

中国地方における地震地すべりハザードマップ の高精度化手法の提案とその検証

河野 勝宣¹

¹鳥取大学 学術研究院 工学系部門 准教授

本研究では、4つの地震（平成30年北海道胆振東部地震、平成28年（2016年）熊本地震、平成20年（2008年）岩手・宮城内陸地震および平成16年（2004年）新潟県中越地震）によって発生した斜面崩壊分布の共通点を明らかにし、それらの情報を取り込んだ中国地方における地震地すべりハザードマップの高精度化手法の提案とその精度の検証を行った。具体的には、防災科学技術研究所発行の地すべり地形分布図を基に、AHP法およびGISを用いた地震による斜面崩壊ハザード評価手法を検討した。AHP法による評価項目（標高、斜面傾斜角、斜面型、集水度、地質および植生）の一対比較において、地すべり地形分布と評価項目の関係を数値化したものを導入している。検討の結果、地震による斜面崩壊分布には斜面傾斜角、斜面型、集水度が大きく影響することがわかった。これら3つの評価項目を基に得られたハザードマップより、斜面崩壊危険度が大きくなるにつれて、地震による斜面崩壊分布割合が大きくなる傾向がみられ、本手法が、地震時の不安定斜面の抽出に期待できることが示された。

キーワード：地震、斜面崩壊、AHP法、GIS、地すべり地形分布図、ハザードマップ

1. はじめに

日本は世界有数の地震大国であるとともに、土砂災害大国でもあることは周知のとおりである。日本列島の地質・地形は、地質時代を通じて、マグマ活動や地殻変動、風化作用の産物多く、脆弱な地質や急峻な地形が広範囲に分布する。平成30年北海道胆振東部地震、平成28年（2016年）熊本地震、平成20年（2008年）岩手・宮城内陸地震、平成16年（2004年）新潟県中越地震による斜面崩壊事例からもわかるように、21世紀に発生した地震では広範囲かつ高密度の斜面崩壊を引き起こしている。特に、上述の北海道、熊本、岩手・宮城の3つの地震では、降下火砕物の分布域において広範囲かつ高密度で斜面崩壊が発生している。将来、中国地方近傍で大地震が発生した場合、大山火山を有する中国地域（降下火砕物分布域）でも、広範囲かつ高密度の斜面崩壊が発生する恐れが極めて高い。したがって、基盤岩の上部に広範囲に火砕物が覆う地質環境を有する中国地方において、高精度な地震地すべりハザードマップの構築は喫緊の課題である。地震による斜面崩壊によって生じる被害は甚大であるが、すべての斜面崩壊危険箇所に防止対策を立てることは財政的に困難である。そのため、地震時の斜面崩壊危険度の高い斜面を抽出し、優先順位を考えた上での調査や対策を行うことが必要となる。

本研究では、まず、河野ら¹が提案したAHP（Analytic Hierarchy Process）法およびGIS（Geographic Information System）を用いた地すべりハザードマッピング手法を上

述の4つの地震（平成30年北海道胆振東部地震、平成28年（2016年）熊本地震、平成20年（2008年）岩手・宮城内陸地震および平成16年（2004年）新潟県中越地震）による斜面崩壊分布域に適用し、地すべりハザードランクと斜面崩壊分布との整合性について検討した。そして、地震による斜面崩壊分布に対する地形・地質・植生等の影響度を確認した上で、4つの地震による斜面崩壊分布に及ぼす評価項目の共通点を探る。以上の結果を踏まえて、最後に、AHP法を用いた地震による斜面崩壊ハザード評価手法について検討した結果を記述する。

2. 研究方法

AHP法とは、University of PittsburghのThomas L. Saaty²によって開発された意思決定法の一つであり、評価項目の重要度ウェイトを一対比較に基づいて決定する解析方法である。解析対象地域の設定については、地質区分や行政区分等が考えられるが、本研究では、日本の地質構造区分^{3,4}を参考に、北から神居古潭変成帯地域、南部北上帯地域、上越帯地域および領家帯地域と設定した（図-1）。これらの解析対象地域にはそれぞれ前述の4つに地震による斜面崩壊分布域が含まれている。まず、各地域における防災科研の地すべり地形分布図⁵を基に、地すべり地形と評価項目・要素との関係性（すなわち、両者の面積比）を調査した。本研究ではデータの入手が容易で汎用性が高いという利点に重きを置いて、AHP法による地すべり危険度に関する評価項目（階層レベル1）を

