

地形要因データを考慮した土砂崩壊発生の予測と評価について

石原慎一郎*・島 重章**・吉國 洋**

(平成12年 9 月30日受理)

Study on the Prediction and Estimation of Occurrence of Slope Failure due to Natural Factors

Shinichiro ISHIHARA, Shigenori SHIMA and Hiroshi YOSHIKUNI

(Received Sep. 30, 2000)

Abstract

Remote sensing data analysis was examined by the transmission data of earth resources satellite data "SPOT-2", at Asakita Ward of Hiroshima City where the slope failure occurred on June 29, 1999.

Geotechnical engineering maps were made by these results of the analysis, and the ground database at the same area was made. Next, the quantitative analysis was conducted by the ground database.

Based on the analysis results, this paper propose that it is possible to specify the failure points of natural slope, and that it is possible to predict the hazard future zone of the same area.

Key Words: slope failure, weathring granite soil, remote sensing data, quantitative analysis

1. はじめに

過去10年間のリモートセンシング技術は、データの利用可能性を模索した時代であり、これからのリモートセンシング技術は広く実用的段階に入るものと考えられている。すなわち、人工衛星や航空機などから得られたリモートセンシングデータは、地上調査ではとらえることの出来ない広域面を周期的に調査できるとともに、人為的、自然的現象の変化を精密に測定でき、地域的にも時間的にも従来の枠を越えた効力を持つものであることが判明した。具体的には、環境保全、災害の防止、農林水資源の把握、鉱物資源の探査、国土の合理的利用といった多くの面で利用できることが判ってきた。

以来、我が国のリモートセンシングは産・学・官それぞれの立場から研究開発が促進され、数多くの実績を上げることが出来た。今後はこれからの成果に基き、実用化に向

けて本格的に研究開発を進めることが期待されている¹⁾。

平成11年 6 月29日未明から降り続いた雨は、午後 3 時以降に集中豪雨となり、広島市西部から北部にかけて 30mm/hr~80mm/hr の降雨量をもたらした。この集中豪雨によって同地域山腹の崩壊を各所に発生させた。特に風化花崗岩土を主として構成された山体は、風化の進行した急斜面から山腹の崩壊を促進させ、土石流となって数キロの溪流を流下して下流の田畑や家屋を直撃した²⁾。

そこで本研究では、平成11年 6 月29日に発生した広島豪雨災害を調査するために、地球観測衛星 SPOT-2 号から送信されてくるデータをもとに、広域調査を対象としたリモートセンシング解析を行った。まず災害の多発した同地域の広域地盤分類図を作成するにあたり、災害発生以前の衛星データを用いて、地盤工学的なデータとして利用可能な地形要因データを作成し、調査地域の地盤データベースを試みた。

* 広島工業大学大学院工学研究科土木工学専攻

** 広島工業大学工学部建設工学科

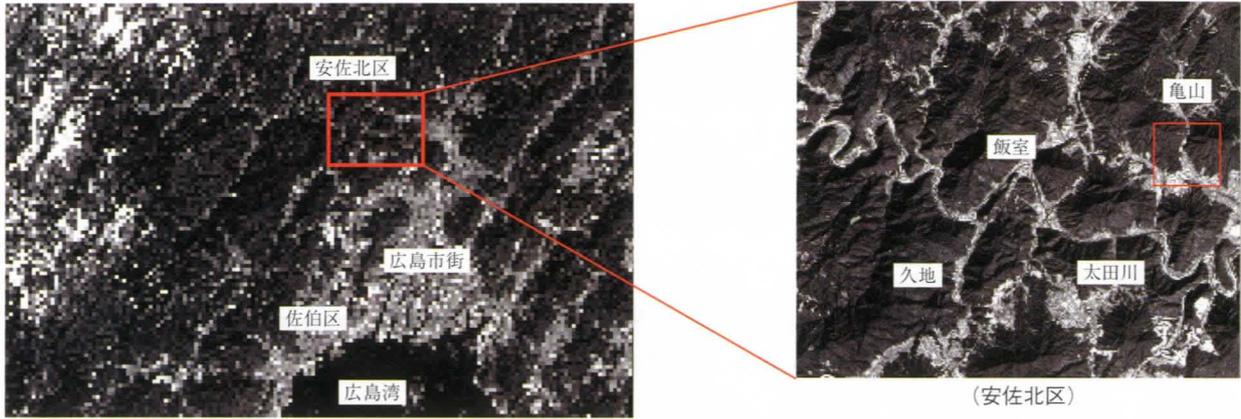


図-1 SPOT-2における安佐北区の調査地域

さらに、その中から地形要因データを用いて数量化理論第Ⅱ類による解析を行い、広島豪雨災害によって発生した自然斜面の崩壊の発生を予測することを試みたものである。

2. H11. 6. 29の災害状況と調査地域

広島市安佐北地区は、広島県の西部に位置し、太田川の中流域にある。安佐北地区の大部分は、大・中起伏山地で占められており、今回土砂災害が発生した亀山地区は、山麗・中起伏山地で形成されている。

山地の山頂および山腹には中国山地に広く見られる侵食小起伏面の斜面が分布している。河川は、太田川本流が西から東へと蛇行しながら広島湾へと注いでいるほか、その支流が山列に沿って幾本も本流に流れ込んでいる。

