

Pinus elliottii の林分収穫予測表の調製に関する研究

ESTUDO DE ELABORASAO DE TABELA DE RENDIMENTO
PARA PINUS ELLIOTTII VAR ELLIOTTII ENG

Masamichi Chyo

Nobor Haga

Hideyo Aoki

Quenji Yamazoe

1. はじめに	468
2. 収穫表の種類とその用途	469
(1) 収穫表の種類	469
(2) 収穫表の用途	469
3. 収穫表に関する基礎的条件の検討	470
(1) 法正収穫表と現実収穫表	470
(2) 収穫表と生長量表, 林分材積表	471
(3) 地 域	471
(4) 樹種, 作業種, 施業法等	472
(5) 地 位	472
(6) 立木密度と立木本数	472
(7) 間伐と除伐	473
(8) 林分構造	473
4. 調査対象地と樹種の選定	474
(1) 調査対象地の選定	474
(2) 収穫表調整対象樹種の選定	474
5. 現地林分の調査内容に対する検討	476
(1) 測定林分に対する調査事項	476
(2) 林木調査(測定)に対する具体的内容	478
A 胸高直径(DAP)の測定	478
B 樹高(Altura:H)の測定	478
C 枝下高(Altura do fuste)の測定	478
D 樹冠直径(Diametro da COPA)の測定	480
E 主林木(Árvore dominantes)および副林木(Árvore dominandas)の測定	480

F	生長量 (Incremento) の測定	481
G	林木位置 (Diresao arvores) の測定	481
H	その他測定	481
(3)	標準地 (調査プロット) の面積の検討	483
6.	現地調査	486
(1)	標準地の設定	486
(2)	標準地に関する林分調査	487
(3)	標準地の立木調査	487

— 以下，データ収集後，引きつづき取り纏めの予定 —

Pinus elliottii の林分収穫予測表の調製に関する研究

Masamichi CHYO

Nobor HAGA

Hideyo AOKI

Guenji YAMAZOE

1 はじめに

収穫表 (Tabela de Rendimento) は林木の生長量と収穫量を示したもので、造林計画、施業計画とその実行上の検討、経営計画、収支計画、等の林業経営や育林施業計画上の重要な指針となる。また、地位判定の尺度や保続生産、蓄積・生長量を含む森林資源の長期的予測、等への応用にも利用でき、さらに林学に関する各方面の研究や林業政策立案の際の資料としても貴重な役割を有する。とくに近年、構造材や建築材、パルプ原料、燃料材、等の需要の増大に伴ない、また公益的機能に対する評価の高まりにつれ、森林資源の重要性は一段と高まってきている。そのため森林の造成の急務と併せ、その適正な取り扱い、ならびに林業における木材生産の計画的、長期的見透しの必要性もとみに高まってきている。このような観点にもとづき収穫表の果すべき役割も極めて大きいものがあるといえよう。

林分収穫予測表の調整に関する本研究はこのような事情、なかんずく社会的背景を考慮して着手したものである。しかし森林、あるいはその中に成立する林木は土壌条件や気象条件、あるいは個々の樹木個有の生理生態に加え、それらの周囲を取り巻く植生その他多くの環境要因が大小様々の形で直接間接に関与している。また人工林の場合は人為的要素も少なからずプラスされ、その生立と生長のプロセスは極めて複雑多岐に亘っているのが常である。したがってこれらから得られるデータもまた複雑多岐な側面を有することとなる。収穫表はこのような多くの要因が介在するデータをもとに多面的、長期的に集約され調製されることになる。そのため調製された収穫表が実際の林分に対しどの程度の適合性を有するかは、それを利用しようとする人の知識の問題と併せ、今後に関する一つの研究課題であると考えらる。

収穫表に関しては多くの国でいろいろの研究が行なわれ、またその実行例がみられる。そんな中で本研究はデータの収集、分析検討等を含め、基礎的研究に主眼をおいて試みた。これを一つの礎として、今後、この部門の研究に対しさらに積極的に取り組み、そして使用目的や対象林分の現状に即した合理的な収穫表調製の手法ならびに適正な利用法に対する検討と究明を志向し、併せて、森林あるいは林業に対する適切・有効な取り扱いを意図するものである。

2 収穫表の種類とその用途

(1) 収穫表の種類

収穫表は、生産能力の異なる多数の林地につき、一定期間における林分生長のプロセスを詳細に調査し、これをいくつかの階層に分けて集約・表示したものであり、与えられた林地の生産力がその表の何れの階層（レベル）に相当するかを知ることによって、将来の生長量または収穫量を予測するものである。したがって収穫表は施業上、同一の樹種・作業法・地位における主林木や副林木の本数・材積・生長量などの諸要素を標準的な値として単位面積（1ha）当り、一定年齢毎にあらわしたものである。地位は生産能力を示す尺度としてしばしば重要な要因となる。年齢は5年毎にとられるのが普通であるが、短伐期林分ではこれよりも短く、また逆に長伐期林分は長く、対象林分に即して任意に設定されることもある。

収穫表は一般に材積収穫表を指すが、その使用目的や対象林分によって異なり、主として次のような種類に分けられる。

① 対象地域により

- a 一般的収穫表（全国的、あるいは全州的収穫表）
- b 地方的収穫表（地方的な基準を示す）

② 材積の内容により

- a 林分材積収穫表（立木幹材積で示す）
- b 利用材積収穫表（素材材積で示す）
- c 成材収穫表（板や柱等の成品として示す）
- d 樹木収穫表（広葉樹林等で全生立木を対象として示す）

③ 対象林分により

- a 法正収穫表（基準・正常林分を示す収穫表）
- b 現実収穫表（現状に即した経験的収穫表）

④ 収穫の対象により

- a 材積収穫表（材積量で示す）
- b 金員収穫表（貨幣価値で示す）

⑤ その他により

- a 重量収穫表（林分の全乾重量で示す）
- b 熱量収穫表（林木の熱量カロリーで示す）

(2) 収穫表の用途

収穫表は、一般には将来の蓄積・生長量、および収穫量などの予測を目的として利用されることが多いが、それを適用する対象林分や、対象林分に対する林業経営の目的、方針

等によってそれぞれ異なる。しかし一般には次のようなことがその用途としてあげられる。

- ① 林分材積の推定
- ② 林分生長量の推定
- ③ 地位の判定
- ④ 立木度（本数密度）の決定
- ⑤ 収穫量の予測
- ⑥ 樹種・作業種・伐期齢等の検討と決定
- ⑦ 森林の評価

3 収穫表に関する基礎的条件の検討

収穫表はその種類および使用目的によって種々の問題があり、検討課題を有する。この問題に対する認識と理解およびその検討が十分になされていないと、調製される収穫表が使用目的に合致しないことにもなりかねない。したがって収穫表調製のための現地調査、つまりデータ採取に当っては事前にいくつかの項目に対する基礎的条件を十分に検討しておく必要がある。本研究でも下記について検討を試みた。

(1) 法正収穫表と現実収穫表

法正収穫表（Normal Yield Tables）は基準蓄積、正常蓄積、あるいは合理的蓄積、等を目指した収穫表で、理想的または最適の立木密度のもとに成林した林分の蓄積および生長量を想定したものである。理想的または最適の立木密度とは林分における各林木が生長するのに十分な空間を占有し、正常に繁った樹冠が全樹高の1/3から1/2程度を保持し、強力ではあるが特別な太い枝にはならない枝葉をもつ林木によって占められているような状態をいう。Normalな樹冠のもとでは枝は大きくなる前に自然に枯れる程度の鬱閉をもつ。このような林分では直径生長はすべて均質で、かつ生長が早く、したがって材積生長もNormalとなる。しかしこのような林分は実際には極めて少なく、むしろ、この法正林は森林生産あるいは林業経営の一つの目標といえる。

これに対し、現実収穫表（Actual Yield Tables）は複雑多岐に亘る各種の立地条件、環境条件等のもとで生育している林分を対象に、現実（現状）に即したフォームでデータがとられ、これにもとづいて収穫表が調製されたものを指す。したがって前記の法正収穫表に対しては、経験的あるいは実証的収穫表ともいわれる。

収穫表調製に際しては法正収穫表を作るか、または現実収穫表とするかがまず最初の検討課題となる。理想としては法正収穫表が望ましいと考える。何故ならば林地に対する造林に始まり、その後の育林、および林業経営はこの法正収穫表により大きな規範がえられ

るからである。しかし、実際はこのような極めて少ないため必要とするデータの収集が困難となる。ここに法正収穫表調製の問題点がある。

(2) 収穫表と生長量表，林分材積表

今一つ，収穫表に示す数値上の問題として林分生長量，および林分材積表の問題がある。収穫表は現存する林分を対象に各種の項目に対する調査・測定が行なわれ，データがとられる。そして最終的に単位面積(1ha)当り，一定年齢毎の材積や生長量等が予測されることになる。したがって生長量や材積がどのような方法で求められ，またそれがどの程度の正確さを有するかは，それからえられる材積，生長量の結果，およびその結果にもとづいて調製される収穫表に大きく影響する。

生長量の査定(推定)方法はいろいろの方法がある。研究の目的や内容によってはかなり詳細で正確な方法も究明されている。しかし収穫表における生長量の問題は，林木の生長量を忠実・正確に示すことが目的ではなく，林木の将来の収穫を予測するためのものである。その間には間伐や枝打ち，枯損木等の要因も常に入ってくる。それによって長い期間には林分としての生長量は他の条件(立地条件，環境条件等)によって大小に変動する可能性を有する。したがって収穫表のための林分生長量の査定はこれらを加味したものでなければならず，当然，その手法も変わってくる。実際には，いろいろな条件，たとえば間伐や枯損等の要因が加わった状態で成林した各年齢の林分を測定することにより，年齢経過に伴う生長量の変遷を把握し査定することとなる。立地条件，環境条件等の必然的にその中に含まれる，との考え方が成り立つ。

林分材積表は，全木材積(幹材積)とするか，利用材積とするか，あるいは成材材積とするか，等の問題を有する。また，皮付(Com casca)材積か，皮内(Sem casca)材積かの問題もある。収穫表の基本をなすものが何れの場合も材積にあることを考えると，林分材積表の問題は極めて重要であるといえる。したがって，現在使用されている材積表がどのようなものであるか，またそれがどの程度の正確さを有するかが大きなポイントとなる。本研究では林分材積は既存の材積表の適合度の検定を試み，また調査実行上の観点から皮付，皮内材積の問題，等を検討した。

(3) 地 域

収穫表調製の対象地域により，一般的収穫表と地方的収穫表の2つに大別される。これは林分を調査し，データを収集し，また調製された収穫表を適用する範囲の広狭によって区別される。

林木は地質や土壌，傾斜度，傾斜方向，標高，等の立地条件，日照時間，降雨量，気温，湿度，風力，風向，降霜日数，等の気象条件，ならびにその他の環境により大きくその生長や形態を異にする。したがって同一樹種でも場所が変わり環境要因が変化することによ

り、材積や生長量等もこれに伴って変化するのが常である。そのため、これらを一つの母集団 (population) として、その地域毎に調製された収穫表を地方的収穫表といい、逆にこれらのいくつかを包括して広い地域を対象にデータが収集され調製されたものを一般的収穫表という。一般的収穫表は、たとえばサンパウロ州全域に跨る場合もあり、また州内をいくつかのブロック (区域) に分けることもある。

収穫表の調製はデータの収集、およびその後の分析検討、計算等に多大の労力と時間を要する。そのため、往々にして、一般的収穫表の調製のみが行なわれるケースが多い。しかし、一般的収穫表はこのように広い範囲を対象にデータがとられるため、材積や生産量が大きなところや小さいところが平均化された形となる。そのため、適用の場所によっては過大な推定 (予測) となったり、逆に過小となることは避けられない。したがって地方的収穫表がその適用場所にはより適合することになる。したがって対象地域の選定は費用の問題や調査スタッフにより、またその重要度や使用目的等により決定されるべき問題である。

(4) 樹種、作業種、施業法等

収穫表は樹種毎に調製されるのが原則であり常識である。しかし同一樹種でも生長状態の異なる品種では別個に調製することが望ましい。また逆に類似した生長のプロセスを辿る樹種については、これを合わせて一つの収穫表として調製されるケースもしばしばある。

植栽本数、除間伐、技打ち等の作業種や、高林、中林、矮林、択伐作業、混交林等の施業方法が大きく異なる場合には、それぞれ類似した作業種・施業方法等の別に収穫表を調製するのも収穫表の性質からいって当然である。

これらについては十分な、そして詳細な事前の踏 (調) 査により明確に分類し検討されるべき問題である。

(5) 地 位

林業における地位の区分はしばしば重要な要因となる。林業に用いられる林地の地位区分は一定の立木状態を前提として平均的な気候の経過を辿る場合に期待される生産性の判定の問題に帰する。厳密な意味での絶対的地位は存在しえないが、ある一定の立木状態に関連した地位の査定は可能である。林業での具体的な地位の査定方法としては、優勢木の上長 (樹高) 生長や総体的な材積生長量がその基準となる。また直径生長や土壌、土質等の要因を基準とする場合もある。したがって地位は現実に即して決定され、またこれは必ずしも恒久的なものではありえない。サンパウロ州の場合は多分に検討の余地を感じる。これについてはデータの収集とその分析検討の結果に待つこととした。

(6) 立木密度と立木本数

立木密度 (Grade of density) は単位面積内の立木の密度の度合を示すもので、絶

対的立木密度や相対的立木密度であらわす。絶対的立木密度は林分で直接測られた数値そのもので、他の林分に関係なく示される。これに対し相対的立木密度はある基準数値に対する相対的な数値として示され、したがって他の林分と相互に比較することができる。収穫表調製にこの立木密度を独立変数として用いる考え方は割合新しく出てきたことであり、分検検討の価値があると考ええる。なお、密度そのものを示す因子としては他にも樹冠占有面積、胸高断面積、材積、本数、立木密度指数 (Stand-density index) 等がある。

立木本数は収穫表の構成要素の中で重要な要因をなすものである。立木本数は測定が容易であり、また数値標示の根拠もはっきりしており、確実性も高いので、収穫表のみに止まらず、調査や作業、収穫等の多くの研究や実務の面で利用される。また、本数は他の測定要因と共に材積と密接な結びつきを有する。したがって収穫表調製のための調査(測定)にはとくに正確な把握が要求されることになる。

(7) 間伐と除伐

間伐はその収穫量が全収穫量に対して占める比率が高いばかりでなく、林木生長のプロセスに対しても極めて強い影響を与えている。したがって収穫表調製に際しても重要な要因となる。とくに生長旺盛な林木の場合は、造林後間もなくして間伐が介在してくるので、収穫表にこの間伐収穫が盛り込まれておく必要がある。なお、一般には林木に対しては主林木と副林木に分けられる。間伐はその目的によって異なるが、通常は主林木の生長を促進させ成林を図ることを方針とすることが多いため副林木がその対象となることが多い。収穫表における収穫予測はこの間伐収穫を含めたものでなければならぬのは当然であろう。

除伐はサンパウロ州では殆んどその対象とされていない。しかし被圧され生長が完全に停止した林木で間伐の対象にもなりえない林木、あるいは病害木、虫害木、枯損木等は早期に伐倒し、他の正常な林木の生長を促進させるためのいわゆる除伐も、今後、検討の対象とすべきではないかと考える。

