

タイ国森林の第一次生産力

荻野和彦・Duongkeo RATANAWONGS

堤利夫・四手井綱英

The primary production of tropical forests in Thailand

by

Kazuhiko OGINO, Duongkeo RATANAWONGS, Toshio TSUTSUMI, and Tsunahide SHIDEI

はじめに

1962年から1964年にわたり、筆者らはタイ国のカセートサート大学、チュラロンコーン大学と共同して、森林植生とその土壌の性質にかんする生態学的調査をおこなった。本論文はそのうちの森林の第一次生産力にかんするものを取りまとめたものである。

1962年におこなった調査は、タイ政府ユネスコ国内委員会奨学生としてカセートサート大学林学部の大学院に在籍した荻野が、同学部助手であったドンケオ・ラタナウオンと共同しておこなった。1963年の調査は、京都大学東南アジア研究センターの研究計画の一環として、堤、荻野、ドンケオ・ラタナウオンらが共同して現地調査をおこなった。土壌の性質および森林生態系の物質循環についてはすでに堤ら^{29,30)}が報告している。

湿潤熱帯の森林は生育条件に恵まれ、生育休止期をもたずに一年中さかんに生長する。たかい生産力をもつわけであるが、生育によい条件は同時に物質代謝量をたかめ、せっかくのたかい生産力が物質の蓄積に有効に寄与していない。林床では有機物がさかんに分解し、養分が無機化する。森林の平衡状態を破壊するような開発方式をとって、伐採跡地を放置すると、可給態となった養分がちまちま流亡して林地の荒廃をもたらす。また熱帯林の植物は、移植が困難であったり、産地からはなれるとおなじ樹種の生育限界内にあるところでも生育がきわめてわるくなったり、種子の発芽困難なものがおおいなど造林技術上の問題も複雑で多岐にわたる。

熱帯林にかぎらず森林資源を効果的に利用開発するためには、その森林の基礎的な生産力を具体的に知り、それを有効に発揮させるための造林技術を開発するという二段がまえの研究がおこなわれなければならない。最近森林生態系の物質生産にかんする研究がさかんにおこなわれるようになったが、熱帯林に正面からとりくんだ研究はまだあまりおおいとはいえない。本論文は熱帯林の合理的な開発に資する基礎資料を提供することを目的としタイ国森林の落葉性フタバガキ林と乾性常緑林の現在量・生長量・生産量の推定をこころみた。

I 森林の生産力とは

森林の現在量および生長量を正確に知ることは、森林の一次生産力を具体的に把握するためのもっとも基本的な要求である。ここでいう「森林の一次生産力」とは、森林を構成する植物の光合成作用による有機物の単位時間あたりの生産をいう。単位時間 ($\Delta t \equiv t_2 - t_1$) における総生産量 (ΔP_G) から、呼吸消費量 (ΔR) をさしひいたものが純生産量 (ΔP_n) である。したがって、

$$\Delta P_n \equiv \Delta P_G - \Delta R \quad (1)$$

が植物の一次生産力にかんする明確な定義をあたえている。

小川¹⁸⁾は植物群落の物質収支を物質生産との関連において検討し、整理した。上述の Δt における生産量の増分を $\Delta y \equiv y_2 - y_1$ 、枯死量を ΔL 、動物などにより消費される量を ΔG とすれば

$$\Delta P_n = \Delta y + \Delta L + \Delta G \quad (2)$$

$$\Delta P_G = \Delta y + \Delta R + \Delta L + \Delta G \quad (3)$$

であるとした。ただし

$$\lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta P_G}{\Delta t} = \frac{dP_G}{dt} = p_G$$

$$P_G = \int_0^t p_G dt$$

$$\Delta P_G = \int_{t_1}^{t_2} p_G dt$$

である。他の各項もおなじように、率、量、単位時間あたりの量があらわされる。

(2)(3)式は個体、群落あるいは群落の種類をとわずいろいろなばあいにも原理的に成立する。(2)(3)式の右辺の各項の大きさを推定もしくは測定すれば、その和として単位時間あたりの純生産量、総生産量をもとめることができる。個体をとりにあつかうか、あるいは群落をとりにあつかうかによって率、量の単位はことなる。

一般に森林の生産力を考えるとき、量は単位時間あたり(年)、単位土地面積あたり(ha)、絶乾重量(ton)であらわすことがおおい。人工群落における人間の伐採や採取による収穫量は ΔG としてとりあつかえばよい。

II 調査地

調査は1962年10月22日にはじめ、12月11日までに、樹種組成、現在量、土壌の調査および永久調査区の設定をおこなった。1963年11月に永久調査区の第2回測定と土壌のさらにくわしい調査をおこなった。

調査地は東北タイのナコンラチャシマ(コラートとよぶこともおおい)から南へ約60kmの

ところパクトンチャイにある森林で、その位置は東緯101°48′、北緯14°27′である。附近はコラート高原の南同縁部の山地で、なだらかな丘陵状台地がつづく。県境にあるイープロム山は806mの海拔高がある。調査地の標高は附近のキョウ山(721m)から約650mと推定された。¹⁾

ここでみられる森林は落葉性フタバガキ林 (Deciduous Dipterocarp Forest) と乾性常緑林 (Dry Evergreen Forest) である。森林タイプの分類および命名について小川ら¹⁵⁾がくわしく検討しているが、ここではタイ王室森林局の分類命名にしたがっておこう。^{11,25)}

落葉性フタバガキ林はタイ語で *pa' daeng*, *pa' pae* あるいは *pa' khok* といわれ、赤い林、山羊の林あるいは低木林を意味する。土壌中の鉄分がおおいため赤色を呈する土壌、ラテライト性の土壌におおくみられるため赤い林と、また常緑林にくらべ林分樹高がひくく林冠も閉鎖していない疎林であるところから山羊の林とか低木林とかよばれるという。構成樹種は比較的単純で *Dipterocarpaceae* の *Dipterocarpus tuberculatus*, *D. obtusifolius*, *Pentacme siamensis*, *Shorea obtusa* がおおいが、その他に *Terminalia alata*, *T. mucronata*, *Melanorrhoea usitata*, *Buchanania latifolia*, *Strychnos nux-blanda*, *S. nux-vomica*, *Phyllanthus emblica*, *Morinda tinctoria*, *Holanhena antidyenterica*, *Randia longispina*, *R. erythroclada* などがあらわれる。²⁵⁾ なかでも *Pentacme siamensis* と *Shorea obtusa* はこの林型に特長的な樹種であるが、玄武岩質土壌には *P. siamensis* が、砂岩質土壌で鉄分の含有量のたかいところでは *Shorea obtusa* の占める割合がたかくなるという。²³⁾ 林床は草本性の *Bambusa arundinacea* で一面におおわれ *Cycas siamensis* が点在する。幼令木がすくないのはおそらく野火の影響であろう。東北・中部・北タイにひろく分布しタイ国全森林面積の25%を占めるという。¹¹⁾

乾性常緑林 (Dry Evergreen Forest) はタイ語で *pa' dong diplaeng* とよばれる。*pa' dong dip* はきわめて深い森林、密林、原始林などの意味で広い意味の熱帯常緑林 (Tropical Evergreen Forest) の一部である。南タイおよび東南タイ(ここでは実際にはすでに非常に破壊されてしまっているが) にみられるものにくらべて、東北タイでは土壌および気候条件が乾燥にかたむき、それを反映して耐乾性の樹種がおおくなる。樹種構成は概して複雑で *Hopea odorata*, *Anisoptera oblonga*, *Hydnocarpus kurzii*, *H. ilicifolius*, *Arfeuillea arborescens*, *Azelia xylocarpa*, *Lagerstroemia calyculata*, *Hemicyclea sp.* *Murraya paniculata*, *Dalbergia cochinchinensis*, *D. dongnaiensis*, *Vitex pinnata*, *Sindora siamensis* などが優占し^{11,25)}, 林床にはおおくのツル性のヤシ科植物もみられる。樹高は30-40mに達し、階層構造は3層以上、樹冠は第二層で完全に閉鎖している。タイの常緑林は山地林やマングローブ林をふくめるとタイ国全森林面積の35%を占めるという。

調査地附近のコラート気象観測所での観測による気候条件を表1にしめす。¹²⁾ 図1には表1のデータによる降水量と蒸発量 (Pichéの蒸発計によるもの) をしめしてある。これは森林が

表 1 調査地附近コラートの気候データ

	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	年
平均気温 °C	24.1	26.8	29.2	29.6	29.1	28.6	28.2	28.1	27.6	26.6	25.4	23.2	27.2
平均最高気温 °C	32.5	34.8	36.7	36.2	34.5	33.5	33.2	33.0	32.3	31.6	31.4	30.5	33.4
平均最低気温 °C	15.6	18.6	21.7	23.0	23.6	23.7	23.2	23.2	22.9	21.7	19.3	15.9	21.0
平均降水量 mm	7.7	22.8	51.3	100.1	164.2	96.0	121.9	147.2	220.0	202.2	51.8	6.9	1192.1
平均降水日数	0.7	1.9	5.6	9.1	15.3	12.9	13.5	14.7	17.1	13.3	3.5	1.3	108.9
平均蒸発量 mm	140.2	154.9	184.0	150.6	104.1	126.4	141.2	128.7	73.8	77.1	89.3	114.4	—

注：Climatological Data (1943-1952) vol. 7, Meteorological Department, Royal Thai Navy, Bangkok による。
 平均気温は各月の平均最高気温と平均最低気温の平均値である。

存在するばあいの水分収支そのものをあらわすわけではないが、いちおうそのめやすをあたえるものであろう。降水量は5月および9月に極大となる二山型の分布をしめす。蒸発量は3月に高く、いったん下降するが、7月に上昇し降水量をこえる。5月および8-11月は降水量が蒸発量よりおおく水分量に恵まれた状態にある。6、7の両月は降水量が下降し蒸発量が降水量をこえているが降水日数は5月、8月にくらべいちじるしく少ないとはいえない。降水日数や土壌の保水機能を考慮するならば6、7両月も水分収支が負になるとは想像できない。したがってこの地方では5月から10月を雨季としてさしつかえないであろう。これに対して11月から4月までは乾季とすることができよう。

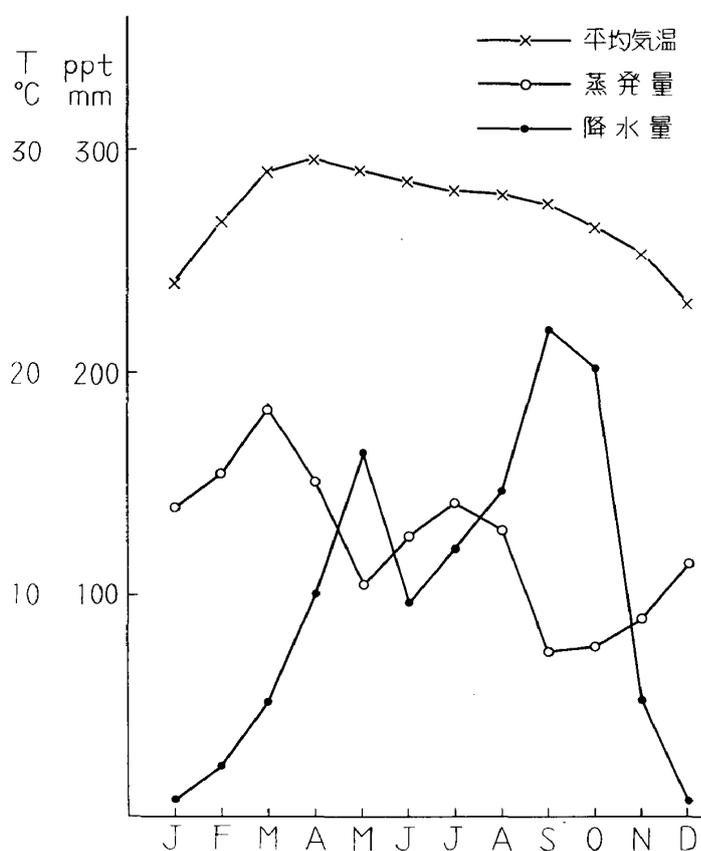


図1 コラートの平均気温、降水量、蒸発量

降水量がきわめてはっきりした月分布をするのに対して、平均気温は1年間を通じあまり変化がない。この気候データはコラートのものであるが、調査地は丘陵台地上にある。降水量はここにしめされたものよりいくぶんおおいであろう。また森林内では夜間に林冠がとらえる露がさうとうの量に達し、これが林地に水分を供給することになっていることに注意しなければ

ならない。²³⁾

Ⅲ 調 査 方 法

調査の対象となる林分をできるだけひろくみてあるいたうえ，構成樹種，平均樹高，立木密度などが附近の林分の代表とみなせるところをえらび，10m×50mのプロットをそれぞれ二つづつ設けた。落葉性フタバガキ林(DDF)のものをP-1およびPP-1，乾性常緑林(DEF)のものをP-2およびPP-2とする。P-1，P-2は伐倒調査区，PP-1，PP-2は永久調査区である。各調査区はさらに5m×5mの小区画にわけられている。この10m×50mのプロットのなかにはいる個体のうち胸高直径が4.5cmより大きいものを上木とし，それ以下のものを下生えとした。

樹種：上木については各個体の，下生えは5m×5mの小区画10コのなかに出現するものをタイ名で記録した。

土壌：プロットのなかに数コのピットをほり，土壌断面を記録し分析用試料を深さ別に採取した。

現在量：プロット内の上木全立木の胸高直径(P-1では胸高直径と樹高)の測定をおこない，P-1で25本(全立木数57本)，P-2では38本(全立木数135本)を伐倒し表2にしめすような測定をおこなった。結果を表3にしめす。

樹種ごとに葉面積測定のため数十枚から百数十枚の葉をとりだし，重量を測定したのち白紙

表 2 伐倒木の測定項目

測定項目	記号	測定要領
樹高	H	伐倒木の幹の地際から先端まで
枝下高	H _B	生枝の最も下のものまでの長さ
樹冠高	H _K	H-H _B
地際直径	D _{0.0}	伐倒木の幹の地際での直径，直径巻尺で測定する
30cm高直径	D _{0.3}	地際から30cmの高さでの直径
胸高直径	D	1.3mの高さでの直径
3.3m高直径	D _{3.3}	3.3mの高さでの直径 以下2mごとにD _{5.3} ，D _{7.3} ……を測定する。
0.1H高直径	D _{0.1H}	伐倒木の幹の地際から樹高の1/10高での直径
生枝下直径	D _B	最下生枝直下の直径
樹冠直径	R	樹冠の直径
幹重量	w _S	幹の生重量
	W _S	絶乾重量
枝重量	W _B	枝の生重量
	w _B	絶乾重量
葉重量	W _L	葉の生重量(葉柄をふくむ)
	w _L	絶乾重量

