

經 營	1 0 4
測 定	3 3

森 林 測 定 研 究 資 料

8

(成 長 量 関 係 論 文)

昭 和 3 7 年 3 月

農 林 省 林 業 試 験 場 經 営 部

頁	誤	正
223上段から4行目	戸々	屢々
7行目	推高 [・] 支 [・] する [・] 暖 [・]	推 [・] 較 [・] する [・] 暖 [・]
取 着 氏 名 欄	栗屋仁志	栗屋仁志
P 2 8行目	沢 [・] 林 [・]	沢 [・] 林 [・]
P 5 3行目	$\log V = a + b \log D$	$\log V = a + b \log D$
P 5下から10行目	蓄積保 [・] 証 [・]	蓄積保 [・] 証 [・]
。下から1行目	上手 [・] く	上手 [・] に
P 10下から6行目	余々	餘々
P 18上から10行目	真 [・] く [・] 同 [・] じ [・] で	全 [・] く [・] 同 [・] じ [・] で
P 31下から13行目	ボ [・] ー [・] ド [・] フ [・] ォ [・] ー [・] ト	ボ [・] ー [・] ド [・] フ [・] ォ [・] ー [・] ト
P 42下から1行目	順 [・] 準 [・]	準 [・] 備 [・]
P 49下から13行目	同 [・] じ [・] で [・] あ [・] る [・] い [・] う [・] こ [・] と	同 [・] じ [・] で [・] あ [・] る [・] い [・] う [・] こ [・] と
P 54上から5行目	<i>Tables</i>	<i>Tables</i>
P 54上から6行目	形 [・] 級 [・] 材 [・] 積 [・] 表 [・]	形 [・] 級 [・] 材 [・] 積 [・] 表 [・]
P 58下から6行目	大 [・] 部 [・] の [・] 林 [・] 業 [・]	大 [・] 部 [・] の [・] 林 [・] 業 [・]
P 59上から1行目	単 [・] 木 [・] 資 [・] 料 [・]	単 [・] 木 [・] 資 [・] 料 [・]
P 66下から8行目	商	商
P 69上から15行目	「ボ [・] ー [・] ド [・] フ [・] ィ [・] ー [・] ト [・] の [・] 概 [・] 念 [・] ……は [・] 正 [・] し [・] く [・] な [・] い [・] 。」	「ボ [・] ー [・] ド [・] フ [・] ィ [・] ー [・] ト [・] の [・] 概 [・] 念 [・] の [・] 本 [・] 来 [・] の [・] 性 [・] 質 [・] か [・] ら [・] 見 [・] れ [・] ば [・] こ [・] の [・] 係 [・] 数 [・] を [・] 附 [・] 加 [・] 的 [・] な [・] 場 [・] 所 [・] に [・] 補 [・] 正 [・] し [・] た [・] り [・] 、 [・] も [・] ち [・] こ [・] ん [・] だ [・] り [・] す [・] る [・] こ [・] と [・] は [・] 正 [・] し [・] く [・] な [・] い [・] 。」
P 84上から5行目	カ [・] ル [・] シ [・] ウ [・]	カ [・] ル [・] シ [・] ウ [・] ム
P 85上から12行目	比 [・] 敵 [・]	匹 [・] 敵 [・]
P 87下から8行目	降 [・] 火 [・] 量 [・]	降 [・] 水 [・] 量 [・]

頁	誤	正
P 92 下から 1 行目	等級がさがる原因	等級がさがる原因
P 95 上から 11 行目	$\log e / + C$	$\log e (1 + C)$
P 129 下から 12 行目	参考曲線	関係曲線
“ “ 7 行目	参考曲線	関係曲線
“ “ 4 行目	参考方程式	関係方程式
“ “ 1 行目	参考曲線	関係曲線
P 130 上から 2 行目	参考曲線	関係曲線
“ 下から 6 行目	参考曲線	関係曲線
“ 下から 3 行目	参考曲線	関係曲線
P 131 上から 4 行目	参考曲線	関係曲線
“ “ 5 行目	参考式	関係式
“ “ 7 行目	参考曲線	関係曲線
P 132 下から 6 行目	参考曲線	関係曲線
P 133 上から 8 行目	参考曲線	関係曲線
P 138 下から 12 行目	補正項を引き	補正項を引く
P 142 上から 12 行目	森林経営	森林経営
P 143 上から 4 行目	分林密度	林分密度
P 143 下から 8 行目	実用でない疎密度影響する取り扱いに	
P 145 下から 1 行目	皇供する	提供する。
P 147 上から 4 行目	単林	単木
P 148 下から 2 行目	林木との競	林木との競争
P 149 上から 3 行目		
P 152 上から 12 行目	皇供	提供
P 153 下から 6 行目	無競	無益
P 155 下から 6 行目	再分教	再分類
P 158 上から 10 行目	真く同じ	全く同じ

まえがき

森林経営における収穫調整に就いて重要な問題である。林分構造
と収穫量に関する論文は今日まで数多く発表されている。

この冊子に訳出し、掲載した論文は *Journal of Forest* 誌上
に最近発表されたものを主体とし、さらに最近「々々」この方面の論
文に扱われるアメリカ流の疎密度と地位の概念を明確にするため、

W. H. Meyer の *Forest Mensuration* のうちの関係又章を訳出した。

題々の中に取まじめたので、訳文も十分推敲する暇もなく、ま
だ若干の誤謬もあると思われるが、この問題に関心をもちたい方々
に、多少なりとも参考になれば幸である。

なおこの訳は、栗屋 川端の原稿をもととして、大友、西沢が手
を加えたものである。

昭和 37 年 3 月

測定研究室長 大友 栄 松

測定研究室 西沢 正 久

栗屋 仁 彦

川端 幸 貳

目 次

1. 北ペンシルバニア州のブナ、カバ、カエデ、ツガ原生林の林分構造と成長量 (H. A. Meyer)	1
2. 時間が半分で設定できる成長量と枯損量の固定標準地 (C. B. Stott)	26
3. 低地産広葉樹の成長量調査による被害 (E. R. Toole, J. L. Gammage)	34
4. 成長量を推定する標木の半水漬料の立場 (C. A. Bickford)	39
5. 材積と成長量の簡略算定法 (S. H. Spurr)	52
6. Black Cotton wood の地位指数と関係する因子について (J. H. Smith)	77
7. 良質の東部産ホワイトパインの成長量と価格に関する一考察 (R. W. Foster)	85
8. 新成長率式について (L. R. Grosenbaugh)	95
9. ベイマツ幼令林の樹冠の大きさ、初めの直径および直径成長 (G. C. Warrack)	101
10. 固定標準地を設定する簡便方法 (D. J. Neeke, S. G. Boyce)	105
11. 釣合のとれた興令林の構造、成長量、消失量について (H. A. Meyer)	108
12. 疎密度と地位 (W. H. Meyer, H. H. Chapman)	127

1. 北ペンシルバニア州のブナ カバ・カエデ・ツガ原生林の林分構造と成長量

The structure and growth of virgin beech-birch-maple-hemlock forests in northern Pennsylvania

H. A. Meyer *Journal of Agricultural Research*

No. 12 1943

序

かつて北ペンシルバニア州と南ニューヨーク州の大部分を占めていたブナ・カバ・カエデ・ツガの原生林は、現在ではそのおもかげを留めるだけになった。Pennsylvania州で有名であった森林のうち Hearts Content-Tionesta Tract Cook Forest, Ricketts氏所有の Ganoga Glen 地区は公共の娯楽のための公園や果樹園等はこのような林相の樹種構成や林分構造を科学的に研究する研究室に改竄してしまったり、そうはりつつある。幾人もの研究者が、このような林相の一般的な生態学的関心と同時に、Hearts Content-Tionesta Cook Forest (4.9.13) の樹種構成について研究を行った。

(注1 1942年8月28日に原稿を受けけた。イタリッフの番)
番は引用文献の番号

Bradford および Sullivan 郎でさらに、若干の原生林分が発見され Sheffield, Warren 郎の近くにある Central Pennsylvania 製材会社所有の原生林についての知識により筆者はこの種の原生林の構造と成長に関する研究に着手することになった。なぜなら、この種の資料は林業技術者に、製材林経営についての基本的知識を提供するからである。さらに伐採される前に、比較的小さな Bradford, Sullivan 郎の林分および Central Pennsylvania 製材会社所有林の配地資料を得るのが筆者の望であった。このような地区の直径階別本数表はかけがえのないものであり、さらに詳しく原生林について比較研究をするための有益な情報源である。

林分構造は、樹種構成と直径分布とについて調べねばならない。Meyer (12), Schnur (15) 等は同令林の直径分布について調べた。彼等は樹種別の調和の取れた直径階別本数表を作成するために統計的方法を用いた。これは、収穫数の調和に適用価値がある。同令林の直径分布の研究については、Licoourt (8) Schaeffer, Gapin, フランスの d'Alverny (14) が著名である。d'Alverny は、択伐林経営のために、同令林分によく知られているグラフによる丁型分布曲線を適用した。スイスの択材林における比較的最近の直径分布は指数関数で表わされている。この方法は又 Mexico で原生林に適用された。(10, 11) Hough (13) は、北ペンシルバニア州の原生林の直径分布がヨーロッパの択伐混交林の終極に似た傾向を示すことを発見した。

この研究成果の適用については、本論文では論じないことにする。しかし、同令林の釣合のとれた構造に関する知識が経営の策定にあつて極めて重要であることは指摘できよう。森林の望ましい正期な構造を考慮に入れないと、収穫係数経営のゴールに達するため確定し維持しなければならない構造が立木本数の漸減をまねくことが屡々ある。原生林の構造の研究から導びかれたデータは、同令林の正常立木本数を評価する有用な基礎となっている。この地方の多くのセクションに類している原生林のおもかげが永久に消失してしまう前に、このような資料を入手しなければならない。

試験資料 experimental material

この研究でとられた原生林の所在地および概況が、表1に示してある。直径階別本数表は、将来の参考に資するために、謄写印刷して調査報告書¹⁰⁾の形で編纂され、発表されている。

表2には林分別に数字で評価できる。総計 2,122 エーカーの原生林の直径測定がなされた。直径級(大、中、小径用材)別の材積分布は、いづれの林分も、いわゆる釣合の取れた直径階別本数分布を示しているにもかかわらず、かなり変化している。直径階別の材

積分布は、明らかにある型に従っているが、組織的な解析によつて始めて、対象としている原生林の構造における、この変化を説明することが可能であらう。

注3 Youniski J and Meyer H A. Stand table of virgin larch - birch - maple - hemlock forests Pa. State Forest School Res. Paper 3. 1942

1表 研究対象とした原生林の概況

地区および所在地の名称	林分番号	面積	所在地および概況
McClure	I	1	Bradford 郡 孤立している 扇形林
Hess	I	2	Sullivan 郡 扇形林、北方系の様相を呈する 岩石地。
	II	3	
Ricketts	III	4	Kitchen 河沿の低地にある Wyoming と Luzerne 郡の境界上
	IV	5	
Rightmire	I & II	6	Sullivan 郡 河沿に、傾斜地、土壌の深い 扇形林
	III	7	
	IV	8	
	V	9	
	VI	10	
C. P. L. Larson	I	11	Warren 郡、西部系の様相を呈する 高地
	II	12	
C. P. L. Dunkan	I	13	Warren 郡、東部系の様相を呈する 中 - 急傾地
	II	14	
	III	15	
	IV	16	
Tionesta	II	17	Cherry 河の両岸沿の Tionesta 林の景勝地で極めて深くかつ湿度に富んだ土壌
	III	18	
	IV-A	19	
	IV-B	20	
	V	21	
	VI	22	
	VII	23	
	VIII	24	
	IX	25	
	X	26	

各林分の立方フィート材積を算出する時には、一樹種の共通材積¹¹⁾に従つての樹種に適用された。単木および樹種別の材積についての試験により、所在地別の材積間および広葉樹の樹種間には有意差のないことが示めされた。その後幾つの広葉樹に対する共通材積¹²⁾とツガ材積表が作製された。この二つの材積表には、たまたま有

意差が認められなかったので全樹種に対して3段に示してある共通材積表が作製された。各樹種別に作製された材積表向には、統計的有意差がないという事実にもかかわらず、多数の樹高測定の本数によれば樹種又は地域間の差の中には実際に有意なものがあるであろうことを認める必要がある。しかし立方フィートを用いて各原庄林の構造を比較するには全ての樹種、林分に同一の材積表を適用することは確かに利益がある。というのは、各林分から取られたデータの結果は、比較的簡単に比較することができる。このような林分の伐採量は立方フィート単位の単木当り予測材積とはどのような場合にも殆んど一致しないであろうといえよう。というのは実際の造材歩合は、作業によつてかなり変つてゐるからである。

林分 番号	面積	エーカー 当り本数	エーカー 当り材積	直径別材積分布			a^2	b^2	c^2	ツガの本 数割合
				7~13	13~21	21~				
	エーカー	本	feet ³	%	%	%				%
1	12.2	86.1	3,072	28	33	39	0.143	33	31	20
2	14.4	89.2	4,130	18	37	45	.114	24	33	11
3	10.8	78.3	4,171	13	41	46	.072	12	31	6
4	9.4	89.4	3,097	27	45	28	.175	53	35	14
5	5.0	97.6	5,313	14	31	55	.088	18	33	45
6	11.7	98.4	3,699	25	41	34	.145	41	31	45
7	17.6	113.6	4,226	25	44	31	.145	47	31	25
8	13.5	103.2	3,910	24	40	36	.140	40	31	21
9	22.1	92.0	3,862	20	44	36	.122	28	31	14
10	9.7	63.4	2,156	29	45	26	.180	41	33	21
11	34.6	77.8	4,681	12	29	59	.071	11	33	46
12	7.4	101.4	5,314	15	38	47	.079	17	31	45
13	36.9	66.9	4,331	11	29	60	.073	10	35	54
14	21.5	56.9	3,427	11	35	54	.085	10	35	33
15	15.3	65.7	2,742	21	34	45	.035	23	35	32
16	32.3	74.0	3,593	17	27	56	.116	19	37	51
17	12.5	66.8	3,110	17	41	42	.150	30	41	24
18	11.2	73.3	3,544	17	33	50	.137	27	39	40
19	15.4	94.2	4,508	19	29	53	.131	31	39	33
20	14.6	84.7	5,356	11	24	65	.092	15	39	50
21	10.6	82.1	4,928	13	26	61	.102	18	39	41
22	14.3	73.4	5,140	11	22	67	.083	12	39	38
23	21.4	81.1	4,054	16	34	50	.128	26	39	25
24	9.2	88.5	5,057	16	23	61	.103	19	39	27
25	24.2	86.3	4,293	15	33	52	.134	31	41	26
26	11.4	72.3	4,733	12	33	55	.118	20	41	38

注1. 全体で 419.2 エーカー

注2. この係数についてさらに詳しい説明は本文を見よ。

系統的に採用された feet³ 単位の地方的材積表を対数方眼紙にプロットして、これに曲線が当てはめられた。対数材積方程式 $\log V = a + b \log D$ の係数 a と b が3表に示してある。

3表 共通の feet³ 単位地方的材積表

胸高直径(in)	材 積 ³	胸高直径(in)	材 積
	feet ³		feet ³
10	93.5	30	214.3
12	15.83	32	248.9
14	24.38	34	288.4
16	35.14	36	330.3
18	48.23	38	375.5
20	63.78	40	424.1
22	81.90	42	476.1
24	102.7	44	531.6
26	125.2	46	590.8
28	152.6	48	653.5
30	182.0	50	721.0

注1 対数材積方程式 $\log V = -1.1732 + 2.3724 \log D$

注2 根株 樹皮は含むが 枝條は含まれていない。

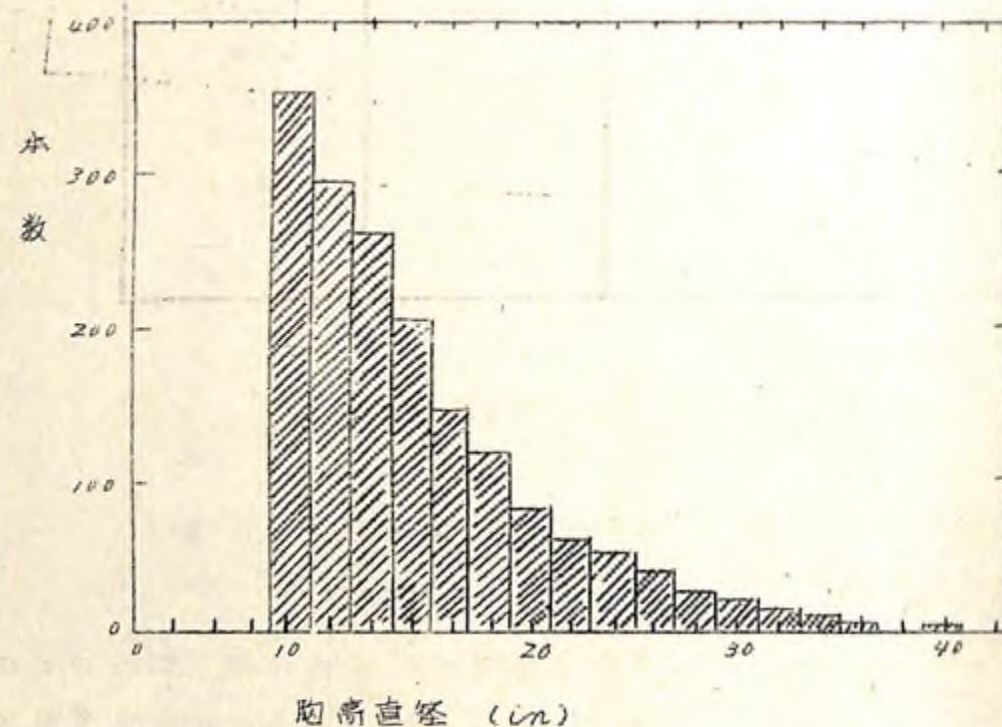
原生林の林分構造 The structure of the virgin forest

直径別本数分布 Distribution of number of trees by diameter class

調査地帯の能力をもつてゐる原生林又は原生林分は、釣合のとれた直径別本数分布を示さなければならぬ。ある森林の実際の構造は、初に枯死する木が下位の直径階から進級してくる木で絶えず補填される場面にのみ、反映できるように思ふ。したがって、各直径階の本数は直径階の進級につれて減少する。この論には直径成長量は時間によりする胸高直径の函数である—この説の正しいことは説明である—という仮定に立っている。釣合のよくとれた直径分布の一例が1回1回示してある。異なる林の構造を特徴づけることは、胸高直径の函数として分布型を数学的に述べることを意味している。この分布は、次の分布函数で上手く表現できることが分つた。

$$df = k \cdot e^{-ax} dx$$

ここで k は定数、 x は胸高直径を表わし、 e は自然対数の底である。対数をとれば、本数の対数は直径の一次関数と考えられる。ある林の直径階別本数表を半対数方眼紙に、直径に対してプロットすれば、直線が得られる。各直径階の本数は、その比が e^{-ax} で表わされる幾何級数をしていふと云うこともできよう。ここで k は直径階の中に等しくとつてある。要令の択伐林で研究をしていたフランスの森林官 *de Liocourt* が最初にこの重要な事実を認め、数値をあつかう上では、上述の指数関数で、支えられた分布を記述



第1図 林分No.23の本数分布 Tionesta 系跡地
21.4エーカー

すれば一層便利である。

係数 a 、 k は2表に載てある林分毎に決定された。毎木調査された各林地が、この研究で利用できるような釣合のとれた分布を示すかどうかを判断するために、半対数方眼紙に各分布が表示された。極く小さな面積がまたま単位としてとられたことがあつたにもか

かわらず、そのために、この種の作業で用いられる分布がかなり誤差をもつたものにはなるが、発却された林地はなかつた。

係数 a 、 k を算出するに先だつて、林分毎に分布の上部直径限界を決める必要がある。この上部限界を決めるにあつて、まず、最大直径階の本数が急激に減少し、この最大直径階の本数を表わす k が、分布の基本形 $y = k \cdot e^{-ax}$ を示す直線の下に落ちることを説明しなければならぬ。指数関数で与えられる分布の上限を決定できるようにするために、最小本数の直径階の本は、この級の本数の対数値が分布の一般傾向にあてはまるように、一つ下の直径階と一緒にする。(24) この新直径階の上部の境が、分布の上限としてとられている。最小本数の級を一捨する際には、まずこれらの木の突断面積が求められ、この突断面積に等しくするのに必要は、最後の直径階の中実に対応する直径をもつ木の本数を求める。

そしてこの本数を最後の級の頻度とする

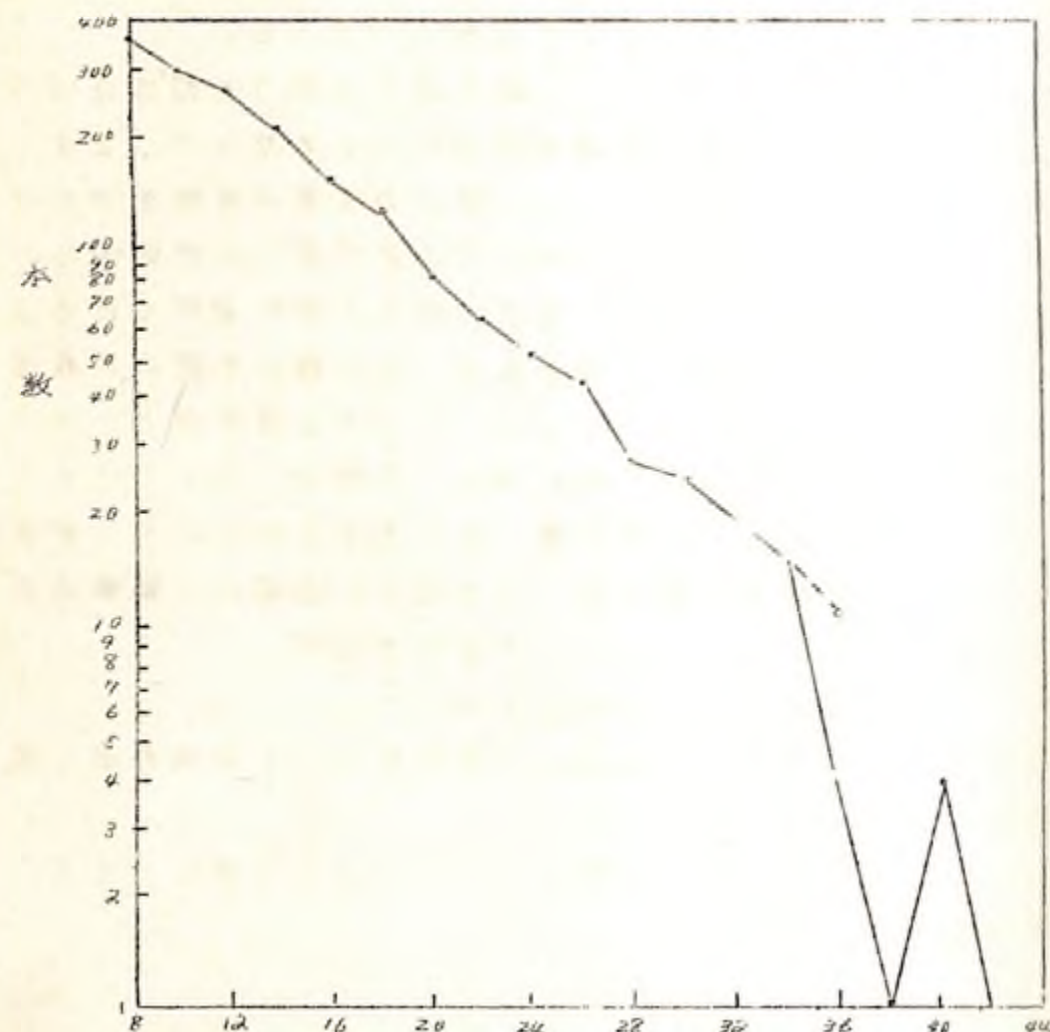
分布の上限が決定されたならば、特性係数 a 、 k を林分毎に最小二乗法で決定する。

最初はエーカー当りの本数を計算せずに、それらの原型として、直径階別本数表が用いられる。

$$y = k \cdot e^{-ax}$$

を対数の形 $\log y = \log k - a \cdot x \log e$ で書けば

頻度 y の対数に対して直線が当てはめられる。 $\log y$ の望みは等しいとおいている。 a は対数計算法が、4表に示してある。この例では係数 k は21.4エーカーの林地に用いるものである。まず本数を21.4で割れば、 k は元の k の $1/21.4$ になることは簡単に理解できる。したがつて k' で示される新しい係数を求めるため k の値を頻度で割る。この係数は1エーカーの林地に対するものである。即ち $k' \cdot e^{-ax}$ は直接、与えられた a in 直径階の算出本数を与える。しかし、われわれは慣例的な型 $df = k \cdot e^{-ax} dx$ で頻度分布を書きたい。即ち $\int_{x_1}^{x_2} k \cdot e^{-ax} dx$ は下限と上限が夫々 x_1 と x_2 である直径階の本数を表わしているから、次のように k' から新たに最終的



胸高直径 (m)

2回 半対数方眼紙で示した本数

林分 No 23 Tionesta 景勝地 214 エーカー

は値を決定する必要がある。

$$k'e^{-aX_0} = \int_{x_1}^{x_2} k \cdot e^{-ax} dx$$

この式で $X_0 = \frac{1}{2}(X_1 + X_2)$ で k の算定式は直径階の中が 2in であれば、次のようにして簡単に示のられる。

$$k = \frac{ak'}{e^{aX_0} - e^{-aX_0}}$$

近似的に $k = k'/2$

4表 原生林の構造を特徴付ける係数 a, k, b の計算

No 23 林分 Tionesta の景勝地 面積 214 エーカー

胸高直径	本数 (Y)	$\log Y$	X^2	$X \log Y$
8	355	2.550	64	20.400
10	295	2.470	100	24.700
12	262	2.418	144	27.016
14	209	2.320	196	32.480
16	150	2.176	256	34.816
18	124	2.093	324	37.674
20	85	1.929	400	38.580
22	65	1.813	484	39.886
24	52	1.716	576	41.184
26	44	1.643	676	42.718
28	27	1.431	784	40.018
30	24	1.380	900	41.400
32	19	1.274	1024	40.925
34	15	1.176	1156	39.984
36	11	1.041	1296	37.476
計	1127	27.435	8380	541.310

注 元の直径階別本数表では 36, 38, 40, 42 in 直径階の本数はそれぞれ 4, 14, 1 であつた。これらの木の断面積合計は 80.70 feet^2 に等しい。36 in の木の断面積は 70.7 feet^2 であるから、これは 36 in の木 80.07/70.7 = 1.1 本に相当することが分る。

正規方程式は: $N \log K - a \log 2 \sum X = \sum \log Y$

$$\log K \sum X - a \log 2 \sum X^2 = \sum X \log Y \quad (N=15)$$

この正規方程式を解けば、 $a = 0.1280$ が得られる。 $K = 1127.1$

従つて $k' = 1127.1 / 21.4 = 52.67$ 公式 $k = ak' / (e^{aX_0} - e^{-aX_0}) \sim k'/2$ より $k = 26.3$

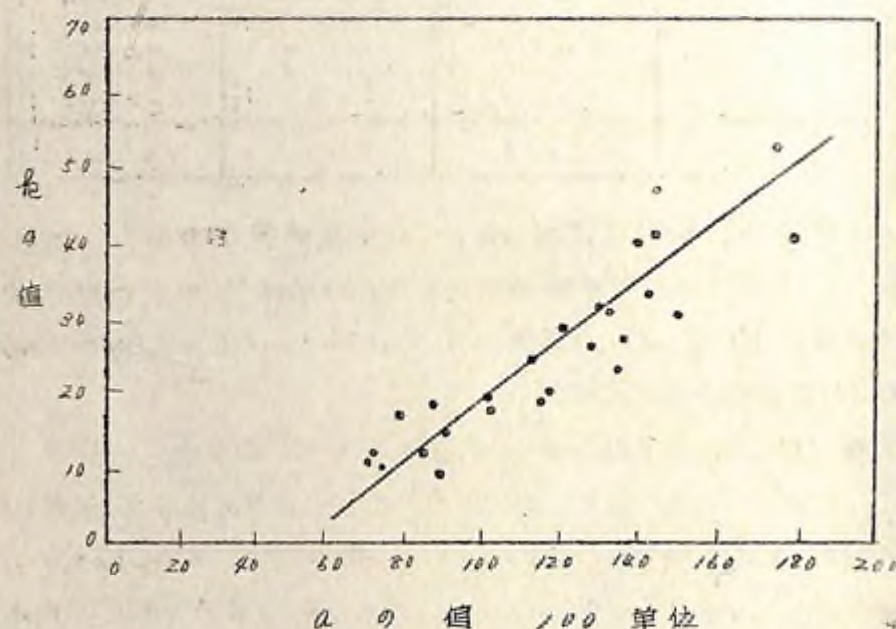
分布の上限 $b = 37 \text{ in}$

構造の分散分析 Analysis of variation in structure

各種の原生林について数値で表わした特性を比較すると、直ちに係数 a と k との間に密接な関係のあることがわかる。隣接直径階における本数の減少割合を決定する a のある与えられた値に対して、 k の値が高いか低いかによりこれらの林分間の相対的密度が高いか低いかを示している。したがつて a の値が低い場合、即ち比較的多

数の大径木のある時には、エーカー当りの本数密度は当然低くならねばならない。

この二つの係数間に高い相関のあることは3図から明らかである。相関係数は0.9147である。 a の大きな値は b の大きな値に対応している。このことはデータをさらに詳しく評価する際、特に重要である。それは、これによつて、ブナ・カバ・カエデ・ツガ林相の原生林の釣合のどれが構造の範囲内で徐々に変化している直径分布を計算できるからである。 a と b との間の同様な相関がこれ以前にMexicoの高山の原生林およびスイスの管理されている択伐林にお



3図 特性値 a と b との関係

いて発見された。(10, 11)これから 対応する a , b の値によつて特長づけられる分布の直径階別本数を決めることにより、徐々に変化する釣合のどれが原生林の構造が計算できる。このようにして得られた直径階別本数表から断面積、 $feet^3$ ボードフット材積を決めることは容易である。同時に a と b の値の対毎に b の値即ち分布の上限を決めることも可能である。求められた分布型におけるツガの割合を示す値も決めることができよう。

これら各種の特性の対応する値を決める場合に大切なのは、単一の特性はいずれも従属変量とみなければいまいことを認識することである。比較できる尺度に係数を与えるにはまず、それぞれの平均値からの偏差を求め、これを標準偏差を単位として表す必要がある。二つの係数だけのモーメントを考へてみると、その値は矩形の座標軸にプロットでき、これらの点から直線までの垂直距離の平方和が最小になるように、プロットした点に直線を当てはめる。3つの係数を用いるときには、3次元の座標を使用しなければならず、やはり原点からの残差平方和が最小になるように、空間における異様に直線を当てはめなければならぬであろう。この場合のように4つの係数を比較しようとする際には、同様にして、この考え方は4次元の空間に拡張できる。 n 次元空間で直線を当てはめる方法は、くわしい研究がなされており、(1, 2, 7)にうまく説明してある。計算の際にとられるいろいろな段階を概説する際には、注釈と説明は少しに留めておこう。この方法の理論については読者は特にKendall (7)の論文を参照されたい。

特性値 a , b , c およびツガの混交歩合をそれぞれ X_1, X_2, X_3, X_4 で表わし、相関係数 $r_{12}, r_{13}, r_{14}, r_{23}, r_{24}, r_{34}$ 等をまず計算する。次のような相関係数の数値が得られた。 $r_{12}=0.9147, r_{13}=0.0715, r_{14}=-0.5669, r_{23}=-0.1581, r_{24}=-0.6154, r_{34}=0.2694$

相関係数の中には有意でないものも、有意なもの、きわめて有意なものもあつた。本分構造は二つの係数、 a と b で殆んど決まってしまうから、この二つの係数間に存在する高い相関には、特に注目する必要がある。係数 c と他の特性値との相関が低いということは、直径分布の上限との変化範囲が狭いということを示しているに過ぎないから、余り重要ではない。ツガの混交歩合と、 a , b , c との相関はいずれも高くなく、これは与えられた直径分布型についてツガの混交歩合がかなり変動していることを示している。

4次元空間に配置されている観測点に当てはめるべき直線の方程式は、次の形で書かれる。

$$\frac{x_1}{l_1} = \frac{x_2}{l_2} = \frac{x_3}{l_3} = \frac{x_4}{l_4}$$

ここで x_1, x_2, x_3, x_4 は各平均値からの偏差をそれぞれの標準偏差を単位として表わした 4 つの特性値, l_1, l_2, l_3, l_4 は直線の方向余弦である。直線は原点を通る。上に示したような最小二乗法であてはめられた直線は、各特性値の重み付き算術平均で表わされる実数と実際に必ず通ることが証明できる。

したがって、この実数を座標の原点として送らべきである。方向余弦が分れば、直ちに、実際に観測された一連の値について、4 変量のうちいづれか一つを定めれば、線上に落ちる、各実数の座標を算定

注4 各成分の面積 w が違っているから、係数は次の公式で計算された。

$$V_{xy} = \frac{\sum w (x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sqrt{\sum w (x - \bar{x})^2 \cdot \sum w (y - \bar{y})^2}}$$

できる。この値を各特性の標準偏差を単位とした平均値からの偏差で表わし、選ばれた一つの変量、例えば x_1 の値を求める。例えばこれに対応する x_2 の値は x_1 の値に比 $\frac{l_2}{l_1}$ を乗ければ求められる。このようにして求めた x_2 の値は、最終的には元の単位に戻さねばならない。

x_3, x_4 の対応する値も同様な方法で求められる。

Hendall (7) が示しているように、方向余弦の最小二乗解は次の方程式から求められる。

$$\begin{vmatrix} 1-\lambda & r_{12} & r_{13} & r_{14} \\ r_{12} & 1-\lambda & r_{23} & r_{24} \\ r_{13} & r_{23} & 1-\lambda & r_{34} \\ r_{14} & r_{24} & r_{34} & 1-\lambda \end{vmatrix} = 0 \quad (1)$$

$$l_1 (1-\lambda) + l_2 r_{12} + l_3 r_{13} + l_4 r_{14} = 0$$

$$l_1 r_{12} + l_2 (1-\lambda) + l_3 r_{23} + l_4 r_{24} = 0$$

$$l_1 r_{13} + l_2 r_{23} + l_3 (1-\lambda) + l_4 r_{34} = 0 \quad (2)$$

$$l_1 r_{14} + l_2 r_{24} + l_3 r_{34} + l_4 (1-\lambda) = 0$$

同次方程式 (2) は特性方程式 (1) から求められる係数入が分れば直ぐに解ける。4 つの解の中、入の最大値を方程式 (2) に代入する

要がある。当然のことながら入の直接計算は、不可能でないとしても、行列のオーグが増すため、非常に面倒になる。巧妙な逐次近似法を適用すれば、(1) を別個に算定する必要は全然なくなる。Hotelling (1, 2) が説明している方法は次のとおりである。

相同行列の行に ±1 に等しい試験値 trial value の最初の 4 組を乗ずる。この列では、相関係数の中には負のものがあるので、1, 2, 3, 4 行の試験値として、1, 1, -1, -1 をとる。各試験値を (各行毎に最初の試験値から出発して) 順次各行の係数に乗じてから、その結果を加え、その中の最大の値で各行の和を算出。この和を新しい試験値として商が安定するまで、新しい試験値を原行列に繰返して乗ずる。この計算の最初の 2 回と最後の 2 回が次に示してある。もちろん実際に当って計算機を用いる時には、同様の表を記入する必要はない。

1 回目の係数

1	0.9147	0.0715	-0.5669	1
0.9147	1	-0.1581	-0.6154	1
0.0715	-0.1581	1	0.2694	-1
-0.5669	-0.6154	0.2694	1	-1

2 回目の係数

1.0000	0.9147	-0.0715	0.5669	3.4101	0.9655
0.9147	1.0000	0.1581	0.6154	2.6882	1.0110
0.0715	-0.1581	1.0000	-0.2694	-1.3560	-0.5042
-0.5669	-0.6154	0.2694	1.0000	-2.4517	-0.9120

3 回目の係数

0.9667	0.9147	-0.0154	0.4814	2.3409	0.9608
0.9147	1.0000	0.0551	0.5226	2.4365	1.0000
0.0715	-0.1581	1.0000	-0.2288	-0.5799	-0.2216
-0.5669	-0.6154	0.2694	1.0000	-2.4517	-0.9120

安定した値

0.9668	0.9147	-0.0158	0.4814	2.3411	0.9608
0.9147	1.0000	0.0550	0.5225	2.4363	1.0000
0.0715	-0.1581	1.0000	-0.2287	-0.5797	-0.2215
-0.5669	-0.6154	0.2694	1.0000	-2.4517	-0.9120

この場合には、商が安定するまでに 13 回の反復が必要であった。相同行列を平方し、この平方行列に逐次近似法を適用すれば収数は

一般と異なる。最終的に得られる安定した商は求めようとする方向余弦そのものではないが、それに比列する数値を示している。平方した方向余弦の和は1に等しいから、商 0.9609, 1.0000, -0.2215, -0.8492 を平方し、その平方和の平方根を求め、これで各安定した商を割れば、方向余弦が求められる。この例では次のようになる。

安定した商		方向余弦	
0.9609	0.92332881	0.5355	0.3424
1.0000	1.00000000	0.1093	0.3712
-0.2215	0.04906225	0.1350	0.0182
-0.8492	0.72114064	0.5174	0.2677
	2.69353170		0.9779
	$\sqrt{2.69353170} = 1.6412$		

吟味として、方向余弦の算出値の平方を上記の計算の最後の欄で加えておける。

構造型 Structural types

属性群の各特性の対応する値を教わす異群に当てはまる直線の方程式は分っているから、特性の中の一つの連綿する値に対する他の3つの特性の値が計算できる。これは4つの特性の一つが任意あるいは順序よく変化する値であつても変らない。幾何学的表現をすれば、これらの異に当てはめられる直線上に落ちる一組の異の観測が決められるのである。特性aの連綿する値は X_1 を-2.0, -1.5, -1.0, -0.5, 0.0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 と定めることで定められる。これに対応する

$$X_2 = \frac{l_2}{l_1} X_1, \quad X_3 = \frac{l_3}{l_1} X_1, \quad X_4 = \frac{l_4}{l_1} X_1$$

の値が5表に示してある。

5表 X_1, X_2, X_3, X_4 の各値並びに各特性の重み付き平均、重み1の観測値に対する標準偏差

特 性	a (X_1)	b (X_2)	c (X_3)	ソガ混交色 (X_4)
重み付平均	0.1134	23.5	34.6	33.2
重み1の観測値の標準偏差	0.1197	45.9	14.0	54.7
重み16の観測値の標準偏差	0.0299	11.5	3.5	13.7
X_1, X_2, X_3, X_4 の対応する値	2.0	2.081	-0.461	-1.767
	1.5	1.561	-0.346	-1.326
	1.0	1.041	-0.231	-0.884
	0.5	0.520	-0.115	-0.442
	0	0	0	0
	-0.5	-0.520	0.115	0.442
	-1.0	-1.041	0.231	0.884
	-1.5	-1.561	0.346	1.326
	-2.0	-2.081	0.461	1.767

この表には、4つの特性の重み付き平均、重み1の観測値に対する各特性の標準偏差(この重みは各林分の面積に等しくしてある)と $419.2/26 = 16$ エーカーの平均面積に対する標準偏差も載せてある。 X_1, X_2, X_3, X_4 の値を、係数の元の単位で表わした時には、林分の平均面積が16 エーカーに等しいことを考慮に置く必要がある。したがって、 X_1, X_2, X_3, X_4 の値は、実際に観測された範囲内にある値を求めるため、 $1/\sqrt{16}$ を乗じて、各係数の重み付き平均を加える必要がある。 X_1 の定められた値に対応するaの各係数は6表に示してあるようにして求められる。他の係数の平均値、標準偏差を用

6表 X_1 の定められた値に対応するaの各係数を求める方法

X_1	$X_1 \cdot 0.1197 / \sqrt{16} = 0.0299 X_1$	$a = 0.1134 + 0.0299 X_1$
2.0	0.0598	0.1732
1.5	0.0448	0.1582
1.0	0.0299	0.1433
0.5	0.0150	0.1284
0	0	0.1134
-0.5	-0.0150	0.0984
-1.0	-0.0299	0.0835
-1.5	-0.0448	0.0686
-2.0	-0.0598	0.0536

いれば、同じ方法で原生林の構造を述べるのに用いられる4つの係数の値が求められる。この値は7表に載せてある。 $\lambda_1 = -2.0$

7表 原生林の各構造型の特性

構造型	a	b	c	ツガの混交割合
			in	%
A	0.1732	47.4	34.0	9.0
B	0.1582	41.5	34.4	15.0
C	0.1433	35.5	34.8	21.1
D	0.1284	29.5	35.2	27.1
E	0.1134	23.5	35.6	33.2
F	0.0984	17.5	36.0	39.3
G	0.0835	11.5	36.4	45.3
H	0.0686	5.5	36.8	51.4