(8) 林分構造

林分構造の要因としては、樹高、直径、本数、断面積、材積、等がある。またこれらの組み合わせによる場合、たとえば、直径と本数の組み合わせによる直径階別本数分布曲線、直径と材積を組み合わせた直径階別材積百分率、等の図表がある。これらの要因が基準として示されていることは、単なる収穫予測のみに止まらず、林木の生長および成林過程における作業や施業上の指標をうるためにも極めて有効的であると考ええる。指標の基準としては平均直径、平均樹高、平均断面積、あるいは平均材積、等として示される他、その範囲つまり最小値から最大値までの基準的尺度や標準偏差 (SD) 等も検討の価値があろう。なお、これらは実際に収穫表調製の時点で分析検討の上、具体的方法について考究を試みること

とする。

その他、生長量と生長率、主林木と副林木、林齢の査定、ならびに胸高直径、樹高、枝下高、樹冠直径、等の各測定項目の問題もあるが、これらは必要に応じ現地調査、およびデータの各種分析検討の時点で検討と考究を試みることにする。

4. 調査対象地と樹種の選定

(1) 調査対象地の選定

前項3により試みた、収穫表に関する基礎的条件の検討結果にもとづき、一応、地方的一林分材積収穫表の調製を目標とし、サンパウロ州内数個所の州有林を予備踏査し、研究調査の対象地としてAguas de Santa Barbara州有林、面積5,000haを選定した。

Aguas de Santa Barbara州有林はサンパウロ市より西へ330kmの距離に位置し、全林地がほぼ平地林となっている。また、年平均気温20℃、年平均降雨量1,300mmを示しており、サンパウロ州ではおおむね平均的な地形と気象条件を呈している。ここには主としてPinus elliottii、Pinus oocarpa、Pinus taeda、Pinus hondur、Pinus khasia、その他のマツが造林されており、マツ造林面積3,056haに達する。齢級配置も造林直後の若齢林(4年生)から伐期間近の20年生(1981年時点)まで誇っており、収穫表調製のための研究調査対象地としての条件は一応備っていると見なされる。

このAguas de Santa Barbara州有林にはマツの他にもユーカリが造林されているが、その面積は僅少に過ぎない。これらのマツ、ユーカリは全て第1期造林地であり、森林の前歴は草原(campos)である。

(2) 収穫表調製対象樹種の選定

Aguas de Santa Barbara州有林におけるマツの品種別年齢構成は表-1に示すとおりである。なお、表中の数値(林分数)は1 Talhaoをあらわし、1 Talhaoは500m×500m=25haが一応の基準となっている。

表-1から、品種別ではPinus elliottiiが一番多く、107Talhaoとなっており全体の56.6%を占めている。次いでPinus oocarpaの37Talhao(19.6%)、Pinus taedaが18Talhao(9.5%)、等となっている。しかし年齢配置ではPinus elliottiiは若齢林は全くみられず、13年以上に偏っている。若齢林はむしろPinus oocarpaに多いが、これは逆に14年以上の齢階に欠ける。Pinus taedaはPinus elliottiiと同じように14年以上の齢階に偏っている。

ともあれ、Aguas de Santa Barbara州有林ではPinus elliottiiが圧倒的に多いこと、また、このPinus elliottiiはそろそろ伐期に近づいていること、等の事情から、収穫表調製のための対象樹種にはこのPinus elliottiiを選定した。

表-1 Aguas de Santa Barbara州有林内マツの品種別年齢構成

年 齢	P i n u s							
	ellio- ttii	ooca- rpa	taeda	hondur	hasia	baham- ensis	patula	
4		6		3				9
5		17						19
6								
7								
8								
9								
10		11		1			1	13
11		1		5				6
12		1		7				8
13	11	1				1		13
14			3		7			10
15	3							
16	27		1					28
17	22							22
18	24		7					31
19	10							10
20	10		7					17
計	107	37	18	16	9	1	1	189
面積 (ha)	1797.9	498.0	279.5	313.9	156.6	8.0	2.0	3055.9

因みにAguas de Santa Barbara州有林でのPinus elliotiiは一応25年伐期が目標として設定されている。なお、Pinus elliotiiの生長はサンパウロ州では必ずしも良好とはいえず、ほぼ中庸の状態である。したがって比較対照および地位別収穫表調製、等のためには他の地域のPinus elliotiiについてもデータ収集が検討されなければならないであろう。

なお、収穫表の内容を法正収穫表 (Normal Yield Tables) とするか現実収穫表 (Actual Yield Tables) にするかは、実際に林分を調査し、データの分析検討を行なったあとでないと、その林分構成の内容がはっきりしないため、その時点で改めて検討することとした。

5. 現地林分の調査内容に対する検討

(1) 測定林分に対する調査事項

森林は複雑な気象条件や立地条件、土地条件、その他の環境の影響を直接間接に受け、加えて長年月に亘る生長のプロセスを経るため、その成立条件も極めて多岐に亘る。したがってこれらの要因を各測定林分、つまり標準地毎に可能な限り詳細に調査し記録しておくことは収獲表調製上必要不可欠な事項であると考えられる。したがってこれらのことを考慮に入れ、後日、いろいろの視点からの分析検討のためのデータに供することを目的として、各測定林分毎に下記の内容に対する調査事項を設けた。

1) 整理事項

(Arrangement) (Caracterizacao)

- A 番 号 (Number) (No da parcela)
- B 場 所 (Situation) (Localizacao)
- C 区画番号 (Sample plot number) (Talhao.No)
- D 調査年月日 (Date of survey) (Data de medicao)
- E 調査者氏名 (Name of survey) (Nome do medicao)

2) 林分のタイプおよび標準地面積

(Forest type and sample plot area etc)

(Tipo Florestal da area da amostragem (Parcela))

- A 樹 種 (Species) (Especie)
- B 林 齢 (Stand age) (Idade)
- C 植栽間隔 (Planting distance) (Espacamento inicial)
- D 間 伐 (Thinning) (Desbaste)
- E 枝 打 ち (Pruning) (Desrame)
- F 病 虫 害 (Forest pests & diseases) (Paragas e doencas)
- G 火 災 (Forest fire) (Incendio)
- H 標準地面積 (Sample plot area) (Area)

3) 気象条件

(Meteorological phenomena) (Dados meteorologicos)

- A 降 雨 量 (Rainfall) (Precipitacao anual)
- B 温 度 (Temperature) (Temperatura)
- C 降霜日数 (Number of days forest falls) (Dias de geada)
- D 風力・風向 (Force & direction of wind) (Direcao e velocidade dos ventos)

E 湿度 (Humidity of air)(Umidade relativa)

4) 土地条件

(Land features)(Dados Fisicos)

A 傾斜方位 (Direction of tilt)(Exposicao)

B 傾斜度 (Inclination angle)(Declividade)

C 前 歴 (Soil history)(Vegetacao anterior)

D 土 性 (Soil struction)(Tipo de solo)

E A 層 厚 (Depth of A horizon)(Profundidade do horizonte)

F 下草植生 (Undergrowth)(Vegetacao do sub-bosque)

G 土壤湿度 (Humidity of soil)(Cap retencao de agua)

H 結 合 度 (Consistency)(Grau de consistencia)

I 標 高 (Elevation)(Altitude)

以上の測定林分に対する調査事項は、内容と必要に応じ、個々の項目についてはさらに細かく分類した。たとえば、2-B:林齢(Idade)は植栽年(Ano de planto)が2年に跨っているため、それが判るように括弧()の中で内訳を記載するようにした。2-C:植栽間隔(Espacamento inicial)は具体的に数字で記入し、ha当り本数も標示することとした。2-D:間伐(Desbaste)は一応の基準はたとえば植栽本数ha当り2000本の場合は

7年目:第1回間伐40%	間伐本数	$2000 \times 0.4 = 800$ 本	残存本	1200本
9年目:第2回 " 40%	"	$1200 \times 0.4 = 480$ 本	"	720本
13年目:第3回 " 40%	"	$720 \times 0.4 = 288$ 本	"	432本
18年目:第4回 " 40%	"	$432 \times 0.4 = 173$ 本	"	259本
25年目:皆伐(この時点でDAP=40cmが目標)				

と設定されている。しかし実際はこの基準どおりに間伐は実行されておらず、全体的には遅れているケースが多い。これらの実態が詳細に分るように、間伐年・間伐率・間伐材積を各間伐毎に記載するようにした。3-B:温度(Temperatura)は年平均気温と共に年間の最大(maxima)・平均(media)・最小(minima)について記載する。また、4-G:土壤湿度(Cap retencao de agua)は土壤を手で握り締めても形を残さず崩れてしまう状態のものは乾(seco),形が残り手の掌に水分による湿り気が残る程度を中(semi unido),指の間から水分が滲み出てくる程の状態の場合は湿(umido),の3段階に観察的に分類してその結果を記入するようにした。

また、それぞれの標準地(Sample plot)はその林分(Talhao No)の中で位置がはっきり判るように標準地位置図を作り記録するようにした。これは、後日の追跡調査のため

め、ならびに必要な応じ再測および分析検討の用に供するため、その測定はポケットコンパスによった。さらに、このあとの調査野帳 (Caderneta de campo) の使用枚数、その他、参考となる事項についてメモできるような簡単な Nota の欄も設けた。

以上の内容 (調査事項) はこれを林分調査野帳 (Dados para elaboracao de tabelas de rendimento) として 1 枚に纏め、表-2 のとおり作成した。これは各測定林分 (Sample plot) 毎に調査され記載されるものである。

(2) 林木調査 (測定) に対する具体的内容

測定対象林分に対する前項(1)の調査事項の検討と併せ、実際に調査 (測定) される標準地内の林木に対する測定内容について、収獲表調製のためのデータと関連させ、予備調査等にもとづいて観測された現地林分や立木の状態を考慮し、下記のとおり検討し、具体的な調査要領を確定した。

A 胸高直径 (DAP) の測定

胸高直径に対する測定は皮付 (Com casca) を輪尺により 1 cm 括約 (単位) で 0.5 cm まで測定する。測定方向はとくに限定しないが、直径が偏倚して生長している場合は最大方向 (maxima) と最小方向 (minima) の 2 方向を測り平均直径 (media) を求めることとする。胸高の高さは 1.3 m とし、生木のみを測定対象に、標準地内は全林毎木する。

B 樹高 (Altura : H) の測定

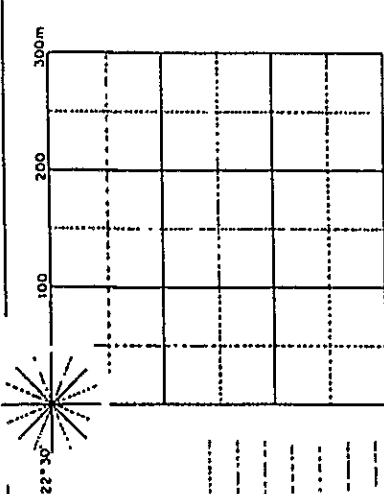
樹高の測定はシュピーゲルレラスコープ (Spiegel relaskop) により 0.5 m 単位で胸高直径測定木についてはすべて実測する。二叉木等の場合は梢頭が高い方の樹高を以ってその木の樹高と見做す。また傾斜木は、樹高が材積を求めるための測定であることから可能な限り樹長測定を原則とする。先折れ、先枯れ木等の場合は生木の部分までを樹高測定の対象とする。

C 枝下高 (Altura do fuste) の測定

枝下高の測定は次の D 樹直径 (Diámetro da COPA) の測定値と共に樹量推定の基礎となり、これは林地生産力推定に結びつくデータともなる。また利用材積測定のためのデータとしてもしばしば用いられる。枝材、柱材等の建築材に利用される場合は強度や美観上の観点から無節材生産のための枝打ち作業の基準ともなる。自然に放置された場合の枝条の枯れ上りは立木密度および林木の特性等から樹木生理学の研究対象としても利用されうる。枝下高の測定は力枝といわれる生枝から下の部分とその対象となる。既に枯死し生葉を着けていない枯れ枝は含まれないのが普通である。測定は樹高と同じようにシュピーゲルレラスコープで 1 m 括約、0.5 m 単位で測定する。

表一2 測定林分に対する諸要因の調査野帳

Dados para elaboração de tabelas de rendimento
{Data of the manufacture of yield table}

Caracterização (Arrangement)			
A	Nº da parcela (Number)		
B	Localização (Situation)		
C	Talhão nº (Sample plot number)		
D	Data de medição (Date of survey) de 19. de 19.		
E	Nome do medidor (Name of survey)		
2		Tipo Florestal da área de amostragem (Parcela) (Forest type and sample plot area etc) Espécie (Species) Idade (Stand age) Ano de plantio Espacamento metral (Planting distance) Densidade de plantio Desbaste (Thinning) Nº 1 19. Nº 2 19. Nº 3 19. Nº 4 19. Nº 5 19.	
3		Dados meteorológicos (Meteorological phenomena) Precipitação anual (Rainfall) Temperatura (Temperature) Média Mínimo Dias de geada (Nr of days forest ions) Direção e velocidade dos ventos (Force & direction of wind) Direção Velocidade Umidade relativa (Humidity of air)	
4		Dados físicos (Land features) Exposição (Direction of tilt) Declividade (Inclination angle) Vegetação anterior (Soil history) Tipo de solo (Soil structure) Profundidade do horizonte (Depth of A horizon) cm Vegetação do sub-bosque (Undergrowth) Cap. retenção de água (Humidity of soil) Seco Semi úmido Úmido Grau de consistência (Consistency) Altitude (Elevation) m	

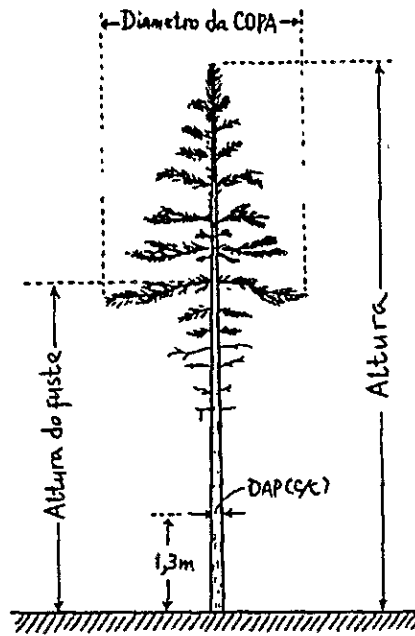


図 - 1 林木の主要測定要領

D 樹冠直径 (Diametro da COPA) の測定

樹冠直径は樹冠量推定の基礎データとなるばかりでなく、林分の樹 疎密度測定のための基礎データとしても重要な役割りを有する。また樹冠の鬱閉度算定のデータとして、間伐指針にも供せられる他、空中写真材積表調製のためのデータにも用いられる。その測定はテープにより最大方向と最小方向の2方向を測り平均樹冠直径を0.1m単位で求める。一般には力枝の長さその基準となるが、空中写真材積表としてデータをとる場合は空中写真上可視樹冠直径、つまり上の方からみた状態で測定する。したがって隣接する林木間では下方にあって上からは見れない樹冠部分は測定の対象外となる。

