

森林調査体系の現状と将来※

九大農 西 沢 正 久

はじめに

わが国の森林調査の歴史は古いが、第2次世界大戦後導入された標本調査法、空中写真および電算機などの新しい道具が調査法に大きな変革をもたらした。しかし戦後30数年間のその動向をみると、いまだに森林調査の体系づけができていないように思われる。私は一昨年（1978年）6月にルーマニアのブカレストで行なわれたIUFROの第4部会のS 4.02と4.04すなわち森林調査のサブジェクトグループと林業経営計画と経営経済のサブジェクトグループの共同集会に参加した。その主テーマは“国家的な森林調査法について”であり、各国の現状を紹介し、あわせてそれに関連した研究発表が行なわれた。発表件数は38か国82編にのぼるもので盛会であった。この研究集会において世界各国の森林調査体系の情報を得ることができ、現在日本林学会大会および林学会九州支部大会においてシリーズとして“世界主要国における森林調査体系”と題して、現在迄にカナダ、アメリカ、中央アメリカの現状を紹介し、本大会ではオセアニアの森林調査体系について紹介する予定である。私はこの大会における情報をもとにして、昨年（1977年）の林業技術8月号の論壇において“林業経営情報源としての森林調査のあり方について”という題目で森林調査の体系づけを試みた。この研究集会の森林調査研究グループのリーダーであるクニアは、“国家的な森林調査の目的と方法について”という題目で開会講演を行ったが、その中で林業経営情報源としての森林調査のあり方は経営者の意志決定水準と調査目的および調査対象または調査単位によって異なることを指摘している。ここでいう林業経営情報とは、事業計画に必要な情報、経営計画に必要な情報および国家としての林業政策のために必要な情報を含むものとする。したがって森林調査は大別して、事業計画に必要な森林調査、経営計画に必要な森林調査および国家的な森林資源調査の3つの型に分類できる。以下これら3つの型の森林調査体系の現状と将来について考察してみたい。

1. 事業計画に必要な森林調査

この調査はある特定の比較的小面積の森林資源の情報を短期間に得るために計画される。たとえば伐採を予定されている林分に対する収穫調査がこれにあたる。この調査の主目的は利用材積であり、生長量の推定は不必要である。この場合販売を予定されている林木の量と質の測定であり、伐採や市場の条件の情報を得るとともに単木または全林木の価格の決定に対して基礎となるデータを得ることが主目的である。

また収穫調査ばかりでなく、対象林分に対してどのような作業法が必要であるかを知りたい場合、たと

※この報告は、昭和55年4月1日に行われた第21回林業統計研究会シンポジウムにおける特別講演の内容です。

えば間伐，施肥，更新樹などに対して指針を与えるための調査や，マツクイ虫被害などの病虫害や風雪害などによる被害木の販売または収穫を目的とする調査もこの森林調査の型に属する。

一般に森林調査は最小可能な費用で最も正確に望む情報を提供するように計画されなければならない。調査の正確度を増せば増すほど多くの測定を必要とし，多くの費用がかかるので，常に正確度と費用の両面を考慮して調査計画を立てなければならない。調査単位が小面積であるときは全林毎木調査が可能であるが，それ以外は標本調査法を採用しなければならない。現在行なわれている収穫調査は直径階別本数を知るための胸高直径の全林毎木調査と，直径階ごとの樹高を知る樹高曲線作成のための標本木の樹高測定および標準木の伐倒による利用率調査が広く用いられている方法である。この時の標準木法は単級法にせよ階級法にせよすぐれた方法で，標準木の利用材積合計と断面積合計の比に全林木の断面積合計を乗じて全利用材積を推定する比推定法である。米国では英国製デンドロメータによる利用材積測定には3Pサンプリングを用いている。これは直径測定を行いながら材積や断面積の予測値に比例した確率で利用材積測定木を選ぶ方法で，これに用いる乱数表や測定資料から利用材積を計算するSTX (Standing Tree Executive) という専用プログラムが開発されている。われわれはデンドロの測定値から現場で直ちに測定位置の高さと皮付直径が計算できるYHP-67の小型電算機のプログラムおよび丸太ごとの末口皮内直径と末口自乗法による丸太材積の計算プログラムを開発して，ポイントおよびラインサンプリングと組み合わせた利用材積の推定に使用している。すなわち，将来の収穫調査においては費用の面から全林毎木調査が不可能な場合に，全本数を知るため，まず本数だけを数え，数本おきに胸高直径の測定を行ない，さらにその中から抽出された標本木についてデンドロやテレラスコープによる樹高や利用材積の推定を行なう方法や，標本単位を単木でなく，プロットやポイントまたはラインサンプリングによりカウントされた林木の全部または標本木の利用材積測定による収穫調査法を検討する必要がある。この場合にはミニコンピュータは必要欠くべからざる道具となるであろう。

