

長焦点カメラ および フォールスカラー
フィルム等の活用による林分構造の解明

I 試験担当者

| | |
|-----------|--------|
| 経営部航測研究室長 | 中島 崑 |
| 室員 | 長谷川 利子 |
| 室員 | 植渡 幸男 |
| 室員 | 大貫 仁人 |

II 試験目的

近年急速な進歩をとげつゝある写真技術および情報解析理論等の積極的な森林調査への応用により、林分構造の解明を計り、その現況と推移の予測を効果的に把握する調査法の解明を目的とした。

III 試験の経過

1. 43年度

帯広営林局 新得営林署管内、トムラウシ天然林約8,000haを対象とし、赤外カラーフィルムによる縮尺1/10,000、および一部1/5,000による二段撮影を実施、(R.M.K. f=150mm)。層化比例抽出を基準とする現地標本調査、ステレオグラムの作成をおこない、それにもとづき

- 1.) 経営案編成資料を目的とする全域の森林資源調査
- 2.) 写真判読の数量解析による林分構成要因の検討と推定法の研究
- 3.) 上記調査地内の約1,500haを対象とする精密調査を取りまとめた。

2. 44年度

同営林局 本別営林署管内、芽登天然林約10,000haを対象とする赤外カラーフィルムによる縮尺1/10,000、長焦点カメラ(R.M.K. f=300mm)撮影、現地標本調査、ステレオグラムの作成をおこない前年度の成果をもとにして

- 1.) トムラウシ、本別両天然林の材積、枯損量、生長量推定を目的とする写真判読要因による数値表の作成
- 2.) 上記数値表の適用、ならびに写真と現地作業との結合を計る数値写真図の作成を実施

3. 45年度

- 1.) 数値写真図の方眼区画毎に対する数値表適用による材積、枯損、成長量の推定

2) 上記推定結果の現地検討

3) これらを取りまとめて調査体系の系列化を計つた。

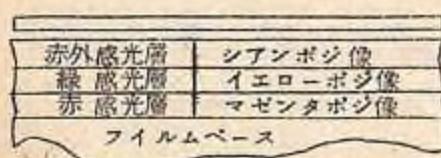
なおこの研究成果を応用した46年度以後の研究実施資料として北見営林局管内、北見、網走両営林署管内国有林のカラー写真的撮影を実施した。

IV 試験成果の概要

1. 赤外カラー写真

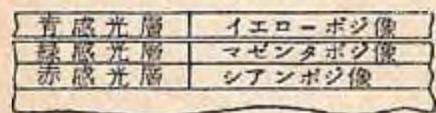
調査を目的とする写真とは調べようとするものが他と明瞭に区別されて、また細部までを表わしていることが必要であり肉眼感の再現は必要でない。

通常、活力ある植物の葉は葉緑素より反射される緑の波長(約550mμ)の光より数倍多くの近赤外領域の波長(700~800mμ)の光を反射している。



赤外線カラーフィルムの構造

したがつてこれを捕えて発色するフォールスカラー写真……赤外カラー写真是植物の種類や分布の判定、活力差、また地表条件や土壤含水率の差等の判読に極めて適切である。



また空中散光の原因である青色光以下の波長の光をフィルター (#12, #15)によつて切り去ることによつて高空からも非常に鮮明な像がえられ、また高倍率

天然色フィルムの構造

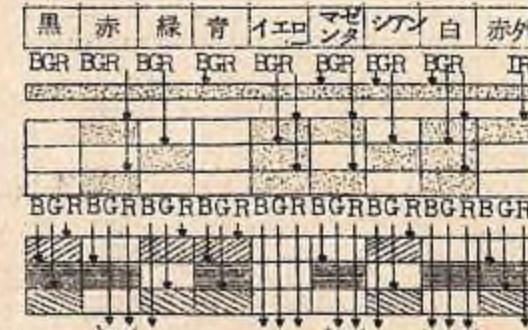
図1. 赤外カラーフィルム、天然色フィルムの構造

被写体の色

コダツクラツテンNo.12

フィルター
赤外線感光層
感光層
赤感光層

シアン色像
色像 { イエロー色像
マゼンタ色像



再現された色

図2. 赤外カラーフィルムの元色

黒 レー 青 黒 白 レー 青 白 赤

-22-

の拡大が可能である。

フォールスカラー写真是肉眼感とは全く異なる表現力をもつものであるのでその判断には通常の白黒、または天然色写真是違つた解釈をむこなう技術を必要とし、その使用にはこの写真による判定の可能性と、最適使用条件を十分に理解することが重要である。

赤外カラーフィルムの基本的な感光層と発色構造を「図1, 図2」に示す。

すなわち、この写真の発色は色の相が肉眼感より一つづつ長波長側にずれたものであり、また近赤外線と共に可視光線内の色も感光することによつて、この両者の合成による色調を表わすものである。

植物反射光の基本特性を「図3」に示す。しかし植物は常にこの特性を有するものではなく、季節、成長状態、立地条件により多くの差異をもつものあり、また赤外カラーフィルムによる発色も現象条件とともに撮影の日時、天候、位置、高度、太陽角等により変化するものである。

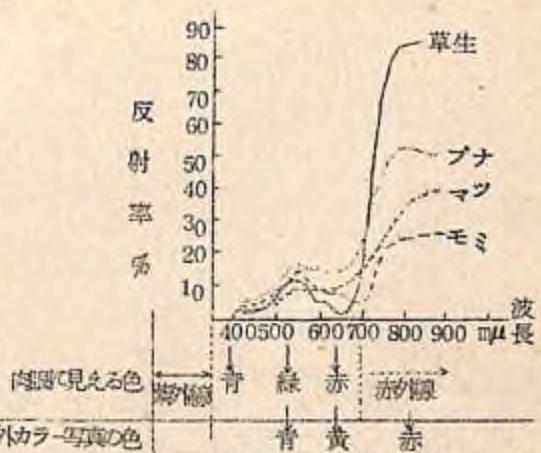


図3. 植物反射光の基本特性とカラー写真的色

このフィルムの効果は近赤外域の反射光の差を、いかに明瞭にとらえうるかによつて高めうるといえよう。表1. 赤外カラー写真による駆色例

| 被写体 | 肉眼感の色 | 赤外カラーの色 |
|------------------------|-------------|-----------|
| 芝、地表雑草、枯れたもの 活力あるもの | 黄～褐 淡黄～綠 | 白～黃 淡紅 |
| 落葉広葉樹 枯葉 | 黄～褐 | 白綠～黃 |
| 紅葉 | 黄～紅 | 淡黃～黃 |
| 冬芽 | 淡 | 綠 |
| 綠葉 | 綠 | 鮮綠 |
| 常緑広葉樹 | 濃綠 | 赤 |
| 針葉樹マツ 健康 | 淡紅～淡赤 | 暗紅 |
| 虫害一変色 | | 暗 |
| 枯損 | 枯損 | 黃 |
| スギ | 濃綠 | 白 |
| ヒノキ | 綠 | 紫 |
| カラマロ | 淡黃～淡赤 | 深紅 |
| 落葉 | 綠 | 黃 |
| 竹、ササ 湿地 | 淡綠 | 綠 |

なお森林における主要な発色例を「表1」に示す。

2. 長焦点カメラ

長焦点カメラは普通角・広角カメラに比べ同一撮影高度によつてより大縮尺写真をうることができる。またその画像は地物・地形の高低による位置ズレが少ない。

高空より大縮尺写真撮影の効果は特に低空飛行が危険を伴う山地において極めて有効であり、また特に空中散光を除去しうる赤外カラー写真の場合に効果的である。

これは縮尺のみならず同一画面内におけるレンズ集光効果による光量分布差をいちじるしく少なくし、画面内の色調の変化を少なくする。

広角写真赤外カラーフィルムの画面内の光量分布差を濃度測定により求めたものを「図4」に示す。長焦点カメラの像は、この周辺部分を切り去つたものと見ることができる。

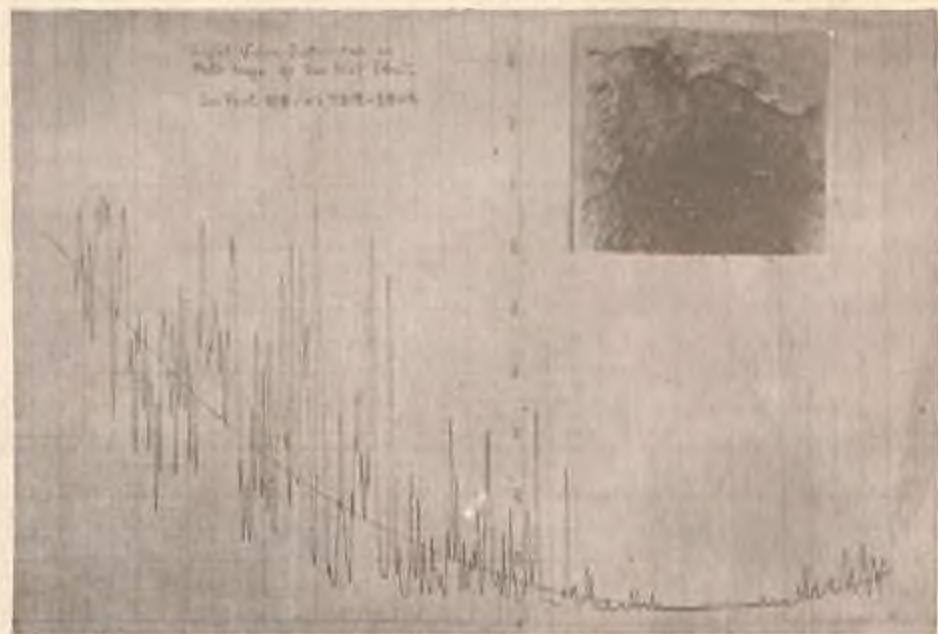


図4. サンポイントを中心とする広角カメラ写真画像の光量分布濃度測定図
(赤外カラー写真ネガフィルムより増巾作成)

3. 写真情報による林分解析

森林の現況と推移を予測するには、林木自体や生育する環境、人為条件など多くの関連する要因を解明する必要がある。空中写真的持つ豊富な情報を利用し、数量解析の手法をそれに導入することは、調査の能率と科学性を高める明らかに有効な方法である。

そのためには従来肉眼観察を基準として行なわれていた森林の測定を、肉眼とは全く異なる視野に立つた空中写真の視野での観測要因に置きかえねばならない。

写真像を中心としたとき、森林観察の要因は上空より見た林分の構造とそれをとりまく環境立地の状態である。

この観察要因が林分構造のなかで、どの様に相互に関連し、また現在森林計画立案に要求される材積量、成長量、枯損量等の推定にどのように関与するかを多変量解析によつて求め、またそれから上記のものを所要の精度をもつて推定するための数値表の作成を前記北海道天然林について実施した結果は写真像の科学的利用と写真情報解析システム開発の足掛りである。

3-1 写真情報利用の原則

森林は、生育する個々の立木が集合して形成する一つの生物社会である。林木は互に密接な関連を保ちながら、それらを取りまく環境との有機的な結びつきの中に成長を繰り返している。

過去より現在に至るまで、森林は木材生産の場として開発され管理されて來ているが、近代社会の高度な経済発展は、更に同じく生物体である人間社会の生活環境の調和と保全に対する機能をも森林の上に要求してきている。

元来、森林は、動植物資源などとは異なり、現在から将来につながる再生産性を重視すると共に、自然と人為の操作が刻々と変動を与える動的な現象として、一時点の状態、推移の原因や過程、社会経済の中での生産価値等が求められる情報と、それに基いた計画的な経営と利用がおこなわれる必要がある。

森林は昔から人間の肉眼による観察と、頭脳による判断の尺度によつて評価され計画が立てられてきた。

それは、いわば「山にある木を人が使う」立場からの資源面を主体とした考察であつて、静止した森林の一断面をとらえる努力であるといえる。

これを有機的な生物集団として動的に見ようとすれば、従来の人間の肉体的、また頭脳的能力限界をさらに拡張したより広い視野と判断力が必要となる。

それは肉眼で見られるよりもより小さな空間と同時に、より大きな空間、すなわち目的物をとりまく外界との有機的な関連を追求させる空間」の系統的な観察と総合的な判断力の要求である。