に対処する係数は結局負になることに気付くであろう。明らかに λ_1 は負とはなり得ず、又、平均値からの偏差がこのように大きいことは実際にはありえないから、この係数は無視しなければならない。このことは3図を見れば直ちに理解できることで、 $a = 0.00536$ では直線は横軸の下になつてゐる。残りの7組の係数がブナ・カバ・カエデ・ツガ原生林の7組の構造型を特徴付けている。

各構造型についてエーカー当りの直径階別本数を算定することは簡単である。7~9 in の直径階について、A型では次の値が得られる。

$$\int_7^{19} 47.4 e^{-0.1732x} \cdot dx = \frac{47.4}{-0.1732} (e^{(-0.1732)9} - e^{(-0.1732)7})$$

$$= -279.67 (0.2104 - 0.2975) = 23.8$$

8表には8構造型のエーカー当り直径階別本数が載せてある。エーカー当り本数はA型からH型之行くに従つて順次減少していき、大径木の割合は、逐次増加している。

8表 原生林の構造形別の直径階別本数表

樹高直径 in	エーカー当り本数							
	A	B	C	D	E	F	G	H
	本	本	本	本	本	本	本	本
8	23.8	23.5	22.6	21.2	19.0	16.0	11.8	6.4
10	16.9	17.1	17.0	16.4	15.2	13.1	10.0	5.5
12	11.9	12.5	12.8	12.7	12.1	10.8	8.5	4.8
14	8.4	9.1	9.6	9.8	9.6	8.8	7.3	4.2
16	6.0	6.6	7.2	7.6	7.7	7.3	5.9	3.7
18	4.2	4.8	5.4	5.9	6.1	6.0	5.1	3.2
20	3.0	3.5	4.1	4.5	4.9	4.9	4.3	2.8
22	2.1	2.6	3.0	3.5	3.9	4.0	3.7	2.4
24	1.5	1.9	2.3	2.7	3.1	3.3	3.1	2.1
26	1.1	1.4	1.7	2.1	2.5	2.7	2.6	1.9
28	0.7	1.0	1.3	1.6	2.0	2.2	2.2	1.6
30	0.5	0.7	1.0	1.3	1.6	1.8	1.9	1.4
32	0.4	0.5	0.7	1.0	1.2	1.5	1.6	1.2
34	0.1	0.3	0.5	0.8	1.0	1.3	1.4	1.1
36				0.1	0.3	0.5	0.8	0.8
計	80.6	85.5	89.2	91.2	91.2	84.2	70.2	43.1

9表から大径木の割合が高いのは、ツガの割合の高い時に起ることが分つた。このような観察は原生林の発展過程をほぼつきりと理解する上にかなり重要である。この事実を説明するのに2つの方法が考へられる。ツガが恒に高い割合で存在する地区や地帯が在り、又逆に散生するだけの土地もあろう。原生林の発展途上においても各構造型は変わるであらう。この研究に主として関係があるのはこの後者の説明である。

興地研究の進展 原生林の構造は順次変化することが示めされた。広葉樹を下部にもつ大径のツガ林は遂には破壊され、ツガの百分率の小さい林に取つて変られるであらう。

例えば Tionesta 地区の林分19では、地表は頻りに暴風のため同じ方向に倒れた多数の腐朽したツガの幹で蔽われていた。現存林分の一部は、殆んど広葉樹の純林になつてゐる。広葉樹の影でツガの幼苗が断々に成江し、数十年の中にツガは大直径級で優勢を占める樹種となろう。ツガの成熟期から増えたとすると、原生林の完全な発展期間が終るまで、200~300年を要する。しかし数十年の期間だけを考えた場合には、A型からH型のどれか一つで特徴付け

られる林分の構造はそのまゝ残っている。200 年以上経過すれば林分の構成は 除々に変化するという事実にもかわらな。釣合っていると言える。極端な形である G と H を除けば、森林が採伐で經營されておれば、これ以外の構造形はそのまゝの状態を維持できる。

各林分構造型の意義は、エーカー当りの断面積、材積、3つの主要直径級の木数分布を計算する際、もつとはつきりと理解されよう。実際にはエーカー当りの材積合計、大中小径木の百分率で林分の構造を特徴付けるのが構型である。この3種の主要直径級の範囲は 7~13 in. 13~21 in. 21 in. 以上とするのが普通である。断面積、材積の百分率についても、真く同じで、9表に示してあるように、*feet*³で表わされた結果について説明すれば充分である。これに対応する断面積のデータは 10表に示してある。エーカー当りの材積は A型からエーカー当り 5000 *feet*³ の最大値に達する下型に到るまで、除々に増加していることに注目してみると面白い。しかし、2の異を界にして、材積は、エーカー当り 4740. 3300 *feet*³ と急激に下降している。

9表 総材積と直径級別の材積の百分率分布

構造型	エーカー当り材積	直径級別材積分布			
		小径木 7~13 in	中径木 13~21 in	大径木 21 in 以上	ツガの割合%
	<i>feet</i> ³	%	%	%	%
A	2810	28	39	33	9.0
B	3290	24	37	39	15.0
C	3780	21	36	43	21.1
D	4330	18	34	48	27.1
E	4780	15	31	54	33.2
F	5000	12	27	61	39.3
G	4740	10	26	64	45.3
H	3300	8	23	69	51.4

10表 断面面積と直径級別の断面積

構造型	エーカー当り断面積	直径級別断面積分布		
		小径木 7~13 in	中径木 13~21 in	大径木 21 in 以上
	<i>feet</i> ²	%	%	%
A	80.8	33	37	28
B	92.8	29	38	33
C	105.0	26	37	37
D	117.7	22	35	43
E	127.7	19	33	48
F	131.3	16	31	53
G	121.9	13	28	59
H	83.4	11	26	63

この最後の所型は直径級別木数の漸減を示しているけれども、材積のこの突然の減小はこのような構造をもつ林分が、小直径級に充分な材積の存在できる程多量に大径木が存在する段階に達していることの明瞭な指標である。かかる林分の次の発展段階はツガの過熟木の枯死するものが増加し、小径級の材積が次第に増すことで特徴づけられる。このような幼令木は大部分が広葉樹であろうから将来においては A型に似た構造のものになる。

構造型毎に算定されたエーカー当りの材積合計と直径級別材積分布は、森林經營の行なわれているブナ・カバークエデーツが林相の森林の正統構造を認識する際に、価値のある手引となる。当然のことながら、經營者は森林收穫のできる最大限の蓄積を維持しようとするよりはむしろ A, B, C型に似た蓄積を維持しようとするのであろう。定期的な伐採や間伐によつて、このような構造、特に樹種構成に固着する限り、改良が可能と思われる。異令林の正統蓄積は固定された量ではなく、森林や経済的條件の変化に資するようかはり異令の激しい一つの状態である。確定された構造型は最も優れた利便な基礎を築き、これによつて、異令林の釣合のとれた材積が森林生産を危くせがく変化しうる範囲を判断できるのである。

成長量 Growth

樹高位置に成長量を測定し、伐根の年輪を数えて、多数の林分地区について、最近10年間の平均直径成長量が決定された。直径調査の行なわれを林地別に成長量を求めることは、非常に労力のいる仕事であつたであろう。資料は全地域に亘つて集められた。したがつて、これは前述の各係数で特長付けられる。構造型とは関係がない。これらは地域を細分したものに関連するものである。しかし構造と成長量との間に有意な相関のあることが確証できれば、ある林地の成長量はある程度まで、林分の構造や樹種構成だけでなく、地位によつても変るから、このことには疑問がある。同一の地位でも、構造はかなり変化しているのだから森林の発達には長期間を要するから、地位による成長量の相違は、構造等の差違によつてかくさ

樹皮成長量を求めた直径年成長量

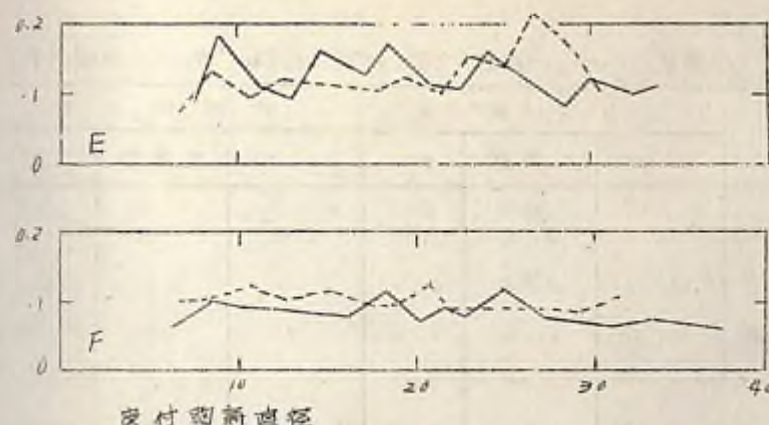
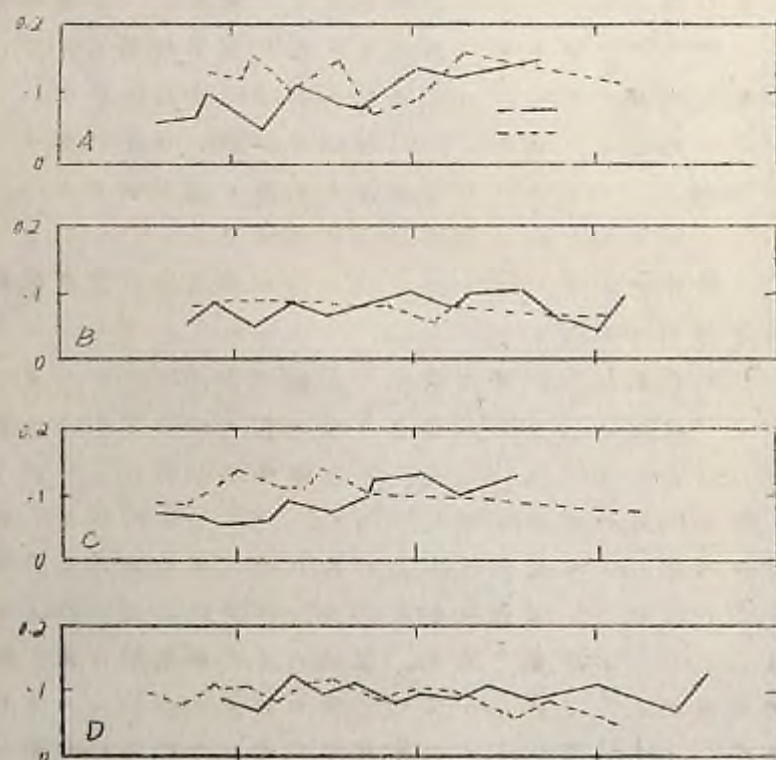


図 各地区の林分についての伐付胸高直径に対する樹皮成長量を含めた直径年成長量

A: Hess; B: Richetts; C: Rightmeier;
D: Larson; E: Dunham; F: Ticonderoga

れてしまふ。

多くの地区についてツガと広葉樹別に算定した、胸高における平均直径成長量が4回に示してある。各林地からとられたデータは、大々僅かながら差のあることを示している。全体としてはつきりとした直径成長の傾向は認められず、平均成長量は、全直径階を通してほぼ同じであつた。しかし広葉樹の成長量は一般にツガよりも大であつた。4回に示してあるデータに直線又は拋物線をあてはめて原データを平滑化すれば、このことはもつとはつきりしてくる。このようにして求めた平滑化した直径成長量を用いれば、伐材成長量やエーカー当り材積成長量と同様、直径階別材積成長率の計算は簡単である。8 in直径階から30 in直径階に到るまでに、材積成長率は、ツガでは2.5%から0.9%に、広葉樹では3.0%から6.7%に減少する。したがつて小径級では、ツガの相対的成長量は広葉樹より多いが、大径級では逆となる。

材積の百分率で表わした材積成長量とエーカー当りの材積成長量の追加資料がノ1表に示してある。直径7 in以上の木の伐材積に

11 表 ツガと広葉樹のエーカー当り材積成長量と材積の百分率で表わした材積成長量

地 区	エーカー当り材積成長量			材 積 成 長 率		
	ツ ガ	広 葉 樹	計	ツ ガ	広 葉 樹	計
Hess	feet ³ 5.3	feet ³ 61.4	feet ³ 66.7	% 1.4	% 1.6	% 1.6
Rickett	15.1	28.8	43.9	1.0	1.3	1.1
Rightmaier	14.2	42.4	56.6	1.3	1.6	1.5
Larson	32.9	23.1	56.0	1.1	1.4	1.2
Dunkham	31.5	22.4	53.9	1.3	1.7	1.5
Tionesta	18.6	22.3	40.9	1.7	1.5	1.0

ついで、ツガの材積成長率は常に広葉樹より低くかつた。エーカー当りの材積成長量は、44~67 feet³で、全地区をこみにした平均（直径調査を行った面積で重み付けしてある）50.7 feet³であった。この成長量は、ある時期を過ぎると毎年の枯死量でその大部分が相殺される相成長量を表わしている。当然のことながら、同じ森林でも、群状伐採、或は群状残伐作業法で組織的に経営されている時には、エーカー当りの成長量は明らかに大となる。一方、同時にエーカー当りの正常蓄積は原生林の現実蓄積より、或分小さくなるであろう。しかし、エーカー当りの材積が同じであつても、直径階別の材積分析は違つており、小径級の材積は多く、大径級の材積は少いであろう。

要 約 Summary

分析関数 $df = ke^{-ax}$, dx を用いて、ブナ・カバ・カエデ・ツガ林相のいろいろな原生林の直径分布を統計的に比較した。この関数 a と k 間に高い相関のあることが分つた。 a の大きさは樹木の大きさに値に対応している。この重要な関係により、原生林の割合のとれた構造の範囲内で直径分布の漸進的な変化を算定することが出来る。相隣れる直径階の本数減少割合を決定する a の与えられ

た値に対し、木の大小により林分強度の高低が示めされる。係数 a と k に加えて、林分は、直径限界 b とツガの混交割合により数値的に増減づけられる。これらの特性は、逆に a , k と同じく、それらの間に相関のあることを立証している。

統計的方法を適用して、7組の4つの係数 (a , k , b , ツガの混交割合) がクダ類の順序よく変つていく原生林の構造型を暗示付けるために求められた。エーカー当りの樹木数は A 型から H 型に到るまでに、最初は増加しその後減少すると同時に、大径木の割合は次第に大きくなること分つた。

大径木の割合が大きいのは、ツガの混交割合が大きいときに生じた。このことは、各構造型が長期に亘る原生林の発展過程の中で、非常に違つた段階を表わしているという見方に一致している。広葉樹を下木にもツガの大径林は、遂には伐採され、ツガの混交割合の多い広葉樹林に取つて替はれるであろう。しかし、ツガの混交割合と特性、 a , k , b との相関は、相対的に低いから、ツガの割合は各構造型毎に与えられる平均値から、かなりかけ離れていると思われる。

エーカー当りの材積は A 型から、エーカー当り 5000 feet³ の最大値に達する下型に至るに従い増加する。次で材積は 4740 feet³ と 3300 feet³ と下降し、さらにこれらの型が過半数を占めた原生林を表わしていることを示している。このような構造の林分は、小径級に充分な蓄積が準備されている。多量の大径木をもつてゐる。その発展段階は大径級の枯死量が増大し、小径級の材積が逐次増加することで増長づけられる。3つの主要直径階別の材積、断面積の百分率分布を示している 9, 10 表は、この状態をもつてはつきりと説明している。

この構造型は、ブナ・カバ・カエデ・ツガ林相の混合林の割合のついた積算は変動するが林の構造は、演進生産ができるように充分に割合状態を維持している。範囲を判断する基礎となっている。しかし、ここで考察している経営林の正常構造は、小径級に比較的大

きな材積を有していると思われる原生林とは少し違うであろうとい
うことを指摘できよう。

成長量を分析した結果、材積の成長率は直径の増大に伴つて、ツ
ガでは約2.5%から2.9%に、広葉樹では約3.0%から3.7%に減
少することが示めされた。エーカー当りの粗材積成長量は43.7~66.7
feet³で、調査された全林分の平均は50.7 feet³に等しかつた。
この粗材積成長量の一部は、年当り平均枯死量で相殺される。林分
がエーカー当り材積の低いある構造型から、エーカー当り材積の比
較的高い別の型に変わるにつれて、相成長量は年当り枯死量を越える
であろう。材積が再び減小する成熟過程の終期では、年当り枯死量
は、年当り粗成長量より大きくなるであろう。

(栗屋仁志訳)

Literature Cited

- (1) Hotelling, H. 1933. Analysis of complex of statistical
variables into principal components. Jour. Ed.
Psychol. 24: 417-441, 498-520
- (2) 1936. Simplified Calculation of principal
Components. Psychometrika 1: 27-35
- (3) Hough, A. F. 1932. Some diameter distributions in forest
stands of northwestern Pennsylvania. Jour.
Forestry 30: 933-943, illus.
- (4) 1936. A climax forest community on
east Tionesta creek, in northwestern Pennsylvania.
Ecology 17: 9-28, illus.
- (5) Jennings, O. E. 1927. Flora of Cooke forest (Clarion and
forest counties, Pennsylvania). Cardinal 2: 53-61, illus.
- (6) Kendall, M. G. 1939. The geographical distribution of crop
productivity in England. Roy. Statist. Soc. Jour.

(n.s.) 102: 21-48, illus

- (8) Liocourt, F. de. 1898. De l'aménagement des Sapinières.
Bul. de la Société Forestière de France - Comte et
Belfort. Besancon.
- (9) Lutz, H. J. 1930. The vegetation of heart's content, a virgin
forest in northeastern Pennsylvania. Ecology 11: 1-29, illus.
- (10) Meyer, H. A. 1933. Eine Mathematisch-Statistische Untersuchung
über den Aufbau des Plenterwaldes. Schweiz. Ztschr. f. Forstw.
84: 33-46, 88-103, 124-131, illus
- (11) Meyer, H. A. and Trevino-Saldana, C. 1937
Estudio sobre la constitucion normal y el
crecimiento de los bosques virgenes de la serrania
del estado de Puebla. Bol. del dept. Forestal y de
Caza y Pesca 2 (6): 165-202 (See also U.S.
Forest Serv., Div. of Forest Managt. Res.,
Translation 360)
- (12) Meyer, W. H. 1930. Diameter distribution series in
evenaged forest stands. Yale Univ., School
Forestry Bull. " 22, 105 pp., illus.
- (13) Morey, H. F. 1936. A comparison of two virgin forests
in northwestern Pennsylvania. Ecology 17: 43-55, illus
- (14) Schaeffer, A., Gazin, A., and Alverny, A. D. 1930.
Sapinières. le jardinage par contenance (Méthode
du contrôle par les courbes). 100 pp., illus. Paris.
- (15) Schnur, G. L. 1934. Diameter distribution for
old-field loblolly pine stands in Maryland.
Jour. Agr. Res. 49: 731-743, illus.

2. 時間が半分で設定できる成長量と枯損量の固定標準地

Permanent Growth and Mortality Plots in Half the Time

by C.B. Stott.

Journal of Forestry Vol 45 No 9 1947 pp 669~673

成長率や枯損率の知識は製材林分やパルプ材林分の保続経営にとって基幹となるものではない。そのような研究のための固定円形プロットを設定するのに提案した方法は迅速かつ正確である。それは過去の円形プロットの技術の改良であり、また旧式の矩形プロット形式よりも実地的である。ここに実際の林業感が成長量や枯損量に關する自分の説を遂行するための迅速な方法がある。

Austin Cary は Southland の森林から多くの立派な林木収獲を得た。Mr. Cary は林業家として認められているが、その人は版を林産物の收穫者であると考えている。しかしそのことは彼が自分の仕事について考えているやり方である。私は信じている。彼は立派な收穫を誇りとしており、彼が設定し再測した多くの成長量プロットのどの一つでも貧弱な收穫であればはずかしがるであろう。彼は忙しい毎日ではあるけれども、私有林や産業用林地の所有者に対して木がどれだけあるか、ばかりでなくそれがどれだけ成長するかを証明するのに多くの時間をさいている。

多くの林業家はこれを行う時間があり、そしてすべての人がそれをうまく処理してゆく満足感を察しんでいるであろう。彼等が必要とする刺激は成長量と枯損量の固定プロットを立派に早く設定する技術であろう。

新しい成長量プロットの方法は 1937⁽²⁾ 年に提案された。それによつて Lake state と Central state を通じて 3,700 ケの固定円形プロットの設定が促進された。12 以上の私有林、産業用林、材

用国有林の林業家がこれらのプロット試験を行つた。その過程が簡便であることは 1940 年に北部広葉樹林に設定した 206 プロットの目的を果した最近の再測と 1938 年に設定された 375 の jack pine プロットの再測とによつて示されている。プロットが迅速に設定できることは 2 人の調査員が 1 日に 7 エーカーすなわち 35 のプロットが設定できることによつて示すことができる。

しかし過去の方法での経験は本質的な改良が必要であることをはっきりさせた。1 人の男の仕事であるように設計された新しい方法が採用された。それは 2 人 1 組で同じ時間で前に行つた仕事の半分以上を完成し、そして森の中で唯 1 人で働くことが多い農用林、私有林、産業用林の森林家にも役立つものである。500 以上のプロットがこの改良された方法を用いて過去数年すでに設定されてきた。

プロットとその設定

どんな仕事にでもそうであるように、森林の成長量の決定は仕事に組織的な方法が必要である。その段階は調査されるべき面積に対する統計的正確度の合理的な標準を設定することである。森林面積に対する観測した成長量数値の信頼性は同じ面積に対する材積推定の統計的正確度とほぼ同じであると仮定すれば安全である。この仮定をもとにして、また色々な一様性、密度、地域の大きさをもつ森林で材積推定のために用ゐられた手引きを用いて、要求された統計的な正確度を得るために必要な成長量のプロット数が決定される。それからこれらの不偏な配置がその地域の基本図に示され、また外業計画が立てられる。

7 エーカーの成長量固定プロットは半径 127 フィートである。測から測までのこの長さを測定する黄色いエナメルを塗った銅テープが円の周に近い木の位置がプロット上にあるかプロット外にあるかを決めるのに用いられる。プロットの中にテープをどめろのに似た 12 インチの鋼製の棒にテープの一方の端を永久的に結びつけておく。この固定棒から円まわりのテープの自由な端を上にあげ

ると機械的な過程がわづかの時間でできるようになる。プロットを中心はその根元にテープピンが付きささつてゐる木にペンキで線を付けて永久に印づけするが、あるいはプロットの中に地中へ短い棒を打ち込んでおく。

名々のプロットでは同じ東西南北の方向から、できれば北の方から林木測定を始めてゆくのが最も便利である。プロットまわりで時計の進む方向に進んで木が受られる順序に測定する。木の位置は1939年にのべた方法で行われたような正しい方向に置いた格子円上に示されなくて、どの木もペンキで番号づけがしてある。この目的のためにはうすめてないペンキを入れた小さなポケットスプレイガンが使われている。

この仕事において最小の誤差で最大のスピードを得るためにははつきりとした技術を得得することと覚えすそれを使用することが必要である。これは直径のテープ測定、林木の高等区分過程およびペンキスプレイガンの使用と応用される。

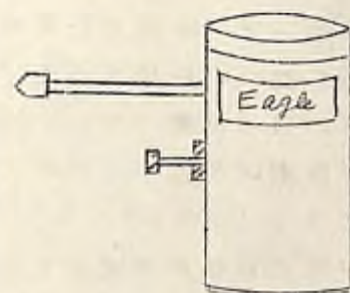
直径テープの使用

もし直径テープが木のまわりに水平におかれておらず、またピンと張られていなければ誤りのある基礎が毎々の再測定に図められる。成長量プロットの設定または再測定に際しての習慣的な注意は、従来一貫して研究している林木の真の成長量の過大か過小の値を身える傾向がある。誤りは一年の終りに行なわれた再測定の時に見われてくる。5年以上の間隔のように大きな成長量の差がでてくる場合は誤差はかくされてしまう傾向はあるが決して補正できるようなものではない。

ペンキスプレイガンの使用

成長量プロットの仕事に使われている円筒型ペンキ注入銃や注注入器は West Virginia の The Eagle Manufacturing Company of Wellsburg で作られている。1954年には

1ドルで小売されている (図参照)



以下これの使い方を逐々につき試出を中略する。

要する時間

成長量プロットの設定とペンキで木に番号をつけることはおそい仕事であると思われる。これは新しい方法ではそうではない。エーカーあたり平均30本の樹材丸太を含む55プロットの時間を計った試験計画の場合に経験者は1本当たり6秒を要した。木を測りペンキでマークし、高等区分をし野帳に記録する。あまり経験のない人は同じ仕事をするのにほとんど2倍の時間を要する。

これら同じ55プロットを2人が一緒にかつて1本当たり3秒の場合で測定し高等区分したがあまり経験のない人の組は1本当たり5秒が必要であつた。ここには地形や、やぶやまた岩石地の困難が過剰はなかつたし、プロットは54エイン間隔でとられた。

平均の条件で1日当り1人が10から15プロットを設定するのに町の困難もなく、また2人で観本が広い範囲に渡らなければ1日は155プロットを下ることはめづたにない。普通にプロットが54エイン以下の間隔であるときには必要な時間の3/4はプロットそれ自身の調査に用いられ、残りの1/4はプロット間の移動と樹木測定に実際に関係がない経験に使われる。

算出およびプロットの成長量と遭遇する間隔の状況は記憶した情報から計算する。Ohio州のShawnee State Forestで54エイン

間隔で70ヶのプロットを配置した1つの4マイル畝は70個のそれ相当の個々のものに対する十分な資料を与えている。3人の調査員が4日間で調査したこれらのプロットは直ちに実際の造林や2000エーカーの立派な針葉樹林の経営に一つの目安を与えてくれるであろう。再測するのには5年、10年を待つ必要はない。これらの70プロット上の林木は2つだけの成長期間を過ぎてのち、1947年に1日10人で再測定されるであろう。

南部 Wisconsin で1年か2年の成長期を過ぎた後、149プロットの再測定からえられた情報は、森林家が管理をまかされた森林に起る物理的な変化の尺度を得るのに10年も待つ必要のないことを示している。再測定は年々ともに改定され10年の評定を明らかにすることができ、それはその評定に根本的な反証を与えないであろう。どんなに葉樹混交材林でも100プロットの測定を続けて行くには2年毎に15~20人日の仕事しか必要としない。これは森林の基本的道具——成長量表や枯損量表——に対する支払いには小さな謝礼にすぎない。

いままで述べた数年の間、3つのノエーカー方形プロットが林木の生と死に對しての解答を与えたということは容易ならぬ疑いがもたれる問題である。このようなプロットは森林の標本ではない。樹冠が優勢になってゆくことをよく表わすようなある広葉樹林や針葉樹林で、木毎に、プロット毎に、また可能な3年毎に多くをランダムにあるいは組織的に配置されたノエーカー標本上で読みとればそれらを適当に経営するのに必要な林地の理解が与えられる。あまりにも多くの原因と効果は大体5年や10年の再測定ではかくされてしまう。経験が多過ぎて失敗である。季節変動は期間的な平均ですっかりつつまれてしまう。

野帳の記録

データ-記録に使う記帳は複雑な仕事であつてはならない。5x7インチサイズの紙の上に2,3回の再測定の欄を記するのが最も都合が

よいようである。この紙の上に多くの知識や詳しい情報をつけ加えることによつて少しは利益をます。紙と欄頭は簡単なものではない。(表1)

材 質 表

丸太数や林木のバルブの枝木を考へない地方材積表(表II)は粗ボードフットや粗コード材積の決定に充分役立つ。コード材積での経験は限があるが丸太材積表はすでに決定された。

ボードフット材積表は直径増加の割合に樹高増加が影響する。4つの木の材積の差は15から20%範囲にわたり林分表も違つてゐる。これはほぼ1年当り1本当り1ボードフットの成長量に等しい。

胸高直径1/10インチに對して単木当りボードフットによつて曲線が引かれ表が作られており、これらの表は広範囲に渡つて使える。適當な表を選ぶことは調査面積内のプロット上の各樹種の10本の木の使用できる長さの無作為選抜測定によつて確かめられる。木の直径は各測定のときに同じ表が使われる場合に、結果の正確性に対しての1つの制限因子ではない。

ボードフット材積は故障(cull)を差引く前の粗圓頭丸太尺である。故障は調査する林分によつて変化する。普通に故障因子は同じ標本プロット上の相対的な2回の測定の間で大きく変わらないと仮定することが安全である。だから故障の推定は大いに判断の問題であるから成長量測定技術の精進さによりから限があることは明らかである。

測定された各林木に適用した故障標準の使用はより調和した相対的な正確性をもたらす結果になりそれらは1回の測定からもう1回の測定の間の期間から故障軒数量に及ぼす変化があつても承認される。故障に對する個々の樹の特別な目安は Lake State Forest Experiment Station によつてすでに述べられている。

林分の枯損量は、それが生じたとき成長量から引かれる。それは故障とごつちやにしてはいけな。最初の測定のときに、故障とし

て岳等区分しその後になくなった林木は純成長量を減少はさせないが新着として初めに分類された木の損失は純成長量から引かれる。

〔表1〕— 成長量測定野帳

(Growth Measurement Tally Sheet)

1/5-エーカープロット (52.7フィート半径)

{ 1/5-Acre plot (52.7フィート半径) }

PROJECT	Plot Number—
Sec. - T- R- Forst-	Date Tallyed Measured by by
site quality —	—
Stand density —	—
Main stand age —	—
slope % —	Ridge top
Aspect —	Upper slope
Chains between plots —	Middle slope
—	Lower slope
Remarks —	River bottom
—	—

	Date	Date	Date
Tree No. species	d.b.h. Treeclass	d.b.h. Treeclass	d.b.h. Treeclass

(表II) 材積表

(The Volume Tables)

Localized International Gross Log Scale

Board foot volume tables for all hardwood species in the
Nate Central and Lake states

Based on Technical note 203, Lake, State Forest Experiment
Station See "The Woodlot Forester's Toolkit" for correction
factors by species

Tree size d.b.h.	Board feet per tree				Usable length			
	tall Trees	Good Medium trees	Fair Medium trees	Short trees	Tall Trees	Good Medium Trees	Fair Medium Trees	Short trees
12	88	70	53	35	26.0	20.4	14.9	9.3
14	144	119	95	70	32.6	26.3	19.9	13.6
16	212	178	145	111	39.8	30.8	23.9	16.9
18	292	247	207	158	41.9	34.4	26.8	19.2
20	...	...	...	...	...	...	...	...

Localized Gross Unpeeled Hardwood Volume Tables
U. S. D. A — Forest Service
Region 9.

Based on Technical Note 202, And Used height data from the
Lake states Forest Experiment station

D. B.	Cord Per Tree		Short Trees
	Tall Trees	Medium Trees	
6	0.045	0.031	0.023
8	.118	.086	.063
10	.206	.157	.118
12	.308	.243	.186

(川端 幸蔵 訳)

3. 低地産広葉樹の成長錐調査による被害

Damage from increment borings in bottomland hard woods

E. Richard Toole と John L. Gammage

Journal of Forestry 1952, 12 Vol 57 No 12 P909-911

この論文は5種類の低地産広葉樹における、成長錐の穴による傷と腐れの研究について報告している。普通の錐で作られる0.2 inの穴は、散りたるものと屢々考えられているが、これによつて多大な欠損を生ずることが判明した。

1958年9月さらに1957年3月に Nuttall oak (*Quercus nuttallii* Palmer) green ash (*Fraxinus pennsylvanica* Marsh.), sugarberry (*Celtis laevigata* Willd.) sweet gum (*liquidambar styraciflua* L.) 単葉はこやなぎ (*Populus deltoides* Barts.) の各10本について 3~6 inの4種の深さに成長錐を突込んだ。これらの木は Mississippi 州 Stoneville 近傍の Delta 実験林内にあり、その直径は10~14 inであった。普通の方法で成長錐は突込まれた。穴は斜めにならない様にし、又殺菌剤は用いられなかった。充てんは別の研究で無効であることが示されているのでテストしなかった。注秋季の穴は概して主方向の一方に対して 20°、即ち 20, 110, 200, 290° の方位角で地上約 1/2 feet の位置にかけられた。春季の穴は 340, 70, 160, 250° の方位角で地上約 5 feet の位置に設けられた。癒着および表面の傷を6ヶ月間隔で測定した。

1958年9月一検定後2回の成育期間を経て同一に伐制し樹幹を解し、変色と目でみえる腐れが測定された。代表的な標本から人工腐蝕が行われた。

結果 Results

2回の成育期間を経ると sugarberry を除く他の全ての樹種の樹は白化していた。(1表) 穴の周りの形成層の傷は sugarberry では軽微に癒着するためと思われる。Nuttall oak や sweet gum では

秋より春の方が穴の癒着は早い。一般に癒着の割合は南部 Appalachian で、Heptling 等の報告しているものよりはるかに早かった。

玉切った時殆んど全ての穴は変色又はその周りが汚損していることが見出された。(2表)

変色の水平方向の散りは穴の直径より僅かに大きいだけであつた。垂直方向の範囲はかなり大きく、穴の上下にはほぼ同じ距離拡がっている。汚損は黒から薄灰色、褐色に変わっている。

汚損程度に關するデータを分散分析してみると、樹種および季節によつて極めて有意な差のあることが示された。さらに、樹種と季節の交互作用は極めて有意であつた。

秋と春の穴を一括にすると Sugarberry では垂直汚損の平均は 9.8 in、最大は 56 in であつた。Nuttall oak の平均は 10.1 in、最大は 40 in、sweet gum の平均は 10.1 in、最大は 28 in、単葉は cottonwood の平均は 7.9 in、最大は 20 in、green ash の平均は 3.1 in、最大は 12 in である。

7検定は sugarberry, sweet gum, Nuttall oak 間に有意差を示さなかったが、Cotton wood や green ash より汚損は激しく、ash は他の樹種に比べて非常に小さであつた。

他の樹種ではそうならぬが、sugarberry では既に作られた穴は春のものに比べて汚損が甚しかった。(7検定の1%水準で有意)

表1 成長錐孔の所見注

樹 種	秋 の 孔		春 の 孔	
	1 成育期間の癒着	2 成育期間の癒着	1 成育期間の癒着	2 成育期間の癒着
cottonwood	98	100	100	100
green ash	100	100	100	100
Nuttall oak	31	77	92	100
Sweet gum	75	99	100	100
Sugarberry	20	78	18	75

注 百分率はいつでも40個の試料に対するものであるが、秋に試験した Nuttall oak は36孔で表わされている。

汚損した材の若干について、培養が行なわれた。多くの標本では有機物は得られなかったが *Phialophora* 種、*Fusarium* 種、*Denticillium* 種、*Curvularia* 種、*Nigrospora* 種、*Diplodia* 菌類が分離された。同様な結果が、Maryland 州 Beltsville の U. S. 樹病研究所の Ross W. Davidson によつて得られた。分離された有機体が多様であることは一種の菌類又は菌類の小群が成長孔によつて特に侵入し易くなつたのではないことを示している。これらの菌類は製材の汚損と関係のあることが見出されているが、最も一般的に製材の汚損原因ではない。

汚損した木の腐れの垂直方向の平均および最大の範囲は樹種によつて異なる。(3表)

秋および春の孔を一括すれば、平均および最大値は ^{はこやなぎ}catton wood で 6.4 と 10 in, ^{もみじばふう}sugarberry で 4.7 と 8 in, ^{もみじばふう}sweet gum で 2.5 と 6 in, Nuttall oak で 1.7 と 3.1 in であつた。ash では腐つたのは1孔だけであつた。腐れの量の分散分析によれば、樹種間に極めて有意な差が示された。樹種と季節の交互作用は有意であつた。

腐朽した孔と同様に健全な孔を考察すれば、もみじばふうは他の樹種に比して非常に多く、sugarberry はもみじばふうより多いが、その他のものより多く、はこやなぎはもみじばふうより少く、ash や Nuttall oak より多いことが見出された。

2表 成長雄調査後の2成長期間の着色

樹種	秋の孔		春の孔	
	汚損した孔	垂直方向の平均範囲 ²	汚損した孔	垂直方向の平均範囲 ²
東部産はこやなぎ	92	8.2	73	7.6
Green ash	100	3.2	100	3.0
Nuttall oak	100	9.1	100	11.0
もみじばふう	100	10.7	100	9.5
Sugarberry	100	13.1	100	6.4

注 汚損のない孔はこの計算から除いた。

5種類の腐朽菌が分離された。樹病研究所は *Peniophora* 種として2種、*Xylaria* 種、*Polyporus dryophilus*, *Polyporus adustus* として夫々1種を推定した。

論考および要約 (Discussion and summary)

成長雄孔が急速に癒合するため、その大部分の周りに汚損が生ずる。着色の垂直方向の平均的範囲は2年間で3~13 in であつたが、これは樹種および、孔を作った季節が春か秋かによって変る。水平方向の散ばりは非常に小さかつた。これらの発見は、感着がもっと頻りに地区について *Hepting* 等が報告している範囲内にある。

3表 成長雄調査後の2成長期間の腐朽

樹種	秋の孔		春の孔	
	腐れのある孔	平均的垂直範囲 ²	腐れのある孔	平均的垂直範囲 ²
東部産はこやなぎ	12.5%	6.4 in	0%	0 in
Green ash	2.5	4.0	0	0
Nuttall oak	20.0	1.5	5.0	1.8
もみじばふう	15.0	2.3	80.0	2.6
Sugarberry	22.5	5.1	12.5	4.2

注 腐れのない孔はこの数値に含まれていない。

Lake State の広葉樹について研究を行っている Korang 氏。成長雄孔からの成ずる汚損は、主として生理学的原因によると結論した。この研究では、多数の汚損した材から分離されるものの数の少ないことが、この結果に一致している。しかし分離された6種の汚損菌は、着色の一部の原因と言つてゐると疑われる。

春に穿孔したもみじばふうの異常な腐れの発生については簡単には説明できない。穿孔は互いに約2マイル離れている。これらの木の近くで肥子をばらまくことと同時に起る。

森に穿孔したもめじばふうを除けば、腐れの範囲は、Meyting等の報告したものより小さかった。それはこの研究では孔が割に早く閉塞したをめと思われる。

腐れの有無にかかわらず、ほとんど全ての成長錐孔から生じを汚損は、製材又はベニヤ用の丸太の欠点となる。高価な広葉樹が含まれている場合には、穿孔は最小にすべきで孔は必要以上に深くしてはならない。

Meyting, G. H., E. R. Roth, and B. Sleeth.
Discolorations and decay from increment
borings. Jour. Forestry 47: 366-370.
Illus. 1949.

Lorenz, R. C. Discolorations and decay
resulting from increment borings in
hardwoods. Jour. Forestry 42: 37-43.
Illus. 1944.

(栗屋仁志訳)

4. 成長量を推定する場合の単木資料の立場

*The Plate of Individual - Trees
Data in Estimating Growth.*

C. Allon. Rickford.

Journal of Forestry Vol 52, No 6
1954. pp 423-426

再測プロットにもとづく成長量推定は最も有用なものとして認められている。しかしプロットごとに各々の樹に対して別々の記録が望ましいものであるだろうか？ 個々の樹のデータを使う事はサンプリング誤差を少なくはするけれどもデータを集めるのに30%位コストが増える。最良の解決法は、サンプルプロット上の標本木からの個々の樹のデータをとる折仲衆がよさそうである。

森林のもつ成長力は石炭や鉄鉱石のような天然資源とは異なる材料を作る特長である。適当に経営これを林不資源は連続的に収穫できる。そのうえ将来までもなお多くの木材を供給できる。

計画的な森林経営とはとりわけ採られる材種が成長によって加えられる材種とバランスするようになり方を林木を代採する意味である。これは森林経営者が定期的に収穫の計画を立てることができると同時にこの加えられる材種を正確に推定する方法を知りなければならぬということを示唆する。最近の材種成長量かわかると伐採するのは適当な材種を計画的に伐採する方法が利用できる。

成長量が樹種間さとのように分類されているかを知ることによって森林家達は将来の成長のために残すべき林木を選ぶ一つの目安を得るであろう。樹種に対して次のことに留意することが必要である。すなわち成長と凋落の外見上適当なバランスは有用樹種の過伐と相換するということである。そのときには外見上の均衡は余り重要でない樹種の成長によってつめあわせられる。このことは殆んど

すべてがくされているノダースのタマゴを拵っていると同じことである。すなわちそれらはどれもタマゴのようであり全部でノユケあるけれども貴方方がそれを食べようと思っても役に立たない。樹もそれと同じである。

森林経営者はまた純成長量に影響するニミの要素に関心があるだろう。すなわちそれらは残存成長量 (*Survivor growth*)、進界成長量 (*ingrowth*)、伐採廻濁量 (*Cutting drain*)、枯損量 (*mortality*) である。また彼は均等木の成長量 (*cull increment*) と枯死や伐採された木の成長量もはかることができる。彼の経営向題にしたがってこれらのデータをいろいろな方法で組合せることができる。

森林経営者はこのようなデータをどの位伐採できるかを推定するのに用いる。米国林野庁 (*U.S. Forest Service*) によって *Northeast* で実行されている森林調査では廻濁によって除かれた材積と成長によって加えられる材積を比較するための基礎としてこのようなデータを使っている。われわれはまずある期間の材積の純増減変化を見出すことに関心がある。

さて成長量は多くの方法を推定できる。一つの方法は同一面積の定期的な再測を基にしている。これは通常過去の期間の成長量の決定や、あるいは将来のある期間に対する成長量の予測にとって最良の方法であると考えられている。すべての要素は直接的に測定され目下わがわしい仮定は最小限のものしか使われていない。

森林区々小面積森林に対しては全林毎木 (樹木毎の完全調査) ができる。しかし大面積森林では全林毎木の費用は甚だ高価になるのでサンプリングが用いられる。

最も簡単な場合は近似的に斉一な森林である。ここでは標本プロットの系列が無作為に配置される。プロット毎に樹種・直径・野帳を作り、直径級 (2, 4, 6) 毎の平均材積を決定するために樹高と形状の充分な数の測定が行なわれる。プロット毎に成長量が変動するのはサンプリング誤差の結果である。

このサンプリング法はプロット上のすべての個々の樹木を明示したり (例えば番号札をつけたりして) またそれらの成長に関する詳細なデータを集めることによってもっと改善できるであろう。この附加的な情報は成長量の推定を改良するだろうし、またサンプリング誤差を小さくするだろう。

しかしながら個々の木のデータを集めるとサンプルプロットの設定と再測の費用が増加する。そのうえ集めたデータの解析は一層複雑であるからより多くの費用がかかる。しかしもし個々の樹の状態に関するデータを必要とすれば再測プロットに依存するどんな研究も個々の樹を再び明示する用意がなければならぬことは誰でも認めねばならない。

問題はこうである。すなわち個々の樹のデータを集めることは附加的なコストに引き合うだけの充分な附加的な情報を与えるだろうか?

