

拠点研究 成果報告書

(1) 実施課題名：連動性の高い火山災害軽減のための総合的研究

(2) 研究代表者（氏名、所属、職名）：井口正人、火山活動研究センター、教授

(3) 研究組織（氏名、所属、職名、役割分担）：

氏名（所内）	研究分野領域名・職名	現在の専門	研究の役割分担
井口 正人	火山噴火予知・教授	火山物理学	総括・桜島火山の火山活動予測
中道 治久	火山噴火予知・准教授	火山物理学	桜島火山の火山活動予測
大見 士朗	地震発生機構・准教授	地震学	焼岳の火山活動予測
宮崎 真大	内陸地震・助教	地震学	焼岳周辺の地震活動
吉村 令慧	地震テクトニクス・准教授	地球電磁気学	焼岳の熱的状态の把握
西村 卓也	海溝型地震・准教授	測地学	焼岳の地盤変動観測
飯尾 能久	内陸地震・教授	地震学	焼岳周辺の地震活動
藤田 正治	流砂災害・教授	砂防工学	土砂移動予測
堤 大三	流域圏観測・准教授	砂防工学	土砂移動観測と予測
宮田 秀介	流砂災害・助教	砂防学	土砂移動予測
竹見 哲也	暴風雨・気象環境・准教授	気象学	火山体周辺の風の場の把握
多々納裕一	防災社会システム・教授	総合防災学	被害予測と対策
畑山 満則	防災社会システム・准教授	総合防災学	被害予測と対策
中北 英一	水文気象災害・教授	気象学	レーダー観測・解析
辻本 浩史	気象水文リスク・特定教授	水文気象学	火山体周辺の風観測
志村 智也	気象水文リスク・特定助教	海岸工学	火山体周辺の風観測
氏名（所外）	所属・職名	現在の専門	研究の役割分担
宮本 邦明	筑波大学・教授	水工水理学	土砂移動予測
大石 哲	神戸大学・教授	気象学	レーダー観測・解析
真木 雅之	鹿児島大学・特任教授	気象学	レーダー観測・解析
鈴木裕次郎	東京大学・助教	火山物理学	噴煙上昇シミュレーション
及川 輝樹	気象庁（産総研・主任研究員）	地質学	焼岳の噴火シナリオ
田中 博	筑波大学・教授	気象学	噴煙拡散シミュレーション
重野 伸昭	気象庁	火山情報	火山活動に関する情報
橋本 武志	北海道大学・教授	火山物理学	焼岳の熱的状态の把握
井上 実	日本気象協会	気象学	火山体周辺の風観測
町田 駿一	日本気象協会	気象学	火山体周辺の風観測

(4) 配当額：7, 000, 000円

(5) 研究報告：

研究目的・趣旨

火山噴火は地表に火山灰、火砕流等が突然噴出する現象であり、可動性の高い物質が大気中および地表に拡散・堆積することにより連鎖的に災害を引き起こす。火砕流・降下火山灰やそれらの定置後の土石流はその代表的なものであり、通常の降雨であっても火山噴火後は、土砂移動量が激増することは、近年の桜島噴火や2010年のインドネシア・メラピ火山噴火でよく知られている。

火山噴火による災害を軽減するためには、災害を予測する必要がある、その手順は以下の通りである。①火山観測により現在の火山活動を評価し、将来発生しうる噴火の定量的なシナリオを作成する。②シナリオに基づいて、火山灰の拡散及び降下や火砕流の流下を予測する。③火山灰等の予測堆積量に基づき、降雨がもたらす土石流などの二次移動を予測する。さらに、④直接的な噴出物と二次移動土砂の堆積予測に基づいて交通機関の停止などの被害を予測し、その対策を立案する。従来型の火山観測技術をもって被害までを見通すことが本研究の目的であり、②、③、④の研究を連動させて行う必要がある。従来の火山活動予測研究にとどまることなく、気象学、土砂工学、情報学の知見を統合することにより、火山災害軽減研究を行うことに本研究の特色がある。従来の学問分野を超えて、異分野融合型の領域の形成を目指す。

本研究では、桜島と焼岳を対象とする。桜島では、大正級の大規模マグマ噴火の発生が予測されており、大規模噴火による災害が桜島島内はもとより都市域を含む周辺地域で懸念される。一方、焼岳は桜島の対極にあると考えればよく、周辺の地震活動はよくわかっているものの火山活動については評価できていないのが実情である。小・中規模の水蒸気噴火であっても、その地形学的特性から見て山麓まで噴火の影響が及ぶ可能性が高い。明治から昭和初期に活動的であり、泥流が頻繁に発生した。大規模噴火による広域災害と小規模噴火であっても局所的に深刻な災害を対極としてとらえ、都市域と観光地における災害の比較研究を行う。

研究経過

1 火山観測に基づいて火山活動を評価し、噴火の定量的なシナリオを作成した。桜島では既設の地震および地盤変動観測網に新設の観測坑道のデータを加えて、大正級大規模噴火発生の切迫性について評価を行った。一方、焼岳で

は、2015年に地震及び傾斜計を山腹・山麓に設置したが、山頂の観測点がないので山頂に地震、地盤変動、温度、全磁力からなる総合観測点を設置した。また、広帯域MT観測によって構造探査を行い、焼岳の浅部地下構造を推定した。

2 火山噴火に先行する地震活動や地盤変動から噴出率を予測する手法を開発し、シミュレーションにより、火砕流の流下範囲、流動深、堆積厚を予測する研究を行った。火山灰の拡散・降下については、予測噴出率時間関数をもとに噴煙柱形成のシミュレーションを行い、噴煙柱を初期値として代表的な風の場合における火山灰の拡散域と降灰量を予測する手法を開発した。地震動及び地盤変動データに基づきリアルタイムで火山灰の拡散域と降灰量を予測するシステムを開発した。また、レーダー観測に基づく、噴煙柱外形と噴煙柱内の火山灰の粒径別空間分布を初期値とした拡散・降下予測システムについて研究を行った。桜島の昭和火口噴火のような小規模噴火においては、火山体周辺の風の場合の把握が極めて重要である。シミュレーションにより、風の場合の再現を行うと共に、ドローンなどを活用して、火山体周辺の風の場合の観測を焼岳及び桜島において行った。

3 レーダー等により降雨観測データを取得したうえで、土石流などの2次移動をシミュレーションにより予測した。また、水文観測等により土砂移動量を観測した。焼岳においては融雪泥流も予想されるため、積雪と出水量の関係を検討した。

