

經營	102
測定	31

森林測定研究資料

6

(材積表に関する論文)

昭和37年3月

農林省林業試験場経営部

まえがき

昭和22年4月林政統一が行なわれ、新しい国有林野営営機構が誕生したが、森林営の根幹である蓄積算定に用いられる材積表は旧御用林、国有林のものがそのまま採用されており、又樹種区分も局により精粗さまざまであった。さらに材積表材積の実材積の適合性について批判の声が高まって来たので、林野庁は昭和26年8月「主要樹種立木材積表測定要綱」について昭和30年9月「主要樹種立木材積表調製要綱」を定め、林業試験場の指導により、管林局又は地別別に主要樹種の材積表の調製に着手し、今日まで約50種の材積表が調製され、その使用が認可されている。

林業試験場の指導により行なわれている調整の方法は主として、昭和31年3月に当場経営部から出した「立木材積表調整法解説書」に基づいて行なわれているが、その調整方法をさらに一段と優れたものにするため内外の文献を収集しているが、その一部をここに採録したもので、材積表の調製方法、材積に関係する因子についての論文を主体としてアメリカ、イギリスで発表されたものである。

さらに、II部として、*Journal of Forestry*誌上に発表された測樹関係の論文を訳出した。

誤訳があると思うが、この方面の研究、業務の一時として役に立てば幸せである。

最後に、いろいろと指導していただいた大友測定研究室長に感謝する。

1962年3月

測定研究室 栗屋仁志

目次

I 材積表関係	1
1. 形板別材積表の適用に關係のある因子 (C. E. Behre)	3
2. 広葉樹小径木の材積表 (J. N. R. Jeffers)	63
3. Alberta 州の lodgepole pine の標準材積表 (A. W. Blyth)	76
4. 取引可能材積の近似的決定方法 (G. H. D. Bedell, A. B. Berry)	81
5. Pennsylvania の red oak の ft^3 単位の材積表 の調製 (T. W. Beers, S. F. Gingrich)	86
6. Missouri 州の高地産 white oak の樹幹下部の測 定による Girard Form class の推定 (J. D. Harris, A. J. Nash)	101
7. Saskatchewan の black spruce の細り表材積 表および材積式 (C. L. Kirby)	108
8. トネリコ、Jack pine、white spruce の ft^3 材積 式の精度の検定について (D. L. Galding, O. F. Hall)	121
9. 南部 Appalachian 地方のストロ-ブマツ入工材 の材積表 (Southeastern Forest Experiment- Station)	135
10. 森林における層級の略算法 (J. E. Dale)	139

11. 森林における着積の略算法について	141
(E. D. Roberts)	
12. Red Pine の人工林における形級の変化について	149
(A. F. Horn)	
13. 伐根測定による材積推定	155
(K. L. Quigley)	
14. 立木材積表	159
(Y. Ilvessalo)	
15. 針葉樹の蓄積的タリフ表の新しい使用法	172
(H. D. S. Finch)	
II. その他の測樹関係	187
1. 林分断面積の簡便かつ正確な計算方法	189
(A. Bickford)	
2. 平均平方階差による抽出誤差の計算方法	201
(H. A. Meyer)	
3. 根節丸太の材積計算方法	204
(F. A. Johnson)	
4. テネシー渓谷の群単位の森林調査の統計面について	207
(W. H. Ogden)	
5. Ponderosa と Jeffrey pine の除伐	212
(D. E. Teeguarden & T. Gordon)	
6. 測高器の測定時間と精度の検定	225
(E. D. Hunt Jr)	
7. 収獲保続のための規制についての論議	232
(D. A. Rock)	
8. 万能ステッキ	234
(G. Avery)	
9. 樹高対直径曲線を描くための選択的抽出と系統的抽出との比較について	238
(J. Krewaz)	

I 材積表関係論文

1. 形級別材積表の適用に關係のある因子

Factors involved in the application of form-class volume tables

まえがき

幹曲線式およびスウェーデンで用いられている形級方式から一般的原则に基づいた拡張、一般化させた細り曲線図と材積表の調製方法については、筆者の前論文に概略説明してある。(2)この一般化された細り曲線図と材積表を、ある樹種の林分蓄積

の測定に適用するにあたり、必要な段階は次のとおりである。

- 1) 単一の平均形状商が林分全体に使用できるか否かを確かめるために、林分内の単木の形状商の変化を調べること。
- 2) 各条件に適合する形級表が得られるように、現地で推定すべき林分の平均形状商を決定する方法を研究すること。
- 3) 当該樹種の正常な皮肉胸高直径(地上 45 フィート)と実際の胸高直径との關係を調べること。

既往の文献を参照すると共に、この3つの過程のそれぞれについて、いくつかの提案が、この前の論文に掲載してある。ここで同題となるのは、林木そのものに固有なものであつて、形級方式だけに特有なものではないから、材積表の適用について論じ、詳しく解析することとする。この論文には、Northeast の red spruce (*Picea rubra* Link) white spruce (*Picea glauca* (Mill) B.S.P.), balsam fir (*Abies balsamea* (L) Mill) についてのこれらの同種の詳細な統計的研究結果が示してある。Wright (9) は東部カナダの針葉樹について、これらの問題を研究したが、彼の成果はこの論文の結果と直接比較することはできない。その主な理由は、彼が形状商を決めるに先だつて、根張りが胸高直径におよぼす影響を除かぬかつたためである。さらに彼のツガ、モミのデータは、いずれの樹種についても、5 林分以下でとられたも

のこあり、したがって、後の研究方法は、必然的に全く要項のものであつた。Geor Liantz と Husley (4) は、Massachusetts 州の white pine 林分の形態と成長過程についての研究で、樹冠指数、即ち 胸高直径と関連させた樹冠直径の測定を提案したが、これは、樹冠の相対的長さと同様につけて用いる場合には、形状商の推定に十分な基礎を提供する。

形状商と材積推定に關係のある樹皮厚の変化の最も完備した研究調査は、恐らく Sweden の政州アカマツについて Heijbel (6) の行つたものである。彼は胸高における相対的樹皮厚は直径によつて変化するが、樹高の10分の1の葉で測つた樹皮厚は、小径数のものを除いて、常に一定であることを発見した。彼は又 直径級を固定すれば、樹高の低い程、樹皮は厚くなることも発見した。形級の小さな政州アカマツも、形級の大きなものより相対的に厚い樹皮を持つように見える。Heijbel は 樹皮厚および材積の決定は、固定した胸高位置の代りに、樹高の1/10の位置の測定値をもちいるべきであると提案した。

形級法を Sweden のカシに適用する研究で、Hedberg は立木の形状商は望角 form point α は相対的樹冠長から推定できるが、胸高直径をこれらの因子のいふれかといふに考慮すると、最良の推定値の得られることを観測した。

材性の研究には 形状商、樹皮厚、根張りに影響する各種の因子を評価するのに重相関法を用いたものは、なかつた。

研究の基礎と方法 Basis and methods of study

外業 Field work

データの分布 Distribution of data

平均形状商の変化におよぼす樹令、地位指数、疎密度 平均樹高のような林分因子の形態が正常な成内直径と胸高直径との差異を調べるためには、考えられる色々な条件を持つ多数の林分について、満足のゆく平均値を得るに十分な本数について細り

を測る必要がある。各林分では充分正確な平均値が得られる最小限の本数をとるようにして、できるだけ多くの林分から標本をとることが望ましい。所要精度は、林分の平均形状商で、±1 単位の標準誤差と定められた。

前論文に発表しており、この研究で実証されたデータによればある林分内の形状商の標準偏差は平均して約 0.5 単位であることを示された、これによれば、±1 単位の所要精度が得られるには、20 本の測定が必要である。本数が 30 本に増せば、平均値の標準誤差は 1.0 から 0.82 単位に減じ、40 本に増しても 0.71 単位になるだけである。したがって、本数の増加による精度の向上は、その測定に要する時間に見合うものでなければならぬ。

最初は何令二次林の測定に重きがかけられたが、二次林は林令、疎密度のような因子の評価が一次林よりはるかに優れてゐる。しかし、その地方の主要な林相における形状の変化の範囲を研べる基礎を提供し、このような性格の林木の正常な胸高直径と実際の胸高直径との關係をはっきりさせるのと同じく、このような林相が一般に表れると思われる平均形状商を示すために、一次林についても、十分なデータが集められた。

2,000本の測定値を 北部 New England と New York に散在してゐる 74 林分で収集したが、その混交割合、林令、立地、疎密度はまちまちである。3種の対象樹種のいふれかが混交してゐる林分では、樹種別に 標本をとつた。不整形なものや極端なものを除き、総々の径級に標本がゆきわたる様にしたことを除いて、単木は各林分から無作為に選ばれた。さらに、Meyer が Northeast のトウヒ、モミの二次林の収獲量の研究で標本として測定した 119本のデータをこの研究に加えた。各樹種および、取育型別の 2189本の測定値が1表に示してある。

1表 資料数

成育型	Red spruce	White spruce	Balsam fir	計
同令林	664本	601本	347本	1,612本
一次林	345	---	232	577
計	1009	601	579	2189

標本の林令、地位、疎密度の範囲が74ヶの林分について樹種別に2,3表に示してある。

2表 令級別の標本林分の分布

令級 (年)	Red spruce	White spruce	Balsam fir	令級 (年)	Red spruce	White spruce	Balsam fir
10-19	1	1	---	100-109	1	---	1
20-29	1	3	2	110-119	---	---	---
30-39	1	9	4	120-129	---	---	---
40-49	8	9	6	130-139	1	---	1
50-59	3	3	1	同令林	31	28	17
60-69	6	3	1	一次林	17	0	11
70-79	5	1	1				
80-89	2	---	---				
90-99	2	---	---	計	48	28	28

3表 地位級別の標本林分の分布

地位指数	同令林			一次林	
	Red spruce	White spruce	Balsam fir	Red spruce	Balsam fir
30-34	1	---	---	1	---
35-39	3	---	1	2	2
40-44	5	2	5	2	2
45-49	9	7	2	2	1
50-54	8	9	2	6	5
55-59	1	6	4	2	1
60-64	3	4	3	2	---
65-69	1	---	---	---	---
計	31	28	17	17	11

注: これは優勢木の平均樹高とMeyer (8)の地位曲線によるred spruce以外の樹種の地位指数はred spruceの樹高成長からwhite spruceを74, balsam firを94の樹高を測ったもので表わされている。

4表 エーカー当り総本数による標本林分の分布

エーカー当り本数	同令林			一次林	
	Red spruce	White spruce	Balsam fir	Red spruce	Balsam fir
100	199	---	---	1	---
200	299	---	1	6	2
300	399	2	2	3	3
400	499	4	3	---	---
500	599	3	2	1	1
600	699	4	4	2	2
700	799	5	1	1	1
800	899	---	2	1	1
900	999	2	4	2	---
1000	1499	6	5	1	1
1500	1999	3	2	3	---
2000	2499	2	---	1	---
2500	2999	---	1	---	---
3000	3999	---	---	---	---
4000	4999	---	1	---	---
計		31	28	17	11

測定値 Measurements taken

測定が行なわれた林分別に、無作為抽出のストリップ又は矩形標準地で、各樹種について直径階別の本数を記憶した。林分の沿革、既況、下水、下層植生、土壌、傾斜、被害、地位等も記載した。

測定木毎に Christen式測高器を用いて、樹高の百分率で表わされる望遠高 (form point height) の推定をおこなった。樹冠級、梢頭の形、一偏平、円形、尖状-に1つに記載した。伐採が行なわれた林分では、伐倒と同時に、テープを用いて、樹高、樹冠の長さを測った。

一方伐採が行なわれていない林分では、樹高は Faust man式測高器で測り、樹高の百分率で表わされる樹冠の長さは、Christen測高器で測定した。樹高はフィート単位で測った。標木毎に伐根の年輪又は通例地上2.5フィートで測られる成長錐調査で、樹令を求めた。直径は 伐根 (伐採されたとき)、地上2.5フィート、胸高、樹高の

1/20, 1/10, 2/10, 3/10 の位置のように、測定可能の限り、胸高から梢端までの樹幹の 1/10 の位置毎に測った。伐採されなかった木については、胸高から上 樹高の 1/10 の位置以上の細りは測らなかった。測定は 直径テープと 1/10 インチまで読取した。直径を測った位置毎に手斧と物指又はスウェーデン式樹皮計で、樹皮厚を測った。

測定と同時にバルブ材の剥皮作業が進められていた多くの林分で皮内直径を 剥皮された樹幹から直接測った。このような場合は総て、皮付胸高直径が測られ、樹皮計の精度を吟味するため、剥皮前に、樹皮計をもつて樹皮厚を計った。

樹皮厚測定の精度 *Accuracy of bark-thickness measurements* 剥皮の際採れた *red spruce* 156本の測定値を解析した結果、スウェーデン式樹皮計では、この樹種の樹皮厚は 常に一次林では最小推定となるこじが示された。テープによる皮付測定値からスウェーデン式樹皮計による樹皮厚を引いて求めた推定皮内直径の標準誤差は ± 0.16 in, 平均誤差は $+0.07$ in であつた。直径の誤差は 83本が正、25本が負、48本では差がなかった。資料の直径範囲は 6 ~ 23 in である。

この方法を測った 33本の *balsam fir* では、スウェーデン式樹皮計の使用による一様な偏りは見られなかった。

樹皮厚を決める方法が手斧と物指によるものからスウェーデン式樹皮計に変わったのは、この研究の第一回の季節的調査後であり、最初の2年間のデータから得られた樹皮厚と根張りとの関係にはかなりの差が現られるので、又この樹皮厚測定方法の相対的着度を調べてみる必要があつた。

而 *Massachusetts* 州の一次林、二次林を含む各種の林分から採られた 162本の *red spruce* について測定を行なつた。

皮付直径は直径テープで測った。単木の樹皮厚を まはスウェーデン式樹皮計を用いて、出来るだけ正反対の側にある2處を測った。次に測定木の樹皮を手斧で刻目をつけ、スチール製物指で、0.05 in 単位で測りその平均値を求めた。

両側樹皮厚の相違差を測定値毎に計算した。これらの差を直径別にまとめ、平均した。

3244の全標本について 樹皮計では、手斧と物指による方法より平均して 0.077 in 大きい両側樹皮厚が得られた。この差は直径と共に大きくなる傾向があり、その相関係数は 0.456 ± 0.044 である。差の平均は $\alpha \cdot b \cdot c$ 13 in 以下では両側樹皮厚が 0.1 in を越えず、この研究の最初2年間のデータの樹皮厚と根張りの関係を確認した値が 1/3 にも達してはいない。したがつて、全般的にこのスツの方法間の違いに重点をおく必要はない。

しかし、樹皮計が手斧と物指による方法より大きい結果を与えるときは確かと思われる。樹皮計でも *red spruce* の樹皮厚が最小推定されることを前に示しているから、樹皮計は、実際の皮内直径のより正確な推定値を与えると考へてもよかつた。この観点から樹皮計が優れていることは、鋸尺又はテープの測定位置で直接比較でき、薄片となる危険が非常に少いことからも明らかである。これに反して、実際の樹皮厚の真の状態を求めることが目的であれば、直径の測定に関係なく、慎重に使用すれば手斧と物指による方法は望ましいものである。意外なときには、樹皮計の読みは実際の樹皮厚を判断するのに、現実的な意味のない突起部や不規則性によつて、強い影響をうける。誤りや異常性は總て同じ方向の読みに影響する傾向があり、樹皮計が材部に入りこまない注意を除いて、全然相殺されないから、抜いたを慎重にして このような危険を除くべきである。しかし、手斧と物指を用いれば 樹皮は 2-3 in の断面でとりだされ、刻目を入れる際、樹皮片をなくさないように適当に注意すれば、信頼のおける数値が得られる。

内業 *Office work*

予備的計算 *Preliminary calculations*

皮内直径と地上高とに対する細り曲線を、単木毎に描いた。根張りの並カーブが胸高以上に達しているときには、樹幹中央部の正常な

凸曲線を胸高までそのまま延長し、これから その木の正常な直径を読みとった。1/2 樹高の位置の測定値にはきりした誤差があるが、その上下の線の間、はかれていますときには、他の葉を通つて引いた平滑な曲線から、新しい値を読みとって修正した。この間、胸高における根張の量、正常形状商、単木の細り率を算出した。

各地区又は林分毎に、平均林令、形状商、葉高、優勢木および準優勢木の平均樹高が、その林分で測定した木から計算した。

林分毎に、エーカー当り本数、直径3cm 以上の本数、樹種混交割合を *strip* 調査又は標本プロット調査野帳から計算した。

場所別の幹曲線と根張りの吟味. *Check on form curves and butt swell allowance by localities*

材積表の誤差を解析し、根張りのグラフによる除去を吟味し、性格の異なる林分の平均幹曲線の差についてさらに詳しい知識を得るために、公式 $y = \frac{x}{a+bx}$ を各地区の資料にあてはめる研究を行なった。ここへ y は胸頭から x の距離にある位置の直径と正常な胸高直径との比であり、距離は胸高以上の樹高の百分率を表現されている。この公式を $\frac{y}{x} = a+bx$ の形に変形すれば直線方程式になる。

このような目的で樹種別にある地区の全林木の細り率を平均し、平均の細りを求めるために x/y の値を計算した。この値を x に対してプロットすれば、直線となることが判った。

根張りの除去は、平均木の胸高が線内にあることを示されるように、一般に満足のものがあり、結果が正確でないいくつかの平均の場合に、単木のグラフを修正するのに適切な理論は分らない。形状商が非常に低い林分では根張りは過大推定される傾向があるとと思われる。

red spruce の同分林の幹曲線のおてはめは、一般にうまくいったが、上部の断面では、公式へ与えられる値を下廻る傾向があった。同じ曲線を *red spruce* の一次林に適用したが、梢頭での減少は、より一般的なもので、もつとはつきしていた。

balsam fir の同分林に対するおてはめは、梢頭部が公式の値を下廻つてゐる沼沢地を除いて、一般に極めて良好であった。

Balsam fir の老分林では、幹曲線は公式とは規則的に違つており、直径は中央葉以下では相対的に大きくなり、中央葉以上では小さいので、その結果 x/y をプロットすると J 字型曲線になる。中央葉以下の固大材積は上記の欠葉をつぐから、材積におよぼす影響は、おてはまりの良い *red spruce* の

balsam fir の同分林の場合ほど重要ではない。

全体的に、*white spruce* では、公式のおてはまりが他の2樹種のいずれよりも良かった。この樹種では、微少な変動が多少なりと各林分の特性とはつきり関係してゐるようみえる。本数密度が一様の場合には、一次林のおてはまりは、非常に良い。極めて不規則な林分では、梢頭の直径は、公式の値に達してゐらず、一次林でない正常番積の天然生二次林では、梢頭直径は、幼令級を除いて、公式より幾分大となつてゐる。

各地方の平均細り系列は x^2 をプロットし、曲線の下にある面積をプランキメーターで測つて、これに対応する絶対形数を求めた。このようにして求めた実際の絶対形数とその地方の平均形状商に相当する公式から求めた絶対形数の差を材積で表わした公式からの変動の範囲を評価するのに用いた。

筆者の前論文 (ス P 716) の表に関連して、概略説明した方法で、差の有意性を計算して、標本内の多数の林木について計算した5単位の形級範囲内にある上部直径の正常な変化から求めた材積の確率誤差を越える誤差は、いふれも有意とした。

一般に、おてはまりは良好で、有意な材積誤差は2.5の場合に5%を越えるだけであつた。この結果をとりまとめたものが、5表に示してある。

5表、公式 $t = \frac{x}{a+bx}$ を測つた場、いかにいかな程度の有意な材積誤差を示す標本林分数

有意な材積誤差 %	同 令 林			一 次 林		全体
	red spruce	white spruce	Balsam fir	Red spruce	Balsam fir	
0	個 16	個 12	個 7	個 3	個 3	個 41
0.1 ~ 1.0	4	13	8	5	7	37
1.1 ~ 2.0	10	2	1	7	1	21
2.1 ~ 3.0	0	0	1	2	0	3
3.1 ~ 4.0	1	1	0	0	0	2
計	31	28	17	17	11	104

注、5連位の形積範囲内にある上部直径の正常変化から求めた標準誤差を越える誤差

重相関を求めするためのコーディングと機械による作表

Coding and machine tabulation for multiple correlation studies

パンチカードと Hollerith 自動計算機による分類と作表を容易にするため、重相関の計算に用いるデータは総てコード化した。樹種、世帯、林相、樹冠級には、これらの因子を分類するため、適当な番号をつけ、その他の変量の値は 10 ~ 30 のコード番号の中に入るように 組分けした。

red spruce の 50 年生の優勢木と準優勢木の平均樹高を Meyer の方法 (8) に準じて、各林分の地位分類の基準として用いた。red spruce の成立してない林分は white spruce の樹高からつくり、balsam fir は 9/10 を減じて、red spruce の基準に直した。なおこの因子もこれらの樹種の収穫量に関する研究に関連して、Meyer が決めたものである。コーディングのため、地位指数を 2 feet 単位の級に分けた。

優勢木と準優勢木の平均樹高は 3 feet 単位の級に分けた。エーカー当りの本数は 100 本単位、平均林令は、5年単位でコードした。各林分の形状高の標準偏差は 0.2 単位の級に分けた。

樹高の百分率で表わした単木の樹冠長は 10% 単位でコードした。形状高は 3 単位で組分けし、梢頭からの距離を樹高の百分率で計算し、望高率は、5 単位でまとめた。樹高は 5 フィート、胸高直径は 2 in 級にまとめた。両側樹皮厚、根張りおよび、この両因子の和は、そのまま 1/10 in 単位でコードした。

パンチカード式作表機のデータをを用いて重相係数を求める Smith 注の方法を、全面的に取り入れた。この作業では、樹種を分け、一次林と二次林とを別にした。

総てのカードに記載されている総てのデータのリストも、カードパンチの際誤りを吟味するのに用いられる機械にかけられた。

- 正規方程式を求める Smith の方法は次のとおりである。
1. 全観測値の和と観測数から 変量毎に平均値を求める。
 2. 第 1 の変量についてカードを分類し、各級の観測数と共に、この分類に従つて総ての変量の和を表にする。
 3. 各変量の和に、分類した変量 sorted variable のクラス値 class value を乗じ、この積を加え上げる。
- これにより、任意の乗算 $\Sigma A^2, \Sigma AB, \Sigma AC$ 等の因子が得られる。
4. 第 2 の変量についてカードを分類し、第 1 の分類と同じ方法で因子 $\Sigma AB, \Sigma B^2, \Sigma BC$ 等が求められる。
 5. 残りの全変量について、この方法を繰返す。

注 Smith, B.B. the use of punched card tabulating equipment in multiple correlation problems. U.S. Dept. Agr. 24 pp 1923 (謄写印刷)

6 上記の分類毎に 分類した変量の和に 他の全変量の平均を乗ずる。これは $\Sigma X_0 Y_0$ の形の積を与えらるが、 $X_0 = \frac{\Sigma X_0}{N}$ であ

るから $N(x_0 y_0)$ と同じである。この記号は、添字の平均を表わしている。

7. Σ を求められた積を 3, 4, 5 を求めた対応する積和から引く。これは 乘算として置いた各変量の平均値に対する積和を与え、これが、重回帰式を解くのに必要な係数である。

Smith の示した方法は、ある変量のどのよつな観測値にも、考察している他の総ての観測値が対応しているという仮定に立っている。この研究のデータを適合せる場合、変量の中には観測値の使えない場合が多くある。このために、これらの変量に含まれる因子の係数の計算を修正することが必要になつてきた。

不完全なデータをもつ変量に対する計算の補正

Adjustment of Calculation for variables with incomplete data

一般的記号を用いれば、 X = この研究に用いられる N 個の観測値のあるやその他の変量より観測数の少ない (N') 変量で、上記の 3, 4, 5 の段階は不足変量 X を含む場合には、 N' 個の積からなる ΣXy を与えるであろう。

変量 X について前記の 6 段では、まずこの変量の真の平均を決める。これは $\frac{Xの和}{N}$ となるであろう。 X によって分類の行なわれた様式による表から、観測値のうちで実際に X の観測値と対になっている他の変量の和を求める。この和に変量 X の実際の平均を乗ずれば $N(x_0 y_0)$ なる形の因子が得られる。これを 3, 4, 5 段階で求められた積和 Σy から引く。

係数が N 個の観測値に基づいている他の変量との重相関に、 N' 個の観測値に基づいて求められた係数を用いるには、係数の大きさは観測数に比例すると仮定する必要がある。

したがつて変量 X を含む総ての因子の係数は $\frac{N}{N'}$ なる率で増加する。この仮定は N' が N より異なるかに小さくない限り、それ程危険とは思われない。

1つ以上の変量が不完全であれば、不足変量との対の積に対する係数を計算する時には、適當な数を用いるのに特に注意を払う

べきである。2つの不足変量を實際に對にした場合の正しい数を定め、このような場合の変量と関連させて、変量の真の平均を求め、さらに N 個の観測値に基づくものとして係数に最終的補正をほどこすために、これを用うべきである。

この研究では、樹冠長や全樹幹による形状商の場合に、この補正が行なわれたが、後者は最後の解析には用いられなかったため、これは樹冠長を因子とする関係に影響するだけである。

立木の平均的形状に関する因子

Factors of average form of standing timber
形状商の変動性 Variability of form quotient

約士 45 単位の標準偏差が 林分内の形状商の変動性の平均的な表現として、一般に引用されるであろうという、前論文 (2) の結論が、この研究で立証された。測定が行なわれた林分間で見られる変動の範囲は、どの林分でも僅か 20 本に及ぶ数値から得られたものである。極めて大きかつた。(6 表)

6 表 林分における形状商の変動

林相および樹種	林分	林分内の形状商の標準偏差の平均	全範囲	全林分の立木の形状商の標準偏差
同令林	個			
red spruce	31	4.71	3.0 - 6.7	2.52
white spruce	28	4.24	2.8 - 6.6	2.57
balsam fir	17	3.92	2.3 - 6.0	5.59
一次林				
red spruce	16	4.58	3.2 - 6.6	5.22
balsam fir		4.80	3.2 - 6.4	5.53

林分における形状商の変動性は、簡単に評価できる因子と極めて複雑な関係があるようには思えない。変動性はエーカー当りの本数が増し、老令になるにつれて減少する傾向がある。変動性は平

均形状商の高い林分では低い林分より低いのが普通である。
red spruce および *balsam fir* の同令林分は、エーカー当りの本数は、形状商の変動性に年令、地位、平均樹高に比べて大きな影響をおよぼしているが、*white spruce* では、林令が最も重要な因子である。

望点法による平均形状の決定

Determination of average form by form point method

形級材積表方式を適用するに当つて、スウェーデンでは、望点法が各林分の平均形状商を推定するのに望点法が用いられて来た。望点法については *Jonson* (7) が詳しく説明しているが、*Wright* (9) *Behre* (2) もこれに触れている。彼の前論文 (2) で著者は 西部産 *yellow pine* - 今では *ponderosa pine* として知られている - に望点との関係を応用することについて詳しく研究をおこなつた。*Meyer* は *red spruce*, *white spruce*, *balsam fir* の予備的関数を、これらの樹種の収穫表調製と関連して作った。*Wright* (9) は *white spruce*, *black spruce*, *balsam fir* について直線的望点関係、*rectilinear form-point relation* を与えたが、いずれの場合についても、これは僅か一地区のデータに基づくもので曲線性を考慮していないので、一般的な意味をもつとはいえない。望点と形状商の関係は樹種によって異なることが分つたので、この研究では、5組のデータのおのおのについて個別の関係を求めた。

以前の研究では、多少曲線性があったにしても直線的関係が用いられていたが、現在では、曲線性は、ほとんどの樹種に存在し、普通推定精度にかなりの影響をおよぼすばかりでなく、一定の成長条件と関係があるから、これを考慮すべきである。望点と形状商との関係は一般に、望点が梢頭近くにある程、形状商が大きくなるというものである。しかし多数の木の前平均値をプロットすれば

形状商がそれに伴つて大きくなつたとしても、望点が樹高の25%以上梢頭に近づくことは、極く稀であることが分るのである。事実、特に *white spruce* では、極端に梢頭に近い望点が相対的に低い形状商としばしば関係のあることが発見されるであろう。現地では一般に定義されているように、望点が梢頭の15%以内にある木は、枝張り強く制約された狭長な樹冠をもつ細長い中間木であることが観られるであろう。これらの木は隣接の木の前冠に圧迫されており、風にさらされる樹冠面は樹冠の正側に発達している木に比べ、さらに樹幹を占むその総面積に比して、これが形状商を決める時の有力因子とならない程小さい。極端に望点が高いにもかかわらず、相対的に小さな形状商とこれらの木の狭長な樹冠とを結びつけるべきであるといふことは、形状商は樹冠長と巾から正確に推定できることを示した。

Sevarkiantz と *Hosley* (4) の発見と一致している。望点との関係は1、2図に示してあり、この曲線による推定値の精度が下表に示してある。

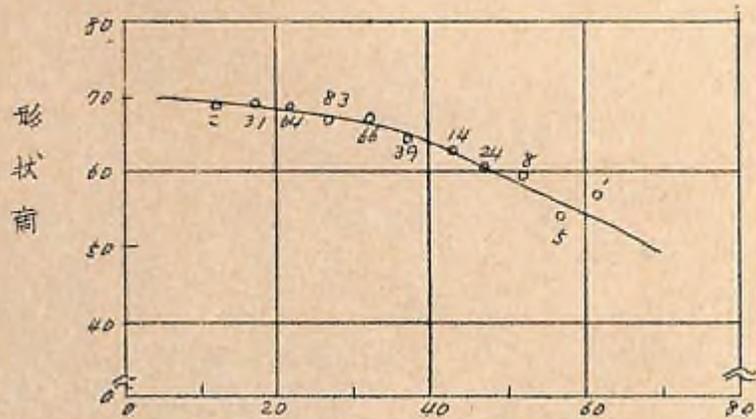
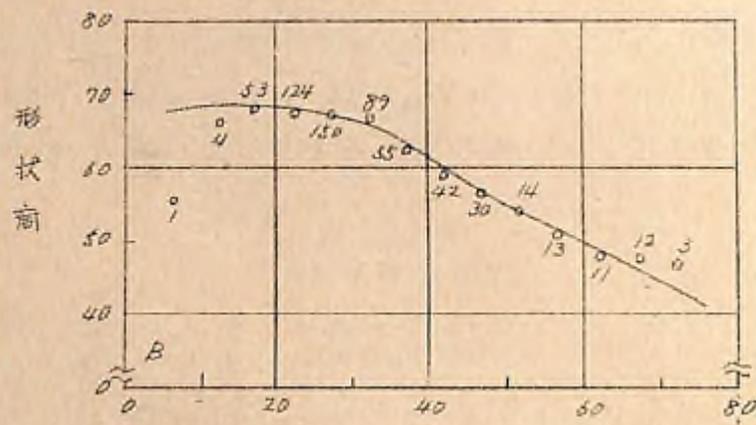
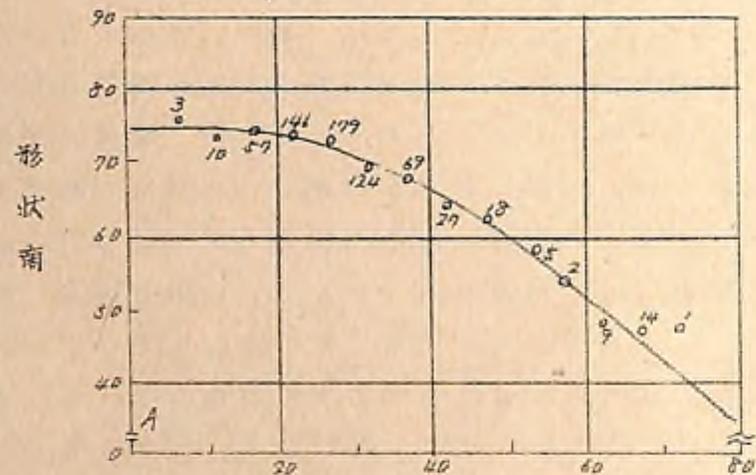
7表 望点による形状商の推定精度

林相と樹種	形状商の偏差	望点曲線による単木の形状商の推定精度			20本の木の望点の測定による林分の平均形状商の推定値の標準誤差	±1単位を越えない平均形状商の標準誤差を得るに必要な本数
		標準偏差	離反指数	確定指数		
同令林						
<i>red spruce</i>	2.52	5.00	0.66	0.56	1.54	48
<i>white spruce</i>	2.57	5.04	0.67	0.55	1.47	44
<i>balsam fir</i>	5.39	4.28	0.77	0.38	1.33	34
一次林						
<i>red spruce</i>	5.22	4.02	0.70	0.19	1.47	44
<i>balsam fir</i>	5.63	4.52	0.80	0.36	1.47	44

注1 $SD_{ax_1} = \sqrt{\frac{SD_{ax}^2 + SD_{dx}^2}{N}}$ なる公式に基づく
 ここで ax_1 = 観測された偏差の平均
 x = 真の偏差 (6表3列の SD_x)
 d = 観測値の誤差 (上表3列の SD_d)
 N = 観測数

1 図 杉材高と望実との関係

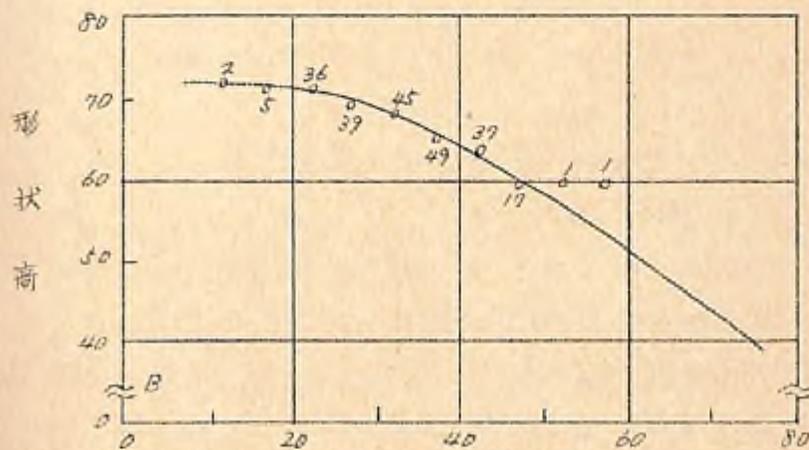
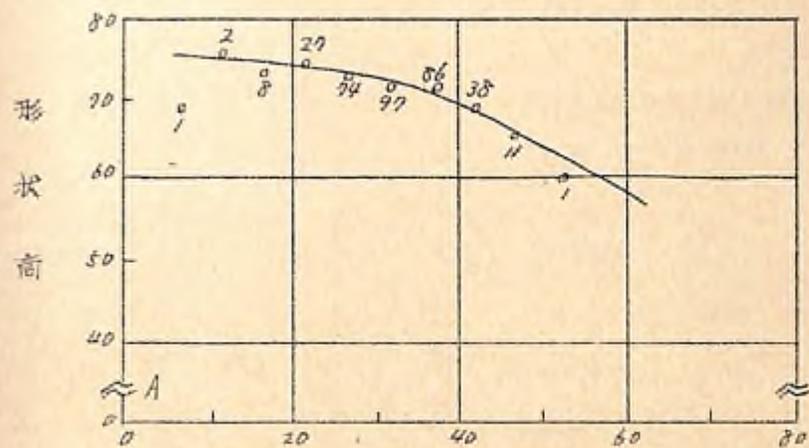
A: red spruce B. white spruce C. balsam fir



望実 - 樹高の百分率で表わした梢頭からの距離

2 図 一次林の形状高と望実との関係

A. red spruce B. balsam fir



望実 - 樹高の百分率で表わした梢頭からの距離

注 5 推定値の標準誤差は従属変数の実測値と曲線、回帰方程式、共変図表から推定した。これに対応する値との差の標準偏差である。これは平均的関係の周りの変動を絶対値で測るものとする。

注 6 この研究では、離反指数は相関関係の簡単な測度として用いられている。離反指数は任意の独立変量の組から推定した従属変数の標準誤差と従属変数の変動との比すなわち $AI = \frac{SE_{y,abc}}{SD_y}$

関係が1次の時には、離反指数の代りに、離反係数なる術語が用いられる。離反指数は関係の程度を表わす抽象的な測度である。その主な長所は、その中に含まれてい

と思われる関係図からある因子を推定する場合の改良の程度を直接百分率で示すことである。ある問題に含まれている独立変量と結び付けた従属変量の変動の割合を測るには、決定指数の方が優れていると思われる。決定指数は相関指数の平方で離反指数と $CI^2 + AI^2 = 1$ なる関係がある。この論文では読者がいづれの測度の使用に慣れているかということとはさまで、説明の便宜上、どの表にも離反指数と共に決定指数が示してある。

ク表から望実との関係から指定した単木の形状商の標準誤差は注5の5組のデータでは1単位以下である。けれど、元の形状商の変動性にかはりの差があるので、離反指数注6には大きな差がある。望実を用いれば、個々の形状商の推定値の変動性は *red spruce* と *white spruce* の同令林の場合には約1/3減少するが、一令林では、形状商の推定値の標準誤差の減少は、1/10より大きくなるなかつた。これに反して、老令 *red spruce* の単一林分の変動性は約4.6単位となろう。老令 *red spruce* の全データの総変動は5.22単位にすぎず、この値は4.6単位に近く、久52単位の総変動を示す同令林分と比べて、測定された各林分の平均の形状には大きな差違のないことを示している。

これらの樹種では、ponderosa pine (2) の場合と同じく平均形状商の標準誤差を±1単位以下にするには、ほぼ45本の木について望実を測る必要がある。

林分および単木の因子による平均形状の決定

Determination of average form from stand and tree factors

この研究の主目的の一つは、統計的手段を用いて、形状商が林分又は林木のある特性と密接な関係があるかどうか、すなわち、この関係を、一般に資源調査又は標準地調査で得られる測定値から導かれるかということを見出すことであつた。

この研究により、現場で特別に注意を払う必要があり、はつき

り分つていても正確に決定することのできない望実のような新しい概念を導入する必要が除かれるであらう。

この目的のために数値的に評価できる林分の特性は、地位指数平均樹高、エーカー当り本数、および林分である。優勢木と連優勢木の平均樹高、直径3in以上の木の本数、がそれぞれ樹高と疎密度を表わす最良の測定値として選んだ。

形状を研究する場合、エーカー当り断面積は疎密度の指標としての価値が低い。というのは、与えられた林分で、断面積が殆んど変化しなくても、疎密度と平均形状はかなり大きく変り得るからである。平均径級の増加はエーカー当り本数の減少を伴うから、断面積はそのままの状態を保つ傾向がある。直径3in以上の本数は形状の研究にとって、エーカー当りの総本数より優れていることが統計的検定で見出された。それは幼令林では将来の林分の成長に環突的な影響をおよぼさない、かなり多数の小径木が除去されるからである。

形状商に影響されるとみられる測定可能な特性は、直径、樹高、樹冠長、樹冠巾、樹冠傾である。この研究の計画を樹てるに当つて樹冠巾は現地での測定が不可能であると考へた。それは、樹冠の輪郭は不規則で、隣接木の樹冠と交錯し、測定員に近づくことを見ることができない。したがつて、この因子についてのデータがとれないからである。樹冠と枝下高 *dead length* とに関連させて樹冠巾の測定が有用なことを示している Gevarkiang & Hasley (4) による北方系 *white pine* についてのその後の研究の見解によりこの測定を省いたことが後述された。

単木因子の分析 *Analysis of tree factors*

数値として表わされる測定因子が形状商とどの程度関係があるか、又、これらのうちどの因子が、道木間の形状商の変動に有意な影響をおよぼすかを決める手段として、林分および単木の特性のいろいろな組合せを含む相関の計算を用いた。能率の変種を含

重回帰方程式と各因子の相対的重みに関する予備的概念から、胸高直径、樹高、樹冠長、地位が最も重要な因子であることが分った。

形状商と上述の4因子を含む重相関を、同令林について計算し、Bruce と Reineke (3) の方法を曲線性を修正した、離反指数と決定指数が表に示してある。これは単木の形状商を推定する際に到達できる 実際の最高精度を表わしている。これは、胸高直径、樹高、樹冠長、地位が一括になって、同令 red spruce 林の個々の形状商の変動の 64%、white spruce では 66%、同令 balsam fir では 42% を説明できることを意味している。形状商の全変動の 1/3 以上は、明らかに他の因子と関係しているが、これは簡単には数値的に評価できない。

表 個々の因子による形状商の推定精度

林相と樹種	形状商と相関のある因子							
	胸高直径 樹高、樹冠率、地位指数		樹冠率		直径及樹高		直径、樹高、樹冠率	
	離反指数 注1	決定指数 注2	離反指数	決定指数	離反指数	決定指数	離反指数	決定指数
同令林								
red spruce	0.60	0.64	0.69	0.53	0.73	0.46	0.64	0.59
white spruce	0.58	0.66	0.52	0.61	0.64	0.59	0.58	0.66
Balsam fir	0.76	0.42	0.81	0.35	0.81	0.34	0.76	0.42
一次林								
Red spruce	---	---	0.88	0.23	0.90	0.20	0.80	0.36
Balsam fir	---	---	0.75	0.44	0.88	0.23	0.75	0.44

注1 $\sqrt{1-CI^2}$

注2 CI^2

いくつかの重相関関係における回帰係数注8 および真の回帰曲線を調べた結果、直径と樹高は他の因子に比べて、華々上、大きな重みをもつてはいるが、逆の符号をもつため相殺される傾向がある。この相殺は、直径と樹高とに密接な関係があるため、特に重要な

ある。

注7. 線型関数は最小二乗法で、データにあてはめられた。重回帰方程式は個々の関係に曲線性があっても、これを無視して、いくつかの独立変数で、従属変数の関数を表わしたものである。その一般式は $y = a_1x_1 + b_1x_2 + c_1x_3 + \dots + N$

注8. $y = a_1x_1 + b_1x_2 + c_1x_3 + \dots + N$ なる形の回帰方程式で、常数 a, b, c 等は各変数の回帰係数である。各変数の相対的重みは、各変数の絶対値に相違させて、これらの係数の大きさの大きさを示してある。回帰方程式の y の値は、明らかに絶対値がほぼ同じでも、回帰係数の小さいものより大きい変数により強い影響を受けるであろう。これに反して、絶対値の大きな変数に対する小さな回帰係数は、高い絶対値とは決してなろうない変数に対する大きな回帰係数より大きな重みをもつであろう。しかし相対的重みの大略の概念が、回帰係数と絶対値から得られるだけである。というのは線型方程式は曲線的関係のある他の因子の影響を悪くゆがめようである。

注9. 重相関における任意の独立変数の真の回帰は、他の独立変数とその平均値で固定した時のその変数と従属変数との関係である。真の回帰曲線は、各変数の真の元回帰線の周りに、重回帰式からの従属変数の推定値の残差をプロットすれば求められるであろう。傾斜、曲率、真の回帰曲線の y は x の程度は変数の相対的重みについて、なんらかの指標となり、回帰係数の研究を補足するのに用いることができよう。

形状商と樹高の真の回帰からの偏差を調べてみると、形状商は 40フィートまでは樹高と共に急速に増加するが、その後は、white spruce の場合を除いてその増加は緩慢である。

直径級別に分類したデータは、形状商が同令林では約 7 インの直径で、一次林では 8 ~ 9 インで最大になることを示している。同令林のデータでは、最大値からはなれるに従って傾斜は急となり、直径が 1 イン 変る毎に 1 ~ 2.2 単位の形状商の減少を示している。一次林ではこの減少はより緩やかである。他の変数との重回帰における形状商と直径との真の回帰からの偏差をプロット

すれば、同様な傾向がみられる。

形状商と直径間にはっきりした相関のあることは、さらによくわしく考察してみると値がある。その理由は、前の研究(2)で、林分内の直径と形状商の相関は、平均形状商を林分全体に対して用いてもさしつかえない程小さいことが示されたからである。

この点をさらに詳しく研究するには、林分内の平均形状商からの偏差と平均直径からの偏差を関係付けることが、分量の全資料について形状商と胸高直径との関係を考察するよりもむしろ必要である。各林分で測定された樹木は、林分の重み付き平均を求めるためというよりは、むしろ、出現す径級、樹冠級の全範囲を含むように、任意で選ばれているから、各林分の標本に偶々含まれた木の平均値よりむしろ、この計算の基準としては、近似的な中央値を用いる方が便利であると考えた。利用するデータから製作着に送んだ5〜10個の林分からなる集成標本を樹種別に用いた。いずれの場合にも有意ではあるが、小さな木の相関が得られた。この結果は7表に要約してある。決定係数から判断すると、個々の形状商の変動の僅か4〜19%が各林分の中央値に相当する木の径級と関係があるに過ぎないが、林分内の最小径の木の平均形状商と最大径の木のそれとの間には一般に6〜15単位の隔りがあるように思われる。Wrightが観測した差は、横の計算では、胸高における概略が大径木の形状商を異常に小さくするという事と誇張されてはいるが、これは彼の発見(9)と一致している。

同様に、各林分の平均形状商からの偏差を、樹冠級毎に平均すれば、優勢木では、準優勢木、介在木より形状商が低くなるという一定の傾向がみられる。被在木も平均して介在木より低いが、一般に優勢木程低くはない。この傾向は、一次林、二次林のいずれでも優勢木と準優勢木又は介在木間の形状商に2〜3単位の隔りがある *red spruce* で最も良く示されている。*white-spruce* では有意ではなかった。この場合、形状商の隔りは僅か

1単位であつた。

個々の林分に無関係に樹冠級をデータを分類すれば、この傾向はもっとはっきりし、優勢木は平均して介在木より形状商が3〜5単位低く、準優勢木は一般に、これらの中間にある。しかし、樹冠級を考慮したため形状商の変動が5%以上減るといふ場合はなかつた。

林分内の形状商の変動は単木の樹冠長の相違とも関係がある。林分内の形状商の中央値からの偏差が樹冠長の中央値からの偏差と相関のある場合、樹冠の相対的長さが長くなる程形状商の小さくなることを見出された。(10表)

red spruce, white spruce では最も短い樹冠をもつ木は同じ林分で最も長い樹冠をもつ木に比べて、形状商は平均して7〜8単位高いであろう。

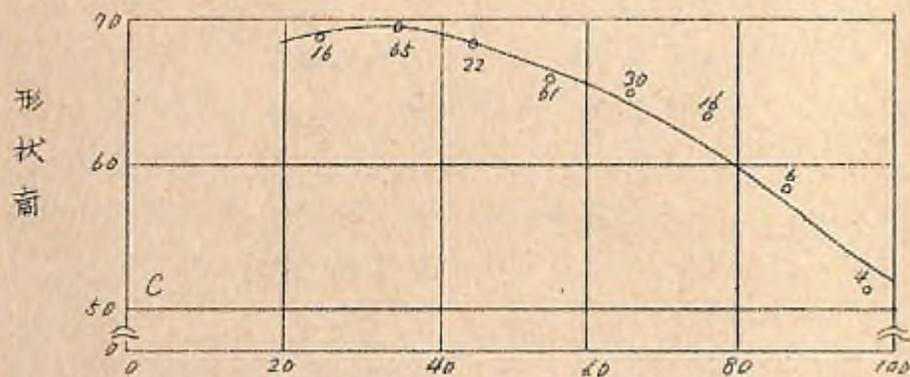
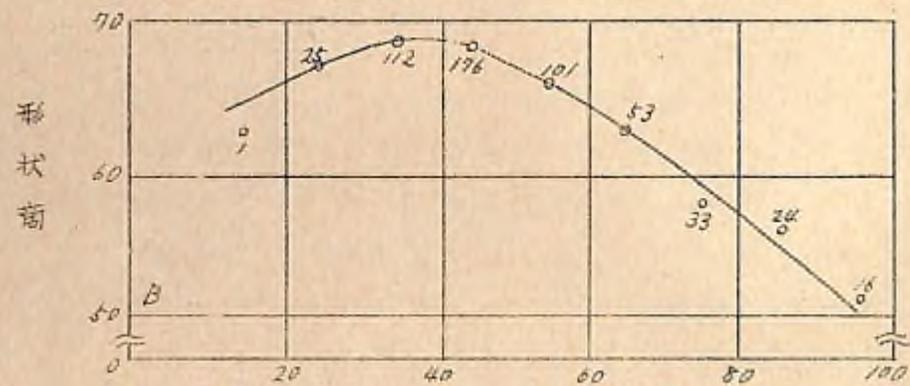
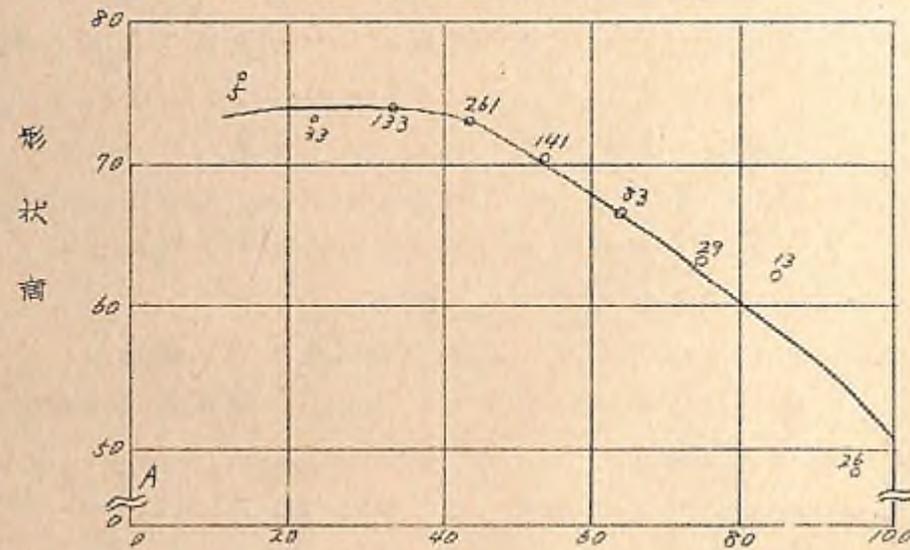
balsam fir の同令林では、この関係は有意ではないが、一次林では、他のどの樹種よりもこの傾向ははっきりしている。これは7表と結びつけて考えてみると面白い。この表では *balsam fir* の一次林は直径の関係が最良であつた。

樹冠率は、各樹種の全データを一括して場合に僅かながら、形状商との強い相関を示す唯一の因子である。事実関数が曲線となつている時には(3, 4図)直径と樹高から形状商を推定する場合より幾分良い結果となり、(8表)望負を用いて推定したものと、ほぼ同じ結果が得られた。

Wright(9)と Hededy(5)も又樹冠の相対的長さが、望負と同じく形状商を推定するための基礎として充分なものであると結論した。形状商は一般に樹高の約40%の樹冠長をもつ木で最大となる。樹冠がこれより長くなると形状商は、はっきりと一林に減少し、望負が極端に高い木の場合と同じく、樹冠長が樹高の30〜40%以下になると形状商は平均して、最大より低くなる。

オ3図 同令林における単木形状高と樹冠長との関係

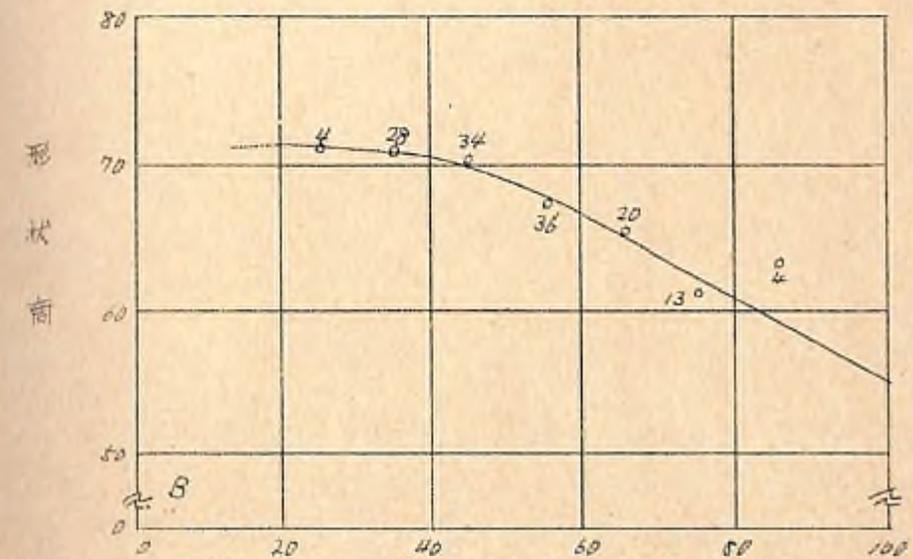
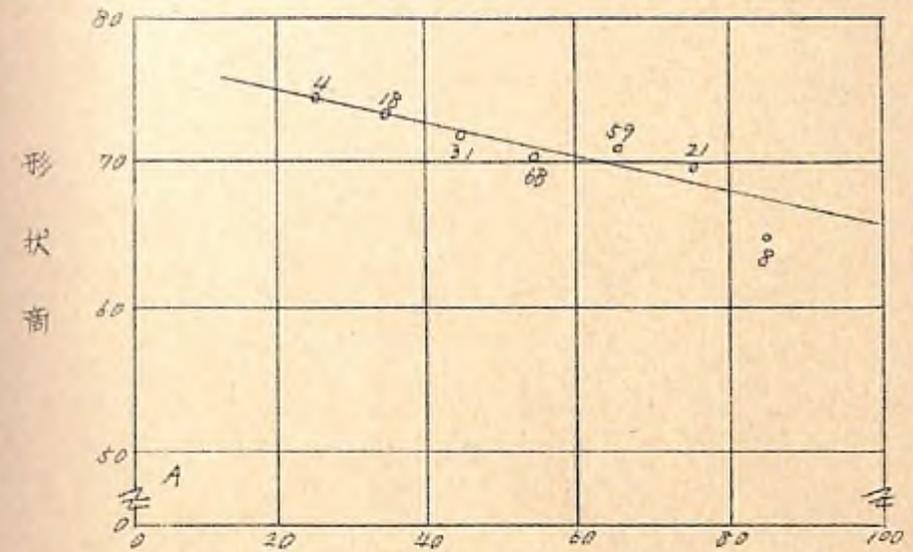
A: red spruce B: white spruce C: balsam fir



樹高の百分率で表わした樹冠長

オ4図 一次林における単木形状高と樹冠長との関係

A: red spruce B: balsam fir



樹高の百分率で表わした樹冠長

9表 林分内の形状商と直径の相関

林相および樹種	相関係数	相関係数の標準誤差	決定係数	離反係数	回帰係数	直径級による平均形状商の近似範囲	資料	
							林分	単木
同令林							個	本
red spruce	-0.439	± 0.057	0.193	0.398	-1.131	15	10	200
white spruce	-0.377	± 0.061	0.142	0.926	-0.825	9	10	201
Balsam fir	-0.415	± 0.083	0.192	0.910	-1.124	6	5	100
一次林								
Red spruce	-0.420	± 0.082	0.176	0.908	-0.668	12	5	100
Balsam fir	-0.206	± 0.081	0.042	0.979	-0.668	6	6	139