この論文は上の奥向に答えるために行った研究報告である。この研究の直接の目的は米国林野庁で現在行われている森林調査の効率を改良することであつた。しかしながらこの結果はある期間の材積の純増減変化を測定することに関心があり、個々の木の取扱いに関するデータを必要としない森林経営者にとっても有益であろう。

研 究

個々の樹のデータを使うことに利点があればそれを使うことがサンプリング誤差を著しく減少させるという有差性の検定を示さなければならぬ。もしそうなら個々の樹のデータを使うと望む正確度を得るのに必要なプロット数をかなり減少させることが可能であろう。

しかしながらたとえ個々の樹のデータが得られた利点が特別な費用に値するだけの価値があるかどうかをみるためにサンプリング誤差を小さくしたとしてもこれらのデータを集める費用を計算しな

ければ旨い。

したがってこの研究は次の二つの段階で行われた。(1)個々のデーターを使うことによって誤差が減少することの有意性の検定を行うこと;(2)個々の樹のデーターを使つてサンプルプロットと使わないサンプルプロットの二つの方法で要求正確度を得るに要する費用を比較すること。

第1段階 誤差減少の有意性

最初の段階を用いた検定は分散分析の一種であった。個々の木のデーターを用いた場合と個々の木のデーターを用いない場合の両方による平均平方の差を分散比の推定のため誤差による平均平方で割った。

関係は曲線であるけれども比較がはっきりしているから一次式を用いた。もし曲線性があったとしてもそれは僅かであると信じられる。成長量を初期材積、平均直径、およびそれらを組合せたものと関係させた。それから個々の木のデーターから推定された成長量は一つの附加的な独立変数として使われた。

重相関係数 R がそれぞれに対して計算された。説明される分散は $R^2 \sum y^2$ である。したがって $(R_1^2 - R_2^2) \sum y^2$ は個々の木のデーターによって説明される分散である。説明されない残りの分散は $(1 - R_2^2) \sum y^2$ から推定される。分散比 F は次式から計算される。

$$F = \frac{\frac{(R_1^2 - R_2^2) \sum y^2}{1}}{\frac{(1 - R_2^2) \sum y^2}{N - k}} = \frac{(N - k)(R_1^2 - R_2^2)}{(1 - R_2^2) \sum y^2} \quad \text{--- (1)}$$

ここで N はプロット数であり k は適合したパラメーターの数である。

この解析に適當なデーターをうるにはいくつかの考察が必要であ

る。林分はある取扱いが必要であることは明らかであるから、そこからの選ばれたいプロットからのデーターに存在するかも知れない偏りをさけるためにプロットは森林の移行条件の代表的なものであるべきであるということが考えられた。また個々の木のデーターが使えるような方法でプロットを設定し再測するということが必要でもあった。

Maine 州 Talmage 町の Dead River Company の地帯に D. B. Remeritt が設定したプロットが選ばれた。1939, 1940 に 35 プロットが設定され 1950 の秋に Dead River Company の補助をうけて再測が行われた。生木はすべて再測され枯死木は記録してあり進歩成長量が増えられた。

この解析では二回 (1939~40, 1950) 測定された樹だけが使われた。枯損量および進歩成長量のようなまがらわしい可能性のある因子はとり除かれた。

材積成長量は森林経営者にとって重要な因子であるからこの尺度として胸高断面積がこの解析では用いられている。胸高断面積は使うのに便利であるし、また他の測定単位よりも比較の目的にとってはより一層鋭敏なものである。

1本の木の胸高断面積は $\pi (d.b.h.)^2 / 4 (12)^2 = 0.0054 (d.b.h.)^2$ である。解析を簡単にするために係数は落してしまつて $(d.b.h.)^2$ が材積の近似的指数として使われた。

$(d.b.h.)^2$ の和で表したプロット上の成長量が従属変数であった。それは $(d.b.h.)^2$ の終期の和と初期の和の差であった。独立変数は $(d.b.h.)^2$ の最初の和、台成値、および平均木の大きさである。台成値は初期の全合計 $\sum (d.b.h.)^2$ に対する成長の早い樹種 (fir と pine) の平方和の比であった。平均木の大きさは $d.b.h.$ の平均平方の平方根であった。

各変数の独立変数は各プロット上の個々の樹の推定成長量の和であった。それは樹種別の直径に対する直径成長量の回帰方程式の系列からえられた。各樹種に対して (または樹種群) 最小二乗法に

よってあてはめられたいの一次式が得られた。

樹種	定数	d. b. h. の係数	相関係数(r)
Spruce	0.776	0.046	0.1045 ⁽³⁾
Fir	0.444	0.125	0.2850 ⁽⁴⁾
Hemlock	0.544	0.119	0.3828 ⁽⁴⁾
Pine	1.019	0.068	0.2671 ⁽⁴⁾
Cedar	0.554	0.020	0.0991
Birch ⁽¹⁾	0.330	0.025	0.1272
Maple ⁽²⁾	0.738	0.015	0.0958

(1) yellow birch, paper birch, aspen, hornbeam を含む。

(2) red maple, sugar maple, ash, beech を含む。

(3) μ は 5% 水準で有意である。

(4) μ は 1% 水準で有意である。

曲線関係の可能性が検定された。Spruce のデータは μ が小さいという理由とすべての木の $1/2$ 以上が Spruce であるという理由のためこの資料が用いられた。現実の直径成長量を推定した直径成長量の上にプロットした。45度線からのはずれは少なく且つデータが多い場所では明かにランダムであった。これは直線が適当であることを意味している。したがってそれ以上の検定は行われなかった。

直線を使うことは $\Sigma(d. b. h.)^2$ の成長量を求めるのにとても簡単であった。これは次の事で明らかである。

$$d_2 = d_1 + \Delta d$$

ここに d_1 は最初の d. b. h. d_2 は終りの d. b. h. Δd は d. b. h. の成長量である。

$$d^2 \text{ の増加量} = d_2^2 - d_1^2 = (d_1 + \Delta d)^2 - d_1^2 \\ = 2d_1 \Delta d + \Delta d^2$$

$\Rightarrow \Delta d = a + b d_1$, したがって d^2 の増加は次からの推定される。

$$d_2^2 - d_1^2 = 2d_1(a + b d_1) + (a + b d_1)^2 \\ = a^2 + 2a d_1 + 2a b d_1 + 2b d_1^2 + b^2 d_1^2 \\ = a^2 + 2a(1+b)d_1 + b(2+b)d_1^2$$

よって Σd^2 の成長量は次からの推定される。

$$N a^2 + 2a(1+b)\Sigma d_1 + b(2+b)\Sigma d_1^2$$

この式のすべての要素はすでに樹種毎、プロット毎に利用できた。それで回帰分析に対して必要と Σd^2 の成長量を求めることは簡単な問題であった。

残りの解析では μ は Σd^2 のプロット成長量であり、 X_1 は Σd^2 の初めの値であり、 X_2 は合成値、 X_3 は平均胸高直径、 X_4 は樹種毎 d. b. h. の資料からの推定された Σd^2 の成長量である。それとそれの平均値からの偏差として表わした平方和と積和は普通の方法で計算された。結果は次の通りであった。

	X_1	X_2	X_3	X_4	y
X_1	60018297	1584325	6294	20593.142	12632363.
X_2	—	1638573	2.526	1385946	942839
X_3	—	—	55.51	20716.06	3153.
X_4	—	—	—	8173.446	5381.589.
y	—	—	—	—	500447.

全体の相関係数の計算結果は次のようであった。

$$\Sigma d^2 \text{ に対する成長量} \dots\dots\dots 0.729$$

合成値に対する成長量----- 0.929

平均直径に対する成長量----- 0.189

Σd^2 で推定された成長量に対する成長量----- 0.245

これらのうち 0.189 は 0 より有意的に大きくはない。だから平均直径は以后用いないことにした。

これらのデータからの重相関の平方が次のように計算された。

$$R_{x,12}^2 = 0.57776 \dots$$

$$R_{y,124}^2 = 0.73666 \dots$$

分散比は次のように計算される。

$$F = \frac{0.73666 - 0.57776}{\frac{1.05776}{35-4}} = \frac{0.1589}{0.0085} = 18.7$$

この F は非常に大きいから無休意とはいえない。換言すれば個々の樹のデータを使用しても残差変動には著しい減少は認められなかった。

さて進界成長量と枯損量がこの解析に影響するものとするれば F にどんな変化が起るかを見ることにしよう。公式 (1) から一定標本数 N に対して有意な要素は R_1^2 、 R_2^2 である。附加因子を使うことはより多くのパラメーターを、したがって大きな R_1^2 を意味するであろう。もし一般の線型仮設が残存木成長量の変動を適当に表わすとするれば進界成長量と枯損量の両方とも新しい従属変数の変動が増す。すなわち Σy^2 が大きくなる傾向があることは明らかである。

Σy^2 の増加につれて R_1^2 と R_2^2 の両方とも減少するであろう。(ここにはまた説明されない変動がある。) したがって $(1 - R_2^2)$ は増加するだろう。 $(R_2^2 - R_1^2)$ がどのように変わるかを予測する基礎は何もない。もしそれが不変のままであるかもしくは減少するかすれば $(1 - R_2^2)$ が増加すれば F が減少しよう。もしそれが十分大きくなれば F もまた大きくなる。しかし残存木成長量のこれ

の進界成長量と枯損量の効果をつけ加えることによって F は小さくなるのであろうことは殆んど確実のようである。

第2段階 等しい正確度をうるための費用

比較出来る費用を計算するためにはわれわれは両方の方法で等しい正確度をうるのに必要なプロット数を知る必要がある。これらのプロット数の推定は、はっきりと設計された公式とそれを使うための平均値と分散の特別の値による。われわれの当面の目的に対して次の簡単な公式を使うことができる。

$$N = S^2 / S_x^2$$

ここで N はプロット数であり S はプロット当りの標準偏差、 S_x は目標精度である。今 S_x を Σd^2 の定期平均成長量の 10% すなわち 0.34 とおくとしよう。そうするとき $S^2 = (1 - R^2) \Sigma y^2$ はプロットデータに対して $(1 - 0.57776) (50044.17) = 21130.57$ 、プロット、プラス個々の木のデータに対しては $(1 - 0.73666) (50044.17) = 13178.54$ 。これから

$$N_{12} = \frac{21130.57}{(0.34)^2} = 242$$

$$N_{124} = \frac{13178.54}{(0.34)^2} = 151$$

が殆ど確実をもって得られる。(12/20 かほしければ各々に 4 をかければよい)。

費用のデータは余り正確でない。森林調査においては *Northwestern Forest Experiment Station* の経験ではプロットを再配置するために準備が行われる場合には野外

プロット当り費用はほぼ35\$である。しかし個々の樹を再び明示する用意は出来ていない。このようなプロットを再配置し再調査することはほぼ同じ費用であろう。

すべての木の位置図を作るためには2倍(約67\$)に近い設定費と45\$の再測費用が推定されている。この前者の推定は間接的な証拠にもとづいており完全に正確なものとして受け入れてはならない。

森林調査の目的にはプロットデータだけが使われるならば合計費用はかからないであろう。しかしながら再測のたびに $(242 \times 35) = 8470$ \$が必要である。他方個々のデータを使うには $151 \times (67 - 35) = 4832$ \$の直接の費用が必要である。そしてプロットが再測されるときは $151 \times 45 = 6795$ \$の旨の支出が必要である。

個々の樹のデータを使うために加えられる費用も合せて11627\$である。これは計算の増加量を考えないでほぼ30%増である。

結 論

森林調査において個々の木のデータを使うことはサンプリング誤差を著しく減少させる効果があることが発見された。しかしながらそのようなデータを集めるのに約30%調査の費用が増加する。すべての標本プロット上の個々の木の記録をとることは定期的な変化の正確な推定のためには特別な費用を出す程の価値はない。

この最良の解は折中法のようなものである。すなわちすべての個々の木を明示しておくか、あるいは何もしないことよりもむしろプロット上の標本木が個々のデータをとることである。この手帳は樹の直径成長量と材積成長量の間に高度の相関関係があるという利点をもったものであり、またプロット上のすべての木の位置図作りと、はりの高い費用をさけるためのものである。この手帳は現在米森林野営の *Northeast* の森林調査に用いられている方法である。

結 果 の 他 へ の 使 用

この研究は初め森林調査の効率を改善するために行われた。結果はプロットにもとづく研究を行う森林家や信頼出来るデータを受けとる森林管理者にも役立つものである。プロットにもとづく森林調査は森林の機能を目的としている。これは地位や層度やその他同じような因子に関連して記述的であろう；あるいは二つ以上の林分のとり扱いの相対的功罪を決定するために比較研究的なものである。

このような研究では個々の樹の経路の測定値を記録することがあまりまゝのことであつた。個々の木の成長に関するこれらのデータは使用されないことが多い。そのような場合には記述の正確さや比較の鋭敏性を増す時以外には個々の木の様相を記録する必要がないことは明かである。

この研究は個々の木のデータのある151プロットは樹種別一対一の野張のある242プロットに近似的に同値であることを示している。これらの結果は他の林型、地位および森林地域に正確に適用出来る。しかし151/240の比はこれらの他の場合にもほぼ同じであるということを期待することは合理的である。

換言すれば個々の林木の記録がとられていないときには必要な面積の僅か60〜65%を取扱うことによって個々の林木の記録を使うとはほぼ同じ結果をうる事ができよう。あるいは他方個々の木を明示する費用はプロット面積を約60%増すことによってさけられよう。

一般的法則は何もないがこれらの資料はより効率のよい試験設計を作るための助けとなる指標を与えていること又は明白である。結論 この比を他方に応用する場合にはチェックしなければならぬ。*Maine* 州での *Spruce* や *fir* は相対的に層樹であり異った風土の他の樹種のそれに対応する相関は変化が多いからこの比は大いに変化するのであろう。

自分の森林の成長に関する信頼できるデータを求めている森林

経営者はまた異った立場にある。彼等は成長量に關すると同じように現在材積のデーターを与えるあるサンプリング方式に頼らねばならない。次々の調査と成長量の決定が互いに独立であれば成長量のサンプリング誤差は各々の成分のサンプリング誤差の平方和の平方根の函数である。

他方サンプリング方式が最初の調査も二度目の調査も同じプロット系列を基にするように面積にのつとて行われるとすれば正しく面積を表わすための標本の缺點はそれを二回使うと更にひどくなる。最も効果的な手順⁽²⁾はもとのプロットの一部を再測定し、再測定の際に新しい残つたのプロットをとるような設計がよいように思われる。

このような立場ではこの研究の結果は、再測定の計画にどれ位のプロットを部分的に定めるかをきめるのに役立つであろう。費用とサンプリング誤差の知識が充分に正確なものであれば、最も効果的な設計を前もって立てることが出来る。より一般的には近似的な解を作り、そして次の期により効果的な設計に用いられることが望ましいであろう。

どちらの場合も森林経営者はすべての個々の樹木を明示するための過剰な費用を使わないで、成長量と材積成長量の高い相関関係の利益を利用するために標本木を使用したいのであろう。

もし森林経営者が個々のデーターが必要であるかどうか確信がないならば、あとでその必要性が分りそれらのデーターをとりなおすよりは、むしろ始めに個々の林木を明示した方がより費用がかかることが分るであろうということを最後に指摘しておく。

(2) *Jessen, R. J. Statistical investigations of a sample survey for obtaining facts. Iowa Agric. Expt. Stat. Res. Bul. 304, 104, pp 1942,*

Yates, Frank, Sampling methods for censuses and surveys. 298 pp. Wiley New York. 1949.

(川端幸蔵訳)

5. 材積と成長量の簡略算定法

Simplified computation of volume and growth^{注1)} Stephen H. Spurr^{注2)}

Journal of Forestry Vol 52
No 12 1954 pp 914 ~ p 922.

材積と成長量を計算する際の現地資料の解析は森林調査の作業の中で最も労力のいるものである。写真調査法が森林図化の速度と精度を大いに向上させ、標本調査法が、効果的で正確な調査計画を生み出したのと同じく、近代的な機械計算法が内業計算の手順を流れ作業化し簡略化するために要求されよう。

材積と成長量の簡略算定法は、次に示す二つのものに基礎を置く必要がある。その第一のものは、樹木の生育と形状に関する基本法則に関する十分な知識である。第二は樹木又は林分の材積と成長量は、簡略算定法が依られる前に、かぎりの正確さをもった単純な数学的項で表現される必要がある。これらの関係が、グラフ、公式、あるいは表で表わされたとしても、やはり数学的である。

一旦作られてしまうと、平均的な大規模調査を調べられた幾種類もの森林状態や数百もの林分にわたる多数のデータにこの式を適用しなければならぬ。したがって簡略化した計算手段の第一の基礎は直ちに利用できる自動的に係数を計算ができる機械についての依

注1) この論文は1953年9月の Colorado Springs (Colo) におけるアメリカ林学会の会議で発表された。

注2) この論文の基礎資料は筆者が Minnesota の大学の職員であった時に収集したものである。引用した資料は Minnesota の Itasca 国立公園で筆者の指導の下に大学院生が集めたものの中から選んだものである。

拠知識である。

この論文では、普通の林分表（直径階別に本数の記載されたもの）による林分材積の計算および補足的な地位と成長推片のデータによる成長量の推定を扱っている。したがって、ここには、基本的な制樹原則と自動的計算機械による方法を用いて従来の方法を整理するために排った労力が示してある。この原則は筆者の最近の著書に詳しく論じてある^{注3)}。機械的方法は標準的な完全自動式計算機——あるいは、単一の連続操作を平方和と積和のできるものもある——により行うことができる。

効率の高い近代的森林調査は、航空写真、科学的な標本調査法、標本式野帳、mark sense の作業カードをうまく用いることに基礎をおいている。このような計算手段は以下の説明において、最小限の費用で信頼のおける材積、成長量の推定値を得る補助手段として示してある。

基礎となる材積データ *basic volume data*

材積の簡略計算法の第一段階には、標準材積表を地方材積表に置き換え、しかも出来るだけ簡単な形でこれの地方材積表を表わすことである。これは、この手順のうち最も骨の折れる段階であるが、地方材積表はいつまでも使用できるであろう。一度作られたものは、さらに使われた制樹データの利用できる時が来るまで、この解が用いられるよう。

このは簡略なものとするため、幹木の材積は皮内の *feet*³ 単位で推定される。このようにすれば資料を一次図解或は標型に近い図解で表わすことができる。それを用いると材積推定、成長予測も簡便になり、その精度は増加する。

最終的な *feet*³ 単位の材積が求められるとボードフット、コー

注3) Spurr, Stephen H. *Forest Inventory*. The Ronald Press Co. New York. 1952. 426 pp.

ド単位材積は feet^3 単位材積に換算係数を適用して推定される。これらの係数は、市場や利用条件の変化、市販可能材積の推定の変化に応じて変わるであろう。しかし市場或は利用条件を考えない feet^3 単位が基であるから基本的材積計算はそのまゝでよい。

材積表の選択 *choice of volume tables* — 大部分の蓄積調査の集約度では、形数材積表 (*form-class volume table*) を適用するのはふさわしくない。同時に、単一の平均形数を基とする集成材積表はあまり正確でない場合が多い。このような理由から、(d, b, h と樹高に基づく) 標準材積表が一般に選ばれており、地域的森林状態に適合するように修正され、調和される。

材積表の修正 *modification of volume tables* — オノ段階は各材積を一本の回帰線に適合させることである。悉全体にわたって代表的な値について、直径の平方と樹高の積 (D^2H) を計算する。普通目盛の方眼紙に、代表的な値毎に D^2H に対して

feet^3 材積をプロットする。このようにして材積表毎に単一回帰が得られる。この回帰線は一般に D^2H の大きな値に対しては線型であるが、小径木に対しては幾分曲線性を帯びている。このことはたゞ一つのまとめた形数だけを研究対象の林木に適用することができないことを示している。

材積表を皮付の皮内 feet^3 材積に換算しなければならない場合の樹皮補正値は成長量試験地のデータから求められる。

直径級毎に、この2つの直径の二乗平均が自動的に計算器で算出される。皮付直径の二乗平均と皮内直径の二乗平均の関係がその級の樹皮の断面積百分率を与える。この値をグラフにプロットし、平滑にした。樹皮の材積割合は樹皮の断面積割合と同じであると仮定した。したがって平滑化した百分率は皮内材積による回帰に直すため材積量のグラフに適用できる。

材積式を皮内をもとにした材積に修正してから、組分けが行われる場合が多い。Itasca の計画では、数値の (材積対 D^2H) の回帰回差が回帰の推定値の誤差より明らかに小さいことが観察され

た。このような場合には樹種別に材積表を使う必要はない。したがって、材積式はまづ次の3つの集成曲線になった。1群は *red spruce*, *white pine* を含み、2群は各種の広葉樹、*balsam fir*, カラマツのみ、3群は *jack pine*, *white spruce*, *black spruce* から構成されている。

3種の材積式は重要でない性質の無意味な矛盾を除くために調整され、単一の結合式 (*Forest Inventory* 7章) に直された。これは 3000 以上の D^2H に直接適用され、次のようになった。

$$1 \text{ 群 } Cf = 0.6 + 0.00233 D^2H$$

$$2 \text{ 群 } Cf = 0.7 + 0.00223 D^2H$$

$$3 \text{ 群 } Cf = 0.8 + 0.00213 D^2H$$

簡単な表 (1表) は D^2H が 3000 以下の曲線性を考慮したための切片 (回帰定数) が違ってきている。単木材積は材積表と回帰係に或は材積表の補間により、 D^2H (直径の平方 $\times$ 樹高) に適当な回帰係数を乗じ、それに適当な回帰定数を加えるだけで決定できる。

1表は実際は、最も簡単な形で示してある一組の標準材積表である。このような簡略化は従来の表型式の表示よりむしろ公式を示すことで可能となる。有意でない差を除くためのデータを括弧のれば、表示はさらに簡単になる。この表から、基本的材積式の統計的精度の範囲内で単木材積を迅速に算定できる。

ボードフィートとコード単位の材積 *Board foot and cordwood volumes* — 前述したように、基礎的な成長量や経営計算は feet^3 単位の材積推定値を基にしている。しかし、大部の林業技術者にとってボードフィート或はコード単位の推定値は、また小くとも現在の市販可能条件の大よその指標となる。

これらは適当な換算係数を用いて feet^3 単位の推定値から求めることができる。これらの係数は、市場や利用条件が変るか、あるいは調査や成長量計算の基本的精度に影響しないので、さらに良い知識が利用できるようになれば、修正し、変えることができる。

1表 結合度数の形に直した標準材積表 (Itasca の経営計画)

平均林分直径	換算係数 ^注			
	剥皮しないコード	国際 1/4 in 規格		
	針葉樹	広葉樹	針葉樹	広葉樹
15	0.0119	0.0122	6.0	5.4
16	0.0119	0.0122	6.1	5.5
17	0.0119	0.0122	6.2	5.6
18	0.0119	0.0122	6.2	5.6
19	0.0119	0.0122	6.3	5.7
20	0.0119	0.0122	6.3	5.7

注 コード単位の値は *Geverskiantz* の発表した値からとった。
 ボードフィート単位の値は針葉樹については *Minn. Bull 39*
 の 100 表と 109 表の比較から、広葉樹については *Forest Inventory* の 18 図からとった。

2表 *feet* 単位の材積をボードフィート単位の材積に換算する係数

平均林分直径	換算係数 ^注			
	剥皮しないコード	国際 1/4 in 規格		
	針葉樹	広葉樹	針葉樹	広葉樹
5	0.0139	0.0152	0	0
6	0.0135	0.0147	2.5	1.2
7	0.0132	0.0143	3.5	2.3
8	0.0128	0.0137	4.2	3.0
9	0.0125	0.0135	4.7	3.7
10	0.0123	0.0132	5.1	4.2
11	0.0122	0.0129	5.4	4.6
12	0.0121	0.0127	5.6	4.9
13	0.0120	0.0125	5.8	5.1
14	0.0119	0.0123	5.9	5.2

ボードフィートへの換算係数は針葉別に作られている。(2表)
 この比は市販可能材積を対応する *feet*³ 単位の材積を割り、その結果を四上を平滑にすることにより簡単に求められる。

コードへの換算係数は、従来のコード当りの *feet*³ ではなく、*feet*³ 当りのコードとして示してある。この逆を表わすには自動式計算器を用いて割算ではなく掛算を求めることができ、したがって時間の節約になる。実際には 2表の係数は平均直径よりむしろ平均直径の平方に従って読みとるようになれば、さらに有用なものとなる。この値は計算を簡単に求められる。

は横断線法による地方的 *feet*³ 材積表の調製

Construction of local cubic-foot volume tables by volume-line method

前節で、われわれは多数の標準材積表をどのようにして単一の回断線と直することができるかを知った。この形で、これのを群分けす

ることができる。最終的には、直径と樹高を知れば、計算巻を用いて簡単に単木材積が算出できるよう単純な表型式で表わせる。

(1表)

樹高測定はかなり費用のかさむ作業であるから、従来から正確な樹高測定は比較的少数の標本木だけに限られていた。このようなデータを用いて樹高-直径曲線が引かれ、これにより標準的な段数(α, β, γと樹高)材積表を地方的一段数材積表(α, β, γのみ)に直すことができる。この方法が主としてむづかしいことは次のことが原因である。すなわち樹高とα, β, γとの相関が一般に低いということ。および全体的な樹高-直径曲線は極めて主観的性質のものであり、その結果直径関係に偏りのある曲線をあてはめることが多いということ。そしてまた回帰に曲線を当てはめることが難しいということである。

地方的材積表の調製はかなり簡略化することができ、その解は材積直線関係を利用すれば、より正確に表わされる。同令林でとられた標本木について $feet^3$ 材積を直径の平方(又は断面積)に対してプロットすると、二次回帰の得られることが、以前から欧州で知られていた。この回帰は *Gehrhardt-Kopetzky* の材積直線と名付けられている。実際には、材積直線は地方的材積表をグラフで表わしたものに外ならない。その長所は $feet^3$ 材積が材積の測定単位であり、この測定値が α, β, γでなく α, β, γの平方に対してプロットされると α, β, γ 材積の回帰が殆んど直線になるという点にある。

材積直線法で地方的材積表を調製するには標本木を測定し、各木について 0.1 in 単位の α, β, γ と foot 単位の樹高を求める必要がある。これらの資料は成長量を求めるため樹幹析解された木から求めることができる。測定値は同じ野帳に記載される。(13表)

3表 地方的材積表の調製と成長量推定のための苗木資料^注

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
No	SP	CC	DBH	DBT	DIB	10Dg	10年前 のdib	Ht	樹令	RdD	D ²	$\frac{D^2 H}{100}$	CF
1	RP	D	20.0	1.6	18.4	0.8	17.6	97	(153+R)	8.2	400	388	71
2	RP	I	16.3	1.6	14.7	0.5	14.2	(71)	170+2		266	189	45
3	RP	D	20.2	1.8	18.4	0.3	18.1	88	207+3		408	359	84
4	RP	C	20.7	1.8	18.9	0.6	18.3	96	196+5		428	411	96
5	RP	D	21.3	1.9	19.4	0.7	18.7	91	176+5		454	413	97
6	RP	D	20.5	2.0	18.5	1.4	17.1	97	(120+R)	8.3	420	407	95
7	RP	D	19.5	1.8	17.7	0.5	17.2	89	205+1		380	338	79
8	RP	I	13.1	1.7	11.4	0.4	11.0	(64)	215+3		172	110	26
平均								858	1138				
N								6	6				
平均								93	198				
平均			2928		3066		1910			154			

注 red pine の1次林 1952 7月 Minn 州 Itasca 州立公園で測定。

内訳では、各標本木の材積は補算の必要は全くなく、直ちに計算巻で計算される。まず、α, β, γ を平方する。単木毎に D² の値を野帳に記入する(12の欄)これは後で必要になる。次に D² H を求めるために D² に樹高を乗じる。(13の欄)最後に $feet^3$ 材積は、この D² H の値に1段から求めた適當な係数を乗じて見出される。この最後の段階は計算巻に材積係数(この場合には 0.00233)を固定させれば計算速度は早えられる。しをがって計算の度に一回数値をおくだけでよい。3表に示してある例では、計算に有効でない値ははぶかれていることに注意されたい。すなわち、直径の平方は in^2 単位で、D² H は 100 を単位として $feet^3$ 材積は、 $feet^3$ 単位(10 $feet^3$ 以下の木に対しては 0.1 $feet^3$ を単位)と

して記載してある。

$feet^3$ 材積が求められたいならば（この場合にも、補間はある必要はないことに注意）単木の材積を、その木の直径の平方に対してプロットする。（24）直線的関係が得られ、これからの直ちに材積直線を引くことができる。これと対称的に、樹高対直径曲線の場合には同じデータでも点の散ばりが大きく、面倒な曲線をあてはめなければならない。（14）材積直線の方程式は、グラフからの直接読みとり、線形回帰分析で計算できる。（*Forest Inventory* pp 116-117）これは

$$V = 0.198 D^2 - 2.5$$

となる。推定値の標準誤差は 2.44 feet^3 、すなわち平均単木材積 6.6 feet^3 の 6.7% に過ぎない。

材積直線関係を示すこの数式は、林分あるいは、このように特定の単木測定値の組で標本調査される林分について、今後行なわれる全ての材積計算に用いられる。

材積直線式は10本程度で求めることができるけれども、地方的材積式は最小限に留めたいので、通算できるだけ広い範囲にわたって単木資料はまとめられるであろう。例えば *Itasca* の計画では、広範囲にわたる130年生の *red pine* 林型からとったデータをすべて一括した。単木測定値の大部分はグエーカーの固定標準地でとられたもので、これからの、材積直線法により次のような地方的材積式が得られた。

$$\text{red pine } V = 0.201 D^2 - 3.0$$

$$\text{white pine } V = 0.202 D^2 - 3.2$$

$$\text{jack pine } V = 0.185 D^2 - 2.2$$

$$\text{white spruce } V = 0.193 D^2 - 4.0$$

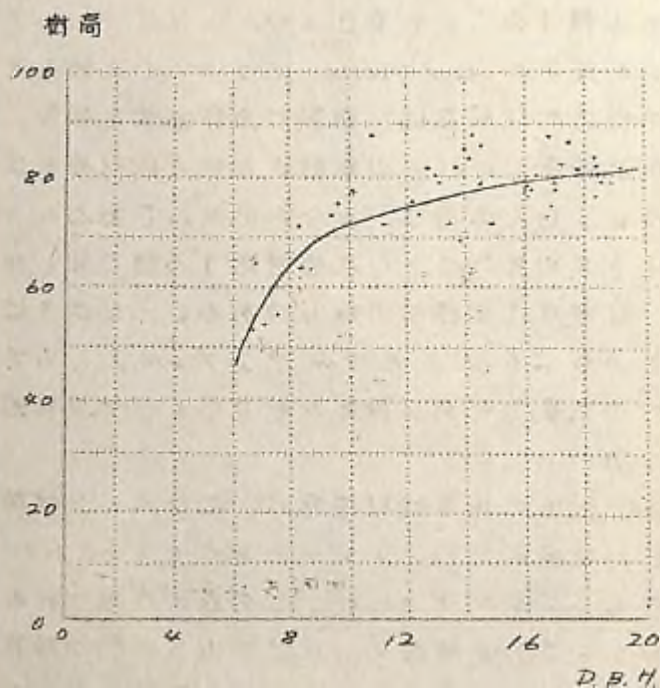
いずれの場合にも、材積直線はグラフの原点に近い小径級のものを除いて直線であった。これらの木が林分の総材積におよぼす影響は非常に小さいのでこの曲線性は林分の推定材積に有意な影響

をおよぼさずに、無視出来るであろう。

この例の *red pine* について作られた地方的材積表は、同じデータを用いて標準材積表の補間により、普通の樹高対直径曲線からの作られた表と比較することができよう。4表はグエーカーの標準地でとった130年生の *red pine* についての比較を示している。

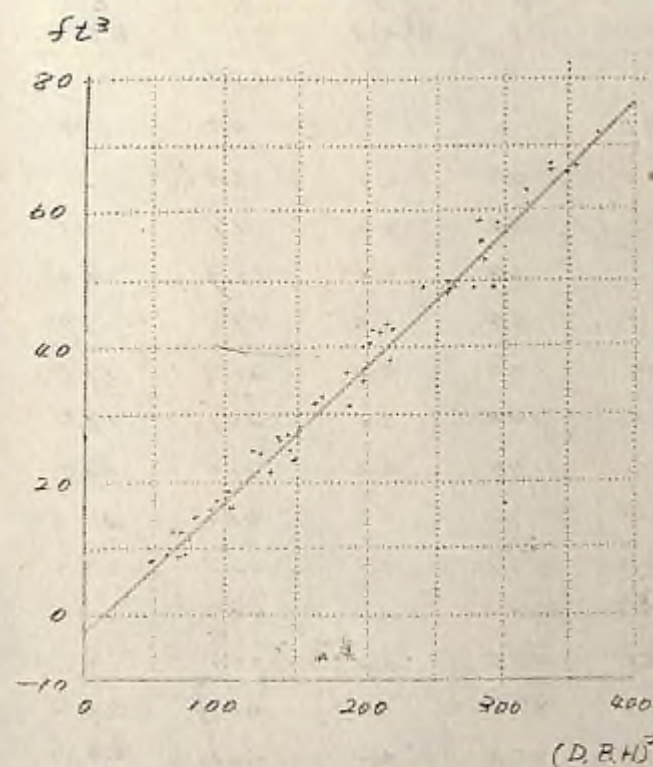
2. 3のんの地方的材積表は、樹高対直径曲線を描き、各 d, b, h 毎に標準材積表で補間し、前述の表形式で地方的材積を調製して作ったものである。3のんの値は、4のんに示してあるボードフィート $feet^3$ 比を求めるため2のんの対応する値で除した。これらの比は $feet^3$ 材積表に2箇所の誤りのあることを示すはっきりした矛盾を示している。（ d, b, h 9 in と 27 in）この方法では、補間或は上下への延長のための誤差が起り易く、その原因を指摘することはできない。

3のんの $feet^3$ 単位の地方的材積表は、前に示した材積直線式を数値式にしたものに過ぎない。（ $V = -3.0 + 0.201 D^2$ ）実際の使用にあたっては、公式が用いられ、この表が作製されることはないであろう。しかしこの2種類の $feet^3$ 単位の地方的材積表はよく一致しており（普通の方法で作られた表に誤差のある場合を除いて）材積直線法の場合には公式により拡張が容易であることに注目をする。4のんに示してあるボードフィート $feet^3$ は、2表からのとったものである。6のんのボードフィート単位の地方的材積表は単にこの係数は、対応する $feet^3$ 材積を乗じて調製したものに過ぎない。このように簡単に求められたい表は、3のんの調製に費の折れる普通のボードフィート材積表とよく一致しており、さのに正確である。疑もなく、こうで提案した方法を調製した材積表は普通の方法にくらべて、所要時間も少く、精度も優れていることが分る。



1 図 red pine の樹高曲線

1948年に Minn 州、Itasca 国立公園のチェーカ-ナロットで測定。



2 図 1 図と同じ樹種の材積直線の式
直線回帰となり散ばりの巾の狭い
ことに注目

表 普通の方法と材積直線法で調整された地方的材積表の比較

Itasca 5エーカープロット 130 年生の red pine

普通の方法				提案した方法		
1 D.B.H	2 Cf	3 Bf	4 Bf/Cf	5 Cf	6 Bf	7 Bf/Cf
5				2.0		
6	3.0			4.2	11	2.5
7	4.4	28	4.4	6.8	24	3.5
8	10.2	34	3.3	9.9	42	4.2
9	11.6	67	5.8	13.3	63	4.7
10	17.7	89	5.0	17.1	87	5.1
11	22.3	115	5.2	21.3	115	5.4
12	26.3	143	5.4	25.9	145	5.6
13	31.5	177	5.6	31.0	180	5.8
14	36.9	211	5.7	36.4	215	5.9
15	42.8	251	5.9	42.2	253	6.0
16	48.7	293	6.0	48.5	296	6.1
17	55.0	335	6.1	55.1	342	6.2
18	61.8	377	6.1	62.1	385	6.2
19	69.4	429	6.2	69.6	438	6.3
20	77.0	475	6.2	77.4	488	6.3
27	95.0	700	7.4	143.5	904	6.3

単一林分或は床件級の材積計算

Volume computation for the single stand or condition class

基本的パラメーター Basic parameters — 基本的な材積資料（地方的材積式とコード、ボードフィートへの換算係数）が決まると、普通の直径階別本数を扱う。各径の材積推定値と求めることとなる。5表は樹径別直径階別本数を示す林分表である。このような表

5表 直径階別本数表

Itasca 5エーカープロット、130年生の red pine、1948年に測定

	樹	径								計
		D.B.H	D ²	RP	WP	WS	BF	PB	TA	
小	5	25	22	1		29	64	37	6	
	6	36	30	3		21	28	15	1	
	7	49	40	6	1	8	11	6	2	
	8	64	49	8	1	4	6	4	1	
	9	81	55	14	2	2	-	1	-	
太	N		178	32	4	64	109	63	10	460
	D ² N		9,659	2,073	275	2,291	3,531	2,096	348	20,273
中	10	100	44	9	9	1	1			
	11	121	44	9	6	2	1			
	12	144	63	12	10	2				
	13	169	75	6	9	-				
	14	196	60	5	7	-				
材	N		354	44	44	5	2			449
	D ² N		58,531	6,386	6,634	630	221			72,402
大	16	256	55	2	3					
	17	289	47	-	-					
	18	324	33	1	-	1				
	19	361	10	1	-	-				
	20	400	8	-	-	-				
材	21	441	-	-	-	-				
	22	484	-	2	-	-				
	27	729	1	-	-	-				
	N		144	6	3	1				154
	D ² N		42,454	2,165	768	324				45,911
計	N		676	52	51	70	111	63	10	1,063
	D ² N		110,844	10,672	7,677	5,245	3,752	2,096	348	138,586
	B		604.5	57.9	41.9	17.7	20.5	11.4	1.9	755.8
	D		164.0	129.6	150.5	46.4	33.8	33.3	34.8	130.4
	D		12.8	11.4	12.3	6.8	5.8	5.8	5.9	11.4

には、小計のらんを設ける必要はないが、5表のように、小径大径
(5~9 in 級) 小径用材級 (10~15 in) 大径用材級 (16 in
以上) というふうに分類して推定値の内訳を伴うことができる。

しかし、5表に示してある林分表は、普通の様式の外に一項目が
附加えられている。これは、d.b.h. の直ぐ後に記載されている直径
の平方である。この値が — 必要ならば直ちに暗記できる — 林
分の特性を示す基本的パラメーターが自動計算器を用いて直ちに算
出できる。

この手法は簡単である。各直径級毎に直径の平方に本数を乗じて
その積を加え上げる。必要があれば、各群の小計を記入してもよい。
その外、積和 (D^2N) が簡単な計算器を用いた計算で求められるま
では、数値を記入する必要はない。この値と本数から他の幾つの
林分のパラメーターが計算できる。

断面積は二乗和 (D^2N) に係数 0.005454 を乗じて求められる。
自動計算器を用いれば、この係数は文字盤に入れられ固定される。
 D^2N の値ともう一度計算器に乗せ、乗算キーをおせば、簡単に断面積
に換算できる。この係数は一目目に入れるだけでよい。

