

日本列島を対象にした融雪に伴う 土砂災害のリスク評価

RISK EVALUATION OF SEDIMENT HAZARD DUE TO SNOWMELT IN JAPAN

川越清樹¹・風間聡²・沢本正樹³

Seiki KAWAGOE, So KAZAMA and Masaki SAWAMOTO

¹学生会員 博(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)

²正会員 博(工) 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)

³正会員 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)

The sediment hazard probability and the road economic damage due to snowmelt are estimated from a risk evaluation model. As results, we made risk maps of sediment hazard probability and the road economic damage in Japan. These maps show spatial-temporal risk distribution of sediment hazard due to some snowmelt condition. The sediment hazard probability was obtained by a multiple logistic regression analysis based on conditions of past hazard, relief energy, hydraulic gradient, and geology. Hydraulic gradient was analyzed by infiltration analysis with consideration of snowmelt. Moreover, we verified weather situation about sediment hazard due to snowmelt.

Key Words: Probability, road economic damage, risk map, disaster mitigation system

1. 序 論

融雪は流域に豊富な水資源を供給すると同時に土砂崩壊、雪崩、洪水の原因になる。一方、地球温暖化に伴う積雪域の早期融雪が指摘されている¹⁾。降雪の活発化する1月から2月への融雪現象の移行により多量の融雪の発生が予測される^{2),3)}。また、気候変動に伴う極端な降水の出現も予測され⁴⁾、平成18年豪雪に示される豪雪の増加が懸念される。豪雪と気温上昇に伴う融雪の加速および融雪に起因する災害の頻発が予測される。融雪に伴う災害防止に土砂災害実績と融雪現象の関係を明確にすること、危険地域を抽出し事前に対策を講じることが必要である。雪害に対し、伊藤⁵⁾は積雪、気象要素と地盤災害の関係から雪害危険度を導き、上村⁶⁾は雪害と死傷者から危険度を求めた。しかし、これらの成果は時空間分布で示されてなく対策を講じる地域の抽出への利用が困難である。また、対象の災害が広義であり対策工種を決定しにくい問題もある。そのため、災害対象を細分化させた時空間分布による危険度の明示が必要になる。

本研究では融雪に伴う土砂災害に着目し危険度を導く。広範で流量計測される河川、全国で注意報の設定される雪崩⁷⁾に対して土砂災害の管理は粗雑であり、危険度分布を明示して災害に備える必要がある。融雪に起因する土砂災害の既往研究は災害事例とその機構説明による解析を中心に取り組まれている^{8),9)}。この理由に日本列島に

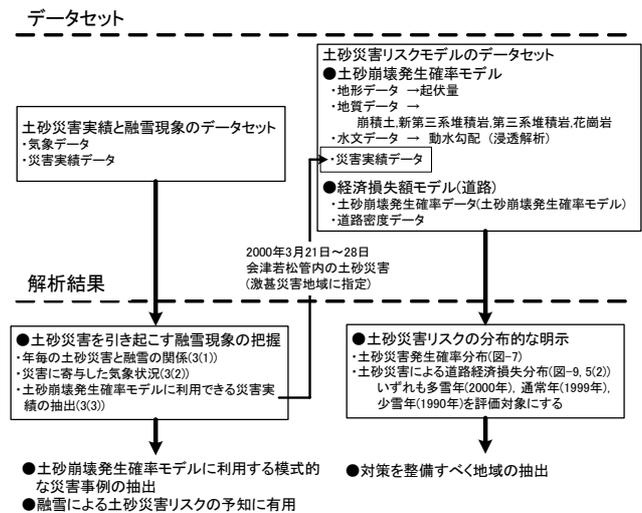


図-1 本研究の流れ

対する積雪観測所の不足が挙げられる。観測所不足に伴い積雪分布情報の作成が困難になり、広範領域の分布情報による土砂災害危険度を評価できなかった。これに対し、筆者らは積雪水当量分布推定モデル¹⁰⁾と災害実績の利用から発生確率による土砂災害リスクモデルを構築し、融雪に起因する東北地方のリスクマップを作成した¹¹⁾。しかし、土砂災害は北海道、北陸地方等の豪雪地帯にも頻発し、豪雪地帯に含まれない兵庫県但東町(現豊岡市2000年3月1日から5日)、養父市(2004年1月16日)等も内閣府から特定地域に係る激甚災害地域に指定されている現状をふまえ、広範を対象に融雪に伴う土砂災害を時空間分布で評価する必要がある。本研究では土砂災害に関す