表 3 伐倒木測定諸量一覽

S. No.	Spp.	H (m)	D _{0.0} (cm)	D _{0.1H} (cm)	D (cm)	D ² H (m ³)	D _B (cm)	V _s (m ³)	V _B (m ³)	w _s (kg)	w _B (kg)	w _{tc} (kg)	w _L (kg)	w _t (kg)
20	<i>Dillenia</i> sp.	2.5	3.5	3.0	2.0	0.0010	2.0	0.0009	—	0.40	0.04	0.44	0.10	0.54
3	<i>Ixora finlaysoniana</i>	5.6	5.5	4.5	4.5	0.0091	4.0	0.0053	—	2.28	0.35	2.63	0.13	2.76
11	<i>Lagerstroemia</i> sp.	3.8	6.8	4.5	4.0	0.0061	3.5	0.0045	—	1.82	0.66	2.48	0.16	2.64
15	<i>Pterocarpus macrocarpus</i>	4.7	6.0	5.5	4.0	0.0075	2.5	0.0052	—	2.18	0.18	2.36	0.10	2.46
49	<i>Irvingia malayana</i>	6.7	14.7	11.6	9.8	0.0643	11.6	0.0311	—	12.50	1.06	13.56	0.32	13.88
8	<i>Shorea talura</i>	6.2	11.0	8.0	7.0	0.0304	6.0	0.0209	—	8.50	1.94	10.44	0.51	10.95
13	"	9.7	19.0	16.0	14.0	0.1901	10.5	0.1057	—	48.83	8.71	57.54	1.54	59.08
26	<i>Pentacme siamensis</i>	2.5	7.5	5.5	4.0	0.0040	3.5	0.0034	—	1.67	0.48	2.15	0.16	2.31
19	"	3.5	8.0	7.0	6.0	0.0126	5.0	0.0077	—	2.88	0.79	3.67	0.26	3.93
42	"	4.3	8.7	7.6	6.0	0.0155	5.0	0.0099	—	4.96	0.92	5.88	0.32	6.20
46	"	6.1	9.0	7.2	6.2	0.0234	4.2	0.0128	—	6.58	2.02	8.60	0.54	9.14
30	"	7.2	11.0	8.4	8.2	0.0484	7.2	0.0218	—	13.05	2.60	15.61	0.61	16.26
7	"	7.5	10.0	9.4	8.2	0.0504	6.0	0.0227	—	11.18	1.76	12.94	0.77	13.71
35	"	7.7	11.0	9.0	7.0	0.0377	6.0	0.0209	—	10.73	1.54	12.27	0.70	12.97
45	"	9.1	17.4	13.8	13.8	0.1733	11.2	0.0767	—	39.37	9.68	49.05	1.92	50.97
34	"	9.8	15.8	14.0	12.6	0.1556	13.6	0.0750	—	41.29	8.36	49.65	1.28	50.93
32	"	10.1	17.2	14.4	14.4	0.2094	11.6	0.0949	—	52.02	16.54	68.56	1.86	70.42
21	<i>Shorea obtusa</i>	3.7	6.5	5.0	4.0	0.0059	3.5	0.0047	—	2.23	0.26	2.49	0.10	2.59
57	"	4.2	10.0	9.0	7.0	0.0206	6.8	0.0122	—	4.76	0.31	5.07	0.22	5.29
9	"	7.3	14.0	11.8	12.0	0.1051	4.6	0.0413	—	20.90	5.41	26.31	1.25	27.56
6	"	8.2	11.0	10.0	10.0	0.0820	9.4	0.0317	—	15.33	2.42	17.75	0.51	18.26
53	"	11.7	18.8	15.4	15.4	0.2775	11.8	0.1054	—	60.06	19.45	79.51	1.73	81.24
4	"	12.1	25.0	14.0	14.0	0.2372	15.2	0.1386	—	64.67	14.39	79.06	1.70	80.76
54	"	13.1	19.0	18.4	18.4	0.4409	15.3	0.1624	—	93.96	28.73	122.69	2.59	125.28
1	"	14.5	25.0	22.0	23.0	0.7671	18.0	0.2672	—	139.45	51.49	190.89	4.19	195.08

P-2 (DEF)

S. No.	Spp.	H (m)	D _{0.0} (cm)	D _{0.1H} (cm)	D (cm)	D ² H (m ³)	D _B (cm)	V _S (m ³)	V _B (m ³)	w _S (kg)	w _B (kg)	w _{ic} (kg)	w _L (kg)	w _t (kg)
88	<i>Chaetocarplus castanicarpus</i>	6.9	6.2	5.1	4.6	0.0145	3.2	0.0070	0.0761	3.96	0.66	4.62	0.53	5.15
24	<i>Streblus taxoides</i>	5.3	7.0	6.5	6.2	0.0201	6.0	0.0088		6.17	2.84	9.01	0.20	9.21
109	<i>Uvaria sp.</i>	6.6	7.5	6.2	5.7	0.0211	4.0	0.0116		9.14	1.47	10.61	0.23	10.84
96	<i>Antiaris toxicaria</i>	6.8	8.1	7.2	6.6	0.0299	5.9	0.0149		7.68	1.90	9.58	0.33	9.91
37	<i>Sterculia guttata</i>	11.5	14.3	12.4	12.2	0.1714	7.8	0.0761	0.0026	17.19	1.45	18.64	0.26	18.90
117	<i>Walsura trichostemon</i>	4.2	5.1	4.0	3.8	0.0059	2.8	0.0031		2.39	0.33	2.72	0.07	2.79
21	"	8.1	8.8	7.4	7.4	0.0446	7.4	0.0206		14.26	2.56	16.82	0.43	17.25
25	<i>Aglaia pyriformis</i>	6.2	6.2	4.5	4.5	0.0124	4.2	0.0057		3.67	1.28	4.95	0.53	5.48
30	"	9.3	10.7	8.0	8.4	0.0660	7.0	0.0314		28.58	8.39	36.97	1.43	38.40
116	<i>Hopea ferrea</i>	5.7	6.0	4.4	4.0	0.0091	4.0	0.0053		3.32	0.66	3.98	0.37	4.35
81	"	22.1	44.9	31.3	33.5	2.4796	24.8	0.8859	0.1297	486.20	106.08	592.28	8.67	600.95
119	<i>Aglaia sp.</i>	8.0	6.6	6.4	6.6	0.0352	3.7	0.0132		8.56	1.52	10.08	0.46	10.54
20	"	10.3	16.3	13.1	13.0	0.1741	11.2	0.0766	0.0286	41.67	31.43	73.10	2.42	75.52
99	"	10.8	12.9	—	10.6	0.1210	8.0	0.0507		—	—	—	—	—
53	"	13.8	28.6	14.3	14.5	0.2890	9.8	0.1341	0.0115	77.35	12.28	89.63	1.39	91.02
113	<i>Linociera microstigma</i>	7.0	14.0	14.7	13.4	0.1260	14.0	0.0608	0.0139	40.22	20.48	60.70	2.52	63.22
121	"	8.1	6.3	5.6	5.3	0.0227	4.0	0.0105		7.10	1.14	8.24	0.37	8.61
89	"	9.2	9.3	7.0	6.8	0.0423	5.6	0.0192		11.06	3.32	14.38	0.70	15.08
18	"	9.3	8.6	8.2	8.6	0.0688	8.0	0.0338		20.78	1.37	22.15	0.60	22.75
107	<i>Memecylon geddesianum</i>	7.4	6.6	4.2	4.1	0.0126	2.6	0.0062		3.90	0.62	4.52	0.43	4.95
29	"	7.8	7.6	7.3	7.2	0.0406	4.2	0.0215		14.55	2.61	17.16	1.53	18.69
40	"	10.0	9.6	7.2	7.2	0.0520	5.5	0.0190		15.71	2.51	18.22	0.66	18.88
100	"	10.6	13.3	12.7	12.0	0.1526	6.0	0.0720		44.12	3.27	47.39	0.56	47.95

32	"	11.6	20.1	16.3	16.2	0.3039	14.8	0.1149	0.0030	69.90	17.68	[108.1]	[4.33]	[112.4]
42	"	12.9	17.4	12.8	12.8	0.2116	10.1	0.0903	0.0055	58.67	6.49	[86.3]	[6.6]	[92.9]
124	"	13.3	21.4	16.3	16.3	0.3538	12.3	0.1519	0.0141	85.32	18.20	[119.5]	[8.0]	[127.5]
94	"	7.1	6.6	5.7	5.4	0.0206	3.5	0.0101		6.05	0.38	6.43	0.73	7.16
34	"	7.2	6.3	5.5	5.3	0.0202	4.3	0.0106		6.63	0.52	7.15	0.50	7.65
31	"	7.2	6.0	5.0	5.0	0.0180	3.6	0.0085		6.17	1.90	8.07	1.20	9.27
120	"	7.3	6.7	5.4	5.3	0.0204	4.2	0.0081		6.05	1.47	[8.6]	[0.9]	[9.5]
28	"	8.7	9.2	8.4	6.8	0.0400	4.4	0.0199		12.92	1.33	14.25	1.20	15.45
39	"	9.9	13.5	12.0	11.5	0.1307	7.2	0.0535	0.0052	31.89	7.06	38.95	3.35	42.30
23	<i>Hydnocarpus ilicifolius</i>	6.3	6.2	5.0	5.2	0.0170	2.2	0.0063		4.25	0.38	4.63	0.33	4.96
38	"	8.4	9.2	6.7	7.5	0.0470	5.7	0.0204		10.30	1.47	11.77	0.46	12.23
103	"	9.0	12.3	8.2	7.4	0.0495	6.1	0.0261	0.0023	15.54	3.56	[47.6]	[7.4]	[55.0]
52	"	10.9	11.3	8.3	8.1	0.0719	5.0	0.0278		16.99	2.32	19.31	0.60	19.91
95	<i>Grewia microcos</i>	11.6	38.4	29.6	28.5	0.9419	19.6	0.3765	0.0046	108.04	5.96	114.00	1.66	115.66
90	"	12.9	29.0	18.4	18.4	0.4373	17.1	0.1585	0.0479	63.07	32.31	[102.8]	[3.2]	[106.0]

注) w_{tc} は $w_s + w_B$ すなわち地上部の非同化部分重量を,

w_t は $w_{tc} + w_L$ 地上部総重量を,

P-2 の重量のうち [] 内の数字はツルを加えたものをあらわす。

にトレースした。含水率および養分諸元素の分析のため、樹種ごとに、幹、枝、葉の少量の試料を採取した。

生長量：PP-1, PP-2 の両プロットの全立木に番号をつけ、1.3m のたかさにペンキで印をし、その位置の直径を mm 単位で測定した。1963年11月に前回とおなじ位置、おなじ精度で測定をおこない胸高直径ののびをもとめた。

IV 調査結果と考察

1. 概況

調査林分の概況を表4にとりまとめた。

表4 調査林分の概況

	ρ (本/ha)	B.A. (m ² /ha)	\bar{D} (cm)	\bar{H} (m)	D _{max} (cm)	H _{max} (m)	V _s (m ³ /ha)	Plot Area (m ²)
DDF P-1	1140	11.18	10.1	8.2	21.0	16.5	71.5	10×50
PP-1	1360	19.34	11.2	8.4	44.6	15.5	142.6	10×50
DEF P-2	2540	26.34	9.6	9.8	50.7	20.9	215.5	10×50
PP-2	2300	42.55	10.5	9.9	83.2	22.9	388.2	10×50

注) ρ は立木密度, B.A. は胸高断面積合計, \bar{D} は平均直径, \bar{H} は平均樹高, D_{max} は最大直径, H_{max} は最大樹高, V_s は幹材積をあらわす。
P-1, PP-1 の H_{max} は実測値, P-2, PP-2 の H_{max} は計算値である。
D, H の各階層ごとの値は表7の現存量につけくわえてある。

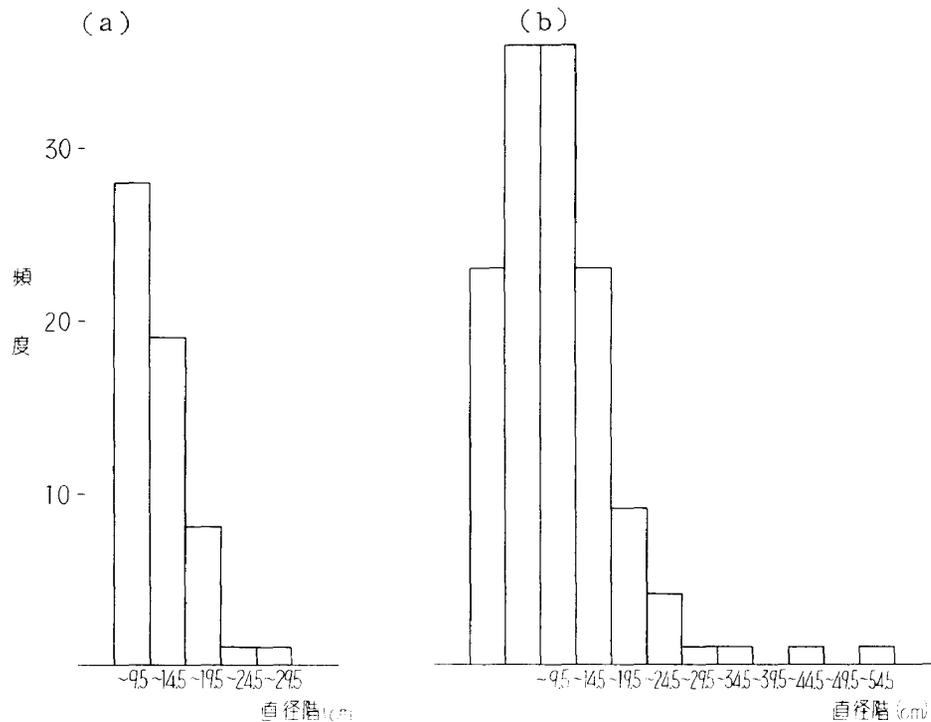


図2 胸高直径頻度分布 (a)は P-1 (DDF) のもの (b)は P-2 (DEF) のもの

DDF, DEF の土壌の性質については、堤ら^{29,30)}がすでにくわしく報告している。ここでは DDF の土壌がきわめて緊密で、浅いのに対し、DEF においてはよりやわらかくより深いことを指摘しておくにとどめよう。

DEF の立木密度、胸高断面積合計が DDF のその2倍弱、幹材積が3倍弱であるのに、平均胸高直径と平均樹高は両者に大きなひらきはない。

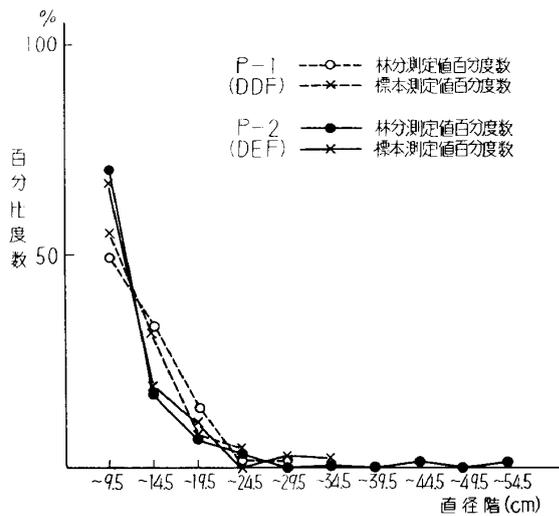


図3 胸高直径の相対度数分布の毎木調査と標本調査の比較

胸高直径の頻度分布をみると図2のように P-1, P-2 とともに L 型分布をするが、P-2 において右へより長くのびるにもかかわらず、最小直径階への集中がはげしく全立木数の70%にも達している。P-1での最小直径階への集中は50%に満たないから、これがこの二つの林分の平均胸高直径をたがいに似たものとさせる原因であろう。

