

数量化Ⅱ類を用いた降雨に対する京都市重要文化財後背斜面の崩壊危険度評価

Risk assessment for slopes behind important cultural asset in Kyoto city subjected to rainfall using quantification theory type II

里見知昭¹・酒匂一成²・石田優子³・仲矢順子³・堀部将⁴・深川良一⁵・高橋弘⁶

Tomoaki Satomi, Kazunari Sako, Yuko Ishida, Junko Nakaya, Masaru Horibe,
Ryoichi Fukagawa and Hiroshi Takahashi

¹東北大学大学院助教 環境科学研究科環境科学専攻 (〒980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉6-6-20)
Assistant Professor, Tohoku University, Graduate School of Environmental Studies

²立命館大学准教授 グローバル・イノベーション研究機構 (〒525-8577 滋賀県草津市野路東1-1-1)
Associate Professor, Ritsumeikan University, Global Innovation Research Organization

³立命館大学大学院 理工学研究科総合理工学専攻 博士課程後期課程 (〒525-8577 滋賀県草津市野路東1-1-1)
Doctoral Program, Ritsumeikan University, Graduate School of Science and Engineering

⁴立命館大学大学院 理工学研究科創造理工学専攻 博士課程前期課程 (〒525-8577 滋賀県草津市野路東1-1-1)
Master's Program, Ritsumeikan University, Graduate School of Science and Engineering

⁵立命館大学教授 理工学部都市システム工学科 (〒525-8577 滋賀県草津市野路東1-1-1)
Professor, Ritsumeikan University, College of Science and Engineering, Department of Civil Engineering

⁶東北大学大学院教授 環境科学研究科環境科学専攻 (〒980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉6-6-20)
Professor, Tohoku University, Graduate School of Environmental Studies

The countermeasures against slope failure subjected to rainfall can be broadly classified into hardware (slope stability reinforcement measure) and software (improvement of warning and evacuation systems, etc.). However, due to an immense amount of time and money of taking hardware for all slopes, it is very important to make a risk assessment of slope failure. In this paper, the risk of failure is evaluated using “quantification theory type II” considering the presence or absence of 24-hour rainfall. As a result, the accuracy of risk assessment using 24-hour rainfall is greatly improved (Failure: 68.8% → 87.5%, Non-Failure: 71.0% → 74.0%). Moreover, the risk of failure for the slopes behind important cultural asset in Kyoto city considering 24-hour rainfall can be ranked.

Key Words : *rainfall, slope failure, risk assessment, quantification theory type II*

1. はじめに

わが国では梅雨期や台風襲来期の大雨による斜面災害が多発し、多くの生命や財産が失われている。京都市内の山麓周辺には代替性のない重要文化財が数多く存在しており、降雨に伴う斜面崩壊から文化財や拝観者を守るための対策について検討する必要がある。その対策として、ハード対策（土砂災害防止整備等）とソフト対策（警戒避難体制の整備や危険箇所への住宅等の新規立地抑制等）に大別される。しかし、対策工や現地モニタリングを全ての斜面で実施すると膨大な時間と費用を要する上に斜面環境の配慮という点からも望ましくないため、斜面の崩壊危険度を事前に把握することは対策工や現地モニタリングの必要性を検討する際の有効な手段になると考えられる。このような事前評価判定（崩壊危険度の高い斜面の抽出や把握）

には、従来、斜面傾斜角や表層地質などの素因情報を用いることに重点が置かれてきた¹⁾。しかし、降雨に対する斜面崩壊は、(1) 雨水の浸透による土塊自重の増加、(2) 地盤内の飽和度の増加によるせん断強度の低下、(3) 地下水水位の上昇による間隙水圧や浸透力の増加によって発生するといわれている。つまり、似たような地質や地形の斜面であったとしても雨量強度の違いが斜面内の水分変動に関わって斜面崩壊が発生することから、素因と誘因を組み合わせることで崩壊危険度を評価することは重要であると推測される。

本論文では、多変量解析手法の一つである数量化Ⅱ類 (Quantification theory type II)²⁾を適用し、素因情報に誘因情報 (24 時間雨量) を追加した場合の分析を実施し、崩壊に起因する項目の抽出と崩壊・非崩壊の判別精度について検討する。そして、数量化Ⅱ類の分析結果をもとに京都市の重要文化財後背斜面を対象とした降雨に対する崩壊危険度を評価し、評価結果の妥当性を議論する。