いわば空間を縮少、拡大し、時間を延長し短縮もする目が、そしてその目には科学的

な説得力をもつ客観的表現を可能とする手立てがなければならない。

写真は人間の観察眼の縮尺を自在にえらびうることを可能とした。また写真を仲介とすることによつて写された被写体のすべては數値判定の手法へと持ち込まれるに至つた。

従来より空中写真は林業の分野においても基本図や林型区分図の作成其他、多くの効果をあげてきている。だがそれは従来の肉眼の補助としての利用に止まつてゐる。

今日の写真的有する効果をより活用するためにはその豊富な情報を順序よくとり出すと共に、それらの関連をとき、調査目的に向つて収集する情報解析システムの適切な活用が期待されなければならない。

それによつてようやく人間の觀察力と判断力は増大するといえる。

3-2 林分の写真觀察要因

森林經營にとつて、従来より最も基本的に要求されてきたものは、それぞれの時点における立木材積、成長量、枯損、更新、等の情報である。それに基づいて撫育や伐採の計画が立てられ評価がおこなわれてきた。

これらは社会的な森林の見方の推移いかんにかゝわらず重要なものである。

森林の現況のこれらの情報と、条件によつて変化するであろう予測の値がえられるとき、始めて具体的な諸計画が立てられる。

これらは従来、地上調査によつて求められていた。

対象地域が広大な場合には主に標本調査法が用いられ、空中写真はこのとき調査準備の林型区分図や現地調査点への誘導、確認等に用いられ、前記各主目的情報のデータは地上測定による標準地の立木の樹高、直径、本数、年輪巾、等々が用いられた。

今、写真像の觀察を主体として前記の各情報を求めようとすれば、調査測定の要因はこのような肉眼觀察法に準拠するものとは多くの異なるものが主体となつてくるはずである。それは写真条件によつても異なるものではあるが、根本的には視界とする空間の相異である。

そこでは個々の立木の値よりも、それら相互の関係や、森林としての総合的な値、また生育地域の地形、環境が有力な觀察要因である。地上調査でも森林測定の要因は情報を引き出す為の一次要素であるので常であるとき、従来しばしば試みられたことではあるが写真利用でそれと同じものを推定しようと努力することとは不得策であろう。

空中写真像として森林が記録されているものは上空より見た森林の構造と生育地の状態であることから直接目的とする情報を引き出す関連を求めることが写真

利用を効果的にしうるものである。

写真により森林を整理分類する要因については、従来より林型区分を対象として行なわれてきたが、更にそれを有機的に見ようとする時には多くの人為と自然による立地条件の要因が加わる。

これらのうち社会経済的なものを除いて森林自体と立地条件のみを取り上げた場合、写真上の觀察要因は本調査の例において「表2」の要因の如くなろう。この表においての区分（カテゴリー）は約1/20,000空中写真による場合である。

このような区分は写真観測によつて何等高度な機械や技術を用ひず、全く基礎的な技術でおこなわれることができ、かつ判定の誤りがもつとも少なくてすむような粗さを考慮したものである。第1の樹種群から、4.の径級構成までは天然林において特に複雑に出現するものであり、樹種群は地域によつて異なる。

なお樹冠直徑、又は樹冠面積は写真上、上層木について測定可能であるが、一齊林形、或いは熱帯林地方等の如くに上層木が比較的均一な状態にあるときは適正な要因であり、測定の難易さを考えて、また他の要因との相関を検討した上で採用すべきである。

要因5～7までは従来の林型区分基準と同じである。8.の疎密度型は特に森林被害や表土荒廃に連絡して明らかに表れ方をとる。

9.～13.はいずれも林木の生長に直接間接に影響をもつ立地条件であり、微気象、降水量、土性等もこれらと密接な関連をもつ、14.の地床は主に天然林の更新、造林、撫育に大きな関連をもつが、多くの場合に問題となるのはササの被覆である。

樹冠が地上を完全におおつている場合は、赤外カラー写真でもその局地の地床判定は不能であるのでこの要因は推定しうる場合に限られる。

3-3 写真情報解析

写真観測要因の値が標本地の資料や系統的に収集されたステレオグラムによつて求められれば、それらは各要因間の相互の関連性と、各種の推定目的に対してそれらがどの様な重要さで関与しているかを多変量解析の手法を応用して求めることができる。

それは推定すべき目的の基準値に対して夫々の要因の各区分を変数として推定の誤差を最小にするような多次元の逆立方程式を解くことである。

この場合、外的基準と呼ばれる推定目的の基準値は数量で表わされたものであるが、各カテゴリーの表現には、写真測定により直接数量として求めうるものもあるが、質的な表現で表わされるものもある。この試験において実施した写真観測の場合ではその概

Items and Category for Forest Type Classification of Natural Forest in Hokkaido
写真林型区分要因 (北海道天然林判別基準)

photo scale 1/2 0000

| 要因 (Item) | 区分 (Category) |
|---------------------------------------|--|
| 1 樹種 (tree sp.) | N+r, N+r, N+r, NL, L |
| 2 混合割合 (mix %) | N, N>L, N/L, LN, L |
| 3 混合形 (mix type) | 均等 (U), 塔状 (G), 团状 (H) |
| 4 径木構成 (mix Type Composition) | 小径木 (Y), 中径木 (B), 大径木 (O) およびその組合せ |
| 5 上層木平均樹高 (Av. Height of Dominant T.) | ~10m(H1), 11~18(H2), 19~25(H3) |
| 6 上層木本数 (No. of Dominant T.) | 少 (few), 中 (med), 大 (many) |
| 7 葉冠密度 (Crown Density) | 散 (Vo), 疏 (O), 中 (M), 密 (D) |
| 8 森密度 (Density Type) | 均等 (U), 斜状 (G), 团状 (H) |
| 9 標高 (Altitude) | 0~99, 100~199, 200~299, 300~ |
| 10 方位 (Azimuth) | O, N, NE, E, SE, S, SW, W, NW |
| 11 傾斜 (Tilt) | 0~9°, 10~19°, 20~29°, 30~ |
| 12 地形 (Land type) | 山頂 (Top), 台地 (Terres), 平衡 (Smooth), 凸, 凹, 深谷 (Eloidal), 推積 (Piled) |
| 13 位置 (Position) | 尾根 (Ridge), 中腹 (上) (Side U), 中腹 (下) (Side L), 沢 (Bottom) |
| 14 地被 (Ground flora) | ササ (Sasa), 雜灌 (Bush), 無 (None) |
| | Total (67) |

表2. 北海道天然林写真観測要因

Ordering and Partial-Correlation Coefficient of Photo-Observation Factors for Some Estimation on Natural Forest in Hokkaido
写真観測要因の順位と偏相關

| 順位 (Order) | A. トムラウシ原生林 (Tomuraushi Virgin Forest) | | | | B. 本州天然林 (Honshu Natural Forest) | | | |
|----------------------------------|---|---------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|------------------|--------------------|------------------|
| | 立木材積 St. Volume | | 枯損量 St. Inferior | | 生長量 St. Growth | | 立木材積 St. Volume | |
| | 要因 Items | 偏相間 Per. Cor. | 要因 Items | 偏相間 Per. Cor. | 要因 Items | 偏相間 Per. Cor. | 要因 Items | 偏相間 Per. Cor. |
| 1 大径木本数 (4) (No. of Dominant) | 0.562 標高 (5) (Altitude) | 0.508 混合形 (5) (Mix Type) | 0.748 大径木本数 (4) (No. of D.) | 0.735 標高 (6) (Altitude) | 0.368 混合形 (7) (Mix Type) | 0.704 | | |
| 2 同地形 (6) (Land Type) | 0.492 斜傾 (4) (Tilt) | 0.410 局所地形 (6) (Land Type) | 0.563 樹高構成 (8) (Composition) | 0.651 位置 (9) (Position) | 0.326 葉冠密度 (3) (Crown Density) | 0.545 | | |
| 3 位置構成 (6) (Position) | 0.285 方位 (9) (Azimuth) | 0.420 混合構成 (6) (Composition) | 0.480 樹冠密度 (3) (Crown Density) | 0.636 樹高構成 (8) (Composition) | 0.274 樹高構成 (8) (Composition) | 0.497 | | |
| 4 葉冠密度 (3) (Crown Density) | 0.602 位置 (4) (Position) | 0.211 方位 (9) (Azimuth) | 0.382 混合形 (3) (Mix Type) | 0.311 標高 (7) (Altitude) | 0.262 大径木本数 (4) (No. of D.) | 0.414 | | |
| 5 標高 (5) (Altitude) | 0.332 混合形 (5) (Mix Type) | 0.194 大径木本数 (3) (No. of D.) | 0.297 位置 (9) (Position) | 0.304 局所地形 (5) (Land Type) | 0.218 方位 (9) (Azimuth) | 0.329 | | |
| 6 位置 (4) (Position) | 0.294 標高 (3) (Height class) | 0.129 方位 (9) (Azimuth) | 0.357 標高 (6) (Altitude) | 0.236 樹冠密度 (4) (Crown Density) | 0.166 斜傾 (4) (Tilt) | 0.302 | | |
| 7 位置高階 (3) (Height Class) | 0.264 位置構成 (5) (Composition) | 0.292 斜傾 (4) (Tilt) | 0.279 位置 (4) (Position) | 0.193 斜傾 (4) (Tilt) | 0.108 標高 (6) (Altitude) | 0.213 | | |
| 8 混合形 (5) (Mix Type) | 0.314 | | | | | | | |
| N | 168 | | 168 | | 168 | | 167 | |
| 要因 Items | 8 (26) | 7 (26) | 10 (26) | 8 (16) | 8 (16) | 7 (16) | 7 (16) | |
| カテゴリ Category | 35 (89) | 35 (89) | 47 (89) | 46 (81) | 45 (81) | 41 (81) | | |
| 重相関 R | 0.894 | 0.949 | 0.648 | 0.781 | 0.899 | 0.974 | 0.930 | 0.974 |
| | | | | | | | | |

表3. トムラウシ, 本別, 要因別偏相關表

-28-

表4 トムラウシ要因内部相関
Inner Correlation Matrix for Volume Estimation
トムラウシエゾトド天然林 Tomuraushi Natural forest

| Item | 要因間の単相間 | | | | | | | Simple Correlation Coefficient Y |
|-----------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-------------------------------------|
| | X ₁ | X ₂ | X ₃ | X ₄ | X ₅ | X ₆ | X ₇ | |
| 大径木本数 X ₁ | 1.000 | | | | | | | 0.711 |
| 局所地形 X ₂ | 0.042 | 1.000 | | | | | | 0.268 |
| 立木構成状況 X ₃ | 0.145 | -0.087 | 1.000 | | | | | 0.220 |
| 立木構成 X ₄ | 0.452 | 0.052 | 0.009 | 1.000 | | | | 0.623 |
| 樹冠密度 X ₅ | -0.03 | -0.137 | -0.241 | 0.073 | 1.000 | | | 0.933 |
| 標高 X ₆ | -0.054 | -0.249 | 0.034 | -0.107 | 0.046 | 1.000 | | 0.029 |
| 位置 X ₇ | 0.381 | 0.50 | 0.280 | 0.055 | -0.120 | -0.007 | 1.000 | 0.467 |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |

表5. 本別要因内部相関
Honbeto Natural Forest

| Item | 要因間の単相間 | | | | Simple Correlation Coefficient Y |
|----------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-------------------------------------|
| | X ₁ | X ₂ | X ₃ | X ₄ | |
| 樹冠密度 (X ₁) | 1.000 | | | | 0.419 |
| 高階 (X ₂) | -0.096 | 1.000 | | | 0.606 |
| 高階 Class (X ₃) | 0.235 | 0.436 | 1.000 | | 0.757 |
| 大径木本数 (X ₄) | 0.095 | -0.089 | 0.090 | 1.000 | 0.106 |
| Tilt (X ₅) | 0.173 | 0.141 | 0.040 | 0.038 | 0.292 |
| | | | | | |
| | | | | | |

