

地すべり災害を対象とした防災ポテンシャルの評価

梅村 順*・林 重徳**・落合英俊***

本文では、自然的・社会的因子が複雑に絡み合った地すべりの災害・防災ポテンシャルを評価するために、マルチプルリスクの概念に基づく多重ロジスティックモデルを適用した方法を提案する。そして、その評価法を利用した災害・防災ポテンシャルマップの作成手法を示す。提案した方法はポテンシャルを発生確率で示すもので、それをを用いたマップは、防災対策の効果を表す有効な手段となり得る。

Key Words : landslide, disaster potential, disaster prevention potential, multiple risk, multiple logisthic model, potential map

1. はじめに

地形、地質や土質、航空写真、植生等の資料から得られるデータに数量化理論等の判別分析を主とする統計的な手法を応用し、地すべり崩壊を予測する方法が多く提案されている^{6),7),9)}。これらは地すべりに対する危険性をより一般的、普遍的、定量的に評価できる利点があるが、主として地すべり地帯と呼ばれる地域の斜面を対象に、自然的な要因のみを説明変数とした方法である。しかし、地すべりを災害と結び付けて捉えるとき、地すべり地帯と呼ばれる地域の自然的因子だけではなく、被害を受ける側である人間社会について、その被る影響を考慮する必要がある。特に近年、住宅地や、道路、電気、水道等のライフラインが山間部にも多く建設されているので、その必要性はますます高まっている。また、そのような社会基盤の整備と平行して、いくつかの地すべり危険地には防災対策事業が行われているが、それらの効果を客観的に評価する方法は少ないのが現状である。従って、地すべりの発生だけでなく、それが人間社会に及ぼす影響、すなわち、災害となる危険性を、数値として定量的に評価することができれば、より規模の大きな災害を引き起こす危険性を持つ地すべり地区の特定や、その評価法を用いた防災対策事業の効果の評価等、防災・減災対策に対してより具体的な提案ができるものと考えている。

地すべり災害の発生は、地すべり崩壊の発生を規定する素因や誘因や、それを受ける人間社会に関する因子等の性質の異なる因子が複雑に絡み合っている。このような性質の因子を扱う統計的方法として、河田⁵⁾は、マル

チプルリスクの概念に基づく多重ロジスティックモデルを適用して、それを規格化した防災評価指数 (DPAI) を提案し、世界各国で発生した死者千人以上の巨大災害を例にその妥当性を検討している。また、宇野⁸⁾は、河川堤防の安全性の評価に対して多重ロジスティックモデルを適用し、被災形態の違いによる外力・抵抗力となりうる特性要因の抽出が可能であることを示すと共に、その結果構築されたモデルで安定性評価を定量的に行うことが有望であることを述べた。

本文はこれら同様、多重ロジスティックモデルを用いて、地すべり災害の発生のし易さ、すなわち、地すべりの災害ポテンシャルの定量的な評価を行い、その評価に基づいて、災害ポテンシャルマップと防災対策事業の効果を表す防災ポテンシャルマップの作成手法の開発を、九州の代表的地すべり地帯である「北松地区」を例に目指したものである。ここでの災害ポテンシャルの評価では、地すべり現象そのものの複雑さ等から全ての地すべり地から共通して得られる因子の項目数が少なく、また、定性的な記述しかできない項目が殆どであり、説明変数として定性的なデータを用いた多重ロジスティックモデルの構築を行っている。

2. マルチプルリスクの概念と多重ロジスティックモデル^{10),11),13)}

マルチプルリスクの概念と多重ロジスティックモデルの手法は、アメリカで行われた虚血性心疾患の発症機構を究明する研究の過程において得られた副次的成果である。マルチプルリスクの概念は、複数の危険因子 (リスクファクター) が重なって病気が起こるという考え方で、その複数の発症危険因子の複合的な影響を評価するために開発された手法が、多重ロジスティックモデルである。このマルチプルリスクの概念は、病気に限らず、複数の原因によって引き起こされるような事象について適用で

* 正会員 工修 日本大学助手 工学部土木工学科
(〒963 福島県郡山市田村町徳定字中河原1)

** 正会員 工博 九州大学助教授 工学部建設都市工学科

*** 正会員 工博 九州大学教授 工学部建設都市工学科

き、その事象の危険因子を分析、検討する際には、多重ロジスティックモデルが有効な道具となり得る。多重ロジスティックモデルの特徴として、①ある事象が複数の原因によって起こる場合に、それぞれの原因の強さ（寄与の程度）を解析できること、②それぞれの原因の強さから、事象の生起確率を求めることができること、が挙げられる。特に②の点で、説明変数の線形結合式のみで表される重回帰分析や判別分析等の方法とは異なる。

ある事象 E の生起確率 $P(E|x)$ が、 p 個の属性変数ベクトル $x=(x_1, x_2, \dots, x_p)$ の値に依存するとし、 $P(E)$ を観測された p 次元のベクトル x の事象 E に対する条件付き確率 $P(E|x)$ で表す。ここで、事象 E が病気等の好ましくない事象のとき、属性変数ベクトル x がリスクファクターに相当する。確率 $P(E|x)$ と事象 E の非生起確率 $1-P(E|x)$ の比は、odds と呼ばれる。 $P(E|x)$ は 0 から 1 の間の値なので、odds は正の値をとるが、対数をとると、全ての実数をとるようになる。ここで、odds の対数が x の線形結合式で表すことができると仮定する。すなわち、

$$\log \frac{P(E|x)}{1-P(E|x)} = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_p x_p \dots \dots \dots (1)$$

また、 $P(E|x)$ について解いて、

$$P(E|x) = \frac{1}{1 + \exp\{-(\beta_0 + \beta_1 x_1 + \dots + \beta_p x_p)\}} = \frac{\exp\{(\beta_0 + \beta_1 x_1 + \dots + \beta_p x_p)\}}{1 + \exp\{(\beta_0 + \beta_1 x_1 + \dots + \beta_p x_p)\}} \dots \dots \dots (2)$$

式(2)の右辺は、飽和特性をもつ成長曲線として用いられるロジスティック関数の形をしており、また、指数部が属性変数の線形結合式であることから、多重ロジスティック関数と呼ばれ、この式で表されるモデルを多重ロジスティックモデルという。各属性変数の係数 $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_p$ は、事象 E に対する寄与の度合いを表し、定数項 β_0 と共に、このモデルのパラメータである。多重ロジスティックモデルは、Fig.1 のような分布形状をしており、事象生起集団と非生起集団の属性変数 x が、平均値ベクトルだけが異なり、共分散行列は等しい多変量正規分布するという仮定のもとで、確率値 $P(E|x)$ と属性変数 x の関係を正確に表現するものである。実際の問題では、観測された属性変数ベクトル x とそれに対する事象生起の有無を表す基準変数をデータとしてパラメータ $\beta=(\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_p)$ を決定する。決定したパラメータ β は、属性変数各々の事象 E に対する寄与の程度を分析した結果となるが、一方で、式(2)に代入することにより、事象 E の生起確率の予測式を完成することができる。