E 主林木 (Arvores dominantes) および副林木 (Arvores dominandas) の測定

林木が正常に生長していて樹 部分が上層を形成しているものを主林木とする。これに対し、林木が被圧されているものや生長が著しく劣り、主林木の下に樹冠があるような林木を副林木と見做す。風害による半倒木や病害木、虫害木、二叉木、先枯れ木、先折れ木等で材の利用価値が甚だしく劣るものも副林木の対象とする。一般に、副林木は

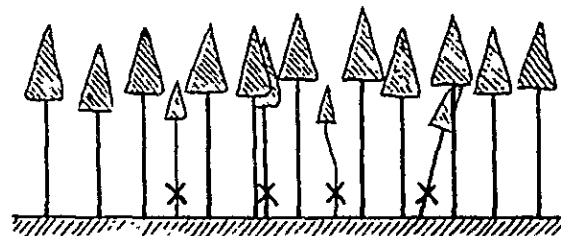


図 - 2 主林木と副林木の分類 (×印 : 副林木)

間伐あるいは除伐の対象となる場合が多い。したがって林木と林木が極端にくっつき合っているものや、地際から二又木となっている場合も、他方（主として生長が劣る方）を副林木と見なし間伐の対象とすることがある。

F 生長量 (Incremento) の測定

生長量は収穫表における極めて大きな要素となる。したがって本研究調査でも生長量推定のための現地調査を標準地内で実施すべく検討した。しかし、収穫表調製のための標準地調査はそれ自体、調査項目が多く、また詳細な測定を必要とし、大変な作業であるので、実際には別の方法で対応することとし、収穫表データの調査とは切り離す結果となった。なお、必要に応じ調査が出来るよう、一応、調査野帳の中に、生長錐調査としてのコアー (Aneis) 測定および樹皮厚 (casca) 測定の欄を組み入れた。

G 林木位置 (Direcao de arvores) の測定

調査され測定された林分ならびに標準地について林木位置が測られ、その位置図が作られておれば、各種の分析検討の際の参考データとして便利であるばかりでなく、収穫表調製後、その測定および予測値の妥当性、生長経過のチェック、施業遂行上の吟味検討、等のための後日の追跡調査に際しても極めて便利であり、むしろ必要不可欠ともいえる。林木位置図に代るものとして、林木にペンキで番号や記号を付したり、ラベル（番号札）を付ける。等の方法もある。しかし生長旺盛なマツ林ではペンキはすぐに見辛くなり、またラベルも長年月の間には腐蝕や紛失等の懸念がある。これらを防ぐ方法として、ここでは標準地内の中心点を基点にポケットコンパスで各立木の方角 (Graus) と距離 (Metragem) を測定し、野帳に単木毎に記録する方法をとった。これにより林木位置測定結果は野帳と共に長く保存可能となる。なお、標準地の中心点の位置は、5-1) に説明した標準地位置図 (表-2 参照) により確認される仕組みである。また、中心点には腐蝕等に耐えるものを埋設または建てる予定である。

H その他の測定

以上の他に、二又木、先枯れ木、先折れ木、風衝木、病害木、虫害木、等は副林木としてのマークとは別に Nota の欄にメモし、記録するようにした。これにより対象林分 (標準地) 内におけるそれぞれの本数分布、あるいは材積分やその百分率のデータがとられ、必要な分析と検討がなされることとなる。

標準地内の林木に対する以上の調査 (測定) 項目は、これを林木調査野帳形式により表-3 のとおり作成した。なお、この調査野帳には、一般的事項として、通し番号 (No da parcela), 調査場所 (Localizacao), 標準地番号 (Talhao No), 樹種 (Especie), 林齢 (Idade), プロット (標準地) 面積 (Area, ha), 調査年月日 (Data de medicao), 等も併せて記入するようにし、表-2 の測定林分に対する調

表-3 標準地内の林木調査野帳

Nº da parcela Espécie	Nº Árvores (No.)	Árvores Demandadas (OT or ST)	DAP (D B H)		H (H)	Volume (V)	Altura do Fuste (Clear Length) (m)	Dímetro do Capa (C D) (m)	Incremento (Increment)		Direção de Árvores (Tree Position)		Nota (Memo)
			Medição (Measurement) (cm)	Média (Mean) (cm)					Andis (Core) (mm)	Casca (Bark) (mm)	Gráus (Azimuth) (°)	Metrogem (Length) (m)	
1													
2													
3													
4													
5													
6													
7													
8													
9													
0													
1													
2													
3													
4													
5													
6													
7													
8													
9													
0													

査野帳 (Dados para elaboracao de tabelas de rendimento) と対応させ組み合わせるようにした。したがって1標準地の調査は、表-2 (1枚) および表-3 (1枚で20本の林木が測定されるので、1標準地内に生立する林木本数に応じた複数枚となる) により1ペアーを以て構成されることになる。

(3) 標準地 (調査プロット) の面積の検討

収穫表調製のためのデータ収集に際して事前に検討すべき重要な問題の一つに標準地 (調査プロット) の面積がある。収穫表調製のための標準地は他の調査、たとえば蓄積推定のためのプロット調査とは本質的に異なり、調査内容が多岐に亘るうえ、各調査項目は正確に行なわなければならないため、調査個数がある程度限定されることになる。したがって1つ1つの標準地は変動係数をできるだけ小さくするため、言い換えれば安定したデータをうるため、大き目にとることが要求される。一般に収穫表調製のための標準地面積は0.2ha、または1標準地内に200本以上の林木が含まれることが必要とされている。この面積 (0.2ha)、あるいは本数 (200本以上) は決して小さな数値ではない。したがって調査は大変な作業となる。しかしこれは標準地間の変動係数、つまりばらつきを少なくすることに他ならない。これが他の、たとえばサンプリング調査等の場合と本質的に大きく異なる所以である。

調査対象地である Aguas de Santa Barbara 州有林の *Pinus elliottii* の造林地は、すべて一定間隔に整然と植栽されている。したがって標準地面積の大小による影響はさほどは無いものと思料される。若しそうだとすると、可能な限り調査面積は小さい方が調査労力ならびに調査工程上有利であると考えられる。ところが造林後、ある年数を経過することにより間伐という人工手段が介在するという別の問題が生じる。間伐に際しては間伐材搬出のための自動車 (トラック) 道として約10本目毎位に列状間伐が行なわれている。この列状間伐による本数増減が標準地面積の大小に対しどの程度影響するかは面積決定上、大きな問題となる。

そこで、その影響度をチェックのため予備調査の1つとして対象林分内6箇所について標準地を設定し、図-3に示すように中心点を基点としてそれぞれの面積サイズの標準地を重複させて

- ① $50\text{ m} \times 50\text{ m} = 0.25\text{ ha}$
- ② $50\text{ m} \times 25\text{ m} = 0.125\text{ ha}$
- ③ $31.62\text{ m} \times 31.62\text{ m} = 0.10\text{ ha}$

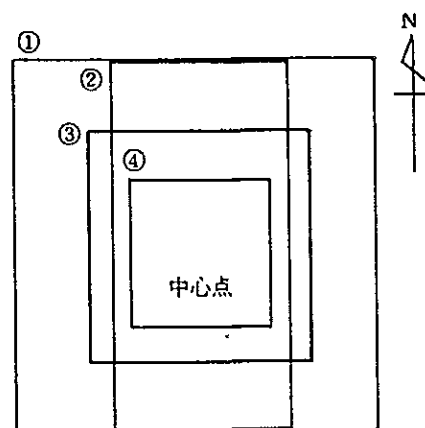


図-3 標準地面積検討のための面積標準地の設定

④ 20m×20m=0.04 ha

の4つの標準地をとった。そしてそれぞれは独立した標準地と見做して毎木測定し、立木本数に対する有意差の有無の検定を試みた。表-4は各面積サイズ別標準地の立木本数(n)、およびha当りに換算した本数(N)を示したものである。

表-4 標準地面積別立木本数一覧表

プロット別 面積	調査地 No.1		No.2		No.3		No.4		No.5		No.6	
	n	N	n	N	n	N	n	N	n	N	n	N
① 50×50m(0.25ha)	256	1024	331	1324	296	1184	511	2044	158	632	227	908
② 50×25m(0.125ha)	117	936	163	1304	138	1101	247	1976	101	808	129	1032
③ 31.62×31.62m(0.10ha)	98	980	136	1360	114	1140	206	2060	88	880	100	1000
④ 20×20m(0.04ha)	38	950	56	1400	41	1025	78	1950	36	900	40	1000

表-4にもとづき、ha当り本数(N)を対象とする各面積サイズ別有意差の有無の検定はt-検定により下記のとおり試みた。t-検定に先立ち、ha当り本数(N)をxとし、表-5のとおり $\sum x$ 、 \bar{x} 、 $\sum x^2$ 、および参考までに標準偏差(SD)を求めた。

表-5 $\sum x$ 、 \bar{x} 、 $\sum x^2$ およびSD計算表

	$\sum x$	\bar{x}	$\sum x^2$	SD
① 50×50m(0.25ha)	7116	1186.0	9605232	482.8366
② 50×25m(0.125ha)	7157	1192.8	9411177	418.1074
③ 31.62×31.62m(0.10ha)	7420	1236.7	10127600	436.2415
④ 20×20m(0.04ha)	7225	1204.2	9525625	406.3301

$$(注) SD = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum (x - \bar{x})^2} \text{ による}$$

t-検定は面積が一番大きい①の50m×50m=0.25haを基準とし、②50m×25m=0.125ha、③31.62m×31.62m=0.10ha、および④20m×20m=0.04haのそれぞれと①との検定を下記のとおり行なった。

(i) ①と②のt-検定

$$d = | \bar{x}_{①} - \bar{x}_{②} |$$

$$= | 1186.0 - 1192.8 | = 6.8$$

$$s_{\textcircled{1}}^2 = \frac{\sum x_{\textcircled{1}}^2 - \bar{x} \cdot \sum x_{\textcircled{1}}}{n_{\textcircled{1}} - 1}$$

$$= \frac{9605232 - 1186.0 \times 7116}{6 - 1} = 2331312$$

$$s_{\textcircled{2}}^2 = \frac{\sum x_{\textcircled{2}}^2 - \bar{x} \cdot \sum x_{\textcircled{2}}}{n_{\textcircled{2}} - 1}$$

$$= \frac{9411177 - 1192.8 \times 7157}{6 - 1} = 1748615$$

$$s_d = \sqrt{\frac{s_{\textcircled{1}}^2}{n_{\textcircled{1}}} + \frac{s_{\textcircled{2}}^2}{n_{\textcircled{2}}}}$$

$$= \sqrt{\frac{2331312}{6} + \frac{1748615}{6}} = 260.7658$$

$$t = \frac{d}{s_d}$$

$$= \frac{68}{260.7658} = 0.26 \text{ not sig}$$

(ただし $DF = 2(n-1) = 2(6-1) = 10$ における

$$t_{.01} = 3.169, \quad t_{.05} = 2.228$$

(ii) ①と③の t-検定

$$d = | 1186.0 - 1236.7 | = 50.7$$

$$s_{\textcircled{1}}^2 = 2331312$$

$$s_{\textcircled{3}}^2 = \frac{10127600 - 1236.7 \times 7420}{6 - 1} = 1902572$$

$$s_d = \sqrt{\frac{2331312}{6} + \frac{1902572}{6}} = 265.6402$$

$$t = \frac{50.7}{265.6402} = 0.191 \text{ not sig}$$

(iii) ①と④の t-検定

$$d = | 1186.0 - 1204.2 | = 18.2$$

$$s_{\textcircled{1}}^2 = 2331312$$

$$s_{\textcircled{4}}^2 = \frac{9525625 - 1204.2 \times 7225}{6 - 1} = 1650560$$

$$s_d = \sqrt{\frac{2331312}{6} + \frac{165056.0}{6}} = 257.6131$$

$$t = \frac{182}{257.6131} = 0.071 \text{ not sig}$$

以上の検定結果は何れの場合も有意差は無かった。個々について対比してみると相互に若干の差異があるが、この程度の差異は統計上は問題ではないのであろう。したがって標準地調査はどのサイズの面積によっても差支えないことになる。しかしこの項のはじめにも触れたように、収穫表調製のためのデータ収集として調査される標準地は、その内容の複雑さと共に測定精度が要求されるため、結果的に調査個数が制限されることになる。したがってこれをカバーするためにも面積はある程度の大きさが必要であると考え。これらのことを考慮して、Agua de Santa Barbara州有林におけるPinus elliottiiの収穫表調製のための標準地調査は③の3162m×3162m=0.10haに より実施することとした。

6. 現地調査

(1) 標準地の設定

調査対象林分に対する標準地の設定は、先ず、標準地の中心点の決定から始まる。標準地の中心点の決定は常に次の方法によることとした。

- ① 調査対象林分 (Talha) の北東 (NE) 隅を常に起点とする。
- ② この起点から林分の林縁に沿って原則として南 (S) 方向に 100m すすむ
- ③ そこから直角 (90°) に林内に向って 100m 入る。
- ④ その地点を標準地の中心点とする。

いま、標準地番号 3 (No da parcela 3) について実測例を示すと、調査対象林分の Talhao No 125 の北東 (NE) 隅の起点から (S) 方向の林縁に沿ってポケットコンパスで方位を測ると N 160° 30' S となった。これにもとづいて起点から南 (S) 方向の林縁に沿い、100m すすむ。この 100m の地点から林内 (右) に 90° の角度を設定する。その時の N 方向からの旋

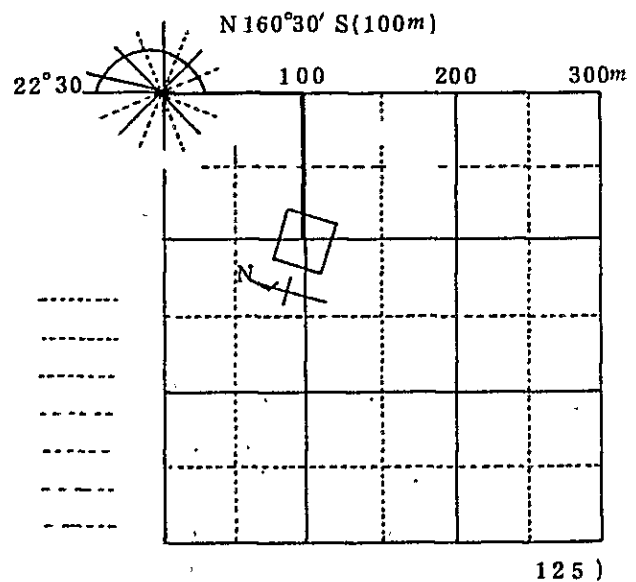


図-4 標準地の中心点決定のためのコンパス測量の方法

回角は $160^{\circ}30' + 90^{\circ}00' = 250^{\circ}30'$ となる。この方位をポケットコンパスにより確め、そして林内に向って真っ直ぐ 100 m の距離をとり、標準地の中心点を決定する。以上はこれを林分調査野帳 (Dados para elaboracao de tabela de rendimento) (表-3) に記録する。図-4 はその記録例を示したものである。林内に 100 m 入るのは、林縁木、風衝木、病虫害被害木、その他、林縁に原因する影響を防ぐための処置で、これだけ入っておれば林分の平均的状态にあると見做したためである。

