

空中写真の数値解析による
施業判定法

空中写真の数値解析による施業判定法

I 試験担当者

経 営 部	経営第二科長	中 島 巖
	航測研究室長	大 貫 仁 人
	航測研究室員	樋 渡 幸 男
	"	長谷川 訓 子
	"	高 橋 文 敏

II 試験目的

空中写真による森林観測項目を数値的に収集、処理、解析することにより、森林経営、管理計画に必要な各種情報の迅速、正確な抽出手法の開発を行なうとともに、既存データを効果的に組み込むことによって、森林施業法の判定を効率化する空中写真情報のシステムの利用技術を開発することを目的とした。

III 試験の経過

前橋営林局月夜野営林署管内、月夜野事業区を試験地として、昭和49年度より昭和51年度の3ケ年にわたって、各種資料の収集および空中写真判読ならびに、情報収集および解析用ソフトウェアシステムの開発を行なった。

1. 昭和49年度

昭和48年度撮影の赤外カラー写真(林業試験場撮影)および、パントリー写真(林野撮影)により、林相判読を行ない、また、現地調査点の選定と現地プロット調査を行なった。昭和49年11月11日 マルチスペクトル写真の撮影(縮尺2万分の1)を行なった。

2. 昭和50年度

マルチスペクトル写真の合成と、これを用いた林相判読を行ない、下層植生を含む森林調査を行なった。

3. 昭和51年度

写真情報収集および解析用ソフトウェアシステムの開発と情報収集および解析実行を行なった。

IV 試験成果の概要

1. 情報収集および解析のためのメッシュ方式データバンクの有効性。

空中写真をはじめとするリモートセンシング情報、地形、地質、土壌、土地利用などの地図情報および各種の統計情報を収集し、その中から森林施業に必要な情報を解析抽出するためには、情報解析を電子計算機主導的なものとし、しかも、各情報を属地的（空間座標が常に情報に附随していること）にする必要がある。このためには、現在のところ、メッシュ方式のデータバンク体系が最適な方法として利用できる。

すなわち、各種情報をメッシュマップ上に収集整理して、画像処理装置、電子計算機等で処理し、集計、比較、分類、選択、相関関係およびモデル計算等の分析、解析を行ない、森林施業に必要な情報を抽出することである。

この場合、情報の収集解析は単位メッシュ毎に行なわれるが、単位メッシュの大きさは、情報利用目的によって選択され変更されるものではあるが、その最適基準は総合された森林資源情報システムの中で位置づけられることが必要である。すなわち、地球全体レベル、ブロックレベル（東南アジアブロック、ヨーロッパブロック等）、国レベル（日本、米国等）、地域レベル（都道府県レベル、営林局レベル等）、局地レベル（事業区等）等の各レベル毎に共通したメッシュ系を持ち、それぞれのレベル間の関連づけが標準メッシュ等の設定により行なわれることにより、メッシュ方式のデータバンクは効率的かつ有機的に利用され、効果を発揮する。

メッシュは等形、等面積であるため、この方式により地域の実態を全域にわたり、等しい詳細度で、かつ同一の評価基準で把握することができ、総括すれば次のような利点があげられる。

- 1) 情報の整理が属地的に系統的に行なえる。
- 2) 情報を電子計算機で処理することができ、また、処理結果を直接図表示等ができる。
- 3) 地域現象相互の比較が数量的にできる。
- 4) 膨大な情報を、詳細、迅速かつ総合的に判定し、その詳細を把握することができ、さらには、各種モデル等の採用により、シミュレーション手法を容易に適応し、活用することができる。

これらのことは、最適な事業実行への指針を得る上で、極めて効果的である。

この報告では、上述のメッシュ方式データバンクの有効性を活用することにより、森林施業計画に必要な情報の収集解析の手法を明らかにした。

なお特に、リモートセンシング情報の利用にあたっては、現在のところ、メッシュ方式が最適である。（LANDSAT映像は80m×60mの画素=メッシュ単位をもつ。また、光学式電子式入力装置により、空中写真情報もメッシュ化される。）ことから、この技術の発達に期待されるところが大きい。

2. メッシュ方式データバンクへのデータ収集システムの開発

メッシュ方式のデータバンクを有効なものとするためには、メッシュデータをいかに経済的、効率的に収集するかが鍵となる。すなわち、空中写真情報および地図情報等をメッシュ情報に経済的効率的に変換するシステムを完成することである。

まず、このシステムには、インプット装置として、座標読取装置（読取精度0.2mm程度）と、アウトプット装置として、ラインプリンター（行と列の間隔が等しいものが使用し易い）およびXYプロッターから成る最小必要限度のハードウェアシステムが必要である。

写真および地図情報には、点情報、線情報（道路、構造線、水系等）および面情報（多角形閉曲線またはポリゴン情報により構成される、土壌図、地質図、林相図、林班界、行政界等の情報）がある。

ここでは、前述のハードウェアシステムを基準とした、データ収集のためのソフトウェアシステムを開発、作成した。その内容を体系化すると、図-1となる。

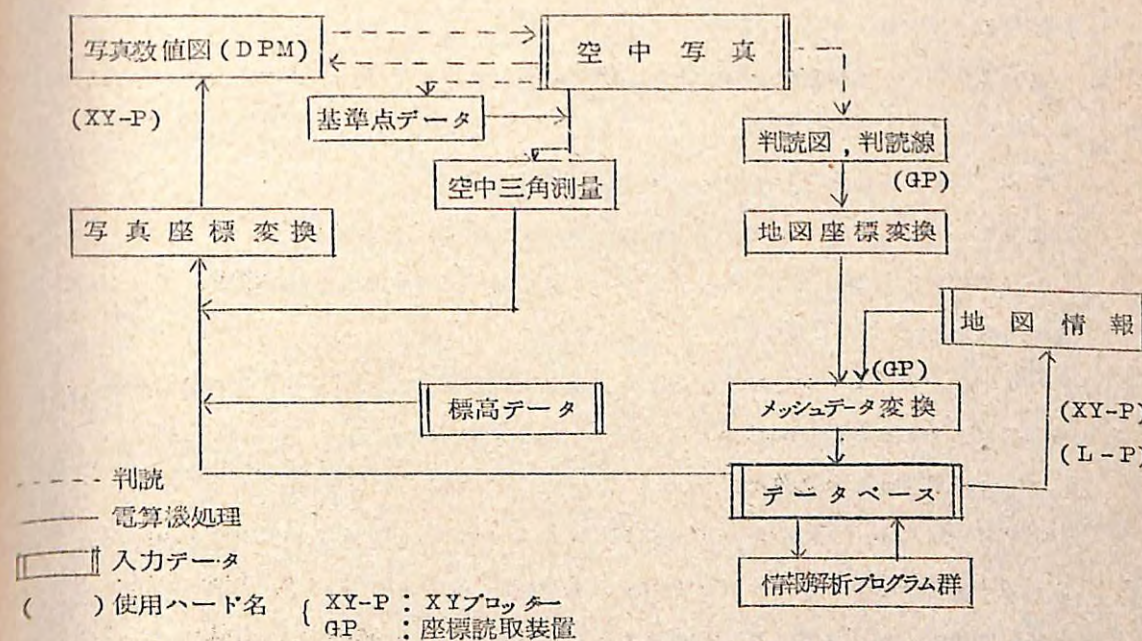


図-1 メッシュ方式データバンクへのデータ収集システム

また、個々のソフトウェアの関連は図-2の如くであり、その内容を端的に記述すると下記の通りである。

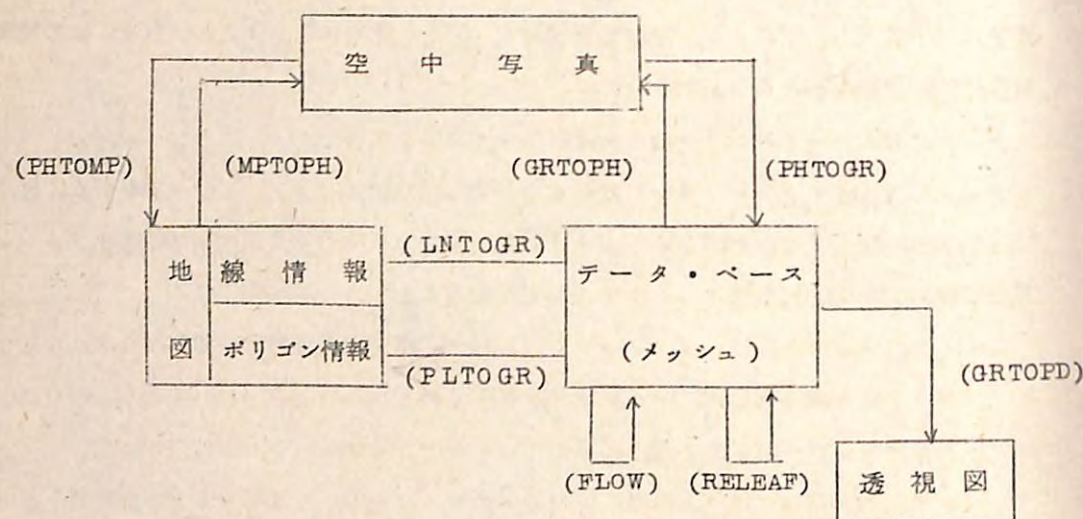


図-2 各種情報のオーバーレイ用ソフトウェアシステム

(1) ソフトウェアの説明

PHTOMP: 空中写真座標を地図座標に変換して、XYプロッターにより、与えられた縮尺の図面を作図する。

MPTOPH: 地図座標を空中写真座標に変換して、XYプロッターにより、写真にオーバーレイできる図面を作図する。

LNTOGR: 地図上の線情報をメッシュ情報に変換する。

PLTOGR: 地図上のポリゴン情報をメッシュ情報に変換する。

PHTOGR: 空中写真上の線情報およびポリゴン情報を地図座標変換後、メッシュ情報に変換する。

GRTOPH: メッシュ情報を(標高データを入力することにより)写真座標変換し、写真数値図(DPM, Digital Photo Map)を作成する。

(2) データ収集システムの作業

ここでシステム化されたデータ収集システムフローにより次のことが可能になった。

- 1) 空中写真情報は、空中写真上で判読作業を行ない、判読結果を空中写真上に明記するか、または、マイラベース等に移写すること(ただし、この場合は、判読写真の指標と

主点の位置を移しこむことが必要)だけの作業ですむ。

- 2) 地図情報は何らの加工も不必要である。

- 3) 写真数値図を媒介とすることにより、個々のメッシュが写真上で、どのような地況、地況および環境条件にあるかを確認ができること、および、計量不可能な情報等を写真で判読することにより、直ちにそれらはメッシュデータに変換できる。また、情報解析結果を写真を媒介とすることにより、その適否を検討し、作業効果の評価ができるため、情報解析を人間がその間に介在しながら行なえる試行錯誤の過程の採用が可能である。

(3) データ収集システムの精度

基本原図 5.0 0 0 分の 1 の地形図を基準として、空中三角測量用の基準点を選定し、2.5 倍伸し写真での空三基準点測定の成果は、表-1 となった。この数値は 50 m メッシュを適用した場合、簡易性および経済性からみて、十分な精度であると認められる。

