

数量化理論とGISを用いたジャワ島中部地域の地すべりハザードマップの構築に関する研究

Su Su Kyi^{1*}・Nguyen Dinh Tu¹・Nguyen Minh Trung¹・Dwikottta Karnawati¹・
水戸義忠²・青木謙治²

¹ Geological Engineering Department, Gadjah Mada University (Jl. Grafika no. 2 Bulaksumur, Yogyakarta 55281, Indonesia)

² 京都大学大学院 工学研究科都市環境工学専攻 (〒615-8540 京都市西京区京都大学桂)

*E-mail: ky.susu.k@gmail.com

本研究においては、雨季に斜面の不安定化現象が頻発するインドネシア・ジョグジャカルタ市近郊のKulon Progo地区Kalibawang水路沿いの地域を対象として地すべりハザードマップを作成した。まず、現場データを多変量統計分析することにより、当地域の地すべりのメカニズムおよび斜面安定性の評価方法を検討した。具体的には、数量化理論Ⅱ類に用いることによって斜面安定性の評価に必要な各種地形・地質パラメータの影響度合を明らかにし、当地域における斜面安定性の評価手法を構築した。次に、構築した評価方法をGISに組み込んで、空間的に合理性を有する地すべりハザードマップを作成するとともに、その適用にあたってのフレームワークを示した。

Key Words : slope, stability, microzonation, statistical analysis, GIS

1. はじめに

本研究では、雨季に斜面の不安定化現象が頻発するインドネシア・ジョグジャカルタ市近郊のKulon Progo地区Kalibawang水路沿いの地域を対象として地すべりハザードマップを作成する。

まず、現場データを多変量統計分析することにより、当地域の地すべりのメカニズムおよび斜面安定性の評価方法を検討する。具体的には、数量化理論Ⅱ類に用いることによって斜面安定性の評価に必要な各種地形・地質パラメータの影響度合を明らかにし、当地域における斜面安定性の評価手法を構築する。次に、構築した評価方法をGISに組み込んで、空間的に合理性を有する地すべりハザードマップを作成するとともに、その適用にあたってのフレームワークを示す。

2. 対象地域と斜面の調査データ

図-1に示すようなインドネシアのジャワ島中南部のジョグジャカルタの約20km東のKulon Progo丘陵に位置するKalibawang水路沿いの地域を本研究の対象とする。

本地域は、活火山であるMerapi火山の南方25kmに位置

するため、主として第四紀の火山性堆積物および熔岩が基盤の新第三紀泥質岩を覆う構造となっている。

本地域では、雨季に地すべりが頻発しており、過去30年間に57個の地すべりが記録されている。本地域の地すべりは、緩傾斜の斜面における継続的なすべり挙動によって特徴付けることができる。

本研究では、この地域に等間隔の正方格子を設定し、格子内部における地形・地質・土地利用などの各種データを統計分析し、地すべりの発生に影響を与えるパラメータを検討する。なお、データを取得するにあたっては、文献調査、室内における地形図および空中写真解析、ならびに現地調査を行った。

3. 数量化理論Ⅱ類に基づく地すべりの要因分析

本研究では、数量化理論Ⅱ類を用いることで、対象地域の地すべりの発生要因を検討した。ここで、数量化理論Ⅱ類は、多変量解析法のうちで、質的な形で与えられる外的基準を質的な要因に基づき予測または判別する方法が数量化理論Ⅱ類である。数量化理論における「数量化」とは、本来数値で表されていない質的な要因（例えば「斜面勾配が緩い」「斜面に植生が存在しない」等）

