

都市における自然災害

——とくに崖崩れの危険度予知についての研究——

STATISTICAL PREDICTION OF POSSIBILITY OF NATURAL
DISASTER USING PHOTOGRAMMETRIC TECHNIQUE

丸安隆和*・清水 仁**・嶋田厚二***

By Takakazu Maruyasu, Hitoshi Shimizu and Koji Shimada

1. ま え が き

最近わが国では人口の都市集中化がはげしく、このため都市域は周辺の田園地帯や丘陵地帯に膨張し続けている。しかも、このような都市膨張に対して十分な計画が伴わないため、粗雑な宅地造成や不完全な施設等ともすれば安全性を軽視した無理な都市化がなされてきた。この結果、多くの都市は災害に対してきわめて脆弱な体質を露呈している。神戸、横浜、呉の崖崩れ、東京の中小河川のはらん等の例に見られるように、家屋密集地帯における半ば人為的な自然災害のもたらす被害はじん大で、その防災問題は都市における重大な問題となりつつある。

こうした都会地での災害の要因は、山地や大河川の場合とくらべて著しく異なっており、災害の形態および機構も、山地などの場合とは本質的に異なった独得の傾向を示している。従来、山地や大河川の災害については、かなり多くの研究がなされているが、都市の災害について解明されているものはきわめてまれである。したがって、都市防災に当っては、まず都市の自然災害のもつ特質や機構を十分に把握し解析することが急務であると思われる。

一方、これらの自然災害に対する従来の災害調査は、災害の程度や復旧対策に重点が置かれ、災害の原因などについて調査が行なわれることがあっても、これらはほとんどが災害の生じた後で事後処理のために行なわれるものであった。また、これらの調査結果がその後の防災対策に十分活用されるためには、調査は客観性をもったものであることが必要であるが、この点についても必ずしも満足すべき方法がとられたとはいえないようである。

そこで、この研究は災害とその因子との相互関係を明らかにし、都市内に散在する多数の危険箇所に対しておのおの危険度を予知し、それに見合う防災対策を考え、また新たな土地造成に対する資料を得るための合理

的な調査方式を確立しようとするのである。すなわち、この研究では、横浜市の崖崩れ多発地帯の一部をサンプルとして、航空写真からの情報の利用と統計的処理技法を導入して“各地点の崖崩れに対する危険度を定量的に表現する”ことを試み、これによって“各地点に行なうべき防災工事の必要度を順位づけ”、さらに“その適正な規模を決定する”という一連の解析方式を提案しようとしたのである。

自然災害は地形要因との関連がきわめて大きい。この研究では、地形認識のために航空写真から直接“ベクトル地形図”をつくり、これを解析に利用するという新しい方式を導入した。従来なら地形図から読み取った地形要因を、ベクトル地形図によって代用したことにより、精度上の不安が取り除かれるだけではなく、場合によっては新しく地形図をつくるというばく大な時間と経費を節減することができたし、またモデル化によって地形の認識が容易になり、かつ一連の作業に電子計算機の利用を可能し、作業が著しく簡易化されるという利点が生じた。

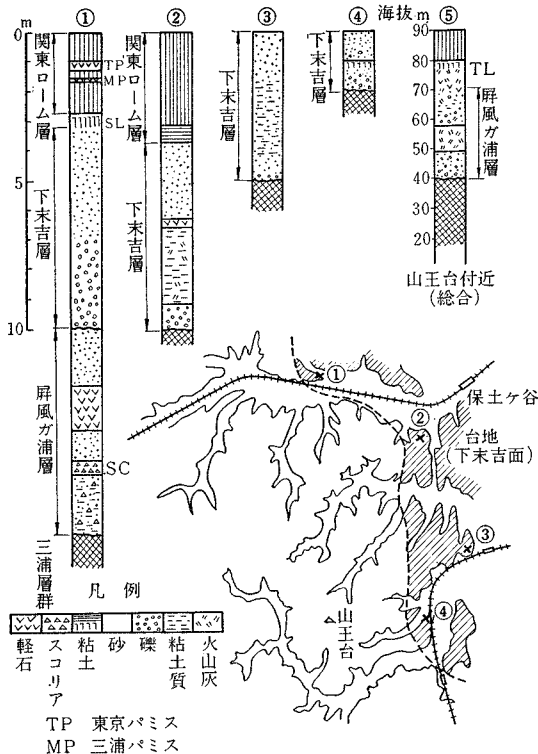
この研究は文部省統計数理研究所 青山博次郎博士の指導のもとに行なわれたもので、さらに三木五三郎、成瀬洋、山門明雄、淵本正隆、田浦秀春、若村芳夫の各氏に種々の資料や助言をいただき、主として清水と嶋田が取りまとめたものである。使用した航空写真はアジア航測から提供され、航空写真の測定は朝生郁三が行なった。各位に対して厚く謝意を表する。

2. 調査地域の概況

調査の対象とした横浜市の丘陵地帯は多摩丘陵の末端部にあたり、樹枝状に発達した浸食谷は、急峻な傾斜で平野部に臨んでいる。この地域には宅地造成が急速に進み、それにつれて崖崩れの危険度が増大し、近年集中豪雨のたびに各所で多数の崖崩れが発生している。昭和33年9月には台風22号の影響で2日間に321.2mmの降雨を記録し、1029ヵ所の崖崩れが発生し、昭和36年6月の梅雨前線による集中豪雨では6日間にわたる269.0mmの降雨により443ヵ所の崖崩れが発生している。また昭和41年6月の台風4号では、2日間にわた

* 正会員 工博 東京大学教授 生産技術研究所
** 正会員 KK大林組
*** 学生会員 東京大学大学院学生

図-1 地質構造



る 269.0 mm の降雨により 737 ヲ所の大小の崖崩れが
発生し、大きな人的、物的損害を与えた。

地質的にみると、これらの丘陵地帯は三浦層群とよば
れる第三紀層を基盤とし、上層に関東ローム層、その中
間に下末吉層、屏風ガ浦層などの砂礫層があり、いずれ
も透水性の大きい層で構成されている(図-1)。台地部
分は下末吉層が上層にあり、この地域の崩れは三浦層群
を下透水層として含水比の大きな下末吉層がすべる場
合が多く、丘陵部では関東ローム層あるいは屏風ガ浦層
内の砂礫部分など、いずれの部分からでも崩れのおこる
可能性がある。この付近では崩れは表層の風化した部分
1~2m だけでなく、数 m の深さにおよぶものもある。

この研究で対象にしたのは南区約 2 km 四方の丘陵地
帯で急峻な谷筋にまで市街地化が進んでいる。横浜市消
防局の資料によると、昭和 36 年および 41 年の崖崩れ
はそれぞれ 22 ヲ所、38 ヲ所あり、地質構造は山王台付
近の地質構造図で代表され、大体同じ条件のもとにある
と考えてよい。

3. 研究の進め方

(1) 研究の方法

都市内の自然災害の研究においては、その災害の規模
は山地その他のものとくらべて著しく局地的であるた
め、その調査は踏査を主とし、航空写真の利用はそれほ
ど一般的ではなかった。これに対し、この研究では航空

写真をフルに利用することを考えた。それは、航空写真
は変化しつつある都市の状況とその撮影時点において正
確に記録し、それらの写真を実体観察することによっ
て、個々の崩壊地の局地的な地形その他の状況を把握で
きるし、調査全域についての地形、水理、土地利用など
崖崩れに関連する諸因子の調査も容易になるという利点
を考えたからである。さらに、調査が広地域にわたると
きは、航空写真の利用は一層効果的になるであろう。こ
のようにして得られた資料に統計的処理を加え、危険度
を数量化して表現し、客観的な判断が容易にできるよう
にした。

