■日本地すべり学会による国土交通省河川砂防技術研究開発課題の実施 —地震による斜面変動発生危険地域評価手法の開発—

A report on the Collaborative Research for River and Erosion Control by the Japan Landslide Society and
Ministry of Land, Infrastructure, Transportation and Tourism
—Susceptibility mapping of earthquake-induced landslides—

檜垣大助* Daisuke HIGAKI／弘前大学 Hirosaki University

林 一成 Kazunori HAYASHI／奥山ボーリング(株) Okuyama Boring Co. Ltd.

濱崎英作 Eisaku HAMASAKI／(株)アドバンテクノロジー Advantech Co. Ltd.

(公社)日本地すべり学会河川砂防技術研究開発実施チーム**

The Project team of Collaborative Research for River and Erosion Control, Japan Landslide Society

蒲原潤一 Jun-ichi KANBARA／国土交通省国土技術政策総合研究所

National Institute for Land and Infrastructure Management, MLIT

キーワード：地震，斜面変動，ハザードマップ，地形，AHP

Key words：Earthquake, Landslide, Susceptibility mapping, Geomorphology, AHP

1. はじめに

国内外で，過去の地震により多数の斜面変動が発生してきた（例えば，Keefer, 1984；中村ほか，2000；Rodriguez *et al.*, 1999）。（公社）日本地すべり学会は，平成21～23年度の3年間で地震地すべり特別研究プロジェクトを実施し，国内外の過去の地震による斜面災害の実態や発生機構を把握した（（社）日本地すべり学会，2012）。今後の南海トラフ地震さらには内陸部の活断層による直下型地震での巨大災害が懸念される中で，地震による災害危険性の高い斜面を把握することは喫緊の課題である。

近年，過去の地震災害事例から斜面変動発生場の地形・地質や地震動条件の分析が行われ（例えば，Rodriguez *et al.*, 1999；八木ほか，2007；平成20年岩手・宮城内陸地震4学協会東北合同調査委員会，2009；阿部・林，2011；Higaki and Abe, 2012），地震による斜面変動発生危険箇所予測手法の提案もなされている（例えば，内田ほか，2004）。（公社）日本地すべり学会では，平成23～25年度に国土交通省河川砂防技術研究開発課題として，国土技術政策総合研究所より委託を受け，地震による斜面変動発生危険地域評価手法の開発を行った。そこでは，Saaty（1980）が考案したAHP法（Analytic Hierarchy Process）を応用した手法（濱崎ほか，2015）が提案された。本稿では，上記課題における手法開発を概括するとともに，1968年十勝沖地震での適用事例についても述べる。

2. 評価手法開発の進め方

本研究では，危険箇所評価を，1/5万～1/10万地図スケールで危険度の分布を表示し迅速・広域に評価を行う「広域評価」と，1/5万より大きなスケールで個別に危険斜面を抽出する「危険箇所評価」に分けた。本課題では，実用的にまず必要となる「広域評価」について開発した。

地震による斜面変動発生には，揺れの強さ・周期特性・継続時間など地震動の特性と，場所の特性すなわち斜面の地形・地質・土質力学的な特性が関係する。しかし，前者については過去の地震で十分なデータの得られないものも多いうえ，斜面での地震動自体が地形や表層地質の影響を受ける。また，広域評価のスケールで斜面の土質力学的な特性を把握することは難しい。したがって，過去の地震事例にもとづく評価手法の検討では，広域で均質な精度のデータが得られる斜面変動発生場の地形・地質特性に着目することとした。

近年用いられている斜面変動発生危険個所の評価手法に関する研究では，発生箇所の特性をGISを用いて統計的に分析し，要因を抽出し評価モデル構築をすることが多い。一方で，迅速かつ広域的に評価するためには，十分な発生事例数の知られていない地質の地域や運動タイプを対象に，発生しやすい地形条件など定性的な知見も取り入れて評価可能な手法を構築する方が汎用性がある。AHP法は，一つの判定に関わる複数の要因について，要因間の関係を階層構造として捉え，決定の際にどの要因をどれだけ重視しているかを重み付けすることで，人間の主観的な判断過程を定量化しようとする手法である。この手法は，地形・地質条件のように定量的要因と定性的要因の両面を取り込んで評価モデルを作ることができ，

