

# 降雨極値の再現期間を用いた 斜面災害の発生確率

SLOPE HAZARD PROBABILITY INVOLVING  
RETURN PERIOD OF EXTREME PRECIPITATION

川越清樹<sup>1</sup>・風間 聡<sup>2</sup>・沢本正樹<sup>3</sup>

Seiki KAWAGOE, So KAZAMA and Masaki SAWAMOTO

<sup>1</sup>学生会員 修(環境科学) 東北大学大学院環境科学研究科(〒980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉6-6-20)

<sup>2</sup>正会員 工(博) 東北大学大学院環境科学研究科(〒980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉6-6-20)

<sup>3</sup>フェロー会員 工博 東北大学大学院工学研究科(〒980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉6-6-06)

Slope hazard with event probability is shown in consideration of the change of precipitation condition in the Tohoku district. A multiple logistic regression analysis contributes to the analysis model, which has the condition of geography, geology and gradient of hydraulic head as explaining variables. Hydraulic gradient varies extremely depending on the extreme precipitation. The results made a hazard map with 1km<sup>2</sup> mesh size and indicated quantitative distribution of slope hazard successfully in the Tohoku district.

**Key Words :** *Slope hazard, event probability, extreme precipitation, hydraulic gradient, multiple logistic regression, hazard map*

## 1. 序 論

近年, 活発な気象擾乱による豪雨が頻発している。並行して, 降雨を誘因とした斜面災害が頻発し, 安全と評価された斜面でも災害が認められている。地球温暖化の影響から降雨量の増大が指摘され<sup>1)</sup>, 災害の増加が予想される。このため, 降雨を考慮した斜面災害の危険予知が切望される。危険予知は危機管理体制の整備, 対策工計画に有用である。本研究の目的は, 東北地方を対象に, 1980年から2000年の降水量データを用いて降雨極値の再現期間を類推し, 斜面災害の危険度を発生確率で明示することである。定量的な斜面危険度の評価, 降水条件を利用した発生確率の時間変化の明示が特徴である。

既往研究でも様々なモデルで斜面危険度が評価されてきた。熊谷ら<sup>2)</sup>は崩壊に関わる水系線をDTM(Digital Terrain Model)から抽出して危険度を導いた。Temesgenら<sup>3)</sup>は水系線と断層破碎帯の地質構造を用いて危険度を導いた。小島ら<sup>4)</sup>は衛星画像を用いた土壌水分データと地形地質等の数値地理情報を用いたSSE(Slope Stability Evaluation)モデルを構築し危険度を導いた。これらの危険度は相対的な高低で明示される。そのため, 評価対象地域以外の危険度と比較しにくい, 対策投資の優先度を決めにくい等の問題をもつ。沖村ら<sup>5)</sup>は安全率により危険度を明示した。しかしながら, 安定と評価される斜面

の初期安全率は設定しにくく, 安全率の初期設定に議論が必要である。Ohlmacher<sup>6)</sup>らは多重ロジスティック回帰分析を用いて災害の発生確率を明示した。発生確率は社会リスクの評価に汎用できる利点をもつ。ただし, この評価は降雨条件を含まない。また, 災害実績を基にした解析手法が影響し, 固結度の高い地質よりも低い地質が低い発生確率を示す。本研究ではこれらの問題点を改善した発生確率モデルを構築した。加えて, 降雨条件の変化を用いて発生確率の時間変化を導いた。時間概念の導入は, 地質の風化に着目したIida<sup>7)</sup>の事例がある。しかし, 地質の風化に用する何万年にもわたる時間を基準にした評価は, 人間活動の時間スケールと大きく異なる。人間活動の時間スケールを基準にする場合, 地質の風化進行度は小さい。更に, 何万年単位の危険度の推移には社会情勢をあてはめにくい。本研究では, 対策工設計基準に対応する5年, 10年, 30年の再現期間の降雨極値を用い, 災害実績を考慮して発生確率を導いた。時間変化の検討は地域の災害ポテンシャルの把握に有用である。

## 2. データセット

斜面災害の発生機構を考慮して発生確率モデルには地質, 地形, 水文, そして, 災害実績データを利用する。これらは1km<sup>2</sup>のメッシュサイズデータである。発生確率

表-1 浸透解析土壌パラメータの詳細条件

	透水係数 Ks (cm/s)	飽和体積含水率 s	残留体積含水率 r	土壌特性値	対応土壌データ
礫質土	$1 \times 10^{-2}$	0.30		3	岩屑性, 褐色低地
砂質土	$1 \times 10^{-3}$	0.40		3	褐色化, グライ, 砂丘
シルト	$1 \times 10^{-4}$	0.45	0.05	5	黒ボク, ポドゾル, 森林, 湿性森林
粘土	$1 \times 10^{-5}$	0.50	0.10	20	泥炭

