

め、ブラジルで対応できる測器、システムへの移行を考える必要がある。

また当面の研究としては、現在断片的に得られているエリオット松林の放射収支、熱収支を全期間について解析し、その実態を通年的に明らかにする必要がある。それに基づいて、エリオット松林の水消費特性を把握することが大切である。

今後の方向としては、エリオット松林におけると同様の研究を天然林、ユーカリ林でも実施し、データを蓄積することである。現在、ユーカリ林での研究が予定されているが、早い時期に着手して欲しいものである。このような研究を積み重ねることにより、林分、樹種間の水消費の差異や森林施業に伴う水消費の変化が定量的に明らかにされ、水資源確保や洪水防止に適した森林を見出すことが可能になろう。

とにかく、亜熱帯における森林蒸発散研究はほとんど実施されておらず、そのデータや成果は世界的にも非常に貴重であるという自覚をもち、鋭意努力して欲しいと考える。

## II-2-3 量水観測研究

### (1) 背景と目的

サンパウロ州の北東部パライバ川流域は、古くよりの農業開発の結果、荒廃した放牧草地からの土砂流出、河川水の常時赤濁や洪水流量の増大と言った水土保持の問題をかかえている。また、近年、著しい工業化とそれに伴う都市への人口集中により、工業・上水道用水の確保も重要な問題である。このため、サンパウロ州森林院は、水源林や溪畔林の造成、天然林の保護管理によって水土保持をはかろうとしており、現在その理論的根拠の強化に努めているところである。

サンパウロ林業研究プロジェクトの発足により、森林の水土保持機能を定量的に解明する目的で、パライバ川の水源地帯である州立クレーニャ保護区に森林水文試験地が設置された。この試験地は、水位観測所1基（他に、森林院が2基建設中）、平面ライシメーター3基、地表流出試験区3基、気象観測露場および実験室兼宿泊所から成り立っている。水位観測所は、森林伐採や林地の草地転用が水循環過程にどのような影響を及ぼすかを検討するものである。現在、水源地帯における流出特性を把握する目的で森林流域からの流出量を測定している。平面ライシメーターは樹種の相違が水収支（水分消失）に与える影響を試験し、水源林造成時の樹種選択に役だてようとするものである。また、地表流出試験区は、林地、草地、畑地という土地利用の相違により、地表流出量や流出土砂量にどの程度の差が見られるかを比較試験するものである。これらの施設から得られた試験結果を総合的に検討することにより、水源地帯における森林の水土保持機能を明らかにし、あわせて荒廃放牧地への森林造成時の重要な基礎資料を提供しようというものである。

なお、本報告ではデータ集積の進んでいる一流域の量水試験と自然草地からの地表流出試験の結果を中心に検討した。

### (2) 経過と成果

## ① 経 過

1980年3月、工藤、速藤、真島専門家により、クーニャ保護区内に試験地が選定された。同年7月には、水位観測所等の試験施設を日本のモデルインフラ事業で早期完成するため、計画設計チームが派遣され、測量・設計が行われた。1981年4月に館沼専門家が施工監理者として派遣され、D流域の水位観測所及び平面ライシメーター、地表流出試験区各々1基の建設工事が開始された。

1982年3月15日、クーニャ森林水文試験地において、サンパウロ州農務長官、在サンパウロ総領事等の関係者出席のもと、モデルインフラ整備事業による水文試験施設の竣工式が行われた。この間、工藤専門家により、気象観測露場の設置等の研究環境の整備とパラíba川流域の各種調査が行われ、量水試験の基礎が作られた。1982年3月に、工藤専門家が藤枝専門家に交代し量水試験と残りの試験施設の整備が行われた。同年5月、ミナス州ベオリゾンテ市で第4回ブラジル林学会があり、カウンターパートにより本プロジェクトの概要が報告された。9月には、サンパウロ州カンポスジョルダン市で、在来樹種に関するシンポジウムが開催され、それまでに得られた観測結果が、カウンターパートにより報告された。また、平面ライシメーターの完成により日本のモデルインフラ事業が終了した。これ以降は、森林院のローカルコストによる整備事業であり、種々の悪条件の中で1983年7月までに、残りの平面ライシメーター、地表流出試験区各々2基が完成し、ただちに予備試験が開始された。1984年2月、パラナ州クリチバ市で流域管理に対する森林の影響と題するセミナーがあり、量水試験に基づく森林流域の水収支表がカウンターパートにより提案された。1984年3月以降は、量水試験担当専門家の帰国に伴い、カウンターパートにより水文観測及び資料整理が継続されている。

1984年9～11月に、カウンターパートが研修のため来日し、主に林業試験場防災部理水第一研究室において、集積されたデータにより短期流出、水収支の解析とりまとめが行われた。なお、解析結果の一部は第96回日本林学会大会で発表された。

1985年6月に工藤専門家、同年9月に真島専門家の派遣が行われ、プロジェクト開始時から最終年までの総括と問題点の指摘がなされ、あわせて今後の森林水文試験の進め方が検討され、カウンターパートへの指導が行われた。

量水試験の当初計画では、4流域(A, B, C, D)をもって実施する予定であったが、地形的な制約からC流域の水位観測所の建設は中止された。現在、森林院は連邦政府の資金援助により、B流域の水位観測所を建設中であり、完成後にA流域の工事に着手する予定である。

## ② モデルインフラストラクチャー整備事業費による森林水文観測施設の建設

当プロジェクト開始前に日伯間で合意されていたように、森林水文に係る諸観測施設

はブラジル側で用意することになっていた。だが、すでにプロジェクトが開始されていた1979年度中にも、ブラジル側からは観測施設用意の報はなく、日本側では観測施設の建設をモデルインフラストラクチャー整備事業（以下モデルインフラ事業と略す）費により対応する方針を固めた。

1980年3月に計画打合せチームは、すでに試験地として用意されていたクーニャ州有保護林（Reserva Estadual de Cunha）に建設すべき森林水文観測施設について、ブラジル側の労務事情、施工上の問題点を聴取しつつ、施設の種類・型式・数量等の既略案を森林院に提示した。

その結果をふまえて、実施設計調査団が同年7月に派遣された。同調査団は、クーニャ保護林内の選定流域において約1か月にわたり諸調査を実施し、量水試験施設（水位観測所）4基、水収支試験施設（ラインメーター）3基、地表流出試験施設3基の設計と積算を行った。また、プロジェクト派遣専門家とともに森林院と協議し、モデルインフラ事業による建設工事の施工監理は日本側が受持ち、ブラジル側は資材・労役・車輦等を提供することが確認された。

諸施設の建設工事はその設計積算が完了した後は、速やかな実行が望まれたが、モデルインフラ事業がR/D上に盛られていなかったことから、ブラジル連邦政府と日本政府の間で追加R/Dに署名を行った。

日伯両政府の合意後、1981年4月に施工監理者として綿沼専門家が着任し、建設工事が開始された。施設の工種・構造の詳細は既刊報告書（2・3-1）に述べられているが、概略は次のようである。

i) 量水試験施設（水位観測所）1基

長30mのダム、長21mの帯工、長11mの側壁で仕切られた11m×12mの湛水池、長20m×断面積6m<sup>2</sup>の逆台形水路、および観測槽

ii) 水収支試験施設（平面ラインメーター）1基

内径10m×10mの区画壁、深さ2m、底張り・敷礫30cm・埋土150cmおよび観測槽

iii) 地表流出試験施設1基

20m×30mの区画壁、1.4m×20mの水土受、および観測槽

建設工事は、後述する諸事情から困難を極め、当初予定した工期に竣工せず、1982年2月～3月に至り水位観測所、地表流出試験施設に計器を設置し、観測開始となった。竣工後の3施設を写真II-3、II-4、II-5に示す。建設工事の間、流域管理部門の長期専門家は施工監理者を補佐し、監理者の帰国後はカウンターパートに協力して工事の促進に努めた。

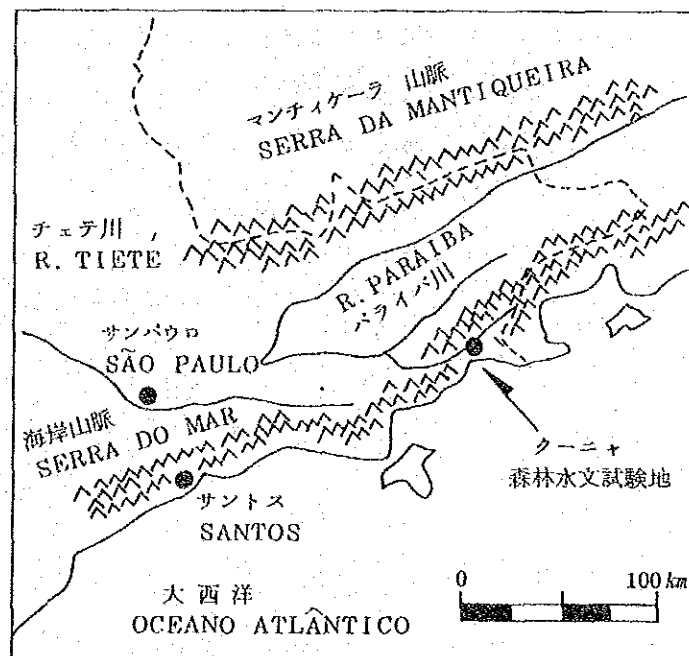
当地での建設工事が遅滞した事由を列記すると以下のようである。

- i) 現場はサンパウロ市から270 Km離れ、海岸山脈 ( Serra do Mar ) の Sertao ( 山奥 ) と呼ばれる地であった。このため現場へ至る最終20 Km路線は、急勾配の多い泥道となり、また路線内の木橋は全て老朽化していた。このため降雨毎に資材運搬に支障を来たし、路面への砂利敷と、12カ所にも及ぶ木橋の架け換え作業に多大な労力と日数を費やした。
- ii) 水位観測所の工事数は予想外に泥土と湧水が多く、床堀工程に時間を費やした。さらに乾季に当る5月～8月の降雨が例年より頻繁であった。
- iii) 森林院提供のショベル・ダンプトラックは日常的に整備不良で、たびたび故障して修理に手間取った。
- iv) 工事に従事した労務者はコンクリート作業に不慣れなうえ、現場から120 Km離れたタウバテ市から金帰月来するので、実働日数が少なかった。
- モデルインフラ事業はそれによってクーニャ試験地における森林水文観測施設を完成させ、その後、森林院が自ら建設した同種施設の手本となって、その目的とするところは充分達せられた。

なお、当事業に充当した日本側の費用は約2,000万円であり、森林院側の負担はほぼ同額と見積られる。

### ③ 試験地の概要

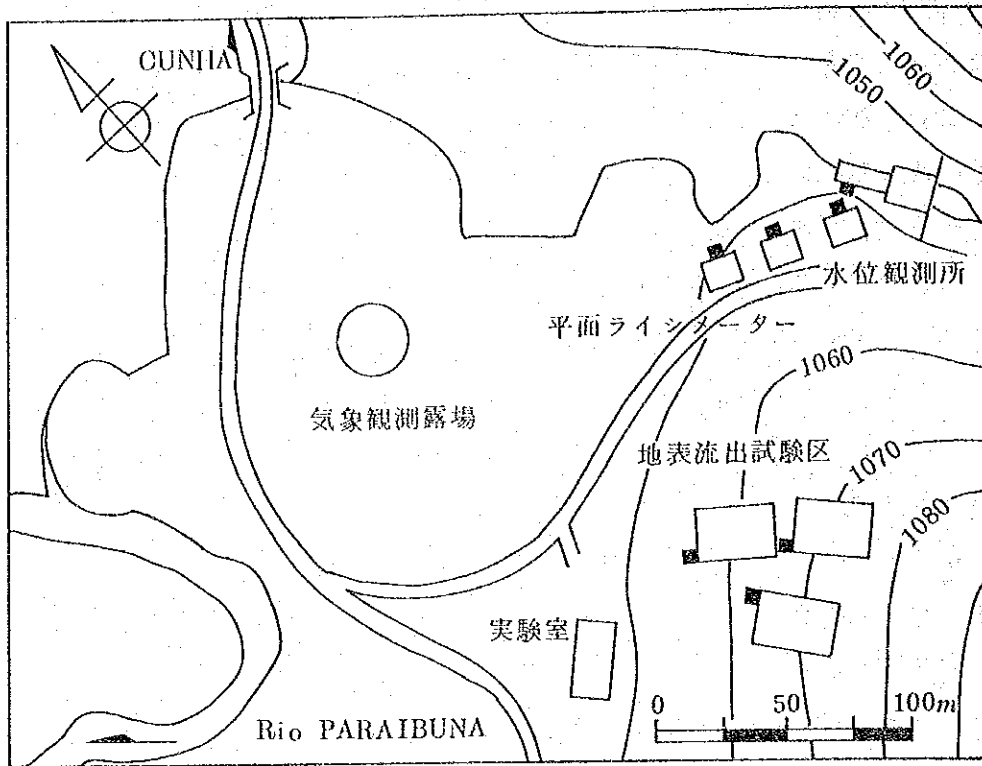
クーニャ森林水文試験地 ( 南緯23度13分、西経45度1分 ) は、パライバ川の源流の一つであるパライブナ川流域にある。( 図II-14 )



図II-14 クーニャ森林水文試験地の位置図

試験研究施設は、水位観測所1基（他に2基森林院のロカルコストで建設中）、平面ライシメーター3基、地表流出試験区3基、気象観測露場と実験室兼宿泊所から成る（図Ⅱ-15）。

付 3 5

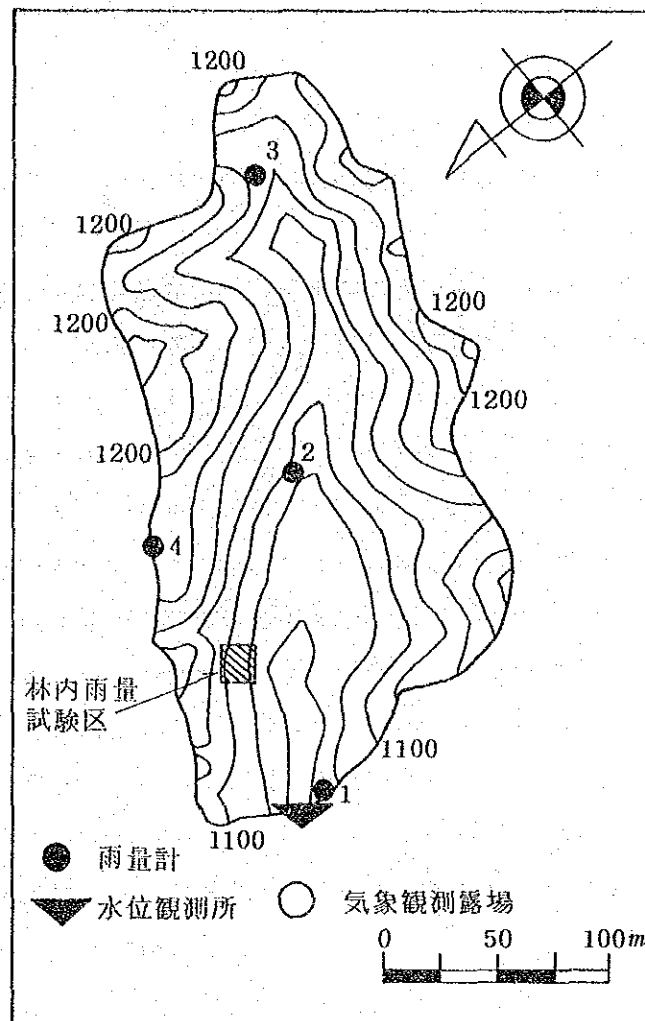


図Ⅱ-15 クーニャ森林水文試験地

なかでも、一試験流域（D流域）と地表流出試験区（草地）では、1980年3月より各種水文観測が継続されており、自然状態でのデータの集積が行われている。D流域の地形図と地形計測の結果を示せば、図Ⅱ-16、表Ⅱ-16のようになる。

表Ⅱ-16 試験流域の地形

流域面積	5 6.0 4 <i>ha</i>
標 高	1 0 4 8.0 ~ 1 2 2 2.0 <i>m</i>
平均標高	1 1 2 5.1 <i>m</i>
平均傾斜	2 5° 1 0'
主流長	1 2 6 0.0 <i>m</i>
形状形数	0.1 3 8
平均幅	4 4 4.8 <i>m</i>



図II-16 D試験流域

ここで、試験地全体の地質、土壌、気候等の概況を述べると次のようである。

海岸山脈にあるが、バライブナ川の両側の地域は、海拔高1,000~1,300の中標高地帯であり、傾斜10~20度の緩斜地が多く準平原的な地形を呈している。地質は先カンブリア紀の花崗岩性のミロナイト、片麻岩であり深層風化がかなり進んでいる。土壌は酸性ラドゾルと赤黄色ポドゾルの中間型である。土壌層は一般に厚く、A層は25~30cm、B層は70~200cmでいずれも砂質粘土および粘土質である(2・3-1)。

森林植生は伐採後50~60年経過した天然性二次林で *Cabralea multijugae*, DC., *Psidium littorale* Raddi, *Pteridium aquilium*, *Lantana camara* L. 等の常緑、落葉広葉樹から成り、沢ぞいの湿潤地には熱帯性の竹類が繁茂している。気候は亜熱帯気候区に属し、乾季(4~9月)と雨季(10~翌年3月)とがある。気象観測露場における1981~1983年の資料では、平均年降雨量2275.7mmであり、そのうち約70%は雨季に降った。また、平均年気温は16.7℃であった。本試験地は

海岸線より約20 Kmの距離にあるため、海風の影響により雨季間はしばしば濃霧に見まわれた。

#### ④ 測定項目および測定方法

水源地域の流出機構を解明するため、以下の項目について観測を行った。

##### (a) 流域雨量

本試験地は、海風の影響による降雨量の局所的な差異が予想されていた(2・3-1)。そこで、図II-16に示すように、流域内4カ所に転倒マス型長期自記雨量計を設置して観測している。No.1～No.3は1982年4月に、No.4は同年11月にそれぞれ設置し、記録紙の取換えは3カ月ごとに、計器の保守点検は毎月行っている。

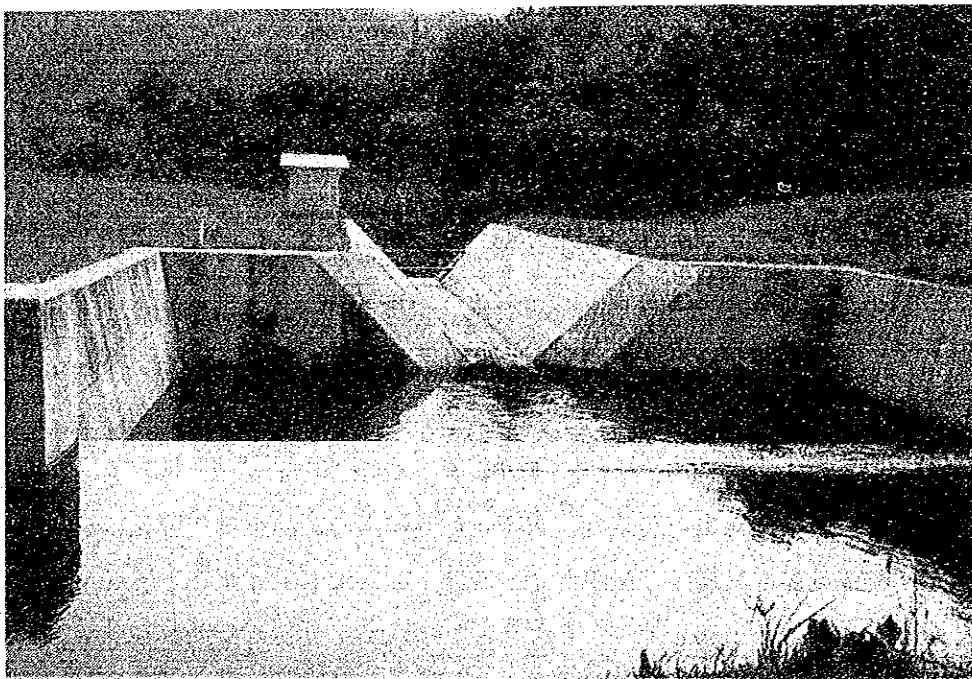
##### (b) 林内雨量

森林植生による遮断雨量を推定するため、代表的な林相を呈する山腹斜面に試験区(20×20 m)を設定して樹冠通過雨量と樹幹流下量を測定した。樹冠通過雨量は口径20 cmの貯水型雨量計16個を5 m間隔に配置した。樹幹流下量は9本の供試木を選定し、幹にゴムシートをロート状に巻いて流下水を集めビニールチューブで30 ℓのポリ容器に貯留した。林外雨量は、試験区に近接する平坦地で貯水型雨量計で測定した。

樹冠通過雨量は、16個の林内雨量計の平均であり、樹幹流下量は、9本の平均値に試験区内の全本数(65本)を乗じ、それを試験区面積で除して求めた。

##### (c) 水位観測と流出量計算

水位観測施設は、12×11×2 mのコンクリート製の湛水池を備えた、モルタル仕上げの開水路である。



写真II-3 上流側から見た水位観測所

水路と観測小屋は導水管により連結され、水研62型長期自記水位雨量計で水位観測が行われている。

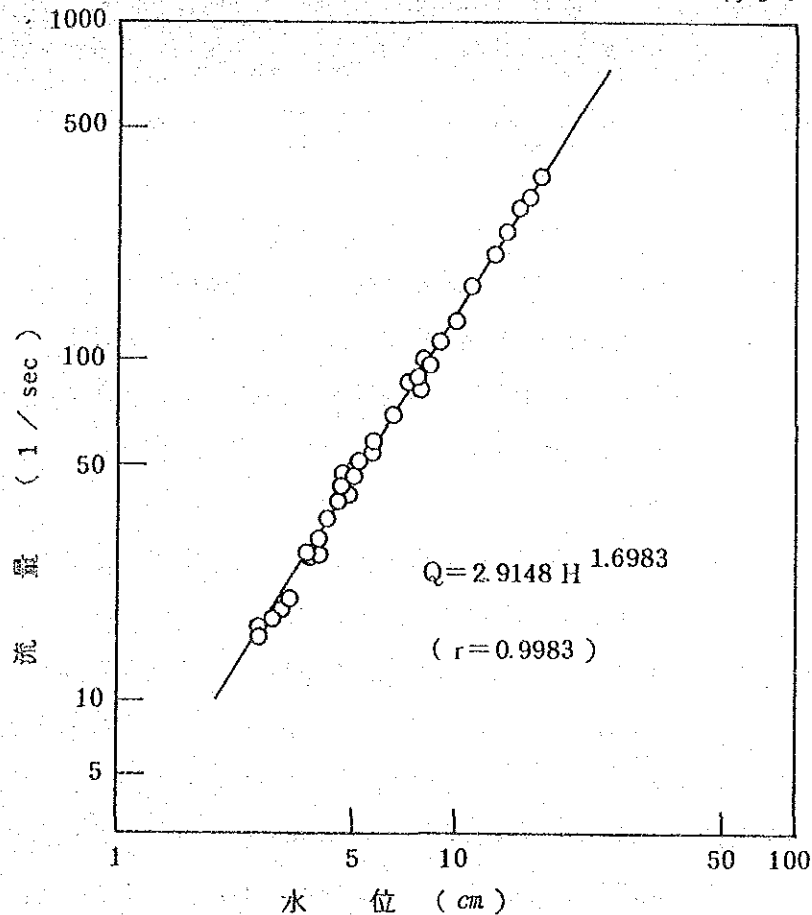
水位一流量式を決定するため、水路下端の導水管付近で、小型プロペラ式流速計と広井式流速計により流速を測定した。また、流速測定地点で、スケールにより水深を測定し、次式より流量を求めた。

$$Q = A \cdot V$$

ここで、 $Q$ ：流量（ $l/sec$ ）， $A$ ：断面積（ $cm^2$ ）， $V$ ：平均流速（ $cm/sec$ ）  
それぞれの水位における流量をプロットすると図II-17に示される関係式が得られた。