4 上記の火山灰・火砕流の堆積量および、土砂の二次堆積量の予測に基づいて、桜島においては都市域の交通機関の停止や住民の避難に関する研究を行った。

総括的な議論を行うために、研究者だけでなく、国の機関及び自治体の防災担当者も含めた研究集会を焼岳と桜島において実施した。

研究成果

1 桜島では、過去100年間に大正噴火（1914年）、昭和噴火（1946年）、1955年以降の南岳噴火活動、2009年以降の昭和火口噴火などの活動がある。特に、大正噴火は 0.5km^3 の火山灰と 1.3km^3 の溶岩を流出した20世紀以降でわが国最大規模の噴火である。これらの噴火に前駆する地震活動及び地盤変動からマグマの貫入レートを見積もり、噴火の規模との相関関係を見出した。このことは、マグマの貫入レートから噴火シナリオのうちの1つを決定できる可能性があることを示す。

一方、焼岳は2300年前に大規模なマグマ性噴火が発生し、山頂に溶岩ドームを形成したが、有史以降は水蒸気噴火のみが発生している。20世紀初めには水蒸気噴火が多発しており、最も考えられるシナリオはVEI2クラスの水蒸気噴火である。火口に近接した火山観測が重要であることは、他の火山において実証されているが、焼岳においても山頂に地震、地盤変動、温度、全磁力からなる総合観測点を設置した（詳細は次項①を参照）。山体内部と考えられる火山性地震が時々発生する。火山活動に起因すると思われる地盤変動は今のところ検知されていない。水蒸気噴火が発生する火山においては熱水系の上部にキャップブロック状の構造が見られるが、焼岳においても同様の構造が広帯域MT観測によって検知できた（詳細は次項②を参照）。なお、新設した火山観測網のデータは気象庁に情報提供され、火山活動評価と警報発表に活用される予定である。

2 火砕流の予測においては、崩壊の位置と方向に加え、噴出量が最も重要である。火砕流の事例はわが国ではそれほど多くはないので、インドネシアのメラピ火山で噴火に先行する地震のエネルギーから火砕流の噴出量を予測し、噴出量を火砕流シミュレーションの入力条件とする手法を開発した。この手法を用いれば、リアルタイムで火砕流ハザードの評価が可能であり、メラピ火山の2010年噴火では、噴火直前には15km程度流下する火砕流が予測できた。

PUFFモデル（粒子追跡法）に地盤変動と火山性微動振幅から推定される火山灰放出率を自動的に入力し、火山灰の拡散を予測する手法を開発し、桜島に適用した。火山灰の拡散の予測には、初期条件としての噴煙柱の高度や外形情報が必要であるが、これをレーダー観測によって把握できることがわかった。桜島の場合では、おおむね噴煙高度2000m以上の噴火であれば、レーダーで噴煙の検知が可能であり、降下火山灰量はレーダーの反射強度と相関があることが示された。また、風速ベクトルは火山灰の流向を決める最も重要なパラメータであるが、火山体周辺においてはその複雑な動きを把握できていない。UAVを使った風の上空観測やドップラーライダー観測に着手した（詳細は次項③を参照）。

3 土砂移動は降雨量に大きく依存するので、レーダー等により降雨観測データを取得したうえで、土石流などの2次移動をシミュレーションにより予測した。また、焼岳においては融雪泥流も予想されるため、火山噴火と積雪の関係を検討した（詳細は次項④を参照）。

4 上記の火山灰・火砕流の堆積量および土砂の二次堆積量の予測に基づいて都市域の交通機関の停止や住民の避難に関する研究を行い、研究集会において国の機関及び自治体の防災担当者も含めて総括的な議論を行った。焼岳にお

いては明治・大正期の噴火活動履歴からVEI 2 程度の水蒸気噴火が想定され、降灰、小規模な火砕流、土石流の発生が予想される。噴火発生前に、噴火警戒レベルが適切なレベルに上げられる必要がある。本研究において焼岳山頂に観測点を設置することができたので、小規模の水蒸気噴火であってもそれに前駆する異常現象を検出できる装置は設置できた。気象庁と連携し、噴火警戒レベルの引き上げに資するための体制の構築が重要である。

一方、桜島においては始良カルデラ地下のマグマの蓄積量から今後、VEI 4 ～ 5 程度の噴火が予想される。鹿児島市が桜島に近接しており、都市域に防災対策が重要となる。都市域における避難の試算では全員が避難するには50時間を要するが、住民の避難の意向と風向から予想される降灰域を考慮すると10時間程度に短縮できることがわかった。

本研究で得られた個別のテーマごとの研究成果について記述する。

① 焼岳の火山観測網の強化

(1) 焼岳火山の観測網整備の経緯

焼岳火山近傍では従前より地震予知研究センター上宝観測所が観測研究を進めており、2010年頃から、火山体周辺の観測点の充実を徐々に図った。2010年秋には、長野県側の上高地内に4点のオフライン観測点を設置するなど、初めての通年のオフライン観測を開始し、これにより2011年3月の東北地方太平洋沖地震直後からの飛騨山脈における活発な地震活動の消長を捉えることができた。この時点では、観測点のうちのほとんどが短周期高感度地震計を有するのみであり、また、長野県側にはオンライン観測点が皆無である等の問題点があった。

2013年度からの3ヵ年計画で国交省の河川砂防技術研究開発予算による委託研究により、土石流等の質量移動を検知するためのシステム構築の一環として、上高地に「上高地峠沢(DP. KKHZ)」および「上高地防災情報センター(DP. TSIK)」の2点のオンライン観測点を整備した。これらは土砂移動等の検知のほかに火山活動に伴う地震活動の把握にも有用な観測点である。DP. TSIKには高感度地震計が、DP. KKHZにはこれに加えて気泡型傾斜計と強震計が設置されている。

さらに、2014年9月の御嶽山の噴火災害を受け、大学等が観測研究を重点的に行う火山に新たに焼岳を含む9火山が加わることになった。同年度の文科省の予算措置により、機動的な集中観測に資する機器類が手当てされ、2015年度に「焼岳中尾峠(DP. NKOT)」、「上高地下堀沢(DP. SMHZ)」が構築され、2016年度には、

本拠点研究予算により、「焼岳山頂(DP. YKEP)」の観測点が設置された。

「焼岳山頂(DP. YKEP)」、「焼岳中尾峠(DP. NKOT)」、「上高地下堀沢(DP. SMHZ)」の3点のオンライン観測点には、水蒸気噴火の予測研究にも資するため従来からの地震や地殻変動等のみだけでなく、地磁気や地温等の観測を火口近傍で行うことが特徴となっている。それに伴い、DP. YKEPには地震計、傾斜計、プロトン磁力計、高精度地中温度計が設置され、DP. NKOTには地震計、傾斜計、プロトン磁力計、GNSS受信機が設置されている。また、DP. SMHZには地震計、傾斜計、プロトン磁力計、GNSS受信機が設置された。これらの機器設置が終了した2016年10月現在の観測点分布と、DP. YKEPおよびDP. NKOT観測点の写真を図1に示す。