* 連絡著者／corresponding author

〒036-8561 青森県弘前市文京町3

3 Bunkyo-cho, Hirosaki city, Aomori Pref. JAPAN

** 檜垣大助，鶴飼恵三，川邊 洋，千葉剛行，網本亮介，井良沢道也，八木浩司，武士俊也，石井靖雄，梅村 順，若井明彦，佐藤 剛，今泉文寿，林 一成，杉本宏之

また, 専門家判断により要因間の相対的な重要性を点数化できる特徴がある。これらのことから, 斜面変動の危険箇所評価にAHPがしばしば適用されている (例えば, Kamp, *et al.*, 2008; 八木ほか, 2009; Yalcin, *et al.*, 2011; Miyagi, *et al.*, 2004)。

以上のような背景から, ここでは評価手法にAHP法を用いることとし, 地形・地質条件を評価項目とした。我が国では, 過去の地震事例から斜面変動の起こりやすい地質が指摘されている (例えば, 阿部・林, 2011; 千木良, 2012; 田中, 1998)。そこで, 図-1 に示すような流れで研究を進めた。すなわち, 2011年東北地方太平洋沖地震 (日本地すべり学会河川砂防技術開発研究実施チーム, 2013) を含む過去の地震による斜面変動事例について, 地質ごとに起こりやすい斜面変動の運動タイプを見出し, 十分な数の事例が得られる場合には統計解析から発生要因を抽出した。また, そうでない場合には, 既往文献等にもとづく研究実施チーム内でのブレインストーミングによって要因抽出を行った。それらに基づき, AHP法による要因を階層化し, 重み付けにより危険地

域評価モデルを作り, その地質の分布域でのAHP得点分布を把握した。AHP得点分布と実際の斜面変動発生箇所の分布の適合性を高める検討をし, 最終的な評価モデルを提案した。

評価対象とした地質と運動タイプは, (a)新第三系以降の地質での地すべり・崩壊, (b) (a)の中で未固結降下火砕物に起こる現象を分離し, 火山灰被覆丘陵地域での崩壊・崩壊性地すべり, (c)古第三系以前の地質では, 崩壊性地すべり, である (図-2)。なお, 崩壊性地すべりは, 表層崩壊よりも深く, 移動地塊が発生域からほぼ滑落してしまっているものを言う (山崎ほか, 2008)。八木・加藤 (2009) が述べているように, 移動物質が発生域下方の斜面に一部留まっている場合や, 移動物質が粉碎され流下している場合もある。ここで, (b)を特に (a)の中から独立させて取り上げたのは, 火山灰被覆丘陵地での崩壊・崩壊性地すべりの多発が, 2011年東北地方太平洋沖地震, 1983年長野県西部地震, 1978年伊豆大島近海沖地震及び1968年十勝沖地震で報告されている (例えば, 堀田ほか, 1968; Chigira, 1982; 吉田・千木良,

図-1 河川砂防技術研究開発による本研究の実施の流れ

地質 運動 タイプ	古第三系以前	新第三系以降	第四紀火山灰 被覆丘陵	深成岩
地すべり	<div>崩壊性地 すべり</div>			
崩壊				
代表的な地震事例	1707年宝永南海地震	2004年新潟県中越地震 2008年岩手・宮城内陸地震	2011年東北地方太平洋沖地震	1997年兵庫県南部地震

図-2 地質ごとに卓越する地震時斜面変動の運動タイプの整理

図中の黒色塗りの部分は、各地質での運動タイプごとの現象の相対的な起こりやすさを示している。これは、次のような点にもとづく。古第三系以前の地質では、(社)日本地すべり学会(2012)に示された過去の地震による大規模土砂移動発生事例で、規模・現象から崩壊性地すべりと見られる事例が過半を占めている。新第三系以降の地質では、2008年岩手・宮城内陸地震での斜面変動の占める面積割合(Yagi et al., 2009)で、崩壊性地すべりが少なく地すべり・崩壊が多かった。火山灰被覆丘陵では、杉本ほか(2012)によると崩壊性地すべりの発生が多い。また、深成岩地域では崩壊・崩壊性地すべりが多い((社)日本地すべり学会, 2012)。