自記紙からの水位読み取り等の作業は、クレーン試験地で行われている。計算処理は、森林院コンピューター室のFACOM 230-28型計算機により行われ、流量（ $l/sec$ ）、比流量（ $l/sec/km^2$ ）、日流出量（ $mm/day$ ）等が計算される。これらの結果は、プリントアウトと同時に磁気テープにデータ・ファイルして保存されている。なお、流速測定から流出量計算までの一連の過程については、マニュアル的に取りまとめ、Cunha Hydrology Research Project(1) On the gauging station and the discharge rating curve. として報告されている。

付37

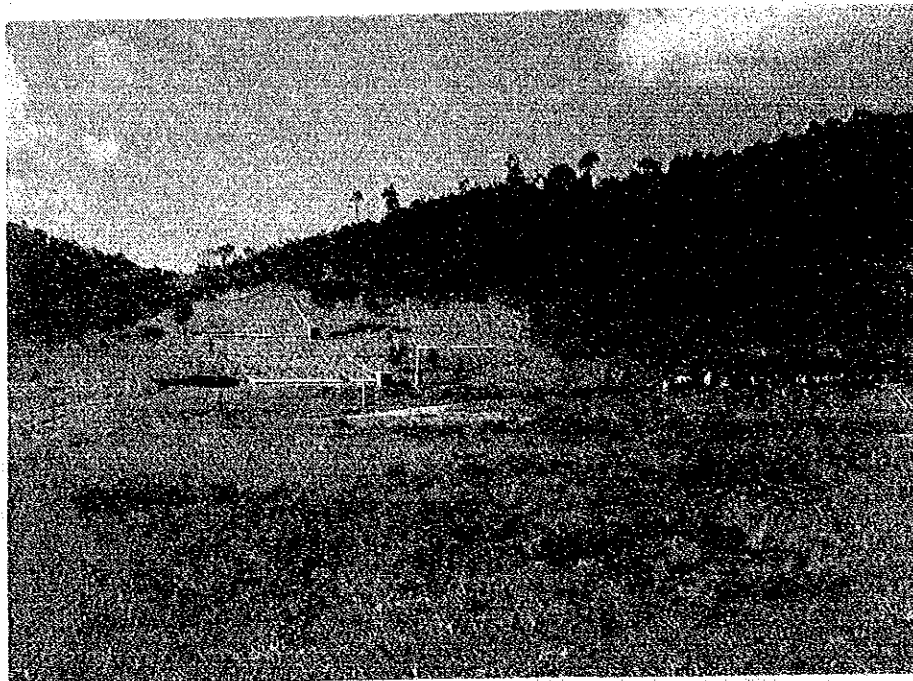


図II-17 D流域の水位流量曲線



(d) 地表流出試験

地表流出試験区は、水位観測所に近接する山腹の平衡斜面を利用して3区設定した。各区の平均傾斜角はA区18度、B区14.5度、C区17.5度である。面積は600 $m^2$ であり、斜面長30 $m$ 、幅員20 $m$ をコンクリート製の遮水板(1.2 $\times$ 1.0 $m$ )を土層中に1.0 $m$ 埋めこんで斜面上部と両側面を区画した。



写真II-4 地表流出試験施設(中央はモデルインフラ事業  
左2基はガラス側施工による)

また、斜面下部には地表流出量と流出土砂量を捕足するため、敷巾0.8 $m$ 、深さ0.8 $m$ 、側法2分のコンクリート製の水土受けを設置した。なお、水土受けに直接降雨が入らないように屋根をかけた。流出水は、バケット式流量計(一転倒1,000 $cc$ )に多点式自記電接計を接続させ連続記録を行った。自記紙の読み取りは、1時間単位で行い、流出量は試験区面積で除して水高で整理した。

(e) 平面ライソメーター

平面ライソメーターは、1区画10 $\times$ 10 $m$ の正方形で、深さ2 $m$ のコンクリート製のものであり、A、B、C区の3基より成る。ライソメーターへの埋土は次のようにした。底張りの上に直径10 $\sim$ 20 $cm$ の礫を20 $cm$ 程度敷きつめ敷礫とし、その上に川砂を一様に10 $cm$ 敷いて土壌流亡を防ぐようにした。充てん土壌はライソメーターに近接する山腹斜面から採集し、埋土が一様に行われるようつきかためをしながら行った。さらに、表層10 $cm$ の部分は、苗木植栽を考慮して腐植質に富む黒褐色の森林土壌にした。埋土後の自然圧密による沈降は、そのつど土壌補充を行い対処した。礫層も含む土層の厚さは180 $cm$ である。

ライシメーターの底部は導水管で観測室と連結されており、地表流出試験区と同種の観測器で流出量の測定が行われている。一般にライシメーターは、埋土後6~12カ月程度自然放置後、試験に着手するのが通例であり、現在、キャリブレーションを兼ねて裸地状態における水収支を検討している。また、ライシメーターからの蒸発散量と計器蒸発散量を比較検討するため、A、B区の間で大型自記蒸発計を設置し、観測している。



写真Ⅱ-5 ライシメーター(ユーカリ植栽区)  
左側にエリオティオツ植栽区と草本植栽区が並んでいる

## ⑤ 結 果

観測結果とその検討に入る前に解析方法の基本となる流出過程について簡単に説明する。

流域内への降雨が水位観測所で流量として観測されるまでには種々の経過を通る。この間に含まれる水文学的事象を総括して流出過程とよばれ、模式図に示せば図Ⅱ-18のようになる。流出成分を流出の経路によって分類すれば、表面流出、中間流出、地下水流出の3成分となる。ハイドログラフに短周期の変化をもたらすのは、表面流出、早い中間流と河道降雨から成る直接流出である。また、長周期の変化を支配するものは、地下水流出を主成分とする基底流出である。流出解析の目的から、前者を洪水流出(短期流出)、後者を地下水流出(長期流出)という。

一般に、短期流出の解析を行う場合は、ハイドログラフの直接流出と基底流出成分の分離が行われるが、今だ確立された方法はない。本報告では図Ⅱ-19に示される勾配急変点法によった。斜線部の直接流出量(D・R)は、同図のハイトグラフ(P)により発生したものであり、基底流出量(B・R)は遅い中間流とそれ以前の降雨により

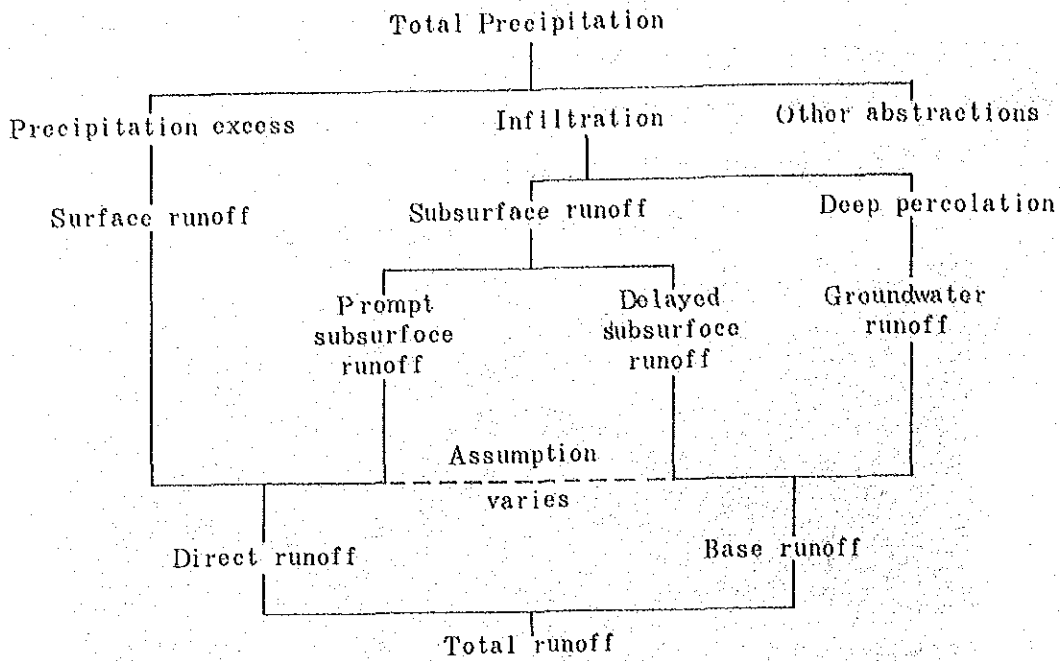


図 II - 18 流出過程と成分

(Chow : HANDBOOK OF APPLIED HYDROLOGY, MC GRAW-HILLより)

付 3 9

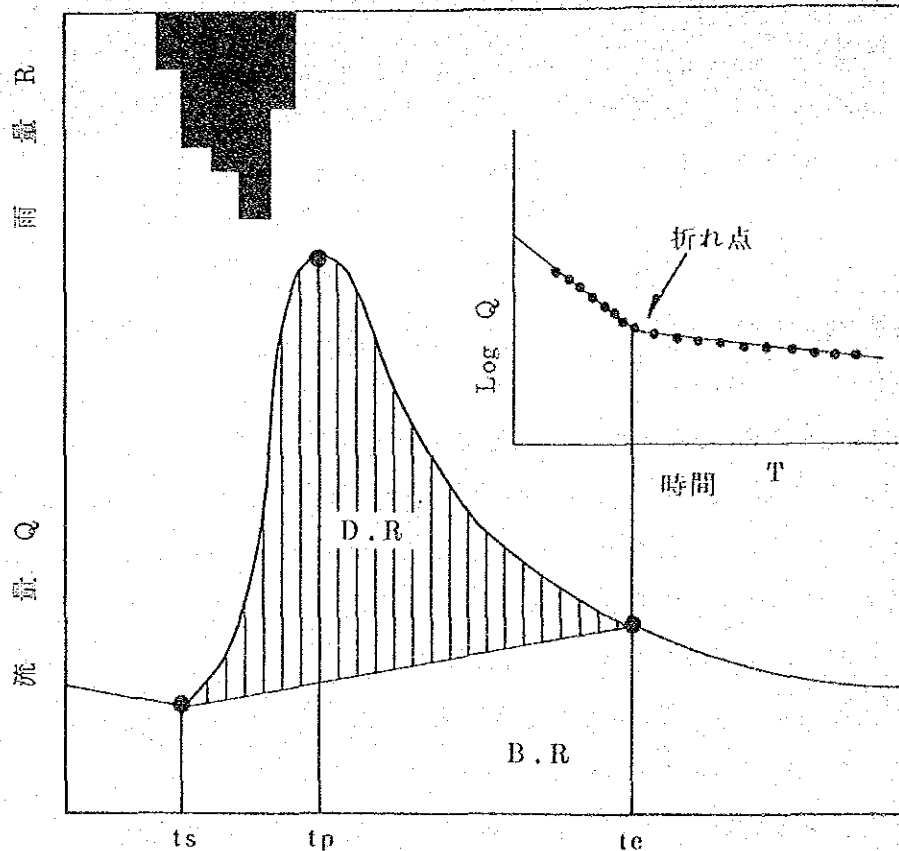


図 II - 19 ハイエトグラフとハイドログラフ

(図中の斜線部 (D・R) は直接流出量で、そのほかの部分 (B・R) は基底流出量)

形成された地下水によりもたらされたものである。また、降雨量(P)と直接流出量の比を直接流出率という。

一降雨によりハイドログラフに変化が認められるものすべてについて、基底流出の分離を行った。分離された直接流出量を月間および年間集計して、月直接流出量、年直接流出量とした。また、月・年基底流出量は、月・年流出量から、月・年直接流出量を引いて求めた。これらの長期的な流出量は、河川流量の季節変化や流域の水収支の解析に用いられる。

#### (a) 流域雨量

気象観測露場(M・S)と雨量計№1, №4がほぼ同じ値を示し、№2, №3の順に多くなった。№1~№3は流域の谷部に設定されたものであり、高度が増すと降雨量が多くなる傾向が見られた。また、№4は尾根部にあり、風を伴う強雨の場合に小さな値を示すことから、風の影響で捕捉量が少なかったものと推定される。

一方、降雨量と風向の関係を概観すると、D流域周辺では南西の風が優勢であるが、北西の風の場合はM・Sと№1の降雨量が、№2, №3より大きい値を示す現象が見られた。DAEE(州水道電力局)の等雨量線図によれば、本試験地は年降雨量1,400~1,500mmの地域(2・3-3)とされているが、観測結果から2,000~2,500mmの年降雨量地域と推定される。

流域雨量は、№1, №2, №3の算術平均によって求めた。M・S(PM)と流域雨量( $\bar{P}$ )間の単位の回帰式を求めると、

$$\bar{P} = 1.020 PM + 0.797 \quad (r = 0.984)$$

となった。また、流域雨量と各雨量計(№1~№4)間の相関係数を求めると、それぞれ0.991, 0.998, 0.994, 0.995であった。したがって、雨量計№2が流域の雨量を代表している。50ka程度の試験流域に必要な雨量計の数は、2~3個とされており(2・3-4)、A, B流域での雨量計は水位観測所の他に流域中央部に1カ所設置すれば良いと考えられる。

#### (b) 遮断雨量

観測は1982年12月から1984年1月まで継続され、この間67回の測定が行われた。林外雨量(P), 樹冠通過雨量(Tf), 樹幹流下量(Sf)と遮断雨量(In)との関係式を求めると次のようになった。

$$Tf = 0.839 P - 0.584 \quad (r = 0.999)$$

$$Sf = 0.012 P - 0.044 \quad (r = 0.931)$$

$$In = 0.155 P - 0.602 \quad (r = 0.952)$$

また、1983年1月11日から1984年1月10日までの観測結果では、林外雨量2358.3mmに対して、樹冠通過雨量1942.0mm(82.3%), 樹幹流下量

24.7 (1.0%)、遮断雨量391.6 mm (16.7%)であった。天然林における観測のため、林内雨量計間のバラツキが大きく、一降雨ごとに見ると林外雨量計の約50~100%以上の値を示すものまで見られた。また、観測期間中の全林外雨量に対する各雨量計の全受水量の比は最小0.65、最大0.97であった。

一般に、林外雨量計1個に対して10個又はそれ以上の林内雨量計を必要とされる(2・3-5)。本試験の場合、16個の貯留型雨量計を使用しているが、樹冠通過雨量の受水面積が試験区のわずか0.3%であった。Paulo (2・3-6)、Ricardo (2・3-7)の報告から判断して観測された数値はほぼ妥当なものと推定されるが、今後の試験では、極型雨量計を設置して受水面積を増す必要がある。

#### (c) 短期流出特性

一降雨量と直接流出率の関係を図II-20に示す。バラツキが大きいが、これより次のことが知られる。1) 直接流出率は、いずれも30%以下と低いこと。2) 降雨量の増加に伴い直接流出率も増加する傾向を示す。3) 雨季の直接流出率が乾季のそれよりも高く、とくに降雨量が30~40 mm以上になるとその差が明瞭となる。4) 降雨量30 mm以下では、雨季、乾季を通じて直接流出率が5%前後を示す場合が多いこと、などである。ここで、本流域における直接流出率の持つ意味について考察する。

一般に、浸透性の高い土層で覆われた小流域における河川流は、ある限定された、拡大したり、収縮したりする流出発生域より生じるものであり、洪水流の発生源は恒常性流路、間欠性流路、一時性流路に近接する区域である(2・3-5)といわれている。本流域の踏査を行ったところ流路の両側2~3 mの幅の地域と上流および下流部の谷底に湿潤地帯(湿潤地域)が見られ、1/2000の地形図によりこの湿潤地域の面積を計測したところ約3 haあり、流域面積全体の5.5%に相当した。降雨量30 mm以下の小出水時における直接流出率と湿潤地帯の面積率とがほぼ一致するところから、湿潤地帯を流出発生域と考えれば、小出水時の直接流出量はおもにこの湿潤地帯から発生しているものと推察される。また、雨量計No.3に近接する流路では雨季に流水が見られたが、乾季は涸れていた。このように、湿潤地域の拡大や収縮に伴う流出発生域の変化が、雨季と乾季における直接流出率の差に反映していると考えられる。なお、小出水時に見られる直接流出率のバラツキは、降雨パターン、継続時間、降雨強度といった降雨特性によるところが大きいようである。

以上の結果より、本流域における流出機構を推定する。降雨量30~40 mmまでは、流域内の湿潤地域や作業道などの踏圧地からの流出が、直接流出量の大部分を占める。しかしながら、降雨量が50 mm以上となると、それまでわずかであった、浸透域である山腹の斜面から湿潤地域へ雨水の供給が、中間流という形でなされ、同時に湿潤地

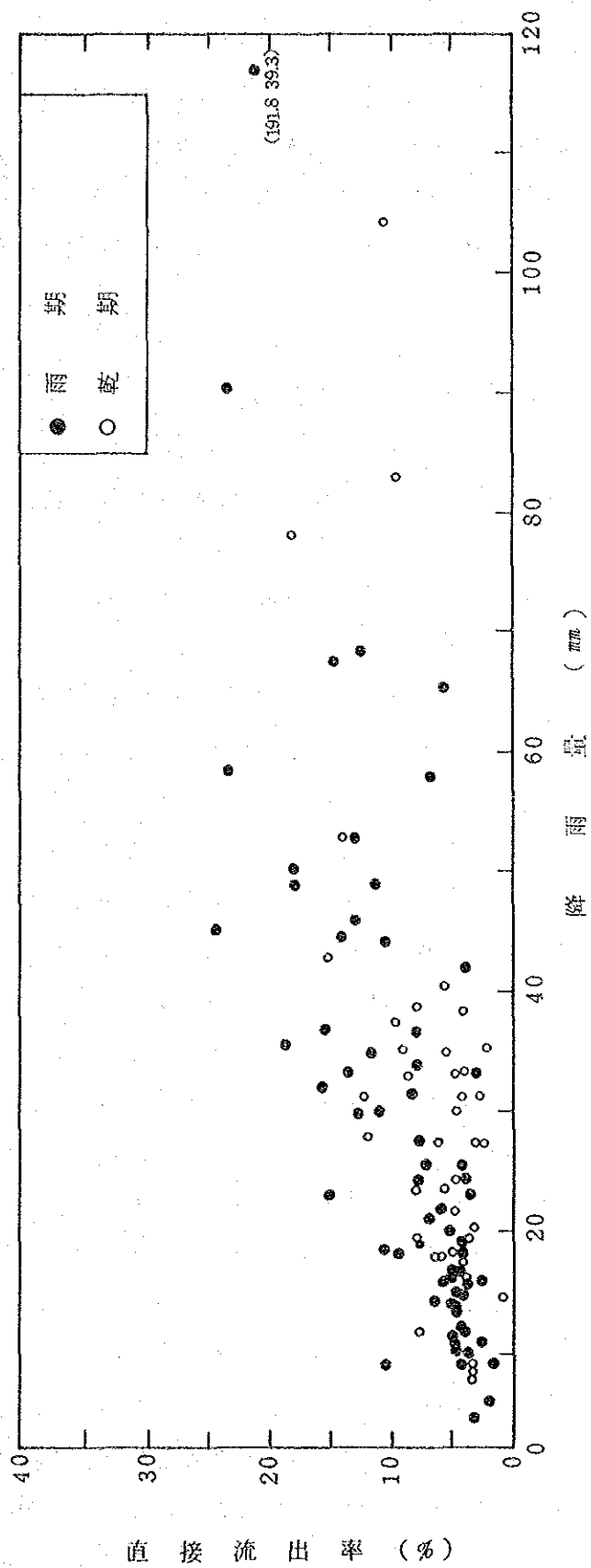


図 1 - 2 0 降水量と直接流出率の関係

域の拡大も見られる。このように、降雨量の増加は中間流の発生と流出発生域の拡大をもたらす、その結果として直接流出率の増大をまねく。

観測期間中の最大降雨量は1984年3月29日～31日の191.8 mmであり、その時の直接流出量は39.3 mm、直接流出率20.5%であった。雨季であり、湿潤地域が通常よりも拡大していたとしても、直接流出量の50%以上は中間流によってもたらされたと考えられる。しかしながら、損失量が152.5 mmもあり森林植生による降雨遮断があっても、降雨量の大部分が土壤中に浸透し、貯留されることを示している。

したがって、降雨一流出の関係から見ると、本流域は浸透性がきわめて高いといえることができる。

#### (d) 長期流出特性

表II-17は、月降雨量と月流出量を示したものである。月基底流出量に注目して概観すると、1年を周期とする変動が見られ、とくに最小値は9月を中心に現われるようである。観測期間中の全流出量に対する全基底流出量の割合は89.7%であり、月基底流出量56.2～177.1 mmを平均日基底流出量に換算すると1.9～5.9 mmとなる。この数値は、我国の森林理水試験地の観測結果と比較すると極めて安定した高い値といえることができる。

水資源確保の点から好ましい流域は、全流出量における基底流出量の割合が高く、かつ季節による流出量の変動が小さい（流量の一様性の高い）ことにある。そこで、一様性の指標として、河況係数と渴水流量（355日流量）を取り上げて検討する。ここで、河況係数は年最大流量と年最小流量の比であり、渴水流量は年間の日流出量を大きさの順に並べた時355日目にあられる流出量のことである。表II-18は、我国の森林理水試験地における河況係数と渴水流量の概要を示したものである。これより、1) 河況係数は1,000のオーダーが大部分であり、中には1,000のオーダーを示す場合もある。2) 渴水日流出量は0.1～0.7 mmであり、流域面積が大きくなると高くなる傾向が見られる、等がわかる。さらに、アメリカ合衆国オレゴン州のH. J. Andrews 試験地においても河況係数は1,000～5,000であり、夏の渴水期には1次流路が涸れ上がると報告されている（2・3-8）。

このように、山地小流域における流況は変動が大きく、渴水流量はきわめて小さいと言えそうである。

一方、クーニャ試験地について同様な方法で検討すると、1983年の河況係数は101、渴水日流出量2.74 mmであり、1984水年はそれぞれ、81、1.85 mmであった（表II-19）。土壌調査の結果によれば、腐植質に富むA層の存在する森林では、B層及びC層の透水性が良好なため水源かん養機能は非常に大きい（2・3-1）と推論されているが、流量観測の結果からも、基底流出量が極めて豊かかつ年間を

