

IV-3 空中写真による森林解析法

IV-3-1 空中写真による森林判読法

(1) 背景と目的

ブラジルの国土は、847万km²あり、その内熱帯林、天然林、セラード、そして人工林の面積はそれぞれ347万、34万、112万、4.5万km²と総計約60%を占めると言われた1967年に、日本の林野庁にあたるブラジル森林開発庁（IBDF≡ Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal：農務省）が発足し、森林の造成事業を始め、森林と農業との調和した森林政策を実施することを目的とし、次の6項目に重点が置かれた。

- I) 森林造成
- II) 天然林行政
- III) アマゾン地域の天然林開発利用
- IV) 森林調査とモニタリング
- V) 林業技術研究
- VI) 動植物の保全保護

これを受けてサンパウロ州立森林院（Instituto Florestal de São Paulo）は、1973年森林経済利用開発プログラムにそって写真判読技術の最適な利用方法を確立するためにリモート・センシング・プロジェクトを発足し、森林の経済的利用方法の確立のため、広域性と即時性に富む空中写真の活用を急務とした。

このような背景から、専門家の指導による空中写真による森林の判読技術を修得して、その技術の活用法の確立をめざすことになった。一方、森林院の空中写真の利用状況は、きわめて少数の技術者あるいは研究者が、それぞれ個別に空中写真を利用したものはあるが、あくまで調査目的あるいは研究目的の達成手段の一補助として利用しているにすぎないものであった。

空中写真そのものは膨大な情報を有しているが、これらの情報をデータとして取り扱うことのできる技術もリモート・センシング技術と呼ばれる。例えば、空中写真の持つ位置と高さの情報をデータ化して作成された地形図などは、リモート・センシング技術が正確かつ明確に利用された代表的なものであり、リモート・センシング技術の活用が人類に貢献したものの中で最大級のものと言える。そしてこれらの技術は一般に「写真測量」と呼ばれている。

ところが、空中写真は他にも多数の情報を有し、これらはそれぞれの調査、研究の目的に応じ直接のデータとして取り扱われる。そしてこれを「写真判読」と言う。

本項では「森林の経済的利用方法の確立」をめざし、森林を対象とした基本的判読技術の指導と、将来、それらの技術を多方面に活用するための体制化、あるいは組織化を達成するための技術者養成の基礎となることを目的としている。

(2) 経過と成果

① 研修コースの設置

上述の目的を達成するため研修コースを設置し、空中写真の基本原則から森林調査の活用法までを指導するとともに、判読の実習によって技術の訓練を行う。この研修の参加者は表IV-22のとおりである。

表IV-22 研修者一覧表

氏名	資格	職務	日本での研修
Hideyo Aoki	修士	研究者	56.8.20～56.12.19
Leandro José Bellix Faurin	農学士	農学生技師	
Ivan Suarez da Mota	林学士	林学技師	
Iliana Rajo Saraiva	農学士	農学技師	
Sandra Regina Gomes	学生	エスタジア*	

* 大学生及び卒業者が一時的に嘱託とするもの。

② 研修の内容

(a) 指導書の作成

研修参加者の中には空中写真の取り扱い未経験者も含まれていたことや、詳細な理論付けがなされないままに写真を取り扱っている者もいて、研修の初期においては個人差が著しく、レベルの統一を必要とした。そこで空中写真の基本的な原理を再確認する目的で、既成のポルトガル語による写真測量学の教科書を用い、各自の朗読を分担した。ポルトガル語の実習用の指導書を作成した。なお、これらは一度に完成したものではなく、その日の実習内容及び手順をカウンターパートの協力で予め作成し、それによって実習を始めるにあたって研修員の理解を促し、さらに実習後に手直した。そして次の実習分が作成されると再び実習を行なうことを繰り返して完成した。

(b) 標定図作成

空中写真の判読技術の活用能力は地形図との対応精度によって大きな影響を及ぼす。そこで研修員の地形図に対する判読能力を知るために縮尺1/50,000の地形図に表IV-23の撮影諸元にある縮尺1/8,000の空中写真69枚の対応する標定図の作成を実習した。

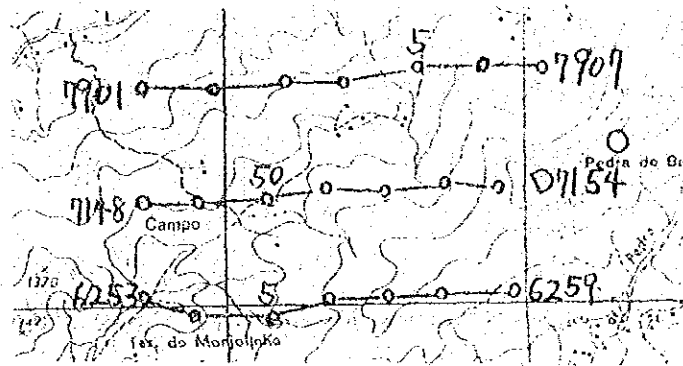
標定図とは図IV-5のように地形図(時には地図)上に個々の写真の中央点(主点)を記入し、それを撮影コース毎に線で結び、その写真番号を記してあるもので、日本では通常これを用いて調査地にかかる写真の種類や必要枚数などを知るために用いられる。

しかしブラジルでは標定図はほとんど使用されておらず、主に標定写真(Ploto Index)

表IV-2.3 撮 影 諸 元

撮 影 年 月 日	コ ー ス 番 号	焦 点 距 離	写 真 番 号	枚 数
1977年6月2日	Fx. 11	151.44 (mm)	179~181	3
" 6月28日	Fx. 12	"	205~217	13
" 7月9日	Fx. 13	152.67	239~248	10
" 7月7日	Fx. 13A	151.44	273~284	12
" 6月10日	Fx. 14	"	296~312	17
" 6月19日	Fx. 15	"	342~355	14
計				69

図IV-5 標 定 図

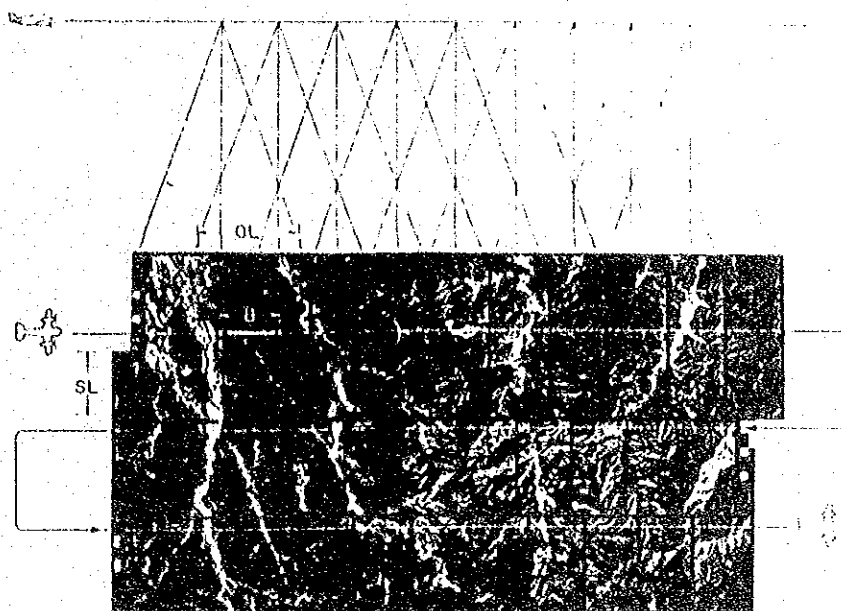


図IV-6が使われている。この理由は当国の地形図の種類が今だ少ない上に、構造物も何もない平坦な地形が多く、特徴ある地形の判読が困難であることから、誰にでも理解が容易な標定写真が用いられるのかもしれない。一方、米国をはじめ南北アメリカ全体を通して、標定図があまり普及していない点から考えると、「技術」の意味する言葉の中で、日本人が重視している熟練度（あるいは器用さ）に対する価値感の相異が、手数のかかる標定図の使用を妨げているのかもしれない。

いずれにせよ、表IV-2.4は両者の特徴を表わしているが、標定図使用の最も有利な点は作成コストが安いこと、資料の保管及び取り扱いが容易なことであり、これは標定写真の持つ「地形図の簡単な判読技術をも必要としない」という利点に優れると思われる。

なお、標定図作成実習の中で、①撮影システム、②写真のもつ“ヒズミ特性”、③飛行コースの状態等が明瞭に理解され、また地形図判読の迅速性が養われ、判読技術の向上にも役立つものと考えられる。

図IV-6 標定写真



表IV-24 標定図と標定写真の特徴

項 目	標 定 図	標 定 写 真
地 形 図	必 要	不 必 要
地形図の判読	”	”
” との対応	完 全	不 完 全
作成コスト	きわめて安い	非常に高い
取り扱い	簡 易	大きすぎる
平坦な地形に対し	困 難	容 易
地域の範囲	明 瞭	不明瞭

(c) 樹高測定

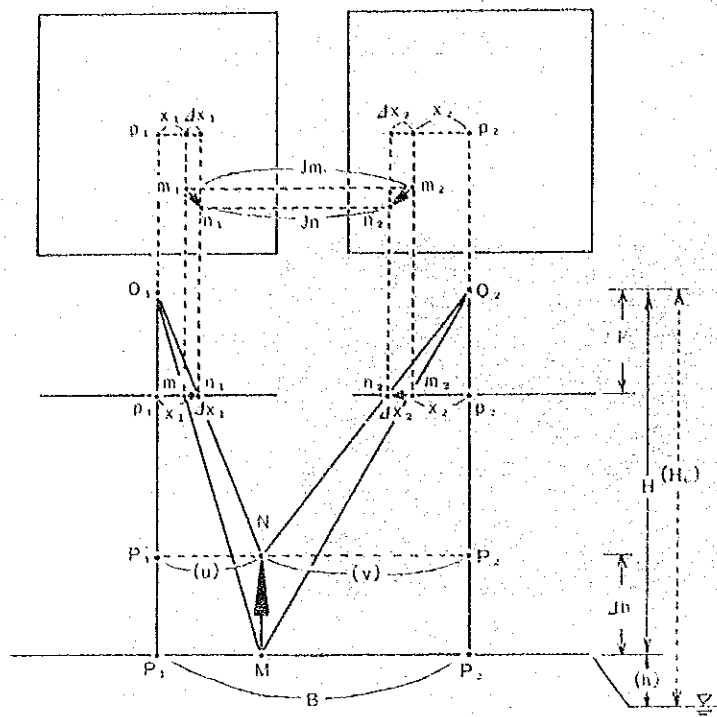
空中写真情報をデータとして引き出すための判読技術の中で最も特徴あるものは、一対の空中写真を立体鏡を通して見ると写真映像が立体的に見え（立体視）、そのことにより詳細な種々のデータを収集することができる。そしてそれが森林の判読に使用される場合、まず考えられるものとして、樹高の測定が理論的に可能である点であろう。

そしてそのためには空中写真の原理からはじまり、高低の差を測定することがどのような理論に基づくものであるかを理解するとともに、相当の立体視の訓練が必要となる。

① 浮点の立体視

測定の理論は図IV-7に示す。一対の写真上の同一物が両写真の視点の相異による映

図IV-7 樹高測定の理論



$$h = \frac{H \cdot dp}{P \cdot dp}$$

h : 樹高
 H : 地对高度
 P : 地点の写真基線長
 dp : 視差々

像のズレを主点基線（対なる写真の両主点を結ぶ線）にそった同一物の両映像の長さの和（視差々）を図IV-8のような視差測定桿で測定する。そしてこれによって映像物の高さを知ることができる。

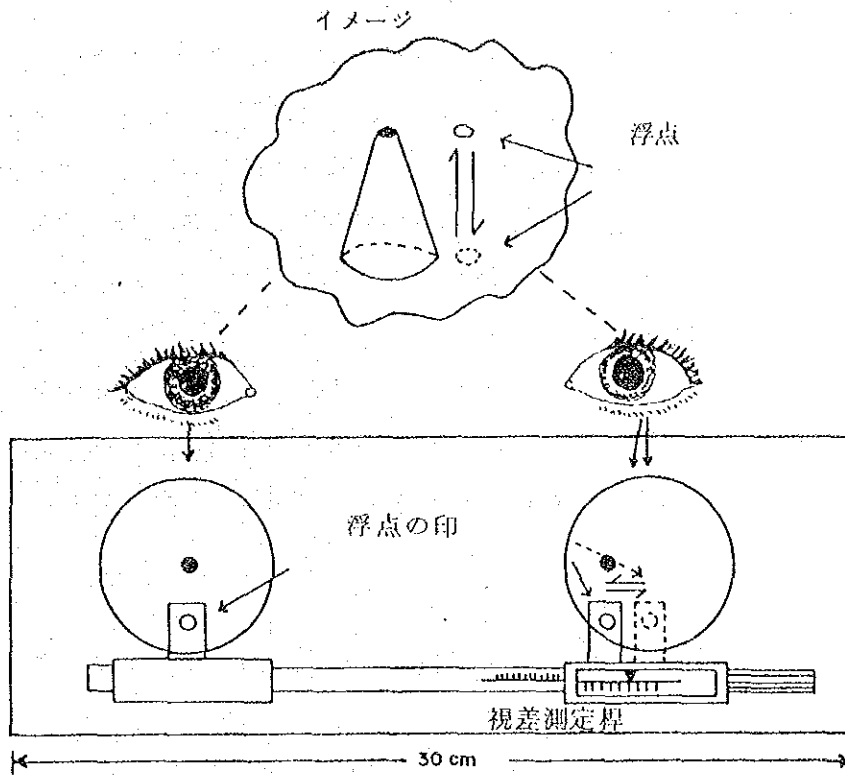
しかしこれにはかなり精密な測定を必要とし、例えば今回使用する縮尺1/8000の写真では、おおまかに言って、1mmの視差々の測定値は実際の地上での高さの1.5mに相当することになり、地上での高さの精度を1m以内で測定したい場合には、0.07mmの相異に対し、確実な立体感による相異感を訓練によって持たねばならない。

このようなことから、最も単純な形で描かれた、立体像を持つ視差々測定練習用図型モデルを用い、立体鏡を通して見た立体像の高低差を、図IV-8にあるように視差測定桿に印されている点（浮点）で正確に捉えられるまで練習する。表IV-25は、この練習用図型モデルを用いて10回の測定を試み、その精度が許容されるに至った研修者の点数表の1例である。

⑥ 単木測定

④の練習を終えると実際の樹木について判読測定した結果を現場の実際の樹高と比較し、浮点が地表すれすれに位置する立体感と、浮点が樹冠の頂点に位置する立体感とを繰り返し試行することによって覚え、写真映像に対する技術を身につける。

図IV-8 樹高測定練習用モデルと浮点のイメージ



表IV-25 視差々の測定点検表の例

	VALOR MEDIO		P		z
	J_{\square}	J_n	J_{\square}	J_n	
1	14,66	13,74	0,92	-0,01	0,0001
2	14,66	13,74	0,92	-0,01	0,0001
3	14,67	13,73	0,89	0,02	0,004
4	14,66	13,74	0,92	0,00	0,0000
5	14,62	13,74	0,91	0,00	0,0000
6	14,61	13,68	0,93	-0,02	0,004
7	14,61	13,69	0,91	0,00	0,0000
8	14,60	13,69	0,91	0,00	0,0000
9	14,63	13,69	0,94	-0,03	0,0009
10	14,62	13,73	0,89	0,02	0,0004
Total			9,14		0,0023
MEDIA			0,91		
TESTE	$\frac{\quad}{n-1}$	$= \frac{\quad}{9}$	0,02		

EXEMPLO: $\frac{0,0023}{9} = 0,01598$
e boa

㉞ 平均樹高

平均樹高とは、ある基準で区画された林分の樹高群の平均値を意味し、これを測定する技術こそが本項の目的の一つにある森林判読技術である。しかしながら、一つの林分を一つの測定単位で表わすためには①、②で行なった練習に比べ困難な点が2つある。

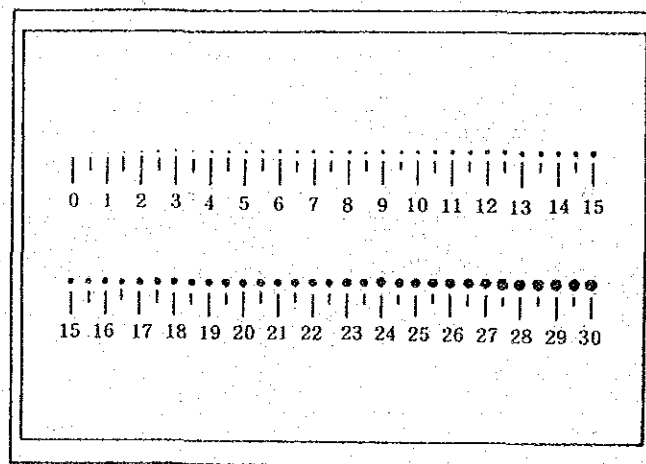
第1は林分内の地上高が林木自身にさえぎられ、結局その林分付近の裸地や作業道等で浮点を地表の位置にした立体感より推定せざるを得ない。したがって対象林分付近に地表の露出した部分がない場合や、地形の起伏が大きい林地では、高い精度の測定値を期待すべきではない。

第2は平均高の判断の仕方である。これは各樹種の樹高成長や、施業形態によっても異なるものであるので、それらの前知識やあるいは必要に応じた現場検証も行わなければならないが、実習を繰り返すことによっても、経験的にいくつかのパターンを修得することができる。

㉟ 樹冠測定

この測定方法は図IV-9のような透明なプレートに大小の黒丸が描かれた樹冠直径測

図IV-9 樹冠直径測定板



定板を用いて、立体鏡を通して見た写真上の立木の樹冠の上に、それと同サイズの黒丸を重ね合わせることによってその測定値を決定するもので、比較的簡単な測定技術ではあるが、次の点を重点的に指導した。

樹冠直径測定板の黒丸の大きさは、 0.05mm 括約で並べられており、測定の際には3倍率の立体鏡を使用するので 0.15mm とやや大きめの単位になるにしても、この微妙なサイズの目で見た相異感覚を、的確なものにしなければならない。なお、 $1/8,000$ の写真を使用した場合の地上の樹冠直径は 40cm 括約で測定されることになる。

(e) 立木本数測定

立木本数測定は文字通り写真上に映し出された立木の本数を数えて、普通1 ha 当たりの本数に換算して用いるものである。測定方法は図IV-10のような透明なプロット

図IV-10 プロットセット板

プロット		プロットセット板									
縮尺	プロット	円					方				
		0.04	0.05	0.10	0.20	0.25	0.04	0.05	0.10	0.20	0.25
1/	7,000	○	○	○	○	○	□	□	□	□	□
	7,200	○	○	○	○	○	□	□	□	□	□
	7,400	○	○	○	○	○	□	□	□	□	□
	7,600	○	○	○	○	○	□	□	□	□	□
	7,800	○	○	○	○	○	□	□	□	□	□
	8,000	○	○	○	○	○	□	□	□	□	□
	8,200	○	○	○	○	○	□	□	□	□	□
	8,400	○	○	○	○	○	□	□	□	□	□
	8,600	○	○	○	○	○	□	□	□	□	□
	8,800	○	○	○	○	○	□	□	□	□	□
	9,000	○	○	○	○	○	□	□	□	□	□
	9,200	○	○	○	○	○	□	□	□	□	□
	9,400	○	○	○	○	○	□	□	□	□	□
	9,600	○	○	○	○	○	□	□	□	□	□
	9,800	○	○	○	○	○	□	□	□	□	□
	10,000	○	○	○	○	○	□	□	□	□	□
	10,200	○	○	○	○	○	□	□	□	□	□
	10,400	○	○	○	○	○	□	□	□	□	□
	10,600	○	○	○	○	○	□	□	□	□	□
	10,800	○	○	○	○	○	□	□	□	□	□
	11,000	○	○	○	○	○	□	□	□	□	□

セット板を写真の林分上に置き、立体鏡を通してプロット内の立木の本数を数える。

指導の要点としては、ミスカウントの防止法やプロット境界線上の立木の定義、その他プロットサイズの選択方法等であるが、最も重要な点は、林分内の優勢木の下にある劣勢木をどこまで判読できるかである。これは優勢木の下に完全に隠れているものは別として、立体視の能力によって劣勢木を見つけ出す率は訓練することによってかなり異なるものである。しかしそれらの劣勢木を判読する能力の向上もさることながら、判読者が一様に納得できるカウント水準を専門家が見極め、指示を与えることも重要なことである。

(f) 森林調査法への活用

森林院は1976年から1978年にかけて、サンパウロ州森林調査として、パライバ川流域の32市町村(1,443千ha)の人工林(マツ類とユーカリ)の面積調査を行なっている。(図IV-11)そして将来、この調査を全州に拡大し、州

全体の人工林面積を把握し、その総材積を知ることが目的のようだが、政策上の都合により中断している。

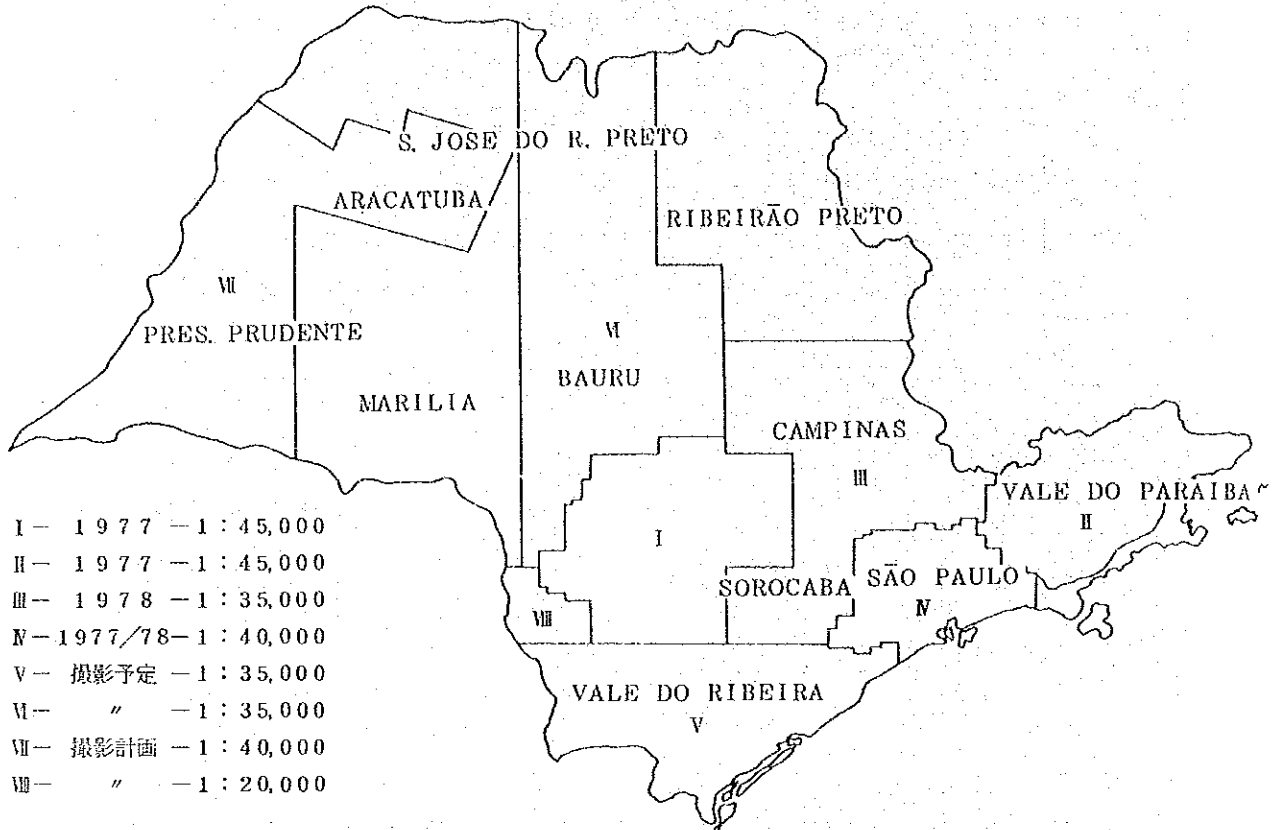
この調査内容は、マツ類を熱帯マツと温帯マツ、ユーカリをパルプ材と用材に分けて、さらにそれぞれについてマツは1~4, 5~6, 7~9, 10~12, 13~16, 17~20, 21年以上、ユーカリは1~3, 4~5, 6~11, 12~17, 18年以上の林齢に区分し、それぞれの面積を市町村別に集計している。なお、データ収集に際しては、聞き込み調査と空中写真による面積の確認調査によってなされている。

そしてこれらの調査に加わった調査者が、今回の研修者の主なメンバーであったことから、当研修による成果を州の人工林材積調査に活用する方法に強い関心を示したので、サンプリング調査による統計的分析手法と、人工林の林相判読について、上の判読技術の応用実習を行なった。

しかし、現実に調査を実行するには、人工林の生長の早さから考えて、最近の空中写

真を全州にわたって必要とするので実現しなかった。ただ、この調査資料を基に、林齢別のha当たりの材積を他の資料から推定する手法を示し、パライバ川流域についての一応の総材積の計算方法を示した。

図Ⅳ-11 サンパウロ州の撮影計画



③ 研修の結果

研修を実施した結果、第1に地形図判読の技術、すなわち地形図の持つ等高線の様子から、地形の状態とその位置関係を捉える技術は、標定図を作成する程度においては問題ないが、正確な位置を求めるには若干の経験不足を感じる。特に迅速性の点で問題がある。

第2には、樹高、樹冠の判読については詳細な作業手順と注意事項を忠実に実行することによって、その測定結果は許容される精度に至ったと判断する。

第3の問題として、森林の判読技術の活用性を高めるためには、樹木の集合体である林分の判読、あるいは測定が最終的なものとなる、言い換えれば、森林という樹木の集合体を種々の基準で同類性のある林分に区分(層化)することによって、それが面的な拡がりを持つ判読あるいは測定の1単位となり、それらを許容される精度で判読し、迅速にデータを収集することが、森林判読技術活用の最大の利点でもある。

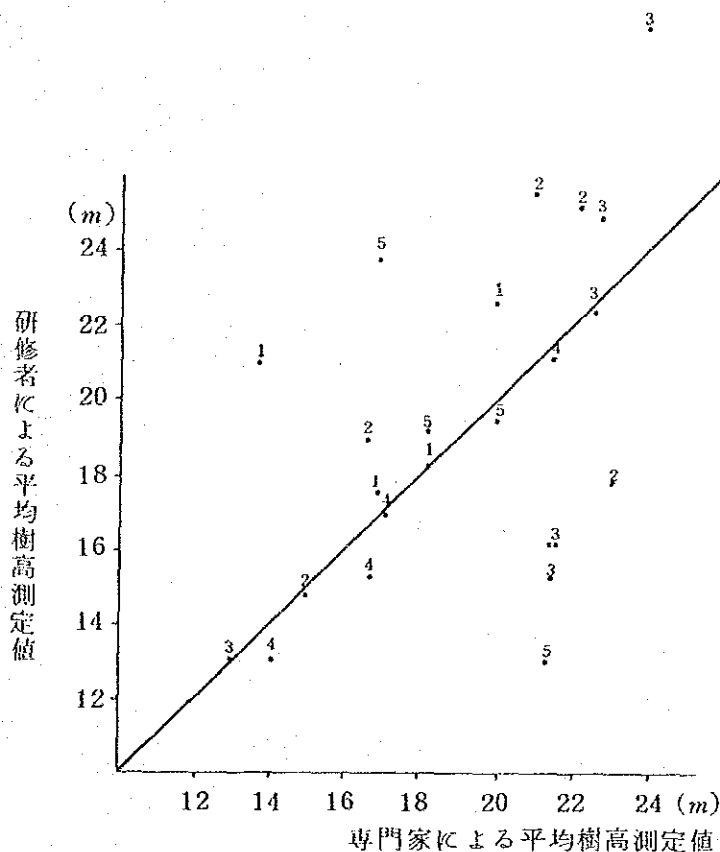
そこで林分に対する平均的な樹高、樹冠、及び立木本数を判読するには、その対象林分がそれぞれの項目別にどのような状態で分布しているかを、林分全体としてながめた時に把握することのできる能力を、身につけなければならない。

