

# 六甲山系における斜面の評価手法について

坂根 健一

近畿地方整備局 六甲砂防事務所 調査・品質確保課 (〒658-0052 神戸市東灘区住吉東町3-13-15)

六甲山系グリーンベルト整備事業における土木構造物や樹林帯の整備にあたって、広大な六甲山系の中から優先的に整備すべき箇所を選定するためには、六甲山系の斜面の崩壊しやすさを定量的かつ客観的に評価する必要がある。本検討では、統計的手法である多変量解析を用いることで、六甲山系の多種多様な様態を反映し、大量のデータを精度良く活用して評価することができた。

キーワード 六甲山, 斜面崩壊, 多変量解析, 優先度選定, 樹林による効果

## 1. はじめに

な斜面崩壊が発生し、六甲山系全体での斜面崩壊箇所数の総計は2,000箇所以上にも達した。

### (1) 六甲山系における斜面崩壊

神戸・阪神地区のすぐ背後に位置する六甲山は、江戸時代から明治にかけて、樹林の乱伐によりたびたび土砂災害を引き起こしていた。このような土砂災害から市街地を守るため、1893年（明治28年）に砂防工事が開始され、植樹や砂防堰堤等による対策が進められてきた。

平成7年の阪神・淡路大震災では、六甲山系の各所で斜面の崩壊が発生し、さらに、地震によって地盤がゆるんだことで、その後の降雨等による崩壊の拡大やあらた

### (2) 六甲山系グリーンベルト整備事業

六甲山系グリーンベルト整備事業は、土木構造物や樹林帯の整備等により、六甲山系を一連の樹林帯として保全・育成し、土砂災害に対する安全性を高めるとともに、緑豊かな都市環境、景観等を創出することを目的とした事業である（図-1参照）。事業範囲は、東は兵庫県宝塚市より、西宮市、芦屋市、神戸市須磨区に至るまでの東西方向約30kmに渡っており、総面積は約8,600haと非常に広大である。

