写真情報による森林の数量解析

中 島 巖*

Numerical analyzation by airphotos for forestry purpose

by *Irwao Nakajima*

Government Forest Experiment Station.
Chief of the Photogrammetry Laboratory.

Resume

It has the necessity to clearly find out the relationship among the many forest composition factors, such as forest conditions, growing surroundings or artificial influences for getting accurate informations of the present and future state on forest.

Surely, the useful application of air photo informations with numerical analyzation by electric computer on above purposes shall brought the effective development of the scientific forest survey method.

On these purposes, the observation eye field must be changed from limited necked eye base to variable photo eye's, both are quite different each other.

When we use the air photos as the agency of the actual forest, the factors of the observations composed by forest composition figures from higher position and conditions of their surroundings.

We can catch many useful informations from this wider eye field on active forest conditions.

In this report, author discuss the principle and actual method of the estimation on forestry purpose such as stand volume, growth or inferior volume by using these photo observation factors with multifactor analyzation method, with referencing some results of numerical analysis on natural and artificial forest of Japan.

These method must be read out the higher advancement of the systematic application of photo interpretation in more wider use.

12

はじめに 森林の現況と推移を予測するには、林木自体や生育する環境、人為条件などの多くの関連する要因を解明する必要がある。空中写真の持つ豊富な情報を利用し、数量解析の手法をそれに導入することは、調査の能率と科学性を高めるために明らかに有効な方法である。そのためには従来肉眼観察を基準として行なっていた森林の測定を、肉眼とは全く異なる視野に立った空中写真の視野での観察要因に置きかえねばならない。写真像を中介としたとき、森林観察の要因は上空より見た森林の構造とそれを取りまく環境立地の状態である。

この観察要因が森林構造のなかで、どの様に相互に関連し、また現在森林計画立案に要求される材積量、生長量、枯損量等の推定にどのように関与するかを多変量解析によって求め、またそれらから上記のものを所要の精度をもって推定するための数値表の作成につ

いて、国有林における天然林、人工林について実施している研究例を参考に原理と手法を報告する。このような手法はステレオグラムおよび写真像の科学的利用、また写真情報解析システムの開発への足掛かりを提供するものであろう。

1. 写真情報利用の原則

Principle for Photo information usages.

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

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

元来、森林は、鉱物資源などとは異なり、現在から

* 農林省林業試験場観測研究室長

「写真測量」Vol.9 No.2 1970

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

森林は昔から人間の肉眼による観察と、頭脳による判断の尺度によって評価され計画が立てられてきた。それはいわば「山にある木を人が使う」立場からの資源量の面を主体とした考察であって、静止した森林の一断面をとらえる努力であるといえる。

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

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

いわば空間を縮小、拡大し、時間を延長し短縮もする目が、そしてその目には科学的な説得力をもつ客観的表現を可能にする手だてがなければならない。

写真は人間の観察目の縮尺を自在に選び得ることを可能とした。また写真を仲介とすることによって写された被写体のすべては数値測定の手法えと持込まれるに至った。

従来より空中写真は林業の分野においても基本図や林型区分図の作成基他、多くの効果をあげてきている。だがそれは従来の肉眼の補助としての利用に止まっている。今日の写真の有する効果をよりよく活用する為にはその豊富な情報を順序よく取り出すと共に、それらの関連をとき調査目的に向って編集する情報解析システムの適切な活用が期待されなければならない。それによってようやく人間の観察力と判断力は増大するといえる。

2. 森林における写真観察の要因

Items of Photo Observation for forestry use.