2012; 杉本ほか, 2012) こと, また, 降下火砕物は未固結であることから(a)とは異なる要因の階層化と重み付けの必要性が示唆されるためである。

ここで開発した手法の評価対象となる斜面変動の規模には下限がある。統計解析に用いた斜面変動発生箇所抽出は空中写真判読により行ったため判読に限界があり、評価対象となる斜面変動の規模は $10^2 \sim 10^3 \text{ m}^2$ 以上となる。また、古第三系以前の地域の崩壊性地すべりは、歴史資料の記載をもとに空中写真判読で確認した事例を用いたため、史料に載る程度の大規模なものが対象となり、予測対象は 10^3 m^2 以上の規模となる。

3. 危険地域評価手法の開発概要

日本地すべり学会河川砂防技術開発研究実施チーム(2013)では、土砂災害関係各機関の地震後の緊急調査結果にもとづき、東北地方太平洋沖地震で768箇所の斜面変動発生箇所を把握した。その結果、自然斜面での崩壊・地すべりは、古第三紀以前および主に中新世の層状岩盤等の強度異方性を持つ地質で多発し、火山灰被覆丘陵でも崩壊・崩壊性地すべりが多く発生していた。

1964年新潟地震以降2011年東北地方太平洋沖地震まで24の地震事例について文献資料調査を行った結果、斜面変動の多くは震度5以上で発生していること、また、崩壊の発生は急傾斜地や凸型斜面などの地形要因、地すべりの発生は流れ盤斜面といった地質要因により説明される事例が多いことが明らかになった(檜垣ほか, 2014)。また、火山灰累層中の弱層をすべり面とした崩壊・崩壊性地すべりが幾つかの地震で発生していた(杉本ほか, 2012)。これらの知見にもとづき斜面変動発生に関係する要因の階層化を試みた。まず、斜面変動が多発し、分布を把握できる文献・資料のある、1) 2008年岩手・宮城

内陸地震, 2) 2004年新潟県中越地震, 3) 1984年長野県西部地震, 4) 1974年伊豆大島近海地震, 5) 1970年伊豆半島沖地震, 6) 1968年十勝沖地震を対象に、統計解析による斜面変動発生場の地形・地質要因の抽出を行った。その中で、1), 2) については、AHP法を用いる際のGISによる地形・地質各要因データの取得方法及び予測結果の適合性を高めるための統計解析手法について新たに提案し、新第三系以降の地質地域での崩壊及び地すべりの発生地域評価手法を提案した。これらの詳細については、本特集号の別稿(濱崎ほか, 2015; 林ほか, 2015)に譲ることとし、ここでは、6) の事例について評価モデルを作成した結果を次に述べる。

4. 1968年十勝沖地震の事例にもとづく火山灰被覆丘陵での崩壊・崩壊性地すべり発生危険地域の評価モデル

4.1 評価対象とする崩壊・崩壊性地すべり事例

2章で述べた火山灰被覆丘陵での発生事例の中で、1968年十勝沖地震による崩壊・崩壊性地すべりが238箇所特定できた青森県八戸市周辺の丘陵地域において、統計解析に基づく要因の重み付けを行ってAHP評価モデルを構築した。ただし、この場所では、地震だけでなく降雨の影響も受けた可能性がある(堀田ほか, 1968)。

地震発生直後の空中写真(アジア航測機撮影縮尺約1/8,000)が入手できた青森県八戸市、五戸町、三戸町で、斜面変動発生箇所を判読し分布図を作成した(図-3)。この地域は、更新世中期以降の高位(天狗段丘)・中位(高館段丘=7-11万年前の最終間氷期の段丘)・低位(最終氷期以降)の段丘面(東北地方第四紀研究グループ, 1969)と、それを開析する斜面からなる海拔10-170mの丘陵地である。崩壊・崩壊性地すべり発生範囲の長さは平均58m、約95%が100m以下であり、傾斜は平均