表-1 空中三角測量基準点測定精度

写真番号	写 真 上				地 上			
	X (mm)		Y (mm)		X (m)		Y (m)	
	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差
C10-4	0.02	0.83	0.00	0.67	-0.26	6.36	-0.03	5.38
C10-5	-0.01	0.80	-0.01	0.82	0.12	6.56	0.08	6.51
C10-6	0.02	1.06	0.00	0.72	-0.38	8.96	0.00	5.09
C11-10	0.02	0.45	-0.02	1.91	-0.24	3.07	0.29	14.25
C11-11	-0.01	0.69	-0.01	1.46	-0.08	4.96	0.22	10.99
C11-12	-0.02	1.62	-0.01	1.54	0.37	13.35	0.10	12.77
C11-13	0.02	1.24	0.02	1.62	-0.40	10.18	-0.31	13.37
C11-14	0.01	1.92	-0.01	1.39	-0.11	15.67	0.10	11.45

3. 資源情報システムでの森林資源情報解析手法例(林地面の崩壊指標図作成)

メッシュ森林資源情報の活用法には、いろいろの課題が考えられる。例えば、蓄積量、成長量および地位指数推定には、図-3に示す手法により、空中写真林分材積表や地位指数ス

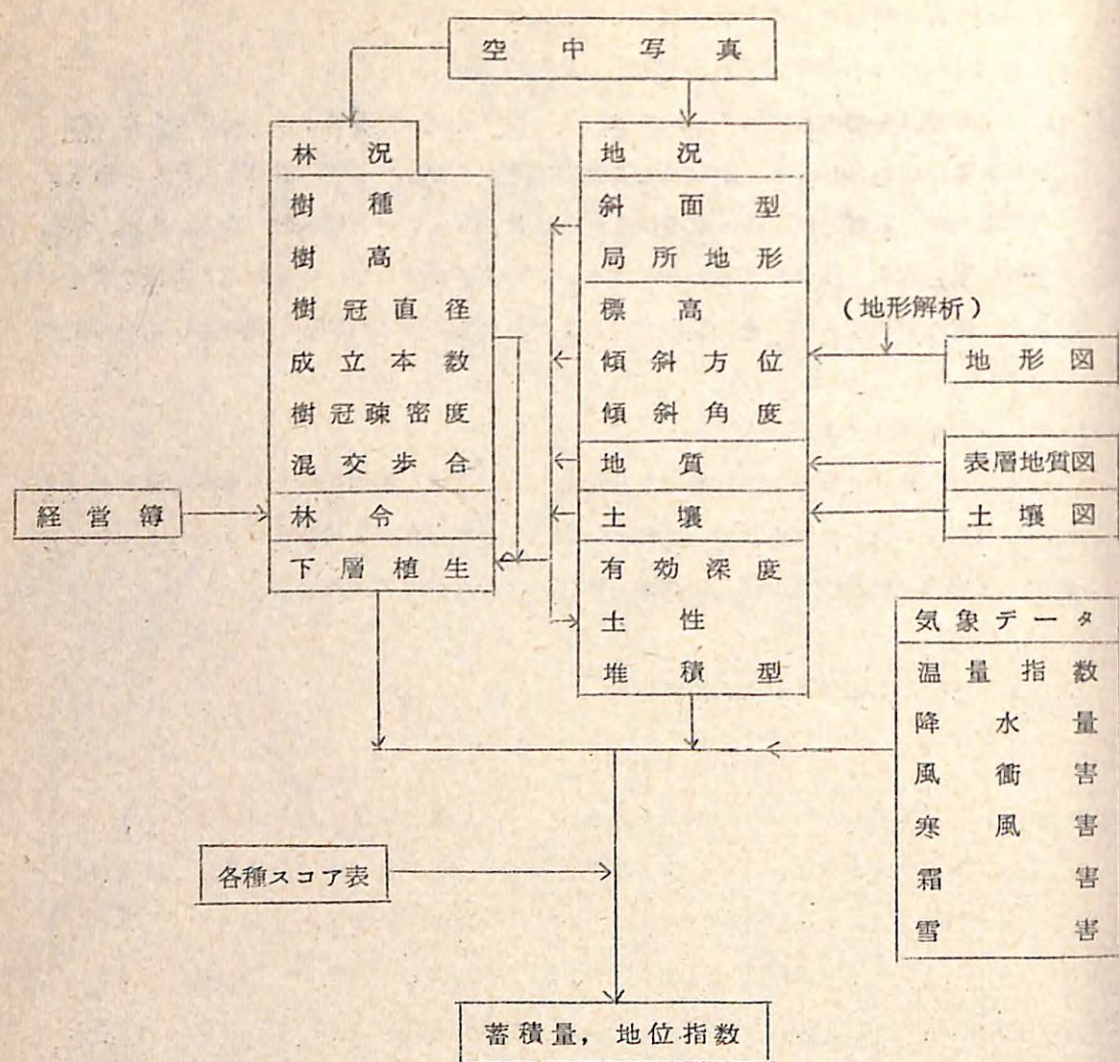


図-3 メッシュ情報に対する各種スコア活用例

コア表の適用による電算機処理が可能であり、その結果がまた資源情報として使用され得る。ただし、この場合、推定に必要な因子に関する情報を蓄積しておく必要がある。

この報告では、メッシュ森林資源情報システムの利用例として、林地面の安定指標ともいえる崩壊指標図作成を取りあげてとりまとめた。

森林の伐採によって生起する最大の危険性は、地表面裸出に起因する表面侵食である。この危険を最小限におさえるべく、施業を実行するためには、伐採実施の以前に林地面が新た

に裸出された場合に、どのような表面侵食を起し、それが、対象林地および下流域にどのような影響を与えるかの情報を把握する必要がある。このためには、個々の分野における既応の研究成果を十分に踏まえた上での原始情報の加工および解析が必要である。前に記したごとく、このような情報解析を属地的に、また、電算機主導的に行なうためには、このメッシュ方式データベースが最も有効に利用できるシステムである。

(1) 林地面崩壊指標図作成手法

表面侵食は、地形、地質（土壌）、気象、および植生型の諸条件により左右され、表面侵食量は次式によって、ある程度のモデル化が行なわれている。

$$E \propto aP + bT - cR + d$$

$$E \propto FR S^a L^b P^c$$

ただし E：表面侵食量

P：年間降雨量

T：起伏量

R：森林率（植生被覆率）

S：傾斜角

L：傾斜長

F：土壌条件により与えられる侵食係数

ここでは、個々のメッシュ面についての表面侵食について、モデル的に取扱うことを考慮し、図-4のフローチャートに示す解析を実施した。

(2) データベースの作成

単位メッシュの大きさは、対象にしようとする地域の大きさや、メッシュ使用目的により変化する。しかし、森林地帯で、しかも、施業に関連した情報を取扱うためには、施業単位面積や地形条件により、おのずと大きさの範囲が制約されてくる。また、全国森林資源情報システム、地域システム等に用いられる標準メッシュとの関連についても、単位メッシュ設定にあたっては配慮しなければならない。ここでは、標準メッシュには無関係に対象森林の地況、林況を勘案して、50m×50mのメッシュを選定した。

(2)-1 対象地域：月夜野事業区相俣担当区、28、29、30、31林班 1,155ha

の2流域を選定した。データベースの大きさは、100×120個のメッシュである。

(2)-2 50mメッシュの作成：5,000分の1の基本原図上に、1cmのメッシュをかぶせ、メッシュ交点の標高値を基本原図上で求めた。（電算機等高線図（図-5）参照）

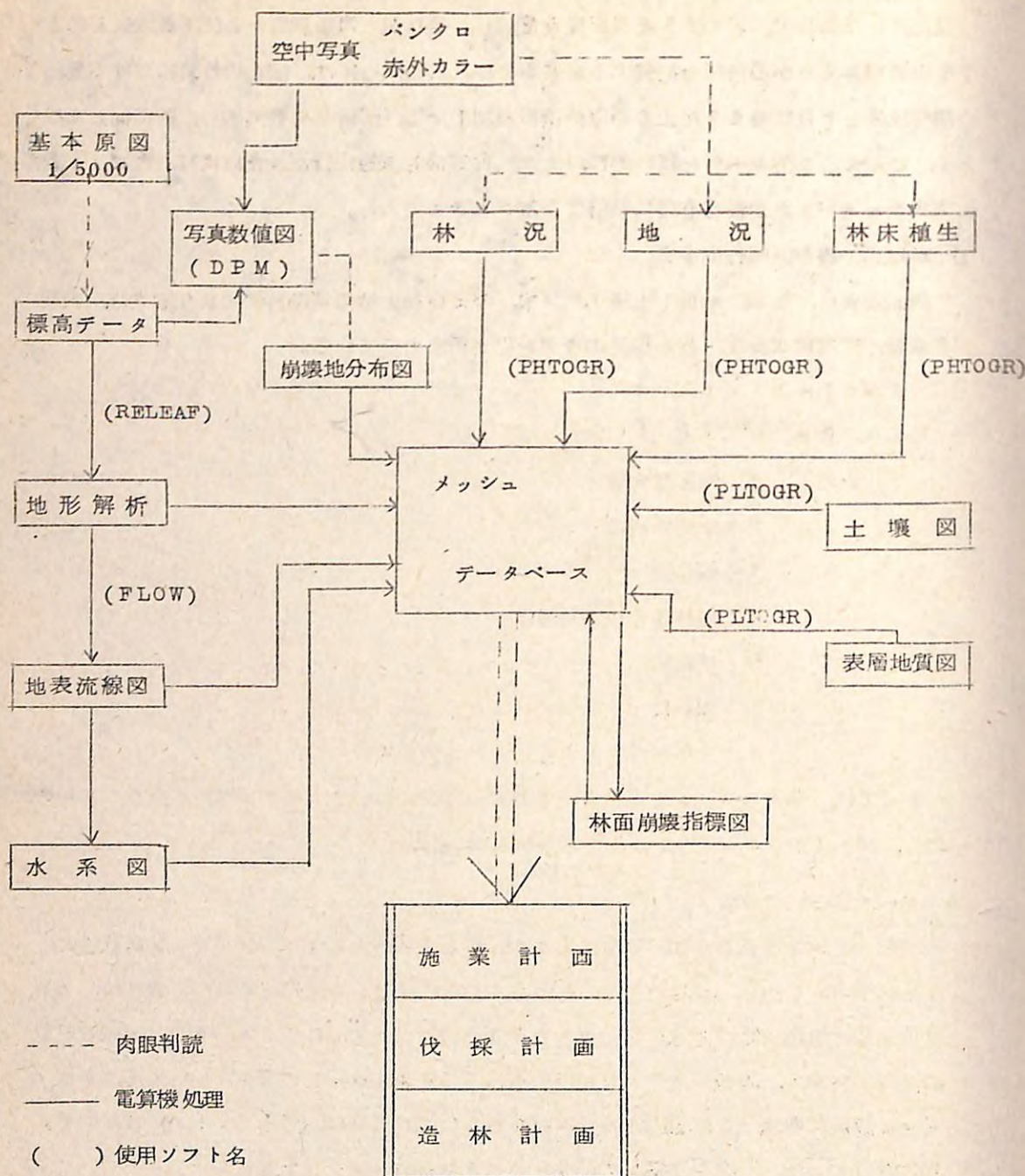


図-4 林面崩壊指標図作成フローチャート

(3) 入力情報

(3)-1 地図情報

- 1) 表層地質：前橋営林局土壌調査報告書 月夜野事業区土壌図（昭和39年8月）
20,000分の1の地質図を<PLTOGR>で入力した。この報告書で記載のない範囲は、空中写真判読により補った。（図-6参照）
- ロ）土壌：上記の土壌図を<PLTOGR>で入力した。記載範囲外は、空中写真により地形と林況を勘案して判読した。（図-7参照）