式(1)で、左辺は生起確率 $P(E|x)$ の非線形関数

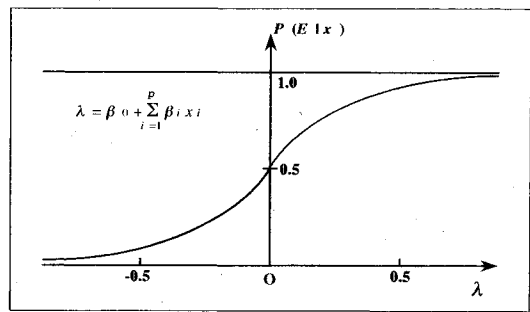


Fig.1 General configuration of a multiple logistic function.

なので、右辺の重回帰式は非線形になる。従って、パラメータ β の決定は、通常、最尤法の原理に基づいて行うが、属性変数が定量データでかつ、事象生起集団と非生起集団がそれぞれ正規分布をしているならば、判別分析による分析結果が最尤法と同じになるといわれている。また、これらの条件を満たさなくても、最尤法による結果と判別分析による結果は殆ど変わらないともいわれている¹³⁾。しかし、属性変数に線形性が期待できない場合には、最尤法によるパラメータ決定の方が理論的に妥当である。

3. 災害ポテンシャルと防災ポテンシャル

地すべり崩壊は様々な因子が複雑に絡み合って生じる自然現象であるが、その発生を予測する場合には、それを規定する因子として、地質や地形等の自然的因子を考慮すれば良い。しかし、地すべり崩壊を災害と結びつけて地すべりに伴う被災を予測する場合には、地すべり崩壊に伴って人間社会が受ける影響に関する因子を加えて考慮する必要がある。従って、地すべり災害を規定する因子をまとめると、Table 1 のようになる。

地すべりの崩壊を規定する自然的因子は、素因と誘因に分けることができる。素因には、地質や土質、地形、植生、気候等が、誘因には、降雨等の気象、地震等が挙げられる。そして、地すべりに伴い人間社会が受ける影響に関する因子には、人口や人口密度、社会基盤の充実度等と、土地開発行為や地すべり対策工、地すべり災害に対する住民意識の啓発、地すべりに関する危険性の認知等の防災対策に関する因子が挙げられるが、これらは、災害の規模を拡大・抑制する直接的な作用をする因子であるので、災害拡大・抑制因子と呼ぶことにする。

このような分類に基づくそれぞれの因子から、災害・防災ポテンシャルを定量的に評価するのであるが、そのために、前述したマルチプルリスクの概念と多重ロジスティックモデルを適用する。

地すべり災害は、素因、誘因および災害拡大・抑制因子に分類される様々な因子で規定されるので、これにマルチプルリスクの概念を適用してこれらの因子を地すべ

Table 1 Classification of factors consisting landslide disaster.

Primary causes	Provoking causes	Enlarging or controlling causes of disaster
Above the sea	Heavy rain fall	Increase or decrease of population
Incline of slope	Heavy snow fall	Progress of social life
Geology	Atmospheric temperature	Industrial action
Dip of strata	Strong wind	Housing development
Fault	Earthquake	Public utility
Grade of weathering	Eruption	Legislation
Geotechnical property	etc.	etc.
Groundwater		
Climate		
Vegetation		
etc.		

り災害発生リスクファクターと見なす。ある地点におけるこれらの因子のデータから構成されるリスクファクターベクトルを、 $x=(x_1, x_2, \dots, x_p)$ とすると、式(2)の多重ロジスティックモデルを用いて地すべり災害発生確率 $Pd(x)$ を求めることができる。この地すべり災害発生確率 $Pd(x)$ は、地すべり災害の起こり易さを表しているため、本文ではこれを災害ポテンシャル $D.P.$ と見なす。すなわち、

$$D.P. = Pd(x) = \frac{1}{1 + \exp(-(\beta_0 + \beta_1 x_1 + \dots + \beta_p x_p))} \dots (3)$$

$Pd(x)$ は確率なので、どの地点の災害ポテンシャルも0から1までの間の値をとり、リスクファクターの構成が異なっても共通の尺度で評価することができる。ここに、多重ロジスティックモデルを利用する主旨がある。また、式(3)のパラメータ $\beta=(\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_p)$ は、それぞれの因子の地すべり災害に対する相対的な寄与の度合いで、正值ならば、災害を拡大、負値ならば抑制することを表し、防災・減災対策に対する具体的な提案をするのに役立つ。一方、災害ポテンシャルと対をなす $1 - Pd(x)$ は、災害を被らない確率を与えるので、これを安全ポテンシャル $S.P.$ と呼ぶ。すなわち、

$$S.P. = 1 - Pd(x) = \frac{1}{1 + \exp((\beta_0 + \beta_1 x_1 + \dots + \beta_p x_p))} \dots (4)$$

ところで、これらリスクファクターは通常、時間の経過に伴って変化するので、災害・安全ポテンシャルも一定ではない。この変化はリスクファクターのうち、特に災害拡大・抑制因子の変化に起因するので、この変化量を防災ポテンシャル $P.P.$ とする。例えば、ある年の調査結果から求めた災害ポテンシャルを $D.P.^1(x)$ 、その後の対策工事等の後に再び調査を行い、その結果から求めた災害ポテンシャルを $D.P.^2(x)$ とすると、防

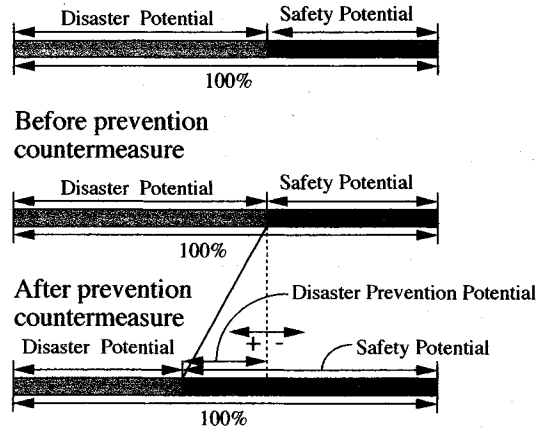


Fig.2 Conceptual evaluation of three potentials.