結果は1km<sup>2</sup>メッシュで構成される東北地方全域で明示できる。このメッシュサイズは、対策工の地域配分の理解に有用である。以下に個別のデータを説明する。

(1) 地質

地質データには国土数値情報のKS-META-G05-54Mデータを用いる。土砂に関わる斜面災害を対象にするため、土砂化しやすい地質を検討する。土砂化しやすい地質を列挙すると、未固結である崩積土、続成期間が短い半固結である第三系堆積岩、造山鉱物にカオリナイトを含み粘土化しやすい花崗岩、である。ただし、第三系堆積岩は新第三系と古第三系で地質性状が異なる。新第三系堆積岩は特に固結度が低く、風化および熱水変質しやすい特徴を持つ。東北地方には脆弱な新第三系堆積岩によるグリーンタフ地域が広く分布し、この地域で斜面災害が集中しやすい<sup>8)</sup>。以上より、崩積土、新第三系堆積岩、古第三系堆積岩、花崗岩を対象の地質にする。

(2) 地形

地形データとして起伏量を発生確率モデルのパラメータとして利用する。起伏量は地形の複雑さを示す。起伏量の大きい場合は、地形の開析が著しくなるため、活発に地形が発達する。したがって、斜面災害と関わりが深い。起伏量は国土数値情報のKS-META-G05-56Mデータに格納された最高標高と最低標高の差より導かれる。

(3) 水文

水文データとして動水勾配を発生確率モデルのパラメータとして利用する。動水勾配の上昇は、パイピング現象に伴う斜面尻の土塊流出を促し、斜面不安定化を助長させる。動水勾配はメッシュを擬似的な斜面と仮定した二次元斜面の浸透解析より導かれる。浸透解析には、国土数値情報のKS-META-G05-54Mデータの表層土壌、KS-META-G05-56Mデータの斜面傾斜度、再現期間における日降雨量の極値のメッシュデータを利用する。以下に浸透解析方法、再現期間の降雨極値の算定法、降雨極値のメッシュ化の方法について説明する。

a) 浸透解析方法

浸透解析にはRichardsの二次元飽和不飽和浸透解析モデルを用いる。日本列島は地質の劣化が顕著であるため、地表面下の水は不飽和状態で移動する。したがって、不飽和を考慮した解析が必要である。動水勾配は、浸透解析から得られる浸潤線より導く。浸透解析式は式(1)から式(5)に示すとおりである。式(1)は飽和不飽和浸透理論に基づいたRichardsの方程式、式(2)はダルシー則である。式(3)は式(1)を式(2)と $C(\psi) = \partial\theta/\partial\psi$ を代入することで導かれる。水頭 $\psi$ と体積含水率 $\theta$ の関係には式(4)に示す谷の式<sup>9)</sup>を、不飽和透水係数 $K$ と透水係数 $K_s$ と体積含水率 $\theta$ との関係には式(5)に示す一般化Kozeny式<sup>10)</sup>を用いる。なお、表層土壌は礫質土、砂質土、シルト、粘土に大別する。表-1に土壌パラメータの詳細条件を示す。

$$\frac{\partial\theta}{\partial t} = -\left(\frac{\partial V_x}{\partial x} + \frac{\partial V_z}{\partial z}\right) \quad (1)$$

$$V_x = -K_x \frac{\partial\phi}{\partial x}, V_z = -K_z \frac{\partial\phi}{\partial z} \quad (2)$$

$$C \frac{\partial\psi}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left( K_x \frac{\partial\psi}{\partial x} - K_x \sin\alpha \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( K_z \frac{\partial\psi}{\partial z} - K_z \cos\alpha \right) \quad (3)$$

$$\theta = (\theta_r - \theta_s) \left( \frac{\psi'}{\psi_0} + 1 \right) \exp\left( -\frac{\psi'}{\psi_0} \right) + \theta_r \quad (4)$$

$$K_x = K_{s_x} \left( \frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} \right)^\beta, K_z = K_{s_z} \left( \frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} \right)^\beta \quad (5)$$