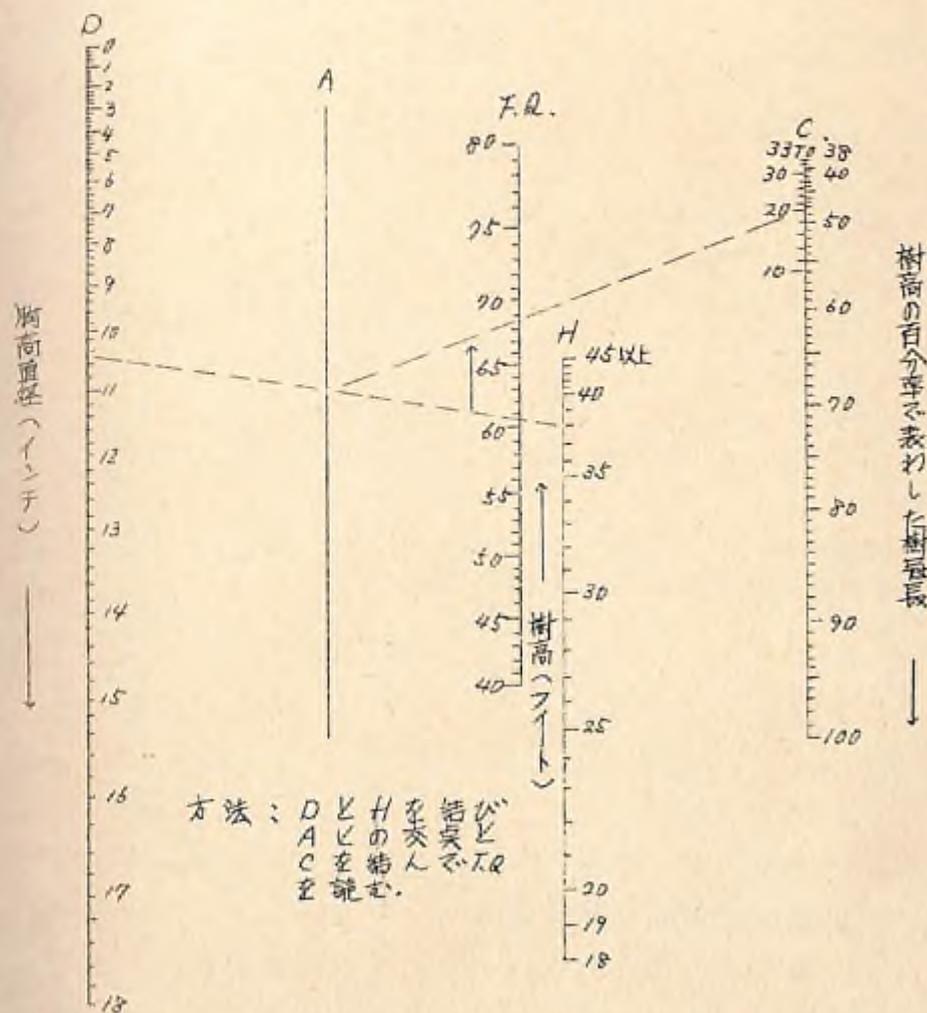
10表 林分内の形状商と樹冠率の相関

林相および樹種	相関係数	相関係数の標準誤差	決定係数	離反係数	回帰係数	樹冠率級による平均形状商の近似範囲	資料	
							林分	単木
同令林						形状商の単位	個	本
red spruce	-0.367	± 0.061	0.135	0.930	-0.161	2.5	10	200
white spruce	-0.375	± 0.061	0.141	0.927	-0.166	8.0	10	201
Balsam fir	-0.110	± 0.079	0.012	0.994	-0.245	1.5	5	100
一次林								
red spruce	-0.302	± 0.070	0.091	0.953	-0.134	7	5	102
Balsam fir	-0.450	± 0.068	0.203	0.893	-0.147	6	6	139

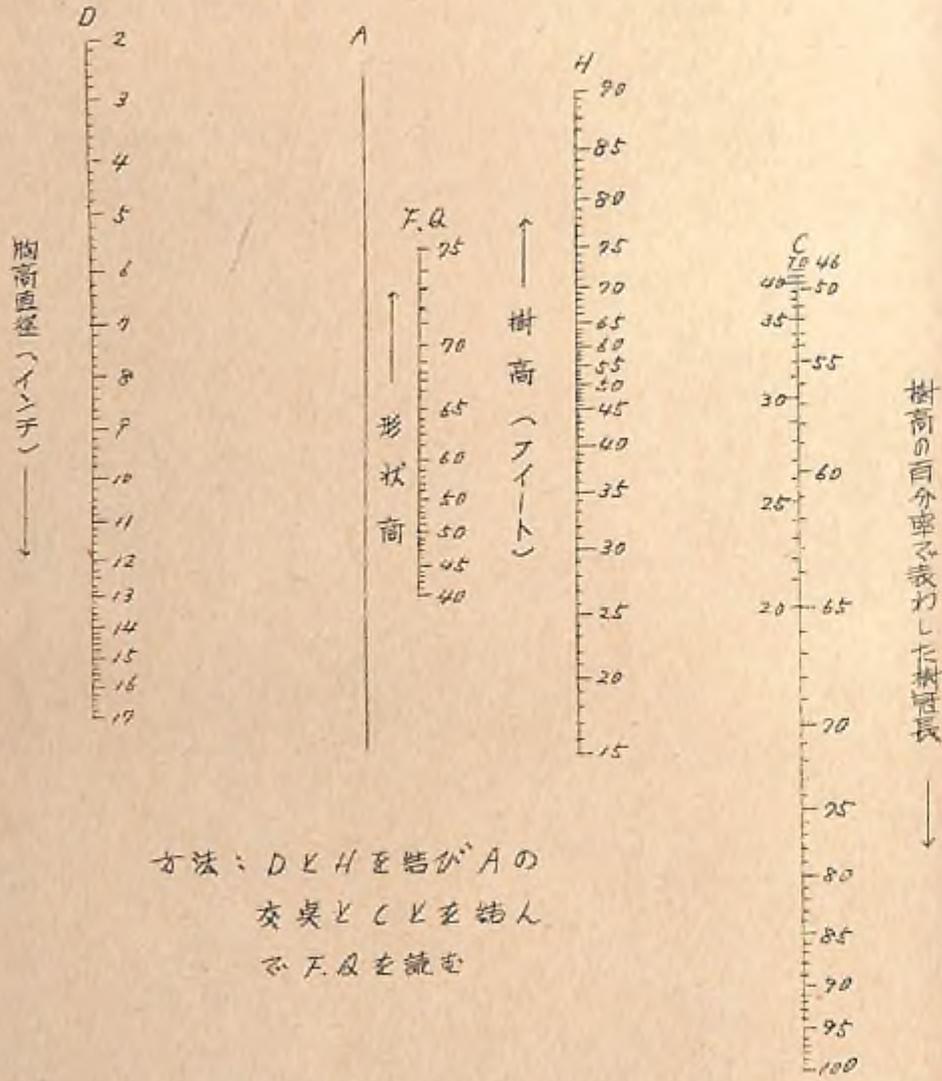
直径、樹高、樹冠率による推定値から、white spruce と balsam fir については、4つの因子を用いた時と同様な良い結果が得られ、red spruce についてはその精度の4%以内であることが分かった。(8表) したがって4番目の因子即ち地位指数は、直径、樹高、樹冠率による関係に含まれる以上の影響を形状商におよぼさなから、落してもよいであろう。地位指数のどのような影響も低地位の木は、高い地位の木よりも平均して大きな形状商をもつていゝることに原因があるように思われる。このような関係のあることは、特に red spruce の同令林の

場合には、直径、樹高、地位指数による形状商の推定値は直径、樹高、樹冠率によるものと殆んど同様に満足のものであるといふ事実を説明されるが、どの要素がより根本的なものであるかをはつきり示すため、いろいろな因子間の内部関係を分析できるとは思えない。

5図 red spruce の同令林の形状商を単木の樹高直径、樹高、樹冠率から推定するための矢線図表



6図 white spruce の同令林の形状商を単木の直径、樹高、樹冠長から推定するための共線図表

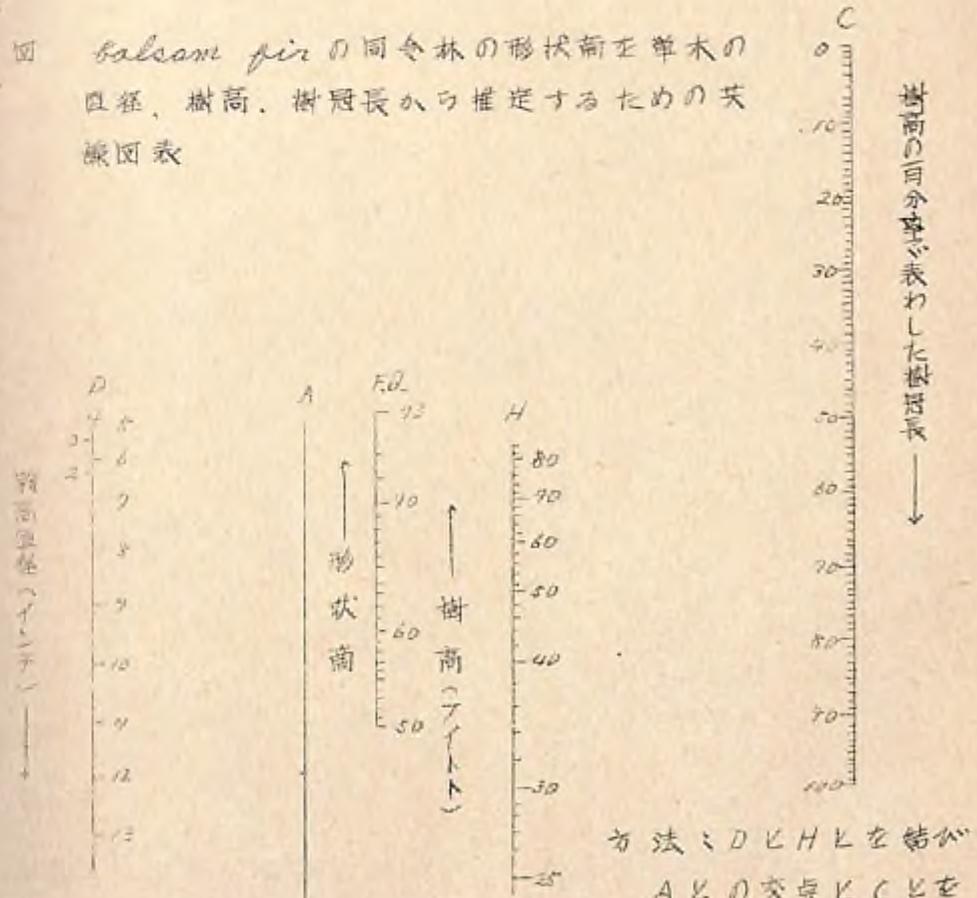


直径、樹高、樹冠率から形状商を推定する共線図表が5〜9図に、この図による推定値の正確さを示すデータが11表に示してある。この結果は望遠法(7表)又は樹冠率だけから(8表)得られたものより幾分良いが、±1単位を越えない標準誤差をもつ平均林分形状商を得るには約40本の測定値が必要である。

この観測結果を括めると単木の形状商の変動は他の単独因子のいすれよりも樹冠長と密接な関係があり、これからの望遠法と全く同じ推定値が得られるであろう。樹冠率と共に直径と樹高を考慮すれば、より正確な形状商の推定値が得られ、その結果は、直径、樹高地位指数を用いて得られる精度とほぼ同じになるであろう。

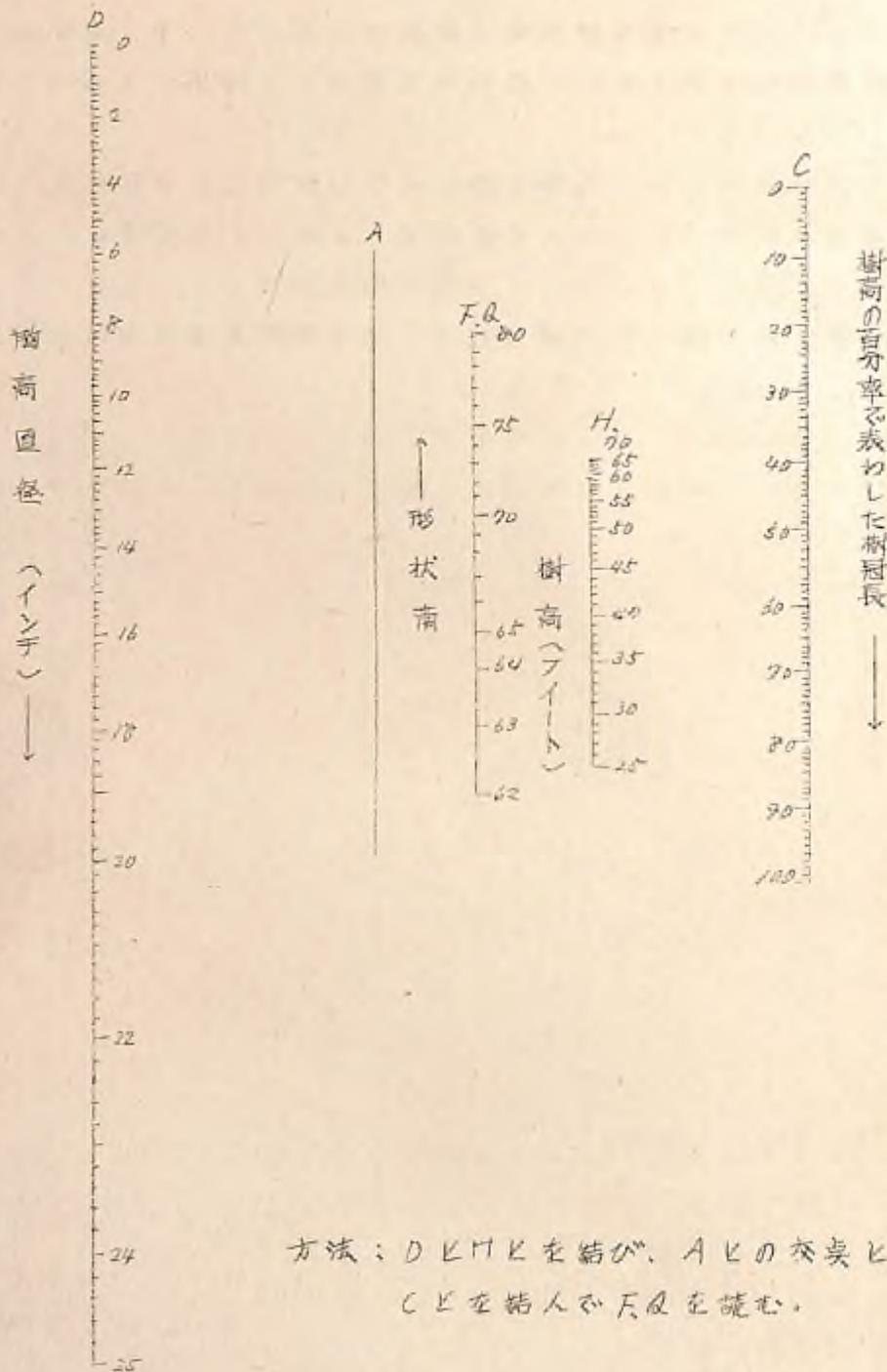
個々の林分内では、大径木即ち大きな樹冠をもつものは、小径木即ち短い樹冠をもつものに比べて、平均して形状商が小さくなるという、傾向はあるが、一定の傾向がある。したがって、径級又は樹冠長を林分を分類すれば、推定精度を僅かながら向上させる

7図 balsam fir の同令林の形状商を単木の直径、樹高、樹冠長から推定するための共線図表



方法：DとHとを結がAとの交点とCとを結んでF, Qを読む

8 図 red spruce の一次林の形状商を幹木の直径、樹高、樹冠長から推定するための共線図表



11 表 樹高直径、樹高、樹冠率による形状商の推定精度

林相および樹種	全体の形状商の標準偏差	単木の形状商の推定精度			20本の推定値による林分の平均形状商の標準偏差	平均形状商が1%を越えぬための必要樹本数
		標準偏差	離反指数	決定の指数		
河合林						本
red spruce	7.52	4.81	0.64	0.59	1.51	46
white spruce	7.57	4.39	0.68	0.66	1.36	38
Balsam fir	5.39	4.10	0.76	0.42	1.27	33
一次林						
Red spruce	5.22	4.19	0.80	0.36	1.39	39
Balsam fir	5.63	4.24	0.75	0.44	1.43	42

注. 公式 $SD d\alpha = \sqrt{\frac{SD d\alpha^2 + SD d\alpha^2}{N-3}}$

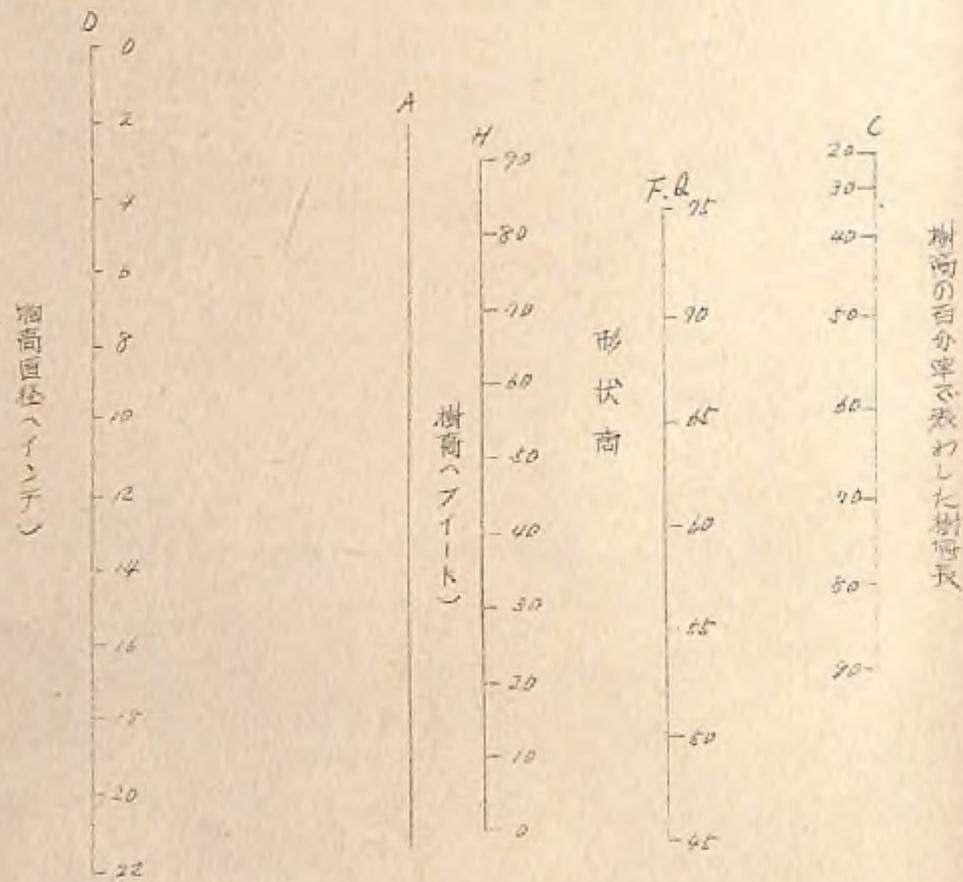
$d\alpha$ = 観測された偏差の平均

α = 真の偏差 ($SD \alpha$ は6表の3らんからとったもの)

d = 観測値の誤差 ($SD \alpha$ は上記の3らんからとったもの)

N = 観測数

※9図 *balsam fir* の一次林の形状商を単木の直径、樹高、樹冠長から推定するための関係図表



方法: DとHとを結ぶ。Aとの交点とCとを結ぶ。F.R.を讀む。

せることが出来る。しかし、この関係はそうはつきりしたものではなく、絶対形数が形状商と正確には比例してはいないので、実際にこの関係を利用する必要が生ずる場合は稀れである。(2, p.13)

林分因子の分析 *Analysis of stand factors*
平均形状商は一般に各林分の全林木に用いられるので、林分の

特性と平均形状商との間にかつような関係があるか調べる必要がある。このような関係は、多数の単木から形状商を推定するよりも使用に便利であろう。

樹冠率と形状商とは高い関係のあることが既に示されているので、林分の平均形状商が、優勢木、単優勢木の平均樹冠率として測定できる相対的樹冠長と密接な関係があると想像するのは自然である。12表からの同令林の平均形状商の標準偏差の56-80%の分散の81-84%が平均樹冠率と関係のあることが分る。残差の分散は、林令、エーカー当り本数、地位指数、樹高、平均直径と関係があると思えない。データの利用できる一次林の数は統計的な結果を得るには少なすぎるが、*balsam fir* の同令林は6つの利用できる林分のうち1だけがデータに当てはめた形状商の直線から2単位以上違っていただけである。しかし *red spruce* の一次林では、同様な傾向が示されてはいるが、その散らかりはもっと大であった。

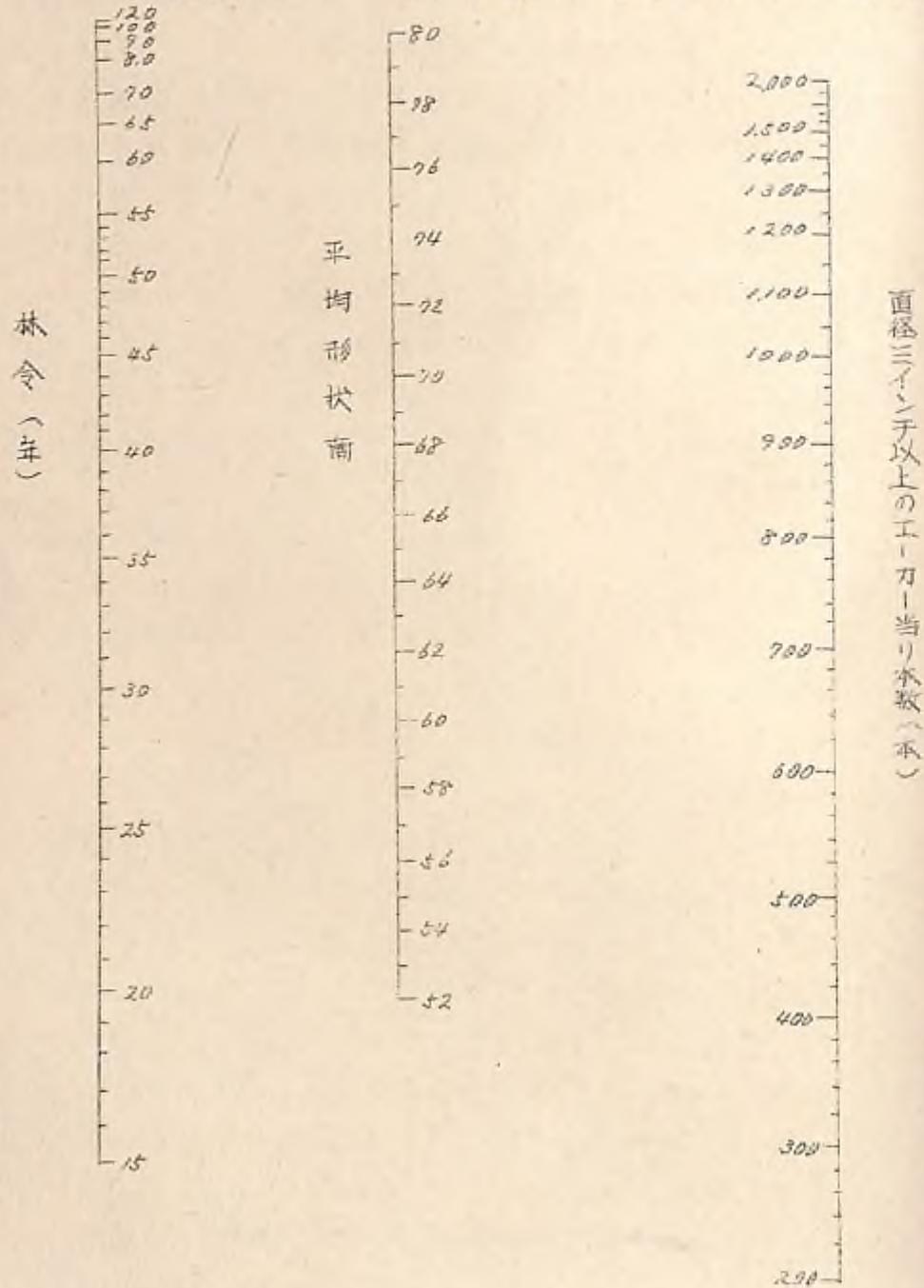
Beaman のグラフによる重相関法(1)で、同令林の資料をさらに解析してみると、平均形状商は林令およびエーカー当りの本数とも一定の関係のあることが示された。林令は特に幼壮令時には重要な因子である。約70年生まかトウとおよがモミの同令林の平均形状商は急速に増加する。この年令を過ぎると *red spruce* と *balsam fir* の形状は殆んど変化しない、しかし *white spruce* では形状商はそのまま上昇するが、その上昇率は緩慢である。*Wright* (9)は、約50年生までは形状商は林令と共に増加すると云っている。

平均形状商は又直径 *fir* のエーカー当り本数が1200本となるまでは、その増加と共に大きくなる。この本数密度を越えると増加は見られない。事実、*balsam fir* の場合には、エーカー当り1200本以上の林分では、形状商が僅かながら低下する傾向がみられる。

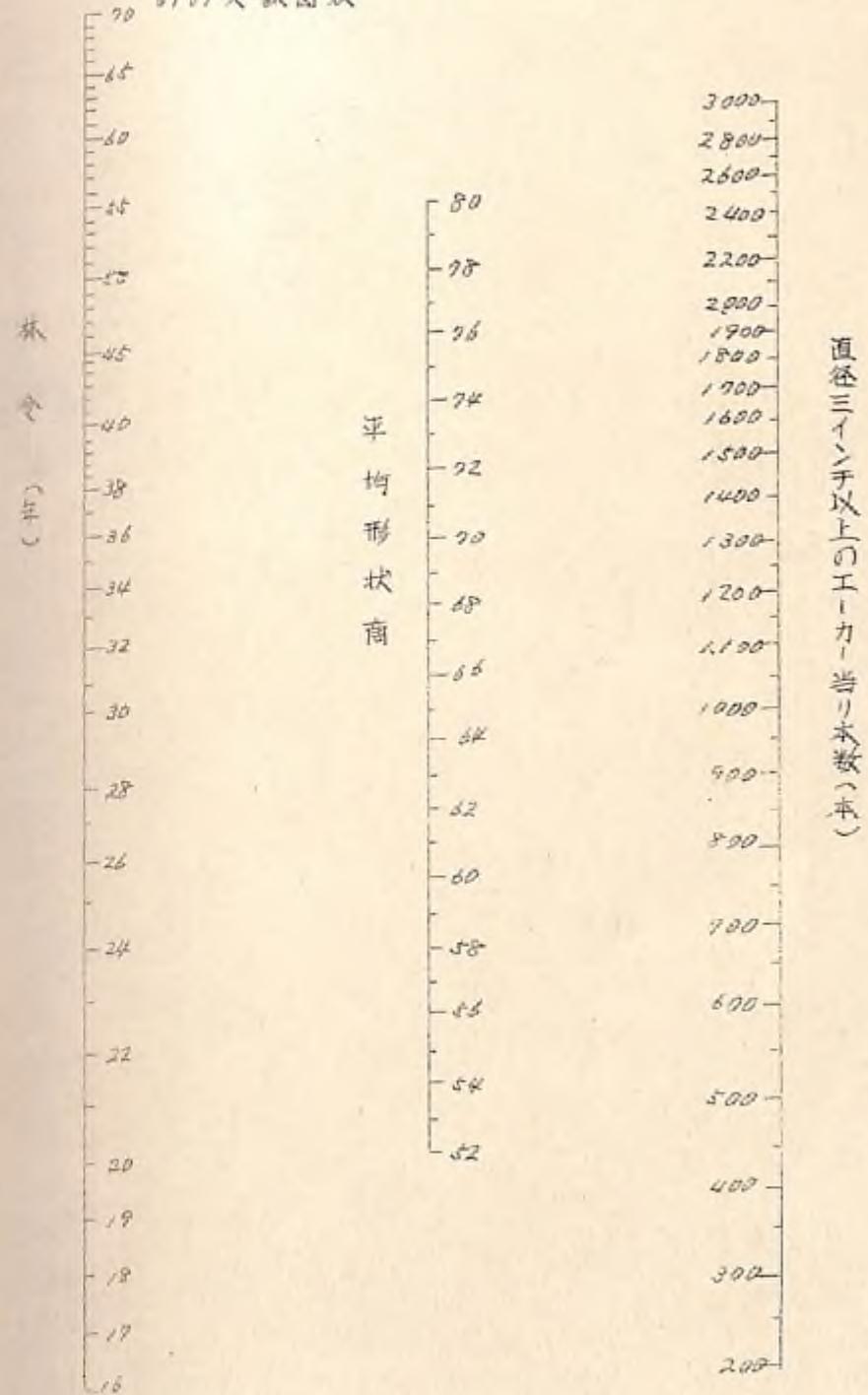
Wright (9)は又、ある範囲内では 密度(断面積)と共に

形状商が増加することを観測した。平均樹高又は地位指数を考慮すれば、僅かながら精度は向上する。

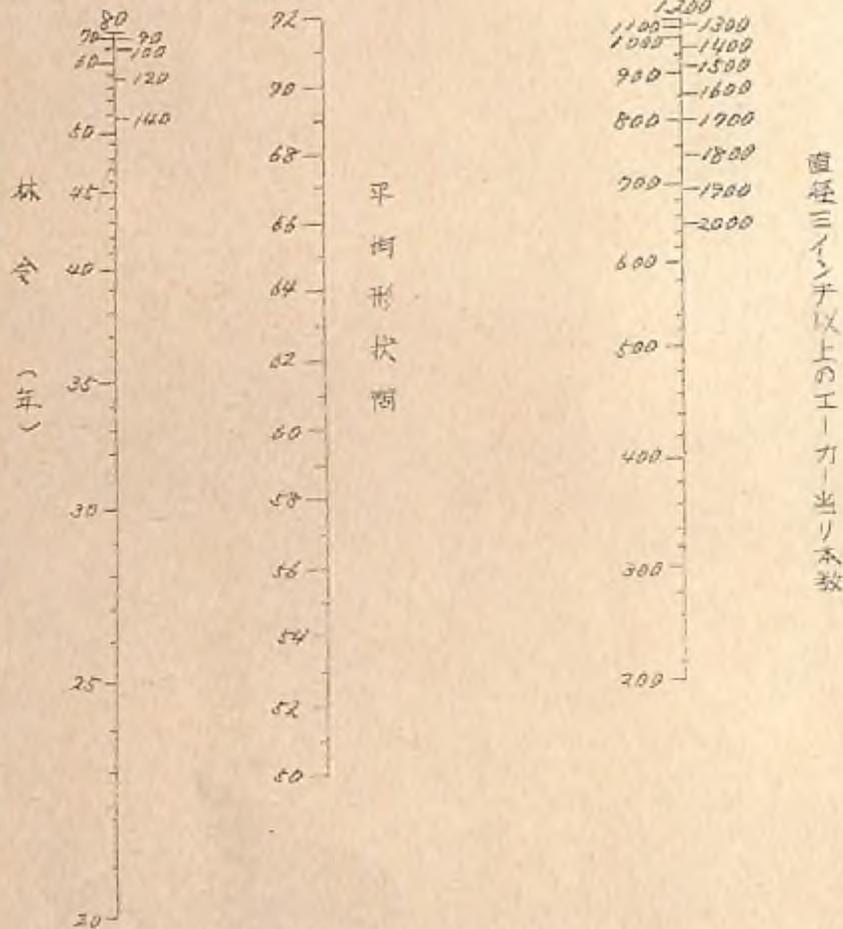
※10回 red spruce の平均形状商 を林令と d.b.h 3in 以上のエーカー当り本数から推定するための共線図表



11 回 white spruce の同令林の平均形状商を林令と d.b.h 3in 以上のエーカー当り本数から推定するための共線図表



12回 balsam fir 同令林の平均形状商を林令と
d. b. h. 3 in 以上の本数から推定するための
の共線図表



12表 平均樹冠率、および林令と3 in 以上のエーカー当り本数
による同令林の平均形状商の推定精度

樹種および 林令	平均形状商の標準偏差	平均樹冠率による推定			林令とエーカー当り本数による推定		
		標準誤差	相反指数	決定指数	標準誤差	相反指数	決定指数
Red-spruce 31	6.32	2.51	0.40	0.84	2.85	0.45	0.50
White-spruce 27	6.60	2.75	0.42	0.82	3.53	0.53	0.72
Balsam fir 15	3.72	1.71	0.44	0.81	1.62	0.41	0.83

林令と直径3 in 以上のエーカー当り本数から平均形状商を推定する共線図表が、10, 11, 12回に示してある。

林令とエーカー当り本数の変動が平均樹冠率の変動とほぼ同じ状態を反映していることは、樹冠率を推定した形状商からの残差が、林令或いはエーカー当り本数と全線相関を示さず、林令とエーカー当り本数による推定値は平均樹冠率を考慮することで、ほんの僅かしか改善されないとはいう事から証明される。

これらの測定値は単木の特性によるものより不正確に思えるが(12表)(17表と12表のその値を比べてみよ)決定指数はかなり高く、実用上は同程度に満足がゆくとと思われる。

spruce-fir の異令、混合の一次林では、平均樹冠率が、唯一の有意な因子であり、更にのべたように、形状商と樹冠率の関係は、red-spruce の一次林でははっきりしない。しかし、この研究で用いている一次林は前に指摘したように、比較的限られた形状商の変動範囲を示しており、個々の林令の特性を調べてみると、現地で出合う林令を、全線計算をおこなわず、インスピレーションだけで適当な形級に振り分けることが可能と思われるかなりはっきりした集団が示された。したがって red-spruce の一次林は、次のような2つの組に入る。

F. & G. は 純林あるいは本葉樹との混交林の如何を問わず、用いられた red spruce の一次林に適用される。従って

樹冠をもち、落枝性の湿地型も この組に入る。

F.R 70 は、いろいろな地位と混交状態の spruce と広葉樹の大きな穴があいたり、破壊された混交林に適用される。

balsam fir の一次林では、red spruce を示された区分は成立しないように思えるが、林分の組そのものは概して F.R 69 の間にある。なお、総平均としてとることが出来る F67 又は平均樹高率は正確な推定値を得るのに使える。

ほほ一定の平均形状商と広葉樹に適用できる判別の容易な林分の特性とのこの関係は、筆者(2)の ponderosa pine と Wright (9)の北方系 white pine と black spruce に関する前におこなった観測結果によるものである。Wright は個々の形状商を計算する際に根張りを考慮しなかったため、概して成長緩慢な black spruce を F.R 69 とあるとしたが、筆者は根張りの補正をしてこの林分を F.R 73 の組に入れたことに矛盾のないことに注意を要する。

樹種の形状の比較 Comparative form of species

この研究に用いた各種樹種の林分の状態を調べてみると、同様な林分状態を調べたこの3樹種の形状には有意な相違のあることがすぐに分った。問題になつてゐる相違は、地方性を考慮した形状曲線と根張りの吟味。を引合に出された幹形の僅かな変動から生じたものではなく、むしろ基本的な幹形が本質的に同じものの形状商又は相対的細りの相違を表現してゐる。かかる相違は混交林の平均形状商を比べてみるとよく分る。

red spruce と balsam fir はいずれも、この地方の一次林においても広葉樹と混交してゐるのが普通である。

red spruce と balsam fir は又共に同令二次林ではしばしばみられる。white spruce は一次林がなく、殆んど概して二次生の同令 old-field 林内に発生してゐる。一般に純林をなしてゐるが、混交してゐる時は red spruce よりも

balsam fir を伴つてゐる場合が多い。

red spruce は同令混交林内では、平均して balsam fir 又は white spruce よりかなり樹高の低いことを Meyer (8) は観測した。平均形状商を考へた場合 red spruce は white spruce, balsam fir より約 4分の1の形状商の低いことが見出された。red spruce と balsam fir は一次林では平均して高ければとも、両樹種間の差は同令林と同様に一次林でもそのまま保たれてゐる。balsam fir と white spruce は混交してゐる場合には、はっきりした形状商の差はない。

これらの差は、形状商と葉長、樹高率、又は直径、樹高、樹冠率との関係を示す図を調べてみると実証される。一般に現われる葉長、樹冠長、径級の範囲では、red spruce の図は balsam-fir, white spruce より高い形状商を示すであろう。林分因子(林令あるいはエーカー当り本数)による図の場合には、balsam fir の値は低く、引用した他の試験結果と一致してゐるが、red spruce と white spruce にははっきりした差はない。

根張りと樹皮厚に關係のある要素 factors of butt swell and bark thickness

材積表による単木材積の推定精度は、平均形状商の変化と同様に同題となつてゐる立木の樹皮厚と根張りの変動による影響を受ける。したがつて、どのような要素が樹皮厚と根張りの変動に關係してゐるかを発見することが、大切である。このことは、筆者が主張してゐるように、基本的形級表が、正常の樹高直径から根張りを除くことを前提としてゐる場合には特に重要である。

このような表を用ゐるには、実際の樹高直径の測定値を正常直径に直すため、なんらかの基準が必要である。しかし、基本的細り表が根張りの除去を仮定してゐない場合でも、皮付の測定値を皮内直径に直す必要があり、根張りに対する考慮を樹皮厚の削除

と一語にするに便利なことがあるから 第1の場合には全
かな仕事は含まれない。

この研究は、樹皮厚と胸高にける根張りを別々に解析する
ことにした。この両者と直径、樹高、形状高、樹冠長、樹冠積、
林令、エーカー当り本数、地位指数との重相関係数を求めた。

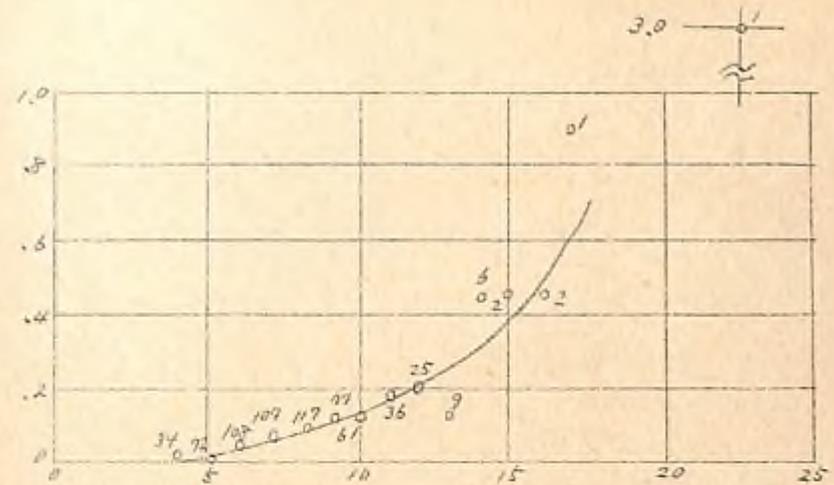
根張り butt swell

根張りの場合には全変動の僅かな部分だけが、これらの数値で
表わされる因子で説明されるにすぎず、実際には、このように説
明される変動は總て直径と結び付けられる。もちろん大径木は樹
高に大きな根張をもっている。根張りの変動は、二次林より一
次林の方が、径級により密接な相関があるが、このことは二次林の
データができる限りの範囲の林分から計画的に収集されたもので
あり、したがって一次林のデータより不均質なものであることか
ら想像される。樹冠率又は形状高を考慮すれば、直径だけによる
根張りの推定値は僅かながら改良されるが、これはあらゆる場合
にはっきりしているわけではない。13表に示してあるこの重相
の逆反指数と決定指数はいちいちの関係を示している。

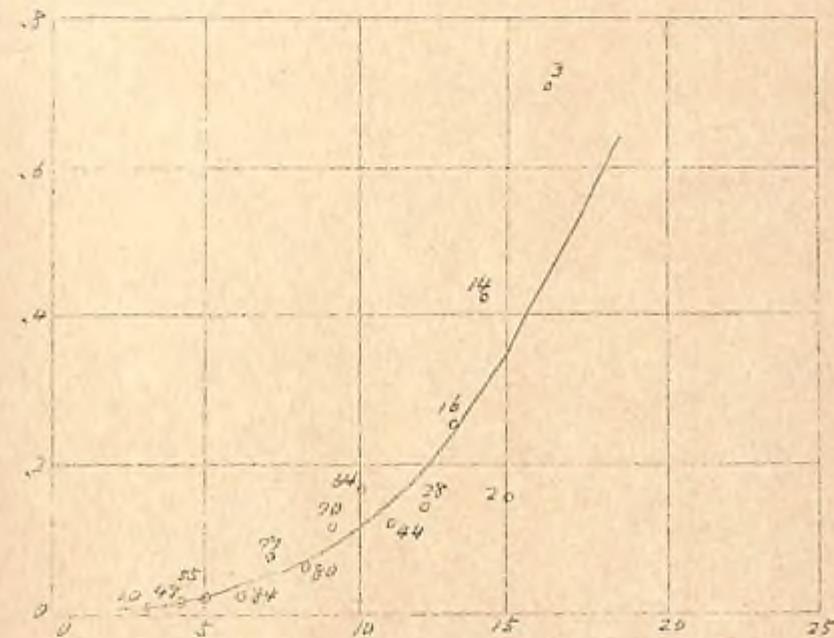
red spruce の一次林の場合だけは 根張りの標準誤差が1%
以上となることが証明できた。

white spruce の同令林 red spruce, balsam
fir の一次林の場合には、はっきりと曲線性が現われている
が、これらの係数は直径と根張りとの間の相関関係の完全な結果
を表わしてはいないが、多数の大部分が、遺伝的性格の相違、或
は数値で評価できない個々の事情や相違と関係があるように思
える。

平均の根張り (インチ)



平均の根張り (インチ)



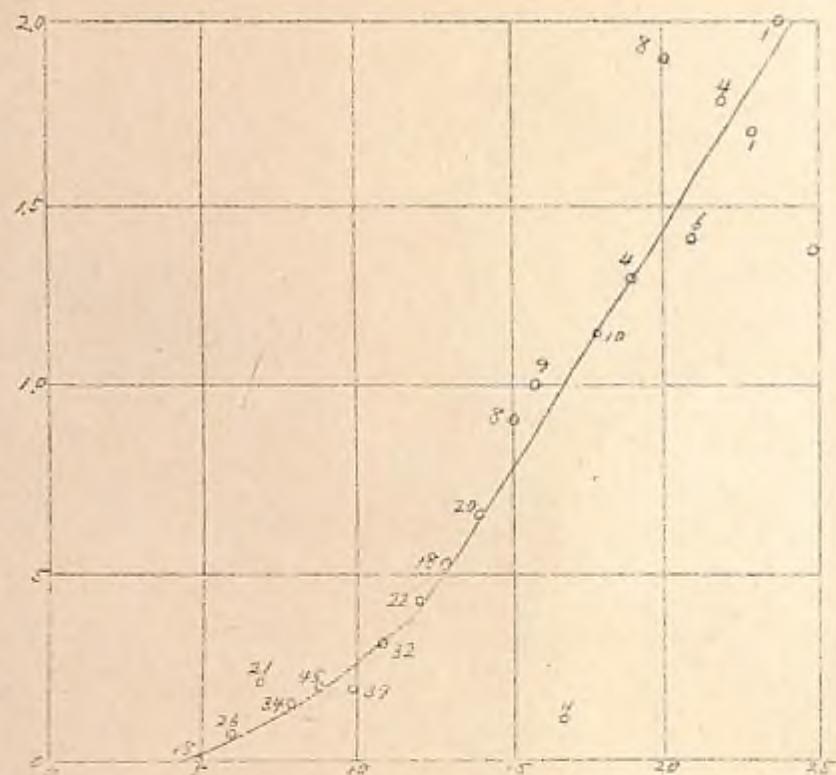
平均の根張り (インチ)



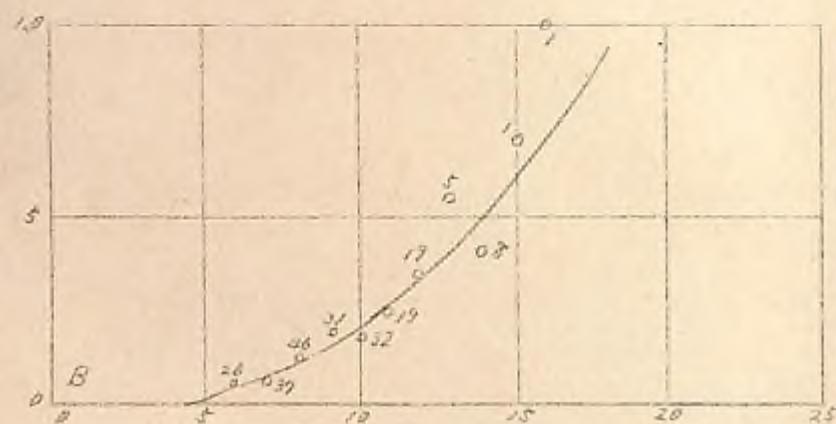
13 圖 同令林における根張り と 胸高直径 と の 関係

A: red spruce B: white spruce C: balsam fir

平均の根張り (インチ)



平均の根張り (インチ)



胸高直径

14 圖 一次林における根張りとの胸高直径との関係

13 表 いろいろな要素と胸高における根張りとの相関

根張りとの相関の要素	司令林				一次林					
	red spruce		white spruce		balsam fir		red spruce		Balsam fir	
	離反指数	決定指数	離反指数	決定指数	離反指数	決定指数	離反指数	決定指数	離反指数	決定指数
総ての数値的要素	0.85	0.28	0.86	0.26	0.90	0.18	0.63	0.60	0.82	0.23
胸高直径のみ	0.88	0.22	0.92	0.15	0.95	0.09	0.67	0.55	0.85	0.28
胸高直径と樹冠率	0.88	0.22	0.91	0.18	0.94	0.12	0.66	0.56	0.84	0.29
胸高直径と形質	0.88	0.23	0.92	0.15	0.94	0.12	0.67	0.55	0.83	0.31

径数と関係させた根張りが、13、14 圖に示してある。red-spruce と white spruce の司令林では殆んど同じである。胸高直径は 3~4 in 級になると僅かながら影響を受けるようになるが 12 in 以下では根張りは平均して 0.2 in を越えなから。根張りは大径級では急激に増すが、はっきりした傾向を決めるほどデータは多くない。

balsam fir の司令林では径級と関連させた根張りは、red spruce, white spruce の約半分に過ぎず、この樹種が産し得る径級では平均して 0.1 in を越えなからであろうから、事實上殆んど無視すべきもの。

司令木の根張りは、red spruce, balsam fir のいずれに比べても司令林よりかなり大である。

いずれの場合も、約 5 in の直径から始まり増加率は最初は緩慢であるが、12 in 以上の直径の木では急上昇する。この径級では、根張りは平均して red spruce で 0.4 in balsam fir で 0.3 in である。24 in 級では、red spruce の司令木の胸高直径は根張りのため約 2 in 大きくなっている。

この研究に用いたデータから潮解して予備的な形級材観表を詳しく吟味したところ、根張りの作用についてさらにいくつかの奥

がはつきりした。理論的に決められる根張りに対する全材積の百分率は *white spruce*, *balsam fir* の場合には 総ての径級の木についてほぼ一定のように思われ、平均して前者では約 2%, 後者は 1% であった。しかし、*red spruce* の同令林の場合には、2 in の木の 0% から、16 in の木の 5% に増加している。地方別に解析してみると根張りに対する正常材積の百分率は林分平均形状荷の増加と共に減少し、林令と共に種かたの増大する。

注. 根張りを含む全材積と正常材積との差は地上からの高さに対して横断面をプロットした図をプランメーターで測つて得られる。正常材積の直径は子偏計算の項で述べたように樹幹の主要位置の幹周線を地際まで延長して求められる。根張りを含む全材積については 1 フートの長さで根張りを延長する必要がある。この方法は地上 2.5 フート以下は測定されにくいからである。長樹は 1 フート未満は円筒形であると考えた。

樹皮厚 *Bark thickness*

樹皮厚を同じ手法で分析すると、根張りの場合に較べて全変動のより大きな部分が、数値を表わせる因子と関係のあることが見出された。一次林、特に *red spruce* の同令林の場合には、説明できる分散は総て直径と結び付けられたが、*white spruce* と *balsam fir* の同令林では、他の測定可能な因子と関係づけられる余地が充分にあった。

直径以外に林令或いは地位指数を考慮すれば分散を可能な限り減少させる正確な方法がどの場合にもおこなえるが、これらの因子の効果が常に首尾一貫してゐると思ふは、*white spruce* の場合には地位指数は直径に次ぐ重要な因子であるが、林令の影響は非常に小さい。これに反して *balsam fir* の同令林の場合には、直径と関係の無い殆んど総ての分散の減少は林令によるものであった。

いろいろな関係を示すために、いくつかの直線的離反係数が

表に示してある。

表 いろいろな因子と樹高における樹皮厚との相関

樹皮厚と 相関の 因子	同 令 林						一 次 林			
	<i>red spruce</i>		<i>white spruce</i>		<i>Balsam fir</i>		<i>Red spruce</i>		<i>Balsam fir</i>	
	離反係数	決定係数	離反係数	決定係数	離反係数	決定係数	離反係数	決定係数	離反係数	決定係数
総ての径級の 材積	0.55	0.70	0.50	0.95	0.54	0.71	0.51	0.74	0.63	0.60
樹高直径のみ	0.58	0.66	0.62	0.62	0.76	0.42	0.55	0.70	0.66	0.56
樹高直径と幹 径	0.57	0.68	0.62	0.62	0.57	0.67	---	---	---	---
樹高直径と材積	0.56	0.68	0.56	0.69	0.68	0.53	0.55	0.70	0.66	0.56

樹皮厚に対する林令の純効果は正である。すなわち、与えられた直径級の木に対して、老令なほど、厚い樹皮をもっている。地位指数の純効果は一般に負である。すなわち他の条件が同じであれば良地位の木は、地位の劣ったものに比べて厚い樹皮をもっている。

red spruce の同令林の樹高における樹皮厚は径級と一定の関係にあるように思われ、平均して 皮付直径の 7% であった。*red spruce* の一次林では、直径と関係させた樹皮厚は、径級の増加に伴つて減少する。小径木では 7% より幾分高くなる傾向はあるが約 10 in までは、同林分とほぼ同じである。しかし、大径木では減少し、24 in 級では僅かに 5.3% である。これは、恐らく 内側から新しい層が加わる前に鱗状の外皮が老令木から脱落するためと思われる。

balsam fir の場合には、直径と関係させた樹皮厚は、総ての径級について同令の二次林よりも老令用材林の方が大となった。*red spruce* とは異なり、*balsam fir* の一次林の樹皮は、直径に対して一定の関係を維持しているが、同令二次林の樹皮は径級の増加と共に僅かに減少する。このような事象は、両樹種の樹皮の性質の相違によるものであろう。*balsam fir* の平均

は樹皮は脱落せず、したがって老令林では、径級に対して一定の関係を維持している。Balsam fir の一次林では、胸高における樹皮厚は 木の径級について皮付直径の約 5.5% を維持しているが、他方同令林では 12 in の木を約 4% に低下している。

White spruce の樹皮厚は 非常に小さな径級では Red spruce のそれとほぼ同じであるが、直径 5~10 in の間では 相対的に小さくなり、これ以上の径級では 比較的到低い割合を維持している。胸高直径 6 in 級では約 6.3%、12 in 級では 5.2% となっている。

これらの関係は 15, 16 図に示してあり、この図から white spruce は樹皮厚に関しては Balsam fir と Red spruce の中間にあることが分かるであろう。

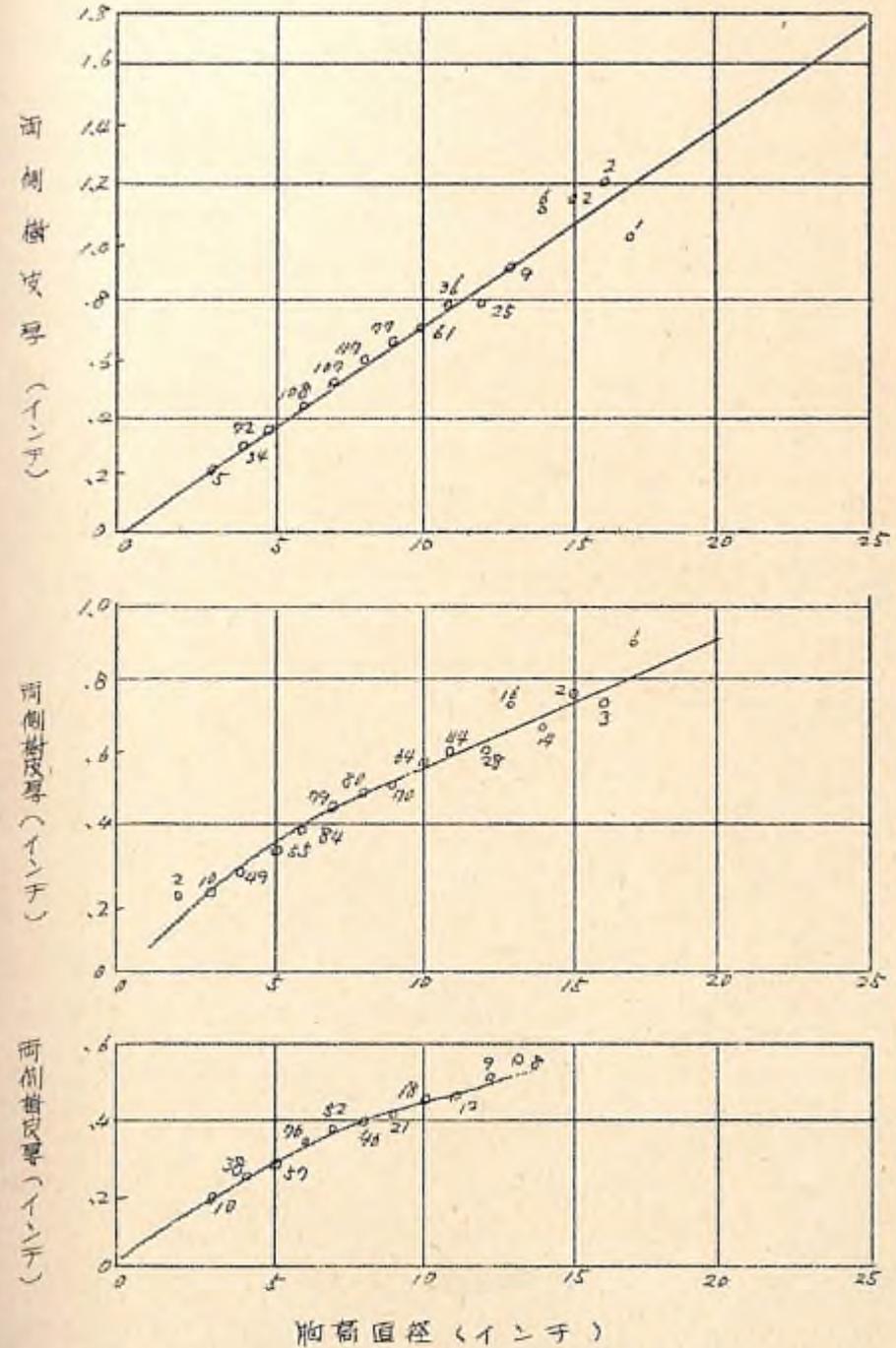
13 図と 14 図とを比べてみても、胸高直径に影響する根張りの大きさがこれらの樹種の直径 12 in 以下の木では 両側樹皮厚の 1/2 以上とはならないことがはっきりする。d.b.h 17 in 以上の Red spruce 一次林の場合にだけ 根張りが樹皮厚より重要になってくる。

