

第8回林業統計研究会(1969年)シンポジウム

天然林の調査法に関する諸問題

誌名	日本林學會誌 = Journal of the Japanese Forestry Society
ISSN	0021485X
著者名	長,正道
発行元	日本林學會
巻/号	52巻12号
巻号補足	
掲載ページ	p. 369-373
発行年月	1970年12月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



資 料

第8回林業統計研究会(1969年)シンポジウム*

——天然林の調査法に関する諸問題——

長 正 道**

は じ め に

林業統計研究会における最近の主要研究課題の一つとして、天然林の資源調査法とその利用開発に関する問題がとりあげられている。そしてシンポジウムでも天然林の生長予測法や施業法等をめぐって前2回にわたり研究発表と活発な討議が行なわれた。今回の第8回シンポジウムは1969年8月5, 6, 7日の3日間、大分県玖珠郡九重町・九州地区国立大学九重共同研修所において、43名の出席のもとに、研究課題「天然林の調査法をめぐって」によりそれぞれ次のテーマで発表があり、これにもとづき種々の論議が行なわれた。

1. 竹下敬司(福岡県林試): 林地生産力の推定とその普遍性
2. 中島 巖(林試): トムラウシ調査を中心として
3. 木梨謙吉(九州大): えびの調査を中心として

なお、それぞれ発表された内容はきわめて多岐にわたっており、また図、表等の資料も多く、その詳細を報告することはできないので、発表者の了解と林業統計研究会メンバーの協力により、以下にその概要を報告する。

報 告 の 概 要

1. 竹下敬司: 林地生産力の推定とその普遍性

林地の生産力は林地を構成する多数の要因によって性格づけられているが、多数の要因を背景とする以上、その表示方法は必然的に多次元的に考えられなければならない。そしてその成果は単に予測値の精度が高いだけでなく、適用条件の広いことが必要であり、とくに自然科学の一分野を占める以上はその式の理論性が高いものでなければならない。

一方、森林立地の要因とその構成をみると、理論性の明確なものが少なく、その間の細部情報の不足等の理由から、現在きわめて複雑視されており、このため林地生産力に関する解析・推定は確率論にたよらねばならない面が多い。また林地生産力は年次的にかなり変動する立地要因の永年的な平均値で性格づけられる面が多く、そのおおもとは確率的であるともいえる。この意味から各

種の森林立地要因そのものと、その総合である林地生産力に関する解析と推定は、主として帰納的な方向での数理統計的手段によらなければならない。

全般的にみて、林学における研究成果は相互の連係性を欠いた事例や現象の枚挙にとどまっているものが多く、また総合性を重視したものでも理論から出発した演繹的なものが少なく、帰納的なものが多いといわれているが、森林立地関係においても同様の欠点が感じられる。一般に自然科学の法則は、理論的に推測された仮説をもとにしてそれから演繹された結果と、実験あるいは調査値から帰納された結果とを対比して、その結果を仮設・実験にそれぞれ feed back し、それぞれを修正・棄却・採用することにより内容と手段の普遍性を高めていくものと考えられている。森林立地関係でも、その成果の普遍性を高めるべく、その線に近い方法をとるべきであるとする。

統計的な操作を利用した場合、数式は線形結合で表示されることになるが、この線形結合の中に理論性をもたせるためには、単に数学的な成果を背景にするだけでなく、それぞれの変数をその対象の専門的な内容を反映した物理量として把握し、加法性を満足させるように検討することが必要と考えられる。

林地生産力に対する以上の考え方をもとにして、そのとるべき方法を具体的に示す

(1) 理論的な推測により仮説を設定し、演繹的な面を広げる。

(2) 各変数について、物理学でいわれるような次元・単位に相当するものをそろえる。

(3) 非線形の変数作用のあるものはそのクロスタームをまとめて一つの変数とする。

以下に、実例をもとにしてその検討を試みる。

いま、スギ35年生の林分材積 $\hat{V}$ (m^3/ha) または樹高 $\hat{H}$ (m) を従属変数 Y とし、独立変数は水を主体にして考えると

$$Y \propto (\text{濃度}) \times \frac{(\text{水の給源量})}{(\text{抵抗})} \times (\text{林分効率})$$