ここで、 $\theta$ :体積含水率、 $t$ :時間、 $V$ :流速、 $K$ :不飽和透水係数、 $T$ :単位時間当たりの蒸発数、 $\phi$ :全水頭、 $\theta_s$ :飽和体積含水率、 $\theta_r$ :残留体積含水率、 $C$ :比水分容量、 $\psi_0$ : $C$ が最大となる圧力水頭 $\psi$ 、 $\psi'$ : $\psi < 0$ のとき $\psi$ かつ $\psi \geq 0$ のとき0、 $\beta$ :土壌固有の定数、 $K_s$ :飽和透水係数である。なお、添字は $x, z$ 方向を示す。

b) 再現期間における降雨極値の算定法

降雨極値は東北地方に分布する169ヶ所のAMeDAS気象観測所の日降水量データを利用して導く。各年の最大日降水量を頻度解析に用いる。本研究では、確率分布に極値分布であるGumbel分布を用いた。極値分布はある母集団の最大値および最小値に対する漸近分布である。そのため、降雨もしくは洪水流量の最大値抽出に有効な確率分布である。再現期間の降雨極値の算定式は式(6)から式(10)に示すとおりである。式(6)はGumbel分布関数の基本式である。式(7)は確率密度関数 $f(x)$ 、式(8)は対数尤度関数 $l$ を求める式である。ここでは、対数尤度関数 $l$ を最大にする母数パラメータ $a$ 、年平均生起関数 $\lambda$ の値を求める必要がある。ここに式(8)を年平均生起関数 $\lambda$ で微分した式(9)を用いる。式(9)を式(8)に代入すると、対数尤度関数 $l$ は $a$ のみの関数になるため、 $l$ が最大になる $a$ を決定することができる。式(10)は非超過確率 $P$ による降雨極値 $x$ を求める式である。

$$F(x) = \exp\{-\lambda \exp(-ax)\} \quad (6)$$

$$f(x) = a\lambda \exp(-ax)F(x) \quad (7)$$

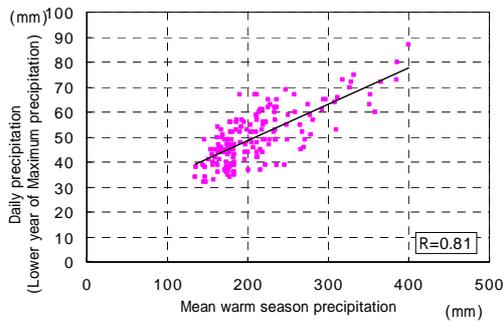


図-1 暖候期の最大月降水量と1980年から2000年までの日最大降水量最低値の関係

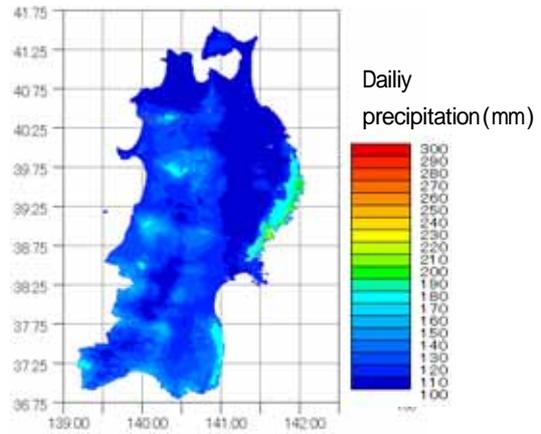


図-2 再現期間5年の降雨極値分布

$$l = \ln \left\{ \prod_{j=1}^N f(x_j) \right\} \quad (8)$$

$$= N(\ln a + \ln \lambda) - \sum_{j=1}^N ax_j - \lambda \sum_{j=1}^N \exp(-ax_j)$$

$$\lambda = \left\{ \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \exp(-ax_j) \right\}^{-1} \quad (9)$$

$$x = -\frac{1}{a} \ln \left( -\frac{1}{\lambda} \ln P \right) \quad (10)$$

ここで、 $F(x)$ : 確率分布関数、 $f(x)$ : 確率密度関数、 $\lambda$ : 年平均生起回数、 $a$ : 母数パラメータ、 $x$ : 降雨量、 $N$ : データ数、 $P$ : 非超過確率である。

#### c) 降雨極値のメッシュ化

降雨量のメッシュ補間には、重み付け距離平均法<sup>11)</sup>や地形因子を説明変数にした重回帰式を用いた方法が利用されている。気象庁の整備するメッシュ気候値のデータは後者より補間されている。既往研究より、降雨分布には地形条件が関わると指摘されている。沖ら<sup>12)</sup>は日単位の雨量が地形効果に卓越することを説明している。鈴木ら<sup>13)</sup>は降雨分布に対する標高依存性を説明した。そのため、降雨量のメッシュ補間には地形因子を用いることが望ましい。しかしながら、地形因子として利用される陸度、海度、開放度等は基準化したデータでない。利用者による値の差異が懸念される。一方、牛山ら<sup>14)</sup>は降雨極値の算定を試み、全国のAMeDAS気象観測所を対象に、暖候期降水量を説明変数にする最大日降水量算定の重回帰式を示した。この重回帰式は統計的に有意と結論づけられている。メッシュ気候値に格納される暖候期降水量を利用した場合、効率的に地形依存を考慮した降雨極値を導くことができる。そこで、AMeDAS気象観測所の暖候期の降水量と降雨極値に関連するデータの相関を検証し、再現期間の降雨極値のメッシュ化を試みる。