図-3 1968年十勝沖地震による斜面変動分布図

22°, 約80%が30°以下である。崩壊・崩壊性地すべりの多くが, 更新世末期以前にできた地形を覆う八戸軽石層の一部がすべり面となり起こったもので (黒田ほか, 1968; 吉田・千木良, 2012), 現在の斜面にほぼ平行に堆積した火山灰層に沿って滑っている。

4.2 統計解析に用いるデータの作成方法

統計解析データは, 濱崎ほか (2015) のバッファ移動解析によって作成した。すなわち, 図-4のように10mメッシュの数値標高データ (国土地理院基盤地図情報数値標高モデル) 上に崩壊・崩壊性地すべり発生分布を示し, それらの範囲を含むメッシュを発生メッシュ, 含まないものを非発生メッシュとする。そして, 分布図上に円形のデータ集計領域 (バッファと呼ぶ) を設け, その中でメッシュ単位に求めた各種地形量の平均値および発生・非発生メッシュ数を集計する。集計領域を東西・南北方向に移動 (スキップ) させながら, 発生メッシュを含む集計領域を崩壊の「発生バッファ」, 発生メッシュを含まない集計領域を崩壊の「非発生バッファ」として, 統計解析用のデータとする。ここで, 集計領域は, 前述の崩壊・崩壊性地すべり発生範囲の大きさや丘陵頂部からそれを開析する谷までの間の斜面水平長さ (滑りうる単位斜面の長さ) を考慮して半径50mとし, カバーされない領域の無いようにスキップ距離は50mとした。

統計解析に用いた要因としては, 次のようなこの地域の地形・地質的特徴から, 斜面の傾斜・地上開度・起伏量を対象とした。まず, 崩壊・崩壊性地すべりは深さ約5m以下で, 累積的に覆う降下火山灰層中に発生している。これらの降下火山灰層の丘陵地における分布状況は

図-4 本研究におけるバッファ移動解析 (濱崎ほか, 2015) によるデータ取得の概念図

既存の表層地質を表した1/5万土地分類図 (経済企画庁, 1965; 青森県, 1996) に表現されていないので, 地質要因は考慮しない。傾斜は, 重力的な不安定さに加え, 前述のすべり面となったとされる更新世末期に堆積した八戸軽石層が最近まで残存しているかどうかにも関係するため, 地形要因として取り上げた。地上開度は, ある点から見た上空の開き具合を表す指標であり (図-5), 斜面頂部で値が大きく侵食谷の中に入るほど値が小さくなる。地形的に山腹の開析前線のすぐ上方の斜面が崩壊しやすいと想定されることや, 2005年新潟県中越地震で地上開度の大小が崩壊発生に強く関係していたことも考え合わせ, そのような場を表す地形量として取り上げた。また, 崩壊性地すべりを生じるには, ある程度の斜面の広がりが必要とみられることから, 起伏量を要因とした。これら3つの要因は, 地形量としては互いに独立とみられることから, 研究メンバーのブレインストーミングによりウエイトを同一とした。

傾斜の算出は, 対象メッシュ (10m×10m) と隣り合う8つのメッシュの標高値を用いて, X方向とY方向の標高の平均変化率により求める方法 (Burrough and McDonell, 1998) で行った。地上開度 (横山ほか, 1999)

図-5 地上開度 θ の概念図 (横山ほか, 1999)

は、対象メッシュから距離50m内（バッファの大きさと同じ）の図-5の θ を8方位で求め、それらの平均値として算出した。起伏量は対象メッシュを中心とした窓領域の最高標高点と最低点の高度差で求めた。窓領域は一辺の長さ(d)が100mの正方形とした。