広島市安佐北区内において、降雨による斜面崩壊が発生した亀山地区を調査地域とした。図-1に調査地域を示す。

この地域において、平成11年6月29日に活発な梅雨前線が中国地方を襲った。県内各地では、土砂崩れで民家が全壊したり、増水した川に人が流されるなど、大きな被害が相次いだ。記録的な時間雨量 53mm/hr となった午後3時以降の2時間に被害が集中した。図-2に時間降雨量の変化

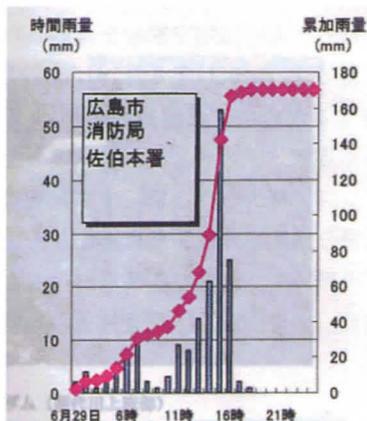


図-2 時間降雨量変化

化を示す³⁾。さらに広島市安佐北区亀山地区の被害状況は、航空写真データとして図-3に示す⁴⁾。



図-3 被害状況(亀山地区)

3. 地球観測衛星SPOT-2号について

地球観測衛星 SPOT-2 (Satellite Probatoire d'Observation de la Terre) は、フランス初の地球観測衛星で、1986年(昭和61年)に1号機の打ち上げに成功したのち、1998年(平成10年)に4号機が高度約822kmの太陽同期軌道に打ち上げられた。観測機器は、HRVとVGTのCCDセンサーを2台搭載している。

表-1 使用したSPOT-2号データ

項目	マルチバンド HX データ (Mu)	パナクロマチックバンド HP データ (Pa)
観測バンド (μm)	Mu1: 0.50~0.59 Mu2: 0.61~0.68 Mu3: 0.79~0.89	Pa: 0.51~0.73
空間解像度	約20m×20m	約10m×10m
撮影日	1999年6月21日	1999年1月31日

SPOT は、衛星直下を観測するだけでなく、センサーの向きを変えることにより、斜め観測をすることができる。これにより、これまでの他の衛星ではできなかった特定地域の繰り返し観測周期を4～5日間に短縮することができる。また、同地域を角度の違った方向から見ることにより立体視のできる画像が得られるなどの特長を有する⁹⁾。

表-1 に使用データの概要を示す。

4. 使用データの解析方法

使用した衛星データの画像処理方法は、図-4 に示すように、比演算処理画像を用いて各地盤分類図を目的変量とする重回帰分析を行い、得られた最良回帰式から回帰処理画像を作成するものである。ここに使用したリモートセンシングデータ用解析・可視化ソフトウェアは「ENVI」である。

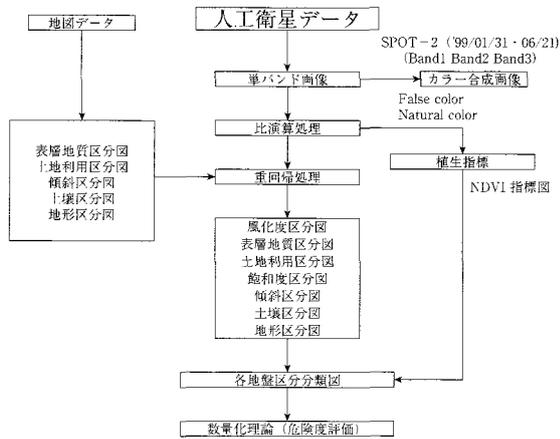


図-4 画像処理の方法のフローチャート

4.1 比演算処理

比演算処理画像は、バンド間の濃度の比をとることによってその相互関係を強調し、バンドの重ね合わせだけでは得られないわずかな反射濃度の差を判明することができる。

処理方法は、2画像間の画素同士について数学的な演算を行い、新しく画像ファイルを作成するというものである。得られた比演算処理データの特性は、

- ① 日向と日陰の影響を除去
- ② 薄い雲やもやの影響を除去
- ③ 植生などに被覆された地表面の特性を抽出
- ④ 斜面などの傾斜の大小を抽出など

以上のような特長抽出をすることが可能である⁶⁾。

また、演算式としては、

$$(A - B) / (A + B)$$

を使い、圧縮変換は Liner, Log, Atan の中から画像の質を比較し、Atan 変換を用いた。

なお、上記演算式のAにバンドmを、Bにバンドnを用いて作成した画像を R-mn と呼ぶことにする。

4.2 重回帰分析

重回帰分析とは、数ある多変量解析の手法の中で最も一般的に知られている解析法である。これは、数種の項目A, B, C, ... から、ある1つの項目Yを予測しようとするものである。

これらの項目は、「変量」あるいは「変数」と呼ばれ、ここで項目A, B, C, ... は項目Xを説明する変量であることから「説明変量」と呼ばれ、項目Yは「目的変量」と呼ばれる⁷⁾。

重回帰分析の目的を一言で言い表せば、「A, B, C, ... の項目から、Yという項目を予測する最良回帰式を求めよ」ということになる。なお、プログラムは統計処理解析プログラム「SPSS」を使用する。

4.3 最良回帰式の説明

重回帰分析の結果、得られた偏回帰係数より最良回帰式を作成する。まず重回帰分析の数学モデルとして最良回帰式が得られる。

$$Y' = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 \dots b_kX_k$$

ここに $b_0 \sim b_k$ が偏回帰係数である。

観測されている何個かの変量について、その中の1つを目的変量Yとして重回帰分析を行い、Yの予測値を他との関連において求める場合、説明変数の数が多すぎると計算が大変になる。そこで、あらかじめ説明変量としてどのような変量を選択すべきかという問題を考えると、変量の選び方の基準として次のようなものが知られている⁸⁾。