東北地方は、台風の襲来数が少なく、台風も熱帯低気圧に変化することが多い。そのため、甚大な多降雨の発生は不定期であり、地形に依存した地域的な降雨が発生しやすい地域と説明されている<sup>15)</sup>。東北地方を対象にした場合、台風等による勢力の強い降雨よりも地形に依存した降雨が暖候期の降水量に影響している可能性が高い。牛山らが全国で検証した20年最大日降水量と暖候期降水

量と同時に、20年間の各年における最大日降水量の中の最低値と暖候期降水量も検証する必要がある。そこで、この2ケースの相関を調べた。牛山らのケースでは相関係数0.25、地形の依存を考慮したケースでは相関係数0.76という結果を得た。牛山らが全国で検証した20年最大日降水量と暖候期降水量の結果は相関係数0.74であり、相関係数は著しく低下する。全国を対象にした場合、亜熱帯気候や台風に伴う甚大な降雨が定期的に発生する東北地方以南地域が影響し、20年最大日降水量と暖候期降水量が良好な関係を示したと推測される。一方、東北地方は、統計的に勢力よりも地形に依存した降雨の影響の強い地域であることが説明される。更に、地形依存性を考慮する場合、特定時期の規則的な風向等の気象条件に左右されて多降雨が発生するケースも想定される。そこで、暖候期である4月から10月までの最大月降水量と1980年から2000年の各年における最大日降水量の中の最低値について相関を調べた。その結果、相関係数0.81と更に良好な相関を示した。図-1に関係図を示す。

以上の結果を基に、地形に依存する降雨と、再現期間の降雨極値に影響を与える強い勢力をもった降雨に分離して降雨分布を検討する。地形に依存する降雨には暖候期降水量データを利用する。AMeDAS観測所において各降雨量を整理し、重み付け距離平均法を用いてメッシュを補間する。対象メッシュに近接する3ヶ所のAMeDAS気象観測所における降雨データを利用した算術平均より降雨量を導く。AMeDAS気象観測所で整理される降雨の詳細は以下に示す。

#### ) 地形に依存する降雨量

以下の降雨量の差より求められる。

- ・ 1980年から2000年までの各年における最大日降水量の中の最低値
- ・ 暖候値の期間中である4月から10月までの最大月降水量を日平均に換算した降水量

#### ) 強い勢力に依存する降雨量

以下の降雨量の差より求められる。

- ・ 1980年から2000年までの各年における最大日降水量の中の最低値
- ・ 5年、10年、30年における再現期間の降雨極値

表2 斜面災害と再現期間の降雨極値の関係

月日	地域	県	観測所	日降雨量(mm)
1981.4.20	釜石市	岩手県	釜石	205.0
1981.8.21	栗駒町	宮城県	駒の湯	156.0
1982.8.30	釜石市	岩手県	釜石	205.0
1982.9.12	柴田町	宮城県	川崎	135.0
1986.8.5	福島全域	福島県	上遠野	180.0
1990.6.27	大蔵村	山形県	新庄	98.5
1990.10.26	岩手全域	岩手県	二戸	113.0
1991.9.12	涌谷町	宮城県	鹿島台	113.0
1991.9.19	雄勝町	宮城県	雄勝	199.0
1991.9.19	いわき市	福島県	平	158.0
1994.8.31	今別町	青森県	今別	97.0
1994.9.30	川崎村	宮城県	千厩	90.0
1997.5.25	いわき市	福島県	小名浜	143.5

せている．頻度累積でも50%を超過するため，斜面災害の半数は再現期間5年以内の降雨極値により発生している．再現期間5年は斜面災害に影響する降雨極値の閾値として利用できる．表-2には再現期間5年の降雨極値により発生した斜面災害を示す．