災ポテンシャル $P.P.^{21}(x)$ は、

$$P.P.^{21}(x) = D.P.^2(x) - D.P.^1(x) \dots (5)$$

以上、災害、安全および防災ポテンシャルの概念を図に示すと、Fig.2 のようになる。

リスクファクターは経時変化する性質を持つが、今回構築した多重ロジスティック関数では防災対策が講じられる前後に調査対象期間を設定し、それぞれの期間について分析を行っているため、パラメータの定数項 β_0 が時間の関数、 $\beta_1 \dots \beta_p$ は時間に無関係の項となっている。しかし、著者らは今後の展望として、構築した多重ロジスティック関数を災害・防災ポテンシャルの評価式として用いるためには、リスクファクターをそれぞれ時間関数で表し、 β_0 を時間と無関係の項にする必要があると考えている。

4. 災害・防災ポテンシャルマップの作成方法

災害・防災ポテンシャルマップの作成手順は Fig.3 に示す通りで、多重ロジスティック分析とマップ作成の際に説明変数となる因子のカテゴリ分布図作成の2つの流れからなる。

2つの作業ともまず、マップを作成する対象地域を設定することから始まる。そして、設定した地域の地すべり災害発生の素因、誘因および災害拡大・抑制要因に関する資料を収集し、これらから各因子について評価基準を決める。その後、多重ロジスティック分析とカテゴリ分布図の作成に分かれる。

多重ロジスティック分析は、まず、対象地域から無作為に適当数の地点を選び、それらの地点各々の各因子に関するデータの抽出を行う。このとき、地すべりが発生しないような沖積平野上の地点も選択するようにする。そして、求めようとする多重ロジスティック関数の目的

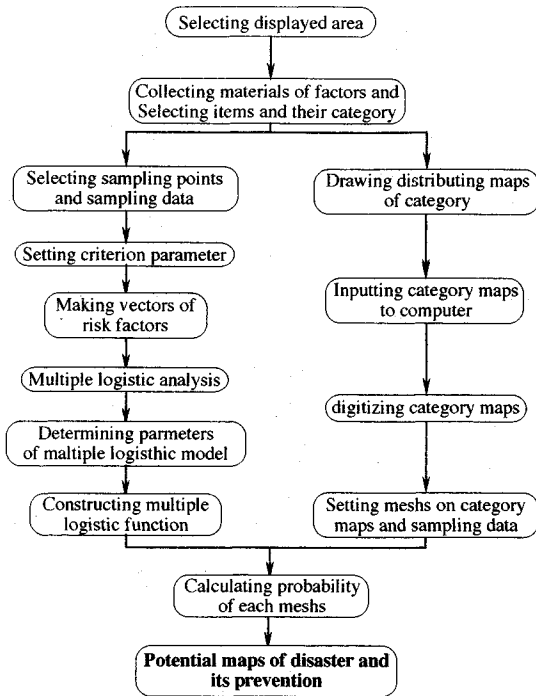


Fig.3 Flowchart for making disaster potential maps and its prevention potential map.

変数に応じた基準変数を設定して、これらのデータを説明変数に、多重ロジスティックモデルのパラメータを算出する。基準変数は、例えば、過去地すべり災害が発生した地点を1、していない地点を0とするといったように、確率で設定する。このような多重ロジスティック分析により得られた結果を式(3)のパラメータとして、基準変数とした条件の発生確率を予測する多重ロジスティック関数を得ることができる。一方、カテゴリー分布図の作成作業は、マップを作成しようとする地域の白地図に、各アイテム毎カテゴリーに基づいて地域分けし、色づけ等を施して作成する。作成したカテゴリー分布図は、パーソナルコンピュータにデジタイザやイメージスキャナを用いて入力し、画像データとして保存する。

マップの表示には幾つかの方法があるが、ここでは、対象地域にメッシュを掛け、メッシュ毎に評価するメッシュ法を採用した。まず、目的に応じてメッシュの大きさを決め、作成したカテゴリー分布図から各メッシュ内の因子それぞれについて平均値を取り、各メッシュの因子ベクトルを作る。次に、各因子に関するパラメータで規定した多重ロジスティック関数によって、各メッシュ毎に因子ベクトルから評価値を算出し、その値を地図上に記入する。そしてその結果を、評価に用いた多重ロジスティック関数の目的変数の条件について、その発生確率を表す災害ポテンシャルマップとし、さらに、時間および対策等の有無による2つの災害ポテンシャルを算出

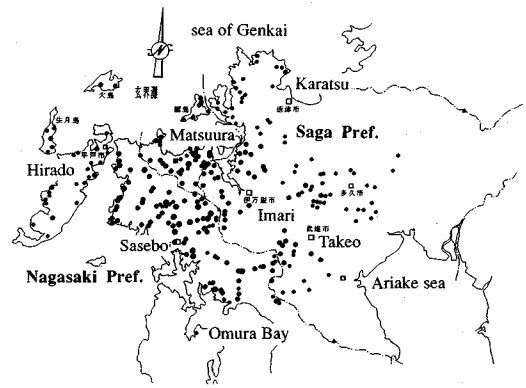


Fig.4 Information map of "Hokusho" region showing distribution of landslides.

し、その差として防災ポテンシャルマップを求める。

5. 災害・防災ポテンシャル評価の具体例

(1) 対象地域の概要

地すべり災害に対する災害ポテンシャル・防災ポテンシャル評価へのマルチプルリスクの概念および多重ロジスティックモデル適用の有効性を検討するために、九州の代表的な地すべり地帯である【北松地区】の地すべりを例に検討を行った。

【北松地区】は、Fig.4に示す長崎県松浦市、平戸市、佐世保市および北松浦郡と佐賀県伊万里市を中心とする地区で、地すべり防止区域は約300ヶ所、総面積約10 km²に達する。長崎県では、昭和28年から滑動が記録されている潜竜町の【鷲尾岳地すべり】をはじめとして、県内の地すべりの約80%が、また、佐賀県では、【地すべり防止法】制定の契機となった昭和26年に滑動した伊万里市の【人形石山地すべり】をはじめ県内の地すべりの90%以上が、この地域に集中している。山崎¹⁴⁾によれば、この地域の地質は、含炭第三紀層とこれを不整合に覆う砂礫層をさらに玄武岩が覆い、このような地質を反映して、地形はメサ状の溶岩台地を呈している。そして、地すべりはこの台地の端部で随所に発生している。Fig.5はこの地区の典型的な地質断面と地すべりの模式図であるが、この地区の地すべりは、台地端部の第三紀層の受け盤側に生じるものと、流れ盤側で生じるものがある。前者は、野田¹⁵⁾によって【北松型】地すべりと名付けられている。後者は、第三紀層中の【隔物(ヘダモノ)】と呼ばれる薄炭層上の頁岩層が粘土化した部分をすべり面として滑動するもので、【大型順層】地すべり¹⁴⁾と呼んで、【北松型】とは区別されている。Fig.6は、地すべり防止区域に指定された地すべり規模を滑動部の面積で表し、その箇所数の分布を示したものであるが、【北松型】地すべりが0.2 km²程度であるのに対して【大型順層】地すべりは大規模なものが多く、1 km²以上の