2. 数量化Ⅱ類による斜面の崩壊危険度評価

本章では、はじめに数量化Ⅱ類の概要を説明し、崩壊危険度評価のフローチャートを示す。そして、分析データ (素因・誘因情報) の設定について述べる。

(1) 数量化Ⅱ類の概要³⁾

数量化Ⅱ類とは、質的な形で与えられた外的基準を質的な要因に基づいて予測・判別する方法であり、表層地質や土地利用など数量で表せないデータを扱うことができる。ここでは数量化Ⅱ類の定式化に関する説明を簡単にするため、表 1 の左側のように $K = 2$ 個の外的基準 (崩壊、非崩壊) と $R = 2$ 個のアイテム (要因: 表層地質、土地利用) のカテゴリ (固結堆積物、深成岩など) への反応パターン (レ印) を与える。ここで、第 i 群の第 α 番目の個体がどのアイテム・カテゴリに反応したかを表すため、式(1)のダミー変数 $\delta_{i\alpha}(jk)$ を用いると表 1 の右側のように展開される。

$$\delta_{i\alpha}(jk) = \begin{cases} 1: \text{第 } i \text{ 群の } \alpha \text{ 番目の個体がアイテム } j \text{ のカテゴリ } k \text{ に反応} \\ 0: \text{その他} \end{cases} \quad (1)$$

各アイテムのカテゴリへの反応から外的基準による分類を予測・判別するためには、各アイテム・カテゴリに対するダミー変数の線形式を式(2)のように表し、式(2)をその個体の数量 (以下、判別スコア) と定義する。

$$Y_{i\alpha} = \sum_{j=1}^R \sum_{k=1}^{c_j} a_{jk} \delta_{i\alpha}(jk), \quad (i=1, 2, \dots, K) \quad (2)$$

ここで、 R はアイテム数、 c_j はアイテム j のカテゴリ数、 a_{jk} はカテゴリ数量である。

式(2)より外的基準の K 個の分類を最もよく判別するためには、群間の変動が最大となるカテゴリ数量 a_{jk} を求めればよいと解釈できる。つまり、式(3)の群間変動平方和 S_B と全変動平方和 S_T の比 (相関比 η^2 、 $0 \leq \eta^2 \leq 1$) が最大となるカテゴリ数量 a_{jk} を定めることに等しい。

表 1 数量化Ⅱ類のデータ形式

外的基準 (群)	個体 No.	表層地質 ($R = 1$)			土地利用 ($R = 2$)		
		固結堆積物	深成岩	その他	針葉樹林	広葉樹林	その他
崩壊 ($K = 1$)	1	レ			レ		
	2		レ		レ		
	\vdots						
	n_1			レ			レ
非崩壊 ($K = 2$)	1	レ					レ
	2			レ		レ	
	\vdots						
	n_2		レ				レ

⇒

外的基準 (群)	個体 No.	表層地質 ($R = 1$)			土地利用 ($R = 2$)		
		固結堆積物	深成岩	その他	針葉樹林	広葉樹林	その他
崩壊 ($K = 1$)	1	1	0	0	1	0	0
	2	0	1	0	1	0	0
	\vdots						
	n_1	0	0	1	0	0	1
非崩壊 ($K = 2$)	1	1	0	0	0	0	1
	2	0	0	1	0	1	0
	\vdots						
	n_2	0	1	0	0	0	1

$$\eta^2 = \frac{S_B}{S_T} = \frac{\sum_{i=1}^K \sum_{\alpha=1}^{n_i} (Y_{i\alpha} - \bar{Y})^2}{\sum_{i=1}^K n_i (\bar{Y}_i - \bar{Y})^2} \quad (3)$$

ここで、 $Y_{i\alpha}$ は第 i 群の α 番目の判別スコア、 \bar{Y} は判別スコアの全平均、 \bar{Y}_i は第 i 群の判別スコアの平均である。

そして、式(3)の相関比を最大とするカテゴリ数量 a_{jk} を一意的に決めるために式(4)の条件を適用すると、式(3)の最大化問題は式(5)の固有値問題として帰着する。

$$a_{j1} = 0, (j=1, 2, \dots, R) \quad (4)$$

$$B \mathbf{a} = \eta^2 T \mathbf{a} \quad (5)$$

ここで、 B 、 T はそれぞれダミー変数 $\delta_{ia}(jk)$ のベクトルの群間および全体の偏差平方和積和行列である。 \mathbf{a} は相関比 η^2 の固有ベクトルに対応し、各カテゴリに付与する数量(ダミー変数の係数)である。このカテゴリ数量 \mathbf{a} を式(2)に代入すると各個体の判別スコアを求めることができる。

(2) 崩壊危険度評価と分析データの設定

図1に崩壊危険度評価のフローチャートを示す。本論文では降雨に伴う崩壊・非崩壊の判別への評価精度を検討するため、2004年台風23号における京都府北部の災害データ(崩壊:96個、非崩壊:100個、図2を参照)⁴⁾を用いる。なお、今回は台風23号のデータのみを用いているため、台風23号の雨量強度特性が分析結果に反映されると考えられる。しかし、本論文は誘因情報を加えた評価手法の枠組み構築と有効性検討が主目的であり、今後災害データの追加でより詳しく議論できると解釈される。