樹皮厚と根張りに対して胸高直径の減少量

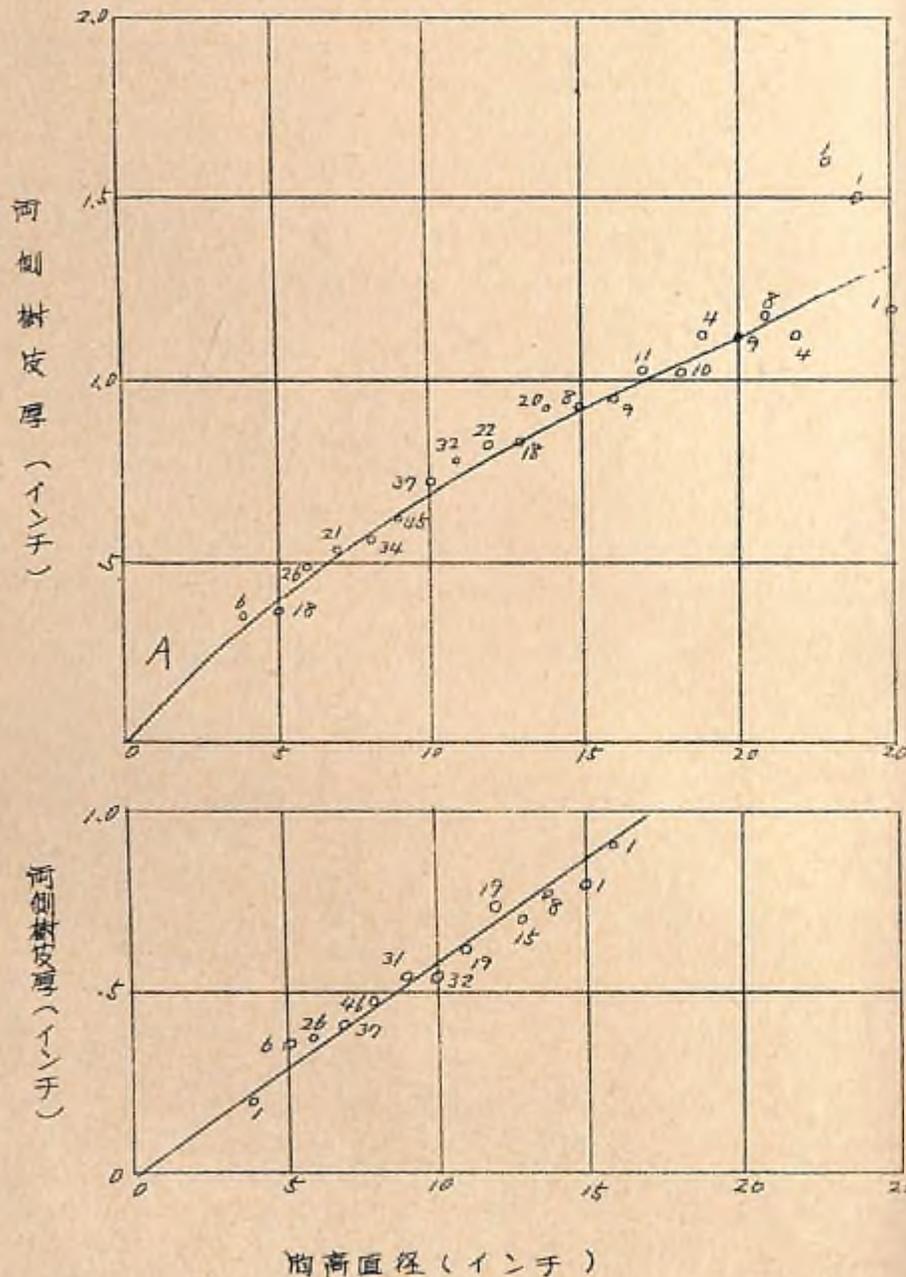
Total reduction of diameter breast high for thickness and butt swell

根張りと樹皮厚に影響する因子についての研究で、各因子の変動が主として 胸高直径の変動と関係のあることが示されているので、この両因子を同時に考慮する基礎を提供する必要がある。材積表の適用精度に影響するのは、胸高における樹皮厚、又は根張りだけよりもむしろその和であるから、この方法はもつとも実際的なものではない。

胸高直径に対する根張りと樹皮厚による減少の関係が 17, 18 図に示してある。各因子を別々にプロットした場合よりも、曲線性の少ないことが分かるであろう。その理由は 根張りと樹皮厚の



15 図 同令林における樹皮厚と胸高直径との関係
A: Red spruce B. White spruce, C. Balsam fir



16 回 1 次林の樹皮厚と胸高直径との関係
A: red spruce B: balsam fir

白線性は、逆方向であり、そのため、相殺される傾向があるからである。

この曲線からの推定値の標準誤差およびこれに対応する離反指数、決定指数が 15 表に示してある、胸高直径の総減少量が直径だけから推定できることがわかる。この樹の標準誤差は red spruce の一次林を除いて、どの場合にも 0.2 in を越えない。なお red spruce の一次林の場合には他のデータのいすれよりもかなり相関が高い。

逆に相関が最も低い balsam fir の同令林の場合には一番正確な推定値が得られる。

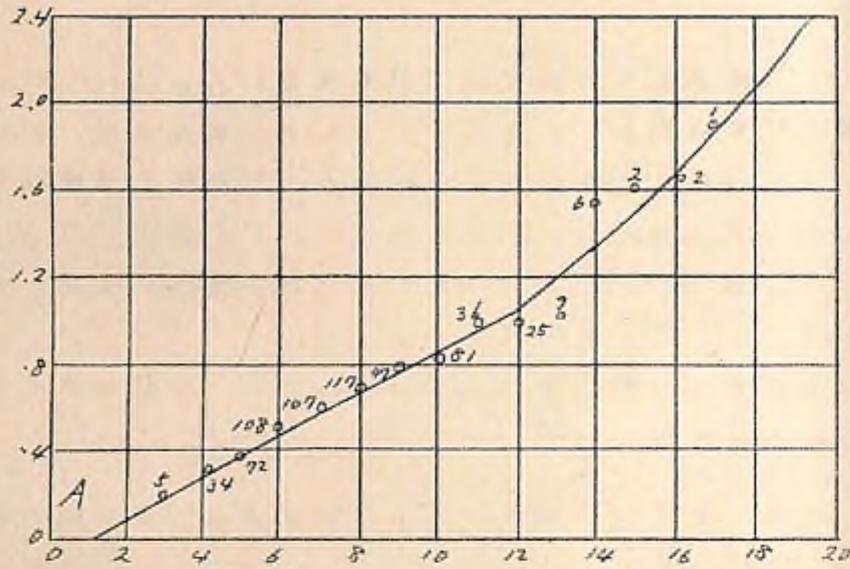
15 表 樹皮厚と根張りによる胸高直径の減少量の推定精度

林相および樹種	総減少量の標準誤差	全減少量の推定精度			平均胸高直径の%で表れた標準誤差	単木材積の%で表れた標準誤差
		標準誤差	離反指数	決定指数		
同令林	in	in			%	%
red spruce	0.34	0.20	0.61	0.63	2.6	5.3
white spruce	0.27	0.17	0.71	0.50	2.4	4.8
Balsam fir	0.17	0.14	0.80	0.36	2.0	4.0
一次林						
Red spruce	0.76	0.39	0.51	0.74	3.5	7.0
Balsam fir	0.32	0.21	0.66	0.56	2.4	4.7

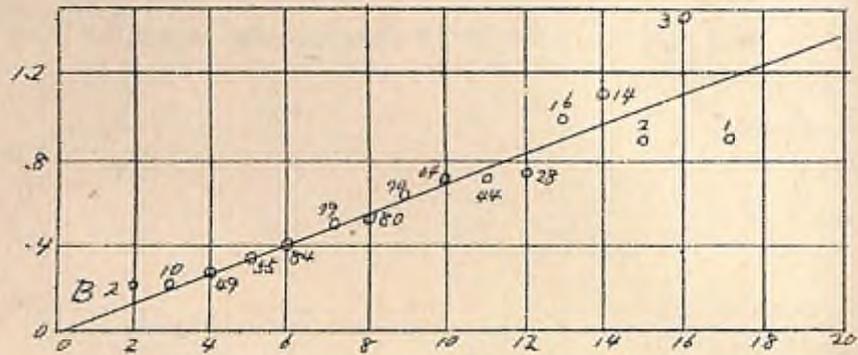
これ以外の因子の影響については、根張りとは樹皮厚の論議は大體述べであり、その変動の大部分は胸高直径と関連させて考へることが出来るから、ここからは、重相関を直接用いるよりは、胸高直径の減少曲線からの残差を調べるほうが望ましいように思える。

red spruce, white spruce の同令林の場合には、同一種族の木の間高直径と正常直径との差は、良好地より不良地の方が大きくなるという一定の傾向がみられる。しかし、一次林あるいは balsam fir の同令林の場合には、地位指数は有意な関係を示さなかった。その影響が最大であるといえる red spruce

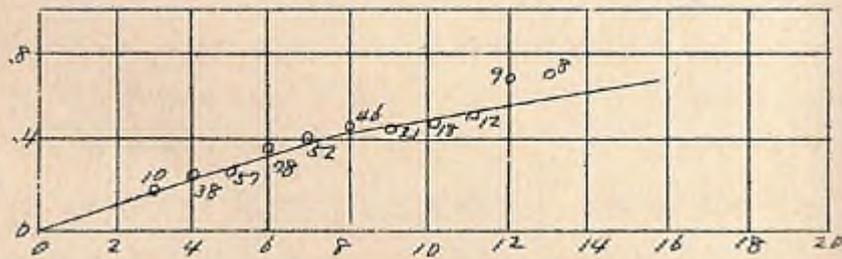
胸高直径の減少(インチ)



胸高直径の減少(インチ)



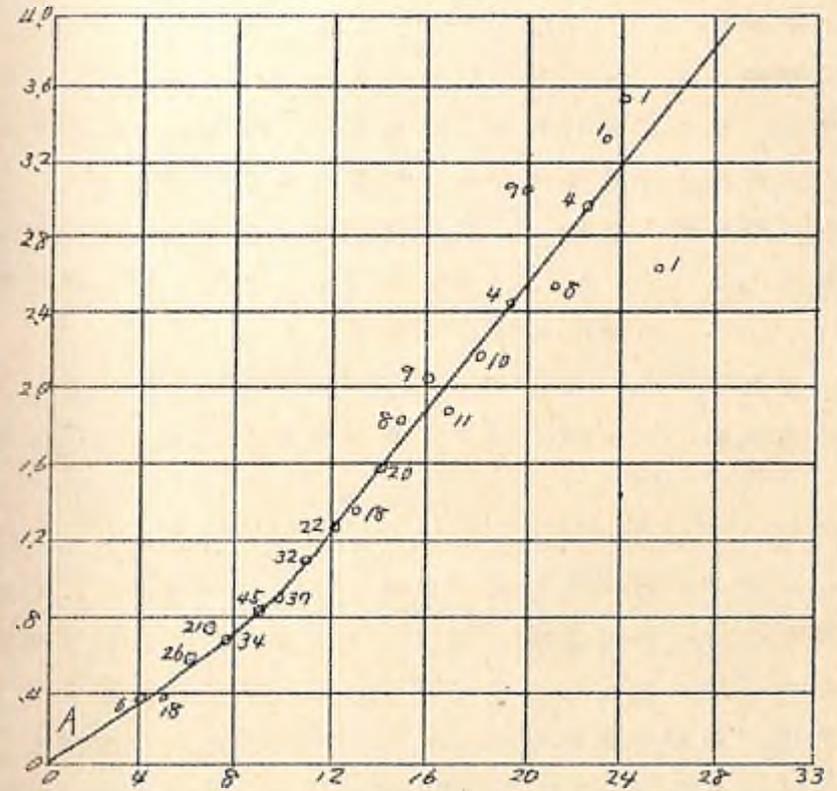
胸高直径の減少(インチ)



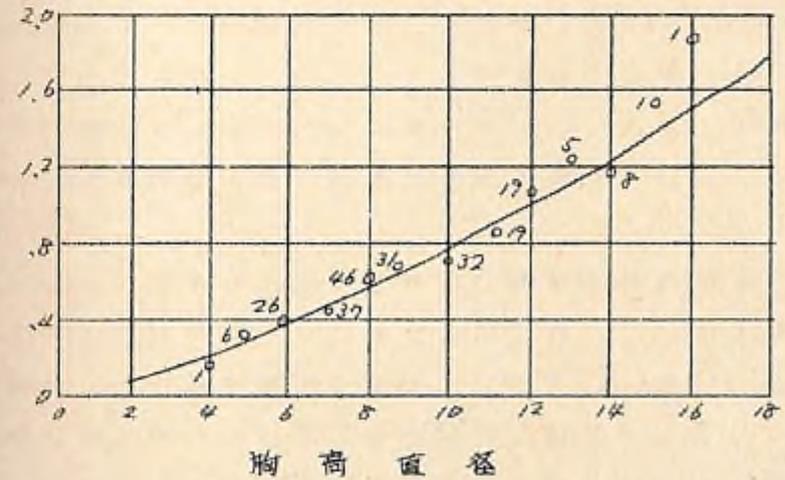
胸高直径(インチ)

17 同令林分における根張り & 樹皮厚による胸高直径の減少と胸高直径の関係
 A. red spruce B. white spruce C. balsam fir

胸高直径の減少(インチ)



胸高直径の減少(インチ)



胸高直径

18 一次林における樹皮厚と根張りによる胸高直径の減少と胸高直径の関係

の同令林の場合ですら、推定精度の増加は2%以下である。
(離反指数は 0.81 から 0.59 に減少する。)

他の樹種では、はっきりしないが、*balsam fir* の同令林では林令と一定の関係がある。同径級の *balsam fir* では胸高直径と正常直径の差は幼令林より老令林の方が大きい。したがって、形状商が等しければ、同径級の木の材積は、幼令林より老令林の方が小さい。しかし、形状商は樹令と共に急に増す傾向があるから、林令が材積におよぼす影響は相殺される。

林令を考慮すれば、*balsam fir* 同令林の胸高直径の減少量の推定値は約 16% 良くなり、離反指数は 0.80 から 0.64 に減る。

形状商の変動に対する 根張り と 樹皮厚 の変動の相対的価値はこれらの因子が単木又は林分材積におよぼす影響が判断できる。16 表は形状商の推定値と関連させた単木材積の標準誤差と、根張り と 樹皮厚 の推定値とを関連させたものとの比較を示す。前者は、直径、樹高、樹冠率から推定した形状商の標準誤差 (11 表) の 1.5 倍であった。というのは形状商の 1 単位は材積の 1.5% に等しいからである。後者は、胸高直径の百分率を表現した標準誤差が 1% 単位の標準誤差 (15 表) を標本内の平均直径で割りこれに 2 を乗じたものに等しいと仮定した近似的な方法を求められた。なお、材積の誤差は直径の百分率誤差の 2 倍となることは前に示した。

根張り と 樹皮厚 の単木の變動を推定する場合に *red spruce* の一次林を除いて、形状商の變動より材積誤差の小さくなること^が起きる。しかし、これらの数値を判断する場合、材積表は単木の群又は林分の累積された材積を求めのために用いるもので、単木に対して大きな精度が得られると期待できないことを念頭におかねばならない。

根張り と 樹皮厚 の變動と関連させた林分全体の材積の標準誤差は、記憶された本数の平方根に比例して規則的に減少するのである。

しかし、平均形状商がこの論文に示してある根拠によるか、標本木を測定して決められれば、形状商の変動に関連させた標準誤差はこのような決定に用いられた恐らく 30 本以下の本数の平方根以上に減少することはないであろう。

したがって、この 2 つの要因による材積誤差間の広がり、記憶される本数が増す程増加するようには思はれる。*ponderosa pine* の場合にみられたように、これらの樹種では平均形状商の決定が根張りや樹皮厚を考慮する場合よりもっと重要な誤差の原因であることは確かであるが、後者は大径級の老令用材林では前者と同影響をもつようになる。

結 論 Conclusions

この研究に着手した当時は、*Sweden* を参照している形級方式の材積表は直径と樹高だけによる普通の材積表より優れていると信じられていた。というのは形級材積は細りの差をはっきりと認めているからである。形級方式の理論的利益が実際に得られる可能性は、単一の平均形状商を森林全体に適用することの妥当性、満足のゆく平均形状商の推定および樹皮厚および根張りの決定の可能性により変る。さらに、形級方式で作成された表の優劣は、平均形状商および胸高直径の正常直径への修正量の決定が普通の表で行なわれているように直径と樹高を用いて作られた表よりも優れている程度で変る。

red spruce, *white spruce*, *balsam fir* について行ったこの研究では、樹皮厚と根張りの變動を直径以外の因子と予置なく関係づけることはできなかった。実際にこの要素を考慮すれば、通常の表は形級材積表と同様に満足のゆくものかもしれないことを意味している。

形状商の分散分析においても、直径と樹高が最も重要な因子であることが示された。形状商の變動が、直径、樹高の差と関連のある範囲では、真に代表的なデータから適切な方法を調整されて

これは、普通の材積表は自動的に形状商の考慮を考慮していることになるであろう。形状商の変化を適当に考慮した形状材積表の優劣性は、形状商の推定値が直径、樹高、樹冠率による場合の材積誤差（この研究で得られた最も正確かつ実際的な形状商の推定基準である）と直径と樹高だけから形状商が推定される場合、要するに普通の材積表の場合の誤差とを比較することによって測られる。この2つの方法による形状商の推定精度の測定は、表の最後列の2列に示してあるが、これは、1/7表に示してあるように材積の百分率で表わされれば、もっと意味のあるものになるであろう。

1/7表 形状商を求める各種の方法の材積誤差の比較

林相と樹種	樹高、直径、樹冠率の推定誤差	樹高、直径、樹冠率の推定誤差	改善された割合	注
同令林	%	%		
red spruce	8.3	7.2	1.1	
white spruce	2.3	6.6	0.7	
balsam fir	6.6	6.2	0.4	
一次林				
red spruce	2.0	6.3	0.9	
balsam fir	2.4	5.4	1.0	

注、材積の百分率で表わしてある

これまでに考案された形状方式を応用した実際的方法の中で、何種になつてゐる樹種について普通の表で期待されるものより精度が1%以上大きくなると希望のもてるものは一つもない。林分内の形状商が径級により変る範囲では、形状方式は普通の表より精度が劣ると云えよう。それは前巻では原則一つの平均形状商が全林分に適用されるが、一方後巻では形状商は直径と樹高によって自動的に変つてゐるからである。

したがつて、全体的に云つて、最終的な応用の際には形状方式は大部分他の材積表の方法と同じ立場に立たねばならぬと結論

すべきよう。その理由は、実際的な方法で評価できる細りの相違が直径と樹高の關係に大きく反映してゐるからである。しかし、形状分析の方法は、適切かつ現実的な手法であり、信頼できる表を作成するに要する本数を減らし、いろいろな熟岳単位で利用基準で簡単に表の編集ができ、各樹種あるいは同一樹種でも成育条件の異なるものについて解析的な比較が可能であるという点で、はつきりした長所をもつてゐる。この最後の分野の中に将来の研究をすすめる方の最大の機会が存在してゐる。

要約 Summary

形状商、樹皮厚および根張りの変動に関するこの徹底的な研究は材積表を適用する際の因子、特に、筆者が前論文で発表した形状商方式をはつきりと理解するために行なつたものである。この研究は Northeast でいろいろな径級、年令、疎密度、地位、成育条件にわたつて行つた。red spruce, white spruce, balsam fir の2,189本の測定値に基づくものである。データを扱うのにパンチカードを用い、分析には Bruce と Reinke の考案した重曲線相関法を用いた。

樹高における根張りをグラフを用いて図示してみると、地方別の細りは、次の幹曲線式によく当てはまることが見出された。

$$\frac{x}{y} = \frac{x}{a + bx}$$

有意な材積誤差は少数の標本の場合に2%を越えるに過ぎなかつた。white spruce はあてはまりが最良であつた。

red spruce 特に老令林では、樹幹の上部がしばしば公式の値を下まつた。

同令の balsam fir のあてはまりは red spruce と同じであつたが、老令の balsam fir では、中央点以下の直径は常に公式より大で、中央点以上では常に小で材積におよぼす影響は相殺される傾向がある。

林分内の形状商の標準偏差は平均して前の研究の結論である
±4.5 単位とそう違わないが、その変動性は尙單に群値をさる因
子と密接な関係がない。しかし、この変動は 疎密度 林令、形
状商の増すにつれて減少する。

望高と形状商の関係は、樹種によつて異なり、直線的ではない。
大きな形状商は一般に望高の相対的な高さと同様であるが、望高
が樹高の 75% 以上になると、たとえ形状商は増加したとしても
極くわずかなのである。事實、樹冠の発達が抑制されている喬木の
形状商は相対的に小さい。

平均形状商の標準偏差を ±1 単位におさえるには 約 45 本の
木の望高を測る必要がある。望高表の使用は、老令の *red-*
spruce や *balsam fir* では殆んど意味がない。

単木の形状商についての研究によれば、形状商の全変動の 3/4
以上が、この研究には入つておらず、恐らく単純には数値的に表
われない因子と関係のあることが示された。研究した数値で
表わされる因子のうち、樹高、直径、樹冠長、地位指数が最も
重要である。直径と樹高は最大の重みをもつように思われるが、
これらの因子は、反対の符号をもち、密接な相関があるので、そ
の影響は相殺される。形状商は樹木が約 40 feet に達するまで
は、樹高と共に急速に増加するが、その後は余り増加しない。こ
れに反して 形状商は約 7 in の直径で最大となり、直径の増す
につれて急激に減少する。この直径と形状商の間の相関はデータ
全体と同様個々の林分でも僅かであるが有意である。同様に林分
内では優勢木の形状商は 準優勢木や中木より平均して小さく、
これから期待できるように、長大な樹冠の木は短小な樹冠のもの
より形状商は小さい。

樹冠の長さは、樹種別のデータを一括した時、形状商と幾分あ
らう相関を示す唯一の因子である。形状商は一般に 樹冠長が樹
高の約 40% の樹木で最大に達する。形状商は望高によるものと
ほぼ同じ精度で樹冠長から推定できる。

地位の樹木は一般に良地位のものより形状商が平均して高
けれど、地位の差は 直径-樹高-樹冠長の関係に吸収される
ように思われる。直径、樹高、樹冠率から単木の形状商を推定す
るため共線図表を作った。

この3つの係数を用いたとしても、平均形状商の標準偏差を ±1
単位以下にするには、約 40 本の測定が必要である。

何令林の平均形状商は 70 年生か直径 3 in 以上の木がエ
ーカー当り 1200 本の疎密度までは急速に増加するが、この数を越
えると、たとえ増加しても僅かである。林令と疎密度から林分の
平均形状商を推定する共線図表も作製した。単木の場合と全く同
じく、平均形状商も、優勢木、準優勢木の平均樹冠長と同様につ
ながることができる。平均樹冠長の変動は、林令とエーカー当りの本
数の変動を反映しており、これを用いて近似的に表わせることが
できた。老令林では、単一の平均形状商は簡単に識別できる成長状
態を調査するのに適用できる。

老令林とつづいている樹種では、*red spruce* の形数は
white spruce や *balsam fir* より約 4 単位高い。

balsam fir と *white spruce* は一語に取育している場合
には形状商にはつきりした差異はない。樹高における根張りの大
きさは、直径の大きくなるにつれて増すが、根張りの変動の一部
分だけが数値で表わされる因子で説明できるだけである。樹皮厚の
変動の大部分は説明でき、これは直径と最も関係が深い。研究し
ている樹種で、直径が 12 in 以下のものは、根張りが何側樹
種厚の半分を越えることはない。樹高直径が 17 in 以上の老令
red spruce の場合にだけ、樹皮厚を越えるに過ぎない。

この研究で決定された根張りは径級に関係なく平均して同令の
white spruce の全材積の 2% 同令の *balsam fir* では
1/4% であるが、*red spruce* の *red spruce* では材積の百
分率は急速に増加し、16 in の直径では 5% に達する。

実際には、根張りとは樹皮厚は一語にして考えることができる。

胸高直径の総減少量は、胸高直径だけから推定でき、その標準誤差は老令 *red spruce* を除いて 0.2 in を越えない、なお老令 *red spruce* の相関は他のデータに比べて、かなり高い。胸高直径と正常直径の差は 同令の *red spruce*, *white spruce* の場合には 良世位より低世位の方が大きいことが示されることもあるが、この要素を考慮したとしても推定の精度は大して上らない。同令の *balsam fir* の場合には胸高直径の正常直径への減少量は 年令と一定の関係があるが、これがいろいろな林令の林分で同径級の木の材積におよぼす影響は、形状高が林令と共に増加するといふ事実を相殺される傾向がある。

平均形状高の決定は、研究対象の樹種の立木材積を推定する際根張りを考慮するよりも重要な誤差の原因であることがはっきりと示されたが、大径の老令木の場合には 後者は、前者に近づく。

証明すべき形状高、樹皮厚、根張りの変動の多くは直径と樹高と結び付けられているので、実際に用いる際には、適当に調整された着目の表より それ程優れてはいない。しかし 形級分析の方法は いくらかの技術的長所を持っており、いろいろな樹種を同一樹種でも収育条件の違う木の分析的比較の良し機会を与える。

引用文献

(1) Bean, L. J.
1930. Application of a simplified method of Correlation to Problems in acreage and yield Variations Jour. Amer. Statis. Assoc. 25: 428-439 illus.

(2) Behre, C. E.
1927. Form-Class taper Curves and volume tables and their Application. Jour. Agr. Research 35: 673-744, illus.

(3) Bruce, D. and Reineke, L. H.
1931. correlation alignment charts in forest research: a method of solving problems in curvilinear multiple correlation. U. S. Dept. Agr. Tech. Bull. 210, 88 pp., illus.

(4) Gevorkiantz, S. R. and Hosley, N. W.
1929. form and development of white pine stands in relation to growing space; a preliminary study with form-class volume tables of natural and planted stands in central new england. Harvard Forest Bull. 13, 83 pp., illus.

(5) Hedeby, R.
1929. skens stamform och kubikmassa. [stem-form and volume of the oak.] Svenska Skogsvårdsför Tidskr. 27: 193-232, illus. [In Swedish. Summary in English, pp. 229-232.]

(6) Heijbel, I.
1929. skogsmatematiska undersökningar rörande tallens bark. [forest mathematical researches into the pine bark] Svenska Skogsvårdsför. Tidskr. 27: [269]-373, illus. [In Swedish. Summary in English, pp. 366-373.]

(7) Jonson, T.
1912. taxatoriska undersökningar öfver skogsträdens form. III. formbestämning Å stående träd. Svenska Skogsvårdsför. Tidskr. 10: [235]-275, illus.

(8) Meyer, W. H.

1929. Yields of second-growth spruce and fir in the northwest. U. S. Dept. Agr. Tech. Bull. 142. 52 pp., illus.

(9) Wright, W. G.

1927 taper as a factor in the measurement of standing timber Canad. Forest Serv. Bull. 79, 132 pp., illus.

2 広葉樹小径木の材積表

Volume table for small hardwood trees

まえがき Introduction

前に発表した広葉樹材積表を補足するため広葉樹小径木の材積表を計算した。この表は425本の広葉樹の測定値を用いており、利用高10~45 ft 胸高四分間2~6 inについて反付上部直径3 inまでの材積を与える。その作製方法は森林委員会調製の針葉樹一般材積表の計算に用いたものを若干修正したものである。Forest Record No. 5, 6, 7として森林委員会が発行している広葉樹材積表は、与えられた胸高四分間(最小値は6 in)と利用高をもつ樹木の反付材積を与える。これらの表では、材積は5~6 inの反付上部直径、或は樹幹と樹腔の判定ができなくなる点のいずれか最初に達した位置まで測つてある。森林委員会の採用している細則では、胸高四分間が6 in以下の広葉樹の材積を知る必要あり、これらの小径木については、反付上部直径3 inまでの材積がとられている。6~3 inの直径の間にある幹材材積は大径木では、重要でないと考えられた。

したがって広葉樹小径木の材積表は、与えられた胸高四分間と反付上部直径3 inまでの高さをもつ林木について、反内の平均 *loggia* ft (四分間による ft) を与えるように計算してある。この表は胸高四分間が2 1/2 in ~ 6 in, 利用高が 10~45 ft の材積を与える。

注意を要するのは、この2種の材積表を用いられる利用高の定着が違っているのも、どの利用高についても、この表の最大四分間(6 in)の材積が、Forest Record 5, 6, 7に示してある材積より小さいことである。

しかし、いずれの表も、その特定の用途に適している。

表の計算に用いられたデータ、Data used in Calculation of the table

この材積表の資料は森林委員会の固定標準地の記録からとった標本木の測定値である。ポアラを除く、広葉樹は全て含まれているが

その大部分はカシとブナであった。記録からとった測定値は次のとおりである。

- (a) in単位の胸高四分間
- (b) ft単位の樹高
- (c) ft単位の利用高(反付上部直径3in まで)
- (d) 10ft区分で測定した *logyus feet* 単位の反付材積

これらの測定値は 1/4 in 胸高四分間級と 5ft 利用高級に組分けした。単木毎に、1/2 樹高の断面積を算定するため、その材積を利用高で除した。

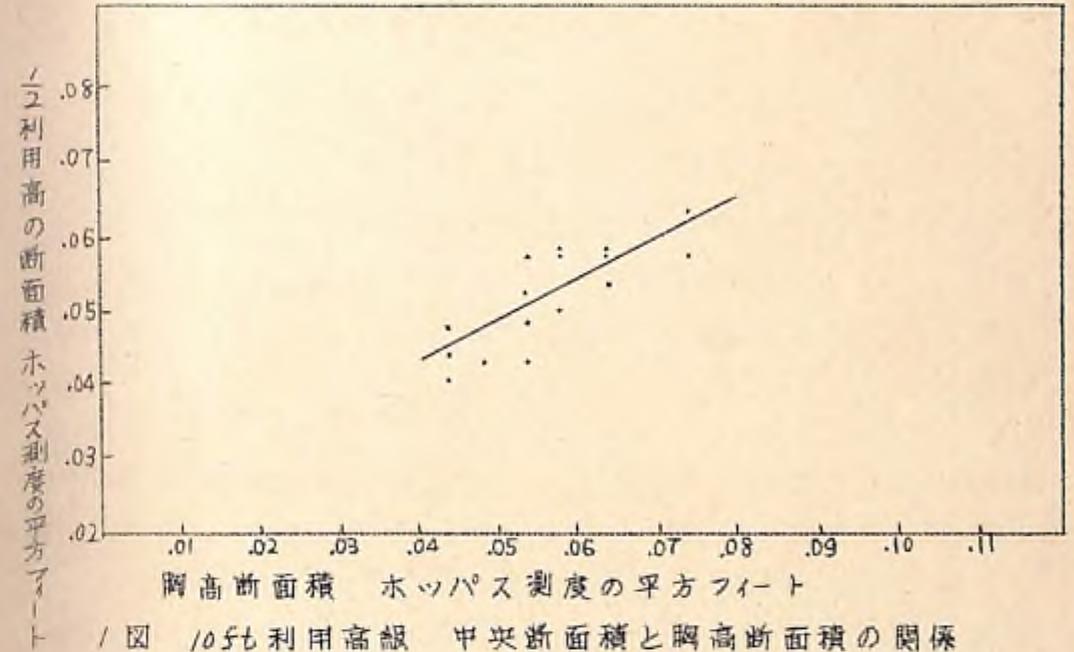
材積表調製に用いられた、間隔、利用高級別の本数が1表に示してある。

グラフによる表示 *Graphical representation*

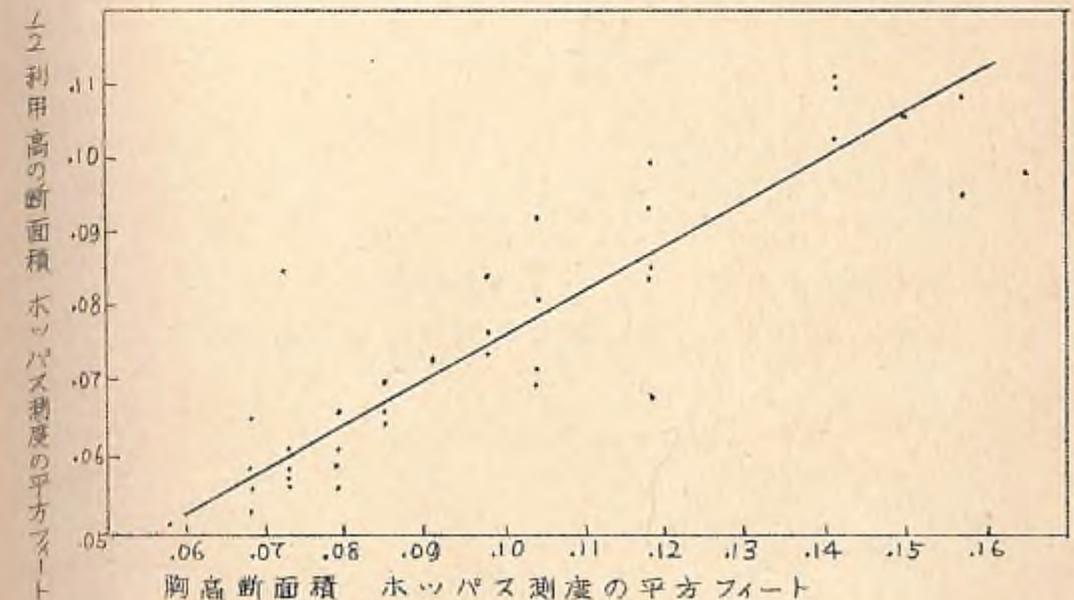
5ft 樹高級別に、単木の中央断面積をその胸高断面積に対してプロットした。1, 2, 3, 4 図は、それぞれ 10, 20, 30, 40 ft 樹高級のグラフである。このグラフは、中央利用高の断面積と胸高断面積の関係を、原点の真下でy軸を切る直線で充分に確定できることを暗示している。

1表 材積表調製のためにとられた間隔、樹高級別本数

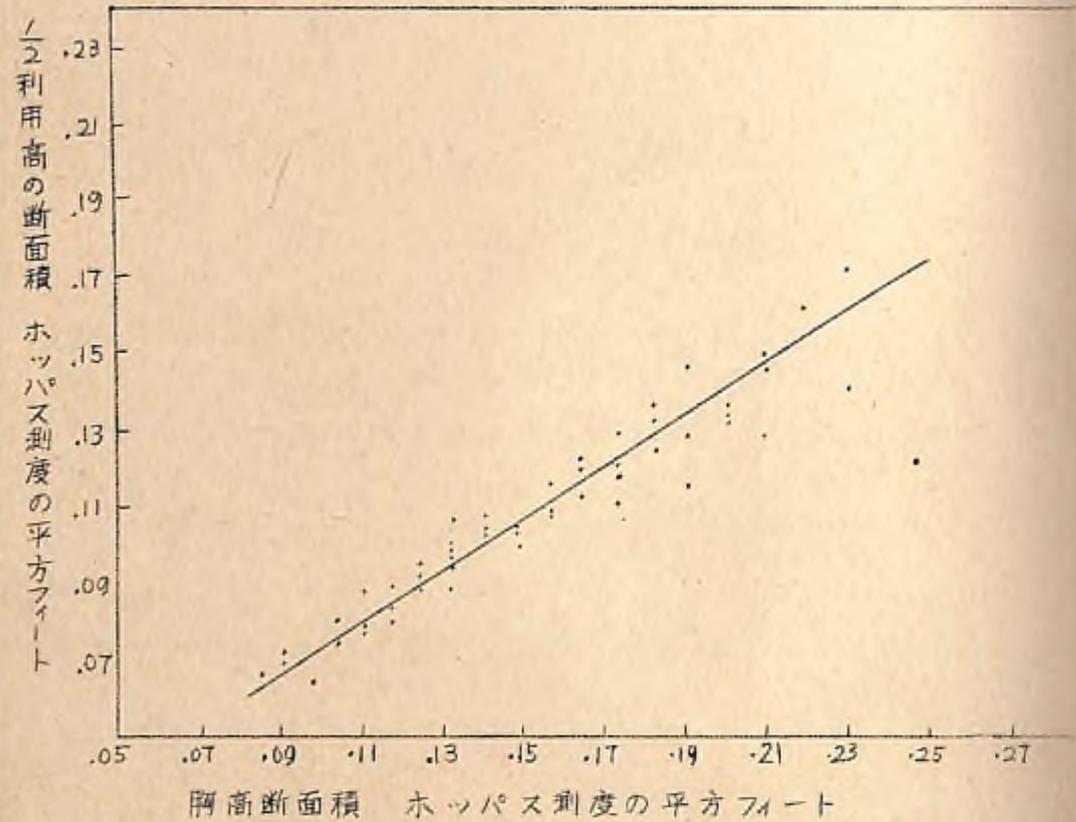
in 単 位 の 四 分 間 級	表の調製に用いた本数								計
	利 用 高 級 ft 単 位								
	10	15	20	25	30	35	40	45	
3	29	33	23	5	—	—	—	—	90
4	—	9	23	51	26	9	—	—	118
5	—	1	4	23	38	32	11	1	110
6	—	—	—	2	7	16	41	12	78
7	—	—	—	—	—	1	14	14	29
計	29	43	50	81	71	58	66	27	425



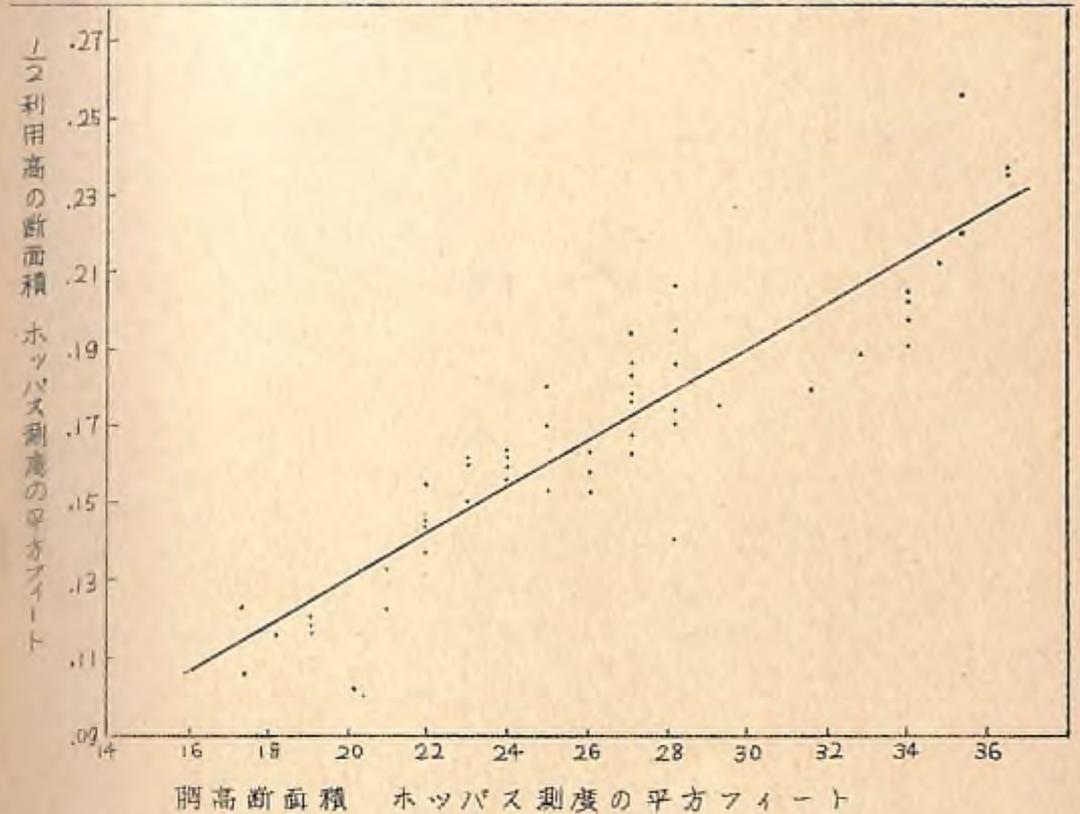
1 図 10ft 利用高級 中央断面積と胸高断面積の関係



2 図 20ft 利用高級 中央断面積と胸高断面積の関係



3 図 30ft 利用高級、中央断面積と胸高断面積との関係



4 図 40ft 利用高級 中央断面積と胸高断面積との関係

回帰線の計算 *Calculation of regression lines*
 プロットされた点からの偏差平方和を最小にする直線の方程式は普通の回帰直線法で算出されるが、この計算を行うに当って、四分間 6in 以上 (胸高) の樹木は除外された。それは重要なことであるが小断面積のところでは代表的な線とならないことが見出されたからである。数組の 5ft 級について算定した方程式の回帰係数 (b) 間には有意差は認められず、これらの回帰係数の平均値は 0.5837 であった。総ての樹高級にこの回帰係数を用いることにすれば、回帰係数 (a) の値を、次の方程式を用いて修正値 (a₁) を求めるため再計算した。

$$a_1 = \frac{SY - SX(0.5837)}{N}$$

ここでSYは、各組の中央利用高断面積の和、SXは、その樹高級の胸高断面積の和である。Nは樹高級の本数

回帰係数の再計算値 (a_1) を利用高に対してプロットすると、ほぼ直線となり(5図)この点を通る最良の線を、直交多項式を用いる方法で計算した。(Fisher と Yates, 1948)この方法で、回帰係数の修正値を与える方程式が求められた。

$$a_2 = 0.0163 - 0.0012 \left(\frac{\text{利用高} - 27.5}{5} \right)$$

10~45ftの利用高に対する a_2 の値が、2表に示してある

2表 10~45ftの利用高に対する修正回帰係数

利用高 ft	修正回帰係数 (a_2)	利用高 ft	修正回帰係数 (a_2)	利用高 ft	修正回帰係数 (a_2)
10	0.02050	26	0.01666	42	0.01282
11	.02026	27	.01642	43	.01258
12	.02002	28	.01618	44	.01234
13	.01978	29	.01594	45	.01210
14	.01954	30	.01570		
15	.01930	31	.01546		
16	.01906	32	.01522		
17	.01882	33	.01498		
18	.01858	34	.01474		
19	.01834	35	.01450		
20	.01810	36	.01426		
21	.01786	37	.01402		
22	.01762	38	.01378		
23	.01738	39	.01354		
24	.01714	40	.01330		
25	.01690	41	.01306		

個々の樹高級の回帰方程式を結び付けるのに利用した方法は、森林委員会発行の針葉樹材積表の計算に用いられたF.C Hummel(参考文献参照)の論じている方法を修正したものである。(Forest Record Nos. 8, 9, 10, 11, 14, 15)

材積表の計算 Calculation of volume table

任意の利用高について、(b)と(a_2)の値が分れば

$$\text{公式 中央利用高の断面積} = a_2 + 0.5837 (\text{胸高断面積})$$

から中央利用高の断面積が算出できる。逆にこの断面積は、与えられた利用高と四分高に対する材積を求めるため、順次、利用高に乗ずることができる。

なお

$$\text{材積} = \text{利用高} \times \text{中央利用高の断面積}$$

$$= \text{利用高} (a_2 + 0.5837 (\text{胸高断面積}))$$

$$= (\text{利用高} \times a_2) + [(\text{利用高} \times 0.5837) \times \text{断面積}]$$

この公式を用いれば、与えられた利用高の材積は、直接計算器で求めることができる。材積表は最後頁に全部が示してある。様内に示してある材積は、このデータで充分裏書きされていない。周囲、樹高級の値である。

材積表の検定 Test of volume table

材積表の精度を検定するために、100本の標本木の測定材積を表から読み取った同じ木の材積と比較した。標本測定値は固定標準地の記録からもとられているが、標本木と間伐木の両者が含まれている。各樹高級で抽出された本数は、データの樹高級の本数にほぼ比例している。

測定材積と材積表材積の差を計算し、3表に示してある。

個々の差の標準偏差は $\pm 0.35 \text{ loggers ft}$ すなわち測定した平均材積の $\pm 13.7\%$ であった。個々の樹高級のいづれについても又表全体についても有意な差はなかった。

(1) 広葉樹小径木 利用高 10ft ~ 20ft
B.H.Q.G. 2 1/2 in ~ 6 in

皮付上部直径 3 in までの材積

Basal Area square feet topped measure	B.H.Q.G. (inches)	Timber Height to 3 inch top, in feet										
		10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
.028	2											
.035	1/4											
.043	1/2	.43	.47	.52	.56	.61	.65	.69	.74	.78	.82	.86
.053	3/4	.51	.56	.61	.66	.71	.75	.80	.85	.89	.94	.98
.063	3	.57	.63	.68	.74	.79	.84	.89	.95	1.00	1.05	1.11
.073	1/4	.63	.69	.75	.81	.87	.93	.99	1.04	1.10	1.16	1.21
.085	1/2	.70	.77	.84	.90	.97	1.03	1.10	1.16	1.23	1.29	1.35
.098	3/4	.78	.85	.93	1.00	1.07	1.15	1.22	1.29	1.36	1.44	1.51
.111	4	.85	.94	1.02	1.10	1.18	1.26	1.34	1.42	1.50	1.58	1.66
.125	1/4	.93	1.03	1.12	1.21	1.30	1.38	1.47	1.56	1.65	1.73	1.82
.141	1/2	1.03	1.13	1.23	1.33	1.43	1.52	1.62	1.72	1.82	1.91	2.01
.157	3/4	1.12	1.23	1.34	1.45	1.56	1.66	1.77	1.88	1.98	2.09	2.19
.174	5	1.22	1.34	1.46	1.58	1.70	1.81	1.93	2.05	2.16	2.28	2.39
.191	1/4	1.32	1.45	1.58	1.71	1.83	1.96	2.09	2.22	2.34	2.47	2.59
.210	1/2	1.43	1.57	1.71	1.85	1.99	2.13	2.26	2.40	2.54	2.68	2.81
.230	3/4	1.55	1.70	1.85	2.00	2.15	2.30	2.45	2.60	2.75	2.90	3.05
.250	6	1.66	1.83	1.99	2.15	2.32	2.48	2.64	2.80	2.96	3.12	3.28

(2) 広葉樹小径木 利用高 20ft ~ 30ft
B.H.Q.G. 2 1/2 in ~ 6 in

皮付上部直径 3 in までの材積

Basal Area square feet topped measure	B.H.Q.G. (inches)	Timber Height to 3 inch top, in feet										
		20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
.028	2											
.035	1/4											
.043	1/2	.86	.90	.94	.98	1.01	1.05					
.053	3/4	.98	1.02	1.07	1.11	1.15	1.20	1.24	1.28	1.32	1.36	1.40
.063	3	1.10	1.15	1.20	1.25	1.29	1.34	1.39	1.44	1.48	1.53	1.57
.073	1/4	1.21	1.27	1.33	1.38	1.43	1.49	1.54	1.59	1.65	1.70	1.75
.085	1/2	1.35	1.42	1.48	1.54	1.60	1.66	1.72	1.78	1.84	1.90	1.96
.098	3/4	1.51	1.58	1.65	1.72	1.78	1.85	1.92	1.99	2.05	2.12	2.19
.111	4	1.66	1.74	1.81	1.89	1.97	2.04	2.12	2.19	2.27	2.34	2.41
.125	1/4	1.82	1.91	1.99	2.08	2.16	2.25	2.33	2.41	2.50	2.58	2.66
.141	1/2	2.01	2.10	2.20	2.30	2.39	2.48	2.57	2.67	2.76	2.85	2.94
.157	3/4	2.19	2.30	2.40	2.51	2.61	2.71	2.82	2.92	3.02	3.12	3.22
.174	5	2.39	2.51	2.62	2.74	2.85	2.96	3.07	3.19	3.30	3.41	3.52
.191	1/4	2.59	2.72	2.84	2.96	3.09	3.21	3.33	3.45	3.57	3.70	3.82
.210	1/2	2.81	2.95	3.08	3.22	3.35	3.49	3.62	3.75	3.89	4.02	4.15
.230	3/4	3.05	3.19	3.34	3.49	3.63	3.78	3.92	4.07	4.21	4.36	4.50
.250	6	3.28	3.44	3.60	3.76	3.91	4.07	4.23	4.38	4.54	4.69	4.85

(3) 広葉樹小径木 利用高 30ft ~ 40ft
B.H.Q.G 2 1/2 in ~ 6 in

皮付上部直径3inまでの材積

Basal Area square feet toppus measure	E.H.Q.G. (inches)	Timber Height to 3 inch top, in feet										
		30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
.028	2											
.035	1/4											
.043	1/2											
.053	3/4	1.40	1.44	1.48	1.52	1.55	1.59	1.63	1.66	1.70	1.73	1.77
.063	3	1.57	1.62	1.66	1.71	1.75	1.79	1.84	1.88	1.92	1.96	2.00
.073	1/4	1.75	1.80	1.85	1.90	1.95	2.00	2.05	2.10	2.14	2.19	2.24
.085	1/2	1.96	2.02	2.07	2.13	2.19	2.24	2.30	2.35	2.41	2.46	2.52
.098	3/4	2.19	2.25	2.32	2.38	2.45	2.51	2.57	2.64	2.70	2.76	2.82
.111	4	2.44	2.49	2.56	2.63	2.70	2.78	2.85	2.92	2.99	3.05	3.12
.125	1/4	2.66	2.74	2.82	2.90	2.98	3.06	3.14	3.22	3.30	3.37	3.45
.141	1/2	2.94	3.03	3.12	3.21	3.30	3.39	3.48	3.56	3.65	3.74	3.82
.157	3/4	3.22	3.32	3.42	3.52	3.62	3.71	3.81	3.91	4.01	4.10	4.20
.174	5	3.52	3.63	3.74	3.85	3.95	4.06	4.17	4.28	4.38	4.49	4.59
.191	1/4	3.82	3.94	4.05	4.17	4.29	4.41	4.53	4.64	4.76	4.88	4.99
.210	1/2	4.15	4.28	4.41	4.54	4.67	4.80	4.93	5.05	5.18	5.31	5.44
.230	3/4	4.50	4.64	4.78	4.92	5.07	5.21	5.35	5.49	5.63	5.76	5.90
.250	6	4.85	5.00	5.16	5.31	5.46	5.61	5.77	5.92	6.07	6.22	6.37

(4) 広葉樹小径木 利用高 40ft ~ 45ft
B.H.Q.G. 2 1/2 in - 6 in

皮付上部直径3inまでの材積

Basal Area square feet toppus measure	B.H.Q.G. (inches)	Timber Height to 3 inch top, in feet					
		40	41	42	43	44	45
.028	2						
.035	1/4						
.043	1/2						
.053	3/4	1.77	1.80	1.84	1.87	1.90	1.94
.063	3	2.00	2.04	2.08	2.12	2.16	2.20
.073	1/4	2.24	2.28	2.33	2.37	2.42	2.46
.085	1/2	2.52	2.57	2.62	2.67	2.73	2.78
.098	3/4	2.82	2.88	2.94	3.00	3.06	3.12
.111	4	3.12	3.19	3.26	3.33	3.39	3.46
.125	1/4	3.45	3.53	3.60	3.68	3.75	3.83
.141	1/2	3.82	3.91	4.00	4.08	4.16	4.25
.157	3/4	4.20	4.29	4.39	4.48	4.58	4.67
.174	5	4.59	4.70	4.80	4.91	5.01	5.11
.191	1/4	4.99	5.10	5.22	5.33	5.45	5.56
.210	1/2	5.44	5.56	5.69	5.81	5.94	6.06
.230	3/4	5.90	6.04	6.18	6.31	6.45	6.59
.250	6	6.37	6.52	6.67	6.82	6.96	7.11

J. N. R. Jeffers
(Forestry Commission Forest Record No 28 1954)

3 Alberta州の lodgepole pine の標準材積表
Standard volume tables for lodgepole pine in Alberta

企画 K29 Project K29

手元にある lodgepole pine (Pinus contorta Dougl var latifolia Engelm) の測定資料は総て 1953~54 年の冬に、直径と樹高で分類した標準材積表を調製するために集められたものである。結局 Alberta 州の lodgepole pine の分析地域全体からとった 676 本について完全な細りの測定値を求めた。

4 種類の材積表を調製した。

1. ft^3 単位の全材積 (根株および梢頭部を含むが樹皮は除かれている)
2. ft^3 単位の取引可能材積 (伐採高 1 ft, 皮内上部直径 4 in)
3. Scribner 丸太規格によるボードフィート材積 (伐採高 10 ft, 皮内上部直径 6 in)
4. 国際 1/4 in 丸太規格によるボードフィート材積 (伐採高 10 ft, 皮内上部直径 6 in)

ft^3 単位の全木材積表を Dwight (1) の述べている調和曲線法で調製した。

ft^3 単位の取引可能材積表は、直径、樹高毎別に全木材積表に於いてある材積から取引不可能な曲線化した材積を引いて作った。

Scribner, 規格と国際丸太規格によるボードフィート単位の材積表は、Meyer が提案した材積一直径比による方法で作られた。

ここに示してある材積表は Alberta 州の lodgepole pine の分析地域全体に適用できると考えられるが、可能であれば、表を適用しようとする地区でとった測定値で吟味してみなければならぬ。

参考文献

1. DWIGHT, T. W. 1937. Refinement in plotting and harmonizing freehand curves. For Chron. 13 (2) 357-370
2. MEYER, W. H. 1944. A method of volume-diameter ratios for board foot volume tables J. For. 42 (3) 185-189

(Forest Research Division Technical Note No. 9, 1955)

lodgepole pine (Pinus contorta Dougl var latifolia Engelm)

胸高直径	樹高 (7.4-10)										胸高に於ける樹皮厚	本数
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100		
	全木材積 (伐根および梢頭部を含む)											
1	.03	.05	.08	.11							.08	5
2	.13	.23	.33	.44							.16	48
3	.25	.48	.72	.97	1.21						.23	63
4	.49	.69	1.28	1.68	2.08	2.47					.28	95
5		1.45	2.04	2.63	3.23	3.85					.32	74
6		2.13	2.98	3.80	4.70	5.55	6.41				.36	57
7		2.92	4.12	5.31	6.50	7.71	8.92				.39	34
8			5.43	7.02	8.63	10.5	11.9	13.5			.42	51
9			6.87	8.89	10.3	13.0	15.1	17.1			.44	42
10				10.9	11.4	15.9	18.5	21.0	23.6		.47	42
11				13.0	16.0	19.0	22.0	25.0	28.0		.50	44
12				15.2	18.7	22.2	25.6	29.1	32.6	36.1	.53	26
13					21.7	25.6	29.5	33.4	37.3	41.2	.56	35
14					25.0	29.3	33.6	37.9	42.2	46.5	.60	27
15					26.0	33.5	38.2	42.9	47.6	52.3	.63	6
16						38.4	45.5	48.6	53.6	58.7	.66	1
17						44.2	49.5	54.8	60.1	65.5	.69	1
18						50.6	56.2	61.7	67.3	72.8	.72	1
19							63.5	69.3	75.0	80.8	.75	4
20							71.5	77.4	83.3	89.3	.79	-

差の平均 = 表は 0.185% 高い
平均偏差 = ± 5.71%
資料数 = 676 本
表は T. W. Dwight の示したものを改良した調和曲線法で調製した。

d.b.h以上は 1/10 樹高間隔で測定 For. Chronicle. Vol XIII.
材積はスマリアン公式で算出。 No. 2 June, 1937
太線は資料範囲を示す。 資料は Alberta で収集した。

Lodgepole pine (*Pinus contorta* Dougl. var *latifolia* Engelm) ft³

胸高直径	樹高 (フット)										胸高に 対する 材積 係数	本数					
	20	30	40	50	60	70	80	90	100								
5	0.9	1.2	1.4	1.7	2.0						.32	74					
6	1.6	2.2	2.9	3.5	4.2	4.9					.36	57					
7	2.3	3.4	4.5	5.6	6.7	7.8					.39	34					
8		4.7	6.3	7.8	9.4	10.9	12.4				.42	51					
9		6.1	8.1	10.1	12.1	14.1	16.1				.44	42					
10			10.0	12.5	14.9	17.5	20.0	22.6			.47	42					
11				12.0	15.0	17.9	20.9	23.9	26.9		.50	44					
12				14.1	17.6	21.0	24.4	27.9	31.4	34.9	.53	28					
13					20.3	24.2	28.1	32.0	35.8	39.8	.56	35					
14						25.4	27.7	32.0	36.3	40.6	44.9	.60	27				
15							27.0	31.7	36.4	41.1	45.8	50.5	.63	8			
16								36.4	41.5	46.6	51.6	56.6	.66	1			
17									41.8	47.2	52.5	57.8	63.2	.69	1		
18										48.1	53.7	59.2	64.8	70.3	.72	1	
19											60.8	66.5	72.2	78.0	.75	2	
20												68.5	74.4	80.5	86.3	.79	-

差の平均 = 表は 0.251% 高い
平均偏差 = ± 7.55%
資料数 417 本
表は全木材積から取引可能な材積を引くことによ
って作製

d.b.h以上 1/10 樹高間隔で測定 データは Alberta で収集
材積はスマリアン公式で算出
太線はデータの範囲を示す

Lodgepole pine (*Pinus contorta* Dougl var *latifolia* Engelm)

胸高直径	樹高 (フット)								スクリュー 規格					
	30	40	50	60	70	80	90	100	胸高に 対する 材積 係数	本数				
7	10	11	14	19	26				.39	30				
8	19	21	24	30	38	48			.42	51				
9	29	32	36	42	51	63			.44	42				
10		46	50	57	67	80	96		.47	42				
11		61	66	74	85	99	117		.50	44				
12		79	84	93	105	121	140	162	.53	28				
13			104	113	127	144	164	188	.56	35				
14			127	136	150	169	191	217	.60	27				
15				151	161	176	196	220	248	.63	8			
16					183	204	225	250	280	.66	1			
17						217	234	256	285	315	.69	1		
18							248	266	290	318	352	.72	1	
19								300	325	355	390	.75	2	
20									335	362	394	432	.79	-