なる仮説をうる。ただし濃度は自然土壌内における養分

* Masamichi CHYO: The 8th symposium of the Japan Association for Forestry Statistics in 1969

The several problems in natural forest investigation

** 九州大学農学部 Fac. of Agr., Univ. of Kyushu, Fukuoka

濃度でほぼ一定、水の給源量は、(i) 降水 p と蒸発 e の交互作用は降水 p と風速 w の交互作用でおきかえ、これを $f_1(p, w) = X_1$, (ii) 地表水に関しては傾斜 g と斜面形 s によりあらわされ $f_2(g, s) = X_2$, (iii) 地中再滲出水に関しては有効起伏量 $= X_3$, (iv) 方位による蒸発 (日照, 温度) $= X_4$ に関係する。これらから独立変数における加法性 $X_1 + X_2 + X_3 + X_4$ が成立する。

抵抗 (R) は土壌および風化土層の透水性または硬度、地質 (G) は濃度と透水性、硬度に関係する。

林分効率 h はうっ閉度 (100 分率) であらわし、これはある樹高 h の林分がうっ閉に必要な立木密度 d_0 と、それに対する現実の立木密度 d との関係であらわされる。したがって林分効率は $f_3(h, d_0, d) = K$ によってあらわされる。

したがって式の構成は

$$Y \propto [f_1(p, w) + f_2(g, s) + X_3 + X_4] R \cdot G \cdot K \\ \propto (X_1 + X_2 + X_3 + X_4) R \cdot G \cdot K$$

となる。

これにより実際の推定結果は次のとおりとなった。

$$\hat{Y} = \left[(0.725X_1 + 4.0X_2 + 2.76X_3 + 10X_4 + 1.12A - 335) \right. \\ \left. \times \left(\frac{92 + 2.84Sd}{150} \right) + 268 \right] \times G \cdot \frac{220 + 8dh^2/10000}{220 + 8d_0h^2/10000}$$

ただしこの実例は最初の式とは若干異なっており、 A : A 層の深さの指数, Sd : 土壌硬度指数が加味されている。また、 $f_1(p, w)$, $f_2(g, s)$, R の関係のそれぞれの解析方法は共軸座標系を利用した。

その結果、相関係数 $r = 0.943$ ときわめて高い推定精度をえた。また、全く別個の小林分、団地林分、プロット等から算出された林分材積との対比の結果でも、すべて 0.85 以上の相関係数が保たれている。

2. 中島 巖: トムラウシ調査を中心として

森林に対し各種の調査を行なう場合、空中写真の利用はきわめて有効な手段の一つである。とくに天然林の場合、多くの不整一要素を有するため、これをより広くそしてより詳しく調査するためには従来の手法、技術等のみでは補えない面が少なくない。空中写真は複雑な要素と広大な面積を有する、かかる天然林において、もっともその威力を示すものといえよう。

そこで、空中写真を利用して第 1 次林相区分、層化、現地調査点の決定等の調査計画と、その調査結果 (資料) にもとづく林分構成要因の解析、要因とカテゴリーの分析検討、それにもとづく写真上の再調査、および材積・枯損量・生長量の推定等を、1968 年 10 月、北海道ト

ムラウシ天然林において実施した調査結果をもとに述べる。

調査の計画は、北方天然林という視点から帯広営林局管内十勝西部経営計画区新得事業所 (トムラウシ) を選んだ。そして 189~233 林班のうち第 1 種林地 8219.15 ha を対象に、まず空中写真により第 1 次判読林相区分を次の基準により行なった。

要 因	区 分	記号	区 分 基 準
1. 樹 種 群	針 葉 樹 林	N	針葉樹が材積で 75% 以上の林分
	針広混交林	NL	" 40% 以上 75% 以下の "
	広 葉 樹 林	L	" 40% 以下の "
2. 径 級 区 分	大 径 木	O	胸高直径 34 cm 以上の立木
	中 径 木	B	" 22~32 cm の "
	小 径 木	Y	" 6~20 cm の "
3. 樹冠疎密度	散	1	樹冠の地表被覆度 0~10%
	疎	2	" 11~40%
	中	3	" 41~70%
	密	4	" 71~100%

