

經營	9 0
測定	2 7

森林測定研究資料

5

〔第5回世界林業會議〕
〔森林測定部門講演要旨〕

昭和36年2月

農林省林業試驗場經營部

目 次

まえがき	1
大面積の森林に特に応用し得る調査	3
森林調査資料の機械的処理	19
アルゼンチンの予備的森林調査	31
アジア太平洋地方の広大な森林に適用できる調査	33
森林調査計画と調査方法の進歩	43
特に大面積に適用できる調査	55
森林調査における航空写真測量	71
熱帯（南東アジア—太平洋地域）における 林業経営への航空写真の応用	83
イタリーにおける森林調査の進歩と業績	85
日本における森林経営と施策計画	87
温帯地域における森林調査と年伐量決定のために メキシコで最も普通に使われている方法	93
森林資源を推定する目的と方法の選択	95
広範囲にわたっている森林調査と統計的抽出理論	105
台湾（中国共和国）における森林調査	117

ま え が き

この冊子に訳出し掲載した論文は、1960年8月29日より9月10日までシヤトル市で開催された第五回世界林業会議の森林経営部会に提出されたものの中、森林の測定に関するものである。これらの内容から察知されるように、森林調査における標本調査理論の活用、航空写真の利用は世界的な傾向で、これらに伴う集計分類の機械化が大きく取りあげられている。

論文の訳出は測定研究室の西沢正久技官と川端幸蔵技官が、それぞれ分担して行なったが、論文の性質上、早急を要するので、訳文も十分推敲する暇もなく、また若干の誤訳もあるかとも思われるがこの点読者の御寛容を請うものである。

なお、論文はすべて第五回林業会議に出席された、東大嶺教授が寄贈されたものでここに深甚な謝意を表するものである。

大面積の森林に特に適用し得る調査

*Surveys particularly applicable
to extensive forest areas.*

By

R. C. Wilson* (アメリカ)

GP/83/I/A - U. S. A.

序

私の議論を紹介するために大面積の森林に対する調査の目的と研究範囲の概略を私の見たままについて述べよう。また調査計画を評価するいくつかの判定の規準についてもつけ加えておこう。これらの点から、この論題のまわりの私の軌道がこの計画に因し私の同僚のもの、略同じものであるということも明らかにしたいと思う。また私の論議が北米からのものであるが有用な調査計画の他の代表的な見方を皆さんに提供することを希望します。

目的

大面積森林調査の目的は簡単にいえば木材の状態の林政的な評価や森林計画や林産物投資に必要な面積の森林資源についてのこれらの最小の事実の信頼しうる推定量を与えることである。したがって級(植生型、林分の大きさ、令級、地位、その他の条件級)ごとの森林面積、材積、成長量、枯損量および伐採量のような木材についての基礎統計のために必要である。

もし林地が一人の所有でなければ、所有者別の別個な統計が必要

* Chief, Forest Survey Branch, Division of Forest Economics Research, United States Forest Service, Washington, D.C.

である。また、木材需要に関するデーターや水深、荒廃ヤリクリエーションに対する価値というような木材価値以前の森林資源の価値の部分に関する情報も必要である。しかしながら以下の認識を簡潔にするために、木材供給量を決定する方法だけを述べることにし、所有者別の推定を行う方法については論議しないことにする。

研究範囲

私がみるところでは大面積森林は大きな経済領域内で数百万エーカーとか数百万haもの大きな面積である。これは州とか国というような政治的単位である。

北米で一般に使われている数々の大規模調査計画を述べ評価しよう。一つの特別な設計の応用を概略述べよう。

判定規準

調査計画の相対的な価値を評価するのに役立つ判定規準は次の4つである。(1) 妥当な費用で作業を早くすることができる**効率**と、(2) 信頼限界を示すことのできる統計量の計算を可能にする、**信頼性**、と(3) **再調査に対する適合性**、これは最初の調査とその後の調査で得られるデーターの比較を可能にする(これは連続調査の設計に効果的である)と(4) **融通性**、いま述べた比較性をあまり犠牲にしないでこれを考慮にいれると改善された方法の設定が可能となる。

色々な有益な設計

北米で近年使われた大面積調査は論議の便宜上数々の大きな類ちゅうにまとめることが出来る。實際上すべてこれらの設計は森林面積を推定するため、外業をてきばさやるため、また野外プロット的位置を照合するための少くとも補助手段として航空写真を使っている。またそれらの大部分は伐採量を決定するための補足的な研究に依存している。これは普通林産物の生産高を精査するか、あるいは伐採された立木の記録から決定される。

この生産高は、伐採量の推定を得るための特別な研究で得られた利用因子を適用してもとの森林に関連づけられる。

米国での応用例は林野庁で行っているものである。一般的な調査要項にもとずいて実行している州の営林局によるカナダ⁽¹⁾での応用例は、*National provincial Forestry agreement*。(国家および州の林業協約)に概略述べてある。

⁽²⁾
Nacional Financiera。によるメキシコでの応用例は政府が、国の産業の進展を促進したり、資金を供給したりするためのものである。

カナダやメキシコで使われている方法を論ずる際に私は重要な点を見おとしているかもしれない。それは、米国で使われている方法と同じように、それに精通しているからである。私はこの論議をしているうちに、このような点についてもっとよく知っている人があられば、我々に注意していただきたい。

1) 一面積推定のための図化

その他を推定するための実験的サンプリング

この設計は写真判読と、野外チェックの組合せによって作られる。(置地位、林分の大きさ、樹高、令級、林分密度級というような)森林級を示す完全な地図を製作する必要がある。すべての森林級

(1) "Forest Inventory and Reforestation under the Canada Forestry Act" 1952~1956. Misc. Publ. No. 9. Department of Northern Affairs and National Resources Forestry Branch. Ottawa.

1957. より抜すい。

(2) "A Forest Inventory in Mexico" by Norberto Sanchez Mejorada. Abraham Escarpita H and Louis Hugnet. UNASYLVA, Vol. 12. No 2.

の面積を推定するには平面測量、（あるいは集約的なドットカウントのような、地図上で面積決定をする他の方法）を用いる。要するにこれらの推定量に抽出誤差はない。

しかしながら図化の方法にはひどい誤差があるかもしれない。地図上で森林級を極く正確度は、大面積にわたる森林条件における変動範囲の、“平均”であると判断する時の地図作成者によって行われる主観的な決定とともに変化するものである。

野外プロットは材積、成長量、枯損量の資料を提供する。プロット位置は、色々な森林級の代表的な部分を抽出するために最も経験のある人によって送られる。各級の中で取られた凡てのプロットからの資料は、その級の材積、成長量、枯損量に用いる平均の統計量を与える。これらの推定量の抽出誤差が計算され、このプロットが真の代表的標本であったかのように扱われることがある。

この設計を変形したものが、*Canadian Provinces of Alberta, Manitoba*（近づくことができる地方）、*Ontario, Saskatchewan*（一般森林地帯）ですでに利用された。

2) 一面積推定のための図化 -

その他の推定のための代表的標本抽出

この設計においても森林級の面積は、図面上に描かれた単位から推定するが、しかしその他の統計量に対する推定は森林級の代表的な野外サンプリングによって行う。プロットの配置は、選択する際に人為的な判断がはいらないような系統的抽出やランダム方法で決定する。これらのプロットから森林級の平均材積、成長量および枯損量に対する抽出誤差を計算する。皆さんも御承知のように、系統的標本の抽出誤差はあたかも抽出をランダムに行なったかのようにして計算する。そのようにして計算した抽出誤差の推定量は大きくなっているようであるが、真の誤差は、同じ抽出密度のランダムな標本の抽出誤差よりもおそろしく小さいものであるということとは

設計家が吾々に教えてくれている。

代表的な標本が送られるということを保証するために、ランダムあるいは系統的な選択を、地図上の地理的座標や航空写真上でグリッドによって決められた非常に多くの可能な位置から行なう。

この設計を応用する際に、とられるべき野外プロットの数（総数かまたは各森林級内の数かのどちらか）は勿論、林木の変異性が既に調査が完成された他の地域の変異性と同じであると仮定してある要求された推定の標準誤差に対して決定される。よりすぐれた方法は調査単位内で一定の踏査標本をとって変異性（異動係数）を推定することである。もし調査が完了したあとで、実際の異動係数が踏査で得た異動係数よりも著しく大きいものがあることがわかれれば、標準誤差を許容された誤差に減ずるために標本を追加してとらなければならない。

Novia Scotia と *British Columbia* のカナダの州および米国の多くの国有林施策団で使われた）この設計の変型では、サンプリングは森林級内を低蓄積林分よりも高蓄積林分ではより高い抽出密度をもつように層化している。

（*Mexico* の *Michoacan* 州の大部分の調査で使われている）別の変型では抽出は森林の総面積に比例的に配分されている。

すべての森林統計量推定のためのサンプリング

次の3つの設計は、森林級の面積推定と同様に材積、成長量、および枯損量を推定するために、写真および野外プロットによる代表的な標本抽出を含んでいる。したがって抽出誤差はすべての統計量に対して計算される。比較的に沢山の写真プロットと、比較的少数の野外プロットがとられている。野外写真標本は、無作為あるいは系統的な方法で上の型から出されている。

写真判読によって得られない詳細な情報を得ることと写真プロット上で行なう推定値を補正することのために野外プロットを用いる。できる限り、各野外プロットはそれと対応した写真プロットと同じ

点に中心を置く。

実際上の制限のために、写真プロットの大きさは、野外プロットの大きさとは普通違っている。非常に大縮尺の写真以外は、大きさで略ノエーカーの円型写真プロットが一般に使われている。野外プロットはこれらの形と無関係に一般にもっと小さいものである。ノエーカー円形写真プロットは各ノエーカー円形野外プロットや可変半径野外プロット* (点サンプル) と対にされている。大抵の場合では野外プロットのごく少数の部分が、後の調査における再測定や再度の位置づけ (連続調査方式の役割) のために利用されている。

野外推定値によって写真推定値を修正するために、相対的に写真プロットと野外プロットの数はどの位とすべきかとか、修正する方法とかを述べる時間はない。

これらの方法の詳細な論議や用いる公式については、*Manual of photo Interpretation*⁽³⁾ や *Forestry hand book*⁽⁴⁾ などの2, 3, の書物にのっている。

- (3) *American Society of photogrammetry, 1950.*
Manual of photo Interpretation.
 Gerge Banta publishing Co., Menasha Wisconsin
 (第四章は、写真材積表の作り方、および写真や野外推定の集成など、林業への応用を網羅している。)

- (4) *Society of American Foresters, 1955.*
Forestry handbooks. Ronald press, New York.
 (Section 1 は毎木調査、材積表を含めた森林測定を、網羅しており、Section 19 は外業による写真推定を、与えている。)

* Bitterlich のプロットレスサンプリング。

3) 野外プロットによる第一次の標本抽出

この設計では沢山の写真プロットまたは(点)を航空写真上に、格子板を用いて配置し、大きな土地利用区分で分類する。(商用林地と他の林地、農地、荒地、等)。疑わしい地域に落ちたどんなプロットもこれらの、あるいはそれらのうちのいくつかの位置を地上でチェックできるように記録しておく。

次に商用林地(あるいは商用林地らしい林地)の上に落ちた写真プロットの総数から一部を送んで要求されている野外プロットの数はほぼ近いものにする。

凡ての野外プロットをはっきりと位置づけするには、林地上に落ちた写真プロットの母集団からランダムあるいは、システムティックな抽出を行って決定する。

必要に応じて、写真上で疑わしい分類に対して写真野帳を野外修正して、林地やその他の土地利用級の全面積を推定するためにだけ写真標本を利用する。商用林地に分類された全写真プロットの割合を、調査単位の既知の総面積に適用すると商用林地の面積が推定される。野外プロットから色々な森林級の推定割合(またはこれらのエーカー数)や平均材積、成長量および枯損量を知る。

この方法を国家調査の一部として米国の12の南部の州で利用した。

4). 二重抽出法

この設計でも主要な土地利用の面積を格子板を用いて配置した沢山の写真プロットから推定する。しかしながら前の設計と対照的に、商用林地内の写真プロットは植生型、林分の大きさ、樹冠うっぺい度、材積級というような他の情報を与える。

写真標本は森林級の面積推定をうるための最初の基礎を与えるものである。相対的に少ない野外プロットからの情報を写真層化の誤差に対してこの推定を修正するために使っている。また、写真標本は、いくつかのはっきりした点で野外プロットを層化するための基礎でもある。この方法を用いて野外プロットが、層化されていない

ときよりも野外で決定した項目をもっと正確に推定することが可能である。

写真層化は一般に材積推定の正確度を増すために使われてきた。このような場合には、各層を樹林分材積、林分の大きさ（あるいは樹高）、樹冠うっぺい度、あるいはこれらの級の組合せをもとにした森林級の写真判読によって、決定するのが、普通であった。写真像の測定を含めた小プロットの写真判読は完全な図化の方法であるというよりも、森林級を決定するためのより客観的なまたより正確な方法である。

この方法は商用林地が全面積の大部分を占めている。（殆ど半分以上）地域や森林の構成が全く変化の多い地域で使われてきた。

この方法の二つの応用では、（*California*や北部11州の国家調査）（エーカー当りまたは写真プロット当り）の立方材積をもとにした層化を用いている。カナダでのこの方法の三つの応用（*New Brunswick*、*Manitoba*の近より難い地域および *Asheville*、*Chesam*の植民地では、植生型、林分高、樹冠うっぺい度、材積級が層化のために使われている。

5) 三重抽出法

この方法でも一二重抽出と同じように一主要な土地利用の割合を決定するために最初の段階で、非常にたくさんの写真プロットをとる。

第二の段階で一二重抽出と対照的に——商用林地に落ちる写真プロットの部分だけを、副次級ごとの森林面積を推定し、ついで野外プロットを層化するために判読する。

第三番目の段階は二重抽出の第二段階と同じである。野外プロットの標本は、写真プロットの母集団から送られるが、商用林に落ちている写真プロットの部分からだけである。

商用林が全面積の小さな割合（一般に半分以上）を占めている地域のいたる所でむしろ小さいまばらな単位であらわれるようような

地域で行う二重抽出よりも、三重抽出の方がいく分効率が低いと信じている。これは集約的経営計画（国有林のような）のための調査資料が利用できる場所以外の *North Central* や *Rocky Mountain* 部の米国の国家調査で使われている。

設計の評価

前述の設計がどの位よく目的にあっていいるか評価するために前に述べた次の4つの判定基準を考えよう。すなわち、(1) 効率、(2) 信頼性、(3) 再調査に対する適合性、(4) 融通性。

二重抽出と三重抽出の設計が最もよい効率である。

効率を考えると、すべての統計量にサンプリングを用いる設計は図化を用いる設計よりも上に格づけされるようである。詳細な地図を作ることは、時間がかかり、面積を推定するためのサンプリングより費用がかかる。

二重、三重抽出では費用のかかる外業を減らすために相対的に費用のかからない写真判読を行なうと非常に多くの利益がもたらされる。すなわち、航空写真を使うことは、写真判読によって合理的に正確に得ることができる情報に対して野外プロットに依存している設計よりも有効であるように思われる。写真判読が野外調査にとって代れるその限界は勿論適当な航空写真が利用されるかあるいは、特に立木調査に対して航空写真を作る費用によるものである。

すべての統計量に対する標本が信頼できる設計

図化設計は他のものと同じようには信頼できない。図化の誤差は容易に評価することはできない。すなわち図化から導入される面積統計量の信頼限界を設定することは困難である。地図作成の際の技術誤差は補償することができない場合が多く、その誤差は図化に加えるに地域全般の面積を推定のための代表的な標本の適用というような非常に費用のかかる努力を拂ってはいじめ、統計的に評価するこ

とができる位である。

最も不健全な設計は材積、成長量、枯損量の平均を推定するための標本を人為的な判断で送り、面積の推定は図化をもととして行う場合の設計である。

再調査にうまく適用される標本抽出設計

どんな設計の下でも、調査圃の比較をうまく行うために多くの尺度を使用できる。一つの尺度は、もし調査のやり方に著しい差がなければ土地利用級、森林級、(植生型、地位、林分の大きさ等)や樹木級(商用、丸太、枯傷木、その他)というような項目に対する標準的な定義あるいは明細を使っている。同一の材積量と測定方法を最初の調査と次の再調査に設定したプロットで用いることができる。また野外プロットについては再調査での再測定に対する条項を初めの調査において永久的に記録しておくことができる。

これらの尺度は図化の設計に適用できるけれども、比較しうる面積推定量、を表わすことは非常にむづかしい。その理由は面積量の判定や図解技術の中の未知の誤差が入る機会が多いからである。地図を作る各個人についても他の人よりはいくらか違った標準で判断するようである。

調査圃の推定の比較性に対しては、3つの抽出計画の1つは面積統計量が地図にもとづいているような計画よりもすぐれている。

二重、三重抽出計画は最も融通性がある。

最初の調査に対する設計には后で展開される方法が再調査と結びつけられるように融通性を与えなければならない。しかし、調査圃の推定値の比較性は予期しない技術的発達に備えるために犠牲にされなければならない。おそらく最もよいやり方は技術的な突発事象が起った時に比較週期が破れることも期待して数回の再調査を通じた計画において合理的な比較性およびいくらかの融通性を確保するために方法を折中させることであろう。

数年間にわたっての設計の比較性は、より大きな効率を与える新しい技術を統合するために犠牲にされてきた。正確な性質に関する推測や、調査に対する将来の技術的な時期をあわせることがなければ現在すぐれている技術のいくつかはずっと先では時代おくれになるということについては一致した意見であろう。おそらく直径テープ、レラスコープ、くさび形プリズム、ヘリコプターや今日の計算機の大径のものは数十年のうちには旧式のものとなるであろう。われわれは設計に関するある原則—すなわち統計的に有効な抽出方式、など—はそんなに早く旧式のものとなることはないだろうということに期待できる。

融通性に対して固定された投資は相対的に低く保つべきである。森林級の詳細で完全な図化や固定野外プロットの大きな標本はむしろ大きな固定した投資である。すなわち、二重抽出や三重抽出の設計は他のものよりも融通性をもつものである。固定プロットの場合は再調査で再則されるけれども外業での投資は他の設計における外業の投資よりも少ない。また、二重抽出、三重抽出の固定した投資は相対的に低いものである。

推奨される設計

概論

もしも諸君が選ばれた判定規準に同意されれば、5つの一般的設計のうちから2つ—すなわち、二重抽出と三重抽出—が適当なものであるとの結論をするだろう。卒直に言って、わたしはこの二つの間でいずれを強くすすめるということとはできない。それは二重抽出と三重抽出の両方のいくつかの特長をもっている次の節の特別な設計を概略述べた一つの理由である。しかしながら、特に特別な領域に対して論究するために、これらの理想化された設計では折衷案がとられていることはわかるであろう。

最も有効な調査設計に関するこの問題は米国林野庁に關係したも

であり、ある特別な研究が一つの答を得るために始められているという程度のものであることを知ることは真味であろう。完成すればその研究はここで試みる大ざっぱな検定よりもはるかに詳細で客観的な分析をもととした解答を与えるであろう。

アラスカに対する調査設計

問題と目的

アラスカの森林資源の最初の調査は、ほぼ20年後の再調査で少くとも一部分に適用できる設計を用いることが必要であった。現在進行中の調査は約4年の期間と一定の予算内で完成するように計画されていた。

この地域は広大で相対的に近づきかたい所がある。商用林の面積は、ほぼ4000万エーカー（1600万ha）であると考えられており、その約5倍の大きさである全面積の中に分布していると考えられている。森林型はたくさんの湖や、広い氷河の谷に点在するドロ沼、多くの山岳地帯の地形的な不規則性や、ひどい森林火災の歴史のために非常に破壊されている。

アラスカはこの国の州のうちで、最小の人口である。道路や鉄道も市も殆んどないありさまである。小さな航空基地湖や川の砂洲からとび立つ飛行機による旅行は森林を通過して移動を行うのに最も実行可能なものである。

小縮尺の地形図（1:250,000）や垂直写真（大抵は1:60,000や1:70,000）が森林調査に先だってこの地方に対して利用してきた。これらの航空写真は詳細な森林判読には適当なものではないが概略の林相図を作るのに利用されよう。

国家的な森林調査の一部として、この調査は森林面積、立木材積、成長量、枯損量および伐採量、すなわち、国家や地方の林業政策や森林計画をきめるための基礎として、また将来の産業投資を方向づけるための基礎として、また将来の産業投資を方向づけるための基礎

として以上の基礎資料を提出するために企画されたものである。政府の所有である商用林地の量を概略の位置を推定することか必要とされた。

調査方法の段階

1). サンプリングする航空写真の製作

準備的な段階として、マイナスブルーフィルターを使った赤外フィルムで、9x9インチのフィルム面をもっているカメラと12インチ（305mm）の焦点距離のレンズを使って基準面上で、1:5000の縮尺の立体視航空写真の帯を作る契約を発注した。このテストによってこの種の写真が商用林級の判読に必要な詳細な像を与えそうであるという事がわかった。この帯は30マイル（約48km）間隔で飛行したものであって、地域としては全体が写真の直線距離11,000マイル（約18,000km）以上を与えるものである。森林でないことがわかっているいくつかの大きな地域—先ず大きな氷河や氷の原野—は写真から除外されている。

2). 写真プロット抽出

写真プロットは全部で、約36,000のプロットが写真の各帯に沿って1/4マイルの間隔で配置された。

利用できる地形図を参考にして、帯の短いセクションに対して写真測定をおこなう場合に使うために、平均の写真縮尺を計算した。これらの縮尺は計画（飛行中の合理的な偏差を許した）に対して特別に定められた平均写真縮尺とへだたりがある。各写真プロットの場所を中心をもつ透明な格子板を用いて特殊な縮尺の写真で地上の約1エーカー（約0.4ha）をおおう矩形プロットを定める。

立体視によって、各プロットを土地利用級によって級分けする。商用林地上に落ちた各プロットを植生級、林分の大きさ、蓄積級というような級に級けする。

商用材林や丸太材林分のプロットに関しては林分高や樹冠うっぺい度

についての写真測定も行なう。これらは粗立方材積級ごとにあとで野外プロットを層化するのに用いる写真材積表を適用するための基礎である。

(枯死木のグループによって示されるような)枯損についてははっきりした写真があるような場合には、枯死した株分の割合も、推定される。

3). 写真判読の視覚的な飛行チェック

今まではこの方法は、二重抽出と類似のものである。アラスカでは、旅行費用が高いために、野外プロットにはかなりの制限を必要とする。同時に、面積級については、合理的に良好な推定が必要であった。このテストによってかなり、沢山の写真プロットの迅速なチェックは航空飛行で行って必要となすには、写真判読によって行われる面積推定量の確認あるいは修正でできることがわかった。

写真プロットの略、10%、が視覚的な踏査によって、チェックされる。すなわち、系統的に選んだ、線分の切片ですべてのプロットをチェックする。理想化された系統的標本からのこの偏差(または前節で述べた、標本抽出する航空写真の限界)は予算内で飛行する費用が保たれるようにとられている。

4). 野外プロット抽出

この地方の代表的野外プロットは非常に費用がかかるから(各々450\$、と推定される)ノエーカー野外プロットが、約100ヶしかとられたに過ぎない。これらは、はっきりと用材林や、丸太材林分に落ちているということかわかっている。視覚的にチェックされた写真プロットの部分から、系統的に選ばれている。外業班は各プロット位置の近くまで、軽飛行機またはヘリコプターによって、移動している。

この段階(三重抽出の第三番目の段階に似ている)は、(特別の研究で決定された、*Cull factors*、を使う事により)粗材積の

写真推定量を純材積に変換するための基礎となっている。また森林級の写真判読では与えられない樹種に関する詳細を手える。5つの重要な商用樹種が含まれている。すなわち、*White spruce* (*Picea glauca*)、*black spruce* (*Picea mariana*)、*quaking aspen* (*Populus tremuloides*)、*balsam poplar* (*Populus balsamifera*)、*paper birch* (*Betula papyrifera*)。野外プロットにより成長量や、枯推量に關してする詳細も得る。

