林試研報 Bull. Gov. For. Exp. Sta. No. 251, 1973 1～253

空中写真利用による森林調査法に関する研究

中島 巌[1]

Iwao NAKAJIMA: Research on the Application of the Aerial-photographs for Forest Survey

要 旨：森林を木材資源の供給源であると同時に，人間の社会生活環境保全の資源として有効な開発を計るためには，森林構造の現況と推移に関与する要素の的確な情報が常に必要である。このためには，森林調査法の空中写真観測と情報解析手法の利用による新たな展開が期待される。

本報告は，1) 森林調査を目的とする空中写真撮影の条件，2) 写真観測による森林構造の分類整理と判定法，3) 写真観測記録による森林の数量的な取扱いと予測法，4) 写真観測の機械化，の4主題を中心として過去から現在に至るまでの研究と応用発達の経過，達し得られている成果の概要を集約し，さらに今後解明の計られるべき問題点を示したものである。特に新たに提唱したものは，1) 植物，表層土壌条件等を対象とした調査への赤外カラー写真利用の効果，2) 写真観測による林型区分要因の選定と分類，基準，3) 数値写真図の利用による地況条件の数量化，写真像と現地との結合，4) 写真判読資料の整備とそれによる森林の数量的類型区分法，5) 多変量解析の普遍的活用による各種推定数値表の作成と応用法，6) 写真観測機械化の濃度測定法による基礎研究等であり，またこれらを総合した効率的な森林調査の基本的体系を示した。森林のみならず，事物の観測と判定に対する人智の能力は映像の利用によって大きく拡張されるものであり，今後この分野における開発の主体は映像，および被写体より送られる電磁波直接の機械処理に向かっているものである。

目 次

1971年8月6日受理

(1) 経営部

I　緒　　論

1.　森林調査情報の展開

近代の科学技術の急速な発展にともない，すべての産業や社会活動においては，技術的な内容ばかりでなくその活動範囲も，また関連する分野も，過去とは比較にならぬほどの広がりを持つにいたっている。そして，それらを発展させ，推進させるものは常に的確な処置への判断を可能ならしめる正確な情報であり，技術革新への創意である。

林業においても，現在その母体である森林は，量のみならず質をも考慮した木材資源供給源としての生産力を持つと同時に，ことに既開発国においては，人間社会の生活環境にとって，さらにそれに一層寄与する条件をもたらすような社会的機能をもつものでなければならなくなった。

そこでは森林を，過去から現在を過ぎて未来へとつながる有機体としてとらえ，現況のみならず，その推移の原因と過程，またおりおりの社会経済に対する生産性をつまびらかにしうる多面的，かつ新鮮な情報を求め，それに基づく開発利用計画の立案と実行が必要である。

この情報とは，元来森林自体の持つ広範な生産的な機能と社会的に要求される需要，ならびにそれに対処する投資面，の3者に関連したものによって成り立っているものといえようが，社会的な需要と投資の情報とは森林のもつ生産許容力，いわば森林の内容の情報によって反応が生じてくる点が非常に大きいものであることは当然であるが，元来が個々の森林現象独自の範ちゅう内のみで考慮し，求められうるところはむしろ少ないものであろう。

したがって，一般に森林調査といえば狭義に，この森林自体の現況と将来の予測情報の収集と整理，それから得られたものを実際に適用する場合の方法をとりまとめることを取り扱うものといえよう。

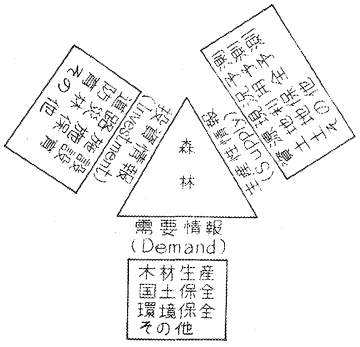


Fig. 1　森林情報模式図
Diagrammatic figure of the forest informations.

これを模式図で示せば Fig. 1 のようである。

過去から現在に至るまで森林は主として木材生産の資源供給面からその価値を評価され，またその方面から技術的な考察が行なわれてきた。それは明らかに森林機能の主体をなすものであるが，今日のように多くの社会的要求に対する多方面の機能的利用開発が同時に期待されるようになると，それを時とともに移りゆく動的現象をもつ生態系として捕える必要がある。

そこでは，森林は人間や他の動植物の生物社会と同じく，多くの個々の立木の集合によって構成された一つの社会集団であり，あらゆる自然的な条件と人為的な作用の影響が現実の森林構造とその推移に密接に関与し，その環境支配のなかで個々の林分や立木は互いに調和のとれた盛衰を繰り返しているものである。

いうならば，個々の林分や立木の状態をつまびらかにすると同時に，それら相互の間，また生育環境との関連を明らかにし，現在および将来への森林取扱いの基礎情報を提供することが調査の重要な課題となるものである。

それは主として，個々の相互関連を静止した断面においてとらえていた従来よりも一歩も二歩も進んだ多くの観測の要因と，それぞれの内容をより詳細に判定する方法を明らかにしなければならないということである。他方，前述の，森林に期待されるかずかずの機能が，物質的な生産材の量と質の面と同時に，さらに従来概念的にのみ考えられ客観的な評価ができなかった面，たとえば国土保全や社会厚生，自然環境保全等の効果の分野にあっても，より科学的な数値的判定法等で評価できるようになれば，森林ははじめて万人に納得される評価のされ方を持つであろう。

この森林調査，すなわち森林のもつ生産的な能力，開発方法の立案・情報の収集と整理は，過去から現在に至るまで，人間のもつ行動能力と知覚をたよりとしておこなわれ，またそれによる判定方法は脳中枢の作用に依存するものであることを基準として設計され，検討されてきたものである。しかし，森林調査に必要な情報内容が，このように量的にも質的にも一段と拡張されてくると，それを従来どおりの方法，またはそれを改善した程度の手法で解決することはきわめて困難であるといえよう。

したがって，今日の森林調査においては，人間の持つ観察，測定，判断の能力を，数倍にも拡張しうる新たな手法の導入を必要とすることは当然であろう。

2.　空中写真利用の原則

空中写真は従来より森林調査に利用され，近年ますますその頻度を高めてきてはいるが，そのおもな利用法は，主として既往の森林利用の観念に立った木材生産の量的はあくを主眼とし，また肉眼観測による判定をもととした調査法の下で，肉眼の判定力，調査の労力を補う手段として用いられていたものといえる。現在，写真はあらゆる科学の領域において，物象の観察，測定，そして判定の精度と効率を飛躍的に発展させ，さらに人間の主観的判断をより客観的な手法へと変換させる重要な手段となってきている。

それは，

1)　写真は撮影の条件を選択することによって肉眼を用いた場合の空間と観測目盛，また時間を拡大も縮小もすることができること。

2)　捕えうる光線の幅を可視光線の範囲内に限らず，観測目的に応じて不可視光線の域まで選びうること。

3)　被写体を全く客観的な記録として測定し，数値判定の中に持ち込むことを可能にしたこと。

等の基本的に新たな力を人間にもたらしたからである。

したがって，森林調査における写真の利用が，「それを仲介とすることによって，人間は任意の視野と光線域を選んで情報をとらえ，またそれを数量的に表現しうる」という新たな立場に立った調査法によっておこなわれるとき，初めてその利用効果が十分に期待されるに至るであろう。

しかしながら，写真像はたとえ森林の状態を忠実，詳細に記録しているとしても，それはシャッターを切った一瞬間に，限られた位置で捕えた光像でしかない。写真による森林の観測，また判定とは，この記録化された像を仲介として森林の現象を測定し，また推理することである。

写真利用による森林調査というものが，地上調査と本質的に異なるところは，えられる結果の精度や途中の手順にあるのではなく，間接測定であることにある。

したがって，写真利用の調査にとって精度，効率等を左右する基本的な条件となるものは，この媒体を作成する映像記録の方法と，用いられた器材や感光材料，撮影季節，日時，天候などの像作成の諸要素

と，観察・測定に使用された機械器具，あるいは技術的な条件などである。

従来より写真利用上の利点，あるいは欠点と称せられているものには，この基本的条件に起因するものが多く，それらは写真技術自体として当然の性能であるものも多いが，その中ではすでに技術的に解決されているものが大半であり，その技術を利用しうるかどうかはそれぞれの場合における，調査上の経済的効率のみの問題，すなわち経費の問題であることが多い。また，空中写真は森林を上空より捕えたものであり，そこに現われているものは，あくまでも上空より見た森林の構造とそれを包む環境の状態のみである。いわば，個々の立木や林分の種類と広がり，それらの組合せと立地条件である。

写真利用は，像として直接記録されているものを測るだけであれば，きわめて容易な問題である。

しかし実際に，われわれが森林情報として求めたいもの，たとえば径級別材積や本数，成長量，品質，あるいは伐採や搬出に要する経費や労力，造林・保育の経費，さらに更新予測，社会厚生的利用や国土保全への能力，等々すべては写真上に直接あらわれているものではない。

それらの多くのものは地上調査でも同じであるが，直接に観測可能な要因を鍵として推理の段階をへて求められるものである。そして，その要因は地上調査の場合とは同じでない。

たとえば，地上標準地調査を例として見れば，通常の調査単位である個々の木の詳細な樹高や胸高直径，また立木本数等の値は，肉眼視野による地上測定において精度良くまた効果的に求められるものであり，またそれゆえに測定項目として用いられているものである。

一方，それらを空間を縮小した空中写真から推定することは不得策なうえに，実際問題としてそれら自体を求めることが調査の目的であり，ぜひ必要な情報項目であることはまず少ないものである。したがって，これらを写真利用の場合にも観測の項目とすることは適切とはいえない。

すなわち，写真利用における調査観測の項目は，写真上で観測して誤りが少なく，効率よく求められるもの，そしてまた林分の構造と立地環境と，これらの項目との関係が明らかであり，この関連性を解くことによって，われわれの目的とする情報が導き出されるものであることが本質的なことであろう。

いうまでもなく，調査の目的，あるいは要求精度によっては現地調査によって補ない，確認する必要のあるものも調査項目のなかに含まれることがある。

このための補足，または確認作業の設計もまた一つの写真利用上の重要な課題であろう。

3.　日本における森林調査への空中写真利用の発展過程

I　概　　要

日本の森林における空中写真の利用は，他の写真応用分野におけると同じく，地形測量への写真技術の導入と発達につれて歩みを進めてきたものであるが，軍事目的を離れた空中写真の産業への応用が，すでに19世紀の末ごろオーストラリアの林業において提唱されて以来，日本においても今日に至るまで変わることなく空中写真応用分野での主導的な立場を保ちつつ，着実な発展をとげてきている。

その過程を大別すれば

創 生 期（1920～1930）

発 展 期（1930～1945）

被占領期（1945～1952）

近　　代（1952～現在）

の4期に区分して見ることができよう。

II 詳　論

1. 創 生 期

日本における写真の測量，調査への第一歩は，1904年（明37），日露戦争の際，旅順港要塞を気球から写真撮影し偵察をおこなったとの伝聞があるが，明らかに書類上にあらわれているものは1907年(明40)，中村清二が普通カメラによる平板写真測量の地理学への応用を紹介[75]したことに始まっている。

また実際的な応用の最初は，1914年（大3）1月，桜島噴火による溶岩流を対岸の鹿児島側から撮影し，図解法によってその形状を図化したこと（1915年4月）が陸地測量部沿革史に見られる。

しかし，写真測量技術の本格的な導入は，1919年（大8），陸軍下志津飛行学校にフランス空軍将校団が空中写真撮影の技術を伝え，また第一次大戦の賠償として，当時の最新鋭図化機であったオランダ Heyde 社の Autokartograph（現国立博物館蔵）が渡来（1921）し，埼玉県仏子付近の図化試験を実施したときに始まる，といえよう。

その後，陸軍技術本部は自動偏位修正機（Automatic Rectifire），実体曲線描画機の開発（1924年）(Fig. 2 参照)，Stereoplanigraph C-1, C-2 の購入（1926年）等，着々と機械類の整備を計った。

この時期において，当時宇都宮高等農林林学科主任教授であった鏑木得二は，写真測量とその林業への応用の考えを公表[16][17]している。それはおそらく同氏の欧州留学中からの着想であったと思われる。

当時，諸外国林業においてもようやく空中写真利用の試みを開始していた。すなわち，ドイツでは1921年に Roggenburger Forest (4,500 ha) の調査に写真を利用し[108]，その結果に基づき1923年 Nürnberger Forest (30,000 ha) の経営案の編成への写真利用を計った[3]。

また Tharand 林業大学における Hügershoff を中心とする数々の森林調査に対する研究，また Sachsen 山林局における実地応用がおこなわれ，すぐれた成果を数多く発表している。

カナダにおいても1919年から写真利用が開始され[1]，1923年には North Ontario の Jamesbucht 地方 34,500 km² の林型図と蓄積測定が写真により実施され[15]，また英領ビルマでは Irawaddy Delta 3,300 km² の写真撮影（1923年）と森林調査目的の South Tenasserim 1,140 km² の垂直撮影がおこなわれていた[12][13]。

日本においても，実際利用への試みは，それらとほぼ時を同じく始められている。すなわちその第一は，1929年（昭4），朝鮮咸鏡南道端川郡，および咸鏡北道吉州郡にまたがる国有林計 11,000 ha の撮影ならびに森林調査である。

この撮影は吉恵線合水付近の鉄道測量への目的をも含めて，平壌の飛行第六連隊の測量演習として行なわれた。

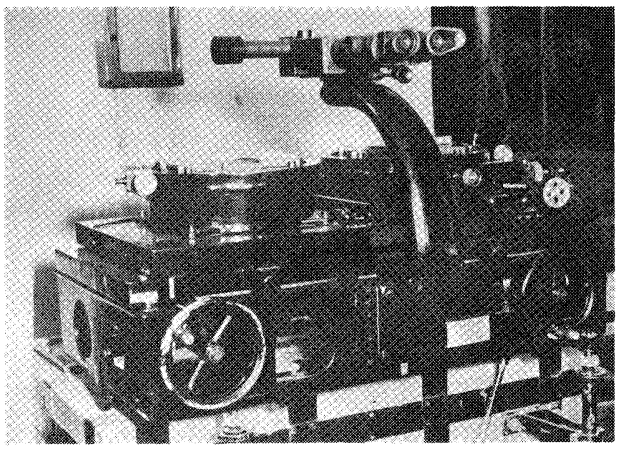


Fig. 2　実体曲線描画機（日本光学K. K. 製　1924年）
Stereo contour mapper.

カメラは Fairchild K-8, $f=25$

cm，縮尺；1/5,000 である[43]。この報告は松岡修三が行なっているが，引きつづきこの写真を用いた主要樹種の判読，樹高，疎密度，本数の推定を地上調査によって検討し，さらに材積推定の可能性を朝鮮総督府施業案係の技師・掛場直勝が報告している[18]。これはその後の森林調査のうえに大きな刺激を与えたと思われる。

つづいて内地では，翌1930年（昭5）大同電力株式会社が木曽川沿岸の読書発電所と，天竜川上流の南向発電所の送電線計画書，設計のために全長約40 km，幅2.4 kmの地域を，当時発足した「日本空中作業株式会社」に撮影させた約1/10,000の空中写真を用いて，帝室林野局木曽支局の三殿，妻篭，飯田，各出張所管内にかかる御料林の林相判読，地類区分，樹種判別，樹高，疎密度推定，等について大久保寛一が実施し，施業案編成調査への効果をのべている[95]。

この報告では，立体測定の原理を説明しているが，樹高判定の要素に影の長さを用いている，等の実施内容より見て，当時は立体観察には至っていなかったものと思われる。

これらはすべて試みの段階であったが，いずれも林業への応用の可能性を強調し，きたるべき時代への有効な礎石となった。

陸軍技術本部陸地測量部を中心とする軍部においても，この年代を通じて垂直写真，斜写真，地上写真による数々の測量図化，印刷の試験をおこなっている。

また海軍水路部は，佐世保海軍航空隊の協力を得て空中写真による海岸線の測量を1928年（昭3）に開始，以後連年実施している[121]。

2.　発　展　期

それまで一部の学者や学究的技術者が，新しい試みとして行なっていたにすぎなかった日本の林業に対する写真利用は，この時代に突然大規模な，そして組織的事業として開幕された。すなわち，1905年，ポーツマス条約によって日本領となった北緯50度以南の南樺太は，パルプ，製紙，農業の開発にともなう利権伐採，また山火事・虫害による大被害からの荒廃を防ぐために，迅速な林業政策の確立が唱えられてきたが，1930年（昭5）にようやく地方林政の独立を見，本施業案の編成，土地利用区分の調査を至急に実施することを必要とした。

当時，南洋庁から樺太庁に赴任した今見 昇は，これに空中写真の利用を着目，当時の県長官の同意を得てほとんど独力でこれを設計準備し，同年中に6,800 km²の1/15,000垂直写真撮影を下志津陸軍飛行学校の協力によって完了している。

つづいて1931年（昭6）には，9,220 km²の撮影を下志津に加えて所沢飛行学校，飛行第四連隊の協力によって完了。このとき，北海道上空で濃霧のため空輸中の飛行機が墜落，宮崎飛行中尉が死亡したことは，日本における空中写真撮影のための最初の遭難事故であった。

さらに1934年（昭9）には，6,500 km²の撮影を行ない，合計林野総面積 23,280 km²のほか，鉄道予定線，都市計画 670 km²，等日本領全樺太面積の70％の撮影を完了した。

当時樺太にはまだ1/50,000地形図が整わず，軍はこの写真から1/25,000の略集成図を作成し，また1935年（昭10）ころから図解法による1/50,000の測量を開始している。このことは，この撮影には軍も積極的であったことが見られる[19]。

この写真を用いて樺太庁は，1932年（昭7）から本格的な林地区分調査を，またこれと平行して1933年（昭8）からは施業案編成調査に着手し，前者は1935年（昭10）にほぼ全域にわたって完了している。

この林地区分は要存置林，植民見込地，既設植民地，各大学演習林，その他河川湖沼等であり，また写真判定により傾斜度20度以下の地域のうち，農・牧に適し，または国有林以外の用途が適切と認められる区域を写真上に区分し，実測によって現地区分線を設定した。

施業案編成への利用は，図化作業を除く林況調査として樹種，樹高，直径，林齢，林木本数，蓄積，混交歩合，および疎密度，更新状態，等の推定への検討がおこなわれ，

1) 森林調査概況。
2) 基本図の作成。
3) 蓄積調査のための標準地の選定。
4) 虫害調査。
5) 造林予定地の選定。
6) その他鉄道，港湾，都市計画等への利用。

等への効果が著しく「甚だ適切な手段たるを失わない」としている[11]。

しかしながら，このようにして1937年（昭12）に完了した施業案編成への写真利用に対して，次のような問題点をも提起している。

1) 主要樹種「エゾマツ，トドマツ」の樹種別蓄積分布の判定の困難。
2) 成長量，伐期調査，稚樹・発芽発生等更新関係，良木，不良木の判定が不能。
3) 未利用林，散生地，伐採跡地，等の将来の開発事業への資料不足。
4) 択伐地の選定基準，択伐率選定の不能。
5) 虫害の進行予測の不能。
6) 撮影後の材積，森林被害等による変化は現場で調べねばならぬ。

この筆者は不明であるが，すでに非常に高度な要求をも写真判定に期待していたことが知られる。

この経験と効果は，さらに引きつづいて行なわれた満州における森林調査へと大きく発展した。すなわち，樺太庁林務課で，前述の調査を担当した技術陣のうちの長谷部唯凡，鮫島宗堅の2名は，1934年（昭9），満州国招聘官吏として，森林開発の基礎作りにたずさわるに至った。

満州においては1932年（昭7）4月，前年9月に始まった満州事変が一段落し，満州国が建国され，首都を新京（長春）に定めた。政府は国策遂行と林野行政計画樹立のため，全林野の資源の実態を把握することが必要となった。一方，建国と同時に，満州航空株式会社が奉天（瀋陽）に設立された。翌1933年（昭8），社内に写真班を創立。当時の主要な機械は Fairchild 単鏡玉カメラ（f=25 cm）1台，Zeiss 四鏡玉カメラ（f=13.5 cm）2台，および Stereoplanigraph C-4 1台であり，技術顧問として木本氏房がこれに尽力している。

1934年（昭9）2月，政府実業部林務司は，パルプ関係4社に対し合計約 2,300 km² にわたる森林資源調査を1935年3月までに終了するように指令し，東満パルプ社は独自に，他の3社はその調査を帝国森林会（当時の会長本多静六）に委嘱した。

帝国森林会および東満パルプ社は，調査地全域の撮影作業を満州航空と契約，ともに満州航空の一室において判読調査の作業を進めた。このとき，前記樺太の経験を有した先の2技師が指導監督に当たっている。

この調査は予定どおり終了し，

1)　林相図（1/100,000）

2)　一覧図

3)　森林調査法

4)　森林調査報告書

をととのえ，

1)　流域別森林面積

2)　流域別，針広別蓄積，および利用可能材積

3)　搬出方法

4)　既得伐採権域

等の有無を明らかにしている。

撮影は 1/15,000 で行なわれ，集成写真上に一部は林相，蓄積を，他の一部に地性線を記入し，これらを写真複製により 1/100,000 図としている。

この間に，満州航空写真班は写真部と改称して施設を拡充し，また実業部林務司は 1935 年（昭 10）4 月，新たに満州航空との年次撮影を契約し，全満州森林約 20,000 km² の経営案編成計画を樹立，森林航空判読室（仮称）を設置，その第一次計画として 110,000 km² の撮影と森林調査を 1939 年（昭 14）までに完了している。

さらに，1939 年より 1944 年（昭 14～昭 19）の間に 210,000 km² の撮影と森林調査のすべてをほぼ完了した。

この間，写真判読室は林務司に計画科が制定され，初代科長に 1936 年（昭 11）10 月松川恭佐が着任してから航空調査股と改称，また満州航空写真部は 1937 年（昭 12）11 月，さらに「写真処」と改めて新京，南岑に大作業所を建設した。

当時設置せる図化機械は Stereoplanigraph C-5，4 台，自動偏位修正機（Automatic Rectifire）5 台のほか Stereoplanigraph C-4 の改造をおこなう等，世界有数の大設備を整えるに至っていた。

なお 1938 年（昭 13）よりは，各実験林の 1/10,000，10 m 等高線の精密図化に着手している。

森林調査の成果としては 1/100,000 の集成写真地貌図（地性線図），事業区別林相図，森林調査簿，林班区画（平均 4,000～5,000 ha）；ha 当たり蓄積，樹種別混交歩合，立木度，林齢，地形等があり，経営案資料の整備を目的としている。

これらに関しては 1940 年（昭 15），1941 年（昭 16）日本林学会に発表[6)122)]されているほか，満州国林野局の報告[84)]がある。

この間，内地においては 1932 年（昭 7），ドイツ Tharand 大学の留学から帰任した宇都宮高等農林学校教授，中山博一が森林経理のための森林調査への空中写真の応用を紹介，また試験を行なっている[80)]。また 1935 年（昭 10）林　猛雄が「写真測量（シビル社）」を刊行，帝国森林会は，嶺　一三，木本氏房の筆による「「航空写真測量と其応用」1936年（昭11）1 月」を，興林会は中山博一著「「航空写真による森林調査」1937 年」を刊行した。

1938 年（昭 13）東京帝国大学農学部林学科の測量のうちの選択科目に写真測量（2 単位）が開設され木本氏房が昭和 14 年よりこれを担当した。また昭和 13 年に木本氏房は「写真測量」を満州航空株式会社から発表[24)]した。

なお海外では，この年に国際写真測量学会の機関誌「Photogrammetria」が創刊されている。

1940年（昭15）大日本航空株式会社が航測所を創設し，都下国立に作業所をもうけた。1941年（昭16）10月，中山博一は森林図化に写真図解法による利用を推奨し，コンパス測量との比較を報告している[78]。

しかしながら，実際の林業に対する応用は，第二次大戦の激化に伴い，事実上の民間での航空写真の使用がほとんど不可能になり，わずかに1942年（昭17），東京府庁が民有林施業案編成調査を目的として，西多摩・南多摩両郡の森林地帯の撮影を大日本航空航測所に依頼，前者は1/20,000，後者は1/10,000の写真を用いて林況調査を実施，森林所有界，林相界を図解法によって1/5,000施業図にとりまとめているのがみられる程度である。

1945年（昭20）8月，終戦を迎え，満州におけるすべての施設は破壊され，内地においては水路部のStereoplanigraph C-5 1台と陸地測量部のMultiplex 1台を除くすべての機械は接収され，また日本人による飛行禁止令のためいっさいの業務は停止した。

3. 被占領期

戦争の終結にともない満州より多くの航測技術者が帰国し，また国内にあっても軍部の解体，陸地測量部の後身内務省地理調査所の定員減，等により多くの技術者が民間に出た。これらの人々，また研究者は困難な事情の下にありながら写真利用の努力を続け，戦後の写真関係第1号の書として木本氏房は「写真測量（白水社）」という単行本を発刊した[23]。

1947年（昭22），米空軍は日本全国土の縮尺1/40,000の撮影を開始し，戦災復興と経済再建のために写真の使用を黙認し，それによる民有林施業案編成への写真利用が試みられた。またこの年林政統一が行なわれている。

1948年（昭23），正式に米軍撮影のネガの複製と印画の貸与が開始された。

同年林野局は，この年に発足した「日本写真測量学会（前身）」の林業部会の協力の名の下に，地理調査所・林業試験場・日本林業技術協会・山梨県等からの調査班を組織し，山梨県黒駒村において1/40,000写真を用いて図解法により作図した1/5,000地貌図の利用価値，判読効果を検討し，その結果にもとづき従来地上測量によっていた民有林施業案のための森林基本図（1/5,000地性線図）作製を写真図化による方針を決定した[4)5)115]。

また，この写真貸与の公開は農林業への利用意欲を大きく刺激し，業務応用への多くの試みが開始された。

農林省統計調査局では地籍測量への応用を都下南多摩郡元八王子村，千葉県大柏村で行ない，その検討を地理調査所に委託している[92]。

また，これに先だち1947年（昭22）6月に発会した，日本写真測量学会（前身）はすでに月例会を開催していたが，1948年（昭23）5月，「写真測量」第1巻，第1号を発刊した[55]。この例会における発表中，林業に関するものとしては，原　忠平「東北森林における航空写真の利用について」（1948年1月17日），中島　巌「森林試験と航空写真」（1948年2月14日）等がある。

また，同会は1948年9月2日～5日，夏期空中写真講座を開催し，林業関係を中山博一が担当した。また前橋営林局からも林業に対する利用の解説書が出されている[28]。

なお1949年，林野庁主催による第1回空中写真測量講習会が東京都下高尾山で開催された。また教育研修のために林野庁は教習書を作成した[116]。こうして1948年より1952年（昭27），講和発効に至るまで

に米軍より貸与された写真枚数は139,015枚であり，その大半は林業目的であって，この間に約180万haの地性線図が作成されている。

4.　近代—前期

1952年（昭27），講和によって翼を取りもどした日本航測界は，直ちに撮影の準備を開始し，青木航空株式会社は東京都下高尾山付近で第1回の試験撮影をおこない，ついで山梨県東山梨郡東金村所在の東京都水源林の一部620 ha の撮影を行なった。縮尺は1/10,000，使用カメラはFairchild, f=25 cm である。

この写真を用いて，中島　巌は林相判読試験を行ない，1/5,000 林相図を作成し，引きつづき標本調査法応用への研究を開始した。この研究は1953年，54年にわたって続けられ，その後の森林調査法の基礎を定め，また，カラマツおよび広葉樹を対象として作成された判読因子の重回帰推定による写真材積表は，その後の写真材積表作成の基準になった[101]。

また，林野庁は林業経営における空中写真利用の研究を日本林業技術協会に委託，同協会は森林航測研究会を組織し，木本氏朋を主査として作業を依任，また同年測量指導部を設置した。

同年，東京営林局は丹沢地区 500 km² の撮影を行ない，1953年，治山計画図を作成した。この撮影は1/12,000 および 1/30,000 の2段撮影で，図化には戦後国産第1号の図化機である株式会社写真測量所所有のトリプレックス（中村貢治設計）が用いられた。使用カメラは Fairchild K-8，およびツアイス RMK，トポゴンである。

同1953年（昭28）にはキテイ台風による近畿地方の大災害があり，この調査と基本図作成のため奈良，和歌山両県と大阪営林局，ならびに電源開発株式会社が合同して面積 1,600 km² を，縮尺 1/15,000 と 1/3,000 による撮影，および 1/5,000 地形図の作成を行なった。カメラは K-7，メトロゴン，および RMK，オルソメーターが使用された。

同年，国有林における経営基本図作成のモデルケースとして，秋田営林局仁別経営区において，米軍の1/40,000 空中写真を利用して，図化機はトリプレックスを用いて 1/5,000 地形図を作成した。

なおこの年戦後はじめてドイツより Stereoplanigraph C-8 が地理調査所にはいった。

ついで翌1954年，国際航業株式会社がこれを購入し，1955年にはアジア航測株式会社に Autograph A-7 がはいるに及んで，次々とこれら新鋭図化機が民間各社に購入されるに至った。

カメラについては1954年，アジア航測株式会社に Zeiss RMK が輸入され，ここにようやく日本の航測界もその設備陣容が整うに至った。

また岡山県，長野県において民有林の撮影が行なわれ，この林況調査への使用が開始されている。

1954年（昭29）台風15号は，洞爺丸転覆事件とともに，9月26日青木航空機の遭難があり，このとき北海道森林の被害は大きく，その風倒木被害 27,000万 m³ に及び，年間伐採量の3か年分にも相当した。この風倒木処理への写真利用は，後に大規模計画撮影への緒となったものである。

また，この年から国有林においても，基本図作成のための地性線図の作成を始めている。なお林野庁は1953年，第1回全国森林資源調査を企画し，統計数理研究所（文部省）および林業試験場の指導による設計，取りまとめを，1955年8月現在の資料として全国 3,000 plot の調査点の値によって集計した[14]。

国有林においては1955年から，空中写真を利用した標本調査法を森林調査に導入することとし，林野庁計画課から林業試験場へ調査法の設計を依頼した。林業試験場測定研究室では早急に着手，1955年実施応用を目的とした標本調査法の研究，ステレオグラム（判読資料写真）の作成とその利用に関する研究を

東京営林局管内天城国有林で実施し，これに基づき秋田・東京・長野・大阪の4営林局において試験を実行することとし，同年8月担当官を東京に招集の上，講習を行なった。その後，実行結果に微し全営林局においてもこの方法を採用することに決定，1956年2月，全営林局の担当官に対し天城国有林で実地研修を行なった。

その方法は当初定めた方針に従うものであったが，1966年各局の実行結果に基づき，当初の設計に検討を加え改定し，1967年2月，再度担当官の研修を行ない，同じく天城国有林で実地研修を行なった[119]。この最終調査設計はその後はほとんど変更なく，現在の国有林の森林資源調査法の中心をなしている。なお，この報告は以後1964年まで例年発表されている[66][100][120]。

これに先だち1955年（昭30），林野庁は前述の北海道の風害跡地 13,212 km² の撮影を計画，縮尺を1/20,000～1/23,000 とした。撮影区域は被害状況により全北海道を6地区に分け，はじめて大規模な計画的撮影が行なわれた。

1956年（昭31），民有林第1期の森林計画編成終了。これまでの地性線図の作成面積は約92万haに達し，前期の地性線図とともに民有林のほぼ2/3を完了した。

なお，さらに進んだ写真利用に対する試みが，2～3の県で行なわれはじめた[94]。

この年，林業技術者のための空中写真利用ＰＲ誌として，「森林航測」第1号が日本林業技術協会から創刊された。

1957年（昭32），森林調査法の改正によりそれまでの森林計画制度が変更され，民有林の森林区施業計画，あるいは国有林の経営案編成に正式に標本調査法が採用されるようになった。またこの年から部分的に国有林の地形図化が始まっている。

航測界では同年までに一級図化機の整備により，空中三角測量方法が急速に発達し，林野関係においてもこの年からこれを取り入れている。

また，木本氏房は電子計算機利用による基点測量法を紹介している[21]。

日本林業技術協会は天城国有林，および高尾山について行なっていた各種図化機による森林図作成の検討結果を報告した[42]。

その後，天城国有林における林野庁業務研修の結果に基づき，片岡秀夫が1959年(昭34)に実務解説書を刊行した[20]。このころから各営林局における航空写真材積表作成の試みが所々で行なわれている[90]。なお林野庁計画課は林業試験場指導の下に，「空中写真判読基準カード」を作成し，日本林業技術協会に刊行せしめた[113]。これは全国代表樹種を齢級別に50例を示したもので，プロットによる地上調査値と写真測定値を示したステレオグラムである。

1959年には天然色写真，および赤外線写真に関する研究が東京大学生産技術研究所で開始され，この分野における初の報告が出された[38][39]。

民有林関係においては，北海道道有林における写真利用の実験が開始された[97]。

なお中島　巌は，1958年12月より1959年12月の間，空中写真の林業利用に関する初の科学技術庁長期在外研究員として海外に留学し，帰国後その技術を紹介[63]，また1960年，I. C. A. 視察団として米国の林業における空中写真利用状況視察のために日本林業技術協会・松原　茂，ほか4名が米国へ，南方林業開発委員会からカリマンタン森林開発調査団がインドネシアへ派遣されている。

ば，両者の値はよく一致しているということができる。

つぎにパルプ試料について銀吸収法とフラスコ燃焼法との比較実験を行ったところ，銀吸収法では予想しうる値よりかなり低い値となった。そこで銀吸収法の場合に生ずる灰分にイオウの一部がとりこまれているものと推定し，あらためて灰分を分析したところ，N・NSSCP でおよそ0.15%，L・UKP で0.03%程度のイオウが残留していることがわかった。そこで銀吸収法を PREGL 法に替え，燃焼分解のあと吸収液にその試料から生じた灰分を合せたものについて定量を行った。この場合の両分析法による結果を表3に示したが，いずれもよく一致する値がえられた。

6. 供試材料および調製

供試材料は当場のパルプ研究室で試験用に製造したパルプおよび市販の二，三の用紙類である。

試料の調製は前報[6] の塩素分析法に準じ，パルプは円柱状に固め，また紙は短冊状小片とした。

7. 分 析 操 作

調製した試料を精秤し，燃焼フラスコの栓につけた白金ホルダーに点火用沪紙とともにはさみ込む。フラスコに 10 ml の純水と 3 %過酸化水素水 5 ～ 6 滴を加え，フラスコの空気を酸素に置換後，ただちに沪紙の先端に点火しフラスコ内に手早く挿入して燃焼を完了させる。これらの操作は前報[6] と同様 4 検体を同時に行う。

燃焼終了後フラスコを軽く振り廻し，熱せられた器壁を吸収液で冷し，振とう器で10分間振とうする。ついで 100 ml の広口ナス型フラスコに吸収液を移し，約 5 ml の純水で洗って上記ナス型フラスコに加え，液の飛散が起らないように注意しながらおよそ 1 分間沸騰し，添加した過酸化水素を完全に分解させる。冷後イオン交換樹脂 IR 120(H) カラムに通し，得られたおよそ 20 ml 流出液にイソプロピルアルコール 16 ml を加え，さらに水を足して全量を 40 ml とする。これを滴定セルに移し，スターラーでかく拌しながら 3.2 で述べた指示薬各 2 滴加え，0.03 N アンモニア水で pH を調整後滴定する。終点は図7によって求め，イオウの量は次式によって計算した。

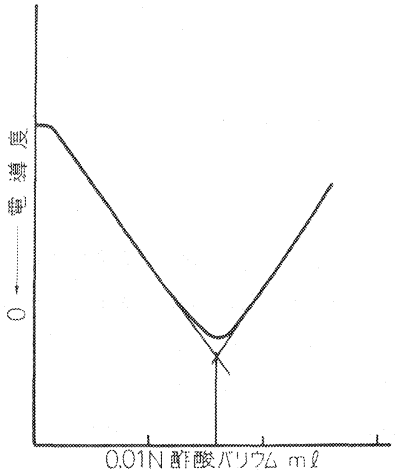


図 7. 滴 定 終 点

なお，この実験では滴定装置中の 500 mV レンヂを選択使用した。

$$S\% = \frac{0.01\,N\ Ba(CH_3COO)_2 ml \times 0.16032}{試\ 料\ (mg)} \times 100$$

8. 分析結果および考察

以上述べた方法で分析を行った結果は表 4 に示す通りである。分析操作は塩素分析にくらべやや繁雑ではあるが，在来法にくらべはるかに時間が短縮され，再現性もよく，4 検体の分析に要する時間はおよそ

表 4. 各試料の分析結果

試　　料	No.	試　料 (mg)	S%	IR 120 (H)	パルプ中のリグニン量
L・U・KP					
南　方　材	1	329,480	0.07	処　理	—
	〃	298,310	0.07	未処理	—
	2	260,800	0.06	処　理	—
	3	316,430	0.07	〃	—
	〃	291,000	0.07	未処理	—
	4	293,900	0.06	処　理	—
	5	276,570	0.08	未処理	—
邦　産　ブ　ナ	A	399,640	0.10	処　理	6.37
	B	368,310	0.04	〃	2.30
	C	373,230	0.03	〃	1.76
NSSCP					
エ　ゾ　マ　ツ		286,910	0.45	未処理	—
		276,790	0.45	処　理	—
ア　カ　マ　ツ		240,610	0.27	〃	—
		230,140	0.27	〃	—
		232,100	0.29	未処理	—
		273,120	0.27	〃	—
電子コピー用紙		271,300	0.03	処　理	—
		290,310	0.03	〃	—
タイプライター用紙		285,200	0.04	〃	—
		254,060	0.04	〃	—
半切洋罫紙		313,640	0.06	〃	—

60分であった。

1)　被滴定液中の SO_4^{2-} の濃度が 16.8 μg/ml 以上のとき正常な値を示すとの指摘[4]もあるが，当然ながら SO_4^{2-} 濃度が高い方が滴定しやすく，またこの実験結果でもいえるように，被滴定液量が少ない方が滴定曲線の終点が明瞭である。さらに 7.2 μg/ml の極めて低濃度の場合には，滴定誤差が6.7%生ずるといわれているが，それも得られる定量値のおよそ10%前後の誤差にとどまり，実用的には無視できる場合が多い。しかしイオウの含量が極めて少ないとあらかじめ予想されるときは，可能な範囲でできるだけ多くの試料を秤取し，液量を小さくするよう心がけるとよいと思われる。

2)　使用した試料中，邦産針葉樹および南方材パルプでは妨害イオンの存在は無く，イオン交換樹脂カラムを通さなくとも滴定しうるが，邦産ブナパルプではイオンの妨害があり滴定できなかった。この吸収液をイオン交換樹脂カラムを通すことで図8に示すごとく満足な結果を得た。このように滴定妨害イオンの存在するパルプがあるので原則として，すべての試料についてイオン交換樹脂カラム処理が必要と考えられる。

3)　晒パルプで抄紙した二，三の用紙について分析を行ったが，この場合塩素漂白行程で脱リグニンが進みイオウの含量が少ないと予想されたが，実際にはイオウの含有が認められた。これらは抄紙時の添加薬品によるものと推定される。実際に当場で製造した晒パルプについてイオウを定量したところ，イオウはほとんど含まれておらず 300 mg の試料では図9．Aに示すように定量できなかった。

5.　近代—中期

1961年中島　巌は，スイスにおいて実施した空中写真による林型区分図作成の研究を取りまとめ，標本調査への写真利用の林型区分基準を示し[48]，また天城国有林において二重抽出法による標本調査の研究を実施[88]，またブナ天然林に対する冬期写真の本数判読による材積推定，全国判読資料写真作成，その他の総合研究を開始した[55]。また「森林航測概要」[66]を発刊した。

谷口信一は森林調査への利用の解説を[127]，木梨謙吉は材積調査への応用精度の研究を発表し[26]，その他民有林においても活発な研究がおこなわれた[44][99][130][131]。また，その他若干の解説書も刊行されている[10][22]。これらはその応用による広範な写真利用への要請を林業界に引きおこした。なおこの年，国産航空フィルムがフジフィルムK.K.において完成した[117]。

1962年度においては，木梨謙吉は写真材積表作成による林分材積推定の研究を続行し[25]，谷口信一は林相区分と写真材積表による林型別材積推定を行ない[128]，また北海道庁道有林では大面積森林調査に対する二重抽出法の適用の検討を行なった[98]。

中島　巌は日本の天然林に対する写真林型区分と副次抽出標本調査の応用研究を発表[50]，また民有林に対する標本調査適用実験を行なった[118]。同時に福島県西白河郡白河国有林に試験林分約2,000 haを設定，各種フィルムによる季節別，縮尺別撮影を実施し，写真材料の基礎研究を開始するとともに，同人工林に対する標本調査研究を実施[91]，なお同年，濃度測定法による写真判読の機械化研究に着手，予備実験結果を発表[62]，写真自動測定への画期的な方向を示した。またこの年，林野庁は前年度実施された10,000 plot調査による全国森林資源調査の結果をとりまとめて発表した[111]。その他，中山博一は地上写真の測樹への応用を試みている[58][76][77]。このころから土木設計部門にあっては電子計算機の応用が活発化してきている[29]。一方，コロンボ計画に基づく海外留学生の増加に対応して，英文教習書が作成された[73]。こうして1961年ころから急速に普及し，実用化した写真による林型区分に基づく各種の森林調査法は，国有林・民有林ともに広く適用されるに至り[33][34][45][109][124][125][131]，森林資源調査法の基盤をなすに至った。

1963年，中島　巌は先に行なった予備実験にもとづき，写真濃度測定装置第1号を完成，その実験結果を国際写真測量学会に報告し[71]，多くの反響を得た。また従来，林況調査項目のみをおもな観測項目としていた森林の測定に，地形その他から多くの項目の観測の必要性を提唱，蓄積調査のみならず，さらに多方面な写真利用の方向を示した[50][89]。

また，ヘリコプター撮影による測定用大縮尺空中写真の開発にともない，その利用を検討している[68]。

この年，林野庁は営林局を単位とする標本調査の実施，および全国空中写真判読資料の作成を指示した[113][114]。

1965年以後は，しだいに一般化した電子計算機の写真測定値解析への応用[53]ならびに濃度測定法による測定，観測機械化の基礎開発が行なわれ[49][51][86]，また九州大学においても濃度測定法応用の森林調査研究が開始された[27]。引きつづき多変量解析手法の導入[59]および地形項目の数量解析の研究が開始され[54][59]，その後の写真と計算機利用による森林調査業務への方向が示された[67]。

1968年から中島　巌は，赤外カラー写真の森林，その他植物現象はあくに対する効果に着目し，実験を開始[64]，林野庁はこれら新技術の写真利用による総合的研究を林業試験場に依嘱した。林業試験場航測研究室は北海道帯広営林局管内天然林，および福島県下白河国有林において調査研究を実施するに至った。

この研究はさらに今後の林業の基本的諸問題の解決を目的として，現在続行されている。

また，海外森林資源に対する現実的な調査法の解明に関する研究も，しだいに重要性を加えてきており[56)57)72)]，これらを目的とする研究グループの活動も活発である[81)]。

なお，1952年から1968年までの間の林野関係空中写真利用のための撮影量，および1957年より1968年までの間の図化面積は Table 1 に示す[104)]。

以上，日本における空中写真利用の経過を述べてきたが，これを年表に一括して示すと Table 2 となる。

Table 1. 年度別撮影図化一覧表

Annual of photography and mapping area

林野関係撮影実績 Photography for forestry purpose　(単位 Unit: 1,000 ha)

年度 Year	(林野庁実施) 国有林 National forest	(都道府県実施) 民有林 Private forest	年度 Year	(林野庁実施) 国有林 National forest	(都道府県実施) 民有林 Private forest
昭和 1952 (27)	50	—	昭和 1961 (36)	1,414	892
1953 (28)	160	55	1962 (37)	1,640	1,046
1954 (29)	294	245	1963 (38)	1,640	1,332
1955 (30)	1,581	164	1964 (39)	1,696	1,492
1956 (31)	1,616	508	1965 (40)	2,258	1,588
1957 (32)	1,523	336	1966 (41)	2,031	1,637
1958 (33)	1,522	275	1967 (42)	1,854	1,768
1959 (34)	1,639	305	1968 (43)	2,521	1,768
1960 (35)	1,304	666			

注）実績は区域面積を示す

図化実績 Mapping area　(単位 Unit: 1,000 ha)

年度 Year	国有林 地形図 National forest	民有林 〔地性線図〕 地形図 Private forest	年度 Year	国有林 地形図 National forest	民有林 〔地性線図〕 地形図 Private forest
昭和 1957 (32)	187		昭和 1963 (38)	730	691
1958 (33)	143	〔14,167〕	1964 (39)	730	797
1959 (34)	32		1965 (40)	700	857
1960 (35)	156		1966 (41)	700	902
1961 (36)	269		1967 (42)	700	860
1962 (37)	665	762	1968 (43)	670	867

注）1. 森林面積のみ，ただし地性線図は区域面積。
　　2. 民有林の地形図には写真図を含む。

Table 2.　日本における森林に対する空中写真利用の経過　年　表
History of using the aerial photography to the Japanese forestry

1900	明治33	
1	34	
2	35	
3	36	
4	37	日露戦争の際，旅順港要塞を気球より写真偵察をおこなう（伝聞）。
5	38	
6	39	
7	40	普通カメラによる平板測量への応用，中村清二博士により紹介さる。
8	41	
9	42	
1910	43	
1	44	
2	大正 1	
3	2	
4	3	桜島噴火の溶岩流を写真図解法で測量図化。
5	4	
6	5	
7	6	
8	7	
9	8	フランス陸軍将校団，写真測量技術を陸軍下志津飛行学校に伝う。
1920	9	
1	10	埼玉県下で Autocartograph による測量，図化を実施。
2	11	
3	12	
4	13	国産自動偏位修正機，実体曲線図化機開発，鏑木得二博士，航空写真の森林応用を紹介。
5	14	
6	昭和 1	精密図化機，Stereoplanigraph C-1，C-2 陸地測量部に購入さる。
7	2	
8	3	海軍水路部，海岸線調査に写真利用を導入。
9	4	朝鮮咸鏡南道国有林 11,000 ha の写真調査開始。
1930	5	帝室林野局木曽支局管内御料林の写真調査，南樺太森林の写真調査開始。
1	6	
2	7	満州建国，満州航空K.K.設立，中山博一，森林経理のための写真利用を紹介。
3	8	
4	9	在満民間パルプ 4 社による南満州森林調査開始。
5	10	全満州，森林調査開始。
6	11	帝国森林会「航空写真利用と其応用」刊行。
7	12	
8	13	東京大学農学部林学科「写真測量」開講，国際写真測量学会誌 Photogrammetria 創刊。
9	14	
1940	15	大日本航空K.K.，航測作業所を開設。
1	16	
2	17	東京府，南多摩，西多摩郡森林地帯撮影。
3	18	
4	19	
5	20	終戦，日本・満州の全機械，資料の破壊没収，飛行禁止令出る。
6	21	
7	22	米軍，全日本の 1/40,000 写真撮影開始，木本氏房「写真測量」刊行，日本写真測量学会(前身)発会。
8	23	米軍写真の貸与開始，民有林施業案への利用検討開始，林政統一。
9	24	林野庁主催第 1 回写真測量講習会開催。
1950	25	
1	26	
2	27	講和発効，撮影再開，森林資源調査への応用研究開始，日林協測量指導部設置。
3	28	東京営林局，治山調査への応用開始，全国森林資源調査開始，キティ台風調査。
4	29	民間航測社機械整備開始，民有林国有林基本図施業案調査応用活発化，台風15号。
5	30	国有林資源調査に正式に導入，業務研修開始。
6	31	日林協「森林航測」創刊。
7	32	森林調査法改正，国有林での写真利用法正化。
8	33	木本氏房，電子計算機による基点測量を紹介，ステレオグラム作成研究開始。
9	34	天然色，赤外線写真の利用研究開始。
1960	35	カリマンタン調査団派遣。
1	36	国産，航空フィルム完成。
2	37	濃度測定法の研究開始。
3	38	ヘリコプターによる大縮尺写真の撮影開始，国有林，局単位の標本調査開始。
4	39	林道，治山部門での応用活発化。
5	40	国有林ステレオグラムの統一作成業務開始。
6	41	
7	42	赤外カラー写真の応用研究開始。
8	43	電子計算機による数値図，森林解析作業の実用化研究開始。
9	44	多変量解析，その他システム手法の導入試験活発化。
1970	45	

II　空中写真による森林観測の要因

1.　写真像観測の基礎条件

写真像利用のすべての分野において，写真の観測は，まず，その写真像にあらわれているものが「何であるか」の判定から始まる。

第2の段階はそれを分類，分析し，また測定を行なって被写体の内容的な性質，すなわちその成因や推移の過程，または評価等を導きうる推理の鍵を引き出すことにある。

その効率は，写真測量の分野で写真像に直接あらわれている像を測り，また表示するのと同じく，原資料である写真像の条件と，使用器材や技術によって根本的に左右されるものである。

写真像の判定は，写真上の被写体の形，大きさ，位置，配列状態などの定量的なものと，被写体自体や影のもつ色の調子（Tone），感触と称される肌目の工合（Texture），あるいは構成模様（Pattern）等，質的なものをよりどころとして総合的に判断される。これらを一般に「判読の要素」といっているが，元来，地表物はそれぞれが固有の形や模様の類型，あるいは撮影条件に応じた特徴ある色の調子，等をもつものである。したがって，写真観測にとって，写真像の基礎条件は目的とするものがそれらの特性によって，どの程度に他と判別しうる写真であるかにある。

森林の観測にあたっても第一条件は，その写真が森林の構造や立地状態について，調査目的を満足しうるほど詳細かつ正確に記録しているかどうかである。

それらは撮影カメラや使用フィルム等の器材と，縮尺や撮影季節，日時，飛行速度等の撮影条件，また地域特性，あるいは現象，引伸し，等の処理手順によって大きく影響されるものである。

なお，写真像の質的な判読要素である色調，感触，模様の3者は，濃度測定法によっていずれも定量的な数値で表わされるものである（後述　V）が，ここでの色調とは，モノクローム写真では肉眼に感じる白から黒に至るまでの濃淡感覚をいい，感触とは集団として見た像の濃淡変動が視神経に与える感覚であり，また模様とは多少なりとも規則性をもった濃淡構成の分布，または配列を意味している。

本報告においてはカメラ，フィルム，その他は，現在森林調査の実務および研究に適用されているものについてのみとし，また観測，測定に使用する機械器具類については，応用部門において常用する簡易器材を対象とすることとする。また，定量的な写真測定の機械類や測量技術的な条件は，これを省略する。

1.　カ メ ラ

現在日本において，また大多数の国において通常の空中写真用カメラとして使用されているものは，RMK カメラ（Zeiss，西独）と RC カメラ（Wild，スイス）の2タイプであり，ともに，現在においてきわめて満足すべき写真像がえられる。焦点距離（f）＝150 mm を広角カメラ，（f）＝210 mm を普通角カメラ，（f）＝300 mm を長焦点カメラと称し，撮影高度が同じであれば焦点距類の短いほど同一の大きさの画面に写される地表面積は広く，すなわち縮尺は小さくなる。日本においては，森林地帯は一般に地形複雑な山岳地が多く，地表の比高差が大きい。同一画面内の比高差と撮影高度の比率の変動をあまり大きくしないためと，比高による像の極端なズレをさけ，撮影死角の生ずることを防ぐために，森林撮影では通常では普通角カメラが使用される。

また近年，固定翼航空機による大縮尺（1/10,000 以上）の写真撮影に，長焦点カメラの使用が増加し

ている。

これらによる写真像の性質自体は，いずれも一般的判読利用に際しては引伸利用も含めて，その差異はないといってよいであろう。

ただし，濃度測定，赤外カラー写真（後述）の色差測定等においては，広角カメラの写真像には，系統的ではあるが同一画面内に分布するレンズ透過光量の変化が著しく生じる場合があり，そのようなときには使用適正部分が限定される場合がある（後述 22 p.）。

なお判読利用を目的として今後 70 mm カメラ等の小型カメラの使用が増加するであろう。

2. フィルムとフィルター

現在，日本において森林調査に使用されている空中写真フィルムは下記のものである。

- モノクローム　フィルム
  - パンクロマチック　フィルム
  - 赤外線フィルム
- カラー　フィルム
  - 天然色フィルム
  - フォールスカラー　フィルム（赤外カラー　フィルム）

これらのフィルムは，感光波長帯や像の再現性にそれぞれ特色をもち，調査目的や撮影条件に応じて使用され，またフィルターはその効果を補う目的で併用される。

1) パンクロマチック　フィルム

最も多く使用されるフィルムで，ほぼ可視光線帯全域に感光し，肉眼よりやや 0.6～0.66 μ の波長の光に強く感じるが，ほぼ肉眼感に似た光量の像を表わし，緑色帯（0.550 μ 付近）を主体とする可視光線内での植物像の判定にはきわめて適切である[117]。

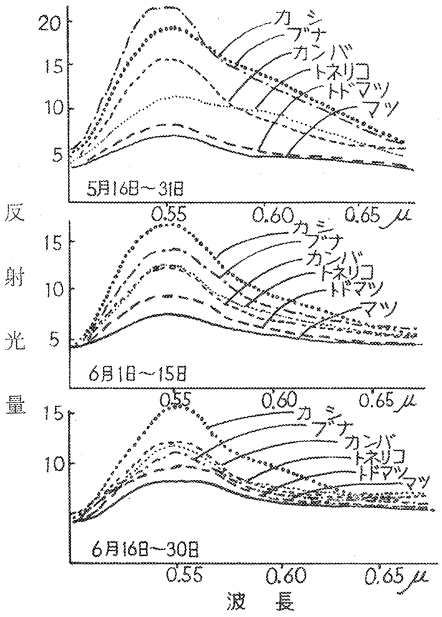


Fig. 3　樹種別，月日別反射スペクトル例（可視光線内）
Example of the reflection light spectrum of some vegetations.

若干の樹種についての，日別反射光スペクトル例を Fig. 3 に示す。

大気中のモヤ等による青味がかった散乱光の悪影響を取り去るために，通常黄フィルターを併用する。

2) 赤外線フィルム

赤外線部分（0.68 μ～0.86 μ）と青色部分（0.44 μ～0.50 μ）に感光する。

植物の葉は葉緑素によって反射される緑色帯の光量より，赤外線部分の光量がはるかに大きく，また植物の種類等による差も大きい。

また，赤外線は水分に吸収されるので，水面や湿気を帯びた表土等は黒い像となる。したがって，植物の種類の判別，あるいは水系の調査等には色調差が強調されて良好な効果がえられる。

通常，可視光線を取り去る赤フィルター，または青色光を取り去る緑フィルターを併用する。

また赤外線は撮影高度を増しても，パンクロマチックのごとくに鮮明度は低下しない。しかし，可視光線内に

おける変化をとらえる能力はパンクロより少なく，また散乱光によって生じている陰影部の反射光には赤外線が含まれないため，影の部分の像を捕えることができず，山岳地帯にあっては日照部分のみの像しかうることができない。

また植物の反射する赤外線の量は，その生育状態に大きく左右されるので，撮影季節による利用効果の差はパンクロマチックの場合よりも注意を要する[88]。

3)　天然色フィルム

可視光線内の光線に感光して肉眼感にわかりやすいように発色，また補色現像するものである。

撮影高度が高くなれば，空中散光のために鮮明度は低下する。モノクローム　フィルムが被写体からの反射光量のみを表わすのに対して，カラー　フィルムはその上に色彩感を加味するものであるので，明らかにより豊富な情報を提供する。

しかしながら，現像処理や複製引伸し等に経費を要するので，調査用写真が肉眼感の再現を本来の目的とするものでないことから，その効果は調査結果に対する経済的効率より判定される。

4)　フォールスカラー　フィルム（赤外カラー　フィルム）

調査目的とする被写体の反射光を，肉眼の色彩と関係なく，他のものからよりよく区別しうるような色に発色させることを目的としたフィルムをフォールスカラー　フィルムと呼ぶ (False color film)。現在日本で使用されているものは，赤外カラー　フィルム (Ektachrome Infrared Aero Type 8443 および Type 2445) である。

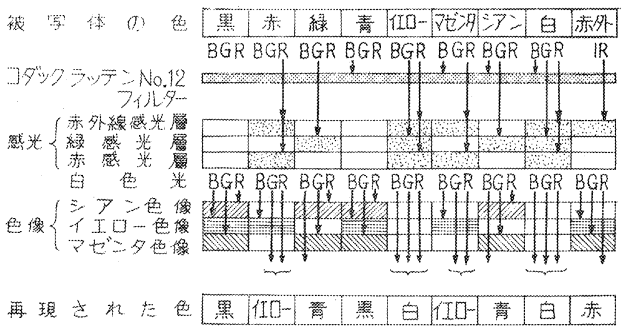
これはちょうど天然色フィルムの青色感光層を赤外線に感光する層に置きかえたもので，青色光を除くため黄フィルターが使用される。

現像によって赤外線は赤く，可視光線の赤く見える光は黄に，緑は青く，そして青は感光しない (Table 3, Fig. 4 参照)。

したがって，赤外線反射の強いものは赤が強く，被写体のもつそれぞれの波長の光量に応じた各色の混合による色彩像があらわれ，赤外線を含まぬものには赤の要素はない。活力のある植物像は赤外領域に多くの反射光をもつので，このフィルムによれば植物の種類，生育状態の差が良くあらわれ，また地表，地物その他の無生物との差が明りょうにとらえられる。また青色光を完全に切り去っているので高空からきわめて鮮明な像が得られる特徴があり，長焦点カメラの効果がよく発揮される。しかしながら，植物像の発色は，季節による生育の差によって生ずる赤外線と可視光線の変化を，十分に認識しなければならな

Table 3.　赤外カラー　フィルムの感光，発色

Sensitivity and color expression of the infrared color photographs



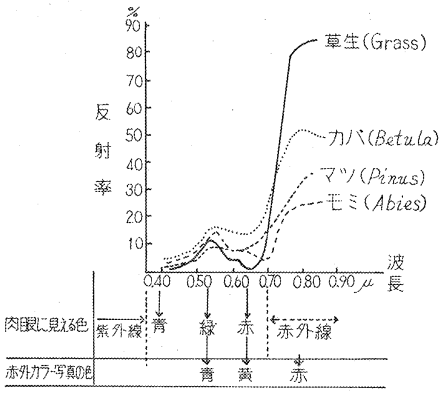


Fig. 4　植物反射波長域および発色色調
Range and color expressions of the reflection light.

い。そのほか，水面は水が透明であるほど赤外線が吸収されるので黒く，浮遊物があれば白濁し，また土壌水分の含有量が濃くなるにつれて濃度を増す。

調査用カラー写真としてはきわめて適切なフィルムであり，またこれをモノクローム焼付すれば単色赤外線写真のごとき色調を表わす。この色彩の測定は色差計によって数量化することができる[64]。

最近，植物の病虫害，大気汚染などの被害調査等への利用が計られている[32)106)107)]。

巻末写真 2) に赤外カラー写真の例を示す。

なお赤外カラーフィルム (Ektachrome Infrared Aero Type 4883) の感光域および感受性は Fig. 5 のごとくであり赤外部に感光する Cyan 層の感度は低い。したがって，生育植物像のごとく赤外反射量の著しいものは適正な発色像が得られるが，無機物等で等量の反射量をもつものでは Cyan 感光部の過量露光を計る必要がある。なお青色光を除去するために #12，または #15 のフィルターを併用するのが常である。

また緑色部の感受性を高め，赤外域をやや短くしたと思われる Type 2445 が 1970 年より発表されており，この場合はさらにC.C.フィルター（色調製フィルター）を併用するのが望ましいであろう。

5)　ムルチフィルター写真

前述のモノクロームおよびカラー写真が，感光波長域のそれぞれの量に応じた発色の合成像であるのに対し，特定波長域の光量のみを別個に捕え，被写体の反射光特性を求めるために，数種のフィルターをそなえたレンズ群により同一被写体の像を別々に撮影，それぞれの像，またはその複合像によって観察をおこなうものが「ムルチフィルター写真」またはムルチスペクトラル写真である。

現在（1970 年），多く用いられるフィルターとフィルムの組合せは Table 4 のごとくである。

ムルチフィルター写真は赤外カラー写真，また熱赤外写真（略）とともに衛星写真にも使用され，スキャンニング方式によるセンサーとともにさらに開発が進められている。

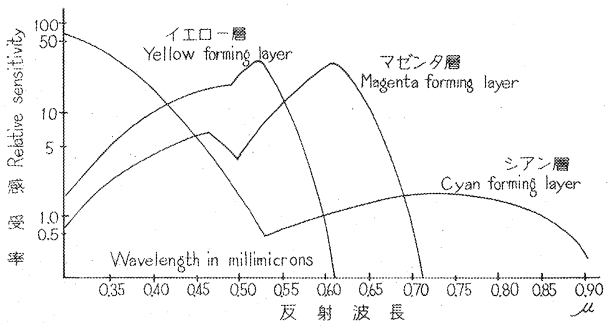


Fig. 5　赤外カラー写真　タイプ 8443，感光および感受特性曲線
Spectral sensitivity curves for IR Aero Ektachrome film (8443).

Table 4. フィルターとフィルムの組合せ表
Combination of filter and film

フィルム	フィルター	透過域	発色		
			健全木	被害木	枯死木
モノクローム　赤外	＃87C	0.40～0.50 μ	明調	淡灰	灰
〃　Pan. X	＃25C	0.60～0.70 μ	明調	淡灰	灰
〃　〃	＃47B	0.80～0.90 μ	灰	灰	明調
赤外カラー写真	＃15（＋＃80C）	0.50～0.90 μ	赤	緑	黄褐—白

3. 撮影季節

四季の移り変わりをもつ地域では，植物の生育状態は季節と密接に関連する。

写真で森林を判定しようとする最も望ましいもの，たとえばおのおのの林型が互いに明らかな相違を示し，またその固有の写真像をよくあらわしていることである。それらの特徴は成長開始期，開花期，紅葉期，成長休止期，等にそれぞれよくあらわれる。

1) 冬期写真

冬期撮影の写真は，落葉樹の樹冠が写らないので小縮尺写真での落葉樹の判定は困難であるが，常緑樹ことに針葉樹の分布，樹種判定には効果的である。

大縮尺写真では樹幹や枝条の形がよくあらわれる。

山岳地帯では積雪におおわれることが多く，それらの写真は風向，風速を推定し，あるいは積雪量や雪崩の予察等に用いられる[46)125)]。

ただし，高緯度地方では太陽位置が低く，地形起伏の陰影のために判読困難な部分が多くなりやすい，そのため一日中の撮影適時が短くはなるが，表日本では晴天の最も多い季節である。

2) 春期写真

植物の種類，また立地条件の差によるそれぞれの成長開始期の相違がよくあらわれ，これによって，森林の多くの構造をとらえることができる。しかし，この季節での植物像の変化は著しく，ことに落葉広葉樹の色調は安定を欠く。特定の樹種の発見には開花期等の写真とともに，展開する新葉の色調差をとらえることが有効である。パンクロ，赤外カラーともに有効な像がえられる。

3) 夏期写真

夏期は樹葉の色が安定し，樹種別の色調差が少ない。たとえば春期，または紅葉期においてはスギとカエデの反射する 0.55 μ 波長光の光量の差が全量の 10% ほどで，スギはカエデの約半分しかないのに対して，夏期ではその差は 5% ほどしかない。すべての樹種がほぼ類似した色調となり，また樹冠が広がり，地表あるいは樹形の判定が困難なことが多く，赤外カラー写真による枯損木，病虫害木の調査等には適切であるが，一般にはこの期間に撮影された写真は森林利用上には難点が多く，地上調査による判読結果の確認作業をより多く必要とする。

4) 紅葉期写真

春期写真と同じく，きわめて豊富な情報を提供する。ことに可視光線内における広葉樹の色調差が大きく，パンクロマチック，天然色写真による森林調査にきわめて有効である。しかしながら，撮影最適期間が比較的短く，また標高差による紅葉の差の変化も大きいので，広面積にわたって均一の効果を得るには

十分な撮影計画を必要とし，また判読に当たっては立地条件を十分に考慮に入れなければならない。

4. 撮影時間

撮影に当たっては，画面上になるべく地形・起伏等による陰影が生じることを避けるのが常識であり，正午を中心とした1～2時間の間が選定されている。しかし，写真像は立体視によって立体感を得ることができるとしても，陰影の極端に少ない写真像は画像としてきわめて平調で，事物の判定に不便であることがあり，また陰影によって樹形等を容易に判断したり，地形変化，その他が強調され巨視的な判断を助けることも多い。

赤外線写真は陰影部は全く判読不可能なことが多いが，ある程度の陰影を持つ写真はむしろ効果的である，ともいえる。

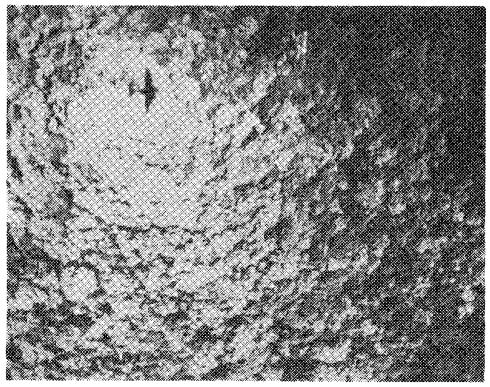
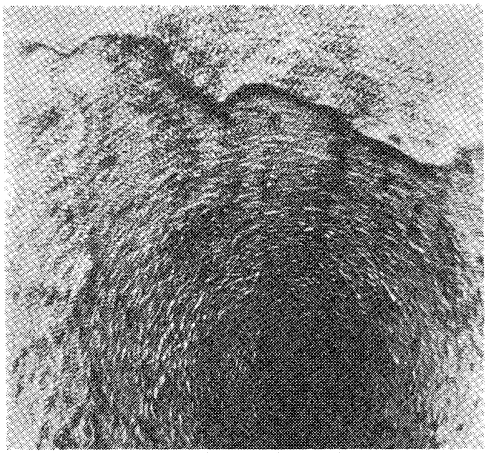


Fig. 6-1　強い日照のため生じた熱帯林サン・ポイントの例(カリマンタン)；中央に機影あり
An example of the sun point image by strong sun-shine in tropical forest (Karimantan).



赤外カラー写真（ネガフイルム）の異位により作成（北海道トムラウシ）
Produced from color infrared film photograph in Tomuraushi.

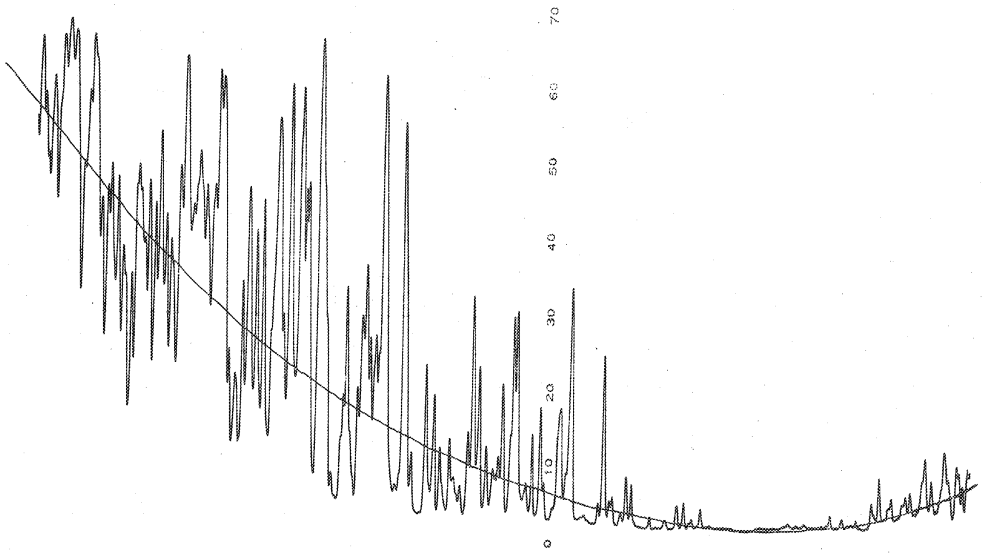


Fig. 6-2　サン・ポイント現象による写真像の光量分布（濃度測定記録）
Sun point and the light value distributions in a picture.

太陽の入射角は撮影地域の位置と時間によって定まるので，熱帯地方を除いては，夏期，正午近くの写真の場合のみに平調な写真が生じる。

なおこのような場合，太陽光線の入射角がカメラの写角より小さい場合，レンズ軸を通り入射角と等しい方向線と地表との交点付近は，地表の反射が強く画面に集まるため，その部分には影がなくきわめて明調となり，像の判定不能な Sun point の現象が生じ画面はそれを中心として同心円状に濃度を増すので，判読に誤りを生じやすく，また，濃度測定等にはこの補正を必要とする。この現象は空中散光のない赤外線写真(赤外カラーを含む)においては特に著しく，色調，光量ともに極端な不均一を生じるので，このような場合には長焦点カメラを用いることによって，これを減少させることができる。Sun point による画像濃淡の不均一は，焼付の際の Dogging によって若干なりとも除くことができる（Fig. 6-1, Fig. 6-2 参照)。

5. 写真縮尺

写真の縮尺（M）は，カメラによってレンズの焦点距離（f）と画角が定まった場合，撮影高度（H）に逆比例して定まる（$M=f/H$)。

すなわち，地表よりカメラが遠く離れるほど，捕える空間は広がるが，これを同一の大きさの画像に表わす縮尺は小さくなる。

写真利用の利点として利用目的に応じた空間の拡大，縮小の尺度を選びうることがあることは前述したが，現在，森林調査に一般に用いられる写真縮尺を

1) 1/20,000 以下　（小縮尺）
2) 1/20,000～1/10,000　（中縮尺）
3) 1/10,000～1/ 5,000
4) 1/5,000 以上
}（大縮尺）

の4段階に大別すれば，それぞれに対する主要な利用目的を区別しうる。

すなわち，小縮尺写真は総括的計画立案を目的とした資源調査等の空間の広がりを対象とし，中縮尺写真は経営管理を対象とするより詳細な森林区画調査に，さらに大縮尺は実際の森林作業単位の調査に，そして1/5,000以上は直接の工事施工や単木的取扱いのために用いて効果がある。

1967年，東京都下高尾山において，ヘリコプター撮影による1/2,000写真より図化した針広混交天然林の樹冠位置図について，地上調査による立木位置を検討したところによると，その林分における上層木(Upper tree) である針葉樹の40%，広葉樹の25%のものについてはほとんどが樹冠の位置と形，また樹高が測定された。その結果は Fig. 7 に，またその材積率は Table 5 に示す。

これは測量図化の分野で適用されている原写真縮尺と図化縮尺，等高線間隔との関係と同じく，経費，精度を含めた効率の関連性を示すものである（Table 6 参照)。

写真縮尺の変化によって，写真観測の要素も変化する。たとば小縮尺写真の場合，一様な平均色調と感触，またパターンの分布として観測された森林が，縮尺を大にするにつれて，おのおのの立木の樹冠像の集合としての色調，感触に，また固有の配列を示すパターンとなり，さらに個々の立木像，生育立地での配置へと詳細化してくる。

おのおのの縮尺に応じた観測を行なうことによって，写真像利用の効果は生かすことができるのであって，最適空間を他にまで流用した場合には効率を低下させるとともに，誤差や不確実性の原因となるもの

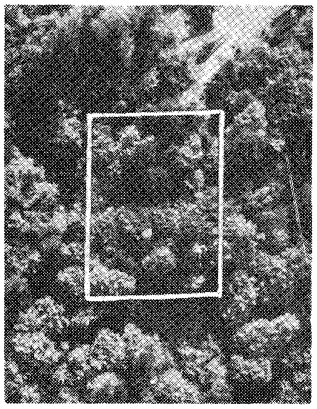
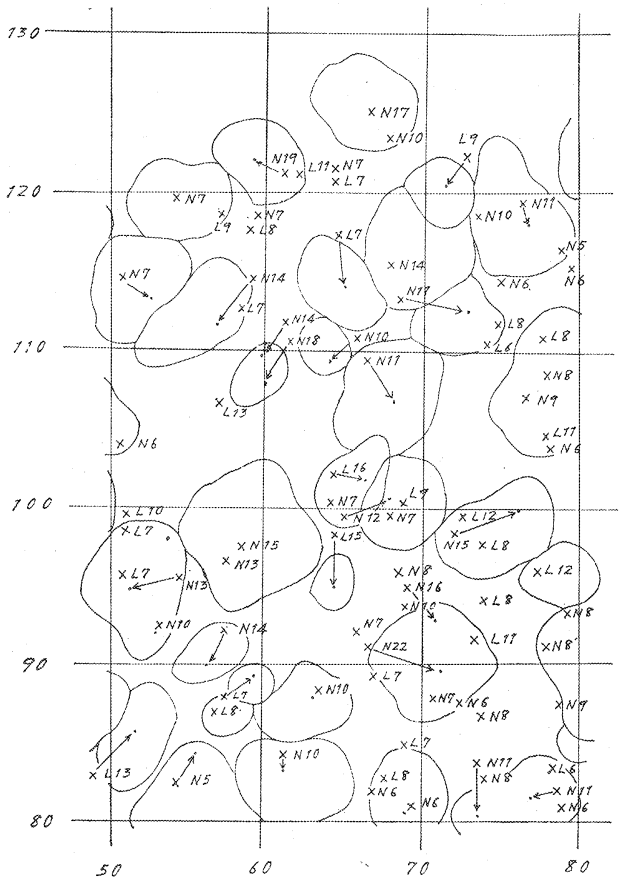


Fig. 7　大縮尺写真による樹冠位置図例と可視立木
An example of the visible tree crown drawing by large scale photographs.



可　視　立　木　本　数　表

	針葉樹 Softwood																広葉樹 Hardwood										
現地調査による樹高　m Tree height by field measurement	22	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	計	16	15	13	12	11	10	9	8	7	6	計
樹冠が図化され樹頂が測られたもの Solitary drawned crown tree	1	1	1	1	1	2	3	1	1	5	3			2		1	23	1	1	1	1			1	1	2		8
他の木の樹冠と合わさって図化され測られなかったもの Gathered with other crowns							1	1			2	2	4		2		12				1	1			2	2		6
図化されなかったもの Not drawned tree											2		2	6	5	1	16			1		2	1	2	4	2	3	15
計　Total																	51											29

である。

写真縮尺は原写真の縮尺を基準として考察されるものであるが，通常，利用に当たっては引伸し利用がおこなわれる場合が多い。

引伸しは新しい細部が導き出されるのでなく，存在する細部が拡大されるだけであるが，肉眼の持つ像の判別能力では一般に 0.2 mm 以下は困難とされているのにくらべ，フィルムの持つ能力は 10 倍以上，

Table 5. 大縮尺による図化樹冠像材積率
The volume percentages of the drawn tree by large scale photographs

	針葉樹 Softwood m³	広葉樹 Hardwood m³	計 Total m³	%
1	10.073	2.529	12.602	72.6
2	1.029	1.037	2.246	12.9
3	0.779	1.712	2.419	14.5
計 Total	11.881	5.278	17.159	100.0

Table 6. 図化縮尺，撮影縮尺，使用図化機関係一覧表
Proper mapping scale coodinating with original photo-scales

図化縮尺 Mapping scale	地形表現のための適当なコンター間隔 Conture interval	使用図化機 Instrument		
		プラニグラフC7 オートグラフA8 級 1st order	ステレオプロッターA8 プラニマート 級 2nd order	ケルシュプロッター級 3rd order
1/10,000	10m (5m)	1/30,000～1/40,000	1/30,000～1/40,000	1/30,000～1/40,000
1/5,000	5m (2.5m)	1/25,000～1/30,000	1/25,000～1/30,000	1/20,000～1/25,000
1/3,000	2m (1m)	1/15,000～1/20,000	1/15,000～1/20,000	1/10,000～1/15,000 (基準点測量が必要)
1/2,500	2m (1m)	1/13,000～1/18,000	1/10,000～1/15,000	1/8,000～1/12,500 (同　上)
1/2,000	2m (1m)	1/12,000～1/15,000	1/8,000～1/12,000	1/6,000～1/10,000 (同　上)
1/1,000	1m (0.5m)	1/6,000～1/10,000	1/6,000～1/8,000	×
1/500	0.5m(0.25m)	1/4,000～1/5,000	1/3,000～1/4,000	×
1/300	0.5m(0.25m)	1/3,000～1/4,000	×	×
1/200	0.5m(0.25m)	1/1,500～1/2,000	×	×

注）1. 本表は山岳地帯における地形測量の場合一般に使われている関係表である。
2. ×印はこの関係では使用しない図化機，（　）は間曲線。
3. 林野関係では山岳地帯が多いので，縮尺 1/5,000 地形図を作成する場合，等高線の間隔を 10m としている。
4. 林野関係では撮影縮尺 1/20,000，図化縮尺 1/5,000 の関係で図化事業が行なわれている。
5. 表中の 1/30,000 あるいは 1/25,000 の欄は撮影縮尺。
6. 1/500～1/200 の図面作成の場合水準測量が必要。

印画紙においても少なくとも5倍以上の性質を有するものであるので，極端な拡大観測の場合を除いては，引伸しによって森林目的には十分な詳細性をもった拡大像がえられる。

原写真が1/20,000～1/15,000の場合，最も多く用いられる引伸倍率は普通角で2.5倍，広角写真で2倍である。

測量分野にあっては，写真縮尺による測定精度は使用機械の性能により，その撮影高度の逆数比で示されるが，森林観測の場合，それは肉眼の分解能（0.2 mm 前後）と像の縮尺よって比べられる。たとえば，反射立体鏡による視差測定桿を用いた樹高測定精度は（後述），1/20,000 写真において樹高 20 m に対して約 ±1.4 m であるのに比べ，1/500 ヘリコプター写真では ±7 cm 以内であることが，浅川実験林で行なった試験によって示されている[68]。

6. 像の鮮明さ

鮮明な写真とは，目的とする物の像が細部まで現われており，他のものとの区別が明らかなものをいう。これはフィルム，印画紙のもつ特性曲線の性質によって現われる色調濃淡のコントラストと，レンズ

の光線分解能，フィルム・印画紙の銀粒子の粒状性と露光時間内の飛行速度による像のブレ，また空中散光による像のボケ，等が関係する。

レンズの解像力は，中心部より隔たるにつれて低下するが，現在の測量用カメラのレンズは一般のカメラレンズに比べて著しく解像力がすぐれ，また均一化が図られているので，写真周辺部を特に使用しない限り，判読利用に関してこのことが鮮明さに影響をおよぼすことはないであろう。

フィルム，印画紙の解像力は感光粒子の大きさと性質に左右されるが，適正色調部より，明・暗部へと移動するにつれて急速に低下する。これは，それぞれの特性曲線によって明らかであるので，感光されたフィルム内の調査目的物が，適正な色調を持つような現像処理を計る考慮は重要である。

航空機の露出時間（T）内における飛行のために生じる像のブレ（M）は，航空機の速度を V とし，縮尺分母数を m とすれば，

$$M = V \cdot T / m$$

で表わされる。すなわち，像は M だけ流れたものが露光されるのであるが，実際にはフィルムの感光はシャッター全開に至る開孔面積の変化と，それぞれの時間内の感光量の積算結果によって行なわれるので，像上に現われるブレはこの値よりもはるかに小さいものである。しかし微小なもの，ことに先端の尖った樹冠頂などは明りょうな像が結ばれないことに注意しなければならない。

なおこれらのほかに，反射光線の量が過大の場合には，入射光線がフィルムの感光層を通過してフィルムベースの面で乱反射するハレーションの現象が，乾燥した裸地，露出岩石地，水面等で生じ，被写体およびその周辺の鮮明さを著しく破壊する。これは特に前述の Sun point を生じるような太陽光の入射角の写真で著しい。

空中散光の影響は，撮影高度を増すにつれて 0.50 μ 以下の波長の光を感光するフィルム（パンクロ等）の場合増大し，像自体の形状の鋭さがなくなる原因となる。

2.　各種空中写真による森林判読の試験結果

1.　試験計画

1)　目　　的

この試験はパンクロマチック，インフラレッド（赤外），天然色の各空中写真を季節別に撮影し，そのおのおのによる林型区分判読を目的とした写真像判定の難易度と林型区分図作成の効率の比較検討を目的としたものである。

2)　試験地域

福島県西白河郡大信村隅戸所在，国有林

面積　約 1,000 ha

3)　資　　料

フィルム，季節，縮尺を異にする10種類の空中写真を新たに撮影，林野庁業務撮影のものを加え11種類を用いた（Table 7，巻末写真 1）参照)。

4)　検討方法

i.　肉眼判読による林型判定の難易度の検討

ii.　林型区分図作成による林型別面積比較と確認結果との照合

Table 7. 研究資料に用いた空中写真の種類と撮影年月日
Kinds of the aerial photographs which used for the research

パンクロ Panchromatic (Y_1 フィルター併用)

No.	撮影年月日	焦点距離 f	縮尺	備考
(1)	1964. 4. 2	RC 5 210	1/22,000	(早春)(試験撮影)
(2)	1964. 4. 2	RC 5 210	1/10,000	(〃)(〃)
(3)	1963. 4.28	RMK 152	1/10,000	(春期)(〃)
(4)	1960. 9.21	RC 5 210	1/22,000	(晩夏)(林野庁業務撮影)
(5)	1962.12. 8	RC 8 152	1/10,000	(初冬)(試験撮影)

赤外 Infrared (Infragone 使用)

(1)	1963. 4.28	RMK 152	1/10,000	(春期)(試験撮影)
(2)	1962.10. 6	RC-8 152	1/25,000	(秋期)(〃)
(3)	1962.12. 8	RC-8 152	1/10,000	(初冬)(〃)
(4)	1962.12.28	RMK 152	1/10,000	(冬期)(〃)

カラー Natural color

(1)	1962. 8. 6	210	1/10,000	(夏期)(試験撮影)
(2)	1962.10.27	152	1/10,000	(秋期)(〃)

iii. 濃度測定による数量的検討

5) 検討の対象とした林型区分（　）内は記号

i. 樹種

スギ(ス)，ヒノキ(ヒ)，カラマツ(カ)，アカマツ(ア)，広葉樹(○)

ii. 樹高階

2～8m(H_1)，9～13m(H_2)，14～17m(H_3)，18m～以上(H_4)

iii. 樹冠閉鎖度

0～20%(1)，21～50%(2)，51～80%(3)，81%以上(4)。

2. 肉眼判定による林型判読の難易度

作業はいずれも5年以上の経験を有する3名の者（中島　巌・長谷川訓子・樋渡幸男）により，同一地域について行なった。

それぞれのモノクローム写真における樹種別特徴は Table 8 のごとくである。

樹種別，各林型の判読の難易度を Table 9 のごとくに区分し，（　）内の数値を仮定して与えた。

Table 9. 空中写真判読の難易度基準
The criteria of the interpretation's difficulty by the aerial photographs

難易度区分	数値	備考	工程率数値
非常に容易	(8)	現地検討を要せず	(1)
容易	(4)	主要点の現地確認を要す	(2)
困難	(2)	現地確認を要す	(4)
非常に困難	(1)	詳細な現地検討を要す	(8)

Table 8. 各種空中写真による
Charactaristics of the tree species identification

	パンクロ (1)	パンクロ (2)	パンクロ (3)	パンクロ (4)	赤　外 (1)
	64. 4. 2	64. 4. 2	63. 4.28	62.12. 8	
スギ *Cryptomeria japonica*	先端がやや白く消された感じで他の写真よりやわらかい感じのスギになっている。	割合やわらかい陰をつけた鋭い樹冠が斜めに立体視できる。	先端が斜めに突出し樹冠の周囲の陰のつき方が広く濃い。先端のとんがりは明るいグレイ。	樹冠の先端は白灰色にとんがりを見せ，ヒノキよりも明るい灰色，容易。	灰色。スギらしい樹冠のとんがりを見せている。
ヒノキ *C. obtusa*	丸味のある樹冠に陰がつき，ヒノキ全体の色調はアカマツより濃い。	色調差が少ないので樹冠の違いで判別。アカマツが点々とはいっているのがよく見分けられる。	アカマツより濃い灰色で，樹冠が丸味をもちながらも割合斜めにスギに似た感じでみられる箇所が多い。	各層の中でいちばん濃いグレイ。樹冠も丸味があり，アカマツとの比較は色調差がはっきりする。	灰色。同じヒノキでも地形によりスギと間違えやすい所があった。
アカマツ *P. densiflora*	ヒノキより淡いグレイ。地面がすけてみえる。樹冠の枝張りは少々ボケている。	ヒノキと同じ色調。樹冠は特有の枝張りで地面の露出が枝張りのすき間をとおして多く，ヒノキとの違いはよく解る。	ヒノキより白っぽい灰色。樹冠はやや斜めに先にとがった感じで，むしろ色調差の方が容易。	ヒノキよりややうすい灰色。ヒノキ，スギに比べ地面のすけて見えるところが多い，容易である。	明るい白灰色。アカマツ特有の枝張りがよく判読できる所と，斜めに写っているため枝ばりの消された感じのところがある。
カラマツ *L. leptolepis*	各層の中でいちばん白い灰色。樹冠はやや平たい。	広葉樹の色調と同じで樹冠が白く，枝張りが見られる。トップは消えた感じ。	いちばん明るい灰色。スギより不ぞろいで先端が白くとがっている。	各層でいちばん白いグレイ。容易。	各層の中でいちばん白い。見やすい。
広葉樹 Hardwood	全体に地面が多くすけて見えるため，淡いグレイ。個々の樹冠ははっきりしないが層を区分するのは容易。	パンクロ①と同じ。	全体に陰がうすく広葉樹の層としては一見して判別できる。	ほとんど落葉。	平べったく白っぽい。幹は黒い陰を長く落し，全体にわかりやすい。

Table 10. 各種写真像の林型
The effects of the forest types identifications on
非常に容易 Very easy (8)，容易 Easy (4)，困難 Difficult (2)，非常に

	パンクロ Panchro.					赤　外	
Date (No.) Scale	4.2 (1) 22,000	4.2 (2) 10,000	4.28 (3) 10,000	9.21 (4) 22,000	12.8 (5) 10,000	4.28 (1) 10,000	10.6 (2) 25,000
スギ *C. japonica*	2	4	4	4	4	8	4
ヒノキ *C. obtusa*	4	4	2	4	4	2	8
アカマツ *P. densiflora*	4	8	4	2	8	4	4
カラマツ *L. leptolepis*	8	4	8	4	8	8	4
広葉樹 Hardwood	8	8	8	2	8	8	8
計 Total	26	28	26	16	32	30	28
確認に要する経費率 Efficiency	10	8	10	14	7	9	8

上表により計の数値の大であるほど判読は容易である林型多く，工程率はその逆となる (4～40)。

樹種判読の特徴

on various type photographs

赤　外 (2)	赤　外 (3)	赤　外 (4)	カ　ラ　ー (1)	カ　ラ　ー (2)
62.10. 6	62.12. 8	62.12.28	62. 8. 6	62.10.27
アカマツより少し濃い灰色。やや鋭さの欠けたスギ特有の樹冠，容易。	明るい白灰色の樹冠のまわりにかげが黒くつき，樹冠の浮出しがスギ特有のものになっている。	明るい白灰色，樹冠先端鋭い。	先端突出る。1本1本のかげが鮮明。ヒノキより緑濃く，アカマツの色調に近い。	色調は他の樹種と比較していちばん濃い緑。樹冠鋭い。
白灰色，まるみのある樹冠が1本1本はっきりする。	明るい灰白色，大小さまざまな樹冠が割に平べったい丸味を持ち，黒いかげをつけている。	明るい白灰色，ヒノキらしい丸味をもつ。容易。	明るい緑，樹冠はヒノキ特有の丸味をおびた形でかげ面積もスギより少なく，アカマツと比較すると色調も樹冠もはっきり違う。	スギと同じ色調。樹冠はまるみをおびて1本1本数えやすい。
ヒノキより濃いグレイ。枝の拡がりのためか全体に淡い灰色。陰がうすい。	場所によりヒノキのような白灰色もあるが，大体うすいダークグレイ。樹冠は枝の広がりがよく読める。	ヒノキと同じくらいの明るい白。樹冠はトップが消え，全体に淡く，ぼけている感じで容易に判定できる。	やや赤味をおびた濃い緑。樹冠は枝張りのかげのつき方も複雑にみせ，ヒノキの中に混ったアカマツもよくわかりやすい。	全体に白味の強い赤緑。樹冠周囲はボヤけた感じでヒノキとの区分けははっきりできる。
先端が白く，まるみが少ない。色調はアカマツより白く，ヒノキと同じ。樹冠の違いで判読。	うすずみ色の中に淡いグレイの樹冠が割に平べったく見える。	うすねずみ色でトップはやや白く，樹冠は1つ1つはっきりする。	ヒノキに近い緑でやや白っぽく広葉樹よりも明るい。樹冠はスギより複雑でスギに似た感じで突出る。陰のつき方はスギより少ない。	アカマツに近い色調，樹冠先端がよく浮き出ているので判読しやすい。
白色，灰白色，林層区分は一目りょう然。	落葉しているので1つ1つのかげが北へ伸びているのがよく見られる。	赤外の③と同じ。	広葉樹の層は一見した時，樹冠が不ぞろいで陰が少なく各層間でいちばんうすい緑。	樹種別広葉樹の紅葉色調をきわめてよく表わしている。

判別効果度

various types photographs

困難 Very difficult (1)

Infrared		カ　ラ　ー Color	
12.8 (3) 10,000	12.28 (4) 10,000	8.6 (1) 10,000	10.27 (2) 10,000
8	4	8	8
4	4	8	8
8	4	8	8
4	4	4	4
8	8	4	8
32	24	32	36
7	9	7	6

この結果は Table 10 に示すごとくである。

Table 10 に見られるごとく，最も良好な効果を持ったものは秋期カラー写真であり，ついで同じく夏期カラー，および初冬期赤外，およびパンクロ写真の順で，これらを順位に従って並べれば下記のようになる（巻末写真参照）。

1.	秋期カラー	1/10,000	カラー(2)
2.	夏期カラー	1/10,000	カラー(1)
〃	初冬赤外	1/10,000	赤　外(3)
〃	初冬パンクロ	1/10,000	パ　ン(5)
3.	春期赤外	1/10,000	赤　外(1)
4.	秋期赤外	1/25,000	赤　外(2)

Table 11. 各種写真による林型区分図面積測定表
The forest type area by the different types photo mapping

総計 1,265 点

林型 Forest type	パンクロ 4 Panchro. 4	パンクロ 1 Pan. 1	パンクロ 2 Pan. 2	パンクロ 3 Pan. 3	パンクロ 5 Pan. 5	赤外 1 I. R. 1	赤外 2 I. R. 2	赤外 3 I. R. 3	赤外 4 I. R. 4	カラー1 Color 1	カラー2 Color 2	カラー3 Color 3
SB_1 4 ③	47	—	49	53	52	52	48	48	52	—	51	—
〃 ④	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
〃 ⑤	5	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	6
〃 ⑥	2	2	2	2	1	1	2	1	2	1	2	2
〃 ⑦	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
〃 ⑧	8	8	9	9	9	9	8	10	8	8	8	8
〃 ⑨	4	—	5	5	4	4	4	5	4	3	4	4
〃 ⑫	2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
〃 ⑭	4	4	4	5	4	4	4	4	5	4	4	4
SB_1 3 ②	40	28	33	32	32	31	26	33	42	26	28	29
SB_2 3 ③	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
SB_2 4 ③	9	—	12	9	9	9	12	9	9	9	9	9
〃 ④	4	3	4	4	4	4	5	3	4	3	4	3
〃 ⑭	168	} 192	193	196	191	190	187	192	186	—	193	—
SO 4 ③	16											
計 Total	331	264	339	343	334	332	324	333	340	82	331	88
KB_2 4 ①	10	10	8	11	} 14	10	12	11	10	11	11	10
〃 ②	6	4	4	3		3	4	4	4	4	7	4
KO 4 ②	5	—	—	—	—	3	4	—	—	4	5	5
計 Total	21	14	12	14	14	16	20	15	14	19	23	19
AB_1 3 ⑤	12	12	10	9	10	9	10	10	10	10	10	10
AB_1 1 ①	8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
AB_2 3 ④	2	—	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
〃 ⑩	6	—	8	11	10	11	7	11	5	10	10	10
〃 ⑬	3	2	2	3	3	3	4	2	2	4	2	3
〃 ⑭	3	—	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
AB_2 4 ④	73	79	75	75	77	72	76	73	75	75	77	78
〃 ⑧	88	—	82	78	83	85	86	84	84	—	83	—
〃 ⑨	42	} 84	83	83	83	83	82	83	85	—	85	83
AO 4 ①	34											
計 Total	271	177	265	264	271	268	270	268	266	104	272	189

HY 2 ⑤	17	11	14	11	12	11	14	12	16	—	11	10
HB_1 2 ③	18	19	17	17	18	18	18	17	16	19	19	20
HB_1 3 ⑥	37	—	36	36	35	36	37	37	35	—	36	36
HB_1 4 ②	8	—	—	—	—	—	—	—	5	—	—	—
〃 ③	18	—	15	14	14	14	16	17	14	—	14	—
HB_2 3 ①	73	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
HB_2 4 ①	30	26	28	28	28	28	33	28	26	33	27	27
計 Total	201	56	111	106	107	107	118	111	112	52	107	93
周辺林分 Neighbouring forest: アカマツ *P. densiflora* ①		4	3	4	4	4	4	4	4	7	4	4
〃 〃 ②		2	1	2	2	2	2	2	2		2	2
〃 〃 ③		—	1	1	1	1	—	1	1	2	—	—
広葉樹 Hard wood ①		3	3	3	2	4	—	5	—	—	5	4
〃 〃 ②		2	2	2	2	2	2	2	2	—	2	2
〃 〃 ③		2	3	3	3	3	2	3	3	—	2	—
〃 〃 ④		7	4	5	4	5	7	4	—	7	6	5
ヒノキ *C. obtusa* ①		3	3	3	3	3	—	—	3	—	3	—
〃 〃 ②		—	—	—	4	—	4	4	—	—	—	—
〃 〃 ③		—	—	—	—	3	—	—	—	—	—	—
〃 〃 ④		—	—	—	—	—	1	—	—	3	—	—
カラマツ *L. leptolepis* ①		1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
計 Total		24	20	23	25	27	22	25	15	19	24	17
第3種林地 The 3rd class forest	133	133	133	133	133	133	133	133	133	133	133	133
貸地 Lent land ①	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
〃 〃 ②	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
その他 Others ①	163	367	161	162	159	162	163	160	162	639	160	508
〃 ②	129	215	209	205	207	205	200	205	208	202	200	203
無立木地 Unstocked land	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
計 Total	441	730	518	515	514	515	511	513	518	989	508	859

4.	早春パンクロ	1/10,000	パ　ン(2)
5.	春期パンクロ	1/10,000	パ　ン(3)
〃	早春パンクロ	1/22,000	パ　ン(1)
6.	冬期赤外	1/10,000	赤　外(4)
7.	夏期パンクロ	1/22,000	パ　ン(4)

この傾向は従来の予測的考察に合致したものが多い。

3. 林型区分図による検討

調査地域の資源調査のための林型区分図は，1960年9月撮影の空中写真によって，1962年に作成し，現地検討を加えた。

続いて各種の新規撮影の写真によって1964年までの間に，それぞれの写真を資料としたものが作成され，上記林型区分図を補足，補正し，再度の現地検討によって確認された。

おのおのの写真による林型判読図において，赤外線写真によるものは判定の難易に差はあるとはいえ，ほとんどすべての林型区分界は一致して判読されたが，初冬撮影写真（3）では，広葉樹林中のカラマツ小団地1林分（約1ha）を見落したのと，冬期写真（4）において色調類似のためにヒノキ，アカマツの林分境界線の判定の誤り，およびアカマツ1林分（約1.2ha）の脱落を見た。すなわち，赤外線写真においても，撮影季節によって色調のみならず，樹形による判定を軽視することはできない。この点を留意すれば，現地補正の必要性はほとんどないまでに林型区分の判定は可能である。

Table 12. フィルム樹種別
Analysis of the photo-densities of the main

フィルム ① パンクロ Panchro.