### 3. 発生確率モデルの構築

発生確率モデルに用いる多重ロジスティック回帰分析は，1と0で示される二項分布をロジスティック曲線で連結し，統一的な線形推定を可能にした解析手法である．ロジスティック曲線を重回帰式で示すことにより，説明変数と発生確率の関係を導くことができる．本研究の二項分布は災害実績の有無である．災害実績の有無には，再現期間5年により斜面災害が発生した地域のデータを用いた．つまり，東北地方の最も斜面災害の発生しやすい状態を利用している．地域のデータは，土砂化しやすい地質が分布する，斜面災害に反復性がある，市町村単位に対し広範囲で多数の斜面災害が発生している，ことを条件に決定する．これらの条件に該当する1991年9月19日のいわき市で発生した斜面災害の事例を発生確率モデルに用いる．この時期は台風18号の影響によりいわき市各地で斜面災害が頻発した．いわき市の災害実績データは福島県土木部による災害関連資料を整理し，1km<sup>2</sup>メッシュを作成した．(図-3)

本研究では，発生確率は地質に基づいた発生確率を導くため，地質毎に発生確率モデルを構築する．地質別の斜面災害実績の数量には，地域に対する該当地質分布面積率が影響する．地質を説明変数に導入した場合，面積率に支配された斜面災害に対する地質特徴を導く可能性が高い．その結果，地質の硬軟に一致しない発生確率を導く危険性がある．説明変数には起伏量，動水勾配を用いる．発生確率モデルは，地質毎に地形と水文の条件から発生確率を導く．式(11)は発生確率モデル式である．

$$\log\left(\frac{P}{1-P}\right) = \beta_0 + \beta_h \text{hyd}Y_h + \beta_r \text{roll}Y_r \quad (11)$$

$$P = \frac{1}{1 + \exp[-(\beta_0 + \beta_h \text{hyd}Y_h + \beta_r \text{roll}Y_r)]}$$

ここで， $P$ ：発生確率， $\beta_0$ ：切片， $\beta_h$ ：動水勾配係数，

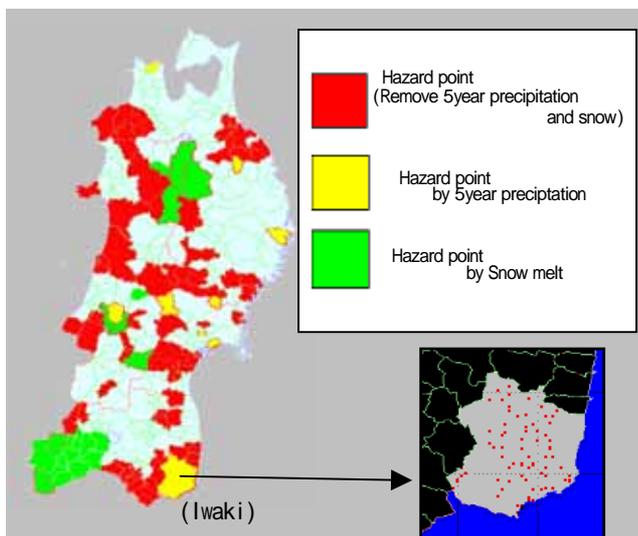


図-3 東北地方斜面災害実績

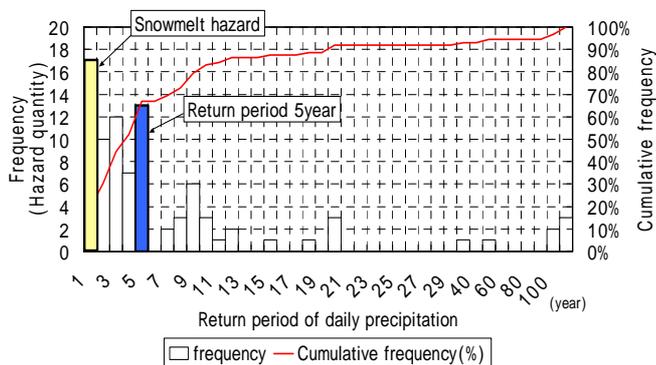


図-4 斜面災害と再現期間の降雨極値の関係

各メッシュにおける暖候値の期間中である4月から10月までの最大月降水量を日平均に換算した値と，地形に依存する降水量，強い勢力に依存する降雨量の和をメッシュ当たりの降雨極値にする．