表2に分析に用いるアイテム・カテゴリ(崩壊・非崩壊地に対応する素因・誘因情報)^{4)~8)}を示す。なお、斜面傾斜角のカテゴリに関して文献5)の傾斜区分では3度間隔である。数量化II類を用いて崩壊・非崩壊の因子を抽出する際、カテゴリを細分化することが望ましい。しかし、分析結果は各カテゴリのデータ数の影響を受けるため、分析データに限りがある場合はカテゴリの細分化によって分析結果の精度は低下する可能性がある。そこで、斜面傾斜角のカテゴリは15度間隔と設定した。なお、斜面傾斜角以外のアイテムは引用図の区分を基本としている。以上の収集したデータをもとに数量化

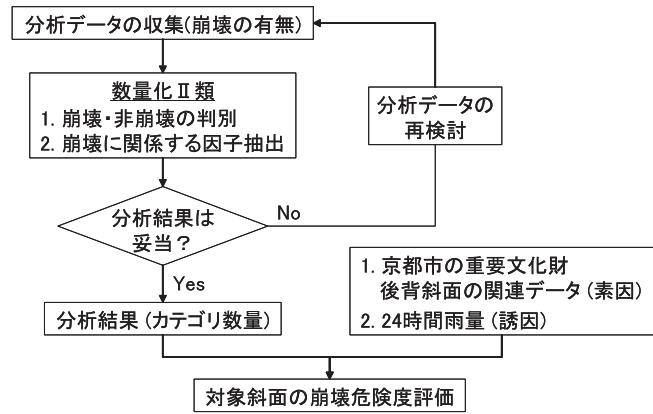


図1 数量化II類を用いた崩壊危険度評価

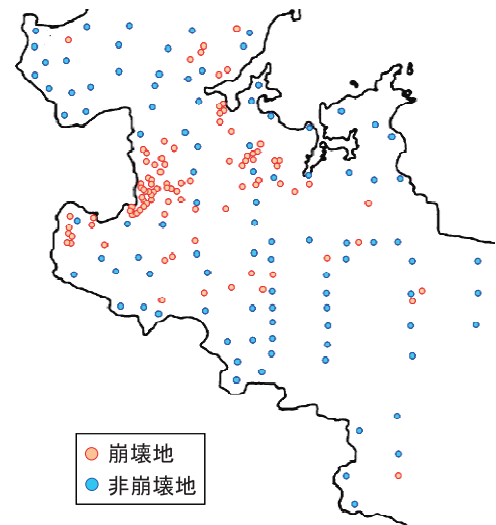


図2 分析に用いる崩壊・非崩壊地

表2 分析に用いるアイテム・カテゴリ

アイテム	カテゴリ	データ数		
		崩壊	非崩壊	合計
斜面傾斜角(度)	0 ~ 15未満	11	48	59
	15 ~ 30未満	61	35	96
	30 ~	24	17	41
表層地質	固結堆積物	72	60	132
	未固結・半固結堆積物	8	14	22
	深成岩	13	22	35
	その他	3	4	7
素因 土地利用	針葉樹林	32	47	79
	広葉樹林	44	43	87
	農地	12	6	18
	その他	8	4	12
風化帯の深度	浅い(約3m以浅)	19	25	44
	中程度(約3 ~ 10m)	32	45	77
	深い(約10m深)	45	30	75
起伏量(m)*	0 ~ 150未満	2	5	7
	150 ~ 300未満	23	39	62
	300 ~ 400未満	20	35	55
	400 ~	51	21	72
誘因 24時間雨量(mm)	0 ~ 150未満	0	9	9
	150 ~ 200未満	7	28	35
	200 ~ 250未満	35	46	81
	250 ~	54	17	71

* 国土地理院発行、縮尺5万分の1地形図各辺を10等分して得る各方眼内の最高点と最低点との標高差

Ⅱ類を実施して崩壊に関係する因子を抽出する。このとき、分析結果の妥当性を検討し、再検討を要する場合はアイテム・カテゴリを見直す。そして、得られた分析結果をもとに京都市の重要文化財後背斜面の崩壊危険度を評価する。

3. 分析結果

図3に数量化Ⅱ類の分析情報に誘因情報（24時間雨量）有無による分析結果（カテゴリ数量（基準化）、レンジ）を示す。基準化したカテゴリ数量は各アイテム内のカテゴリ数量の平均が0になるように設定した値であり、崩壊に影響を与えるほど正值を示し、非崩壊に影響を与えるほど負値を示す。カテゴリ数量の基準化によってカテゴリ数量を0以外の値に設定し、ダミー変数が1の場合でもどのカテゴリが判別に寄与しているかを明確にすることができる。一方、レンジとは各アイテムのカテゴリ数量の最大値と最小値の差であり、値が大きいほど外的基準（崩壊・非崩壊）への影響が大きいことを意味する。