更新樹調査においては旧来はクォドラート法が用いられていたが，今後は植物間距離，点植物間距離などの距離法の検討を進めるべきであり，また更新樹の空間分布の特徴たとえばランダムか群状かなどが明らかになるような分布の推定法を確立する必要がある。またマツクイ虫被害が現在大きな社会問題となっているが，マツ枯損の経年変化の推定法や枯損とマツノマダラカミキリの行動範囲との関連性の解析法などを明らかにすることが現在の急務であろう。勿論風雪害等による被害木の推定もマツ被害木の推定と同様被害木処理の実行にあたって重要な問題である。今後資源の有効利用の見地からこのような被害木の利用法が開発されればその必要性は益々大となるであろうことが期待される。

次に事業計画に必要な森林調査の中で間伐木調査について少しふれておきたい。間伐木の選定調査は間伐木の売払いと間伐後数年たったあとの林分構造の問題と関連している。捨切り間伐は別として利用間伐であれば収穫調査の場合と同様利用材積の測定が必要であろう。間伐は，間伐後の径級分配の変化が生長にどのような影響を及ぼし，数年後の径級分配がどのようになるかを知ることが重要な問題であろう。これを知るためには周囲密度と単木の直径生長の関係や間伐強度と生長の関係を明らかにする試験調査の研究が必要である。ニュージーランドでは40m×40

m (0.16 ha) の方形の固定プロットを4つペアにして設定し、強度、中庸度、弱度およびコントロールの間伐処理を施した5,500もの固定標準地が全国に配置されていた。3～4年が中間調査、5～6年が完全調査で、後者は標本木について細りまで登って測定している。このような固定試験地のデータはコンピューターで処理され、誰でも利用できるようになっている。このように間伐の強さによる生長の情報が明らかになれば、現在の径級分配の調査資料があればいろいろな間伐木指定に応じた将来の径級分配の予測が可能となり、また位置図を作れば単木の周囲密度と生長の関係の解析データとなり将来の施業指針として大いに役立つであろう。わが国においても後で述べる連続調査法による経営目的のための固定標準地(CFI)と平行して、このような施業目的のために必要な比較試験地たとえば間伐問題ばかりでなく非皆伐作業に対する生長量の情報を得る試験地の設定が今後は非共必要である。このような比較試験地の設定には実験計画法の理論が必要であろうが、林業においては圃場以外は非常に困難であり、ある程度現実と妥協せざるを得ない場合が多いことは留意すべきである。

2. 経営計画に必要な森林調査

この型の森林調査は比較的大面積の調査単位である地域施業計画区や大面積所有者の全森林に対して森林資源の現状およびその時間的変化する年次生長量と枯損量を推定し、収穫保続のための許容伐採量を決定し、伐採や更新、保育などを行なう林分の位置などの情報を得るために計画される。具体的には計画区全体の樹種構成、齢級分布、径級分布、蓄積、生長量および枯損量などの情報を得ることであり、小班などの小面積林分の正確な情報を得るような調査ではない。この調査から得られる情報は中期および長期計画に用いられ、一定の木材供給量を確保するためにはどの位の収穫量を得ることが可能であるか、許容伐採量はどのような樹種や林分から得ることができるか、林相改良はどのような立地で可能であるかなどの意志決定のために行なわれる調査である。したがって森林資源の現在の量と変化量についての連続的な流れの情報を得るための調査といえよう。

森林調査法はその国の林業および林産業の開発進展と平行に発展してゆくものであるといわれている。現在開発途上国では開発できる森林はどこにあるか、また開発される木材の量はどのくらいあるかの情報が主でありこの次に述べる国家的な森林資源調査法と同じような手法でまず調査が実行され、未開発林の開発が進み、資源がなくなるとゆくにつれて始めて森林資源の保続問題がとりあげられるようになり、この経営計画に必要な森林調査の体系づけが必要となってくるという歴史的な過程をたどってゆくであろう。たとえばカンボジアでは最初は全国の森林資源の情報を知るために16km×16kmのグリッドを設定して格子点の写真判読による土地利用区分および森林については格子点を中心にした50m×50mの方形の4つの頂点でのポイントサンプリングによる情報把握が行なわれたが、開発が進むにつれて、森林資源の保続のための経営計画の必要性が大となり、メコン地区の営林局長は経営計画のための前者より集約的な情報をもとにした計画を実行に移していた。スウェーデンやフィンランドなどの北欧においては当初は全国に平行なラインを多く設け、ラインプロット法によって全国の森林資源の把握を行っていたが、ライン上を歩いて次のプロットに移動するとき、付