解析例として図-2に再現期間5年の降雨極値分布図を示す．出羽山地と奥羽山脈の山頂部，北上山地と阿武隈山地の東麓斜面である太平洋沿岸地域の降雨量が多い．

#### (4) 災害実績

斜面災害の実績データは国土交通省東北地方整備局の1980年から2000年の災害資料を整理して作成した．資料には発生地域，発生日時が記載されており，災害発生時の日降雨量および斜面災害と再現期間の降雨極値の関係を把握できる．災害に起因した降雨量は災害発生位置に最も近いAMeDAS気象観測地点を参考にする．実績データは市町村単位で複数箇所以上の災害のあった地域を対象とする．図-3は斜面災害の実績を市町村別に図化し，図-4は図-3に示す斜面災害が発生した当時の降雨量を再現期間の降雨極値に換算して図化したものである．図-2と図-3を比較すると，再現期間における極値降雨量の多い地域で斜面災害が発生しやすいことを理解できる．図-4より再現期間1年の降雨極値で最も斜面災害が発生する．ただし，再現期間1年の降雨極値に属する斜面災害は融雪を原因にする．融雪に関する斜面災害を除いた場合，再現期間5年の降雨極値が最も斜面災害を生じさ

表-3 説明変数の要素

地質	項目	動水勾配	起伏量	切片
崩積土	係数	19.857	0.005	-9.548
	有意確率P値	0.011	0.053	0.014
	標準化回帰係数	3.310	1.054	-
新第三系	係数	16.578	0.007	-10.199
	有意確率P値	0.006	0.012	0.007
	標準化回帰係数	1.510	0.940	-
第三系	係数	13.756	0.008	-11.289
	有意確率P値	0.007	0.019	0.005
	標準化回帰係数	0.771	0.615	-
花崗岩	係数	12.358	0.009	-13.578
	有意確率P値	0.031	0.037	0.049
	標準化回帰係数	0.571	0.525	-

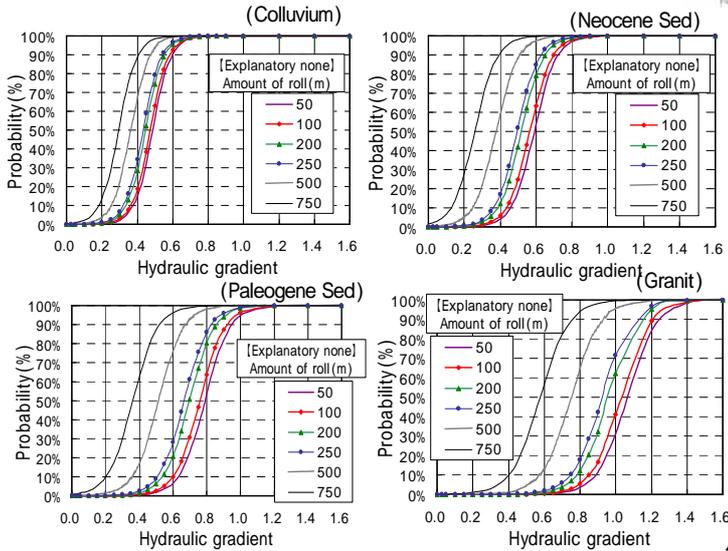


図-5 各地質別のロジスティック曲線

$\beta_r$ :起伏量係数,  $hydY_h$ :動水勾配,  $rollY_r$ :起伏量である. 表-3に各説明変数要素を示す. 説明変数は, 5%以内の有意確率P値を示し有意水準95%を満たす. 標準化回帰係数の大きさは発生確率に最も寄与する説明変数を判定できる. 最も寄与する説明変数は動水勾配である. 特に崩積土, 新第三系堆積岩は動水勾配の寄与が大きい. 図-5に地質別のロジスティック曲線図を示す. この図は動水勾配の変化に伴う発生確率を示す. 曲線の傾き, 動水勾配の値に対するロジスティック曲線の上昇位置が地質別の危険度を比較する指標になる. 地質別の危険度を評価すると, 崩積土, 新第三系堆積岩, 古第三系堆積岩, 花崗岩の順となる. この順は地質の硬軟と一致する. 再現期間5年の降雨極値による動水勾配から導かれた発生確率モデル式を基に, 再現期間10年, 30年の降雨極値の動水勾配を代入して時間的な発生確率変化を解釈する.

#### 4. 解析結果

再現期間5年, 再現期間10年, 30年の降雨極値による斜面災害の発生確率分布図を図-6に示す.