差の平均 = 表は 0.621% 高い
平均偏差 = ± 13.19%
資料数 312 本
上部丸太の最短は 8 フット
太線はデータの範囲を示す

表は材種一直径比による
方法で作製
W.H. Mayer Journal of
Forestry
Vol 42 No 3 3月号 1944
データは Alberta で収集

lodgepole pine (*Pinus contorta* Dougl var *latifolia* Engelm)

胸高	樹高 (フート)										胸高法 113両側 樹皮厚	本数
	30	40	50	60	70	80	90	100				
直径	(伐根高 1.0 フート 上部直径径内 6' 丸太長 16.37 フート)											
7	8	11	15	22	31						.59	30
8	20	23	27	35	45	59					.42	51
9	35	38	42	50	62	77					.44	42
10		55	59	68	81	97	116				.47	42
11		75	79	89	102	120	141				.50	44
12		97	102	112	126	145	168	189			.53	28
13			127	137	152	173	197	220			.56	35
14			155	165	181	203	228	252			.60	27
15			185	196	213	235	262	287			.63	8
16				229	246	270	298	325			.66	1
17				264	282	307	336	364			.69	1
18				302	321	346	377	406			.72	1
19					365	388	420	450			.75	2
20					405	432	465	496			.79	-

累積偏差 = 表は 0.401% 過大
 平均偏差 = ± 14.02%
 資料数 312 本
 上部丸太は 8ft の最小長まで測定
 太線は資料の範囲を示す

表は材積 - 直径比による方法で調製
 W.H. Meyer, Journal of Forestry Vol. 42, No. 3 3月 1944
 データは Alberta の収集

A. W. Blyth

(Forest Research Division Technical Note No. 9 1955)

4 取引可能材積の近似的決定方法

A method of determining approximate merchantable volumes

この論文はエーカー当り断面積と平均断面積をもつ木の樹高とから同令林の近似的な取引可能材積を決定する方法について論じている。これは記載はしたが、地方的材積表の適用できない林分の近似的なエーカー当り材積を求めるのに役立つであろう。

エーカー当り断面積、エーカー当りの取引可能材積、平均樹高(平均断面積をもつ木の樹高)の関係が、630個の1/5エーカープロットの解析によって求められた。これらのプロット - いろいろな令級、疎密級を含んでいる - は5種樹の林相 *black spruce, jack pine, trembling aspen*, 混交林 (*black spruce, white spruce, balsam fir, white birch, trembling aspen, balsam poplar*) から成っている。これは北部 Ontario と北西部 Quebec のパルプ材生産地にまたがっており、その地位は13種類ある

各プロットの取引可能材積は、林令、地位、forest section 別に樹々の樹種について調製した材積表から計算した。断面積の $feet^2$ 当りの取引可能材積を求めるために、プロット材積をその断面積で除した。各プロットの平均樹高は次のようにして求めた。

- 1 平均断面積に相当する d.b.h を算出し
- 2 近似的な樹高 - 直径 林令曲線から、その d.b.h に相当する樹高を読みとる

この手法は混交林を除いた純木の林相に適用された。混交林の場合には、プロットの平均樹高は準優勢の針葉樹と広葉樹の(断面積による)重み付き平均値とした。例えば、プロット断面積の30%が針葉樹であれば、プロットの平均樹高を求めるために、針葉樹の樹高の30%と広葉樹の樹高の70%を組合せた。

1 $feet^2$ の断面積と平均樹高に相当する取引可能材積を示すデー

タが、4種の林相別にプロットし、曲線をあてはめた。これらの曲線は非常に似ていることが分かったので、最小二乗法で、一本の曲線を引いた(1図)この曲線は次の方程式で表わされる。

$$V = 0.45H - 3.1$$

ここで V = 断面積の $feet^2$ 当り取引可能材積 ($feet^3$)

H = 平均樹高 ($feet$)

この方程式から算出した表の値が5 $feet$ 間隔で平均樹高 30 $feet$ ~ 80 $feet$ について1表に示してある。

1図又は1表から近似的な取引可能材積を決めるには、 $d.b.h.$ 4 in 以上の木のエーカー当り断面積に平均樹高に相当する換算係数を乗する。

black spruce, jack pine, trembling aspen 林相の林分平均高は、平均断面積木の直径に等しい直径をもつ5本の木の樹高を平均することで、現地で求められる。混交林では、林分の平均を求めるには、針広別の平均高を決め、断面積で重み付けることが出来る。(或はこの林分では針葉樹と広葉樹を別々に処理し林分全体のエーカー当り材積を求めるには、その材積を合計してもよい) 平均樹高は近似的な樹高 直径曲線からも求めることができる。

1図に示してある関係の信頼性を吟味するため、上述の換算係数を用いて、個々のプロットの材積を求め、元の算出材積と比較した極差の%で表わした、この差違が2表にとりまとめている。差の平均の大部分は5%以下であったが、10%のものもあった。個々のプロット差は一般に10%以下で(プロットの5%が10%以上の差を示した) 最大の差は19%であった。大きな差は、一般に輪伐期に達しない、樹高の低い林分で生じている。このような若い林分では正確な取引可能材積の決定はそれ程重要でなく、20%程度の差は許容で

注 取引可能材積: $d.b.h.$ 4 in 以上 伐根高 12 in 上部直径 3 in 以上の $feet^3$ 単位の材積

きるであろう。

この量が樹種、林令、径級、地位によって変る欠陥については全然考慮していないことを指摘しておかねばならない。したがって、应用到際して欠陥については地方的なきず係数による控除を行わねばならない。

注意 Note

この論文が受理された後、南部産マツについての同様な結果が Louisiana 州立大学林学科の助教授 Chas. O. Minor により1954年4月に南部パルプ保護協会の刊行物である "The Unit" に発表された。

Minor の数値は1 $feet^2$ の断面積当りの粗コード単位で示してあり、1コード当り 85 $feet^3$ の係数を用いるとこの論文の数値により平均5%高くなった。

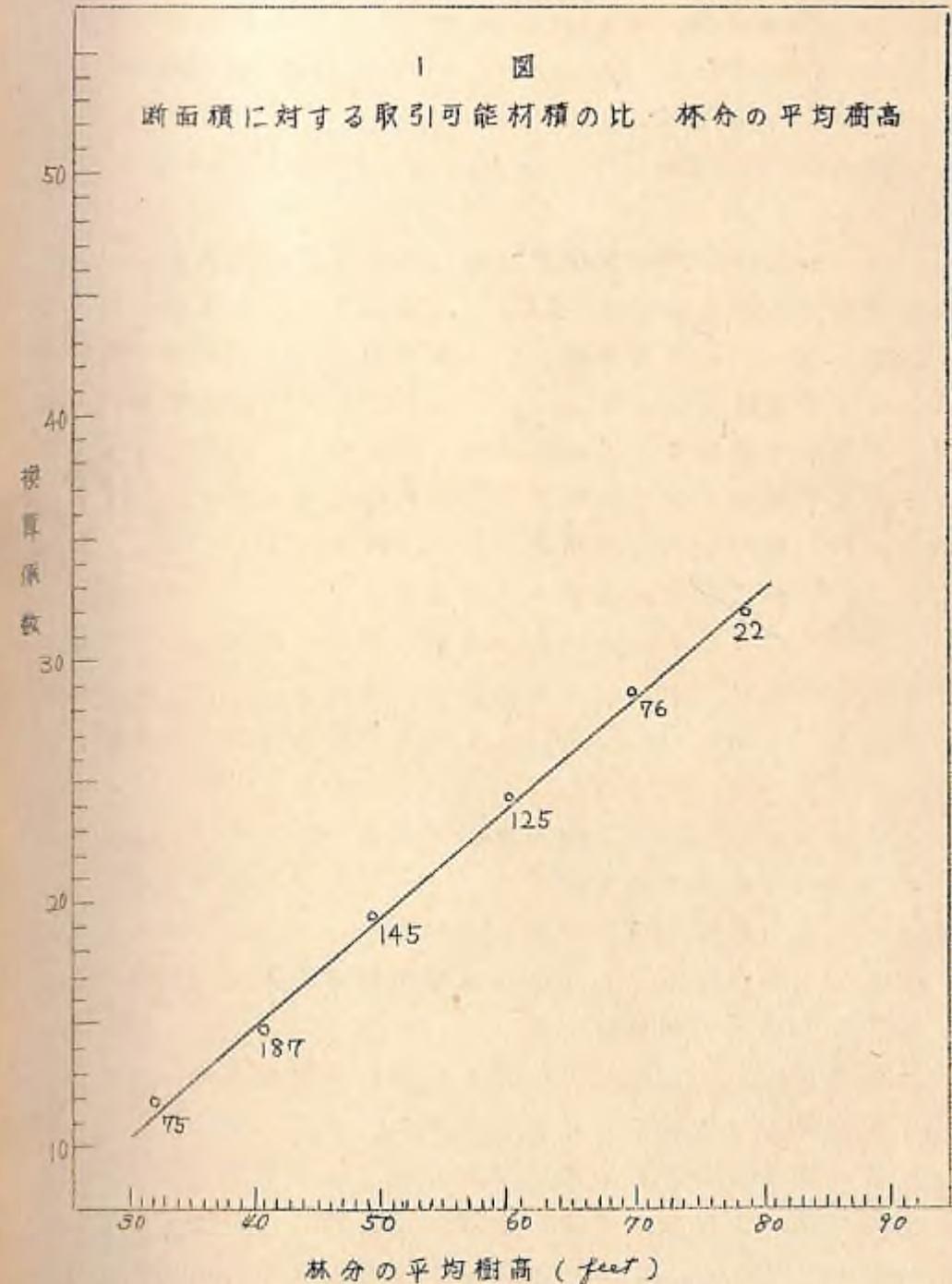
1表 1 $feet^2$ の断面積に対する取引可能材積の換算係数

樹高 [±]	換算係数	樹高	換算係数	樹高	換算係数
($feet$)	($feet^3$)	($feet$)	($feet^3$)	($feet$)	($feet^3$)
30	10.4	50	19.4	70	28.4
35	12.6	55	21.6	75	30.6
40	14.9	60	23.9	80	32.0
45	17.2	65	26.2		

注 平均樹高

2表 算出材積と推定材積の差の百分率

林 相		樹 高 級					
		30	40	50	60	70	80
Black spruce	プロット数	70	112	84	12	----	----
	差の平均	5%	3%	3%	3%	----	----
	最大の差	17%	9%	9%	5%	----	----
	10%以上のプロット数	4	----	----	----	----	----
Jack pine	プロット数	----	64	23	51	37	3
	差の平均	----	7%	3%	3%	2%	3%
	最大の差	----	19%	13%	6%	8%	5%
	10%以上のプロット数	----	22	1	----	----	----
Trembling aspen	プロット数	2	4	20	30	20	13
	差の平均	10%	1%	7%	5%	2%	3%
	最大の差	14%	2%	19%	9%	6%	7%
	10%以上のプロット数	1	----	3	----	----	----
混交林	プロット数	3	7	18	32	19	6
	差の平均	7%	4%	4%	3%	2%	1%
	最大の差	10%	8%	13%	9%	4%	3%
	10%以上のプロット数	----	----	2	----	----	----
全 体	プロット数	75	187	145	125	76	22
	差の平均	5%	3%	4%	2%	2%	2%
	最大の差	17%	19%	19%	9%	8%	7%
	10%以上のプロット数	5	22	6	----	----	----



使用法 1. 平均林分樹高に相当する換算係数をグラフから求める。
 2. ft^2 単位の取引可能材積を求めるための換算係数を断面積 (d.b.h 4in 以上) に乗ずる

5. Pennsylvania の red oak の ft^3 単位の材積表の調製
 Construction of cubic-foot volume tables for
 red oak in Pennsylvania ^{註1}
 Thomas W. Beers and Samuel F. Gingrich

Pennsylvania 州の材積表調製に関する長期計画が 1955 年に開始された。この計画には Pennsylvania 州立大学林学科、Pennsylvania 森林治水局、U.S. 農林省山林局北東林業試験場^{註2}が協力した。この計画は Pennsylvania の総ての主要樹種又は樹種群の材積表を調製することを目的としている。合理的な測定値に基すく標準材積表と近代的調製方法を利用する必要性が、その中で認められた。現在多数の材積表が採用されているが、后頼における標本木の測定値に近代的調製方法を適用して達成しうる正確さをもつものは僅かである。この計画で調製された材積表は、州規模の資源調査のみならず、小地域の蓄積調査に使用する、地方的材積表調製の基礎として用いられ場合にも、単木材積推定値の合理的な前提となるであろうことを意味している。

注1 Pennsylvania 農業試験場報告 No. 2145 として 1957 年 4 月 18 日付で発表が認可されている。この研究は筆者が Pennsylvania 州立大学に奉職している時に行ったものである。筆者は森林保全省と Purdue 大学の教官を兼ね、農林省山林局中央試験場の調査官である。

注2 筆者は Pennsylvania 州立大学の林学教授で、この計画に関心をよせておられた故 H. A. Meyer 博士の努力が以下にのべる方法を得るのに非常に役立ったことを感謝したい。さらに現地資料の収集と分析に価値のある助言をたまわったことに対して Pennsylvania 森林治水部の林業相談所長 Joseph E. Johnson 氏、北東林業試験場の統計官 C. Allen Bickford に感謝する。

現地資料分析の手ほどきのため、代表樹種として北方系 red oak (*Quercus rubra* L.) を選んだ。red oak の ft^3 単位の材積表を調製する最良の方法の決定をここで論ずることとする。成材積表から皮付の ft^3 材積を求める手順も示してある。

red oak の資料 Basic data for red oak
 基礎標本を構成する 236 本の red oak の測定値が、Pennsylvania の森林治水部から個人的に提供された。

この標本は、red oak が各種の用材材型で主要構成樹種となっている。この州の総ての林班からとられたものである。調査員が伐採計画にできるだけ正確に従って、取引の行なわれた林地の伐倒木を測定したものが、大部分を占めている。

各種の地位級別に red oak の標本を求める企画も樹てられた。その生育地が伐採される時に測定して、各地位級に適当に配分された資料が得られた。各地位の特性を、伐倒木毎に記録したが、このデータは引續いて行う予定の地位級別材積表に関する研究の基礎となるであろう。採算のとれる伐採ができない程地位の低い処所では、この研究で得られた材積表は実材積を過大推定するかも知れないことを指摘しておく必要がある。

胸高直径と取引可能樹高 (最小皮付直径 4.5 in までの樹高) 別の標本の本数分配表が 1 表に示してある。

1表 基礎資料を構成している red oak の標本分布

胸高直径 Inches	取引可能樹高級								直径級計
	10	20	30	40	50	60	70	80	
5	4	6							10
6		7	10						17
7			5	11					16
8			4	10					14
9			1	5	8	2			16
10				3	12	3			18
11					12	7			19
12				1	8	12			21
13					2	7	2		11
14					1	8	7		16
15					3	5	2		10
16					4	3	3		10
17						5	7	2	14
18						4	2		6
19						1	6		7
20							1	3	1
21					1	1	5		7
22						1	5	1	7
23						1	2	1	4
24									
25									
26							2		2
27							2		2
28								1	1
29							1	1	2
30							1		1
Height class total	4	13	20	30	51	63	48	7	236

直径を、樹幹上の各点において輪尺で測定した。オノ丸太(地上17ft以下)は4ft間隔で行い、これ以上の測定は8ft間隔で行った。

オノ丸太については Newton 公式、それ以外の丸太については Huber 式で材積を計算した。最後の丸太を除いて、主幹材積の計

算は8ft間隔の丸太を用いて行った。枝條材および最後の丸太の材積は最小皮付直径4.5inまでの丸太の長さを用いて Huber 式で算出した。樹皮厚は樹皮計で測定した。

樹高はスチールテープを伐倒木について測定した。極端な分枝、その他取引が不可能と思われる木を除いて、取引可能樹高は、最小皮付直径4.5inまで測られた。

調製方法 Construction methods

標準材積表は、グラフによる方法、共線図表法、公式による方法を含む3つの基本的方法で調製されている。

グラフによる方法は最も古く、最も利用が簡単と思われる。しかし、簡易性に伴って正確さが低下することがよくある。この種の調製方法の典型的な例は、調和曲線法である。

この方法は現地資料に一組の曲線を当てはめるもので、材積は直径階、樹高階別に分類される。この種の調製方法の不正確さの原因は主として各直径、樹高階別に曲線が必要であり、正確な標本を得るには、多数の基礎資料を必要とするからである。

共線図表法で材積表を調製する場合には、共線図表を作製して方程式を解くために、よく知られている方法が利用される。その基本方程式は、基礎資料、すなわち標本から決められる材積、直径、樹高によく当てはまるように修正した、円筒形の材積の方程式である。共線図表法は調和曲線法より優れているが、それは、従々の資料を数組の曲線ではなく一組の材積曲線の調製に利用でき、その結果、効率は一層とよくなり、はん雑な手間が少なくなるからである。

統計的手法が林業に次第にとり入れられて来たため、公式による調製方法(グラフによる吟味と簡略法を含む場合がよくある)が純粋なグラフ又は共線図表法に殆んど完全にとって代った。公式による方法は、フリーハンドで曲線を当てはめる時に起る個人的偏りが除かれ、作製された材積表の正確さを断断するのに用いられる統計量が曲線を当てはめるのに適用した最小二乗法から直ぐに求める

ことができるので、一般に望ましい方法と考えられる。

本求、曲線による調製方法は、現地での測定で得られた基礎資料に曲線(しばしば直線)をあてはめることである。この研究では、6種の公式を同じ red oak の資料に適用した。必要とする材積表を調製するのに最も適した式を決めるために、これらの公式の比較を行なった。

使用した各公式において、皮付4.5inの最小直径までの取引可能な成材材積は、皮付胸高直径(Dで表わされる)と皮付直径4.5inまでの取引可能樹高(Hで表わされる)の関数として表わされる。次に説明する公式を red oak のデータに適用した。

材積表の調製に用いた最初の公式の一つは Schumacker & Hall³³ が紹介した対数材積方程式である。その一般式は

$$V = D^{a_1} H^{a_2} C$$

これは次のように変換できる。

$$\log V = a_0 + a_1 \log D + a_2 \log H \quad (A)$$

ここで、 a_0 は回帰常数、 a_1, a_2 は回帰係数、 V, D, H は前に定義したとおりである。基礎資料を利用して最小二乗法で a_0, a_1, a_2 を決める。

最近提案されている公式の多くについては Spurr³⁴ が論じている。そのうち最も見込みのある二つの公式は結合変量式と Australian式と呼ばれている。前の公式と同じ記号を用いれば結合変量式は

$$V = a_0 + a_1 D^2 H \quad (B) \text{ 注5}$$

注3 Schumacker, F. X. & Francisco dos Santos Hall. 材積の対数による表示 Jour. Agric. Res. 47:719, 734, 1933

注4 Spurr, Stephen H. Forest inventory The Ronald Press Co, New York, 476 pp, 1952

Australian 式は

$$V = a_0 + a_1 D^2 + a_2 H + a_3 D^2 H \quad (C)$$

この研究で調べた式はこの外次のものがある。

$$V = a_0 + a_1 D^2 + a_2 H \quad (D)$$

$$V = a_0 + a_1 D^2 + a_2 D^2 H \quad (E)$$

(D)(E)式は結合変量式を改良したものである。直径が大になるにつれて抽出変動が増すので、これを修正すれため、材積そのものの逆数で観測材積に重みをつけた。実際に適用した公式は、観測材積に $\frac{1}{D^2 H}$ に等しい重みを付けた

$$V = a_0 + a_1 D^2 H \quad (F)$$

がある。

注5 これは数学的に取扱った形数、に非常に似ている。後者の方法は同じ高さ、 a, b, c に等しい直径をもつ円筒形の容積と材積との間に一定の関係を仮定している。

$$f = \frac{V \text{材積}}{V \text{円筒}} \text{ とすれば}$$

$$\begin{aligned} f \text{材積} &= f(\text{断面積})(\text{樹高}) \\ &= f \frac{\pi D^2}{(4)(144)} H \\ &= a_1 D^2 H \end{aligned}$$

$$\text{ここで } a_1 = \frac{f \pi}{(4)(144)}$$

$V = a_1 D^2 H$ は a_0 が数値的に小さいときには一このような場合はしばしばあるが—

$V = a_0 + a_1 D^2 H$ とほぼ等しいと考えられる。

注6 Meyer, H. Arthur, Forest Mensuration, Penns Valley Publishers, Inc. State College, Pennsylvania 357 pp 1953.

解析と方程式の比較 *Analysis and comparison of equations*
解析に使用した手順は次のとおりである。

1. 与えられた公式を236本の *red oak* の標本から得られたデータに適用した。すなわち各曲線を最小二乗法であてはめた。
2. 推定値の標準誤差および回帰係数の標準誤差を最小二乗法から得られた6つの方程式について計算した。
3. 公式の相対的価値を次の点から決定した。
 - a. 推定値の標準誤差。これは約2/3の確率で真値がその内にあることが期待できる平均の範囲を示す。
 - b. 標準誤差の大きさを示される回帰係数の信頼度
 - c. 最小二乗法の解および材積表調製に要する労力

最終的方程式に関する統計量の要約が2表に示してある。真数による方程式のうち、D式は推定値の標準誤差が大きいので直ぐに除外できる。(C) E) 式の係数を調べてみると係数は余り信頼できないことを示している。いづれの場合でもD²Hの係数を除いて、係数そのものより誤差の方が大きい。これらの係数は、統計的検定を行えば明らかに0と有意差はないと思われる。したがって、(C) (E) 式は、最も信頼のおける項D²Hだけを含む方程式で充分であるので除外できる。

解析途中のところで、この研究の目的が、将来収集されるデータから材積表を調製するのに最適の方法をみつけることであることを強調する必要がある。これには当然、統計的な立場からと同じく、材積方程式を求めるのに必要な労力の点からみた各方法の評価が含まれる。

方程式(B)と(F)は、常数(a₀)の誤差を除いて、統計的に殆んど差はない。方程式(F)は直径に応じて差があるように見える材積の抽出変動(分散の不均一)を補正するため公式(B)に重み付けの方法を適用したものである。この改善を施しても適合精度は向上しないので方程式(F)はこれ以上考察する必要はない。方程式(F)の常数項(a₀)が方程式(B)のものより信頼できるということは、それ程重要ではない。というのは、この小さな加算項が最終的に材積表におよぼ

す影響は僅かと思われるからである。真数式の最良のものと対数式とを比較する時には、真数を表わした対数式の推定値の標準誤差を計算しなければならない。この計算には基礎資料の単木毎に残差(観測材積-推定材積)が求められる。このようにして計算した推定値の標準誤差は真数式の値と比較できる。

方程式(A)の推定値の誤差が方程式(B)より数分大きいことが証明されたが、係数の誤差はすべて所要の限界内にある。

2表 係数、誤差および推定値の標準誤差のとりまとめ表

公式 (方程式)	独立変数に対する係数と誤差			推定値の標準誤差	
対数	log d	log D	log H	0.02441 (対数) 4.592 (絶対値)	
	a ₀	D	H	D ² H	
A	-0.381466 ± 0.012	2.060582 ± 0.017	0.772855 ± 0.019		
B	0.156830 ± 0.406			0.002834 ± 0.00002	4.458
C	0.747352 ± 1.342	0.00801473 ± 0.014	-0.0202272 ± 0.027	0.00274367 ± 0.0002	4.454
D	-9.419071	0.199375	0.093872		1.12
E	-8.145037 ± 0.587	0.00981025 ± 0.14		0.00274154 ± 0.0002	4.48
F	0.368129 ± 0.161			0.09281778 ± 0.0036	4.447

統計的結果から、方程式(A)か(B)を選ぶことは難しい。これらの選択は、実行面と理論面についてそれぞれの長所を比較して決めなければならない。

対数式(方程式A)を適用したときの理論的利点は、基礎データに表われる分散の不均一性が殆んど最小になることである。分散が均一であるという仮定が、真数式を適用する基本となっている。従属変数の分散の性質と独立変数との関係を示すため、観測データを調べてみることが出来る。結合変数方程式を適用するに当たって設けた分散の一様性の仮定を反駁するはつきりした根拠は得られなかった。

次のような観測が行われた。

1. 基礎データをD²H級(全部517)に分け、観測材積の分散を各

クラスについて計算すると、標本の本数の73%を含む。最小の級から8番目の級までの範囲では、分散は殆んど一定であった。11番目以下の級では極くわずかな傾向がみられた。(この範囲には標本木の84%が含まれている。)

2. 分散を総て変動係数として表し(その級の平均材積の%で表わされた分散の平方根)平均D²Hに対してプロットすると、ほつきりした傾向はみられなかった。

前述の観測と不均一な分散の修正に失敗したという事実(方程式F)から、分散が不均一であったとしても、結合変量式の適用にほんら實際的な障害は表われなかった。

対数による方法では、対数変換による偏りとして知られている複雑な問題が入ってくるが、これは最小二乗方程式を補正すれば修正できる。対数法のオーの欠点は、最小二乗法で解く前に観測データを対数に変換する必要のあることである。どちらの方程式で調整した材積表も同等しい信頼性をもって使用できるであろう。事実、基礎データの範囲内では、最終的な表は、うまくあっている。(3表と4表を比べてみよ)

3表は対数表方程式(変換による偏りを補正した)で調整されたものである。

$$\log v (\text{cu. ft. の10倍}) = -0.38078 + 2.060582 \log d.b.f (\text{in. の10倍}) + 0.772855 (f.t. の10倍)$$

4表は結合変量方程式で調整された。

$$\text{材積} = 0.156830 + 0.002834(d.b.f)^2 \text{ (利用樹高)}$$

結合変量式は *Pennsylvania* の *red oak* の ft^3 材積表を調整するのに最も簡単でしかも十分精度のよい方法であると結論できる

結合変量式の特長は、材積表を一本の直線で、簡単に図示できることである。時には、この直線関係がD²Hの総ての範囲特に小さな値のところでは成立しないこともある。直線からの偏差が相当なものであるれば、図上修正することができよう。この研究では補正は行なわなかった。僅かに曲線性がみられるが、これは無視できる。

皮付材の ft^3 材積表

The cubic-foot volume table for unpeeled wood

現場での測定値から材積を計算する場合、取引可能材積は皮付と皮内を計算される。与えられた公式の適用度は、樹皮を含むか否かで違ってはいけない。成材と同じ方法を用いて皮付材の表を調整するよりはむしろ、成材の百分率で表わされる既知の樹皮材積を利用した方が簡単であることが分った。

その方法を簡単にのべる。

(BVで表わされる) (Vで表わされる)

1. cu 単位の直径級別に算出した平均樹皮材積を皮内材積の百分率として表わす。これは記号的には次のように表わせる。

$$BV(\%) = \frac{BV}{V} \times 100$$

又は

$$BV(\%) = \frac{V-v}{V} \times 100$$

vは皮内材積である。

2. このようにして求めた各百分率をその直径級の平均d.b.f.に対してプロットし、重みを付けた点について最小二乗法で曲線を当てはめた。

3. 釣合のとれた樹皮材積百分率を、直径級の中点ごとにグラフから読みとった。

4. この釣合のとれた値を、次の関係に示してあるように、皮付材積を求めるのに適用した。

$$BV\% = \frac{BV}{V} \times 100$$

$$= \frac{V-v}{V} \times 100$$

Vについて解けば

$$\frac{V(BV\%)}{100} = V-v$$

$$V - \frac{V(BV\%)}{100} = v$$

$$V(1 - \frac{BV\%}{100}) = v$$

$$V = \frac{v}{1 - \frac{BV\%}{100}} = \text{皮付材積}$$

5 したがって red oak の皮付材の材積 (5 表) は、4 表の値に $1 - \frac{BV\%}{100}$ を乗じて求められる。BV% の値は樹高級に無関係に各直径級に適用された。換算するため、樹皮材積と樹高の関係を定める必要はないと考えられる。

要約 Summary

この材積表調製方法の研究は Pennsylvania 州の材積表の調製に使用すべき最適の方法を求めめるために、1956年に着手された。Red oak が基本的解析を始める試験的樹種として選ばれた。

red oak の 236 本の伐倒木から求めたデータを用いて、ft³ 単位の実材積を単木毎に計算した。このために Newton および Huber の公式を利用した。d.b.h と利用樹高で ft³ 材積を推定する最良の公式を求めめるため、いろいろな実験式を基礎データに当てはめてみた。

6 つの公式を調べたが、その中には、対数式、Australian 式、結合変量式が含まれている。各公式の相対的価値を、推定値の標準誤差、(基礎資料に対する適合度) 回帰係数の信頼度、材積表調製に適用した場合に必要な労力によって判断した。

結合変量式は、同じようなデータから材積表を調製するのに最も優れたものであることが分った。この公式は記号的には

$$V = a_0 + a_1 D^2 H$$

で表わされ、ft³ 材積 (V) は、ただ一つの結合変量。即ち直径の平方に樹高を乗じた項 (D²H) で表わされる。

方程式 $V = 0.156830 + 0.002834 D^2 H$ で調製した red oak の ft³ 材積表が示してあるが、この材積には樹皮材積は含まれていない。樹皮を含む材積 (皮付材積) を示す ft³ 材積表も基本表からその材積を求めるのに用いる方法の概略と共に載せてある。樹皮材積率は

換算して用いた。

d.b.h Inches	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	合計
5	1.00	1.70	2.33	2.91	3.46							10
6	1.45	2.48	3.39	4.24	5.04	5.80						17
7	2.00	3.41	4.66	5.83	6.92	7.97	8.98					16
8	2.63	4.49	6.14	7.67	9.11	10.5	11.8					14
9	5.72	7.83	9.78	11.6	13.4	15.1	16.7					16
10	7.11	9.73	12.1	14.4	16.6	18.7	20.8	22.7				18
11	8.65	11.8	14.8	17.5	20.2	22.8	25.3	27.7				19
12	10.4	14.2	17.7	21.0	24.2	27.3	30.2	33.1				21
13	16.7	20.9	24.8	28.5	32.1	35.6	39.0	42.4				11
14	19.5	24.3	28.9	33.2	37.5	41.5	45.5	49.3				16
15	22.4	28.0	33.3	38.3	43.2	47.9	52.4	56.9				10
16	25.6	32.0	38.0	43.8	49.3	54.7	59.9	65.0				10
17	29.0	36.3	43.1	49.6	55.9	61.9	67.9	73.6				14
18	32.7	40.8	48.5	55.8	62.9	69.7	76.3	82.8				6
19	45.6	54.2	62.4	70.3	77.9	85.3	92.6	99.6				7
20	50.7	60.2	69.2	78.1	86.6	94.8	103	111				5
21	56.0	66.6	76.7	86.4	95.7	105	114	122				7
22	61.7	73.3	84.4	95.0	105	115	125	135				7
23	67.6	80.3	92.5	104	115	126	137	148				4
24	73.8	87.7	101	114	126	138	150	161				1
25	95.4	110	124	137	150	163	175					1
26	103	119	134	149	163	177	190					2
27	112	129	145	161	176	191	206					2
28	120	139	156	173	190	206	222					1
29	129	149	168	186	204	221	238					2
30	139	160	180	200	219	237	255					1
Basic trees	4	13	20	30	51	63	48	7				236

3 表 方程式 A で調製した red oak の (皮) 取引可能な材積 (注)

$$\text{取引可能な材積 (ft}^3 \text{の10倍)} = -0.080750 + 2.01032 \log D (\text{in} \times 10 \text{倍}) + 0.77255 \log H (\text{in} \times 10 \text{倍})$$

注 1 Pennsylvania の山林治水局の職員により Bonnygl によって 1956 年に T. W. Beor により公式法で調製された。材積は Newton および Huber 式で計算した。150m 伐根は材積に含まれていない。推定の標準誤差は 4.59 ft³ である。本線は基礎データを示す。

注 2 修正済み

4 表
結合変置式(方程式B)で調査した
red oak の取引可能な材積

$$V = 0.156830 + 0.002834D^2H$$

注 *Reminglennic* の森林治水局の
職員により *Reminglennic* を測
られた。1956年に T.W. Beer によ
り公式法を調査した。材積は *Newton*
と *Huber* 式で算出した。1斗の伐
根は材積に含まれていない。推定の
標準誤差は 4.44563 である。本線は
基礎データの範囲である。

d.b.h. Inches	皮付最小直径 4.5in までの樹高 (ft.) 取引可能な皮付材積 (cu ft) (皮付 4.5in 以上)										資料数	
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100		110
5	0.87	1.57	2.28	2.99	3.70							10
6	1.15	2.20	3.22	4.24	5.26	6.28						17
7	1.55	2.93	4.32	5.71	7.10	8.49	9.88					16
8	1.97	3.78	5.60	7.41	9.23	11.0	12.9					14
9		4.75	7.04	9.34	11.6	13.9	16.2	18.5				16
10		5.82	8.66	11.5	14.3	17.2	20.0	22.8	25.7			18
11		7.02	10.4	13.9	17.3	20.7	24.2	27.6	31.0			19
12		8.32	12.4	16.5	20.6	24.6	28.7	32.8	36.9			21
13		14.5	19.3	24.1	28.9	33.7	38.5	43.3	48.1			11
14		16.8	22.4	27.9	33.5	39.0	44.6	50.1	55.7			16
15		19.3	25.7	32.0	38.4	44.8	51.2	57.5	63.9			10
16		21.9	29.2	36.4	43.7	50.9	58.2	65.5	72.7			10
17		24.7	32.9	41.1	49.3	57.5	65.7	73.9	82.1			14
18		27.7	36.9	46.1	55.2	64.4	73.6	82.8	92.0			8
19		41.1	51.3	61.5	71.8	82.0	92.2	102	113	124	135	7
20		45.5	56.8	68.2	79.5	90.8	102	114	125	138	151	5
21		50.1	62.6	75.1	87.6	100	113	125	138	151	165	7
22		55.0	68.7	82.5	96.2	110	124	137	151	165	180	7
23		60.1	75.1	90.1	105	120	135	150	165	180	195	4
24		65.5	81.8	98.1	114	131	147	163	180	195	210	—
25		88.7	106	124	142	160	177	195	210	227	245	—
26		95.9	115	134	153	173	192	211	227	245	262	2
27		103	124	145	165	186	207	227	245	262	281	2
28		111	133	156	178	200	222	245	262	281	300	1
29		119	143	167	191	215	238	262	281	300	324	2
30		128	153	179	204	230	255	281	300	324	350	1
Basis trees	4	13	20	30	51	68	48	7	—	—	—	236

5 表
4表の値に平滑にした樹高材積を適用
して調査した red oak の取引可能な
材積 (皮付材積)

(*Journal of Forestry*
Vol. 56 No. 3 1958)

d.b.h. Inches	皮付最小直径 4.5in までの樹高 (ft.) 取引可能な皮付材積 (cu ft) (皮付 4.5in 以上)										資料数	
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100		110
5	1.15	2.08	3.02	3.96	4.89							10
6	1.53	2.85	4.17	5.49	6.81	8.13						17
7	1.97	3.71	5.48	7.24	9.00	10.8	12.5					16
8	2.45	4.69	6.95	9.20	11.5	13.7	16.0					14
9		5.78	8.56	11.4	14.1	16.9	19.7	22.5				16
10		7.01	10.4	13.8	17.2	20.7	24.1	27.5	30.9			18
11		8.43	12.5	16.7	20.8	24.9	29.1	33.2	37.2			19
12		9.97	14.9	19.8	24.7	29.5	34.4	39.3	44.2			21
13		17.3	23.1	28.8	34.6	40.3	46.1	51.8	57.5			11
14		20.1	26.7	33.3	40.0	46.5	53.2	59.8	66.5			16
15		23.0	30.6	38.1	45.7	53.4	61.0	68.5	76.1			10
16		26.0	34.7	43.3	51.9	60.5	69.2	77.8	86.4			10
17		29.3	39.0	48.7	58.5	68.2	77.9	87.6	97.3			14
18		32.8	43.7	54.5	65.3	76.2	87.1	98.0	109			6
19		48.5	60.6	72.6	84.8	96.8	109	120	133			7
20		53.6	66.9	80.3	93.6	107	120	134	147			5
21		58.9	73.6	88.3	103	118	133	147	162			7
22		64.5	80.6	96.7	113	129	145	161	177			7
23		70.3	87.9	105	123	140	158	176	193			4
24		76.5	95.5	115	133	153	172	190	210			—
25		103	124	144	165	186	206	227	247			—
26		112	134	156	178	201	223	245	267			2
27		120	144	168	191	216	240	263	284			2
28		129	154	181	206	232	257	284	303			1
29		137	165	193	221	248	275	303	324			2
30		148	176	206	235	265	294	324	350			1
Basis trees	4	13	20	30	51	63	48	7	—	—	—	236

6. Missouri 州の高地産 *white oak* の樹幹下部の測定による
Girard Form Class の推定

*Girard form class estimation from lower
bole measurements on upland white oak trees
in Missouri*

Jack D. Harris and Andrew J. Nash

最近、樹幹下部の測定により *Girard* の *form class* を推定する方法が研究されている。Burns と Adams (1) は Louisiana 州のマツ林分で調査を行い、Horn は Mississippi 州の *loblolly pine* と *shortleaf pine* に樹幹下部の測定値を用いた。樹幹の比較的下の2つの測定値の比を求めることにより、かなり正確に *Girard form class* の推定できることをいづれのレポートも示している。この結果を利用した時に得られる利点は、地上 17.3 feet の *Girard form class* の上部測定値を得るために、梯子、木登り用鉄鉤その他を用いないで、現場で *Girard form class* の *check* が直ちにできることである。*Girard form class* は細りを推定する際の基準として一般に採用され、多くの材積表は *Girard form class* の単位で細りを示しているから、下部の測定で *Girard form class* の充分正確な推定値が得られるならば、当然測定の際、*Girard form class* にかんがりの注意が払われるであろう。17.3 feet の位置の測定値を求めることが難しいために、*form class* は一般に目測で推定されるか、多数の林分の一つの *form class* の数値を適用している。いづれの方法も蓄積を推定する際重大な誤差を導くことになる。

方法 Procedure

Boone County, Mo. の Missouri 河の北部にある2つの *white oak* 林分を試験地として選んだ。林分の採択に当

て、同令で広範囲の *girard form class* を含むことが必要であった。優勢木と準優勢木をこの試験に使用した。

所要の現地資料を求める際に、*girard form class* は、地上 1.25 feet の皮内直径と 4.5 feet の皮付直径を測り、前者を後者で割って比を求める普通の方法で測定した。

各木について、地上 7 feet から 1 foot まで、6 in 間隔で皮付直径を測定した。樹幹上の正しい位置を求めるために、6 in 間隔で印を付けたポールを使用した。この点の直径を直径巻尺で測った。樹皮厚は、1 foot 間隔で測定し、各単木について、in 単位の樹皮厚と in 単位の皮付直径との関係を示すグラフを用いて、樹幹の下部で 6 in 間隔の内直径をプロットした。地上 6 feet 近くの直径測定値とほぼ地上 2 feet の直径測定値の比により、*girard form class* と同じ数値の得られることが、この限られた試験の結果示めされた。したがって、1~3 feet の間で下部の測定値、6~7 feet の間で上部測定値をとって、その比を計算した。皮付と皮内のあらゆる組合せについて比を算出し、特別に設計した表に記入した。異常な *form class* をもつ数本の木を、標本調査される林木母集団を代表していないとして、データから除外した。この棄却は、異常資料のデータを除く標準的な方法で行った。

データの表から、実際の *girard form class* に近い上部直径と下部直径の組合せを調べた。実際の *form class* に上下に 1 *form class* 巾の任意の限界を設けた。

結果と結論 Results and Conclusions

特定の範囲内にある上下直径の組合せの表から、地上 6.5 feet の皮内直径と地上 2.5 feet の皮付直径との比が、これ以外の直径の組合せに比べて予定値の値の得られる回数が多いことが示された。

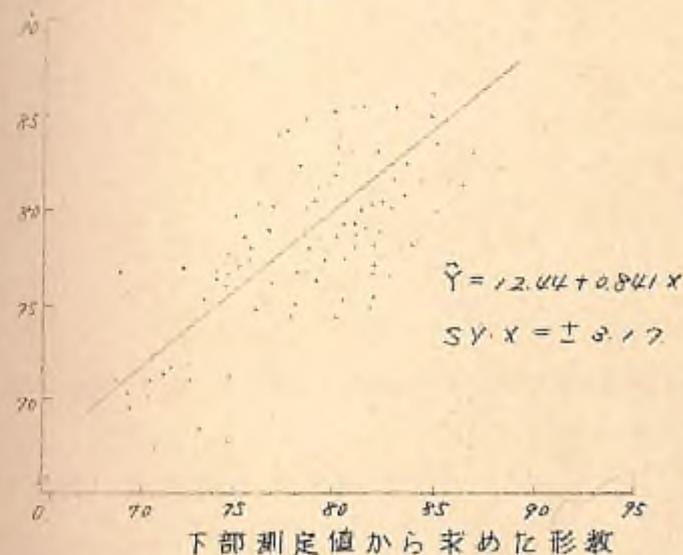
数式で表わせば、この比は

$$\text{girard form class の推定値} = \frac{d_{ib} 6.5}{d_{ob} 2.5}$$

樹幹下部の測定値から求めた *form class* と実際の *girard form class* の関係を示すために、最小二乗法で回帰方程式を計算した。*Snedecor* の論じている適合度の検定をこの方法に適用した。この結果、直線回帰が極めて有意であることが示された。*Goulden* (2)の適合度検定もこの結果を支持し、直線関係の使用の正しいことを示している。

点の散ばりと回帰線が、1図に示してある。

回帰方程式は $\hat{Y} = 12.44 + 0.841X$ である。ここで X は下部測定値による *form class*, Y は *girard* の *form class* である。この関係は、樹幹下部の2つの測定値から *girard form class* を推定する手段として使用できる。推定値の標準誤差すなわち回帰からの標準偏差は ± 3.17 *girard form class* 単位である。



1図 形部測定値から求めた形級と *girard* 形級の回帰

この回帰方程式は、独立変量の単位の値に対して期待できる *girard form class* の推定値を計算するのに用いられる。整数に丸められた両者の差が、1表に示してある。

1表 樹幹下部の測定値による *form class* と方程式

$\hat{y} = 12.44 + 0.841 X$ から推定した *girard form class* との比較

(1) 下部測定値による <i>form class</i>	(2) <i>girard form class</i>	(1) - (2) 差
65	67	-2
66	68	-2
67	69	-2
68	70	-2
69	70	-1
70	71	-1
71	72	-1
72	73	-1
73	74	-1
74	75	-1
75	75	0
76	76	0
77	77	0
78	78	0
79	79	0
80	80	0
81	80	+1
82	81	+1
83	82	+1
84	83	+1
85	84	+1

表の中央部の下部測定値による *form class* と実際の *girard form class* との差は極めて小さい。*girard form class* が小さい - FC 75 以下一時には、樹幹下部の値を用いる方法は *form class* を過小推定し、*girard form class* が大きいときには過大推定する傾向がある。下部測定値による *girard form class* の推定方法の結果は充分許容限界内にある。

2つの皮付測定値の結果が満足のゆく結果を与えるならば、*form class* を求めるために、樹幹下部の測定値を用いる原理

を適用すれば調査時間は短縮できるであろう。いろいろな皮付直径について検討したが、結果は思わしくなかった。±1 *girard form class* 単位の結果が得られたのは測定本数の25%以下であった。2つとも皮付直径を用いるには、地上 7.0 feet 以上の直径を測る必要がある。これでは普通の身長の人ではとどかなくなる。この研究の目的は、余分な装置を用いなくて測れる2つの下部測定値を確定することであった。

form class を回帰方程式から計算しなくても、上部測定値と下部測定値のいろいろな組合せについて *girard form class* を示す表を作製することができる。上部測定値は皮内、下部測定値は皮付である。これらは、この2つの測定値から *girard form class* の良好な推定値を求める際現地での指標として役立つであろう。表の値は上下部測定値共 0.2 in 間隔で *form class* の期待値を示す必要がある。2表は、6.5 feet の *dib*、2.5 feet の *dob* 共 0.5 in 間隔で期待できる *girard form class* を示している。表に示してある値の中向に入る直径については、現場で補間することにより、*form class* が得られるであろう。

この作業について若干の向題と難点がある。

根張の著しい木では、そのために *form class* は相当地に甚少推定される。適当な密度の林分に生育している *white oak* については、このような木を測ることにより誤まった *form class* の得られる可能性があるとはいうものの、このように望ましくない性質は殆んどもっていない。

前に研究した *loblolly pine*, *shortleaf pine* とは違って、*oak* は地上 20 feet 以下に下枝がでている樹冠を持っていることがある。これは実際の *girard form class* に影響をおよぼし、下枝の基部で樹幹が膨大しているため、高い値になる。このように極端な細りは、できれば避るべきである。

樹幹下部の測定値として優勢木と準優勢木を選ばはもつと信頼

2表 6.5ftのd.b.hと2.5ftのd.o.bの比によるgirard form classの推定値

6.5ftの d.b. m	2.5ftの皮付直径 m									
	7.0	7.5	8.0	8.5	9.0	9.5	10.0	10.5	11.0	11.5
6.0	86	80	75	71	67	63	60			
6.5		87	81	76	72	68	65			
7.0			88	82	78	74	70	67	64	61
7.5				88	83	79	75	71	68	65
8.0					89	84	80	76	73	70
8.5						90	85	81	77	74
9.0							90	86	82	78
9.5								90	86	82

2.5ftの皮付直径 m	6.5ftのd.o.bの推定値									
	14.0	14.5	15.0	15.5	16.0	16.5	17.0	17.5	18.0	18.5
10.0	91	87	83	80	77	74	71	69	67	65
10.5		91	87	84	81	78	75	72	70	68
11.0			88	85	81	79	76	73	71	69
11.5				88	85	82	79	77	74	72
12.0					86	83	80	77	75	73
12.5						86	83	81	78	76
13.0							87	84	81	79
13.5								84	82	79

2.5ftの皮付直径 m	girard form classの推定値									
	16.5	17.0	17.5	18.0	18.5	19.0	19.5	20.0	20.5	21.0
14.0	85	82	80	78	76	74	72	70	68	67
14.5		85	83	80	78	76	74	72	70	69
15.0			83	81	79	77	75	73	71	70
15.5				81	79	77	75	74	73	71
16.0					85	82	80	78	77	75
16.5						85	83	81	79	78
17.0							85	83	81	80

2.5ftの皮付直径 m	girard form classの推定値									
	21.5	22.0	22.5	23.0	23.5	24.0	24.5	25.0	25.5	26.0
14.0										
14.5										
15.0										
15.5										
16.0										
16.5										
17.0										

のできる girard form classの推定値が得られるであろう。

要約 Summary

樹幹下部の2ヶ所の測定値から girard form classを推定する方法を、中央 Missouri州の2つの white oak 林分で調べた。いろいろな地上高での皮内・皮付測定値の組合せから地上 6.5 feet の皮内測定値と 2.5 feet の皮付測定値とが最良の組合せであることが分った。girard form classは一次式 $Y = 12.44 + 0.84/X$ から推定できる。ここで X は2つの下部測定値から求めた form classで、Y は girard form classである。根張りや短幹のような単木の特性は、form classを定める2つの方法の関係を変化させる原因となるが、適当な本数密度の林分の優勢木と準優勢木を測ることにすれば、その差は極く僅かである。

参考文献

1. Burns, P.Y., and R.J. Adams. 1956. girard form class can be estimated from lower bole taper. LSU Forestry Note No. 8.
2. Goulden, Cyril H. 1952. Methods of statistical analysis. John Wiley and sons, Inc. New York.
3. Horn, A.G. 1956. A simplified method for estimating form class of loblolly and shortleaf pine in Mississippi. Jour. For. 54: 185-187.
4. Snedecor, George W. 1957. Statistical methods. The Iowa State University Press, Ames, Iowa.