以下はアローカリア (*Araucaria angustifolia*) の人工林林分について測定した専門家の測定値を軸として、研修者の測定値の分布を示し、研修の成果と判読技術の水準を考察することにする。ただし、専門家の判読結果が必ずしも現場の測定値と完全に一致しているとは限らないが、ここでは専門家の技術水準との比較によって、今後、より有効な指導を行うための指針とする考えによるものである。

なお、今回の林分の単位区画は、空中写真の判読から同類性のあるもので区画した林相判読によるものではなく、施業に用いられる同林令区画を用いており、林分内の樹高、樹冠、及び立木本数は、地形や土壌等で必ずしもすべてに均一性が高いものとは限っていない。

(a) 平均樹高

図IV-12より、判読者4が専門家の測定値に最も近いと言える。判読者4は樹高の測



図IV-12 樹高測定研修結果

定については初体験ではあるが、種々の調査のため現在まで多くの空中写真を直接に扱っており、その結果写真に対する経験の豊富さが大きく影響していると思われる。

その他の者について、その個人差は特に感じられないが、時として専門家の測定値に対

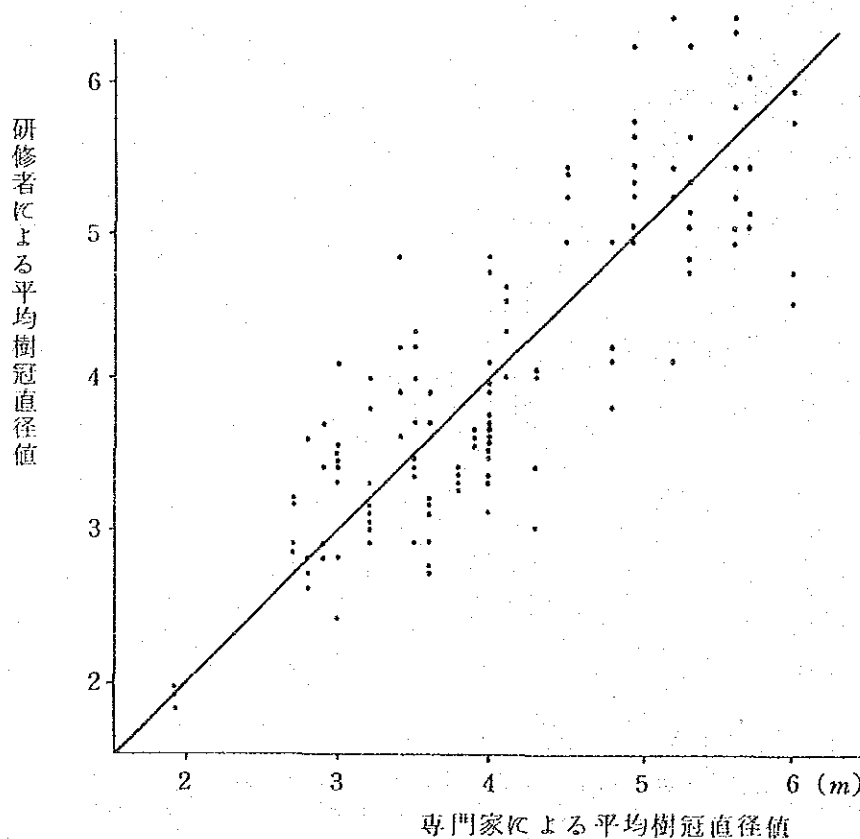
し、かなり離れた数値を出していることが目立つ。このことは判読の初級者にはよく起こる現象で、浮点の立体視に集中するあまり、浮点を取りまく対象物の立体視が疎かになっていることに気付かないままに、浮点の位置を決定してしまうことによる。

したがって防止策としては、浮点の上下の移動をできるだけゆっくりと行ない、時には浮点の立体視を無視して対象物の立体視に集中し、再び浮点を立体視することを繰り返すのがよい。

しかし初級者にとって、長時間の立体視を継続することは、必ずしも容易なことではなく、経験を積むことによって徐々に耐久性を養って行くことが必要である。

(b) 平均樹冠直径

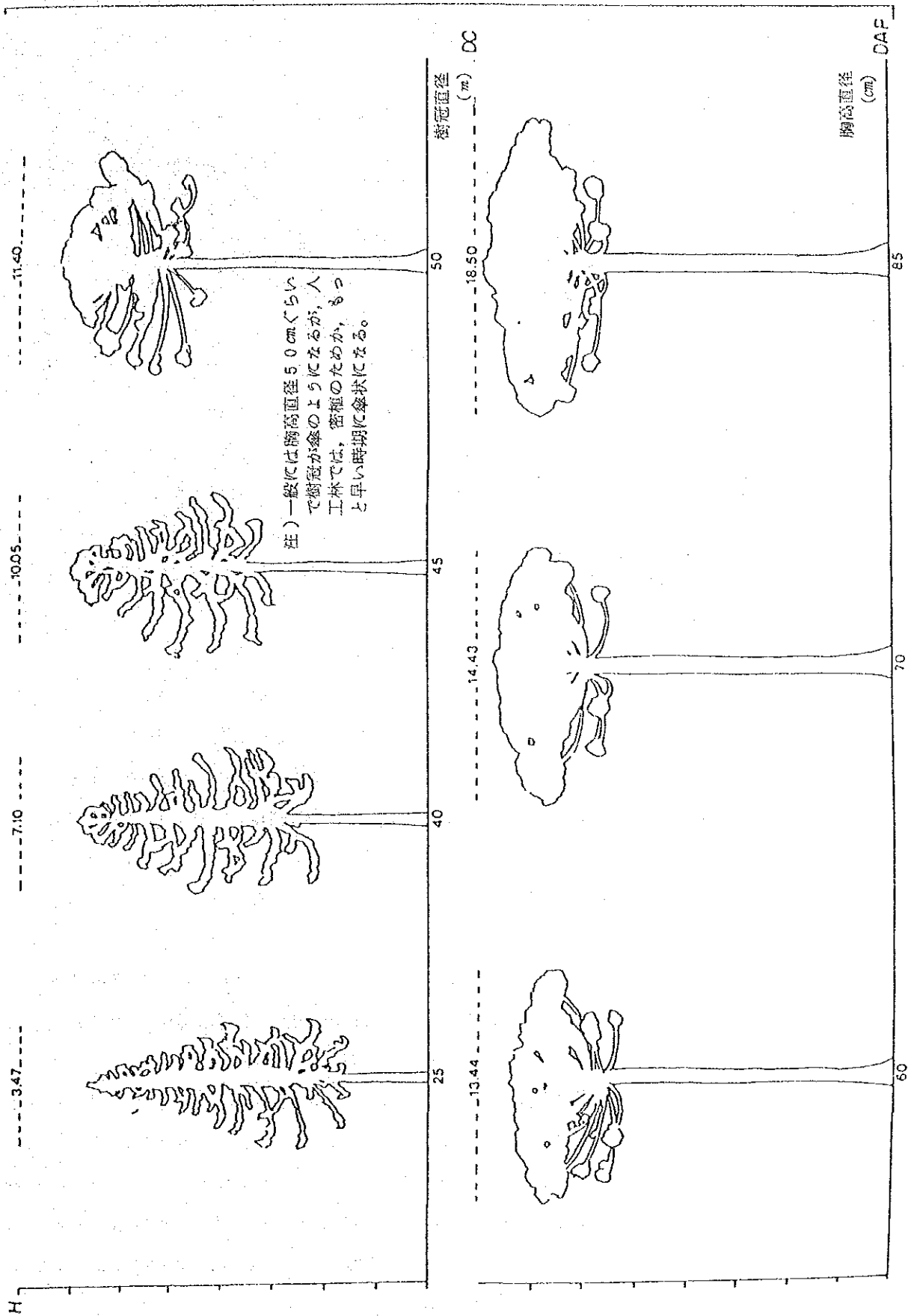
アローカリアの樹冠は図IV-14のようにある大きさに達すると傘を広げたような形になる。ただし、人工林の場合はかなり早い時期に樹冠は傘状になるようであり、当研修で測定したものについては、樹冠直径が2 m以下のもの1点を除いてはすべて傘状の樹冠を測定したことになる。



図IV-13 樹冠測定研修結果

各自の測定結果により個人差は認められず、図IV-13のように、ややバラツキが大きすぎる感もあるが、専門家の測定値を中心に一樣なバラツキを示しており、各自の測定値

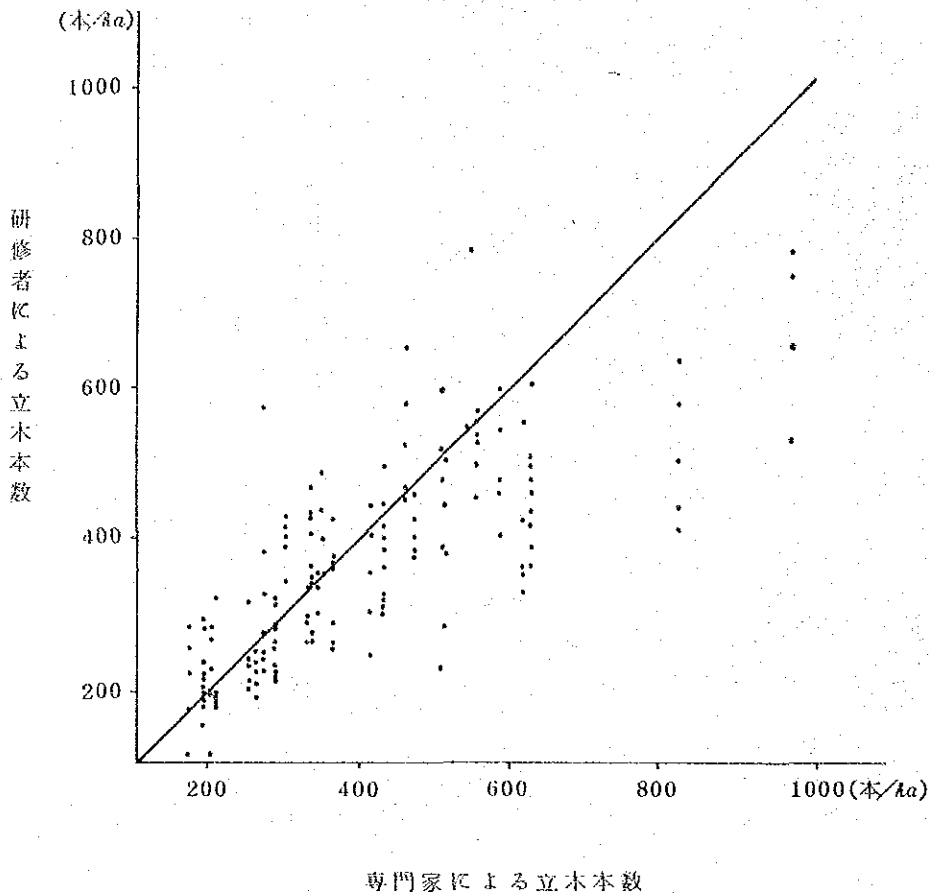
図 IV-14 アロカーリア樹冠の遷移



を平均すれば、それを一応の信頼できる測定値として使用できるものと判断する。

(c) 立木本数

図IV-15から言えることは、ha当たりの立木本数が500~600本以上になると劣



図IV-15 立木本数測定研修結果

勢木の判読が充分でないことを示している。

一方、200本/ha前後の測定値においても、依然としてバラツキが大きく、また専門家の測定値より過大にカウントする傾向にあるのは、アローカリアの樹冠が特異であり、図IV-16のように隣接した樹冠の輪の一部同志が余分の樹冠の輪として誤判読されるからであろう。

以上のような問題点は、今後さらに指導しなければならない点ではあるが、優勢木の陰に隠れた劣勢木を判読するには、理論的にも無理な面もあり、写真測定値は実際の現地本数より下回るのが当然であり、ことに立木本数が密になるほどその傾向は増してくる。

こうした点から研修者の測定結果を見ると、ミスカウントと思われる測定値を除いて、ほぼ一定のバラツキをしており、これらの平均値を使用すれば、現地本数とにおいて何らかの関係式を導き出せる傾向にあると判断する。

④ 成 果

個々の判読項目に対する詳細な作業手順は、ポルトガル語で示してあるので、今後、写真判読に興味ある他の研究者あるいは作業員にも、今回の研修員が自主的に実習を指導できる基礎は、固められたと判断する。

したがって今後は独自で得られる判読のデータを、種々の調査、研究に取り入れて、どの程度信頼される精度であるかを自ら判断し、経験を重ねて行くことを期待するとともに、専門家としてはできるかぎり判読データの活用方法を指摘して行く方が効果的と考えている。

(3) 今後の見通し・問題点

① 肉眼立体視

日本においては、判読技術者及び空中写真の判読データを多用している研究者は、肉眼立体視技術を必修のものとしている。肉眼立体視の有利な点は、立体鏡のような器具を必要としないので、いつでもどこでも一対の写真さえあれば、その画像の立体感を把握することができ、現地で詳細な立体感を照合するのに便利であるばかりでなく、判読技術に関して、種々多用な判読経験を積み重ねることができ、それが判読技術の向上に貢献しているなどである。

ところが米国を始め南北アメリカ大陸においては、肉眼立体視のできる判読技術者は非常に少ない。言い換えれば、肉眼立体視を必要としない判読技術の活用範囲を考えているようにも思われる。

一方、日本の判読技術の応用や活用手法を見ると、すべての判読技術者は肉眼立体視ができることを前提としたものも少なくなく、この点で判読技術を外国で指導する場合や、外国での活用法を開発する場合は、その社会情勢に適合するものを見い出すことを配慮することが重要と考える。

なお、以上のことから、今回の研修実施に当たっても肉眼立体視の実習は行なわなかった。

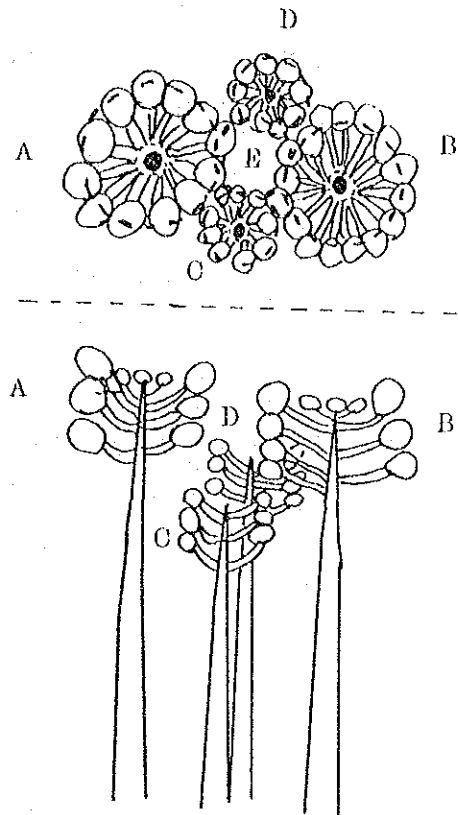


図 IV - 16 疑似樹冠の誤判読

② 大縮尺の空中写真

空中写真判読の基本的な技術を指導するには、少なくとも1/10,000以上の大縮尺の写真が望ましい。ところが当国の最近の空中写真撮影状況を見ると、1/45,000~35,000のものが多く、そのため判読技術者養成の大きな障害にもなっている。

しかし逆に、判読技術の活用度が増せば、自ずと大縮尺写真の需要も増すと考えられるので、本研修の普及効果を今後に期待したい。

③ 空中写真判読研修制度

広大なブラジルでの種々の調査に、大量の情報を迅速にデータ化のできるリモート・センシング技術は優れた効果を持つ。今回の判読研修は、多数の判読技術者を養成し、リモート・センシング技術そのものを高める基礎となるものである。したがって今回参加した研修員は、その技術の普及に務めるとともに、常時の研修コースの設置と研修修了後の資格を制度的に組み入れられることを提案したい。

IV-3-2 空中写真材積表の作成

(1) 背景と目的

サンパウロ州の人工林（主としてマツ類とユーカリ）の生長は一般には非常に良好であり、例えばマツ類の伐期は20~25年とされており、ユーカリにおいては7年で伐採されている。このようなことから、人工林面積そのものの推移も激しく変化する。したがって、ある時点での材積の分布状態を把握することに困難をきたす場合が多い。

サンパウロ州立森林院ではサンパウロ州全体としての、人工林の蓄積を推定するために、空中写真の活用に着目し、写真判読技術者の養成とともに、人工林材積調査の方法を検討した。その結果、写真の判読技術を利用して、人工林の層化作業（林相判読）を行ない、最終単位の層化林分に対し、サンプリングによる現地調査を行ない、それらの材積情報から統計的手法を用いて、総材積の推定を行なう方法を考案したが、これには長期間と高コストが必要となる点や、州全体の適当な空中写真が存在することを前提とする点、また政策上の諸々の悪条件などによって、この計画は現在中絶した状態となっている。

このような状況下で、もし比較的簡易な、つまり短時間で低コストな材積推定方法があれば、とりあえずそれらの手法を実験しておくことは、今後の地域的な、あるいは短期的な林業政策に大きな役割をもたらすことになる。

そこで取り上げたのが、空中写真材積表の利用であり、これは空中写真の判読作業のみで材積を推定することができ、その精度の信頼度はやや低く、あるいはその適合範囲が狭められる傾向にはあるが、適当な空中写真が撮影されれば同時に材積を推定することができる点では、上述のサンプリング調査を実施するよりは有利である。また将来もしサンプリングによる調査法が実施されることがあれば、その後の人工林の動向を探るモニタリング効果として、十分に活用性を発揮できるものである。また現時点では蓄積情報が皆無に等しい地域や、

あるいはその情報が相当に古いものである場合の、現有蓄積の目安には、短時間かつ低コストで推定できる、空中写真材積表の利用が有利なものとなる。

(2) 経過と成果

① 作業方法の定め方

空中写真材積表を作成するに当たって、まず基本的に写真情報の中に直接あるいは間接的に材積を推定する要因が情報として含まれているかどうか、あるいは含まれているとして、その要因をいかに抽出してデータ化するのかを検討しなければならない。

(a) 樹種の選択

材積とは樹木の幹の容積をさしており、空中写真からの幹の太さは樹冠にさえぎられて捉えることができない。したがって写真から測定可能なものは、樹冠の大きさであろう。次に幹の高さは樹高を直接測定することによって知ることができよう。したがって、この両者で単木的な材積が捉えられるとして、林分全体の材積を知るためには、林分内の幹の絶対数として捉えられるものとして、立木本数あるいは疎密度がある。以上の考え方をふまえて、次のことを検討する。

まず、すべての樹木は時間の経過と共に生長するが、しかし幹の増大と樹冠や樹高のそれぞれの生長は必ずしも単純な比例関係を示すものばかりではない。そこで上述した写真判読要因となる樹冠と樹高が材積の成長に対し比較的単純な関係を持ち、その立木本数も測定容易な樹種から空中写真材積表を作成することが、合理的なアプローチ方法と言えよう。

こうして写真材積表作成の第1段として選ばれたのがアローカリア (*Araucaria angustifolia*)である。この樹種はブラジル国では針葉樹の唯一の用材として古くから利用されているものであり、その天然分布の実態はパラナ州を中心にブラジル最南端のリオ・グランデ・ド・スル (Rio Grande do Sul) 州の山岳地帯にあり、比較的寒冷なところに分布している。

(b) 空中写真の選択

空中写真を判読する時、その縮尺は大であるほど当然その精度は高くなる。しかしその反面コスト高になる上に、リモート・センシング技術の有益性の一つである広域性と即時性が失われて行く。したがって、写真の縮尺の決定には目的に応じた妥協点を選択することになるのが普通である。空中写真材積表の作成に当たっては、その縮尺は一般に1/10,000を限度としている。さらに、できるだけ最近の空中写真の方が地上データとの照合に問題が少ないことを考えて、1982年6月撮影の縮尺1/8,000の写真を用いることとし、その撮影諸元は前節(1)の表IV-23で示してある。

(c) 調査地

空中写真材積表は林分としての材積を推定するものであり、各判読要因も林分の平均的

なひとつのデータとして表現されるので、単位となる林分が、できるだけ均一性を持つ方が有利である。したがって、データ収集のための調査対象地は、できるだけきめ細かな施業がなされ、それぞれの林分が、できるだけ均一性を維持している方が、写真材積表の作成の第一歩としては、種々の面で都合がよい。

このような観点から、調査地はサンパウロ市北2.5 km (西経46°44', 南緯23°24')にあるアローカリアの人工林を対象とした。その他の樹種としては次のようなものが、きめ細かに管理されている。

Cupressus lusitanica

Cuningamia lanceolata

Cryptomeria japonica

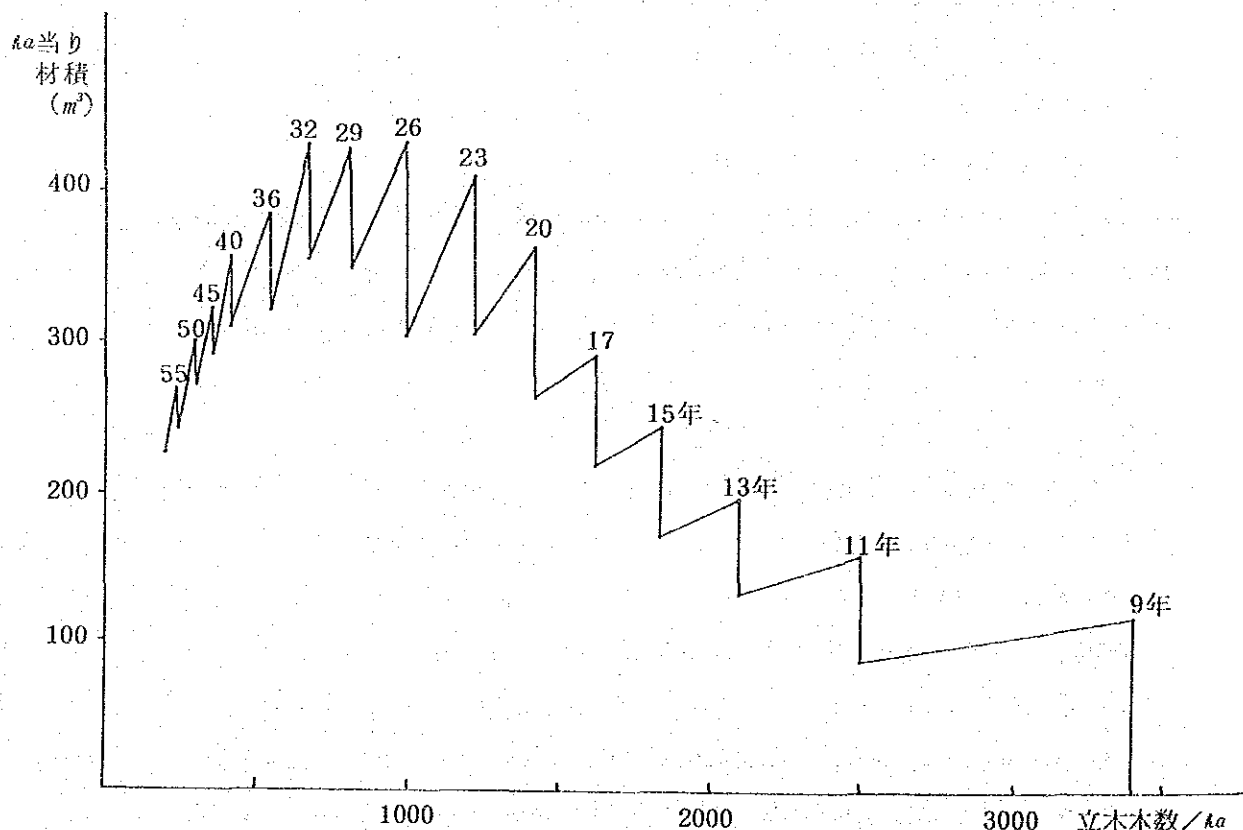
Faxodium distium

Melia azidarachi

Pinus spp.

Eucaliptus spp.