-29-

測定を推定目的に妥当な ような巾に類型化し区分したのである。

この多変量解析の手法は、各要因を一度に計算過程に加えるのではなく、一つづつ加重しては推定計算を繰り返してゆくことによつて各要因相互の関連は内部相関係数として表わされると同時に、夫々の要因の外的基準への関与性は個々の偏相関係数として、また夫々の場合の全体推定の精度は重相関係数または推定値の標準偏差によつて求められる。「表3」は要因が調査の一時点の材積、成長量、枯損量の推定目的に対してどのような重要さで関与しているかを上記の偏相関係数の値を参考に上位より順に、トムラウシ 本別について示した。

両者ともにエゾマツ、トドマツを主林木とする天然林であるが、トムラウシは全くの原始林であり、本別はかつて伐採によって人為作業の加わった林であり、両者の要因の関与性は全く異なる様子が見られる。

例えトムラウシは本別に比べ、すべての調査目的にはるかに自然環境要因の関与する点が大きく、材積推定のために第一の大径木の本数の多寡の次には局所地形の観察が大切であり、従来考えられていた樹高階の重要度ははるか下位となる。

一方本別の林においては樹高階は樹冠の疎密度に次ぐ大切な観察要因である。

これらの差はそれぞれの森林の成立過程による構造の差によつて特長づけられる特性であり調査に当つてはその森林では何をしらべることが効果的であるかを示すものである。「表4」「表5」は各要因間相互の内部相関係数を示す。

トムラウシ森林においては、各要因は大径木本数(X_1)と樹冠疎密度(X_4)樹高階(X_7)の間に当然ながら関係が見られる以外はほとんど数値的に独立である。

3 - 4 推定と数値表の作成

解析によつて求められた要因の関与性と相互の関連は、それが不偏性のあるものである限りそれぞれの森林の構成の特性を示すものである。

それらは推定目的として与えられた外的基準を最も誤差が少なく予測出来るように各カテゴリーに数量を与えた場合の結果である。したがつてこの値は外的基準が変わった場合に偏相関係数が異なるのは当然であるが、内部相関の値も異なつてくるものである。

またこの計算手法においては、同一外的基準に対しても、計算に加える要因の順、カテゴリー区分の違いによつて偏相関係数の値自体が変化するものである。

この内部相関係数、偏相関係数は相対的な参考数値として有効に用いられる。

したがつて内部相関の高い値をもつ要因については測定の難易、精度等を参照にいづ

れか一方をえらぶべきであろうし、また外的基準を異にした場合、他との関連が著しく異なる不安定な要因は不偏性について疑問が生じる。なお同一外的基準に対しても演算に加える要因の順序を変えたとき、偏相関係数が大きく変動するものについても、計算上の仮定を満しえないものともいえよう。しかし、このようなことがあつても一時点での森林の材積の推定する場合、写真上からどのよだの要因を測れば最もよい推定値がえられるかが大切なことである。

したがつて、たとえ写真像に現われる森林視測の要因が常識的に森林の生成過程や環境要因との間に相互関係があるものであつてもこれらの相互関連が明らかに數値上認められない場合にはこの両者を要因として用いてもよいであろう。事実上、写真上に記録された森林像の要因と環境要因との間には数値的な関連性が極めて少ないと内部相関係数によつて知られる。

写真像を仲介としたとき、森林要因と環境要因はいづれも同等な観察要因として検討されうるものである。

なお外的基準に対して関与性の少ない要因は測定の能率と、それを加えることによつて生ずる効果との検討により取捨選択されねばならない。



図 5 - 1. 第2次要因による実測値と推定値の比較図 (材積)

Actual and estimated stand volume by selected items.

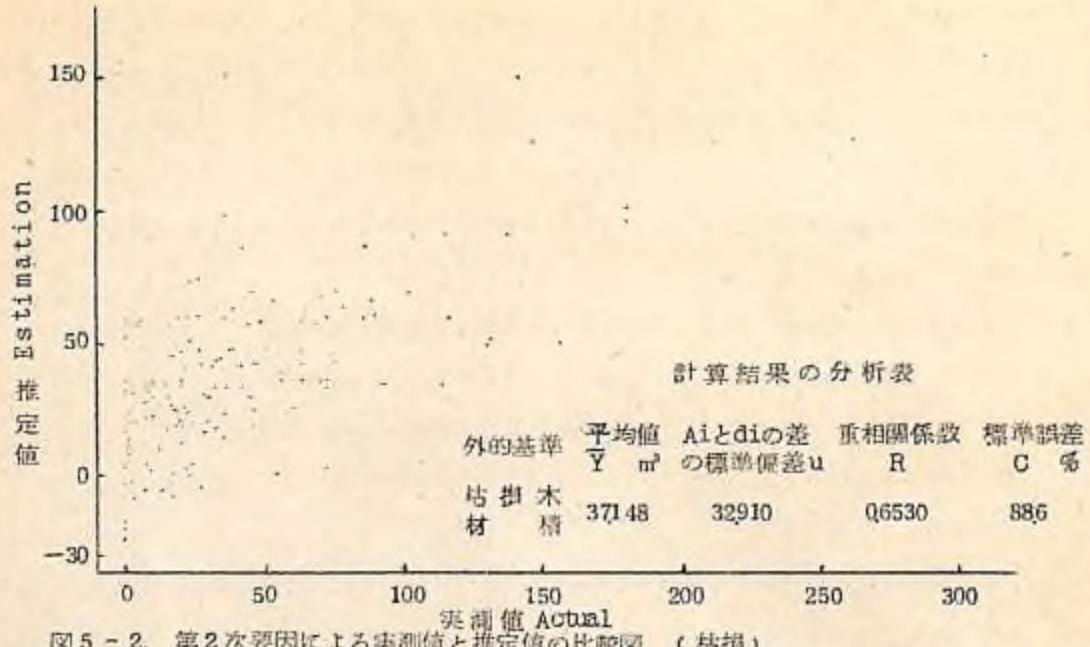


図 5-2 第2次要因による実測値と推定値の比較図（枯損）

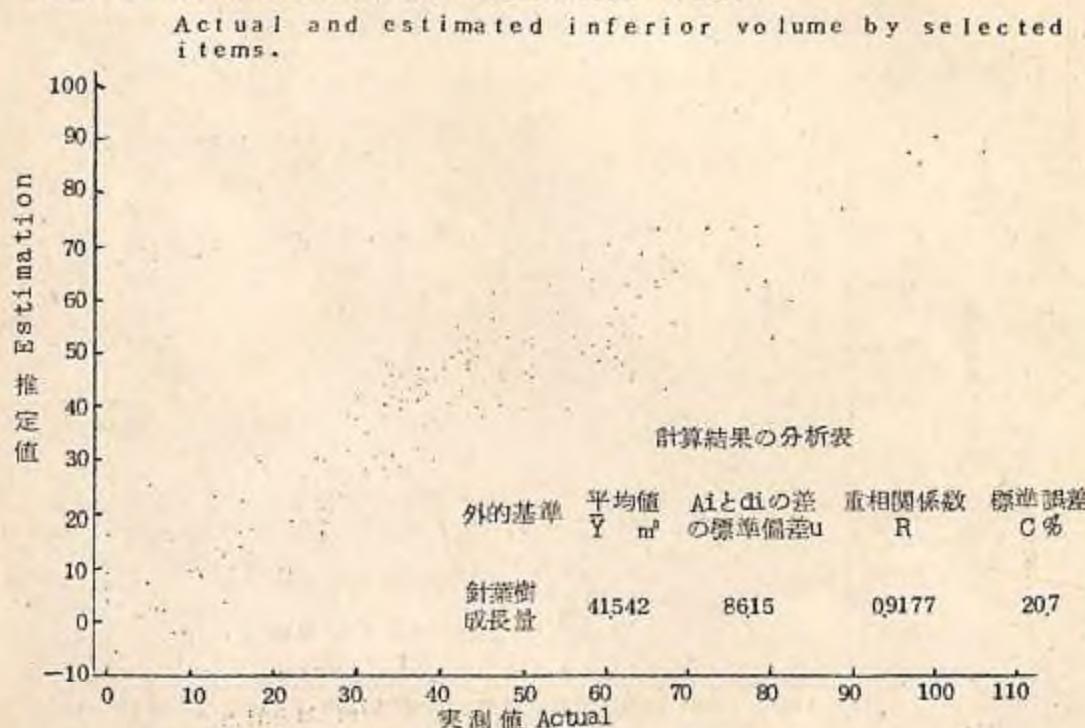


図 5-3 第2次要因による実測値と推定値の比較図（成長量）

Actual and estimated increment volume by selected items.

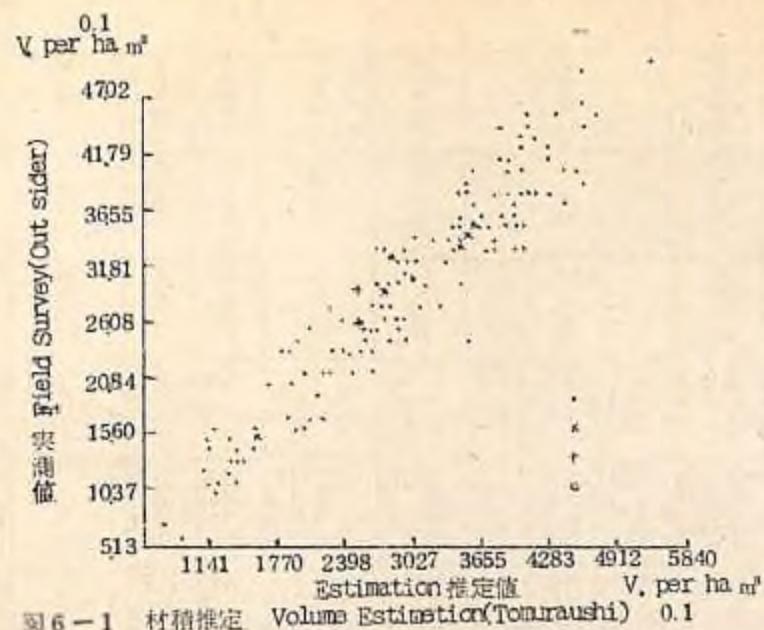


図 6-1 村積推定 Volume Estimation (Tomuraushi) 0.1

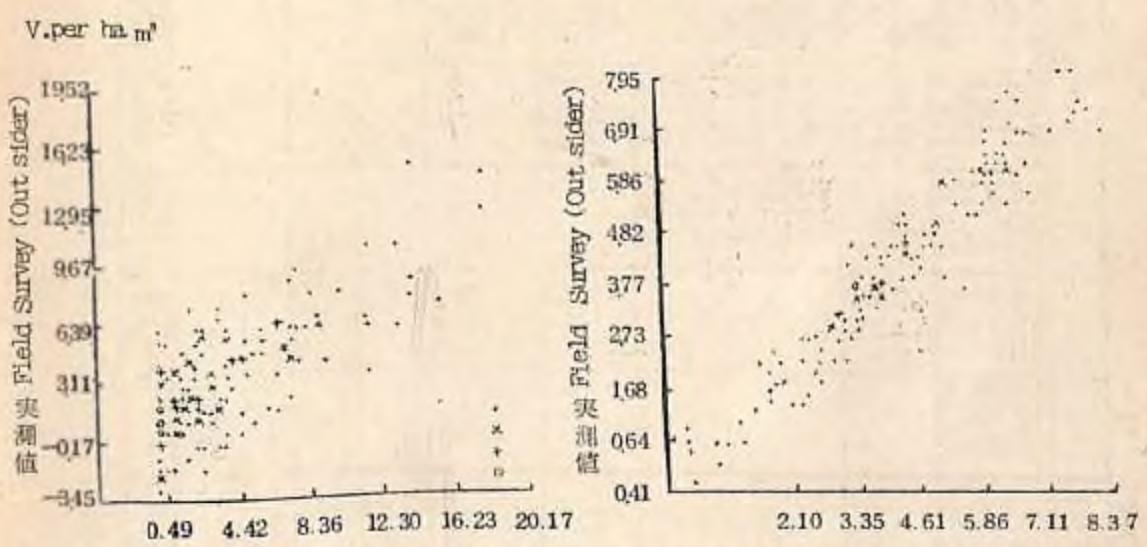


図 6-2 枯損量推定 Inferior Estimation (Tomuraushi)