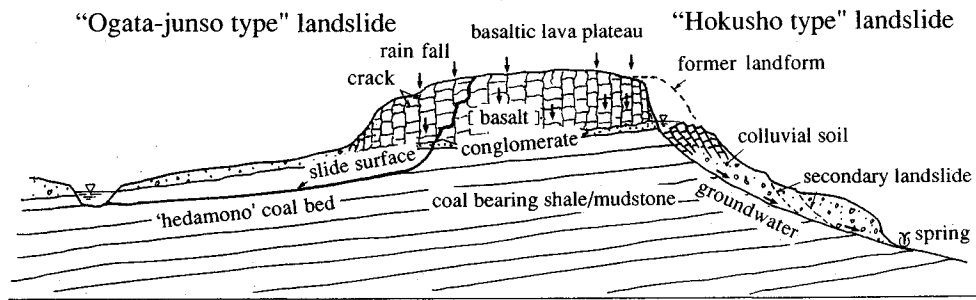


Fig.5 Illustration of geological section and typical landslides on "Hokusho" region (modified Yamazaki¹⁴⁾ and Noda¹⁵⁾

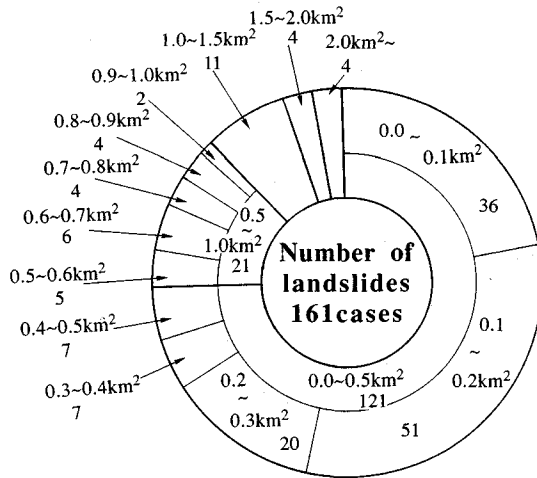


Fig.6 Distribution of surface square measures of landslides on "Hokusho" region.

Table 2 Items of collected materials and its category for analysis.

(a)Items for materials		(b)Analyzed items	
Items		Items	Category
Landform	⇒	Landform	Landslide configuration/No landslide
Surface geology	⇒	Surface geology	Basalt/Alluvial soil/Colluvial soil/Shale and mudstone-dip slope/-opposite dip slope /-indistinctness slope
Dip of strata	⇒	Incline of slope	over 30° /20° -30° /15° -20° /8° -15° /3° -8° /under 3°
Incline of slope	⇒	Fault	Fault/No fault
Fault	⇒	Amount of precipitation by year	1800-1850/1850-1900/1900-1950/1950-2000 /2000-2050/2050-2100/2100-2150/2150-2200 /2200-2250/2250-2300/2300-2350(mm/year)
Amount of precipitation by year	⇒	Land use	Paddy/Farm/Grove/Residence/Reclamation
Land use	⇒	Counter-measure	over 1000/500-1000 /100-500/20-100/0.1-20 /under 0.1(millions yen/km²)
Counter-measure	⇒	Cost of counter-measure	
Cost of counter-measure	⇒	Density of population	over 20/10-20/5-10/1-5/0.1-1/under 0.1 (thousands parsons/km²)
Density of population	⇒		

ものは全てこのタイプの地すべりである。

(2) 説明変数の選定

【北松地区】の地すべり災害を規定すると考えて抽出した因子を、アイテム分けして示したのが Table 2 (a) である。素因に分類される因子として、表層地質、地質構造、傾斜区分および断層の有無、また、誘因に分類される因子として、年平均降雨量、誘因と災害拡大・抑制因子にまたがる因子として、土地利用が挙げられる。

災害拡大・抑制因子について、本文では、その構成要素を包括的に捉える指標として、単位面積当たりの累積対策工事費と人口密度を挙げ、それぞれでハードウェアな面とソフトウェアな面を代表させた。なお、単位面積当たりの累積対策工事費は、資料を比較的得易く、また、藤本¹⁾や著者らの一人²⁾が、防災行政の具体化である対策工事の質的評価量として、災害拡大・抑制因子を代表する有効な指標であることを示している。累積対策工事費は、対策工事を行った年によって物価が異なることを考慮して、平成2年の物価水準に補正した。

これらのアイテム分けについて内部従属性を検討し、その結果として得たアイテム・カテゴリーを、Table 2

(b) に示してある。このアイテム・カテゴリーについて、多重ロジスティック関数の構築を行った。

(3) 多重ロジスティック分析

データサンプリング地点として、解析対象地域【北松地区】から、最近地すべり災害が発生した地点と、過去に地すべりの発生がなく今後も発生しないと考えられる地点がそれぞれ数10箇所含まれるまで、合計300箇所を無作為に抽出した。そして、Table 2 (b) に示すアイテムに従い、これらの地点からデータをサンプリングした。

これらサンプリングデータを用いて、基準変数とアイテムを変え、Table 3 にあるような3種類の組み合わせについて分析を行った。Table 3 (a) は、基準変数を地すべり地形を呈している地点を1、呈していない地点を0とし、説明変数を素因に分類されるアイテムとした組み合わせの結果で、目的変数は、誘因を考慮しない地すべり崩壊の発生確率に相当する。また、(b) は、基準変数を、地すべりの滑動記録の有無とし、説明変数を素因と誘因に分類されるアイテムとした組み合わせの結果で、目的変数は、誘因を考慮した地すべり崩壊発生確率

Table 3 Analytical results for a multiple logistic model.

