

わが国の火山地域における地すべり災害研究の概要と今後の課題

General report of research on landslide disaster in Quaternary volcanic areas

井口 隆^{a)}*

Takashi INOKUCHI

Abstract

A large number of volcanoes are distributed in Japanese Island. Many types of debris disasters occurred on volcanic regions. Volcanic region have particular geological and geomorphological condition. Various types of landslide disaster occurred in volcanic areas. Various researches for such disaster was conducted.

This paper is a review on research on landslide disaster in volcanic region in Japan. This paper describes characteristics of landslide disaster on volcanic regions, historical review of the disasters and researches, recent research findings and task for the future.

Key words : Quaternary volcanoes, landslide disaster, landform, Geological condition, recent study, research task

和文要旨

日本列島には多くの火山が分布している。火山地域は特有の地形地質条件を持つ為そこで生じる土砂移動現象も他の地域とは大きく異なる。日本の火山地域では各種の地すべり災害がしばしば起きてきたため、それらを対象として様々な角度からの研究が行われて来た。本稿は特集号の総説として、火山地域で発生する地すべり災害の特徴、火山地域における地すべり災害の歴史的経緯と研究史について並行的に論述する。また最近の研究成果について概観するとともに今後の研究課題についても論じてみたい。

キーワード：第四紀火山、地すべり災害、地形、地質、最近の研究成果、研究課題

1. はじめに

環太平洋の北西端に位置するわが国は火山国であり、国内には80余の活動火山と200あまりの第四紀火山が分布している（図-1）。この様に多数の火山を有するわが国においては、火山地域に生じる地すべり現象によってもたらされる土砂災害は少なくない。近年発生した地すべり災害の中にも火山地域で発生したものが数多く見受けられる。火山地域で発生する地すべり災害には大規模な現象が多く含まれ、しかも高速で長距離流下する事例もあることからしばしば甚大な被害をもたらす。そのため火山地域は地すべり災害防止・防災対策上極めて重要な地域となっている。

火山地域は特有の地形・地質条件を持つと同時に、そこでの地すべり発生の誘因には多岐にわたるものがある。そのためこれらの地すべりを始めとする土砂災害の発生状況は他の地質地域とは異なっており、他地域での研究成果をそのまま適応することは難しく、独自の調査・研究・対策が不可欠である。そういった点を踏まえ、日本地すべり学会においては平成10年より「火山地域の地すべり災害に関する研究委員会」を設けてこれに関する議論を行ってきた。また、同委員会が中心となり学会の研究発表会に火山地すべりのセッションを3年間にわたって設け、関連研究の口頭発表を広く組織してきた。この特集号はこれら一連の研究をふまえ最近の研究成果の集約を目的に取りまとめたものである。

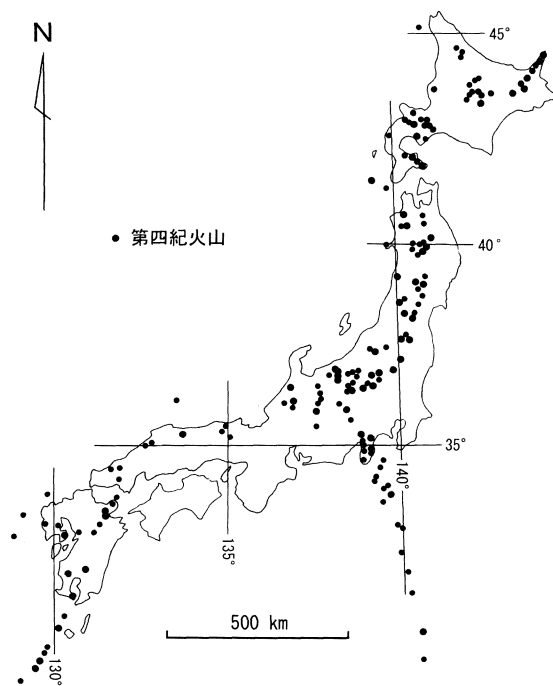


図-1 日本列島の第四紀火山分布
Fig. 1 Distribution of Quaternary volcanoes in Japan

本稿は特集号の総説として、日本の第四紀火山地域で生じた地すべり災害全般について概観するとともに、これまでの研究成果についてもできる限り広く網羅することにより現在の到達点を明らかにし、今後の研究課題等についても提示することを目指している。

なお、この特集号で対象とする「地すべり現象」は、研究委員会での議論も踏まえて、狭義の「地すべり」だ

* 連絡著者 / corresponding author

a) 防災科学技術研究所 総合防災研究部門
National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention
〒305-0006 茨城県つくば市天王台3-1
Tennno-dai 3-1, Tsukuba, Ibaraki, 305-0006, Japan

けでなく、斜面崩壊なども含めた幅広い意味での地すべりである。

2. 地すべり発生場としての火山地域の特徴

2.1 火山地域で地すべり災害が多い要因

火山地域において地すべりを始めとする土砂災害が頻発する要因は多岐にわたる。それは大きく見て、火山体が元々持っている不安定化しやすい要因（=素因）と、火山体においては多様でしかも頻繁に生じている発生の引き金（=誘因）、の2つに分けて考えることができる。

第一の火山体を持っている不安定化しやすい条件（素因）としては、多くの火山は周囲に比べて標高が高く、持っている位置エネルギーが大きいこと、急勾配の斜面の割合が大きいことなどの地形的条件である。さらに溶岩・火砕岩など脆くて崩れ易い岩石から構成されているという地質的要件、さらに噴気などによって変質が進み、岩石の強度は著しく低下するなど火山活動などをあげることができる。

第二の要因としての誘因には多種類の現象が作用している。まず火山の多くは地震の多発地域であるプレートの潜り込み地帯にあるため地震の震源域に近いこと。次に、標高の高い火山には気流などの影響で雨や雪が周囲よりも多量に降る傾向があり、また積雪量も多いため熱が加われば急激な水の供給源となり得ること。そして、火山体自体を形成する火山活動も土砂災害発生の有力な誘因となることがあげられる。この様に地震・豪雨・融雪など一般的な誘因に加え火山噴火という特有の要因が加わることもあって火山地域では地すべり・斜面崩壊が起きやすい。

以上2つの火山地域特有の要因が組み合わされることによって、地すべり災害の発生に至ると考えられる。そのため、火山地域における地すべり災害研究においても両方の側面に留意する事が求められる。以下、特に第一の要因である素因を中心に個別的に見てみたい。

2.2 火山地域の地形的特徴

第四紀火山の地形はそれ以外の地質で構成される地域とは大きく様相を異にしている。図-2に国土地理院の50mメッシュ数値標高データから作成した乗鞍火山周辺の傾斜分級図（田中ほか 1999; <http://lsweb1.ess.bosai.go.jp/keisya/>）を示したが、図の中央やや左上にある第四紀火山岩で構成される地域は図の下部から右下部を構成する非火山地域の山地とは一見して異なる傾斜分布のパターンを呈している。このような差異は、他の地質地域と比べて地形を構成する基本単位が大きいことや谷の発達形態が大きく異なること、さらに緩斜面と急斜面のコントラストが大きいことなどに由来すると考えられる。