はじめに、24時間雨量を考慮しない素因のみの場合の結果（図3の左側を参照）について検討する。崩壊に影響を与える因子は各アイテムの「その他」を除くと、斜面傾斜角(度)「15～30未満」、風化帯の深度「深い(約10m深)」、起伏量(m)「400～」であることが分かった。一方、非崩壊の判別に最も影響を与える因子は、斜面傾斜角(度)「0～15未満」であった。ここで、レンジと順位に注目すると、崩壊・非崩壊の判別には斜面傾斜角(1位)と表層地質(2位)の影響を受けやすいと解釈できることから、これら2つの素因が京都府北部の斜面崩壊に関わりやすいと判断される。

次に、24時間雨量を考慮した場合の結果（図3の右側を参照）について検討する。崩壊の判別因子は素因のみの分析結果とほぼ同様の傾向で、新たに24時間雨量(mm)の「250～」が追加され、24時間雨量の増加に伴いカテゴリ数量は負から正（非崩壊から崩壊）へと推移している。ここで、レンジと順位に注目すると、崩壊・非崩壊への判別には24時間雨量（誘因）の影響が素因と比べて極端に大きくなっている。つまり、降雨に対する斜面崩壊は素因である地盤特性と雨量強度が関わって発生すると解釈できる。しかし、今回用いた分析データは台風襲来時の雨量データであり、24時間雨量が50mmや100mm以下の降雨を記録した地域はほとんど存在していない。また、京都府の崩壊事例は非常に少なく、分析データに限りがあったことも分析結果に反映した可能性がある。今後は、分析結果の客観性をより向上させるため、対象地域の拡大に併せて24時間雨量が150mm以下のデータも収集する必要がある。そして、分析データの蓄積に伴い24時