(2) 取得されているデータの状況

地震計の記録例を図2に示す。天候が安定している時期には、DP. NKOT（中尾峠）やDP. SMHZ（上高地下堀沢）のデータは100m孔底の地震計（DP. YAKE、奥飛騨温泉郷中尾）のデータと比較しても遜色がない。しかし、周辺状況が悪化した際にはデータ品質は低下し、たとえば、稜線上が悪天候時のDP. NKOTや、大正池の浚渫のための放流時のDP. SMHZなどのデータは必ずしも高品質ではない。

(3) あらたに得られつつある知見

3-1) 山体近傍の地震活動

焼岳山頂に観測点を設置したことにより、山体近傍のものと思われる地震が捉えられつつある。図3にそのような例を示す。図3(a)は西山麓の地震であり、DP. YAKE（山麓）では顕著な信号がみられるが、DP. YKEP（山頂）では振幅は小さい。これに対して、図3(b, c)に示すような地震は山麓（DP. YAKE）で振幅が小さく、山頂（DP. YKEP）で振幅が大きい。これらには、山体から中尾峠周辺に震源が求められる地震が含まれている可能性がある。

3-2) 山頂の熱活動

今回の機器設置において、DP. YKEP（山頂）には高精度温度計を地下約1mに埋設した。その観測データによると、山頂観測点近傍地下は、厳冬期においても50℃弱の地温を保っており、予想よりも熱活動が活発であることが伺える。また、DP. YKEP、DP. NKOT、DP. KKHZ（上高地峠沢、東山麓）に設置した気泡型傾斜計に内蔵された温度計によれば、DP. YKEPとDP. NKOTではいずれも厳冬期においても20℃弱のピット内気温を示しており、中尾峠周辺も地熱活動が活発である。図4には、2017年3月の一ヶ月間のこれらの地点の温度変化を示す。

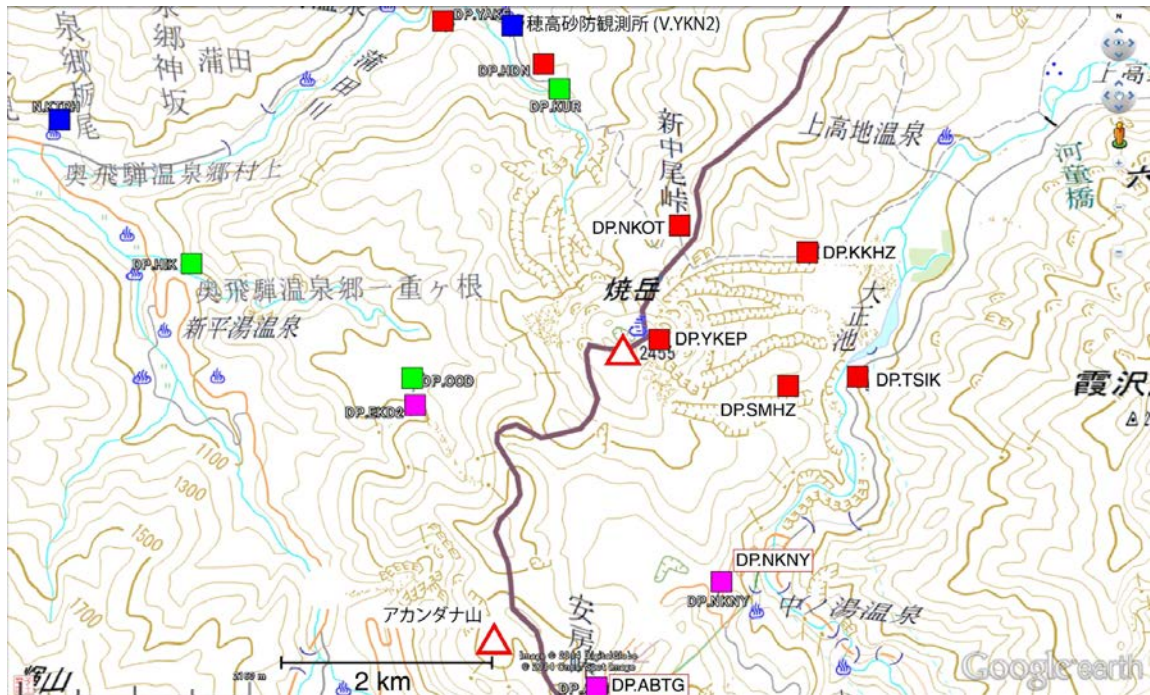


図1 (a) : 2016年10月現在の観測点分布。■神通砂防、■気象庁、防災科研、■京大、■京大 (オフライン)。焼岳山頂 (DP. YKEP) が本拠点研究で、焼岳中尾峠 (DP. NKOT)、上高地下堀沢 (DP. SMHZ) が平成26年度文科省予算で、上高地峠沢 (DP. KKHZ)、上高地防災情報センター (DP. TSIK) が平成25～27年度に国交省予算で整備された。

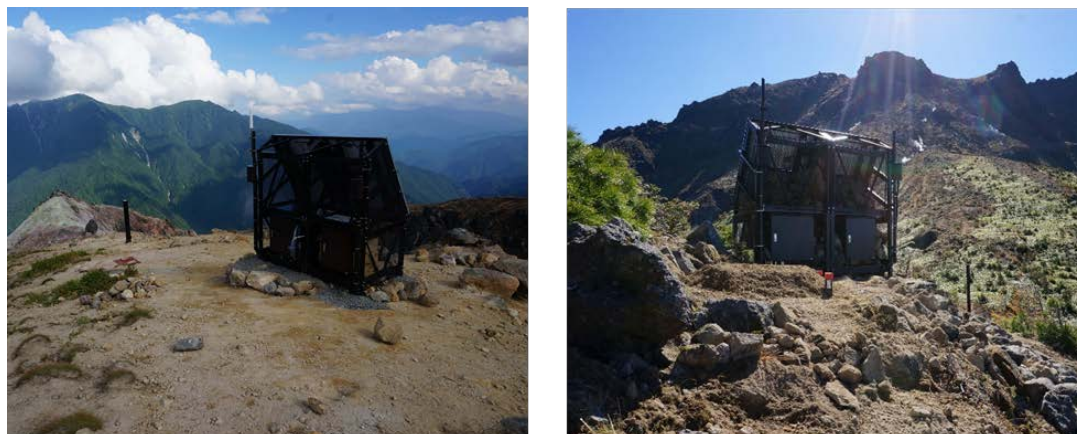


図1 (b) : 焼岳山頂 (DP.YKEP) (左)、および焼岳中尾峠 (DP.NKOT) (右) 両観測点の様子。DP.YKEPには短周期地震計、気泡型傾斜計、高精度温度計、プロトン磁力計が設置されている。DP.NKOTには短周期および広帯域地震計、気泡型傾斜計、プロトン磁力計、GNSS受信機が設置されている。