樹種 Tree species		日照部上限色調 H			
		n	$\bar{H}$	分散 σ	標準偏差 Standard deviation
スギ	*Cryptomeria japonica*	43	2.08	0.0315	0.178
ヒノキ	*Chamaecyparis obtusa*	36	1.44	0.040	0.201
アカマツ	*Pinus densiflora*	37	1.95	0.040	0.199
カラマツ	*Larix leptolepis*	40	2.74	0.090	0.299
広葉樹	Hardwood	56	3.79	0.085	0.292
$\bar{X}$		2.345			
樹種間分散 σ_x	σ_x between tree sp.	0.885			

フィルム ② パンクロ Panchro.

スギ	*Cryptomeria japonica*	33	1.07	0.0184	0.136
ヒノキ	*Chamaecyparis obtusa*	55	1.44	0.010	0.102
アカマツ	*Pinus densiflora*	43	1.38	0.014	0.117
カラマツ	*Larix leptolepis*	26	2.00	0.051	0.225
広葉樹	Hardwood	52	2.19	0.119	0.345
$\bar{X}$		1.611			
樹種間分散 σ_x	σ_x between tree sp.	0.459			

パンクロ写真においては，林型区分界はほぼ一致して判読されたが，小林分，また細部の脱落が早春小縮尺写真（1），早春大縮尺写真（2），春期大縮尺写真（3）のそれぞれに見られた。

第一次の基本判読をおこなった夏期写真（4）は，ことに全樹種にわたって現地検討による判読境界の補足と確認を要した。しかもなお現地検討後にも脱落した小林分のあることが，赤外線写真によって指摘された。ことに広葉樹林中に存在するアカマツ小林分，アカマツ林中のスギ，ヒノキの混交にそれが見られる。これらの写真は特に混交林型とその境界に注意深い観察を必要とする。

上記各判読図内における同一地域，約 100 ha の林型区画別面積測定の比較検討の結果では，個々の区分図の値と前記確認図との比較による誤差面積の合計は，いずれも 5% 以下であり，またその傾向には有意的な結果が現われなかった。

それは，その誤りのほとんどが林型による判別条件ではなく，不注意によるものが大半であることに起因する。

なおこれら林型区分図の例を Fig. 8 に，面積測定表を Table 11 に示す。

濃度波分析表
tree species on different types of photographs

振動幅 T				周期 S			
n	$\bar{T}$	分散 σ	標準偏差 Standard deviation	n	$\bar{S}$	分散 σ	標準偏差 Standard deviation
	0.18	0.019	0.138		0.24	0.009	0.097
	0.22	0.037	0.194		0.28	0.012	0.111
	0.27	0.048	0.218		0.27	0.013	0.115
	0.31	0.063	0.252		0.26	0.009	0.095
	0.14	0.011	0.103		0.18	0.004	0.015
	0.212				0.246		
	0.054				0.040		
	0.12	0.015	0.123		0.24	0.007	0.084
	0.14	0.012	0.108		0.18	0.005	0.068
	0.15	0.011	0.105		0.24	0.006	0.076
	0.18	0.017	0.130		0.26	0.006	0.074
	0.17	0.025	0.158		0.19	0.004	0.057
	0.153				0.222		
	0.024				0.032		

フィルム ③ パンクロ Panchro.

樹種 Tree species		日照部上限色調 H			
		n	$\bar{H}$	分散 σ	標準偏差 Standard deviation
ス　ギ	*Cryptomeria japonica*	45	1.62	0.037	0.191
ヒ ノ キ	*Chamaecyparis obtusa*	35	1.43	0.019	0.137
アカマツ	*Pinus densiflora*	42	2.11	0.052	0.228
カラマツ	*Larix leptolepis*	40	2.51	0.077	0.278
広 葉 樹	Hardwood	50	3.26	0.099	0.315
$\bar{X}$		2.184			
樹種間分散 σ_x	σ_x between tree sp.	0.735			

フィルム ④ パンクロ Panchro.

ス　ギ	*Cryptomeria japonica*	27	1.12	0.028	0.168
ヒ ノ キ	*Chamaecyparis obtusa*	28	1.37	0.011	0.165
アカマツ	*Pinus densiflora*	35	1.48	0.028	0.166
カラマツ	*Larix leptolepis*	22	1.47	0.042	0.205
広 葉 樹	Hardwood	34	1.90	0.100	0.316
$\bar{X}$		1.468			
樹種間分散 σ_x	σ_x between tree sp.	0.279			

フィルム ⑤ パンクロ Panchro.

ス　ギ	*Cryptomeria japonica*	44	1.39	0.029	0.169
ヒ ノ キ	*Chamaecyparis obtusa*	44	1.15	0.024	0.154
アカマツ	*Pinus densiflora*	44	1.42	0.024	0.154
カラマツ	*Larix leptolepis*	40	1.87	0.131	0.362
広 葉 樹	Hardwood	53	3.24	0.080	0.283
$\bar{X}$		1.814			
樹種間分散 σ_x	σ_x between tree sp.	0.837			

振動幅 T				周期 S			
n	$\bar{T}$	分散 σ	標準偏差 Standard deviation	n	$\bar{S}$	分散 σ	標準偏差 Standard deviation
	0.22	0.049	0.222		0.22	0.007	0.082
	0.14	0.021	0.146		0.29	0.019	0.137
	0.29	0.044	0.211		0.24	0.008	0.089
	0.26	0.043	0.206		0.25	0.008	0.087
	0.26	0.045	0.213		0.20	0.005	0.073
	0.234				0.239		
	0.059				0.032		

	0.19	0.019	0.136		0.22	0.006	0.074
	0.13	0.016	0.128		0.24	0.010	0.100
	0.19	0.033	0.183		0.20	0.004	0.066
	0.29	0.061	0.247		0.22	0.006	0.078
	0.23	0.043	0.207		0.20	0.008	0.091
	0.206				0.215		
	0.054				0.000		

	0.20	0.031	0.177		0.23	0.010	0.102
	0.10	0.009	0.096		0.23	0.007	0.086
	0.17	0.030	0.174		0.23	0.014	0.118
	0.31	0.068	0.261		0.26	0.015	0.124
	0.26	0.039	0.196		0.19	0.004	0.059
	0.208				0.228		
	0.077				0.000		

赤　外 ① Infrared

樹種 Tree species		日照部上限色調 H			
		n	$\bar{H}$	分散 σ	標準偏差 Standard deviation
ス　ギ	*Cryptomeria japonica*	39	3.28	0.030	0.172
ヒノキ	*Chamaecyparis obtusa*	28	2.09	0.150	0.387
アカマツ	*Pinus densiflora*	36	2.24	0.042	0.204
カラマツ	*Larix leptolepis*	27	2.73	0.120	0.346
広葉樹	Hardwood	30	3.37	0.042	0.206
$\bar{X}$		2.744			
樹種間分散 σ_x	σ_x between tree sp.	0.585			

赤　外 ② Infrared

ス　ギ	*Cryptomeria japonica*	24	3.25	0.125	0.354
ヒノキ	*Chamaecyparis obtusa*	28	3.05	0.014	0.116
アカマツ	*Pinus densiflora*	28	3.38	0.024	0.156
カラマツ	*Larix leptolepis*	15	1.47	0.045	0.213
広葉樹	Hardwood	28	2.39	0.271	0.521
$\bar{X}$		2.705			
樹種間分散 σ_x	σ_x between tree sp.	0.790			

赤　外 ③ Infrared

ス　ギ	*Cryptomeria japonica*	29	1.21	1.447	1.203
ヒノキ	*Chamaecyparis obtusa*	28	0.81	0.261	0.511
アカマツ	*Pinus densiflora*	35	0.82	0.334	0.578
カラマツ	*Larix leptolepis*	28	0.23	0.087	0.294
広葉樹	Hardwood	41	0.46	1.371	1.171
$\bar{X}$		0.707			
樹種間分散 σ_x	σ_x between tree sp.	0.376			

振動幅 T				周期 S			
n	$\bar{T}$	分散 σ	標準偏差 Standard deviation	n	$\bar{S}$	分散 σ	標準偏差 Standard deviation
	1.94	0.038	0.195		3.72	0.011	0.106
	2.01	0.135	0.367		2.67	0.024	0.154
	1.25	0.031	0.177		4.23	0.021	0.146
	1.62	0.170	0.412		1.47	0.029	0.169
	2.81	0.046	0.215		3.44	0.025	0.159
	1.925				3.106		
	0.579				1.074		
	0.17	0.117	0.342		0.34	0.023	0.152
	0.44	0.009	0.097		0.13	0.015	0.123
	0.19	0.014	0.120		0.14	0.006	0.078
	0.45	0.024	0.156		0.25	0.011	0.103
	0.19	0.046	0.215		0.23	0.009	0.093
	0.286				0.218		
	0.143				0.088		
	1.09	1.033	1.017		0.26	0.022	0.148
	0.92	0.407	0.638		0.36	0.019	0.139
	0.93	0.389	0.624		0.28	0.012	0.111
	0.17	0.043	0.206		0.39	0.017	0.132
	0.25	0.165	0.406		0.34	0.010	0.101
	0.673				0.327		
	0.425				0.055		

赤　外 ④ Infrared

樹種 Tree species		日照部上限色調 H			
		n	$\bar{H}$	分散 σ	標準偏差 Standard deviation
スギ	*Cryptomeria japonica*	23	0.29	0.923	0.961
ヒノキ	*Chamaecyparis obtusa*	24	0.28	0.225	0.474
アカマツ	*Pinus densiflora*	22	0.27	0.308	0.555
カラマツ	*Larix leptolepis*	27	0.29	0.029	0.172
広葉樹	Hardwood	30	0.28	0.300	0.548
$\bar{X}$		0.279			
樹種間分散 σ_x　σ_x between tree sp.		0.008			

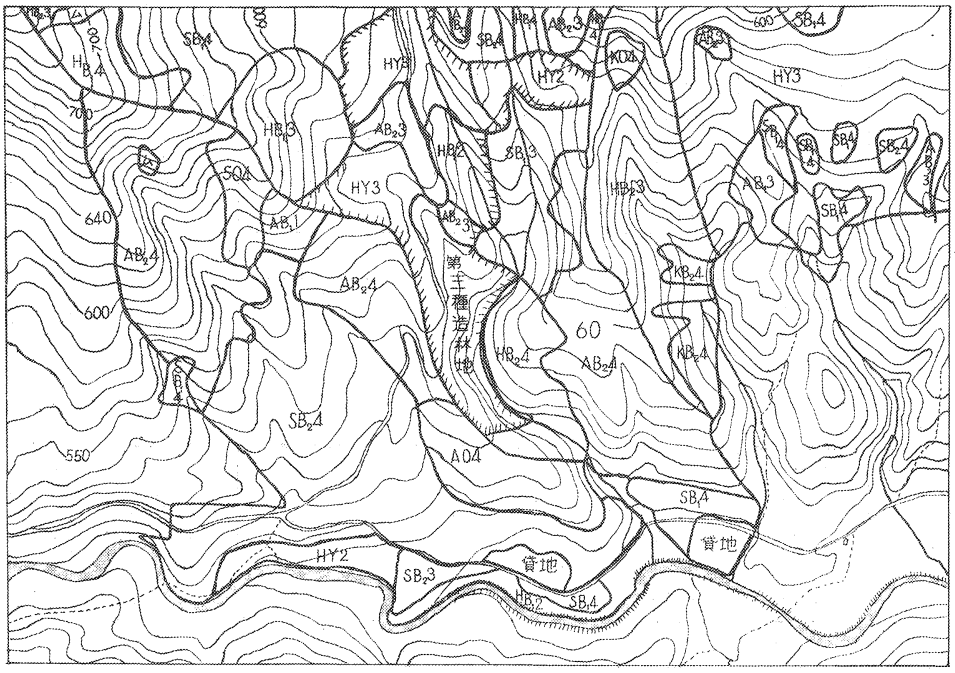


Fig. 8　各種写真による林型区分図例　パンクロ (4)
An example of forest type classification by the various aerial photographs (Panchro. (4)).

4.　濃度測定による数量的検討

肉眼観察による林型判定は多分に判読者の経験，また林型区分に対する基礎知識が結果を左右するものであるので，これを客観的数値によって検討するために濃度測定装置による数値判定をおこなった。

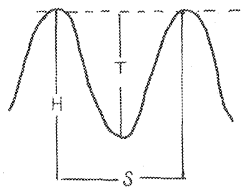
濃度測定の結果，それぞれの林分は樹陰の濃色値と，樹頂日照部の淡色値の間に振動する波形として現われる（後述　V）。

この観測濃度波は，おのおのの林型によって固有のものである。すなわち，各林型の濃度波の上限値の平均（$\bar{H}$）は，その林型の日照明部の平均であり，上限と下限色調の値の差の平均値（$\bar{T}$）は，樹冠像の

振動幅 T				周期 S			
n	$\bar{T}$	分散 σ	標準偏差 Standard deviation	n	$\bar{S}$	分散 σ	標準偏差 Standard deviation
	0.36	1.115	1.056		0.44	0.041	0.202
	0.38	0.328	0.572		0.42	0.018	0.134
	0.29	0.347	0.589		0.47	0.043	0.206
	0.36	0.021	0.145		0.39	0.020	0.140
	0.25	0.073	0.271		0.34	0.020	0.143
0.328				0.050			
0.054				0.410			

濃淡変動差の平均であり，また周期の平均（$\bar{S}$）は樹冠の大きさ，立木疎密度によって左右されるものである。

そして（$\bar{H}$）と（$\bar{T}$）が肉眼にその林型のもつ色調感を与え，また（$\bar{T}$）および（$\bar{S}$）が感触を生ぜしめ，それらの配置が模様感を構成するものである（Fig. 9 参照）。



H : Photo density of sunlit part
T : Amplitude
S : Cycle

Fig. 9　林分濃度波模式図
Diagram of the photo-densit measurement curve.

林型 H_8 4（樹高 18 m 以上，樹冠閉鎖度，密）の各樹種についての測定値の分散分析の結果を Table 12 に示す。

この表によって，各写真ごとの樹種別の像の構成とその変動を見ることができる。

また樹種間の判別の難易さは，各写真における樹種別変動と樹種間変動の差の多少から判定される。すなわち，同一フィルムの写真内での同一樹種内の像の濃度変動値はそれほど大きくないので，樹種間の変動の多いものが樹種別の差をよく表わすものであり，それが大きい写真ほど樹種別の判定がより容易なことを示す。この変動を明らかにするために各林型の濃度の分散を Table 13 に示す。

Table 13.　各種フィルムの樹種間濃度の分散（σ）
The standard deviations of the photo densities of the main tree species on different types of photographs

	フィルム No. Film no.	$\bar{H}$	$\bar{T}$	$\bar{S}$
パンクロ Pan.	1	0.885	0.054	0.040
	2	0.459	0.024	0.032
	3	0.735	0.058	0.032
	4	0.279	0.054	0.001
	5	0.837	0.077	0.001
赤外 I. R.	1	0.585	0.143	0.055
	2	0.579	0.088	0.008
	3	1.074	0.375	0.054
	4	0.790	0.425	0.050

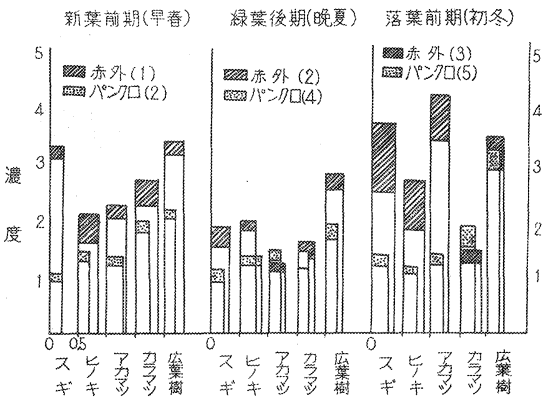


Fig. 10　撮影季節別・パンクロ・赤外・樹種別写真像濃度
Photo densities of the main tree species in panchro. and infrared photographs.

この結果は，前述の肉眼観察による判定の難易度と良く一致した結果を表わしている。すなわち，最も重要な要素である色調について見れば，$\bar{H}$ の分散の値は前項で最も判定容易とした初冬の赤外フィルム（3）において1.074と大きく，樹種間の像に差のあることを示し，一方，最も判定困難とした夏期パンクロ（4）では0.279と小さく，樹種間の濃度差が少ないことを示す。

これらのうちから早春，晩夏，初冬の3季について，パンクロおよび赤外のおのおのの $\bar{H}$, $\bar{T}$, $\bar{S}$ の値を図示したものが Fig. 10 である。

図においても類似する濃度値をもった林型の少ないものが判別の作業を容易にし，判定の誤りを少なくするものである。

これらの結果の確認のため，さらに下記の検討をおこなった。

1)　各フィルム間，林型別濃度分散比の有意差検定。

2)　各フィルム間，平均値の差の有意差検定。

結果は赤外線写真では，すべての林型において季節別の写真色調に有意差が見られる。

パンクロ写真ではスギ，カラマツ，広葉樹では日照頂部色調には有意差はなく，陰影の半数に有意差が認められた。

しかし，この検定は現像処理による像の再現条件が均一である場合に確実性をもつものである（計算および結果数値表略）。

なお，全体色調の標準偏差は Table 14 に示す。

これにより赤外フィルムは，いずれもパンクロフィルムよりもはるかに多くの色調，その他の差を含んだ値を示した（Table 14 参照）。

Table 14.　フィルム別林分像全体色調標準偏差表
Standard deviations of the forest types densities in different types of photographs

	フィルム No.	$\bar{H}$	$\bar{T}$	$\bar{S}$
パンクロ Pan.	1	0.145	0.102	0.058
	2	0.120	0.075	0.040
	3	0.138	0.116	0.048
	4	0.150	0.128	0.050
	5	0.137	0.108	0.057
赤外 I. R.	1	0.181	0.190	0.100
	2	0.247	0.160	0.088
	3	0.726	0.426	0.085
	4	0.450	0.454	0.127

これは広葉樹と針葉樹の差，および陰影によるものが第1と考えられる。

5.　試験結果の総合

試験結果を総合すれば，カラー写真が良好な効果を持つのは別として，同一季節であれば小縮尺よりも中縮尺が，また同一縮尺であればパンクロ写真よりも赤外線写真が，効果的であることを示している。

また，完全に成長を休止した冬期と，樹種間の色調差の少ない夏期の写真は最も不適切な結果を示した。

ただし，この樹種判読には広葉樹内の判別を扱っていない。したがって，広葉樹が全く落葉した冬期写真も，それゆえに有効となっている。

落葉広葉樹の樹種判定も考慮するならば，順位はフィルム別に1位の秋期カラーについで，3位または4位に肉眼判定によって求められた，春期，秋期の赤外が効果的であろうと予想される。またこの結果から，パンクロ，赤外の選択よりも先に，季節の選定がより重要であり，小，中縮尺の差はこのような林型判読の難易には二義的なものである。なお，数値検討の結果は肉眼判定を裏付けたものといえよう。

3.　立地要因の観測と判定

地表の事物は存在する土地の状況に密接な関係をもっており，その生産能力や機能，また利用開発の条件も，正確な地況の情報を背景として求められ，それに基づいた計画が立てられねばならない。

森林調査においても，林木が生育する立地の情報は，現在ならびに将来への生産性の予測，開発計画への基礎的な資料である。

写真によって観測される立地環境はあくの要因は，その地域の位置，地形，地質，あるいは気象条件等の自然条件や，またそれに加えられる人為条件の各分野にわたる情報を導き出す鍵となるものである。

1.　空中写真による地形観測の項目

地形はその土地の基盤になっている岩の種類，岩層の重なり，質の違い，また陥没，隆起，火山活動，等の地殻変動の結果に，さらに風化，侵食，場合によっては人為の作用が加わってできているものである。

普通，日本の地形においては，地質構造的現象が写真上に直接現われていることは少ないが，森林や植生が地表をおおいかぶせているとしても，その本質まではかくしてはいない。むしろ場合によっては，それが地下構造，その他の自然条件などの予測を助ける手がかりを示すことがあり，順序よく写真像を解いてゆくことによって，地形の現状とともにその成因や性質，また森林生育におよぼす因子を求める情報が得られる。

空中写真から地形を観測する大綱の区分表を Table 15 に示す[50]。

1)　山の形

空中写真観測による山の形は，分水線，つまり尾根線の形で表わされる。それは山腹を形作っている曲面が，凸形に交わった線といってよい。いくつかの曲面が凸形に交わった点は山頂となる。

これは生成と侵食の経過によって，Table 15 の A，B のように区分しうる形態が現われる。尾根線は普通，分岐しながら水系の下流に向かって終わるが，勾配に反比例した角度で支脈を出すのが通常である。つまり尾根の傾斜が急であればあるほど，支脈との間の狭角は小さく，緩になるほど直角に近い角度で支脈を出す。主脈と支脈の区分は，一般に侵食の進んだ急峻な地形ほど明りょうに判読ができる。

Table 15.　空中写真による地形観測要因
Items for the topographic interpretation

A．山形の区分　Ridge type　区分凡例	
1.　横断した形	台状，鋭頂，鈍頂，丘状
2.　主脈の形	直，大屈折，小屈折，屈曲
3.　支脈の分岐角	狭，中，広，逆
4.　主脈と支脈の差	明，不明りょう
B．斜面と谷形の区分　Slope and valley type	
1.　横断した形	上向，平衡，下向
2.　斜面の形	
3.　斜面の傾斜	急，中，緩
4.　谷　底	尖底，凹底，平底
5.　縦断形	放物，折曲，折直等
C．水系の区分　Water system type	
1.　水系模様	樹枝，平行，格子，直角，放射等
2.　集水面積	
3.　水系密度	
4.　水系頻度	
5.　支流の長さ	
6.　支流の数	
7.　方　向	
D．起　伏　量　Relief	
E．地質構造線　Geological liniament	
	断層，小断層，節理，破砕帯，岩層，その他
F．特有地形・堆積物・工作物　Special character	
	凹地，台地，扇状地，段丘，崩壊，地辷り，その他堆積等

尾根線は写真の立体視によってきわめて早く，また正確に調べられる。そして，直接写真上に細線で記入してゆくことで効果的に地形の特性を捕えることができる。

尾根線を判定し，記入するとき，次のような地形の原則に注意する必要がある。

1)　尾根線が屈折するとき，かならず外側に支脈の支えを出す。

2)　水系に向かって終わるときは，上流の方に出た線は下流に向かって出たものより短い。

3)　鞍部では通常尾根線は分岐して2本ずつ向き合う。

また前記の分岐角等も原則の一つである。これらは尾根線を観察記入していて，こうした原則に反したものが現われたときには，判読の結果を再検討するよりどころとなる。

もし，検討の結果，判読に誤りがなかったとすれば，それは地形生成上に加わった特異な力の影響，また地下構造の変化点を見つけ出す要点である。

また尾根線の判定は，地形図化の上ではきわめて大切な要素である。

2)　斜面と谷の形

山腹斜面，すなわち谷の横断形は，侵食が進行している上向谷，堆積が行なわれている下向谷，またその中間の平行谷に大別される。

谷底の形も侵食の過程によって，尖底から凹底を経て，平底へと移ってゆく。

谷の縦断面は通常は上流が急で，下流になるに従い緩な放物線であるが，傾斜が途中で急変したり，急瀬・滝のある部分を持つものは不連続谷と呼ばれる。

斜面の傾斜，侵食地形か堆積地形かはその地形を構成する岩相や，地盤の相違を表わす。地表を傾斜の変換線で区切って同一傾斜単位に分け，さらに横断形によって細分すれば，地形の小単位に分類することができる。ことに新第三紀以後の丘陵，台地，段丘等では，地形と地質の関係はよく一致する。

この作業は立体観察によって効果的に行なわれ，斜面形分類図，傾斜分布図等を作成することができる。

3)　水系の形

水系の平面形は，写真の立体視によって，沢，渓流等明らかな部分はもとより，渓流の最上部で尾根に達するまでの間，伏流河川などで降水のときのみに水流の生ずる部分まで，あるいは堆積平地では旧河道

の状態をも，明細に知ることができる。

水系の模様は，地形や地質，また土壌や地盤を知るのに非常に有効であって，写真上から樹枝状，格子状，羽毛状，放射状，求心状，平行状，直角状，環状等，あるいはその変形，複合形などが効果的に類別される。

樹枝状模様は，地表面が平均して侵食される硬軟の差の少ない地質を示し，平行状谷や格子状谷は地質構造や岩層に関連し，放射状谷は火山放出岩地質等により，求心状や環状谷は褶曲構造や陥没，盆地等との関連を示す。

水系模様が急変することは，地質基盤の侵食に対する抵抗性が変化することを示すもので，その部分に断層や褶曲等の構造変化，あるいは堆積岩や火成貫入岩の出現などの基岩の違いを予想しうることが多い。

水系模様を写真立体視によって描く際，支流が本流の上方に向かって合わさったりするものは，不適合流である。また本流より緩傾斜の支流等も，地質構造谷に見られる現象である。

ともに判読の再検討や，地質構造予察の要注意現象である。

4)　起伏量と谷密度

地形の変化を表わす起伏量と谷密度は，写真観測と図化によって迅速に捕えることができる。これらの差が地域別に現われる時には，1）地質に差がある，2）地形形成時代に差があるものであり，また相接する部分では断層等の存在が予想されるものである。

これらは，縮尺の小さな写真による広範囲な観察が効果的である。

5)　災害地形の分布

地すべり，山崩れなどの災害地形の分布は，地質，地形の特徴を端的に示す。特に地すべりは軟弱な第三紀層，破砕帯，温泉余土，などの存在を示している場合が多い。

6)　地質構造線

地質構造線は写真上に現われる自然の線状の模様，あるいは列状につながる特徴のある現象によって，写真上できわめて効果的に捕えられるものであり，一般にリニアメント，影痕と呼ばれる線で代表され，単写真を観察してもほぼ的確に直線的な現象が追跡できる。それらのおもなものを並べれば，次のごとき現象である。

1)　植生にあらわれる特徴の直線配列。

ア．成長状態の変化が線状にならぶ。

イ．直線状に特徴のあるものが生育する。

ウ．無植生地帯が直線にならぶ。

2)　土壌や植生の色の線状の帯や変化。

3)　崖，壁の配列が直線状をなす。

4)　地形の急変位置が直線にならぶ。

5)　構造谷が直線状にならぶ。

6)　岩石の露頭が一列にならぶ。

7)　侵食，崩壊が直線にそってあらわれる。

8)　ケルンコル，ケルンバットが直線上にならぶ。

これらを成立させているおもなものは，断層，地層線，破砕帯，あるいは小断層，節理などの地質構造上，弱線と称されるものである。これらの集中地域は侵食がはげしいのが通例であって，地質，土壌の変化位置，あるいは崩壊，地すべりの発生位置，滝，急瀬，傾斜変換位置などはこれと密接な関係をもっている。

2. 地形の分類と空中写真上の特徴

地形観測の要因に従って地形を観察してゆくと，それぞれの地形は地理的位置，形態，傾斜，斜面形，その他によって特有の類型的なパターンがある。

地形分類の単位と写真観測上の特徴を，Table 16 に示す[123]。

Table 16. 地形分類と写真像の特徴
Characteristics of the photo images on land type identifications

	地形分類 Land type	位置 Position	凸，凹 斜面形	傾斜 Tilt	排水 Drainage	構成 Composition	摘要 Note
1	山頂緩斜面	山頂	凸	〈15°	良	基盤と風化層	
2	山腹緩斜面	山腹		〈15°	良		
3	山麓緩斜面	山麓		〈15°	良	基盤か堆積物	傾斜変換線に注意。
4	急斜面		凸凹	〉15°	良		
5	岩石台地	低地・河谷 海岸周辺		〈3°	良	基盤がうすい堆積物	段階状および台状地形，台地面の連続性の観察。
6	砂礫台地	〃		〈3°	良		
7	火山灰台地	火山周辺		〈3°	良	火山灰，砂礫	火山地帯の台状地形，シラス質の場合は縁辺は崖，しばしば崩れをみる。
8	石灰岩台地			〈8°	良	石灰岩	ドリーネ状の凹陥没地形あり，地表流少なく，灰白色で明るい部分あり。
9	溶岩台地			〈8°		溶岩	火山灰台地より一般に分布狭く傾斜が大，なわ状，ウロコ状のパターンあることあり。
10	崖			〉30°			連続する急斜面
11	扇状地	山麓部	凸	〈15°	良	砂礫	谷の出口より扇状に広がる。河川は網目状，三角州より急，暗調。
12	谷底平野とはんらん原	低地，谷底		〈8°	不良	砂，シルト，粘土	
13	三角州	河口部		〈3°	不良	シルト，粘土	傾斜，起伏を認めにくく，暗調の内に細い明調部散在，河川は一般に曲流。
14	海岸平野	海岸部		〈8°	不良	礫，砂，シルト	隆起砂州がほぼ海岸線に平行する地域に多く，しばしば台状となる。

	地形分類 Land type	位置 Position	凸，凹 斜面形	傾斜 Tilt	排水 Drain-age	構成 Composition	摘要 Note
15	自然堤防	現，旧河道沿い		〈8°	良	礫，砂，シルト	谷底平野，はんらん平野，三角州内に狭長に分布，一般に明調，周囲よりわずかに高い。
16	砂州	旧海岸線沿い		〈8°	良	砂，礫	旧海岸線を示す微高地。
17	被覆砂丘	新旧海岸，大河付近	凸	〈30°	良	砂	海岸や大きな自然堤防付近の砂丘，波状地形，植物あり。
18	裸出砂丘	海岸線付近	凸	〈30°	良	〃	卓越風向に細長いが，直角に連続，特に明るい。
19	旧河道	旧河道沿い		〈3°	不良	砂，シルト，粘土	現流路と似た平面形の暗調部。
20	河原	川沿い		〈15°	良	〃	暗調の流水部に沿い明調，平行する2条の河川堤防によって判定される。
21	浜（州）	汀線付近		〈8°	良	砂，礫	直線がゆるく湾曲，白調，立体視によって浜堤の微高を認めうる。
22	磯	〃		〈8°	良	岩石	平面形複雑，背部に浸食岸のあること多し。
23	潮汐平野	〃		〈3°	良	砂，シルト，粘土	満潮時は海面下に没す。暗灰→暗。
24	盛土地	低地か一般面		0°	良	人工堆積	低地の人為的平面微高地。
25	埋立地	旧水部		〈1°	良	〃	水部に面する人為的平面，三角州より高い微高地。
26	干拓地	〃		〈3°	不良		三角州，海岸平野の前面，現海岸線沿の堤防は直線，時に海面下のことあり。
27	地すべり地	山腹，山麓	上方凹 下方凸	上方急 下方緩	不良	粘土質多し	浅く椀形にえぐる。上部に滑落崖，不整面あることあり。山腹水田部あり。
28	崩壊地形	山地	凹	〉30°	良		新しいものは白調。
29	麓層面 崖錐	崖斜面の脚部	凸		良	砂礫	谷の発達の疎な急斜面，下部緩斜面，急斜面の下方。
30	泥流地形	火山麓に多い	不整型			礫，泥，砂の乱雑な堆積	小丘が多く見られ凹状に時に水あり。
31	土石流地形	山地谷中 〃 谷口	凸	〈20°	良	岩塊，シルト，粘土	山頂部に崩壊を有する谷底に多く，舌状に突出，末端は低い崖。
32	湿地	低地		〈1°	不定	粘土，黒泥	低平排水不良地，全体に暗調，湿生植物，沼あることあり。
33	泥炭地	〃		〈1°	〃	黒灰，泥炭	〃

注）なお，この表については，高崎正義ほかの報告を参照したところが多い。

3. 地形の平面図化

地形は通常，等高線図または地性線図であらわされる。

地性線図は特に地形の変化の特徴線を簡をえて示すものである。地性線は尾根線と水系の線を主としてあらわし，ともに地形を作りあげている曲面の交線であって，傾斜変換線の一つである。等高線を引けば，それは尾根線で凸形に直交し，水系線では凹形に直交する。地形の詳細をあらわすには等高線図に地性線を加え，さらにこれを補なう間曲線，傾斜変換線，地質構造線等を目的によって加えることが適切であり，また前項の地形分類を記号化して記入する。

現在の森林基本図として用いられている地形図は，多くは機械図化による等高線図であり，さらに地形

の情報を豊富にするには，これらを写真判読によって補筆することが効果的である。それは写真上に判定記入されたものを，既存等高線図に移写，または図解法による簡易図化等の手法がとられる。

図化による地形の表示にはこれらのほかに，勾配分布図，傾斜方位図等があり，それらは次項数値図から機械的に作成され，また等高線図からも二次的に作られる。

そのほか谷密度，頻度，あるいは起伏量の数値化などが有効である。

4. 数値地形図による地形の表示

1) 森林調査に対する数値地図の利用

地形要素を数値モデルによって表現，また図化するための空中写真による数値地形図の作成は，測定機械と電子計算機機構の連係によって，著しく効果的な分野となりつつある。

数値地形図は対象とする地域を測点の網でおおい，その点の三次元座標値を測定し，それらによって構成される近似平面モデルで地形を表わすものである。

測点位置のXY座標値を平面に展開し，標高にあたるZ座標値をその位置に添えて印字したものが基本形となる。

測点の配置は

1) 地形横断線上にえらぶ。

2) 等高線に沿ってえらぶ。

3) 不規則にえらぶ。

等の方法もあるが，最も一般的であり，また数値の処理が容易であるのは規則的に三角形，または方眼目に点を配置する方法である。

三角形の点の配置は座標測定値によって近似平面を決定することができるが，実際の数値処理は方形の点の配置，すなわち方眼メッシュによる近似的な想定平面を取り扱う方が容易であり，かつ実際的である。

数値地形図は空中写真の一級図化機による観測結果が，計算機のラインプリンターによって印字されて作成されるものであるが，それはまた自動図化機との連動によって，自由な座標軸の選択による地形模式図の作成を可能とする。

この数値地形図から傾斜方位図，地形勾配図，水系流路図，ベクトル地形図等多くのものが数値図として，また自動図化機によって作図される。これらに関しては丸安正隆を初めとする多くの基礎研究，また応用研究の報告がある[36)37)40)59)]。

森林調査においても，地形要素を数量的に表わすことは立地条件を情報処理の過程に導入する上できわめて重要な事項であり，これが空中写真により可能であれば，次にはその平面をとらえる単位，すなわちメッシュ間隔の選択によって調査目的に応ずる効果と能率の最もよい規準を求めることが必要である。

現在までに試みられた結果や，従来の森林取扱いの単位等よりは，次のような間隔が有効であることが予想される。

局地的降水量等，微気象条件	500m メッシュ
未開発天然林（熱帯林等）	〃
開発天然林	200m
資源調査，経営計画	100m

標準地調査，精密調査	50～40m
林分生育環境（成長量等）	40～20m
等	

メッシュ間隔は測定の詳細性を根本的に左右するが，同時に工程と経費に直接関係するものである。

2）数値地形図による林分地形の解析試験例（1967年実施）[60]

（1）目　的

森林地形の精密測定，および数値解析のための空中写真による数値地図利用の効果の研究。

（2）調査試験地域

帯広営林局陸別営林署管内国有林63林班

面積　13.12 ha（広葉樹天然林）。

（3）空中写真

山—327，コース 4．18，19

縮尺　約 1/20,000，$f=210$

（4）測定機械

Autograph-A 7.

（5）メッシュ間隔

10m，20m，30m

（6）想定平面と計算式

本試験では4点の測点に囲まれた地表面の平均平面を，各測点での残差が最小となるように想定し，この面が水平面となす傾斜角と方位角をタイプアウトした。

その計算式は次のごとくである（Fig. 11 参照）。

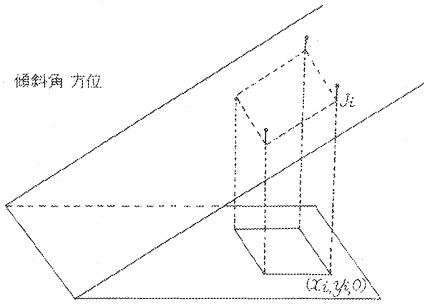


Fig. 11　4点による斜面の決定
Determination of the slope surface.

i. 平面の方程式

4点 (x_i, y_i, z_i) $(i=1\cdots\cdots4)$ に対する最適な想定平面の方程式を

$$Ax+By+Cz+D=0 \quad\cdots\cdots(1)$$

C は常数

測点と想定平面との距離 V_i は

$$V_i=Z_i-Z=Ax_i+By_i+Cz_i+D \quad\cdots\cdots(2)$$

最適な想定平面は $\sum_i V_i^2$ を最小という条件より

$$\frac{\partial\sum V_i^2}{\partial A}=0,\qquad \frac{\partial\sum V_i^2}{\partial B}=0,\qquad \frac{\partial\sum V_i^2}{\partial D}=0 \quad\cdots\cdots(3)$$

すなわち，

$$\left.\begin{aligned}&[xx]A+[xy]B+[xz]C+[x]D=0\\&[yx]A+[yy]B+[yz]C+[y]D=0\\&[x]A+[y]B+[z]C+4D=0\end{aligned}\right\}\cdots\cdots(4)$$

ただし，$[xy]=\sum x_i y_i$

この場合，4点を，

$P_1(0,\ 0,\ z_1)$，$P_2(0,\ l,\ z_2)$，$P_3(l,\ l,\ z_3)$，$P_4(l,\ 0,\ z_4)$，〔Fig. 12 参照〕

としても一般性を失なわないから，この点により（4）を展開して $A,\ B,\ D$ を求めれば

$$\left.\begin{aligned}&2lA+lB+(z_3+z_4)C+2D=0\\&lA+2lB+(z_2+z_3)C+2D=0\\&2lA+2lB+(z_1+z_2+z_3+z_4)C+4D=0\end{aligned}\right\}\cdots\cdots(5)$$

$$A+B=\frac{C}{l}(z_1-z_3)$$

$$A-B=\frac{C}{l}(z_2-z_4)$$

$$A=\frac{C}{2l}(z_1+z_2-z_3-z_4)$$

$$B=\frac{C}{2l}(z_1+z_2-z_3+z_4)$$

$$D=-\frac{C}{4}(3z_1+z_2-z_3+z_4)$$

ただし，

$$a=\frac{(z_1+z_2)-(z_3+z_4)}{2l}$$

$$b=\frac{(z_1+z_4)-(z_2+z_3)}{2l}$$

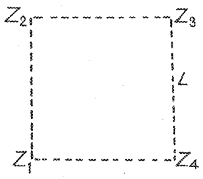


Fig. 12　斜面の正投影図
Normal projection of slope surface.

ii. 傾斜角

$x-y$ 平面と，求めた平面（1）とのなす角 θ は $x-y$ 平面の方向余弦が $\lambda=0$，$\mu=0$，$V=1$ であるので，

$$\cos\theta=\frac{C}{\sqrt{A^2+B^2+C^2}}=\frac{C}{\sqrt{a^2+b^2+1}}$$

または　$$\sin\theta=\frac{\sqrt{a^2+b^2}}{\sqrt{a^2+b^2+1}}$$

iii. 方　位

平面（1）と $x-y$ 平面との交線

$$ax+by-d=0\cdots\cdots(6)$$

と x 軸となす角 α を方位とする。

このためには4点を図のごとくに定め，x 軸を N 方向とする（Fig. 13 参照）。

i）$b>0$

$$\cos\alpha=\frac{a}{\sqrt{a^2+b^2}}$$

ii) $b<0$

$$\cos\beta=\frac{-a}{\sqrt{a^2+b^2}}$$

$$\alpha=\beta+180^\circ$$

iii) $b=0,\ a\neq 0$

$a>0,\ \alpha=0$

$a<0,\ \alpha=180^\circ$

iv) $b=0,\ a=0$

方位なし。

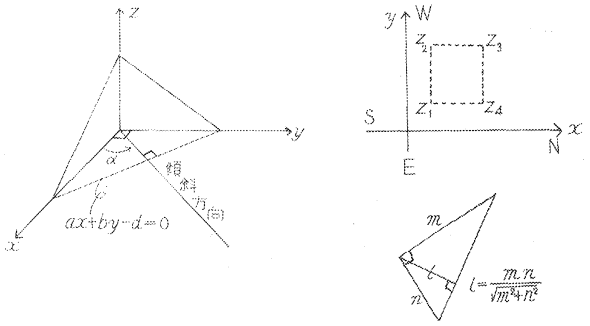


Fig. 13　傾斜方位の説明図
Explanation of direction of tilt.

（7）　作成数値図（各メッシュ間隔ごと）

i. 標高座標値図（数値地形図）

ii. 傾斜度図，傾斜度階図（30 区分）

iii. 傾斜方位図，傾斜方位階図（16 方位）

また 1/5,000等高線図も作成した。

（8）　検討方法

同林班を 4 個の小班に分割し，全体および各林班の標高，傾斜度，傾斜方位について，各メッシュによる分布の変動を求めた。その値を Table 17, Table 18 に示す。

メッシュの相違による地形表現の比較は，数値の % 換算値によって行なった。これを図示したものを Fig. 14 に示す。なお，数値地形図の 1 例として Fig. 15 に傾斜方位図 (Streak map) を掲げる。

Table 17.　地形要因分布，分散分析表
Analysis of the topographic conditions

17-1)-a)　20 m メッシュ標高分布分散分析表
Altitude distribution analysis (20 m meshes)

標高分布 (20 m)　Altitude distribution

小班 Sub-compartment m	class	I	II	III	Σ
300～320	1	30	3		33
～340	2	173	98		271
～360	3	200	203		403
～380	4	151	210	20	381
～400	5	42	186	56	284
～420	6	8	143	101	252
～440	7		30	147	177
～460	8		7	147	154
～480	9			81	81
～500	10			71	71
～520	11			35	35
～540	12			22	22
～560	13			13	13
n		604	880	693	2177

標高分布 (20 m)%　Altitude distribution %

小班 Sub-compartment m	class	I	II	III	Σ
300～320	1	5			2
～340	2	29	11		12
～360	3	33	23		18
～380	4	25	24	3	17
～400	5	7	21	8	13
～420	6	1	16	15	12
～440	7		4	21	8
～460	8		1	21	7
～480	9			12	4
～500	10			10	3
～520	11			5	2
～540	12			3	1
～560	13			2	1

		I	II	III	Σ
①	n	604	880	693	2177
②	ΣX	1838	3702	5428	10968
③	$(\Sigma X)^2$	3378244	13704804	29463184	120297024
④	ΣX^2	6276	17298	45228	68802
⑤	$\Sigma X^2-\frac{(\Sigma X)^2}{n}=SX^2$	683	1724	2713	13544
⑥	$\frac{SX^2}{n}$	1.131	1.959	3.915	6.221
⑦	$\sqrt{\frac{SX^2}{n}}=\alpha$	1.063	1.400	1.978	2.494
⑧	$\bar{X}$	3.043	4.207	7.833	5.038
⑨	$\frac{\alpha}{\bar{X}}$	0.349	0.333	0.253	0.495

17-1)-b)　30 m メッシュ　標高分布分散分析表

Altitude distribution analysis (30 m meshes)

標高分布 (30 m)　Altitude distribution

小班 Sub-compartment m	class	I	II	III	Σ
300～320	1	13			13
～340	2	78	39		117
～360	3	90	77	3	170
～380	4	60	91	15	166
～400	5	9	71	44	124
～420	6		18	95	113
～440	7			70	70
～460	8			68	68
～480	9			36	36
～500	10			27	27
～520	11			16	16
～540	12			8	8
～560	13			8	8
n		250	296	390	936

標高分布 (30 m)%　Altitude distribution %

小班 Sub-compartment m	class	I	II	III	Σ
300～320	1	5			1
～340	2	31	13		13
～360	3	36	26	1	18
～380	4	24	31	4	18
～400	5	4	24	11	13
～420	6		6	24	12
～440	7			18	7
～460	8			18	7
～480	9			9	4
～500	10			7	3
～520	11			4	2
～540	12			2	1
～560	13			2	1

		I	II	III	Σ
①	n	250	296	390	936
②	ΣX	724	1136	2863	4723
③	$(\Sigma X)^2$	524176	1290496	8196769	22306729
④	ΣX^2	2320	4728	22625	29673
⑤	$\Sigma X^2-\frac{(\Sigma X)^2}{n}=SX^2$	223	368	1608	5841
⑥	$\frac{SX^2}{n}$	0.892	1.243	4.123	6.240
⑦	$\sqrt{\frac{SX^2}{n}}=\alpha$	0.944	1.115	2.030	2.498
⑧	$\bar{X}$	2.896	3.838	7.341	5.046
⑨	$\frac{\alpha}{\bar{X}}$	0.326	0.291	0.277	0.495

17-2)-a)　20 m メッシュ　傾斜分布分散分析表
Slope distribution analysis (20 m meshes)

傾斜分布（20 m）　Slope distribution

小班 Sub-compartment	I	II	III	Σ
1 class	9	6	3	18
2	36	40	13	89
3	70	93	17	180
4	78	100	38	216
5	92	128	51	271
6	84	129	86	299
7	66	108	97	271
8	43	72	110	225
9	22	47	78	147
10	25	30	60	115
11	12	19	35	66
12	3	13	18	34
15	3	1	9	13
16	2	3	10	15
n	545	789	625	1959

傾斜分布（20 m）%　Slope distribution %

小班 Sub-compartment	I	II	III	Σ
1 class	2	1		1
2	7	5	2	5
3	13	12	3	9
4	14	13	6	11
5	17	16	8	14
6	15	16	14	15
7	12	14	15	14
8	8	9	18	11
9	4	6	12	7
10	5	4	10	6
11	2	2	6	3
12	1	2	3	2
15			1	1
16			2	1

		I	II	III	Σ
①	n	545	789	625	1959
②	ΣX	3066	4662	4760	12488
③	$(\Sigma X)^2$	9400356	21734244	22657600	155950144
④	ΣX^2	20694	32318	40710	93722
⑤	$\Sigma X^2 - \frac{(\Sigma X)^2}{n} = SX^2$	3446	4771	4458	14115
⑥	$\frac{SX^2}{n}$	6.323	6.047	7.132	7.205
⑦	$\sqrt{\frac{SX^2}{n}} = \alpha$	2.515	2.459	2.671	2.984
⑧	$\bar{X}$	5.626	5.909	7.616	6.375
⑨	$\frac{\alpha}{\bar{X}}$	0.447	0.416	0.351	0.421

Table 18.　林小班別，地形要因変動（$\sigma/\bar{X}$）例　30 m，メッシュ
An example of the variation on the topographic conditions between compartment and some sub-compartments

地形要因 ＼ 小班	I	II	III	IV	Σ
標　高　Altitude	0.56	0.63	0.54	0.45	0.57
傾　斜　Tilt	0.47	0.44	0.44	0.50	0.48
方　位　Azimuth	0.52	0.36	0.38	0.43	0.42

17-2)-b)　30 m メッシュ　傾斜分布分散分析表

Slope distribution analysis (30 m meshes)

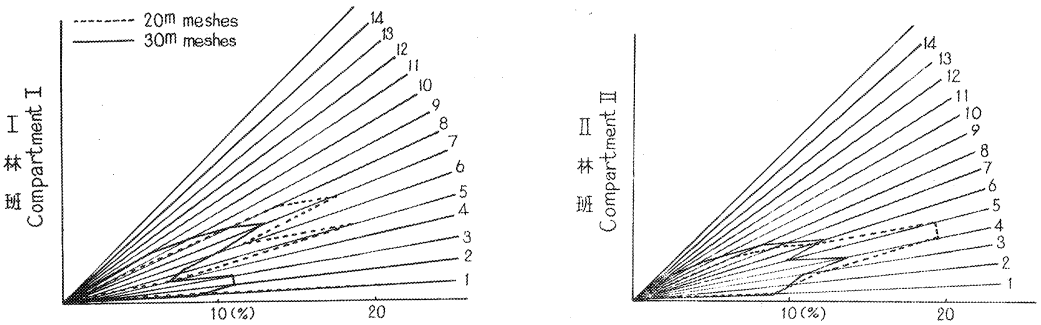
傾斜分布 (30 m)　Slope distribution

小班 Sub-compartment	I	II	III	Σ
1 class	4	4	3	11
2	12	16	8	36
3	33	30	12	75
4	43	32	31	106
5	41	55	38	134
6	35	39	43	117
7	23	24	71	118
8	12	32	47	91
9	5	14	40	59
10	6	7	30	43
11	4	4	16	24
12	1	1	9	11
15		2	5	7
16		5	4	9
n	219	265	357	841

傾斜分布 (30 m)%　Slope distribution %

小班 Sub-compartment	I	II	III	Σ
1 class	2	1	1	1
2	5	6	2	4
3	15	11	3	9
4	20	12	9	13
5	18	21	11	16
6	16	15	12	14
7	11	9	20	14
8	5	12	13	11
9	2	5	11	7
10	3	3	8	5
11	2	2	5	3
12			3	1
15		1	1	1
16		2	1	1

		I	II	III	Σ
①	n	219	265	357	841
②	ΣX	1132	1549	2583	5264
③	$(\Sigma X)^2$	1281424	2399401	6671889	27709696
④	ΣX^2	6850	11045	21245	39140
⑤	$\Sigma X^2 - \frac{(\Sigma X)^2}{n} = SX^2$	999	1991	2556	6192
⑥	$\frac{SX^2}{n}$	4.562	7.513	7.160	7.363
⑦	$\sqrt{\frac{SX^2}{n}} = \alpha$	2.136	2.741	2.676	2.713
⑧	$\bar{X}$	5.169	5.845	7.235	6.259
⑨	$\frac{\alpha}{\bar{X}}$	0.413	0.469	0.370	0.433



a)　傾斜角分布図の相違　Slope distribution expression.

Fig. 14-a)　メッシュ間隔の差による傾斜角分布図の相違

Difference of the topographic expression by different quadrates.

17-3)-a)　20 m メッシュ　方位分布分散分析表
Azimuth distribution analysis (20 m meshes)

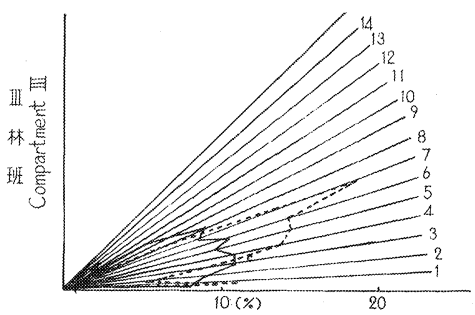
方位分布（20 m）　Azimuth distribution

小班 Sub-compartment	I	II	III	Σ
1 class	3	2	1	6
2	7	4		11
3	15	6	3	24
4	37	1	3	41
5	52	9	11	72
6	125	28	42	195
7	78	48	79	205
8	36	91	78	205
9	19	98	62	179
10	20	59	79	158
11	37	41	82	160
12	39	63	62	164
13	49	113	54	216
14	18	114	44	176
15	10	93	20	123
16		19	5	24
n	545	789	625	1959

方位分布（20 m）%　Azimuth distribution %

小班 Sub-compartment	I	II	III	Σ
1 class	1			
2	1	1		1
3	3	1		1
4	7			2
5	9	1	2	4
6	23	4	7	10
7	14	6	13	11
8	7	12	12	11
9	3	12	10	9
10	4	8	13	8
11	7	5	13	8
12	7	8	10	8
13	9	14	9	11
14	3	14	7	9
15	2	12	3	6
16		2	1	1

		I	II	III	Σ
①	n	545	789	625	1959
②	ΣX	4339	8752	6198	19289
③	$(\Sigma X)^2$	18826921	76597504	38415204	372065521
④	ΣX^2	40375	104598	66028	211001
⑤	$\Sigma X^2 - \frac{(\Sigma X)^2}{n} = SX^2$	5830	7516	4564	21075
⑥	$\frac{SX^2}{n}$	10.697	9.526	7.302	10.758
⑦	$\sqrt{\frac{SX^2}{n}} = \alpha$	3.271	3.086	2.702	3.280
⑧	$\bar{X}$	7.961	11.093	9.917	9.846
⑨	$\frac{\alpha}{\bar{X}}$	0.411	0.278	0.272	0.333



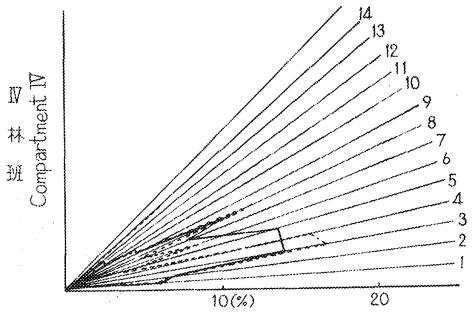


Fig. 14-a)　（つづき）(Continued)

17-3)-b)　30 m メッシュ　方位分布分散分析表

Azimuth distribution analysis (30 m meshes)

方位分布表 (30 m)　Azimuth distribution

小　班 Sub-compartment	I	II	III	Σ
1 class	3	2		5
2	6	2	1	9
3	1	3	2	6
4	10		1	11
5	20	2	8	30
6	53	7	22	82
7	45	14	33	92
8	10	22	56	88
9	7	27	53	87
10	6	16	35	57
11	20	14	43	77
12	16	22	30	68
13	16	37	41	94
14	3	52	21	76
15	3	38	8	49
16		7	3	10
n	219	265	357	841

方位分布 (30 m)%　Azimuth distribution %

小　班 Sub-compartment	I	II	III	Σ
1 class	1	1		1
2	3	1		1
3	1	1	1	1
4	5			1
5	9	1	2	4
6	24	3	6	10
7	21	5	9	11
8	5	8	16	10
9	3	10	15	10
10	3	6	10	7
11	9	5	12	9
12	7	8	8	8
13	7	14	12	11
14	1	20	6	9
15	1	14	2	6
16		3	1	1

		I	II	III	Σ
①	n	219	265	357	841
②	ΣX	1701	3053	3518	8272
③	$(\Sigma X)^2$	2893401	9320809	12376324	68425984
④	ΣX^2	15307	37869	37160	90336
⑤	$\Sigma X^2-\frac{(\Sigma X)^2}{n}=SX^2$	2095	2696	2493	8974
⑥	$\frac{SX^2}{n}$	9.566	10.174	6.983	10.671
⑦	$\sqrt{\frac{SX^2}{n}}=\alpha$	3.093	3.190	2.643	3.267
⑧	$\bar{X}$	7.767	11.521	9.854	9.836
⑨	$\frac{\alpha}{\bar{X}}$	0.398	0.277	0.268	0.332

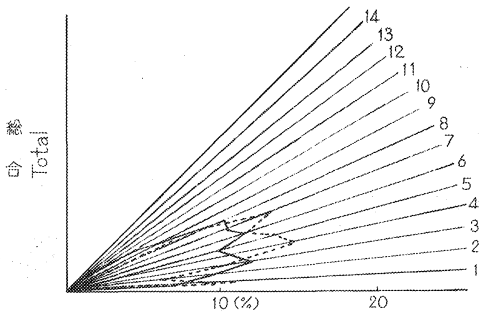
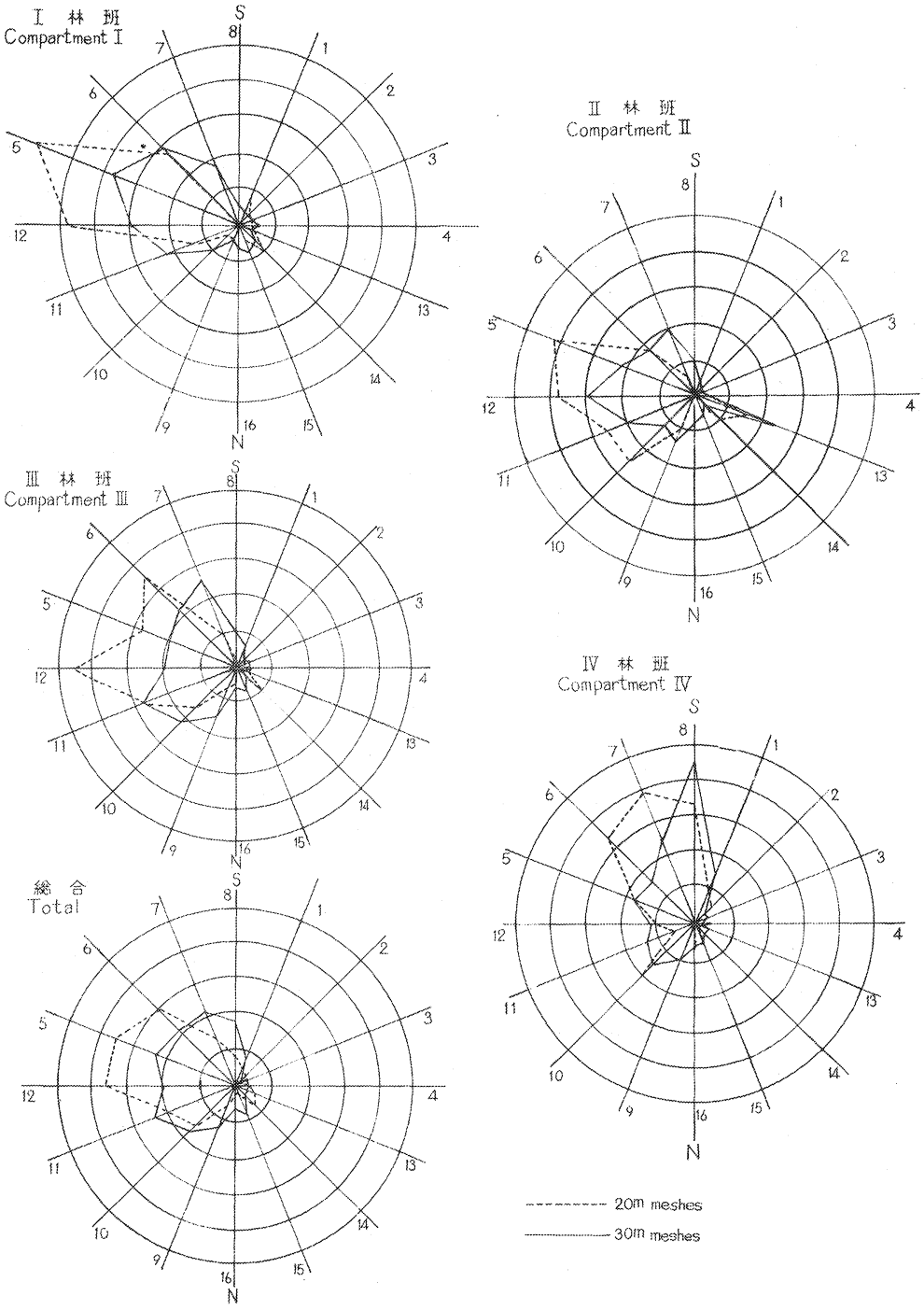


Fig. 14-a)　(つづき) (Continued)



b) 方位分布図の相違　Azimuth distribution expression.

Fig. 14-b) メッシュ間隔の差による方位分布の相違
Difference of the topographic expression by different quadrates (20 m meshes ……; 30 m meshes ——).

（9） 結果の概要と考察

林班全体および各小班の地形の性質は，求められた数量表現とその変動によって明らかに示された。各メッシュの相違によるこれらの出現や消失の分布，また数量の変化は地質的成因が主要なものである。

すなわち，メッシュが細分化するにつれて，岩層や雨裂等の小起伏による影響があらわれ，大水系や構造線等の大地形要因の影響は少なくなり，応用目的によってメッシュ間隔選定の必要性を示した（Table 17 参照)。

数値地形図の誤差は標高座標測定の誤差によって生じるが，その誤差が傾斜角，方位角等の測定におよぼす値が，調査要求精度より大となるような細かさのメッシュ間隔は無意味である。

たとえば，標高測定誤差が 0.5m であるときには，それが傾斜測定におよぼす影響は 10m，20m，30m のメッシュにおいてそれぞれ，2°52′，1°26′，0°58′ となる。すなわち，メッシュ間隔は細かくなるほど標高測定誤差の影響は大きい。

実際上，森林目的にあってはメッシュ間隔は少なくとも 20m 以上であろう。

数値地形図は地形を数量的に測定し，解析することを可能にした。

電子計算機，さらに自動図化機との連係によって，著しい応用方途をひろげつつある分野である。

地表の現象の解析や表示，また透視図や工事施行後の予測図の自動図化等はすでに実用化しており，将来においては森林分野においても，林，小班の区画等の管理，施業単位にこの数値図利用に適合したコードラート形態を取り入れるであろうことが予測される。

4. 林分要因の観測と判定

空中写真の森林像を構成しているものは，

（1） 樹種，樹高，樹冠の広がりや，樹形等に記録されている個々の立木の特質。

（2） 樹種群と混交型，立木本数，樹冠層の構成，樹冠疎密度，配置等の林としての構造。

（3） 立地条件や面積，分布などの森林の生育環境，地理的条件，および人為条件との関連性。

などである。

写真像から森林を判定するには適切な写真条件，写真観測の技術とともに，基礎的な森林に関する知識が必要である。

観測には通常反射立体鏡など簡易な用具が効果的に用いられ，また肉眼の吟味と調製をおこなって個人差をなくし，また写真像を簡易に測定する“ものさし”として各種の判読スケール類が使用される。

1. 樹種および樹種群

樹種，樹群の確認は樹冠の形，枝や葉の着生状況，写真上の樹冠直径と樹高の関係，樹形，生育立地の状況，写真色調，陰影，感触，模様等の観察によって行なわれる。

同一樹種でも撮影の季節や材料，処理方法，また地域等によって色調その他の要因にかなりの相違があらわれる。

人工植栽林と天然林の判別は一般に容易であり，人工林は整ったパターンを現わし，その構成も緻密であるのに反し，天然林は不斉一なパターンを表わし，その構成もあらい。

写真に写っている木のおのおのについて，その樹種を判定するには立地の条件や植物の生育の形などの多くの知識を必要とする。

最近の赤外カラー写真，その他の発達，また撮影季節を選ぶことなどで，現在では写真さえ適切にとられたものであれば，それからは非常に多くの樹種が判定される。また写真像の判定方法の進歩もこれを大きく助けている。

樹種判定についての研究は植物の反射光線のスペクトル分析，そしてこれを明りょうに写真像に表わす方法の研究，また写真濃度測定装置によってこれを数値として解析する方法など，多くの試みがされているが，一方写真像の樹形や色調をもとにして判定する方法も，古くからの多くの経験をもとにして積み重ねられ，現在最も普通に実作業で行なわれている。

この方法で具体的にとられる過程は大別して次の3つの段階にわけられる。

1)　植生の分布，または気象的に見て，その地方にあるはずのない樹種を除き去る。

2)　あると予想される樹種をその地方の生育条件や，経営条件から選び出す。

3)　これらの樹種グループの中から，写真像の形や色，位置，その他の観察によって判定する。

したがって，その地方についての知識や資料は非常に大切で，必要なものである。

地形や水系といった林木の像の上に現われる生育条件の特性は，必ずしもそこに特定の樹種があるとはかぎらないが，樹冠の形やその色調，また幹の形，枝の分かれ方などは樹種ごとの先天的な特性を示すものである。そして，系統的にこれを整理したものは樹種判読の鍵となる。

一方，写真のうえで確認される樹種の範囲は，ほとんど写真の縮尺と季節で左右されてくる。樹冠の形や枝の分かれ方などは，1/10,000 より大きな縮尺の写真では非常に有効であるが，縮尺が小さくなるにしたがってそれは困難となり，色や感触，また影などがこれに代わってくる。そして判読者の経験によって左右される分野がしだいに多くなってくる。

一般に木は横から見た方が，樹種の判定はしやすいものである。垂直写真の像は通常われわれが見る木の形と異なっており，また幹の形などはかくれてしまう。したがって，写真の中央部の木より，周辺部に近く写っているものの方が判定しやすく，また立体視をした方がよいことはいうまでもない。樹種によっては周囲の状況にあまり影響を受けないものもあるが，それにしてもごく少数のものを除いては，樹冠の形を卵形，円錐形，円筒形といったようなはっきりした形で表わしうる法則的な形のものはない。特に広葉樹はその形をはっきりと書き表わすことはむずかしい。

写真色調は前に記したような季節と，撮影フィルムの別による違いのほかに樹冠の形，葉の形，密度によって変わってくる。カエデ，カシ類の大形で光沢のある葉は，葉が小形でつやのないものより明るく，マツ類はより密で色の濃い他の針葉樹類よりはるかに明るく写る。樹冠のなかや地上に落ちた影もよく樹種を表わす。影が濃ければ，それは整った樹形とち密に葉がついていることを示し，またこのようなものは樹冠の日照部と背光部のコントラストも強いもので，淡い影は反対に広がった樹冠とまばらな葉のつき方を示すものとなる。

一般に，針葉樹の方が，広葉樹よりも樹種の判定はしやすい。それは針葉樹の方が，樹種の特性があらわれやすく，広葉樹はより不規則な傾向があるからで，たとえば疎開したところと林内での形はたいへん変わることがある。

また，どの樹種でも若い木は判定が困難なのが普通で，それはまだ特徴ある樹形ができ上っていないことが多いからである。

落葉樹の樹種の判定に紅葉期，あるいは新緑，開花期の写真を使うときには，特に撮影の日時に注意し

なければならない。

春先の写真では広葉樹は粗雑な肌目で，針葉樹よりはるかに明るい色となる。また，広葉樹のうちでも春先に葉の出る順序，あるいは葉を伸ばす速度には，樹種別の差のあるもので，ドロやカンバは最初に葉を出し，カシやトネリコはいちばん遅れるグループにはいる。あるいはイヌブナ，カエデ，ヤナギ類のように新芽が特有の色をしており，その時季の写真では他のものから区別しやすいものもある。

紅葉についても黄色，褐色，赤色と明りょうな差を生じ，それぞれ写真上の濃淡で区分のつきやすいものが多いが，一方落葉の順序はクルミなどのように特に早く葉を落とすもの，ブナ，カシのようにいちばん遅く落葉するものなどを除いては，非常にむらがあるので，これを当てにすることは危険である。

写真色調の差は，紅葉期の写真に最もよく現われるものであるが，その適期は案外に短い。そしてそのような写真でも，写真上で多くの違う樹種のあることはわかるが，そのおのおのが何の樹種であるかを判定するには，多くの植物生態上の知識を必要とすることが多い。

たとえば，生育立地的に見て特有の分布を持つものがある。もちろん，その条件に忠実に，例外なく生育するという樹種はないが，それが重要な鍵となることが多い。もし広葉樹が水分の多い土地にあったとすれば，それはブナやカシなどであるより，トチ，サワグルミ，トネリコなどである方が確からしい。あるいは岩床の露頭の多いような土壌のうすい所では，深い根をもつ系統の木は育たない，あるいは樹種によって，純林を作りやすいもの，点生するもの，また不規則に混交しやすいものなどがある。その地方で混交して生育しやすい樹種の組み合わせを知ることが，樹種判定に役だつことが多く，判定困難なある樹種が認めうる樹種と組み合っているとすれば，林分中で判読容易な樹種を見い出すことで，他の一方の樹種が推定される。また，めったにいっしょに生育せぬ組合わせを知れば，片方の樹種の判定で，一方の樹種がないことも予測される。他の樹種と協調して混交林を作る性質の広葉樹は，一般に不斉一な樹齢の林分を作る。これに反してアカマツ，ブナ，カンバのようなものは均等樹齢の一斉林を作る。

大縮尺写真で鮮明な樹像に現われる多くの要素を，系統的に整理していったとき，樹冠像をもとにした樹種のあらわれ方は，次のような鍵にまとめられる。

樹冠の形による樹種判読の鍵の例

ア．針葉樹

(ア)　樹冠が小さいか，または大きければ円錐形をなすもの

1)　樹冠はとがり，広がった円錐形，または卵形で頂上が通常丸く，枝は目だって突き出てないがやや荒い（例……スギ）。

2)　樹冠がせまく卵形をなすもの，頂上は通常丸い（例……ヒノキ）。

3)　樹冠は円錐形で落葉性，春秋きわめて明るい色調になる（例……カラマツ）。

4)　樹冠はせまい円錐形で非常に対称的，頂上はとがる，枝はそれほど目だたない，濃色（例……シラベ，オオシラビソ，トドマツ）。

5)　樹冠はせまい円錐形，頂上は写真上でしばしば鈍角となる。枝は4)より目だつ(例……モミ，エゾマツ，トウヒ)。

6)　樹冠は不規則形，ときとしてとがった頂上を持つ（例……チョウセンゴヨウ）。

(イ)　樹冠が大きく広がり，頂上ははっきりしないものが多い。

1）　樹冠は濃密で不規則形，また広がった円錐形のもの。

①　枝が目だって樹冠は不規則な円錐形（例……ヒメコマツ）。

②　枝が目だたない円錐形，濃色（例……ツガ，コメツガ）。

イ．夏の落葉広葉樹

(ア)　樹冠は整った形で濃密，大型のもの

1）　樹冠が対称的で，かつよく伸びた長形または卵形，林の小部分をなす（例……シナノキ）。

2）　樹冠が不規則に丸いか，大きな波形または房形。

①　樹冠の表面が滑らかでなく波形（例……ミズナラ）。

②　樹冠が丸く，ときとして対称的，表面が滑らか（例……イタヤカエデ，ブナ）。

③　樹冠は不規則な丸，または房形（例……ウダイカンバ，ミズメ）。

(イ)　樹冠が小さいかまたは大きければ集合形のもの

1）　樹冠は開いた形か，不規則形，明るい幹

①　樹冠は白く叉状，群生する傾向（例……シラカンバ）。

②　樹冠は白くない，分岐しない，樹幹は高く樹冠のところまで達し群生しない（例……ヤマナラシ）。

(ウ)　樹冠は中形または大形で幹は暗い

1）　樹冠は房状あるいは先のとがった形

①　幹は大きく分岐し，樹冠は房状（例……ハウチワカエデ，ヤマモミジ）。

②　幹は分岐しないで，樹冠はせまい（例……ハコヤナギ）。

2）　樹冠の頂上が平ら，または丸味をもつ。

①　幹が分岐せず枝は上向き（例……ヤチダモ）。

②　樹冠は大形，幅広く，幹分かれ大枝。

・樹冠の頂上が凹む（例……ハルニレ）。

・樹冠の頂上が凹まないで閉じる（例……カツラ）。

ウ．冬の落葉広葉樹

(ア)　先端に向かい，しだいに細くなった単一の幹が，高く樹冠の中まで達する

1）　枝が幹に対して鋭角で上向き，幹は暗い，樹冠はせまく小枝が暗く見えるもの（例……ハコヤナギ）。

2）　枝は幹から横向きに出，幹は明るい，樹冠は丸形，小枝が明るい（例……ヤマナラシ）。

(イ)　幹が下枝のところで終わるもの

1）　大きな枝が直角に出る

①　枝大きくあらく屈曲する，幹は暗い（例……ミズナラ）。

②　枝細く，非常に小枝多く密生，幹は明るい（例……ブナ）。

2）　大きい枝は幹と鋭角をなす

①　太く張った樹冠が，長い大枝または幹により作られ，小枝は下がる。

・濃密な細枝が頂部にあり，小枝は明るい（例……カツラ）。

・樹冠頂に凹みあり枝は暗い（例……ハルニレ）。

(ウ) 幹が1本で樹冠は広く張らない。

1) 幹と大枝は白い（例……シラカンバ）。

2) 幹と大枝の白くないもの

① 大枝が長く細いもの

・小さい木で群生（例……ハウチワカエデ，ヤマモミジ）。

・大木となり通常群生しない（例……イタヤ，ミズメ，ウダイカンバ）。

② 細枝があらい（例……ヤチダモ）。

③ 急に先が細くなるが，はっきりした枝を持つもの（例……シナノキ）。

なおシイ，カシ，タブなどの常緑広葉樹は常に濃色の陰影を持つ。

樹種判読，ことに広葉樹の判定に紅葉期のカラー写真（天然色）の効果は，きわめて大きい。ただし山岳地方にあっては，高地と低地の紅葉にズレがあることがあるので注意しなければならない。

赤外カラー写真は，樹種別の効果をきわめてよく表現する。しかしこの場合においても特に季節による樹種間の変化が著しいことに注意しなければならない。落葉期と新緑期の発色の差の例（Table 19）を下に示す（Fig. 4 参照）。

Table 19. 赤外カラー写真の発色例
Example of the color expression by the infrared color photographs

	落葉広葉樹	カラマツ	アカマツ	スギ	ヒノキ
落葉期12～3月	黄または淡緑	黄白	淡紅	赤紫	濃赤
新緑期5～7月	鮮紅	淡紅	茶赤	濃紅	深紅

白黒写真では赤外写真，特に春・秋季撮影のものが樹種間の色調差を強調して判定を容易にする。パンクロ写真にあっても，春秋の写真が判定に良好な結果を示すものであるが，広葉樹の樹種は，色調の移り変わりが著しい。夏のパンクロ写真は最も判定がむずかしい。樹頂の細い先端は露出時間中の航空機の飛行速度による像のブレのために写らないので，特に先のとがった樹種では，むしろ鈍頂を持つように見える場合がある。

2. 熱帯林における樹種および樹種群

熱帯地方では一地域に生育する樹種はきわめて多く，これらを個々に判定することは地上調査においても，きわめて困難な場合が多い。

過去の報告の多くは，写真上より個別に樹種の判定をおこなうことは，特殊な生育立地，あるいは特に単一のものが群落をなして生育する場合，特定の樹種といった場合を除いては困難であるとしている。

過去の報告において，写真上より判定可能とされているものには，次のようなものがある[93]。

セレベス　*Anthocephalus Macrophyllus* (Paijmans 1951)

Compnosperma sp.

インドネシア	Kapur (*Dryobalanops* spp.) (Hannibal 1952) Mangrove (*Rhizophora*), Niph (*Nipa Fructicans*), Nibung (*Oncosperma filamentosa*), Gelam (*Melaleuca* sp.), Sago (*Metroxylon* spp.)
ニューギニア	*Agathis, Araucaria* (A. D. Boon 1956)
タイ	Yang (*Dipterocarpus alatus*) (Young)
カンボジア	*Dipterocarpus intricatus* (Rollet)
セイロン	Hora (*Dipterocarpus zeylanicus, D. hispidus*), Thiniya (*Doona congestiflora*)
アフリカ	Silk cotton (*Ceiba pentandra*), Umbrella tree (*Msinga smithii*) (D. F. Francis 1957)
スリナム	Baboen (*Virola surinamensis*), Matakki (*Symphonia globilifera*) (Heinsdijk)
英領ギアナ	Mora (*Mora excelsa*), Morabuphea (*Mora Gonggrijpi*), Green heart (*Ocotea rodiaei*) (Swellengrebel 1959)

しかしながら熱帯地方において，経済的利用価値があり，調査を必要とする樹種は，全生育樹種のうち10%以下の種類でしかないであろう。したがって，写真上からの樹種判定については，個別の種類の判定より，有用な樹種が生育する可能性のある群落を判定すればよいことになる。

写真上から観察しうる樹種群の型は，きわめて多くの生育する樹種の中で，特に上層樹冠層を形成し，その地域・地況に応じた優勢木樹種で構成されるものの像であり，熱帯林においては，これらの一定径級以上に成長する樹種が，全樹種中で利用上の価値を占める割合は非常に高い。

天然林においては，樹種の出現というものは決して不規則，無統制なものではない。森林型と地況の形に応じて，一定の範囲に限られたものが生育するのである[7]。

熱帯林の林型は地域と垂直分布，また水系状態にきわめて深い関連をもつものであって，樹種，樹種群の判定はまず森林型の分類がなされたうえで，それぞれの内部でおこなわれなければならない（熱帯林の森林型の区分については後述……Ⅲ……する）。

林型によって林地が分類されたとき，その内部において存在する可能性のあるものは定まっているものであり，その範囲内での出現を調べればよいものである[57]。

各熱帯林地域の林型別に出現する有用樹種を見れば，各林型にわたって出現するものもあるが，それらは適応性に富んだ広い分布を持つものであり，また各地域に類似の樹種を見る場合はその両地域に気象，地質，地型に共通性をみとめることができる。

森林内に存在すると予想される樹種のうちの，どれがその写真上に出現しているものであるか，またその比率はどのようであるかを予察することが熱帯林での樹種群判定の目標である。

写真上からそのよりどころとなるものは，樹種による樹冠形と樹冠色調，およびそれらの交わり方である。

樹冠形は樹種固有の差をよく示すが，樹冠色調については成長，開花，落葉，あるいは立地条件，撮影条件によって変化が多く，ことに，しばしば季節に関係なく同一樹種にあっても，不規則な生育過程を示

す熱帯地方では，きわめて不確実であるとされることがある。

しかし類似した樹種群間の相違，あるいは特定樹種の発見には，それぞれの色調と，その交わり具合は重要な要素である。

樹冠の混交形は，熱帯林のみならず，すべての天然林において林分構造を示す有効な要素の一つであり，大別すれば，均等混交，塊状混交，団状混交，あるいは地質土壌因子の影響による列状混交などがある。

これらにより，森林型内をさらに分類していけば，それぞれの樹種群のうちには，次のような普遍的な群落形のあることに気づく。

1)　湿性土壌，沖積層にのみ出現するもの。

2)　1)と混生し，やや乾燥性平地にも出現するもの。

3)　乾燥性地帯にのみ出現するもの。

4)　急傾斜地に多く現われるもの。

5)　岩石地に出現するもの。

6)　湿地帯，河岸，旧河床にのみ現われるもの。

これらは，前記の林型別に存在が予想される樹種に属するものが，それぞれの環境に応じて分布するものである。

写真上で明らかに判定しうる特定の樹種があるときは，たとえその樹種がなんら開発上に有用ではないものであるとしても，それによってその樹種と一社会を形成する樹種群を見いだす重要な鍵である。

3.　樹高観測

1)　樹高の測定

樹高はどのような場合でも重要な森林の測定因子である。それを測ることは測量分野での比高測定と変わるところはないが，通常森林を対象にした場合は，測定用の器材としては簡単な視差測定桿，あるいは視差楔が普通使用される。また，完全に地表が樹冠でおおわれている林内の樹高は，測ることができない。測ることのできる木の樹高は，疎立した林の木，あるいは林縁の木にかぎられる。しかし測定木と対比することによって，一般に目的に対しては十分な精度で樹高の値が得られるのが常である。

樹高の測定には3つの基本的な方法がある。

それは

1)　単写真で木の根元と頂点の像のズレの長さから測る方法。

2)　1対の重複写真から樹頂と根元の視差差を測定する方法。

3)　影の長さによって測る方法。

またこれらの数値測定やその他の参考となる資料や知識によって，判定の基準を知ることにより立体像を観察して樹高を比較目測することも，有効な方法である。

測定の方法の細目については省略する[52)61)65)84)]。

2)　樹高測定の精度

樹高の測定は一般の写真測量における標高測定と異なり，地表と樹頂の比高の測定である。また測定器材は反射立体鏡と視差測定桿を原則として使用し，写真も測定機械を使用する場合と同様に厳密な相互標定がおこなわれず，近似的に再現された模像を使用する。

樹高測定の精度に影響をおよぼす要素のおもなものには，他の判読測定における場合と同様に，感光材料，写真縮尺，焦点距離，撮影時刻，樹型，林の構造，地形，測定技術と方法等であり，特に樹高測定を目的とした場合は，像の細部がよく現われていなければならない。縮尺は像の判別と数値を読み取る精度を左右する第一のものである。樹冠の直径にあっても1/20,000写真では，1 m 以下のものは正確な判定がしにくいと同様に，樹高にあってもこの場合は，直径1m の樹冠部分以上の梢端は，正確にとらえられているかどうかわからない。

$\Delta h=(H/b+\Delta p)\Delta p$ の視差式[52)65)]を使って樹高測定をおこなう場合を例にとって見れば，樹高測定の精度は H…撮影高度，b…写真基線長，Δp…視差差のそれぞれの測定の精度がこれを左右する。

（1） 撮影高度（H）の測定誤差

写真撮影高度は通常モデル内の標高の知られた2点，または3点の基準点を用いて算出するが，近似標定の場合，また基準点の平面座標を視準成果表からでなく，1/50,000 地形図上等より測定した場合は，通常3% 前後の誤りを認めねばならない。これは直接に測高値に影響を及ぼすものである。

通常，林野撮影に用いられる撮影高度約4,000m において，約100m 前後の H の幅に相当する。

（2） 視差差（Δp）の測定誤差

写真像の鮮明さは，特に Δp を測定するとき，樹頂の位置と地表の位置の判定の正否の最大の原因である。また，航空機の早い対地速度によって，木の梢端の像がブレることによって生ずる樹頂のボケは「樹高の消失」といわれ，過小推定の原因となる。すなわち，Fig. 16 において，シャッターの開き始めのときの木の位置がAであり，閉じたときの位置がBであったとすれば，樹冠像は斜線部が濃く，その前後に若干のボケがある。今航空機の速度を 300 km/h (83.3 m/sec)，シャッタースピードを 1/300 秒とすれば，AB間の長さは 27.7 cm である。したがって，直径約 8 cm から上の樹冠像（Xの部分）は，たとえその木がいかにち密で，はっきりした樹冠をもっていたとしても明りょうでない。これは尖形の木ほど大きい。したがって，浮標を樹頂にあてるとき，写真像で確認できるのは T の位置でなく，T' またはさらにそれより下になるおそれが生ずる。地表の確認できるのは反対に草生やハレーションによって像が不鮮明になることがある。これらには個人的傾向性の誤差と偶然誤差の両者がある。

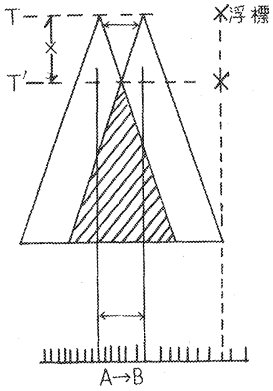


Fig. 16 樹高の消失
Image movement in exposured time.