表-1 浸透解析土壌パラメータ

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

る以下の評価を試みた。

- 1) 土砂災害実績と融雪現象との検証
- 2) 多雪年, 通常年, 少雪年における日本列島の土砂崩壊発生確率, 道路の経済損失額による土砂災害リスクモデルの構築およびリスクマップの作成

土砂災害実績と融雪現象の検証から土砂災害リスクモデルの構築に利用される災害実績を抽出する。また, 土砂災害の危険予知等に利用できる融雪に関する情報の解明に努めた。土砂災害リスクマップの明示は対策投資の配分に有用である。なお, 道路をリスク評価の対象は山岳地に整備される主要な社会基盤施設である。土砂崩壊の被害を直撃しうる社会基盤施設であることを考慮してリスク評価の対象にした。図-1に本研究の流れを示す。

2. データセット

土砂災害実績と融雪現象の検証に気象データと土砂災害実績データ, 土砂災害リスクモデルに地形, 地質データおよび融雪を含む水文データ, 災害実績データ, 道路密度データを利用する。土砂災害リスク評価の利用データおよびリスクマップは解像度1km×1kmのグリッドセルによる数値地理情報である。土砂災害リスクモデルに利用する災害実績データ以外の詳細を以下に説明する。

(1) 災害実績と融雪現象の検証

a) 気象データ

気象データにAMeDAS観測所の観測値を利用した。降水量, 日平均気温, 積雪深のデータを解析に用いた。

b) 土砂災害実績データ

災害実績データを水害統計(国土交通省監修), 特定地域に係る激甚災害及びこれに対し適用すべき措置の指定(内閣府公布 以下激甚災害地域)から取得した。資料には災害位置と日時が記載されている。

(2) 土砂災害リスクモデル

a) 地形・地質データ

地形, 地質データに国土数値情報(国土地理院発行)を用いる。地形データに起伏量を用いる。起伏量は国土数値情報KS-META-G05-56Mのセル内に格納された最高標高と最低標高の差である。起伏量は地形の複雑さを示すパラメータとして土砂崩壊の危険度評価に利用されている¹²⁾。地質データに国土数値情報KS-META-G05-54Mを利用する。崩積土, 土砂化しやすい第三系と新第三系堆

積岩, 花崗岩を評価対象の地質にする。

b) 水文データ

水文データに動水勾配を用いる。動水勾配から降水に伴う地下水位変化を把握できるため, 地下水位上昇による土砂崩壊の影響が推定できる。また, 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, 斜面の不安定化の原因になる。数値地理情報から擬似的に二次元斜面を再現し, 浸透解析から動水勾配を求める。浸透解析に国土数値情報KS-META-G05-54Mの表層土壌, KS-META-G05-56Mの斜面傾斜度, 日平均融雪量分布データを利用する。以下に水文データを説明する。

1) 浸透解析方法

地質の風化劣化の著しい日本列島の特徴を考慮して浸透解析にRichardsの飽和不飽和浸透解析モデルを用いる。動水勾配は浸透解析より得られる浸潤線から求められる。浸透解析の表層土壌条件は表-1に示すタイプに分類した。浸透解析式は式(1)から式(3)に示すとおりである。

$$C \frac{\partial \psi}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(K_x \frac{\partial \psi}{\partial x} - K_x \sin \alpha \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_z \frac{\partial \psi}{\partial z} - K_z \cos \alpha \right) \quad (1)$$

$$\theta = (\theta_r - \theta_s) \left(\frac{\psi'}{\psi_0} + 1 \right) \exp \left(- \frac{\psi'}{\psi_0} \right) + \theta_r \quad (2)$$

$$K_x = K_{s_x} \left(\frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} \right)^\beta, K_z = K_{s_z} \left(\frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} \right)^\beta \quad (3)$$

ここで, C :比水分容量, ψ :圧力水頭, t :時間, K :不飽和透水係数, K_s :飽和透水係数, α :傾斜角, θ :体積含水率, θ_s :飽和体積含水率, θ_r :残留体積含水率, ψ_0 : C が最大となる圧力水頭, ψ' : $\psi < 0$ の時 ψ かつ $\psi \geq 0$ の時0, β :土壌固有定数である。添字は x, z 方向を示す。連続式にDarcy則と比水分容量 $C(\psi) = \partial \theta / \partial \psi$ を代入し式(1)が導かれる。水頭 ψ と体積含水率 θ の関係に式(2)に示す谷式¹³⁾, 不飽和透水係数 K と透水係数 K_s と体積含水率 θ の関係に式(3)に示す一般Kozeny式¹⁴⁾を用いた。日融雪量は等分配で毎分浸透させる条件とした。融雪発生以降10日で最大の動水勾配を土砂災害リスクモデルに利用する。この条件によりグリッドセル毎の浸透特徴を表現できる。