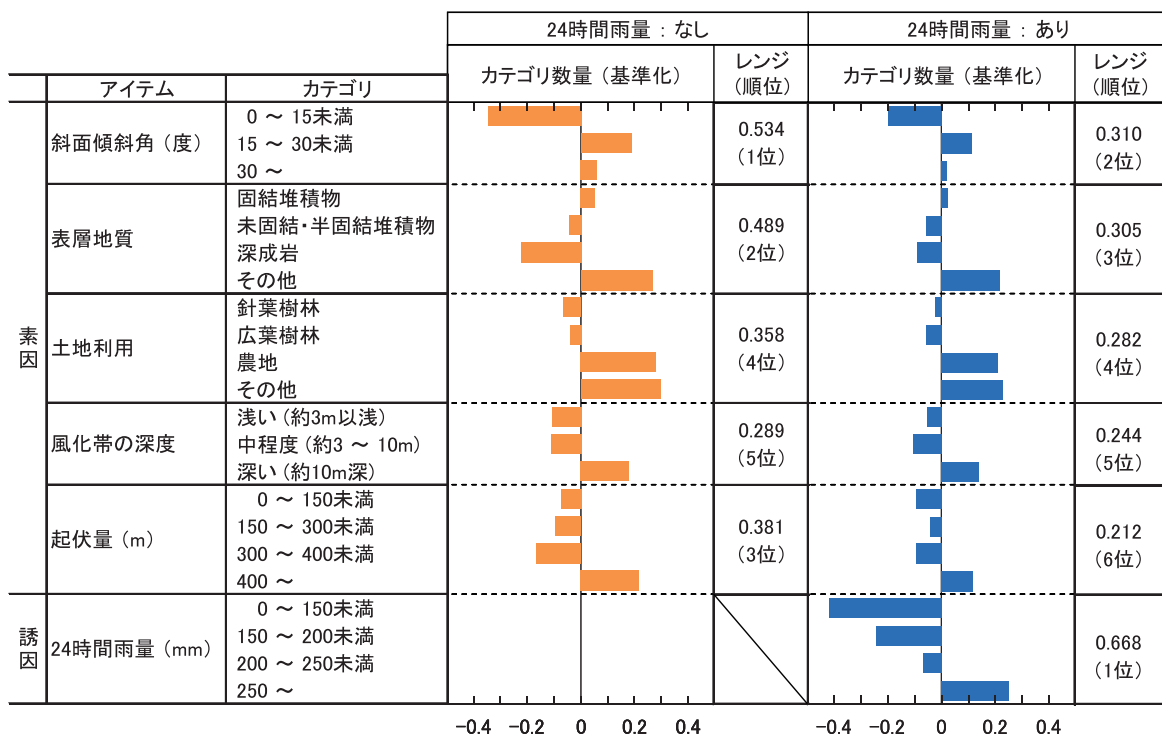


図3 24時間雨量の有無による分析結果

間雨量のカテゴリを細分化し、24 時間雨量が崩壊・非崩壊の判別に与える影響についてさらに検討する必要がある。

24 時間雨量の有無が崩壊・非崩壊の判別にどの程度影響を与えるかを具体的に検討するため、表 3 の判別的中率に注目する。判別の中率とは、正しく判別されたデータ数と全体のデータ数の比を百分率で表した値である。表 3 より 24 時間雨量を考慮したほうが判別の中率は改善され（崩壊：68.8% → 87.5%、非崩壊：71.0% → 74.0%）、降雨による斜面の崩壊危険度を評価するときには誘因も考慮することは重要であると判断できる。なお、この検討結果は図 4 の判別グラフからも解釈でき、各相対度数分布が離れるほど精度は高いことを意味する。24 時間雨量を考慮しなかった場合の図 4 (a)では、崩壊・非崩壊のグラフはほとんど重なっており、特に階級幅-0.2~0.0 の崩壊のサンプル数は 2 番目に多く、非崩壊のサンプル数が最多である。つまり、分析結果の精度は低いことを意味している。一方、24 時間雨量を考慮した場合の図 4 (b)の判別グラフは重なっているものの、24 時間雨量を含まない場合と比べると崩壊・非崩壊の相対度数の最大値は明確な位置に分布している。すなわち、24 時間雨量を考慮したほうが評価精度は向上すると解釈できる。

4. 重要文化財後背斜面の崩壊危険度評価

前章の分析結果（図 3 の「(b) 24 時間雨量：あり」のカテゴリ数量）を用いて、京都市の重要文化財後背斜面を対象に降雨に対する崩壊危険度を評価する。本論文では、清水寺、高山寺、慈照寺、龍安寺に立地する建物の後背斜面のみを評価対象として、24 時間雨量によってランク分けした崩壊危険度評価図を作成する。危険度ランクは以下のランク I~ランク V の 5 段階に設定し、24 時間雨量が少ない状況で崩壊するほど危険度ランクが高くなるように設定する。

- [1] ランク I：24 時間雨量が 0 ~ 150mm 未満で「崩壊」の場合
- [2] ランク II：24 時間雨量が 150 ~ 200mm 未満で「崩壊」の場合
- [3] ランク III：24 時間雨量が 200 ~ 250mm 未満で「崩壊」の場合
- [4] ランク IV：24 時間雨量が 250mm ~ で「崩壊」の場合
- [5] ランク V：24 時間雨量にかかわらず「非崩壊」の場合

図 5~図 8 に清水寺、高山寺、慈照寺、龍安寺の(a) 素因情報、(b) 24 時間雨量と斜面傾斜角の関係における崩壊・非崩壊の判別結果、(c) 崩壊危険度の評価結果を示す。なお、今回は地形図や地質図をもとに素因情報を収集しているため細かいデータが得られず、各寺院内における全ての斜面の素因情報は「斜面傾斜角」を除いて同じであることを断っておく。また、清水寺では斜面傾斜角(度)「0~15 未満」の斜面は存在しなかったため、図 5 (b)では崩壊・非崩壊の判別結果は示していない。

表 3 24 時間雨量の有無による判別の中率

24時間雨量：なし			推定(サンプル数)		判別の中率	24時間雨量：あり			推定(サンプル数)		判別の中率
実際	崩壊	非崩壊	崩壊	非崩壊	(%)	実際	崩壊	非崩壊	崩壊	非崩壊	(%)
(サンプル数)	96	100	66	30	68.8	(サンプル数)	96	100	84	12	87.5
			29	71	71.0				26	74	74.0