（3） 基線長（b）の測定誤差

通常写真基線長（b）は，撮影基線（B）の写真上の長さで求められるが，それが正しく $B(f/H)$ になっているのは，主点と鉛直点が一致している場合である。写真の厳密標定が行なわれず，また（b）の測定に主点が使われた場合，たとえばカメラに 3° の傾きが撮影方向，外むきに生じた場合，写真基線は垂直点間の長さより長く測られ，$H=3,000$ m，$B=900$ m であった場合，普通角写真で傾きのない場合には

$$b=B\times\frac{f}{H}=\frac{900\times210\text{mm}}{3,000\text{m}}=63\text{mm}$$

となるが，この場合には

$$b' = b + \tan 3^\circ \times 210\text{mm} \fallingdotseq 74\text{mm}$$

となり，もし両写真が外側に3°ずつ傾いていれば同様にして（b）は85mmとなる。

このとき Δp が 0.4 mm と測られたならば，傾きのない写真では $\Delta h = (3,000/(63+0.4))0.4 = 19.05$ mと樹高は測られるが，$b = 74$ mm のときは 16.21 m，$b = 85$ mm のときは 14.12 m となる。

すなわち，非常に大きな誤りがそのモデルにあらわれる。

これらを総合して樹高測定の誤差を簡略式より求めて見ると，

$$\Delta H \fallingdotseq \Delta \frac{H}{b} \Delta p \quad \text{より} \quad \frac{\partial \Delta H}{\partial b \cdot \partial H \cdot \partial \Delta p} = -\frac{H \cdot \Delta p}{b^2} \partial b + \frac{\Delta p}{b} \partial H + \frac{H}{b} \partial \Delta p$$

となる。

いま $b = 150$ mm のとき

第1項　b の測定に ∂b の誤りがあったときの樹高測定誤差 $\partial \Delta H$ の値は，

∂b	0.5mm	1.0mm	2.0mm	5.0mm	10.0mm
$\partial \Delta H$	8 cm	15 cm	31 cm	77 cm	153 cm

となる。

同様にして第2項より，撮影高度 H の測定に ∂H の誤りがあったとき，$\Delta p = 1.0$ mm に対する測定誤差 $\partial \Delta p$ は

∂H	50m	100m	200m
$\partial \Delta p$	28 cm	56 cm	112 cm

また第3項より樹高の視差差測定に $\partial \Delta p$ の誤りがあったときの樹高の測定誤差 $\partial \Delta H$ は $b = 180$ mm，$H = 5,000$ m のとき

$\partial \Delta p$	0.01mm	0.03mm	0.05mm
$\partial \Delta H$	28 cm	83 cm	140 cm

となる。

いま，一般的に考えられる範囲として，b の測定に1mmの誤差があり，H の測定に100m，視差差測定に0.03mmの誤りがあった時の $H = 5,000$，$b = 180$ mm の写真では，総合された結果として樹高測定誤差は

$$\partial \Delta H = \sqrt{0.15^2\text{m} + 0.56^2\text{m} + 0.83^2\text{m}} = 1.01\text{m}$$

となる。ただしこの場合，b そのものには前述の傾きによる誤差がないものとした場合である。

視差の測定には焦点距離の短いカメラで撮影されたものの方が，長焦点カメラによるものよりも大きい視差差を持っているので好都合であるが，一方，樹影法では短焦点によるものは，頂部のズレが大きく正確な根元位置を決定しにくいことがある。像が鮮明であれば，撮影時刻が樹高測定に影響を及ぼすのは樹影法による場合の方が大きい。最もよい影の長さは樹高の半分ぐらいとされている。

要するに樹高測定の技術とは主として，正確に樹頂を判定することと，地表の位置を確認することである。

樹冠が地表を完全に被覆している森林，ことに地形に変化のある林分では，地表位置を定めることがもっとも困難なことで，しかもこれは「樹高の消失」などと異なり，補正できぬ偶然誤差の原因である。

この両者にとって写真測定の熟練と，樹種，樹型および地形に関する知識を得ることによって，測定者の判断能力を養成することが肝要である。

林分の写真判定樹高は通常平均樹高，または上層木平均樹高の値として求められ，これらはその林分の地上実測平均樹高，または上層木平均樹高と非常に高い相関を示すが，直接それらを推定目的とすることはなく，主として林型区分の基準を作成するのに用いられるものである。

4. 樹冠疎密度の測定と判定

1) 樹冠疎密度の測定

樹冠の疎密度は，一般に樹冠像の地表被覆度で測られる。

樹冠の被覆度は，地表面積に対して樹冠像によっておおわれた地表部分の面積割合をいう。これは写真を立体視することによって，地上調査よりも正確な観察をすることができるが，適正な縮尺をもち，また鮮明な写真を使用しなければならない。樹冠被覆度の測定は，透明板に印刷された点格子によっておこなわれる方法もあるが，主として用いられるものは，樹冠疎密度板との比較による目測判定である。

写真が良好であれば，立体視によって林分中の空間を細かく認めることができるが，小縮尺の写真やコントラストの強い写真では，これが不明りょうとなり，過大に推定しやすい。1/20,000 以下の小縮尺写真では精度は著しく低下する。それは像の鮮明度とともに樹影の地上に投ずるものと，隣接する木に投じているものとの区別がつきにくくなるからである。

写真判定に比べると，地上調査値の被覆度は一般に少なく見積もられる傾向が強い。

樹冠の被覆度が材積に大きな関係を有する林分では，その測定値は胸高断面積との関連も大きく，地上調査での林分密度と同じく森林測定の重要な要素である。しかし，この被覆度は必ずしも蓄積と比例するものではない（後述）。

多くの樹種では，幼齢林は高い被覆度を持ち，正常蓄積を持った壮老齢林は，比較的に低い被覆度を示すことが多い。

2) 樹冠疎密度の測定誤差

写真観測による樹冠疎密度は，濃度測定装置による機械的観測を除いては，肉眼判定によっておこなわれる。この判定には判読者の経験，熟練などによる心理的な作用が多分に加わるものである。実験の結果によると，疎な林分は過大に，過密な林分は過少に判定される傾向がある。そしてこれらは，疎密度板（CDS）を使用した場合，その効果は熟練者においては著しく認められるが，未経験者にはほとんどみとめられない。その実験例[96]を下記に示す。

（1） 資　料　　5～95% の 5% 階の対地被覆度を示すモデル大小 2 種類，各% 6 枚，計 114 枚を作成，ランダムに配列。

（2） 判定者　　4 名

（3） 結　果　　判定結果の分散分析表は Table 20 のごとくである。

Table 20.　樹冠疎密度判定結果の分散分析表
Analysis of variance of the crown density interpretations

変動因 Source of variation	*d. f.*	*SS*	*MS*	*F*	*MS*により推定されるパラメータ
疎密度%間 (*D*)	18	22,641.83	1,257.88	78.1**	$\sigma^2+msw r\sigma D^2$
判定者間 (*M*)	3	2,889.62	963.21	6.5**	$\sigma^2+swr\sigma MD^2+swdr\sigma M^2$
基準板有無間 (*W*)	1	123.70	123.70	1.3	$\sigma^2+msr\sigma WD^2+msdr\sigma W^2$
CDSE間 (*S*)	1	429.40	429.40	7.2*	$\sigma^2+mwr\sigma SD^2+mwdr\sigma S^2$
M × *D*	54	8,047.09	149.02		$\sigma^2+swr\sigma MD^2$
W × *D*	18	1,675.98	93.11		$\sigma^2+msr\sigma WD^2$
S × *D*	18	1,069.30	59.41		$\sigma^2+mwr\sigma SD^2$
Error	1,520	24,488.33	16.11		σ^2

D…Between density,　M…Between interpreters,　W…Between scale,　S…Between CDSE.

すなわち，

i. 判定者によって，過少あるいは過大に判定しやすい傾向の差がある。

ii. 疎密度によっても正確さに差がある。

iii. 資料の種類に差はない。

iv. 疎密度の%間における判読誤りの差は大きく，その判定値の傾向は前述のとおりであるが，各判定結果の平均値とそれぞれの分散を Fig. 17 に示す。

この図より次のことが知られる。

1) 疎密度 10% の点生林分では，約 6% 近く過大に判定し，50%，85% の林分では 4～5% 近く過少に判定する傾向がある。約 40% 付近は最も誤りが少ない。

2) 過疎，過密を除き約 20～75% までの間は，ほとんど等しい判読誤差の分散をもつ。

3) この結果，各%均等数の資料を判定した結果は 30～45%，60～80% 付近に適正な判定値が多く，判定値を最も疎，密な値，および中間からさける心理的現象があらわれる。

なお疎密度板を使用した場合，未経験者において的中率 71%，分散 3.9% であったものが，経験者では的中率 86%，分散 1.5% の明りょうな差を示し，経験者に有効であることが現われた。

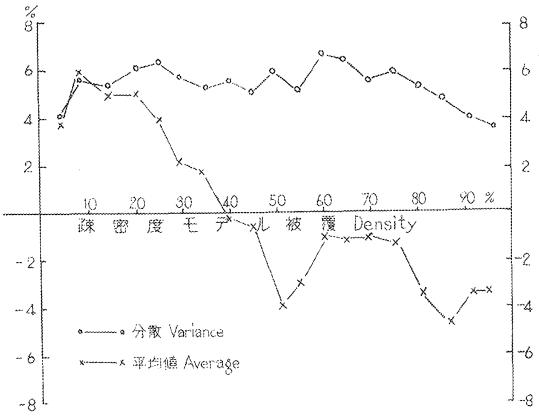


Fig. 17　疎密度判定誤差の平均値と分散
Analysis of the crown density interpretations.

5.　立木本数の測定

立木本数の算定は，比較的個人誤差が少ない測定値がえられる。しかしながら，写真で観察しうるものは上層の樹冠層を形作っている木の像であり，判定しうる単位面積当たりの立木本数は，上層樹冠層を形成している立木本数についてである。複層林の場合，測定木には一般にはいわゆる主林木と副林木の大部分が含まれる場合が多い[116]。

林分では，上層樹冠層の構成を知ることによって下木の状況を推定しうる要素は多いが，数値として測定されうる立木本数は，写

真上立木本数が測定できる条件として，一本一本の立木が像の上で指摘できることを原則とすれば，それは樹冠疎密度が70%以下の場合であり，また写真縮尺も十分に大きいことが必要となる。日本の森林，ことに人工林の大半は75%以上の樹冠密度をもっているので，写真からの全立木本数の測定値そのものは，林型や写真条件を考慮の上で取り扱い方を考える必要がある。

写真による本数測定は，いかにも容易そうに思われ，また実際に何の技術もなく数値が求められるものであるが，それが直ちに林分を整理する要素として適切であるかどうかは別問題である。その理由は小縮尺写真では，写真上の単位面積内で数えうる木の本数には限度があること，小縮尺写真では木の頂上は消失して鈍頂となり，観察の単位は個々の立木でなくて感触でしかないことである。

たとえば，1957年に実施した天城地方における実験例では，1/20,000写真上で，ヒノキ人工林において樹冠被覆度80%以上，立木本数800本/ha以上の林分では，実際の本数に関係なく，ほとんど同じ本数でしか読みとれず，スギにおいてもほぼ同様で1,000本/ha以上の林分では実際の立木本数がふえていっても，それにつれて数えられる写真上の本数の値はふえてこない[101]。

また1955年，山梨県下で実施したカラマツ人工林の調査[101][108]においては，写真条件も不良であったが300本/ha以上となると，急速に精度は低下した。

スギ・ヒノキおよびカラマツの上記試験では，1/20,000縮尺の写真では，写真測定立木本数との相関(Table 21)は次のごとくである。

Table 21. 実際の立木本数と写真測定立木本数との関係
The relation between no. of standing trees and their measurements on aerial photographs

地域 Locality	樹種 Tree sp.	相関係数 r	実施年 Test date	備考 Remarks
山梨県東山梨郡 Yamanashi pref.	カラマツ(人)	0.604	1954	30年二段林
〃	広葉樹	0.765	〃	
天城 Amagi	スギ 30年生	0.82	1956	

原写真の縮尺が1/10,000～1/5,000と大きくなれば，本数値はしだいに現実の立木とよい相関を示すようになる。樹頂が見やすくなることと，読み落し，誤りが少なくないからである。

写真による本数の算定が一般に過小推定されやすいのはいうまでもなく，小さい樹冠や低い樹高の木を見落すのに原因があり，また樹種による像の鮮明さの違いにも大きな原因がある。

明りょうな円形樹冠で散生している林分であれば，小縮尺の写真でも正確な本数を読みとることができるが，逆に密生したアカマツ林や広葉樹林などでは大縮尺でも正確な判定が困難な場合がある。

本数算定は普通サンプルプロットを選び出して行なうのが能率的である。選ばれた地点は直接写真上に区画線を入れるか，または単位面積の大きさを区画した透明板を写真に重ねて，ライトテーブルの上でその内部のものを読みとる。これらのプロットの大きさは少なくとも20～30本以上の樹冠が見られる木を含んでいなければならない。そして，小さすぎるプロットが十分な標本数値を示さないのと同様に，大きすぎるプロットも算定の効果が悪い。ただし構成が不均一な林分や散生した林分では，プロットは大きくなければならない。

またこのプロット選出の一つの変形として，原点を選び，その点で直交する一定の長さの2直線を引

き，その直線上にかかる樹冠を読みとり，これを測定値とする方法もおこなわれる[109]。

次に考慮しなければならないのは地形の変化，土地の高低による縮尺の変化に基づく写真上のプロットの大きさの変化であり，その補正をおこなわねばならない。

樹冠被覆度の測定が，均一な構成状態であるが個々の樹冠を明りょうに分離しえぬ壮齢林分において，また中小縮尺の写真による測定を行なう場合に有効であるのに対して，樹冠本数の測定は，中以上の縮尺で樹冠がよく区別され，分離される林分，ことに不均一な過熟林分では，林分構造の要素として有効な数値が得られることが多い。

写真測定による立木本数は，通常その林分の ha 当りの値として求められる。それらは他の測定因子や材積と密接な相関を示すことが多く，既往の実験結果には下記のものが現われている（Table 22)。

Table 22.　写真測定による立木本数と他の測定因子との関係
The relation between no. of standing trees on the aerial photographs and the other measured items

地域 Locality	樹種 Tree sp.	他の因子との相関 r. with other items	実施年 Test date	備考 Remarks
山梨県東山梨郡 Yamanashi pref.	カラマツ　人工林	樹冠面積合計　0.605	1954	30 業報
〃	〃	材積　0.820		〃
静岡県天城 Amagi	スギ　21～30年生	〃　0.860	1958	航測概要
〃	〃　41～60年生	〃　0.831	1956	〃
〃	〃　〃	平均胸高直径　−0.933	〃	材積表
〃	〃　〃	平均樹高　−0.890	〃	〃
〃	〃　〃	材積　−0.876	〃	〃

これらはいずれも標本調査のサンプルプロット判読の値であって，用いられたプロット数は22～100の間である。

なお天城地方スギにおいては20年生以下と21年生以上において，2群の異なる性質が現われ，推定式，相関係数は著しい変化を生じる。これは間伐，その他の施業による立木本数の移動差の相違によるものと思われる。

6.　樹冠直径の測定

空中写真による樹冠直径の測定は，地上調査よりも早く，また中以上の縮尺でははるかに正確に行なうことができる。しかし，写真測定値は地上調査の数値と直接比較されるものではなく，写真上では突出した細い枝条先端や，隣接木樹冠との重複部などは測定できないので，一般に地上調査値よりも小さく現われる。しかし，これはかえってその木の持っている生育空間の判定を可能にするので，材積との関係を正確に示す傾向が多い。

写真像では胸高直径を測定することができない。それにかわって測定しうる因子として，樹冠直径がとられることがある。樹冠直径は疎開した林分，すなわち個々の立木の樹冠，はっきりと写真上でも区分できる林分や，樹高の斉一な林分ではよい測定値がえられ写真材積表の因子等に使われる。

樹冠直径はどのような方法でも測ることができるが，一般に用いられるのはウェッジスケールで写真中心からの射線に直角方向の樹冠直径の大きさを測る方法と，ドットスケール（樹冠直径尺）の点を像の上に次々と当て，一致した点の大きさを読む方法とがある。立木本数の場合と同じく縮尺の補正を常に心が

Table 23. 樹冠直径と他の測定因子との相関係数
Correlation coefficients between crown diameter and their items shown in the table

地域 Locality	樹種 Tree sp.	他の因子との相関 Correlation coefficients between crown diameter and items shown in the table		備考 Remarks
山梨県東山梨郡 Yamanashi pref.	カラマツ人工林	立木材積 Volume	0.741	1953 昭30 業報
〃	〃	立木本数 No. of tree	0.791	〃 〃
静岡県天城国有林 Amagi, Shizuoka pref.	スギ30年生人工林	立木材積 Volume	0.846	1956 写材
〃	〃	立木本数 No. of tree	0.845	〃 〃
〃	〃	樹高 Tree height	0.761	〃 航概
〃	スギ40～60年生人工林	立木材積 Volume	0.721	1958 〃

けねばならない。プロットの選定，その他実施方法も同様である。

樹冠直径は樹高と高い相関関係を持つことが多く，また疎密度，立木本数との相関も大きい。したがって，もし林分が樹高階，疎密度で区分されるならば，樹冠直径による区分は二次的にそのなかに包まれる結果となるのが常であって，特にこれを独自な要素として使用する場合は，

1) 上記の因子を固定した場合

2) 樹高階区分ができない場合

3) 大縮尺写真であって立木本数がよく観測しうる場合

等にかぎられてくるであろう。また錯そうした天然林においても，優勢木や一定径級以上のもののみの測定を行なう場合，たとえば熱帯広葉樹林等では有効な測定要素である。

米国，北方系広葉樹に関して M. J. Ferree は数多くの樹冠面積を変数とする写真材積表を作成している[2)]。

また，既往に実施した試験による結果には次表のごとき結果を示している（樹冠面積に換算したものを含む)(Table 23)。

Ⅲ　空中写真による森林の類型区分と整理

森林を分類，整理し，その構成状況を明らかにすることは調査の基本的手段であるとⅠで述べたが,「どのような分類型の規準を定めるか」が第一の課題である。

それは調査の目的と，要求される精度によって定められるものであり，また写真条件や工程，経費にも左右される。その分類の要素は前章で述べた写真像においてもっとも効率よく，また誤りなく求められる林分構造や立地条件の要因であり，同時に森林の経営や管理，開発上の単位として重要な項目であるものでなければならない。なお区分に当たっての基本的問題として取り扱う面積単位，すなわち，林分の広がりの最小区画面積が調査目的によって定められねばならない。森林を写真によって細分してゆけば，ついには単木単位になってしまう。そのような区分は大縮尺写真を用いた地上作業との結びつきの場合には必要な区分ではあるが，一般に森林の取扱いは広がりをもった林分としての単位によって区分され，整理されねばならない。必要以上の細分化はむしろ効率を低下し，さらに誤差の原因となるものであって，常に調査目的に応じた判定精度の上から，また作業工程の上からの効率的な区分の基準が定められねばならない。

この区分判定の結果を確認し，補正する作業は今一つの重要な課題である。

1.　林型区分の基準

林型区分の要因としては通常次のものが用いられる。

1.	天然林・人工林	Natural and artificial forest
2.	樹種および樹種群	Tree sp. and their group
3.	混交割合と混交型	Mixture percentage and mixture type
4.	樹冠層構成	Crown story composition
5.	樹　高　階	Height class
6.	樹冠疎密度と樹冠疎密度型	Crown density and its type
7.	立木本数階	Stand density
8.	樹冠直径階	Crown diameter
9.	そ　の　他	Other

すなわち，図示すれば Fig. 18 のごとくである。

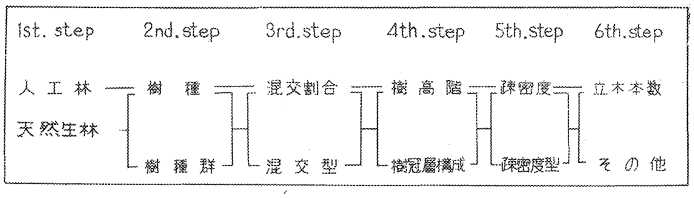


Fig. 18　林型区分の流れ図
Flow chart for forest type.

ただし，区分には上記の各要因すべてが常に用いられるというのではなく，必要に応じて選定されるものである。

1.　天然林・人工林区分

天然林，人工林の区分は一般に最も明りょうに行ないうる区分である。

樹像構成の変動の大きい天然林にくらべ，幾分なりとも人為の加わった森林は，常に斉一化への様相が見られるものである。ことに人工植栽林は，はるかに均一化されたパターンを示す。

しばしば判定の困難を生ずるものはアカマツ天然更新林分，広葉樹二次林，災害跡地での更新林分である。

いうまでもなく植栽の記録は重要な参考資料である。

2.　樹種および樹種群

針葉樹，広葉樹の別は，色調，樹冠型等により一般に明りょうである。

人工林においては主要樹種は限定されており，日本の主要樹種であるスギ，ヒノキ，アカマツ，カラマツ等の針葉樹はいずれも明らかに区別しえられ，また区分しなければならぬ要因である。

広葉樹は特に用材を目的としたもの，特用樹林（果樹，風致林を含む）等以外は樹種別区分の必要性は少ない場合が多い。

天然林においては地域，標高，位置により，おおむね存在する主要樹種は決定され，針葉樹は上記4樹種およびヒバの他は「天然生針葉樹」として一括してよいことが普通である。

ただし，北海道では可能であればエゾマツ，トドマツの区分が期待される。広葉樹では一斉林についてはブナ，ナラ，カンバなどの有用広葉樹区分は必要であり，その他は便宜的に一括して取り扱ってもよい。

各樹種が混交して生育する天然広葉樹林は，単に「広葉樹林型」として区分することで十分なことが多い。

3.　混交度と混交型

樹種の混交度によっての区分は，天然林における針，広区分が第1段階であり，さらにその内部の樹種混交，また人工林での樹種混交は，調査の要求によって加えられる。

混交度は写真上からは，樹冠の占有度で区分される。針（N），広（L）混交の場合，針葉樹，広葉樹それぞれの純林（ともに樹冠占有率75％以上）と混交林型の，3段階に分けるのが一般的であるが，さらに詳細を要する場合は

N	NL	N/L	LN	L
>75%	>55%	50/50%	>55%	>75%

の5段階とする。この作業は樹冠疎密度板による比較観察で行なう。

混交型は，樹種が交わり合って生育する形の写真観測上の大別である。

樹種の混交状況を示すものとしては次のような区分が適切である（（　）内は記号）。

1）　均一混交（*U*）　全面均等に樹種が混生する。

2）　塊状混交（*G*）　群状，または塊状に他樹種が混入する。

3）　団状混交（*H*）　群状より大きな集合体として樹種が交わりあう。

この混交型は，天然林において森林の生態，または推移要因を求める場合，写真上より見る有効な要素である。

4.　樹高階

樹高階は上層木平均，あるいは林分平均樹高階によって，5m，10m，15m等，樹高値による均等区分

を行なう例（判読基準資料等），あるいは林分の林齢，施業による林分構造を主体としての区分（経営案調査等）があるが，いずれの場合も区分基準の主眼は次の点にある。

1) 同一樹高階内での調査目的項目（たとえば，材積調査ではそれぞれの ha 当たり材積）の変動が，なるべく小さくなるような区分とする。

2) 施業，作業，管理などの目的にそってそれぞれの区分が取扱いの異なる等の区分の意義をもつこと。

3) 区分が林型の他の要因にとってもできるだけ誤りなく行ないうる階層分けであること。

このような観点から分類の基準は，数値的な区分の場合を除いては次のごときものに置くのが適切である（(　) 内は記号）。

1) 新植地（Y）　材積計上に至らない更新地。

2) 幼齢林（S または H_1）　除伐その他，手入れを要する林分。

3) 小丸太林（B_1 または H_2）　保育間伐を要する林分。

4) 用材林（B_2 または H_3）　収入を目的とした間伐，あるいは小，中径木用材を生産する林分。

5) 大径木林（D_1 または H_4）　伐期に至ったもの，または大径材生産を目的とする林。

6) 老齢林（O_2 または O）　世代の交替が予想される林。

一般に樹高階区分は，何mごとに区分するかは樹高値よりも林分構造，またはその林分の取扱いによるものである。

既往の試験について行なった区分例を Table 24 に示す。

この区分に当たっての樹高の判定は，その林分，または林木がどの階層に入るかについて行なうものであって，視差測定桿などによる個々の立木の測定値は，その判定の基準を定めるために用いられる。

Table 24. 樹高階区分例
Height classification examples

スイス国有林（人）Swiss state forest (artificial)	沼田国有林（天）Numata national forest (natural)	天城国有林（人）Amagi national forest (artificial)	白河国有林（人）Shirakawa national forest (artificial)	四万国有林（人・天）Shima national forest (art. & natural)	倉淵民有林（人・天）Kurafuchi private forest (art. & natural)
Y 0～10m	H_1 0～10m		Y 9m以下	H_1 2～8m	H_1 9m以下
S 10～15	H_2 10～20	1. 15m以下	B_1 10～14	H_2 9～13	H_2 10～14
B_1 15～20	H_3 20～	2. 16～20	B_2 15～18	H_3 14～17	H_3 15～18
B_2 20～30		3. 21～	O 19～	H_4 18～	H_4 19～
O 30～					

注）天城国有林例は 30 年生以上を対象とした。

5. 樹冠層構成階

複層林ことに天然林では，樹高階のみで林分の構成を表わすことはできない。ことに径級構成との関連を示す要素として樹冠層の構成を区分することが有効である。

樹冠層の構成は小径木の層をY，中径木をB，大径木をOとすれば，このY，B，Oの 3 組の組合せで通常は下記の 10 とおりのタイプで表わしうる（Fig. 19）。

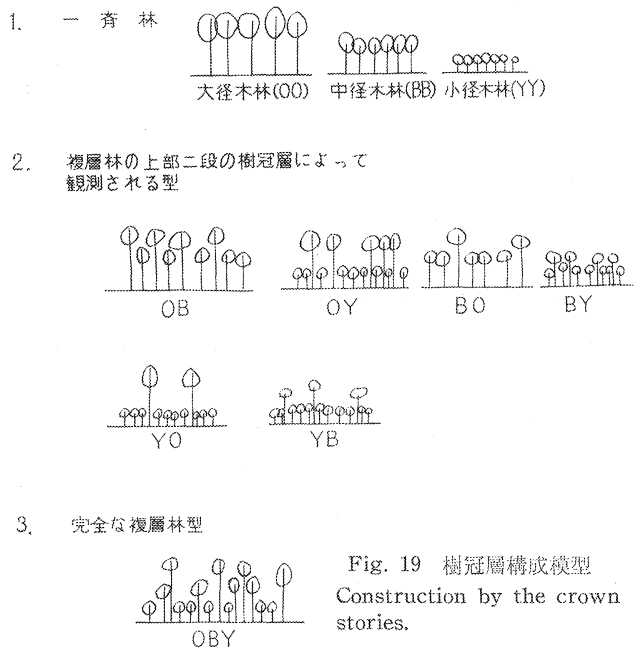


Fig. 19　樹冠層構成模型
Construction by the crown stories.

6.　樹冠疎密度階

樹冠疎密度区分は林分構造上きわめて有効な要素であり，特に天然林においては時によって樹高階よりも明りょうな基準である。

その区分は，点生（0～10%）を未立木地としたときの疎，中，密の3段階から，これを含めた6段階までを用いる。

そのそれぞれに対応する樹冠の対地被覆度は，下表のごとくである。

Table 25.　樹　冠　疎　密　度　区　分
Classification for the crown densities

6段階区分　6 classes	5段階区分　5 classes	4段階区分　4 classes
0～10%（点生）	0～10%（点生）	0～10%（点生）
11～20　（散生）	11～20　（散生）	
21～40　（疎）	21～50　（疎）	11～40　（疎）
41～60　（中）		41～70　（中）
61～80　（密）	51～80　（中）	
81～100　（過密）	81～100　（密）	70～100　（密）

7.　樹冠疎密度型

混交型と同じく，樹冠の地表被覆の形態を均一（U），群状（G），団状（H）の3型に区分する。すなわち，いうならば完全被覆形に比べて均一疎開型，群状疎開型，団状疎開型と見なせば理解しやすく，天然林や人工林での枯損被害，あるいは表層土壌の荒廃などの過程には，直接写真上に出現する。

森林の推移を求める必要のある調査では有効な要素である。

8.　立木本数階

立木本数は単位面積区画を写真上に設定し，本数算定を行なう場合も，その数値を参照して階層区分を行なう。疎密度に準じた，多，中，少の3段階が最も一般的であるが，区分が多くなれば誤りは木の大きさ，縮尺に大きく影響される。

9.　樹冠直径，その他

前記の各要素のほかに，樹冠直径階等が熱帯林区分に用いられ，有効である場合がある。

樹種区分を行なわずに，上層樹冠層を形成する優勢木のみを対象とした場合，これは有用樹種群の区分を示すことが多く，利用材積級区分に関連する[98]。

また草地調査の場合，草地について下記のごとき区分形が要求される場合がある。

長草型（T），短草型（S），ササ型（Sa），ワラビ型（Fn），雑草型（Ba）

これらの写真上の区分は，写真条件，とくに縮尺と季節によって大きく左右される。

林地の地床植生について

ササ（疎…S_1，中…S_2，密…S_3），低木（b），その他（a）

等の区分が必要とされる場合もあるが，林木の樹冠を透しての観察であるので，陰影と植生像の混同が生じるので，フォールス　カラー写真以外では困難なことが多い。

10.　熱帯林の区分要素

熱帯林での森林型の区分は，前記の各要素による区分に先立ち存在する地域の垂直分布，また水平分布ときわめて深い関係のある森林型の区分を行なうことが必要である。この区分は写真上より最も的確に行ないうる分野であり，また最も効果的な作業でもある。

熱帯林の区分については，既往より各地域ごとに地上調査による区分例[69]があるが，それらを総合して見れば，次の形およびその複合型，あるいは局地的な細分型と見ることができる。

すなわち，

1）塩水湿地林　Salt water swamp forest
2）海　岸　林　Coastal forest
3）淡水湿地林　Fresh water swamp forest
4）河岸浸水林　Undulated scrub forest
5）低　木　林　Dwarf forest
6）低　地　林　Low land forest
7）丘　陵　林　Hilly forest
8）山　岳　林　Mountainous forest
9）泥　炭　林　Peat forest
10）石灰岩林　Limestone forest
11）草　　原　Savanna

これらは，それぞれの森林型における安定型であり，その間には，天然，または人為による破壊形，あるいは推移の過程にある混交形や二次林形態が存在する。

これらの区分の内部において，上記各要因による区分が行なわれねばならない。

ここに，森林型の1例として，熱帯林の写真を示す（巻末写真 6）参照)。

2. 林型区分図の作成

1. 林型の表示

写真上で判読した林型は調査目的によって選ばれた分類系によって区分けし，その林型の境界線を写真上に記入するが，分類系は繁雑をきたさないようにしなければならない。

必要以上に細分化した分類は誤差の原因ともなり，また判読結果を検討することに余分な気力を必要とする逆効果をもたらす。

広面積を対象とした多目的調査では，一つの調査区域内で多くの分類の形が現われてくるが，一般に本邦における森林調査では一地域で20，ないし30の型に整理されるのが適切であろう。

これらの林型は，写真上に判読記号で記入される。

判読記号は，樹種（例：ス…スギ，ヒ…ヒノキ，カ…カラマツ，○…広葉樹，等）。樹高階（H_1, H_2, H_3, H_4 等）。疎密度（1, 2, 3, 4, 等）の順にならべた記号で表わす。たとえば，〔カ H_4 4〕はカラマツ，樹高階20m以上，樹冠被覆度80%以上の林型をあらわす。

なお，前述の区分最小面積単位は，写真上からの条件としては1/10,000写真で1 cm² 前後が適当であろう。それは現地との対応の可能性，当該森林の取扱いの最小単位によって定められるとともに，その林型内の変動の多少によるものである。あまり小さい面積単位の林分は，その林型の示す性質や変動の値を代表しない。通常，斉一な人工林にあっても地上調査値では40×40m以上が望ましい結果となっている（昭43，林試経営部業務報告）。ただし新植地，幼齢林のように特に表示を必要とするものは，これ以下のものも区分する。

林型分類は基準となる林型の写真像を確認して，写真上で立体観測により行なう。

写真上の記入は次の手順によって行なうことが適切である。

1) 対象地域の区域境界，所有界，経営区界，林小班界等の管理区画線を基本図，その他の参考図葉を参照し記入する。これらは森林の構造には二次的に関与するものであるので，時には写真上のみで決定できず，現地で聞きとりなどにより確認しなければならないこともある。

2) 除地，河川敷，道路敷など調査対象外地域を区画する。

3) 林型の区分は前に記した森林観測の区分基準に従って行なわれるが，まず天然林，人工林，幼齢林，未立木地を区分し，ついでそのおのおのを樹種別，樹高階別，疎密度階別，等に細分する。この際，写真判読に疑問を生じた個所，また類似した分類型の境界線等は現地で検討する必要があるので，その個所や位置を明らかにしておかなければならない。

2. 判読境界線の平面図への移写

写真上に記入された林型区分の境界線は，通常1/5,000地形図上に移写する。等高線地図であれば，写真立体視により地形との見取り記入が可能であるが，面積図であるときはあらかじめ地性線を記入して正確を期する。ステレオマスターを使用することは熟練すれば能率的であり，また精度を高める方法である（作業の細目等は省略する）。

3. 林型区分の現地検討

1) 現地検討作業の性質

前節までに述べたように，写真利用による森林調査は，写真の観測と判定によって整理された情報が主

役を演ずるものである。

そして現地での作業は，その結果を確認し，また検討して誤りを正し，または写真像からは得られない資料を補うことが目的となる。

とくに現地での作業の最も主要なものに，写真撮影時と調査時の森林の変化の補足がある。

この作業は調査精度の要求度が高いほど，また対象とする森林の利用度や経営の集約度が高いほど，重要さを加速度的に増加してゆく。

したがって，集約林地と未開発林地とでは，路網や林相の状態，また写真の条件など，もちろん異なってはいるが，さらに調査の方法自体に多くの相違がある。

実際面から，判読結果の検討と補正を目的とする作業と，地上調査でなければ得られない資料をうるための作業との2者がある。後者の例としては，材積調査を目的としたときの標本プロットやブロックの材積，成長錐資料，また土壌や地質調査を目的としたときの，それぞれの測定，または利用，土木調査に対する現地での局所地形や横断面の測定，また杭打ちなどの作業である。

この補足の作業は，第一の確認，補正の作業の成果に基づいて設計され，実施されるものであるから，この両者は分離して行なわれる。ただし第1の作業実施の際に，第2の概査，踏査をかねて全般的な知識が得られるものであるから，まったく別個の人が担当するのは得策ではない。

この両調査が同時に実施できうるような場合は，写真撮影も新しく，その他の条件もそろい，また判読結果が100%近く信頼できる場合，または未開発林などで林相変化の少ない大面積森林調査などである。

2)　現地調査と空中査察の方法

前記第一の作業の現地調査は，判読図上で1日の予定範囲を定め，そのなかで必ず現地を尋ねなければならない判読境界，区画その他疑問を生じた部分などをマークし，その間を観察に適切な路線や河川，稜線を利用してつなぎ，行動予定線を作成する。

調査は最少ふたりが1組となって実施することが必要である。この場合1名は判読写真を，他の1名は判読図をもって互いに判読結果を検討しながら目的地に向かう。判読上の問題点は現地で明確に討議決定することが必要で，これをふたたび未解決のまま持ち帰ってはならない。現地で決まらないものは室内で決まるはずはないものである。

注意しなければならないものに見落としやすい幼齢林，またしだいに変化する林分樹高や混交林の境界線の位置，また最近に生じた崩壊，新しい事業伐採，植栽，搬出路や鉄索などの施設に伴う伐採跡，等がある。

ヘリコプターなどの低速航空機の利用がこの能率を高める効果は大きいが，この場合には航路がおおむね予定された線上を進行できるので，あらかじめその順序にならべた検討個所のカードを持ち，判読図，写真と現地を対比しつつその結果をカードに記入してゆく。そして後に地上で尋ねるべき地点を明記してゆく。

現地に携行する判読写真には区画線と写真判読記号を書き込み，判読図はただ区画境界線だけで林型の記号を記入しない。そしてそれは現地で決定し，後に判読のみの林型と比較する。もし100%の現地検討ができるならば，この方法が最も望ましい。

また望ましいことは，林型や境界を現地で訂正するときに，前の記号や位置を消しゴム等で消し去らないで，横線や×印で打ち消すにとどめ，新しい結果はかたわらに記入する。これは後に室内での検査や，

他の林型の判定にきわめてよい参考資料となる。すなわち，その地方での判読誤りを生じやすい事例を示し，検討を要する写真像の凡例となる。

この現地調査は路網の発達した林地では当然それを利用して行なわれるが，奥地林では河川，稜線などを通らねばならない。また広面積の未開発林地では「システマティック」なライン調査法が行なわれることが多い。

第2の作業，すなわち調査目的に必要な地上調査値を求めるための現地作業は，おのおのの目的によって異なるが，その多くは既往において行なわれていた方法が基準となる。

多くは標本調査の際のプロット調査やブロック調査に準ずるか，またはそのもの自体であることが多い。写真作業としては取りたてて述べる作業はなく，関与するところは原点への誘導とその確認である。

地図上で決定された調査原点の位置は，地形や林況を参照しながら細心の注意をもって写真上に移写しなければならない。そして，1日の行動予定線が地図上に入れられることは第1の作業と同じである。写真上では特に各調査点への行路上の目標物を調べておく必要がある。

標本点の原点などの確認は，写真上でなるべく原点に近い位置にあり，確実，明りょうな目標物を現地で確認することから始まる。

その位置は地図上でも確定されるものでなければならない。その位置から原点位置までの距離と方向が正しく判定されれば，なんら特別の手段を労せずに原点は設定できる。

もしその位置から原点までの距離がかなりあるならば，クリノメーターやメートル縄で測り込んでゆく方がよい場合がある。

普通目測で距離，方向を誤りなく捕えうる程度は地況と林況に大いに左右されるが，訓練の差によるものも大きい。通常25mから40mの間とみてさしつかえない。これ以上の距離は測り込んだ方が確実で早い。最後に原点と思われる位置に立ち，綿密にまわりの林況と写真像を見くらべ10m以内の移動はこれで決定される。

これらのプロット調査法のほかに点間の短いシステマティックなプロット調査法や帯状調査法が計画されることがあるが，この場合にはそのラインの出発点を定めれば，あとは地上調査で実施される。

また，モザイク写真上で現地調査の計画を立てたり作業の進行状況を管理することは大へんわかりやすく，また効果的な方法である。

なお，この現地調査の際に管理区界，たとえば所有界，林班界，小班界，等は現地と地図と写真の3者上で合致するように決定することも重要である。

3)　熱帯林等，未開発林での空中査察

未開発熱帯林等にあっては一般に路網未発達の地域が多く，踏査しうるルートは限られており，森林の状態も地上における視野は狭い場合が多い。車両の行動力を利用して，能率よく視察しうる地域はむしろ限定されていよう。広地域を対象とする場合，可能であれば低速飛行機を利用し，なお残る疑問点については地上調査を加えることが適切であろう。

特に有用樹種の分布，蓄積量についての概要，作業の難易の判定は必要である。自然被害や焼畑(Shifting cultivation)など，写真撮影時と現在と変化のあるもの，また作業上障害となる岩石地，低湿地帯などの存在，あるいは集運材施設を設置しうる適地，宿舎適地などはあらかじめ検討された地点を査察する。また手持ちカメラによる写真撮影を実施することは有効な資料となる。

ただし，後に空中写真と現地との必ず結びつくよう注意を払う必要がある。

4.　成果図の作成

現地調査によって確認，補正した個所を写真上で再判読し，その結果を参照に全域にわたって判定の再検討をおこなう。これを校正判読，または二次判読という。

最終的に判読境界線を確認した結果によって成果図を作成する。すなわち，林型区分図は写真像によって森林現況を系列的に類型的な林分構造単位ごとに分類，整理したもので，それぞれの目的をもった調査にとっての基本的な情報を与えるものである。

林型区分図の精度は前述した樹種，樹高階，疎密度階等の林型要因のそれぞれの判定誤差と判読界の移写の誤差が加わるものであり，写真条件と判読者の経験，熟練度，さらに調査地域に対する知識によって大きく左右されるものである。判定の誤りを最小ならしめるためには，各要因の区分カテゴリーの決定に細心の配慮が払われなければならないことは前述のとおりである。

現地検討による二次判読等は，この判定精度を保証する上において欠くことのできない過程であり，現段階にあっては林型区分図の精度はこの現地検討の加えられる程度によって全く左右される[48]。

もし，現地検討に十分な労力や時間がえられない場合には，その精度は標本抽出的な手法で検討することができる。

またもし，この林型区分図から他の数値的な値，たとえば材積等を予察しようとするならば，さらに対象林型の材積等についての信頼しうる幅を，現地検討などの資料をもととして想定することも可能である[30]。

3.　判読資料写真（ステレオグラム）

1.　日本における森林判読資料写真の作成

森林を類型化した林型の下に区分，整理したとき，そのそれぞれの林型を表わす代表的な写真像を収録し，その現況との関連を明らかにしたもの，すなわち立体写真像とともに，その林分についての地上測定値と写真撮影の諸元や写真測定値を添えたものを森林の判読資料写真（ステレオグラム）と呼ぶ。

日本におけるこのステレオグラムの作成は昭和30年ころより林業試験場，林野庁，日本林業技術協会において検討が行なわれてきて，その指導の下に国有林，各都道府県において個別に作成されていた。それは森林調査への標本調査法の導入によって，その過程として空中写真による林型区分を行なうための写真判定の基準林型凡例として，また判読者の判定能力を養成する訓練用として要求されたものである。

したがって，当初における地上調査の資料も，標本調査での一標本点の大きさを対象としたものが主であった。

1965年，国有林においては写真による，林分構造の系統的な整理基準としての資料収集を目的とするステレオグラムの作成を開始し[114]，調製要綱に基づき一定面積以上の林分像を主体とした全国資料の整備を計るに至り，現在（1970）ほぼ予定の資料数の収集を完了しつつある。

2.　国有林における判読資料写真の調製基準

国有林において作成されている判読資料写真の基準としては，その立案にあたり次の各項を大綱とした。

（1）　主要樹種別に日本全域を15地域に区分し（Fig. 20），齢級，森林の種類，樹高級，疎密度級の

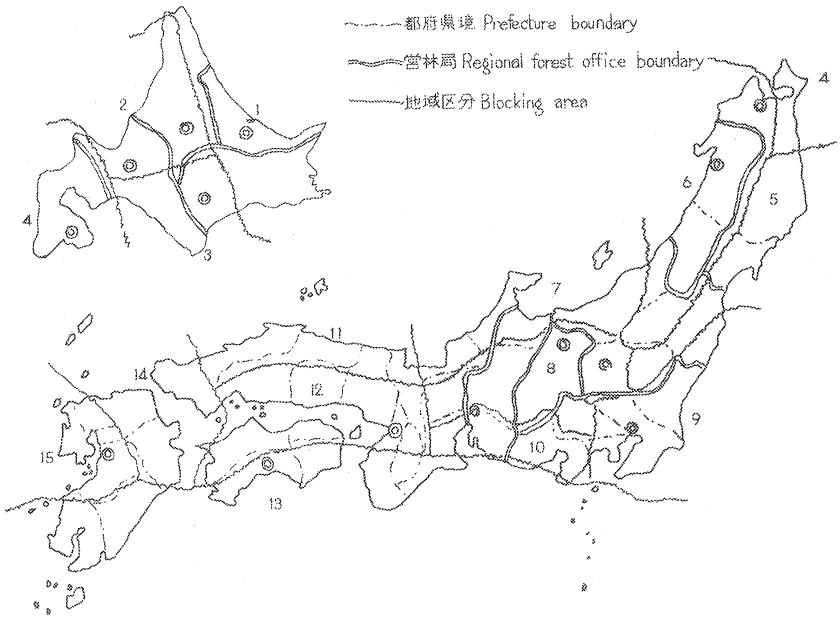


Fig. 20 判読資料写真全国地域区分図
Devided Japan for forest stereogramme construction.

区分の下に，おおむね1ha以上の同一林況の林分を対象として，その地上調査値，判読値，縮尺別空中写真対，および地上写真を索引しやすいカード様式にとりまとめて作成する。

（2） 樹種区分はスギ，ヒノキ，アカマツ（クロマツを含む），カラマツ，エゾマツ，トドマツ，その他N，NL，L，混交の10区分とする。

（3） 資料カードの様式はB4判を標準とする。

（4） 標本林分選定の基準は次のとおりとする。

1) 主要樹種の上層木樹冠占有歩合が75%以上で，ほぼ均一な林況を示し，原則として1ha以上の面積を有すること，このほぼ均一とは樹冠占有歩合の差が10%以内で上層木の平均樹高差が5m以内であるものをいう。

2) 標本林分はなるべく方形に近い形状のものが望ましい。

3) 林型区分に基づき，なるべく平均的な代表林分を選ぶ。各種試験地，毎木調査林分等はそのまま標本林分とすることができる。

4) なるべく地域的に片よらぬよう，また標高，方位，傾斜度を考慮の上選定する。

5) 撮影年度と現地調査年度とのha当たり材積の差が，幼齢林，二次林については20 m^3以上，壮齢林分については15%以上，その他の林分で10%以上のものは原則として標本林分としない。

以上のようにして選定された林分を2.5倍に引き伸ばし，写真上にデルマトグラフ（写真用ソフトペンシル），またはポスターカラーで区画する。

（5） 決定された標本林分は原則として毎木調査法，またはポイントサンプリング，ラインサンプリング法で現地調査を行なう。

Table 26. 地域別主要樹種一覧表

地域 District		森林型 Forest type	所属営林局 Regional F. O.	予		
統合したもの	統合しないもの			① スギ(人)を主とする林分	② ヒノキ(人)を主とする林分	③ アカマツ(人・天)を主とする林分
	1 (△)	エゾマツ—トドマツ型	旭川，北見，帯広			
I	2 (△)	トドマツ—ミズナラ型	旭川，帯広，札幌			
	3 (△)	ミズナラ—シナノキ型	帯広，札幌			
II	4	ヒバ—ブナ型	函館，青森			
III	5	ブナ—ミズナラ型	青森，前橋	○	○	○
IV	6	ブナ型	青森，秋田，前橋	○	× (5)	× (5)
	7	シイ—カシ—ブナ アオモリトドマツ型	前橋，名古屋 大阪	○	○	○
	8	モミ—ツガ—ブナ ウラジロモミ—コメツガ シラベ—アオモリトドマツ型	前橋，長野，東京	⊗	⊗	⊗
	9 (△)	シイ—カシ—モミ—ツガ ブナ—ウラジロモミ コメツガ—シラベ アオモリトドマツ型	前橋，東京	⊗	⊗	⊗
	10 (△)	シイ—カシ—モミ ツガ—ウラジロモミ コメツガ—シラベ型	東京，名古屋 大阪	⊗	⊗	⊗
	11	シイ—カシ—ブナ型	大阪	○	○	○
	12	アカマツ—コナラ型	大阪，高知	○	○	○
	13	タブ—シイ—カシ モミ—ツガ型	東京，名古屋 大阪，高知，熊本	○	× (12)	× (12)
	14 (△)	シイ—カシ—モミ ツガ—ブナ型	大阪，熊本	○	× (12)	× (12)
	15	タブ—シイ—カシ モミ—ツガ ブナ型	熊本	× (14)	× (12)	○
			計	○— 7 ⊗— 3 10	○— 4 ⊗— 3 7	○— 5 ⊗— 3 8

記号説明：○…写真材積表を作成する。×…該当樹種があるが作成の要なし。(　)…内の数字はその地域のものを使

The main tree species in each block

定　樹　種　Tree sp.							
④ カラマツ（人・天）を主とする林分	⑤ エゾマツ（人・天）を主とする林分	⑥ トドマツ（人・天）を主とする林分	⑦ N（人・天）を主とする林分	⑧ ブナ（人・天）を主とする林分	⑨ L（人・天）を主とする林分	⑩ N，L（人・天）混交	計
× (3)	○	○			× (2)	○	3
× (3)	× (1)	× (1)			○ 1 ミズナラを主とするL山火再生林など	× (1)	1
○ 1	× (1)	× (1)			× (2)	○	2
× (3)			① ヒバ	○	○	○	3 +1
× (8)			× (8)	× (6)	× (6)		3
× (8)			× (8) 亜高山性N① 天然スギ	○ 峯すじのヒメコマツ等Nの列性を含む	○	○	4 +1
× (8)			× (8) 亜高山N	× (6)	○	○ 天然スギL	5
○			○ 亜高山N① 木曽ヒノキ	× (6)	× (9)	○ 亜高山 NL	6 +1
× (8)			× (8)	× (6)	○	× (8)	4
× (8)			× (8)	× (6)	× (9)	× (8)	3
× (8)				○	○		5
			× (13) モミ，ツガ	× (8)	○ コナラ林など	○	5
			○ モミ，ツガ① 屋久杉	× 8	○ タブ，シイ，イスなど	× (12)	3 +1
× (8)			× (13) モミ，ツガ	× (11)	× (13)	× (12)	1
			× (13)	× (11)	× (13)	× (12)	1
2	1	1	○— 2 ①— 4 2+4	3	8	7	49 +4

用できる。⊘…標本林分を少なくしてよい。①…特殊樹種で標本林分が少なくなると予想される。

Table 27. 判読資料作成基準

Standard of the stereogramme construction

スギ，ヒノキ，アカマツ，カラマツの4種についてはAの基準を，その他はBの基準によるものとする。ただし，その他の樹種でも種々の齢級にわたるものはAの基準による。

基準	齢級 Age class	樹高級（上層木平均） Height class	疎密度級（上層木） Density class	標本林分必要数 Sample no.	備考 Remarks
A 天然のスギ，ヒノキ，アカマツ（クロマツ），カラマツを含む。	幼齢級（20年生以下）	H～5 H～10 H～5	各樹高級について中と密	樹高級，疎密度級の組合せについて各2個 計12個	各齢級に示した樹高級以外の林分が多い場合には該当樹高級を追加する。 幼齢級の疎密度級で，散，疎の林分が特に多い場合のみにこれを追加する。
	壮齢級（21～40年生）	H～10 H～15 H～20 H～25 H～30	各樹高級について散，疎，中，密	同上 計40個	
	老齢級（41年生以上）	H～10 H～15 H～20 H～25 H～30 H～35	同上	同上 計48個	合計100個
B 主として天然林に適用するもの。	2次林（強度の択伐，傘伐等を行なった林分，山火再生林主要樹種以外の人工林を含む）	H～5 H～10 H～15 H～20 H～25 H～30	中と密 各樹高級について散，疎，中，密	樹高級疎密度級の組合せについて各2個 計44個	森林の種類別に示した樹高級以外の林分が多い場合には該当樹高級を追加する
	老齢林	H～10 H～15 H～20 H～25 H～30		同上 計40個	合計84個

注）1. 樹高級の表示：たとえばH～5とは上層木平均樹高5m以下をいう。
2. 疎密度級の表示（Tの（　）参照）：上層木の樹冠占有歩合により，10%以下を散，11～40%を疎，41～70%を中，71%を密とする。

（6） ポイントサンプリングの場合の標本点数は樹冠疎密度に応じ，密の場合は10点以上，中12点以上，疎14点以上とする。

（7） 現地調査の取りまとめ

（略）

（8） 判読資料への記入

次の各項を整理記入する。

1. 樹種，2. ha当たり材積，3. 樹種混交歩合（百分率で5%括約で計上する），4. 林齢，5. ha当たり連年成長量，6. 樹高（1m括約）および胸高直径（2cm括約），7. 判読平均樹高，8. 樹冠疎密度，9. ha当たり立木本数（上層，下層別に10本括約で記入），10. 標高，11. 方位（8方位），傾斜（4階級），12. 地質，土壌，13. 調査年月日，14. その他，15. 地上写真。

空中写真は2.5倍引き伸しを用い，縮尺を決定し，左右の一対が立体視しうるように配置し，ポスターカラーで標本林分を表示する。また資料から，樹高測定などが行ないうるよう基線長を計算記入する。

写真を切り抜くには，互いに隣接写真の主点を移写し，主点間を結ぶ直線に平行，および直角となるように写真を切り抜く。写真の貼付は基線長方向に狂いがないように注意し，同一地物の像の間隔は反射立体鏡用の場合は24 cm，ポケット立体鏡用には5.5 cmとする。記入に当たっての撮影高度は10m括約とする。なお標本林分を中心とする林相区分図を表示する。

次に地域別主要樹種別一覧表（Table 26），判読資料作成基準（Table 27，巻末写真 3）参照）を示す。

4. 標本調査法による森林資源調査への応用

1. 標本調査法への利用の概要

標本調査の効率は，いずれの場合においても抽出標本点の数とその調査工程に基本的に左右される。

森林資源調査における標本調査への空中写真の利用を大別すれば，次の4点である。

1) 標本調査の効率を高めるための森林層化への利用。

2) 二重，三重抽出等における抽出標本の写真測定。

3) 現地調査の設計。

4) 現地標本原点への誘導と確認。

1）の森林の層化は，まず写真情報のもつ効果を活用して層化標本抽出法（Stratified sampling）を行なうことによって，標本数を無作為抽出法（Randam sampling）の場合より著しく減少させつつ，推定値に所定の精度を期待することを目的とする。

すなわち調査目的に応じて，たとえば材積調査を目的とするものであれば調査対象地域を前述の林型区分を基にして材積を主体として再編成することである。

通常，調査は全体の推定値を求めると同時に，各層ごとの推定値をも求めることを必要とする場合が多いので，層化の数や規準は樹種群や樹高階区分の場合と同じく，

1. 施業目的による森林群の類型区分。
2. 推定目的に対して同一層内の変動をなるべく少なくし，層間の変動を大きくしうる林分構造の区分。
3. 全体の標本数などが経費，工程から見て規定される場合には，標本の数が層ごとに満足できるように配分されうる層の数であること。

等で決定される。

また層別の面積比率にあまり極端な差が生じないようにすることも必要である。

これらによって通常いくつかの林型を統合し，全体であまり多くない層に整理するものである。

2）の標本点の写真測定は通常現地標本点と同一地点の写真測定値により作成，または同地域についてあらかじめ作成された1変数，または2変数による写真材積表を適用するためにおこなわれる。

一般に写真点の数と現地点の数の比率は，現地調査と写真判定に要する経費の比率が大きいほど，現地点の数が少なく，一方調査森林の内部変動が多いほど，現地点の数は多く計算される。

現地点の数はその効率より見て，写真点の1割以下であることが望ましい。

3）の現地調査の設計は，林型区分図により作成される層化図から層別面積を測定し，また標本点の配

Table 28.　林業試験場経営部で実施した主要な

Results of the sampling survey researches

No.	調査年次 The date of the sampling survey	地域 Site	林況 Forest description	面積 Area ha	調査法 Sampling	林型区分基準 Forest type				層数 Strata
						樹種群 Sp.	樹高階 Height g.	疎密度 Density	その他	
1	1953. 9～1954. 3	山梨県 東京都水源林	天…広 人…ヒノキ，カラマツ	596.05	層化 Neyman割当	3	3			9
2	1954.10～12	静岡県 天城国有林	天…広 人…スギ，ヒノキ	812.39	層化 比例割当	11	7	3		10
3	1956. 1～2	〃	〃	1819.74	層化 単純抽出	4			齢級 7	7
4	1957. 1～2	〃	〃	1811.12	〃	4			齢級 7	7
				1593.06	層化 副次抽出	4			齢級 7	7
5	1961. 2～3	〃	〃	1122.17	層化 単純抽出 層化 副次抽出 層化 比例単純 層化 副次抽出	4			齢級 8	7
6	1961. 8～9	群馬県 沼田国有林	天…針，広	1277.19	層化ブロック 副次抽出	3	3	4		9
7	1962. 2～3	静岡県 天城国有林	天…広 人…スギ，ヒノキ	1811.33	層化 単純抽出 層化 副次抽出 層化比例割当 層化副次抽出	4			齢級 6	6
8	1962. 9～	福島県 白河国有林	天…広 人…各種		層化 副次抽出	5	4	4		13
9	1963. 2～3	群馬県 四万国有林		238.46	層化 副次抽出	7	4	4		12
10	1963. 5～6	群馬県 倉淵村民有林	人…スギ，ヒノキ 広	207.11	層化 単純抽出	4	4	4	樹冠直径 4	9
11	1964.10～11	群馬県 倉淵村社有林	天…広 人…各種	1027.29	層化 副次抽出	8	4	4		11
12	1966. 6	山梨県 北富士県有林	天…針 人…カラマツ	129.2334	層化 単純抽出	3	3	4		8
13	1968. 8	北海道　トムラウシ国有林	天…針，広	1381.40	層化 副次抽出	5	上層木 4	4	中層木 4	10

空中写真利用による森林標本調査試験概要
at the Government forest experiment station

標本数 Sample No.	現地標本 Plot size	全体材積推定値 Total estimation m³	平均値 Average	分散 Variance m³	95%信頼度 100分率誤差 Standard error %	摘要 Note
67	50×20m	130,282±12,414		38,527.129	9.5	層化効果全体 8.2%（林試研報114号）
83	50×25m	151,561±18,474	229.771	192.519	12.1	層化効果全体14.23%（30業報）
200	0.04ha 円形	308,731±25,170	0.04ha当たり 7.752	0.04ha当たり 0.0997	8.2	他に2種類の材積表の相違による計算を行なう。層別推定全体分散は層化単純抽出として計算（林試研報122号）
100	〃	291,470±34,976	0.04ha当たり 8.239	0.04ha当たり 0.2537	12.0	他に成長量推定を行なう。（〃）
一次抽出50 二次抽出 2	〃	296,441±40,686	0.04ha当たり 8.535	0.04ha当たり 0.343	13.7	
96	〃	236,273±24,211	0.04ha当たり 8.422	0.04ha当たり 0.186	10.2	（林試研報141号）
59	〃	223,778±26,932	0.04ha当たり 7.979	0.04ha当たり 0.230	12.0	（〃）
105	〃	246,938±25,472	0.04ha当たり 8.802	0.04ha当たり 0.206	10.3	（〃）
65		計算せず				
一次抽出18 二次抽出 2	0.04ha 円形	分離比推定 300,996±42,059	0.04ha当たり 9.885	0.04ha当たり 0.477	13.9	
	〃	複合比推定 295,491±36,591	0.04ha当たり 9.705	0.04ha当たり 0.361	12.3	他に樹種別，小班別材積成長量推定（林試研報146号）
	〃	不偏推定値法 349,728±101,224	0.04ha当たり 11.453	0.04ha当たり 2.763	29.0	〃　〃
123	〃	202,277±17,832	0.04ha当たり 7.60	0.04ha当たり 0.115	8.8	他に3種の材積表を異にする計算を行なう。（林試研報169号）
66	〃	185,991±18,631	0.04ha当たり 6.99	0.04ha当たり 0.124	10.0	〃
128 71		計算せず				
78	0.04ha当たり 円形 40×20方 ポイント5点	217,266±13,460	0.04ha当たり 8.972	0.04ha当たり 0.119	6.2	樹種別，小班別，材積推定プロットサイス別，ポイントサンプリング別比較
一次抽出38 二次抽出74	ポイント5点	30,184±2,604	ha当たり 392.610	1,696,332.	9.0	〃 他に小班別材積成長量推定（森林航測42号）
60	0.04ha 円形	24,379±4,831	152.374	27,782,508.	19.8	単純無作為の時28.68% 効果31%（日林協報告）
54	0.04ha 円形	126,234±19,088	6.08	0.211	15.0	樹種別林班別集計
74	20×40方 ポイント4点	27,784±1,065	219.36	70.771	7.6	他に樹種別，径級別，本数，利用材積被害率を推定（林試経営部研究資料）
		27,993±1,026	221.	65.66	7.3	
77	40×20m	414,452±13,342	314.4	25.61	3.0	ステレオグラムによる林型別材積層化適用，林班別樹種別径級別本数，成長量，枯損量推定実施（林試研報227号）

置を決定し，調査の実行計画を立てることへの応用である。

特に層化副次抽出法（Stratified sub-sampling）における一次，二次標本の抽出，あるいは日程に応じたクラスターサンプリグなどの設計，またラインサンプリングでの標本帯の形状や配置の決定等は，広面積な森林調査の場合に常に良い効果を発揮する。

4）の現地標本点への誘導と確認は，地図上に決定された標本原点の位置を写真上に移写し，野外に携行して原点の進入路，明りょうな目標物，あるいは測線の出発位置等を観察し，現地と照合しつつ誤りなく原点に到達しうるよう誘導し，また原点付近の林況，地況の写真像との対比によって位置の確認を計る。

標本原点は路網等に関係なく配置することが多いので，進入や移動の際の誤りをさけ，原点を確認するために写真は非常に有効である。ことに層を異にする標本点の位置を選ぶ，などの重大な誤りを生ずることはまずないであろう。

原点の写真上への移写は交会法の応用，またはステレオマスター利用などの簡易な方法で行なうことが適切である。

なお森林標本調査法の設計や取りまとめ，その他に関しては，すでに報告したところも多く，また他の報告も見られるので，これを省略する。

2.　空中写真利用による標本調査法に関する試験例の概要

林業試験場において実施した空中写真利用による，一連の森林標本調査法研究の主要なものの概要を，Table 28 に示す。

この表に見られるように，これらの試験は初期の1，2を除き，全体推定の誤差を±10%前後，またはそれ以内に止めることを目的とし，層別推定値をうることを主体として設計した。6. 以下はさらに林，小班別の値をも求めると同時に現地調査の効率化を計るため，第一次抽出単位として林型区画を用い，二次抽出によって現地点を抽出，また副次標本の採用を研究した。8. においてはポイント調査法の導入，クラスターポイント法の検討を行ない，これらの一連の研究によって現在国有林および民有林で実施されている森林標本調査の基準を作成している。

推定の多くは樹種別，径級別の材積，成長量を求めることを第一とし，ついで管理のための参考として林，小班別の値を層別平均値により求めている。

材積推定に当たっての層化は樹種別，樹高階別など林型区分を主体としたものが最も良好であり，管理上の齢級層化よりも効果的であることは，試験結果の標本点の数と推定値の誤差の値より知られる。

すべての場合について層内の変動は，そのうちに含まれる林型の数が増すにつれて急増している。

一般的に天然林を1層としたとき50～200%を示す変動係数は，林型区分を基にする層別推定法を採用することによって5～60%に減少しうる。

これらの調査は材積調査より始まり，しだいに成長量，枯損量の推定，さらに Table 28 の No. 12 において利用材積，被害木の分布と量の推定，また Table 28 の No. 13 では樹種別，径級別本数，成長，枯損，等の推定へと発展しつつあり，ステレオグラムの応用，赤外カラー写真の活用等を計りつつあるものである。

Ⅳ　空中写真情報による林分構造の数量解析と推定

1.　森林調査に対する多変量解析利用の原則

森林の立木材積，成長量あるいは枯損量等は，従来地上調査によって求められ，調査地域が広大である時には，おもに標本調査法が適用され，空中写真はその実施を容易にし，また効果を高めてきたことは前述のごとくである。

写真情報から直接これらの値，特に材積値を求めるためには，従来よりも写真測定値を用いた一変数，または二変数の写真材積表が作成され[65)101)127)]，主として二重抽出による写真標本点の材積推定に用いられた。それらはその変数として採用する要因の写真測定値が，推定の目的に対して高い相関をもち，また測定精度が十分にととのえられる場合に可能である。

しかしながら，Ⅰで述べたごとく，写真像の観察を主体として森林の構造と性質を求めようとする時には，個々の立木，または林分を単位とすると同時に，それら相互，また生育環境との関連を明らかにしなければならない。このときに森林を多くの要因により変動する現象として取り扱い，それを解くうえにいわゆる多変量解析の手法を導入することができる。

森林の構造や性質，あるいはその判定の基準となるものが与えられる場合の多変量解析は，「外的基準がある場合の数量化理論」[8)9)]の応用である。

すなわち，外的基準とは，ある現象（たとえば推定目的）に対して，関与していると思われる諸要因の関連をもとにして推定するもので数量で与えられる場合と分類で与えられる場合がある，たとえば材積，成長量，枯損量のごとくに数量で与えられる場合とか，木が生育しているか，休止しているか，のように分類として与えられる場合である。

それぞれの要因は，直接数量として求められるものもあれば，また質的な表現，すなわち分類で表わされるものもともに取り扱われる。この場合，両者ともに外的基準，また相互の関係を表わすのに妥当なような区分け（カテゴリー区分）が行なわれ，それぞれに計算によって最適な数量が与えられるのであって，測定値等がそのまま用いられるのではない。

多変量解析は，上記の各カテゴリーに与えられた数量の和によって外的基準を推定し，その誤差を最小にしうるように，カテゴリー数だけの変数を持った多次元の連立方程式を解くことであるので，電子計算機の開発によって初めて可能となったものである。

林業におけるこの手法の利用は，西沢正久・小林正吾らによって地位指数の推定と予測に用いられた[87)]。

参考までに多変量解析理論式の概要を下記に示す。

1.　重回帰理論

$$y_\alpha = \beta_0 + \beta_1 x_{\alpha_1} + \beta_2 x_{\alpha_2} + \cdots\cdots + \beta_p x_{\alpha p} + \varepsilon_\alpha \qquad (\alpha = 1, \cdots\cdots, n)$$

y_α：実測値（目的変数，独立変数）

ε_α：誤　差（不偏性，等分散性，独立性等）

なる重回帰モデルにおいてその推定値を求める式は，

$$Y_\alpha = b_0 + b_1 x_{\alpha_1} + b_2 x_{\alpha_2} + \cdots\cdots + b_p x_{\alpha p}$$

Y_α：推定値

であり，ここで $\sum_{\alpha=1}^{n}(y_\alpha-Y_\alpha)^2$ が最小となるように $b_0, b_1, b_2, \cdots\cdots, b_p$ の各係数を求めることである。いま

$$S_{ii}=\sum_{\alpha}(x_{\alpha i}-\bar{x}_i)^2$$

$$S_{ij}=\sum_{\alpha}(x_{\alpha i}-\bar{x}_i)(x_{\alpha j}-\bar{x}_j)$$

$$S_{yy}=\sum_{\alpha}(y_\alpha-\bar{y})^2$$

$$S_{iy}=\sum_{\alpha}(x_{\alpha i}-\bar{x}_i)(y_\alpha-\bar{y})$$

とおけば

$$b_i=\sum_{j=1}^{p}S_{ij}S_{jy}$$

で与えられる。

2.　重相関係数

推定の精度は実測値と推定値との相関係数で示され，これを重相関係数（R）という。その値は次式で示される。

$$R=\frac{\sum_{\alpha}(y_\alpha-\bar{y})(Y_\alpha-\bar{Y})}{\sqrt{\sum_{\alpha}(y_\alpha-\bar{y})^2\cdot\sum_{\alpha}(Y_\alpha-\bar{Y})^2}}$$

$$\left.\begin{aligned}S_R&=\sum_{\alpha}(Y_\alpha-\bar{Y})^2\\S_e&=\sum_{\alpha}(y_\alpha-Y_\alpha)^2\end{aligned}\right\}$$

とおけば

$$R^2=\frac{S_R}{S_{yy}}=1-\frac{S_e}{S_{yy}}$$

で求められる。これは全変動のうち回帰で説明される変動の大きさの割合を示すもので，寄与率と呼ばれる。

3.　誤差分散（σ^2）は次式で与えられる。

$$\sigma^2=\frac{1}{n-1-p}\{E(S_{yy})-E(S_R)\}$$

4.　単相関係数

要因 x_i と x_j において r_{ij} は次式で与えられる。

$$r_{ij}=\frac{S_{ij}}{\sqrt{S_{ii}\cdot S_{jj}}}$$

5.　偏相関係数

y と x_1 の偏相関係数：$r_{y1(2.3\cdots p)}$ は次式で与えられる。

$$r_{y1(2.3\cdots p)}=\frac{-S'^{y}}{\sqrt{S'^{1}S^{yy}}}$$

$p=2$ のとき y と x_2 との偏相関係数 $r_{y2.1}$ は次式となる。

$$r_{y2.1}=\frac{r_{2y}-r_{12}r_{1y}}{\sqrt{(1-r_{1y}^2)(1-r_{12}^2)}}$$

6.　重相関係数と偏相関係数

重相関係数（R）と偏相関係数（r）との関係は

$$1-R^2=(1-r_{y1}^2)(1-r^2_{y2.1})(1-r^2_{y3.12})\cdots(1-r^2_{yp12\cdots(p-1)})。$$

この手法では計算にあたって，各要因を一度に演算過程に加えるのではなく，1つずつ加重しては推定計算を繰りかえしてゆくことによって，各要因を順次加えた場合の各段階のカテゴリーごとの数量，および各要因相互の相関係数行列（内部相関），偏相関係数，重相関係数，要因群偏相関係数などを求めうる。これらの値は，各要因を独立と仮定した直線回帰式の回帰係数の表現であるので，相対的な参照数値として用いるときに，検討に使用する有効性が認められる。

これらをそれぞれの森林の資料によって求めたとき，その資料が不偏性をもったものであれば，それはその森林の構造や性質を数値的に表現するものであり，またその場合の各カテゴリーに与えられた数量を，同様な性質を持った森林より得た資料のカテゴリーに適用すれば，外的基準とした事象の適切な推定値が求められるものである。

したがって，この手法の利用は基本的問題として，計算に用いる資料が

1）かたよりのないものであること。

2）解析の計算精度を満たすに足る資料数と適正なカテゴリーごとの配分をもつこと。

3）要因，カテゴリーの区分が，それぞれ独立変数として解く連立方程式の仮定を満たしうるものであること。

にある。

いいかえれば，かたよりのある資料では適用性がなく，また資料数に応じたカテゴリー区分が定められねばならない。さらに，各要因は内部相関がほとんどない範囲になければ適切な結果はえられない。

2. 判読資料写真による林分構造の解析と推定に関する試験

判読資料写真はⅢで述べたように，それぞれの林型の類型的な写真像を収録したものである。

したがって，それは各森林を写真像から整理しうるような基準にのっとって系統的に集められ，また十分な数が整えられていればそれを用いて，写真観測要因による林分構造の解析と，それらの要因から成立している事象の推定をおこないうる。

現在，国有林および民有林において，前記の調製要綱に基づき整備されつつある判読資料写真を用いて，写真観測による林分構造の判定，ならびに林分材積推定の基準を作成するために試験研究を実施した。

1. 資　料

全国資料のうち，東京，前橋，長野，各営林局，および北海道庁林務部調製の判読資料写真（以下「判読カード」という）のうちから，下記 Table 29 の地域資料を選定して検討資料とした。これらは各営林局計画課試験係が前章の基準に基づき作成，ならびに現地調査を担当したものである。

2. 試験実施過程

林分構造解析と推定数値表作成の過程は下記 Fig. 21 に示すごとくである。

3. 資料の整理

1）調査原表の作成

「判読カード」を用いて各ブロック，樹種別に要因記載事項を整理した調査原表を作成した。第9ブロック，人工林スギに関するものを例として Table 30（巻末）に示す。

Table 29.　試験資料としての判読カード表
Stereogrammes for the research data

ブロック No. Block No.	経営計画法 Management planning	営林署 District forest office	対象樹種 Species	個数 The number
7	阿賀野川	村松・新発田・三川村	スギ	85
	阿賀野川	新発田	アカマツ	82
8	千曲川上流・中部山岳・伊那谷	諏訪・王滝・上松・野尻・三殿妻篭・坂下・福島	ヒノキ（人工林）	96
	木曽谷	王滝・上松	木曽ヒノキ（天然林）	61
	千曲川上流・伊那谷	上田・岩村田・伊那・諏訪・臼田	カラマツ	97
9	茨城	高萩・大子	スギ	95
10	静岡東部	天城・沼津	スギ	86
	〃	〃	針広混（天然林）	68
北海道有林	北海道林務部作成のステレオグラム		エゾ，トド（天然林）	70

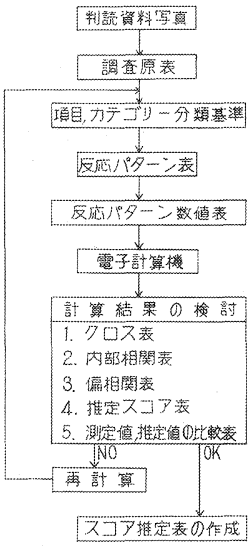


Fig. 21　要因解析予測表作成系統図
Score chart construction system.