このように特有の地形が形成される要因としては、まず第一に火山地形が侵食作用と噴出物による堆積作用という全く正反対の地形営力が複雑に作用して形成された点をあげることができる。同じ火山から噴出したもので

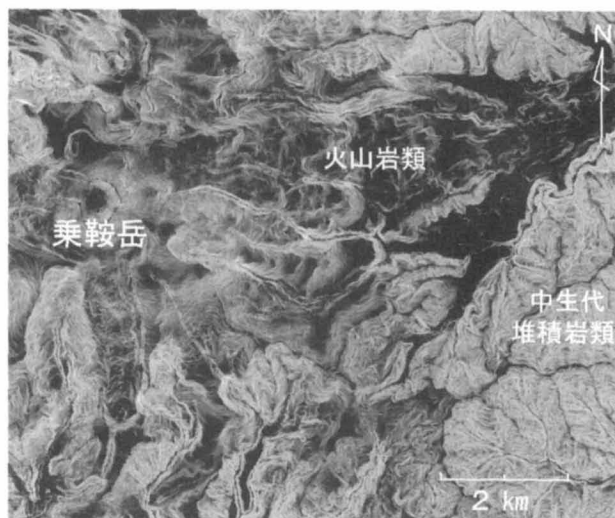


図-2 乗鞍火山周辺の傾斜分級図
Fig. 2 Slope map around Norikura Volcano

あってもその性質によって全く異なる地形を呈する。侵食作用についても火山活動で生じた堆積物などによって水系が乱されて定向的な侵食が阻害される事によって、非火山地域と比較すると規則性に乏しい。第二に火山地形が形成される時間が極めて短い点である。火山体が開析される速度は非火山地域に比べて速く、古い地形面は急速に侵食される。その一方で新規の噴出物によって埋積や被覆が進むために、古い地形が長期間残存することは少ない。さらに有珠山の噴火で生じたような火山活動に伴う激しい地殻変動の影響なども無視できない。

このような火山地域に特有の地形条件と土砂災害の発生との関連性についての研究例としては、地すべり学会研究発表会での南・川邊（2000）の報告などがある。

2.3 火山地域の地質条件

日本列島に分布する火山のタイプの中でもっとも多い成層火山は各種の火山噴出物が成層して山体を形成している。火山噴出物の種類も溶岩、火砕流堆積物、火山弾、降下火山灰などその岩質は多様性に富んでいる。火山噴出物以外にも湖沼堆積物や土石流・崩壊堆積物など土砂移動によって形成された堆積物を挟在する場合も多い。これらの堆積物は粒度や密度、固結度などに差を持ち、その力学的強度・透水性・風化に対する抵抗力などが大きく異なる。そのため、特定の層準が弱層となったり不透水層として作用したりする。

地質との関連についての最近の研究成果の中で特筆すべきは、カルデラで形成された凹地内に堆積した湖沼堆積物と大規模地すべりの分布との関係について論じた大八木の一連の研究がある（大八木，2000など）。また山体の地質断面の堆積状況を詳細に調査した例としては、磐梯山1888年の崩壊壁を対象に斜め空中写真の図化と写真判読による井口ほか（1995）などの研究例がある。

2.4 火山地域における水文地質環境

第四紀火山地域においては水文地質条件も大きく異

なっている。タンクモデルを用いて全国の河川を比較した植原・佐藤（1983,1985）は、第四紀火山が分布する流域での流出特性が他の地質の地域とは大きく異なり、保水力が大きいという傾向を持つ事を指摘した。これは一旦地下に浸透する水が多く、基底流量は小さい。その一部は山麓で豊富な湧水として湧き出し、他は地熱や火山噴気・熱水と作用を受け温泉として湧き出している。

火山体の周辺には一般に温泉が多く分布している。一方温泉ではなく名水百選に選ばれるような湧水を山麓に湧き出すような火山も多く存在する。具体的にこれが土砂災害発生にどのように関与しているかについては検証が必要だが、火山地域の土砂災害の発生に関わる要因となっている可能性もある。安形（1999）は火山体の湧泉からの流出量を指標として火山体の開析度について論じている。

2.5 火山活動の関与（噴気・変質作用）

活動的な火山や火山活動が終息していない火山においては直接のマグマの噴出活動に加えて地下のマグマなどに由来する噴気・熱水が割目などを通じて地下浅部に達する事によって岩石に変質作用をもたらし、地すべり発生の要因として作用するなど、火山活動に関する要因が作用している。また山体直下へのマグマの貫入が山体の変形をもたらし大規模な崩壊につながることもある。火山性地震や噴気・熱水による変質作用と粘土化による強度低下も地すべりの発生につながる。噴気・変質作用による地すべり発生に関する研究としては、昭和38年から40年度にかけて科学技術庁の特別研究促進調整費（特調費）によって実施された「火山性地すべりの発生機構および予知に関する研究」の報告書がある（国立防災科学技術センター、1965、同、1966）。

その他火山活動は直接、間接を問わず土砂災害の要因になる。たとえば、ネバデルルイス火山で起きた泥流災害の様に、氷河に覆われるか冠雪している火山において、火砕流など噴出物の熱によって解けた融雪水によって泥流などの被害が生じる事例もある。他方、火山噴火によって噴出した降下火山灰に覆われた地域は著しく透水性が低下し、わずかな降雨によっても表面流出が起き、泥流・土石流などの土砂災害が生じやすくなる。

このように火山において生起するさまざまな活動が火山体における地すべり災害の発生を規制している。

2.6 多岐にわたる誘因が複合的に作用する

2.1で述べた様に火山地域は地すべり・斜面災害の誘因となる地震動・火山活動・豪雨・融雪・地殻変動など様々な現象のほとんど全てが複合的に作用する場所である。日本列島のようなプレートの沈みこみ帯における地震の発生域は火山分布と並行しているため、火山の近傍で発生する地震は少なくない。気象現象に関しても、火山体が周囲に比べて高く聳えているという地形的な要因によって、上昇気流を発生しやすい状況を作り、降雨量や積雪量を増大させる要因となる。さらに火山活動は他

の地質地域では作用しない特有の営力である。個々の誘因では地すべり現象に至らない程度の作用であってもこういった様々な誘因が複合的に作用することによって、安定性が低下することにより地すべり変動を起こす条件は他地域と比べてもより高いといえる。

3. 火山体で生じる地すべり災害のタイプと特徴

前節で述べたように特有の諸条件を持った火山地域で生起する地すべり現象は非火山地域のものとは異なった特徴を有する。火山地域で生じる土砂移動現象の特徴についていくつかの視点から考えてみたい。