なお、対象となるアローカリア人工林の立地する標高の平均は780 mであり、またその施業状況を知るために、図IV-17 (1982年第1回ブラジル在来樹種学会の発表デ



図IV-17 アローカリア人工林の間伐状況

ータより)で間伐例を示すが、かなりきめ細かな間伐を繰り返しているのがわかる。

(d) 手法の決定

一般的手法としては、ある区画林分のha当たりの材積単位を従属変数とし、その独立変数として判読要因の測定値を用いた重回帰式を使う方法と、さらに要因を拡大して地形、地質、土壌、あるいは地位指数等を数量化した、多変量解析による方法とが考えられる。

そしてここでは、作成の第1歩として、前述の背景にそった簡易性を重視し、また前節の判読研修成果の応用としての点も考えて、区画林分の樹冠直径と、ha当たりの立木本数より、ha当たりの材積推定式(重回帰式)を導き出し、材積表を作成することとした。

なお、樹高の要因を削除した理由は、前節の判読結果(図IV-12)にあるように、判読者の技術が許容される精度に至っていないことが直接の原因であるが、その他の理由として、空中写真材積表に使用される一般的な要因としても、林分の樹高の測定値そのものを直接使用できる例は少ない。つまり一般に広く用いられている樹高の要因は、樹木の集合体としての林分を単位とし、相互を比較判読した高さのグレーディング要因を代用する方法であるが、今回の判読者の林相に対する判読技術の経験が浅いことから、これも用いないこととした。

結局、推定式としての重回帰式は次のように予想される。

材積推定値 = $a + b \cdot (\text{樹冠直径}) + c \cdot (\text{立木本数}) + d \cdot (\text{樹冠直径と立木本数の組合せ})$

ただし、 a, b, c, d は係数。

(2) 作業の実施

作業を実施するに当たって、その手順は図IV-18に示す流れとなる。

(a) 参加者

空中写真材積表の作成に当たって、一連のデータ収集作業に従事した者は、前節での判読研修のメンバー5人が当たり、そのデータ分析の研究は、その内の1人のカウンターパートと協力して行った。

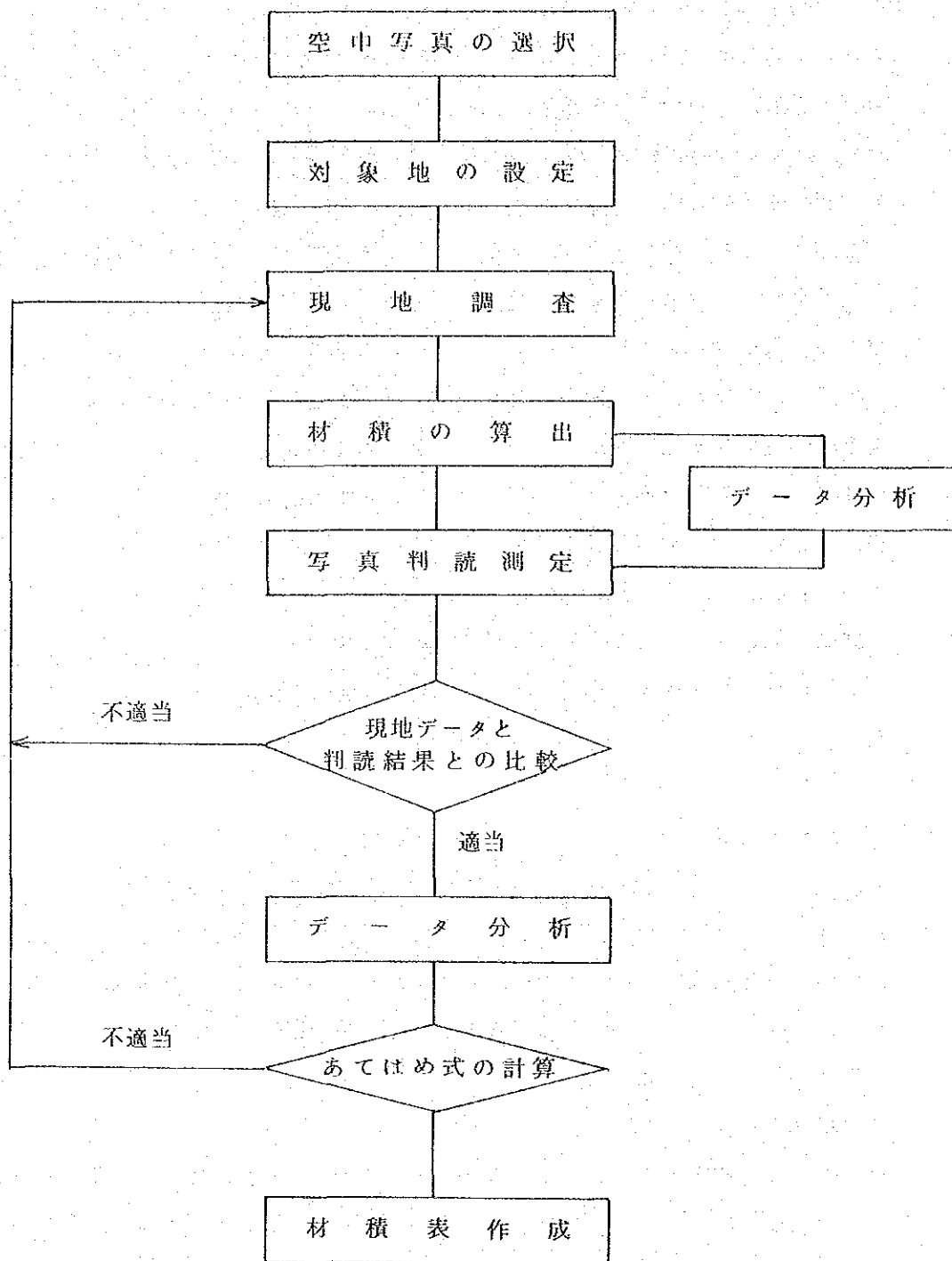
(b) 現地調査

上の研修員5名により、図IV-19にある林令別施業区画毎に1~3プロットの割合で毎木調査を行ない、計34区画のデータを収集した。なお1プロットの大きさは、0.1ha(40m×25m)とした。

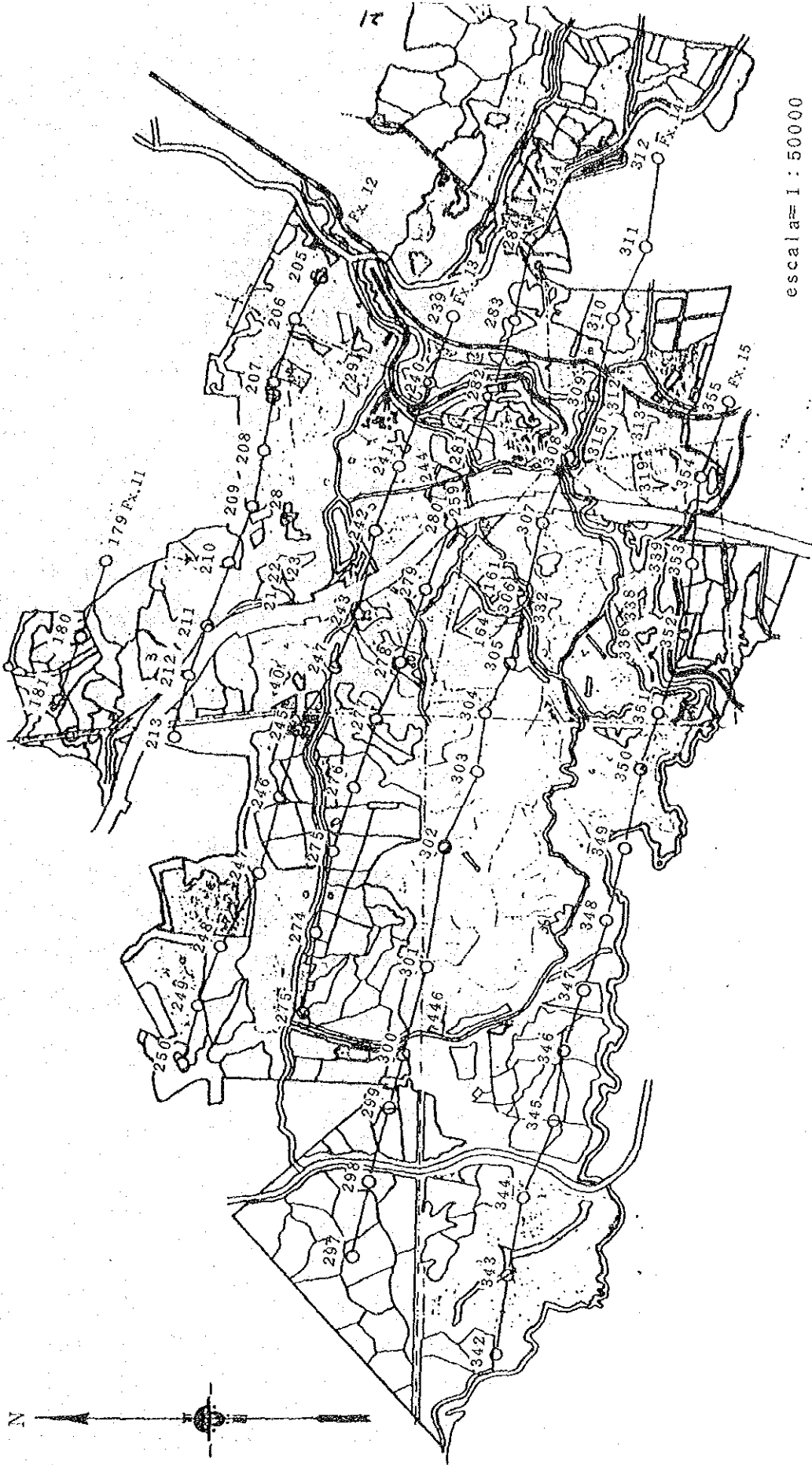
結局、調査した34区画の林令別頻度は図IV-20のようになった。また、測定項目は胸高直径、樹高、立木本数で表IV-26のようである。

(c) 林分平均樹冠直径

各カウンターパートが空中写真の判読を行ない、区画内の平均的な樹冠3個を抽出し、樹冠直径測定板(前節の図IV-9)を用いて、それらの直径を測定し平均値を算出し、そ

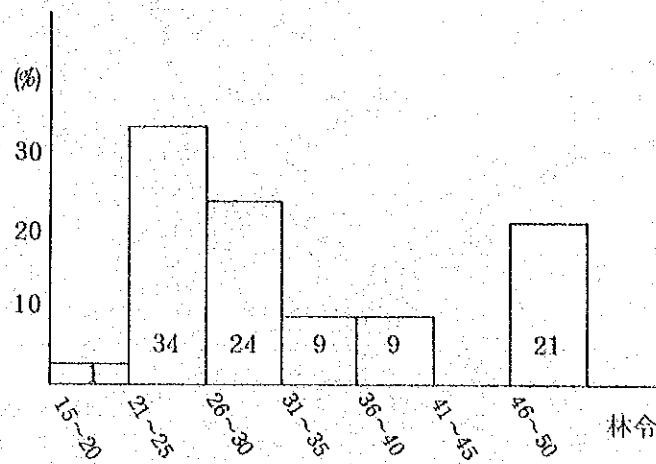


図IV-18 作業手順フローチャート



escala= 1 : 50000

図 IV-19 現地調査プロット位置図



図IV-20 収集データの林令別頻度分布

れを各々の樹冠直径の測定値とした。こうして求められた各自の測定値は表IV-27のようであり、各自の測定値にはバラツキがある。しかし、前節の研修結果(図IV-14)において、これらのバラツキは専門家の測定値を中心に散在しているものであり、特に著しい個人的なイレギュラーがないことから、各区画毎に各自の測定値の平均値を推定式に用いられる樹冠直径の要因データとした。なお、この場合の平均値からの各自の測定値の差の標準偏差は9.8%であった。

(d) 立木本数

写真上の1区画林内で平均的な立木本数を表わすと判読される3カ所を選び、それらについてプロットセット板(図IV-10)の適当なプロットサイズを重ね合わせて、それぞれの立木本数を数えた。そしてその平均値を各自の測定値とした。後は(c)の樹冠直径の時と同様に、各自の測定値を区画毎に平均した値を区画の判読立木本数として推定式に用いることとする(表IV-28)。なお、平均値からの各自の測定誤差の標準偏差は17.7%であった。

表IV--26 現地調査結果

連番	区画番号	区画面積	林令	胸高直径 (cm)	樹高 (m)	立木本数 (本/ha)	材積 (m ³ /ha)
1	3	10,0	27	21,0	18,3	520	119,1
2	21	3,2	27	20,2	18,5	740	266,5
3	22	5,4	22	19,7	17,9	710	237,9
4	23A	6,4	22	19,8	18,1	620	209,9
5	23B	0,8	24	20,6	18,7	780	295,4
6	27	2,4	34	31,4	22,2	280	281,6
7	28	1,1	31	26,1	23,2	280	211,1
8	33	11,2	22	20,6	19,1	635	246,1
9	39	1,9	22	22,7	20,3	420	209,6
10	40	3,2	23	22,5	19,1	950	438,2
11	80	5,4	23	20,3	19,0	790	295,0
12	81	5,4	24	20,5	19,4	500	194,5
13	83A	5,4	26	21,4	19,5	715	304,6
14	83B	3,8	25	22,8	19,1	607	285,7
15	111	1,4	16	17,0	16,0	1320	302,0
16	114	8,0	26	21,4	19,6	510	218,4
17	129	3,4	29	25,0	19,6	350	197,0
18	144	2,2	49	31,5	21,5	346	339,0
19	157A	1,9	49	31,6	22,8	275	287,6
20	157B	0,6	49	30,3	22,5	325	313,1
21	160	1,1	49	31,7	20,8	308	300,9
22	161	3,8	49	33,7	23,5	267	330,9
23	167	7,7	49	34,0	24,5	240	312,3
24	312	3,7	50	33,3	24,1	308	382,4
25	313	5,8	28	18,8	17,6	580	178,5
26	315	4,0	50	30,9	21,2	282	264,9
27	319	7,2	28	21,2	19,6	520	218,5
28	332	2,6	39	27,6	23,6	280	240,1
29	336	1,0	39	21,6	16,6	510	188,4
30	338	4,3	35	27,7	21,2	385	298,4
31	339	2,2	28	27,0	21,9	340	258,9
32	349	4,2	21	22,4	19,2	630	289,5
33	361	2,7	21	18,7	17,1	1015	292,7
34	446	1,6	25	18,5	16,2	840	231,1

表IV-27 樹冠直径測定値と平均値

測定者 区画番号	1	2	3	4	5	平均値
3	2.7	3.2	2.9	3.2	2.9	3.0
21	3.2	3.0	4.0	2.9	3.3	3.3
22	2.9	3.7	2.9	2.8	3.4	3.1
23A	4.0	3.3	4.1	3.3	3.7	3.7
23B	4.0	3.1	3.9	3.5		3.6
27B	5.3	4.7	5.6	6.2	4.8	5.3
28	4.8	4.2	4.9	4.1	3.8	4.4
33	3.8	3.4	3.3	3.3	3.3	3.4
39	3.5	3.4	3.4	3.4	4.2	3.6
40		3.2	3.6	3.0	3.8	3.4
80	3.6	3.1	2.7	2.7	3.9	3.2
81	3.6	2.9	3.2	3.2	3.7	3.3
83A	4.0	3.5	3.5	3.5	3.7	3.6
83B	4.0	3.9	4.8	4.7	3.7	4.2
111	1.9	1.9	1.8	1.9		1.9
114	3.5	4.3	2.9	4.0	3.7	3.7
129	4.1	4.5	4.6	4.0	4.3	4.3
144	5.3	5.3	5.0	5.4	5.7	5.3
157A	5.7	5.4	5.0	5.1	6.0	5.4
157B	4.9	5.2	5.3	5.4	5.7	5.3
160	4.9	5.6	5.0	6.2	4.9	5.3
161	5.6	5.4	4.9	5.2	5.7	5.4
167	5.2	5.4	4.1	5.2	6.4	5.3
312	5.6	5.8	5.0	6.3		5.7
313	3.9	3.6	3.6	3.6		3.7
315	6.0	5.7	4.7	5.9	4.5	5.5
319	4.3	4.0	3.4	3.0	4.0	3.9
332	4.5	5.2	5.4	4.9	5.4	5.1
336	3.0	3.5	3.5	3.5	4.1	3.5
338	3.4	3.9	3.6	4.2	4.8	4.0
339	3.9	4.2	4.0	3.6	4.6	4.1
349	3.0	3.3	2.8	2.4	3.5	3.0
361	2.8	2.8	2.6	2.7	3.6	2.9
446	3.2	3.1	3.1	3.0	3.8	3.2

表IV-28 写真立木本数測定値と平均値

測定者 区画番号	1	2	3	4	5	6	平均値
3	350	484	438	438	350	397	408
21	617	350	550	325	420	360	437
22	585	475	595	458	540	400	508
23A	473	458	372	400	425	380	418
23B	625	492	360	433	500		482
27B	287	283	278	190	220	197	243
28	287	220	285	217	320	250	263
33	430	358	322	313	400	308	355
39	415	353	243	300	440	400	359
40	540		547	780			622
80	627	600	456	387	500	413	497
81	510	593	517	387	475	223	451
83A	515		440	280	375	500	422
83B	335		405	347	340	425	370
111	975		775	525	650	742	733
114	270		575	380	240	275	348
129	330		330	287	260	293	301
144	270		328	220	240		265
157A	260	200	251	233	220	187	225
157B	285	200	260	207	220	210	230
160	190	187	290	197	150	173	198
161	205	197	320	173	190	180	211
167	250	200	318	230	210	232	240
312	200	110	263	280	190	227	212
313	300	417	425	340	400	400	380
315	170	110	283	177	220	253	202
319	335	270	430	466	360		372
332	190	233	215	203	280	207	221
336	430	382	445	493	300	413	410
338	365	375	425	360	260	360	358
339	349	300	350	333	260	287	313
349	552	533	568	492	450	550	524
361	825	408	625	575	500	433	561
446	460		650	467	450	575	520

③ データ分析

(a) 地上データ

① 材積の算出

i) 従来の方法

林分の ha 当たりの材積は次の式で求められる。

$$V = BA \times H \times K \times F \quad \text{.....} \quad \text{①}$$

V : ha 当たりの材積

BA : ha 当たりの平均胸高断面積

H : 平均樹高

K : 樹皮率

F : 形状係数

なお、樹皮率は皮付の丸太を $1\text{ m} \times 1\text{ m} \times 2.4\text{ m}$ の容積を 1 として、それらの丸太が剥皮された時の容積の比率で表わし、林令によってその値が決められている。

形状係数は元口と末口のはそり率で、これも林令毎に係数が決められている。

こうして求められたのが前述の表 IV-9 である。

ii) 直線回帰式によるあてはめ

従来、上述の①式によって、樹皮率 (K) と形状係数 (F) が林令毎に定められているものを使用して材積が求められていたが、この方法により算出された林積を従属変数として、他方、胸高直径 × 樹高の円柱に、立木本数を掛けた値を独立変数として直線回帰式であてはめると図 IV-21 のような結果となり、次のような直線回帰式の②式がで

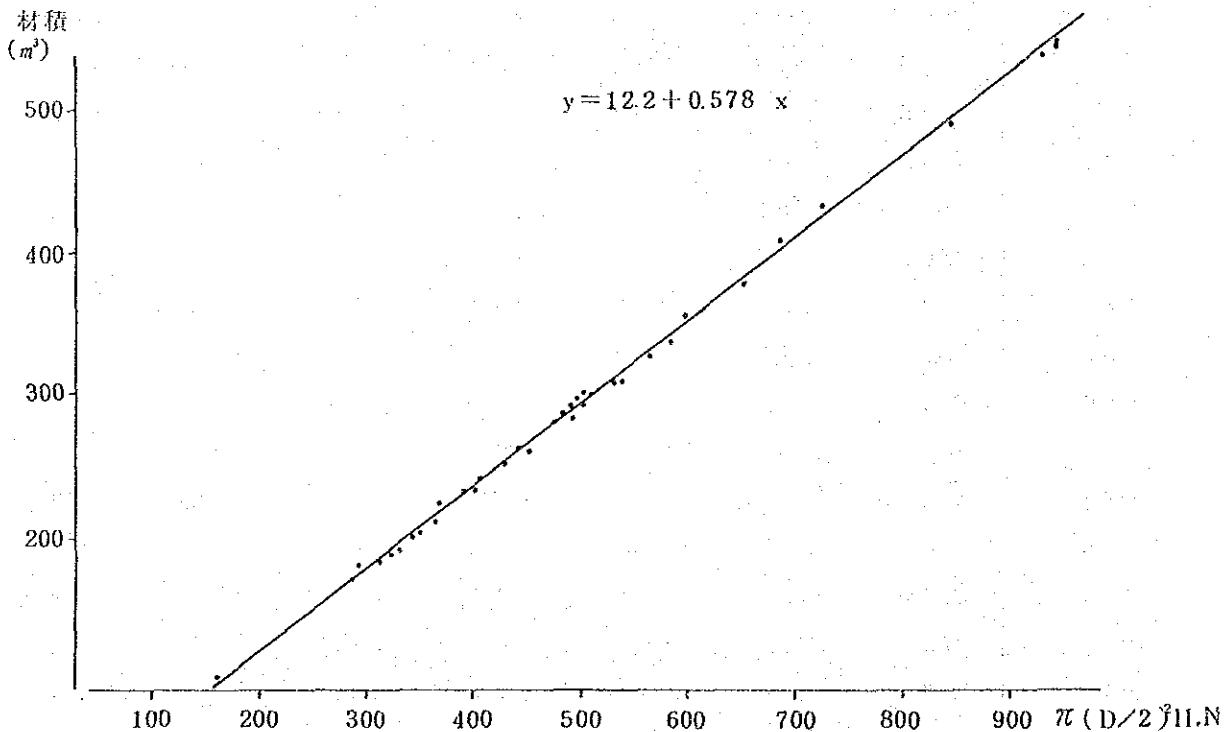


図 IV-21 胸高直径、樹高、立木本数による材積推定

さる。

$$\bar{V} = 12.2 + 0.578 \times \pi \times \left(\frac{DBH}{100}\right)^2 \times H \times N \dots\dots\dots (2)$$

$$R = 0.999$$

ここで

\bar{V} : 推定材積 (m^3/ha)

π : 3.14

DBH: 胸高直径 (cm)

H : 樹高 (m)

N : 立木本数 (本/ha)

R : 相関係数

したがって、この②式によれば、林令に関係なく、胸高直径と樹高と立木本数があればその材積を一様に推定することができる。

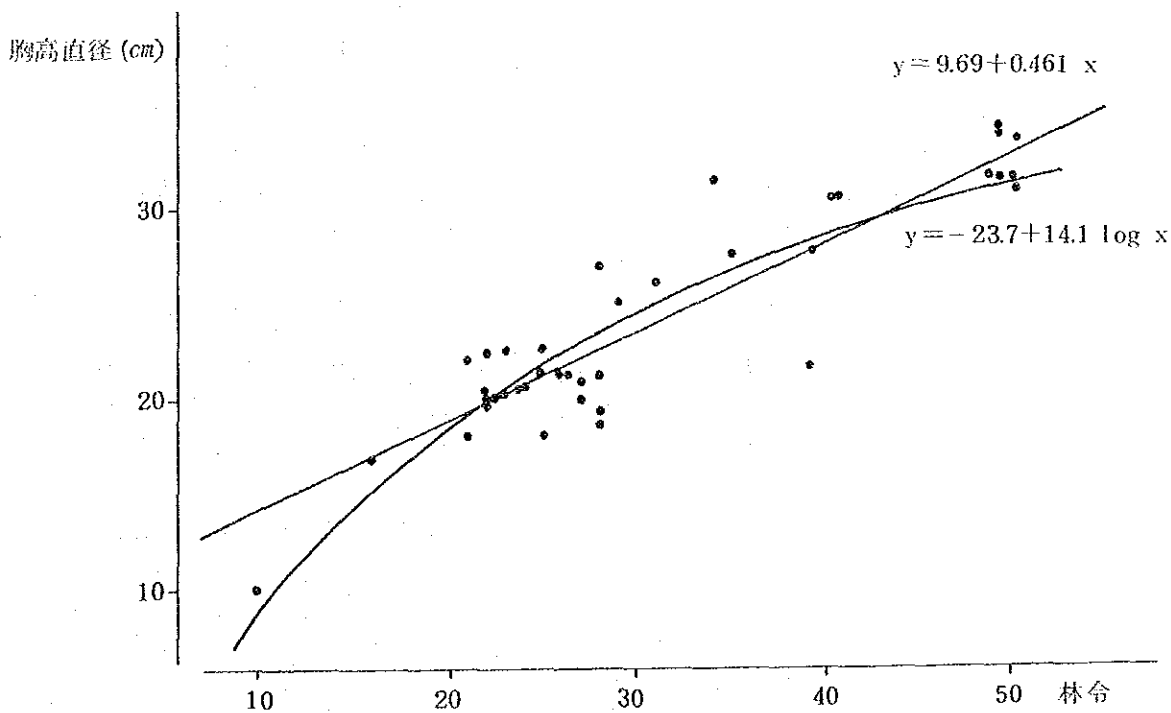
⑥ 生長曲線

林令による林分の平均胸高直径と平均樹高とを直線式とlog曲線式であてはめると次のようになる。

⑦ 平均胸高直径 (図IV-22)

$$\overline{DBH} = 9.69 + 0.461 \times I \dots\dots\dots (3) \quad R = 0.904$$

$$\overline{DBH} = -23.7 + 14.1 \log I \dots\dots\dots (4) \quad R = 0.907$$

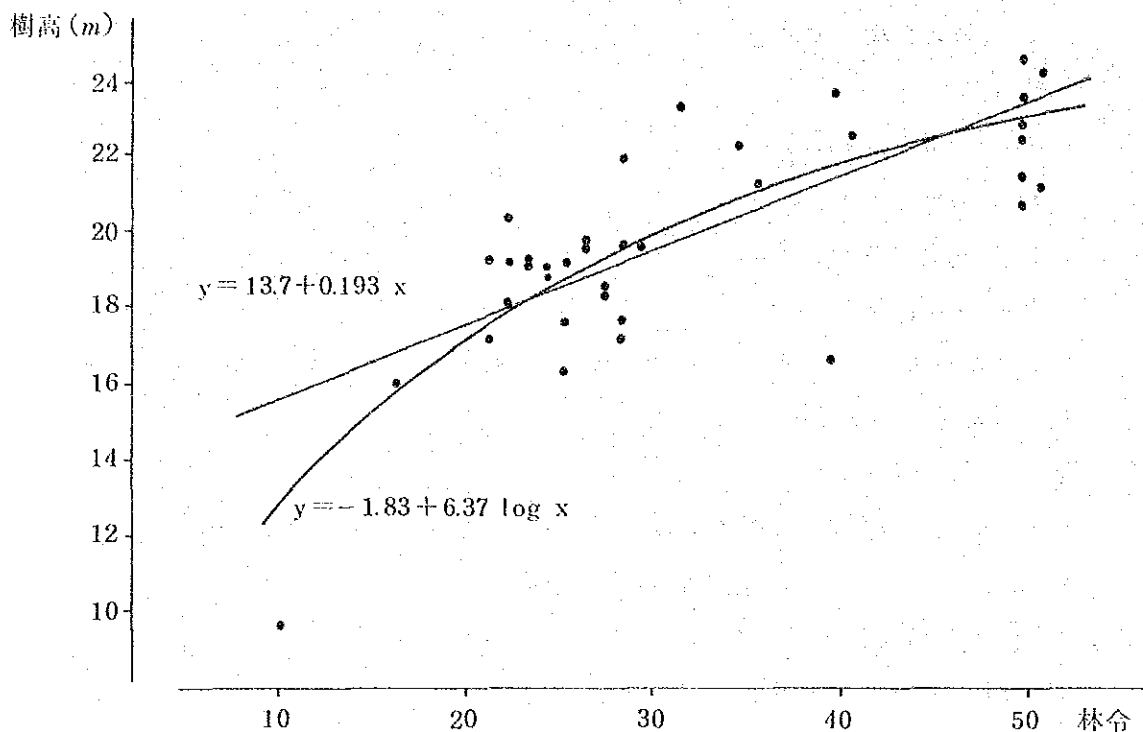


図IV-22 林令と胸高直径

◎平均樹高 (図IV-23)

$$\bar{H} = 13.7 + 0.193 \times I \quad \text{⑤} \quad R = 0.739$$

$$\bar{H} = -1.83 + 6.37 \log I \quad \text{⑥} \quad R = 0.809$$



図IV-23 林令と樹高

ここで、

DBH: 推定胸高直径 (cm)

\bar{H} : 推定樹高 (m)

I: 林令

R: 相関係数

上の直線式と log 曲線式とであてはめた時の相関係数から言えば、胸高直径については直線的生長を示すが、樹高は log 曲線の方がよくあてはまる。

◎ 間伐施業

上と同様に立木本数の推移は図IV-24となり、その式は次のように表わされる。

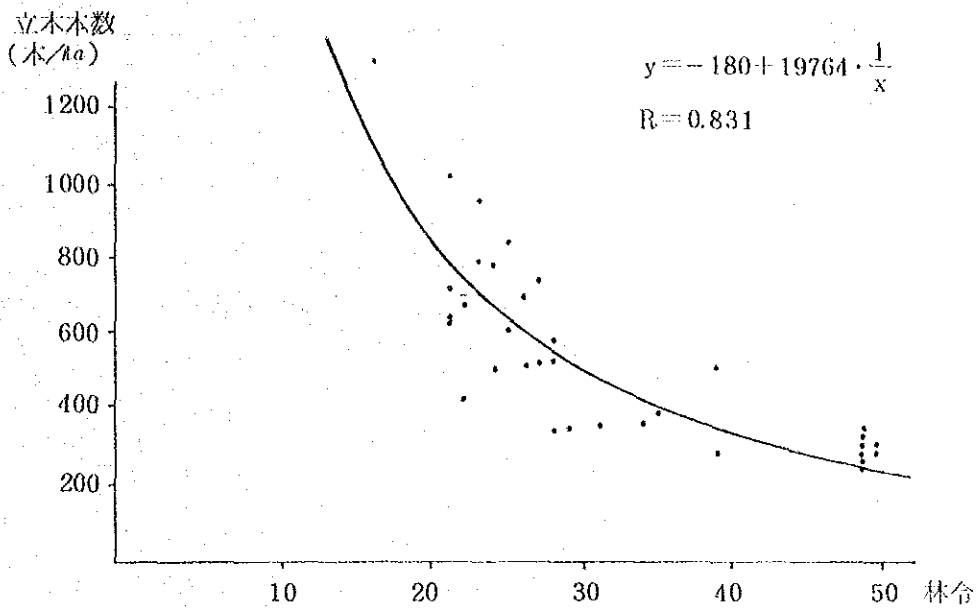
$$\bar{N} = -180 + 19764 \cdot \frac{1}{I} \quad \text{⑦} \quad R = 0.831$$