平均直径 (平均断面積をもつ木の直径と定義されている) の平方
は断面積から決められたものではなく、 D^2N と直接本数 (N) で割
って求めたものである。この値は $feet^3$ 材積をボードフットやコード
単位に直すための係数を決めるのに用いられる。平均直径そのもの
が必要であれば、適当な二乗表を用いてこの商 (D^2N を N で除し
たもの) の平方根を求めればよい。

この点については計算器より、Barlow の表の方が手早く行なえ
る。

注 Comrie, L. J. Barlow の表 4版 Chemical Publ. Co.
New York 1952. 258 PP

前に指摘したように市販可能材積の換算係数が平均直径でなく平
均直径の平方から求められておれば、この段階ははぶくことのでき
る。

林分表には、樹種別および林分全体の断面積、平均直径を記入す
るらんが設けてある。この例は、5エーカーの単一林分の表による
ものであるが、ある条件級の全林分の材積推定値が必要であれば
これについて単独に計算することもできる。

$feet^3$ 材積 cubic-foot volume — 2つの計 —

本数 (N) と直径の二乗和 (D^2N) から、断面積の基本的パラメーター
(B) と平均直径 (D) が導びかれる。この値を用いて $feet^3$ 材積が求
められる。

$feet^3$ 材積を求めるのに必要なのは、材積直線方程式に林分表の
計の値と求ずるだけである。材積直線方程式の一般式は

$$V = a + bD^2$$

である。これを各単木に適用する。しかし N 本の林木をもつ林分で
は、この公式に N と求ずる必要がある。

$$NV = aN + bD^2N$$

6表の林分表の red pine の部分の $feet^3$ 材積は前記の red pine
の材積直線式に N と D^2N の値を代入して求められた。

$$NV = -30(676) + 0.201(110,844)$$

この5エーカー林分内の red pine の $feet^3$ 材積は 20,251 す
なわちエーカー当り 4050 $feet^3$ である。

この計算は完全自動式計算器で一ぺんに行なわれる。回帰係数 (b)
にまず D^2N が掛けられる。次に、この結果を写しとったり或は計
算器とはうわずに、 y 切片 (a) に本数を掛けると同時に最初の積か
ら、これを差引く。次いで $feet^3$ 材積を直接、計算器より読みとる。

林分全体に対する計算過程が6表に示してある。この場合には
 $feet^3$ 材積は直径群毎に計算されている。これは直径級毎に算出し
て材積、即ち、小さな内訳を全然無視して、小計を記入せず一回
の操作で算出した林分材積にほぼ等しい。

林分: 130年生 red pine SE 1/4 Sec 4 T143N R36W BY SHS
 Clearwater County, Minn. (Stasca State Park) 面積 5.00 AC 進数 0.200 日付 7/15/51

	樹						連		
	RD	WP	JP	WS	BF	PB	TA	計	
材積 係数	0.201	0.202	0.185	0.193	0.203	0.200	0.200		
マイス	0.30N	3.2N	2.2N	-4.2N	4.0N	3.0N	3.0N		
小丸太 (5~9)	1.407	3.16	4.2	17.3	28.1	23.0	4.0	2.489	
小径材 (10~15)	10.703	1.149	1.130	10.1	37	-	-	13.120	
大径材 (16~)	8.141	4.18	1.35	5.8	-	-	-	8.753	
計	20.251	1.883	1.307	33.2	3.8	23.0	4.0	24.361	
ボードフット (5~)									
係数	5.8	5.5	5.6	3.3	2.0	1.0	1.1		
B.F	117.460	10.360	7.320	1.100	6.40	230	40	137.150	
コード (5~9 寸)									
D ²	54.3	64.8	68.8	35.8	32.2	33.3	34.8		
D	7.4	8.0	8.3	6.0	5.7	5.8	5.9		
係数	0.0130	0.0128	0.0127	0.0135	0.0136	0.0148	0.0148		
コード	18.3	4.0	0.5	2.3	3.8	3.4	0.6	32.9	
1-b-当り									
N	135	16	10	14	22	13	2	213	
B	120.9	11.6	8.5	3.5	4.1	2.8	0.4	151.2	
D	128	11.4	12.3	6.8	5.8	5.8	5.9	11.4	
CF	4050	377	261	66	64	46	8	4872	
BF	23.490	2.070	1.460	220	1.130	50	10	27.430	
(20 (5~9))	3.7	0.8	0.1	0.5	0.7	0.7	0.1	6.6	

対照として、表形式の地域的材積表を用いる普通の林分表と蓄積表による計算が7表に示してある。4表で取り上げた地方的材積表の矛盾は修正してある。直径級別に、その直径級の材積(4らん蓄積表)を求めるために、単木当りの材積(3らん、地方的材積表)に本数(2らん、林分表)を乗じた。この方法は、特に計算器を用いない時には骨が折れるが、その材積合計は $20,395 \text{ feet}^3$ となり、前に単純な計算で求めた $20,251 \text{ feet}^3$ とかなり一致している。7表は red pine だけに適用されるものであるが、6表はこの林分の7樹種全部の計算を含んでいる。

市販可能材積 merchantable volumes - ボードフィートとコード単位の材積は feet^3 材積の推定値から求められる。ボードフィート推定値と必要とする林分の部分の平均直径について、2表からボードフィート - feet^3 比が求められる。5表の全 red pine の平均 d.b.h は 12.8 in であり、これに相当する比は 5.8 である。ボードフィートの概念の生のままの性質を補正したり、この係数を加法の積にすることは正しくない。red pine のボードフィート材積は feet^3 材積 20.251 に比 5.8 を掛け求めて推定ボードフィート 117.460 が得られる。

7表は7表で方向を替けて求めた普通の方法による推定値 116.056 に対応するものである。この簡略法の正確さはもっとも実地的な尺度が非常に大きな割合で、ボードフィートの推定値と感えるかまたは感えないかとおぼえておればもっとはっきりする。

必要あれば、ボードフィート材積の推定値は直径級別はその粗径に求められる。推定しようとする直径級の平均直径に相当するボードフィート - feet^3 を用いるように注意しなければならない。

同様にコード単位の推定値は、 feet^3 単位の推定値に適當な換算係数を乗じて求められる。

6表では、コード材は小丸太材のみについて推定されている。これは、林分のその部分の平均直径を求め、樹種別に正しい換算係数を見つけるため、この値を用いることを必要とする。

7表 普通の簡便表の調製

Itasca エーカープロット 130年生の red pine

1 d.b.h	2 N	3 幹木当りCf	4 Cf	5 幹木当りB.f	6 B.f
5	22	1.5	33	-	-
6	30	3.0	90	12	360
7	42	6.4	269	28	1,176
8	49	10.2	500	34	1,666
9	35	13.3	466	67	2,345
10	44	17.7	779	89	3,916
11	44	22.3	981	115	5,060
12	63	26.3	1,657	143	9,009
13	75	31.5	2,362	177	13,275
14	60	36.9	2,214	211	12,660
15	68	42.8	2,910	251	17,068
16	55	48.7	2,678	293	16,115
17	47	55.0	2,585	335	15,745
18	23	61.8	1,421	377	8,671
19	10	69.4	694	429	4,290
20	8	77.0	616	475	3,800
27	1	140.0	140	900	900
計	676		20,395		116,056

最後に 林分（又は立地級）の値は、エーカー単位でまとめである。これらの値は、適当な数字に、面積の逆数を乗じて求められる。逆数を用いるのは、束数を一定にし、これをキーボード上に固定できる場合に、完全自動式計算機では除算より乗算の方が早くである。

エーカー当りで示してあるとりまとめ表に、樹種別および全林分について、(1)本数 (2)断面積 (3)平均直径 (4) $feet^3$ 単位材積 (5) ボードフィート単位の材積 (6)コード単位の材積が載せてある。これらの値はすべて、前述の簡便法と完全自動式の計算機を用いて正しく数分以内で計算できる。これに反して普通の方法で同じ値を計算するには、一人で一日以上かかる。

二段法による成長量の推定 Growth estimation by the two-way method

二段法 The two-way method 成長量を推定する二段法は現在の成長量推定方法の詳細な研究と固定標準地における実際の成長量に関する分散分析とから、筆者が考案したものである。これは *Forest Inventory* の22章に詳しく論じてある。

理論的には、この方法は、単位面積当りの材積成長量が、断面積と樹高の成長量の関数であるという事に基づいている。これが推定できれば、直ちに エーカー当り材積成長量の正確な推定値が計算できる。

断面積成長量は 林分直径の関数である。これは成長断片から求められる直径成長量から導かれる。林分内の全林木について成長断片を測定すれば、枯死による損失に対して規定と設けなくて断面積の粗成長量を推定されるであろう。粗成長量を求めるには、予測される枯死量について考慮しなければならない。便宜上、これは過去5~10年間に枯死した林木又は今後5~10年間に枯死すると見られる林木により推定される。しかし、進全木数林分によく当てはまる。簡便法について *Forest Inventory* で略述してある。成長断片の標本が優勢および半優勢木（或はその林分の総本数の最大限80%）に限定されれば、成長量と枯死量は上層木（本数の最小限20%）ではほとんど均合を保っているであろう。この結果、優勢および半優勢木の粗断面積成長量は、林分全体の粗成長量にほぼ等しいであろう。

樹高成長量は主として、林分 地位によって変る。したがって、これは普通の地位指数の図から求めることができる。或は（確実な根拠から推定した）地位と、樹高（林分よりこの方がよい）による樹高成長曲線から推定できる。後者によれば、この方法は更令林にも適用できる。

従来の成長量推定方法のうち、收穫表法は、主として林分と地位

指数に依存しているが、これは極めて理論的、抽象的な法正林に基礎をおいており、林分密度の変動については大ざっぱな修正によって具体化されるに過ぎない。これに反して、林分表による方法は、殆んど終て直径成長量だけに依存しており、地位や林令は直接には考慮していない。計算量の多い割に精度は低く、林分全体というよりはむしろ直径階別に適当な成長錐片の標本を必要としている。

これと対比的に、二段法は、樹高成長の推定には林令と地位、断面成長の推定には成長錐片の資料（又は間接のある枯死率表）の長所を取り入れている。直径階別ではなくて、標本調査すべき全体としての林分のみを対象としているから、錐片は林分表法より少くすむ。こうに、はるかに速い、明らかに従来の方より正確で、各種の林分条件に適用できる。

必要な資料 *Data needed* — 優れた成長量に関する研究は、これに附随する成績推定量の上に築かれるであろう。ここに提案している方法では、必要な成長量のデータはすべて地方的材積表を求めると同じ測定を行った時同じ木について収集された。これらの測定値は3表に載せてある。成長錐片は過去の連年成長量と樹令を求めると同じ樹高位置でとられる。樹皮厚は $1/20$ in 単位で読みとられ、 $1/10$ in 単位の両側樹皮厚として、そのまま記載される。(5樹) この値を皮付 $d.b.h$ (4樹) から引けば、皮内 $d.b.h$ が得られる。(6樹) 同様に10年間の半径成長量は $1/20$ in 単位で測られ、 $1/10$ in 単位の10年間の直径成長量として、そのまま記入される。(7樹) この値を $D.I.B$ から引けば、10年前の皮内直径が得られる(8樹) これらの直径は、野帳原表に記録できるように、形式を定める注意が必要である。

前に地方的材積表を作るために用いた樹高測定値は地位指数を定める場合にも用いられる。地位指数は優勢木と準優勢木の平均樹高に基礎をおくのが普通であるから、9樹の削圧木、被圧木の樹高には枯死がつけてあり、平均林分高(73ft)の計算には入れなかった。

樹令は同じ成長錐片を用いて測定した。中心部で分らなくなっている年輪数は見当で数え、したがつて $170+2$ は170個の年輪が数えられ、中心部で、ほぼ2個の年輪があることを示している。腐れがある時には、腐れまでの年輪数は $(135+R)$ のように示され、腐れの直径が記録された。腐れの直径の二乗和を $D.I.B$ の値の二乗和と比較すると、標本木の胸高における腐れの推定百分率が得られる。3表に載せてある木では、腐れの百分率は154と2066と割ることによって決められる。このような係数は、所定の林分又は立地適度多数の成長錐片がとられる場合には、誤差を推定するのに、最も有用である。林分の平均樹令(林令)と決める際には、腐れの多い錐片は考慮に入れず、数え、年数は10個又は枯死としてある。成長錐片によるデータや標本木より得られた林分高や林令についての知識のほかに、成長量推定に必要な知識は前に作製した成績推定値と適当な地位指数曲線(又はその形の樹高成長曲線)である。

樹高成長量 *Growth in Height*

3表に引用してある本数表は *red pine* の5エーカー採集地の1948年度の測定値から作られたものである。この時点で、林分は胸高でほぼ123年生であった。優勢木、準優勢木の平均樹高は79ftであった。マツの平均地位より幾分か劣っているこの林分では、胸高に達するのに12年かかるとすれば(*Forest Inventory* 20図P. 314) 林令は135年と推定される。

同林分の1952年に行った再測は、二段法による成長量推定の精度となるであろうから、その年の林分高を予測したいと思う。*red pine* の地位指数曲線図(未発表)に135年と79ftの樹高を入れると、1952年には樹高は80ftになると推定される。同様に推定値は、山林局¹の発行している成績表からも求められるであろう。

注 *Eyre, F. H. and Paul Zahngraff. Red pine management in Minnesota. U. S. Dept. Agric. Circ 778. 70 pp. 1948.*

断面積成長量 *Growth in basal area* — 単木測定値の表から (3表) 現在 *d.b.h.* (*DBH*)、皮内現在直径 (*DIB*) 皮内10年前直径 (*dib*) の二乗和が計算される。

単位面積当りの断面積成長量は *Forest Inventory* にのせてある公式から直接計算できるであろう。

$$G_B = \frac{\sum (DIB^2 - dib^2)}{183.3465 DIB^2}$$

この公式は 樹皮成長量、樹木の増大に伴う直径成長量の正常な減少、標本木の平均径級と推定しようとする林分の平均径級との隔りを考慮にしている。

この公式で $\sum$ はその林分で優勢一帯優勢を占める木の直径の二乗和に對應がある。5表では、林分の優勢一帯優勢を占め木は用材級であると推定されている。*red pine* の用材級の二乗和は $58.531 + 42.654 = 101.185$ である。他の2つの値は3表の6.8欄より得られる。3表が、5表と同じ林分の資料から作られたものとするれば、2066が $\sum DIB^2$ に入れられ、1910が $\sum dib^2$ に入れられる。次の解では、同じ5エーカー標準地から無作為に選んだ30本の成長錐片の値をこの未知数に代入した。

$$G_B = \frac{101.185(5871 - 5223)}{183.3465 \cdot 5871}$$

完全自動式の計算器を用いれば、この方程式は直ぐに解け、10年向5エーカーについて 609 ft^2 すなわち年・エーカー当り 121 ft^2 の断面積成長量の推定値が得られる。1948~1952年のこの林分の *red pine* の現実断面積成長量は、年・エーカー当り 120 ft^2 となった。

ft^3 材積の成長量 *Growth in cubic-foot volume* — 樹高および断面積成長量が推定されれば、林分形数は短期の推定と必要とする期間では興味は変化はないという仮定に立って ft^3 材積の成長量が求められる。林分形数 (樹木形数又は形級と混同してはいけぬ) は幼々林では時と共に変化するが、この変化による影

響は、成長量推定の精度に比して、非常に小さい。普通の成長量法は25%以上の推定値の標準誤差を与えるが、二段法では誤差が15%以下になることは期待できない。

林分形数が不変であると仮定すれば (1) 断面積と樹高の積と (2) ft^3 材積との百分率で表わした関係は、将来においても、そのまま成立つであろう。

数式で表わせば、

$$\frac{\text{現在のB} \times \text{現在のH}}{\text{現在のCf}} = \frac{\text{将来のB} \times \text{将来のH}}{\text{将来のCf}}$$

推定材積、断面積と樹高成長量の推定値から求めた値と代入すれば

$$\frac{120.9 \times 79}{4050} = \frac{125.7 \times 80}{\text{将来のCf}}$$

将来の ft^3 材積は1952年には4262と推定され年・エーカー当りの成長量は 53 ft^3 となった。この推定値は1952年の実材積 4271 ft^3 1948-1952年向の年・エーカー当り実成長量 55 ft^3 に応ずるものである。

ボードフィート材積の成長量 *Growth in board-foot volume*

一般に ft^3 単位の成長量に現在ボードフィート比を乗ずれば、満足のゆくボードフィート単位の成長量と求めることができる。したがって、エーカー当り 53 ft^3 に現在の比5.8を乗ずれば、5エーカー標準地の *red pine* 用材級について、エーカー・年当り307ボードフィートの推定値が得られる。これは定期的調査で得られるエーカー・年当り実成長量315ボードフィートに対比する。

実際には、用材の平均直径は増大することが期待でき、そのため将来のボードフィート ft^3 は増大するから、ボードフィート成長量は、この簡単な方法では幾分過小推定となるであろう。又成長量調査は林分の平均直径の成長量推定に重点を置いている。毎年本数の1%の枯死があると仮定すれば、1948年に数えられた676本

の red pine は、1952 年には 649 本（エーカー当り 130 本）に減ることと期待できよう。1952 年の推定断面積をこの本数で割れば、1952 年の平均木の断面積は 0.97 feet^2 と推定され、これは平均 d.b.h. 13.3 in に相当する。 13.3 in となった平均直径は、新しいボードフィート feet^3 比 5.83 を与え、エーカー当りの red pine の成長量は 309 ボードフィートとなる。しかしボードフィート単位の測定値のあらさと成長量法の精度が一般に低いことを考えると、ボードフィート成長量の計算においてこの精度はなまやかなりである。

要 約 Summary

前述の論義は Forest Inventory に発表してある材積および成長量推定の理論に基づいている。方法を適当に選べ、完全自動式計算器をうまく使えば、高精度の材積および成長量推定値が得られるのと同様に、内業計算を最小限にできるように調査方法を定めることが可能である。特に材積の基本単位として feet^3 測定の使用 d.b.h. だけによる地方的材積表を調製するための材積直線法、成長予測の二段法は、その簡単にして正確、かつ計算器を迅速に使用するのに適しているため、推奨できるものである。

(栗屋 仁 志 決)

6 Black Cottonwood の地位指数となる因子について (*Populus trichocarpa* Torr. & Gray)

Some factors indicative of site quality for Black Cottonwood.

by J. Harry G. Smith

Journal of Forestry Vol 55 No. 8 PP 578 ~ 580

このレポートは西部パルプ株式会社のために、1955 年の夏 Agassiz, Chilliwack, Squamish, Pemberton, Quesnel, Prince George, Terrace, British Columbia の近傍で行った野外観測の結果を収めたものである。

その方法は Hiesmer が Das Pappel buch (3) でドイツポプラの地位について論じた際、W. Wittich が用いたものと肉連している。Lower Fraser River Valley の詳細な論議は 157 ケの 0.1 エーカープロットと 287 本の black cottonwood の樹高、樹令、d.b.h. の測定値に基づいている。

成立のための必要条件 Requirements for establishment.

black cottonwood の分布は、初夏の下種に堆積がなく、酸性の植物腐土壌が露出している場所に限られている。このような状態は通常河川の沿岸に堆積した新沖積層に現われるだけである。Cottonwood は植生遷移の最初の段階で現われるが、氾濫や人為的に新しい裸地が形成されないと次第に耐陰力の強い樹種、灌木、草本にとってかわられる。伐採の際に、特別の処理とほどこさない black cottonwood の林分は、大評分、灌木や価値のない樹種にとってかわられる。

気候の影響 The influence of climate

black cottonwood は British Columbia 全般にわたって成長している。ただし balsam poplar (*Populus tacamahaca* Mill) によってかわられているこの州の東部の狭長な帯状部は除かれる。black cottonwood の成長は、標高の低い所や霜の少ない期間の長い
注) Research Note No. 13, British Columbia 大学林学科

南よりの地区で最も良い。湿度や温度が初期の降水量を制約するようになるまで Cottonwood は樹高および直径の成長を継続する。

北緯の夏季の長いことや内陸の温度の高く晴天の多い天候は Lower Fraser 河渓谷の湿度に富み成長期間の長いことの補いとはならない。Black cottonwood は晩霜や早霜によって被害を受けるが、霜に対してはかなり抵抗をもっている。Black cottonwood は霜害にかなり弱く、みぞれ交りの大雪の多い所では大被害を受ける。単木向の耐風性にはかなりの変動があるように見えるが、一般に black cottonwood は強風や定風に対してはかなりの抵抗力をもっている。

Lower Fraser 河渓谷の Agassiz の気候と、この説明の終りに参考のため用いてみよう。単位で表わした平均気温は、過去 60 年について 50°F 、最高気温は 103°F 、最低気温は -13°F である。年降水量は平均 63 in で、7、8 月はそれぞれ平均 2 in である。年平均の日照時間は 1410 時間である。

地位の測定 Measures of site quality

Cottonwood の成長量 — cottonwood が選んでいる。樹高、直径、年令は cottonwood の成長に関する林地の最良の地位指標を与える。これからの測定値は実際に期間に対してとられたものと反映しており、影響する全ての因子の合成されたものを表わし

Cottonwood の成長に影響を及ぼすと思われるものである。過去の成長量の測定値は、将来到達すると思われる成長量の合理的な近似値を与える。この測定値は育林方法や遺伝的構造が将来成長すると考えている木のものと違っているという程度の誤りを犯すにすぎない。植栽された Cottonwood は天然生林よりも成長が遙かに速いであろう。それは、植林間隔は最初が広くとられ、向後調整されるからである。伐採木の利用や母樹の慎重な選択は天然生林よりはるかに多くの利益を造林地に与えるからであろう。したがって、Cottonwood の現在の成長量による地位の評価は控えめなもの

考えられる。

1 表はドイツの雑種ポプラの造林地について Klesner の Das Pappelbuch に報告されている收穫の推定量によるものである。British Columbia の Lower Fraser 河渓谷の広範囲にわたるサンプリンズによりこのデータは black cottonwood の地位の評価に相当であることが示された。最小 2 本の木の樹高、年令、d.b.h. の測定は、評価のためスプロット毎に必要である。最大の直径樹高の木を測らねばならず、全樹令を決めるには、慎重にすべきである。Black cottonwood は耐陰力が強く、比較的と同令の林となるが、0.1 エーカープロットの林木の年令は 10 年以上も違うこともある。それは更新に必要な新鮮な沖積層の堆積が一樣に生ずることはまれだからである。

1 foot の高このところに成長錐を突き込んで、木の全樹令を求める場合には、1 年の誤差を認める必要がある。成長錐片と太陽のあたる方向でとれば、年輪の測定は容易になる。林分の地位と特徴づけるために必要なプロット函数は、その面積とデータの均一性にかかっている。樹高と年令は d.b.h. と年令よりも確実な地位指標である。というのは樹高成長は d.b.h. より生存競争の影響を受けないからである。

1 表 ドイツの雑種ポプラ造林地の推定收穫量

年令	地 位					
	I		II		III	
	樹高	直径	樹高	直径	樹高	直径
(年)	feet	inches	feet	inches	feet	inches
5	25	—	21	—	16	—
10	47	5.7	43	4.8	33	3.6
15	72	9.5	59	7.1	46	5.9
20	95	12.5	79	9.0	59	6.5
25	111	16.0	92	12.0	72	8.0
30	118	20.0	102	14.5	82	10.5
35	125	22.0	108	17.0	89	12.0

1 (4) より引用

面白いことには、287本の測定木のうち41本がドイツのI等地を期待される以上の成長率で成長していることが分った。前記のデータがとられたドイツの造林地では30年主でエーカー当り40本が残されることになっている。この表をテストした Chilliwack の同令級の林分では、1/7ケの0.1エーカープロットは d.b.h. 11.5in 以上の木をエーカー当り平均43本成立させており、エーカー当り136本の総本数には cotton wood 以外の樹種は含まれていない。このような資料は一般に密度の高い天然生林よりも多くの用材を造林地から生産する可能性のあることを示している。

地位の印象をはっきりさせるために cotton wood 林の一般的形態がよく用いられる。長い若枝、平滑な樹皮、葉や枝の旺盛な成長は成長状態の良好なことを示している、地位の低いことは若枝の伸長の短いことでわかり、落葉期に葉が早めに黄ばんでいることで識別できることが多い。

下層植生の成長は旺盛でその数も多い。地質、養分の供給量、水分状態、通気性、PHの相違の多くは、下層植生の種類、ある種の量、その種の成長の旺盛さでわかる。下層植生の成長と cotton wood の成長量との相関は高いことが多いが、灌木や草本層に成長している樹種は全く cotton wood に影響する多くの因子のほんの一部を占めているに過ぎないことを記憶されたい。

長期にわたる詳細な生態学的研究が Chilliwack 島のような沖積土壌上の植物遷移を正確に述べるために行われるであろうが今の採る予備的観測が可能である。

下層植生より少くとも3つの中の広い地位区と識別できる。そのオノザリサのものはドイツのI等地より幾分良いものである。これは salmon berry (*Rubus spectabilis* Pursh) とびのがあるイラフサ (*Vitica* 類) シダ地位と呼ぶことができる。この3種の中少くとも1種が多量に存在している。シダはケンシダ (*Polystichum imunitum* (Kaulf.) Presl) か lady fern (*Athyrium filix-femina* (L.) Roth) と思われる。灌木性のハシバミ (*Corylus* 類)

とニワトコ (*Sambucus* 類) の成長の旺盛はこともハコヤナギ類 (cotton wood) のすぐれた成長と関係があるように思われる。ドイツのII等地に相当する中位の地位は red-osier dog wood (*Cornus stolonifera* Mick) black twin berry (*Lonicera involucrata* (Richards) Banks) wax berry (*Symphoricarpos albus* (L.) Blake) が灌木層の優勢種として出現していることと見わけられるであろう。Thimble berry (*Rubus parviflorus* Nutt) 普通の野性バラ (*Rosa nutkana* Presl) もこの地位に普通みられる。一般的にドイツのII等地に相当する最下位の地位は普通のトクサ (*Equisetum arvense* L.) で示されることが多い。この地位の土地は通例低地で、普通の年でも運河以上も洪水におそわれている。普通のトクサと背の高いトクサ (*Equisetum hyemale* L.) が下位の地位と常に示しているわけではない。時には、トクサはII等地帯にはI等地となる高い峰や水路のふちの細砂や泥炭上に表われた粘土層に生育することもある。2,3の例では、II等地の成長の低いことは砂礫層の上にある微細荷重の土壌質が薄いことと、III等地の cotton wood 林分と関係づけられる。

cotton wood の可能な成長量に関するなんらかの糸口を得るために上記以外の多くの植物が使用できるであろう。巨大な高いアシヤイナハツ、spirea、ミズゴケで示される酸性で湿潤の土地のよき条件は cotton wood の造成に適さはい、ヤナギ属で占領されている土地では cotton wood は良好な成長と維持することは困難であろう。

ヤナギ属が繁茂している場所では、cotton wood を伐採するよりも、年生以上の苗木を植えることにより最良の結果が得られるであろう。一般に良好なハンノキ林が成立している多くの林地では、集約な経営により、一層価値の高い cotton wood を育成させるのである。

地形的位置 *Topographic position*

ミシシッピ河のデルタ地帯の *willow oak* (*Quercus phellos* L.) について Beaufait (2) が新たに定義した地形的位置は *black cottonwood* の地位と航空写真で製図する際に使用できよう。4つの地形的位置すなわち *high ridge* すなわちフロント、*low ridge*, *high flat*, *low flat* は高地から低地にかけて配列している地位指数と関連が高い。沖積層の基盤の上に最高の土地を形成する *high ridge* は洪水におどられることは稀である。*low ridge* は数フィート低く比較的指数が多く、*high ridge* の低い浅瀬や、緩慢な非恒久的水路に生ずる。*high flat* は河川が正常な順の向きを再び流れるようになってから、数日のうちに流水が涸れてしまう土地である。*low flat* は成長期間中水に浸っている土地で、枯渇の可能性や成長期間中は著しく短縮される。この4種の地形的位置は *Lower Fraser* 溪谷に縮図として表われている。

土壌に対する要求 *Soil requirements*

Black cottonwood は良好な成長をするためには、豊富な湿度、養分 PH 6-7 の酸性土壌を必要としている。これらの要求は、構造、多孔性、深さ、地下水面までの深さ、養分状態の各種の組合せにより充分にかなえられるであろう。

単独の土壌因子で、それと関連のある *black cottonwood* 林分の地位と一様に関係をもちうるものはない。

このことは、研究対象の土壌の大評価が、沖積層で、屢々洪水にみまわれ、そして地質学的には極めて幼令のものであるという事実で、その一部は説明できよう。それらでは土壌層の発達はなく、洪水年を通じて、微細物質の量がよび度に変化するであろう。実際に地位は、土地が洪水に見舞われる毎に変る。もっとも低い地位は、砂礫層で作られたばかりのものである。最良の土壌は地形的には平均より高いが、極端に水位が高くなると時には浸水される深い微細構造のものである。*high ridge* の土壌だけが、腐植と多数のミ

ミズと良好な結び付きとしている。砂礫層が土壌の下にあれば、良好な成長をするには少なくとも 18 in のローム又は比較的聖い土壌が必要である。*Cottonwood* の成長は水が停滞しているところでは遅く、水の移動が早い酸素や養分に富んでいる氾濫地所では成長は早い。低地や河の逆流地所に生ずる木の停滞する場所では有効成長期間短縮される。*British Columbia* 大学の Dr. V. Krajina は、細かな泥炭物が表面に露出している所では、通気性に富み、夏の雨を我慢に口かし、*cottonwood* の成長の低下することと明かにした。主水路から切り離れた林分の頂上部は乾燥した夏季には乾害を受け易いが、主流に沿った林分の *ridge* は多くの優れた *Cottonwood* 林分を養育している。

black cottonwood の最良の成長は *Monroe* の泥炭状粘土ローム層 (4) として説明できる土壌系で見られる。この土壌系は極めて範囲のない記述上の単位であり、今説明したように多くの地方的な変種なその中に含まれている。Ⅲ等地の幾分成長の悪い *Cottonwood* 林分は *Langley* 粘土系の土壌に成長している。

black cottonwood は *Chilliwack-Agassiz* 地帯で成長している土壌は、良好な農業用土壌であり、当時は非常に費用のむかむか集約は農産物の構築によって定期的な洪水の危険とさせることができたに過ぎないので、耕作されはがったのであろう。テストの結果ロームおよび粘土層に含まれる窒素、カリ、燐酸の量は大部分の農作物にとって充分なものであることが示された。粗悪な林分でさえ、洪水は定期的であれば適当であろう。*Wittich* (3) によれば、ポプラは多量のカルシウムを必要とする。幸にも、*Fraser* 溪谷の下流は多量のカルシウムを含んでいる。湿地の土壌や泥炭地では *cottonwood* はカルシウムの低い水準で制約されるであろう。*Cottonwood* の成長は中性な弱アルカリ性の土壌ではよいが、 PH が 5.5 以下の土壌では悪くなる。*Fraser* 河で用いられている *Hybrid* ポプラは、*black cottonwood* より低い PH に対する抵抗力は弱い。

高地の土壌には、*black cottonwood* の成長に適するものがある。

コ、3のグライ型の土壌は沖積土壌の優れた水分と養分とを兼ねてはえている。

このようなフライ型土壌は一般に低地や山麓に生じ、深いグライ層と比較的に高いpHを持ち、泥礫物の夾った、高地からの地表水がある。降水量が多いと、カルシウムその他の養分を適当に供給する細かな風又は河により堆積した土壌で迅速に成長することが出来る。極めて高地にある粘土土壌は、その構造が腐植の混交によって改良できない限り、充分なものとは思えない。褐色土壌群に属する沃土又は沃土に富む砂土は、水分と養分が充分に供給される場合のみ、cottonwood に適するであろう。

土壌改良の可能性 Possibilities of soil improvement

black cotton wood が現在生育している大部分の林分は、化学的肥沃法を考える必要があまりない程度養分に富んでいる。多くの場合、水分の過剰又は不足が成長を制約する主因子と考えられる。

スポット肥育法は幼令期の生存競争に打ち勝ち、その際伐採木とするに必要は撫育の手間を減らす方法としてAird (1) が示したものである。この方法はchilli wood の近くで1956年に行われたが、成功しなかった。石灰と肥料16-20-0がpHの低い粘土に富む土壌からなるVancouver附近の苗畑でcottonwoodの成長の速と改善するために用いた。

cottonwoodの造林は特殊な性質の地味の改善や一操にするため多くのことがなされるであろう。地味之や、マグワによる腐植の混入は多くの土壌の深層を改善するであろう。粘土の表層を剥出するスキ入れは特に有効であろう。

結 論 Conclusions

この基本的な観察はblack cottonwoodの天然生林の経営計画を以て、この樹種に相当と思われる地位を決める際に役立つであろう。black cottonwoodとこゝで論じている地位因子との関係の明確は性質を決定するためには、より詳しい研究が必要である。

(栗屋仁志 訳)

2. 良質の東部産ホワイトパインの成長量と価格に関する一考察

A study of the growth and value of a high-quality eastern white pine tree.

by Ralph W. Foster.

Journal of Forestry Vol. 55 No. 10, 1957

東部産ホワイトパイン (*Pinus strobus* L.) の品質および価格については多種多様なものがある。この樹種の経営は主に次のような理由から、望み薄い企業とみなされている。即ち、普通造林法ではホワイトパインの品質、価格は下落するからである。又一方経営を巧みに行えば、少くともかつてアメリカ製材工業の基盤となっていた老令木に比敵するような品質価格のホワイトパインを育成できることが認められ始めている。

この報告には東部ニวยอร์ก州ハーレンアルク Warrenburgにあるpuck実験林の同令林分に生育していた125年生の品質の良い木のホワイトパインの成長量と生育過程の解析が示してある。この木は生育良好なホワイトパインの好例とみなされており、1950年11月25日の調査で倒された時には既に詳しい解析が出来るまでに育っていた。

この木の立木価値の算定の外に、強度の枝打ちによる最終的価値の増加の考察にまでこの解析を拡張した。

この木の生活史 Life History of the Tree

1800年の少し後で原生林を撫伐したことが分つてゐる。10エーカーの林地の林縁近くにこの木は生育していた。地味は多数の軟石におおわれており、土壌断面には獣の根跡が全然認められなかった。この土地は昔は牧野であつたと思惟できる。この地は1824年伐採の際ホワイトパインが天然下種されてから後しばらくの間、天然牧野として放置されていた。この結果成立した林分は北東部の

ホワイトパインの単純・同令、老令林分の典型なものとなった。

年輪はノスス5年の直径と同じ巾を示していた。

直径成長は規則的であつたが、1888年までは抑圧されていた。この年に著しく成長量が増した。その原因は、同じ林地に生育している同令のホワイトパインが1888年において同じような直径成長を示しているので、恐らく部分的伐採によるものと思われる。調査木はその時63年生で胸高直径12インチ、樹高80フィートであつた。

ツガおよび広葉樹の下木が既に成立しており、その樹高は5~10フィートに達していた。

これらの下木は、上層木のマツの年輪には示されていない事実を示している。1878年において、ツガの年輪巾が広くなっているのは恐らく薪炭伐として広葉樹を抜き伐りしたためと考えられる。しかし、1878年が6~12インチで樹高約60呎の林分が形成されるに従つてツガおよび広葉樹の更新数は減少した。

この林分は老令のマツの下層に生育しており、風倒した時侯には、この木は、樹高110フィート樹冠高55フィート、根下高45フィートに達していた。

調査木としての適否

Suitability of the Tree for Investigation

品質のよい東部産ホワイトパインを仕立てることは長年にわたつて Pack Forest の主要な問題であつた。(2) 幼令時に密生させることは樹幹を直立的なものとするため本質的な方法であると考えられており、幼令林の成長が緩慢となることを除いて、うつ開は樹高成長には殆んど影響しない。例えば Tarbox と Reed (6) は Harvard Forest で、エーカー当りの植栽本数が500~3000本の20~30年生のホワイトパインの人工林では樹高に有意差が認められないことを発見した。逆に、平均樹冠長は、疎密度がエーカー当り3,000本から500本に減少するにつれて2/3倍に増加した。林分が50~60

フィートの樹高に達するまでは、直径成長にそれほど配慮しなくてもよい。

Pack Forest には品質優良な老令木となる伐り身された熟立木についてのいくつかの例がある。大径の貴重木の換育に重きが置かれているホワイトパインの造林撫育法を發展させるのに、これらの木は重要な役割を演じている。この木は以上の様な目的で撫育されているホワイトパインの一例として長い間注目されてきたものである。

樹幹析解の結果 *Analysis of the tree*

年輪を伐根および各丸太の上端で数え、10年毎に平均直径を求めた。(1表) この木は幼令時代には半優勢木であつたことを示す、いくつかの事実がある。例えば1888年まで直径成長が抑圧されていたことは、早期に被圧されたことを示している。又、この林分内の他の木はこの木より大きかつた。60呎離れている同令のマツが伐根測定値を亦1888年度の伐採の効果を示している、当時これらの木は調査木より直径が5インチ大きかつた。

1888年度の抜き伐り以前には調査木の半径成長量はインチ当り年輪10個であつた。次の62年間には平均してインチ当り年輪7個であつた。僅かな変動を除いて、この好調な成長率は最後の年まで維持された。1888年以後、この木は明らかに疎開状態で生育した。したがつて降火量が直径成長に影響する主要な制限因子となると推測した。幸災、戦後の10年間の乾りになつて直径成長が緩慢になつてゐるのは1946、1948、1949年度においてそれ以前と較べて夏季に異常な乾燥があつたためである。

この木は風のため倒れたけれども、これ以外の被害は受けてなかつた。丸太は灰巾のノインテボートに造材され、挽材は北東製材工業協会 North eastern Lumber Manufacturers Association (4) のホワイトパイン品質規格に準據して格付けされた。

(2表参照) *Fomes pinii* (Thore) Lloyd による赤腐れが、2, 3, 4 箇穴大内で散見され、このため挽材の価値は著しく損なわれた。5等材林 (No. 5, *Common Lumber*) は腐朽部がなければノ級以上高く格付けされたであらう。4等材の部分も亦、腐れがなければ3等材以上に格付けされたであらう。

3表に示してある挽材価格は製産された挽材を価値価値に換算するのに用いた。

これらは *Commercial Bulletin* (1) の 1957 年 1 月 26 日のゴポートに引用されたものに対比するもので普通の製材所渡し地方卸値を表わしている。所有者に (経営者の利潤、経費を含む) 対する立木価格は製材価格から、造材、製材の費用を差し引いて定められる。造材、製材所渡しの費用および経営者の利潤は M. B. D. ft 当り 29.10 と推定された。製材、備倉庫、販売料を含めた製造費用に利潤を加えたものは M. B. D. ft 当り 40 と計算され、総費用は 69.10 であった。この総費用は控え目のものであつて大径の品質の良い木の製品の取扱い費用の比較的に低いことを反映している。小径の品質の劣つた丸太を扱う平均費用 10 ~ 20 % 高くなるであらう。

以上の仮定を用いて所有者に対するこの木の立木価格は \$133.95 と計算された。125 年生でこの様な値にまで成熟する東部産ホワイトパインは稀であるからこの木はとりわけ品質が良いことも強調されねばならない。この木に少量の優良な挽材が含まれていることは、うつ開が早やかつたということ、その一部が説明できるに過ぎない。したがつて小さな枯枝の大部分は 1888 年の抜き伐りの際、隣接木の伐倒のため脱落したものである。

1表 10年毎の生長量インチ

樹令	年	10年間の直径成長量	伐根高における皮内直径	D. B. H.	樹高	利用樹高	材積 ²
0	1825	1.27	1.27	127	2-1	2-1	B. d. ft.
5	1830						
15	1840	1.75	1.75	20	12		
25	1850	1.87	3.62	40	31		
35	1860	2.00	5.62	55	46		
45	1870	2.50	8.12	80	60	32	50
55	1880	2.77	10.50	105	74	48	90
65	1890	2.25	12.75	130	84	56	170
75	1900	3.62	16.37	160	92	64	305
85	1910	2.62	19.00	180	97	72	500
95	1920	3.25	22.25	220	101	80	730
105	1930	3.24	25.62	250	105	80	1,000
115	1940	2.87	28.50	280	108	88	1,300
125	1950	2.62	31.12	340	110	88	1,513 ³

1. D. B. H. は伐根の測定値から求めたものである。
2. B. d. ft. 伐根は、形径 80 に対する国際丸太規格で決定したものである。
3. 実際の B. d. ft. 伐根は工場の検尺によるものである。

伐打ちを行つた場合

The case for pruning

この木は撫育をしなくても極めて品質の良いものになつたのであるが、集約な経営が実行された場合の価値について考察してみよう。当然のことながら特殊な取扱いにより伐根成長量が逐次増加するとは期待できなかった。しかし少量の品質の低い挽材が出来る原因となる成長通刺の黒節 *black knot* についてはなんとかすること

がでさよう。したがって次の質問が起る。人工的な枝打をすればその木の価値が変るであらうか。

2表 工場検尺による実際のボードフット伐積。

丸太番号	Base and +	C and D sel	1 and 2C	3C	4C	5C	計
1	168	127	84	12	28		399
2	22	124	46	98	56		346
3	16	16		62	105	102	301
4				0	202	21	230
5				30	46		141
6				7	97		71
7				15	49		25
計	206	267	110	224	583	123	1,513

3表 所有者に対する伐採の M. B. d. ft. 当り立木価格の決定

	Base and +	C and D sel	1 and 2C	3C	4C	5C
伐採即売り価格	300	250	150	125	90	55
製材費	65	65	65	65	65	65
立木価格	235	185	85	60	25	-10

ホワイトパインは自然のままでは全然枝落ちしない。一畝玉の自然による枝打ちがその木の生きている内に完了することは稀である。Paul (5) は「枯枝が最初の20呎の樹幹上に平均27年間も着ていたことを発見した。枝が86年生の林分で73年間着いていたのが最も長い例である。

一般に行なわれている打ちは最初の10呎の丸太に限られており、枝打用具や技術はこの高さまでの枝打について設計されているに過ぎない。しかし枝打ちをノーフットに限定する造林学的制約は何もないのである。より高い所まで枝打すれば成熟期まで成長しうるホワイトパインの価値を逐次高めることができる。

1949年以降Pack Forestで行われた高度の枝打は、このような実行が望ましいことを示し、この地のように最良の立地では第3丸太まで枝打できると考えられている。しかし中幹地では2丸太の枝打が主張され、さらに下等地の枝打は普通又は1/2丸太まで行われている。

この実験から枝打は壮年40-60年まで延期すべきであるとはいえないが、地力より壮齢林で成長している新しい、通直な、優勢木の高度の枝打ちも財政的および造林学的に実行可能であることとらいつと一般に認識すべきである。

枝打ちにより丸太の等級を良くすることはよく知られている。しかしごく最近になつて始めて過剰成長に伴う枯枝ややう虫のついた老枝を初期に除去するとホワイトパインの価値を逐次低下させる赤腐の蔓延を防げることをPack Forestで試みられた。

調査木は2,3,4番丸太に赤腐れ箇所は価値を僅かに減らすだけであつた。しかし3番丸太の赤腐れ箇所は丸太の等級を相当下げる原因となつた。この木が50年生の時に枝打ちされておれば赤腐れは殆んどなくなつたであらう。人工的枝打ちの行なわれた樹冠の切口に赤腐れが侵入したことが発見される事はPack Forestではなかつた。

4表 工場検尺による3番丸太まで枝打ちされた木のボードフット伐積の予測

丸太番号	Base and +	C and D sel	1 and 2C	3C	4C	5C	計
1	364		21	7	7		399
2	292		18	18	18		346
3	253			24	24		301
4				0	202	21	230
5				30	46		141
6				7	97		71
7				15	49		25
計	909	0	39	101	493	21	1,573

4表は調査木を3番丸太まで枝打ちした時に得られる挽材等級の再生量予測値を示している。枝打ちした丸太による挽材等級の再生は最大量のB等級および節の多い中心部の外側の比較的低量の挽材部を再生する現実的な造材計画に差すいて計算されている。4表を2表と照べてみると、高度の枝打ちによるものと期待できる最初の3つの丸太の挽材等級の差を減らすことができる。

調査木は15.30.45フィートの高さまで枝打ちされていると仮定して最初の3つの丸太のそれぞれの立木価格を計算した(5表)45年生の時行った人工的枝打ちは一巻丸太の価値を\$16.24増すことができた。枝の大部分は幼時にこの木から実際に脱落してしまっているから、この増加は大したものではなかった。2巻丸太では枝打ちによる価値の増加は\$34.44であつた。このような価値の増加は実際に2巻丸太に比較的多量に含まれている中等材の代りに多量の優良材を成育できるという事のためである。自然による枝打ちがほとんどない。3巻丸太では、価値の増加は\$49.46であつた。3巻丸太の価値がこのように著しく増した一因は断片的に枯枝の時期をきた除去—これにより更にまた3巻丸太に対する赤腐の侵入が防げられるであらう—による枝打ちによるものと思われる。しかし3巻丸太の価値増加の大部分は直接、枝打ちの結果とあらわれる。即ち実際にこの丸太に含まれる。極く低質な割合の優良材の代り多量これが生産されるからである。

高度の枝打ちはForestでは38フィートアルミ製折疊式梯子や木登り用拍車を用いて行なつた。梯子の一端上に立ち、6フィートの棒に取り付けた枝打ち鋸を用い入れれば最大限、地上35フィートの枝を除去できる。3つの丸太の枝打ちは標準の電柱登り用拍車を用いて行なつた。この様な装備をすれば、平均2丸太の高さの木を一人を一日当たり4の本枝打ちできる。何本かの木はこの方法で、最高50フィートまで枝打された。拍車は枝部を幾分傷め、樹脂がしみでくるが、このような小さな傷は節の多い中心部に含まれてしまい、挽材の等級がさらに落ちる原因とはならないであらう。しかしながら

鉄製の木登り器を用いて枝打ちする木に何回も登ることは作業上は思えない。

5表 枝打ちにする1巻丸太および2巻丸太の立木価値の増加の予測

枝打ちの程度	1巻丸太	2巻丸太	3巻丸太	全 本
枝打ちなしの1巻丸太	69.84	39.30	12.04	121.18
1巻丸太まで枝打ち	86.13	39.30	12.04	137.47
2巻丸太まで枝打ち	86.13	13.74	12.04	111.91
3巻丸太まで枝打ち	87.92	71.68	61.50	221.10

1. 枝打ちは45年生の時実行
2. 一巻丸太は35年生、二巻、三巻丸太は50年生の時枝打実行

要 約 Summary.