(1) 発生する地すべり変動のタイプに多様性がある。

2節でも述べたように、火山体には様々な地形・地質条件が混在している。そのため発生する土砂移動現象の種類が極めて多い。円錐形の成層火山に起きる山体崩壊・岩屑なだれ、急斜面に起きる落石・岩盤崩落、広大な火山斜面上に生じる大規模地すべり、変質地帯に生じて長距離を流下する火山性地すべり、大規模な山体崩壊など多様な地形条件・地質条件もあって火山地域において発生する土砂災害の種類は極めて多彩である。例えば井口（2000）は火山地域で発生する地すべり災害を大きく8つのタイプに分けて論じている（表-1）。

(2) 地すべり変動の規模も多様で極めて大規模な現象が含まれる。

火山地域で生じる斜面変動は小規模な表層崩壊・落石から大規模な山体崩壊や地すべりまでその規模は多様である。その中でも規模の大きな土砂移動現象がしばしば生じているのが火山地域の土砂移動の特徴である。1888年に磐梯山で起きた山体崩壊をはじめ1km³を超える変動も歴史時代を含め数多く生じている。町田ほか(1987)は日本列島に分布する10⁷m³以上の規模を有する崩壊地形（333箇所）のうち、第四紀火山地域で生じたものが30%、火山岩地域全般では74%と極めて高い比率を占めていることを明らかにした。狭義の地すべりに関しても大規模なものの多くは火山斜面に多数分布している。防災科学技術研究所の「地すべり地形分布図」の刊行によって、八幡平や焼石岳などいくつかの火山体には幅・奥行

表-1 火山地域の地すべり運動のタイプ分類
Table 1 Type of landslide movements on volcanic area

	運動のタイプ・規模	火山型	発生場所	地 質	主な誘因
A1	巨大崩壊・岩屑なだれ	円錐火山	山体上部	挟在層?	噴火(地震)
A2	大規模崩壊・岩屑なだれ	成層火山	尾根稜線面	挟在軽石層	地震(豪雨)
A3	中規模崩壊→土石流	成層火山	崖斜面	崖錐堆積物	豪雨・融雪
A4	多発型表層崩壊→土石流	開析火山	開析谷頭	表層堆積物	豪雨
B1	大規模地すべり	鍋底状火山	山腹・山麓	帽岩	地下水?
B2	火山性地すべり		地すべり地形	噴気変質帯	雨・融雪
C	落石・崩落・トッブル	開析火山	急崖・節理	溶岩	地震・融雪・融解
D	非崩壊型土石流	噴火後火山	開析谷内	降下火山灰	小雨

きが数キロメートルに及ぶような大規模な地すべりが多く分布している事が明らかにされてきた。発生頻度は低いとはいえ、ひとたび発生すればその規模が大きく影響範囲の広い事が特徴である。

(3) 高速流下現象、長距離移動現象が生じる事例が多い。

1888年磐梯山や1980年セントヘレンズ火山の様に山体の巨大崩壊に伴われる岩屑なだれは時として数十キロ以上の距離を流下する。例えば八ヶ岳から流下した韭崎岩屑なだれは釜無川の七里ヶ岩付近に厚く堆積しているが、さらに甲府盆地の南の曾根丘陵付近にまで達している(三村ほか, 1982)。また最近の例では御嶽山1984年崩壊では、崩れた土砂が12kmも流下している(Inokuchi, 1985)。1997年の八幡平澄川地すべりでは本体の地すべり移動体は約100mの移動で停止したが、流動化した一部の土砂は数kmも流下して温泉に被害をもたらし(田中・井口, 1998)。Ui (1983) は火山地域と非火山地域での土砂移動現象を比較し、火山地域のものは他の地質地域よりも流動性が高いことを明らかにしている。

4. 火山地域における地すべり災害の発生履歴と研究史

火山地域の土砂移動現象を対象とした研究は、大規模な地すべり災害発生を契機に集中的に進められることが多い。そこで過去、日本列島の第四紀火山で生じた主な土砂災害の発生履歴を振り返りつつ、それに対しての調査・研究の経緯についても触れてみたい。表-2に有史時代に生じた主な地すべり災害を年表形式で示した。

歴史記録に残されている火山地域の土砂災害で最も古い時代のものは、818年の地震によって起きたとされる赤城山三夜沢の崩壊と888年に発生したと言われる大月川岩屑なだれ(河内, 1983a, 1983b)の災害である。これらについては古文書の記述があるが、いずれも伝聞的な内容にとどまっているため、発生場所も推測の域を出ず、変動の詳細も不明である。

比較的確かな記録が残されている16世紀以降江戸時代末期までの間に火山地域で起きた主な地すべり災害としては、1596年の別府湾地震によって高平山-水口山火山群で起きた津江岩屑なだれ(星住ほか, 1988)、1640年の北海道駒ヶ岳の崩壊(吉本・宇井, 1998; 勝井ほか, 1975)、1741年の渡島大島の山体崩壊(勝井ほか, 1977)、1792年の雲仙眉山の山体崩壊(古谷, 1983)、1783年の浅間火山鎌原岩屑なだれ(荒牧ほか, 1986)、1858年の立山鳶崩れ(Ouchi and Mizuyama, 1989)などがある。この時期になると発生地点や災害の経緯に関する詳細な記述が古文書に残されている。また絵図などが描かれた場合もあり、現在の地形・地質調査と照らし合わせて研究を行なう事ができる。特に眉山崩壊と鳶崩れの2つのイベントに関しては災害前後に描かれた絵図を含めてかなり詳細な記録が残されており、それらに基づいて崩壊前の山体を復元する試みや当時の現象を再現する試み

でも行われている。

明治維新から第二次大戦終戦までの間には磐梯山1888年の山体崩壊-岩屑なだれ(Sekiya and Kikuchi, 1990)、1911年には白馬大池火山の稗田山で発生した崩壊(青木, 1984)、1926年十勝岳の泥流災害(多田・津屋, 1927)など大きな被害を出した地すべり災害が発生している。この時期になると災害発生直後に研究者が現地調査を行ない、詳細な調査報告を出すなど、かなり先駆的な研究が行われている。そのうちSekiya and Kikuchi (1990)の報告や十勝岳泥流の多田・津屋(1927)の報告などは最近でもしばしば引用されるなどその意義は大きい。

戦後に起きた災害としてはまず1947年のカスリン台風によって赤城山腹に発生した無数の崩壊から生じた土石流で山麓に土砂災害が起きた。これに関しては当時の著名な学者らによる総合的な調査が実施され、報告書として「カスリン颱風の研究」が群馬県から刊行された(群馬県, 1950)。また1953年には箱根早雲山において大規模な火山性地すべり災害が発生した(岸上・小坂, 1954)。その後この災害の前後に箱根火山の大湧谷や霧島火山の霧島温泉を始めとした火山性地すべりが多発したこともあって、前述の様に特別研究促進調整費による「火山性地すべりの発生機構および予知に関する研究」が大湧谷・早雲山を対象フィールドに行われた。そこでは地質調査所・国土地理院・国立防災科学技術センターなど複数の機関による大がかりな研究が進められ、その成果は5冊の報告書として刊行された(藤井ほか, 1966など)。1957年に多良岳山麓から諫早市にかけて襲った諫早豪雨がもたらした大災害も赤城山と同様に開析された火山における無数の斜面崩壊が多量の土砂を下流に及ぼしたことが、洪水と相まって大きな災害をもたらし最大の原因であると言える。