標準地の中心点が決定したら、標準地面積 $31.62\text{ m} \times 31.62\text{ m} = 0.10\text{ ha}$ の区画設定を行なう。標準地の区画設定は図-5 のとおり、北 (N) 方向を基準として、区画標準地の 4 辺が

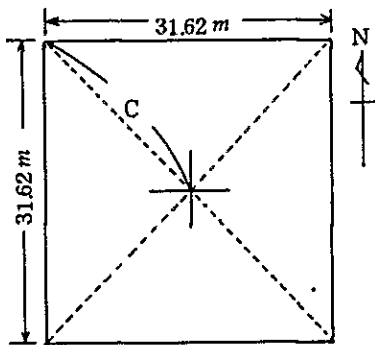


図-5 標準地の設定方法

常に東 (E)・西 (W)・南 (S)・北 (N) となるようにした。なお、標準地は中心点より方形プロットの 4 隅に向ってポケットコンパス測量により各対角線 (c) に対し

$$\begin{aligned} c &= (\text{Cosec} 45^{\circ} \times 31.62) / 2 \\ &= \left(\frac{1}{\sin 45^{\circ}} \times 31.62 \right) / 2 \\ &= 22.36\text{ m} \end{aligned}$$

の距離をとり、これにより $31.62\text{ m} \times 31.62\text{ m}$ の標準地設定とした。

(2) 標準地に関する林分調査

標準地の区画設定が終わったら、次に標準地を取り巻く林分 (Talhao) の林分調査を前掲の表-2 の野帳にもとづいて実施する。この中で、間伐、枝打ち、病虫害、火災、等の林分のタイプおよび標準地面積の項 (Tipo Florestal da area da amostragem (Parcela)) は記録簿等により正確に行なう。また、降雨量その他の気象条件 (Dados meteorologicos) は Aguas de Santa Barbara 州有林全域を対象とした。しかし、傾斜方位、傾斜度等の土地条件 (Dados fisicos) は各標準地毎に厳密に行なった。

(3) 標準地の立木調査

以上の作業が済んだら、いよいよ区画設定された標準地内の立木に対する毎木調査に移る。毎木調査は 5-(2) により検討された内容にもとづいて単木毎に正確に測定を行なった。測定された各データはこれも前掲の表-3 の野帳に記録された。野帳は 1 枚で 20 本記入される。したがって複数枚に及ぶときは野帳の最下欄右下の () の欄に通し番号を付す。たとえば立木本数 114 本の場合は野帳は 6 枚となるので、それぞれに (6-1), (6-2), …… (6-6) と記入した。そして最後に上記(2)の林分調査野帳と共に 1 ペアとしてファイルした。材積の計算は後日の内業とした。

「樹高測定補助板」(Aid scale)の試作とその測定精度のチェック

RÉGUA AUXILIAR PARA DETERMINACAO DE ALTURA -
PROTÓTIPO E TESTE DE PRECISAO

Masamichi Chyo

Hideyo Aoki

Nobor Haga

1. はじめに	489
2. 「樹高測定補助板」(Aid scale)の理論	489
3. 「樹高測定補助板」(Aid scale)の目盛の計算	491
4. 「樹高測定補助板」(Aid scale)の作成	497
5. 「樹高測定補助板」(Aid scale)による樹高測定のテスト	497
6. 樹高測定の結果に対する有意差検定	499
(1) 計算の方式	505
(2) 測定者Bの計算結果(例)	506
7. 考 察	507
(1) t - 検定の結果に対する考案	507
(2) Aid scale による樹高測定上の注意	508

「樹高測定補助板」(Aid scale)の試作とその測定精度のチェック

MASAMiCHi CHYO

NOBOR HAGA

HiDEYO AOKI

1 はじめに

樹高(Altura)は胸高直径(DAP)と共に材積測定上の重要なファクターであるばかりでなく、森林の地位を表わす指標としてもしばしば用いられ、林木測定上、欠かすことのできない計測要因の一つである。その測定は目的によっていろいろの方法がとられる。試験地調査や生長量測定、あるいは特殊の研究目的の場合は測高器の使用による正確な測定が行なわれる場合が多い。これに対し大面積森林を対象とするサンプリング調査や林小班単位(Tal-hao)の毎木調査、収穫調査等の場合は工程の関係もあって測器の使用や実測値との比較目測、あるいは標本木の実測による樹高曲線の利用、等のケースも考えられる。しかし単木毎の樹高が要求される場合は比較目測が工程上最も効率的であるといえる。その場合の測定精度や工程は、対象となる森林や林木により、また測定者により左右されることが多い。そこで樹高の測定を比較目測によって行なう場合の精度の安定化に対する試みの一つとして、「樹高測定補助板」(Aid scale)を考案し、その試作を行なった。そこで、その作製方法とこれを使用した場合の樹高測定の精度について以下に報告する。

2 「樹高測定補助板」(Aid scale)の理論

いま、 H の樹高を有する林木に対し、測定者が樹高を測定する状態を模式図に示すと図-1のとおりとなる。

図-1において、 b は測定者から林木までの距離、 h_e は測定者の目までの高さ、 a は $H - h_e$ 、つまり測定者の目から上の林木をあらわすものとする。 h_e の値は測定者により異なる。したがって樹高の測定は a を測ることになる。 a が測られれば、 $a + h_e = H$ により樹高が求められる。なお a は

$$a = b \cdot \tan \alpha$$

$$\tan \alpha = \frac{a}{b}$$

により求められる。

ここで、「樹高測定補助板」(Aid scale)による場合、 b はAid scaleまでの長さ b'

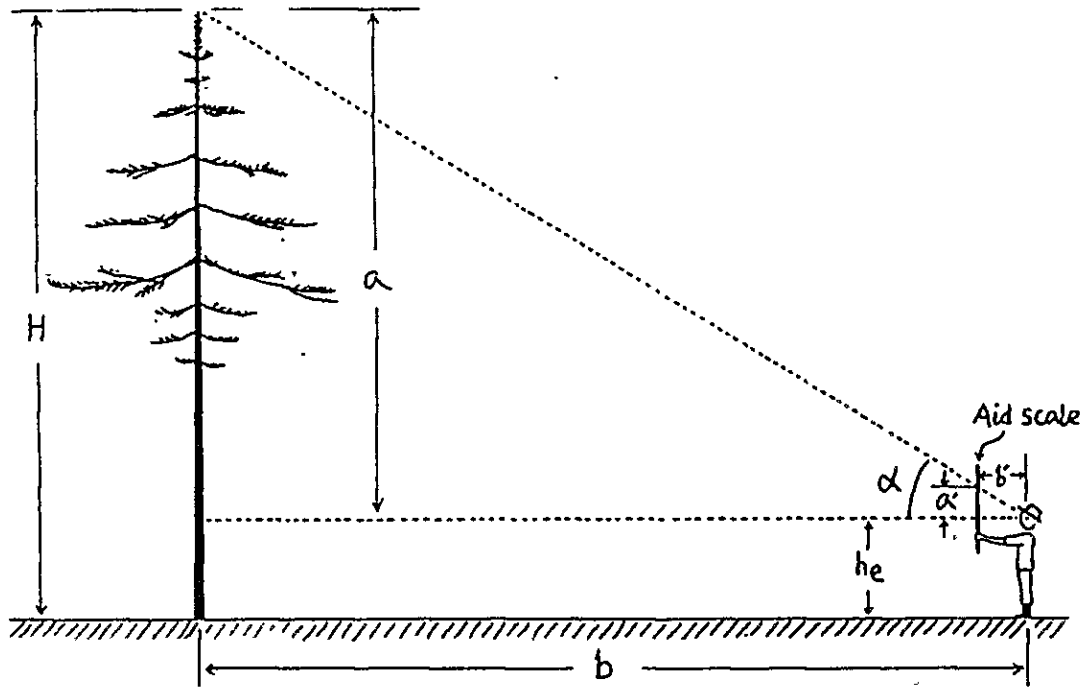


Fig 1 「樹高測定補助板」による樹高測定の模式図

と、 a はその視角内の長さ a' とそれぞれに対応する。つまり $a : b = a' : b'$ の関係が成り立つ。したがって測定者と林木を結ぶ三角形は測定者とAid scaleにより形成される三角形と相似となる。これにより、Aid scaleに図-1の a の値を a' として目盛ることにより測定者の目から上の高さ a は測定される。したがって樹高 H は $a + he$ により求められる。

いま、以上の関係をまとめると次のとおりとなる。

① $H = a + he$

ただし he : 測定者の目までの高さ

a : 測定者の目から上の林木の高さ

② $a : b = a' : b'$

$a = b \cdot \tan \alpha$

$a' = b' \cdot \tan \alpha$

$\tan \alpha = \frac{a}{b} = \frac{a'}{b'}$

ただし a' : 視角内のAid scaleの高さ

b : 測定者から林木までの距離

b' : 測定者の目からAid scaleまでの長さ

(すなわち腕の長さ)

③ 故に Aid scale に a の値を a' として目盛ることにより a が a' により測定される。したがって樹高 H は

$$H = a + h_e$$

により測定される。

3. 「樹高測定補助板」(Aid scale) の目盛の計算

「樹高測定補助板」(Aid scale) の目盛りの計算に当っては、先ず測定者の目までの高さ h_e 、測定者の目から Aid scale までの長さ(つまり腕の長さ) b' 、および測定者から林木までの距離 b が必要である。

いま、測定者 A, B, C, D の 4 人の h_e , b' を測定した結果は次のとおりであった。この測定値は測定者の個有値となる。

表-1 測定者 A, B, C, D 4 人の h_e および b' の測定値

測定者	h_e	b'
A	1.55 m	0.60 m
B	1.60	0.59
C	1.60	0.65
D	1.64	0.60

b は一般には樹高 H とほぼ同じ距離をとった場合が樹高測定の精度は最もよい。 H は当然のことながら対象となる林分によって異なる。Agua de Santa Barbara のマツ林では測定対象最低 10m から最高 30m 以内の範囲に止まる。したがって 4 段階の b を設定する場合は 15m, 20m, 25m, 30m が最も適当であると考えられる。 b を 4 段階設定するのは Aid scale の 4 片をフルに利用するためである。

一方、樹高 H は h_e を下限に 1m 単位でとる。これにより $H - h_e$ を下限に H に対応する a の値が計算される。この a を $\frac{a}{a'} = \frac{b}{b'}$ で割ることにより a' 、つまり Aid scale の目盛が求められる。測定者 A, B, C, D 4 人のそれぞれの r は次のとおりとなる。

表-2 測定者 4 人の各 b (15, 20, 25, 30m) における r の計算値

測定者	$b = 15m$	$b = 20m$	$b = 25m$	$b = 30m$
A	25.0	33.333333	41.666667	50.0
B	25.423728	33.898305	42.372881	50.847457
C	23.076923	30.769230	38.461538	46.153846
D	25.0	33.333333	41.666667	50.0

(注) r は既知の値である b および b' を用いる。

たとえば測定者 B の $b = 15\text{m}$ の場合の r は $r = \frac{15}{0.59}$ により、 $b = 20\text{m}$ の場合は $r = \frac{20}{0.59}$ により求められる。

以上の数値にもとづいて、 $b = 15\text{m}$ 、 $b = 20\text{m}$ 、 $b = 25\text{m}$ 、 $b = 30\text{m}$ のそれぞれに対応する「樹高測定補助板」(Aid scale) の目盛 a' を測定者 (A, B, C, D) 毎に計算する。表-3 は測定者 B に対する計算結果を (1) $b = 15\text{m}$ 、(2) $b = 20\text{m}$ 、(3) $b = 25\text{m}$ 、(4) $b = 30\text{m}$ 、について示したものである。表中、 H は樹高、 a は測定者(B)の目から上の高さ、 a' は a に対応する Aid scale の目盛をあらわす。なお、 a 、 a' はそれぞれ

$$a' = b' \cdot \tan \alpha = \left(\frac{b}{r} \right) \cdot \tan \alpha$$
$$a = b \cdot \tan \alpha$$

によりチェックされる。

なお、参考までに「樹高測定補助板」(Aid scale) には水平距離の測定(目測)に対する目盛も計算して入れた。距離の測定は、①手を上げた時の高さ：2.0m、②手を上げ輪尺を掲げた時の高さ：2.5m、③1mの棒を差し上げた時の高さ：3.0m、の3段階を想定し、それぞれの b に対応する Aid scale 上での目盛を上記の方法にもとづいて計算し、表-3 の中に組み込んだ。

表-3 測定者BのAid scale(a')の目盛の計算

(he = 1.60 m, b' = 0.59 m)

(1) b = 15 m について

H	a (H-1.60)	a' ($\frac{a}{r}$)	$\tan \alpha$ ($\frac{a'}{b'}$)	α	ck ($\frac{a}{b}$)
1.6 m	0 m	0 m	0	0	0
2	0.4	0.0157	0.027	1.33	0.027
2.5	0.9	0.0354	0.06	3.26	0.06
3	1.4	0.0551	0.093	5.19	0.093
4	2.4	0.0944	0.16	9.05	0.16
5	3.4	0.1337	0.227	12.47	0.227
6	4.4	0.1731	0.293	16.20	0.293
7	5.4	0.2124	0.36	19.48	0.36
8	6.4	0.2517	0.427	23.07	0.427
9	7.4	0.2911	0.493	26.15	0.493
10	8.4	0.3304	0.56	29.15	0.56
11	9.4	0.3697	0.627	32.05	0.627
12	10.4	0.4091	0.693	34.43	0.693
13	11.4	0.4484	0.76	37.14	0.76
14	12.4	0.4877	0.827	39.35	0.827
15	13.4	0.5231	0.893	41.46	0.893
16	14.4	0.5664	0.96	43.50	0.96
17	15.4	0.6057	1.027	45.46	1.027

(注) $r = \frac{b}{b'} = \frac{15}{0.59} = 25.423728$

ck : H = 10 m について

$$\begin{aligned}
 a' &= b' \times \tan \alpha \\
 &= 0.59 \times \tan 29.15 = 0.59 \times 0.56 \\
 &= 0.3304 \text{ (m)}
 \end{aligned}$$

(2) $b = 20\text{m}$ について

H	a (H-1.60)	a' ($\frac{a}{r}$)	$\tan \alpha$ ($\frac{a'}{b'}$)	α	ck ($\frac{a}{b}$)
1.6	0	0	0	0	0
2	0.4	0.0118	0.02	1.09	0.02
2.5	0.9	0.0266	0.045	2.34	0.045
3	1.4	0.0413	0.07	4.00	0.07
4	2.4	0.0708	0.12	6.51	0.12
5	3.4	0.1003	0.17	9.39	0.17
6	4.4	0.1298	0.22	12.24	0.22
7	5.4	0.1593	0.27	15.06	0.27
8	6.4	0.1888	0.32	17.45	0.32
9	7.4	0.2183	0.37	20.18	0.37
10	8.4	0.2478	0.42	22.47	0.42
11	9.4	0.2773	0.47	25.10	0.47
12	10.4	0.3068	0.52	27.28	0.52
13	11.4	0.3363	0.57	29.40	0.57
14	12.4	0.3658	0.62	31.48	0.62
15	13.4	0.3953	0.67	33.49	0.67
16	14.4	0.4248	0.72	35.45	0.72
17	15.4	0.4543	0.77	37.35	0.77
18	16.4	0.4838	0.82	39.21	0.82
19	17.4	0.5133	0.87	41.01	0.87
20	18.4	0.5428	0.92	42.37	0.92
21	19.4	0.5723	0.97	44.08	0.97
22	20.4	0.6018	1.02	45.34	1.02