(a)		
Criterion parameter : Landslide configuration		
Parameters	Factors	Presumed values
β_0	(Term of constant)	-6.05
β_1	Geology:Shale and mudstone-dip slope	6.16
β_2	Geology:Shale and mudstone-opposite dip slope	5.80
β_3	Geology:Shale and mudstone-indistinctness slope	6.78
β_4	Geology:Basalt	4.33
β_5	Fault	-0.17
β_6	Incline of slope:over 20°	1.04
β_7	Incline of slope: 8 ~ 20°	0.86

(b)		
Criterion parameter : Record of moved landslide		
Parameters	Factors	Presumed values
β_0	(Term of constant)	-9.78
β_1	Geology:Shale and mudstone-dip slope	6.54
β_2	Geology:Shale and mudstone-opposite dip slope	5.70
β_3	Geology:Shale and mudstone-indistinctness slope	7.20
β_4	Geology:Basalt	5.36
β_5	Incline of slope:over 20°	0.75
β_6	Incline of slope: 8 ~ 20°	1.05
β_7	Land use:Paddy	0.07

(c)		
Criterion parameter : Record of moved landslide		
Parameters	Factors	Presumed values
β_0	(Term of constant)	-8.36
β_1	Geology:Shale and mudstone-dip slope	7.80
β_2	Geology:Shale and mudstone-opposite dip slope	7.55
β_3	Geology:Shale and mudstone-indistinctness slope	8.00
β_4	Geology:Basalt	6.21
β_5	Incline of slope:over 20°	1.39
β_6	Incline of slope: 8 ~ 20°	0.84
β_7	Cost of countermeasure:over 500millions yen/km ²	-0.16
β_8	Cost of countermeasure: 20~500millions yen/km ²	-1.33
β_9	Cost of countermeasure: 1~20millions yen/km ²	-2.13

である。ここで、断層、平均降雨量や水田以外の土地利用のカテゴリーは、今回サンプリングしたデータで地すべりの滑動との相関性がなく、最尤値を求めることができなかったため除外した。そして(c)は、基準変数を(b)同様、地すべりの滑動記録の有無とし、説明変数を素因と誘因および人口密度を除いた災害拡大・抑制因子に分類されるアイテムとした組み合わせの結果で、目的変数は、対策工事を考慮した地すべり発生確率である。ここで定数項 β_0 はいずれも負値で、いずれの発生確率も減少させる項となっているが、これは、地質のカテゴリーである沖積層をはじめとする地すべりの発生に寄与が少ない因子を除いて分析を行ったので、それらの寄与の度合いが総じてこの項に包含されているためである。累積対策工事費は各カテゴリーのパラメータとも負値を示し、地すべり崩壊の抑止に効果を発揮していることが認められた。

前述した分析では、人口密度の因子を説明変数とした場合の基準変数の設定が、事例が少ないために困難であった。そこで人口密度について、次のように評価した。分析結果に基づく多重ロジスティック関数は、マップ作成の際にメッシュ毎の災害・防災ポテンシャルの計算に用いられるが、得られる値が1つのメッシュの地すべり災害を被る確率であるので、この確率を1つのメッシュ

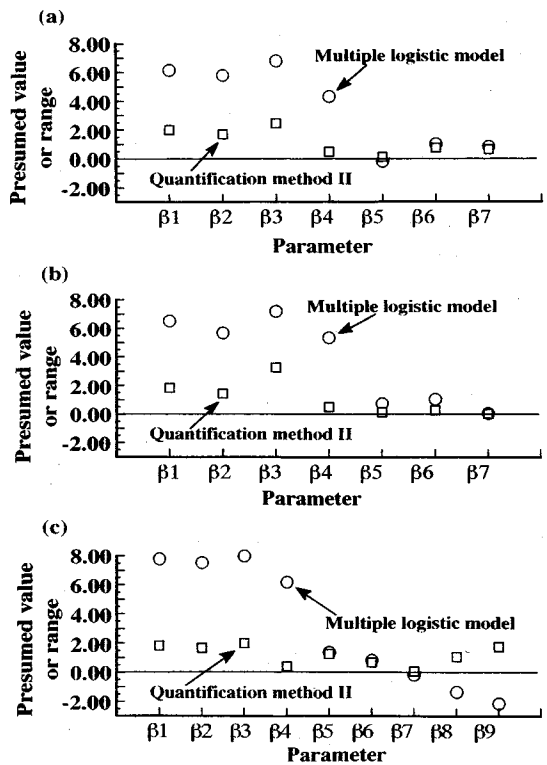


Fig.7 Relationships between a multiple logistic model and a quantification method II.

の住民1人当たりの被災確率とみなした。そして、メッシュ毎に得られた被災確率にその人口密度を乗じて評価した。但し、被災者の総数が社会に与える影響は、被災者総数の対数の関数と見なせると仮定し、人口密度は対数をとって乗じた。すなわち、人口密度を考慮した災害ポテンシャル $D.P._p(x)$ は、

$$D.P._p(x) = D.P.(x) \cdot \log(\text{人口密度}) \dots \dots \dots (6)$$

(4) 他の解析法との比較

前述したように、多重ロジスティック分析による結果は、判別分析による結果と殆ど変わらないといわれている。本文では、基準変数、説明変数ともカテゴリカルなデータを扱っているため、このようなデータを扱うことができる判別分析である数量化Ⅱ類による分析を行って、多重ロジスティック分析と比較を試みる。なお、数量化Ⅱ類の方法については、統計学の本^{(11)~(13)}に詳しいので、ここでは結果のみを示す。

多重ロジスティック分析の結果と、それと同じアイテム・カテゴリーをそのまま説明変数として行った数量化Ⅱ類の分析結果について、それぞれの分析で目的変数に対する寄与の度合いを表すパラメータ推定値とレンジをそれぞれ示したのが Fig.7 である。分析方法が異なるので量的な判断はできないが、定性的には各カテゴリーの

寄与の度合いは類似した傾向を示していることがわかる。また、数量化Ⅱ類でのレンジは正值であるが、多重ロジスティック分析では一部負値を示している。これら負値を示すカテゴリーは、地すべり災害の発生に抵抗する効果であることを表しており、数量化Ⅱ類のレンジが寄与の度合いのみしか表せないのに対して、多重ロジスティック分析では寄与の度合いとその効果を表せる点で優れていることがわかる。

(a), (b), (c) の場合とも、表層地質に関するカテゴリーの寄与の度合いが高く、傾斜に関するカテゴリーの寄与の度合いは低い。川上・斉藤⁶⁾や、吉澤・渡辺⁷⁾は、数量化Ⅱ類を用いた地すべり危険地判定に関する研究において、地質と地形に関するカテゴリーを考慮すると地質に関するカテゴリーが判別に支配的であることを示したが、本文での傾向はほぼこれらと同様の結果である。

このことから、対象とした地域は異なるので確定的には言えないが、本文で行った両分析とも、その結果はほぼ妥当であると判断できる。しかし、表層地質に関する玄武岩と傾斜に関するカテゴリーは、(a), (c) の場合に両者の順位が異なっている。これは、数量化Ⅱ類で得たこれらのカテゴリーそれぞれの偏相関係数から、これらカテゴリーと基準変数の間の相関が悪いためと考えられる。数量化Ⅱ類が、各カテゴリーと基準変数の関係に線形性を仮定して重回帰を行い、それらの寄与の度合いを求めるのに対して、多重ロジスティック分析は線形性を仮定せず、最尤法によって各カテゴリーの寄与の度合いを推定するので、この手法の違いが基準変数との相関性の悪いカテゴリーに関して、寄与の度合いの評価値の差となって表れたものと推察される。技術的には多重ロジスティック分析では、偏微分方程式の演算で、基準変数と相関の悪いカテゴリーを説明変数に複数含むと収束しない場合がある。そのため、基準変数に対する説明変数の選択を慎重に行うこと、分析に用いるサンプル数を増やすこと等の注意が必要である。