7. Saskatchewan の black spruce の細り表、材積表
および材積式

*Taper and volume table and volume formulae
for black spruce in Saskatchewan*

要約 abstract

Saskatchewan の black spruce について細り表と材積表が作製された。別の細り表や材積表と比較した結果、材積式は材積表と正確さは変わらず、樹種別に材積表を作る必要のないことが示めされた。さらに、平均直径、断面積、材積の速算方法も含まれている。

資料 basic data

1957~1958年の夏に行なわれた Saskatchewan の black spruce の腐朽と材積に関する連邦と州の協同研究で得られたものである。この調査で38箇のクエーカー円形プロットを black spruce の主要林地内に設けた。このプロットを皆伐し、1174本の black spruce を測定した。(Kirby, 1959)

1表に、この調査で伐倒し樹幹析解した後の black spruce の平均皮付直径、本数、平均樹高、平均材積が示してある。1図、2図はそれぞれ、直径に対する樹高と材積の平均値を平併にしたものを示している。1表はこの調査地の特長と4~7 in の木が特に多いことを示している。これは比較的大きな直径について良い標本の得られる点標本を用いれば修正できるであろう。(Bitterlich 法)

細り表と材積表 Taper and volume table

2表は Saskatchewan の平均形状の black spruce について作製した細り表である。この表は直径10 in 以下、樹高

70 feet 以下の木に重点がおかれている。この細り表から、特定の直径限界、全木或は取引可能な材積について、ボードフィート又は材積単位で材積表を調製することができよう。又各樹高、直径級から、8 ft 丸太がいくら取れるかを定めることもできる。

1表 black spruce の直径階別の平均直径、樹高、材積

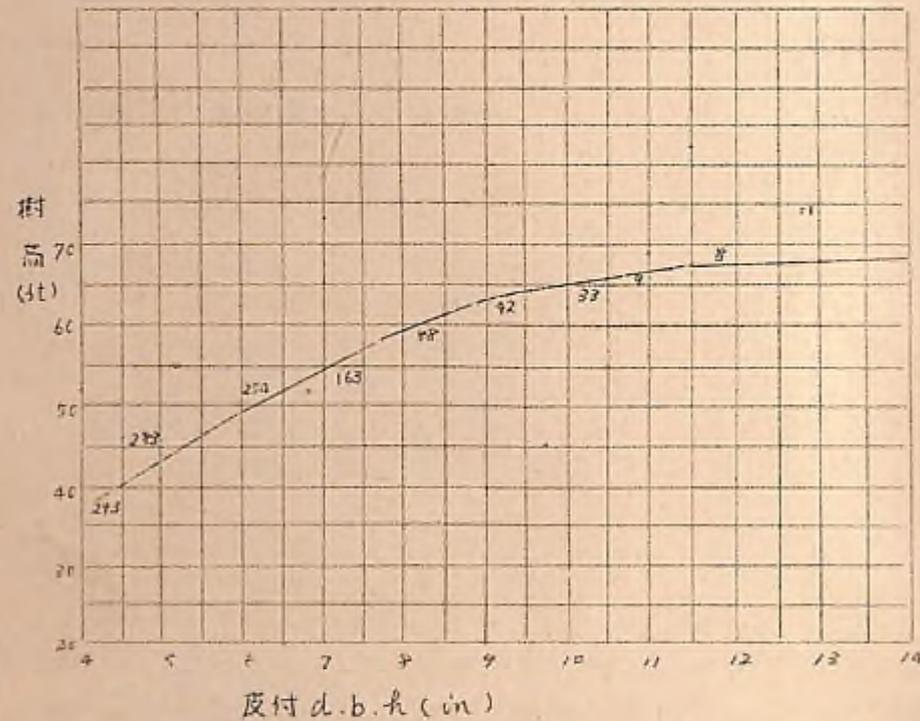
直径階 (in)	皮付平均直径 (in)	本数	平均樹高 (ft)	平均材積 (ft ³)
3.6 - 4.5	4.10	293	36.8	1.77
4.6 - 5.5	5.02	283	44.8	2.94
5.6 - 6.5	6.00	254	50.6	4.50
6.6 - 7.5	7.00	163	54.9	6.86
7.6 - 8.5	8.00	88	59.0	9.42
8.6 - 9.5	9.10	42	62.6	12.32
9.6 - 10.5	10.10	33	65.1	16.21
10.6 - 11.5	10.70	9	65.2	17.41
11.6 - 12.5	11.60	8	69.7	21.70
12.6 - 13.5	12.80	1	74.0	30.43
		計	1174	

平均細り曲線から材積表が作られ、3表に示してある。直径、樹高級別の平均細り曲線を Reineke の樹木野帳にプロットし、材積をプランニメーターで測る。プランニメーターで測った結果を対数方眼紙で平併したものから3表 - black spruce の標準材積表に示してある。

3表と gevorkiantz の材積表とを比べてみると gevorkiantz の表は Saskatchewan の black spruce には幾分低くすぎるのが分り、2~5%補正する(直径によって異なる)必要がある。総合材積表に関するレポートで gevorkiantz が、個々の樹種に対して百分率補正をほどこせば、従っての樹種に対し一つの材積表で充分であることを示しているため、この比較を行ったのである。Spurr は、ちょっとした補正係

救が必要であるので、広葉樹、針葉樹別に材積表を用いると便利であると考えられると述べていることを除いて、同じような結論に達した。

1 図 Black spruce の直径に対する平均樹高



Saskatchewan の jack pine (Kirby, 1955) と black spruce の細り表を比べてみると、極く僅かな差のあることがみられる。black spruce の細り表の調製に用いた方法は、jack pine の細り表に用いたものと同じであった。この 2 樹種の材積表の差はいつれも、材積表調製方法のためと思われる。したがって、Saskatchewan の black spruce と jack pine については同じ材積表が使用できる。さらに研究を進めて行けば、針広別に夫々標準材積表を作ることができよう。これによって現在ある、材積表に関する多くの混乱が解決されるであろう。

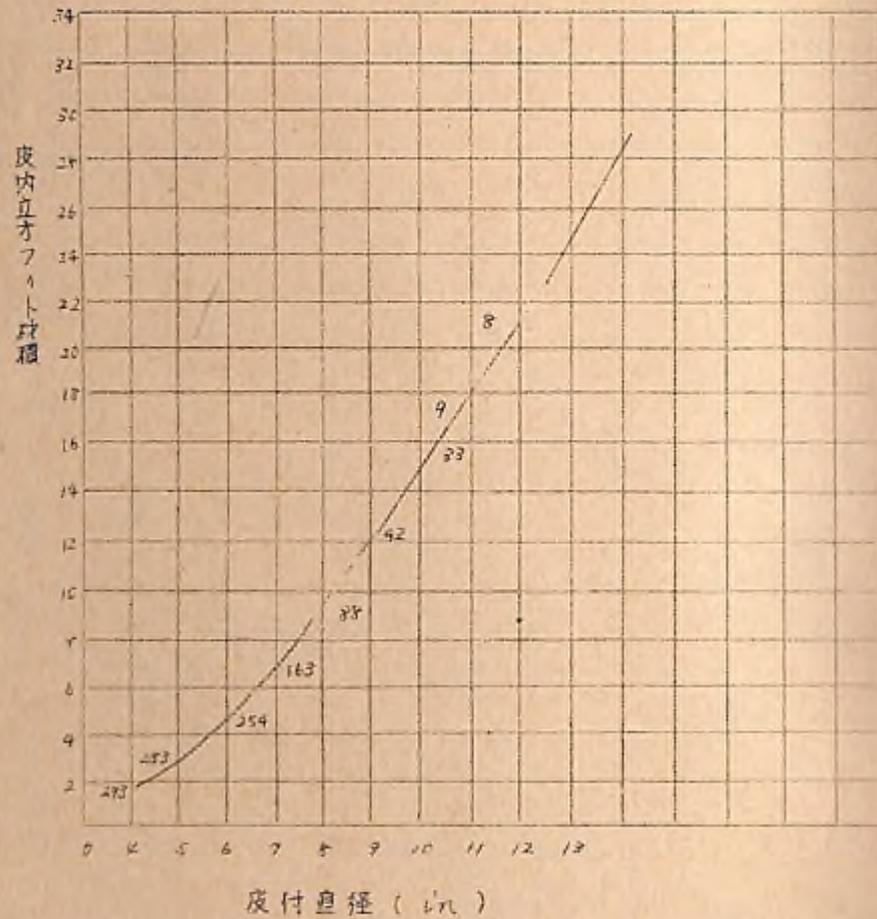
2 表 black spruce の細り表

D.B.H. db (in)	樹高 (feet)	各位置の皮内直径									B.H.にお ける両側 樹皮厚
		1	4.5	9.1	12.2	25.3	33.4	41.5	49.6	57.7	
4	40	4.3	3.7	3.4	2.9	2.3	-	-	-	-	0.3
	50	4.3	3.7	3.6	3.2	2.8	2.3	-	-	-	0.3
5	40	5.4	4.6	4.3	3.6	2.9	2.0	-	-	-	0.4
	50	5.5	4.6	4.4	3.9	3.4	2.7	-	-	-	0.4
6	40	6.5	5.6	5.1	4.3	3.5	2.4	-	-	-	0.4
	50	6.5	5.6	5.2	4.6	3.9	3.1	2.2	-	-	0.4
	60	6.6	5.6	5.3	4.9	4.3	3.8	2.9	-	-	0.4
7	40	7.6	6.5	6.0	5.0	3.9	2.8	-	-	-	0.5
	50	7.7	6.5	6.1	5.3	4.5	3.5	2.5	-	-	0.5
	60	7.7	6.5	6.2	5.6	5.1	4.2	3.3	2.4	-	0.5
8	50	8.7	7.4	6.9	6.1	5.3	4.1	3.0	-	-	0.6
	60	8.7	7.4	7.1	6.3	5.6	4.8	3.7	2.6	-	0.6
	70	8.8	7.4	7.2	6.5	5.9	5.2	4.4	3.5	-	0.6
9	60	9.8	8.4	7.9	7.1	6.4	5.4	4.2	2.8	-	0.6
	70	9.9	8.4	8.0	7.5	6.7	5.9	5.0	3.7	-	0.6
10	60	10.6	9.3	8.7	7.9	7.0	6.1	4.7	3.0	-	0.7
	70	10.7	9.3	8.9	8.1	7.3	6.4	5.2	4.0	2.7	0.7
11	60	12.2	10.3	9.6	8.6	7.6	6.7	5.1	3.5	-	0.7
	70	12.3	10.3	9.8	8.8	7.8	6.9	5.7	4.2	-	0.7
12	60	13.3	11.2	10.4	9.4	8.2	7.1	5.6	3.9	-	0.8
	70	13.6	11.2	10.6	9.6	8.5	7.5	6.2	4.4	-	0.8

資源調査や他の種の調査の計算は、ただ一つの材積表を用い、利用目的に従って修正係数を適用すれば楽くなるであろう。利用される木材の量は、好、不景気によって変る。一つの基準として材積表を用いれば、利用可能な材積を計算する際、現実的な標準として利用できよう。

3 図は直径級別に材積の利用率を示している。10 ft の伐採高から、上部直径 3 in と 4 in に至る 2 種の利用率を示している。4 図は平均直径が分つておれば、林分に応用できるといふ点を除いて、同じものを示している。この場合、平均直径は

2 図 Black spruce の直径に対する皮内材積平均材積



0.6 in 以上の能ての black spruce について計算した。3 図と 4 図とはは極く僅かな相違のあることに注意する必要がある。コード単位の材積を求める場合、Lake 州では、次に示すような平均値が用いられている。(Gevorkiantz 1955) すなわち、実材部は 79 ft³、空隙部は 36 ft³、樹皮は 13 ft³ としている。剥皮した結果、樹皮材積は Saskatchewan Timber Board により、10% と算定された。Idale (1955) は 6 種のパルプ用樹種の樹皮厚とその密度に関するレポートで、black spruce の樹皮率は 13~15% であるとしている。

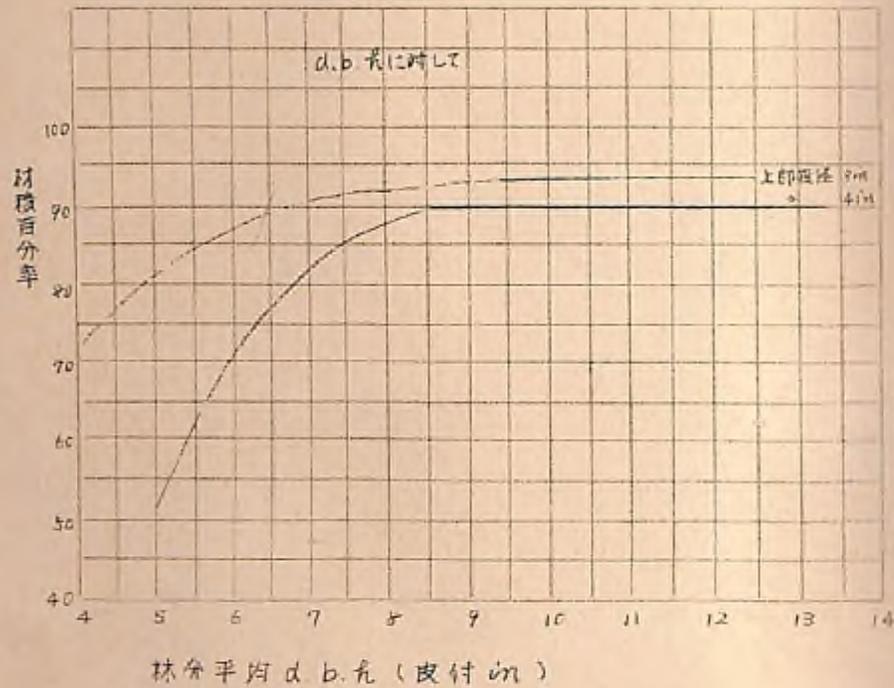
3 表 black spruce の皮内材積 注 1

D.B.H (in)	樹 高 (ft)					
	30	40	50	60	70	80
	材積					
4	1.2	1.6	2.1			
5	1.7	2.6	3.2	3.9		
6	2.5	3.5	4.5	5.4		
7	3.4	4.7	5.9	7.2	8.2	9.2
8	4.3	5.9	7.5	9.1	10.6	11.7
9			9.3	11.4	13.1	14.5
10			11.2	13.7	15.8	17.9
11				16.5	18.7	20.9
12				19.2	22.0	24.8
13				22.2	25.2	28.2
14				25.5	29.0	32.5
15					32.8	
16					37.0	

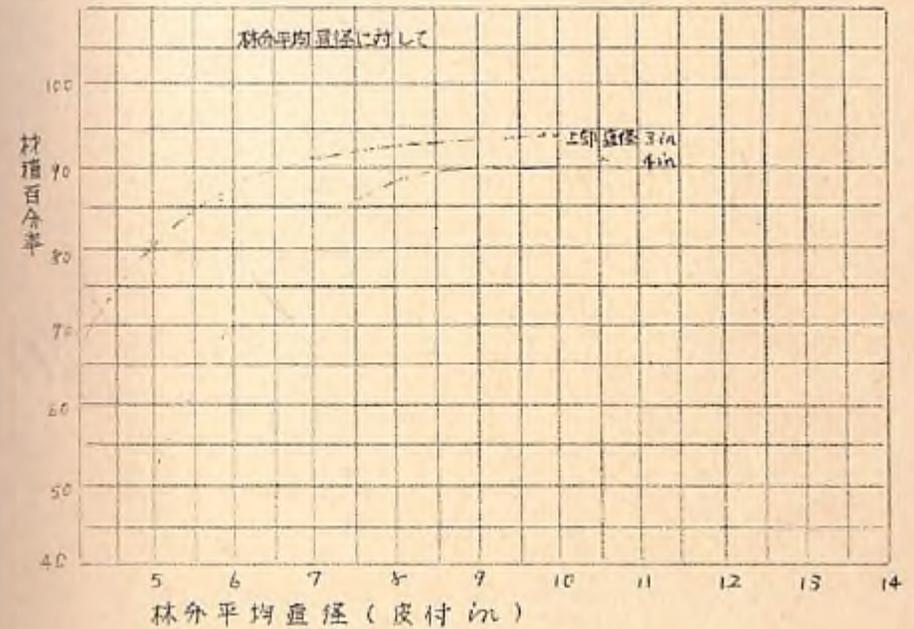
注 1 この表は平均の細りを持つ木のグラニメーターで測った材積から作製したものである。無作為に選んだ 100 本についてテストした。累積偏差 = 2.7% 低い。平均偏差 = 2.16% 標準誤差 (個々の差から直接算出した) = 11.11%

ノコード内の空隙の量は、材の大きさ、通直性、平滑さ、楕重に剥皮したかどうかで変る。はつきりした結論は引き出せないけれども、パルプ材の長さへのひが付けられないならば、粗コード当り、実材積は明らかに 85% を越えないであろう。長さ 48 in と称せられるパルプ材は一般に 50 in で玉切られ、96 in と称せられる材は 100 in で玉切られるのが普通である。パルプ材の正当な測度として cunit - 実材積 100 ft³ - を採用すれば、パルプ材の測定は簡単になるであろう。1 cunit は、剥皮した

3 図 上部直径 3" と 4" の利用材積 (ft³) の立木材積に対する百分率



4 図 上部直径 3" と 4" の利用材積 (ft³) の立木材積に対する百分率



パルプ材の 4x4x8 ft の冊にはほぼ等しい。

蓄積調査や材積表の計算は現在電算計算機の出現により改革とれつつある。このことを念頭において、材積計算の公式を導く場合に、従来の材積表とは異なった方法がとられた。

この公式は次のような利点をもっている。(Kemp, 1957; Smith and Ker, 1957; Spurr, 1954)

1. 面倒な補間の必要がない。これは、単木のデータが用いられ、直径と樹高の両者について補間を必要とする場合には特に役に立つ。
2. 比較的軽い材積計算方法が利用できる。
3. 公式は、電算計算機で材積を計算するのに特に有効である。

4. 樹高、直径別に組分けする際に起る、未知の偏りが、公式により減少する。

5. 公式は、ある程度改良すれば成長量の計算に使用できる。

次の公式が *black spruce* の資料から求められた。4 表は次の公式をグラフで示すために求めた基礎データを示している。5 図は直径の平才と ft^3 材積の関係を示し、6 図は $\frac{D^2 H}{100}$ と ft^3 材積との関係を示している。

5 図と 6 図から、次の公式が求められた。

$$V = 0.173 D^2 H - 1.42, \quad V = 0.25 + \frac{0.24 D^2 H}{100}$$

直径によって変る係数 b をもつ公式が、3 表から求められた。係数 b を求めるのに用いられた方法については、Kemp (1957) が論じている。

4表 回帰線を求めるためのデータ

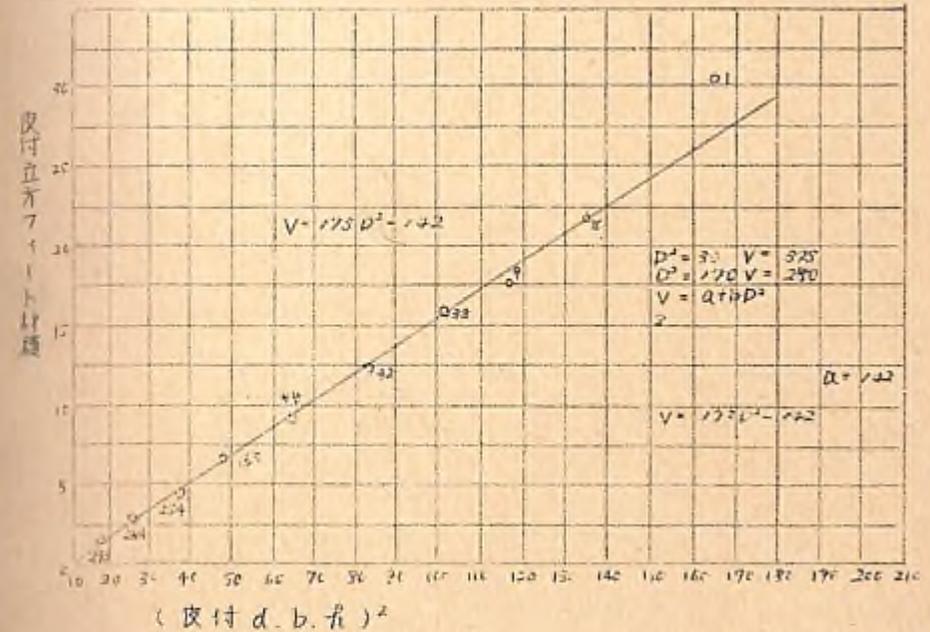
直径階	本数	平均D.B.H db (in)	平均樹高 (ft)	D ²	$\frac{D^2 H}{100}$	材積の 平均材積 (皮内)
3.6 - 4.5	293	4.10	36.8	16.8	6.18	1.77
4.6 - 5.5	283	5.02	44.8	25.2	11.29	2.94
5.6 - 6.5	254	6.00	50.6	36.0	18.22	4.50
6.6 - 7.5	163	7.00	54.9	49.0	26.90	6.86
7.6 - 8.5	88	8.00	59.0	64.0	37.76	9.42
8.6 - 9.5	42	9.10	62.6	82.8	51.83	12.32
9.6 - 10.5	33	10.10	65.1	102.0	66.40	16.21
10.6 - 11.5	9	10.70	65.2	114.5	74.65	17.41
11.6 - 12.5	3	11.60	69.7	134.6	93.82	21.70
12.6 - 13.5	1	12.80	74.0	163.8	121.21	30.43

black spruce の材積を算出するのに使用できる公式を次のように要約する。ここでVはblack spruceの皮内材積であり、Dはin単位の皮付胸高直径、Hはft単位の樹高である。

- (1) $V = 0.173D^2 - 1.42$ 、公式1(5図参照)は樹高の変化による修正をしない地方的材積表の推定式であるが、直径別の平均材積を考慮に入れている。この形の公式は一般に大規模調査や経営計画に必要なものである。
- (2) $V = 0.25 + 0.24 \frac{D^2 H}{100}$ 、公式2(6図参照)は公式3式は1より幾分良い結果を与える。
- (3) $V = \frac{D^2 H}{400}$ (2式より)は直径と樹高を知って材積の近似値を求めるのに用いられる。
- (4) $V = b \times \frac{D^2 H}{100}$ 、公式4は、机上計算機を用いる時には公式1, 2, 3に比べて計算速度は若干落ちるけれど、最も正確な結果を与える。Kemp(1955)は、これが電気計算機に好適であると報告している。係数bは直径によって次のように変化する。

D.B.H. DB(in)	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
係数b	0.257	0.252	0.246	0.241	0.236	0.232	0.227	0.223	0.219	0.216	0.212	0.210

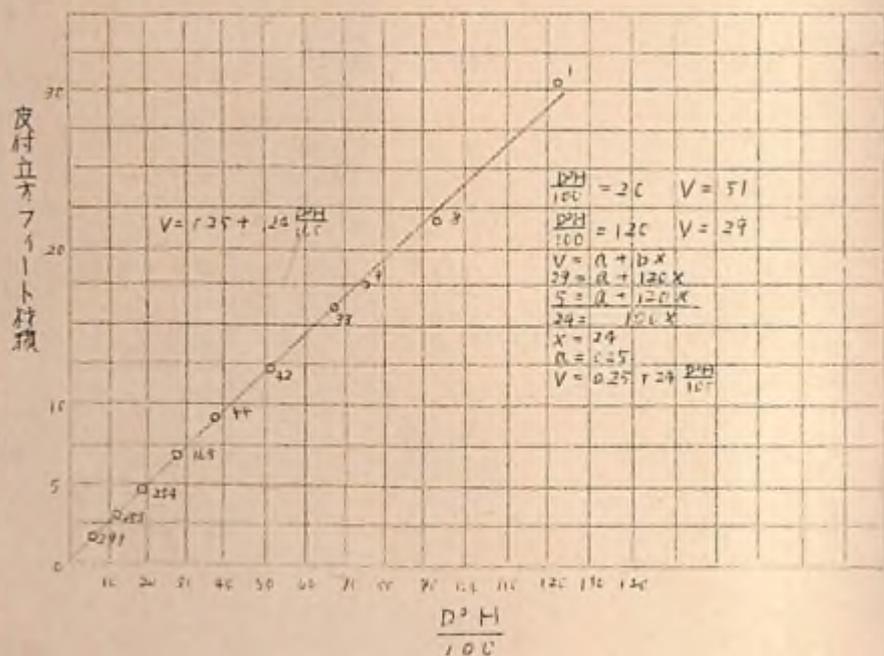
5図 直径の平方と材積との関係



実行前に選んだ100本の木による材積表(3表)と公式の正確さの検定結果は次のとおりである。

材積推定方法	累積偏差 %	平均偏差 %	標準誤差 %
標準材積表	2.76低い	7.16	11.11
$V = 0.25 + 0.24 \frac{D^2 H}{100}$	2.25低い	7.50	11.60
$V = 0.173D^2 - 1.42$	4.90高い	10.90	16.70
$V = b \frac{D^2 H}{100}$	3.06低い	7.12	11.12

6 図 $\frac{D^2 H}{100}$ と m^3 材積との関係



公式 $V = 0.25 + 0.24 \frac{D^2 H}{100}$ は実用的には、標準材積表よりも複雑な公式と同じように良好な結果を与えた。したがって、この公式は、直径と樹高の分っている場合に単木の材積を決めるのに推奨される。

公式 $V = 0.173 D^2 - 1.42$ は樹高を考慮した公式に比べて標準誤差と平均偏差は幾分大きかった。上記の2つの公式は自動計算機を用いる時には材積計算の速度を速めるのに役立つ。

Kemp の公式、 $V = D \times \frac{D^2 H}{100}$ は最良の結果を与える。しかし、他の公式に比べて正確さを幾分増すため、特に机上計算者にとって余分な労力が必要なため、この公式の使用には疑問がある。

平均胸径、断面、材積の簡単かつ正確な速算法

Speed simple and accurate calculations for obtaining average diameter breast height, basal

area and volume.

(この方法の詳細については、読者は Spurr の著書を参照されたい。(1954))

平均直径 Average diameter

平均断面積をもつ木の直径を求めるには、断面積を求める必要も、これを求めようとする必要もない。必要なのは、単木の直径を平方し、この平方を加え合せ、本数で割るだけである。この値の平方根は、平均断面積をもつ木の直径である。

$$D.B.H. = \sqrt{\frac{\sum D^2}{N}}$$

断面積 Basal area

断面積は、直径の平方和を求め、常数 0.005454 を乗ずれば求まる。

円の in 単位の直径の平方に常数を乗ずれば円面積は m^2 単位で与えられる

$$B.A. = \sum D^2 \times 0.005454$$

材積 Volume

$V = 0.173 D^2 - 1.42$, $V = 0.25 + 0.24 \frac{D^2 H}{100}$ のような公式を用いれば、材積の正確な推定値を速かに求めることができる。単木毎に材積計算をする必要はない。必要なのは D^2 又は $\frac{D^2 H}{100}$ の和を求めることだけで、総ての対象木の材積を求めることができる。

例えば、N本の木の材積は、材積 = $0.173 \sum D^2 - N(1.42)$
又は 材積 = $N(0.25) + 0.24 \frac{(\sum D^2 H)}{100}$ となる。

あらかじめ簡略化しておけば、机上計算機でプロットデータを計算する時間はかなり節約できる。 D^2 の和を平均直径、断面積計算に用いる時には、特にそうである。これまでの経験から簡便の方法でそのデータを計算するのに必要な時間の50%が節約

とれるであろう。

参考文献

Gersarkisntz, S. R. and L. P. Olson. 1955. Composite Volume Tables for Timber and Their Application in the Lake States. Technical Bulletin 1104, U.S.A

Nale, J. D. 1955. Thickness and Density of Bark. Reprint from Pulp and Paper Magazine of Canada, December.

Kemp, P. D. 1957. Regression Coefficients for Computing Cubic Foot Volume of Rocky Mountain Iron. Research Paper No. 40, Intermountain Forest and Range Experiment Station, Ogden, Utah.

Kirby, C. L. 1955. Construction of a Taper Table for Jack Pine in Saskatchewan. For. Chron. 31 (3).

Smith, J. H. G. and J. W. Ker. 1957. Timber Volume Depends on D²H. Reprint from British Columbia Lumberman, September.

Spurr, S. H. 1954. "Simplified Computation of Volume and Growth" Jour. For. 52 (12).

(The Forestry Chronicle Vol 36 No.3 1960)
C. L. Kirby

8 トネリコ, Jackpine, white spruce の材積式の精度の検定について

Tests of precision of cubic-foot tree-volume equations on aspen, Jack pine, and white spruce.

D. L. Golding, O. F. Dall

摘 要 abstract

25種類の材積方程式の精度の検定を3樹種: Jackpine, white spruce, Trembling aspen について行った。

直径と樹高だけを独立変量と考えた場合には、精度が最高で、使い易い方程式は、結合変数式: $V = a + b(d \cdot H)^2$ (全樹高) かつの変量として形率を用いれば、精度の最高の方程式は、結合変数形級方程式は:

$$V = a + b(d \cdot H)^2 (\text{全樹高}) \times \frac{1/2(H - 45) \text{ 以上の直径}}{d \cdot H}$$

まえがき Introduction

材積計算に計算機の使用が増し、方程式による材積推定方法が、グラフ法や共線図表法に取って変わった。方程式は、計算機が使用できる以外に、いくつかの長所を持っている。そのうち重要なものの一つは、材積表調製の際に個人的偏りが入ってこないことである。

材積推定式の価値を考察するには、最近使用されているいくつかの方程式の精度の検定が価値のある方法と思われる。この研究のために選んだ25の方程式を次の5組に分類した。(1)形級を用いない直数式 (2)形級を用いる直数式 (3)形級を用いない対数式 (4)形級を用いる対数式 (5)剰余材積法

剰余材積推定法は、 $V = a + bH$ なる形の方程式を使用し、直径級別のデータは、独立変量として使用した樹高に対して直線と

なる。

方程式を次に示す。

$V =$ f 単位の利用可能材積

$D = d$ 丸 = in 単位の胸高直径

$\left. \begin{matrix} a \\ b \\ c \\ d \end{matrix} \right\} =$ 回帰係数

$H = ft$ 単位の樹高

$Fr_1 = \frac{\text{地上 } 1.375 ft \text{ の } d \text{ と } b \text{ (in 単位)}}{\text{皮付 } d \text{ と } b \text{ (in 単位)}}$

$Fr_2 = \frac{\text{地上 } (H - 4.5) / 2 ft \text{ の } d \text{ と } b \text{ (in 単位)}}{\text{皮付 } d \text{ と } b \text{ (in 単位)}}$

$Fr_3 = \text{地上 } 6.5 ft \text{ の } d \text{ と } b \text{ (in 単位) / 皮付 } d \text{ と } b \text{ (in 単位)}$

$Fm_1 = \text{地上 } 1.375 ft \text{ の } d \text{ と } b \text{ (in 単位)}$

$Fm_2 = \text{地上 } (H - 4.5) / 2 ft \text{ の } d \text{ と } b \text{ (in 単位)}$

$Fm_3 = \text{地上 } 6.5 ft \text{ の } d \text{ と } b \text{ (in 単位)}$

$\log =$ 10 を底とする対数

形級によらない真数式 *Arithmetic non-form class*

- 方程式 1 $V = a + bD^2H$ (結合変量)
- 2 $V = a + bD^2 + cH + dD^2H$ (Australian)
- 3 $V = a + bD^2 + cH$
- 4 $V = a + bD^2 + cD^2H$
- 5 $V = a + bH + cD^2H$
- 6 $V = a + bD^2$
- 7 $V = a + bH$

形級による真数式 *Arithmetic form class*

- 8 $V = a + bD^2HF_{r1}$ (形級による結合変量)
- 9 $V = a + bD^2HF_{r2}$ (")
- 10 $V = a + bD^2HF_{r3}$ (")

- 11 $V = a + bD^2HF_{m1}$
- 12 $V = a + bD^2HF_{m2}$
- 13 $V = a + bD^2HF_{m3}$
- 14 $V = a + bD^2H + cD^2HF_{m1}$
- 15 $V = a + bD^2H + cD^2HF_{m2}$
- 16 $V = a + bD^2H + cD^2HF_{m3}$

形級によらない対数式 *logarithmic non-form class*

- 17 $\log V = \log a + b(\log D^2H)$ (対数結合変量)
- 18 $\log V = \log a + b(\log D) + c(\log H)$ (Schumacher)
- 19 $\log V = \log a + b(\log D)$

形級による対数式 *Logarithmic form class*

- 20 $\log V = \log a + b(\log D^2HF_{r1})$ (形級による対数結合変量)
- 21 $\log V = \log a + b(\log D^2HF_{r2})$ (")
- 22 $\log V = \log a + b(\log D^2HF_{r3})$ (")
- 23 $\log V = \log a + b(\log D) + c(\log H) + d(\log F_{m3})$
- 24 $\log V = \log a + b(\log F_{m3})$

剰余材積法 *Residual volume method*

25 $V = (\text{剰余材積}) + (\text{樹高に対する係数})H$

方法 *Method*

Saskatchewan の資源局林業部が Saskatchewan で収集した測定値が利用できた。951本の jackpine, 955本の white spruce, 285本のトネリコについて次の項目が記載された。樹高、1.375 (竹採高), 4.5 ft (胸高), 上部直径約 3 m までの 0.1375 m 間隔の点における $d_o b$ と $d_i b$ 。直径測定値はすべて、U.S. 林局様式 558a にプロットされ、これらの点を通して平滑な曲線を引く。 f 単位の利用可能

材積はアラニメーターで決定された。次の資料がI.B.Mカードにキーパンチされた。皮付 $d_i b_i$, 皮肉 $d_r b_r$, 6.5 ft の $d_o b_o$, 7.5 ft の $d_i b_i$, (H-45)/2 ft の $d_i b_i$, 樹高, ft³ 単位の利用可能材積 (材採高 / ft 以上上部 $d_i b_i$ 3 in まで)

Statatron 205 Digital Computer と I.B.M パンチカード装置を用いて、回帰分析、相関分析を行った。

方程式間の有意差検定に用いた方法は、主として相関係数の比較によった。Snedecor (1956) の概説している各相関係数の信頼限界を計算して比較を行った。この計算方法を用いれば、1%水準の値を用いるけれど、得られる相関係数の信頼区間は、1%以下の確率水準となる。

方程式に関する説明 Discussion of the equation

形数を用いない真数式 - Arithmetic non-form-class equations
方程式 245 (全樹種について) の相関係数の値は有意差はない。(方程式 245 の相関係数は、方程式 1 の相関係数の信頼限界内にある。) 方程式 267 の相関係数は、方程式 26 のトネリコを除いて、方程式 245 の相関係数より有意に小さい。

方程式 245 は同一精度で材積の予測ができると期待されるので、方程式の選択は別の考察によらねばならない。回帰係数の標準誤差は、どの方程式についても小さいので、これは方程式選択の基準とはならない。しかし、材積を小型の計算機で計算しなければならない時には、多くの常数を貯えておくことが問題になる。例えば、I.B.M 604 型計算機が用いられる場合には、方程式 2 を用いて材積を算出するには、数回の操作が必要である。したがって、これを基準とすれば、方程式 1 は他の方程式の 2 又は 3 個の変数に比べて、独立変数は 1 だけであるので (したがって常数は、a, b の 2 つだけ) 最良と思われる。

有意に小さな相関係数をもつ方程式は、大きさの小さい順に、267 式である。white spruce の材積と樹高の相関が、ト

ネリコや jackpine に比べて高いのに注目すれば面白い。これは white spruce の標本の $d_i b_i$ と樹高の範囲が比較的にかさいためである。

形数を用いる真数式 Arithmetic form-class equations

変数 F_r (方程式 9, 10) を含む方程式の相関係数は、変数 F_m をもつ、これに対応する方程式 (方程式 11, 12, 13) に比べて有意に高い。

独立変数が 1 以上の方程式 (14, 15, 16 式) のうち、独立変数が 1 の方程式 (9, 10 式) より相関係数の高いものはないので、幾多の等しい式の中最も簡単なものを選ぶという点から、14, 15, 16 式はこれ以上は考えないことにする。

残りの方程式 (9, 10 式) のうち、9 式は、全樹種について 10 式より有意に高く、jackpine、トネリコについては 8 式より高く、最高の相関係数をもっている。8 式の相関係数は white spruce についてだけ、10 式より有意に高い。9, 9, 10 式の回帰係数の標準誤差は、関係がないと思われる程小さい。

形数を用いない対数式 Logarithmic non-form-class equations

この組に入る 3 式の中、17 式は、他の 2 つに比べて有意に劣っている。17 式と 18 式は、その相関係数が非常に似ており、その差は有意でない。又回帰係数の誤差の大きさは、どの式がより精度がよいかを決める基準とはならないので、簡易性を基準にしなければならない。独立変数がただ 1 つの 17 式は、正確さと使用の容易さを兼備している。

形数を用いる対数式 Logarithmic form-class equations

24 式は、この組に属する他の 4 式に比べて有意に劣っている。独立変数を 3 つもっているが、独立変数がただ 1 つの 20, 21,

22式に比べて材積との相関が有意に良くない 23式は、これ以上考察しないことにする。

形数を用いる真数式 (8, 9, 10式) の場合と同じく、この組で最高の相関係数をもつ方程式は、Fr2を含む式 (21式) である。21式の相関係数は、jackpine と white spruce については20式より有意に大きい。20式は、white spruce とトネリコでは22式と有意差はなく、jackpine については低かった。

剰余材積法 Residual volume method

この方法は jack pine についてだけ検定した。この方法の相関係数は 0.9823 である。

方程式の5種類の比較

Comparisons of the five type of equations

db径と樹高だけが測定される場合、方程式は、次式から選択される。

1式 結合変量式 ($V = a + bD^2H$)

18式 Schmacher式 ($\log V = \log a + b \log D + c \log H$)

25式 剰余材積式 ($V = \text{剰余材積} + \text{樹高係数} \times H$)

剰余材積式 (25式) の相関係数は1式を用いた jackpine の 0.9859 に対して 0.9823 である。この値には有意差はないが、1/10 in db径毎に剰余材積式を求めるとに要する計算と、剰余材積式 (25式) を用いて計算機で材積を算出するに要する作業量からみて、結合変量式を選ぶのが妥当と考えられる。

結合変量式 (1式) を Schmacher 式 (18式) と比べてみると、jackpine とトネリコについては、相関係数の差は有意でないが、18式の相関係数は white spruce では、1式よりも有意に大きかった。

Spurr (1952) の行った検定によれば、相関係数が真

数式に等しい対数式は、推定の標準誤差が大きかった。したがって、推定の標準誤差の比較は、white spruce について、1式と18式とを比べる必要がある。次の方法は Meyer (1938) の考察したものである。

18式 平均材積の%で表わした S_{yx}
= 230.26 (S_{yx})
= 230.26 (0.069276)
= 15.95

1式 $S_{yx} = 5.344$
平均材積の%で表わした S_{yx}
= 14.22

これによれば、対数式が真数式より精度の高い材積推定値を与えるとは信じられない。

地上 6.5 ft で測られる形級を変数として加えても—これは db径との比又は直径の測定値そのものが使われる—材積との相関は有意な程には改善されない。しかし、形級を推定するために $(H - 4.5) / 2$ ft の上部直径を用いれば、9式の相関係数は、1式に比べて有意に増加する。地上 12.5 ft の直径測定値 (8式) は white spruce、トネリコについては、1式より相関係数を有意に増加させるが、jackpine についてはそうではない。

この研究で用いている上部測定値は、標式 558A にプロットした細り曲線から読みとったもので、地上から推定した上部直径よりも正確と思われることを、ここで指摘する必要がある。この研究は、上部直径の測定が、材積推定の精度を向上させることを示しているが、上部直径の推定により、どの程度の改善が期待できるかは別問題である。形級推定の正確度は減少するので、形級式の精度は、ある程度では、形級の推定を含む形級式は、形級を用いない式より精度が劣る点まで低下する。

合成方程式 Composite equation

3種の樹種別に、方程式 $V = a + bD^2H$ (1式) を用いて、次のことを決めるため検定を行った。

- (1) 3樹種の合成方程式(重み付き平均)が *jackpine* 式そのものと同精度で *jackpine* の材積を予測できるかどうか。
- (2) 積の形の係数で表わされる修正係数で *jackpine* 式と同精度で *jackpine* 材積を予測できるように合成方程式を定めることができるか?

合成方程式と樹種別間の差の有意性を検定するため、推定値の標準誤差の平方 (S_{yx}^2) を用いて F 検定を行った。各樹種の方程式は

Jackpine $V = 0.203578 + 0.00226166 D^2H$ ($S_{yx} = 1.25956^2$)
White spruce $V = 1.850277 + 0.00187751 D^2H$ ($S_{yx} = 5.34456^2$)
 トネリコ $V = 0.916946 + 0.00209553 D^2H$ ($S_{yx} = 3.04236^2$)

回帰係数を検定し、有意差のあることが分った。

3つの方程式の回帰係数には有意差があるけれども、合成方程式は、3樹種の平方和・積和を一括して算出した。

合成式: $V = 1.503898 + 0.00190395 D^2H$ ($S_{yx} = 3.92156^2$)

この式が *jackpine* 式と同精度の *jackpine* 材積を予測できるか調べるため、標準誤差の差の有意性を調べた。差は有意であった。

合成方程式は、*jackpine* 式と同精度で *jackpine* 材積を予測できないことが、計算できる。

合成方程式で算出した平均 D^2H の木の材積が *jackpine* 式で算出した同じ木の材積と等しくなるように、乗数型の係数を合成方程式に適用した。

jackpine の平均 D^2H の値は 4213.1549 である。
jackpine 式で算出したこの木の材積は 9.7322856^3 であ

る。合成方程式で算出したこの木の材積は、 9.5255556^3 である。比 $\frac{9.732285}{9.525555} = 1.02$ が、合成方程式に乗じられる係数である。

この係数に乗じた合成方程式の推定値の標準誤差と *jackpine* 式のそれとの差は有意であった。したがって、修正係数付の合成方程式は *jackpine* 方程式と同精度で *jackpine* 材積を予測できない。

合成方程式の a は *jackpine* 式の a よりも大きく、 b は小さい。修正係数に望まれる働きは合成方程式の a を増し、 b を減すことである。

乗数形の係数の働きは、両者を大きくする。乗数として、樹種別の修正係数を用いて、3樹種別の方程式の代用とすることはできないように思える。

3樹種のうち、*jackpine* は平均 D^2H が最小で (4213) トネリコがこれにつき (9.323)、*white spruce* が最大 (19027) である。以前に行った、同じデータを用いて調和曲線による研究では、 D^2H 対材積曲線は、直線が原点の右下にカーブする D^2H の小さな所を除いて、直線であった。この傾向は別の研究者によっても観察された。(Spurr 1952) この研究では、 D^2H の低い値は *jackpine* 曲線では、*white spruce* やトネリコの曲線より大きな影響をおよぼした。というのは、 D^2H の値の大部分が比較的小さかったからである。*white spruce* の場合には、 D^2H の大部分が D^2H の大きな値により *jackpine* の場合より大きな影響を受ける曲線が認められた。平均 D^2H のところを軸とする回帰線は、原点で上方、反対側の端で下方に移動し、その結果、 b の値は小さくなり(傾きが減少) a の値は増大する。 a の値 1.85 は *white spruce* 式で算出した場合に得られると思われる *white spruce* の最小単木材積である。この値は、小径木の材積を盛大推定する。

D^2H の範囲と分布が、3樹種で同様であれば、傾斜は、もっ

と似たものとなることが期待される。しかし、範囲は似ていないので、合成（重み付き平均）方程式は、各樹種に適用した時、それほど良い結果を与えるとは期待できない。

この研究は、同じ範囲の D^2H を持つ樹種に対する合成材積式の使える可能性を否定しているわけではない。この研究に用いた樹種の D^2H の範囲は、これらの樹種にとって代表的なものであるから、3樹種が共通の範囲をもつように調整してもこの目的一樹々の樹種の完全な範囲について、材積を推定することによって役に立たない。

1表 樹種別の直径、樹高、材積の統計量

統計量	D. b. 径			樹 高			利用可能材積		
	white spruce	トネリコ (in)	Jack-pine	white spruce	トネリコ (ft)	Jack-pine	white spruce	トネリコ (ft ³)	Jack-pine
最 小	3.6	3.8	3.6	22	29	19	0.2	0.4	0.2
最 大	31.0	24.6	17.5	131	101	90	199.2	118.4	35.1
平 均	13.45	10.48	8.03	77.5	67.7	54.1	32.57	20.46	9.32
標準偏差	-	-	-	23.09	11.70	13.38	31.97	18.14	7.60

2表 樹種別方程式別の相関係数、その信頼区間、推定値の標準誤差

(樹種名の後のオノの数字は相関係数で、括弧内の数字はその値の信頼区間であり、標準誤差²はらん外に示してある。)

形誤を用いない異数式

1式 $V = a + bD^2H$

jackpine	0.9859	(0.9834 - 0.9882)	1.359
white spruce	0.9860	(0.9834 - 0.9882)	5.342
トネリコ	0.9859	(0.9809 - 0.9896)	3.042

2式 $V = a + bD^2 + cH + dD^2H$

jackpine	0.9870	(0.9847 - 0.9890)	1.126
white spruce	0.9861		5.329
トネリコ	0.9865		2.982

3式 $V = a + bD^2 + cH$

jackpine	0.9737	(0.9658 - 0.9777)	
white spruce	0.9776	(0.9735 - 0.9811)	
トネリコ	0.9805	(0.9741 - 0.9858)	

4式 $V = a + bD^2 + cD^2H$

jackpine	0.9869		1.131
white spruce	0.9854		5.458
トネリコ	0.9861		3.038

5式 $V = a + bH + cD^2H$

jackpine	0.9867		1.140
white spruce	0.9859		5.365
トネリコ	0.9861		3.034

6式 $V = a + bD^2$

jackpine	0.9482	(0.9392 - 0.9559)	
white spruce	0.9766	(0.9723 - 0.9801)	
トネリコ	0.9766	(0.9697 - 0.9834)	

7式 $V = a + bH$

jackpine	0.7447		
white spruce	0.8320		
トネリコ	0.7689		

形誤を用いる異数式

8式 $V = a + bD^2HF_1$

jackpine	0.9883	(0.9862 - 0.9901)	1.072
white spruce	0.9923	(0.9909 - 0.9935)	2.238
トネリコ	0.9924	(0.9897 - 0.9944)	3.965

9式 $V = a + bD^2HF_2$

jackpine	0.9900	(0.9882 - 0.9915)	0.993
white spruce	0.9963	(0.9956 - 0.9970)	2.136
トネリコ	0.9931	(0.9913 - 0.9955)	3.298

10式 $V = a + bD^2HF_1$

jackpine	0.9842	(0.9814 - 0.9866)	1.244
white spruce	0.9878	(0.9856 - 0.9897)	2.942
トネリコ	0.9865	(0.9822 - 0.9903)	4.975

11式 $V = a + bD^2HF_{m1}$

jackpine	0.9646	(0.9582 - 0.9699)	
white spruce	0.9629		
トネリコ	0.9125		

12式 $V = a + bD^2HF_{m2}$

jackpine	0.9673	(0.9721 - 0.9799)	
white spruce	0.9719		
トネリコ	0.9686		

13式 $V = a + bD^2HF_{m3}$

jackpine	0.9591	(0.9517 - 0.9652)	
white spruce	0.9567		
aspen	0.9633		

14式 $V = a + bD^2H + cD^2HF_{m1}$

jackpine	0.9861		
white spruce	0.9851		
トネリコ	0.9758		

15式 $V = a + bD^2H + cD^2HF_{m2}$

jackpine	0.9866		
white spruce	0.9758		
トネリコ	0.9759		

16式 $V = a + bD^2H + cD^2HF_{m3}$

jackpine	0.9874	(0.9852 - 0.9894)	
white spruce	0.9856		

トネリコ	0.9844		
------	--------	--	--

形級を用いない対数式

17式 $\log V = a + b(\log D^2H)$

jackpine	0.9802	(0.9767 - 0.9833)	0.0889
white spruce	0.9918	(0.9902 - 0.9930)	0.0714
トネリコ	0.9905	(0.9871 - 0.9929)	0.0571

18式 $\log V = a + b(\log D) + c(\log H)$

jackpine	0.9809	(0.9776 - 0.9838)	0.0874
white spruce	0.9923	(0.9908 - 0.9935)	0.0693
トネリコ	0.9916	(0.9885 - 0.9938)	0.0520

19式 $\log V = a + b(\log D)$

jackpine	0.9546	(0.9458 - 0.9614)	
white spruce	0.9860	(0.9834 - 0.9885)	
トネリコ	0.9811	(0.9743 - 0.9859)	

形級を用いる対数式

20式 $\log V = a + b(\log D^2HF_1)$

jackpine	0.9706	(0.9652 - 0.9751)	0.1082
white spruce	0.9939	(0.9928 - 0.9949)	0.0614
トネリコ	0.9938	(0.9916 - 0.9956)	0.0461

21式 $\log V = a + b(\log D^2HF_{12})$

jackpine	0.9838	(0.9809 - 0.9863)	0.0805
white spruce	0.9998		0.0106
トネリコ	0.9943	(0.9923 - 0.9958)	0.0441

22式 $\log V = a + b(\log D^2HF_{13})$

jackpine	0.9804	(0.9769 - 0.9834)	0.0885
white spruce	0.9922	(0.9908 - 0.9934)	0.0696
トネリコ	0.9913	(0.9882 - 0.9936)	0.0547

23式 $\log V = a + b(\log D) + c(\log H) + d(\log F_{m3})$

jackpine	0.9818	(0.9785-0.9846)	0.0853
white spruce	0.9926	(0.9912-0.9937)	0.0678
トネリコ	0.9923	(0.9895-0.9943)	0.0518

24式 $\log V = a + b(\log Fm)$

jackpine	0.9539	(0.9458-0.9609)
white spruce	0.9862	(0.9837-0.9883)
トネリコ	0.9831	(0.9772-0.9875)

剰余材積式

25式 $\log V = (\text{剰余材積}) + (\text{樹高の係数})(\text{樹高})$

jackpine	0.9823	(0.9783-0.9854)
----------	--------	-----------------

(25式は jackpine のデータについて検定した)

(注) 標準誤差は真数式では f の単位であらわしてある。対数式では平均対数材積の百分率として標準誤差の対数は示してある。

(The Forestry Chronicle Vol 37 No 2 1961)

9. 南部 Appalachian 地方のストローブマツ人工林の材積表

Cubic-foot volume tables for southern appalachian white pine plantation

USで最も古い成功した人工林には、北カロライナ州 Asheville 近くの Biltmore Estate にある 1900 年植栽の東部産ストローブマツ (*Pinus strobus*) が含まれている。この時以来、ストローブマツは南部 Appalachian 地方の再造林に、ますます重要な役割を演じて来た。成長は早く、材価は高く、ストローブマツ発泡さび菌類 (*Cronartium ribicola*) ストローブマツをうもしく (*Pissodes strobi*) の被害は、この地方の北部を除いて僅かである。1952年から1960年の間に、約2000万本のストローブマツが北カロライナ州の西部15郡で植林された。1表、2表はこの研究結果の一部である。これは南部 Appalachian 地方で再造林されたストローブマツの材積 (f) を推定するのに用いられる。これらの表は至として北カロライナ州でとった241本の標本木の詳しい測定値に基づいて、回帰法で調製したものである。

1表 ストロークマツ人工林の寸法単位 (昭和) 成林
皮付上部直径40インチ

d.b.h (in)	樹 高															
	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95
5	1.05	1.71	2.03	2.36	2.69	3.01	3.34									
6	1.30	1.99	2.24	2.71	3.18	3.65	4.12	4.59	5.07	5.54	6.01					
7	1.98	2.62	3.26	3.90	4.54	5.18	5.82	6.46	7.10	7.74	8.38	8.92	9.66			
8	4.44	5.27	6.11	6.95	7.78	8.62	9.46	10.29	11.13	11.96	12.80					
9	6.83	7.89	8.95	10.00	11.06	12.12	13.18	14.24	15.30	16.35	17.41					
10	9.87	11.18	12.49	13.79	15.10	16.41	17.71	19.02	20.33	21.63	22.94	24.25				
11	13.65	15.23	16.81	18.39	19.97	21.56	23.14	24.72	26.30	27.88	29.46					
12												22.00	23.88	25.76	27.65	29.53
13																
14																

皮付上部直径3.0インチ

4	0.85	1.06	1.27	1.48	1.68	1.89	2.10									
5	1.11	1.44	1.76	2.09	2.41	2.73	3.06	3.38	3.70							
6	1.68	2.15	2.61	3.08	3.54	4.01	4.48	4.94	5.41	5.87	6.34					
7	2.36	2.99	3.62	4.26	4.89	5.52	6.16	6.79	7.43	8.06	8.70	9.33	9.96			
8	4.79	5.61	6.44	7.27	8.10	8.93	9.76	10.59	11.41	12.24	13.07					
9	7.15	8.20	9.25	10.30	11.35	12.40	13.45	14.49	15.54	16.59	17.64					
10	10.17	11.47	12.76	14.05	15.35	16.64	17.94	19.23	20.53	21.82	23.12	24.41				
11	13.91	15.48	17.04	18.61	20.18	21.74	23.31	24.88	26.44	28.01	29.58					
12												20.31	22.18	24.05	25.91	27.78
13																
14																

2表 ストロークマツ人工林の寸法単位 (昭和) 成林成

d.b.h (in)	樹 高															
	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95
5	0.60	0.89	1.18	1.47	1.75	2.04	2.33	2.61	2.90							
6	1.11	1.52	1.94	2.35	2.76	3.17	3.58	4.00	4.41	4.82	5.23					
7	1.90	2.27	2.83	3.39	3.95	4.51	5.07	5.63	6.19	6.75	7.31	7.87	8.43			
8	3.86	4.59	5.32	6.06	6.79	7.52	8.25	8.98	9.72	10.45	11.18					
9	5.95	6.88	7.81	8.73	9.66	10.59	11.51	12.44	13.37	14.29	15.22					
10	8.62	9.76	10.91	12.05	13.19	14.34	15.48	16.63	17.77	18.92	20.06	21.20				
11	11.92	13.31	14.69	16.08	17.46	18.85	20.23	21.62	23.00	24.38	25.77					
12												19.24	20.68	22.13	23.58	25.03
13																
14																

皮付上部直径3.0in

4	0.66	0.94	1.03	1.21	1.39	1.57	1.75									
5	0.89	1.17	1.46	1.75	2.03	2.32	2.60	2.89	3.17							
6	1.39	1.80	2.21	2.63	3.04	3.45	3.86	4.27	4.68	5.10	5.51					
7	1.99	2.55	3.11	3.67	4.23	4.79	5.35	5.91	6.47	7.03	7.59	8.15	8.71			
8	4.13	4.87	5.60	6.33	7.06	7.79	8.52	9.26	9.99	10.72	11.45					
9	6.23	7.15	8.08	9.00	9.93	10.86	11.78	12.71	13.63	14.56	15.49					
10	8.89	10.33	11.78	13.22	14.66	16.11	17.55	18.99	20.43	21.88	23.32	24.76	26.20			
11	12.19	13.58	14.96	16.34	17.73	19.11	20.49	21.88	23.26	24.64	26.03					
12												19.50	21.14	22.79	24.44	26.08
13																
14																

次式を用いて、重み付き回帰方程式を解いた。

$$\frac{\text{枚積 (ft')}}{D^2 H} = b_0 + b_1 \left(\frac{1}{D^2 H} \right)$$

ただし $D =$ 胸高直径 (in)

$H =$ 樹高 (ft)

$b_0, b_1 =$ データから求められた係数

各方程式の回帰係数、平均枚積の標準誤差が下表に示してある。

3表 回帰係数、平均枚積の標準誤差

上部直径限界 in	枚積の 種類	b_0	b_1	平均枚積の 標準誤差 ft'
4.0	段付	0.00261366	-0.581077	± 0.667
3.0	段付	0.00258896	-0.184542	± 0.533
4.0	段内	0.00228831	-0.535206	± 0.594
3.0	段内	0.00228620	-0.254526	± 0.500

注. 平均枚積の標準誤差 = (重み付き回帰から求めた平均平方残差の平方根) $\sqrt{D^2 H}$

Southeastern Forest Experiment Station

(Research Notes No 162 1961)

10. 森林における層積の略算法について

More on a simplified method of computing cordwood volume in the woods

Jim Dale の論文には、単木の層積を求める簡単な巧みな方法が示してある。筆者は彼がこの方法をさらに簡単にし、どんな枚積表にも簡単に仕立直せるものと信じている。

層積を問わず Dale の公式は次の通りである。

$$\frac{\text{累計係数} \times \text{樹高} \times 5}{1000}$$

累計係数は断面積の近似値である。

分数 $\frac{5}{1000}$ は高さが樹高に等しい円筒形の ft^3 容積を単木のゴーク単位の枚積に換算するものである。この分数は $1/200$ で表わせる。

Dale の累計係数の代りに $0.005454 D^2$ で断面積を求めることができる。Dはある限度までは簡単に平方できる。そうすれば式は

$$\frac{0.005454 D^2 \times \text{樹高}}{200}$$

又は $D^2 \times \text{樹高} \times 0.00002727$ さらに簡単に $D^2 \times \text{樹高} \times 27$ となるが、この場合積の小数点を6桁ずらす必要がある。

Dale の論文に示してある Virginia 産マツの枚積表からとったゴーク枚積、Dale の方法で求めた値、ここで説明した方法で求めた値の比較が1表に示してある。この表は27の代りに28を用いると、この特定の枚積表によく一致することを示している。これが初めて述べた"仕立直し"である。

1表 3つの方法で求めた標準コード単位の枚積の比較

d.b.h	枚積表	Daleの方法	"27"	"28"
樹高はすべて50ftとする。				
4	0.027	0.02	0.022	0.022
5	0.037	0.03	0.034	0.035
6	0.054	0.05	0.049	0.050
7	0.068	0.07	0.066	0.069
8	0.091	0.09	0.086	0.090
9	0.115	0.11	0.109	0.113
10	0.140	0.13	0.135	0.140
11	0.171	0.16	0.163	0.169
12	0.198	0.19	0.194	0.202
13	0.237	0.22	0.228	0.237
14	0.275	0.26	0.265	0.274
15	0.312	0.30	0.304	0.312

E. D. Roberts

Journal of Forestry 1961 Vol. 59. No. 7.

11. 森林における層積の簡算法

A simplified method of computing cordwood volumes in the woods.

林業実務官は、枚積表、断面積係数或いは簡単に測定できる樹高、樹高直径を取引の標準的測定単位であるコードに換算する方法を用いなくて森林内の単木即ち立木の層積を推定する問題に当面することがしばしばある。

この問題に直面した時には、林業実務官や拙夫は、普通個人的経験や判断に基づいて推定を行う。彼は標準コードで枚積を推定するのに2つのことを考える。

1. トラッカー一車分のパルプを作るのに要する木の平均的大小さと本数

2. トラッカー一車分の荷を作るのに、板が釘っているコード数
途発者がコード当りの本数を知りたいと思うならば、頭の中で、板のトラック荷のコード数で、一車分の荷を作るのに要する本数を割る。エーカー当りのコード数が知りたければ、彼はエーカー当りでは採出するトラック荷の数を想定しようとするか、エーカー当りの本数をコード当りの本数で割る。

1表 d.b.h 2in ~ 20in までの木の
断面積と集計係数の比較

d.b.h	断面積	集計係数
in	ft ²	
2	0.02	0.02
3	.05	.05
4	.09	.09
5	.14	.14
6	.20	.20
7	.27	.27
8	.35	.35
9	.44	.44
10	.54	.54
11	.66	.65
12	.78	.77
13	.92	.90
14	1.07	1.04
15	1.23	1.19
16	1.40	1.35
17	1.58	1.52
18	1.77	1.70
19	1.97	1.89
20	2.18	2.09

単木に含まれるコード枚を推定するかなり正確な一方法を d.b.h における単木の断面積が簡単な和によって近似出来るという一つの観測に基づいて、著者は導びいた。

$$\text{断面積} = \frac{2^2 + 3^2 + \dots + d.b.h^2}{100}$$

したがって樹高直径 8in の木では、集計係数は

$$\frac{2^2 + 3^2 + 4^2 + 5^2 + 6^2 + 7^2 + 8^2}{100} = 0.35$$

1表には d.b.h 2in ~ 20in の木について算出した断面積と集計係数との比較が示してある。

集計係数は必要などときにはいつでも簡単に決定できる。単木に含まれるコード枚積は次の方程式で推定できる。

$$\text{コード} = \frac{\text{集計係数} \times \text{樹高} \times 5}{1,000}$$

例として 直径 8in - その集計係数は 0.35 である - 樹高 55ft の木を考えてみる。

$$\text{コード} = \frac{0.35 \times 55 \times 5}{1,000} = \frac{96.25}{1,000} = 0.096 \approx 0.10$$

したがって d.b.h 8in, 樹高 55ft の木は 0.10 コードの層積を生産することが期待される。

著者の集計法で算出した枚積と採積した木から実測した木から実測した枚積との表による比較は Cary (1939) の発表した枚積表 1~4 と Slocum と Miller (1953) の発表した枚積表 5 を見れば簡単に分る。この枚積表は米国東部に産する各種の針、広葉樹に適用されている。

集計法によるコード枚積の計算法を例示するために選んだ枚積表は、異なった地域で異なった研究者により編製されたものであることを指摘すると共に、実際の利用状況には差があり、これ以外の因子も枚積に影響することを注意する必要がある。それにもかかわらぬ、枚積量はどの樹種についても、各直径、樹高階毎によく一致している。集計法で算出した枚積も又よく一致している。しかし New England の広葉樹に適用される枚積表 3 - 最小直径 2in 以下は樹高として - と Jack pine に適用される枚積表 4 - 伐採高が 1ft 以下 - では最大の差が見られた。New England の広葉樹と Jack pine から生産される実際のコード枚は、実際の利用が今日行なわれているパルプ材生産事業に一層近いものであれば、集計法で算出される枚積により近くなるであろう。

集計法で算出した枚積は単木や樹部のコード枚積の近似値を現場

を求めるのに充分使用できる正確さをもっている。というのは推定者は近似値を求めるために、これまでに発表された統計量や断面積表を用いなくてもよく、枚積計算に必要なデータを求めるために伐倒する必要もないからである。

Jim E. Dale. (Journal of Forestry Vol. 59 No. 3 1961 P. 191~P. 193)

枚積表1 White pine (コード単位)

(括弧内は集計法で求めたコード単位の枚積)^{注1}

Dbf	樹 高 - 径						
	30	40	50	60	70	80	90
in							
5	0.03 (0.02)						
6	0.03 (0.03)	0.04 (0.04)	0.05 (0.05)				
7	0.04 (0.04)	0.05 (0.05)	0.07 (0.07)	0.09 (0.08)			
8	0.05 (0.05)	0.07 (0.07)	0.09 (0.09)	0.11 (0.10)	0.13 (0.12)		
9	0.07 (0.07)	0.09 (0.09)	0.11 (0.11)	0.13 (0.13)	0.16 (0.15)		
10		0.11 (0.11)	0.13 (0.13)	0.16 (0.16)	0.19 (0.19)	0.22 (0.22)	
11		0.13 (0.13)	0.16 (0.16)	0.19 (0.19)	0.23 (0.23)	0.26 (0.26)	0.30 (0.29)
12		0.15 (0.15)	0.19 (0.19)	0.22 (0.23)	0.27 (0.27)	0.31 (0.31)	0.35 (0.35)
13		0.17 (0.18)	0.22 (0.22)	0.26 (0.27)	0.31 (0.31)	0.36 (0.36)	0.40 (0.40)
14			0.25 (0.26)	0.30 (0.31)	0.34 (0.36)	0.41 (0.42)	0.45 (0.45)
15			0.28 (0.30)	0.34 (0.36)	0.40 (0.42)	0.46 (0.48)	0.51 (0.54)

注1. Cary, Austin. Woodman's manual. The Harvard University Press. 1939 地上 1/2 径以上、上部直径 4 in 以上の枚積を含む。

材積表2 Spruce (粗枝のコード枚積)

(括弧内は集計法によるコード単位の枚積)^注

dbf	樹 高 径								
	40	45	50	55	60	65	70	75	80
in									
6	0.02 (0.04)	0.04 (0.04)	0.05 (0.05)	0.06 (0.05)					
7	0.06 (0.05)	0.06 (0.06)	0.07 (0.07)	0.08 (0.07)	0.09 (0.08)				
8	0.07 (0.07)	0.08 (0.08)	0.09 (0.09)	0.10 (0.10)	0.12 (0.10)	0.13 (0.12)			
9	0.09 (0.09)	0.10 (0.10)	0.12 (0.11)	0.13 (0.12)	0.14 (0.13)	0.16 (0.14)			
10	0.11 (0.11)	0.12 (0.12)	0.14 (0.13)	0.16 (0.15)	0.17 (0.16)	0.19 (0.18)	0.20 (0.19)	0.22 (0.20)	
11		0.15 (0.15)	0.17 (0.16)	0.19 (0.18)	0.20 (0.19)	0.22 (0.21)	0.24 (0.23)	0.26 (0.24)	0.28 (0.26)
12		0.18 (0.18)	0.20 (0.19)	0.22 (0.21)	0.24 (0.23)	0.26 (0.25)	0.28 (0.27)	0.30 (0.29)	0.32 (0.31)
13		0.21 (0.20)	0.23 (0.22)	0.25 (0.25)	0.27 (0.27)	0.30 (0.29)	0.32 (0.31)	0.34 (0.34)	0.37 (0.36)
14			0.26 (0.26)	0.29 (0.29)	0.31 (0.31)	0.34 (0.34)	0.36 (0.36)	0.39 (0.39)	0.42 (0.42)
15				0.32 (0.32)	0.35 (0.36)	0.38 (0.39)	0.40 (0.42)	0.43 (0.45)	0.47 (0.48)
16				0.36 (0.37)	0.39 (0.40)	0.42 (0.44)	0.45 (0.47)	0.48 (0.51)	0.52 (0.54)
17				0.40 (0.42)	0.43 (0.46)	0.46 (0.49)	0.50 (0.53)	0.54 (0.57)	0.59 (0.61)
18				0.45 (0.47)	0.48 (0.51)	0.50 (0.54)	0.55 (0.59)	0.59 (0.64)	0.64 (0.68)
19				0.49 (0.49)	0.52 (0.54)	0.56 (0.58)	0.60 (0.63)	0.65 (0.67)	0.70 (0.72)
20				0.52 (0.55)	0.57 (0.60)	0.62 (0.65)	0.66 (0.70)	0.72 (0.75)	0.77 (0.80)

注 Cary, Austin. Woodman's manual. The Harvard University Press. 1939

Maine, New Hampshire, New York で伐倒した 2500 本の資料による。上部直径は 4 in

枚積表 3 New England の広葉樹 (コード単位)
(括弧内は集計法によるコード単位の枚積) 注

dbh	樹 高 尺						
	20	30	40	50	60	70	80
in							
3	0.009 (0.005)	0.011 (0.01)	0.015 (0.01)	0.018 (0.01)			
4	0.015 (0.01)	0.019 (0.01)	0.024 (0.02)	0.029 (0.02)			
5		0.031 (0.02)	0.034 (0.03)	0.043 (0.04)	0.051 (0.04)		
6			0.048 (0.04)	0.060 (0.05)	0.072 (0.06)	0.081 (0.07)	
7			0.063 (0.05)	0.079 (0.07)	0.095 (0.08)	0.113 (0.09)	
8			0.078 (0.07)	0.101 (0.09)	0.122 (0.10)	0.140 (0.12)	0.153 (0.14)
9			0.095 (0.09)	0.125 (0.11)	0.149 (0.13)	0.168 (0.15)	0.184 (0.18)
10				0.151 (0.13)	0.179 (0.16)	0.199 (0.19)	0.217 (0.22)
11				0.179 (0.16)	0.212 (0.19)	0.235 (0.23)	0.252 (0.26)
12				0.210 (0.19)	0.251 (0.23)	0.276 (0.27)	0.294 (0.31)
13				0.246 (0.22)	0.292 (0.27)	0.324 (0.31)	0.343 (0.36)
14				0.286 (0.26)	0.338 (0.31)	0.374 (0.36)	0.392 (0.42)
15				0.332 (0.30)	0.390 (0.36)	0.430 (0.42)	0.450 (0.48)
16				0.383 (0.34)	0.451 (0.40)	0.491 (0.47)	0.565 (0.54)

注 Cary, Austin. Woodman's manual. The Harvard

University Press. 1939

この表は Harvard Forest についてのものである。red maple について作製されたものであるが、他の樹種にも適用できる。直径 2 in 以下の枝は薪材として利用。

枚積表 4 Jack pine (コード単位)
(括弧内は集計法によるコード単位の枚積) 注

dbh	樹 高 尺					
	40	50	60	70	80	90
in						
5	0.03 (0.03)	0.04 (0.03)	0.04 (0.04)			
6	0.04 (0.04)	0.05 (0.05)	0.06 (0.06)			
7	0.05 (0.05)	0.06 (0.07)	0.08 (0.08)	0.09 (0.09)		
8	0.07 (0.07)	0.08 (0.09)	0.10 (0.10)	0.12 (0.12)		
9	0.08 (0.09)	0.10 (0.11)	0.12 (0.13)	0.14 (0.15)	0.16 (0.18)	
10		0.12 (0.13)	0.15 (0.16)	0.17 (0.19)	0.20 (0.22)	
11		0.14 (0.16)	0.17 (0.19)	0.21 (0.23)	0.23 (0.26)	0.27 (0.29)
12			0.21 (0.23)	0.24 (0.27)	0.27 (0.31)	0.31 (0.35)
13			0.24 (0.27)	0.28 (0.31)	0.32 (0.36)	0.36 (0.40)
14			0.28 (0.31)	0.32 (0.36)	0.37 (0.42)	0.41 (0.47)
15			0.31 (0.36)	0.36 (0.42)	0.41 (0.48)	0.47 (0.54)
16			0.35 (0.40)	0.41 (0.47)	0.47 (0.54)	0.53 (0.61)

Cary, Austin. Woodman's manual. The Harvard University Press. 1939.