その後しばらくは顕著な火山地域の地すべり災害はなかったが、1978年5月には妙高火山の土石流災害、1982年の四阿山の北壁を刻む谷壁で生じた崩壊を起源とする須坂土石流災害(水谷ほか, 1982)など崖錐斜面上に発生した中規模の崩壊が生じている。

そして1984年の長野県西部地震による御嶽山の尾根部に生じた大崩壊では、山腹の尾根に生じた大崩壊は岩屑なだれとして12kmも流下し多数の死者を出した(Inokuchi, 1985)。その4年前にはアメリカのセントヘレンズ火山で巨大な山体崩壊・プラスト・岩屑なだれという事件が起きたこともあって、多くの研究者・専門家が調査・研究を行ない、この分野での研究と認識は大いに進んだ。また、これを契機に砂防学会と日本地形学連合による研究交流などが実施されるなど異なる分野の研究者の研究交流もかなり進められた。1985年に開催された日本地形学連合の「火山体の解体及びそれに伴う土砂移動」シンポジウムとその後出された論文集では、火山体の解体における大崩壊の意義、岩屑流の流動プロセス、地形特性と発生条件、など総合的な議論が展開されている。

表－２ 有史時代に日本国内の火山地域で発生した地すべり災害年表
Table 2 Time table of landslide disaster in Japanese Island on volcanic area

火山／場所	発生日月	現象の種類	長期的要因	短期的要因	死 者	文 献
赤城山／三夜沢	818/	崩壊→岩屑流	？	地震	多数	
八ヶ岳／大月川	888/	崩壊→岩屑流		？	多数	河内,
水口山 (別府)	1596/ 9/ 4	崩壊→岩屑流		地震 (大雨?)	多数	星住ら, 1988
駒ヶ岳／クルマ坂	1640/ 7/31	崩壊→岩屑流		火山噴火	700名	勝井ら, 1989
荒島岳／ ？	1726/ 4/20	斜面崩壊?		(融雪?)	470名	大八木1986
渡島大島／西岳	1741/ 8/23	山体崩壊津波		火山活動?	1475名	勝井ら, 1977
雲仙岳／眉山	1792/ 5/21	崩壊→岩屑流	溶岩円頂丘	火山活動	15000	片山
恵山／榎法華	1846/	泥流, 土石流		溶岩円頂丘?	多数	勝井ら, 1983
立山／鷲くすれ	1858/ 2/26	崩壊		地震 (M6.9)	多数	町田, 1983
磐梯山／小磐梯	1888/ 7/15	崩壊→岩屑流	火山体の構造?	水蒸気爆発	461名	関谷ら, 1890
霧島／韓国岳	M30年代?	崩壊		？	？	小田
有珠山／	1910/ 7/10	泥流		爆裂	1名	横山ら, 1978
箱根／大涌谷	1910/	地すべり	火山変質	雨	6名	小出, 1955
白馬大池／稗田山	1911/ 8/ 9	崩壊		？雨 (3日前)	17名	建設省1983
霧島／硫黄谷明礬	1911/ 9/21	山津波	火山変質?		50数	
箱根外輪／根府川	1923/ 9/ 1	崩壊→岩屑流		地震		
十勝岳／十勝川	1926/ 5/24	泥流		火砕流＋積雪	144名	多田ら, 1926
白馬大池／風吹岳	1936/ 5/23	(山津波)	火山変質?			柵山
磐梯山／川上温泉	1938/ 5/15	崩壊、土石流	岩屑の堆積	融雪	2名	飯田, 1938
霧島／硫黄谷温泉	1942/ 8/24	地すべり	火山変質?		16名	露木, 1980
赤城山／	1947/ 9/15	崩壊／土石流	開析谷の発達	大雨 カスリ台風	多数	群馬県
霧島／霧島温泉	1949/ 8/16	地すべり	火山変質?	大雨 (865mm)	36名	羽田野1986
箱根／早雲山	1953/ 7/26	地すべり	火山変質	梅雨期地下水	9名	小出, 1955
磐梯／1888加がう壁	1954/ 4/ 3	カルデラ崩落	急崖、火山変質	融雪&雨?	－	佐藤ら, 1956
霧島／新湯温泉	1954/ 8/18	地すべり	火山変質	大雨 (台風)	4名	羽田野1986
多良岳／	1957/07/25	崩壊／土石流	開析谷の発達	諫早豪雨	多数	橋, 1974
妙高／南地獄谷	1957/12/13	地すべり	火山変質	融雪?	2名	早津
八幡平／トロ 温泉	1961/	地すべり	火山変質?			
鶴見岳／別府明礬	1966/ 6/ 6	地すべり	火山変質	大雨		砂防史
十和田／	1968/ 5/16	崩壊→泥流	潜在軽石層	十勝沖地震		
霧島／手洗温泉	1971/8/3・5	地すべり	火山変質	大雨		露木ら, 1980
妙高／南地獄谷	1971/12/31	地すべり	火山変質	融雪?	1名	早津
八幡平／蒸ノ湯	1973/ 5/12	地すべり	火山変質	融雪?	－	橋, 1974
桜島／野尻川跡	1974/ 6/17	土石流	火山灰の堆積	雨	8名	砂防史
始良／牛根麓	1975 6/16	崩壊	カルデラ壁		7名	
岩木山／百沢	1975/ 8/ 6	土石流	崖錐堆積	大雨 (前線性)	22名	調査委
始良／竜ヶ水	1977/ 6/24	崩壊	カルデラ壁	大雨	9名	
伊豆／見高入谷	1978/ 1/14	崩壊	潜在軽石層	地震		
妙高／白田切川	1978/ 5/18	崩壊、土石流	崖錐堆積	融雪	13名	早津
有珠山／	1978/10/24	泥流	降灰	雨	3名	勝井, 1989
富士山／須走り	1980/ 8/14	落石	急崖に溶岩露出		12名	
四阿山／宇原川	1981/ 8/23	崩壊→土石流	崖錐の堆積	大雨 (台風)	12名	水谷ら, 1982
三宅島／大路池	1983/10/ 4	崩壊	急崖	火山性地震	－	田中,
御嶽山／伝上川	1984/ 9/14	崩壊→岩屑流	潜在軽石層	直下型地震	15名	井口, 1985
御嶽山／松越	1984/ 9/14	崩壊	潜在軽石層	直下型地震		田中, 1985
御嶽山／御岳高原	1984/ 9/14	崩壊	潜在軽石層	直下型地震		田中, 1985
桜島／野尻川ほか	1980年代	泥流／土石流	火山灰の堆積	雨		
大雪山／層雲峡	1987/ 6/ 9	落石	溶結凝灰岩の崖	雨?	3名	勝井ら, 1988
阿蘇山／根子岳	1990/ 7/ 2	崩壊、土石流	火山灰層の堆積	雨		大八木
雲仙／水無川ほか	1991/ 5・9	土石流	火山灰の堆積	雨	－	
始良／竜ヶ水ほか	1993/ 8/ 6	崩壊／土石流	カルデラ壁	豪雨		森脇ら, 1995
白馬大池／蒲原沢	1996/12/ 6	崩壊→土石流	前年の崩壊跡	融雪	14名	
秋田焼山／澄川	1997/ 5/11	地すべり	火山変質	融雪	－	