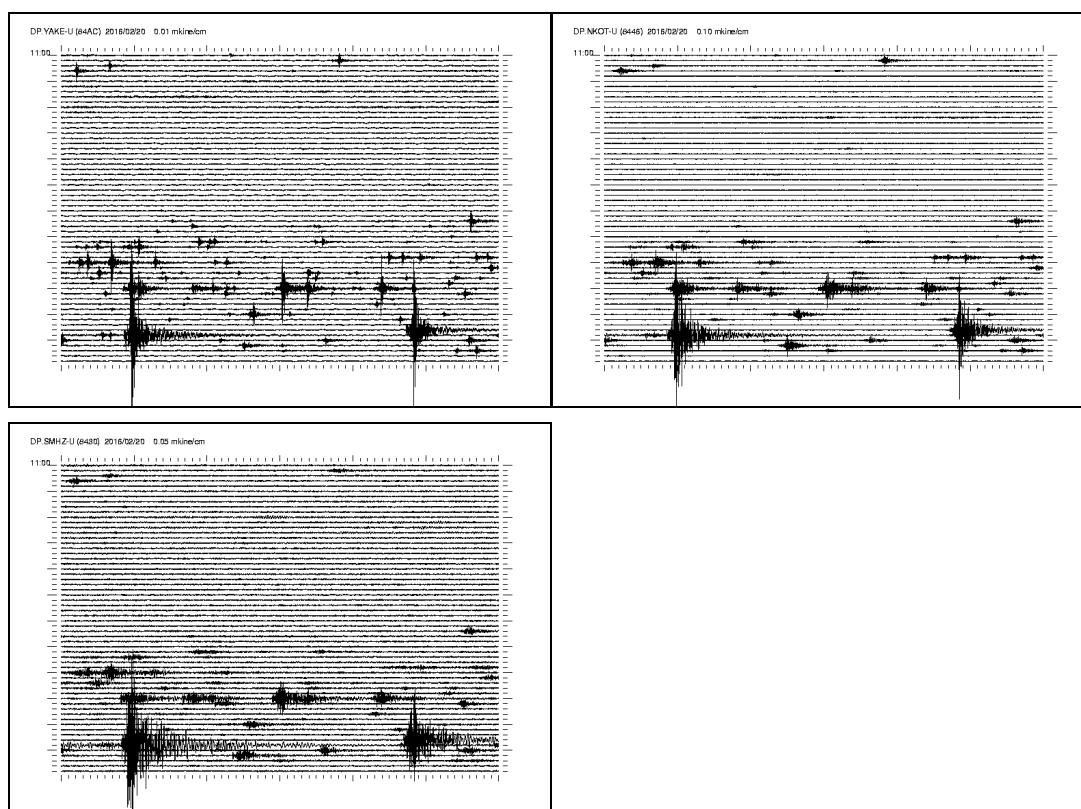


図 2 良好な記録例。焼岳中尾峠 (DP.NKOT) (左上)、上高地下堀沢 (DP.SMHZ) (左下)、および奥飛騨温泉郷中尾 (DP.YAKE) (左) 3 観測点の様子。2016 年 2 月 20 日の記録。

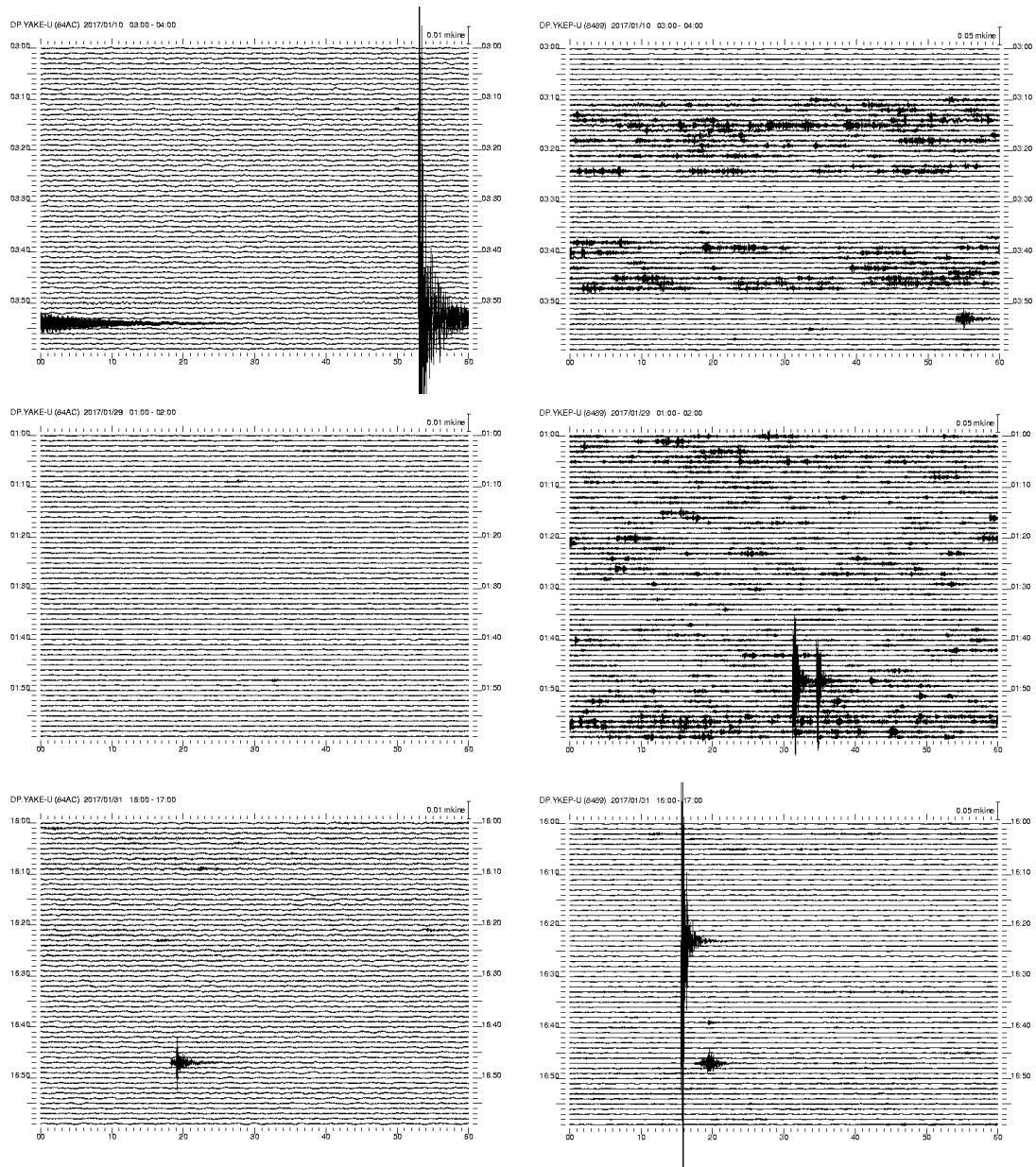


図 3 焼岳山体近傍のものと思われる地震の例：

- (a) 上段（参考）：西山麓の地震：DP. YAKE（山麓、左）で振幅が大きく、DP. YKEP（山頂、右）で信号が小さい。
- (b) 中段：DP. YAKE（左）ではほとんど信号を認められないが、DP. YKEP（右）では信号を認めることができる。(c) 下段：DP. YAKE で振幅が小さく、山頂（DP. YKEP）で振幅が大きい。
- (b)や(c)の地震には、山体内部から中尾峠周辺に震源が求められる地震が含まれている可能性がある。