2) 融雪量データ算定方法

融雪量データに積雪水当量分布推定モデル¹⁰⁾を利用する。このモデルは解像度1.1km×1.1kmのグリッドセルで広域かつ時系列の積雪水当量を把握できる特徴をもつ。土砂災害リスク評価には解像度1km×1kmのグリッドセルを利用するため, セル情報を100m×100mに細分化し, 緯度経度情報をあてはめて解像度を補正した。積雪水当量は日当りの降雪量 SF と融雪量 SM から算定される。融雪量推定に式(4)のdegree-day法を用いる。融雪量は衛星画像データ(NOAA/AVHRR)の利用からdegree-day法の融雪係数を同定し日毎に導かれる。日降雪量の推定には

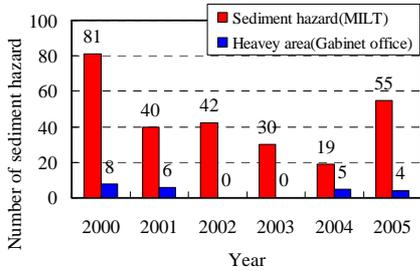


図-2 経年の土砂災害発生数

表-2 激甚災害地域の指定時期および市町村

年	期間	激甚指定地域(融雪)
2000	3/1-3/5	小国町(新潟県) 和泉村(福井県) 但東町(兵庫県)
	3/21-3/28	会津地方(福島県) 三川村・青海町(新潟県) 吉野谷村・白峰村(石川県)
2001	3/6-3/7	利賀村(富山県) 吉野谷村・白峰村(石川県) 和泉村(福井県)
	3/14-3/16	名立町・能生町(新潟県)
2002		
2003		
2004	1/16	養父市(兵庫県)
	2/21-2/23	八尾町・山田村(富山県) 山中町・吉野谷村(石川県) 朽木村(滋賀県)
2005	2/5-5/15	柳尾市・魚沼市・川口町(新潟県)
	3/26-3/29	金山町(福島県)

AMeDASデータの日平均気温と降水量を利用した国土数値情報KS-META-G05-56Mの標高データを利用し、気温減率 $0.6^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ の補正と重み付距離平均法から、日平均気温を数値地理情報に補間した。降水量は降雪判別気温 2°C とし、気温 2°C 以上を降雨、 2°C 未満を降雪として重み付距離平均法と式(5)に示す近藤ら¹⁵⁾の標高補正を用い補間された。式(6)は積雪水量算定式である。

$$SM = kd \times T \quad (4)$$

$$SF = SF' \times \{1 + 0.001 \times (E_m - E_p)\} \quad (5)$$

$$d(SWE)/dt = SF - SM \quad (6)$$

ここで kd :融雪係数 T :日平均気温 SF :標高補正の降雪量 SF' :AMeDAS観測地点の降雪量 E_m :セル標高値 E_p :観測地点の標高 SWE :積雪水当量である。融雪過程を考慮した場合、融雪による地下浸透は継続的であるため、水供給の累積が土砂崩壊に寄与する。土砂崩壊への影響と水害統計の融雪災害の発生期間を考慮し1週間の期間で融雪量を導く。

(3) 道路データ

道路データに国土数値情報KS-META-N05-15Mを利用する。このデータは解像度 $1\text{m} \times 1\text{km}$ 内の幅員毎の道路延長を格納する。リスク算定には幅員よりも道路種別の区別が望ましく、幅員 $W=13\text{m}$ を高速道路・国道相当、 $3\text{m} \leq W < 13\text{m}$ を一般道相当と仮定した。

3. 土砂災害実績と融雪現象の検証

土砂災害実績と融雪現象の検証を以下に説明する。この検証から土砂災害リスクモデルに利用する災害実績の抽出と、土砂災害に寄与する融雪状態の解明を試みる。

(1) 年毎の土砂災害実績と融雪現象の関係

国土交通省砂防部の報告¹⁶⁾による2000年から2005年の土砂災害発生件数と激甚災害地域の市町村数を図-2に整理した。2000年、2005年は突出した災害数を記録し、これらの年の融雪が土砂災害を促しやすい状況にあったこ