再現期間5年では, 出羽山地および奥羽山脈の山頂部, 北上山地と阿武隈山地の東麓斜面が発生確率80%以上の地域となる. その他は概ね発生確率20%以下である. 発

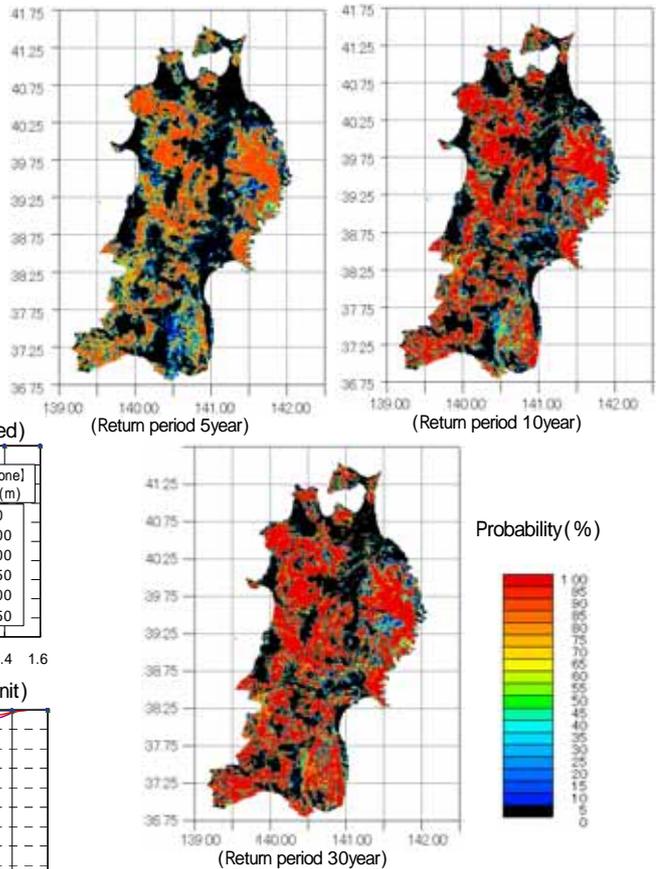


図-6 再現期間の斜面災害発生確率変化

生確率の高い地域は, 極値降雨量が多い. ただし, 北上山地東麓斜面の北部, 阿武隈山地の双葉断層で隔てられた沿岸部は, 極値降雨量が多いものの発生確率5%以下である. 北上山地東麓斜面の北部はシルトに属する黒ボク土壌が分布する. 阿武隈山地の双葉断層で隔てられた沿岸部は5度以下の斜面傾斜度である. これらが低い発生確率を導いた原因である. 再現期間5年の降雨極値により高い発生確率を示す地域は, 釜石市やいわき市以外を除き社会基盤整備の乏しい山岳地である. 再現期間10年の降雨極値に変化において, 発生確率80%以上の地域は, 出羽山地と奥羽山脈, 阿武隈山地東麓斜面の山裾まで拡大する. また, 阿武隈山地西麓斜面は発生確率が著しく上昇する. 北上山地は発生確率80%の地域の拡大が認められない. 再現期間30年の降雨極値に変化することで, 東北地方の山地および丘陵は概ね80%以上の発生確率となる. 丘陵を含む市街地である秋田市, 仙台市, 郡山市も80%以上の発生確率となる.

#### 5. 考察

解析結果より, 降雨極値の再現期間が短くとも, 出羽山地と奥羽山脈の山頂部, 北上山地と阿武隈山地の東麓斜面は発生確率の高い地域である. 市街地であるいわき市や釜石市も含まれる. これらは頻度の多く認められる豪雨でも斜面災害が危惧される地域である. 降雨極値の

再現期間が長くなり、北上山地東麓斜面を除くこれらの地域を中心に発生確率の高い地域が拡大する。北上山地は、東麓斜面と西麓斜面で極値降雨量および起伏量の差異が大きい。この地域特徴が同山地の発生確率を分離させていると推測する。再現期間30年の降雨極値では概ねの山地、丘陵が発生確率80%以上となる。なお、発生確率の分布図から秋田市、仙台市、郡山市といった市街地は10年から30年の降雨極値の変化により80%以上の発生確率となる。この市街地域は稀な豪雨により、斜面災害が発生し、甚大な被害をおよぼす危険性をもつと評価される。斜面災害の危険性を伴う地域は、再現期間の短い降雨極値でも高い発生確率を示す地域、再現期間の長い降雨極値により著しく発生確率の上昇する地域に大別される。

発生確率の検証として、図-3に示した斜面災害の実績をもつ市町村の発生確率を調べた。再現期間5年の降雨極値の発生確率との比較より、斜面災害の実績をもつ市町村は平均69.2%(標準偏差10.3%)の発生確率を示す。東北地方全域の発生確率は平均22.5%である。災害実績をもつ市町村は相対的に高い発生確率を示す。また、この検証結果は、発生確率の平均値と標準偏差との関係より、発生確率80%以上が斜面災害発生に対する閾値になることを示している。再現期間5年から30年の降雨極値の発生確率変化との比較より、斜面災害の実績をもつ市町村は平均20.5%(標準偏差7.1%)の発生確率上昇を示す。東北地方全域における発生確率上昇は平均9.8%である。災害実績の市町村は発生確率上昇幅が大きい災害ポテンシャルの高い地域である。