また、航空写真から測定した格子点標高から地形モデ
ルを組立て、できるだけシンプルな形で、地形的特徴を
抽出し解析を行なった。この方法によれば、精度の面
ではまだ多くの問題を残しているが、地形の読み取りが簡
単になり、作業量を著しく軽減することができる。

この研究では大別してつぎの 3 段階にしたがって研究
が進められた。

a) 第一段階：地形モデルの組立てと崖の認識

昭和 36 年の崖崩れの資料によれば、大小 443 ヲ所の
崩壊のうち自然崖が 79%、土木工事や宅地造成工事
による人工崖が 21%、後者のうち盛土が 17%、切土が 4
%と分類されている。また、崖崩れの中には、図-2

図-2

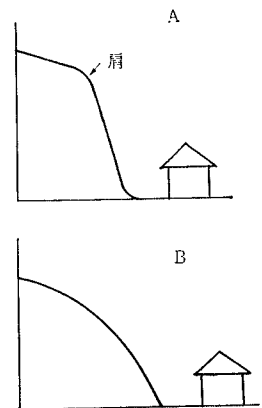


図-2 の A のように斜面勾配が急変する肩をもつ、いわ
ゆる崖だけではなく、B のように徐々に勾配が急にな
り、その先端で相当急斜面となって平坦部につながる
ものも含まれる。したがって、この研究では人工崖、
自然崖を含めて斜面が平坦地上 4~5 m 以上の高さ
にわたって急斜面となっているものをすべて対象とし
た。A 型の崖については航空写真を実体視すること
によって容易に確認できる。自然崖のうち相当な割合
を占める B 型の崖は急斜面区間が短かく、対象とす
べき斜面が否かを写真から直接判読することが困難
であった。それで調査地域を格子状の小ブロックに
分割し、地形を模型的に表現した地形モデルを作成
し、斜面の地形的特徴を定量的、定性的に把握しや
すいシンプルな形で表わし、崖崩れの対象となる地
形ブロックを抽出することを試みた。

以上のように写真判読と地形モデルの組み合わせによ
って第一段階の崖の認識作業を行なった。

b) 第二段階：ブロック単位の危険度推定

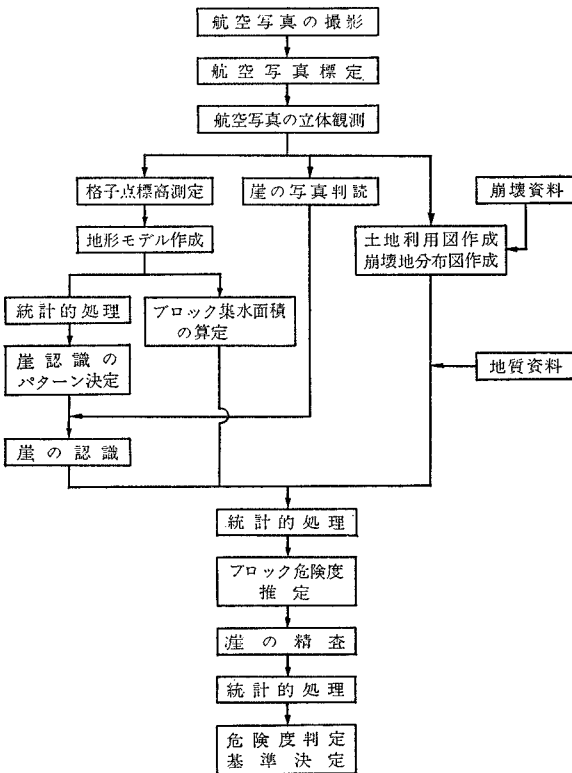
第一段階で崖を認識されたブロックについて、地形、

地質、水理、土地利用などの諸因子を航空写真の判読および地形モデルによって把握し、これらの諸因子と崖崩れの相互関係を明らかにし、個々のブロックについて危険度を数量的に推定する。

c) 第三段階：精査

第二段階のデスクワークによって危険性が大であると判定されたブロック群からいくつかのブロックを無作為に抽出して現地調査を行ない、諸因子についての詳細なデータを収集して、危険度を数量的に表わし、これを現地調査による危険度判定の基準とする。

以上の作業工程はつぎに示すフローチャートにしたがって行なわれた。



(2) 航空写真の諸元

撮影：昭和 36 年 5 月 10 日
縮尺：1/15 000
カメラ：RC 5 a $f=15$ cm 画面寸法 23 cm×23 cm
フィルム：ケバルト 33

撮影：昭和 36 年 10 月 29 日
縮尺：1/25 000
カメラ：RC 5 a $f=15$ cm 画面寸法 23 cm×23 cm
フィルム：ケバルト 33

上記の資料は、この研究で使用した写真の諸元である。5月10日撮影の写真は、崖崩れ前の状況を示す写真であり、各因子の把握および格子点標高の測定に使用

した。10月29日撮影の写真は、崖崩れ後の状況を示しており、崖崩れ地点の判読および崖崩れ状況の観測に使用したが、崩壊後4ヵ月近く経過しているため、崩壊地の多くは復旧され崩壊状況の観察は困難であった。そこで崩壊資料に示された崩壊地点を横浜市南区明細地図上に拾い、航空写真により崩壊地点の確認を行なった。

(3) 地形モデルの作成と崖の認識方法

a) 地形モデルの作成

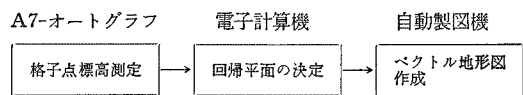
地形モデルによって、できるだけ実際の地形に近似させようとすると多数の点の座標値を必要とする。とくに都市内の丘陵地帯の小規模な崖や勾配の変化状況を地形モデルによって表現することは非常にむずかしい。この研究では比較的粗い間隔の格子を組み、格子点の標高のデータから単純な地形モデルを組立てた。この地形モデルと実際の地形との相互関係のパターンを把握して地形の認識を行なうこととし、作成が容易で、必要な地形要素の抽出が簡単なように、地形を多くの平面の集まりとした多面体で近似した。

地形モデル作成の作業はつぎのような手順で行なった。

調査地域に格子を組み、各格子点の標高を A7 オートグラフによって測定する。格子に囲まれた正方形のブロックを一単位にして、各ブロックごとにそのブロックの有する4つの格子点から回帰平面を決定し、その回帰平面をそのブロックの地形代表面とする。

この地形モデルから崖崩れに最も関連の深い斜面勾配を把握するために、各ブロックの回帰平面の最急勾配とその方向を求め、これを各ブロックの勾配および方向の代表値とし、矢印の長さおよび方向でこれを示し、ベクトル地形モデル図を作成した。