表II-17 月降雨量と月流出量

月 別	降 雨 量 (mm)	流 出 量 (mm)			直接流出率 (%)
		流 出 量	基底流出量	直接流出量	
82.05	37.2	1479.8	1460.4	1.94	5.2
06	123.3	98.13	93.16	4.97	4.0
07	72.5	80.20	78.55	1.65	2.3
08	149.7	80.18	68.87	11.31	7.6
09	164.2	76.71	68.59	8.12	4.9
10	243.8	99.01	83.93	15.08	6.2
11	223.5	108.80	93.40	15.40	6.9
12	398.0	186.85	147.32	39.53	9.9
83.01	209.8	177.70	168.90	8.80	4.2
02	179.2	145.81	136.02	9.79	5.5
03	361.5	187.76	153.56	34.20	9.5
04	230.5	201.63	177.09	24.54	10.6
05	168.5	168.14	157.25	10.89	6.5
06	192.0	172.60	155.34	17.26	9.0
07	52.2	134.66	132.52	2.14	4.1
08	40.8	109.28	108.18	1.10	2.7
09	287.0	136.03	116.96	19.07	6.6
10	169.0	116.01	106.06	9.95	5.9
11	140.0	101.70	96.23	5.47	3.9
12	455.7	189.64	136.53	53.11	11.6
84.01	228.8	183.04	161.43	21.61	9.4
02	55.7	118.52	115.95	2.57	4.6
03	290.2	146.31	104.45	41.86	14.4
04	163.8	112.18	105.51	6.67	4.1
05	83.5	103.01	100.61	2.40	2.9
06	10.2	79.77	79.77	0.00	0.0
07	56.3	70.64	69.55	1.09	1.9
08	118.8	67.12	64.92	2.20	1.9
09	88.2	58.09	56.21	1.88	2.1



表II-18 日本の森林埋水試験地における低水流量

流域名	面積 (ha)	地質	河況係数	湧水流出量
釜淵	(N38° 56')			
No. 1	3.06	Tu	1709 ~ 60666	0.14
No. 2	2.48	Tu	928 ~ 8563	0.21
宝川	(N36° 51')			
Honryu	1905.66	Gr & Tu	157 ~ 1974	0.69
Shozawa	117.90	Tu	224 ~ 25447	0.41
岡山	(N34° 42')			
Minamitani	22.61	Ss & Cl	262 ~ 8216	0.12
Kitatani	17.27	Ss & Cl	946 ~ 16944	0.10
去川	(N31° 51')			
No. 1	6.56	Sh	229 ~ 7090	0.41
No. 2	9.17	Sh	180 ~ 4285	0.34
No. 3	8.18	Sh	185 ~ 3265	0.46

- 1) Tu: 凝灰岩(第3紀), Gr: 花崗岩, Ss: 砂岩, cl: 粘板岩, Sh: 頁岩
- 2) 湧水量: 年間を通じて355日を下らない程度の流量値

通じて安定しているといふことができる。

#### (e) 地表流出試験

A, B, Cの3試験区のうち、観測期間が12ヶ月以上あったA区(自然草地)を対象に検討した。1982年11月1日から1983年10月31日までの総降雨量は2352.0mm、総地表流出量151.2mmで、流出率0.64%であった。また、月流出率は降雨条件や試験区の水分条件により、0.0~1.55%と変動した。

本試験地と同様の方法で実施された我國の研究結果と比較検討する。国立林業試験場の森林保全研究班により、岩手県平笠試験地と熊本県小国試験地で、林地と放牧草地からの地表流出量の測定が行われ、表II-20のような結果が得られている(2・3-9)。同表の流出率は平笠は暖候期で、小国は年間を通じてのものである。流出率はいずれの試験地においても1.0%未満であり、本試験地の流出率は平笠の2.5~10.0倍、小国の1.0~2.5倍であった。とくに、小国の最大値と本試験地とはほぼ同じ値となった。しかしながら、小国試験地は傾斜角27度の放牧地であるのに対して、クニ+試験地が傾斜18度の禁放牧地であることを考慮すると本試験地の流出率が大きいと言えそうである。この原因として、前者は火山灰起源の黒色土であり、後者は片麻岩等の変成岩風化物に由来する赤色土であるという土壤条件の相違に起因するものと考えられる。なお、本試験地の流出率が平笠より小国に近似するのは、気象条件的に見て、両者の降雨特性に類似点が多いためと推定される。

表II-19 最大流量と最少流量

Month	最大流量			最少流量			比率
	流量 (l/s)	比流量 (l/s/ka)	流出強度 (mm/hr)	流量 (l/s)	比流量 (l/s/ka)	流出強度 (mm/hr)	
May, '82	37.5	0.669	0.25	24.5	0.437	0.16	1.53
Jun.	184.5	3.292	1.19	18.8	0.335	0.12	9.81
Jul.	61.1	1.090	0.39	13.8	0.246	0.09	4.43
Aug.	212.6	3.794	1.37	9.5	0.170	0.06	22.38
Sep.	227.2	4.054	1.46	9.5	0.170	0.06	23.92
Oct.	227.2	4.054	1.46	9.5	0.170	0.06	23.92
Nov.	761.6	13.590	4.89	16.8	0.300	0.11	45.33
Dec.	689.8	12.309	4.43	18.8	0.335	0.12	36.69
Jan. '83	110.4	1.970	0.71	30.7	0.548	0.20	3.60
Feb.	245.3	4.377	1.58	25.7	0.459	0.17	9.54
Mar.	966.9	17.254	6.21	25.7	0.459	0.17	37.62
Apr.	666.5	11.893	4.28	32.0	0.571	0.21	20.83
May.	181.8	3.244	1.17	28.1	0.501	0.18	6.47
Jun.	351.2	6.267	2.26	30.7	0.548	0.20	11.44
Jul.	44.8	0.799	0.29	24.5	0.437	0.16	1.83
Aug.	38.9	0.694	0.25	18.8	0.335	0.12	2.07
Sep.	174.5	3.144	1.12	21.0	0.375	0.13	8.31
Oct.	145.5	2.596	0.93	18.8	0.335	0.12	7.74
Nov.	70.0	1.249	0.45	18.8	0.335	0.12	3.72
Dec.	836.2	14.921	5.37	18.8	0.335	0.12	44.48
Jan. '84	652.7	11.647	4.19	28.1	0.501	0.18	23.23
Feb.	128.6	2.295	0.83	22.1	0.394	0.14	5.82
Mer.	761.6	13.590	4.89	18.8	0.335	0.12	40.51
Apr.	153.0	2.730	0.98	19.9	0.355	0.13	7.69
May.	61.1	1.090	0.39	18.8	0.335	0.12	3.25
Jun.	19.9	0.355	0.13	15.7	0.280	0.10	1.27
Jul.	34.7	0.619	0.22	13.8	0.246	0.09	2.51
Aug.	47.9	0.855	0.31	12.0	0.214	0.08	3.99
Sep.	37.5	0.669	0.24	10.3	0.184	0.07	3.64
Oct.	68.1	1.215	0.44	9.5	0.170	0.06	7.17
Nov.	61.1	1.090	0.39	10.3	0.184	0.07	5.93

河況係数は、年最大流量と年最少流量との比

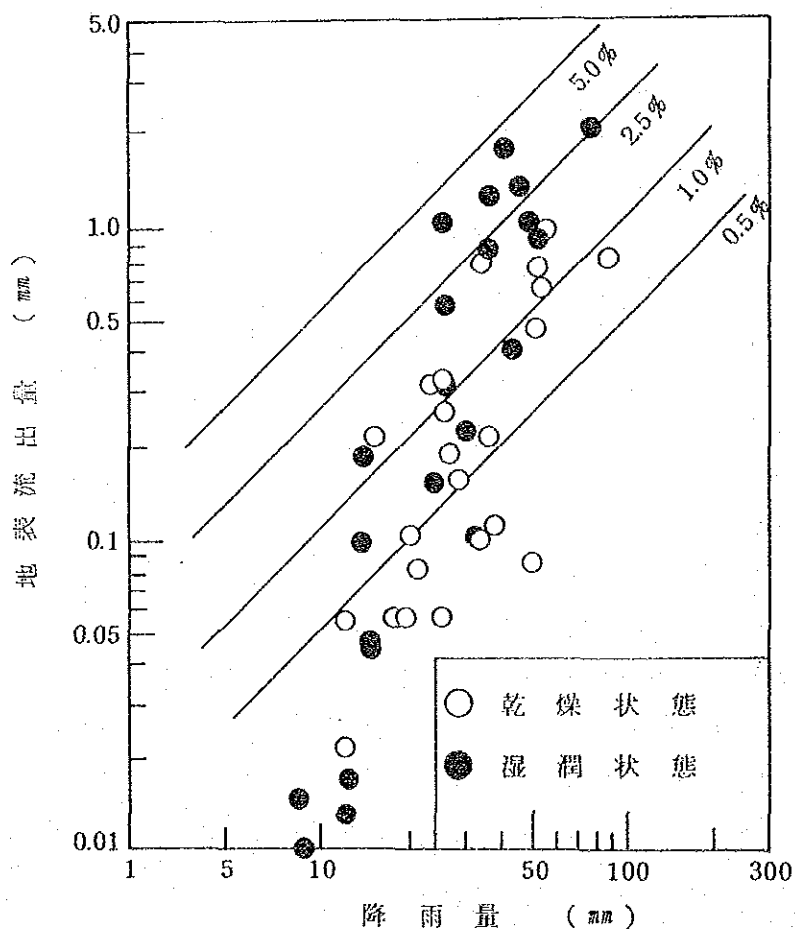
1983水年：101.78

1984水年：81.18

表II-20 各試験地の地表流出率

No	面積 ( $m^2$ )	傾斜 (度)	地被状態	土壌	土壌硬度 ( $Kg/cm^2$ )	地表流出率 (%)	備考
1	400	30	放牧草地	黒色土	1.0 ~ 4.0	0.44 ~ 0.48	Oguni:
2	400	27	放牧草地	黒色土	2.2 ~ 4.4	0.34 ~ 0.63	May.24,'73 to
3	400	29	林地	黒色土	1.1 ~ 3.0	0.24 ~ 0.34	Mar.23,'76
4	800	急	放牧草地	黒色土	4.4	0.01 ~ 0.28	Hirakasa:
5	800	緩	放牧草地	黒色土	3.6	0.16 ~ 0.28	Jan.10,'72 to
6	800	急	林地	黒色土	2.5	0.06 ~ 0.27	Nov.18,'75
7	600	18	放牧草地	赤色土	2.1 ~ 10.0	0.67	Cunha:

次に、観測期間中の一降雨量と地表流出量の関係を図II-21に示す。ここで、湿润状態とは地表流出発生前3日間の総降雨量が30mm以上あった場合をさす。地表流出量( $S_R$ )は一降雨量( $P$ )の増加に伴い増大し、 $S_R = aP^b$  ( $a, b$ は定数)の形で表わされる。とくに、湿润状態ではその関係がより明瞭であった。



付41

図II-21 降雨量と地表流出量の関係

流出率についても一降雨量の増加により増大する傾向を示した。すなわち、一降雨量 30 mm 以下では、流出率 1 % 以下のものが大部分であるが、40 mm 程度から 1 % 以上の値を示し、湿潤状態の下では 4 % 近い値を示す例も見られた。なお、地表流出が発生するための降雨条件は、総降雨量が 15 mm 以上でかつ最大一時間雨量が 10 mm/hr 以上の降雨強度の場合であった。

本試験地を含む海岸山脈では、雨季に時間雨量 50 mm/hr 前後のしゅう雨にしばしば見まわれる。地表面が植生により完全に被覆されている状態でも、傾斜面放牧草地では地表流出量が発生していると言うことができる。

#### (f) 年水収支

一般に、ある流域で一定期間に他流域からの地表水や地下水の流入がなく、また流域からの漏水がなければ、次式が成立する。

$$P = R + E \cdot T \pm \Delta S$$

ここで、P ; 降雨量, R ; 流出量, E · T ; 蒸発散量, ΔS ; 貯留量の変化  
水文期間を 1 水年とれば、ΔS = 0 となる。

$$P = R + E \cdot T$$

水年の決定は、河川流量が最低となる月、すなわち、流域の貯留量が最も少なくなる月を境として決定される。月基底流出量の変化等から判断して、本試験地の水年は 10 月 1 日から翌年の 9 月 30 日とした。なお、アメリカ合衆国では、水年を 10 月から 9 月としているようである (2 · 3 - 8)。

表 II - 17 より、1983 水年 (1982 年 10 月 1 日 ~ 1983 年 9 月 30 日) と 1984 水年の水収支を求めると表 II - 21 のようになる。

両水年では、降雨量が 726 mm 異なるが、流出率がいずれも約 70 % となり、蒸発散量は降雨量の約 30 % となった。ソーンスウエイト法 (2 · 3 - 10) によって計算された、本流域の年蒸発散能は 770 ~ 780 mm であり、1983 水年の蒸発散量 758.5 mm は、年蒸発散能にほぼ一致する値である。

表 II - 21 年間水収支

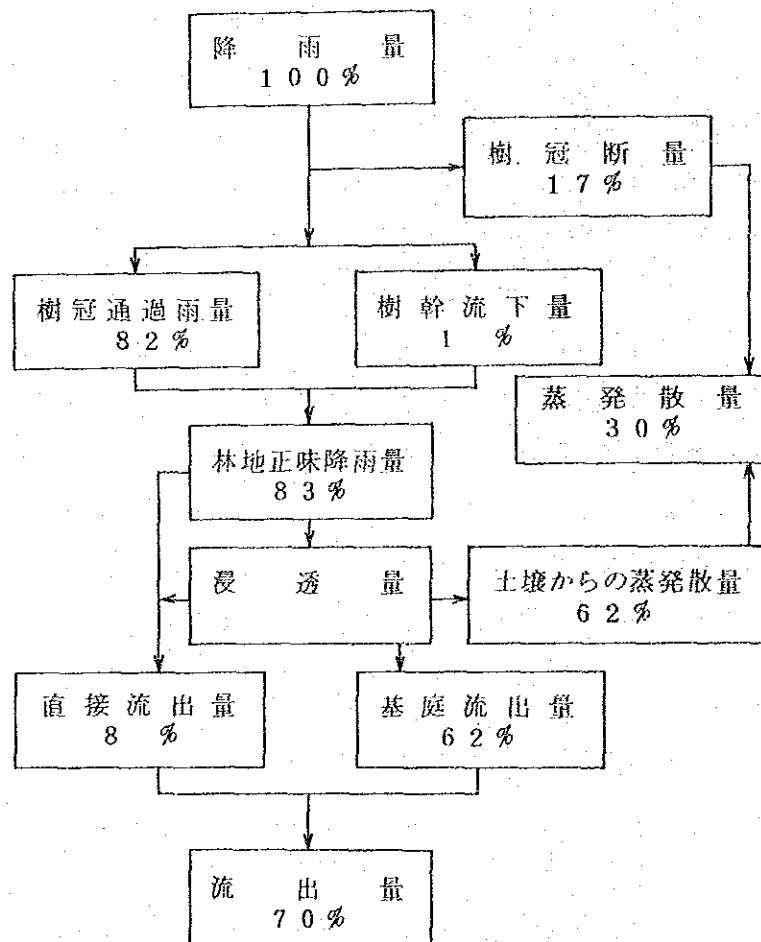
水 年	P	R	ET
1983 (mm)	2586.8	1828.3	758.5
(%)	100.0	70.7	29.3
1984 (mm)	1860.2	1346.0	514.2
(%)	100.0	72.4	27.6

水年は、10 月 1 日から翌年の 9 月 31 日まで

一方、1984水年は蒸発散量514.2mmと、年蒸発散能より約250mm低い値であった。中野(2・3-4)は、日本では年降雨量1700~1800mm以上(限界降雨量)の地域における年消失量は、ほぼ一定の値となり年蒸発散能に近いものとなるが、熱帯地方ではこの限界雨量がさらに大きくなるだろうとしている。したがって、1983水年の年蒸発散量が少なかったのは年降雨量が少なかったためと推定される。また、本試験地は標高1000m以上の高地であることや、海風により湿った空気をもたらされ濃霧が発生することなどの影響と蒸発散量の関係は今後の検討課題である。

これまでに得られた、各種水文試験結果を総合し、本流域において年降雨量がどのような割合で水収支過程へ配分するかを求めた(図II-22)。

これより、降雨量のうち17%は森林植生により遮断され、地表面に到達するのは83%となり、さらに土壤中に浸透し貯留されるものが75%ということになる。土壤中に貯留された雨水は、土壤水分として損失するもの(13%)と深層透過し地下水かん養を行い、基底流量となるもの(62%)とに分けられる。



図II-22 年降雨量の配分例

また、直接流出量（8%）は量水試験と地表流出試験の結果から判断して、流出発生域からの表面流出と浸透域より供給された中間流が大部分であり、林地内の表面流出は極めて少ないものと推定される。

### (3) 今後の見通しと問題点

量水試験と地表流出試験の予備観測の結果、本流域は土壤の雨水貯留能が大きくかつ基底流出量の一様性が極めて高いことが知られた。また、濁度調査から平水時のパライブナ川の濁度は4~6 ppmであり、温帯地方の森林流域と大差のないことがわかった（2・3-11）。したがって、パライブナ川流域の水源地帯に広く分布する天然林の保護・管理を積極的に進めることは、水土保持の上から極めて重要と考えられる。

次に各種水文試験の今後の進め方と問題点について述べる。

#### ① 量水試験

最初に量水試験の既往の成果と試験方法について述べると次のようである。森林の皆伐による年流出量の増加は広く認められている。中野専門家の報告を要約すると、増加量は日本の理水試験地で100~200 mmが多く、アメリカ合衆国ではWagon Wheel Gapの約50 mmからCoweeta No.17の約450 mmまで多様であるが、100~200 mmが多いようである（2・3-12）。

一部少雨地帯では基底流出量の増加も認められるが、増加量の大部分は直接流出量である。この原因として、1) 伐出作業による地表のかく乱、圧密によって水みちを形成し地表流出が増加する。2) 森林林生の遮断量の減少による損失雨量の減少、等が上げられる。しかしながら、増加量は伐採跡地への再生樹草の侵入、成長とともにしだいに小さくなり、ある程度の森林が成立したとき伐採前の年流出量に復帰する。復帰に要する時間は、気候・土壤条件等により一様ではない（2・3-4）。

量水試験方法として代表的なものは、単独流域法（Single Watershed method）と基準流域法（Contra Watershed method）がある。前者は1つの流域で基準期間（Calibration Period）と処理期間（Treatment period）の流出量を比較検討するものである。後者は、地形、面積等の流域条件が類似し、かつ近接する2流域以上を対象に一定期間の観測の後、1つの流域をそのままに（基準流域）他の流域の森林に伐採等の試験処理を加える（処理流域）ものである。処理前後では試験流域の気象条件が異なるため、試験方法としては基準流域法が優れている。いずれの方法を採用するにしても、基準期間を3~5年間設定し、自然状態での水文特性を把握する必要がある。流域の処理方法としては、1) 森林の皆伐後自然放置する。2) 皆伐後に放牧し草地化をはかる。が考えられる。パライブナ川流域では、水源地帯の森林を除くと、放牧草地が広く分布しており、林地と草地の流出特性を比較検討することは重要である。本試験地の森林植生の回復が急速であるならば、森林の効果をより明確にするため、森林

伐採後に草地化し放牧する方法が適していると考えられる。

## ② 地表流出試験

地表流出試験は林地、草地、畑地（裸地）という土地利用形態の相違が地表流出量や流出土砂量におよぼす影響を検討することを目的とした。しかしながら、裸地状態では土壌流出がはなはだしく、観測測器の維持管理上裸地状態での地表流出量の測定は困難である。したがって試験区の処理方法としては、林地（苗木の植栽）、草地1（自然の状態）、草地2（処理を加える）の3区が考えられる。とくに、傾斜地放牧の多いパライバ川流域では無数の牛道が形成され、その大部分で裸地化が進行している。放牧牛の踏圧により発生した裸地は、地表流の発生源であり、洪水流の原因の1つと考えられている。したがって、草地区の1つに人工的に牛を入れ、試験斜面に発生した裸地面積と地表流出量との関係を検討することも重要と考えられる。その際、裸地化に伴い、地表流出量と流出土砂量が増大するため、現在使用中のテピングバケット式量水計を精密水位計を備えたパーシャルフリュームに変えて観測する必要がある。また、流出土砂による、観測測器のトラブルを最少現にするため、維持管理を密にする必要がある。

## ③ 平面ライシメーター

平面ライシメーターによる水収支（水分消失）は、林地と草地における蒸発散量の相違に主眼点を置いて実施する必要がある。すなわち、放牧草地として利用されている土地に水源林を造成すると仮定すれば、試験計画的には、草地が基準区であり林地は処理区ということになる。3つの試験区は、草地区、林地1、林地2とし、苗木の植栽に際してはライシメーターのまわりに緩衝林を設けて外部の影響をできるだけ少なくする必要がある。植栽樹種としては、ブラジルの代表的造林木であるマツ類とユウカリ類が上げられるが、在来樹種であるアロウカリアにすることも考えられる。植栽本数にもよるが、樹木の成長が早いので1つの試験期間は3年位と考えられる。現在使用中のテピングバケット式量水計は、豪雨時の流出量が多すぎて計測不能となる場合がある。しかしながら、林地と草地及び、樹種間の蒸発散量を比較検討する試験であれば、乾期間の汲水曲線（Depression Curve）が得られれば、当初計画の目的はほぼ達成できるものと考えられる。

以上、各種水文試験の今後の進め方を述べて来たが、長期的な試験計画について若干の提言を行う。

量水試験の当面の目標は、森林伐採跡地の放牧草地転用に伴う流出特性の変化に主眼を置いているが、将来的にはいったん放牧草地として利用された流域に森林を造成した場合の影響を検討する必要がある。森林の造成に際しては、平面ライシメーター試験によって得られた、樹種間による蒸散量の多寡、地表被覆の程度や根系の発達状態などの要因を検討し、水土保持の上から最も好ましい樹種を選定すべきである。

また、水源かん養機能の数量的な指標と考えられる、透水性や孔隙量などの土壌物理学に関する試験研究を平行実施する必要がある。すなわち、本試験地の極めて高い基底流出量は、厚い土壌層とそれに連続的に続く基岩風化層の存在によるものと推定されている。したがって、深度別の土壌孔隙量調査や透水係数の測定は、水源かん養機能の数量的表現の方向からも重要な課題となろう。

本プロジェクトによってなされたことは、1) グーニャ森林水文試験地の建設、2) 森林水文試験の実施に必要な基礎知識の伝達及び技術の移転であり、本格的な試験研究の基盤整備であった。今後の試験研究の実施にあたっては、サンパウロ州の大学や他の試験研究機関との情報交換及び提携が必要となろう。また、本プロジェクトによって形成されたサンパウロ州森林院と日本国国立林業試験場との人的交流関係を利用し、研究の情報交換をすることや研究員相互の交流を実施することは、研究協力の効果を持続的に高める上から極めて重要なことと考えられる。