但し、ここで対象とした『北松地区』の場合、この地区の地形は、Fig.5 に示すような、玄武岩をキャップロックとするメサ台地で特徴づけられる。特に、表層地質が玄武岩であっても、台地内部と周縁部とは条件が異なり、また、『北松地区』地すべりのメカニズムを考慮すると、玄武岩およびその下位の第三紀頁・砂岩と地表面との位置関係等、地質的要因が大きく影響すると考えられ、地質に関するカテゴリーを表層地質に限らず、3次元的に捉えることが必要である。数量化Ⅱ類と多重ロジスティック分析で、玄武岩の地すべりの発生の有無に関する基準変数に対する相関性が低かった原因は、この点にあるともいえ、今後、地質に関するカテゴリーについて3次元的に捉える方法を検討すると共に、その基礎資料となる、地盤図の作成や地盤情報データベース等の整

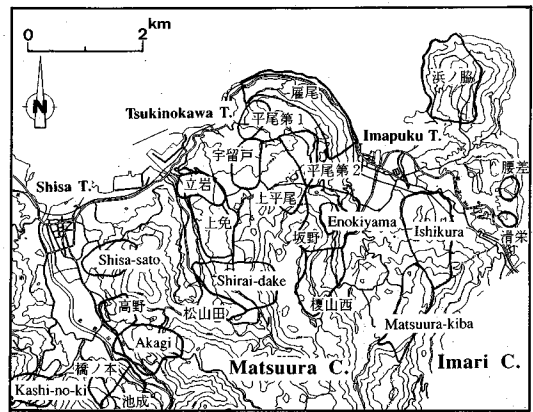


Fig.8 Display extent of potential maps and showing prevention zones of landslide.

備等が必要であろう。

(5) カテゴリーマップの作成と画像データ化

災害・防災ポテンシャルマップの表示地域は、Fig.8 に示す長崎県松浦市の市役所所在地である志佐町や調川町、今福町等を含む地域である。この地域には、平成2年7月に滑動した『松浦木場地すべり』、昭和30年代に大きな災害をもたらした『石倉山地すべり』を始め、建設省、農林水産省および林野庁それぞれが管轄する地すべり防止区域が23箇所分布する。まずこの地域を対象に、カテゴリーマップを作成した。Photo.1はその一例で、表層地質アイテムのマップである。このようなカテゴリーマップをデジタイザを用いてパーソナルコンピュータに読み込み、Photo.2 に示すような画像データとして保存した。これら画像データの精度は、結果として出力するマップの精度に関係するので、目的に応じてコンピュータの性能、入力するカテゴリーマップの縮尺などを考慮する必要がある。今回、入力したカテゴリーマップの縮尺が25,000分の1、コンピュータがNEC社製PC-9801で、画像データは、最も詳細なもので、メッシュ間隔15mであった。

(6) 災害・防災ポテンシャルマップの表示

前項に示した画像データ化したカテゴリーマップと、先に求めた多重ロジスティック関数を用いて作成した災害ポテンシャルマップの出力例をPhoto.3~8 に示す。出力したマップはいずれもメッシュ間隔を18mとした。

Photo.3 は多重ロジスティック関数を、[(a) 地すべり地形の有無] を基準変数に分析して得た推定値から構築し、それを用いて作成したマップで、地すべり発生確率 $D.P.$ を表す災害ポテンシャルマップに相当するものである。対象地域では、台地の周縁部に無数の地すべり地形が見られるので、それを反映して台地の周縁部の災害ポテンシャルが高くなっている。『石倉山地すべり』

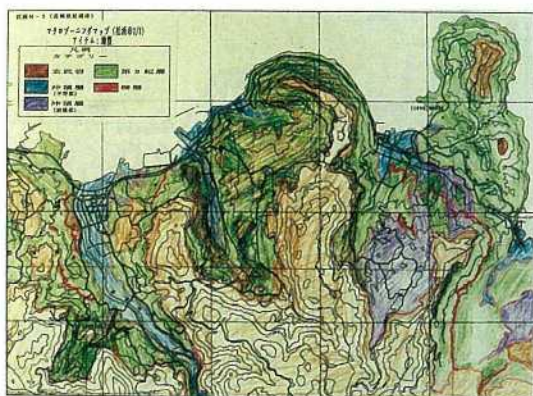


Photo.1 Example of a category map, showing geological data.

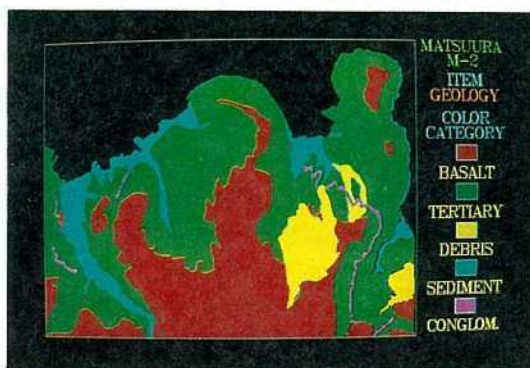


Photo.2 Example of image date on personal computer, showing geological data.

は、地すべり防止区域の範囲のポテンシャルが低く、その周辺が高くなっており、地すべり崩壊した斜面に隣接するほぼ同じ条件を有する斜面の災害ポテンシャルが高く評価されている点は興味深い。一方で、『石倉山地すべり』区域の災害ポテンシャルが低いのは、この区域が地すべりの滑動のために表層地質図で崩積土となっていることが原因で、実際にはこの区域の周囲とほぼ同じ災害ポテンシャルであると考えられる。このような点を改善するためにも、前述したように、今後、地質に関して3次元的な情報を取り入れることを検討する必要がある。

Photo.4は昭和35年、また、Photo.5は平成2年の資料から、[(c) 地すべり滑動記録の有無]を基準変数に分析し、それぞれについて得た推定値 $D.P.$ で構築した多重ロジスティック関数を用いて作成したマップで、対策工事を考慮した災害ポテンシャルマップである。基準変数として、滑動した記録が残っている地すべりを評価しているので、Photo.3と比較して災害ポテンシャルの値は約1/2に減少している。Photo.4では、昭和35年以前に対策工事が実施された『厩尾』、『平尾第一』、『宇留戸』、『立岩』、『白井岳』等の地すべり防止地域に

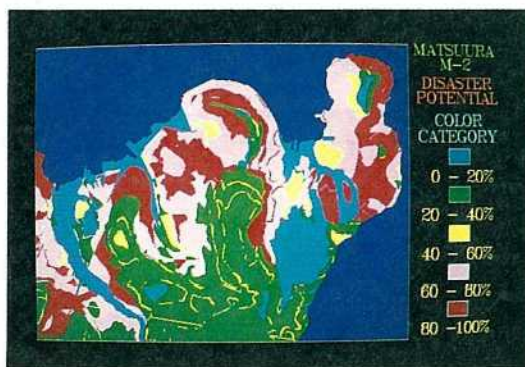


Photo.3 Example of disaster potential map due to landslides.