この基準 (区分) をもとにそれぞれを組み合わせ、さらに 23 の林相区分にタイプ分けし、各タイプごとに標本数を面積によって比例配分し、調査メンバー、調査期間、経費等を勘案して標本点 50 および補助標本点 31、計 81 点の調査を行なった。なお標本は 20 m × 40 m (0.08 ha) の長方形プロットを東西方向に 50 m 離して 2 個とり、これを 1 対の標本として空中写真上に設定した。したがってプロット数は全体で 162 個となった。

現地調査は、各プロットをさらに 10 m × 10 m の 8 個の小プロットに分割し、胸高直径 (2 cm 括約)、樹高 (径級別に大・中・小 3 本をプロット内に抽出し 1 m 単位で測定)、同樹高測定木に対する生長錐調査、枯損量調査、疎密度・植生・草丈等の地表調査、およびプロット内 SW 隅の小プロット 1 個について進界生長調査を行なった。そして実際に調査を完了したものは 79 対、158 プロットであった。ただしこのうち、実際の分析検討には現地確認の不備なものを除き、154 個のプロットを用いた。

分析は、まず林分構成要因解析のため、材積・枯損木・針葉樹生長量を外的基準とし、外的基準別要因偏相関の計算を、針広混交割合と状況・径級混交状況・樹冠疎密度・樹冠状況・樹高・稚樹発生状況・植生状況・標高・方位・傾斜・位置・局所地形・本数等の計 27 要因について、それぞれ重相関、偏相関を求めた。その結果、材積の場合、1. 大径木本数、2. 局所地形、3. 径級構成、4. 樹冠疎密度、5. 標高階、6. 位置、7. 樹高階の順で外的基準への効果があらわれ、その重相関 0.893、また

生長量の場合, 1. 針広混交型, 2. 大径級, 3. 径級, 4. 局所地形, 5. 稚樹発生, 6. 全本数, 7. 標高, 8. 方位の順で効果を示し, その重相関 0.92 をえた。さらにこれらの外的基準, 15 要因を空中写真により再判読した。再判読は林型区分を 34 タイプとし, これをまとめて 10 層をつくり, その中心部地区 1800 ha から層化比例抽出によりえられた 77 点について行なった。

その結果を用いて林班別に推定した材積は次表の (1) で示されており, 同一地区を対象に重相関の高い要因を用いて行なった多変量解析での推定値を (2) で示して対比してある。

林 班	(1)			(2)		
	N	L	計	N	L	計
193	238	53	291	232	74	306
194	200	83	283	205	83	288
195	248	61	309	223	62	285
201	275	51	326	237	54	291
203	299	57	356	266	67	333
204	229	103	332	165	85	250
			317			314±10

(1), (2) とほぼ同じ推定値がえられ, きわめて高い精度を示した。

以上の諸計算と分析検討の結果にもとづき, 層別, 針広別, 径級別材積および ha 当り大径木本数の推定, 全体材積の推定, 空中写真による層化の効果, ならびに層別針葉樹の粗生長量, 枯損量と純生長量の推定等を行なった。その結果を要約すると

(1) 全体蓄積の推定

標本数 n_i , ha 当り平均材積 $\bar{x}_i$, その分散 S_i^2 とすれば, 層面積比 W_i より平均材積の推定分散は

$$S^2(\bar{x}_{st}) = \sum \frac{W_i^2 S_i^2}{n_i} - \sum \frac{W_i S_i^2}{N}$$

$$= 25.6092$$

$$S(\bar{x}_{st}) = 5.0606$$

$$2S(\bar{x}_{st}) = 10.12 \quad (df=67)$$

これより ha 当り平均材積は 95% 信頼度で $314.36 \text{ m}^3 \pm 10.12 \text{ m}^3$, 全体蓄積は $414452.2 \text{ m}^3 \pm 13342.2 \text{ m}^3 / 1318.40 \text{ ha}$, 標準誤差率 3.22% となった。