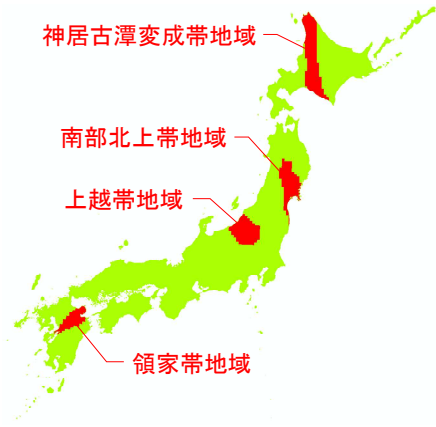


図-1 解析対象地域

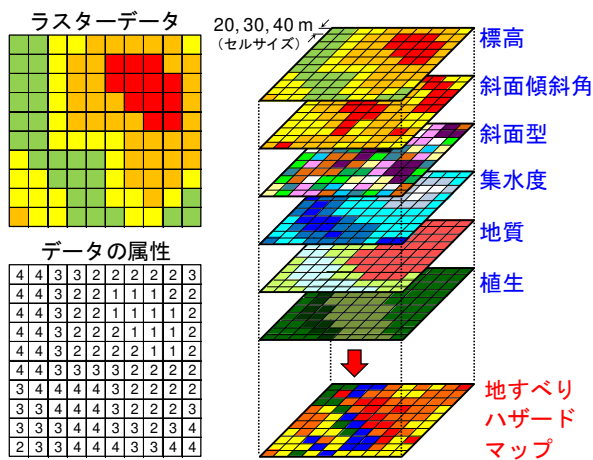


図-2 地すべりハザードマッピング

標高^⑥, 斜面傾斜角, 斜面型^⑦, 集水度, 地質^⑧および植生^⑨の6つに設定している。これらの設定した評価項目に基づいて、地すべり危険度の階層システムを構築する。この階層構造から、まず、各要素（階層レベル2）間の重要度ウェイトを、次に、その上位の評価項目（階層レベル1）間の重要度ウェイトを算出する。本手法では地すべり地形分布と要素との関係を数値化したものを一対比較に導入することにより重要度ウェイトを算出することで、評価者の主観的・経験的判断を排除できる利点がある。得られた各階層の重要度ウェイトから、各評価項目における地すべり危険度を得点化し、評価項目ごとに該当する地すべり危険度得点をGISを用いて合計（図-2）することにより、地すべりハザードマッピングを行う。本手法の詳細については、河野ら^⑩を参照されたい。なお、北海道胆振東部地震による斜面崩壊分布図は国土地理院が公開しているGISデータを、熊本地震による斜面崩壊分布図は防災科学技術研究所が公開したGISデータを用いた。岩手・宮城内陸地震および新潟県中越地震による斜面崩壊分布域図は地理院地図による空中写真より斜面崩壊地形の概形を直接トレースしてポリゴン化することにより、GISデータを取得した（図-3）。