その効果がみられ、ポテンシャルが低下している。しかし、Photo.5では、昭和35年から平成2年の間に対策工事が行われた『榎山』、『榎山西』、『坂野』、『平尾第2』、『栢ノ木』等にその効果が見られるが、Photo.4で効果がみられた地域は効果が失われている。Photo.6は、その対策工数の効果の変化を捉え易いように、Photo.4に示した昭和35年当時の災害ポテンシャルと、Photo.5に示した平成2年時点での災害ポテンシャルの差 $P.P.$ で、防災ポテンシャルマップである。このような対策工数の効果の低下の原因として、昭和35年から平成2年に投じられた対策工費が昭和35年以前に比べて巨額で、その効果が表れ難くなったためであろうが、別の見方をすれば、昭和35年以前に対策工事が概成した防止区域にはそれ以後殆ど対策やメンテナンス等は施されていないことを示すものと考えられる。従って、このような対策工数の効果の低下は、防災ポテンシャルが低下したと捉えることも可能であり、ここでの結果は、防災ポテンシャルを評価していると見なすことができる。

Photo.7および8は、Photo.4 5に対して、式(6)で仮定した人口密度を考慮した $D.P._p$ を用いた災害ポテンシャルマップで、それぞれ昭和35年当時、平成2年時のものである。Photo.7と8を比較すると、Photo.4 5の場合同様、地すべり防止区域のポテンシャルに変化が見られる。また、災害ポテンシャルの高い地域の面積は、昭和35年に比べ平成2年は広がっているが、災害ポテンシャルが120%以上を呈する特に高い箇所は逆に少なくなっている。これは、昭和35年当時、松浦市は産炭地であったために、住宅の多くが炭住等の集合住宅で、人口が密集していたが、その後の産業構造の変化に伴い炭坑がなくなり、人口が分散したことが原因である。Photo.9は、Photo.7と8の差を示した $P.P._p$ のマップであるが、昭和35年から平成2年の間に、市街地の周辺部で災害ポテンシャルが上昇、言い換えれば、防災ポテンシャルが低下していることが分かる。

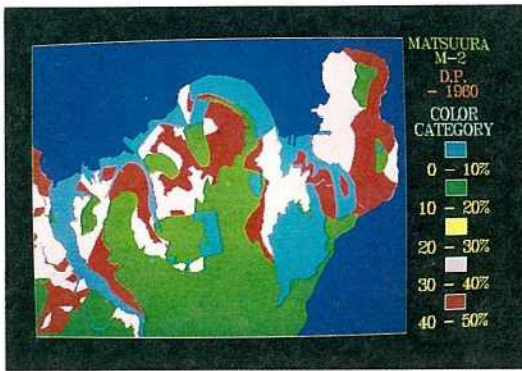


Photo.4 Example of disaster potential map in 1960 considered countermeasures.

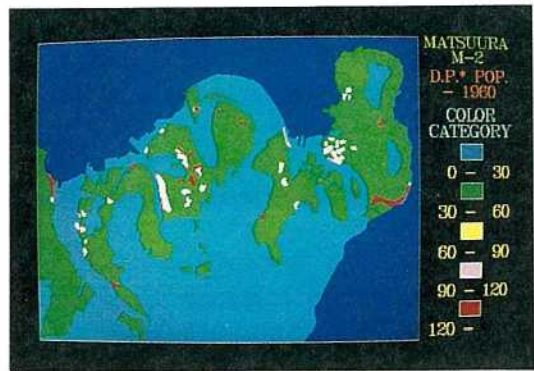


Photo.7 Example of disaster potential map in 1960 considered countermeasures and population.

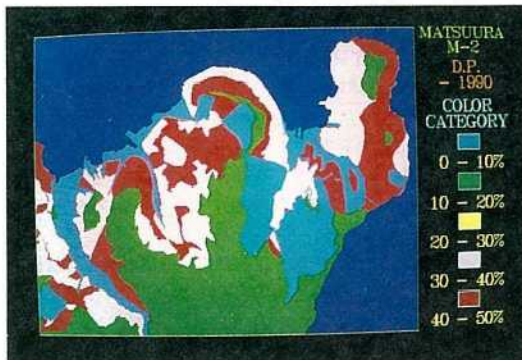


Photo.5 Example of disaster potential map in 1990 considered countermeasures.

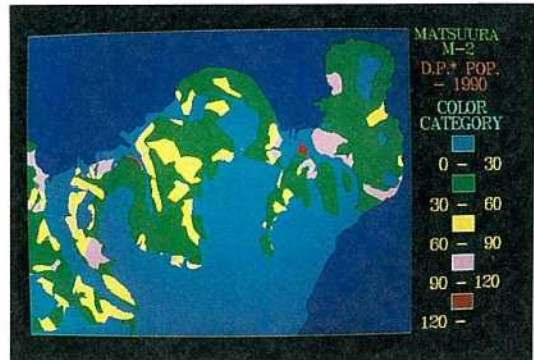


Photo.8 Example of disaster potential map in 1990 considered countermeasures and population.

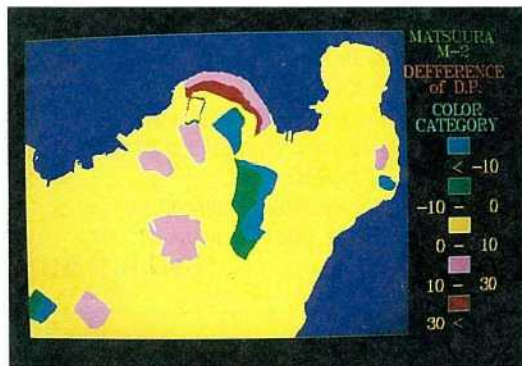


Photo.6 Example of disaster prevention potential map showing effects of countermeasures.