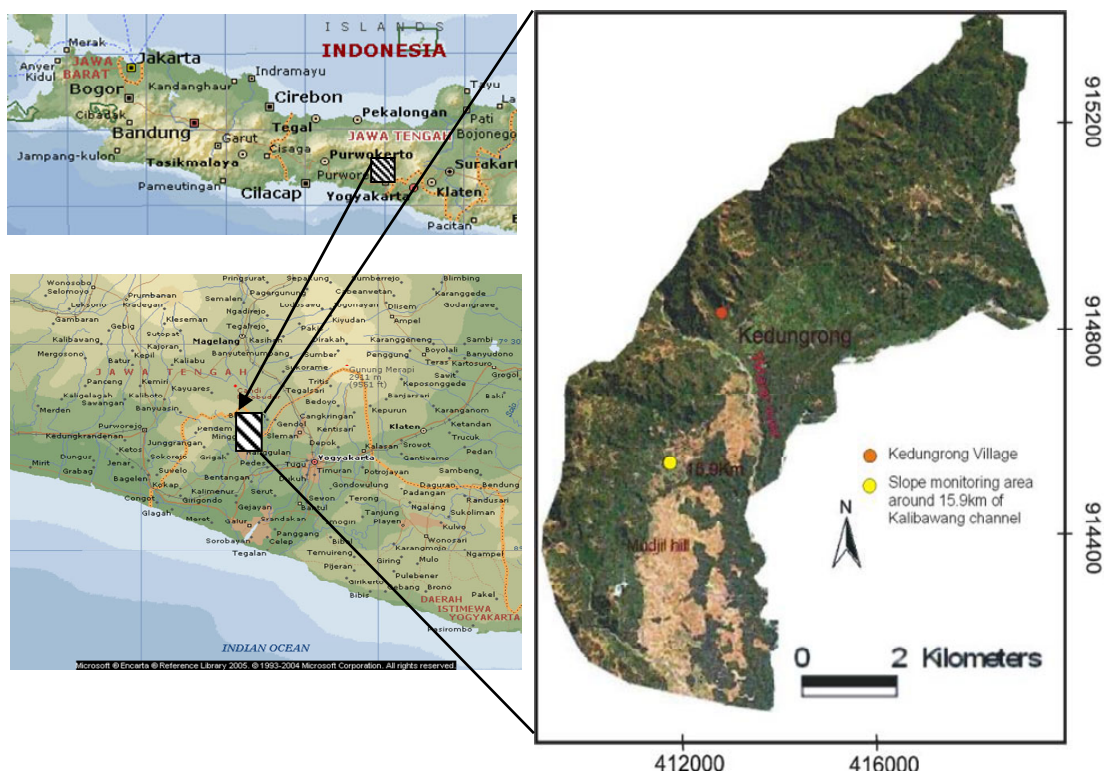


図-1 Location map (on the left) and landsat image (on the right) of the research area along Kalibawang channel in the catchment area of west Progo, Yogyakarta, Indonesia

を数量に変換することを意味する。数量化理論による斜面危険度判定の最大の特徴は、斜面勾配のような定量的要因と同様に地質構造、斜面形状、および植生のようなカテゴリカルな要因（ときに定性的）も数量的に取り扱えることにある。逆に、この理論においては、定量的要因もカテゴリカルなデータとして取り扱われ、その区分も線形的に行う必要がない。

カテゴリカルデータに関する数量化分析手法には第Ⅰ類から第Ⅳ類まで4つのパターンがあるが、本研究で用いるのは、これらのうち、目的変数（外的基準）と説明変数がともに質的分類で与えられている場合の分析である第Ⅱ類である。

数量化理論Ⅱ類は、カテゴリカルな形で与えられた説明変数のデータから、カテゴリカルな形で与えられた外的基準を判別または予測する手法である。外的基準と説明変数との関係を求める際には、与えられた説明変数のカテゴリカルデータに最適な重み係数を与え、その線形和によって外的基準の判別を行う。

本研究では、対象地域に設定した格子内部における地すべり発生の有無を外的基準（目的変数）、格子内部における地形・地質・土地利用などの各種データを説明変数とし、これらの変数間の統計的な関係を求めることによって、斜面の不安定化に影響を及ぼす要因の寄与度合いを分析した。

(1) 外的基準の予測の方法

カテゴリカルデータの項目のことをアイテム、それに対する区分のことをカテゴリという。例えば、調査項目の「斜面の平均勾配」はアイテムであり、回答区分である「60度以下」、「60～70度」、「70～80度」、「80度以上」がカテゴリである。

数量化理論Ⅱ類では、外的基準の予測にあたって、外的基準を予測・判別するために、各カテゴリ数量の和が外的基準の値となるような線形一次結合の予測式（判別式）を作成する。まずは、アイテム $[i]$ のカテゴリ $[j]$ に対して、該当するときは1、該当しないときは0となるようなダミー変数 x_{ij} を導入し、これに対する重み係数 a_{ij} によって表現される次のような1次式を外的基準の予測式（判別式）とする。

$$Y = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n a_{ij} x_{ij}$$

ここで、重み係数 a_{ij} のことをカテゴリスコア（カテゴリ数量）といい、この値は与えられたデータを用いて統計的に求めることになる。また、判別式の目的変数 Y をサンプルスコアという。この値は、個々のサンプルがいずれの群に属するかを評価する値である。重み係数は、予測値の全変動に対する群間変動の比が最大となるようにして求められる。