2. 林分階層構造

胸高直径の相対度数分布が図3である。P-1, P-2の各林分の毎木調査によるものと標本抽出した伐倒木のは、それぞれの林分ごとにかわめてよく似た分布型をもっている。したがってDをパラメーターとして、標本抽出はもとの母集団に忠実におこなわれているといえよう。

両対数軸に D, H をプロットしてみると、図5のような相対生長関係がえられる。P-1, P-2ともかなりのバラツキをしめすが樹種による傾向的なちがいはない。P-1において

$$\frac{1}{H} = \frac{0.98}{D^{1.1}} + 0.0385 \quad (4)$$

P-2において

$$\frac{1}{H} = \frac{0.55}{D} + 0.037 \quad (5)$$

をえた。Hの計算値は実測値に対して DDF で5.6%, DEF で6.9%の過大評価となる。一般に植物体の計測が10%前後の相対誤差でえられるとき、それはいい測定値であるといわれるから、この程度の相対誤差は(4)(5)両式がかなりいい精度をもっているとしてよかろう。抽出標本がDのみでなく、かなりの精度でHについても、もとの母集団を代表するものであるといえよう。

そこで両林分から抽出し実測した標本が林分の性質をそのままあらわしているとして、実測値について林分の階層構造を検討してみよう。

小川ら¹⁶⁾は林分の階層構造を量的に判定するために葉層図を利用した。図6にしめすとおり

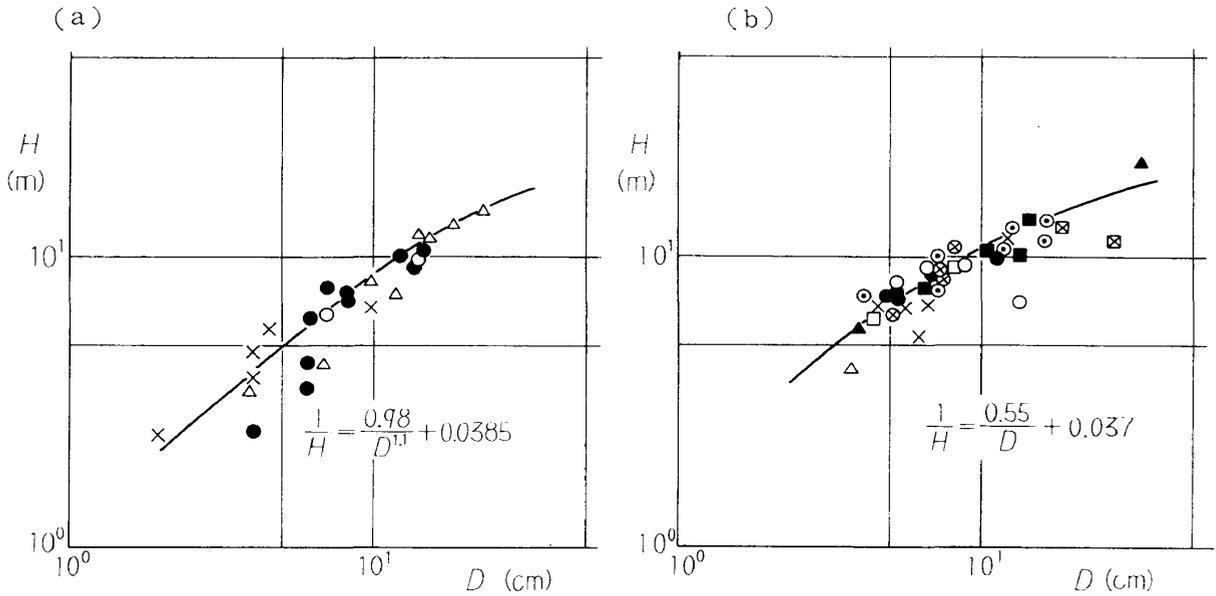


図4 胸高直径と樹高の相対生長関係

- (a) P-1 (DDF) のもの
- *Pentacme siamensis*
 - *Shorea talura*
 - △ *Shorea obtusa*
 - × その他

- (b) P-2 (DEF) のもの
- ▲ *Hopea ferrea*
 - △ *Walsura trichostemon*
 - *Aglaia sp.*
 - *Aglaia pyriformis*
 - *Linociera microstigma*
 - *Memecylon geddesianum* (Bai lek)
 - *M. geddesianum* (Bai Yai)
 - ⊗ *Hydnocarpus ilicifolius*
 - ⊗ *Grewia microcos*
 - × その他

葉層図は H-H_B 図，樹高積算曲線図と樹冠頻度曲線図よりなる。林分の樹高の最高を基準として上から 2 m ごとに切って，おのおのの階にふくまれる度数分布と樹冠頻度曲線（最下生枝下高からその個体の樹幹の頂上までを樹冠長としてその度数分布曲線）から階層構造を判定する。P-1では樹高階ごとの度数分布は上から下までほとんど均等であるようにみえるが，わずかに11mを境にその上下に度数分布の変化がみられる。不明確ながら林分階層構造は二層よりなっているといえよう。

P-2では15m以上に突出した度数分布の小さい第一層，11-15mの第二層，7-11mの第三層，および7m以下の第四層をみとめることができる。

林分の階層構造はある個体の樹冠が林冠層のどの位置を占めるかをあらわす。これは物質生産とむすびつけて考えるとき，その個体がどれだけの太陽エネルギーをうけとるかを判断するめやすとして重要であろう。このような意味で林分階層構造をたんに樹高のみにより判定するのではなく，樹冠の位置をも考慮した方がよい。このような判定法にしたがえば，DDFは林冠が完全には閉鎖していないから第二層以下の個体もかなりのあかるさにおかれている。したがって DDF では上木層と下生え層のみをみわければよからう。DEFの第一層は閉鎖した林冠

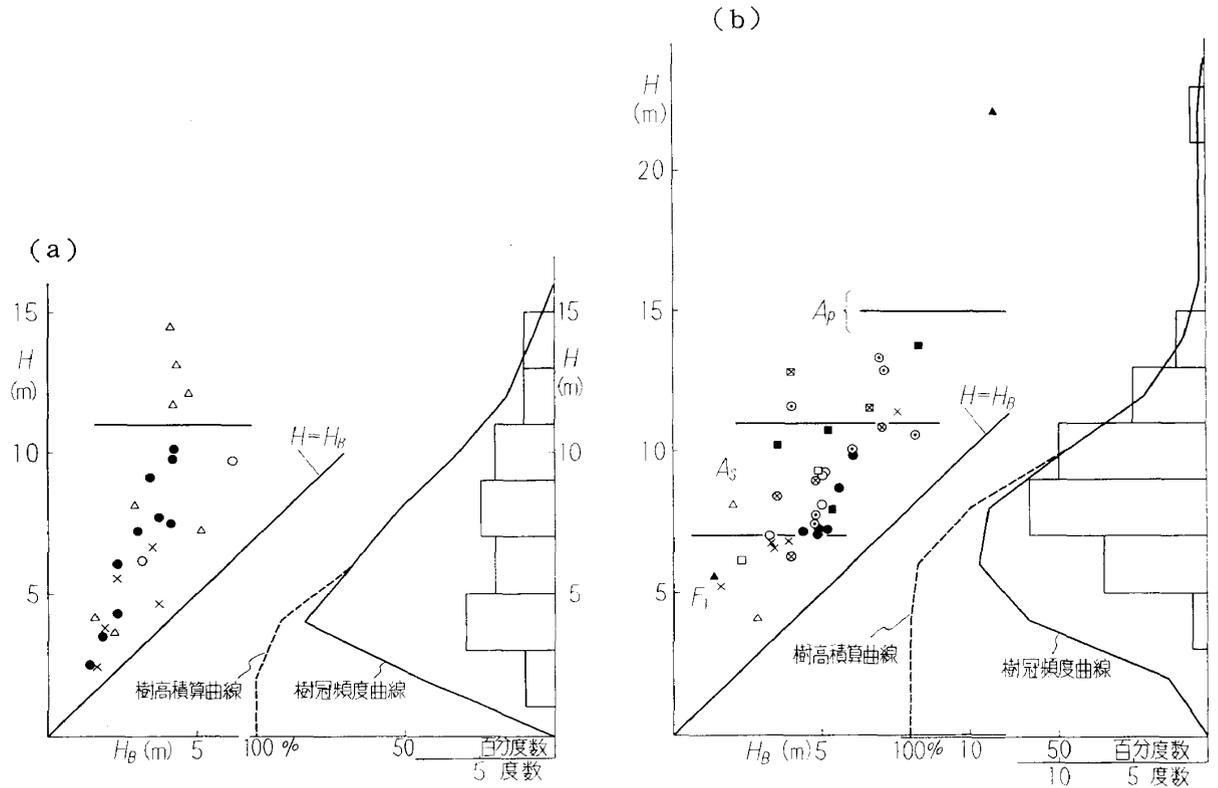


図5 葉層および樹高，生枝下高図

(a)の高さ階別樹高頻度はあまり変化なく階層構造はあきらかでない。
 (b)は15m, 11m, 7mに樹高頻度の急な変化があり階層構造が4層み分けられる

の上に突出しておりもちろん十分な太陽光線下にある。第二層が閉鎖した林冠層をなし、ここも概して十分な太陽光線のもとにある。第一層と第二層をあわせて高木第一層(A_p層)とよぶことにしよう。第三層はその個体の上に他の個体の樹冠が一層だけあるもので、高木第二層(A_s層)とする。第四層を中木層(F₁層)とし、D>4.5cmの下生えを低木層(F₂層)とする。

この判定法は前にのべた葉層図による判定とかならずしも一致しないが、現地で樹冠の位置を確認すれば樹冠の階層をすることができる。

3. 樹種構成

樹種をしらべるのは、われわれにとっての難問である。森林を熟知している調査地附近の労務者に林内で立木の樹種を判定させ、またのちに伐倒したときその個体からとった標本をみせ、タイ名を記録した。おなじ個体を数日後にみせ、ふたたび樹種を判定させ、おなじ個体がおなじ種名であったときのみその種名を記録するなどして、できるだけ正確を期した。ただ十分熟知しない外国語での調査はことばがネックになっておもうようにはかどらないことがしばしばあった。たとえば標準タイ語で *thian kha moi* といわれるものを *ta'n kha moi* と聞きとり、まったくちがったものをひきあてたりする。あらわれた全種類の標本は採取してあるがその同定はきわめて困難である。採取したタイ名は Phya Winit Wanandorn の *Thai Plant Names*²²⁾

により学名をしらべた。また標本の同定は Royal Forest Department の Tem Smittinand 氏によるところが大きい。

表 5 に調査結果をとりま
とめておこう。

P-1の樹種構成をみると
DDF に特長的な種である
Pentacme siamensis と
Shorea obtusa が本数比で
70%強、材積比で80%弱に
達している。*S. obtusa* と
同属で生育型の似た *S. ta-*
lura をふくめると本数比
で80%強、材積比では90
%弱にもなる。*Irvingia*
malayana はすぐとなり
の DEF からたまたまど
こんできたものであろう。
その他の出現種はほとんど
が DDF もしくは Mixed
Deciduous Forest に特有
の種とされている。^{11, 25)}
DEFと共通種がほとんどな
いにはおどろかされる。
P-2はP-1にくらべて少
数の種が集中的にあらわれ
るという傾向はみられない。
本数比がたかくても、材積
比の低いものや、その逆で
あったりする。本数比また
は材積比の大きい *Hopea*
ferrea, *Memecylon gedde-*
sianum, *Grewia microcos*

表 5 樹 種 組 成

P-1 (DDF)		本 数	%	材 積 (m ³)	%
Spp.					
<i>Pentacme siamensis</i> Smit.		27	47.37	1.3175	36.85
<i>Shorea obtusa</i> Wall.		15	26.32	1.4997	41.94
<i>Shorea talura</i> Roxb.		5	8.77	0.3489	9.76
<i>Careya arborea</i>		1	1.75	0.0440	1.23
<i>Symplocos laurina</i>		3	5.26	0.3087	8.63
<i>Irvingia malayana</i> Oliv.		1	1.75	0.0440	1.23
<i>Lagerstroemia</i> sp.		2	3.51	0.0041	0.12
<i>Ixora finlaysoniana</i> Wall.		1	1.75	0.0041	0.12
<i>Pterocarpus macrocarpus</i>		1	1.75	0.0041	0.12
<i>Dillenia</i> sp.		1	1.75	0.0006	0.0
10spp.		57	100	3.5757	100
P-2 (DEF)					
<i>Hopea ferrea</i> Pierre		2	1.57	2.9700	27.57
<i>Memecylon geddesianum</i> Craib.		32	25.19	1.8063	16.77
<i>Grewia microcos</i>		4	3.15	2.4820	23.04
<i>Hydnocarpus ilicifolius</i> King.		11	8.66	0.9365	8.69
<i>Linociera microstigma</i> Gagnep.		19	14.96	0.6701	6.22
<i>Walsura trichostemon</i> Miq.		13	10.24	0.3836	3.56
<i>Melodorum fruticosum</i> Lour.		2	1.57	0.3961	3.68
<i>Aglaiia pyriformis</i>		6	4.72	0.1149	1.07
<i>Aglaiia</i> sp.		4	3.15	0.2801	2.60
<i>Saprosma</i> sp. or <i>Glycosmis</i> sp.		4	3.15	0.2774	2.58
<i>Sterculia guttata</i>		1	0.79	0.0780	0.72
<i>Antiaris toxicaria</i>		1	0.79	0.0162	0.15
<i>Uvaria</i> sp.		1	0.79	0.0109	0.10
<i>Pterospermum</i> sp.		1	0.79	0.0360	0.33
<i>Chaetocarpus castanicarpus</i>		2	1.57	0.0521	0.48
<i>Streblus taxoides</i>		5	3.94	0.0440	0.41
<i>Strychnos pulmosa</i>		5	3.94	0.0431	0.40
<i>Acacia pennata</i>		5	3.94	0.0562	0.52
<i>Morinda tinctoria</i>		5	3.94	0.0803	0.75
? <i>Combretaceae</i>		2	1.57	0.0201	0.19
? <i>Myrsinaceae</i>		1	0.79	0.0100	0.09
?		1	0.79	0.0086	0.08
22spp.		127	100	10.7725	100

などの占める割合は本数比では30%弱であるが、材積比では70%弱に達する。本数比の小さい *H. ferrea* が材積比ではもっともたかいのは注目に価する。上にあげた3種は常緑林に特有の種である。その他の種についてみると、たとえば *Sterculia guttata* *Pterospermum sp.* *Strychnos pulmosa*, *Morinda tinctoria* などは Mixed Deciduous Forest や DDF に特長的に出現するものとされている。^{11,25)} この常緑林はやはりそうとう乾燥性のタイプであることが想像できる。