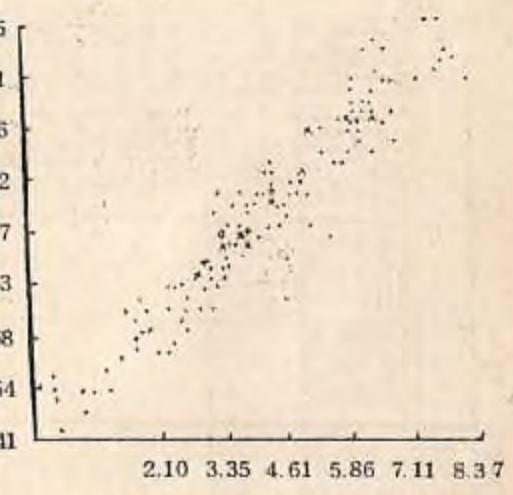


図 6-3 生長量推定 Growth Estimation (Tomuraushi)

図 6 本別 林分推定値と実測値比較

表 6-2 トムラウシ枯損数值表

| 要因項目 | 要因カテゴリ- | 反応値 | X ₁ | X ₂ | X ₃ | X ₄ | X ₅ | X ₆ | X ₇ | X ₈ | X ₉ | X ₁₀ | X ₁₁ | X ₁₂ |
|----------|---------|--------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 標高 | ~599 | 1 | 13429 | 10347 | 2179 | -20180 | -20788 | -20205 | 25654 | 42326 | 40244 | 83977 | 0506 | 67274 |
| | ~699 | 2 | 12316 | 22633 | 12349 | -11164 | -12066 | -12050 | 28465 | 48655 | 63176 | 71583 | | |
| | ~799 | 3 | 26326 | 26436 | 22892 | 1057 | 0762 | 1460 | 1460 | 1460 | 1460 | 1460 | | |
| | ~899 | 4 | 38672 | 43392 | 36356 | 15915 | 15717 | 16354 | 63176 | 71583 | 63176 | 71583 | | |
| 傾斜 | 平 | 1 | 69120 | 72917 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | 緩 | 2 | | | -15643 | -59457 | -56405 | -64561 | -64597 | -58761 | -66799 | 66799 | 0410 | -37306 |
| | 中 | 3 | | | -2471 | -39560 | -35488 | -43147 | -43134 | -38332 | -47568 | | | |
| | 急 | 4 | | | 4314 | -31822 | -29113 | -34549 | -34690 | -27412 | -34857 | | | |
| 方位 | N | 1 | | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| | NE | 2 | | | 20653 | 17500 | 24063 | 23969 | 13822 | 19333 | | | | |
| | SE | 3 | | | 22775 | 14698 | 23168 | 22389 | 18662 | 23462 | | | | |
| | S | 4 | | | 22967 | 22841 | 32225 | 32055 | 18943 | 26817 | | | | |
| 位 | SW | 5 | | | 69560 | 66772 | 71893 | 71949 | 66341 | 74187 | 0426 | 34996 | | |
| | W | 6 | | | 64970 | 58164 | 63250 | 63296 | 51031 | 55696 | | | | |
| | NW | 7 | | | 28177 | 23439 | 29126 | 29240 | 17058 | 20254 | | | | |
| | NW | 8 | | | 51560 | 47146 | 51256 | 51355 | 43564 | 49633 | | | | |
| 位置 | N | 9 | | | 47651 | 46386 | 51461 | 51551 | 39796 | 45578 | | | | |
| | 峰 | 1 | | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| | 十 | 2 | | | 30076 | 31331 | 31240 | 30501 | 23250 | 23250 | 0211 | 16623 | | |
| | 谷 | 3 | | | 21806 | 25343 | 25309 | 17672 | 20852 | 22390 | | | | |
| | 鞍 | 4 | | | 24778 | 25889 | 25857 | 19877 | | | | | | |
| 樹高 | N | 2 | | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| | LN | 3 | | | -9400 | -9542 | -10394 | -12765 | | | | | | |
| | NLb | 4 | | | 13964 | 13772 | 1883 | 2766 | 28385 | 0194 | -0356 | | | |
| | NL | 5 | | | 17768 | 17616 | 12855 | 15620 | | | | | | |
| | ~18 | 1 | | | -7956 | -8330 | -7977 | -7401 | | | | | | |
| | ~21 | 2 | | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| 傾斜度 | N | 2 | | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| | LN | 3 | | | -0809 | -0332 | -0332 | -12320 | 12320 | 0129 | -6280 | | | |
| | LNb | 4 | | | 0 | 0 | 0 | -6932 | -48080 | 48080 | 0292 | -26830 | | |
| | L | 5 | | | -33399 | -32409 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | |
| 樹高 | 2.2 | 1 | | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| | 2.2 | 2 | | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| 傾斜度 | 2.2 | 3 | | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| 標高混文 | 0 | 0 | | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| | 0 | 0 | | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| | B | 1 | | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| | Y | 2 | | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| | Y | 3 | | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| | B | 4 | | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| | Y | 5 | | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| 重因群偏相関係数 | 0.363 | 0.0477 | 0.0422 | 0.0542 | 0.0577 | 0.0600 | 0.0600 | 0.0631 | 0.0648 | 0.0648 | 0.0648 | 0.0648 | 0.0648 | 0.0648 |
| | 0.159 | 0.0407 | 0.0235 | 0.0201 | 0.0201 | 0.0201 | 0.0201 | 0.0201 | 0.0201 | 0.0201 | 0.0201 | 0.0201 | 0.0201 | 0.0201 |

1-34-1

表 6-3 トムラウシ (牛馬)

| 要因項目 | 要因カテゴリ- | X ₁ | X ₂ | X ₃ | X ₄ | X ₅ | X ₆ | X ₇ | X ₈ | X ₉ | X ₁₀ | X ₁₁ | X ₁₂ | |
|------|---------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|--------|
| 對交 | N | 1 | 53415 | 67483 | 46642 | 38960 | 39312 | 34278 | 33156 | 27678 | 35135 | 44900 | | |
| | NLg | 2 | 49870 | 31309 | 23011 | 23037 | 18923 | 17977 | 11592 | 17712 | 26139 | | | |
| | NLu | 3 | 42617 | 27385 | 22810 | 23143 | 20805 | 18025 | 13062 | 19220 | 28727 | 38863 | 0749 | 27630 |
| | NLb | 4 | 32200 | 48992 | 31891 | 25370 | 25789 | 22759 | 21317 | 15982 | 22325 | 32349 | | |
| | L | 5 | 10280 | 26133 | 86555 | 20552 | 23222 | -1168 | -4199 | -8998 | -4161 | 6037 | | |
| 局所地形 | 山 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| | 山 | 2 | -12629 | -10072 | -13754 | -13939 | -15951 | -19321 | -18168 | -16323 | -18247 | | | |
| | 山 | 3 | -14369 | -13129 | -17543 | -17578 | -20511 | -24327 | -23324 | -22328 | -23428 | | | |
| | 山 | 4 | -1801 | -14976 | -17961 | -17859 | -19212 | -23678 | -22823 | -21828 | -23553 | 24175 | 0503 | -17954 |
| | 山 | 5 | -19364 | -17560 | -22338 | -22420 | -23287 | -17640 | -1640 | -15617 | -1524 | | | |
| | 山 | 6 | -18575 | -14668 | -17679 | -17895 | -20265 | -18695 | -17168 | -17423 | -17749 | | | |
| 傾斜度 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| | 2 | 6949 | 14126 | 14059 | 17555 | 16282 | 15020 | 13172 | 12512 | 123422 | 0489 | 12145 | | |
| | 3 | 22908 | 29687 | 29218 | 32620 | 31479 | 27420 | 25545 | 23922 | 23922 | | | | |
| | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | |
| | 5 | 12764 | 12570 | 13128 | 12630 | 10772 | 10519 | 9606 | 92495 | 92495 | 0382 | 1757 | | |
| | 6 | 1164 | 12448 | 0494 | -1711 | -1617 | -1524 | -1524 | -1889 | -1889 | | | | |
| | 7 | 4664 | 4602 | 3738 | 1528 | 1755 | 1439 | 1439 | 1439 | 1439 | | | | |
| | 8 | 0 | -0484 | -0463 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | |
| | 9 | 1118 | 2192 | 3000 | 10084 | 12228 | 12268 | 12268 | 12268 | 12268 | | | | |
| | 10 | 0 | -6310 | -16251 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | |
| | 11 | 0 | 0440 | -12759 | -4339 | -4339 | -4339 | -4339 | -4339 | -4339 | | | | |
| | 12 | 6364 | -5750 | 0809 | 0809 | 0809 | 0809 | 0809 | 0809 | 0809 | | | | |
| | 13 | 2858 | -5750 | 0809 | 0809 | 0809 | 0809 | 0809 | 0809 | 0809 | | | | |
| | 14 | 6266 | -4872 | 29442 | 29442 | 29442 | 29442 | 29442 | 29442 | 29442 | | | | |
| | 15 | 6230 | -6225 | 26443 | 26443 | 26443 | 26443 | 26443 | 26443 | 26443 | | | | |
| | 16 | 4091 | -6516 | 1439 | 1439 | 1439 | 1439 | 1439 | 1439 | 1439 | | | | |
| | 17 | 4337 | -4998 | 1786 | 1786 | 1786 | 1786 | 1786 | 1786 | 1786 | | | | |
| | 18 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | |
| | 19 | 11915 | 5595 | 2931 | 1114 | 8239 | 0279 | 3268 | 3268 | 3268 | | | | |
| | 20 | 14796 | 8586 | 5171 | 3719 | 8239 | 0279 | 3268 | 3268 | 3268 | | | | |
| | 21 | 21375 | 14069 | 9982 | 8239 | 8239 | 0279 | | | | | | | |