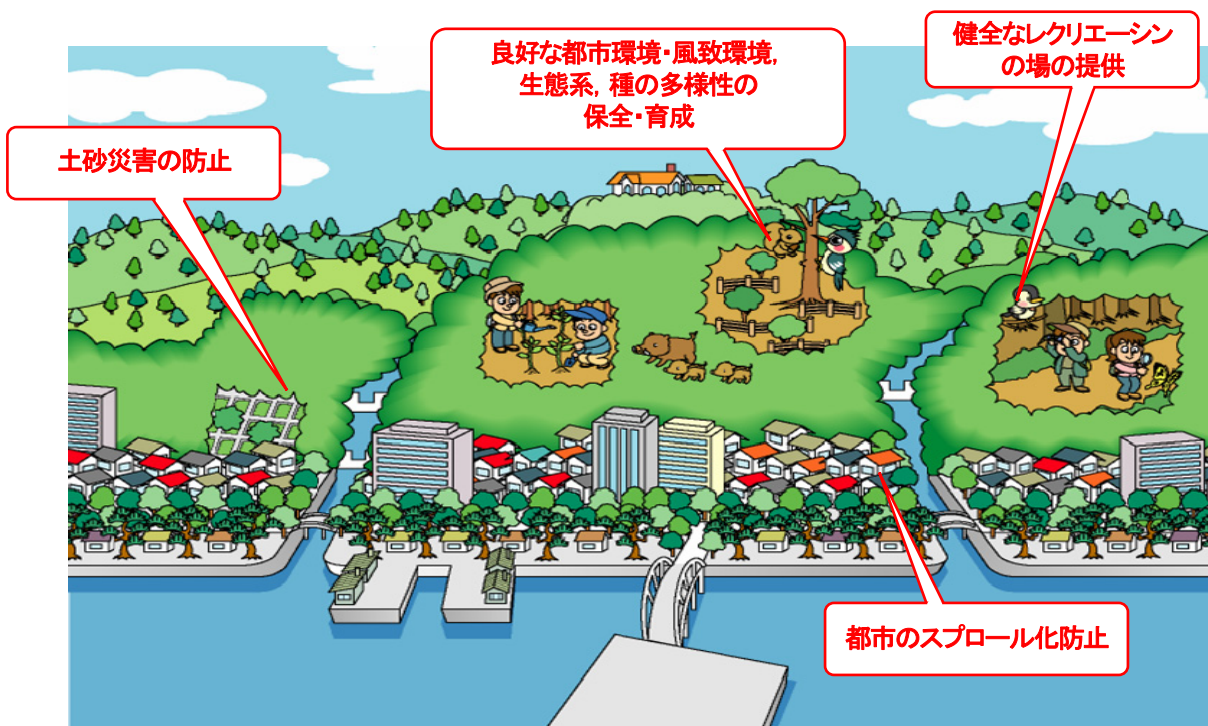


図-1 六甲山系グリーンベルト整備事業の4つの目的

このような事業の特徴を考慮し、本検討の目的として、六甲山系における斜面の崩壊しやすさを定量的に評価することで、広大な六甲山系の斜面の中から斜面崩壊が起こる可能性の高い斜面や、斜面对策工事・樹林整備を施さなければならない斜面を適切かつ効率的に抽出することと設定し、優先的に整備すべき事業箇所を選定することで、事業の効率化を図ることを目指した。

## 2. 評価手法の選定

### (1) 評価手法の選定

本検討における解析手法の選定にあたっては、六甲山系の多種多様な大量のデータを反映し、かつ精度よく解析できる手法であることとし、広大な面積の中から効果的に抽出できる手法として、ある区画ごとに区切られたメッシュにおける属性値をもとに解析を行う統計的手法を採用した。

### (2) 統計的手法の特徴

メッシュを用いた統計的手法の長所として、メッシュの単位寸法を調整することで解析の精度を上げることができる点にある。

よって、本検討においては、10m×10m四方の平面メッシュを採用することで六甲山系全域を894,993メッシュに分割し、精度の高い解析結果を得られるようにした。さらに、この1つ1つのメッシュに対して、表-1の六甲山系の多種多様な様態をデータとして持たせることで、大量のデータを反映させた結果が得られるようにした。

### (3) 多変量解析

今回採用した解析手法は、ある現象に対して、それに関連性のある説明要因との相関性を反映させる統計的手法を用いた。本検討においては、斜面崩壊という現象に対して、それに関連性のある表-1のような六甲山系の多種多様な様態との相関性を評価するということである。

具体的には、表-1に示す発生素因を変数として扱うが、このような複数の変数のことを、統計学上では「多変量データ」といい、多変量データを用いる解析手法を多変量解析という。本検討において言い換えると、斜面崩壊実績を「目的変数」、それを説明する六甲山系の多種多様な様態である発生素因を「説明変数」とし、斜面崩壊のしやすさを多変量解析により評価するということである。

### (4) 数量化Ⅱ類

本検討で用いる説明変数の中には、植生群落データ、表層地質データのような数量で表現することの不可能なデータ（以下、質的データという）が含まれているため、

表-1 斜面崩壊の発生素因として想定される現象

区分	発生素因
地形	標高
	傾斜勾配
	斜面方位
	集水地形
地質	表層地質
	断層からの距離
植生	植生群落
崩壊地	崩壊履歴 (過去の崩壊実績の有無)

表-2 最終決定した斜面崩壊の発生素因

区分	発生素因
地形	傾斜勾配
地質	表層地質
植生	植生群落
崩壊地	崩壊履歴 (過去の崩壊実績の有無)

表-3 種々の多変量解析の変数の性質ごとの選定表

説明変数 目的変数	量的データ	質的データ
	量的データ	重回帰分析など
質的データ	判別分析 ロジスティック回帰 分析など	数量化Ⅱ類

表-3に示す数種類存在する多変量解析の解析手法のうち、説明変数、目的変数ともに質的データを取り扱うことのできる数量化Ⅱ類を採用した。

数量化Ⅱ類は、目的変数と説明変数の相関性がどの程度あるのかを、判別値という数値（スコア）で表現することが可能な手法である。

## 3. 解析精度

解析を進めるにあたっては、先述のように六甲山系の多種多様な大量のデータを反映させることはもちろんであるが、一方で、精度よく解析することも重要である。ここでは、解析の精度に関して留意した点を次に述べる。