- ① Yの変動をよく説明できるもの
- ② 操作や測定（観測）のしやすいもの
- ③ 説明変量間の相関係数があまり大きくないもの

これらについてそれぞれ説明すると、

①は、変量とYとの相関係数が大きいことはもちろんであるが、Yを決定する因子として重要な変量であっても、非常に変動の少ない場合は、Yの変動にほとんど影響を及ぼさない場合がある。

②は、操作しやすい変量であるということは、Yの予測可能な範囲を広くするために、説明変量の値もいろいろ変化させて観測できること、およびある回帰予測値を得るために、説明変量がそれぞれどのような値をとればよいかという問題を生ずるため、操作しやすいとともに測定しやすいことが望ましいのである。

③は、説明変量間の相関係数が大きくても、相関行列間の相関係数がよければ、説明変量としてはどれか1つを選択すればよい。

5. 衛星データを用いた地形要因データの解析

5.1 単バンド特性

地物に電磁波が当たると、反射・吸収または放射が起きる。物質に入射した電磁波のうち、どのくらいの割合が反射されるのかを波長ごとに分けた分光反射率という値が考えられる。この反射率は0～255の256段階の数値データ(CCT値)として示される。この CCT 値を調べることでより水、植物、土などの判別が可能である。

SPOT-2では Band1 は水陸の区別ができるが、水域と植物の区別はつかず同じように見える。Band2 は水陸の境界は、はっきりしている。また、植物域については濃くはっきり見える。Band3 は陸と海の輝度差がはっきりしている。また、植物からの放射をよく捉えるので植物量の調査に適している。

今回使用した SPOT-2 の各バンドでの水系、植物、土の単バンド特性を図-5 に示す。

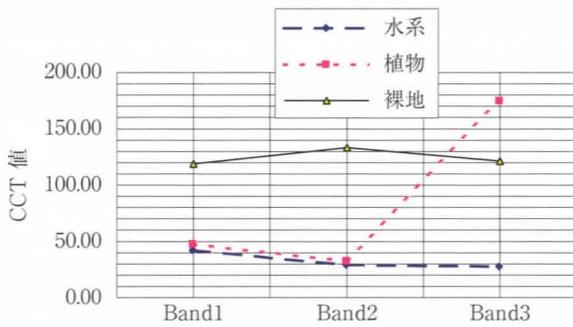


図-5 単バンド特性

5.2 カラー合成画像

(1)フォールスカラー

この画像は、3バンドのカラー合成画像である。植生の

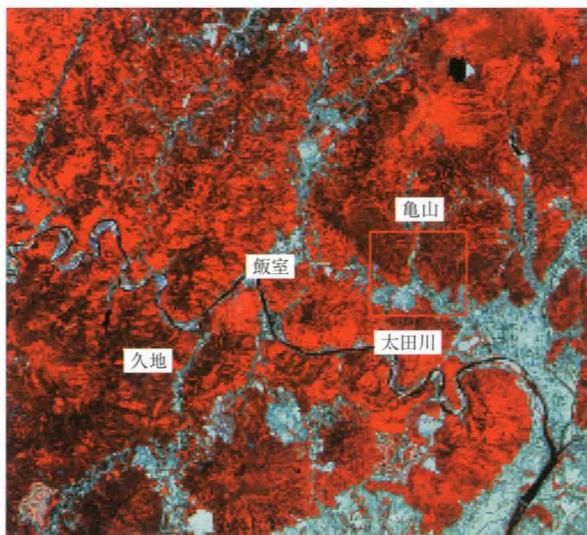


図-6 フォールスカラー (安佐北)

活力があるほど赤く見える。草地はやや赤みがかっており、森林などは濃い赤色となる。裸地、空き地などは白く見え、低地部は青色がかってくる。

カラー合成画像のフォールスカラーを図-6 に示す。

(2)ナチュラルカラー

この合成画像は、植生のある森林部が緑色となり、陸域と海域の差がはっきりと分かる画像である。植生の少ない部分(低地部)が赤く表れている。

カラー合成画像のナチュラルカラーを図-7 に示す。

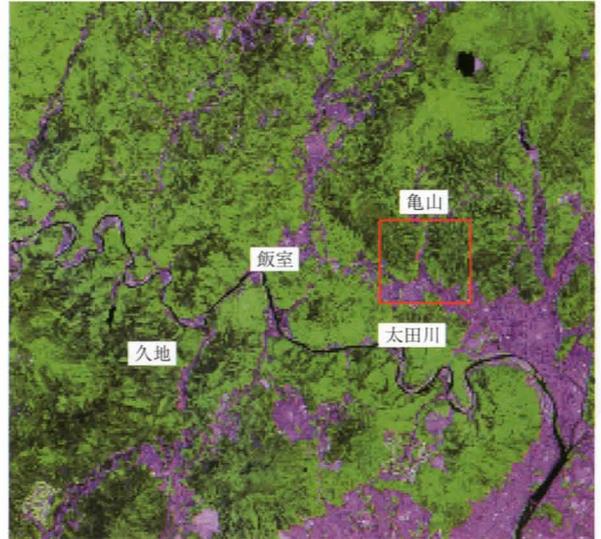


図-7 ナチュラルカラー (安佐北)