近の小班の情報を把握し、蓄積については目測をしておき、プロットにおける目測と実測の回帰を用いて小班の実蓄積の推定を行ない、経営計画のための情報として使用した。すなわち全国的な森林資源調査と併行して、経営計画のために必要な情報を得る調査を実行していた。後で述べるように北フィンランドでは現在ではグルーピング法という二重抽出法を採用しているが、今述べた思想は継承されているようである。ブカレストの大会においてヘルシンキ大学のボソ教授が小生に、日本では小班単位に詳細な情報が把握されているということを非常にうらやましく思うというようなことを話していた。私は果たして表面はよいけれども実をとまなっているかどうかについては疑問であるが、確かに国有林における地域施業計画では林分の情報は森林調査簿や林相図で明確であり、やはり世界における林業先進国であると思っている。

一般にこの型の調査は大面積であるため全林毎木調査は費用の面からほとんど不可能であり、空中写真による層化と、層内でとられた大標本での写真判読値とそれから抽出された小標本での地上調査測定値の関係を利用するダブルサンプリングが有効であろう。もちろん旧来の目測法、標準地法など考えられるが、標本誤差を評価できない欠点があり、これらの方法による偏りの修正方法を調査の中に組み込む必要がある。

ここでわれわれが実行した九州大学粕屋演習林の経営計画立案のための空中写真による層化と回帰によるダブルサンプリングの概要を紹介しよう。まず赤外カラー写真上で既往の森林調査簿、林相図を参考にして、樹種、林齢により対象林分を層化し、各層から大標本として多数の標本点を抽出し、平均樹冠直径、平均樹高および $\#a$ 当り本数を推定し、さらにその中から小標本を抽出して、その点で地上調査を行なった。地上調査はラインサンプリングを採用した。すなわち次のような一定規準で抽出された標本点で一定ラインを設け、ラインの両側でカウント木の調査を行なうペアラインサンプリング法を用いた。具体的には標本点で南北方向に幼齢林、広葉樹林では10m、中齢林では15m、壮老齢林では20mのラインを設定し、ラインの両側で20mラインの場合は断面積定数4、15mラインの場合は断面積定数2または4、10mラインの場合は断面積定数2でカウントされる林木の胸高直径、樹高を測定した。さらにラインの片側でカウントされる林木の中心からライン迄の距離、樹冠直径および生長錐により樹皮厚と過去5年間の直径生長量を測定した。ラインの両側でのカウント木の測定資料から平均直径、平均樹高、 $\#a$ 当り本数、 $\#a$ 当り断面積、 $\#a$ 当り材積をYHP-67またはTI-59の小型電算機に材積式を組み込み、直径と樹高を現場でインプットすることにより、調査が終了した段階で上に述べた測定値の計算結果がすべて得られるようにした。ラインの両側でのこれらの値を平均した値を写真判読値と対応させた。すなわち判読平均樹冠直径から断面積平均直径、判読樹高から地上の平均樹高および判読本数から $\#a$ 当り本数を推定する一次回帰式を作った。いずれの層においても相関係数が0.8~0.9以上という高い直線関係が認められた。またラインの片側で測定した生長錐資料から5年前の $\#a$ 当り材積を計算し、現在材積から5年前の材積を推定する一次回帰式を作った。またラインの両側の地上調査の資料を用いて層ごとに断面積平均直径から平均直径を、また $\#a$ 当り断面積と平均樹高の積である林分円筒体積から $\#a$ 当り材積を推定する一次回帰式を作った。

これらの回帰式を用いて経営計算に必要な林分構造を次のようにして推定した。小班の属する層の回帰

式を用いて小班の判読平均樹高から平均樹高，判読平均樹冠直径から断面積平均直径，判読 λa 当り本数から λa 当り本数を推定し，これから求められた林分円筒体積から λa 当り材積を推定して，平均直径は前に求められた断面積平均直径から推定した。生長量については λa 当り材積から5年前の λa 当り材積を推定し，これを5で除して連年生長量とした。なお対象とする小班内に層が2つ以上存在するときは点格子板を用いて各層の面積比を算出し，これを重みとして各層で推定した値を乗じ，合計して対象小班の林分の値とした。地上で設定されたラインの両側には恒久的な杭を地上に打ち込み固定ラインとし，次期調査に再測して真の生長量を得るようにしてある。すなわち連続調査法（Continuous Forest Inventory，CFI）を経営計画のため森林調査に採用している。現在では λa 当り本数および直径の変動係数を空中写真から推定し，ワイブル分布を利用して直径階別本数を推定する方法を検討している。