1997年5月には融雪をきっかけとして秋田焼山の山麓部において澄川地すべりが起きた。この地すべりでは発生直後に水蒸気爆発が生じ、また地すべり土塊の一部が流動化して長距離流下を起こして注目を集めた。そのため日本地すべり学会・土木学会など各学会の調査団による緊急の調査が行われたほか、科学技術振興調整費や科学技術研究費補助金 (科研費) の緊急研究等が実施され、多くの研究成果が得られた (柳沢ほか, 1998)。

5. 最近の研究成果の概要

最近実施された研究からいくつかの成果を紹介してみ

たい。

5.1 磐梯山を対象にした調査研究とその後の進展

磐梯山は大規模な山体崩壊・岩屑なだれを起こした火山として注目されていたが、1988年が災害発生の100周年に当たることから地学雑誌において特集号が組まれ、「磐梯山・猪苗代の地学」として発行された。この特集号ではそれまでの研究成果の総括を始め、水蒸気爆発や山体崩壊の発生状況等について、地形学・地質学・火山学はもとより植生・水質・土地利用・住民の行動などの面を含めた総合的な取りまとめが行なわれた。

その後、磐梯山については1990年より5年間にわたり

旧科学技術庁の科学技術振興調整費によって実施された「火山地域における土砂災害予測手法の開発に関する国際共同研究」において多くの研究機関を結集した共同研究が実施された。これは山体崩壊を幾度か起こした履歴を持つ磐梯山を研究対象にして、地形解析、ボーリング調査やトレンチ掘削による地質調査、各種物理探査など多機関の共同による総合的な研究の展開することによって崩壊発生場の解明を行なおうとしたものである。その中では国土地理院を中心とした磐梯山の地形解析、防災科学技術研究所によるボーリング掘削と空中電磁探査、農工研による山体を横切る測線による比抵抗電気探査、地質調査所による堆積物のトレンチ調査など多岐にわたる調査・解析が行われた。その結果、物理探査の有効性の検証やすべり面と推定される深度に凝灰岩層を見出すなどの成果を得た。それらの成果の一部は論文集「磐梯火山」として論文集に取りまとめられた。

さらに磐梯山で実施した研究手法がより古い時期の山体崩壊にも適応できるかを検証するため、防災科学技術研究所の特別研究「斜面災害の発生機構に関する研究」が、1994年より山形県の白鷹火山を対象として行われた。磐梯山の一部を引き継ぐ形で各種物理探査手法を用いた構造調査とボーリング掘削など研究が展開された。これに関する個々の研究成果については本特集号にも報告されているように（中里ほか，2003）一定の成果を上げた。しかし研究全般にわたる成果の総合的な取りまとめについては、本研究の担当者であった田中耕平氏が1999年に急逝されたことから不十分なままに終わっていることは残念である。

5.2 澄川地すべり災害と関連する研究活動

1997年5月に秋田焼山山麓で起きた八幡平澄川地すべり災害を受けて多くの学会の調査団による緊急調査（地盤工学会，日本地すべり学会・砂防学会合同，土木学会など）が実施された。また科学技術振興調整費の緊急研究（科学技術庁研究開発局，1999）や科学研究費補助金の突発災害研究（柳沢ほか，1998）が実施され，それぞれ詳細で多岐にわたる内容の報告書が発行された。この中では地すべり発生と水蒸気爆発との関連や長距離流下した岩屑なだれの運動状況に関して詳しい解析が行われた。

また地すべり学会においてはこの澄川地すべりを契機として，翌々年に研究調査委員会が発足した。約10名の委員からなる委員会では各自の研究成果をもちより，特に学会における研究発表会に火山地すべりのセッションを3年間にわたって設定して多くの関連発表を組織することができた。学会発表においては火山地域で起きる地すべり現象が多岐にわたることから，内容的に焦点を絞り切れない面もあったが，各分野からの有意義な研究成果が寄せられた。今回の特集号にも研究調査委員会の成果による寄稿もある。

寄せられた論文は前述の防災科学技術研究所において

実施された特別研究の共同研究者によるものと地すべり学会の研究調査委員会に参加した成果の一部を集めたものである。

5.3 最近の火山噴火に伴って発生した地すべり災害に関する研究

1990年代以降，雲仙普賢岳の噴火活動に伴う火砕流・泥流災害，有珠山の噴火と地殻変動，三宅島の噴火と伴った地震による斜面災害など噴火活動に伴う土砂災害が多発してきた。これらに対する研究報告も多数出されている。

雲仙普賢岳では大量の噴出物が山腹に堆積し，わずかな降雨によっても土砂災害が起きている。これに関しては平野ほか（1994）などの研究成果が報告されている。

1999年の有珠山噴火の直前には外輪山の北斜面が北の洞爺湖側に移動する変動があり，また噴火開始後には南西麓などに顕著な地殻変動を生じた。これに関しては田近ほか（2000）の研究発表がある。

5.4 その他の最近の研究動向と成果

以上の記述で述べきれなかったほかにも特筆すべき成果は多い。その一端を紹介する。

(1) 地質学的な調査・研究

個別の火山体の山体形成史を綿密な地質調査に基づいて組み立てることは長い年月と根気のいる仕事であるが，極めて重要な研究である。特に山体だけでなく，山麓まで広がる流下堆積物などを含めた調査を行なうことは大規模な岩屑なだれや地すべり災害の発生履歴を明らかにする上でも極めて重要である。こういった山体の形成史や大規模崩壊の発生なども含めた形成史に関する研究成果としては，妙高火山を精力的に調査した早津（1985），岩手火山のホームドクターと称される土井（2000）など長年の野外調査に基づいた特筆すべき成果がある。こういった成果はハザードマップを作成する上でも重要な基礎資料となる。その他の火山においても地質図作成の一環としての鳥海火山・御嶽火山の研究，長年のグループ研究に基づく多数の報告がある八ヶ岳火山などの成果がある。こういった地道な研究は火山体の地すべり災害の起きる時期や場所を解明するための研究として今後も期待される。

(2) 岩石磁気学的研究

これは岩屑なだれなどの流下堆積物中に残された残留磁気の方位を測定することによりどのような性格の流れであったかを推定する研究手法である。三村ほか（1982）は当時韭崎泥流と呼ばれていた岩屑なだれ堆積物の流れ山の各所から採取した岩石を対象に磁化方位の測定を行ない，一旦火山体を構成した堆積物が崩壊し流動した事を明らかにする先駆的な研究を行なっている。また最近では酒井ほか（1995）はボーリングコアなど累重した堆積物の残留磁気の測定を行なうことによって，運動の様式やその温度履歴を明らかにしようという研究を行っている。さらに残留磁化方位だけでなく，帯磁率異方性