森林経営にとって従来より最も基本的に要求されてきたものはそれぞれの時点における立木材積、生長量また枯損等の情報である。それに基づいて撫育や伐採の計画が立てられ評価がおこなわれてきた。これらは社会的な森林の見方の推移いかにかわらず重要なものである。森林の現況のこれらの情報と、条件によって変化するであろう予測の値がえられるとき、始めて具体的な計画を立てられる。

これらは従来、地上調査によって求められていた。対象地域が広大な場合には主に標本調査法が用いられ、空中写真はこのとき調査準備の林型区分図や現地

調査点への誘導、確認等に用いられ前記各主目的情報のデータは地上測定による標準地の立木の樹高、直径、本数、年輪巾等々が用いられた。

今、写真像の観察を主体として前記の各情報を求めようとすれば、調査測定の要因はこのような肉眼観察法に準拠するものとは多くの異なったものが主体となってくるはずである。それは写真条件によっても異なるものではあるが、根本的には視界とする空間の相異である。そこでは個々の立木の値よりも、それらの相互の関係や、森林としての総体的な値、また生育地域の地形、環境が有力な観察要因である。地上調査でも森林測定の要因は情報を引き出す為の一次要素であるのが常であるとき、従来しばしば試みられたことではあるが写真利用でそれと同じ測定要因の推定に努力することは不得策であろう。

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

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

これらのうち社会経済的なものを除いて森林自体と自然条件のみを取り上げた場合、写真上の観察要因は **Table 1** の要因 (Item) の如くなる。同じくその Table においての区分 (Category) は 1/20,000 空中写真によって北海道天然林の調査を対象として考察した場合の例である。このような区分は写真観測によって何等高度な機械や技術を用いず、全く基礎的な技術でおこなわれることができ且つ判定の誤りがもっとも少なくすむような粗さを考慮したものである。第 1. の樹種群から 4. の径級構成までは天然林において特に複雑に出現するものであり、樹種群は地域によって対象とする主林木は異なる。なお樹冠直径又は樹冠面積は写真上上層木については測定可能であるが、一斉林形、或いは熱帯林地方等の如く上層木が比較的均一な状態によるときは適正な要因であり、測定の難易さを考えて、また他の要因との相関を検討した上で採用すべきである。要因 5. ~ 7. までは、従来の林型区分基準と同じである。8. の疎密度形は特に森林被害や表土荒廃に関連して明らかな表れ方をとる。

9. ~ 13. はいづれも林木の生長に直接間接に影響をもつ立地条件であり、微気象、降水量、土性等もこれらと密接な関連をもつ、14. の地床は主に天然の林木更新造林撫育に大きな関連をもつが多くの場合に問題となるのはササの被覆である。樹冠で地上が完全にお

北海道トムラウシ天然林 林型区分写真

Type classification on Tomuraushi Natural Forest.

Original scale 1/20,000. 28th. Sept. 1967. Stereo-meshe 40 X 40 m.

おわれた場合は、赤外カラー写真でもその局地の地床判定は不能であるのでこの要因は推定しうる場合に限りよう。

3. 写真情報の解析

Numerical Analization of Photo Information.

これらの要因が標本地資料や系統的に編集されたス

Table 1 Items and Category for Forest Type Classification of Natural Forest in Hokkaido
写真林型区分要因 (北海道天然林判読基準) photo scale 1/2,000

