

# 地上と航空写真上の標本抽出の結合による変化の査察

スイス林業試験場 P. シュミット - ハース

訳者 木 梨 謙 吉

## 要 約

地上サンプリングと航空写真又はその他のリモートセンシングメディアとの結合による調査は非常に効率的である。サンプルプロットはこの変化の調査には固定プロットがよい。これは地上でも写真上でも同様である。航空写真上でも地上においても固定プロット設定方式は何等可視的マークをつけずに行われる。

地球上の植生に対する莫大な益々増加して止ることのない人間の影響を管理するという立場から、著者は生態系の広範囲の消滅の動的様相をモニターし、此等の急務の問題の解決の遅れを未然に防ぐ調査をするために大いなる関心を示している。

## 森林蓄積のサンプリングか動的生態系のサンプリングか？

森林調査はその目的とする情報の種類によって異なる。最も重要な問題は土地上の資源だけなのか、又はその変化のモニターであるか。此の問題に対して明確な答はすぐにはかえって来ない。それは毎日の生活の中でそれに答える必要がないからである。もし我々が新しい状態と古い状態に関する十分な情報を持つならば、その差を明確に知ることが出来る。その状態のうちのどちらか一つの情報が欠けるならば、その間に変化が起こっても知ることが出来ない。これと反対に、一回だけのサンプリング調査が行われるときは異なった立場となる。それは静止した情報へ導く方法ではあるが、動的な過程に関する情報としては全く不満足なものである。

さらに、正味の変化のみが情報として必要なか、又は変化の内容、即ち、生長、伐採、枯死も又必要なかの決定がなされねばならない。

皆伐による森林の一時的の伐採の計画に対しては、市場価値のある木材の材積のよい推定が必要であるが、その林分がどのようにして現状にまで発達したかについての関心がない。

他方、生態系の育成に対しては、現況に関する知識だけでは不十分である。人為的収穫と更新活動に対する生態系の動的対応をモニターすることが継続的に必要である。計画期間の終りに測定の結果を検討するために、生長を知ると同時に構造の変化を知る必要がある。主な目的は予測と回復期間に達せられた成果との間の差異を明瞭にすることである。たとえ比較的小さい全体的な変化でもその傾向を示すという理由から重要であるだろう。従って変化に関する情報の要求は静的情報への必要性よりもより高い要求を調査に求めるようになる。多くの場合、計画された数値がいかに実行（伐採の実績）されたかを調査によ

て明らかにする必要がある。

土地利用の展開は政府によってコントロールすることが困難な場合，出来るだけ正確且つ迅速に変化を指摘することが最重要である。従って，単に環境悪化の警告だけでは時すでに遅いことになる。

多くの場合，現状とその2つの調査間に起こった変化に関する情報が必要である。此の場合，現在の平均値に対する正確さの要求度は高過ぎることが多い。それは，変化の推定をするための最小条件を満足させる調査は，一般に，必要以上の正確さで現在の平均値の推定を与えることになるからである。変化だけのよい情報を与える調査法というものはない。

いくつかの県では生態系の動的様態がモニターされることの重要性を認め，その内2，3の県では，此の考え方で変化を知る調査方法を用いている。しかし，多くの県では，此の結果がまだ引き出されるまでにいたっていない。しばしばまちがった質問が高い効果を持つかどうかによって答えられることが多い。

#### 地上プロットは一時的か固定的か

比較的少ない数の固定プロットに，非常に多くの一時プロットを組み合わせる方式は，一般に現在の平均値を推定する最も効率的な方法であるだろう。WareとCunia（1962）はこのことを20年前に示した。もし静的な情報だけが必要なら，此の報告に対して何もつけ加えることはない。

しかしながら動的な情報に対しては，変化の特性に対する推定値は，もし全プロットが再測されるならば，最小の抽出誤差であるだろう。最適解は，2つの連続な時点での標本プロット資料間の相関係数 $p$ と固定プロットの費用と一時プロットの費用の比 $Q$ による。一時プロットの標本抽出は，固定プロット費用が一時プロットの  $\frac{1}{1-p}$  倍以上のときは好ましい。その他の総ての場合は固定プロットが好ましい。