から流下方向の推定を行なう試みも行われている（酒井ほか，2003）。

6. 火山地域の地すべり災害に関する今後の研究課題

6.1 過去の災害事例の見直し・再調査

火山地域に限らず過去の土砂災害の実態に関しては定説として公知されていたことが後の調査研究によって疑問符が付けられるという例は少なからずある。例えば、浅間火山1783年噴火の最終段階で起きた「鎌原泥流」は比較的低温の火砕流とされていたが、荒牧ほか（1986）は堆積物のトレンチ調査を行ない、流下中の火砕流が斜面物質を大量に取り込むことによって岩屑なだれ的な運動様式に転化したことを明らかにした。さらに、この岩屑なだれ化に関して井上ほか（1994）は噴出源の下方にあった沼の水が大きく関与したという考えを出している。1926年の十勝岳大正泥流は山頂噴火で生じた火砕流が山頂付近の積雪を大量に溶かす事によって泥流化したと考えられていたが、最近の調査によって中央火口丘で生じた崩壊によって生じたのではないかとという新たな指摘も出されている（堀ほか，1997）。1997年の澄川地すべりにともなって生じた高速の土砂流動現象に関しても「岩屑なだれ」とする報告や「土石流」と解釈する研究など諸説がある。またこの堆積物はいくつかの層相にわかれるが、これら複数の堆積物の起源についても、別個に流下したとする多くの考えに対して、同時に流下した多層流によってもたらされたという解釈も出されている（堀・中島，2000；堀，2000）。この様に地すべり発生に伴う土砂移動現象の実態については当初の調査研究による解釈と異なる見方が出される場合がある。今後の災害予測を行なう上でも正確な実態の解明は重要な課題であり、それによって対処の仕方も異なる場合がある。今後も過去に生じた地すべり災害の実態を新たな手法も含めた多角的な調査・研究によって見直す必要もあると考えられる。

6.2 火山体の内部構造の把握手法の開発

1984年の御嶽山大崩壊が軽石層をすべり面として発生したことにも見られるように、火山地域で生じる大規模な斜面崩壊では特定の層準において滑りを起こした事例がいくつか指摘されている。火山体は多様な火山噴出物が複雑に堆積している事から、強度や透水性の大きく異なる堆積物が相前後して重なり合ってくる場合もある。また固い溶岩層の下に固結度の低い軽石やスコリア層が存在することもあり、単に地下深部に向かって強度が増して徐々に固い岩盤に移行していくものではない。また火山性地すべりは熱水変質で生じた粘土層の分布状況が発生場の鍵を握る。さらに、地すべり発生の要因となる地下水や熱水の賦存状態など火山体の水文地質構造を把握することも重要な今後の課題である。

火山体内部のどの部位に滑りを起こしやすい堆積物や地下水がどのような形態で挟在するのか、変質作用に

よって生じた粘土層の分布などを明らかにできれば、地すべりや崩壊を起こす危険性の高い斜面をより高い確度で推定することが可能となるだろう。現在の探査手法はその精度・解像度の点で必ずしも満足出来るものではないが、技術革新によって将来的にはより高い性能が期待される。そのためには各種の探査手法の適合性の検討や解析手法の向上に加え新たな手法の開発や有用性の検証などが求められる。

6.3 長距離流動機構の解明

1888年の磐梯山岩屑なだれ、1984年の御岳、1974年の澄川地すべりなどの様に火山地域で地すべりによって発生する土砂移動現象には高速で長距離を流下する低摩擦角の流動現象が数多く発生している。こういった高速で長距離を流下する現象のメカニズムについては各種の仮説が提唱されている。しかしこれらについては必ずしも実証的に解明されているわけではない。今後、個々の現象の運動機構を解明するとともに、どういった条件下において高速で長距離を流下する運動が発生するのかや流下堆積範囲を推定するための研究は不可欠である。山体崩壊にともなわれる岩屑なだれの様に大規模な現象は実験的に再現することが難しいため、既往の発生場所における綿密な調査や的確なシミュレーションなどの手法が必要である。

6.4 開析過程に着眼した火山の分類とそれに基づく地すべり現象の予測

これまで行われてきた火山の分類には火山の地形的特徴に基づくものや溶岩の化学成分を指標としたものなどが主に行われてきた。しかし斜面防災という観点に立つと、各々の火山体がどういったプロセスを主体に侵食・開析が進んでいくのかが重要であり、そういった観点からの火山分類はあまり見られなかった様に思われる。

Inokuchi（1994）は東北地方に分布する30あまりの火山体を対象に、過去に生じた大規模な土砂移動現象の種類を地形・地質的痕跡から調べ、大規模な地すべり地形（狭義）を多く有する火山と巨大崩壊を繰り返し発生してきた火山に分けられる事を見出し、「崩壊開析型」と「地すべり開析型」とその「中間型」の3つに分けて論じた。このように、火山ごとに卓越して発生する地すべり現象の種類は特定できると思われる。また同じタイプの火山においてもその発達史のステージによって卓越する開析現象は次第に変化していくと予想される。そういった観点に基づいた火山分類と発達史的段階を組み合わせることによって、火山ごとにあらかじめ起きる可能性の高い現象を絞りこんでおくことが出来れば、多様な土砂移動現象が生起する火山において、斜面防災対策により有効な指標となるだろう。

そのためには多数の火山を対象として開析過程という観点から発生する地すべり現象の種類と発生時期に関する詳細な調査・分析を行なう必要がある。これは単に火山体を構成する火山岩だけでなく、火山体の基盤となる

部分の地質構造も含めて総合的に調査していく必要がある。

6.5 火山ハザードマップの作成への貢献

ここ数年、多くの活動火山において火山噴火を対象にしたハザードマップの整備がかなり進んできた。これまでは社会的な影響が大きいと作製が困難であると考えられていた富士山でもハザードマップ作成に向けた取り組みが進められている。しかし火山地域において地すべり災害の発生予測は災害の防止・軽減にとって不可欠であるにもかかわらず、これまでに作成された各火山のハザードマップは、地すべり災害の予測に関しては十分に考慮されているとはいえない。1992年に国土庁がまとめた「火山噴火災害危険区域予測図作成指針」(国土庁防災局, 1992)を見ても、地すべり災害に関する項目は一般的な記述にとどまっている。しかし火山災害史をみると、多数の人的被害を生じた火山災害には地すべり現象に伴われるものが多いことが指摘できる(表-1)。従って地すべり災害の発生予測に関する研究成果は火山ハザードマップの作成に大きく寄与できる。しかし火山で起きる地すべり現象の規模。運動様式は極めて多様であり、かつ場所の予測も困難であるための確かな予測図を作成することは難しい。現実的な予測のためには既往の災害事例の解析に基づいた危険個所の抽出法の確立等が必要となる。