要 因 (Item)	区 分 (Category)
1 樹 種 群 (tree sp.)	N=ノ, Nトフ, N=ト, NL, L [5]
2 混 交 割 合 (mix %)	N, N>L, N/L, LN, L [5]
3 混 交 形 (mix type)	均等 (U), 塊状 (G), 団状 (H) [3]
4 径 級 構 成 (mix Type Composition)	小径木 (Y), 中径木 (B), 大径木 (O) およびその組合せ [9]
5 上層木平均樹高階 (Av. Height of Dominant T.)	~10m (H ₁), 11~18 (H ₂), 19~25 (H ₃) [4]
6 上 層 木 本 数 (No. of Dominant T.)	小 (few), 中 (med), 大 (many) [3]
7 樹 冠 疎 密 度 (Crown Density)	散 (Vo), 疎 (O), 中 (M), 密 (D) [4]
8 疎 密 度 形 (Density Type)	均等 (U), 群状 (G), 団状 (H) [3]
9 標 高 (Altitude)	0~99, 100~199, 200~299, 300~ [4]
10 方 位 (Azimuth)	0, N, NE, E, SE, S, SW, W, NW [9]
11 傾 斜 (Tilt)	0~9°, 10~19°, 20~29°, 30~ [4]
12 地 形 (Land type)	山頂 (Top), 台地 (Terres), 平衡 (Smooth), 凸, 凹, 浸蝕 (Elodid), 推積 (Piled) [7]
13 位 置 (Position)	尾根 (Ridge), 中腹(上) (Side U), 中腹(下) (Side L), 沢 (Botum) [4]
14 地 床 (Ground flora)	ササ (Sasa), 雑灌 (Bush), 無 (Non) [3]
	Total [67]

テレオグラムによって求められれば、それは各要因間の相互の関連性と、各種の推定目的に対してそれらがどのような重要さで関与しているかを多変量解析の手法を応用して求めることができる。それは推定すべき目

的の基準値に対して、夫々の要因 (Item) の各区分 (Category) を変数とし、推定の誤差を最小にするような多次元の連立方程式を解くことである。この場合、外的基準と呼ばれる推定目的の基準値は

Table 2 Ordering and Partial-Correlation Coefficient of Photo-Observation
Factors for Some Estimation on Natural Forest in Hokkaido
写真判読要因の推定に関する順位と偏相関

順位 (Order)	A. トムラウシ原生林 (Tomuraushi Vergin Forest)						B. 本 朔 天 然 林 (Honbetu Natural Forest)					
	立 木 材 積 St. Volume		枯 損 量 St. Inferior		生 長 量 St. Growth		立 木 材 積 St. Volume		枯 損 量 St. Inferior		成 長 量 St. Growth	
	要 因 Items	偏相関 Per. Coe.	要 因 Items	偏相関 Per. Coe.	要 因 Items	偏相関 Per. Coe.	要 因 Item	偏相関 Per. Coe.	要 因 Item	偏相関 Per. Coe.	要 因 Item	偏相関 Per. Coe.
1	大径木本数 (4) (No. of Dominant)	0.562	標 高 (5) (Altitude)	0.506	混 交 形 (5) (Mix Type)	0.749	大径木本数 (4) (No. of D.)	0.738	標 高 (6) (Altitude)	0.368	混 交 形 (7) (Mix Type)	0.704
2	局 所 地 形 (6) (Land Type)	0.492	傾 斜 (4) (Tilt)	0.410	局 所 地 形 (6) (Land Type)	0.503	樹 高 構 成 (8) (Composition)	0.651	方 位 (9) (Azimuth)	0.326	樹 冠 疎 密 度 (3) (Crown Density)	0.545
3	径 級 構 成 (5) (Stand Composition)	0.285	方 位 (9) (Azimuth)	0.426	樹 冠 疎 密 度 (3) (Crown Density)	0.489	樹 冠 疎 密 度 (3) (Crown Density)	0.636	樹 高 構 成 (8) (Composition)	0.274	樹 高 構 成 (8) (Composition)	0.497
4	樹 冠 疎 密 度 (3) (Crown Density)	0.602	位 置 (4) (Position)	0.211	位 置 (4) (Position)	0.382	混 交 形 (3) (Mix. Type)	0.311	混 交 形 (7) (Mix Type)	0.262	大径木本数 (4) (No. of D.)	0.414
5	標 高 (5) (Altitude)	0.332	混 交 形 (5) (Mix Type)	0.194	大径木本数 (3) (No. of D.)	0.297	方 位 (9) (Azimuth)	0.304	局 所 地 形 (5) (Land Type)	0.218	方 位 (9) (Azimuth)	0.329
6	位 置 (4) (Position)	0.294	樹 高 階 (3) (Height class)	0.129	方 位 (9) (Azimuth)	0.287	標 高 (6) (Atitude)	0.236	樹 冠 疎 密 度 (4) (Crown Density)	0.186	傾 斜 (4) (Tilt)	0.202
7	樹 高 階 (3) (Height Class)	0.364	径 級 構 成 (5) (Stand Comp.)	0.292	傾 斜 (4) (Tilt)	0.279	位 置 (4) (Position)	0.193	傾 斜 (4) (Tilt)	0.108	標 高 (6) (Altitude)	0.213
8	混 交 形 (5) (Mix Type)	0.314			径 級 構 成 (5) (Composition)	0.270	局 所 地 形 (5) (Land Type)	0.171	位 置 (4) (Position)	0.137		
					樹 高 階 (3) (Height class)	0.175						
N	168		168		168		167		167		167	
要因 Items	8	(26)	7	(26)	10	(26)	8	(16)	8	(16)	7	(16)
カテゴリー Category	35	(83)	35	(89)	47	(89)	46	(81)	46	(81)	41	(81)
重相関 R	0.894	(0.948)	0.648	(0.784)	0.899	(0.974)	0.920	(0.974)	0.600	(0.626)	0.854	(0.892)