(3)-2 空中写真情報

- 1) 林型区分および蓄積推定：林分の蓄積推定は、空中写真判読による林型区分と、これまでの現地調査資料とを利用しておこなった。今回の蓄積推定の調査対象区域は月夜野事業区、相模担当区の28, 29, 30, 31林班1,155haについてであるが、天然林については、これまで累積した現地調査資料を活用すること、推定値が月夜野事業区全域に適用できるような基準化を考慮した。すなわち、林型区分は施業を前提とした区分で、相模担当区および猿ヶ京担当区の一部を合わせた約9,000haの林分を、パンクロ写真、赤外カラー写真、マルチスペクトル写真の写真立体観測により全域にわたり区分し、その区分類型化結果を現地確認調査情報に適用することにより、汎用性をもたせうるようにした。

使用した写真は、主として1973年林野撮影の2.5倍引伸しのものである。同時に林業試験場撮影の赤外カラー写真およびマルチスペクトル写真を、樹種判読、ササの分布判読等に補助的に用いた。

なお、ここで用いた写真の諸元は表-2に掲げたとおりである。

写真判読による林型区分項目は、

- i) 樹種群と林況等（ブナ、ブナ・ミズナラ、モミ、ネズコ、二次林、沢筋の二次林、スギ、ヒノキ、カラマツ、アカマツ、それらの混交林、造林（新植）地、矮林、草地、伐採跡地、崩壊地、無立木地、その他、に分類）
- ii) 疎密度（散：1，疎：2，中：3，密：4に分類）
- iii) 樹高（林分高）階（～9m：1，10～17m：2，18m以上：3に分類）
- iv) 樹冠直径（小：1，大：2に分類）であり、立体視により判別した。

同時に、これまで月夜野事業区内で収集した現地標本点資料を、各林型ごとに層化し、それらの材積測定値の平均化により、各層別ha当り材積を算出推定した。これ

表-2 使用写真の諸元

	撮影地区名	コース 番 号	撮影年月日	使用カメラ	焦点距離 ^{mm}	撮影高度 ^m	縮 尺	撮影計 画機関
パシクロ	シマ 山673 第2 アガツマ ガワ	C11- 10~ 14	1973 5.13	ウィルド RC	209.92	5.360	約1/8,000 (2.5倍伸し)	林野庁
	シマ 山673 第2 アガツマ ガワ	C10- 4~6	1973 10.30	ウィルド RC	209.90	5.360	約1/8,000 (2.5倍伸し)	
赤外カラ ー	月 夜 野	C1~ C9	1973 10.30~ 31	ツァイス RMK30/23	304.99	4.400	約1/10,000 (密 着)	林業試 験場
	月 夜 野	BC.1	1973~ 11.4	ツァイス RMK30/23	305.39	3.050	約1/5,000 (密 着)	
マルチ バンド	月 夜 野		1974 10.10	I ² S MK1	150.	2.500	約1/10,000	林業試 験場
	月 夜 野	BO.1	1974 10.21	I ² S MK1	150.	4.350	約1/20,000	

らを基礎として各林型区分毎の蓄積級の適応値を定めた。

ブナ、ミズナラ等の天然林および、二次林については、現地調査資料を利用したが、データのほとんどないモミの天然林については立体観測の結果、妥当と思われるha当り材積を、既往の結果や材積表、収穫表等を参照として与えた。

スギ、ヒノキ、カラマツ、アカマツ、それらの混交林等の人工林については、現地調査資料がほとんどないため、林令と立体観測による疎密度および樹高階を考慮し、この地方での収穫表の材積を適用して蓄積級を設定した。

以上により、表-3の林型区分と蓄積推定の表としてとりまとめた。林型区分図、樹種区分図、蓄積級区分図を図-8、図-9、図-10に示す。

ロ) 下層植生(ササ密度)図の作成: 下層植生の変化と林分構造および地形、土壌因子等との関係をみるために、本調査ではテストエリアにおいて、赤外カラー写真で判読可能であったササの植生密度区分を基準として、全域の分布図を作成した。

表-3 林型区分と蓄積推定一覧表

林 型 区 分	林 型 記 号	材積 ^{m³} /ha	コンピュ ー タ 記 号
ブ ナ 天 然 林	B 4 2 2	4 1 5	B B
	B 4 2 1		B 1
	B 3 3 2		B 2
	B 3 2 2	2 4 2	B 3
	B 3 2 1		B 4
	B 3 1 1	1 3 9	B 5
	B 2 2 2		B 6
	B 2 2 1		B 7
	B 2 1 1	7 2	B 8
	B 1 2 2		B 9
	B 1 2 1		B 0
ブ ナ・ミ ズ ナ ラ 林	B M 4 2 2	3 9 9	M M
	B M 3 3 2		M 1
	B M 3 2 2	2 3 0	M 2
二 次 林 (沢 筋 を 除 く)	Y 4 3 2	2 7 6	Y Y
	Y 4 2 2		Y 1
	Y 4 2 1		Y 2
	Y 2 3 1		Y 3
	Y 3 2 3	1 4 3	Y 4
	Y 3 2 2		Y 5
	Y 3 2 1		Y 6
	Y 2 2 2		Y 7
	Y 4 1 1	7 2	Y 8
	Y 3 1 1		Y 9
	Y 2 1 1		Y 0
	Y 1 2 2		Y +
	Y 1 2 1		Y -
沢 筋 の 二 次 林	Y W 4 2 2	2 0 5	W W
	Y W 2 3 2		W 1
	Y W 3 2 2	9 9	W 2

林型区分	林型記号	材積 m^3/ha	コンピュータ 記号
モミ林	A	400	A
ネズコ林	T	415	T
スギ	S422	250	SS
	S322		S1
	S321		S2
	S221	200	S3
	S311	70	S4
ヒノキ	H422	200	HH
	H421		H1
	H322		H2
カラマツ	K421	120	KK
	K411	50	K1
	K311		K2
	K211		K3
アカマツ	P411	70	PP
	P311		P1
アカマツ・モミ	PA422	200	P2
アカマツ・スギ	PS411	70	P3
カラマツ造林地	KZ	—	KZ
アカマツスギ造林地	PSZ	—	QZ
アカマツ・カラマツ造林地	PKZ	—	RZ
造林地	Z	—	Z
矮林	C	—	C
草地	G	—	G
伐採跡地	N	—	N
崩壊地	D	—	D
無立木地	O	—	O
その他(貸地等)	E	—	E

注 林相記号は、樹種、疎密度、樹高級、樹冠直径の順で示してある。

樹種	B	ブナ天然林
	BM	ブナ・ミズナラ林
	Y	二次林(沢筋を除く)
	YW	沢筋の二次林
	A	モミ林
	T	ネズコ林
	S	スギ林
	H	ヒノキ林
	K	カラマツ林
	P	アカマツ林
	PA	アカマツ・モミ林
	PS	アカマツ・スギ林
	Z	造林地
	KZ	カラマツ造林地
	PSZ	アカマツ・スギ造林地
	PKZ	アカマツ・カラマツ造林地
その他の区分	C	矮林
	G	草地
	N	伐採跡地
	D	崩壊地
	O	無立木地
	E	その他(貸地等)
疎密度	4:密, 3:中, 2:疎, 1:散	
樹高級	3:18m以上, 2:10~17m, 1:9m以下	
樹冠直径	2:大, 1:小	

以下の林分収獲表を参考にした。

- スギ：北関東，阿武隈地方スギ林 地位 下
 ヒノキ：関東地方ヒノキ林 地位 下
 カラマツ：信州地方カラマツ林 地位 III
 アカマツ：磐城地方アカマツ林 地位 下

ササの植生区分は、密生地(3)、疎生地(2)、無植生地(1)の3段階に判別した。赤外カラー写真上に現われた現地確認調査点でのササ密生地の色調はサーモンピンク(Uni 60 colors 514)で、疎生地の色調はオレンジ(Uni 60 colors 506)であり、その境界判別は比較的容易であった。ササ疎生地と無植生地との境界周辺は、上層林分が密になり、また斜面による陰影のために不明瞭な箇所がしばしばみられた。

最終的なササ密度区分線の設定は、地上調査プロットの地床植生調査資料を、上層林分構造および地形、標高を考慮しつつ写真像と対応させてチェックすることにより確定した。なお、今回の現地確認標本点からは外れていたが、11月4日(落葉後)撮影の赤外カラー写真では、現地調査は全く不要ほど明瞭なササの分布を観察することができる。ササの密度分布図を図-11に示す。

ハ) 崩壊地分布: 前記パナクロ写真および赤外カラー写真の判読により、前記の写真数値図上に、メッシュ毎に崩壊の存否を記入し、崩壊地メッシュ図を作成した。(図-12を参照)

(4) 加工情報

(4)-1 地形情報(傾斜方位、傾斜角): メッシュの4隅の交点の標高値により傾斜面を作成し、傾斜方位は、②式により、傾斜角は、①式により求めた。(図-13を参照)

この実行は、プログラム<RELEASE>により行なわれる。(図-14、図-15を参照)

(4)-2 地表流線図: (4)-1の地形情報と標高データから、メッシュを通過する雨水量を求めるもので、プログラム<FLOW>により実行される。この場合、メッシュ毎の流水抵抗係数=流過係数(地表植生、土壌、傾斜角)や、土壌浸透係数等を入力することにより、モデル地域によるシュミレーション手法により、現実にも似た地表流を推定することもできるようにしてある。プログラム<FLOW>の内容をフローチャートにすると図-16となる。また、空中写真および地形図より求めた沢の分布は、図-17である。

(5) 林地崩壊指標計算

森林地帯に降った雨は、山腹斜面の最急勾配方向に沿って、沢あるいは河に到達する。したがって、山腹面に降った雨が流れる経路すなわち流線は、地形曲面の最急勾配方向を連続して追求していくことにより求められる。