表7-1. 本別(材積)数値表

| 要因項目 | 要因カテゴリー | 反応個数 | X ₁ | X ₂ | X ₃ | X ₄ | X ₅ | X ₆ | X ₇ | X ₈ | X ₉ | レンジ | 偏相関係数 | 平均値 | 偏 差 | | | | | | | | |
|----------------------------|--------------|------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|---------|-------|---------|-----|--|--|--|--|--|--|--|--|
| 大本 径 木数 | 0~50 | 1 | 131.357 | 705.67 | -55.857 | 17.356 | 6.703 | -6.305 | -14.849 | -27.957 | -27.886 | 198.368 | 0.738 | 57.697 | | | | | | | | | |
| | 51~100 | 2 | 211.918 | 123.378 | -20.767 | 52.719 | 42.021 | 28.764 | 19.446 | 7.942 | 7.974 | | | | | | | | | | | | |
| | 101~150 | 3 | 311.943 | 218.956 | 55.206 | 123.842 | 112.971 | 101.988 | 93.443 | 81.607 | 80.219 | | | | | | | | | | | | |
| | 151~ | 4 | 425.154 | 324.467 | 148.884 | 209.944 | 200.821 | 186.522 | 181.831 | 173.740 | 170.482 | | | | | | | | | | | | |
| 樹 高 | 1 | 1 | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 243.622 | 0.651 | 116.333 | | | | | | | | | |
| | 1.2(2.1)(13) | 2 | 184.44 | 23.425 | 8.259 | 0.339 | 9.141 | 16.619 | 19.754 | 23.609 | | | | | | | | | | | | | |
| | 2 | 3 | 81.483 | 105.334 | 90.806 | 82.975 | 95.873 | 103.957 | 108.427 | 113.775 | | | | | | | | | | | | | |
| | 2.3 | 4 | 68.809 | 105.072 | 93.714 | 86.732 | 98.246 | 103.996 | 106.925 | 110.845 | | | | | | | | | | | | | |
| | 2.4(4.2) | 5 | 228.763 | 252.919 | 227.679 | 226.863 | 238.278 | 243.884 | 242.048 | 243.622 | | | | | | | | | | | | | |
| | 3.2 | 6 | 72.628 | 109.589 | 89.721 | 82.662 | 96.093 | 103.342 | 108.173 | 112.572 | | | | | | | | | | | | | |
| | 3 | 7 | 95.349 | 134.177 | 106.049 | 96.853 | 109.806 | 116.861 | 119.837 | 122.971 | | | | | | | | | | | | | |
| | 3.4(4.3)(4) | 8 | 164.123 | 228.575 | 184.006 | 176.996 | 185.497 | 192.558 | 200.409 | 203.273 | | | | | | | | | | | | | |
| 疎 密 度 | 散 | 1 | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 144.284 | 0.636 | 70.522 | | | | | | | | | |
| | 疎 | 2 | 64.760 | 57.039 | 62.164 | 55.763 | 58.176 | 53.182 | 55.963 | | | | | | | | | | | | | | |
| | 中 | 3 | 82.841 | 76.977 | 85.638 | 80.558 | 81.230 | 77.937 | 81.842 | | | | | | | | | | | | | | |
| | 密 | 4 | 148.364 | 139.970 | 150.464 | 143.053 | 143.054 | 140.375 | 144.284 | | | | | | | | | | | | | | |
| 針 広 混 交 割 合 | Nエ | 1 | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 65.573 | 0.311 | -325.93 | | | | | | | | | |
| | Nエト | 2 | -39.078 | -34.688 | -31.719 | -28.260 | -22.663 | -24.775 | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Nト | 3 | -52.219 | -44.249 | -40.547 | -39.065 | -32.168 | -33.799 | | | | | | | | | | | | | | | |
| | NL | 4 | -40.779 | -32.638 | -28.842 | -23.965 | -16.172 | -17.566 | | | | | | | | | | | | | | | |
| | NL | 5 | -69.164 | -63.389 | -60.866 | -58.324 | -47.845 | -50.511 | | | | | | | | | | | | | | | |
| | LN | 6 | -60.627 | -52.395 | -50.783 | -45.372 | -34.669 | -35.930 | | | | | | | | | | | | | | | |
| | L | 7 | -78.104 | -76.702 | -71.633 | -69.447 | -62.704 | -65.573 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 方 位 | 無 | 1 | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 45.926 | 0.304 | 73.10 | | | | | | | | | |
| | N | 2 | 25.498 | 28.308 | 31.355 | 32.509 | 30.116 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | NE | 3 | -15.275 | -18.725 | -14.330 | -10.251 | -15.810 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | E | 4 | 11.530 | 7.328 | 14.120 | 15.950 | 9.329 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | SE | 5 | 23.491 | 22.611 | 26.817 | 32.213 | 26.196 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | S | 6 | 10.697 | 7.754 | 8.286 | 11.470 | 7.721 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | SW | 7 | -20.162 | -13.813 | -9.557 | 6.287 | -11.873 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | W | 8 | 1.033 | 45.23 | 7.593 | 15.305 | 10.624 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | NW | 9 | -3.527 | -0.931 | 4.158 | 14.200 | 9.492 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 標 高 | 0~599m | 1 | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 45.484 | 0.236 | 3.739 | | | | | | | | | | | | | |
| | 600~699 | 2 | 7.121 | 11.610 | 14.016 | 14.808 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 700~799 | 3 | -7.036 | -3.905 | -5.403 | -3.490 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 800~899 | 4 | 73.12 | 13.034 | 14.938 | 14.779 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 900~999 | 5 | 17.766 | 18.648 | 20.887 | 20.911 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 1000~ | 6 | -21.296 | -21.377 | -23.133 | -24.573 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 位 置 | 峰 | 1 | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 25.983 | 0.193 | -14.433 | | | | | | | | | | | | | |
| | 上 | 2 | -17.612 | -19.811 | -21.095 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 下 | 3 | -16.891 | -20.538 | -25.983 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 谷 | 4 | -2.822 | -3.618 | -10.654 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 局 所 地 形 | 山頂 | 1 | 0. | 0. | 0. | 19.169 | 0.171 | 3.877 | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 凸 | 2 | 7.617 | 11.923 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 山腹 | 3 | -9.729 | -7.246 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 平 | 4 | 8.389 | 8.686 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 凹 | 5 | 4.311 | 6.024 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 傾 斜 | 平緩 | 1 | 0. | 4.388 | 11.151 | 0.104 | 0.796 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 緩 | 2 | 4.974 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 中急 | 3 | -6.177 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 急 | 4 | 0. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 重相関係数 | | | 0.784 | 0.836 | 0.893 | 0.905 | 0.913 | 0.916 | 0.918 | 0.920 | 0.920 | | | | | | | | | | | | |
| 要因群偏相関係数 | | | 0.468 | 0.572 | 0.326 | 0.283 | 0.182 | 0.151 | 0.153 | 0. | 0. | | | | | | | | | | | | |

表7-2 木別(枯損量)数値表

| 要因カテゴリ | | 及格 | | X ₁ | X ₂ | X ₃ | X ₄ | X ₅ | X ₆ | X ₇ | X ₈ | V ₁₂₃ | 偏相関係数 | 平均値 | 偏差 |
|---------|--------------------|-----------|--------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|------------------|--------|-------|-------|
| 標高 | 0~59m | 1 | 32957 | 45384 | -1070 | 26015 | 39563 | 44112 | 38608 | 26084 | 38889 | 22629 | 0.368 | 40979 | |
| | 600~699 | 2 | 22684 | 41231 | -3106 | 25789 | 36708 | 38514 | 32889 | 16379 | 64225 | 0.368 | 40979 | | |
| | 700~799 | 3 | 21533 | 38601 | -7788 | 19609 | 29934 | 30123 | 26552 | 16379 | 64225 | 0.368 | 40979 | | |
| | 800~899 | 4 | 45379 | 67891 | 20763 | 49339 | 59517 | 63521 | 60163 | 48648 | 49532 | 0.430 | 40979 | | |
| | 900~999 | 5 | 43667 | 64545 | 20420 | 45554 | 55858 | 56553 | 54021 | 49532 | 48648 | 0.430 | 40979 | | |
| | 1000~ | 6 | 57667 | 86252 | 43359 | 72330 | 78819 | 84076 | 82588 | 80604 | 80604 | 0.430 | 40979 | | |
| 方位 | 無 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | |
| | N E | 2 | -7054 | -4006 | -7787 | 38540 | -35328 | -23118 | -22395 | -43608 | -58875 | 0.326 | -39438 | | |
| | S E | 3 | -15142 | -15573 | -22725 | 55771 | -52500 | -43009 | -42395 | -58875 | 0.326 | -39438 | | | |
| | S S | 4 | -40464 | -37130 | -41113 | -71931 | -67406 | -57956 | -58875 | 0.326 | -39438 | | | | |
| | S W | 5 | -1985 | -0735 | -13635 | -44958 | -47169 | -36102 | -34283 | 0.326 | -39438 | | | | |
| | W | 6 | -28742 | -30776 | -39527 | -70925 | -70834 | -58488 | -53144 | -53144 | -53144 | 0.430 | 40979 | | |
| | N W | 7 | -25633 | -18472 | -26089 | -54672 | -54267 | -44288 | -43888 | -43888 | -43888 | 0.430 | 40979 | | |
| | N W | 8 | -31382 | -28382 | -36109 | -65898 | -65227 | -54993 | -54570 | -54570 | -54570 | 0.430 | 40979 | | |
| | N W | 9 | -22199 | -22352 | -27822 | -56858 | -55321 | -44571 | -44183 | -44183 | -44183 | 0.430 | 40979 | | |
| 樹種 | 12(21)(13) | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | |
| | 2 | 44673 | 43942 | 54324 | 50320 | 54112 | 51666 | 51329 | 45820 | 45820 | 45820 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | |
| | 3 | 36798 | 35735 | 48105 | 47215 | 51329 | 45820 | 52093 | 52093 | 52093 | 52093 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | |
| | 4 | 40464 | 43571 | 59429 | 53875 | 57528 | 52093 | -24236 | -24236 | -24236 | -24236 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | |
| | 5 | 108435 | 981731 | 08430 | 109639 | 111821 | 105037 | 105037 | 105037 | 105037 | 105037 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | |
| | 6 | 45123 | 38334 | 52140 | 50868 | 53295 | 46917 | 46917 | 46917 | 46917 | 46917 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | |
| | 7 | 54871 | 43011 | 58351 | 58854 | 58817 | 51199 | 51199 | 51199 | 51199 | 51199 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | |
| | 8 | 34(43)(4) | 54231 | 36724 | 47066 | 46353 | 47487 | 42021 | 42021 | 42021 | 42021 | 42021 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 針葉樹混生割合 | N { N ₁ | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | |
| | N ₁ | 2 | -17629 | -18984 | -20898 | -20898 | -19238 | -19238 | -19238 | -19238 | -19238 | -19238 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| | N L | 3 | -23487 | -22926 | -24783 | -24783 | -24289 | -24289 | -24289 | -24289 | -24289 | -24289 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| | N L | 4 | -34109 | -32610 | -34863 | -34863 | -34554 | -34554 | -34554 | -34554 | -34554 | -34554 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| | L N | 5 | -17444 | -16923 | -21487 | -21487 | -20571 | -20571 | -20571 | -20571 | -20571 | -20571 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| | L N | 6 | -21879 | -20104 | -19398 | -19398 | -19450 | -19450 | -18328 | -18328 | -18328 | -18328 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 局所地形 | 山頂 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | |
| | 山腹 | 2 | 17764 | 16904 | 19185 | 19185 | 16657 | 16657 | 16657 | 16657 | 16657 | 16657 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| | 山腰 | 3 | 2185 | 3513 | 4597 | 4597 | 2875 | 2875 | 2875 | 2875 | 2875 | 2875 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| | 山底 | 4 | 5840 | 5740 | 5841 | 5841 | 4255 | 4255 | 4255 | 4255 | 4255 | 4255 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| | 低平地 | 5 | -32849 | -32880 | -31752 | -31752 | -32011 | -32011 | -32011 | -32011 | -32011 | -32011 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 森林密度 | 散生 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | |
| | 中密 | 2 | 17939 | 19659 | 23414 | 23414 | 2186 | 2186 | 2186 | 2186 | 2186 | 2186 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| | 密生 | 3 | -5719 | -3291 | -1154 | -1154 | -1086 | -1086 | -1086 | -1086 | -1086 | -1086 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| | 灌叢 | 4 | -1199 | 0948 | 5502 | 5502 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 傾斜 | 山 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| | 斜 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 位置 | 谷 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 重相関係係数 | 0.257 | 0.375 | 0.466 | 0.499 | 0.526 | 0.547 | 0.552 | 0.559 | 0.559 | 0.559 | 0.559 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| | 0.263 | 0.298 | 0.202 | 0.192 | 0.176 | 0.0989 | 0.0989 | 0.0989 | 0.0989 | 0.0989 | 0.0989 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |

表7-3 本別(生長量)数値表

| 要因 | | 反応個数 | | X ₁ | X ₂ | X ₃ | X ₄ | X ₅ | X ₆ | X ₇ | X ₈ | V ₁₂₃ | 偏相関係数 | 平均値 | 偏差 |
|----|-----|------|------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|------------------|-------|-------|-------|
| 對立 | N E | 1 | 7184 | 44660 | 2930 | 2513 | 2693 | 2289 | 2289 | 2289 | 2289 | 2289 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| | N E | 2 | 6188 | 3041 | 1081 | 1159 | 1517 | 1108 | 1108 | 1108 | 1108 | 1108 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| | N E | 3 | 5935 | 2960 | 1060 | 1122 | 1732 | 1329 | 1329 | 1329 | 1329 | 1329 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| | N E | 4 | 4770 | 1818 | 0987 | 0932 | 0443 | 0505 | 0505 | 0505 | 0505 | 0505 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| | N L | 5 | 2788 | 0279 | -1695 | -1863 | -1481 | -1378 | -1378 | -1378 | -1378 | -1378 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| | N L | 6 | 1587 | -0220 | -1842 | -1834 | -1508 | -1289 | -1289 | -1289 | -1289 | -1289 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| | N L | 7 | 0622 | -2443 | -3607 | -3490 | -3490 | -3334 | -3334 | -3334 | -3334 | -3334 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| | 散 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| | 中 | 2 | 1089 | 1418 | 1824 | 1915 | 1721 | 1566 | 1566 | 1566 | 1566 | 1566 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| | 密 | 3 | 2991 | 2187 | 2356 | 2640 | 2408 | 2314 | 2314 | 2314 | 2314 | 2314 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| | 密 | 4 | 3846 | 4170 | 3996 | 4323 | 4070 | 3913 | 3913 | 3913 | 3913 | 3913 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| | 樹 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| | 樹 | 2 | 2118 | 2067 | 1575 | 0927 | 0126 | 0434 | 0434 | 0434 | 0434 | 0434 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| | 樹 | 3 | 1716 | 1252 | 0884 | 0982 | 0982 | 1375 | 1375 | 1375 | 1375 | 1375 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| | 樹 | 4 | 4676 | 4133 | 3914 | 4093 | 4093 | 4483 | 4483 | 4483 | 4483 | 4483 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| | 樹 | 5 | 1559 | 0735 | 0221 | 0333 | 0333 | 0621 | 0621 | 0621 | 0621 | 0621 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| | 樹 | | | | | | | | | | | | | | |



図 7 數値写真圖例
(本別 62林班 40 m 方眼)

-40-

本別 (林班)

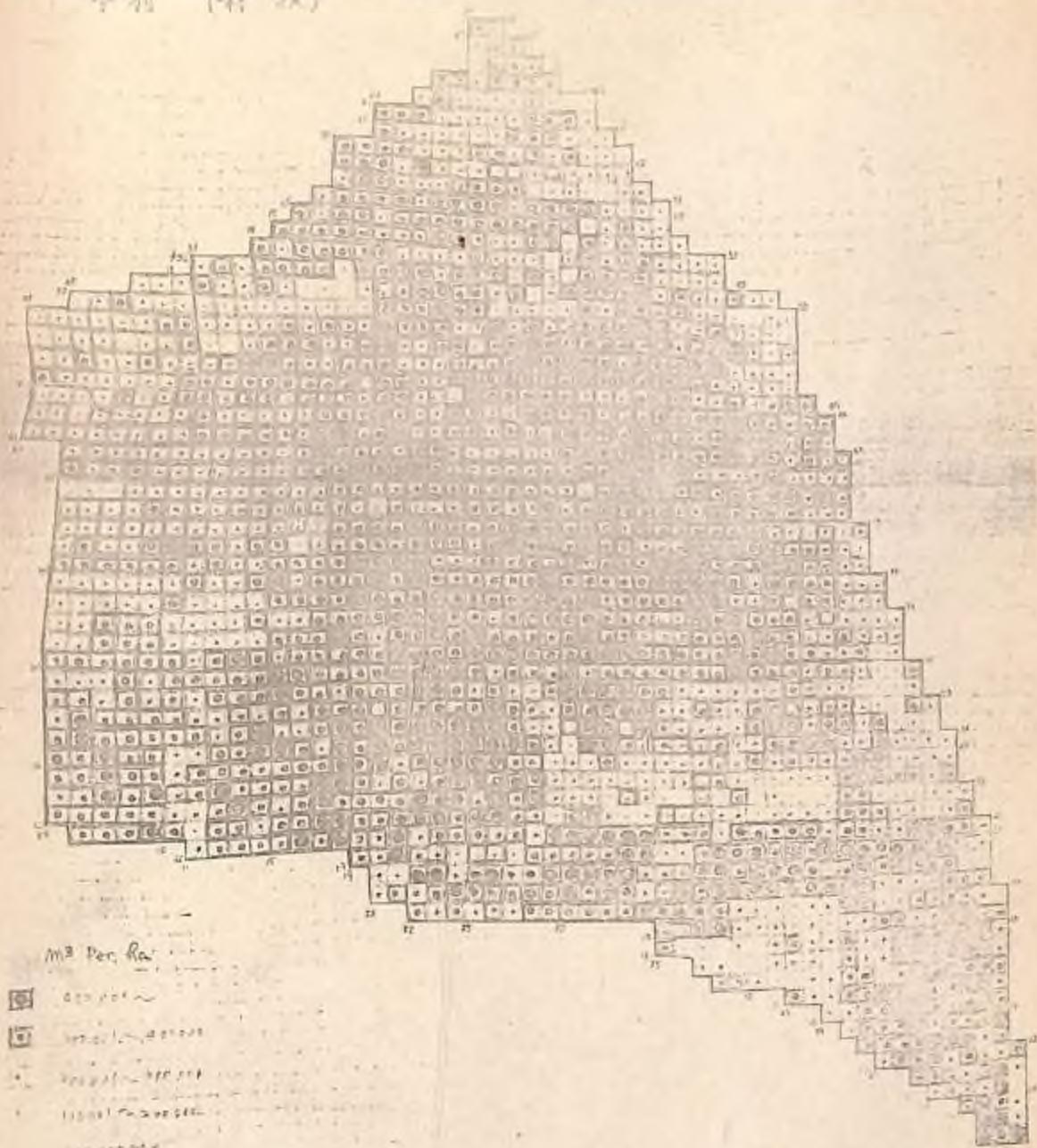


図 8-1 本別 62林班 樹種分布地図

-41-

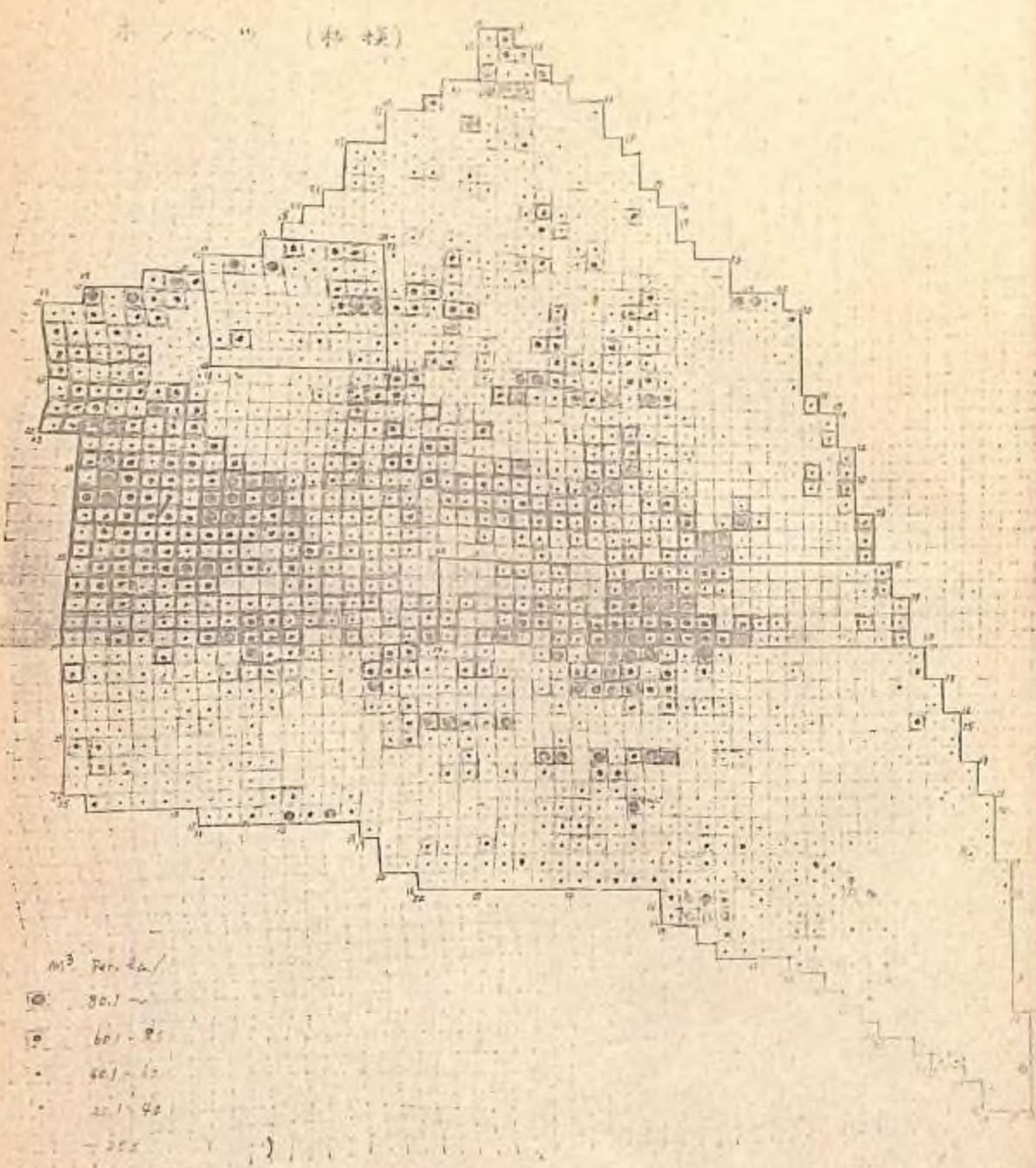


图 2-2 本制 62 森班 调绘 (和様)