引用文献

- 2・3-1 JICA; Report of implementation design survey on the Japanese technical cooperation project for the forestry research in SAO PAULO, BRAZIL  
288 pp, 1980
- 2・3-2 Ven Te Chow (Editor); Handbook of Applied Hydrology  
14-2 — 14-10, Mc Grow-Hill, 1964
- 2・3-3 DAEE; ATLAS PLOVIOMETRICO DO EST. S PAULO, 1972
- 2・3-4 中野秀章; 森林水文学, 228 pp, 共立出版, 1976
- 2・3-5 John D. Hewlett & Wade L. Nutter; An Outline of FOREST HYDROLOGY, 137 pp, UNIVERSITY OF GEORGIA PRESS, 1969
- 2・3-6 Paulo Sant'Anna e Castro et al; INTERCEPTACAO DA CHUNA POR MATA NATURAL SECUNDARIA NA REGIAO DE VICOSA MG, Revista Arvore 7 (1) 76 — 89, 1983
- 2・3-7 Ricardo Valcarcel; BALANCO HIDRICO NO ECOSSISTEMA FLORESTAL E SUA IMPORTANCIA CONSERVACIONISTA NA REGIAO OCIDENTAL DOS ANDES VENEZUELANOS  
  
XI SEMINARIO SOBRE ATUALIDADES E PERSPECTIVAS FLORESTAIS, 1984
- 2・3-8 R. DENNIS HARR; Hydrology of small forest streams in WESTERN OREGON, USDA forest service general technical report PNW - 55, 1976
- 2・3-9 森林保全研究会; 林地転用の放牧草地と水保全, 林業試験場研究報告, №295, 107-174, 1977
- 2・3-10 SWAMI MARCONDES VILLELA & ARTHUR MATTOS;  
Hidrologia Aplicada 94 — 96, Mc Grow-Hill, 1975
- 2・3-11 藤枝基久・Valdir de Cicco; ブラジル・クーニ + 試験地における濁度測定の一例, 36回日林関東支論, 173-174, 1984
- 2・3-12 中野秀章; 森林伐採および伐跡地の植被変化が流出に及ぼす影響, 林業試験場研究報告, №240, 1-251, 1971

## II-3 荒廃洪水流出危険地判定法の研究

### II-3-1 洪水危険地判定法の研究

#### (1) 背景と目的

サンパウロ州では、昔は広く天然生高木林(マタと呼ばれる)で覆われていた多くの傾斜地が、粗放な農業開発の結果、土地の荒廃を招き、土砂流亡、河川水の赤濁、洪水流量の増大を生起させるとともに、工業化と都市人口の増大による利用水量の急増をも招来して、水土保全問題のみならず、社会問題とも考えられている。

こうしたことから、これらの地域に水土保全を目的とした森林の積極的配備や保護管理のための実証的研究の展開が求められている。行政サイドでも植林の奨励やその税制上の優遇措置を実施して、天然林の保護と合わせて、優良な森林面積拡大を計っているが、大きな成果が上がっている現状にない。このような森林事情や荒廃農用地の現況下で、一方、水源から流下する河水を受け入れる河川は、自然流路のまま蛇行流下し、流路整備はほとんどといってよいほど行われておらず、その勾配はきわめてゆるく、河積も乾期の流量を流下さす断面程度といつてよい。しかし、雨期には降雨日数も多く、強度の大きい降雨が連続することもしばしばあって、保水機能の劣る放牧草地、農耕地等からの流出量は、侵食土砂量を含み、河積が小さく、勾配緩の流路に集中するため over flow 現象となって、しばしば洪水被害を惹起しているといわれる。ちなみにクーニャ試験地では、1985年1月23日夕方から25日未明まで、1連続雨量436mmの降雨を記録し、1時間降雨強度も40mm以上が11時間中に3回も観測され、D流域内には崩壊地を発生させプライブナ川は増水で道路に溢水して、橋数基を流失させ、家屋の浸水被害も起している。また、1983年5、6月にはサンパウロ市周辺でも洪水被害が発生し、リベイラ川、チエテ川の水害として新聞報道され、リベイラ附近では平常水位より10.7m上昇したと報じられている。

こうした洪水被害の軽減には、日本で一般的に行われている流水処理の河川工事等の対策も必要であろうが、広大な面積と流路延長をかかえるブラジル国にあつては、流量増加の原因となる水源地帯の荒廃の防止と林地拡大策による森林の役割りの強化が長期展望の立場にもとづく賢明な策と考えられる。

そうした対策の立案、施業実施・管理のためには、多数の流域を比較し、洪水発生危険性を判定する方法の研究を進める必要がある。

#### (2) 経過と成果

##### ① 経過

1976年1月林業試験場防災部長(当時)中野氏がサンパウロ州森林院の要請により、流域管理全般の指導のため派遣された。その際の調査結果の1つに、サンパウロ市とリオデ

ジャネイロ市を結ぶ高速道路沿線の工業開発の進展とコーヒー栽培農業から粗放な放牧草地や耕地への変換により生じた流域の荒廃状況から、パラIBA川各支流の洪水問題を将来の水需要量確保の問題とともにとりあげている。

次いで1977年5月、速藤専門家が他部門メンバーとともに派遣され、パラIBA川流域で調査を行い、洪水危険地問題に関連しては、高水流出と河川水汚濁の原因となる水源地の荒廃について指摘している。

研究協力事業が開始された時点では流域管理技術研究として、森林水文試験法、簡易治山工作物の適用法と併わせて、荒廃・洪水流出危険地判定調査法の研究課題が発足した。

本課題である荒廃・洪水流出危険地判定調査法については、時間的制約や研究に必要な空中写真や地形計測に入用な大縮尺地形図、植被情報、特に森林調査データ、量水試験データ等の欠乏、入手困難という資料の制約によって、当初の5年間の計画で目標とした到達点までは達し得ず今日に至ったといつてよい。

しかし、この間長期専門家の指導およびカウンターパートの日本研修を含めて、水文調査の基本である河川流量調査法について、パラIBA川で実施され、調査技術が伝達された。また、流出に関連する多種の要因のうち、流域地形因子の抽出とその計測法について、クローニャ試験地の当初計画のA、B、C、D4試験流域について、 $1/5000$ 地形図を用いて地形因子計測法が指導・技術伝達された。

このように流量測定法と流域の地形因子計測法が伝達されたことにより、このほかの地質土壌、植被調査の因子を加味することで、今後広域水文調査を実施する際、特に多数の流域の資料を必要とする洪水危険地判定法の研究には不可欠な基本的な資料収集法が伝達されたといえる。

また本研究課題に関連して、藤枝専門家らはパラIBA川の源流であるパラIBナ川で、1983年～1984年、河川濁度調査を行っている。常時赤濁流下するブラジル国の河川水は、水利用等水質保全上大きな負担であり、土砂流亡と貯水ダムの堆砂問題等大きな悩みをかかえている。したがって濁度測定は流域の土地利用形態の相違に伴う土砂侵食（荒廃）を反映し、かつ流況の程度をも反映する指標にもなり得るもので、荒廃・洪水流出危険地判定調査法としての的を得た調査といえよう。

1985年9月、真島専門家の派遣により、洪水危険地判定法に関する解析手法の考え方、適用法が伝えられた。それは多変量解析法を用いた手法であり、計算処理に必要な数量化法等についてはリモートセンシング部門の計算マニュアル等も利用することとした。

## ② 研究方法

流域の洪水危険度の判定方法としては、一般に次のような方法があげられる。

### 1) 超過確率洪水量による方法

過去の出水資料をもとに、今後発生が予想される洪水量とその発生確率を各流域につい

て計算し、その大きいところほど危険度が高いとする方法。

#### ii) 超過確率降雨量による方法

洪水の原因である降雨量が多ければ洪水も起りやすいと考えられるので、i)と同じように過去の降雨資料をもとにして、今後発生が予想される豪雨の量と発生確率の地域分布を予測し、危険度の順位をつける方法。

#### iii) 各種流域因子による方法

洪水発生の直接の原因は降雨条件であるが、その降雨に対しての流域の応答の仕方は流域の地形的特性や地被状態との関連から洪水発生危険度の順位を判定しようとする方法。

以上の方法のうち、i)、ii)の方法は資料整備状況とその入手面から、中面積、大面積流域にむいているが、小面積流域への適用は困難であろう。iii)の方法は大、中、小面積流域いずれにも適用可能であるが、流域因子の計測作業量からせいぜい中、小面積流域での危険度判定に適しているといえる。

このように洪水発生という現象は、きわめて複雑であり、また有機的な現象でもある。これを説明するには流域条件や降雨条件などの多数の特性値を計測する必要があり、またその特性値の時空的変動が多数の要因に支配される。その上測定された特性値は互いに影響し合うことが多い。したがって、現象の説明には特性値間の相関関係を考慮に入れた解析手法といわれる多変量解析法が better な手法と考えられる。

これまでも洪水危険地の判定や崩壊危険地の判定には各種の解析手法が採り入れられてきた。

日本および諸外国において、これまで多数併列流域法によって、洪水発生の素因と考えられる流域の地質、地形、土壌、森林などの流域因子（流域変数ともいう）とその流域のピーク比流量や増水量などの流量因子との関係が調査（3.1-1）されている。これらはいずれも多数の流域における流域諸因子とピーク比流量などの流量因子との相関関係を求め、流域諸因子を独立変量として、ピーク比流量を求める重回帰式を導き、これによって流域の洪水危険度を判定しようとしたものであった。すなわち上記のiii)の方法によって行われた。

以上のことから、サンパウロ森林院における研究手法として、比較的簡易な解析法である重回帰分析法などを参考にして、経験を重ねながら、解析手法も説明変数、目的変数に間隔尺度だけでなく、分類尺度も適用できる方向へと検討を続け、調査研究内容もグレードアップしていくことが望ましい。

### ③ 研究成果

#### (a) 研究計画

当初この洪水危険地判定法の研究対象流域はウナ川流域で実施される計画であった。ウナ川はバライバ川の支流であって、タウバテ市の東方でバライバ川の右岸地区に合流する。

このウナ川流域はタウパテ市の上水道源であり、また、タウパテ市はブラジルの2大経済中心地—サンパウロ市とリオデジャネイロ市の間に位置するため、地理的にも、経済的にも特別な重要性をもった地域といえる。かつて、コーヒー生産地として開発繁栄した地域では、現在原始植生は消え、「パライバ溪谷の半乾燥森林」もごくわずかにケブラカンガイア山脈の麓に残るだけで、土地は瘠悪化し、コーヒー栽培跡地は放牧草地、農耕地に転換されたいまも、管理の粗放なことから、赤黄色ポドソルの土壌粘土は流亡して、ウナ川の水の色は赤濁している。したがってこのウナ川流域は流域管理上、特に重要な流域といえる。こうしたことから研究対象流域として、ウナ川流域は良好な候補流域だったといえよう。

しかし、1985年9月の真島専門家の派遣までは、この研究課題に関連して、たとえば解析手法の検討に基づく多数併列流域法による試験流域の設定ならびにその水文観測といった一貫した研究の展開は双方の時間的、人的配置等の関係で実施できなかった。だが、本研究の必要性や考え方については、森林院側も、日本側の多変量解析に基づく調査方法を伝達し、荒廃した流域中の森林回復が必要である区域の判定法という研究目的に強い理解と希望を持っていた。そして洪水危険地判定法の基本的な調査項目である流域因子の計測表示法や流量測定法等については、藤枝長期専門家の派遣中に、クーニャ試験地の水量観測研究と併行して実施された。

#### (b) 洪水危険地判定のための基本調査の伝達

洪水危険地判定法の研究には、一般に多数併列流域法が採用されるが、それに伴って各種の資料収集のための基本的な調査作業が必要である。その1つに、多数の調査流域の流域条件（地形因子、地質・土壌因子、地被因子等）の計測作業が必要である。2つ目には降雨に基づく流域からの流出水量に関する調査を実施し、必要な目的変数とする流量因子（たとえば、ピーク比流量、増水量等）を得るための流量観測作業である。

前者については、藤枝専門家により、クーニャ試験地の $1/5000$ 地形図を用いて、当初設置予定の4流域について、カウンターパートのワージルと協力して調査し表Ⅱ-22のような結果が得られている。

後者の流量調査では、簡易な方法としては流量 $Q$ は流積（流水断面積） $A$ と平均流速 $V$ から、両者の積 $Q = AV$ で求まることから、高水位流出のあった直後調査を行い、溪岸や橋脚等についている洪水位の痕跡から、ピーク時の水位を知り、その地点の断面積や潤辺を測量して求め、径深 $R$ を算出する。一方、水面勾配 $I$ を溪床勾配に等しいとして測量で求め、その地点の状況に照して、粗度係数 $n$ を決め、マンニングの平均流速公式 $V = \frac{1}{n} R^{2/3} \cdot I^{1/2}$ から平均流速を求める。そして流積と平均流速を乗じて、その痕跡時の、その流域からのピーク流量を求める。

このほかに、簡易な最高水位痕跡計を試作したり、安価な最高・最低水位計を購入設置

して水位を観測する方法がある。また精度を高めるためには量水施設を建造して水位の自記記録をとる必要がある。

表 II-22 流域の地形特性

因子/流域名	A	B	C	D
流域面積 (km <sup>2</sup> )	37.50	36.68	40.73	56.04
標高範囲 (m)	1030--1175	1025--1199	1050--1188	1048--1222
比高 (m)	145	174	138	174
主流長の長さ (m)	1070	920	800	1260
主流長の平均勾配	0.136	0.189	0.173	0.136
平均傾斜 (°)	18°48'	18°38'	19°26'	25°10'
” (tan)	0.340	0.337	0.353	0.470
平均幅 (m)	350.5	398.7	509.1	444.8
形状係数	0.328	0.433	0.636	0.353
周囲長 (m)	2800	2750	2450	3450
密集度	0.775	0.781	0.923	0.769
細長率	0.892	0.739	0.960	0.649
円状率	0.603	0.609	0.853	0.592
森林面積比	0.958	0.934	0.833	0.676

注) 地計計測は 1/5,000 の地形図によった。

森林面積比は 1/45,000 の航空写真の判読より求めた。

なお、この流量観測法に関しても、藤枝専門家の指導のもとで、パライバ川において、河川横断測量、流速測定法の技術伝達が実行された。

以上のことから、洪水危険地判定法研究のための試験流域の設定計画がなされても、解析手法を除き、調査に必要なデータ収集のための基本的作業手順、要領等についてはカウンターパートへの実地指導により技術伝達済となっている。

### (c) 濁度調査

流出水の濁度は、その流域の土地利用形態の相違に伴う土砂侵食を反映するとともに、溪岸侵食や河床洗掘のあかしでもあることから、大出水等流況指標としても有効なデータと思われる。藤枝専門家とカウンターパートは、パライバ川源流のパライブナ川流域で、

森林流域2カ所，放牧草地流域1カ所，それらが合流流下するパライブナ川で濁度観測（3.1-2）を行った。測定は供与器材の日京製作所製のNSK-2P型精密濁度計で行われた。

結果の一部は表Ⅱ-23，図Ⅱ-23，図Ⅱ-24に示され，次の諸点に要約された。

表Ⅱ-23 月別の濁度

MONTH		森林流域(1)	森林流域(2)	放牧草地流域	パライブナ川	
月		FORESTRY(1)	FORESTRY(2)	PASTURE LAND	RIO PARAIBUNA	
83年	6月	平均	2.8	1.8	3.8	15.2
		範囲	2.0--4.5	1.0--4.0	1.5--9.5	6.5--70.0
	7月	平均	2.6	1.7	3.8	9.6
		範囲	2.0--5.5	1.0--6.5	2.0--20.0	4.5--55.0
	8月	平均	2.6	1.9	3.0	5.0
		範囲	2.0--3.5	1.5--3.0	2.0--5.0	4.5--7.0
	9月	平均	4.5	3.4	7.9	53.9
		範囲	2.5--10.0	2.0--8.0	4.5--16.0	5.0--230.0
	10月	平均	4.1	3.0	6.8	15.3
		範囲	2.0--8.0	1.5--8.5	4.0--13.5	5.5--65.0
	11月	平均	3.3	2.6	3.8	8.6
		範囲	2.5--4.0	2.0--3.0	2.5--5.0	5.0--13.0
	12月	平均	6.0	4.5	14.2	81.5
		範囲	3.0--7.5	3.0--6.5	6.5--26.5	2.2--148.0
84年	1月	平均	5.3	3.2	6.2	14.6
		範囲	2.5--10.0	2.0--10.0	3.5--13.0	5.5--58.0

i) 平水時の濁度は，森林流域で1.0～3.0 ppm，放牧草地流域で2.0～4.0 ppm，パライブナ川では4.0～6.0 ppmである。ii) 出水時の濁度は，森林流域で10 ppm程度であるが，流域内に畑地や放牧地を含むパライブナ川では，200 ppm以上の場合がある。iii) 放牧草地流域はそれほど高い濁度を示さなかつた。iv) パライブナ川森林流域からの平常時濁度が5～10 ppmを示すのに対し，タウバテ地区ウナ川では450～500 ppm，

支流上流でも 100 ppm を示し、土地利用の差によることが推察された。

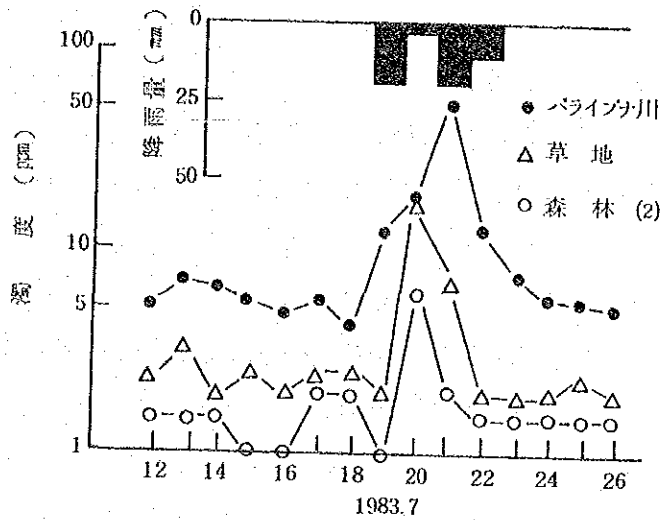


図 II - 2 3 濁度変化

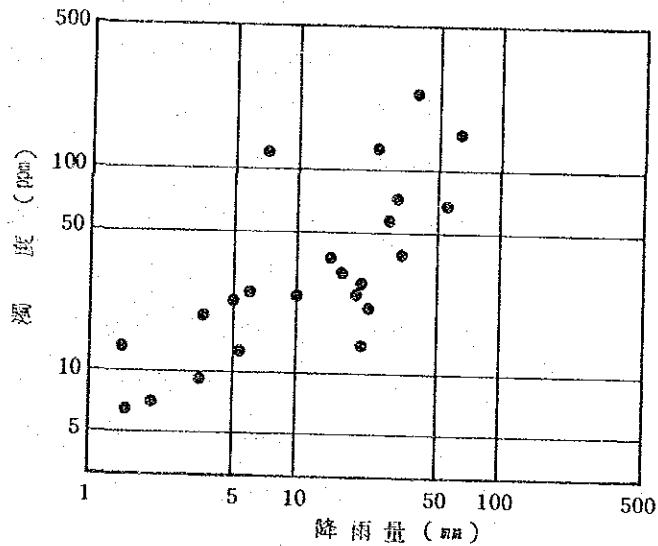


図 II - 2 4 降雨量と濁度の関係 (パライプナ川)

(d) 洪水危険地判定法

③ 既往の洪水危険地判定例

ここでは、日本国のみならず諸外国の例からも、簡易で説明変数も目的変数も間隔尺度で表現される重回帰分析による方法を提示する。

実際に多数併列流域法で観測された結果から導かれた重回帰式の例は次のとおりである。



i) 日本国天竜川小川川水系の例

1.1 ~ 28.0 km<sup>2</sup> の15の森林流域で、一降雨量50 mmによる重回帰式(3.1-3)

は

$$Q = 3.22 R_r - 0.44 B - 2.44 L_c - 0.07 F_c + 15.8$$

(R = 0.70)

ここで、Q: 洪水比流量 (m<sup>3</sup>/sec/km<sup>2</sup>)

R<sub>r</sub>: 主流の平均勾配

B: 平均流域幅 (km)

L<sub>c</sub>: 到達距離集中度

F<sub>c</sub>: 森林係数 (森林面積と1 km<sup>2</sup>当たりの蓄積の平方根との積)

ii) 米国カリフォルニア州の例

米国のカリフォルニア州の0.1 ~ 201 mile<sup>2</sup>の38流域の調査結果では(3.1-4),

$$\log Q = 3.624 + 0.928 \log A + 0.723 \log P + 0.860 \log R_b \cdot R_s / R_e - 1.152 \log C$$

ここで、Q: 最大流量 (ft<sup>3</sup>/sec)

A: 流域面積 (mile<sup>2</sup>)

P: 最大24時間雨量 (in)

R<sub>b</sub>: 流路の分岐状態に関する指数

R<sub>s</sub>: 流路の勾配に関する指数

R<sub>e</sub>: 流路の延長に関する指数

C: 森林被覆面積, 林相などに関する指数

iii) ナイジェリアの例

ナイジェリア南西部の2.0 ~ 18.8 km<sup>2</sup>の流域面積をもつ15流域の場合(3.1-5)

$$\log R O_1 = 3.76 + 0.47 \log S_1 - 0.23 \log S_2 - 0.52 \log S_3 - 0.40 \log S_4$$

$$+ 0.84 \log S_5 - 2.21 \log S_6 + 0.91 \log S_7 \quad (R^2 = 0.94)$$

ここで、R O<sub>1</sub>: 年流出量 (mm)

S<sub>1</sub>: 流域の石英岩占有率 (%)

S<sub>2</sub>: 流域の花崗岩, 片麻岩占有率 (%)

S<sub>3</sub>: 流域の角閃岩占有率 (%)

S<sub>4</sub>: 流域面積 (km<sup>2</sup>)

S<sub>5</sub>: 谷密度 (km<sup>-1</sup>)

S<sub>6</sub>: 乾期降水量 (mm)

S<sub>7</sub>: 最大週間降水量 (mm)

⑥ クーニャ試験地における4流域間の洪水危険度判定の試み

既往の研究例を参考に、クーニャ試験地のA, B, C, D流域の地形因子の計測結果

を使い、4流域だけではあるが、例示的な意味で洪水危険度判定の解析を試みることにした。

まず、目的変数に洪水ピーク比流量をとることとした。各流域のピーク比流量は、本来は量水観測やその他の調査法によって求めるのが原則であるが、ここでは量水観測資料のあるD流域の流量から他の3流域の流量を推定して、そのピーク比流量値を用いることとした。また、重回帰分析に先立ち、計測済みの地形因子のほか、流域の植被条件因子として、1977年撮影の縮尺1/45,000空中写真から、4流域の森林面積比を算出した(表II-22参照)。