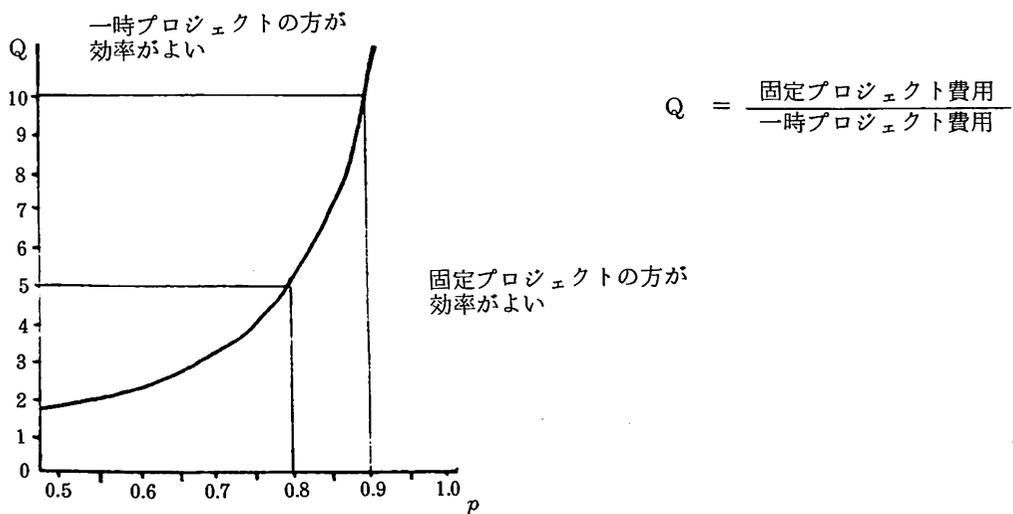


Fig. 1

部分的置換による標本調査は変化の推定に対しては好ましいものではない。Qの決定に対しては、固定と一時サンプリング単位に対する費用は、正確に同一条件、同一測定精度として推定されねばならない。勿論固定プロットの費用を、実際の調査時の一時標本単位における生長や収穫の調査と比較する訳にはいかない。単位当りの計算された費用の差は固定標本を再び探す事によって主としておこる。継時再測の追加費用は固定標本設定の費用より低いことは勘定に入れておかねばならない。固定プロットは一般に一時プロットの2倍以上のコストは要しない。又相関係数は実際には常に0.5より大である。従って、固定プロットによる標本調査は原則として一時プロット調査より効率的である。よい決定をなすのに価値のある一例を示すと次の通りである。相関係数0.9で、相対費用が2:1であるとき、一時プロットによる地上調査のコストは、すべての変化の推定に対して同一精度をうるのに固定プロットの5倍の費用増となる。

正味の変化の推定の比の利益に加えて、固定プロットは生長と伐採のよい推定を与えるであろう。木の生長は、一時プロットだけの場合は生長錐によって推定される。そして、この費用は固定プロットと一時プロット間の差よりも高くつくことが多い。実行された伐採量の決定は固定プロットでしか推定されない。

変化の有益な推定を与える調査は一般に、現在の平均値に対しては必要以上に精確である。もし異なった情報の要求が満たされるならば、ダイナミック変数に関する要求は一般に、調査法の選択に対してより制約的であり、それ故により決定的である。

では、なぜ一時プロットなしの調査はそれ程少なく、固定プロットのないサンプリング設計がいまなお非常に多く存しているのか？

主な理由はおそらく、一般に我々がずっと向うを見ていないことであろう。固定プロットの設定は一般に此等のプロットの再測よりより浪費的な時間を必要とする。一方最初の調査は変化に関する情報を何等提供しない。従って、このプロジェクトの初期におけるコストは事後より高価であり、そして与えられる情報は皆無である。我々はしばしば第1回調査だけをまかなうに十分な問題だけにかまけ、それ以上のことを考えようとしなない。そして、第2回の調査が行われること、また、一時プロット実施の内容の持つ極めて困難なことについて考えない。次回は再び第1回目の調査ということになる。次回調査の最適度は、つねに一時プロットのサンプリングについて行なわれることになる。従って、固定標本の設定は一つの調査であるが、しかし非常に高い利益を持つ調査であるといえる。

部分的置換標本又は全く固定プロットなしの標本調査をする他の理由は、いつか固定プロットが何の役にも立たなくなるかもしれない危惧である。目に見えるような印付をしたプロットは、他の林地と少し異なった方法で取り扱われるおそれがあるということが実際ありうることであるが、此のことが起こらないという保証は全くない。このことは、固定標本の平均値と一時標本の平均値とを比較することによって、各調査ごとにチェックすることが出来ることを示したことである。此の比較は非常に正確ではなくて、それが極めて大きい場合にのみ、その差異が認められるのである。現今、重要な決定がまちがった情報に基づいて行われるかもしれないのは、プロットがマークされるという理由からである。従って、此の問題の