いずれにしても空中写真は地上調査の経費を節減するためには有効な道具であり，この型の調査および次に述べる国家的な森林資源調査には積極的に利用すべきである。空中写真判読値と地上測定値との関係式はできるだけ判読した個人ごとに作成した方がよく，抽出された地上調査の場所に行くときは付近の林況との間のチェックをたえず実行することが必要であり，また1分期編入林分の調査精度は他分期の林分よりも高くすることが望ましい。前に述べたようにわが国の森林調査の歴史は古く，森林調査簿や林相図がある程度整備されているので，このような層化によるダブルサンプリングは経営計画のための森林調査には有効な手段であろう。またこのようにサンプリング以前の情報，すなわち事前情報が存在しており利用可能な場合にはこの事前情報を利用する一つの手段としてベイジアンアプローチすなわちベイズの定理の利用が考えられる。これは事前情報から得られる事前確率密度にランダムな標本情報からの尤度関数を組み合わせ，その結果最終的に事後確率密度を求めるもので，この方法によれば標本情報が少ない場合でもかなり満足のいく推定結果を与える可能性を含んでいるので，現在この手法を用いて λa 当り断面積や λa 当り材積の推定を行なう方法を検討中である。

またこのような経営計画に必要な森林調査では生長モデルを用いた森林調査簿の自動更新の研究を進めてゆく必要があろう。わが国では現在前橋営林局で進められていると聞いているが，これには固定プロットデータの集積と，それを利用した生長モデルの開発が必要不可欠なものとなるであろう。この方法は現在アメリカのウェハウザー社で実行されているのでこれが参考となろう。すなわちウェハウザー社はアメリカの商用林のうち200万 λa 以上を所有しており，地理的に広大なため，いろいろな林型，樹種をもっている。地図または空中写真で林分番号ごとの境界の座標，林分構造， λa 当り本数，直径，樹高をソースデータとしてとらえ，これがコンピューターにストアされてデータ処理が行なわれている。プロッターを使った地図作成，丸太の蓄積，林分材積の表レポートが打ち出され，地理的オーバーレイを林分のモデル化により個々の林分の位置と林分構造の必要事項が何時でも得られるようになっている。また林分構造の変化の推定には断面積平均と最大，最小の生長量を生長モデルで推定し， λa 当り本数を中央直径から推定する回帰式を作成して生長後の林分構造を推定し，自動的にデータを更新するシステムがとられている。これには現地値と推定値の間のチェックもたえず行なわれている。現在わが国では森林調査簿のリストの

打ち出しと集計のみコンピューターで処理しているが、今後精度の高い生長モデルを利用した森林調査簿の自動更新および保続表の作成の研究をおし進めてゆくべきであろう。

3. 国家的な森林資源調査

国家的な森林資源調査は全国または地理的、経済的または政策的な森林資源情報を必要とする地域に対して行なわれる大面積調査である。この調査の主目的は森林資源の現在および変化の両方の情報を得ることであるから、一般に経営計画に必要な森林調査の目的と類似しているが、両者の根本的な違いは経営調査は森林経営者の意志決定に必要な情報を得るための調査であり、それに対して国家的な森林調査は多くの森林所有者が属する全国または地域の林地に対して行なわれるもので、ふつう国の林業政策、経済政策に必要な情報を得るために行なわれる調査であるということである。さらに経営調査は調査の時期が調査単位によって異なり、それを合計したものは同時期の森林情報として取扱うことができず、また個々の林分の位置についての情報が必要であり、同時期の情報を収集し、個々の林分の位置は経営調査ほど重要でない国家的森林資源調査と性格的に異なるものである。

わが国の全国森林資源調査は初回は昭和28年または29年頃実行されたが、公表されておらず、公表されたのは昭和36年および昭和41年の全国森林資源調査および昭和45年の森林生産力調査である。いずれもプロットサンプリングであり、それぞれ独立に行なわれ、変化の推定は最も効率の悪い方法で行なわれたものである。