優良な東部産ホワイトパインに関する集約的研究が東部ニューヨーク州の *Pack Forest* で行なわれた。この125年生の木はd.b.h. 30インチ樹高110フィート、枝横1.5/3ボードフィートであつた。

製材費と製材価格から差引いた残りの立木価値は\$133.95であつた。これは森林内にこの木が立つている時の所有者に対する価値である。適切な時期に3つの丸太まで枝打ちすると価値は\$233.86に増加した。高度の枝打ちは単に挽材価値を高めるだけでなく、赤腐れによる価値の低下の可能性を排除に減少させる。この木は管理されている地色が良い所に成育している優良木から期待できる大きさ、品質に関する一例と考えられる。(栗仁志氏談)

1. Commercial Bulletin January 26, 1957.
Boston, Mass.
2. Foster, C.H., and B.P. Kirkland. 1949. The Charles Lathrop Pack Demonstration Forest, Warrensburg, New York. Results of 20 years of intensive forest management. Charles Lathrop Pack Forestry Foundation, Washington, D.C. 36
3. Foster, R.W. 1950. A study of the select northern white pine tree on the Pack Demonstration Forest, Warrensburg, New York Unpubl. Report for Master of Forestry Degree at the College of Forestry, Syracuse, N.Y. 46 PP
4. Northeastern Lumber Manufacturers Association, Standard grading rules for northern white pine and Norway pine. 271 Madison Ave., N.Y. 16, N.Y. 33 PP.
5. Paul, B.H. 1938. Knots in second-growth pine and the desirability of pruning. U.S. Dept. Agric Misc. Publ. 307. 36 PP.
6. Tarbox, E.F. and P.M. Reed. 1924. Quality and growth of white pine as influenced by density, site and associated species. Harvard For. Bull. 7. Petersham, Mass. 30 pp.

8. 新成長率式について

Comments on new Growth Percent formulae.

by L.R. Grosenbaugh

Journal of Forestry Vol 57 No. 7 pp 515-518

Journal of Forestry 1959年2月号の Belyea 教授の論文は、複利が与えられているという古い論説を引用している。このことに同じくは林業技術者は3つ以上の時点で木伐株の林分の実材量を概測することにより自分等の意見を信用することができる。

彼のいわゆる有機的 (organic) 方法についての論説は、この方法が正しく用いられた時には、複利法と全く同じであるという事実を論じていない。彼は $\log_e(1+C)$ をよく知られている複利率公式の複利率 (C) の代りに用いることを主張している。

複利の代用として誤まつて用いられれば、この有機的率は、実際に測定された最後の蓄積に対して最初の蓄積を正當に表わさないであろう。この場合に注する偏りの量は、私が3段をやっているように、正確に表に表わせる。

Belyea 教授は、単に (期間の出発点の) 単利に ^{最初の蓄積} _{最終蓄積} の平均値を乗じた幾何学的な率も主張している。おそらく、彼は複利公式の C の近似値として、これを薦めるに用いようと思つていたのであろう。幾何学的な率は与えられた3つの量 (最初の蓄積、最終蓄積、その幾何平均) のうち、2つを組合わせた正しい等間数には使用できないからである。

名称、代数的関係および、各種の成長率算式による等当な蓄積の算出のために用いた基礎を明らかにするために著者は、2段を作成した。

3つの単利式 (必要とする際には拡張される) は全て、^{最初の蓄積} V_0 、^{最終蓄積} V_n 、その算術平均 $\frac{V_0 + V_n}{2}$ を通るであろう。率 S.M.T の差は単に基礎の差を補っているだけである。く基礎が違つた

けである) これはエーカー当りの林分材積は、毎年一定量だけ増加する。すなわちこれは直線でプロットされるという仮定に立っている。

3つの複利式は一つの利率 C を含む。頭初蓄積 V_0 最終蓄積 V_n 幾何平均 $\sqrt[n]{V_n V_0}$ を通る。

これは、エーカー当りの林分蓄積は毎年均等な増加量で増加する。すなわち上四の曲線でプロットされるであろうという仮定に基いている。

成長率の名称	定 義	正しい関係即ち Projection
単利(期間の出発点)	$S = \frac{V_n - V_0}{V_0} \left(\frac{1}{n}\right)$	$(1 + nS)V_0 = V_n$
期間中央の単利 (プラスの成長率)	$M = \frac{V_n - V_0}{V_n + V_0} \left(\frac{2}{n}\right)$	$(1 \pm \frac{n}{2}M) \frac{V_n + V_0}{2} = V_n \text{ 又は } V_0$
最終点の単利	$T = \frac{V_n - V_0}{V_n} \left(\frac{1}{n}\right)$	$(1 + nT)V_n = V_0$
複利(期間の出発点)	$C = \sqrt[n]{\frac{V_n}{V_0}} - 1$	$(1 + C)^n V_0 = V_n$
期間中央の複利	Δ	$(1 + C)^{\pm \frac{n}{2}} \sqrt{V_n V_0} = V_n \text{ 又は } V_0$
最終点の複利	Δ	$(1 + C)^{-n} V_n = V_0$
複利(自然対数)	$L = \frac{\log_e V_n - \log_e V_0}{n}$	$(e^L)^n V_0 = V_n$
複利(常用対数)	$B = \frac{\log_{10} V_n - \log_{10} V_0}{n}$	$(10^B)^n V_0 = V_n$
幾何平均利率	$Q = \frac{V_n - V_0}{\sqrt{V_n V_0}} \left(\frac{1}{n}\right)$	なし

注 C の近似値として L 又は B を用いれば必然的に偏りが生ずる。

ノ表 いわゆる成長率の定義とそれの意味する正しい関係、即ち Projections ただし n = 年数 V_0 = 頭初蓄積 V_n = 最終蓄積

L, B で示されている複利算公式の2つの対数形式は、基本的複利曲線と全く同じ上四の曲線となる。複利表より対数を用いた方が簡単であると考え人もいる。たとえば $\log_{10} V_0$ の右に (B の9倍) を加えたものは $\log_{10} V_n$ に等しい。

しかし、 L を複利算公式の C の近似として用いれば、正しく V_n を予測できない。この偏りのある C の近似値は、3表で、正しい値と比較してある。偏りは C が増すにつれて増加する。

理論的にいつて、利率算定式を用いて林分蓄積を予測する適當な方法は、過去の V_0, V_n, n から利率を算定し、適當な項で、予測を必要とする将来の時点を表わし、ノ表の“正しい関係または予測”に示してある適當な関数と基きを用いることである。次のように ($n+5$) 年に対する単利による予測は、基き、利率、期間が違つていとも受われない。

$$\begin{aligned} V_{n+5} &= (1 + (n+5)S)(V_0) \\ &= (1 + (5)T)(V_n) \\ &= (1 + (\frac{n}{2} + 5)M) \left(\frac{V_0 + V_n}{2} \right) \end{aligned}$$

S = 頭初蓄積に対する年単利

$$C = S \sqrt[n]{\frac{V_n}{V_0}}$$

$$M = S \left(\frac{2V_0}{V_n + V_0} \right)$$

$$T = S \left(\frac{V_0}{V_n} \right)$$

$$C = \sqrt[n]{1 + nS} - 1 \quad (\text{すなわち複利率})$$

$$L = \log_e (1 + C) = C - \frac{C^2}{2} + \frac{C^3}{3} - \dots = 2.3026B$$

$$B = \log_{10} (1 + C) = \frac{\log_e V_n - \log_e V_0}{n} = 0.4343L$$

るが、予測に用いられる。いわゆる成長率同の対数初関係

ここで n = 期間の年数 V_0 = 頭初蓄積 V_n = n 年の終りの蓄積

C	$L = \log_e(1+C)$	$C-L = \frac{C^2}{2} - \frac{C^3}{3} + \frac{C^4}{4}$
0.1	0.0995	0.0005
0.2	0.1880	0.0020
0.3	0.2756	0.0044
0.4	0.3622	0.0078
0.5	0.4479	0.0121
0.6	0.5327	0.0173
0.7	0.6166	0.0234
0.8	0.6996	0.0304
0.9	0.7818	0.0382
1.0	0.8631	0.0469
1.1	0.9436	0.0564
1.2	1.0233	0.0667
1.3	1.1022	0.0778
1.4	1.1803	0.0897

3表 複利率(C)と対数による近似値(L)の比較

3つの複利算定式は、Cが同じでも異なる期間、基算に用いられる。

期間に対する林分蓄積の上昇の曲線を仮定すれば、Sと V_n を用いてCと V_n を用いたときと全く同じ V_n が予測されるであろう。すなわちそれに対して目き同じ、材積成長は、大部分の期間について、急速に上昇する上凹曲線となると主張する人でさえも、複利計算と一致するそれ以外の単利計算があり、その場合時がたてば将来の予測は、成長量が過去に測定された期間に等しくなる。

Mと V_n を用いれば、S又はCと V_n を用いた場合よりも幾分低い材積の加速増加が求まるであろう。

これと異なる仮定を急いでいる取扱い方の具体化は難しくない。1.2表からS, G, M, T, C, L, B 向に数値的な差の期待されることばはっきり分るであろう。というのは、いづれも違った予測関数で表わされるが、違った基礎が用いられているからである。

これらは、いづれも直線的基礎から(今は正しく *Project* をさすので除く)同じ V_n に達するであろう。したがって、J F 1959 年2月号 *PIG* の *Belgea* 教授の1表に示してある、数値的な成長率向の差はたとえより現実的であるようにおわれればCを含む指数曲線を認めても(私は承っていないが)なにも明らかにしていない。

Belgea 教授の1表は、成長予測に複利率又は対数を用いれば、その数値又は補間の誤りのために結果に算術誤差を生じ易いことを示している。彼の *Table* の 9 例では $C = 0.10350$
 $L = 0.10524$

その差 $(C-L) = 0.00266$ を示してある。これらの量間の必然的な関係を示す表が、3表である。Cが0.10と0.11の間にあれば、 $(C-L)$ は必ず0.00469と0.00564(彼のいつてゐる0.00266とはならない)の間にあることを示している。同様に彼の22 in classで $C = 0.02217$ か $C = 0.02$ と $C = 0.03$ の間にある場合、3表に示してある真の $(C-L)$ 即ち差は必ず0.00020と0.00044の間にある。(彼のいつてゐる0.00109ではない) 彼の1表には計算誤差を示す。別の予盾した点がある。針数および換利の計算の複雑さは、誤差を弄する人が用ゐるときでさえ、大きな欠点であると思う。

(原屋 仁志 訳)

9 ベイマツ幼令林の樹冠の大きさ、初めの直径および直径成長

Eravan dimension, initial diameter and diameter growth in a juvenile stand of Douglas fir

G. C. by Warrack

The Forestry Chronicle Vol. 34 No. 2 1959 P. 150-153

正常木林の林分で、最初のうつ開直径に有利な成長率を維持するのに必要は樹冠関係については、余り知られていない。この時期には、不要な材木を摘伐することで、林分を有利な形にすることができ、その選定の際に成長値と繰返し用いるよりは、簡単に査定できる外部的な大きさで苗木の成長速度が査定できるという利点がある。適当な成長に必要な関係は樹冠の大きさで決定でき、調査者のなかには、樹冠の測定値と樹幹成長量の間にすぐれた関係を求めているものもある。

樹冠の測定値は、通常幹材成長量と最も密接な関係があるが、実行は制約を受けるので、比較的簡単に測れる樹冠長、樹冠巾、生樹冠年、或は樹冠の大きさの指標による面倒のない方法が成長量の適切な指標であるとされている。Halsal (1947), Arnold (1949), Chussalo (1950), Minar (1951), Will (1953)

この報告は、13年生のベイマツ林分の直径成長率の、樹冠巾と樹冠指数(樹冠巾×樹冠指数)と直径(BH)で表わした直径成長量を調べることを目的としている。直径成長量の推定値を補正する際の直径(BH)と樹冠巾を相合せたものの相対的影響も評価され、所要の直径成長量を得るに必要な樹冠巾について推論を下すことのできる図表が示された。

資料と方法 Materials and methods

13年間の選定をする際に、296本の木の樹冠巾と長さが測定された。樹冠巾は最大の主枝で測った4方向の半径の平均×2として決定され、樹冠の長さは、樹冠の中心の位置までの長さとして計

算された。枝下高は平均して地上10フートであった。直径成長量は、(枝内BH)6年後の直径測定値を用いて算出された。この測定値は回帰式を利用して分析した。前導精度で直径成長量を予測するための適当な公式を算出し選択するのがこの分析の究極的な目的である。2組の重回帰と別々に示すため、2組の分析が行われた。オノのものは 最初の直径と樹冠中による直径成長量の回帰であり、オウの回帰は 最初の直径と樹冠指数(樹冠中×樹冠長)による直径成長量に関するものである。

結果 Results

この結果は1表にとりまとめている。

1表 最初の直径 樹冠中 樹冠指数と成長量との関係

式	相関係数	標準偏差
$I = 0.903$	—	0.5099
$I = -0.2823 + 0.3286 Id$	0.88	0.2422
$I = +0.3218 + 0.121 Cw$	0.77	0.3274
$I = +0.1315 + 0.0028 Ci$	0.84	0.2763
$I = -0.3725 + 0.0316 Cw + 0.2868 Id$	0.89	0.2341
$I = -0.2244 + 0.0007 Ci + 0.387 Id$	0.88	0.2375
$I = \text{直径成長量}$		

表の因子は単独のときも 組合せたときも有効である。

結論 Conclusions

如今木がはげしい競争状態に突入しているこの林分では、3つの測定された因子のうちで、最初の直径が直径成長量の最も単純な基準である。これらの因子と組合せたもの(時には2因子を組合せる)はそれほど成果が上らなかった。

必要なら空間的所定の成長率を得るに要する最大の樹冠中もこの分析から推定できる。

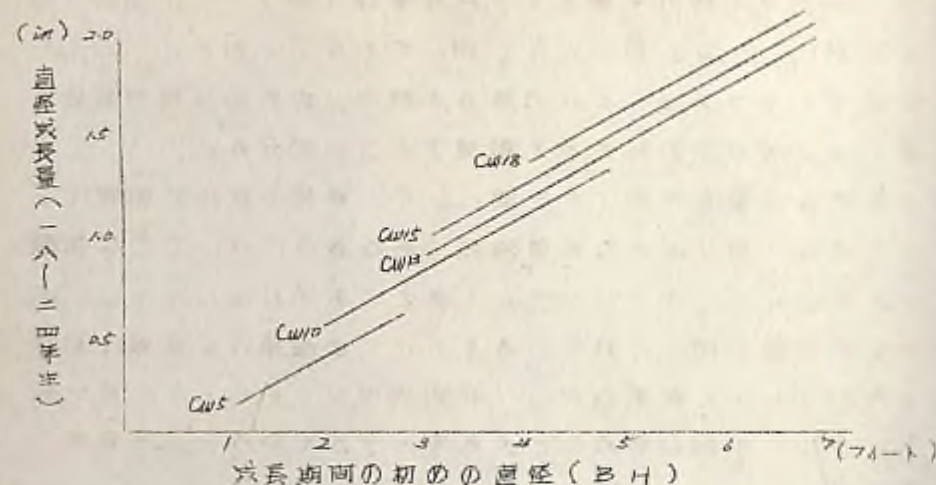
例えば in 当り8個の年輪をもつ成長率は年当り0.125 in の半径ざらに6年間に1.5 in の直径成長と同じである。1図から 12 feet 以上の樹冠中をもつ 4 in - 5 in の木の大部分と例外的な有効樹冠をもつ小径の 4 in 木がこの成長率と競争することが分る。

最後に直径成長量を予測する手段として、最初の直径と樹冠中を用いる方法は、同じような競争状態にある林分についてだけ信頼できると考えられるにすぎないことを述べておかねばならぬ。引用した多くの研究で用いられているように、断面横成長量又は初級成長量と表わすもっと複雑な式は、長期向極圧された下木を持つ林分で、満足のゆく相関のあることを必要とするであろう。(果敢訳)

参考文献

- Arnold, D.L. 1949 - *Growing space ratios as related to form and development at western white pine*, Jour. of For., Vol. 47:370.
 Hulse, L. 1948 - *Crown development and basal area growth at red oaks and white oak*, Harvard Forest Papers, Vol. 1:16.3.
 Jelinek, J. 1950 - *on the correlation between the crown diameter and the stems of trees*, Commun. Inst. For. Gen. 35(2).
 Minor, C.O. 1951 - *stem crown-diameter relation in southern pine*, Jour. of For., Vol. 49: 480-3.
 Will, B.C. 1958 - *A preliminary study of current diameter and height growth of spruce and fir as influenced by crown volume, weight and form, and by competition at surrounding trees*.

This is available as Bind No. 1550 Dominion Forest Service, (Maritime District), Ottawa Canada



10年間の初期の直径 (D.H.) と直径成長量 (I.d.) の関係

$$Y = -0.3725 + 0.316 (CW) + 0.2868 (Id)$$

10 固定標準地を設定する簡便方法

A rapid method of establishing permanent sample plots
 Plots David J. by Neche and Stephen G. Boyce
 Journal of Forestry Vol 57 No 7 1959 p. 707

プロット内の樹の位置を記録することや地図を作ることを容易にする装置によって小さい固定標準地を設定し維持するに必要な時間を減少することができる。この装置はベニヤ板のそれぞれに類似な材料で作られた簡便な円板でその表面は函計廻りに36度の10度単位で函数尺に分割されている。使用する際には、この装置をプロットの中の地におき函数尺1と36の間の線が並ぶようにする。プロット内の樹の位置は、円板の円周からの距離を測り樹が立っている場所の函数尺の数を記録して決定する。

円板の真中に30cmの穴をあけておきそれをプロットの中心に立ててあるユメス (Y-mess) 板の上にはめ込む。円板はその中の穴を通り、地盤につき通されたワイヤーピンで固定される。このピンは、プロット内の樹に対する測定が行なわれている間円板を安定させる。距離を測るためにテープをワイヤーの端につなぐ。ワイヤーのもう一つの端を輪にして地にはめこみテープの0の印が円板の外側に一致するように板の上に记す。(写真 / 参照) テープが樹のまわりを巻くので、函数尺および樹までの距離は、円板とテープを用いて直ちに読むことができる。

この方法を使って作られたプロットは円板の下面積がプロットの中に含まれていないので一つの環帯である。直径で1.62mの円板を使えば中が正確に1 (milacre) マイルエーカの環帯を得ることが分った。これは作業をするのに都合のよい数である。その上、この大きさの円板は函数尺を早く置くのに十分な大きさであり、しかも持ち運びに便な地盤に小さいものである。プロットの大きさはテープで置かれる距離と板を変えることによって変えることができる。

(表 I)

プロット サイズ	環 帯 の 幅
1. <i>mileacre</i>	3.0 feet
2	4.5
3	5.7
4	6.7
5	7.6

この方法は、他の型の円形プロットのように簡単かつ使い易く、木の根がはいるだけである。その上、円板を使用すれば稚樹の再調査の箇所は少なくて済む。Illinois 州でこの円板が天然主受新樹の成長成長量、枯死量を測定するための固定プロットの設定や再調査に使われている。また、植付迹の面積が環帯プロットから除外されるから数学的处理をほどこされた根が測定された稚樹に影響することは殆んどない。

円形プロット内でランダムサンプリングする場合にはこの円板は極座標の測定に便利である。森数尺が円板から直接に読めるからこれは置きなおす必要がなくコンパスで測量してみる必要はない。

この円板は Stett and Ryan³⁾ が述べている方法と同じように大きな円形プロットと組合せて使用できる。この大きなプロット用に設計された円形野帳も、この円板と同じに使うことができる。

早さ、簡単さ、正確さの点でこれは下層植生のサンプリングあるいは極座標で実験的植林を行う場合に便利な固定標準的測定方法である。

- 1) Division of Silvics, Branch of Research, Forest Service
Sample plots in silvicultural research. U. S. Dept. of
Agric Circular No. 233, 90 PP, illus. 1935
- 2) Gaiser, R. N. Random sampling within circular plots by
means of Polar Coordinates. J. Forestry 49: 916-917
illus 1951

- 3) Stett, C. B. and E. J. Ryan. A permanent sample plot technique
adapted to commercial timber stands. J. Forestry
37: 347-349. illus. 1939

(川端 幸蔵氏)

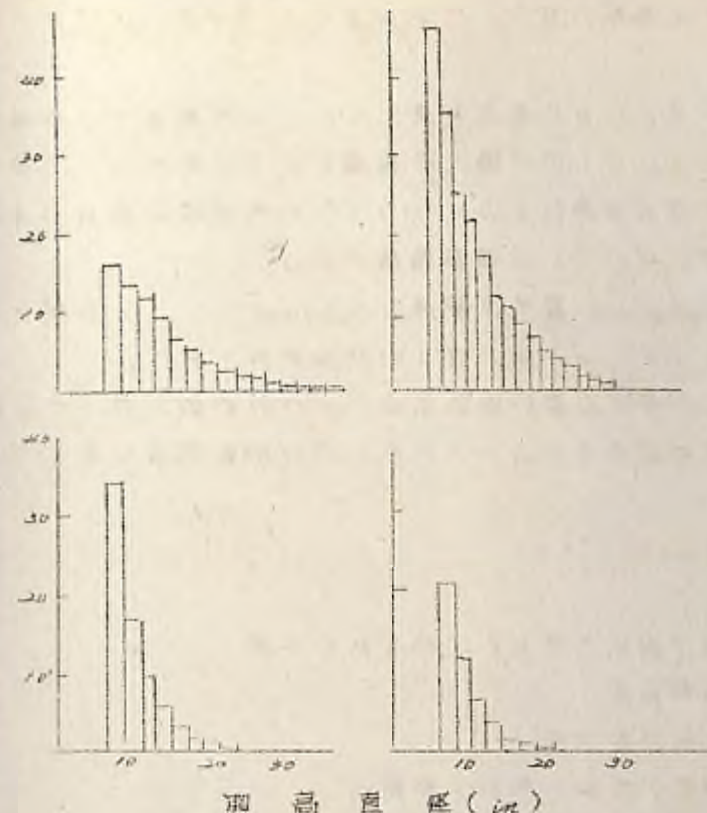
11. 釣合のとれた異令林の構造、成長量、消失量について

Structure, growth and drain in balanced uneven-aged forests 著 H. v. Arthur Meyer

釣合のとれた異令林とは、林分の構造および頭初の蓄積を維持しながら現果成長量を、毎年或は定期的に収穫出来る森林である。正常蓄積をもつ森林は採伐収穫ができるか或は、できるだろうと言っている。釣合のとれた原生林では、成長量と枯死量とは釣合っており、かくして、このような森林の永続が可能になる。釣合のように経営され、乱されていない原生林で行った試験調査から、このような森林の直径分布について、かなりの知識が得られている。試験の結果、直径分布は逆丁型であることが示され、これを、半対数グラフにプロットすると、直径分布の奥例が、1図に示してある。

どちらかといえば明確な直径分布をもつ、釣合のとれた森林は管理のゆきとどいた森林や、原生林だけでなく、地方全体或は州全体の森林のように多数の小丸太木や小、大径の用材木がなる大面積の林地でもみられる。1図に示してある例ではいづれも、指数曲線が、高積度の各直径階調査で得られた集データにあてはまっている。

この論文は頭初の林分構造を覚えないうで、各直径階で伐採できる(又は各直径階で枯死してよい)本数と材積の百分率の新しい計算方法を示すものである。この論文の目的が、こうだからといって、林業経営に際して、伐採は実際に与えられた林分構造を維持するように行なわねばならぬということを知覚しているのではない。しかし、与えられた林分構造を維持するために各直径階で伐採しうる量を知っておれば、自動的に、与えられた直径分布を、われわれ自身の選んだものに変えるために伐採できる量が分る。州規模の蓄積調査では、この知識は、ある地区の森林の現状および望ましい消失量を求めるのに役立つ。俄に示すように、これは、その地区の木材資源の維持や再生を目的とする州或は国家的な計画を樹てる一因となる。



1図 釣合のとれた直径分布: A 北 Pennsylvania 州のナターバーカエーツガの原生林
B スイスの採伐林, C New Hampshire 州の蓄積調査のデータ
D Maine 州 Sack County の針葉樹林の蓄積調査

釣合のとれた異令林の直径分布

Diameter distribution in balanced uneven-aged forests

大面積の森林の直径分布はいづれも、1図に示してある逆丁型分布と似た傾向がある。

いくとも釣合のとれた構造をもち、うつまいも適当な異令林では

比較的に伐され蓄積の減りした森林よりも、中径・大径木に富んでいる。

原生林は、与えられた構造と変えたいという意味では直径分布は釣合っているというものの最大の蓄積を示すであらう。十分うってゐた。原生林の雄大なものとうつべいの幾分疎な森林の中間に、林業経営で探し求めている最適蓄積がある。

注 *Pennsylvania* 農業試験場の *Journal* シリーズの論文 No 1668 として 1951 年 5 月 9 日発表が許された。

1 図に示してある各連の構造型は、一つの特徴を帯びている。ここに示してある直径分布はいづれも、次の指数関数で示すことができる。

$$Y dY = K \cdot e^{-KX} dX$$

ここで

$Y dY$ = 極い直径区間 dX に含まれる本数

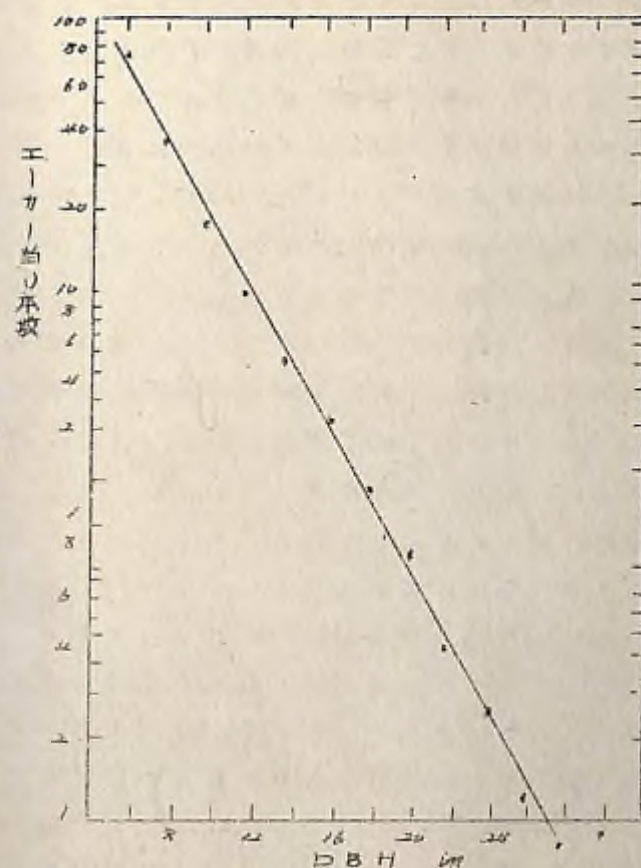
X = 樹高直径

e = 自然対数の底

K, d = 構造の特徴を表わす定数

この形の直径分布の相隣れる直径階の本数は幾何級数を表わすことを示すことができる。これは、相隣れる直径階の比 ϕ が一定であることを意味する。1939 年にフランスの林業家 de Liocourt が初めて発見した。この事実は Liocourt の法則として知られ、しばしば引用されている。比 ϕ の数値は、広範囲にわたって変動することが分った。1 表に載せてあるデータは ϕ の値が 1.13 から 1.56 まで変わっていることを示している。2.0 以上の ϕ の値は相対的にうっぺい疎な林分の釣合のとれた直径分布と関連のあることが分った。2.0 区間の直径階に適用すると ϕ と指数分布関数の定数 K との関係は、方程式 $\phi = e^{Kd}$ で与えられる。

与えられた林分構造が、この分布函数で特徴づけられる曲線の形によく一致しているかどうかを調べるには、半対数方眼紙に樹高直径に対する本数をプロットすればよい。



2 図 半対数方眼紙にプロットした直径階別本数分布 *New Hampshire* の森林調査より

このプロットされた表は、*New Hampshire* 州の森林調査データについて、2 図に示してあるように、ほぼ直線となる。定数 K は、直線の傾きを示し、 d は相対的林分密度を表わす。すなわち、与えられた K の値に対して、その値の大小は、林分密度の高さを示す。与えられた直径分布の K (又は ϕ) の計算については *Meyer* と *Reynolds* が詳しく説明している (5, PP 470-471)。普通は半対数方眼紙に直径階別に本数をプロットし、free hand で直線とデータにあてはめ、データにあてはめた直線が読みとられた。

相異なる直径階の本数の比として k を決定すれば充分である。

この二つの常数 k と n は、互に緊密な関係がある。 k の大きき値は、直径の増加に伴って、本数が急激に減少することを意味しているが、小径階に本数の比較的多い林は、大径木の比較的多い林よりも、エーカー当り本数を多くできることが分る。したがって、 k の大きき値は、 n の大きき値と関連があるであろう。しかし、ある林型では、与えられた k の値に対する n の値をかなり変じることが分ったが、これは、本数密度すなわちうっぺい率の異なることを示している。本数密度の変動は、地味や経営の良否の影響を反映していると思われる。20年にわたって調査された、多数の鉤合のとれた林分構造の k と n の値が、1表に示してある。

異な林の直径分布が上述の分布関数の法則に従うとは限らないことを指摘する必要がある。例えば、A. nepawa 州のボンデロザマツの原生林で採られた、丹波産は、鋸玉の大きき山火事や、炭田により強制的に多量の天然産物が生じある今般のものが、優勢を占めているためであると説明できる。最小直径階の木が選別するのは、このよう自然取不可能な経営の伐採を行なわなければならない。与えられた林型について、対応する k と n の値の範囲が分っておれば、構造の移行につれて、その幹線分布状態が計算できる。北部 Pennsylvania 州の、ブナ・オバーカエデ・ツグミ林で行われたこの種の調査によれば、Allegheny 国産林での期待値は、場所と世代で少しは異なるが、3表に示してある。径級別、今年分布をもち、エーカー当り 2,000 ~ 4,000 feet² でなければならぬことが示された。用屑生産が、経営の主目的であれば、望望値は、エーカー当り 3,000 ~ 4,000 feet² でなければならず、パルプ材の生産に重きが置かれると、2,000 ~ 3,000 feet² の範囲が適当であろう。²³

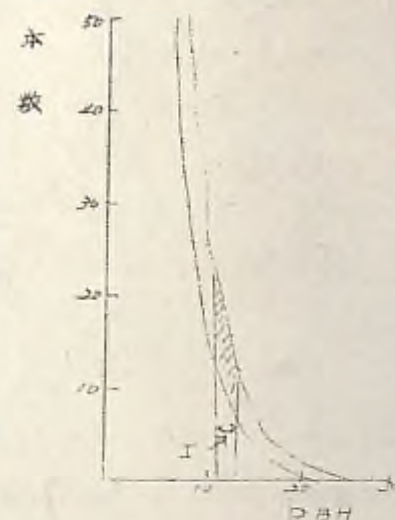
注 異な林の鉤合のとれた林分構造に関する詳しい説明は著者の
“輪伐期のない経営” “Management without rotation”を参照されたい。Jour. Forestry 41: 126-132, 1943

直径級別の粗材積成長量の計算

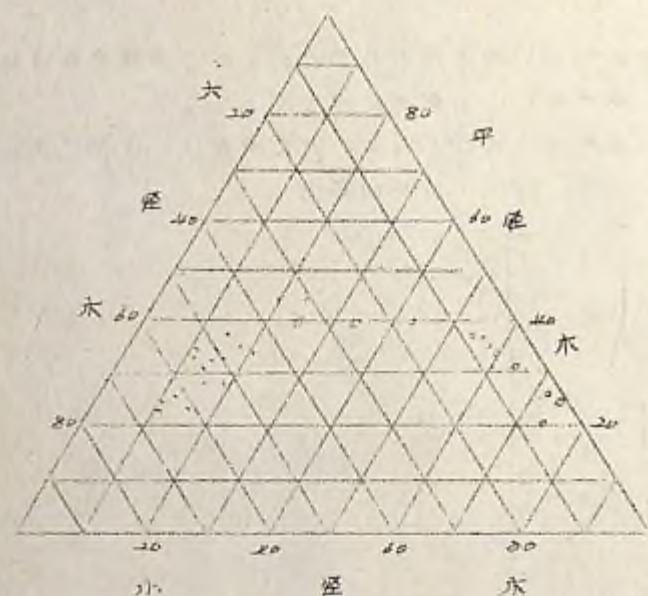
Calculation of gross volume increase by diameter classes

近年直径が成長するため、与えられた鉤合のとれた直径分布は毎年変わりが絶えず伐採により、原分布に自動的に傾きでさう。

近年や伐採木が一本もなければ、与えられた分布は 3 図に示してあるようになるであろう。直径増加に、分布曲線は



3 図 直径成長量による直径分布のずれ。斜線をつけた部分は元の直径分布すなわち森林構造と傾きするために、ある直径より大きければならぬ本数を示す。



44 北緯 Penney's Vania 州のブーカバ-カエデーツが林のうちの主要
直径群に於ける材積分布のグラフによる表示 ・ ; 原生林 ○ ;
私有林と国林の相対材積 ○ 目録とする
材積分布

1 表 直径分布関数 $YdY = k \cdot e^{-kx} dx$ の係数 k と釣合のとみに異な林の構造と特徴づける係数 q

地区番号	面積	k	q	地区番号	面積	k	q		
1	12.2	0.143	33	1.33	26	11.4	0.118	20	1.26
2	14.4	1.11	24	1.25	27	24.7	0.060	7	1.13
3	10.8	0.72	12	1.15	28	24.7	0.117	22	1.26
4	9.4	1.75	53	1.22	29	19.8	0.106	21	1.24
5	5.0	0.88	18	1.19	30	22.2	0.126	21	1.29
6	11.7	1.45	41	1.24	31	22.2	0.102	18	1.22
7	17.6	1.45	47	1.24	32	17.3	0.059	13	1.19
8	12.5	1.40	40	1.32	33	9.9	0.082	17	1.18
9	22.1	1.23	28	1.25	34	39.2	0.147	56	1.34
10	9.7	1.80	41	1.43	35	58.1	0.164	65	1.38
11	34.6	0.71	11	1.15	36	18.5	0.160	22	1.35
12	7.4	0.79	17	1.17	37	37.7	0.201	136	1.49
13	34.9	0.73	10	1.16	38	17.8	0.221	137	1.55
14	21.5	0.85	10	1.19	39	29.4	0.147	45	1.34
15	15.3	1.25	23	1.31	40	28.4	0.102	23	1.23
16	22.3	1.16	19	1.26	41	22.0	0.163	66	1.39
17	12.5	1.50	30	1.35	42	71.3	0.163	76	1.38
18	11.2	1.37	27	1.32	43	97.3	0.113	70	1.38
19	15.4	1.21	31	1.30	44	64.1	0.50	59	1.35
20	14.6	0.92	15	1.20	45	19.3	0.221	152	1.56
21	10.6	1.02	18	1.23	46	24.7	0.57	41	1.37
22	14.3	0.83	12	1.18	47	44.0	0.147	57	1.34
23	24.4	1.28	26	1.29	48	41.5	0.185	104	1.45
24	9.2	1.03	19	1.23	49	44.0	0.163	22	1.38
25	24.3	1.34	31	1.30	50	27.5	0.170	75	1.40

No 1 ~ No 26 地区は北 Penney's Vania 州のブーカバ-カエデーツが林の
原生林

No 27 ~ No 33 地区は Mexico Puebla Sierra de Atlix 州の
原生林

No 34 ~ No 50 地区は スイス Emmenthal のトウエーモナーグの
原生林

各直径階の平均直径成長量に等しい量だけ右に移るであろう。したがって直径階の本数は、従来の直径階で増加するであろうし、原分布に還元するには、図に斜線をつけた面積で示してある連年又は定期的増加量に等しい本数と毎年或定期的に除かねばならぬであろう。平均直径成長量、 I からこの本数増加量は、直径階別に簡単に計算できる。その直径階の原本数の百分率で表われば、原直径分布が還元する。決定して、伐採百分率と同じ直径成長率が得られる。概くほど簡単に百分率直径成長量が得られる。