ここで

\bar{N} : 推定立木本数 (本/ha)

I: 林令

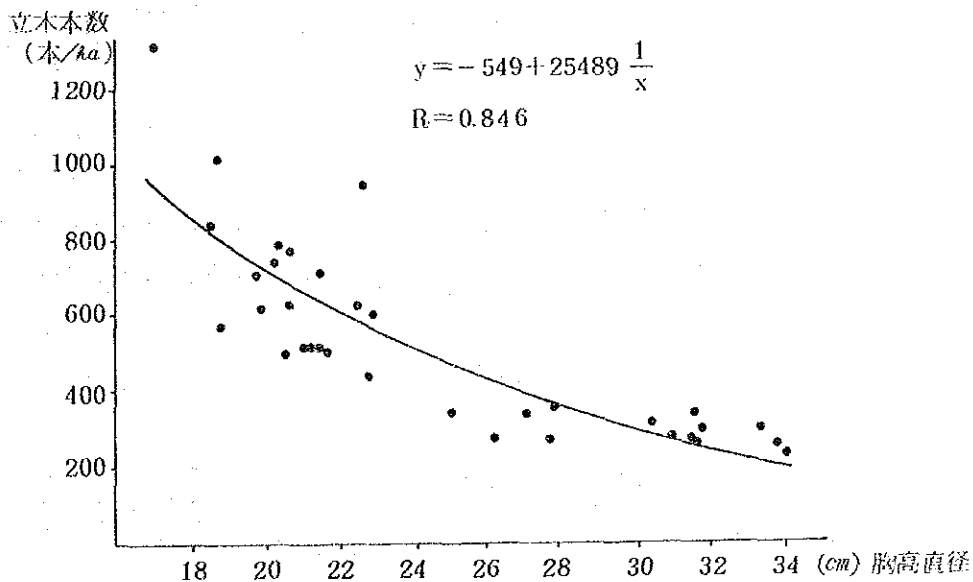
R: 相関係数



図IV-24 林令と立木本数

図IV-24からわかるように林令30年以降の立木本数は、きわめて少ない本数の間伐しか行なわれていないことがわかるが、これは他の資料による図IV-17の間伐状況で30年以降のha当たりの材積の減少傾向と付合することになり、当人工林の間伐施業の特色がうかがえる。

なお、実際の間伐実行の決め手となるのは胸高直径と思われるので、その関係を図IV-25に示し、⑧式をあてはめた。



図IV-25 胸高直径と立木本数

$$\bar{N} = -549 + 25489 / \text{DBH} \dots\dots \textcircled{8} \quad R = 0.846$$

ここで、

\bar{N} : 推定立木本数 (本/ha)

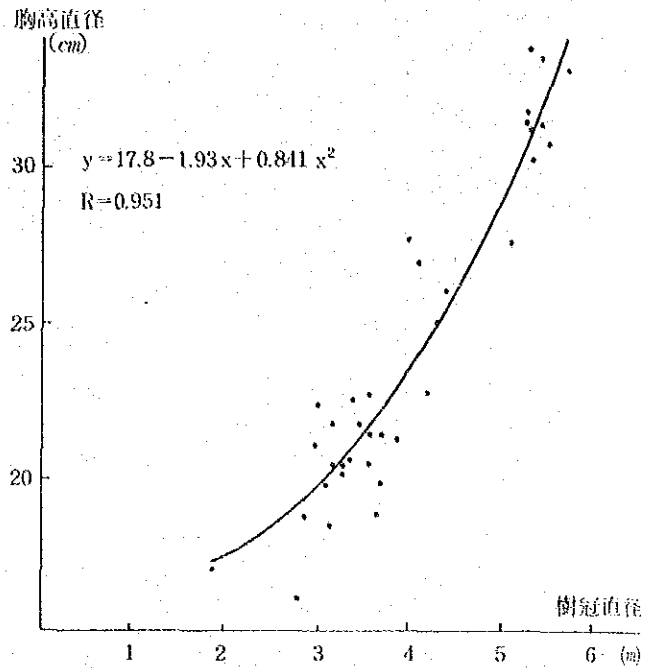
DBH: 平均胸高直径 (cm)

R : 相関係数

(b) 樹冠直径のあてはめ

① 胸高直径

空中写真より測定された各研修員の測定値の平均値を用いて、樹冠直径と胸高直径との関係は図IV-26のようであり、これに胸高直径を y 、平均樹冠直径を x として、1次、2次、3次の式であてはめると次のようになり、⑩の2次式が適当と判断される。



$$\overline{\text{DBH}} = 4.14 + 5.04C$$

..... ⑨

図IV-26 樹冠直径と胸高直径

$$R = 0.938$$

$$\overline{\text{DBH}} = 17.8 - 1.93C + 0.841C^2 \dots\dots \textcircled{10} \quad R = 0.951$$

$$\overline{\text{DBH}} = 22.9 - 6.51C + 2.12C^2 - 0.113C^3 \dots\dots \textcircled{11} \quad R = 0.951$$

ここで、

$\overline{\text{DBH}}$: 推定胸高直径 (cm)

C : 平均樹冠直径 (m)

R : 相関係数

② 樹高

上と同様にして樹高との関係を図IV-27で見ると、次の⑫の1次式で表わされる。

$$\bar{F} = 11.8 + 2.03C \dots\dots \textcircled{12} \quad R = 0.857$$

ここで、

\bar{F} : 推定樹高 (m)

C : 平均樹冠直径 (m)

R : 相関係数

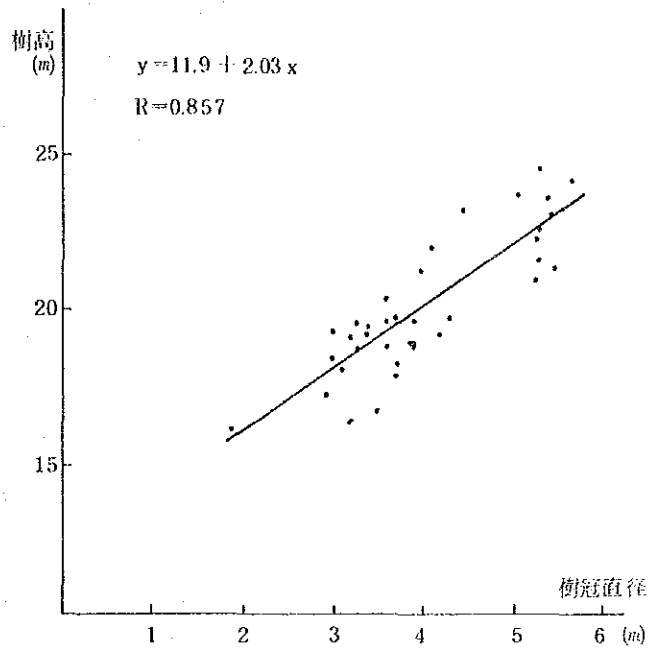
③ 平均的単木材積

上の①及び②で用いられた各測定者の平均の樹冠直径 (以下、これを樹冠直径と言う) は、胸高直径と樹高ともに、それぞれに比較的高い相関を示した。であるならば当然、

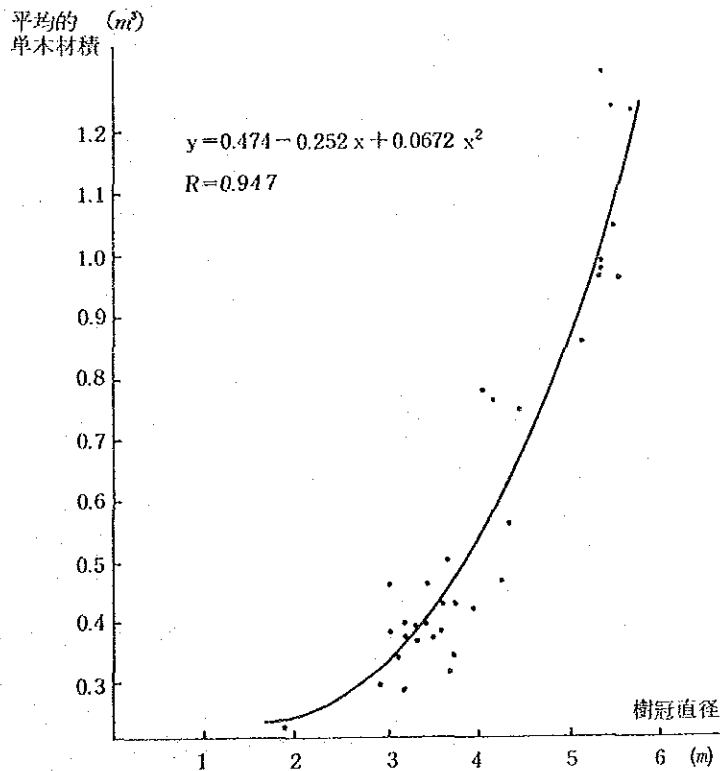
胸高直径×樹高で表わされる単木の材積との相関も高いことが予想される。

そこで、単木材積を地上のデータから表わす方法として、①式で得られている実際の林分材積を、実際の立木本数で除すなら、その林分の平均的な単木の材積を求めることができる。

そして、これらと樹冠直径との関係は図IV-28のようになり、これを次のように1次、2次、3次式であてはめた結果、④の2次式のように相関係数0.947のように高い値を示した。



図IV-27 樹冠直径と樹高



図IV-28 樹冠直径と平均的単木材積

$$\bar{IV} = -0.17 + 0.305C \quad \dots\dots (13) \quad R = 0.925$$

$$\bar{IV} = 0.474 - 0.252C + 0.0672C^2 \quad \dots\dots (14) \quad R = 0.947$$

$$\bar{IV} = 0.195 - 0.00787C + 0.00587C^3 \quad \dots\dots (15) \quad R = 0.946$$

$$\bar{IV} = 0.178 - 0.000683C^2 + 0.00583C^3 \quad \dots\dots (16) \quad R = 0.946$$

$$\bar{IV} = 0.667 - 0.423C + 0.115C^2 - 0.00425C^3 \quad \dots\dots (17) \quad R = 0.946$$

ここで、

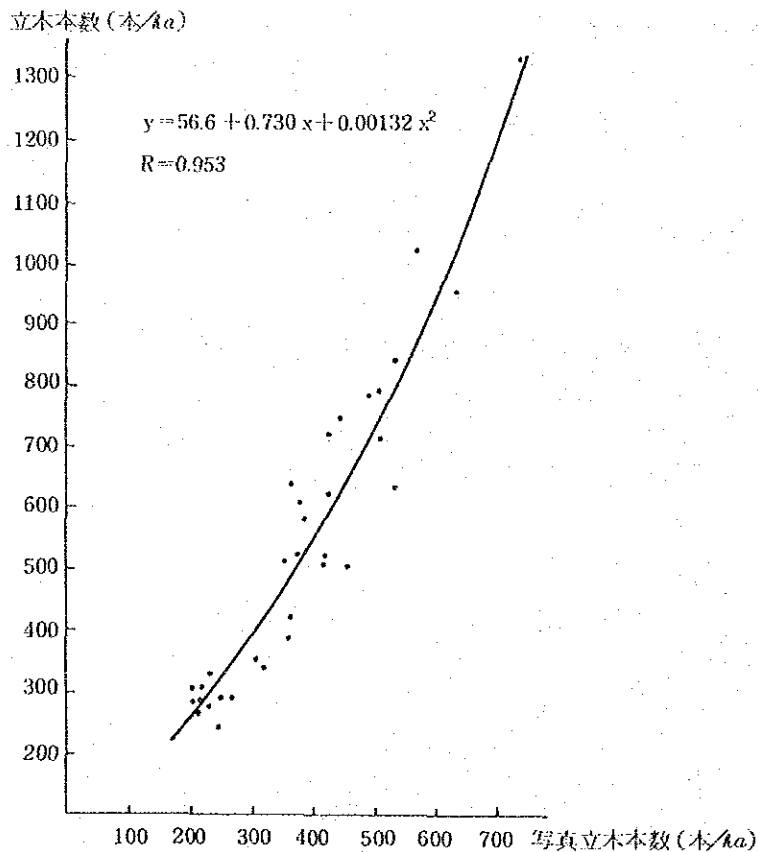
\bar{IV} : 推定単木材積

C: 樹冠直径

R: 相関係数

(c) 立木本数のあてはめ

空中写真から測定された各測定者の立木本数の平均値（以下、これを写真立木本数と言う）と現地立木本数との関係は図IV-29のようで次の(19)式であてはめることができる。



図IV-29 写真立木本数と立木本数

$$\bar{N} = -144 + 1.82FN \quad \dots\dots\dots (18) \quad R = 0.946$$

$$\bar{N} = 56.6 + 0.730FN + 0.00132FN^2 \dots (19) \quad R = 0.953$$

ここで、

\bar{N} : 推定立木本数

FN : 写真立木本数

R : 相関係数

上の(18)式を用いて現地立木本数に対する写真測定本数の平均的割合を見ると表IV-29のように現地立木本数で500本/ha以下のものに対し70%以上、現地1,000本/ha

表IV-29 立木本数と写真立木本数の平均的割合

立木本数 (本/ha)	平均的写真立木本数 (本/ha)	写真立木本数 立木本数
		×100 (%)
142	100	70
255	200	78
394	300	76
564	400	71
752	500	67
970	600	62
1214	700	58

以下のものに対しては60%以上が空中写真で数えることができることを示している。

(d) あてはめ式の組合せ

林分材積をその林分の平均胸高直径と平均樹高、そしてその立木本数とで求められる式を再度示すと次のようになる。

$$\bar{V} = a + b \times DBH \times H \times N$$

ここで、

\bar{V} : 推定材積

DBH: 平均胸高直径

H : 平均樹高

N : 立木本数

a, b: 係数

胸高直径と樹高を掛けた単木材積に対する写真測定による樹冠直径との関係は(14)式で高い相関を持ち、また立木本数に対する写真立木本数による(19)式も高い相関を示すなら、(14)式と(19)式による単木材積の推定値と、推定立木本数値とを掛け合すことによって林分の材

積推定が、ある程度の精度で求められる可能性があるのでこれを試みた。これを式で表わすと次のようになる。

$$\bar{V} = \bar{IV} \times \bar{N}$$

ここで、

\bar{V} : 推定材積

\bar{IV} : 樹冠直径より⑭式で推定された平均的単木材積の推定値

\bar{N} : 写真立木本数より⑮式で推定された立木本数の推定値

表IV-30は平均的単木材積と立木本数の地上値と推定値、及び林分材積の地上値とこれらの推定値を掛け合せた値を比較したものであり、推定された材積との相関は0.786で、比較的高いものである。

④ 空中写真材積表の作成

(a) 重回帰分析

上項で平均的単木材積と立木本数のそれぞれの推定式を用いて、それぞれの推定値を掛け合せた推定材積が比較的高い相関(0.786)を示したが、これらを展開すると次のようになり、この多項式で材積を推定したことになる。

$$\begin{aligned} \bar{V} &= (\text{単木材積の推定式⑭}) \times (\text{立木本数の推定式⑮}) \\ &= 26.8 + 0.346FN + 0.000626FN^2 - 14.3C - 0.184FN \cdot C - 0.00033FN^2C \\ &\quad + 3.80C^2 + 0.0491FN \cdot C^2 + 0.000890FN^2 \cdot C^2 \dots\dots\dots \textcircled{20} \end{aligned}$$

ここで、

\bar{V} : 推定材積

FN : 写真立木本数

C : 樹冠直径

ただし、上の⑳式は平均的単木材積や立木本数を個別に推定するための合された係数であるので、この8変数を用いて、改めて重回帰計算による材積の推定式を算出すれば、さらに精度の高いものが得られるはずである。

しかし、8変数の重回帰式によって、たとえ高い精度で材積が推定されても、その適合範囲が広まることにはならず、また実際の利用面を想定すると、せいぜい3変数が適当であろう。

そこでこれらの変数を試行錯誤的に組合せ、重回帰計算を繰り返した結果、表IV-31のようになり、結局、10回目に行った次の㉑式が最も高い相関(相関係数0.811)を示した。

$$\bar{V} = 27.6 + 1.37C^3 + 0.0000320FN^2 + 0.000240FN \cdot C \dots\dots\dots \textcircled{21}$$

(b) 空中写真材積表

上の㉑式を用いて表IV-32のような空中写真材積表を作成した。またこれによる各林

表IV-30 単木の材積と立木本数と林分材積の推定値

区画番号	平均的単木材積 (m^3)		立木本数 (本/ha)		林分材積 (m^3/ha)		材積推定誤差 (m^3/ha)
	実測値	推定値	実測値	推定値	実測値	推定値	
3	0,383	0,324	520	575	119,2	186,3	-12,9
21	0,360	0,376	740	629	266,5	236,5	-30,0
22	0,335	0,340	710	769	237,9	261,5	+23,6
23A	0,339	0,464	620	593	209,9	275,2	+65,3
23B	0,379	0,440	780	716	295,4	315,0	+19,6
27B	1,006	1,029	280	312	281,6	321,1	+39,5
28	0,754	0,669	280	340	211,1	227,5	+16,4
33	0,388	0,396	635	483	246,1	191,3	-54,8
39	0,499	0,440	420	489	209,6	215,2	+5,6
40	0,461	0,396	950	1023	438,2	405,1	-33,1
80	0,373	0,357	790	747	295,0	266,7	-28,3
81	0,389	0,376	500	655	194,5	246,3	+51,8
83A	0,426	0,440	715	601	304,6	264,4	-40,2
83B	0,471	0,543	607	508	285,7	275,8	-9,9
111	0,229	0,239	1320	1303	302,0	311,4	+9,4
114	0,428	0,464	510	471	218,4	218,5	+0,
129	0,563	0,635	350	396	197,0	251,5	+54,5
144	0,980	1,029	346	343	339,0	353,0	+14,0
157A	1,046	1,076	275	288	287,6	309,9	+22,3
157B	0,963	1,029	325	295	313,1	303,6	-9,5
160	0,977	1,029	308	253	300,9	260,3	-40,6
161	1,239	1,076	267	270	300,9	290,5	-40,4
167	1,301	1,029	240	308	312,3	316,9	+4,6
312	1,242	1,224	308	271	382,4	331,7	-50,7
313	0,308	0,464	580	525	178,5	243,6	+65,1
315	0,939	1,124	282	258	264,9	290,0	+25,1
319	0,420	0,515	520	511	218,5	263,2	+44,7
332	0,858	0,939	280	283	240,1	265,7	+25,6
336	0,369	0,417	510	579	188,4	241,4	+53,0
338	0,775	0,543	385	488	298,4	265,0	-33,4
339	0,761	0,573	340	415	258,9	237,8	-21,1
349	0,460	0,324	630	803	289,5	260,2	-29,3
361	0,288	0,310	1015	883	292,7	273,7	-19,0
446	0,275	0,357	840	794	231,1	283,5	+52,4

表IV-31 重回帰計算表

変数 計算回数	定数	C	C ²	C ³	FN	FN ²	FN・C	FN ² ・C	FN・C ²	FN・C ³	重相関 係数
I	-506	118			0,814		-0,00527				0,790
II	-226		11,3		0,535		0,0719				0,796
III	-272	85,2				0,000593	0,0760				0,796
IV	-114		9,07			0,000437	0,113				0,801
V	-71,9			1,29		0,000344	0,135				0,804
VI	-458	112			0,667			0,0000500			0,792
VII	-96,3		10,1		0,229			0,000184			0,806
VIII	-226	88,1				0,000423		0,000134			0,800
IX	-33,9		9,58			0,000177		0,000203			0,808
X	27,6			1,37		0,0000320		0,000240			0,811
XI	-509	119			0,810				-0,00105		0,790
XII	-206		9,88		0,606				0,0142		0,795
XIII	-188	63,2				0,000621			0,0189		0,796
XIV	-54,4		6,00			0,000531			0,0248		0,799
XV	-21,5			0,807		0,000485			0,0276		0,802
XVI	-467	106			0,770					0,000832	0,790
XVII	-163		7,22		0,597					0,00370	0,792
XVIII	-29,9	18,9				0,000544				0,00598	0,795
XIX	16,1		1,27			0,000512				0,00657	0,795
XX	24,5			0,169		0,000503				0,00664	0,795

表IV-32 アローカリア人工林の空中写真材積表

写真立木数 (本/ha)	900	850	800	750	700	650	600	550	500	450	400	350	300	250	200	150	100
1,8	411	371	333	297	263	232	203	176									
2,0	453	408	366	327	289	255	223	193	167								
2,2	496	448	401	357	317	279	244	212	182								
2,4		486	436	389	344	303	265	230	199								
2,6			472	421	373	329	288	250	216	185	157						
2,8			508	454	403	355	311	271	234	200	170						
3,0				488	433	382	335	292	253	217	185						
3,2					464	410	360	314	272	234	200	170					
3,4					497	440	387	338	293	253	217	185	158				
3,6						470	414	363	316	273	235	201	172				
3,8						502	443	388	339	294	254	218	188				
4,0							472	415	363	316	274	237	205	177	155		
4,2							504	443	389	340	296	257	223	194	171		
4,4								473	416	365	318	278	242	212	188		
4,6								505	445	391	343	300	263	232	206	187	172
4,8									475	419	369	324	286	253	226	206	191
5,0									507	448	396	350	310	276	248	227	211
5,2										479	425	377	335	300	271	249	233
5,4											456	406	363	326	296	273	257
5,6											488	437	392	354	323	299	282
5,8												469	423	384	352	327	309
6,0												504	456	416	382	357	330
6,2													491	449	415	388	369
6,4														485	449	422	402

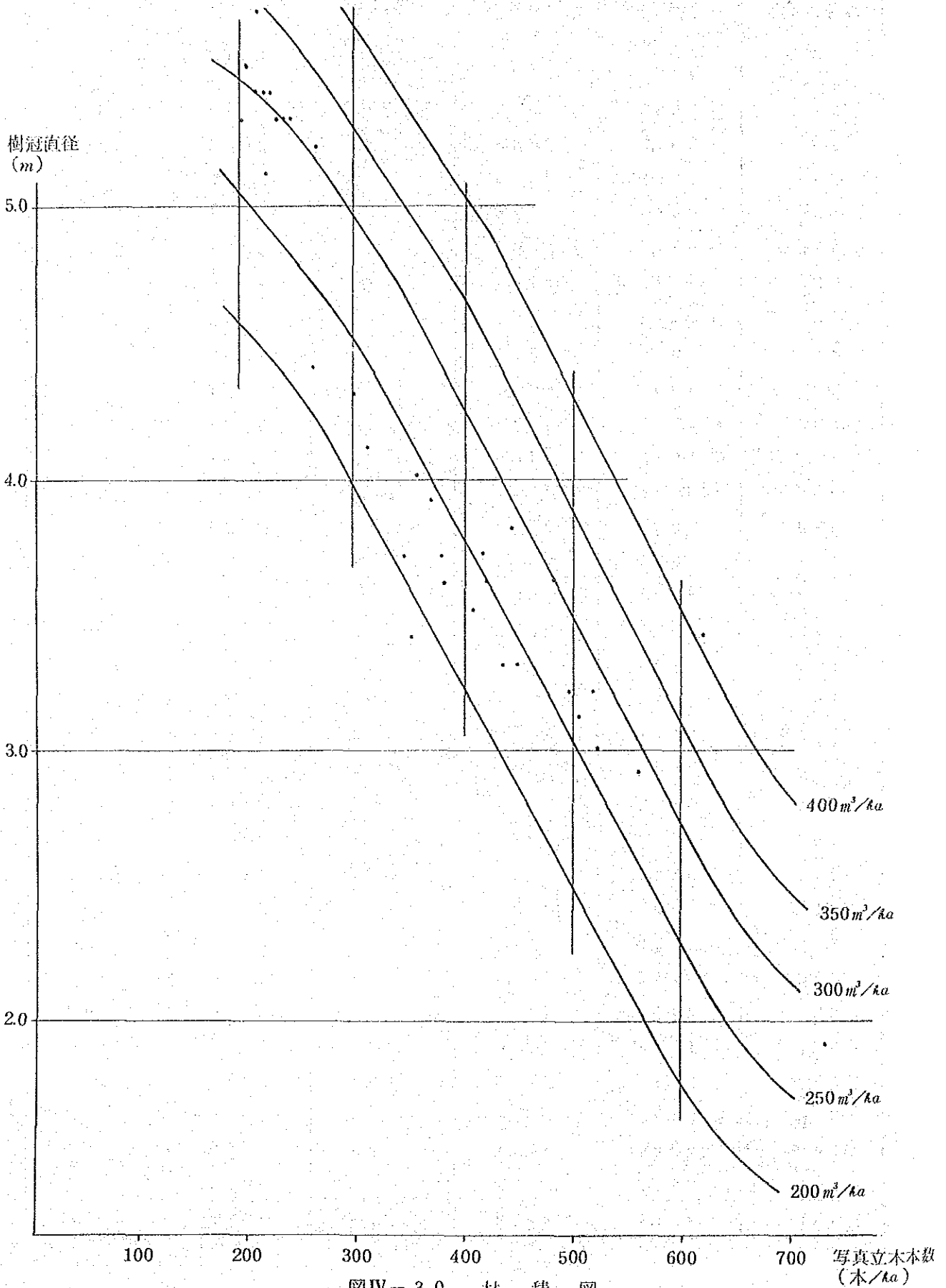
分区画の材積と推定値の比較は表IV-33に示す。

表IV-3.3 材積推定結果表

区画番町	実測材積 (m^3/ha)	推定材積 (m^3/ha)	推定誤差 (m^3/ha)	信頼区間 (95%)	
				下 限	上 限
3	119.2	189.9	-9.3	164.5	215.2
21	266.5	234.3	-32.2	217.5	251.1
22	237.9	268.8	30.9	250.9	286.6
23A	209.9	257.9	48.0	241.5	274.3
23B	295.4	299.8	4.4	276.1	323.5
27B	281.6	309.1	27.5	287.7	330.7
28	211.1	219.8	8.7	199.8	239.9
33	246.1	188.4	-57.7	163.6	213.3
39	209.6	207.1	-2.5	186.5	227.8
40	438.2	409.6	-28.6	355.1	464.0
80	295.0	270.2	-24.8	252.4	287.9
81	194.5	244.5	50.0	228.3	260.8
83A	304.6	251.2	-53.4	235.1	267.3
83B	285.7	251.3	-34.4	235.7	266.8
111	302.0	299.3	-2.7	230.2	368.3
114	218.4	208.6	-9.8	188.1	228.9
129	197.0	233.2	36.2	216.4	249.9
144	339.0	323.6	-15.4	300.7	346.5
157A	287.6	311.1	23.5	288.0	334.2
157B	313.1	301.0	-12.1	279.8	322.2
160	300.9	283.2	-17.7	260.8	305.6
161	330.9	303.0	-27.9	279.8	326.2
167	312.3	307.2	-5.1	285.9	328.5
312	382.4	344.9	-37.5	314.4	375.4
313	178.5	230.0	51.5	213.1	246.9
315	264.9	311.3	46.4	285.9	336.6
319	218.5	243.0	24.5	227.2	258.8
332	240.1	271.1	31.0	251.8	290.5
336	188.4	233.0	44.6	216.4	249.7
338	298.4	242.6	-55.8	226.9	258.3
339	258.9	221.8	-37.1	203.5	240.0
349	289.5	271.1	-18.3	252.5	289.8
361	292.7	290.2	-2.5	267.9	312.5
446	231.1	288.9	57.8	268.2	309.6