## 6. 結論

東北地方を対象に斜面災害の発生確率モデルを構築した。再現期間における降雨極値を利用し、時空間的な発生確率の変化を分布的に示した。災害実績との比較より、発生確率モデルは概ね実績を再現している。発生確率の時空間的な理解は、斜面災害の定量化および地域特徴を導いた。以下に本研究の成果を列挙する。

- 1) 出羽山地と奥羽山脈の山頂部、北上山地と阿武隈山地の東麓斜面は、災害が発生しやすい地域である。
- 2) 降雨極値の再現期間が長くなると、山頂部から山裾および周辺の丘陵へ高い発生確率の地域が拡大する。ただし、北上山地は例外となる。
- 3) 再現期間30年の降雨極値により東北地方の概ねの山地、丘陵が発生確率80%以上になる。
- 4) 再現期間5年の降雨極値により釜石市、いわき市、再現期間30年の降雨極値により秋田市、仙台市、郡山市が発生確率80%以上になる。
- 5) 災害実績を有する市町村は、再現期間5年による降雨極値で発生確率70%、再現期間5年から30年によ

る降雨極値の変化で発生確率が20%上昇する。

謝辞：災害資料は、国土交通省東北地方整備局、福島県土木部河川港領域砂防グループから提供して頂いた。本研究の一部は、地球環境推進費ならびに科学研究費(代表者：泉典洋)の援助を受けた。ここに謝意を表します。

## 参考文献

- 1) 環境省：IPCC地球温暖化第3次報告-政策者向け要約、pp.91, 2001.
- 2) 熊谷樹一郎,大林成行,川井田実,斉藤元也：シラス地帯における計画路線の事前評価を目的とした崩壊影響評価アルゴリズムの開発,土木学会論文集, No.623, - 43, pp.247-257, 1999.
- 3) Temesgen,B., Mohammed,M.U. and Korme,T. : Natural Hazard Assessment Using GIS and Remote Sensing Methods, with Particular Reference to the Landslides in the Wondogenet Area, Ethiopia, physics and Chemistry of the Earth part C: Solar, Terrestrial & Planetary Science, Vol.26, Issues 9, pp.665-675, 2001.
- 4) 小島尚人,北村良介,大林成行,伊予田尚志：衛星リモートセンシングデータを導入したシラス自然斜面の崩壊危険箇所評価精度の向上,土木学会論文集, No.707, - 55,pp.165-175,2002.
- 5) 沖村孝・市川龍平：数値地形モデルを用いた表層崩壊危険度の予測法,土木学会論文集, No.358, - 3, pp.69-75,1985.
- 6) Ohlmacher,G.C. and Davis,J.T. : Using multiple logistic regression and GIS technology to predict landslide hazard in northeast Kansas, USA, Engineering Geology, Vol.69, Issues3-4, pp.331-343, 2003.
- 7) Iida,T. : A stochastic hydro-geomorphological model for shallow landslideing due to rainstorm, CATENA, Vol.34, Issues 3-4, pp.293-313, 1999.
- 8) 東北地方土木地質図編集委員会：東北地方土木地質図解説書, pp.461, 1988.
- 9) 谷誠：一次元鉛直不飽和浸透によって生じる水面上昇の特性, 日本林学会誌, 64 (11), pp.409-418, 1982.
- 10) Brutsaert,W.F. : The permeability of a porous medium determined from certain probability laws for pore size distribution, Water Resources Research, Vol.4, No.2, pp.425-434, 1968.
- 11) 清野毅：アメダスデータのメッシュ化について,農業気象, Vol.48,pp.319-383,1993.
- 12) 沖大幹,虫明功臣,小池俊雄：地形と風向による豪雨時の降雨分布の推定,土木学会論文集, No.417, - 13, pp.199-207,1985.
- 13) 鈴木善晴,中北英一,池淵周一：標高依存直線に基づいた降雨分布の地形依存特性の解明,水工学論文集, No.45,pp.301-306,2001.
- 14) 牛山素行,寶馨：AMeDASデータによる暖候期降水量と最大1時間・日降水量の関係,水文・水資源学会誌, Vol.13, No.4,pp.368-374,2004.
- 15) 仙台管区気象台：平成4・5・6年度 地方共同研究 研究成果報告書 東北地方におけるメソ降水現象の調査 東北地方における短時間降雨の出現分布, 仙台気象管区気象台, pp.4-12, 1995.

(2005.9.30 受付)