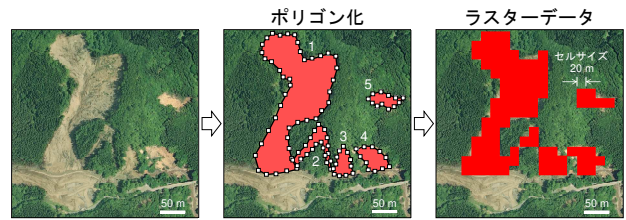


図-3 斜面崩壊地形のトレースとラスターデータへの変換

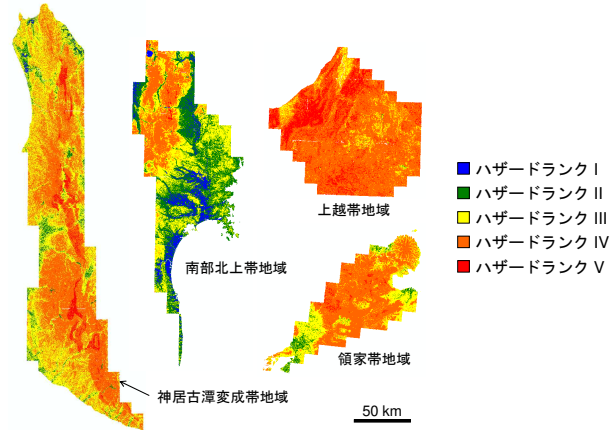


図-4 地すべりハザードマップの一例

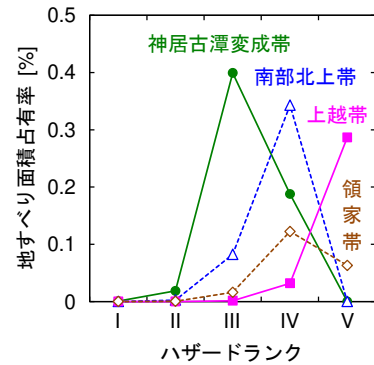


図-5 地すべりハザードランクと斜面崩壊分布との関係

3. 地すべりハザードマッピング

各地域の地すべりハザードマップの一例を図-4に示す。この例の場合、ハザードランクIIIおよびIV分布域が地域の大部分を占めていることがわかる。ここで、地すべりハザードランクと斜面崩壊分布との関係（セルサイズ20mの例）を図-5に示す。上越帯地域を除く3つの地域で斜面崩壊面積占有率はハザードランクIIIまたはIVでピークを示し、ハザードランクIVまたはV分布域において減少した。つまり、作成された地すべりハザードマップにおいて、必ずしも地すべり危険度が高い地域で斜面崩壊が起こったわけではないことがわかる。したがって、本手法によって作成された地すべりハザードマップは、地震によって発生した斜面崩壊分布を適切に表現しているとは言えない。

4. 地形的素因に着目した地震による斜面崩壊ハザードマッピング

前章で作成した地すべりハザードマップにおいて設定した評価項目のうち、どの要因が最も斜面崩壊分布に影響を及ぼしていたのかを調査した。その方法は、AHP法における階層レベル1における評価項目の重要度を99.9とし、それ以外の5つの評価項目の重要度を0.02として地すべり危険度得点を算出するものである。設定した評価項目は6つであるから、それらに対応する地すべりハザードマップも6つ作成されることになる。作成された地すべりハザードマップの地すべりハザードランクと地震による斜面崩壊分布との関係を確認することで、どの評価項目が地震時の斜面崩壊分布と関連性があるのかを知ることができる。

各評価項目の重要度を99.9とした場合に得られた地すべりハザードマップにおける地すべりハザードランクと地震時の斜面崩壊分布との関係（セルサイズ20 mの例）を図-6に示す。この図から特に、標高および地質は、地すべりハザードランクがIやIIの比較的地すべりハザードが低いと考えられる分布域で既に80%以上の斜面崩壊が発生したことになり、両者の要因の斜面崩壊分布への関与はそれほど大きなものでないと考えられる。一般的に、斜面崩壊と地質との間には密接な関係があることは周知のとおりだが、今回のような同一地質環境内で発生したような斜面崩壊分布では、その影響度が現れなかったものだと考えられる。それ以外の要因についてはハザードランクが高くなるにつれて、斜面崩壊面積の累積相対度数が大きくなる傾向が見られ、植生を除く3つの要因（傾斜角、斜面型、集水度）はいずれも地形的素因項目である。そこで、「傾斜角」、「斜面型」、「集水度」のみを評価項目に設定して、再度、地すべりハザードマッピングを行い、得られた地すべりハザードマップと地震時の斜面崩壊分布との関係を調査した。ここで挙げる3つの評価項目はすべて地形的素因項目という点で共通していることから、評価項目（階層レベル1）の重要度をすべて同等とした。紙面の都合上、ここでは、北海道胆振東部地震による斜面崩壊分布域におけるハザードマップの一例（セルサイズ：20 m）を図-7に示す。地震による斜面崩壊分布域の西端に北北西-南南東方向で伸びる厚真断層を境に西側では地すべりハザードランクIIおよびIII分布域が、東側で地すべりハザードランクIVおよびV分布域見られ、大半の斜面崩壊は地すべりハザードランクIVおよびV分布域で発生していることが図からもわかる。3つの評価項目（地形的素因項目）に基づく地すべりハザードランクと地震による斜面崩壊分布との関係（セルサイズ20 mの例）を図-8に示す。地すべりハザードランクが高くなるにつれて、斜面崩壊面積占有率が大きくなる傾向がみられ、地すべりハザードマップと斜面崩壊分布との間に良好な対応が見られた。これは言う