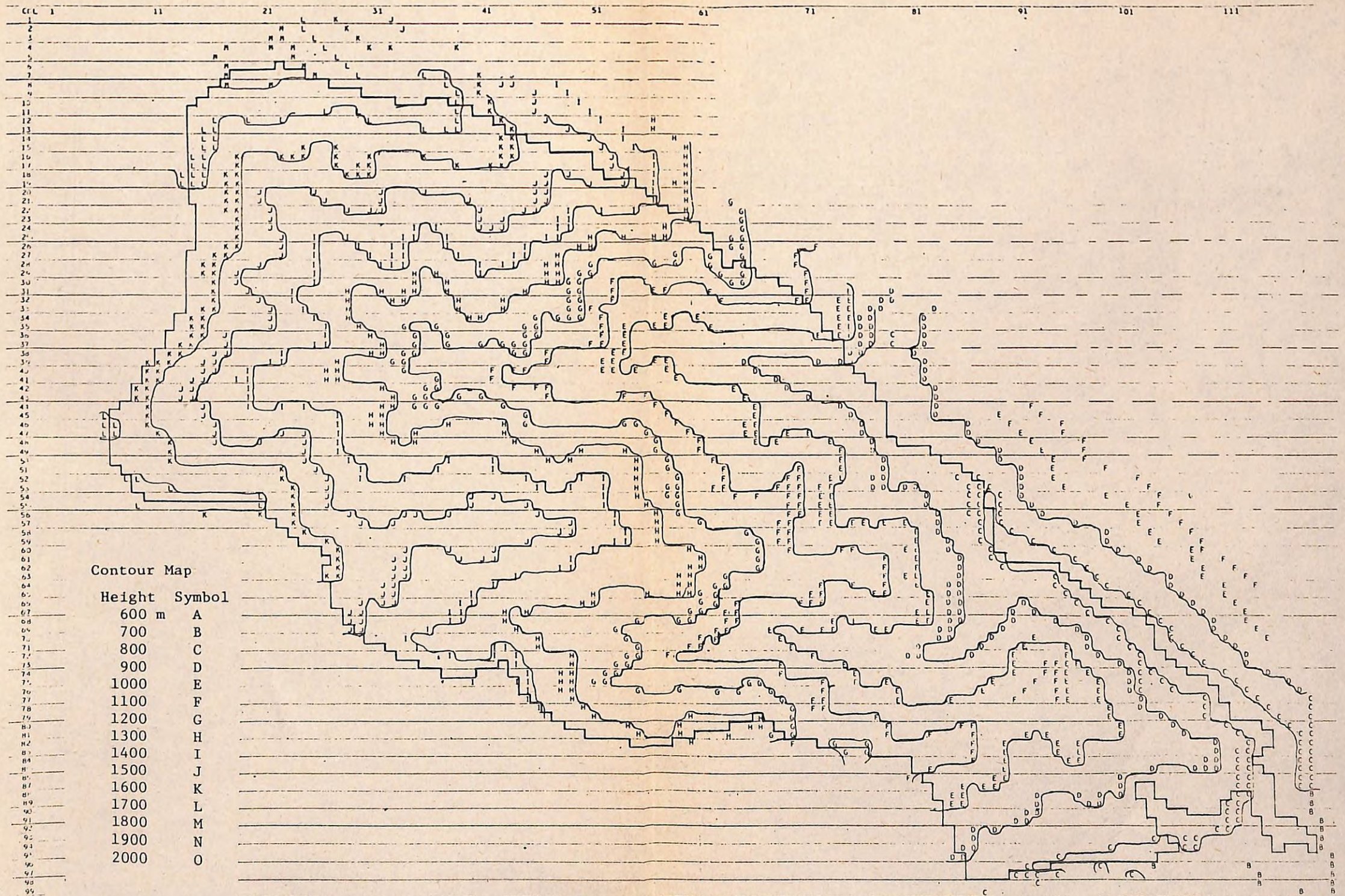


図5 電算機等高線図

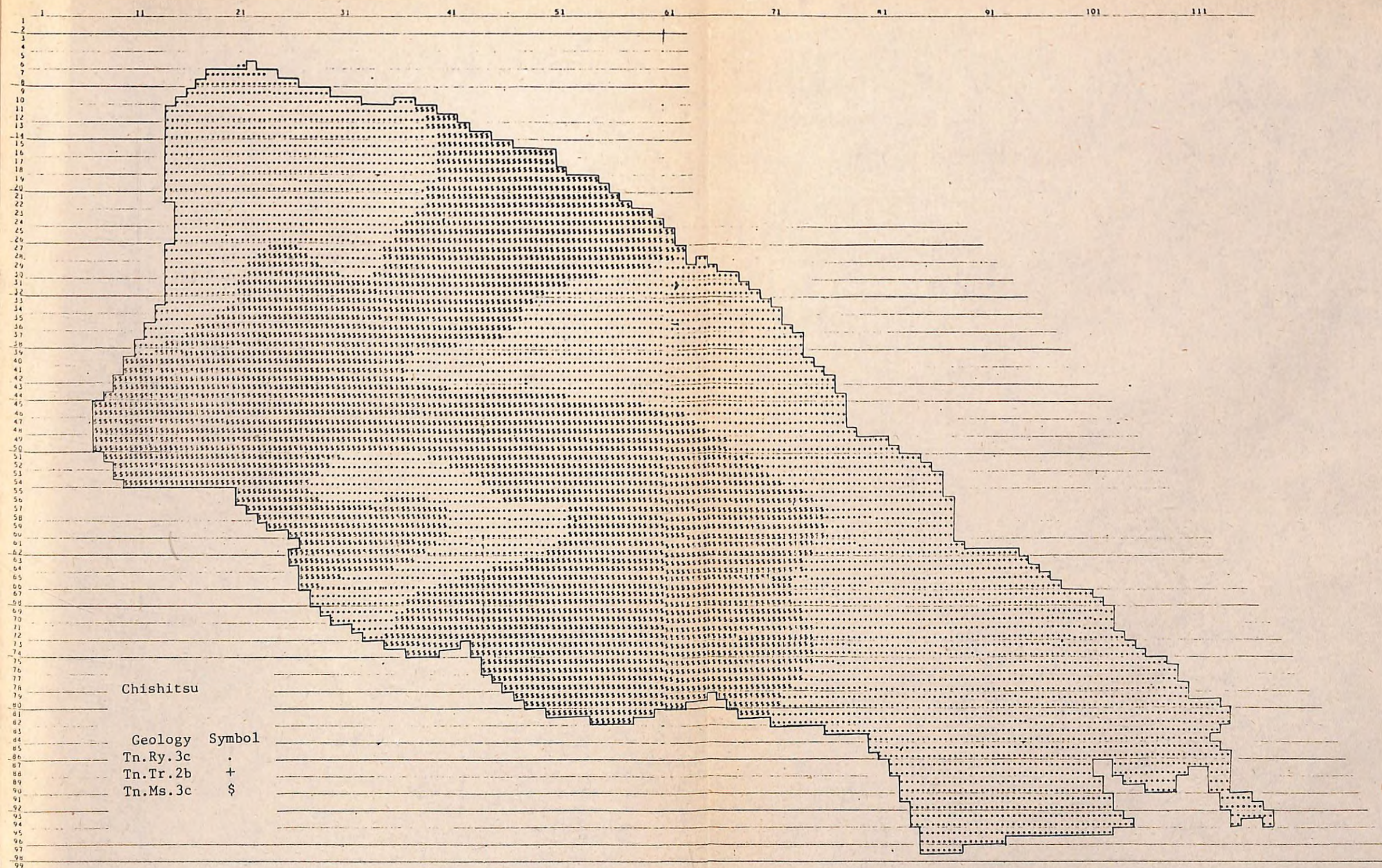


図6 表層地質図

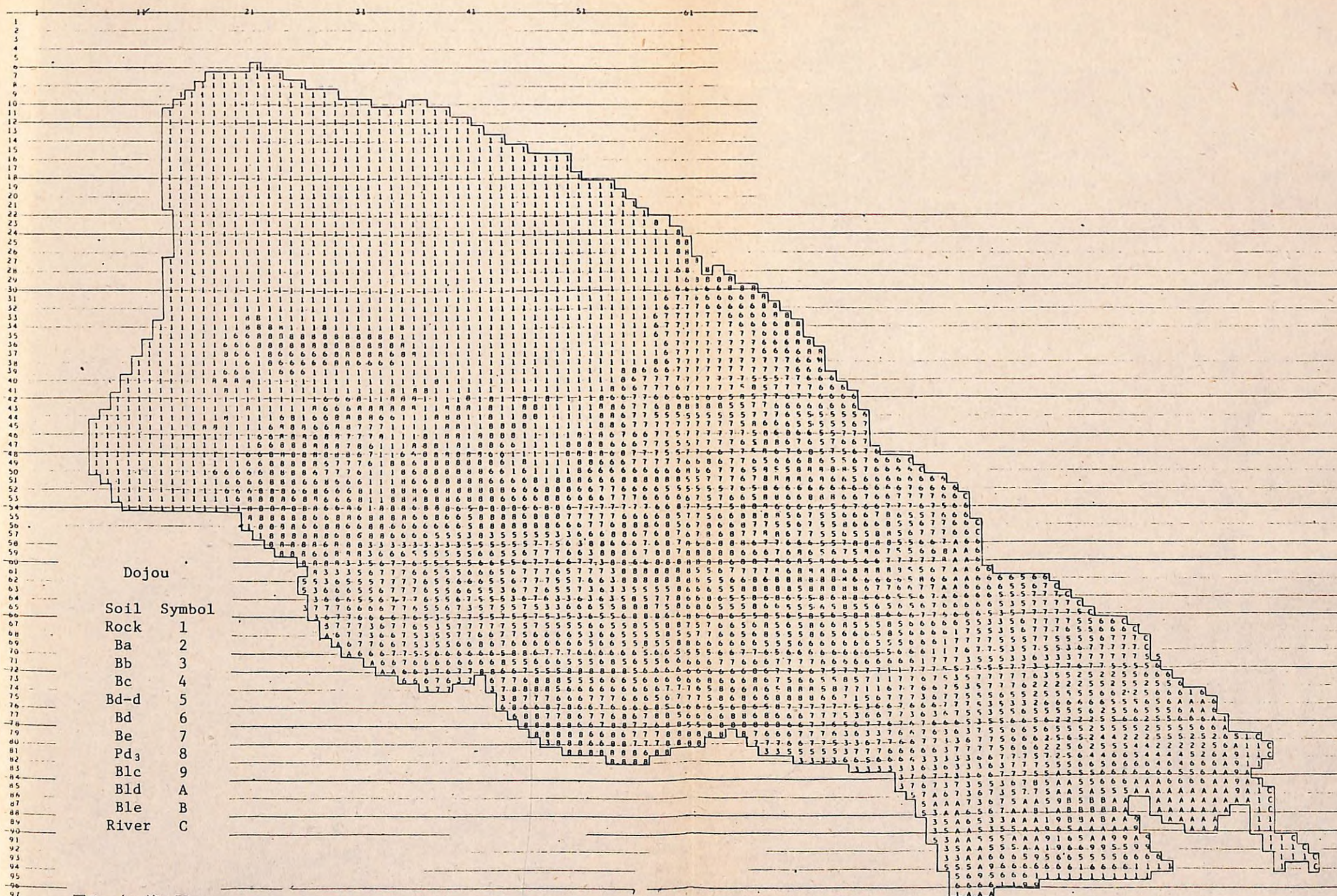
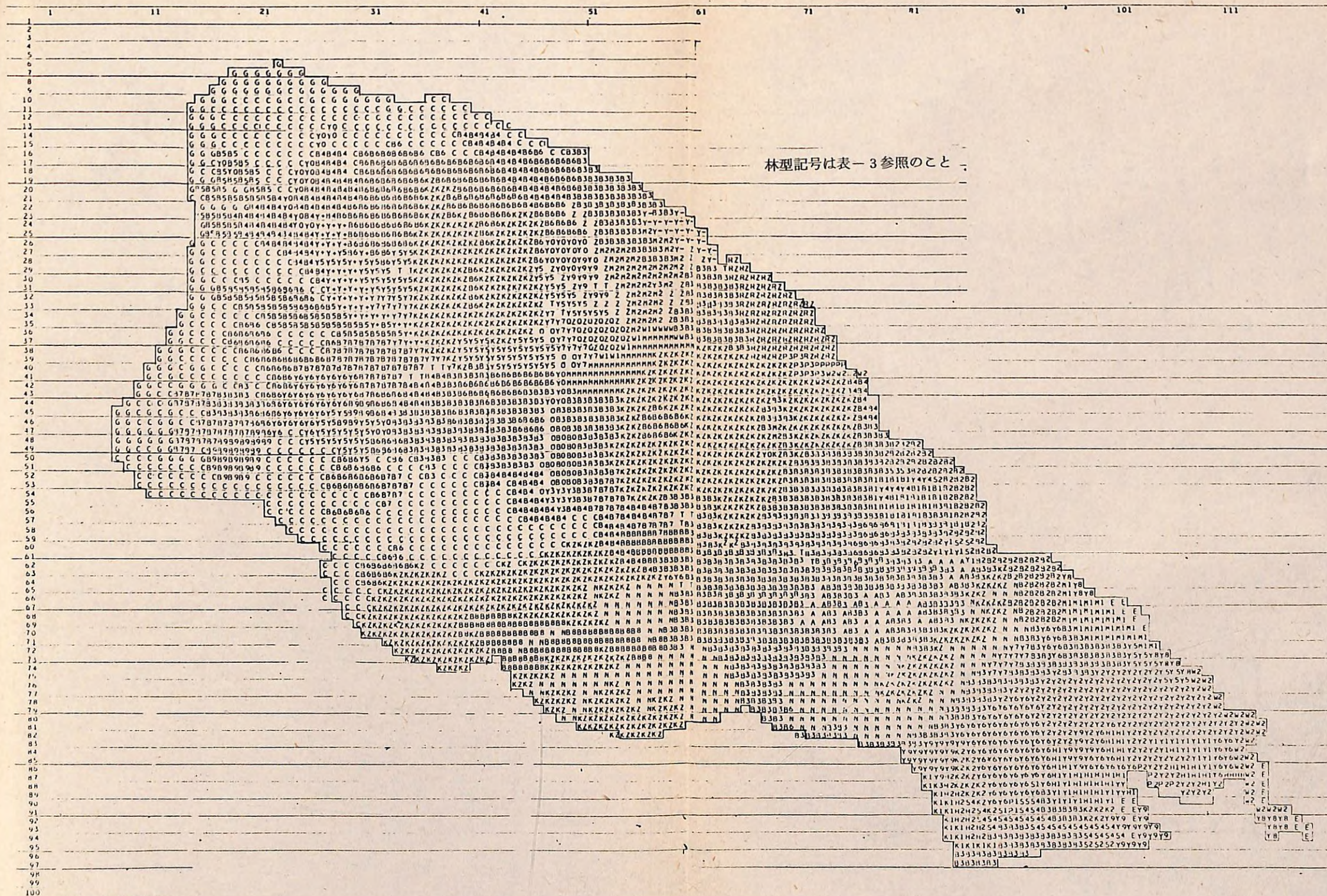