これらのプロットは、永久的に印づけをおこなって、写真プロットと一緒に調査間の比較をおこなうために再調査のときにする。

5) 伐採量の推定

木材生産品を作っている産業界社設定を精査し、この生産量を伐採量に変換する利用因子をうるための研究が伐採部門に關して行われている。アラスカの立木伐採量には非常に限度があるために、これはあまり重要でない仕事であろう。

6) 計算

前に述べたすべての段階の間に得たデータのほとんどは、調査報告に必要な統計表を作るために、機械で記号化し、分類し計算する。もちろん、これは複雑であるが有効な過程のために非常に簡単な関係部門である。

しかしながら調査資料を計算するための近代的な機械方法は完全な専門家によって、このプログラムのどこか他の部門で論議されるであろうということを望みます。

7) 統計的な報告書と地図

どんな調査設計の目的も勿論、有用な報告書が作成されるまでは実現されていない。アラスカに対する設計は森林の状態の合理的に十分な解析を作りあげるために森林資源に關する統計を与えるもの

である。森林級の地図は、統計量を計算するため基礎としてではなく、解析や報告書発表の視覚的な助けとして作成されるものである。この地図は、この地域の他の部分の条件の標本として写真プロットや、野外プロットに関して記録された情報を使い、前に述べた、小縮尺の写真や地形図を使うことによって事務室で作られる。

結 論

本論文の目的は、大面積森林の調査に対する設計を選択したり適用したりする際のある理想的な原則を示すことであつた。

北米で使われていた多くの大規模な設計（と、その特殊な例）のこの簡単な論議においてすべての統計量を決定するためのラングリングの利点について林相図が相対的に重要なものでないということを確認しておきたい。たしかに地図は一つの重要な役割を演ずることができる、私は、それらは（望まれるどのような細目においても）異なるグラフ的な産物であり、統計量を計算する際には決定的なものであることだけを注意しておこう。

この論議で二重抽出や三重抽出が大きな利用面をもって、そのことがわかれば私の目的の一部は達成されたことになる。勿論どんな特別な調査設計でもすべての目的に対してあらゆる立場で役立つものは一つもない。したがって、もし調査目的や立場というもので設計を注意深く考察することが必要であることを強調したならば私の目的の他の部分が達成されたことになる。

森林調査資料の機械的処理

Machine processing of forest survey data
by

George M. Farnival (アメリカ)

近年の森林調査において最も著しい発展の一つは資料を人為的に集めることから機械的処理を行うように変わったことである。卓上計算機と加算機が簡単な小規模調査では、手動計算機にとってかわった。近代的なパンチカード事務機械は大規模調査でどんどん用いられてきている。また非常に多くの実験や踏査の研究では高速度電子計算機で森林調査の資料の処理を行っている。

機械がもたらす利益

- (1) 早く出来ること。
- (2) 人員が少なくてすむこと。
- (3) 正確度が増すこと。

「もたらす」という言葉をわざと使っている。すなわち利益は何も保証されない。機械化と経済化は同義語ではない。人間の努力の他の分野でのようにデーター処理において高価な機械装置をもって本質的に簡単な操作を複雑にする可能性は十分にある。しかしながら機械をうまく選り効果的に利用すれば時間と人力との節約ができ最終報告にはほんの少しの誤差しかないであろう。

速さの増加と人力の減少の二つの利点の組合せは通常資料処理の特別な仕事に要する費用の減少をもたらすことができる。しかしながら時にはもっとスピードをますためであるが、より詳しい情報を得る目的の場合がもっと多いがそれらの処理の時間の節約を再投資することが多い。資料の処理方法からめき出した配当金は単なるコストの減少よりもむしろ早さと正確度と詳細さとをもっと増すものであるということはおそらく間違いないことであろう。

上に並べた利益のいずれも実現させるためにはこの仕事と設備の適当な調和を必要とし、現在の段階で利用し得るなく変化にとんだ

装置がある。使う機械のすべてをあげることはほとんど不可能なことである。野外での限られた調査は実行可能であるが組織のいくつかのシステムが必要である。次の三つの広い分類が認識できる。第一にキー操作をする卓上計算器と会計機、次にパンチカード事務機械、および最後に内部貯蔵をもった適当な大型計算機である。これらの分類は互に排他的なものではなく、また完全なものでもないけれども論議の骨組みとして役立つであろう。

卓上計算器と会計機

最初の分類の中の機械は比較的費用がかからない大きな利点をもっている。その価格は100ドル以下から数千ドルの範囲である。一般にこれらの機械は計算のために本来は設計されたものである。すなわちこれらは、計算尺、算盤あるいは紙と鉛筆の計算に置きかわったものである。これらのすべての機械は加算を早く効果的に行うことが出来、勿論加算ができる機械はどれも加算の逆によって引き算も行ふことができる。これらの機械は乗除算もできる。最も簡単な機械でさえも加算と引き算のくり返しによって乗除算も行ふことができるがこれらの操作は時間がかかり効果的でない。

もっと複雑なそしてもっと高価な卓上計算器は内部的連鎖装置すなわち“鉄器具類”を具えていて“自動的に”引き算、割り算、掛け算を行うことができる。その上少なくとも一会社がキーのタッチだけで平方根を求め機械を提供している。いくつかの機械は3因子の乗法、あるいは2つの因子の乗法が除法で行うような一連の操作を容易に行えるように設計された特色をもっている。

一般に使われているどの卓上機械も資料は手で入手しなければならない。この目的のために非常に多くのキーボードを必要とするがダイヤルやレバーは少し利用しさえすればよい。大部分の加算機は紙テープに結果を印刷する。大部分の計算機はダイヤルの上に結果の数字を示し、情報はそれを長く記録する必要があるときは写しとっておかなければならない。ごく最近では印刷もする計算機が数局

社で発売されている。これらの機械は低速で累積や貯える能力は印刷しない機械のそれに対応するものよりも少ないものである。しかし入力記録や中間の結果の記録が必要なきにも有用なものである。事務の世界で非常にうまく非常に広く使われている会計機は森林調査資料を処理する人からほとんど注意を拂われなかったがこれらの機械は彼等が少くとも考慮に値するいくつかの特色をもっている。これらの機械は出力が精巧であるということにおいては他の卓上計算機よりもすぐれたものである。

結果は紙テープ片のものよりも長く記録する場合により適当な非等幅に広範な色々な形でプリント出来る。その上印刷した用紙の上にはアルファベット順に情報が記入出来るように作られているから割算が普通にできる。したがって出力を大変読み易く行うことが出来、計算結果について十分に、長く、かつ分り易く明示することにはあまり努力を拂う必要はない。

会計機は融通のきくようなものではなく、一般に卓上計算機と同じように多くの算術計算を行うことはできない。しかしながらこれには異状な計算能力がいくつかある。これらのうちの主なものはその中に算術製作の結果を貯蔵できる数個ものレジスターを備えていることである。いくつかの列の数字を一回の操作で加えることができる。各々の列に対する別々の合計も得られ、またいくつかの合計が同じ用紙上に並べて記入することができる。

アルファベットを示す装置と一緒に数個の合計を累加できる能力のある会計機を使えば森林調査資料をとりまとめる際に通常使っている相関表の作成に全く有益である。

加算機と卓上計算機を十分に使って、森林調査に含まれている計算を行う労力と時間が減少した。

会計機の使用を増やせば、なお大きな節約ができる結果となることは疑いない。しかしながらこの種のすべての機械の十分な能力が発揮されても、詳細な大規模森林調査から資料を得ることは、長たらしい時間がかかる仕事であろう。卓上計算機上で処理できる前に組

機だてなければならない。簡単な調査ではこの組織だてをする仕事の大部分は記録する課程の一部として行われる。各々の抽出単位で僅かの測定値あるいは観測値しかとられていないとき、あるいは最終報告に僅かの分析しか必要でないときには、野外分類が便利で有効である。

材積、断面積、あるいは基礎的な測定値の他の変換値は割付けした資料では迅速に得られそして半端なものを得る資料は卓上計算機で有効に処理できる。

パンチカード機械

近年森林調査においても益々詳細化される傾向になって来た。多くの分類を野外で類別することは大変おそくてむづかしいものである。その上誤差が起ることに全くあつらえむきであり正確のためのチェックもたとえそれが不可能でなくとも大変むづかしいものである。こうした理由のために測定値や観測値を多くの森林調査では各抽出単位毎に記録している。したがって資料はその中で実際に無作為な順であるような過程で表われる。したがってこの仕事の大部分は計算あるいは合計をとることだけでなく組織立てである。

個々の記録も分類し、整理しそして級分けをしなければならない。大規模調査に對して、手によってこれらの操作を行う際に含まれる労力はどの標準によっても、過度になり得る。機械化すなわち、オートメーション化が必要であり、彼等自身の中にパンチカード、いわゆる事務機械が入ってきているのが現状である。

実際にこれらの機械は、その名前にもかかわらず、もともとは調査資料の処理のために、工夫され考案されたものである。

1886年においても、1880年の米回国勢調査がまだ処理が続けられており、1890年の調査の報告が実際には、1900年の調査に関する仕事が始まる直后までも完成されなかったというようなことは、予想だもしなかったことである。調査局(Bureau of the Census)の助員の Herman Hellerith 博士は織物の模様の変換に穴のあいた

カードが使われることを知った。彼は同じようなカードに国勢調査資料を記録するアイデアを考案しこれらのカードを処理する機械の実験を始めた。

半世紀以上の発展の後、現在は調査資料の処理に必要な非常に多くの操作ができる機械が利用できる。パンチカード機の主な型は、キイパンチ、検証機、分類機、判断機、(interpreter)複写機、(reproducer)照合機、(collator)、作表機、(tallator)計算機である。これらの機械については、それが設計された操作目録に最もよく説明されている。

キイパンチ、(Key-punch)は空白カードにもとの資料をパンチするのに用いる。機械はタイプライターと同じような、キーボードで作動する。α, μ, C, 情報と数値情報の両手が新しい型のものでは操作できる。多くのカードに共通な情報は自動的に記入できる。

検証機、(verifier)はもとのキイパンチングの正確さをチェックするのに用いる。それは本質的にはパンチしないパンチ機であるが、操作者が入れた情報が、カードにすでにパンチされたものと一致しない時には、赤いライトがともるようになっている。

分類機、(Sorter)はある指定された規準にしたがって、グループにカードを分類する機械である。新しい分類機では、カードを分類している間に、その数え数えておりそして少くとも、その数えた結果を印刷することができる。

判断機、(interpreter)はパンチした穴で記録された情報をカード上に印刷する。これの用途は個々のカードを取扱わねばならないが読まねばならないときに、読み易いように利用するだけである。ある種のキイパンチはパンチと同時に印刷もする。

複写機、(reproducer)は一方のグループのカードのパンチを他のグループのカードの同じ列あるいは違った列の中に移すことができる。また一つの主カードからの情報を細目カード(detail-card)のグループに集団パンチ(gang-punch)することができる。

この複写機はまた、2つのグループのカードが全く同じにできてい

るかを比較し、また二重にパンチした列や空白の列のような明らかなミスパンチングを発見したりするチェックの目的にも使われる。

照合機 (Collator) は2つのカードの組を合併させたり、照合させるのに使われる。例えばもしA組が多く、2組のカードの第一の部分と全部含み、B組が第二の組のカードの全部であるとすれば、照合機は2つの組を合体して、各組の第二のカードが、合併する操作の結果である単一の組合さった組に各組の第一のカードのあとに並ぶようにする。

作表機 (tabulator) は一組のカードにパンチされた情報を一枚の紙の上に記録できる。これはまたカードのグループに対する情報を合計することができるし、合計の印刷もできる。そしてもし複写機と関連させれば要約カード (Summary card) に合計をパンチすることもできる。

計算機 (calculator) は、パンチカード家族の最も新しいメンバーであり、最も変化があるものである。今日の大規模な電子計算機はカードを操作もでき、勿論、計算機である。しかしここで述べるものは、限られた記憶装置をもち、内部計画を欠いたもっと容易に利用できる機械である。パンチカード方式において、卓上計算機の仕事をひきうけている。すなわちそれらは加減乗除を行う、多くは一連の算術操作を行う役割をもち、ある種のものは論理的な判定も行ふことができる。

パンチカード機械は森林調査資料の処理に現在は広く応用されている。米国のすべての地方的な森林調査は特に分類、総和、または報告書の作成にパンチカードの設備に大いに依存している。さらにもっと集約的な利用法は、連続的な森林調査、またはC、F、Jの名の下で多くの森林地所有者によってすでに設定されている固定標準地方式に関連して、この機械を使うことである。

大量のこれらのプロットについて集めた多くの情報と草木の記録に付して必要なものは、組合せて最大の資料処理ができるようにする。必要な時間が非常に長く、またそれに含まれる労働量が大変大

きいので、この仕事は手で行うことは決してできないであろう。

しかしながらパンチカード機械を使うことにより、このような調査からの情報はその資料を集める際に要する費用と比較したときには全く考えるに及ばない費用で、およそ数日のうちに、処理することができる。

固定標準地に関連した事務機械の使用に付して発展してきた方法とある程度詳細に述べよう。用いている方法は特殊な型の森林調査からの資料を処理する高度な、段階を表している。その上、手順の全部と、特殊な手法の多くは、一般の森林調査にも、適用できるものである。

資料の処理はもとの情報の記録することから始まる。資料をパンチカード機械で、処理するようになるまでには、森林調査では少くとも次の方法の二つを用いる。情報を野帳上に手でかき、のちカードにキイパンチするか、あるいは携帯キイパンチ、鉄針あるいは電磁記録的な鉛筆を使って、野外でカードに直接記入するかである。

この二つの方法の目的は、費用がかからず、正確でしかも野外で容易に検証でき、今後の処理にうまくあつた形である記録のできることである。

不幸にもこれらの望ましい特性はある程度両立しない。しかしながら余分な費用のかかることと、つづいて行うキイパンチをする際に、誤差がおこる機会がある。他方野外でカード上に情報を直接に記入することは、キイパンチする操作をはぶく利点があるけれども記入誤差はもっと頻繁におこる。その上記録は読み易い方ではなく、従って野外での検証や、チェックが困難である。

カード上に情報を得るのに用いる方法とは無関係に、次の段階は情報の正確さのチェックである。もしもキイパンチを用いたとすれば、カードを普通校正し、空欄や二重パンチに対しては、複写機上あるいは統計的分類機でチェックし、それからもとの記録に付して手でチェックするために、作表機上に記入する。もしも野外でカード上に直接に、情報を記入したとすれば、二重パンチや空欄のチェッ

グを行って、カードに作表機で記入する。検証機はカードそれ自身が、もとのただ一つの記録であるために使用できない。同じ理由のために記入の検査は明らかな誤差のチェックに限られる。

いづれの場合にも、記入事項の手によるチェックを補足的に行うかあるいは、特殊な型の誤差に対しては、機械チェックで十分償うことができる。忘れた情報や、途方もなく大きい小さい測定値や存在しない級分けを示すパンチは、分類機で検出する。その上枯傷木に対する製材丸太の長さのような情報のある組合せは、間違いがあるし、また、この型の誤差も分類機で発見することができる。

一度誤まりが発見されたらその修正が仕事の次の順序である。ある時はこの操作はいくらか偶然に行われ、そしてとりあげていっ程の注意も帯われていないことがある。古いあやまりを修正する際に新しい誤まりを、おかさなないように組織的な手順が必要である。その上、カード内の一つの誤りは修正するがその他の誤りを未修正あるいは、未発見のまま残すことを防ぐために護照が必要である。

手もとにあるカードの整った一組でもって材積の計算を始める。ここで必要なものは少くとも部分的に数学的である材積の方程式である。C, F, I 調査で使われた $\frac{1}{4}$ インチ直径測定値級と / フィート樹高級は完全な表による方法を取扱いにくいものにする。

普通に使われている材積方程式は直径とおそらく樹高でも連続的であるが樹種と枯傷木や、同じような級分けに亘っては離散的である。通常の分類は樹種、枯傷木、または抽出密度に対して修正する乗数をもった一つの基礎方程式である。

もしも利用できる計算機に制限があれば、各樹種や枯傷分類に対する乗数を機械の記録装置の中に貯蔵する。それから計算機に般どりして各樹木カードに対して適当な乗数を送び、計算を機械を通じて一回の操作で行うことができる。

他方もし計算パンチのような、割合簡単な計算機を用いれば、乗数は樹木カードの上にパンチしておかなければならない。この操作はキイパンチ、分類機、照合機、または複写パンチを使って行える。

特殊な判定規準—樹種のような規準—に対する乗数は例えば一枚のカードに一樹種ずつ主カードにキイパンチする。それから樹木記録カードを樹種ごとに分類して配列する。次に二組を分類機あるいは照合機、または手で合併する。それから合併したカードの組にパンチを、再び行ってゆき、主カードからの乗数を樹木カードに一度にパンチする。この全行程を他の組の乗数を記入する必要があるだけ再三繰がえす。それから樹木記入カードは材積計算のために、計算パンチをおこなう。

最後に必要な報告書を分類機と作表機によって作成する。そのとき C, F, I, 方式の最初の設定に対して処理した資料は可能な誤まりに対する報告書の十分なチェックを除けば、完全である。

電 子 計 算 機

上に述べた資料処理の方法によると迅速、安価かつ相対的に誤まりがない報告書ができる。パンチカード機械は、卓上計算機や手による集算と比較すれば、すばらしく進歩したものである。しかも、もっと進歩した方法が手元にある。電子計算機が世人の注意をひきつつあり、森林調査の資料が、この機械で処理し始められようとしている。大きな電子計算機は本質的には全体の資料の一つの操作単位に集められた処理方式である。この機械の主成分は次のものである。

- (1) 資料の形で情報を受け入れ、機械に読み取るように指令する入力装置。
- (2) 情報が内蔵できる記憶装置。
- (3) 計算ができそして論理的な判断をする演算単位装置。
- (4) 機械から読み取れる情報を受け入れる出力装置。
- (5) 入出力装置の操作および記憶装置に貯えられた指令にしたがって演算単位を管理する制御装置。

この最後の装置すなわち、制御装置こそ、この大きな電子計算機が他の資料処理機械と本質的に異なるところである。卓上計算機や

事務機械はキーやプラグボードやそれに類似したものを使って操作者が制御しなければならない。これらの機械は自動的に正確な操作を行なうことはできない。

電子計算機はまた一般的な目的の機械である。そのことについては何をするかについて説明しなければならない。しかしながら指令はいつでも機械によみ取れるこざつぱりと完全なそして永久的なプログラムを、機械のアクセサリとなる。そのアクセサリは計算者を随意に自動的に、そして注意を拂わなくても、複雑な資料の処理の仕事を行うことができる特別な目的をもった機械に交換するためにつけることができるものである。

森林調査の資料に電子計算機を通用する事はまだ新しい分野である。扱い方の標準的な手法も実務もまだ何も展開されていない。しかしながらこの機械についての十分な経験と知識が累積されてきたので将来の発展の予測ができるようになった。

第一に計算機はもとの観測値をとったり記録したりする助けとなるようなものではない。資料を集めたり記録したりする目的的な機械は他の分野では一般に使われている。

これらの機械は計算器の主要部分に物理的に附属してつけられ、その主要部分を構成していることが多い。このような発展は森林調査では将来においても遠いものである。現在の仕事は野外の調査員をなくすということが目的ではなくて、計算機でわかり易い形で情報を記録する調査班の仕事を、簡単にする装置を作りあげるものと目立たない目標に向かって進むことである。

森林調査で得た資料を処理する第二の段階は「もとの観測値をチェックしたり修正したりする」—ある部分は手で、ある部分は計算機で処理するのが現在では最上の方法である。この機械は、失敗、矛盾、不可能な値を系統的に見出すのに理想的に適しておりこの目的のために、勿論集約的に用いられるであろう。しかしながらなお誤まりの修正には、人間の編集が必要であり、またある場合には、

野外の再測定も必要となる。

またこの点まで資料の処理を、計画することはおよそ次のような計画と同じである。まずもとの測定を記録し、現場でチェックし、それから計算機でさらにチェックするために中央の事務所に送る。資料の各組がはいってくるとそれを計算機で処理し、発見したどんな誤りも編集者が、修正するか修正のために、現場に送り返す。修正した観測値は、再び計算機でチェックし、最後に整理してしまっておき、現場の再調査の完成をまつ。

勿論チェックはできるだけ連続的に、引続き行なった方がよい。調査の組がもとの観測を行なった附近を離れる前に必要な再測定を行えば費用はかからない。

現場の調査が完了し、資料を修正すれば、直ちの処理の最終段階を始めることができる。これらの段階は次の通りである。

- (1) 材積、計算あるいはもとの観測値の他のものへの変換。
- (2) 最終報告に必要な統計量の編集。

である。

仕事の組織は一部分は、使用する計算機に、一部はこの調査計画はふらふらである。しかし一般的な原則を述べよう。展開されたプログラムは、機械を用いれば、一操作で資料の処理の残りの段階を行うであろう。もしいやしくも、出るとすれば資料がはいっていないし、完成した報告は、複写機にすぐ使える形で出すべきである。

この目標はもし最終報告の中の統計量が、もとの観測値またはそれらの変換値の、一次結合であればその達成はむづかしいことではない。その時各観測値は、独立に取扱うことができる。例えば、与えられた木の材積が計算出来て、重みをつけ最終報告のすべての、適当な順で、累積してからそれは忘れることができる。このようにして、一本一本計算を進めてゆき、最後の木を処理した時に調査報告書も完成している。

今述べた計算は、長たらしいものであるが複雑でなく、中型の計

算機の能力で行えるものである。機械を送る際の支配因子は、プログラムと、計算結果に対して利用できる記憶容量であるようである。

記憶容量の必要性は、精巧なサンプリングデザインを使った調査にとって益々鋭敏になってくる。もし多段抽出、回帰推定、あるいはそれに類似のものを利用したプログラムは長くなり、そしてより多くの記憶容量が必要となる。その上報告書の中の統計量はもとの観測値あるいはそれらの変換値の、一次結合ではなく、簡単な累積では求めることはできない。推定量への各観測値の寄与は、他の観測値の大きさ、および他の計算の成果による。従って後の計算に必要なになる中間の結果の為には非常に大きな記憶量が必要である。

数年前は最も大きく最も早い計算機が調査資料を有効に処理するのに必要な記憶容量をもっていた。最近の型は主として、数学的または技術的問題に対して設計されている。計算速度には力を入れているが、受け入れる記憶量には注意が拂われていない。

幸いにも情勢は現在急激に変わりつつある。調査や事務の仕事への計算機の利用があまり高価でない計算機と一緒に使うことが出来る補助的な円盤レコードとテープの記憶単位の発達を導いた。

近代的な型の計算機と補助的記憶単位の組合せは森林調査研究に十分適しておりこの種の機械を使用する数も急激に増加している。

今では米国では単科大学や総合大学で100台以上のIBM650計算機が働いている。従ってこの仕事に適した設備も利用できる。資料の収集や修正はおそらく当分の間は手で操作しなければならないであろうがこの機械はチェックをしたり、分類、計算、報告書を作成する仕事を引受ける用意がある。

アルゼンチンの予備的森林調査

preliminary forest survey in Argentina

By

The Forestry Bureau (Dirección de Economía Forestal)

(アルゼンチン)

要 約

農林省の法令に最初に現われた1906年末この“森林調査”という言葉は頻繁に使われているがその真の目的は特別に定められていなかった。

この論文はそのあゆみの色々な段階の中で国有林が行った仕事を述べている。この仕事はわれわれがそれを森林調査、森林在庫調査あるいは森林分類と呼ぶけれども、同国が許す限りできるだけ集約的に実行されたものであるが、このような森林調査に関して特別に行われたことはない。

この言葉の真の目的と地方の予備的調査を準備するための一般方針は1957年7月にCordoba Provinceで開かれた森林調査に関する第一回国家会議で論議されている。