一般化するのために、各直径階の平均直径成長量 I は、階高直径 X に対して直径としてプロットできると仮定しよう。すなわち $I = C + \pi X$

ここで C, π は定数である。したがって成長期間の終りには、頭初 X の直径は、 $X' = X + I = X + C + \pi X = C + (\pi + 1)X$ に増加するであろう。即ち $X = (X' - C) / (\pi + 1)$ で $dX = dX' / (\pi + 1)$ となる。この値を最初の直径分布関数 $YdX = K \cdot e^{-RX} dX$ に入れると、新しい分布関数 $YdX' = K \cdot e^{-R(X-C)/(\pi+1)} dX' / (\pi+1)$ が得られる。

この式で、新しい直径 X' は元の直径 X で表わしてよい。与えられた直径階間 dX での本数増加量はこの注に等しいことが分る。

$$K \cdot e^{-R(X-C)/(\pi+1)} dX / (\pi+1) = K \cdot e^{-RX} dX$$

この差を 与えられた直径階間の、頭初の本数の百分率で表わすと、 $\frac{K(X+C) - KX}{KX} = \frac{C}{X}$ 増加率(%) $= \left(\frac{1}{\pi+1} e^{RI/(\pi+1)} - 1 \right)$ (1) が得られる

各直径階の平均直径成長量の仮定(π で表わされる)は常に正しいから、実際には、次の近似式で充分である。

$$\text{増加率}(\%) = (e^{RI} - 1) \cdot 100 \quad (2)$$

ここで I は、特定の直径階の平均直径成長量である。与えられた直径階内では、本数の増加百分率は、もちろん 断面積 ft^2 単位、 $board\ foot$ 単位、の面積、価値の増加百分率と同じである。指数型分布関数に従う、相関する直径階の本数は、実際には幾何級数で表わされることを思い起すと、(2)式は、さらに簡単にできる。この假定の正しさは、林木が直径階に分類されておれば、 e^{2R} に等しい。したがって、直径級別の蓄積成長率は、

$$\text{成長率}(\%) = (e^{I/2} - 1) \cdot 100 \quad (3)$$

で表わされる。

この簡単な式により、釣合のとれた従来の異令林の蓄積成長率が決定できる。その粗蓄積成長量から、推定枯死量を差し引けば、現存の森林蓄積が維持されるものとして、さらに伐採しうる粗蓄積成長量が得られる。 R と I の

値に対応する粗蓄積成長量の数値が表に示してある。この表の使用法と、基になった式に含まれている知識の実際的な意義については、次のこの問題解る場合について列示してある。

注 与えられた直径階の粗本数増加量は、その直径階に入る本数と、

K から出てゆく本数の差に等しいから境界成長量の計算のため、簡単な公式を併用しなければならぬ。 N 本を含む直径階へ境界する本数は境界成長量 $= N \cdot (e^{I/2} - 1) / (e - 1)$?

$$\text{境界成長率} = (e^{I/2} - 1) / (e - 1)$$

指数分布関数と成長によるそのずれからの出発すればこの公式の誤差は軽くなる。

この場合次のような簡単な証明をすればもつとはっきりするであろう。 N 本を含む直径階の本数増加量は、その直径階内に入ってくる本数と出てゆく本数との差に等しいのでこのようになる。

N 本を含む直径階の本数増加量は

$$= N \cdot (e^{I/2} - 1) / (e - 1) - \frac{N}{e} \cdot (e^{I/2} - 1) / (e - 1)$$

(N 本を含む直径階への境界成長量) - (N 本を含む次の直径階への境界成長量)

$$= \left\{ N \cdot (e^{I/2} - 1) / (e - 1) \right\} \left(1 - \frac{1}{e} \right)$$

$$= N \cdot (e^{I/2} - 1)$$

$$\text{又は 増加率}(\%) = (e^{I/2} - 1) \cdot 100$$

これは前に求めた公式である。

応用例 Applications

土力系ブーカバ-カエデ-ツガ林の期待望蓄積: - *Allegheny* 国森林に包まれる北緯 *Pennsylv Vania* 州の欠面積のブーカバ-カエデ-ツガ林は、異令林の一般的な形態とされている。特にこの地方でまた置かれる原生林については、正しくその通りである。原生林の調査に関する研究によって、1923年に、このような森林の釣合のとれた直径分布は *Liocourt* の法則にしたがった対数正規分布関数に直径としてプロットされることが明らかにされた。

3表 北東 Pennsylvania 州のブナ-カバ-カエデ-ツガ林の構造

林相又は構造型 (構造型はハレブツガ)	エーカー 当り材積	直径群別の材積分布		
		7-12in	13-24in	25in以上
	feet ³	46	46	46
A	2810	28	39	33
B	3290	24	37	39
C	3780	21	36	43
D	4330	18	34	28
E	4780	15	31	54
F	5000	12	29	59
G	4740	10	26	62
H	3300	8	23	69
森林調査データ固有林				
Elk County	1010	25	25	0
Forest County	580	23	25	2
Warren County	1300	57	36	7
McKen County	1680	55	36	9
私有林				
Elk County	970	24	20	2
Forest County	1270	60	34	4
Warren County	1540	58	35	7
McKen County	1310	65	31	4
直径の目標蓄積 ^注				
A	2000-2000	25	40	18
B	2500-3500	25	40	28
C	3000-4000	25	40	38

注 仮の値であり 材積は直径群別の与えられた蓄積分布によりかなり変動する。

割合の与えた構造にはかなりの変化のあることが分った。3表には 構造が少しづつ異なるものゝエーカー当り材積と直径群別の当材積の比率が載せてある。大径木の割合は、A型からH型へと順次大きくなる。又、大径木の割合が大きいのは、ツガの百分率の大きい時に生ずることも分った。この事の結果には 2通りの方が考えられる。恒久的に、ツガの混交割合の低いエーカー当り材積があるのに対して、他方では、ツガの散生しているだけのエーカー当り材積もある。調査により、原生林のいろいろな成長段階面を渡すであろう。調査により、原生林の成長因子は徐々に変化する事が証明された。広葉樹と下木にもつ大径木のツガ林は 甚には重要され、ツガの混交割合の低い林に取って渡わらねるであろう。その後、広葉樹の陰に、ツガの稚樹が、徐々に成長し、ツガは、再び、大径木で優勢樹種となるであろう。成熟期のツガ林が、大径木を造出す割合と同じく原生林の完全な熟成周期が終るまでには 200-300年を経過しなければならぬ。

しかし数十年の期間だけを考えた時には、A型-H型のどれかで特徴づけられる林分構造は、本質的には変わらない。50-100エーカーの林分内の与えられた構造型は、恒久的な成長段階面すなわち、恒久的な原生林の長い休止期に過ぎない。(1)

A long-term 固有林や Pennsylvania 州の Elk, Forest, Warren, McKean 林分の私有林での最近の調査では、この林分の実際の直径分布は、半対数方眼紙にプロットすると直線と示された。しかし、エーカー当りの平均蓄積は、原生林に比して、かなり小さく、エーカー当り 370-550 feet³ である直径群別のこの蓄積が3表に示してある。

小、中、大径木の蓄積百分率が、原生林および4林分の全林分について、4図の三つグラフに示してある。大径木をもつ原生林は明らかに二次林で遷移と示される林分からかけ離れている。しかし、林分は極めて、やや局限された部分に集まっていることに気付くであろう。このことは蓄積分布の状況が一定づつ限定されていること

を示している。調査した二次林の中には、大径木の蓄積が10%を越えるものはなかったが、原生林は多くとも25%の大径木をもち、他には89%のものもあった。

適切な経営の行なわれている森林は、原生林の蓄積とその他の地方のつばい混交な混小蓄積林の現実蓄積との中向にある目標とする正常蓄積をもたねばならないと仮定してよからう。蓄積がエーカー当り2000-4000 $feet^3$ の二次林は、たやすく見つけることができる。ブナ・カバ・カエデ・ツガ林で、エーカー当り2000-4000 $feet^3$ の樹高のついた平均蓄積を維持することは、處々に可能であろう。これは、用材の産出の生産に適する蓄積を養うのであろう。バルナ林や少量の用材を生産するには、エーカー当り2000-2500 $feet^3$ の蓄積で十分であろう。経営の実際面から言えば、この実現可能な正常蓄積の範囲の狭いことは問題でない。国有林の実際蓄積はこの地方の私有林と同じくエーカー当り2000-2500 $feet^3$ の最低目標をかなり下まわっている。

4回から エーカー当り2000-4000 $feet^3$ の正常蓄積の時には、小、中、大径木の比率は、蓄積の比較低いときには 45:40:15、平均蓄積では 35:40:25、高いときには 25:40:35 となることが分る。また、林分の構成因子、密度の差によりこの3種類の直径階別の蓄積分布は平均から約500 $feet^3$ 前後の差のあるエーカー当りの蓄積と関係づけることができよう。この3つの構成型に対応する林数の値は、それぞれ 1.4、1.5、1.4である。与えられた直径成長量 例えは年当り420inでは3つ型の蓄積成長率は48、41、34%と異なるであろう。もちろん、平均直径成長量は、直径階で変り構成型によっても異なるであろう。それにもかゝり、生産に減少する直径分布すなわちエーカー当りの蓄積が比較的に低い構成型は、材積の比較的に多い構成型より高い直径階別の材積成長率を示すことは確かであろう。

4. 新 Hampshire 州の健全木の蓄積成長量の計算

胸高 直径	エーカー 本数	比 %	平均直径 成長量 I	蓄積 成長率	単木当り 材積	エーカー 材積	エーカー 材積 成長量
6	70.74	2.03	0.134	4.3	2.17	154	6.8
8	34.90	2.03	0.140	4.5	4.32	168	7.6
10	17.23	1.76	0.146	4.7	7.32	126	5.9
12	7.78	1.81	0.152	4.9	9.89	97	4.8
14	5.39	1.72	0.158	5.1	15.2	81	4.2
16	3.13	1.80	0.164	5.3	20.5	64	3.4
18	1.74	1.78	0.170	5.5	26.7	46	2.5
20	0.78	2.18	0.176	5.7	32	31	1.8
22	0.45	1.80	0.182	5.9	40	18	1.1
24	0.23		0.188	6.1	44	11	0.7
26	0.11		0.194	6.3	48	5	0.3
	0.07		0.200	6.5	52	4	0.3
	0.03		0.206	6.7	56	5	0.3
合計				4.9		811	49.5
平均							

1. 相隣れる2in 直径階の本数の比、最良の比の平均値は半対数方眼紙に本数をプロットすれば決定される。データにあてはめた直線は比8の平均値を示すであろう。
2. 2枚に挿入
3. これは全樹種を一箇にした場合の単木当りの平均材積、エーカー当り算出材積が森林調査で実際に得られたエーカー当りの総材積と同じになるように決定される。

New Hampshire 州での森林調査^注

注 New Hampshire 州の森林調査資料を提供されたことにより、
 北米林業試験場長 V. L. Hoper 氏と統計員 C. A. Bickford 氏に
 感謝する。特に Bickford 氏には論文全体を検討していただいた
 ことに示してある Mississippi 州 Scott County の森林調査データ
 は南米林業試験場の W. A. Dyer 氏の厚意によるものである。

4,680,000 エーカーの経済林にわたる New Hampshire 州の
 森林調査では、811 feet³ のエーカー当り平均蓄積が示された
 (枯損木は含まれていない) 明らかに、この所々平均蓄積を過伐
 によりこれ以上減してはならない。要するに、徐々に増加させる
 べきである。したがって現在の蓄積率を維持するには、毎年どの
 程度の伐採が必要であるかという負荷が起る。しかし伐採さ
 せる蓄積の一部は、枯死のために失われるであろう。よってには
 直径階別材積分布と、単木当りの平均直径成長量が示してある
 このデータを用いれば、直ちに、直径階別の蓄積成長率が決定
 できる。この成長率は、6in 直径階では 4.3% となることとなる。
 これは 30in 直径階の 6.7% まで、規則的に増加している。
 最小直径限界(5in)以上の全林分については、蓄積成長率は 4.7%
 すなわち、エーカー当り 32.5 feet³ に等しい。蓄積成長量は
 頭初(初期)の蓄積の粗成長量(枯死を含む)に境界成長量を加えたもの
 に等しいから、32.5 feet³ は次のように分割できる

頭初(初期)の材積の粗成長量	feet ³	%
	25.4	64
境界成長量	14.1	36
粗成長量(年当り)	32.5	100

粗成長量から、推定枯死量を引けば、現在の蓄積が変らないと
 仮定して、伐採可能な材積が得られる。現在蓄積を期待蓄積に増
 加させるには、年伐量を適宜減らす必要がある。

蓄積成長量対材積成長量 Volume in crease versus
volume growth

直径階別の蓄積成長量の計算公式は、重要な関係を示してい

るが、その意義は、恐らく以前には充分に認識されていなかった。
 と思われる。オーに釣合のとれた林の粗蓄積成長量、又は仮定可
 能な粗收穫量は、明らかに平均直径成長量だけでなく、現在の直
 径分布の型とも関係がある。例えは、2表は、平均直径成長量と
 の 2 in とし、分布係数 g が 1.40 に等しい場合には、年伐
 率は 3.4% に等しくなるが、1.50 の g では、4.1% となるであらう
 ことを示している。各構造の限界内では、森林のエーカー当り平
 均粗蓄積は、いずれの場合も同じであらう。しかし蓄積の百分率
 で表わした收穫量と同じく粗收穫量は明らかに違ってくるであら
 う。

公式 $(g^{3/2} - 1) / 100$ で与えられる。蓄積の百分率で表わした粗
 蓄積成長量は、平均直径成長量に、ほぼ比例している。大森林や
 釣合のとれた直径分布をもつ異令林では、平均直径成長量は、一
 般に直径と共に増大する。これは、その直径階の材積の百分率で
 表わされる。与えられた構造を変えずに、各直径階で伐採させる
 年伐量が、直径の増加により増すことを意味している。大直径階
 の材積では小直径階の材積より高い伐採率が得られる

単木当りの材積成長率が、直径の増すにつれ減るにちかわら
 ず、これは正しい。したがって、 π 経済的成長量の指標として
 の成長率を、森林全体について計算しても、その価値には幾分か
 ある。收穫係数の推定を行って、実際に收穫できるのは、ある直
 径階の単木の成長量ではなく、その直径階の蓄積成長量である。
 蓄積の百分率で表わされた、この蓄積成長量こそ、相対的生産性
 の測定として、決定しなければならぬものである。成長率と蓄積
 の百分率で表わした蓄積成長量の相違は、New Hampshire の
 データで、はっきりする。6in から 30in 直径階に達するま
 でに、平均蓄積成長量は 4.3% から 6.7% に上るが、材積成長率
 は 6.7% から 1.0% に減少する。

成長率は、使用した測定単位によって異なるが、直径階別の蓄積
 成長量は、用いた測定単位と関係なく、同じである。推定枯死量

便は、他直径成長量を求めるため、直径推定成長量から差し引くこととなる。このことは、各直径階の単木の材積成長量を扱う場合には不可能である。

今一度、念をおしておくが、ここで論じている関係は、少くとも全森林、特に異径林の約合いのとれた構造に適用されるもので個々の同径林には適用されない。収穫係数推定の観点から言うとこれは、林地の生産力を評価し、係数推定の基礎となる森林から収穫される、実現可能な収穫量を推定するために、考慮しなければならぬ、全森林の収穫量である。经营されている異径林の各種の異径型について、さらに多くの資料が利用できるようにすれば最大収穫量と最高の現期利益をあげうる森林構造が次第に決定できるようになる。林分構造が平均直径成長量におよぼす影響のようを現在よく知られていない問題が解決されるようになる。

(柴屋仁志訳)

入数 いかにして平均直径成長量を求めようか？ 直径に打ちかけの割合を求めたに異径林の直径階別の直径の百分率で表わした直径成長量(%) = 直径階の平均直径成長量 × 直径階の百分率の比。

相隣れる2m直径階の木の比	平均直径成長量										成長率 = $(\frac{g}{100} - 1) / 100$	直径成長量 (%)									
	0.04	0.06	0.08	0.10	0.12	0.14	0.16	0.18	0.20	0.22	0.24	0.26	0.28	0.30	0.32	0.34	0.36	0.38	0.40	0.42	0.44
1.20	0.4	0.5	0.7	0.9	1.1	1.3	1.5	1.7	1.9	2.1	2.3	2.5	2.7	2.9	3.1	3.3	3.5	3.7	3.9	4.1	4.3
1.22	0.4	0.5	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.2	2.4	2.6	2.8	3.0	3.2	3.4	3.6	3.8	4.0	4.2	4.4
1.24	0.4	0.6	0.9	1.1	1.3	1.5	1.7	1.9	2.1	2.3	2.5	2.7	2.9	3.1	3.3	3.5	3.7	3.9	4.1	4.3	4.5
1.26	0.5	0.7	0.9	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.2	2.4	2.6	2.8	3.0	3.2	3.4	3.6	3.8	4.0	4.2	4.4	4.6
1.28	0.5	0.7	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.2	2.4	2.6	2.8	3.0	3.2	3.4	3.6	3.8	4.0	4.2	4.4	4.6
1.30	0.5	0.8	1.1	1.3	1.5	1.7	1.9	2.1	2.3	2.5	2.7	2.9	3.1	3.3	3.5	3.7	3.9	4.1	4.3	4.5	4.7
1.32	0.6	0.8	1.1	1.4	1.6	1.8	2.0	2.2	2.4	2.6	2.8	3.0	3.2	3.4	3.6	3.8	4.0	4.2	4.4	4.6	4.8
1.34	0.6	0.9	1.2	1.5	1.7	1.9	2.1	2.3	2.5	2.7	2.9	3.1	3.3	3.5	3.7	3.9	4.1	4.3	4.5	4.7	4.9
1.36	0.6	0.9	1.2	1.5	1.8	2.0	2.2	2.4	2.6	2.8	3.0	3.2	3.4	3.6	3.8	4.0	4.2	4.4	4.6	4.8	5.0
1.38	0.6	1.0	1.3	1.6	1.8	2.0	2.2	2.4	2.6	2.8	3.0	3.2	3.4	3.6	3.8	4.0	4.2	4.4	4.6	4.8	5.0
1.40	0.7	1.0	1.4	1.7	2.0	2.2	2.4	2.6	2.8	3.0	3.2	3.4	3.6	3.8	4.0	4.2	4.4	4.6	4.8	5.0	5.2
1.42	0.7	1.1	1.5	1.8	2.1	2.3	2.5	2.7	2.9	3.1	3.3	3.5	3.7	3.9	4.1	4.3	4.5	4.7	4.9	5.1	5.3
1.44	0.7	1.1	1.5	1.8	2.2	2.4	2.6	2.8	3.0	3.2	3.4	3.6	3.8	4.0	4.2	4.4	4.6	4.8	5.0	5.2	5.4
1.46	0.8	1.1	1.6	1.9	2.2	2.5	2.7	2.9	3.1	3.3	3.5	3.7	3.9	4.1	4.3	4.5	4.7	4.9	5.1	5.3	5.5
1.48	0.8	1.2	1.6	2.0	2.3	2.6	2.8	3.0	3.2	3.4	3.6	3.8	4.0	4.2	4.4	4.6	4.8	5.0	5.2	5.4	5.6
1.50	0.8	1.2	1.6	2.0	2.4	2.7	2.9	3.1	3.3	3.5	3.7	3.9	4.1	4.3	4.5	4.7	4.9	5.1	5.3	5.5	5.7
1.52	0.8	1.3	1.7	2.1	2.5	2.8	3.0	3.2	3.4	3.6	3.8	4.0	4.2	4.4	4.6	4.8	5.0	5.2	5.4	5.6	5.8
1.54	0.9	1.3	1.7	2.2	2.6	2.9	3.1	3.3	3.5	3.7	3.9	4.1	4.3	4.5	4.7	4.9	5.1	5.3	5.5	5.7	5.9
1.56	0.9	1.3	1.8	2.2	2.7	3.0	3.2	3.4	3.6	3.8	4.0	4.2	4.4	4.6	4.8	5.0	5.2	5.4	5.6	5.8	6.0
1.58	0.9	1.4	1.8	2.3	2.8	3.1	3.3	3.5	3.7	3.9	4.1	4.3	4.5	4.7	4.9	5.1	5.3	5.5	5.7	5.9	6.1
1.60	0.9	1.4	1.9	2.4	2.9	3.2	3.4	3.6	3.8	4.0	4.2	4.4	4.6	4.8	5.0	5.2	5.4	5.6	5.8	6.0	6.2
1.62	1.0	1.5	1.9	2.4	2.9	3.2	3.4	3.6	3.8	4.0	4.2	4.4	4.6	4.8	5.0	5.2	5.4	5.6	5.8	6.0	6.2
1.64	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.3	3.5	3.7	3.9	4.1	4.3	4.5	4.7	4.9	5.1	5.3	5.5	5.7	5.9	6.1	6.3
1.66	1.0	1.5	2.0	2.5	3.1	3.4	3.6	3.8	4.0	4.2	4.4	4.6	4.8	5.0	5.2	5.4	5.6	5.8	6.0	6.2	6.4
1.68	1.0	1.6	2.1	2.6	3.2	3.5	3.7	3.9	4.1	4.3	4.5	4.7	4.9	5.1	5.3	5.5	5.7	5.9	6.1	6.3	6.5
1.70	1.1	1.6	2.1	2.7	3.2	3.5	3.7	3.9	4.1	4.3	4.5	4.7	4.9	5.1	5.3	5.5	5.7	5.9	6.1	6.3	6.5

172	174	176	178	180	182	184	186	188	190	192	194	196	198
1.1	1.1	1.1	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.3	1.3	1.3	1.3	1.4
1.6	1.7	1.7	1.7	1.8	1.8	1.8	1.8	1.9	1.9	1.9	1.9	2.0	2.1
2.2	2.2	2.3	2.3	2.4	2.4	2.5	2.5	2.6	2.6	2.6	2.7	2.7	2.8
2.7	2.8	2.9	2.9	3.0	3.0	3.1	3.2	3.2	3.3	3.3	3.4	3.4	3.5
3.5	3.6	3.6	3.7	3.7	3.8	3.8	3.9	3.9	4.0	4.1	4.1	4.2	4.3
4.4	4.5	4.6	4.7	4.8	4.9	5.0	5.1	5.2	5.3	5.4	5.4	5.5	5.6
5.8	5.9	6.0	6.1	6.2	6.3	6.4	6.5	6.6	6.7	6.8	6.9	7.0	7.1
7.3	7.4	7.5	7.6	7.7	7.8	7.9	8.0	8.1	8.2	8.3	8.4	8.5	8.6
8.7	8.8	8.9	9.0	9.1	9.2	9.3	9.4	9.5	9.6	9.7	9.8	9.9	10.0
10.1	10.2	10.3	10.4	10.5	10.6	10.7	10.8	10.9	11.0	11.1	11.2	11.3	11.4
11.5	11.6	11.7	11.8	11.9	12.0	12.1	12.2	12.3	12.4	12.5	12.6	12.7	12.8
12.9	13.0	13.1	13.2	13.3	13.4	13.5	13.6	13.7	13.8	13.9	14.0	14.1	14.2
14.3	14.4	14.5	14.6	14.7	14.8	14.9	15.0	15.1	15.2	15.3	15.4	15.5	15.6
15.7	15.8	15.9	16.0	16.1	16.2	16.3	16.4	16.5	16.6	16.7	16.8	16.9	17.0
17.1	17.2	17.3	17.4	17.5	17.6	17.7	17.8	17.9	18.0	18.1	18.2	18.3	18.4
18.5	18.6	18.7	18.8	18.9	19.0	19.1	19.2	19.3	19.4	19.5	19.6	19.7	19.8
19.9	20.0	20.1	20.2	20.3	20.4	20.5	20.6	20.7	20.8	20.9	21.0	21.1	21.2
21.3	21.4	21.5	21.6	21.7	21.8	21.9	22.0	22.1	22.2	22.3	22.4	22.5	22.6
22.7	22.8	22.9	23.0	23.1	23.2	23.3	23.4	23.5	23.6	23.7	23.8	23.9	24.0
24.1	24.2	24.3	24.4	24.5	24.6	24.7	24.8	24.9	25.0	25.1	25.2	25.3	25.4
25.5	25.6	25.7	25.8	25.9	26.0	26.1	26.2	26.3	26.4	26.5	26.6	26.7	26.8
26.9	27.0	27.1	27.2	27.3	27.4	27.5	27.6	27.7	27.8	27.9	28.0	28.1	28.2
28.3	28.4	28.5	28.6	28.7	28.8	28.9	29.0	29.1	29.2	29.3	29.4	29.5	29.6
29.7	29.8	29.9	30.0	30.1	30.2	30.3	30.4	30.5	30.6	30.7	30.8	30.9	31.0
31.1	31.2	31.3	31.4	31.5	31.6	31.7	31.8	31.9	32.0	32.1	32.2	32.3	32.4
32.5	32.6	32.7	32.8	32.9	33.0	33.1	33.2	33.3	33.4	33.5	33.6	33.7	33.8
33.9	34.0	34.1	34.2	34.3	34.4	34.5	34.6	34.7	34.8	34.9	35.0	35.1	35.2
35.3	35.4	35.5	35.6	35.7	35.8	35.9	36.0	36.1	36.2	36.3	36.4	36.5	36.6
36.7	36.8	36.9	37.0	37.1	37.2	37.3	37.4	37.5	37.6	37.7	37.8	37.9	38.0
38.1	38.2	38.3	38.4	38.5	38.6	38.7	38.8	38.9	39.0	39.1	39.2	39.3	39.4
39.5	39.6	39.7	39.8	39.9	40.0	40.1	40.2	40.3	40.4	40.5	40.6	40.7	40.8
40.9	41.0	41.1	41.2	41.3	41.4	41.5	41.6	41.7	41.8	41.9	42.0	42.1	42.2
42.3	42.4	42.5	42.6	42.7	42.8	42.9	43.0	43.1	43.2	43.3	43.4	43.5	43.6
43.7	43.8	43.9	44.0	44.1	44.2	44.3	44.4	44.5	44.6	44.7	44.8	44.9	45.0
45.1	45.2	45.3	45.4	45.5	45.6	45.7	45.8	45.9	46.0	46.1	46.2	46.3	46.4
46.5	46.6	46.7	46.8	46.9	47.0	47.1	47.2	47.3	47.4	47.5	47.6	47.7	47.8
47.9	48.0	48.1	48.2	48.3	48.4	48.5	48.6	48.7	48.8	48.9	49.0	49.1	49.2
49.3	49.4	49.5	49.6	49.7	49.8	49.9	50.0	50.1	50.2	50.3	50.4	50.5	50.6
50.7	50.8	50.9	51.0	51.1	51.2	51.3	51.4	51.5	51.6	51.7	51.8	51.9	52.0
52.1	52.2	52.3	52.4	52.5	52.6	52.7	52.8	52.9	53.0	53.1	53.2	53.3	53.4
53.5	53.6	53.7	53.8	53.9	54.0	54.1	54.2	54.3	54.4	54.5	54.6	54.7	54.8
54.9	55.0	55.1	55.2	55.3	55.4	55.5	55.6	55.7	55.8	55.9	56.0	56.1	56.2
56.3	56.4	56.5	56.6	56.7	56.8	56.9	57.0	57.1	57.2	57.3	57.4	57.5	57.6
57.7	57.8	57.9	58.0	58.1	58.2	58.3	58.4	58.5	58.6	58.7	58.8	58.9	59.0
59.1	59.2	59.3	59.4	59.5	59.6	59.7	59.8	59.9	60.0	60.1	60.2	60.3	60.4
60.5	60.6	60.7	60.8	60.9	61.0	61.1	61.2	61.3	61.4	61.5	61.6	61.7	61.8
61.9	62.0	62.1	62.2	62.3	62.4	62.5	62.6	62.7	62.8	62.9	63.0	63.1	63.2
63.3	63.4	63.5	63.6	63.7	63.8	63.9	64.0	64.1	64.2	64.3	64.4	64.5	64.6
64.7	64.8	64.9	65.0	65.1	65.2	65.3	65.4	65.5	65.6	65.7	65.8	65.9	66.0
66.1	66.2	66.3	66.4	66.5	66.6	66.7	66.8	66.9	67.0	67.1	67.2	67.3	67.4
67.5	67.6	67.7	67.8	67.9	68.0	68.1	68.2	68.3	68.4	68.5	68.6	68.7	68.8
68.9	69.0	69.1	69.2	69.3	69.4	69.5	69.6	69.7	69.8	69.9	70.0	70.1	70.2
70.3	70.4	70.5	70.6	70.7	70.8	70.9	71.0	71.1	71.2	71.3	71.4	71.5	71.6
71.7	71.8	71.9	72.0	72.1	72.2	72.3	72.4	72.5	72.6	72.7	72.8	72.9	73.0
73.1	73.2	73.3	73.4	73.5	73.6	73.7	73.8	73.9	74.0	74.1	74.2	74.3	74.4
74.5	74.6	74.7	74.8	74.9	75.0	75.1	75.2	75.3	75.4	75.5	75.6	75.7	75.8
75.9	76.0	76.1	76.2	76.3	76.4	76.5	76.6	76.7	76.8	76.9	77.0	77.1	77.2
77.3	77.4	77.5	77.6	77.7	77.8	77.9	78.0	78.1	78.2	78.3	78.4	78.5	78.6
78.7	78.8	78.9	79.0	79.1	79.2	79.3	79.4	79.5	79.6	79.7	79.8	79.9	80.0
80.1	80.2	80.3	80.4	80.5	80.6	80.7	80.8	80.9	81.0	81.1	81.2	81.3	81.4
81.5	81.6	81.7	81.8	81.9	82.0	82.1	82.2	82.3	82.4	82.5	82.6	82.7	82.8
82.9	83.0	83.1	83.2	83.3	83.4	83.5	83.6	83.7	83.8	83.9	84.0	84.1	84.2
84.3	84.4	84.5	84.6	84.7	84.8	84.9	85.0	85.1	85.2	85.3	85.4	85.5	85.6
85.7	85.8	85.9	86.0	86.1	86.2	86.3	86.4	86.5	86.6	86.7	86.8	86.9	87.0
87.1	87.2	87.3	87.4	87.5	87.6	87.7	87.8	87.9	88.0	88.1	88.2	88.3	88.4
88.5	88.6	88.7	88.8	88.9	89.0	89.1	89.2	89.3	89.4	89.5	89.6	89.7	89.8
89.9	90.0	90.1	90.2	90.3	90.4	90.5	90.6	90.7	90.8	90.9	91.0	91.1	91.2
91.3	91.4	91.5	91.6	91.7	91.8	91.9	92.0	92.1	92.2	92.3	92.4	92.5	92.6
92.7	92.8	92.9	93.0	93.1	93.2	93.3	93.4	93.5	93.6	93.7	93.8	93.9	94.0
94.1	94.2	94.3	94.4	94.5	94.6	94.7	94.8	94.9	95.0	95.1	95.2	95.3	95.4
95.5	95.6	95.7	95.8	95.9	96.0	96.1	96.2	96.3	96.4	96.5	96.6	96.7	96.8
96.9	97.0	97.1	97.2	97.3	97.4	97.5	97.6	97.7	97.8	97.9	98.0	98.1	98.2
98.3	98.4	98.5	98.6	98.7	98.8	98.9	99.0	99.1	99.2	99.3	99.4	99.5	99.6
99.7	99.8	99.9	100.0	100.1	100.2	100.3	100.4	100.5	100.6	100.7	100.8	100.9	101.0

12 疎密度と地位

Density and Site
by W.H. Meyer H.H. Chapman
Forest Mensuration

I 疎密度 (Density)

1 疎密度の尺度 Measures of density

単位面積当りの材積および成長量はいずれも 林木が利用する林地の割合 すなわち 林分密度により影響される。疎密度の概念は明らかであり又重要であるが、その定義および測定は決して簡単でない。林分密度に関する調査は多々あるが、その尺度を完全に表示したものはない。さらに 一般に用いられている疎密度の尺度間の関係が はっきりと理解されているとは限らない。

疎密度は 絶対的な数又は相対的な数で表わすことができる。疎密度の絶対的尺度は 他の林分に関係なく、その林分から直接求めることができる。すなわち エーカー当り断面積は、面積に基づく林分密度を表わす、絶対的尺度である。相対的疎密度は 協定又は基準密度に対するものである。すなわち 正常蓄積と認められる類似の林分の断面積の80%をもつ林分は 断面積を基にして 立木度80%の林分といわれる。正常蓄積の組成法についての問題が 相対的疎密度の本質である。

疎密度の理想的な尺度は簡単かつ客観的なものでなければならぬ。我々が林木による林地の利用程度を測定しようという限りにおいて 疎密度の尺度は 林分の特性、林分、地位に殆んど無関係なものでなければならぬ。

単位面積当りの材積が長い間疎密度の尺度として用いられてきた。材積の値は具体的で充分意味をもっているが 直接測定できず、他の測定値 一般に単木の直径と樹高から推定しなければならぬ。

らない。しかし、材積を用いた時の主な欠点は、林分および林分の特性さらに地位と密接な関係があるからである。

材積を成長量推定の際、疎密度の尺度として用いられ、林分と地位も独立変量と考えねばならない。面積を基にして材積を推定する場合には、もちろん、材積そのものは疎密度の尺度とはならない。

単位面積当りの本数も又疎密度推定用のパラメーターとして屢々用いられている。本数は簡単かつ客観的に求められるが、材積の場合と同じく、立地の利用度と同じく、林分地位と相関がある。さらに本数は疎密度に影響せずにかはり変化するであろう。ある正常成熟の林分が、同令、同地位の他の林分の数値におよびエーカー当り本数をもつこともある。稚樹の数は、更新樹の疎密度の尺度として一定の地位を占めているが、エーカー当りの本数は、他の変量と組合せて、老令林分の疎密度を推定する場合にのみ用いべきである。したがって、本数と平均直径とを組合せると本数（即ち林分密度指数）は林分密度の正しい尺度である。又単木の成長空間を計算できる時には、当然、立木本数は林分密度の計算に含まれる。このことについては、次に詳しく説明する。

疎密度の評価に本数を用いることについて Wilson (1946) は次のように論じている。すなわち、与えられた疎密度については、単位面積当りの理想的立木本数は、地位に関係なく、林分高の平方の一定関数でなければならない。最後に Gavarkisney と Schafly (1948) は、全本数に対する優勢木と準優勢木の割合による疎密度の基準を暗示している。

2. 断面積 Basal area

最も簡単で最もよく用いられている疎密度の尺度は断面積即ち胸高位置で測られた林分の横断面積である。その計算方法については既に1章で説明した。簡単かつ客観的に得られるので一般に疎密度の尺度、特に林分の正常状態の尺度として古くから用いら

れてきた。(Schumacher, 1928a) 林分材積とは異なり、この値は、採用した材積表、立部丸太の將長、疵に影響されない。断面積は幼令のときは、急速に増大し、年を経るに従って減小し、成熟林分ではほぼ一定になる。与えられた面積に断面積を保有する能力は、樹種でかなり違いさらにある程度まで地位によっても違う。

しかし与えられた地位、林令の林分に成育している与えられた樹種については、断面積は、林地の利用度の正確な尺度であり、他の疎密度の尺度を比較する基準として用いることができる。

3. 林分密度指数 Stand-density index

断面積は林分全体の疎密度の指標となるが、その合計が多数の小径木にも、少数の大径木によるものか示さない。この指標は断面積を次の二つの成分に分けることによって求められる。1) 単位面積当りの立木本数、2) 平均断面積を持つ木の直径。本来 U.S. 森林局が収穫量の調整に用いた標準地のデータの色々な組について計算した結果、同じ傾きが、最大蓄積の限界を定めるのに使えることを発見した。

この傾きは参考曲線 *reference curve* といわれ、次の公式で表わされた。

$$\log N = -1.605 \log D + k$$

ここで、 N はエーカー当り立木本数、 D は平均断面積を持つ木の直径、 k は樹種によって異なる定数である。

Rainaker が定数とした、林分密度指数は、参考曲線が $D=10$ の点と交わる点で定められる、直径 10 in の木の木数である。この値は k の値で決まる。例えば、 $k=4.605$ 、 $D=10$ とすれば参考式は次のようになる。

$$\log N = -1.605 (\log 10) + 4.605$$

$$\log N = 3.000$$

参考曲線で表わされる直径 10 in の木の木数は 1,000 で、これ

が この特定曲線に対する 林分密度指数である。

どのような林分の林分密度指数も この参考曲線から決定できよう。例えば 平均直径 1.5 in でエーカー当たり本数が 120本の林分では k は方程式に代入することによって決められる。

$$\log 120 = -1.605 \log 1.5 + k$$

$$2.079 = -1.605 \log 1.5 + k$$

$$k = 3.966$$

参考方程式の D に 10 を入れ、 k に新しく求めた値を入れれば 林分密度指数が求まる。その値は 230 である。

この2つの段階は 便宜上一緒にして、一故の操作で 次の方程式から林分密度指数を求めることができる。

$$\log SDI = \log N + 1.605 \log D - 1.605$$

注 この方程式の誘導は次のとおりである。基本方程式は

$$\log N = -1.605 \log D + k$$

しかし $D=10$ 即ち $\log D=1.000$ の時には N は

SDI に等しい。

$$\log SDI = -1.605(1.000) + k$$

故に

$$\log k = \log SDI + 1.605$$

この式の k に ②式の右辺を代入すれば、新しい式が得られる。

林分密度指数は最近盛んに用いられている

そのままの形で Mullag (1943 1944 1947b, 1949) は疎密度の異なる収獲表の調製に用いた。この一般的概念は 参考曲線を手元にあるデータから新しくに計算する場合にも用いられ、疎密度は絶対的な値よりむしろ相対的な値で表わされる。例えば Mac Kinney と Chaiken (1935) は正帯蓄積の *loblolly pine* のデータについて、最小二乗法で参考曲線を計算し、次の方程式を得た。

$$\log N = -1.707 \log D + 4.1588$$

直相関係数は 0.96 で 推定値の標準誤差は 1.7% であった。Simmons と Schnur (1937) は *loblolly pine* の固定標準地について、エーカー当たり立木本数と平均直径との関係の時のによる変化をプロットごとに図に表わし、プロット別の参考曲線を得た。参考式を平均して、次の一つの参考式を得た。

$$\log N = -1.603 \log D + 4.075$$

参考曲線として 平均疎密度よりむしろ最大の疎密度を用いている Reineke の方法と対称的に 各プロットの疎密度はこの平均直径の百分率として示されている。これに関係のあるものは Westield (1941) が用いたもので、彼は特定林分のエーカー当たり立木本数と同じ平均直径をもつその地方の平均本数との百分率で表わした関係として相対的疎密度を定義している。

林分密度指数 *stand-density index* が、林分密度の尺度としては断面積より複雑であることは直ぐ理解できる。したがって 林分密度指数の採用に先立って、それが断面積より優れな尺度であるかどうかを決めねばならないし、二つの尺度の相互関係を明らかにする必要がある。

林分密度指数の主な利点は、地位 林令に前後のない、地位利関係の尺度であることである。Reineke はカリフォルニアの米マツ *white pine* *red fir* の固定標準地のデータについて、林令、樹高、本数と断面の直線相関を研べた。

彼は地位指数よりむしろ林令と優勢木の樹高とを用いた。というべき地位指数には、不適当な型地位指数曲線の影響をうけると言われるからである。3樹種の直相関係数はそれぞれ 0.141、0.208、0.072 であった。Reineke は「林令又は地位と平均直径に対するエーカー当たりの立木本数との間には相関は、即ち評価できる程の相関はない。」とらに「本数密度を求めむために、個々の林分の同様な値が比較できるように、基準として本数-平均直径曲線を採用するのが安全である」と結論した。

これに関連して、Reineke が発表しとよつの重相関係数の一つは一般に用いられている。七検定をすると有意であり、これは多少して有意になるから、これらの結論をもう少し詳しく検討することは価値があると思われる。このため Oregon, Washington 州にある US 山林局のベイマツ収穫試験地の資料を用いて、林分密度指数、林令、地位間の関係を検定した。これらを選んだのは次の二つの理由からである。

オノの理由は、これは Reineke の基礎論文に用いられ資料の中最大のもので、彼の参考曲線にもっとも良くはまっていたからである。オノの理由は、同じデータが、この研究の他の節内で用いられているからである。このテストでこのデータを用いることにより、この研究の関連性が増した。

テストを行った 180 個の正常蓄積度のベイマツの標準地では、林令と林分密度指数の相関係数は 0.261 で、七検定によると極めて有意であった。(Snedecor, 1926) 地位指数は林分密度指数と有意な相関はなかったが、林令、地位指数、林分密度指数の重相関係数は 0.276 で極めて有意であった。林分密度指数はこの場合には林令とはっきりした関係があるが、地位指数とは余り関係がなく、その相関係数は、断面積と林令および地位に対するものより遥かに小さかった(それぞれ 0.722) 0.282 である)