5.3 解析結果画像

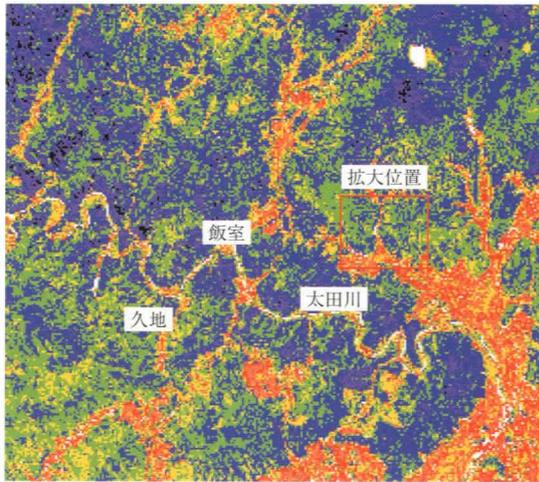
ここでは地形要因データとして土地分類基本調査図をもとに地盤表面の風化および傾斜について重回帰分析処理により、作成した画像の精度について考察する⁹⁾。重回帰分析によって得られた処理結果の検証は、表-2より、重相関係数、F検定、t検定の結果が精度良く示されていることがわかる。

表-2 重回帰解析結果 (風化, 傾斜)

目的変数	重相関係数	説明変数	F 値	有意性	偏回帰係数	t 値	有意性
風化	0.999	R-12	F (3.17,1%) =6.112<22.698	1%危険 である	0.027	2.058	10%危険
		R-23			0.109	-4.480	0.1%危険
		R-32			-0.135	-11.202	0.1%危険
		定数			29.243	5.171	0.1%危険
傾斜	0.900	R-23	F (1.16,1%) =8.531<59.692	1%危険 である	-0.060	-7.726	0.1%危険
		定数			11.885	17.248	0.1%危険

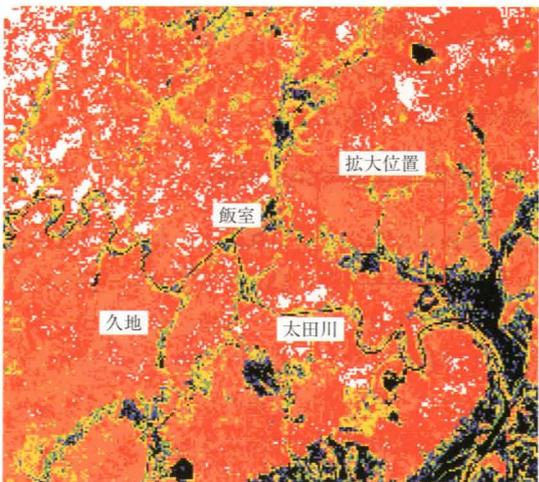
表-2 に示すように、風化および傾斜の重相関係数は0.9以上であり、F検定では風化および傾斜は1%の危険率をもち信頼性は高い。t検定についても0.1%の危険率

を持っているので、信頼性が高いと考えられる。得られた画像を図-8および図-9に示す。



風化度指標	CCT 値	画像の色
弱風化 α	0～85	黒, 紫, 青
中風化 β	85～155	緑, 黄
強風化 γ	155～255	橙, 赤, 白

図-8 風化度区分 (安佐北)



傾斜指標	CCT 値	画像の色
3°未満	0～130	黒
3°～20°	130～210	紫, 青, 緑, 黄
20°～40°	210～245	橙, 赤
40°以上	245～255	白

図-9 傾斜区分 (安佐北)

図-8は風化度区分について示した画像である。山地部分は、風化残積土によって覆われた山体が弱風化から中風化になっている。また、低地部は、風化崩壊土によって未固結堆積地を形成して強風化になっている。

図-9は傾斜区分について示した。全体的に山地地形であることから、傾斜度が急で20°～40°が多い。低地部は、

田畑、宅地などで3°未満になっている。

5.4 解析画像の質について

解析画像の質を検証するために、得られた画像の中から各指標ごとにデータを無作為に抽出し、各デジタル値(CCT)に対応する数値データの確認を行った結果を図-10および図-11に示す。

縦軸に回帰処理画像データを、横軸に地図情報データの値をそれぞれとり、相関性を示した。

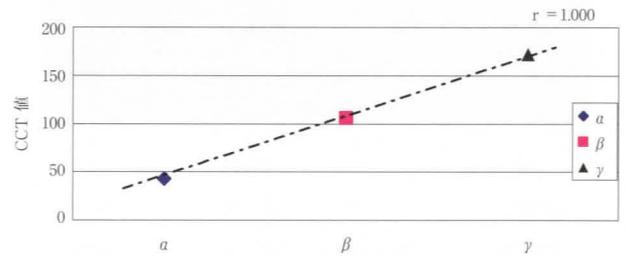


図-10 風化区分データの相関性

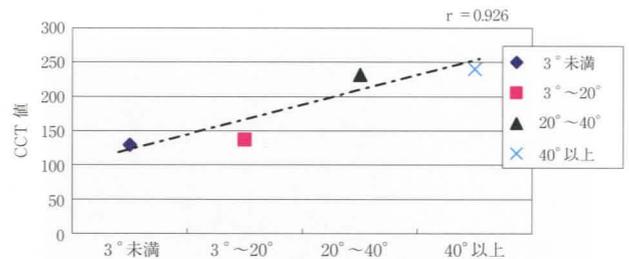


図-11 傾斜区分データの相関性

図-10については、 α 、 β 、 γ に区別が明確で、相関性は1.000であり、高精度を示した。図-11は、3°未満と3°～20°、20°～40°と40°以上のデータ間の差が小さく、相関性は0.926であった。表-2の数値データからも高い有意性をもっているので、地形要因を示す画像の質は良いと考えられる¹⁰⁾。