注 樹高 1 尺以下。上部直径 3 in 迄の粗幹枚積 (Lake 州林業試験場より)

表5 標準コード単位の単木の皮付取引可能材積 *Pinus virginiana* 注
(括弧内は集計法で求めたコード単位の材積)

dbh	樹 高 尺								本数	
	20	30	40	50	60	70	80	90		
4	0.008 (0.01)	0.013 (0.01)	0.020 (0.02)	0.027 (0.02)	0.031 (0.03)					2
5	0.012 (0.01)	0.019 (0.02)	0.027 (0.03)	0.037 (0.03)	0.044 (0.04)					19
6	0.021 (0.02)	0.031 (0.03)	0.043 (0.04)	0.054 (0.05)	0.064 (0.06)	0.074 (0.07)				31
7		0.040 (0.04)	0.054 (0.05)	0.068 (0.07)	0.084 (0.08)	0.100 (0.09)	0.114 (0.11)			48
8		0.056 (0.05)	0.074 (0.07)	0.091 (0.09)	0.109 (0.10)	0.127 (0.12)	0.144 (0.14)	0.162 (0.16)		55
9		0.071 (0.07)	0.093 (0.09)	0.115 (0.11)	0.138 (0.13)	0.161 (0.15)	0.184 (0.18)	0.205 (0.20)		97
10		0.083 (0.08)	0.113 (0.11)	0.140 (0.13)	0.170 (0.16)	0.197 (0.19)	0.225 (0.22)	0.254 (0.24)		95
11			0.135 (0.13)	0.171 (0.16)	0.204 (0.19)	0.240 (0.23)	0.272 (0.26)	0.307 (0.29)		84
12			0.158 (0.15)	0.198 (0.19)	0.241 (0.23)	0.280 (0.27)	0.321 (0.31)	0.360 (0.35)		63
13				0.237 (0.22)	0.281 (0.27)	0.333 (0.31)	0.378 (0.36)	0.425 (0.40)		55
14				0.275 (0.26)	0.333 (0.31)	0.386 (0.36)	0.441 (0.42)	0.496 (0.47)		42
15				0.321 (0.30)	0.374 (0.36)	0.437 (0.42)	0.498 (0.48)	0.562 (0.54)		18
16					0.428 (0.40)	0.498 (0.47)	0.568 (0.54)	0.640 (0.61)		8
17					0.477 (0.46)	0.555 (0.53)	0.635 (0.61)	0.711 (0.68)		2
18					0.535 (0.51)	0.625 (0.59)	0.714 (0.68)	0.802 (0.76)		3
本数		11	37	53	89	201	231			622

注 Slocum, G. K. and W. D. Miller. Virginia pine. North Carolina Agric. Expt. Sta. Tech. Bul No 100. 1953.
Jim. E. Dale. (Journal of Forestry Vol 59 No 3 1961 P191~P193)

12. Red pine の人工林における形級の変化について.

Changes in form class in a red pine plantation Allen F. Horn

New York 大学林学科の森林経理学教授は、ニューヨーク州 Fulton の近くの Great Bear Springs の人工林内に一組の成長量測定プロットを設けた。この人工林は、この地方で最も早く植林されたもので、現在、ほぼ50年生に達している。北東地方の林業技術者にとって、特に興味のある林である。この林分は、北東地方の都市に広く分布している製水の需要を保護するために、Great Bear Spring 会社の所有地により、1906 ~ 1913 年の間に植林されたものである。植栽樹種には、欧州マカマツ、white pine, red pine, ホンデロガマツ、カラマツ、欧州カラマツ、欧州マツが含まれている。この期間に、約2/3エーカーの林地が植林された。

最初の成長量プロットは 1918 年に H. C. Belyea 教授の指導で、林科大学により設定された。

この初期の研究は 1922 年まで続けられ、合計8組のプロットが、いろいろな林分内に設けられた。残念なことには、林分毎に 1/4 エーカープロットが僅か1個ずつ設けられたに過ぎないので、この記録から得られる推論は限られている。標本木の dbh, 樹冠の位置、樹高は 1932 ~ 1938 年の5成長期間を除いて、10年間隔で測定された。平均木の樹幹折断材積は、 ft^3 /断面積で読みとるために、曲線で表わされた。

1958 年度の測定期に、単木材積を決める際この重要な変量を認識するため、形級材積表の使用の可能性を調べることに決められた。この調査は 1909 年に 6 x 6 ft 間隔で植栽

した。red pine の人工林内に設けたプロットだけに限定された。

Girard の形級を測るために選ばれる木を、樹冠の高さに基づいて選出した。3回以上の測定期で優勢を示している木を、1つの組とした。これまで2回の測定期に優位を示していた木は、カ2組とし、3回以上の測定期に準優勢であった木をカ3組とした。中介木および被圧木は含めなかった。この3つの木がプロット内にある本数はほぼ等しい。形級を求めるときは少な過ぎたためである。現在林分の Girard の形級を 普通の方法で測定した。すなわち伐深高を $1/3$ とした。

$$\frac{\text{カ1カ2カ3の上部伐内直径}}{d, b, h} \times 100$$

過去の各測定期における、カ1カ2カ3の上部伐内直径を求めたために、その位置で、木の中心部に達するまで成長線を測定した。成長線片で測定した直径を、テープで測定した直径に修正した。中心のズレを補正するため、このようにして求めた修正係数を、成長線片の長さに適用した。1928, 1929, 1932 年を示す年輪を基に数え、適当な修正係数を乗ずれば、その年における d, b, h が決定できよう。この測定値を、定期調査の際直接測定した 標本木の d, b, h で割れば、これらの木の過去における Girard の形級が求まる。

3種の樹冠の位置群のそれぞれについて、平均 Girard 形級を 1928, 1929, 1932 年について算出した。1932 年の測定値を用いて、3回以上の測定期で、優勢であった木と過去2回の測定期に優勢であった木の形級の差は、1/2 以下であることが分かった。

したがって、この2つの群は一まとめにし、準優勢木の平均値と共に、1図に示してあるように、測定年に対して その Girard の形級をプロットした。

研究結果 Implications

1932 年には、この林分は23年生であった。1/4 エーカーの研究用プロットは、エーカー当り本数が 976 本、町面積が 164 ft^2 の林分状態を衰わしていた。

平均断面積の木 d, b, h は 5.5 in であった。(林分の平均的な木の完全な要約については1表を参照のこと) 林分内の優勢木と準優勢木の平均 Girard 形級の差は約6であった。

(257と231)と1 優勢木の材積計算の場合と同じ表を準優勢木に適用すれば、材積で約12%の誤差を生ずることを、この差は示している。

Girard 形級の差は、直径に応じて、2~3%の材積の変化を示している。

15回の成育期を通じて、林分構造は著しく変わった。標準差の資料によると、39年生の1928年にはエーカー当り本数は264本と減少なかった。しかし、断面積は エーカー当り194 ft^2 まで増加した。平均木 d, b, h は 6.8 in であった。最もはげしい変化を示したのは、木の形状であった。準優勢木は現在、平均 Girard 形級 12.5 で、優勢木は平均して 24.5 であった。

年々の変化については、準優勢木は毎年 d, b, h の約1%の割合で増加するが、優勢木は毎年 2.76% の割合で増加する。

注1. 準優勢木が優勢木より低い Girard 形級をもつというこの状態は普通にはない。低い樹冠にある木の細りは一般に準優勢木よりも、21。この2つの樹形級の相対的大きさは、このことを説明するであろう。Red Pine の人口林は樹冠級に陥ると差のないことを示す場合が厚くある。現時点において 研究対象林分の優勢木と準優勢木の平均樹高の差は、僅か 0.8 ft で、平均樹冠長の差は、3.3 ft であった。しかし、1932年以後では、優勢木の平均 d, b, h は、準優勢木に比べて、1.3~1.6 in 大であった。樹高と樹冠長が似ているという理由で準優勢木が、優勢木とはほぼ同じ風の作用を受けると仮定せれば、優勢木は比して樹幹は細いから一層はげしく揺れ動くであろう。このような事が常態であれば、準優勢木は、樹幹の上部に比べて一層多くの材積 d, b, h 以下のところで生産する有利な利権を受け得るであろう。

ここで次の2つのことが重要と思われる。形状の変化は、一般に

考えられているより遙かに速く、材積決定の際このことを認識していないと大きな誤差を生ずるのである。ホ2に、準優勢木の形状の良くなる割合は優勢木よりも速く、15年目の終りには、優勢木と準優勢木の形状の差は比較的小さくなる。幹形の変化がこのように異なるのは、樹幹上の各位置における年輪幅が一様でないためである。このような優勢木では、d.b.h. の成長は、地上ノブ30寸の直径成長より速いが、この2点における準優勢木の成長率は前者に比してほぼ一致である。この限られた研究から結論が引き出せるのであれば、約35年生以下、即ち重症、樹高がまだ成長段階にある林分では、樹形別に形級を定めることが重要と思われる。

1表 6x6寸 間隔で1909年に植栽された red pine 人工林のエーカー当りの平均的樹分状態

年	本数	断面積 sq ft	優勢木の 樹高 ft	d.b.h. in	優勢木の 形級	準優勢木の Girard形級
1912	1172	18	—	—	—	—
1922	1172	27	—	3.7	—	—
1932	276	168	37	4.5	79.1	66.7
1942	276	192	45	4.2	75.9	75.9
1952	276	128	56	4.8	82.5	82.5
1958	276	97	62	7.9	82.5	81.2

この人工林はこの期間において自然のままに成育することができた。枯死木や下層の幹死木の除去、下枝の

取打以外、中間の伐採は全然行なわれなかった。1950年に、この林分は台風におそわれ、かなりの被害を受けた。樹木はバルブ材として利用し、さらに運搬の便を計って、この林に軽い間伐を施した。この作業は、林科大学の知らないうちに行なわれ、除去した材積を記した記録もなかった。大学にある唯一の記録は1947年と1957年度の測定結果だけである。

これらの表から、1947年にエーカー当り194材²あった材積は1957年に98材²となり、台風とその後の間伐で、材積の50~60%が除去されたと推定された。

この程度の間伐を施すと、残存木の形状は著しい影響を受ける。1947年に84.5あった優勢木の平均 Girard 形級は1957年には82.5に下り、準優勢木は、同じ期間に82.5から81.2に下

った。残存林分は明らかに新しい環境に、自ら適応し、樹形は、成長空間の増大に応じて重心を移動するようになった。1947~1957年間の、曲線の形は(ノ四)もある。どんなことが起ったかを推測するだけのものである。図は、林分が環境に順応する前に、形級がさらに低下するであろうことを示しているが、このことは後日再測により初めて立証できる。

この詳細な研究が、激しい間伐による状態を要するならば、間伐の研究で、しばしば見落されていた材積決定の一面に注意が向けられるであろう。間伐プロットの推定材積は、同じ Girard 形級材積を間伐後8年経過した間伐プロットと非間伐プロットの材積計算に用いると、実値より少くとも4%は低くなるであろうことがこの研究で示された。

Canada の Bicherstaff の行った同じ様な研究は、この2つの結論に力を与えてくれた。この研究には、19年前に間伐された red pine 林分の優勢木が含まれている。樹幹の変化は次の公式で示されている。

$$\frac{\text{樹高以上の樹高の} \frac{1}{2} \text{の直径(皮付)} \times 100}{\text{胸高直径(皮付)}}$$

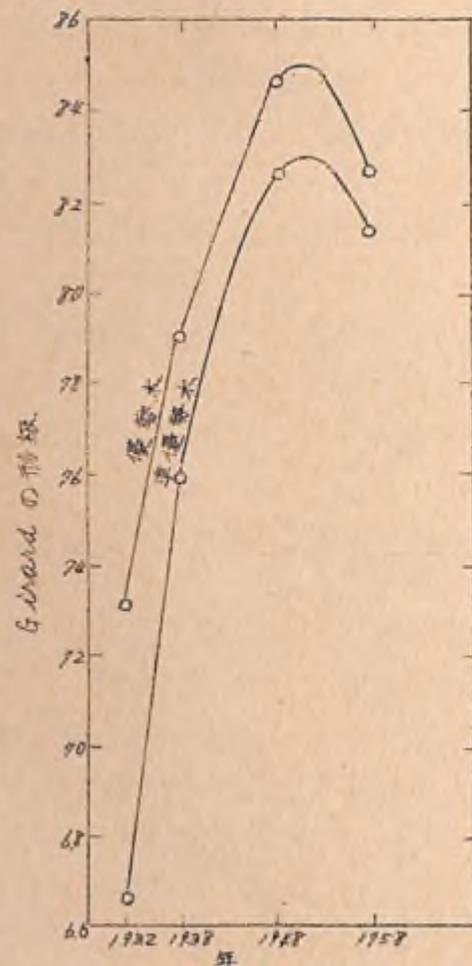
5年後の間伐は行ったが枝打は行なわれなかった林分の形級は14%は減少したが、間伐も枝打も行なわれなかったプロットは19単位だけ増加した。形級を総観すれば、間伐による材積の増加は72%であったが、形級の差を認めるときは、その増加は僅か60%であった。

結 論

Conclusion

前述の範囲結果は、限られた量のデータから引きだされたものであるが、その結果は、将来の研究を充分根拠づけるに足るものである。ここに示してある幹形発達の様子はこの地方の他の地区にある、同じような本数密度をもつ針葉樹人工林でもみられるという仮定は、

あり得ないことではない。人工林の経営が、林業や木材を利用する工業にとって次第に重要性が増して来たので、将来の研究は他の地方で幹型と林分、樹冠の位置との関係を確認し、Girard 形級に間伐がおよぼす影響の測定を行なうように強く推進すべきである。このような研究は人工林の材積成長量の適切な測定や材積を決める他の面において必要とされている。



1/4
N.Y 州 Great Bear Spring の red pine 人工林内の研究対象木の平均 Girard 形級と測定年との関係。

(Journal of Forestry Vol 59, No. 3 1961)
P 181 - P 193

13. 伐根測定による材積推定

Estimating volume from stump measurements

林業技術者は伐採地に残っている伐根から用材材積を推定しなければならないことがある。このような推定は伐採者が所有境界にまたがって伐採した場合や伐採の印のない木を除くときにも必要となる。標準地による伐根測定は普通の用材生産量調査をせず、全国的又は地方的な用材年伐量を推定するにも使用できる。

この伐根による用材収穫量の推定方法をテストするため、中央林業試験場は全国的森林資源調査で数年にわたって現地標本プロットで伐根を調査し記録した。伐根測定値の外に、次のことを決める必要がある。(1) 胸高直径と伐根直径との関係、伐採木の取引可能な樹高。

2700 本の測定 2700 trees measured.

Central States の広葉樹の胸高直径と伐根直径の関係を約 2700 本の立木について胸高直径と 1 ft と仮定した伐根高の関係を測って決定した。

これらの木は、Indiana と Ohio に無作為に設けた山林局の調査用プロットで測定した。1 表に与えられた伐根直径に対する平均胸高直径を示す。

1 表 Central State の広葉樹の高さ 1 ft の伐根直径と関係づけた胸高直径

伐根直径 (in)	胸高直径 yellow-poplar, black-china, cottonwood in	その他 広葉樹
12	11	10
14	12	11
16	14	13
18	15	14
20	17	16
22	19	17
24	20	18
26	21	20
28	22	21

伐根直径 (in.)	樹高直径 yellow-poplar, black cherry, Cottonwood	その他 木葉樹
30	24	22
32	26	24
34	27	25
36	28	26

最大の困難となる取引可能樹高

Merchantable length poses biggest problem

伐採木の取引可能樹高を正確に決めることは難しい。木材が最近に行なわれたのであれば、おがくづの山の数、距離、伐根と利用しなかつた梢頭部間の距離、造材のためにできたくぼみその他同様な痕跡間の距離のような手がかりから推定できよう。しかし、殺虫、天候、動物のためこれらの痕跡を消してしまふか、宿根できないものになってしまう。伐採木の取引可能樹高を推定する別法は、その地区又は隣接地区の同じ様な木の取引可能樹高を測ることである。

これらの方法のいずれも実行不可能であれば、樹種および直径別の取引可能の平均樹高を示す表をみつけるか作る必要がある。Central State の主要広葉樹の最小上部直径 8 in までの取引可能樹高が Illinois, Indiana, Kentucky, Ohio 州で行った伐採作業の際に測定された。

全明で約 500 本の伐採木を測定し、その結果を平均した。
(2表)

このような樹高は平均木に適用できるだけであつて、平均と非常に違つている場合には使用してはならない。例えば、全林木が非常に乾燥した稜線にあれば、その取引可能の平均樹高は d.b.h. 樹種に無関係に 1 丸木以下である。逆に、肥沃な土地や水はけのよい低地では、大部分の木は 3 へ 4 本の良質の 16 ft 丸木を生産する樹高をもっているであろう。このよう

な場合、取引可能樹高は、その地区又は同様な地区に残っている木から推定すべきである。

2表 Central State の広葉樹の d.b.h. と樹種別の単木当り 16 ft 丸木の平均数

d.b.h.	樹 群 別			
	I	II	III	IV
12	1.5	1.5	2.0	2.0
14	2.0	2.0	2.0	2.5
16	2.0	2.0	2.5	2.5
17	2.0	2.0	2.5	3.0
20	2.0	2.5	2.5	3.0
22	2.0	2.5	2.5	3.0
24	2.0	2.5	2.5	3.0
26	2.0	2.5	2.5	3.5
27	2.0	2.5	3.0	3.5

注

I --- white oaks

II --- カバ、カエデ、アカシヤ、ヒッコリー、その他

III --- red oaks, スズカケヤ, Sweetgum

IV --- Yellow-poplar シナギ

を定める目的に用いられる材積表が必要である。

伐採木の材種を決定する最良段階は通常材種表からボードフォート材積を読みとることである。このために、牧種別の材種表から作られたあらゆる目的に用いられる材積表は充分正確な材積を与えるであろう。3表に示してある材積表は、Indiana での約 500 本の形数の測定値から作られたものである。これはカシ、アカシヤ、soft maple、シナノギについて Indiana の森林調査で用いられている材積表である。これ以外の樹種は、標準的表に示してある材種に対してほぼ一定の率で増減している。トネリコ、Cottonwood、Sweetgum、クルミ、トスギは表の材種に対して 90%、ヒッコリー、Yellow-poplar、スズカケヤ、マツは平均して 95%、hard maple は 110%、ブナは 120% である。材種の別は相違される場合が多いから、普通は無修正の表で充分である。他の Central State で使用される材積表も Indiana のあらゆる目的に用いられる表とそれ程違わない。

表の使用法

伐根だけが利用できる場合に用材材積を推定するには、まず伐根を樹種および / ft の高さの直径に記帳する。伐根の測定値をノ表を用いて d.b.h に換算し、2表又はその地区に残されている同じような木の測定値から伐倒木の丸太数を決める。最後に相当する材積を3表から読みとる。

この方法により伐根測定値から推定したボードフィート材積は、小数の木に適用したときには正確とは思えない。しかし、数千のボードフィートを求める場合には、極限のできる推定値を与えるであろう。

3表 Central States の広葉樹の粗材積表

(ボードフィート) 国際 1/4 in 規格										
d.b.h in	1/2	1	1 1/2	2	2 1/2	3	3 1/2	4	4 1/2	5
12	27	52	68	85	98	110				
14	50	77	103	129	149	169	182	196		
16	56	106	143	180	210	241	263	295		
18	71	136	184	233	274	314	344	391		
20	93	171	230	296	348	401	440	480	511	542
22	115	211	270	348	431	500	552	603	617	671
24	140	251	346	441	523	605	664	723	782	840
26	167	299	410	528	626	725	801	877	949	1021
28	197	347	482	616	733	850	938	1027	1114	1201
30	230	402	560	718	854	991	1094	1198	1306	1415

伐根調査と生産量調査

伐採量の推定方法として一般に認められている伐根調査は、伐木生産量について非常に正確なものではない。さらに、伐採された病弱を区別して推定するには或る程度訓練が必要である。しかしこれに反して、このような調査は、標準的工業生産を標本調査するのに若干の利点がある。(1) 蓄積調査の一部として行なわれれば、費用は少なくて済む。(2) 伐採木の大きさ、樹種についての情報を提供する。(3) エーカー当りの伐採材積と同様に伐採された森林面積についての情報を提供する。

K.L. Quigley

14. 立木材積表

Volume tables for standing trees
(英文による要約)

序

Costa によって始められて以来、いわゆる、Bavarian 州の立木材積表は、測樹学で非常に重要な位置を占めており、蓄積の測定に広く用いられている。よく知られているように、このような材積表は、いくつかの因子が分っている時に単木の材積を算えるものである。この因子は一般に胸高直径、樹高および形数であるが、ホノの因子だけのこともあるし、ホノとホ2の因子を一語に用いるか、3因子とも用いることも屡々ある。

材積表は、その構造、適用方法と同じく、調製方法もかなり違っている。標本木について求めたデータを基礎資料とする場合が最も多いが、時には、幹曲線式の適用を含めて数学的に取扱うことを主題として、小数の木からデータを求める場合もある。材積表の多くは適切な説明が欠けているか、その使用方法についての説明が全然なく、表の信頼性のテストに関するレポートも欠いている。しかしこのような基本的な点が、うまく扱われている場合もある。材積表の用途と重要性は非常に大切であるから、現行材積表の総合的な詳しい考察を発表すべく強く勧められた。しかし、このためには相当の紙面が必要であるので、この論文に含めることは、印刷費がかさむため不可能である。

Finland では、これまでに一般的材積表は一つも作らなかつた。風当り外国の表がない時には、とりわけ広く知られている Tor Jonson (Massetabeller för trädtyppskattning, Sockholm) の材積表が用いられる。このような理由で、以下においてこれらの表の適用性を調べ、これと新しい表との比較を行った。

十分な理由があって、*Finland* で高く評価されている *Jensen* の材積表の使用は、結果の正確さに重大な関係のある、いくつかの点で不確実な点があった。オノにフィンランドの全樹種および皮付と皮内材積を決定するのに同じ材積表が適用できるかどうか疑問である。例えば樹種の樹幹傾斜は、樹皮や樹冠の形状が先天的に異なる—そのため材積に差が生ずる—ために同じではない。

これらの表の適用に当って、特に実際に幹型を決めることの難しいことが立証された。形状の指標として 1. 胸高以上の樹幹の中点の直径と 2. 胸高直径との比が用いられている。上部直径は、樹高 N の木の穴では 0.65 ぬ N ぬでは 0.65 ぬ 20 ぬでは 10.65 ぬの位置を測らねばならない。これを立木について正確に行うことはやや困難である。

問題となっている表の着者は形状を決めるための器械を考案したが、そのなかで、望高法が最も重要である。この方法で、いわゆる望高、すなわち、風の曲げ応力が集中する樹幹上の点は、樹高と樹冠の形状から目測しなければならぬ。地上からの望高点までの高さが、形級を示す。しかし、望高点の決定は—少なくともフィンランドは—不確実なものであることが証明された。さらに、幾つかの研究によって、このようにして推定した形級と実際の形級との相関係数は小さいことが示されている。フィンランドでこの種の表を適用する際には、形級は一般に個人的判断又は経験によるか、たまたま地上で利用できる倒木を測定して求められる。しかし、このような方法は、表の使用や、このようにして求めた結果に不信の念が生ずる。

主としてこのような理由から、非常に有用な *Tor Jorden* の材積表を、フィンランドで作られた、充分な数の標本木基¹⁾に基づき表を変える試みの実現が必要になってきたのである。かかる表は、必要とするすべての因子を、直接地上から充分正確に測定できるように調製すべきであると考えられた。この論文

に基してある新材積表は、1947年の2月に、印刷者の手で発表されている。

資料の測定と処理

The measurement and treatment of the data

一番古い資料は、1961～1920年にフィンランドの収穫表を編製した際に筆者が測定した2568本の標本木からとったものである。1924年以降に標準地、調査線や送電線、伐採地等で伐倒され、正確に測定された木のデータがこれに加えられた。最終的には、約12,000本の標本木を用いた。

標本木は区間に分けて測定した。すなわち根部のセクションは1ぬで、1.2ぬ以下の木では、その他のセクションも1ぬ、1.2ぬ以上の木では2ぬ間隔に区分した。極端に低い木は1/2ぬセクションで測定した。これらの木の直径測定値の外に、樹幹や樹冠について、いろいろ測定した。データの処理には皮付および皮内材積、樹皮率、紐り等の計算が含まれている。

根幹部は樹幹に沿って測ったが、根幹部を除いた実用できる樹幹材積の得られるような表を調製するのがこの目的である。そのために、根幹部に含まれる確からしい材積を求めるためにフィンランドのある場所、いろいろな伐採地で、6380本の根幹について、特別な測定を行った。

伐根および樹冠の固定された実際の測定位置は、研究や材積表で幾分変っている。多くの場合、伐根高および胸高を決める標準地は、一般にその木が芽ばえた位置を充分に表わしている状態と一致するようにとられる。

しかし、現実の伐根高は、大部分樹幹基部の形によって変っている。伐採の障害による根張りのない場合もあれば、地上数10 cm以上の位置で切断しなければならない程、根張りのあることもある。

注. この論文が印刷されている際に、新しい材積表が *Jordan* の表と並行してスウェーデンで発表された。

このために、伐根高や胸高を決めるための基準線は、伐採の障害となり、これがなければ、根部丸太の形状に差の影響を与える根張りの最高点。一般的に云えば、樹幹表面の植生を除いてしまうと、出来るだけ低く伐採できる点であると仮定した。

このようにして求めた伐根測定値によれば、上述の基準線以上の平均伐根高は、フィンランド全般を通じて $1.0 \sim 1.5$ m である。樹種によるはっきりした差はみられず、直径×幹長の相違による変化もわずかであった。伐根高の問題を解決してから、樹幹下部の細りを決めるための測定を行った。最後に、この研究の結果として得られた根株材積を、標本木を測った時、その中に、これが1個含まれるものとして、根部のセクションから差し引いた。

したがって、材積表は、前述の定義によりその根株材積を除いた樹幹材積を示し、このような根株材積は、現実に見られる平均根株材積に相当すると思われる。

材積表の調製 *Preparation of the Tables*

皮付材積 *The over-bark volume.*

この材積表は次の3因子の測定に基づいて作製した。胸高直径、樹高、形状。初めの2つは輪尺と測高器で簡単に測定できる。

何事も試験と調査を行った結果、形状の最も有効な指標は、胸高と6mの高さとの細り。すなわち、 $d, b, h - 6.0$ m の直径であることが確認された。

自然の根張のある樹幹上に d, b, h のあることがたびたび起ると思われるが、標準的な直径として広く用いられている。上部直径を6m以下に少しばかり上げても、測定はそれ程容易

にならないばかりか、喬木の形状を決定する時には、不正確さが増すだけである。逆に6m以上の点の直径を正確に測定することは難しい。

この細り率 ($d, b, h - 6.0$ m の直径) 樹高8m以上の木の形状の指標として採用した。6~7mの木については3.5mの高さが、上部直径を測るのに適當であることが分った。5m以下の木では、形状の測定値を用いる必要はない。

したがって上部直径は、特に喬木の場合には、樹幹の比較的高い位置で測定され、その上、その高さは固定されている。次の実証的な理由から、この決定となったのである。すなわち、6.0mの直径は例えば仮定する輪尺を用いれば、かなり正確に測定でき、一定の高さは、樹高の何分の一の高さよりもるかに簡単に定められるからである。その上樹高の1/2以下の点で測った上部直径は、後述の注釈で論じているフィンランドでの研究の結果、妥当なことが立証された。

標本木を1cm間隔の細り級に分け、さらにこの級を1m間隔の樹高級に、さらに1cm間隔の胸高直径に分類した。表の調製に当って2つの方法、すなわちグラフによる方法と、簡単な解析的方法 ($y = a x^{b-2.5}$) を一語に用いた。後者の場合には、胸高直径を横軸にとれば、樹種、細り級、樹高級毎に、一般に2.0と2.5の間にある適當な指数が選ばれた。すなわち、いずれの場合にも、直径—材積曲線をプロットすれば、直線傾向が示された。Rの値は、細り級、樹高級毎に、直径級の平均—この範囲内では、 d, D 値の変化は、一般的に非常に小さい—として求められる。

皮内材積 *The under-bark volume*

同じ大きさの木でも樹皮量にはかなりの変化がみられるので皮内材積の計算は皮付材積より不確実であることが示された。

したがって、皮内材積については不正確な結果で満足しなければならない。

材積表の調製に際して、まず皮付材積表と同じ方法で皮内材積の表を作製した。しかし、いま述べたような理由から、このような表を發表することは不必要と考えられた。皮内材積の推定のため、皮付材積に含まれる皮内材積の平均百分率を求めることでこの目的にかなう簡潔な表が作られた。これらの表は樹種、細り級、胸高直径級別に作製されている。

樹皮厚の変化はかなり大きく、誤差も大である。したがって表に示されている平均百分率から多少の隔りを示すことが望ましい。そのため、許容限界を定めるなんらかの方法を求める必要がある。樹高、直径、樹冠の形状の外に、立地の性格、地理的位置、林分内のその木の位置、樹冠の形状、特性、樹齢等は皆樹皮厚に影響する。しかし実測値として求められる因子は、胸高における樹皮厚だけである。樹皮厚と木全体の皮内材積率の間には多少の相関がみられた。

この相関は、表ノに示してある相関係数についてのいくつかの例からはっきりする。観測数が比較的になかった20cm以上のカバを除いて、トウヒとカバの相関係数は高く、その標準誤差は小さい。86%の皮内材積に相当する胸高の平均樹皮厚の例としてノ5図が示してある。

資料を胸高直径と同様樹高で分類したとはいえ、マツの相関係数はトウヒやカバに比べて、あきらかに低く、その標準誤差も高い。マツの樹皮、特に最下部の丸太の部分の構造は、他の樹種に比べて遙かに不規則であるが、それににもかかわらず、樹皮厚は、この樹種に対してもある程度まで信頼できる補正係数として使用できる。一例として、ノ6頁の図は86%の皮内材積に相当する平均樹皮厚を示している。

全体として、胸高の樹皮厚と皮内材積率間の関係は、かなりの誤差があるにもかかわらず、樹幹全体の皮内材積率を与える

表に適用すべき修正値を決める基礎として使用できる程相関の高いことが立証されている。

表の調製とその適用

Construction and application of the tables

マツ、トウヒ、カバ別に材積表を調製した。ブナの表は樹高16m以下のトネリコにはうまく適合するが、これ以上の木については、別の表が必要である。ハンノギについては、カバの材積表が近似的の値を手えるので使用できる。

3.4図は、数種の樹種の材積間の差を示すいくつかの例をあげている。マツの材積は、一般に同じ細り、樹高、胸高直径級のトウヒやカバに比べて大きい。これは主としてマツの樹皮はトウヒやカバに比べて、胸高から6mの高さまでの間、非常に厚くなっているためで、これがマツの細り級が6m以上の割合に出ている原因となっている。マツの次はトウヒで、その次が一般にカバである。しかし例外も数多くある。

樹種別の表を、樹高が2~7mの矮木に用いる簡単な表と、樹高が8m以上の喬木に用いる詳しい表とに分けた。5m以下について形状の指標は示していない。前に述べたように矮木に適用する表の形状の指標は、d, b, h - 3.5mの直径であり、喬木では、d, b, h - 6mの直径である。

3表は、樹高7mの木では国有林の森林調査によれば3/5の細り級に殆んど3/4が入り、6~7mの木では1~3/5の細り級に、大部分が含まれる。材積表に用いた樫木木の大部分は細りが小さい木の割合が高いと思われる。正常立木量の林分からとったものである。

ノ6図は、胸高直径と樹高が同じ木の示す細り級間の差を表わす2, 3のグラフである。

この差は大きいので当然細り級を考慮に入れる必要がある。

このことは、同じ胸高直径、樹高級の木がいくつかの細り級にわたって分布する様子を示す。2, 3の例も示す。表からもはつきりする。

表の使用に当って細りは樹高曲線の編製のため標本木として選ばれた木について、例えば後述する輪尺を用いて、簡単に測定できる。

細りは、整数で例えば、3.5 cm ~ 4.5 cm の木は 4 cm として測るべきである。

例えば、標本プロットを用いて、近似的結果を求めるのに、材積に最大の影響をおよぼす胸高直径級に最大の重みを与えれば、細りは、その平均値を用いてもさしつかえない。

胸高直径 50 cm 以上、樹高 30 ~ 32 m の材積表は、フィンランドの森林で一般的にみられる最大のものである。この材積表は樹皮を含み、根株材積を除いた m^3 単位の実材積を載せている。調査表を作る時には、胸高は定義のとおり、伐根の上からではなく、地際から測らねばならない。

皮付材積表は、表に載せてある率を用いて、皮付材積から求めることができる。クラス別の百分率の変化は、非常に小さいので、一小径木の場合を除く一胸高直径級と樹高級を2つづつ組にして、すべて整数で、これらの値は示してある。普通最大の変動を示すマツについて、その百分率の変化の範囲を表わす2, 3の例が5表に載せてある。

皮付材積表には、平均と異なる樹皮をもつ木に対して百分率の近似的な修正のできるらんが載せてある。樹皮厚は樹高と細りを測定するための標本木として用いた木について樹皮計を用いて測定できる。一般に、問題が林分と土壌を変える林地の蓄積を定めることであれば、表に示してある平均百分率は充分正確な結果を与える。

表の正確さ *The accuracy of the table*

形状の指標としての細り級

The taper-class as the index of form

材積表の正確さは、主として形状を示す細り級の能力にかつているが、これを立木で決定することは難かしい。

6表はマツの全標本木の真材積一区分式積法で測ったもの一が材積表による特定の細り級内にある範囲、それ以外の細り級にわたっている範囲を示している。特定の細り級への集中度は、実際には 6, 2表に示してあるものより大であるが、それは材積がそれぞれ m^3 または $d^2 h$ 単位の積算をせずに cm 単位の d , h , $d^2 h$ 単位の樹高を用いて、材積表から読み取られているからである。

3表により、マツの全標本木の約 $\frac{3}{4}$ が含まれる 2 ~ 5 の細り級では真材積は表に示してある特定の細り級の材積にその $\frac{1}{2}$ 以上が一致している。めったに起らない、6 ~ 8 の細り級では満足ゆく結果は殆んど得られない。

比較のため、同じ標本プロットのデータに Jordon の材積表を適用した。この表の形級は、1. 胸高以上の樹幹の中央の直径と 2. 胸高直径との比として定められている。6表は、各形級にわたる木の分布が、細り級を基礎として用いた場合ほど密接には、表が必要とするものと一致していないことを示している。

この比較から細り級は前述の比で表わされた形級と同じ様に、形状商を決める手段としての要求を満しており、概の近似的な方法では決定できない樹高に基づいて推定された形級上にはるかに優れていることが明らかになった。実測した細り級と、材積表から読みとった実材積に相当する細り級との相関係数はマツの全標本木について 0.980 ± 0.004 であった。形級については、これに対応する相関係数は 0.906 ± 0.008 であった。

6, 2と6, 6表に示してある細り級の標準偏差は横方向には平

均に対して1.515、縦方向には1.515であり、形級ではそれぞれ1.964、1.998である。

この状態はクル、ク6表で分るようにトウヒについても同じである。前述の相対係数は、細り級ではR280 ± R006、形級では、0.867 ± 0.098である。前者の標準誤差は、横方向には平均に対して1.818、縦方向には1.608で、後者ではそれぞれ1.875、1.706である。

クル、ク6表を調べると、この状態がカバについても同じであることが示されている。相対係数は、細り級ではR282 ± R009、形級では、0.715 ± 0.015、平均標準誤差は、前者では1.859と1.795、後者では2.258と1.934である。

この結果は、形級比の上部直径が枝の多い樹冠一樹幹が普通急に細くなる一内に入るが多いため、大きめの範囲となっている。樹幹のこの部分では、枝節間の直径の変化が大きくこのような場合測定点の位置を少し誤っただけで、結果に大きな影響をおよぼすであろう。

細り級を固定するのに用いる上部直径は10cm以上の木では形級を固定するのに用いた点より低い位置で測られ、細りが緩慢となる樹幹上の点とみなされる点では、枝も少く、したがって直径の変動も少くなる。

さらに、急に細くなる樹幹の上部は、樹高6m以下の部分一全材積の1/2以上を占めることがしばしばある一に比べて材積におよぼす影響の小さいことが指摘できるであろう。

形級と細り級を用いて求めた結果との差は、トウヒではマツほど大きくはなかった。

これはトウヒの場合にも6mの高さの測定点が樹冠内にあることが非常に多いという事実のためである。カバについては先に、この差は大きい。これは、カバの樹幹の形状が、樹冠の上部で突然変るためである。ニヌといってもよいような漏れが多い太枝は、新材積表に用いられている細り級の上部直径の場合

に比べて、規則性におよぼす影響が大きく、形級の上部直径の正確な決定を広範囲にわたって障げる。

材積表材種と実材種との比較

The volume given in the volume tables as compared with the true volume

材積表の正確さの検定を、主としてこれらの表の調製に用いた、区分別積法で求めた標本木について行った。胸高直径をcm単位で、樹高をm単位で測定しただけの比較は、材積表の正しい数値とはならないが、表が実際にこのような仕方を採っているので、このような比較で充分と考えられた。比較の結果は9表であることができよう。

マツでは、真材積からの表材積の偏差は、標本木の68.4%が5%より小さく、93.8%が10%より小さく、僅かに13%だけが、20%以上であった。Jordanの表と同じ標本木の真材積とを比較すると一この表は形級として上部直径と胸高直径の比を用いている一それぞれ次のような偏差が得られる。61.8、93.3、0.1%。したがって両材積表の正確さは等しいが、後者の表による結果は、形級が一般に樹高の他の近似的な方法で決定されるという事のため、実際上は不正確である。

トウヒについては、偏差は全標本木の74.0%が5%以下で15.2%が10%以下で、20%以上の場合はなかった。Jordanの表を用いた場合には、これに対応する数値はそれぞれ99%、95%、0.2%であった。

カバでは、材積表材積の真材積からの偏差はもっと大きい。これは根張りか幹の上部まで差しており、樹冠が一般に不規則なため、形状の変化が大きいためである。偏差は、カバの標本の60.1%が5%以下で、86.8%が10%以下で、僅かに6.6%が20%以上となった。Jordanの表でこれに相当する値は53.3、82.3、1.6%である。

偏差の符号（正又は負）を考慮すれば、得られた結果は、材積表から算出した全標本木の材積総計が真材積の総計と次のような差のあることを示した。

マツで-0.4%、トウヒで-0.6%、カバで0.8%であった。負の偏差は正の偏差よりはましである。というのは、雪や雪のある所で伐採が行なわれる場合には、伐採高は、材積表を調製する際伐採高としてとった点より高くなる傾向があるからである。

大径木に限った追加検定の結果 — 胸高直径20~50cm 樹高16~27m、細り級2~16cm — 材積表材積は、5%未満で求めた真材積から次のような偏差を示している。

5%以下の偏差は標本木の76.6%
5.0~8.9% " " 12.5%
10.0~14.9% " " 4.5%
15.0~19.9% " " 2.0%

材積の総計と真の総計の偏差は-0.7%であった。

結 論 Conclusions

樹種別に材積表を調製することは、樹種間に差のあることが分ったため、真く妥当であった。

表は3つの因子 — 胸高直径、樹高、および形状 — に基づいて作る必要があった。というのは、材積はおそらく、この因子すべてによって変るからである。

細り級すなわち樹高8m以上の木では胸高と6mの高さの細り、6~7mの木では胸高と3.5mの高さとの細りを形状の指標として用いれば、形状の決定は、実行できる手がかりを得たことになる。必要な直径は、このために考案した簡単な輪尺を用いて正確に測定できる。

材積表は2つの部分に分けられたが — 1、樹高6~7mの木に対する表、2、樹高8m以上の木に対する表 — 表の使用

にはそれほど不便ではなかった。

皮付材積と皮内材積について別々の材積表を準備する必要はあるが、後者は皮付材積と皮内材積の百分率を示す簡単な表で充分実用にたえうる。平均と著しく異なる樹皮をもつ樹幹の材積の計算が必要な場合には、この百分率は、胸高位置の樹皮厚を用いて近似的に修正できる。

比較試験により、新材積表は、広く用いられており信頼のできる Tar Jonson の材積表と同じ正確さの材積を与えることが分った。しかし後者の表を用いる場合には、形数の正確な決定の難しいことが立証され、これを近似的に決定した場合には不正確なものになる。このような欠点は、新材積では直径のゆく程度まで除かれており、さらにこれらの表はより完全に近いものであるので — 樹種別および皮内材積と皮付材積の別に材積表が作られている。 — これらの表を現地試験し、必要条件を満たしていることが立証されれば、フィンランドで広く使用するのに適するであろう。

Yrjö Ilvessalo

◎15. 針葉樹の普遍的タリフ表の新しい使用法

New ways of using the general tariff tables for conifers

H. D. S. Finch

(Forestry Commission Forest Record No. 32)

まえがき Introduction

針葉樹同分林内における材積材断面積直線が Forestry Commission Bulletin No. 24 Part II で研究された (Hummel, 1955) この研究の主成果がこの Bulletin に含まれており又別に Forest Record No. 31 に発表してある。普通タリフ表である。(Hummel 1956) このタリフ表は樹高級を区分しないで樹高階級だけで分類した材積表である。これは、林分の上層高が 80 呎以内であれば Great Britain の殆どの針葉樹のあらゆる地位の同分林に適用できる。

タリフ表による方法は、伐採前に間伐木の材積を推定する手段として、1953年に初めて森林委員会所属の針葉樹人工林で広く用いられるようになった。この方法は又、針葉樹の立ち木材積を推定するのにも使用できる。必要な推定値がいくつかのものであっても、標本木を伐採して求めた測定値から適当なタリフ番号が決められる。この Record では、伐倒木、立木の如何を問わず、主伐木を標本木としない普遍的タリフ表の立木に対する二つの新しい適用方法を試験した。

この2通りの方法を別々に扱ふことにする。

I部では、ある林分における間伐木のタリフ番号と主伐木のタリフ番号とを比較した。

両者の間に高い相関があれば、主伐木のタリフ番号は間伐木のそれから決定できる。

II部では、タリフ番号と林分の上層高との関係を調べた。

この目的は、ある林分に適合するタリフ番号はその上層高から導くことができるかどうかを決めることであつた。

I部 主伐木の標本木と間伐木のタリフ番号との比較

Part I comparison of the tariff numbers of main crop sample trees and thinnings

資料 Material

この研究は、森林委員会が固定標準地の記録からとつたデータについて行つた。10種の樹種を含む、総計34個の標準地の記録を選んだ。可能な場合には、各種の間伐を施したプロットを樹種毎に選んだ。これらのプロットは悉く、少くとも一回は再測されていた。欧州アカマツ、コルシカマツ、欧州カラマツ、カラマツ、ヘイマツ、欧州トウヒ、シトカトケヒについては適当なデータを利用できたが、Western red cedar (Thuja plicata D. Don) Western hemlock (Tsuga heterophylla Swg) Grand Silver fir (Abies grandis Lindl.) の比較的小数のプロットの結果からは、正しい結論が引き出せなかつた。

欧州トウヒでは、まず Bowmont のプロットだけについて調べ、次でこの樹種の他のデータと一緒にして研究した。4個のプロットをそれぞれ4個の副プロットに分割し、各間伐試験をラテン方格で割り付けしてある。(Hummel, 1947) 4種の間伐方法が夫々繰返されているので、他のデータより詳しく解析することができた。

方法 Procedure.