次に、流量因子については、1985年1月23日16時から1月25日3時までの1連続雨量435.5mmの集中豪雨(1時間最大降雨量49.5mm, 6時間降雨量199.5mm)によって生じたD流域のピーク比流量160.73ℓ/sec/kaを参考に、合理式を用いて他の流域のピーク流量を推定することとした。その際、式中の確率雨量には、この降雨の最大24時間雨量424mmを用い、流出係数はD流域の年間流出率0.73(3.1-6)を参考にし、森林面積比に逆比例するものと仮定して、他の3流域の値を算出した。そしてA, B, C3流域の推定ピーク比流量は、D流域の降雨資料に基づく合理式の計算値と実測値の比率を係数として、それぞれのピーク比流量を単純比例で算出した。このように仮定に基づくピーク比流量を指標にした理由は、A, B, C3流域での出水痕跡調査を実施したが、豪雨出水の当時から約9カ月が経過しており、現地でその痕跡を見出せなかったためである。したがって、ここで述べるクローニャ試験地の4流域の解析は、研究手順を例示することが主目的であり、得られた数値そのものの大小は、それほど厳密な意味を持っているわけではないことに注意してほしい。このようにして求めたピーク比流量と単相関係の高い流域因子を選び出して求めた重回帰式は次のようになった。

$$Q = 2.64X_1 - 66.02X_2 + 56.60$$
$$(R = 0.991)$$

ここに、Q : ピーク比流量(ℓ/sec/ka)

X<sub>1</sub> : 流域面積(ka)

X<sub>2</sub> : 森林面積比

すなわち、この回帰式からはピーク比流量は流域面積の増大により増加し、森林面積比の増加により減少することを示す式となり、きわめて常識的な結果を示したといえる。しかし、既往の研究例にもあるとおり、重回帰式の独立変数の定数の正負符号は、同じ独立変数を用いても試験流域間で正負逆になることがある点に注意を要する。

なお、このクローニャ試験地の回帰式における独立変数の相対的重要度は、X<sub>2</sub>:X<sub>1</sub>=1.0:2.8と算出され、ピーク比流量に関連する2因子のうちで、流域面積が森林面積

比の約3倍近くも効果を及ぼすことを示したが、人の手で改変可能なものは森林面積比であることからすると、そんなに大きな差とはいえない。

4流域の洪水危険度判定は、ピーク比流量の大小からも推定されるが、真島専門家(3.1-7)の例に習って、流域因子の計測値に、その相対的重要度の係数を乗じ、それらを加え合わせて、合計値の大きいものほど危険度が高いとして判定した。その結果、洪水危険順位は、D流域>C流域>B流域>A流域となった。なお計算には供与器材の電子計算機FACOM-230-28を使用した。

この洪水危険地判定結果は、大胆な仮定での推定値を用いての計算結果であり、今後A、B流域の量水施設が完成したあと、精密な観測が続けられ実際の洪水流量を測定したうえで改めて計算を行えば詳細が判明することになる。

#### (e) 多数併行流域法による洪水危険地調査対象流域の選定

洪水危険地判定の研究には、多数の流域において、多数の資料を収集し、多変量解析法を導入して危険度判定を行うことが望ましい。

このため本研究の当初計画を含めて再検討を行い、ウナ川支流のアンタス川流域を対象流域に選定した。この地域は森林地を含めて多種の土地利用流域が選定可能であり、これまで地質、土地利用区分等の基礎調査も実行済みである。またこの流域で現在水質調査等も行われており、森林院のタウバチ苗畑管理事務所に近く、観測の便など地理的条件等研究効率の有利な地域である。またタウバチD A E E等の水文調査資料の利用対比も可能で、望ましい試験流域といえる。この流域中の踏査を行い、試験流域の選定と水位観測地点の選定とその地点の横断面測量と河床勾配の縦断測量を実施して、流量測定の基本調査を行った。

なお水位記録法については、経費面を考慮して、期間洪水位の記録可能な安価な方法を引き続き検討していくこととした。

また収集資料を用いた解析法については、リモートセンシング部門で開発した電算機プログラム等を利用することとし、関係者と協議し、今後の協力支援をあおぐこととした。

### (3) 今後の見通しと問題点

流域管理技術研究の1つの柱である洪水危険地判定法について、その研究推進の考え方、方法等については、大方理解されたといつてよい。この研究課題の実行に当っては、一層の知識の習熟と実際面での莫大な作業量ならびに多額の費用も必要となる。

まず、関連資料の収集に当って、利用できる資料源を明確に整理することからスタートすることが必要であろう。たとえば空中写真やランドサット衛星データの掘起し、利用等から多数流域の流域因子(地形、地質、土壌、土地利用、植被等)の抽出、計測利用が必要である。また、雨水流出と関連の深い因子の検討や細分化に当ってはブラジル国やサンパウロ州

に合った独自のアイテム、カテゴリー分類を見出すために、総合的な研究のレベルアップが必要となる。1例を挙げれば水循環に影響する森林情報因子（樹種構成、資源量、生長特性等）の収集技術の進展が期待される。これは単に森林院だけの問題でなく、他研究機関との研究交流や他分野の研究業績からも得られるものが多いであろう。

実際の本課題の研究推進計画に当っては、まず、資金面からも簡便な方法で大局を比較解析でき、持続性のある方法でスタートし、経験を重ねながら、順次試験流域を変え、データ収集精度も上げ、解析手法もより高次へと改良して設計されることが現実的と思われる。

また、森林院にとって、量水試験法がスタートして日が浅く、洪水危険地判定法という研究課題については、協力期間の最終段階でようやく研究手法が伝達されたに止まり経験はない。したがって今後の試験研究の推進には、日本側と森林院の情報交換や人的交流の場の存続が必要である。

同時に、森林院の水文関係の研究者の増員も必要である。

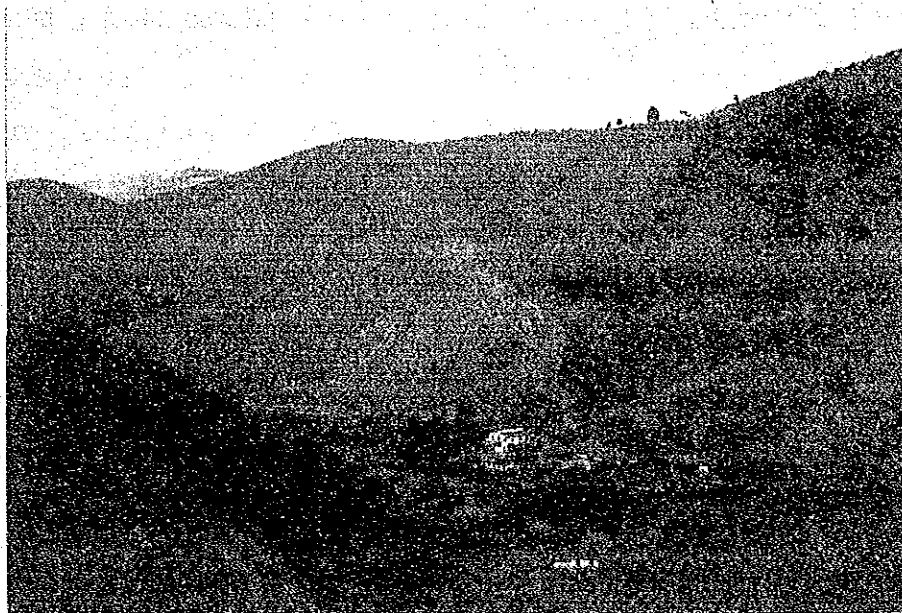
引用文献

- 3.1-1 菊谷昭雄：山地流域の地形と比流量  
水利科学, №148 24-56, 1982
- 3.1-2 藤枝基久・Valdir de CICCO：ブラジル  
クレーンヤ試験地における濁度観測の一例, 36回日林関東支論,  
Ⅶ-6, 1984
- 3.1-3 中野秀章ら：洪水比流量と流域条件との関係, 75回日林講, 486~488,  
1964
- 3.1-4 H. W. Anderson & H. K. Trobitz : Influence of Some Watershed  
Variables on a Major Flood, J. of Forestry, Vol 47,  
№ 5, 347~356, 1949
- 3.1-5 O. O. Ogunkoya, J. O. Adejuwon & L. K. Jeje : Runoff Response to  
Basin Parameters in Southwestern Nigeria, J. of  
Hydrology, 72, 67~84, 1984
- 3.1-6 V. Cicco, A. J. Faria, F. C. S. Arcova & P. Y. Shimomichi :  
Determinação do Balanço Hidrico com Emprego de Bacia  
Hidrografica Experimental em Mata Natural Secundaria  
in press 1985
- 3.1-7 真島征夫：流域条件による洪水危険地の判定, 88回日論集, 379~380,  
1977

### III-3-2 侵食危険地判定法の研究

#### (1) 背景と目的

サンパウロ州における荒廃の危険性は、東部海岸沿いのウバトゥーバ、カラガトトゥーバ附近の急傾斜斜面の崩壊危険地とタウバテに代表される内陸部の丘陵地帯の表面侵食の危険地の2つのタイプに分けることが出来る。この項で行う侵食危険地判定法の研究は後者を対象にするものである。



II-6 タウバテの放牧草地の侵食

過去における州内の土地利用の実態は森林を伐採し肥沃な土地は最初にコーヒー栽培、次にさとうきび栽培を経て、最後に地力が落ちると放牧草地として利用される例が多い。サンパウロ州の土地の大部分は花崗岩類や玄武岩等から生成される砂質土、砂質壤土によって覆われており、これらの土壌は地表の植生が失われると非常に侵食を受け易い。現実には農地についても傾斜地では侵食を防止する必要にせまられているが、流域内の侵食の危険性の大きい場所を判定し、それらの場所に森林を造成あるいは維持してゆく林業的流域管理を考えると、土地利用の経済性、および地力の現状から、森林造成の場は主として急傾斜の放牧草地が中心になると思われる。

こうした放牧草地は州内に広く分布しており、侵食は毎年の経常的な降雨によっても進行するので雨量が多いとは言えない内陸部においても、重要な地点に森林帯を造成し、流域の土地利用によって生ずる侵食の影響を最小限度に止めることが望まれる。こうした施策の実行に当っては、第1に森林造成を必要とする重点地区の摘出を行う必要があり、本項でとりあげた侵食危険地の判定法の研究が望まれている。

## (2) 経過と成果

### ① 研究の経過

プロジェクト開始時点から、本課題は『荒廃・洪水危険地判定調査法』として他の「森林水文試験法」「簡易治山工作物の適用法」とともに流域管理の3つの大課題の1つとして研究協力計画にあげられていた。しかし、諸般の事情から研究の実施がおくれ、当初の5年間にはこの課題をとりあげることが出来ず、延長された2年間で行なうことになった。

実施に当って、日本側はパライバ流域のタウバテ付近を対象に、侵食危険地の判定の研究を行うことを計画し、ブラジル側はカラガトウーバの崩壊危険地の判定の研究を行うことを希望し、研究対象についての若干の論議があつたが結局、侵食・崩壊とも研究を行うことになって、侵食危険地判定法の研究は59年度及び60年度に行われた。研究は日本側専門家3名、畠村、秋谷、沢田専門家とブラジル側カウンターパート2名の合計5名で行なつた。畠村専門家は、2名のカウンターパートとともに、侵食および侵食関連要因の判読と摘出、侵食と要因の関連の単純分析、結果の考察を担当、秋谷専門家は、研究手順の決定、調査対象地の選定、結果の考察の一部を担当、沢田専門家はコンピューターによる侵食要因の多変量解析を担当して、研究を進めた。多変量解析に当っては、コンピューターFACOM230-28を使用し、計算処理に当っては、森林院の電算室職員が協力した。

この間、昭和59年度から60年度にまたがる60年2月21日から6月4日まで、カウンターパート1名が日本に於ける研修によって、危険地判定に関する技術を学んでいる。

### ② 研究方法

#### (a) 危険地判定の面積区分

サンパウロ州の土地利用状況は、農用地、放牧地、未利用地等の非森林地帯の割合がきわめて大きいのに急激な降雨の頻度も高く州全体域の傾斜地で侵食が広く進行している。したがって、将来かなり広範な地域を対象に危険地判定を行うことが予想される。

侵食危険地の判定を行うに当って、判定の対象となる面積を区分する方法として、傾斜や斜面形状などがほぼ同一である数 $ka$ あるいは数十 $ka$ の斜面ごとに区切るいわば斜面区分法と、機械的にあらかじめ定められた間隔で、東西、南北を等間隔に区切るメッシュ区分法とが考えられる。前者は、侵食に関係が深い傾斜や斜面形状が同一な区域を危険地判定の単位とする利点があるのに対し、後者は区分面積が各区分同一になる点のほか誰が作業を行っても同一の区分結果になる客観的な区分法である点がすぐれている。

サンパウロ州内での侵食危険地の判定に当っての判定単位の区分は、将来大面積の傾斜地を対象に判定を行う必要が生じることを想定し、この研究では、誰が区分しても同一の区分になり、判定単位が同一面積で電算処理に有利なメッシュ法を採用した。特に、この研究では研究期間が限られるため、広い範囲の調査ができないので、数多いデータがと

れるメッシュ法が統計処理上も有利である点も考慮した。

メッシュの大きさは一辺が100m(1ha)とした。このメッシュ毎に既成の地形図をベースに、空中写真を用いて侵食状況、地表被覆、その他を判読記入した。

(b) 調査の手順

侵食の強度を外的基準 $y$ とし、傾斜、斜面形、植生等、荒廃の要因として考えられるものを内的基準 $x_i$ とし、数量化理論に基づく重回帰分析によって次の関係式を求め、各因子が侵食に与える影響の程度を量的に把握する。

$$y = ax_1 + bx_2 + \dots + nx_n$$

$y$  : 侵食危険度

$x_1$  : 傾斜

$x_2$  : 斜面形

⋮

$a, b, \dots, n$  : 定数

- i) 侵食の程度は、空中写真(1973年、縮尺1:25,000の2倍引き伸ばし)を判読して、侵食無し、軽度の侵食、重度の侵食の3段階に区分し、それぞれを地形図(縮尺1:10,000)に移写する。
- ii) グレード区分された侵食タイプ毎に100mメッシュ(1ha)内の面積割合を読み取る。
- iii) 関連因子として地表被覆及び放牧密度は空中写真(上記と同じ2倍引き伸ばし写真;以下"空中写真"と言え、これを意味する)を用いて判読結果を補完し、精度を高める。なお、同一メッシュ内に2つ以上の種類が存在する場合は最多のものとする。
- iv) 調査対象地域決定の際、地質はなるべく同一地域を選択する。
- v) 傾斜、方位、縦断面形、横断面形及び斜面長は地形図を用いるとともに、空中写真判読を併用して精度を高める。
- vi) 土壌深は既成の土壌図(縮尺1:25,000)や空中写真等を利用して、現地調査結果を併用して精度を高める。
- vii) 各侵食関連要因と侵食との単相関的な解析を行って重回帰分析を行う場合に採用する適正なカテゴリー区分(要因の階級分け)の見当をつける。
- viii) 重回帰分析(数量化Ⅱ類)を行って、各要因のカテゴリーウェイトを求める。数量化Ⅱ類を用いる理由は従属変量( $y$ )となる侵食の程度の判読が段階的な結果に止まるからである。
- ix) 重回帰分析は数回繰り返し、相関比を高めると同時に、関連因子のカテゴリーウェイトの大小関係の正当性を考慮して、妥当な重回帰分析の結果、得られたカテゴリーウェイトを用いて全メッシュについて危険地の判定を行う。



X) 判定結果と現実の侵食状況の対比を行って分析結果の妥当性を検照する。

(c) 調査地

サンパウロ州では、今回の侵食危険地の調査対象地域としたタウバテ一帯の開発が最も古く、最初はコーヒーや砂糖キビ栽培のために多くの森林が切り開かれた。その侵食等による土地の瘠悪化とともに傾斜地の農耕地はなくなり、これらの傾斜地は主として放牧に利用されて今日に至っている。位置的には、サンパウロ市の北東約130 kmにあり、市の経済圏内にあると思われる。

南東の海岸、大西洋岸から急傾斜な勾配で立ち上る海岸山脈(標高1000 m級)の陵線を越えると比較的緩やかな丘陵地形がある。また、この調査地から更に北上するとカンポス・ド・ジョルダンのあるマンテケイラ山脈に達する。

調査地はこれら両山脈に囲まれたタウバテ行政区のウナ川上流にある図Ⅱ-24のベドゥラ・ネグラ川流域(2291/ha)とし、西経 $45^{\circ}26'00'' \sim 45^{\circ}29'21''$ 、南緯 $23^{\circ}09' \sim 23^{\circ}14'$ に位置する。ベドゥラ・ネグラ川の中、下流においては緩やかな丘陵地形を有するが、南部の上流では山脈の影響で比較的急な北斜面をもっている。ちなみに調査地における南北端の標高差は約400 mである。

(d) 調査項目

調査方法の詳細についてはリモセン部門で述べられているのでここでは簡単にふれる。

① 要因分析に用いる外的基準

侵食危険度の指標として要因分析に用いる外的基準について検討した。現地調査により調査地での侵食状況は、次の4つに分類される。

- i) 表面侵食
- ii) リル侵食
- iii) ガリー侵食
- iv) 溪流崩壊後の侵食

上記4分類の内、iv)の溪流崩壊後の侵食については、当調査では取り扱わないものとした。

以上の状況を空中写真判読した結果、2つのタイプに分類可能であった。この2つの侵食タイプの境界をしいて記述すると、ii)のリル侵食の中程度を境に分けることになる。ともかく2つの侵食タイプを個別に地形図上に移写し、それぞれのメッシュ内の面積割合を測定した。

② 地表被覆

まず空中写真判読で土地利用区分を行い、河川敷未利用地、村落、農耕用地及び採石場を取り除く。その結果、対象面積は1966 ha(1966メッシュ)となり、これらが研究対象データとなる。したがって以下の調査項目についてもすべて1966メッ

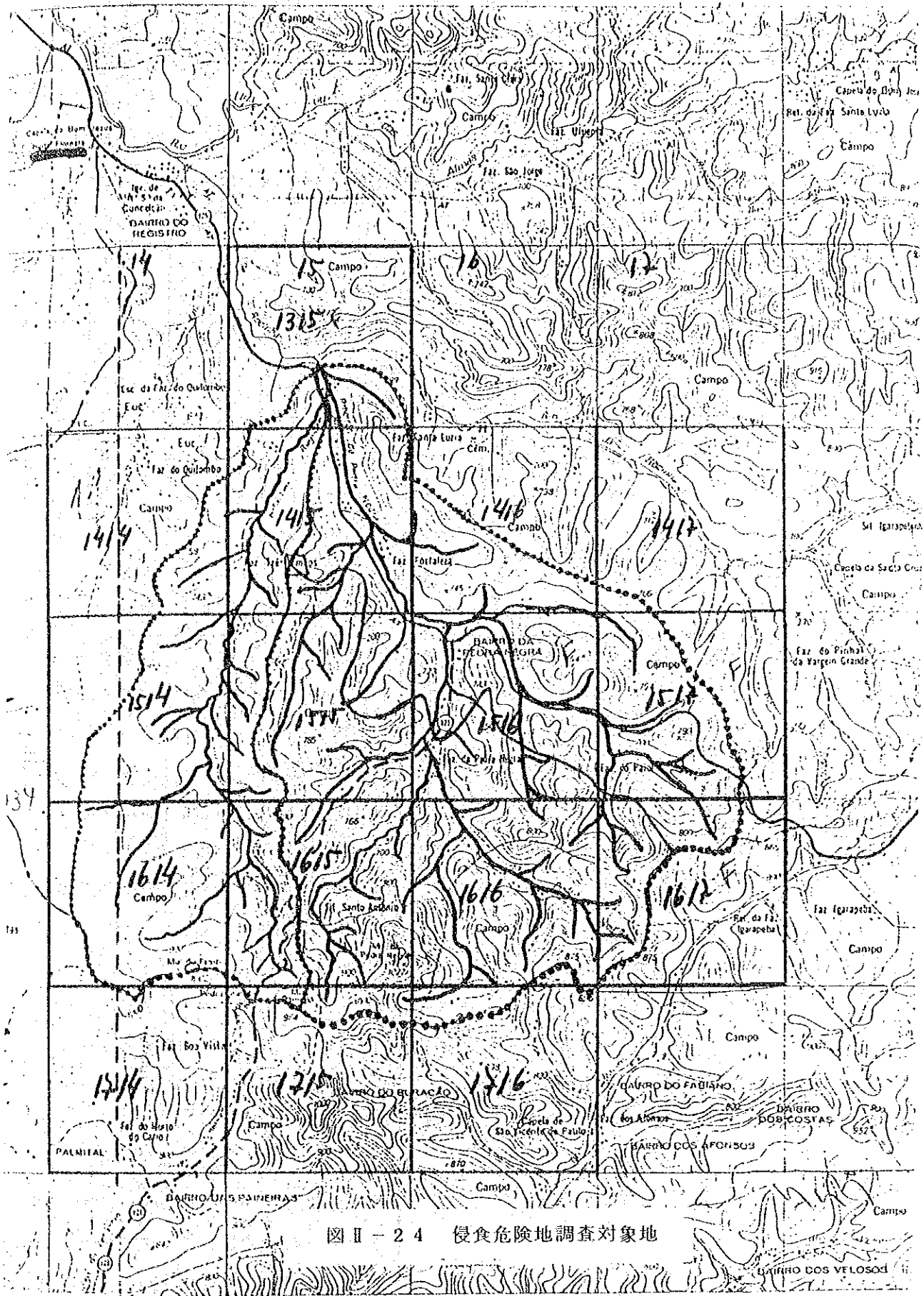


图 II - 2 4 侵蚀危险地调查对象地

を对象としている。

空中写真判読の第1の問題は、全域(以下"全域"と言えはすべて1966メッシュを对象とする)の7割を超える草地群の植生的分類が判読区分可能かどうかであったが結果的には表Ⅱ-24に示した3区分となる。

表Ⅱ-24 各要因の占有面積率と侵食面積割合

地 表 被 覆		占有面積		侵食面積	
		ha	%	ha	%
1	30 cm以下の草地	1030	52.4	102.1	9.9
2	30~100 cmの草地	252	12.8	10.3	4.1
3	1 m以上の草木地	109	5.5	1.4	1.3
4	2 m以下の林分が80%以上の2次人工林	131	6.7	4.9	3.7
5	人工林	274	13.9	1.7	0.6
6	天然林	170	8.6	1.1	0.6

傾 斜	占有面積		侵食面積	
	ha	%	ha	%
1 0~10°	219	11.1	9.4	4.3
2 11~15°	608	30.9	33.3	5.5
3 16~22°	941	47.9	66.7	7.1
4 23以上	198	10.1	12.1	6.1

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

縦断面形	占有面積		侵食面積	
	ha	%	ha	%
1 凹縦断	473	24.1	34.7	7.3
2 凸 "	1177	59.9	75.9	6.4
3 平滑	316	16.1	10.9	3.4

横断面形	占有面積		侵食面積	
	ha	%	ha	%
1 凹横断	429	21.8	28.3	6.6
2 平衡	1096	55.7	61.7	5.6
3 凸横断	441	22.4	31.5	7.1

斜面長	占有面積		侵食面積	
	ha	%	ha	%
1 0~40m	1234	62.8	72.7	5.9
2 41~80m	589	30.0	38.7	6.6
3 81m以上	143	10.1	10.1	7.1

放牧密度	占有面積		侵食面積	
	ha	%	ha	%
1 疎	1559	79.3	71.4	4.6
2 中	308	15.7	28.5	9.2
3 密	99	5.0	21.6	21.8