图7 土壤图



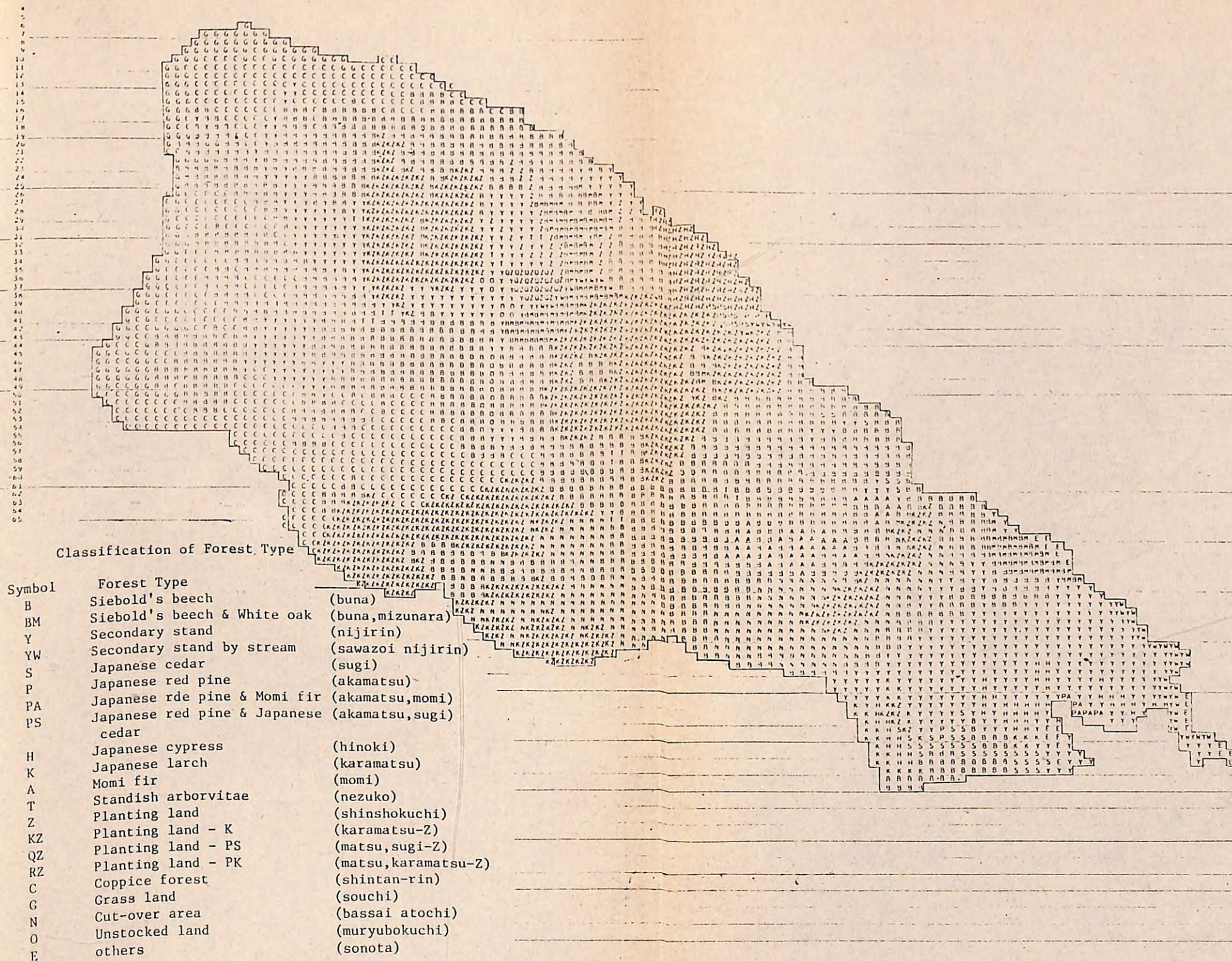


図9 樹種区分図



Zaiseki kubun

Volume

m³

Symbol

0

.