唯一の解決は、プロットには特定のマークをつけないことでなくてはならない。所謂「目立たない」マークでさえも、伐採に影響するであろう。

他の計画担当者は、固定プロットは後になってから見出されないということを恐れる。スイスやオーストリアでは、目に見えない固定プロットを1961年以降測定して来た。数千のプロットは今日なお再測定されて来た。そのうち1つを除いて総てが再び発見された。それらのあるものは甚しく峻悪なアルプス地方に位置し、100%以上の傾斜にあったが、時にはロッククライミングが必要であった。もし2, 3のプロットを見出すことが出来ない場合がたとえ起こっても、それはデータの評価と解釈について重大な問題ではないであろう。

地上のそして地図上の又は航空写真上の識別しうる地上標識(境界石標など)から、プロットの中心が、コンパスとテープによって求められる。一度中心が決められたら、1点又は2点(岩とか樹など)の距離と方位を測定しておくことが出来る。そしてその岩や樹に赤ペンキで印をつけておく。此等の印のつけられた点は、プロットから十分離れた所に位置されねばならない。固定プロットの設定にあたっては、すべての測定木はプロットの中心から極座標によって測定され、記録されねばならない。さらに、その中心は土地の中に管を埋めて印としなければならない。

2回目以降の調査においては、記録された距離と方位が、調査班を土地標識から目印点に導き、そこから固定プロットへ進む。調査班が標本プロットの何処かに到達しているかをしっかり確かめるに十分精確であるかをたしかめて、毎木測定がなされる。中心の正確な位置決定のために、此のプロットの型式(毎木野帳)を参照する。それには、コンピューターによって前回の調査の結果がプリントされている。(すなわち、中心からの方位と距離、総ての樹の樹種、胸高直径 Fig.2)まわりの樹は、標本プロットの野帳上の毎木ごとに点検される。一般に此の型式上の樹の一つを見出すことは至極容易である。一度1本の樹の位置が決まったら、プロットの中心は此の木からの方位と距離によって正確に位置づけられる。ごく稀な場合にのみ金属標識のついた埋め込まれたパイプを探す必要がある。記録された木の位置において、樹幹、切株、従って、各木の生長を調査することが出来る。たとえそれらに番号づけがされていなくとも。伐採された木の本数や種類は、伐採の推定に役立つであろう。(Schmid-Haas, Werner, Baumann, 1978)

我々の経験を示すと次のようである。

もしその調査が土地資源の増加と現在の平均値に関する情報を与えるべきものとすれば、一時プロットを用いるよりは、固定プロットでしかも目に見えないようにそれを設定することがより遙かに効果的である。林地に対して、しばしば一時プロットを用いなくて実行することがよい理由がそこに存在する。同様のことは多年生の個々を認知しうる植物を持つ熱帯地方の調査にも用いることが出来るであろう。

グリンデル森林 1967/77 所有者 02010 プロット 931

班 日付 時刻 林型 前回 615 今回 615  
 B. W. 20/9 8:45 プロットサイズ 400M<sup>2</sup> 半径1139CM

頭頂樹高19M 主樹種 10 切株, 樹種 年令 D. CM

方位	距離	樹種	DBH	D7M	H	備考
19	97	10	25 27			
37	48	10	26 30	22 24	17 18	
41	39	10	18 20	12 15	13 15	
71	73	10	34 36			
120	77	10	33 35			
122	108	10	19 0			
122	111	10	20 21			
178	92	10	24 27			
213	34	10	10 20			
250	181	84	27 32			
314	112	10	44 47			
332	9	18	29 32			
358	85	10	30 32			
225	76	10	9			
388	93	10	10			

方位	距離	樹種	DBH	D7M	H	備考
----	----	----	-----	-----	---	----

Fig. 2 コンピューターによって準備された前回調査結果を記入した継続調査に対する標準プロット野帳型式(フォーム)