6.6 他分野との連携・共同

火山地域という特殊な環境を有する地域での地すべり災害に関する研究には火山研究者を始め他の専門分野との連携・協力が不可欠である。これまでに長野県西部地震や澄川地すべりなど大規模な変動が起きた際には共同調査やシンポジウムの共催などの実績がある。例えば、1984年の長野県西部地震による御嶽山の崩壊や1997年の澄川地すべりの様に長距離流下した土砂移動現象については各学会による調査団を始め多数の研究者が研究対象として取り組まれてきた。火山研究者の関心と一致しない事もあるが必ずしも十分とは言えない。災害時には連携等の方策が求められる。

7. おわりに

火山地域で生じた地すべり災害とそれを対象にした調査・研究の成果について概観してきた。しかし火山地域に生じる地すべり災害の多様性と複雑な発生要因が絡んでいる点、さらに関連研究が多く学会誌で扱われている事などから必ずしも著者がカバーしきれていない面が多い。また著者の未熟さもあってカバーしている範囲においても漏れた点や記述不足の点も多々あると思われる。しかしこの特集号に寄せられた他の論文も合わせ読んでいただくことによって、現在の研究の到達点の一端が紹介できたのではないと思う。今回の特集号では防災対策工などに関するテーマを扱えなかったことは残念である。最近では空中電磁探査やレーザー測距を用いた高精

度の標高データの取得などの技術や地下探査に関する技術の進展も目覚ましい。今後はそういった新しい手法も取り入れるとともに、広く視野をもって研究の進展とそれを現実の防災に繋げる成果を期待したい。この特集号がその一助になれば幸いである。

引用文献

- 安形 康 (1999)：成層火山体の地形発達と湧水湧出プロセスの变化過程。東京大学大学院理学系研究科学学位論文, (http://hydro.iis.u-tokyo.ac.jp/~agata/doc/doctor_thesis/doctor_thesis.pdf)
- 青木 滋 (1984)：稗田山崩壊について。地形, Vol. 5, pp. 205 - 214.
- 荒牧重雄・早川由紀夫・鎌田桂子・松島栄治 (1986)：浅間火山鎌原火砕流／岩屑流堆積物の発掘調査。文部省科学研究費自然災害特別研究成果「火山噴火に伴う乾燥粉体流(火砕流等)の特質と災害」, A-61-1, pp. 247 - 288.
- 地質調査所 (1981)：日本の火山 第2版。200万分の1地質編集図。土井宣夫 (2000)：岩手山の地質－火山灰が語る噴火史。岩手県滝沢村教育委員会, pp. 1 - 234.
- 古谷尊彦 (1983)：雲仙・眉山崩れ。地理, Vol. 28, pp. 36 - 44.
- 群馬県 (1950)：カスリン颱風の研究。群馬県, 445p.
- 藤井紀之・大八木規夫・武司秀夫・小泉久直・大久保太治 (1966)：箱根大湧谷変質帯の産状および性質。防災科学技術総合研究報告, No. 10, pp. 7 - 18.
- 早津賢二 (1985)：妙高火山群 その地質と活動史。第一法規出版, 344p.
- 堀伸三郎・沼田 寛・松尾 淳・植納智裕・小野晃司 (1997)：十勝岳1926火山泥流(大正泥流)堆積物から見た泥流の発生。流下機構(演旨), 日本火山学会1997年度秋季大会予稿集, pp. 70 - 70.
- 堀伸三郎・中島北夫 (2000)：1997秋田県澄川地すべりで発生した高速土砂移動現象の解析。深田地質研究所年報, pp. 97 - 111.
- 堀伸三郎 (2000)：1997年秋田県澄川地すべりで発生した高速土砂移動現象。地すべり学会研究発表論文集, pp. 553 - 556.
- 平野宗夫(研究者代表) (1994)：雲仙岳の土石流・火砕流災害に関する調査研究, 文部省科学研究費 (No. 05302071) 総合研究(A) 研究成果, 1994.
- 星住英夫・小野晃司・三村弘二・野田徹郎 (1988)：別府地域の地質。地質調査所, 131p.
- 井上公夫・石川芳治・山田 孝・矢島重美・山川克己 (1994)：浅間山天明噴火時の鎌原火砕流から泥流に変化した土砂移動の実態。応用地質, 35, pp. 12 - 30.
- 井口 隆 (1992)：火山活動にともなう地すべり・崩壊。らんどすらいど(日本地すべり学会関西支部報), No. 8, pp. 13 - 26.
- Inokuchi, T. (1985)：The Ontake Rock Slide and Debris Avalanche Caused by the Naganoken-Seibu Earthquake, 1984. Proc. IVth International Conference and Field Workshop on Landslide, Tokyo. pp. 329 - 338.
- Inokuchi, T. (1994)：Preliminary Study for Difference of Dissection Process on Quaternary Volcanoes in Tohoku Region, Japan. Proc. East Asia Symposium and Field Workshop on Landslide and Debris Flows, 1994, Seoul, Korea. pp. 341 - 348.
- 井口 隆 (1994)：地震および火山活動による大規模斜面崩壊。地質と調査, No. 4, pp. 2 - 9.
- 井口 隆・三村弘二・田中耕平 (1995)：ヘリコプターによる斜め空中写真撮影による磐梯山1888年崩壊壁の地形および地質解析。磐梯火山－防災研究の推進に向けて－, 防災科学技術研究所, pp. 171 - 179.
- 井口 隆 (1999)：火山地域における地すべり・斜面災害の実態と特徴。第38回日本地すべり学会研究発表講演集, 日本地すべり学会, pp. 383 - 386.
- 井口 隆 (2000)：火山地域に生じる大規模崩壊の地形・地質的特徴。京都大学防災研究所特定共同研究報告書「大規模崩壊の