表-2 経年の最大週間融雪量

年	最大融雪量期間 (1週間)		最大融雪期間 融雪量 (mm/week)	年	最大融雪量期間 (1週間)		最大融雪期間 融雪量 (mm/week)
	自	至			自	至	
1990	2月9日	2月15日	31	1998	2月27日	3月6日	37
1991	3月28日	4月4日	38	1999	4月12日	4月18日	42
1992	3月9日	3月16日	46	2000	3月23日	3月29日	87
1993	3月31日	4月7日	48	2001	3月21日	3月27日	55
1994	4月8日	4月15日	33	2002	2月15日	2月22日	45
1995	3月25日	4月1日	36	2003	2月15日	2月22日	48
1996	4月18日	4月25日	49	2004	3月18日	3月25日	42
1997	3月7日	3月14日	47	2005	3月27日	4月3日	80

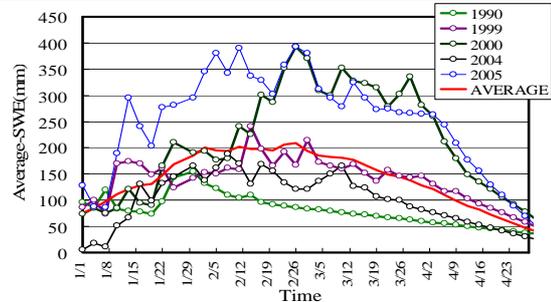


図-3 セル平均の積雪水当量変化

とを示している。表-2に激甚災害地域の指定時期および市町村を整理した。例年、激甚災害地域は南東北および北陸地方に指定されるものの、2002年、2003年に激甚災害指定地域が認められていない。これら図表から、激甚災害地域が皆無であるにも関わらず平均的な災害数を示す2002年、2003年は局所かつ小規模な災害の集中した年と解釈される。一方、2000年、2005年は著しい災害数に並行して激甚災害域の多い年であり、特定地域に対する土砂災害の集中を示した。なお、2000年は3月1日から5日と3月21日から28日、2005年は2月5日から5月15日に激甚災害地域が指定されている。2005年は長期間に複数の土砂災害が指定されており、災害に寄与した融雪状況を特定できない。対して、2000年の3月1日から5日と3月21日から28日は短期間に集中して激甚災害が指定され、この期間は土砂災害を促しやすい融雪および気象状態であったと推測される。

図-3に積雪水当量分布推定モデル¹⁰⁾から求められたグリッドセル当りの積雪水当量(総積雪水当量/セル総数)変化を示す。表-3に各年の1週間当たりの最大融雪量と最大融雪を示した期間を示す。これらから2000年、2005年の多大な融雪量が見てとれる。また、多雪になる年の積雪水当量変化は2月下旬から3月下旬の多大な残雪、3月下旬から4月上旬の急激な融雪を示す。気温上昇期の多大な残雪は多大な融雪量を促すことを示唆する。また、図-3から、1999年が平均と近似すること、1990年が少雪に相当することを把握した。

土砂災害実績と融雪現象の検証から、2000年3月1日から5日と3月21日から28日は土砂災害リスクモデルに利用できる融雪条件にあることを把握した。また、2月下旬から3月上旬に多大な残雪の認められる多雪年は土砂災害の頻発しやすい状態になることが明らかにされた。一方、多雪年以外も地域的な中小規模の異常気象により土砂災害が発生することを理解できた。以上の結果を考慮すると融雪に関する土砂災害リスク評価として着目すべ

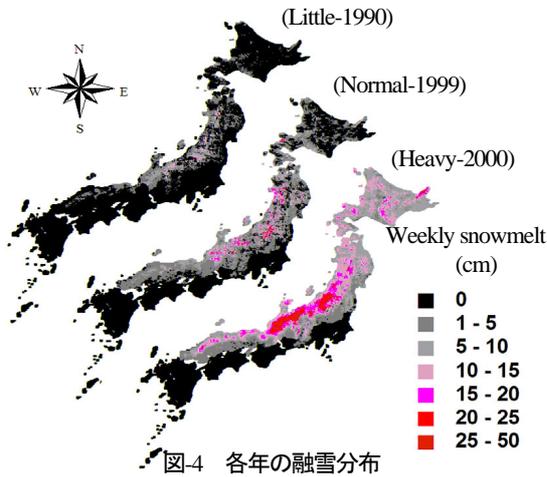


図4 各年の融雪分布

き項目は以下に分けられる。

- 1) 多雪年, 通常年, 小雪年の土砂災害リスク評価
 - 2) グリッドセル毎の融雪特性(再現期間等の利用)に応じた局所に対応する土砂災害リスク評価
- 項目2)に関するデータ不足の問題がある。1990年からのNOAA/AVHRR衛星画像データの利用から18年間データ蓄積されているものの再現期間等を導くには、最低でも20年以上のデータの蓄積が必要である。項目1)については問題ないため多雪年(2000年), 通常年(1999年), 少雪年(1990年)の土砂災害危険度を評価することとする。図-4に各年の融雪分布を示す。