(注) $r = \frac{b}{b'} = \frac{20}{0.59} = 33.898305$

(3) $b = 25 \text{ m}$ について

H	a (H-1.60)	a' ($\frac{a}{r}$)	$\tan \alpha$ ($\frac{a'}{b'}$)	α	ck ($\frac{a}{b}$)
1.6 ^m	0 ^m	0 ^m	0	0	0
2	0.4	0.0094	0.016	0.55	0.016
2.5	0.9	0.0212	0.036	2.04	0.036
3	1.4	0.0330	0.056	3.12	0.056
4	2.4	0.0566	0.096	5.29	0.096
5	3.4	0.0802	0.136	7.45	0.136
6	4.4	0.1038	0.176	9.59	0.176
7	5.4	0.1274	0.216	12.11	0.216
8	6.4	0.1510	0.256	14.22	0.256
9	7.4	0.1746	0.296	16.29	0.296
10	8.4	0.1982	0.336	18.34	0.336
11	9.4	0.2218	0.376	20.36	0.376
12	10.4	0.2454	0.416	22.35	0.416
13	11.4	0.2690	0.456	24.31	0.456
14	12.4	0.2926	0.496	26.23	0.496
15	13.4	0.3162	0.536	28.11	0.536
16	14.4	0.3398	0.576	29.57	0.576
17	15.4	0.3634	0.616	31.38	0.616
18	16.4	0.3870	0.656	33.16	0.656
19	17.4	0.4106	0.696	34.50	0.696
20	18.4	0.4342	0.736	36.21	0.736
21	19.4	0.4578	0.776	37.49	0.776
22	20.4	0.4814	0.816	39.13	0.816
23	21.4	0.5050	0.856	40.34	0.856
24	22.4	0.5286	0.896	41.52	0.896
25	23.4	0.5522	0.936	43.06	0.936
26	24.4	0.5758	0.976	44.18	0.976
27	25.4	0.5994	1.016	45.27	1.016
28	26.4	0.6230	1.056	46.34	1.056

(注) $r = \frac{b}{b'} = \frac{25}{0.59} = 42.372881$

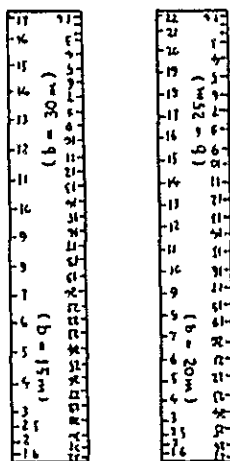
(4) $b = 30\text{m}$ について

H	a (H-1.60)	a' ($\frac{a}{r}$)	$\tan \alpha$ ($\frac{a'}{b'}$)	α	c k ($\frac{a}{b}$)
1.6 ^m	0 ^m	0 ^m	0	0	0
2	0.4	0.0079	0.0133	0.46	0.0133
2.5	0.9	0.0177	0.03	1.43	0.03
3	1.4	0.0275	0.0467	2.40	0.0467
4	2.4	0.0472	0.08	4.34	0.08
5	3.4	0.0669	0.1133	6.28	0.1133
6	4.4	0.0865	0.1467	8.21	0.1467
7	5.4	0.1062	0.18	10.12	0.18
8	6.4	0.1259	0.2133	12.03	0.2133
9	7.4	0.1455	0.2467	13.51	0.2467
10	8.4	0.1652	0.28	15.39	0.28
11	9.4	0.1849	0.3133	17.24	0.3133
12	10.4	0.2045	0.3467	19.07	0.3467
13	11.4	0.2242	0.38	20.48	0.38
14	12.4	0.2439	0.4133	22.27	0.4133
15	13.4	0.2635	0.4467	24.04	0.4467
16	14.4	0.2832	0.48	25.38	0.48
17	15.4	0.3029	0.5133	27.10	0.5133
18	16.4	0.3225	0.5467	28.40	0.5467
19	17.4	0.3422	0.58	30.07	0.58
20	18.4	0.3619	0.6133	31.31	0.6133
21	19.4	0.3815	0.6467	32.53	0.6467
22	20.4	0.4012	0.68	34.13	0.68
23	21.4	0.4209	0.7133	35.30	0.7133
24	22.4	0.4405	0.7467	36.45	0.7467
25	23.4	0.4602	0.78	37.57	0.78
26	24.4	0.4799	0.8133	39.07	0.8133
27	25.4	0.4995	0.8467	40.15	0.8467
28	26.4	0.5192	0.88	41.21	0.88
29	27.4	0.5389	0.9133	42.24	0.9133
30	28.4	0.5585	0.9467	43.26	0.9467
31	29.4	0.5782	0.98	44.25	0.98
32	30.4	0.5979	1.0133	45.23	1.0133
33	31.4	0.6175	1.0467	46.18	1.0467

(注) $r = \frac{b}{b'} = \frac{30}{0.59} = 50.847457$

4. 「樹高測定補助板」(Aid scale)

表-3 によって計算された目盛 a' を適当な大きさの板に目盛ることによって「樹高測定補助板」(Aid scale) は簡単に作製される。板は片手で容易に持てる位の大きさと重さであることが望ましい。われわれは長さ 60cm, 巾 5cm の「物指し」を用いた。この「物指し」の両面に紙テープを貼りつけ、図-2 の要領で目盛を記載した。したがって表-3 における



a' , つまり Aid scale の目盛の計算もこの「物指し」の長さに合わせて 60cm を上限とした。しかし薄くて曲折しない軽いものであれば何でも構わない。薄い板も立派な一つの材料となり得るであろう。

この「樹高測定補助板」(Aid scale) を右手に持ち、下限の目盛 (測定者 B の場合は 1.60m) を目の高さに据え、 $b' = 0.59m$, つまり事前に計られた測定者 B の右腕の長さを確保し、「樹高測定補助板」(Aid scale) の左サイドに樹高測定対象木を見越し、その頂点、つまり樹高を目盛に合わせて読み取り測定する。読み取られた目盛はそのまま $a + h_e = H$ となる。その頂点が目盛 (1m 間隔) の中間にあるときは目分量で目測することにより m 以下の測定も可能となる。必要ならば 0.5m 間隔に目盛をとっておくと便利であろう。若し左利の人は b' を左手で測り、図-2 の目盛を左右逆に付しておく測定し易いであろう。なお、 b (15m, 20m, 25m, 30m) の「樹高測定補助板」(Aid scale) における配置は使用上の便を考慮して 1 面左に $b = 15m$, 2 面左に $b = 20m$, 上下逆にして 2 面左に $b = 25m$, 同 1 面左に $b = 30m$, のそれぞれに対応する目盛を付した (図-2 参照)。

実際の測定に当ってはこの「樹高測定補助板」(Aid scale) が前方や後方に傾斜しないように注意することが必要である。若し前方に傾斜したときは測定値は過大に、逆に後方に傾斜したときは過小になる原因となる。

5. 「樹高測定補助板」(Aid scale) による樹高測定のテスト

以上の理論とそれにもとづく計算により作製された「樹高測定補助板」(Aid scale) を用いて実際に樹高測定のテストを試みた。テストは Aguas de Santa Barbara 州有林において、材積表調製のため伐倒し簡易樹幹析解を実施中の *Pinus elliottii* 24 本、および間伐が行なわれている *Eucalypto saligna* 11 本、計 35 本に対して A, B, C, D 4 人の測定者によりそれぞれ独立に試みた。なお、このテストと併行して Spiegel Relaskop に

よる測定も同時に行ない、そのあと伐倒し、地上0 mからのAltura(H)を実測した。その結果は表-4に示すとおりである。

表-4 「樹高測定補助板」(Aid scale)による樹高測定結果一覧

№	Especie	Altura Medida				Spiegel Relaskop	Altura Real	Distancia (b)
		A	B	C	D			
1	Pinus elliottii	14.7 ^m	14.0 ^m	12.5 ^m	14.0 ^m	13.5 ^m	13.8 ^m	15 ^m
2	"	13.5	14.5	14.0	14.5	13.8	13.9	"
3	"	10.6	11.3	9.8	12.0	10.2	10.5	"
4	"	9.5	10.0	10.0	10.0	9.8	9.5	"
5	"	10.6	10.3	10.0	12.0	10.2	10.2	"
6	"	15.3	15.8	15.5	15.5	14.8	14.8	20
7	"	17.7	17.5	16.6	17.5	16.8	16.8	25
8	"	18.5	19.0	19.5	19.7	18.3	18.0	"
9	"	15.4	16.5	15.3	16.2	15.3	15.3	20
10	"	22.5	21.4	21.0	21.2	20.8	21.2	30
11	"	19.6	20.5	18.2	20.5	19.3	19.5	25
12	"	18.4	17.9	17.2	20.0	19.3	19.5	"
13	"	13.5	14.0	13.2	13.8	13.5	13.6	20
14	"	15.1	14.7	14.4	15.2	15.2	14.9	"
15	"	13.9	13.4	12.8	13.0	13.6	13.9	"
16	"	10.7	11.0	10.4	10.8	11.1	11.0	15
17	"	8.5	9.0	8.2	8.8	8.5	8.5	"
18	"	7.3	7.3	7.1	7.5	6.8	7.0	"
19	"	10.0	10.0	10.9	10.3	10.3	10.3	"
20	"	9.4	9.5	9.1	9.8	9.5	9.6	"
21	"	8.4	9.0	8.5	9.0	8.6	8.6	"
22	"	12.4	11.8	12.2	11.7	12.0	12.1	"
23	"	12.1	13.0	13.2	12.8	12.4	12.7	"
24	"	15.3	15.2	13.9	15.8	14.8	14.8	20
25	Eucal saligna	30.4	29.7	29.5	31.0	30.5	30.0	30
26	"	26.7	26.5	27.0	26.5	25.2	26.9	"
27	"	22.0	21.0	21.0	21.0	20.2	21.5	25
28	"	26.1	27.5	26.0	30.0	26.3	27.5	30
29	"	22.8	26.0	24.5	25.5	24.0	23.8	"
30	"	28.5	28.5	29.0	28.5	27.5	28.1	"
31	"	27.6	26.0	26.8	26.3	26.0	27.2	"
32	"	25.1	24.5	24.8	27.0	24.5	24.6	"
33	"	27.7	28.0	27.0	27.0	27.0	27.3	"
34	"	28.5	28.3	26.4	27.0	26.0	27.5	"
35	"	33.4	33.7	33.5	34.0	33.5	33.0	"

6. 樹高測定の結果に対する有意差検定

前項5により「樹高測定補助板」(Aid scale)を使用して樹高測定を行なった結果(表-4)について、伐倒による実測値を y 、対応するA、B、C、Dの4人の測定値を x とし、これをグラフに示すと図-3のとおりとなった。

図-3から、測定者4人の個々の測定結果については若干の差異(ちらばり)を呈するが、全体的には 45° ($y=x$)の線上に乗っており、測定値は実測値にほぼ対応していることが認められる。

いま、実測値(y)に対応する測定者A、B、C、Dの4人の測定値(x)の有意差検定、つまり差異の有無とその度合の検定を t -検定により行なうと次のとおりとなる。

有意差検定のための t -検定は、まず、実測値を x 、対応する各測定者の「樹高測定補助板」(Aid scale)による測定値を y とおきかえ

$$y = b_0 + b_1 x \quad (17)$$

なる関係式を測定者A、B、C、Dの4人について求め、回帰係数 b_0 、 b_1 を最小自乗法計算(Solution system of regression)によって求め、これについて

$$\text{検定①} \quad t = \frac{|b_0 - \alpha|}{\sqrt{v(b_0)}} \quad (\alpha = 0)$$

$$\text{検定②} \quad t = \frac{|b_1 - \beta|}{\sqrt{v(b_1)}} \quad (\beta = 1 : 45^\circ \text{に対応})$$

ただし

$$v(b_0) = \frac{s^2_{yx} \cdot \sum x^2}{n \sum (x - \bar{x})^2}$$

$$v(b_1) = \frac{s^2_{yx}}{\sum (x - \bar{x})^2}$$

$$\text{ただし} \quad s^2_{yx} = \frac{1}{n-2} \left[\sum (y^2) - \frac{1}{n} (\sum y)^2 \right] - b$$