(2) 分析の手順

一般に数量化理論Ⅱ類においては、アイテム数およびカテゴリーの組み合わせを試行錯誤的に変化させながら繰り返し分析を行い、最適なアイテム・カテゴリー区分を模索することになる。具体的には次のような手順に従って分析を行った。

(a) 最初の分析においては、データ数による制約の範囲内で可能な限り多くのアイテムおよびカテゴリーを分析の対象として設定する。

(b) 計算の結果を基に、以下の記述に相当するようなアイテムの棄却あるいはカテゴリーの再編・統合を行い、新たなアイテムおよびカテゴリーの組み合わせの条件下で再計算を行う。

- 外的基準との相関性が低いアイテム
- 特定のカテゴリーに属するデータ数が少なく統計的に有意性がないアイテム
- 他のアイテムと相関性が高く外的基準と相関性が低いアイテム

(c) 上記の検討および計算を繰り返し、適切なアイテムおよびカテゴリーを選択する。

(d) 取捨選択されたアイテムおよびカテゴリーを分析の対象として設定することにより、外的基準値との関連性を評価し、危険地点の抽出に効果的な予測式を作成する。

以上の分析の結果得られたアイテム・カテゴリー区分結果を表-1に示す。

表-1 アイテムとカテゴリー区分

Items	Categories
Lithology	Very poor Poor Fair Good Very good
Geological structure	Highly jointed Moderately jointed Very few or no joint
Groundwater condition	Within 150m from springs 150m away from springs
Slope inclination	<13.4° 13.4°-20.1° 20.1°-26.8° >26.8°
Valley sides location	Yes No
Landuse	Farming Gardening Settlement Shrub
Human Activity	Road/Channel Resident near slope

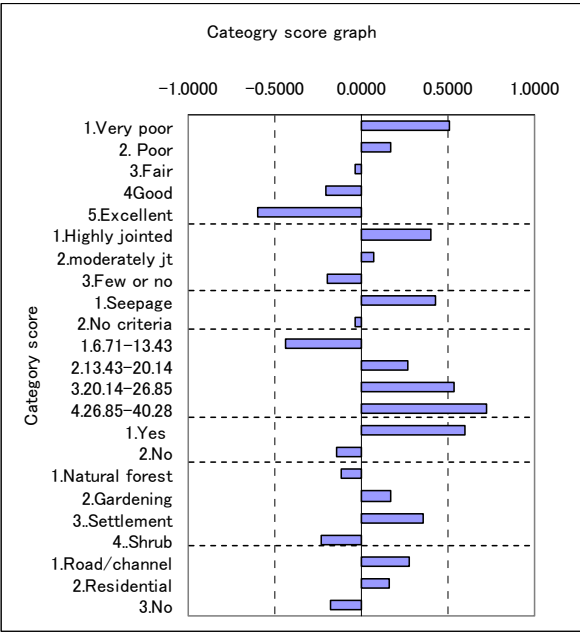


図-2 カテゴリースコアグラフ

(3) 分析の結果

分析の結果算出されたカテゴリースコアを図-2に示す。本図を見ると、斜面の安定性に対して、地質状況と斜面勾配の影響が特に大きいことがわかる。

4. GISを用いたハザードマップの作成

数量化理論Ⅱ類によって得られたカテゴリースコアを用いた予測式を対象領域全体に適用してハザードマップを作成する。

各アイテムに対するカテゴリーの空間分布を図-3~9のように作成する。次に、各カテゴリーの空間分布をGIS上で重ね合わせることによってカテゴリースコアの合計値、すなわちサンプルスコアの空間分布(図-10)を作成する。このサンプルスコアの空間分布を危険の程度を示す適切なしきい値で区分することによって作成したものが、図-11に示す斜面のハザードマップである。