(2) 災害に寄与した気象状況

多雪年である2000年, 2005年に土砂災害が頻発したものの, 2000年の方が融雪量, 災害数ともに多い結果を示す。各地域の積雪の時間変化および気象条件からこの原因を検証し, 土砂災害の発生しやすい気象条件を言及する。AMeDAS観測値を参考すると, 2005年3月は平年並みの気象状態であるのに対し, 2000年3月の山形県, 福島県, 北陸地方各県および長野県の降水量の多さが認められる。これら地域に分布するAMeDAS地点65箇所が観測開始以降からの上位10位に入る日降水量を記録した。なお, 日降水量の上位に入った期日は3月24日から26日であり, この時の平均気温は氷点下であったことから3月中に多大な降雪が生じたと解釈できる。更に, この直後に5°C以上の気温上昇が認められている。これらの気象条件から3月の新雪が急激な気温上昇により融解したため土砂災害の頻発を促したと推測される。この代表的な事例として図-5に激甚災害地域に指定された田島町(福島県会津地方)の積雪深と降水量, 気温上昇の関係図を添付する。3月24日および25日の降雪に伴う積雪深の著しい増大とその後の急激な減少が示されている。

(3) 土砂災害リスクモデルに利用する災害実績データ

土砂災害リスクモデルに利用する災害実績データとして, 激甚災害地域に指定された2000年3月21日から28日の福島県会津若松建設事務所管内の土砂災害を利用する。この理由に降雪から融雪という模式的な過程で発生した土砂災害であること, 地質分布に偏りが無いことが挙げられる。なお, この激甚災害では管内に61箇所の土砂災

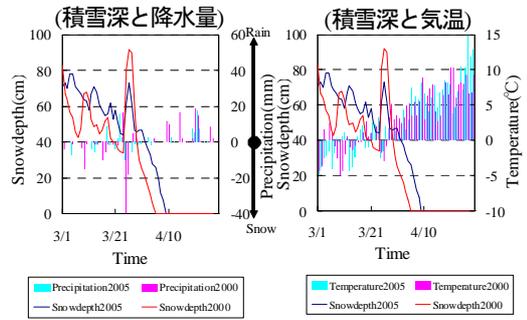


図5 2000年と2005年の3月・4月の気象状況比較(田島)

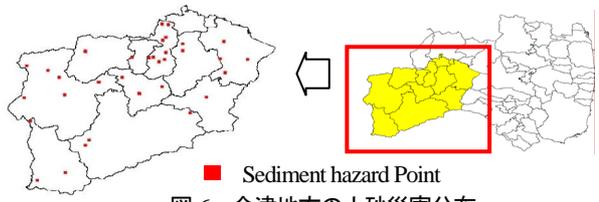


図6 会津地方の土砂災害分布

害および土砂に関連した道路災害が認められた。図-6に災害分布図を示す。

4. 土砂災害リスクモデル

土砂災害リスクモデルを構成する土砂崩壊発生確率モデルと道路の経済損失額予測モデルについて説明する。

(1) 土砂崩壊発生確率モデル

土砂崩壊発生確率モデルは会津若松建設事務所管内の災害実績, 起伏量, 地質, 日平均融雪量を含む動水勾配を多重ロジスティック回帰分析に利用することで構築された。災害発生セルを100%, 非発生セルを0%の二項分布に設定し, セル情報をロジスティック曲線で連結させる。ロジスティック曲線を動水勾配と起伏量の重回帰式で導き土砂崩壊発生確率モデルが構築される。モデル式は4つの地質に応じて作成された。式(7)に土砂崩壊発生確率モデル式, 表-4に各地質に応じたモデル式の係数を示す。この発生確率はある複数条件の基に土砂崩壊が発生する確率として定義される。

$$probability = \frac{1}{1 + \exp[-(\beta_0 + \beta_h \cdot hydY_h + \beta_r \cdot reliefY_r)]} \quad (7)$$

ここでprobability:発生確率, β_0 :切片, β_h :動水勾配係数, β_r :起伏量係数, $hydY_h$:動水勾配, $reliefY_r$:起伏量である。係数の有意確率pは5%以内にあるため統計的に問題のないモデルが構築された。標準化回帰係数から, 各地質の発生確率モデルともに動水勾配の寄与の大きさが理解でき, 動水勾配の変化を促す融雪量は土砂崩壊を助長させる最大要因になることを示す。また, 標準化回帰係数の大きい動水勾配係数の値から動水勾配変化に伴う発生確率の上昇の推定が可能になる。動水勾配係数の値は崩積土, 新第三系堆積岩, 第三系堆積岩, 花崗岩の順になり, この結果は地質の硬軟と一致する。