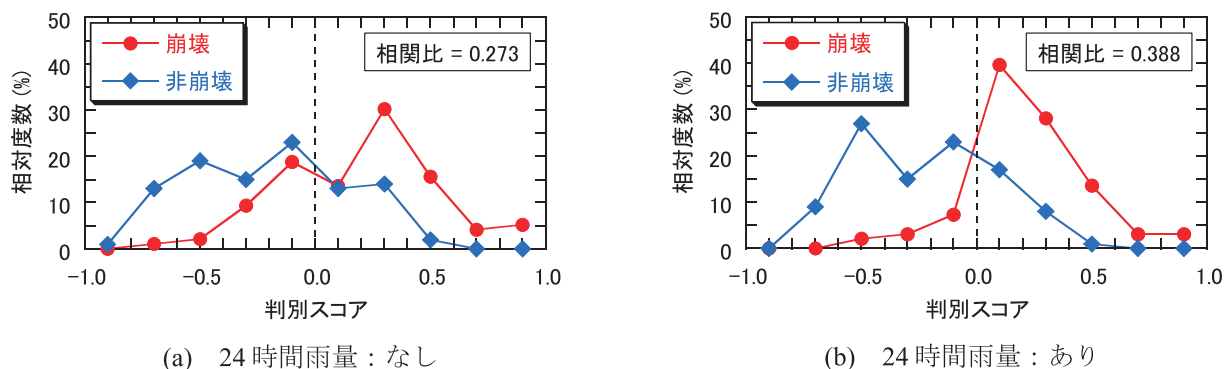


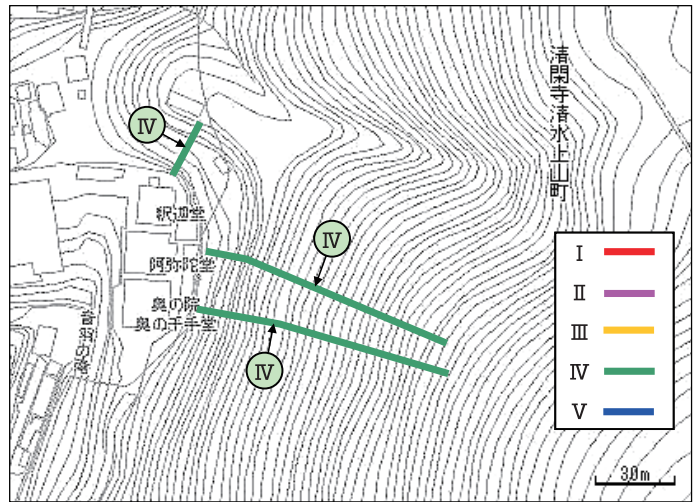
図 4 24 時間雨量の有無による判別グラフ

(a) 素因情報

表層地質	固結堆積物
土地利用	針葉樹林
風化帯の深度	浅い
起伏量 (m)	150 ~ 300

(b) 24時間雨量と斜面傾斜角の関係

崩壊		斜面傾斜角 (度)		
		10 ~ 15	15 ~ 30	30 ~
非崩壊				
24時間雨量 (mm)	0 ~ 150	—		
	150 ~ 200	—		
	200 ~ 250	—		
	250 ~	—		



(c) 崩壊危険度評価

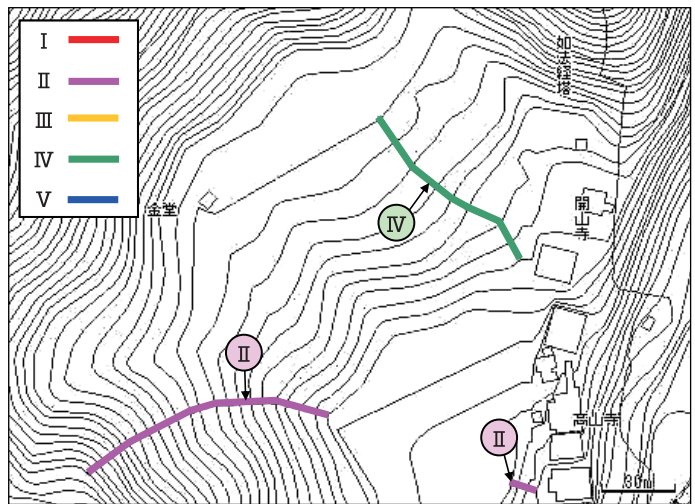
図5 清水寺に対する評価結果

(a) 素因情報

表層地質	その他
土地利用	針葉樹林
風化帯の深度	浅い
起伏量 (m)	400 ~

(b) 24時間雨量と斜面傾斜角の関係

崩壊		斜面傾斜角 (度)		
		10 ~ 15	15 ~ 30	30 ~
非崩壊				
24時間雨量 (mm)	0 ~ 150			
	150 ~ 200			
	200 ~ 250			
	250 ~			



(c) 崩壊危険度評価

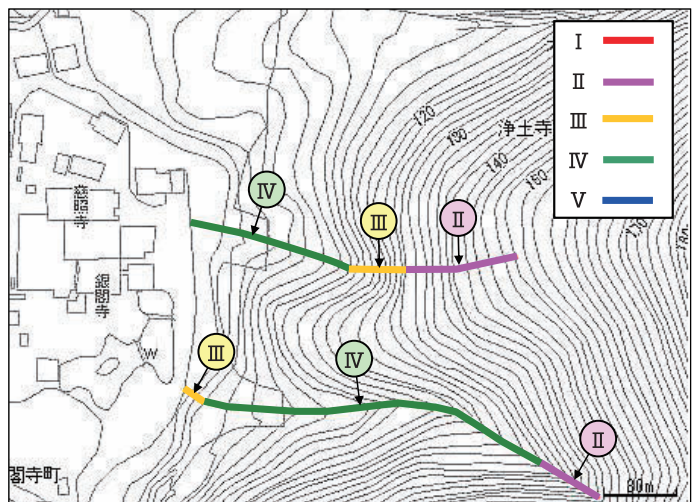
図6 高山寺に対する評価結果

(a) 素因情報

表層地質	その他
土地利用	広葉樹林
風化帯の深度	深い
起伏量 (m)	0 ~ 150

(b) 24時間雨量と斜面傾斜角の関係

崩壊		斜面傾斜角 (度)		
		10 ~ 15	15 ~ 30	30 ~
非崩壊				
24時間雨量 (mm)	0 ~ 150			
	150 ~ 200			
	200 ~ 250			
	250 ~			