4. 現在量および生長量

4-1) 現在量・生長量推定の基礎

林分現在量、生長量の推定は森林生産力研究の基礎である。^{20,21)} 林分現在量 (y) はある土地面積のうえにたつ、任意の時点(t)の生物量であるからすべての個体量 (w_i) をくわえあわせたものである。すなわち

$$y \equiv \sum w_i \quad (6)$$

である。ある面積のうえにある全個体を測定し、くわえあわせる方法は、1)全刈法とよばれている。個体量(w_i)の大きさを推定するために相対生長関係を利用する方法を、2)相対生長法とよぶ。このほかに林分現在量の推定法としては、平均個体量 (\bar{w})と立木密度をしり

$$y = \bar{w}\rho \quad (7)$$

としてもとめる 3)標準木法や、各個体の大きさをクラスわけして、各クラスごとの平均個体量(\bar{w}_m)とその頻度(f_m)をしり、

$$y = \sum (\bar{w}_m \cdot f_m) \quad (8)$$

としてもとめる 4)階級法などがある。

ふるく1920年代に J. S. Huxley や G. Teissier がたがいに独立に生物の非比例的生長関係をあらわすのに相対生長式

$$z = Ax^h \quad (9)$$

がひろく適用されることをみいだした。生長が時間にのみかんしておこるものとすれば(9)式の両辺を時間(t)で微分することができ、

$$\frac{1}{z} \frac{dz}{dt} = h \frac{1}{x} \frac{dx}{dt} \quad (10)$$

をえる。これは生長率の比が一定(このばあいは h)であることをあらわしている。(10)式は(9)式の解釈としてうけいれられており、逆に(9)式は(10)式を仮定してみちびくこともできる。(9)式をつぎにのべる拡張相対生長式に対して単純相対生長式とよぶ。

生長率の比が一定でないばあい、小川ら¹⁷⁾は(z)と(x)の生長が 1) x, z が十分小さいときは、

両者の生長率の比は一定、2) z は上限値 \hat{Z} をこえない、3) z の生長率は、生長がすすむにつれて小さくなり $z = \hat{Z}$ で 0 となる、を仮定してえた

$$\frac{1}{z} \frac{dz}{dt} = h \frac{1}{x} \frac{dx}{dt} \left(1 - \frac{z}{\hat{Z}}\right) \quad (11)$$

を積分し

$$\frac{1}{z} = \frac{1}{C\hat{Z}} \left(\frac{1}{x^h}\right) + \frac{1}{\hat{Z}} \quad (12)$$

をえた。ただし \hat{Z} は z の上限値、 C は積分定数。 $x=1$ で $z=\bar{z}$ とすれば(12)式は

$$\frac{1}{z} = \left(\frac{1}{\bar{z}} - \frac{1}{\hat{Z}}\right) \frac{1}{x^h} + \frac{1}{\hat{Z}} \quad (12')$$

とかくこともできる。これを拡張相対生長式とよぶ。(12)式は両対数軸で $z = C\hat{Z}x^h$, $z = \hat{Z}$ を漸近線とする曲線群をあらわす(図6参照)。

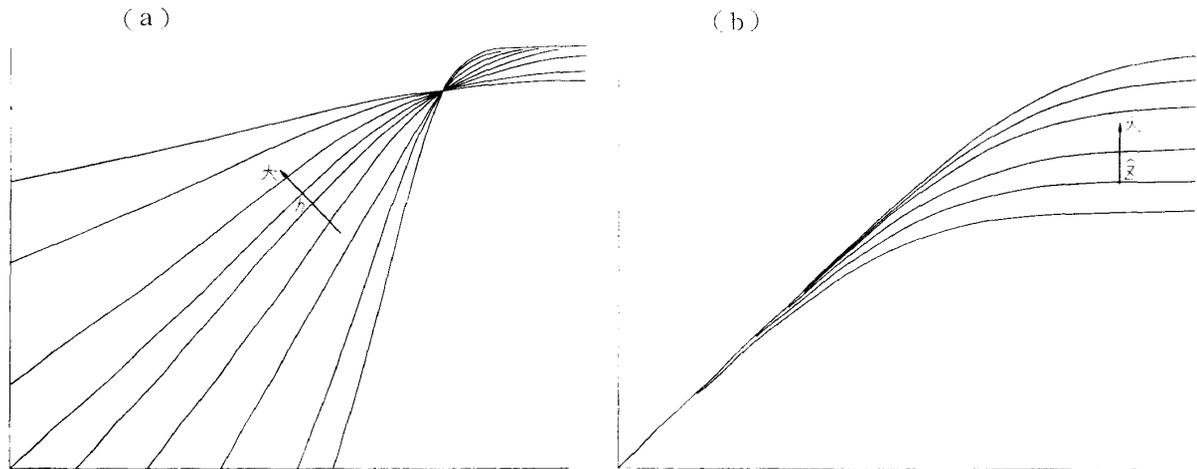


図6 $\frac{1}{z} = \frac{1}{C\hat{Z}} \left(\frac{1}{x^h}\right) + \frac{1}{\hat{Z}}$ の両対数軸にあらわす曲線群

- (a) $h \rightarrow$ 大のばあい \rightarrow の方向に曲線が変化する
 - (b) $\hat{Z} \rightarrow$ 大のばあい \rightarrow の方向に曲線が変化する
- $h=1$ のばあいをあげた。

z のみでなく x もある上限値 \hat{X} をこえないばあいにもほとんどおなじように、1) z, x が十分小さいときには両者の生長率の比は一定、2) z は上限値 \hat{Z} をこえない、3) x は上限値 \hat{X} をこえない、4) z の生長率は $z = \hat{Z}$ で 0, $x = \hat{X}$ で無限大になる、を仮定すれば

$$\frac{1}{z} \frac{dz}{dt} = h \frac{1}{x} \frac{dx}{dt} \frac{\left(1 - \frac{z}{\hat{Z}}\right)}{\left(1 - \frac{x}{\hat{X}}\right)} \quad (13)$$

をえる。積分すれば

$$\frac{1}{z} = \frac{1}{C\hat{Z}} \left(\frac{\hat{X}-x}{x}\right)^h + \frac{1}{\hat{Z}} \quad (14)$$

となる。ただしCは積分定数、 \hat{Z} , \hat{X} はそれぞれ上限値である。

(14)式においてxにくらべて \hat{X} が十分大きいとすれば(12)式がえられ、さらにzにくらべて \hat{Z} も十分大きいとすれば(9)式をえることができる。このことは(14)式がその特別のばあいとして、(12), (9)両式をふくんでおり、拡張式として妥当であることをしめしている。

(14)式は両対数軸で(12)式とよく似た曲線をあらわすが、 $x \rightarrow \hat{X}$ で $z \rightarrow \hat{Z}$ であるから $x \rightarrow$ 大なる範囲で急にたちあがる。この傾向は $h \rightarrow$ 小なるほど、おなじ \hat{X} に対しては $\hat{Z} \rightarrow$ 大なるほど、おなじ \hat{Z} に対しては $\hat{X} \rightarrow$ 小なるほどはっきりしてくる。(図7参照)

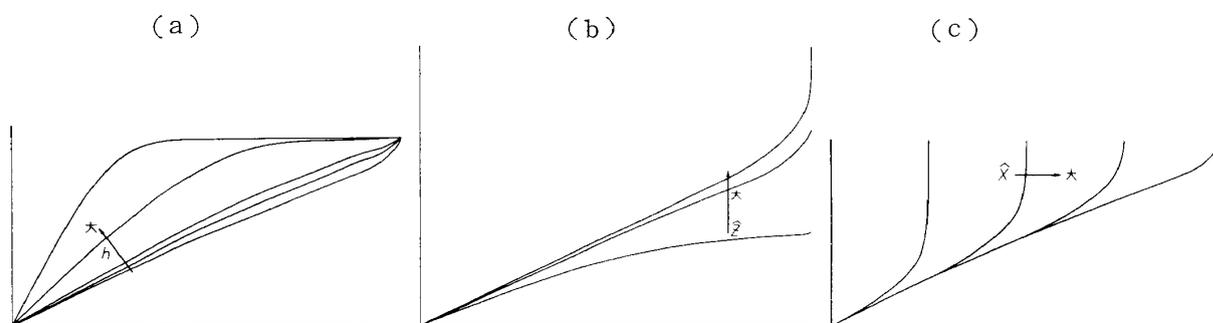


図7 $\frac{1}{z} = \frac{1}{C\hat{Z}} \left(\frac{\hat{X}-x}{x} \right)^h + \frac{1}{\hat{Z}}$ の両対数軸にあらわす曲線群

- (a) \hat{Z} , \hat{X} が一定, $h \rightarrow$ 大のばあい, \rightarrow の方向に変化する
- (b) \hat{X} , h が一定, $\hat{Z} \rightarrow$ 大のばあい, \rightarrow の方向に変化する
- (c) \hat{Z} , h が一定, $\hat{X} \rightarrow$ 大のばあい, \rightarrow の方向に変化する

(14)式の各定数を決定する一般的な方法はまだみいだされていない。(12)式は小川らの R-G rule を利用すれば曲線のたちあがり部分の勾配で h をしり、B点の位置から \hat{Z} , C を決定することができる。¹⁹⁾

現実林分からえられるデータは、それ自身きわめてバラツキのおおいものであるから(12), (14)両式の優劣をきめることはむづかしい。実用的な面からいえば(12)式で十分な推定精度をもつとってよい。

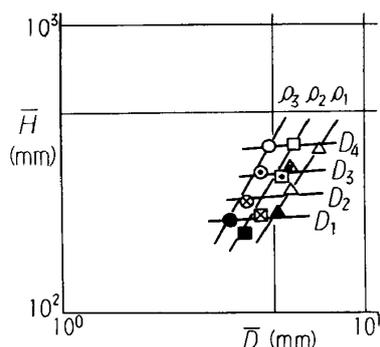


図8 要因方向の相対生長関係の例
スギ苗を利用した生育実験の結果をしめしてある。土壌の深さ D_i ごとに、植栽密度 ρ_j ごとに別の相対生長関係がはっきりでている。(青山³⁾による。)

さらに現実林分でえられるデータの処理について注意しなければならないことがある。それは吉良²⁾が注意しているように植物体の生長量は時間のみによって決定されるものではなく、いろいろな生長要因のあたえられかたによっても左右されることである。吉良はショウゴインカブ、ダイズ、アカマルハツカダイコンなどの例をあげている。スギ苗を利用して生長と密度、施肥量、土壌の深さなどとの関係をしらべた実験結果でもあきらかに時間方向の相対生長関係と要因方向の相対生長関係はことなることをしめしている(図8参照)。^{2,3,4,5,14,26)} 林分収穫表²⁴⁾の主林木の平均

樹高と平均胸高直径をとっても、時間方向に対する相対生長関係と地位に対するものとがことなっていることをしめす(図9参照)。一般に林業的な管理下にある林分では、いかによく管理された人工一斉林であっても林分のあらゆる部分に対して斉一な条件をあたえることはできない。人工植栽を一斉におこなうことのない天然林や択伐林などでは、時間も不斉一にあたえることになる。現実林分のデータのバラツキの原因のひとつはこのあたりにももとめられよう。要因方向の相対生長関係は時間方向のそれとは一致しないばあいがおおいことをみたが、

にもかかわらず図9の収穫表の例をみても D に対する H の範囲は実はあまり大きくない。林分内のすべての個体を対象としてひとつの相対生長関係をもとめようとすることはできないが、ある林分の全体を対象として現存量をもとめるばあいには、ある回帰式からのバラツキは推定誤差の問題になる。

相対生長関係をあらわす(9)(12)(14)式が単に曲線のアテハメだけではなく、理論的な根拠をもつものであることをのべてきた。これらの式の微分形の

$$\frac{1}{z} \frac{dz}{dt} = h \frac{1}{x} \frac{dx}{dt} \quad (10)$$

$$\frac{1}{z} \frac{dz}{dt} = h \frac{1}{x} \frac{dx}{dt} \left(1 - \frac{z}{Z}\right) \quad (11)$$

$$\frac{1}{z} \frac{dz}{dt} = h \frac{1}{x} \frac{dx}{dt} \left(\frac{1 - \frac{z}{Z}}{1 - \frac{x}{X}} \right) \quad (13)$$

の各式において $dz = \Delta z$ $dx = \Delta x$ とみなせるばあい、すなわち

$$\begin{aligned} \Delta z &= f(x + \Delta x) - f(x) \\ &= f'(x) \Delta x + \varepsilon \Delta x \quad \text{または} \\ &= \int_x^{x+\Delta x} f'(x) dx \end{aligned}$$

だから x にくらべて Δx が十分小さいばあいには(10)(11)(13)の各式は

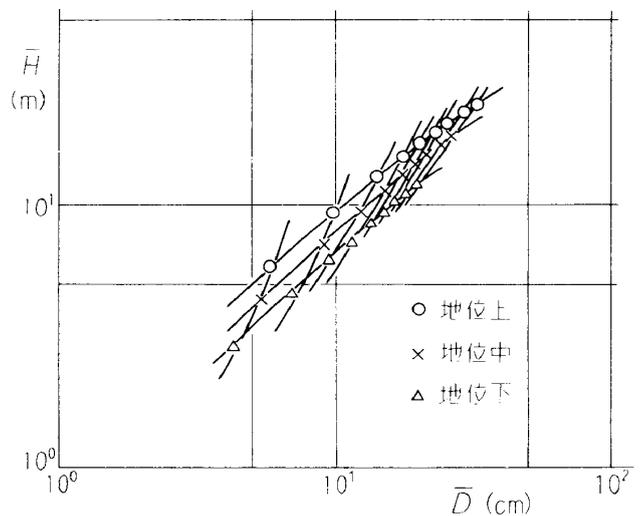


図9 時間方向と要因方向の相対生長関係
各時点ごとに地位の差による相対生長関係と地位ごとに時間の差による相対生長関係はことなる。(林分収穫表²⁴⁾による。)

$$\frac{1}{z} \frac{dz}{dt} = h \frac{1}{x} \frac{dx}{dt} \quad (10')$$

$$\frac{1}{z} \frac{dz}{dt} = h \frac{1}{x} \frac{dx}{dt} \left(1 - \frac{z}{Z}\right) \quad (11')$$

$$\frac{1}{z} \frac{dz}{dt} = h \frac{1}{x} \frac{dx}{dt} \frac{\left(1 - \frac{z}{Z}\right)}{\left(1 - \frac{x}{X}\right)} \quad (13')$$

となり生長量 $\frac{dx}{dt} = \frac{x_2 - x_1}{\Delta t}$ を測定すれば、生長量 $\frac{dz}{dt}$ をもとめることができる。ただし相対生長関係の決定は生長量の測定によらずに、ある時点での個体の測定によっているから、微分形が時間で微分したものと一致するという保証はなく、植物体のある量 x の微小変化に対応する z の変化量をあらわすにすぎない。これらが近似的に一致するとしてさしつかえないのは、時間がきわめて短かく、 x にくらべて Δx が十分小さいばあいのみであろう。

林分現在量は

$$y = \sum w_i \quad (6)$$

または

$$y = \bar{w} \rho \quad (7)$$

である。林分現在量の生長速度は上式において、 $y=y(t)$, $w=w(t)$, $\rho=\rho(t)$ とし、それぞれが連続でしかも時間で微分可能であるとすれば

$$\frac{dy}{dt} = \rho \frac{d\bar{w}}{dt} + \bar{w} \frac{d\rho}{dt} \quad (15)$$

であり、林分現在量の生長率は

$$\frac{1}{y} \frac{dy}{dt} = \frac{1}{\bar{w}} \frac{d\bar{w}}{dt} + \frac{1}{\rho} \frac{d\rho}{dt} \quad (16)$$

であたえられる。微小時間 Δt をとり、 $y \gg \Delta y$, $w \gg \Delta w$, $\rho \gg \Delta \rho$ ならば

$$\Delta y = \int_t^{t+\Delta t} dy$$

$$\Delta w = \int_t^{t+\Delta t} d\bar{w}$$

$$\Delta \rho = \int_t^{t+\Delta t} d\rho$$

であるから(15), (16)式はそれぞれ

$$\frac{\Delta y}{\Delta t} = \rho \frac{\Delta \bar{w}}{\Delta t} + \bar{w} \frac{\Delta \rho}{\Delta t} \quad (15')$$

$$\frac{1}{y} \frac{\Delta y}{\Delta t} = \frac{1}{\bar{w}} \frac{\Delta \bar{w}}{\Delta t} + \frac{1}{\rho} \frac{\Delta \rho}{\Delta t} \quad (16')$$