土 壤 深	占有面積		侵食面積	
	ha	%	ha	%
1 ラテゾール(深)	853	43.4	49.5	5.8
2 ボドゾール(浅)	1113	56.6	72.0	6.5

しかし、3区分それぞれの占有面積割合にはかたよりを生じた。

第2に森林状態については、従来、日本で行われているように、立木度、疎密度、樹高等で判読する。ただし、人工林での林令に特にデータがないので用いなかった。しかしながら、森林全体の全域に対する面積割合が少ないので、結果的には人工林2区分と天然林1区分のみになった。

#### ㉓ 傾斜

メッシュ内の等高線本数を数えてその本数を傾斜角に換算した。

#### ㉔ 方位

メッシュ内の平均的な傾斜方向を8方位に区分する。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「方位なし」とした。

#### ㉕ 縦断面形

斜面の上下に於ける等高線の間隔を比較し、その相違で判断する。

#### ㉖ 横断面形

等高線の屈折度合を角度として測定し、谷側の角度が小さい場合を凹、大きい場合を凸、中間の180°付近を平滑とした。

#### ㉗ 斜面長

メッシュの中心点から、流水の流線を追跡して上部陵線までの最大傾斜をたどる線の水平距離を測定する。

#### ㉘ 土壌深

道路の切り面を利用して現地調査を行い十数点の調査を行った。方法は、A、B、C層の深さを測定し、結果としてポドゾール土壌は1.4 m、ラテゾール土壌は2 m以上と判断した。資料として用いた図面は縮尺250,000分の1の土壌図(図II-25)で現地調査により修正した。したがって、土壌型と土壌深の分布が同一のものとなる。

なお、地質は調査地北部の一片が花崗岩である他は、ミグマタイトである。

### ① 放牧密度

草地における放牧密度と侵食現象には強い関連性があるものと思われるが、現状では正確、もしくは客観的なデータを得るものに次の点で障害がある。

i) 空中写真が1973年6月のものであり、侵食及び地表被覆状態もまたその時点のものを調査しているが、本来それと対比する必要がある当時の牛頭数を把握することが困難である。

ii) 放牧形態が乳牛と肉牛とで大きく異なり、それらの割合が年とともに複雑に変化している。

以上の点で放牧密度を数値的に捉えることを断念した。

一方、空中写真判読を通して牧草の状態から相対的に捉える方法も試みたが、地表被覆要因の草地3分類にほぼ一致する結果となるのでこれも用いないことにした。

以上の理由により、ここではモデル的に次のように試行した。

i) 森林部の放牧密度は0とする。

ii) 調査地には8カ所の牛舎があり、それぞれの牛舎の付近について空中写真判読で“荒れ具合”をグレーディングする。

iii) ii) のグレード値に基づき、機械的に牛舎より300 m毎にグレーディングを1ランクずつ低下させたものを放牧密度の強度とする。

なお、上記のモデルを想定する根拠となる背景と問題点を述べると、まず当調査地域一帯は、サンパウロ市の牛乳、その他乳製品の供給地となっていることから、放牧形態において乳牛経営の割合の方が肉牛よりも多いと判断できる。したがって、乳牛経営であれば、各所有者ごとに所有している乳牛すべてに対し、1日2回の採乳作業が行われている。ゆえに牛舎周辺は、その所有頭数に比例して侵食荒廃が進行し、牛舎から遠ざかるほど放牧密度は低くなると判断できる。ただし、上述のように当時の牛頭数を捉えることができなかつたことと、牛舎からの距離と放牧密度との関係式が定かでないことが今後の課題となろう。

### ③ 研究成果

#### (a) 個々の要因別の侵食率の傾向

調査地面積に対する侵食地の面積の割合は6%で、侵食に関係する各要因ごとのカテゴリ別の侵食地の面積割合は図II-26のようになった。なお、侵食地の面積割合の計算

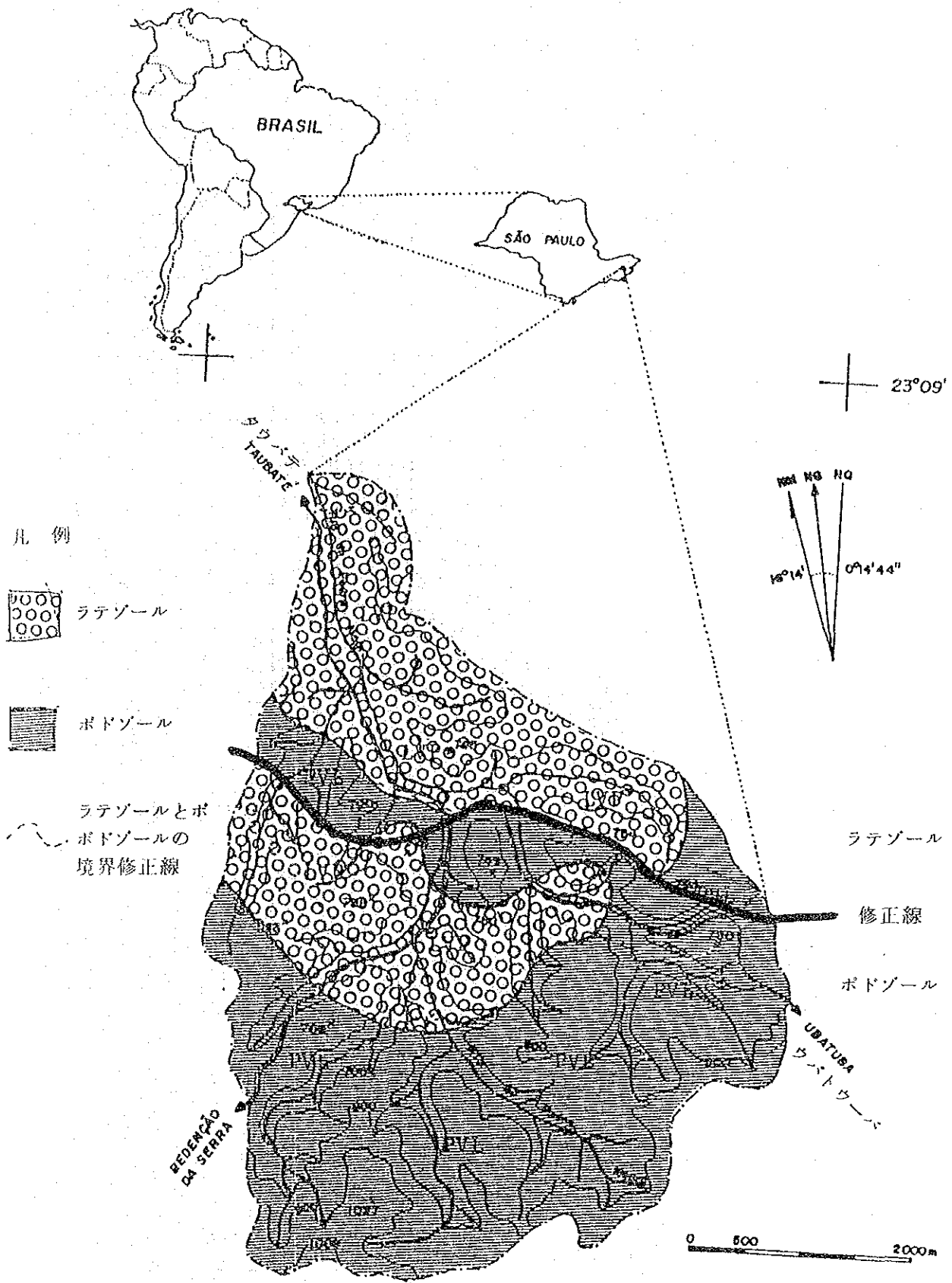


FIGURA 3.2 - 2 CARTA DE SOLOS  
 Fonte: BRASIL, 1960.

45°29'21"

図 II - 25 土 壤 図

23°14'  
 45°26'00"

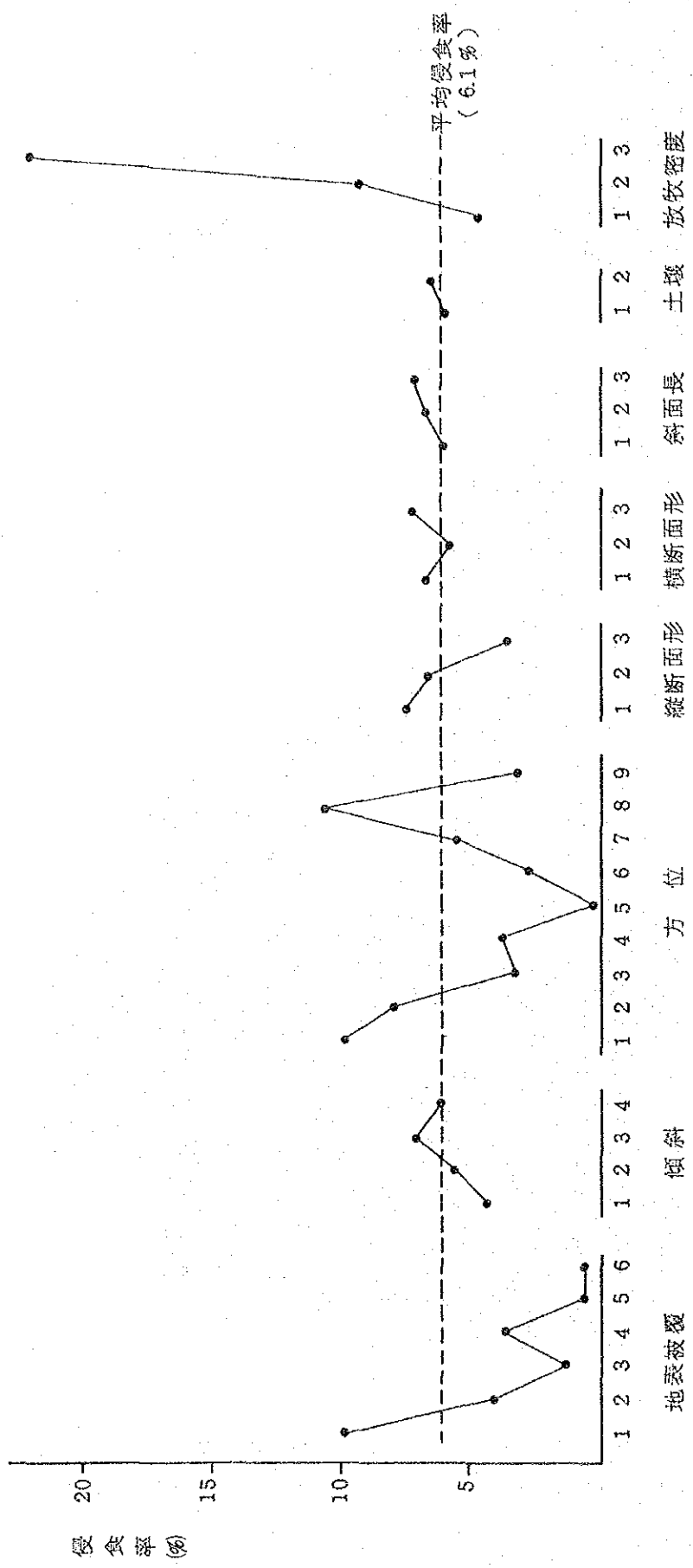


図 II - 26 各要因の侵食面積割合

は、侵食タイプ1と2の面積割合を単純に合計したものを侵食面積とし各カテゴリーの面積で除した。ちなみに、“侵食の起っているメッシュ”数は403メッシュで、調査対象メッシュ総数の20.5%となる。

表Ⅱ-25 地表被覆分類における傾斜地の占有面積率指数

地表被覆	占有面積率(%)	傾斜地の占有面積率指数				
		全体	0~10°	11~15°	16~22°	23以上
1 3.0 cm以下の草地	52.4	100	11	35	46	8
2 30~100cmの草地	12.8	100	10	26	57	7
3 1 m以上の草木地	5.5	100	8	28	40	24
4 2次人工林	6.7	100	7	28	60	5
5 人工林	13.9	100	13	34	48	5
6 天然林	8.6	100	9	18	45	28
7 全体	100.0	100	11	31	48	10

表Ⅱ-26 侵食面積率の区分規準

グループ 区分	侵食タイプ1	侵食タイプ2	侵食タイプ1と2の組合せの場合	
			タイプ1	タイプ2
グループ1	0%	0%	0%	0%
			10%未満	20%未満
グループ2	50%未満	20%未満	20%	10%
			30%	10%
グループ3	50%以上	20%以上	10%以上	20%以上
			40%	10%

④ 地表被覆

一般に地表植生の被覆率が高いほど傾斜地の侵食面積割合は低くなる傾向にあると言える。

ここで「2 m以上の林木が80%以上の2次人工林」に該当するのは、松林では造林地のみであるが、ユーカリ林は造林地以外に「萌芽により更新される林分」も含まれている。一般にブラジルのユーカリ林は約7年ごとに伐採が行われ、伐採後切り株の萌芽



により更新し、さらに7年ごとに収穫を繰り返す。ただ3期目の伐採が終了となる21年後の萌芽の成積は著しく低下するので普通それ以後のユーカリ林を経済林として認めないのが現状である。そこで萌芽により更新されつつある林分においては、実際に高木を数パーセント残すことが多く、これらが「2 m以下の林木が80%を越える2次もしくは3次人工林」に該当する。これらのユーカリ林は伐採の際に地表が攪乱されたことが原因となって侵食が進行している場合が少なくないと思われ、それが比較的高目の侵食面積割合を示したと考えられる。

なお、「1 m以上の草木地」に該当している場所のほとんどが天然林周辺に多く、過去においては牧場もしくはコーヒーや砂糖キビ栽培に利用されていたと推定される。

#### ⑤ 傾斜

傾斜が急になるほど侵食面積割合も高くなる結果が得られた。ただし傾斜 $23^{\circ}$ 以上の斜面で侵食面積割合が低くなり過ぎるようと思われるが、これは表II-25のようにこの斜面における森林率が他より高い点が影響すると考えられる。

#### ⑥ 方位

全体としては太陽の当たる北斜面の侵食面積の割合が高く、南斜面は低い。理由としては土壌の水文環境に原因があり北向斜面は植物が生育し難いため侵食され易いと判断される。

カテゴリ9の「方位なし」は傾斜 $6\sim 7^{\circ}$ 以下の平坦地であるが、河川未利用地、村落、農耕用地等を除外してあるので、取り扱ったメッシュの多くは山頂付近を意味し侵食面積の割合も低い。

#### ⑦ 縦・横断面形

共に凹凸面形間の侵食面積の割合に著しい差を認めることができない。むしろ平滑、平衡地形においての侵食面積割合が少ない傾向にあると思われる。

#### ⑧ 斜面長

カテゴリ別の侵食面積割合の差は小さいが、一応斜面長が長くなるほど侵食面積の割合は高くなっている。

#### ⑨ 土壌深

土壌深の浅いカテゴリの侵食面積割合が土壌深の深いカテゴリよりも高い結果となったが、その差はきわめて小さい。

#### ⑩ 放牧密度

カテゴリ1の「軽」には放牧密度0の森林地帯が含まれている。一方、カテゴリ3の「重」の侵食面積割合が極端に高いのは牛舎周囲の侵食が著しく進行していることを示している。しかしながら、牛舎付近の荒廃が著しいことだけで他の場所の放牧密度と侵食による荒廃が対応すると断定するのは無理があるのでここでは結論的な思考を差

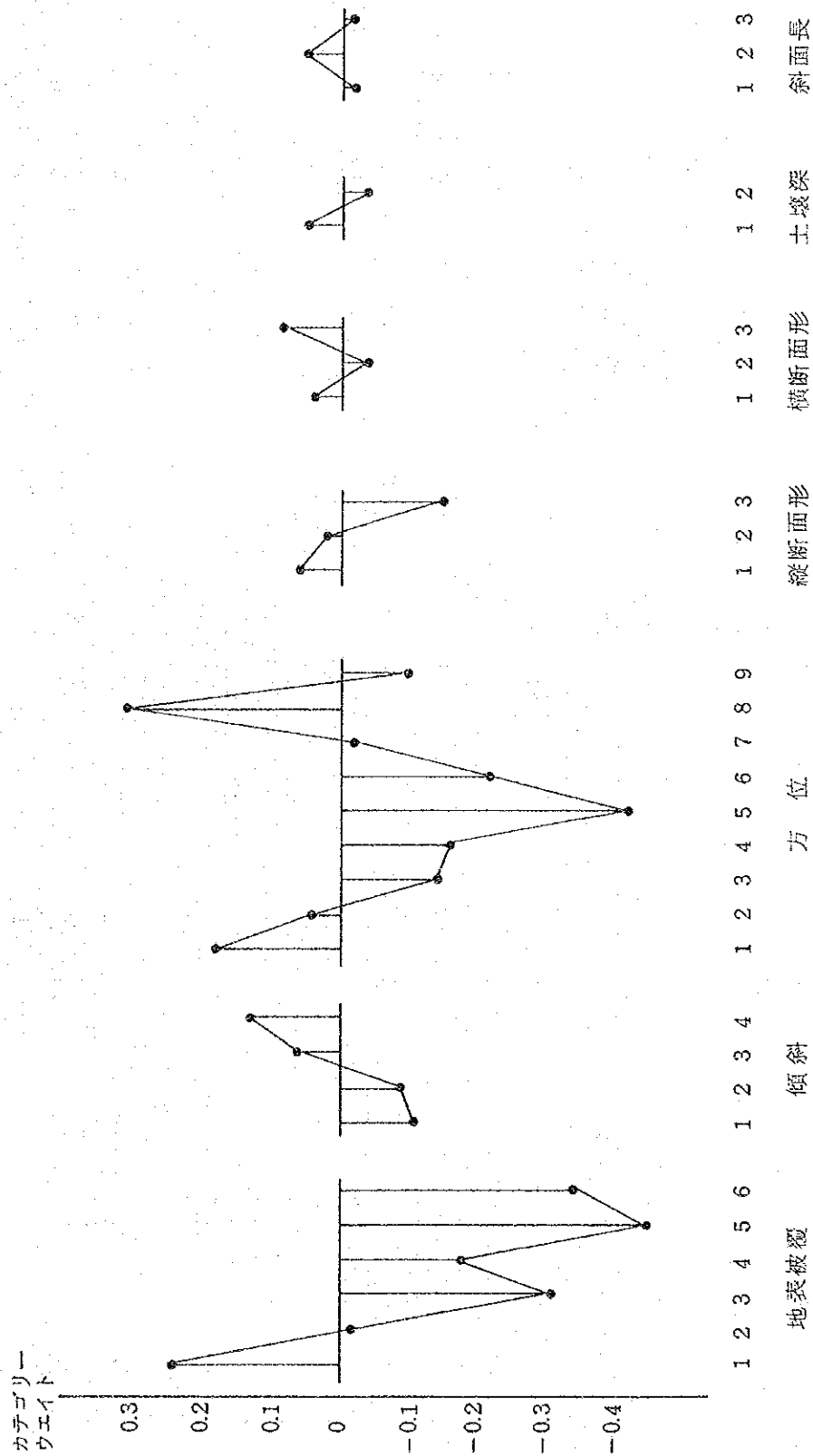


図 II-27 侵食要因のカテゴリーウエイト



し控えるべきであろう。

#### (b) 重回帰分析の結果

侵食に関係する各種要因と侵食発生の因果関係を求めるため、数量化Ⅱ類計算による重回帰分析を合計27回行った結果、外的基準の階級区分及びカテゴリー区分の基準が最適と思われた計算結果の相関比は0.3566を示した。

##### ④ 外的基準の階級区分

得られた侵食タイプ1と2の組合せ方、さらに外的基準の階級数と階級区分基準等を決めるために、外的基準としてタイプ①、タイプ②、タイプ①+タイプ②、タイプ①+2×タイプ②、タイプ①+3×タイプ②の5通りの基準で、階級数はそれぞれ4という条件で計算の試行錯誤を繰り返した結果、組合せ方として、タイプ①のメッシュに対する侵食面積の割合とタイプ②の割合の2倍の和を用いることとした。更にこの組合せで外的基準の階級数を2～6の範囲で計算した結果、最終的に階級数は3とし、その区分基準は表Ⅱ-26が最適と判断された。

##### ⑤ 要因分析

表Ⅱ-26のように侵食の3階級(3カテゴリー)を外的基準とし、各要因のカテゴリー区分を変えながら試行錯誤を繰り返した結果、放牧密度の要因を前述の(d)項の理由で除去したものの内、最適と思われた各要因ごとのカテゴリー区分が前記の表Ⅱ-24である。

また、それぞれのカテゴリーウェイトは図Ⅱ-27のようであり、図Ⅱ-26の侵食面積割合での傾向とほぼ一致しより合理的な傾向となった。したがって、要因の中で侵食発生に最も影響度の高いものは、方位及び地表被覆であり、続いて傾斜要因であった。その他の要因については侵食発生との関係がはっきりしているとは言い難い結果になった。

##### ⑥ 危険地判定結果

以上の外的基準及び各要因のカテゴリー区分に基づいて調査区域の侵食に関する危険度判定の“あてはめ”を行った結果は図Ⅱ-28となる。各メッシュの左側の数字が実測値、右側の数字が推定値である。

##### ⑦ 放牧密度要因の検討

上述のように、この要因のデータ収集には、信頼できる方法を見出し得なかったが、表Ⅱ-24のカテゴリー基準で一応計算した結果、非常に大き過ぎるウェイトを持ち、他の要因分析に支障をきたすと判断されたため、要因から除くことにした。

一方、林地を放牧密度0と判断して1カテゴリーをもうけると、地表被覆での森林のカテゴリーと完全に一致し、内部相関はほぼ1となり計算不能の結果になる。したがって、林地の放牧密度を0として要因分析を行うには、草地内にも放牧密度0のカテゴリ

—区分が存在することが条件になる。

### (c) 総合考察

個々の要因別の侵食面積割合の傾向と、重回帰分析結果での各要因の侵食面積割合への寄与率とはほぼ同一の傾向を示した。要因別には地表被覆、方位、傾斜と侵食の関係が著しく、斜面長、土壌深、斜面縦横断面形などと侵食の関係はあまりはっきりしない。放牧密度については理論的な因果関係はあるがデータそのものに前述のような調査上の問題点があり、重回帰分析では要因としてとりあげなかった。地表被覆、傾斜については、日本における侵食の研究結果とほぼ同一の傾向を示しているが、斜面方位については予想外に南向き北向きの差が侵食に影響した。原因は土壌水分の差によって植生の被覆にちがいを生じるためと考えられる。

重回帰分析で最終的に行った表Ⅱ-24のカテゴリー区分による調査区域内の各メッシュの侵食に関する危険度の推定を行った結果と実際の侵食の比較では、図Ⅱ-28のように推定結果はおおむね良好であった。

### (3) 今後の見通しと問題点

タウバテ地区の侵食危険地判定法の研究結果は、傾斜、地表被覆と侵食の関係については日本における研究と同様な結果が得られ、また、方位については南北で侵食に関する予想外の差がみられ、その理由の合理的な説明も可能であった。しかし、土壌深、斜面長、斜面縦横断面形状については明らかな傾向が認められず、また放牧密度は侵食と関係が深いことが明らかであるが、空中写真撮影当時の実態が把握出来ない点で最終的な重回帰分析では要因としてとりあげることが出来なかった。研究の結果については、図Ⅱ-28にみられるように予測値と調査結果がおおむね一致しているメッシュが多く、傾斜、地表被覆、斜面方位の3つの要因を用いて侵食危険地を予想する方法が可能と思われるが、広範囲のサンパウロ州の侵食危険地判定を行うためには、多くの研究例、特に土壌タイプ別の研究事例を積み重ねる必要がある。