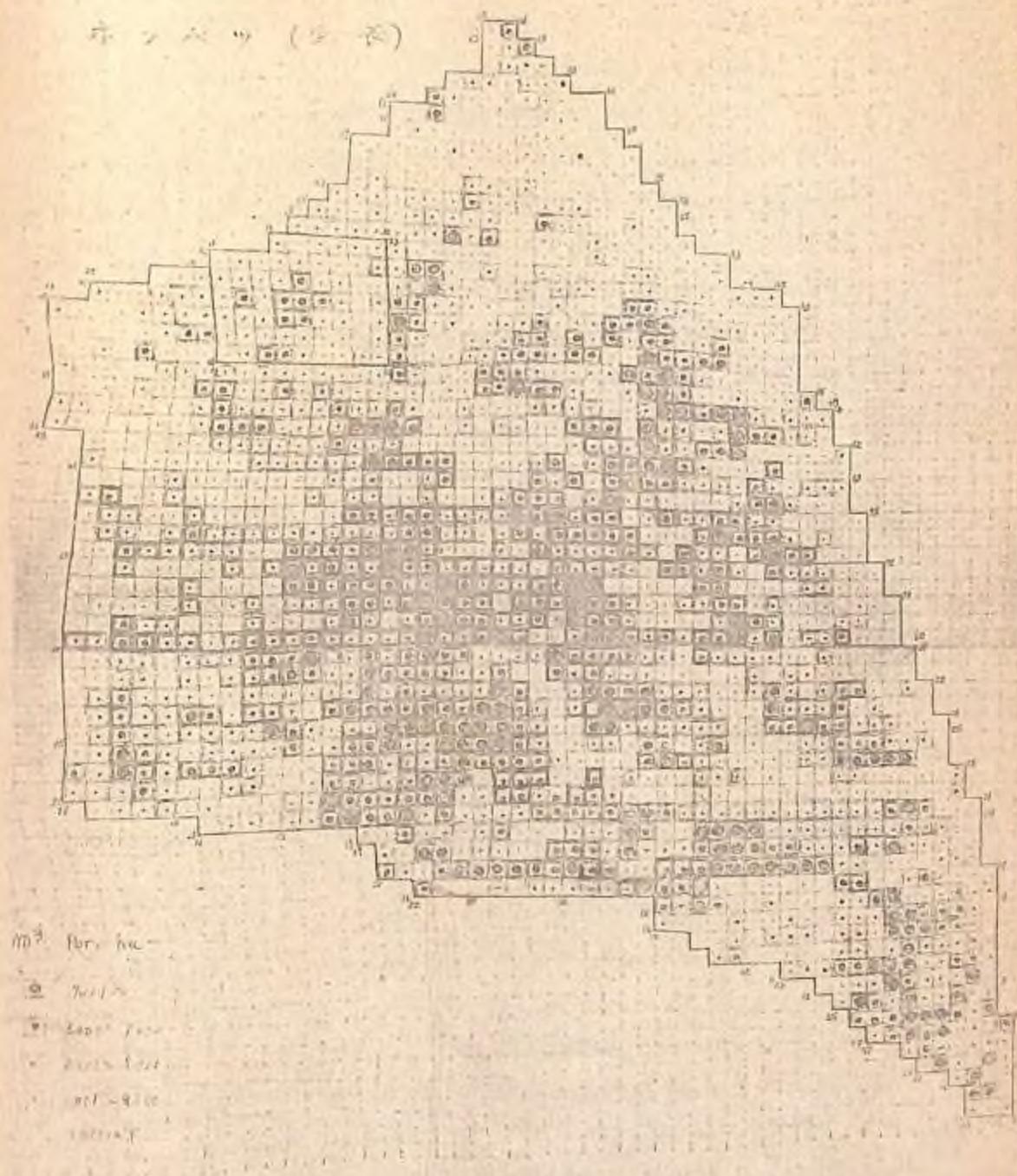


图 2-3 本制 62 森班 全流域水系圖

それぞれの推定目的に対して適切な要因と順序が求められた場合、各カテゴリー毎に最も適切な点数が与えられ、その集計によつて予測値が得られる。

トムラウシ森林、本別森林での材積、枯損、成長量についての実測値（外的基準）と推定値との比較図を「図5、図6」に示す。

この推定は材積、成長量については所要の精度が得られているが、枯損量の推定精度は十分でないのは「図5、6」に見られるように天然林においては少なくとも7m³/ha程度の枯損は観測要因に關係なく全面的に過去より累積、また自然発生している結果であり、推定の対象にならない存在があつたと思われる。

なお全要因を用いた推定の結果は前記、解析の段階において既に算出される。更に要因の選択と順位を改めた場合は新しい点数表が作成されなければならない。

選ばれた要因とその順位で最もよい予測値を得るために各カテゴリーに与えられた点数（スコア）を要因の加算順に表示したものが予測点数表である「表6」「表7」。

この表は写真により区分された林型区画、またはタオドラート区画内の森林の各観察要因、カテゴリーに該当する点数を集計すれば目的とする予測値がえられるものである。

この際、用いた要因が多い程精度のよくなることは、下行の重相関が増加することによって知られるので必要な精度と観測の能率によつて、いくつの要因までをとるかを定めうる。

要因群偏相関係数は上行の要因を加えることによつて高めうる効果であり、また予測の精度は推定値の残差分散の値によつて知られる。

このような点数表は写真撮影のみから個々の林分ごとの現況の推定を可能とする。また要因のパターンが変化した場合の林分の状況の変化が数値的に予測することが可能となる。

3-5 数値写真図（写真コードラート）

現地と写真像、またその測定値の完全な結合を計るために、平面図上に方眼網を形成する数値図の方眼点を写真像上に設定したものと「数値写真図」と名付けた。すなわちこの写真対は立体視すれば立体模像の上に方眼網をかぶせた状態があらわれ、またその各方眼点はX、Y、Zの値が求められているものであり、同時に各コードラートは最大傾斜角、傾斜方位、平均標高が算出されている。（図7）

この作成は、1. 当概地域の数値地図の作成 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 3. ひずみ修正を行なつた

写真上にこの透明フィルム展開図を重ね焼、の過程によつて完成する。

本試験において作成したコードラートはトムラウシ計627個 本別1826個で各40×40mメッシュ、前者は5本のベルト状に、後者は62林班全域について作成した。

3-6 数値表の適用と現地検討

数値写真図により作成された各コードラートの写真像の観測、および地況要因の数値により、夫々の区画毎に数値表を適用、材積、枯損、成長量の推定を行なつた。この作業は電子計算機によつて行なわれ、結果は一覧表としてタイプアウトされる。例「表」。またこれは階層区分された分布として表わすことが出来る「図8」。

この推定の結果を現地検討し地上測定値との比較を行なった結果を「図9」に示す。この検討はトムラウシ18個、本別12個のコードラートについて実施した。

この結果は推定は従来の標本調査値の局地適用結果に比べ著しく満足すべき値を示している。

特に材積値は実測と推定の間に高い相関を示した。これを本別、トムラウシを混みとして見た計算では次の如くである。

| N = 31 | | | |
|--------------|----------------|------------|------------|
| ΣX^2 | 3826936.802556 | α^2 | 711.080581 |
| ΣX | 10658.525 | S_{yx} | 4.7869372 |
| ΣY^2 | 3693843.043445 | S_a | 0.66194 |
| Y | 10534.727 | 誤差率 | 13.93% |
| ΣXY | 3745074.057942 | | |
| b | 0.757848 | | |
| a | 79.264012 | | |
| r | 0.904896 | | |

これは元来地上測定法が材積測定には適確さをもち、枯損、成長量測定等はそれに比べるかに変動の多い測定法であることをも示しているものである。

3-7 空中写真利用による森林調査の体系

森林調査には総括的な計画立案を目的とする情報収集と同時に、個々の林地での施業に必要な資料収集の目的を満されねばならぬものもある。森林調査にとつてこの両者では調査必要事項も、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。

Fig. 9-1. 標準地 現地調査、予測値 ドラグラフ

Field survey and Estimation of Sample plot.

(Tomuraushi)

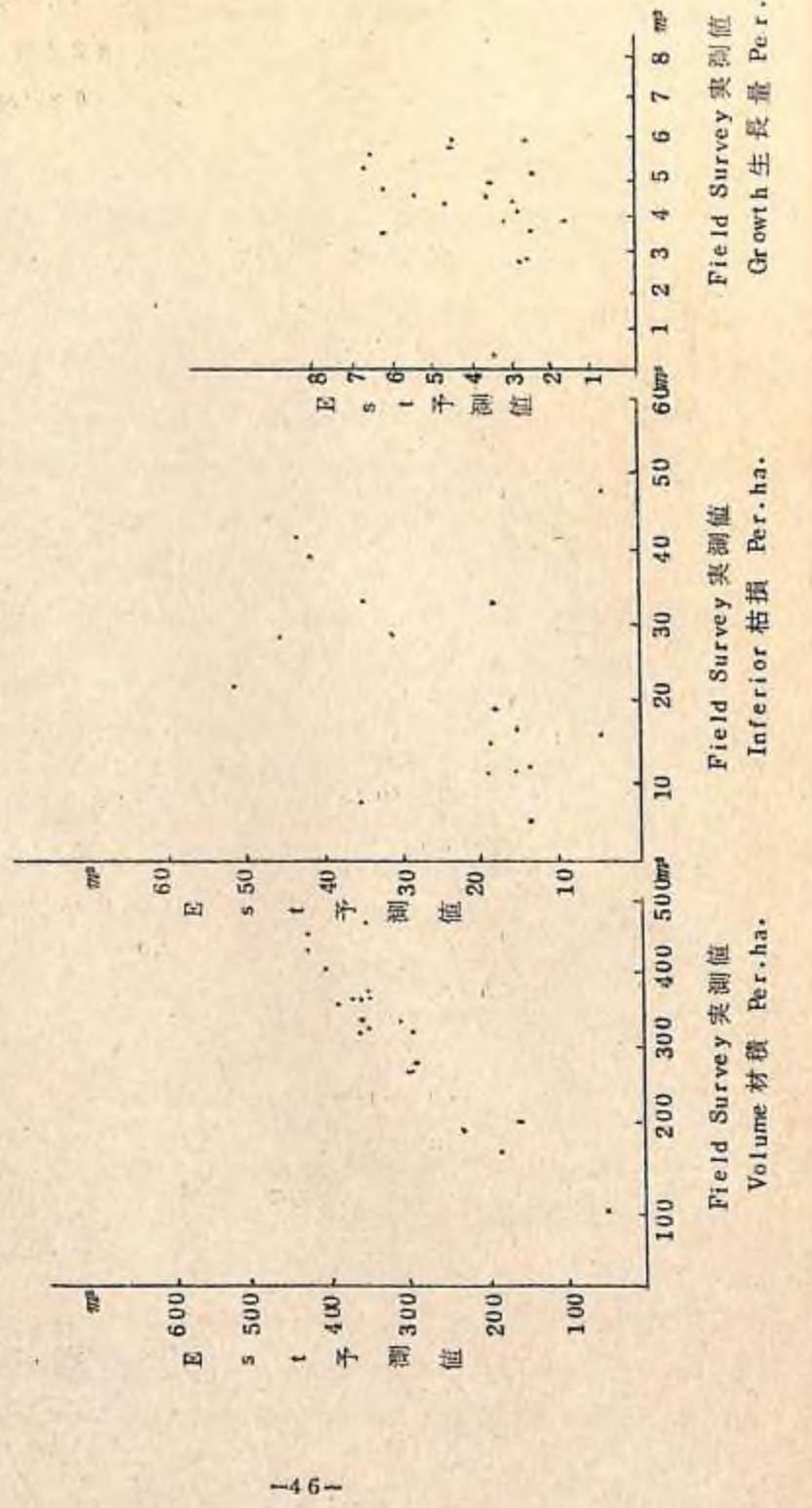


Fig. 9-2. Field survey and Estimation of Sample plot

(Honbetsu)

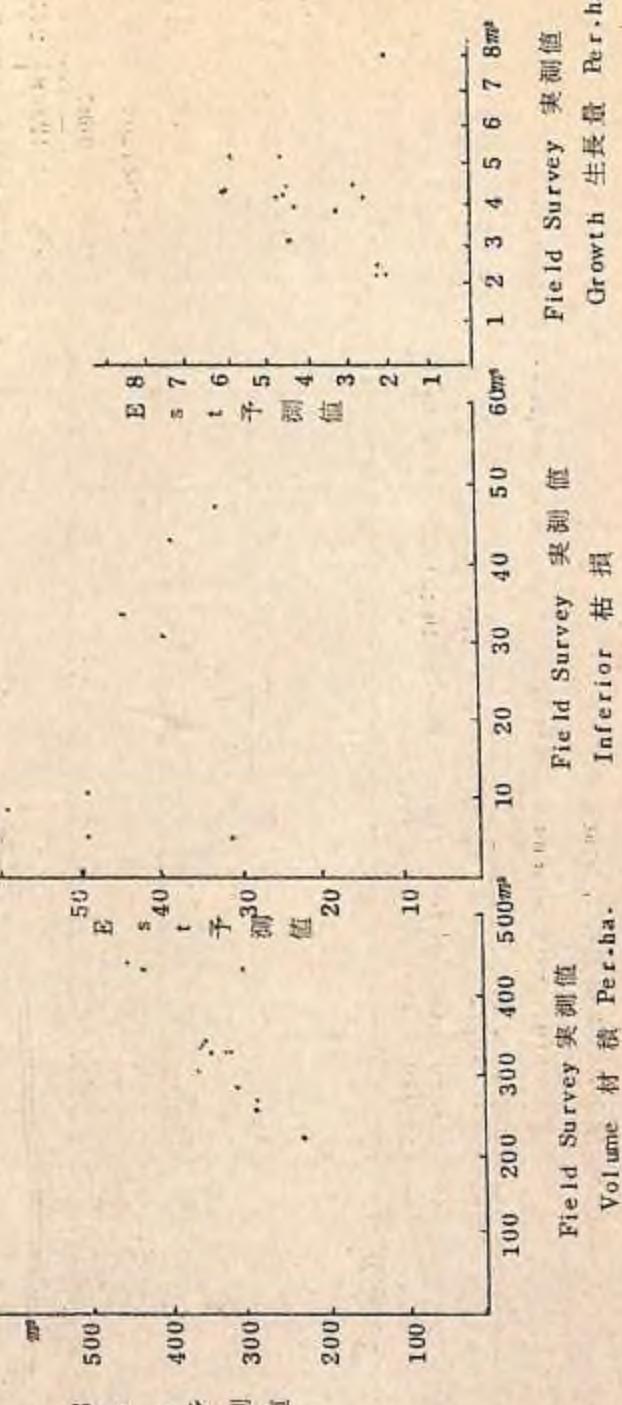


表8 標準地 現地調查，予測值比較表

Field survey and Estimation of sample plots (40×40m)

