東南アジア研究 第6巻 第4号 1969年3月

森林の一次生産力調査における必要最小面積のさだめかたにかんする一試案

――タイ国熱帯林のばあい――

荻 野 和 彦

On the determination of a necessary sample size for primary production studies of the forest ecosystem

——with special reference to the tropical forests in Thailand——

by

Kazuhiko OGINO

は じ め に

森林生態系のもっとも重要な構成要素である植生を考える。これがどんな植物からなっているか，主として種組成に目をむけるばあい，調査の対象となるのは種の豊富さや，どの種がどれほど優勢であるかをきめることであろう。もちろんこのばあいにも，ある個体の占める面積を考えずに調査はありえず，したがってどれほどの面積を調査の対象とすべきかをきめておく必要があった。いわゆる最小面積がそれである。種数-面積曲線から図上で適当にきめる方法，種の分布型式を適当に仮定しておいてきめる方法など，すでにいくつかの試みがなされてきている。あるひとつの植生タイプにあらわれることが期待される種の総数が一定であるかどうか，いいかえれば，種数-面積曲線がつねに飽和型であるかどうかについては，議論のわかれるところである。しかし，いくつかの調査結果を比較するさいには，それぞれが，共通の規準となるべき条件を満足していなければならないことはあきらかである。

まったくおなじようなことが，森林生態系を量的にとりあつかう分野―ここでは一次生産力にかんするもの―においても，あてはまるであろうことは想像するにかたくない。現存量，生長量，生産量などの諸量を，つねに面積あたりの量，あるいは面積あたり，時間あたりの量として算定していることをみれば，面積が重要な概念としてとりいれられていることを知るのである。量を構成する要素が直接には測定の対象となっているが，それらが均一に分布していさ

えすれば，問題はきわめて単純になる。単位面積から正確にひとつの断片をきりとって，ていねいに精度をあげた測定法によってやればよいわけである。

ところが実際に調査の対象となるべき森林をひとめみると，上のような単純なありかたでは決してないことをみとめざるをえない。まず第1にひとつのタイプとみとめられた森林内にある個体の大きさが，てんでにばらばらであること，第2に林内の個体の分布のしかたがいろいろであることである。

第1の個体ごとの大きさのちがいに対処するためには，相対生長関係を利用する諸量の推定法があり，主として個体レベルでの推定法として解決さるべきものであろう。第2のものは，各個体の空間的ひろがり，その分布を考慮にいれたものにより解決されねばならない。前者がかなり推定法として確立されてきているようにみえるのに対し，後者はまだ十分解決されたとはいいがたいであろう。個体の分布型式を論ずるものはあるとしても，生態的な物質量を対象としたものはほとんどないといってもいいすぎではなかろう。このような意味で，小論は個体数のみでなく，断面積合計に関係のある量，あるいはそれに樹高の要素をくわえた量などもとりあげ，森林の一次生産力調査における必要最小面積の決定にかんしこころみた方法についてのべてみたい。

I 調　　　査

タイ国の熱帯林植生のタイプについては，タイ国森林局の記述がある。ここではいちおうこの植生タイプの分類にしたがっておく。三つのタイプ―熱帯降雨林 (Tropical Rain Forest), 熱帯乾性常緑林(Dry Evergreen Forest), 落葉性フタバガキ林(Deciduous Dipterocarp Forest)―において，調査をおこなった。

熱帯降雨林 (TRF) では，1963年12月に $100\times100\mathrm{m}^2$ のプロットをとり，これをさらに $20\times20\mathrm{m}^2$ のサブプロットにわけ，各サブプロットのなかにあらわれる，胸高直径 4.5cm 以上の全立木の胸高直径 (D) および樹高 (H) を測定した。

他の二つのタイプのものについては，1963年11月に $10\times50\mathrm{m}^2$ のプロットをそれぞれ2個ずつ，サブプロットを $5\times5\mathrm{m}^2$ として，おなじ測定をおこなった。

調査した (D), (H) はまずサブプロットごとに整理し，それぞれの個体数 (N)，胸高直径の自乗の和 (ΣD^2)，胸高直径の自乗と樹高の積の和 (ΣD^2H) および乾性常緑林 (DEF)，落葉性フタバガキ林 (DDF) では樹幹材積の和 (ΣVs) をもとめておいた。