それは終始国有林管理局の林野庁に、森林調部を設立することおよび、前に述べた会議で採用した勧告により、森林調査の目的をもっと正確に定義しおし進めることであった。

したがってこの論文はその会議で採用した勧告とすでに明らかになった最初の実行結果とあわせてそれらが徐々に実行されているという事実を述べる。

この論文では論題を記述的な方法で展開しており、また国有林管理局がこの地方の予備的調査の準備を州との密接な協力により、彼等の自治権の浸害なしにどのように行なったかの説明をしている。

アジア太平洋地方の広大な森林に適用できる調査

*Surveys applicable to extensive forest areas
in the Asia-Pacific Region.*

by

D. A. M. Cromer (オーストラリア)

十年前に、著者はオーストラリアの林業での、航空調査と写真判読について、論文を第三回世界林業会議に提出した。(Cromer 1950) かえり見れば、明らかに抽出法や写真判読を助けとした調査法は急進的な進歩があった。事実、標本抽出法の問題は、生物学者や野外テストで更に明らかにされてきた、より変化のある、1次、2次、3次の層級が利用できるようになった。しかし森林調査を支配する原則は、Harrison (1950) が明言したものとは依然として変わらないままである。

幸いにも、進歩は同種の分野で行われ、これは地上プロット調査や材積計算のように森林調査の段階で反映されている。最も目立って変わったもの、すなわち Bitterlich の点角算数法、もしくは、点抽出法はまた第三回の会議で提出された。(Bitterlich, 1950) 方法はどうしてもまだなく認識されたり、採用されたりしていないが、一時的な、または連続的な調査の地上プロットを作るに必要な時間と労力がかなり節約される。同時に電気計算器を用いて、以前はこのようなことは予期できなかった基礎資料が有用であることがはっきりしている変量、市や組合せを用いて項の有意性検定と組合せた多重回帰法によって、材積表や林分材積表を作ることができるようになった。一たび作られると、これらの表は電氣的な方法か、机上の方法のいずれかでプロット材積の計算に対して調査の方法にくみ入れることができる。

しかし熱帯面生性森林に対する調査法の発達という、緊急な必要性が依然としてアジア太平洋地方ではあり、それは温帯地方で提案される問題よりも非常に困難な問題である。

1952年には、F. A. O. のアジア太平洋林業委員会が問題を考慮し、推奨される方法を作るために、技術的な専門家の登録を作り、地方的な研究のセンターを作ることを推奨した。

まもなく委員会は問題を検討し始めた。これらのとりまとめは、1955年の委員会の第三回会議に再確認したが、委員会は提案が非常に優先的にとりあげられるであろうということを理解して解散した。

1957年には委員会は森林調査のトレーニングセンターが、1958年のT. A. B. 計画で計上されることを認め、航空写真と熱帯性森林の測定のための調査班を復活しないことを決定した。

まもなく委員会は台湾と琉球の調査を指導し、専門家も、F. A. O. により森林調査のためカンボジアに派遣された。しかし日本のように、多くの国は数多くの推定やとりまとめをつくったが、

"a world geography of Forest Resources" (American geographical Society, 1956) により2, 3, の国しか実際の調査を実行しなかった。

上に概略述べた活動とは別に、英国内の国家森林調査の必要性が考慮されるようになった。1947年のロンドンの第五回林業会議では、各国は航空写真を用いて、10年以内に調査の完成に努力しようということを決議した。多くは行なわれたが、2, 3, の国だけが仕事を完了したにすぎなかった。

著者は Carron (1956) が示した用語を用いることを提案する。これは最近の多くの混乱をすっきりとし特別な地域でもっと詳細な適用をして考慮することを目的としている。

New Zealand (ニュージーランド)

ニュージーランドの国家森林調査は、第二次世界大戦後ただちに始められ、第五回英国林業会議で、促進された。完成の日は1955年であり、結果は2年後に印刷された。

(Masters, Holloway & Makey, 1957) 調査は現地森林資源のみに対して行なわれ、補助的な調査が国が植林した大きな外周

帯帯種の造林地で行われつつある。調査面積は、700万エーカー、以上でその内、55万エーカーが国化されており、約17,000個の1エーカープロットがとられた。調査費用は全部で、エーカー当り2.8ペンスであった。

非常に理想的な方法が調査計画にとり入れられた。すなわち、資源評価の密度を森林そのものの生産能力にしたがって、変化させたことである。低い生産能力の森林や保安林等では、方法は簡単な、歩きの踏査から、国が許すときには、補助的に航空写真を用いたり、用いなかったりして、利用できる地図は利用し、無作為または系統的な抽出を行なうなどいろいろであった。

しかし高度の生産能力のある森林に対しては、詳細な林相図作成を含む標準の方法を用い、ラインプロット抽出法による各林型のエーカー当り平均材積を知ることであった。

ニュージーランドの方法の将来の姿は、生態的、造林的な情報を同時に集めることでこのことはすでに、価値があることがはっきりとわかったことである。しかしこのことは多数の資料から十分な利益を導き出すには精査や集約な仕事をするのに多くの年月を要するであろう。技術的な細目を簡単に述べると次の通りである。

写真：— 商用 7×9", 8 1/4 レンズ

地形に直角な航空路 R.F. 1 : 15,840

写真測量：— 現地に配置し写真上に指針した地上コントロールの点。輻射線プロット法によりいくらか迅速に、*Slotted template assembly, Multi scope* または、*sketch master* (利用できる場合) で細目の移写。

課税地：— 農地局、(Land Department) の記録から得てきた情報。

林型：— 写真上に印づけた林型境界を判読し、野外でチェックする。エーカー当り材積と状況級に細分した植生型 (cover type) を識別する。

標本抽出—航空路に平行な調査線に沿って、等間隔に配置したプロット。抽出密度は、
 $\frac{1}{4}$ マイル間隔 $\times$ $\frac{1}{4}$ マイル距離、から
 $\frac{1}{2}$ マイル間隔 $\times$ 4 マイル、まで変化する。
 20—30 プロットが、各林型で測定されたが変動が増すと数を増す。

ライン— 短型 5 チェイン $\times$ 2 チェイン
 プロット 全ての商用木は、D, B, H、と商用樹高を測定した。はっきりした欠損や樹幹の不規則なものは推定した。枯傷木や枯死木は全部記憶した。丸太、若木および苗木は少し小さい副次プロットで記憶した。

計算— Hollerith、の資料処理法を用いて各樹種、各地域の材積表を利用し、樹種毎、林型毎のエーカー当り材積を計算した。誤差限界は林型、調査単位および調査地域に対して標本が無作為にとられたようにして計算した。

Australia (オーストラリア)

オーストラリアはまだ国家森林調査は完了していない。その理由は、おそらく州の独自の性格と森林が聯邦の独占的な機能ではないという事実のためであろう。現在完全に情報をもっている州は、南オーストラリアだけである。そこにははっきりした私有林はなく、外国産樹種の植林地のある場所である。

しかしこのような調査が必要であることが認められ、聯邦政府は多くの研究を行ない、すべての残りの州も、航空写真調査法を利用して調査が進行中である。

1951 年に召集された国内会議で、国家森林調査の計画が決定し、その中には計画に適用できる一組の定義や図面形式が含まれている。その時以来、標本図面が、Victoria、で完成し、(Carron and Hall 1954) オーストラリア政府領土の調査

が行われた。(Rodger, 1953) これら二つの調査はニュージランランドの要綱と非常によく似ていた。すなわち、

slotted template assembly と Multiscope、による細目の移写を用いた。本質的な違いは森林を林分の大きさ、樹高および密度級により層化し、プロットは図内が無作為に配置したことであった。

それと同時に航空調査と、写真判読が Tasmania、でかなり進歩をとげた。しかしその州で採用した方針は資源または国家調査のレベルよりはむしろ、経営上の資料を得ることと、図面を作ることが目的であった。計画は、20 チェイン対 1 インチで抽出された。

その結果最小判読面積は非常に小さいもので、それに対して生産割合は、1 マイル対 1 インチの調査尺度よりかなりおそいものであった。しかし本質的には、方法は忠実に国家調査の要綱にしたがった。すなわちそのやり方は、航空写真の判読による層化と無作為抽出である。方法と結果の詳細は印刷 (Lawrence and Walker 1954) されておりその中には、抽出誤差について論じてあり、後の論文 (Lawrence, 1957) では実行したときの写真判読の効率について論じている。

西部オーストラリアの管林局もまた、調査を実行した。これは完備に近く同様に国家調査の要綱にかなり似通ったものである。また用いた方法は、Multiscope と sketch master、により細目の移写をする slotted template assembly である。
 jarrah (E. marginate) の森林では、更に樹高級による細分を要とした。そうしたら樹高のわずかな変化により生産能力が大きく、変化を示した。

航空調査法によるオーストラリアの調査は、他国の新しい発展とこれらの可能な採用または、オーストラリアの条件への適応に注意をあたえた。このようなものの一つに、航空写真材積表がある。すなわち、その表から林分の、1 エーカー当り材積が純粋に写真で、測定できる資料から推定できる。(即ち野外測定をしないで)。

不幸にも、ほとんどオーストラリアの森林資源のすべては、ユーカリのいろいろな樹種からなっている。この樹種は樹冠のながりが大きく、火災も多く受け内外共に、損害を受ける率が大であり、材分は商用や、非商用の製材丸太になる樹種の混交林である場合が多い。これは明らかに、全樹高や樹冠直径(または密度)は測定できるが、写真型に、材積の数字をあてはめることはかなり困難である。

この方法をユーカリの材分に適用しようとする場合に、すべての調査プロットで、粗幹材積と商用材積を測定することが決定された。これはこれにもとずいた、写真材積表が実行可能であることがはっきりしており、それに対して適当な枯傷率が適用できるからである。粗幹材積は地平面から樹冠底までのすべての生木(12%以上)のエーカー当り材積であり、すべての樹種に対して枯傷、根腐、樹冠の不規則、内外の欠損を差引かないものである。

調査数年以上、2, 3, の地方で行なった結果は商用(製材)材種よりも、粗幹材積の方が抽出誤差が小さいことがわかり、特別な林型で、粗幹材積と、製材材積との間に関係があることがわかった。(Carron and Hall 1954)。粗幹材積は判読者が測定できる値に最も近い推定量を表わす。しかし、ユーカリの森林では地上プロットをなくすることは、不可能であった。そして航空写真材積表を用いれば、ラフな推定しか得られそうにない。進歩させてゆくには更に、研究をまたなければならない。上のようなことがあるにもかかわらず、行なわれた利用は Dahl (1954)の方法であった。彼はプロット当り5本の木を選びその平均材積に本数を乗じてプロットのパルプ材積を決定した。単木材積は前に決定した定数も加えて、公式により樹冠直径および樹高測定から求められた。プロット当り判読し得る林木の数は任意の数15%だけ増し、任意にきめた、15%を荒廃地や山頂の全材積から減じた。

共和国林野庁 (The Commonwealth Forestry of Timber Bureau) は写真判読技術 (Aitken and Hall 1951), 写真判読者の選出や訓練 (Sims and Hall, 1955, 1956) に注意を払い、過去数年間に、オーストラリアの林業学校に入学した学生全部に、林業

目的のための航空写真の使用についての短期コースをうけさせることにきめた。研究された他の特別な事柄は、hot spot か (Sun point) shadow point が航空写真上にある点である。(Sims, 1954)これについては、この現象が起こるか、起きないかを示す表が作られた。(Anon 1955)

もし適当な判読を行わなければならないならば、shadow point がなくなるような季節や時間に飛ぶことが大切である。

私有のユーカリ林の写真判読と対照して、ポイントサンプリングと組合せた航空写真の利用により、外国産マツ造林地の調査法が発表された。(Cromer and Brown, 1956)。この場合には地上が防火線に沿ってでなければ見ることができない場合の過密な幼木林では林分を地位指数に分類するために、parallax 法により樹高を正確に測定することが、制限因子である。

大縮尺の写真 (R.F. 1:8000 以下) がこのような分類を行なおうとするときには必要である。この測定数法の著しい特長は、最初の調査につづいて、エーカー当り断面積の項での、林分材積表の計算および林分樹高の表示が可能であるということである。そのとき調査者は標本木を測定することが、必要でなく、将来の調査に利用できる。各プロットはエーカー当り断面積の簡接推定 (いわば) 上層樹高の測定を必要とするだけである。楔プリズムや Hagal の測高器でプロットを測定するに要する時間は、非常に少なくて済み、この調査法に要する全時間の大部分は、移動をする時間であるから、ポイントサンプル(算術数スポット)の集落を測定でき、したがって推定精度はほんのわずかの努力で増大できる。

更に進んだ段階は、シドニーに作られた、IBM の data Processing Centre からの結果であった。ここは 650 電子計算機を備え、Fortran 計画で訓練されたクラスが監理している。共和国 Tasmania, New South Wales および Queensland の山林局は調査の目的に、この機関をすでに利用している。

Tasmania は林木材積(以前は回帰で計算した)とプロット材

類は電子計算器と、林木とプロットの資料の、パンチカードでの分類とを組合せている。計画は各プロットに対して、適当な割合で樹種毎、周囲級ごと、本数、粗幹材積、パルプ材積、および枯損をとりまとめるのに驚異的出力を示している。再分類について出力は割次層ごとのすべてのクラスに対しての総計を、与えら計算者の第二次作業に対する入力となる。第三次作業は必要と思われるすべての可能な分類のもとに、層ごとの調査のとりまとめをすることである。

New South と *Queensland* ではあまり複雑でない計画が実行された。それでは特別の目的に対して結果をとりまとめるのに役立っている。勿論増大しつつ行くであろう利用面は材積表の作成と更に、標本木資料を加えることができた時の材積表の改良である。

New guinea (ニューギニア)

某野方は数年間航空写真から、*Papua / New guinea* の領土の最大の情報を取り入れるように努力した。たとえば、第二次世界大戦中にやったように、航空写真から植生型の指示への旧来の鍵はコナツ造林地、*Sac-Sac Swamp*、マンフロープの林、新地の農化や、二次林の成長の例を示している。訓練された判読者にとっては、このような分類は適当な写真があればいとも容易である。雨季性林型の識別が必要なきときには、非常に困難なことが生ずる。

Borneo Sarawak や *Malaya* のような *diptero-Carps* が林分の大部分を占めているように、雨季性森林と違って、*New-guinea* や *Indonesia* の多くは目的の林木が、acre 当りわずかしがなく、それも非商用の樹種が大部分で一緒に連続した樹冠を形成して混交している。写真判読者に要求されることは商用材積とそれ以外のものを、地上標本抽出で材積を測定できるように、層化するため分類することである。

今日までこの問題の解決法はでてこなかった。明らかに、多くの雨季性森林樹種ははっきりした形の樹冠をもっており、原生林では

その樹冠が隣の樹冠と同じ水準が少し高い水準にあれば、垂直写真では色調模様で反映されることが多い。

注意深く判読すればはっきりした模様を示すこの樹種のエーカー当り数本の成熟した樹冠を数えることができる。しかし同じ林分にある他の *diptero-Carp* (*Hopea sp*) は同一視できない。そして二つのものの度数は、場所ごとに違うから商用材積は判読でも断定出来ないし、集団で存在していることもはっきり示すことができない。写真はまた、最近のヨーロッパのカメラでとられていないし、大規模のものでもないことを述べておかなければならない。

現在改良された分析が可能であろう。そして図化に対する小規模の垂直写真に更に大規模のストリップの写真が、現在の状況を変えるであろう。これは熱帯地方の研究で実を結んだ方法であるように思われる。

上の地方では海岸の雨季性森林帯はマツ (*Araucaria Cunningham-lamei* および *Araucaria blinckii*) 林分を生じ、これは、*Bulalo* で *New guinea* のマニヤ産業のもととなっている。

航空写真では一般的な林冠水準上にいちじるしい、樹冠がすぐ識別でき、無作為に配置した写真上のプロットで数えることができる。エーカー当り平均本数と単木当り平均材積(地上抽出から導いた)を乗じたものが見えない樹冠をいくぶん許容したエーカー当りの全材積の推定量である。

このような方法で実際に実行されたし、写真でよんで配置した無作為な地上プロットと野外で測定したもののチェックをするようになっている。比較はまだ利用できないがこれは特別な場合で一般には適用できないことを留意すべきである。

ごく最近、利用材積表が周囲(胸高)と最初の緑枝までの高さの積で作られた。これはまず含まれなければならない適当な項を回帰分析できめて、最後に特別にきめられた計画により、*J. B. M.* 150 の機械で計算された。

この目的に対して資料は断面積と、樹高の積の項で並べられ

多くの項に分割された。組合せ変量回帰方程式を群毎に計算し、これらの回帰に対して、材積表を計算し印刷した。それは調和していないが、もとの資料に対しては十分テストしてある。この表の製作は、J. B. M. 林野庁, *Commonwealth / New Guinea* 木材会社および営林局の協力のたまものである。

概 論

一般的に、主として印刷された形で、已に十分な手引きが利用できて、アジア太平洋地域の広大な森林に利用できる方法が明らかになったといえることができる。

この地方がもっと正確に図化されるまでは、地上調査を最小にして、*slotted template* 法によるざるを得ないであろう。なぜならば、山林局は一級の機材で地形を図化することを待つことはできず、できるだけ急いで作られた州の地図で満足しなければならないからである。同様な理由で細目の移写は、三級、四級の器械で行なわなければならないであろう。このことは費用を減じより短期の操作訓練期間を必要とするのみである。

地方の温暖な部分では、森林は特別に必要に応じていろいろな方法ですぐ層化できる。

熱帯地方では雨期性森林の層化は困難なことが多く、最も適当な取扱いの決定には更に研究しなければならない。時間の大きな節約と誤差の消去は、パンチカードやテープを用い、機械で資料を整理することから得ることができる。

shadow point がないかまたは最小のような航空写真を作るには注意が必要である。赤道に近ければ近いほど困難で、予期しない結果がとりのぞかれるようになることがより大切となってくる。

森林管理者は写真判読に従事している人は実際には適当な立体視の知覚があり、写真から満足に情報を読み出す能力があるということと自己満足しなければならないことは非常に大切なことである。

森林調査計画と調査方法の進歩

Advances in forest survey design and procedure

Rudolf Braun and Walter Bittelich (オーストリア)

過去10年間に森林調査の計画と方法は技術的にみて大きく変化した。10年以前には旧来の説が支持されていたがいまは国家的な森林調査や森林経営目的のための林業条件の調査に関して詳しい計画や測定法が発達してきた。*Proden* はとりまとめレポートに過去5年間のこのような問題について書かれた410の論文を引用している。

1 地 方 的 な 調 査

いままで中改で行われたようなすべての地方的な調査、たとえばオーストリアの1952〜56年の森林調査、バーデン、ドイツの小規模私有林の調査はいぜんとして旧来の森林経営の方法の特性を示している。これらの調査からみると目的は原則的に北欧での調査の目的とは違っている。これらの調査は戦時中および戦後の過渡に帰回した経済的な突発時のために実行にうつされたものである。これらの場合には統計的な基礎に立った地方的な調査で得られた大面積の平均はあまり有効でない。むしろ最小地域の林業条件の調査が属かつした森林で有効な段階をふむためには必要であった。

地位、林分および所有者が重複したようなこれらの状況のためにオーストリアでは全体調査が必要であった。次のような近代的な方法を用いた。航空写真、林分材種を決定するための定角測定法および林業資料整理のためのパンチカードの方法。定角測定法を用いない場合は簡単に収獲表調査によった。用いた方法は情報が必要である非常に多くの単位(大凡10,000)およびこれらの情報がそれによって表わされる多くの見方によって特長がある。不利益なことはなの通りである。人員が多くいること、費用が多くかかること、および同時に調査を行ってゆくことが不可能であること。

ギリシヤ、オランダ、スペインおよびトルコでも調査が行われた。統計的にもとづいた国家調査は現在ベルギー、フランス、スイスおよびオーストリアで計画されている。

北欧諸国では、標調査から転換し統計的に計画された定期調査が、10年来行われている。

オオ次スウェーデン国家森林資源調査の計画は森林調査法での最大の進歩として引用しなければならない。連続的に州の調査を行うもとの方法を、プロットの格子が毎年あつめられるから最終プロット数の10分の1が全国をおおうように毎年調査するようにきりかえて非常に多くの重要な問題を解決できたのは *Wagberg* であつた。定期的な調査はそれによって基本的な結果が己に数年後にわかるような連続的な調査にきりかえた。蓄積や成長量が決定できるばかりでなく本当の年伐量が客観的な方法でわかる。この調査を用いて材積の変化のバランスをとることができる。

オーストリアでは、スウェーデンのモデルにしたがって同じような連続的な国家森林調査を山岳林の特殊な条件を考慮にいれて現在計画している。標本抽出計画は森林調査の結果をもとにし、ヘクタール（エタフエーカー）当り林分材積の分散を利用している。新しい方法は3節で述べるように材積、成長量および伐採量の測定に用いて行えるようになっている。年伐量の客観的な推定は前の伐採期間内に伐倒された木の伐根直径を測定するように計画されている。単木の仮想材積は伐倒木の材積と殆んど同じいわゆる“類似木”（*twin trees*）の資料から推定する。結果は品質、直径級、令級および皆伐、間伐などのような伐採法ごとに記録する。1952～56年の国家森林調査と将来の連続調査との間にはまたもつと小さい単位に詳しい結果をもってゆくことができるような関係をもたせなければならない。

計画している一般的な目的：一般には10～15年後よりは早く結果がわからない定期調査は、その結果が利用できる時には残分は時代おくれとなるから、国家経済の増大してゆく要求にはもはや不

満足であらう。大きな経済地域を統合するから、連続的な調査は上に示したものよりもむしろ望まれるものである。現在の林業は産物の傾向および将来の可能性いかえれば森林の状態の連年の変化をたしかめたり、内容のバランスシートをとるためにはできるだけ毎年部分的な結果を与える調査を必要とする。この場合主な問題は林分材積、成長量および真の伐採材積は野外で記帳して測定できる特性によって客観的に決定しなければならないことである。収穫表の使用と同様林分平均を完全に放棄すれば単木がスポットライトをあてなければならぬ。材積や成長量を支配するその要素はできるだけ正確に決定しなければならない。真のバランスをとることのできるためには、材積、成長量および伐採量は同じ測定単位で測定しなければならない。

2 経営目的のための森林調査

林業経営においては、旧来の林分の測定がいまなお一般に行われている。しかし、大抵の場合には直径級への細分は行われないが、連続林分の100%調査はビルデルリッヒの定角測定法にかわってしまった。

林分測定に利用できるいろいろな樹種（*Douglas fir*, *European white fir*, *poplar* など）の詳しい材積表が多くある。今日これらの表は統計的な方法で作られている。ドイツでは、タリフと平均材積の曲線が広く用いられている。中央ドイツでは、新しいタリフシステムがすでに決定し、それは材積、成長量および収穫級の測定に用いられている。

上巻の資料にもとづいた新しい収穫表はイギリス、スペイン、デニーマーク、スウェーデン、ルーマニアおよびドイツで既に作られている。オーストリアの国家調査で用いた収穫表は旧来の収穫表の相対的地位級を100年の林令での平均成長量をもととした絶対的地位級に変換して作られたものである。ドイツでは、地域や土地条件に応じて普通の収穫表を細分する努力がはらわれている。

今日、森林調査の計画と方法は10年後より以上高度の必要性を多く満足しなければならない。樹幹品質(木材分類)、幹型、同伐の影響の研究に関してと同様に樹冠に関連した成長量の直接測定に多くの注意が払われている。すべてこれらの問題は旧来の100%調査では解決できない。

統計的標本抽出法を適用した場合だけ望む抽出精度の計算も非常に多くの特性の測定ができる。数年来、統計的抽出計画が森林の評価にうまく施用されている。この方法はオーストリアやドイツでもますます大切なものとなりつつある。現在までプロットを系統的に配置することが実際に行われていただけである。オーストリアでは、 $0.02 \sim 0.04 \text{ ha}$ ($0.05 \sim 0.1 \text{ acre}$) の円形プロットがよく用いられているが、それを選ぶには測定される木の直径による。南部ドイツは 0.1 ha の円形(0.25 acre) が用いられている。大抵の場合には理論的に考えるよりはむしろ現場でとり易いことがプロットの大きさを左右している。