| Plot No. | Item | 本數 No. of Tree | 地形 Land Type | 種類密度 Compo- siti- | 標高 Altitude | 位位置 Position | 樹齡 Height C. | 混生 Mix- ture | 方位 Azim- uth | 傾斜 Tilt | 立木材積 Volume | 枯損量 Infe- rior | 生長量 Growth | Per ha. |
|--------------|---------------------|----------------------|--------------------|-------------------------|----------------|-----------------|--------------------|--------------------|--------------------|------------|----------------|----------------------|---------------|------------|
| 1 (30-21) | 標準 Field Est. | 2 | 3 | 4 | 2 | 5 | 2 | 3 | 4 | 4 | 3 | 280744 | 64438 | 3,889 |
| 2 (30-22) | Field Est. | 2 | 3 | 2 | 3 | 4 | 2 | 3 | 3 | 7 | 2 | 461681 | 16375 | 5,700 |
| 3 (30-23) | Field Est. | 2 | 2 | 4 | 1 | 5 | 1 | 3 | 1 | 6 | 3 | 433381 | 18692 | 4716 |
| 4 (30-24) | Field Est. | 1 | 2 | 2 | 2 | 4 | 2 | 2 | 2 | 6 | 2 | 203044 | 12188 | 2,710 |
| 5 (30-25) | Field Est. | 2 | 4 | 2 | 2 | 4 | 1 | 2 | 1 | 5 | 2 | 283525 | 31938 | 4,397 |
| 6 (30-26) | Field Est. | 1 | 3 | 4 | 2 | 4 | 2 | 1 | 2 | 5 | 2 | 299440 | 19140 | 2,996 |
| 7 (30-27) | Field Est. | 2 | 2 | 2 | 2 | 4 | 2 | 2 | 4 | 6 | 2 | 181047 | 31652 | 2,683 |
| 8 (30-28) | Field Est. | 2 | 3 | 2 | 3 | 4 | 2 | 3 | 3 | 7 | 2 | 348246 | 14134 | 2,803 |

| | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------|---------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|--------|--------|-------|
| 9 (30-29) | Field Est. | 3 | 2 | 2 | 3 | 4 | 1 | 1 | 2 | 6 | 2 | 328113 | 12056 | 4,374 |
| 10 (31-27) | Field Est. | 2 | 2 | 2 | 2 | 5 | 1 | 3 | 1 | 6 | 2 | 363743 | 18875 | 4,802 |
| 11 (31-28) | Field Est. | 2 | 2 | 2 | 2 | 5 | 1 | 3 | 2 | 7 | 2 | 390650 | 29344 | 4,629 |
| 12 (31-29) | Field Est. | 2 | 1 | 5 | 3 | 5 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 348609 | 46136 | 3,750 |
| 13 (34-29) | Field Est. | 2 | 1 | 1 | 3 | 4 | 1 | 1 | 2 | 6 | 2 | 291094 | 40000 | 3,641 |
| 14 (34-29) | Field Est. | 3 | 2 | 2 | 2 | 5 | 1 | 3 | 2 | 7 | 2 | 378025 | 21988 | 5,508 |
| 15 (35-29) | Field Est. | 3 | 3 | 4 | 2 | 5 | 2 | 2 | 4 | 4 | 2 | 360396 | 522210 | 6,855 |
| 16 (35-29) | Field Est. | 2 | 1 | 2 | 2 | 5 | 1 | 3 | 1 | 6 | 2 | 319741 | 18375 | 3,534 |
| 17 (35-30) | Field Est. | 2 | 1 | 3 | 3 | 4 | 2 | 3 | 2 | 4 | 3 | 307563 | 15306 | 6,360 |
| 18 (33-29) | Field Est. | 3 | 3 | 4 | 2 | 5 | 1 | 3 | 2 | 7 | 2 | 361656 | 42063 | 4,804 |
| 19 (32-29) | Field Est. | 2 | 1 | 5 | 3 | 5 | 2 | 2 | 4 | 4 | 2 | 375437 | 42265 | 2,594 |

表 8

(本 別 Honbetsu)

| Plot No. | Item | 本数 No. of Tree | 地形 Land Type | 樹高 Tree Height | 疎密度 Density | 標高 Altitude | 方位 Azimuth | 混交型 Mix-ture | 位置 Position | 傾斜 Tilt | Volum | Inferior | Growth Per ha. m ³ |
|--------------|------------|-------------------|-----------------|-------------------|----------------|----------------|---------------|-----------------|----------------|------------|--------|----------|----------------------------------|
| 1 (42-35) | Field Est. | 2 | 4 | 8 | 3 | 4 | 4 | 2 | 5 | 3 | 296519 | 43375 | 4428 |
| 2 (41-36) | Field Est. | 2 | 2 | 8 | 3 | 4 | 4 | 3 | 5 | 3 | 319504 | 38224 | 4753 |
| 3 (37-37) | Field Est. | 3 | 4 | 8 | 4 | 4 | 4 | 2 | 3 | 3 | 265450 | 31731 | 4702 |
| 4 (37-36) | Field Est. | 2 | 4 | 8 | 3 | 4 | 4 | 3 | 5 | 3 | 288896 | 39361 | 2850 |
| 5 (36-36) | Field Est. | 2 | 3 | 8 | 2 | 4 | 3 | 3 | 5 | 3 | 436835 | 47875 | 4587 |
| 6 (36-37) | Field Est. | 2 | 3 | 8 | 4 | 4 | 4 | 3 | 5 | 2 | 394916 | 32984 | 6177 |
| 7 (35-37) | Field Est. | 2 | 2 | 8 | 4 | 4 | 4 | 3 | 5 | 2 | 277469 | 62875 | 2623 |
| 8 (35-36) | Field Est. | 2 | 3 | 8 | 4 | 4 | 4 | 2 | 3 | 2 | 287973 | 52419 | 2392 |
| | | | | | | | | | | | 223119 | 92125 | 2428 |
| | | | | | | | | | | | 229419 | 48355 | 2102 |
| | | | | | | | | | | | 331038 | 5875 | 3385 |
| | | | | | | | | | | | 317740 | 30443 | 4449 |
| | | | | | | | | | | | 339506 | 53313 | 3990 |
| | | | | | | | | | | | 355572 | 81057 | 3306 |
| | | | | | | | | | | | 347000 | 71563 | 4405 |
| | | | | | | | | | | | 346724 | 55752 | 4554 |

たとえ同一対象地域について調べるものであつても、異なる目的への調査を同時に、また両者を平等に満しうる方法は、それぞれの効率より見て、また実際の作業上からも極めて困難であるといえよう。

それは、この両者が対象とする空間を異にする括りにあるからである。

従来より総括的調査のためには主として標本調査法が適用されているが、この調査結果を同時に局地的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括りの大小にかゝわらず、精度は基本的には標本の数、すなわち経費、労力に帰因するものであり、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つているにすぎない。

調査結果の上に局地的な詳細性を更に高めようすれば、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になることが多い。

従つて、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。

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、肉眼によつ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。

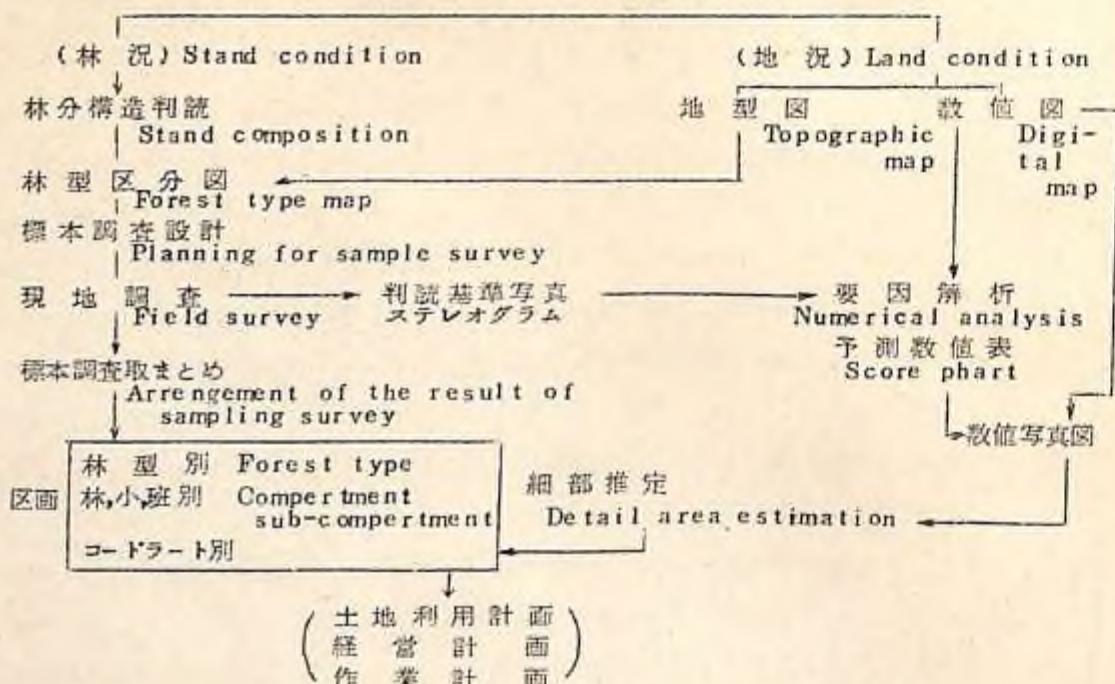
現在要望されている森林調査への空中写真的利用は、まず、写真の持つ自在な空間、それを仲介とすることによつて被写体の客観的な数値の求められることを十分に活用することを基本として設計し従来の調査法における障害を除くことを計つた体系で組立てる必要がある。

写真が森林調査の上で發揮しうる効果を要約すれば、まず森林の整理分類であり、次には写真像の効果的活用による森林の数量的取扱いである。

これらによる森林の資源調査、経営案構成等を目的とする最も一般的な調査の仕系は現状にあつては次の如くであろう。

- 1) 写真観測による林分構造を主体とした林型区分
- 2) 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
- 3) 標本調査による総括取まとめ

表10. 森林調査体系模式図 Forest survey system
空中写真撮影



4) 林況要因と地況要因の写真撮影による林分構造の解析

5) 要因解析結果に基づく材積、成長量、枯損、更新等調査目的項目の予測数値表の作成

6) ステレオグラム数値表による森林生産力の現況と推移の細部推定

この区画単位には林小班等の管理区画、林型区画の他に、コードラートの適用が考えられる。これを模式図に示すと「図10」の如くである。

V 試験の効果

空中写真利用技術の開発によって、我々は地物の観測の目盛、対象とする空間を目的に応じて荒くも細かくもえらぶことができ、また映像として捕える光線を肉眼で見える時間だけではなく、最適なものを用いて記録することができ、なお写真像を仲介とすることによつて撮されたものすべてを客観的な数値にかえて情報解析が可能となる手法を明らかにした。

これらは森林調査のみならず、他のあらゆる分野における観測方法を著しく近代化し、効率を高めるものであると共に、今後における遠隔検査の基礎研究をなすものである。

なお森林調査の細目についてはなお更新条件の予測、あるいは時間函数の導入、映像機械判定の実用化等への多くの問題を残している。