$$\left[\sum (xy) - \frac{1}{n} (\sum x)(\sum y) \right] = \frac{SSR}{n-2}$$

によって行なった。なお参考までに行なった Spiegel Relaskop による測定結果も t -検定の対象とした。

いま、上記の計算方式および測定者Bについて計算例を示すと次のとおりとなる。

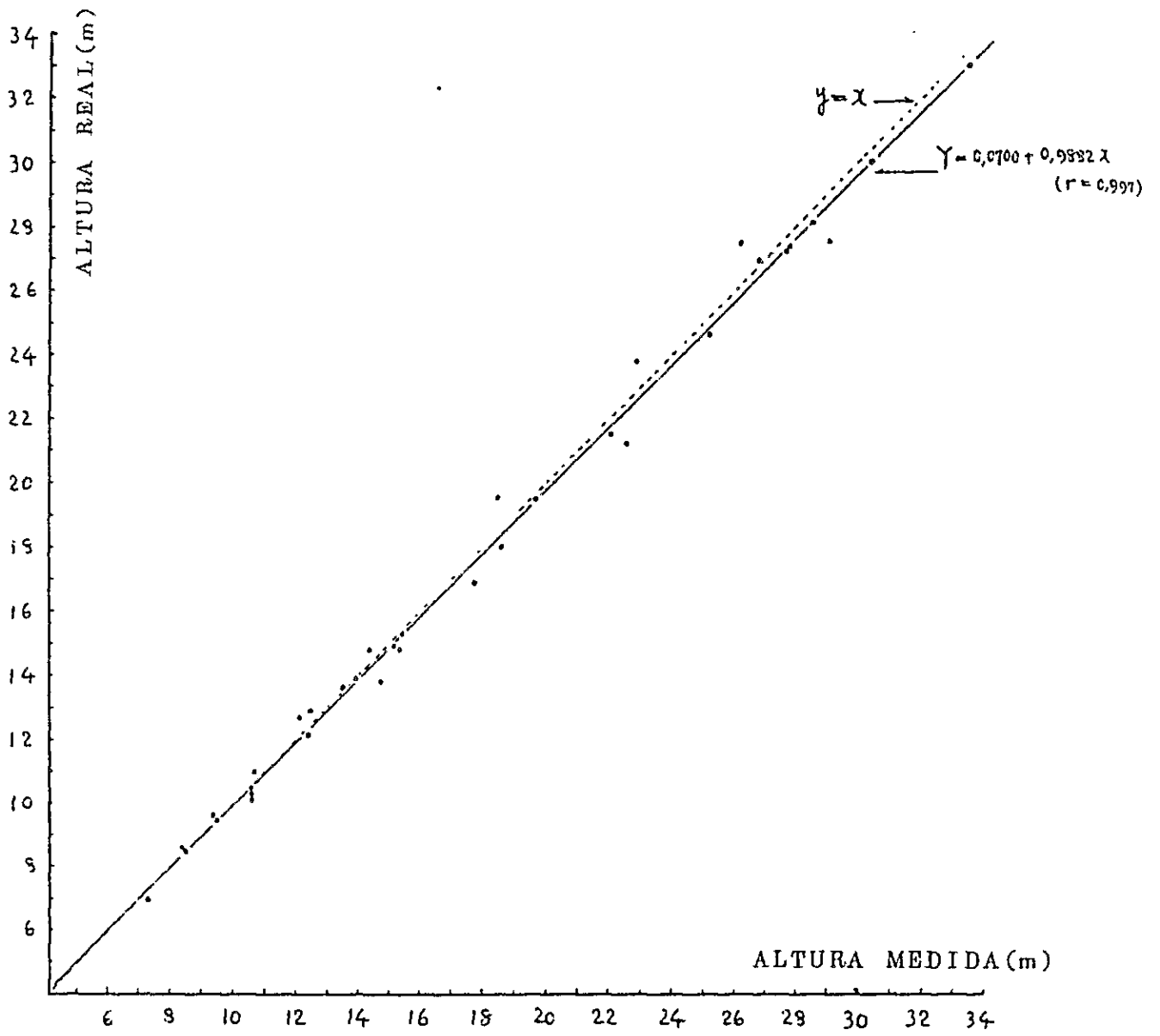


Fig 3 -(1) Altura Media A

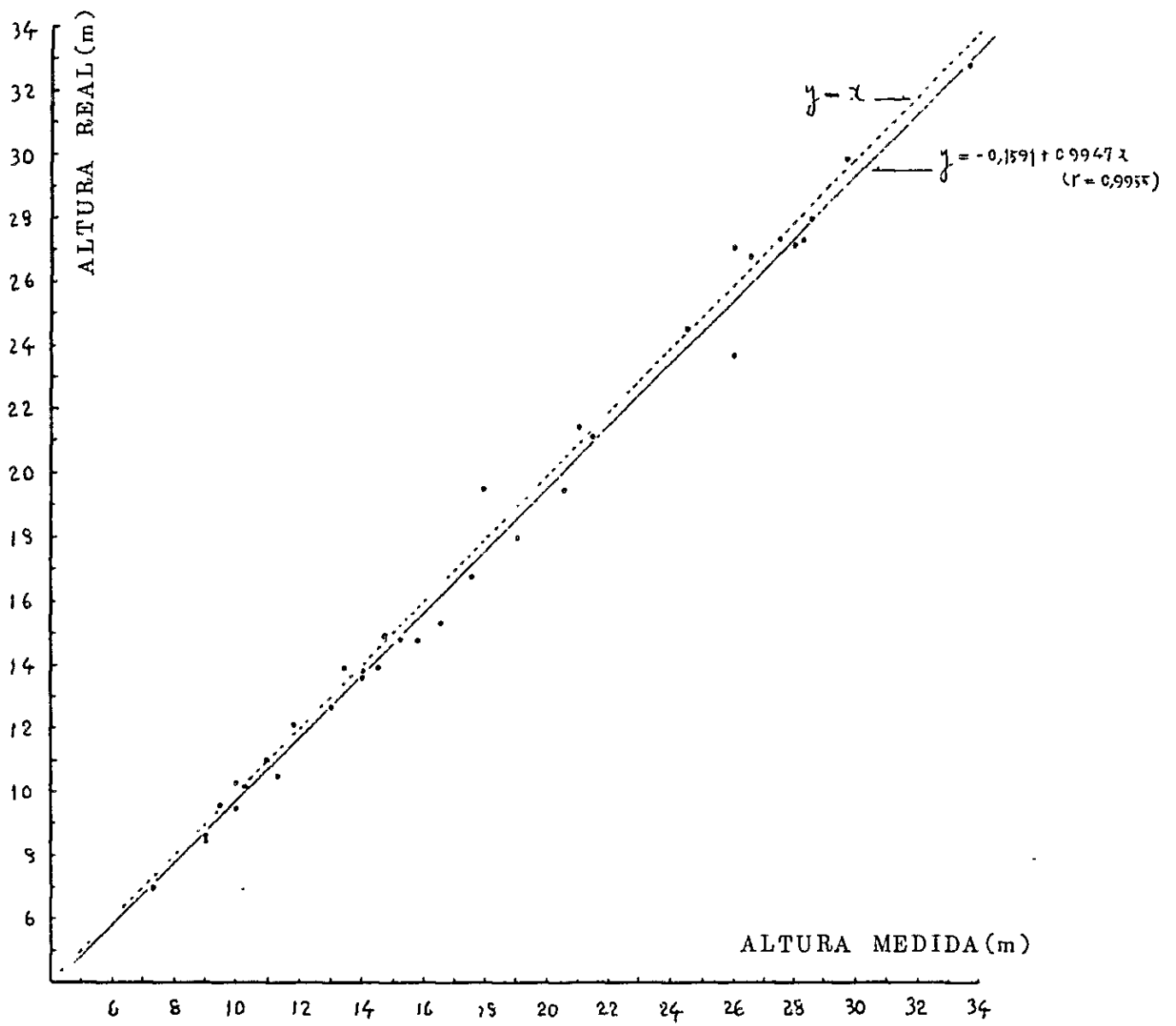


Fig 3 - (2) Altura Media B

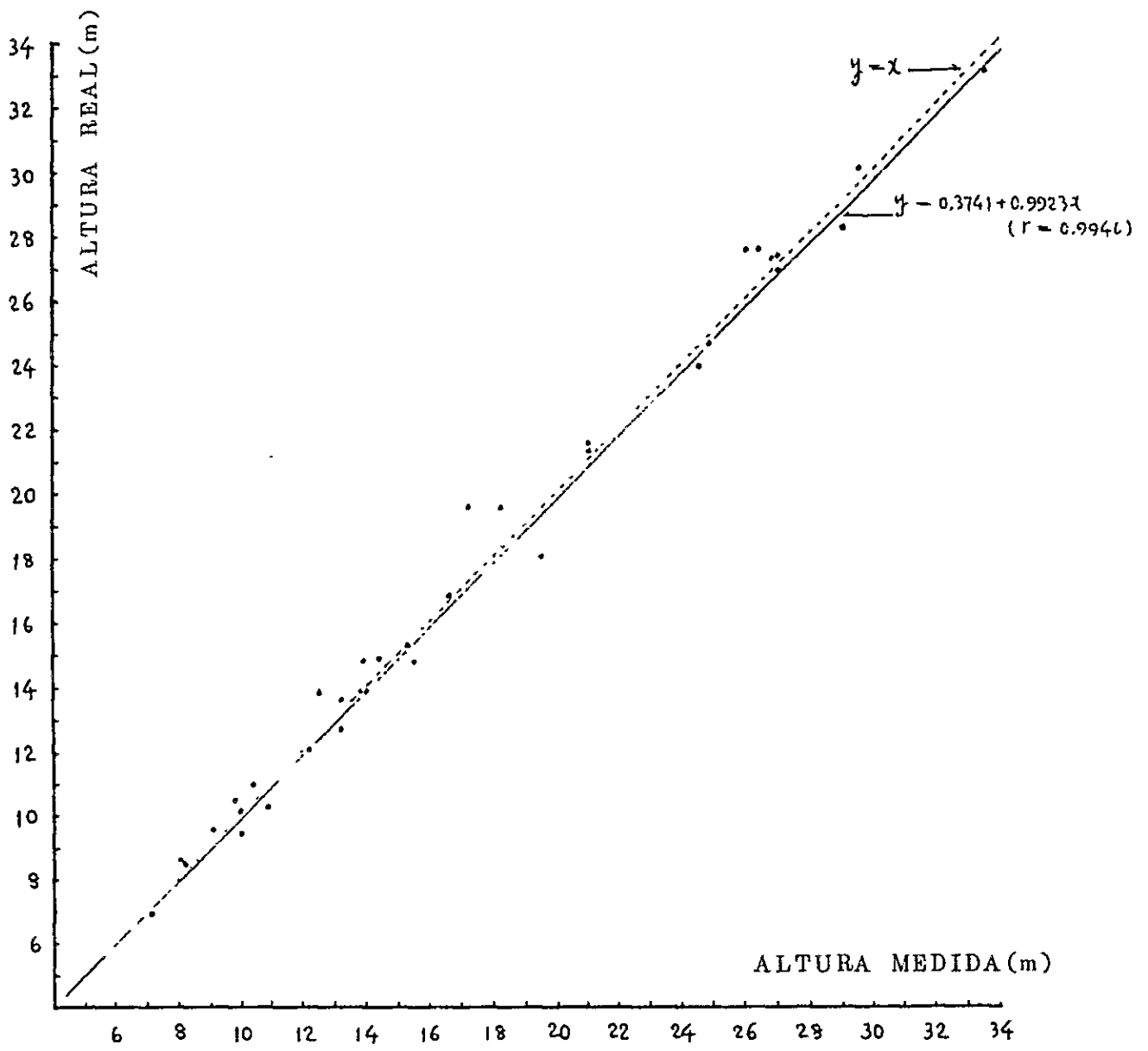


Fig 3 - (3) Altura Media C

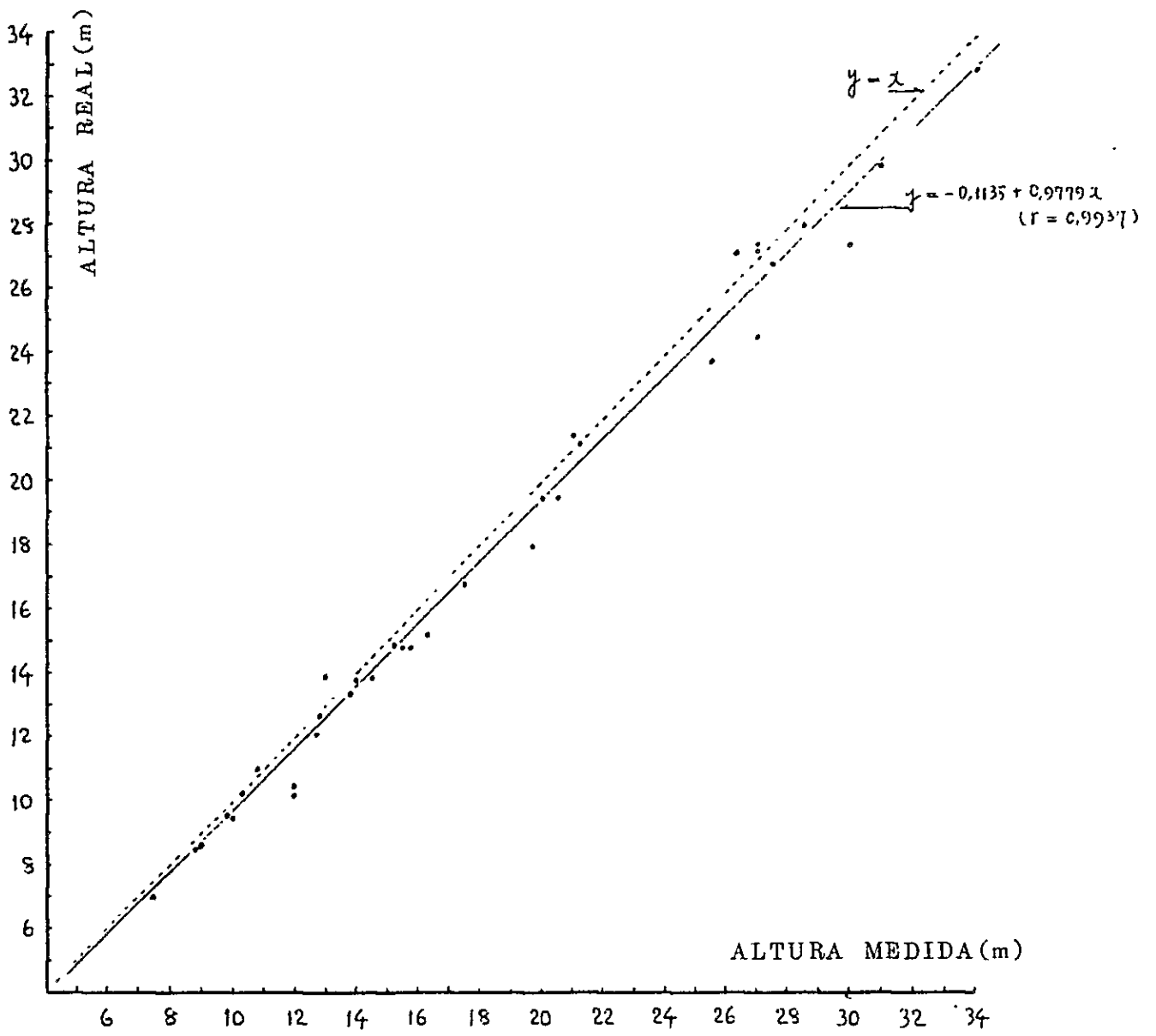


Fig 3 - (4) Altura Media D

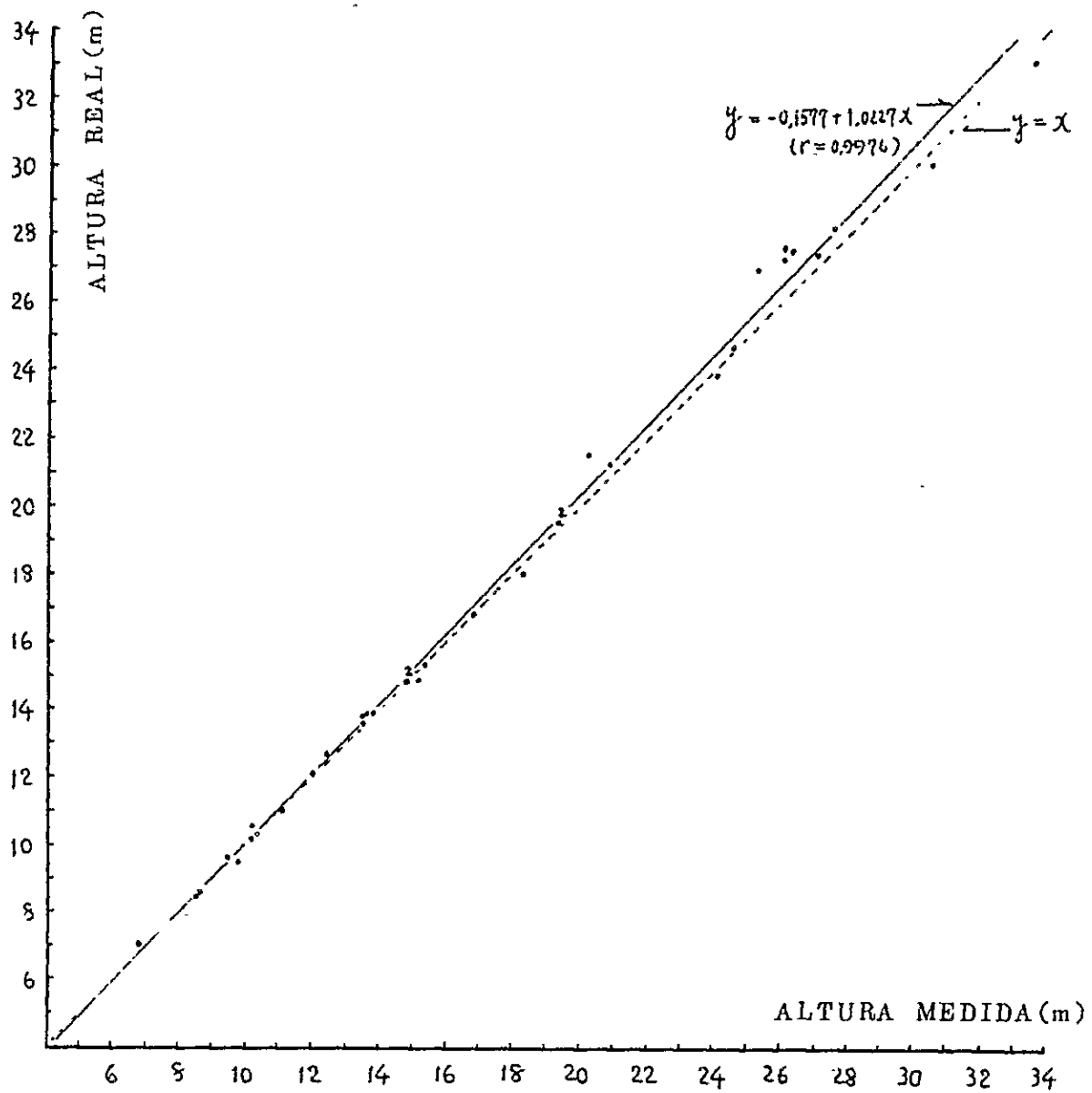


Fig 3 - (5) Spiegel Retaskop

(1) 計算の方式

a Data

No	1	x	y	1 + x + y
Σ	Σ(n)	Σ(x)	Σ(y)	Σ(1 + x + y)