最近では、一定半径プロットよりも可変半径プロットが特に急峻地ではビツテルリッヒのレラスコープと選ばれた木を記憶して調査する方がすぐれていることがわかった。傾斜の補整と関連していろいろな境界を光学的に設定することは一定プロットを設定する労力をなくすという非常に大きな利益がある。問題になる境界木は非常に正確にチェックできる。

全地域の平均の成長量を推定するのに進歩があった。これは収穫表または成長錐片のいずれがである。

成長錐片をとることによる連年成長量の直接測定の問題は明らかに大切である。これと関連して、“挿入法”(H. A. Meyer の *Interpolation method*) および“タリフ差法”(Laetch の *Tariff difference method*) は方法論的に興味がある。

Gecklund による連年の年輪を測定するスウェーデンの機械は迅速で正確な測定ができ、したがって成長錐片の分析にはとても役にすけになる。仕事を簡易化するため、オーストリアでは更に投影ス

クリーンが作られ機械にとりつけられた。加算器が連年の年輪の測定した幅を自動的に記録するように器械にとりつけられている。将来は、資料をストリップにパンチして、自動的にパンチカードにうつすようにされる。

標本抽出法は林業と計画の一時的な分類によりかなり利益がある。現場でのさまりきった仕事は森林官のかんとく下には訓練されない人でも行うことが出来る。しかし真の課税や森林計画は蓄積、成長量および単位その他の特性が利用できたあとでの官更の仕事である。すなわち、過去のものよりはもっと正確なものが保証される。

野外の資料は標本抽出法を経済的にするためにパンチカードで評価しなければならない。この方法で作られた資料をいろいろ分割したりとりまとめたりすることは結論を得ることとともに集められた資料の十分な利用が可能となる。オーストリアでは毎年 $60,000 \sim 100,000 \text{ ha}$ ($150,000 \sim 250,000 \text{ acre}$) が調査され、資料は林業試験場の IBM-Hollerith machine で評価される。

オーストリアでは材積や成長量を表から知ること考えた旧来の森林調査の野外資料を機械で完全評価できるということに関する限りはパンチカード法は完成したといえる。材分表および令級表を表に表わす情報はパンチカードからで、Tabulator 421 (IBM) を用いて表示できる。

オートメーションの時代に林業でも多くの資料の研究や人間を解放するためにもっとそれにふさわしい仕事ができるような技術手段をとり入れなければならない。

3 基 礎 研 究

計画された森林調査も他の状況調査も共に正確さの必要性が増したことに十分みあうような基礎資料がこれまでかけていた。混合林や令級林では、一般に収穫表を用いることは非常に疑問である。またオーストリアでは、材積表やタリフは満足な結果を与えない。というのは、大抵の場合それらは現地資料を基にしたものでないし、

個々の土地条件というものを考慮にいれていないからである。

山岳林では、色々な樹種の形数は根元の太くなった部分が非常に差があるから変化が多い。これらの変動は普通の収穫表を使用すると材積推定にかなりの誤差を生ずる原因となる。したがって、単木の形数研究が数年前から始められた。標本はオーストリアの全森林からとられ、二三の固定標準地だけからではなかった。

伐倒前に、立木で客観的に測定できる林木の特性のすべてを記憶した。旧来のもの以外としては、これらの特性は成育内容、木材品質および樹冠被である。伐倒後は、樹高や直径とともに樹冠表や5年間の樹高成長量も測定した。樹幹では、皮付直径、樹皮厚が絶対的および相対的に等しい長さの断面で測定されている。

集めた資料は統計的方法で評価されるであろう。これらの調査研究は材積や成長量の基礎資料になるとともに国家的な立木調査の正確さの限界についての情報も与えるであろう。

次のような点が問題になっている。

(a) *Näslund* によりすべての主要樹種の求積や形状の函数が資料から導かれるであろう。これらの函数は実際にもっと正確なものとなって採用されるであろう。その他、簡単なタリフが計算されよう。

(b) 根元が原因で樹高形数のなごい変動をなくするためには、

Hohenadl の真形数 (*true form factor*) (λ_a) を決定するつもりである。この形数は最初のものよりは変動が少なくてとがわかっている。それは樹幹形状の直接的な指数であり、したがって樹幹のお互の間の純粋な比較が可能となる。*Krenn-prodan* により、また *Hohenadl* の形状高 ($\beta = \frac{d_{1.2}}{d_{0.9}}$) が将来求められよう。これは根元の太さの指標であるからである。

これら二つのトピックスを考えるためには、全樹高の10分の1のどこかの直径を直接的かまたは光学的に測定しなければならない。

(c) 成長錐片の標本による成長量の直接測定を気候の修正を必要

とする場合には多くやってゆかなければならない。

(d) 大量の表示をさけるために、野外資料を直接パンナカードシステムで評価しなければならない。

Bitterlich の定角測定法は上述の特性のほとんどすべてを測定するためには簡単に経済的な方法である。成長量測定やパンナカード計算が改良されたためによりよい調査結果が得られるであろう。

したがって、オーストリアは旧来の原則をすて、ドイツでは *Hohenadl*, *Krenn* および *Prodan* がスウェーデンでは *Räslund* や *Hagberg* がやった方法にしたがおうとしている。山岳のある国は *Bitterlich* の調査法はこれらの目的に到達するためには非常にすぐれた方法である。

4 空中調査と写真判読

今日、森林調査や森林管理にとって航空写真が大切であることは一般的によく知られていることである。地域的な調査にはとりわけ重要な道具として航空写真は役に立つ。オーストリアの森林調査では森林単位の境界を写真上にひき、調査の実行と両面に使っている。山岳では林分の境界が地上よりは正確に写真では設定できる。特に重要に未利用林のあるような地域では航空写真を用いると無駄な時間が大いになくなる。

オーストリアで計画した連続調査の標本地は *Zeiss* の *stereograph* (*Wild-autograph* A6とA8を組合せた) に加えた運動装置で地図から写真上に非常に正確に移写できる。野外に抽出点を配置するという拘束は不要となり、したがって実行にあたってはかなりスピードアップされる。

今日、航空写真をうつす費用は小規模な森林機関でもいとも簡便である。正しい図化をするためには、コントロールする点を地上にのっけなければならぬ。調査点や調査線をすぐ写真上にとりだすことができることが多い。これらの点の海拔や三角度量の資料も

わからなければならない。十分な地上コントロールを行う費用は旧来の地上調査に要する費用のほんのわずかな割合にしかならない。

航空写真は仕事を最小にし、区わけしたものの正確さを増す。最後に、等高線の地図を作れることを注意しておかなければならない。

山岳地方を国化するためには、オスカのステレオグラフ(写真)やプリントの代りに引伸しが必要である。

実体像から多くの情報を集めることができる。森林の大きさ、品質および性質および他の情報は三次元像の研究から得ることができる。しかし、航空写真からの林木および林分の間接測定と材積推定は中欧では森林目的には非常に不正確である。フィンランドとユーゴスラビアでは、最近の航空写真からの材積推定は標準誤差は40%までであるというを示した。

したがって航空調査と地上標本抽出との組合せが推奨できる。

5 森林調査法

過去10年間、森林調査法は昔から最大の進歩をとげた。定角で測定する *Bitterlich* のすぐれたアイデアと多くの器械にそれを応用したことは地球での真の勝利となり、調査法に革命をもたらした。

前節で述べたどの測定でもその殆んどがシュピーゲルレラスコープや *Bitterlich* により考案された他の器械で行うことができる。ほんのわずかな費用と時間を犠牲にすれば十分な精度が得られる。事実、これらの器械の発明があったからこそ新しい調査法が可能になった。

Bitterlich のいろいろな方法は明らかに広くゆきわたっており、すべての欧州大陸の森林官がこの方法を改善しようとしているが、一般的な応用についてはこの会議で勧告しなければならない。

着者自身がこの原理とその応用を説明しよう。

すでに発明されてから2年後、定角測定標本抽出と最初のレラスコープは *Helsinki* で1949年行われたオス回世界林業会議に

おいて簡単な論議のもととなった。その時以来、この新しい方法は地球上で多くの知己を得、ますます森林調査で価値ある進歩をとげてきた。その理由は

1) 林分の断面積密度が与えられた角ゲージよりも大きい直径をもつ本数を数えることによって簡単に見出せる。しかし、断面積密度は測樹では基礎的な値であり、以前は労力と時間を多く犠牲にしても本数的に決定しなければならなかったものである。

2) 一まわりして数える際に用いる角ゲージは簡単な器械で提供できる。

Gravenbaugh とアメリカ、ドイツおよび他の国の他の科学者達はプロットレスサンプリングは断面積だけの測定に限られるわけではなくて、それから進歩をとげ完成するであろうということを示唆した。多くの論文や実験で、理論と現場への応用が研究され改善された。

アメリカでは *Bruce* オーストリアでは *Müller* がガラスの板アングラーを用いることをはじめた。アメリカで、これらの簡単な手持のプリズムがひろくゆきわたり、華美水平やわずかに傾斜のある状態で定角サンプリングをするのには最も便利で最も容易な手段となった。

オーストリアでは *Bitterlich* が1947年に最初の "*Pendelrelaskop*" を発明して彼の方法を傾斜に対して自動的に補正できるようにし、同時に直接的な形状高測定を加えることによって材積密度が得られるようにした。この目的は後に改良された

Spiegelrelaskop となってあらわれ、ますますオーストリアでは重要なものとなった。 *Pressler* の方法により、定角で選ばれたすべての林木(またはヌ番目、3番目もしくはヌ番目の木)の形状高をレラスコープで測定する。角ゲージで選ばれた木の本数が単木断面積に重みづけられるから、測定した形状高の算術平均もまた断面高の重みをつけて、平均形状高の代表として採用できる。角ゲージを得た断面積密度に平均形状高を乗するとすぐ材積密度が求められる。

る。したがって以前には平均形状高と林分材積密度を森林で直接に測定して決定する方法以外は簡単に理論的に正しい方法はなかった。一般に方法は推奨できるものである。特別な論文は *Hallein, 257, Salzburg, Austria* の *W. Bitterlich* 博士のものを利用すればよい。

定角測定サンプリングとそれを実際現場にくみあわせた方法では、*Bitterlich* は断面積乗数 k (ノ本数えれば ka 当り a 平方メートルであることを表わす) をいつも用いることをすすめている。定角測定サンプリングはいろいろな境界を光学的に設定するのは不正確であるような場所では疑わしいとか視野がかくされているような時には不可能なことさえもあるというような説がいろいろあるがそれもなくならした。"はっきりさせるための単位" (乗数 k を用いると、単位は 25 cm) に向をくざった測鎖を用いると木からの距離ごとに数えるために測定される木の直径により越えなければならない境界木の直径がわかる。これにより可変半径プロット法が一定半径プロット法と同じ可能性があり、しかもなお次の利点がある。

- 1) 角ゲージで数えられた林木の本数を単木断面積に重みづけする。したがってこれらの林木の他の特性の算術平均もまた単木断面積に重みづけする。その特性とはたとえば
 - (a) 角ゲージで測定した形状高の算術平均は正しく平均形状高を表わす。
 - (b) 角ゲージで測定した全樹高の算術平均は林分の *Lorey* の平均全樹高を表わす。
 - (c) 角ゲージで測定した林木について推定した枝葉材積率の算術平均は林分の平均枝葉材積率として用いられる。等々。
- 2) 可変半径プロット法は林分内のいろいろな直径級の密度に対してプロットの大きさを自動的に変えることができ、したがってこれら直径級のより良好な平衡した標本を与える。
- 3) 抽出面積の割合 (それとその精度) は単木断面積に比例するから直径級での経済的な利益と一致する。

4) 数えられた本数は断面積密度の直接測定である。

5) 大抵の場合、いろいろな境界を光学的に設定することが可能である。このようにすれば時間と労力の節約になる。さらに、レラスコープは抽出された林木の傾斜に対する補正を自動的に行うことができる。

Bitterlich は角ゲージ法を胸高ばかりでなく、シュピーゲルレラスコープを用いて林分をさるいろいろな林高に用いている。この方法は木の平均形状についての情報を得るのに役立つ、それと関連して、日本の平田が考案した "垂直角ゲージ標本抽出" を *Bitterlich* の "水平角ゲージ標本抽出" と実験的に組合せた。最後に *Bitterlich* はボードル角 (*cardboard angle*) によって角ゲージ抽出の原理を拡張した丸太の実積に管積を交換する乗数を迅速に見出すのに用いることができることを示した。

Bitterlich が作った光学的輪尺は決して設定できないような点から林木材積の部分的な測定ができる輪尺とレラスコープとを組合せると、わずか一人の人間で角ゲージ測定と直径測定ができる。シュピーゲルレラスコープと比較すると、器機は大きく、いくぶん動かしにくい；それはまた天候の影響を受け易いし、鏡が歪みだしのために傾斜を受け易い。したがって、それを使用するのは基礎研究に限定されるであらう。今日まで、2, 3の模型が作られたにすぎない。

Bitterlich の "*Tariffmesswinkel*" は現在西独で製造されている。それは "タリフ" と呼ばれている ka の材積直径 (d, b, n) 比のついた簡単な扇形輪尺である。タリフの決定は表で行う。その表は傾斜木の測定と比較するかまたは立木について形状高または全樹高を測定して作られるものである。

1959年には、レラスコープと "*Tariffmesswinkel*" とを組合せた応用を示した。断面積乗数 k を角ゲージ法に用いる場合は数えられた林木は ka 当り a 平方メートルであり、したがってノ本の特別な木はその断面積が a 平方メートルに含まれると同じ ka 当り本数を示して

いる。Tarifmesswinkel にとりつけた特別な尺度を設けると数えられる各林木に対して ha 当り本数がわかる。ついで各プロットに対するタリフから断面積のメディアンであるノ本以上の林木の形状高測定を行う。このメディアンは角ゲージ法で抽出された林木を測定して決定される。このタリフは輪尺で補正され、前に印づけした木をくりかえし測定して材積がわかる。わずかな時間と労力で、レラスコープと "Tarifmesswinkel" を用いたタリフ標本抽出により色々な樹種や直径級の次に述べるような特性を求めることができる。 ha 当り本数、断面積、 ha 当り材積、同時に小面積に対して用いるタリフの決定。Bitterlich はこの方法が広く用いられることを希望している。

特に大面積に適用できる調査

Surveys particularly applicable to extensive forest areas.
by

Danvers Meineldijk (ブラジル)

航空写真と標本抽出法の近代的発展にともない有効な方法で広大な森林の調査ができるようになった。近よりがたい地方とかわすかな交通機関しかないような国では、航空写真によりいろいろな種類にわたって正確な図化ができる道がひらけた。そのことから本論文の範囲では、一般的な地形と植生の図化が最も興味あることである。このような図化ができるということによって森林官は自分の調査に代表的な標本抽出法を適用できるようになったし、一方無作為抽出やその他の変形としてよく知られている層化抽出や系統抽出を加えることができるようになった。

あらゆる調査はある目的をもって行われている。大抵の目的は、樹高、直径などから立木材積の推定量を得ることである。広大な森林の調査の目的はもっと複雑である。国連の F.A.O. は現在二つの大規模調査すなわち Amazon Basin の調査と Parana pine や

Amoraria angustifolia がある地方で Santa Catarina 州の調査の実行にブラジル政府の援助を行っている。二つの調査は全く異なった目的をもちている。Amazon Basin の森林調査の目的は熱帯常緑雨期性森林の構成状態の資料を得て、よりよい経済的な基盤を支える助けとすることである。

Parana のマツ林調査は遅延されているという現実の心配のために始められたが、この調査は実際の状態はどうであるかということと、問題を立証するにはどうすればよいかということを見出す必要はない。

Amazon Basin の混交熱帯雨期性森林はほぼ、400,000,000 ha の面積である。原生の Parana pine がある地方とこの木は単木か並木かで生育していることとわかっている場所はほぼ、2,000,000 ha と推定できる。この広大さをもっている面積に対

する調査を計画する際にまず出合う困難は次のことである。出発するのどこか？ すなわち、いかえればできるだけ有効に出発点から調査を行うためにどの面積が次々に調査されなければならないか？ *Amazon* の森林調査が計画されたときには、F. A. O. のレポート No. 171 に発表したようにこれらの森林の経営調査を行った3人の森林のエキスパートのうちの2人がいて、この計画を援助した。調査は *Amazon* 川の近くにあるこの森林の中央部で行うことに決定し、*Santarém* (*Amazon* 川に沿った *Belém* と *Manaus* の中間) の南と南東の平原地方から出発して、運洋航海にたえ得る船で航行できることが大いに役立った。長さ17,000,000 ha の面積の現在の調査資料を得てから、調査されたこの最初の部分はなお将来最も有望なものの一つであるということが出来る。

Parana pine 地方のオーズすなわちパイロット調査をする地域は州営林局の首脳者により選ばれた。その理由はその地域は最も *Parana pine* が伐られたところで、*Curitiba* 附近の高い平原上の *Santa Catarina* 州でそれが生育している中央部にその真中が位置しているからである。

どのような種類の森林調査でもまず骨子となるものは地図である。必要最小限のものは照査された平面測量図であり、細目調査や経営調査以外では、大抵の目的に 1:50,000, 1:100,000 および 1:200,000 が有用で便利と考えてよい。*Amazon Basin* も *Santa Catarina* 州の *Parana pine* の地方も詳細な平面測量図は利用できなかった。しかし、ここでは航空写真から作られた図面しか使えないであろうが、その図面は航空測量会社で作られた地図を用いることが最もよい方法である。平面測量図が *Amazon Basin* の森林調査に必要であったときには、ブラジル航空測量会社にこのような地図を注文できなかった。その理由を簡単に説明しよう。*Trimetragon* 航空写真が踏査の目的のために最も多く撮影されている。調査飛行機は3つのカメラを具え、1つは垂直写真の中央にあり(この場合主として縮尺は1:40,000)、2つは斜写真に対し両側にあり、同時に撮影した3つ

の写真は水平面から調査飛行機が動く方向に直角な水平面までの地球表面のスケッチを示す。それは普通の方法でなく、*Trimetragon* 航空写真から詳細な平面測量図を作ることはかなり困難である。

Amazon Basin に対してこの仕事を行うことは非常に困難である。一方この *Basin* は実際には地方の自然的な地形の大部分をかくしている過密な熱帯性森林によりすべてがおおわれている。以前の経験からもしこれらの写真から地形を図化することがこの特別な種類の写真判読になれていない人により行われるとすれば、航空写真で判読できるより小さな川やより大きな川の地図が精々期待できるであろうということを知った。しかしわれわれはできるだけ詳細なこれらの *Trimetragon* 写真から作った平面測量図がほしかったので、特別に訓練された人による私有の会社を作ることになった。航空写真から作られたすべての他の写真はブラジル航空測量会社の手で作られた。

航空写真から作られる地図の下図をかき始めることが出来る前は、その地理的な基礎を考慮しなければならない。測量的なまたは天文的な *station point* の網が密になればなるほどこの基礎として用い得る。地理的な位置はより正確になり、地図の縮尺はより正確で一様になる。 *Amazon* 地方の図化にはわずがズ、3の信頼できる天文的な *station point* が利用できた。*Trimetragon* の航空路があまり離れすぎていることがたまにはあったので、それらを適当にむすびつけることが困難となった。これらの地図の最も正確な部分は新しく作られた天文的な *station point* に基づいて *National Brazilian oil Company* または *Petróleo Brasileiro S.A.* が作った測定図を使用した部分であった。われわれの *Amazon* の地図の多くのものの精度の限界をみると、最終地図は縮尺 1:200,000 であり、それは距離や方向には高度の正確度はなく、調査された地方については全般的にすぐれた苗写をしている。航空写真から作られたすべての他の地図に対しては、それを作った

航空測量会社は利用できる信頼性のある天文的 *station point* に基づく測量を行ったものでその正確度を保証している。これら後者の地図は縮尺はすべて 1:50,000 で作られていた。

単一の写真に適合できる三角点の網目を作ってから後に、実際の地図を写真判読によって作成できる。ブラジルで作っているわれわれの地図だけに限らず、その費も容易な部分は次のことであるといふことができる。(1) 人工的な地形の標相の図化。(2) 植生によってわからなくなる限りの水の限界または川や海の境を画くこと。(3) 森林、農地および草地の境界および森林や農地または単野の境界を作ること。実際には、これらは航空写真を立体視して直接に観測できるすべての標相または境界であり、これに対しては普通の写真判読者は特別な訓練を受ける必要はない。われわれの経験から地方の地形的な特色が植生でかくされているときはいつも困難である。たとえば、この場合には、永久的なまたは一時的な浸水した地域や乾燥した地域の間の境界は直接観測でなくとも植生層のあらわれ方から類推しなければならない。図化される地方が *Amazon Basin* の多くがそうであるが、通常の森林で被われている場合には、排水システムの図化でたとえば集水圏までの川やクリークの図化でさえもかなり面倒なことが生じこの種の図化作業は、特別な訓練を受けた写真判読者の手によって返行できるだけである。

今日まで、すべてわれわれの地図は平面測量として作られていた。すなわち等高線または海抜高について明示してないもので、ただ高原の端とか顕著な丘の頂上を形作る境界線だけがいれてある地図であった。平面測量写真を利用して図化されたアマゾン地方は実際には150m以下の高層地帯での差がある平坦なものであるのでもたがってはつきりした図が使用できた。これは利益と考えられるが一方高いけわしい丘や山岳地方では丘や山は斜の部分の側面はつきりしているが、うしろにあるすべての部分はかくされてしまっている。これらの飛行路の斜写真はくもってぼんやりしたものが多く、詳細な図化作業では中央部と同じに使用できないし、この頂上

で航空路が非常に離れている場合にはわれわれはこゝを除外せねばならなかった、そしてそこはこの四面のギャップとなった。

平面測量図は調査しようとする森林からとられるべき標本地の基礎としてまたは最終的な林型図の基礎として役立つ。出発点から、これら地図上の森林から純粋な写真判読によってできるだけ多くの情報を得ようとすることは明らかであろう。海水で溢水した地域、川水や雨水で永久的にか一時的に浸水した地域および乾燥地を区別して、これらの部分に生育している森林が自動的に次の型で細分された。すなわち、塩水沼、淡水沼、湿地および乾燥地の森林型。今日まで、アマゾン地方では、乾燥地だけが調査された。これら乾燥型森林を再生林や大草原または *Caatinga forest* に分割することである。われわれの経験によれば、両方の林型は縮尺 1:45,000 までの航空写真で容易に明示することである。それらは周囲の森林よりも低く、スハースな樹冠層をもっている。再生林の部分では、変化した耕地の模様は通常識別できる。大草原または *caatinga forest* の境界では、あらい樹冠層からスムーズな樹冠層へ順次変遷してゆき、これは再生林ではその変化は同様だが急激であるのと対照的である。アマゾン地方で通常高い乾燥地の真中にある大草原または *Caatinga forest* の様相は実際的には常に土壌の変化と平行的に変化してゆく。すなわち灰土、粘土または砂土から、厚いフームスの層に覆われた白い砂土に変化してゆく。例外の場合には、堅い粘土層が下にあるために雨水が停滞する土壌にもみられた。これらの森林は山頂かまたは分水界の附近にあり、平均樹高は20m附近で、まれに35cm 以上の D.B.H. をもった林木がある。

Santa Catarina 州の *Parana pine* の地域からの 1:25,000 の航空写真では、大きな *parana pine* の木を識別することは容易である。これらの林木がうっぺいした林に生育している場合には同量の低いなつきりした様相を示している。他樹木と別々に混交して生育している場合には、通常は他のものより高くぬきんでており典型的な円盤状の形をした樹冠をしているから容易に見つけること

ができる。それらは *grass savannahs* (campas) 上に分離して生育しているかまたは農場に残っている場合には、いつも樹冠がまたは影で確実に識別できる。したがって、*Santa Catarina* 州の *parana pine* 地域のオノ調査に必要な平面測量図を注文されたときに、航空写真会社はこの図面上の乾燥地の森林を容易にまた確実に指示できる部分に細分することを要求された。写真を立体視してこれらの森林は次の型に分割できることがわかった。(1)

parana pine の純林。(2) *parana pine* と混交した広葉樹林。(3) 広葉樹林。(4) 再生林。(5) *parana pine* の殆んどが伐採された荒廃林分。(6) *parana pine* が散生している大草原または *savannahs*。