Table 3 Multi and Pertical correlation Coefficient of Photo Obsevation
factors on some artifical forest
写真判読資料による林分材積の推定重相関と偏相関 (人工林)

順位 Order	7ブロック (新潟) スギ Niigata-Sugi			9ブロック (関東) スギ Kanto-Sugi			10ブロック (静岡) スギ Sizuoka-Sugi			7ブロック (新潟) アカマツ Niigata-Pinus			8ブロック (長野) カラマツ Nagano-Larix			8ブロック (長野) ヒノキ Nagano-Hinoki		
	要 因 Item	区 分 Cat.	偏相関 Per. Coe.	要 因 Item	区 分 Cat.	偏相関 Per. Coe.	要 因 Item	区 分 Cat.	偏相関 Per. Coe.	要 因 Item	区 分 Cat.	偏相関 Per. Coe.	要 因 Item	区 分 Cat.	偏相関 Per. Coe.	要 因 Item	区 分 Cat.	偏相関 Per. Coe.
1	林 令 (6) (Age Class)		0.389	林 令 (7) (Age Class)		0.430	林 令 (6) (Age Class)		0.552	林 令 (5) (Age Class)		0.445	林 令 (5) (Age Class)		0.445	林 令 (3) (Age Class)		0.505
2	樹 高 (5) (Height Class)		0.651	樹 高 (5) (Height Class)		0.752	樹 高 (5) (Height Class)		0.883	樹 高 (4) (Height Class)		0.760	樹 高 (7) (Height Class)		0.793	樹 高 (4) (Height Class)		0.789
3	樹冠疎密度 (4) (Crown Density)		0.556	本 数 (4) (No. of tree)		0.548	樹冠疎密度 (4) (Crown Density)		0.721	本 数 (4) (No. of tree)		0.500	疎 密 度 (3) (Crown Density)		0.707	本 数 (5) (No. of tree)		0.706
4	標 高 (3) (Altitude)		0.336	傾 斜 (4) (Tilt)		0.448	本 数 (3) (No. of tree)		0.538	標 高 (3) (Altitude)		0.442	本 数 (7) (No. of tree)		0.448	傾 斜 (4) (Tilt)		0.300
5	ha 本 数 (3) (No. of tree)		0.246	標 高 (3) (Altitude)		0.303	標 高 (3) (Altitude)		0.352	方 位 (5) (Azimuth)		0.317	方 位 (5) (Azimuth)		0.315	標 高 (3) (Altitude)		0.208
6	方 位 (5) (Azimuth)		0.231	土 性 (3) (Soil)		0.542	傾 斜 (4) (Tilt)		0.242	傾 斜 (3) (Tilt)		0.228	傾 斜 (4) (Tilt)		0.359	方 位 (4) (Azimuth)		0.181
N	85			95			86			82			97			96		
カテゴリー Category	26			41			30			36			31			26		
重相関 R	0.908			0.951			0.948			0.844			0.901			0.943		