(2) 道路の経済損失額予測モデル

土砂災害の道路リスクRは, グリッドセル当りで土砂

表-4 発生確率モデルの係数

地質	項目	動水勾配	起伏量	切片
崩積土	係数 β	41.27	0.01	-12.72
	有意確率 p	0.02	0.02	0.01
	標準化回帰係数	4.25	1.05	-
新第三系堆積岩	係数 β	31.48	0.01	-13.18
	有意確率 p	0.02	0.04	0.02
	標準化回帰係数	1.24	1.12	-
第三系堆積岩	係数 β	29.87	0.01	-12.59
	有意確率 p	0.04	0.04	0.01
	標準化回帰係数	1.03	0.56	-
花崗岩	係数 β	14.26	0.02	-12.37
	有意確率 p	0.05	0.03	0.03
	標準化回帰係数	0.62	0.58	-

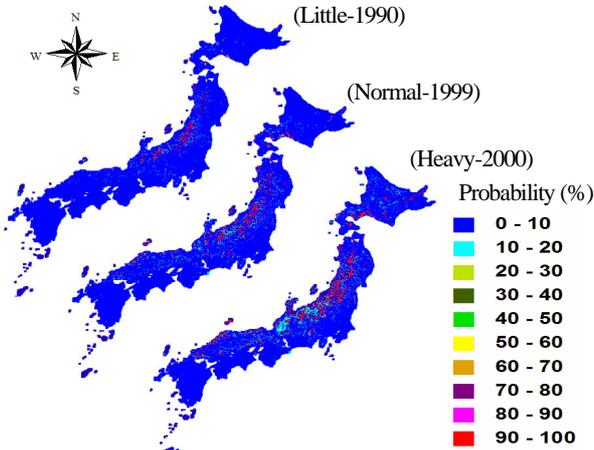


図-7 土砂崩壊発生確率分布

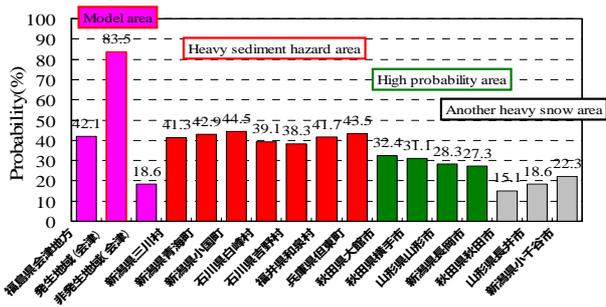


図-8 発生確率の市町村比較

崩壊の生じた場合の経済損失額である。土砂崩壊発生の可能性を発生確率Probabilityで示し、セル内の道路延長Lと道路当りの経済単価Cを乗じてリスクを算定した¹⁷⁾。経済単価を導く交通条件は平成16年交通センサスの調査結果に基づき都道府県毎の高速道路国道相当、一般道相当の平均交通量を用いる。経済単価は建設事業の費用便益分析マニュアル¹⁸⁾に準拠し、道路復旧費 M_R 、式(8)に示す時間損失費 T_R と式(9)に示す距離損失費 L_R の和から導く。式(10)を用いてセル内の経済損失額を求める。

$$T_R = \sum_{Link} \sum_{Car} T_{i_m} \times (T_{m1} \times S - T_{m2} \times S) \quad (8)$$

$$L_R = \sum_{Link} \sum_{Car} T_{i_m} \times (V_{m1} \times L_1 \times S - V_{m2} \times L_2 \times S) \quad (9)$$

$$R = (T_R + L_R + \sum_{Link} L \times M_R) \times Probability \quad (10)$$

ここで T_R ：時間損失費(円/セル内)、 T_{i_m} ：時間価値原単位(乗用72.45円/分・台 貨物519.74円/分・台)、 T_{m1} ：迂回所要時間(平時所用時間の2倍に仮定)、 S ：車両数(都道府県路線の平均車両数割合；乗用車61%、貨物39%)、 T_{m2} ：平時所要時間(延長40km/h)、 L_R ：距離損失費(円/セル内)、 V_{m1} ：迂回時走行経費原単位

(平時走行の2倍に仮定)、 L_1 ：迂回時走行距離延長の2倍)、 V_{m2} ：平時走行原単位(高速自動車国道；乗用6.30円/台・km 貨物27.91円/台、一般道路；乗用15.04円/台・km 貨物65.03円/台・km)、 L_2 ：時走行距離延長)、 M_R ：復旧費(国道・主要地方道103(千円/m)、市町村道77(千円/m))、 P ：発生確率、 R ：セル内の被害額(円)である。