とみなすことができる。単位時間を考えればさらに

$$\Delta y = \rho \Delta \bar{w} + \bar{w} \Delta \rho \quad (15'')$$

$$\frac{\Delta y}{y} = \frac{\Delta \bar{w}}{\bar{w}} + \frac{\Delta \rho}{\rho} \quad (16'')$$

で、単位時間あたりの林分生長量および林分生長率があたえられる。

林分生長量 Δy は t_2 および t_1 の林分現存量の差であるから

$$\Delta y = y_2 - y_1 = \sum w_2 - \sum w_1$$

ただし t_2 における立木密度 ρ_2 は

$$\rho_2 = \rho_1 + \Delta \rho$$

として

$$\Delta y = \sum_{j=1}^{n_2} \Delta w_j + \sum_{j=1}^{j_0} w_j \quad (15''')$$

と(15'')式とまったくおなじものをみちびくこともできる。すなわち林分生長量は期間のおわりに生きていた個体のもつ生長量 Δw_j の和だけではなく、期間中に枯死したものの量 w_j をさしひかねばならないことをしめしている。²⁰⁾ このように林分生長量の算定には立木密度の変化に十分な注意をはらわなければならない。

4-2) 現在量推定に利用した相対生長関係

胸高直径と樹高の相対生長関係が拡張相対生長式であらわされ、その精度はかなりいいものであることはすでにのべた。D-H 関係式(4)、(5)によりHをもとめ各個体の D^2H を計算した。

幹量にかんする相対生長関係：

幹材積が D^2H に密接な関係があることは容易に想像できる。幹形が円柱ならば幹材積は $\frac{\pi}{4} D^2H$ に、円錐ならば $\frac{\pi}{12} D^2H$ に比例する。林木の幹形は円柱と円錐台として円錐をかさねたようなかっこうをしており、各部分の構成比は林木が大きくなると変化するようである。幹材積 V_s を D^2H に対して両対数軸にプロットすると勾配が1よりやや小さいばあいがおおい。

P-1において

$$\log V_s = 0.91 \log(D^2H) - 0.386 \quad (17)$$

または

$$V_s = 0.411 (D^2H)^{0.91} \quad (17')$$

を、P-2において

$$\log V_s = 0.975 \log(D^2H) - 0.387 \quad (18)$$

または

$$V_s = 0.410 (D^2H)^{0.975} \quad (18')$$

をえた(図10)。

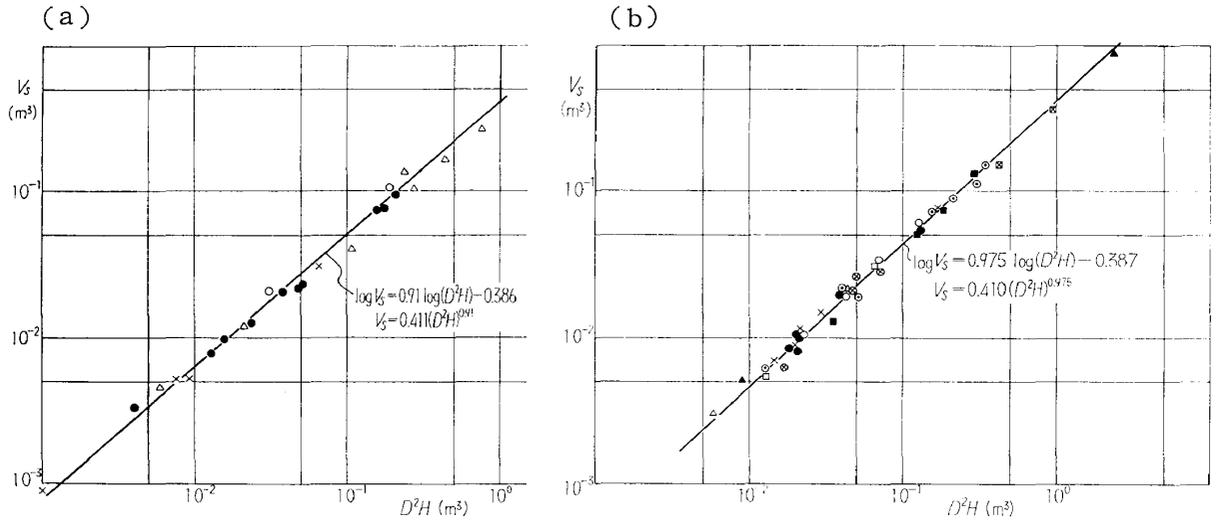


図10 幹材積 (V_s) と D^2H の相対生長関係 (記号凡例は図4におなじ)

皮つき材積に対するみかけの比重が一定ならば幹乾重量 w_s は V_s に対してやはり両対数軸で勾配1の直線になるはずである。P-1において

$$\log w_s = \log V_s + 2.716 \quad (19)$$

または

$$w_s = 520V_s \quad (19')$$

を、P-2において

$$\log w_s = 0.877 \log V_s + 2.194 \quad (20)$$

または

$$w_s = 392V_s^{0.877} \quad (20')$$

をえた(図11)。P-2において勾配が0.877であることは、みかけの比重が一定とみなせないこ

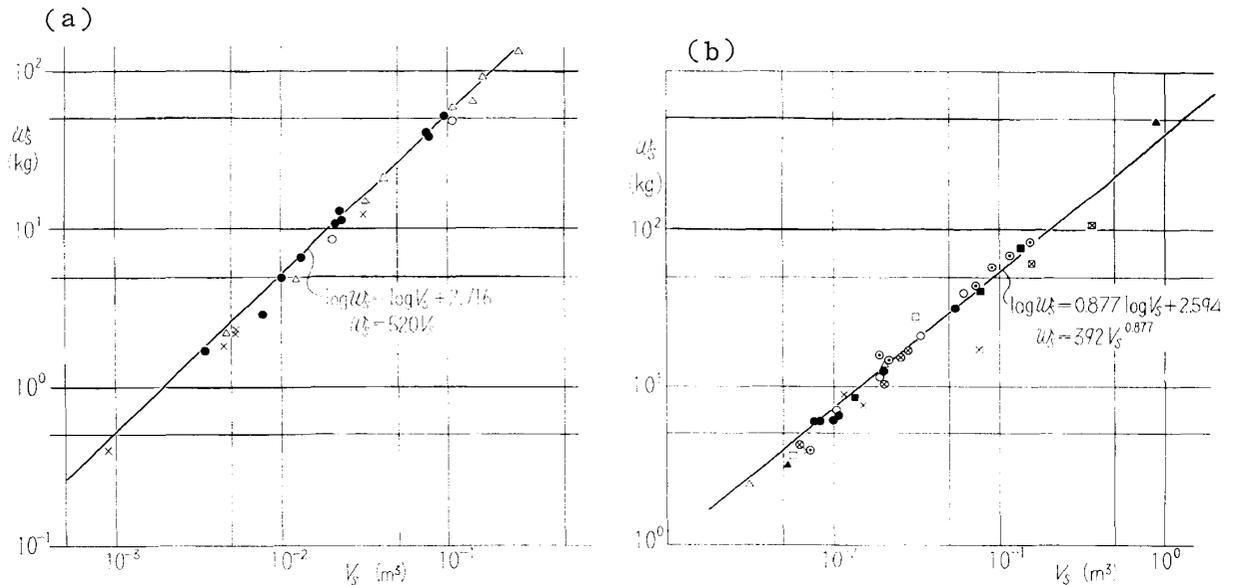


図11 幹乾重 (w_s) と幹材積 (V_s) の相対生長関係 (記号凡例は図4におなじ)

とをしめす。P-2の個体はP-1のものよりかなり大きいものをふくんでいる。大きい個体をふくむばあい、 D^2H (m^3 単位) が 1.0 をこえるあたりから勾配が 1 よりやや小さくなるばあいがしばしばあらわれる^{20,31,32,33})。相対生長関係は D^2H , w_s , V_s のどの二つのうちにもおなじようになりたつはずであるから(17)(19)および(18)(20)各式からそれぞれ V_s を消去し w_s - D^2H 式をもとめ、 w_s - D^2H 図で正しさを検証することができる。P-1において、

$$\log w_s = 0.902 \log(D^2H) + 2.2764 \quad (21)$$

または

$$w_s = 189(D^2H)^{0.902} \quad (21')$$

を、P-2において

$$\log w_s = 0.855 \log(D^2H) + 2.254 \quad (22)$$

または

$$w_s = 179(D^2H)^{0.855} \quad (22')$$

をえ、 w_s - D^2H 図上で正しいことをたしかめた(図12)。三つの相対生長関係式はそれぞれ相互にその成立をたしかめあってあるから、これらの式はいずれも他の式と数学的にはおなじ価値のものである。

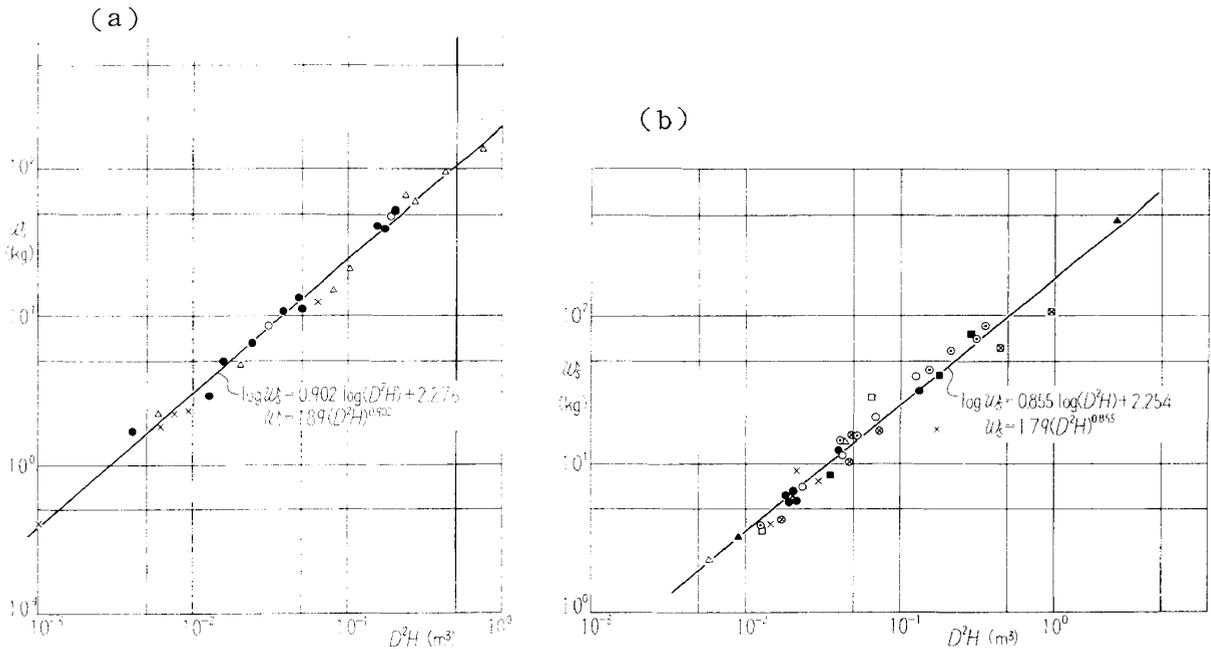


図12 幹乾重 (w_s) と D^2H の相対生長関係 (記号凡例は図4におなじ)

枝量にかんする相対生長関係：

幹量の相対生長関係はいずれもわりとバラツキの巾が小さいものであった。これに対し枝量と次にのべる葉量はともにきわめてバラツキの大きいもので、相対生長関係の決定がむつかしいものである。

林冠が閉鎖した状態におかれているばあい、下枝の枯れあがり現象がみられるから幹にくら

べて枝は相対的に寿命がみじかく，両者の関係は両対数軸で上限値をもつ拡張相対生長式であろうことが予想される。P-2において $w_s \rightarrow$ 大なるところのデータがとぼしいが，いちおう

$$\frac{1}{w_B} = \frac{9.45}{w_s^{1.3}} + 0.00512 \quad (23)$$

をもとめた。P-1では上限値の存在をおもわせるような傾向がみられないので

$$\log w_B = 1.204 \log w_s - 0.904 \quad (24)$$

または

$$w_B = 0.125 w_s^{1.204} \quad (24')$$

をもとめた(図13参照)。 w_B の D^2H に対するものも計算でえたものが， w_B-D^2H 図にあてはめて，その正しさをたしかめてある。

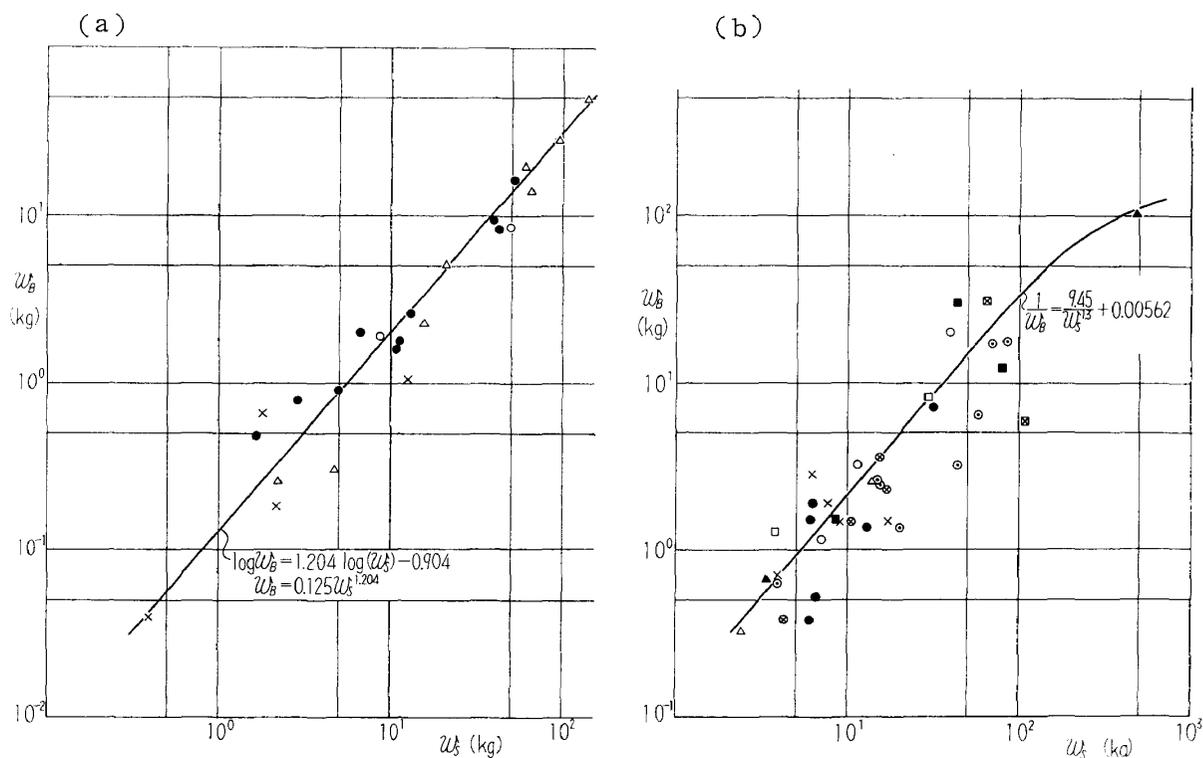


図13 枝乾重 (w_B) と幹乾重 (w_s) の相対生長関係 (記号図例は図4とおなじ)