6. 地盤分類図適用

画像化された地形要因データを GIS データとして表示出来るならば、土地被覆状況を分類して把握することが可能である。また、土地利用図、土地条件図作成の概査としての利用などに対応できると考えられる。

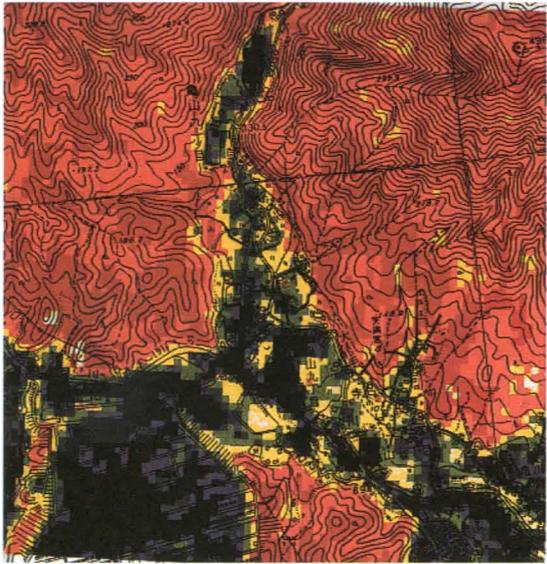
解析した回帰処理画像を拡大し、1/10000の地形図を重ね地盤情報データとした。ここに地盤分類図として図-12および図-13に風化度区分図および傾斜区分図を示す。

亀山地区の風化度は弱風化と中風化が多くみられる。その占有率は弱風化が28.5%、中風化が44.0%、強風化が27.5%である。土砂崩壊が発生した地点の風化度は弱風化および中風化であるが、土砂崩壊が最初に起こった地点の



風化度指標	CCT 値	画像の色	占有率
弱風化 α	0~85	黒, 紫, 青	32.6%
中風化 β	85~155	緑, 黄	50.9%
強風化 γ	155~255	橙, 赤, 白	16.5%

図-12 風化度区分 (拡大位置)



傾斜指標	CCT 値	画像の色	占有率
3°未満	0~130	黒	11.5%
3°~20°	130~210	紫, 青, 緑, 黄	26.6%
20°~40°	210~245	橙, 赤	61.4%
40°以上	245~255	白	0.5%

図-13 傾斜区分 (拡大位置)

風化度は弱風化であったことが画像から判明した。

次に、亀山地区の傾斜は3°~20°、20°~40°が多く見られ、40°以上の斜面も見られる。その占有率は3°~20°が26.6%、20°~40°が61.4%、40°以上は0.2%である。

土砂崩れが発生した地点の傾斜は、20°~40°の地点であり、急傾斜面が崩壊に関与したことが判かる。したがって、

表-3 重回帰分析結果

分析項目	説明変量		重相関係数 (R)	最良回帰式 (Y)
	(X ₁) (X ₃)	(X ₂) (X ₄)		
風化	R-12, R-23 R-32		0.999	0.027X ₁ - 0.109X ₂ - 0.135X ₃ +29.243
傾斜	R-23		0.900	-0.060X ₁ +11.885
表層地質	R-12, R-31		0.874	0.179 X ₁ +0.093X ₂ -19.820
土地利用	R-12, R-21 R-23, R-32		0.982	1.525X ₁ +1.701X ₂ -0.409X ₃ -0.447X ₄ -262.028
飽和度	R-12, R-21 R-23, R-32		0.995	-0.557X ₁ -0.627X ₂ +0.250X ₃ +0.210X ₄ +90.285
地形	R-13, R-21 R-23		0.987	0.935X ₁ +0.354X ₂ -1.070X ₃ -6.583
土壌	R-12, R-21		0.964	2.417X ₁ +2.995X ₂ -588.773

風化以上に傾斜要因が多く寄与していたことが考えられる。

また表-3に調査地域を対象にした重回帰分析結果を示す。この表-3の重相関係数をみてわかるように、0.87以上の高い相関係数が得られた。一般的に重相関係数が0.75以上であれば相関性が良いとされており、各画像に関しても信頼性の高い画像が得られたと考えられ、それぞれの地盤分類図の作成を可能とした。

7. 地形要因による危険度評価

数量化理論第Ⅱ類について概説すると、この理論は判別できる機能を持つもので、質的データによる判別分析である。すでに、優・良・可などに判別しているデータを外的基準として分析し、どのようにして優・良・可などのグループに分かれているかという基準を見出すのが、この分析の目的である。この理論を簡単にまとめると、

- ① 要因 (アイテム)、カテゴリーおよびサンプルを数量化する (実数を割り当てる) ことによって、分類を数量的に行う。
- ② 分類に対する各要因の寄与の程度を数量的に表現する。
- ③ データとして得られていなかった新しいタイプのデータがどのグループに最も近いかを数量的に表すものである¹¹⁾。

数量化理論第Ⅱ類の解析手順を図-14に示す。

自然斜面の崩壊要因として考えられるものは様々である。その中から、今回使用したデータとして風化度区分、表層地質区分、傾斜区分、土地利用区分、飽和度区分、地形区分、土壌区分、植生区分の8種のデータを使用して数