4.3 要因の重み付けの検討

バッファ移動解析により集計したある地形要因のある値（傾斜であれば、例えば5°単位でランク分けした際の10°～15°のランク）について、崩壊・崩壊性地すべりの「発生バッファ」内に占める割合が高く、「非発生バッファ」内に占める割合が低い場合、その値（ランク）の分布域では崩壊・崩壊性地すべりが発生しやすく、逆の傾向を示す値の分布域では崩壊・崩壊性地すべりが発生しにくいと言える。そこで、各地形要因内におけるその値（ランク）のウエイト（ α_i ）は次の(1), (2)式より求めることとした。

$$\alpha_i = Z/Z_{\max} \dots\dots\dots(1)$$

$$Z = X/Y \dots\dots\dots(2)$$

すなわち、要因(i)のある値について、「発生バッファ」内に占める割合をX, 「非発生バッファ」内に占める割合をYとして、Yに対するXの比(Z)を各値について求めた。さらに、要因(i)の中でZが最大($Z_{\max}$)となる値のウエイトが $\alpha_i=1.0$ となるように、各値のZを正規化したものを要因内のウエイト(α_i)とした（表-1）。

各地形要因のランク別のウエイトは、この地域の地形発達史の面からは以下のような意味を持っているとみられる。崩壊性地すべりの多発した八戸軽石層は約1万5千年前に十和田カルデラから噴出したものである（Horiuchi *et al.*, 2007）。約60～80km南に位置する北上川上流部の北上山地山麓部では、秋田駒ヶ岳から同時期に噴出した小岩井軽石層（大上・土井, 1980）が30°以上の斜面では削剥されて認められないことが多い（桧垣, 1987）。両地域は地勢的にも気候的にも同様の条件にあることから、前述した八戸周辺地域でも、約30°程度以

表-1 各地形要因におけるウエイト(α_i)の検討結果

(a) 傾斜						
傾斜	0° - 5°	5° - 10°	10° - 15°	15° - 20°	20° - 25°	25° -
発生データ内の割合 (X:%)	0.95	9.04	28.49	38.73	20.40	2.41
非発生データ内の割合 (Y:%)	35.29	30.38	20.37	9.90	3.03	1.04
Z値 (X/Y)	0.03	0.30	1.40	3.91	6.74	2.33
ウエイト (α_i)	0.0	0.1	0.2	0.6	1.0	0.4
(b) 起伏量						
起伏量	0m-10m	10m-20m	20m-30m	30m-40m	40m-50m	50m-
発生データ内の割合 (X:%)	0.17	6.71	37.78	45.61	7.40	2.32
非発生データ内の割合 (Y:%)	31.87	34.47	21.62	9.17	2.06	0.81
Z値 (X/Y)	0.01	0.19	1.75	4.97	3.60	2.88
ウエイト (α_i)	0.0	0.1	0.4	1.0	0.8	0.6
(c) 地上開度						
地上開度	-82°	82° - 84°	84° - 86°	86° - 88°	88° - 90°	90° -
発生データ内の割合 (X:%)	2.24	9.55	22.29	32.53	28.40	4.99
非発生データ内の割合 (Y:%)	0.41	1.47	6.06	18.76	63.04	10.26
Z値 (X/Y)	5.45	6.49	3.68	1.73	0.45	0.49
ウエイト (α_i)	0.9	1.0	0.6	0.3	0.1	0.1

上の斜面では八戸軽石層はすでに削剥されている可能性が高い。今回、傾斜 25° 以上の相対的に急な斜面で崩壊・崩壊性地すべり発生が少ないのは、滑るべき層がすでに削剥されていたためと考えられる。一方、対象地域は丘陵地で傾斜もほとんど 25° 以下のため、100m範囲での起伏量50m以上の場所は少ない。起伏量20m以下の場所は

段丘面の縁辺部や山麓斜面で、崩壊するだけの斜面高さが無いためと見られる。また、地上開度 86° 未満の場所は図-6に示すように、開析谷底部または谷底平野に面する斜面であり、谷侵食の影響を受けた斜面に崩壊・崩壊性地すべりの発生が多いことを示す。