5. 評価結果

評価結果として多雪年、通常年、少雪年の土砂崩壊発生確率と道路の経済損失額のリスクマップを示す。

(1) 土砂崩壊発生確率結果

図-7に土砂崩壊発生確率分布を示す。少雪年では、新潟県の飯豊山地、越後山脈と三国山地の北西山麓、富山県と長野県堺の北西山麓が発生確率90%以上を示す。いずれも山岳山頂付近に相当し、貯水池の堆砂や山岳地の道路被害を懸念させる。通常年では、発生確率90%の地域が出羽山地に広がる。また、発生確率90%以上の集中する地域の縁辺には50%から70%の地域が点在し、この領域を覆い25%の地域が分布する。この地域以外に、長野県、静岡県県境の赤石山脈、岩手県の北上高地の東山麓斜面に示される太平洋側の一部に発生確率の出現する地域が認められる。多雪年では、北海道から中国地方に至る日本海側の広範に発生確率90%の地域が出現する。特に山形県、福島県会津地方、新潟県、石川県は発生確率90%以上の集中する地域である。また、新潟県と長野県境に発生確率30%から70%、福井県、滋賀県、京都府に発生確率5%から25%の地域の拡大が認められる。これらの結果から、北陸地方は少雪でも土砂災害の危険性を有する地域を含むこと、通常年、多雪年の場合、北陸地方から日本海側および太平洋側の山岳地に高い発生確率の領域が拡大する傾向を把握した。

多雪年の土砂崩壊発生確率分布傾向と激甚災害地域および豪雪地帯の関係把握するため、市町村別の平均発生確率を図-8に示した。激甚災害指定地域は概ね40%前後、豪雪地帯で高い発生確率を示した地域は30%前後、その他の豪雪地帯は概ね20%以下の発生確率を示す。また、会津若松建設事務所管内のグリッドセルを整理すると、発生セルは83.5%、非発生セルは18.6%の発生確率を示す。マクロスケールで激甚災害地域は高い発生確率になり、概ね実現象と一致していることを理解した。

(2) 道路の経済損失予測結果

図-9に道路の経済損失額予測分布を示す。少雪年では、新潟県から福井県に至る国道8号沿線を中心にセル当たり経済損失額5億円以上の地域が分布する。また、足尾山地、三国山地、関東山地に囲まれた群馬県、長野県、埼玉県および新潟県の県境は経済損失額1,000万円から5,000万円以上の地域が集中する。通常年では、北海道から中国地方の日本海側、東北地方太平洋側でセル当たり経済損失額1,000万円から5,000万円の被害地域が拡大

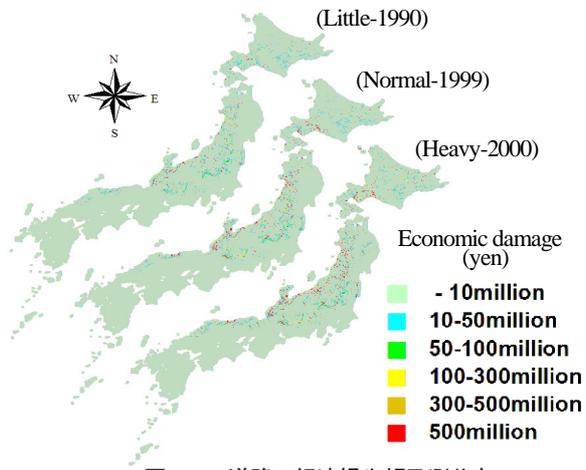


図9 道路の経済損失額予測分布

する。特に、経済損失額の上昇する地域は、日本アルプスに囲まれた長野盆地周辺、足尾山地、三国山地、関東山地縁辺部、福島県会津地方および秋田県の出羽山地周辺であり、経済損失額5億円に変化する。多雪年では、木曾山地と伊那山地に挟まれた伊那盆地周辺および岐阜県、中国山地山裾部の経済損失額の増加が著しく、5億円以上に変化する。北海道はセル当たり経済損失額1,000円以上の地域が広い領域で出現する。通常年、多雪年に変化することで経済損失額は著しく上昇する。参考として実際の1箇所当たりの被害額とセル当たりの経済損失額を比較し考察を述べる。水害統計から激甚災害地域の頻発した新潟県の2000年融雪期の道路被害を参照すると、災害数44箇所に対し27億4千万円の被害額であり、1箇所当たり約6,300万円相当の被害額になる。本研究の解析は時間損失費、距離損失費を考慮しており経済損失額の総額は高価になる。実績である1箇所当たり約6,300万円を考慮すると、これ以下の経済損失を示すセルは軽微な道路被害になることが理解できる。また、5億円以上の経済損失額のセルは7箇所程度の道路災害の集中する地域となるため被害の甚大な地域になる。