この研究ではサンプルとして地域全域に対して 50 m 間隔の格子を組み、一部の地域に対しては 25 m 間隔の格子を組んで、おのおの地形モデルを作成し、比較対象とした。50 m 間隔の格子の場合は小さな尾根や丘陵と平地との境界を十分に表現することができないので、航空写真から稜線、丘陵末端線を入れて補った。図-3は50 m 格子、図-4は25 m 格子の場合の同一地域に対するベクトル地形図である。図-3, 4では単位勾配を0.16にとり、凡例に示したように0.16間隔で4段階に勾配の大きさを分類して図示した。以上の一連の作業は下図のような手順で作業を行ない、作業量の軽減をはかった。



b) 地形モデルによる崖の認識

都市内の丘陵地帯の崖崩れ災害における人工崖の占める割合はかなり大きく、また自然崖の崩壊と思われるも

図-3 50 M 格子勾配ベクトル地形図

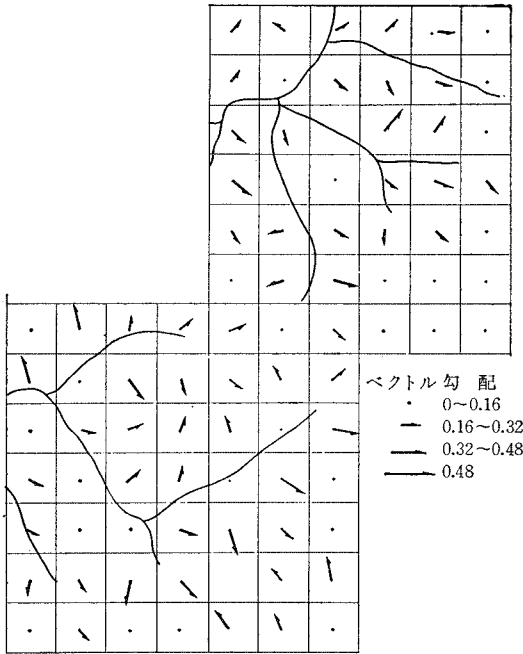
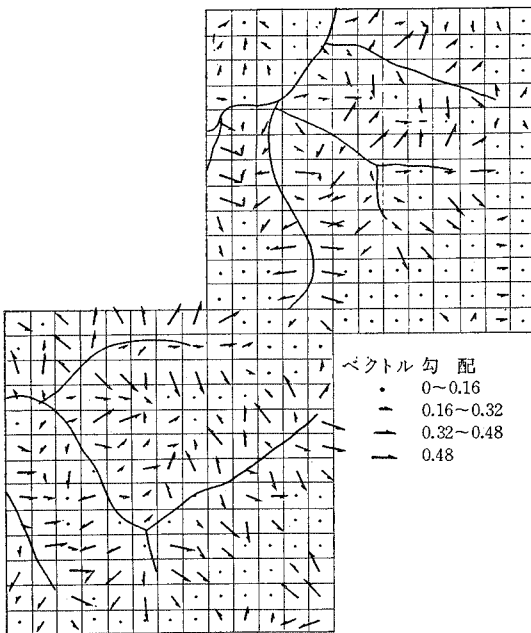


図-4 25 M 格子勾配ベクトル地形図



のでも長年にわたる都市化により、地形、水理等諸条件に変化が生じ、斜面が不安定となり、豪雨時に崩壊を起こしたと考えられる場合が多い。したがって抽出すべき崖はその地域の地形、地質条件、都市化の状況にしたがってその地域特有のパターンを有していると思われる。横浜の場合、急峻な尾根が枝状に平地部に延び、丘陵の末端や浸食谷にまで宅地化が進んでおり、崖崩れの対象となる斜面の大半はこのように集中している。

このような状況にある宅地の後背斜面はある程度の勾配があれば、豪雨時にはどこからでも崩れる危険性のあることは直観的に予想できる。この研究では地形モデルによって表わされた地形的特徴と実際の崖の分布状況との相互関係を統計的処理によって明らかにし、崖分布のパターンを合理的に認識し、崖を有する可能性のあるブロックを識別しようとした。

このような方式によれば、この地域の崖の大半を占める代表的なタイプの崖については容易に把握することができる反面、地形モデルが実際の地形をうまく表現していない場合や例外的な地形状況の箇所に崖がある場合、これを抽出することは不可能であるという欠点をもつ。また崖の分布に関する地形パターンを決定するに当たってサンプル地域に関する正確な地形図が必要であるが、この場合縮尺1/3 000の市販の図を使った。この地図は平面的な地物の関係位置に関する精度はかなりよいが、等高線はシンプルな形で描かれており、高さに関する精度はあまり高くないことが予想される。

(4) 地形モデルによる集水域の算定

崖崩れに対する誘因として最も大きい役割をもつのは降水であり、この場合の崩壊機構にはつぎのようなものが考えられる。

(i) 雨水の浸透によって土中の間げき水圧が増加すると土の粒子間圧力が減少し、せん断抵抗が減少する。その結果重力により斜面の土塊が下方に移動しようとする力を土のせん断抵抗によってささえ切れなくなり崩壊する。

(ii) 表層の風化土層と下の岩盤あるいは固い土層との間に一時的地下水流が発生し、両層間の摩擦が著しく減じて表層の崩壊を生ずる。

(iii) 谷状の地形では下方に行くにしたがって表流水が集中して流れ、表土を浸食洗掘して斜面の安定を減じ崩壊の原因となる。

実際の崖崩れは以上の各原因が混合している場合も多く、明確に区別できないこともあるが、いずれの場合でも、雨水がどのような径路で移動し、斜面にどの程度の雨水が集まるかということが、崩壊に大きな関連を持っていると考えられる。

一般に斜面上の任意の点の降水は、近似的に表面流、浸透流とともに最も勾配の大きな方向に斜面にそって下方に移動し、斜面の表面流量・浸透流量はその斜面の集水面積に比例していると考えられることができる。この研究では地形モデルから模型的に流線図を仮定し、各ブロックの集水面積を推定した。

この場合、図-5に示すように格子点は点線で示された一辺

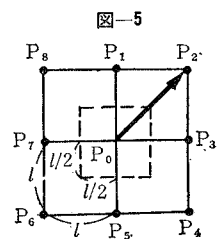
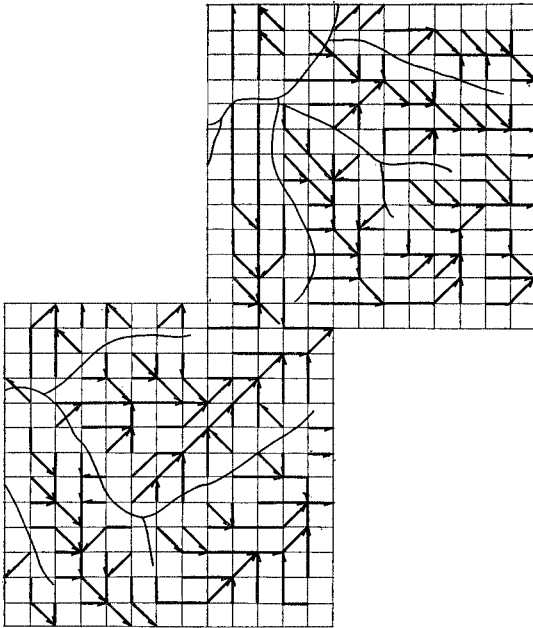


図-6 流線図



l の正方形の地域を代表し、各格子点の雨水は周囲8点のうち最急下り勾配の方向にすべて移動するものとした。たとえば $\overline{P_0P_1}$, $\overline{P_0P_2}$ $\overline{P_0P_8}$ のうち $\overline{P_0P_2}$ の勾配が最大の勾配を示すとすれば、点 P_0 の雨水はすべて P_2 に移動すると考える。図-6 は、この方式による 25m 格子の場合の流線図である。また分水界となっている稜線付近の格子点から順次水の移動をたどって行けば、各格子点の集水面積を算定することができる。

この場合ブロックに対する集水面積は近似的に4格子点の集水面積の平均と考えられる。以上の作業は電子計算機の利用により簡単に行なうことができる。

また、水の移動方向について回帰平面の最急勾配方向を利用することも考えられるが、回帰平面は面の連続性に難点があり、また取扱いが複雑であること、また回帰平面自体の実際の地形に対する精度に限度があることなどにより格子点の生の標高データを用いて周囲8点のうちどこかへ進むとした場合とくらべて近似の程度に、それほど大差がないと考えられるので、取扱いの容易な格子点標高を用いる方式を採用することにした。