## 航空写真又は野外調査班による調査

地上標本は現実のしかも容易に判読可能の結果を与える。一般に、我々は必要な事項を正確に測定し又その他の事を無視することが出来る。仕事の手順は比較的容易に習得出来る。専門家に必要な助手は仕事の極く一部だけである。しかしながら、野外調査は非常に多くの時間がかかり、天候に左右され、地方によってはある季節に限定される。時間の消費とそれともなう旅費は大幅に標本調査費用を増大する。従って、地上調査の外に航空写真上の判読と測定を追加すれば、推定の標準誤差をかなり減少させ、さらに地上プロットの必要数の減少へ導くことが出来る。我々の経験によれば、写真判読によるその地域の良好な層化は2又は3の要因によって原則的に地上プロットの数減少させる。この様な層化(林相図又は航空写真上の標本による)は分散を減少せしめるばかりでなく、全面積の推定に加えて層ごとの推定をも与える。

航空写真上の標本調査とリモートセンシングの他の方法は、地上調査より非常に安い。それは迅速で且つ天候、季節に左右されない。写真上では総てのものが見える訳ではないが、そこには多くの観点からの指標があり、しばしば、少なくとも望む変数と高度に相関する観測可能の変数がある。しかしながら、多くの場合得られた結果は評価測定されないで、従って、地上のチェックがなされねばならない。此等の地上チェックは計画されないことが極めて多く、系統的に実行されない。多くの場合、その地域のごく一部で測定されるか、ときには地域外のもので代用される。単に地上調査は航空写真判読者の手引きのためだけに用いられる。此の場合此等の測定はしばしば初期に抽出された部分でなされ、そして殆んど調査末期のものは用いられない。訓練の場合を除いては、計画に従って系統的地上測定を写真点の中から一部選ぶことが好ましい。1つのプロットが地上サンプルに含まれる確率は写真の評価によるし、また、判読者の目標とする項目についてそのプロットが判読に著しく困難な場合に起こる。地上プロットの結果は写真点の結果の測定に役立つうえ、写真上では見えない地上の資料を集めることが可能であり、そして又此等のデータから総ての写真点に対する此等のデータの回帰推定を得るのに役立つであろう。調査は写真と地上サンプリングの真の結合である。

すなわち写真プロットと地上プロットの結合調査は、地上のみ又は写真のみのサンプリングよりたいたいの場合好ましい。しばしば、標本調査においてそのどちらかを欠くのは、適当な専門家が手近にいないためである。

### 一時標本か又は固定写真標本か？

航空写真上の標本抽出に対して、同じ統計的考察が地上標本調査のときと同様になされ得る。静的資料の推定に対しては、固定でも一時標本でも適当であるが、しかし、変化の推定に対しては、固定標本こそ最良の結果を提供する。又写真上と地上との結合サンプリングに対しても同じ考え方が正しいのは、地上サンプリング結果が計測上の尺度と考えられるからである。

新しい航空写真上に前回の標本を見出す問題ははっきり解決され実証されている。一般的な手順は大略、次の通りである。

先ず標本点を地図上に決定する。それ等の標本点はその全域をよく代表しているかをよく確かめておく。

ついでそれらの点は航空写真上の投影移写 ( projective transformation ) によって移写されねばならない。此の目的のために、写真の位置要素と各プロット中心点の座標と高度が必要である。此等の点の移写はコンピューターによって計算され、フィルム上に自動追跡表 ( automatic tracing table ) によってプロットされる。同時に、標本点の主方向 ( main directions ) に対するその場所での縮尺 ( local scale ) が、もし傾面方位と傾斜度がわかれば、計算可能である。( Fig. 3 )

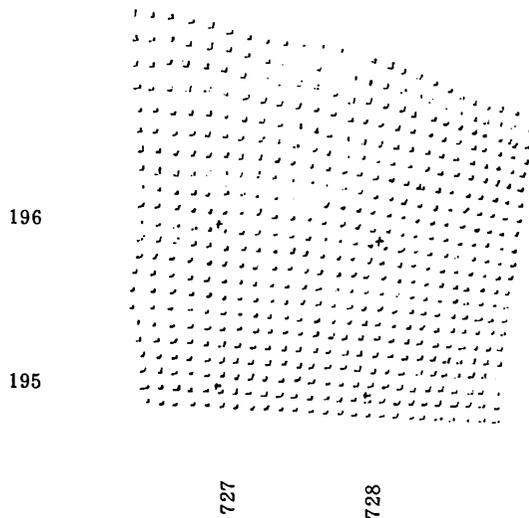


Fig. 3 標本点の系統的ネットはゆがみをもち、そして航空写真に移写するためにフィルム上にプリントされる。角度の一辺の長さは、主方向において地域スケールを与えるようプリントされる。