(c) 材積図

上の材積表を図示したのが図IV-30の材積図であり、だいたいの目安材積を写真



図IV-30 材積図

立木本数と樹冠直径から知る場合に便利であると同時に、これら3者の関係がよく分かる。

⑤ 考 察

(a) 地上データの適性

今回、収集した地上のデータの林令幅は16年～50年生のものであったが図IV-20に示す通り、その内20～30年と40～50年生の頻度が20%以上、30～40年生は10%以下、さらに16年生が1点と41～45年生は0であり、そのバランスは必ずしも一様ではない。このことは、図IV-30の材積図の黒点が材積推定に使用された実際のデータであるが、これらについて見ると、樹冠直径4.0～5.0mと写真立木本数300～500本/haのデータが不足していることを示しており、それらが補足されればさらに信頼性の高いものになると思われる。

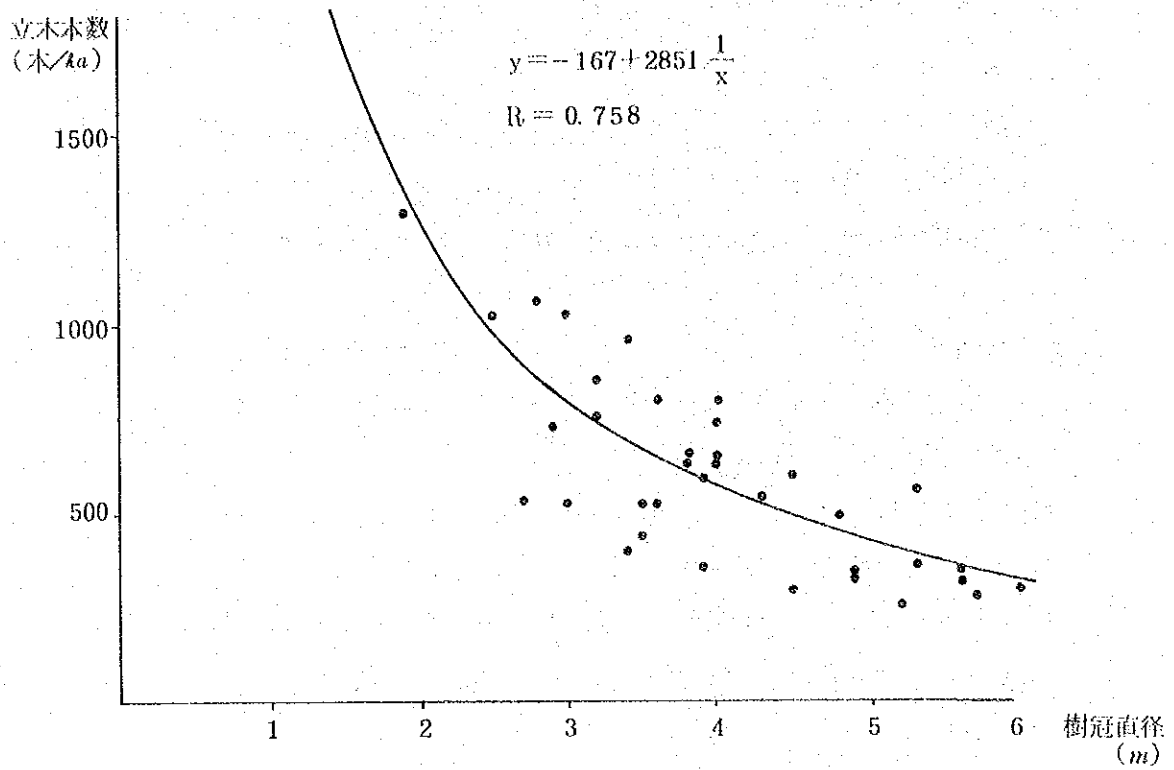
次に同じ図IV-30において樹冠直径5m以上のものについての立木本数の分布幅を見ると、地上の立木本数で240～346本/ha、写真立木本数は190～270本/haであり、いずれにしてもこれらの立木本数は比較的少ないと思われる。したがって、樹冠直径5m以上にある林分材積の推定値は300m³/ha前後に固まり、地上のデータについてもそれに近い。

これらのことを考えると、今回扱われたデータは非常にきめ細かな施業の行き届いたもののデータであり、それは図IV-17のように他の資料による間伐状況からもわかる。そしてこのことは、特に高木についての隣接する樹冠の接触が始まる以前に常に間伐が行なわれたことを示すものであり、今回の結果を用いて、あまりきめ細かな間伐を行っていないアローカリアの人工林にあてはめて見る場合には注意が必要である。それはこのような人工林は樹冠相互の競合による歪が生じる可能性もあり、材積推定式にもそれらが考慮されているべきで、今回の空中写真材積表の推定値にはこの点が欠けていると考えられるからである。

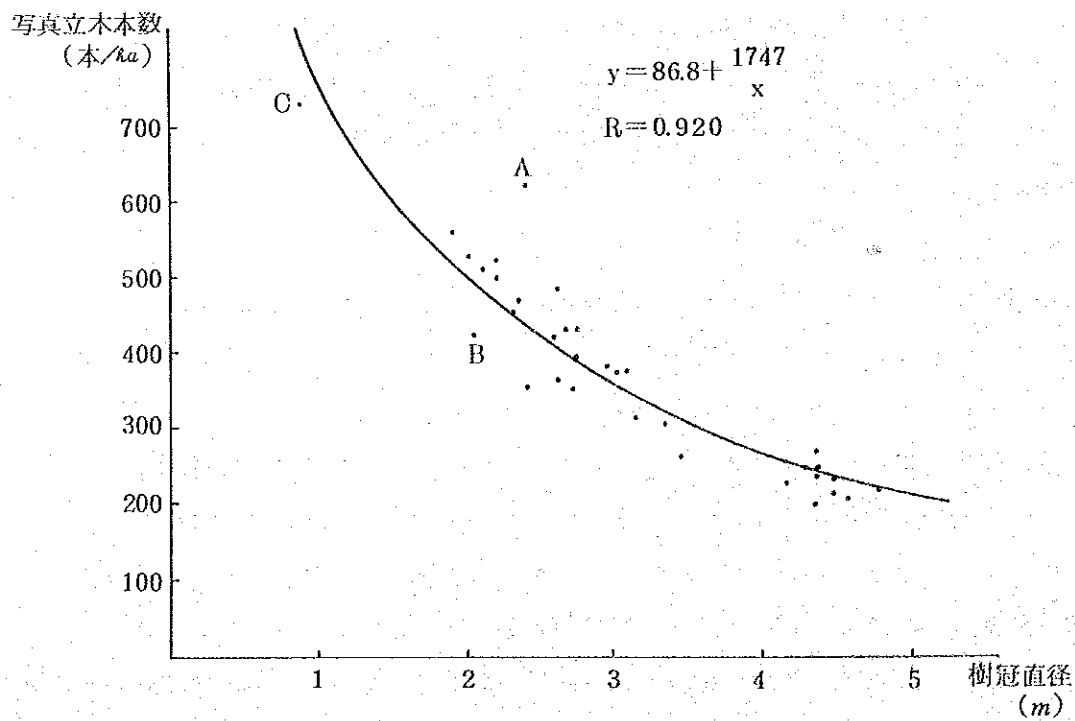
(b) 施業の指針としての活用法

上項で今回用いられたデータが、施業管理のきわめて行き届いた林分のものであることも述べたが、逆に、このような施業を目標とした場合のアローカリア人工林に対する、空中写真判読によるモニタリング的活用法が考えられる。

まず、図IV-25による胸高直径と立木本数の関係から、胸高直径を樹冠直径に置き換えたものの関係を図IV-31に示し、さらに、立木本数を写真立木本数に置き換えた関係を図IV-32に示す。この図の両軸はいずれも写真からの判読データである。そしてその相関が非常に高い点を考えると、地上では何らかの法則に従って施業されていることが予想され、もしこのあてはめ双曲線が理想の間伐曲線とするならば、例えばA点は間伐が遅れていることを示し、B、C点などはここ当分間伐を見合わせて、立木の生長、つまり樹冠の生長を待つという施業が机上で判断されることになる。



図IV-31 樹冠直径と立木本数



図IV-32 樹冠直径と写真立木本数

(c) 判読技術の均一化

今回用いられた判読データは、各判読者の測定値のバラツキが目立ったため、それらの平均値を使用することとなった。したがって、当材積表を実用する際にも、多数の判読者の測定値の平均値を用いるという前提が常に伴うことになる。

一方、今回の方法による測定者の平均値を常に使用するならば、十分に許容される精度で材積推定が可能であることを証明したのであるから、今後は初級程度の判読者数人の平均的な測定値を真値と仮定して、室内でたえず訓練を重ね、経験を積むことができるので、判読技術の均一化はそれほど困難な問題ではないと判断する。

(3) 今後の見通し・問題点

今回、アローカリア人工林の空中写真材積表を完成させたことにより、その作成手順や詳細な注意事項等々をも修得したので、今後の種々の樹種についての自力作成を可能にしたことは大きな成果であると考え。そして今回の成果は、1984年6月、リオデジャネイロで行なわれた国際リモートセンシング会議に投稿されるに至った。

また、ポルトガル語による前節の判読研修指導内容であるマニュアル事項も含めた研究報告書が作成されている。森林院はこれを、近く公報として印刷出版し普及をはかることとした。したがって、これによる空中写真判読の技術とその活用法が理解され、リモートセンシング技術そのものの発展に大いに寄与できると考える。

① 平均樹高の比較判読

空中写真材積表を他の樹種について試みる場合の問題点を指摘するなら、今回用いられた樹冠直径要因は、マツ類やユーカリへの使用には非常に困難なものと思われる。その主な理由は、これらの人工林は非常に密なものが多く、樹冠全体が写真上に映し出される場合が少ないからである。それは樹高の要因で補足しなければならないが、樹高の測定値は、前述のように測定精度に問題があり推奨することはできない。したがって今後の課題として、ある林分を1単位として扱い、他の単位林分と判読比較して、平均的にいずれが高いかまたは低いか、またどの程度の違いかを判読できる技術の修得を奨励する。これは一般に比較判読と呼ばれているものであるが、この技術を修得するためには、常に林分を1単位として判読する経験の積み重ねが必要であり、またその判読が正しいものであるかどうかを判断するための地上のデータも豊富になければならない。

そしてこの技術が空中写真の活用上、大きなウェイトを持つものであり、たとえば森林調査に伴う林相判読や森林の層化の精度などに直結する技術でもある。

② 天然林アローカリアへの応用

ブラジルのアローカリアの人工林は、近年国の森林造成政策によって急激に拡大されてはいるものの、その絶対量は天然林と比較して多くはない。しかしアローカリアの天然林は、純林が少なく個々に散在する傾向にあるので、その蓄積は正確に把握されておられない。

空中写真材積表の特徴は、未知の材積調査に、簡単で便宜的な材積を知る上において、短時間かつ低コストで調査できる方法であり、これをアローカリアの天然林材積推定に応用することは、この材積表の理想的な活用法といえるものである。

この点について、筆者の所見を述べると、まず、今回重要要因として用いられた樹冠の大きさの要因は、天然林においても有効であろう。ただし陵線部と谷部にある樹形（幹と樹冠の関心の意）は、天然林で著しく異なるので、これらについて個別に調査する必要がある。場合によっては、さらに中間的な部分に細分することも考えられる。

次にそれらについて単木的に現地調査を実施し、各部（層）についてそれぞれ、単木材積と樹冠の直径等の関係を明らかにする。この時、必要なら樹高要因も加える。

上のことを調査することは、それだけでひとつの研究項目になり得るが、もし何らかの関係が認められたなら、次に調査地全域について空中写真による林相判読を、立木密度によって行ない層化する。

層化された個々のものについて、その代表的なアローカリアを判読測定し、再びそれについて現地調査を繰り返す。これをどこまで行なうかは、その時点での目標精度によるものとする。

Ⅳ-4. 荒廃危険地判定法

Ⅳ-4-1. 荒廃地および荒廃要因の空中写真判読法

(1) 背景と目的

ブラジルの土地利用を大きく分ければ、森林地、農牧地、そして未利用地とに大別される。この広大なブラジルの林地を合理的に活用するためのリモート・センシング技術の利用、特に空中写真による森林解析法の活用が一つの重要なテーマであった。そして前節まで、森林に対する空中写真の判読技術の向上、そしてその活用法の開発等に、種々の努力を試みた。

森林は単に薪炭、木材等の物質的な供給源としての価値だけにとどまらず、最も基本的なところでは、酸素の供給、その他水資源の確保、土地の荒廃の抑制、動物相の保護、あるいは人間に対する休養機能等々、いわゆる“森林の公益的機能”も重要なものである。

しかしながら、人類の科学技術の飛躍的な進歩と人口の爆発的な増加によって、森林は有限となり、その絶体量が不足して来た。と同時に、今まで忘れがちであった森林の公益的機能が現実に崩壊し始め、人類に多大な悪影響をもたらす現象が見られるようになった。サンパウロ州でも人口増加にともない、森林は急減少し、現在では海岸山脈一帯の州有天然林と、木材生産のための人工林を合せても、全州面積の15%未満と言われるまでに減退している。このため水質汚濁、土砂流亡、あるいは山腹崩壊等、人々に多大な被害をもたらすようになった。

このようなことから、今まで無限のものと思われてきた森林が有限であり、その公益的機能が改めて重要なものであることが、広く一般に認識されつつある。具体的には、この公益的機能がどのような分野に、どの程度の価値を有しているのかを究明する必要性にせまられている。このための種々の新技術、新研究手法の導入が、ブラジルにも必要とされるようになってきた。侵食による種々の被害、あるいは水質汚濁問題に影響する侵食の起こり易い箇所とは、どのような要因、もしくは要因の組合せに起因するのかを、究明する必要がある。そのための分析手法として、侵食危険地判定法がある。

他方、海岸山脈における山腹崩壊による被害は人口増加に伴って増々緊急なものになっているので、山腹崩壊危険地判定法の併用も試みることになった。

本項のテーマは、これらの分析手法を実施する過程において、リモート・センシング技術の活用の方法を研究することにある。

以上のことから、本節のリモート・センシング部門としての具体的目的として次の項目が上げられる。

- ⅰ) 空中写真利用法で修得した森林判読法の応用。
- ⅱ) 空中写真による侵食及び崩壊地の判読技術の修得。
- ⅲ) 危険地判定法に係る種々の要因データの収集法及びその技術の開発。

IV) 調査されたデータの蓄積・管理法及び処理法の研究。

なお、荒廃危険地判定法の分析結果を必要とした背景、目的、内容、結果、及び考察等々、一連の研究結果は、流域管理部門の侵食危険地判定法及び崩壊危険地判定法を参照することにして、本稿では、リモート・センシング技術の向上と活用法の開発過程及びその成果を主に論ずることとする。

(2) 経過と成果

① 研究の経過

リモート・センシング部門における研究の経過は、サンパウロ林業研究協力プロジェクトとして、この節で最終段階をむかえるわけである。したがってここではこれまでに修得した判読技術の応用と、新しい判読技術の修得に加え、リモート・センシング技術の荒廃危険地判定への活用法を研究し、将来の研究発展に貢献できる成果を得ることを目標に研究協力を実施してきた。

(a) 崩壊、侵食地の実態と関係要因の検討

リモート・センシング技術を活用して崩壊、侵食地を判読する場合、その規模、分布状態、地表の状況などを調べ、流域管理部門で行なわれる解析に用いられるメッシュの大きさを検討すると共に、関係要因としてどのような要因を採用するのが適当であるかを判断するため、代表的な崩壊、侵食地について調査を行なった。

② カンボス・ド・ジョルダン (Campos do Jordão) の林地崩壊

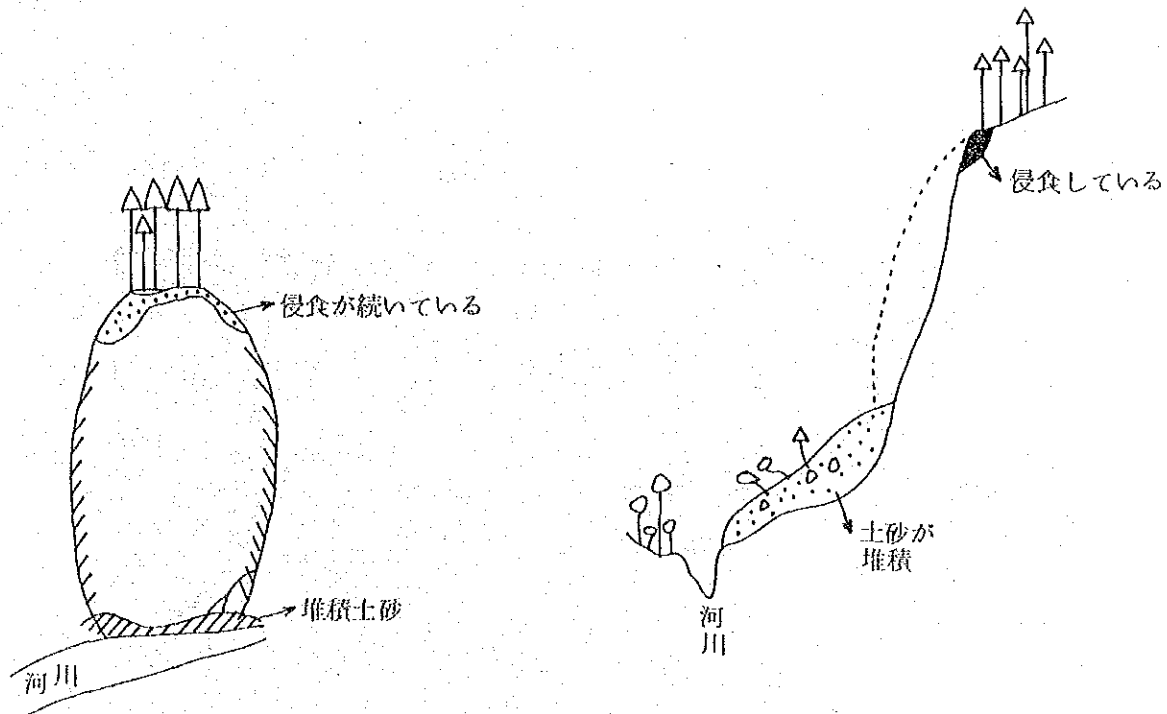
サンパウロ市の北東 220 km に位置するカンボス・ド・ジョルダン州 (Parque Estadual de Campos do Jordão) 有林は州立公園に指定されている。地形は複雑で急傾斜地が多い。植生は山頂面がカンボ (草原) で山腹凹面や谷筋はアラウカリア (Arancaria angustifolia BERT. O. Ktze) を含むマタ (Mata: 多種類の広葉樹が混交する高木材) と呼ばれる天然林である。

また、この他にテーダマツ (Pins tada), エリオッテイマツ (Pins eliottii) などの外国産マツの人工林がみられる。このため、急峻な地形にもかかわらず、崩壊地はほとんどみられないが、15年生のテーダマツ (Pins tada) 人工林に1カ所の崩壊地が発生していた。

この崩壊地は山腹斜面に発生し、土砂と一緒に造林木も崩落している。崩壊は円頭形に表層が崩落しており、面積はおよそ 80 m² と規模は小さい。しかし、崩壊地の頂部は不安定で、州立公園管理者によれば、降雨の度に侵食が起り、崩壊地は少しずつ拡大している (図 IV-33)。

③ ボトゥカトゥ (Botucatu) のガリー侵食

サンパウロ市の西南約 280 km のボトゥカトゥは、コーヒー栽培の跡地で、サトゥキビ、その他の畑地と放牧草地が拡がり、ところどころに外来マツやユーカリ (Euca-

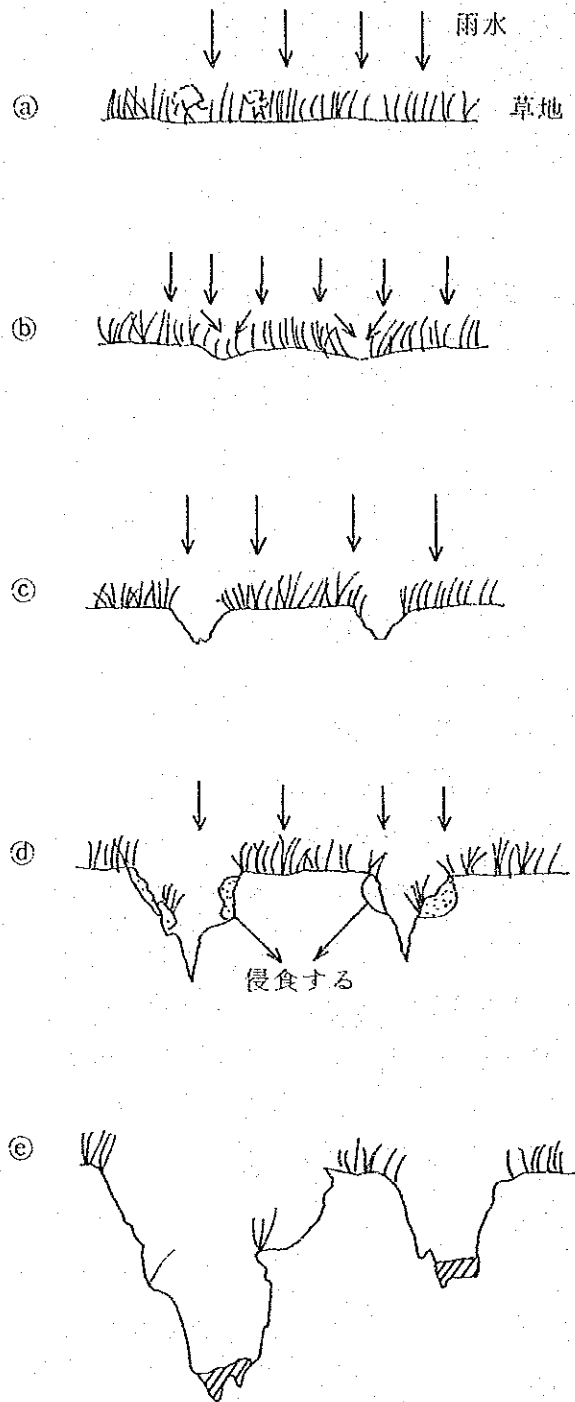


図Ⅳ-33 林地崩壊模式図

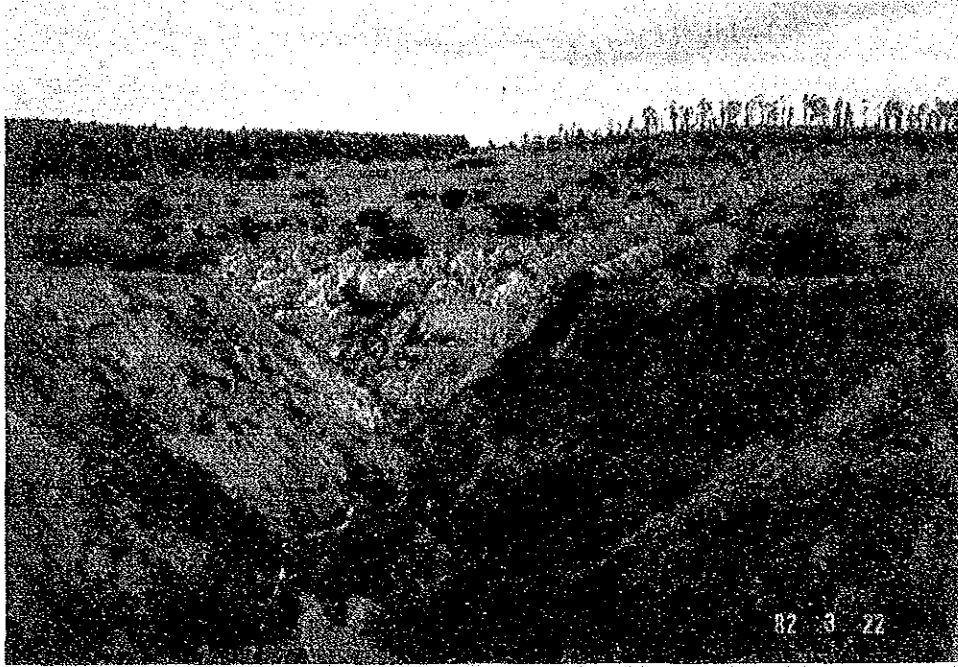
lyptus)の人工林が見られる丘陵地帯である。この地方の土壌は、砂質のラテライト系で、侵食に弱いとされている。

放牧草地は過放牧と粗放な管理のため衰退し、裸地化した場所もみられる。このような放牧草地に降った雨水は、斜面の上方から低地や凹地へと流れ(図Ⅳ-34 ①、②と③)、地表を少しずつ削りとって、リールが発生する(図Ⅳ-34 ①、④)。ついで、リールは降雨の度に増加し発達し、ガリーへと進展していく(図Ⅳ-34 ①、⑤)、さらにガリーは侵食を続けながら大規模なガリー侵食となる(図Ⅳ-34 ①、⑥)。

ガリー侵食の大きさは現地踏査の範囲では、幅が2~25m、深さは1~20mにも達していた(写真Ⅳ-1、Ⅳ-2)。



図Ⅳ-34 ①ガリー侵食の発生過程



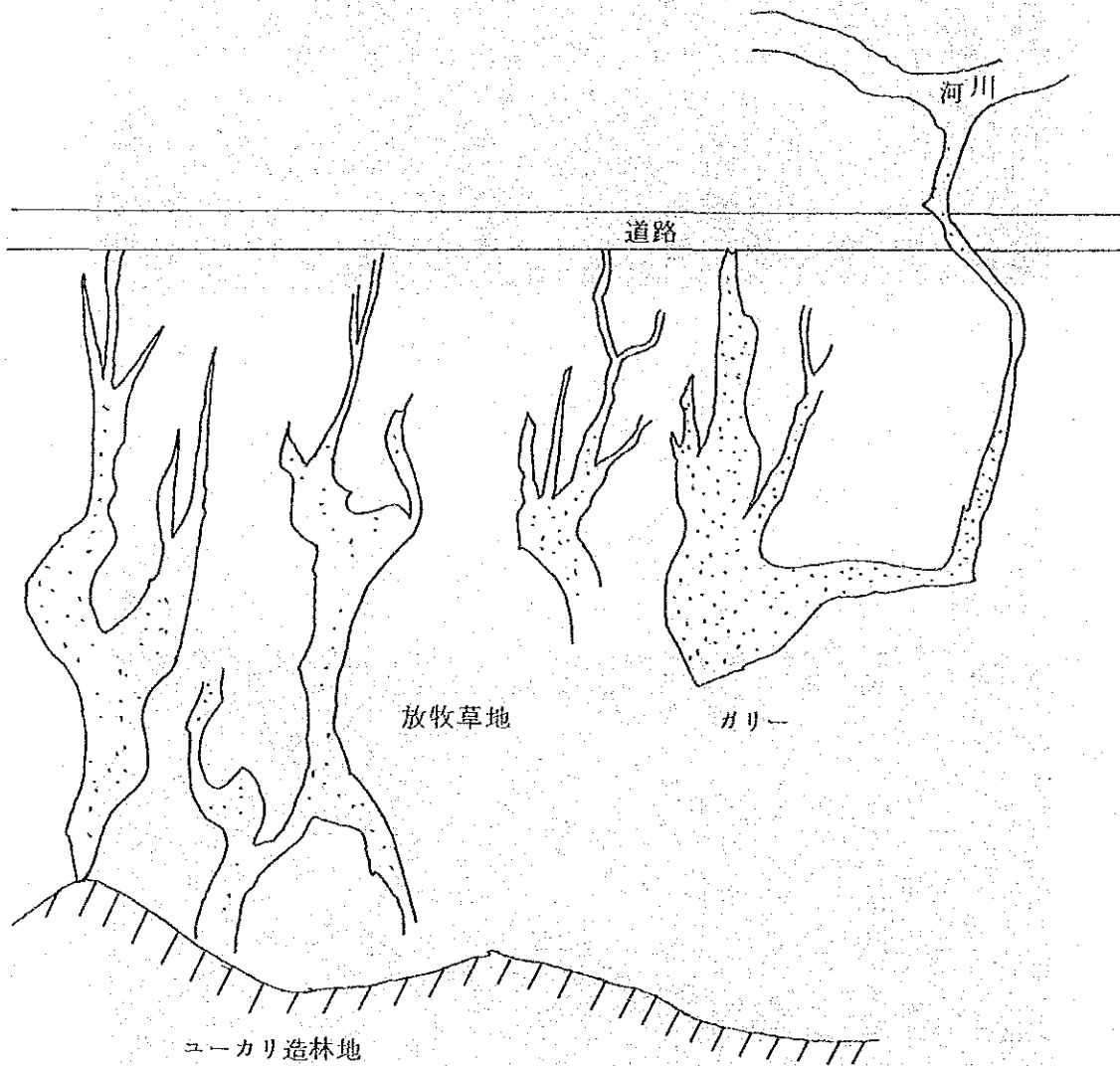
写真N-1 ガリ - 侵食



写真N-2 ガリ - 侵食

F方の河川へと流出している

ボトッカトゥ (Botucatu) 大学の関係者によると、このようなガリーの発生数は少ないが、一旦発生すると停止することなく、放牧草地全域に拡がることが予想されるといふ。同大学で所有している空中写真 (1972年6月撮影、現地踏査とは10年のズレがある) で判読を行ったところ、地形はなだらかな丘陵で、ガリーは斜面上方から数本発生し、樹枝型となって低地で合流している。また合流したガリーは河川へ流出しているものや侵食を続けながら拡大しているものがある。さらに、ユーカリ (EuCalyptus) の造林地で停止しているガリーもみられる (図Ⅳ-34②)。