b Solution system of regression

	1	x	y	1 + x + y	df
1	Σ(n) $\langle a_{11} \rangle$	Σ(x) $\langle a_{12} \rangle$	Σ(y) $\langle a_{1y} \rangle$	Σ(1 + x + y) $\langle 1ck \rangle$	
x		Σ(x ²) $\langle a_{11} \rangle$	Σ(xy) $\langle a_{2y} \rangle$	Σ[x(1 + x + y)] $\langle xck \rangle$	
y			Σ(y ²) $\langle a_{yy} \rangle$	Σ[y(1 + x + y)] $\langle yck \rangle$	n
$a_{12} = \frac{\Sigma(x)}{\Sigma(n)} = \bar{x}$	$a_{11} = \frac{\Sigma(y)}{\Sigma(n)} = \bar{y}$	$a_{22} - (a_{12} \cdot B_{11})^{A_{22}}$	$a_{2y} - (a_{1y} \cdot B_{11})^{A_{2y}}$	$x_{ck} - (1_{ck} \cdot B_{11})^{A_{xck}}$	
			$a_{yy} - (a_{1y} \cdot B_{1y})^{A_{3yy}}$	$y_{ck} - (1_{ck} \cdot B_{1y})^{A_{yck}}$	n - 1
$A_{2y} = \frac{\Sigma(x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\Sigma(x - \bar{x})^2} = b_1$		$A_{3yy} - (A_{2y} \cdot B_{2y})^{A_{3yy}}$	$A_{yck} - (A_{xck} \cdot B_{2y})^{A_{yck}}$		n - 2

c Analysis of variance of regression

Source	SS	df	MS	F
Constant	$\bar{y} \cdot \Sigma(y)$	1	SS/df	
Reg on x	$b_1 \cdot \Sigma(x - \bar{x})(y - \bar{y})$	1	"	
Total	SSR	n - 1	"	
	Σ(y ²)			

d Regression

$$Y = b_0 + b_1 x$$

ただし $b_1 = B_{2y}$

$$b_0 = B_{1y} - (B_{11} \cdot b_1)$$

(2) 測定者Bの計算結果(例)

a Data

N_i	1	x	y	1 + x + y
1	1	13.8	14.0	28.8
2	1	13.9	14.5	29.4
3	1	10.5	11.3	22.8
4	1	9.5	10.0	20.5
5	1	10.2	10.3	21.5
34	1	27.5	28.3	56.8
35	1	33.0	33.7	67.7
Σ	35	617.4	626.3	1278.7

b Solution system of regression

	1	x	y	1 + x + y	df
1	35	617.4	626.3	1278.7	
x		12732.58	12882.86	26232.84	
y		1841.644	13051.93	26561.09	35
$\bar{x} = 17.64$			1834.928	36765.72	
$\bar{y} = 17.894285$			1844.7393	3679.6677 ⁽³⁾	34
$b_1 = 0.99635325$			16.5028	16.5028	33

c Analysis of variance of regression

Source	SS	df	MS	F
Constant	11207.19	1	11207.19	22410.79**
Reg on x	1828.2364	1	1828.2364	3655.89**
Error	16.5028	33	0.50008	
Total	13051.93	35		

$$F_{33(,05)}^1 \doteq 4.15 \quad F_{33(,01)}^1 \doteq 7.50$$

d Regression

$$Y = b_0 + b_1 x$$

$$b_1 = 0.99635325$$

$$b_0 = 17.894285 - (17.64 \times 0.99635325) = 0.3186135$$

$$\therefore Y = 0.3186 + 0.9964 x$$

これより測定者Bに対する検定①および検定②は回帰係数に対する分散 $v(b_0), v(b_1)$

$$v(b_0) = \frac{0.50008 \times 1273258}{35 \times 1841.644} = 0.098783$$

$$v(b_1) = \frac{0.50008}{1841.644} = 0.00027153$$

$$\text{ただし } s^2_{y \cdot x} = \frac{16.5028}{35-2} = 0.50008$$

より

$$\text{test ① } t = \frac{|0.3186 - 0|}{\sqrt{0.098783}} = 1.014 \text{ not sig}$$

$$\text{test ② } t = \frac{|0.9964 - 1|}{\sqrt{0.000272}} = 0.218 \text{ not sig}$$

ただし $df = 35 - 1$ における $t_{.05} = 1.95996, t_{.01} = 2.57582$

となった。

表-5は以上の方法により行なった測定者A, B, C, Dの4人およびSpiegel Relaskopのそれぞれの樹高測定結果に対するt-検定の結果を一覧表に示したものである。

表-5 t-検定結果一覧表

測定者	検定	
	①	②
A	0.328 not sig	0.579 not sig
B	1.014 not sig	0.218 not sig
C	0.541 not sig	0.172 not sig
D	0.906 not sig	0.489 not sig
Spiegel Relaskop	1.057 not sig	2.296 *

7. 考 察

(1) t-検定の結果に対する考察

Aid scale による樹高測定, およびその測定値の実測値との関係関係は図3-(1)~(4)のように相関係数 $r = 0.997 \sim 0.994$ と極めて高く, その差異の有無に対するt-検定の結果は測定者A, B, C, Dの4人の何れの場合も有意差はなかった(表-5参照)。したがってAid scale は個々の樹高に対しては若干のちらばり(誤差)はあっても総体的には十分に使用可能であるといえる。ただ, 4人の測定者ともAid scale による場合の方がやや高く樹高を測定している傾向にある。これに対しSpiegel Relaskopの場合は,

検定②において5%レベルの有意差を示す結果となった。これは測定者による Spiegel Rejaskop 使用上のクセによること、および樹高が30m前後の高いユーカリを一部含んだため、樹冠による樹頂の見誤りによるものと考えられる。なお実測値に対しては逆に低目に測定している傾向にあり、回帰式の相関係数 $r = 0.998$ と、この場合が最も高い。

(2) Aid scale による樹高測定上の注意

Aid scale を使用して樹高を測定する場合の注意として次の2点があげられる。第1点は Aid scale の樹高目盛の下限を測定者の目の高さにしていく。この目の高さは各人による異なる。これを正確に保持することが必要である。これを誤り、高くしたり低くしたりするとその分だけ誤差を招く。第2点は Aid scale を手に持って測定する場合、Aid scale が前方または後方に傾きがちである。何れに傾いても誤差の原因となる。我々はこれを防ぐ方法として重りをつけた細い紐を使用し、この傾きをチェックするよう工夫した。これらを含め、Aid scale によって樹高を測定する場合は、他の測高器と同じように、Aid scale に慣れ、熟練することが肝要である。これにより測定精度の向上と共に工期も向上することができるであろう。

なお、Aid scale は樹高30mまでを測定の対象として目盛を計算している。樹高が30mを超える林木が対象となる場合は b の値を組みかえることにより新たに目盛を計算し、Aid scale を作製する必要がある。この場合、Aid scale は三角形の原理によっているため b の値はほぼ樹高の値をとることになる。樹高30m未済までの場合の Aid scale、および30m以上の場合の Aid scale の2本を準備しておけば便利と考える。

この Aid scale には試みとして距離測定用の目盛りも計算し組み入れた。しかし距離測定の指標となる高さは①手を上げた時の高さ：20m、②手を上げ輪尺を掲げた時の高さ：25m、③1mの棒を差し上げた時の高さ：30m、と何れの場合も極めて低いため、そのテストの結果は必ずしも満足するものではなかった。これについてはさらに検討する必要があるが、実用上はテープ等による正確な水平距離を測定することが無難であり、また能率的でもあると考える。

樹高測定のテストは傾斜のない平地林を対象に行なった。若し傾斜地でこれを使用する場合は、測定者の目から上の高さ目と目から下の高さをそれぞれ測定し、この両方の測定値を合計することにより全樹高は測定される。このとき、目から下の高さは Aid scale を上下逆に使用することになる。もちろん、この場合も林木までの距離は水平距離を保つことを原則とする。

ともあれ、Aid scale は測定者各人の目の高さ目と腕の長さを基準とし、自分で計算でき、また手近な材料で容易に作製することが可能である点に最大のメリットがあるといえよう。

終りに、この研究調査にご協力いただいた Aguas Santa Barbara 州有林の Snr
ADAUTO FIORUCCI, Snr ATAÍDE SOARES の両氏に対し謝意を表す。

中縮尺空中写真による森林調査法の基礎的研究

(1) 森林判読要因に対する吟味

INVENTÁRIO FLORESTAL ATRAVÉS DO LISO D
DE FOTOGRAFIAS AÉREAS VERTICAIS

Masamichi Chyo

Hideyo Aoki

1. はじめに	511
2. 空中写真による蓄積調査の基本的概念	511
3. 空中写真の判読要因に対する検討と吟味	512
(1) 樹冠直径	512
(2) 樹 高	513
(3) 本 数	514
(4) 樹冠疎密度	514
(5) 樹 種	515
(6) 樹 齢	515
4. 空中写真に対する問題	515
5. 空中写真による蓄積調査の基本方式	516
(1) 空中写真材積式による方法	516
(2) 直接回帰推定法による方法	517
6. 今後の方針と研究課題	518

中縮尺空中写真による森林調査法の基礎的研究

(1) 森林判読要因に対する吟味

Masamichi CHYO

Hideyo Aoki

1 はじめに

森林に対する空中写真 (Aerial photographs) の応用分野としては林相および地形の判読 (interpretation)、蓄積調査、生長量調査、面積測定、林分構造および地形の解析、砂防治山工事計画、造林・保育・伐採・搬出 (上場・林道・集運材架線) 計画、これらにもとづく施業計画および経営計画、崩壊・風水害・病虫害・山火事等の被害調査とその予防計画、および環境調査 (monitoring and assessment) 等がある。

これらの応用分野に対し空中写真を用いることのメリット (merit) としては迅速性 (speedy)、低廉性 (low cost)、広域性 (large area)、および継続性 (時系列) があり、またデータの記録性およびその客観性と多様性等が考えられる。

しかし、これらの森林調査に対し空中写真を使用するためには、空中写真に対する基礎的性質を知ると共に、各調査項目に対する関連性が十分に把握されなければならない。本研究では空中写真による森林調査の中で、とくに蓄積調査を対象に空中写真の判読要因について予備 (基礎) 的な検討と吟味を試みた。

2 空中写真による蓄積調査の基本的概念

3,000 m ないし 6,000 m の中高度によって撮影された空中写真は、その被写体である地表面を同一撮影条件によってカメラのレンズを通してフィルム面に正確に撮影され記録される。その写真像からは調査の対象となる森林については、樹木の樹冠や形状、色調等が観測される。空中写真による地表面の撮影は通常 60 % のオーバーラップ (over lap) および 30 % のサイドラップ (side lap) により行われる。単写真 (1 枚の写真) では地形その他高さを有する地物はすべてレンズの中心投影により歪み (displacement) を以て写真像に記録される。60 % のオーバーラップを有する左右 1 対の空中写真を立体視することにより、その歪みは高さを測定する要因となる。樹高の測定はこれによって可能となる。写真別、標高別の写真の縮尺を計算することにより樹冠の直径を測定することができる。この樹冠直径は胸高直径 (DAP) と相関関係 (関連性) がある。樹冠の形状や色調は樹種の判定の基準となり、

本数カウントの対象ともなる。またこれらの相対的な比較判読は林齢査定の基準ともなる。このようにして地上で測定される胸高直径や樹高、本数等はその関連性および法則性を知ることにより空中写真でもすべて測定されることになる。したがってそれらの相関関係により材積と結びつけられることになり、蓄積推定が可能となる。しかし、これは空中写真を媒体とする間接測定であるため、測定精度についても限界があるのは当然である。この測定精度の限界を可能な限り高めるために、写真上で測定（判読）された一部分について写真と同一地点を現地（地上）で測定し、写真判読値との対応性をチェックすることは空中写真測定には欠かせない作業の一つとなる。これを現地チェックという。この現地チェックにより、空中写真の判読測定による蓄積調査はその精度を上げることが可能となる。

以上の内容、とくに空中写真の像に対する個々の判読要因について以下に検討と吟味を試みる。

3 空中写真の判読要因に対する検討と吟味

森林を対象に蓄積調査を目的とする場合の空中写真の判読要因としては樹冠直径、樹高、本数、樹冠疎密度、樹種、および林齢、等がその主要判読要因として考えられる。

(1) 樹冠直径

樹木の材積を測定する場合、胸高直径は欠かせない測定要因の一つである。しかし空中写真ではこの胸高直径は測定することができない。それに代る測定要因として考えられるのが樹冠直径である。

一般に樹木は生長するにしたがい、直径、樹高と共に樹冠直径もほぼ比例的に生長する。ただし、この樹冠の生長は立木密度すなわち本数によって影響される。

つまり同一林齢、同一生長を有する同一樹種であっても、立木密度の違いによって樹冠直径の大きさは変化する。これに対しては対象林分毎の判読測定とその検討が要求される。なお、これについては胸高直径と樹冠直径の相関関係の検討と併せ今後の研究に待つ必要がある。