(2) 層化の効果

広葉樹材積の推定においては 3.56 倍の層化効果が認められ, エゾ, トド等の針葉樹では 2 倍にとどまり, また全体の ha 当り材積推定ではその効果はほとんど認められなかった。したがって天然林の場合, 大径木本数の推定や樹種別層化に対しては空中写真はきわめて有効な

手段であるといえよう。

(3) 粗生長量, 枯損量と純生長量の推定

年間粗生長量 4.42 m^3 , 同生長率 1.67%, 年間枯損量 8.6 本, 同材積 4.42 m^3 , 同枯損率 1.67% (いずれも ha 当り) となり, 相対的には純生長量, 同生長率とも 0 となった。

3. 木梨謙吉: えびの調査を中心として

北海道・トムラウシにおける北方天然林に対し, 南方天然林という視点から九州・えびの天然林を対象に, 主としてプロット抽出単位の問題について分析検討を試みた。

すなわち, 熊本営林局管内えびの営林署川添国有林栗野岳北面, 70~73 林班, 面積 270.45 ha を対象に, 1968 年 12 月, $80 \text{ m} \times 80 \text{ m}$ ブロック 7 個, $40 \text{ m} \times 80 \text{ m}$ ブロック 6 個を 1040 m の中央測量線 (南—北方向) 上に交互に設定し, それぞれ基本プロットは $20 \text{ m} \times 20 \text{ m}$ として現地に区画された。したがって全体では 0.04 ha プロット 160 個, 面積 6.40 ha となった。その主要樹種はイス, タブ, カシ, シイ, カゴノキ, ツバキ, ユズリハ, サザンカ, シキミ, ヤブニッケイ等の常緑広葉樹を主とし, ミズナラ, サクラ, カエデ, ミズメ等の落葉広葉樹を若干含む。なお調査は基本プロット単位に胸高直径 20 cm 以上の立木に対し 2 cm 括約, 樹高 1 m 単位に毎木調査され, 用材, パルプ, チップ等の樹種別用途区分も並行して行なわれた。

その分析は, 天然林の材積分布がどのようになっているか, またそれに対する調査方法, つまり推定精度をあげるためのプロットのとり方, 等に対する分析検討を試みたものである。これは C.C. LI の Introduction to Experimental Statistics, Chapter 9: Hierarchical Classification (75~83 頁) により, 具体的には $80 \text{ m} \times 80 \text{ m}$ ブロック 7 個のみを用いて細分効果の分析を行なった。

分析のための各プロットサイズは次の 7 個のブロックをそれぞれ Section とし, 各 Section を順次折半して

S: Section	(80 m × 80 m)
H: Half Section	(40 m × 80 m)
Q: Quarter	(40 m × 40 m)
E: Eight	(20 m × 40 m)
P: Plot	(20 m × 20 m)

とした。これより各区分に含まれる基本プロット ($20 \text{ m} \times 20 \text{ m}$) 数は

Eight	Quarter	Half section	Section	Total
n	$N_q = nk$	$N_h = nkq$	$N_s = nkqh$	$N = nkqhs$
2	4	8	16	112

その結果、全体の区画個数はそれぞれ Eight: $kQ=56$ (K), Quarter: $qH=28$ (Q), Half Section: $hS=14$ (H), Section: 7 (S), Total: 1 となった。

これより、各区画間における分散分析は

Source	SS	DF	MS	F
Section group	$B_S - C$	$S-1=6$	s^2_S	s^2_S/s^2_H
Half Section group	$B_H - B_S$	$H-S=7$	s^2_H	s^2_H/s^2_Q
Quarter group	$B_Q - B_H$	$Q-H=14$	s^2_Q	s^2_Q/s^2_E
Eight group	$B_E - B_Q$	$K-Q=28$	s^2_E	s^2_E/s^2_P
Plot group	$A - B_E$	$N-K=56$	s^2_P	
Total	$A - C$	$N-1=111$		