図Ⅳ-34 ②ガリー侵食模式図

このようなガリー侵食は、ポトゥカトゥ以外の地方にも発生している。そのうちの1つはサンパウロ市の西方340 kmにあるアグアス・ジ・サンタバルバラ (Agua de Santa Barbara) (以後、サンタバルバラと略す) にあり、もう1カ所はアシス (Assis) (サンパウロ市から西北西へ約490 km) にある。

サンタバルバラのガリー侵食は、平坦な放牧草地に発生し、深さは5~8 m、幅が2~5 mで長さは約20 mであった。ポトゥカトゥと比較してガリーの長さは短い。これは放牧草地がエリオッティマツ (Pins eliottii) の造林地に囲まれているので、造林地内に少し入った場所で停止しているためである (写真N-3)。

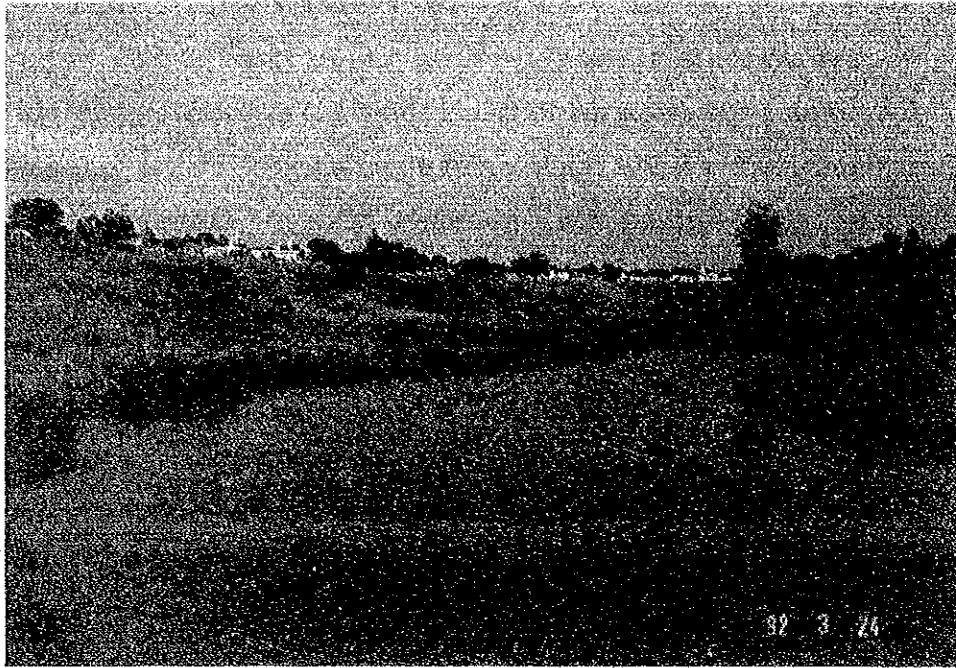


写真N-3 ガリー侵食 (サンタバルバラ)

一方、アシスのガリーは居住地域に発生したもので、道路の崩壊や家屋の一部を倒壊するなどの被害を出したが、居住地のため早急に復旧工事が行われ、現在では河川となっている (写真N-4)。

◎ カラグアタツバ (Caraguatatuba) の山地崩壊

サンパウロ市の東南約130 kmに位置するカラグアタツバは、海岸山脈のセラドマール (Serra do Mar) の南側に位置している。植生は海岸高地および低地に広くみられる熱帯雨林が優占している。



写真Ⅳ-4 ガリ-侵食跡(アンス)

1967年に発生した山地崩壊地は、カラグアトゥーバ州立公園の一部とこれに隣接している民有地である。この崩壊は、大雨と長雨(日最高降雨量400mmの日も含め、平均200mmの日が数日間続いたという)によって表層のみが崩壊する表層剥離型山崩れで、土砂の崩壊とともに土石流が発生し、下方にある街の一部が埋没する被害も出たという。

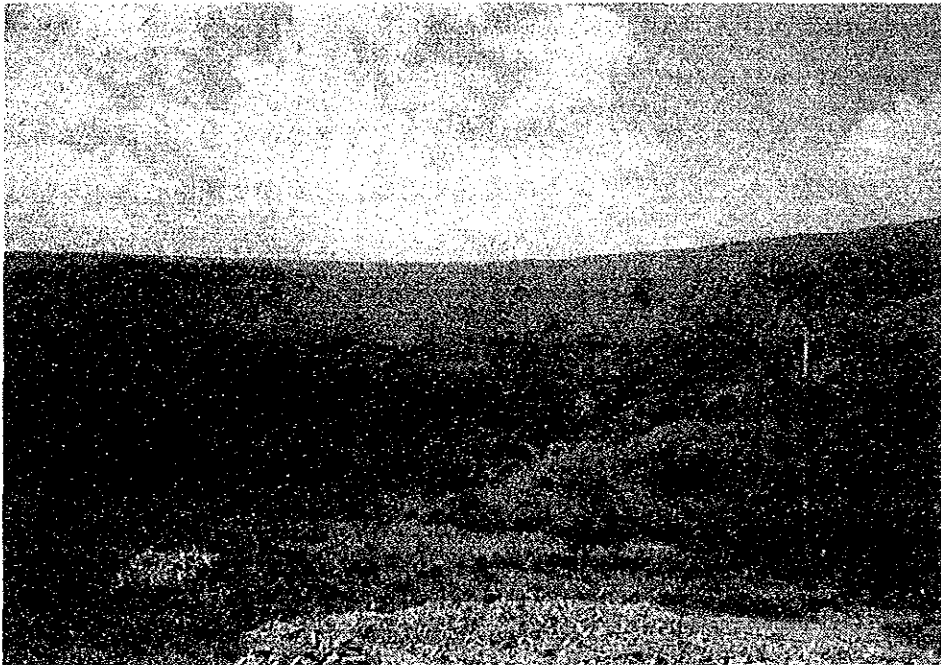
写真Ⅳ-5は民有地の崩壊跡地で、現在も表層が流出し岩盤が露出したままになっている。また州立公園内の崩壊地は復旧工事が行われ、数種のマツも植栽されているので、崩壊の形跡はまったくわからない状態になっている。

④ サンルイス・ド・パライチンガ(Sao Luis do Paraitinga)地方の放牧草地の侵食と河岸侵食

この地方は、海岸山脈(セラドマール)の北側で、タウバテ(Taubate)とウバトゥバ(Ubatuba)の中間に位置している。したがって、この地方の放牧草地は急傾斜地が多いのであるが、現在のところリルが若干発生している程度で、ガリ-は見られない。しかしながら、急峻な地形に加えて、草の衰退も著しく、牛道が拡大しているので、大雨や長期的な降雨によっては、リルが拡大してガリ-侵食が生ずる危険性が予想される(写真Ⅳ-6)。



写真Ⅳ-5 山地崩壊跡地



写真Ⅳ-6 牛道の拡大

また、この地方はパラチンガ (Rio Paraitinga) , シャベユ川 (Rio do Chapou) などパライバ川の支流が多く、山地に囲まれていることから、谷は深くなっている。写真Ⅳ-7のように、裸地側 (放牧草地) の河岸は森林がある河岸に比べて侵食が進んでいる。



写真Ⅳ-7 河岸侵食

このような状態が続くと河岸の欠壊をもたらし、荒廃地へと進行していくだろう。

④ 調査結果のまとめ

実態調査の結果、崩壊、侵食地の規模は空中写真からも判読可能であり、荒廃地判定の基となるメッシュサイズおよび関係要因は、わが国で用いているものと同じでも良いと判断した。

(b) 森林判読法の応用

荒廃危険地判定法は、その分析理論の理解と、侵食と崩壊の起こるメカニズムの相異による、分析結果の違いなどを十分に理解した上で、森林判読法の応用としてそれぞれに適合した判読を試みればよい。また、この判定法は統計的手法に基くものであるから、要因内の分類項目 (カテゴリー) のバランスにも配慮したものでなければならぬ。具体的には、まずできるだけ細かな区分で判読することを基本に置き、これらのデータが数量化Ⅱ類計算で処理される段階で、適当にまとめられることとした。ただ天然林については各林相の境界線を客観的に見出す事が困難であり、なお多くの経験を必要とする。

結果的には侵食危険地判定法で用いられた森林分類は、全体面積に対する林地面積が低いこともあって「人工林」と「天然林」のみに区分された。

また崩壊危険地判定法においては、調査地のすべての森林が天然林であり、緩傾斜面に存在する「2次林」と尾根筋にある「大径木を含まない天然林」の他は主として「天然林」とのみ判読区分された。

(c) 荒廃地判読

侵食地の判読は地表面のわずかな土砂流出の痕跡が、地対高度約4,000 mでとらえた空中写真に、どのように現われるかを、現地での“付き合せ”から行った。また農耕地等の人為的裸地との区別、その他種々の現地チェックが、当初相当に必要となる。さらに写真の縮尺、焼付具合も検討した。また侵食地のグレーディング及び境界線の引き方等も、不確定要素ではあったが、判定法の性質をわきまえた処理方法がとられた。

崩壊地（海岸山脈）については、ほぼ明確に判読され、特に困難な点はなかったが、当調査地は非常に急峻な地形であるにもかかわらず、広角レンズ（焦点距離153.5 mm）を使用した空中写真であるため稜線と谷線（最大標高差300 m）を同時に立体視することが必ずしも容易ではなく、崩壊地面積を地形図上へ移写するのが困難であったが、広大なブラジルでは経済的な面などで今後も長い焦点距離のレンズ使用の普及は期待しがたく、広角写真による移写も1つの技術であると考えられる。

(d) 地形要因判読

通常、荒廃危険地判定法に用いられる要因としては、傾斜、方位、縦断面形、横断面形、斜面長、及び溪流の有無等が考えられるが、これらは主として地形図から判読した。なお、空中写真から傾斜と局所地形の判読訓練も併用した。これは土壤深の調査に必要となるからである。

(e) その他の要因

これらは現地調査を主に他の資料から得られるもので、放牧密度と土壤深が上げられる。放牧密度については、空中写真判読を基にモデル的な方法を試みたが、1試行にとどまり、分析研究の対象とはならなかった。

土壤深の調査については、カウンターパートが土壤及び地質の専門家であるので、現状の能力で充分であった。ただし、土壤深の面的分布の決定には、上述の地形の写真判読技術を用いた。

(f) 重回帰分析

重回帰分析として数量化Ⅱ類計算を行い、荒廃地に対する各要因の影響度、及びカテゴリ・ウェイトなどを検討した。これらの結果は、荒廃地と荒廃要因の分類項目との単相関的分析結果とも併用して検討したところ、ブラジルでの現象としては、正

当性があると思われる結果を得た。

(g) 地形解析

前述(4)の地形要因群は、具体的にはすべてのメッシュ毎に、それぞれの地形要因を判読するものである。普通、荒廃危険地判定法に用いられる対象面積の規模は、2000～3000haとされているが、地形要因のすべてにおいて、全メッシュを判読する作業は膨大なものであり、時には客観性に欠けることも有り得る。

一方、ブラジルと日本の社会状況から考えると、前者はこれらの情報を迅速かつ正確、あるいは客観的に収集できる人的資源、もしくは社会組織に欠ける点が多く、これらの情報を、目的に応じて捉える技術者の養成には、なお長期間を要するものと判断される。

このような理由で、地形要因の判読には、精度そのものはやや落ちることがあっても、より客観的な判読の自動化の開発が望ましく、ここでは標高データから電算処理によって傾斜、方位、及び局所地形を導き出すことのできる交点法と中点法を実施し、結果として荒廃危険地判定法には交点法の適応が可能であった。

(h) データ管理システム

荒廃危険地の判定法にはメッシュデータが使用されている。このことは将来多段方式によるデータ・バンク・システムの基礎となることができ、多方面への利用が可能となると同時に、今後のデータ蓄積の点でも大いに有益なシステムであり、普及性が高いと考える。そのためメッシュ単位に400haと1haとを設け、それをコード化し、メッシュの切り方もUTMに従っているので不変的であり1/50,000及び1/10,000の既成の地形図両者ともに適合するように定めた。

② 侵食危険地判定法

(a) 研究手法のきめ方

本項の目的はリモート・センシングの技術そのものの向上を試みつつ、必要とされる諸情報を迅速かつ正確に収集する方法を究明し、そのことがブラジル社会に最も適した方法となることも重要な目的の1つである。それにはまず、実際に荒廃危険地判定法による手順を一通り行う過程で発生する諸問題を詳細に分析・検討し、創意工夫を積み重ねて行かねばならない。そこで次の4点を基本方針として作業を進めることとした。

- i) メッシュ法によるデジタル化情報
- ii) 判読技術の拡大
- iii) 電算処理工程の確立
- iv) 地形解析法の応用

(b) 調査地

調査対象地を決定するにあたり、荒廃危険地判定法に用いられる諸データを、将来多方面に再度の利用を可能にし、多重データの蓄積による、データバンクの出発点となるために、首都ブラジリアを原点とするX-Y座標(UTM座標)を基準としてのメッシュを設定した。

幸い既成の1/50,000と1/100,000の地形図の両者にX-Y座標が記してあり、1/50,000の地形図上には2km毎に座標が記してある。これをメッシュ情報の一つの単位(400ha)とし、東西・南北それぞれ2桁のコード番号を付し、コンピューターに登録する。(図N-35)

次に、この400haメッシュ内を1haメッシュ(100×100m)に分割し、これについても東西・南北に1~20までのコード番号を付ける。なお、この最小の1haメッシュには、所属する行政区及び流域区のコード番号も同時にコンピューターに登録する。(図N-35)

このように全体的な規模によるメッシュのコード化によって位置づけられた諸データを収集、蓄積する第1段として、かつ侵食危険地判定法を行うに適したところとして、サンパウロ市より北東130kmのタウバテ行政区のペドゥラ・ネグラ川(Rio Pedra Negra)流域の2291haとした。当地は緩やかな丘陵地形で、農牧地が多い。(詳しくは流域管理部門を参照)調査地の面形及びコード番号は図N-36のようである。

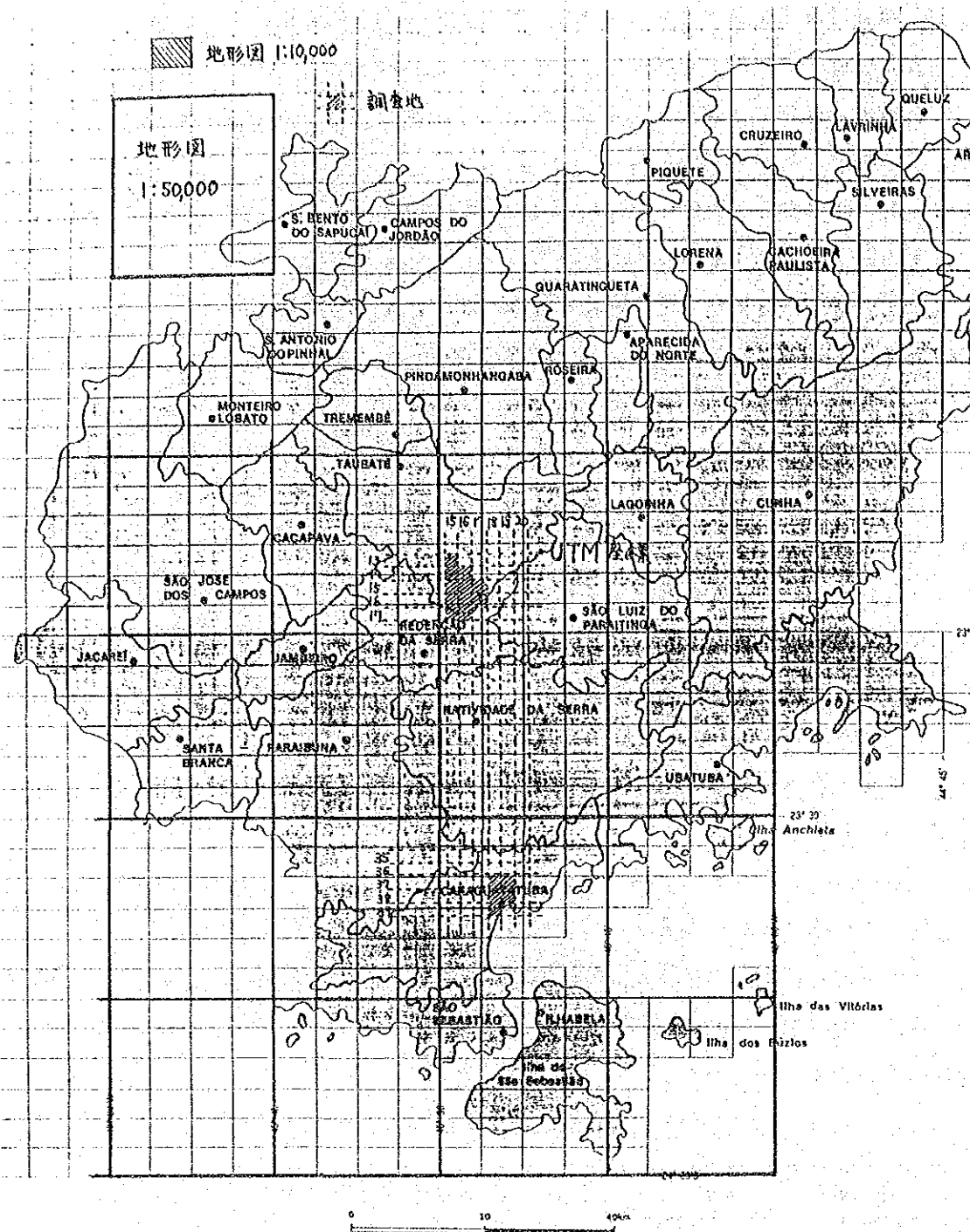
(c) 空中写真

使用した空中写真は1973年6月の撮影で、縮尺は1/25,000。これを2倍に引き伸ばし1/12,500として使用した。(表N-34)

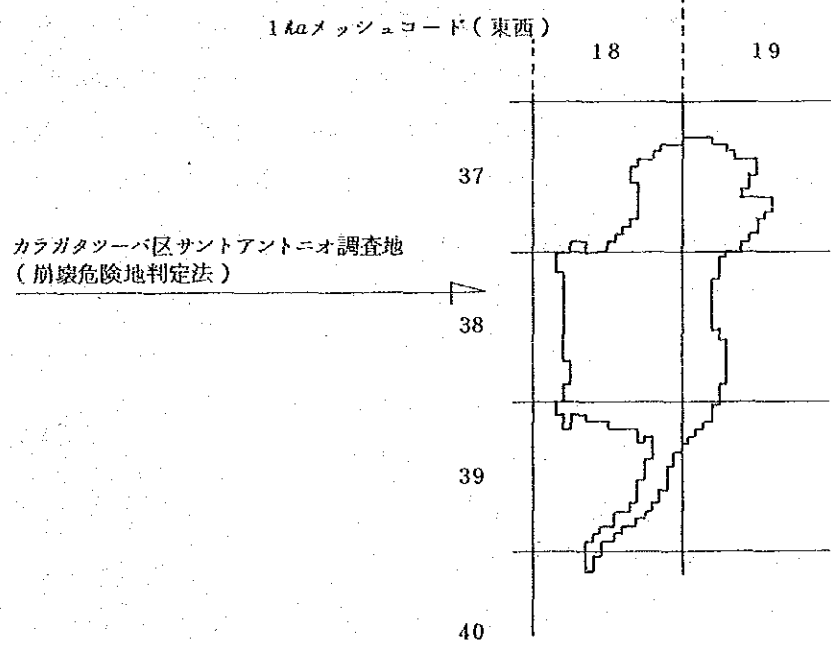
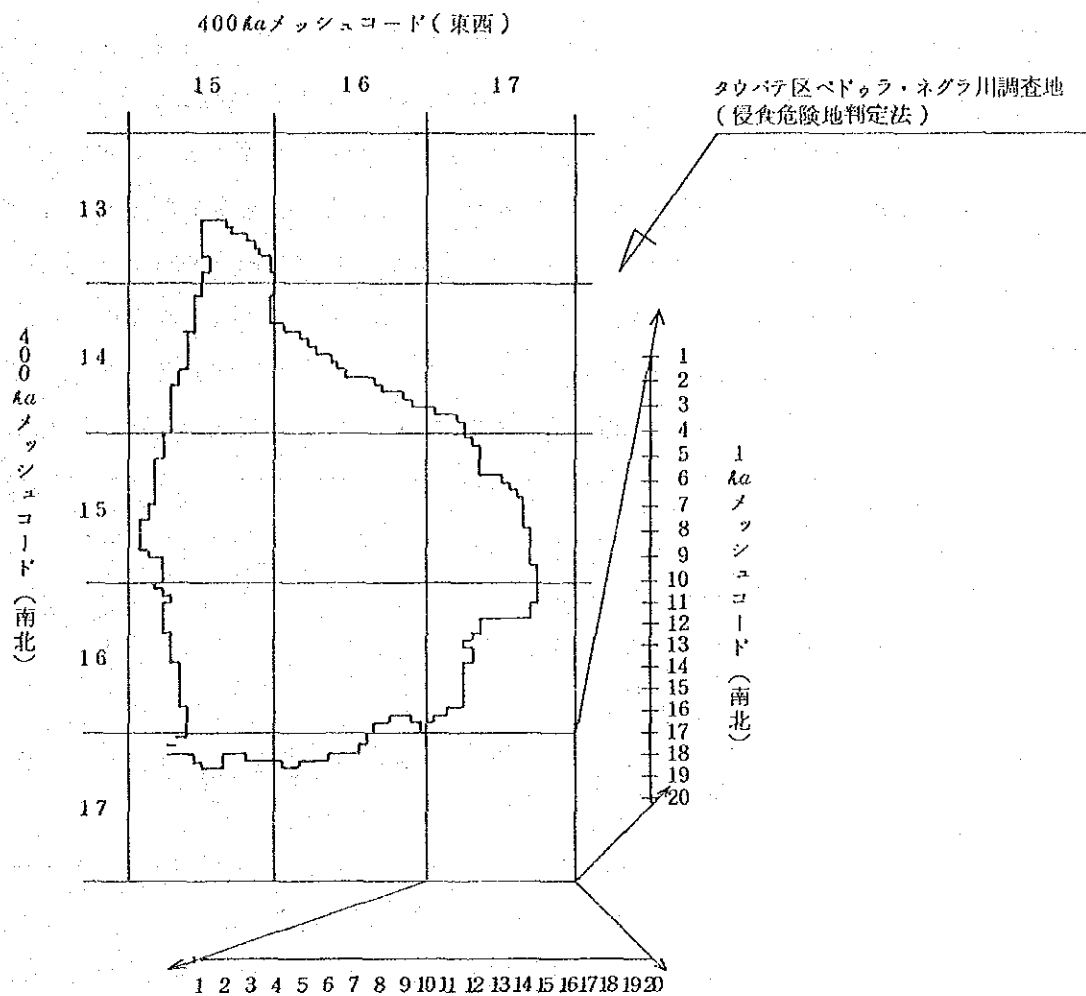
その他、使用した資料として地形図(縮尺1/10,000と1/50,000)及び土壌図と地質図(縮尺1/25,000)がある。

表N-34 撮影諸元

撮影地区	撮影年月日	コース番号	焦点距離	写真番号	枚数
タウバテ	1973年6月23日	Fx. 273J	153.2mm	46613~46614	2
"	24日	Fx. 277J	"	46813~46816	4
カラガタツバ	7日	Fx. 294J	"	43185~43186	2
"		Fx. 293J	"	43205~43206	2



図Ⅳ - 35 400 haメッシュと地形図の関係



図IV-36 調査対象地のメッシュコード

(d) 調査方法

② 侵食地判読

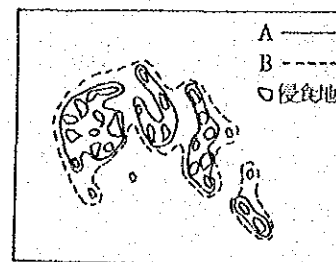
土壌の侵食の程度は、具体的に目に見えないほどの程度から、やがては崩壊につながるような彫りの深いものまで幅が広い。また、面的には連続的な広がりを持つものでもある。それらが地対高度約4,000 m上空より撮らえられた空中写真上に、どの程度の侵食が、どの様に映し出されるかを見極めなければならない。それには現地調査を繰り返す必要がある。そしてどの程度の侵食から、空中写真上に映し出されたかなどを判断する。

表Ⅳ-35 侵食地の判読要領

写真映像	侵食タイプ 1	侵食タイプ 2
色調	暗白	明白
きめ	白地の中に暗い斑点や糸状のものを有する場合が多い	ほとんど一様に白地
模様	白地が帯状で白地と白地に糸状の白で結ばれる場合が多い	比較的わかりやすい区画を有す

その結果、表Ⅳ-35のように2種の侵食タイプに判読区分された。この2種の侵食タイプを一般の侵食型分類項目でいえば、侵食タイプ①は表面侵食からリル侵食の軽度なもので、タイプ②はそれよりガリー侵食に至るまでとなる。

侵食の現象は上述したように不規則な拡がりを持つので、たとえ侵食タイプを写真の色調、きめ、あるいは陰影等で区分できたとしても、図Ⅳ-37のように、それを1つの侵食地として区画する時に不確定な要素が伴う。すなわち、図Ⅳ-37においてAも正しいし、Bも間違いとは言えない。しかし例えばAとBを面積で比較した場合、相当な違いを生ずる結果となる。そこでこのことを判読上だけの問題として考えれば、Aの方がより良いのであり、さらに理想をいえば個々の粒々を区画することが最も正確である。しかし現実にはそれらをひとつひとつ取り