(c) 崩壊危険度評価

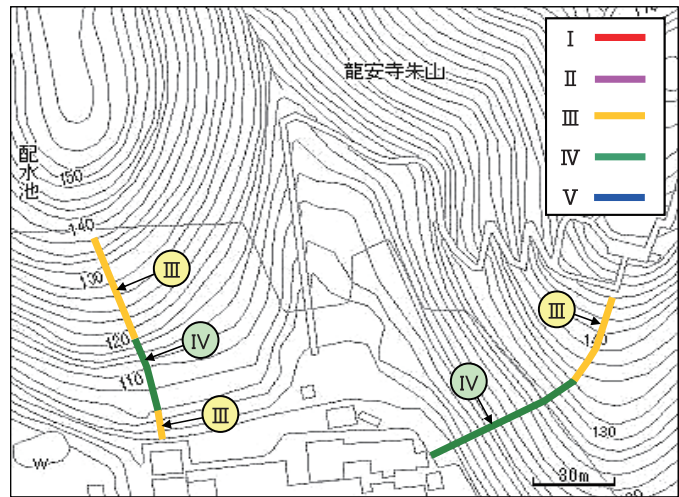
図7 慈照寺に対する評価結果

(a) 素因情報

表層地質	その他
土地利用	針葉樹林
風化帯の深度	中程度
起伏量(m)	150 ~ 300

(b) 24 時間雨量と斜面傾斜角の関係

崩壊	斜面傾斜角(度)		
非崩壊	10 ~ 15	15 ~ 30	30 ~
24時間雨量(mm)	0 ~ 150		
	150 ~ 200		
	200 ~ 250		
	250 ~		



(c) 崩壊危険度評価

図 8 竜安寺に対する評価結果

図 5～図 8 の(b)の 24 時間雨量と斜面傾斜角の関係より、24 時間雨量が比較的少ないときに崩壊すると判別した高山寺と慈照寺(図 6、図 7 を参照)は清水寺と竜安寺(図 5、図 8 を参照)に比べて崩壊の危険度が高いことが確認できた。この理由として、高山寺の表層地質「その他」と起伏量(m)「400～」、慈照寺の表層地質「その他」と風化帯の深度「深い(約 10m 深)」のカテゴリ数量が崩壊に寄与する正值であるため(図 3 の右側を参照)、清水寺や竜安寺よりも崩壊の危険度ランクは高くなったと考えられる。ただし、今回は素因情報の斜面傾斜角以外は全て同じであり、崩壊危険度をより詳細に評価するためには現地踏査や詳細スケールによる地図判読などが必要である。

今回の評価結果の妥当性を検討するため、(社)日本道路協会の「道路土工のり面工・斜面安定工指針」⁹⁾に示される安定度調査表(落石・崩壊)を用いて崩壊危険度を点数化すると、高山寺は 18 点、慈照寺は 11 点、清水寺は 9 点、竜安寺は 8 点であった。この採点法は点数が高いほど崩壊の危険性が高くなることを意味しており、採点法による点数と今回の評価結果は似た傾向が得られた。したがって、数量化Ⅱ類による評価手法の信頼性は高いと推測される。さらに、素因情報のみではなく誘因情報(24 時間雨量)も考慮して崩壊危険度を評価できたことは意義のあることと判断される。

次に、過去の崩壊事例を用いて今回の評価結果の妥当性について議論する。本論文では清水寺の崩壊事例(1972 年 7 月 12 日、1999 年 6 月 27 日)を対象とする。図 5(b)では 24 時間雨量が 250mm 未満の場合は非崩壊と判別しているものの、1972 年 7 月 12 日と 1999 年 6 月 27 日の崩壊したときの 24 時間雨量はそれぞれ 165.5mm、112mm(京都地方気象台(京都))¹⁰⁾であった。つまり、24 時間雨量を用いて崩壊・非崩壊を判別することは有効ではあるが、24 時間雨量以外の降雨パターン(雨量強度)も考慮する必要があると考えられる。そこで、過去 2 回の崩壊に対する雨量強度に注目すると、1972 年 7 月 12 日と 1999 年 6 月 27 日の最大時間雨量はそれぞれ 32.5mm/h、35mm/h であり、先行降雨量は 3 日間の累積でそれぞれ 84.5mm、75mm であった¹⁰⁾。以上より、崩壊に影響を与える雨量強度は似ていると推察されることから、崩壊直近の 24 時間雨量のみではなく先行降雨なども分析情報に加えることが望ましいと思われる。

5. おわりに

本論文では降雨に対する斜面の崩壊危険度を事前に把握するために数量化Ⅱ類を適用し、素因情報に誘因情報(24 時間雨量)を加えた分析を実施した。今回の分析では 2004 年台風 23 号における京都府北部の災害データのみを用いて、崩壊に起因する項目の抽出と崩壊・非崩壊の判別精度について検討した。そして、数量化Ⅱ類の分析結果(カテゴリ数量)を用いて京都市の重要文化財後背斜面(清水寺、高山寺、慈照寺、竜安寺)を対象に降雨に対する崩壊危険度を評価した。以下、得られた知見を述べる。