これには，林分構造に関係する各調査因子を判読カードの記載事項から転記することを原則とし，「判読カード」に記載のない場合，あるいは記載の不十分な場合は新たに判読測定した。

これらの作成基準および手順は次のとおりである。

（1）　林分材積測定値

林分材積はこの解析計算で，第1段階の外的基準としたものであるので，判読カードから誤りなく転記。この測定値の記載は 10 m^3 括約である。

（2）　林況調査要因

A．齢級（林齢）：判読カードから転記。

B．判読樹高：判読カードから転記〔判読カードの（(　)）〕。

採用する樹高は上層木の判読平均樹高であって，判読カードに記載されていない場合は，視差測定桿等により対象林分のうちで明りょうで，平均的なものを5本以上測定し，この平均値から判読樹高を計算し 1m 括約で記載。

C．樹冠疎密度：判読カードから転記。

採用する疎密度は，判読樹冠疎密度であって，判読カードに記載されてない場合は，疎密度板により3回以上測定し，この平均値を疎密度区分または 10% 括約で記載。

D．樹冠直径：樹冠直径尺により，対象林分の平均的なもの5本以上を測定し，この平均値を用いる。この測定値は，撮影高度と標高に応じて基準面をベースに修正する必要がある。

E．立木本数：プロットサイズ板により，対象林分において5プロット以上の上層木判読立木本数を測定し，この平均値を単位面積当たりに換算して，50 本括約で記載。

F．その他：天然林，針広混交林等では，A～Eにかかわらず採用する調査因子を適宜変更する。

これらの森林の観測因子としては，植生型，混交比，成林状態などがあげられ，判読カード上で新たに調査して記載。

（3） 地況調査要因

A．標高測定値：判読カードから転記。

この記載は 20m 括約とする。

B．方　位：判読カードから転記。

この記載は 8 区分，または平坦地を含む 9 区分とする。

C．傾　斜：判読カードから転記。

傾斜度を 10 度括約で（　）内に記載。

傾斜度が判読カードに記載されてない場合は，傾斜測定板により対象林分の平均傾斜を測定して記載。

D．土　壌：判読カードから転記。

E．地　質：判読カードから転記。

2） 調査原表の吟味

とりまとめた調査原表により，各調査要因の範囲を知るとともに，地上測定値と判読値その他の相互関係から，錯誤のあるような資料の存在を検討した。

4. 計算資料の作成

1） 要因（項目）とカテゴリーの決定

調査原表の検討から林分構造解析に関係するものとして，採用する調査因子を決定し，この各要素を 3～6 の階層区分（カテゴリー区分）をおこない，分類基準表を作成した。この場合，各カテゴリーの数量化値（スコア）の安定性と精度を高めるために，1 カテゴリー当たりの資料数は原則として 5 以上となるように区分，資料数が 5 に満たない場合は，適宜類似するカテゴリーに統合するか，またはカテゴリー区分を変更。

カテゴリー区分の分類基準としては，次の事項に留意した。

（1） カテゴリーごとの資料数を，なるべく均等になるよう区分けする。

（2） カテゴリーは，資料の分類に誤りを生ずるおそれのない明りょうなものとする。

（3） カテゴリー区分は，森林の取扱い上も調査上も有効なものとする。

（4） カテゴリー区分の間隔は，なるべく等しくなるように区分する。

各資料において定めた区分基準は Table 31 に示す。

この表における項目には，写真観測からえられた要因ではないもの，たとえば林齢直径（胸高）等も含まれているが，これは判読カード記載項目により，これらの構成要因の相互の関連性を各森林について求めるためにおこなったものである。

特に林齢は写真観測で求められるものではなく，また，かならずしも材積やその他の推定に対して最も重要な要因ではないが，人工林では記録によって誤差なく求められるものであり，また管理上も大切な項目であるといえよう。

また直径は材積推定法の作成には必要ではないが，後節での直径推定の項目選定の準備のため，または従来の地上調査値による各種の方法との関連を計る上で解析項目としたものである。

Table 31.　判読カード項目
Standard of the classification

7 ブロック　スギ(人) 新潟　7 Block *Cryptomeria japonica* (artificial), Niigata District

		カテゴリー Categories					
		1	2	3	4	5	6
要因項目 Item of factors	林齢 Age	～20	～30	～40	～50	～60	61～
	樹高 Height	～10	～14	～18	～23	24～	
	直径 D. B. H.	～16	～24	～32	～40	41～	
	樹冠疎密度 Crown density	密 d	中 m	疎 o	散 v. o		
	ha 当たり本数 No. of tree per ha.	～600	1, 200～	1, 201～			
	標高 Altitude	～200	～300	301～			
	方位 Azimuth	S. SW	E. S E	W. NW	平坦	N. N E	
	傾斜 Tilt	平 flat	緩 low	中 med.	急 steep		

10 ブロック　スギ(人) 天城　10 Block *Cryptomeria japonica* (artificial), Amagi District

		テカゴリー Categories					
		1	2	3	4	5	6
要因項目 Item of factors	林齢 Age	～20	～30	～40	～60	～60	61～
	樹高 Height	～10	～14	～18	～23	24～	
	直径 D. B. H.	～10	～18	～24	～30	～40	41～
	樹冠疎密度 Crown density	密	中	疎	散		
	ha 当たり本数 No. of tree per ha.	～600	～1, 200	1, 201～			
	標高 Altitude	～500	～800	801～			
	方位 Azimuth	S. SW	E. S E	W, NW	平坦	N. N E	
	傾斜 Tilt	平	緩	中	急		

8 ブロック　ヒノキ(天) 木曽　8 Block *C. obtusa* (natural), Kiso District

		カテゴリー Categories				
		1	2	3	4	5
要因項目 Item of factors	林齢 Age	～200	～250	251～		
	樹高 Height	～18	～22	～22	27～	
	直径 D. B. H.	～30	～36	～36	48～	
	樹冠疎密度 Crown density	密	中			
	ha 当たり本数 No. of tree per ha.	～200	～350	～550	551～	
	標高 Altitude	～1, 000	～1, 100	～1, 200	～1, 300	1, 301～
	方位 Azimuth	S. SW	E. S E	N. NW	平坦	N. N E
	傾斜 Tilt	平	緩	中	急	

要因項目 Item of factors
林齢
樹高
直径
樹冠疎密度 Crown
ha 当たり No. of
標高
方位
傾斜
地質
土性

カテゴリー分類基準表
of the items and categories

9 ブロック　スギ(人) 関東　9 Block *Cryptomeria japonica* (artificial), Kanto District

	カテゴリー Categories							
	1	2	3	4	5	6	7	8
林　齢 Age	～10	～20	～30	～40	～50	～60	61～	
樹　高 Height	～10	～14	～18	～25	26～			
直　径 D. B. H.	～ 8	～16	～24	～32	～40	42～		
樹冠疎密度 Crown density	密	中	疎					
樹冠直径 Crown diameter	～2.9	～3.9	4.0～					
ha 当たり本数 No. of tree per ha.	～600	～1,200	～2,500	2,501～				
標　高 Altitude	～300	～600	601～					
方　位 Azimuth	S	SE	E	NE	N	NW	W	SW
傾　斜 Tilt	平	緩	中	急				
地　質 Rock	花崗片麻岩	花崗岩	砂　岩	粘板岩	礫　岩	橄欖岩	秩父古生層	
土　性 Soil	埴壌土	砂壌土	壌　土					

8 ブロック　ヒノキ(人) 木曽　8 Block *C. obtusa* (artificial), Kiso District

		カテゴリー Categories					
		1	2	3	4	5	6
要因項目 Item of factors	林　齢 Age	～12	～24	～32	～38	～46	47～
	樹　高 Height	～ 6	～10	～14	15～		
	直　径 D. B. H.	～ 8	～14	～20	～22		
	樹冠疎密度 Crown density	密	中.疎				
	ha 当たり本数 No. of tree per ha.	～1,200	～1,500	～2,000	～3,000	3,001～	
	標　高 Altitude	～1,000	～1,100	～1,200	1,201～		
	方　位 Azimuth	S, SW	E, SE	W, NW	N, NE		
	傾　斜 Tilt	平	緩	中	急		

7 ブロック　アカマツ(人) 新潟　7 Blork *P. densiflora* (artificial), Niigata District

	カテゴリー Categories								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Age	～25	～31	～39	～49	50～				
Height	～10	～14	～18	19～					
D. B. H.	～16	～26	～34	36～					
density	密	中	疎	散					
本数 tree per ha.	～349	～499	～699	700～					
Altitude	～149	～299	300～						
Azimuth	S	SE	E	NE	N	NW	W	SW	平坦
Tilt	平	緩	中	急					
Rock	花崗岩 花崗閃緑岩	石英安山岩	石英粗面岩 斜長流紋岩	第三紀層, 第四紀層 新第三紀層	古生層				
Soil	B_B	B_C	B_D	B_D(d)	海岸砂地				

2)　反応パターン表の作成

略，〔反応パターン表の1例として，第9ブロック，人工林スギに関するもの（11アイテムの場合）をTable 32 の 1) に，そのクロス表を Table 32 の 2)（巻末付表）に示す〕。

3)　反応パターン数値表の作成

略，〔電子計算機投入資料（インプット・データー）に反応パターン表を書き改めたもので，1例として，第9ブロック，人工林スギに関するもの（11アイテムの場合）を Table 33（巻末付表）に示す。Table 33 をデーターとして，アイテム数を変えた場合の結果を Table 34 の a), b), c), d)（巻末付表）に示す〕。

5.　林分材積を外的基準とした林分構造の解析

ha 当たり立木材積を外的基準として各要因の相互の関連を求め，またそれぞれが材積推定に関与する重みを明らかにするためにおこなった。

Table 35.　立木材積を外的基準とした各資料別
Inner, multiple, and partial correlation coefficients

原表 1.　7 ブロック　スギ(人) 新潟　7 Block *Cryptomeria japonica* (artificial), Niigata District

	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5
林　齢　Age	1.000				
樹　高　Tree height	0.542	1.000			
直　径　D. B. H.	0.641	0.221	1.000		
樹冠疎密度 Crown density	0.204	0.253	0.097	1.000	
ha 当たり本数 No. of tree per ha.	−0.320	−0.300	−0.274	0.296	1.000
標　高　Altitude	−0.183	0.079	−0.222	0.067	−0.033
方　位　Azimuth	−0.229	0.045	−0.227	−0.034	0.010
傾　斜　Tilt	−0.091	0.033	−0.092	−0.008	0.005

原表 2.　9 ブロック　スギ(人) 関東　9 Block *Cryptomeria japonica* (artificial), Kanto District

	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7
林　齢　Age	1.000						
樹　高　Tree height	0.665	1.000					
直　径　D. B. H.	0.744	0.759	1.000				
樹冠疎密度 Crown density	−0.417	0.297	−0.400	1.000			
樹冠直径 Crown diameter	0.452	0.178	0.306	−0.451	1.000		
ha 当たり本数 No. of tree per ha.	−0.474	−0.543	−0.554	−0.102	−0.022	1.000	
標　高　Altitude	−0.258	−0.099	−0.293	−0.140	−0.187	0.261	1.000
方　位　Azimuth	−0.162	−0.101	−0.027	−0.003	−0.219	−0.014	−0.107
傾　斜　Tilt	0.061	0.111	0.187	−0 050	0.020	−0.027	−0.481
地　質　Rock	−0.088	−0.039	0.055	0.066	−0.033	0.033	−0.182
土　性　Soil	0.085	0.072	−0.057	−0.141	0.150	−0.008	0.124

計算機によってタイプアウトされる結果は，反応パターン数値表のほか，Fig. 18 に示したごとく，クロス表，項目相互内部相関，項目別偏相関，単相関，重相関係数表，林分材積推定スコア表，測定値と推定値，および推定の標準偏差，推定誤差率，等である。

1)　内部相関および偏相関による森林構造解析

各森林について求められた項目別内部相関および偏相関等は Table 35 のごとくである。

この表によって，それぞれの値を参照数値として各森林を比較すれば，要因間の関連性，あるいは各要因の材積推定に対する関与性が，互いに著しく異なっていることが知られる。

すべての森林において，各項目の関与性を一様に扱っていた既往の想定とは大きな相違が見られる。

このおのおのの森林の結果は次のようである。

項目内部相関，重相関，偏相関表
of each forest when the outsider is the stand volume

X_6	X_7	X_8	Simple correlation coefficient	Multiple correlation coefficient	Partial correlation coefficient
			0.668	0.682	0.389
			0.732	0.822	0.651
			0.482	0.836	0.437
			0.557	0.891	0.556
			0.087	0.894	0.246
1.000			0.114	0.904	0.336
0.161	1.000		0.012	0 908	0.237
−0.002	−0.212	1.000	−0.019	0.908	0.096

X_8	X_9	X_{10}	X_{11}	Simple correlation coefficient	Multiple correlation coefficient	Partial correlation coefficient
				0.713	0.726	0.430
				0.835	0.875	0.752
				0.790	0.882	0.498
				−0.428	0.888	0.249
				0.351	0.891	0.294
				−0.326	0.913	0.548
				−0.168	0.913	0.303
1.000				0.007	0.922	0.448
0.131	1.000			0.287	0.933	0.449
0.105	0.125	1.000		0.100	0.955	0.509
−0.211	0.028	−0.459	1.000	0.152	0.951	0.542

原表 3.　10 ブロック　スギ(人) 天城　10 Block *Cryptomeria japonica* (artificial), Amagi

	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5
林　齢　Age	1.000				
樹　高　Tree height	0.243	1.000			
直　径　D. B. H.	0.020	0.298	1.000		
樹冠疎密度 Crown density	−0.154	−0.020	−0.062	1.000	
ha 当たり本数 No. of tree per ha.	0.216	0.391	0.104	−0.291	1.000
標　高　Altitude	0.142	−0.116	0.036	0.011	0.042
方　位　Azimuth	−0.264	−0.031	0.195	−0.062	0.081
傾　斜　Tilt	0.003	0.030	−0.176	0.024	−0.099

原表 4.　8 ブロック　ヒノキ(人)　木曽　8 Block *C. obtusa* (artificial), Kiso District

	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5
林　齢　Age	1.000				
樹　高　Tree height	0.583	1.000			
直　径　D. B. H.	0.628	0.729	1.000		
樹冠疎密度 Crown density	−0.190	−0.277	−0.124	1.000	
ha 当たり本数 No. of tree per ha.	−0.435	−0.407	−0.685	−0.211	1.000
標　高　Altitude	−0.194	0.331	0.206	−0.226	0.049
方　位　Azimuth	−0.056	−0.029	0.062	0.021	−0.052
傾　斜　Tilt	−0.166	0.061	0.049	0.117	−0.106

原表 5.　8 ブロック　ヒノキ(天)　木曽　8 Block *C. obtusa* (natural), Kiso District

	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5
林　齢　Age	1.000				
樹　高　Tree height	0.255	1.000			
直　径　D. B. H.	0.349	0.587	1.000		
樹冠疎密度 Crown density	−0.100	−0.206	−0.223	1.000	
ha 当たり本数 No. of tree per ha.	−0.114	−0.487	−0.633	0.266	1.000
標　高　Altitude	−0.013	0.060	0.398	0.218	0.032
方　位　Azimuth	0.121	−0.233	−0.145	0.287	0.233
傾　斜　Tilt	−0.195	−0.163	−0.140	−0.023	−0.104

District

X_6	X_7	X_8	Simple correlation coefficient	Multiple correlation coefficient	Partial correlation coefficient
			0.381	0.733	0.537
			0.851	0.876	0.883
			0.988	0.890	0.473
			0.212	0.934	0.721
			0.459	0.942	0.538
1.000			0.061	0.945	0.352
−0.152	1.000		0.017	0.946	0.170
−0.315	−0.127	1.000	0.011	0.948	0.242

X_6	X_7	X_8	Simple correlation coefficient	Multiple correlation coefficient	Partial correlation coefficient
			0.649	0.661	0.537
			0.890	0.902	0.789
			0.719	0.904	0.555
			−0.350	0.910	0.036
			−0.210	0.951	0.706
1.000			0.330	0.953	0.208
0.046	1.000		0.012	0.953	0.181
0.147	−0.122	1.000	0.061	0.956	0.300

X_6	X_7	X_8	Simple correlation coefficient	Multiple correlation coefficient	Partial correlation coefficient
			0.292	0.323	0.505
			0.231	0.397	0.807
			0.071	0.474	0.218
			0.334	0.594	0.476
			0.554	0.917	0.875
1.000			0.511	0.939	0.537
0.293	1.000		0.290	0.941	0.278
−0.253	−0.390	1.000	−0.285	0.943	0.229

原表 6.　7 ブロック　アカマツ(人)　新潟　7 Block *P. densiflora* (artificial), Niigata District

	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6
林　齢　Age	1.000					
樹　高　Tree height	−0.288	1.000				
直　径　D. B. H.	−0.183	0.556	1.000			
樹冠疎密度 Crown density	0.034	−0.218	−0.346	1.000		
ha 当たり本数 No. of tree per ha.	−0.155	−0.437	−0.567	0.519	1.000	
標　高　Altitude	0.271	−0.488	−0.307	0.054	0.204	1.000
方　位　Azimuth	−0.366	0.355	0.291	−0.042	−0.085	−0.309
傾　斜　Tilt	0.206	−0.164	−0.079	0.042	0.092	−0.038
地　質　Rock	−0.099	0.022	−0.050	0.050	0.138	−0.079
土　性　Soil	−0.126	−0.006	−0.023	0.047	−0.030	−0.261

原表 7.　8 ブロック　カラマツ(人)　長野　8 Block *L. leptolepis* (artificial), Nagano District

	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5
林　齢　Age	1.000				
樹　高　Tree height	0.416	1.000			
直　径　D. B. H.	−0.404	−0.443	1.000		
樹冠疎密度 Crown density	−0.266	−0.195	0.262	1.000	
ha 当たり本数 No. of tree per ha.	−0.094	−0.444	−0.052	0.366	1.000
標　高　Altitude	−0.057	0.335	−0.155	−0.081	−0.228
方　位　Azimuth	0.070	0.039	−0.091	−0.156	−0.142
傾　斜　Tilt	0.379	0.143	−0.199	−0.172	−0.195

原表 8.　10 ブロック　NL(天)　静岡　10 Block mixed forest (natural), Shizuoka District

	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7
林　齢　Age	1.000						
樹　高　Tree height	0.024	1.000					
直　径　D. B. H.	0.132	0.431	1.000				
樹冠疎密度 Crown density	0.179	0.068	−0.006	1.000			
樹冠直径　Diameter	0.134	−0.516	−0.158	−0.079	1.000		
ha 当たり本数 No. of tree per ha.	0.093	−0.332	−0.538	0.325	0.049	1.000	
標　高　Altitude	−0.245	−0.027	−0.019	−0.021	−0.113	0.061	1.000
方　位　Azimuth	0.038	−0.065	0.029	0.136	−0.002	0.306	−0.156
傾　斜　Tilt	0.052	0.193	0.116	−0.117	−0.211	−0.038	−0.209
土　性　Soil	−0.184	0.122	0.230	0.071	0.012	−0.079	0.358
混合歩合　Mixture	0.072	0.080	0.091	0.134	0.155	0.027	−0.059

X_7	X_8	X_9	X_{10}	Simple correlation coefficient	Multiple correlation coefficient	Partial correlation coefficient
				−0.045	0.304	0.445
				0.578	0.601	0.750
				0.290	0.644	0.269
				0.147	0.685	0.174
				0.061	0.762	0.450
				−0.145	0.777	0.442
1.000				0.343	0.810	0.450
−0.392	1.000			0.098	0.827	0.467
−0.072	−0.046	1.000		0.133	0.835	0.308
0.220	−0.137	−0.178	1.000	0.021	0.844	0.276

X_6	X_7	X_8	Simple correlation coefficient	Multiple correlation coefficient	Partial correlation coefficient
			0.379	0.503	0.445
			0.669	0.733	0.793
			−0.239	0.749	0.269
			0.366	0.872	0.707
			0.013	0.885	0.448
1.000			0.230	0.890	0.170
0.179	1.000		0.065	0.896	0.315
−0.042	−0.093	1.000	0.066	0.901	0.259

X_8	X_9	X_{10}	X_{11}	Simple correlation coefficient	Multiple correlation coefficient	Partial correlation coefficient
				0.156	0.346	0.118
				0.538	0.584	0.813
				0.362	0.611	0.688
				0.429	0.808	0.409
				−0.300	0.809	0.199
				0.331	0.910	0.791
				0.189	0.918	0.537
1.000				0.419	0.940	0.587
−0.110	1.000			0.060	0.941	0.124
0.108	−0.107	1.000		0.280	0.941	0.100
0.221	−0.134	0.136	1.000	0.232	0.942	0.157

原表 9.　北海道有林　エゾ・トド(天)　*Abies* and *Picea* in Hokkaido District (natural)

	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5
樹高(上)　Tree height (upper)	1.000				
樹高(全)　Tree height (whole)	−0.311	1.000			
直径(上)　D. B. H. (upper)	0.614	−0.137	1.000		
直径(全)　D. B. H. (whole)	0.395	−0.324	0.488	1.000	
疎 密 度　Crown density	0.229	−0.246	0.032	0.047	1.000
ha 当たり本数 No. of tree per ha.	−0.125	0.061	−0.440	−0.108	0.319
標　　高　Altitude	−0.158	0.019	−0.244	−0.439	0.057
方　　位　Azimuth	−0.132	0.173	−0.107	−0.179	−0.165
混合歩合　Mixture	0.242	−0.175	0.028	0.212	0.174

（1）　第7ブロック（新潟）スギ人工林

林齢のみの材積推定への関与率は他の森林にくらべ最も低く，いわば植栽年数から材積を見積ることはできないが，樹高または直径と疎密度の項を加えることで，重相関係数が 0.9 近くの確かさで推定値が得られる。

地況要因としては標高のみが関与性のある要因として認めうる（偏相関値 0.336）。ことに傾斜には材積との関連性はないといえよう。

林齢は，樹高（内部相関値 0.542）と直径（0.641）の両者に関連性が高いが，樹高と直径の間の関連性は低い（0.221）。これは樹幹形の変化が著しいことによる。

立木本数は材積推定にそれほどの重要性はない（0.246）〔上記および以下の（　）内は内部相関または偏相関値を参照に示す〕。

（2）　第9ブロック（関東，茨城）スギ人工林

齢級は林況の各要因に明らかに関連する。

また樹高（0.665）と直径（0.744）には高い相関を示す。

材積推定には特に樹高（0.752）の関与率が高く，その一変数による材積推定も可能であり，このような場合の解析には樹高，直径の両者を同時に項目に用いる必要はない。

なお地況項目については標高よりも（0.303），傾斜（0.449），方位（0.448）が材積への関与性が高い。

（3）　第10ブロック（天城）スギ人工林

林齢は樹高（0.243），直径（0.020）等，林況要因と非常に低い相関しかないことはこの森林の著しい特色である。

材積推定に当たっては樹高（0.883），疎密度（0.721）が最も大きく関与しており，齢級よりも地位の差の大きいことを示す。

また，この森林においては，各項目とも相互間の内部相関値は非常に低い。

（4）　第8ブロック（長野）ヒノキ人工林

ヒノキ人工林においては，樹高と直径間の相関は著しい（0.729）。

林齢は樹高（0.583），直径（0.628），本数（0.435）と関連を示し，本数は直径と密接な関係を示す（0.685）。

X_6	X_7	X_8	X_9	Simple correlation coefficient	Multiple correlation coefficient	Partial correlation coefficient
				0.541	0.541	0.377
				−0.171	0.560	0.217
				0.362	0.573	0.527
				0.454	0.619	0.478
				0.564	0.787	0.639
1.000				0.469	0.900	0.728
0.161	1.000			−0.181	0.907	0.067
−0.031	0.137	1.000		0.053	0.916	0.396
0.258	−0.419	−0.213	1.000	0.489	0.927	0.480

疎密度が何の関連をもたぬことは著しい特色である。

材積推定には樹高（0.789）と本数（0.706）が最も重要な要因である。

（5） 第8ブロック（長野）木曽ヒノキ天然林

人工林と比較して，林齢と樹高との関連性（0.255），また樹高と直径の相関（0.587）もはるかに低いが，本数と樹高（0.478），直径（0.633）間の関係には，人工林と同様な傾向が見られ形態的には類似していることを示す。

材積推定に樹高，本数の関与性の高いことは同様であるが，方位，傾斜また標高等地況要因の関与性が人工林にくらべはるかに高い。ことに標高要因はこれを除くことができない（0.537）。

これにはヒノキ天然林が現在分布する位置と，林型にも関与性があるものであろう。

（6） 第7ブロック（新潟）アカマツ人工林

スギ，ヒノキ人工林と比較すれば，アカマツ林ははるかに天然林に近い性格をもつ。すなわち，林齢と他の要因との関連は少なく，直径対樹高（0.556）を別とすれば，林分要因中本数項目のみが樹高（0.437），直径（0.567），疎密度（0.519）との間の関連性が高い。

また樹高階は標高階と関連がある（0.488）。

材積推定に関与するものとしては，樹高要因についで（0.750），標高（0.442），方位（0.450），傾斜（0.467）等の地況要因の関与性が高い。

（7） 第8ブロック（長野）カラマツ人工林

カラマツ人工林は疎密度と他の要因との関連性が低いほかは，ヒノキ人工林に近い斉一な構造である。

材積推定に関与するものとしては樹高要因（0.793），疎密度（0.707）が著しく，ついで本数（0.448），林齢（0.445）が明らかである。

要因中標高と樹高（0.335），傾斜と林齢（0.379）に関連性のみられることは，同地方カラマツ林においては高地，傾斜地に主として高齢林が多く，若齢相が低平地に増加しているため，またはそのような資料の性質によるものと思われる。

（8） 第10ブロック（静岡）ＮＬ天然林

天然林においてはいうまでもなく林齢と各要因，または林分材積との関連性は認め難い。むしろＮＬ天然林において，林齢を査定することは何ら信ぴょう性のあるものでないことを示す。

要因間の関連性は樹高と樹冠直径（0.516），本数と直径（0.538）以外は一般にきわめて低い。

材積には樹高階（0.813），立木本数（0.791）の相関が高い。また，標高（0.537），方位（0.587）にも関連性が認められる。

（9） 北海道，北見地方針葉樹天然林

北見地方エゾ，トド天然林において，材積推定に関与するものとしては，上層木平均樹高（0.377）が全立木平均樹高（0.216）よりも高く，また上層木平均直径（0.526）が，全立木平均直径（0.478）より高く

Table 36.　判読資料による材積推定項目・Items and categories for volume estimation

項　目 Items	7 ブロック スギ（人）（新潟） 7 Block *C. japonica* (artificial), Niigata		9 ブロック スギ（人）（関東） 9 Block *C. japonica* (artificial), Kanto			10 ブロック スギ（人）（静岡） 10 Block *C. japonica* (artificial), Shizuoka		7 ブロック アカマツ（人）（新潟） 7 Block *P. densiflora* (artificial), Niigata		
林　齢 Age	6 0.389	6 0.388	7 0.430	4 0.621		6 0.537	6 0.552	5 0.445	5 0.269	
樹　高 Tree height	5 0.651	6 0.646	5 0.752		5 0.873	5 0.883	5 0.844	4 0.760		4 0.684
直　径 D. B. H.	5 0.437		6 0.498			6 0.473		4 0.269		
樹冠疎密度 Crown density	4 0.556	4 0.614	3 0.249			4 0.721	4 0.657	2 0.174		
樹冠直径 Crown diameter			3 0.295	3 0.371						
ha 当たり本数 No. of tree per ha.	3 0.246		4 0.548	3 0.022	3 0.213	3 0.538	3 0.381	4 0.500	4 0.358	4 0.486
標　高 Altitude	3 0.336		3 0.303	3 0.455		3 0.170		3 0.442	3 0.069	
方　位 Azimuth	5 0.237		8 0.448	5 0.198	5 0.233	5 0.170		9 0.467	5 0.319	5 0.257
傾　斜 Tilt	4 0.096		4 0.449	4 0.508	4 0.393	4 0.242		4 0.467	3 0.175	3 0.228
地　質 Rock			7 0.509					5 0.308		
土　性 Soil			3 0.542					5 0.276		
混交歩合 Mixture										
データー数 N	85		95			86		82		
項目数 Items	8	4	11	6	4	8	4	10	5	4
カテゴリー Category	35	18	54	22	17	36	17	45	20	16
重相関 R.	0.908	0.893	0.951	0.834	0.899	0.948	0.931	0.844	0.529	0.732
σ	69.52	75.16	53.84	100.05	78.63	53.53	62.47	29.94	48.04	38.04

注） 上段数値は Categories 数

現われており，このような林分では測定要因として，上層木を対象とすることの有利性を示す。

材積推定の重要要因としては立木本数（0.728），疎密度（0.637）が明りょうであり，また方位，混交形にも関連が見られる。

なお北海道天然林については，後節3においてさらに述べる。

上記，各森林の解析結果を総合してみれば，林齢が材積に関与する率は全般的に見てわれわれが予想したものよりも悪かった。

ことに針広天然林においては，調査簿等に記載された予察の林齢値を材積推定に参与せしめることはむしろ誤差の原因となるであろう。また林齢は地位変動の大きな森林では樹高との関連性が低くなる。

カテゴリー別相関値一覧表

and their correlation coefficients

8 ブロック　カラマツ(人)（長野） 8 Block *L. leptolepis* (artificial), Nagano		8 ブロック　ヒノキ(人)（長野） 8 Block *C. obtusa* (artificial), Nagano		8 ブロック　ヒノキ(天)（長野） 8 Block *C. obtusa* (natural), Nagano		10 ブロック　(天)（静岡） 10 Block, mixed forest (natural), Shizuoka			北海道(北見)エゾ，トド *Abies* and *Picea* in Hokkaido at Kitami
5 0.445	5 0.417	6 0.537	6 0.586	3 0.505		4 0.118			3 0.377
7 0.793	7 0.795	4 0.789	4 0.828	4 0.807	4 0.801	4 0.813		4 0.695	上層木 3 全体 0.217
5 0.269		4 0.555		4 0.272		5 0.688			上層木 3 0.527 全体 4 0.478
3 0.707	3 0.659	2 0.036		3 0.476	3 0.371	3 0.409	3 0.481	3 0.488	4 0.639
						2 0.198	2 0.204		
7 0.448	7 0.341	5 0.706	5 0.545	4 0.875	4 0.860	5 0.791	3 0.221	3 0.399	3 0.728
4 0.170		3 0.208	3 0.300	5 0.537	5 0.647	5 0.537	4 0.355		3 0.067
5 0.315		4 0.181		5 0.278		8 0.587	4 0.274	4 0.344	4 0.396
4 0.259		4 0.300		4 0.229		3 0.124	2 0.149		
						2 0.100			
						3 0.157	3 0.260		4 0.480
97		96		61		68			70
8	4	8	4	8	4	11	7	4	9
40	22	32	18	32	16	45	21	14	32
0.901	0.882	0.943	0.935	0.943	0.910	0.942	0.697	0.846	0.9268
3.458	37.67	29.73	36.99	64.30	82.84	27.27	54.64	45.23	27.850

樹高要因は常に材積推定に高い関与性を示すのが通例であり，特に人工林においては欠くことのできない要因である。また，これは直径要因とも明らかな相関を示すことは当然予想される。それは元来，これらの材積が直径，樹高を測定因子として作られた材積表によって求められていることにもよる。

樹冠疎密度と本数，またはそのいずれかが材積推定に関与する率は大きい。

しかし，その間には第7ブロック，アカマツを除いては明らかな関連を見ることのできないのは，人工林であっても全体を一集団として見るときは，その内部には多くの生育の差や，間伐その他取扱いによる変化の現われが多いためといえよう。

地況の要因は一般に林況要因との関連を示す度合は少ないが，材積推定に関与する率は少ないとはいえない。それらは現存する森林の形態に地況上，分布に傾向があることにもよるものであろう。

なお全体的に見て齢級，樹高，直径の要因の若干例を除いては，各要因相互の関連は数値上より見て低い。

もし0.2以下を測定誤差の見地から除き去れば，他との関連が明らかに認めうるものは非常に少ないといえよう。

6. 推定数値表作成のための検討

1) 検討試験

(1) 項目，カテゴリーの種類と数の選定

各資料において，推定数値表の項目として選定する要因の数，カテゴリー区分を変えた場合のそれぞれの材積推定に対する重相関係数，および選ばれた項目ごとの偏相関係数値の変化の例を Table 36 に示す（この計算における反応パターン数値表，クロス表，内部相関表，スコア表，等は「昭和44年度経営部担当官会議資料〔1〕，林業試験場経営部，1969. 3. p. 51～412，未公刊」参照）。

この結果から各資料とも Table 36 の第1欄目にかかげる全項目を用いたものに比べ，第3行目の最も関与性が高いと数値的に現われた適正4項目のみをそれぞれの森林について選定した結果が，精度上から見ればそれほど大きな差をあらわさず，またそのうちの3例については，第2行目に示したより多くの異なる項目の組合せによる結果よりも良好である。

これは，項目の選定が推定を目的とした演算には重要なものであることを示す。

各要因中樹高階を項目のうちから除くことは，不得策であることが本表より示されているといえよう。

さらに同一資料による項目，カテゴリー，演算加入順位等の変更による計算結果の偏相関，重相関の各数値の相違の例を，第9ブロック（関東）スギ人工林について Table 37 に示す。

この計算に用いた項目とその順位，カテゴリー区分，計算の細目は Table 34（巻末）に示す。

Table 37, 34 の 1～7 の計算において，計の5を除き林齢要因を演算項目の第1位としているのは，この要因はかならずしも各要因中で材積関与性について最優先するものではなく，また写真観測上適正な要因ではないが，人工林においては少なくとも記録によって最も誤りなく求められ，また管理取扱いの上の分類基準として重要な要因であるからである。

1～3 の計算については前述したものである。「計算4」は 1～3 の結果を参照に，主として写真上の観測の可否，難易により，最も一般的と考えられるものを項目，カテゴリーに選び，また演算加入順位を定めたものである。

「計算5」においては「計算4」の項目，カテゴリーを変えることなく，ただ演算順位を変更した。

Table 37.　同一外的基準（立木材積）に対する項目，カテゴリー変更による偏相関・重相関の相違
（9 ブロック　関東スギ　例）

Difference of the partial and multiple correlation coefficients on conditon that using the exchanged different items or the different categories under the same outsider

順位（カテゴリー区分）計算偏相関 Cases / 項目 Item	1	2	3	4	5	6	7
林　齢　Age	X_1 (7) 0.430	X_1 (4) 0.621		X_1 (7) 0.508	X_2 (7) 0.532	X_1 (5) 0.398	X_1 (5) 0.587
樹　高　Tree height	X_2 (5) 0.752		X_1 (5) 0.873	X_2 (5) 0.793	X_3 (5) 0.869	X_2 (9) 0.895	X_2 (5) 0.812
直　径　D. B. H.	X_3 (6) 0.498						
樹冠疎密度　Crown density	X_4 (3) 0.249			X_9 (3) 0.103	X_9 (3) 0.099	X_9 (3) 0.106	X_9 (3) 0.266
樹冠直径　Crown diameter	X_5 (3) 0.295	X_2 (3) 0.371					
ha 当たり本数 No. of tree per ha.	X_6 (4) 0.548	X_3 (3) 0.622	X_2 (3) 0.213	X_3 (4) 0.412	X_1 (4) 0.560	X_3 (5) 0.400	X_3 (6) 0.407
標　高　Altitude	X_7 (3) 0.303	X_4 (3) 0.455		X_5 (3) 0.141	X_6 (3) 0.152	X_5 (5) 0.247	X_5 (4) 0.251
方　位　Azimuth	X_8 (8) 0.448	X_5 (5) 0.198	X_3 (5) 0.233	X_8 (5) 0.231	X_7 (5) 0.251	X_8 (5) 0.202	X_8 (5) 0.290
傾　斜　Tilt	X_9 (4) 0.449	X_6 (4) 0.508	X_4 (4) 0.393	X_4 (4) 0.499	X_4 (4) 0.536	X_4 (4) 0.514	X_4 (4) 0.447
地　質　Rock	X_{10} (7) 0.509			X_7 (7) 0.489	X_5 (7) 0.491	X_7 (3) 0.573	X_7 (7) 0.595
土　性　Soil	X_{11} (3) 0.542			X_6 (3) 0.463	X_8 (3) 0.457	X_6 (3) 0.072	X_6 (3) 0.223
項　目　数　Items	11	6	4	9	9	9	9
カテゴリー　Categories	54	32	17	48	48	46	43
重　相　関　Multiple correlation coefficient	0.951	0.834	0.899	0.939	0.939	0.951	0.945
摘　　要　Summary	基礎解析	要因欠除	小数選定要因項目	通常要因項目	4 の項目演算順位変更	4 の $X_{1,2,3,5}$，カテゴリー変更	4 の $X_{4,5}$，カテゴリー変更

X_1　(7)←カテゴリー数 Categories
0.430←偏相関 Partial correlation coefficient
演算順位 Order

「計算 6」，「計算 7」においては「計算 4」の項目の，カテゴリー区分を変更した。

これらの結果を総合すれば，

i）単に項目の演算順位を変更した場合は，全項目による推定の重相関係数値に変化はない。

ii）各項目の偏相関係数は，演算順位が上がるにつれて推定への重みが加わるために，下位にある場合よりも増加する傾向がみられた。

　しかし常に関与性の高い偏相関値を示す安定した要因ではほとんど相違なく，その変化は 0.1 以下であった。

iii）カテゴリー区分が細分化されるにつれて，その項目の偏相関係数は大となる傾向がある。

iv）推定に関与性の高い項目のカテゴリー区分が細分化されるほど，全項目による重相関係数は大きく向上する。

これらの結果は，推定に関与性の高い要因のカテゴリーの細分化が計算上は有利であることを示している。

しかしながら，カテゴリーの細分化は前に記した観測，判定の精度，工程と資料数に応じた検討がされなければならない。むしろ，観測の誤差ができるだけさけられるような区分を第一要件として，細分化が計られるべきであろう。

2）　要因群偏相関係数および重相関係数による項目の順位と有効な項目数の検討

要因群偏相関係数は，その項目を加えることによって生じた推定への効果をはかる尺度である。

同じく 9 ブロック，スギの例を用いて上記各計算における各項目の要因群偏相関係数と項目を，一つずつ増加した場合の重相関係数の変化を Table 38 に示す。

Table 38 において，基礎解析計算を行なった「計算の 1」を除き，写真観測要因を項目とした場合，この 9 ブロック，スギ人工林において，重相関係数が0.91を満たす推定をおこなうには「計算 4，5，7」で上位より 4 項目を，「計算 6」では 3 項目を用いればよいことが知られる。

同様に重相関係数を，ほぼ 0.93 以上に期待するためには「計算 4，7」においては 7 項目，「計算 5，6」で 5 項目を用いればよいことが知られる。

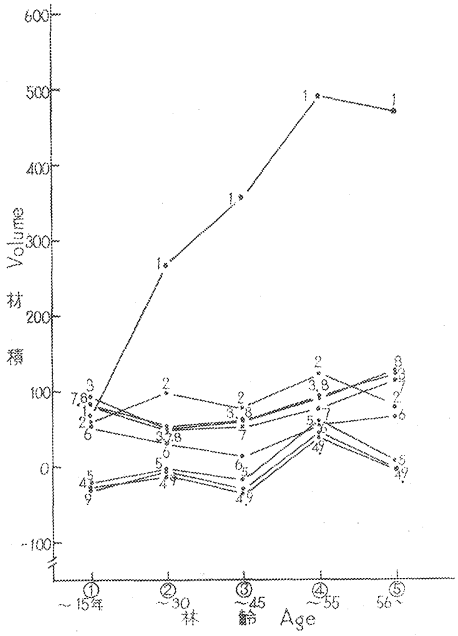
3）　項目間の関連性がスコアにおよぼす影響の検討

与えられた外的基準に対して，各カテゴリーに与えられるスコアは，各項目が独立であれば項目の累加

Table 38.　同一外的基準（材積）に対する項目，カテゴリー区分，順位変更による要因群偏相関および重相関の変化（第 9 ブロック　スギ人工林）
Partial and multiple correlation coefficients as the different items and categories, also order

		X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	X_{10}	X_{11}
計算 1	R.	0.726	0.875	0.882	0.888	0.891	0.913	0.913	0.922	0.933	0.950	0.957
	P.R.		0.710	0.229	0.219	0.159	0.439	0.000	0.315	0.369	0.497	0.140
2	R.	0.729	0.756	0.759	0.773	0.784	0.834					
	P.R.		0.293	0.326	0.225	0.206	0.458					
3	R.	0.869	0.878	0.883	0.899							
	P.R.		0.253	0.196	0.360							
4	R.	0.726	0.875	0.897	0.915	0.915	0.918	0.935	0.939	0.939		
	P.R.		0.716	0.408	0.408	0.087	0.184	0.448	0.244	0.065		
5	R.	0.348	0.729	0.897	0.914	0.932	0.933	0.937	0.938	0.939		
	P.R.		0.683	0.764	0.397	0.449	0.114	0.240	0.124	0.125		
6	R.	0.708	0.896	0.914	0.924	0.928	0.934	0.949	0.951	0.951		
	P.R.		0.778	0.406	0.334	0.225	0.284	0.470	0.196	0.000		
7	R.	0.729	0.881	0.893	0.906	0.914	0.921	0.939	0.943	0.945		
	P.R.		0.723	0.308	0.340	0.285	0.279	0.470	0.252	0.185		

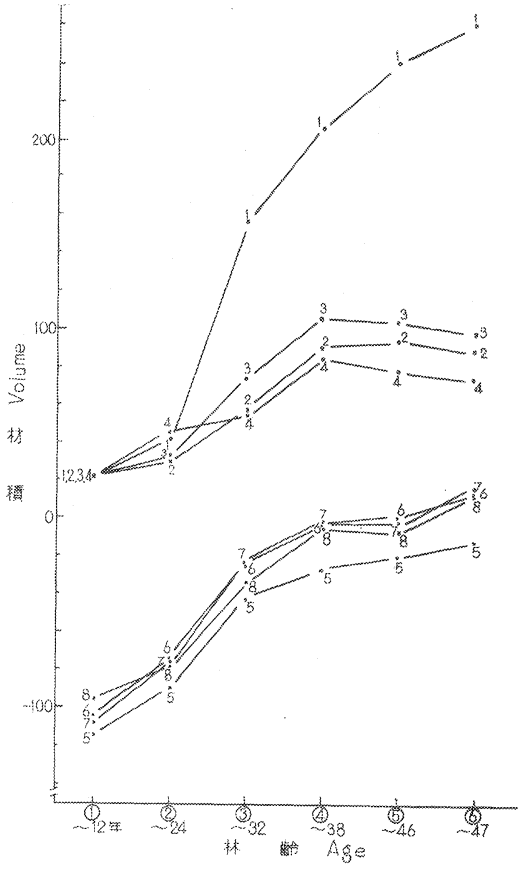
X_1～X_{11} の項目は Table 37 参照。
R＝重相関係数　Multiple correlation coefficients.
$P.R.$＝要因群偏相関係数　Partial correlation coefficient.



加算スコア内容
Content of accumulated score

番号 No.	記号 Symbol	項目名 Item	内容 Content
1	X_1	林齢 Age	X_1 のみ
2	X_2	樹高 Tree height	$1+X_2$
3	X_3	ha 当たり本数 No. of tree per ha.	$2+X_3$
4	X_4	傾斜 Tilt	$3+X_4$
5	X_5	標高 Altitude	$4+X_5$
6	X_6	土性 Soil	$5+X_6$
7	X_7	地質 Rock	$6+X_7$
8	X_8	方位 Azimuth	$7+X_8$
9	X_9	樹冠疎密度 Crown density	$8+X_9$

Fig. 22　林齢 X_1（第9ブロック，スギ，6回目）
Score of the forest ages in block 9, *Cryptomeria japonica.*



加算スコア内容
Content of accumulated score

番号 No.	記号 Symbol	項目名 Item	内容 Content
1	X_1	林齢 Age	X_1 のみ
2	X_2	樹高 Tree height	$1+X_2$
3	X_3	直径 D. B. H.	$2+X_3$
4	X_4	樹冠疎密度 Crown density	$3+X_4$
5	X_5	ha 当たり本数 No. of tree per ha.	$4+X_5$
6	X_6	標高 Altitude	$5+X_6$
7	X_7	方位 Azimuth	$6+X_7$
8	X_8	傾斜 Tilt	$7+X_8$

Fig. 23　林齢 X_1
（第8ブロック，ヒノキ，第1回）
Score of the forest ages of the block 8, *C. obtusa.*

に関係なく一様な傾向を示すものである。しかし新たに加えられる項目との間に，何らかの関連性があった場合，スコアには新たに加えられた項目による影響があらわれる。明らかに相互関連をもつ項目を用いることがこの手法に反するのは，それによる演算加入の順位の変化によって項目内のスコア値の変化が大きくなり，著しい変動を含むものとなるからである。

1：例として，第 9 ブロック，スギ人工林の「第 6 回計算」における林齢項目のスコアの変化を Fig. 22 に示す。

加算スコア内容
Content of accumulated score

番号 No.	記号 Symbol	項目名 Item	内容 Content
1	X_2	樹高階　Tree height	X_2 のみ
2	X_3	ha 当たり本数 No. of tree per ha.	$1+X_3$
3	X_4	傾　斜　Tilt	$2+X_4$
4	X_5	標　高　Altitude	$3+X_5$
5	X_6	土　性　Soil	$4+X_6$
6	X_7	地　質　Rock	$5+X_7$
7	X_8	方　位　Azimuth	$6+X_8$
8	X_9	樹冠疎密度 Crown density	$7+X_9$

この場合，演算項目に第 2 項目「樹高階，X_2」を加えたとき，スコアには著しい変化を生じ，以後のスコアはあまり有意性のない一様なものとなる。これは林齢と樹高階に高い関連があり (0.675)，しかも材積推定に対する林齢の関与性 (0.398) よりも，樹高階 (0.895) がはるかに強いことによる結果である。

なお，カテゴリーの変化を見れば，X_6 (土性) を加えるまでは，カテゴリー④ (55年生) までと⑤ (56年生以上) との間に材積推定への関与性に

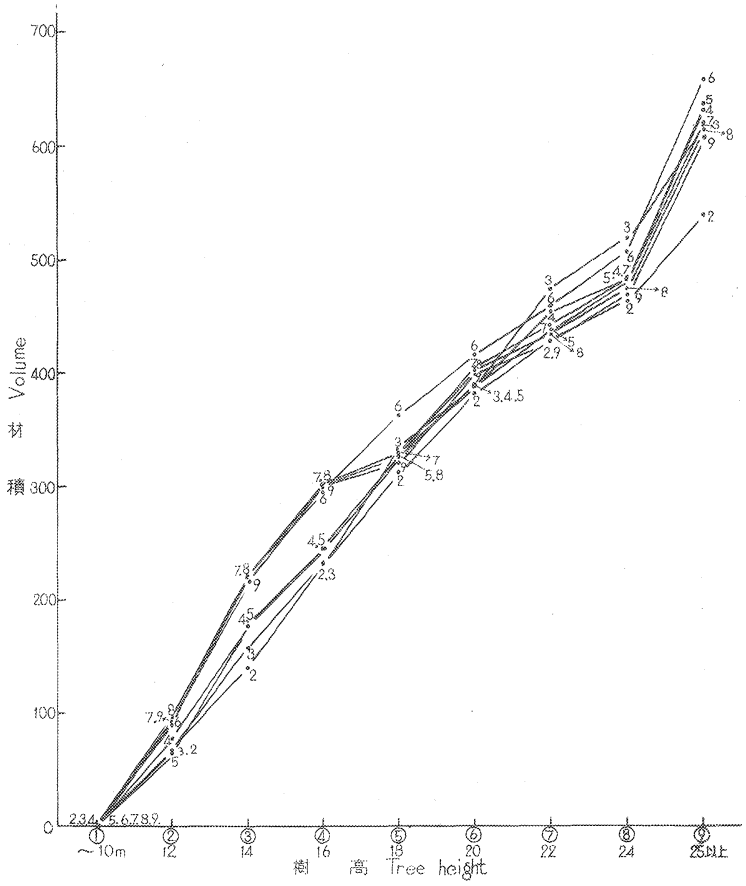


Fig. 24　樹高 X_2
(第 9 ブロック，
スギ，6 回目)
Score of the height classes of the block 9, *Cryptomeria japonica.*

Table 39.　9ブロック　スギ（人）の内部相関表（6回目）
Inner correlation coefficients of the 9 block *Cryptomeria japonica* (artificial), case (6)

項目 Items	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	Y
樹齢 Age X_1	1.000									0.341
樹高 Tree height X_2	0.387	1.000								0.882
ha当たり本数 No. of tree per ha. X_3	−0.507	−0.490	1.000							−0.309
傾斜 Tilt X_4	0.034	0.051	−0.026	1.000						0.225
標高 Altitude X_5	−0.021	0.130	0.102	0.031	1.000					0.148
土性 Soil X_6	−0.268	−0.073	0.114	−0.311	−0.340	1.000				0.034
地質 Rock X_7	−0.212	0.010	0.073	−0.070	−0.242	0.644	1.000			0.251
方位 Azimuth X_8	−0.051	−0.134	−0.110	0.211	0.056	−0.087	−0.026	1.000		−0.048
樹冠疎密度 Crown density X_9	−0.021	0.439	0.078	−0.060	0.071	0.153	0.107	−0.065	1.000	0.459

差がある。

人工林における林齢スコアは，ほぼこれと同様の傾向を示す。Fig. 23 に第8ブロック（長野）ヒノキ人工林の，第1回計算（基礎解析）の林齢スコア例を示す。

この森林では X_2（樹高階）と X_5（ha当たり本数階）を加える段階で，2度の著しい差が生じる。他はおおむね一様である。

この場合の X_2（樹高階）との内部相関係数は0.58，X_5（本数階）は0.43である。

また X_2〜X_4 を加えるまではカテゴリー，④〜⑥（38年生以上）を区分する必要はないが，X_5 を加えた以後は区分の有意性が現われる（他の森林の例は略す）。

2：樹高階項目のスコア変化例を第9ブロック，スギ「計算6」について，Fig. 24 に示す。

樹高階はほとんどすべての森林で，このようなきわめて強い一ような材積との関与性を示す有効な要因である。

この図によって，わずかにカテゴリー③〜④の間（樹高階13〜17m）で，X_6〔土性との関連があらわれ，また⑧〜⑨（24〜25m以上）〕の間に異なる傾向が予測されるのみである。

Table 39 は9ブロック，スギ，6回目の内部相関表であるが，全体的に見て内部相関係数よりは，明らかな互いの関連性は認められない。

3：ha当たり立木本数階は，一般に均一性をもっている。ただし，カテゴリー区分により変化点をもつことが多い。

第9ブロック，スギ人工林の例を Fig. 25 に示す。

この図においてはカテゴリー④と⑤（ha当たり2,000本以下と以上）で材積推定への関与性は異なる。

4：傾斜区分の例を Fig. 26 に示す。これにおいてはカテゴリー①（平坦）は他のものとは全く別の性質のものといえよう。

5：標高は場合によってはカテゴリー間で差を生ずることがある。Fig. 27 の例において，カテゴリー②（301～450 m）にあってはスコアの変動が大きく，他の項目の影響を受けやすい不安定な要因であるが，④（450 m 以上）では安定した項目となる。

6：方位要因は Fig. 28 では著しく不規則であるが，これを平面図とすれば Fig. 29 のごとく材積推定関与上の方向性が見られる。

これら若干例に示したごとく，項目間の相互関連性はすべてのカテゴリーを通じて影響をおよぼす場合と，特定カテゴリー部分に影響のあらわれるものがある。

加算スコア内容
Content of accumulated score

番号 No.	記号 Symbol	項目名 Item	内容 Content
1	X_3	ha 当たり本数 No. of tree per ha.	X_3 のみ
2	X_4	傾斜 Tilt	$1+X_4$
3	X_5	標高 Altitude	$2+X_5$
4	X_6	土性 Soil	$3+X_6$
5	X_7	地質 Rock	$4+X_7$
6	X_8	方位 Azimuth	$5+X_8$
7	X_9	樹冠疎密度 Crown density	$6+X_9$

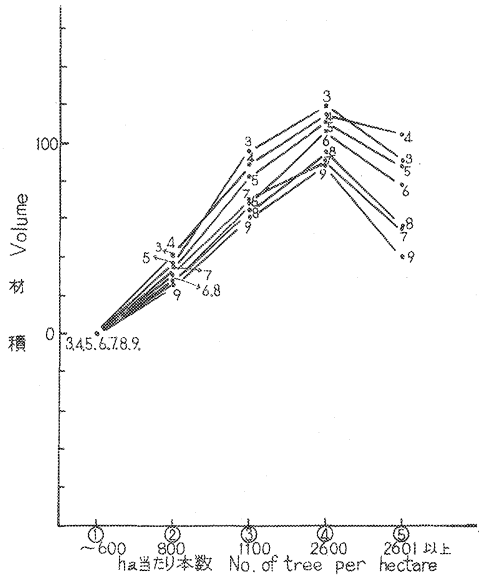
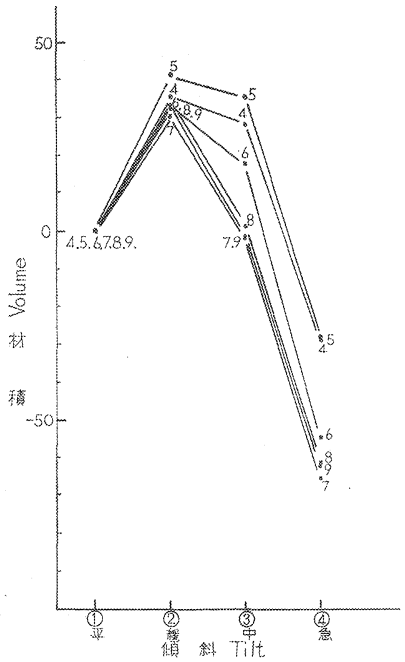


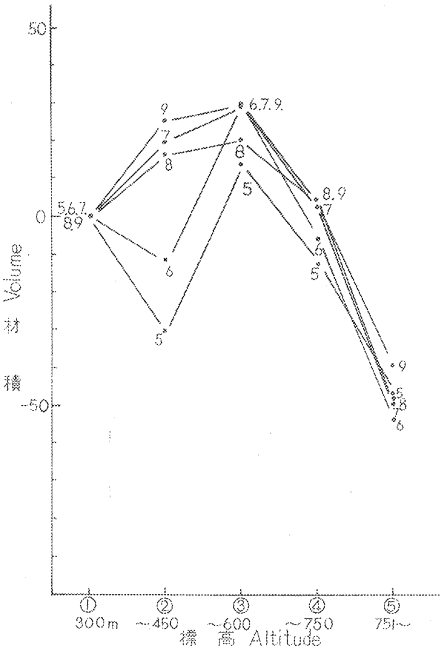
Fig. 25　ha 当たり本数 X_3
（第 9 ブロック，スギ，6 回目）
Score of the no. of tree per ha.
in block 9, *Cryptomeria japonica.*



加算スコア内容
Content of accumulated score

番号 No.	記号 Symbol	項目名 Item	内容 Content
1	X_4	傾斜 Tilt	X_4 のみ
2	X_5	標高 Altitude	$1+X_5$
3	X_6	土性 Soil	$2+X_6$
4	X_7	地質 Rock	$3+X_7$
5	X_8	方位 Azimuth	$4+X_8$
6	X_9	樹冠疎密度 Crown density	$5+X_9$

Fig. 26　傾斜 X_4（第 9 ブロック，スギ，6 回目）
Score of the tilt in block 9,
Cryptomeria japonica.



加算スコア内容
Content of accumulated score

番号 No.	記号 Symbol	項目名 Item	内容 Content
1	X_5	標高 Altitude	X_5 のみ
2	X_6	土性 Soil	$1+X_6$
3	X_7	地質 Rock	$2+X_7$
4	X_8	方位 Azimuth	$3+X_8$
5	X_9	樹冠疎密度 Crown density	$4+X_9$

Fig. 27　標高 X_5（第9ブロック，スギ，6回目）
Score of the altitude in block 9,
Cryptomeria japonica.

加算スコア内容
Content of accumulated score

番号 No.	記号 Symbol	項目名 Item	内容 Content
1	X_8	方位 Azimuth	X_8 のみ
2	X_9	傾斜 Tilt	$1+X_9$
3	X_{10}	地質 Rock	$2+X_{10}$
4	X_{11}	土性 Soil	$3+X_{11}$

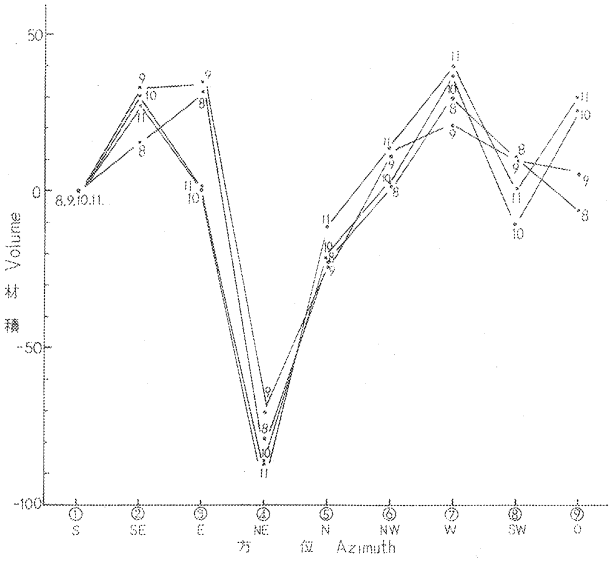


Fig. 28　方位 X_8
（第9ブロック，スギ，1回目）
Score of the azimuth in block 9,
Cryptomeria japonica (1).

前者については内部相関係数を参照して予測しうるが，後者ではそれでは予測しえない。

また，カテゴリー間の変動が著しいときは質的な区分，数量的な区分ともに区分域とその順位の変更でスコア傾向の定形化を計りうる場合がある。

4)　検討に対する総合考察

（1）　資料数と不偏性について

解析計算における各項目のカテゴリーに与えられるスコアは，資料として与えた外的基準に対して，最も誤差が少なく推定しうるように求められたものであり，その資料に対してはきわめて忠実であるといえよう。

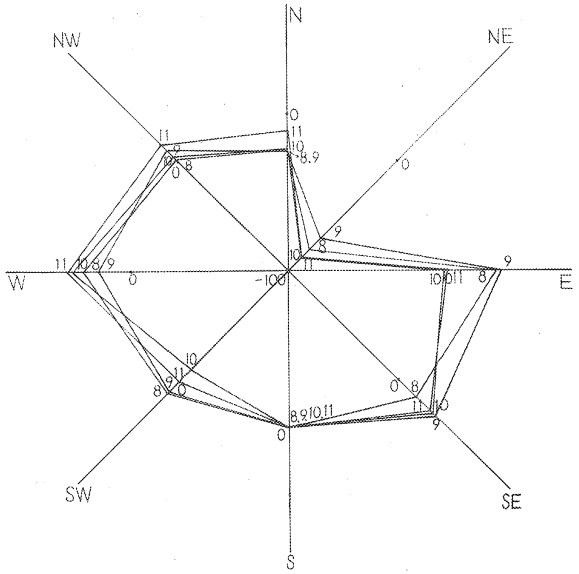


Fig. 29　方位
(Fig. 25 の平面図)
(第 9 ブロック, スギ, 1 回目)
Score of the azimuth in block 9,
Cryptomeria japonica (2).

したがって，この結果を応用して他の資料から，その森林での外的基準項目を推定しようとするスコア値をうるためには，第 1 に，解析計算に用いた資料の性質が適用しようとする森林集団を，かたよりなく代表していることが必要である。

それは標本調査における母集団対抽出標本との関係と同様な立場であって，このために，多変量解析においては資料，すなわち標本数は一般に多いことが期待される。

しかしながら，森林調査においては市場調査，あるいは与論調査のごとき大規模に多くの資料を整えることは，全國調査のような場合を除いては困難といえよう。

限られた標本数を母集団より偏りなく抽出する方法として，標本調査法においては各種の抽出法が適用されることは前述したが，多変量解析においても空中写真による母集団の層化や，その抽出法の適用は，同様に資料の不偏性を高めうる有効な手段であろう。

しかしながら，この解析には各項目，カテゴリー内の線形回帰を基準とするものであるから，項目，カテゴリーが決定されているのであれば，それぞれの回帰式を満足させうるに足る資料数は最小限必要であり，また資料数に応じて項目，カテゴリーの区分は制約されねばならない。

（2） 項目，カテゴリーの選定

解析結果が与えた資料に忠実であることは，一方において，その資料のみに生じたような偶然的な項目，あるいはカテゴリーの結果がそのなかにあったとしても，それにも有意な値が与えられうることである。

したがって，適用に当たっては解析の内容が調査母集団にとって，「可能であれば法則性の解析にまで期待しうるもの」が項目として選ばれねばならない。

その検討は，既往よりの積み重ねられた林学的知識による判断とともに，解析結果にあらわれた内部相関係数，また偏相関係数などの値を相対的な参照として用いることができる。

各項目の偏相関は，外的基準を変えた場合には異なるのは当然であるが，通常その際，内部相関にも多少の変化は生じるものである。その変化はそれほど大きくないはずである。

また，同一外的基準に関しても項目を計算に加える順位，カテゴリーの区分を変えた場合は偏相関自体

若干変化するものである。

この両者は原理的には変化のないもののはずではあるが，それは元来，森林構成要因の相互，また立地環境要因と林況との間には，多かれ少なかれ関連性が存在し，完全な独立変数でないことに起因するともいえよう。

この解析の手法においては，各項目の独立性と不偏性が，計算の結果に明らかに影響をおよぼすほど仮定に反した場合には，その項目を使うことは不適切であろう。

したがって，内部相関が高い値を示すもの相互については測定の難易，精度確認の期待性比較等を参照していずれか一方を選ぶべきであろうし，また外的基準を異にしたとき，著しく他との関連性に変化をきたす項目は不安定なものとして，その適切さに疑問が生じる。

また同一外的基準に対しても，演算に加える順位を変えた場合に，偏相関係数が相当変動するものについても独立性と安定性の点より見て，項目としての仮定を満たしえないものといえよう。

一方，たとえば一時点における材積，成長量などの推定を目的とする場合，その解析のおもな目的は，多くの要因項目の内より「どのようなものを測れば，その森林では最もよい推定を効率よくなしうるか」を見い出すにある。

したがって，たとえ森林の生成や推移の過程，またその現象の相互に従属関係があることが概念的に認められるとしても、それらの相互関係が明らかに数値上認められない場合は，それらを同時に項目として用いることは目的に反するものではないであろう。

事実上，従属的，あるいは相互関連の結果として考えられる森林観測の林況要因と環境立地の地況要因の間において，これらを項目とした場合に数値的に認められる関連はきわめて少ない。これは内部相関の値によって知られうる。

写真像を仲介とした場合に，このよのな森林構造の要因，たとえば樹冠像の構成や地形構造等は，同様に観測しうる現象として検討しうるものである。

これが明りょうに従属関係を示すものとすれば，それは時間函数を加えるとき初めて認めうる数値を示すであろう。

なお，外的基準に対して関与性の少ない項目は，測定の能率とそれを加ふることによって生ずる効果との検討によって，取捨選択されねばならない。

実際上の判定の基準としては，偏相関係数が 0.2 以下においては，むしろ測定誤差を考慮すべきであり，またそれによって得られる要因群偏相関の値が参考となりうる。なお，要因群偏相関係数 (η) は次式で求められる。

$$\eta=\sqrt{\frac{R_l^2-R_{l-1}^2}{1-R_{l-1}^2}}$$

7.　立木材積推定数値表

前節に述べた手順によって適切な項目，カテゴリー，演算加入の順位が決定されたとき，それらによる外的基準項目の予測値は，各カテゴリーに与えられた累計によって得られる。

したがって，資料にかたよりがない限りそのスコア表は，同一構造の森林を観測測定したときの予察値をうるのに用いることができる。これは前述したところである。

資料として試験をおこなった各森林について，Table 40 に示す項目と順位についてふたたび計算し，作成した推定数値表の詳細を Table 41 の 1 から 9（巻末）に示す。

Table 40. 立木材積推定
Items of the score chart construction

	① 7ブロック(人) スギ(新潟)	② 9ブロック(人) スギ(関東)	③ 10ブロック(人) スギ(静岡)	④ 7ブロック(人) アカマツ(新)
X_1	林齢 (6) 0.387 Age	林齢 (7) 0.430 Age	林齢 (6) 0.552 Age	林齢 (5) 0.445 Age
X_2	樹高 (5) 0.651 Tree height	樹高 (5) 0.752 Tree height	樹高 (5) 0.883 Tree height	樹高 (4) 0.760 Tree height
X_3	樹冠疎密度 (4) 0.556 Crown density	本数 (4) 0.548 No. of tree per ha.	樹冠疎密度 (4) 0.721 Crown density	本数 (4) 0.500 No. of tree per ha.
X_4	標高 (3) 0.336 Altitude	傾斜 (4) 0.448 Tilt	本数 (3) 0.538 No. of tree per ha.	標高 (3) 0.442 Altitude
X_5	ha 当たり本数 (3) 0.246 No. of tree per ha.	標高 (3) 0.303 Altitude	標高 (3) 0.352 Altitude	方位 (5) 0.319 Azimuth
X_6	方位 (5) 0.231 Azimuth	土性 (3) 0.542 Soil	傾斜 (4) 0.242 Tilt	傾斜 (3) 0.228 Tilt
X_7		地質 (7) 0.509 Rock	方位 (5) 0.170 Azimuth	地質 (5) 0.308 Rock
X_8		方位 (5) 0.233 Azimuth		土性 (5) 0.276 Soil
X_9		樹冠疎密度 (3) 0.249 Crown density		樹冠疎密度 (2) 0.174 Crown density
カテゴリー Categories	24	41	30	36
重相関係数 Multiple correlation coefficients	0.908	0.951	0.948	0.844

① 7 Block *Cryptomeria japonica* (artificial), Niigata.
② 9 Block *C. japonica* (artificial), Kanto.
③ 10 Block *C. japonica* (artificial), Shizuoka.
④ 7 Block *Pinus densiflora* (artificial), Niigata.
⑤ 8 Block *Larix leptolepis* (artificial), Nagano.

なお天然林第10ブロック，NL，北海道エゾ，トド天然林（北見）を除き，林齢項目を第1順位としたことは，前述したごとく林齢は既往の記録による確認性，また森林取扱い上の整理，分類の要因として用いられる便宜性のためである。

この表は写真観測により区分された林型区画，またはコードラート区画内の各観測項目，カテゴリーに該当するスコアをあてはめ，それを集計することによってその位置での ha 当たり材積推定値を求めうるものである。

この際用いられた項目数は多いほど数値上の推定精度が高くなることは確実であるが，必要な精度と観測の能率，観測誤差の見地よりどれだけの項目を用いるかを定めればよく，項目数に該当する行のスコアを用いることができる。

推定の精度はレンジ，あるいは分散の値によって予測しうる。

項目数を増加することによって得られる推定値の実測値に対する変化を第9ブロック，スギ人工林，お

数値表項目一覧表
for volume estimation

⑤ 8ブロック(人) カラマツ(長)	⑥ 8ブロック(人) ヒノキ(長)	⑦ 8ブロック(天) ヒノキ(長)	⑧ 10ブロック(天) NL (静)	⑨ 北海道
林齢 (5) 0.445 Age	林齢 (6) 0.537 Age	林齢 (3) 0.505 Age	樹高 (4) 0.813 Tree height	本数 (3) 0.328 No. of tree per ha.
樹高 (7) 0.793 Tree height	樹高 (4) 0.789 Tree height	樹高 (4) 0.807 Tree height	樹冠疎密度 (4) 0.409 Crown density	樹冠疎密度 (4) 0.639 Crown density
樹冠疎密度 (3) 0.707 Crown density	本数 (5) 0.706 No. of tree per ha.	本数 (4) 0.875 No. of tree per ha.	標高 (4) 0.355 Altitude	混交度 (4) 0.480 Mixture
本数 (7) 0.448 No. of tree per ha.	傾斜 (4) 0.300 Tilt	標高 (5) 0.537 Altitude	方位 (4) 0.349 Azimuth	方位 (3) 0.396 Azimuth
方位 (5) 0.315 Azimuth	標高 (3) 0.208 Altitude	樹冠疎密度 (4) 0.476 Crown density	本数 (3) 0.399 No. of tree per ha.	上層木樹高 (3) 0.377 Tree height (Upper)
傾斜 (4) 0.259 Tilt	方位 (4) 0.181 Azimuth	方位 (5) 0.278 Azimuth	混交度 (3) 0.159 Mixture	全樹高 (3) 0.217 Tree height (Whole)
		傾斜 (4) 0.229 Tilt	傾斜 (2) 0.149 Tilt	
31	26	29	24	20
0.901	0.943	0.943	0.942	0.927

⑥ 8 Block *Chamaecyparis obtusa* (artificial), Nagano.
⑦ 8 Block *C. obtusa* (natural), Nagano.
⑧ 10 Block mixed forest (natural), Shizuoka.
⑨ *Abies* and *Picea* in Hokkaido at Kitami.

よび第8ブロック，カラマツ人工林の例によって Fig. 30 の 1) から 4), Fig. 31 の 1) から 6) に示す。

8. 立木本数推定数値表

材積推定数値表と同様に，外的基準を ha 当たり立木本数実測値として，立木本数推定数値表を作成しうる。

各判読カードによる数値表の項目とその偏相関，要因群偏相関，推定重相関の各係数一覧表を Table 42 に，また数値表を Table 43 の 1 から 7（巻末）に示す。

この数値表においても，林齢を第1順位項目としていることは材積推定数値表の場合と同様であるが，林齢は材積推定の場合よりもさらに推定への関与性の少ない場合が多い。

選定項目は基礎解析による内部相関係数を参照して，本数推定に関与性が高いと予想されるものを 4～5 項目にわたりえらんだものである。

ha 当たり立木本数推定に，写真観測の立木本数項目が関与性の高いのは当然であって，人工林にあっ

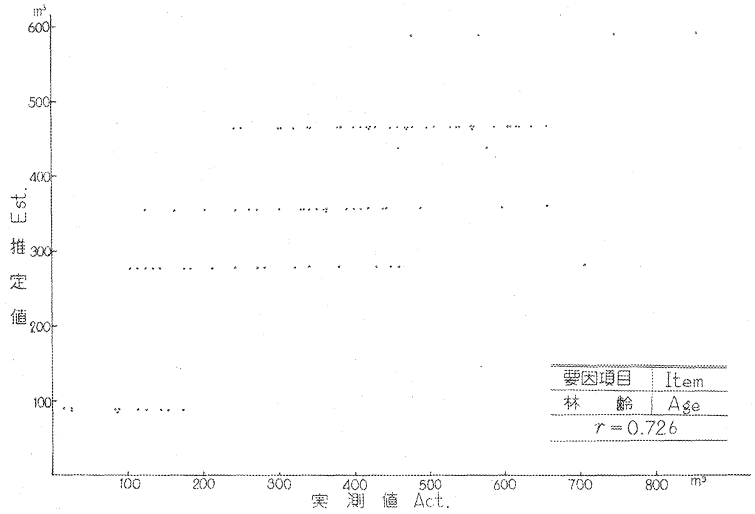


Fig. 30-1　多変量解析による材積推定値と実側値との関係
9 ブロック，スギ（関東地方），要因項目 1
Difference of effect by increasing items for volume estimation in *Cryptomeria japonica*, Kanto district (1).

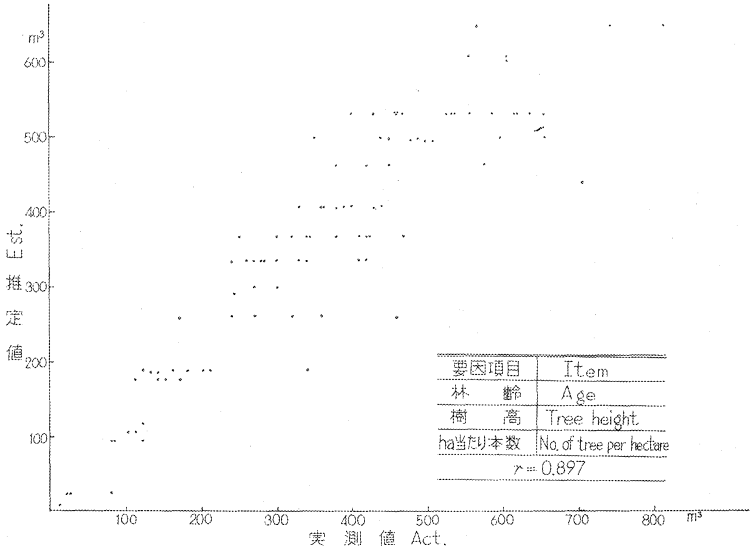


Fig. 30-2　多変量解析による材積推定値と実側値との関係
9 ブロック，スギ（関東地方），要因項目 3
Difference of effect by increasing items for volume estimation in *Cryptomeria japonica*, Kanto district (2).

ては，この項目と樹高階項目はすべての場合に重要であり，特に第 9 ブロック，スギ人工林，第 8 ブロック，ヒノキ人工林は，それ以外の項目の効果が非常に少ない。

それに次ぐものとしては疎密度，標高，傾斜等の階層区分が林分によってそれぞれあらわれる。

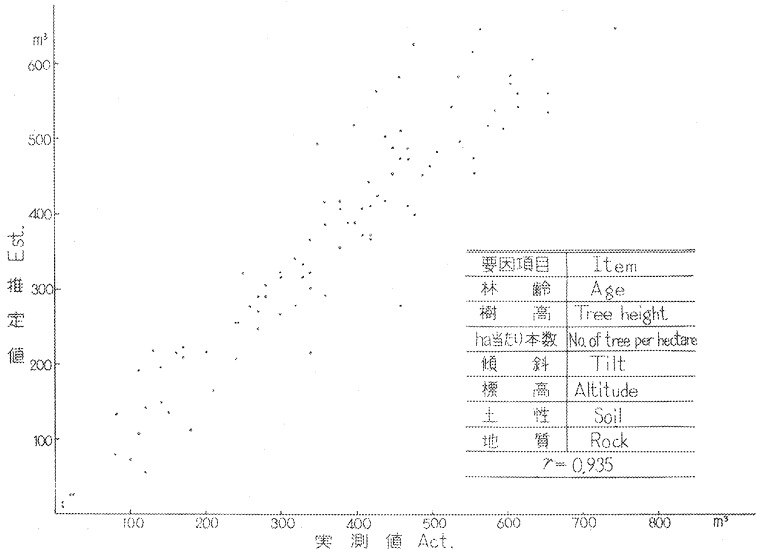


Fig. 30-3　多変量解析による材積推定値と実側値との関係
9ブロック，スギ（関東地方），要因項目7
Difference of effect by increasing items for volume estimation in *Cryptomeria japonica*, Kanto district (3).

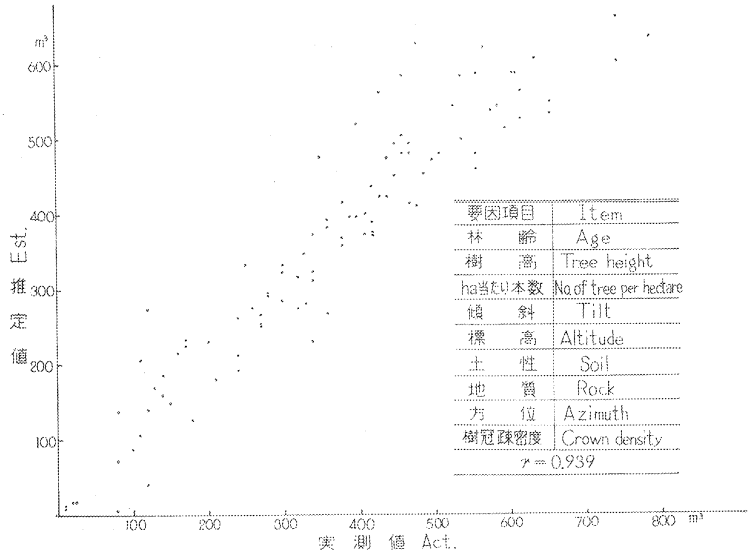


Fig. 30-4　多変量解析による材積推定値と実側値との関係
9ブロック，スギ（関東地方），要因項目9
Difference of effect by increasing items for volume estimation in *Cryptomeria japonica*, Kanto district (4).

これらの数値表は，いずれも写真観測による ha 当たり立木本数推定の目的を満たしうるであろうことは，その重相関係数などにより知られる。なお適用に当たっては若干の資料について，順位の変更による今一度の演算編集が適切である。

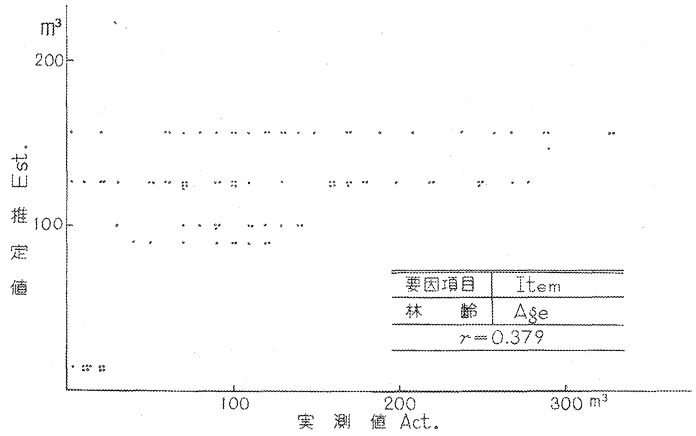


Fig. 31-1　多変量解析による材積推定値と実側値との関係
8ブロック，カラマツ（長野地方），要因項目 1
Difference of effect by increasing items for volume estimation in *L. leptolepis*, Nagano district (1).

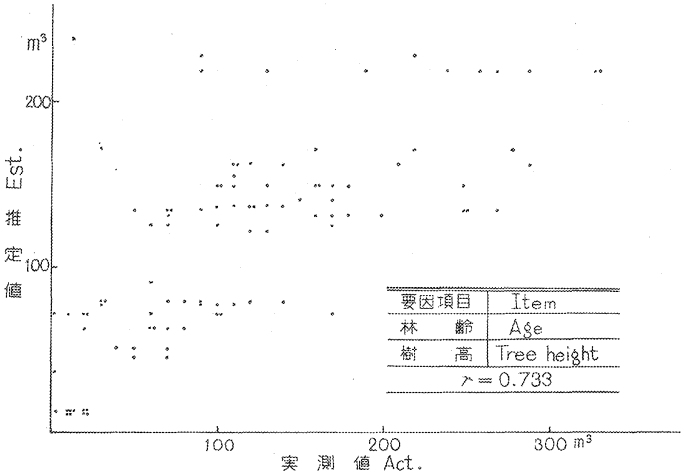


Fig. 31-2　多変量解析による材積推定値と実側値との関係
8ブロック，カラマツ（長野地方），要因項目 2
Difference of effect by increasing items for volume estimation in *L. leptolepis*, Nagano district (2).

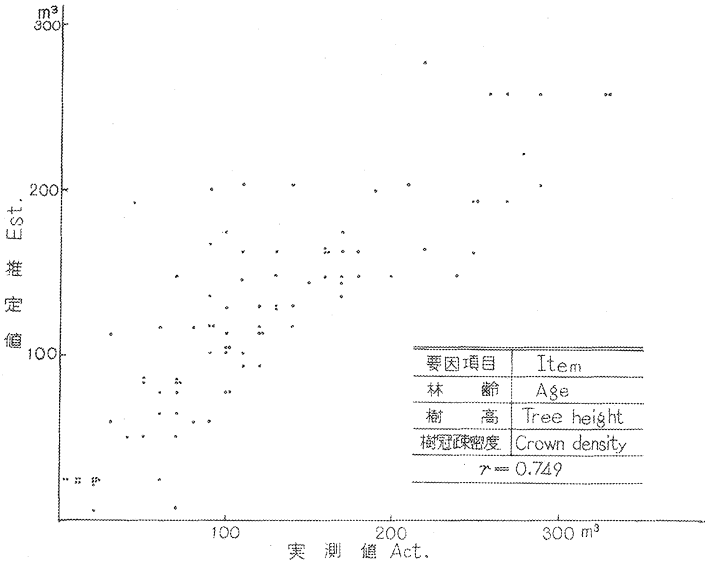


Fig. 31-3　多変量解析による材積推定値と実側値との関係
8ブロック，カラマツ（長野地方），要因項目 3
Difference of effect by increasing items for volume estimation in *L. leptolepis*, Nagano district (3).

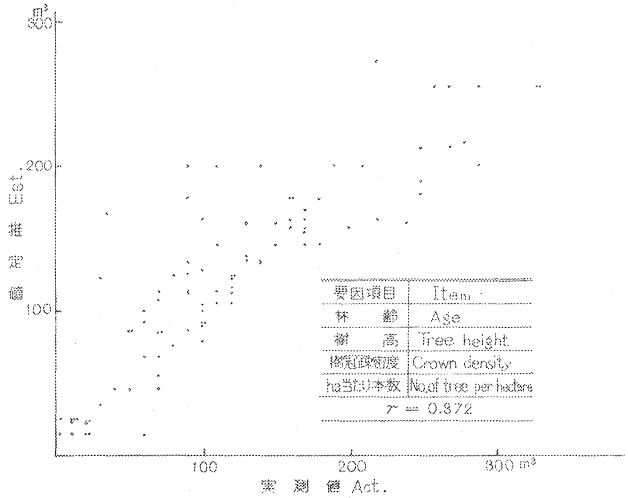


Fig. 31-4　多変量解析による材積推定値と実側値との関係
8ブロック，カラマツ（長野地方），要因項目 4
Difference of effect by increasing items for volume estimation in *L. leptolepis*, Nagano district (4).

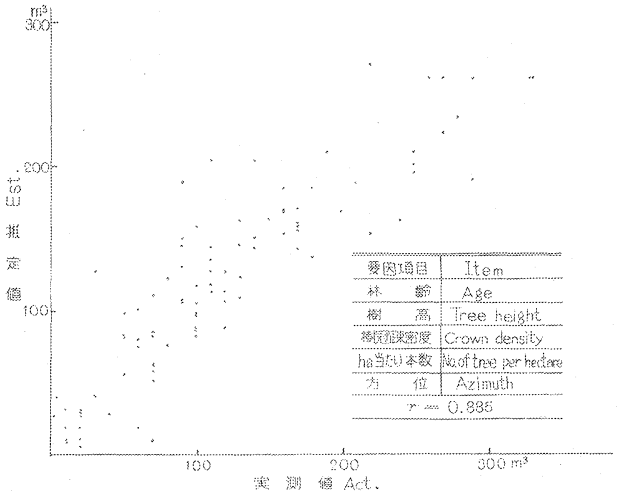


Fig. 31-5　多変量解析による材積推定値と実側値との関係
8ブロック，カラマツ（長野地方），要因項目 5
Difference of effect by increasing items for volume estimation in *L. leptolepis*, Nagano district (5).

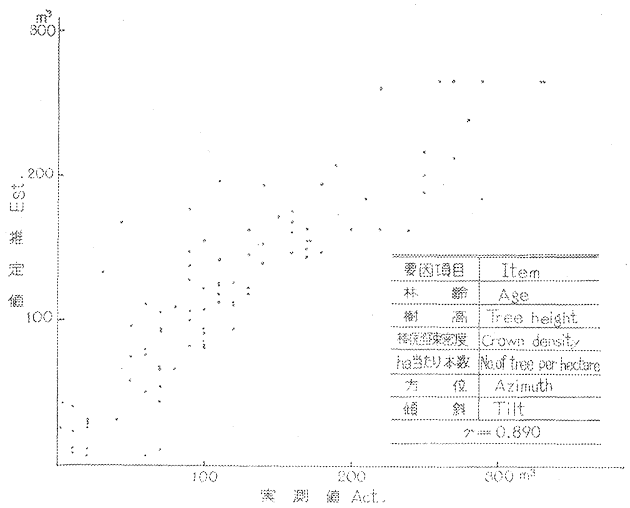


Fig. 31-6　多変量解析による材積推定値と実側値との関係
8ブロック，カラマツ（長野地方），要因項目 6
Difference of effect by increasing items for volume estimation in *L. leptolepis*, Nagano district (6).

Table 42. 立木本数推定要因項目，相関値表

Items and their correlation coefficients for estimating of the number of trees per hectare

	項目 Item	7 ブロック（スギ） 7 Block *Cryptomeria japonica*	9 ブロック（スギ） 9 Block *Cryptomeria japonica*	10ブロック（スギ） 10 Block *Cryptomeria japonica*	8 ブロック（カラマツ） 8 Block *L. leptolepis*	8 ブロック（人・ヒノキ） 8 Block *C. obtusa* artificial	8 ブロック（天・ヒノキ） 8 Block *C. obtusa* natural	10ブロック NL 10Block Mixed forest	北海道 エゾ・トド *Abies* and *Picea* in Hokkaido at Kitami
(カテゴリー) Categories 偏相関 Partial correlation coefficients 要因群偏相関 Partial correlation coefficients of factors	林齢 Age	(6) 0.261 0.204	(7) 0.433 0.715	(6) 0.399 0.654	(5) 0.134 0.772	(6) 0.273 0.576	(3) 0.210 0.363		
	本数 No. of tree	(3) 0.717 0.731	(4) 0.862 0.860	(3) 0.572 0.512	(7) 0.913 0.807	(5) 0.902 0.855	(4) 0.849 0.820	(3) 0.562 0.599	(4) 0.556
	樹高 Tree height	(5) 0.347 0.165	(6) 0.365 0.210	(5) 0.331 0.277	(7) 0.352 0.364	(4) 0.492 0.404	(4) 0.195 0.077	(4) 0.373 0.369	(3) 0.349
	疎密度 Crown density	(4) 0.374 0.529	(3) 0.235 0.178	(4) 0.297 0.246	(3) 0.422 0.328	(2) 0.062 0.000	(3) 0.201 0.173	(3) 0.112 0.130	(3) 0.419
	標高 Altitude		(3) 0.089 0.175		(4) 0.343 0.228				(4) 0.444
	傾斜 Tilt			(4) 0.345 0.325		(3) 0.111 0.111			
	混交歩合 Mixture								(4) 0.406
	方位 Azimuth						(5) 0.340 0.307	(4) 0.424 0.404	
重相関 Multiple correlation coefficients		0.866							
項目 Item		4							
カテゴリー Categories		18							

9. 平均直径推定数値表

材積，ha 当たり立木本数推定数値表と同様に，各資料による ha 当たり平均胸高直径推定の数値表を作成した。その項目，偏相関，要因群偏相関，推定重相関の各数値一覧表を Table 44 に，数値表を Table 45 の 1) から 10)（巻末）に示す。

直径推定は本数推定に比べ，より多項目を要し，また林分による差が大きい。

なお，天然林において，全立木の平均直径推定よりも，上層木のみの平均直径推定の方が精度は良好である。

この推定数値表を用いた平均直径の推定も，十分に目的を満たしうるものであるが，適用に当たって若干の林分について順位変更の再編集が望ましいものである。

3. 天然林調査に対する応用試験

北海道帯広営林局管内トムラウシ天然林（8,219.15 ha），および本別営林署管内芽登天然林（9,980.91 ha）に対する現地標本点，前者 168 点，後者 167 点の現地調査資料，ならびにその写真観測値に基づき，立木材積，枯損量，成長量の推定数値表を作成，一方この両森林について，写真上に 40 m^2 方眼のコードラートを作成し，その各区画ごとに，この数値表を用いて上記の各推定を写真観測によって実施，またその結果を現地調査により検討した。

トムラウシ天然林の標本点抽出，また現地調査は 1968 年 7 ～ 8 月，本別森林については 1969 年 8 月に実施し，ともに層化比例抽出法に基づく標本調査資料であり，プロットサイズは 40×20m である。なお結果の現地検討は 1970 年 8 月に実施した。

1. 天然林の構造解析と推定数値表の作成

トムラウシ天然林に対する資源調査の実施内容，および数値表作成の基礎解析，また立木材積予測数値表については「林試研報，No. 227, 1970. 5」[67] に報告したので，これを省略する。

本別天然林においては，トムラウシ天然林調査の結果を参照して，数値表作成の項目の選定，カテゴリー区分を行なった。

特に樹高階区分は，本別天然林に出現する樹冠層構成型を加えて，トムラウシ天然林の場合に設定した樹高階と径級構成の 2 項目を合わせた 1 項目とした。

本別天然林における基礎解析の各項目別内部相関数値表を Table 46 に示す。

天然林の構造とその推移に関与する要因を，前節における「第 10 ブロック（静岡）ＮＬ天然林」，「北海道（北見）エゾ，トド天然林」の解析結果を加えて検討すれば，人工林よりも天然林の方がはるかに，地況要因による項目の外的基準（材積，枯損，成長）に対する関与性は大きい。また，おのおのの項目間の相互関連性は少ない。

いずれの解析例においても全本数，全立木樹高よりも，上層木のみを対象とした本数や樹高の観測値が，すべての推定に有効な要因であることを示している。

これは写真利用にとってはきわめて都合のよい事象である。また人工林におけると同様，天然林においても，それぞれの要因の関連度は，要因間にも，また外的基準と要因間に対してもその森林ごとの特徴を示す。

トムラウシ，本別両森林は，ともにエゾマツ，トドマツを主林木とし，広葉樹を混生するものであるが，

Table 44. 直径予測要因
Items and their correlation coefficients

	ブロック Block / 項目 Item	7 ブロック (スギ) 7 Block *Cryptomeria japonica*	9 ブロック (スギ) 9 Block *Cryptomeria japonica*	10ブロック (スギ) 10 Block *Cryptomeria japonica*	7 ブロック (アカマツ) 7 Block *Pinus densiflora*
(カテゴリー) (Categories)	林齢 Age	(6) 0.343	(7) 0.642	(6) 0.294	(5) 0.469
偏相関 Partial correlation coefficients	本数 No. of tree	(3) 0.424 0.452	(4) 0.526 0.471	(3) 0.654 0.498	(4) 0.652 0.702
	樹高 Tree height	(5) 0.711 0.623		(5) 0.794 0.726	(4) 0.551 0.486
要因群偏相関 Partial correlation coefficients of factors	疎密度 Crown density	(4) 0.127 0.098	(3) 0.389 0.416	(4) 0.518 0.419	(2) 0.076 0.106
	樹冠直径 Crown diameter		(3) 0.350 0.285		
	標高 Altitude	(3) 0.083 0.192	(3) 0.200 0.090	(3) 0.222 0.198	(3) 0.302 0.262
	傾斜 Tilt	(4) 0.495 0.445	(4) 0.313 0.287	(4) 0.140 0.000	(3) 0.056 0.112
	混交歩合 Mixture				
	方位 Azimuth	(5) 0.375 0.277		(5) 0.150 0.235	(5) 0.168 0.111
重相関 Multiple correlation coefficients		0.923			
項目 Item		7			
カテゴリー Categories		30			

前者は全くの原生林であるのに対して，後者は過去において択伐の人為作業の加わった森林であり，両者の各項目の外的基準に対する寄与性の差が，その構成の相違を表わしている。

すなわち，両森林ともに，材積推定に対しては大径木本数階が最も大きい寄与性を示すが，第 2 位以下は大きく変化し，トムラウシで第 2 位にあるものは局所地形区分であるのに対し，本別森林では人工林の場合に重要度の高い樹高階区分である。この樹高階はトムラウシにおいては，はるかに下位（第 7 位）にある。また，一方局所地形の順位は本別において第 8 位となる。

これらの森林の成立と経過の相違によって，特徴づけられる項目の外的基準に対する関連性の差は，それぞれの森林で目的に応じて何を調べればよいかを示すものである。

本別森林はトムラウシ森林に比べて，より人工林の構成に近づいているといえよう。

この点から見て，前節における木曽ヒノキ天然林（第 8 ブロック）はほとんど人工林と同様の構成をもつといえよう。

項目相関値表
for the diameter estimation

8 ブロック（カラマツ）8 Block *Larix leptolepis*	8 ブロック（人・ヒノキ）8 Block Artificial *C. obtusa*	8 ブロック（天・ヒノキ）8 Block Natural *C. obtusa*	10ブロック NL 10 Block mixed forest		北海道エゾ・トド *Abies* and *Picea* in Hokkaido region	
			上層木 Upper stage	全 Total	上層木 Upper stage	全 Total
(5) 0.149	(6) 0.617	(3) 0.358				
(7) 0.449 0.328	(5) 0.671 0.627	(4) 0.682 0.681	(3) 0.514	(3) 0.418	(4) 0.396 0.575	(4) 0.304 0.239
(7) 0.869 0.829	(4) 0.573 0.636	(4) 0.431 0.521	(4) 0.474 0.498	(4) 0.203 0.248	(3) 0.696	(3) 0.567 0.480
(3) 0.142 0.224	(2) 0.044 0.0	(3) 0.199 0.235			(3) 0.132 0.162	(3) 0.161 0.139
			(2) 0.033 0.074	(2) 0.003 0.039		
(4) 0.342 0.309	(3) 0.220 0.269	(5) 0.370 0.297			(4) 0.479 0.293	(4) 0.619
(4) 0.270 0.162	(3) 0.074 0.0	(4) 0.125 0.117	(2) 0.121 0.140	(2) 0.025 0.0		
			(3) 0.321 0.291	(3) 0.161 0.124	(4) 0.359 0.322	(4) 0.440 0.330
(5) 0.254 0.123	(4) 0.213 0.177	(5) 0.208 0.181	(4) 0.120 0.114	(4) 0.199 0.183	(4) 0.344 0.269	(4) 0.172 0.152

天然林は人為的影響が少ないほど，地況要因が材積，枯損，成長等の現象に関与する率が大きく，また各森林要因，項目の独立性は大きいものである。

基礎解析の結果にもとづく項目とその順位の選定により，各3回の繰返し計算の結果，それぞれの推定数値表を作成した。

その項目と演算順位，また各偏相関，要因群偏相関，推定重相関の各係数一覧表を Table 47 に，各推定数値表を Table 48 に示す。

なお，推定値対実測値の関係を Fig. 32 に示す。

Table 46. 本別天然林基礎解析内部相関数値表
Primary analysis for Honbetsu natural forest

1) 材積 Volume

	要因間の単相関 Correlation coefficients between items																単相関(材積) Simple correlation coefficient
	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	X_{10}	X_{11}	X_{12}	X_{13}	X_{14}	X_{15}	X_{16}	Y
大径木本数 (X_1) No. of large tree	1.000																0.746
局所地形 (X_2) Land type	−0.012	1.000															0.063
樹高階 (X_3) Height class	0.211	0.017	1.000														0.477
樹冠疎密度 (X_4) Crown density	0.232	0.009	−0.110	1.000													0.437
標高 (X_5) Altitude	−0.024	−0.198	−0.101	−0.046	1.000												0.008
位置 (X_6) Position	−0.076	0.017	−0.058	0.075	−0.105	1.000											0.039
針広混交状況 (X_7) Mixture	0.317	0.048	0.229	−0.048	0.166	−0.086	1.000										0.393
傾斜 (X_8) Tilt	0.031	0.346	0.038	−0.107	−0.107	0.054	−0.124	1.000									−0.025
方位 (X_9) Azimuth	−0.006	−0.362	−0.024	0.052	0.125	−0.057	0.143	−0.971	1.000								0.053
エゾマツ大径木本数 (X_{10}) No. of large *Picea*	0.658	0.092	0.299	0.192	0.018	0.052	0.462	−0.087	0.102	1.000							0.716
針葉樹大径木本数 (X_{11}) No. of large softwood	0.632	−0.008	0.281	0.213	−0.006	0.050	0.282	−0.058	0.080	0.644	1.000						0.691
後継樹発生状況 (X_{12}) Regeneration	0.046	−0.028	0.082	−0.137	0.083	−0.070	0.042	0.041	−0.011	−0.026	0.003	1.000					0.042
点在稚樹発生本数 (X_{13}) No. of sapling	0.011	−0.053	−0.095	0.093	−0.029	0.051	−0.037	−0.208	0.168	−0.037	0.013	−0.299	1.000				0.068
群生稚樹発生本数 (X_{14}) No. of sapling group	0.021	−0.019	−0.083	0.160	−0.111	−0.062	−0.121	−0.079	0.066	−0.079	0.059	−0.136	0.343	1.000			0.047
根株倒木上稚樹 (X_{15}) Seedling	0.194	0.030	0.175	0.056	−0.185	0.128	0.184	0.023	0.005	0.252	0.229	−0.091	0.183	0.169	1.000		0.364
植生状況 (X_{16}) Flora	0.066	−0.043	0.064	0.183	−0.040	−0.032	−0.012	−0.078	0.057	0.093	0.173	−0.096	0.002	−0.027	0.167	1.000	0.271

2) 成長量 Growth

	要因間の単相関 Correlation coefficients between items																単相関(材積) Simple correlation coefficient Y
	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	X_{10}	X_{11}	X_{12}	X_{13}	X_{14}	X_{15}	X_{16}	
大径木本数 (X_1) No. of large tree	1.000																0.259
局所地形 (X_2) Land type	0.026	1.000															0.001
樹高階 (X_3) Height class	−0.380	−0.112	1.000														0.059
樹冠疎密度 (X_4) Crown density	0.156	0.006	−0.080	1.000													0.489
標高 (X_5) Altitude	0.045	−0.207	−0.048	−0.057	1.000												0.039
位置 (X_6) Position	−0.088	0.102	0.034	−0.024	−0.211	1.000											0.001
針広混交状況 (X_7) Mixture	0.180	0.021	−0.164	0.158	0.019	−0.088	1.000										0.664
傾斜 (X_8) Tilt	−0.028	−0.519	0.198	0.094	0.106	−0.101	0.158	1.000									0.169
方位 (X_9) Azimuth	0.029	0.518	−0.201	−0.097	−0.106	0.101	−0.158	−1.000	1.000								−0.165
エゾマツ大径木本数 (X_{10}) No. of large *Picea*	0.357	−0.033	−0.299	0.197	−0.025	0.052	0.380	0.101	−0.101	1.000							0.439
針葉樹大径木本数 (X_{11}) No. of large softwood	0.580	0.066	−0.464	0.218	−0.025	0.061	0.468	0.008	−0.005	0.613	1.000						0.496
後継樹発生状況 (X_{12}) Regeneration	0.016	−0.059	0.159	0.137	0.046	−0.010	0.054	0.160	−0.161	0.033	0.075	1.000					0.267
点在稚樹発生本数 (X_{13}) No. of sapling	0.002	−0.076	0.151	0.105	0.035	0.009	−0.013	0.194	−0.200	−0.072	0.032	0.291	1.000				0.133
群生稚樹発生本数 (X_{14}) No. of sapling group	0.019	−0.006	−0.027	0.096	−0.034	−0.108	0.057	0.058	−0.057	−0.037	0.120	0.249	0.286	1.000			0.166
根株倒木上稚樹 (X_{15}) Seedling	0.082	0.030	−0.106	0.084	−0.194	0.174	0.250	−0.032	0.036	0.223	0.294	0.212	0.111	0.194	1.000		0.380
植生状況 (X_{16}) Flora	−0.074	−0.071	0.050	0.242	−0.052	0.019	0.110	0.078	−0.080	0.063	0.058	0.022	−0.007	0.054	0.153	1.000	0.308