図Ⅳ-37 判読区画の相異

扱うことは不可能な作業である。

ところが空中写真判読技術というのは、上の問題を詳細に吟味することばかりではない。すなわち目的に適した判読をすれば良いのである。例えば本項の手法の場合、そのメッシュ内に侵食が有るか無いか、あるいは少し詳しくするならば、メッシュ内に何割程度の侵食を有しているかが最終的に要求されるデータにほかならない。したがって、分析手法の性格をよく理解し、現実に適した判読が常に要求される。判読技術の向上とは、上述の観点から、適応能力の向上といった方が良いかもしれない。

判読技術の活用という点から考えれば、常に正しい判読をめざして訓練すれば必然的に図Ⅳ-37のAの区画に近ずいて行くことにもなるが、逆にすべての判読者がBの区画をするのであれば、ここでの分析結果は変わらないであろう。すなわち、空中写真判読で、もう1つ重要なことは、客観的で個人差のない判読結果を引き出すために、判読者の相互の理解が必要となる。

以上のことを考慮しながら侵食タイプ①及び②を判読し、区画した。そしてそれらを地形図(1/10,000)に移写し、メッシュ毎の面積割合を読み取ることにした。

④ 地表被覆判読

侵食危険地判定法が行われる調査地は、平坦地は農耕地、傾斜地には放牧地が主体となるが、部分的には斜面にも農耕地がある場合もあるので、予かじめ土地利用区分の判読により、河川敷未利用地、村落、及び農耕地を除去した。(ただし、農耕地の写真映像は色調において侵食地に類似しているが、その区画が人工的である点と現地チェックを併用して判断する。)その結果、全域の2291haより前記3者の土地利用区分を取り除くと1966haとなり、これについて要因分析が行われることになる。

1) 森林の判読

この調査地での森林面積は全体の30%程度で、そのうち天然林は9%で、人工林は21%である。

天然林については、疎密度の比較判読区分をすることとし、まず疎密度30%以上から10%括約で区分し、それぞれを分類項目(カテゴリー)としたので計8分類となる。

一方、当地の人工林は、マツ類とユーカリが主である。マツ林については樹高2m以下を「造林地」とし、その他を「人工林」として、2分類にした。またユーカリ林については、ブラジルの生産システムに特殊な事情があり、それを説明した上で分類基準を述べる。

ブラジルのユーカリ生産は、林分の生産期間を21年とし、その間3度の皆伐と萌芽更新が繰り返される。すなわち植林後7年で第1次皆伐がなされ、伐根の萌芽によって更新された林分をさらに7年後(計14年)に皆伐収穫し、ふたたび萌

芽更新によって、さらに7年後(計2.1年)に最終皆伐収穫を行う。その後の萌芽率は著しく低くなるため、経済林としては認められていない。

ただし、途中の1次及び2次の皆伐は、実際には成木を若干残すことが多く、伐採直後から萌芽による立木が2 mを越えるまでの林地の状況は、造林地に匹敵すると判断し、マツ林の「造林地」と同一の分類項目とする。

また、植林あるいは皆伐後の個々の立木の生長は一律ではないので、高木と認められる立木の割合が、30%以上のものから10%括約で8段階に判読区分し、それぞれを分類項目とする。したがって、上述の造林地以外のマツ林(「人工林」)は、「高木100%のユーカリ林」と同一の分類項目に属することになる。

結局、森林の分類は、「2 m以下の林木が80%以上の2次林(ユーカリ林)」(マツの造林地も含む)と、その他の人工林8分類に加え、天然林8分類との計17分類となる。

ii) 草地の判読

侵食危険地判定法では、侵食地発生のメカニズムの点から、草地について細区分する必要がある。また調査地の草地占有面積率が70%を越えているので、これを1分類項目とするには、データバランスの点で分析計算に支障をきたすことも考えられる。

日本での林学の空中写真判読分野では、草地そのものを判読し、細区分することはほとんど行われていないので、全く新しい試みとなる。しかしながら、空中写真判読の基本である立体視による高さの判別、写真映像の色調、きめ、陰影等の識別技術を駆使して表Ⅳ-36の要領で判読区分した。

表Ⅳ-36 草地の判読要領

分類項目	高さ	色調	きめ	陰影
10 cm以下の草地	10 cm以下	非常に明るい	柔く非常に細い	無し
11 ~ 30 cmの "	11 ~ 30 cm	明るい	柔く細い	若干有り
31 ~ 99 cmの "	31 ~ 99 cm	暗い	硬く粗い	ほとんど有り
1 m以上の草木地	1 m以上	中間	柔く粗い	規則的に有り

◎ 地形判読

地形要因としては傾斜、方位、縦断面形、横断面形、斜面長等が考えられるが、いずれも地形図(1/10,000)の等高線の様子で判読・測定することができる。

I) 傾斜

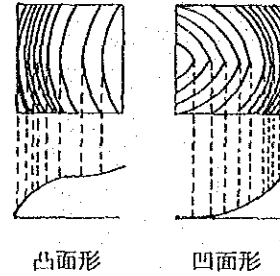
メッシュ内の等高線の本数を傾斜の階級(分類)とした。

II) 方位

メッシュ内の平均的な傾斜方向を8方位に区分した。ただし、カウンターパート及び作業者のその時点での個人差を考慮し、正確を期す意味で等高線本数2本以下のものは機械的に「方位無し」とした。

III) 縦断面形

図IV-38のようにメッシュ中央点を通る斜面の上下における等高線間隔が、下方のそれよりも広ければ凸面形、逆の場合は凹面形とし、上下方ともに明瞭な相異が認められないものを平滑面形とした。

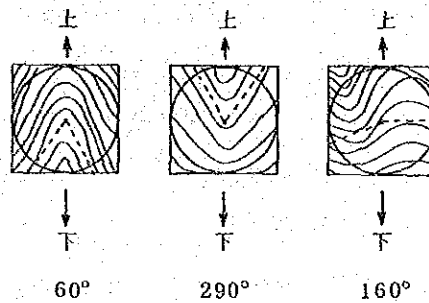


図IV-38 縦断面形の判読方法

IV) 横断面形

図IV-39のようにメッシュ中央点における等高線の屈折度合を角度とし、

10度括約で測定する。なお、測定された角度によって凹凸面形及び平衡面形の3



図IV-39 横断面形の測定方法

分類に区分するが、その規準は重回帰分析の電算処理の過程で最終決定することとした。

V) 斜面長

メッシュ中央点から流水の流線を追跡して上部段線までの最大傾斜をたどる線の水平距離を20m括約(地形図上では2mm)で測定した。

④ その他の要因

荒廃危険地判定法に用いられる要因は、上述までのリモート・センシング技術その

ものを利用して得ることのできる要因群と、その他に各専門分野での種々の手法で得られた調査結果を情報源として、リモート・センシング技術を併用する場合とがある。後者については、例えば地質要因、土壌要因、土壌深要因、放牧密度要因等が考えられる。

そして今回は、地質及び土壌要因については、調査対象地全域をほぼ同型の地質、あるいは土壌であることを前提として、調査地を抽出したので、これらの要因分析を行わなかった。その理由としては、限られた期間で一通りの分析研究を行うためには、調査面積が充分な広さを持つに至らなかった。しかし、地質及び土壌型の分布図の縮尺が1/250,000と大まかな精度であるため、小さめの調査面積に適用するには、分布精度上、不適當と判断したためである。

なお、地質型については、侵食危険地判定法に用いられたタウパテ地区のペドゥラ・ネグラ川流域はミグマタイトを主に、一部花崗岩を有している。土壌型については、タウパテ調査地は、ポドゾールとラテゾールから成る。

i) 土壌深調査

土壌の深さは荒廃現象と密接であり、特に山腹崩壊の発生において強い影響力を持つものと思われる。しかしこれらのデータを詳細に捉えるためには、長期間の調査を必要とするだけでなく、土壌学の専門的知識も必要となってくる。したがって、本調査では現実に調査し得る範囲で土壌深の分布の推定に努めた。

土壌の深さの分布は、一般には土壌型個有の深さによる分布と、同土壌型内でも局所地形により異なる深さがあると考えられている。

今回の調査では、タウパテでは調査地全域が緩やかな丘陵地形であることから、地形によって局所的に異なる土壌深の分布を、推定することは困難と考え、土壌型による相異そのものを、土壌深の分布とした。

調査手順は、既成の土壌図を基に数十ヶ所の道路の切り面を利用して、A、B、C層の深さを測定し、ポドゾール型の土壌深を1.4 mとし、ラテゾールは2 m以上と決定し、さらに地形々態より、土壌図原図の土壌型分布を修正した。したがって、結果的には土壌型と土壌深の分布は同一のものとなる。

ii) 放牧密度調査

この要因は種々の制約により、放牧密度を数量的に捉えることができなかった。

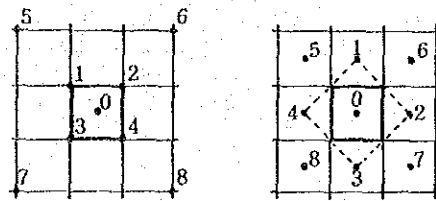
そこでまず、8ヶ所の牛舎付近の相対的に異なる土地の荒れ具合が牛頭数と比例すると仮定し、空中写真判読によってグレーディングする。次に、当地は乳牛主体の放牧形態であり、1日に2度の採乳を行うことから、牛舎より遠ざかるほど放牧密度は低くなると想定し、牛舎より300 m毎に、牛舎のグレードに基づいてグレードを1段、機械的に落としたモデルを使用した。(流域管理部門参照)

⑥ 地形解析法

荒廃危険地判定法の研究にメッシュ法を採用した理由は、流域管理部門で詳細に述べられている。

荒廃危険地判定法や、そのためのメッシュ法が広く普及されるためには、たとえ一時的に作業量が多くとも、データ収集作業が簡易で、しかも今後とも多方面の活用が期待されるものを、研究開発することが重要である。

この目的のために、制度的に標高データを読みとり、電算処理によって必要な地形要因データを生み出す方法が考えられる。そこで標高データより得られた傾斜要因、方位要因、及び局所地形要因を、地形図判読より得られた同要因群に置換して、同判定法への利用が可能であるかどうかを検討した。



交点法

中点法

図 IV-40 地形解析法に必要な標高データと位置

1) 交点法

図 IV-40 のようにメッシュの交点の標高データ 1~8 の他に、メッシュの中央の標高データ 0 を加えて計 9 点で傾斜度、方位角、及び局所地形を計算する。

まず、傾斜度 (θ) と方位角 (α) を求める式は次の①、②の式である。

$$\sin \theta = \frac{a^2 + b^2}{a^2 + b^2 + 1} \dots\dots\dots ①$$

$$\tan \alpha = \frac{b}{a} \dots\dots\dots ②$$

ただし

$$a = \frac{(Z_1 + Z_2) - (Z_3 + Z_4)}{2D}$$

$$b = \frac{(Z_1 + Z_3) - (Z_2 + Z_4)}{2D}$$

$Z_1 \sim Z_4$: メッシュの交点 1~4 の標高値

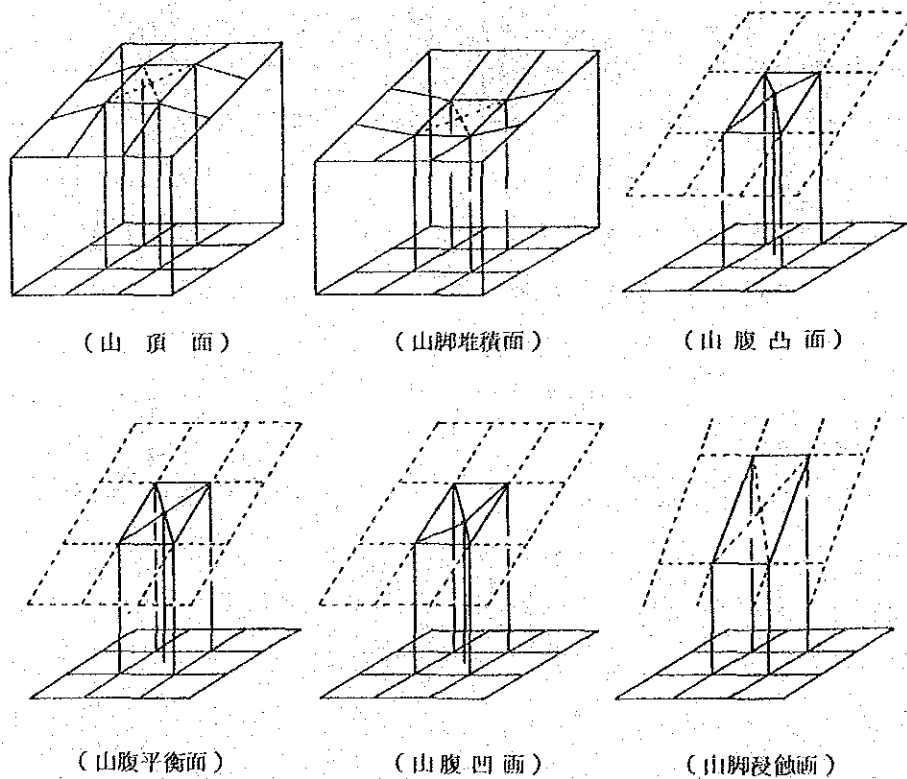
D : メッシュ間隔

次に局所地形のプログラム手順は、渡辺^{*}が林地生産力調査に用いたもので、地形分類項目としては、表Ⅳ-37のようになる。

表Ⅳ-37 地形解析法による局所地形の分類項目

カテゴリー	内 容
山 頂 面	山の頂上をらびにその附近および緩尾根で傾斜度が約1.5度以内の部分
台 地	台地の上面
山腹平衡面	山頂台地と山脚の間に存在する山の斜面でその平面形状がほぼ平衡である部分、平衡とは等高線の曲率(中央縦距と弦長との比)が1/15以下のものとする
山腹凸面	上記の山腹面で曲率が1/15以上で、その形状が下部に向って凸型である部分
山腹凹面	上記の場合で凹型である部分
山脚浸蝕面	山脚附近で、山腹から続いている斜面に傾斜変換点のある場合でその傾斜が山腹面より急である部分、傾斜はおおむね4.5度以上
山脚浸蝕面	上記の場合で傾斜が山腹面より緩である部分、急激な傾斜変換のない時は傾斜度が1.5度以下の場合

これを図形で表わすと図Ⅳ-41のようであり、その手順は、



図Ⅳ-41 地形解析法による局所地形の模式図

- (i) 傾斜度が1.5度以下のとき、外側の4交点データを用いて、山頂面か山脚推積面かを判別する。
- (ii) 傾斜度が1.5～4.5度のとき、中央点標高が他の4隅のデータと比較して、山腹凸面、山腹凹面、あるいは山腹平衡面かを判別する。
- (iii) 傾斜度が4.5度以上のときは、山脚侵食面とする。

ii) 中点法

交点法の特徴はメッシュの交点の標高データのほかに、メッシュの中央点の標高を必要とするため、解析計算対象メッシュ数の2倍以上のデータを必要とする。そのため当初の目的のひとつである膨大な作業量を緩和するためには不利である。

しかし、沢田専門家の考案した中点法は、図IV-40のようにメッシュの中央点の標高データのみで計算されるので、対象メッシュ数をやや上回るデータ数があればよいことになり、データ収集、及び処理がより簡易となる。ただし、求められた傾斜度や方位角は、メッシュ中央点より面積にして、原メッシュ(1ha)の2倍の大きさについてのもとなり(図IV-40で点線部のメッシュが計算対象となる)。これらの点が交点法との相異点である。その他用いられる数式や局所地形判断手順は交点法と同様である。

(e) 研究結果

前項によって得られた諸データを電算処理による重回帰分析のひとつである数量化Ⅱ類の計算を行い、リモート・センシング技術によって得られたデータが、侵食危険地判定法による要因分析に充分貢献できたと判断する。

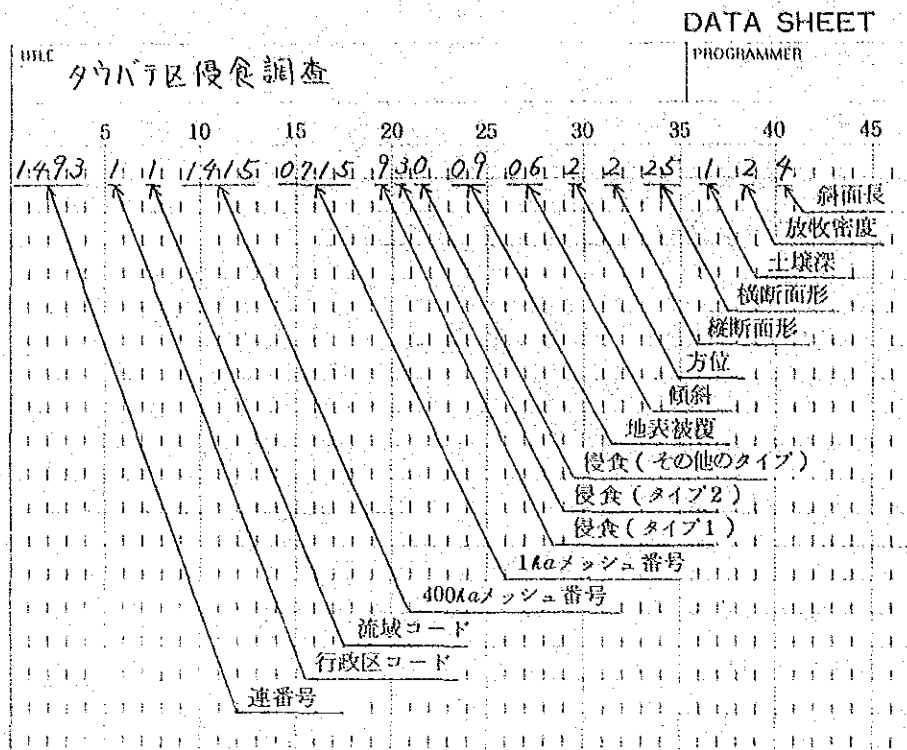
したがって、これらのデータ収集方法及びデータ処理方法の成果は、今後ブラジルでの普及に大いに期待できるものである。

① 重回帰分析

数量化計算にあたり、各メッシュの登録番号や1haメッシュ内における侵食地のタイプ毎の面積割合や関連因子の要因データは図IV-42のような様式で入力した。なお、侵食地はタイプ毎に1桁の数字で表わし、その面積割合を10%括約としているため、90%までしか表現できない。また侵食の「その他のタイプ」とあるのは、ここでは溪流侵食の崩壊面積割合を入力したが、実際の分析計算には用いていない。ただ今後、他地域で同様の分析を行う場合や、他の分析計算を行う時など、必要に応じて使用が可能であるように設定してある。

i) 侵食タイプの組合せ

侵食地のタイプ①と②の組合せは、タイプ①、タイプ②、タイプ①+タイプ②、タイプ①+2×タイプ②、そしてタイプ①+3×タイプ②の5通りについて表IV-38の外的基準の欄のような順序で、27回の数量化Ⅱ類計算を実施した。その結



図Ⅳ-42 コンピュータのデータ入力シート

果、タイプ①+2×タイプ②の組合せが最もよく、外的基準の分類数は3階級が適していると判断された。(詳細な分析結果は流域管理部門で述べている。)

④ 各要因の組合せと分類基準

前項(a)で、外的基準として侵食タイプの組合せと、その階級基準を変えると同時に、内的基準の分類数(カテゴリー数)も表Ⅳ-39のように取り換えている。なお、15回目の計算より放牧密度要因は不適当として除去されたが、理由は流域管理部門で述べている。また、表Ⅳ-40は各要因内の種々の分類数と分類基準を示しており、表Ⅳ-39の計算実施結果と照合することができる。

⑤ 地形解析法の活用

①) 数値情報の入力と制御

標高値より各メッシュの地形要因を地形解析法によって電算処理するにあたって、まずデータの入力方法は図Ⅳ-43のように交点値(×)と中点値(●)を別々のデータシートに記入する。

また、調査対象地の範囲は不定形であるので計算に必要な最小限のデータを測定し、範囲外にあるものは0を入力することによって計算回数をできるだけ対象メッシュ数に近づけるようにしたが、それでも調査範囲の境界線が複雑な場合もあるので、最終的には、数量化Ⅱ類計算をする際に、図Ⅳ-42で入力されたメッシュ番

表Ⅳ-38 数量化Ⅱ類計算の実施状況(侵食危険地判定法)

回数	外的基準		内的基準							重相関比	
	採用データ	階級数	地表被覆	傾斜	方位	縦断面形	横断面形	斜面長	土壌深		放牧密度
1	①	4	8	6	9	3	3⑭	3	2	3①	2.1614
2	①	*1 4-10%	8	6	9	3	3⑭	3	2	3①	3.1733
3	②	4	8	6	9	3	3⑭	3	2	3①	0.5080
4	②	4-10%	8	6	9	3	3⑭	3	2	—	0.4939
5	①+②	4	8	6	9	3	3⑭	3	2	3①	2.1189
6	①	4	8	5	9	3	3⑭	3	2	3②	0.3105
7	②	4	8	5	9	3	3⑭	3	2	3②	0.3493
8	①+②	4	8	5	9	3	3⑭	3	2	3②	0.4094
9	①+2×②	4	8	5	9	3	3⑭	3	2	3②	0.4147
10	①+2×②	4	8	5	5	3	3⑭	3	2	3②	0.4074
11	①+2×②	4	6	4	9	3	3⑭	3	2	3②	0.4157
12	①+2×②	*2 3-①	6	4	9	3	3⑭	3	2	3②	0.4151*4
13	①+3×②	4	6	5	9	3	3⑬	4	2	3②	0.4177
14	①+3×②	3	6	5	9	3	3⑬	4	2	3②	0.4175*4
15	①+2×②	2	6	4	9	3	3⑭	3	2	—	6.5158
16	①+2×②	6	6	4	9	3	3⑬	3	2	—	0.3598
17	①+2×②	4	8	4	9	3	3⑭	3	2	—	0.3424
18	①+2×②	3	6	4	9	3	3⑭	3	2	—	0.3563
19	①+2×②	3	6	4	9	3	3⑬	3	2	—	0.3566
20	①+2×②	3	6	5	9	3	3⑭	3	2	—	0.3563
21	①+2×②	3	6	4	9	3	3⑭	4	2	—	0.3562
22	①+2×②	3	6	5	9	3	3⑬	4	2	—	0.3556
23	①+2×②	3	6	4	9	3	3⑯	3	2	—	0.3535
24	①+3×②	4	6	5	9	3	3⑬	4	2	—	0.3582
25	①+3×②	4-①	6	5	9	3	3⑬	4	2	—	0.3421
26	①+3×②	*3 3-②	6	5	9	3	3⑬	4	2	—	0.3125
27	①+3×②	3-②-10%	6	5	9	3	3⑬	4	2	—	0.4104

*1. 外的基準が1以上のものすべてと、0のものを10%だけランダムに抽出したものとで計算。

*2 *3. 侵食タイプ1に関して、-①、-②は、それぞれ、侵食10%、20%のものを「侵食なし」の階級に入れて計算。

*4. 各グループ間のスコア一値で直線的に区分できたことを意味する。

表Ⅳ-39 各要因の分類(カテゴリー)規準(侵食危険地判定法)

地 表 被 覆				占有面積 A_a	侵食面積	侵食率	カテゴリー-8			カテゴリー-6		
							番号	占有面積率	侵食率	番号	占有面積率	侵食率
4	10 cm以下の草地			31	4.7	152	1	52.4	9.9	1	52.4	9.9
5	11 ~ 30 cmの草地			999	97.4	9.7	2	12.8	4.1	2	12.8	4.1
6	30 ~ 99 cmの草地			252	10.3	4.1						
7	1 m以上の草木地			109	1.4	1.3	3	5.5	1.3	3	5.5	1.3
8	2次人工林			131	4.9	3.7	4	6.7	3.7	4	6.7	3.7
9	2 m以上の高木が30%の人工林			71	0.2	0.3	5	8.6	1.0	5	13.9	0.6
10	"	40%	"	48	0.6	1.3						
11	"	50%	"	38	-	-						
12	"	60%	"	13	0.9	6.9						
13	"	70%	"	9	-	-	6	5.3	-	6	3.6	0.6
14	"	80%	"	19	-	-						
15	"	90%	"	12	-	-						
16	"	100%	"	64	-	-	7	1.5	0.3	6	3.6	0.6
17	疎密度30%の天然林			10	-	-						
18	40%	"	"	17	-	-	8	2.1	0.7	6	3.6	0.6
19	50%	"	"	2	0.1	5.0						
20	60%	"	"	-	-	-	8	2.1	0.7	6	3.6	0.6
21	70%	"	"	10	-	-						
22	80%	"	"	2	-	-						
23	90%	"	"	4	-	-						
24	100%	"	"	125	0.1	0.8						

傾 斜				占有面積 A_a	侵食面積 A_a	侵食率	カテゴリー-6			カテゴリー-5			カテゴリー-4		
							番号	占有面積率	侵食率	番号	占有面積率	侵食率	番号	占有面積率	侵食率
1	1 コンター (2°50')			14	0.2	1.4	1	40	3.3	1	11.1	4.3	1	11.1	4.3
2	2 " (5°40')			65	2.4	3.7									
3	3 " (8°30')			140	6.8	4.9	2	20.1	5.6	2	30.9	5.5	2	30.9	5.5
4	4 " (11°20')			255	15.2	6.0									
5	5 " (14°00')			353	18.1	5.1	3	37.7	6.5	3	47.9	7.1	3	47.9	7.1
6	6 " (16°40')			388	29.9	7.7									
7	7 " (19°20')			344	23.8	6.9	4	28.1	6.7	4	8.3	6.6	4	10.1	6.1
8	8 " (21°50')			209	13.0	6.2									
9	9 " (24°10')			101	5.9	5.8	5	8.3	6.6	5	1.7	3.8	4	10.1	6.1
10	10 " (26°30')			63	4.9	7.8									
11	11 " (28°50')			24	1.1	4.6	6	1.7	3.8	5	1.7	3.8	4	10.1	6.1
12	12 " (31°00')			8	0.2	2.5									
13	13 " (33°00')			2	-	-									

カテゴリー-9						
方位	占有面積 A_a	侵食面積 A_a	侵食率	番号	占有面積率	侵食率
1 N	234	22.9	9.8	1	11.9	9.8
2 NE	340	26.6	7.8	2	17.3	7.8
3 E	197	6.3	3.2	3	10.0	3.2
4 SE	220	8.1	3.7	4	11.2	3.7
5 S	103	0.2	0.2	5	5.2	0.2
6 SW	207	5.5	2.7	6	10.5	2.7
7 W	229	12.3	5.4	7	11.6	5.4
8 NW	352	37.0	10.5	8	17.9	10.5
9 不定	84	2.6	3.1	9	4.3	3.1