樹冠直径の測定は60%オーバーラップした左右の空中写真の立体視下のもとに、樹冠直径測定板(Crown diameter scale)または尺板(くさびじゃくばん, Wedge scale)を使用して行なう。この測定板を立体視下の写真像の片方にかぶせることにより行なう。若し単写真のみで行なった場合は写真像の歪みにより誤差を伴う。誤差は一般に過大となる。なお、この測定板は通常は1:10000のスケール(縮尺)で作成されている場合が多い。実際は写真により、またその位置(標高)により写真縮尺はいろいろに変化する。したがって次式により換算しなければならない。

$$CD = cd_p \times \frac{S}{10,000}$$

ただし S : 空中写真の縮尺

cd_p : 1 : 10000 測定板で測定された判読値

CD : 写真縮尺に換算された樹冠直径

若し測定板が無い場合は通常のスケール(物指し)を使用しても構わない。この場合も写真縮尺にもとづいて実際の樹冠直径に換算する。

(2) 樹 高

空中写真による場合、樹高は樹冠直径と共に材積測定上の重要な要因となる場合が多い。樹高の測定は視差(parallax)を測ることにより行われ、その原理は次図(Fig 1 および Fig 2) および次式の原理にもとづく。

1 対の空中写真を立体視したときのズレ

(Displacement in stereoscopic pairs of photographs)

Parallax Formula (TEWINKEL 1944)

b : 林木の基線 $x + x'$ の絶対視差

(absolute parallax of the base of tree $x + x'$)

Δp : 林木の像 $d + d'$ の視差

(parallax difference of the tree image $d + d'$)

$$\frac{h_t}{H_G} = \frac{\Delta p}{b + \Delta p}$$

$$\therefore h_t = \frac{H_G \times \Delta p}{b + \Delta p} = \frac{H_G \times \Delta p}{b}$$

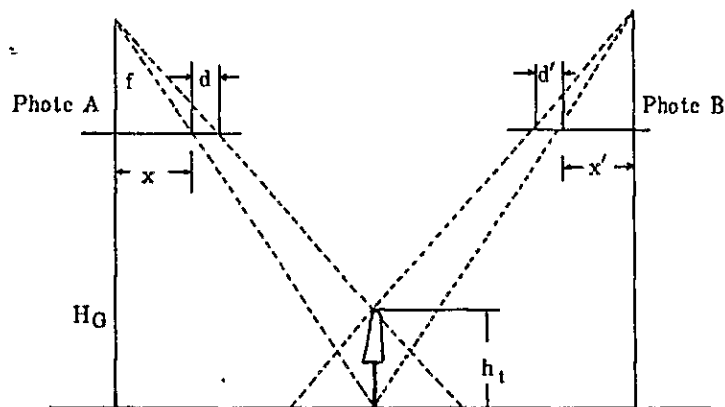


Fig 1 写真上からえられるもの (As the photographs are taken)

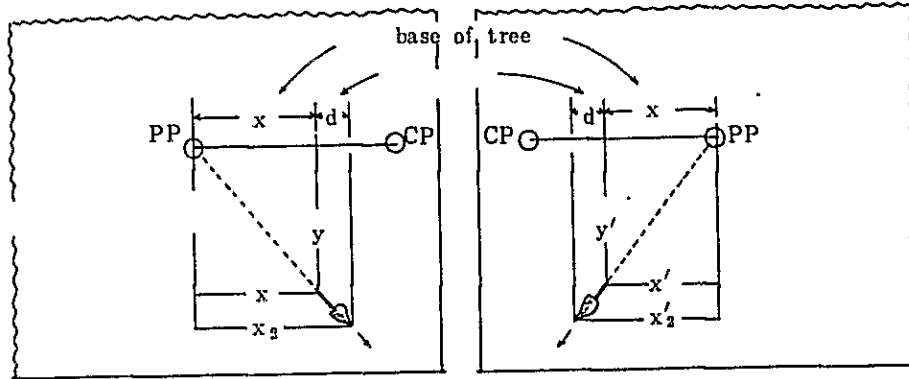


Fig 2 写真上にみえる状態 (As the photographs appear)

実際の測定は視差測定桿 (Parallax bar) を使用して林木の頂点 (p_2) および下部 (地際 p_1) の浮標 (Floating mark) を読み取り, $p_1 - p_2 = \Delta p$ を求め, 樹高 (h_f) を計算する。なお, H_G (測定地点から飛行機までの高さ), b (空中写真基線長) は空中写真により別個に計算される。

(3) 本 数

本数は林分材積の推定における判読要因の一つとしてしばしば重要な役割を有する。立体視された空中写真では本数の測定は容易である。しかし大面積森林が対象となる場合, 本数測定は大変面倒であり労力を要する作業の一つとなる。したがって具体的には空中写真上に標本 (sample plot) をとり, この標本に対しプロットサイズ板 (Area scale) を用いて, その中に入った本数を測定して単位面積当り, または全体推定を行なう。プロットサイズ板は縮尺とプロット面積との組合せによりいくつかのサイズが設けられているが, 実際には適合する縮尺と一致することは少ない。したがって, ある縮尺と面積のプロットサイズ板により測定された本数は次式により ha 当り本数に換算する。

$$N = \frac{n}{A} \times \left(\frac{S_2}{S} \right)^2$$

ただし S : 写真縮尺 (分母数)

S_2 : プロットセット板における使用縮尺

A : プロットセット板のプロット面積 (ha)

n : $1/S_2$ のプロット面積で測定 (カウント) された本数

N : ha 当りに換算された本数

(4) 樹冠疎密度

樹冠疎密度は本数の代りとして, また本数測定不能な林分, たとえば広葉樹林や天然林

等に対ししばしば用いられる判読要因である。また密度管理や生長量判定の資料としても用いられることがある。

樹冠疎密度は樹冠疎密度測定板 (Crown density scale)、または点格子板 (Dot grit scale) を使用して行なう。樹冠疎密度板による場合は、空中写真の立体視下のもとに、立体鏡の視野の中に測定板を入れ、10% オーダーで比較判読する。点格子板の場合はDotにかかった林木を数え、次式により比率を計算する。点格子板は1mm、2mm、5mm等の点間隔の測定板がある。点間隔が小さい(密)なほど精度はよいが、測定が大変である。

$$D = \frac{q}{p} \times 100$$

ただし p : 測定対象林分全体の点格子板の点の数

q : 測定対象林分全体の樹冠にかかった点格子板の点の数

D : 樹冠疎密度 (%)

(5) 樹 種

写真フィルムは紫外域 (UV) の一部から可視光域 (V)、および赤外域 (IR) の一部、 $0.3\mu\text{m} \sim 0.8\mu\text{m}$ の範囲をキャッチし記録することができる。すべての物体は太陽光線の照射を受け、それぞれ独自の波長を発生しており、したがって樹木もそれぞれに個有の波長 ($0.47\mu\text{m} \sim 0.58\mu\text{m}$) を発生する。この波長の違いは空中写真上には濃度の差異として記録され表現される。また樹木はその形状にも樹種別の特長を有する。この両者を空中写真上で判読することにより樹種判定の基準とする。この場合、色調板 (Tone scale) は判定の参考となるであろう。なお、樹種判読は現地調査による写真像との比較チェックが欠かせない作業となる。

(6) 林 齢

林齢の判読は樹冠直径、樹高、本数または樹冠疎密度、等の各判読要因を参考にして総合的に判読される要因の一つである。一般に林齢の判読は幼齢林と中齢林の2段階、または幼齢林・中齢林・壮齢林の3段階が限界である。整理され完備された森林調査簿、その他の記録があればこれによって代用することができる。

4. 空中写真に対する問題

現在、サンパウロ州では大サンパウロ圏に対しては19 年に1 : 8,000 の縮尺の空中写真が撮影されている。しかし他の地域は縮尺1 : 35,000 ~ 1 : 45,000 の小縮尺空中写真が必要に応じて撮影されているに過ぎない。森林調査のための空中写真の判読測定は1本1本の樹木に対し正確な判読測定が要求される。またユーカリやマツは極めて生長が旺盛なため、

それらを対象とする場合はできるだけ新しく撮影された空中写真の利用が望まれる。

空中写真は撮影に用いられたカメラのレンズの種類により普通角写真 ($f = 210\text{mm}$)、広角写真 ($f = 150\text{mm}$)、超広角写真 ($f = 88\text{mm}$)、長焦点写真 ($f = 300\text{mm}$)等に分けられる。また使用されたフィルムの種類によりパנקロマチックフィルム写真 (Panchromatic film)、カラーフィルム写真 (Color film)、赤外線フィルム写真 (Infrared film)、赤外カラーフィルム写真 (False color film)、デジタルカラーフィルム写真 (Digital color film)、およびマルチスペクトル写真 (Multispectral) 等に分類される。サンパウロ州では広角パנקロマチックフィルムの空中写真によって撮影されている場合が多い。

地形的にはサンパウロ州は東部大西洋岸沿いの山岳林の一部、および内陸部の丘陵・波丘地、または平地林となっている。空中写真の縮尺は同一地域に対し同一条件で撮影された場合でも標高により差異を生じる。樹高測定の要因の一つである基線長(b)も標高により異なる。この差異は $50\text{m} \sim 100\text{m}$ オーダーの標高差で修正されるのが普通である。したがって、この2つは対象林分の全域について最低標高から最高標高に対して数値を予め求めておく必要がある。また山岳地では広角写真の場合、写真像の歪みの問題が大きい。

これらの歪み、および写真縮尺の相違は写真判読による蓄積調査の精度に大きく影響する。写真の縮尺(S)、撮影高度 (H_p)、基線長(b)は空中写真の種類別、および地域別に計算しておかなければならない。精度のよい正確な地形図も空中写真の判読作業には必要である。

5. 空中写真による蓄積調査の基本方式

以上の判読要因、および空中写真を用いて森林の蓄積調査を行なう場合、その基本方式としては空中写真材積式 (Aerial volume equation) を求め、これによって判読測定を行なう方法と、写真判読値と現地調査データとの対応による直接回帰法の2つの方法が考えられる。

(1) 空中写真材積式による方法

前に述べた空中写真の判読要因を用い、これを独立変数 (Independent variable) とし、対応する材積 V を従属変数 (Dependent variable) とする。

材積式のタイプは

① CDのみによる場合

$$V = b_0 + b_1 CD$$

② CD, Hによる場合

$$V = b_0 + b_1 CD + b_2 H + b_3 CD \cdot H$$

③ CD, H, Nによる場合

$$V = b_0 + b_1 CD + b_2 H + b_3 N + b_4 CD \cdot H$$

⋮

となる。各独立変数を $CD \rightarrow x_1$, $H \rightarrow x_2$, $N \rightarrow x_3$, … とし, V を Y とおきかえれば, 一般式の型としては

$$\textcircled{1} \quad Y = b_0 + b_1 x_1$$

$$\textcircled{2} \quad Y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_1 x_2$$

$$\textcircled{3} \quad Y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3 + b_4 x_1 x_2$$

⋮

によってあらわされる。そして重回帰係数 b_i (b_0, b_1, b_2, b_3, b_4 , 等) は, 実測値 (y) と推定値 (Y) の自乗の和が最小 (minimum) になるよう, すなわち

$$\textcircled{1} \quad \sum_{k=1}^k [(y - b_0 - b_1 x_1)^2] \rightarrow \min$$

$$\textcircled{2} \quad \sum_{k=1}^k [(y - b_0 - b_1 x_1 - b_2 x_2 - b_3 x_1 x_2)^2] \rightarrow \min$$

$$\textcircled{3} \quad \sum_{k=1}^k [(y - b_0 - b_1 x_1 - b_2 x_2 - b_3 x_3 + b_4 x_1 x_2)^2] \rightarrow \min$$

⋮

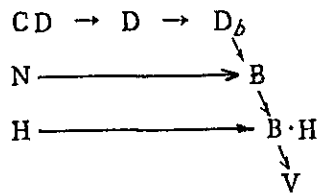
になるよう最小自乗法計算 (Solution system of regression) によって求める。式中, k は k 本の林木本数または k 個のデータ (プロット, ライン等) の数をあらわす。必要なデータ数は材積式の精度の観点から別個に計算されなければならない。なお, 材積式は単木材積式と林分材積式の 2 つに分けられる。

この空中写真材積式を用いて実際に蓄積調査を行なう場合は, 層化抽出法 (Stratified sampling), 回帰推定法 (Regression estimate), 三重抽出法 (Triple sampling), 二重抽出法 (Double sampling), 等の方法によるが, これは通常の sampling と同じ方式である。

(2) 直接回帰推定法による方法

前項(1)の材積式はこれを作ってしまうと, あとは空中写真の判読測定によって直ちに式または表から材積が推定されるという点で便利である。しかしその精度を高めるためには, その場所, その林分毎に材積式を作成する必要がある。材積表の作成はそれ自体, 大変な労力と時間を要する。したがってこれを省き, 空中写真から直接, 蓄積推定を行なう方法として, この直接回帰推定法がしばしば用いられる。サンパウロ州のような生長の早いマツ, ユーカリ林の多い場合はとくにこの方法は検討の価値があると考えられる。

この方式による推定方式のダイアグラムは次のとおりである。



ただし CD : 平均樹冠直径
 D : 平均胸高直径
 D_b : 平均断面積直径
 N : ha 当り本数
 B : ha 当り断面積
 H : 平均樹高
 V : ha 当り材積

各要因の推定式は次のとおりである。

① $\bar{D} = b_0 + b_1 CD$

ただし $CD = b_0 + b_1 CD_p$
 (p は写真判読による値)

② $D_b = b_0 + b_1 D$

③ $B = \frac{\pi D_p^2}{4} \cdot N$

ただし $N = b_0 + b_1 N_p$

④ $\bar{H} = b_0 + b_1 H_p$

⑤ $V = b_0 + b_1 B \cdot \bar{H}$

以上、(1)、(2)の何れの場合も現地チェックは必要不可欠であり、これを欠かすことはできない。現地チェックは空中写真上で判読測定したところと同じ場所を現地に正確に求めなければならない。若し現地チェックの場所が写真と現地でずれると、それだけ誤差が大きくなる。

6. 今後の方針と研究課題

サンパウロ州には現在、ユーカリおよびマツの大面積造林地が広く散在する。また東部大西洋岸沿いの山岳林には広葉樹を中心とする天然林も存在する。本研究では、主としてマツ人工林およびユーカリ人工林を対象に、山岳林におけるマツ人工林 (Campos do Jordao 州有林)、同じく山岳林のユーカリ人工林 (Caieira 社有林)、ならびに平地林におけるマツ人工林とユーカリ人工林 (Aguas de Santa Barbara 州有林)、等について空中写真による蓄積調査を試み、その精度および調査功程を検討し、併せて空中写真による森林調査方

式の確立を指向する方針である。

なお、これに関連して、樹冠直径、樹高、本数、樹冠疎密度、樹種、林齢、等の各種判読要因に対する基礎的検討、空中写真の写真縮尺と判読測定精度ならびに作業（判読）工程に関する検討、可能ならば経年写真（同じ林分に対して何年かおきに撮影された空中写真）による林分生長量の推定、等を実験的に試みる積りである。また、空中写真材積式による方法と直接回帰推定法による方法の両調査方式に対する精度、工程等の比較検討も併せて試みる方針である。さらに各種調査方法に対する調査コストの問題も研究課題の一つとして基礎的な分析と検討を試みる積りである。

参 考 文 献

- (1) 長 正道：空中写真による森林調査について，林業統計研究会誌 № 5， p. 5-21,

1980

JICA