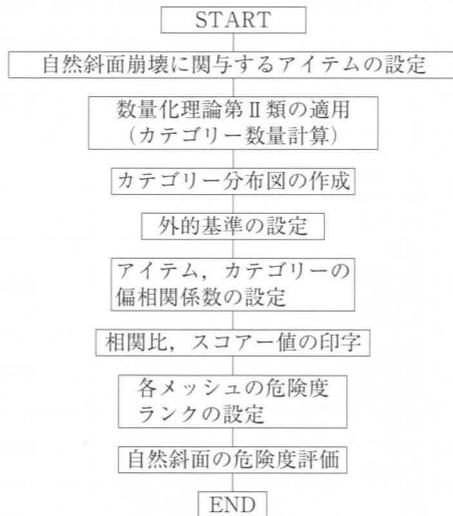


図-14 数量化理論のフローチャート

数量化理論解析を行った。ここでは表-3の重回帰分析の結果をもとにした地盤情報データを崩壊要因データとして使用する。また解析地域における各要因とそのカテゴリは、表-4のように設定した。

以上のアイテム・カテゴリを用いた数量化Ⅱ類の中から

表-4 各要因とそのカテゴリ

アイテム	番号	カテゴリ	アイテム	番号	カテゴリ
風化度	1	α	表層地質	1	水系
	2	β		2	固結堆積物
	3	γ		3	深成岩
				4	未固結堆積物
土壌	1	残積性未熟土	地形	1	丘陵
	2	灰色低地土		2	山地
	3	市街地		3	低地
植生	1	活性度小	土地利用	1	天然広葉樹林
	2	活性度中		2	針葉樹林
	3	活性度大		3	市街地
傾斜	1	3°未満	飽和度	1	飽和度低
	2	3°~20°		2	飽和度中
	3	20°~40°		3	飽和度高
	4	40°以上			

ら、亀山地域の各要因を外的基準とする分析結果は、相関比として表-5に示す。この数値は1に近いほどカテゴリの区分の良さを示すものである。

表-5 各要因の相関比

相関比			
風化	0.681	飽和度	0.550
表層地質	0.611	地形	0.606
傾斜	0.377	土壌	0.351
土地利用	0.609	植生	0.542

したがって、表-5に示す相関比の最も高い風化度を外的基準とし、数量化第Ⅱ類を適用した結果が表-6である。以上の解析結果は、風化度を外的基準にすることでスコ

表-6 亀山地域の数量化第Ⅱ類の解析結果 (風化)

アイテム	カテゴリ	カテゴリ数量	偏相関係数
風化	α β γ	(外的基準)	—
傾斜	3°未満 3°~20° 20°~40° 40°以上	-0.45269 -0.23939 0.18533 0.19342	0.30001
表層地質	水系 固結堆積物 深成岩 未固結堆積物	-0.33234 -0.02262 -0.07347 0.22560	0.22389
植生	活性度小 活性度中 活性度大	-0.87391 -0.02297 1.12191	0.74079
地形	丘陵 山地 市街地	0.63497 -0.04626 0.31506	0.29968
飽和度	高 中 低	-0.10142 0.10290 0.00989	0.20977
土壌	残積性未熟土 灰色低地土 市街地	-0.02020 -0.02436 0.17724	0.11118
土地利用	広葉樹 針葉樹 市街地	0.32253 0.04749 -0.24704	0.22128

ア値をカテゴリ区分し、風化度の指標を考慮して危険度を3段階に区分したスコア分布図を図-15に示す。このスコア分布図に基づいた危険度をA, B, Cに3区分し、そ

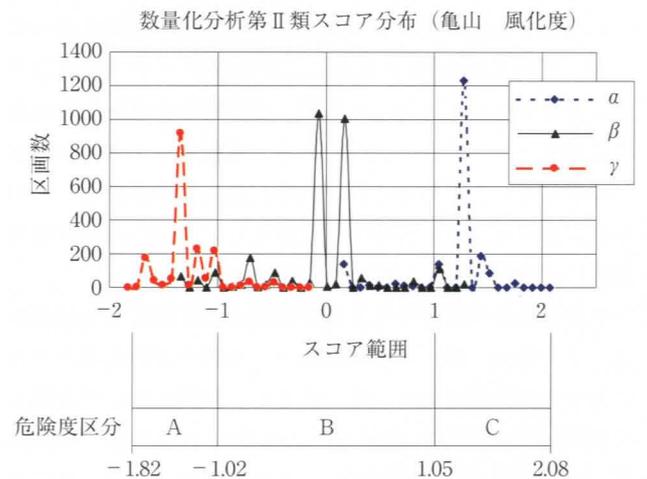
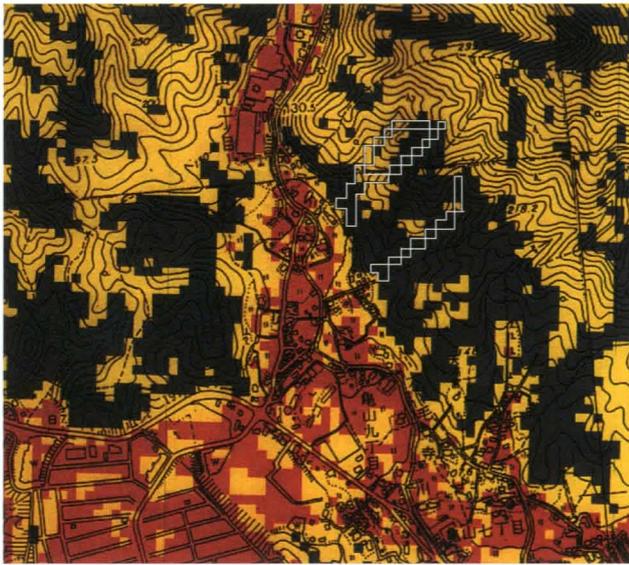