### (1) 説明変数の絞り込み

表-1にてリストアップを行った、斜面崩壊に対して因果関係があると想定される六甲山系における多種多様な様態のうち、すべてのデータが目的変数に対して因果関係があるのか、あるいは、相関性が低いものは含まれていないかを検証するため、相関の強さなどを基準に抽出し、表-2に示す4項目へ絞り込んだ。

このように説明変数を減らすことは、多種多様な様態を反映させることに対して逆行しているようにも思われるが、相関性の低い説明変数を解析に含めても、全体の解析結果に対して極めて影響が少ないこと、また、精度の悪いデータや相関性の低いデータを含めたまま解析をした場合、目的変数に資する要因が低い素因に対しても整合性を得ようと解いてしまうことになるため、結果的に全体としての解析精度が下がってしまう可能性があることから、目的変数との相関性が強い4変数に絞り込むこととした。

また、複数の説明変数はそれぞれ独立でなければならず、ある説明変数どうしの相関が強い場合、目的変数と説明変数間の相関であるスコアに、説明変数間の相関の影響が含まれてしまうという「多重共線性（マルチコリニアリティ）」が発生し、算出されるスコアに悪影響を与えることがある。そこで、4つの説明変数のそれぞれの組み合わせにおいて、相関が低いこと（Cramerの連関係数0.1未満）、すなわち多重共線性がないことを確認した。

### (2) データのカテゴリ化

説明変数のうち「傾斜勾配」は「勾配°」という単位を持ったデータであり、連続した数値で表すことができるデータ（量的データ）であるため、このままでは他の「表層地質」「植生群落」「崩壊履歴」のような数値化できないデータ（質的データ）と同時に取扱うことは不可能である。

そこで、連続した数値データを、ある階層ごとに区切られたカテゴリごとに分類する「カテゴリ化」を行うことで、量的データを質的データへと変換して解析に利用できるようにした。

カテゴリ化に際しては、解析の精度を保つため、各カテゴリに含まれるサンプル数が極端に少なくなることをないようにサンプルの分布を考慮しながら複数のパターンを試行し、最終的にカテゴリ区分幅を5°きざみに設定した。図-3に区分幅5°きざみのケースの各カテゴリの度数分布グラフを示す。

### (3) メッシュ単位

メッシュ単位は、解析のもっとも基本となる単位であり、全体の解析精度に大きく影響する。本検討では10×10m四方のメッシュを採用したが、これに先立ち、図-2のメッシュサイズごとに、実際の崩壊地をどの程度捕捉できるのか比較検討を行った。比較検討の方法としては、1メッシュごとの判定の指標を、当該メッシュ内で50%以上の面積を崩壊地が占めた場合に「崩壊地メッシュ」と判定することとし、この判定結果と、実際の航空写真による崩壊地面積を比較し、反映可能な割合を算出した。算出結果からわかることとして、10×10m以下のケー