(5) 統計的処理方法

崖の認識および危険度推定する場合統計的処理技術を導入し、できるだけ主観に基づく判断を排して判定の定量化に努めた。これらの過程は いずれも 種々の因子からある事象を予知することを目的としており、その統計的処理方法は全く共通である。すなわち崖の認識においては“崖の存在する可能性”を予知しようとし危険度の推定においては“崩壊の可能性”の予知を目的としている違いはあるが、その過程は同じである。

予知しようとする事象は各因子と線型的な関係にあるものと仮定する。各因子に対する重みを最もその事象を予知しやすいように定め、数値によって判定するのが目的である。

いま、データ行列を X とし、個体 i のデータ $X_{i,jk}$ が j アイテム、 k カテゴリーに反応すれば1、しからざれば0なる値をとるダミー変数とし、アイテム数を K 、各アイテムのカテゴリー数を M_1, M_2, \dots, M_k とし、全個体数を N とする。

$$X = \begin{bmatrix} X_{1,11} & X_{1,12} & \dots & X_{1,KM_k} \\ X_{2,11} & X_{2,12} & \dots & X_{2,KM_k} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ X_{N,11} & X_{N,12} & \dots & X_{N,KM_k} \end{bmatrix}$$

$\bar{X}_{j,k}$ を j アイテム、 k カテゴリーのデータの平均値とすると

$$X_m = \begin{bmatrix} \bar{X}_{11} & \bar{X}_{12} & \dots & \bar{X}_{KM_k} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ \bar{X}_{11} & \bar{X}_{12} & \dots & \bar{X}_{KM_k} \end{bmatrix}$$

各因子に対する重みからなる列ベクトルを重みベクトル ω とし、 $Z = X - X_m$ なる変換を行なう。

$f = Z\omega$ と置く。 f を合成変量といい各変量の重みを乗じ加え合せたものである。

合成変量の総平均は

$$m = \frac{1}{N} i' f = 0 \dots \dots \dots (1)$$

ただし i は単位ベクトルとする。

合成変量の分散は

$$V = \frac{1}{N} f' \cdot f = \frac{1}{N} (Z\omega)' (Z\omega) = \omega' R \omega \dots \dots (2)$$

ただし $R = \frac{1}{N} Z' Z$

いま、 l 組の個体群を指定して作った部分データ行列を Z_1, Z_2, \dots, Z_l とすると

$$Z = \begin{bmatrix} Z_1 \\ Z_2 \\ \vdots \\ Z_l \end{bmatrix}$$

と表わされる。

N_p を第 p 群に属する個体数とすると、第 p 群の平均は

$$m_p = \frac{1}{N_p} i' f_p = \frac{1}{N_p} i' Z_p \omega$$

となり、 m'_p を第 p 群の各変量の平均を成分とする列ベクトルとすると

$$m_p = m'_p \omega \dots \dots \dots (3)$$

と表わせる。合成変量の分布の個体群間の分離を示す相関比

$$\eta^2 = \frac{\sum_{p=1}^l N_p (m_p - m)^2}{NV} \dots \dots \dots (4)$$

が最大となるように重みベクトル ω を定めればよい。式 (1), (2), (3), (4) より

$$\eta^2 = \frac{\sum_{p=1}^I \frac{N_p (m'_p \omega)^2}{N \omega' R \omega}}{\sum_{p=1}^I \frac{N_p \omega' m_p m_p' \omega}{N \omega' R \omega}}$$

ここで

$$c = \sum_{p=1}^I \frac{N_p}{N} m_p m_p'$$

と置くと

$$\eta^2 = \frac{\omega' c \omega}{\omega' R \omega}$$

となる。 η^2 を $\omega' R \omega = 1$ なる条件の下で最大とするには

$$2T = \omega' c \omega - \lambda(\omega' R \omega - 1)$$

とおき、

$$\frac{\partial T}{\partial \omega'} = c \omega - \lambda R \omega = 0$$

$$R_0 = X'X = \begin{pmatrix} f_{11} & 0 & f_{11,21} & \dots & f_{11,2M_2} & \dots & f_{11,K1} & \dots & f_{11,KMk} \\ 0 & f_{1M_1} & f_{1M_1,21} & \dots & f_{1M_1,2M_2} & \dots & f_{1M_1,K1} & \dots & f_{1M_1,KMk} \\ & & f_{21} & 0 & & \dots & f_{21,K1} & \dots & f_{21,KMk} \\ & & 0 & f_{2M_2} & & \dots & f_{2M_2,K1} & \dots & f_{2M_2,KMk} \\ & & & & & \dots & & & \\ & & & & & & & & \\ & & & & & & & & \\ & & & & & & & & \\ & & & & & & f_{K1} & 0 & \\ & & & & & & 0 & f_{KMk} & \end{pmatrix}$$

$$c = \sum_{p=1}^I \frac{N_p}{N} m_p m_p'$$

$$m_p' = \frac{1}{N_p} i' Z_p = \frac{1}{N_p} i' (X_p - X_{pm})$$

$$\frac{1}{N_p} i' X_p = [\bar{X}_{11,p}, \bar{X}_{12,p}, \dots, \bar{X}_{KMk,p}]$$

$$c = \frac{1}{N} \left[\begin{array}{cccc} \sum_p \frac{f_{p,11}^2}{N_p} - \frac{f_{11}^2}{N} & \sum_p \frac{f_{p,11} f_{p,12}}{N_p} - \frac{f_{11} f_{12}}{N} & \dots & \sum_p \frac{f_{p,11} f_{p,KMk}}{N_p} - \frac{f_{11} f_{KMk}}{N} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \sum_p \frac{f_{p,KMk} f_{p,11}}{N_p} - \frac{f_{KMk} f_{11}}{N} & \sum_p \frac{f_{p,KMk} f_{p,12}}{N_p} - \frac{f_{KMk} f_{12}}{N} & \dots & \sum_p \frac{f_{p,KMk}^2}{N_p} - \frac{f_{KMk}^2}{N} \end{array} \right]$$

$p=2$ のときには

$$c = \frac{N_1 N_2}{N^2} \left[\begin{array}{cccc} \left(\frac{f_{1,11}}{N_1} - \frac{f_{2,11}}{N_2} \right)^2 & \left(\frac{f_{1,11}}{N_1} - \frac{f_{2,11}}{N_2} \right) \left(\frac{f_{1,12}}{N_1} - \frac{f_{2,12}}{N_2} \right) & \dots & \left(\frac{f_{1,11}}{N_1} - \frac{f_{2,11}}{N_2} \right) \left(\frac{f_{1,KMk}}{N_1} - \frac{f_{2,KMk}}{N_2} \right) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \left(\frac{f_{1,KMk}}{N_1} - \frac{f_{2,KMk}}{N_2} \right) \left(\frac{f_{1,11}}{N_1} - \frac{f_{2,11}}{N_2} \right) & \left(\frac{f_{1,KMk}}{N_1} - \frac{f_{2,KMk}}{N_2} \right) \left(\frac{f_{1,12}}{N_1} - \frac{f_{2,12}}{N_2} \right) & \dots & \left(\frac{f_{1,KMk}}{N_1} - \frac{f_{2,KMk}}{N_2} \right)^2 \end{array} \right]$$

となる。

$$a' = \left[\frac{f_{1,11}}{N_1} - \frac{f_{2,11}}{N_2} \quad \frac{f_{1,12}}{N_1} - \frac{f_{2,12}}{N_2} \quad \dots \quad \frac{f_{1,KMk}}{N_1} - \frac{f_{2,KMk}}{N_2} \right]$$