II 方　　　法

まず各プロットにおいて，前記の諸量の配列に，位置による差があるかないかを，分散分析により検定する。なければ各サブプロット間の変動係数 (CV) をもとめ，

$$n_0 \geqq \frac{t^2}{e^2}(CV)^2 \qquad (1)$$

により，必要なサンプルサイズ——サンプルユニット（このばあいはひとつのサブプロットの面積）の数——をきめる。ただし信頼度が約70%で満足すれば $t=1$，おなじく誤差の許容限界を20%とすれば $e=0.2$ である。もし信頼度を95%とすれば $t=2.0$，誤差の許容限界をあげて10%とすれば $e=0.1$ となり，このばあいは，n_0 の値が前のばあいにくらべて16倍となる。必要最小面積（S_{n_0}）は，

$$S_{n_0} = n \times S_S \qquad (2)$$

ただし n は(1)式でえられたサンプルサイズ（2より大きい整数），S_S はサブプロットの面積——サンプルユニットの大きさ——によってきめることができる。

III　結　　果

まず分散分析の結果を表1にしめす。表の Plot Area は調査した全面積を，Sub Plot Area は Total Area をわけたときの，すなわちサンプルユニットの面積をあらわす。また N, $\sum D^2$, $\sum D^2H$, Vs の欄の L は行，C は列をあらわす。5%の危険率で DDF の PP 1 の N（個体数）にかんするものをのぞいて，いずれも有意差をみとめることはできない。すなわち N, $\sum D^2$, $\sum D^2H$, Vs のタテ，ヨコの配列にあらわれる量的なバラツキに局所的な，場所による差はみとめられない。これらは調査する場所のえらびかたが，いちおう満足するにたるものであったこと，すなわち，N, $\sum D^2$, $\sum D^2H$, Vs の諸量の分布におよぼす要因がすくなくとも場所的な傾斜はもっていないことをあらわしている。

表 1　分散分析のまとめ

	Plot	Plot Area	Sub Plot Area	N		$\sum D^2$		$\sum D^2H$		Vs	
		m²	m²	L	C	L	C	L	C	L	C
TRF	Plot 29	100×100	20×20	0	0	0	0	0	0		
DEF	PP 2	10×50	5×5	0	0	0	0	0	0	0	0
DDF	PP 1	10×50	5×5	*	*	0	0	0	0	0	0

* 5%の危険率で有意
L : Line　　C : Column

有意差がみとめられる PP 1 の N についての分散分析の結果が表2にしめされている。この表をみれば要因 C（列間変動，ヨコのならびに対する変動）について F 値が0.021ときわめて小さいこと，要因 L（行間変動，タテのならびに対する変動）が $F_{0.9}^{9}(0.05)=3.18$ よりわずかに大きいことを知る。F 分布の表は，一般に $F>1$ になるようにつくられているから $F<1$ の

表 2　PP 1 N についての分散分析表

	df	S	V	F	F_0	S'	ρ	
C	1	0.05	0.05	0.021	5.12	−2.33	−2.6	1/0.021=47.62
L	9	69.05	7.672	3.22	3.18	47.60	52.6	
e	9	21.45	2.383			45.28	50.0	
T	19	90.55					100.	

ばあいは，逆数をとって F_0 とくらべる必要がある。このばあいは $F<1$ となる要因にかんして，全体にみられるバラツキかたより，バラツキが小さいとみるべきであろう。したがって 0.021 の逆数 47.62 は $F_{0\,9}^{\,1}(0.05)=5.12$ よりかなり大きいけれども，個体数 N の配列に差があるわけではない。要因 L について F の値3.22は $F_{0\,9}^{\,9}(0.05)=3.18$ よりわずかに大きいが，その差はきわめて小さい。危険率を 1 % にさげれば $F_{0\,9}^{\,9}(0.01)=5.35$ であるから，有意差はあるとはいえなくなる。5 %のレベルでの寄与率は52.6%で，けっして小さいとはいいがたいが，誤差変動とほぼおなじくらいである。したがって，けっして無視するわけにはいかないが，いちおうこのあとのとりあつかいは，有意差のなかったものとおなじあつかいかたをすることにしておこう。