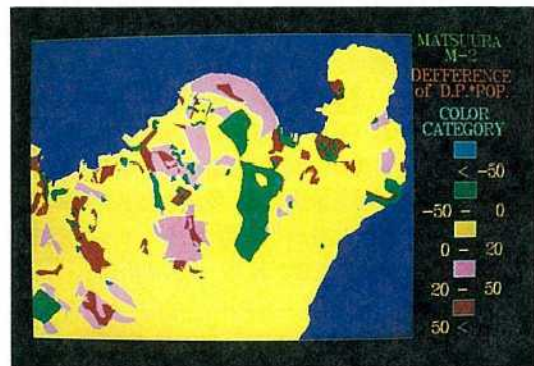


Photo.9 Example of disaster prevention potential map showing effects of countermeasures and population changes.

6. おわりに

本文では、地すべりの災害・防災ポテンシャルの定量的な評価法として、地すべり災害を構成する素因、誘因および災害拡大・抑制要因にマルチプルリスクの概念を適用した多重ロジスティックモデルによる方法について検討し、その結果に基づいて、災害・防災ポテンシャルマップの作成を、九州の代表的な地すべり地帯【北松地区】にある長崎県松浦市を例に行った。得られた結果を

要約すると、以下の通りである。

(1) 地すべり災害の発生は、地すべり崩壊の素因、誘因、および災害拡大・抑制因子の3つのグループに分けることができる。これらの因子をリスクファクターとみなしてマルチプルリスクの概念を適用して得られた多重ロジスティック分析の結果は、数量化Ⅱ類による方法と定性的にはほぼ同じ結果となるが、因子の災害発生への寄与の度合いだけでなく、その災害発生に対する効果も表すことができ、数量化Ⅱ類より優れている。

(2) 多重ロジスティック関数によって災害ポテンシャル $D.P.$ と安全ポテンシャル $S.P.$ および防災ポテンシャル $P.P.$ を定義した。また、人口密度を考慮した災害ポテンシャル $D.P.$ について、 $D.P.$ がメッシュ内の住民 1 人当たりの被災確率であることを考慮し、これに人口密度の対数を乗じたものと仮定して評価した。

(3) 作成した災害・防災ポテンシャルマップでは、対策工事費の効果や松浦市の産業構造の変化とそれに伴う人口分布の変化等に伴う防災ポテンシャルの変化を評価することができた。他にも、調査期間、因子を変えて求めた $D.P.$ を組み合わせることで、いろいろな目的を持った災害・防災ポテンシャルマップを作成することができると考えられる。

(4) 今回構築した多重ロジスティック関数では、調査対象期間を設定し分析を行っているので、パラメータの定数項 β_0 が時間の関数、 β_1, \dots, β_n は時間に無関係の項となっている。しかし今後の展望として、リスクファクターは本来、経時変化する性質を持つので、それをそれぞれ時間関数で表し、 β_0 を時間と無関係の項にした方が、調査期間ごとに分析する必要がなくなるとともに、災害・防災ポテンシャルの変化をより定量的に評価できると考えられる。

謝辞：本研究を進める上で、西部地区自然災害資料センターの資料を利用すると共に、長崎県東北振興局および松浦市役所の方々に貴重な資料を提供して戴きました。資料の収集・整理は、本学学生斉藤直人君（昭和 63 年卒）、前川聡幸君（平成元年卒）、徳永滋君（平成 2 年卒）および村瀬政章君（平成 3 年卒）に、卒業研究として実施された。統計処理は、本学大学院生井料達生君に負うところが大きい。また本研究は、文部省科学研究費重点領域研究「資料解析に基づく防災ポテンシャルの変遷に関する研究」（研究代表者 名大 水谷伸治郎）の補助

を受けました。以上の方々に厚く感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) 藤本 廣：いわゆる“防災ポテンシャル”の概念規定について，自然災害科学研究西部地区部会報，第 5 号，pp. 45～54，1988.
- 2) 林 重徳：『北松型地すべり』地域における防災ポテンシャルの変遷，自然災害科学研究西部地区部会報，第 6 号，pp. 73～80，1988.
- 3) 林 重徳：九州地方における応用地質学の役割—地滑り・崩壊とその対策における役割と課題—，日本応用地質学会九州支部 10 周年記念シンポジウム予稿集，pp. 33～40，1987.
- 4) 長崎県林業コンサルタント：長崎の地すべり，1987.
- 5) 河田恵昭：防災ポテンシャルの評価法，自然災害科学，Vol. 9, No. 1, pp. 1～16，1990.
- 6) 川上 浩・斉藤 豊：姫川および裾花川流域における地すべり危険度評価，自然災害科学，Vol. 2, No. 1, pp. 26～36，1983.
- 7) 吉澤孝和・渡辺欣之：地形情報を用いた地すべり危険地域の判別，自然災害科学，Vol. 8, No. 1, pp. 1～11，1989.
- 8) 宇野尚雄・森杉壽芳・杉井俊夫・中野雄治：被災事例に基づく河川堤防の安定性評価，土木学会論文集，第 400 号/Ⅲ—10，pp. 161～170，1988.
- 9) 杉山和一・後藤恵之輔・吉住龍也・棚橋由彦：数量化理論による地すべりの危険度評価法の一試案，土木学会論文集，第 424 号/Ⅲ—14，pp. 69～74，1990.
- 10) 古川俊之：高齢化社会の設計，中公新書，1989.
- 11) 柳井晴夫・高木廣文編著：多変量解析ハンドブック，現代数学社，pp. 1～17，pp. 126～163，pp. 275，pp. 279～280，1986.
- 12) 田中 豊・脇本和昌：多変量統計解析法，現代数学社，pp. 101～160，1983.
- 13) 古川俊之：多変量解析プログラムパッケージ入門，医学書院，pp. 128～150，pp. 167～199，1981.
- 14) 山崎達雄：九州の地すべり概観，土質工学会九州支部 30 年記念誌，pp. 139～154，1980.
- 15) 野田光雄：唐津・佐世保両炭田内の地じりについて，九州鉱山誌，第 25 巻，第 11 号，pp. 1～10，1957.

(1992. 11. 12 受付)

EVALUATION OF THE PREVENTION POTENTIAL AGAINST LANDSLIDE DISASTERS

Jun UMEMURA, Shigenori HAYASHI and Hidetoshi OCHIAI

The disaster and the disaster prevention potential of landslides consist of the natural factors and the social ones. So, it is necessary for these potentials to evaluate for all of these factors. This paper aim at suggesting the method evaluating of these potentials and making the potential map using this evaluation. The multiple logistic model, which is based on the conception of multiple risks, is applied for this evaluation. This evaluating value is regarded as the disaster potential, and the disaster prevention potential is evaluated by using the disaster potential. So, these potentials are expressed with probability. And then, some potential maps colored by the each potential are shown. These maps are useful for expressing not only the hazard zones but the effects of the prevention countermeasure considered the population.