葉量にかんする相対生長関係：

幹重に対する葉重は図14にみられるように拡張相対生長式が適用できる。P-1にくらべてP-2はよりバラツキが大きい。DEF にはツル性植物がおおく，Ap 層のほとんどの個体が樹冠の一部もしくは大部分をおおわれている。ツルは林冠に達するとその上で繁茂し，ひとつの個体から他の個体へと葉をひろげている。どの個体にどのツルがからんでいるかをみわけるのは厳密には不可能であるが，伐倒木についているもののみについてツルのもつ葉量を，その個体の葉量にくわえプロットした。ツルのもつ葉量分だけは，個体の葉量が減少していると考えたからである。P-1において

$$\frac{1}{w_L} = \frac{11.4}{w_S^{0.9}} + 0.172 \quad (25)$$

P-2において

$$\frac{1}{w_L} = \frac{17.1}{w_S^{1.2}} + 0.0417 \quad (26)$$

をえた。このばあいも D^2H に対するものを計算でもとめ図上でたしかめてある。

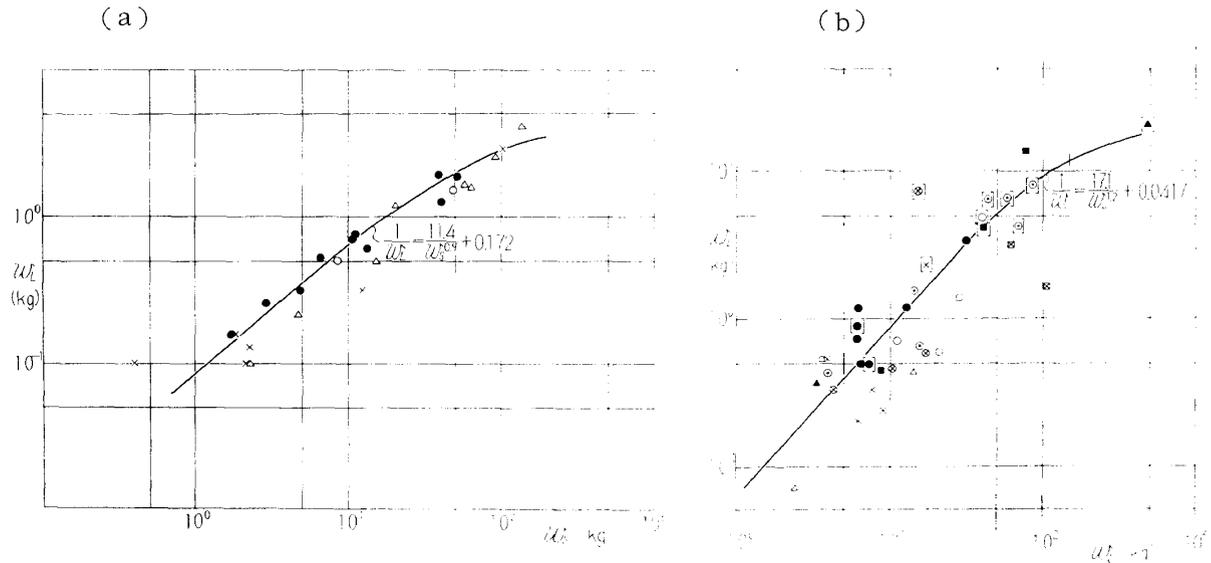


図14 葉乾重 (w_L) と幹乾重 (w_S) の相対生長関係 (記号図例は図4とおなじ)

葉量については葉重のみでなく葉面積の推定も重要である。樹種ごとにとったサンプルを白紙にトレースし、点取り法で面積をかぞえた。サンプルの葉重量と葉面積の比 (Specific Leaf Area) を樹種ごとにもとめ、これを各個体の葉重量にかけあわせて葉面積を算出した(表6)。

4-3) 現在量の算定

上にのべた相対生長式は相互に正しさをたしかめあってある。1mm ごとの D に対する D^2H , V_S , w_S , w_B , w_L を計算した表を利用して現在量, ha あたりの V_S , y_S , y_B , y_L をもとめた。表7に結果をまとめておこう。P-1, P-2では $5 \times 5m$ の小区画5コで $D < 4.5$ の下生えについて全刈り測定をおこなった結果をそえてある。下生えは林床の草本までふくみ、非同化部は幹・枝にわけてない。また葉面積指数は下生えのものをふくまない。地上部現在量が P-1 と PP-1 ではほとんど2倍のひらきがある。DDF のように林冠が閉鎖していないものでは、個体の分布が集中的であるためであろうか。これに対し DEF の P-2, PP-2 は地上部現存量が 140ton/ha と 186 ton/ha で1.3倍強である。幹・枝量が P-1, PP-1, および P-2, PP-2 のあいだでそれぞれきわめて差が大きいのに対し、葉量がたがいに似た値をとるのはおもしろい。

4-4) 生長量

1962年11月に設置した永久調査区を1963年11月に第2回めの測定をおこなった。DDF(PP-1)

表 6 単位葉重(生重)あたりの葉面積

P-1 (DDF)			P-2 (DEF)		
S.No.	Spp.	葉面積比 m ² /kg			
49	<i>Iringia malayana</i>	4.67	109	<i>Uvaria sp.</i>	6.04
4	<i>Shorea obtusa</i>	4.92	32	<i>Memecylon geddesianum</i>	2.74
13	<i>Shorea talura</i>	4.22	39	"	2.67
	<i>Pentacme siamensis</i>	4.52		<i>Memecylon geddesianum</i>	2.71
20	<i>Dillenia sp.</i>	2.83	20	<i>Aglaia sp.</i>	5.49
15	<i>Pterocarpus macrocarpus</i> (小葉率)	5.41 (0.83)	121	<i>Linociera microstigma</i>	3.95
11	<i>Lagerstroemia sp.</i>	4.20	21	<i>Walsura trichostemon</i>	5.61
3	<i>Ixora finlaysoniana</i>	2.90	30	<i>Aglaia pyriformis</i>	4.99
	平均	4.09	81	<i>Hopea ferrea</i>	3.21
			96	<i>Antiaris toxicaria</i>	4.22
			95	<i>Grewia microcos</i>	5.86
			88	<i>Chaetocarpus castanicarpus</i>	3.53
			103	<i>Hydnocarpus ilicifolius</i>	4.04
			37	<i>Sterculia guttata</i>	4.90
	平均	4.09		平均	4.40

では1962年11月5日に第1回の測定を、1963年11月30日に第2回の測定をおこなった。DEF (PP-2)では1962年11月30日に第1回測定を、1963年11月28日に第2回測定をおこなった。DDFのプロットでは期間が1年よりわずかにながく、DEFでは1年に2日たらない。がこの程度

表 7 現 存 量 (1962年11月)

	幹 y _s (ton/ha)	枝 y _B (ton/ha)	幹+枝 y _{tc} (ton/ha)	葉 y _L (ton/ha)	地上部 y _t (ton/ha)	葉面積 指 数 F (ha/ha)	平均樹高 H (m)	平均胸高 直 径 D (cm)	幹 材 積 V _s (m ³ /ha)
DDF									
P-1	34.0	9.2	43.2	1.8	45.0	0.61	8.2	10.1	71.5
上 木	33.3	9.2	42.5	1.3	43.8	0.61			
下生え	0.7	—	0.7	0.5	1.2	—			
PP-1	65.9	22.0	87.9	1.8	89.7	0.82	8.4	11.2	142.6
DEF									
P-2	104.7	27.2	131.9	8.2	140.1	8.85	9.6	9.8	215.5
Ap	67.1	18.1	85.2	4.1	89.3	5.41	17.8	13.8	160.2
As	28.8	7.7	36.5	2.8	39.3	3.06	7.9	9.1	50.4
F ₁	0.3	0.1	0.4	0.03	0.4	0.04	5.0	6.8	0.5
F ₂	5.5	0.7	6.2	1.0	7.2	—	—	—	—
Cl	3.0	0.6	3.6	0.3	3.9	0.34	—	—	4.4
PP-2	150.0	29.1	179.1	7.1	186.2	8.59	9.9	10.5	388.2
Ap	93.9	12.8	106.7	2.1	108.8	2.71	19.5	46.7	280.5
As	41.0	12.9	53.9	3.6	57.5	4.29	11.9	12.6	83.8
F ₁	13.4	3.1	16.5	1.2	17.7	1.39	8.1	6.5	21.3
F ₂	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Cl	1.7	0.3	2.0	0.2	2.2	0.20	—	—	2.6

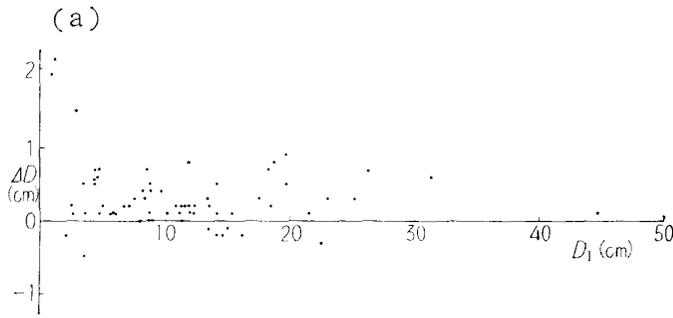
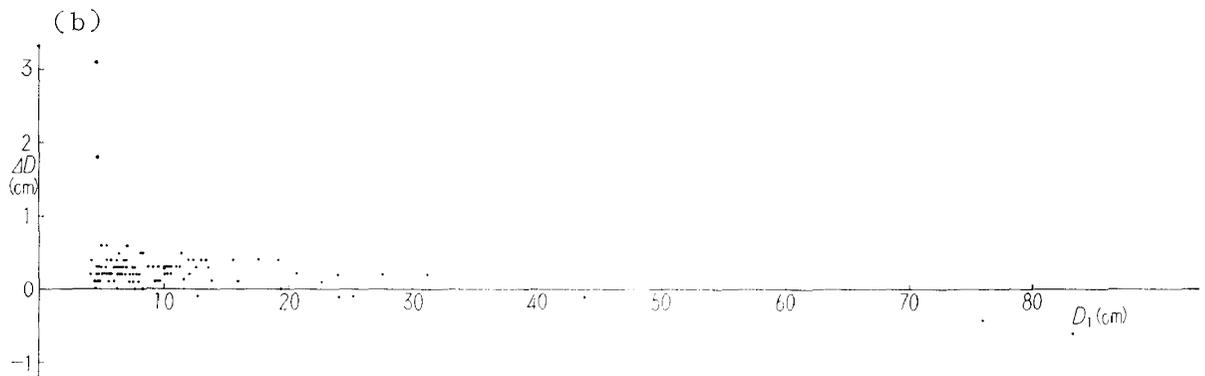


図15 D_1 - ΔD 関係図



の期間のちがいは胸高直径ののび ΔD の測定にはほとんど影響はないものとし、第1回と第2回の測定の読みの差を1年間ののびとする。DDF では $10 \times 50 \text{ m}^2$ の $H \geq 1.3 \text{ m}$ の全立木を、DEF では $D \geq 4.5 \text{ cm}$ のものを対象として測定した(表8)。

総立木数は PP-1 で68本が67本に減少したが、PP-2では115本のまま変化がなかった。

二つのプロットで1年間に直径巻尺による測定が可能な程度の直径ののびをみとめることができた。 D_1 (1962年測定のもの) に対する ΔD を図15にみることができる。 ΔD は PP-1 で最大+2.6cm から最小-0.5cm, PP-2 では最大 +3.1cm, 最小-0.6cm であった。PP-1 で全測定個体数の60%弱が、PP-2 では80%が0.1~0.5cm ののびをしめした。 ΔD の大きいものはいずれのプロットでも D_1 の小さいものにあられる。おそらく小さい個体の周囲長を測定し mm 単位の直径として読みとったためであろう。このようなものをのぞいても D_1 と ΔD にはあまり明瞭な関係はなく $D_1 \rightarrow$ 大で ΔD のバラツキの巾がひろがることがみとめられるのみである。 D^2 と ΔD^2 の関係もおなじ傾向がさらに強められてあられるのみである。

$\Delta D \leq 0$ になるものが PP-1 で13本, PP-2 で12本みとめられた。ことに PP-2 では $D_1 \rightarrow$ 大で $\Delta D \rightarrow$ 負の傾向がないとはいえない。測定のたびに巻尺をあてるところは同一場所であるが、樹皮がはげおちるなどという偶発的な原因による誤差であるとも考えられるが、 $D \rightarrow$ 大, $H \rightarrow$ 大になると葉量が上限値に近ずき同化物質量にも頭うちの傾向があるとすれば樹幹の下部への物質の蓄積が少なくなる。にもかかわらず呼吸などによる消費はむしろ増大する傾向があるはずだから胸高附近の直径ののびは減少することも考えられる。貝木ら^{27,28)}も幹生長の垂直分布を

表 8 永久調査区の測定結果

PP-1 (DDF)

S. No.	Spp.	1962. 11. 3 D (cm)	1963. 11. 30 D (cm)	ΔD (cm)
I	1 <i>Pentacme siamensis</i> Smit.	9.1	9.2	0.1
	2 <i>Shorea talura</i>	22.5	22.2	-0.3
	3 <i>Pentacme siamensis</i>	8.9	9.3	0.4
	4 "	11.6	11.8	0.2
II	5 <i>Iringia malayana</i>	31.3	31.9	0.6
	6 <i>Pentacme siamensis</i>	7.2	7.4	0.2
	7 "	11.4	11.6	0.2
	8 "	18.7	19.5	0.8
	9 "	15.0	14.9	-0.1
III	10 "	13.6	13.8	0.2
IV	11 <i>Shorea talura</i>	13.5	13.4	-0.1
	12 <i>Pentacme siamensis</i>	14.2	14.0	-0.2
V	13 <i>Shorea obtusa</i>	12.2	12.3	0.1
	14 "	11.9	12.1	0.2
VI	15 "	44.6	44.7	0.1
	16 <i>Shorea talura</i>	21.5	21.6	0.1
VII	17 <i>Pentacme siamensis</i>	25.2	25.5	0.3
	18 <i>Odina wodier</i>	5.8	5.9	0.1
VIII	19 <i>Shorea obtusa</i>	8.4	8.7	0.3
	20 "	7.6	7.9	0.3
	21 <i>Nauclea</i> sp.	8.7	8.8	0.1
	22 <i>Pterocarpus macrocarpus</i>	13.5	13.8	0.3
	23 <i>Shorea obtusa</i>	8.9	9.4	0.5
	24 "	4.4	4.9	0.5
	25 "	8.3	8.7	0.4
	26 "	3.5	4.0	0.5
IX	27 <i>Randia tomentosa</i>	16.2	16.0	-0.2
X	28 <i>Dalbergia cultrata</i>	14.2	14.3	0.1
	29 <i>Xylia kerrii</i>	2.2	2.0	-0.2
	30 <i>Shorea obtusa</i>	1.2	3.4	2.2
	31 "	4.6	5.2	0.6
	32 "	4.8	5.5	0.7
	33 "	2.9	4.4	1.5
	34 "	3.8	—	枯
	XI	35 <i>Pentacmesia siamensis</i>	8.6	9.3
36 <i>Shorea obtusa</i>		4.8	4.9	0.1