しきい値を設定するにあたっては、単位領域内に含まれる地すべりの頻度および密度を考慮した。図-12は、各サンプルスコアに対する単位領域内に含まれる地すべりの頻度を示したものである。本図を見ると、サンプルスコアが40以上になると急激に頻度が増加し、60で最大値をとることがわかる。図-13は、各サンプルスコアに対する地すべりの頻度をそのサンプルスコアに相当する領域の総面積で除して密度で表したものである。本図を見ると、この値が70以上となると急激に地すべりの密度が増加することがわかる。そこで、カテゴリースコア40、60、70をしきい値として危険度を相対的に評価した。

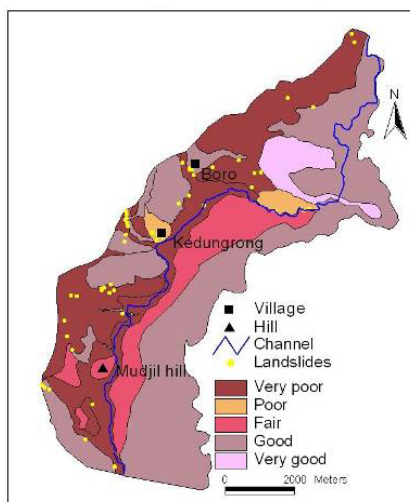


図-3 岩相のカテゴリー分布

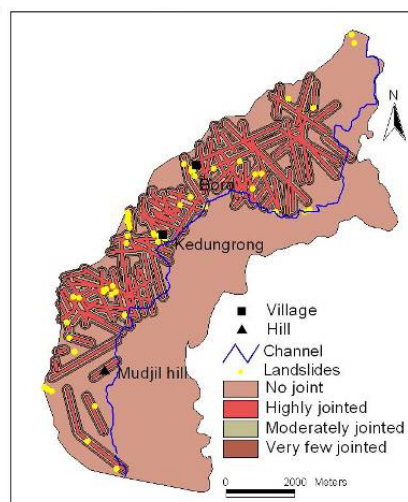


図-4 地質構造のカテゴリー分布

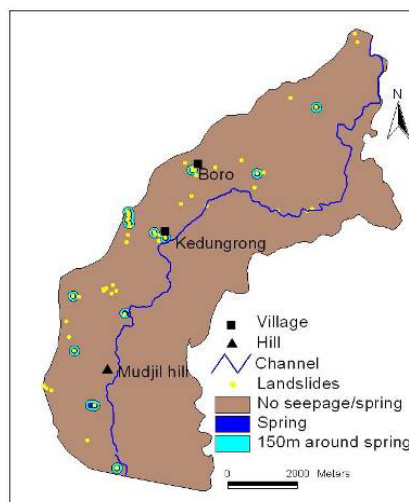


図-5 水理地質状況のカテゴリー分布

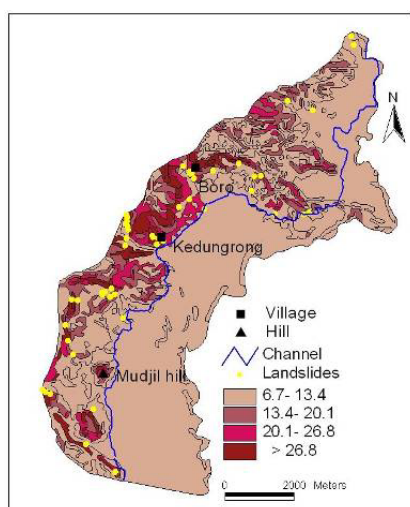


図-6 斜面勾配のカテゴリー分布