Amazon 地方と *Parana pine* 地方の純粋な写真判読により進行できるところまでのこの最終のとりまとめにおいて、熱帯地方の林業目的のための写真判読の主問題の一つはすでにふれられてきた。*parana pine* の調査の場合には、マツだけが広葉樹の向にかまたは純林の中に生育していて、広葉樹の上にぬきこんでるかまたは疎開地で生育する陽光を要求する林木であるから、われわれはこれらの森林の部分に花屋的な名前を与えることができる。すなわち、われわれは非常に高度の正確さで *parana pine* がある場所を位置づけする機会をもつことができる。

航空写真の立体視だけを使って、真の熱帯性前期森林に正しい花屋的な名前を与えることは非常に困難である。例外は次の通りである。(1) 塩水性沼地の森林、ここでは樹種は *Rhizophora mangle* および *Anicennia nitida* だけである。(2) スゴの湿地や沼地の森林、ここでは数種の樹種だけが上層を形成し、それらはたとえば *Hura crepitans* や *Virola surinamensis* のようにばつさりの樹冠形をもっている。(3) 一樹種たとえば *Eperua falcata* のようなものだけが優勢な乾燥地の森林の場所。(4) 上層にはつさりと一樹種があつまってみえる乾燥地の森林で、そこでは少くとも林分構成の成分の一つを名づけることができる可能性がある。外葉で

5年間経験して後でもまだ純粋に写真判読だけで *Amazon* 峡谷の非常に複雑な乾燥森林に花屋的な名前を与えることはできない。上層木が集まっているところの名前は、これは *Putak Guiana* ではしばしば可能であるが、ここでは *angelium pedra* (*Hymenobolium petreum*) で行うことができた。そして *massoranduba* (*manilkara Huberi*) に対しては疑問である。

森林の目的で写真測量を計画するには、これらの事実は非常に重要である。たとえば、縮尺を 1:25,000 から 1:10,000 にまたは 1:5,000 にまで変えて写真上でもっと小さな *parana pine* を多くみることができると可能性は実際的には限りないほどである。特に詳細は調査や経営計画にはこれらの変化は非常に有用である。実際には、このような変化は補助的な戸外の仕事や標本抽出の仕事での節約が小縮尺の写真の費用ともっと縮尺を増したときの写真の費用と比較したときの増大がもっと小さいような場合に止めなければならないであろう。更に判読や図化の仕事に要する時間を非常に節約できる。

高い混交熱帯性前期森林の調査には 1:40,000 の航空写真の縮尺を多く用い、1:25,000 および 1:45,000 のものはほんの少しであつた。縮尺 1:40,000 は一面的な地形を図化するには十分であり、その結果また森林を構成物に分割するのに十分である。

大縮尺の写真でこれらの森林の航空写真調査を計画する場合は一般にスゴの樹種しか利用されていないのならばこれらの森林の調査はまだ高くないのにそのようなことをするしっかりした理由が必要である。もし大縮尺写真の立体視の直接観測により、利用される森林が確かに存在していることがわかれば、経営目的に直接使用できる林分をぬき出すことが可能である。以前の踏査を行われた観測によりその価値ある林型が上層木の向に現られるシュロの木がある場合と同じであるということがわかれば、より大きな縮尺の写真はこれらの林型を正確にしかも迅速に図化するのに非常によい機会を与える。というのは写真の立体視による間接観測によるものである。

Mauritia 属や *Maximiliana* 属の大きなシュロは縮尺 1:20000 の写真上ではつきりみることができ、*Eutrypa* 属のより小さいシュロは 1:100000 の写真でみることができ、航空写真の高い費用の正当化には、これらの森林の近寄り難い部分、すなわち沼地とか湿地性の森林とかでの外業や標本の抽出の仕事が非常に費用がかかり、乾燥地の森林と同じように都合よく実行できないということを考えなければならない。これらの沼地や湿地の森林では、調査する人や人夫は肉体的な困難をのりこえてやつと行動することができる位である。純粋な航空写真で得られた資料はこの場合に外業や標本抽出の仕事の普通の量で得られたものよりも信頼できることが期待できる。

写真判読および野外観測の経験にもとづいて、当分 *Amazon Basin* では非常に混交した乾燥性森林に立体視によるその樹冠型だけの観測により正確な近似的な名前を与えることは不可能であるといふことができる。*Amazon* 地方の *trimetragon* によりとった写真航路の晴れた雲のない傾斜部に対する我々の経験からこれら熱帯性森林を構成部分に細分することが斜写真の中央部分まで可能であることがわかっている。斜写真の真下から水平まで、写真の縮尺は漸次飛行方向と平行的に変化し、中心附近では、垂直の縮尺が 1:40000 であれば約 1:70000 位である。これらの事実をみると、縮尺 1:70000 の航空写真はこの仕事、すなわち森林の構成や一般的な地形の図化を行うことができるという可能性がある。財政的手段が許せば、われわれの踏査の一つによってどこに調査された地域について実験を行うということが注目され、それにより結果が比較できる。この実験の妥当性は次の二つの重要な理由にもとづいている。(1) 平方 km 当りの航空写真調査の費用は縮尺 1:40000 の写真上での調査と比較した場合半分以下であろう。(2) *Amazon Basin* の調査の実行に適した雲のない日は年間を通じても少ないので写真をとる面積が非常に大きいであろう。

Parana pine 地方ではまた地域を細分でき、その細分はそこ

に生育している林木を数箇の密度級にわけたものである。垂直写真の縮尺 1:250000 の立体視では、大きな *parana pine* が 1/ha の方形で数えられる。わけた型は次の通りである。(1) 2型、ha 当り 15以上の樹冠をもつ平均樹冠密度の *parana pine* の純林からなっている。(2) 1型、ha 当り 5~14の樹冠をもつ平均樹冠密度の *parana pine* の混交林(大抵は *embuja-phoebe parana* と混交している)からなっている。(3) 0型、ha 当り 5以下の樹冠をもつ平均樹冠密度の *parana pine* が散生している本葉樹林からなっている。

標本抽出計画および標本抽出法の選取はいつも以前の経験ともしとしており、調査される森林について航空写真から得た情報によることが多い。*Amazon* 溪谷のわれわれの調査の始めでは、量的な観測すなわちいわゆる標本にもとづいた非常に少ない質的な記述が一般に *Amazon* の森林では利用でき、調査を始めなければならなかった森林には利用できなかった。利用価値のある *parana pine* の森林は当時非常によくわかっているが、信頼できる量的な資料は少なかった。原生林の立木材積表でさえも最初に作られなければならなかった。*Amazon* の森林調査の目的はできるだけ迅速に非常に高い正確度で近代的な経営に適した最も価値ある部分を選取することができるためにこれらの林分構成と接近性についての情報をうることである。この選取は直接的に行うことができるが、主目的はそれらを国家的な森林資源に移換することにより将来これらの部分を保護することであろう。いままで採用された抽出方法は踏査した部分を強調するような踏査であった。*parana pine* の森林調査の目的は実際的にはほとんどが私有林であるが、選伐しているかどうか、いいかえればなくなっているかどうかを発見することである。次表に示すような 1954~1958年にわたる取材された *parana pine* の統計資料をみると、その立木の大量が年々伐採され、ブラジルの4つの州から伐出されていることがわかる。

第1表 Anuario Brasileiro de Economia Florestal.

Ano. 11, No. 11, 1959 からとった製材された *parana pine* についての資料。皮付の立木の同じものが比較のため知られている。

州 名	1954	1955	1956	1957	1958
	m ³ での製材 <i>parana pine</i> の量				
São paulo		2,640	4,750	5,010	5,020
Parana	1,182,07	1,288,227	1,138,799	895,487	1,000,744
S. Catarina	1,340,173	1,492,487	1,293,115	1,294,335	1,424,210
R. G. de Sol	665,207	611,975	427,355	560,007	445,086
計	3,187,452	3,393,331	2,866,219	2,674,837	2,870,000
	m ³ で与えられた製材の全量に必要な皮付立木の概算材積				
計	12,750,000	13,600,000	11,450,000	11,200,000	11,500,000

このように伐採がなくはらついて動いているのを見ると、この調査には最近とられた航空写真を使うことが必要である。このような調査を実行する方法についての以前の情報も、それを遂行する時間もないから、一度に *parana pine* 全体の調査を始めることは推奨されないと考えられて、予備的な実験的な調査がまず行われた。殆んど立木が伐採された Santa Catarina 州(表参照)では割合小さな 550000 ha の面積がこの実験に選ばれ、1957 年中頃に与えられた縮尺 1:25000 の航空写真を利用した。この調査の仕事は 1958 年の終りに始められ、今完了したばかりである。

標本抽出方式を選んでから後は、不偏な標本が得られるような方法で野外の実験的な抽出の仕事を計画する必要がある。統計的な調査や予備調査とともに、まえもって推定にある精度を得るためにどの位の大きさの標本をとらなければならないかということを知ることが不必要であるが、一方標本の大きさについての資料を与えることがこの種の調査の目的の一つである。

Amazon の地図は乾燥性森林の位置づけとみろがりだけを与え

た。野外では次のことを見出した。(1) これらの森林にどのようにして入り、洞察するか。(2) その構成はどうか。(3) これらの森林は型に細分されるか。(4) もっと詳細な調査をするための最良の方法は何か。

いつも踏査の間にしなければならぬことであるが、未知の林型に入って、入口で抽出点を調査すると、この抽出単位は不偏であるが、オズの抽出単位が予定した計画どおりにとられないと偏を生ずる。したがって、野外調査を始める前に、この地方の地形に直角に切られたトランセクトがわれわれが入ることができると思われる川に沿って多少とも規則的に配列されていたし、調査される面積を規則正しく分布させるように注意を払った。各 1 ha の標本抽出単位は計画された間隔でトランセクトに沿ってとられた。1 Km² ごとに D. B. H. 5 cm 以上の林木をトランセクトの中心から左右 5 m で調査した。踏査の抽出密度は 1% の 1/100 附近かそれ以下である。

Parana pine の森林では、植生型を示した三角測量図と樹冠密度型を示した航空写真を使って正確な位置づけとみろがりを探らした。われわれが標本抽出により野外で見出さなければならぬ唯一つのものは立木材質と直径分布であった。抽出の仕事の計画を開始できる前に、非常に面白い困難な問題がおこった。*parana pine* は実際的には何処でも、すなわち家畜を飼育している草地でも、荒地などでも生育している。図化された以外の面積はこの型で与えられた面積の大きさの約 3 倍あるので、これら面積はかなりの量を生産できるだろうと考えられた。

したがって、これらの地域は標本抽出の手法の中に含まれた。全地域からの三角測量図上にお互に 2 km 離れた東西に走る線の網目を製図した。網目の出発点は無作為に選ばれた。もし、これらすべての線を野外でトランセクトして切り、5 m 左右のすべての *parana pine* を調査したとすれば、この網目は全地域のおよそ 5% の不偏な標本を与えることができよう。実際には次のものを得ることができた。

28000 km² トランセクトすなわち各々 1/ha の 10 分の 1 の 28000 の標本抽出単位で、これは材積分布の特別な分布と匹敵できる抽出密度となると考えることができた。とられた実際の標本を 5 つの群で調査した。この分類は分散分析ができるように作られたものである。すなわち、地域の東部で E 型と呼ばれる *parana pine* が西部からのものと同じ型がまたは齊一な型に属すると思われることができるかどうかを見出すことができるように作られたものである。

苗木と若木を含むすべての *parana pine* は 0.1 ha の抽出単位でトランセクトに沿って調査された。*parana pine* の非常に小さな斑点とクロスしなければならぬのにもかかわらずこの小さな抽出単位が置かれた。これらの森林は下木が非常に繁茂しているために蒂状システムを適用した。ある場合には、トランセクトを 5 m の長さに対して竹の連続したパッチを切り取らして設定しなければならなかった。600 km² 以上のトランセクトが切り開かれた 6000 以上の抽出単位を設定した。そのときの抽出密度は 1% の 0.1 よりわずかに上まわる位であった。

抽出の仕事をやっている間と終ってからと、その結果を統計的に処理した。特に Amazon 地方に対してはかなりの量の実験的な仕事が行われ、それにはわれわれはオランダの応用科学研究所の中央機関の統計部の助けをかりた。これからあと、いくつかの結果を短かくとりまとめてみよう。

A. Amazon 地方では、われわれの資料によればすべての樹種が同じように生育したり、生き残ったりすることはないことがわかった。いつも多数で調査される樹種群がわかった。すなわちその地方にだけ多数で見出される樹種群といつも小さくまた少数で見出される樹種群である。結論はこれらの森林の樹種は無作為にあらわれずに大いに違った競争能力をもっているということである。

現在 1/ha の 1200 以上の抽出単位を設定し、1600 km² の前面以上すなわち Rio Madeira から Maranhão 州の Rio Maracassumé までひろがっていて、これら森林の構成は非常

に齊一だということができる。*aburanas* (*Huteria* spp) があらわれるのは実際的には Rio Madeira から Belém の南まで一定である。すなわち数えられる本数の少なくとも 1/2% または 1/5 cm までの D.B.H をもつ木の 1/2 本の基本であり、これはこの種の非常に混交した森林に対して数が多いと考えることができる。Maranhão 州の Amazon の森林の東部の奥端にゆくと競争ではかなりの変化があり、*aburanas* の優勢さは *mata mata* (*Echmeillera* spp) によりとってかわられている。これら後者の森林以外の他のものは *aburanas* の集団に属する *aburana* 森林と呼ばれることができる。主として下木ではまた他所では見出されないかたまたまみられるかもしくは全然ないような樹種が一度に多量にあらわれている。これらの森林を型や外観でわかることはこれらの樹種が豊富にあらわれるということに基いていた。これは *aburana* 森林の特長である。これらの型の境界は標本抽出によってはっきりした。一つの場合だけでこれらの境界はまた航空写真ではっきりすることができる。すなわち干原性の森林型でこの境界は干原の平べったい頂上の境界と一致する。

群型の構造の図を作るためには 1/ha 当り 30 の標本抽出単位の標本をとる必要がある。大抵の樹種の基本は根本的には無作為に分かれており Poisson 分布に従っていた。地域が連続している際と孤立した事象があらわれることを取扱っているにもかかわらず Poisson 分布を用いた。この分布を資料に適用すると、非常に多くの基本をもつ 1 つまたはいくつかの標本抽出単位にだけでは失敗する場合が多かった。1/ha 当り平均本数が多くなればなるほど、それだけこのようなことがおこることが多かった。このことは実際にはこれらの森林の樹種は果落または集団で生育する能力をもっていることを意味する。集団で生育するほとんどありのまの能力をもつ樹種は林型や林相の 1 つを特性づける樹種である。これらの樹種の基本の分布には統計的な規則を適用できなかった。

樹種の特性づけでなく、5% の危険率で 10% の精度で樹種から

ha 当り平均本数の推定量を得るためには 400~500 本の林木を含む不偏な標本をとる必要がある。これはもし一樹種が ha 当り 5~6 本の割合で表われるとすれば決して異状ではないが、1 樹種が 20 ha に 1 度あらわれれば非常に困難で費用がかかることになる。

また材積推定に同じ精度を得るために 1 樹種でどの位の本数を調査しなければならないかも計算した。これらの計算は 95 樹種で行った。これらの 91 樹種に対して 400~500 本が非常に有効であり、4 樹種だけはそうでないことがわかった。これらの最後の 4 つの樹種に対しての計算は非常に少数の調査林木にもとづいたものである。

価値のあるいわゆる経済的な樹種の集団に対しては最大 200 ha の標本をとれば単一樹種の林木の本数や材積に対して述べたと同じ推定の精度を得ることができ、

B 暖帯林のマツ林調査と一見して非常に類似した *parana pine* に対する標本抽出の結果を評価してある非常に特別な困難性が生じた。

0/ ha の標本抽出単位の置灰により、われわれは、材型以外の地域に対して特に 0 の標本抽出単位の非常に多くを得た。腐敗なしの立木材積を m^3 の $1/10$ で 20 cm 以上の D.B.H (パルプ材の限界) をもつ林木と 40 cm 以上の D.B.H (伐採木に対する適正限界) をもつ林木に対して計算した。より小さな直径を除くと、0 の標本抽出単位の量は更に増加した。

数回試行して、材積級に単位をとりまとめて Poisson 分布にしたがう系列に得た抽出系列を変換することができるようになった。

たとえば *Parana pine* の材型以外の再生林のある部分から 549 の抽出単位を得、それから 464 が 40 cm 以上の D.B.H をもつ林木に対して 0 であった。これらを単位を $6 m^3$ の材積級にとりまとめると、次の分布を得る。

0 級 ($0.0 m^3$)	464 単位	Poisson 分布では	461.8
1 " ($0.1 \sim 6.0$)	76 "	"	77.9
2 " ($6.1 \sim 12.0$)	8 "	"	6.7
3 " ($12.1 \sim 18.0$)	1 "	"	0.4
計	549		527

観測分布 (見出された単位) はほとんど Poisson 分布に一致し、 λ^2 は 1.28 で 0.750 と 0.500 の確率の間である。このことは実際にはこれらの材積級は *parana pine* の林型または *parana pine* がたまたま生ずるこれらの型以外の地域を通じて無作為に分布していることを意味している。

この変換により推定量の精度の計算や標本の大きさは容易になり簡単になる。

Amazon 地方に対して述べた調査法の詳細は

F.A.O レポート No. 601949, 969, 992, レポート

"Caeti - Transcassimé" (未公開) レポート "A 100%

survey in the Curua-Uma" (未公開) およびその部

分をその Interim report (未公開) に述べてある。

Parana pine 地方に対して述べた調査法の詳細は

Federal Forest Service of Brasil の Inventory section

からの Bulletin No. 1 と Bulletin No. 3 (未公開) に述べてある。

森林調査における航空写真測量
Aerial Photogrammetry in Forest Surveys.

By

H. E. Seely (カナダ)

ま え が き

地表面の研究にとって航空写真ほど適したものは他にないし、また地形図作成の歴史を通じて航空写真測量ほど革新的な発達をしたものもなかった。これは農産、森林、鉱物、水力のような天然資源の研究における新しい技術によって追求されてきた。これらの資源のうちで森林ほど航空写真での詳細な研究によく適したものはなかった。すなわち森林は実体鏡の下で三次元的に非常にはっきりとみえるものである。

材積推定のための航空写真における森林や樹木の測定法は地形図作成に適用された測定法と同じような写真測量学的理論に大いに依存している。定量的情報に密接に関連しているものは航空写真の判読、特に樹種、植生型、地位型の判読によって与えられる定性的な情報である。

基礎情報 (Basic Information)

資源や林相について航空写真から利用できる情報についてその主な基礎をなすものは林分内の単木あるいは樹木群のいずれかの樹木の測定や検定である。航空写真から地形的な特徴や他の環境因子の測定を行うことが非常に重要な場合がある。

樹高

立体的視差による樹高測定は最も古いものであり、樹木あるいは林分の樹高の測定をするすべての写真測量学的方法が最も普通に用いられている。Andrews (1934) によればこの視差法は1925年頃ドイツで、地形図作成のために作られた非常にすぐれた *stereoscopic plotting machine* (立体的にみてプロットをする機

版)によって使われたものである。Andrews (1938) は *British Columbia* でこの方法の最初の試験を行ってそのとき使った視差棒に関する報告をしている。現在実用化されているものは大部分が比較的費用のかゝらない実験鏡、視差棒および視差楔を基としている。この方法は主に垂直写真に使われている。

視差法は樹像の長さの単なる前方成分 (*forward component*) を測定する変位法 (*displacement method*) ではその代りに樹像の全長を測定する。しかしながら変位法の欠点は影像測定装置の立体的観察に必要なものを備えていないことである。視差法と変位法の両方とも写真測定の普通の理論にもとづいている。変位法は垂直写真だけに用いる。

傾斜法 (*Oblique method*) は斜写真の樹像測定に使われているためこのように呼ばれている。その応用は Seely (1934) が明らかにした。

陰影法 (*Shadow method*) は樹そのものの代りに、木の陰影をもととしているため明らかに他の方法とは異っている。この方法は Seely (1929) が最初に述べた。それは主に垂直写真に使われており、太陽高度についての広汎な表、あるいは関連した天文学的問題のグラフ的な解による太陽高度をすばやく決定するように設計された陰影樹高計算機 (*shadow-height calculator*) によってその応用は容易になってきた。

写真を立体的に検討することは一般的にすべての方法の中ですべてにされている。それは木あるいは陰影の頂上と根元をたやすく位置づけることが容易でありあまりはつきりと見えない木と容易に測られる木とをできる限り関係づけることができるためである。航空写真上の木の測定に適した色々な重複度については Hardy (1956) が示した。

樹高を測定する色々な方法の比較は結果の精度に影響する条件を考慮にいれなければ完全ではない。たとえば、広葉樹の測定は近くにある落葉樹の葉がないがあまり太がついていない季節にはそれの優劣であるためよくみえるから容易である。このような例では、す

べての方法がよい結果を与えるであろう。そして陰影法は測定のできる沢山の陰影がある際に特に利益がある。落葉樹の測定は2組の写真が利用できるときに最大利益をもっている。その組の1つは、落葉樹が葉をつけているためはつきりしているものであり、他の1つは林分の高さが落葉樹の葉がないためにはつきりと決定できるものである。むさだしの広葉樹がはつきりとわかるために写真が十分大きな縮尺のときには例外が起る。樹高測定に影響する他の因子は縮尺、写真の明瞭度、樹冠型、カメラの視角の幅、カメラ軸の方向などである。勿論写真の明瞭度はレンズやフィルムの解像力、露出条件、写真の処理方法に関係している。その上、カメラぶれや露出の瞬間の航空機の動による像の動きが重要である。陰影の測定は立地地の傾斜量の推定がむずかしいために逆に影響される。林分の密な部分では正確な樹高測定は不可能である。色々な方法で得られた結果が特に今までにすでに行われているこれらの数少ないテストに用いられた範囲でしかないために、通常でくわすような条件の下に客観的に比較ができるような一連のテストが望ましい。

樹冠密度、樹冠直径、樹木本数

航空写真で示される樹冠密度の割合すなわちウッペー度の推定は非常に重要である。識別された分類を行った林分を示すステレオグラムはうっぺい度の判断に非常に役に立つけれども、色々な季節、違った縮尺色々な写真機による写真の視角、フィルム、および写真の条件で色々な森林条件を十分表わすには多くのものが必要であろう。樹冠とは同じ大きさの点を含む樹冠密度の尺度については Malleson (1949) が発表した。そして斜になった三角形の列を組み合わせた重複度の発表については Lasee (1956) が概略述べている。樹冠密度の判断にあたって困難なことは写真の鉛直点からの木の距離に関連して樹冠が偏ることにより起る変動のためにでくわす問題である。これらの変動を考慮にいれた修正因子の設定が有益であろう。

他に役立つ測定は樹冠直径についての測定であり、樹冠直径は立木材積の推定が疎な密度の林分あるいは、測定したり数えたりする木の数が立木材積の推定に十分な数だけあるような場所では特に重要である。樹高は材積と樹冠直径の間の関係においてしばしば重要な因子である。樹冠は航空写真では相対的に小さい対象物として表われるもので、正確な測定には良好な定義を行うことが本質的なものである。樹冠を測定する方法は Losee (1956) が取扱っている。

航空写真で木の数え上げに好都合な条件はめったにない。そして数えあげはせいぜいのろまな面倒な仕事である。最もよい機会は大さな縮尺の写真で特に、林分が低密度であるかまたは広葉樹を数える場合にその近くにある落葉樹の葉がない季節に数えるときである。また、もし樹冠が円錐形に近いまたは同じような間隔にある傾向のために区別し易いならばそれも一つの有利な点である。