とすると

$$c = \frac{N_1 N_2}{N^2} a a'$$

総平均 $m = \frac{1}{N} i' X \omega = 0$ とすれば $X_m \omega = 0$ となる。

すなわち、

$$c \omega = \lambda R \omega$$

を解けばよい。もとのデータ行列 X を使うときには

$$Z = X - X_m$$

を用いて

$$R = \frac{1}{N} Z'Z = \frac{1}{N} (XX' - X_m'X - X'X_m + X_m'X_m) = \frac{1}{N} (XX' - X_m'X_m)$$

j アイテム, k カテゴリー, j' アイテム, k' カテゴリーに反応する数を $f_{jk, j'k'}$ とし, j アイテム, k カテゴリーに反応する数を f_{jk} とすると

$$\frac{1}{N_p} i' X_{pm} = [\bar{X}_{11,p}, \bar{X}_{12,p}, \dots, \bar{X}_{KMk,p}]$$

ただし, $\bar{X}_{jk,p}$ を j アイテム, k カテゴリーの第 p 群のデータ平均値とする。

$f_{p,jk}$ を第 p 群で j アイテム, k カテゴリーに属するもの数とする

したがって $R \omega = \frac{1}{N} (R_0 - X'X_m) \omega = \frac{1}{N} R_0 \omega$

一方, $a' \omega = (m_1 - m_2)' \omega = m_1 - m_2$

すなわちスカラー量となる。

ゆえに, $R_0 \omega = a$ なる連立方程式を解けば求める重みベクトル ω が得られる。

このようにして定めた諸因子の重み ω を用いて各個体について, 得点として合成変量 f_i を求めれば一次的に表わされる。 f_i の代りに変数として f と書き, f の第一群および第二群における分布をおのおの密度関数 g_1

(f), $g_2(f)$ とする。判定の基準 f_0 を定めて個体に対する得点が f_0 より大きいならば第一群に属し, f_0 より小ならば第二群に属すると判定するものとする。

いま任意に f_0 を定めると, 判別的な中率 p は

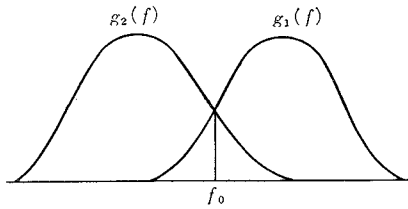
$$p = \frac{N_2}{N} \int_{-\infty}^{f_0} g_2(f) df + \frac{N_1}{N} \int_{f_0}^{\infty} g_1(f) df$$

となる。 p を最大にするには, N_1, N_2 がわかっている時には

$$\frac{N_1}{N} g_1(f_0) = \frac{N_2}{N} g_2(f_0)$$

なるように f_0 を選ばばよい。

一方 N_1, N_2 が未知の場合にはミニマックス理論によって f_0 を定める。 N_1 が p に最も不利になる場合を想定し, その場合において最もよい的中率が得られるように f_0 を定めるのである。このような意味での p の最もよい値を



$$p_0 = \max_{f_0} \min_{N_1} p$$

とすれば

$$p_0 = \int_{-\infty}^{f_0} g_2(f) df = \int_{f_0}^{\infty} g_1(f) df$$

なる f_0 を求めればよい。

この研究では N_1, N_2 が未知の場合への適用を目的としているので, 後者のミニマックス法により f_0 を定めた。

4. 崖の認識

(1) 崖の認識

この研究では数mの高さの斜面が, 急傾斜で平坦部に臨んでいるものを崖と定義した。崖と定義したものにはつぎの種類がある。

(1) 肩をもつもの: 傾斜が急に变化する部分があり, そこから急勾配で平坦部に臨んでいるもので, 普通に崖とよばれるもの。

(2) 肩のないもの: 斜面の傾斜が徐々に変化し, 明瞭な肩がなく, どこまでを崖とするかが困難であるが, 下部ではわずかな部分が相当急傾斜となっているもの。

(3) 宅地造成地の小規模な人工崖: 人工崖であっても大規模な切土部分は(1)の形態となっているものが多い。宅地造成地では, 斜面を階段状に切土もしくは盛土し, 高さ数mにおよぶのり面をつくっている例が多く, 粗雑な造成地ではこの部分の崩壊が多い。前二者に比べて崩壊規模は著しく小さいが, このような路面も崖に

含めることにした。

この研究では崖の斜面判読に縮尺 1/15 000 という小縮尺の写真を使用したため, 小規模な崖や不安定な急斜面を確認することは非常に困難であった。とくに分類(2)の急斜面は, この地域の急峻な浸食谷にはありふれた地形であり, 小縮尺写真の場合や樹木のある場合, 微妙な地形上の特徴からこれらを抽出することは困難である。そこでここでは, 肩の存在を崖の判読基準とした。すなわち, 写真判読では分類(1)の崖を認識することにした。写真判読結果を斜面の高さによって表-1のように分類した。

表-1

H	4M	6M	8M	10M以上	計
(I)写真判読	23	19	8	44	94
(II)地形図	115	83	28	65	292
摘 要	H : 急勾配区間の比高, 地形図より読む (I)写真判読: 50M格子において写真から崖が確認されたブロック数 (II)地形図: 地形図に崖が示されているブロック数				

急勾配区間の高さが4m, 6mについては, 分類(2), (3)の占める割合が大きく, 判読率は低い。急勾配区間が8m, 10m以上の場合はかなり顕著な崖であり, 高い判読率が期待されたが, 写真縮尺の小さいこと, 樹木のため斜面形状が明瞭でないところがあったこと, 判読技術が不足であったこと, などのため判読率は比較的低かった。これは上述の条件を改善することにより, 相当向上し得るものと思われる。

(2) 50m 地形モデルによる崖の認識

前節で示したように判読による崖の抽出率は低かったので, 地形モデルに示された地形的特徴と実際の崖の分布状況との相互関係を明らかにし, 崖の存在に関する地形パターンを決定して, 崖の存在する可能性の大であるブロックを抽出する方法をとった。50m 地形モデルは約2km四方の地域にわたって作成したが, 全面積の約40%を占める平地部を除外し, 丘陵部1024ブロックを対象とした。

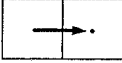
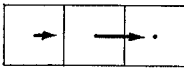
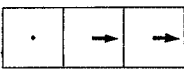
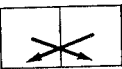
崖の認識にあたっては, まず地形モデルにより地形パターンを求め, 崖のあるブロック群と崖のないブロック群を分離する。さらに, 崖がないと判定されたブロック群に判読によって崖の存在が認められたものについては, 崖のあるブロック群に移して修正を行なった。

地形的特徴を示す因子(アイテム)として(1)勾配, (2)地形構造, (3)稜線, (4)丘陵末端線の4つを用いた。50m 地形モデルは格子間隔は大であるため, 地形を平均化する回帰平面の欠点が強く現われ, 隣接した二つの格子点が谷や稜線の反対側にきて, 谷や稜線が全く表現されない場合もある。したがって(1), (2)の他に(3), (4)を補助因子として加えた。

各アイテムをつぎのようなカテゴリーに分類して集計した。

- (I) 勾配 (1) 勾配 0.48 以上のもの
 (2) 勾配 0.32 以上 0.48 未満のもの
 (3) 勾配 0.16 以上 0.32 未満のもの
 (4) 勾配 0.16 未満のもの

(II) 地形構造

- (1)  ブロックの勾配が0.16以上で下方には勾配が0.16 未満のブロックが接続している場合。丘陵未満を示す。
- (2)  (1) の条件の上にさらに上方にも緩い勾配のブロックが接続しており、見掛上肩を形成している場合。
- (3)  上方のブロックの勾配が 0.16 未満で下方には同じまたはより急な勾配のブロックが接続している場合。
- (4)  谷の側斜面を示す。