図-15 スコア分布図 (亀山 風化度)

の結果を評価図として示したのが図-16である。

ここに危険度区分「A」は風化度 γ に対応し、崩壊発生の可能性が大である。「B」は風化度 β に対応し、「C」は風化度 α に対応して崩壊発生の可能性が小であると考えた。



	区画数	占有率	色
危険度ランク A	2380	36.3%	赤
危険度ランク B	2633	40.1%	黄
危険度ランク C	1548	23.6%	青
危険度ランク A 崩壊的中率：0%			

図-16 危険度評価図(亀山 風化度)

ここに α は表層の弱風化を示し、3 m 以浅程度の風化で岩盤の露出を示す。 β は中風化を示し、風化した表土を示し、風化深度は 10m 以浅である。 γ は強風化を示し、山頂付近の環急線に風化残積土として存在し、未固結部には風化崩積土として存在する。その風化深度は 10m 以上で、深層風化と呼ばれる。

風化度を外的基準として数量化理論解析第Ⅱ類を行った結果、相関比は0.681である。この数値データではスコア値の区分が高いと考えられるが、土砂崩れが発生した地点は危険度ランク B または C である。危険度ランク A の地点で崩壊していた確率は 0% である。以上の結果から、この地域における土砂災害の発生要因として風化の地盤は崩壊要因に直接的に関与していないと思われる。

次に傾斜を外的基準とし数量化第Ⅱ類を適用した結果が表-7である。以上の解析結果は、傾斜を外的基準とすることでスコア値をカテゴリー区分し、傾斜の割合を考慮して危険度を3段階に区分したスコア分布図を図-17に示す。このスコア分布図に基づいた危険度をA、B、Cに3区分し、その結果を評価図として示したのが図-18である。

ここに危険度区分「A」は20°~40°と40°以上に対応し、傾斜が急であり崩壊発生の可能性が大である。「B」は3°~20°に対応し、「C」は3°未満に対応して崩壊発生の可能性が小であると考えた。

傾斜を外的基準として数量化理論解析第Ⅱ類を行った結果、相関比は0.377である。この数値データではスコア値

表-7 亀山地域の数量化第Ⅱ類の解析結果(傾斜)

アイテム	カテゴリー	カテゴリー数量	偏相関係数
風 化	α	-0.20227	0.25423
	β	-0.03985	
	γ	0.27301	
傾 斜	3°未満 3°~20° 20°~40° 40°以上	(外的基準)	—
表層地質	水系	-0.39979	0.09944
	固結堆積物	0.22273	
	深成岩	-0.01300	
	未固結堆積物	0.04484	
植 生	活性度小	0.92403	0.62176
	活性度中	-0.47201	
	活性度大	-0.49040	
地 形	丘陵	0.22142	0.42006
	山地	-0.05739	
	市街地	0.55426	
飽 和 度	高	-0.04176	0.10575
	中	0.02977	
	低	0.13126	
土 壌	残積性未熟土	-0.07950	0.20676
	灰色低地土	0.15037	
	市街地	0.31636	
土地利用	広葉樹	-0.10224	0.05967
	針葉樹	-0.00486	
	市街地	0.04258	

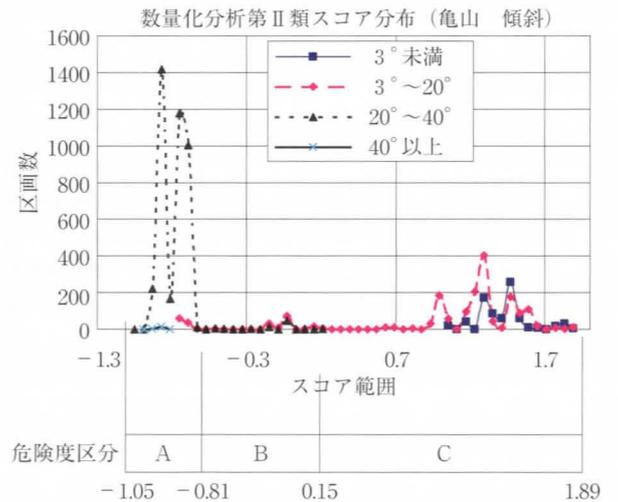
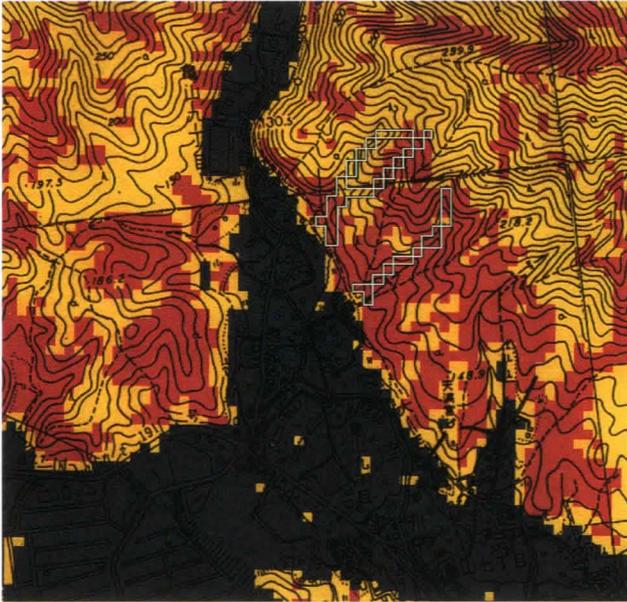