となる。ここに

$$A = \sum_s \sum_h \sum_q \sum_k \sum_\alpha Y^2_{shqk\alpha} = 12579.1641$$

$$B_E = \sum_s \sum_h \sum_q \sum_k (Y^2_{shqk}/n) = 11385.8528$$

$$B_Q = \sum_s \sum_h \sum_q (Y^2_{shq}/N_q) = 10781.7767$$

$$B_H = \sum_s \sum_h (Y^2_{sh}/N_h) = 10623.1325$$

$$B_S = \sum_s (Y^2_s/N_s) = 10230.6254$$

$$C = Y^2/N = (1056.791)^2/112 = 9971.4870$$

これより、全体についての分散分析の結果は

Source	SS	DF	MS	
Between Section	259.1384	6	43.1897	$\sigma^2_E + 2\sigma^2_k + 4\sigma^2_q + 8\sigma^2_h + 16\sigma^2_s$
Between Half, within Section	392.5071	7	56.0724	$\sigma^2_E + 2\sigma^2_k + 4\sigma^2_q + 8\sigma^2_h$
Between Quarter, within Half	158.6442	14	11.3317	$\sigma^2_E + 2\sigma^2_k + 4\sigma^2_q$
Between Eight, within Quarter	604.0761	28	21.5741	$\sigma^2_E + 2\sigma^2_k$
Between Plot, within Eight	1193.3113	56	21.3091	σ^2_E
Total	2607.6771	111		

これより

$$\frac{s^2_H}{s^2_Q} = \frac{56.0724}{11.3317} = 4.948^{**}$$

$$\frac{s^2_H}{s^2_E} = \frac{56.0724}{21.3091} = 2.631^*$$

となり、Section 内 Half と Half 内 Quarter, および Eight 内 Plot についてそれぞれ有意差を示した。すなわち、40 m×80 m Half Section の分散が最も大きく、Quarter または Plot の分散との間に有意差がみられる。したがって理論的にはこの Half Section を層の基準とすることが考えられるが、しかし実際にはこのような天然林の場合、その区画はあまりにも小さすぎるであろう。そこで、その林分変異係数 CV を求めると

40 m×40 m Between Quarter, within Half	35.7%
20 m×20 m Between Plot, within Eight	48.9%
20 m×40 m Between Eight, within Quarter	49.2%
80 m×80 m Between Section	69.6%
40 m×80 m Between Half, within Section	79.4%

より、その CV の最も小さいサイズ、すなわち 40 m×40 m プロット (Eight) を単位としたプロット調査が実際問題としては最も妥当な方法と考えられる。しかしその場合も、20 m×20 m プロットとの差は 13.2%, これに対し面積比は 4:1 であることから、実際にはプロット抽出個数とあわせ、調査コスト、労力等の面から検討の余地があるであろう。

討 議 の 要 旨

以上 3 氏の報告に対し、個別質疑および討議が行なわれた。ここではそれらの個々については省略し、主として討議の経過からえられた論点とその結果について要約して紹介するとどめる。

竹下氏の林地生産力の推定とその普遍性に関する問題では、その推定式が理論的に正しいという仮説のもとに推定された今回の推定結果を全国的に広げる場合、その方法論は妥当としても、要因については当然検討の余地

がある。またその理論が物論理的に明確であるのに対し、そのデータとなっている指標因子、たとえば水のように不明瞭な要因については若干問題がある。しかし現在の林学部門では厳密な物理量が適用されるケースはきわめて少ないことから、少なくとも現時点では理論的に優れていると考えられよう。各要因はこれを相関係数が高いかどうかをみるだけでは不十分である。仮にその相関係数は高くても新たに要因が加わった場合、その相関はかわってくる。これでは各要因間の相互関係は把握できない。したがって要因はこれをクロスタームとして分け偏相関をおさえる必要がある。これによりその要因は物理量としての性格がはっきりすることになる。その他、地形解析における地点と地域との関係などについても多く