(5) (1)~(4) のカテゴリーのいずれにも属さない場合。

- (III) 稜線 (1) ブロックに稜線あり
 (2) ブロックに稜線なし
- (IV) 丘陵末端線 (1) ブロックに丘陵末端線あり
 (2) ブロックに丘陵末端線なし

以上の各アイテム各カテゴリーについて分類集計し、(3-5)に示した係数を示す対称行列 R_0 および定数項となる行列 a を作成すると表-2 のようになる。 $\omega_{25} = \omega_{31} = \omega_{42} = 0$ と置いて $R_0 \omega = a$ なる連立方程式を解くと、

重みベクトル ω はつぎのようになる。

$$\begin{pmatrix} \omega_{11} \\ \omega_{12} \\ \omega_{13} \\ \omega_{14} \\ \omega_{21} \\ \omega_{22} \\ \omega_{23} \\ \omega_{24} \\ \omega_{25} \\ \omega_{31} \\ \omega_{32} \\ \omega_{41} \\ \omega_{42} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -10.7 \\ -6.7 \\ -4.4 \\ -12.3 \\ 7.4 \\ 14.3 \\ 4.8 \\ 0.9 \\ 0 \\ 0 \\ 4.2 \\ 8.5 \\ 0 \end{pmatrix}$$

この重みベクトルから得点を計算し、第一群、第二群に分類し、得点別に分布状況を集計すると表-3 のようになり、これを確率分布グラフで示したものが(グラフ-1)である。さらに両群の判定的中率をほぼバランスさせるために、(グラフ-2)に示したように第一群は高い得点から、第二群は低い得点から順次累積確率を求め、両群の累積確率グラフの交点付近に判定基準 f_0 を定めた。

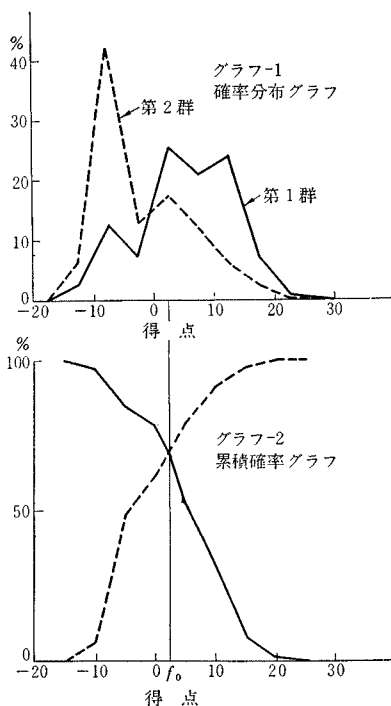
判点基準 f_0 を 2.5 とし、得点が 2.5 より大であれば

表-3

得点	第一群(崖のあるブロック群)			第二群(崖のないブロック群)		
	個数	確率分布	累積確率	個数	確率分布	累積確率
-10~-15	7	2.4%	100.0%	47	6.4%	
-5~-10	37	12.5	97.6	310	42.3	48.7%
0~-5	20	6.9	85.1	94	12.8	61.5
0~2.5	29	10.0	78.2	65	8.9	70.4
2.5~5.0	45	15.5	68.2	62	8.5	78.9
5.0~10.0	61	21.0	52.7	89	12.2	91.1
10~15	70	24.1	31.7	45	6.2	97.3
15~20	20	6.9	7.6	18	2.5	99.3
20~25	2	0.7		2	0.2	100.0
計	291	100.0		732	100.0	

表-2

因子 カテゴリー		R_0												$f_{1,jk}$	$f_{2,jk}$	a	
		I				II					III		IV				
		1	2	3	4	1	2	3	4	5	1	2	1				2
I	1	15			8	0	2	3	2	1	14	2	13	4	11	-13	
	2		191		83	43	20	22	23	64	127	42	149	74	17	945	
	3			385	183	63	61	33	45	94	291	55	330	163	222	2569	
	4		0		432	0	0	0	0	432	62	370	34	398	50	382	-3500
II	1				274			0			78	196	61	213	118	156	1924
	2					106				16	90	13	93	60	46	1433	
	3						83			25	58	11	72	30	53	307	
	4							58		15	43	14	44	17	41	24	
	5								502	87	45	34	468	66	436	-3688	
III	1									221	0	41	180	56	165	-330	
	2									0	802	92	710	235	567	330	
IV	1											133	0	64	69	1257	
	2											0	890	227	663	-1257	



ば第一群に、2.5 より小であれば第二群に属すると判定すれば判定的中率は第一群 68%，第二群 71%，全体では 70% となる。実際には崖があるのに第二群に属すると判定された 138 ブロック中、写真判読によって確認されたものが 39 ブロック含まれており、これらを第一群に移すとの中率は第一群については 81%，全体では 74% となる。

50 m 地形モデルにおける崖の存在を示す地形パターンは、構造については丘陵末端の斜面を示すカテゴリー(1)または見掛上肩を形成していることを示すカテゴリー(2)の重みが大きくなり、勾配についてはカテゴリー(2)または(3)に属する場合の重みが大きくなっている。また補助因子として加えた稜線付近の重みが小となり、丘陵末端線については、これを含むブロックの重みが大きくなっており、地形構造によって示されたパターンが強調されている。

一方、標高差数 10 m 内外の丘陵地で 50 m 間隔の格子を用いると、尾根末端付近などでは回帰平面が著しく平均化され、勾配が 0.48 以上になる場合が非常に少なくなっている。この研究で 50 m 格子を適用した地域では、勾配が 0.48 以上のカテゴリーに属するブロックは 1023 の中わずか 15 ブロックに過ぎない。

このようにサンプルサイズが著しく小さくなっている項目に関しては母集団の性質がサンプルにそのまま現わされていない場合が

多く、推定の信頼度も薄い。この研究で勾配 0.48 以上の重みが著しく小さくなっているのは 15 個のブロック中にたまたま崖が少なかったためと推定される。

また、カテゴリーの重みの較差によって各因子の影響の強弱を推定すると、崖の存在に最も大きい影響を与えるものは地形構造の因子と考えられる。

(3) 25 m 地形モデルによる崖の認識

50 m 地形モデルは格子間隔が大であることに起因すると思われる欠点を持っているため、これを比較する目的で 25 m 地形モデルを作成し、解析を行なった。

地形パターンの決定に当っては (I) 勾配、(II) 地形構造の二つの因子を用いた。両因子をつぎのカテゴリーに分類した。

[I] 勾配 50 M 地形モデルの場合と同様のカテゴリーとする。

[II] 地形構造

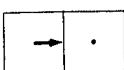
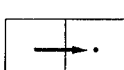

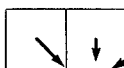

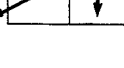
- (1)  勾配 0.16~0.32 のブロックの下方に勾配 0.16 以下のブロックが接続しているもの。
- (2)  形態は(1)と同様であるが、勾配が 0.32 以上の急斜面の場合。
- (3)  カテゴリー(1)および(2)は丘陵末端線を示す。V字型の谷の側斜面を示す。
- (4)  U字型の谷の側斜面を示す。
- (5)  (3) より谷の規模が大である。
- (6)  斜面途中で下方に緩勾配のブロックを接続しており、斜面中腹での勾配変化を示す。比較的幅の広

表-4

因子	カテゴリー	R_o														$f_{1,jk}$	$f_{2,jk}$	α
		I				II												
		1	2	3	4	1	2	3	4	5	6	7						
I	1	56				0	32	6	10	8	0	0			13	43	390	
	2		72			1	35	8	7	11	1	9			21	51	1335	
	3			93		39	0	10	2	1	5	36			19	74	144	
	4				105	0	0	0	0	0	12	93			11	94	-1869	
II	1					40									10	30	417	
	2						67								22	45	1720	
	3							24				0			4	20	-138	
	4								19						5	14	247	
	5									20					5	15	209	
	6											18			3	15	-104	
	7												138		15	123	-2351	