数量で表わされたものであるが、各カテゴリーの表現には、写真測定により直接数量として求めるものもあるが、質的な表現で表わされるものもある。しかしこのような場合は両者とも同様な取扱の下に推定目的に妥当なような中に類型化され区分されるのであって数量的なものでも測定値がそのまま用いられるのではない。このことは写真利用を観測にあたっての高度な技術的要求や測定誤差の隘路から解放し平易な活用法を拡大するものでもある。

この多変量解析の手法は、各要因を一度に計算過程に加えるのではなく、一つずつ加重しては推定計算を

繰り返してゆくことによって、各要因相互の関連が直線回帰式の系数表現による内部相関係数として表われると同時に夫々の要因の関与性が個々の偏相関係数として、また夫々の場合の全体推定の精度が重相関係数、推定値の標準偏差によって求められる。

Table 2 は要因が調査一時点の材積、生長量、枯損量の推定目的に対してどのような重要さで関与しているかを上記の偏相関係数の値を参考に上位から順に北海道帯広営林局管内国有林の二つの森林地帯について示した例である。両者ともにエゾマツ、トドマツを主材木とする天然林であるがA.(トムラウシ)は全くの

Table 4 Inner Correlation Matrix for Volume Estimation
(トムラウシ) エゾ・トド天然林 Tomuraushi Natural forest

Item	要 因 間 の 単 相 関 Simple Correlation Coefficient								単相関(材積) Y Simple Corr. Coe.
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	
大 径 木 本 数 X ₁ No. of Dominant	1.000								0.711
局 所 地 形 X ₂ Land Type	0.042	1.000							0.268
径 級 混 交 状 況 X ₃ Stand Composition	0.145	-0.087	1.000						0.220
樹 冠 疎 密 度 X ₄ Crown Density	0.452	0.052	0.009	1.000					0.603
標 高 X ₅ Altitude	-0.003	-0.137	-0.241	0.073	1.000				0.093
位 置 X ₆ Position	-0.054	-0.249	0.034	-0.107	0.046	1.000			0.029
樹 高 X ₇ Hight Class	0.381	0.050	0.280	0.055	-0.120	-0.007	1.000		0.467
針 広 混 交 割 合 と 状 況 X ₈ Mixture Type	0.323	0.139	0.110	0.133	-0.062	0.018	0.377	1.000	0.463

Table 5 Honbetu Natural Forest

	要因間の単相関単相関 Simple Correlation Coefficient					Volume (材積) Y Simple Corr. Coe.
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	
樹 冠 疎 密 度 (X ₁) Crown Density	1.000					0.419
樹 高 階 階 (X ₂) Hight Class	-0.096	1.000				0.606
大 径 木 本 数 (X ₃) No. of Dominant T.	0.235	0.436	1.000			0.757
傾 斜 (X ₄) Tilt	0.095	-0.089	0.090	1.000		0.106
植 生 状 況 (X ₅) Ground Flor	0.123	0.141	0.040	0.038	1.000	0.292

Table 6 Pinus Artifical forest Niigata

	要 因 間 の 単 相 関 Simple Correlation Coefficient									Volume Y
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉	
林 令 Age Class X ₁	1.000									0.063
樹 高 Hight Class X ₂	-0.038	1.000								0.581
本 数 No. of tree X ₃	-0.379	-0.388	1.000							0.099
標 高 Altitude X ₄	0.034	-0.488	0.153	1.000						-0.148
方 位 Azimuth X ₅	0.044	0.162	-0.032	-0.212	1.000					0.237
傾 斜 Tilt X ₆	0.160	0.170	-0.062	-0.142	-0.072	1.000				0.253
地 質 Geology X ₇	-0.233	0.156	0.161	-0.213	0.042	0.080	1.000			0.217
土 性 Soil X ₈	-0.029	-0.047	0.054	-0.312	0.092	-0.191	-0.143	1.000		0.019
疎密度 Demcity X ₉	-0.090	-0.216	0.495	0.052	-0.023	0.117	-0.040	0.070	1.000	0.147