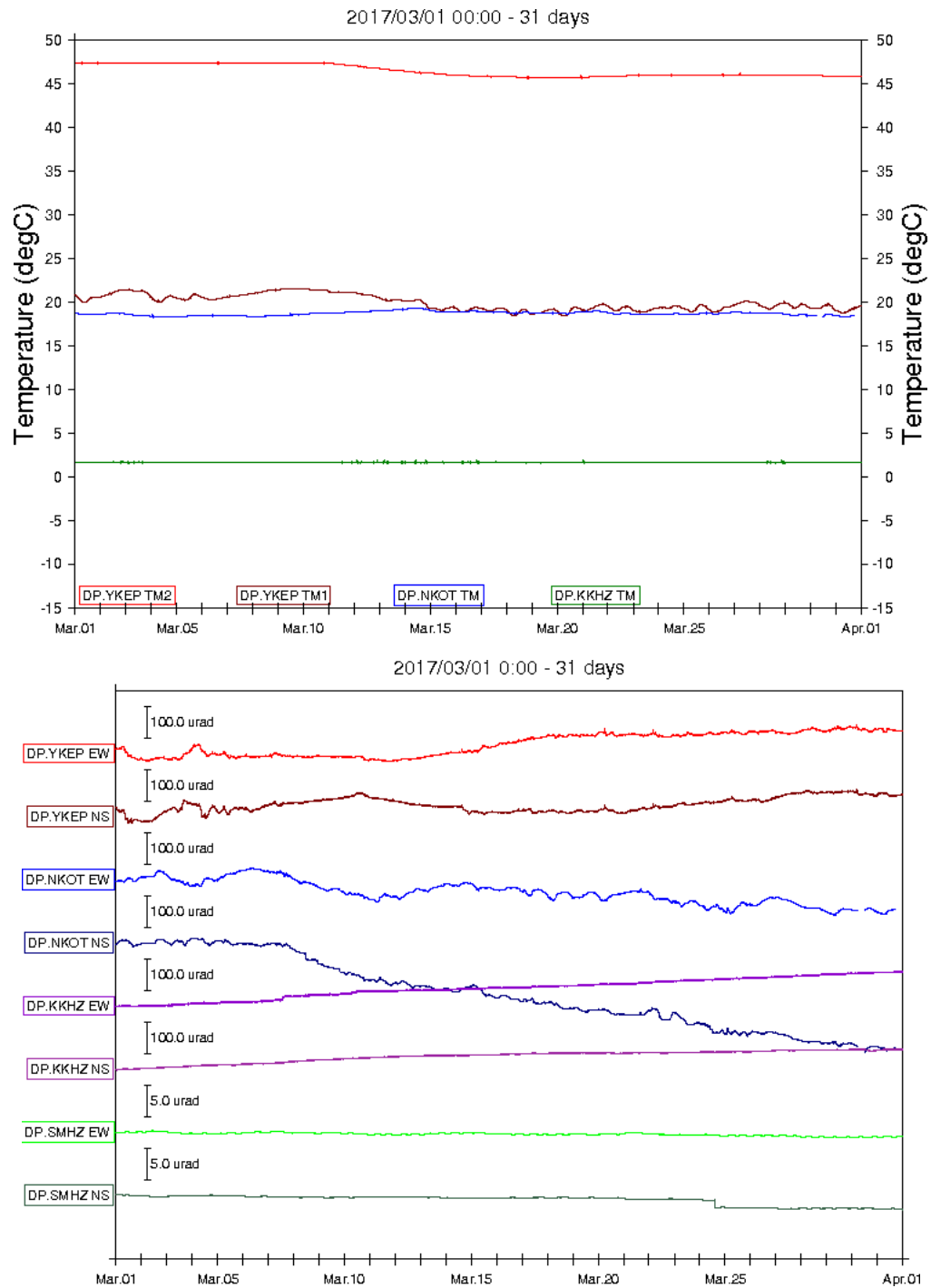


図 4 上 : DP. YKEP の温度計、DP. YKEP、および DP. NKOT、DP. KKHZ の傾斜計内蔵温度計によるピット内温度。DP. YKEP での精密温度計は地下約 1 m に埋設され、約 50℃の温度を示しており、山頂部の活発な熱活動を示唆する。下 : 各点の気泡型傾斜計および DP. SMHZ の孔井型傾斜計の記録。

② 広帯域電磁場観測・磁気探査による焼岳の地下構造調査

焼岳の火山活動を監視・モニタリングするためには、地下の構造情報は必要不可欠である。しかしながら、山頂付近における物理探査による構造推定の実施例は非常に少ない。そこで我々は、電磁誘導現象を利用する地下の電気比抵抗構造探査（広帯域MT観測）を計画・実施した。通常のMT法では、磁場3成分・電場2成分の電磁場データの収録を行うが、今回の調査では大部分が登山道沿いでしか器材の設置が困難であるため、焼岳麓の3箇所でのみ磁場3成分を収録し、その他の観測点では電場2成分の調査形態をとった。

観測は、2016年8月31日より開始し、各観測点で少なくとも5日間の電磁場データを収録した。器材は、ドイツMetronix社製ADU07/07eならびに、NTシステムデザイン社製ELOG1Kを使用し、32Hzサンプリングの連続収録および1024Hzサンプリングの4時間/1日の限定収録を行った。当初計画では、16地点での観測を予定していたが、器材の運搬・設置が困難であったため、12地点での調査に縮小した（図5参照）。また、12点のうち1点において、設置の不具合で欠測した。

MT応答の推定には、リモートリファレンス処理を施し、BIRRPアルゴリズム（Chave and Thomson, 2003, 2004）を用いた。磁場参照信号として、地熱技術開発（株）が山形県において運用している連続磁場観測データを使用した。電場のみの観測となった8点の推定には、焼岳北麓のYKD002地点の磁場を用いている。推定された応答のうちTMモードのみを使用し、Ogawa and Uchida (1996)のコードを用いた南北断面での2次元インバージョンを行った。予察的な結果として、頂上のやや北方を中心とするキャップ状の低抵抗領域が検出された。この特徴的構造の中央部は、直近の水蒸気噴火を発生させた中尾峠爆裂火口の直下に相当する。