次に参考のため世界の主要国（カナダ、アメリカ、太平洋、スイス、フィンランド）の国家的な森林資源調査の内容を説明しよう。

i) カナダ

カナダでは10の各州が独自の調査方法を開発しているが、対象森林を遠隔地の接近不可能な林地、生産林および多目的利用の要請をうける都市近郊林にわけると、それらに対して用いられている森林調査法にはある類似性がみられる。接近不可能な遠隔地では抽出密度の低い調査法がとられていたが、最近では一次単位は宇宙衛星写真で森林を層化し、二次単位は空中写真で森林情報を判読し、三次単位は地上プロットの調査を行なう三段抽出法を研究中である。生産林に対する森林調査は製材所建設、道路設定、公園計画に必要な情報を得るためや、短期計画のための詳細な情報を得るために実行されている。長期計画のためには縮尺1：15,840の空中写真を利用して森林を年齢と林相によって事前または事後層化のいずれかを行ない、層化された各層での地上調査は各州独自の方法がとられている。多くの州は断面積定数10のプリズムを用いたポイントサンプリングを行っており、一定面積のプロットの場合は0.04～0.08 haの大きさである。生長量の測定は6つの州では固定プロットを設定しており、ブリティッシュ・コロンビアでは1921年以来観測を続けている。オンタリオでは収穫表を用いて生長量を推定している。現在CFIの導入が増大しつつある。短期計画で用いられる調査はその地域で長期計画で得られた地図の縮尺を拡大して、その地図をもとにして地上サンプリング計画を立てている。都市近郊において集約に利用されている森林に対して

は所有者がいろいろなパターンであるので、所有者ごとに独自の森林調査法を採用している。カナダは最近システムの国際単位 (SI) の使用に変換しつつある段階であり、この変換は1980年に完了する予定になっている。この測定単位と森林調査用語、図面の縮尺および森林調査法をできるだけ標準化して統一した林業統計を得るような努力が行なわれている。また宇宙衛星写真の利用に対しては積極的な研究を進めており、同時に森林資源を有効に利用するための計画に必要な生長と収穫の生長モデルの研究が進められている。

ii) アメリカ

国家的な森林調査は1928年、アメリカ議会でマクスウィーニ・マクナリイ森林法が成立してから後、1930年に始まった。これは農林大臣が各州の林業に関係した官庁と協力し、林地の現況と潜在的な林地生産力の調査を定期的に行ない、木材の需給などを予測する情報を与えることを指示している。第1回の国家的な森林資源の評価は1945年に印刷公表された。ついで1953、1963および1970年に編集され、最新の木材資源の報告は1973年に印刷された。これは1970年の木材資源の分析と2020年までの予測を与えている。更に1974年に農林省林野庁資源計画法および1976年の内務省土地経営局の機能法に森林と牧野の資源の定期的な調査を共に要求しており、森林資源ばかりでなく、再生産可能な多資源情報の必要性が近年増してきており、総合調査法の検討が進められている。この再生産可能な資源要素は、①戸外レクリエーションと荒野、②野生鳥獣と魚、③森林と牧野、④立木、⑤水の5つである。このような定期的に得られる大量の森林調査データを処理するためには専用のコンピュータープログラムが作成されている。以上これらを少し具体的に説明しよう。

アメリカの森林面積は約3億1千万haで広大なため、気候、植生の変化が大きく、7つの単位に分割され、所在の林業および牧野試験場が管轄地域の森林調査の実行ととりまとめに責任をもっている。各森林調査単位は目標標本誤差が林野庁から提示されていて、この基準にしたがってデータを収集している。調査の周期は南部と南東部は8年、アラスカとハワイでは10年、他の州では10年としている。具体的な調査のやり方はほぼ共通していて、層化に対する二重抽出法を採用している。すなわち多数の空中写真判読プロットと系統的に配置された固定プロットから構成されており、地上プロットはほぼ5km間隔に配置されている。標本プロットは可変半径および一定半径の円形プロットの集落であり、ほぼ0.4haに10点が配置されている。私が1974年、サウスイースト、ノースセントラルおよびパシフィックノースウエストの3つの林業試験場を訪れたとき、いずれも同じ10ポイントの可変半径プロットの集落と空中写真判読の組合せ調査の要綱を用意していた。例外としてノースウエスト林業牧野試験場は固定プロットよりむしろ標本プロットの一部おきかえ (SPR) の方法を採用しており、パシフィックサウスウエスト林業牧野試験場では6つのポイントの集落を採用している。この国家的な森林資源調査の歴史はノースイースト林業牧野試験場で1960年の初期適用いられた方法およびそれ以後の調査計画の変化を眺めてみると非常に参考になる。初期は前に述べた層化のための二重抽出法であり、多くの空中写真判読点から系統的に抽出されたエーカー当たり材積の分類によって層化されたが、地上調査を行ってみると樹高、疎密度、樹冠直径が同じと判読さ