プロットを再測するたびに間伐木の平均タリフ番号と主伐木の標本木の平均タリフ番号との差を、樹種、間伐種別に調

べた。

どの樹種のプロットも、正常に間伐されており、3~6年の間隔で再測されている。再測のために、約8本の標本木の材積が決められた。これらの標本木は立木のまま測り、各標木の材積は地際から利用点に到るまで10 ft 間隔で計算してある。プロットでとられる間伐木の材積も同様に10 ft 間隔で計算してある。(Allen 1955)

プロットの再測毎のデータを用いて、個々の標本木と間伐木のタリフ番号を普通のタリフ数から求めた。次に各標木に適用するタリフは、8本の標本木のタリフ番号の平均として計算した。

間伐木の平均タリフの計算方法は間伐木の本数で変わってくる。30本以上の間伐木が記録されている場合には、平均タリフは次の2つの方法で計算した。

- i) 最大の胸高周囲をもつ20本の間伐木の平均タリフとして。
- ii) 最小限30本の間伐木を無作為に選り、その平均タリフとして。
- iii) 記録される間伐木が30本以下の場合には、間伐木全部を用いて計算した。この場合、枯死木と胸高周囲10 ft以下のものは除いた。

結果 Results

20本の最大周囲の間伐木から計算した間伐木のタリフ番号と、全間伐木の無作為標本から計算したものの差

Differences between the thinning tariff numbers calculated from the twenty thinning of largest girth, and those calculated from a random sample of all thinnings

最初に、この研究の概要をはっきりさせておけば便利であ

らう。1表は、この2つの抽出方法で計算した間伐木のタリフ番号の差と標準偏差を樹種別に示している。

2つの間伐木タリフ番号の計算方法間の差は小さく、殆どの樹種について有意差はなかった。データを間伐方法別に調べた場合にも有意な差はなかった。

1表 8樹種の間伐木について2通りの方法で計算した平均タリフ番号の差

樹種	平均タリフ番号の差 (20本の最大径の間伐木 - 無作為標本)
欧州アヤマツ	0.35 ± 0.58
ゴルスカマツ	-0.98 ± 0.71
欧州ヤマツ	0.10 ± 1.01
カラマツ	-0.06 ± 0.83
ペイマツ	-0.18 ± 0.47
欧州トウヒ	1.09 ± 0.50
シトカトウヒ	-0.37 ± 0.58
White pines	-0.58 ± 0.71

標本木と間伐木の平均タリフ番号の差

Differences between mean tariff numbers of sample tree and thinnings

i) Bowmont 試験地のデータ：欧州トウヒ

4種類の間伐方法が Bowmont のプロットで行なわれており、いずれも4回繰返されている。2表にはタリフ番号間の差の平均（間伐木のタリフ - 標本木のタリフ）が4種の間伐方法別に5年間隔で示してある。

2表 Bowmontの欧州トウヒの各種間伐法に対する年別タリフ番号の平均差

間伐種	タリフ番号の平均差				
	1930. 11	1935. 8	1940. 10	1945. 9	1950. 1
B. 弱伐	-	-	-1.18	-2.50	-2.30
C. 中伐	-	0.05	-1.30	0.88	0.30
D. 強伐	1.03	-0.18	1.23	0.83	-0.20
LC 間伐層間伐	0.78	0.10	-0.40	0.58	-0.18
LC 間伐層間伐	2.6	0.8	2.0	2.7	2.9

どの再測の場合にも、標本木と同伐木とのタリフ番号には有意差はなく、同伐方法はこの差に有意な影響を及ぼさなかったが、B種のプロットでは、最後の2回の再測の際、約2タリフ番号だけ過小推定された。

ii) 全樹種のデータ Data for all species

この研究の対象となっている10種の樹種のプロットのデータを、次に調べた。あらゆる林令、地位、同伐方式を含むプロットのデータを樹種別に分類した。同伐木のタリフ番号と標本木のタリフ番号の差の平均が3表のプロットIに示してある。

3表 10種の樹種の同伐木タリフ番号と標本木のタリフ番号

樹種	プロット数	測定回数	平均差 (同伐木のタリフ番号 - 標本木のタリフ番号)	
			I 全プロット	II B種のプロットを除く
吹州アカマツ	3	8	-0.68 ± 0.50	-0.69 ± 0.50
コルシガマツ	3	12	-2.64 ± 0.62	-0.35 ± 0.47
吹州カマツ	3	12	-1.62 ± 0.63	-0.35 ± 0.48
カマツ	5	18	-0.69 ± 0.42	-0.03 ± 0.44
ベイマツ	5	15	-2.17 ± 0.39	-1.52 ± 0.50
吹州トウヒ	19	97	-0.67 ± 0.30	-0.11 ± 0.26
エトウヒ	4	16	0.21 ± 0.51	-0.21 ± 0.51
ベイツガ	1	2	-2.40 ± 0.50	-
ベイスギ	1	3	2.73 ± 2.08	2.73 ± 2.08
ベイモミ	2	8	-0.10 ± 0.76	0.08 ± 0.53

注 ベイツガ、ベイスギ、ベイモミのデータは小数のプロットから得られたものである。

コルシガマツ、ベイマツ、ベイツガでは、同伐木のタリフは標本木のタリフに比べ有意に小さかった。この場合、試験の行なわれたプロットはB種だけであった。総ての樹種において、同伐木のタリフは一般に標本木のタリフを過小推定し、0~2タリフ番号の平均差がある。4表は同伐種別の差を示している。

4表 同伐種別に分析したタリフ番号の差：全樹種

同伐種	差 (同伐木のタリフ番号 - 標本木のタリフ番号)
B 節 地	-2.14
C 中 地	-1.28
D 強 地	-0.73
L/C 樹冠上層同伐	0.07

} ± 0.58

B種同伐を施したプロットでは同伐木のタリフと標本木のタリフとに有意差があり、C種のプロットでは幾分差があった。D種およびL/C種のプロットには有意差はなかった。

このデータは、樹種と同伐の結合された効果と同伐木のタリフと主林木のタリフの関係におよぼす影響を決めるには不十分なものであった。

しかし、3表のプロットIIでみるように、ベイマツについては、約1.5タリフ番号の差はやはり有意であるが、B種のプロットのデータを省くと、一般にタリフ間の差は減少する。

次の段階は、タリフ間の回帰を調べて、林令が主林木と同伐木のタリフにおよぼす影響を決めることであつた。ベイツガ、ベイスギ、ベイモミのデータは、このためには不十分であり、さらに残リク樹種のB種プロットのデータは省いた。

同伐木のタリフと標本木のタリフの回帰を樹種別にプロットした。林令によるプロット内の関係の傾向を示すため、各プロットの点を直線で結び付けた。

— 林令については、同伐木のタリフと主林木のタリフとの差は、どの林令でも一定であると思われ、この場合にだけ、回帰は、次の方程式で表わされる。

$$Y = a + 100 X$$

ここでY = 標本木のタリフ, X = 同伐木のタリフ, aは樹種別の常数である。7種の主要樹種別の平均回帰方程式、回帰係数の標準誤差、回帰からの標準偏差が5表に示してある。

5表 7 樹種の回帰

樹種	回帰方程式	回帰係数の標準誤差	回帰値の標準偏差
歌州アカマツ	$Y = 1.92 + 0.96X$	0.289	1.69
コルシカマツ	$Y = 4.57 + 0.39X$	0.125	1.34
歌州カラマツ	$Y = 3.46 + 1.91X$	0.162	1.47
カラマツ	$Y = 6.20 + 0.36X$	0.091	1.53
ベイマツ	$Y = 3.34 + 1.12X$	0.086	1.36
歌州トウヒ	$Y = -5.57 + 1.19X$	0.060	1.94
シトカトウヒ	$Y = 3.72 + 0.27X$	0.050	1.62

注. Y = 標本木のタリフ; X = 間伐木のタリフ

歌州トウヒとシトカトウヒを除く残りの樹種について回帰係数はノと有意な差はなかった。歌州トウヒの回帰係数はノより有意に大きく、シトカトウヒでは、ノより有意に小であった。これは、主林木と間伐木のタリフの関係が林分によって変化するを示してはいるが、成長量を推定する際、実際に重要と思われる程のものではなかった。

この調査の結果、"タリフの交換"は一般に主林木の実際のタリフ番号を適小推定することになることが示された。主林木と間伐木のタリフの関係に、樹種と林分がおよぼす影響は極く軽微であるが、間伐方法の影響は特に弱度間伐では幾分はっきりしている。森林委員会管理局で実行されている間伐方法では、総ての因子の影響が結合されて、一般に主林木のタリフはノタリフ番号だけ適小推定された。

II部 上層高とタリフ番号との関係

The top height / tariff number relationship

上層高はエーカー当りノ本の最大木の平均断面積に対応する樹高であると定義されている。

平均樹高や間伐のような因子でなくて、上層高をタリフ番号と関係させた理由は、2つの主な考えによるものである。

(i) 林分の上層高は、平均樹高や平均間伐に比して、間伐方法

により、はっきりした影響を受けない。

(ii) 実用面から考えて、林分の上層高の測定は、平均樹高を決定するより簡単である。

資料 Material

次の7樹種について森林委員会が収集した固定標準地の記録を、この研究に用いた。

歌州アカマツ、コルシカマツ、歌州カラマツ、カラマツ、歌州トウヒ、シトカトウヒ、ベイマツ。

各プロットの再測値のうちで使用した項目は、

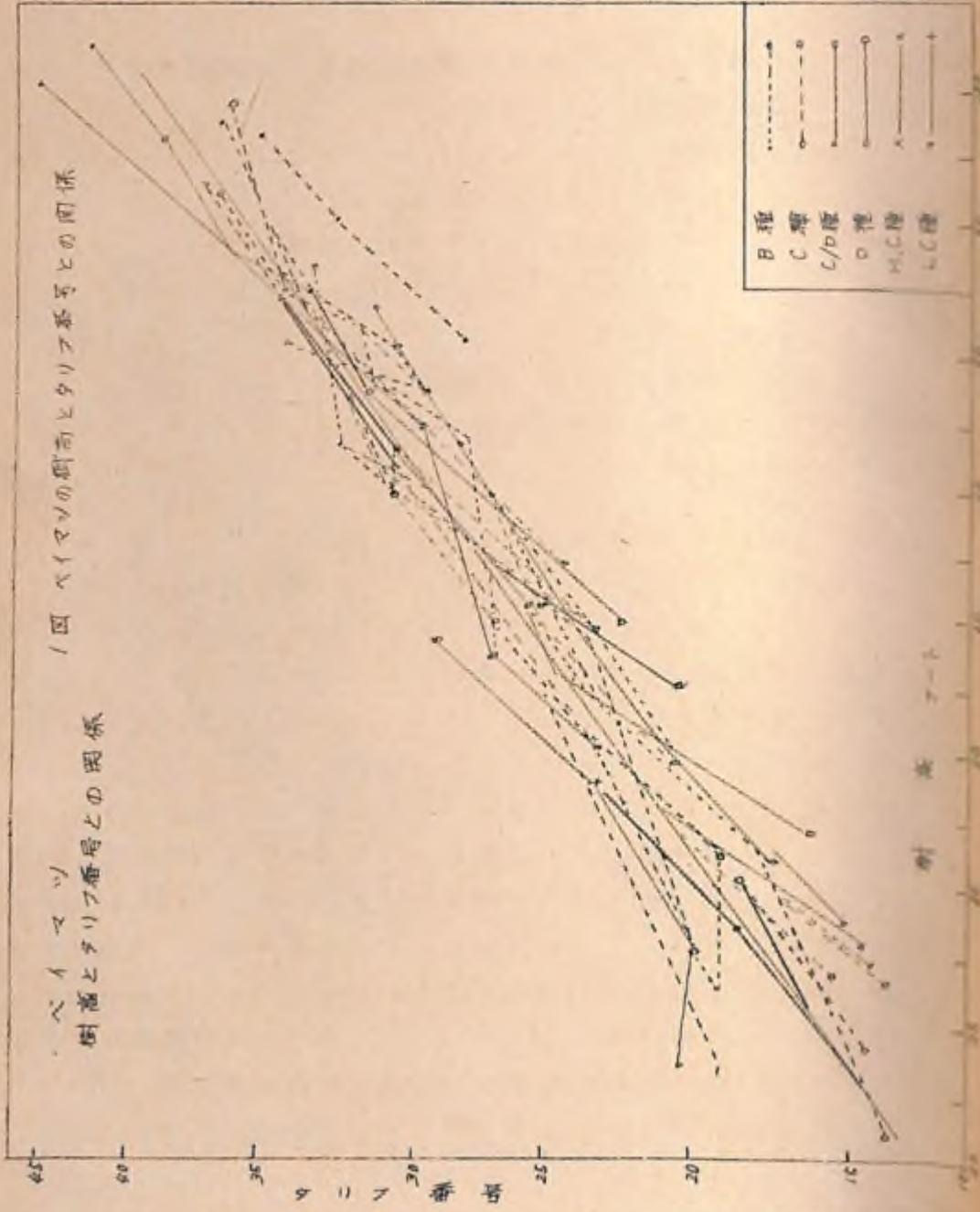
- i) エーカー当り本数
- ii) 上層高 (フィート)
- iii) 平均樹高四分高 (B. H. Q. G)
- iv) エーカー当り材積 (皮付 *kappus ft*)
- v) 間伐方法

方法 Procedure

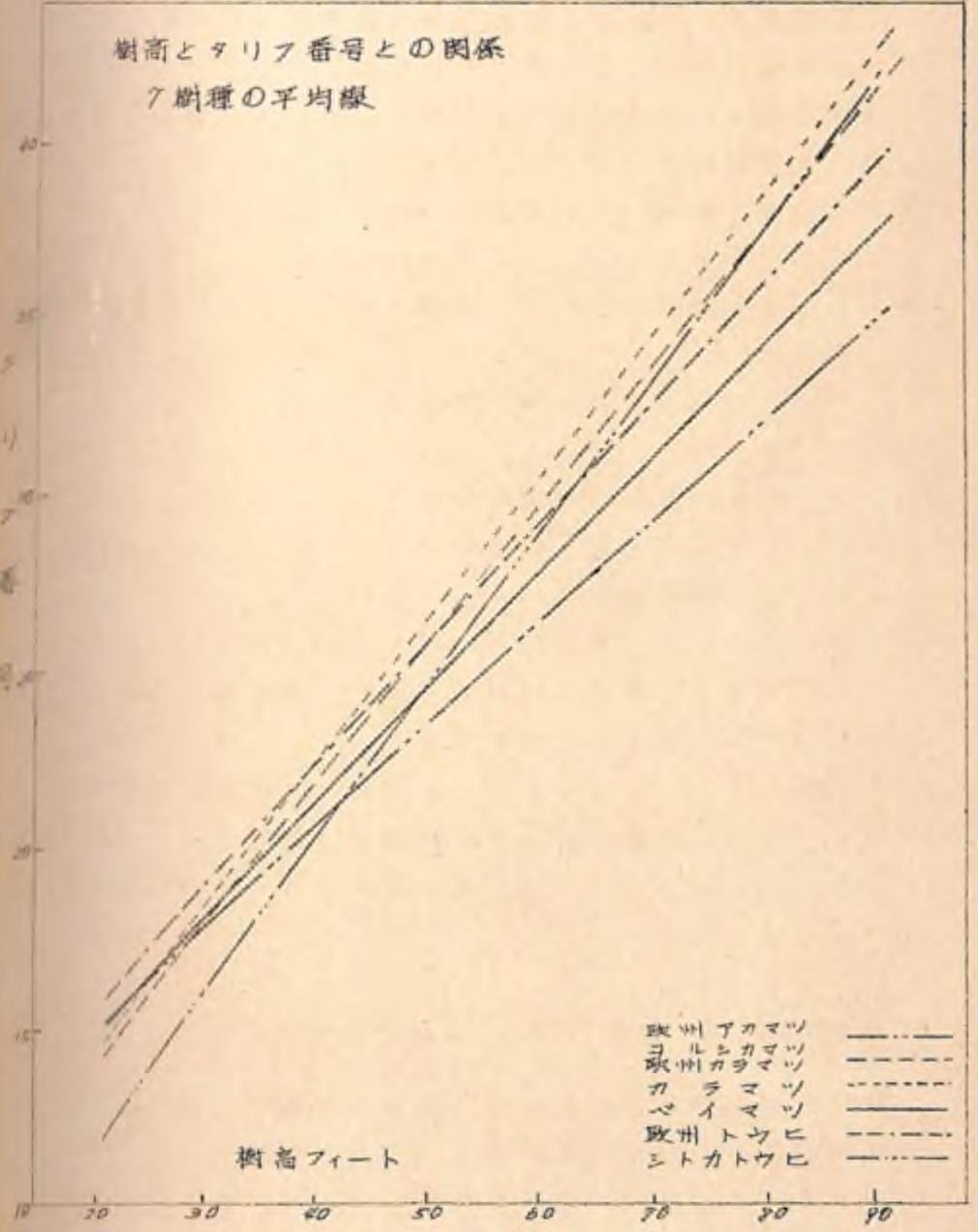
再測のために、プロット内の平均木の材積を計算した。平均木の材積と B. H. Q. G. に相当するタリフ番号を、一般的タリフ表から求めた。当該タリフ番号に対して上層高をプロットしたグラフを樹種別に作製した。各間伐方法を示す線と記号を用いて、個々のプロットに対する点を結び付けた。

このグラフの一般的傾向からひどく離れている点を慎重に調べた。大抵の場合、大きな偏差は、皮内から皮付の材積に換算する際、用いる樹皮率が、異状に大きいか小さいことと関係のあることが分った。(この時折生ずる異常な値は、現場で樹皮率を測定する方法が不正確であるため生じたものと云える。) このような場合、プロット内のエーカー当りの皮付材積は、前回とその後の測定値の平均として決定した樹皮率を用いて再計算した。新しいタリフを、平均木について求め、これを用いて、

グラフ上の点を調整した。各樹種別に平均の線を引いた。10
 尺の樹高級に点をまとめ各級毎に平均点を算出すると便利で
 ある。このグラフは、平均線と共に、ベイマツについては次の
 図(1回)に再録してある。



他の樹種の上層高とタリフ番号との関係は、
 同伐方法と無関係に、同様に直線で表わせる。この平均線
 は、研究対象とした諸種の樹種について2回に示してある。



2回 樹高とタリフ番号との関係；7樹種の平均線

30 ft ~ 80 ft の範囲内にある上層高の ft 毎のタリフ番号が、樹種別のグラフから読みとられる。この結果は現場で使用するのに便利な形式で6表に示してある。

この結果を、これらの樹種の固定標準地から系統的に25%の標本を抽出測定したもので検定した。

標本に選ばれた各プロット内のタリフ番号は上層高の測定値と6表の関連資料から決めた。このタリフ番号とプロット内の平均樹高四分周とを用い、必要あれば補間を行って一般的タリフ表から平均材積を求めた。この平均材積にエーカー当りの本数を乗じて求めた総材積と正規の標準地調査法で決定された材積とを比較した。

エーカー当りの算出材積と実材積とを比較すると、全樹種について、総計323プロットのうち、276プロットが、10%以下の材積推定誤差(実材積の百分率で表わしたものを示した。45プロットで、誤差は10~20%、残りの4プロットでは、20%以上であった。

この結果は7表に樹種別にとりまとめてあり、上層高/タリフ番号の関係から算出した材積合計と、標準地の記録から求めた材積合計との差が示してある。

欧州アカマツ、コルシカマツ、欧州カラマツ、欧州トウヒ、ベイマツの算出材積合計は測定材積より幾分低くかったが、シトカトウヒとカラマツでは、極く僅かではあるが材積は過大推定された。

実際面への応用 Applications to forestry practice

普通針葉樹林分の成長量に関する知識が、地方的な経営計画を樹てるため次第に必要な値を増して来た。

林分全体又は、林班の立木材積を求めるには信頼性が実行と計算量の最小のものとの結びついた方法を必要としている。この

論文で研究した一般的タリフ表の使用方法は、この問題に一つの解答を与えるであろう。

1. "タリフを交替" する方法 The "Tariff Substitution" method

材積を求めようとする林分から客観的に選ばれた、最小限の本数の間伐木の材積を求めた。この間伐木に相当するタリフ番号を、一般的タリフ表から求め、平均タリフを算出した。このタリフを、主林木のタリフとして採用した。主林木又は適当な標本の周囲を測定した。材積推定値を求める方法は、間伐木の立木材積を推定する方法と同じである。

この方法の長所は、時間と労力が相当節約できることである。主林木の標本木を選び出し、これを伐倒、測定する必要はなくなり、材積推定は従って、普通の間伐で伐倒された木について行なわれる。

この方法で蓄積を推定すると一般に過小推定となることが示された。しかし、この過小推定は適当に釣合がとれているので、引続いて行う、材積成長量の計算には影響はしないであろう。

どの樹種、間伐方法についても、間伐木のタリフは、ノタリフ番号だけ主林木のタリフを過小推定する。したがって間伐木から算出した平均タリフをノだけ大きくすれば、より正確な材積推定値が得られるであろう。この修正タリフが立木に適用される。

2. "上層高" による方法 The "Top Height" method

測樹学では、上層高はエーカー当り100本の最大周囲の木の内平均断面積に対応する樹高と定義されている。実用的には、より迅速に上層高を推定する方法を用いることが望ましい。

上層高についての標本プロットの記録を、エーカー当り
100本の最大周囲の木の高の算術平均として決定した上
層高と比較した。

ク樹種のいづれについても対応する上層高の差は無視でき
た。広大な林分では、主林木全体にわたって、できるだけ均
等になるように20~30本の優勢木の平均樹高を測ること
で、この方法はさらに簡単にできる。

6表 ク樹種の樹高級別タリフ番号

上層高 (フィ)	タリフ番号					
	欧州アカマツ	コルシカマツ 欧州カラマツ	カラマツ	欧州トウヒ	シカトウヒ	ベイマツ
30	18	18	19	19	16	18
1	18	18	19	20	17	18
2	18	19	20	20	17	19
3	19	19	20	20	18	19
4	19	20	21	21	18	19
5	19	20	21	21	19	20
6	20	20	21	21	19	20
7	20	21	22	22	20	21
8	20	21	22	22	20	21
9	21	22	23	23	20	21
40	21	22	23	23	21	21
1	21	22	23	23	21	22
2	22	23	24	24	22	22
3	22	23	24	24	22	22
4	22	24	25	24	23	23
5	22	24	25	25	23	23
6	23	24	25	25	24	23
7	23	25	26	25	24	24
8	23	25	26	26	25	24
9	24	26	27	26	25	24
50	24	26	27	26	26	25
1	24	26	27	27	26	25
2	25	27	28	27	26	25
3	25	27	28	28	27	26
4	25	28	29	28	27	26
5	26	28	29	28	28	26
6	26	28	29	29	28	27
7	26	29	30	29	29	27
8	26	29	30	29	29	27
9	27	30	31	30	30	28
60	27	30	31	30	30	28
1	27	30	31	30	30	28
2	28	31	32	31	31	29
3	28	31	32	31	31	29
4	28	32	33	31	32	29
5	28	32	33	32	32	30
6	29	32	33	32	33	30

上層高 (フィ)	タリフ番号					
	欧州アカマツ	コルシカマツ 欧州カラマツ	カラマツ	欧州トウヒ	シカトウヒ	ベイマツ
7	29	35	34	32	33	30
8	29	33	34	33	34	31
9	30	34	35	33	34	31
70	30	34	35	34	34	31
1	30	34	35	34	35	32
2	31	35	36	34	35	32
3	31	35	36	35	36	32
4	31	36	37	35	36	33
5	32	36	37	35	37	33
6	32	36	37	36	37	33
7	32	37	38	36	38	34
8	32	37	38	36	38	34
9	33	38	38	37	39	34

したがって、林分のタリフ番号は、6表に示してある関係
から速かに決定できるであろう。その次に行う方法は、立木
の同伐材積を推定するのに用いられるものと同じである。上
層高/タリフ番号の関係は同令喬木林の照査法の効果を高め
る鍵となりうる。Hummelの材積断面積直線(Hummel
1955)に関する研究で指摘されている。タリフ番号の交
化を簡単な上層高の測定値と関係付けると標準木法でタリフ
を算ぶ際不可なる苦勞をしないですみ、集計の際に新しい地
方約タリフを算出するため生ずる誤差も起らない。

7表 算出材積と実材積の比較

樹種	プロット 数	算出材積 Happu ft	測定材積 Happu ft	エーカー均値 Happu ft	百分率で表わし たエーカー当り
欧州アカマツ	54	119,139	119,810	12.4	-0.6
コルシカマツ	37	107,925	109,384	39.4	-1.3
カラマツ	59	107,077	104,143	49.9	2.8
欧州カラマツ	53	105,604	106,555	17.9	-0.9
ベイマツ	37	100,488	100,871	10.4	-0.4
欧州トウヒ	52	145,075	145,691	11.8	-0.4
シカトウヒ	31	92,166	92,851	107.0	3.7

上層高/タリフ番号の関係は、広範囲にわたる現地テスト
は行われていないが、今まで得られた結果では、かなり正

確な立木材積を推定できることが示されている。いづれの場合でも、これらの推定値に含まれる誤差は、輪伐期を種して相関連する傾向があり、したがって成長量の計算に重大な影響をおよぼすであろう。

感謝の辞 Acknowledgments

筆者は、F. C. Hummel 博士—森林委員会の測樹担当官—がこの研究において、いろいろな忠告と指導して下さいたことに対して深謝する。さらに、本誌で用いたデータの統計的解析をしてくれた J. N. R. Jeffers 様、R. S. Howell 様、この作業のために用いているデータの編集と計算を始めてくれた J. E. Earl 様、A. D. Walker 様に感謝の意を表す。

参考文献

Amom. (1955), Forestry Commission. Code of Sample Plot Procedure (unpublished Hummel, F. C. (1947)).
 The Bowmont Norway Spruce Sample Plots.
 Forestry XXI, No. 1, 1947, pp. 30-42.
 Hummel, F. C. (1955), The Volume/Basal Area Line A Study in Forest Mensuration. Forestry Commission Bulletin No. 24. H. M. S. O.
 Hummel, F. C. (1956) Tariff Tables for Conifers in Great Britain. Forest Record No. 31. H. M. S. O.

その他の測樹関係論文

1 林分断面積の簡単かつ正確な計算方法

A simple, accurate method of computing basal area of forest stands.

まえがき Introduction

断面積は用材林の一つの尺度であり、これの使用により、材積による測定に特有な誤差が避けられ、直径測定だけの場合に比べ正確な用材林の構造状態が得られる。このような理由から、断面積は広く用いられている。

いろいろな目的で求められる断面積の統計量には一般に次のようなものがある。

総断面積、平均断面積、平均断面積の直径、標準偏差、積、相乗積の和、単木成長量、林分又はプロットの成長量、平均成長量、成長量の標準偏差。この統計量を求める普通の方法は非常に骨が折れるか、系統的な誤差が入ってくる。正確で適用の容易な方法を発表するのがこの論文の目的である。

方法の概観 Review of methods

林分断面積を求める普通の方法では、断面積表^法を用いて測定された木毎に断面積を記入し、これから必要な統計量を計算する。木数が多い場合には、この方法は時間がかかり、労力もかさむが原則的には正確である。実際には系統的な吟味が行えず、気付かないが、修正の面樹の誤差が入り込む。この方法では、断面積の総と平均値および平均断面積に相当する直径以外の統計量を算出してしそれだけの値柄はないのが通例である。

断面積の統計量を算出するこれ以外の一般的な方法として、測定された直径を組分けして、断面積表を用いて、組毎に一つの値を求める方法がある。この方法は当然前者に比べて時間はかかるが、原則的な数値的誤りは生じにくい。しかし、組分けのために系統的

(注 簡単はたの直径は完全な円で測定誤差はないものと仮定する。)

誤差が入ってくるが、その大きさと傾向は直径分布と逆はれたプラスの値で変る。表の補間を比例とした場合には別種類の誤差が入ってくる、なおその誤差の符号は、常に負である。

式による方法 *The formula method*

ここに提案している方法は断面積の解析的定義から導かれる。

$$b = \frac{\pi d^2}{4} \quad (1)$$

ここで b は ft^2 で表わした断面積、 d は in で表わした直径である。

$$k = \frac{\pi}{4} = 0.7854 \dots$$

とすれば 上式は

$$b = k d^2 \quad (2)$$

と表わせる。

この定義と、次に示す式を用いれば 前述の断面積の統計量は簡単かつ正確に算出される。この方法は、普通の表による方法に対して“式による方法”といわれている。

組分けしてない資料に適用した場合

Application to ungrouped data

公式法による断面積は組分けした場合にもそうでない場合にも計算できる。組分けしてない資料は一般に小標本を意味し、本数も少く、必要とされる統計量も簡単で、断面積表を用いるのが一番早い方法である。作業が複雑になるほど 公式法の長所が露す。

方程式 (2) から直ちに次の関係が導かれる。総断面積は

$$\sum b = k \sum d^2 \quad (3)$$

平均断面積は

$$\frac{\sum b}{N} = \frac{k}{N} \sum d^2 \quad (4)$$

ここで $\sum b$ は断面積合計、 $\frac{\sum b}{N}$ は平均値、 $\sum d^2$ は直径の平方の和である。平均断面積に相当する直径は (2) と (4) から

$$d' = \sqrt{\frac{\sum b}{k}} = \sqrt{\frac{k \sum d^2}{k}} = \sqrt{\frac{\sum d^2}{N}} \quad (5)$$

断面積の標準偏差は

$$\sigma_b = \sqrt{\frac{\sum (b - \frac{\sum b}{N})^2}{N}} = \sqrt{\frac{\sum b^2}{N} - (\frac{\sum b}{N})^2} \\ = \frac{1}{N} \sqrt{N \sum b^2 - (\sum b)^2} = \frac{k}{N} \sqrt{N \sum d^4 - (\sum d^2)^2}$$

前記の公式に必要な d の高次の和を求めるとは直径を大きい順に並べ、次に示すように互に、本数、兩者の積を表示し、3者の差積和を求めると簡単である。

d	n	πd	C_1	C_2	C_3
m	n_m	$m n_m$	$m n_m$	$m n_m$	$m n_m$
$m-1$	n_{m-1}	$(m-1)n_{m-1}$	$m n_m$ $+(m-1)n_{m-1}$	$2m n_m$ $+(m-1)n_{m-1}$	$3m n_m + \dots$
$m-2$	n_{m-2}	$(m-2)n_{m-2}$	$m n_m$ $+(m-1)n_{m-1}$ $+(m-2)n_{m-2}$	$3m n_m$ $+2(m-1)n_{m-1}$ $+ (m-2)n_{m-2}$	$6m n_m + \dots$

正規分布がほぼ正規分布の場合には、次のようにして $\sum d^4$ を用いないで断面積の近似的な標準偏差を求めることができる。正規曲線のモーメント $\frac{\sum (x-M)^2}{N}$ から $\sum d^2 = N(\sigma^2 + M^2)$ $\sum d^4 = N(3\sigma^4 + 6M\sigma^2 + M^4)$ となる。

この値を方程式 (6) に代入すれば

$$\frac{k}{N} \sqrt{N \sum d^4 - (\sum d^2)^2} = k \sqrt{2\sigma^4 + 4M\sigma^2} = k \sqrt{2\sigma^2(\sigma^2 + 2M^2)} \\ = k \sqrt{2 \left(\frac{\sum d^2}{N} - \left(\frac{\sum d}{N} \right)^2 \right) \left(\frac{\sum d^2}{N} - \left(\frac{\sum d}{N} \right)^2 + 2 \left(\frac{\sum d}{N} \right)^2 \right)} \\ = k \sqrt{2 \left(\frac{\sum d^2}{N} - \left(\frac{\sum d}{N} \right)^2 \right)^2} \quad (7)$$

この近似式は簡単に求まる値を用いているので有用であり、たとえ誤差があつたとしてもこの標準偏差を計算する必要のないことを示すのに役立つ。

3	π_3	$3\pi_3$			
2	π_2	$2\pi_2$			
1	π_1	π_1	S_0	S_1	S_2
計	N	S_0	S_1	S_2	S_3

$$\sum d^2 = S_1 \quad \sum d^3 = 6S_3 - 6S_2 + S_1$$

この累積和は、 d が 0 から 1 まで連続している必要があり、この場合 π_i は 0 であつてもよいが、その値は C_1, C_2, C_3 に記入されるであろう。この方法は一つのチェックになつてゐることに注目せよ。

すなわち 累積和の最後の値は前のうんの計となつてゐる。

或、すなわち相乗積の和は相関分析や回帰方程式に用いられる統計量である。又と関係変量とすれば

$$\sum bx = k \sum d^2 x \tag{8}$$

$\sum bx$ は 直接掛け合せるか 前述の累積和の方法を用いてより簡単に求めることができる。

分類はやはり d で行うが、 $n d$ を示す代りに d の値ごとに $\sum x$ を示せば、 $\sum x = S_0$ 、 $\sum d^2 x = 2S_2 - S_1$ となる。

単木の断面積成長量が重要なことはめつたにないが、その誘導はこれが従う法則を理解するのに役立つ。 Δd を直径成長量、 Δb を断面積成長量、 d と b を最初の直径と断面積、 $d + \Delta d$ 、 $b + \Delta b$ をある期間後の直径および断面積とする。

いま

$$b = k d^2$$

とすれば

$$b + \Delta b = k (d + \Delta d)^2 = k (d^2 + 2d \Delta d + \Delta d^2)$$

引算をすれば

$$\Delta b = k (2d \Delta d + \Delta d^2)$$

これから直ちに換断面積成長量

$$\Sigma \Delta b = k (2 \Sigma d \Delta d + \Sigma \Delta d^2) \tag{10}$$

断面積の平均成長量が

$$\frac{\Sigma \Delta b}{N} = \frac{k}{N} (2 \Sigma d \Delta d + \Sigma \Delta d^2) \tag{11}$$

となることが算出される。

我愈はがら、 d と Δd から $\sigma_{\Delta b}$ を簡単かつ直接に求める方法はないが、一般的方法

$$\sigma_{\Delta b} = \sqrt{\frac{\Sigma \Delta b^2}{N} - \left(\frac{\Sigma \Delta b}{N}\right)^2} \tag{12}$$

で計算せよ。小標本に対しては普通の修正係数を用いる。この式で、オス値を求めるには Δb を一つづつ平方して集計し、平均する必要があるが、オス値は前記の(11)式を平方したものをを用いることができる。

組分けしたデータに適用

Application to grouped data

組分けしたデータの場合には、級値として各級の中点を用いる方法が一級に推奨されている。^{注4} 級値として、中点を用いた時の組分けにより、組間隔が一定、分布が連続で、級の頻度が両端にゆくにしたがつて除々に減少している場合(すなわち、頻度曲線は横軸に無限に近づく)平均平方で組間隔の平方の $1/12$ の正の補正を一般に生ずることを *Sheppard* は示した。^{注5}

換断面積又は平均断面積は直径の平方の和の関数であるから、組分けしたデータでは、 k を組間隔とすれば、 $\frac{k k^2}{12}$ 又は $\frac{k k^2}{12}$ の補正を施す必要がある。平均して 1 in 間隔では、この補正は、僅かに 0.0004545 で、もちろんこれに相應して、その合計も小さなものである。通常、この補正値は小さいので、実用価値はない。しかし *Sheppard* の補正は、組分けの平均的結果に適用することを意味していることに注意する必要がある。実際的に

注4 組の算術平均は充分なクラス値を与えるものと想像できるが、クラス内の平方和が長倍だけ小さくなること直ちに示されるであろう。

はこの平均を求めても価値はないが、分布によっては 特定の組分けによる結果が 組分けしないを求めた値から 10%以上も異なることがある、一般に 組分けしたデータから 組分けしない場合と同じ結果の得られることは殆んどないが、その隔りは僅かであり 組分けだけに原因する偏りは、たとえあつたとしても僅かである、精度はいくらか低下するが、この統計量の計算は 非常に楽である。

しかし 習慣的に組分けして求められた断面積の精度は必要以上に低下する。直径の組分けは通常 1 in 級の中点を整数の in より 0.05 だけ大きくとっており、1/10 in 以下の直径でプラスの示してある断面積長は少い。したがって補間が必要になり 補間には普通 比例が用いられる。このために入ってくる断面積は個々のふるは小さいが、合計すれば評価できる程になる。

級の中点として整数の in を用いても誤差が生ずるが、このために一般に 0.05 in 過小となる。

この誤差は、次に示すようにして直ちに修正できるが、この修正は ほとんど行なわれない。

A 級の中点 a を A からの偏差とする。

$$\sum D = k \sum d^2 = k \left(\sum A^2 - \frac{N R^2}{12} \right)$$

右の $\sum A^2$ は真の中点を用いて求められる。

別の点を用いて右の $\sum (A+a)^2$ を求める。

右を省いて考えれば

$$\sum (A+a)^2 = \sum A^2 + 2a \sum A + Na^2$$

したがって

$$\sum A^2 = \sum (A+a)^2 - 2a \sum A - Na^2 = \sum (A+a)^2 - 2a \sum (A+a) \frac{Na}{N} + Na^2$$

これから 適當な修正を行なえば、平方和を求めるのにプラス値として任意の値を用いても、結果のそこなわれないことが分る。實際のところ、真の中点が、例えば 5.05 のように扱いにくい取の場合計算を容易にするためには、仮の中点を用いる方法が簡単である。さうに $\sum A^r = \sum (A+a-a)^r$ であるから、やはり仮の値

値を用いなければ、高次の項は簡単に求まる。

$$\sum A = \sum (A+a) - Na \tag{13}$$

$$\sum A^2 = \sum (A+a)^2 - 2a \sum (A+a) + Na^2 \tag{14}$$

$$\sum A^3 = \sum (A+a)^3 - 3a \sum (A+a)^2 + 3a^2 \sum (A+a) - Na^3 \tag{15}$$

$$\sum A^4 = \sum (A+a)^4 - 4a \sum (A+a)^3 + 6a^2 \sum (A+a)^2 - 4a^3 \sum (A+a) + Na^4 \tag{16}$$

ここで提案している公式法は $\sum A^r$ を求めるため、組分けしたデータに対して (13) ~ (16) 式を用いる。

$\sum A^r = \sum d^r + Skppard$ の補正

(3) ~ (12) を含む組分けしてないデータに対する公式は、必要は断面積の統計量を求めるのに使用できる。

数値例 *A numerical*

次の例は、現地データのとりまとめと、前記の式を用いた計算を示す。

元の測定値から (簡単なためここでは省いた)

$$N = 165$$

$$\sum d = 5480$$

$$\sum d^2 = 196664$$

$$\sum d^4 = 315324704$$

$$\sum D = 10724 \text{ (断面積表から)}$$

$$\sum \sum d^2 = 10726$$

1 表は 級別に、2 種類の推定値の計算と共に、普通の方法で組分けしたデータが示してある。

1表 普通の方法による断面積の合計の計算

胸高直径の範囲	本数	中央点	中央点 の近似値	断 面 積			
				真値	A	A+a	草木
14~25	43	2.05	2	1.2344	0.9897	0.9806	1.216
26~35	66	3.05	3	3.0368	3.300	3.233	3.240
36~45	37	4.05	4	3.2852	3.298	3.219	3.300
46~55	17	5.05	5	2.3568	2.363	2.312	2.356
56~65	2	6.05	6	0.4128	0.398	0.392	0.412
計	165			10.726	10.343	10.103	10.726

公式法により細分けしたデータと計算が2表に示してある。

2表 公式法による断面積を求める例

胸高直径の 中央点の近似値 (A+a) in	本数 n	n(A+a)	C ₁	C ₂
6	2	12	12	12
5	17	85	97	109
4	37	148	245	354
3	66	198	443	777
2	43	86	529	1,326
1			529	1,855
計	165	529	1,855	

$\sum d^2$ は 近似的に $\sum (A+a)^2 - 2a \sum (A+a) + Na^2$ すなわち
 $1,855 - 2(-0.05)(529) + (165)(-0.05)^2 = 1,908.3125$

$\sum b = k \sum d^2$ すなわち 近似的に $1,908.3125 k = 10.408$
 修正しない $\sum b = 1,855 k$ すなわち 10.117 となることに注意せよ。

6つの断面積合計のうち最も正しいと思われるのは $k \sum d^2$ から求めた 10.726 である。

原木の表積を合計して求めた値を期待できるものとして吟味に用いる。

真の中央点を用いて求めた結果は、平均して、この方法で期待されるものと矛盾しているが、これは 特定の一例であって、この法則は、あらゆる組分けの平均値に適用されることを認めておかなければならない。この特定の例で、10種類の直径の組分けについて計算したが、総断面積は $9.520 \sim 12.255$ で、平均して 11.039 であった。-0.075の Sheppard の補正を施した 10.964 はまだ2%大であった。級の中点とし整数の in を用いると、予測したように、過小な結果が得られる。補正値 53.3125 を $1,855$ に加えると、正確に $1,908.3125$ となる。

表から求めた総断面積と平方和を求め係数kで修正したものが違うのは、次の比較に示されているように表の精度が低いためである。(3表)

3表 切捨てるため生ずる誤差の比較

A in	表 値 m ²	$k d^2$ m ²	A+a (in)	表 値 m ²	$k d^2$ m ²
2.05	0.023	0.02292	2	0.022	0.02182
3.05	0.050	0.05074	3	0.049	0.04949
4.05	0.089	0.08946	4	0.087	0.08726
5.05	0.139	0.13709	5	0.136	0.13635
6.05	0.199	0.19963	6	0.196	0.19634

これらの差はある数値では小さいが、級のnが大きくなればその差は重大なものとなり、管理すべき傾向がなくても級値による断面積表を用いる場合には、過小傾向の偏りが望みられる。どの級においても、4又は5番目の数値が表値に比べて $k d^2$ の方が大きいことに注意せよ。(Aの値の補正は、明らかに間違っているが、一般に行なわれているように、直線と仮定して行った。) したがって、組分けしたデータによる断面積の精度を求めるこ

とは、直径が小数点以下1位まで、断面積が小数点以下3位まで示してある表を用いて組分けしてないデータから求めたものに等しいことがはっきりしてくる。表としては、直径は小数点以下2桁、断面積は5桁まで示してあるものを、組分けによる誤差の補正と同じく用いるか、表以外の方法を用いる必要がある。

公式で算出した、これ以外の断面積の統計量が、4表に示してある。

4表 各種の方法で求められたその他の断面積の統計量の比較

方法	平均断面積	平均断面積に 相当する直径	$\sqrt{\frac{\sum d^2}{N}}$	標準偏差 σ_d	標準偏差の近 似値 σ_d'
表とA	0.0627	34	----	----	----
表とA1A	0.0612	33	----	----	----
個々のd	0.0650	34.5	34.5	0.03819	0.03983
表と個々のd	0.0650	34.5	----	----	----
A ² の合計	0.0631	34	34.0	----	0.03565
(A1A)の合計	0.0613	33	33.5	----	0.03512

ここで興味のある点は、合計について既に述べたが、相互の関係ではなく、その値の相違であらう。4つの方法で求めた σ_d は本質的に σ_d と一致するが、用いられる検定結果に疑のある場合には、逆方向の隔り— 固大となる—がある。

相乗積と成長量の公式は、同じように大切ではあるが、別の例が必要のため、例示しなかったが、その計算には新しい原理は含まれていない。

要 約 Summary

断面積の統計量は断面積長を用いないで“公式法”で直ぐに求めることができる。しかし稀な場合にかんう方法は無い。最良の方法は、必要とされる精度、標本の大きさ、利用できる機械的

手段で変る。小数の標本で、和とか平均値のように単純な統計量が必要の場合には、断面積表が、これらを求める最も簡単な方法である。比較的小数の標本から複雑な統計量を求める最も効果的な方法は、組分けせずに、必要に応じて(3)、(4)、(5)、(6)、(8)、(10)、(12)式を用いることである。大標本では、整数のin間隔で組分けし、組分けによつて常に精度が低下することを念頭において(13)~(16)式に示してある補正を行うのが、最も簡単な方法である。

参照を容易にするため、公式を、こゝに再録する。

断面積 : $k \sum d^2$ (3)

平均断面積 : $\frac{k}{N} \sum d^2$ (4)

平均断面積の直径 : $\sqrt{\frac{\sum d^2}{N}}$ (5)

断面積の標準偏差 : $\frac{k}{N} \sqrt{N \sum d^4 - (\sum d^2)^2}$ (6)

又は $\frac{k}{N} \sqrt{\frac{N}{N-1}} \sqrt{N \sum d^4 - (\sum d^2)^2}$

断面積の近似的標準偏差 $k \sqrt{2} \sqrt{\left(\frac{\sum d^2}{N}\right)^2 - \left(\frac{\sum d}{N}\right)^4}$ (7)

又は $k \sqrt{\frac{2N}{N-1}} \sqrt{\left(\frac{\sum d^2}{N}\right)^2 - \left(\frac{\sum d}{N}\right)^4}$

積 $\sum bx = k \sum d^2 x$ (8)

断面積成長量 $\Delta b = k (\sum d \Delta d + \Delta d^2)$ (9)

総断面積成長量 $\sum \Delta b = k (\sum \sum d \Delta d + \sum \Delta d^2)$ (10)

断面積成長量の標準偏差 $\sqrt{\frac{\sum \Delta b^2}{N} - \left(\frac{\sum \Delta b}{N}\right)^2}$ (12)

収中実を用いた場合の補正 $\sqrt{\frac{N}{N-1}} \sqrt{\frac{\sum \Delta b^2}{N} - \left(\frac{\sum \Delta b}{N}\right)^2}$

一次積の和 $\sum a$ (13)

2次項の和 : $2a \sum (A+a) - Na^2$ (14)

3次項の和 : $3a \sum (A+a)^2 - 3a^2 \sum (A+a) + Na^3$ (15)

4次項の和 : $4a \sum (A+a)^3 - 6a^2 \sum (A+a)^2 + 4a^3 \sum (A+a) - Na^4$ (16)

Allen Bickford

Journal of Agricultural Research Vol. 51 465
1935

2 平均平方階差による抽出誤差の計算方法

The calculation of the sampling error of a cruise from the mean square successive difference

系統的調査の抽出誤差は、抽出誤差の計算で得られるものより小さいのが、普通である。等間隔に配列したストリップ、又は調査線では、各抽出単位は、ほぼ矩形のプロットの中央にあり、そのプロットの材積推定値は、無作為配列のものより良いと考えることができよう。

ストリップ当りの材積が順次増加又は減少しているならば、このことは真く正しくめくはまる。層化による抽出標準誤差の縮りはストリップ又は調査線当りの平均材積の平均平方階差の $\sqrt{(1/2 S^2)}$ を求めれば、大部分除くことができる。平均平方階差は真の抽出分散 σ^2 の不偏推定値を与えるが、 S^2 の初率は、分散 σ^2 程は高くない。しかし、この初率の低下は、森林調査における推定精度に含まれる誤りを減らすことを充分につかぬられる。

例 抽出誤差の簡略計算方法として S^2 を用いることは、実例で説明すれば一番分かり易い。

止 Pennsylvania 州のフナ・カバ・カエテ・ツガ林相の林分 393 エーカーの line plot 調査では次のような line 当りの平均材積が得られた。

調査線	エーカー当り材積(コード)	差	(差) ²
1	13.0	5.0	25.0
2	18.0	6.0	36.0
3	24.0	-1.3	1.7
4	22.7	6.0	36.0
5	28.7		
和	106.4		98.7
平均	21.3		

エーカー当りの算出材積の重みは等しいと仮定する。このことは同数のプロットが各調査線で測られたことと同じである。線によるプロット数の僅かな変化が抽出誤差の算定におよぼす影響は極く僅かなものである。line 当りの平均プロット数が 10 であれば、8 から 12 までの変動は許容できる。上例で、平均平方階差として 次の値が得られる。

$$s^2 = 98.7 / (5-1) = 24.7$$

したがって

$$1/2 s^2 = 12.3$$

$$s/\sqrt{2} = 3.5$$

最後の数値は、エーカー当り材積測の標準偏差の不偏推定値と表わしている。エーカー当り平均材積 ($106.4/5 = 21.3$) の標準誤差は、その $1/\sqrt{5}$ 倍 ($3.5/\sqrt{5} = 1.6$) である。すなわち、エーカー当り平均材積は 21.3 ± 1.6 コードである。算術平均値の標準誤差は、調査歩合が 5~10% 以上であれば、有限母集団修正がほどこされるであろう。

理論について *Note on theory*

s^2 の厳密な数学的分布は未だ確定されておらず、したがって、この統計量に基づき、正確な有意性の検定はできない。層化が行われていない場合には、 s^2 は抽出分散 s^2 理論の分散 σ^2 の有効な推定値とはなり得ない。

しかし、この効率の低下は、僅であり、抽出誤差の分散が厳密に正規でなく、正規分布より、幾分尖っている場合には、特にとりである。まず意外に感ずるのは s^2 と対比させた s^2 の相対的効率は、観測数が減るにつれて増すことである。林業家になじみの深い、ちよつと 2 個の抽出単位が各プロットを用いられる場合を表現している。 $N=2$ の s^2 と同じになる筈、この場合には分散 s^2 は $(x_1 - x_2)^2/2$ に等しく、これは $s^2/2$ と同じである。

統計量 s^2 の効率の低下は、調査の誤差限界の計算と重大な関係

がある。確率 0.05 を越えると思われる誤差限界は、 t 分布から求めた誤差限界より幾分大きくしなければならぬ。平均平方階差のモーメントに基づき、経験的テストおよび計算によれば、 t 分布が適用された場合より、約 25% 大となり、このため、普通の信頼限界に 1.25 を乗じなければならぬ。この例では、自由度 4 の t の値は 2.8 に等しい。抽出誤差を定めるために平均平方階差を用いれば、0.05 の確率に相当する誤差限界は

$$21.3 \pm 1.6 \times 2.8 \times 1.25 \quad \text{即ち} \quad 21.3 \pm 5.6 \text{ となる。}$$

数学的特性の詳しい説明および平均平方階差の使用可能性については、Moore 注1 が論じている。Moore の論文には、標本調査に従事している林業技術者に関心があると思われる多くの参考文献が含まれている。

注1 Moore P. G. いろいろな母集団の標本における平均平方階差の特性
Jour. American Stat. Assoc. 50: 434-456
 1955.

注 故 H Arthur Meyer 博士はペンシルベニア州立大学の林学教授である。この Note は 1955 年 12 月 3 日になくばる直前に呈山されたものである。

H Arthur Meyer

Journal of Forestry 1956 5. Vol 54 No 5

3 根部丸太の材積計算方法

A technique for calculating cubic volumes in butt logs of trees

根部丸太の $feet^3$ 材積の計算は、根張として知られている細りの状態のため複雑になることが多い。Spurr の図型的方法は、あらゆる形の細りに適用できるから、このような場合にも使用できるであろう。彼の方法は、パラメーターによる、標準の図型的な方法²より正確で速い。しかし、それでもかなり時間がかかる。

拋物線式が、長さの極めて短い根元部分に使用できるといふ Bruce と Schumacher³ の暗示から考案された別の図型的な方法も、同じように正確であり、計算機が利用できれば、計算も早いように見える。この方法を体系的に示す。

1. 木の下部からの細りの測定値を用いて、皮内直径に対する地際からの距離をカロットする。次に示すようなパイマツについての細りの測定値を次の段階と合せた例として用いることにする。

地際からの距離 feet	皮内直径 inch
2.5	16.2
12.5	13.2
22.5	12.2
32.5	10.2

2. カロットした点をフリーハンド曲線に平滑化する。根部丸太

注1 Spurr S. H. Forest Inventory. 476 pp. Ronald Press Company New York 1952
 注2 Reineke L. H. The determination of tree volume by planimeter Jour. Forestry 24: 183-189. illus. 1926
 注3 Bruce, D. and T. X. Schumacher. Forest measurement Ed. 3. 483 pp. illus. McGraw-Hill Book Co. Inc. New York 1950

の上端を通って、充分にこの曲線に延長する。即ち、根部丸太より上にある測定値は、根部丸太の細りに速度に影響するであろう。(1回)

3. この曲線の近くで、根部丸太の頂端から伐根の頂端まで、昇降で皮内直径を記録する。この例では、2 feet 間隔、16 feet の根部丸太、1 feet の伐根が用いられた。

4. 丸太の頂端で記録した直径を平方して、丸太の基部の直径の平方に加え、この二つの平方した直径の平均を算出する。

$$\left\{ (12.7)^2 + (16.8)^2 \right\} (0.5) = 221.761$$

5. 根部丸太の頂端と基部を除く全ての直径の二乗和を計算する
 $(12.7)^2 + (13.1)^2 + (13.5)^2 + (14.0)^2 + (14.6)^2 + (15.2)^2 + (16.0)^2 = 1416.47$

6. 4段と5段で求めた結果をたしあげる。

$$221.76 + 1416.47 = 1638.23$$

7. 6段の結果に、係数 (0.005454) (I) を乗ずる

ここで I は、曲線上で読みとる直径の間隔である。

$$(1638.23) (0.005454) (2) = 1787 \text{ feet}^3$$

これが、根部丸太の $feet^3$ 材積の推定値である。

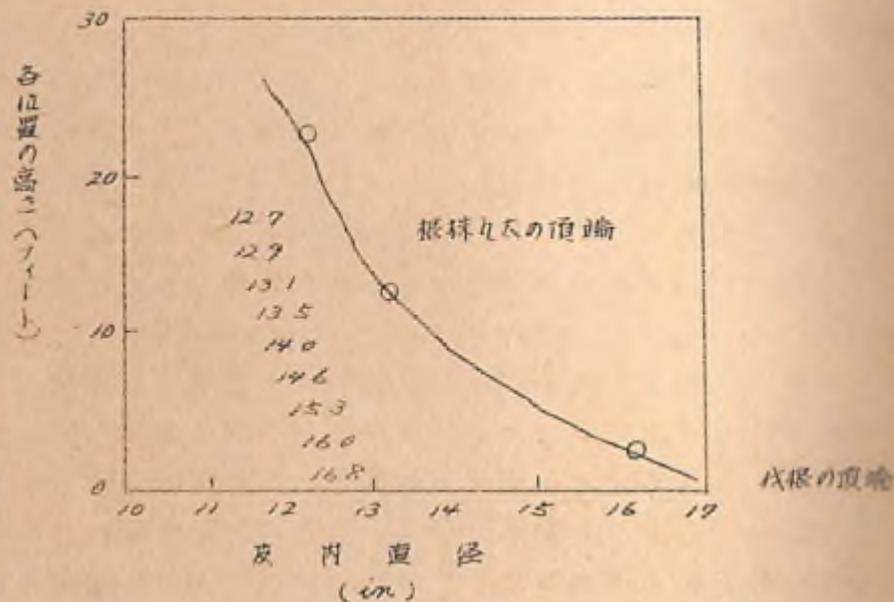
計算機が使えれば、4段〜7段は、一連の操作で一分間足りずで完了する。この4つの段階は、根部丸太のセクションに Sialian 公式を自動的に適用し、その区分材種を加え上げたものである。この結果は、この短いセクションの細りが、斜截物の拋物線体の細りに対応しないほどの偏りを生ずるかもしれないが、この偏りは、区分の長さを短かくすれば、少くなる。1〜2 feet の長さがあれば実用としては、充分すぎる位である。

ここで論じている方法は根部丸太に限られているわけではなく、木のその他の部分或は木全体に適用できる。

Grossenbaugh⁴ が考案した Newton の公式に基づく同様の

注4 Grossenbaugh, L. R. Improved cubic volume computation. Jour. Forestry 26, 1948.