頂上ならびに中尾峠に設置された全磁力連続観測点データの解釈の基礎情報を得るため、カナダGEM Systems社製GSM-19オーバーハウザー磁力計を使用した地上磁気探査も2016年11月1日に実施した。中尾登山口から頂上および焼岳小屋周辺を経由し中ノ湯登山口に至る測線である（図参照）。得られた磁気異常データを説明するために、MT探査により検出された低比抵抗位置に低磁化領域の存在が必要であることがわかった。

謝辞：MT観測に際しては、東京大学地震研究所・九州大学地震火山観測研究センターより、磁気探査に際しては、京都大学人間・環境学研究科より器材を借用した。地熱技術開発(株)より、データの提供を受けた。

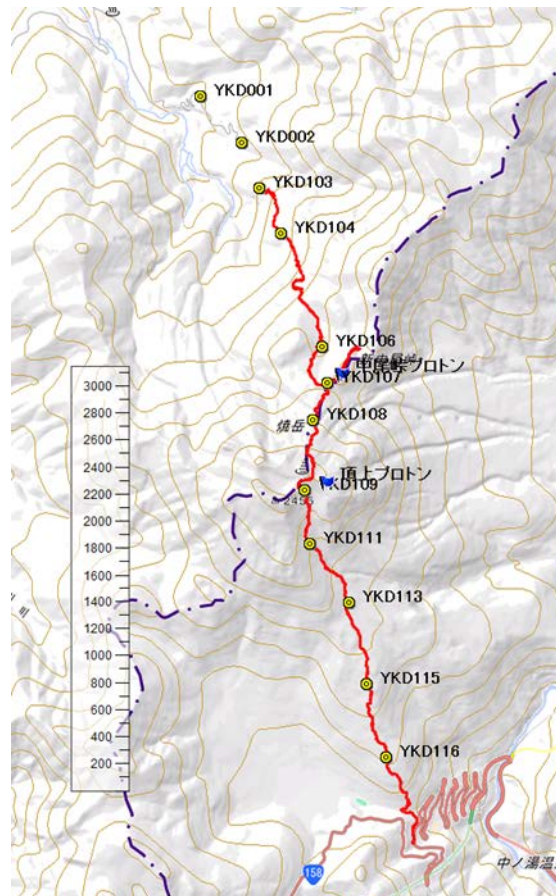


図5 広帯域MT観測点分布(◎)と磁気探査測線(赤線)

③ UAVとドップラーライダー (DL) を用いた火山体周辺の気象観測

(1) 気象観測塔データとの比較

UAVに搭載した気象観測のための小型センサー(CWS)を用いて風を観測する場合(図6)にはプロペラで引きこされる風の影響が懸念される。プロペラ風の影響を調べるために京都大学防災研究所宇治川オープンラボラトリの気象観測塔に設置された風向風速計(高度55m)のデータとUAVを風向風速計近傍の同高度でホバリングさせて測定したデータを比較した。その結果を図7に示す。UAVに搭載されたCWSで測定された風向風速データは気象観測塔の風向風速計とよく一致しており、UAVの機体仕様に応じた適切な搭載位置の条件を満たせばUAVのプロペラ風の影響を受けることなく任意地点の風向風速データを観測できることが判った。



図6 CWSを搭載して飛行するUAV

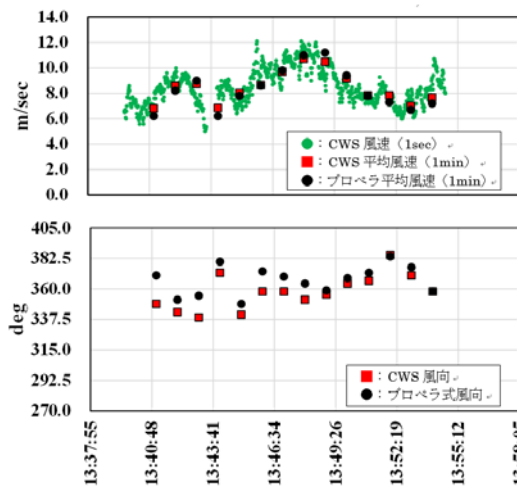


図7 CWSとプロペラ式風向風速計の比較

(2) 焼岳における観測結果

穂高連峰から続く主稜線をはさみ岐阜県側に位置する穂高砂防観測所（標高1150m）にDLを設置し、長野県側の上高地（標高1496m）ではCWSを搭載したUAVを高度500mまで飛行させて観測を行った。横断図を図8に示す。観測を実施した2016年7月14日の稜線付近は、800hPaの毎時解析GPVデータによると西系の風（図8 左側から右側）が卓越していた。

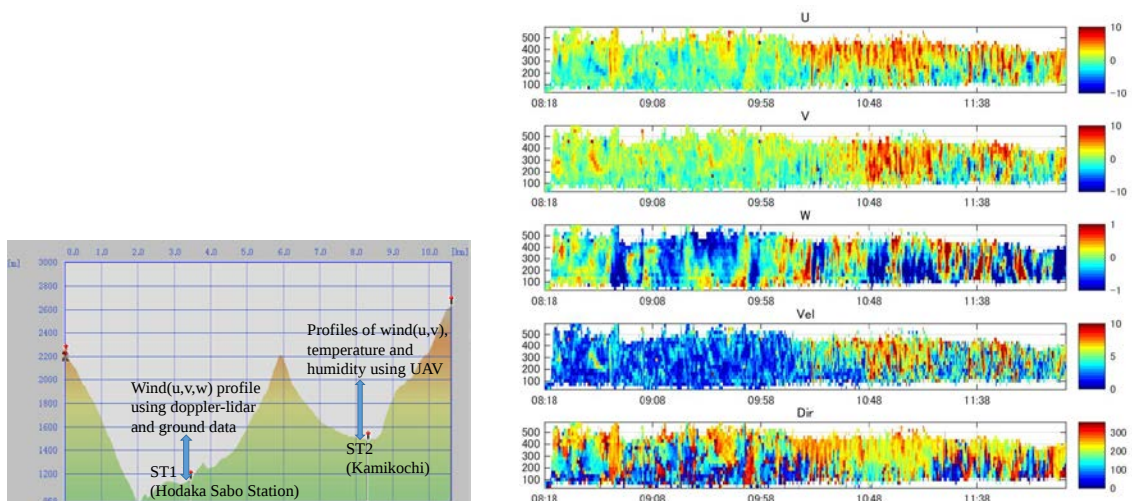


図8 観測地域の横断図（左）および穂高砂防観測所に設置されたDLにより観測された風の鉛直プロファイル時間変化図（右）

一方、地上から約200m高度までの風向は東から南系が多く（図8の最下段）、上空とは異なる傾向を示している。また、11時過ぎからは鉛直風に数分の周期

で上昇流と下降流が観測されている（図8の中段）。図-4に主稜線をはさんで風下側にあたる上高地における大気の鉛直プロファイル（標高1500m～2000m）を示す。高度150m（標高1650m）以上では西系の風で概ね上空ほど風速が強まっているが地上から高度150mまでは南から東系の風であり、また、気温も地上から高度150m付近で不連続となっているのが特徴的である。