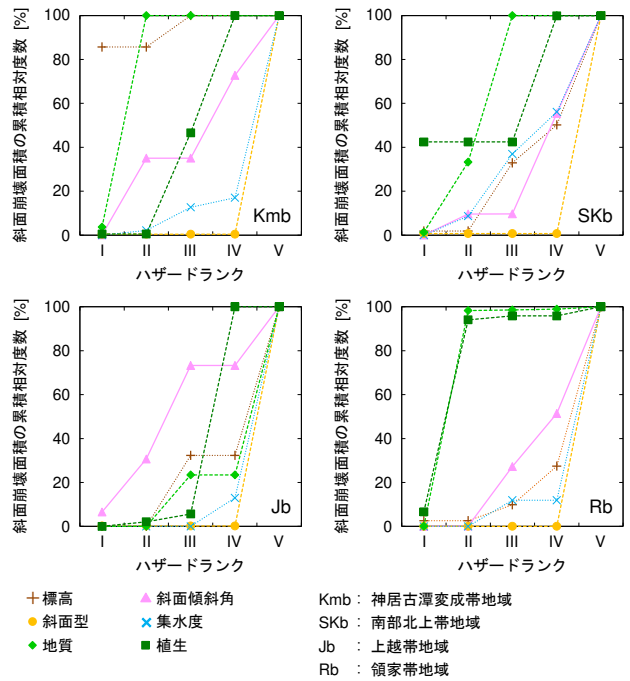


図-6 地すべりハザードランクと斜面崩壊面積の累積相対度数との関係

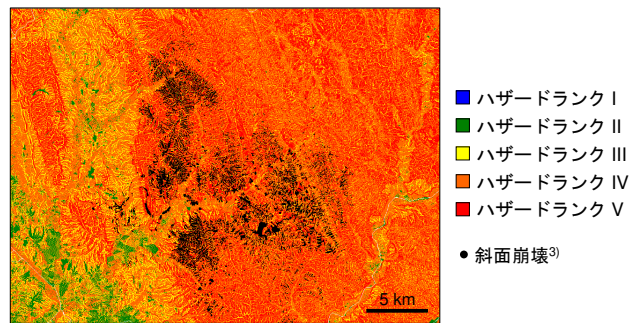


図-7 地形的素因に基づく地すべりハザードマップの一例（神居古潭変成帯地域，セルサイズ20mの例）

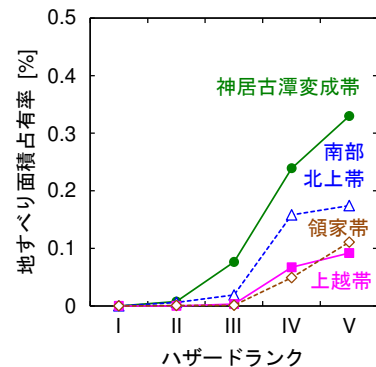


図-8 地形的素因に基づく地すべりハザードランクと斜面崩壊分布との関係

までもなく、斜面崩壊分布と関連性が高い要因のみを集めて設定して地すべりハザードマッピングを行ったためである。したがって、傾斜角、斜面型および集水度の

3つの要因を用いて斜面崩壊危険度を評価することは、地震のような突発的な現象に伴う斜面崩壊危険度の高いエリアを事前に把握するうえで、有効な方法の一つになり得ると考えられる。