しらべ樹幹下部ではのびが小さくなることをみとめている。南タイの熱帯降雨林に設けた永久調査区で3年間隔でおこなった測定結果のD- ΔD 図も、概しておなじ傾向をしめした。仮にD→大で $\Delta D \rightarrow 0$ ないしは負になるのがこの林分で一般的な現象であるとするならば、Dに上限値をもつこととなり、DとHのあいだにみとめられる関係は(14)式の形でなければならぬことの根拠になりうる。 ΔD の測定値が負になっていたとしても、実際に負になっていたかどうかをたしかめることはできない。いずれにしろこの点は疑問として残しておくよりしかたがないであろう。

ΔD が負になることは、厳密には1962年と1963年の両時点においておなじ相対生長関係はなりたないことをしめす傍証となるべきものである。しかしながら、 $D \gg \Delta D$ であるからかりに相対生長関係が変化したとしても、相対生長関係が変化することによるちがいは測定値のバラツキの範囲をこ

えず、したがって計算値に
重大な影響をあたえないと
考えよう。

1962年の調査により決定
した相対生長関係をあらわ
す各式に1963年の測定値を
代入し、前年との差を各個
体の生長量とした。林分生
長量は生きていた個体の生
長量の和から枯死した個体
の量をさしひいておかねば
ならない。²⁰⁾ 計算の結果を
表9にしめす。個体の生長
量に-の符号のついたもの
は、4D が負であったもの
の和である。PP-1 で枯死し
た個体はD=3.8cm で、かな
り小さいものである。PP-2
では枯死したものはないか
ら、個体生長量の和は林分
生長量と一致する。PP-2で
はD→大、すなわち Ap 層
に樹冠をもつかなり大きい
個体が 4D が負として測定
されているため、生長量の
負がかなりな量に達したた
め林分生長量が意外に小さ
いものとなってしまった。

地上部の林分生長率はPP-1
で3.7%強、PP-2で1.8%弱
である。

ここでD.Müllerら¹³⁾によ
るアフリカ Ivory Coast の

(表8のつづき)

	37	"	4.4	5.1	0.7
	38	<i>Pentacme siamensis</i>	12.4	12.6	0.2
XII	39	<i>Antidesma diandrum</i>	2.2	2.0	-0.2
	39	"	2.6	2.8	0.2
	40	<i>Pentacme siamensis</i>	19.7	20.6	0.9
	41	"	14.2	14.7	0.5
	42	<i>Shorea obtusa</i>	6.0	6.1	0.1
XIII	43	"	3.5	3.0	-0.5
	43	"	2.6	2.7	0.1
	44	"	4.4	5.0	0.6
	45	"	9.0	9.0	0.0
	46	"	1.0	3.0	2.0
XIV	47	"	5.1	5.3	0.2
	48	"	11.9	12.7	0.8
	49	"	8.0	8.0	0.0
	50	<i>Pentacme siamensis</i>	3.6	3.7	0.1
XV					
XVI	51	<i>Shorea talura</i>	11.3	11.3	0.0
	52	<i>Pentacme siamensis</i>	26.3	27.0	0.7
XVII	53	<i>Pentacme siamensis</i>	23.0	23.3	0.3
XVIII	54	"	6.8	7.0	0.2
	55	"	18.5	18.7	0.2
XIX	56	"	15.4	15.5	0.1
	57	<i>Dipterocarpus intricatus</i>	9.7	10.1	0.4
	58	<i>Pentacme siamensis</i>	17.6	17.9	0.3
	59	"	14.5	14.3	-0.2
	60	"	10.1	10.2	0.1
	61	"	10.9	11.1	0.2
	62	"	8.7	8.7	0.0
XX	63	"	18.3	19.0	0.7
	64	"	11.9	12.0	0.1
	65	"	5.6	5.7	0.1
	66	"	19.8	20.3	0.5

PP-2 (DEF)

S. No.	Spp.	1962.11.30		1963.11.28	
		D (cm)	D (cm)	D (cm)	4D (cm)
I	1	<i>Memecylon geddesianum</i>	12.7	12.6	-0.1
	1	"	4.5	7.6	3.1
	2	<i>Hydnocarpus ilicifolius</i>	10.3	10.2	-0.1

(表8のつづき)

	3	<i>Memecylon geddesianum</i>	9.1	9.4	0.3
	4	<i>Linociera microstigma</i>	4.9	5.2	0.3
	5	<i>Memecylon geddesianum</i>	13.8	13.9	0.1
	6	<i>Linociera microstigma</i>	5.7	5.9	0.2
II	7	<i>Aglaiia pyriformis</i>	5.9	6.0	0.1
	8	<i>Memecylon geddesianum</i>	12.6	12.9	0.3
	9	<i>Linociera microstigma</i>	4.6	4.9	0.3
	10	<i>Ancistrocladus wallichii</i>	4.8	4.9	0.1
	11	<i>Linociera microstigma</i>	4.8	5.0	0.2
III	12	<i>Cleistanthus sp.</i>	9.5	9.8	0.3
	13	<i>Carallia brachiata</i>	10.3	10.5	0.2
	14	? <i>Chrysophyllum roxburgii</i>	7.0	7.3	0.3
IV	15	<i>Linociera microstigma</i>	4.6	4.8	0.2
	16	? <i>Chrysophyllum roxburgii</i>	7.5	7.6	0.1
	17	? "	5.4	5.7	0.3
	18	<i>Memecylon geddesianum</i>	12.1	12.3	0.2
	19	"	12.1	12.3	0.2
	20	"	15.9	16.0	0.1
	21	"	10.0	10.3	0.3
V	22	<i>Linociera microstigma</i>	7.8	8.0	0.2
	23	<i>Memecylon geddesianum</i>	6.2	6.2	0.0
	24	<i>Linociera microstigma</i>	11.0	11.3	0.3
	25	<i>Acacia pennata</i>	6.7	7.0	0.3
	26	<i>Memecylon geddesianum</i>	9.6	9.7	0.1
	27	<i>Linociera microstigma</i>	7.3	7.4	0.1
	28	? <i>Gymnosporia mekongensis</i>	10.1	10.4	0.3
	29	<i>Memecylon geddesianum</i>	6.1	6.4	0.3
	30	"	11.6	11.8	0.2
VI	31	<i>Grewia microcos</i>	31.2	31.4	0.2
	32	"	25.2	25.1	-0.1
VII	33	<i>Saprosma sp. or Glycosmins sp.</i>	13.0	13.4	0.4
	34	? <i>Chrysophyllum roxburgii</i>	5.2	5.4	0.2
	35	<i>Hydnocarpus ilicifolius</i>	5.6	5.7	0.1
VIII	36	<i>Memecylon geddesianum</i>	6.3	6.5	0.2
IX	37	<i>Linociera microstigma</i>	4.8	5.0	0.2
	38	<i>Pterospermum semisagittatum</i>	5.0	5.6	0.6
X	39	<i>Lagerstroemia balansae</i>	19.4	19.4	0.0
	40	<i>Hydnocarpus ilicifolius</i>	13.5	13.8	0.3
	41	<i>Memecylon geddesianum</i>	5.7	6.1	0.4
	42	? <i>Chrysophyllum roxburgii</i>	13.4	13.8	0.4
	43	<i>Hydnocarpus ilicifolius</i>	6.9	7.1	0.2

熱帯降雨林、筆者らが別の機会におこなったタイの他の林分での資料¹⁷⁾と今回の調査によるものをたがいに比較するために表10にまとめてみた。MüllerらのIvory Coastの y_s およびFが意外にすくないのにおどろかされる。かれらは y_s と y_B をわけていない。 y_{tc} はDEFをかなり上まわっているが、南タイのTRFの値よりかなり小さい。北タイのDDF(表のDipterocarp Savana Forest)とP-1, PP-1の現在量はほぼ一致しているといえよう。P-2, PP-2は幹、枝現在量において北タイのMonsoon Forestよりかなりおとるが、葉量でやや上まわっている。これらの比較によればP-2, PP-2は熱帯常緑林としてはかなり小型であるようだ。

4-5) 純生産量と総生産量
森林の純生産量(ΔP_n)総生産量(ΔP_G)が

$$\Delta P_G = \Delta P_n + \Delta R \quad (1')$$

$$\Delta P_n = \Delta y + \Delta L + \Delta G \quad (2)$$

であることはすでに紹介した。純生産量をもとめるために林分生長量 Δy のほかに落葉落枝量 ΔL 、動物など

の消費による 4G をしらねばならない。4G は現在のところほとんど測定不能であるし、また 4y, 4L などにくらべて食葉性害虫の大発生などという事態がおこらぬかぎり、無視してさしつかえない程度に小さいであろう。

PP-1でみられたように枯死する個体があったばあいには、その個体量をいちおう落葉落枝量 4L としてとりあつかえば純生産量を計算するためには十分である。が森林生態系の物質循環を量的にとらえようとするばあいには、林床に落下してしまったものと、林内に立枯れの状態でのこっているものとはわけて考えておく必要がある。生産量を知るといふ観点からはおなじように枯死したものでありもはや生産にはたずさわらないものであっても、林床に達したものとそうでないものとのあいだには、ひきつづいておこる有機物の分解過程での反応がことなるであろうからである。表 11 の熱帯林の林分生産量および生産量の計算にはこの

(表 8 のつづき)

	44	? <i>Chrysophyllum roxburgii</i>	8.3	8.3	0.0
XI	45	<i>Strychnos pulmosa</i>	5.0	5.3	0.3
	46	? <i>Chrysophyllum roxburgii</i>	11.9	12.3	0.4
	47	<i>Linociera microstigma</i>	4.8	5.1	0.3
	48	<i>Hydnocarpus ilicifolius</i>	24.1	24.0	-0.1
	49	<i>Linociera microstigma</i>	8.3	8.8	0.5
XII	50	<i>Cleistanthus sp.</i>	4.8	5.0	0.2
	51	<i>Walsura trichostemon</i>	7.9	8.0	0.1
	52	? <i>Chrysophyllum roxburgii</i>	7.2	7.3	0.1
	53	<i>Linociera microstigma</i>	6.4	6.9	0.5
	54	<i>Walsura trichostemon</i>	5.7	6.1	0.4
	55	<i>Aglaia pyriformis</i>	7.7	8.0	0.3
	56	? <i>Chrysophyllum roxburgii</i>	4.6	4.9	0.3
	57	<i>Hydnocarpus ilicifolius</i>	10.6	10.8	0.2
XIII	58	? <i>Chrysophyllum roxburgii</i>	6.3	6.6	0.3
	59	? <i>Xerospermum intermedium</i>	19.1	19.5	0.4
	60	"	27.5	27.7	0.2
	61	"	5.4	6.0	0.6
	62	<i>Hopea ferrea</i>	20.6	20.8	0.2
	63	<i>Aglaia pyriformis</i>	12.3	12.7	0.4
	63	"	4.5	6.3	1.8
	64	<i>Hymenopyramis sp.</i>	7.7	7.7	0.0
	65	<i>Hydnocarpus ilicifolius</i>	5.1	5.3	0.2
	66	<i>Melodorum fruticosum</i>	10.3	10.5	0.2
	67	<i>Hydnocarpus ilicifolius</i>	9.3	9.4	0.1
	68	<i>Memecylon geddesianum</i>	5.4	5.8	0.4
	69	<i>Strychnos pulmosa</i>	4.8	5.1	0.3
XIV	70	<i>Pterospermum semisagittatum</i>	8.3	8.8	0.5
	71	? <i>Chrysophyllum roxburgii</i>	4.6	4.8	0.2
	72	<i>Linociera microstigma</i>	8.8	9.1	0.3
	73	<i>Memecylon geddesianum</i>	8.1	8.6	0.5
	74	<i>Strychnos pulmosa</i>	4.6	4.9	0.3
	75	? <i>Chrysophyllum roxburgii</i>	6.2	6.5	0.3
XV	76	<i>Strychnos pulmosa</i>	5.6	5.8	0.2
	77	<i>Linociera microstigma</i>	6.6	6.9	0.3
	78	<i>Hydnocarpus ilicifolius</i>	15.6	16.0	0.4
	79	<i>Memecylon geddesianum</i>	9.4	9.5	0.1
XVI	80	<i>Hydnocarpus ilicifolius</i>	7.5	7.7	0.2
	81	<i>Memecylon geddesianum</i>	11.4	11.9	0.5
	82	? <i>Chrysophyllum roxburgii</i>	7.5	7.8	0.3
	82	"	4.5	4.5	0.0
	83	<i>Linociera microstigma</i>	10.4	10.7	0.3
	84	<i>Aglaia pyriformis</i>	5.5	5.7	0.2

(表8のつづき)

85	<i>Hydnocarpus ilicifolius</i>	4.7	5.0	0.3
86	<i>Acacia pennata</i>	6.3	6.5	0.2
87	<i>Saprosma sp. or Glycosmis sp.</i>	22.6	22.7	0.1
88	<i>Linociera microstigma</i>	6.9	7.3	0.4
89	<i>Hopea ferrea</i>	83.2	82.6	-0.6
XVII 90	<i>Hydnocarpus ilicifolius</i>	4.8	5.1	0.3
91	<i>Memecylon geddesianum</i>	17.5	17.9	0.4
92	"	10.6	10.9	0.3
XVIII 93	"	8.0	8.2	0.2
94	<i>Lagerstroemia balansae</i>	76.0	75.6	-0.4
95	<i>Linociera microstigma</i>	5.0	5.2	0.2
96	<i>Memecylon geddesianum</i>	6.4	6.7	0.3
97	<i>Linociera microstigma</i>	4.5	4.6	0.1
98	<i>Shorea sericeiflora</i>	6.2	6.6	0.4
99	<i>Hydnocarpus ilicifolius</i>	7.3	7.5	0.2
100	<i>Linociera microstigma</i>	6.0	6.3	0.3
101	? <i>Chrysophyllum roxburgii</i>	9.6	9.7	0.1
XX 104	<i>Linociera microstigma</i>	6.6	6.8	0.2
105	<i>Aglaiia pyriformis</i>	23.9	24.1	0.2
106	<i>Linociera microstigma</i>	6.0	6.3	0.3
107	<i>Hopea ferrea</i>	43.8	43.7	-0.1
108	<i>Strychnos pulmosa</i>	6.7	7.0	0.3
XX 109	?	4.8	5.0	0.2
110	<i>Linociera microstigma</i>	4.5	4.6	0.1
111	<i>Hydnocarpus ilicifolius</i>	6.4	6.6	0.2
112	<i>Aglaiia pyriformis</i>	7.0	7.6	0.6
113	<i>Memecylon geddesianum</i>	11.3	11.6	0.3
114	<i>Linociera microstigma</i>	4.6	4.7	0.1

点を考慮し、特に枯死個体量と落葉落枝量をわけておいた。

落葉性の森林である DDF では、 t_1 でもっている葉量 y_{L1} はすべていったん落葉する。1 生育期間以上の長さを測定期間の間隔にとつたばあい、 t_2 での葉量 y_{L2} は再生産された y_{L1} の葉量と Δy_L をくわえたものになっている。PP-1 における落葉量は y_{L1} に等しいとした。おなじ DDF である P-1 の林床の落葉落枝層の葉と枝の比は 1 : 0.765 であった。Hopkins³⁴⁾ のナイジェリアの森林での調査によれば葉の分解率と林の分解率の比はほぼ 1 : 0.5 であるという。この点を考慮して落枝量 ΔL_B は $0.765/2 y_{L1}$ とす