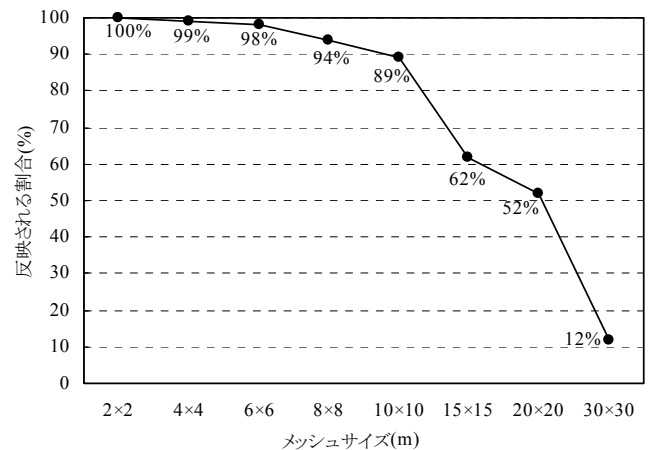


図-2 各メッシュサイズのケースごとに反映される崩壊地面積率

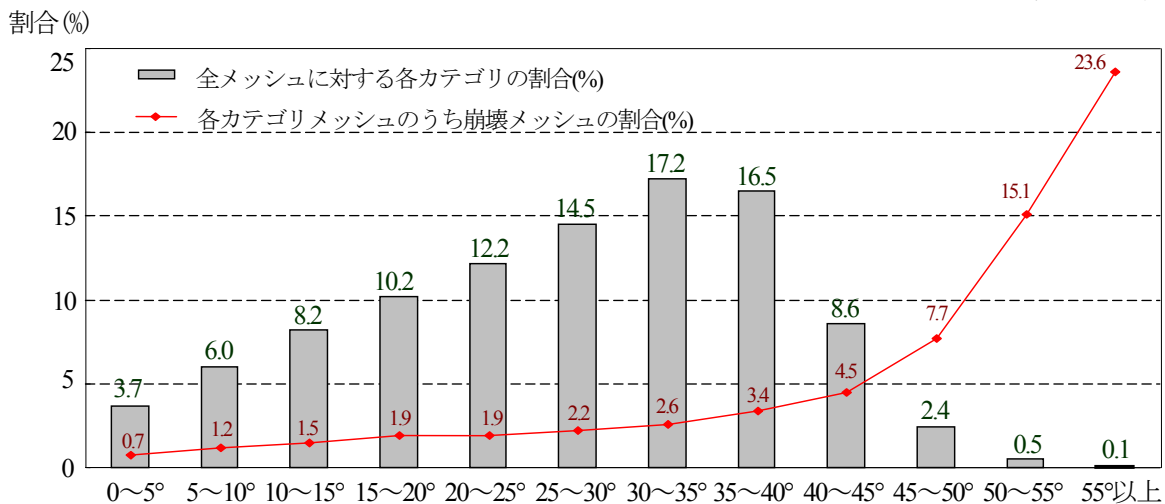


図-3 傾斜勾配のカテゴリ化と各カテゴリごとの度数分布グラフ

スでは概ね実態の崩壊地を再現できたが、15×15m以上のメッシュサイズでは再現精度が急激に低下する結果となった。

この原因として、既往調査による六甲山系における斜面崩壊地調査の結果<sup>9)</sup>によると、「六甲山系における過去の災害実績調査に基づく斜面崩壊の標準的規模の傾向として、崩壊幅、崩壊長ともに15m以下のものが大半を占めている」という傾向が得られており、このことから、15×15m以上の各ケースの精度が著しく低下した原因は、六甲山系にて発生する崩壊のうち大半を占める15×15m未満の崩壊を適切に表現できなかったためと考えられる。

以上より、図-2の傾向から判断して妥当な再現性を有しており、かつ運用上扱いやすくキリのよい数字である10×10mメッシュを採用した。

#### 4. 解析の流れ

六甲山系グリーンベルト整備事業は、樹林・植生といったものを対象に取り扱うため、時間とともに成長を続ける樹林の時系列変化を継続して検証していく必要がある。そこで、斜面崩壊の危険性が高い箇所を抽出するという目的に加えて、六甲山系の樹林が良好に遷移し、その効果を継続的に検証することも可能となるよう解析方法を工夫した。

#### (1) 時系列を考慮した解析

解析の基本的な流れのイメージを表したものが、図-4である。本解析では、解析の前半部分である逆解析において算出した相関性（スコア）を「六甲山系の固有値」として一度確定し、そのスコアを用いて、崩壊地データ、植生群落データのような時系列変化する変数を最新のデータに更新したうえで、順解析を行うという流れで実施した。