~ 50

-

~ 100

+

~ 150

I

~ 200

X

~ 250

M

~ 400

\$

400 ~

*

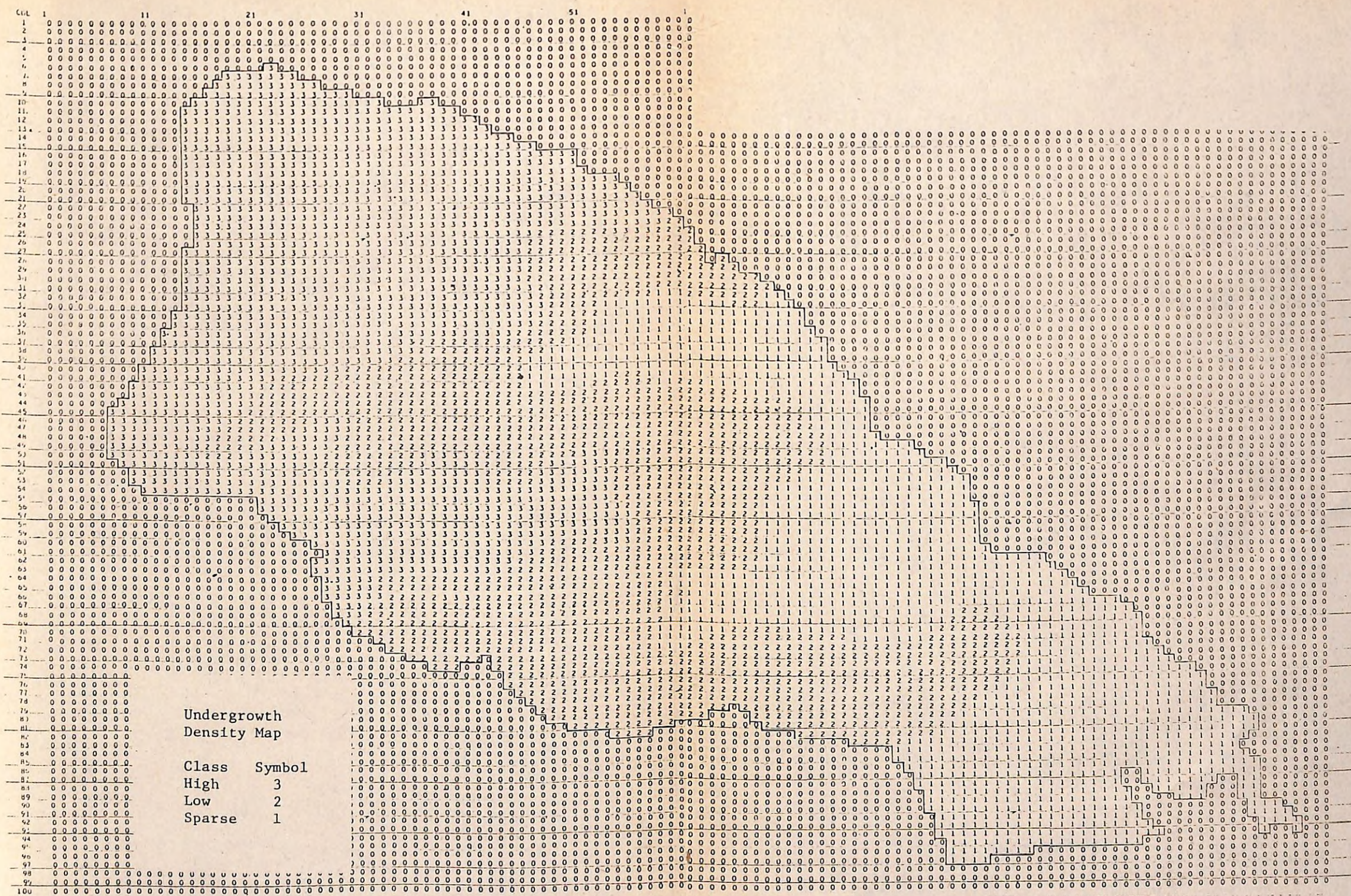


図 1 1 ササ密度分布図

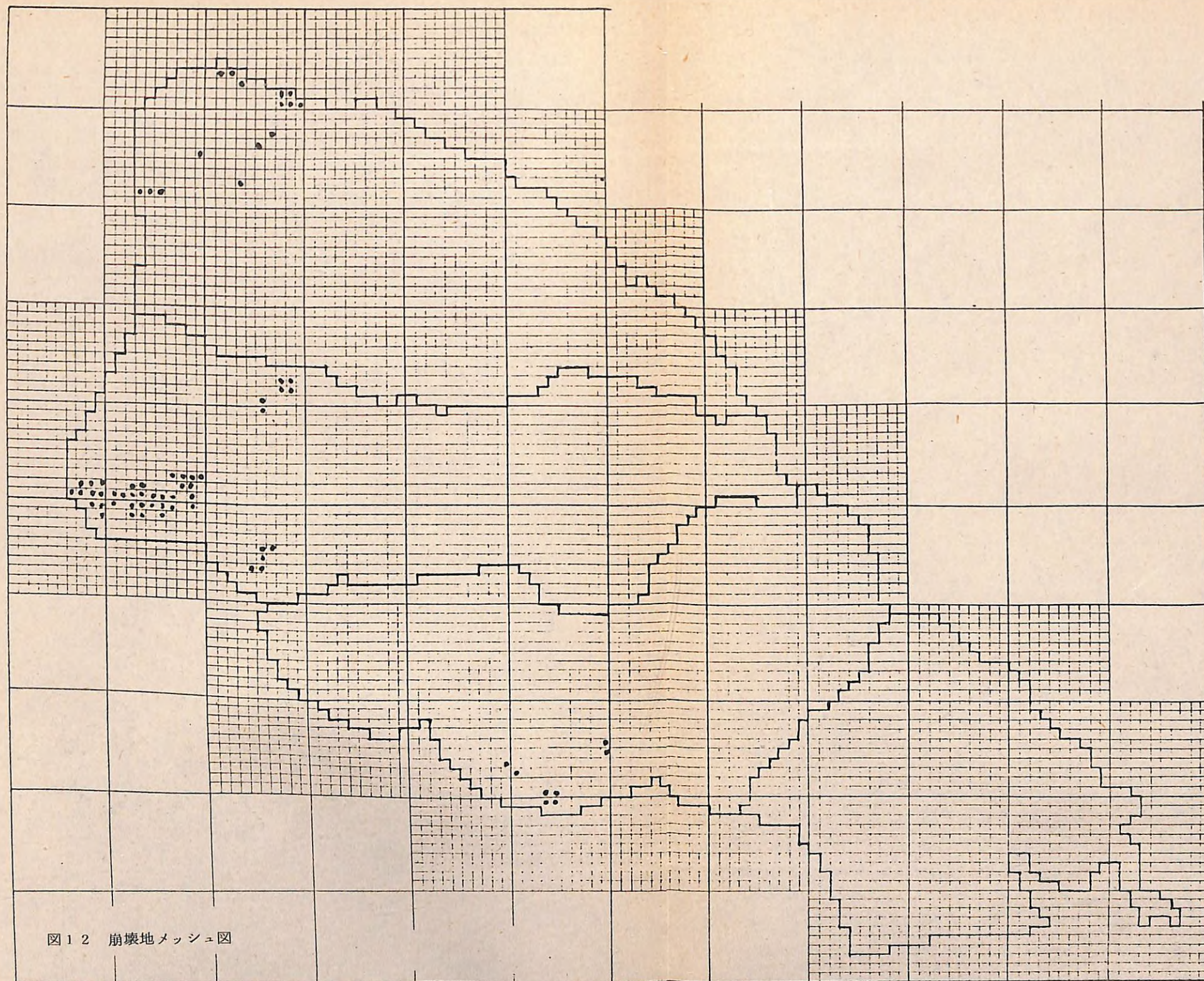
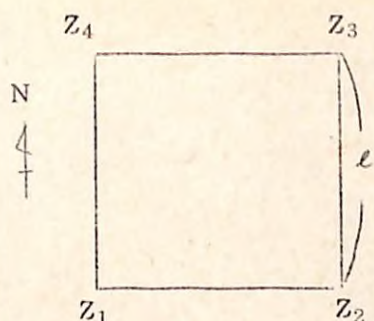
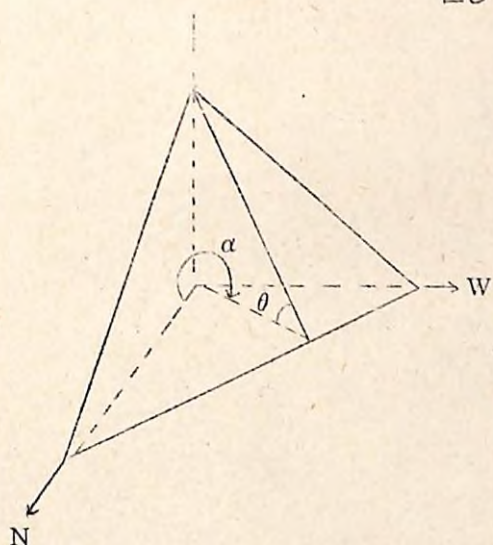


図12 崩壊地メッシュ図



$$\text{傾斜角 } \cos \theta = \frac{1}{\sqrt{a^2 + b^2 + 1}} \quad (1)$$

$$\text{方位 } \cos \alpha = \frac{1 \cdot b}{\sqrt{a^2 + b^2}} \quad (2)$$



$$\text{但し } \begin{cases} a = \frac{(Z_1 + Z_4) - (Z_2 + Z_3)}{2 \cdot l} \\ b = \frac{(Z_1 + Z_2) - (Z_3 + Z_4)}{2 \cdot l} \end{cases}$$

$$\begin{cases} Z_i : \text{標高} \\ l : \text{メッシュ間隔} \end{cases}$$

図-13 地形解析

本研究では、それぞれのメッシュに降った雨が沢に流入するまでの、各メッシュを通過する表面流量を計算し、地表流線図（図-18）として表示した。ここでは、流線に沿って流れる雨水の運動エネルギーが、山地面の表面侵食力となって現われる。山腹斜面を流れる雨水の運動は次のような特性をもつ。

- 1) 雨水の量が多いとき、流速は大きくなる。
- 2) 地形勾配が大きいと、流速は大きくなる。
- 3) 雨水は流速に比例した摩擦抵抗をうける。
- 4) 雨水は地表の状態すなわち下層植生や土壌条件および地質により流速に影響を与える係数、すなわち、流過係数をもつ。