方法も、直径と材積の関係を推定するのに使用できるであろう。しかし、この方法は幾分不便なように思える。1回の例に、*feet* セクションの *Newton* 公式を適用すれば、このレポートで論じた方法で得られる *1757* に対して *1786 feet³* の根元材積の推定量が得られた。



Floyd A Johnson

Journal of Forestry September 1957

4. テネシー渓谷の郡単位の森林調査の統計面について。

Some statistical aspects of county Forest Inventories in the Tennessee Valley

1950年に Tennessee 渓谷管理局の山林部は、郡を調査単位としたときに、合理的な積算が得られるように設計した。一連の森林調査を開始した。1956年6月に渓谷の125の地区のうち36を調査した。残の地区のオ1回の調査は、大体1962年に完了の予定である。

この調査で得られた資料は、木材工業、鉄道、州山林部、州および郡の計画官、商業会評所、その他森林資源開発、治水に関係のある地方公共機関を広く使用されている。このオ1回の調査は森林の状態の変化を測る基準として役立つであろう。したがって将来は、郡を基準として林業計画の成績や必要な資料の分析が行い易くなる。

最近の研究では、25の郡規模の T.V.A 森林サンプリングを得られた結果のいくつかの面が、調査技術の改良試験において試験された。0.2 エーカーのサンプリングプロットの取引可能な根元材積²の約3750の測定値(変量 y)が、次のような目的を統計的方法を用いて解析された。(1)郡規模の標本の変動係数と標本平均の比較(2)層化抽出(地理的層化)と単純抽出の相対精度の決定(3)郡内の変量 y の代表的分析の意義と非正規性が平均値と標準偏差の標本推定値の確実性に及ぼす影響(4)用材材積の変動を予測する方法の探求

注1 この研究は1956年6月に Tennessee 州 Knoxville の Tennessee 大学の修士論文として報告されたものである。

注2 市販可能な用材材積には少くとも一個の8 feet 根元材又は健全な用材丸太の粗ネードフット材積の50%を保持している立木が含まれている。最小直径(胸高における)は針葉樹で9 in. 広葉樹で11 in. である。ボードフット材積は国際規格で表わされており、最小の用材直径(皮内)は針葉樹で6 in. 広葉樹で8 in. である。

この研究ではさらに次の点も考察した。(5) *fact*³ 材積の推定量と、分類した森林面積歩合の確実性 (6) 小径小径木の木数推定量としての 0/1 エーカープロットと 0.01 エーカープロットの正確度。こゝでは (1) と (2) についてだけ論じてある。

標本調査の設計 *sample design*

那規模の森林調査の基本計画では、取引可能な施用材材積を 90% 信頼度で ± 15% 以内の正確度 (68% 信頼度では約 9%) を推定する必要がある。

オ 1 段階は、航空写真又は既往の調査資料から経済林の施面積 (母集団の大きさ、既ち *N*) を定めることであつた。この母集団は、同じ大きさ *N* の *L* 個の地理的層に分割された。各層で、同数 *n* の調査地即ち標本プロットがテンプレートと乱数表を用いて地図上に無作為に定められた。

この材積を層化無作為標本には多くの利点がある。

- 1 サンプルシムにおけるプロットの機械的設定が簡単である。
- 2 郡全体を通じて、かなり一様なプロットの配分がなされる。このようにすれば、林相図の依拠に役立つ。又、このようなプロットの配分は、統計学でないものによつて、単純無作為サンプリングより理解し易い。
- 3 分散は、理論的には系統的サンプリングより推定し易く、計算には殆んど時間がかからない。

特に *n* = 2 の場合にはそうである。

例 層化標本は単純無作為標本より正確である。即ち、推定平均値の分散は小さくなる。

標本の大きさこと抽出誤差 *sample size and sampling errors*

68% の信頼度で ± 9% 以内の精度の取引可能材積の推定値を与える標本の大きさを計算するにはこの変量の分散 s_y^2 を予測する必要がある。

1 表には、25 の調査地区一いづれも 150 の標本プロットから成る一から算出した標本変動係数と標本平均が示してある。

これとみると層間はかなり不均一である。分散の予測をよくすれば、サンプリングの効率を高めることができる。この問題はさうに詳しく調べてみる価値がある。

1 表は、さうに 150 の標本の大きさが合理的な抽出誤差を与えることを示している。即ちこれは North Carolina 州 Clay 郡の 12.5% から Tennessee 州 Anderson 郡の 7.5% の範囲にある、中間の誤差、即ち Tennessee 州 Hardin 郡の 7.3% は、実際に所要の調査規準と一致している。12.5% 以上の用材積の抽出誤差は、この様な調査では、異常とは考えられない。取引可能材の総 *fact*³ 材積のような附随的推定値の誤差は低くなるであらう。

層化無作為抽出と単純無作為抽出

Stratified versus simple random sampling

2 表は、10 の郡調査について、(1) 層化無作為抽出の公式と (2) 層化を無視して単純無作為抽出の公式で推定した平均値の標本分散を比較している。このデータは、層化を無視した場合、10 の調査郡中 8 が幾分精度の低い (即ち相対精度が 100 を越える) ことを示している。Hardin, McMinn 郡の調査だけは逆になつた。

しかし、層化は全く地理的なものであるから、高い精度が得られると予想することはできない。これとは逆に組織の構成や抽出点の設定は、実質的に促進できる。

2)
$$s_y^2 = \sum_{k=1}^L \frac{n_k}{n} (y_k - \bar{y})^2 / (n-1) = a$$
 こゝに *a* は *L* 層内の分散の推定値
y = 標本変数 *y_k* = *k* 層の標本平均 *L* = 層数 *n_k* = 層当りの標本数
n = 層化無作為標本の標本の大きさ. Cochran, William G. *Sampling Techniques* John Wiley and Sons Inc. New York, 1953 pp2

1表 25のTennessee渓谷の郡の0.2エーカー単位当りの取引可能な用材粗材積の郡別の標本変動係数と平均

1950-55年

群	標本変動係数 ¹		平均材積 ² (0.2エーカー単位当り ポンド/フット)
	S_y/\bar{y}	$(S_y/\bar{y})/100$	
Clay North Carolina	1.53	12.5	685
DeKalb Alabama	1.39	11.3	444
Tishomingo Mississippi	1.35	11.1	327
Mc Minn Tennessee	1.30	10.6	433
Mitchell North Carolina	1.29	10.6	737
Bradley Tennessee	1.26	10.3	309
Sevier Tennessee	1.23	10.0	417
Humphreys Tennessee	1.19	9.7	264
Cumberland	1.18	9.6	374
Redford Tennessee	1.16	9.4	372
Scott Virginia	1.16	9.4	547
Buncombe North Carolina	1.15	9.4	878
Hardin Tennessee	1.14 ³	9.3 ³	384
Cherokee North Carolina	1.10	9.0	447
Greene Tennessee	1.09	8.9	712
Wayne Tennessee	1.04	8.5	194
Catoosa Georgia	1.03	8.4	477
Monroe Tennessee	1.02	8.3	635
Wise Virginia	1.02	8.3	888
Polk Tennessee	1.01	8.2	747
Hamilton Tennessee	1.00	8.2	441
Morgan Tennessee	0.96	7.9	525
Lawrence Alabama	0.95	7.7	611
Blount Tennessee	0.91	7.5	541
Anderson Tennessee	0.91	7.5	912

注1 S_y = 標本標準偏差 S_y/\bar{y} = 標本平均の標準誤差 \bar{y} = 標本平均
 2 資料: Tennessee 州 Norris の林業関係局のTVA課に保存されている
 3,754個の標本100ットの野帳簿からとった平均
 3 中位の係数

2表 10のTennessee渓谷地区の森林調査における層化無作為抽出と単純無作為抽出の相対精度

1950-55年

群	平均値の推定分散 ¹		相対精度 (S_y/\bar{y}) ²
	単純無作為抽出 (S_y/\bar{y}) ²	層化無作為抽出 (S_y/\bar{y}) ²	
Clay North Carolina	8615	7278	1.18
Blount Tennessee	1802	1632	1.10
Cherokee North Carolina	1787	1631	1.10
Anderson Tennessee	5050	4643	1.09
Lawrence Alabama	2438	2229	1.09
Tishomingo Mississippi	1415	1311	1.08
De Kalb Alabama	2654	2533	1.05
Buncombe North Carolina	6217	6062	1.03
Hardin Tennessee	1182	1267	0.93
Mc Minn Tennessee	1792	2120	0.85

注1 標本の大きさ n = 郡毎に150

William H. Ogden

(Journal of Forestry September 1957 p664-p665)

5 Ponderosa と Jeffrey pine の除伐

A precommercial thinning in ponderosa and jeffrey pine 注

ponderosa pine (Pinus ponderosa Laws) や Jeffrey pine (P. jeffreyi) Greo and Balf) の稠密な雑樹林や叢林は、地位の低い処では、成長が止るか 揺蕩となる。はっきりした傾向を示している。事実上成長しないこのような状態は、長期間続き、これを正常な状態に巻き戻すには、生産目的を達成できないことになる。苗木または苗木の成熟木の移植過程が、その林分で維持されておれば、初期の間伐は、造林学術的にも経営の面からも必要である。

しかし、除伐に着手する前に、森林経営者は、次のような幾つかの疑問について尋ねるであろう。

間伐方法即ち配列の相違により林木は、例えばどのような反応を示すであろうか。その後収穫量或は収益はどのように増加するか。次の費用は大抵と思われる。経営計画に除伐が付加されたならば、どの程度、コストは増加するか。間伐費用と配列、間伐方法、道具の形式、地勢、林分密度、林分構造のような変量との間にどのような関係があるか。このような質問の答に備えて、間伐の収益性を決めるため森林経営者は間伐費用の増加分と得られる収益の増加分とを比較できるであろう。

幼令林の除伐による成長不振の打開策が、北米カリフォルニアの Blacks Mountain 実験林で着手された。この計画は 1955 年に始まり、1957 年まで継続された。除伐は主として、マツの単純林と white fir (Abies concolor (Gord and Glend) Lind) と in-conce-cedar (Libocedrus decurrens Torr) 注とマツとの混交林の幼令林について行なわれては、現在までに統面積 519 エーカーについて、この計画が実行され、正味 448 エーカーの林地で 22000 本以上の木が解放された。

Blacks Mountain の初期の研究では、マツの幼令林が除伐によって、積極的な反応を示すことが示された。

天然林の幼令林に一般的に適用する除伐として、クワイート間隔が選ばれた。この決定の一部は、間伐したもの、天然のままの幼令林の成長量に関する研究に、一部はこのような林分の将来の発展についての判断に基づいている。Northwest (5) と Southwest (2) での研究でも同様な結果が得られた。

簡単なテストの結果、小型の携帯式機械鋸が、根株直径で約 1 in から 3 ~ 4 in の幼令林の除伐に有効であることが示された。このテスト結果を斧や手鋸による間伐と対比してみると、費用がそれぞれ一本当り 13 セントと 8 セントとなることが示された。

上に報告している計画の目的は次のとおりである。(1) 林分改良の手帳として、過密林分の除伐に着手すること。(2) 実用的な手帳を完成すること。(3) 予想費用とクワイート間隔、特殊な間伐方法および益其の形、ならびに実験林の林況、地況に関する生産量をまとめることである。これらのデータは間伐費用の一般化を示し、この方法をもつと詳しい面にまで拡張できる可能性を定める基準を提供している。

この論文の目的は3つある。(1) Blacks Mountain を用いられた間伐方法と実行手帳を説明すること。(2) 2回にわたる研究で得られた生産量と費用のデータを発表すること。(3) 結果の有意性について論ずること。

実験地と幼令林 Experimental area and young stands

Cascade 地方の最南端の東側斜面に設けられた Blacks Mountain の実験林はカリフォルニア南東部高原の 4,000,000 エーカーの林地の代表である。これは内陸産 ponderosa pine の地位分類によれば、100年生で 72 feet の地位指数をもつて

いる。

年降水量一その大部分が雪である一の低いことが、杯木成長の主要な制約因子になっている。土壌は礫質で浅く、しばしば岩盤が露出している。実験林のほとん部分は、緩やかな起伏のある盆地であるが、残りの部分には周囲の山々の10~17%の傾斜が延びてきている。杯相は ponderosa pine と Jeffrey pine が優勢を示しているが、頂上部には white fir incense-cedar の混交林がみられる。疎開した所や成熟した上層林の下には、稚樹や幼令木が豊富に存在している。最近行なわれた伐採で、小丸木林の大部分と幼令林の多くが解放された。

注1 これは U.S. 農林省山林局カリフォルニアの林業牧野試験場と Berkeley のカリフォルニア大学林学科の共同研究である。計画は山林局が樹木環境作業を監督し、分析は林学科で行なわれた。この報告は先任の筆者が林学科に呈出した Professional Paper から採つたもので、その関係は Master of Forestry の過程の必修単位の一部を与えた大学院助手であった。

注2 これらの林分にある Jeffrey pine は、経営の点では ponderosa pine と違ったところはない。この報告をとおしてこの二つの樹種は一括してマツとみなされる。

注3 伐採時には、混交林のあるもので行なわれる作業は間伐というよりはむしろ稀疎伐である。

小径の密生した群内に幼令木の発生することは、この地方のマツの適性である。これらの群が 1/2 エーカー以上になることは稀で、普通はかなり小さい。これらは 25~30 年の範囲の林分で幼令杯となる傾向がある。成長や成長不振のために、大部分の林分の直径や樹高は、その林分の正常林に比べて低い。平均密度はかなり低いけれども、幼令林のなかにはエーカー当り 12,000 本というものもあり、いわゆる“マツの叢林”と云われる特性を表現している。

30 年生で地際直径が僅 2 in、樹高 9 in というような木が珍しくないものである。

間伐方法 Method of thinning

一般的形式の間伐が用いられた。これは粗放な強度間伐と残存樹種別とを折衷したもので、9 フィートの平均間隔で、形のととのった優勢木を競走から解放することを目的としている。その主要な変型が 1, 2, 3 図に模式的に示してある。間伐前後の代表的景観が 4 図に示してある。9x9 フィートの間伐が、この研究を始めるに当って決められた。これが選ばれる理由は迅速な成長を促すに必要空間を与え、将来における枯死量を考慮し、中間の伐採が可能となる時点で、正常本数の林分とするためである。

実際には、間隔や解放される林木の型は変わってくる。このような融通性があるので、9 フィートの間隔を散放に適用し、優勢木だけが解放される場合より多くの良質の木を選び、残存するようになっている。

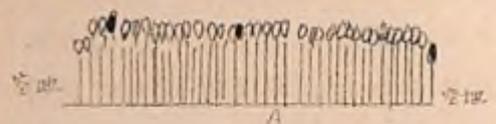
空地に囲まれている林分では、林縁の木は成長空間があるので、9 フィートより狭くしてある。伐採される木と解放される木の割合は、構造により 1:2 から 1:7 まで変化するが、平均して約 1:5 とある。

一般に、成熟木から 30 フィート以内又は大径小丸木本から 20 フィート以内にある木は解放されたことにはならない。^{注6} 小径小丸木林と境を接している幼令林では、小丸木本から 10 フィート以内の木は解放されたことにはならない。

小径のヤドリギの抑制方法が間伐処理と平行して行なわれた。その方法は優勢木を全部除去し、残りの木から残存すべき木を選んだのである。しかし、強度に病害にかかっている林分では、被害部が樹冠の下であるか、幹から 6 in 以上であるか、収獲木として採り望ましい木であれば、弱木の中には残されるものもある。ごく狭い範囲では、鋸のとどく病枝は切り落とされる。

間伐により生ずる樹木はそのままにしておかれた。密林内に多量に積み上げておくと、火災の危険は増すが、間伐によりたえず新木のでる面積は広くなく、極端に老成と考えられない程度に散

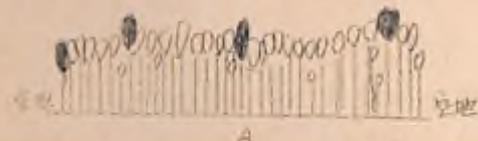
1 図 A) 一株に成長不揃いの *Ponderosa pine* の横断面図。樹冠には差が表われておらず、代表的な本は狭い樹冠とむらの様に細い樹冠をもっている



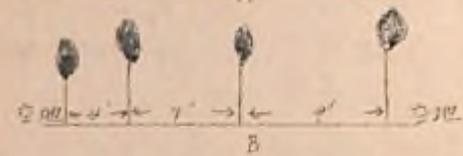
B) 間伐後の同林分。林分の両側が空地であるため境界木はブランチが狭くなっている。



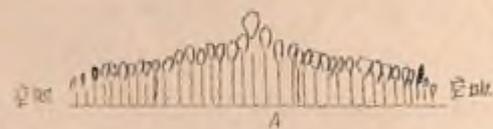
2 図 A) この林分(同令林)では樹冠の縁ははっきりしているが、調査のため直径及び樹高の成長量は殆んど0である。



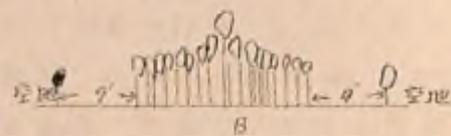
B) 間伐後の同林分。間隔を修正する必要があるためこの林分では3本の優勢木の成長は2本だけが規定の間隔で伐採される。



3 図 A) ピラミッド型の樹高構造をもつ *Ponderosa pine* の同令幼令林。中心にある優勢木の成長は相対的に良く解放する必要がある。



B) 間伐後の林分。周囲の木の成長空間を与えたため地権が効果的に利用されるようになった。



をしている。この種の樹木は 乾期においてさえ 直ぐに分解してしまうから、老成期間は短い。山火予防のために林分全体にわたって、防火線を設けなければならぬならば、間伐林では間伐を行わない林分より、防火線の設置速度は早められるであろう。したがって樹木のあるために生ずる欠点は 部分的につぐなわれる。

作業の手法と使用器具 *Field procedures and equipment*
 間伐可能な樹木群は散在しているので、林地を系統的に扱うような手段をこころいないで、80~100 エーカーにおよぶ経営単位全体について施業することは実行不可能である。したがって、間伐するために選んだ林班を、ポケットコンパスで設定した調査線を用いて、2 chain 巾のストリッパに細分した。このような配列により、完全かつ系統的に大面積がおおわれるとみなされる。前日に作業を終了した場合をみつけたり、次の作業のため、後に残した器械、ガソリン罐、道具類を再設定するのに費消される時間は最小である。ストリッパには番号が付けてあるから、調査に役立つ。経過を記録し、特定の場所に補助員を行かせるのに役立つ。森林地では、上り下りを避けるため、調査線は等高線にはほぼ平行に設けられる。

傾斜が制約因子となっていない所では、調査線は近くの道路に直交に設けられる。こうすれば調査帯に到着する便利な方法である。四輪車が利用できる道は調査地へ行くのを容易にする。

間伐は概して、夏山作業のための雇った林科学生を補助員として実行された。学生は技術的判断を必要とする仕事にすぐ慣れると信じられているので、本職の作業員よりむしろ学生が使われた。

間伐組は 1955 年には 2人の伐採員、1957年には 2~4人の伐採員と 1人の班長とからなっていた。普通の現地作業方法は一本の 2 chain 巾の調査線を設けるため、2人の作業員を作業に作られているが、しかし、これは、調査線内にある間伐可

能な面積の程度により変る。

間伐班の入る前に、解放される木に印をつけることは、実行不可能であり、不必要である。事実、班員はシーズンの始めに代表的な林地の作業を見学し、最初の1〜3週間には厳格な監督を受けることと、間伐可能な林分や開放される木を選ぶよう訓練されている。その後、各伐採員は、前述の規則に従って、各自に間伐する林分や開放する木を選ぶ。調査線には番号が付けてあるから班長によって、各作業員の仕事をチェックし、誤りを注意し、さらに命令を与えることが容易である。必要があれば、作業員は誤りを犯した林地を直すため引返す。各伐採作業員は、鋸をもったまま、解放される木を数えてゆき、型地でできる小修理を行う。班長は作業を監督、点検し、鋸の修理の際助手を務め、時間や生産量を記録し、可能であれば、予備の鋸で間伐を行う。

1957年の作業で、一経営単位に要する総間伐時間は、班長が班員の先頭に立って、間伐線を点検し、大体の位置図を作り、オレンジ色のテープで間伐を必要とする林地の印を付ければ、かなり短縮できることが見出された。

間伐の必要性が、たとえあるにしても針葉木の非常に少ない林地があり、位置図作業の段階で、これが発見され、伐採作業員は別の課又は林地に転向する。

2種類の伐採鋸が間伐に用いられた。4馬力形、歯数88の「スッシュカッタ」²と2〜3馬力の「ソウエット」³チェーンソー。いづれの型もノコ又はス人の肩にかけて運べる携帯鋸である。後者の装置は、鋸の重みが均等に散らっているのも、操作者はほとんど疲れない。

円形鋸は、直径4インチまでのものを伐るのに最良と思われる。2インチ以下の木は同時に数本の木を一語にしてこの鋸を文字通り「スライヴ」することによって伐倒できる。このような直径では、刀身を伐りかきとす木に当てがう必要はなく、約4インチ以下の直径については、効率的に取扱かえる。

これと対照的に、チェーンソーは、伐倒しようとする木に当てる必要がある。2インチ以上の直径については、円形鋸も各樹幹に当てる必要があり、したがって、2つの型の間の長所の差は直径が大きくなるにつれて減小する。

いづれの型でも、地際近くで伐倒でき、きれいな平坦な根株を残すが、円形鋸は取扱い易い。両種の型が用いられた1957年には修理の点で有意差があり、円形鋸の壊れていることが記録された。直接、生産歩合の比較は行なわれなかったが、円形鋸はより生産能力の高いことがはっきりした。

この2種類の鋸の主な利点は、間伐の際、選拔が容易であることと、これは、他の動力式装置では不可能である。地形、岩石の有無、大きな切枝の堆積のため、*Lake州の jack pine* の間伐に用いている。ここで述べたように地際で操作する自前推進式の円形鋸は、間伐しようとする大部分の林地、特に山岳地では実用的でない。林木の選抜と犠牲にすれど、伐採用附属品又はデスフ、ハローを装備したトラップナーの様な重機械による間伐は、岩石のない林地では、実行可能と思われる。しかし、小さな樹群の存在していることを考慮すれば、この方法による間伐は、費用および操作の点で、疑問のある方法と思われる。

生産歩合と費用 *Production rates and costs*

総調査面積は5174エーカーである。このうち、稠密な林地448エーカー、86名だけが実際に間伐された。解放された木が間伐された純面積のエーカー当り平均して375本しかなかった。

1955年の作業では投入した総労働時間は、移動時間を除いてエーカー当り平均延時間18.1時を、解放された木当り2.6分であった。1957年には、エーカー当り平均して674本が解放され、エーカー当り延時間366時、単木当り3.1分であった。

一時間当りの単価を1.75ドルとすれば、解放される木当りの

労賃は 1955年には8セント、1957年には9セントであった。間伐された純面積のエーカー当りに換算すれば、これは31.75ドルと63.94ドルに当る。1955年と1957年のこれに対応する鋸の費用は、純エーカー当り410ドルと641ドルで、単位当り約1セントであった。

したがって解放される本当りの総費用は、1955年には7セント、1957年には10セントであった。

生産歩合と費用は林班によつて変る。例えば、間伐の行なわれた6つの林班の平均生産量は単位当り、8.9991213セントであった。

この相違は因子の組合せの結果によるもので、そのうち重要なものは次のとおりである。

人の相違 鋸の形式の組合せの相違 鋸の修理時間の違い、地形、林分の変化、作業方法の相違である。平均17%の傾斜をもつ、稠密な混交林で間伐を行う時には、最高の費用がかうり、平坦地で、純林又は比較的疎林で作業するときには最低となる。この計画の目的は一般の費用水準の基本的知識を得ることにあるから、この記録は、各因子の重要性について統計的に解決出来るようにはとられていなかった。

投入労力の配分は次の4項目、すなわち測線の設定、間伐、鋸の修理と維持、監督に分けて記録された。驚いたことには、実際に間伐に費やされた時間は投入労力の半分を僅かに越えるに過ぎなかった。(1表) 1955年と1957年の作業時間の26%と20%が、鋸の修理と維持のため費やされたことは、同じ意味をもっている。

1表 4種の作業項目の時間配分

調査年と林班	作業別投入労働量				計	解放される本数
	測線設定	間伐	鋸の修理と維持	監督		
1955		延 時 間				
G11-8	28.0	148.5	51.0	8.0	235.5	5,262
G12-10	13.0	23.0	29.0	---	115.0	2,715
G13-14	16.0	83.0	56.0	10.0	165.0	2,695
計	57.0	304.5	136.0	18.0	515.5	10,612
%	11.1	59.0	26.4	3.5	100.0	---
1957						
F18-30	28.5	132.0	76.5	32.0	269.0	3,844
G4-15	18.0	117.5	33.5	37.5	206.5	4,764
G13-20	15.0	65.5	20.5	22.5	123.5	2,601
計	61.5	315.0	130.5	92.0	599.0	12,209
%	10.5	53.0	20.4	16.1	100.0	---

実際に間伐に費やされる時間だけ基準にすれば、平均生産歩合は、解放された本当り1.6分すなわち一時間当り約38本が解放されることになった。この計画で実際に最高の一時間当り生産量は60本を解放した場合である。

総費用の90%が労切によるものであるから労切の生産性が増せば、総費用は実質的に減少するであろう。ここに報告された費用がある程度その可能性を示していると思ふ。例えば、機械修理に要する時間は、この2種類の機械をもつと信頼して、もつぱらこれのみを用いることを結論できる、使用された鋸は非常に有用であるが、まだ改良する点がある。全林地の僅か8.6%が間伐されたに過ぎないという事実、全調査面積を減らすには、費用は減少する傾向のあることを示している。

経験と積み、最も効果的な現地調査方法だけを用いるようにしても、費用は削減されるであろう。

選定で選過する多くの条件が、生産歩合に影響することが観察された。pine, white fir, incense-cedar の混

交林では 最後の2樹種の直径は一般に 最大の若木又は最小の小径木に入り これらは徐々に間伐される。ほとんど地面すれすれまで下っている *fir* と *cedar* の茂った樹冠は鋸を樹幹にあてての妨げとなる。稠密な林分は、次のようないくつかの理由で 生産率に影響する。多数の木を伐らねばならないこと、切り筋が推積しているため行動が妨げられること、解放される木と残される木の間隔が狭いので、非常な注意を必要とすること。直径との関連は別にして、樹高は生産歩合に影響をおよぼす。その理由は高木は、鋸を止めることが度々あるからである。さらに作業地から除去することも比較的面倒である。

間伐班のメンバーの個々の作業能力は常にかなり広範囲に変動している。これは 作業を行うための肉体的能力、継続して行うための刺激と意志とに関係があり、機械的才能は鋸を維持する任に充分堪えられる。

討議 Discussion

この計画で重要なのは 間伐方法、間隔、機械の形を作業率と費用と関係づけたことである。これらのデータは、間伐方法も間隔も、造林学的に望ましいものであるという観点で、特に有意義なものになった。又費用は *ponderosa pine* で市販を目的としない間伐をさらに研究して差しつかえない程低いように思われる。ここに発表してあるデータは研究の目的を充分はたしてはいるが、なお多くの必要なことが残っている。もっと広く利用されるためには、林分密度、傾斜、林分構造、間伐面積と全面積の割合のような変量で表わされる工程資料を比較してみる必要がある。このような資料のない場合には、ここに報告してある結果は、

Black Mountain に類似した林地で予期しうる間伐費用の指標および別の *ponderosa pine* 地帯で、間伐決定の細根判断を下す基礎として役立つ。

要約 Summary

1955年に *Black Mountain* 実験林の *ponderosa pine* の稚樹林と初令林で除伐が始められた。

1957年まで継続され、統計 519 # エーカーが産業され、448 エーカーで 22,000 本以上が解放された。機械的な間隔と単純な間伐方法を組合せたこの間伐の目標は、過密林分の成長量を改善するため、平均 9 feet 間隔で、選定木を解放することであった。間伐と併行して、ヤドリキ抑制作業が行なわれた。

二種類の携帯用動力鋸が、解放木当り平均 0.01 ドルの費用で用いられた。作業地の測線設定鋸の維持と修理の負担を含めて、解放木当りの平均労働費は 1955 年には 0.08 ドル、1957 年には 0.07 ドルであった。

したがって機械費と労働費を一語にした総費用は、単木当り 0.09 ドルと 0.10 ドルであった。

総面積のエーカー当り費用は 1.97 ドルから 6.26 ドルで平均して 4.19 ドルであった。総面積のエーカー当り費用は 2345 ドルから 8486 ドルで、平均して 4861 ドルであった。

労力は、総面積のエーカー当り近 11.7 ~ 45.6 時間で平均して近 24.9 時間即ち約近 3 日であった。総面積のエーカー当りでは、近 2.0 時間が必要であった。単木当りに換算すれば、間伐には、解放木当り平均して近 2.8 分かかった。

この数値には、測線設定、間伐、鋸の修理と維持、苗畝に要する諸この時間を含んでいる。

間伐時間だけを考えれば、総面積のエーカー当り平均所要時間は近 13 時間、総面積のエーカー当り近 13.0 時間、単木当り近 1.6 分であった。

参考文献

1. Dosen, R.C., J H stoekeler., and E.G. Klkp. 1957 Mechanized thinning in jack pine sapling. Jour Forestry 55: 201-204.
2. Gaines, Edwa D.M., and E.S. KOTOK. 1954. Thinning ponderosa pine in the Southwest. Rocky Mountain Forest and Range Expt. Sta. Paper No. 17, 20 pp.
3. Hawley, Ralph C. 1935. the practice of silviculture. Third ed. 340 pp illus. Wiley and Son, New York.
4. Meyer, Walter H. 1938. Yield of even-aged stands of ponderosa pine. U. S. Dept. of Agric. Tech. Bull. No 630. 60 pp., illus.
5. Mowat, Edwin. 1953. Thinning ponderosa pine in the Pacific North-west. Pacific Northwest Forest and Range Expt. Sta. Res. Paper, No. 5. 24 pp.

6 測高器の測定時間と精度の検定

A time and accuracy test of some hypsometers

人は変化に対して抵抗する」と哲学者は云ったが、われわれ林業技術者も、常に変化にとりまかれています。これに抵抗している。

もちろん、新考案に反対するには、それ相応の理由がある。突爾不可能なものもあれば、いろいろな条件に適合しないものや正確な結果の得られないものもある。しかしなかには望ましいものもある。

新型式のものを含めて、この10年間に林業技術者に提示された新考案の一つに樹高の測定がある。Engineer's hypsometer^{註2} Haga 式高角儀、Spiegelrelashop とわれわれの代表的な古い友人 Alney 式ハンドレベルの効率を比較するため、この実験を行った。独特の点をもっているので Alney 式を比較の対照として選んだ。

経験者というものは、一般に数種の器械の操作に同じように熟達していることはないし、又測定の色々と正確さを検定するために熟練者は除いた。Alney について限られた予備知識をもっている林科の4年生2人をこの実験のため選んだ。

2週間の訓練で、他の器械の操作に習熟させた。検定の労力を減小にするため、約60年生の Shortleaf pine と loblolly pine の比較的疎開した二次林を選んだ。

方法 Methods

この検定で測定する本は、林の中を歩きながら無作為に選ばれ番号が付けられた。測定本と同数の本製の杭を本の根元からほぼ100 m のところに立てた。測定本の長さは地際から最初の生枝までの樹幹とした。したがって、正常な本の測定条件は守られるが、測定者の選取による測定差は避けられた。

樹高に対する角度を慎重に測り、杭の上に据えたトランシットで
フェックし、自然三角函数表を用いて、樹高をこの測定値から算
出する。

4種の測高器を用いて、すべての木を4回づつすなわち二人
の測定者が各器械で2回づつ測定した。測定時間はストップウォ
ッチで1/10秒まで読んだ。測定に要する時間は次のように定め
られた。

- 1 測定者は、測定しようとする木に対応する杭の所に立つ。
- 2 測高器を目の位置にもち上げた時に記録員がストップウォ
ッチをスタートさせる。
- 3 測定者は、根元までの器械の目盛を次に、最初の生枝まで
の目盛を呼ぶ上げる。
- 4 記録員が後者の読みを確認した時、時計を止める。
- 5 このストップの読みと所要時間を記録する。

単木毎に器械の読みの代数和を算出して樹高を求める。このよ
うにして、1600本の測高器測定値を100本の木から集めた。

時間テストには全測定値を用いたが、正確度のテストはトラン
シットによる二重のフェックを行った測定値、すなわち一組のテ
ストでは90本、これ以外の3組では87本だけについて行った。

結果 Results

組わけしてないデータから、Wash (4)の示している方法を
用いて100本の測定値から成る組毎に次の項目を計算した。

- 1 単木当りの測定時間の算術平均
 - 2 この平均値の標準誤差
 - 3 時間測定値の組ごとの標準偏差
- これらの項目は1表に示してある。

1表 100本についてのテストによる単木当りの測定時間(秒)

器 械	測定者	検定	平均時間	平均値の標準誤差	標準偏差
Haga 式高角儀	A	1	16.8	0.229	2.29
	A	2	18.2	0.251	2.51
	B	1	13.8	0.219	2.19
	B	2	13.6	0.209	2.09
Engineers hypsometer	A	1	16.7	0.248	2.48
	A	2	16.1	1.320	3.20
	B	1	12.6	0.279	2.79
	B	2	12.9	0.092	0.92
Abney 式ハンドレベル	A	1	33.2	0.731	7.31
	A	2	22.2	0.534	5.34
	B	1	21.9	0.581	5.81
	B	2	21.2	0.522	5.22
スピーゲルリフスコープ	A	1	53.4	1.371	13.71
	A	2	52.7	1.290	12.90
	B	1	52.1	1.123	11.23
	B	2	51.6	1.391	13.91

平均時間の間の差にはかなり大きなものがあるのでその有意性を
検定した。この検定の結果が2表に示してある。この試験で
Abney 式ハンドレベルによる測定には単木当り 24.6 秒を要し
単木当り 52.4 秒の Spiegelrelaskop に比べて 99% の信頼
水準で有意に速かった。同じ有意水準で、それぞれ 15.6 秒と
14.6 秒を必要とする Haga 式高角儀と engineer's hypsometer
は共に Abney 式レベルより速かった。有意差検定では測定者は
分らなかつたことに気付くであろう。その代りに最小の差を求
めるため対照となる測定値の組を選んだ。これ以外の検定では大
きな有意差が得られた。

測高器の正確さを決めるため、各測高器の測定値からフィート
単位で求めたトランシット測定値を引いて、測定誤差を求めた。

この誤差には正の場合も負の場合もあり、3表に示してある
平均誤差を算出するため、誤差の代数和を各測定値の組に含ま

れる本数で割った。単木測定値当りの誤差の大きさだけが欲しいのであるから。この場合には符号を省き 16 組の測定値について Nash (4) の論文からとった方法をを用いて次の項目を計算した。

- 1 単木当りの誤差の算術平均 (ft 単位)
- 2 この平均値の標準誤差
- 3 各組の誤差の標準偏差

これらの値は3表に示してある。最小の平均誤差は 1.07 ± 0.18 ft 最大誤差でも 1.75 ± 0.18 ft であったので、正確さの有意差に関する検定は行なわれなかつた。

2表 各測高器による平均測定所要時間 (秒) の差 ^{注1}

検定した器械	差	差の標準誤差	t ²
A-1 Alney 対 B-2 Spiegelrelaskop	18.4	1.571	11.7
A-1 Alney 対 B-1 "	18.9	1.340	14.1
B-2 Alney 対 A-1 Engineers hypsometer	4.5	0.578	7.8
B-2 Alney 対 A-2 "	4.1	0.612	6.7
B-2 Alney 対 A-1 Haga 式高角儀	4.7	0.570	8.0
B-2 Alney 対 A-2 "	3.0	0.579	5.2

結 論 Conclusions

この検定では Haga 高角儀と Engineers hypsometer は Alney 式ハンドレベルより有意に速いことが示されたが、Alney 式は Spiegel-relaskop より有意に速かつた。その差はそれぞれ単木当り 7.10 および 2.28 秒であつた。測定時間の数秒の節約が重要などうかは 林業技術者の仕事の性格で変る。作業時間の大部分を測高に費やすような性格の仕事であれば、単木当り数秒間の節約は意義があるであらう。大抵の作業では この差は実際的には重要でない。

テストした器械はいずれも、ある種の森林調査で必要とされる正確な測定の場台を除いて、実用化充分正確であることが分つた。平均誤差は単木当り 2 ft 以下で、誤差の標準偏差は 100 個の

測定値から成る各組について約 1.5 ft であつた。この誤差は大部分相殺され、この検定では平均累積誤差が単木当り 0.76 ft 以上になつたことはなかつた。器械の正確さと最も重要な測度は、平均誤差と標準誤差であらう。それはこの値が特定の組で誤差の生ずる確率についての概念を与えてくれるからである。

例えば、誤差の 95% は標準偏差の 2 倍以上平均誤差から外れていない。(4) したがつてここに示してあるテストの大部分では、個々の誤差の 95% は 4 ft 以下であり、したがつて例えば、試測器で 1/2 尺太長を単位として樹高を測る場合には、誤差はないであらう。これ以上の単木測定精度が要求される場合にはこれらの器械では満足できないであらう。

これらの器械の操作に関する測定者の意見のなかには注目にするものがある。

Haga 式高角儀 (4つの器械のうちで最も使い易い) (1) 操作が非常に簡単である。(2) 視野がとりわけ良好である。(3) 眼の疲労が最小である。(4) 喬木の場台、梢端の動きを見るのが難しい。

Engineer's hypsometer (使用が二番目に容易である) (1) 目盛がはっきりと色分けしてあるので読み易い。(2) 木をみながら目盛を読むことができる。したがつて測定時間のかからぬ器械である。(3) 視野が限定されているので、測定の定めるのが難しく、誤差の生ずる機会が大きい。(4) この器械は小さな器械の G 保持が面倒である。

Alney 式レベル (1) hair ラインに木泥を一致させることが困難である。

Spiegelrelaskop (取扱いが最も難しい器械) (1) 現場では、明度が弱いため目盛を読むことが殆んど不可能である。(2) この器械には目盛が付きすぎている。(3) 目盛の検定はそれほど早くない。

Baker と Hunt は次のように云っている。Haga 式高角儀の目盛の变化は簡単かつ迅速であるので、東部テキサス州の Piney 森林で行なわれたある種の標準プロット調査では、他の多くの測高器に比べてはるかに優れている。というのは数学的修正をせずに使用できる基本線長の範囲が大きいからである。

要 約 Summary

南部産マツの二次林で、比較的未熟林の測定者による測高の速さと正確さについて、Haga 式高角儀 engineer's hypsometer、Spiegelrelaskop を Abney 式レベルと比較した。

テストに用いたのは 100 本の木について測った 1600 の樹高測定値である。Haga 式高角儀と engineer's hypsometer は単木当り 2.6 秒かかる Abney 式レベルに比べて、それぞれ 7.6 秒より 10 秒早いことが分った。しかし Abney 式は単木当り 5.2 秒を要する Spiegelrelaskop より早かった。これらの差は 99% の有意水準で統計的に有意である。

実用的には、テストした測高器は普通の樹高測定には充分正確であることが分った。

単木当りの最大誤差の期待値は 95% の信頼水準で、100 測定値からなる大部分の組で 4 ft 以下のことが分った。累積平均誤差は 100 個の樹高測定値からなるどの組についても 0.76 ft 以上とはならなかつた。

測定者の意見は一般に Haga 式高角儀が最も使用し易い器であるといふことであつた。

3表 樹高測定の誤差(ft単位) (器械による測定値 - トランシットによる測定値)

器 械	測定者	テスト	測定本数	平均誤差	平均値の標準誤差	標準偏差	累積平均誤差
Haga 式高角儀	A	1	90	1.31	0.160	1.59	-0.36
	A	2	87	1.24	0.116	1.08	+0.61
	B	1	87	1.16	0.103	0.96	+0.54
	B	2	87	1.29	0.122	1.14	+0.41
Engineer's hypsometer	A	1	90	1.07	0.180	1.71	-0.09
	A	2	87	1.37	0.181	1.82	-0.16
	B	1	87	1.89	0.190	1.76	-0.02
	B	2	87	1.53	0.178	1.61	-0.17
Abney 式レベル	A	1	90	1.28	0.180	1.71	+0.19
	A	2	87	1.31	0.146	1.86	-0.14
	B	1	87	1.61	0.163	1.58	-0.53
	B	2	87	1.63	0.199	1.83	-0.36
Spiegelrelaskop	A	1	90	1.62	0.172	1.63	-0.46
	A	2	87	1.64	0.140	1.30	+0.76
	B	1	87	1.95	0.173	1.63	+0.36
	B	2	87	1.72	0.151	1.40	+0.74

注1 1組から Abney 式レベルによる最も時間のかかった測定値の組と Spiegelrelaskop による最も早かつた2組の測定値と比較して Abney 式最も早かつたものを hypsometer と Haga 式高角儀の最も時間のかかった測定値と比較していることに注意せよ。

いずれも 99% の信頼水準で有意である。

注2 engineer's hypsometer は形が 1/2 になっている突を除いて山林局式測高器に似ている。

E. V. Hunt Jr.

Journal of Forestry 1959 9

ク 収穫保続のための規制についての論評

Comments on regulation for sustained yield

L. R. Grossenbaugh の 1958^{注1}年10月に *Journal of Forestry* 誌上に発表した論文 引読さ W. H. Meyer が 1959年3月に発表した論評には 収穫保続のための規制を含む 多数の基本的概念が入っている。いづれにおいても、森林の成長に関する正確かつ科学的な解釈に重点がおかれている。

前者はこれを 単利の現取としてあつかい、後者は複利過程と見なしている。意味があるように思われるのはこの二通りの解釈の基本的原理は異なっているが、それぞれの標準公式の最終結果は、意外にも同じであるという事である。

特筆は場合の適例として、東部 Kentucky 州の Cumberland 山脈にある Berea College Forest について最近、査定計画が見了した。基本調査の資料によると、用材の純蓄積は、必要額が樹位を定め 28,195 M ボードフィート (国際四分の一規格) であることが示された。

あるべき10年間の経営期間の年成長量は 8825 M ボードフィートと定められた(進階成長量は枯死量に等しいと仮定して)この資料から、単利の成長率 3.01%、複利の成長率 2.7% が導かれた。別々に計算してみると、許容伐採量は Grossenbaugh の単利公式では複利公式より 6 M ボードフィート多くなるにすぎないことを見出した。

残念ながら、この2つの規制公式の他の要素は、成長量のように簡単には取り扱えない。単利率或は複利率を用いる場合の相対的効果は、蓄積水準の査定に関する分りにくい因子の算入により完全に保護されている。説明のために合成した標準を設けることと除いて、著者はこのような問題にまきこまれるのは適当と思わない。

さしあたって Berea College Forest に戻れば、経営の初期を通じて毎年平

均の蓄積水準 (エーカー当り 6400 ボードフィート) を維持するために、任意的な決定がなされた。単利公式によれば、これは 790 M ボードフィートの許容年伐量を認め、複利公式によると 784 M ボードフィートを認めることになる。蓄積水準が、最初の10年間の終りにエーカー当り 7400 ボードフィートに増加すると決められれば、許容伐採量は 355 M ボードフィートに減少するであろう。40年間にエーカー当り 8000 ボードフィートのものにしようという著しく控え目の目標でさえ、10年当り 400 ボードフィート増すには、年伐量は 600 M ボードフィートを越えてはいけな

い。この許容伐採量の公式が、森林規則の有意義な基礎となるならば、蓄積因子の発塵と定義が成長量査定法の定期的改善に比敵することが大切である。将来、成長量の単利又は複利関数の弁護にはうけられた エネルギーは必要蓄積水準や総合的な調節期間についてもっと有利な方向をとりうることを著者は暗示しておこ

1. Grossenbaugh, L. R. Allowable cut as a new function of growth and diagnostic tallies. *Journal of Forestry* 56: 727-730. 1958.
2. Meyer, Walter H. Comments on "Allowable cut as a new function of growth and diagnostic tallies." *Journal of Forestry* 57: 210-211. 1959

David A. Rock.
Journal of Forestry October 1959 P 723

8 万能調査ノテツキ

An all-purpose cruiser stick

このノートは (1) point sampling (2) 立木の直径と取引可能な樹高の決定 (3) 検尺に使用できるように改良した Biltmore stick の作製方法を説明している。これは、手工具 エンジンヤースケール 刻字器を用いて、安く作る事ができる point sampling すなわち可変カロット 調査法は *Goodenough*^{注1} によつて定められた実用研究の結果、広く認められるようになった。視角を確定するため、最初に提案された棒型のゲージは *Bruce*^{注2} の推奨により、大部分楔形カリバムに変わっている。しかし、棒型ゲージは時々使用するには充分なものであるが、その効用は *Biltmore stick* と *log rule* の目盛を付けると、さらに増大する。メトリックと測高用の目盛は、個人の腕長を調節して計算することができ、point-sampling に用いられる“照準板”は、丸太を測るためのフックとして兼用できる。

木目の通直な乾燥した広葉樹材 (例えば *red oak, beech, maple*) の幹を約 1/2 x 1 x 33 in の大きさに鉋をかける。この一端は1回に示してあるように斜角を付ける。

金属製照準板 metal sight

正確に 1 in 巾の照準板を 104.18' の視角を確定するために 33 in の棒の一端に取り付けねはならない。(断面積係数はエーカー当り 10 feet²) このためには、L字型の“目盛器”のアルミ片が傾立つ。観測者の方に杖の巾広の面 (A) を向け、その左端を鋸目に照準板をはめこむ。この小隙は照準板が棒の表から 3/8 in 突き出るようにとりつける必要がある。(ノ4)

棒の反対側の頭板は、別に注文はないが、普通の目よけ用ストラケットを間に合すことができる(中心部に円形の穴をあけたもの)

d. b. h. スケール d. b. h. scale - 2 in 直径階別の

目盛が、杖の“A”側に付けてあり、左から右へ読むようになっている。腕長が 23 ~ 27 in の人の目盛間隔は、既刊の長^{注3} から直接読みとれるであろう。一般に目と木の間隔 25 in が用いられるときには、60 in を僅かに越えるメトリック読みとることができよう。エンジンヤースケールで位置を定めてから、小型の直角定規を用いて杖に鉛筆で目盛をつける。耐久性のマークを楔形のたがね又は先端のとがったねじまわしでつけ、刻字器で番号を付ける。

測高用尺度 *Hypsometer scales* - これは自由に選ばれるものであるが、一般に、バルブ材のボルト長さの他の丸太間隔の目盛のつけてあることが望まれる。杖と異趣ぐに立く。バルブ材の目盛りは“B”面、用材丸太の目盛は“C”面を用いて、照準板の端から上に向つて目盛を読みとる。*Merritt* 式測高器の原理を用いれば、目盛間隔は等長で、次の関係を用いて算出できる。

$$\text{樹高の目盛り間隔 (インチ)} = \frac{\text{腕長 (in)} \times \text{丸太の長さ (ft)}}{\text{木からの距離 (ft)}}$$

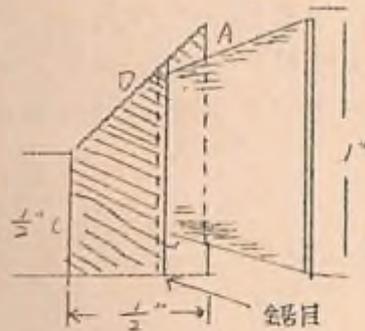
腕長を 25 in、丸太の長さを 16.3 ft、観測者と樹木との距離を 1 chain とすれば、杖の目盛間隔は 25 x 16.3 ÷ 66 すはの丸太当り 6.17 インチとなるであろう。この公式は又、4.58 ft のように所要のバルブ材長の目盛を決めるのにも適用できる。

丸太用尺度 *log scales* - この目盛は棒の斜の面 (D) に刻んであり、丸太直径が大きくなるにつれて“照準板”の端から左に向つて正しく読みとる。この場合には、照準板は測尺用のフックとして用いられる。小型の数字を備えた刻字器を用いれば、2 種類以上の丸太長さの斜角上に相互に作る事ができる。^{注4}

目盛と数字を鋸で刻んでしまつてから、4H 又は 5H の鉛筆で後をなぞるで墨入れする。製図用インクは、木目の所で濃く着く

傾向があり、輪郭が不きろいになるので、使用してはならない。
鉛筆による印付けが不当であれば、砂を用いて除くことができ
杖は、明るいラッカー又は光沢性のワニス塗って仕上げられる。

調査杖は point sampling 用として 33 feet の距離か
ら 1 foot 巾の目標を観測することの意味される。この点で、目
標の巾は懸架板の巾と完全に一致しなければならない。之図は
point sampling 用に現地で、この装置を使用しているところ
を示している。



目 録

- A : dbh 目盛
- B : ヤマ用測高器
- C : 丸太用測高器
- D : 丸太用スケール

- (1) Grosenbaugh, L. R. Plotless timber estimates
- new, fast, easy. Jour. Forestry 50: 32
- 37 1952.
- (2) Bruce, David. A new way to look at trees.
Jour. Forestry, 53: 163-168. 1955
- (3) Chapman, H. H. and W. H. Meyer. Forest
mensuration. McGraw - Hill Book Co.,
New York, 1949.
- (4) Musins, E. N. Theresa G. Hoerner and V.
A. Clements. Converting factors and

tables of equivalents used in forestry.
U. S. Dept. Agric. Misc. Pub. 225, 48
pp. Revised 1949.

Gene Avery

(Journal of Forestry No 12 Vol. 57
1959 P924 - P925)

9 樹高対直径曲線を描くための選択的抽出と系統的抽出の比較について

Selective versus systematic sampling for height / diameter curves

まえがき Introduction

樹高対直径曲線の調製について、Chapman, Meyer (2) (1908) は次のように述べている。"多数の木を選ぶより厳密に代換的に選ぶことがサンプリングでは重要である。地径指数や樹高対径令の関係を求めるために選ばれたデータが、樹高対直径曲線の作製の際入ってくることもあるので、機械的サンプリングからの新しい発展 実行上の実際的効果と本論文で調べた。代換的ではなく選ばれた下が使用できるように樹高 / 直径曲線の調製方法を修正したとも示してある。

方法 Methods

これらの効果を定める手段として、Northern Clay Belt の成長 収穫調査 (3) のデータを用いた。この調査では、樹高対直径曲線を調製するために代換的に選ばれた標本と樹高対径令の関係を求めるため、選抜した優勢木、準優勢木の標本とがとられた。black spruce (Picea mariana BSP) について集めたデータを用いて、比較をするために 両標本による樹高対直径曲線を作製した。

曲線の調製にあたっては、1 in 直径階別に平均樹高と平均直径に対してカロットした。フリーハンドで曲線を描き、平滑化した。

確率水準 5% の信頼限界を両曲線の直径階毎に求めた。これは

次式で求めた推定値の標準誤差から算出される。

$$2 \frac{\sqrt{\frac{\sum (H_o - H_c)^2}{n}}}{\sqrt{\pi}}$$

Hc = 個々の標本木の曲線上の樹高

Ho = 個々の標本木の実際樹高

n = 直径階に含まれる本数

1 表 直径階別に示した曲線 A と B との確率水準 5% の信頼限界

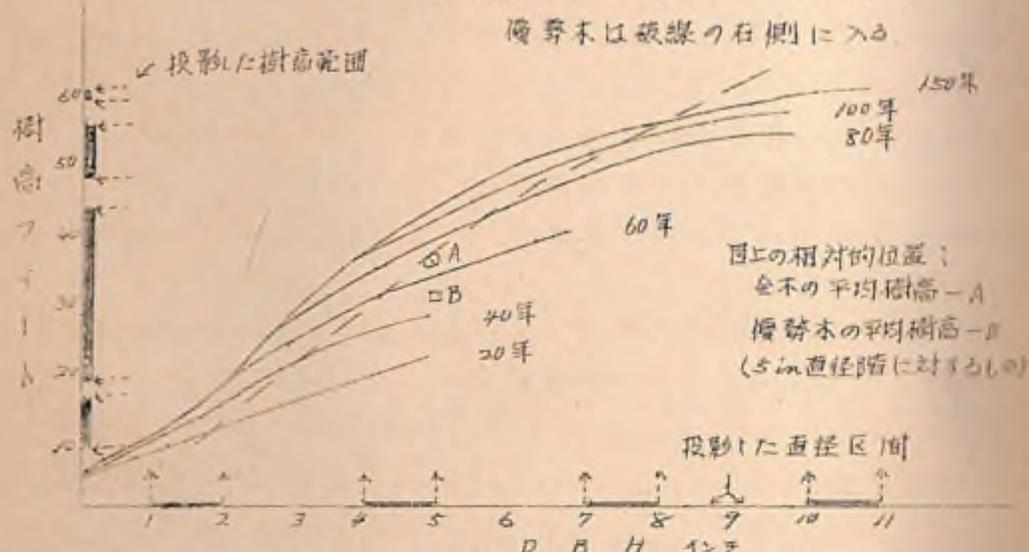
D B H (1 3 4)	樹 高 フ ァ ー ト		差	
	A	B	有 意	有意でない
1	9 ± 0.42	8		
2	16 ± 0.55	14 ± 1.04	5	
3	24 ± 0.86	21 ± 0.66	5	
4	31 ± 0.82	28 ± 0.76	5	
5	38 ± 1.04	35 ± 0.89	5	
6	45 ± 1.42	42 ± 0.94	5	
7	50 ± 1.54	49 ± 1.41	5	
8	55 ± 2.45	54 ± 1.31		N
9	60 ± 2.61	59 ± 2.28		N
10	63	63		N

大部分の直径階では、曲線上の樹高の差は信頼限界の和を越えており、曲線は確率水準 5% で有意差があると考えられる。

曲線 The curves

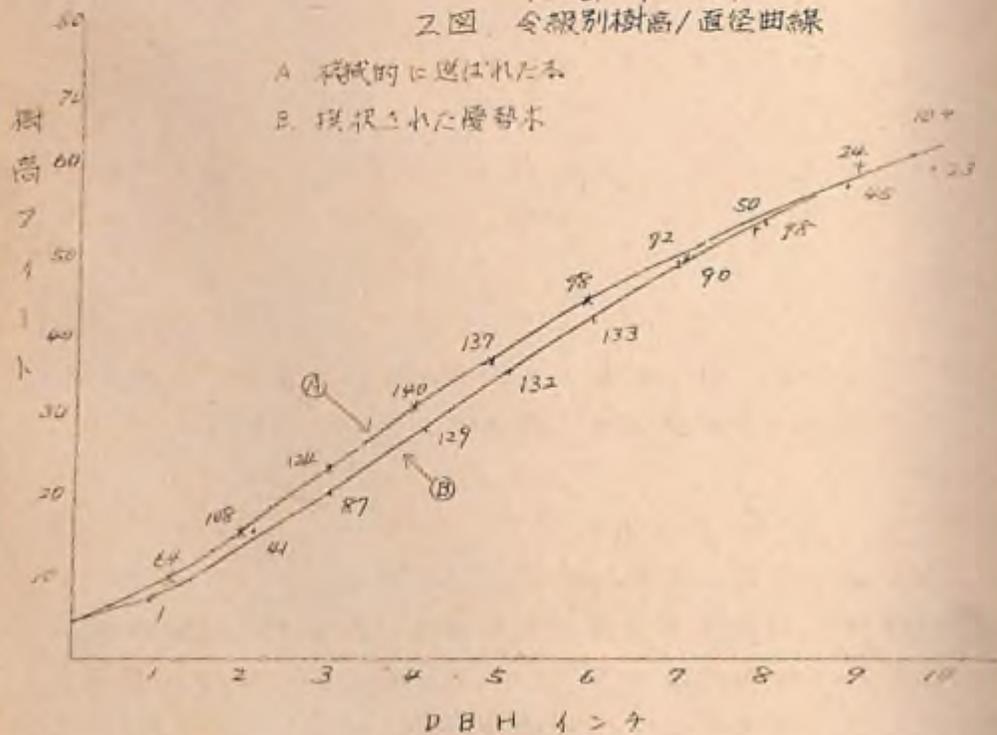
1 図に示したある両曲線の標本は同一林分のものであるから、地径、疎密度、樹種構成、林令が各曲線におよぼす影響は等しいと考えられる。曲線にはつきりした差があるのは抽出方法の相違によるもので、曲線 B では樹冠級が制限されていることに帰因させることができる。優勢木、準優勢木は樹高の高い木であるからこの曲線が下にあるのは予想しているように思える。こう考える

のは周産であつて このような状態は2図に示してある原因によ
機械的標本による優勢木の図上分散



2図 令級別樹高/直径曲線

- A. 機械的に選はれた木
- B. 採択された優勢木



1図 樹高/直径曲線 機械的標本と採択的優勢木

り生じたものである。

この一組の曲線(2図)は Clay Belt の成長 収穫に關するデータを分析する際作られたものである。(3)これは1図の曲線Aを作るのに用いたデータの直径の部分からとり出したある地位における black spruce の令級別の樹高対直径の関係を示している。ここに示してある曲線の形は、統ての地位について同じである。各令級の優勢木、準優勢木と 中介木、被圧木との大径の分類が2図にたい破線で示してある。

林分内の優勢木、準優勢木は 主として比較的大径級に含まれているから、これらは、この線の右側に入る。中介木、被圧木は左側に入る。

この分類によれば、どの直径階でも樹冠級の低い木は、同一直径の優勢木、準優勢木に比べて、平均して老令で樹高も高い。この結果優勢木、準優勢木だけによる令級をこみにした一般的樹高対直径曲線は、統ての樹冠級を含む機械的標本から作られた曲線の下になる。

曲線Aと曲線Bとの差は一定でなく、両端に行くに従つて接近していることを、1図は示している。樹高の最大の差は中央直径に生ずる。

同様の傾向は、2図でも見られる。横軸上で一定の間隔でもつて数箇の1in 直径区間に印をつけ、最低から最高の令級に至るこれに対応する樹高範囲を縦軸に表示した。平均樹高の範囲は、平均直径階で最大となり、直径の両端に行くに従つて减小する。

令級別樹高対直径曲線の相対的位置のために、このような変動が生ずるのである。

老令になる程その到達する最大直径は大となるが、最小直径は比較的安定している。このため中央直径に近づくに従つて曲線の急度は大きくなる。中央径は、全令林ではまちまちであるが、一帯に幼令林では優勢木、準優勢木により、老令林では比較的樹高の高い中介木、被圧木で代表される。したがつて、直径範囲の

中央にある特定の直径では、2図のA点で示してある全令級をこみにした平均樹高はB点で示してある優勢木、準優勢木だけの平均樹高より大となる。

小径級では、フートで表わした、低い木と高い木の樹高差が大きいので、曲線AとBとの差は小さい。大径級では、大部分の木は老令で、含まれる令級も少ない。これらの大径木は殆んど優勢木か準優勢木である。したがって、大径級に適用される曲線AとBの位置は、同種の本の測定値が、サンプリングの両方式で得られるから、殆んど同じである。

中央直径級では、大部分の令級および根ての樹冠級の本が、機械的標本では一層均等に現われるので、両種のサンプリングの差は最小となる。ある直径級における被圧木の割合は、大部分その耐圧力耐感力で決まるから、この両種のサンプリング方法で生じた樹高対直径曲線の差は *black spruce* より耐陰力の強い樹種では一層小さくなるように思える。

實際的影響 *Practical effects*

曲線AとBとの差の實際的影響を調べるため *spruce* の平均樹高のイーカー当り材積を決め、百分率差を算出した。イーカー当り材積を決めるため、各曲線別の地方的材積表とその地位の標準材積表(1)から調製した。正常本数密度をもつ成熟林分について比較した結果が2表に示してある。

2表によれば、曲線Bを用いると、線Aを用いた時に比べて、1³単位の全木材積は、7.8%、材3単位の取引可能材積は5.1%低くなること示されている。これらの過小推定の割合は、調査を一般に許容できると考えられている誤差のかなりの部分を占めている。(5~10%)

過小推定の割合は、樹高対直径曲線の調製に用いられた優勢木、準優勢木の直径階内での割合と分布によつて変る。この種のテーブを用いる時には、百分率による修正を施すことができるが、これは推定された補正値だけについて行えるに過ぎない。

もつと信頼のおける方法は、2図に示してあるように、令級別に樹高対直径曲線を作ることである。樹高と材令には高い相関があるので、ある直径級における樹高の低い幼令の優勢木、準優勢木は、樹冠級の低い、比較的若令で樹高の高い木と区別される。後者のクラスの平均樹高を減すよりもむしろ機械的でない選び方をすればそれ自体の令級と樹冠級内の平均樹高の推定値は改善される。このようにすれば、各直径階で樹高の高い木の材積を過小推定することが防がれ、その結果もつと正確な材積推定値が得られる。

2表 曲線AおよびBから求めた材積^{3E1}の比較

DBH	イーカー当り本数	地方的材積表(材 ³)				イーカー当り材積			
		全木		取引可能		全木		取引可能	
		A	B	A	B	A	B	A	B
1	250	0.03	0.02			7.5	5.0		
2	260	0.2	0.1			52.0	26.0		
3	250	0.6	0.5			150.0	125.0		
4	240	1.2	1.1	0.9	0.9	288.0	264.0	216.0	216.0
5	200	2.4	2.2	1.9	1.7	480.0	440.0	360.0	340.0
6	120	3.9	3.7	3.3	3.1	468.0	444.0	396.0	372.0
7	69	5.7	5.6	5.0	4.9	393.0	386.4	345.0	335.1
8	9	8.0	7.9	7.2	7.1	72.0	71.1	64.8	63.9
9	1	10.8	10.6	9.8	9.6	10.8	10.6	9.8	9.6
10	1	13.9	13.9	12.6	12.6	13.9	13.9	12.6	12.6
計						1935.5	1786.0	1424.2	1342.2
							-7.8		-5.1

- 1 *black spruce* の地位
- 2 材直径 4 in - 伐根高 1 ft 上部直径 3 in

林分が記録されていない場合には、10 フィート又は 200 フィートの林分高の級に、樹高対直径の資料を簡化すれば、満足のゆく結果が得られるであろう。^{註2} 2 図に示してあるのと形が似ている曲線の束から適当な樹高対直径の関係を選ぶのに、林分の代りに、写真又は地上で測定した林分高が用いられる。

選定的でない方法以外の方法でとられた樹高対直径のデータはそれを用いて作られた樹高対直径曲線にかよりの量の誤差を導き出すことになる。優勢木 準優勢木だけによる樹高対直径曲線を用いれば、材積は過小推定されるであろう。適当にとられた材積町標本の場合には、このようなことは起らない。というのは、各樹冠級は、林分内における割合と同じ割合で標本内に配られるからである。

満足のゆく材積的標本がとれない場合には、選定した優勢木 準優勢木を含ませる必要がある。このような場合には、各級林分高級別に曲線を作れば、信賴のおける樹高対直径曲線と求めることができる。

註2 木量表の資料 A Bicherataff, Forestry Branch, Ottawa

参 考 文 献

- 1 Berry, A. B. and D. W. Maclean. 1955. Preliminary volume tables for the Northern Clay Belt, Ontario and Quebec. Canada, Dept. of Northern Affairs and National Resources, Forestry Branch. S. and M. 55-5
- 2 Chapman, Herman H. and Walter H. Meyer. 1949. Forest mensuration. McGraw-Hill Book Company, Inc. New York.

3. Maclean, D. W. and G. H. D. Bedell. 1955. Northern Clay Belt growth and yield survey Canada, Dept. of Northern Affairs and National Resources, Forestry Branch. Technical Note No. 20.
4. Maclean, D. W. and W. G. E. Brown. 1955. Preliminary empirical yield tables for black spruce, Forest Sections B. 4 and B. 9, Ontario and Quebec. Canada, Dept. of Northern Affairs and National Resources, Forestry Branch S. and M. 55-2.

by J. Knevez

(Forest Research Division Technical Note No. 92 1967)