樹 種 と 森 林 型

普通の縮尺の航空写真での樹種の識別は之の例外はあるが地上チェックが行われる前には特に全く困難なものである。しかしながら色々な方法で樹種あるいは森林型の区別は可能になる。落葉した木は、秋や、冬や早春においては常緑樹と容易に区別できる。その他の季節でも同様な区別は葉の色調の差から区別することができ、そして広葉樹林型を区別することができる。消去法は特に樹種が少ないような場所では有益である。枝の習性、樹冠と配列の形と大きさ、色および葉の光沢度を含む樹冠特性や葉の色調は重要である。樹種識別にとって大きな可能性は大縮尺の写真にみられる。地位、生態学や気候生物学的条件の知識は有益なことが多い。赤外線、天然色、透視発見フィルムはあとで言及するように特別な識別を与える。

ある地方では熟練者が航空写真で土地の形を識別でき、そして地形的な位置や傾斜や植生から林分地位型に関連した土壌構成物質、土壌組織、および排水について意見をたてることのできる。

上の変量を推定する際に写真判読によって得た結果はすでに Andrews (1936), Nash (1949), Maessner, Brunson, Jensen (1950) Losee (1953), Warley Meyer (1955), Rydgren (1955) が報告している。樹高測定の精度に関する情報は視差法に大いに限定されることは明らかである。それでは、役に立つ結果が 1:20,000 もしくはそれ以上の縮尺で得られる。推定の標準誤差は3回のうち2回の確率で、22から9フィートもしくはそれ以上の変化をする。樹冠密度に対して標準誤差は一級に 7% ~ 12% の間である。本数数え上げは真本数の 50% をこすものはほとんどなかった。樹冠直径に対する標準誤差は 0.5 ~ 4 フィートの間を変化させる。

層化と標本抽出 (Stratification and Sampling)

気取なしかも詳細な観察をすると航空写真は森林の分類すなわち“層化”に対してすばらしい機会を与える。単一層は樹高、植生型、および樹冠密度のような因子に関して同じ級にあるようなすべての林分からなっている。

米国林野庁の国家的な森林調査で使った三重抽出方式 (triple sampling system) では、完全に森林をおうぐいすに航空写真層化を多く行って系統的に 1 エーカーの円形写真プロットを配置した。1/5 エーカー円形野外プロットを写真プロットのいくつかの中に配置して樹木測定と写真判読エーカープロットのチェックを行った。1/5 エーカープロットの写真判読はプロット周辺附近の木の位置が決定できないためと、1/5 エーカープロット上の判読情報量が非常に限られているためにむづかしい。

層化と標本抽出に関するカナダの方法の概要は Seely (1957) が述べている。彼は無作為抽出、系統的抽出、そして“選択された線 (selected line)”として知られている特別な方法を含む多少の系統的なサンプリング法について論及している。この最後の選択された線と名づけられた方法では通常プロットを林分附近の道の近く

の点から地図上に任意に引いた線上に1つかまたは規則正しい間隔で配置するものである。他の色々な方法とともにこの方法を写真判読者により完全に習化したある林分でのランダムサンプリングと比較して研究した。その結果は先に研究がつづけられているが、航空写真判読化の中では平均木の大きさのはっきりした形または傾きは色々な方法の平均値間の差が非常に小さなものとなるという結果に比較的に限られているようである。カナダの方法のあるものは林分の平均高、樹分密度の割合、その他の層の因子、を推定する際の差をつけるために一部は判読者の能力に依存している。判読者の推定は高いかも知れないしあるいは低いかもしれないが、それらが一致しておれば、それらは判読化に対する標本プロットの資料の満足な応用には助けとなる。

写真判読化によって与えられる情報が森林調査に必要な野外プロットの数などの程度減少することができることについては *Bihford 1952* の論文を参照されたい。彼が述べた経済性は成長研究のために固定標準地を使う際にもまたいくらか応用性があるようである。しかしながら、地位、枯損量、林分、樹種混交割合というような成長と関連する因子はおそらく地形の判読によるか補足的な野外調査による以外は、航空写真から容易に決定されないというような困難がある。勿論、測定時期ごとに判読を新しく行う必要がある。たゞしかし得られるべきはただ1つの利益がたとえ写真判読化によって与えられるような林分面積または植生型の改善された推定量を得られるというのであっても調査は正常なものと思われる。植生型の面積が標本プロット数に比例するという仮定で決定した面積は時にはもし特にプロット数が限られていれば、かなりの誤差を生ずる。

写真判読のための材積表 (*Volume tables for photo interpretation*)

航空写真から得ることが出来る変数をもととした林分材積表または単木材積表がすでに作られており樹高や、密度のような変数成分による代りに材積による判読を可能にするためかあるいは材積推定

のための直接法の標準表として使うために作成されつつある。

典型的な林分材積表は *Maessner (1957)* と *Arvey & Myhre (1959)* が作成したのである。*Maessner* が用いた変数は、すべての優勢木の平均樹高、平均うっぺい度、平均樹冠直径である。後者は、エーカー当りの3本の最も高い木の平均樹高とよ、9.5インチ以上の木のうっぺい度を使った。樹冠直径は、うっぺい度と高さを組合して検定したときに材積予測に有意な寄与を与えなかったために除外した。

平均樹高、樹冠密度または、うっぺい度、樹冠直径、数え上げ本数を含む数種の変数と材積との間の相関は沢山の研究者が検討した。*Gingrich & Meyer (1952)* は3本の最も高い木の平均高は一本の最も高い木の高さ、あるいは優勢木の平均高よりも材積と関係が深いことを発見している。材積と樹高の間の相関は材積とうっぺい度の間の相関より高い事がわかった。樹高と樹冠直径との間にくさりの相関が見られたが高さを消去した後、材積と樹冠直径の間の相関は相変わらず有意ではないものであった。*Nyssonen (1955)* はうっぺい度よりも平均樹高がわずかに相関が高いことば示した。彼は、材積と樹冠直径の相関はわずかであり、航空写真上でそれを測る場合の誤差を考慮に置いて、樹冠直径の信頼性を探究した。

カナダ連邦政府林業部会 (*Canada the Federal Forestry Branch*) で林分材積表作成のための標本プロットの野外測定においてはすべての樹の記録をとり、うっぺい度を測定し、植生型や地位に関する情報を得た。また、樹冠直径、樹高、および林分を各プロット内の3本の木で測定し、そして特に、林分の盛衰に関するいろいろな情報を記録した。航空写真でうっぺい度を測定したりあるいは地上でその目測推定を行うかわりに、"moosehorn" として知られている機械が発明されており地上でのうっぺい度を測定するのに使っている。この機械では地図の面積を測定するのに使っている"ドットグリッド" に似たような一様な間隔におかれた印を小さなガラス箱の中にいれたものである。ほぼ9度の視野をもっているが、

この機械を最近野外テストしたらとがりの角度が十分系統的誤差の原因になるというようなことは示さなかった。材積による重み付きの平均樹高はとりまとめに使う際に信頼しうる尺度であることがわかった。この尺度は一級に優勢木と準優勢木の樹高との間にあるがその尺度を航空写真で推定できる精度は更にすすんだ研究が必要である。林分材積表の応用のテストが行われており、それにおいては標準表の資料が地方で集められた同じような資料と比較される。テストは航空写真判読を立証するために無作為標本の測定を行った。その判読の信頼性は林分材積表をうまく使用することが本質的なものである。林分の歴史、林令あるいは地価、侵害状況、あるいは林分構造や樹種構成の変化のような因子は地方的層が原因であるから標準的な林分材積表におけるその相対物と違った材積である。このテストはそれを使用しないときに必要である。野外抽出の量を減らすことができるということにおいて林分材積表を使うことは利益があるといういくつかの指示を与えるものであると考えられる。固定標準地の定期的な測定に関連して林分材積表や航空写真層化から同時に行った推定がどの位経済的であるかがわかるような決定ができる調査を行うべきである。

判読者は航空写真で木をたやすく数え、測定する場合には、個々の木の平均樹冠直径と樹高にもとづいた材積表を使うことが望ましいものであることがわかるであろう。航空写真判読のための単木材積表は Nash (1943) が発表した。いろいろな樹種、樹冠級、樹高級、密度級、や林分の生いたちに対して、樹幹の直径と樹冠の直径との間の関係はもっと進んだ研究が正当である。

特別な航空写真 (Special Aerial photography)

森林カメラ方法 (Forestry tree-camera method)

Seely (1948) は航空写真のカメラ方式について述べており、カメラのうち中心のカメラは垂直方向を指し、一方他の2つのカメラの1つは左、一つは右の斜方向をもっている。焦点距離1/2イ

ンチのレンズを用いている。中心と側面の写真の間には周囲の重複があり、飛行の場合範囲の広いストリップがおおわれる。斜め写真の傾きは、地表面の水平面の縮尺を経済的な写真を与えるために圧縮してあるし、他方木の像の垂直平面は樹高の測定や、樹種の識別に最も都合よく撮影されるようにできている。1/2インチのレンズを使う理由は森林カメラ写真では飛行機の高さは与えられた縮尺に対して普通の1/2インチレンズを使った写真の高度よりも非常に高い。それは1/2インチを使った写真の高さの偏位は、1/2インチめもつほどはめつたに大きくないという結果である。かなりの仕事量が確保されなければ、航空会社は必要な3つのカメラのむしろ費用の大きな装置を請負はなという一つの欠点がある。森林カメラによって得た結果ともしも普通に使われている方法によって得た結果の間のはっきりと比較しうる情報を与える研究が望まれる。

大縮尺写真

大縮尺写真は木の影像やうっぺい度の測定、林分の平均樹高の尺度、木数の勘定や樹種の識別において信頼性が大きい。しがしなから 1:1200、あるいは 1:2400 のような大縮尺の写真によって完全に地域を被うことははなはだ費用のかかるものであるが抽出法にはすぐれている。大縮尺写真は普通の縮尺の写真の写真層化を改善するために使われ、2組の写真の細部の比較によって作られるステレオグラムによって可能である。そのとき材積の推定量は野外サンプリングが林分材積表を使って求める。

大縮尺写真を使った過去の実験では、次の4つに関連して困難にぶつかっていた。

- (a) 露出時間中航空機が飛んでいるためにおこる像の運動。
- (b) カメラぶれ
- (c) 立体視の重複にとって十分に正確なフィルムが巻取りが必要なこと
- (d) 大縮尺のため木の像の立体視の困難性。

像の動きを補正する方法は今まで露出時にフィルムを動かすことが使われてきた。また、フィルムを連続的に動かす方法が特別のカメラに使われていた。森林の目的のためにこれらの方法やカメラを採用することは費用がかかることと、一貫した補正が欠けていることのためにとまたげとなってきた。連続的に動くフィルムを使うと尺度の歪みを伴う場合が多い。それに代って見込みのあるものは像の運動とカメラふれの影響を減ずるために早いシャッターを備えたカメラを使うかまたは立体視の困難をさけるために十分長い焦点距離のレンズを備えたカメラを使うかいずれかである。また、適當な早さでフィルムを巻取る機構をもったカメラを使うかあるいはおそく動く航空機を使うべきである。ノズインチかそれ以上のレンズを備えた中型あるいは大型のフォーカルプレーンシャッターをもつカメラかあるいは、*Aldrich, Bailey, Heller (1959)* が述べたカメラのように回転円板型シャッターを備えたクロマカメラが適當である。

赤 外

陰影は普通の赤外写真では非常に暗くみえるが葉のフロロフィルの影響はハイライトを生ずることであり、その結果黒から白にわたる色調の変化を生ずる。これらの色調は、葉の中のフロロフィルの量の程度と共に樹冠の向あるいはその内部の影の量によって明らかに支配される。陰影の中にディテールが比較的少ないことが一つの欠点であり、特に、大縮尺の写真で林分の立体的な検定を行う場合においてそうである。しかしながら、マイナスブルーフィルターを通常使われている赤フィルターの代りに使うときは、*Spurr (1949)* が指摘したように、パンクロと通常の赤外との間の特性をもつ中間的な写真ができる。

赤外写真特に夏期にとられた赤外写真で林型や樹種などの程度識別できるかについては *Spurr Brown (1948)* がとり扱っている。普通のパンクロフィルムで秋、冬、春、初夏に撮った写真で特

に北部地域で比較し得る結果が得られる場合が多い。それにもかかわらず赤外写真ははっきりした色調差、特に広葉樹と針葉樹の区別が必要なときには、夏写真で役立つことが多い。しかしながらときには広葉樹の葉がない季節にとられたパンクロ写真は、広葉樹の葉があるときに撮られた赤外写真よりもすぐれている。林分の樹高、林型の境界、常緑樹が下層にどの程度あるかは広葉樹の葉のないときにもっとも都合よく測定できることが多い。

天 然 色

カラー写真は樹種識別や虫害をうけた木の判読にとって白黒写真以上の利点がある。*Becking (1959)* が指摘しているようにカラー写真は大気中、特に高い標高では紫外線のために逆の効果があり、また白黒写真よりも10~30%以上も費用がかかる。またカラーフィルムは白黒フィルムと同じ程度に安定した一様な特性をもっていない。カラープリントは最近 *Dura Ektachrome* フィルムが利用されてきたがそれは普通のカラーの陽画よりも航空写真判読に使うのに便利である。このフィルムの利点は余分のプリントがネガフィルムから手早く得られることである。

透 視 透 視 フィルム

このフィルムは赤外フィルムとカラーフィルムのいくつかの特徴を組合せたものである。それは赤外線に強く反応し、特に沢山の葉をもつ広葉樹の葉からの反射からの赤外線に強く反応する。生きている樹では紫色からあざやかな紅色の向の色調の変化がありスプールの芽を喰う虫にやられた木のような死んだ葉では青緑色あるいは灰緑色に見える。カナダの *Ottawa* 近くにある *Petawawa* 林業試験場で、7月に撮った透視透視写真の色調が9月に撮ったものよりもよく輝いていたし、また初夏のスプールの植栽林はマツの植栽林よりもかたやいた赤色にみえた。それはおそらくマツの葉の落ちるのがおそれためである。樹種の識別、部分的に落葉した

木の識別、葉の中の葉緑素の活動に関連した色調の変動によってマツの活力がどのようにして測定されるかを研究することが更に必要である。

熱帯（南東アジア — 太平洋地域）における
林業経営への航空写真の応用

*The application of aerial photography to forest management
in the Tropics (S.E. Asia-Pacific Region)*

BY

R. A. DE Ra Sagra (セイロン)

要 約

組織化された林業経営の基礎は本質的にはそれから経営計画が編成できる十分な森林調査の利用性にある。これらにはむしろ林業や土産利用に適當な計画ができるためには生態的な線上にあらねばならない。雨季性森林会学の基礎そのもの、特に社会の概念や気候にかなりの不一致性が存在する。このことはわれわれの雨季性森林の知識の多くが最初には純粹に主観的な観測を助けとして少数のプロットの限定的な研究をもとにしていたという事実と大いに関係している。しかし雨季性森林社会を明らかにするために適度な標本抽出法が利用できるとしてここに利用されてきている。

航空写真はごく最近熱帯性森林の研究に広く応用されてきたばかりで、漸次植生についての深い図化から真の生態学的な線上での植生型の図化へと解明されてきている。殆んど最近の進展は番精図および地上の標本抽出と植生型との相関をもととした調査の順精度および精度の限界を定めるための統計的方法の利用であつた。無作為抽出の限定された型を用いるこのような方法は 1:48,000 の写真を用いてタイ国の半落葉型（チーク生育）の森林に施用できることがわかつた。

セイロンの雨季性森林では、1:15,840 の縮尺の航空写真で行った番化は以前認識した生態的な型と密接な関係があることがわかつた。単一樹種が優勢である集団性の型すなわち *Mesua ferrea* と *Dienea congestiflora* の型は非常に顕著であるが、*Mesua* - *Dienea* - *Shorea* の協同体のような混交型でさえも識別できる。

最高の集団性と混交型との間に重要な生態的な関係が存在した。

個々の層で0.25~3%に変化する抽出密度で、各主要層の誤差の許容限界が商用木の数と断面積の項で全蓄積の計算において得られた。

セイロンの熱帯乾燥常緑樹林と湿性半常緑樹林に対して、大縮尺(1:2000 ~ 1:2200)の航空写真の生態的な値を示した。しかし少し小さい縮尺の航空写真(1:20,000 ~ 1:40,000)はこの形のもつと著一なもつと簡単な特性のために採用できる。野外踏査の研究でこれらおよび山岳地の森林の植生の同化の結果は主要な生態学的な線と区別できることがわかった。

セイロンの森林資源の完全な搬送調査は現在1:40,000と1:15,840の写真と両方を用いて、またもつと小さい縮尺の写真に対しては生態性にもとづいたもつと簡単な型式化で進行中である。林積推定や許容伐採量を定めるための層の広範な野外標本抽出が現在完了した。Bitterlichのプロットレスサンプリング法は湿性も乾性も両方の型のすべての林分によく適用されることがわかった。そして10ヶ月の期間に統計7806プロットが調査された。単木毎の樹種、直径、林積測定の結果はパンチカードに移写し、エーカー当り林積/断面積の最終的な計算が機械で行われるであろう。抽出密度は統計的な許容誤差の限界により決定されるであろう。

イタリアにおける森林調査の進歩と業績

Progress and achievements in forest surveying in Italy.

By

イタリア中央統計研究所(イタリア)

(Italian Central Statistical Institute)

要 約

中央統計研究所が設立(1927年) される前に多くの調査、その中、殆んどが一般的な性質をもっているのだが、その調査がイタリアで行われた。これらの調査は全森林にわたり、特別な場合だけある森林の級を取扱っている。

1909年の農業調査は有機的なものであった。それは森林をも含めたすべての作物の生産考慮にいたったものであった。

1927年始めに林地面積や林産物を決定するのに色々な方法が試みられた。これらの努力の中で特に重要なものの一つは森林調査の組織化ということであつた。これは今日まで農業調査で行つた仕事と同様に1927年に始められ、結局は戦争のために中止された。

正規の森林統計局は1933年に設立された。それはいまなお動いており、拡張され改善されてきた。

その後林野庁のイニシアティブで、林相図が作られ、1935年のとき国全体の森林の分布を図的に示した。

森林統計の漸進的な改良の過程の中で、中央統計研究所は一般的な調査を採用した。その目的は森林面積と生産量を決定することである。これらを見出すことは林相図を基とするばかりでなく、航空写真調査にももつとついたものであろう。

いわゆる調査を概観している間、研究所は次のような調査を行つた。すなわち、たとえば生産能力ある休耕地、コルクガシに肉するもの、またオブラの耕作についての研究も実験されている。同時に森林利用に用する年々の統計、すなわち *Comune* (行政区) の全

地域のかわりに調査に対する地域単位として伐採しようとする可能な森林面積がとられて、それは興味ある資料や材積に関する情報を与えこのような利用の特性を示した。

戦後のイタリーの森林資源の概相を知るために、1947年とに戦したときの面積と林産物の評価をすることに決定した。

それから四半期毎の森林の統計調査で森林の育成状況、伐採割合等やまた四半期ごとの山岳や海岸地域で実行された仕事の統計調査に関して始められた。

一般的調査と同様に森林の立木材積の調査に関する特別な調査では、特殊化された方法は標本抽出法であり、これは他の分野で実行された調査研究では優れた結果を与えた手法である。

1960年10月1日に中央統計研究所は調査単位として農業的な企業を採用し、農業のオノク一般セニサスを実行するであろう。一般的企業の質問により集められる資料や情報は他のものの中でイタリーの造林のもととなる条件を知ることができるようになるであろう。

日本における森林経営と施業計画

Forest Management and Working Plans in Japan by

嶺 一 之 (日本)

(東京大学林学科教授農学博士)

日本列島はアジア大陸の東にあり、面積380,000平方キロメートルでそのうち67%は森林である。

昔の日本は密林で覆われていた。人間の住居が出現するとともに森林が開発され、農村社会が形成された。16世紀の末頃、封建制度が始まり商品経済は著しく発展し、それと共に森林経営があらわれた。

徳川幕府の間(1603~1868)は日本のすべての地方に領主であり藩林として大部分を支配していた。それらの大部分は藩領内で農家がスギやヒノキのような価値のある木を切る事を禁止していた。スギやヒノキは藩経済の重要な財源であった。これらの森林は価値ある遺産として明治政府の国有林に引きつがれた。

藩分林は、領主すなわち土地所有者が植林契約の下で農家に土地を貸す一つの制度である。森林が成熟したときにその収穫を藩と農家の間で分割した。

いわゆる農用林は、薪、木炭、丸太、草飼料を集めたり放牧するために部落の合意により経営される森林である。ある地方の林地は私所有者の持物であるがそれ等の面積はあまり大きなものではない。

1868年に、統治権が天皇に移り、1872年の土地改革政策は封建的土地所有制度を追放した。明治政府は国有林、共有林、私有林に森林を分割した。(皇室所有林は1885年に創立されたのに始まり、1947年に国有林に合併された。) 1879年に山林局が設立され、国有林の経営と、共有林、私有林に対する政策は活動的な発展を発揮し始めた。

国有林の経営計画に対する最初の規程が制定されたのは1890年で

あり、最初の計画はドイツの *Tharandt Forestry College* で勉強をした志賀泰山博士が1894年に調製した。この計画の概要はドイツの様式をひきついたものであった。輪伐期を決定するために、森林純収穫理論を最初に採用し、1902年から土地純収穫説を採用したが、用材林の実際の輪伐期はほぼ100年以上であった。そして明治大正時代に著しい変化はなかった。許容伐採量を決定するための沢山の方法が用いられている。それらの中に含まれているものは照査法、折中去（面積と材積を組合せた照査法）、*Judeich*の林分法や2.3の数式法などであった。作業種に関しては、皆伐、択伐、その他の方式が実施された。この規定は1948年に修正された。

私有林政策において注目すべき業績は1897年の森林法の制定であった。この法律は1907年と1939年に改正され、1907年の改正には私有林の経営方式が与えられ、森林組合は商業企業の組合と同じように経営計画を編成し、調製する権利が与えられた。

大正時代の間は材木、紙、パルプ産業が非常に発達し、木材輸入が次第に増加した。一方1914年には、国内木材製産量は3640,000 m^3 であり、輸入材は326,000 m^3 であり1924年には前者は1,599,000 m^3 、後者が3,650,000 m^3 に増加し、1935年には前者が1,887,000 m^3 、後者が2,220,000 m^3 でその上、海外植民地からの輸入が2,330,000 m^3 であった。

第2次世界大戦において戦争のため強制的に乱伐が行われた。戦後を通じて林産物に対する需要が増加した結果、施業案に規定された年伐量をはるかに越した林木の伐採が必要となり、森林資源は消耗し、ますます森林の生産力は減少している。他方、森林や原野を農地に転換するために未開発地を開放した結果、1950年現在100万 ha 以上が政府によって買上げられている。そしてそのうち大部分が実際に農地に転換されている。

これらの立場は更に1948年と1951年における森林法の改正をもたらし結果となった。この改正された法律に規定された特色は、

森林計画方式、伐採の管理および森林組合である。

森林計画は次の原則にしたがって作られそして実施されている。すなわち、(1). 国全体の林分の成長量と木材の需給の間の均衡を考慮にいれて伐採量の調整。(2). 幼令森林分の皆伐の禁止と間伐の増進。(3). 皆伐地や未立木地の再造林と生産力の低い林分を高い林分に換えること、(4). 林道や、林産物を容易に輸送する際に必要な他の施設の設定 (5) 保安林の指定と管理。

これらの管理の代りに政府は再造林費や、林道設定の費用等に対して私有林、共有林に補助金を出している。

現在の森林計画の詳細。

森林計画は国有林基本計画、一般経営計画、私有林共有林の経営案、と国有林の経営案と施業案からなっている。

a). 国有林基本計画

この計画の下に全国は総計251の基本計画区に分けられており、その各々は各地域にある私有林も、共有林も国有林と同じように全森林を含む県ごとの主な流域を被うようになっている。この計画は調査で得た結果とまた森林経営と林業経済学的立場に関する問題をもととして農林大臣によって5年毎に再編成されている。この計画の主な目的は合理的な開発、利用を行うためまた各地域における森林資源の保全および森林生産力を維持してゆくための健全な経営によりこの計画を組織的に実施することである。

b). 森林区に対する一般的な経営計画。

5年毎に、各県庁は私有林、共有林に対する経営計画を改正する。これは全国で総数2096の森林区で実行される。各森林区に対して経営計画は、私有の森林に対してではなく全面積に対して編成される。各計画は伐採量の許容限度と施業期間に植栽すべき最小面積を定めている。