3) 枯損量 Inferior

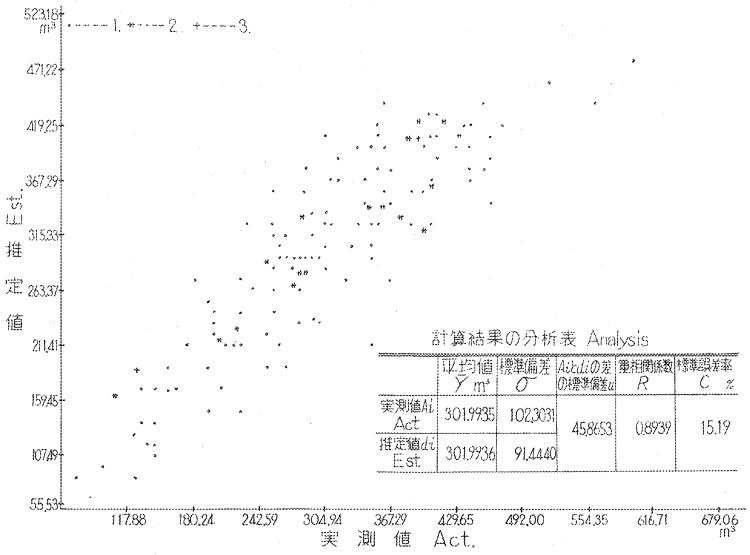
	要因間の単相関 Correlation coefficients between items																単相関(材積) Simple correlation coefficient Y
	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	X_{10}	X_{11}	X_{12}	X_{13}	X_{14}	X_{15}	X_{16}	
大径木本数 (X_1) No. of large tree	1.000																0.071
局所地形 (X_2) Land type	−0.037	1.000															0.010
樹高階 (X_3) Height class	0.036	0.204	1.000														0.042
樹冠疎密度 (X_4) Crown density	−0.061	0.035	0.125	1.000													0.120
標高 (X_5) Altitude	0.003	0.209	−0.035	−0.102	1.000												0.243
位置 (X_6) Position	−0.049	0.028	0.002	0.010	−0.456	1.000											0.005
針広混交状況 (X_7) Mixture	−0.057	0.085	−0.232	−0.041	0.072	−0.026	1.000										0.245
傾斜 (X_8) Tilt	−0.055	0.822	0.263	0.001	0.210	0.001	0.082	1.000									−0.093
方位 (X_9) Azimuth	0.054	−0.821	−0.264	−0.001	−0.218	0.009	−0.081	−0.999	1.000								0.101
エゾマツ大径木本数 (X_{10}) No. of large *Picea*	−0.116	0.060	−0.369	−0.149	0.266	−0.029	0.437	0.096	−0.095	1.000							0.252
針葉樹大径木本数 (X_{11}) No. of large softwood	0.099	0.037	−0.113	−0.159	0.051	−0.085	0.274	0.129	−0.131	0.413	1.000						0.163
後継樹発生状況 (X_{12}) Regeneration	−0.029	−0.147	−0.115	0.068	−0.058	0.040	0.019	−0.157	0.153	0.032	0.086	1.000					0.049
点在稚樹発生本数 (X_{13}) No. of sapling	−0.017	−0.219	−0.094	−0.005	−0.031	0.084	0.078	−0.185	0.182	0.050	0.097	0.361	1.000				0.086
群生稚樹発生本数 (X_{14}) No. of sapling group	0.073	0.015	0.042	−0.055	−0.117	0.026	0.032	0.058	−0.059	−0.007	−0.014	−0.275	−0.334	1.000			−0.047
根株倒木上稚樹 (X_{15}) Seedling	0.049	−0.073	−0.148	−0.030	0.073	−0.067	0.168	0.023	−0.018	0.230	0.049	−0.243	−0.051	0.165	1.000		0.217
植生状況 (X_{16}) Flora	0.013	0.159	0.047	−0.105	0.121	−0.094	−0.090	0.149	−0.144	0.006	−0.026	−0.155	−0.156	−0.080	−0.065	1.000	0.130

Table 47. トムラウシ，本別推定数値表項目一覧表
Items of the score chart in Tomuraushi and Hombetsu natural forest

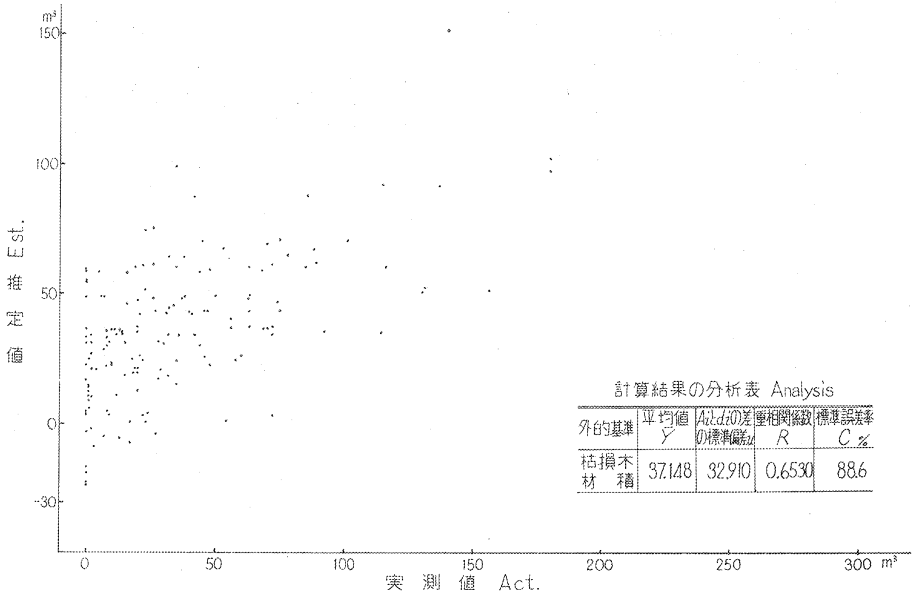
順位 Order	A. トムラウシ原生林 Tomuraushi virgin forest						B. 本別天然林 Hombetsu natural forest					
	立木材積 Volume		枯損量 Inferior		成長量 Growth		立木材積 Volume		枯損量 Inferior		成長量 Growth	
	要因 Items	偏相関 Partial coefficient	要因 Items	偏相関 Partial coefficient	要因 Items	偏相関 Partial coefficient	要因 Item	偏相関 Partial coefficient	要因 Item	偏相関 Partial coefficient	要因 Item	偏相関 Partial coefficient
1	大径木本数 (4) No. of large trees	0.562	標高 (5) Altitude	0.506	混交形 (5) Mix. type of tree species	0.749	大径木本数 (4) No. of large trees	0.738	標高 (6) Altitude	0.368	混交形 (7) Mix. type of tree species	0.704
2	局所地形 (6) Land type	0.492 0.174	傾斜 (4) Tilt	0.410 0.159	局所地形 (6) Land type	0.503 0.303	樹高構成 (8) Composition of tree height	0.651 0.468	方位 (9) Azimuth	0.326 0.283	樹冠疎密度 (3) Crown density	0.545 0.502
3	径級構成 (5) Stand composition	0.285 0.082	方位 (9) Azimuth	0.426 0.407	樹冠疎密度 (3) Crown density	0.489 0.549	樹冠疎密度 (3) Crown density	0.636 0.572	樹高構成 (8) Composition of tree height	0.274 0.248	樹高構成 (8) Composition of tree height	0.497 0.379
4	樹冠疎密度 (3) Crown density	0.602 0.212	位置 (4) Position	0.211 0.235	位置 (4) Position	0.382 0.333	混交形 (7) Mix. type of tree species	0.311 0.326	混交形 (7) Mix. type of tree species	0.262 0.202	大径木本数 (4) No. of large trees	0.414 0.307
5	標高 (5) Altitude	0.332 0.038	混交形 (5) Mix. type of tree species	0.194 0.201	大径木本数 (3) No. of large trees	0.297 0.082	方位 (9) Azimuth	0.304 0.283	局所地形 (5) Land type	0.218 0.192	方位 (9) Azimuth	0.329 0.310
6	位置 (4) Position	0.294 0.089	樹高階 (3) Height class	0.129 0	方位 (9) Azimuth	0.287 0.319	標高 (6) Altitude	0.236 0.182	樹冠疎密度 (4) Crown density	0.186 0.176	傾斜 (4) Tilt	0.202 0.109
7	樹高階 (3) Height class	0.364 0.151	樹冠疎密度 (3) Crown density	0.292 0.244	傾斜 (4) Tilt	0.279 0.262	位置 (4) Position	0.193 0.151	傾斜 (4) Tilt	0.108 0.089	標高 (6) Altitude	0.213 0.191
8	混交形 (5) Mix. type of tree species	0.314 0.047	径級構成 (5) Stand composition	0.212 0.191	径級構成 (5) Stand composition	0.270 0.272	局所地形 (5) Land type	0.171 0.153	位置 (4) Position	0.137 0.106		
					樹高階 (3) Height class	0.175 0.164						
N	168		168		168		167		167		167	
要因 Items	8 (26)		8 (26)		10 (26)		8 (16)		8 (16)		7 (16)	
カテゴリー Category	35 (83)		40 (89)		47 (89)		46 (81)		46 (81)		41 (81)	
重相関 Multiple correlation coefficient	0.894 (0.948)		0.648 (0.784)		0.899 (0.974)		0.920 (0.974)		0.600 (0.626)		0.854 (0.829)	

（ ）内は基礎解析における全項目，カテゴリー数と，それによる重相関係数。

Fig. 32 に見られるごとく，この推定数値表による推定は材積，成長量についてはそれぞれ満足すべきものといえようが，枯損材積推定に関しては両森林ともに，ことに枯損量の少ない部分に大きな変動がある。

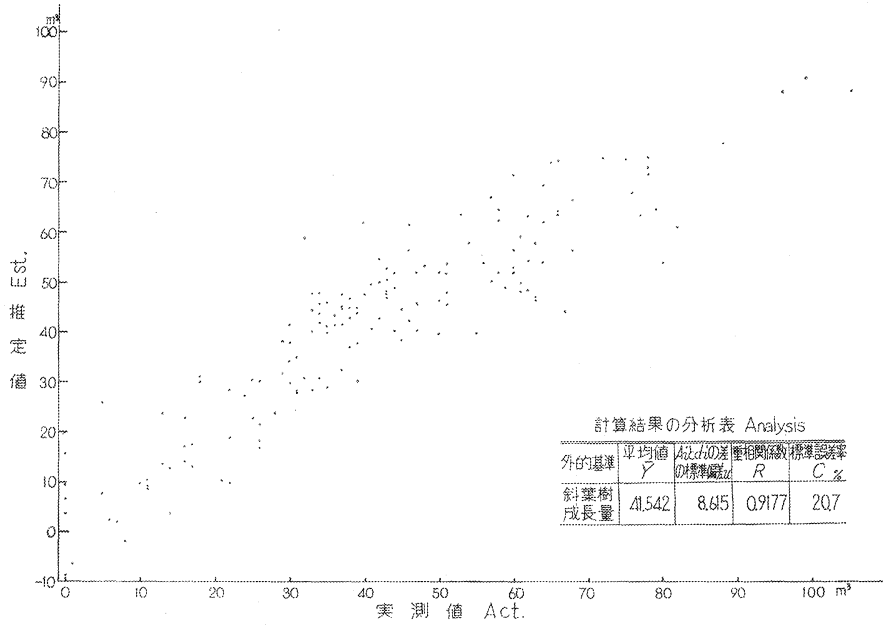


1)　材積（トムラウシ）Volume (Tomuraushi)



2)　枯損量（トムラウシ）Inferior (Tomuraushi)

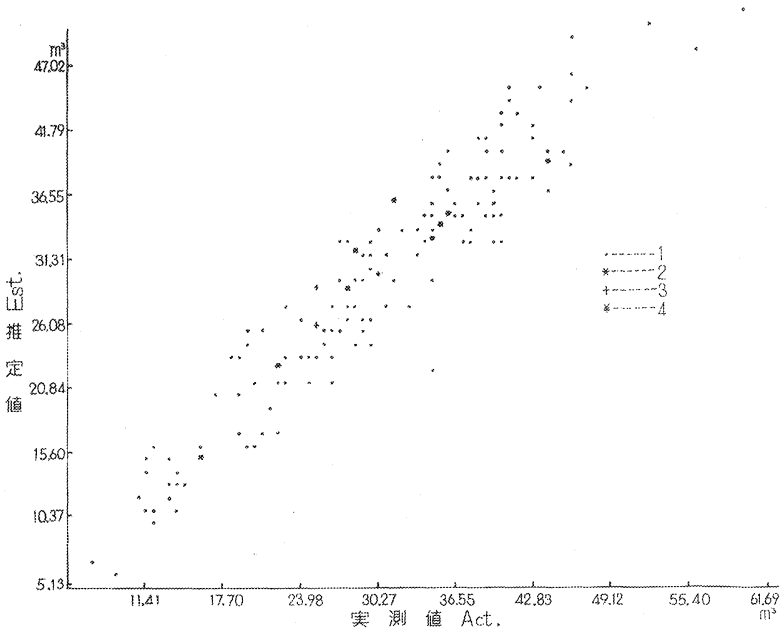
Fig. 32　推定値，実測値比較図（トムラウシ，本別）
Comparison between the estimate and ground survey results in Tomuraushi and Hombetsu.



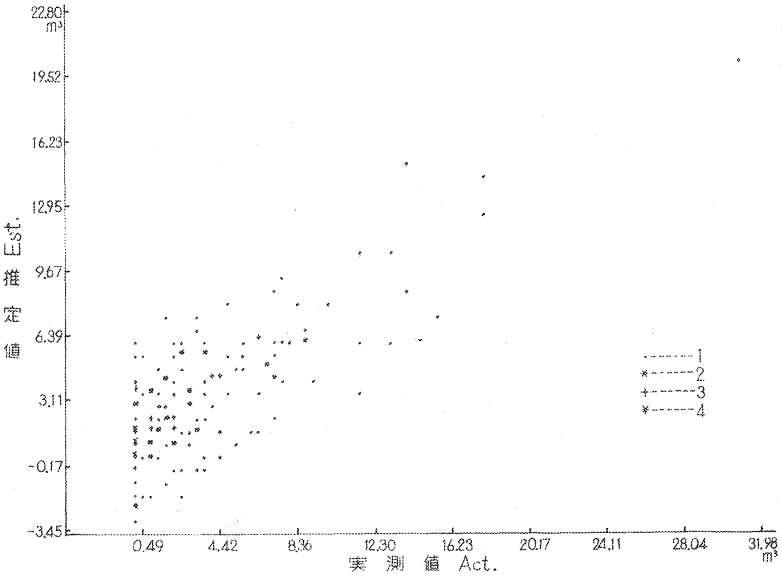
計算結果の分析表 Analysis

外的基準	平均値 $\bar{Y}$	Act.とEst.の差の標準偏差 σ	重相関係数 R	標準誤差率 C %
針葉樹成長量	41.542	8.615	0.9177	20.7

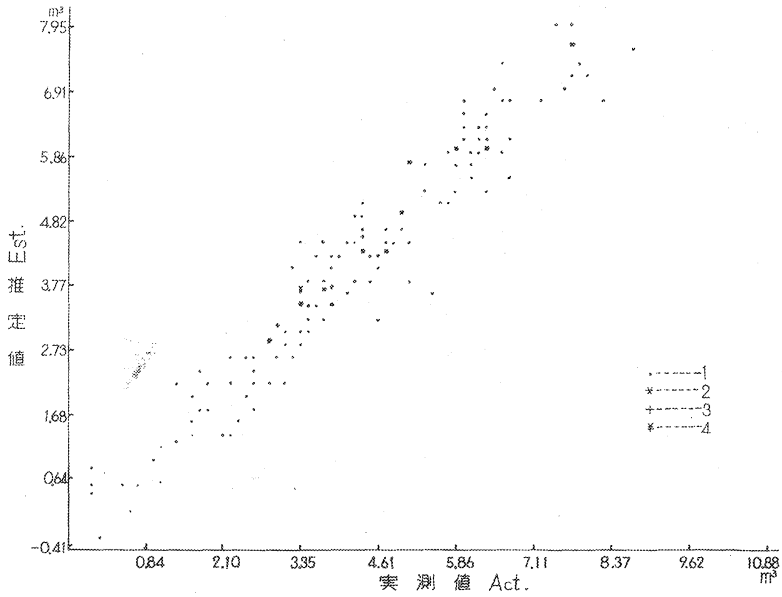
3) 成長量（トムラウシ）Growth (Tomuraushi)



4) 材積（本別）Volume (Hombetsu)



5)　枯損量（本別）Inferior (Hombetsu)



6)　成長量（本別）Growth (Hombetsu)

これは天然林において，枯損量の調査値そのものが年間枯損量を表わすものではなく，資料は過去の累積を含まざるを得ぬため，推定要因，すなわち発生要因に関係なく計上された量が，それぞれに存在する結果，また枯損木の調査がサンプリング法等においては不十分なことにもよると考えられる。

2.　数値写真図による立木材積・枯損量・成長量の推定

1)　数値写真図（写真コードラート）の作成

トムラウシ森林においては精密調査区内，ヌプントムラウシ西岸，193，194，195 林班にまたがり，東

西3本，南北2本，計5本の互いに交叉する40m方眼よりなるコードラート帯（幅2〜3コードラート）を設定し，数値図を作成した。

本別森林については糠南第52林班（625.10 ha）を選定し，全面を被覆する40m方眼のコードラートを作成した。

また，それぞれの方眼網を左右の写真上に造成し，立体方眼網を写真像にかぶせた。これを数値写真図(Digital photo map)（巻末写真 5）参照）という。

数値写真図は写真を立体観察すると，方眼網をもった写真像を立体視することができ，また平面図上に設定したコードラートの写真上での位置確認，あるいは現地の確認がきわめて容易に，また正確におこなうことができる。また数値図作成の過程において，おのおののコードラートごとの標高，傾斜，方位等の地況要因の数値は機械的に算出し得られる（巻末写真 5）参照)。

この写真像と数値図を結合せしめた数値写真図作成の過程は，次のごとくである。

1) 当概地域について数値地図（II. 3. 4）を作成。

2) その方眼座標（X, Y, Z）をそれぞれの写真座標（x, y）に変換，透明フィルム上に展開図を作成。

3) ひずみ修正を行なった写真上にこの透明フィルム展開図を重ね焼きする。

写真座標換算の原理は次のごとくである。

数値地図により求められた地上座標値（X, Y, Z）と写真座標値（x, y）との関係式は次式で表わされる。

$$x=\frac{X}{Z}f,\quad y=\frac{Y}{Z}f$$

ただし，fは写真の主点距離

X, Y, Zの座標系は，カメラのレンズ中心を原点とする右回り座標系とし（X, Y），平面を地上水平面に平行，X軸は飛行方向を含む鉛直面内にとる。Z軸は下方に向かう。

x, y の写真座標系は鉛直点を原点とする右回り座標系とし，基線方向をx軸とする。

なお「ひずみ修正写真」においては，指標位置を修正する必要があり，その計算式は次式で表わされる。

(回転軸を x, y, z のまわりの回転角 ω, φ, κ，指標の座標値（x, y）を κ, φ, ω の順に回転させる)。

$$x^{(\kappa)}=x\cos\kappa-y\sin\kappa$$

$$x^{(\varphi)}=\frac{x^{(\kappa)}-f\cdot\sin\varphi}{\cos\varphi+\dfrac{x^{(\kappa)}\cdot\sin\varphi}{f}}$$

$$x^{(\omega)}=\frac{x^{(\varphi)}}{\cos\omega+\dfrac{y^{(\varphi)}\cdot\sin\omega}{f}}$$

$$y^{(\kappa)}=-x\cdot\sin\kappa+y\cdot\cos\kappa$$

$$y^{(\varphi)}=\frac{y^{\kappa}}{\cos\varphi-\dfrac{x^{(\kappa)}\cdot\sin\varphi}{f}}$$

$$y^{(\omega)}=\frac{-y^{(\varphi)}\cdot\cos\omega+f\cdot\sin\omega}{\cos\omega+\dfrac{y^{(\varphi)}\cdot\sin\omega}{f}}$$

これにより写真座標の展開基準に空中三角測量基準点より各写真の区画示標の座標値を測定し，写真ならびに展開図の標定基準とすることができる。

本研究において作成したコードラート数は，トムラウシ計 627 個，本別 1,826 個である。

2)　写真観測と推定

両森林について，現地調査標本点を用いて作成した判読基準写真（ステレオグラム）を判定基準として，写真像の各方眼ごとの林況を，数値表項目について立体観測し，それぞれに属するカテゴリー区分を制定，数値図算出による地況項目のカテゴリー区分とともに判定表を作成した。

この観測作業は異なる 3 名の判定者によっておこない，判定較差の検討のために約 1/3 の部分は重複して全員が判定した。

第一次観測終了後，重複部分の判定結果を検討，全体調整のうえ第 2 次観測による判定を行なった。

観測結果に対して，該当する数値表のスコアを適用，各コードラートごとの材積，枯損量，成長量の推定値を算出した。

この作業は電子計算機により行ない，結果をタイプアウトした（例：Table 49)。

各コードラートごとに推定された材積，枯損量，成長量の階層別分布は Fig. 33, Fig. 34（巻末）に示す。

3)　現地調査による推定値の検討

コードラートごとに推定された値の検討のために下記の現地調査を実施した。

Table 49.　材積，枯損，成長量
Estimations of the volume,

Mesh. No.	ホンスウ No. of tree	チケイ Land type	ケイキュウ Stand composition	ソミツド Crown density	ヒョウコウ Altitude	イチ Position
7—26	3	3	2	3	4	2
8—25	2	4	2	2	4	2
8—26	3	3	2	3	4	2
9—25	2	4	2	2	4	2
9—26	3	3	4	3	4	2
10—26	3	3	2	3	4	1
10—27	3	2	2	3	4	1
11—26	3	3	4	3	4	1
11—27	3	2	2	3	4	1
12—26	1	4	5	1	4	1
12—27	2	2	4	2	4	1
13—26	1	4	5	1	4	1
13—27	2	1	4	2	4	1
14—26	2	2	2	2	4	1
14—27	3	2	2	3	4	1
15—26	2	1	2	2	4	1
15—27	2	2	2	1	4	1
16—26	2	1	4	1	4	1
16—27	2	2	4	1	4	1
17—27	1	3	2	1	4	1
17—28	2	1	4	2	4	1
18—27	1	1	5	1	4	1
18—28	2	1	4	2	4	1
19—27	2	2	5	2	5	1
19—28	3	2	2	3	4	2

（1） トムラウシ天然林

期間　1970年7月24～29日

人員　調査員4名，補助員9名

調査コードラート数　18個

（2） 本別天然林

期間　1970年7月30日～8月4日

人員　調査員3名，補助員9名

調査コードラート数　12個

調査は数値写真図，4倍伸し赤外カラー写真を用いて，コードラートを現地に確認，標準地調査と同様，樹種別，毎木樹高，胸高直径，成長錐調査，枯損量，更新調査を実施した（詳細については省略する）。

現地調査を実施したコードラートの ha 当たり材積，枯損量，成長量の実測値と，予測数値表より得られた写真観測による推定値との比較を Table 50, Fig. 35 に示す。

これに見られるごとく，それぞれは満足すべき結果を示している。

特に材積は実測と推定の間に高い相関を示した。これを本別，トムラウシ両森林を混みとして計算した結果は下記のごとくである。

推定表（例）トムラウシ
inferior, growth (Tomuraushi)

ジュコウカイ Height class	コンコウケイ Mixture	ホウイ Azimuth	ケイシャ Tilt	ザイセキ Volume	コソン Inferior	セイチョウ Growth
3	1	8	2	439.412	42.307	62.262
2	1	8	2	273.540	20.836	48.050
3	1	8	2	439.412	42.307	62.262
2	2	8	2	266.613	8.071	29.289
2	1	8	3	393.976	23.214	65.052
3	2	8	3	403.139	25.523	36.500
2	4	8	3	404.782	48.108	49.097
2	1	8	3	364.630	−0.036	55.446
3	1	8	3	435.766	38.288	60.442
2	1	8	2	161.369	15.264	34.746
2	1	8	2	275.398	−34.938	42.729
2	4	7	2	175.392	1.505	23.096
2	4	1	1	340.687	−2.152	42.232
2	3	7	2	252.054	−29.027	28.478
2	2	4	2	383.832	−22.324	40.662
3	1	6	2	372.100	9.449	62.612
2	1	5	2	232.387	70.220	31.136
2	3	6	2	259.451	21.971	34.112
2	1	5	2	231.958	37.696	30.115
3	4	5	2	197.736	91.640	3.813
2	3	5	2	302.891	−7.618	44.701
2	4	5	2	258.291	55.438	45.646
2	2	4	2	319.737	−70.519	42.595
2	4	3	2	276.240	9.271	41.056
2	2	3	2	413.178	−2.429	45.572

Table 50. 標準地，現地調査，推定値比較表

Comparison between the estimation and ground survey.

1) トムラウシ (Tomuraushi)

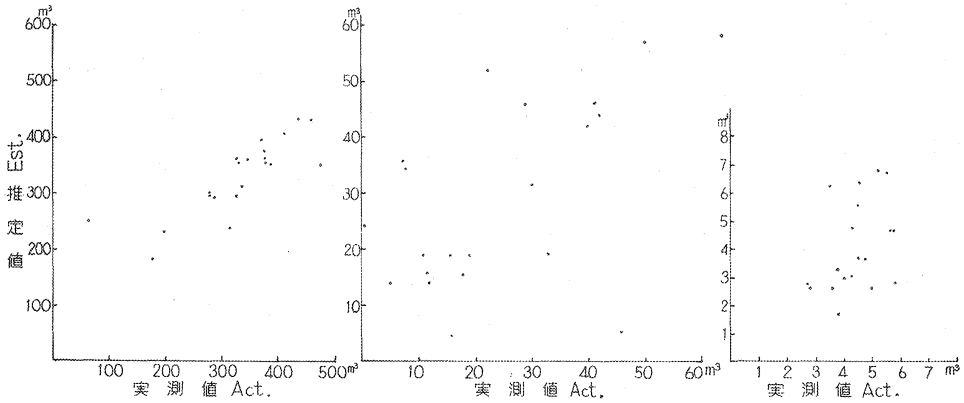
Plot No.	Item	本数 No. of tree	地形 Land type	径級構成 Stand composition	疎密度 Crown density	標高 Altitude	位置 Position	樹高階 Height class	混交型 Mixture type	方位 Azimuth	傾斜 Tilt	立木材積 Volume	枯損量 Inferior	成長量 Growth m³/ha
1 (30-21)	実測 Field											280.744	64.438	3.889
	予測 Est.	2	3	4	2	5	2	3	4	4	3	295.868	58.785	3.335
2 (30-22)	Field											461.681	16.375	5.700
	Est.	2	3	2	3	4	2	3	3	7	2	433.381	18.692	4.716
3 (30-23)	Field											329.794	120.250	3.866
	Est.	2	2	4	1	5	1	3	1	6	3	294.001	96.874	1.730
4 (30-24)	Field											203.044	12.188	2.710
	Est.	1	2	2	2	4	2	2	2	6	2	230.267	14.134	2.803
5 (30-25)	Field											283.525	31.938	4.397
	Est.	2	4	2	2	4	1	2	1	5	2	299.440	19.140	2.996
6 (30-26)	Field											191.744	30.625	2.860
	Est.	1	3	4	2	4	2	1	2	5	2	181.047	31.652	2.683
7 (30-27)	Field											478.319	5.119	5.822
	Est.	2	2	2	2	4	2	2	4	6	2	348.246	14.134	2.803
8 (30-28)	Field											443.531	12.056	5.729
	Est.	2	3	2	3	4	2	3	3	7	2	433.381	15.692	4.716
9 (30-29)	Field											328.113	12.056	4.374
	Est.	3	2	2	3	4	1	1	2	6	2	363.743	18.875	4.802
10 (31-27)	Field											390.650	29.344	4.629
	Est.	2	2	2	2	5	1	3	1	6	2	348.609	46.136	3.750
11 (31-28)	Field											291.094	40.000	3.641
	Est.	2	2	2	2	5	1	3	2	7	2	292.653	42.265	2.594
12 (31-29)	Field											378.025	21.988	5.508
	Est.	2	1	5	3	5	1	1	2	1	1	360.396	52.210	6.855
13	Field											317.781	18.375	3.534*
	Est.	2	1	1	3	4	1	1	2	6	2	307.563	15.306	6.360
14	Field											381.656	42.063	4.804
	Est.	3	2	2	2	5	1	3	2	7	2	375.437	42.265	2.594
15 (35-29)	Field											376.375	0.750	4.346
	Est.	3	3	4	2	5	2	2	4	4	2	302.546	24.023	3.050
16 (35-29)	Field											338.738	40.688	4.557
	Est.	2	1	2	2	5	1	3	1	6	2	354.875	46.136	5.574

17	Field											382.469	19.125	5.291
(35-30)	Est.	2	1	3	3	4	2	3	2	4	3	354.443	19.196	6.872
18	Field											414.519	7.152	4.889
(33-29)	Est.	3	3	4	2	5	2	2	4	4	2	404.907	35.754	3.731
19	Field											347.513	16.119	4.583
(32-29)	Est.	2	1	5	3	5	1	1	2	1	3	360.396	4.650	6.484

＊ 位置ずれのため判読。

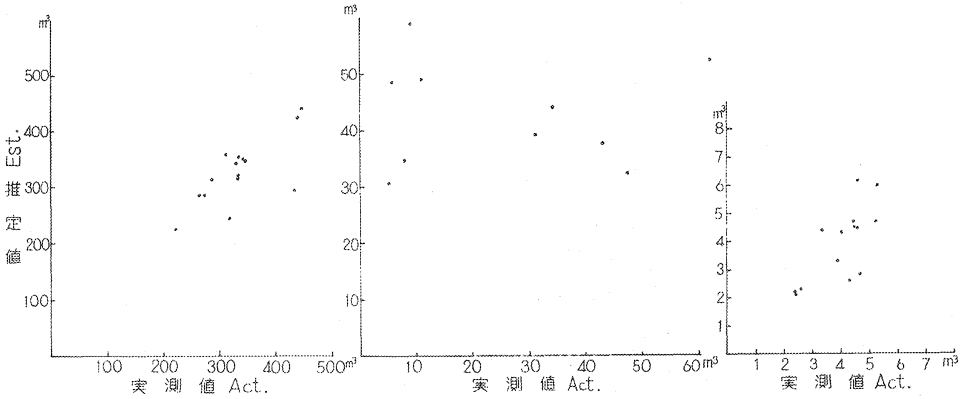
2) 本別 (Hombetsu)

Plot No. \ Item		本数 No. of tree	地形 Land type	樹高 Tree height	疎密度 Crown density	標高 Altitude	位置 Position	混交型 Mixture type	方位 Azimuth	傾斜 Tilt	立木材積 Volume	枯損量 Inferior	成長量 Growth m³/ha
1	Field										296.519	43.375	4.428
(42-35)	Est.	2	4	8	3	4	4	2	5	3	319.504	38.224	4.753
2	Field										265.450	31.731	4.702
(41-36)	Est.	2	2	8	3	4	4	3	5	3	288.896	39.361	2.850
3	Field										436.835	47.875	4.587
(37-37)	Est.	3	4	8	4	4	4	2	3	3	394.916	32.984	6.177
4	Field										277.469	62.875	2.623
(37-36)	Est.	2	4	8	3	4	4	3	5	2	287.973	52.419	2.392
5	Field										223.119	92.125	2.428
(36-36)	Est.	2	3	8	2	4	3	3	5	3	229.419	48.355	2.102
6	Field										331.038	5.875	3.385
(36-37)	Est.	2	3	8	4	4	3	3	5	3	317.740	30.443	4.449
7	Field										339.606	53.313	3.990
(35-37)	Est.	2	2	8	4	4	4	3	2	2	355.572	81.057	3.306
8	Field										347.000	71.563	4.405
(35-36)	Est.	2	3	8	4	4	4	2	9	2	348.724	55.752	4.554
9	Field										317.994	81.688	4.049
(34-36)	Est.	3	3	8	3	4	4	2	9	2	357.881	51.404	4.383
10	Field										446.475	34.250	5.304
(33-36)	Est.	3	2	8	4	4	4	4	9	2	440.138	44.098	5.982
11	Field										333.688	9.250	4.318
(33-37)	Est.	2	2	8	4	4	4	3	9	2	334.948	59.269	2.656
12	Field										422.018	10.875	5.255
(34-37)	Est.	3	2	8	4	4	4	3	2	2	427.817	49.493	4.734



a)　材積 Volume　　b)　枯損量 Inferior　　c)　成長量 Growth

1)　トムラウシ (Tomuraushi)



a)　材積 Volume　　b)　枯損量 Inferior　　c)　成長量 Growth

2)　本　　別 (Hombetsu)

Fig. 35　標準地現地調査による実測値，推定値比較図（トムラウシ，本別）
Comparison between the estimate and ground survey
(Tomuraushi & Hombetsu).

n	31	a :	79.264012
ΣX^2 :	3826936.802556	r :	0.904896
ΣX :	10658.526000	σ^2 :	711.080581
ΣY^2 :	3693843.043445	$S\bar{y}_x$:	4.789372
ΣY :	10534.727000	S_b :	0.66194
ΣXY :	3745074.057942		
b :	0.757848	誤差率	13.93%

この結果は従来の標本点の地上調査法自体が，材積測定値を最も的確にしらべうることを目的としたものであること，枯損量，成長量等はそれに比べてはるかに各林型，または面積単位ごとの変動の多い不規則な現象であることを示すともいえよう。

4) 考　察

写真観測値による森林の数量的取扱いにおいて，多変量解析を導入することによる現況ならびに推移の予測は，全体推定と同時に局所の観測値による小面積林分の推定を可能とする。また自然，人為の作用による林分構成の変化に伴う予察をも可能とする。

ただし，その推定値は写真解析資料（ステレオグラム）の母体となった森林全体の傾向を基準とするものであり，その推定値の精度も全体についての保証となるものである。したがって，局地林分の推定値には変動を含むものであることを考えねばならない。

なお，林況の変化に対応する予測については，その森林が現況各林型における推移をそのまま継続すると仮定することが条件である。

数値写真図による現地森林状況の推定作業は，写真解析資料（ステレオグラム）収集のための，あるいは既往資料の補正，確認のための現地調査を除き，林況要因の写真観測以外はすべて機械化され，また電子計算機により処理しうる。

その経費，工程はコードラート数によってのみ規制される。

今後さらに検討を進めるべきものとしては，写真像観測の機械化と時間関数を含めた観測資料の整備であり，また調査目的に応じた最適コードラートの大きさの選定規準である。

5) 林型区分の層別平均値による推定との比較

標本調査によって求められた層別平均値を用いて，林型区画ごとの推定値を求め，それらの合計による林分値の推定結果と推定数値表による前項推定値との比較を，トムラウシ天然林について立木材積，成長量，枯損量について実施した。

トムラウシ天然林に設定した，計5本の帯状調査線に含まれる林分の推定数値表による各推定値の値は Table 51 のごとくである。

また同地域林分の層別平均値による推定値は Table 52，この両者の比較を Table 53 に示す。

この結果は両者の較差は著しく (Table 54)，材積において，林型区分は +8.40～+40.00%，枯損量は −12.60～−51.30%，成長量は −3.40～+51.60%を示した。

両調査法とも全体推定を基準として，算出された値を用いるものであるので，局地林分での各変動の大きいことは予想されるところであるが，推定数値表を用いた値が材積，成長量において実測値と高い相関値を示したことは前項に示した。

これはこの方法が 40×40 m コードラートごとの観測であり，また地況・環境要因等を加えているためである。

これと対比する場合，林型区分においても，類似の単位面積ごとの判読を行なうことが適切であることが予測されるが，実務上は効率上不可能であろう。

Table 51.　推定数値表による推定値
Estimation by score chart

	40×40m Mesh No.	N	材積 Volume m³	枯損 Inferior m³	成長 Growth m³
Line A	2— 9～14—10	25	8886.936	120.049	100.526
	14—11～25—13	23	6520.101	114.186	59.778
	26—12～29—14	8	2108.706	63.562	21.465
	30—13～30—14	2	899.940	14.349	12.553
	31—13～31—14	2	311.627	12.421	5.247
	32—13～32—14	2	417.957	13.842	3.670
	33—13	1	355.676	6.398	3.619
	33—14～41—15	17	2332.944	119.373	37.725
	42—15～42—16	2	160.661	18.907	−0.895
	43—15～43—16	2	160.661	18.907	−0.895
	44—15～44—16	2	172.205	14.263	0.408
	45—15～45—16	2	487.351	15.822	5.467
	46—15～47—15	3	772.931	12.896	14.023
	47—16～54—17	15	2041.957	113.557	43.457
	55—17～55—18	2	307.371	10.453	4.171
	56—17～56—18	2	199.081	12.404	4.903
	57—17～57—18	2	413.013	8.055	10.092
	58—17～58—18	2	354.231	10.805	7.628
	59—17～59—18	2	194.669	14.209	−0.493
	60—17～69—19	20	3654.747	137.708	60.073
	70—18～74—20	10	1592.920	47.839	16.817
	計　Σ	146	32173.480	901.004	409.333
	ha当たり平均 Per ha.		220.366	6.171	2.803
	総　計　Total		5147.74	144.155	65.48
Line B	1—24～ 7—25	13	4178.642	44.697	50.106
	7—26～19—28	25	7873.971	39.207	106.170
	20—27～28—30	18	5471.168	80.691	54.802
	29—30～29—31	2	780.842	8.417	12.152
	30—30～30—31	2	570.900	18.473	7.405
	31—30～31—31	2	787.875	18.418	8.765
	32—30～34—30	5	1509.912	15.076	17.462
	34—31～38—32	9	2797.910	17.034	31.843
	39—31～39—32	2	472.881	2.928	5.881
	40—31～40—32	2	594.292	−0.206	10.920
	41—31～41—32	2	399.103	19.358	2.655
	42—31～44—32	5	1520.004	13.825	22.407
	44—33～53—35	19	4774.068	91.320	53.725
	54—34～54—35	2	440.354	1.455	3.742
	55—34～55—35	2	344.296	10.385	4.621
	56—34～61—35	12	2665.931	56.445	39.925
	62—35～72—37	22	4315.716	193.861	58.638
	73—37～73—38	2	197.355	18.688	12.929

	40×40m Mesh No.	N	材積 Volume m³	枯損 Inferior m³	成長 Growth m³
Line B	計 Σ	146	39695.225	650.073	504.149
	ha当たり平均 Per ha.		271.885	4.453	3.453
	総計 Total		6351.23	104.010	80.66
Line C	31— 3～31—23	21	3290.802	175.481	35.562
	31—24～32—11	24	6558.959	172.433	72.790
	32—12～30—34	23	5757.739	216.572	59.592
	30—35～29—48	24	7517.240	66.572	75.743
	計 Σ	92	23124.749	630.921	243.687
	ha当たり平均 Per ha.		251.356	6.858	2.649
	総計 Total		3699.96	100.947	38.99
Line D	44— 3～45— 3	15	1828.497	137.697	17.802
	45— 4～43—20	17	2379.486	130.103	25.747
	43—21～41—28	19	4079.086	84.147	34.838
	41—29～40—34	23	5470.950	77.170	77.916
	40—35～37—52	21	5030.746	92.912	52.284
	計 Σ	95	18788.765	521.932	208.581
	ha当たり平均 Per ha.		199.776	5.594	2.196
	総計 Total		3006.20	83.509	33.38
Line E	57— 1～57— 4	4	515.129	49.189	3.488
	57— 5～58— 5	18	3535.958	139.499	47.682
	58— 6～56—18	13	1996.367	83.760	36.658
	56—19～55—30	22	6519.204	50.220	94.340
	55—31～54—40	23	6070.899	44.011	87.629
	54—41～53—51	22	6009.490	18.004	90.929
	計 Σ	102	24647.046	384.683	360.726
	ha当たり平均 Per ha.		241.638	3.771	3.537
	総計 Total		3943.53	61.549	57.72

Table 52.　林型区分面積による層別平均値を用いた推定値

Volume estimation by the forest type classification area

1) Line (A)

層名 Strata	判読林型 Type	林型面積 Type area ha	材積 Volume ha当たり Per ha. m³	材積 Volume m³	粗成長 Gross growth ha当たり Per ha. m³	材積 Volume m³	枯損 Inferior ha当たり Per ha. m³	材積 Volume m³	純成長 Net growth ha当たり Per ha. m³	材積 Volume m³
N I	3.4	0.11 (0.70)								
	34.4	5.78 (36.10)								
	計 Total	5.89 (36.80)	384.11	2262.41	5.51	32.45	4.84	28.51	0.67	3.95
N II	43.3	2.06 (12.85)								
	32.4	1.71 (10.70)								
	3.3	0.35 (2.20)								
	計 Total	4.12 (25.75)	314.30	1294.92	4.74	19.53	5.45	22.45	(−0.71)	(−2.93)

Table 52. (つづき) (Continued)

層名 Strata	判読林型 Type	林型面積 Type area ha	材積 Volume ha当たり Per ha. m³	材積 Volume m³	粗成長 Gross growth ha当たり Per ha. m³	材積 Volume m³	枯損 Inferior ha当たり Per ha. m³	材積 Volume m³	純成長 Net growth ha当たり Per ha. m³	材積 Volume m³
NⅢ	4.2	1.61 (10.05)								
	3.2	0.90 (5.65)								
	計 Total	2.51 (15.70)	176.15	442.14	3.01	7.56	12.83	32.20	(−9.82)	(−24.65)
NⅣ	2.4	0.24 (1.50)								
	計 Total	0.24 (1.50)	94.77	22.74	1.33	0.32	0.11	0.03	1.22	0.29
NLⅠ	3.4	2.90 (18.10)								
	4.3	1.30 (8.10)								
	計 Total	4.20 (26.20)	367.02	1514.48	4.10	17.22	3.60	15.12	0.50	2.10
NLⅡ	3.3	2.14 (13.40)								
	4.2	0.36 (2.25)								
	計 Total	2.25 (15.65)	228.47	571.18	3.05	7.63	2.92	7.30	0.13	0.33
N/L	23.4	0.82 (5.15)								
	32.2	0.64 (4.00)								
	2.1	0.26 (1.60)								
	計 Total	1.72 (10.75)	279.15	480.14	2.11	3.63	1.25	2.15	0.86	1.48
LNⅠ	3.1	1.25 (7.80)								
	計 Total	1.25 (7.80)	282.67	353.34						
LNⅡ	3.2	0.34 (2.10)								
	4.1	0.34 (2.10)								
	3.1	0.25 (1.55)								
	計 Total	0.93 (5.75)	173.17	161.05						
(LⅠ)	3.2	0.02 (0.10)								
	計 Total	0.02 (0.10)	125.58	2.56						
	計 Grand total	23.36 (146.00)	2425.58	7104.96	23.85	88.34	31.00	107.76	−7.15	−19.43
	ha当たり Per ha.			304.15		3.78		4.61		−0.83

2) Line (B)

層名 Strata	判読林型 Type	林型面積 Type area ha	材積 Volume ha当たり Per ha. m³	材積 Volume m³	粗成長 Gross growth ha当たり Per ha. m³	材積 Volume m³	枯損 Inferior ha当たり Per ha. m³	材積 Volume m³	純成長 Net growth ha当たり Per ha. m³	材積 Volume m³
N I	4.4	1.68 (10.50)								
	43.4	5.02 (31.40)								
	34.4	1.70 (10.60)								
	計 Total	8.40 (52.50)	384.11	3226.52	5.51	46.28	4.84	40.66	0.67	5.63
N II	4.3	3.23 (20.20)								
	32.4	1.45 (9.05)								
	計 Total	4.68 (29.25)	314.30	1470.92	4.74	22.18	5.45	25.51	(−0.71)	(−3.32)
N IV	32.1	0.25 (1.55)								
	23.4	0.05 (0.30)								
	計 Total	0.30 (1.85)	94.77	28.43	1.33	0.40	0.11	0.03	1.22	0.37
N L I	4.3	3.64 (22.75)								
	計 Total	3.64 (22.75)	367.02	1335.95	4.10	14.92	3.60	13.10	0.50	1.82
N L II	43.3	2.29 (14.30)								
	42.2	1.01 (6.30)								
	計 Total	3.30 (20.60)	228.47	753.95	3.05	10.07	2.92	9.64	0.13	0.43
L N I	4.3	0.06 (0.40)								
	計 Total	0.06 (0.40)	282.67	16.96						
L N II	4.2	0.76 (4.75)								
	4.1	0.35 (2.20)								
	計 Total	1.11 (6.95)	173.17	192.22						
L	4.3	1.22 (7.60)								
	計 Total	1.22 (7.60)	175.09	213.56						
(L I)	3.2	0.18 (1.15)								
	3.1	0.47 (2.95)								
	計 Total	0.65 (4.10)	125.77	81.75						
	計 Grand total	23.36 (146.00)	2145.37	7320.26	18.73	98.85	16.92	88.94	1.81	4.94
	ha当たり Per ha.			313.37		4.23		3.81		0.42

3) Line (C)

層名 Strata	判読林型 Type	林型面積 Type area ha	材積 Volume ha当たり Per ha. m³	材積 Volume m³	粗成長 Gross growth ha当たり Per ha. m³	材積 Volume m³	枯損 Inferior ha当たり Per ha. m³	材積 Volume m³	純成長 Net growth ha当たり Per ha. m³	材積 Volume m³
N I	34.4	2.30 (14.40)								
	計 Total	2.30 (14.40)	384.11	884.98	5.51	12.67	4.84	11.13	0.67	1.54
N II	43.3	0.13 (0.80)								
	32.4	1.13 (7.05)								
	計 Total	1.26 (7.85)	314.30	396.02	4.74	5.97	5.45	6.87	(−0.71)	(−0.89)
N III	4.2	0.02 (0.15)								
	3.3	0.38 (2.35)								
	34.2	0.30 (1.90)								
	計 Total	0.70 (4.40)	176.15	123.31	3.01	2.11	12.83	9.00	(−9.82)	(−6.87)
N L I	4.4	0.08 (0.50)								
	4.3	1.90 (11.85)								
	43.4	0.78 (4.90)								
	3.4	0.10 (0.60)								
	計 Total	2.86 (17.85)	367.02	1049.68	4.10	11.73	3.60	10.30	0.50	1.43
N L II	43.3	2.28 (14.25)								
	3.2	0.57 (3.55)								
	3.3	1.18 (7.36)								
	計 Total	4.03 (25.16)	228.47	920.73	3.05	12.29	2.92	11.77	0.13	0.52
L N I	3.1	0.50 (1.50)								
	計 Total	0.50 (1.50)	282.67	141.34						
N L II	4.2	1.03 (6.45)								
	4.1	0.52 (3.25)								
	3.2	0.08 (0.50)								
	計 Total	1.63 (10.20)	173.17	282.27						
(L I)	2.4	0.86 (5.40)								
	3.2	0.84 (5.25)								
	計 Total	1.70 (10.65)	125.77	213.81						
	計 Grand total	14.72 (92.00)	2051.66	4012.14	20.41	44.77	29.64	49.07	−9.23	−4.27
	ha当たり Per ha.			272.56		3.04		3.33		−0.29

4) Line (D)

層名 Strata	判読林型 Type	林型面積 Type area ha	材積 Volume ha当たり Per ha. m³	材積 Volume m³	粗成長 Gross growth ha当たり Per ha. m³	材積 Volume m³	枯損 Inferior ha当たり Per ha. m³	材積 Volume m³	純成長 Net growth ha当たり Per ha. m³	材積 Volume m³
N I	34.4	1.10 (6.85)								
	計 Total	1.10 (6.85)	384.11	422.52	5.51	6.06	4.84	5.32	0.67	0.74
N II	4.3	2.27 (14.20)								
	3.3	1.06 (6.60)								
	計 Total	3.33 (20.80)	314.30	1046.62	4.74	15.78	5.45	18.15	(−0.71)	(−2.36)
N IV	23.4	0.10 (0.60)								
	計 Total	0.10 (0.60)	94.77	9.48	1.33	0.13	0.11	0.01	1.22	0.12
N L I	4.3	2.92 (18.25)								
	3.4	0.20 (1.25)								
	計 Total	3.12 (19.50)	367.02	1145.10	4.10	12.79	3.60	11.23	0.50	1.56
N L II	43.3	0.04 (0.25)								
	3.3	1.99 (12.45)								
	3.2	1.77 (11.05)								
	4.1	0.86 (5.35)								
	計 Total	4.66 (29.10)	228.47	1064.67	3.05	14.21	2.92	13.61	0.13	0.61
N/L	32.2	0.78 (4.90)								
	計 Total	0.78 (4.90)	279.15	217.74	2.11	1.65	1.25	0.98	0.86	0.67
L N II	3.1	0.30 (1.85)								
	計 Total	0.30 (1.85)	173.17	51.95						
L	4.2	0.48 (3.00)								
	計 Total	0.48 (3.00)	175.09	84.04						
(L I)	3.2	1.34 (8.40)								
	計 Total	1.34 (8.40)	125.77	168.53						
	計 Grand total	15.20 (95.00)	2141.85	4210.65	20.84	50.62	18.17	49.30	2.67	1.34
ha 当たり Per ha.				277.02		3.33		3.24		0.08

5) Line (E)

層名 Strata	判読林型 Type	林型面積 Type area ha	材積 Volume ha当たり Per ha. m³	材積 Volume m³	粗成長 Gross growth ha当たり Per ha. m³	材積 Volume m³	枯損 Inferior ha当たり Per ha. m³	材積 Volume m³	純成長 Net growth ha当たり Per ha. m³	材積 Volume m³
N I	3.4	0.40 (2.50)								
	34.4	3.58 (22.40)								
	計 Total	3.98 (24.90)	384.11	1528.76	5.51	21.93	4.84	19.26	0.67	2.67
N II	32.4	2.17 (13.55)								
	3.3	0.06 (0.40)								
	計 Total	2.23 (13.95)	314.30	700.89	4.74	10.57	5.45	12.15	(−0.71)	(−1.58)
N III	3.2	0.19 (1.20)								
	計 Total	0.19 (1.20)	176.15	33.47	3.01	0.57	12.83	2.44	(−9.82)	(−1.87)
N IV	4.2	0.31 (1.95)								
	23.4	0.06 (0.40)								
	計 Total	0.37 (2.35)	94.77	35.06	1.33	0.49	0.11	0.04	1.22	0.45
N L I	4.3	1.11 (6.95)								
	43.4	3.01 (18.80)								
	計 Total	4.12 (25.75)	367.02	1512.12	4.10	16.89	3.60	14.83	0.50	2.06
N L II	43.3	0.22 (1.35)								
	42.3	0.71 (4.45)								
	3.3	0.79 (4.95)								
	計 Total	1.72 (10.75)	228.47	392.96	3.05	5.25	2.92	5.02	0.13	0.22
L N II	4.1	1.45 (9.05)								
	3.1	1.61 (10.05)								
	計 Total	3.06 (19.10)	173.17	529.90						
L	4.2	0.17 (1.05)								
	計 Total	0.17 (1.05)	175.09	29.77						
(L I)	3.2	0.47 (2.95)								
	計 Total	0.47 (2.95)	125.77	59.11						
	計 Grand total	16.32 (102.00)	2038.85	4822.04	21.74	55.70	29.75	53.74	−8.01	1.95
ha 当たり Per ha.				295.47		3.41		3.29		0.12

Table 53.　林型区分法および数値表適用による各推定値の比較表
Comparison of the estimation between type classification method and score chart method

		林型区分推定値 Type classification method			数値表推定値 Score chart method		
		材積 Volume (m³)	枯損 Inferior (m³)	成長 Growth (m³)	材積 Volume (m³)	枯損 Inferior (m³)	成長 Growth (m³)
A	材積 Total volume	7104.96	107.76	88.34	5147.74	144.16	65.48
	ha当たり Per ha.	304.15	4.61	3.78	220.37	6.17	2.80
B	材積 T. volume	7320.26	88.94	98.85	6351.23	104.01	80.66
	ha当たり Per ha.	313.37	3.81	4.23	271.89	4.45	3.45
C	材積 T. volume	4012.14	49.07	44.77	3699.96	100.95	38.99
	ha当たり Per ha.	272.56	3.33	3.04	251.36	6.86	2.65
D	材積 T. volume	4210.65	49.30	50.62	3006.20	83.51	33.38
	ha当たり Per ha.	277.02	3.24	3.33	197.78	5.49	2.20
E	材積 T. volume	4822.04	53.74	55.70	3943.53	61.55	57.72
	ha当たり Per ha.	295.47	3.29	3.41	241.64	3.77	3.54
Σ	総材積 G. T. volume	27470.05	348.81	338.28	22148.66	494.17	276.23
	ha当たり平均 Per ha.	292.51	3.66	3.56	236.61	5.55	2.93

Table 54.　林型区分推定値と数値表推定値との較差
Difference between type classification estimation and score chart estimation

	材積 Volume m³	枯損 Inferior m³	成長 Growth m³
A	38.00	−25.20	34.90
B	15.20	−14.40	22.50
C	8.40	−51.30	14.80
D	40.00	−40.90	51.60
E	22.20	−12.60	− 3.40
平均 Average	24.76	−28.88	24.08

V　写真濃度測定による森林の自動的観測に関する研究

空中写真の利用が森林調査のみならず，あらゆる科学的調査測定の上に多くの有効な手法を発展させてきたことは，Ⅰの冒頭に記したが，写真像の量的測定の分野が著しく機械化しつつあるのに比べ，質的測定，すなわち判定を主題とする分野にあっては，なお観測者の主観的判断に依存するところが多い。

今後における写真利用の科学的発展にとって，写真観測の機械化，自動的測定は最大の課題である。

この技術を開発する基礎として，「自動写真濃度測定装置 (Automatic-micro-photo-densitmeter)」の開発を計り，またそれによる研究を進めているものである。

本研究については，1961 年にその原理と予備実験の結果を発表し[62]，1963 年，自動写真濃度測定装置，第 1 号機の試作を完了した。

その後，引きつづき各種の実験[46][51][62][71]および機械の改良をおこないつつ，現在観測機構と解析計算機との直結，自動観測系列化を計りつつある。

1.　写真濃度測定の原理

写真像はカラー写真を除いては，白から黒にいたる濃淡色調のコントラストによって成立しているものである。

それは被写体が，それぞれ異なる反射光量と反射波長差をもち，それがカメラの光学系と感光材料によって選択再現される結果である。

したがって，写真像の観察と判定とは，この濃淡コントラストの構成と量の解析によって数量的に求められるものである。

これを光電子管による機械的観測結果の数量化，あるいは自動記録図形の解析結果によって導き出すのを写真濃度測定法という。

2.　写真濃度観測の方法と記録

森林は面積的な広がりを持っているので，濃度観測は写真面上を一定方向に光電子管のスリットで走査する方法でおこなわれる。

観測に使用する「写真濃度測定機」には，自記記録計，ＡＤ変換器，積算計が付属しており，その機構略図を Fig. 36 に示す。

通常，観測面積（スリット），資料移動速度は目的に応じて数段階に調節される。

光電子管に捕えられた写真の濃淡は，電位差に変換される。

照射光量を I とし，観測フィルムを透過，または印画面で反射した光量を I_x とすれば，

$$I_x/I=l^{KA} \qquad (K \text{ は吸光係数})$$

で表わされ，濃度 D は

$$\log I/I_x$$

として測定される。

$$I/I_x=\bar{O},\ I_x/I=T$$

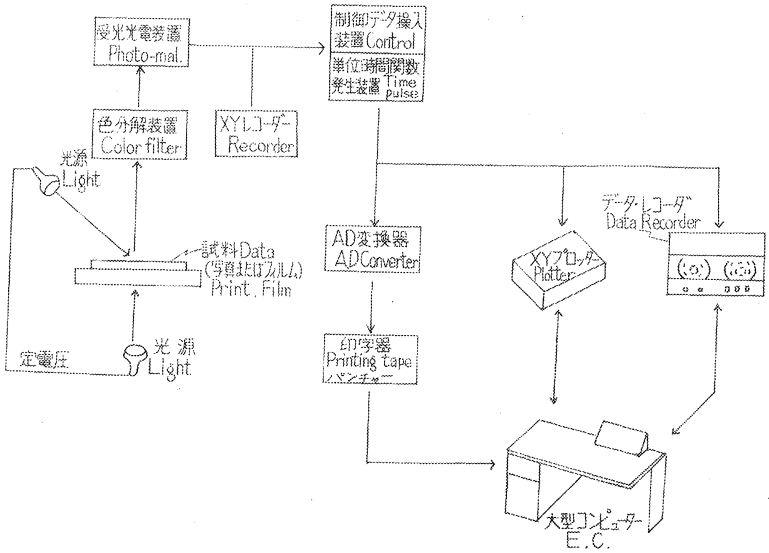


Fig. 36　写真濃度解析系統図
Diagram of the photo densit measurement system

として，T を透過度，$\bar{O}$ を遮光度の％で表わすと，

$$D=\log_{10}\bar{O}=-\log_{10}T$$

でその値は記録され，また測定される。

写真像は不感光部分の黒と，ハレーション等きわめて白い濃淡の間に振動する走査線となる。

1個の樹冠を走査観測したとき，樹冠の日照部は下部より頂点にかけてしだいに明るさを増し，背光部にいたって濃さを増して陰影にはいる。

これを模式図に示せば，Fig. 37 のごとくとなり，走査位置によって異なる濃度曲線となる。

同一樹種が均一に成立している林分を走査したとき，走査線が各立木の同一位置を通るものであれば，その曲線は同じ曲線形のくり返し振動となるが，そのような場合はまれで，通常は各立木をことなった樹冠位置で切る曲線のランダム構成となる。

肉眼観察はこのコントラスト構成を，脳中枢の作業で判断しているものである[51]。

一般に各樹種の色調とは，その林分の示す濃度曲線の面積的な平均値で示しうる。

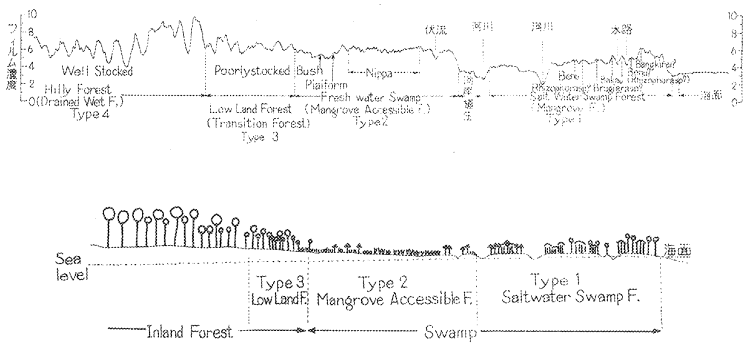
また感触とは，その波形の日照部と陰影部の濃度の変動であらわされる。

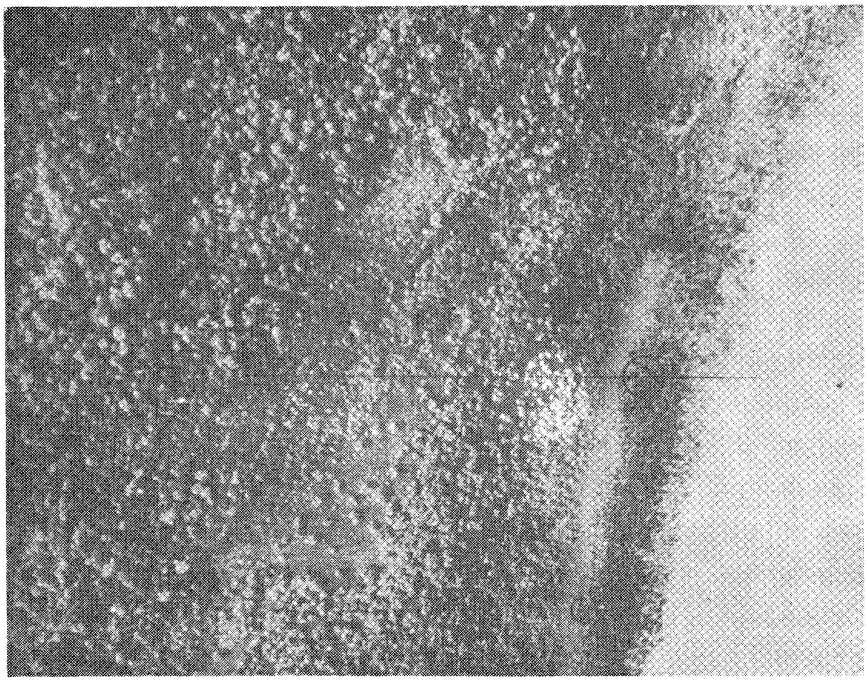
また樹冠の粒状模様，すなわちパターンは，この波形の周波構成で表現することができる[49)71]。いま，判別を必要とする森林のそれぞれの形に固有のこれらの値が知られるならば，その値を積算機構に記憶させれば走査観測にしたがい，自動的にそれぞれの分布と量を判別してゆくことができる。

この基本的な考えと方法は，明らかに肉眼の観察感を数値で説明するし，また既知の森林像を分類することは可能である。

そして，このような濃度曲線の表現を，樹種，齢級，樹冠本数等で整理した場合，林分の材積等調査目的項目とよく関連をもつ場合は，直ちに波形値よりそれらを知ることができる。この試みについての実験は，九州地方の若干の森林についての報告が近年発表されている[26)27]。

しかし実際には，森林はきわめて複雑な構成から成り立っており，写真像の場合には撮影や現像，また立地環境，フィルム画面内の位置等の差によって，たとえ同一樹種，同一構造の森林像であっても，濃度測定数値には大きな幅があるものである。したがって，未知の森林について，濃度数値そのものから森林を類型的なタイプに分類しようとすれば，さらに非常に多くの基準型を整備してゆかねばならない。





丘地林 Hilly F.　　低地林 Low land　　淡水湿性林 Fresh water swamp F.　　潮水湿性林 Salt water swamp F.　　海　面 Sea

濃度観測記録によるヌヌカン島

Fig. 37　林分濃度波模式図
Diagram of the forest density wave.

3. 濃度波形解析の原理

森林像を電磁波の情報と考えた場合，被写体がある森林は，その通信の発信源であり，ここで情報の量と，それに影響をおよぼす要素を分析する情報理論の体系を導入して，その森林固有の電磁波を分離抽出し，森林を判定する手法が可能，また必要となる。このとき，写真像は粒状構造や撮影器材，撮影条件などの付加音を加味した受信情報となる。

写真像は，鮮明度の基準となる解像力，すなわち結像系と，特定の濃度変化を生ぜしめる被写体からの特定の反射光量による濃度分布強度の2者より成り立っている。

前者は濃度変化を再現する正弦波の空間周波数によって表わされ，その率を示す曲線はレスポンス函数（*r. f.*）と呼ばれる。

この函数は点像の強度分布，$r(x, y)$ あるいは線像の強度分布 $r(x)$ からのフーリエ変換によって求められる。

また，被写体の反射による濃度曲線を生ぜしめる複雑な波形は，レスポンス函数と同じくフーリエ解析によって成分の正弦波に分解することができるので，写真像からの反射，または透過濃度の分布波形も，いろいろな周波数の正弦波の集合と考えることができる。そのうちで前記レスポンス（*r. f.*）は，その結像系が，被写体からの波形成分をどの程度に伝えているかを示すものである。

森林像の観測において取り扱われるものは，特定の濃度曲線を森林型のそれぞれによって生ぜしめる，いわゆる後者の強度分布である。

写真材料は現像銀粒子の密度，大きさを利用して反射光や透過光にいろいろな濃度を作っているものであり，そのために生ずる写真像の濃淡模様といったものは，いわば電気通信における発信波，雑音，その他いろいろの波動の合成による受信波の構成と同じである。

この波動を解析するには，それを構成している周波数成分を分析することが必要である。

周波数成分を表わすには，一般に構成正弦波の成分の自乗値で表わしたものを用い，これを Power spectrum という。

写真濃度の反射率，または透過率（T）の分布函数 $\{a(x, y)\}$ から，フーリエ解析によって周波成分を求めるときに，被写体の反射強度による濃度曲線では積分結果は無限大となる。このような場合には，まず $a(x, y)$ すなわち，分布函数からまず自己相関函数（Auto-correlation function）を求め，ついでその逆フーリエ変換によって一般調和解析に用いられる Spectrum を求めることができる。この Spectrum は Wiener spectrum または Noise spectrum，$\omega(\nu, \omega)$ と呼ばれる。その式は次で表わされる。

自己相関函数　$$\phi(s, \tau) = \lim_{xy\to\infty} \frac{1}{4XY}\int_{-X}^{X}\int_{-Y}^{Y} a(x, y)\cdot a(x+s, y+\tau)\,dxdy$$

spectrum　$$\omega(\nu, \omega) = \iint_{-\infty}^{\infty} \phi(s, \tau)\exp\{2\pi i(is+\omega\tau)\}\,dsd\tau$$

すなわち，濃度曲線記録から自己相関数を求め，それにより構成正弦波の成分が解析される。

それぞれの森林型において，その波形の構成が固有の性質をもつものであれば，これがその林型における基本波形の構成であり，観測による機械的判定，また森林の自動判別，あるいは波形合成による理論的森林像の合成へと発展する基準である。

4.　濃度波形解析による森林観測の手順

空中写真から森林の濃度観測による波形解析を行ない，森林の構造を判定するには通常下記の過程を経る。

1)　パターン弁別

写真像を森林，市街地，農地，その他地類，土地利用的な分類作業をおこない，調査対象地域像を分離抽出する。

2)　雑音分離

森林波形より結像系，地形，地表構造光源とカメラ位置，その他により付加されている波型への影響要素，すなわち雑音を分離し，林木構成のみの濃度波を抽出する。

3)　林分波形解析

林分構成波より樹種，混交度，疎密度，径級構成等の判定を導き出す。

1.　パターン弁別

写真上に判別しえられる各種の地類，その他の像は，濃度記録において固有の濃度分布形と振動，特有の波形の出現頻度などの特徴を捕えることによって分類の鍵がえられる。

数種の地類についての濃度分布と振動波数，また明調部（波高値）のみの測定によって，その差を示したものを Fig. 38 の 1)，2) と Table 55 に示す[53]。

特に森林は，立木による繰返し振動波によって容易に判別し，抽出しえられる。

個々の立木による波は，写真縮尺が大となり，また観測スリットが小となるにしたがい，それぞれの樹形の特色，樹頂反射の詳細性を加える。

2.　雑音分離

空中写真における森林像の濃淡は，立木による反射波のほかに地形，土壌，露岩，等多くのものが加わっている。

このうち最も多く作用を及ぼしているものは，地形の起伏によって生じる陰影の濃淡である。単写真においても肉眼の経験的錯覚によって高低感を生ぜしめる場合が多い。

地表起伏による反射光量の変化は，日照面での光量の大きな部分により背光面の少量の部分へと移り変わる。それによって，写真像の上には太陽光線の照射角と，地表面の傾射角を変数とする濃淡の変化を示す函数となる。

地表面を完全放射体と仮定した場合，地表面の傾射を r，太陽照射角に対する傾射方角を θ としたとき，単位面積当たり（ΔA 当たり）の地表面反射光の輝度（B）は，余弦法則（光源面の法線方向の光度を I_0 としたとき θ 方向の光度は $I_\theta = I_0 \cos\theta$）により，

$$B = K \cos\theta r \Delta A$$

で表わされる。この式は，太陽高度を計算の簡易化のために 45° とおけば，

$$B = \frac{1}{2}(\tan r \cos\theta + 1)$$

で表わされる。

一般的には $B = K(\tan r \cos\theta + 1)$ であらわされる近似式を考えることができる。

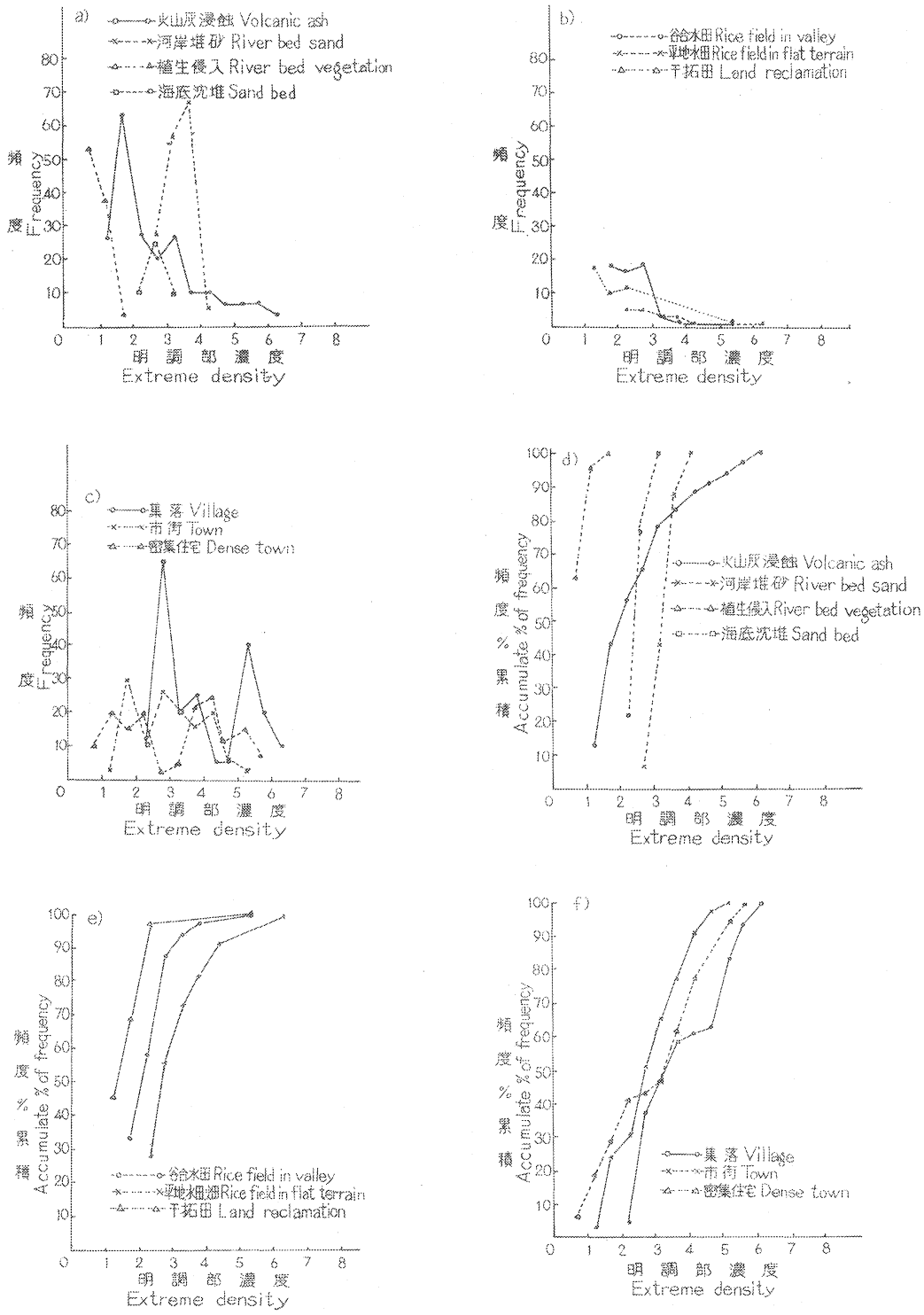


Fig. 38-1)　明調部（波高値）による写真濃度のパターン弁別
Pattern identification of land types by the extreme density.

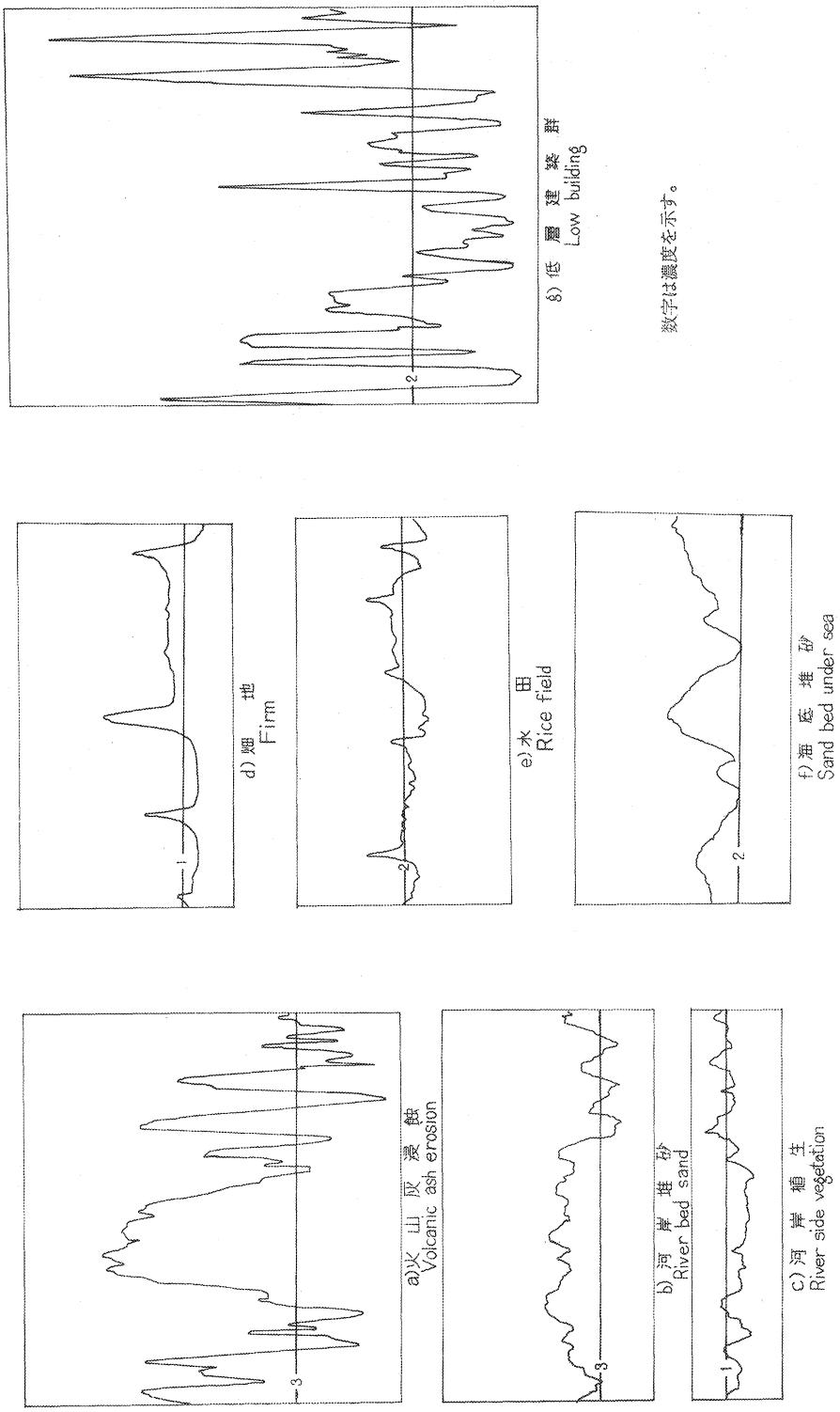


Fig. 38-2)　地類別濃度パターン図
Density pattern differences in the terrain types.

Table 55. 空中写真像濃度光輝部の数値

Data of extreme density of air photo densities

濃度 Extreme density	火山灰浸蝕(阿蘇) Volcanic ashes erosion			河岸堆砂(無生) River bed sand			同左植生侵入 River side vegetation			海底堆砂 Sand bed			谷合水田 Ricefield in valley			平地水田の畑 Ricefield in flat terrain		
	N	%	累積	N	%	累積	N	%	累積	N	%	累積	N	%	累積	N	%	累積
0～1							53.7	63.2										
	26.7	12.8					38.2	32.8	96.0									
	63.5	30.4	43.2				4.3	4	100				18.4	30.5				
2	26.7	12.8	56							10	22		16.7	27.8	58.3	5.0	27.6	
	20.0	9.6	65.6	27.5	6.9					25	55	77	18.4	30.5	88.8	5.0	27.6	55.2
3	26.7	12.8	78.4	57.5	36.2	43.1				10	22	100	3.3	5.6	94.4	3.3	18.1	73.3
	10.0	4.8	83.2	67.5	42.5	88.5							1.7	2.8	97.2	3.3	18.1	81.4
4	10.0	4.8	88	5	3.1	100										1.7	9.4	91.0
	6.7	3.2	91.2															
5	6.7	3.2	94.4										1.7	2.8				
	6.7	3.2	97.6															
6	3.3	1.6	100													1.7	9.4	100
計	207			157.5			96.2						60.1			16.4		

	干拓水田 Land reclamation			集落 Village			小市街地 Town			密集家屋 Dense town			大建築物 Big building			分譲住宅 Settlement		
	N	%	累積	N	%	累積	N	%	累積	N	%	累積	N	%	累積	N	%	累積
0～1										10	6.4							
	18	45					3.3	2.4		20	13.0	19.4						
	10	24	69				30.0	21.9	24.3	15	9.7	29.1	10.2	6.6				
2	12	28.8	97.8	10	5		10.0	7.6	31.6	20	13	42.1	20.0	13.6	20.2			
				65	32.5	37.5	26.7	19.5	51.1	25	1.6	43.7	16.7	11.1	31.3			
3				20	10	47.5	20.0	14.5	65.7	5.0	3.2	46.9	13.4	8.8	40.1	13.3	7.7	
				25	11.3	58.7	16.7	12.1	77.8	22.5	14.6	61.5	13.4	8.8	48.9	13.3	7.7	15.4
4				5	2.5	61.2	20.0	14.6	92.4	25	16.2	77.7	26.7	17.8	66.7	40.0	23.2	38.6
				5	2.5	63.7	6.7	4.8	97.2	12.5	8.1	85.8	26.7	17.8	84.5	46.7	27.1	65.7
5	2	4.8	100	40	20	83.7	3.3	2.4	100	15	9.7	95.5	16.7	11.1	95.6	26.7	15.5	81.2
				20	10	93.7				7.5	4.8	100	3.3	2.2	97.6	33.4	19.4	100
6				10	6	100							3.3	2.2	100			
計				200			137			155			150.3			173.4		

Photo (5 cm→66.5 cm) × $\frac{100}{66.5}$　　濃度　0～10

すなわち，地表面濃度は $\theta=0°$（太陽に正対）のとき＋の最大となり，$\theta=180°$（太陽に背対）のとき－の最大値をもつ。

また表面傾斜 r の増加に比例する（ただし $0°<r<90°$）。

これを模式図に示したものは Fig. 39 のごとくである。

この地形起伏によるもののほかに加わる系統的光量の変化は，「IIの 1. の 4.」で述べたが，太陽高度とカメラ位置によって生ずる Sun point 現象である（略）。

この両者による濃度への影響は，立木によるものとは全く周波数を異にした低周波のものとして加わっているので，観測記録のスムージング（移動平均法）によって容易にこの両者を分けることができる。

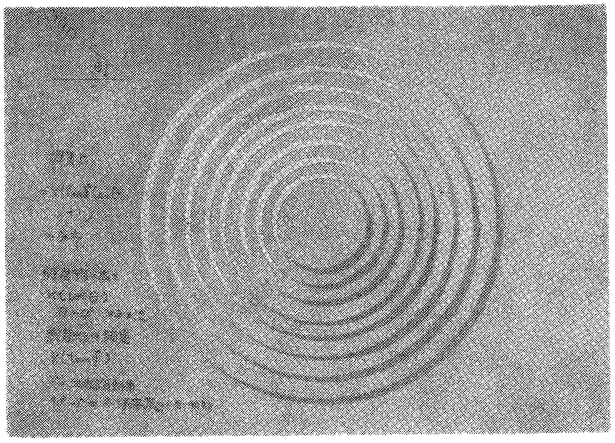
トムラウシ天然林における観測波形記録を，立木と地況等の 2 者に分離したもの，ならびに，樹種による 2，3 の例を Fig. 40 に示す。

この地況濃度と数値図（40 m² メッシュ）により求めた地況要因との関係は次のごとくである。

（1） 地表面の方位と濃度

地表面の最大傾斜方位角を θ としたとき，濃度 $x=a\cos\theta+b$ について撮影時の太陽位置の補正を行なわなかったとき $r=0.773$，緯度，経度による 20° の補正を加えたときは $r=0.845$ の相関を見ることが

輝度 $B=K(\tan\theta\cos\theta+1)$
輝度線頻度 $K_1(\tan r)$
r＝地表傾斜角
Tilt
$90°-r$＝光源高度角のとき max
輝度線の太さ $K_2(\cos\theta)$
θ＝光源照射角
Light angle
θ＝傾斜方位角のとき ±max



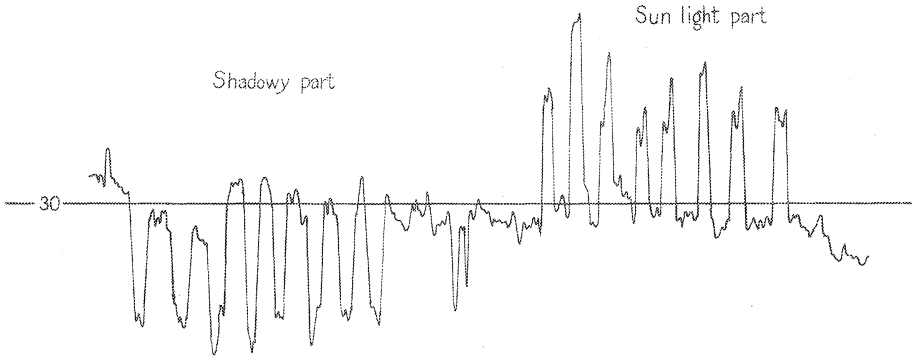
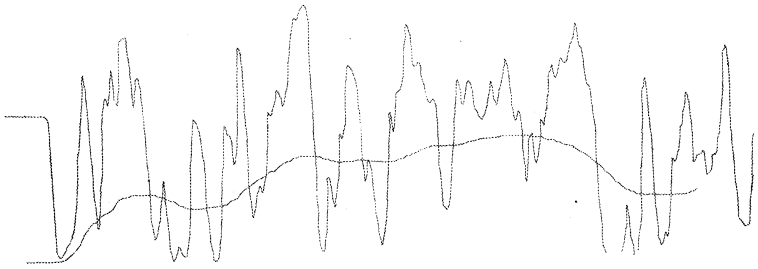
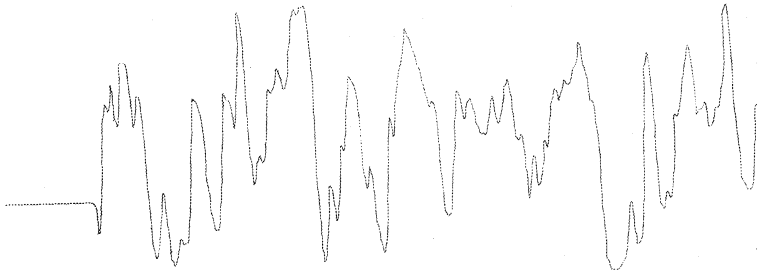


Fig. 39　地形起伏による濃度分布模式図の濃度観測記録
Diagram of the density distributions
by terrain relief.

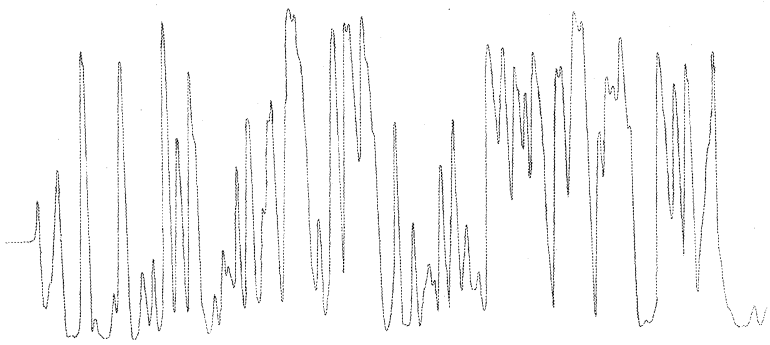
1) 北海道天然林
原波形
Photo-densities
in Hokkaido
natural forest
(Base included).

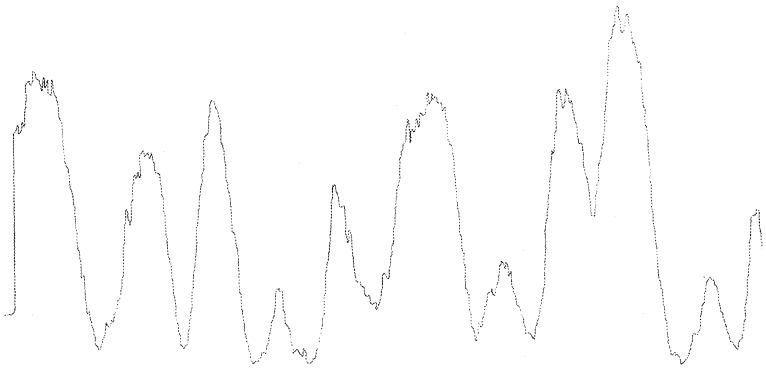




2) 北海道天然林
立木波形
Photo-densities
in Hokkaido
natural forest
(Base cut).

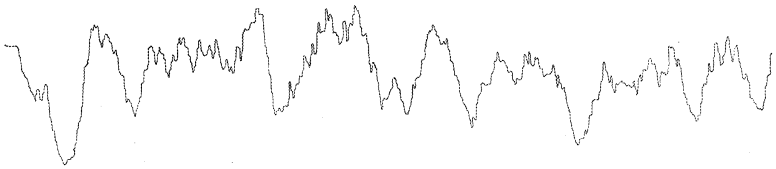
3) カラマツ
(*L. leptolepis*)





4) スギ
(*Cryptomeria japonica*)

Fig. 40　地形波のスムージングによる分離
Separation of the relief densities by smoothing.