5. おわりに

本研究では、約数百～数万箇所及ぶ地すべり地形を基に、河野ら¹⁾の地すべりハザードマッピング手法を北海道胆振東部地震、熊本地震、岩手・宮城内陸地震および新潟県中越地震によって広範囲かつ高密度に発生した斜面崩壊分布域に適用し、得られた地すべりハザードドラックと地震による斜面崩壊分布との関係について調査した。さらに、地震による斜面崩壊分布に対する地形・地質・植生等の影響度を確認した上で、4つの地震による斜面崩壊分布に及ぼす評価項目の共通点を探り、その知見に基づいた新たな地震による斜面崩壊ハザード評価手法について提案した。

その結果、河野ほか¹⁾の手法を用いた場合には、地震時の斜面崩壊分布の様子を適切に表現することはできなかったが、地震時の斜面崩壊分布には地形的素因が大きく関与することがわかった。このことから、地震のような突発的な現象に伴う斜面崩壊危険度の高いエリアを事前に把握するうえで、地形的素因（斜面傾斜角、斜面型および集水度）を用いて評価することが有効な方法の一つになり得る可能性があるとして結論付けた。また、本手法は、地質や植生等のデータを必要とすることなく、DEMデータのみを用いて解析が行えるので、データが乏しい、または、データの精度が劣るような地域への適用にも有効であると考えられる。本成果は避けられない次の地震災害に向けて還元しなければならない。本手法は、現地調査を要する地震時の不安定斜面の抽出に期待でき、優先順位を考えた効率的な対策を行うことが可能となることから、斜面防災技術の発展に大きく貢献できると考える。なお、本手法を中国地方全域に適用し、地形的素因に基づく地震時の斜面崩壊ハザードマッピングも行っている。そして、鳥取県内を中心にハザードドラックの高い箇所や、さらに、ハザードドラックが低いと評価されたのにもかかわらず地すべり地形や最近の斜面災害が発生した箇所についても現地調査や野外・室内実験を行い、本手法の妥当性等についても検討している。ただし、これらの結果について、鳥取県内のみでの調査結果のみであるため、ここでの記述は控えることとする。今後、中国地方全域を含めたさらなる現地調査も併せて地震時の斜面崩壊リスクを総合的に評価していく必要がある。本手法が効果的・効率的な地震時の斜面崩壊危険度評価の一助となることを願ってやまない。

謝辞

本研究は、一般社団法人中国建設弘済会2019年度技術開発支援事業助成の一部を受けて実施したものである。記して、厚くお礼申し上げる。

参考文献

- 1) 河野勝宣・野口竜也・西村 強：AHP法およびGISを用いた中国地方における地すべりハザードマッピングの試み，日本地すべり学会誌，Vol.57，No.1，pp.3-11，2020.
- 2) Saaty, T. L. : The Analytic Hierarchy Process: Planning Setting Priorities, Resource Allocation, McGraw-Hill, 1980.
- 3) 磯崎行雄・丸山茂徳・青木一勝・中間隆晃・宮下敦・大藤 茂：日本列島の地体構造区分再訪ー太平洋型（都城型）造山帯構成单元および境界の分類・定義ー，地学雑誌，Vol.119，No.6，pp.999-1053，2010.
- 4) 産業技術総合研究所地質調査総合センター：日本列島の地質と構造，<https://www.gsj.jp/geology/geology-japan/geology-japan/index.html>.
- 5) 防災科学技術研究所：地すべり地形分布図デジタルアーカイブ：地すべり地形GIS データ，http://dil-opac.bosai.go.jp/publication/nied_tech_note/landslidemap/gis.html.
- 6) 国土地理院：基盤地図情報数値標高モデル（10 mメッシュ：DEM10B），<https://fgd.gsi.go.jp/download/menu.php>.
- 7) 鈴木隆介：建設技術者のための地形図読図入門 第1巻 読図の基礎，古今書院，1997.
- 8) 産業技術総合研究所地質調査総合センター：20万分の1日本シームレス地質図（基本版，データ更新日：2015年5月29日），<https://gbank.gsj.jp/seamless/>.
- 9) 環境省自然環境局生物多様性センター：5万分の1現存植生図（昭和54年～平成10年整備）GISデータ，<http://gis.biodic.go.jp/webgis/>.