制限林地に対しては(保安林や国立公園等)樹種や伐採方式は、森林ごとに特殊化されていて、収穫は立木の量にもとづいて制限されている。特別な用途の森林(果樹、薬、樹皮等)や屋敷林は各所有者の利用について各県庁により示されている。これらの森林は伐採については制限がない。

許可が得られなければ、適正伐期令級以下の令級に属している針葉樹の立木を伐採することが制限されているしそして伐採量が同じ条例で特別にはっきりと定められている制限を越えない普通の森林(制限されていないすべての私有林と公有林、特別な用途の森林、屋敷林)に対しては政府条例の法的な監督が必要である。はっきりと適正伐期令級以上の令級に属している針葉樹の立木とすべての広葉樹の伐採に関して当該の県知事に予定伐採量を報告することがこの法的な監督が必要とするすべてである。これらの林分の伐採量に関しては何の制限もうけていない。適正伐期令級は利用、伐採木の収益および平均最大収穫の時期を考慮に入れて森林計画が施行されている地方でみられる主要樹種にきめられている。(例えばスギ36~60年、アカマツ26~50年)。林分の伐採許可を得ることができない人にとっては政府は低利子での貸付けを行って補助している。

C) 事業区に対する施策案

これらの施策案はそこに含まれている私有林、公有林に対する森林区経営計画にもとづいて県当局によって毎年編成されている。施策案は再造林が必要な土地をもつ森林所有者に植栽を保証することや伐採量を制限する手段として役立っている。

α) 国有林の経営と施策案

国有林基本計画の下で各営林局長(国有林を管轄している)は国有林に対して今年間の経営計画を作る。この計画は全国で106の経

営計画単位で実施されている。営林長は農林大臣によって認可されたこの計画を実行する。彼は全部で4/10の事業区に対する毎年の事業計画を作成し実行する。

国有林の経営計画に対するこの新しく改正された法律の特長は次のようである。

- (1) 経営計画に対する単位面積は数ヶの事業区から出来ている経営計画単位である。
- (2) 一つの施策区は各事業区内でなく経営計画単位にわたるものであり、それはいわば収穫調整の単位してではなくて経営管理の単位といわれるようなものである。
- (3) 輪伐期は伐採木の利用と収益を考慮に入れて平均最大収穫の時期の前後数年に対して決定される。実際用材林の輪伐期は普通40~60年である。
- (4) 許容伐採量の計算は全面積の成長量をもととして決めるが、もし将来成長の増加が期待できれば定期平均成長量以上の伐採が許される。

5) 蓄積と成長量を全面積にわたって推定するためには、航空写真を併用したサンプリングによる調査が実施されている。

日本における森林計画に関する限りは、大きな重点は国有林、私有林、公有林すべてに関して経済的な政策が強く望まれるところである。これらのプログラムの中のいくつかの計画は外国の経営計画といく分違った特性をもっているように思われる。新しい森林計画は木材に対する大きな需要をみたすことによって国民経済の発展に資する目的を追求している。この目的のためにわれわれは森林の持続生産を助成し領土保全のためにぼう大な努力を拂わなければならない。1949年以来再造林された面積は次第に増加し、伐採された面積を越してきた。そして今われわれは未立木地に対してほとんど大部分植林を完了し、天然生林の伐採後の植林も国有林、私有林、公有林ともに迅速に実行されている。

幼令林に対する除間伐や病虫害からの保護、撫育、外国樹種の導入などが要請される。その上、土壌調査が土壌図作成のために実行されている、また林地の化学的な肥培も試みられている。

他方奥地林開発のための新しい林道の設定森林鉄道の改善、トラック道路、ケーブル線の延長が全国あらゆる部分で行われているし、伐採の機械化もまた進行している。

私の意見として、われわれは経済的な造林法や伐採技術を組合せることや森林の保続生産を助成することによって国民経済の発展に寄与するために多くの努力を拂わねばならない。

温寒帯地域の森林調査と年伐量決定のために
メキシコで最も普通に使われている方法

*Most common methods used in Mexico for
making inventories of forests in temperate
or cold areas and for determining yearly cutting
by*

Alfonso Lopez Berja and Juan Manuel Gonzalez (xix)

要約

温寒帯地域の森林は、*Pinus*と*Abies*が主では、1,050万haの面積にわたっており、そのうちの400万haは、潤満していると考えられており、350万haは開発可能なものであり、300万haは原生林である。

蓄積

蓄積はテスト地域によって測定した。

調査した面積は、全体の1~10%の範囲であった。写真測量学的方法を用いたときには、この面積を任意的にあるいは系統的に選んで全体の4%以下の小区域を大きな精度で調査した。標本木の測定を地方的方法を使って行ない、いろいろな材積の表をグラフによって数学的な調和曲線で作成している。

成長量

材積成長量は各直経級の直径成長量から決定した。必要な資料は材積表を作るために測定した木と同じ木から得た。プレスラーの成長錐による成長量の測定はどの木も伐倒する必要がないために最も普通のものである。年伐量を計算するために、連年正常成長量を測定した、(YNI = yearly normal increment)

2. 伐採

経済的、土壌的および商業上の理由のためにメキシコで使われている最も普通の方法は、*Individual Selection* (単木抽出) あるいは *Group Selection* (集団抽出) の方法である。

年伐材積決定のために最も広く採用している方法は森林が複利を生ずる資本を表しているという理論にもとづいており、そのため、公式 $V = v \cdot 1.0p^n$ を用いている。ここに V は ha 当りの実材積、 v は伐採後に残っている材積、 1 は ha 当りの連年正常成長量、 p は成長率、 n は輪伐年数である。

この方法における誤差は V が v に近づくとき成長量は減少し、そして複利の法則にしたがってたえず上昇してゆかないという事実に起因する。この方式は森林に何も手を加えない前の一つの予備的なものとして使用している。

森林資源を推定する目的と方法の選択

Selecting objectives and methods of estimating forest resources.

by

E. Hagberg (スウェーデン)

Professor, acting director

The Forest Research Institute of Sweden.

適切な林政の確立は林地および立木の国家資源の確実な知識をもとにしたときのみ可能である。目的に対して必要な資料は望む情報を手えるために採用される調査の基準や方法にしたがって集められなければならない。

色々な方法を選ぶことは調査計画の段階で示された目的にしたがって行われる。3つの方法がいろいろな目的に応用でき、細部は次に明せられるであろう。

方法Aは目的が手にいれることができる森林資源の開発を計画するときに必要な情報を得るような場合に有用である。ここでは第1の目的はそれらの値を確定する最終目的のために林型、樹種および大きさごとの手に入れることができる立木の現在材積のはっきりしたとりまとめを得ることである。航空写真による調査はこの場合最も適当で最も有効な方法であるように思える。航空路線上に系統的にかまたは無作為に配置した標本地が (ha 当り) 林木蓄積、樹種ごとのその分布および令級のラフな推定および現在一般に利用できる技術的な手段で大きさについての情報を手える。何々の林型に対して $\pm 10\%$ の精度での推定で十分と考えられることが多い。

方法Bは目的が林木蓄積の開発とか林業の目的に対しての土地の持続的な利用であるような場合に利用できる。

単木抽出の性質をもった調査法がこの場合に野外観測と航空写真との組合せかまたは野外観測だけの方法のいずれかが適用できる。第1の方法では航空写真が大きな資料を含むことにより林木蓄積の材積についての信頼できる情報を与える。航空写真の一部分に適用さ

れる野外観測は航空写真から得られた情報の正確度の決定に必要な照合資料となる。航空写真で把握することが不可能かもしくは非常に困難な事項は野外観測で補う。点抽出は系統的または無作為に配列する。第1の場合には信頼できる推定量は正確度の決定にはいくらか困難なところはあるが割合少ない資料で得ることができる。後者の場合は誤差限度の決定は非常に容易である。

野外観測のみに基いて系統的点抽出により得た推定量は規則的に配置した線にそってかまたは調査地域たとえば方形の中で実行する。機間の距離を大きくすると調査費用が減少する。これは線の配置のもととなるいくらか信頼できる図面を必要とする。線または地域の周辺にそって土地条件や立木の条件を連続して記録するのが普通である。時には蓄積もまたある幅のストリップ(ストリップ調査)内の林木を毎木して連続的に測定する。後者の方法はあとで調査線に沿って一様な間隔で配置した標本地域内の林木の記録にとりかえた。林木を連続的に調査する際に時として補助的に調査線に沿ってレフスコプの観測を行う目測を連続的にすることでおきかえることもある。方法は目測を照査したりその手引きをするために連続的に配置した標本地域で補足する。

野外観測だけに基いた方法は北欧諸国(フィンランド、ノルウェー、スウェーデン)では20世紀始めから行っていた。林木蓄積の生育過程について連続的な情報を与えるためと調査の間に生ずる材積の変化を知るために一様な間隔で調査をくりかえしてきた。機構のために、調査は数年以上にわたっている。(フィンランドでは3~4年、ノルウェーとスウェーデンでは10~15年)すなわち、1つまたは2,3の州が管理の単位に適した部分的な結果が表わせるように年々調査された。正確度は地方官庁に知識を与えるには十分であった。(標準誤差2~3%) 国家資源の全体の数字はすべての州の調査が終るまでは得られなかった。またそれは年度が非常にまちまちな結果の和であった。全体の結果の正確さは調査サイクルの期間中部分的な結果に生じた変化による。

方法Cは目的が林木の減損と連年の森林資本の成長量とのバランスのためであり、連年のとりまとめを与えればそのときに価値ある情報を与えるような出来事を記録することであるような場合に適用できる。

この調査法は野外観測に対してBで述べたものと原則的に同じである。費用を減ずるために、副次的な地方での連年の結果に関する正確度の必要性はすてなければならない。正確度は全地域に関する主資料に対して採用されなければならない。10年の期間に対して調査線や地域の配置をまず決定して年々調査が実行できる。それから本質的にして全費用の1/10よりも多くない費用で年々1/10を調査に対して系統的に選ぶ。方法はBで述べたものよりは費用がかかるが次に述べるような利益がいくらかある。

州の調査と違ってこの方法は全地域の同時的な描写を与える。10年後副次的な地方に対して示される結果は10年期間の平均であるが副次的な地方の各々においては時間の上では同じ期間に属する。部分的な結果もまたもし成長量や林木の減損が年々報告されとすれば期間の最終年の蓄積に対して計算できる。蓄積の評価は同時的であり、年伐量や連年成長量は年または期間ごとに記録されるから蓄積の変化は全体としての地域または副次的な地域に対して研究できる。ある間隔に対して一方では最初の蓄積、成長量および林木の減損を、他方では最終の蓄積を示して平衡的な評価をすることが可能である。方法はまた与えられた年のある出来事を記録する機会を与える。第一に年伐量を記述しなければならない。ある地域での伐採事業の統計は特別な報告には利用できないから、蓄積の記録に関連して根株の調査によって前年の立木材積についての情報を得ることが可能である。この調査は前年の伐採により生じたすべての根株を記録し測定するようなプロットで実行する。蓄積の評価に対して用いたよりもかなり接近した距離においた標本地域がこの調査には必要である。

結果の生産は年々の記録や位置づけをするに価する他の重要な出

大である。これは結果の収集を次の冬期間中に行わなければならないような場所には便宜を得た情報を与えるであろう。成長量や年伐量の決定は蓄積の推定に対して必要であるよりもかなり大きなそして多くの野外での標本地を必要とする。この理由で実際には蓄積だけの推定を主体とする航空写真の方法とこの野外の方法を組合せることによってはさして多くの利益は得られない。

論 議

全国の土地や立木資源のような大面積調査はどんな目的に役立つであろうか？ この質問には国家的な見地からだけ答えられるであろう。質問はまた国家は他国の条件と無関係に林業や木材産業を計画してはならないのでより広い局面をもっていることは当然なことである。世界の立木資源は木材に依存しているあらゆる国に關係している問題である。場合によっては林型や大きさ毎に分布した蓄積の提示に限定した調査は、もしその目的が外観上は無じんぞうな蓄積をもつような国の立木資源のとりまとめだけを与えることであれば、一見したところでは十分満足だと考えられよう。だがしかし、利用できる輸出路線に関連した立木資源の位置についての情報は非常に重要である。現在利用できる蓄積の位置づけについての一般的な知識は新路線の計画とか製材工場やパルプ工場の設立のような場合には必要不可欠のものである。木材供給の変化についての近似的な写真はある時間間隔で全体の調査をくり返すことによって得られる。しかし、この種の推定はいくぶん不正確で、大きな違いだけしか確めることはできない。約10%の大きさの違いが目的である場合にはもっと高い標準を必要とする。長い目で見ると森林の復興を計画する必要性はそれそのものが国家的な問題として表れるものである。木材の収獲保続は皆伐面積がどの程度あるかがわかりさえすれば効果的にコントロールされる。前には忘れていたことであるが、木材生産に適当な予備地についての情報を集めることもまた必要なことである。このためには蓄積調査を土地条件の詳細な評価を組合せることが多い。航空写真で調査を行えば、補足的に詳細な野外調

査が必要である。蓄積の成長量と林木の破壊（たとえば枯損量）との間のバランスについてのさらに進んだ知識というものは一様な収獲をつづけてゆくための他の条件である。成長量はたとえば蓄積の令級配置の状態に依存し、伐木事業の種類はたとえば間伐や主伐に適用される。調査はある期間に蓄積された成長量についての論述に限定されるであろう。実験数値や利用できる他の情報にもとづいて推定した自然枯損量に更にその期間に伐採される量を計算するために統計量や他の数字を利用する。一部は特殊な気候条件により、また一部は蓄積の令級配置によるところの蓄積された成長量を次の期間の成長ポテンシャルを推定するために用いる。将来の木材の伐採量の予測は成熟級ごとの立木の分布や将来適用されるべき林業政策をもととした情報によって行うことができる。

林業政策をたてる場合には違った所有の種類いろいろな条件を考慮することが必要である。農場と一雄の場合が多い小森林私有は産業のために利用できる立木を推定する場合には大森林（州とか産業所有のものと同じように關係することはできない。小森林所有は自分の木林生産のすべてが家事の消費につかわれるので計算から除外することが多い。すでに調査計画の段階で森林は所有の種類によって分類しなければならないことは明らかである。

色々な所有者のグループに調査結果を分類することはもし推定の精度を部分的な結果に対して合理的な限界内におさめようとするとき増す結果となる。費用がこの資料の個別的なものの重要なものに対して重点的に費されるときには次の点が考えられる。もし森林が立木の大きさや構成状態の知識が重要であると考えられる国有財産のようなものからなっていれば、通常条件は発展過程にしたがいまたもし可能であれば林業の実行の改良に対して手段の手ほどきとなるに必要な含蓋性に依存する。森林は通常国体、会社、個人と隣接州ももっている。良好な林業を速進する手段を企画できたり、たえず破壊してゆくことを防ぐためには、どこでその手段がほどこされなければならないかを知る必要がある。關係している所有者の

範ちゅうにしたがっていろいろな違った方法で仕事が計画されよう。そのときには客観的に集められた資料が林業の様相改善を計画する場合に州や他の機関に価値のある道具となる。

すべての状況のもとにこの種の調査を森林状態の一般的な発展についての陳述を与えるように一様な間隔でくりかえさなければならない。同時にいろいろな所有者のグループの立場もまた知りたいであろう。

特に技術的な理由に対して、たとえば全国の森林資源の連年調査を十分実行できる訓練された人をやることが一般的にむづかしい場合には、通常数ヶ年にわたって調査を行う。仕事を連続的に行えるためには、調査の仕事に計画されたサイクルに応じた期間で調査を行う。行政上の見地から適当な地形的な単位が毎年カバーされる。不利益なことは上に述べた。すなわち全国的に同時的な様相は得ることができないことである。

例

上に一部論じたような理由で、スウェーデンの国有林の調査はある地形的な単位に対して年々報告を与えた又つの調査が完了してから変更された。新しい方法によると全国は1953年以来前の調査の1/10の密度で年々調査されている。技術的な方法は1953年の1/1巻1号に簡単に述べてある。報告にはヘクタール当り蓄積のこのような推定量の標準誤差は抽出密度は低い全体としてみると国で、±1.3%にすぎないことが述べてある。同時に1953年と1954年についての資料も示してある。ここではそれに応ずる情報を調査の2,3,4,5年の平均で示しておこう。

A. 平均の結果

第1表 1953～1957年の調査による全蓄積

	全 蓄 積 100万 m ³				
	1953	1953～54	1953～55	1953～56	1953～57
全 体	2123	2142	2133	2128	2122

第2表 樹種毎の全蓄積の分布

樹 種	全 蓄 積 100万 m ³				
	1953	1953～54	1953～55	1953～56	1953～57
マ ツ	853	861	856	858	854
トウヒ	945	953	946	942	940
広葉樹	325	328	331	328	328
全樹種	2123	2142	2133	2128	2122

第3表 直径級毎の全蓄積の分布

直径 級	全 蓄 積 100万 m ³				
	1953	1953～54	1953～55	1953～56	1953～57
0～14 cm	619	611	609	607	604
15～24 cm	853	861	856	855	856
25+ cm	651	670	668	666	662
全 体	2123	2142	2133	2128	2122

伐採量を連年成長量との間の潜在的な相違による蓄積の変化は考慮にいれていない。部分的な結果の間の変動を説明するために次の色々な年での近似的な資料もまた示しておく。

B. 調査年度ごとの蓄積 近似的な値。

第4表 1953~1957の調査による全蓄積

	全 蓄 積 100 万 m^3				
	1953	1954	1955	1956	1957
全 体	2123	2161	2115	2113	2098

第5表 樹種毎の全蓄積の分布

樹 種	全 蓄 積 100 万 m^3				
	1953	1954	1955	1956	1957
マ ツ	853	869	846	864	838
トウヒ	945	961	932	930	932
広葉樹	325	331	337	319	328
全 樹 種	2123	2161	2115	2113	2098

第6表 直径級毎の全蓄積の分布

直径級	全 蓄 積 100 万 m^3				
	1953	1954	1955	1956	1957
0~14cm	619	603	605	601	592
15~24cm	853	869	846	852	860
25+cm	651	689	664	660	646
全 体	2123	2161	2115	2113	2098

例の説明

数年間にわたった調査はたしかに前にやった方法よりもかなり費用がかかる。変えるときには新しい国家森林調査の費用は15%で計算された。この数字は調査費用が過去7年間に最初設定された限界内で変化したからむしろ正しいと考えなければならない。

それでは費用が増してどの位多くの利益があがったか？ ここでいくつかの具体的な例を述べよう。

以前は、成長量の計算はある期間(10年)からなっていて、期間内の伐採量に対して考慮にいられた成長量を期間の全成長量の数字を与えるために加えなければならない。今度は計算は1年の成長量にもとづくことができ、同じ年の伐採量への成長量の許容量はほんの少しの量に減じられる。同じ年に国のいろいろな地方で調査を実行すればいろいろな地域の生長条件への良好な情報が得られる。これはおそらく主として気候的に条件づけられた別個な成長地帯を見出すことが可能となろう。

国内の木材生産がどの程度あるかについては以前には補助的に家畜消費量の推定値を加味して産業類別の統計からしかわからなかった。伐採材積についての知識はいまは伐根調査で得ることができる。この仕事は直接的に調査にむすびついていて、伐採材積は蓄積に用いたと同じ測定単位で報告され、樹種ごと、直径級ごとにおよぶ。これはいままでよりは正確にかつ有効に国の木材状況を年々チェックする機会を与えることになる。なお、産業目的に伐採量を預別する特別な報告は木材工業ごとに用いられた材種割合を示すから価値がある。調査とからみ合せて年々行った結果の調査は結果あつめを次の年の冬にまとめておこなわなければならないような地域のとりまとめができる。しかし調査して成熟期とか種子の品質がわかるまでは採種に対して明確な指示は与えられない。

次に新しい方法の一般的な利益を述べよう。年々産果生産調査と類似の性質の実施調査で方法を補足してゆくことができる。同様にある資料をあつめることが十分調査がおわったとか最初にわりあてた重要性がなくなつたとかした時にそれをやめることができる。一般に新しい方法は特に地域の条件、たとえば最初にはっきりさせることができなかつた産業の発達地域の地域を明らかにしたいような調査に適用する際に融通性がある。この種の地域は古い方法を用いればおそらく別個な年に調査されたであろう。数年間の野外調査にもとづ

いた調査結果はサイクルの初年度に得られたものを最も最近の資料とおきかえることによってうまく新しいものにすることが出来る。

行政機関の手びきとなることに加えて、蓄積や土地条件についての詳細な情報を与える年々の調査はまたすべての林業研究に対して情報の良好な源泉を形作るであろう。したがって調査結果にある物事の大きさおよび色々な問題の地域的分布を解明するのに用いられよう。

近頃展開されている森林調査と統計的抽出理論
*Forest surveys and the statistical theory
of sampling some recent developments.*

By

Bertil Matern (スウェーデン)
Forest Research Institute,
Stockholm 51. Sweden.

G.P. 14/1/B - Sweden.