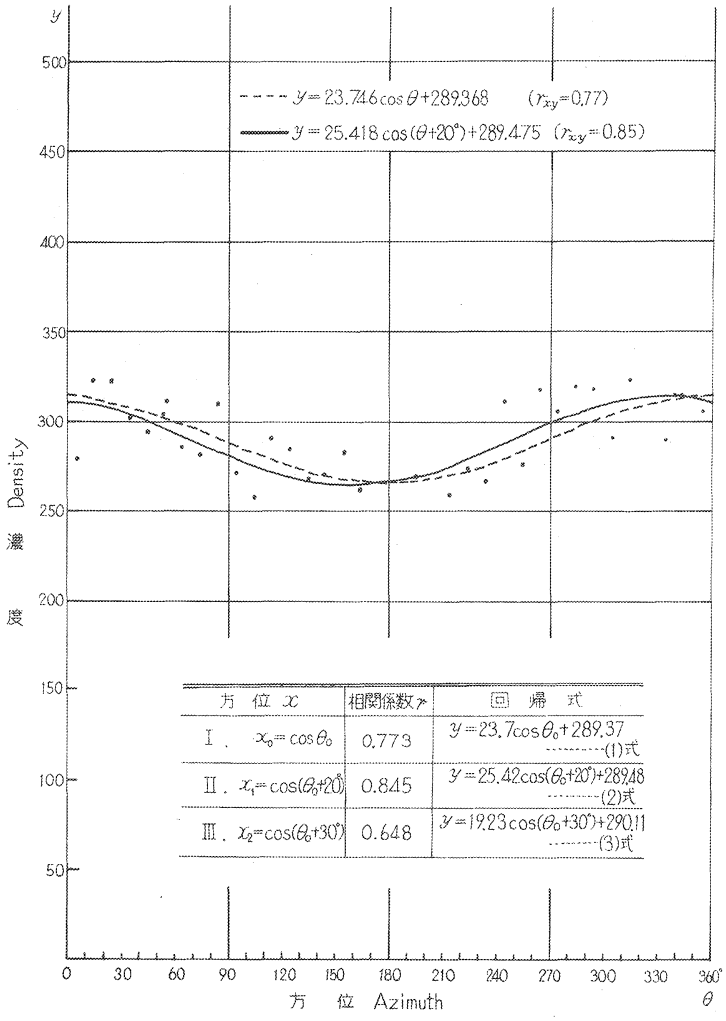
5)　ヒノキ　(*C. obtusa*)

できた。

これを Table 56, Fig. 41 に示す。

(2)　地表傾斜と濃度

地表面の最大傾斜角を x としたとき，濃度は x が 32.5° 以上のときのみ $y=a\tan x+b$ に高い相関 (0.977) を示した (Table 57, Fig. 42)。



方位 x	相関係数 r	回帰式
Ⅰ. $x_0=\cos\theta_0$	0.773	$y=23.7\cos\theta_0+289.37$ ……(1)式
Ⅱ. $x_1=\cos(\theta_0+20°)$	0.845	$y=25.42\cos(\theta_0+20°)+289.48$ ……(2)式
Ⅲ. $x_2=\cos(\theta_0+30°)$	0.648	$y=19.23\cos(\theta_0+30°)+290.11$ ……(3)式

Fig. 41　濃度・方位相関図
Density variations with azimuth effects.

（3） 標高と濃度

標高の増加にともない濃度は減少する結果を示している。ただし，直線回帰ではなく Table 58, Fig. 43 に見られる曲線である。

これらにより分離した濃度波形の，立木波でないものの大部分は地形要因によるものであることが知られる。

しかしながら，これらの値は地表部を被覆する立木や地床植生，または地表裸出などの状態が均一でない場合は，それらのものによる影響が非常に大きな変動を加ふるものである。

Table 56. 地表面の方位と濃度　方位—濃度回帰式相関係数計算表
Density variations with the azimuth effects

方位級 Azimuth class	平均濃度(y) Average density	I		II		III	
		θ_0	$x_0=\cos\theta_0$	$\theta_0+20°$	$x_1=\cos(\theta_0+20°)$	$\theta_0+30°$	$x_2=\cos(\theta_0+30°)$
0～ 9	279.2	5	0.9962	25	0.9063	35	0.8192
10～ 19	322.7	15	9659	35	8192	45	7071
20～ 29	300.3	25	9063	45	7071	55	5736
30～ 39	301.7	35	8192	55	5736	65	4226
40～ 49	295.3	45	7071	65	4226	75	2588
50～ 59	311.6	55	5736	75	2588	85	0872
60～ 69	285.8	65	4226	85	0872	95	— 0872
70～ 79	281.4	75	2588	95	— 0872	105	— 2588
80～ 89	309.9	85	0872	105	— 2588	115	— 4226
90～ 99	272.3	95	— 0872	115	— 4226	125	— 5736
100～109	257.8	105	— 2588	125	— 5736	135	— 7071
110～119	290.6	115	— 4226	135	— 7071	145	— 8192
120～129	284.7	125	— 5736	145	— 8192	155	— 9063
130～139	266.9	135	— 7071	155	— 9063	165	— 9659
140～149	271.4	145	— 8192	165	— 9659	175	— 9962
150～159	283.4	155	— 9063	175	— 9962	185	— 9962
160～169	263.1	165	— 9659	185	— 9962	195	— 9659
170～179	———	175	— 9967	195	— 9659	205	— 9063
180～189	———	185	— 9962	205	— 9063	215	— 8192
190～199	267.7	195	— 9659	215	— 8192	225	— 7071
200～209	———	205	— 9063	225	— 7071	235	— 5736
210～219	259.4	215	— 8192	235	— 5736	245	— 4226
220～229	273.1	225	— 7071	245	— 4226	255	— 2588
230～239	265.7	235	— 5736	255	— 2588	265	— 0872
240～249	311.3	245	— 4226	265	— 0872	275	0872
250～259	275.3	255	— 2588	275	0872	285	2588
260～269	317.6	265	— 0872	285	2588	295	4226
270～279	305.3	275	0872	295	4226	305	5736
280～289	319.4	285	2588	305	5736	315	7071
290～299	317.4	295	4226	315	7071	325	8192
300～309	291.1	305	5736	325	8192	335	9063
310～319	322.4	315	7071	335	9063	345	9659
320～329	307.1	325	8192	345	9659	355	9962
330～339	289.7	335	9063	355	9962	5	9962
340～349	312.7	345	9659	5	9962	15	9659
350～359	304.7	355	9962	15	9659	25	9063
Σ	9618.1		2.8995		2.5793		2.2990

Table 56. （つづき）(Continued)

n	33		
Σy	9618.1		
Σy^2	2817368.61		
$\bar{y}=\frac{\Sigma y}{n}$	291.458		
$\bar{y}^2$	84947.766		
$Sy^2=\frac{\Sigma y^2}{n}-\bar{y}^2$	427.040		
$Sy=\sqrt{Sy^2}$	20.665		
	I　$x_0=\cos\theta_0$	II　$x_1=\cos(\theta_0+20°)$	III　$x_2=\cos(\theta_0+30°)$
Σx	2.8995	2.5793	2.299
$\bar{x}=\frac{\Sigma x}{n}$	0.088	0.078	0.070
$\bar{x}^2$	0.008	0.006	0.005
Σx^2	15.178	15.7458	16.175
$Sx^2=\frac{\Sigma x^2}{n}-\bar{x}^2$	0.452	0.471	0.485
$Sx=\sqrt{Sx^2}$	0.672	0.686	0.696
Σxy	1200.712	1145.314	981.062
$Sxy=\frac{\Sigma xy}{n}-\bar{x}\cdot\bar{y}$	10.737	11.972	9.327
$r_{xy}=\frac{Sxy}{Sx\cdot Sy}$	0.773	0.845	0.648
$b=\frac{Sxy}{Sx^2}$	23.746	25.418	19.231
$a=\bar{y}-b\bar{x}$	289.368	289.475	290.112
$y=b\cos\theta+a$	$y=23.746\cos\theta_0+289.368$	$y=25.418\cos(\theta_0+20°)+289.475$	$y=19.231\cos(\theta_0+30°)+290.112$

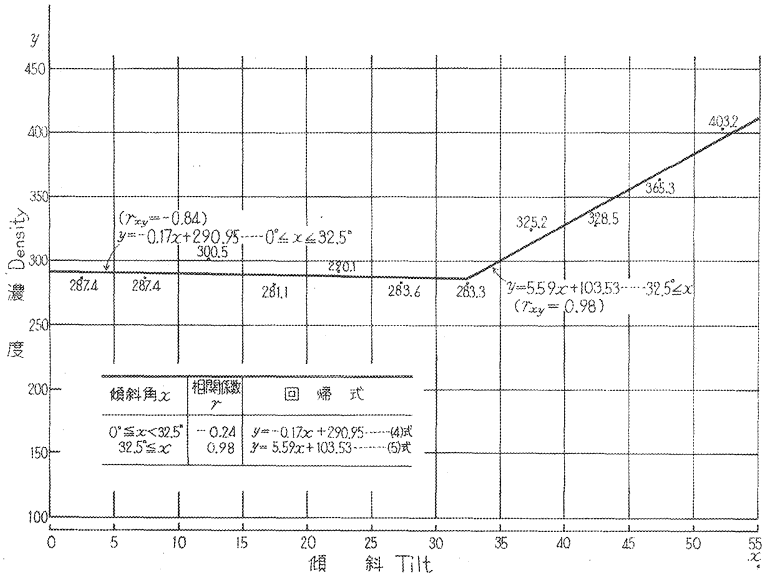


Fig. 42　濃度・傾斜相関図
Density variations with the terrain tilt effects.

Table 57. 地 表 面 の 傾 斜 と 濃 度

Density variations with the terrain tilt effects

傾斜角 x が $0° \leq x < 32.5°$ の場合						傾斜角 x が $32.5° \leq x$ の場合					
階級 Tilt	階級値 Tilt class x	階級平均濃度 Average density y	x^2	y^2	xy	階級 Tilt	階級値 Tilt class x	階級平均濃度 Average density y	x^2	y^2	xy
0～ 4°	2.5	287.4	6.25	82598.76	718.50	30～34°	32.5	283.3	1056.25	80258.89	9207.25
5～ 9°	7.5	287.4	56.25	82598.76	2155.50	35～39°	37.5	325.2	1406.25	105755.04	12195.00
10～14°	12.5	300.5	156.25	90300.25	3756.25	40～44°	42.5	328.5	1806.25	107912.25	13961.25
15～19°	17.5	281.1	306.25	79017.21	4919.25	45～49°	47.5	365.3	2256.25	133444.09	17351.75
20～24°	22.5	290.1	506.25	84158.01	6527.25	50～54°	52.5	403.2	2756.25	162570.24	21168.00
25～29°	27.5	283.6	756.25	80428.96							
Σ	90.0	1730.1	1787.50	499101.95	25875.75	Σ	212.5	1705.5	9281.25	589940.51	73883.25

n	6	5
Σy	1730.1	1705.5
Σy^2	499101.95	589940.51
$\bar{y}=\frac{\Sigma y}{n}$	288.35	341.1
$\bar{y}^2$	83145.72	116349.21
$Sy^2=\frac{\Sigma y^2}{n}-\bar{y}^2$	37.94	1638.89
$Sy=\sqrt{Sy^2}$	6.16	40.483
Σx	90.0	212.5
$\bar{x}=\frac{\Sigma x}{n}$	15.0	42.5
$\bar{x}^2$	225.0	1806.25
Σx^2	1787.5	9281.25
$Sx^2=\frac{\Sigma x^2}{n}-\bar{x}^2$	72.92	50.05
$Sx=\sqrt{Sx^2}$	8.54	7.075
Σxy	25875.75	73883.25
$Sxy=\frac{\Sigma xy}{n}-\bar{x}\cdot\bar{y}$	−12.62	279.90
$r_{xy}=\frac{Sxy}{Sx\cdot Sy}$	− 0.24	0.9772
$b=\frac{Sxy}{Sx^2}$	− 0.1731	5.5924
$a=\bar{y}-b\bar{x}$	290.95	103.525
$y=bx+a$	$y=-0.17x+290.95$	$y=5.59x+103.53$

Table 58.　地表面の標高と濃度（標高・濃度回帰式相関係数計算表）
Density variations with the terrain altitude effects

標高階級 Altitude class	階級平均濃度 y Average density	I	II	III	
		階級値（x）	$X_2=\frac{1}{x}$	$x_3=x-600$	$X_3=\frac{1}{x^3}$
640～ 699m	445.5	670	0.00149	70	0.0143
700～ 749	369.4	725	00138	125	0080
750～ 799	308.3	775	00129	175	0057
800～ 849	291.8	825	00121	225	0044
850～ 899	285.0	875	00114	275	0036
900～ 949	281.6	925	00108	325	0031
950～ 999	284.3	975	00103	375	0027
1000～1049	243.2	1025	00098	425	0024
Σ	2509.1	6795	0.00960		0.0442

n	8
Σy	2509.1
Σy^2	815619.03
$\bar{y}=\frac{\Sigma y}{n}$	313.637500
$\bar{y}^2$	98368.48140625
$Sy^2=\frac{\Sigma y^2}{n}-\bar{y}^2$	3583.898
$Sy=\sqrt{Sy^2}$	59.8657

	II	III	I
Σx	0.00960	0.0442	6795
$\bar{x}=\frac{\Sigma x}{n}$	0.00120	0.005525	849.375
$\bar{x}^2$	0.00000144	0.0000305256	721437.89
Σxy	3.084545	15.61733	2082295.0
Σx^2	0.00001174	0.00035596	5878275
$Sx^2=\frac{\Sigma x^2}{n}-\bar{x}^2$	0.000000028	0.0000139744	13346.49
$Sx=\sqrt{Sx^2}$	0.000167332	0.00373823	115.527
$Sxy=\frac{\Sigma xy}{n}-\bar{x}\cdot\bar{y}$	0.0092	0.21932	−6112.67
$rxy=\frac{Sxy}{Sx\cdot Sy}$	0.1812	0.98	−0.1744
$b=\frac{Sxy}{Sx^2}$	328571.43	15694.412	−0.458
$a=\bar{y}-b\bar{x}$	−80.648	226.926	702.65
$y=bx+a$	$y=\frac{328571.43}{x}-80.648$	$y=\frac{15694.412}{x-600}+226.926$	$y=-0.458x+702.65$

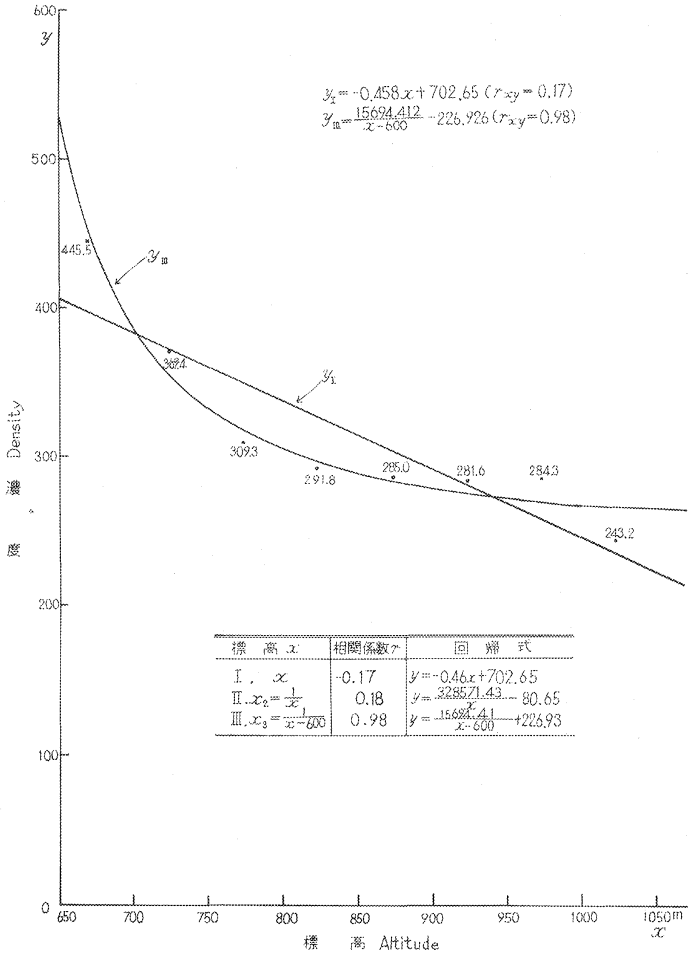
3.　林分波形解析のための処理と実験例

写真濃度記録は走査距離を独立変数（t）とする函数として，フーリエ級数に展開できる。

すなわち，周期 $T=2\pi/\omega$ として，

$$Y(t)=\frac{a_0}{2}+\sum_{n=1}^{\infty}\{a_n\cos(n\omega t+b_n\sin(n\omega t)\}$$

ただし，



標高 x	相関係数 r	回帰式
I. x	-0.17	$y=-0.46x+702.65$
II. $x_2=\frac{1}{x}$	0.18	$y=\frac{328571.43}{x}-80.65$
III. $x_3=\frac{1}{x-600}$	0.98	$y=\frac{15694.41}{x-600}+226.93$

Fig. 43　濃度・標高相関図
Density variations with the terrain altitudes.

$$a_n=\frac{2}{T}\int_{-T/2}^{T/2} Y(t)\cos(n\omega t)dt$$

$$b_n=\frac{2}{T}\int_{-T/2}^{T/2} Y(t)\sin(n\omega t)dt$$

データ数の 1/2 を最高とする高周波分まで計算し，各項の係数を求めて波形を再合成することでスムージングを行なう。

スムージング・データの自己相関函数を次式で求める。

$$\phi(\tau)=\lim_{T\to\infty}\int_{-T}^{T} Y(t)Y(t+\tau)dt$$

計算機による処理はフーリエ級数の各係数を Tchebycheff の漸化式によって求める。

((半周期の等分数を N としたとき $(2n+1)$ 個の点，$Xn=2\pi n/2(N+1)$ $(n=0, 1, 2, \cdots\cdots 2N)$ における函数 $f(x)$ の値の f_n が与えられるとき，$(2N+1)$ 個の定数，a_p $(p=0, 1, 2, \cdots\cdots N)$，$b_p$ $(p=1, 2, \cdots\cdots N)$ が，$f_n=\frac{1}{2}a_0+\sum_{p=1}^{N}\left(a_p\cos\frac{2\pi np}{2N+1}+b_p\sin\frac{2\pi np}{2N+1}\right)$ $(n=0, 1, 2, \cdots\cdots 2N)$ を満足するように求める。))

各林型について実験した濃度波形の自己相関による周波構造と，波形構成の Power spectrum を Fig.

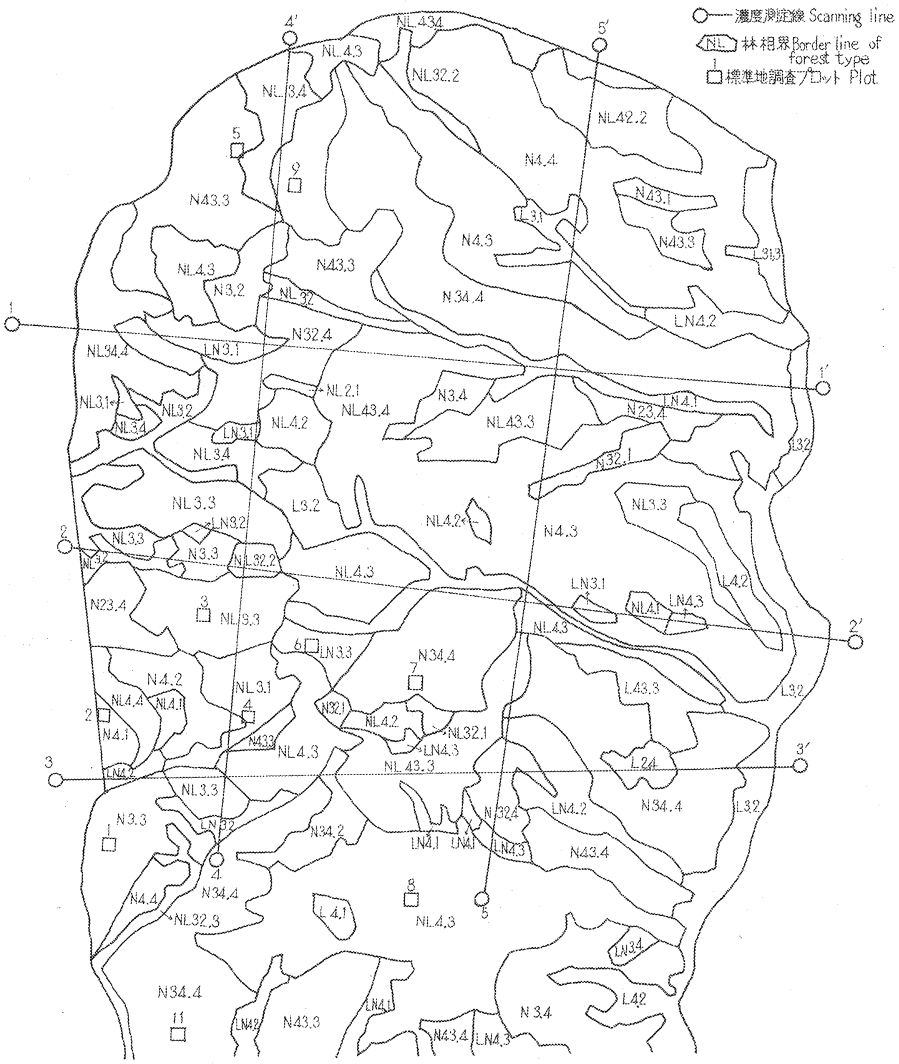


Fig. 44　トムラウシ濃度測定線位置図（トカチガワジョウリュウ山485, C2-19, C2-20）
The scanning line for the densit measurement of Tomuraushi forest.

44, Fig. 45 の 1), 2), 3), Fig. 46 の 1), 2), 3), Fig. 47 の 1), 2), 3), 4) に示す。

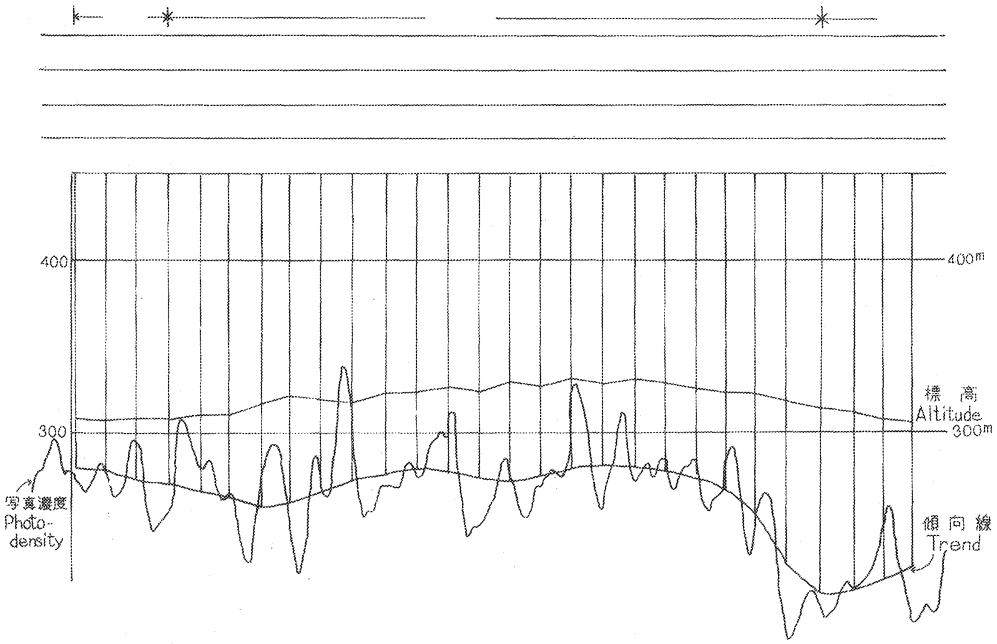
これらの結果は，各林型が明らかに異なる周波成分によって合成されていることを示すものである。

波形解析は複雑な演算過程を要するものであるので，写真濃度測定機と解析計算機の On line system が実用上は不可欠である。

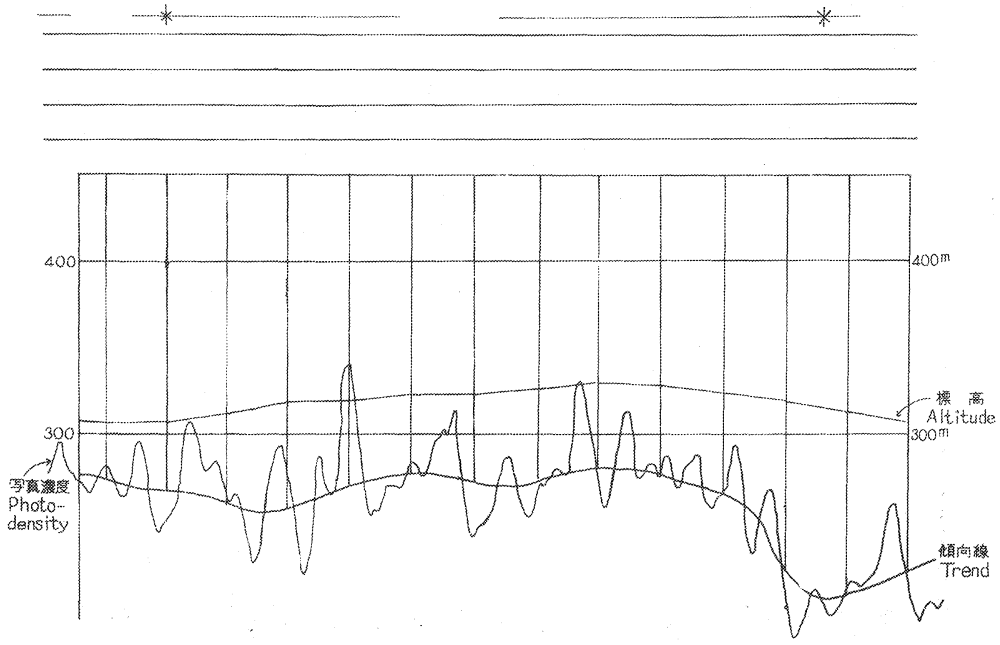
この波形解析は現在映像処理法の発展により，面的判定法への開発を進めつつある。

本章においては濃度測定法に関して，その原論のみについて述べたが，カラー写真測定への応用[64]，粒度分布測定への応用等は広く他の電子顕微鏡などの写真利用分野において注目されている。

また現在開発の進められている面的判定法とは，この光学，機械的な観測機構をエレクトロニクスによるテレビ走査観測部に結合させ，プログラム内蔵の像解析機構と，判別結果の色別表示のモニターテレ

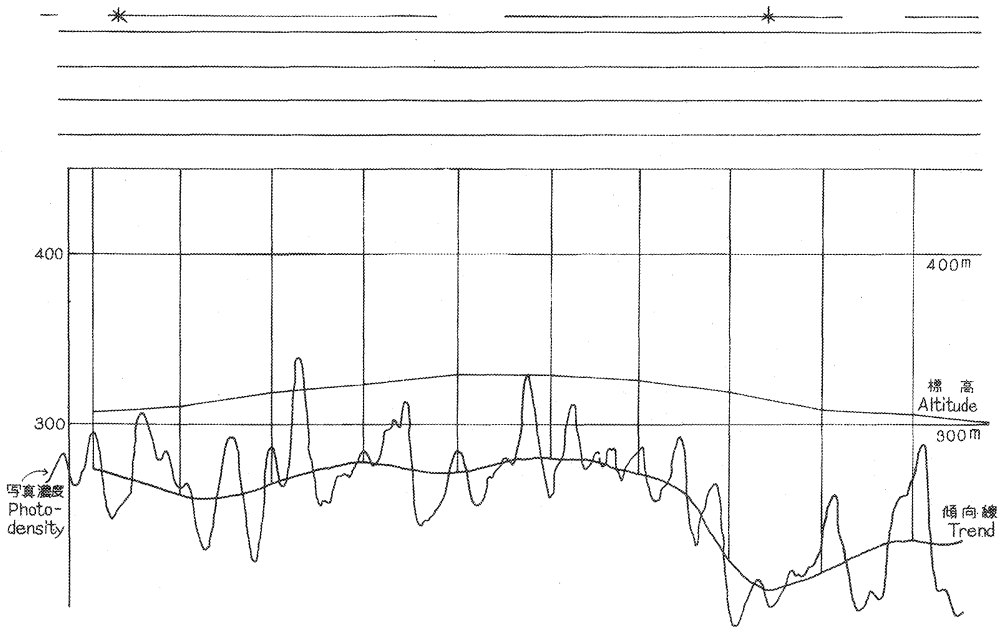


1)　1'A～1A（10 m）　濃度測定結果 The density records of Tomuraushi forest.



2)　1'A～1A（20 m）　濃度測定結果 The density records of Tomuraushi forest.

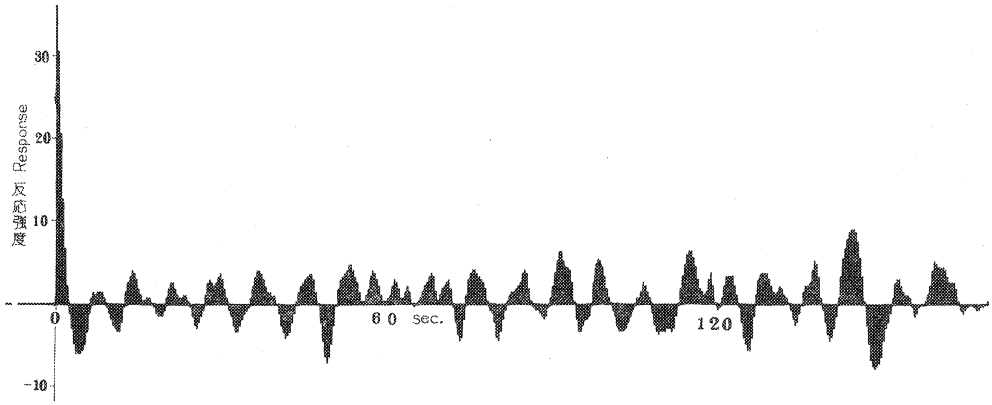
Fig. 45　各林型についての濃度測定結果例
Examples for the density records of the various forest types in Tomuraushi



3)　1'A～1A (30 m)　濃度測定結果 The density records of Tomuraushi forest.

ビ，図化，印字などの機構を直結せしめた一連の映像判定システムである。この系列模式を Fig. 48 に示す。

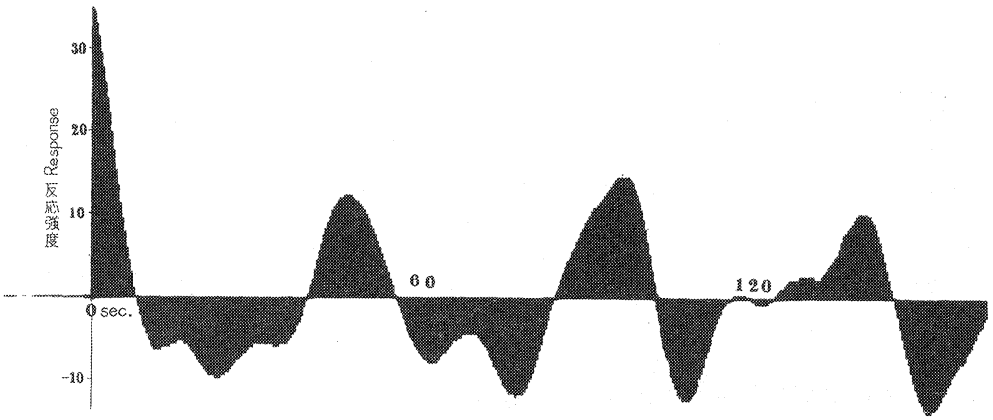
この濃度測定法は写真記録にとらえられた被写体の反射光量差による濃淡を測定するものであって，被写体の持つ反射波長の差を取り扱うことはできない。したがって，波長構成の解析を必要とする今後の遠隔探査分野にあっては波長帯別記録を可能とするムルチ・スペクトル・カメラ写真，およびムルチ・スペクトル・センター記録の観測を可能とする機構に進むことが必然である。



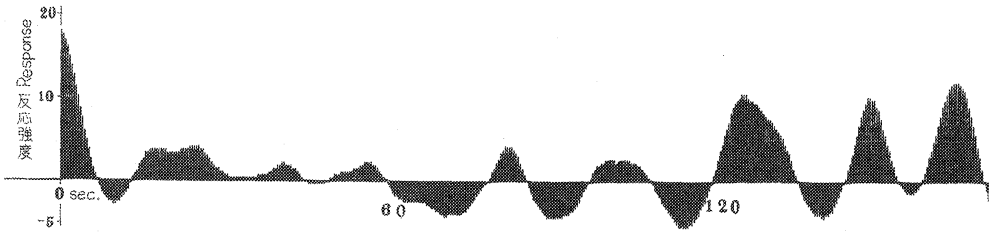
1)　エゾ・トド天然林　*Picea* and *Abies* (Natural forest in Hokkaido).

Fig. 46　林分波形自己相関図

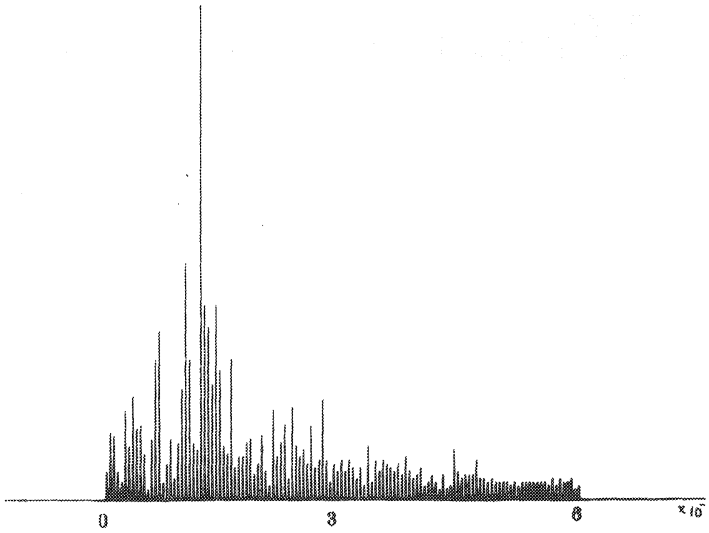
Diagram of the auto-correlation curves of the forest.



2)　スギ人工林　*Cryptomeria japonica* (Artificial forest).

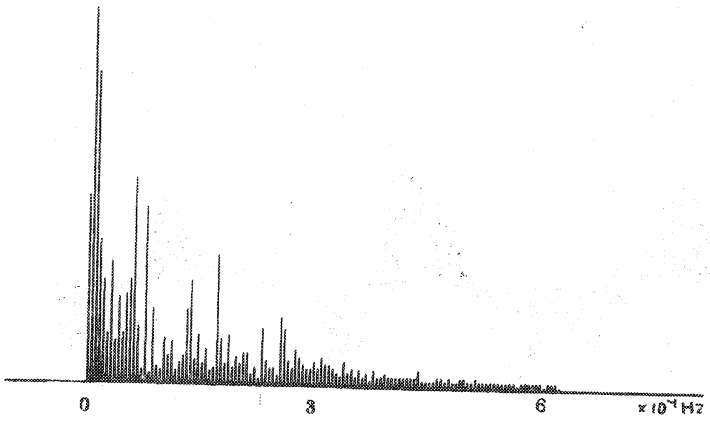


3)　ヒノキ人工林　*C. obtusa* (Artificial forest).

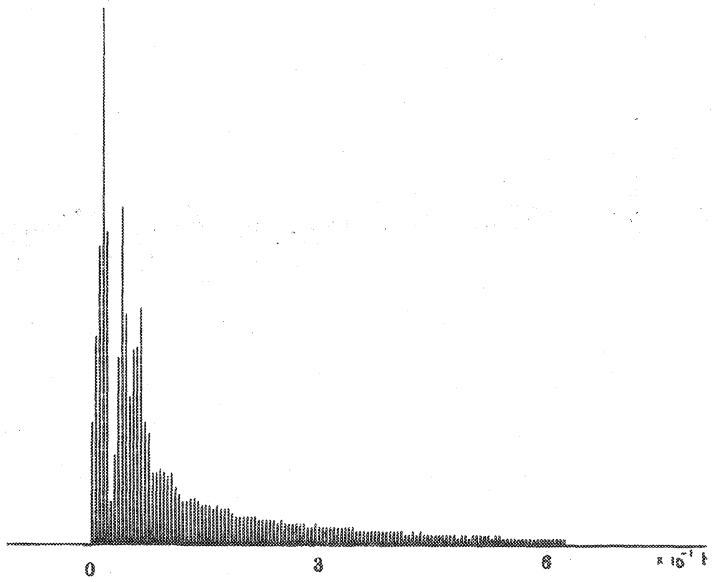


1)　エゾ・トド天然林 *Picea* and *Abies* (Natural forest in Hokkaido).

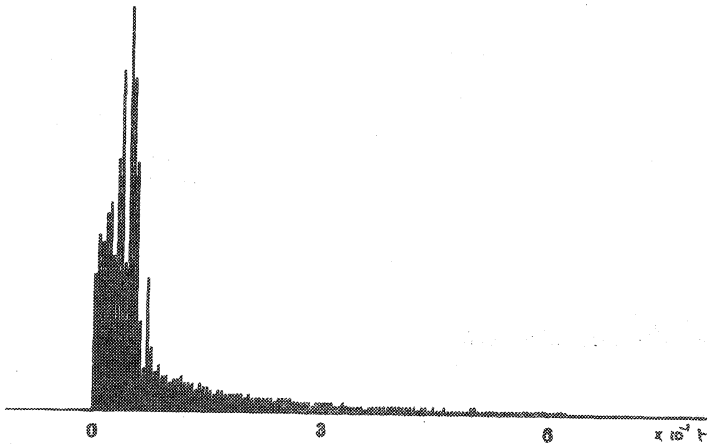
Fig. 47　林分波形パワー・スペクトル図
Diagram of the power spectrum of the forest.



2)　カラマツ人工林
L. leptolepis
(Artificial forest).



3)　スギ人工林
Cryptomeria japonica
(Artificial forest).



4)　ヒノキ人工林
C. obtusa
(Artificial forest).

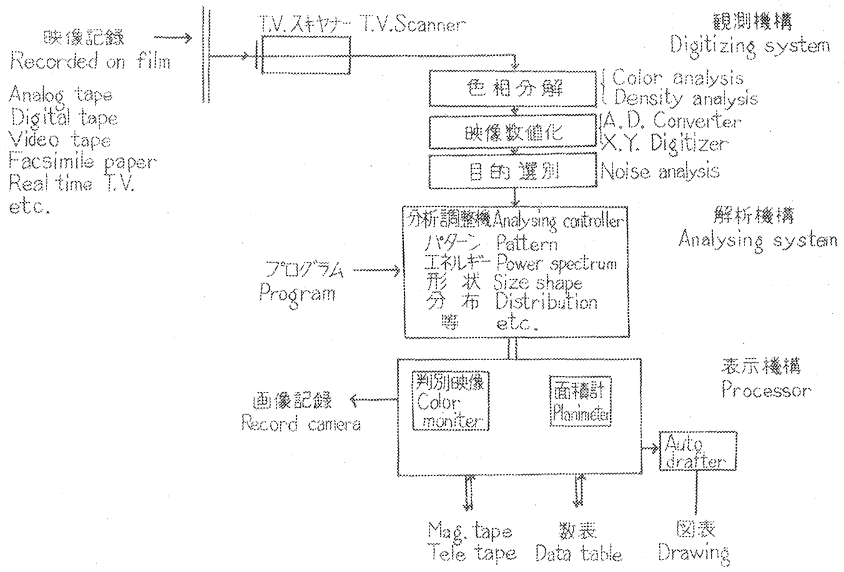


Fig. 48　映画判定システム模式図
Image analyzing system.

VI 総 括 考 察

1. 空中写真利用の基本的問題

森林の持つ木材生産機能，また国土保全・社会生活環境の保全と増進等の機能を開発すべき計画を立案し，その実行の基礎資料を収集整理する森林調査は，森林の現況を迅速正確にはあくすると共に，将来への予測をもつまびらかにしなければならない。そこでは，森林は自然と人為の環境の内に盛衰する有機的な生物社会集団として観察され，森林を構成する数多くの要因について，森林の成立と推移の過程に対する関連が明らかにされねばならない。

それは個々の立木と同時に，より大きな空間での現象を取り扱う分野である。

太古以来，森林は人間の肉眼観測の視野とその目盛によって，調査され判定されてきたものである。

しかしながら，森林調査への要求が従来よりさらに広汎に展開してゆくにつれて，調査目的に応じた視野の拡大と縮小をえらびうる観察力および，多くの要因の相互の関連性を正確迅速に解きうる判断力とが期待されるに至った。

写真はそれを仲介とすることによって，肉眼の観察力が著しく増加し，また被写体を客観的に数値的に解析し判定する手法への道を開いている。

空中写真はその発展過程において，産業利用への第一歩から森林調査に利用され，特に第２次大戦以後著しく利用頻度と効果を高めてきているが，それが既往の調査体系において，肉眼の補助，労力の節減を目的としないならば，調査法の基本的な開発はありえないものである。

写真のもたらした人間への新たな観察と，判定への能力を基本として，調査法自体が設計され，実施されることによって初めてその効果は期待しえられるものであろう。

2. 空中写真像の条件

空中写真は撮影器材，感光材料の発達によって，気球，ヘリコプター，衛星，宇宙船等による映像記録法によって，地上近距離撮影から空間写真（Space photograph）に至る視野の選択が可能となり，また紫外線よりレーダー波長に至るまでの光波域を映像として捕えるに至り，その受像，解読の方法も，従来の空中写真利用を地上現象の遠隔探査法（Remote sensing method）の一部分に含めるに至っている。

従来の写真像利用上において難点といわれていたもの，たとえば詳細部の判定困難，あるいは測定精度の限界等についての大半は，写真技術上からはほとんど解決されているものとはいえ，その技術を用いうるか否かは調査に対する経済的な効果，工程によってそれが検討される。

しかしながら，空中写真利用の調査は明らかに地上調査とは異なる。写真調査はその結果が地上調査に比べ，いかに詳細，正確であろうとも，それは写真像を媒体とする間接測定であり，いわば推理の結果であることである。

ここに結果を現実と結び合わせる数多くの検討手段が必要となる。

調査が写真像を資料とするものである限り，すべての利用効果は精度においても，能率においても，写真の条件と観測への使用器材，また適用技術によって基本的に左右される。

したがって，調査にあたっは，まずこの写真条件がどのようなものであるかを明らかにし，効果の範囲を知ることが必要である。

それはカメラ，フィルムとフィルター，撮影季節，時間，縮尺，鮮明さ等によって異なる。

日本においては森林調査の際，撮影条件よりの設計から計画が立てられ，実行されることは試験研究や特殊な調査以外ほとんどなく，通常は既存の撮影写真を用いておこなわれる。

これらの写真は多目的用の中～小縮尺写真であり，また観測器材も反射立体鏡を主とする簡易用具に限られるものである。

この条件を前提として，森林の経営案調査を主体とした写真による林型判別に対する効果を，判読区分の精度と効程の比較，また濃度測定による写真観測値の数量判定より求めた。白河国有林における試験結果から見れば，カラー写真を除くモノクローム写真では，次のような順位で良好さが現われている。

1)	初冬撮影	赤外線写真	1/10,000
2)	〃	パンクロ写真	〃
3)	春季 〃	赤外線 〃	〃
4)	秋季 〃	パンクロ 〃	1/25,000
5)	早春 〃	〃	1/10,000
6)	春季 〃	〃	〃
7)	早春 〃	〃	1/22,000
8)	各季撮影	赤外線写真	1/10,000
9)	夏季 〃	パンクロ 〃	1/22,000

この調査における林型区分は，主として針葉樹林分の判定を対象としたものであるので，完全に成長を休止した冬季と樹種間の色調差の少ない夏季写真が，最も不適切な結果を示したのは当然であるが，初冬写真が効果的であったのは，広葉樹判定を取り扱わなかった点もある。

写真判読の効果に最も関係するものは撮影季節であり，季節が同一であればパンクロよりも赤外線写真

の効果が高い。

また小，中縮尺の効果の差は根本的にはないが，小縮尺より中縮尺が効率がよいのは当然といえよう。

広葉樹の判定をも考慮したとき秋季，または春季撮影の写真が最適であろうと予想される。

撮影カメラ，フィルムの分解能，また鮮明度については，通常の森林判読を目的とし，適正な計画の下に撮影されたものである限り，その性能は十分に満足すべきものといえよう。

なお，写真縮尺は，調査目的，すなわちどの程度の空間と観測目盛を最適とするかで選ばれるべきであり，それは所要図化縮尺に対する原写真縮尺の選定と同じである。

概略の基準は

小縮尺写真（1/20,000 以下）：1/5,000 基本図作成，資源標本調査のための林型区分図。

中縮尺写真（1/10,000 以下）：1/2,500～1/2,000 図作成，林小班別，林型区画別精密調査。

大縮尺写真（1/5,000～1/2,000）：1/1,000～1/600 図作成，個別林分，標本地調査。

等となる。

なお本報告においては，単に概要を紹介するにとどめたフォールス　カラー（赤外カラー）写真は，その後継続されている試験研究，業務応用試験において明らかに既往のフィルムより著しく植物の種類，分布，生育状態，あるいは土地条件等の検出能と詳細性を示し，今後，資源調査のみならず，生態，土地利用等の各分野における応用効果を高めるであろうことが期待される。

3.　空中写真による森林観測の要因と表示

写真観測を主体として設計し，実施される森林調査においては，従来，地上調査で森林の観測の要因となっていたもの，たとえば林分測定であれば個々の立木の樹種，胸高直径，樹高値，あるいは幹本数，成長錐片資料等は，写真像に記録された林分構成，すなわち樹種群構成，樹冠層構成，樹高階，あるいは疎密度等の林況要因とそれを取りまく自然と人為による立地環境の要因に置きかえられ，たとえば材積，枯損，成長量，あるいは成立本数等の調査目的項目も，これらにより導かれるものである。

写真像の観察は，数多くの利点はあるにしても，上空の一点より一瞬間にとらえた反射光束による観察である。事実，肉眼視野よりも空間を縮小した写真からは，前述のごとき個々の木を対象とする地上調査と同様の要因を測定することは不得策なものである。写真上より確実に求めえられるものは，マクロ的視野の下での個々の木の関係や，林分の相対的な階層区分，あるいは地理，地質，その他立地の環境との関係，または林道や搬出施設等との関係などである。

すべての調査において，観測の要因は観測にあたって写真上最も明りょうに，誤差少なく判定しえられるもの，また調査目的自体と直結しうるものがえらばれるべきである。

その個々について見れば，地況は森林の生成と推移の過程に密接に関連するとともに，その生産利用の能力や機能，実施作業計画も，それを背景として求められる。

地理，地形は写真像を系統的に解いてゆくことによって，きわめて詳細に求められ，また数値的にも表わしうる分野である。

そして地質も，日本にあってはたとえ直接それが像上に現われている例は少ないとしても，その本質までもかくしてはいない。それを診断するきわめて適格な手がかりは数多くえられる。これはそれぞれの専門の部門においても探究の進められているところであり，今後の森林調査においても多くの視野が向けられねばならない。

林分構造を観測する要因は，樹冠像に見られる個々の立木と，その集合の構造である。これらは色調，感触，模様，あるいは形状や大きさ，影，位置，配列等，いわゆる判読の要因と呼ばれるものを手がかりに，また定量的測定値，多くの林業上の知識などに基づいて判定される。

その詳細度は現段階では使用写真の条件や，判定者の経験と熟練に左右されることが多いにしても，その客観性への保証の努力，あるいは科学的制定法の開発は急速に進みつつある。

これらを総合して，一般的な森林調査に対する森林観測の要因を要約すれば，下記のごときものとなろう。

1) 樹種，樹種群
2) 混交割合
3) 混交形　〔均等（U），塊状（G），団状（H）〕
4) 樹冠層構成　〔小径木（Y），中径木（B），大径木（O）とその組合せ〕
5) 上層木平均樹高階　（3～5段階）
6) 上層木本数　（3～4段階）
7) 樹冠疎密度　（3～5段階）
8) 疎密度形　〔均等（U），塊状（G），団状（H）〕
9) 標高
10) 方位　（8～9方位）
11) 傾斜　（4段階）
12) 局所地形　（山頂，台地，平行，凸，凹，浸蝕，推積等）
13) 位置　〔尾根，中腹(上)，中腹(中)，中腹(下)，沢〕
14) 地床　（ササ，稚樹，無）

この表における区分は 1/20,000 前後の空中写真観測を対象とした場合である。

このような区分は，写真観測によってなんら高度な機械や技術を要せず，基礎的な知識によっておこないうるものである。また判定の誤りがもっとも少なくてすむようなあらさを考慮したものである。

第1の樹種群から，4の樹冠層構成までは，特に天然林において複雑に出現するものであり，樹種群は地域によって対象とする主林木は異なる。

地況観測の結果は，従来より地形図，林型区分図，土地利用図，その他各種の図葉として整理表現されている。

地形は主として等高線図で表わされる。しかし尾根線，水系線，傾斜変換線，その他地形上の特徴線を表示した地性線図もまた実際の利用上からは，きわめて有効なものである。

写真観測において，等高線図はほとんど機械作業によって迅速正確に作成される。と同時に写真測量の大きな利点は，像上の任意の点の X, Y, Z 座標値が求めうることである。

これは地形を完全に数量的に表現し，また解析しうる途を開いた。地形要因，たとえば各地点における標高，方位，傾斜，位置等を数量で表わした数値図を出発点とし，等傾斜面図，風向風速予測図，積雪予測図，流水量図等は現在も作成され，自然条件の解析，予察等に効果を上げてきているが，今後さらに森林部門においても広汎な分野を展開するであろう。

この数値図法の開発にともない，森林型の区分と整理，表示にあっても従来の管理区分を主とする区画

単位に，コードラートなど，数値基準による区画の適用が加えられるに至った。これは今後における林況と地況との数量的取扱いのみならず，数値写真図を用いて写真像と現地との結合，また調査資料の総合整理に著しい効果を高めるであろう。

4.　判読資料写真の整備と標本調査への応用

立体写真像と撮影諸元，またその地点の地上調査資料を添えた判読資料写真（ステレオグラム）は，判読の比較判定基準，判定技術養成資料である。そればかりでなく，それが系統的に一定規準に基づいて編集されたとき，十分な数が整えられれば森林を写真像によって系統的に整理する基本的な資料である。

日本における森林に対する「ステレオグラム」の作成は，昭和30年ころから検討が開始されたが，1940年以後国有林においては，調製要綱に基づく全国資料の整備を計り，現在ほぼ予定数の調製を完了しつつある。

これは今後における森林の写真による解析測定の基準として，また引きつづき調製中の写真材積表による林分材積推定への利用のみならず，広範な活用が期待されるものである。この判読資料写真は，主として資源調査への利用を主眼としたものであるが，国土保全をはじめとする他の多くの分野においても，それぞれ整備されることが望ましいものである。

また特に既往資料に乏しく，現地調査の困難な未開発熱帯林地方については，緊急に要望されるところである。

空中写真による林型区分図の作成が，現実林分の構成と配置を明らかにするとともに，標本調査の実施を著しく効果的に発展せしめたことは明らかである。また写真による林型区分は明らかにこれを目的として検討し，応用を計ってきた分野が多い。

現在，森林での標本調査に空中写真は，1. 層化区分図の作成と計算，2. 二次，三次抽出標本の決定，3. 現地調査の設計，4. 現地標本点への誘導と確認など多くの用途を果たしている。

今後においてはさらに判読資料写真，数値図，また標本点および林分の写真像解析の利用が計られるべきである。

日本における空中写真利用による森林の標本調査は，林業試験場において1952年以来数多くくり返され，多くの発展を見ている。

その試験は，初期においては主として全母集団の材積推定誤差を10%前後，またはそれ以内に止めることを目的とし，さらに層別推定値を得ることを主体とした。そして，そのための層化，および標本点抽出法が研究された。中期においては経営案編成資料の作成を目的とし，林，小班別推定を加え，調査法も二重抽出，また副次標本の採用等を計り，ついでポイントサンプリングの導入，クラスターサンプリングの適用を検討し，現在における国有林，民有林の資源調査法の基準を確立した。

これらにおいて，層内変動はそのうちに含まれる林型の数が増すにつれて急増する。たとえば2層ないし3層に分けた天然林での一般的な変動は材積について50～60%であるが，これらを統合し1層とした時には50～200%を示すものである。

この材積推定を主体とした標本調査は，しだいに成長量，枯損量，樹種別，径級別本数，更新，被害等の推定へと発展しつつあり，さらに赤外カラー写真，数値写真図，写真像の解析測定利用へと進みつつある。

5.　空中写真による森林の数量化と多変量解析による森林構造の解析と推定

写真観測の結果を用いて，森林を林分構造と立地環境の関連のうちに捕えるため，より多くの要因を解析し，現象を判断するうえに，いわゆる多変量解析の手法を導入することはきわめて効果的である。

すなわち，調査対象とする森林のそれぞれの林型について，空中写真による観測の要因が求められ解析された時，資料が不偏性をもったものであれば，それはその森林の構造や性質を数量的に表現しうるものである。

またその場合，各要因項目の区分に，解析計算によって与えられる数量は，同様な性質をもった森林の観測結果に適用したときに，外的基準とした事象の適切な推定値を与えうるはずである。

この研究は，前記国有林において作成した全国判読資料写真のうちから，4樹種，10地域の資料をえらび，立木材積を外的基準として検討を進め，材積，立木本数，平均直径の推定に対するそれぞれの数値表を作成，さらに北海道帯広営林局管内，トムラウシ，本別の2天然林について材積，枯損，成長量の推定数値表の作成から推定結果の現地検討に至る一連の試験を行ない，多くの問題点を明らかにした。

多変量解析計算の結果は，外的基準に対してそれぞれの要因，項目がどのような重要さで関連しているか，またそれら相互の間にどのような関係があるかが明らかに示される。

試験の結果は，すべての森林について著しい特色があることが明らかとなった。その差は各森林の樹種的特性，環境支配等による成立過程が表わす構造により特長づけられるものであり，たとえば調査に当たって，その森林では何を調べることが最も効果的であるかを明らかにするものである。

総括的に見れば，林齢が材積に関与する率は予想外に低い。ことに天然林においては，この項目を材積推定に関与せしめることはむしろ誤差原因となるであろう。

しかしながら，林齢が樹高と明らかな相関を示す森林の場合は，関与性の高くなることは当然であり，すなわち林齢の関与性はその林地の地位いかんによるものである。

樹高はすべての森林において，材積推定上重要な項目である。元来，これら材積を算出した基準そのものが，樹高を変数とする材積表によったのも当然であろう。

樹冠疎密度と立木本数，またはそのいずれかが材積推定に関与する率は大きいが，アカマツを除いてこの相互の間に明らかな関係を見ることができない。

これは人工林においても，全体として森林集団を見たとき，個々の林分についての生育の差，あるいは間伐その他の変化が大きいことによるものであろう。

地況項目は，一般に林況項目との関連を示す度合は少ないが，材積推定への関与性は少ないとはいえない。これは存在する森林に地況上の分布傾向があるからであろう。

天然林は人工林に比べ立地条件，すなわち自然環境要因の関与する率ははるかに大きく，また大径木本数，樹冠疎密度，樹高階の相互間に当然ながら関係があると見られるほかは，他の要因はほとんど数値的に独立である。

材積推定に大径木本数の関与する率は，大きいのは天然林全体の特徴である。

天然林は択伐，その他人為作業が加わるにつれて，人工林の構造に近づくことは解析数値の上からも明らかであり，特に木曽地方，ヒノキ天然林は形態的にもきわめて人工林に類似したものである。

6. 推定数値表作成のための検討

森林構造の解析によって求められる各観測要因の外的基準に対する関与性と，相互の関連性は，推定目的として与えられた外的基準を最も効率よく，誤差を少なく予測できるように各カテゴリーに数量を与えた結果である。

したがって，この値を用いて，他の類似森林に適用しうる予察値をうるためには，下記の検討をおこなう必要がある。

i. 資料の不偏性と解析計算の精度を満たすに足る資料数の検討

ii. 要因項目の選定に対する検討

iii. カテゴリー区分の検討

iv. 数値表作成のための演算加入項目順位の検討

1) 不偏性と資料数

解析計算，推定数値表の作成のためには，資料は対象とする森林集団の性質を偏りなく表わすものでなければならない。

これは標本調査における母集団と抽出標本の関係と同様であって，多変量解析においては資料数は多いことが望まれる。しかし現実の森林調査においては，市場調査や世論調査のごとく大規模な資料を整えることは困難である。これを補う手段としては，標本調査と全く同じく空中写真による層化や，抽出法の適用が有効に用いられる。

それらの資料は各項目，カテゴリーの線型回帰を満足させるに足ることを要件として，資料数とその配分を定めることができよう。

2) 項目，カテゴリーの検討

推定数値表作成の項目選定には，既往の森林に対する知識とともに解析結果に現われる内部相関，偏相関などの係数値を参照として用いることができる。すなわち，同一外的基準に対して演算順位，カテゴリー区分等を変更した繰返し計算，また外的基準を変えた計算等によって項目相互間の独立性と外的基準に対する関与性の安定性が求められる。

同一外的基準に対して常に安定した偏相関を示すものは，規則性が認められるとし，また相互間の相関値が計算上，独立としてあつかう仮定に反するほど大きな値を示すものは，その両者を同時に用いることは適切でない。

また要因，カテゴリー区分は，多いほど推定精度のよいことは明らかであるが，必要な精度と観測誤差，また作業能率の点から定められるべきである。この点よりはむしろ項目，カテゴリーがいかにすれば最小となるかが主題である。

3) 演算加入順位

推定目的に対して，常に高い偏相関値を持つものは重要度が高い。数値表の適用に当たって，所要精度に応じた項目数はなるべく少ないことが望ましい。項目数と精度との関係は重要度に応じた演算加入順を与えることによって，実用的な適用項目の数を表示することができる。

試験結果より見れば，材積推定の場合は重相関係数 0.9 を満たすには，多くの場合において適切にえらばれた 4 項目で可能である。

これらの結果にもとづき，国有林判読資料写真を資料とする森林については，ha 当たり材積，ha 当た

り立木本数，林分平均直径のそれぞれの推定を目的とする数値表を，また北海道の2天然林については，ha 当たり立木材積，枯損量，成長量の推定数値表を作成した。その結果は枯損量推定を除き，いずれも重相関係数 0.9 を越える精度をうることができた。

このような数値表は，写真観測のみから，それぞれの森林の値を，個々の林分ごとに推定し，また森林状態の変化に対する予察の基準を与えることを可能とする。

今後の問題としては，さらに時間的要素を含めた観測値を基準とすることである。

北海道の2天然林について，調査地域を 40×40 m 方眼に細分し，それぞれの区画，数値表による材積，枯損，成長の推定をおこない，これを現地調査をおこなった結果と比較した。

その結果，材積においては相互の間にきわめて高い相関を得た。これは従来の地上調査法が材積において確実性のある値がえられることを示し，成長量，枯損量では地域的に限定される地上調査が，総合的な値をうることがきわめて困難であることを示すともいえよう。

なお調査地域を区分し，また現地と写真との照合を確実にする数値写真図の適用は，今後の森林調査，管理のうえできわめて有効な用途を持つものといえよう。

7.　空中写真利用による森林調査体系

森林の開発は第一に資源量や立地条件を知り，現在のみならず将来にわたる生産性が期待しうるよう，土地の利用区分や木材生産の方法を判断することから始まり，ついでその実行のための区画を決定したり，投資を考慮したりする計画を経て実行にうつされる。

しかし，森林調査には，このような総括的な計画立案を目的とする情報収集ばかりでなく，個々の林地での施業に情報収集の目的も満たさねばならぬものも多い。

森林の取扱いは個々の林分が対象となるのであって，森林調査にとっては総括的な計画立案の資料収集を目的とする場合(前者)と，後者の即地的な施業の判定資料をえようとする場合では，必要事項も，また要求される情報の詳細性も大きく異なるのが通常である。

たとえ同一の対象地域について調べるものであるとしても，異なる目的への調査を同時に，また両者を平等に満たしうる方法は，それぞれの効率から見て，また実際の作業上からもきわめて困難なことといえよう。

それは，この両者が対象とする空間を異にする広がりにあるからである。

たとえば，従来の総括的調査のためには，主として標本調査法が実施されているが，この調査結果を同時に，即地的作業に適用できるまでにしようとする時には，多くの不合理が生じてくる。

それは標本調査法そのものが限られた労力，経費の範囲内で対象とする母集団について効率よく物を調べ，その答えの信頼できる程度を明らかにしておく調査法であるからで，母集団，すなわち調査対象の広がりの大小にかかわらず，精度は基本的には標本点の数，すなわち経費，労力に起因するものであり，写真による層化や二重抽出あるいは，ブロック抽出法等のいろいろの適用手段があるとしても，それはそのなかで実施上の能率化を計っているにすぎない。

調査結果の上に，局地的な詳細性をさらに高めようとすれば，必然的に工程と経費の面から，この調査法適用の原則を破ることとなることが多い。したがって，母集団すなわち空間を異にする調査には，それぞれの設計が必要となるものである。ただ，ここで気付かねばならぬことは，この結論をもたらした従来の調査法が肉眼によって森林を観察し，測定する空間視野を基準として設計され，検討されたものである

ことである。

現在要望されている森林調査への空中写真の利用は，まず写真の持つ自在な空間の縮小，拡大，それを使うことによって被写体の客観的な数値が求められることなどの特性を，十分に活用することを基本として設計し，従来の調査法における障害をのぞくことを目的とした体系で組み立てられることが必要である。

具体的に，写真が森林調査の上で発揮しうる効果から，それを並べて見よう。

まず，森林は生育立地の自然条件と人為条件によって成り立ち，推移するきわめて複雑な生物現象である。これを整理し，その区分型と分布を明らかにするうえで，写真による林型区分図の作成をおこない，現実森林の構成状態を明りょうに表わすことは第1に行なうべき基本的手順であろう。

第2には，写真像自体の効果的な利用である。それは従来とも比較判定などと簡易的には行なわれているが，これが科学性をもって，また客観的な数量判定の裏付けが与えられるならば，明らかに有効な手段である。この分野における写真観測値の数量的取扱い，また機械観測法の発展は，今後における像の効果的な利用手法を提供するであろう。

数量解析の分野は森林のみならず，人間の判断力の確実性を高めようとする今日の情報処理の分野であり，一そうの開発が計られるであろう。

これらを基盤としての森林への空中写真利用を考え，資源調査，経営編成等を目的とした最も一般的な体系は，現状にあっては次のごときものとなろう。

i）写真の観測による林分構造を主体とした林型区分。

ii）林型の基準写真（ステレオグラム）資料の整備，および標本調査資料のための現地調査。

iii）標本調査による総括取りまとめ。

iv）林況要因と地況要因の写真観測値による林分構造解析。

v）要因解析結果に基づく材積，成長，枯損，その他調査目的項目の推定数値表作成。

vi）ステレオグラム，推定数値表利用による森林生産力の現況と推移に関する各地区ごとの細部推定。

この地区には林，小班等の管理区画，林型区画のほかに，コードラートの適用が考えられる。これを模式図に示せばFig. 49 のごとくである。

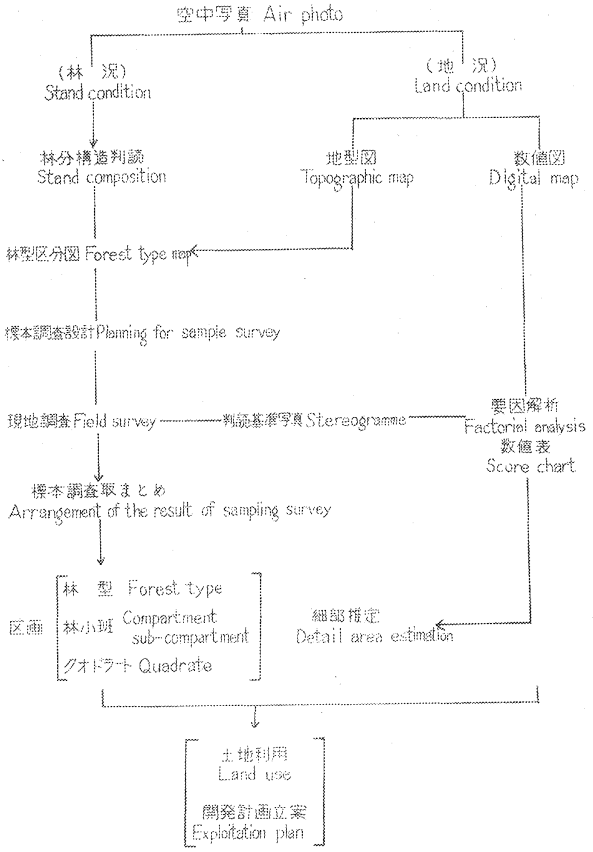


Fig. 49　森林調査体系模式図
Forest survey system

8. 写真濃度測定と空中写真利用の今後の課題

写真像を濃淡コントラストの構成として，機械的に観測する写真濃度測定法は，従来の肉眼観察の結果を数量で表現することを可能とし，またその判定を他の科学分野におけるものと共通な情報解析理論の内に導くことを可能とした。これは現在および今後における映像の自動判定への基礎的研究の重要な一部門である。

そこに残された問題はいまだに大きいが，着実に，また急速に解決の計られるものであろう。

写真技術を含む遠隔探査の研究は，現在著しく発展をとげつつある。そして，現時点において，あるいは超大型予算の中においてのみ行なわれている遠隔探査の尖端的技術も，やがては現実の社会産業経済のなかで，身近に用いられるに至ることが予測される。写真利用技術を映像作成と判定法の 2 者に大別すれば，前者はすでに大きく発展した微少な世界での拡大撮影や時間延長の歩みに比べて，より巨視的な時間と空間を縮小する分野での発展がさらに期待される課題である。

今日においても衛星撮影による写真像，または電磁波記録の像が気象，海洋等の部門で実用上の効果を上げているが，森林にあっても生態的，あるいは土地利用，国土保全，社会環境保持等の分野にさらに多くの利用が計られるであろう。

映像記録の光波域選択に関しては，いまようやく可視光線内のみの域を脱しつつあるが，さらにムルチ・スペクトル写真の活用，テレビスキャンニング映像，フォノグラフ技術の発展は検出能，また像の記録と解析の両分野に新局面を見い出すことが予測される。

映像あるいは電磁波記録の判定については，完全な自動観測と数量化，また理論像合成の道が遠からず可能になるであろう。

これらの時点において，森林はけっしてそれ独自の範囲や手法にとどまるのではなく，広く他の科学事象と全く同一な基盤に立って考察され，追求されなければならない。

そのときようやく森林はより科学的に評価され，判定される基準を持ちうるに至るものである。

9. む す び

本論文は筆者が 20 年余に亘り解明に努めてきた森林調査に対する空中写真利用に関する研究を現時点(1970年)において総合とりまとめたものである。擱筆するに当たり常に多くのご指導と有益な示唆を与えられた林業試験場大友栄松経営部長，西沢正久第 2 科長はじめ航測，測定両研究室の各位，林業統計研究会の諸氏ならびに林野庁計画課，研究普及課，また各営林局署，あるいは日本林業技術協会，文部省統計数理研究所の方々など，常におしまぬご援助をいただいた各位に対し，衷心より感謝の意を表するものである。（1971 年 2 月）

文　　献

1) Department of Land and Forest. Ontario. Canada : Administration Report. 32 pp., (1922)
2) Ferree, M. J. : A Method of Estimating Timber Volumes from Aerial Photographs. 28 pp., (1953)
3) Günther, W. : Die Flugeinrichtung mit Hilfe des Flugbildes. Allgemine Forst und Jagd Zeitung. Bd. 100, 10～14, (1924)
4) 原　忠平・堀　正之・中島　巌：森林測量と小縮尺航空写真の利用について，写真測量，**2**，3，1～15，(1951. 4)
5) 原　忠平・堀　正之：森林測量におけ縮尺4万分の1の航空写真の利用について，林業技術，48，3～6，(1949. 3)
6) 原　忠平・中曽根武夫：航空写真による森林の材積算出の一例，第52回日林講，8～10，(1941)
7) 原　敬造：ラワン資源より見たカリマンタンの森林，林業技術，213，1～5，(1959. 11)
8) 林　知己夫：数量化と予測に関する根本概念，文部省，統計数理研究所彙報，7，1～10，(1959. 7)
9) 林　知己夫・植松俊夫・高倉節子：市場調査のための統計的数量化の理論と実際，統計数理研究所，23 pp.，(1963)
10) 北海道林務部：航空写真と森林調査，70 pp.，(1961. 12)
11) 板井秀夫：航空写真による樺太の森林調査について，日林誌，**17**，6，457～468，(1935. 6)
12) Indian Forester : Aerial Survey of the Irawaddy Delta Forest, 50, 1～13, (1924)
13) Indian Forester : Air Reconnaissance of Forest of South Tenasserin Division, 51, 1～10, (1925. 12)
14) Ishida, M. : 3000 Spot Forest Inventory, 統計数理研究所，13 pp.，(1955. 10)（非公開）
15) Jenkins, F. T. : Air Craft in Forest Survey, Canadian Forestry. Aerial Forest Mapping, 20, 8～10, (1924), 21, 8～10, (1925)
16) 鏑木徳二：フーゲルホッフ式飛行測量機，大日本山林会報，8，5～8，(1924. 1)
17) 鏑木徳二：林業上飛行写真の応用，北海道林業会報，1，3～6，(1924)
18) 掛場直勝：空中写真による森林調査復命書，未公刊
19) 樺太林業編算会：樺太林業史，農林出版，52 pp.，(1960)
20) 片岡秀夫：近代森林調査法の実務，日本林業調査会，289 pp.，(1959. 3)
21) 木本氏房：計算機による航空基点測量，国際航業株式会社，12 pp.，(1957)
22) 木本氏房：航空写真の使い方，日林協，152 pp.，(1961. 9)
23) 木本氏房：航空測量，白水社，198 pp.，(1945. 12)
24) 木本氏房：写真測量，満州航空株式会社，411 pp.，(1938)
25) 木梨謙吉：引伸率2.5倍と5.0倍の航空写真における判読精度と材積推定の誤差，日林講第72回，83～84，(1962. 4)
26) 木梨謙吉：航空写真材積推定の精度，第73回日林講，59～62，(1963. 4)
27) 木梨謙吉・長　正道：航空写真濃度測定による蓄積推定の研究，第78回日林講，54～87，(1967)
28) 小暮　保：航空写真測量と航空写真による森林調査，前橋営林局報，特別号，37 pp.，(1948. 6)
29) 国際航業株式会社：空中写真と電子計算機の組合せによる最も経済的な道路の路線選定の研究，国際航業株式会社報告書，25 pp.，(1963. 3)
30) 小林正吾：空中写真による林相区分と区分林分の材積推定法，日本写真測量学会，写真測量，**9**，2，23～28，(1970. 8)
31) 近藤正巳：未開発林の調査と評価法に関する総合的研究，文部省研究報告収録（農学編），22，131～138，(1969)
32) Lauer, T. D. : Multispectral Sensing of Forest Vegetation, Photogrammetric Engineering, **35**, 4, 346～354, (1969. 4)
33) 前崎武人：航空写真の概要と森林調査への応用，北海道林務部，132 pp.，(1965. 12)
34) 前崎武人：航空写真の利用による森林蓄積調査法の研究，北海道林務部，178 pp.，(1965. 12)

35) 満州国林野局計画課航空調査股：計航資料，5，6，(1939. 5，6)
36) 丸安隆和・村井俊治：地形情報の抽出とその自動処理，カラム No. 34，八幡製鉄株式会社，31～35，(1969.12)
37) 丸安研究室：地形を考慮した雨水流出解析方法の開発，東京大学生研資料，2，70～101，(1970)
38) 丸安隆和・西尾元充：赤外線航空写真とその応用について，土木学会誌，**44**，8，51～21，(1959.8)
39) 丸安隆和・西尾元充：天然色航空写真に関する研究，土木学論文集第 60 号，土木学会，1～20，(1959. 2)
40) 丸安隆和・嶋田厚二：自然の危険度の予知，東京大学生産研究所，生産研究，**21**，3，79～87，(1969. 3)
41) 丸安隆和・田浦秀春：航空写真による黒部川流域の積雪深の解析について，日本写真測量学会，写真測量，昭和 41 年特別号，73～82，(1966)
42) 松川恭佐：林野地帯における測量方式の検討（各国図化機の描画精度について），日林協，30 pp.，(1957. 2)
43) 松岡修三：飛行機による林相写真，朝鮮山林会報，　7　，27～30 p.，(1929. 7)
44) 長野営林局計画課：空中写真による森林調査法，1，54 pp.，(1963. 4)
45) 長野営林局計画課：空中写真による森林調査法，2，54 pp.，(1963. 4)
46) 中島　巌：大縮尺写真による樹冠位置図の作成によせて，森林航測，66，21～22，(1968.11)
47) 中島　巌：標本調査を目的とした林型の図化に関する研究，林試研報，129，161～176 (1961. 3)
48) 中島　巌：計数測定による森林の航空写真濃度と判読疎密度，第 77 回日林講，131～133，(1966)
49) 中島　巌：航空写真による新しい森林のしらべ方，林業技術振興所，林業解説シリーズ，No. 9，49 pp.，(1965. 2)
50) 中島　巌・ほか 3 名：航空写真による林相区分図の作成と材積調査法の研究，林試研報，146，33～82，(1962.12)
51) 中島　巌：航空写真の濃度測定による熱帯林の縦断観測，日林誌，**48**，4，183～186，(1966)
52) 中島　巌：航空写真の撮影高度及び樹高測定の視差測定器による測定方法，林試経営部測定研究室，14 pp.，(1962)
53) 中島　巌：航空写真の統計的利用法，統計数理研究所，32 pp.，(1965)
54) 中島　巌・ほか 4 名：航空写真利用「ステレオグラムによる多変量解析」林試昭和 34 年度年報，111～113，(1968)
55) 中島　巌・ほか 2 名：空中写真利用に関する研究，昭和35年度経営部業務報告，50～52，(1961.6)
56) 中島　巌：熱帯林開発における空中写真の利用，日本写真測量学会，写真測量，**8**，3，168～176，(1969. 3)
57) 中島　巌：熱帯林開発における空中写真の利用，日本写真測量学会，写真測量，**8**，4，226～232，(1969. 5)
58) 中島　巌：日本における森林航測研究の概要，日本写真測量学会，写真測量，**1**，2，1～4，(1962. 8)
59) 中島　巌：林分地形の数量解析について，第 79 回日林講，30～32，(1968)
60) 中島　巌：写真情報による森林の数量解析，写真測量，**9**，2，(1970)
61) 中島　巌：航空写真による新しい森林のしらべ方，林業技術振興所，林業研究解析シリーズ，9，改訂版，49 pp.，(1966)
62) 中島　巌・長谷川訓子：林型の相違による航空写真像の濃度測定と解析法の研究，林試研報，141，31～49，(1962. 5)
63) 中島　巌：最近における林業に対する航空写真の利用，日本林学会東北支部会誌，21，1～3，(1961. 3)
64) 中島　巌：赤外カラー写真の色分解による市街地域植物像の分離抽出，日本写真測量学会，写真測量，8，1，13～17，(1969)
65) 中島　巌：森林航測概要，地球出版，270 pp.，(1961. 3)
66) 中島　巌・ほか 2 名：森林資源調査法の研究，「航空写真を利用した標本抽出調査法の研究」第 3 報—天城国有林の例—，昭和 30 年度経営部業務報告Ⅲ，57～89，(1956. 8)

67）中島　巌・ほか3名：天然林調査法に関する研究，林試研報，227，83～239，(1970. 5)
68）中島　巌・樋渡幸男：大縮尺写真による樹高測定精度，昭和41年度林業試験場年報，62～66，(1966)
69）中島　巌・ほか2名：各種航空写真の林型判別に対する効果，昭和39年度林業試験場年報，49～51，(1965)
70）中島　巌：写真情報による森林の数量解析，日本測量学会，写真測量，**9**，2，5～13，(1970)
71）Nakajima, I.: Photo Densit Measurement of Some Forest Types. Journal of the Japan Society of Photogrammetry, Special Issue, 1, 35～42, (1964. 6)
72）Nakajima, I.: Photogrammetric as a Basis for the Exploitation of Tropical Hard Wood Forest, ILO/FAO Course on Forest Working Techniques, ILO/FAO Training Course, 37 pp., (1969. 8)
73）Nakajima, I.: Photogrammetry in Forestry, Training Course, 林野庁林政課，31～46，(1962)
74）中村精二：写真測量について，地学雑誌，223，3～8，(1907)
75）中村精二：写真測量について，地学雑誌，224，5～8，(1907)
76）中山博一・ほか3名：地上写真による林木の測定，第72回日林講，80～83，(1963. 8)
77）中山博一・ほか1名：地上写真による林木測定の研究，「実体カメラによる樹冠直径の測定」，名大演習林報告，3，1～12，(1963. 8)
78）中山博一：航空放射線測量とコンパス測量との比較，興林会，60，12～19，(1941. 10)
79）中山博一：航空写真による森林調査，興林会，159 pp.，(1937)
80）中山博一：森林経理と航空写真，宇都宮林学研究会雑誌，(1933)
81）中山博一：空中写真に依る森林調査，第1輯，2巻，2，I，之の進展並成果に就いて，宮都宮高等農林学術報告，(1935. 4)
82）中山博一：同上，II、森林調査の一方法としての平地林調査，宇都宮高等農林学術報告，**11**，4，1～4，(1936. 6)
83）中山博一：航空写真製図機 Aeroprojector Multiplex に就いて，日林誌，**17**，9，3～5，(1935. 9)
84）日本林業技術協会：森林航測ハンドブック，286～298，(1970)
85）日本写真測量学会：写真測量，1，15 pp.，(1948. 5)
86）西沢正久：林業統計研究会シンポジウム—中島巌—航空写真の自動判読について，日林誌，**49**，6，258～259，(1967)
87）西沢正久・真下育久・川端幸蔵：数量化による地位指数の推定法，林試研報，176，1～54，(1965. 5)
88）西沢正久・中島　巌：昭和35年度経営関係業務報告，41～44，(1961. 6)
89）西沢正久・中島　巌・河野年博：標本抽出法による被弾立木の被害数量の推定について，林試経営部研究資料，121 pp.，(1968. 1)
90）西谷和雄・野口和一：航空写真林分材積表の作成につて，第70回日林講，46～47，(1959. 4)
91）農林省林業試験場：昭和37年度年報，34～37，(1963)，昭和38年度年報，39～40，(1964)
92）農林省統計調査局：航空写真の利用価値の調査について，第4輯，88 pp.，(1948. 2)
93）Nyssönen, A.: Survey Methods of Tropical Forest. F. A. O. Rome, 71 pp., (1961)
94）岡山県林務部：空中写真利用による森林区施業計画樹立試案実行報告書，26 pp.，(1956. 2)
95）大久保寛一：航空写真で見た木曽御料林，御料林，10，59～70，(1931. 10)
96）大貫仁人：疎密度肉眼判定の精度検討，第80回日林講，76～77，(1969)
97）大島誠一・ほか2名：航空林分材積表の調製とその適用例，第71回日林講，85～87，(1960)
98）大島誠一・ほか2名：航空写真による大面積森林の蓄積推定に関する一方法，第72回日林講，85～87，(1961)
99）大島誠一・ほか3名：航空写真による林木蓄積の査定における精度についての一考察，第71回日林講，67～69，(1961)
100）大友栄松・中島　巌：航空写真による森林蓄積調査法の研究，日林誌，**38**，10，379～388，(1956. 10)
101）大友栄松・中島　巌：森林資源調査法の研究（第1報），航空写真を利用した標本抽出調査法の研

究（第 2 報），林業試験場経営部業務報告，6～30，(1956. 8)
102) 大友栄松・中島　巌：森林資源調査法の研究，航空写真材積表について，林試経営部業務報告，31～89，(1956. 8)
103) 大友栄松・中島　巌・ほか 6 名：森林資源調査法の研究「航空写真を利用した標本抽出調査法の研究」，林試研報，114，1～31，(1959. 4)
104) 大矢　寿・蒲沼　満：森林資源の調査，農林省統計調査局，農林統計史，107～174，(1969)
105) 大谷　滋：熱帯林の開発と経営，林業講習所，57 pp.，(1965. 2)
106) Philipotts, L. E. & Wallent, V. R. : IR. Color for Crop Disease Identification. Photogrammetric Engineering, **35**, 11, 1116～1125, (1969. 11)
107) Pestrong, R. : Multiband Photos for a tidal Marsh. Photogrammetric Engineering, **35**, 5, 453～490 (1969. 5)
108) Rebel, H. : Forsteinrichtung mit Hilfe des Flugbildes. Allgemeine Forst u. Jagd Zeitung, Bd. 100, 14～18, (1924)
Das Flugbild im Dienste der Forsteinrichtung (Der Bericht über die 21. Hauptversammlung des Deutchen Forst vereinsin Humberg.) 20 pp., (1924)
109) 林試経営部測定研究室：昭和 36 年度天城国有林における森林調査結果，林試研報，169，1～90，(1964. 6)
110) 林野庁：航空測量による森林調査，54 pp.，(1949. 8)
111) 林野庁：全国資源調査の概要について，11 pp.，(1962. 8)
(Ishida, M. : 10,000 spot Forest Survey, Annuals of the Institute of Statistical Mathematics, XVI, 255～276, (1964))
112) 林野庁計画課：営林局を単位とする標本調査，計画課長会議資料，22 pp.，(1965. 4)
113) 林野庁計画課：空中写真判読基準カード，日林協，150 pp.，(1959. 3)
114) 林野庁計画課：空中写真判読資料作成要領，林野庁林業講習所，69 pp.，(1965. 3)
115) 林野局日本測量学会林業部会：森林測量におけ縮尺四万分の一の航空写真の利用価値に関する調査報告（抜粋），30 pp.，(1948. 9)
116) 林業試験場経営部：林業試験場経営部昭和 34 年度業務報告，20～21，(1959)
117) 森林航測研究会：ニュータイプ富士フィルムの実用試験に関する報告，日林協，21 pp.，(1961. 10)
118) 森林航測研究会：群馬県倉淵村民有林標本抽出調査の研究，日林協，34 pp.，(1963. 4)
119) 測定研究室：昭和 31，32 年度天城国有林における森林調査結果の概要，林試研報，122，1～32，203～288，(1960. 3)
120) 測定研究室：昭和 35 年度天城国有林における森林調査概要，林試研報，141，51～139，(1962. 5)
同上，169，1～89，(1964. 7)
121) 水路部沿革誌，海上保安庁，175 pp.，(1969)
122) 鈴木酉雄：満州に於る森林航空写真調査の現況，第 50 回日林講，5～8，(1940)
123) 高崎正義編：空中写真の見方と使い方，日本建設技術協会，248 pp.，(1966)
124) 高田和彦：空中写真に対応させる地上測定についての研究，新潟大学新潟農林研究，17，53～56，(1965. 4)
125) 高田和彦：森林調査簿利用の二重抽出法について，新潟大学新潟農林研究，17，159～161，(1965)
126) 高橋三郎・ほか 3 名：なだれの発生率について，日本写真測量学会，写真測量，**7**，3，117～124，(1968)
127) 谷口信一：Forest Inventory by Aerial Photographs, 北大演習林報告，21，80 pp.，(1961)
128) 谷口信一：向寒別川流域の森林経営と保全に関する基礎研究—向寒別川流域森林の測樹学的研究—，北大演習林林業報告，4，23 pp.，(1962. 9)
129) 帝国森林会：航空写真と其応用，82 pp.，(1936. 1)
130) 東京営林局計画課：空中写真林相区分による森林調査の概要（沼津事業区），62 pp.，(1964)
131) 山崎　等：航空写真判読因子測定のための一考察，森林航測，**27**，7，470～473，(1961)

Research on the Application of the Aerial Photographs for Forest Survey

Iwao NAKAJIMA[1]

Summary

1. **The background and purposes of the research.**

With the rapid development of society in recent years, the forest itself has come to be regarded as the most important resource to preserve the adequate environment of living surroundings, besides being the source of timber supply in its faculties.

In these ranges of view, we must control and manage the forest more intentionally and as a vital object varying with the passage of time under the influence of natural and artificial conditions of exploitation utilizing basically the accurate information of their transition courses and procedure together with all periodic productivities.

The forest has been observed by the naked eye and judged by human brain from older times. The scope of man's ability to observe and judge must be largely expanded by several times if we are to obtain more detail information on each tree, and also on the relationships between individual trees simultaneously with their stand circumstances.

To meet efficiently the above-mentioned demands, the positive application of aerial photographs and numerical information analyzing theories as are remarkably developing in recent times will be sought more and more as time goes on.

The main requests of research for utilization of air photo application are as follows:

1. The most adequate methods of photography for forest survey purposes.
2. The selection of photo observation factors on the forest and the scientific interpretation of such work.
3. The exploitation of the effective application for practical use.
4. The development of a fully automatic observation and analyzing system of photo images.

The application of aerial photographs in forestry has been developed rapidly since the second world war in Japan. In this report the author describes the process and results of air photo researches of which he himself has been in charge from 1948 till today, and comments on several problems in future advancement of wider remote sensing application.

2. **Outline of the research.**

The photographs for survey purposes must have the sharpness that depicts a clear distinct contrast of the objective images from the others surrounding them, also the detail expression of each record.

Those effects variate by the conditions of photography such as seasons, scale, films and so on (Ref. 1, Table 6, 7).

The most important considerations on the monochrome and natural color photographs are the selection of times and seasons of photography.

That was verified by the results of systematic tests by the eye interpretation works and also

Received August 6, 1971

(1) Forest Management Division

by the mechanical judgements of photo-densit-measurement methods (Table 8～14, Fig. 9～10).

The photographs for survey purposes have less necessity of faithful reappearance of the naked eye sensitivities. Then the practical use of the I. R. color or multi-spectrum photographs must have abundant detail to facilitate interpretation of the tree species or distributions of vegetations and others, degree of the plants' vitalities or the soil moisture conditions etc.

Besides the above, utilizing I. R. color it is possible to obtain very sharp images even from high-altitude photography by cutting off the blue light ranges with the filter combinations.

It makes possible the use of even small-scale air photos for the individual trees measurement materials just as in field survey works by enlargement procedure (Ref. 2, 6, Table 3).

The survey techniques by photo observations have quite different features from ground surveys in field view wideness of scope, also in measurement factors of the forest.

The present and future conditions of the forest must be estimated from the forest compositions and its circumstances which are recorded on photographic images and are measured by air photo survey methods.

In this report, the standard of the selection of the forest observation factors, the relationships between this information with the field measurement results or the adequate type classifications and arrangement ways of the forest area are shown.

Some of these results in part have already been adopted as the basic methods in the forest sampling survey works in Japan.

The construction of stereogrammes throughout Japan as the typical standard air photo images of forest type classifications have nearly been completed now (Fig. 20, 21, Table 26, 27).

From the more detailed type classifications of the forest compositions and circumstances using the digital expressions of forest stand and terrain features, or the locations by "the digital photo-mapping", a possible method to determine the various kinds of forest estimations by the score chart adaptation have been researched.