また、統計的手法によって求めた侵食と各要因との因果関係は、現地あるいは実験によって実証しておくことが大切である。今回の研究で侵食との関係がみられた方位については、道路の切取部で左右両側の斜面の比較で乾燥し易い北向斜面の植生の生育が悪いことで統計処理の結果を裏付けることが出来た。地表被覆と侵食の関係も同様に現地でその傾向が確認出来た。

要するにサンパウロ州における侵食危険地判定法を確立するには、今後多くの統計的手法による研究事例の積み重ねと、結果の実証が必要になる。とりあえず、①タウバテの隣接地区の同様な統計的解析、②タウバテ以外の地区での同様な統計的解析、③統計的要因分析で得られた結果の現地に於ける確認の順序で研究を進めることが必要である。

### II-3-3 崩壊危険地判定法の研究

#### (1) 背景と目的

サンパウロ州における荒廃の危険性は、前項の侵食危険地判定法の調査で対象としたタウバテ地区に代表される内陸部の丘陵地帯の表面侵食の危険性ととも、この項でとりあげる東部海岸沿いのウバトゥーバ(Ubatuba)、カラガタトゥーバ(Caragatatuba)付近の急傾斜斜面の崩壊発生危険性があげられる。

内陸部の侵食が、森林伐採や過度の土地利用の結果発生した、いわば人為的な要因をかかえているのに対し、東部海岸沿いの山地はほとんど人為的影響のない山地で発生した荒廃である。

1967年3月、カラガタトゥーバ付近に発生した災害は、100人を越す死者を生んだと言われている。当時の崩壊によって生じた荒廃地のうち、岩石露出地は現在でも植物が生育しない所があり、また、土石流の通過地点には、当時の大量の土砂流出を想像させる大規模な堆砂の痕跡があつて、当時の崩壊発生激しさを想像させる。



II-7. カラガタトゥーバの山地崩壊

その後、カラガタトゥーバ付近では崩壊地の新たな発生を見ていないが、同じ東部海岸沿いの山地で南寄りに位置するコバトーン工業地帯付近では、煙害による天然林の枯死によって、林木の根系を失った急斜面の土層が滑落する崩壊現象が広い範囲に発生しており、工業地帯の河川やサントス(Santos)港内への土砂流出も大量で、河川から土砂の搬出が行われるほどである。

これらの事例は、東部海岸沿いの急傾斜の山地は、異常な豪雨に見舞われた場合、思いがけなく大規模の崩壊が発生したり、通常の雨でも森林状態の悪化した斜面では崩壊が発生し

多量の土砂が下流へ流出したりする可能性があることを示している。これらの山地は海岸線に近いので、海岸付近で商工業や生活に利用し得る平地部は狭く、崩壊や土石流の影響を受け易い。従って、今後の人的、物的被害を避けるためには、崩壊発生の危険性のある場所を指摘し危険地の居住を避けたり、治山工事等で崩壊の影響を最小限度に止めることが必要である。そのためには、本項でとりあげた崩壊危険地の判定法の研究が必要である。

## (2) 経過と成果

### ① 研究の経過

プロジェクト開始時点から、本課題は「荒廃・洪水危険地判定調査法」として、「森林水文試験法」、「簡易治山工作物の適用法」とともに流域管理の3つの大課題の1つとして研究協力計画にあげられていた中に含まれていた。しかし、当初の5年間には、この課題をとりあげることが出来ず、延長された2年間でやることになった。

実施に当っては、日本、ブラジル両者の協議を行い、別項の「侵食危険地判定調査法」を内陸部のタウバテ地区を対象に行い、本項の「崩壊危険地判定調査法」は、東海岸沿いのカラガトゥーバに近いセラドマール山脈の一部を対象に行うことになった。

研究は、日本側専門家3名、畠村、秋谷、沢田専門家と、ブラジル側からカウンターパート2名の合計5名で行なった。畠村専門家は、カウンターパート2名とともに、崩壊地および崩壊関連要因の判読と抽出、崩壊と要因の関係の単純分析、コンピューターによる崩壊要因の多変量解析を担当、秋谷専門家は、研究手順の決定、調査対象地の選定、結果の考察を担当、沢田専門家は多変量解析のプログラムの作成を担当して研究を進めた。多変量解析に当っては、コンピューターFACOM 230-28を使用し、計算機の稼働に際しては、森林院の電算室職員が協力した。

この間、昭和60年2月から6月までの約100日間、カウンターパートが、日本に於いて、危険地判定に関する技術を学んでいる。

### ② 研究方法

#### (a) 危険地判定の方法

崩壊危険地判定の方法としては、その地方に発生した崩壊地や崩壊に関係する地質、地形、林相などの要因を調査して、調査結果から崩壊と要因の関係を分析し、分析結果を用いて今後の崩壊発生の危険個所の予測を行う、いわば帰納的方法と、現地の斜面を調査し崩壊発生の原因となる斜面の土層の構成状況から斜面の崩壊の危険性を推定する。実証的方法とがある。前者は、地形図、土壌図、空中写真などを用いて調査を行うことが可能なため、広域的な崩壊危険地の判定に適し、後者は個々の斜面の土層の調査を必要とするため、特定の個所の崩壊の危険性の判定に適している。ブラジルに於ける崩壊危険地判定は広い範囲の山地に適用する必要があるため、ここでの研究は広域的な山地の崩壊の危険性の判

定に適した前者の方法、つまり、崩壊に関係する多くの要因と崩壊との関係を統計的に解析し、解析結果から各要因の崩壊発生に関係する割合を求めて、崩壊危険地の予測に用いる方法を採用した。

(b) 危険地判定の単位となる面積区分

崩壊危険地の判定を行う場合には、判定の対象となる地域を区分して、その区分ごとに危険度を判定する。

通常、判定の単位とする区分としては、傾斜や斜面形状などがほぼ類似の数 $n$ あるいは数拾 $n$ の斜面ごとに区切る、いわば斜面区分による方法と、あらかじめ定めた大きさの方形に東西、南北の直線で機械的に区切るメッシュ区分法とがある。前者は、崩壊に関係が深い傾斜、斜面形状、林相などが区分内で同一になる利点があり、後者は、区分が機械的な作業で客観的に行え、また、区分面積が各区分とも等しくなる点ですぐれている。

サンパウロ州に於ける崩壊危険地の判定の対象地は、東部海岸沿いの急傾斜地をはじめとして大変広い範囲であり、崩壊危険地判定の作業は、将来大面積を対象に行うことになると予想されるため、この研究では、誰が区分しても同一の区分になり、また、区分面積が等しく電算処理に有利なメッシュ法を採用した。特に、この研究はほとんどの作業を1985年度の前半に集中して行う必要にせまられ、広い範囲の調査が出来ないので、区分面積が小さくとれ、メッシュ数が多くなるメッシュ法が統計処理上有利である点も考慮した。

メッシュの大きさは、日本に於ける研究結果等も参考に使用図面の縮尺(1:10,000)で考えられる最小単位の100メートル四方(1 $ha$ )とした。

(c) 危険地判定調査の手順

i) 調査と解析の方針は、区分されたメッシュ毎にメッシュ内の崩壊面積割合と傾斜、局所地形、地表被覆、方位、土壌深、溪流有無の各要因とを調査し、崩壊面積割合を外的基準(関数)  $Y$  とし、各要因を内的基準(変数)  $X_i$  とし、数量化理論に基づき重回帰分析によって、次の形の関係式を求め、各因子が崩壊に与える影響の程度を量的に把握する。

$$Y = aX_1 + bX_2 + \dots + nX_i$$

$Y$  : 崩壊危険度

$X_1$  : 傾斜

$X_2$  : 局所地形

$a_1, b_1, \dots, n$  : 定数

ii) 崩壊地は、空中写真(1973年1月、サンパウロ州農務局撮影、縮尺1:25,000)の2倍伸しによりその形状を判読し、調査区域の崩壊地を地形図(縮尺1:10,000)に移写する。

iii) 地形図上に100メートル四方のメッシュを描き、メッシュ1個(1 $ha$ )内の崩壊



面積をメッシュ毎に読み取る。

IV) 傾斜(角度), 局所地形(等高線の凹凸, 平衡), 方位(四方位)は地形図を用い空中写真の判読を併用して精度を高める。

V) 土壌深は, 崩壊地周辺の土壌深, 溪流沿いのガケ等の調査結果と空中写真による地形観察によつて4段階の区分で土壌深図を作製する。

VI) 崩壊と個々の崩壊関連要因の間の単相関的な解析を行つて, 重回帰分析を行う場合に採用する適正なカテゴリー区分(要因の階級分け)の見当をつける。

VII) 数量化Ⅱ類による重回帰分析を行つて崩壊関連要因のカテゴリーウエイトを求める。従属変量(Y)はメッシュ内で崩壊地が占める面積割合を3~4階級に区分し, 試行錯誤の方法で最適の結果を得た階級区分を採用する。プログラムは前項侵食危険地判定と同じ数量化Ⅱ類を用いる。

VIII) 重回帰分析は数回行い, 相関比を高めると同時に, 崩壊関連要因のカテゴリーウエイトの大小関係の正当性を考慮して最も良い計算結果を採用する。採用された計算で得られた各要因のカテゴリーウエイトを用いて調査地内の全メッシュの崩壊の危険性の判定を行う。

IX) 判定結果と, 実際の崩壊発生状況の対比を行つて, 調査分析結果の妥当性を検討する。

#### (d) 調査対象地

カラガタトゥーバ附近の山地約800haを調査対象とした。

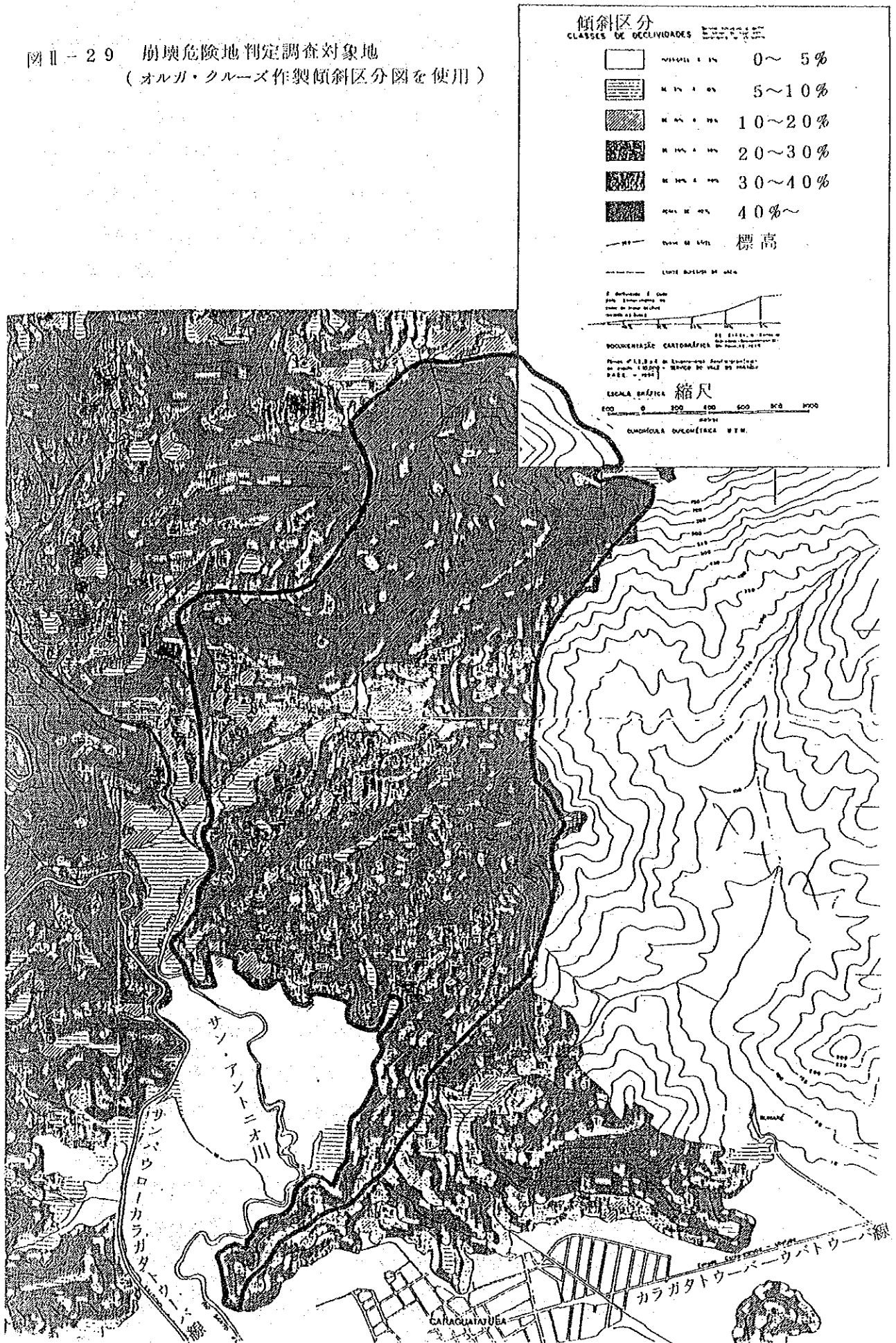
サンパウロ州全体の地質は一部の玄武岩地帯を除いて, 花崗岩類あるいはその変成岩で占められる。今回調査対象地としたカラガタトゥーバ付近の東部海岸沿いの山地も基岩は花崗岩であるが, 内陸部の山地には, しばしば5mを越す厚い風化土の堆積層があるのに対し, この附近の山地の土壌は一般に浅い。その理由は斜面の傾斜が急であることによると思われるが, このあたりの斜面は, 標高800m前後のセラドマール山脈から海面高までの高低差をごく短い距離で降り切るため, 30度以上の急傾斜地が多い。

海岸附近は, 内陸部に比較して雨量も多く, 地形急峻な点とあわせて, 豪雨による崩壊が発生し易い地域と言える。

森林は, 大部分が原生林であるが, 一部に大径木が伐採された林地や皆伐跡地に生立した二次林を含んでいる。

調査地は, カラガタトゥーバ市街地の北側にある急傾斜山地で, 一部民有の放牧草地を含むが, 大部分は州に属する林地である。標高は10~750mの範囲で, サンアントニオ川流域に属し, 国道サンパウロ-カラガタトゥーバ線の東側に位置する約800haの山地である。調査区域を, 図Ⅱ-29に示す。調査地選定に際しては, 崩壊が多発していること, 崩壊地はなるべく連続せず発生源が個所別に判別出来ること, 林地・草地が含まれ, 林地につ

図 11-29 崩壊危険地判定調査対象地  
 (オルガ・クルーズ作製傾斜区分図を使用)



いては森林状態に変化があること、災害前後の空中写真、精度の良い地形図が入手出来ることなどの条件をそなえた場所をえらんだ。

この地域における崩壊地は、1967年3月18日の豪雨で発生した。この時の日雨量はカラガタトゥーバ市街地内のカプテラ (Caputera) で240.8mm、森林院のカラガタトゥーバのステーションに近いヒオ・デ・オウロ (Rio do Ouro) で195.5mmと市街地付近では著しく多いとは言えないが、同じサン・アントニオ川流域で調査地の西方の山地のエンブレーザ (Empresa) では同じ日に420mmと異常な降雨量が記録されており、標高の高い山地には、平地部のカプテラやヒオ・デ・オウロに比較して可成り多量の降雨があったと推測される。この年には1月の24日に、隣接地のウバトゥーバ (Ubatuba) で日雨量351.9mmの降雨が記録されているが、約40kmしか離れていないカラガタトゥーバとウバトゥーバで、それぞれ異なる日に最大日雨量が記録されており、隣接地の雨量をみても雨量が著しく異なる点からみて、この地方では、1～3月の夏期間には、局地的な集中豪雨があると考えられる。

#### (e) 調査項目

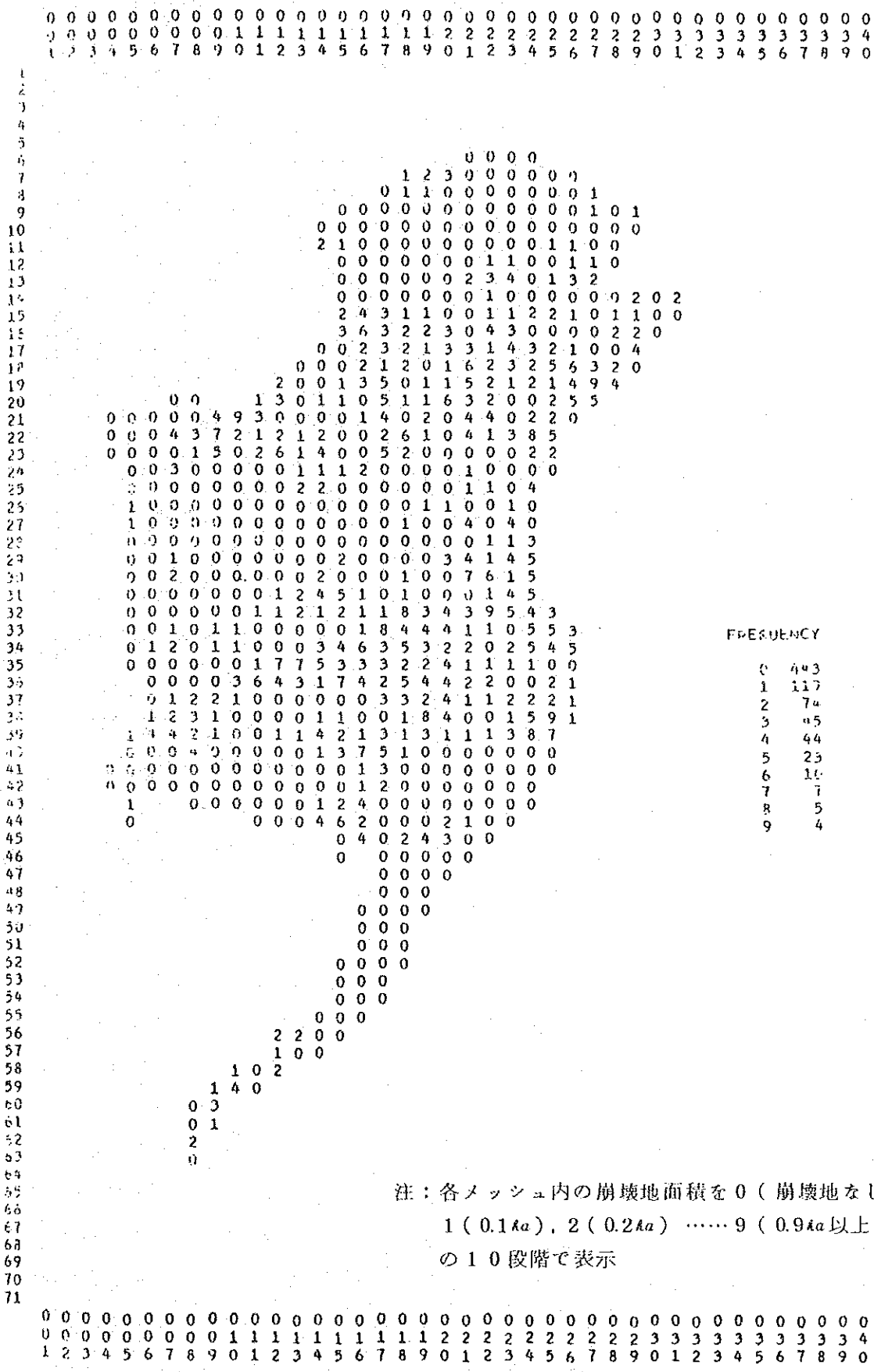
調査方法の詳細については、リモセン部門に記載されているのでここでは簡単に述べる。

##### ③ 外的基準

崩壊危険地判定のための崩壊要因分析を行う際、外的基準(従属変量)として用いる指標としては、一般に崩壊地の面積又は土砂量が用いられる。危険地判定の単位つまり区分した判定単位的面積が区分ごとに異なる場合は、面積又は土砂量をそれぞれの区分面積で割った値を指標とするが、今回のようにメッシュ区分で各区分の面積が等しい場合は、区分面積で割る必要はない。また、斜面単位の区分では、崩壊地は、それぞれの単位の中に発生するが、メッシュ区分では一つの崩壊地が複数のメッシュにまたがることが多い。この場合一つの崩壊地であっても、その面積は、各メッシュ毎に測定する。土砂量の算定は、通常、面積に平均深を乗じて求めるが、メッシュによる調査法の場合は、崩壊が複数のメッシュにかかるため算定が繁雑である。また、林地に於ける崩壊の発生は、崩壊面積に相当する被害を林地の木材生産力に与える点を考慮し、この研究では、各メッシュの中にある崩壊地の面積を外的基準(従属変量)として用いることにした。

崩壊地の判読は1973年撮影の空中写真によって行い、判読結果は、森林院所有の縮尺1:10,000の地形図に移写して、崩壊地の計測を行った。この写真は崩壊発生後7年経過した時点のものであり、通常崩壊発生直後には判別し難い、崩落部分と堆積部分の識別が、堆積部分に植物が侵入しているため比較的容易であった。

崩壊地面積の計測は数量化Ⅱ類による要因解析に必要で十分な精度である0.1ha単位とし、各メッシュ内で崩壊地が占める面積割合を0.1ha単位に目視で求めた。図Ⅱ-30は計測結果から、崩壊地なし、0.1ha以下、0.2ha以下……、0.8ha以下、0.9ha以上の10段階をそれぞれ0, 1, ……9の1桁の数字であらわしたものである。