現在では大抵の森林調査はサンプリングの方法を採用している。すでにこのような方法は18世紀に論じられていた。(1)参照] サンプリングに基づいた大規模森林調査は1911年に行われた。(2, 19) 最近の調査方法は(1)~(12)に概略述べられている。

サンプリングの統計理論はごく最近、主として過去25年に作られたものである。基礎理論は(13)と(14)のような一般的な抽出方法についての多くの教科書をみると明らかなようにほぼ1950年に確立されたものである。

抽出理論の主目的は適当な抽出計画の選択の手引きとなることである。関心をもっている量を推定するために用いる方法と同じように標本選択の方法を示すのにこの語を使うのが便利である。標本の大きさの決定も重要であるけれどもそれはこの選択の一つの段階にすぎない。

抽出理論の観点からの森林調査の問題の議論はD.J. Finneyによって発表された2つの優れた論文(15)と(16)に見られる。もっと進んだ寄与は例えば(10), (17), (18)を引用されたい。それには多くの参考文献がのせてある。明らかに森林調査の理論と方法に関する論文は100ヶもの定期刊行物に発表されている。したがって本論文は重要な寄与文献のほとんど全部を網羅していると主張する事は出来ない。

抽出計画の選択に対する判定規準

標本調査は沢山の量の推定量(森林調査では、面積、材積、成長量

等々) 通常小地域に対しては合計も一語に与えよちとするものである。抽出計画が異なれば違った特性をもつ推定量が得られる。これ等の特性は標本抽出誤差と非標本抽出誤差の大きさに関係している。標本抽出誤差の期待量は標準誤差によって表わされる。非標本抽出誤差(時には「系統的誤差」と呼ばれている)は測定方法や計算に固有のものである。標本抽出誤差と対照的にこれらの誤差は一般的に標本の大きさに無関係である。

統計家はある特別な推定量(例えば全材積)が最も重要であるような場合を考えるのが普通であった。そのとき計画を選ぶ問題は已に形式化され次の二つの方法のうちのいづれかである。与えられた費用で推定量の標準誤差の最小なものを与えるデザインを見出す方法。最小の費用で要求精度を与えるデザインを見出す方法。

この種の公式化はむしろ不適当な場合が多い。しかしながら数値の値を推定する場合に適當な判定基準を選ぶ問題が最近2,3の著述によって扱われている。(19), (20) をみよ。この問題は非標本抽出誤差に関しても考えられていた事を注意しておこう。(21)

もっと一般的な判定基準は決定理論 (decision theory) (22), (23) によって表すことができる。すなわち計画の選択は活動の全利益が最大になるよう行わなければならない。ここに利益とは獲得した情報の価値と情報をうるために要する費用との間の差として定義される。(これはO.R.の一般的な方法に関連している) 木材販売あるいは購入のような経済的な取引に対する基礎を与えるために調査が行われる場合には、調査の価値がどのくらい推定量の可能な誤差に依存しているかはしばしば定量的に表すことが出来る。すなわち例えば(24) がそうである。森林調査の目的を明確にしかも詳細に述べることは他の場合にはむしろ困難であるかも知れない。したがって上述の理論の応用はむしろばくぜんと認識した立場をあらわしたようなものとして感じられるであろう。しかしながら異った抽出計画の内から一つを選ぶ事は10,000の調査費のものと1,000,000にもおよぶ他の調査費のものとの間で一つを選ぶ事を意味している。

そのような選択に対する合理的基礎を見出す事の重要性はいくら強調しすぎてもしすぎるということはない。

場所的変動の模様 (Patterns of spatial Variation)

あるサンプリングデザインの有用性は大部分は調査される母集団構造に依存している。この事は特に推定量の精度に適用される。

一般的にいて、それは森林調査の精度を決定する調査地域内の変動性である。しかしながらこの関係は複雑な性質をもっており、特に系統的計画 (systematic designs) というようなある抽出計画の型が用いられるときにそうである。抽出計画において違った計画の効果を明かに表すようにするためには変動性の基本的な素相を表わすような概念や言葉をはっきりすることが望ましい。(違った抽出計画における標準誤差の直接的な推定量はむしろ不確実なものを与える傾向があり、また殆んどが非常に多くの費用を要した大量のデータを基としている場合でなければ逆の結果となることが多い。場所的な変動(あるいは広い意味で「地形的」な変動)のいくつかの一般的な研究が最近表されている。これらは系統的抽出の研究に関係している場合が多い。着書目録(25)と(26)~(30)の論文をみよ。

ずっと以前に場所的変動を取扱ったもののいくつかはいろいろな地方から得た観測値の系列は平滑な変動傾向と重なった純粋に無作意的成分の和として表すことができるであろうという仮定をもととしていた。このような分析は不自然なように思われよう。より現実的でより融通性のあるモデルは確率過程の理論に基づいて作ることができ、その確率過程は確率論の主要な分野の一つである。研究論文(29)は場所的変動の性質についてむしろ単に一般的な仮定を導入して抽出計画の精度を考えるという問題がむしろはっきりとした結論を得る可能性が多い事を示しているようである。

例

次のいくつかの論議は特殊な例に適用して便利である。使われた用語は一つの例に簡して用いてみれば明らかとなる。

この例は大規模調査に関するものである。航空写真が利用出来、そして唯一の目的は林木の全材積の推定であるという事が仮定されている。標本選択の方法だけを取扱おう。

この選択は次の4つの異った段階で行われる。

(a) 標本木の規則的な網目を航空写真上に配置する。これらの点を地上特性(林地、農地等)によって分類する。これらの特性は次の段階の層を構成する。

(b) 各層内でこれらの点のある割合を写真判読をするために無作為に選ぶ。抽出割合(sampling fractions)は層ごとに違う。写真判読の際には円形標本プロットを選ばれた点の上に置く。これらのプロットを更に副次層に分割する。このような副次層は例えば用材木を表しているプロットのすべてを含んでいる。

(c) 各副次層のプロットの割合を野外プロットとして選ぶ。野外プロット上の凡ての林木を直径級ごとに調査する。これらの級が第4番目の段階の層である。

(d) 直径級に含まれている林木のある割合を標本木として選ぶ。それから各標本木の材積を樹高等の測定によって決定する。

この計画は近代的サンプリング方法のいくつかの特徴を示している。また少し変形すれば他の方法も例示できる。論議した組合せた型の調査に一つの制限を設けるということが可能な標本設計の殆んど無限の変化を表わすであろうということは注目すべきである。最適標本計画を見出そうとどのように試みてもむしろ限られた設計の版に限定されるに違いない。最適計画をどのようにして得るかについての数々のよい例が文献(5)、(32)にみられる。

多段階抽出(multi-stage sampling)

例においては航空写真が(a)の段階の抽出の枠(frame)とし

て使われている。したがって全地域上に一様に配置された点の標本を選ぶことができる。このような枠が利用できないときにはたとえば航空写真で得ることができるような大きな矩形ブロックのような面積の標本をそれにかえて選ぶことが便利である。ついで標本点の網目を各ブロックから選ぶ。従って段階(a)が二つの段階に分割されており、第2段の標本点は第一段で選ばれたブロックからの副次標本になっている。明らかに二段抽出のこの理論は図化が不完全なある地域においてさえも全森林資源を推定する機会を与えるものである。

多相抽出(multi phase sampling)

多相抽出の理論は森林調査では最も重要な抽出方策であった。上の4段階の抽出において、各段階で集めた情報は次の段階の層化に使用する。すなわち(c)の段階では林木が層(直径級)に級分けされている。また選った層内において一定割合の林木を(d)の段階での最終抽出単位として選ぶ。

層化抽出を適用するときには、次の点を考慮しなければならない。

- 1) 層の数と層の間の境界をはっきりとしなければならない。
- 2) 各層からの副次標本の大きさを固定しなければならない。

各層への標本の割当ては統計理論では十分注意をうけていた。すでに1925年にTischendorf (31)が推定された全材積が最大精度を得るためには各直径級に一定数の標本木を割当てるという公式を発表した事は注目すべきである。他の学者は後に全予算が一定の場合の最適割当てに対する上と対応した一般的な公式を発表した。勿論、変動が大きいからとなくば標本抽出の費用が安いような層内では相対的に高い抽出率を使うことが一般的な理論である。その応用は(5)と(32)にみられる。

最初、標本抽出の専門家はその第1の点をいく分無視していたようである。しかしながら「最適層化」の問題は1950年にT. Daleniusによって研究が進められ、現在数人の研究者によって研究されてい

る。(17, 24, 7.8)と(33)をみよ。明らかに例えば直径尺度を層に分割する最良の方法を見出すというようなことが興味ある問題であろう。(標本の層化抽出に用いるため)

多相抽出は情報が次の例(2, 24), (34)でわかるように情報が違った出所から得られる場合にも適用出来る。(b)の段階(上記参照)での各標本プロットの副次標本に対して得られる。目測推定と精密推定の間の関係を例えば回帰法によって作りあげる。したがって(b)の段階の目測推定が検定できる。目測推定値と野外推定値の間の相関が非常に高いならば、この方法の精度はもし(b)の段階ですべてのプロットが野外で調査されたならば得られたであろう精度よりもほんのわずか低い程度にすぎない。

しかしながら二つの推定量を回帰法で組み合わせると、誤差の推定に不偏公式が利用できるという事は重要である。もし非常に不正確な公式が使われたとすれば、最終の推定量は野外プロットの情報だけに基づく推定量よりも一層精度さが少いであろう(29)。この注意は系統的抽出に関連して特に重要なものである。

この方法は目測推定がむしろ主観的であるときにも応用しうる。しかしながらその時は目測推定が次の標本抽出についての先験的な知識なしに行われるということはやむを得ないことである。この事は野外プロットが系統的抽出によって選ばれたなら応用する事が困難になってくる。

色々な確率での標本抽出 (*Sampling with Varying probabilities*)

層化抽出においては割合は通常層ごとに違っている。母集団の各々別個な単位がそれ自身選択の確率をもっているような方式が更に一層発展している。この方法はM. H. Hansen と W. N. Hurwitz によって1942年に論じられている。(35)参照。この方法を行うと高度の効率をもった推定ができ、また推定量の計算が簡単になる。ある意味においてこの理論は層の各部分がその面積に比例して標本が抽出される森林調査において自動的に存在している。附加的な説明は

Bitterlich の定角法によって与えられる。

抽出単位の大きさや形 (*Size and shape of sampling units*)

多くの経験的証拠が調査費用と推定の精度への標本プロットの大きさと形の影響について集められた。(32), (36)~(39)。この研究は標本プロットの最適の大きさと形は林形と望む情報の種類に大きく依存するものであるということがわかっている。目測推定と野外観測の間の密接な相関は野外プロットが航空写真からの材積推定を校正するために使用されるときに重要であるということをこれと関連して注意しておこう。大きな写真判読したプロットの中心に配置した小さな野外プロットはむしろおそらく効率がわるいであろう。

Fairfield Smith (40) はプロットの大きさに関する抽出誤差の依存性に対する一般公式を展開した。この公式は場所的変動の推定に関するある一般的な仮定から近似的に誘導できるものである(29)。この着者は密度、材積、等の異なる森林で適当なプロットの大きさの問題を一緒にして取扱うことは経験的な証拠によるいくつかの理論的モデルに対応させることによって可能であるということと明らかにした。(場所的変動の数学的な模型の観点からは北極ツンドラ地帯のまばらな植生と熱帯雨期性森林の間の差を明らかにする事は単には例因子にすぎないであろう。)

集落抽出 (*Cluster sampling*)

もし抽出単位の配置が断面積、材積等の正確な推定量を得るという観点だけで考えられるならば、調査される面積(あるいは層化抽出の場合ならば各層に)上にむしろ一様に抽出単位を分配するのが有利である。このことはたとえば地図上あるいは航空写真上に標本を配置する場合に適用できる。ある意味で場所的変動が斉一(あるいは均質)であれば三角形網目が最適な性質をもっていることができる(29)。

抽出単位が野外に配置されたときに、一様な間隔をとることは通

常むしろ旅行費が高いために非有効的であろう。また比較的小さな面積内に数ヶのアロットを含む集落に標本プロットをグループすることが普通行われる。集落抽出は現在スウェーデンの国家調査(6)の“*tracts*”での帯線プロット調査や *lastoch* (41) によって導入された“*Camp-system*”や(42)で述べられている“*exploded sample plot*”に適用されている。いまではこのような集落の最適な構造について何かはっきりしたことをいうことは不可能である。この問題において経験的実証の補充とそれを系統的にとりまとめるために数学的モデルがまた必要となる。これはむしろ森林測定研究の分野での緊急の問題である。

系統的抽出 (*Systematic sampling*)

集落抽出の極端な場合において抽出単位の1つを固定して配置するというやり方。これが系統的抽出法の理論である。多くの場合に無作為抽出法で置きかえられるけれども、森林調査ではまだ広く実施されている。例：上の段階(2)で航空写真上に標本点を一様に分配する、等距離ストリップの方式等々。標本プロットの集落(或は *tracts*, 等)もまた規則的な幾何学的な網目に配置されることが多い。

森林においての系統的抽出法が好んで使われるのは一部は長い間の慣習によっていたものである。しかしながら系統的抽出法はある特別な利点を提供することが一般的に認められている。系統的抽出法がほぼ同等の無作為抽出法よりも精度が高いことは非常に多くの研究によればほとんど異議がない位である。たとえ慎重な層化が適用されたにしても、無作為抽出法は抽出単位の最終的な選択の際に無作為性を得るためにいくらかの効率を犠牲にするのが普通である。(43), (44)を参照されたい。もし条件級や林型の層化が抽出単位の選択に先だって行われるとすれば、選択の2つの方法間の効率の差はいくぶん小さなものとなる。

他の問題もこれと関連して注意しなければならない。土地利用級

森林型等の層化は調査される全地域に対して行われることが多い。推定が部分的な地域(層化には考えられなかった)におよぶときには、層化無作為標本の効率是不拘束無作為標本抽出の効率よりもほんのわずかに高いことが認められている。(44) (45)

場所的変動の模型において予測しがたい周期性が存在するときは系統的標本へ大きな影響をおよぼすものである。(46)をみよ。それには森林標本調査における周期性の例が報告されている。しかしその後の論議(47), (29)は確実にこの例を実証しているように思われる。

標準誤差を推定することが困難であることは系統的抽出の他の面での重大な欠点である。平滑な成分と純粋に無作為な項の和として場所的変動を表わすモデルは抽出誤差を推定するための沢山の公式の基礎となっていた。これらの公式は隣りあった標本単位間の差の分散、あるいは資料を図示したり解称的な補正をしたりしたあとの残差分散をもととしている。この種の公式は1920年に発表され、その後、たえず再発見されてきた。もっと自由性のあるモデルが使われたときには、上に述べた型の公式はある場合には、抽出誤差が過大推定であるかも知れないし他の場合には、ひどく過小推定である。しかしながら、系統的抽出の各々特別な型についての幾何学的模型を厳密に考察することによって適当に偏った誤差推定を与える公式を発見することが(大抵の場合に)可能のように思われる。(28), (29)。この場合にもまたもっと多くの経験的確認が必要である。

相互貫入標本 (*Interpenetrating sample*)

相互貫入標本は集落抽出の一つの型として分類できる。この理論の考え方は二つ以上の同等な標本を考究している母集団から選ぶことである。その時各々の標本は別個な調査として取扱われる。この理論は R.C. Mahalanobis によって進められたものである。(48)をみよ。ラインサロット調査(6, 49)において2つの直交線を使う

のが1つの例である。この場合2つの直交線は別々の野外調査班に割当てられる。これに関連して、J.W. Tukey が少数の独立に選ばれた系統的標本を用いることを推奨したことを注意しておこう。(47)をみよ。この型の標本抽出は別個な副次調査の推定量を比較することによって可能な従属誤差(土地利用級、地位級等の決定における)を研究する機会を与える。

凡ての標本からこみにした推定量の標準誤差は沢山の系統的標本が独立に選ばれたならば簡単でしかも不偏な手順で計算できる。抽出誤差の大きさは違った相互貫入標本平均値間の変動によって表すことができる。この事は複雑な推定や選沢の方法が用いられる他の場合にも価値がある。その次に抽出誤差は従属誤差を含むために解明されなければならない。沢山の独立な系統的標本からのこみにした推定量は、組合わされた相互貫入標本と同じ程度の単一の系統的調査からの推定量よりも精度が低い場合が多いことをまた強調しておかなければならない。(49)

非標本抽出誤差 (Non-sampling errors)

非標本抽出誤差は林学の論文においてすでに多く論議されていた。早い例は(19, p48)にみられる。しかしながら、非標本抽出誤差の経験的な研究にはほとんどであっていない。ある場合には観測による方法の通常的方式が広く用いられ、これまで可能な偏奇についての検定は行われたことはなかった。E.C. Crafts (3, p83)による次の論述“知識の不足は信頼性を生む”というのは説明に役立つであろう。したがってたとえば地位級や令級などを得るための直径や樹高成長の測定などの最も普通のやり方のいくつかを独立にくりかえして行うことがこのために必要であろう。(前節で述べた方法参照)

連続調査法 (Continuous Surveys)

標本抽出法で“継時事象の標本抽出”という標題のもとに変化し

ている母集団に関する情報をうるための方式が概略述べられている。(3), (4)をみよ。取扱われている方法は2つの反対の極端な場合と中間的な方法の1組として述べられている。両極端の場合は森林調査でよく知られた方法に應ずるものである。

一つの極端な場合では、同じ標本(あるいは多くのもとの標本と同じ副次標本)が各々の時点で再調査される。この方法は変化に関する情報が要求されているときに有効である。それは固定標本プロットの再測定に應ずるものである。

反対の極端な場合には違った標本が凡ての時点で選ばれる。各々の標本は前の選抜と無関係に選ばれる。すなわち標本は現在のスウェーデン国際森林調査(6)のようにより大きな組織の一部を構成するであろう。この方法は全材積等の正確な推定が全期間に渡って要求されるときに特に通している。中間の場合には前の標本の一部が次の時点まで1つあるいは他のおき換え方式にしたがって固定される。一つの時点に関するサンプリングが成長鑑片や代根の測定によって過去に関する情報を与えることができることは森林調査の長所である。全部を使ってこのことを可能にするときに、第2番目の極端な場合(凡ての事象で区別した標本)が有効である。

継時事象に関するサンプリングの新しい理論は明らかに連続的な森林調査で出合う色々な立場を解明するために発展してゆかなければならない。

謝 辞 (Acknowledgement)

著者は多くの御助言を賜った Dr. Tore Dalenius とこの論文を英訳していただいた Mr. Ake Wiksten, M.F. に謝意を表したい。

台灣（中國共和國）における森林調査

Forest inventory in TAIWAN, Republic of CHINA
by

Pao-lin Yang. (台灣)

*Chief, Taiwan Provincial Agricultural and Forestry
Aerial Survey Team, Republic of China.*

SP/31/I-China

説 明

台湾の陸地面積の 1,969,000 ha 以上は林地であり、そのうちの約 80% すなわち 1,409,900 ha は国有林である。全国有林は経営目的のために 4/1 の施業区に分けられている。森林経営計画は国有林にだけ適用されている。1949 年までに計画は全部で 1,233,180 ha におよんだ。航空写真調査方法は 1953 年までは導入されていなかった。面積抽出と単純なサンプルプロットの方法を森林経営計画、あるいは伐採目的に対して用いた。林分を売るときはいつでも立木調査を付けた。森林面積は簡単なコンパスを使って平面測量基本図から計算した。標本誤差はわからず、またそれらの精度の推定は困難であった。1954 年に台湾の森林資源と土地利用の全域に渡る調査と航空写真調査を使って展開した。そのときから、航空写真調査法を、森林経営調査や森林資源調査の面に適用し、いまなお広く台湾で使われている。

森林資源調査と集約的な森林経営計画調査

1) 台湾の森林資源調査と土地利用調査

土地利用と森林資源調査は、J. C. R. R. (^{農村再建協同委員会} *Joint Commission on Rural Reconstruction*) が主催した中一米協同計画であった。調査者は次の機関から選ばれた。

R) Taiwan Provincial Department of Agricultural and Forestry.

(台灣農林省)

- b) Taiwan Forestry Bureau (台湾林野庁)
 c) Taiwan Forestry Research Institute (台湾林業試験場)
 d) College of Agriculture, National Taiwan University.
 (国立台湾大学農學院)

森林資源調査の目的は次の二つを得ることである。(1). 森林の保護収獲のために台湾の森林資源に適當な經營ができるような林業政策を樹立するために必要な信頼性のある林地面積および成長量、枯損量、その他の資料を含む立木材積を知ること。(2). 関係した色々な林業の機関に森林造成に関する情報および指示を与えること。

この調査では航空写真測量学的方法を応用した。航空写真を撮るために一般的な地形に直角な東西方向に24のストリップを飛行した。これらの写真は24インチ焦点距離のレンズとマイナスブルーフィルターと赤外フィルムを使って $1/10,000 \sim 1/8,000$ の縮尺で撮影された。この調査には二重層化抽出方法を応用した。写真標本プロットを標本ストリップ上にランダムに選り、全部で37495であった。これらをまづ林地であるか森林でないかによって分離しこれら二つの主な土地利用型に対して材積級と保安問題地域級によって層化した。全部で5445の地上プロットを各層の写真プロットからランダムに選んだ。写真プロットは林地であるか、ないか、と立木材積をうるための基本的な標本であった。地上プロットは地上の情報を得ると同時に写真プロットの調整に使用した。

各林地での写真プロットを写真判読者が立体視して注意深く研読した。林型を識別し、視差標で樹高を測定し、密度尺で樹冠密度を測定し、マイクロメーターで樹冠直径を測定した。林分材積級をこのようにして決定した。林型は次のように級分けされている。

針葉樹型 — Spruce と Fir
 Hemlock
 Cypress
 Pine Spp.
 他の針葉樹

針広型

広葉樹型 — 熱帶的広葉樹
 亞熱帶広葉樹
 溫帶広葉樹

竹林型

林分密度級は次のように級分けされている。

遮蓋積	10~39%の樹冠密度
中、	40~69% "
良、	70~100% "

材積級は m^3 単位でha 当り平均材積によって次表に示したようなものである。

材 積 級	ha 当りの m^3
00	00 - 49
05	50 - 99
10	100 - 149
15	150 - 199
20	200 - 299
30	300 - 399
40	400 - 499
50	500 - 749
75	750 +

台湾の全林地と全材積の抽出誤差は全林地、全材積に対する百分率で表してそれぞれ ± 1.5 と ± 1.6 であった。一般に下に示された面積抽出誤差の範囲が期待できる。

ha 単位の面積級、	100 分率で表した近似的面積抽出誤差
50,000 以下	いつも40以上の変動
50,000 ~ 100,000	普通20~40の間の変動
100,000 ~ 300,000	いつも10~20の間の変動
300,000 以上	概して10以下の変動

集約的な森林經營計画調査

集約的な森林經營計画調査を国有林施業区あるいは他の特別な地帯に対して行った。この目的は森林經營計画の編成に必要な情報を得ることである。調査は航空写真を使って完成した、その航空写真

2) 野外調査は烈しい雨のためにおくることが多い。

特に台湾の北部や北東部地方では晴天の日は少い。外業は特に台風のたためおくることが多い。調査班は悪天候の間中テントに閉じこめられている。

3) $1/50,000$ 地形図だけが利用できて基本図として役に立つ。大縮尺の地図は林野庁自身で作成しなければならない。設備や経験のある技術者が不足している。

4) 調査に関連した資料を作成しなければならない。

形状級材積表、航空写真材積表、や枝条材積表というようにいくつかの特別な研究が行われて森林資源調査が容易になった。しかしながら集めた資料は十分なものではなかった。多くの細目を明らかにする必要から回帰研究のための多くの資料を集めなければならない。たとえばいろいろな林型の材積、材積級および樹冠密度級は内業計算を減ずるであろう。林型の写真讀読の鏡やサンプリング技術のハンドブック、調査設計の方法は森林調査の色々な面の仕事を完成するのに必要な道具となる。

しかしながら、台湾では航空写真法を広く用いてきている。森林資源調査と森林経営計画調査は森林調査の分野では、(たとえわれわれには技術者が不足しているし政府からの援助としては太した予算もないけれども) 2つの重要部門である。しかし純然たる技術的な仕事は資格のある技師によって改善されつつある。次の項目は将来の森林調査の方向を示すものである。

1). 毎年4施業区の割合で調査を行って行くこと。

そうすると $200,000 \text{ ha}$ 近くの林地が調査されよう。航空写真調査法を採用する以前は、2施業区すなわち $100,000 \text{ ha}$ の林地だけが面積抽出法あるいは単純サンプルプロット法を使って調査されていたにすぎない。現在、航空写真は森林調査を行うのに最良の方法であると考えられる。

大部分の仕事は地上調査の写真調整によって実行している。台湾の国有林では4/10の施業区があるから、この全部を10年間の間

隔で順次調査しなければならない。いいかえれば4施業区を毎年調査することである。

2) 森林施業区あるいは特別な地域の地形図調査と組合わせた集約的な森林資源調査

1955年に集約的な森林資源調査や森林経営計画調査を国立台湾大学の演習林で完成した。使用した写真は中華民国空軍が赤外フィルムで撮影したもので $1/20,000 \sim 1/14,000$ の縮尺で $32,000 \text{ ha}$ すなわち 320 km^2 の演習林全域にわたるものであった。これ等の航空写真は面積、材積成長量および枯損量を求めるためや経営計画のための資料を与えるためばかりでなく最近完成された地図の作成の目的にも使われた。1959年の暮れに Ta-shui-shan の伐採地の地形図が $1/10,000$ の縮尺で完成した。図面は林型を反映するようにも作図されている。広葉樹と針葉樹の占有面積は地図上で非常にはっきりと分けられた。この方法で非常に集約的な森林経営計画は基本図として大縮尺の地形図に画かれた詳細な林相図を作成することによって完成することができる。

上に述べた仕事は将来実行されるであろう。多くの計画が立てられた。すなわち数個の地形図作成装置をこの目的のために購入した。また広範な天然資源調査を林地に実行しつつある。

3) 森林経営のためのモザイク写真

特別な地域のモザイクは地形図よりも森林経営や調査をより正確により良好なものにするのに役立つ。森林官は直接写真から林型、樹冠密度、材積級を判定できるしまた林道設計、砂防工事計画、あるいは他の保安の目的に対してさえも判断できる。モザイク写真を管理する費用は地形図図化の費用よりも安い。自然条件の感じは地形図のかわりに写真を使うとよりよいものである。各国有林施業区に対して管理したモザイクを作る計画が台湾で計画されておりモザイク写真の目的には Orthophotoscope を使う計画がある。

4) 航空写真を使用するための森林官の訓練

写真判読技術は森林経営目的にとって必要欠くべからざるものである。森林官は台湾では、航空写真を使うように奨励されているし、地方森林官や近くの国から来ている森林官に必要な訓練をするための養成所が設立されている。