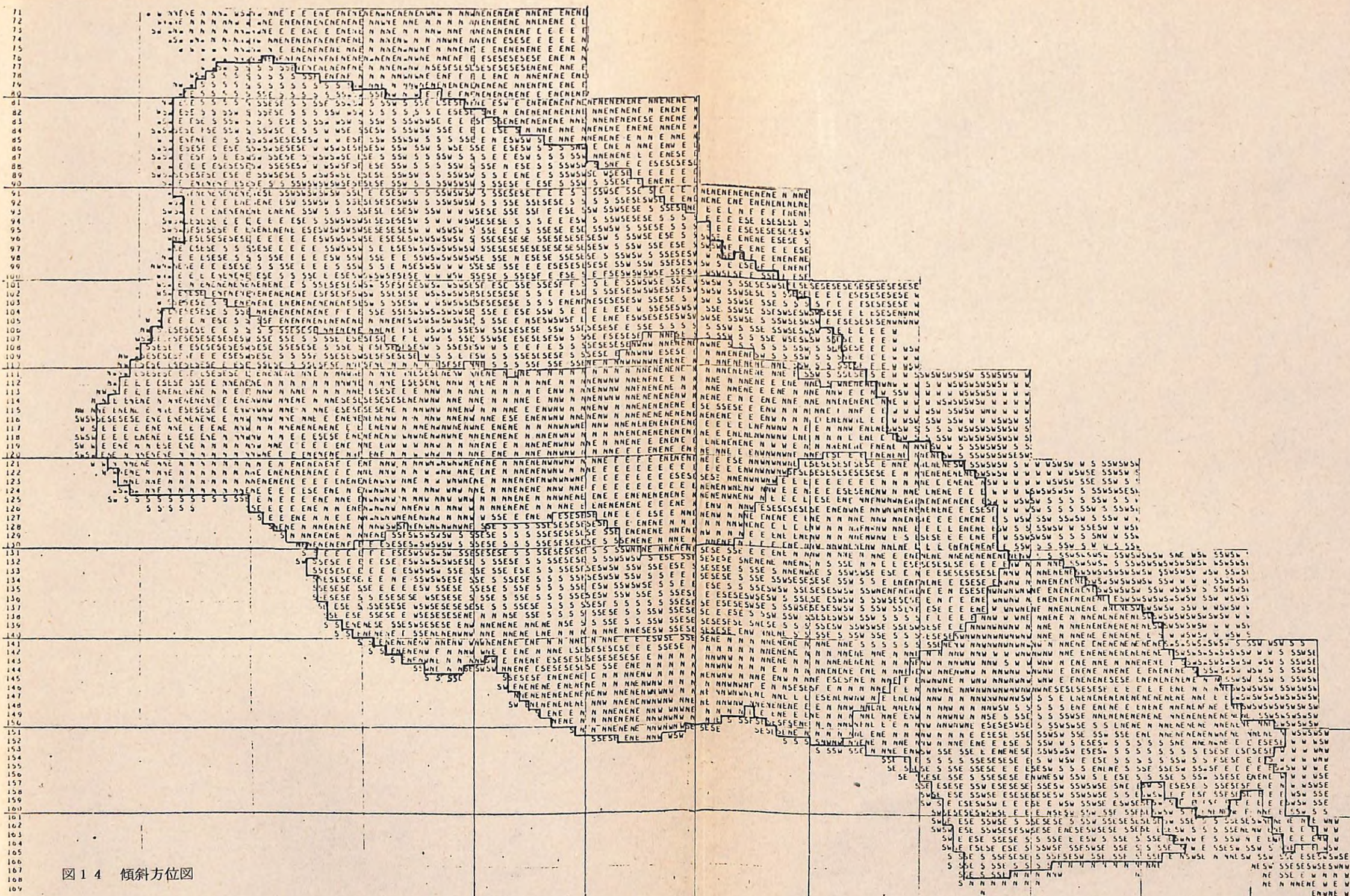


図 1 4 傾斜方位図

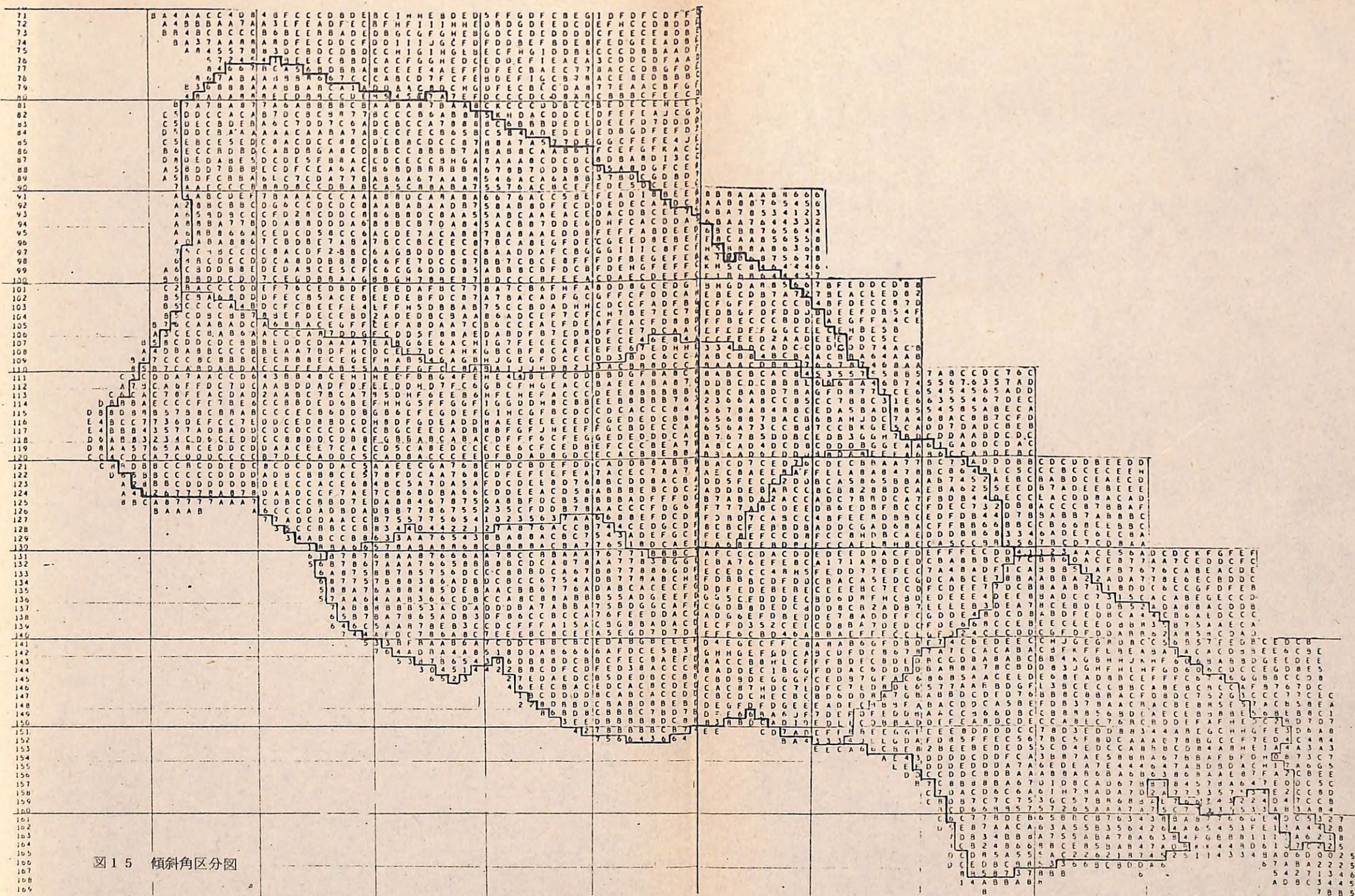


图 15 倾斜角区分图

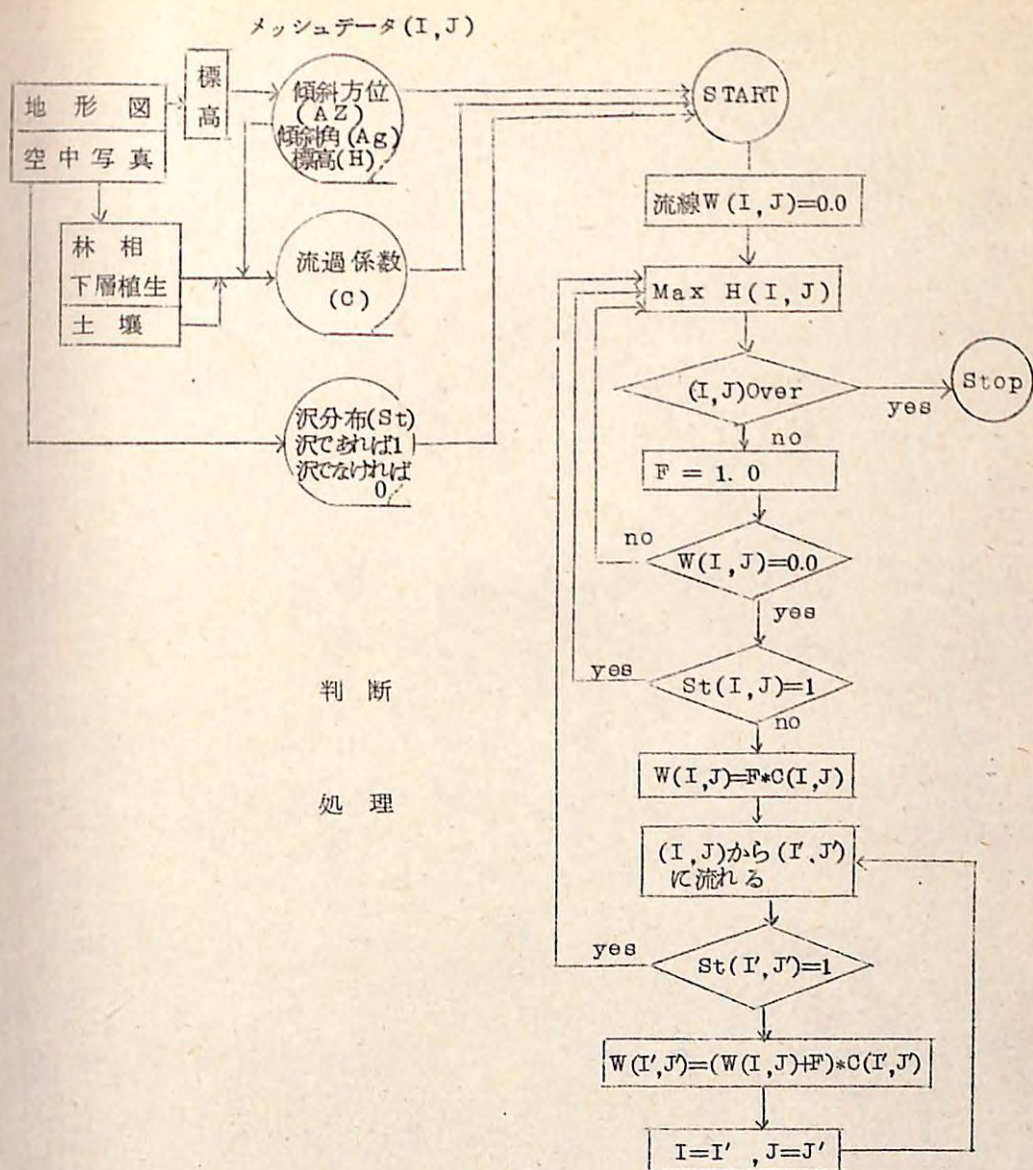


図-16 プログラム FLOW のフローチャート

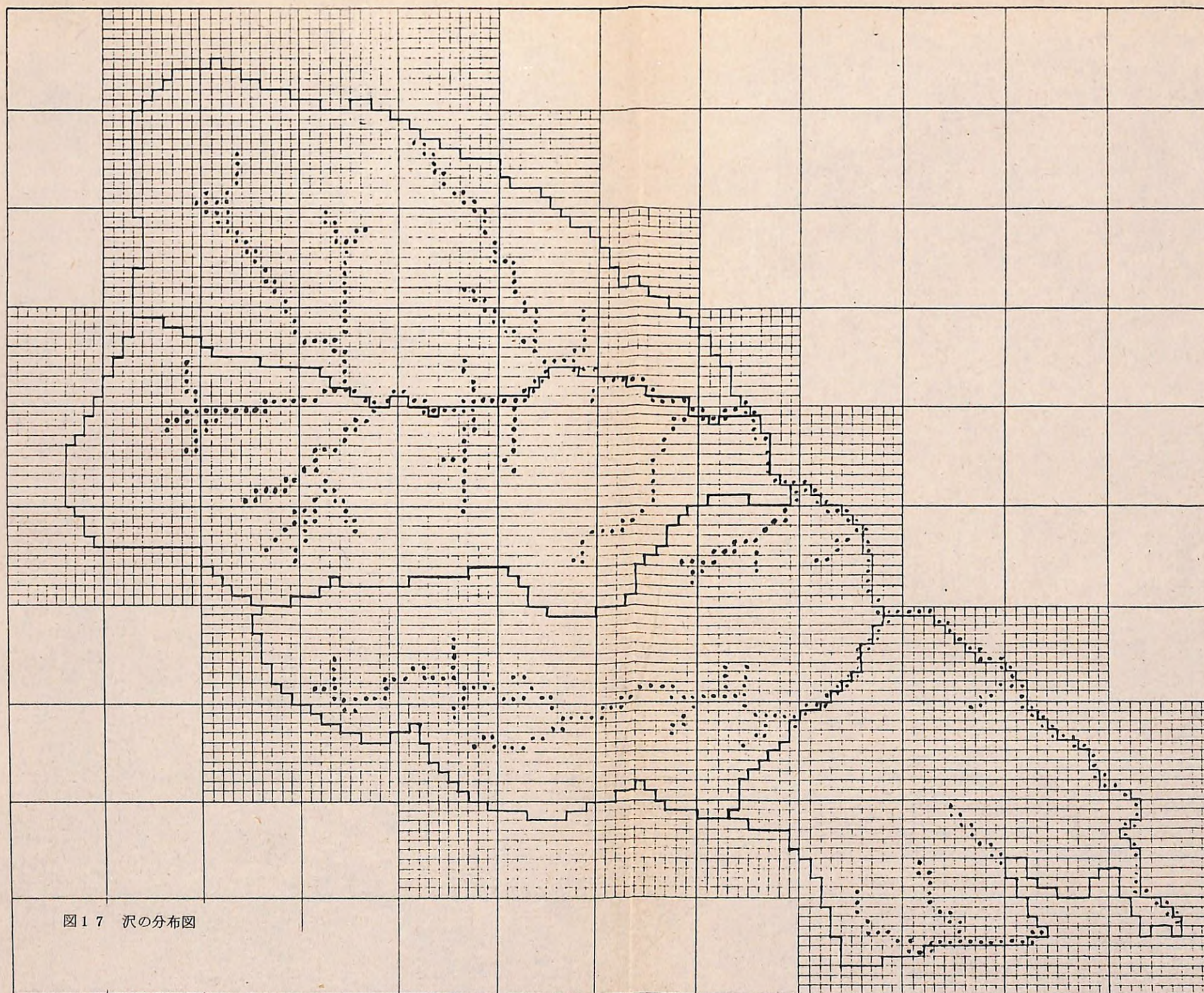


図17 沢の分布図

C/L	1	11	21	31	41	51	61	71	81	91	101	111
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
33	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
34	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
35	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
37	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
38	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
39	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
41	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
42	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
43	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
44	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
46	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
47	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
48	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
49	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
51	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
52	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
53	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
54	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
55	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
56	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
57	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
58	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
59	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
60	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
61	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
62	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
63	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
64	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
65	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
66	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
67	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
68	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
69	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
70	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
71	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
72	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
73	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
74	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
75	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
76	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
77	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
78	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
79	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
80	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
81	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
82	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
83	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
84	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
85	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
86	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
87	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
88	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
89	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
90	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
91	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
92	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
93	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
94	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
95	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
96	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
97	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
98	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
99	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

图18 地表流線圖

ただし、地表面に到達して、表面流となる雨水量は、林地の状態により変化する。また侵食を受ける斜面土壌の侵食抵抗差により、侵食量が異なってくる。すなわち、表面侵食力は、表面流の大きさと流速の積に比例し、斜面土壌の抵抗力に逆比例するから、雨量の大きさ、地形勾配の大きさ、土壌条件、地質、下層植生、林相（主として疎密度）を変数とする関数として表面侵食力を表現することができ、この侵食力の大きさをカテゴライズすることにより、林地面の崩壊指標が得られる、と考えることができる。

この場合、上記の各変数はメッシュ情報として既に収集されているが、変数相互の結びつき、すなわち、関数形が未定であり、また、侵食に関するデータはこの地点では皆無であるため、直ちに関数形を決定することは不可能である。この作業では、1つの関数モデルを想定するのではなく、各変数をカテゴライズし、各カテゴリーに重みを与え、重みの合計で崩壊指標を求めることにした。このような場合には各変数のカテゴライズの方法、および、重みの与え方が崩壊指標を求める上で、きわめて重要となる。

ここでは、「土砂崩壊危険地帯整備調査報告書— 林野庁治山課、昭和47年」で求められた、数量化理論による崩壊危険地の判定結果、および他の文献に基づく総合判断により表-4に示すような要因を選定し、表-4に示すウェイトづけを行なった。

表-4 林面崩壊指標計算用要因と重みづけ

要 因	カ テ ゴ リ ー と 重 み						
傾 斜 度	~10°	~18°	~22°	~27°	~31°	~35°	~
	-2	-1	0	1	2	3	4
流 水 量	~3	~5	~8	~10	~14	~20	~
	-2	-1	0	1	2	3	4
蓄 積	~25 m³	~75 m³	~100 m³	~150 m³	~		
	3	1	-1	-2	-3		
疎 密 度	密	中	疎	散			
	-3	-1	1	3			
下 層 植 生	密	疎	無				
	-1	1	2				
土 壌	B _A , B _B	B _C	B _{D-D} , B _D , B _E , P _{DIII} , B _{LC} , B _{LD} , B _{LE} Rock				
	1	0.5	0				1
地 質	Tn, Ry, 3c	Tn, Tr, 2b	Tn, Ms, 3c				
	0	0	0.5				