原始林であり、B.(本別)はかつて択伐による人為作業の加わった林であり、両者の要因の関与性には全く異なる様子が見られる。例えば全くの原始林Aは若干なりと人工の加わった林Bに比べてすべての調査目的にはるかに自然環境要因の関与する点が大きく、材積推定のためには第一の大径木の本数の多少の次には局所地形の観察が大切であり、従来考えられていた樹高階の重要度ははるか下位となる。一方Bの林では樹高階は樹冠の疎密度につく大切な観察要因である。これらの差はそれぞれの森林の成立過程による構造の差によって特長づけられる特性であり調査に当たってその森林では何をしらべることが効果的であるかを示すものである。

なおこの解析計算に用いられた要因数は表下列に示すように多かったが、Table には上位の5～7位までの要因を示した。

人工林についての若干の例を **Table 3.** に示す。ここにおいても樹種、地域別に要因の重要性が異なることが見られる。

Table 4, 5, 6 は前述の各要因間相互の内部相関係数を示す例である。Table 4 の原始林では各要因は大径木本数 (X_1) と樹冠疎密度 (X_4)、樹高階 (X_7) の間に当然ながら関係が見られる以外はほとんど数値的に独立である。Table 3 のスギ人工林では林令と樹高階に著しい関連値 (0.723) があるが **Table 4** のアカマツ林ではその関係はほとんどなく林令はむしろ本数要因 (−0.379) に関係し、樹高階は標高階 (−0.488) に関連する。これはスギ林には見られぬ現象である。

4. 推定と予測点数表の作成

Estimation and Score table

解析によって求められた要因の関与性と相互の関連は、それが不偏性のあるものである限りそれぞれの森林構成の特性を示すものである。それらは推定目的として与えられた外的基準を最も誤差が少なく予測できるように各カテゴリーに数量を与えた場合の結果である、したがってこの値は外的基準が変わった場合に偏相関値が異なるのは当然であるが、内部相関の値にも多少の変化があるものである。またこの計算手法においては、同一外的基準に対しても、計算に加える要因の順、カテゴリー区分のちがいによって偏相関係数の値自体を変化するものである、それは

この多変量解析の手法そのものが、各要因が独立であることを仮定しているのに対して、このような森林構造要因相互、また環境要因の間には完全な独立性がないことにもよろう。この内部相関係数、偏相関係は直線回帰式での回帰係数であるので、相対的な参照数値としてこれを用いるときに検討に使用する有効性が認められるものであろう。

したがってこの手法は各要因の独立性や不偏性が推定計算の結果に影響をおよぼすほど仮定に反した場合はその要因を使う事は不適当である。いいかえれば内部相関の高い値をもつもの相互については測定 の 難 易、精度等を参照にいずれか一方をえらぶべきであろうし、また外的基準を異にした場合、著しく他との関連値を異にする不安定な要因は不偏性について疑問が生じる。なお同一外的基準に対しても演算に加える要因の順位を変えた時、偏相関値が大きく変動するものについても、計算上の仮定を満しえないものともいえよう。しかし、たとえば一時点での森林の材積の推定の場合、この目的は写真上からどのような要因を測れば最もよい推定値がえられるかである。したがってたとえ森林の生成の過程や結果に環境要因との従属関係があるものとしても、写真像に現われる森林観察の要因としては相互関連が明らかに数値上に認められない場合はこの両者を要因として用いることは合目的である。事実上、写真上に記録された森林像の要因は環境要因との間に数値的に認めうる関連は極めて少ないことが内部相関値によって知られる。それは時間函数を加えた時はじめて関連が生ずるものである。