注：各メッシュ内の崩壊地面積を0（崩壊地なし）  
 1（0.1ka）、2（0.2ka）……9（0.9ka以上）  
 の10段階で表示

図II-30 各メッシュ内の崩壊地面積

注1. 平均崩壊面積率は1.1.3%。  
 注2. 要冊の区分番号は表3.3.3-1による。

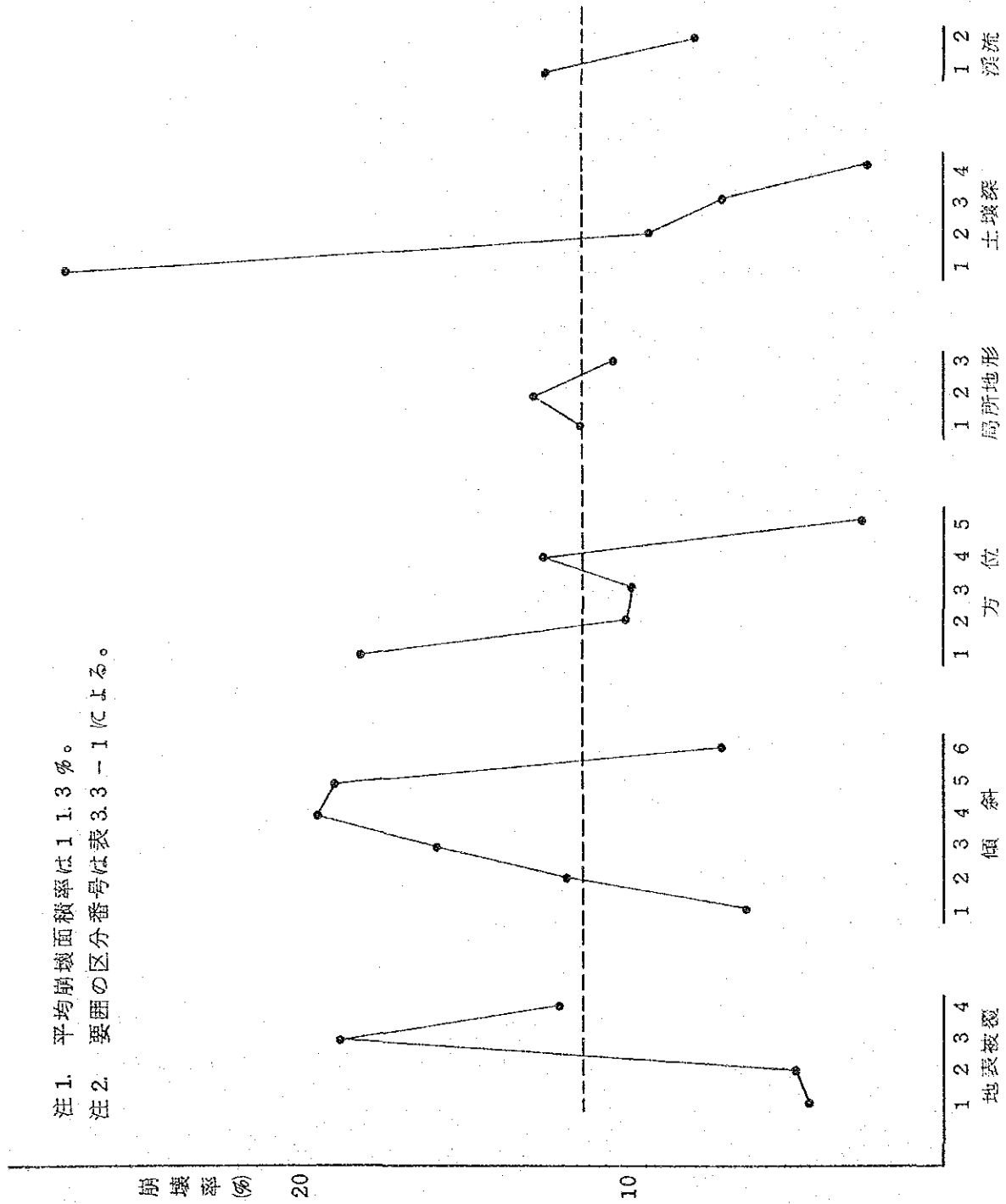


図 2-3-1 個々の要因別の崩壊面積率の傾向

## ⑤ 地表被覆

調査対象地区の空中写真判読で、まず、住宅地、河川敷、農耕地を除外する。その結果対象面積は774ha(774メッシュ)となった。

対象地内にある放牧草地をまず林地と区分し、林地については、大径の高木を有する天然林、大径木を含まない峻線付近の天然林、過去20年以内の伐採等が原因で出来た二次林の3区分に分類した。

## ⑥ 傾斜

1/10,000地形図を用いてメッシュの四隅の標高を測定し、電算処理でメッシュ毎の傾斜を求めた。

## ⑦ 方位

メッシュ内の平均的な傾斜方向を4方位に区分した。傾斜方向の判定は傾斜と同様にメッシュの四隅の標高の電算処理で行った。傾斜が5度以下の場合は方位なしとした。

## ⑧ 局所地形

メッシュの四隅の他に中央の標高を測定し、四隅の作る平均的平面から中央点が離れる距離を電算処理で判定し、中央点が離れる距離とメッシュ一辺の長さの比を計算して、 $\frac{1}{15}$ 以上浮く場合を凸、 $\frac{1}{15}$ 以上沈む場合を凹、それ以外を平衡とした。

## ⑨ 土壌深

調査地区内の調査によって、地形や斜面上の位置別の土壌深の大小傾向を求め、空中写真と地形図上に土壌深別の土壌図を作成した。土壌深は、日本に於ける崩壊危険地判定の研究結果などを参考に、50cm未満、50cm以上、1m未満、1m以上2m未満、2m以上の4階級に区分した。

## ⑩ 溪流有無

山腹崩壊以外に溪流沿いの溪岸侵食に起因する溪岸の崩壊を予想してメッシュ内に溪流があるかないかを調べた。溪流は、地形図に記入されている部分の他に、等高線の山側への曲り込みの距離が次の等高線との接線が作る谷巾より長い、いわゆる谷部の定義に該当する山腹凹部を含めて溪流と考えた。連続した溪流で部分的にこの定義では谷部に該当しない部分があっても、上流と下流が溪流の場合は連続して溪流と見なした。

## ③ 研究成果

### (a) 個々の要因別の崩壊面積率の傾向

調査対象地全域の面積774ha内に発生した崩壊地面積は、全部で87.8haで11.3%であった。調査した各要因ごとにそれぞれカテゴリー別の崩壊面積率を求めた結果は、表Ⅱ-27および図Ⅱ-31のようになった。なお、0.1ha以上の面積の崩壊がメッシュ内に存在するメッシュは331個で全メッシュ数の42.8%に相当する。

### ④ 地表被覆

表Ⅱ-27では、草地、二次林の崩壊面積率が小さく、2種の天然林はそれに比べて可成り大きな値を示す。通常の調査結果と異なる傾向を得たが、草地や二次林はその位置が利用し易い低地の緩傾斜に限定されていることが原因と考えられる。天然林では、大径木を含まない天然林が崩壊面積率が大きい。

表Ⅱ-27 要因別の崩壊面積率

地 表 被 覆		占有面積		崩壊面積	崩壊率
		ha	%	ha	%
1	草 地	68	8.8	2.9	4.2
2	二次林	69	8.9	3.2	4.6
3	大径木を含まない天然林	74	9.6	14.0	18.9
4	天然林	563	72.7	67.7	12.0

傾 斜		占有面積		崩壊面積	崩壊率
		ha	%	ha	%
1	21° 以下	330	42.6	20.1	6.1
2	22° ~ 25°	137	17.7	16.1	11.8
3	26° ~ 29°	110	14.2	17.5	15.9
4	30° ~ 33°	90	11.6	17.6	19.6
5	34° ~ 40°	81	10.5	14.7	18.1
6	41° 以上	26	3.4	1.8	6.9

方 位		占有面積		崩壊面積	崩壊率
		ha	%	ha	%
1	北	57	10.4	10.4	18.2
2	東	90	8.8	8.8	9.8
3	南	307	29.8	29.8	9.7
4	西	308	38.5	38.5	12.5
5	な し	12	0.5	0.3	2.5

局所地形	占有面積		崩壊面積	崩壊率
	ha	%	ha	%
1 山腹凸面	239	30.9	26.7	11.2
2 山腹平衡面	254	32.8	32.4	12.8
3 山腹凹面	281	36.3	28.7	10.2

土壌深	占有面積		崩壊面積	崩壊率
	ha	%	ha	%
1 50 cmまで	148	19.1	40.5	27.4
2 1 mまで	352	45.5	32.3	9.1
3 2 mまで	192	24.8	13.1	6.8
4 2 m以上	81	10.5	1.9	2.3

溪流有無	占有面積		崩壊面積	崩壊率
	ha	%	ha	%
1 無し	609	78.7	75.1	12.3
2 有り	164	21.2	12.7	7.7

#### ⑥ 傾斜

21度以下の傾斜では崩壊面積率が小さく傾斜が急になるとともに崩壊面積率は漸増するが、40度を越す斜面では崩壊面積率が著しく小さくなる。急傾斜な山地での傾斜と崩壊面積率の關係に良く見られる傾向である。

#### ⑦ 方位

調査区域内では最もメッシュ数が少ない北向きの方位の崩壊面積率が最大で、その他の方位では西向きがやや大きく、東と南では崩壊面積率がほとんど同じである。集中豪雨時の風向かあるいは破砕帯等の影響が考えられる。地形図上では北向斜面がやや急傾斜な傾向も見られる。

#### ⑧ 局所地形

山腹の凸、平衡、凹の局所地形別の崩壊面積率は、平衡面の崩壊面積率がやや大きく凹面がやや小さいがその差はわずかである。



⑥ 土壌深

土壌深が最も浅い50 cmまでが高い崩壊面積率を示す。その他の深さでは、土壌が深いほど崩壊面積率は小さい。

⑦ 溪流の有無

溪流無しメッシュの崩壊面積率が有りのメッシュに比べて大きい数値となった。沿岸崩壊が少いことが原因と考えられる。

(b) 重回帰分析の結果

崩壊に関する各種の要因と崩壊発生の総合的な因果関係を解析するため、数量化Ⅱ類による重回帰分析を合計8回行った結果、外的基準の階級区分及びカテゴリー区分が最適と思われた計算結果を採用した。外的基準は四階級で、最終的な要因のカテゴリー区分は傾斜を除いて表Ⅱ-27と同じである。

① 外的基準の階級区分

外的基準の階級区分は、要因のカテゴリー区分を変えた8回の試行錯誤的多変量重回帰分析の結果から、崩壊面積で1.崩壊なし、2.0.1ka以下、3.0.11~0.3ka、4.0.31ka以上の四階級とした。

② 要因分析

傾斜区分は表Ⅱ-28によった。方位のうち方位なしはメッシュ数が少ないので傾斜5度以下でもいずれかの方位に所属させた。

表Ⅱ-28 傾斜のカテゴリー区分

傾 斜	カテゴリー区分
25° 以下	1
26° ~29°	2
30° ~33°	3
34° ~40°	4
41° 以上	5

この計算結果によって得られた相関比は0.5059、カテゴリーウエイトは図Ⅱ-32のようであり、図Ⅱ-31の個々の要因別の崩壊面積率の傾向とはほぼ一致している。要因中で崩壊発生に最も影響度の高いのは土壌、傾斜であり、地表被覆では草地在マイナスのカテゴリーウエイトを持つのが目立つし、方位では北がプラスのカテゴリーウエイトを持つ点が目立つが、いずれも占有面積がその要因中最も小面積の区分であるため、強調され過ぎている可能性がある。特に、地表被覆は、占有面積の70%以上が天然

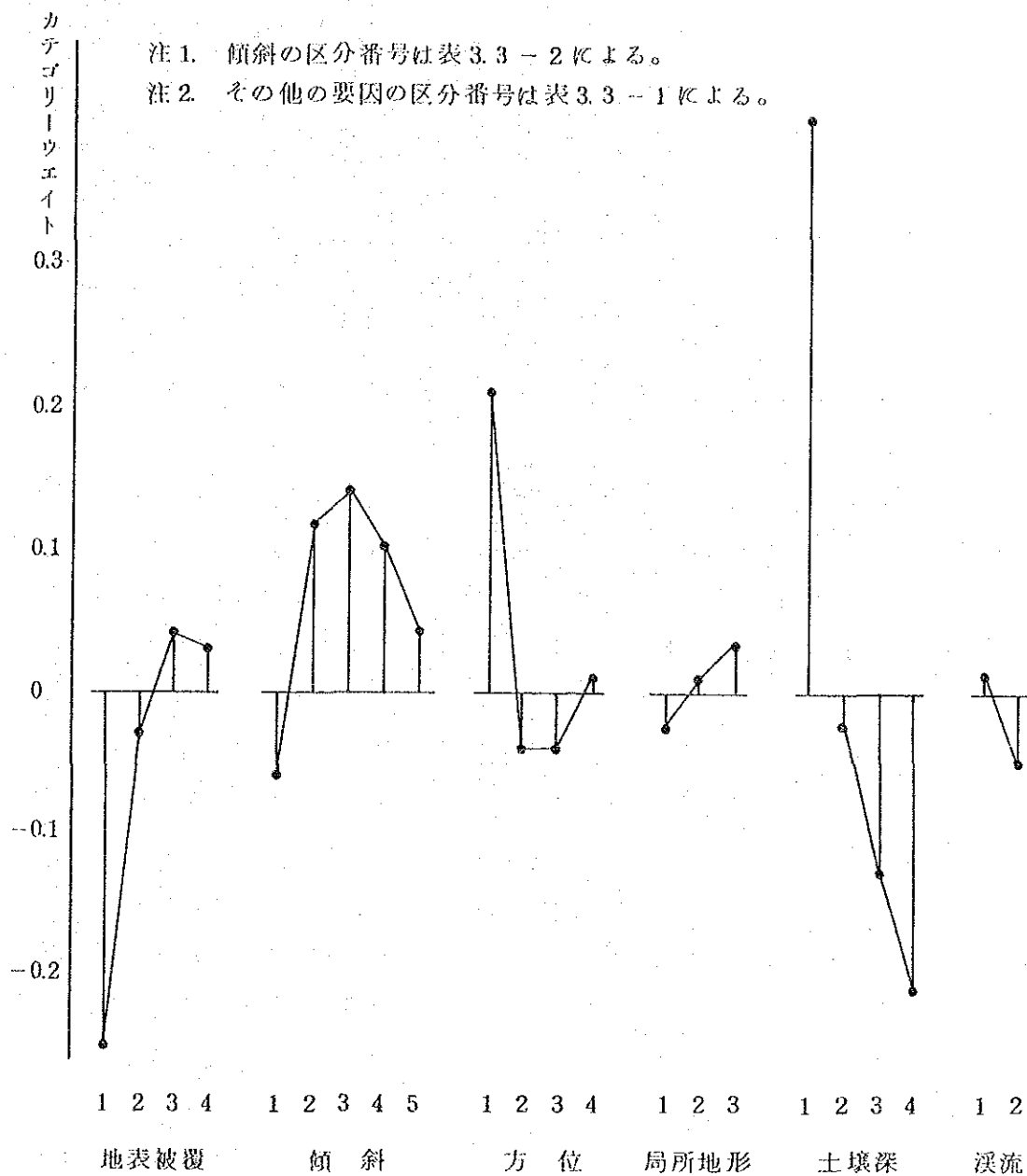


図 II - 3 2 重回帰分析による各要因のカテゴリーウェイト



であつて、他の区分は占有面積が小さいので、他の区分のカテゴリーウエイトは強調され易いと思われる。局所地形、溪流有無については、崩壊発生との関係が他の要因ほどはつきりしない。

#### ⑥ 要因分析結果の照合

崩壊発生要因の重回帰分析結果によつて得られたカテゴリー区分の方法と各区分のカテゴリーウエイトを用いて、調査地内の各メッシュが持つ崩壊の危険度を算出した。この場合、各メッシュが持つ危険度は前記の外的基準と同じ四階級で表示される。計算結果は図Ⅱ-33である。各メッシュの左側の数字が実際に発生した崩壊面積率を階級化した値、右の数字が危険度の推定値である。

#### (c) 総合考察

個々の要因別の崩壊面積割合の大小の傾向と、重回帰分析結果での各要因の崩壊面積率への寄与率つまりカテゴリーウエイトの大小の傾向とは、細部を除いてほぼ一致した。要因のうちでは、土壌深、傾斜が最も崩壊との関係が著しく、局所地形、溪流有無と崩壊の関係はあまり判然としない。斜面方位では北向斜面に崩壊が多い傾向が見られるが、破碎帯などの岩石構造などとの関係が考えられる。しかし、この点については今後の調査に待たねば断定出来ない。地表被覆の解析結果は、天然林に崩壊が多く、そのウエイトが大となり、森林の崩壊防止機能を裏付けることが出来なかつた。崩壊地が斜面上部の土壌の浅い部分に集中して発生し、これらの場所はほとんどが天然林であつたためと考えられる。土壌の浅い場所で天然林が崩壊を防止出来なかつたのは、基岩の花崗岩の表面が滑らかで林木の根系の基岩へのつながりが弱かつたものと考えられる。同じ天然林で大径木がない場合はわずかではあるが崩壊が多くなる傾向が伺われる。二次林はほとんどが緩傾斜の堆積地帯にあるため崩壊が少なかつたことが解析結果に影響を与えたと思われる。傾斜が極端に急になると崩壊面積率が小さくなるのは、急傾斜な山地によく見られる傾向であるが急傾斜面では過去の土壌の流亡や崩壊によつて大部分の土壌が失われて、崩壊するほどの土壌が残っていないことが原因である。今回の調査では34度以上のカテゴリーウエイトが減少したが、現地の傾斜は地形図上の傾斜より急であるのが通例であるから上記のような理由が原因であろう。土壌は最も崩壊発生との関係が深かつたが、崩壊発生当時の山地の雨量は日雨量で300mm前後と推測される。この雨量が土壌を飽和させたことが崩壊の原因で、浅い土壌とそれを飽和させるだけの雨量の組み合わせがカテゴリーウエイトを大きくしたものである。

重回帰分析結果で最も良かつた計算のカテゴリーウエイト値を用いて求めた各メッシュの崩壊危険度の推定値と実際の崩壊発生状態の比較図Ⅱ-33では、分析結果がおおむね妥当であることが確認された。

### (3) 今後の見通しと問題点

カラガタトゥーバ地区の崩壊危険地判定法の研究結果では、傾斜や斜面方位などの要因と崩壊の関係については、日本に於ける研究と同様な結果が得られた。しかし、土壌深や地表被覆と崩壊の関係には、カラガタトゥーバ地区特有の浅い基岩と滑らかな花崗岩の影響が見られた。また、局所地形や溪流の有無については明らかな傾向が把握出来なかった。地表被覆のうち、草地の崩壊面積率は予想以上に少なかったが、調査に用いた空中写真が崩壊発生後6年経過した時点での撮影であるため、牧場側によって崩壊地の復旧が行われた可能性がある。以上のように、要因解析結果から推定される崩壊関連要因と崩壊の関連のメカニズムについては、現地でのくわしい調査によって実証しておく必要があるが、崩壊発生後約20年経過した現在では大変困難である。地表被覆については、量的な要因表現が可能な知当りの蓄積を要因として使うことも試みる価値がある。一方、表Ⅱ-27に見られるように、各要因のカテゴリ区分のメッシュ数に差があり、極端にメッシュが少ない区分がある。今回は時間の制約で不可能であったが、このメッシュの少ない区分をなくすため、少なくとも2000haの地域を対象に調査解析を行う必要がある。以上の点を総合すると、今後のサンパウロ州に於ける崩壊危険地判定の研究は次の順序で進めることが妥当である。①今回の調査地に隣接する地域で同様な危険地判定調査を行い、今回の調査データとあわせて最初から重回帰分析をやり直す。②カラガタトゥーバ以外の地区での同様な調査解析を行う。③要因分析で得られた結果の現地での確認と実証。④サンパウロ州に於ける危険地判定基準の作成。

以上の手順のうち④については表Ⅱ-29(1)~29(2)に示す日本の山腹崩壊危険地判定基準が参考になるであろう。また、当分の間この基準をそのまま使用して危険地判定を行うことも考えられる。

表Ⅱ-29(1) 日本における崩壊危険地判定法

地況林況点数表

要因	点 数						摘 要
	区分 点数	0~40%	50%	60%	70~80%	90%~	
傾 斜	区分 点数	0~40% 0	50% 1.7	60% 1.9	70~80% 2.2	90%~ 2.1	地況・林況点数は各要因の該当点数を累計して求める。 (例) 傾 斜 60% 1.9 横断面形 180° 1.3 溪流有無 無 1.0 土層深 0.5m 1.9 樹 種 NL 1.2 樹齡(階級) 3 1.7 計(地況・林況点数)9.0
横断面形	区分 点数	0~150° 1.8	160~210° 1.3	220°~ 0.8	- -	- -	
溪流有無	区分 点数	有 2.6	無 1.0	- -	- -	- -	
土層深	区分 点数	0~0.5m 1.9	0.6~1.0m 1.0	1.1~2.0m 0.9	2.1m~ 0.7	- -	
樹 種	区分 点数	N 1.7	NL 1.2	L 1.1	- -	- -	
樹 齡 (年)	区分 点数	0~10 3.2	11~20 1.7	21~40 1.0	41~ 0.4	- -	

地質特性点数表

区 分	点数	摘 要
ア 破碎を受けた花崗岩類(貫入岩)及びマサイ	1.3	補正がある場合は、理由を明確にし、±0.1の範囲で補正する。
イ 第3紀・第4紀の火山堆積物(堆積岩と混在する地域を含む)	1.2	
ウ 中・古生層(古第3紀を含む)の破碎帯及び流れ盤	1.1	
エ 新第3紀堆積岩(凝灰岩を含む)の破碎帯及び流れ盤	1.1	
オ その他 補正(理由)	1.0	

災害感受性点数表

項 目	区 分	点数	摘 要
ア 当該危険地区の人家数	50戸以上	0.3	災害感受性点数は各項目の該当点数を累計して求める。 (例) 人家数 15戸 0.2 公共施設 有 0.2 農 地 2ha 0 計(災害感受性点数) 0.4 補正がある場合は、理由を明確にし±0.1の範囲で補正する。 (例) 過去に災害があれば+0.1補正する。
	10戸以上	0.2	
	5戸以上	0.1	
	4戸以下	0	
イ 当該危険地区の公共施設	有	0.2	
	無	0	
ウ 当該危険地区の農地	3ha以上	0.1	
	" 未満	0	
補正(理由)			

表Ⅱ-29(2) 日本に於ける崩壊危険地判定法

(1) 危険地区の決定及び危険度のランク付け

ア 危険地区の決定

危険地区の決定は、次の手順により行う。

- (ア) メッシュごとに自然条件点数を求める(4拾5入に小数点以下1位止め)。

$$\text{自然条件点数} = \text{地況林況点数} \times \text{地質特性点数}$$

地況林況点数は表1, 地質特性点数は表2に基づいてそれぞれ求める。

- (イ) 自然条件点数が8.5点以上のメッシュがある地区を危険地区とする。この場合危険地区の面積は、8.5点以上のメッシュの数によって表示する(8.5点以上のメッシュがn箇であれば、当該危険地区面積はnhaとする)。

ただし、自然条件点数が8.5を超えるメッシュがなくても、現に崩壊等があり、危険地区とすべきであると判断される場合には、当該地区を危険地区としてよい。

この場合の危険地区面積は、現に崩壊等が存在しているメッシュ数により表示する

(崩壊等があり危険と判断されるメッシュがn箇あれば危険地区面積はnhaとする)。

イ 危険地区の危険度のランク付け

危険度のランク付けは、次の手順により行う。

- (ア) 危険地区ごとに危険度点数を算出する(4拾5入に小数点以下1位止め)。

$$\text{危険度点数} = \text{自然条件点数} \times \text{8.5点以上のメッシュの平均値} \times (1 + \text{災害感受性点数})$$

ただし、自然条件点数が8.5を超えるメッシュがない危険地区については、8.5点を自然条件点数として計算する。

- (イ) 危険度は、危険度点数によりABCのランクに区分する。ただし、既設工事によって概成している地区は点数にかかわらず危険度Cとする。

ランク	危険度点数
A	150~
B	120~149
C	85~119