各要因に対して、表-4に示したウェイトづけにより、現在の森林状態での地形安定評価を算出して指標表示すると、図-19となる。この図で、指標の数値が大きいメッシュほど不安定性が大きいことを示している。

次には、森林が伐採されたとき、この指標がどのように変化するかをみることにより、表面侵食に関する森林伐採の影響を推定できる。図-20が、森林を伐採したときの安定評価指標である。これにより、不安定方向へ指標が大巾に変化しているメッシュも明らかにされた。この不安定方向へ大巾に変化するメッシュに関しては、森林伐採に際しては、十分な配慮をする必要があることをこの結果は示している。また、プログラム(FLOW)によって計算される流量は、図-15にみられるように、そのメッシュでの雨水流下の抵抗性を示す流過係数が新たに加味され、さらに、そのメッシュに対する上部斜面の流過係数をも総合化した影響度合を示すものであるため、そのメッシュおよび上部斜面での伐採の方法によって、流量が変化することにより、伐採の方法をいろいろ変えることによって、不安定要素がどのように変化するかをみることができる。

$$\text{崩壊指標} = \sum_{i=1}^M t_{ij} \dots\dots\dots \textcircled{3}$$

t_{ij} : i要因jカテゴリーに与えられたウェイト

ここでは、地形安定評価を、③式的方式で指標を算出したが、この評価法が妥当であるか、他のモデル式を採用すべきかは、この分野での研究成果の検討によって判断されるものである。

収集されたメッシュデータから適切なデータを選定し、データの合成(例えば、3種類のデータにそれぞれ、3原色、青、緑、赤を組合せて発色させる)像を作成すれば、またそれを森林情報画像としてみることができ、画像表示装置等を利用することにより、情報解析作業も人間との会話方式で行なえ、その効率が飛躍的に向上するであろう。

ここでは、オーバーレイされたメッシュデータの解析例として、表面侵食を取りあげて情報解析を試みたが、この結果は森林資源情報全般へ拡大することが可能であり、入力される情報の質および精度を勘案することにより、既に研究開発された各種情報解析モデルの有効な利用が可能である。

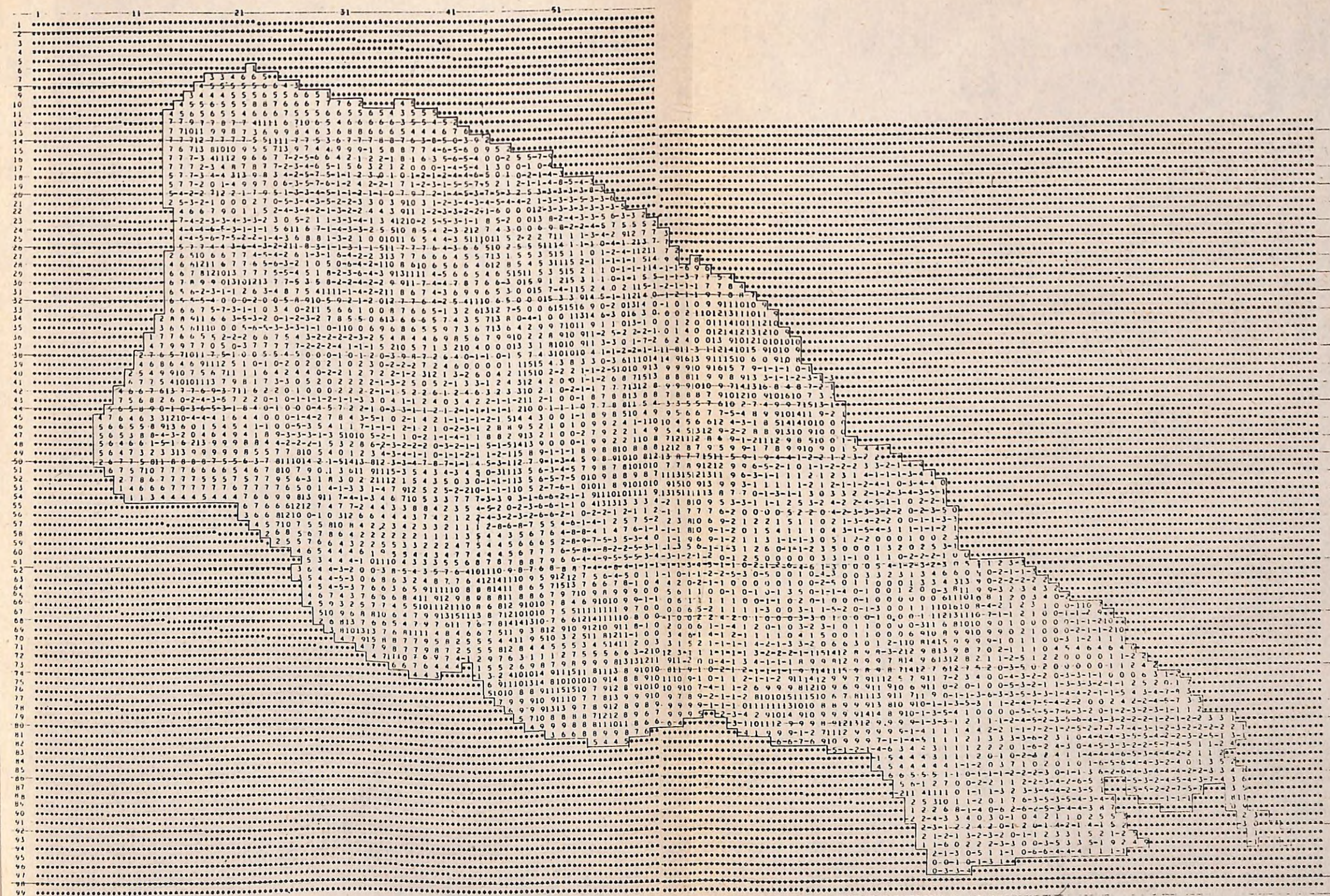


图 19 林地地面崩塌指标图

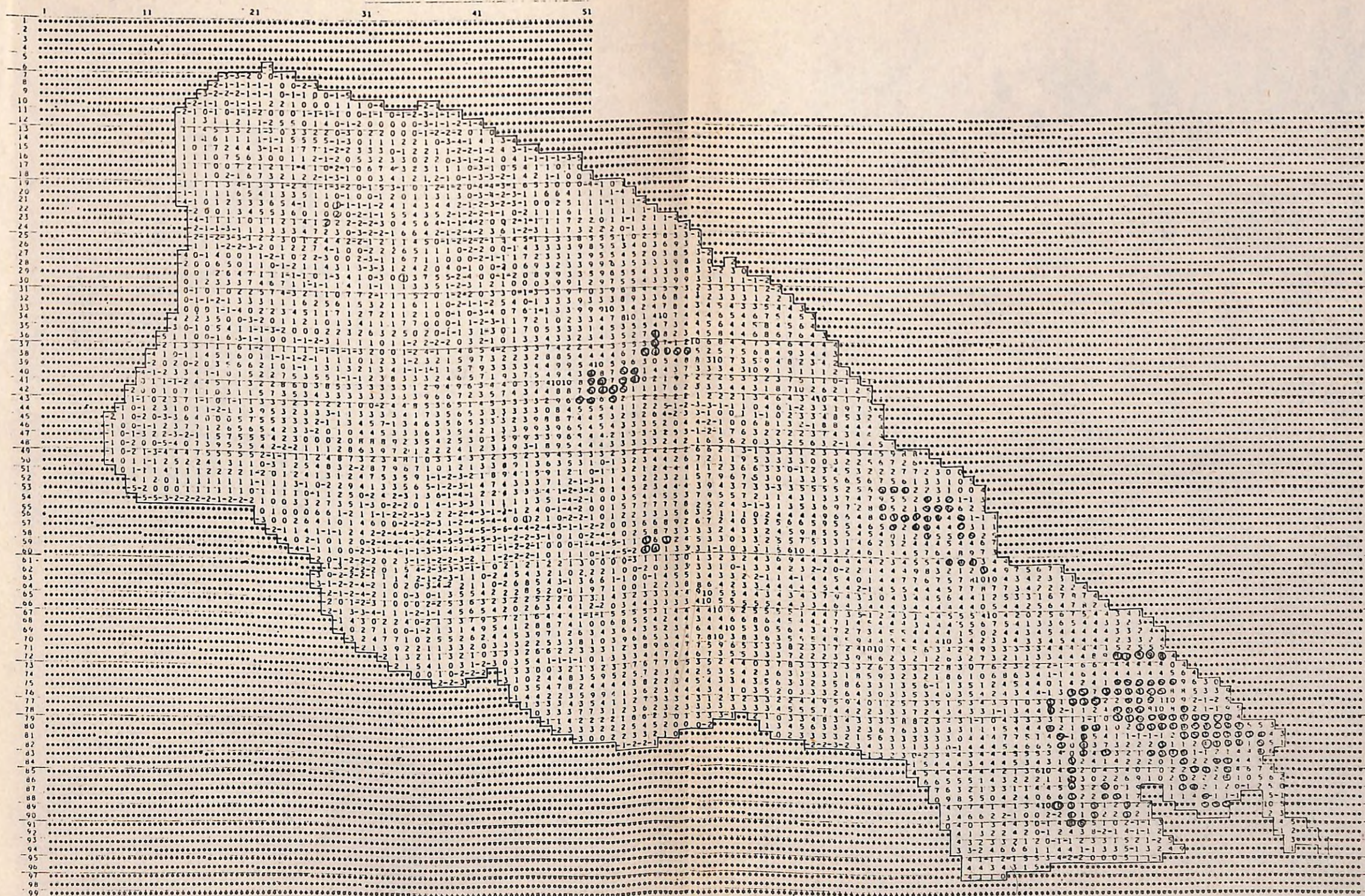


図20 森林伐採による崩壊指標変化図

○印は伐採要注意林分

V 試験の効果

空中写真上で判読収集される森林の観測項目を数値的に計測することにより、林分の蓄積量、成長量、成長量、更新量等の調査を目的とする推定数値表作成手法の体系が明らかになり、この体系が、さらに森林情報解析に有効に活用できることが明らかになった。

空中写真情報を効率的に利用する上では、情報の収集および格納単位の基準化を行なうことが必要であり、情報の属地的、かつ有機的な解析には、メッシュ方式のデータバンクシステムが、きわめて有効であることが明らかになった。このメッシュ方式データバンクへの空中写真および非映像データからの経済的な情報収集基本システムの開発により、非映像情報の組入れ利用による空中写真情報の効果的な処理解析を実用化することが可能になり、森林の経営、管理、および施業計画および評価を著しく能率化し、近代化する基本的な手法が明らかになった。

本試験の技術は、今後の主要な情報収集システムと期待されるリモートセンシング技術導入による森林情報収集、処理、解析への道を開き、また常時観測体系確立の基礎研究をなすものである。

なお、本試験においては、メッシュデータの解析手法（メッシュアナリシス）の研究、標高データの入力方法に関する研究、森林施業計画に必要な情報収集のためのセンサーに関する研究、リモートセンシング技術を利用して効果的な広域情報整備を可能とする手法の開発等、多くの継続すべき課題を残している。