図-17 スコア分布図(亀山 傾斜)

を3区分しにくいことが分かるが、土砂崩れが発生した地点は危険度ランク A である。危険度ランク A の地点で崩壊していた確率は68.3%であり、良い中率が得られた。山頂付近から土砂崩れの発生した痕跡途中に、危険度ランク B がみられる。これは上流部の危険度ランク A に発生した崩壊が、多量の降雨と共に流下して溪流に堆積した土砂を移動させ、土石流が発生したものと思われる。また、崩壊地以外で危険度ランク A を示している地点も多数あり、これらが崩壊の起きる危険性を有する未確認地域と考えれば、危険溪流としての絞り込みが可能であり、同地域は、地形要因データを考慮した今後の現地調査研究が必要である。



	区画数	占有率	色
危険度ランク A	1798	27.4%	赤
危険度ランク B	2499	38.1%	黄
危険度ランク C	2264	34.5%	青
危険度ランク A 崩壊の中率：68.3%			

図-18 危険度評価図(亀山 傾斜)

8. ま と め

地球観測衛星を用いて地盤データベースを作成し、数量化理論を用いて斜面崩壊調査を行うことは、今後の災害発生の予測や対策を考える上で有意である。以上の結果から得られた知見は以下に示すとおりである。

- (1) 地球観測衛星 SPOT-2 の HX データは Band1~3 の波長帯であるが、水陸の区別を明示して可視から近赤外線までの波長特性を中心に地表面データをよく示している。
- (2) HX データのカラー合成画像は、フォールスカラーとナチュラルカラーの画像から山地部と低地部の地域特性を広域に判読することができる。
- (3) HX データを用いた重回帰分析により得られた、風化度、傾斜、表層地質、土地利用、飽和度、土壌、地形の地盤情報データは、分析処理の結果が示す重相関係数、F検定、t検定について各々の精度を得たことから、有意性の高い最良回帰式を得ることができた。
- (4) 最良回帰式をもとに地盤情報として作成した画像は、土地分類基本調査が示す地図情報データとの相関性に良い結果を示し、現地情報をよく表していることが確認できた。
- (5) 崩壊発生以前の HX データをもとに、地盤情報データを用いた数量化理論第Ⅱ類を実施した結果、外的基準のスコア値をもとに危険度評価区分を可能とした。ここでは風化および傾斜についての危険度区分図を作成し、GIS データとの重ね合わせにより、災害地の確認を可能とした。
- (6) 危険度区分図の外的基準を風化と傾斜で比較すると、災害発生地と重複する A ランクの占有メッシュは、風化では崩壊の中率が 0%であったが、傾斜では崩壊の中率は 68.3% という結果を得たことから、解析対象地域の災害発生要因に急傾斜地盤の中で地質、植生、飽和などが相乗して崩壊に寄与していることが判明した。
- (7) 災害地域における崩壊要因は、複数の要因が重複して土砂崩壊に至るため、要因解明は複雑化する。そのため地形要因データを解析することにより、更に未確認地の危険箇所も抽出することができる。更に現地踏査や土質調査・試験を行うことにより信頼性の高いハザードマップの作成を可能にするものと考えられる。

おわりに本研究に使用した SPOT-2 号のデータは、SPOT IMAGE/宇宙開発事業団の提供による。ここに記して御礼申し上げます。

文 献

- 1) 科学技術庁資源調査会編：リモートセンシングの現状と動向、科学技術庁、pp. 21~22, 1985
- 2) 平成11年広島県豪雨災害緊急調査委員会編：平成11年の広島県豪雨災害調査報告書、(社)地盤工学会中国支部、pp. 119~129, 2000
- 3) 平成11年6月末豪雨災害広島工業大学調査研究会編：平成11年6月末豪雨災害調査研究報告書、同調査委員会、pp. 41~43, 2000
- 4) アジア航測(株)編：1999年6月29日広島の豪雨災害 1/50,000垂直空中写真 ([//www.ajiko.co.jp/topics/ct/Hiroshima/hiroshima2.html](http://www.ajiko.co.jp/topics/ct/Hiroshima/hiroshima2.html))
- 5) 宇宙開発事業団：SPOT 衛星 ([//www.eoc.nasda.go.jp/guide/satellite/satdata/spot_j.html](http://www.eoc.nasda.go.jp/guide/satellite/satdata/spot_j.html))
- 6) 島 重章、後藤恵之輔：重回帰分析による表層地盤分類主題図の作成、日本写真測量学会誌「写真測量とリモートセンシング」Vol. 36, No. 3, pp. 23~33, 1997
- 7) 河口至商：多変量解析入門Ⅰ、森北出版、pp. 3~pp. 17, 1973
- 8) 田辺雅之、島 重章、吉国 洋：人工衛星データを用いた地盤データベースの作成、(社)地盤工学会中国支部

- 論文集「地盤と建設」Vol. 16, No. 1, pp. 7～14, 1998
- 9) 藤原圭介, 島 重章, 吉国 洋: 衛星リモートセンシングを用いた地盤データベース化の試み, 第51回土木学会中国支部, pp. 434～435, 1999
- 10) 広島県企画振興部地域振興課 編: 都道府県土地分類基本調査「可計」, 広島県, 1978
- 11) 河口至商: 多変量解析入門Ⅱ, 森北出版, pp. 69～88, 1978