ここで、六甲山系の固有値とはすなわち解析の対象となる六甲山系というフィールドの傾向（特徴）を表すものであり、過去の既往災害にてどのような箇所が崩壊したかという履歴をもとに、六甲山系を客観的に総括して評価したものである。これに加えて、順解析による将来予測を行うことで、六甲山系というフィールドにおいて今後予想される傾向を継続して検証することが可能となる。

#### 5. スコア算出結果

逆解析によるスコア算出結果は図-5のとおりである。崩壊発生との関係が大きい素因ほどスコアをマイナス側に大きく表現している。

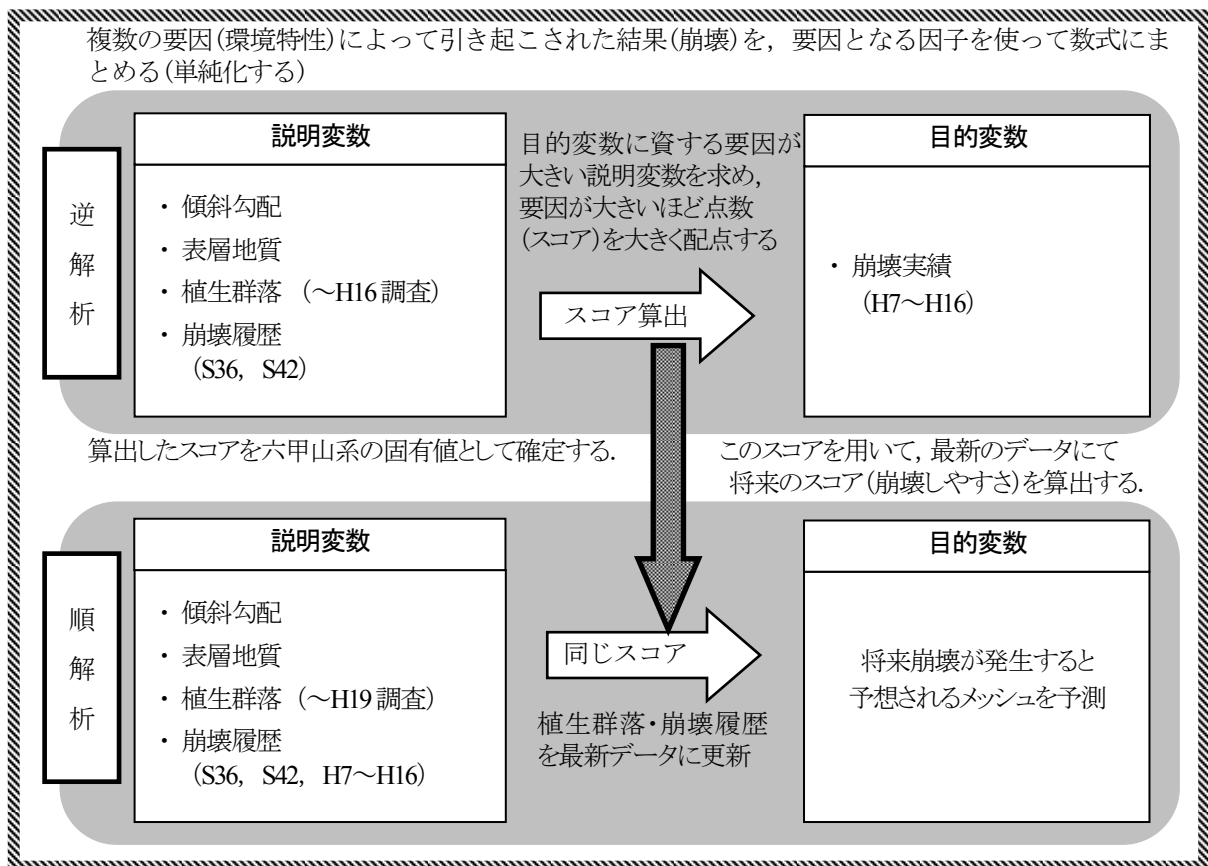


図-4 本検討における多変量解析（数量化Ⅱ類）のイメージ図

(1) 定性的現象の評価

スコア算出結果からわかることとして、崩壊履歴のスコアに示されるように、「過去に崩壊が発生した箇所は、再び崩壊が発生する可能性が高い」ということが、本解析によって客観的に評価できたことを示している。このように、いままで経験的に崩壊リスクが高いといわれてきた既往崩壊地の危険性のような定性的現象を、解析により定量的に表現できたということは、質的データを取り扱うことのできる数量化 類の最大の利点である。