計算の次の手順は(1)式によるサンプルサイズの算定と，(2)式による必要最小面積の決定である。計算の結果を表 3 にしめす。表の N, $\sum D^2$, $\sum D^2H$, Vs の欄の CV は変動係数，

表 3　サンプルサイズ (n)，必要最小面積 (S_n)

	S_S	N				$\sum D^2$				$\sum D^2H$				Vs			
	m²	CV	n	S_n m²	$\sqrt{S_n}$ m	CV	n	S_n m²	$\sqrt{S_n}$ m	CV	n	S_n m²	$\sqrt{S_n}$ m	CV	n	S_n m²	$\sqrt{S_n}$ m
TRF	20×20	0.140	2	800	28.3	0.213	3	1200	34.6	0.365	5	2000	44.7	—	—	—	—
DEF S2	5×5	0.363	5	125	11.2	0.810	19	475	21.8	1.099	34	850	29.2	1.068	32	800	28.3
	10×10	0.296	4	400	20.0	0.610	12	1200	34.6	0.698	15	1500	38.7	0.646	12	1200	34.6
PP2	5×5	0.532	9	225	15.0	1.540	60	1500	38.7	1.857	87	2175	46.6	1.801	81	2025	45.0
	10×10	0.088	2	200	14.1	0.67	14	1400	37.4	0.88	22	2200	46.9	0.788	18	1800	42.4
DDF P3	5×5	0.804	18	450	21.2	0.747	16	400	20.0	0.859	22	550	23.5	0.811	19	475	21.8
PP1	5×5	0.652	12	300	17.3	0.917	23	575	24.0	1.183	37	925	30.4	1.057	30	750	27.4

$CV=\dfrac{S_x}{\bar{x}}$，ただし $\bar{x}$ は全体の平均値，S_x は標準偏差，$S_x=\sqrt{\dfrac{1}{N-1}}\,[\sum x^2-N\bar{x}^2]$

すなわち全変動を自由度で除し，平方にひらいたものであり，n はサンプルサイズ，S_n は必要面積，$\sqrt{S_n}$ は必要面積を正方形のワクでとるばあいの一辺の長さを，それぞれあらわす。

Ⅳ 考　　察

量を構成する要素として，ここで個体数Nのほかに，胸高断面積合計をあらわす ΣD^2，それに樹高Hを考慮した ΣD^2H，幹材積の合計をえらびだした。もしもひとつの林分内に存在する個体のあいだに大きさ一容量，重量一のバラツキがない，あるいはそのバラツキの性質が正規分布をするとしてよいとみとめられるものであれば，林分の量的構成の空間的な配列状態は，個体数だけについてみれば十分であろう。ところが，きわめて当然のことながら，一般に林分をなす個体間の大きさのちがいは，人工林においてさえ正規分布を仮定してよいものであるとはいいがたい。天然林で，垂直的な階層構造をもつものにいたっては，なおさらいうまでもなかろう。

森林の一次生産力にかんする情報が，現存量の推定によっていることを考えれば，当然材積，重量に直接関係する三次元の量を指標にしなければならない。

これらの諸量について，その配列状態に差があるかどうかを分散分析によって判定した。ここで注意しておかねばならないのは，プロットの形を正方形にするか，帯状に長くとるかである。前述のように個体数に有意差のみとめられるものがあったが，これは $10\times50m^2$ の帯状のものについてのばあいであった。十分にワク数が大きければ，プロットごとの差がうち消されることを考えれば，できるだけ正方形に近いものをとったほうがよいように思えるのである。

サンプルサイズを決定するばあいに，信頼度が約70%で，$t=1$ である。しかし，t 分布の表をみるとただちにわかるように，自由度がかわれば，t の値は変化する。$t=1$ としてよいのは自由度が十分大きいばあいにかぎられる。もとめた n の値が小さいときには，その自由度に応じた t の値をひいて，計算しなおさねばならない。この逐次計算はしかしながら，かなりはやく収束するから，それほどてまのかかるものではない。