6. 結論

本研究の結論を1)から5)に列挙する。

- 1) 多雪年の3月以降の気温上昇期に土砂災害が頻発しやすく、2月上旬から3月下旬の残雪に影響され土砂災害が増加する。
- 2) 2000年3月は降雪の著しい年であり、降雪直後の気温上昇に伴い災害数が増加した。
- 3) 土砂崩壊発生確率評価から、少雪年に北陸地方を中心に発生確率90%以上の地域が存在し、通常年、多雪年の場合、日本海側および太平洋側の山岳地にその領域が拡大する。
- 4) 道路の経済損失結果から、少雪年では、新潟県から福井県に至る国道8号沿線を中心にセル当たり経済損失額5億円以上の地域が分布する。

- 5) 日本アルプスに囲まれた足尾山地、三国山地、関東山地付近、福島県会津地方および秋田県の出羽山地周辺は道路の経済損失額上昇の著しい地域である。

謝 辞：災害データを福島県土木部より提供して頂いた。本研究は環境省の地球環境研究総合推進費(S-4)：温暖化の危険な水準及び温室効果ガス安定化レベル検討のための温暖化影響の総合的評価に関する研究および科学研究費(代表者：泉典洋)援助を受けた。ここに謝意を表します。

参考文献

- 1) 力石國男：雪氷圏の衛星観測-最近の季節積雪の衰退傾向-, 雪氷, Vol.68, pp.581-587, 2006.
- 2) 井上聡,横山宏太郎,大野宏之,川島茂人：地球環境変化時における降積雪の変動予測(続報), 雪氷, Vol.63, pp.489-498, 2001.
- 3) 赤澤悠子,沼口敦,江守正多：地球温暖化に伴う積雪変化の地域特性, 水文水資源学会誌, Vol.18, pp.510-520, 2005.
- 4) 例えばV.Ch.Khon, I.I.Mokhov, E.Roechner and V.A.Semenov：Regional changes of precipitation characteristic in Northern Eurasia from simulations with global climate model, Global and Planetary Change, Vol.57, pp.118-123, 2007.
- 5) 伊藤曉：積雪寒冷地帯における気象変動と地盤災害の変動, 土と基礎, Vol.49, No.1, pp5-8, 2001.
- 6) 上村靖司：新潟県における人身雪害のリスク分析, 雪氷, Vol.65, pp.135-144, 2003.
- 7) 気象庁：警報・注意報発表基準一覧, <http://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/kijun/index.html>, (2007.9).
- 8) 例えばS.Matsuura, S.Asano, T.Okawamoto and T.Takeuchi：Characteristics of the displacement of a landslide with shallow sliding surface in a heavy snow district of Japan, Engineering Geology, Vol.69, pp.15-35, 2003.
- 9) 例えばE.Eberhaedt, K.Thuro and M.Luginbuehl：Slope instability mechanism in dipping interbedded conglomerates and weathered marls - the 1999 Ruffi landslide, Switzerland, Engineering Geology, Vol.77, pp.35-56, 2005.
- 10) 泉宏和, 風間聡, 戸塚岳大, 沢本正樹：全日本の積雪水量, 積雪深, 全層積雪密度分布推定, 水工学論文集, Vol.49, pp.301-306, 2005.
- 11) 川越清樹, 風間聡, 沢本正樹：融雪に起因する土砂災害リスクモデル, 水工学論文集, No.51, pp.367-372, 2007.
- 12) 例えばG. Di Crescenzo and A. Santo：Debris slides-rapid earth flows in the carbonate massifs of the Campania region (Southern Italy): morphological and morphometric data for evaluating triggering susceptibility, Vol.66, pp.255-276, 2005.
- 13) 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.
- 14) 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
- 15) 近藤純正, 本谷研, 松島大：新パケツモデルを用いた流域の土壌水分量, 流出量, 積雪水当量, 及び河川水温の研究, 天気, Vol.42, pp.821-831, 1995.
- 16) 国土交通省：融雪に起因する土砂災害, http://www.mlit.go.jp/river/sabo/saigai_info/050513/050513.pdf, (2007.9).
- 17) 多々納裕一, 高木朗義：防災の経済分析, 勁草書房, pp.370, 2005.
- 18) 国土交通省：建設事業の費用便益マニュアル, pp.20, 2003.

(2007. 9. 30受付)