(2) 度数分布の偏りによる弊害

植生群落における「アカマツ - ハナゴケ群落」カテゴリのスコアは、他のカテゴリのスコアと比較すると極端に大きなスコアとなっている。この原因は、解析に用いた説明変数であるそれぞれの素因が、全データに対して占める割合（度数）に偏りがあるため、「アカマツ - ハナゴケ群落」のような度数が小さいものはスコアが極端に判定される結果となったためである。このような度数分布のばらつきは、解析の対象となるフィールドの特性に左右されるため、ばらつきをいかに平準化するか苦慮するところではあるが、「アカマツ - ハナゴケ群落」以外については概ね妥当なスコアが算出されており、全体として解析は妥当であると考えている。

6. 斜面崩壊のしやすさの将来予測結果

順解析による将来予測結果を平面的に表したものが図-6である。斜面崩壊の可能性が高いものから順に、ランク1、ランク2、ランク3として色分けすることで、斜面崩壊の危険度を視覚的にわかりやすい形で表現することができた。

目的変数である将来予測値の算出式は式(1)のとおりである。なお、解析により「崩壊あり」と判別された箇所が、実際に「崩壊あり」であったどうかを示す確率である判別的中率は、本解析においては、95.7%となった。

$$y = \sum_{i=1}^4 \sum_{j=1}^n a_{ij} x_{ij} \quad (1)$$

ここに、

- y : 目的変数      a : スコア (判別値)
- x : 説明変数      n : 各説明変数のカテゴリ数

(1) 客観的評価

斜面評価の手法として従来から用いられてきたのは、現地踏査を中心とした斜面崩壊危険箇所1箇所ごとの逐次調査であった。しかし、この手法では、斜面の評価自体が抽象的になりがちで、調査員ごとの経験や主観に左

右されやすく、統一的な見解を得られにくいという欠点があった。本解析手法では、大量のデータを最大限活用し統計的に処理することで、同一の視点、一定の考えに基づいた客観性・透明性を高めた評価が可能となった。