The forest characters are read or deduced from the relationships between individual forest factors and their importance for each estimation item in numerical analysis data. They are available from the results of the calculations by computers.

The practical operation systems and examples of the score chart constructions which realize the present and future forest estimation are shown (Table 30～51, Fig. 21～36).

This method has introduced scientific ways of image utilization in forest surveys, also the basis of the multi-equation-evaluation method application for the forest information analysis.

This is done by testing and checking the universality of the sample data for the objective forest area, also the assumptions of indispensability of every item by the results of several times repeated calculations.

The research has been carried out on various kinds of artificial and natural forests in Japan, and showed ample estimated results on the practical survey works.

From the results of the above the desirable survey system of present stages is designed (Fig. 49).

But to supplement this, the automatic measurement method of photo image should be studied with a view to further photo application work.

In these researches the photo-densit-measurement method has been carried out using monochrome and color photographs.

The automatic identification of forest types on photographs is expected for practical use

now (Fig. 32, 38～48, Table 40～49).

The applications of these research results have confirmed the possibilities of efficient mapping of the detail forest characteristic types for artificial and natural forest management planning.

New method of judgement for the timber growth and land use conditions of the forest area or the accurate estimations such as stand volume, inferior, increment, number of trees, or average D. B. H. and so on, have been furnished solely from the observations and measurement on photographic records.

This is one of the effective forest survey methods for use in future.

3. **The effects of the research.**

By putting to use air photo application techniques, we were able to chose freely the scale of the observation and the measurement to answer every different survey purpose to record the objects not only by the visible light wave range reflection of the objects, but also by selecting the most proper light wave ranges on photographs.

Moreover, by the agency of the images we were able to change all materials in the objective numerical data and to read them in the information analyzing system.

They are having a highly significant impact on all survey systems, and not only those in forestry.

They compose the basic researches of further remote sensing techniques which will rapidly develop their adaptation on land and resources utilization, also the environment preservation plan on a global scale too.

Table 30. 調　査　原　表　例

Examples of the primary note

第9ブロック（2—1），東京営林局，スギ（人） Tokyo Regional Forest Bureau…… *Cryptomeria japonica* (Artificial)

No	地域 District 営林署	林班	小班	① 林相 Forest type	② 材積 Volume (m³)	③ 林齢 Age	④ 樹高(全) Tree height (Whole) (m)	⑤ 直径(全) D. B. H. (Whole) (cm)	⑥ 樹冠疎密度 Crown density	⑦ 平均樹冠直径 Average crown diameter	⑧ 全本数 Total No. of tree / ha当り本数(上層木) No. of upper tree per ha.	⑨ 標高 Altitude	⑩ 方位 Azimuth	⑪ 傾斜 Tilt	⑫ 地質 Rock	⑬ 土壌 Soil	備考 Note
1	大子	20	は	幼 H_1	10	5	5	6	中	2.5	4,200 4,250	480	S	平	花崗岩	砂壌土	S
2	〃	25	へ	〃 〃	20	13	5	8	疎	2.5	1,150 1,150	640	—	〃	〃	〃	NW
3	〃	〃	〃	〃 H_2	10	13	6	10	〃	2.5	420 390	640	E	緩	〃	〃	NE
4	〃	〃	〃	〃 〃	20	13	6	10	〃	2.5	750 700	630	—	平	〃	〃	W
5	〃	126	た	〃 〃	120	15	9	12	中	2.5	1,740 1,660	240	E	急	砂岩 粘板岩	壌土	E
6	〃	21	〃	〃 〃	80	14	8	12	密	3.0	1,970 1,970	640	S	中	花崗岩	砂壌土	S
7	〃	136	と	〃 〃	80	14	8	10	〃	2.5	1,940 1,870	220	W	〃	粘板岩	壌土	W
8	〃	128	ろ	〃 〃	80	15	9	12	〃	3.0	1,290 890	260	NE	急	〃	〃	NE
9	〃	126	そ	〃 〃	110	15	8	10	〃	2.0	3,270 2,950	180	NW	〃	砂岩 粘板岩	〃	NW
10	〃	128	ろ	〃 H_3	140	15	11	14	〃	2.5	1,500 1,420	260	W	〃	粘板岩	〃	E
11	〃	123	は	〃 〃	150	17	11	14	〃	3.0	1,950 1,640	300	E	〃	砂岩	〃	E
12	〃	21	ほ	〃 〃	170	18	11	18	〃	3.0	1,260 1,260	600	NW	緩	花崗岩	砂壌土	N
13	高萩	75	に	壮 H_3	100	27	9	12	〃	3.0	1,630 1,190	700	E	急	花崗岩 片麻岩	埴壌土	E
14	〃	81	い	〃 〃	110	28	10	14	〃	3.0	1,410 1,380	680	E	中	〃	〃	NE

Table 32. 反応パターン表（9アイテムの場合）　An example of reaction pattern table

1) 9ブロック，スギ（人工林）　9 Block, *Cryptomeria japonica* (Artificial)

プロット番号 Plot No.	材積 Volume (Y)	林齢 Age							樹高 Tree height					直径 D. B. H.						樹冠疎密度 Crown density			樹冠直径 Crown diameter			ha当たり本数 No. of tree per ha.				標高 Altitude			方位 Azimuth								傾斜 Tilt				地質 Rock							土性 Soil		
		1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	6	1	2	3	1	2	3	1	2	3	4	1	2	3	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3
1	10.0	○							○					○							○		○						○	○									○	○			○				○							○	○	○
2	20.0		○						○					○								○	○				○					○	○							○	○	○														
3	10.0		○						○						○							○	○			○						○			○																					
4	20.0		○						○						○							○	○				○					○									○															
5	120.0		○						○						○							○	○					○		○																										
6	80.0		○						○						○					○				○				○			○																										
7	80.0		○						○						○					○					○			○								○																				
8	80.0		○						○						○					○				○					○								○																			
9	110.0		○						○						○					○					○					○								○																		
10	140.0		○							○					○					○				○				○			○								○																	
⋮	⋮																																																							
81	470.0						○					○						○		○					○	○				○					○								○					○							○	○	○
82	480.0						○					○								○					○	○				○					○										○				○	○							
83	500.0						○					○								○					○	○				○												○				○				○	○						
84	510.0						○					○								○					○	○				○			○																								
85	530.0						○					○								○				○					○							○																					
86	540.0					○						○								○					○	○				○											○															
87	580.0				○							○								○					○	○				○																										
88	590.0					○						○								○				○		○				○				○																					
89	620.0					○						○						○		○					○	○				○			○																						
90	640.0					○						○						○		○				○		○				○			○																						
91	660.0					○						○						○		○				○		○				○			○																						
92	660.0			○								○						○		○					○	○				○			○																						
93	480.0						○						○						○	○					○	○				○											○														
94	560.0					○						○						○		○					○	○				○																									
95	570.0						○					○						○		○					○	○				○																									
96	610.0					○						○						○		○					○	○				○																									
97	860.0						○					○						○		○					○	○				○																									
98	750.0						○					○						○		○					○	○				○																									

2)　原表2—4—3.　9ブロック，スギ（人），クロス表　　9 Block, *Cryptomeria japonica* (Artificial), Cross table

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42
林齢 Age X_1	1	1																																									10
	2		11																																								980
	3			18																																							5040
	4				23																																						8230
	5					3																																					1310
	6						37																																				17260
	7							5																																			2940
樹高 Tree height X_2	8	1	8	2					11																																		740
	9		3	8	7		1	1		20																																	4400
	10			7	11	1	12				31																																11430
	11			1	5	2	22					30																															15370
	12						2	4					6																														3830
ha当たり本数 No. of tree per ha. X_3	13		1	1			10	4	1	1	1	7	6	16																													7470
	14		3	10	14	2	25		4	8	21	21			54																												20120
	15		6	7	9	1	2	1	4	11	9	2				26																											8060
	16	1	1						2								2																											120
傾斜 Tilt X_4	17	1	2	3			2		3	2	1	2		2	4	1	1	8																									1730
	18		2	2			11		1	3	3	8		3	9	3			15																									6550
	19		2	6	15	1	12	1	3	6	12	14	2	4	22	11				37																							15420
	20		5	7	8	2	12	4	4	9	15	6	4	7	19	11	1				38																						12070
標高 Altitude X_5	21		6	4	5	1		2	4	5	5	2	2	2	7	8	1			2	16	18																					5140
	22	1	1	7	13	1	15	3	1	7	17	13	3	7	20	13	1	4	4	18	15		41																				16720
	23		4	7	5	1	22		6	8	9	15	1	7	27	5		4	11	17	7			39																			13910
土性 Soil X_6	24			3	3	1	14		2	2	4	13		2	18	1			4	12	5		5	16	21																		9300
	25	1	5	10	10	1	22	3	5	12	17	14	4	12	26	13	1	8	11	20	13	1	28	23		52																	18680
	26		6	5	10	1	1	2	4	6	10	3	2	2	10	12	1			5	20	17	8				25																7790
地質 Rock X_7	27			3	5	1	15		2	2	5	15		2	20	2			4	15	5		8	16	21		3	24															10770
	28	1	5	9	8		22	3	5	12	14	13	4	12	25	10	1	8	11	16	13		25	23		47	1		48														16830
	29		3	1	3	1		2	2	3	2	1	2	2	2	5	1				10	10					10			10													3230
	30		3	4	2				2	2	4	1			5	4				3	6	8	1			1	8				9												2340
	31				2	1					3				1	2				2	1		3			3						3											1060
	32			1							1					1				1			1			1							1											710
	33				3					1	2				1	2					3		3				3							3										830
方位 Azimuth X_8	34		2	1	3	1	7	1	2	2	3	7	1	3	9	3			2	9	4	1	5	9	5	7	3	6	7		1			1	15								5860
	35		3	8	8		8		4	6	8	9		2	17	8			5	10	12	6	10	11	9	9	9	9	9	3	4		1	1		27							9740
	36		4	4	7		16	2	2	5	14	9	3	6	18	8	1		7	13	13	7	15	11	5	21	7	6	18	4	3	2					33						13130
	37	1	2	3			2		3	2	1	2		2	4	1	1	8					4	4		8			8									8						1730
	38			2	5	2	4	2		5	5	3	2	3	6	6			1	5	9	4	7	4	2	7	6	3	6	3	1	1		1					15				5310
樹冠疎密度 Crown density X_9	39		7	15	23	2	34	5	6	16	29	29	6	13	48	24	1	3	14	36	33	17	36	33	18	44	24	21	41	9	9	2	1	3	14	25	33	4	11	86			33990
	40	1	1	3		1	3		2	4	2	1		2	4	2	1	3		1	5	1	5	3	3	5	1	3	4	1		1			1	1		3	4		9		1730
	41		3						3					1	2			2	1					3		3			3							1		2					3	50

Table 33. 反 応 パ タ ー ン 数 値 表

Reaction pattern table's value (Input data)

原表 2—1—2. 9ブロック，スギ（人），　9 Block, *Cryptomeria japonica* (Artificial)

プロット番号 Plot No.	林積 Volume (Y)	林齢 Age	樹高 Tree height	直径 D. B. H.	樹冠疎密度 Crown density	樹冠直径 Crown diameter	ha当たり本数 No. of tree	標高 Altitude	方位 Azimuth	傾斜 Tilt	地質 Rock	土性 Soil
1	10.0	1	1	1	2	1	4	2	9	1	2	2
2	20.0	2	1	1	3	1	2	3	9	1	2	2
3	10.0	2	1	2	3	1	1	3	3	2	2	2
4	20.0	2	1	2	3	1	2	3	9	1	2	2
5	120.0	2	1	2	2	1	3	1	3	4	3	3
6	80.0	2	1	2	1	2	3	3	1	3	2	2
7	80.0	2	1	2	1	1	3	1	7	3	4	3
8	80.0	2	1	2	1	2	2	1	8	4	4	3
9	110.0	2	1	2	1	1	4	1	6	4	3	3
10	140.0	2	2	2	1	1	3	1	7	4	4	3
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
81	470.0	6	4	5	1	3	1	3	6	2	2	2
82	480.0	6	4	4	1	3	1	2	6	4	2	2
83	500.0	6	4	4	1	3	1	2	9	1	2	2
84	510.0	6	4	4	1	3	1	3	1	3	1	1
85	530.0	6	4	4	1	2	2	3	7	2	2	2
86	540.0	6	4	4	1	3	2	3	9	1	2	2
87	580.0	5	4	4	1	3	2	3	8	3	1	1
88	590.0	6	4	4	1	2	2	3	2	3	1	1
89	620.0	6	4	5	1	3	2	3	1	2	2	2
90	640.0	6	4	4	1	2	2	2	2	2	1	1
91	660.0	6	4	4	1	2	2	2	1	3	1	1
92	660.0	4	4	5	1	3	2	2	2	3	1	1
93	480.0	7	5	6	1	3	1	2	8	4	2	2
94	560.0	6	5	4	1	3	1	3	5	3	2	2
95	570.0	7	5	5	1	2	1	1	4	4	3	3
96	610.0	6	5	5	1	3	1	2	6	4	2	2
97	860.0	7	5	5	1	3	1	2	7	3	2	2
98	750.0	7	5	6	1	3	1	1	6	4	3	3

Table 34-1. 繰 返 し 計 算 と り ま と め 表

Results of repeated calculus [Score charts calculated by the 7 cases (9 Block *Cryptomeria japonica* (Artificial))]

a) 原表 2-1-5. 1回目 スコア表, Score chart of case 1.

要因項目 Item of factors	カテゴリー Category of factors		X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	X_{10}	X_{11}	レンジ Range	偏相関係数 Partial correlation coefficient	平均値 Average
林 齢 (X_1) Age	0～10	1	10.000	10.000	10.000	79.907	81.483	−161.205	−170.800	−225.837	−213.508	−141.107	−128.888	237.417	0.430	25.887
	～20	2	89.091	61.367	20.000	99.194	83.850	−123.019	−123.964	−134.557	−102.047	− 48.891	− 46.914			
	～30	3	280.000	119.534	64.314	144.469	120.825	− 46.305	− 53.226	− 62.561	− 20.048	14.655	22.305			
	～40	4	357.826	128.003	69.328	143.636	118.861	− 57.340	− 64.656	− 51.690	− 20.243	50.431	55.871			
	～50	5	436.667	100.710	47.421	151.370	130.388	− 74.917	− 80.905	− 59.697	8.307	93.216	92.864			
	～60	6	466.486	132.586	62.909	152.547	132.046	− 40.235	− 50.344	− 55.987	12.050	72.022	77.445			
	～	7	588.000	197.911	139.158	216.374	178.452	− 13.145	− 17.070	− 5.152	62.600	103.676	108.529			
樹 高 (X_2) Tree height	～10	1		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	383.985	0.752	153.964
	～14	2		101.656	72.360	66.810	65.982	49.945	54.921	61.658	60.270	39.281	40.423			
	～18	3		241.726	195.055	179.949	172.568	162.619	172.453	168.264	153.686	107.262	109.167			
	～25	4		383.072	320.258	302.192	304.112	299.147	309.437	316.778	274.307	225.048	234.245			
	～	5		462.198	388.868	372.834	380.312	433.573	444.885	465.906	419.295	383.257	385.985			
直 径 (X_3) D.B.H.	～ 8	1			0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	238.133	0.498	119.320
	～16	2			49.041	−5.000	−5.000	37.400	37.000	11.702	1.783	12.710	15.562			
	～24	3			101.548	40.926	42.154	111.129	105.570	91.473	84.354	118.127	121.237			
	～32	4			129.072	59.611	63.853	175.698	167.933	157.807	150.473	165.271	170.503			
	～40	5			170.441	103.737	122.258	245.258	237.454	216.856	206.520	228.720	238.133			
	～	6			86.974	25.792	57.658	181.285	174.422	124.807	135.506	162.199	170.486			
疎密度 (X_4) Crown density	密	1				0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	110.313	0.249	44.533
	中	2				−69.907	−71.483	−24.414	−26.289	9.099	28.975	22.544	23.285			
	疎	3				−79.194	−63.850	58.219	45.278	79.522	111.409	101.646	110.313			
樹冠直径 (X_5) Crown diameter	～29	1					0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	63.386	0.295	36.169
	～39	2					31.395	21.136	16.957	41.545	65.674	68.519	63.386			
	～	3					−1.422	13.287	7.701	21.317	52.732	56.770	45.120			
本 数 (X_6) No. of tree	～600	1						0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	193.002	0.548	93.693
	～1200	2						84.800	84.000	71.531	63.966	46.492	46.940			
	～2500	3						175.140	174.178	169.343	156.329	132.000	134.831			
	～	4						195.619	196.965	230.254	239.517	196.469	193.002			

標高 (X_7) Altitude	～300	1							0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	65.331	0.303	−39.241
	～600	2							10.125	2.110	−50.327	−44.049	−52.392			
	～	3							14.687	9.130	−58.671	−55.390	−65.331			
方位 (X_8) Azimuth	S	1								0.000	0.000	0.000	0.000	127.755	0.448	2.037
	SE	2								16.340	32.248	31.487	28.976			
	E	3								32.501	35.945	0.409	1.586			
	NE	4								−79.560	−70.047	−86.801	−87.045			
	N	5								−22.598	−23.634	−22.477	−11.394			
	NW	6								2.601	11.925	4.914	14.875			
	W	7								30.997	21.403	37.270	40.710			
	SW	8								11.533	10.493	−10.584	0.095			
	—	9								−5.626	5.343	26.953	30.530			
傾斜 (X_9) Tilt	平	1									0.000	0.000	0.000	69.426	0.449	10.667
	緩	2									19.798	37.617	34.759			
	中	3									40.829	34.802	38.664			
	急	4									−41.178	−26.071	−30.756			
地質 (X_{10}) Rock	花崗片麻岩	1										0.000	0.000	325.260	0.509	53.095
	花崗岩	2										−50.810	45.629			
	砂岩	3										−29.131	11.014			
	粘板岩	4										−32.803	10.609			
	礫岩	5										−104.096	−7.262			
	橄欖岩	6										278.275	317.998			
	秩父古生層	7										−59.952	−6.326			
土性 (X_{11}) Soil	埴壌土	1											0.000	101.166	0.542	−49.316
	砂壌土	2											−101.166			
	壌土	3											−46.783			
重相関係数 Multiple correlation coefficient			0.726	0.875	0.882	0.888	0.891	0.913	0.913	0.922	0.933	0.950	0.951			
要因群偏相関係数 Partial correlation coefficient of factors				0.710	0.229	0.219	0.159	0.439	0.000	0.315	0.369	0.497	0.140			

Table 34-2. 繰 返 し 計 算 2 回 目 ス コ ア 表
Score chart of case 2

b) 原 表 2-2-5. 9ブロック，スギ（人）

要因項目 Item of factors	カテゴリー Category of factors		X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	レンジ Range	偏相関係数 Partial correlation coefficient	平均値 Average
林齢 (X_1) Age	～20	1	82.500	52.543	24.797	44.712	69.343	81.530	329.714	0.621	278.477
	～35	2	298.857	217.112	200.365	221.088	244.415	249.525			
	～50	3	457.778	361.208	341.104	356.403	389.963	371.609			
	～	4	480.952	355.328	347.131	375.152	401.156	411.244			
樹冠直径 (X_2) Crown diameter	～2.9	1		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	176.022	0.371	90.695
	～3.9	2		89.871	82.182	74.406	72.512	96.064			
	～	3		164.952	172.076	170.674	159.135	176.022			
本数 (X_3) No. of tree	～800	1			0.000	0.000	0.000	0.000	7.932	0.022	−1.628
	～1600	2			28.539	24.571	22.561	1.524			
	～	3			41.593	39.611	25.632	−6.408			
標高 (X_4) Altitude	～300	1				0.000	0.000	0.000	160.192	0.455	−76.701
	～600	2				9.205	8.637	−69.911			
	～	3				49.632	−54.281	−160.192			
方位 (X_5) Azimuth	S. SW	1					0.000	0.000	76.522	0.198	0.689
	E. SE	2					2.294	16.662			
	W. NW	3					−11.585	−10.214			
	平坦	4					−45.632	36.744			
	N. NE	5					−66.608	−39.748			
傾斜 (X_6) Tilt	平	1						0.000	143.789	0.508	49.720
	緩	2						118.189			
	中	3						106.291			
	急	4						−25.600			
重相関係数 Multiple correlation coefficient			0.729	0.756	0.759	0.773	0.784	0.834			
要因群偏相関係数 Partial correlation coefficient of factors				0.293	0.326	0.225	0.206	0.458			

Table 34-3. 繰 返 し 計 算 3 回 目 ス コ ア 表

Score chart of case 3

c） 原 表 2-3-5. 9ブロック，スギ（人）

要因項目 Item of factors	カテゴリー Category of factors		X_1	X_2	X_3	X_4	レンジ Range	偏相関係数 Partial correlation coefficient	平均値 Average
樹高 (X_1) Tree height	～10	1	67.273	15.304	18.895	42.281	632.846	0.873	357.595
	～14	2	220.000	181.256	187.840	207.973			
	～18	3	368.710	343.835	343.616	365.617			
	～25	4	512.333	497.899	496.210	496.975			
	～	5	638.333	638.333	646.924	675.127			
本数 (X_2) No. of tree	～800	1		0.000	0.000	0.000	27.426	0.213	18.021
	～1600	2		36.086	35.851	26.638			
	～	3		85.462	75.942	27.426			
方位 (X_3) Azimuth	S. SW	1			0.000	0.000	65.351	0.233	2.509
	E. SE	2			16.645	28.719			
	W. NW	3			6.113	9.930			
	平坦	4			−23.256	−36.632			
	N. NE	5			−34.942	−14.562			
傾斜 (X_4) Tilt	平	1				0.000	79.863	0.393	−7.713
	緩	2				21.196			
	中	3				6.618			
	急	4				−58.667			
重相関係数 Multiple correlation coefficient			0.869	0.878	0.883	0.899			
要因群偏相関係数 Partial correlation coefficient of factors				0.253	0.196	0.360			

Table 34-4. 繰 返 し 計 算 4 回 目 ス コ ア 表
Score chart of case 4

d) 原 表 2-4-5. 9ブロック，スギ（人）

要因項目 Item of factors	カテゴリー Category of factors		X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	レンジ Range	偏相関係数 Partial correlation coefficient	平均値 Average
林 齢 (X_1) Age	0～10	1	10.000	10.000	−142.739	−174.361	−153.549	−112.591	−126.678	−136.335	−110.744	323.897	0.508	92.510
	～20	2	89.091	61.367	−42.739	−40.041	−20.577	28.001	16.953	−1.490	7.942			
	～30	3	280.000	119.534	39.737	39.607	68.424	108.045	91.228	79.886	86.173			
	～40	4	357.826	128.003	41.097	38.928	68.029	109.853	130.243	123.491	127.608			
	～50	5	436.667	100.710	5.972	34.853	70.017	110.653	134.240	158.984	166.394			
	～60	6	466.486	132.586	13.465	69.893	107.193	144.770	155.667	150.983	157.042			
	～	7	588.000	197.911	112.321	136.760	165.452	202.431	208.453	211.267	213.153			
樹 高 (X_2) Tree height	～10	1		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	502.016	0.793	221.796
	～14	2		101.656	81.756	86.859	78.583	88.129	81.706	83.418	83.930			
	～18	3		241.726	228.813	236.284	221.932	233.112	206.795	201.229	198.170			
	～25	4		383.072	392.102	375.207	358.077	359.011	338.873	330.841	324.862			
	～	5		462.198	538.965	536.163	518.828	530.857	514.310	509.216	502.016			
本 数 (X_3) No. of tree	～600	1			0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	148.075	0.412	75.619
	～1200	2			69.142	62.706	62.001	52.830	55.455	51.916	48.316			
	～2500	3			140.783	130.233	125.047	119.564	111.954	112.529	106.083			
	～	4			152.739	184.361	172.975	167.619	164.590	159.375	148.075			
傾 斜 (X_4) Tilt	平	1				0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	104.130	0.499	5.196
	緩	2				57.060	58.969	52.269	46.622	55.936	55.724			
	中	3				31.738	31.672	17.085	1.388	14.204	13.467			
	急	4				−34.320	−42.399	−57.018	−63.865	−50.669	−48.406			

標高 Altitude (X_5)	～300	1					0.000	0.000	0.000	0.000	0.000			
	～600	2					− 9.426	− 4.546	13.008	4.746	11.826	21.334	0.141	0.773
	～	3					−24.632	−27.734	− 8.308	−14.580	− 9.508			
土性 Soil (X_6)	埴壌土	1						0.000	0.000	0.000	0.000			
	砂壌土	2						−40.482	−107.684	−93.165	−89.312	89.312	0.463	−36.163
	壌土	3						−28.603	− 32.249	−16.894	−19.177			
地質 Rock (X_7)	花崗片麻岩	1							0.000	0.000	0.000			
	花崗岩	2							66.764	53.310	45.447			
	砂岩	3							24.571	2.630	6.612			
	粘板岩	4							37.876	18.547	18.673	407.114	0.489	60.043
	礫岩	5							36.881	19.083	19.067			
	橄欖岩	6							393.311	374.818	368.808			
	秩父古生層	7							−28.690	−33.391	−38.306			
方位 Azimuth (X_8)	S. SW	1								0.000	0.000			
	E. SE	2								15.753	14.786			
	W. NW	3								17.049	14.955	54.490	0.231	6.377
	平坦	4								22.069	28.318			
	N. NE	5								−30.455	−26.172			
樹冠疎密度 Crown density (X_9)	密	1									0.000			
	中	2									−23.610	23.610	0.103	−12.035
	疎	3									−12.496			
重相関係数 Multiple correlation coefficient			0.726	0.875	0.897	0.915	0.915	0.918	0.935	0.939	0.939			
要因群偏相関係数 Partial correlation coefficient of factors				0.710	0.408	0.408	0.089	0.184	0.448	0.244	0.065			

Table 34-5. 繰 返 し 計 算 5 回 目 ス コ ア 表

Score chart of case 5

e) 原 表 2-5-5. 9ブロック，スギ（人）

要因項目 Item of factors	カテゴリー Category of factors		X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	レンジ Range	偏相関係数 Partial correlation coefficient	平均値 Average
本数 (X_1) No. of tree	～600	1	466.875	773.365	411.206	420.698	494.668	487.103	569.675	605.401	608.222	614.270	0.560	519.537
	～1200	2	372.593	758.175	480.446	483.801	550.478	542.635	621.314	657.691	656.444			
	～2500	3	302.593	786.541	552.436	552.841	612.231	599.075	682.969	718.767	713.876			
	2501～	4	10.000	10.000	10.000	10.000	44.042	16.986	76.013	87.787	99.606			
林齢 (X_2) Age	～10	1		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	531.724	0.532	−356.176
	～20	2		−688.516	−452.915	−457.192	−482.817	−485.212	−511.862	−538.789	−531.724			
	～30	3		−490.050	−370.924	−379.582	−416.369	−415.578	−436.711	−458.013	−455.763			
	～40	4		411.449	−369.507	−380.121	−379.931	−377.721	−393.416	−414.841	−414.392			
	～50	5		−330.963	−404.674	−385.048	−382.661	−374.014	−357.579	−380.550	−376.486			
	～60	6		−297.327	−337.060	−348.897	−359.624	−353.239	−366.979	−386.907	−384.977			
	61～	7		−188.000	−298.288	−282.930	−300.678	−302.805	−309.004	−328.108	−329.890			
樹高 (X_3) Tree height	～10	1			0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	496.334	0.869	217.797
	～14	2			80.823	82.490	84.947	77.876	81.570	78.990	79.045			
	～18	3			227.998	232.365	219.634	205.795	203.563	196.808	193.290			
	～25	4			391.348	372.067	349.639	333.528	327.521	327.213	320.316			
	26～	5			538.340	533.154	524.242	510.871	509.452	504.540	496.334			
傾斜 (X_4) Tilt	平	1				0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	113.123	0.536	−43.647
	緩	2				57.699	46.190	50.055	−8.042	−10.338	−9.520			
	中	3				32.491	1.971	1.634	−52.301	−51.763	−51.945			
	急	4				−32.146	−50.909	−53.708	−108.599	−116.255	−113.123			

地　質 (X_5) Rock	花崗片麻岩	1					0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	407.800	0.491	61.208
	花崗岩	2					−34.042	−37.344	−37.909	54.197	44.899			
	砂岩	3					−12.820	9.667	−4.860	9.014	13.015			
	粘板岩	4					−9.562	8.716	−2.983	19.708	20.059			
	礫岩	5					−61.451	−69.782	−75.723	19.973	19.005			
	橄欖岩	6					292.534	288.716	277.017	376.476	369.638			
	秩父古生層	7					−58.879	−65.679	−58.855	−32.570	−38.162			
標　高 (X_6) Altitude	～300	1						0.000	0.000	0.000	0.000	21.685	0.152	3.094
	～600	2						30.358	16.964	6.967	15.484			
	601～	3						10.386	−2.888	−12.935	−6.201			
方　位 (X_7) Azimuth	S. SW	1							0.000	0.000	0.000	52.054	0.251	−6.194
	E. SE	2							18.498	14.928	14.385			
	W. NW	3							14.339	18.255	16.084			
	平坦	4							−45.069	−44.779	−35.970			
	N. NE	5							−32.729	−30.452	−25.468			
土　性 (X_8) Soil	埴壌土	1								0.000	0.000	88.964	0.457	−36.116
	砂壌土	2								−94.172	−88.964			
	壌土	3								−17.403	−19.385			
樹冠疎密度 (X_9) Crown density	密	1									0.000	25.055	0.099	−14.803
	中	2									−25.055			
	疎	3									−19.355			
重相関係数 Multiple correlation coefficient			0.348	0.729	0.897	0.914	0.932	0.933	0.937	0.938	0.939			
要因群偏相関係数 Partial correlation coefficient of factors				0.683	0.764	0.397	0.449	0.119	0.240	0.124	0.125			

Table 34-6. 繰 返 し 計 算 6 回 目 ス コ ア 表
Score chart of case 6

f) 原 表 2-6-5. 9ブロック，スギ（人）

要因項目 Item of factors	カテゴリー Category of factors		X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	レンジ Range	偏相関係数 Partial correlation coefficient	平均値 Average
林齢 (X_1) Age	～15	1	67.000	60.250	−31.227	−30.629	−21.592	52.447	83.222	82.365	93.149	30.539	0.398	83.855
	～30	2	268.000	98.874	− 6.238	−14.010	− 4.112	32.114	47.809	51.669	50.093			
	～45	3	357.826	78.883	−30.192	−36.344	−19.307	13.859	51.237	62.048	60.813			
	～55	4	490.000	122.517	45.376	42.083	60.583	55.809	76.891	91.167	91.530			
	56～	5	470.714	80.129	− 1.729	− 1.435	9.326	68.970	113.640	127.916	123.688			
樹高 (X_2) Tree height	～10	1		0.000	0.000	0.000	0.000	0.400	0.000	0.000	0.000	606.826	0.895	354.143
	～12	2		67.498	68.267	77.051	65.932	89.695	92.429	94.688	94.430			
	～14	3		140.966	158.790	175.751	176.887	221.655	220.171	222.255	217.980			
	～16	4		232.677	233.084	246.016	245.837	295.743	300.783	301.702	298.682			
	～18	5		312.200	332.760	328.232	326.498	361.506	327.755	323.888	319.851			
	～20	6		381.177	388.951	386.451	380.756	416.450	405.822	402.808	398.142			
	～22	7		428.655	472.902	453.033	437.560	458.527	440.404	433.631	427.359			
	～24	8		462.408	517.725	482.262	479.680	506.647	481.950	474.458	469.875			
	25～	9		535.585	617.444	629.219	635.333	657.190	616.929	612.814	606.826			
本数 (X_3) No. of tree	～600	1			0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	88.679	0.400	54.165
	～800	2			37.454	41.836	35.594	28.049	31.350	28.109	26.338			
	～1100	3			96.516	89.110	82.648	69.135	64.708	64.507	60.860			
	～2000	4			119.516	115.794	111.992	106.829	91.139	94.685	88.679			
	2001～	5			91.227	104.808	88.599	78.762	54.740	57.102	40.781			
傾斜 (X_4) Tilt	平	1				0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	94.132	0.514	−10.488
	緩	2				35.840	41.281	32.460	30.819	33.495	32.291			
	中	3				28.647	35.766	18.037	− 1.947	1.212	− 1.915			
	急	4				−28.357	−27.941	−55.121	−65.720	−61.229	−61.841			

標高 (X_5) Altitude	～300	1					0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	68.234	0.247	5.269
	～450	2					−30.462	−11.417	20.303	16.590	25.886			
	～600	3					13.927	30.130	29.283	20.689	29.492			
	～750	4					−12.597	−6.015	2.890	−4.606	4.438			
	751～	5					−46.684	−54.437	−48.641	−48.003	−38.742			
土性 (X_6) Soil	埴壌土	1						0.000	0.000	0.000	0.000	11.543	0.072	−5.786
	砂壌土	2						−82.350	−27.090	−19.965	−11.543			
	壌土	3						−35.078	−7.313	−0.654	−0.029			
地質 (X_7) Rock	花崗片麻岩	1							0.000	0.000	0.000	324.038	0.573	−16.364
	花崗岩	2							−78.450	−84.279	−91.140			
	砂岩	3							−6.633	−14.131	−8.402			
	粘板岩	4							−47.746	−56.222	−55.009			
	礫岩	5							−77.556	−82.837	−86.527			
	橄欖岩	6							243.051	238.989	232.898			
	秩父古生層	7							−78.081	−87.477	−90.003			
方位 (X_8) Azimuth	S. SW	1								0.000	0.000	41.313	0.202	−4.759
	E. SE	2								−1.167	2.444			
	W. NW	3								−2.488	−1.824			
	平坦	4								3.122	10.828			
	N. NE	5								−36.201	−30.485			
樹冠疎密度 (X_9) Crown density	密	1									0.000	35.373	0.106	−24.387
	中	2									−13.401			
	疎	3									−35.373			
重相関係数 Multiple correlation coefficient			0.708	0.846	0.914	0.924	0.928	0.934	0.949	0.951	0.951			
要因群偏相関係数 Partial correlation coefficient of factors				0.778	0.406	0.334	0.225	0.284	0.470	0.196	0.000			

Table 34-7. 繰 返 し 計 算 ス コ ア 表
Score chart of case 7

g) 原 表 2-7-5. 9ブロック，スギ（人）

要因項目 Item of factors	カテゴリー Category of factors		X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	レンジ Range	偏相関係数 Partial correlation coefficient	平均値 Average
林齢 (X_1) Age	0～20	1	82.500	82.500	4.515	−10.919	8.459	28.661	52.781	19.889	51.777	203.970	0.587	188.082
	～35	2	298.857	185.054	108.807	96.331	116.135	136.548	165.673	140.862	164.288			
	～45	3	468.333	219.200	137.000	121.343	140.781	172.319	214.673	195.446	219.661			
	～55	4	490.000	233.925	177.801	164.957	192.523	196.630	231.051	225.278	255.747			
	56～	5	470.714	199.623	146.707	133.155	159.342	206.558	247.453	228.231	248.938			
樹高 (X_2) Tree height	～14	1		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	432.141	0.812	269.092
	～18	2		173.455	175.607	167.827	166.781	170.614	146.150	142.334	133.790			
	～22	3		286.973	296.039	274.236	261.239	254.156	247.665	237.721	225.128			
	～25	4		329.302	352.133	319.749	325.398	319.041	297.179	293.693	285.308			
	26～	5		438.711	471.036	477.284	471.272	455.515	432.683	447.416	432.141			
本数 (X_3) No. of tree	～400	1			0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	124.373	0.407	67.822
	～700	2			30.886	40.365	37.223	31.635	38.217	50.276	36.736			
	～1000	3			51.150	56.327	48.310	35.764	45.806	61.818	48.353			
	～1500	4			82.175	89.964	76.655	78.347	69.847	86.933	67.869			
	～2000	5			124.073	120.237	107.604	105.305	120.270	138.768	124.373			
	2001～	6			55.485	79.128	74.470	63.367	51.200	72.360	61.780			
傾斜 (X_4) Tilt	平	1				0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	95.136	0.447	22.307
	緩	2				62.876	69.260	57.143	53.113	70.064	67.964			
	中	3				35.788	44.042	25.882	5.474	27.586	26.129			
	急	5				−16.418	−17.177	−47.176	−57.832	−34.072	−27.172			

標　高（X_5） Altitude	～400	1					0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	41.928	0.251	−15.594
	～500	2					−28.681	14.146	22.258	−13.555	−12.309			
	～600	3					25.254	57.560	21.607	− 1.353	3.728			
	601～	4					−35.912	− 5.011	−15.440	−38.854	−38.200			
土　性（X_6） Soil	埴壌土	1						0.000	0.000	0.000	0.000	53.933	0.223	33.268
	砂壌土	2						−53.706	2.967	3.521	12.603			
	壌　土	3						22.679	56.050	59.632	53.933			
地　質（X_7） Rock	花崗片麻岩	1							0.000	0.000	0.000	358.970	0.595	− 9.675
	花崗岩	2							−67.900	−56.339	−67.858			
	砂　岩	3							−43.503	−60.681	−68.099			
	粘板岩	4							−48.906	−68.230	−76.464			
	礫　岩	5							−77.434	−66.647	−64.847			
	橄欖岩	6							298.282	293.667	282.506			
	秩父古生層	7							−46.490	−55.423	−63.287			
方　位（X_8） Azimuth	S. SW	1								0.000	0.000	75.711	0.290	13.809
	E. SE	2								16.449	19.088			
	W. NW	3								9.540	8.526			
	平　坦	4								27.455	51.666			
	N. NE	5								−39.801	−24.045			
疎密度（X_9） Crown density	密	1									0.000	58.404	0.266	−49.195
	中	2									−58.404			
	疎	3									−39.985			
重相関係数 Multiple correlation coefficient			0.729	0.881	0.893	0.906	0.914	0.921	0.939	0.943	0.945			
要因群偏相関係数 Partial correlation coefficient of factors				0.723	0.308	0.340	0.285	0.279	0.470	0.257	0.185			

Table 41-1. 立 木 材 積 推 定 数 値 表

Standing tree volume estimation

a) 原 表 1-3-5. 7ブロック，スギ（人），スコア表 7 Block, *Cryptomeria japonica* (Artificial), Score chart.

要因項目 Item of factors	カテゴリー Category of factors		X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	レンジ Range	偏相関係数 Partial correlation coefficient	平均値 Average
林齢 (X_1) Age	～20	1	42.000	42.000	133.643	135.335	111.610	93.647	150.001	0.436	174.321
	～30	2	120.769	77.090	138.133	165.709	149.361	139.530			
	～40	3	175.833	57.275	154.802	188.173	171.248	155.121			
	～50	4	279.000	42.178	150.266	190.412	177.393	189.181			
	～60	5	369.524	116.393	219.969	256.693	243.614	243.648			
	61～	6	265.714	54.166	200.880	236.700	221.110	224.800			
樹高 (X_2) Tree height	～10	1		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	305.690	0.616	122.032
	～14	2		57.777	37.632	28.039	27.042	26.884			
	～18	3		163.393	120.349	120.354	115.689	118.114			
	～23	4		267.373	174.006	160.950	165.224	159.473			
	24～	5		426.558	341.214	316.554	326.685	305.690			
樹冠疎密度 (X_3) Crown density	密	1			0.000	0.000	0.000	0.000	166.961	0.547	−87.938
	中	2			− 89.983	− 99.783	− 89.883	− 87.060			
	疎	3			−124.968	−111.581	− 99.851	− 97.731			
	散	4			−195.518	−185.800	−168.279	−166.961			

標　高（X_4） Altitude	～200	1				0.000	0.000	0.000			
	～300	2				− 35.302	− 33.692	− 24.279	79.830	0.344	−34.703
	301～	3				− 66.732	− 71.411	− 79.830			
本　数（X_5） No. of tree	～600	1					0.000	0.000			
	～1200	2					30.449	35.074	35.074	0.195	13.240
	1201～	3					1.936	4.645			
方　位（X_6） Azimuth	S. SW	1						0.000			
	E. SE	2						31.446			
	W. NW	3						− 25.520	56.966	0.249	7.220
	平　坦	4						6.400			
	N. NE	5						23.773			
重相関係数 Multiple correlation coefficient			0.682	0.822	0.884	0.893	0.896	0.901			
要因群偏相関係数 Partial correlation coefficient of factors				0.627	0.571	0.270	0.163	0.214			

Table 41-2. 立 木 材 積 推 定 数 値 表
Standing tree volume estimation

b) 原 表 2-4-5. 9ブロック，スギ（人），スコア表 9 Block, *Cryptomeria japonica* (Artificial), Score chart.

要因項目 Item of factors	カテゴリー Category of factors		X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	レンジ Range	偏相関係数 Partial correlation coefficient	平均値 Average
林 齢 (X_1) Age	0～10	1	10.000	10.000	−142.739	−174.361	−153.549	−112.591	−126.678	−136.335	−110.744	323.897	0.508	92.510
	～20	2	89.091	61.367	− 42.739	− 40.041	− 20.577	28.001	16.953	− 1.490	7.942			
	～30	3	280.000	119.534	39.737	39.607	68.424	108.045	91.228	79.886	86.173			
	～40	4	357.826	128.003	41.097	38.928	68.029	109.853	130.243	123.491	127.608			
	～50	5	436.667	100.710	5.972	34.853	70.017	110.653	134.240	158.984	166.394			
	～60	6	466.486	132.586	73.465	69.893	107.193	144.770	155.667	150.983	157.042			
	61～	7	588.000	197.911	112.321	136.760	165.452	202.431	208.453	211.267	213.153			
樹 高 (X_2) Tree height	～10	1		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	502.016	0.793	221.796
	～14	2		101.656	81.756	86.859	78.583	88.129	81.706	83.418	83.930			
	～18	3		241.726	228.813	236.284	221.932	233.112	206.795	201.229	198.170			
	～25	4		383.072	392.102	375.207	358.077	359.011	338.873	330.841	324.862			
	26～	5		462.198	538.965	536.163	518.828	530.857	514.310	509.216	502.016			
ha当たり 本 数 (X_3) No. of tree per hectare	～600	1			0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	148.025	0.412	75.619
	～1200	2			69.142	62.706	62.001	52.830	55.455	51.916	48.316			
	～2500	3			140.783	130.233	125.047	119.564	111.954	112.529	106.083			
	2501～	4			152.739	184.361	172.975	167.619	164.590	159.375	148.075			
傾 斜 (X_4) Tilt	平	1				0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	104.130	0.499	5.196
	緩	2				57.060	58.969	52.269	46.622	55.936	55.724			
	中	3				31.738	31.672	17.085	1.388	14.204	13.407			
	急	4				−34.320	−42.399	−57.018	−63.865	−50.669	−48.406			

標高 (X_5) Altitude	～300	1					0.000	0.000	0.000	0.000	0.000			
	～600	2					− 9.426	− 4.546	13.008	4.746	11.826	21.334	0.141	0.773
	601～	3					−24.632	−27.734	− 8.308	−14.580	− 9.508			
土性 (X_6) Soil	埴壌土	1						0.000	0.000	0.000	0.000			
	砂壌土	2						−40.482	−107.684	−93.165	−89.312	89.312	0.463	−36.163
	壌土	3						−28.603	− 32.249	−16.894	−19.177			
地質 (X_7) Rock	花崗片麻岩	1							0.000	0.000	0.000			
	花崗岩	2							66.764	53.310	45.447			
	砂岩	3							24.571	2.630	6.612			
	粘板岩	4							37.876	18.547	18.673	407.114	0.489	60.043
	礫岩	5							36.881	19.083	19.067			
	橄欖岩	6							393.311	374.818	368.808			
	秩父古生層	7							−28.690	−33.391	−38.306			
方位 (X_8) Azimuth	S. SW	1								0.000	0.000			
	E. SE	2								15.753	14.786			
	W. NW	3								17.049	14.955	54.490	0.231	6.377
	平坦	4								22.069	28.318			
	N. NE	5								−30.455	−26.172			
樹冠疎密度 (X_9) Crown density	密	1									0.000			
	中	2									−23.610	23.610	0.103	−12.035
	疎	3									−12.496			
重相関係数 Multiple correlation coefficient			0.726	0.875	0.897	0.915	0.915	0.918	0.935	0.939	0.939			
要因群偏相関係数 Partial correlation coefficient of factors				0.710	0.408	0.408	0.089	0.184	0.448	0.244	0.065			

Table 41-3. 立 木 材 積 推 定 数 値 表

Standing tree volume estimation

c） 原 表 3-3-5. 10ブロック，スギ（人），スコア表　10 Block, *Cryptomeria japonica* (Artificial), Score chart.

要因項目 Item of factors	カテゴリー Category of factors		X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	レンジ Range	偏相関係数 Partial correlation coefficient	平均値 Averaga
林齢 (X_1) Age	～20	1	61.176	57.384	81.093	94.652	109.224	112.895	101.744	115.945	0.508	176.847
	～30	2	157.778	129.122	157.140	179.118	175.399	174.621	167.481			
	～40	3	256.667	178.791	209.002	226.417	225.319	223.889	217.689			
	～50	4	226.667	151.085	186.319	202.809	206.481	212.996	196.137			
	～60	5	340.000	160.803	199.235	196.244	186.563	187.180	166.102			
	61～	6	411.920	207.389	237.389	230.774	217.874	222.377	211.930			
樹高 (X_2) Tree height	～10	1		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	411.988	0.866	164.632
	～14	2		64.475	68.535	52.032	62.484	63.532	72.931			
	～18	3		130.034	152.442	125.749	135.034	136.109	141.855			
	～23	4		175.046	169.713	169.342	191.409	191.593	196.386			
	24～	5		405.630	394.305	392.305	406.742	401.983	411.988			
樹冠疎密度 (X_3) Crown density	密	1			0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	299.881	0.667	−111.810
	中	2			−89.467	−104.386	−105.075	−102.085	−105.060			
	疎	3			−45.379	−41.802	−46.670	−48.165	−42.297			
	散	4			−349.831	−316.523	−298.977	−303.782	−299.881			
本数 (X_4) No. of tree	～600	1				0.000	0.000	0.000	0.000	71.549	0.402	8.195
	～1200	2				50.061	47.579	50.027	48.067			
	1201～	3				−17.136	−24.849	−24.867	−23.482			

標　高（X_5） Altitude	～500	1					0.000	0.000	0.000	62.388	0.298	9.372
	～800	2					−13.930	−14.704	−17.136			
	801～	3					35.922	37.654	45.252			
傾　斜（X_6） Tilt	平	1						0.000	0.000	39.840	0.129	−6.805
	緩	2						1.585	4.608			
	中	3						−6.363	3.406			
	急	4						−32.011	−35.232			
方　位（X_7） Azimuth	S. SW	1							0.000	35.826	0.209	1.691
	E. SE	2							−8.555			
	W. NW	3							24.801			
	平　坦	4							3.232			
	N. NE	5							−11.025			
重相関係数 Multiple correlation coefficient			0.733	0.876	0.923	0.931	0.934	0.935	0.937			
要因群偏相関係数 Partial correlation coefficient of factors				0.705	0.603	0.317	0.205	0.119	0.174			

Table 41-4. 立木材積推定数値表 Standing tree volume estimation

d) 原表 4-3-5. 8ブロック，ヒノキ（人），スコア表 8 Block, *C. obtusa* (Artificial) Score chart.

要因項目 Item of factors	カテゴリー Category of factors		X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	レンジ Range	偏相関係数 Partial correlation coefficient	平均値 Average
林齢 (X_1) Age	～12	1	22.500	22.500	−71.305	−58.540	−45.726	−45.518	142.588	0.609	31.125
	～24	2	40.000	30.149	−42.272	−43.953	−21.247	−26.393			
	～32	3	157.500	59.924	0.208	−0.147	26.397	24.314			
	～38	4	206.667	90.586	22.504	29.778	64.511	66.897			
	～46	5	241.905	94.413	41.215	45.647	74.774	70.377			
	47～	6	262.667	89.853	49.617	58.996	96.738	97.070			
樹高 (X_2) Tree height	～6	1		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	247.792	0.827	118.899
	～10	2		68.959	73.886	82.760	76.029	70.929			
	～14	3		160.673	168.635	175.549	159.994	156.876			
	15～	4		261.293	279.147	277.816	251.269	247.792			
本数 (X_3) No. of tree	～1200	1			0.000	0.000	0.000	0.000	86.182	0.571	46.831
	～1500	2			22.734	21.817	21.544	20.893			
	～2000	3			61.672	64.221	59.676	61.443			
	～3000	4			62.935	64.685	64.385	65.638			
	3001～	5			94.305	99.749	90.959	86.182			
傾斜 (X_4) Tilt	平	1				0.000	0.000	0.000	36.171	0.304	−3.862
	緩	2				12.606	13.063	15.791			
	中	3				−11.409	−9.215	−10.858			
	急	4				−21.143	−18.376	−20.380			
標高 (X_5) Altitude	～1000	1					0.000	0.000	29.437	0.279	−17.951
	～1200	2					−26.590	−24.417			
	1201～	3					−29.915	−29.437			
方位 (X_6) Azimuth	S. SW	1						0.000	20.203	0.201	4.291
	E. SE	2						15.387			
	W. NW	3						6.594			
	N. NE	4						−4.816			
重相関係数 Multiple correlation coefficient			0.661	0.902	0.929	0.933	0.938	0.940			
要因群偏相関係数 Partial correlation coefficient of factors				0.818	0.515	0.234	0.268	0.178			

Table 41-5. 立木材積推定数値表　Standing tree volume estimation

e）原表 5-3-5.　8ブロック，ヒノキ（天），スコア表　8 Block, *C. obtusa* (Natural), Score chart.

要因項目 Item of factors	カテゴリー Category of factors		X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	レンジ Range	偏相関係数 Partial correlation coefficient	平均値 Average
林齢 (X_1) Age	～200	1	511.429	414.501	−160.697	15.269	50.362	62.026	74.512	139.913	0.585	140.488
	～250	2	621.163	495.710	5.282	170.336	194.275	194.885	214.425			
	251～	3	455.455	344.790	−20.384	98.475	109.433	119.487	132.526			
樹高 (X_2) Tree height	～18	1		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	434.532	0.838	224.148
	～22	2		95.689	210.262	134.379	146.598	157.110	152.719			
	～26	3		162.373	384.692	296.726	298.773	304.520	309.342			
	27～	4		118.382	449.931	379.060	408.828	432.098	434.532			
本数 (X_3) No. of tree	～200	1			0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	564.639	0.905	265.562
	～350	2			255.501	192.818	184.220	178.322	174.487			
	～550	3			441.535	351.103	336.445	327.451	323.121			
	551～	4			640.746	589.348	557.012	555.410	564.639			
標高 (X_4) Altitude	～1000	1				0.000	0.000	0.000	0.000	268.852	0.723	−59.140
	～1100	2				−234.240	−223.362	−227.528	−236.549			
	～1200	3				−55.207	−73.746	−82.367	−71.785			
	～1300	4				46.154	43.287	27.866	32.303			
	1301～	5				−3.625	−14.749	−19.306	−19.670			
疎密度 (X_5) Crown density	密	1					0.000	0.000	0.000	127.926	0.463	−63.721
	中	2					−66.271	−72.578	−63.237			
	疎・散	3					−134.304	−135.098	−127.926			
方位 (X_6) Azimuth	S. SW	1						0.000	0.000	101.758	0.226	−3.666
	E. SE	2						39.347	42.974			
	W. NW	3						−3.080	1.535			
	平坦	4						−40.331	−58.784			
	N. NE	5						−7.599	−4.054			
傾斜 (X_7) Tilt	平	1							0.000	34.812	0.176	−16.704
	緩	2							−26.356			
	中	3							−34.812			
	急	4							−5.647			
重相関係数 Multiple correlation coefficient			0.323	0.397	0.866	0.924	0.936	0.938	0.939			
要因群偏相関係数 Partial correlation coefficient of factors				0.244	0.839	0.644	0.391	0.173	0.126			

Table 41-6. 立 木 材 積 推 定 数 値 表

Standing tree volume estimation

f) 原 表 6-4-5. 7ブロック，アカマツ（人），スコア表　7 Block, *P. densiflora* (Artificial), Score chart.

要因項目 Item of factors	カテゴリー Category of factors		X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	レンジ Range	偏相関係数 Patrial correlation coefficient	平均値 Average
林齢 (X_1) Age	～25	1	146.667	110.627	29.115	30.667	54.289	53.135	56.380	42.052	61.918	35.062	0.354	58.614
	26～31	2	183.000	129.373	45.874	32.252	54.245	44.514	47.554	36.544	58.142			
	32～39	3	193.077	119.889	46.810	36.754	58.466	55.579	52.460	40.024	59.253			
	40～49	4	208.333	102.383	36.908	30.244	46.558	41.405	42.920	23.974	39.347			
	50～	5	221.538	111.813	73.612	69.243	82.561	72.071	77.825	58.383	74.409			
樹高 (X_2) Tree height	～10	1		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	170.771	0.748	84.652
	11～14	2		54.060	52.570	47.104	34.808	42.696	43.223	46.773	46.094			
	15～18	3		103.793	125.647	126.934	112.671	120.441	116.344	125.604	121.742			
	19～	4		148.563	171.853	173.751	162.809	169.165	164.595	175.012	170.771			
本数 (X_3) No. of tree	～349	1			0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	59.394	0.437	34.769
	350～499	2			53.493	56.338	55.830	49.927	46.026	41.927	36.197			
	500～699	3			71.837	76.032	72.632	70.730	69.868	69.143	59.394			
	700～	4			82.506	78.278	72.836	70.908	66.448	60.912	43.486			
標高 (X_4) Altitude	～149	1				0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	42.554	0.412	11.255
	150～299	2				−1.568	3.215	2.468	−0.069	−5.875	−4.395			
	300～	3				22.094	28.097	29.558	30.365	35.216	38.159			
方位 (X_5) Azimuth	S. SW	1					0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	36.526	0.252	−7.089
	E. SE	2					−31.657	−31.741	−27.142	−26.342	−27.924			
	W. NW	3					−13.861	−15.598	−15.393	−14.337	−13.761			
	平坦	4					4.208	8.878	6.838	9.686	8.602			
	N. NE	5					−6.245	−5.544	−4.763	2.445	−2.361			

傾　斜（X_6） Tilt	平・緩	1						0.000	0.000	0.000	0.000			
	中	2						− 2.339	− 4.276	5.433	3.192	25.816	0.236	9.669
	急	3						18.186	16.719	30.791	25.816			
地　質（X_7） Rock	花崗岩，花崗閃緑岩	1							0.000	0.000	0.000			
	石英安山岩	2							37.173	48.399	43.866			
	石英粗面岩 斜長流紋岩	3							− 2.176	2.730	− 2.218	46.084	0.241	12.182
	第三紀層，第四紀層，新第三紀層	4							2.965	0.176	− 1.887			
	古　生　層	5							17.322	19.770	21.148			
土　性（X_8） Soil	B_B	1								0.000	0.000			
	B_C	2								−12.519	−10.289			
	B_D	3								14.632	17.669	27.958	0.262	6.907
	B_D(d)	4								14.519	13.768			
	海岸砂地	5								15.839	13.386			
疎密度（X_9） Crown density	密	1									0.000	14.507	0.169	− 7.254
	中	2									−14.507			
重相関係数 Multiple correlation coefficient			0.304	0.601	0.735	0.750	0.764	0.773	0.779	0.794	0.799			
要因群偏相関係数 Partial correlation coefficient of factors				0.544	0.529	0.220	0.220	0.182	0.152	0.245	0.147			

Table 41-7. 立木材積推定数値表 Standing tree volume estimation

g) 原 表 7-3-5. 8ブロック，カラマツ（人），スコア表 8 Block, *L. Leptolepis* (Artificial), Score chart.

要因項目 Item of factors	カテゴリー Category of factors		X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	レンジ Range	偏相関係数 Partial correlation coefficient	平均値 Average
林齢 (X_1) Age	～10	1	13.700	13.700	25.345	0.715	22.822	27.100	38.291	0.355	42.490
	～20	2	88.889	51.245	51.416	21.909	34.028	28.017			
	～32	3	100.000	51.859	68.259	42.158	59.069	49.887			
	～50	4	126.205	45.755	85.739	62.762	75.765	65.391			
	51～	5	156.370	36.754	66.737	45.624	53.821	42.056			
樹高 (X_2) Tree height	～6	1		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	209.105	0.851	97.655
	～11	2		26.899	50.204	46.961	40.952	46.253			
	～14	3		86.031	62.216	50.224	48.882	54.546			
	～17	4		104.403	77.755	82.252	81.459	91.419			
	～20	5		89.336	108.492	117.313	118.945	125.735			
	～23	6		126.646	137.446	153.677	149.258	156.529			
	24～	7		183.427	192.338	208.675	206.047	209.105			
疎密度 (X_3) Crown density	密	1			0.000	0.000	0.000	0.000	102.511	0.719	54.217
	中	2			− 58.224	− 54.218	− 58.933	− 60.139			
	疎・散	3			−110.462	− 94 374	− 97.562	−102.511			
本数 (X_4) No. of tree	～500	1				0.000	0.000	0.000	59.382	0.395	25.121
	～700	2				31.909	27.227	23.385			
	～900	3				41.323	34.605	32.435			
	～1100	4				44.323	42.969	46.122			
	～1500	5				51.483	56.970	58.432			
	～2500	6				23.396	21.803	16.425			
	2501～	7				24.261	9.258	− 0.950			
方位 (X_5) Azimuth	S. SW	1					0.000	0.000	49.282	0.325	− 7.447
	E. SE	2					−33.873	−32.296			
	W. NW	3					−14.965	− 9.933			
	平坦	4					7.937	16.986			
	N. NE	5					−12.973	−11.994			
傾斜 (X_6) Tilt	平	1						0.000	18.849	0.209	2.201
	緩	2						14.702			
	中	3						− 1.750			
	急	4						− 4.147			
重相関係数 Multiple correlation coefficient			0.503	0.733	0.869	0.882	0.891	0.894			
要因群偏相関係数 Partial correlation coefficient of factors				0.617	0.686	0.304	0.268	0.160			

Table 41-8. 立木材積推定数値表　Standing tree volume estimation

h）原　表 8-4-5.　10 ブロック，NL（天），スコア表　10 Block, NL (Artificial), Score chart.

要因項目 Item of factors	カテゴリー Category of factors		X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	レンジ Range	偏相関係数 Partial correlation coefficient	平均値 Average
樹高 (X_1) Tree height	～10	1	140.000	167.165	156.167	142.854	67.189	29.994	26.048	171.532	0.710	116.876
	～14	2	179.600	255.162	226.643	211.047	149.046	95.970	91.342			
	～18	3	255.556	297.028	271.326	258.063	208.185	156.505	152.535			
	19～	4	290.769	333.021	311.313	296.280	245.093	200.984	197.580			
疎密度 (X_2) Crown density	密	1		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	67.108	0.434	−36.668
	中	2		−81.496	−78.145	−68.558	−49.182	−42.845	−42.895			
	疎，散	3		−141.798	−138.792	−112.877	−76.748	−65.927	−67.108			
標高 (X_3) Altitude	～900	1			0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	59.798	0.372	27.040
	～1200	2			59.621	64.918	58.442	60.954	59.798			
	～1500	3			6.241	15.785	13.990	27.780	29.450			
	1501～	4			29.644	26.783	20.311	17.194	18.912			
方位 (X_4) Azimuth	S. SW	1				0.000	0.000	0.000	0.000	38.929	0.341	13.721
	SE. E	2				−23.685	−14.998	−0.993	0.418			
	W. NW	3				33.303	35.011	38.099	38.929			
	N. NE	4				−0.089	10.826	16.488	15.535			
本数 (X_5) No. of tree	～150	1					0.000	0.000	0.000	76.807	0.459	39.980
	～250	2					39.416	44.615	43.132			
	251～	3					67.156	77.279	76.807			
混交歩合(N) (X_6) Mixture	～50	1						0.000	0.000	43.495	0.323	25.707
	～80	2						34.622	33.626			
	81～	3						44.451	43.495			
傾斜 (X_7) Tilt	緩，中	1							0.000	6.852	0.074	3.426
	急	2							6.852			
重相関係数 Multiple correlation coefficient			0.550	0.785	0.814	0.841	0.864	0.873	0.874			
要因群偏相関係数 Partial correlation coefficient of factors				0.671	0.348	0.364	0.366	0.248	0.087			

Table 41-9. 立木材積推定数値表 Standing tree volume estimation

i) 原 表 9-1-5. 北海道道有林エゾ，トド（天），スコア表 Hokkaido (Natural), soft wood, Score chart.

要因項目 Item of factors	カテゴリー Category of factors		X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	レンジ Range	偏相関係数 Partial correlation coefficient	平均値 Average
樹高(上) (X_1) Tree height (upper)	～14	1	113.333	106.713	112.722	121.903	182.030	68.546	87.491	78.229	75.516	50.680	0.377	98.863
	～19	2	187.045	172.911	184.395	186.428	210.805	103.693	120.145	119.725	94.876			
	20～	3	266.087	231.911	246.385	257.994	253.821	147.108	160.187	154.064	126.196			
樹高(全) (X_2) Tree height (whole)	～10	1		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	11.537	0.217	2.279
	～14	2		19.860	22.581	28.483	50.250	3.227	2.159	12.745	11.537			
	15～	3		41.811	37.638	14.393	31.624	−13.681	−18.862	0.686	−4.701			
直径(上) (X_3) D. B. H. (upper)	～24	1			0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	102.432	0.527	48.591
	～34	2			−20.749	−19.763	−21.268	41.620	48.228	37.928	30.552			
	～42	3			−3.007	−11.452	−11.188	77.645	78.637	64.707	61.378			
	43～	4			−24.713	−32.602	−4.253	104.660	105.230	104.221	102.432			
直径(全) (X_4) D. B. H. (whole)	～16	1				0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	52.555	0.478	20.492
	～24	2				−17.214	−12.930	7.640	7.838	− 2.576	8.922			
	25～	3				39.365	37.939	47.860	46.510	37.292	52.555			
疎密度 (X_5) Crown density	密 d	1					0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	102.738	0.639	45.752
	中 c	2					−63.265	−33.734	−33.605	−33.168	−34.518			
	疎 b	3					−145.950	−79.764	−80.684	−91.364	−102.738			
本数 (X_6) No. of tree	～150	1						0.000	0.000	0.000	0.000	138.405	0.728	61.002
	～250	2						47.617	40.088	44.470	33.596			
	～400	3						92.499	83.947	86.505	72.007			
	401～	4						157.661	153.168	151.008	138.405			
標高 (X_7) Altitude	～100	1							0.000	0.000	0.000	5.116	0.067	2.768
	～200	2							−26.829	−29.306	5.018			
	～300	3							−26.683	−24.594	0.937			
	301～	4							−11.691	−18.161	5.116			
方位 (X_8) Azimuth	S. SW	1								0.000	0.000	31.160	0.396	4.650
	E. SE	2								−2.210	−7.037			
	W. NW	3								5.276	1.514			
	N. NE	4								25.787	24.123			
混交歩合 (X_9) Mixture	～20	1									0.000	60.173	0.480	9.408
	～50	2									−19.820			
	～80	3									40.353			
	81～	4									17.098			
重相関係数 Multiple correlation coefficient			0.541	0.560	0.573	0.619	0.787	0.900	0.907	0.916	0.927			
要因群偏相関係数 Partial correlation coefficient of factors				0.173	0.141	0.286	0.618	0.708	0.261	0.300	0.352			

Table 43-1. 立 木 本 数 推 定 数 値 表
Estimation value no. of standing tree

a） 原表-1. 7 ブロック，スギ（人，全本数），スコア表 7 Block, *Cryptomeria japonica* (Artificial, Whole).

要因項目 Item of factors	カテゴリー Category of factors		X_1	X_2	X_3	X_4	レンジ Range	偏相関係数 Partial correlation coefficient	平均値 Average
林齢 (X_1) Age	～20	1	1475.333	529.357	523.680	1116.745	337.927	0.261	933.894
	～30	2	1121.538	646.389	611.217	883.923			
	～40	3	1113.333	508.588	477.701	934.602			
	～50	4	700.000	487.724	326.782	778.818			
	～60	5	789.048	586.880	443.137	900.270			
	61～	6	660.000	508.374	409.925	989.006			
本数(上) (X_2) No. of upper tree	～600	1		0.000	0.000	0.000	1096.143	0.717	534.241
	～1200	2		707.588	706.605	506.581			
	1201～	3		1319.505	1332.652	1096.143			
樹高(上) (X_3) Tree height (Upper)	～10	1			0.000	0.000	334.111	0.347	−127.301
	～14	2			38.103	−33.899			
	～18	3			169.132	−38.700			
	～23	4			76.791	−334.111			
	24～	5			221.995	−229.793			
疎密度 (X_4) Crown density	密	1				0.000	724.167	0.574	−332.420
	中	2				−74.583			
	疎	3				−530.931			
	散	4				−724.167			
重相関係数 Multiple correlation coefficient			0.484	0.802	0.808	0.866			
要因群偏相関係数 Partial correlation coefficient of factors				0.731	0.165	0.529			

Table 43-2. 立 木 本 数 推 定 数 値 表
Estimation value no. of standing tree

b) 原表-2. 9 ブロック，スギ（人，全本数），スコア表 9 Block, *Cryptomeria japonica* (Artificial, Whole).

要因項目 Item of factors	カテゴリー Category of factors		X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	レンジ Range	偏相関係数 Partial correlation coefficient	平均値 Average
林齢 (X_1) Age	～10	1	4250.000	1650.824	1699.051	1832.888	1911.630	414.813	0.433	1040.370
	～20	2	1567.273	670.824	719.051	777.924	902.561			
	～30	3	1252.222	643.067	823.603	920.137	960.850			
	～40	4	1185.217	553.199	769.487	869.713	920.279			
	～50	5	1146.667	551.458	784.980	881.581	926.689			
	～60	6	818.108	503.894	736.806	859.198	883.765			
	61～	7	608.000	404.297	628.901	720.390	776.817			
本数(上) (X_2) No. of upper tree	～600	1		0.000	0.000	0.000	0.000	2367.439	0.862	922.759
	～1200	2		383.556	383.895	378.901	360.681			
	～2500	3		1018.515	1020.965	1008.584	962.914			
	2501～	4		2599.176	2550.949	2492.076	2367.439			
樹高(全) (X_3) Tree height (Whole)	～10	1			0.000	0.000	0.000	357.064	0.365	−246.981
	～14	2			−165.993	−188.454	−243.338			
	～18	3			−244.733	−278.581	−320.747			
	～25	4			−229.482	−264.152	−313.758			
	26～	5			−239.869	−289.297	−357.064			
標高 (X_4) Altitude	～300	1				0.000	0.000	47.010	0.089	−30.715
	～600	2				−74.964	−45.135			
	601～	3				−89.281	−47.010			
疎密度 (X_5) Crown density	密	1					0.000	338.738	0.235	−102.202
	中	2					16.066			
	疎	3					−322.672			
重相関係数 Multiple correlation coefficient			0.715	0.934	0.937	0.939	0.941			
要因群偏相関係数 Partial correlation coefficient of factors				0.860	0.210	0.175	0.178			

Table 43-3. 立 木 本 数 推 定 数 値 表
Estimation value by no. of standing tree

c） 原表-3. 10 ブロック，スギ（人，全本数），スコア数 10 Block, *Cryptomeria japonica* (Artificial, Whole).

要因項目 Item of factors	カテゴリー Category of factors		X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	レンジ Range	偏相関係数 Partial correlation coefficient	平均値 Average
林齢 (X_1) Age	～20	1	2418.235	1057.209	1279.968	1468.244	1258.060	638.475	0.399	891.540
	～30	2	2156.667	834.498	1058.252	1064.788	747.363			
	～40	3	1574.667	511.295	885.497	888.485	619.585			
	～50	4	1495.000	572.102	872.117	883.005	672.155			
	～60	5	919.615	614.271	1101.728	1142.242	895.797			
	61～	6	1036.346	756.447	1253.335	1336.073	1156.278			
本数(上) (X_2) No. of upper tree	～600	1		0.000	0.000	0.000	0.000	1323.875	0.572	642.112
	～1200	2		661.580	548.577	486.309	602.461			
	1201～	3		1404.742	1176.263	1178.393	1323.875			
樹高(上) (X_3) Tree height (Upper)	～10	1			0.000	0.000	0.000	699.785	0.331	−373.195
	～14	2			−18.236	−43.673	−89.993			
	～18	3			−416.967	−396.479	−430.945			
	～23	4			−566.408	−628.617	−699.785			
	24～	5			−635.995	−702.042	−645.253			
疎密度 (X_4) Crown density	密	1				0.000	0.000	722.651	0.297	−302.955
	中	2				29.382	47.318			
	疎	3				−453.780	−583.804			
	散	4				−889.594	−675.333			
傾斜 (X_5) Tilt	平	1					0.000	830.953	0.345	−23.709
	緩	2					172.604			
	中	3					281.757			
	急	4					−549.196			
重相関係数 Multiple correlation coefficient			0.654	0.760	0.781	0.796	0.820			
要因群偏相関係数 Partial correlation coefficient of factors				0.512	0.277	0.246	0.325			

Table 43-4. 立 木 本 数 推 定 数 値 表
Estimation by no. of standing tree

d) 原表-4. 8 ブロック，スギ（人，全本数），スコア表 8 Block, *Cryptomeria japonica* (Artificial, Whole).

要因項目 Item of factors	カテゴリー Category of factors		X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	レンジ Range	偏相関係数 Partial correlation coefficient	平均値 Average
林齢 (X_1) Age	～12	1	3957.500	616.759	456.152	505.655	602.579	368.742	0.273	744.915
	～24	2	3110.000	956.169	872.703	936.366	971.321			
	～32	3	2365.625	1021.053	582.998	633.592	681.315			
	～38	4	3055.556	1336.630	775.786	827.924	911.770			
	～46	5	2085.714	1047.108	587.062	625.580	691.056			
	47～	6	1669.333	988.841	488.132	527.984	611.449			
本数 (X_2) No. of tree	～1200	1		0.000	0.000	0.000	0.000	3475.378	0.902	1300.521
	～1500	2		451.916	365.786	356.261	354.484			
	～2000	3		1072.722	960.042	943.200	958.844			
	～3000	4		1830.653	1737.020	1710.084	1713.897			
	3001～	5		3340.741	3501.348	3451.845	3475.378			
樹高 (X_3) Tree height	～ 6	1			0.000	0.000	0.000	766.037	0.492	422.783
	～10	2			750.263	737.872	766.037			
	～14	3			606.239	578.035	594.115			
	15～	4			378.870	348.289	330.979			
疎密度 (X_4) Crown density	密	1				0.000	0.000	108.536	0.060	−54.268
	中疎	2				−104.831	−108.536			
傾斜 (X_5) Tilt	緩	1					0.000	137.760	0.111	−68.769
	中	2					−68.547			
	急	3					−137.760			
重相関係数 Multiple correlation coefficient			0.576	0.906	0.922	0.922	0.923			
要因群偏相関係数 Partial correlation coefficient of factors				0.855	0.404	0.000	0.111			

Table 43-5. 立 木 本 数 推 定 数 値 表
Estimation by no. of standing tree

e） 原表-5. 8 ブロック，ヒノキ（天，全本数），スコア表 8 Block, *C. obtusa* (Natural, Whole).

要因項目 Item of factors	カテゴリー Category of factors		X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	レンジ Range	偏相関係数 Partial correlation coefficient	平均値 Average
林齢 (X_1) Age	～200	1	624.286	210.365	189.743	159.414	171.479	61.263	0.210	153.073
	～250	2	408.000	186.822	165.898	136.388	113.238			
	251～	3	335.000	177.260	161.286	142.339	174.501			
本数(上) (X_2) No. of upper tree	～200	1		0.000	0.000	0.000	0.000	695.648	0.849	337.351
	～350	2		193.036	195.439	206.527	193.913			
	～550	3		419.180	426.674	447.787	459.841			
	551～	4		633.052	646.629	670.742	695.648			
樹高(全) (X_3) Tree height (Whole)	～18	1			0.000	0.000	0.000	96.963	0.195	65.193
	～22	2			4.643	11.957	70.100			
	～26	3			26.545	41.357	93.710			
	27～	4			17.720	11.846	96.963			
疎密度 (X_4) Crown density	密	1				0.000	0.000	86.403	0.201	41.779
	中	2				26.522	38.935			
	疎，散	3				92.607	86.403			
方位 (X_5) Azimuth	S.SW	1					0.000	181.206	0.340	− 39.597
	E.SE	2					59.649			
	W.NW	3					−73.489			
	平坦	4					−121.557			
	N.NE	5					−62.590			
重相関係数 Multiple correlation coefficient			0.363	0.846	0.847	0.852	0.867			
要因群偏相関係数 Partial correlation coefficient of factors				0.820	0.077	0.173	0.307			

Table 43-6. 立 木 本 数 推 定 数 値 表
Estimation by no. of standing tree

f） 原表-7. 8 ブロック，カラマツ（人，全本数），スコア表 8 Block, *L. leptolepis* (Artificial, Whole).

要因項目 Item of factors	カテゴリー Category of factors		X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	レンジ Range	偏相関係数 Partial correlation coefficient	平均値 Average
林齢 (X_1) Age	～10	1	2670.000	427.282	424.494	663.267	993.272	145.888	0.134	1045.832
	～20	2	1892.222	520.318	551.219	773.913	1139.160			
	～32	3	1009.167	403.849	444.069	650.705	999.162			
	～50	4	549.487	268.625	298.913	564.950	1036.695			
	51～	5	510.000	451.821	381.688	614.507	1060.869			
本数(上) (X_2) No. of upper tree	～500	1		0.000	0.000	0.000	0.000	2577.549	0.913	931.184
	～700	2		258.965	319.832	180.903	279.037			
	～900	3		396.962	471.870	368.624	487.591			
	～1100	4		744.796	784.805	595.205	612.273			
	～1500	5		882.917	934.275	816.446	960.291			
	～2500	6		1720.728	1733.142	1513.961	1601.545			
	2501～	7		2764.707	2757.870	2537.128	2577.549			
樹高(全) (X_3) Tree height (Whole)	～ 6	1			0.000	0.000	0.000	332.359	0.352	−152.471
	～11	2			−81.358	−77.731	−86.848			
	～14	3			−92.480	−195.721	−274.534			
	～17	4			3.861	−165.300	−193.165			
	～20	5			−138.074	−192.980	−266.754			
	～23	6			−92.578	−210.814	−289.179			
	24～	7			343.362	220.749	43.180			
疎密度 (X_4) Crown density	密	1				0.000	0.000	364.394	0.422	−161.487
	中	2				−94.057	−120.067			
	疎，散	3				−363.529	−364.394			
標高 (X_5) Altitude	～1000	1					0.000	524.310	0.343	−324.580
	～1200	2					−363.144			
	～1400	3					−410.866			
	1401～	4					−524.310			
重相関係数 Multiple correlation coefficient			0.772	0.927	0.937	0.944	0.947			
要因群偏相関係数 Partial correlation coefficient of factors				0.807	0.364	0.328	0.228			

Table 43-7. 立 木 本 数 推 定 数 値 表
Estimation by no. of standing trees

g） 原表-9. 北海道道有林エゾ，トド（全本数） Hokkaido region softwood (Natural, Whole).

要因項目 Item of factors	カテゴリー Category of factors		X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	レンジ Range	偏相関係数 Partial correlation coefficient	平均値 Average
本数(上) (X_1) No. of upper tree	～150	1	542.897	784.960	710.138	472.055	922.511	374.299		925.888
	～250	2	771.120	852.327	670.985	384.418	758.300			
	～400	3	956.364	1107.565	900.730	542.249	890.140			
	401～	4	1366.000	1366.000	1232.577	757.723	1132.599			
疎密度 (X_2) Crown density	密, d	1		0.000	0.000	0.000	0.000	625.012		−301.853
	中, c	2		−290.026	−261.917	−253.868	−280.546			
	疎, b	3		−530.111	−503.440	−468.978	−625.012			
混交歩合 (X_3) Mixture	～20	1			0.000	0.000	0.000	824.024		168.163
	～50	2			−126.092	−127.621	−252.108			
	～80	3			299.194	516.234	571.916			
	81～	4			133.423	334.380	352.842			
標高 (X_4) Altitude	～100	1				0.000	0.000	363.984		185.517
	～200	2				382.545	363.984			
	～300	3				99.723	60.177			
	301～	4				317.440	317.908			
樹高(上) (X_5) Tree height (upper)	～14	1					0.000	501.483		−286.122
	～19	2					−356.882			
	20～	3					−501.483			
重相関係数 Multiple correlation coefficient			0.556	0.656	0.724	0.786	0.815			
要因群偏相関係数 Partial correlation coefficient of factors				0.419	0.406	0.444	0.349			

Table 45-1. 直径推定数値表 D. B. H. Estimation

a) 原表-1. 7 ブロック，スギ（人），直径（上），スコア表 7 Block, *Cryptomeria japonica* (Upper story, Artificial).

要因項目 Item of factors	カテゴリー Category of factors		X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	レンジ Range	偏相関係数 Partial correlation coefficient	平均値 Average
林齢 (X_1) Age	～20	1	12.000	19.600	17.389	17.460	15.434	16.907	12.251	6.318	0.343	15.958
	～30	2	19.692	23.788	22.793	22.988	17.603	18.151	14.220			
	～40	3	22.833	27.271	25.692	25.877	17.922	18.244	15.578			
	～50	4	32.600	34.668	34.432	35.420	20.911	20.953	18.569			
	～60	5	34.095	36.065	35.007	35.667	20.857	21.109	18.482			
	61～	6	30.857	32.334	31.585	32.508	17.986	18.353	16.648			
本数(上) (X_2) No. of upper tree	～600	1		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	6.143	0.424	−3.336
	～1200	2		−6.893	−6.435	−5.880	−4.619	−4.994	−3.865			
	1201～	3		−9.392	−9.423	−9.548	−6.881	−7.189	−6.143			
方位 (X_3) Azimuth	S. SW	1			0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	4.865	0.375	2.325
	E. SE	2			3.247	2.916	2.314	2.418	1.202			
	W. NW	3			−1.004	−1.233	0.561	0.512	1.310			
	平坦	4			2.463	1.801	2.489	2.755	4.865			
	N. NE	5			3.504	4.074	2.335	2.088	4.246			
標高 (X_4) Altitude	～200	1				0.000	0.000	0.000	0.000	1.060	0.083	−0.112
	～300	2				−0.196	1.152	1.096	0.362			
	301～	3				−3.574	0.815	1.239	−0.698			
樹高(上) (X_5) Tree height (upper)	～10	1					0.000	0.000	0.000	19.748	0.711	8.939
	～14	2					5.497	5.459	4.838			
	～18	3					7.223	7.417	5.976			
	～23	4					16.006	15.936	14.133			
	24～	5					20.731	20.775	19.748			
疎密度 (X_6) Crown density	密	1						0.000	0.000	1.702	0.127	0.238
	中	2						−0.332	1.288			
	疎	3						−1.552	0.077			
	散	4						0.273	−0.414			
傾斜 (X_7) Tilt	平	1							0.000	5.369	0.495	1.249
	緩	2							5.035			
	中	3							−0.334			
	急	4							0.295			
重相関係数 Multiple correlation coefficient			0.755	0.811	0.827	0.834	0.902	0.903	0.923			
要因群偏相関係数 Partial correlation coefficient of factors				0.452	0.277	0.192	0.623	0.098	0.445			

Table 45-2. 直径推定数値表 D. B. H. Estimation

b） 原表-2. 9 ブロック，スギ（人），直径（全），スコア表 9 Block, *Cryptomeria japonica* (Whole, Artificial).

要因項目 Item of factors	カテゴリー Category of factors		X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	レンジ Range	偏相関係数 Partial correlation coefficient	平均値 Average
林齢 (X_1) Age	～10	1	6.000	14.985	25.220	21.702	21.722	21.270	21.084	0.642	30.193
	～20	2	11.818	18.985	24.191	21.969	22.079	24.212			
	～30	3	19.111	25.642	27.817	25.668	25.872	28.028			
	～40	4	22.000	28.847	30.239	28.266	28.333	31.015			
	～50	5	22.667	29.321	32.322	28.880	29.028	31.718			
	～60	6	28.000	32.228	33.381	30.367	30.638	32.751			
	61～	7	40.000	41.774	42.194	39.495	39.423	42.354			
本数(上) (X_2) No. of upper tree	～600	1		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	11.122	0.526	−6.206
	～1200	2		−5.548	−6.483	−4.971	−4.881	−4.752			
	～2500	3		−8.868	−10.971	−8.916	−8.927	−8.950			
	2501～	4		−8.985	−14.191	−11.969	−12.079	−11.122			
疎密度 (X_3) Crown density	密	1			0.000	0.000	0.000	0.000	9.576	0.389	−4.194
	中	2			−5.029	−3.733	−3.767	−3.005			
	疎	3			−10.536	−9.322	−8.882	−9.576			
樹冠直径 (X_4) Crown diameter	～29	1				0.000	0.000	0.000	4.472	0.350	1.685
	～39	2				0.104	0.035	0.583			
	40～	3				3.744	3.789	4.472			
標高 (X_5) Altitude	～300	1					0.000	0.000	2.393	0.200	−1.179
	～600	2					0.124	−1.143			
	601～	3					−0.610	−2.393			
傾斜 (X_6) Tilt	平	1						0.000	3.865	0.313	−0.983
	緩	2						0.776			
	中	3						−1.619			
	急	4						−3.089			
重相関係数 Multiple correlation coefficient			0.794	0.844	0.873	0.884	0.885	0.895			
要因群偏相関係数 Partial correlation coefficient of factors				0.471	0.416	0.285	0.090	0.287			

Table 45-3. 直径推定数値表 D. B. H. Estimation

c) 原表-3. 10 ブロック，スギ（人），直径（上），スコア表 10 Block, *Cryptomeria japonica* (Upper story, Artificial).

要因項目 Item of factors	カテゴリー Category of factors		X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	レンジ Range	偏相関係数 Partial correlation coefficient	平均値 Average
林齢 (X_1) Age	～20	1	10.824	10.580	9.943	11.113	20.966	21.829	22.479	3.471	0.294	24.427
	～30	2	16.444	14.606	14.218	15.291	25.610	26.243	25.950			
	～40	3	20.400	14.751	13.567	14.656	23.937	25.270	25.077			
	～50	4	20.000	14.684	13.872	15.230	23.967	24.685	24.466			
	～60	5	32.308	18.933	17.752	18.872	24.878	25.356	24.539			
	61～	6	33.615	19.405	18.334	19.655	25.318	24.889	24.049			
樹高(上) (X_2) Tree height (upper)	～10	1		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	19.459	0.794	9.228
	～14	2		4.136	4.884	4.909	3.306	2.823	3.388			
	～18	3		9.742	10.656	10.669	8.264	7.011	7.641			
	～23	4		17.984	19.098	18.941	14.592	14.493	15.653			
	24～	5		22.478	22.418	22.231	17.237	18.163	19.459			
方位 (X_3) Azimuth	S.SW	1			0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.273	0.150	−0.022
	E.SE	2			−0.533	−0.529	−0.479	−0.264	−0.643			
	W.NW	3			0.590	0.738	0.454	0.677	0.630			
	平坦	4			2.638	1.494	2.471	1.095	0.432			
	N.NE	5			−0.374	−0.332	−0.303	−0.023	−0.530			
傾斜 (X_4) Tilt	平	1				0.000	0.000	0.000	0.000	2.222	0.140	−1.033
	緩	2				−1.067	−0.859	−1.056	−1.087			
	中	3				−1.189	−1.689	−1.261	−0.822			
	急	4				−2.760	−1.933	−1.487	−2.222			
本数(上) (X_5) No. of upper tree	～600	1					0.000	0.000	0.000	10.311	0.654	−4.889
	～1200	2					−5.361	−4.331	−4.357			
	1201～	3					−10.196	−10.262	−10.311			
疎密度 (X_6) Crown density	密	1						0.000	0.000	18.326	0.518	3.183
	中	2						−1.633	−1.728			
	疎	3						−1.568	−1.934			
	散	4						15.005	16.392			
標高 (X_7) Altitude	～500	1							0.000	2.413	0.222	0.462
	～800	2							−0.514			
	801～	3							1.899			
重相関係数 Multiple correlation coefficient			0.805	0.913	0.918	0.918	0.939	0.950	0.952			
要因群偏相関係数 Portial correlation coefficient of factors				0.726	20235	0.000	0.498	0.419	0.198			

Table 45-4. 直径推定数値表 D. B. H. Estimation

d） 原表-6. 7 ブロック，アカマツ（人），直径スコア表 7 Block, *P. densiflora* (Whole, Artificial).

要因項目 Item of factors	カテゴリー Category of factors		X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	レンジ Range	偏相関係数 Partial correlation coefficient	平均値 Average
林齢 (X_1) Age	～25	1	12.667	26.777	21.577	20.476	18.273	19.527	19.353	8.724	0.469	23.837
	～31	2	16.440	30.510	24.303	23.181	22.027	23.446	23.247			
	～39	3	21.077	31.603	25.537	24.385	23.310	24.263	23.935			
	～49	4	26.800	33.604	26.461	25.592	24.253	24.955	24.573			
	50～	5	34.077	37.151	30.045	29.285	27.763	28.411	28.077			
本数 (X_2) No. of tree	～349	1		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	10.357	0.652	− 6.587
	～499	2		−7.945	−7.196	−6.856	−6.939	−7.297	−7.265			
	～699	3		−10.200	−8.979	−8.347	−8.337	−8.773	−8.724			
	700～	4		−14.110	−10.940	−9.829	−9.465	−10.206	−10.357			
樹高 (X_3) Tree height	～10	1			0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	9.759	0.551	4.745
	～14	2			3.045	3.029	3.396	3.053	3.095			
	～18	3			6.008	6.242	6.442	6.108	6.127			
	19～	4			9.756	9.954	10.274	9.776	9.759			
疎密度 (X_4) Crown density	密	1				0.000	0.000	0.000	0.000	0.623	0.076	0.312
	中	2				0.927	0.939	0.625	0.623			
標高 (X_5) Altitude	～149						0.000	0.000	0.000	2.462	0.302	1.063
	～299						2.153	2.492	2.462			
	300～						0.477	0.793	0.726			
方位 (X_6) Azimuth	S. SW							0.000	0.000	2.429	0.168	−0.453
	E. SE							−1.677	−1.639			
	W. NW							−0.169	−0.076			
	平坦							0.587	0.790			
	N. NE							−1.417	−1.339			
傾斜 (X_7) Tilt	平緩								0.000	0.442	0.056	0.213
	中								0.442			
	急								0.197			
重相関係数 Multiple correlation coefficient			0.761	0.887	0.915	0.916	0.922	0.923	0.924			
要因群偏相関係数 Partial correlation coefficient of factors				0.702	0.486	0.106	0.262	0.111	0.112			

Table 45-5. 直径推定数値表 D. B. H. Estimation

e) 原表-7. 8 ブロック，カラマツ（人），直径（全），スコア表 8 Block, *L. leptolepis* (Whole, Artificial).