い屋根上のブロックであることを示すもの。

(7) (1)~(6)のいずれの категорияにも属さないもの。

以上の各因子各カテゴリについて分類集計し、 R_0 および a を表-4 のように作り、 $R_0 \omega = a$ なる連立方程式を解いて各因子各カテゴリの重みを求めた。

$\omega_{27}=0$ と置いてこの連立方程式を解くと重みベクトルはつぎようになる。

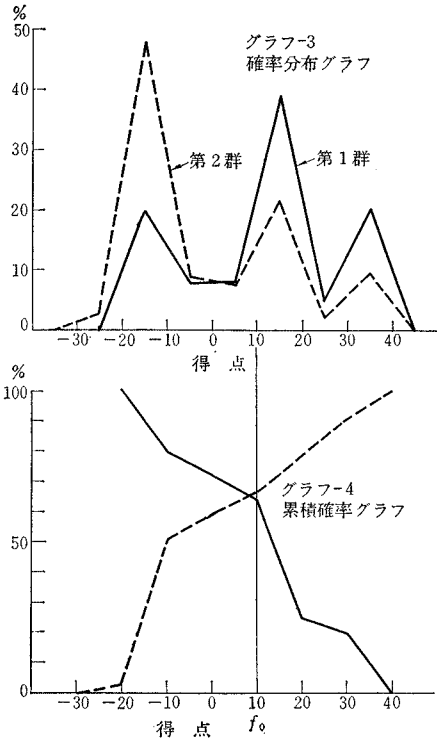
$$\begin{pmatrix} \omega_{11} \\ \omega_{12} \\ \omega_{13} \\ \omega_{14} \\ \omega_{21} \\ \omega_{22} \\ \omega_{23} \\ \omega_{24} \\ \omega_{25} \\ \omega_{26} \\ \omega_{27} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -38.6 \\ -19.3 \\ -11.1 \\ -19.3 \\ 21.7 \\ 54.5 \\ 15.1 \\ 41.8 \\ 37.3 \\ 11.3 \\ 0 \end{pmatrix}$$

表-4 によれば勾配に関してはカテゴリ(4), (3), (1), (2)の順で崖の存在率は大きくなっており、ほぼ妥当な結果を示している。因子 [I] と [II] は独立でないこと総平均を 0 と置いたことなどから、因子 [I] の重みはすべて負になっている。25m 地形モデルの場合、崖存在の地形パターンを 50m 格子の場合と比べると、勾配因子でカテゴリ(1)に属するものうち約6割が、地形構造因子ではカテゴリ(2)に分類され、崖があると判定されている。横浜の地形条件からも崖の存在可能性が大であると予想される谷の地形については、50m 格子では重みが小という結果となったが、25m 格子の場合、V字型よりU字型の谷の場合重みが大きくなっている。これはU字型谷では人工的な地形改変のための不安定になっている箇所が多いためと思われる。また、25m 格子の場合も、地形構造が支配的因子となっている。

この重みベクトルより得点を集計し、各群における得点別の分布状況を表-5 およびグラフ-3 に示した。グラフ-4 に示した累積確率グラフから判定規準 f_0 を 10

表-5

得点	第一群(崖のあるブロック群)			第二群(崖のないブロック群)		
	個数	確率分布	累積確率	個数	確率分布	累積確率
-20~-30				7	2.7%	
-10~-20	13	20.3%	100.0%	125	47.8	50.5%
0~-10	5	7.8	79.7	23	8.7	59.2
0~10	5	7.8	71.9	20	7.6	66.8
10~20	26	39.1	64.1	57	21.8	88.6
20~30	3	4.7	25.0	5	1.9	90.5
30~40	12	20.3		25	9.5	100.0
計	64	100.0		262	100.0	



に定めると判別的な中率は第一群“崖のあるブロック群”については 64%、第二群“崖のない群”については 67%となっている。

(4) 両地形モデルの比較および問題点

25m 格子の場合、50m 格子の場合にくらべて両群の分離の状況は悪く、的中率も 50m 格子で 70%、25m 格子で 66% となっている。これはサンプルサイズの相違によるのが大きな原因となっていると思われる。

実際には崖があるにもかかわらず崖がないと判定されたブロックについてその内容を検討してみるとつぎようになる。50m 格子については、地形が著しく平均化されて尾根などを全く表現していない場合や 25m 格子にすればほぼ納得のいく重みとなっている谷や急勾配のブロックなどの場合のように、格子間隔を小とすればある程度判定が改善されると思われるものが 37% を占めている。また 4.(1) で分類した宅地造成地の小崖が 50m 格子で 28%、25m 格子では 65% となっている。

宅地造成地の小崖については、地形モデルにより推定することは不可能に近く、大縮尺の写真により確認することを検討すべきであろう。

したがって、判定の精度を高めるには、今後つぎの2点について研究を進めてゆくことが必要である。

- (1) 写真判定技術の向上および大縮尺写真による検討
- (2) 実際の地形をより近似できる地形モデルの開発

(5) 93.75a 以上

集計分類に当って、同一ブロック内の2カ所で崩壊が発生している場合または、同一箇所において、昭和36年、41年の2回にわたって崩壊している場合には、そのブロックの重みを2倍と考慮して処理した。

(2) 50M 地形モデルによる危険度の推定

[I], [II], [III], [IV], [V], [VI] の諸因子について分類集計し、行列 R_0, α を表-7 のように作成し、 $\omega_{23}=\omega_{31}=\omega_{42}=\omega_{52}=\omega_{62}=\omega_{71}=0$ と置いて $R_0 \omega = \alpha$ なる連立方程式を解くと重みベクトルはつぎのようになる。

この重みベクトルによると勾配の因子に関しては、カテゴリ(2)勾配 0.32~0.48, および(3)勾配 0.16~0.32 の危険度が大きとなり、カテゴリ(1)勾配 0.48 以上および(4)勾配 0.16 以下の危険度が小となっている。勾配の最も大きいカテゴリ(1)の危険度が小となっているのは、このカテゴリに属するブロック数が少ないため、カテゴリ(1)と(2)は統合すべきであったと思われる。

地形構造、稜線、丘陵末端線の因子については、いずれも丘陵末端および谷の危険度が大きとなっている。地形構造のカテゴリ(5)の重みが大きとなっているが、勾配因子のカテゴリ(4)との相関性が強く矛盾した判定にはならない。

土地利用の因子に関しては、市街地化されているブロックの危険度は高く、隣接した斜面上方のブロックが樹木のある丘陵地である場合および造成地の危険度は大きい。造成地に関しては造成地自体の危険度はそれほど高くないが、むしろその隣接地区が造成地の影響をうけて危険度が大きくなっている。

斜面方向の因子はE~Sの危険度が著しく大きとなり、海からの風の影響を受けていることが予想される。なお、年度ごとの斜面方向別による崩壊の分布をくらべると表-8 のようになり、各年度とも同じ傾向を示している。このことから、風向以外に勾配の大きいブロックがE~Sに多いこと、宅地は一般に南向きにつくられることの影響もあわせ受けていると考えられ、今後これらの関連について検討する必要があるであろう。