また、解析結果の検証のため、過去に直轄にて工事を実施した箇所との整合性を確認した結果、すべての直轄

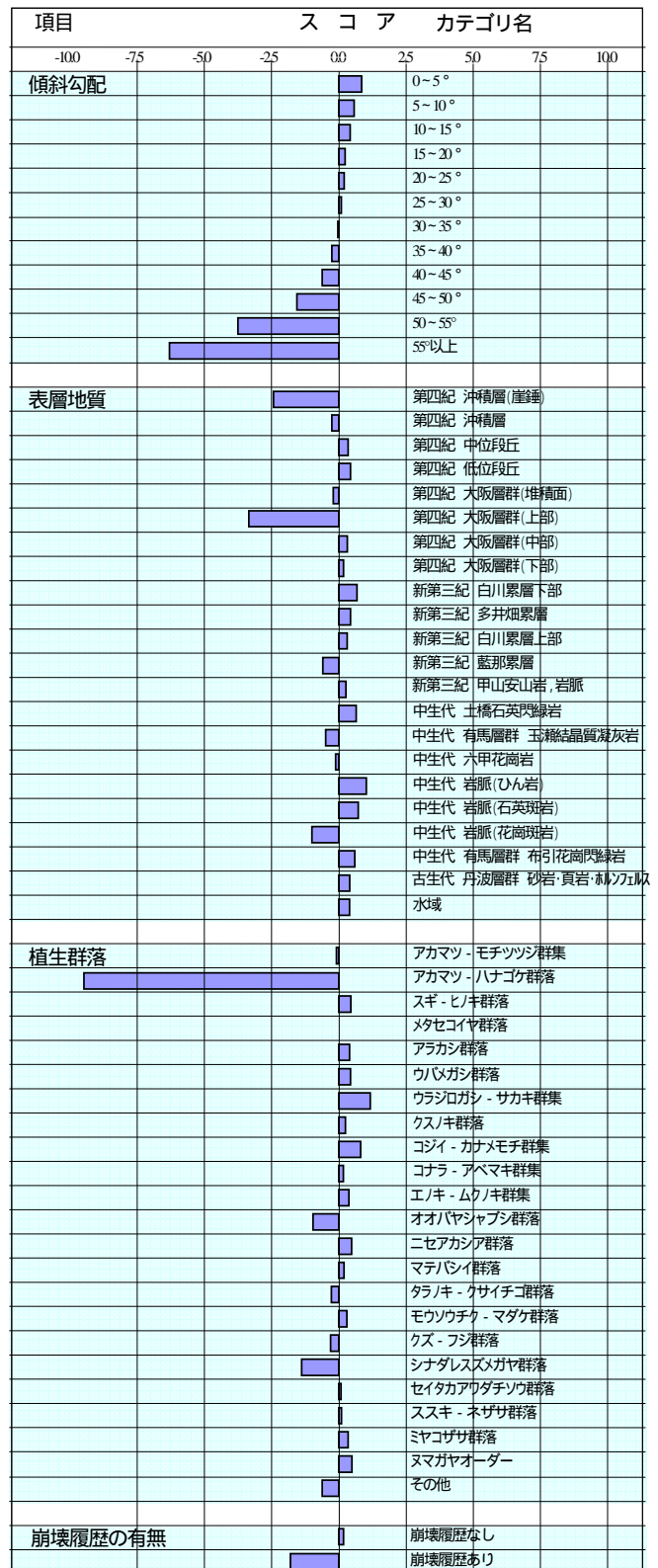


図-5 カテゴリスコア一覧

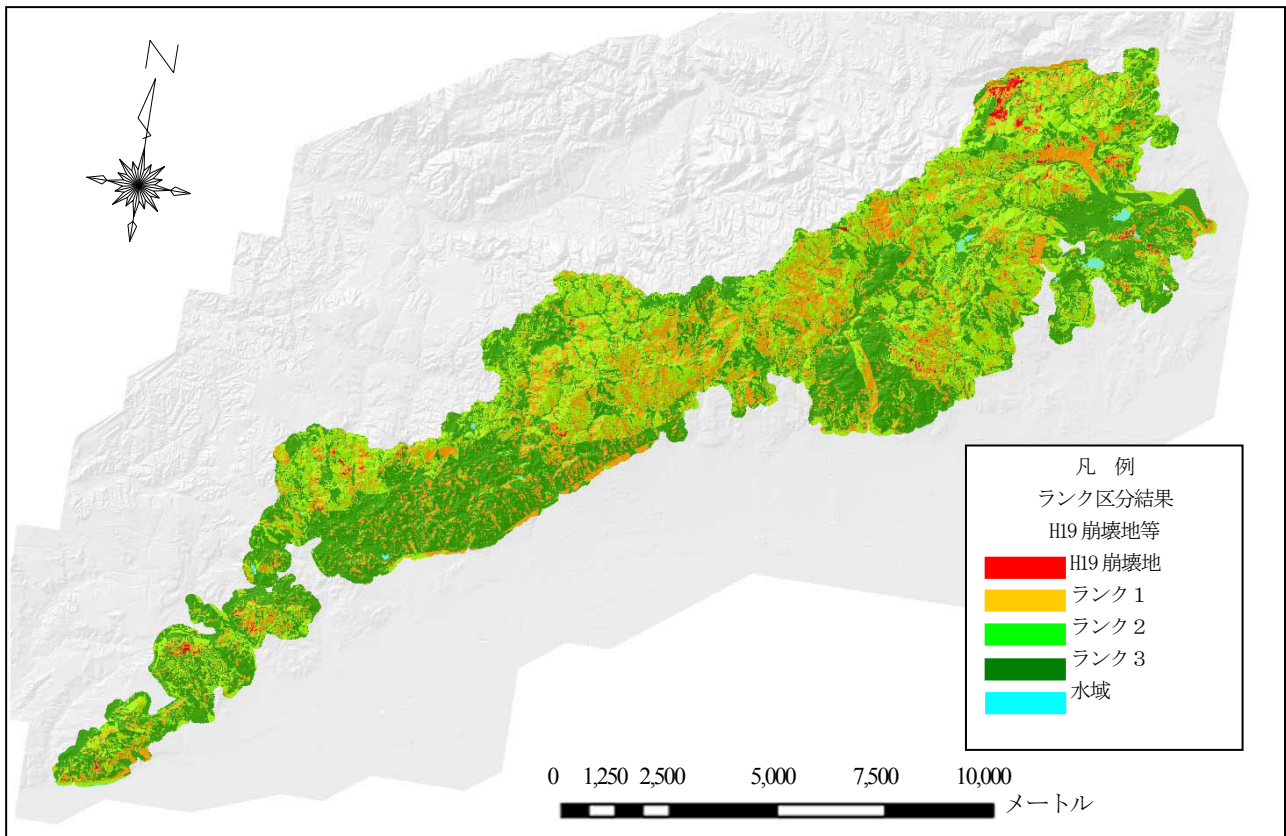


図-6 将来予測ランク区分の分布平面図

工事箇所はランク1に分類される結果となり、解析結果が実際の現場に即した妥当性を有していることが確認された。

## (2) 質的データから得られる結果の取扱い

数量化Ⅱ類における入力データは、単位を持たない質的データであり、そこから得られる解析結果はスコアで表現される。このスコアは相対評価であるため、「斜面崩壊の危険性がどの程度あるのか」といった目安（ものさし）がつけにくく、直感的にわかりやすい指標を得られにくいという問題点がある。

そこで、ランク1、ランク2、ランク3の区分幅の決定の際には、斜面崩壊の発生のしやすさを身近な度量と比較しやすいよう工夫をした。

まず、もっとも斜面崩壊の可能性の高いランク1については、1/200年確率の雨が降った際の斜面崩壊の箇所数を、別途行った多変量解析において算出し、これと等価にあたる危険度をランク1とランク2の閾値とした。

次に、もっとも斜面崩壊の可能性が低いランク3については、過去の斜面崩壊履歴の中で一度も斜面崩壊が発生していない斜面の箇所数を算出し、これと等価にあたる危険度をランク2とランク3の閾値とした。