要因項目 Item of factors	カテゴリー Category of factors		X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	レンジ Range	偏相関係数 Partial correlation coefficient	平均値 Average
林齢 (X_1) Age	～10	1	5.000	5.000	4.848	3.885	9.751	11.446	15.878	2.132	0.149	17.403
	～20	2	12.222	7.998	7.966	6.796	13.194	14.676	17.628			
	～32	3	16.667	10.494	10.195	8.777	14.764	15.976	18.010			
	～50	4	22.718	11.666	10.867	9.426	16.567	17.604	17.512			
	51～	5	29.630	12.675	11.993	10.476	17.242	18.092	17.988			
樹高 (X_2) Tree height	～ 6	1		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	22.457	0.869	11.223
	～11	2		5.224	4.830	5.222	4.640	4.811	3.603			
	～14	3		7.450	7.938	8.425	8.129	8.679	8.964			
	～17	4		9.930	10.541	11.002	10.327	10.587	9.755			
	～20	5		19.240	18.847	19.167	18.365	18.656	18.237			
	～23	6		16.529	16.392	16.897	15.896	16.509	15.548			
	24～	7		25.690	25.607	25.603	22.641	23.248	22.457			
疎密度 (X_3) Crown density	密	1			0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.301	0.142	0.674
	中	2			0.762	0.917	0.774	0.708	0.722			
	疎散	3			2.376	2.332	2.359	2.521	1.301			
傾斜 (X_4) Tilt	平	1				0.000	0.000	0.000	0.000	2.637	0.270	0.691
	緩	2				1.988	2.908	1.614	2.200			
	中	3				0.830	2.085	0.815	1.001			
	急	4				0.596	1.169	−0.278	−0.437			
標高 (X_5) Altitude	～1000	1					0.000	0.000	0.000	5.887	0.342	−3.746
	～1200	2					−6.428	−6.268	−5.116			
	～1400	3					−7.598	−7.374	−5.887			
	1401～	4					−7.440	−7.124	−3.981			
方位 (X_6) Azimuth	S. SW	1						0.000	0.000	2.339	0.254	−0.732
	E. SE	2						−0.978	−1.414			
	W. NW	3						0.323	0.389			
	平坦	4						−1.632	−0.686			
	N. NE	5						−1.309	−1.950			
本数 (X_7) No. of tree	～500	1							0.000	−7.135	0.449	−3.979
	～700	2							−3.762			
	～900	3							−3.908			
	～1100	4							−1.326			
	～1500	5							−7.135			
	～2500	6							−5.106			
	2501～	7							−6.613			
重相関係数 Multiple correlation coefficient			0.725	0.923	0.927	0.929	0.936	0.937	0.944			
要因群偏相関係数 Partial correlation coefficient of factors				0.829	0.224	0.162	0.309	0.123	0.328			

Table 45-6. 直径推定数値表 D. B. H. Estimation

f） 原表-4. 8 ブロック，ヒノキ（人），直径（全），スコア表 8 Block, *C. obtusa* (Whole, Artificial).

要因項目 Item of factors	カテゴリー Category of factors		X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	レンジ Range	偏相関係数 Partial correlation coefficient	平均値 Average
林齢 (X_1) Age	～12	1	5.500	5.500	10.296	10.928	11.126	11.366	11.666	6.977	0.617	15.417
	～24	2	7.143	6.754	11.160	12.168	12.427	12.280	12.413			
	～32	3	14.125	10.947	14.149	15.323	15.519	15.504	15.628			
	～38	4	14.667	10.834	15.081	16.619	16.805	16.911	17.113			
	～46	5	17.048	12.425	15.528	16.826	16.966	16.871	17.039			
	47～	6	19.400	14.033	16.578	18.255	18.395	18.416	18.643			
樹高(全) (X_2) Tree height (whole)	～ 6	1		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	5.479	0.573	2.944
	～10	2		2.719	2.631	2.372	2.315	2.133	2.244			
	～14	3		4.996	4.681	4.048	3.940	3.945	4.051			
	15～	4		7.703	6.613	5.492	5.386	5.452	5.479			
本数(上) (X_3) No. of upper tree	～1200	1			0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	5.518	0.671	−3.101
	～1500	2			−2.081	−2.096	−2.142	−2.207	−2.228			
	～2000	3			−2.935	−3.119	−3.189	−3.141	−3.138			
	～3000	4			−4.556	−4.561	−4.676	−4.638	−4.621			
	3001～	5			−4.796	−5.162	−5.348	−5.532	−5.518			
標高 (X_4) Altitude	～1000	1				0.000	0.000	0.000	0.000	1.009	0.220	−0.633
	～1200	2				−1.127	−1.115	−0.934	−0.891			
	1201～	3				−1.256	−1.205	−1.013	−1.009			
疎密度 (X_5) Crown density	密	1					0.000	0.000	0.000	0.335	0.044	−0.168
	中疎	2					−0.482	−0.341	0.335			
方位 (X_6) Azimuth	S. SW	1						0.000	0.000	1.020	0.213	−0.076
	E. SE	2						0.332	0.369			
	W. NW	3						−0.054	−0.020			
	N. NE	4						−0.626	−0.651			
傾斜 (X_7) Tilt	緩	1							0.000	0.361	0.074	−0.233
	中	2							−0.361			
	急	3							−0.339			
重相関係数 Multiple correlation coefficient			0.801	0.887	0.933	0.938	0.938	0.940	0.940			
要因群偏相関係数 Partial correlation coefficient of factors				0.636	0.627	0.269	0.000	0.177	0.000			

Table 45-7. 直径推定数値表 D. B. H. Estimation

g) 原表-5. 8 ブロック，ヒノキ（天），直径（全），スコア表 8 Block, *C. obtusa* (Whole, Natural).

要因項目 Item of factors	カテゴリー Category of factors		X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	レンジ Range	偏相関係数 Partial correlation coefficient	平均値 Average
林齢 (X_1) Age	～200	1	36.571	45.978	38.602	39.620	40.246	40.858	42.052	4.195	0.358	44.493
	～250	2	46.457	51.502	42.823	43.882	44.108	45.250	46.247			
	251～	3	45.600	48.995	42.611	42.505	42.822	43.982	45.181			
本数(上) (X_2) No. of upper tree	～200	1		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	11.338	0.682	−5.715
	～350	2		−3.953	−2.811	−3.407	−2.883	−3.316	−3.102			
	～550	3		−10.226	−7.199	−8.524	−8.355	−8.559	−8.420			
	551～	4		−14.588	−10.020	−10.985	−10.764	−10.052	−11.338			
樹高(全) (X_3) Tree height (whole)	～18	1			0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	7.420	0.431	3.543
	～22	2			4.616	3.656	2.706	2.466	2.329			
	～26	3			7.415	5.705	5.240	4.853	4.421			
	27～	4			10.442	9.531	8.111	7.757	7.420			
標高 (X_4) Altitude	～1000	1				0.000	0.000	0.000	0.000	5.010	0.370	−0.401
	～1100	2				−1.343	−2.127	−3.574	−3.095			
	～1200	3				−0.880	−0.771	−1.082	−1.312			
	～1300	4				2.650	2.719	1.895	1.915			
	1301～	5				1.660	1.874	0.301	0.485			
疎密度 (X_5) Crown density	密	1					0.000	0.000	0.000	4.245	0.199	0.223
	中	2					−2.491	−1.312	−1.788			
	疎散	3					3.429	2.648	2.457			
方位 (X_6) Azimuth	S. SW	1						0.000	0.000	1.670	0.208	0.571
	E. SE	2						1.789	1.380			
	W. NW	3						1.586	1.430			
	平坦	4						1.266	0.285			
	N. NE	5						−0.205	−0.240			
傾斜 (X_7) Tilt	平	1							0.000	1.392	0.125	−0.652
	緩	2							−0.882			
	中	3							−0.333			
	急	4							−1.392			
重相関係数 Multiple correlation coefficient			0.469	0.763	0.834	0.850	0.859	0.864	0.866			
要因群偏相関係数 Partial correlation coefficient of factors				0.681	0.521	0.297	0.235	0.181	0.117			

Table 45-8. 直径推定数値表 D. B. H. Estimation

h） 原表-8. 10 ブロック，NL（天），直径（全），スコア表 10 Block, NL (Whole, Natural).

要因項目 Item of factors	カテゴリー Category of factors		X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	レンジ Range	偏相関係数 Partial correlation coefficient	平均値 Average
本数(上)（X_1） No. of upper tree	～150	1	36.545	30.652	30.602	30.456	31.091	29.057	7.220	0.418	25.291
	～250	2	31.294	25.721	25.754	25.543	25.891	24.980			
	251～	3	27.739	22.667	22.667	22.495	22.720	21.837			
樹高(上)（X_2） Tree height (upper)	～10	1		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	5.072	0.203	3.387
	～14	2		5.832	5.910	5.881	5.271	4.751			
	～18	3		6.162	6.392	6.393	5.608	5.072			
	19～	4		4.524	4.799	4.833	4.070	3.725			
樹冠直径（X_3） Crown diameter	～8.0	1			0.000	0.000	0.000	0.000	0.033	0.003	0.017
	9.0～	2			−0.351	−0.318	−0.085	0.033			
傾斜（X_4） Tilt	緩，中	1				0.000	0.000	0.000	0.270	0.025	0.135
	急	2				0.257	0.198	0.270			
混交歩合（X_5） Mixture	～50	1					0.000	0.000	2.430	0.161	1.119
	～80	2					−0.277	0.927			
	81～	3					1.145	2.430			
方位（X_6） Azimuth	S.SW	1						0.000	3.045	0.199	0.582
	E.SE	2						2.231			
	W.NW	3						−0.814			
	N.NE	4						0.912			
重相関係数 Multiple correlation coefficient			0.493	0.538	0.539	0.539	0.549	0.570			
要因群偏相関係数 Partial correlation coefficient of factors				0.248	0.039	0.000	0.124	0.183			

Table 45-9. 直径推定数値表 D. B. H. Estimation

i) 原表-8. 10 ブロック, NL (天), 直径 (上), スコア表 10 Block, NL (Upper story, Natural).

要因項目 Item of factors	カテゴリー Category of factors		X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	レンジ Range	偏相関係数 Partial correlation coefficient	平均値 Average
本数(上) (X_1) No. of upper tree	～150	1	43.173	30.863	30.748	29.869	28.518	27.250	7.147	0.514	24.264
	～250	2	42.294	29.525	29.601	28.322	26.368	25.439			
	251～	3	34.522	24.000	24.000	22.964	21.087	20.103			
樹高(上) (X_2) Tree upper height	～10	1		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	13.858	0.474	8.686
	～14	2		10.791	10.967	10.793	9.297	9.243			
	～18	3		13.148	13.669	13.674	11.884	11.642			
	19～	4		14.453	15.078	15.281	13.980	13.858			
樹冠直径 (X_3) Crown diameter	～80	1			0.000	0.000	0.000	0.000	0.344	0.033	0.172
	90～	2			−0.797	−0.596	0.341	0.344			
傾斜 (X_4) Tilt	緩, 中	1				0.000	0.000	0.000	1.191	0.121	0.596
	急	2				1.555	1.132	1.191			
混交歩合 (X_5) Mixture	～50	1					0.000	0.000	5.039	0.321	2.881
	～80	2					3.238	3.605			
	81～	3					4.508	5.039			
方位 (X_6) Azimuth	S. SW	1						0.000	1.483	0.120	0.829
	E. SE	2						1.215			
	W. NW	3						0.617			
	N. NE	4						1.483			
重相関係数 Multiple correlation coefficient			0.569	0.701	0.703	0.710	0.739	0.743			
要因群偏相関係数 Partial correlation coefficient of factors				0.498	0.074	0.140	0.291	0.114			

Table 45-10. 直径推定数値表 D. B. H. Estimation

j） 原表-9. 北海道道有林（天），エゾ，トド直径（全） Hokkaido, soft wood (Whole, Natural).

要因項目 Item of factors	カテゴリー Category of factors		X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	レンジ Range	偏相関係数 Partial correlation coefficient	平均値 Average
標高 (X_1) Altitude	～100	1	23.077	18.346	19.366	18.966	17.004	15.675	7.078	0.619	11.885
	～200	2	17.800	14.366	12.301	11.599	9.767	8.597			
	～300	3	20.615	17.890	16.589	16.369	15.116	13.509			
	301～	4	17.429	13.765	13.462	13.141	11.294	9.760			
樹高(上) (X_2) Tree height (upper)	～14	1		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	9.862	0.567	5.252
	～19	2		2.609	4.439	4.247	5.220	5.895			
	20～	3		6.737	8.278	7.958	8.987	9.862			
混交歩合 (X_3) Mixture	～20	1			0.000	0.000	0.000	0.000	6.173	0.440	−1.096
	～50	2			2.923	2.939	2.040	2.212			
	～80	3			−3.010	−3.125	−3.788	−3.961			
	81～	4			−2.340	−2.467	−2.418	−2.634			
方位 (X_4) Azimuth	S. SW	1				0.000	0.000	0.000	1.498	0.172	0.930
	E. SE	2				1.506	1.533	1.498			
	W. NW	3				1.013	1.274	1.304			
	N. NE	4				0.526	1.037	0.919			
本数(上) (X_5) No. of upper tree	～150	1					0.000	0.000	2.664	0.304	1.219
	～250	2					2.076	2.664			
	～400	3					0.738	1.266			
	401～	4					−0.138	0.947			
疎密度 (X_6) Crown density	密 d	1						0.000	2.234	0.161	1.015
	中 c	2						0.812			
	疎 b	3						2.234			
重相関係数 Multiple correlation coefficient			0.526	0.666	0.710	0.718	0.737	0.743			
要因群偏相関係数 Partial correlation coefficient of factors				0.480	0.330	0.152	0.239	0.139			

Table 48-1. トムラウシ,
Score charts of the Tomuraushi

a) トムラウシ, 天然林, 材積推定スコア表　　Score of factors for volume estimation

要因項目 Item of factors	カテゴリー Category of factors		X_1	X_2	X_3	X_4	X_5
大径木本数 (X_1) No. of large tree	0～99	1	179.061	225.412	227.821	210.103	229.087
	100～200	2	303.288	348.224	361.886	302.618	325.075
	200	3	382.857	425.413	434.685	354.814	370.920
局所地形 (X_2) Land type	山頂	1		0.000	0.000	0.000	0.000
	山腹 凸	2		−29.435	−26.083	−28.034	−30.784
	山腹 平	3		−34.762	−39.248	−43.747	−48.962
	山腹 凹	4		−69.425	−67.618	−65.327	−62.354
	低平地	5		−113.390	−127.070	−106.789	−105.680
	台地	6		−32.719	−41.989	−31.874	−34.037
径級構成 (X_3) Composition	O.O	1			0.000	0.000	0.000
	O.B	2			−28.926	−30.402	−30.622
	O.Y	3			−51.807	−79.782	−108.288
	O.B.Y	4			−1.268	−33.915	−44.435
	B.Y	5			80.838	4.949	3.188
樹冠疎密度 (X_4) Crown density	0～39	1				0.000	0.000
	40～74	2				11.719	18.164
	75～100	3				85.715	90.604
標高 (X_5) Altitude	～599	1					0.000
	600～699	2					−37.159
	700～799	3					−25.922
	800～899	4					−2.468
	900～	5					−47.313
位置 (X_6) Position	峰	1					
	上	2					
	下	3					
	谷	4					
樹高 (X_7) Tree height	～18	1					
	19～21	2					
	22～	3					
針広混交割合 (X_8) Mixture	N	1					
	N・L g	2					
	N・L u	3					
	N・L b	4					
	L	5					
重相関係数 Multiple correlation coefficient			0.771	0.760	0.783	0.834	0.849
要因群偏相関係数 Partial correlation coefficient of factors				0.147	0.082	0.212	0.088

本別推定数値表

and Hombetsu natural forest

Tomuraushi.

X_6	X_7	X_8	レンジ Range	偏相関係数 Partial correlation coefficient	平均値 Average
203.260 299.022 339.906	194.862 272.428 309.580	232.933 300.914 341.917	0.711	0.563	
0.000 −44.630 −65.933 −74.601 −123.274 −44.633	0.000 −53.100 −78.410 −81.943 −136.579 −53.399	5.000 −01.266 −76.966 −82.899 −125.665 −51.517	0.268	0.492	
0.000 −30.674 −112.083 −42.386 −13.377	0.000 −10.513 −100.905 −10.037 27.103	0.000 −17.173 −92.618 −17.602 11.423	0.220	0.285	
0.000 40.785 113.749	0.000 44.571 119.606	0.000 43.440 117.369	0.603	0.602	
0.000 −32.511 −22.722 −0.386 −39.230	0.000 −24.203 −38.676 −16.756 −63.190	0.000 −30.129 −40.233 −20.177 −62.383	0.093	0.332	
0.000 45.928 −0.059 21.261	0.000 33.378 −12.938 15.859	0.000 29.346 −13.613 13.071	0.029	0.294	
	0.000 41.736 92.284	0.000 20.089 66.096	0.467	0.364	
		0.000 −6.927 −23.773 14.023 −41.799	0.463	0.314	
0.862	0.884	0.894			
0.079	0.151	0.677			

Table 48-2. トムラウシ
Score charts of the Tomuraushi

b) トムラウシ，天然林，枯損量推定スコア表　Score of factors for damage estimation in

要因項目 Item of factors	カテゴリー Category of factors		X_1	X_2	X_3	X_4	X_5
標高 (X_1) Altitude	～599	1	13.429	10.347	2.179	−20.180	−20.788
	～699	2	22.316	22.633	12.349	−11.164	−12.650
	～799	3	26.326	26.436	22.892	1.057	0.762
	～899	4	38.672	43.392	36.356	15.915	15.717
	900～	5	69.120	72.917	77.811	71.354	67.654
傾斜 (X_2) Tilt	平	1		0.000	0.000	0.000	0.000
	緩	2		−15.643	−59.457	−56.405	−64.561
	中	3		−2.471	−39.660	−35.488	−43.147
	急	4		4.314	−31.822	−29.113	−34.549
方位 (X_3) Azimuth	無	1			0.000	0.000	0.000
	N	2			20.653	17.500	24.063
	NE	3			22.775	14.698	22.168
	E	4			22.967	22.841	32.225
	SE	5			69.560	66.772	71.893
	S	6			64.970	58.164	63.250
	SW	7			28.177	23.439	29.126
	W	8			51.560	47.146	51.256
	NW	9			47.651	46.386	51.461
位置 (X_4) Position	峰	1				0.000	0.000
	上	2				30.076	31.331
	下	3				21.806	25.343
	谷	4				24.778	25.889
針広混交割合 (X_5) Mixture	N	1					0.000
	NLg	2					−9.400
	NLu	3					13.964
	NLb	4					17.768
	L	5					−7.956
樹高 (X_6) Tree height	～18	1					
	～21	2					
	22～	3					
疎密度 (X_7) Crown density	疎	1					
	中	2					
	密	3					
径級混交 (X_8) Composition	O.O	1					
	O.B	2					
	O.Y	3					
	O.B.Y	4					
	B.Y	5					
重相関係数 Multiple correlation coefficient			0.363	0.392	0.542	0.577	0.600
要因群偏相関係数 Partial correlation coefficient of factors				0.159	0.407	0.235	0.201

本別推定数値表
and Hombetsu natural forest
Tomuraushi.

X_6	X_7	X_8	レンジ Range	偏相関係数 Partial correlation coefficient	平均値 Average
−20.205 −12.066 1.460 16.354 68.516	25.654 38.465 48.655 63.176 114.896	42.326 40.244 57.995 71.583 124.221	83.977	0.506	67.274
0.000 −64.597 −43.134 −34.690	0.000 −58.761 −38.332 −27.412	0.000 −66.799 −47.568 −34.857	66.799	0.410	−37.306
0.000 23.969 22.389 32.055 71.949 63.296 29.240 51.355 51.551	0.000 13.822 18.662 18.943 66.341 51.031 17.058 43.646 39.796	0.000 19.333 23.462 26.817 74.187 55.696 20.254 49.633 45.578	74.187	0.426	34.996
0.000 31.240 25.309 25.857	0.000 18.501 17.672 19.877	0.000 23.250 20.852 22.390	23.250	0.211	16.623
0.000 −9.542 13.772 17.616 −8.330	0.000 −10.394 1.883 12.855 −7.977	0.000 −12.765 2.766 15.620 −7.401	28.385	0.194	−0.356
0.000 −0.809 −0.332	0.000 −2.352 3.270	0.000 −12.320 −6.520	12.320	0.129	−6.280
	0.000 −46.932 −33.399	0.000 −48.080 −32.409	48.080	0.292	−26.830
		0.000 3.569 −3.362 −28.955 −26.833	32.524	0.212	−11.116
0.600	0.631	0.648			
0.000	0.244	0.190			

Table 48-3. トムラウシ,

Score charts of the Tomuraushi

c) トムラウシ天然林, 成長推定スコア表　　Score of factors for growth estimation in

要因項目 Item of factors	カテゴリー Category of factors		X_1	X_2	X_3	X_4	X_5
針広混交割合 (X_1) Mixture	N	1	53.415	67.483	46.642	38.960	39.312
	NL g	2	34.385	49.870	31.309	23.011	23.037
	NL u	3	28.875	42.617	27.385	22.810	23.143
	NL b	4	32.200	48.992	31.891	25.370	25.789
	L	5	10.280	26.133	8.655	2.052	2.322
局所地形 (X_2) Land type	山頂	1		0.000	0.000	0.000	0.000
	山腹 凸	2		−12.629	−10.072	−13.754	−13.939
	山腹 平	3		−14.369	−13.129	−17.543	−17.578
	山腹 凹	4		−18.001	−14.976	−17.961	−17.859
	低平地	5		−19.364	−17.560	−22.338	−22.420
	台地	6		−18.575	−14.668	−17.679	−17.895
疎密度 (X_3) Crown density	散疎	1			0.000	0.000	0.000
	中	2			6.949	14.126	14.059
	密	3			22.908	29.687	29.218
位置 (X_4) Position	峰	1				0.000	0.000
	上	2				12.764	12.570
	下	3				1.164	1.248
	谷	4				4.664	4.602
大径木本数 (X_5) No. of large tree	0〜75	1					0.000
	76〜150	2					−0.484
	151〜	3					1.118
方位 (X_6) Azimuth	無	1					
	N	2					
	NE	3					
	E	4					
	SE	5					
	S	6					
	SW	7					
	W	8					
	NW	9					
傾斜 (X_7) Tilt	平	1					
	緩	2					
	中	3					
	急	4					
径級混交状況 (X_8) Composition	O.O	1					
	O.B	2					
	O.Y	3					
	O.B.Y	4					
	B.Y	5					
樹高 (X_9) Tree height	0〜18	1					
	19〜21	2					
	22〜	3					
標高 (X_{10}) Altitude	0〜599m	1					
	600〜699	2					
	700〜799	3					
	800〜899	4					
	900〜	5					
重相関係数 Multiple correlation coefficient			0.736	0.764	0.842	0.861	0.862
要因群偏相関係数 Partial correlation coefficient of factors				0.303	0.549	0.333	0.082

本別推定数値表
and Hombetsu natural forest
Tomuraushi.

X_6	X_7	X_8	X_9	X_{10}	レンジ Range	偏相関係数 Partial correlation coefficient	平均値 Average
34.278	33.156	27.678	35.135	44.900	38.863	0.749	27.630
18.923	17.977	11.692	17.712	26.139			
20.805	18.025	13.062	19.220	28.727			
22.759	21.317	15.982	22.325	32.349			
−1.168	−4.199	−8.998	−4.161	6.037			
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	24.275	0.503	−17.954
−15.951	−19.321	−18.168	−16.823	−18.247			
−20.511	−24.327	−23.324	−22.171	−23.428			
−19.212	−23.678	−22.823	−21.828	−23.553			
−23.287	−17.640	−20.961	−22.661	−24.745			
−20.265	−18.695	−17.168	−17.423	−17.749			
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	23.922	0.489	12.145
17.555	16.282	15.020	13.172	12.512			
32.620	31.479	27.420	25.545	23.922			
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	12.495	0.382	1.757
13.128	12.630	10.772	10.519	9.606			
0.494	−1.711	−1.617	−1.870	−2.889			
3.738	1.528	1.755	1.524	0.310			
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	12.268	0.297	6.884
−0.463	1.129	6.547	8.458	8.385			
2.192	3.000	10.084	12.228	12.268			
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	9.477	0.287	3.605
−6.310	−16.251	−7.277	−5.704	−2.577			
0.040	−12.759	−4.339	−1.579	0.763			
6.364	−4.848	0.967	2.827	5.459			
2.858	−5.750	0.809	3.510	4.977			
6.266	−4.872	2.942	5.002	6.900			
6.230	−6.225	2.643	4.700	5.980			
4.091	−6.516	1.439	3.459	5.079			
4.337	−4.998	1.786	3.711	5.866			
	0.000	0.000	0.000	0.000	8.239	0.279	3.268
	11.915	5.595	2.931	1.114			
	14.796	8.586	5.171	3.719			
	21.375	14.069	9.982	8.239			
		0.000	0.000	0.000	19.854	0.270	5.121
		4.083	2.536	2.655			
		5.833	3.722	1.464			
		6.722	3.507	1.634			
		21.851	19.208	19.854			
			0.000	0.000	7.133	0.175	−4.353
			−6.277	−5.927			
			−7.493	−7.133			
				0.000	9.747	0.172	−5.970
				−6.669			
				−6.712			
				−6.721			
				−9.747			
0.877	0.886	0.895	0.898	0.899			
0.319	0.262	0.273	0.164	0.096			

Table 48-4. トムラウシ，
Score charts of the Tomuraushi

d） 本別，天然林，材積推定スコア表　Score of factors for volume estimation in Hombetsu.

要因項目 Item of factors	カテゴリー Category of factors		X_1	X_2	X_3	X_4	X_5
大径木本数 (X_1) No. of large tree	0～50	1	131.357	70.667	−55.857	17.356	6.703
	51～100	2	211.918	123.378	−20.767	52.719	42.021
	101～150	3	311.943	218.956	55.206	123.842	112.971
	151～	4	425.154	324.467	148.884	209.944	200.821
樹高 (X_2) Tree height	1	1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	1.2(2.1)(1.3)	2		18.444	23.425	8.259	0.339
	2	3		81.483	105.334	90.806	82.975
	2.3	4		68.809	105.072	93.714	86.732
	2.4(4.2)	5		228.763	252.919	227.679	226.863
	3.2	6		72.628	109.589	89.721	82.662
	3	7		95.349	134.177	106.049	96.853
	3.4(4.3)(4)	8		164.123	228.575	184.006	176.996
疎密度 (X_3) Crown density	散	1			0.000	0.000	0.000
	疎	2			64.760	57.039	62.164
	中	3			82.841	76.977	85.638
	密	4			148.364	139.970	150.464
針広混交割合 (X_4) Mixture	N エ	1				0.000	0.000
	N エト	2				−39.078	−34.688
	N ト	3				−52.219	−44.249
	NL	4				−40.779	−32.638
	NL	5				−69.164	−63.389
	LN	6				−60.627	−52.395
	L	7				−78.104	−76.702
方位 (X_5) Azimuth	無	1					0.000
	N	2					25.498
	NE	3					−15.275
	E	4					11.530
	SE	5					23.491
	S	6					10.697
	SW	7					−20.162
	W	8					1.033
	NW	9					−3.527
標高 (X_6) Altitude	0～599m	1					
	600～699	2					
	700～799	3					
	800～899	4					
	900～999	5					
	1000～	6					
位置 (X_7) Position	峰	1					
	上	2					
	下	3					
	谷	4					
局所地形 (X_8) Land type	山頂	1					
	山腹 凸	2					
	山腹 平	3					
	山腹 凹	4					
	低平地	5					
傾斜 (X_9) Tilt	平	1					
	緩	2					
	中	3					
	急	4					
重相関係数 Multiple correlation coefficient			0.784	0.836	0.893	0.905	0.913
要因群偏相関係数 Partial correlation coefficient of factors				0.468	0.572	0.326	0.283

本別推定数値表
and Hombetsu natural forest

X_6	X_7	X_8	X_9	レンジ Range	偏相関係数 Partial correlation coefficient	平均値 Average
−6.305	−14.849	−27.957	−27.886	198.368	0.738	57.697
28.764	19.446	7.942	7.974			
101.988	93.443	81.607	80.219			
186.522	181.831	173.740	170.482			
0.000	0.000	0.000	0.000	243.622	0.651	116.333
9.141	16.619	19.754	23.609			
95.873	103.957	108.427	113.775			
98.246	103.996	106.925	110.845			
238.278	243.884	242.048	243.622			
96.093	103.342	108.173	112.572			
109.806	116.861	119.837	122.971			
185.497	192.558	200.409	203.273			
0.000	0.000	0.000	0.000	144.284	0.636	70.522
55.763	58.176	53.182	55.963			
80.558	81.230	77.937	81.842			
143.053	143.054	140.375	144.284			
0.000	0.000	0.000	0.000	65.573	0.311	−32.593
−31.719	−28.260	−22.663	−24.775			
−40.547	−39.065	−32.168	−33.799			
−28.842	−23.965	−16.172	−17.566			
−60.866	−58.324	−47.845	−50.511			
−50.783	−45.372	−34.669	−35.930			
−71.633	−69.447	−62.704	−65.573			
0.000	0.000	0.000	0.000	45.926	0.304	7.310
23.308	31.355	32.509	30.116			
−18.725	−14.380	−10.251	−15.810			
7.328	14.120	15.950	9.329			
22.611	26.817	32.213	26.196			
7.754	8.286	11.490	7.720			
−13.813	−9.557	−6.287	−11.873			
4.523	7.593	15.305	10.624			
−0.931	4.158	14.200	9.492			
0.000	0.000	0.000	0.000	45.484	0.236	3.739
7.121	11.610	14.016	14.808			
−7.036	−3.905	−5.403	−3.490			
7.312	13.034	14.938	14.779			
17.766	18.648	20.887	20.911			
−21.296	−21.377	−23.133	−24.573			
	0.000	0.000	0.000	25.983	0.193	−14.433
	−17.612	−19.811	−21.095			
	−16.891	−20.538	−25.983			
	−2.822	−3.618	−10.654			
		0.000	0.000	19.169	0.171	3.877
		7.617	11.923			
		−9.729	−7.246			
		8.389	8.686			
		4.311	6.024			
			0.000	11.151	0.104	0.796
			4.388			
			4.974			
			−6.177			
0.916	0.918	0.920	0.920			
0.182	0.151	0.153	0.000			

Table 48-5. トムラウシ，本別
Score charts of the Tomuraushi

e） 本別天然林，成長推定スコア表　Score of factors for growth estimation in Hombetsu.

要因項目 Item of factors	カテゴリー Category of factors		X_1	X_2	X_3	X_4	X_5
標高 (X_1) Altitude	0～599	1	32.957	45.384	−1.070	26.015	39.563
	600～699	2	22.864	41.231	−3.106	25.789	36.708
	700～799	3	21.531	38.601	−7.788	19.000	29.034
	800～899	4	45.379	67.891	20.763	49.339	59.517
	900～999	5	43.667	64.545	20.420	45.554	55.858
	1000～	6	57.667	86.252	43.359	72.330	78.819
方位 (X_2) Azimuth	平担	1		0.000	0.000	0.000	0.000
	N	2		−7.054	−4.006	−7.787	−38.640
	NE	3		−15.142	−15.573	−22.725	−55.771
	E	4		−40.464	−37.130	−41.113	−71.031
	SE	5		−1.985	−0.735	−13.635	−44.958
	S	6		−28.742	−30.776	−39.527	−70.925
	SW	7		−25.633	−18.472	−26.089	−54.672
	W	8		−31.382	−28.382	−36.109	−65.898
	NW	9		−22.199	−22.352	−27.822	−56.858
樹高 (X_3) Tree height	1	1			0.000	0.000	0.000
	1.2(2.1)(1.3)	2			44.673	43.042	54.324
	2	3			36.798	35.735	48.105
	2.3	4			40.464	43.571	57.409
	2.4(4.2)	5			108.435	98.173	108.430
	3.2	6			45.123	38.334	52.140
	3	7			54.871	43.011	58.351
	3.4(4.3)(4)	8			54.331	36.724	47.066
針広混交割合 (X_4) Mixture	N Nエ	1				0.000	0.000
	N Nエト	2				−9.446	−10.557
	N Nト	3				−17.629	−18.984
	NL	4				−23.487	−22.926
	$\overline{NL}$	5				−34.109	−32.610
	LN	6				−17.444	−16.023
	L	7				−21.879	−20.104
局所地形 (X_5) Land type	山頂	1					0.000
	山腹 凸	2					17.764
	山腹 平	3					2.185
	山腹 凹	4					5.840
	低平地	5					−32.849
疎密度 (X_6) Crown density	散	1					
	疎	2					
	中	3					
	密	4					
傾斜 (X_7) Tilt	平	1					
	緩	2					
	中	3					
	急	4					
位置 (X_8) Position	峰	1					
	上	2					
	下	3					
	谷	4					
重相関係数 Multiple correlation coefficient			0.257	0.375	0.466	0.499	0.526
要因群偏相関係数 Partial correlation coefficient of factors				0.283	0.298	0.202	0.192

推定数値表

and Hombetsu natural forest

X_6	X_7	X_8	レンジ Range	偏相関係数 Partial correlation coeffitient	平均値 Average
44.112 38.514 30.123 63.621 56.553 84.076	38.608 33.889 26.552 60.163 54.021 82.588	28.084 22.629 16.379 48.648 49.532 80.604	64.225	0.368	40.979
0.000 −35.328 −52.500 −67.406 −47.169 −70.834 −54.267 −65.227 −55.321	0.000 −23.118 −43.009 −57.956 −36.102 −58.488 −44.288 −54.993 −44.571	0.000 −22.395 −43.608 −58.875 −34.283 −53.144 −43.888 −54.570 −44.183	58.875	0.326	−39.438
0.000 50.320 47.215 53.875 109.639 50.868 57.854 46.353	0.000 54.112 51.329 57.528 111.821 53.295 58.817 47.487	5.000 51.666 45.820 52.093 105.037 46.917 51.199 42.021	105.037	0.274	49.344
0.000 −12.083 −20.898 −24.783 −34.863 −21.487 −19.398	0.000 −12.313 −20.893 −24.236 −35.491 −20.571 −19.450	0.000 −10.762 −19.238 −24.289 −34.554 −22.320 −18.328	34.554	0.262	−18.499
0.000 16.904 3.513 5.740 −32.880	0.000 19.185 4.597 5.841 −31.752	0.000 16.657 2.875 4.255 −32.011	48.668	0.218	− 1.645
0.000 17.939 −5.719 −1.199	0.000 19.659 −3.291 0.948	0.000 23.414 1.154 5.502	23.414	0.186	7.518
	0.000 −11.210 −10.228 −18.729	0.000 −12.668 −11.792 −19.850	19.850	0.108	−11.078
		0.000 19.881 12.026 12.510	19.881	0.137	11.104
0.547	0.552	0.559			
0.176	0.089	0.106			

Table 48-6. トムラウシ，

Score charts of the Tomuraushi

f）本別天然林，成長量推定スコア表　　Score of factors for damage estimation in

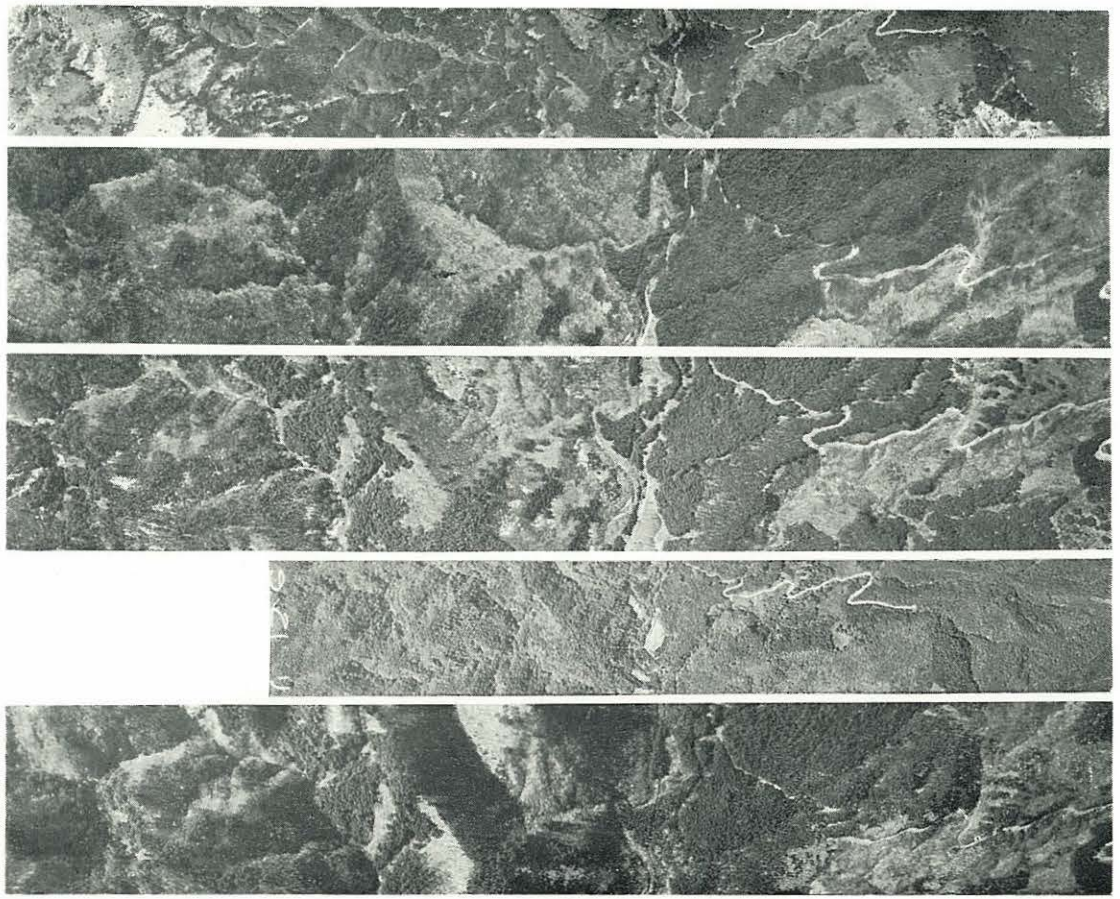
要因項目 Item of factors	カテゴリー Category of factors		X_1	X_2	X_3	X_4
針広混合割合（X_1） Mixture	N エ	1	7.184	4.460	2.930	2.513
	N エト	2	6.188	3.041	1.081	1.159
	N ト	3	5.935	2.960	1.060	1.122
	NL	4	4.770	1.818	0.087	0.032
	$\overline{\text{NL}}$	5	2.788	0.279	−1.695	−1.863
	LN	6	1.587	−0.220	−1.842	−1.834
	L	7	0.622	−2.443	−3.607	−3.490
疎密度（X_2） Crown density	散	1		0.000	0.000	0.000
	疎	2		1.089	1.418	1.824
	中	3		2.091	2.187	2.356
	密	4		3.846	4.170	3.996
樹高（X_3） Tree height	1	1			0.000	0.000
	1.2(2.1)(1.3)	2			0.413	0.481
	2	3			2.118	2.067
	2.3	4			1.716	1.352
	2.4(4.2)	5			4.676	4.133
	3.2	6			1.559	0.735
	3	7			0.876	−0.158
	3.4(4.3)(4)	8			1.927	0.883
大径木本数（X_4） No. of large tree	0〜50	1				0.000
	51〜100	2				0.060
	101〜150	3				1.459
	151〜	4				2.043
方位（X_5） Azimuth	無	1				
	N	2				
	NE	3				
	E	4				
	SE	5				
	S	6				
	SW	7				
	W	8				
	NW	9				
傾斜（X_6） Tilt	平	1				
	緩	2				
	中	3				
	急	4				
標高（X_7） Altitude	0〜599	1				
	600〜699	2				
	700〜799	3				
	800〜899	4				
	900〜999	5				
	1000〜	6				
重相関係数 Multiple correlation coefficient			0.678	0.772	0.808	0.828
要因群偏相関係数 Partial correlation coefficient of factors				0.502	0.375	0.307

本別推定数値表

and Hombetsu natural forest

Hombetsu.

X_5	X_6	X_7	レンジ Range	偏相関係数 Partial correlation coefficient	平均値 Average
2.617 1.420 1.630 0.443 −1.481 −1.508 −3.499	2.693 1.517 1.732 0.505 −1.378 −1.289 −3.334	2.289 1.108 1.329 0.167 −1.731 −1.672 −3.507	5.796	0.704	−0.288
0.000 1.915 2.640 4.323	0.000 1.721 2.408 4.070	0.000 1.566 2.314 3.913	3.913	0.545	1.948
0.000 0.027 1.575 0.884 3.914 0.221 −0.756 0.460	0.000 0.126 1.635 0.982 4.093 0.333 −0.678 0.712	0.000 0.434 2.093 1.375 4.483 0.821 −0.226 1.016	4.709	0.497	1.250
0.000 0.089 1.440 2.187	0.000 0.068 1.462 2.276	0.000 0.110 1.538 2.204	2.204	0.414	0.963
0.000 0.270 −0.632 −0.108 0.919 −0.002 −1.224 0.158 −0.472	0.000 −0.701 −1.532 −1.090 −0.033 −0.918 −2.124 −0.763 −1.373	0.000 −0.659 −1.622 −1.237 −0.024 −0.931 −1.812 −0.594 −1.309	1.812	0.329	−0.910
	0.000 0.558 1.115 0.971	0.000 0.625 1.133 1.015	1.133	0.202	0.693
		0.000 0.033 −0.243 0.032 0.430 −1.287	1.717	0.213	−0.173
0.846	0.848	0.854			
0.310	0.109	0.191			



パンクロ(1) 4月2日撮影(Apl. 2)
Panchro. f = 210 mm
1/22,000

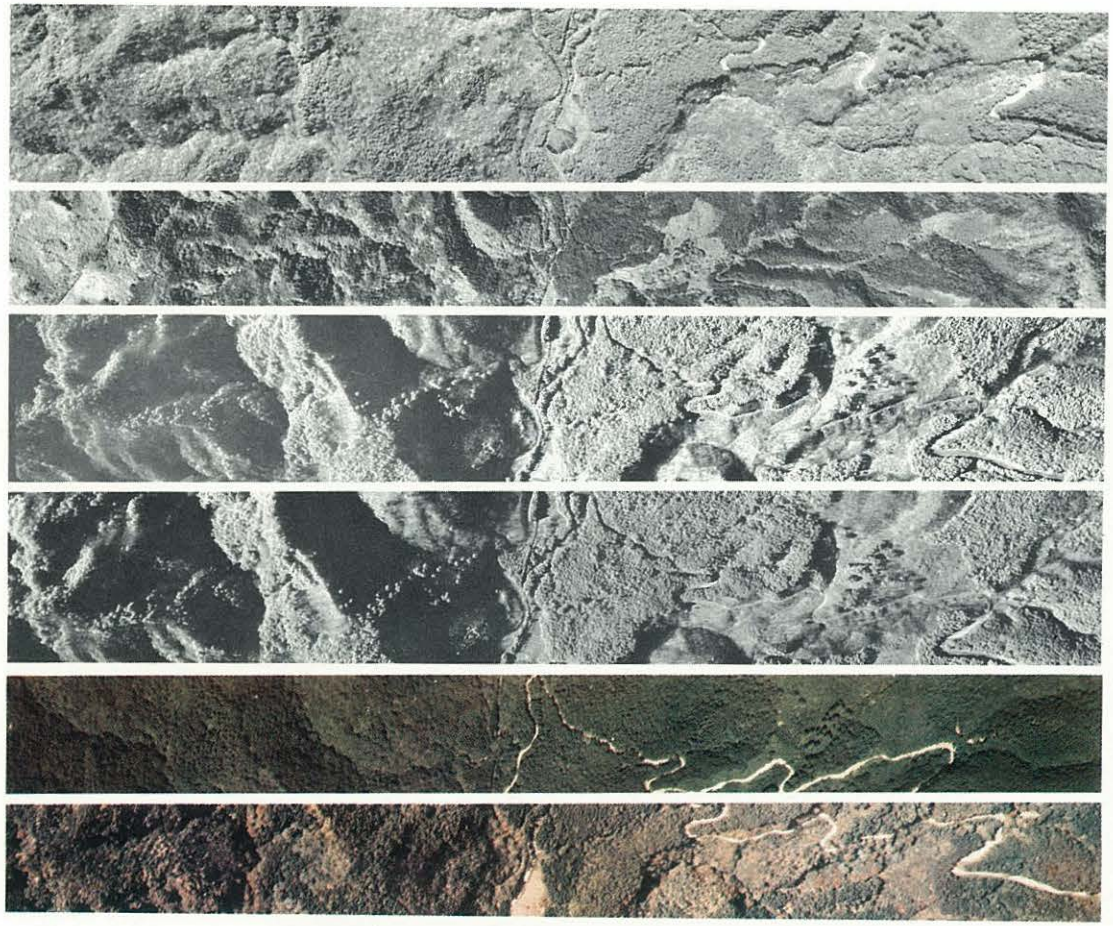
パンクロ(2) 4月2日撮影(Apl. 2)
Panchro. f = 210 mm
1/10,000

パンクロ(3) 4月28日撮影(Apl. 28)
Panchro. f = 152 mm
1/10,000

パンクロ(4) 9月21日撮影(Sept. 21)
Panchro. f = 210 mm
1/22,000

パンクロ(5) 12月8日撮影(Dec. 8)
Panchro. f = 152 mm
1/10,000

写真 1-1) 撮影季節，カメラ，縮尺を異にする空中写真例（1）（福島県西白河郡）
Ref. 1-1) The examples of the aerial photographs with the differences by recorded season, camera and scale (1).



赤　外(1)　4月28日撮影 (Apl. 28)
Infrared　f = 152 mm
1/10,000

赤　外(2)　10月6日撮影 (Oct. 6)
Infrared　f = 152 mm
1/25,000

赤　外(3)　12月8日撮影 (Dec. 8)
Infrared　f = 152 mm
1/10,000

赤　外(4)　12月28日撮影 (Dec. 28)
Infrared　f = 152 mm
1/10,000

天然色(1)　8月6日撮影 (Aug. 6)
Natural color　f = 210 mm
1/10,000

天然色(2)　10月28日撮影 (Oct. 28)
Natural color　f = 152 mm
1/10,000

写真 1-2)　撮影季節，カメラ，縮尺を異にする空中写真例（2）(福島県西白河郡)

Ref. 1-2)　The examples of the aerial photographs with the differences by recorded season, camera and scale (2).

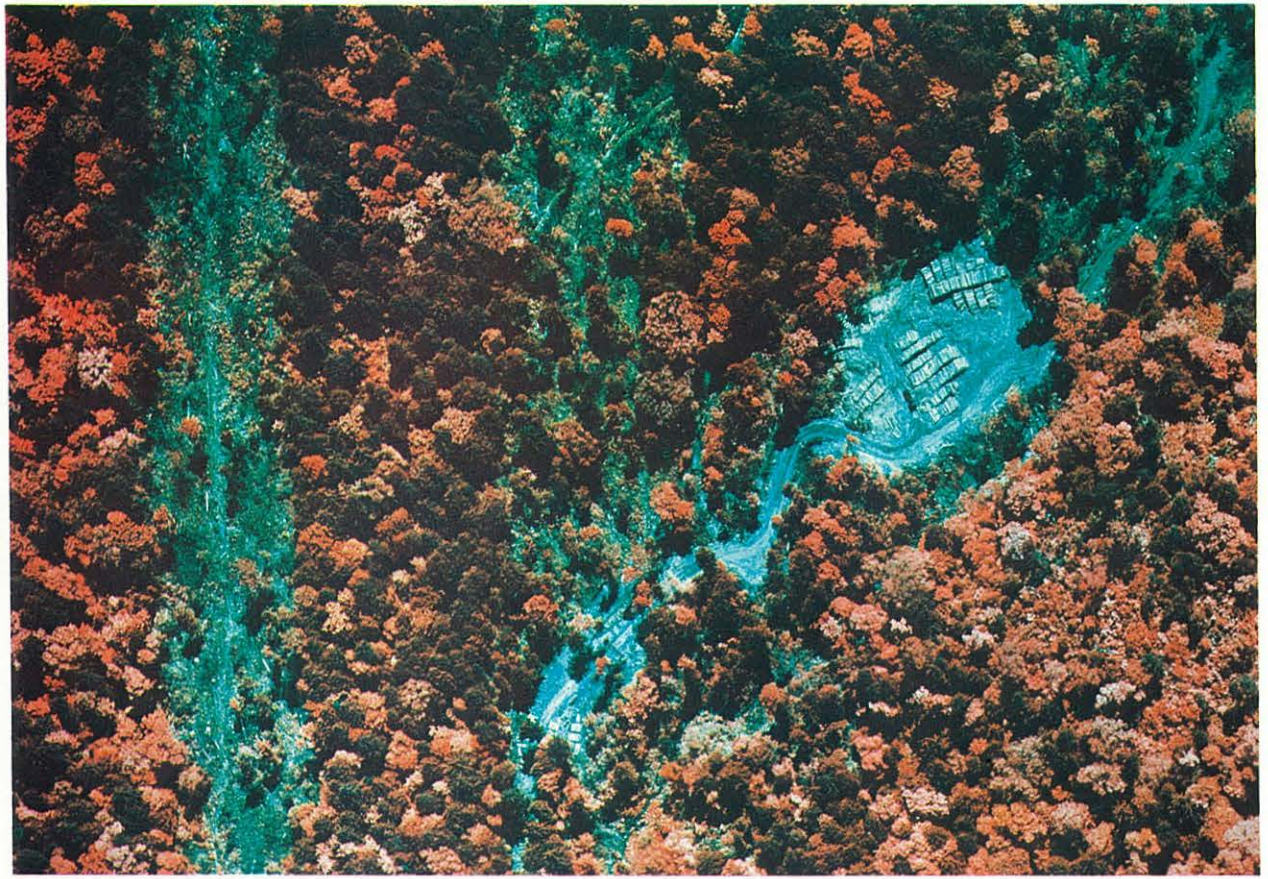


写真 2
赤外カラー写真例
Ref. 2 Example of the infrared color photographs.
北海道定山渓空沼試験地
（トドマツ，エゾマツ，広葉樹）
高度　3,200m
f = 302mm
1969年 7 月撮影，
4 倍伸し。

No. 24

ha 当り材積		110 m³
樹種混交歩合	ヒノキ	100 %
齢級（林齢）		VIII （36）
連年成長量		m³
樹高		（6）（（5））3～8 m
直径		（14）6～24 cm
樹冠疎密度		散・疎・中・(密)
ha当り本数	上層木	2,170
	下層木	280
	計	2,450 本
標高		※ 1,180 m
方位・（傾斜）		S （急）
地質・（土壌）		花崗岩 （砂壌）
現地調査年月		△ 41年 6月
その他(1)	過去における間伐回数	回
	ha当り数量	m³
	下層植生	
	下層植生の高さ	m
	林分成立上の特記事項など	
	平均樹冠直径	m

林相区分図

判読上の特徴	形状・色調	黒灰色
撮影年月		△ 38年 7月
撮影地区名No.		山一 333
レンズ焦点距離		209 mm
撮影高度		※ 5,650 m
コース・写真No.		C 15・14—15
基線長 b		164 mm
その他(2)		

地上写真

縮尺（S）

1/ 8,500

縮尺（S）

1/ 9,500

縮尺（S）

1/ 7,500

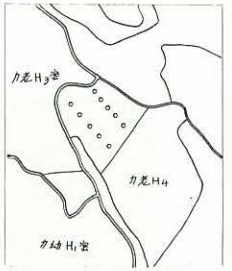
林野庁

写真 3-1）判読資料写真例（1）

Ref. 3-1) Examples of Stereogramme (1).

No. 77

ha 当り材積		180 m³
樹種混交歩合	ひ	100 %
齢級（林齢）		Ⅸ （41）
連年成長量		m³
樹高		(15) ((16)) 14～19 m
直径		(22) 18～36 cm
樹冠疎密度		散・疎・中・密
ha当り本数	上層木	550
	下層木	0
	計	550 本
標高		※ 1.460 m
方位・（傾斜）		SW （緩）
地質・（土壌）		輝石安山岩（壌）
現地調査年月		△ 41年 5月
その他(1)	過去における間伐回数	回
	ha当り数量	m³
	下層植生	
	下層植生の高さ	m
	林分成立上の特記事項など	
	平均樹冠直径	m



林相区分図

判読上の特徴	形状・色調	灰褐・暗灰色
撮影年月		△38年 8月
撮影地区名No.		山 — 333
レンズ焦点距離		209 mm
撮影高度		※ 5.650 m
コース・写真No.		C13・15—16
基線長 b		167 mm
その他(2)		

地上写真

縮尺 (S)

1/ 8.000

縮尺 (S)

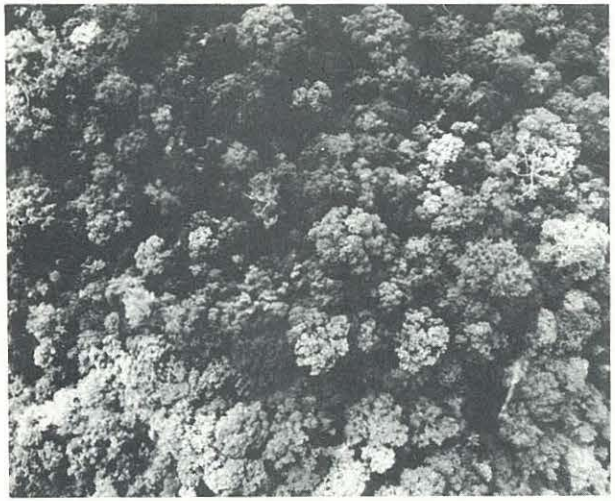
1/ 9,000

縮尺 (S)

1/ 7,000

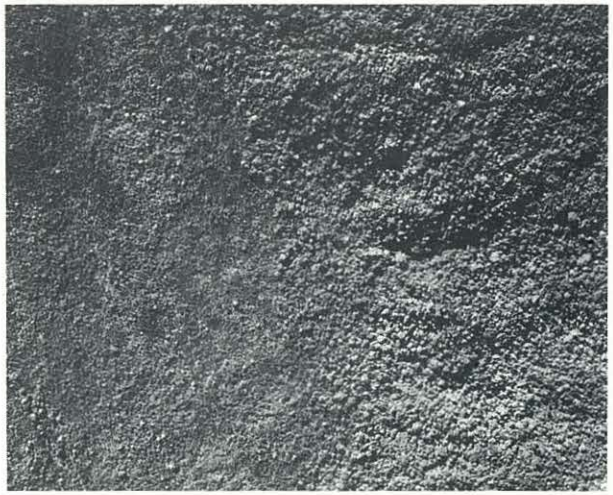
写真 3-2) 判読資料写真例（2）

Ref. 3-2) Examples of Stereogramme (2).



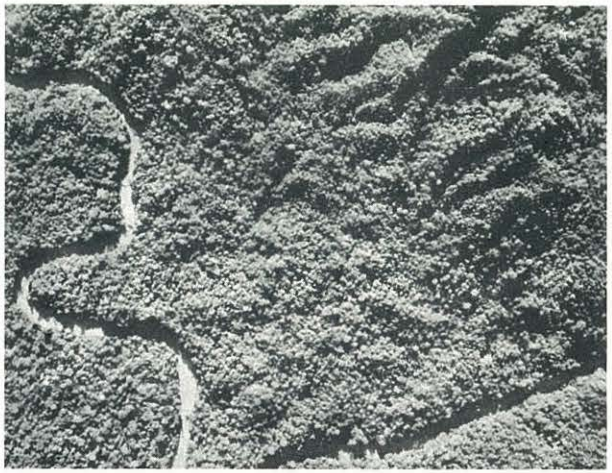
1） 大縮尺写真例
Example of large scale photograph.

2） 塩水湿地林（マングローブ）と低地林
Salt swamp forest and low land forest.



3） 低木林・丘陵林
Dwarf forest and hilly forest.

写真 4 熱帯林写真例
Ref. 4 Example of the tropical forest.

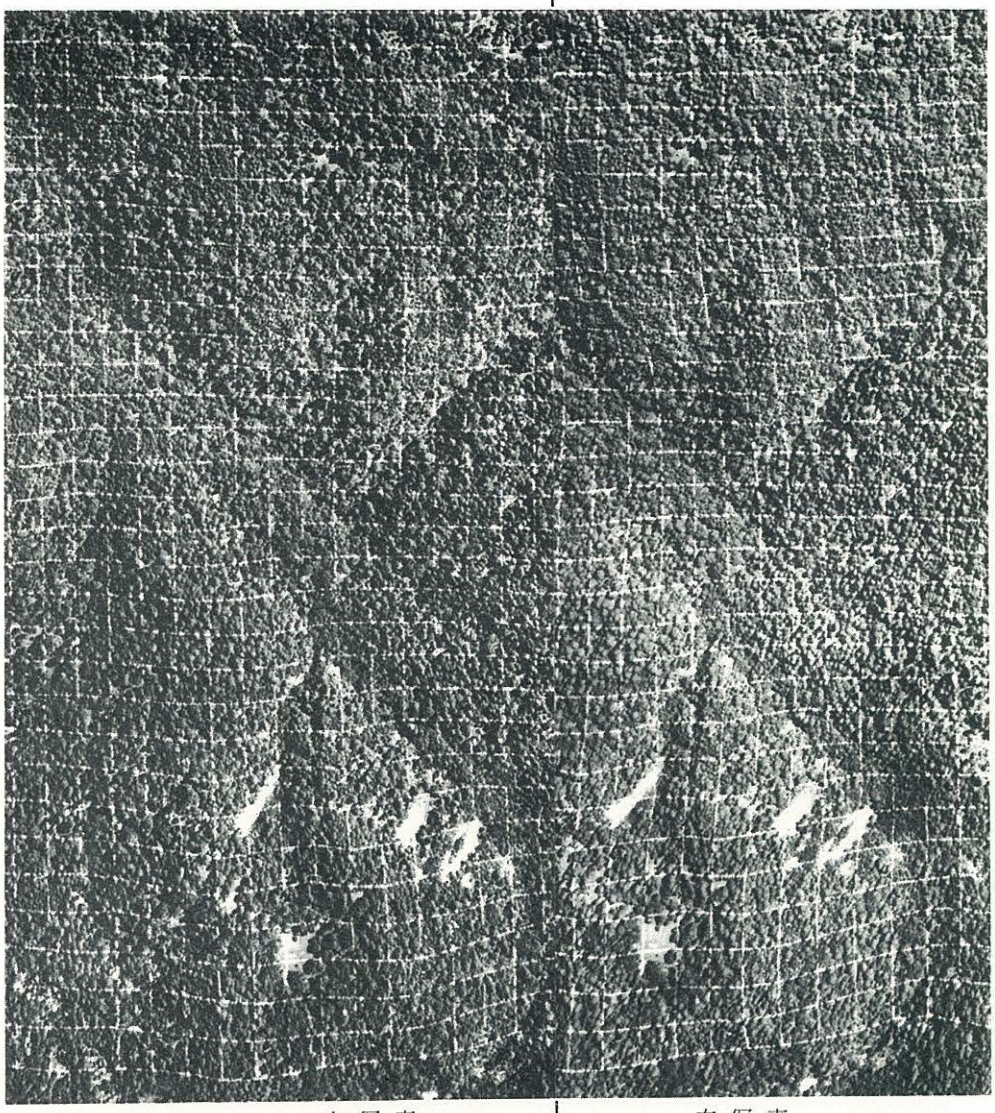


4) 内陸平地林，侵食地形
Hilly eroded and flat terrain.

5) 河岸浸水林
In undulated forest.

6) 蛇行河川旧河道と自然堤防
Old river bed.

7) 焼畑農法とそれによる二次林
Shifting cultivation and Secondary forest.



左 写 真　　右 写 真

写真 5　数値写真図例（木別：部分）

Ref. 5　Example of Digital photograph.

NO.	RANGE						RANK	N	HA.
1	0	0	0 -	22	30	0	1	7	0.63
2	22	30	0 -	45	0	0	2	5	0.45
3	45	0	0 -	67	30	0	3	2	0.18
4	67	30	0 -	90	0	0	4	5	0.45
5	90	0	0 -	112	30	0	5	8	0.72
6	112	30	0 -	135	0	0	6	12	1.08
7	135	0	0 -	157	30	0	7	3	0.27
8	157	30	0 -	180	0	0	8	4	0.36
9	180	0	0 -	202	30	0	9	7	0.63
10	202	30	0 -	225	0	0	10	24	2.16
11	225	0	0 -	247	30	0	11	28	2.52
12	247	30	0 -	270	0	0	12	52	4.68
13	270	0	0 -	292	30	0	13	51	4.59
14	292	30	0 -	315	0	0	14	42	3.78
15	315	0	0 -	337	30	0	15	20	1.80
16	337	30	0 -	0	0	0	16	12	1.08

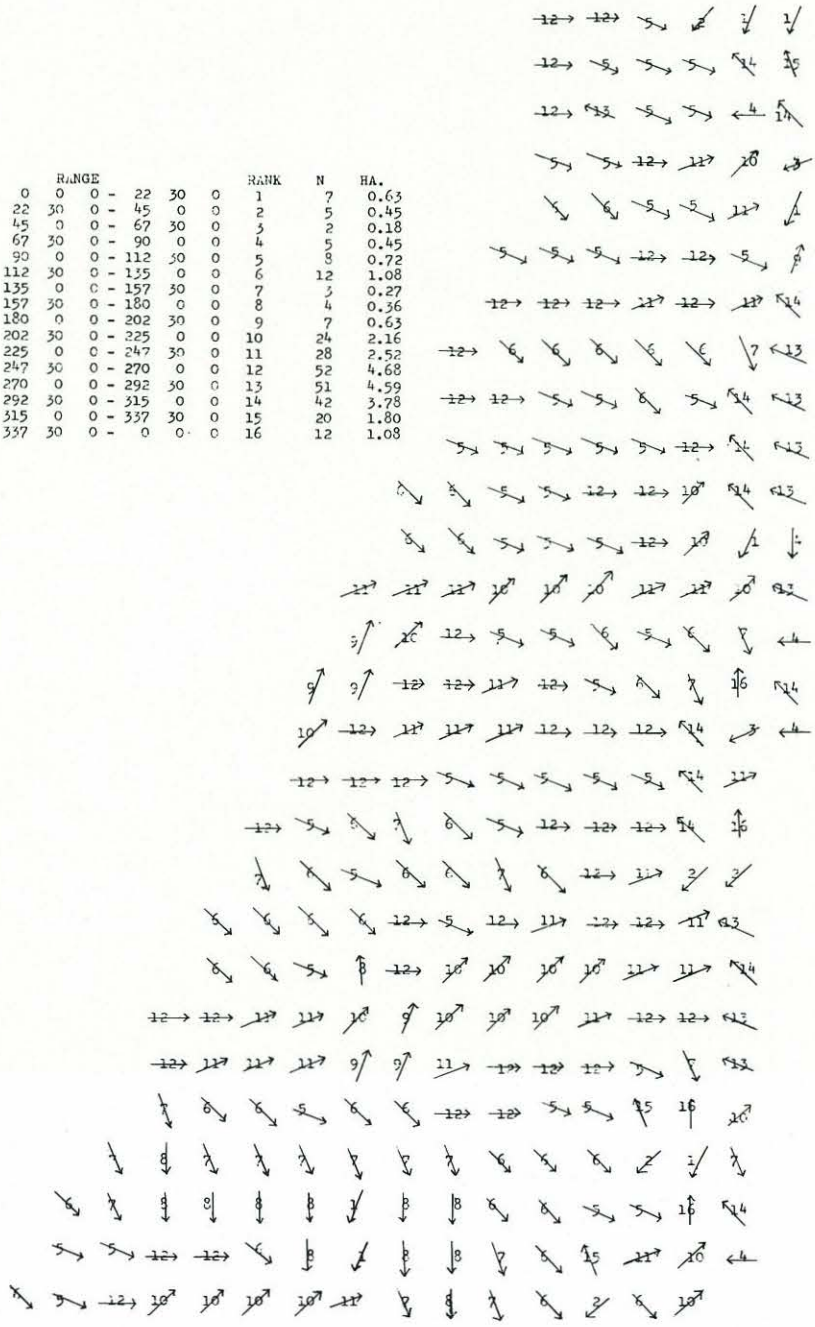
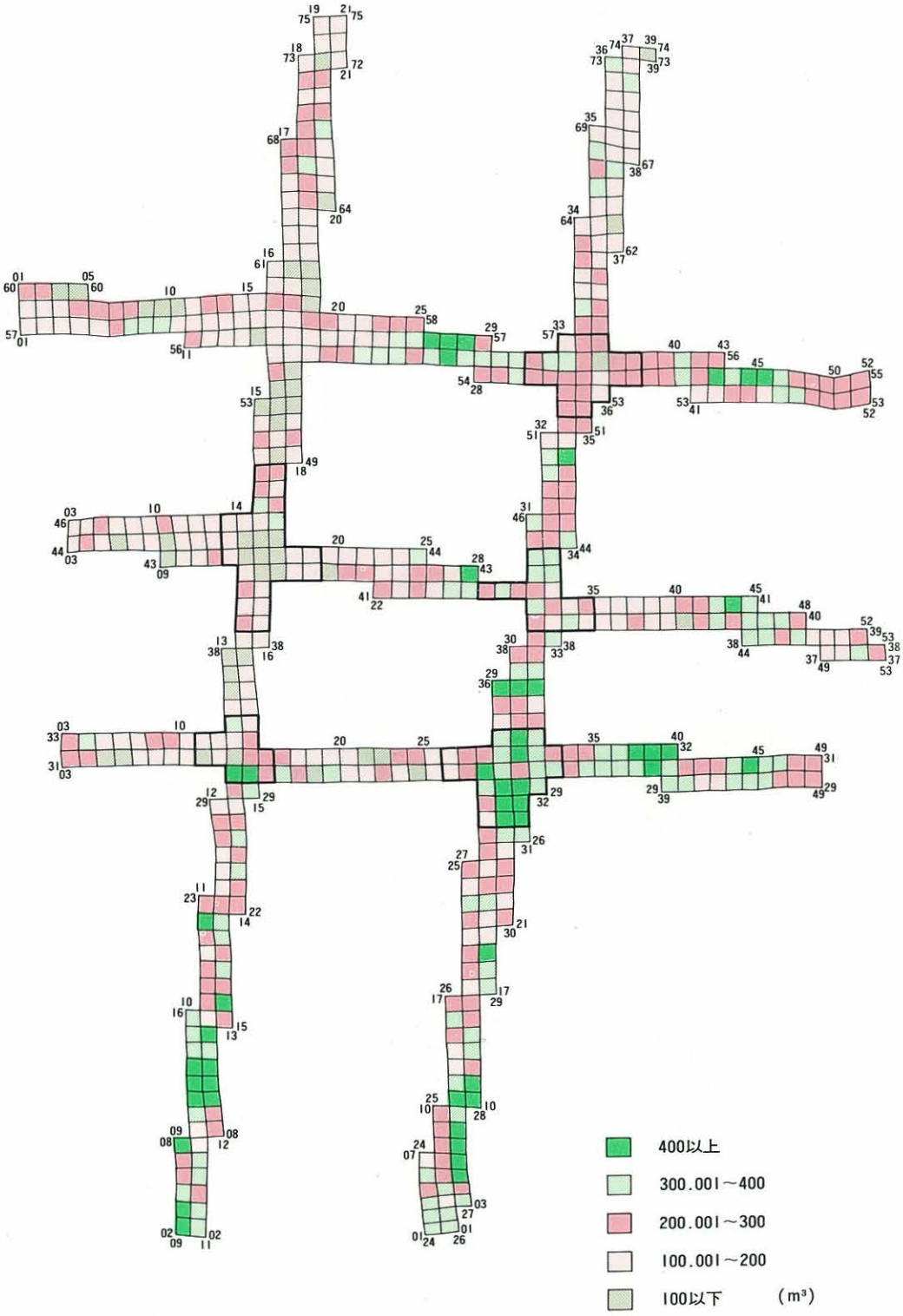


Fig. 15　傾斜方位図
Streak map



1) 材　　積 (Volume)

Fig. 33 材積，枯損，成長量分布図（トムラウシ森林）
Distributions of the volume, inferior, growth in Tomuraushi.

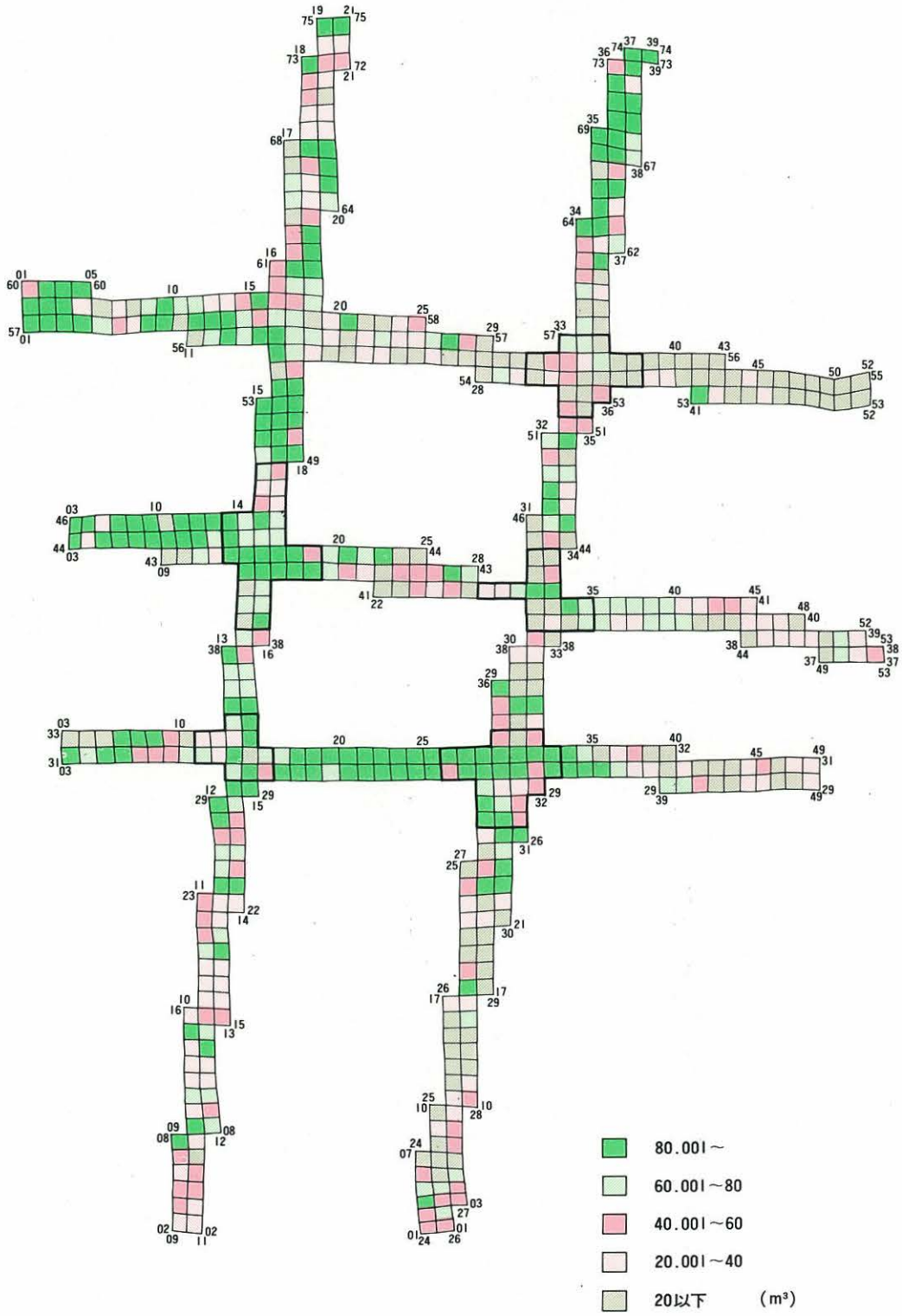


Fig. 33-2) 枯 損 量 (Inferior)

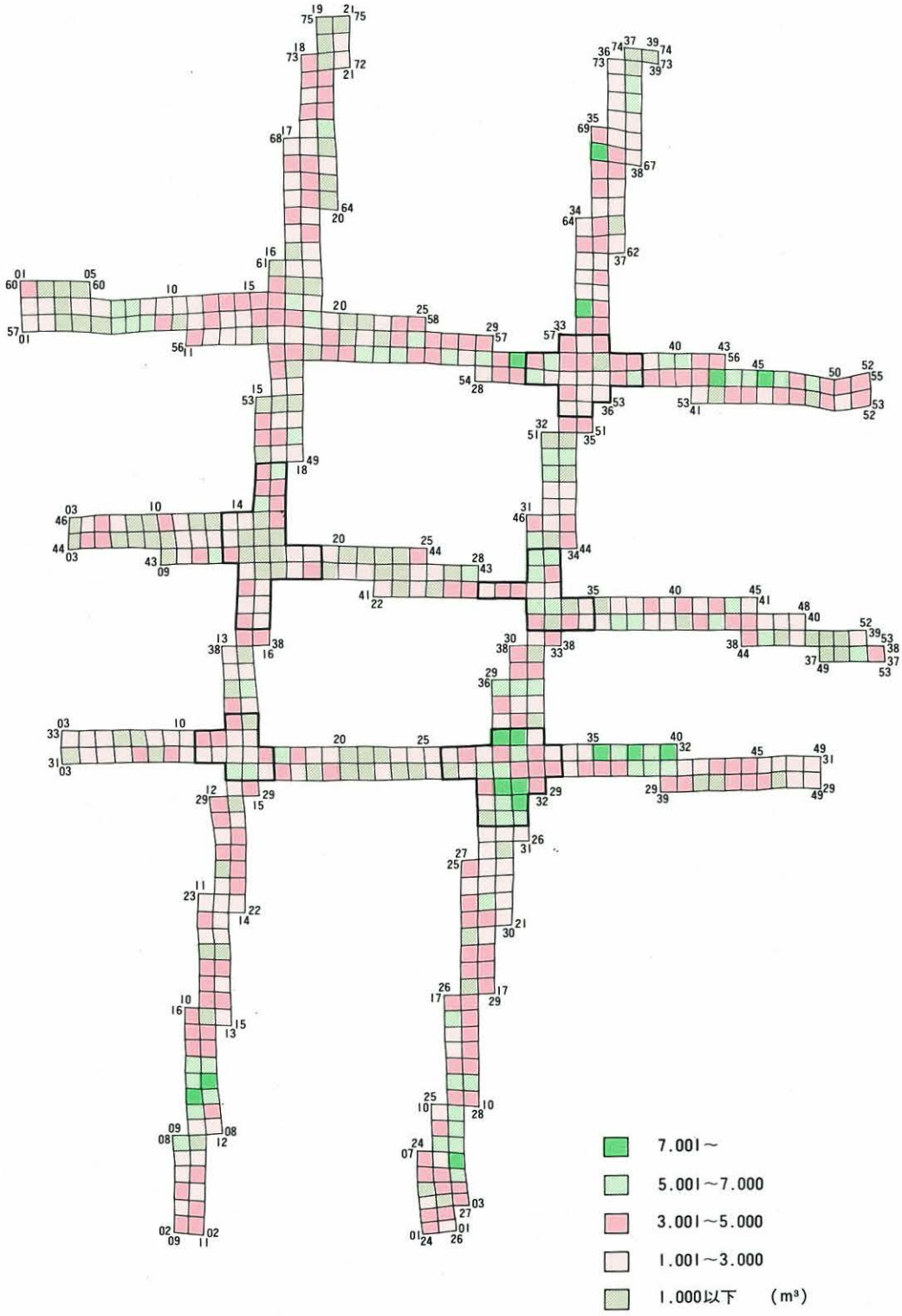


Fig. 33-3) 成 長 量 (Growth)

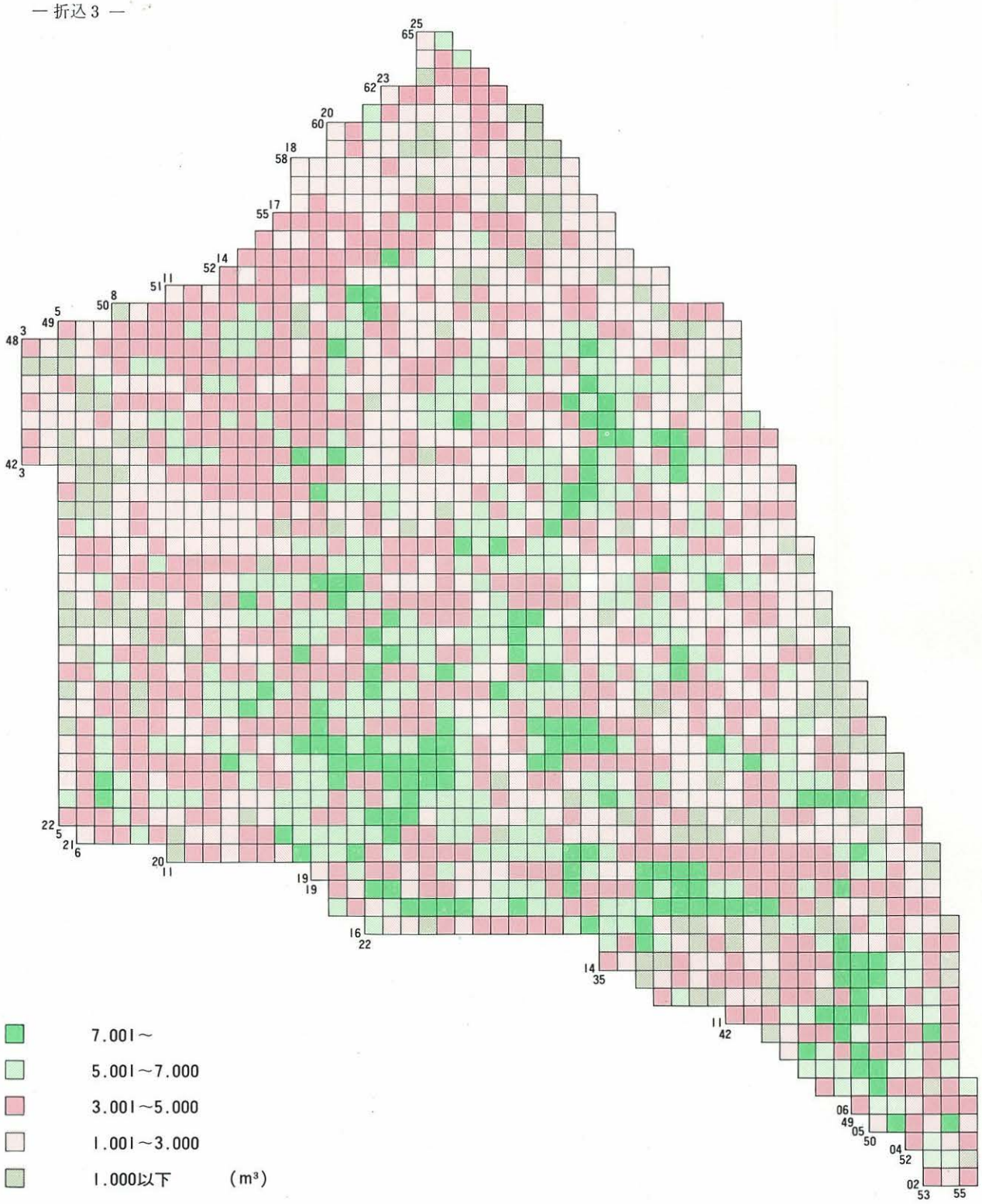


Fig. 34-3) 成 長 量 (Growth)

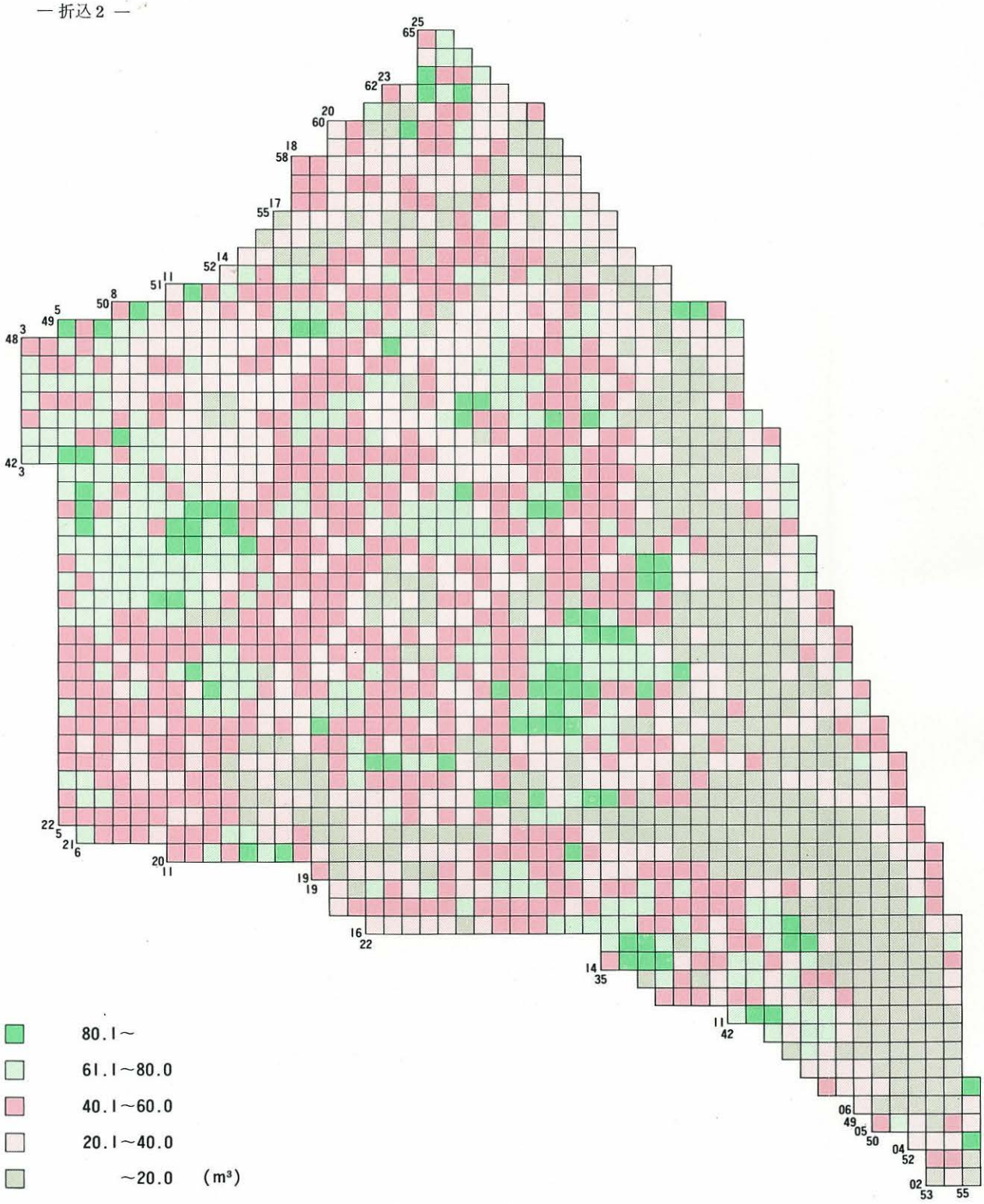
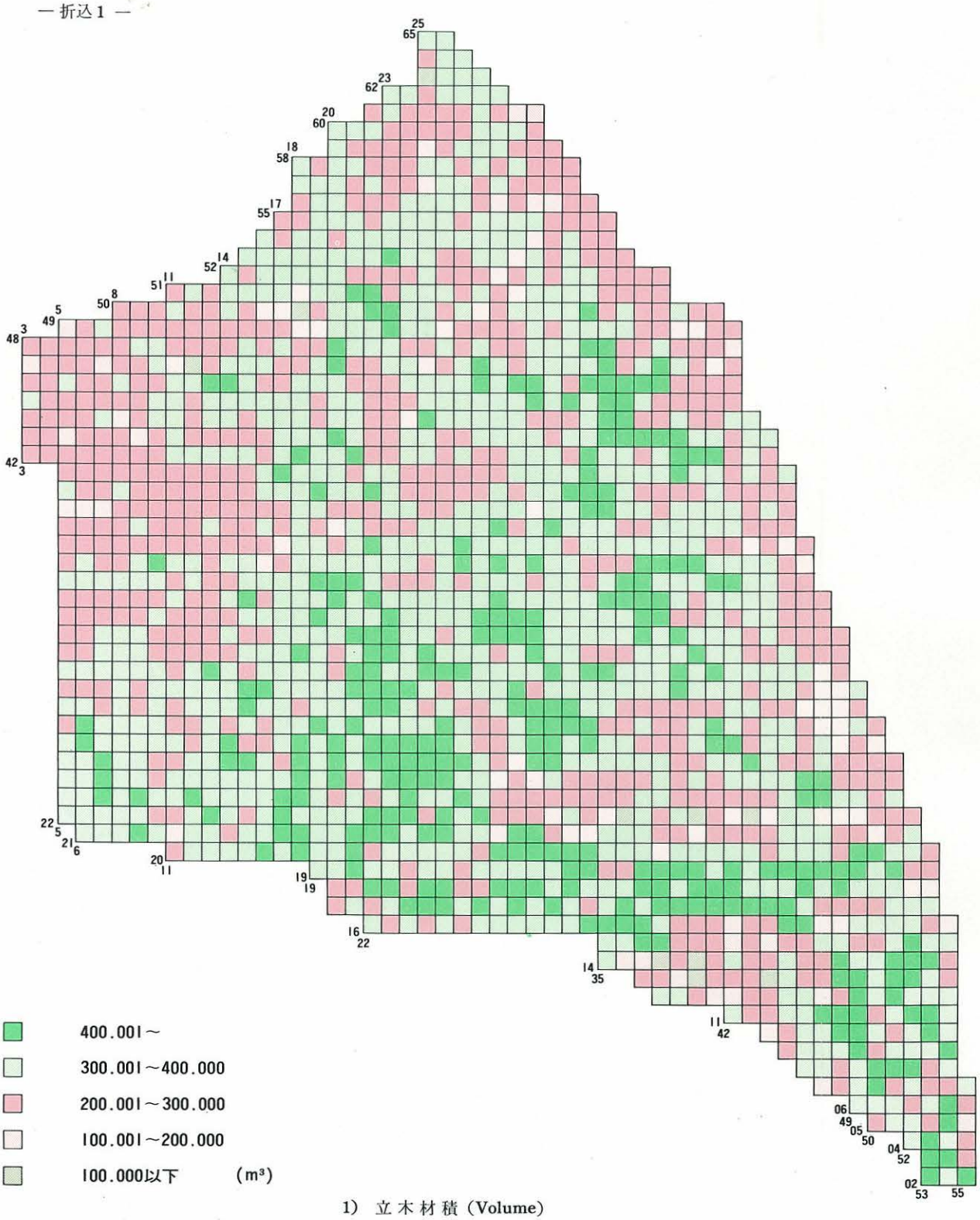


Fig. 34-2) 枯 損 量 (Inferior)



1) 立 木 材 積 (Volume)

Fig. 34 材積，枯損，成長量分布図（本別，糖南第52林班，625, 10ha）

Distributions of the volume, inferior and growth in Hombetsu.