（3）桜島における観測結果

2016年9月6日～7日にかけて桜島の有村観測坑道局舎地点（標高85m）でCWSを搭載したUAVを高度1000mまで飛行させて観測を行った。結果を図-5に示す。観測を実施した期間は九州南方を通過した台風に伴い鹿児島（アメダス）では南東(9/6)系から北系（9/7）へと風が変化した。UAVによる観測結果も（図9）も概ね同様の变化傾向を示すものの、そのプロファイルからは、例えば9/6の風向が地上300m付近で変化している事、また、9/7の風速は地上500m付近に極大域を示す事など複雑な特徴がとらえられていた。

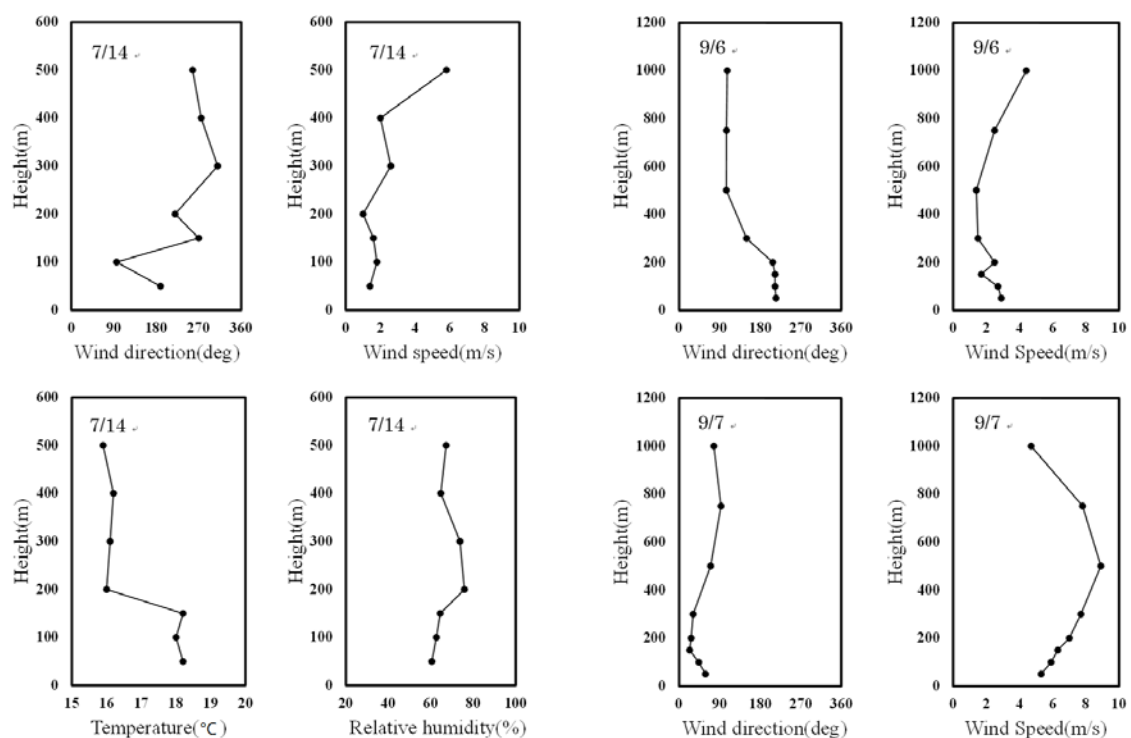


図9 UAVに搭載したCWSにより観測された大気の鉛直プロファイル。左：上高地、右：桜島

④ 融雪型火山泥流の到達範囲とタイミングの予測手法

積雪期に火山噴火が発生すると、高温の火山噴出物および水が積雪層を融か

すことで泥流が発生することがある。このようなタイプの泥流は「融雪型火山泥流」と呼ばれており、広範囲にわたって甚大な被害を及ぼすことがある。ただし、その発生は、融雪にまつわる熱交換や融雪水の挙動、泥流化、泥流の流下などの素過程が複雑にからんでいると考えられ、各素過程とその関連性が十分に明らかとなっていない。そのため、重要な防災対策の一つであるハザードマップは任意に与えた三角形のハイドログラフを入力条件とした泥流モデルにより求めることが多く、発生過程のモデル化において改善の余地が残る。

融雪に伴う泥流の発生過程は、単純化した条件下の実験に基づいた研究がいくつか行われているのみであり、モデル化するための十分な知見が得られていない。一方、宮本ら（1989、水理講演会論文集）は1926年十勝岳噴火の事例から、泥流発生地点からの流下および侵食・堆積モデルを提案し泥流の流下および堆積についてある程度再現できることを示した。したがって、融雪水の集水・流下モデルを開発、適用することで、融雪から泥流の発生、流下について予測することができる（図10）。本研究は、1) 高温の火山噴出物による融雪過程・融雪水浸透過程のモデル化、2) 泥流発生地点の集水域における融雪水流下モデルの開発、3) 融雪型火山泥流の予測手法の提案を目的として行い、積雪層などの諸条件が融雪型火山泥流の発生および流下に及ぼす影響を検討した。

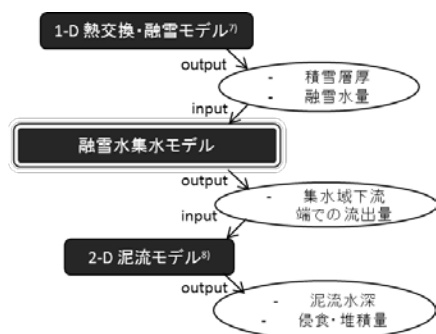


図 10 融雪型火山泥流予測モデルの模式図

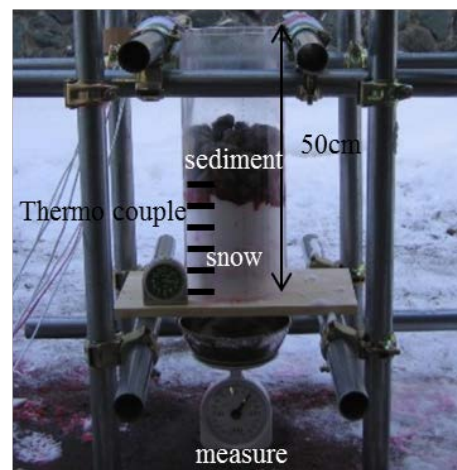


図 11 融雪実験装置

高温の火山噴出物による融雪過程を明らかにするための実験を行った。耐熱ガラスの鉛直カラムに充填した20 cm厚の積雪層の上部より約500℃に加熱した礫を供給し、融雪速度と融雪水が積雪層内を鉛直浸透した流量を測定した（図11）。その結果から礫層と積雪層の温度分布を単純化し、熱伝導式と熱収支式