林分密度指数が林令に独立であれば、正常蓄積度の固定標準地の林分密度指数は、時の経過に關係なく一定であることが期待される。すなわち、エーカー当りの立木本数を正常蓄積度の固定標準地の平均木の直径に対して対数方眼紙にプロットすれば、その傾斜は Reineke の参考曲線にしたがって -1.605 となる。Oregon と Washington のベイマツの固定標準地についてこの検定が行われた。この標準地は後述する。成長-相関の研究に用いたものである。その $1/3$ では、プロットした傾斜が -1.605 に近く、大部分では傾きは、この値で示されるものよりゆるやかで、三三の場合には甚であった。

したがって林分密度指数は林令と関するが、その変化は断面積ほどではないと結論されよう。傾きが理論的に正常蓄積の標準地間で常に異なっているベイマツの固定標準地の資料によれば、林分密度指数は、樹種内の林令以外の因子によっても変る。遺伝因子や、林分構造の影響も可能性があるものとして心に留ておかねばならないが、これらの因子にはかくとも、地位に関するものが含まれている。ベイマツ固定標準地についてプロットした、本数-直径の関係又 Reineke の参考曲線の傾き -1.605 が、其の意味で一定ではなく、むしろ林令で異なる値の平均値であることを示している。林分密度指数は変更の許されない関係ではなく、多数の林分の平均と考えるべき平均的關係にすぎず、個々の林分では不必要であることを、このことは意味している。

林分密度指数の性質は断面積との関係を、解析すればもっとよく理解される。林分密度指数の公式は前に示した。この方程式に本数に対する林分断面積と平均断面積をもつ木の直径との間の関係、即ち

$$N = \frac{183.3465B}{D^2}$$

を入れると本数は消去できる。

ここで N はエーカー当り本数、 B はエーカー当り断面積、 D は平均木の直径である。二つの方程式を組合せれば、断面積と平均木の直径で表わした林分密度指数の式が得られる。

$$\log SDI = 0.658 + \log B - 0.395 \log D$$

この公式から林分密度指数は直径が変らない限り、直接断面積によつて変化することが分るのである。しかし平均直径が増せば、その結果断面積に比較して林分密度指数は小さくなる。林分密度指数が断面積ほどには林令によつて変化しない理由を説明しているのは、平均直径の対数が負の指数を持っていることである。林令が成長すれば、エーカー当り断面積、平均直径は共に増大し、この二つの増加は林分密度方程式で互に平衡を保つ。

したがって林分密度指数は疎密度の適切な尺度である。この値は林分および地位とともに変化するが、断面積ほどではない。これは断面積より複雑な変数であり、一定の値でなく与えられた林分に適用できたり、できなかつたりする平均的林分関係の近似値にすぎないのが実である。絶対的林分密度指数、相対的林分密度指数、断面積は、密接に関係のある値である。大抵の場合、いづれも充分森林調査に役立つ。例として、林分材積方程式で用いられた 48 個の *red spruce - balsam fir* 標準地について、3 種の疎密度のパラメーターが計算された (12 章) *Reineke* の絶対的林分密度指数、と *Westveld* の相対的林分密度指数は高い相関のある断面積に対して、直線としてプロットされ、この 3 つの値はいずれも、充分使えることが示めされた。

疎密度の尺度を主として用いるのは、成長予測の場合であるから、林分密度指数と断面積がどの程度エーカー当りの断面積成長量と関係があるかを比較してみると面白い。*Pacific Northwest* のベイマツの固定標準地でとった 40 個の 15 年の成長期間について、林分密度指数と断面積成長量との相関係数は -0.797 であった。*SDI* から推定した成長量の標準誤差は 14.16 、即ち平均成長量の 51% であった。疎密度の尺度として断面積だけを用いた時には、相関係数は -0.906 、標準誤差は 9.92 、平均成長量の 36% であった。同様に *W. H. Meyer* (1938) は *Ponderosa pine* について、断面積は林分密度指数よりも *feet³* 材積との相関の方がよいことを発見した。明らかに、断面積は林分密度指数よりも成長予測にはすぐれている。

断面積は簡単に測定できるので、大抵の場合林分密度指数と同程度に満足のゆくものであり、林分密度指数が近似的な値であるのに対して、一定値であるので、疎密度の尺度としては優れている。断面積と林分および地位との間にある大きな相関は、林分材積や成長量の推定にそれを用いても影響はない。

4. 成育空間 *Growing space*

林木の占有する水平面積が決定できれば、林木による林地の占有度は、個々の木を合せたもので占有される割合を決めれば求めることができる。林木が占有する水平面積の最も明瞭な尺度は樹冠の水平面積である。したがってうつべい度即ち樹冠に被覆される林地の百分率は、地位利用したがつて林分密度の適切な尺度となろう。既に 1919 年に *Ashe* は、この考えを空中写真による林分材積推定の基礎とした。(12 章)

疎密度の尺度としてのうつべい度の使用には、若干の難点がある。第 1 にうつべい度を簡単かつ正確に測定する手段がまだない (12 章) うつべい度は断面積その他の林分密度の尺度と余り相関がないようである。(12 章) 例えば *Schantz-Hansen* (1940) は *jack pine* のエーカー当り本数とうつべい度には関係のないことを発見した。第 2 に、単木に必要な成育空間の大きさを決めるのは多くの場合、板の占める空間であって、樹冠空間ではない。これは、古くから、樹冠が正常蓄積林分と関係していない半乾燥地帯で認められていた。同様の関係は、林地の生産力が土壌の給水能力と密接に関係している、湿地でも成立することが沢木に認められるようになった。

単木に必要とすべき成育空間の決定又は測定が難しいために、成長空間の能力を決める傾向がある。そこで更新樹の立木フオドラート法 *stocked-quadrat* 法では、1/1000 エーカーその他採用された単位面積当りの一本の木が存在することは、将来その林地が森林によって完全に利用されることの証明となる。立木フオドラート法は極めて有用であることが立証されており、これから求めた、蓄積量の頻度は簡単に他の疎密度の尺度と結びつけることができる。例えば *Wellner* (1940) は西部産 *white pine* についてフオドラート本数の 96% と稚樹の量との関係を示し、*Spurr* (1950) 1938 年に *New England* のハリヤーン溪の更新について同様の研究を行った。フオドラート本数は、林分が収穫

表の値と比較できる手合に達しておれば、将来の本数密度と関係
 さすこともできる。このことは *Staebler* がベイマツについて
 行った。(1949)

しかし更新の段階を過ぎた森林では、成長空間を充分に利用す
 るには、本数密度の尺度より大きくする必要がある。必要な根系
 空間は簡単に測定、決定することはできない。したがって、迅
 速かつ正確に行える測定値を利用して、尺度を発展させる必要が
 ある。まず樹幹直径が考えられる。事実、樹幹直径を成育空間の
 尺度として *Chisman*, *Schumacher* (1940) *Lexen*
 (1939) が採用して成功している。

Schumacher の方法は、林木が占有する面積は αb_n
 と2次の拋物線で関係付けられるという仮定に基づいている。
 133個の *Loblolly pine* の正帯面積のプロットについて
Chisman と *Schumacher* は次の関係を見出した。

$$Y = 0.0480 + 0.0668 \sum D + 0.0267 \sum D^2$$

ここで Y は *mil acre* で表わした林木一面積比即ち成育空間
 で、 D は胸高直径である。*Lexen* は *Southeast* の *ponderosa*
pine について同様な関係を見出した。

本数密度は単木の成育空間の総計で決定されるから、エーカー
 当りを基準にする空間百分率は次の一般式で表わせる。

$$\text{林木一面積比} = aN + b \sum D + c \sum D^2$$

ここで N はエーカー当り本数、 $\sum D$ は個々の直径の和、 $\sum D^2$ は直
 径の平方和

Schumacher の林木一面積比の優れている点は、更新林、疎
 林に対しても簡単に利用できる疎密度の尺度を与えることである。
 この公式は正しく収集された殆んど標準地データについて
 解ける。例えば、あらゆる性格をもつ *Maine* 州の林分で測定さ
 れた48個の *red spruce - balsam fir* の標準地——前に林
 分材積式で用いられた——について最小二乗法により次式を得た

$$N = 7.8 + 0.202 \sum D + 0.00965 \sum D^2$$

互相関係数は0.94で、 N の推定値の標準誤差は9.4、即ち平
 均値の5%であった。同じデータについて、林分密度指数の関係
 は使用できなかった。平均直径の対数と本数の対数の相関係数は
 僅か0.0023で、有意でなかった。

林分密度指数と同様、林木一面積比は明らかに林分および地位
 指数と殆んど関係がない。

しかし、その測定には難点がある。

オノに、この関係はプロットの資料から経験的に決めねばなら
 ぬ。したがって標準地そのものの特性が定数に影響する。定数は
 樹種や養分が異なる度に変る。この公式は、解に用いたデータ
 と密接に関している標本と比較するには使用できるが、疎密度
 や構造が、永データとかなり違っている標本に適用するときには、
 当然正しくない。

オノに、遺伝因子を無視すると、直径は林木の生涯を通じての
 成育空間の一つの表現である。しかし、それは、当然現在の成育
 空間を表わしていない。例えば、典型的な場合として、その生涯
 の大部分を通じて、優勢木が準優勢木となるが、現在は被圧され
 ている木を考えてみよう。成育空間と αb_n の関係は、前章で
 論じた、樹幹直径又は樹幹の特性と αb_n のそれと大部分同性質
 である。もちろん関係はあるが、相関の低い多数の因子のためゆ
 かりられることがしばしばある。

オノに、二次拋物線が成育空間と αb_n の関係を表わす最適の
 公式であることは証明されていない。理論的な裏から云えば、曲
 線は樹幹直径を αb_n に対してプロットした場合と同じく実際に
 5字型をしているように思える。

林木一面積比、林分密度指数、断面積の関係を調べてみると面
 積は、林木一面積式の $\sum D^2$ は、定長から、エーカー当り断面積
 の1823465倍であるから、次のように書き替えられる。

$$\text{林木一面積比} = aN + b \sum D + cB$$

この式の最初の2つの係数は前式と同じである。しかし、この

場合の定数Cは 前式のCの 189.3465 倍である。

解法に最も関係が深いのは、この方程式の断面積と関係がある。
Chisman と Schumacher の例を引用すると、この比の80%が この因子の影響を受けている。Lexen も最初の2項は実際の目的ではおとしてよいと論じている。換言すれば林木一面積比は本数とその直径の和とを関連させた補正項を除いて、直接断面積によって変ると考えよう。直径の和を本数で割ればもちろん林木平均直径が自動的に計画に計算される。

与えられたエーカー当りの断面積が、少数の大径木から得られた時には、この変量はいづれも 多数の小径木から得られたものより小さくなるであろう。換言すれば、平均直径が大きくなれば加えるべき補正項は小さくなり、したがって 林木一面積比は小さくなる。これは、林木密度指数の概念が基づいているものとまったく同じ関係である。疎密度の尺度は 平均直径が変わる数、直接断面積によって変る。どちらの場合でも、同じ断面積に対して 平均直径が大きい程、疎密度の尺度は小さくなるであろう。したがって 林木一面積比は、その公式が対数よりむしろ真数であり、補正項を引きよりむしろ加え、この補正項が平均平方直径をもつ木の直径よりむしろ算術的に求められた直径に基づいているという事実にもかかわりず、密度指数と直接は関係がある。

したがって、結論として、林木一面積比は林木密度指数の同じ長所短所の大部分をもつ、正しい疎密度の尺度とみとめることができる。林木密度指数に関連して引用した同じ理由により、断面積はやはり大径の場合に最良の疎密度の尺度と思える。

5 正 常 stocking Normal stocking

たとえそれを避けようとしても 正常 stocking の概念が、どうしても 疎密度を評価する際に入っている。正常收穫表調整のため標準地を選ぶ際に重要である。正常 stocking は 定まっ

た概念というよりはむしろ 中のある概念である。それは主として評価する人の心によるもので、したがって極めて主観的なものである。欧州では 正常 stocking を最大材積、断面積、本数、うっぺい度その他のパラメーターで定義しようとした。(Mattson 1940) 同様な定義はU.Sでも企てられた。しかし大部分の林業技術者にとって 正常林は 出来るだけ完全な蓄積をもつと見られるものである。

実際に 正常林は総合的判断によって 現地で選ばれる。後に、データを解析する次の段階として このプロットの中 他のもものと著しく違っているものは落された。この場合地位、林令の影響を殆んど受けない。林木密度指数、林木一面積比がこの目的にかなうと思うが一般に断面積によって異常な林分を棄却した。大部分の正常林は上記の基準による正常 stock よりかなり低い。例えば Cummings (1941) は northern Idaho の平均的な良好な蓄積をもつ ponderosa pine の林分が收穫表で示される断面積の僅か38%をもつに過ぎることを示出した。持数として大径木の林分になるベイマツでさえも、代表的な良好な蓄積をもつ2次林の総材積は、平均して收穫表基準の約85%に過ぎなかった。代表的な中庸蓄積の林分は平均して約55%に過ぎなかった。(ベイマツニ次林の経営協議会 1947 Briggles 1950b)

したがって現地の条件にあてはまるように正常林分に基づいて收穫資料を修正することは重要な問題である。(Haig, 1934) Under stocking は林分全体を通じて小さな穴があり、正常な林木の間隔より広くなっていることが原因である。ベイマツの場合には 小さな穴が under stocking の主因である。(W.H Meyer, 1930a)

6 正常性への移行 Trend toward normality

正常度は時の経つにつれて変る。今日 under-stock の林分は、結局には対象となる正常 stock の林分より大きな林分とな

りうる。その理由は、前者の場合には、余り競いの影響を受けず、成長能力をより発揮できるからである。正常以下の林分は、成長するにつれて密になる傾向がある。エーカー当りに均等に分布されている最小本数は、結局には正常密度と最大の収穫を導くであろう。(Carter, 1914) 逆に正常以上の林分は枯死が多いため、時と共に正常以上でなくなってくる。

この正常性の移向は、収穫表に基づいて成長予測をする際には特に重要である。正常収穫表を適用する場合には、まず現在の正常 stocking 率を決め、時の経過によるこの百分率の変化を予測しなければならない。これに関連して、正常収穫表そのものは、正常 stock の林分の発展を必ずしも表わしていないことを注意しておこう。米国の収穫表は、測定時に正常 stock であることを基準としただけの標準地に基づいている。多くのものは、幾いもなく、長期間にわたる部分的な stocking の改訂を経て正常 stocking に到達するのである。固定標準地の繰返し測定をしなければ、各々の正常林分が、同じ地位の幼令正常林の将来の状態を表わすことは証明されない、そうであることもあるし、そうではないこともある。

しEがって、固定標準地の繰返し測定値が使える場合の疎密度の変化(即ち正常性の移向)を予測できよう。このような情報は少数の主要樹種について求められている。

Oregon Washington 州のベイマツの固定標準地は正常性の移向に関する多くの情報を与える。(W. H. Meyer 1928a, 1928b, 1933, Briegleb, 1942) 一般に、5年間の stocking の変化は地位とは関係なく、初期の林令と立木密度とに關係がある。45の標準地について、このような5年間の資料94に対し、林令と断面積 stocking の変化の相関係数は、-0.50で、立木度と断面積 stocking の変化では-0.39、地位指数と断面積 stocking の変化では-0.17であった。(Briegleb 1942) 林令、地位および断面積変化に対する立木度の重相

関係数は0.60であった。西部産 white pine の正常性の移向は Wat が研究した。(1950) 彼は、断面積 stocking が正常 stocking でなく、収穫表材積の92%に近づくことを見出した。feet³ 立木材積は正常なもの98%に近づく傾向がある。Scribner 方式のボードフット材積は収穫表に定められている正常材積の88%に近づく傾向がある。

Loblolly pine は正常性の移向を研究した一つの樹種である。144個の loblolly pine の標準地について、疎密度の尺度として相対的林令密度指数を用いて、stocking の変化をグラフで表わした。

彼の方法は Gevorkiantz が数学的に批判している。(1940) Wellwood (1943) も同じデータを用いたが、stocking の尺度として林令一面積比を代用した。

W. H. Meyer は44個の5年間の測定値が使える別の標準地の組を用いた。前に行ったベイマツの場合と同じく、断面積の5年間の変化は、期間の初めには立木度に対する直線回帰で表わせることを見出した。

経験的な情報のない時には、正常性の傾向は Gevorkiantz (1934, 1937, 1940) Puerr (1938) が米国の林業技術者に紹介した Gerhard 式で近似的に求められる。これは近似的に過ぎないが、この公式は合理的な結果を与えるように思われる。この公式の一般型は

$$g = \alpha G (1 + \lambda - \lambda \alpha)$$

ここで g は正常以下の林分の、10年間の成長量 G は同令、同地位の正常林分の10年間の成長量、 α は正常率、 λ は樹種によって変化する定数である。 λ の値は、陽樹では、通例 0.6~0.7 中庸の樹種で 0.8~0.9、陰樹では 1.0~1.1 である。

7. 疎密度と成長量 Density and growth

正常性の移向を測る問題は、疎密度と成長との関係について

の大きな問題の一面に過ぎない。疎密度が幹材積成長におよぼす影響を理解するには（断面積又はそれに関連した尺度で表わされる）固定標準地の成長記録又は経験的公式の数学的解析以上のものが必要である。このために成長の生物学的基礎にもどらねはならない。

林分の粗成長率は、単木の成長率の総和である。単木の成長率は、遺伝因子、生育している地位、成育空間によって決まる。ゆきの因子。すなわち成長空間は、疎密度の尺度により評価される。単木当りの成長空間が大きくなれば（即ち、疎密度が疎）隣接木との競走は少くなり、成長は早くなる。したがって疎密度は単木の成長に大きな影響をおよぼし、間伐その他の造林学的取り扱いによる疎密度のコントロールは、森林経営の重要な一局面である。

しかし、林分或はエーカー当りを基礎とすると、事情は幾分か違ってくる。林地は林木の成長に丁度同量の土壌水分、土壌養分、土壌=酸化指、陽光を提供する。土地が十分に利用され、これらの物質が林木に利用される限り、林地が多数の小径木或は少数の大径木から成っていても大差はない。

したがって、一般法則として、林木が土地を十分に利用している限り、疎密度は、成長に大した影響はしないと云えよう。そして材積は、全林木の *feet*³ 材積で表わされる。しかし、径級或は林分の一部（例えばボードフィート材積）だけに關する成長量の尺度が用いられるならば、最も少数の木が土地を完全に占めている林分は最も早く成長する。

ついでに、森林は樹冠が広く広がっていても土地を完全に占有していることがよくあることを認識すべきである。根本は通常樹冠の前方に広がっており、疎林においてさえ組み合さっている。土壌水分に対する競走は生々成長の制限因子となり、（Zon

1907, Aaltonen 1926, Adams 1928, 1935, Srogl, 1940）根が土壌水分（土壌養分）を充分利用できる疎林は、その土地を完全に占有し、その土地その種の最大限

の成長をするに比べてもよからう。

土壌水分その他制約的な要求物、を完全に利用する限り、エーカー当りの成長量は正常度によっては変わらないであろうというのが、この基本的概念である。林木の活気が分林密度の影響を受けるならば、地力を十分に利用していても、成長は遅れる。われわれは皆、あらゆる次元の成長が独生のため減退する、成長の停滞した稚木林のことを知っている。例えば Thomson (1949b) はエーカー当り 2500 本をもつ 60 年生の *balsam fir* の森林が同じ林分で、エーカー当り 755 本しかない疎間した部分の材積の 60% をもつに過ぎないことを引合に出している。もっと極端な例は *lodge pole pine, jack pine, red pine* 南部産 *white cedar* その他について例証できよう。このような場合には、粗成長量は林分密度と強く関係付けられている。

疎密度が成長に及ぼす影響をもっと詳しく評価するため、いろいろな疎密度の林分が比較される固定標準地の記録を振り返ってみなければならぬ。この点については、間伐と植栽間隔についての試験が特に価値をもっている。これから、疎密度が林分断面積および林分材積成長量におよぼす一面的な影響だけでなく、材積成長量の尺度となるパラメーターにも影響することを確認できる。これらの中最も重要なのは、樹高、直径、樹型である。

疎密度が成長におよぼす影響についての論議では、代表的なものに引用するだけである。間伐、植栽間隔、撫育伐その他この対象に取ページ以上論じても失用でない疎密度影響する取り扱いについて書いているだけである。さらにこれらの文献の大多数は、測定資料が完備されていない、未処理林分が測定されていないか、類似していない場所に設けられている。正しい結論を引きだせる確信度が正確でないか、或は繰り返しが行なわれていない不確定な試験を振っている。試験が繰り返えされているか、対照プロットが処理プロットと厳密に比較できる場合、或は、測定値の完全な組が数年間隔で慎重にとられている場合にだけ実際に価値のある

る情報をうることができるに過ぎない。

大抵の場合、疎密度が成長におよぼす影響について近代的思想の創始者に信頼感を与えることは不可能である。この思想の多くは彼等が著書になる前に、長年にわたって、除々に発展してきたものである。例えば、土壌水分に対する根系競走の重要さは、長い期間かかって次第に認められて来た。線状間伐 *row or line thinning* の形にこの概念を応用することは、過去に試みられたことはあったが、最近始めて日の眼を見るようになったに過ぎない。

8 樹高成長への疎密度の影響

Effect of density on height growth

樹高は通常、地位の指標として用いられているから、樹高成長への疎密度の影響に関する研究はかなり多い。AdamsとChapman (1942a)はこれに関する米国の文献を23ととりまとめている。

大部分の間伐の研究では、間伐した林分としない林分との間の樹高成長差には大した差は認められなかった。例えば、Hawley (1916) *eastern white pine* の30年にわたる間伐試験で、間伐しない標準地の平均樹高は42~73 feet にあり、強度間伐を施した標準地では43~75 feet に変った。1 footの差は明らかな有意差であった。IdahoのPriest Riverの *western white pine* の一つで行なつた30年間の試験では、非間伐標準地の平均樹高は57~100 feet に達したが、3つ61間伐標準地では63~100 feet に増加した。非間伐木は間伐木より4 feet 程度がおそいが、密生した森林での樹高測定が難しいため、結論は不確実なものになる。別の列が幼木の *red pine* 林分の15年間の測定値で与えられるが、樹高成長は、間伐までの正常以上の期間には非常に迅速するけれども、樹高成長の差を4つの間伐標準地の疎密度にすると表えることは出来なかつた。

間伐は樹高成長には影響しないが、平均樹高を高めることを施せばおかねばならない。小径木を除去する強度間伐は、林分の平均樹高を増すが、上層間伐をすると減小する。この理由で、全林木の平均樹高よりむしろ優勢木と準優勢木、或は特定数の最大径級の林木の平均樹高と比較するのが習慣である。全林木の平均樹高は誤解とよめ多い。例えば、Hummel (1947) はScot landの欧州トウヒの、4間伐標準地の成長量を比較する際に、全林木の平均樹高は、B種強度間伐、上層間伐より、D種強度間伐の方が高いことを見出した。しかし、各標準地の100の最大木の平均樹高には有意差は認められず、間伐方法は樹高成長に影響しない結論を得た。

強度間伐に関する試験で、樹高成長への疎密度の影響についての情報と呈供する。多くの場合、有意差は認められなかつた。このこ

とは Harvard Forest の white pine (未発表)
 Pennsylvania の red pine (Stevenson, Bartoo, 1939)
 Alabama の southern pine (Ware & Stahelin, 1948)

Wisconsin の jack pine (Rudolf 1951) の試験でも認められた。その他 New Hampshire の Keene 荘の Yale Forest の red pine Duke Forest の loblolly pine Washington の Wind River Experimental Forest のベイマツの場合のように、整植(通例 2×2 , 3×3)により、時の経過と共に樹高成長が僅かながら減退することが示された。敢て承し研究では、全林木と主林木の平均樹高は、植栽間隔によって異なり、植栽して28年後の jack pine red pine eastern white pine の樹高成長に明らかに影響すると結論している。

しかし、間伐や植栽の試験はいずれも、一概に極端な疎密度のものを含んでいない。このように極端な場合には、問題なく樹高成長は減退する。Lodgepole pine その他の密生した森林は、同様の樹高の適度に stock されている林木の樹高の一部分に過ぎない疎植した広葉樹林や少くとも、ある種の針葉樹は、成長の大部分を横方向の拡張に注入する傾向があり、森林を構成する木の高さは低くない。

したがって経営されている林や適当な疎密度をもつ天然林では、樹高成長は密度の変化によって大して影響をうけないと結論できよう。

他位の尺度として樹高を用えることは、これらの場合には妥当である。しかし、非常に過密なものは、樹高成長を大いに減退し、非常に疎なものもは充分減退するようになることがしばしばある。

9. 直径成長への疎密度の影響

Effect of density on diameter growth

疎密度の異なる林分で行なわれと施すの試験の重要な結果の一つは、単木の直径成長量が、成育空間と密接な関係にあることである。間伐が強くなり、空間が広くなれば、林木の平均直径は大となる。

非常に過密の間伐は、通常、直径成長には殆んど影響しない。枝圧木だけを除去する4種過密間伐や枝圧木と中介木を除去するB型間伐でも、残存木が利用する土壌水分、養分、陽光の供給量は実質的には増加せず、この結果成長への影響は僅かである。大部分の研究者は林分断面積の25%以上を、直径成長の実質的な増加が起る前に伐るべきであると論じている。

成育空間の増加に応ずる木の能力は、その林分および活力と密接な関係がある。老令になり、活力が衰えるにつれて直径成長量の増加がみられることが少くなる。小さくて不健全な樹冠をもつ木(小さな不健全な枝系についても同じ)うつ閉を回復する能力に乏しい。これらのことは施すの樹冠についていえるが、いろいろな林分タイプのもので、同じ土地に生育している場合がよくある。

Ponderosa pine を扱った多くの研究では、もつとはつきりと示されている。(Krauch, 1940 Pearson, 1950)

木が利用できる成育空間には、空間と同じく土壌空間の含まれることを忘れてはならない。優勢木は下層の植生により、簡単に抑制される。

この顕著な例は South Dakota の Black Hill において以前付った林分の伐採で切り残された Ponderosa pine の班樹である。この大径の成熟した木は、間伐後長期にわたって成長量の増加を示しているが、多量の利用可能な土壌水分を占有し、効果的に抑制する多数の稚樹がやがてその周囲に発生した。他方過密な

も直径成長量を減少させる。Gabrielson (1948) は Sweden の欧州アカマツの強伐時代の後に発生した *hulberry* (コケモモ) ヒース苗をめぐり、周囲の木の直径成長の減つたことを示した。

同じ問題のいま一つの面は、林分が優勢木の成長におよぼす影響である。Craig (1939, 1947, Hiley 1948) は、密な林分の最大木は疎林のものより小さいことを強説し、換言すれば、成育空間が少くなるため抑制されるのである。

South Africa の成長の早い *exotic pine* では、このような状況は、林分の生涯の最初の 10 年間に始まる。一度被圧されれば、退治の解放が後で行なわれないうえ、被圧されている優勢木に追いつくことはできない。

優勢木の被圧は、いつでもこのようにはつきりしているとは限らない。Adams と Chapman (1942) は Vermont の *white pine* 並林地で調査をし、同伐および非同伐標準地の主林木の直径成長の差は、少なくとも極小なものである。しかし、優勢木の成長量は、解放によって増すことができる。Quate (1950) は *lodgepole pine* の密林で残された最大木のほぼ2倍の成長をした。

地位は所定の直径成長量を得るのに必要な成育空間の中に入る。Rolfsen (1932) Craig (前に引用した。) その他は、地位がある程、成長に必要な土壌水分と養分を充分に与えるためより広い空間が必要であることを強説している。

直径成長は成育空間と密接な関係があるが、林木の年令、活きとも関係がある。最大の木でさえも、他の林木との競争、更新期、他栽植の影響を受ける。

10. 樹形への疎密度の影響

Effect of density on tree form

傾斜な用材林は、疎林より細いが少ないことはよく知られている。樹冠が長く広い程、樹幹より樹冠の方が成長率が低下し、その結果細りは大きくなる。しかし細々の変動は、林分断面積と林分樹高ごけからの林分材積の推定にはそれほどはつきりした影響はない。(12章)

林分形数能の変化は、断面積と樹高と光合の両係があり、この一つの変量を入れておれば、これを無視しても安全である。

解放された場合の樹形の変化には、かなりの注意を要する必要がある。多くの場合、樹形の変化は見られなかった。(Lake States Forest Exp. Sta., 1944. Møller と Holmsgaard, 1947) 前の人々は同伐が上部樹幹より樹高における直径成長を感入させ、その結果細りの大きな樹幹となることを見出した。(Hagberg 1942, Bieher staff 1946d)

W. H. Meyer (1931b) と Behre (前に引いた研究も再検討した) 932) の研究によれば、成長空間が増せば、円筒形の木は細りが増し、円錐形の木は円筒形の樹幹になることが示された。全ての木は、最後には、ほぼ同じ細りをもつようになる。要するに、疎開に伴う樹形の変化は、大きくないし、大抵の材積や成長量の推定には無視できよう。

11. 断面積および材積成長量への疎密度の影響

Effect of density on basal area and volume growth

林木の活きに影響しない限り、疎密度は、純林分断面積および純林分材積成長量には影響せず。この尺度は、林分内の木の位置ごけから導かれることは、既に述べた。多くの同伐試験の結果から、林分成長量への疎密度の影響についての知識が得られた。固定標準

他のデータが利用できる時には、二つの断面積測定値間の差が、枯期断面積の値を与える。

37表は *Pacific North West* の針葉樹林における同伐試験地から選んだ、断面積のデータを示している。大数の場合、同伐による、断面積および断面積の増加の実際の増加は認められなかった。*

*この結論に到達したアメリカの代表的研究には次のものを含んでいる。

Adams 1935, Hawley 1936, Chapman 1942 b, Frothingham 1942, Rickenstaff 1946 c, Eyre & Ickin 1947, Staehle & Arbo 1947, Tinney & Maimberg 1948. 欧州での見解は Müller により *Journal of Forestry* 1947 に要約してある。その他これに関する欧州の論文は Wiedemann 1929, 1948, Badoux 1939, Brunebusch 1944, Müller & Halmsgaard 1947, Vanselow 1948, Assmann 1950 a, 1950 b を含んでいる。

37表 西部の同伐標準地

樹種と地方	標準地	同伐時			同伐後		
		林分	樹高	断面積	年	定期断面積	
				32 ft	70	BA	60 ft
Ponderosa pine Ore	C 107-108	100	80	231	6	9	490
州 Pringle Falls	T 102-106	100	79	184	80	10	463
Lodgepole pine	C 13	55	45	101	60	12	399
Ore 州 Pringle Falls	T 11-12	55	46	60	12	15	700
Ponderosa pine	C 15-7	46	21	118	56	11	36
Ore 州 Pringle Falls	T 14-18	46	22	66	11	30	289

樹種と地方	標準地	同伐時			同伐後		
		林分	樹高	断面積	年	定期成長量	
Western white pine	C 105	60	80	183	25	29	2377
Calif 州 Priest River	T 106-108	60	80	113	62	60	3132
Western white pine	C 101	55	67	156	30	61	3713
Idaho 州 Priest River	T 102-104	55	63	94	60	75	3382
ベイマツ	C 5	60	84	201	15	46	2304
Wash 州 Mt Walker	T 6-7	60	91	180	50	34	1335
ベイマツ	C 2	9	6	—	25	147	3829
Wash 州 Wind River	T 1-3	9	7	—	25	151	2955

同伐に採伐された断面積は、通常手を加えない林分より大きくなる。(Schumacher, 1932; Chaiken, 1941) 同伐後の断面積は同じ地位の同伐林より一般に大きくなる。

37表その他多くの場合に載せられている。

Pacific North West の同伐試験地のうち二つでは、同伐林分の断面積が、未処理の対照林分より大となった。これらの断面積により、その差は、多くの場合枯死に起因することが示された。断面積と非同伐を行なわない林分の最終断面積に加え、各断面積の伐採後の断面積の最終断面積を加えると、二つの場合の累積した断面積は、普通、有意差はない。枯死と断面積の断面積は同伐により増加するが、断面積は影響を受けない。欧州での同伐の研究では、断面積は、対照林分においてさえも減少し、断面積と断面積の計算はいずれも、同伐が断面積および断面積に及ぼした影響は示さないことを示している。

同伐の結果がアメリカにおける多くの同伐の研究でも得られた。二つの場合には、林分の断面積と同伐木と同じく、断面積による断面積の断面積は、例えば *Harvard Forest* の 15 年生の *red pine*

の人工林では(5F) 对照標準と、この間伐標準地の、間伐後6年間の累積生産量は、この場合でも、エーカー当り2300 ft^3 であった。

Mulloy (1946) が述べている。いま一つの red pine の間伐試験では間伐は他の面では非常に有利であるが間伐および間伐をしない標準地の累積生産量には有意差はなかった。間伐は成長量を増すのではなく、枯死を防ぐのに役立つだけであるという場合を、ベイマツについて Steele (1948) が jack pine について、Eyre & Zehngraff (1945) が引合にしている。

間伐しても大径の場合成長量は増加しないが、その逆が真であることが分つて例が多く残っている。その良い例を Scot Land に生育している欧州トウヒについて Hummel が呈供している。ラテン字母に配列して、15年同伐となつて行つた16標準地の結果は強度間伐(口置)は30%以上の断面積成長量を示し、弱度間伐(口置)と比し、累積生産量は25%大であつた。しかし20年では、その差は著しくなかつた。これに対応するものは、Harvard Forest の欧州トウヒの標準地および Minnesota の jack pine について得られたものである。(Schantz - Hansen, 1939)

間伐の利益は、林分は過密であるが、単木は、この処理に反する能力を十分に備えている場合には、特に著しい。その共型的な例は、間伐を行つた異地の西洋スギ、砂質土壌の松林とカシ林で見られる。(Moore & Waldron 1940; Rol, 1947) (Baker, 1921)

間伐の施されなかった林分が、良好な根系と発達した樹冠を保持し、活力を維持しておれば、間伐が、エーカー当りの伐積成長(ft^3)に影響しないことは明白である。この林分場合には、間伐の利益は salvage を利用し、より大径の良質の樹幹に成長量を集中させることに限られる。部分的に正常な林分は、他力が完全に利用され、活力が影響を受けない限り正常林と略同じ割合で成長するであろう。Chapman (1942) は 70 ~ 95 ft^2 の断面積

をもつ loblolly pine 林分が、正常林では 130 ~ 140 ft^2 であるが、5年間に完全な成長を遂げるのに適当であることを見出した。同様な結果が、欧州の伐積成長の研究で Andersson (1942) によって得られた。彼は主林木の相対的疎密度が正常なものの 50 ~ 60 % の時に適度の成長量の得られることを見出した。

林分が、個々の林木の根系および樹冠の拡張に十分な程度に過密である場合、停滞が始まり、間伐を施さない林分の成長率を抑制されるであろう。成長量の疎密度の影響については、Assmann (1950a) がよくとりまとめている。長期間にわたるナラの固定標準地のデータについて調べた結果、最大の伐積成長量は断面積がエーカー当り 120 ~ 150 ft^2 の時に得られることを見出した。疎密度が高いと、成長量は幾分減るが、エーカー当り 210 ft^2 という最大の疎密度でも、最適のもの 93 % であつた。又成長量は疎密度が低くても幾分減少するが、エーカー当り 100 ft^2 でも、最適のもの 95 % であつた。エーカー当り断面積 100 ft^2 という臨界疎密度 "critical density" 以下では、成長量ははっきりと減小した。このような一般化的関係は、他の実験的間伐試験の結果を明らかにするであろう。ナラ林ではエーカー当り 100 ~ 200 ft^2 の疎密度に間伐された標準地は、試験が充分に繰返され、慎重にコントロールされたものでない限り、成長量の有意差はみえないであろう。しかし、極端な疎密度では、成長量は間伐の影響を受けるであろう。

エーカー当りの成長率と林分密度が相対的に無関係であるから、間伐に関する論議が無駄であると推論してはならない。密度の高い林分は、究極には、慎重に間伐を実行した林分とほぼ同じ生産量を出せることは真であるが、間伐には幾多の利益がある。間伐は林分から早く収穫を上げ、枯死を防ぎ、大径成長のみに成長量を集中させる。望む性質の木を得るに要する期間を短縮する。間伐しない林分と同じくらいであるが、前者の場合には、この成長量の多くは、

利用可能の程度に達しないか、主伐時まで生き残らない林木につぎこまれる。したがって向伐の評価は大部分経済的な問題である。

II 地位 Site

1. 地位の尺度 Measures of site

「地位」という語は、林業では二つの意味に用いている。即ち林木の成長を維持する土地又は地質と、林木の成長を維持するその土地の能力。森林調査に関係があるのは、後者の意味 *site quality* である。

絶対的地位 *Absolute site quality* は、林木としてその土地に生育している木の最大生産量で測られる。しかし、最大収穫量は生態学的問題（樹種、品種、種、生態形）林令又は輪伐期、林分密度によっても制約されるから、これらの条件が一定の場合にのみ地位の尺度として使用でさる。このことは通常実行不可能で、特に北米の未施業林ではとうである。

したがって、実際に地位を推定するには、簡単かつ容易に定められ、林分密度に無関係で、可能であれば樹種に無関係な尺度を見出す必要がある。地位は林地の生産能力を決める能ての関係因子の総和であるから、この地位のなび一つの決定的指標を取り出す競争は不可能でないにしても、極めて複雑かつ困難である。この問題について多くの研究がなされたけれども、普遍的な解は出てはいし、又出来そうもない。

一般に、地位を評価するには二つの方法がある。

- (1) 林木の成長を最も関係の深い一、二の環境因子を決めて測定することである。
- (2) これら環境因子の総和を最も良く表わす確生そのもの一、二の特性を取り出して測定する。オノの方法では、土壌特性と地位と

関係と求めるにめ時に注意が押入れ（3参照）オノの方法では下層植生又は指標植物（4参照）林分材積（5参照）林木樹高（6参照）が入ってくる。

地位を一般的表現で評価する場合には、地位級はローマ字で表わされるのが普通である。他I等地位は、常に最良の地位で、II等地位はそれに次ぐ地位である。通常3〜5以上の地位級は設けられない。土壌異度その他関係因子により地位区分を行っている。現在の研究では地位Aは最も乾燥した地位、地位D又はEは最も湿った地位を表わしている。

2 林分成長量を推定する場合の地位の重要性

Importance of site in forest growth estimation

地位を推定するオノの原則的方法を調べるに先づいて、林分成長量測定における地位の重要性について、再び強調しよう。成長量が森林経営の手がかりとなる因子であると同じく、地位は成長がどうかを決める手がかりである。地位は生物学的概念であつて、適るに数学的表現では表わせない。しかもそれは、将来の林分成長量の推定でさる前に確定しなければならない。

地位の推定は林令に基づく従来の収穫表では特に重要である。理論的に正常 *stocks* の標準状態について、林令と材積（即ち収穫量）に対してプロットすると常に相関の悪いことが、見出され、収穫曲線を描く前に、少くとも同質の相対データを再分散する必要がある。換言すれば、令級と同様に地位級で分類する必要がある。したがって地位の定義と評価を林令に基づく収穫曲線の調整を数学的に行う前に、行なわねばならない。したがって従来の収穫表は、地位を類とえなければ良好である。

これ以外の成長予測の方式でも、地位は裁判的因子である。成長

量推定の一歩大切な契は、成長率の異なる林分を区分することである。地位の指標が成長量式に入っている、いなくとも地位の概念はそのまゝ存在し、式中で成長量に内係のある変量も、地位の変動を考慮しなければならない。もちろん、多くの場合、地位の実際の尺度は指標が、成長量推定の変量として導入されている。これが間接的に導入されることもある。林分や樹高を成長式に変量として入れることができよう。しかし林分と樹高を一語にとれば、地位指標 *site index* がでる上り、これは一般に認められている地位の尺度である。林分と樹高を解に用いれば、地位そのものは推定値と表われていないけれども、地位の変動を考慮したことになる。

色々な地位の尺度を論ずる場合、与えられた分類システムが、与えられた条件に成立つことが分つても、それが最良のシステムであることを意味してはいない。各種の地位分類方法の正しい比較は、二組以上の同種データを用いて、興材積および成長量とどれが最も相関が高いかを調べることによつてのみ行なわれる。

成程ながら、慎重にコントロールされた試験地のデータで、このような性質を持つたものは殆んどない。この論文では、概略的に判別は各テストとまがして、各種の地位分類方法の利欠、欠欠の簡単な説明だけで満足しなければならない。

3. 地位の尺度としての環境

The environment as a measure of site ^注

注、この節の大部分は Siep Hen H Spurr の地位と森林経営と影響される Harvard Forest の林分構造によつてゐる。(未完版 Yale 大学 Ph.D 論文 1950) 240 pp

地位すなわち植物を生産する土地の能力は植物又は植物群に影響する土壌因子、生物学的因子、気候的因子である。森林土壌は地位の決定には重要であるが、森林の気候および全動植物をこみにした