れた林分材積には大きな変動があることがわかった。したがって各層から更に抽出された判読点にできるだけ近い場所に地上プロットを設定し、製材木は $1/5$ エーカー、小径木は $1/10$ エーカーの円形プロットで測定し、生長量測定のためすべてを固定プロットとした。写真点で判読された層の割合で各層の面積は推定された。後にこの円形プロットは可変半径プロットの集落に変化し、固定プロットの再測はSPRに変化した。現在後者では再測される地上ポイントの数、選ばれるべき写真判読プロットの数および新しく設定されるポイントの数の決定の問題が研究されている。更に近年に至って森林牧野ばかりでなく、再生産可能な多資源調査の必要性が国会で認められ、総合調査と単一目的調査を比較した場合の利益および不利益を検討して効率の高い総合調査法が開発されつつある。私のところには内務省土地経営局のIUFROのS4.02の私と同じ副議長をしているランドから森林調査ノートを定期的を送ってきており、この中でこのような調査法についての多くの検討が行われており、非常に参考になっている。

森林調査のデータを処理するためのコンピュータープログラムには主要なものとしてFINSYSと前述のSTXがある。これは少し修正すると世界全国で利用できるようになっている。FINSYSはノースイースト林業牧野試験場でバーナードによってそこで開発された森林調査体系に使用されるもので、データを編集するEDIT、計算を実行し表作成を行うTABLEおよび母集団推定値などのとりまとめをプリントするOUTPUTの3つのサブシステムをもっている。FORTRAN IVで書かれており、IBM260と270、UNIVAC/100およびCDC 6,400と6,600の広範囲なコンピューターで操作できる。STXは立木の測樹データのとりまとめに使用できるプログラムである。測定木は広範囲な標本計画、たとえば全数調査、ストリップ、プロット、ライン、ポイント、リストまたは3Pサンプリングまたはこれらの多段階組み合わせ調査、それに空中写真またはリモートセンシングのデータにも、またいろいろな種類の測樹器械にも適用できるようになっている。この他ミシガン大学ではCFIのデータ解析のためのプログラムが用意されている。

iii) 太 洋 州

太平洋州の中でのオーストラリアとニュージーランドの森林調査体系を紹介しよう。

オーストラリアは6つの州と2つの準州からなる政治連邦であるが、土地と森林資源は各州ごとに管理されており、広範な国家的な計画に対して必要な資源統計は州と準州の推定値を合計して求められる。1870年以降各州は林野庁を設立し、州の要請に対して森林を管理し、長年にわたる開発や破壊による森林資源の整備と林産業に対する木材供給に努力した。最初は現在の資源の調査、伐採規整および将来の収穫計画であった。第2次世界大戦の時迄はすべての州の一般的な調査法は系統的に地上に配置されたトランセクトによって個々の林分をサンプリングし、地形図と林相図を作り、利用できる木材量の推定を行った。1940年迄はこのような純粋な経営計画のための調査が行われた。戦後、空中写真、地図、電算機などを利用するとともに、林業、林産業に対する国家的な関心も高まってきた。戦時中は木材の供給と利用は連邦と州政府の共同機関の支配下で行なわれた。今から20年前に木材局が設立され、国の林業政府に対する情報機能を高め、連邦と州の林業当局との会議が1951年に行なわれ、国家的な森林調査計画が立てられたが、

基金と労力の面から統一した方法は実現しなかった。しかし州は連邦政府に定期的に森林資源の情報を提供するようになった。1911年以降、州の林野庁長官は定期的な会議を開いていたが、1964年にオーストラリア林業会議の設立をみるに至った。1969年には林業と林産業の国家的計画を執行するためFORWOODという国家的な会議が設立された。この中の資源パネルの会議の主テーマは地域ごとに現在および潜在的な商用林の資源を推定することであった。50万分の1と250万分の1の縮尺の地図上にこのような情報を示し、1975、1980、1990、2000および2010年における木材の利用量の推定を行った。森林の特徴は約4千万haの商用林のうち99%が国内樹種林で、その中85%がユーカリ属である。これは空中写真で容易に識別でき、林型、林分の大きさ、樹高、密度級に層化することは通常可能であり、地上サンプリングの効率を増した。資源パネルは州と準州が一樣なデータを与えることができるような枠組みを作るために、森林、所有者、林型、生産級および利用級の定義を明らかにした。現在ではこれらによって各州独自の森林調査を執行している。