- 地質・地形特性の研究」, 京都大学防災研究所, pp. 89-99.
- 国土庁防災局 (1992): 火山噴火災害危険区域予測図作成指針. 153 p.
- 科学技術庁研究開発局 (1994): 火山地域における土砂災害予測手法の開発に関する国際共同研究 (第Ⅰ期平成2~4年度) 成果報告書, 科学技術庁研究開発局, 184p.
- 科学技術庁研究開発局 (1995): 火山地域における土砂災害予測手法の開発に関する国際共同研究 (第Ⅱ期平成5~6年度) 成果報告書, 科学技術庁研究開発局, 170p.
- 科学技術庁研究開発局 (1999): 「八幡平地すべり及び出水市土石流に関する緊急研究」成果報告書.
- 防災科学技術研究所 (1995): 磐梯火山-防災研究の進展にむけて- . 振興調整費報告書 防災科学技術研究所, 241p.
- 勝井義雄・横山 泉・藤田隆男・江原幸雄 (1975): 駒ヶ岳, 火山地質・噴火史・活動の現況および防災対策. 北海道防災会議, 194p.
- 勝井義雄ほか (1977): 渡島大島. 火山地質・噴火史活動の現況および防災対策. 北海道における火山に関する研究報告書, 第6編, 北海道防災会議, 82p.
- 河内晋平 (1983a): ハヶ岳大月川岩屑流. 地質雑, 89, pp. 173-183.
- 河内晋平 (1983b): ハヶ岳大月川岩屑流の¹⁴C年代. 地質雑, 89, pp. 599-600.
- 河内晋平 (1994): 松原湖 (群) をつくった888年のハヶ岳大崩壊-ハヶ岳の地質見学案内・2の1- 信州大学教育学部紀要, 83, pp. 171-183.
- 河内晋平 (1995): 松原湖 (群) をつくった888年のハヶ岳大崩壊-ハヶ岳の地質見学案内・2の2- 信州大学教育学部紀要, 84, pp. 117-125.
- 岸上冬彦・小坂丈予 (1954): 1953年7月26日の早雲山山津波の調査. 東京大学地震研究所彙報, Vol. XXXIII, pp. 153-161.
- 小林武彦 (1987): 御嶽火山の火山形成史と長野県西部地震による伝上崩壊の発生要因. 地形, 8, pp. 113-125.
- 国立防災科学技術センター (1965): 火山性地すべりの発生機構および予知に関する研究 (第1報). 防災科学技術総合研究報告第1号, 56p.
- 国立防災科学技術センター (1966): 火山性地すべりの発生機構および予知に関する研究 (第2報). 防災科学技術総合研究報告第7-9号, 39p. 42p. 78p.
- 町田 洋・古谷尊彦・中村三郎・守屋以智雄 (1987): 日本の巨大山地崩壊. 崩壊の規模, 様式, 発生頻度とそれに関わる山体地下水の動態. pp. 165-182.
- 三村弘二・河内晋平・藤本丑雄・種市瑞穂・日向忠彦・市川重徳・小泉光昭 (1982): 自然残留磁気からみた嵯崎岩屑流と流れ山, 地質学雑誌, 88, pp. 653-663.
- 南 圭輔・川邊 洋 (2000): 火山体の地形と大規模崩壊. 地すべり学会研究発表会論文集.
- 水谷武司・森脇 寛・井口 隆 (1982): 1981年8月台風第15号による長野県須坂土石流災害調査報告. 主要災害調査報告, No. 19, 防災科学技術研究所, 50p.
- 守屋以智雄 (1979): 日本の第四紀火山の地形発達と分類. 地理学評論, Vol. 52, pp. 479-501.
- 守屋以智雄 (1983): 日本の火山地形. 東京大学出版会, 135p.
- 中里祐臣・竹内睦雄・汪 振洋・野口 徹・井口 隆 (2003): 山形県白鷹火山および崩壊源の比抵抗構造. 日本地すべり学会誌 (地すべり), Vol. 40, No. 1, pp. 32-38.
- 大八木規夫 (2000): 東北地方北部における地すべり地形と後期中新世-更新世のカルデラ. 深田地質研究所年報, No. 1, pp. 112-127.
- 大八木規夫 (2001): 東北地方南部における大規模地すべり地形とカルデラ-主として会津地域について. 深田地質研究所年報, No. 2, pp. 121-135.
- 大田一也 (1992): 眉山大崩壊の原因. 日本の地質9「九州地方」, 共立出版.
- Ouchi, S. and Mizuyama, T. (1989): Volume and Movement of Tombi Landslide in 1858, Japan. Transactions, Japanese Geomorphological Union, Vol. 10, pp. 27-51.
- 酒井英男・里見雅博・平井 徹 (1995): 磐梯火山北壁底のボーリング試料および翁島岩屑なだれ堆積物の岩石磁気調査. 磐梯火山-防災研究の進展にむけて-, 振興調整費「火山地域における土砂災害発生予測の開発に関する国際共同研究」論文集, 防災科学技術研究所, pp. 79-86.
- 酒井英男・渡辺勝也・井口 隆 (2003): 磐梯火山のボーリングコアを用いた岩屑なだれ堆積物の岩石磁気学的研究. 防災科学技術研究所研究報告, No. 64, pp. 19-31.
- Sekiya, S. and Y. Kikuchi, (1890): The eruption of Bandai-san. Trans. Seism. Soc., Japan 13.
- 鈴木隆介 (1969): 日本における成層火山体の侵蝕速度. 火山第2集, Vol. 14, pp. 133-147.
- 鈴木隆介・横山勝三 (1981): 火山体の削剥速さ. 地形, Vol. 2, pp. 53-58.
- 多田文男・津屋弘達 (1927): 十勝岳の爆発. 東大地震研彙報, 2, pp. 49-84.
- 田近 淳・広瀬 亘・北海道立地質研究所有珠山観測班 (2000): 2000年有珠火山活動に伴う地表変動 (速報), 地すべり学会研究発表論文集, pp. 571-572.
- 田中耕平・三村弘二・遠藤秀典・井口 隆 (1995): 1888年磐梯山山体崩壊源のボーリング掘削とすべり面. 磐梯火山-防災研究の進展にむけて-, 振興調整費「火山地域における土砂災害発生予測の開発に関する国際共同研究」論文集, 防災科学技術研究所, pp. 69-78.
- 田中耕平・井口 隆 (1998): 1997年5月秋田県鹿角市澄川地すべり・土石流災害調査報告. 主要災害報告第34号, 防災科学技術研究所, 40p.
- 田中耕平・諏訪部一美・井口 隆 (1999): 主要活火山の傾斜分級図, 防災科学技術研究所, 110p.
- 露木利貞・金田良則・小林哲夫 (1980): 火山地域に見られる地盤災害とその評価. 鹿児島大学理学部紀要, No. 13, pp. 91-103.
- 植原茂次・佐藤照子 (1983): 日本の河川流域の月単位水収支と水文特性 (第1報). 国立防災科学技術センター研究報告, 30, pp. 25-64.
- 植原茂次・佐藤照子 (1985): 日本の河川流域の月単位水収支と水文特性 (第2報). 国立防災科学技術センター研究報告, 35, pp. 155-228.
- Ui, T. (1983): Volcanic Dry Avalanche deposits. Identification and comparison with nonvolcanic debris stream deposits. Jour. Volcanol. Geotherm. Res., Vol. 18, pp. 135-150.
- 柳沢栄司 (研究代表者) (1998): 秋田県鹿角市八幡平地すべり・土石流災害に関する調査研究. 平成9年度科学研究費補助金基盤研究 (C) 研究成果報告書, 224p.
- 吉本充宏・宇井忠英 (1998): 北海道駒ヶ岳火山1640年の山体崩壊. 火山, 43, pp. 137-148.
- 宇井忠英 (1988): 岩屑流の発生要因-磐梯山と他の事例との比較. 地学雑誌, Vol. 97, pp. 59-66.

(原稿受付2003年2月12日, 原稿受理2003年4月4日)