このように、各ランクの危険度を身近な例により目安をつけることで、ランク区分図の利用にあたり直感的に感覚を得やすくなった。

## 7. まとめ

本解析結果を用いることで、斜面对策工事・樹林整備などを行う箇所の選定に際の基礎的資料として活用することができ、今後の効率的・効果的なグリーンベルトの整備に寄与することが期待される。

また、植生群落データの一部は、現地における植生調査結果に基づいた植生群落図（林相図）を用いているが、今後は、樹齢、群落の育ち具合、下草の状態など、良好に整備されている樹林であるかどうか（植生の質）についても考慮していく必要があると考えられる。

樹林の育成は一般的に植樹・間伐などをしてからおおよそ5年がひとつの節目であるといわれている。このような樹林の経年的変化を反映するため、本解析に用いる植生群落データを樹林整備の実施状況に合わせ更新していくことで、樹林が斜面崩壊の防止に寄与する効果を継続的に検証し、樹林による土砂流出防止効果（樹林が斜面崩壊防止に寄与する効果）が有効に斜面崩壊防止に寄与しているかどうかを継続的・定量的に確認していくことが可能である。これにより、長期的な樹林の維持管理計画の立案にも寄与することになると考えられる。

## 参考文献

- 1) 六甲砂防事務所：山腹斜面適用工法選定マニュアル（運用編），pp.14～15,2004.