(1) 素因情報のみによる分析結果より、崩壊に影響を与える因子は、斜面傾斜角(度)「15～30 未満」、風化帯の深度「深い(約 10m 深)」、起伏量(m)「400～」であることが分かった。そして、レンジより崩

壊・非崩壊への判別には斜面傾斜角と表層地質の影響を受けやすく、この 2 つの素因が京都府北部の斜面崩壊に関わりやすいことが判明した。

- (2) 24 時間雨量の有無による崩壊・非崩壊の判別精度については、24 時間雨量を考慮したほうが判別精度は改善した（崩壊の判別の中率：68.8% → 87.5%、非崩壊の判別の中率：71.0% → 74.0%）。つまり、降雨に対する斜面の崩壊危険度を評価する場合には素因のみではなく誘因も考慮することが望ましい。
- (3) 京都市重要文化財（清水寺、高山寺、慈照寺、龍安寺）の後背斜面を対象に 24 時間雨量に伴う崩壊危険度をランク分けした結果、高山寺と慈照寺が清水寺と龍安寺に比べて崩壊の危険度は高いことが確認できた。この評価結果は、(社) 日本道路協会の「道路土工のり面工・斜面安定工指針」に基づいた結果と似ているため、素因と誘因を組み合わせた本提案手法は有効である。
- (4) 過去の崩壊事例（清水寺）を用いて評価結果の妥当性を検討すると、評価精度を向上させるためには崩壊直近の 24 時間雨量のみではなく先行降雨なども分析情報に加えることが望ましい。

以上の知見より、誘因情報（24 時間雨量）を考慮した本提案手法は、降雨に対して崩壊の危険性が高い斜面を把握する際の資料として活用できると思われる。ただし、本手法は過去の災害データに基づいて重要文化財後背斜面の崩壊危険度を相対的に評価しているため、今回得られた結果は豪雨に伴って斜面崩壊が直ちに発生することを示すものではない。したがって、崩壊の危険性が高いと判定された斜面では現地調査や現地モニタリングを実施して判定結果を補間する必要がある。実際、著者らの研究グループでは 2004 年 7 月より京都市東山山麓の重要文化財後背斜面を対象に現地調査と現地モニタリングを実施している。そして、得られたモニタリング結果（間隙水圧、10 分間雨量）を用いて統計学的手法（データ分析）と数値力学的手法（2 次元浸透解析、斜面安定解析）を有機的に結びつけた斜面防災システムの確立を目指している^{11), 12)}。今後は、本システムの効率化や斜面環境の配慮についても議論する余地があることから、数値化Ⅱ類による本手法を現地モニタリングの場所選定にも展開するような枠組みを新たに構築していきたい。

参考文献

- 1) 北園 芳人, 井上 敦裕: 斜面崩壊の素因に注目した斜面の危険度評価, 第 4 回土砂災害に関するシンポジウム論文集, pp.97-101, 2008.
- 2) 林 知己夫: 数値化—理論と方法—, 朝倉書店, pp.19-23, 1993.
- 3) 田中 豊, 脇本 和昌: 多変量統計解析法, 現代数学社, pp.151-160, 1983.
- 4) 京都府総務部防災室: 平成 16 年台風第 23 号災害の記録, p.3, 2005.
- 5) 国土交通省土地・水資源局国土調査課: 1/200,000 土地分類基本調査（傾斜区分図）「京都府」, 1973-1974.
- 6) 国土交通省土地・水資源局国土調査課: 1/50,000 土地分類基本調査（表層地質図）「京都府」, 1973-1974.
- 7) 国土交通省土地・水資源局国土調査課: 前掲 5)（土地利用現況図）「京都府」, 1973-1974.
- 8) 国土交通省土地・水資源局国土調査課: 前掲 5)（起伏量・谷密度図）「京都府」, 1973-1974.
- 9) (社) 日本道路協会: 道路土工のり面工・斜面安定工指針, 1999.
- 10) 気象庁: 過去の気象データ検索, <http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php> (2010/04/26 現在)
- 11) 酒匂一成, 深川良一, 岩崎賢一, 里見知昭, 安川郁夫: 降雨時の斜面災害防止のための重要文化財周辺斜面における現地モニタリング, 地盤工学ジャーナル, Vol.1, No.3, pp.57-69, 2006.
- 12) 里見知昭, 酒匂一成, 安川郁夫, 深川良一: 主成分分析を用いた降雨に対する重要文化財後背斜面のリアルタイム崩壊危険度評価, 土木学会論文集 C, Vol.65, No.2, pp.564-578, 2009.