の論議がなされた。

中島氏の空中写真によるトムラウシ天然林の調査に関する問題では、稚樹の発生状況は空中写真では上層木にかくれて測定できないので要因分析の際は外的基準からは除外された。また今回の生長量推定は大まかな粗生長量推定にとどまっているが、それでも 34 cm 以上の大径木についてはその効果が大きくあらわれた。しかしこれにより生長量確保のためのいわゆる保残木としてこれらの大径木を伐採対象木から除外するというような施業上の示唆を与えるところまでは至っていない。傾斜は 4° 未満：平，5°～14°：緩，15°～29°：急，と区分し，その結果，傾斜，方位により枯損量の効果をはっきりと出たが，その理由については現在検討中である。これも要因のとり方によってその結果がかわりうる可能性がある。

木梨氏のプロット抽出単位の分析検討を主とするえびの天然林調査に関する問題では，その分析の結果，40 m×80 m Half Section の分散が最も大きく，したがってこの Half Section を層の基準とすることが計算上ではよいということになった。しかしそれは単に 80 m×80 m ブロック 7 個，面積 4.48 ha についての結果であり，広大な面積と材積の変動を有する天然林の場合，実際の面では問題がある。したがって調査のプロットサイズとしてはむしろ林分変異係数 CV の最も小さい 40 m×40 m プロット，または現地調査における労力，コスト等の観点から 20 m×20 m プロットが，プロットサイズとしてもまた実際問題としても最も妥当と考えられる。なお分析の方法およびその結果にもとづく解釈のしかたについては若干検討の余地がある。

む す び

林地生産力の推定とその推定結果の普遍化に関する竹下氏の研究報告は，各種の森林立地要因を物理量としておさえ，それにもとづく林地生産力の解析と推定を理論的に推測された仮説をもとにして演繹的な面を広げ，その結果と，実験あるいは調査値から帰納された結果とを対比して，その対比結果を仮説・実験にそれぞれ feed back することによりその普遍性を高めていくという，いわゆる演繹結果の帰納的立証化は，自然科学の法則にもとづいたきわめて理論的な方法であり，これを複雑な

種々の要因が交錯する林学部門に導入したそのユニークな着想は敬意に値するものがある。

天然林調査に対する中島氏の研究報告は，空中写真を用いての蓄積調査を，主として層化と判読（測定），とくにその判読を材積・枯損木・針葉樹生長量の 3 つの外的基準に対し，判読要因として 27 の項目・水準について要因分析し，その結果効果の高いものでかつ空中写真上測定可能な要因を選んで全体推定に結びつけられているところにその特徴がある。天然林の場合，多くの不整一要素や複雑な要因を有し，また面積的にも広大な地域がその対象となるケースが多く，したがって空中写真の利用はかかる成果とあいまってきわめて有利な手段であると考ええる。ただ写真上では測定できない稚樹の本数，発生状況等を地上調査その他の方法とどのように結びつけるかが一つの課題であろう。

また，天然林におけるプロット抽出単位の分析検討に関する木梨氏の研究報告は，今まで明確でなかった天然林のプロットサイズの問題を，80 m×80 m，40 m×80 m，40 m×40 m，20 m×40 m，20 m×20 m のそれぞれの区画について，各区画間の分散分析の結果から層化単位ならびに林分変異係数 CV によるプロットサイズが検討されたことにその意義が見うけられる。この結果は今後各種の天然林調査の際のプロットサイズ決定の指針となるであろう。しかし天然林の材積変動のパターンはきわめて複雑であり，また地形の影響も大きいことから，4.48 ha 面積にもとづく本研究の結果からだけでこれを結論づけることには問題がある。すなわちそのプロットサイズは広い地域（面積）と各種の林相を対象に，その方法論とあわせさらに検討すべきであると考ええる。

ともあれ，林地生産力の推定や森林調査，とくに天然林の蓄積調査法に関しては過去においてもいくつかの調査報告や研究報告等がみられる。そしてその重要性とともに困難性が指摘され，また多くの問題点が提起されてきたところである。かかる時期に，前 2 回に次ぐ今回のシンポジウムでもその課題がテーマとしてとりあげられ，貴重な研究報告とそれにもとづく熱心な討議が行なわれたことはきわめて有意義であったと思う。

(1970 年 6 月 29 日受理)