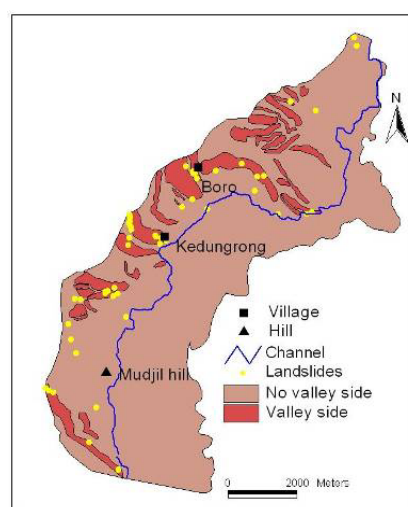


図-7 谷地形のカテゴリー分布

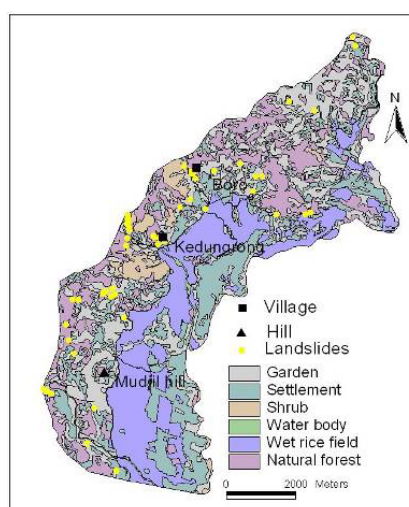


図-8 土地利用のカテゴリー分布

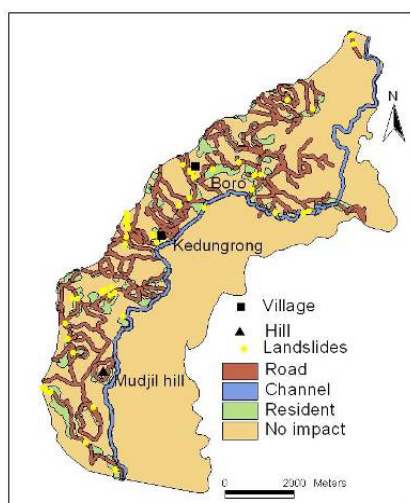


図-9 人工構造物のカテゴリー分布

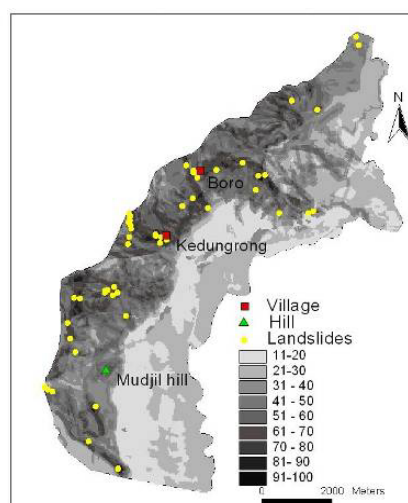


図-10 サンプルスコア分布

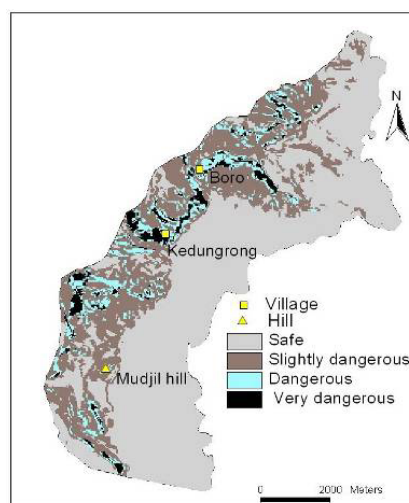


図-11 ハザードマップ

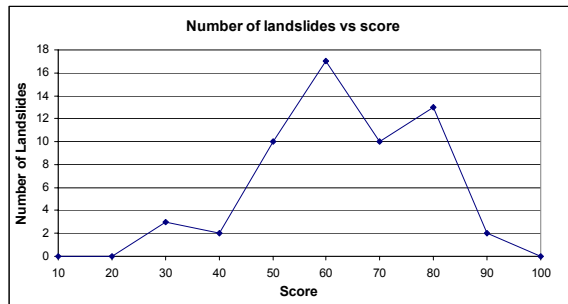


図-12 カテゴリースコアグラフ

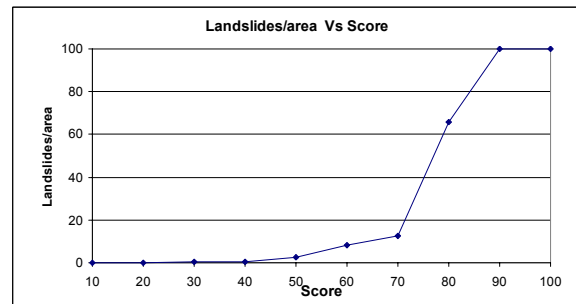


図-13 カテゴリースコアグラフ

5. 斜面の危険度評価

斜面の危険度評価にあたっては様々な方法が考えられるが、ここでは、Lee, E.M., Jones, D.K.C.(2004)¹⁾の方法を用いることで、GISを用いた危険度評価のフレームワークを示す。