必要最小面積 S_n は上でもとめられたサンプルサイズ n とサブプロットの積でもとめられる。サブプロットの大きさをどれほどにするかは別の問題としてのこされている。サブプロットの大きさがかわれば，変動係数 CV がかわり，したがって n がかわるはずである。その例は表3のDEFの二つのプロットにみられる。別にこころみたスギ14年生の人工林での例を表4にあげておこう。この調査は1968年10月におこなったものである。奈良県東吉野郡の14年生のスギ人工林で最高樹高が12.0m，その胸高直径が14.3cmで，よくそろった林冠層をもっている。階層構造はしたがって単層である。DEFのばあいも吉野地方のスギ林のばあいも，サブプロットが大きくなれば，変動係数が小さくなって，n が小さくなっているのがみとめられる。

信頼度，誤差の許容限界を一定のレベルにたもっておけば，n は変動係数だけできまる。また n は2以下にはなりえないから，n が2になる点，変動係数が0.14より小さくなっているところでは，この方法による必要最小面積の計算は無意味になる。すなわち変動係数が0.14より

表 4　サブプロットの大きさをかえたときのサンプルサイズ (n), 必要最小面積 (S_n)

	S_S	N				$\sum D^2$				$\sum D^2H$				H			
	m^2	CV	n	S_n	$\sqrt{S_n}$	CV	n	S_n	$\sqrt{S_n}$	CV	n	S_n	$\sqrt{S_n}$	CV	n	S_n	$\sqrt{S_n}$
スギ人工林	2×2	0.617	11	44	6.6	0.695	14	56	7.5	0.779	17	68	8.3	0.409	6	24	4.9
	4×4	0.280	4	64	8.0	0.272	4	64	8.0	0.342	5	80	8.9	0.090	2	32	5.7
	6×6	0.227	2	72	8.5	0.229	2	72	8.5	0.270	3	108	10.4	0.084	2	72	8.5

小さくならない範囲までは，サブプロットを大きくしてやっても意味がありそうである。ただ n が小さくなることと，サブプロット面積が大きくなることにより，必要最小面積があまりかわらなくなるところがみつけだせるかもしれない。

サブプロットの大きさをきめるもうひとつの規準となるべきものとして，林分構造の最小単位をとることができるかもしれない。すなわち階層構造の最小単位の占有面積をとるものである。TRF のばあいには，高木第一層—A_p 層—の占有面積は 8.2×8.2m², DEF では 9.1×9.1 m², DDF では4.8×4.8m², 吉野でのスギ人工林のばあいは 1.6×1.6m² であった。TRFでのサブプロットの大きさが 20×20m² であることは，この意味ですこし大きすぎたようである。DEF では 10×10m², DDF では 5×5m², 吉野スギ人工林では 2×2m² の値をとればよいとすることができよう。

このようにサブプロットの大きさをさだめておいて，表3をみると必要最小面積は N→$\sum D^2$→$\sum D^2H$ の順に大きくなっている。わずかに DEF, DDF の二つのプロットの例しかないけれども，Vs は $\sum D^2$ より大きく，$\sum D^2H$ よりは小さくなっている。このことは，三次元の量をとりあつかうためには $\sum D^2$ では不十分であることをしめすようである。いずれのばあいも $\sum D^2H$ の必要最小面積が最大であることを考えれば，$\sum D^2H$ をめやすにして必要面積をさだめておけば，いちおう結果は満足するにたるものであろう。

参　考　文　献

Cochran, W. G. *Sampling Techniques*. New York : John Wiley & Sons, Inc. (Tokyo : Charles E. Tuttle), 1967.

細川隆英，加藤陸奥雄，北沢右三，野村健一，田口亮平，鳥居酉蔵，八木誠政『生態学汎論』東京：朝倉，1966.

伊藤嘉昭『動物生態学入門』東京：古今書院，1964.

奥川光太郎『数理統計学概説』東京：学術図書，1958.

Royal Forest Department. *Types of Forests of Thailand*. Royal Forest Department No. R. 44. Bangkok : Royal Forest Department.

田口光一『統計解析』東京：丸善，1967.