表Ⅳ-39 続き

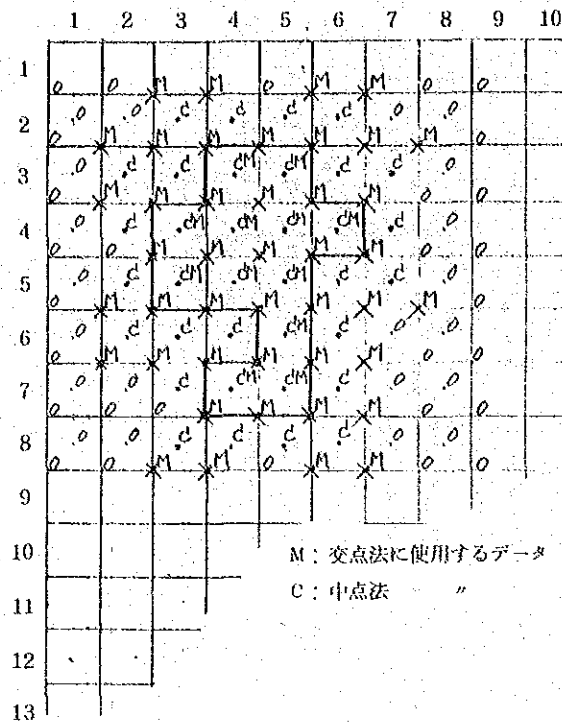
					カテゴリー-3		
縦断面積	占有面積 ka	侵食面積 ka	侵食率	番号	占有面積率	侵食率	
1 凹縦断	473	347	73	1	24.1	73	
2 凸縦断	1177	759	64	2	59.9	64	
3 平滑	316	109	34	3	16.1	34	

					カテゴリー-3④		カテゴリー-3⑤		カテゴリー-3⑦			
横断面積	占有面積 ka	侵食面積 ka	侵食率	番号	占有面積率	侵食率	番号	占有面積率	侵食率	番号	占有面積率	侵食率
1 1°~5°	56	2.6	4.6	1	218	66	1	194	7.1	1	29.5	6.7
2 6°~10°	191	139	7.3									
3 11°	34	1.0	2.9									
4 12°	61	4.1	6.7									
5 13°	39	5.6	14.4									
6 14°	48	1.1	2.3	2	557	5.6	2	616	5.5	2	32.6	5.4
7 15°	83	5.3	6.4									
8 16°	68	5.1	7.5									
9 17°	95	5.4	5.7									
10 18°	411	223	5.7									
11 19°	112	5.8	5.2	3	224	7.1	3	190	7.4	3	37.9	6.5
12 20°	107	7.0	6.5									
13 21°	118	7.0	5.9									
14 22°	80	2.8	3.5									
15 23°	68	3.9	5.7									
16 24°	90	6.8	7.6	2	上段2に含まれる		2			2		
17 25°	48	4.4	9.2									
18 26°~30°	195	15.3	7.8									
19 31°~35°	40	0.5	1.3									
20 不定	22	0.6	2.7									

					カテゴリー-3		カテゴリー-4		
斜面長	占有面積 ka	侵食面積 ka	侵食率	番号	占有面積率	侵食率	番号	占有面積率	侵食率
1 0~20m	571	37.7	6.5	1	628	5.9	1	628	5.9
2 21~40m	663	35.0	5.3						
3 41~60m	379	26.2	6.7	2	300	6.6	2	300	6.6
4 61~80m	210	12.5	6.0						
5 81~100m	74	5.1	6.9	3	73	7.1	3	55	7.6
6 101~120m	35	3.2	9.1						
7 121~140m	16	1.1	6.9				4	1.7	5.3
8 140m以上	18	0.7	3.9						

					カテゴリー-2	
土壌深	占有面積 ka	侵食面積 ka	侵食率	番号	占有面積率	侵食率
1 ラテゾール(深)	779	47.4	6.1	1	43.4	5.8
3 中間	74	2.1	2.8			
2 ボドゾール(浅)	1113	72.0	6.5	2	56.6	6.5

					カテゴリー-3①		カテゴリー-3②		
放牧密度	占有面積 ka	侵食面積 ka	侵食率	番号	占有面積率	侵食率	番号	占有面積率	侵食率
1 無し	686	9.4	1.4	1	34.8	1.4	1	79.3	4.6
2 疎	873	62.0	7.1						
3 中	308	28.5	9.2	3	20.7	12.3	2	15.7	9.2
4 密	99	21.6	21.8						



図Ⅳ-43 地形解析法にするデータ

号に対応することになっている。したがって、標高値の入力の際には、調査範囲より多めのデータを入力しておく方が安全ではある。

ii) 数量化Ⅱ類計算結果の比較

地形解析法計算により求められた傾斜度及び方位角を、表Ⅳ-38の分析研究で最適と判断された19回目の計算で用いられた地形要因群の分類数と、表Ⅳ-39の分類基準に準じ、局所地形要因については、縦及び横の両断面形におき変わるべきものと判断し、分類基準も表Ⅳ-39に準じて凸、平、凹の3分類として交点法及び中点法による数量化Ⅱ類計算をそれぞれ行った。

その結果、重相関比については、交点法によるものは0.3566で、中点法は0.3684となり、前の地形図判読による0.3566と合せ、大差のないものとなった。ところが、要因別にそれぞれの分類項目のカテゴリ・ウェイトを図Ⅳ-44で見ると、交点法の方が地形図判読による要因のカテゴリ・ウェイトのパターンに近似したものとなる。したがって、地形解析法による地形要因の代替は中点法より交点法が望ましいと判断した。

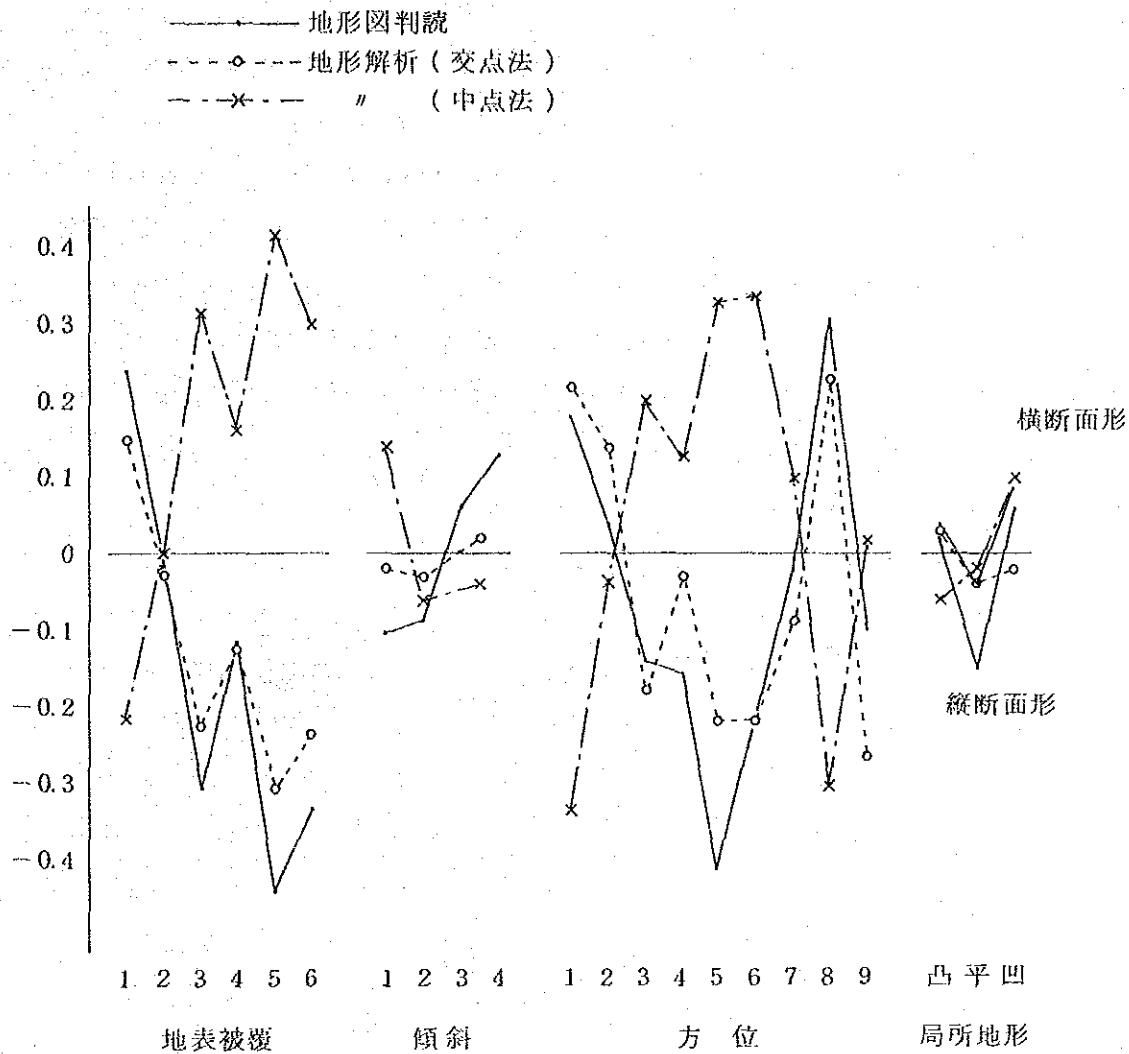


図 IV-44 各要因毎のカテゴリー・ウェイトの比較

③ 崩壊危険地判定法

(a) 研究手法のきめ方

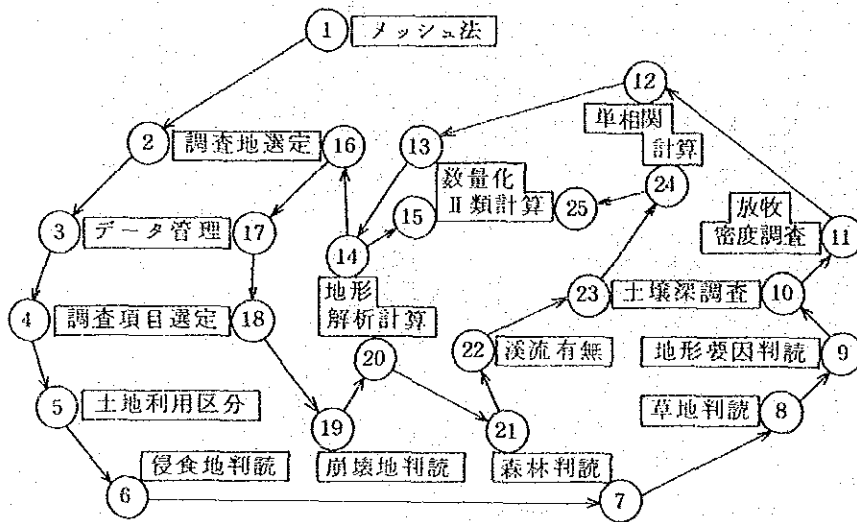
前項の侵食危険地判定法で用いられた要因の内、地形図からの判読要因としての傾斜、方位、縦断面形、及び横断面形に変わり、デジタル化した標高データから自動判読プログラムより電算処理で算出された傾斜、方位、及び局所地形要因を置換しても、同様の分析結果を得ることが証明されたので、目的のひとつである「データの蓄積、管理法及び処理法の研究」を拡大するために、崩壊危険地判定法における地形の要因は、地形解析プログラムによる上述の3要因は地形解析プログラムによる上述の3要因を用いることとした。

なお、その他の地形要因として侵食危険地判定法で用いられた斜面長は、崩壊発生

のメカニズムには直接関与しないものと判断し、これを除去した。かわりにメッシュ内の溪流の有無が崩壊に直接影響を及ぼすものとして地形要因に加えられ、これは地形図より判読された。

結局、崩壊危険地判定を行うに当って、崩壊のメッシュ内の面積割合を外的基準とし、それに対する内的基準として、地表被覆、傾斜、方位、局所地形、溪流の有無、及び土壌深の6要因を用いることとした。

なお、侵食危険地判定法を含めた一連の荒廃危険地判定法を実施した全工程は図Ⅳ-45の流れであり、その内の崩壊危険地判定法の実施は同図の16~25の工程となる。



図Ⅳ-45 作業工程流れ図

⑥ 調査地

調査地はサンパウロ市より東方125 km、つまりタウバテ地区をほぼ真南に南下し、海岸山脈を越えたカラガタツバ地区の海岸斜面で、サント・アントニオ川 (Rio Santo Antonio) 流域の一部774 haである。(図Ⅳ-35, 36参照) 当地は州有林でほとんどが天然林であり、急峻な山脈地形を有す。(流域管理部門参照)

(c) 空中写真

使用した空中写真は1973年6月の撮影で、縮尺は1/25,000のところを、侵食危険地判定法の時と同様に、これを2倍に引き伸ばし1/12,500として使用した。(表Ⅳ-34)

(d) 調査方法

㊸ 崩壊地判読

崩壊地は斜面上に明確な土地の陥没があり、写真上では多くの場合白の鮮明な映像となり、特に高度な判読技術を必要とはしない。ただ大規模な崩壊では大量の土砂が下方へ流出するので崩壊発生地を過大に区画しないように注意する。なお、崩壊地は細分せず1タイプのみとし、写真上に区画したものを地形図に移写し、侵食地と同様にメッシュ毎の崩壊地面積の割合を読み取る。

㊹ 地表被覆判読

当調査地は、約9%の草地以外は天然林である。天然林を林相区分することは、非常に困難な点が多いが、調査地では、まず比較的緩傾斜面に他と樹種構成の異なる林分があり、現地調査によって直立した高木になりつつあると認められたが、空中写真撮影当時の映像は、樹高の低い疎な2次林であったと判断できる。他のひとつは、尾根筋に多い。樹高が比較的低く密で、大径木を有しない林相であることが判読されるが、現地で確認した限りでは、樹種構成には他の天然林との顕著な差は認められなかった。これを「大径木を有しない天然林」として1分類項目とした。したがって、森林の区分は3分類となる。

結局、地表被覆要因としては、草地に森林の3分類を加え、計4分類となる。

㊺ 地形判読

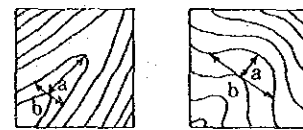
i) 地形解析法によるもの

地形解析法によるものは、傾斜、方位、局所地形の3要因とし、傾斜、方位は連続的な実数で表わされるので、その分類基準は数量化Ⅱ類計算の際に自在に分類するものとし、局所地形は侵食危険地判定法と同様に、凸、平、凹の3分類とする。

ii) 地形図判読によるもの

崩壊危険地判定法に用いられる地形要因の内、地形図の判読により得るものは、「溪流の有無」だけである。

その判読の方法は、図Ⅳ-46で a/b が1以上のものを溪流とみなし、これにかかるメッシュを「溪流有り」とし、その他を「溪流無し」として2分類した。



溪流有り

溪流無し

㊻ 土壌深

カラガタツバ調査地の地質は花崗内緑岩と花崗岩より成り、土壌はリトゾールの単一型であるので、土壌深は主に地形の傾斜によって土壌深分布を作成した。その方法は、空

図Ⅳ-46 溪流の判別方法

中写真判読により局所地形毎に傾斜の勾配を判断しながら、その植生（樹種、樹木の大小等）を考慮して、土壌深の階級を、0～50cm、60cm～1m、1.1m～2m、2m以上の4段階とし、写真上に層化して、その後地形図に移写した。

(c) 重回帰計算

重回帰分析として侵食危険地判定法と同様に数量化Ⅱ類計算を行ったが、その実施の経過は、表Ⅳ-40の計算順序と、表Ⅳ-41の要因の分類基準の組合せで説明される。

表Ⅳ-40 数量化Ⅱ類計算の実施状況（崩壊危険地判定法）

回数	外的基準 階級数	内的基準						重相関比
		地表被覆	傾斜	方位	局所地形	土壌深	溪流有無	
1	4*1	4	5②	9	3	4	2	0.5227
2	4	4	5②	8	3	4	2	0.5222
3	4	4	5②	5	3	4	2	0.5117
4	4	4	5②	4	3	4	2	0.5114
5	4	4	6	4	3	4	2	0.5175
6	4	4	5④	4	3	4	2	0.5118
7	4	4	4	4	3	4	2	0.5059
8	3*2	4	5②	4	3	4	2	0.5068

*1:階級①は崩壊なし、②は10%まで、③は30%まで、④は31%以上

*2:階級①は10%まで、②は30%まで、③は31%以上

結局、最適と判断された計算結果は、表Ⅳ-42の第7回目の要因分類基準となり、その重相関比は0.5059となった。なお、これによる詳細な分析結果は流域管理部門で述べられている。

④ 研究の成果

(a) データ処理システムとデータ蓄積

要因毎の荒廃地面積の算出、数量化Ⅱ類計算、出力マップ等一連の電算処理システムを確立したばかりでなく、400haメッシュと1haメッシュがx-y座標に沿って位置的に整然とした形で重複していることは、今後のデータ蓄積を容易にするだけでなく、データの活用範囲が飛躍的に広がった。

(b) 荒廃危険地判定法の確立

荒廃危険地判定法に用いられる侵食地や崩壊地の空中写真判読技術を確立したばかりでなく、既存の森林判読法の応用として、この判定法の性質に準じた地表被覆の判

表Ⅳ-41 各要因の分類(カテゴリー)規準(崩壊危険地判定法)

		カテゴリー4					
地表被覆		占有面積Aa	崩壊面積Aa	崩壊面積率%	番号	占有面積率%	崩壊面積率%
1	草地	68	29	42	1	88	42
2	二次林	69	32	46	2	89	46
3	天然林(小径木)	74	140	189	3	96	189
4	天然林(大径木)	563	67.7	120	4	727	120

		カテゴリー6			カテゴリー5⑤		カテゴリー5④		カテゴリー4	
傾斜		占有面積Aa	崩壊面積Aa	崩壊面積率%	番号	占有面積率%	崩壊面積率%	番号	占有面積率%	崩壊面積率%
1	21°以下	330	20.1	6.1	1	426	6.1	1	426	6.1
2	22°~25°	137	16.1	11.8	2	17.7	11.8	1	603	7.6
3	26°~29°	110	17.5	15.9	3	142	15.9	2	142	15.9
4	30°~33°	90	17.6	19.6	4	116	19.6	3	116	19.6
5	34°~40°	81	14.7	18.1	5	10.5	18.1	4	10.5	18.1
6	41°以上	26	1.8	6.9	6	3.4	6.9	5	138	15.4

		カテゴリー9			カテゴリー8		カテゴリー5		カテゴリー4	
方位		占有面積Aa	崩壊面積Aa	崩壊面積率%	番号	占有面積率%	崩壊面積率%	番号	占有面積率%	崩壊面積率%
1	339°~23°	16	1.4	8.8	1	2.1	8.8	1	7.4	18.2
2	24°~45°	3	-	-	2	0.5	-	2	2.1	19
3	46°~68°	1	-	-	3	2.8	6.8	3	2.8	6.8
4	69°~113°	22	1.5	6.8	4	17.8	11.0	4	17.8	11.0
5	114°~135°	67	7.3	10.9	5	16.4	9.0	5	16.4	9.0
6	136°~158°	71	7.9	11.1	6	20.3	9.6	6	20.3	9.6
7	159°~203°	127	11.4	9.0	7	18.0	9.8	7	18.0	9.8
8	204°~225°	109	10.5	9.6	8	20.5	18.5	8	20.5	18.5
9	226°~248°	48	4.5	9.4	9	1.6	2.5	9	1.6	2.5
10	249°~293°	139	13.6	9.8	1	7.4	18.2	1	7.4	18.2
11	294°~315°	121	20.4	16.9	2	11.6	9.8	2	11.6	9.8
12	316°~338°	38	9.0	23.7	3	39.7	9.7	3	39.7	9.7
13	方位なし	12	0.3	2.5	4	39.8	12.5	4	39.8	12.5

		カテゴリー3					
局所地形		占有面積Aa	崩壊面積Aa	崩壊面積率%	番号	占有面積率%	崩壊面積率%
1	山腹凸面	239	26.7	11.2	1	30.9	11.2
2	山腹平衡面	254	32.4	12.8	2	32.8	12.8
3	山腹凹面	281	28.7	10.2	3	36.3	10.2

		カテゴリー4					
土壌深		占有面積Aa	崩壊面積Aa	崩壊面積率%	番号	占有面積率%	崩壊面積率%
1	0~0.5m	148	40.5	27.4	1	19.1	27.4
2	0.6~1.0m	353	32.3	9.2	2	45.6	9.2
3	1.1~2.0m	192	13.1	6.8	3	24.8	6.8
4	2.1m以上	81	1.9	2.3	4	10.5	2.3

		カテゴリー2					
溪流有無		占有面積Aa	崩壊面積Aa	崩壊面積率%	番号	占有面積率%	崩壊面積率%
1	無し	609	75.1	12.3	1	78.7	12.3
2	有り	165	12.7	7.7	2	21.3	7.7

読技術も確立した。さらに地形図からの判読技術も著しく向上し、客観的なデータを得ることが可能となった。

しかも、地質、土壌学の知識を導入し、リモート・センシング技術全体を多角的かつ総合的に活用できることが、一連の荒廃危険地判定法の分析作業の中で立証された。

(c) 地形解析法の利用

地形図の判読によって種々の地形要因を、目的に応じた形で利用することが可能になったが、これらの得られたデータは固定的で、例えば、局所地形などの分類規準を変更したい場合は、各メッシュについてその都度、新たに判読し直さなければならず、汎用性に乏しい。また方位なども崩壊危険地判定法の表Ⅳ-41で見られるように、8方位と4方位のどちらの分類が適当であるかを判断する場合、両方の判読が必要となる。また分析手法が異なると、再度の使用が不可能な場合も多い。

その点、地形図のもつ標高値を蓄積しておけば、地形解析法で目的に応じた地形の要因をその都度引き出せ、しかも計算処理された地形情報が客観的でもあるので、非常に有用なものとなる。

⑤ 考 察

(a) 荒廃地判読

荒廃地を空中写真情報より判読する技術は、従来の森林を判読した基本的な技術の延長線にあり、特に目立った新技術というものではない。ただ、これは未経験な分野であり、その点で作業の円滑さに欠ける面があったと思われる。特に侵食地の判読は、専門家自身においても経験の蓄積が乏しく、試行錯誤した感は否めない。また、使用された空中写真の撮影が1973年で10年以上以前のものであることも、一層円滑な判読作業を困難にした点でもある。

しかしながら、本項において、荒廃危険地判定法の分析に適したデータを、写真判読技術の他に種々のリモート・センシング技術を活用して得られることが証明されたことは、ブラジルでの荒廃地防止計画、治山事業計画、あるいは森林の公益的機能の分析等に、充分貢献できる分析手法として、新しい分野が開かれたことになり、今後の普及と、分析データの蓄積が、大いに期待される。

ただ本頁のテーマのひとつである判読技術の向上と言う点にしばってみると、①技術者数が少ないこと、②技術者の経験が浅いこと、③技術者の目的に応じた全体計画への理解度が低いこと、などが上げられるが、これらは早急に解決できる問題ではなく、ブラジルの政策に準じた長期的な展望に立った上で、徐々にその向上に努める、努力の結果をまたねばならないだろう。

また、短期的に見て課題となる点は、技術者の判読能力の均一性を最重点にする方が良いと考える。さらに写真判読された区画を地形図へ移写する技術を完全なものに

するならば、空中写真の活用範囲は飛躍的に伸びるだろう。もっとも現状の空中写真のほとんどが広角レンズ使用であり、大、中縮尺の写真では立体視が容易でない場合もあり、また地形図の精度も、小さな尾根、谷筋など必要なものが描かれていない場合もあり、困難な面は多い。

(b) メッシュの大きさ

本項では100m×100mメッシュ(1haメッシュ)を1データとして分析を行った。そして一連の荒廃地分析を行う中で、使用された空中写真や地形図の縮尺及び精度の点で、この1ha単位の情報が適当なものであることを確認できた。

しかし、侵食の極小的発生メカニズムと、それに対する超局所的要因が、他に存在する可能性もあるので、侵食危険地判定法においては、さらに適切なメッシュの大きさが存在するかもしれない、今後の研究の進展に期待することになる。

(c) 地形解析法

交点法と中点法を行ったが、今までのところ荒廃危険地判定法には交点法が適している結果となっているが、その原因のひとつとして考えられることは、中点法は事実上、その対象が拡大して2haメッシュの地形の解析を行っている点が、解析結果の表現を平滑にしたのかもしれない。

また、この地形解析法の局所地形の分類項目の判別規準は、もともと日本での林地生産力調査に使用されたものであり、荒廃危険地判定法の分析目的とは異なるものである。この点で、本分析法に適した分類基準を、新たに設定できる余地を残している。

(3) 今後の見通し・問題点

① 撮影システムの改善

本研究に使用された空中写真の撮影年が、1973年と古いものを使用せざるを得なかった理由は、当判定法に適した写真の取り扱い、及び精度の面で、その縮尺が1/20,000以上のものに限られ、その中で最近のものとして選択されたからである。このため侵食地や草地の状況を現地調査によって確認する作業には困難な点が多かった。つまり、1973年の写真で侵食タイプ①のような軽度な侵食地の多くは、カッピンゴールドウーラのような乾燥した白っぽい草が、写真の紋様とほぼ同型で残っているものの、1973年以降に発生したと思われる軽度の侵食が、他の場所で見られる。侵食タイプ②のような強度な侵食地については現在も侵食地として残っており、その程度は、侵食がさらに進行しているものもあれば、やや回復して来ているところもある。いずれにしろ、もし現時点の空中写真を使用できていたら、侵食地や草地の判読はさらに詳細なものになり、重回帰分析での数量化I類計算なども実施でき、分析方法も幅広いものになったと推定される。

一方、両調査地には、1977年の空中写真も存在するが、その縮尺は1/45,000であり、もし、これらが1/30,000～1/35,000の縮尺であれば、2倍に引き伸ばして使用

する方法も考えられたであろう。また侵食進行の推移の面でも、興味深いものがあったのではなからうか。なお、引き伸ばし写真は、立体視するには大きすぎて取り扱いが不便であり、ブラジルでの価格が相対的に高いという難点があり、その利用は普及していないようである。

以上のことから、定期的な撮影体制と、引き伸ばし写真の利用も考慮した、多方面への利用可能な縮尺を決定できる、多角的な計画に基づいた撮影システムの確立が望まれる。

② 専門分野の分業化体制

荒廃危険地判定法を行うにあたって、本項でメッシュデータを使用した理由は、前述のようにデータの取り扱い単位が均一であり、個人差のすくない結果を導き出せることを利点としたからであるが、他の背景のひとつには、当国の統計理論への一般の研究者の理解の範囲が、日本の研究者一般が必要としている統計理論の基礎的知識の一部を、専門的知識として分業化している傾向が見られる。したがって、その点でも取り扱いデータの重みが均一である方が、分析過程において問題が少ないと判断したからである。

さらに、今日の複雑な統計的分析手法の開発にともなって、各研究者も最低限の統計処理々論の理解は必要であるという認識が、徐々にではあるが高まりつつあるが、当国の分業化傾向は今後も続くものと考えられる。

一方、空中写真判読にしろ、地形図判読にしろ、その判読技術が向上するというとは、基本的には目的の分析手法への利用を可能にするデータの捉え方であり、言い換えれば、目的に応じた判読精度を、臨機応変に理解し、迅速に対処することも技術の向上には欠かせない要素であり、それには常に幅広い知識を有しておくことが必要である。

しかし、分業化の進んだブラジルでは、このような広範な知識、あるいは技術を有する技術者の養成は困難である。また分業化体制を批判すべきでもなく、それはそれで個々の利点を有している。

したがって、分業化の進んだ体制下での判読技術のあり方を考えると、得られたデータは多方面に活用できるための一定の精度で求めておく方が、遠回りではあるが確実な方法である。そのため技術指導者はこの点をよく考慮し、得られるデータの活用性を、幅広く教示しながら、その判読速度は遅くとも、確実性のある技術者の養成に努めるべきであろう。

③ リモート・センシング技術の普及

今回の一連の判読作業の中で、従来の空中写真判読技術である森林判読に加え、新たに荒廃地判読や草地の判読を実施し、一応の成果を上げた。ここで問題となる点は、これらの判読技術者数が非常に少なく、その背景には、撮影システムの問題や専門分野の