写真像を中介とした場合、森林要因と環境要因はいづれも同等な観察要因として検討されうるものである。なお外的基準に対して関与性の少ない要因は測定

Fig 1 材積推定 Volume Estimation (Tomuraushi)

Fig 2 枯損量推定 Inferior Estimation (Tomuraushi)

Fig 3 生長量推定 Growth Estimation (Tomurarshi)

Fig 4 要因数の加重による生長量推定の変化 Variation of Growth Estimation by Used Items, 要因 Item (2)
大径木本数 針広混交形 mixture Type No. of dominant Tree

の能率と、それを加えることによって生ずる効果との検討より取捨選択されねばならない。

それぞれの推定目的に対して適切な要因と順序が求められた場合、これらによる予測値が電子計算機の演算によって、各カテゴリー毎に最も適切な点数が与えられ、その集計によって得られる。

例としてトムラウシ森林での材積、枯損、生長量、および人工林新潟地方スギの材積推定値と実測値（外的基準）の比較図を示す。

Fig. 1 Fig. 2 Fig. 3

推定結果、および Fig. より材積、生長量については所要の精度が得られているが、枯損量の推定精度が十分でないのは、Fig. 3 に見られるようにこの天然林においては少なくとも ha 当り 7 m³ 程度の枯損木は観測要因に関係なく全面的に過去より累積、また自然発生している結果であり、推定の対象にならない存在であったと思われる。

なお全要因を用いた推定の結果は前項解析の段階において既に算出されるが、更に要因の選択と順位を改めることは、この結果の利用を目的とした点数表作成のための再計算数値をうるためである。選ばれた要因とその順のときに最もよい予測値を与えるために各カテゴリーに与えられた点数（スコア）を要因群の加算順に表示したものが予測点数表である。Table 7. この表は写真により区分された林型区画、またはクオドラート区画内の森林の各観察要因、カテゴリーに該当する点数を集計すれば目的とする予測値の得られるものである。

この際、用いた要因群が多い程精度のよくなることは下行の重相関が増加することで知られるので必要な精度と観測の能率によっていくつの要因までをとるかを定めうる。要因群偏相関係数は上行の要因を加えることによって高めうる効果であり、

また予測の精度はレンジ、あるいは分散の値によって知られる。例として要因数を増加することによって推定の精度が高くなる状態を Fig. 4, 5, 6 に示す。

このような点数表は、写真観察のみから、それぞれの森林での現況の値を個々の林分ごとに推定を可能とするとともに、森林状態が変化した場合の材型の変化に必ずる数値の予測を可能とするものである。

Fig 5 要 因 Item (4)
針広混交形 Mixture Type.
大径木本数 No. of Dominant Tree
径 級 構 成 Stand composition
局 所 地 形 Land Type