4.4 AHP得点の算出と危険地域評価結果

AHP得点(S)は、ひとつのバッファデータにおいて集計される傾斜・地上開度・起伏量の値に基づく3つの要因内のウェイト(α_i)を用いて算出した。ここでは、3つの要因内のウェイト(α_i)すべてが1.0となった場合に、Sが100点となるように、次の(3)式により与えることとした。

$$S = \frac{100}{3} \cdot \sum \alpha_i \quad \dots\dots\dots (3)$$

図-7および図-8に火山灰被覆丘陵での崩壊・崩壊性地すべりのAHP得点分布図、およびAHP得点ランクごとの崩壊・崩壊性地すべり発生面積率の関係を示す。なお、得点分布図は崩壊・崩壊性地すべりが比較的密に発生した約 15km^2 の範囲について表示した。この評価範囲では、気象庁旧震度階でV一部VIの範囲に入っていて大きな震度の差は無い。また、崩壊多発の一因とされる先行降雨量(5月12日から15日)も $170\sim 200\text{mm}$ の範囲(青森地方気象台, 1968)にある。図-7で、多くの崩壊・崩壊性地すべり発生場所がAHP得点60点以上の得点域に位置しているのが分かる。また、図-8で見ても、AHP得点が高いほど発生面積率が高く、本評価モデルは良好な適合性を示している。

図-6 地上開度 86° 未満の場所の分布図

(a) 解析範囲位置図 (b) AHP 得点分布図
図-7 1968年十勝沖地震による地震斜面変動発生域でのAHP得点分布図

図-8 AHP得点ランクごとの崩壊・崩壊性地すべり発生率
ここでは、データ集計領域（バッファ）内における崩壊・崩壊性地すべりの発生メッシュの割合を「崩壊・崩壊性地すべり発生率」として示した。

5. まとめ-評価手法の特徴と今後の課題

日本地すべり学会では、国土交通省河川砂防技術研究開発課題においてAHP法を用いた地震による斜面変動発生危険地域の評価手法を開発した。まず、2011年東北地方太平洋沖地震を含む過去の地震による斜面変動発生事例から、その起こりやすい地質ごとに斜面変動の運動タイプを整理した。ここでは、評価の対象を発生事例の多い新第三系以降の地質における崩壊・地すべり、及び火山灰層被覆丘陵地における崩壊・崩壊性地すべりとした。次に、斜面変動発生事例の多い地震の場合にはGISを用いた地形・地質要因のデータ取得にもとづく統計解析、少ない場合にはブレーストミングにより要因の抽出を行い、各要因の重みづけの検討を行った。以上から、AHP得点の分布を求め実際の斜面変動分布との適合性を検討し、評価手法を提案した。

次に、その適用例として1968年十勝沖地震による火山灰被覆丘陵地での崩壊・崩壊性地すべり発生危険地域の評価手法について示した。空中写真判読により青森県八戸・五戸周辺の丘陵地で238箇所の崩壊・崩壊性地すべりを確認し、これらの分布域の地形的特徴から、傾斜、起伏量、地上開度を評価要因として挙げた。バッファ移動解析によって要因統計データを取得し、各地形要因の値（ランク）別にバッファ数による崩壊・崩壊性地すべり発生実態を統計的に求め、ランク別のウェイトを決定した。以上から構築された評価モデルによるAHP得点は、実際の斜面変動発生面積率が高いほど大きい結果となり、評価手法は妥当と判断された。

ただし、1968年十勝沖地震による崩壊・崩壊性地すべりは、先行降雨量が大きい条件で発生した。地上開度の面からも谷地形や沖積低地に面する谷壁斜面での多発が認められ、地震だけでなく降雨の影響を受けている可能性もある。地震による斜面変動発生場をより適切に評価するには、精度の高い分布データのある国内外の地震についてさらに検討していく必要がある。また、地震動要因についての検討も必要である。

謝 辞

本研究の実施にあたり、国土交通省水管理・国土保全局砂防部の関係各位、並びに本研究開発に係る意見聴取会委員であった丸井英明新潟大特任教授、吉松弘行技師長（川崎地質株）からは、さまざまなご指導・ご助言を頂いた。ここに心より謝意を表します。