表 9 1年あたり林分生長量

		幹	枝	幹 + 枝	葉	幹+枝+葉	幹材積
PP-1 (DDF)							
$\Sigma \Delta w$	ton/ha·yr	+2.58	+0.94	+3.52	+0.06	+3.58	+5.47
		-0.22	-0.07	-0.29	-0.01	-0.30	-0.51
Σw^*	ton/ha·yr	0.03	0.00	0.03	0.00	0.03	0.07
Δy	ton/ha·yr	2.32	0.87	3.19	0.05	3.24	4.89
PP-2 (DEF)							
$\Sigma \Delta w$	ton/ha·yr	+3.10	+0.94	+4.04	+0.29	+4.33	+6.14
		-0.99	-0.04	-1.03	-0.01	-1.04	-2.80
Σw^*	ton/ha·yr	0	0	0	0	0	0
Δy	ton/ha·yr	2.11	0.90	3.01	0.28	3.29	3.34

注) $\Sigma \Delta w$: 生存個体の生産量の和, Σw^* : 枯死個体の量の和, Δy : 林分生長量
幹材積の欄の単位は $m^3/ha \cdot yr$

表 10 熱帯林の現存量

	測定面積 (m ²)	立木密度 ρ (本/ha)	木幹 y_s (ton/ha)	枝 y_B (ton/ha)	* 幹+枝 y_{tc} (ton/ha)	根 y_R (ton/ha)	非同部 y_C (ton/ha)	葉 y_L (ton/ha)	合計 y (ton/ha)	葉面積指数 F (ha/ha)	著者
1. TRF Ivory Coast	30×30	832	—	—	240	—	—	2.5	242.5	3.2	Müllerら ¹³⁾
2. Dipterocarp Savana Forest 北部タイ	40×40	1488	55	11	66	10	76	2.7	78.7	3.0	Ogawaら ¹⁷⁾
3. Monsoon Forest- Savana Forest ecotone 北部タイ	40×40	906	112	26	138	16	154	3.0	157	6.3	Ogawaら ¹⁷⁾
4. Monsoon Forest 北部タイ	40×40	713	209	53	263	25	288	4.7	293	6.6	Ogawaら ¹⁷⁾
5. TRF 南タイ	40×40	1175	254	106	363	33	396	8.3	404	12.3	Ogawaら ¹⁷⁾
6. TRF 南タイ	40×40	1338	206	80	287	31	318	8.5	327	12.3	Ogawaら ¹⁷⁾

* 幹+枝は地上部非同化部の意味で下生えを別に測定してあるばあいは幹と枝の和より大きくなるばあいがある。

ることができよう。

常緑性の森林である DEF においては、これに対し葉の平均的な寿命を知らねば落葉量を現在量から推定することはできない。南タイの熱帯降雨林で落葉落枝量を約 2 カ月間にわたり測定した結果 ΔL_L が 11.84 ton/ha・yr, ΔL_B は 11.39 ton/ha・yr であった。⁹⁾ y_L が 8.5 ton/ha であるから ΔL_L と y_L の比は 1.4 で葉の寿命は平均 9 カ月たらずということになる。PP-2 では南タイとくらべて、よりはっきりとした乾季があることを考慮し、 ΔL_L は y_{L1} に等しいとする。P-2 の林床にあった落葉落枝層の葉と枝の比は 1.7 であった。葉、枝の分解率を考慮し、 $\Delta L_B = 1.7/2 \Delta L_L$ とする。

根の生長量はいちおう地上部のその 1/3 としておいた。落葉落枝にあたる根の脱落量はこれまでのところ測定したデータは皆無であるからこれは不明とし、幹の脱落量はなしとすると純生産量が、林分生長量、枯死個体量および落葉落枝量の和としてもとめることができる。表 11 で [] 内の数値は推定値、それ以外のは実測にもとづく計算値である。

いくつかの仮定をふくんだものであるから推定の精度は、現在量の推定値よりやや劣るであろうが、おおまかに純生産量が PP-1 で 6.7 ton/ha・yr, PP-2 で 17.6 ton/ha・yr くらいのところであるといえよう。南タイの熱帯降雨林での純生産量が約 29.8 ton/ha・yr⁹⁾, Müller ら¹³⁾ の計算による Ivory Coast の熱帯降雨林では約 13.4 ton/ha・yr であるから、われわれの計算値もいちおう比較検討するにたる値であるといえよう。Müller らはわれわれの林分生長量を

表 11 熱帯林の1年あたり林分生長量および林分生産量 (ton/ha·yr)

	幹	枝	幹+枝	根	非同化部	葉	地上部	合計	著者
PP-1 (DDF)									荻野ら
東北タイ									
林分生長量	2.32	0.87	3.19	[1.08]	[4.27]	0.05	3.24	[4.32]	
枯死個体量	0.03	0.00	0.03	[0.01]	[0.04]	0.00	0.03	[0.04]	
落葉落枝量	—	[0.69]	[0.69]	[?]	[0.69+?]	[1.81]	[2.50]	[2.50+?]	
純生産量	2.35	[1.56]	[3.23]	[1.09+?]	[5.00+?]	[1.86]	[5.77]	[6.86+?]	
PP-2 (DEF)									荻野ら
東北タイ									
林分生長量	2.11	0.90	3.01	[1.10]	[4.11]	0.28	3.29	[4.39]	
枯死個体量	0	0	0	0	0	0	0	0	
落葉落枝量	—	[6.08]	[6.08]	[?]	[6.08+?]	[7.15]	[13.23]	[13.23+?]	
純生産量	2.11	[6.98]	[9.09]	[1.10+?]	[10.19+?]	[7.43]	[16.52]	[17.62+?]	
TRF									Kiraら ⁹⁾
南タイ									
林分生長量	3.40	1.42	4.82	0.43	5.25	0.09	4.91	5.34	
枯死個体量	0.78	0.27	1.05	0.13	1.18	0.04	1.09	1.22	
落葉落枝量	—	11.39	11.39	[?]	[11.39+?]	11.84	23.23	[23.23+?]	
純生産量	4.18	13.08	17.26	[0.56+?]	[17.82+?]	11.97	29.23	[29.79+?]	
呼吸消費量	13.1	19.0	32.1	5.6	37.7	57.0	89.1	94.7	
総生産量	17.3	32.1	49.4	6.2	55.5	69.0	118.3	124.5	
TRF									Müllerら ¹³⁾
Ivory Coast									
林分生長量			7.5					9.0	
枯死個体量									
落葉落枝量								4.4	
純生産量								13.4	
呼吸消費量								39.1	
総生産量								52.5	

Nett production とよんでいる。

南タイの熱帯降雨林の調査⁹⁾や Müller ら¹³⁾はさらに呼吸消費量 AR の測定をおこない総生産量の推定をこころみている。Ivory Coast における TRF で、Müller らは総生産量 52.5ton/ha/yr のうち呼吸消費量 39.1 ton/ha·yr は75%に達し、林分生長量 Δy 9.0 ton/ha·yr は17%であると報告している。南タイの TRF では総生産量 124.5 ton/ha·yr のうち呼吸消費量 84.7 ton/ha·yr は77%で、そのうち60%は葉により消費されている。林分生長量 5.34 ton/ha·yr は総生産量のわずか 4.3%にしかあたらない。このようにクライマックスに達した森林は樹種構成などの質的な面でのみでなく、量的にもほとんど変化しない平衡状態にあることは重要である。生産量の大部分が林分の維持、落葉落枝量の補充更新につかわれてしまい、林分現在量

の増加にほとんど寄与しない。

吉良⁸⁾ がのべているように熱帯林にかぎらずクライマックスの森林はたとえ蓄積は大きくても、木材資源の永続的な確保のためには掠奪的開発方式をとるかぎり価値のすくないものである。熱帯林の総生産量が北海道のトドマツ林の 50 ton/ha・yr³¹⁾、九州の暖帯照葉樹林の 73 ton/ha・yr⁶⁾ より大きいことはたしかであろう。老令林分ほど 4y の生産量にためる割合が大きいといわれるから熱帯林のたかい生産量を効果的に林分生長量に反映させるための造林方法を開発しなければなるまい。それが可能になったときはじめて熱帯林は、われわれにとってきわめて有用な、生産力のたかい森林資源となりうるであろう。

謝 辞

本調査は1962年から1964年にわたり、非常におおくの方々の協力、援助をいただいております。東南アジア研究センター奥田東前所長、岩村忍現所長、本岡武教授、石井米雄助教授、タイ文部省ユネスコ国内委員会ノブ氏をはじめ委員会の各位、日本文部省ユネスコ国内委員会の各位の配慮がなくては調査が実現しなかった。調査の実行にあたり、タイ国カセートサート大学林学部長ティエム・コムクリット教授、サンガ・サパシー講師、チュラロンコーン大学理学部クルム・ワチャロボン教授、カシン助教授、パイラット・サイチュア氏の協力をえた。標本の同定にタイ森林局植物標本室長テム・スミティナント氏をわずらわせた。その他タイ森林局の各位、カセートサート大学林学部、農学部の各位の好意なくしては本調査の実行は不可能であった。記してあつく謝意を表したい。

引 用 文 献

- 1) *Akcharamukrom phumisa't thai*. Bangkok (1964)
- 2) 青柳正英「スギの苗木の生長に及ぼす密度と土壌の深さの影響について」卒業論文(京大・農), (1964)
- 3) 青山 豪「植栽密度および土壌の深さがスギ苗の生長におよぼす影響について」卒業論文(京大・農), (1967)
- 4) 堀二郎「スギ苗成長量におよぼす密度および施肥の影響」卒業論文(京大・農), (1960)
- 5) 堀田庸「土壌の深さと施肥量がスギ苗の生長にあたる影響について」卒業論文(京大・農), (1965)
- 6) Kimura, M. "Primary Production of the Warm Temperate Laurel Forest in the Southern Part of Osumi Peninsula, Kyūshū, Japan," *Misc. Rep. Res. Inst. Natur. Resources*, No. 52, 53. 東京: 資源科学研究所 (1960)
- 7) 吉良竜夫「高等植物の相対生長 I. 時間以外の生長要因と相対生長」『成長』2巻1号. 松本: 信州大学 (1963)
- 8) 吉良竜夫「熱帯多雨林の物質代謝」『自然』19巻9号. 東京: 中央公論社 (1964)
- 9) Kira, T., H. Ogawa, K. Yoda, and K. Ogino. "Comparative Ecological Studies on Three Main Types of Forest Vegetation in Thailand, IV; Dry Matter Production, with special reference to the Khao Chong Rain Forest," *Nature and Life in Southeast Asia*, Vol. 5. Kyoto: Fauna and Flora Research Society (1967)
- 10) Krit Samapuddhi. "The Forests of Thailand and Forest Program," *Royal Forest Depart-*

- ment, No. R. 20. Bangkok : Royal Forest Department (1955)
- 11) Krom pa' mai. *Chanit pa' lae phanmai thi' samkhan nai prathe't thai*, Royal Forest Department, No. R. 44. Bangkok : Royal Forest Department (1962)
 - 12) Meteorological Department. *Climatological Data (1943-1952)*, vol. 7. Bangkok : Royal Thai Navy (1952)
 - 13) Müller, D., et J. Nielsen. "Production Brute, Pertes par Respiration et Production Nette dans la Forêt Ombrophile Tropicale," *Det Forstlige Forsøgsvæsen i Danmark*, vol. 29. Copenhagen (1965)
 - 14) 長尾和守 「植栽密度および土壌の深さが一年生スギ苗の生長におよぼす影響について」 卒業論文 (京大・農), (1966)
 - 15) Ogawa, H., K. Yoda, and T. Kira. "A Preliminary Survey on the Vegetation of Thailand," *Nature and Life in Southeast Asia*, vol.1. Kyoto : Fauna and Flora Research Society (1961)
 - 16) Ogawa, H., K. Yoda, T. Kira, K. Ogino, T. Shidei, D. Ratanawongs, and C. Apasutaya. "Comparative Ecological Studies on Three Main Types of Forest Vegetation I, Structure and Floristic Composition," *Nature and Life in Southeast Asia*, vol.4. Kyoto : Fauna and Flora Research Society (1965)
 - 17) Ogawa, H., K. Yoda, K. Ogino, and T. Kira. "II, Plant Biomass," *Ibid.* (1965)
 - 18) 小川房人 「物質収支表による植物群落の物質生産測定項目の吟味」 JPTF'66 ASHIU 研究会資料, (未発表)
 - 19) 小川房人 「森林の生産力の調査方法」 (未発表)
 - 20) 荻野和彦, 四手井綱英 「芦生ブナ林の現存量・生長量」 『森林の一次生産測定法の研究班中間報告』 (1967)
 - 21) Ogino, K., Sanga Sabhasri, and T. Shidei. "The Estimation of the Standing Crop of the Forest in Northeastern Thailand," 『東南アジア研究』 第4号. 京都: 京大東南アジア研究センター (1964)
 - 22) Phya Winit Wanandorn. *Thai Plant Names, Thai Forest Record*, No. 1. Bangkok : Royal Forest Department (1960)
 - 23) Pendleton, R.L. *Thailand*. New York : Duell, Sloan, and Pearce (1962)
 - 24) 林分収穫表 『森林家必携』 東京: 林野弘済会 (1965)
 - 25) Royal Forest Department. "Types of Forests of Thailand," *Royal Forest Department*, No. R. 44. Bangkok : Royal Forest Department (1962)
 - 26) 杉井昭夫 「スギ苗生長量におよぼす密度および施肥の影響」 卒業論文 (京大・農), (1959)
 - 27) 只木良也, 尾方信夫, 長友安男, 吉田武彦 「森林の生産構造に関する研究(X)無間伐の45年生ヒノキ林の生産力」 『日林誌』48巻11号. 東京: 日本林学会 (1966)
 - 28) Tadaki, Y. "Some Discussions on the Leaf Biomass of Forest Stands and Trees," *Bull. Gov. For. Exp. Sta. Tokyo*, 184. 林業試験場 (1966)
 - 29) 堤利夫, 菅誠, Choob Khemanark 「タイ国森林土壌における物質量とその循環— 2, 3 の物理性と炭素, チッ素量—」 『東南アジア研究』 4巻2号. 京都: 京大東南アジア研究センター (1966)
 - 30) 堤利夫, 菅誠, Choob Khemanark 「同上一無機養分について—」 『東南アジア研究』 4巻5号. 京都: 京大東南アジア研究センター (1967)
 - 31) 四大学合同調査班 『森林の生産力に関する研究 I, 北海道主要針葉樹林について』 東京: 国策パルプ (1960)
 - 32) 四大学・信大合同調査班 『同上II, 信州産カラマツについて』 東京: 日林協 (1964)
 - 33) 四大学・信大合同調査班 『同上III, スギ人工林の物質生産について』 東京: 日林協 (1966)
 - 34) Hopkins, B. "Vegetation of the Olokemeji Forest Reserve, Nigeria IV. The Litter and Soil with Special Reference to their Seasonal Change," *J. Ecology*, vol. 54, No.3. (1966)