森林そのものも考慮しなければならない。

射影および樹幹は大気中で生活しているから森林の気候は、森林の成長と明らかに内係がある。平均的気候は、与えられた森林他方では、余り変らないから、通常地位を評価する時には参照されるけれども、地方的な気候は、一つの他方でも場所によつて著しく異なる。したがつて Harvard Forest では相対的標高が凹形の林地は、冷気のよどみが悪く良い土地に較べて最高温度は高く、最低温度は低く、霜の無い期間は短い。地方的気候は明らかに重要であるが、地位評価に用いられにのは稀であつた。その理由の一つは、土地利用の歴史、森林経営の歴史、森林土壌のような他の変量は明らかに、森林成長にかくれば影響を及ぼしており、地方的気候と成長量の間の良い相関を得ることは難しいからである。いま一つの理由は、地方的気候は、土壌に内係していることがよくあり、土壌に基づく地位分類は、地方的気候によつて分類をおこなつてゐることに過ぎるからである。したがつて、土壌の排水を良くする因子は同時に冷気の流通を良くし、その他方の平均よりも、最高温度が低く、最低温度の高い地位を不す傾向がある。同時に、排水の極めて悪い土壌は、土壌水と同じく冷気の流通を防げるに地形と要因する場合が多い。したがつて通気の非常に悪い地位は、温度が極端で、生育期間が短いという特性を持ち易い。

地方的気候と同様に、森林の動植物は明らかに地位と関係があるが統計的に研究するには、ある程度の困難を覚悟すれば使用できる。地位の指標として①他表極性使用は、森林植物学と地位との関係の一例である。(参考参照)

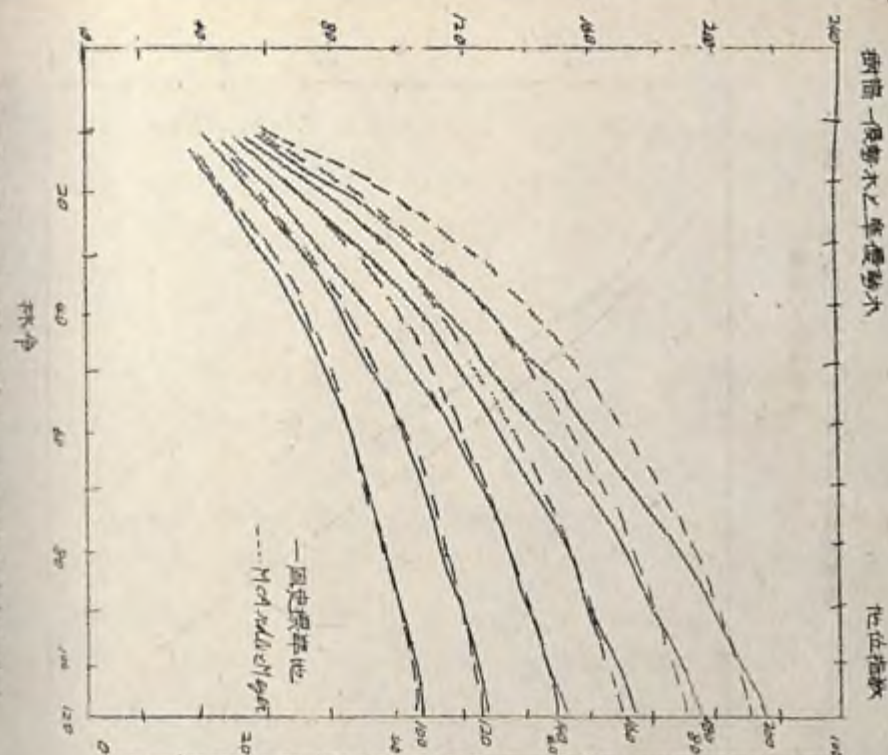
地位と土壌とを内係させる問題は特に最近ノ5年間に、多くの研究家の関心を呼んだ。その主な関心は、伐採又は火災により、不適当な樹種で、正常以下又は正常な林となる林地について地位を決めることであつた。これまでの研究を良くまとめたものが Lutz and Chandler (1946) Coile (1948) Gardner と Rietzer (1949) により

発表されている。

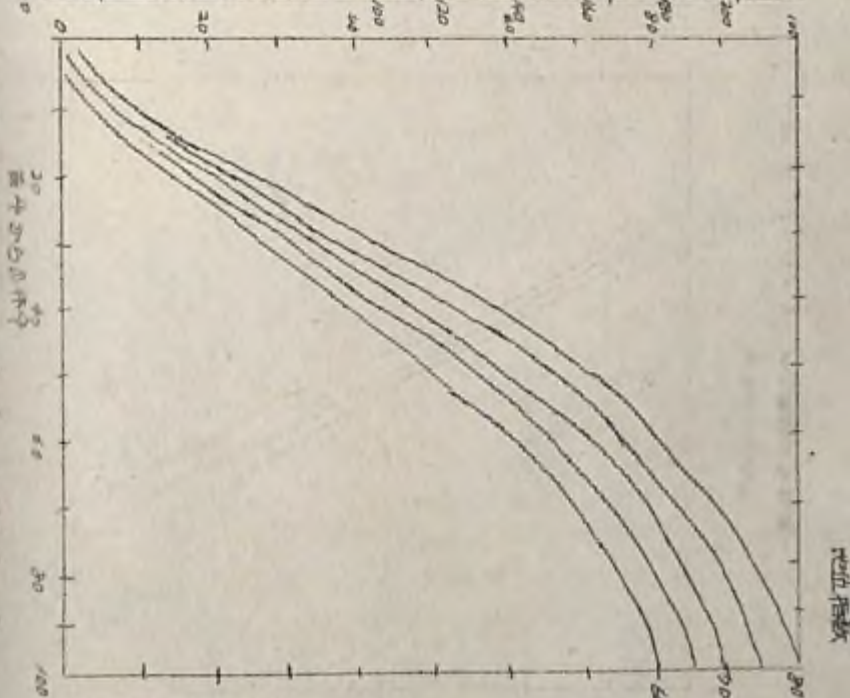
多くの研究者は、土壌系列と地位指数のち与えられた林分を関連することが期待される林分樹高とを結びつけた。Rae (1935) は Ohio 州の各種林相について、地位指数と土壌型との一時的関係を発表した。Cooper (1942) は 南東部諸州の loblolly pine について、地位、土壌型と表層浸蝕度 sheet-erosion class とに密接な関係のあることを見出した。表層浸蝕度では、loblolly pine の地位指数は L loyd silt loam の 103~104 から Appaling silt loam の 69~83 の範囲にある。いろいろな土壌系列について具く同じ結果が、Chandler, Schorn, Anderson (1943) によって得られた。彼らは、平均地位指数が 70 の土壌型について、loblolly pine の 103~58 short leaf pine の 100~62 の範囲にあることを見出した。最も良い地位は Ochlocknee の 微砂ロームでこの土壌は表層から数フィート以内に水使のある新沖積層から置かれたものである。最も劣った地位は, Sagno の微砂土壌で、地下水面が低く、保水能力の低い土壌であった。この中向の5種の土壌は、地位については有意差はなかった。Texas 州で、Staecher (1948) は、元赤ツガ white pine 林となる Superior silt loam の 82 から red pine に適する plain field の砂質土壌の 53 に到る。各種土壌についてのハコヤナギの地位指数を確定させた。

土壌と地位との関係付けをいろいろの研究の中で、2つの一時的傾向を確認することができた。オーキ、研究者の多くは、土壌型と土壌断面を組にすることで始めて有意な傾向を得ることができたに過ぎない。Hiscock Morgan, Lutz, Bull, Lunt (1931) は土壌の性質と森林構造、成長率との関係の研究で、林分構造は、個々の土壌型とはつきりした関係はなく、土壌水分に基づく巾の広い組分けと関係あることを発見した。

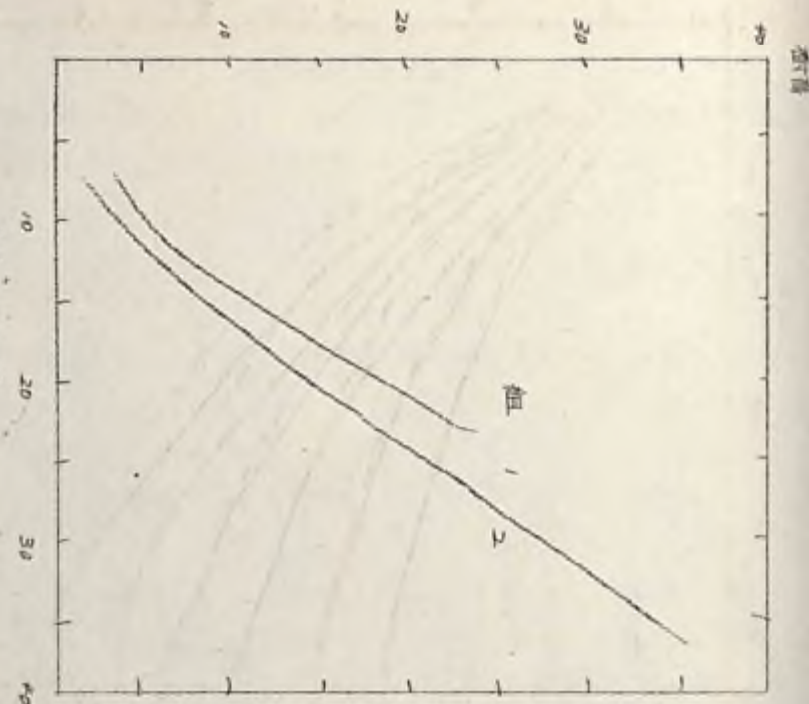
23 図 Pacific Northwest のハコヤナギの地位指数曲線



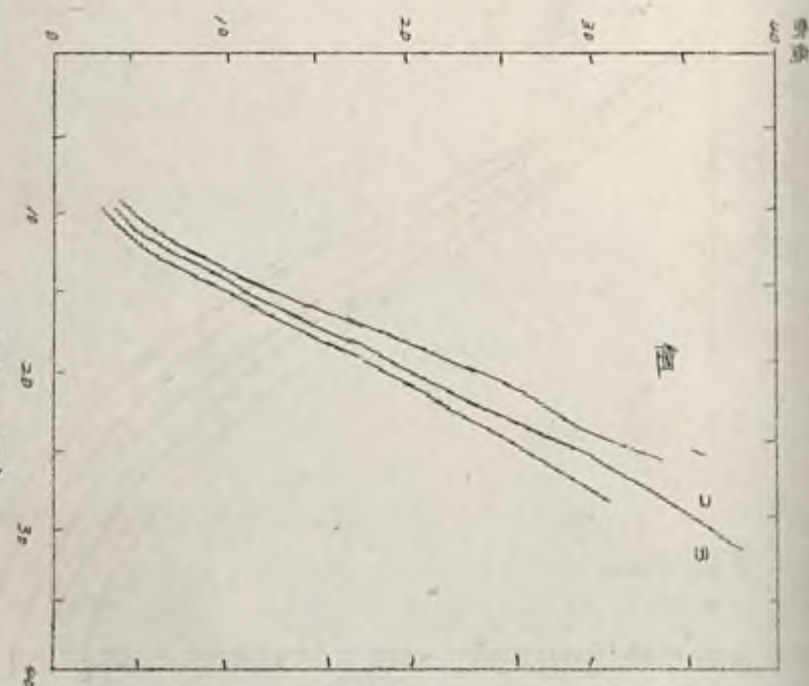
22 図 Central New England のハコヤナギの地位指数曲線



21 図 White Pine 人工林の樹高成長曲線



22 図 Red Pine 人工林の樹高成長曲線



同様な組合せが北部 Michigan の北方系広葉樹林について、Westveld (1933) によつて見出された。土壌型は殆ど、表土の構造、下層土の構造と深さにより、5程の主グループに分けられた。Lake 州のハコヤナギ群で、地位指数と土壌構造、地理的岩層群、土壌断面群との関係を別々に調べた。土壌断面群と結び付けた時に最良の結果が得られたが、12の巾の広い組合せは、19のもつと詳細な組合せと殆ど同じ相関を与えた。

土壌型の組合せの必要性を示す一つの例は Hill, Arnet, Bond (1948) の行ったもので、彼等は Pacific Northwest のベイマツで研究を行った。

土壌と地位の有意な相関は、土壌深さ、土壌構造、下層土の性質による、巾の広い組合せに土壌を組合せしの場合に得られるに過ぎない。オズの著しい傾向は、土壌深さが、多くの場合地位と密接な関係のある一つの土壌性質であることが火オに認識されて来たことである。(Einspahr と Mc Comb, 1951) このことは、母岩が Hilsch 外の 1931 年に行った Connecticut の研究と Spurr の Harvard Forest の研究 (1950) と少くとも似ている林地では、このことはもっと目立つた。さらに、引用した多くの論文にも示されている。かくして、Hill, Arnet, Bond (1948) は次の様に述べている。Lewis 地方のベイマツの場合には、地位は土壌の深さ関係で決めるべきであろう。

同一土壌でも、降水量の多い土地は地位指数が高い、これと対照的に、やはり Northwest のベイマツについて研究をした Jarrant (1949) は、いろいろな尺度の有効養分と、地位指数との間に着意な相関を見付けることができた。良好な土壌深さ関係を持つ傾向のある中絶の傾斜地では、凸面より高い地位指数をもつことを発見した。(1950) Gessel (1950; Gessel と Lloyd 1950) は north western Washington でベイマツ地位指数がある範囲内では、降水量の相対につれて大きく圧することを見出した。彼等はさらに、地位指数と、最高の保水能力をもつ土壌構造と密接な関係にあることを発見した。

もちろん、土壌湿度の大部分は、土壌の構造と深度により定められるが、地位がこれらの因子と関係のあることも期待できよう。これは、幾々あることである。Coile (1935) は、45箇所の *shortleaf pine* 林分の地位指数と、B層の泥土と粘土の含有量とどうも関係つけた。同様に Auten (1937) は *yellow poplar* の地位を評価するのに A層の湿度を用いた。Lunt (1939) は Connecticut のカシ2次林で、地位指数と土壌の種類の間接関係を見つけることはできなかったが、地位、指数の低い程、コロイド（泥土と粘土）と成る土壌の百分率は増し、恐らく、植物体コロイドの高い含有は、溶解力の小さいことを示し、そのため有効水分の地の低下することを見出した。Ponahue (1940) は Adirondack で、最良の地位が、高い移動地下水面と関係のあることを見出した。Lunt (1948) は Manchester の Connecticut の砂質ロームで、就育としている *white pine* と欧州トウヒが、排水のよい Merrimac の砂質ロームのものより成長のよいことを見出した。

Hills (1950) Ontario の地位決定の際、土壌湿度系と土壌の透水力の重要性を強調した。

southeastern Washington の *Ponderosa pine* について、Holby (1947) は、表土から 6 in 下の細砂の百分率は地位Ⅰの 9.5% から、地位Ⅲの 13.4%、地位Ⅱの 22.2% に増すことを見出した。最後に Gaiser (1950) Atlantic Coastal Plain の *loblolly pine* を研究し、地位指数が、土壌の保水能力と腐植を関係のあることを見出した。彼は特に不排水までの深度と一番深い透水層の取入価 *imbibitional* を利用した。

したがって、土壌の性質による地位分類は次のようにすれば完全には可能であろう。

- (1) 相対的に小数の組分けをする。
 - (2) この組分けには林木の成長に利用できる湿度の量と考慮する。
- このような分類方法を、著者中央 New England の *white Pine* について行ってみた。主として土壌の母質と地下水面の深さ

により5つの地位と分類した。最も乾燥したもののから最も湿潤なものに到るまで、次のように分けた。

- (A) 地下水面の低い層状の堆積。低い地下水面と組合さった相対的に粗い構造は、土壌の通水を極端によくする、未成熟のカシ林分の樹高成長は年当り 1 foot 以下であろう。Hincley Merrimac Taffrey の土壌の大部分はこの組に入る。
- (B) 地下水面の低い氷状の礫石粘土と中層の地下水面とを有する層状の堆積。傾斜した岩石上の浅い土壌。砂や砂礫の下にある薄い礫石粘土。その他土壌水分の制限されている場合を含む。未成熟の *white pine* の成長は年当り約 $1\frac{1}{4}$ foot であろう。(4年間に 5 feet)
- (C) 中層の地下水面とを有する礫石粘土。通水は良いが、成育期間の大部分を通じて土壌湿度は適当である。Charlton, Brookfield, Gloucester の土壌の大部分と Harvard Forest の大部分を含む。未成熟の *white pine* の成長量は年当り約 $1\frac{1}{2}$ foot である。
- (D) 地下水面の高い氷状礫石粘土であるが、良い成長に必要な通気性は充分にある。Acton Sutton のような通水不完全の郊外通水中層の土壌が含まれている。未成熟の *white pine* 林の樹高成長は年当り約 $1\frac{3}{4}$ foot (4年間に 7 feet) である。
- (E) 地下水面が高く、表層から 1 foot 以内の通気性に乏しい地中の土壌。Whitman の通水の悪い土壌、泥炭地、堆肥地が含まれる。成長は最良の過剰と通気の悪いために阻害される。

指標植物 Indicator Plants

土壌特性は簡単に見ることは出来ないし、研究室でサンプルを調べなければならぬことが幾々あるのを、地位と最もよく関連する特性との関係の研究に多くの努力が捧げられた。指標植物の利用に特に注意が払われた。

特色のある下層植生による地位の分類は、主として Finland の

Cajander とその弟子によつて展開された。(Silvessalo 1927; Sisaam 1938 b) 特性指標植物と呼ばれる地位型は、現在 Finland の地位分類の基である。(Silvessalo 1937) 同様な地位分類は北米に導入され (Silvessalo, 1929; Heimburger, 1934) 東部カナダの森林に対しては Dominion Forest Service が特に力を入れている。(Sisaam, 1938a, 1938b; Ray 1941)

指標即ち地位型の概念は、森林の下層植生が、地位を鋭敏に反映し、それが比較的にかい、欠いているかが地位を特長づけるのに役立つという信念に基づいており、又森林が荒されても、下層植生は林木のうっ閉よりもはるかに短期間で正常な状態に調子を合せることができる。

下層植生が広く地位と関係し、地位の一般的主引として使用できることには疑問の余地がない (Coile 1938) このことは、樹種の数が少く、その多くが特長として本範囲の立地を占めている北部の森林には真く正しい。同時に下層植生が、かなりの範囲まで、樹冠と林の厂史の影響を受けることも同様に正しいであろう。換言すれば、指標植物は与えられた林相の荒されていない林分の地位の評価には妥当と思われる。伐採、火災などの最近 10 年間に荒らされたことのある林地での価値は、制約を受ける。又、指標植物は異なる林相で占められる林地の地位と比較するには必ずしも妥当ではない。

Finland で発達した地位型の概念は、上層木が大面積でそれと違つておらず、比較的荒れていない林分が相当数ある東部カナダの森林には、少しキを加えただけで適用できそうに見えるが、それをもつと大規模に適用するに先づいて、指標植物の概念を修正しなければならぬ。

オノに、樅木や草木植物に、指標植物を限定する必要はない。重要なことや、その存在が地位と強い結び付のある植物なら何れも指標植物として使用してよからう。Bess, Spurr Littlefield (1930) は gypsy moth にする落葉が広い地位と狭い地位とを区別す

る際に、下層植生と同様に、上層木、下層木、更新樹を用いた。林分内におけるその植物の豊富さと位置が、異なる植物の存在と同様に評価に取り入れられた。下層に white pine が多数存在することは、林木が落葉し易い乾燥した地位を示唆するが、下層に散生する white pine や上層に若干ある white pine ではこのような判断はできない。同様に シタ (Pteridium latiusculum) の散生は荒れた立地で見られるが、これが豊富にある場合には乾燥した地位を示すことが分つた。これに対して、ある種の樹種、樅木、草木がそれだけの存在によつて、一定の指標とこの価値をもつてることが見出された。white ash と christmas fern (Polystichum acrostichoides) が存在するだけで、選った地位を指すのに役立つ。この土地では、林木は gypsy moth による落葉にかなり被害を受ける。

オノに、指標植物の分布は多少なりとも点状になりがちなものである。したがつて、一種だけの植物に余り多くの信頼をおくべきではないからう。前例に戻ると white ash の存在は、大抵の場合選った地位と密かに示すが、すべての場合にそうなるとは限らない。又、white ash の無いことが必ずしもその地位が濕性でないことを意味しているとは限らない。

したがつて、指標植物の最良の使用法は、このものよりもむしろ群の指標として用い、これを信頼することである。一、この特性植物の後に地位型と名付けた Finnish の方式はこのような使用に対して力がある。例えば、森林の厂史或は、地方的植物分布のきまひれにより Oxalis も Cornus も多いときに Oxalis-Cornus 地位型として地位を分類することは主観的に困難である。しかも樹木の群相と森林の成長する特性はこの部類に入る林地によくあてはまる。

性質の形式化された地位型分類の欠点は、指標植物のスペクトル分析法と採用すること打ち消すことができる。指標スペクトルは選ばれるべき地位に従つて分類された草木その他の植生と同様に樹

木や灌木を含む指標植物のリストに過ぎない。並べ順は地味の悪い、地位を表わす植物はリストの最上段に示され、肥沃な地位の特性を示す植物は最下段にのせてある。採集技術者はリストを現地に持ち、存在する、普通である、宿むものとして指標植物を吟味する。これらの吟味によつて得られた分布曲線の中心が地位を表わしている。

38表は *northeastern United States* のトウヒモミの、仮の指標スペクトルである。これは筆者の予備的リストから *Marinus Westveld* によつて修正されており、ここには、最終的リストとしてよりもむしろ方法を示すものとしてのせたいのである。フィールドで研究すれば、当然多くの植物の位置は変えられる。この例では、この地位の2種の特性植物である *Clintonia* と *Oxalis* は存在しないけれど、地位がB級であることをはっきりと示している。

5. 地位指数としての材積 *Volumes as an index of site*

これまで われわれは地位そのもの又は指標植物から得られる地位の尺度を論じて来た。林分そのものの測定から地位を推定することも可能である。成長の最高点における正樹林の平均年収獲が、長い同地位の理論的尺度と考えられて来た。一方この尺度や他の材積の尺度を欧州では地位の指標として利用してきたが、広い森林帯や適当な成長データの無いことは一般に北米での実行を不可能にしている。

地位の尺度として材積を用いる際の難点は、それが材積表や利用度、材積推定にいつも入つて来る他の因子によつて変る。この難点は材積の代りに計面積と樹高を入れれば取り除けよう。既に見たように、この結合変数内数は材積と密接な関係がある。1914年に早くも *Hanglik* は同様の正樹林に地位因子を用いることを暗示した。なおこの因子は樹高×計面積をエーカー当たり本数で割つたものに等しい。

Gevorkiantz と *Scholz* (1944, 1948) はこの地位因子に

(1) 年令

(2) 計面積に基いて計算した正樹林

の2変数を加えることにより *Mississippi Valley* 高地の典型的に正樹以下のカシ林分に適用した。

6. 地位の指標としての林分樹高

Stand height as an index of site

しかしながら、北米で最も一般的に用いられている地位の尺度は、地位指数すなわち発長途上の与えられと段階で林分が達する樹高である。われわれは、樹高が正樹林の疎密度の範囲内では疎密度の影響を殆んど受けないことを既に知っている。

選抜又は過密でない林分に対しては、林令を考慮に入れると、樹高は地位の客観的な尺度である。

オノ次大戦の戦中、戦後を通じて、主に *Roth* (1916, 1918), *Watson* (1917) *Prothman* (1918, 1921a, 1921b) の努力により、地位指数の概念が、U.S. で徐々に発展した。今日用いられている地位指数は、特定の年令での優勢木と準優勢木の平均樹高を指している。この標準年令は、米国東部では一般に50年であるが、西部海岸の寿命の長い樹種では100年である。

優勢木と準優勢木の樹高測定は常に厄介なものとは限らない。オノに 樹木高は主観的であり、測定者によつて、どれが優勢木と準優勢木と形成するかという概念がひどく異なっている。オノに、準優勢木の多くは、その林令の主林冠から脱落し、恐らく測られないであろう。オノに、同伐種の伐木作業は、実際の地位を変えずに、優勢木と準優勢木の平均樹高を変えてしまうであろう。

このような理由で、地位を決めるために測定すべき木とすると、厳密に制限する傾向がある。*Scholler* (1948) は密生したベイマツ林では準優勢木の樹高測定の難かしいことを指摘し、このような場合には優勢木だけを測定することを暗示した。準優勢木による地位指数曲線を用いられる場合には、3フィートの推定値の標準誤差と

もつ直線回帰による簡単な修正項が、優勢木と準優勢木の平均樹高を求めるために優勢木の平均樹高から差引ける。同様に準優勢木と準優勢木の平均樹高は直ちに林分内の全木の平均樹高と関連させることができよう。

主観的な樹高級のカテゴリに頼らずに示された樹高の決定は、試験研究にとつてさらに満足のゆくように思える。印度では古くから上層樹高即ちエーカー当り 100本の最大径の木の樹高の算術平均を用いている。Foggil (1944) も推奨し、英国で用いられているこの尺度は造林方法による影響が少い。Gray (1945) はこれに代つて最高樹高の使用を暗示した。この直は処理の影響の最少のものの一つである。これはとにかくに定めることができ、いつでも同じで、量木や測定が容易である。さらに少数の樹高測定が必要である。

樹高成長量は恐らく地位の最良の尺度であろうが、それが完全なものであるとは云い得ない。樹高成長量は地位以外の因子の影響を受ける。極端な例は長か樹高成長に大きな影響をおよぼすことを既に知っている。このような場合について Parker (1942) は林令および樹高と同様、エーカー当り本数による地位指数曲線を推奨している。4つの林分密度級別の *white oak* 地位指数曲線が Gaiser と Merg (1951) により発表されている。樹木又は林分の置換因子もかなり樹高成長を支配する。いろいろな特定の母樹からの種子による植林や個々の樹木に対するコントロールのための処理がこれを実証に証明している。最後に林分創始期の土地条件や幼樹における他の植物との競争は、はっきりと樹高成長量に影響をおよぼしている。

Chapman (1935) は *longleaf pine* の一次林の樹高対林令曲線は、皆伐した処で測つて収穫表標準地から作つた同じ曲線より高く、形も異つてゐることを示した。同様に Harvard Forest では一次林の造林地は、皆伐地に成立したそのより平均して少くとも 5 feet は高かった。

従来この地位指数曲線のもう一つの弱点は、林令に基づいてゐるこ

とである。従つて林分のパラメーターの中で、林令の測定は困難で時間がかかり、その測定値が不正確となりやすいものの一つである。この結果、このような曲線の重量として、林令を除くため幾多の努力が費われた。例えば、中央山脈では、U.S. 山林局は林令よりむしろ与えられた直径とそつ林分樹高に基づく地位指数表を用いた。成熟木が広く分布している林地では、成熟木の平均樹高で地位を定めることも可能である。例えば Westveld (1933) は Lake 州の北方系広葉樹の優勢林分の平均樹高は、この林分が 180 年生に達すれば、すこしも変化しないことを発見した。ponderosa pine についても同様な結果が得られた。

2. 地位指数の調和曲線 Harmonized site-index curves

近年の間、米国では、一時的収穫表標準地のデータをを用いて、林令対樹高の単一曲線を作り、いろいろな樹高指数について同様な一連の曲線の系列を加えて、地位指数曲線を調和して来た。各曲線は同じ型としており、その大きさが誘導曲線と一定の割合だけ違つてゐるものである。したがつて、誘導曲線が 50 年 (横軸) で 60 フート (縦軸) を通れば、これは地位指数 60 を表わしている。地位指数 80 の曲線は、誘導曲線より常に $33\frac{1}{3}\%$ 高くなるであろう。($80/60 = 1.333$) 調和と容易にするため、誘導曲線は Bruce (1926) の歪形方法により図上で直線に変換されるのが普通である。

この調和又は歪形指数曲線法には元来、いくつかの假定が含まれてゐる。その一つは、標準地資料は各令級内の地位を直ちに抽出したもので、その結果、樹高を林令に対してプロットした時のデータの散ばりが適当に地位指数曲線と表わすということである。亦うに地位指数が樹高成長におよぼす影響は従つての林令を比較的同じであるということである。

最後に、良好な地位の成長曲線は劣悪な地位と同じ形であると仮定されてゐる。

一般に、この三つの校定はいずれも正しくない。又いずれも安全でない。オノのものは適当な標本抽出を行うことで満されるが、これは、時には経済的理由で不可能なこともあり又すべての地位ですべての林分をもつ林分がないために不可能なこともある。

地位がすべての林分の樹高成長に影響する可能性は、OsborneとSchumacher (1935)が展開しBruceとSchumacherが説明している方法で吟味できよう。

基本的には、この方法は各令級内の林分樹高の標準偏差を計算し、樹高対林分の平滑化した誘導曲線から読みとつたその級の平均樹高の百分率で表わす。この百分率即ち変動係数を林分に対してプロットする。傾向が見られなければ、通常の方法で地位指数曲線が求められる。しかし傾向が見出されれば、平滑な曲線と描く。各令級の変動係数は個々の地位曲線が誘導曲線の上下にどの位離れたるべきかを定めるのに用いられる。

良各令地位における樹高対林分曲線の形が劣悪な地位のものと異なるといふ最後の校定は、真ではないが、多くの場合かなり良い結果を与える。立似値に過ぎない。樹木が生育している所これは次に地位を利用するようになる。稚樹の成長は、土壌水分、養分、日光の総量、すなわち土壌と空気の容積によつて左右される。成熟林の巨木は、100立方ヤード以上の土壌、さらに多重の空気と要求する。土壌深さが増し、土壌の水平面が大となり、標高が高くなるにつれて土壌条件が変るのと同じく、樹高成長量も変るであろう。したがつて、悪い地位の多くは、その表面が乾燥しており、稚樹の初期の樹高成長は非常に緩慢である。根系が一度適当な湿度の地に着すれば、樹高成長は増大し、地位の良い所のものと比較できる。又不透性の硬盤の上にある土壌では、林木はその根系が硬盤で阻止されるまでは旺盛な樹高成長をする。次いで樹高成長は衰え、樹高成長曲線は平坦になるであろう。

調和曲線法による地位指数曲線の調製には多くのおとし穴がある。有効な曲線を一時的曲線のデータから直ちに調製できるが、悪い正

確度が要求される場合には、あまり多くの信頼をかけるべきではない。2つの例を示さう。

Ponderosa pine の同令林の収獲表調製に際して、W. H. Meyer (1938)は、ほぼ400の標準地を、不完全な正格stockでないと理由で棄却した後、450個の標準地の測定値を採用した。従来の歪形方式によれば明らかに間違っている曲線が得られることを見出した。それらは、下端では平坦すぎ、上端では急斜すぎ、一様であることの分っている土地条件でとられたデータによる曲線にはあてはまりが悪い。標準偏差、誘導曲線に関する変動係数を調べて修正する方法は、逆の性質の誤差を導く。

ノノロの主な制地区のプロットを別の組として取り扱い、誘導曲線をそれぞれに対して作製する主観的な方法によつて始めて、直当は曲線を描くことができる。地位指数は、横軸に令級、縦軸に樹高をとつて、グラフに表わされる。曲線原点を通るように作られる。これから、従来の地位指数曲線が得られる。この方法は、広範囲の土地条件から抽出されたデータについて、実行できるだけである。

林分的方法のその困難さが経験された一つの例は、Pacific Northwestのwestern ツガとシトカトウヒの場合である。収獲表と地位指数曲線を関連させた時起つた苦情が、暗口となつて、広範囲なデータによるこの問題が慎重に研究された。

(Barne 1949) western ツガの樹高成長曲線は、シトカトウヒのものと明らかに違つており、この2樹種については別々の地位指数曲線の調製が必要であることが分つた。林分内のツガの無災場合は樹高成長に影響せず、この因子は変量から除外できる。OregonとWashingtonのwestern ツガでは、誘導曲線は100年と153の地位指数を表わし、British Columbiaでは127、Alaskaでは104であつた。直当は地位指数曲線が調製される前に、この3つの誘導曲線を、単一の水準に変換し、すなわち、地位指数1300、最少な不一致とそれらの間で平均しなげれば、ならない。皆の曲線は広範囲の標準地データに基づいており、

経験の多い測樹学者により調製されたものである。が、新曲線は、地位指数200では、200年のところで40 feet も違っていることが分った。

8 自然的地位指数曲線 *Natural site-index curves*

樹幹析解による樹高成長曲線を作ることと調和地位指数曲線の右とし尺を避けることが可能である。このような曲線の主な利点は、多種多様であるということである。すなわち各曲線は与えられた地位から得られたデータ毎に作られる。曲線の型は、実際の樹高成長の傾向とあてはまる様に地位によって違っている。

樹高成長の傾向が地位によって違ふことを示すよい例がある。樹幹析解から作られた欧州トウヒの曲線(14章)は歪形したものではない。Ilvesala (1937) が作ったインラッドの樹種の地位指数曲線もさうでなかつた。さらに Harvard Forest (20 図 21 図) の red pine と white pine 人工林の樹高成長曲線 Bull (1931) の作製した Connecticut の red pine の人工林のもので、その例を提供する。山林委員会が作製した奥国の欧州トウヒ、ベイマツ、欧州カラマツの地位指数曲線は多数の樹幹析解によるもので多種多様である。

自然的地位指数曲線は普通の樹幹析解により作製される。各種の地位に成育している、典型的な老令木を選び、伐倒し、樹幹析解する。各断面の年輪数を数える。林令を各断面の高さの上にプロットする。従来、形にグラフを直すため、変量をとりがえる。この場合の独立変量と従属変量の交換は、両者の相関が極めて高いので、重大な誤差は起らない。

林木が一年に一つの輪生板をもってゐる時には、年当りの実際の樹高成長量は樹幹析解しなくても簡単に決定できる。いずれの場合にも、特定の暦年による変動を平均するために、いろいろな老令の木を抽出することが重要である。

20. 21 図の樹高成長曲線は Harvard Forest の red pine と white pine 人工林でそれぞれ 10 本の優勢木と準優勢木の輪生板跡の測定で得られたものである。red pine 林分は樹高成長の記録に基づいて 3 組に、white pine 林分は 2 組

に分けられた。

各組別に別々の誘導曲線が作られ、植栽年度からの林令に対して樹高がプロットされた。white pine の最終的地位指数曲線(22図)は、Harvard Forest およびその近くにある天然入生林の white pine の固定標準地の樹高成長の記録を加えて確実なものにした。

正確な地位決定が必要な場合には、自然的地位指数曲線は調和曲線よりも優れている。Bull (1931) は Connecticut の red pine について、両方法による地位指数曲線を作り、調和方式のものは、格付け林令(50年)以下で、良地位のプロットに対しては過大、不良地位に対しては過小の誤みを与え、老令林令では逆になることを発見した。樹幹析解又は internode の測定から調整された地位指数曲線の主な欠点は、このような曲線が単木の成長を表わし、必ずしも林分全体の成長を表わさないということである。それにもかかわらず、多くの場合その差異は僅かであり、誤差の起る機会も調和曲線法より少ない。地位指数決定の際の樹高測定数が多くなる程、標本木の成長量と地位指数の決定に用いられる林分のその部分の成長量の差は小さくなる。樹幹析解法は特に林分の最高の木の樹高成長量を地位を測った時には誤差がなく、優勢木と準優勢木を一括にした場合より、土着木(エーカー当り100本の最大直径の木)又は優勢木だけの標本を用いた方がよい。

最良の地位指数曲線は固定標準地の樹高成長量を測定したものである。

23図は Pacific Northwest のベイマツ固定標準地の成長量から作った一組のこの種の曲線である。さらに同林地の同樹種についての調和曲線が添削された。(Mc Ardle, W. H. Meyer, Bruce 1949) 標準地の樹高成長量と調和曲線から予測されるものとの間には大きな隔りがあり、地位決定には、自然的、多様曲線を推奨すべきことが直ちにみる。

9 林令に無関係な地位指数 Site index without reference to age

地位の指数としての林令対樹高の回帰は、同令林又は林木の大部分が一令級に属する林分に適用できるに過ぎない。異令林や林令決定のできない林分の地位指数や樹高成長量を予測する問題が残っている。

輪生板を年々剥す樹種については林令に拘束のない地位指数図表を作れる。Bull (1931) は優勢木の全平均樹高から3フィートを引たものを縦軸にプロットし、平均の優勢木が3フィートの樹高からの梢頭まで成長するのに要した年数を横軸にとった。red pine の地位指数表を作成した。年数はもちろん、3フィートの高さから梢頭までの輪生板を数えて求めたものである。主独立変量として林令の代りに定期樹高成長量を入れてもよい。

地位が林令、樹高と独立に推定できる時には、成長量や収穫量の予測の際、地位は平均年樹高成長量を推定するのに使用できる。

10 航空写真による地位分類

Site classification from aerial photographs

航空写真による地位分類は、写真上の制約により制約を受ける。林令、微小植生、土壌地方的変異、さらに林分の内部的形態のようないろいろは森林の垂直写真では確認できない。しかし、これらの四者のあるものは、疎林又は伐跡の垂直写真上で、ある程度まで確認できる。写真判読員にできることは、地物を調べ、土壌や地理学的組成について判断し、樹高や樹冠直径を測り、林分の外貌上の差違を見出すことである。これらのことは、ある程度まで地位と関係がある。

したがって、地位は写真上で分類できるが、せよ上用いられるものと同じ項目、同じ機構であるとは限らない。写真上での地位の主な規準は、(1) 地形 (2) 土壌と地理的組成 (3) 植

生 44 樹高と樹冠直径の比である。もっと詳しい説明と基本的関係については *Sjurs (1948)* *Moessner (1948)* *Hills (1950)* を参照されたい。

航空写真上で、地位について最も有効な *key* な問題になっている林地の相対的地形的位置である。各樹種はそれぞれ異った地形的位置を占めている。地質的組成、土壌、土壌湿度、地方的気候も又地形と関係がある。

簡単かつ効果的な地位による地位分類は相対的地形的位置に基づくものである。したがって、峯系や頂上の平坦地は最も位置が高く、恐らく最も乾燥した地位で、これに続いて、山腹上部、中腹、山麓、乾燥した低地又は平坦部、湿った低地、又は平坦部がある。

Appalachian 地方で用いられている *Cove site* のような項目は、定められた地形的意味をもっている。平坦な地方においてさえ、少くとも二種類の地形的地位、すなわち流域沿いの、比較的低い土地と、流域にはさまった幾分高い土地とが区別される。

地形的位置は、土壌と水分関係を示すのに特に重要である。標高差や傾斜が大となる時、土壌水分は減少し、乾燥し露出した地位に特に成育する樹種を維持する傾向がある。逆に、北と東傾斜面は、より多くの土壌水分を保有し、*mesophytic* な樹種を維持する傾向がある。この面の影響は地形的地位の定義に入ってくる。*Moessner (1948)* は、山腹上部を南傾面の $3/4$ 以上のところ、北面では $1/4$ 以上のところと定義した。

土壌とその基となる地質的組成の性格は普通地帯によって示される。例えば、河川に近い平坦な低地は、河床や湖床になり易い。非林地では、数多くの地形や地質的組成を航空写真から直接識別できる。強度に森林でおおわれた土地では、林地の土壌や地質に関する結論の多くは、地形 *land form*、通水路網、浸食状況、植生、土地利用の一部分はその下にある物理的状況

られる。

植生そのものも地位の重要な索引である。地位指標植物の使用については既に論じた。この指標が航空写真上で識別できる限りこれを航空写真による地位の分類に使用できる。

植物社会の全体的様相が地位を示すことが屢々ある。例えば、不良地位は、生じた矮林、微生した地表植生、短いが広く、又く疎な樹冠、出現する樹種数の少いことで特長付けられることが多い。成熟した用材林では、成熟期の樹高は優れた地位の指標である。

最後に樹高と樹冠直径の比は、一定の条件の下における地位の尺度を提供するであろう。

不良地位で成育する与えられた樹高をもつ木はその近くにある良好地位に成育する同じ樹高をもつ木より老齢である。さらに、不良地位の老齢木は、大きな樹冠をもち (*Ashe 1914*) したがって、樹高-樹冠直径比は低くなる傾向がある。与えられた樹種、樹高級について、一林分毎度は合理的に比較できると仮定すれば、
— 樹高-樹冠直径比の大きい程地位は良くなるであろう。

38表 指標植物スペクトル

Northeastern 産 トウヒ モジ

属又は種	地位	存在する	普通	豊富
<i>Myrica</i>	A			
<i>Vaccinium</i>				
<i>Gaultheria</i>				
<i>Hylacomium</i>				
<i>Hypnum</i>				
<i>Chiogenes</i>				
<i>Pteridium</i>				
<i>Coptis</i>				
<i>Begonia</i>	B			
<i>Corylus</i>				
<i>Maianthemum</i>		x		
<i>Cornus</i>		x		
<i>Aralia</i>	C		x	
<i>Clintonia</i>				
<i>Oxalis</i>				
<i>Dryopteris</i>				x
<i>Acer saccharum</i>			x	
<i>Asplenium</i>	D			
<i>Smilacina</i>				
<i>Mitchella</i>				
<i>Viola</i>				
<i>Oakesia</i>				

(張屋仁志訳)