引用文献

- 阿部真郎・林一成（2011）：近年の大規模地震に伴う地震地すべりの運動形態と地形・地質的発生の場合、日本地すべり学会誌，Vol. 48, No. 1, pp. 52-61.
- 青森地方気象台（1968）：昭和43年5月16日の十勝沖地震に関する地震被害速報。
- 青森県（1996）：土地分類図，1/50,000土地分類基本調査「三戸・一戸」。
- Burrough, P. A. and McDonell, R. A. (1998) : Principles of Geographical Information Systems, OI, Ford University Press: New York, 190p.
- Chigira, M. (1982) : Dry debris flow of pyroclastic fall deposits triggered by the 1978 Izu-Oshima-kinaki earthquake: the "Collapsing" landslide at Nanamawari, Mitaka-Iriya, Southern Izu Peninsular, Journal of Natural Disaster Science, Vol. 4, pp. 1-32.
- 千木良雅弘（2012）：4.2地震地すべりと地質，地震地すべり-地震地すべりプロジェクト特別委員会の総括編-，（社）日本地すべり学会，pp. 103-108.
- 濱崎英作・檜垣大助・林一成（2015）：GISに基づく斜面変動予測評価のためのバッファ移動解析と過誤確率分析法-2008年岩手宮城内陸地震での事例研究-，日本地すべり学会誌，Vol. 52, No. 2, pp. 3-11.
- 林一成・濱崎英作・八木浩司・檜垣大助（2015）：バッファ移動解析と過誤確率分析法を用いた地震地すべりの危険度評価モデルの構築，日本地すべり学会誌，Vol. 52, No. 2, pp. 12-18.
- 平成20年岩手・宮城内陸地震4学協会東北合同調査委員会（2009）：平成20年岩手宮城内陸地震災害調査報告書，403p.
- 檜垣大助（1987）：北上山地中部の斜面物質移動期と斜面形成，第四紀研究，Vol. 26, pp. 27-45.
- Higaki, D. and Abe, S. (2012) : Classification of the geology, geomorphology and movement types of earthquake landslides, Earthquake-induced landslides (Ugai, K., Yagi, H. and Wakai, A. eds.), Springer, ISBN978-3-642-32237-2, pp. 37-44.
- 檜垣大助・（公社）日本地すべり学会河川防技術研究開発実施チーム・蒲原潤一（2014）：類型化に基づく地震による斜面変動危険地域評価手法の開発，（公社）日本地すべり学会シンポジウム「大規模地震に備えた地すべり技術の展望」要旨集，pp. 14-17.
- Horiuchi, K., Sonoda, S., Matsuzaki, H. and Ohyama, M. (2007) : Radiocarbon analysis of tree rings from a 15.5-CAL kyr. BP pyroclastically buried forest: A pilot study, Radiocarbon, Vol. 49, No. 2, pp. 1123-1132.
- 堀田報誠・三浦修・田村俊和（1968）：十勝沖地震による青森県南部の斜面崩壊，東北地理，Vol. 20, No. 4, pp. 195-201.
- Kamp, H., Growley, B. J., Khanttak, G. A. and Owen, L. A. (2008) : GIS-based landslide susceptibility mapping for the 2005 Kashmir earthquake region, Geomorphology, Vol. 101, pp. 631-642.
- Keefer, D. K. (1984) : Landslides caused by earthquakes, Geological Society of America Bulletin, Vol. 95, pp. 406-421.
- 経済企画庁（1965）：土地分類図，1/50,000土地分類基本調査「八戸」。
- 黒田和男・垣見俊弘・安藤高明（1968）：1968年十勝沖地震-青森県東南部地域の予察-，地質ニュース，No. 168, pp. 1-17.
- Miyagi, T., Gyawali, B. P., Tanavud, C., Potichan, A. and Hamasaki, E. (2004) : Landslide risk evaluation and mapping-Manual of aerial photo interpretation for landslide topography