Lee, E.M., Jones, D.K.C.(2004)による評価パラメータは次のように定義される。

$Risk = probability(hazard) \times adverse\ consequence$
 $Probability(hazard) = hazard\ score \times probability\ score$
 $Adverse\ consequence = risk\ value \times vulnerability$
 $Risk\ number = hazard\ score \times probability\ score \times risk\ value \times vulnerability$

本研究では、vulnerabilityの値を1と仮定するとともに、Lee, E.M., Jones, D.K.C.(2004)によって示された表-2に示す値を用いて危険度評価の計算を行った。また、パラメータの階級は表-3に示すとおりである。この結果、図-14に示すような斜面危険度評価マップを得ることができる。

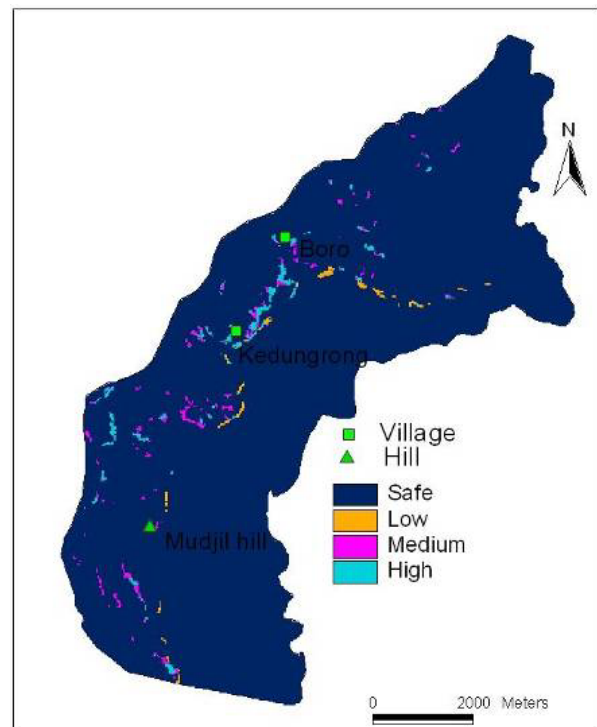


図-14 斜面の危険度評価マップ

表-2 Hazard scoreとRisk valueの値

	Hazard score	Risk value
1	Safe	Area not in use
2	Slightly dangerous	Gardening, Wet rice field
3	Dangerous	Road
4	Very dangerous	Channel
5	Extremely dangerous	Residential area

表-3 パラメータの階級

Risk score	Risk class
<30	very low (safe)
30-45	low
45-60	medium
>60	high

6. おわりに

本研究においては、雨季に斜面の不安定化現象が頻発するインドネシア・ジョグジャカルタ市近郊のKulon Progo地区Kalibawang水路沿いの地域を対象として、現場データを数量化理論Ⅱ類によって多変量統計分析することにより、各要因が地すべりの発生に影響を与える度合を定量的に示すとともに当地域における斜面安定性の評価方法を構築した。次に、構築した評価方法をGISに組み込むことによって、空間的に合理性を有する地すべりハザードマップを作成するとともに、その適用にあたってのフレームワークを示した。

参考文献

- 1) Lee, E.M. and Jones, D. K. C 2004, *Landslide Risk Assessment*, printed and bound in Great Britain By MPG books, Bodmin, Cornwall, London

LANDSLIDE HAZARD MICROZONATION IN CENTRAL JAWA BY USING MULTIVARIATE STATISTICAL ANALYSIS AND GIS

Su Su Kyi, NGUYEN Dinh Tu, NGUYEN Minh Trung, Dwikottta Karnawati,
Yoshitada MITO, Kenji AOKI

This paper describes the influence of landslides parameters as weighted scores that are applied in the risk assessment. The mechanism of landslide in tropical area is studied in the catchment area along Kalibawang channel of the west of Kulon Progo region, Yogyakarta, Indonesia. The dominant factors of landslides are studied rigorously by field working and identified the input parameters for multivariate statistical analysis by using quantification theory type II. The parameters in this analysis are simplified for the purpose of basis application in similar landslide prone area of tropical region. The weighted score resulted from this analysis is used to evaluate the possibility of landslides. These scores are input to GIS to construct the landslides hazard map.