おわりに この報告で述べた処は、写真観察によって最も容易に求める因子を用いて多変量解析によ

Table 7 Score of factors for Volume Estimation Tomuraushi
トムラウシ、天然生林、材積推定スコア表

項目要因 Item of factors	要 因 カテゴリー Category	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	単 相 関 Simple Correlation Coefficient	偏 関 関 Partial Correlation Coefficient	
X ₁	大径木 本 数	0～99本 ①	179.061	225.412	227.821	210.103	229.087	203.260	194.862	232.933	0.711	0.563
		100～200 ②	303.288	348.224	361.886	302.618	325.075	299.022	272.428	300.914		
		200 ③	382.857	425.413	434.685	354.814	370.920	339.906	309.580	341.917		
X ₂	局所地形	山 頂 ①		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	5.000	0.268	0.492
		山 凸 ②		-29.435	-26.083	-28.034	-30.784	-44.630	-53.100	-01.266		
		山 平 ③		-34.762	-39.248	-43.747	-48.962	-65.933	-78.410	-76.966		
		山 凹 ④		-69.425	-67.618	-65.327	-62.354	-74.601	-81.943	-82.899		
		低 平 ⑤		-113.390	-127.070	-106.789	-105.680	-123.274	-136.579	-125.665		
		低 地 ⑥		-32.719	-41.989	-31.874	-34.037	-44.633	-53.399	-51.517		
X ₃	径級構成	O. O ①			0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.220	0.285
		O. B ②			-28.926	-30.402	-30.622	-30.674	-10.513	-17.173		
		O. Y ③			-51.807	-79.782	-108.288	-112.083	-100.905	-92.618		
		O. B. Y ④			-1.268	-33.915	-44.435	-42.386	-10.037	-17.602		
		B. Y ⑤			80.838	4.949	3.188	-13.377	27.103	11.423		
X ₄	樹 冠 疎密度	0～39 ①				0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.603	0.602
		40～74 ②				11.719	18.164	40.785	44.571	43.440		
		75～100 ③				85.715	90.604	113.749	119.606	117.369		
X ₅	標 高	～599 ①					0.000	0.000	0.000	0.000	0.093	0.332
		600～699 ②					-37.159	-32.511	-24.203	-30.129		
		700～799 ③					-25.922	-22.722	-38.676	-40.233		
		800～899 ④					-2.468	-0.336	-16.756	-20.177		
		900～ ⑤					-47.313	-39.230	-63.190	-62.383		
X ₆	位 置	峰 ①						0.000	0.000	0.000	0.029	0.294
		上 ②						45.928	33.378	29.346		
		谷 ③						-0.059	-12.938	-13.613		
		谷 ④						21.261	15.859	13.071		
X ₇	樹 高	～18 ①							0.000	0.000	0.467	0.364
		19～21 ②							41.736	20.089		
		22～ ③							92.284	66.096		
X ₈	針広混 交割合 と状況	N ①								0.000	0.463	0.314
		N g ②								-6.927		
		L u ③								-23.773		
		L b ④								14.023		
		L ⑤								-41.799		
重 相 関 係 数 Multiple Correlation Coefficient			0.771	0.760	0.783	0.834	0.849	0.862	0.884	0.894		
要 因 群 偏 相 関 係 数 Partial Correlation Coefficient of factors				0.147	0.082	0.212	0.088	0.079	0.151	0.677		

り写真情報利用の効果を高め、またそれを利用に向って編集する方法についてである、その情報抽出のシステムは Fig. 7 の如くである。

計算例として示したものは森林の材積、生長量、枯損量であって、その基準資料（外的基準）は一時点での調査結果であるため、いわば静止せる森林の断面量である。したがって、この結果から、将来の予測値を求めるについてはその森林が現況の各林型における推移をそのまま継続して行くと仮定することが条件となる。

文頭において記した如く、森林を動的にとらえることが本来の目的であるならば、それは時間的な要素を含めた測定値を基準としたとき、始めて確実を持った将来の予測が可能となるものである。今後これは経年変化の記録を写真像から求めうることなどで検討が行なわれねばならない。

要 因	Item. (8)
針広混交形	Mixture Type.
大径木本数	No. of Dominant Tree.
径級構成	Stand Composition
局所地形	Land Type
稚樹発生	Regeneration
全体数	Total No. of tree.
標高	Altitude
方位	Azimuth

参 考 文 献

- (1) 天然林の調査法に関する研究 中島巖他 3 名
林試研報 No. 227号, March. 1970.
- (2) 数量化による地位指数の推定法 西沢正久他 2 名
林試研報 No. 176 March 1965.
- 3 数量化と予測に関する根本概念 林知己夫
統計数理研究所集報 7.1 1959.

Fig. 7 Draw System of Photo Information for Estimation 空中写真予測抽出システム