- and risk management, Reports of the National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention, No. 66, pp. 75-136.
- 中村浩之・土屋智・井上公夫・石川芳治編 (2000): 地震砂防, 古今書院, ISBN4-7722-4014-C3051, 190p.
- (社)日本地すべり学会 (2012): 地震地すべり-地震地すべりプロジェクト特別委員会の総括編-, 302p.
- 日本地すべり学会河川砂防技術開発研究実施チーム (2013): 東日本大震災における斜面変動発生の特徴とその類型化, 日本地すべり学会誌, Vol. 50, No. 2, pp. 25-30.
- 大上和良・土井宣夫 (1980): 北部北上低地帯の鮮新-更新統の層序について, 岩手大工学部研究報告, Vol. 33, pp. 53-73.
- Rodriguez, C. E., Bommer, J. J., and Chandler, R. J. (1999): Earthquake-induced landslides: 1980-1987, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, Vol. 18, No. 5, pp. 325-346.
- Saaty, T. L. (1980): The Analytic Hierarchy Process, New York, McGraw-Hill Book Company, 265p.
- 杉本宏之・宇都忠和・本間宏樹・武士俊也 (2012): 東北地方太平洋沖地震により白河丘陵で発生した地すべりの発生斜面の地形・地質の特徴, 土木技術資料, Vol. 54, No. 10, pp. 18-22.
- 田中耕平 (1998): 地震による崩壊の発生場所の予測, 地すべり, Vol. 34, No. 4, pp. 35-38.
- 東北地方第四紀研究グループ (1969): 東北地方における第四紀海水準変化, 地団研専報, Vol. 15, pp. 37-83.
- 内田太郎・片岡正次郎・岩男忠明・松尾修・寺田秀樹・中野泰雄・杉浦信男・小山内信智 (2004): 地震による斜面崩壊危険度評価手法に関する研究, 国総研資料, 第204号.
- 八木浩司・山崎孝成・渥美賢拓 (2007): 2004年新潟県中越地震にともなう地すべり・崩壊発生場の地形・地質的特徴のGIS解析と土質特性の検討, 日本地すべり学会誌, Vol. 43, No. 5, pp. 44-56.
- 八木浩司・加藤彰 (2009): 第4章「地盤災害」, 平成20年岩手・宮城内陸地震災害調査報告書, 平成20年岩手・宮城内陸地震4学協会東北合同調査委員会, pp. 55-62.
- 八木浩司・檜垣大助・(社)日本地すべり学会新第三系分布域の地すべり危険箇所調査手法検討委員会 (2009): 空中写真判読とAHP法を用いた地すべり地形再活動危険度評価手法の開発と阿賀野川中流域への適用, 日本地すべり学会, Vol. 45, No. 5, pp. 8-16.
- Yagi, H., Sato, G., Higaki, D., Yamamoto, M. and Yamasaki, T. (2009): Distribution and characteristics of landslides induced by the Iwate-Miyagi Nairiku Earthquake in 2008 in Tohoku District, Northeast Japan, Landslides, Vol. 6, pp. 335-344.
- Yalcin, A., Reis, S., Aydinoglu, A. C. and Yomralioglu, T. (2011): A GIS-based comparative study of frequency ratio, analytical hierarchy process, bivariate statistics and logistics regression methods for landslide susceptibility mapping in Trabzon, NE Turkey, Catena, Vol. 85, pp. 274-287.
- 山崎孝成・鶴飼恵三・丸井英明 (2008): 第5章 地震地すべりの提唱, 中山間地における地震斜面災害-2004年新潟県中越地震報告Ⅱ地盤工学編, (社)日本地すべり学会, pp. 177-200.
- 横山隆三・白沢道生・菊池祐 (1999): 開度による地形特徴の表示, 写真測量とリモートセンシング, Vol. 38, No. 4, pp. 26-34.
- 吉田昌弘・千木良雅弘 (2012): 1968年十勝沖地震によって降下火砕物層に発生した崩壊と風化の関連について, 応用地質, Vol. 52, No. 6, pp. 213-221.

(原稿受付2014年10月7日, 原稿受理2015年2月5日)