次回調査において、同じ手順が新しい航空写真で繰り返される。プロットの中心は前の中心に近いところにある。中心のひずみ ( displacements ) による差と実際の変化を区別するために、判読者は前の写真判読と測定結果を手元に持つことが重要である。それで彼は新しい結果を前の結果の横に並べて書くことが出来る。もし機械が自動的に記録することを許すならば、プロットセンターの近くにフィルムに前の調査の主な結果をプリントしておくことと便利である。判読者はそれで容易に点のひずみによる差を検出することが出来、そして彼が新しい結果を得る前にプロットセンターを修正することが可能である。多くの目的のために、重要な変化が起こったか、新しい測定と判読だけが主な変化であったかを記録すれば十分であるだろう。航空写真上の測定と判読は一般には、生長や他の小さな変化の決定には十分正確ではない。

航空写真上に固定標準地をおとすという考え方は極めてユニークであることに注目すべきである。航空写真によって被われる森林植生層の変化を調査する目的達成のために、将来此のシステムの採用が要求される。

#### 固定標本調査との結合に対する一般的手順

以上の考察から次の一般的手順が導かれる。

- 比較的密な標本点のネットが地図上に決定される。各サンプリング点に対して、海拔高と可能なスロープ、および開放方位が地図上で読みとられる、到達至近道路からの距離と他の有用な情報が利用される。
- 航空写真の位置は、地図上および写真上の境界標識の位置の測定によって決定される。写真上の各標本点の位置はコンピューターによって計算され、自動的にフィルム上にプリントされる。同時にローカスケールも此等フィルム上にプリントされる。フィルムは航空写真上に固定する。要求情報に基づいて判読・測定が航空写真上の各点について実行される。
- 写真評価の結果、地上標本として含まれる各 plot の確率が決定される。グランド plot はランダムセッションで選ばれる。
- 野外調査班は地図の助けによって地上プロットを位置づけ、必要な測定を毎木につき極座標を用いて行う。何等の可視的印付は plot 上に残さない。
- 資料は回帰推定又は層化に対する写真評価の結果を用いて評価される。
- 一次の調査に対しては、標本を拡大すべきか又は標本プロットの一部を再測すべきかを決定せねばならない。同時に、新しい測定と判読とが必要かもしれない。
- 新しい航空写真上の指針要素が決定される。新しい写真上の各標本点の位置が計算され、そしてフィルム上にプリントされる。計算機は同時にローカスケールをプリントする。そして、前の写真評価の主な結果を各標本点にプリントする。
- そのフィルムを写真上に固定する。写真判読者は各標本点上で写真内容と前回の結果を比較し、標本点のズレによって説明されない範囲の主な変化を記載する。
- 標本プロットの前回調査の記録結果を型式 ( form ) にコンピューターによって打ち出しておく。
- 野外班は地上における固定プロットの再測を行う。本質的な実的な困難性は、その航空写真が撮られて以来主な変化が起こったときにあらわれる。
  - 付加的一時地上標本は、写真判読が主な変化を示すとき有益になる。
  - 野外調査班は、起こった変化の種類をチェックすることが出来る。
- 二つの連続調査の結果間の差異は、各固定プロットの変化によって決定される。データ処理は、静止変数に対すると同じように変化変数に対してもおよそ同じように取り扱われる。推定が固定プロット同様に一時プロット上でなされるときは、計算はいくらかより多くのものを含むことになるであろう。

結論として航空写真上(又は他のメディア又はリモートセンシング)の固定標本と地上との結合された一般問題が解決されたことを述べた。変化の調査法としてはかなり有効な方法ということが出来る。

しかしながら、人間活動の下での我々の生態系の動的趨勢をモニターする実際的で広大な地域への調査法は広くまだ存在しない。絶えず増大し、且つ地球の植生層への人間の管理し難い影響のもとでの巨大標点において、より実際的で且つ理論的な研究が必要で且つ急務である。

原文は

MONITORING CHANGE WITH COMBINED SAMPLING ON AERIAL  
PHOTOGRAPHS AND ON THE GROUND

P. Schmid - Haas

Swiss Federal Institute of Forestry Research

CH-8903 Birmensdorf / ZH

---

Reprint : Arid land resource inventories : Developing cost-efficient methods. 1981. -  
Proc. of the workshop, La Paz, Mexico. Nov. 30-Dec. 6, 1980: USDA For. Serv.  
gen. tech. Rep. WO-28, 383 - 388, Wash., D. C.