ニュージーランドでは過去50年にわたり、第1回は1920～1923、第2回は1946～1955、第3回は1959～1963の3回の森林調査が実行された。国内産樹林調査では第1回は残存森林資源の面積、利用可能材の位置と面積、利用可能商用樹の材積の推定が目的であり、主として経験者の目測によった。第2回は国内産樹林を図化し、利用可能材積は95%の信頼度で±10%精度のサンプリングを行った。この調査で得られた生態的記録をもとにして、1965年に系統的な生態調査を始め、その質を向上し、北島では1968年に完了したが、南島では現在進行中である。現在では空中写真と地図を利用して過去の記録を修正する計画が立てられている。1977年にはニュージーランド林業協議会が設立され、森林情報を政府に対して報告する義務をもつようになった。外来樹種調査は1924～1936年に造成された外来樹に対して第2回調査では全国を7つの地域にわけ、全立木材積を5つの主要樹種と針広別に±10%で、他の11樹種に対しては±15%精度で推定した。面積は20ha以下と以上のブロックにわけて、前者は全数調査であり、後者はサンプリングによった。第3回はこれらの推定の修正を行った。1967年に外来樹種調査と生長量測定 of 標準化というマニュアルを作成した。測樹研究者と一般の森林経営者の同数からなる測樹プロジェクトチームを林野庁が作り、固定標準地の測定法、維持およびデータ処理法を検討し、約5,500haの標準地資料を用いて信頼できる生長モデルを作り、中期および短期経営に対するLPモデルを開発し、長期計画に対しては森林シミュレーションモデルを経営者に利用できるようにしている。第1回を除いて空中写真を利用して地上サンプリングを容易にし、外来樹種調査に対してはSIM、固定標準地に対してはIFISという電算機の専用プログラムを用意して実行を容易にしている。

iv) ス イ ス

Paul Schmidから送られてきた1970年に印刷されたスイス連続調査法の調査要項によれば、25,000分の1の縮尺のスイス全土の地図と同一の標準縮尺で撮影された空中写真を用いて、林齢、樹種、密度、傾斜、海拔高によって層化し、比較的斉一な層では5プロット、不斉一な層では10プロット以上を、平坦地では短形メッシュ、山岳地では三角形メッシュをとると、短形メッシュでは80m×120mのネット

ワークが1ha当り1プロット、一辺が107mの三角形でのネットワークで同じく1ha当り1プロットを与えることになる。プロットの大きさは層によって0.03haと0.005haの同心の円形プロットである。調査チームは一般に3人1組であり、調査道具は詳細に指定されている。地図上で配置されたプロットの位置を空中写真に移写し、現地は地図上で明確な地点からの方位と距離によって標本点を確定し、0.3haの円形プロット内の林木は中心からの距離と方位を測定して位置を確定し、胸高直径8cm以上の林木について樹種、胸高直径を測定する。0.005haの同心円プロット（山岳林、択伐林では0.01ha）では全樹高およびポールにつけた扇形輪尺で地上7mの位置の直径を測定する。その他枯損の情報や生態、施業に関連した情報および更新樹についての調査を行う。更新樹はクラス0として分類されたものは高さが20～130cmのもので、0.41アールの円形内、クラス1として分類されたものは0～4cm胸高直径のもので0.89アールの円形内、クラス2として分類されたものは胸高直径4～8cmのもので0.89アールの円形内のものを調査して分類する。金属製の杭を中心の地中に打ち込んで次の調査でもしも土や葉で杭が埋もれたときは金属探知機を用いて探し出すようになっている。材積についてはスイス林業試験場で収集した数千本の伐倒木の資料を用いて胸高直径、樹高および7mの上部直径から材積を求める材積式を作り、直径、樹高と7mの上部直径を測定した林木から材積を求め、この資料を用いて胸高直径から材積を求めるタリフを作って全林木の胸高直径から材積を求めるようになっている。現地ではマークシートカードを用いてコード番号によって測定値をマークし、後に電算機にかけてすべての計算を行うようになっている。1978年のブカレストでのスイスの国家森林調査計画の発表ではこれを骨子にして少し変形されているけれども、空中写真と地上調査を併用したダブルサンプリングの方法を指向しているようである。

V) フィンランド

フィンランドの国家森林調査は1921年に始められた。現在までに6回実行された。現地調査の年は1921～24年、1936～39年、1951～53年、1960～63年、1964～70年、1971～76年、現在第7回の調査が1977年に始められている。実行はフィンランド林業試験場が行なっている。蓄積の推定精度は南フィンランド±5～8%、北フィンランドで±10%である。調査は全国をカバーする系統的標本を基にしている。最初の4回の調査すなわち1963年迄に線の方向が南西から北東である15km間隔の平行線上に等間隔にプロットを置くラインプロット法で前述のようにライン付近の林分は林相や蓄積は目測であり、プロットの目測と測定値の回帰で修正した。1964年以降に地域ラインプロット法で最初は調査ラインは地域の中央で正方形の形をしていたが、後に正方形の半分すなわちカギ形に変わった。1977年に始った第7回調査の地域の大きさは8×8kmであり、その中のカギ型単位の線の長さは4,100mであった。土地と林分の特値および調査前までに伐採された林木の根株はラインを100mごとに分けた41個の標本点で測定され、樹種ごとの胸高直径は200mごとにわけられた21個の標本点で断面積定数2のレラスコープでカウントされた林木を測定した。その他樹高、地上高6mの直径、5年間の生長量はその中から抽出された4個の標本点で測定される。