重みベクトルから各ブロックの得点を算出し、表-9 およびグラフ-5 に崩壊ブロック群、非崩壊ブロック群

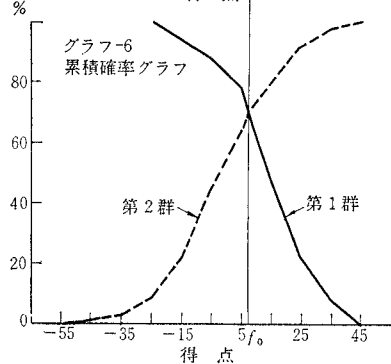
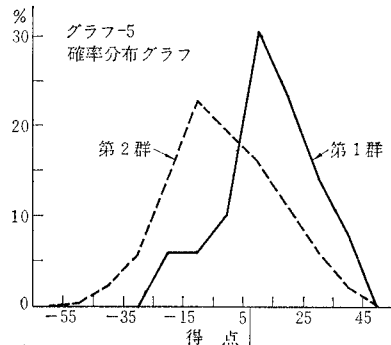
ω_{11}	-64.5	ω_{51}	19.7
ω_{12}	-39.4	ω_{52}	0
ω_{13}	-38.9	ω_{53}	-4.8
ω_{14}	-68.5	ω_{54}	6.9
ω_{21}	14.0	ω_{55}	-5.2
ω_{22}	17.8	ω_{61}	-19.5
ω_{23}	0	ω_{62}	0
ω_{24}	19.7	ω_{63}	-16.0
ω_{25}	25.4	ω_{64}	4.5
ω_{31}	0	ω_{65}	-9.5
ω_{32}	4.9	ω_{66}	-2.8
ω_{41}	16.9	ω_{71}	0
ω_{42}	0	ω_{72}	21.9
		ω_{73}	6.8
		ω_{74}	11.1

表-8

斜面方向	昭和36年	昭和41年
N~E	11.8%	9.4%
E~S	47.0	53.1
S~W	11.8	15.6
W~N	29.4	21.9

表-9

得点	第一群(崩壊)			第二群(非崩壊)		
	個数	確率分布	累積確率	個数	確率分布	累積確率
-45~-55				1	0.2%	
-35~-45				10	2.4	2.6%
-25~-35				23	5.6	8.2
-15~-25	3	6.1%	99.9%	57	14.0	22.2
-5~-15	3	6.1	93.8	93	22.7	44.9
-5~5	5	10.2	87.7	79	19.3	64.2
5~7.5	4	8.2	77.6	27	6.6	70.8
7.5~15	11	22.4	69.4	39	9.6	80.4
15~25	12	24.5	47.0	46	11.2	91.6
25~35	7	14.3	22.5	25	6.1	97.7
35~45	4	8.2		9	2.2	99.9
計	49	199.9		409	99.9	



の分布状況を示した。グラフ-6 の累積確率グラフより判定基準を7.5に定めると、判定的中率は71%となる。

(3) 危険度推定における問題点

この研究では、地形モデルから得られた諸因子および土地利用など、限られた数の因子からブロック危険度の推定を行っており、また土質、防災のための構築物など重要な因子を欠いているため、判定的中率も70%にとどまっている。昭和36年の災害調査集計によれば、441カ所の崩壊箇所中、擁壁不備によるもの41%、排水不良によるもの64%となっており、これらの要因は今後十分考慮すべきことを示している。

しかし、航空写真によって、これらの因子をある程度把握することが可能であれば、現地踏査を行わずに一応の高い水準で危険度の推定ができると思われる。

この可能性としてつぎのようなことが考えられる。

- 1) 大縮尺写真の使用
 - 2) カラー写真または赤外線写真等の利用
- これらについては、今後の研究に待つほかはない。

6. 精査の方法

(1) 概 説

航空写真から得られた諸因子によって危険性が大であると判定された箇所については、一応防災工の有無、土質、予想される被害の程度などについて重点的な精査を行なうことが必要となる。

上述のように、航空写真による推定の的中率は十分高いものではないから、危険率大であると判定された崖でも、実際に崩壊したものとそうでないものとの差異をよく調査し、より精度の高い危険度判定の基準を定めることも必要である。

この目的のために、いくつかの崖をサンプルとして選び、選ばれたサンプルに対して現地調査を行なう。つぎに各因子に適当なカテゴリーを設定して、データを分類集計し、統計的処理によって、各因子各カテゴリーの危険度を求め、現地調査の危険度判定の基準の決定を行なう。

サンプルを選ぶには、ブロック危険度推度の際作成した崩壊ブロック群と非崩壊ブロック群とから、無作為に抽出する。これらのブロック内にある不安定な斜面と崩壊箇所を精査の対象とするのである。

(2) 精査の方法

崩壊に影響する諸因子について、表-10のような項目について調査することが必要と思われる。

表-10

因 子	調 査 事 項
(1) 地 形	(i) 崖の傾斜, 比高, 幅 (ii) 最急勾配の方向, 斜面の縦断形
(2) 地 質	(i) 表層の状況 表土層, 風化土層, 第三紀層, 第四紀層 (第三紀層が基盤となることがある) (ii) 基盤の状況 (iii) 地質構造 断層, 節理, 褶曲, 地層の傾斜
(3) 土 質	(i) せん断強さ (ii) 透水性 (iii) 液性限界, 塑性限界 (iv) 自然含水量
(4) 水 理	(i) 排水状況 (ii) 地下水位 地下水位の変化, 地下水流動状況 (iii) 湧水状況
(5) 植 生	(i) 斜面の植生状況
(6) 防 災 工	(i) 石垣, 擁壁 (ii) 表流水排水工

以上のような調査データを整理し、各因子ごとについていくつかのカテゴリーを設定し、統計的処理により各因子各カテゴリーごとの得点および判定基準を決定する。現地調査において、調査結果とカードの各因子各カテゴリーの該当欄に記入し、同時に得点を加算すれば、現地で直ちに危険度を予測することができる。

7. 被害程度の予想

崖崩れの被害程度は崩壊の規模と家屋その他の施設の密集状況によって左右され、被害程度を推定するに当ってはまず崩壊規模を予想する必要がある。

現時点では、斜面の崩壊機構を諸因子と関連づけて、その概略を定性的に推定しているに過ぎず、崩壊規模、形態を理論的根拠によって定量的に把握することは困難と思われる。

一方理論的な崩壊機構はともかくとして、崩壊状況、崩壊規模、崩壊地の諸因子についての資料をできるだけ収集することによって、統計的な処理により、その相互関係を明確にすることができると考えられる。したがって、災害の調査は、その目的と調査項目を明確に決め、あとの統計的処理が有意に行なえるように計画され、実施されることが望ましい。これらの点については、今後さらに研究開発を進め、より合理的な防災計画、防災投資が行なうことができるようにしなければならないと考える。

参 考 文 献

- 1) 芝 祐 順：行動科学に於る相関分析法，昭和42年11月，東大出版会
- 2) 青山博次郎：ダミー変数と数量化法への影響，昭和40年4月，統計数理研究所
- 3) 青山博次郎：市場調査のための数量化の理論と実際，昭和37年，工業統計講座(7)統計数理研究所
- 4) 丸安隆和：写真判読による地すべり崩壊の統計的研究，土木学会論文集116号，昭和40年4月
- 5) 稲見悦治：都市災害論序説，昭和41年5月，古今書院
- 6) 小出 博：山崩れ〔応用地質〕，昭和38年8月，古今書院
- 7) 小貫義男：土木地質，昭和32年3月，森北出版
- 8) 三木五三郎：地盤調査の実務，昭和42年6月，オーム社
- 9) 大滝俊夫：横浜市内のがけくずれの予報，昭和36年11月，研究時報14(7)
- 10) 大滝俊夫：降雨によるがけくずれの水文学的研究，昭和11年7月，研究時報17(6)
- 11) 田中 茂：神戸市背山地域の崩壊箇所の予想について，昭和37年5月，建設工学研究所
- 12) 横浜市役所：横浜市地域防災計画

(1968. 4. 4・受付)