年間木材生産量の少ない北アイルランドでは交通が不便であるので、土地と林分分類は1:50,000の縮尺の空中写真上の間隔2kmの格子点で判読し、これをもとにして層化し、地上標本点は現地作業の時間と

費用を減らすためグループで設定して調査するグルーピング法と呼ばれる二重抽出法が採用されている。フィンランドでは国家的、地域のレベルの計画案には6～8年の調査間隔で十分としている。データ処理は1964年以来電算機によって行ない、現地ではIBM-360を用いている。

フィンランドは林業林産関連産業の輸出が全輸出の50%以上を占めているので森林資源は重要な役割を演じており、将来収穫可能な林分が地域や所有関係によってどのように位置しているのかを表わす情報や森林の多目的利用の計画作成のための情報の必要性が現在問題になっている。空中写真やリモートセンシングの新しい技術の進歩に伴って、空中写真と地上調査を併用した二重抽出法、人工衛星からの情報、航空機とマルチチャンネルスキャナーを用いた電算機によって分類されるスペクトル写真に関する開発事業が新しい調査方法を作り出しつつあり、より大きな森林調査法の変化が今後10年内に期待されている。

以上主要国の国家的な森林調査体系を紹介したが、共通して空中写真と地上調査を併用したダブルサンプリングの手法が多くとられており、アメリカの10ポイント調査やフィンランドのグルーピング法にみられるように抽出された地上標本点は調査時間と費用節約のためクラスターで調査するという特徴がみられる。また調査点は固定して次期の調査において再測するという連続調査法(CFI)を多くの国が採用していることがわかる。またすべての国がデータ処理には電算機を用いている。リモートセンシング、空中写真、地上調査の組合せ調査の必要性についてはどの国も今後大きな研究課題となっていることがうかがわれる。

おわりに

以上事業計画に必要な森林調査、経営計画に必要な森林調査、国家的な森林資源調査にわけてその内容および現状と将来について概略述べたが、今後の問題点を述べると次の通りである。

①プロット法、ポイントやラインのプロットレス法、距離法などの研究は多く行なわれているが、研究の成果をもとにしてそれぞれの調査体系の中でどのような標本単位が最適であるかを調査前に費用と効率の面から検討を行っておく必要がある。

②材積推定に用いる材積表はスイスのように胸高直径、樹高の他に7mの上部直径を独立変数として用いて精度を増すことも必要であろうが、林産研究の発展に伴って林木の利用規準が変化してゆく可能性がある。できるだけ細りの資料をサブサンプルとして収集し、それに対応できるような体制が望ましい。またこれらに対する小型電算機の使用法も検討する必要がある。

③経営計画のための森林調査においては、主としてダブルサンプリングが有効であるが、空中写真の判読技術の向上、判読の自動化の研究および事前層化と事後層化の両方を含む森林の層化に対する有効な方法の検討が必要である。また小班情報の自動修正のために必要な生長モデルの研究、殊に非皆伐林の生長モデルたとえば連立微分方程式による方法などの研究が急がれよう。これらは広く生態形に対するシステム分析の手法すなわち、動的モデル、確率過程モデル、多変量モデル、最適化モデルの林業における開発につながるものである。これらのモデルの妥当性を明らかにするにはいろいろな施業法に対する比較試験や

連続調査法のための固定プロットの設計と実行およびとりまとめの方法の組織だった研究が必要である。私はCFIは地域施業計画区全体の蓄積および変化の推定に対しても必要であるが、比較的大面積に非皆伐施業を行った場合の生長量の把握のためにも昔のスイスの照査法の変形として発達したこの手法は是非共必要なものであると考える。

④林業の先進国である世界の主要国は経営計画のための森林調査とは別に定期的に国家的な森林資源調査を行っている。われわれは国家としての林業政策樹立のために必要な情報として是非共計画的に定期的なCFIによる国家的森林資源調査を実行すべきであり、予算獲得のための実行でなく目的達成のための実行に必要な予算獲得に努力すべきである。

これにはリモートセンシングや電算機などの近代的な武器を十分駆使した森林調査体系を作るための測樹専門家と予算関係者のプロジェクトグループの設立が是非共必要であると考ええる。

⑤現在社会的に大きな問題となっている森林の公益的機能の評価法の研究が必要である。たとえば水資源涵養機能と森林土壌や植生との関連性などを明らかにして最適施業法を見出す手法の開発が望まれる。また現在の省エネルギー時代においては森林を含む再生産可能な天然資源の総合調査を行なうべき時期にきているので、このような多資源調査の方法を今後検討すべきであろう。