を連立させて熱交換とそれに伴う融雪速度についてモデル化した。さらに実験結果に基づき、融雪水の浸透速度をモデル化した。

泥流発生地点におけるハイドログラフを求めるために、グリッド型の分布型水文モデルに上記の融雪モデルおよび融雪水浸透モデルを導入した。10×10 m の各グリッドは土層および積雪層の 2 層で構成され、層厚は均一と仮定した。火山噴出物が対象範囲に供給された時間から計算を開始し、各グリッドにおいて融雪および鉛直浸透についてシミュレーションする。積雪層内の側方流は、連続式とダルシー則により求めた。また、本モデルでは、グリッドごとに積雪層内および土層内の飽和帯水位から崩壊の発生を計算し、崩壊が発生した場合には、泥流発生地点までの流下過程を考慮している。

最後に、泥流発生地点におけるハイドログラフを宮本ら（1989）の 2 次元流れの泥流モデルへの入力条件として泥流の流下、侵食、堆積シミュレーションを行った。ここでは、飛騨山脈の長野・岐阜県境に位置する焼岳の北西斜面（足洗谷流域）を対象とした。火山噴出物温度、積雪密度、積雪深を変えたシミュレーション結果より、これらの条件が発生泥流のピーク流量だけでなく、そのタイミングに大きく寄与することがわかった。さらに、下流に位置する集落においても泥流到達のタイミングはこれらの条件に大きく左右されていた。

（6）研究集会について

- ① 研究集会名：連動性の高い火山災害軽減のための総合的研究
- ② 研究集会の開催場所と開催期日：中尾公民館、平成28年11月25日
- ③ 研究集会参加者一覧（氏名、所属、職名）：

氏名	所属	職名
	(所内)	
井口 正人	火山活動研究センター（桜島火山観測所）	教授
大見 士朗	地震防災研究部門	准教授
大志万直人	地震防災研究部門	教授
吉村 令慧	地震防災研究部門	准教授
宮崎 真大	地震予知研究センター	助教
三和佐知栄	地震予知研究センター	事務職員
藤田 正治	流域災害研究センター（宇治川ラボ）	教授

堤 大三	流域災害研究センター（穂高砂防観測所）	准教授
宮田 秀介	流域災害研究センター（穂高砂防観測所）	助教
市田児太郎	流域災害研究センター（穂高砂防観測所）	技術職員
辻本 浩史	気象・水象災害研究部門	特定教授
	(所外)	
宮本 邦明	筑波大学	教授
大石 哲	神戸大学	教授
及川 輝樹	気象庁地震火山部	研究員
重野 伸昭	気象庁地震火山部	研究員
田中 博	筑波大学	教授

行政関係者など

氏名	所属	職名
小窪 祐樹	岐阜県危機管理部防災課山岳遭難・火山対策室 火山防災対策係	
南沢 修	長野県危機管理部危機管理防災課	火山防災幹
林田 貴志	長野県危機管理部危機管理防災課	防災係主任
柳川 磨彦	国土交通省 神通川水系砂防事務所	調査課長
北川 正良	国土交通省 神通川水系砂防事務所	係長
酒向 秀典	国土交通省 松本砂防事務所	建設専門官
青柳 信太	環境省 平湯自然保護官事務所	保護官
小林 慎史	岐阜県飛騨県事務所振興防災課	課長補佐兼防 災係長
川上 富之	高山市上宝支所	次長
尾崎 元治	中日本高速道路株式会社八王子支社(安房峠道 路営業所)	総務企画課長
竹澤 弘平	同上	総務企画担当
高宮 勝	同上	
和田 博夫	元 京都大学防災研究所・上宝観測所	元技術職員
小池 信明		
内野 政光		

① 研究集会名：桜島課題研究集会

② 研究集会の開催場所と開催期日：レインボー桜島、平成29年1月6・7
日

③ 研究集会参加者一覧（氏名、所属、職名）：

氏名	所属	職名
	(所内)	
井口 正人	火山活動研究センター	教授
中道 治久	同上	准教授
味喜 大介	同上	助教
山本 圭吾	同上	助教
為栗 健	同上	助教
堀田 耕平	同上	特定研究員
Alex Poulidis	同上	特定研究員
長山 泰淳	同上	D1
日向 洋	同上	M2
後藤 周	社会防災研究部門	M2
大見 士朗	地震防災研究部門	准教授
石川 裕彦	気象・水象災害研究部門	教授
竹見 哲也	気象・水象災害研究部門	准教授
辻本 浩史	気象・水象災害研究部門	特定教授
	(所外)	
大湊 隆雄	東京大学	准教授
大久保修平	東京大学	教授
中田 節也	東京大学	教授
中川 光弘	北海道大学	教授
三浦 哲	東北大学	教授
西村 太志	東北大学	教授
中村 美千彦	東北大学	教授
太田 雄策	東北大学	准教授
新谷 直己	東北大学	M2

坂内 野乃	東北大学	M2
筒井 智樹	秋田大学	准教授
山岡 耕春	名古屋大学	教授
前田 裕太	名古屋大学	助教
大倉 敬宏	京都大学	教授
平良 真純	京都大学	M1
松島 健	九州大学	准教授
嶋野 岳人	常葉大学	准教授
八木原寛	鹿児島大学	助教
真木 雅之	鹿児島大学	特任教授
風早竜之介	産業技術総合研究所	研究員
下司 信夫	産業技術総合研究所	グループ長
大槻 静香	産業技術総合研究所	研究員
藤田 英輔	防災科学技術研究所	副センター長
小澤 拓	防災科学技術研究所	主任研究員
久保 智弘	防災科学技術研究所	主任研究員
佐藤 英一	気象庁気象研究所	研究官
森 健彦	気象庁気象研究所	研究官
石井 憲介	気象庁気象研究所	研究官
徳本 哲男	気象庁気象研究所	研究官
小窪 則夫	鹿児島地方気象台	
池亀 孝光	鹿児島地方気象台	
藤原 健治	鹿児島地方気象台	
満永 大輔	鹿児島地方気象台	

行政関係者など

氏名	所属	職名
郡司 清隆	鹿児島市危機管理課	主査
馬場 瑞樹	鹿児島市危機管理課	掛長
波多江 聡	垂水市総務課	課長

大坪 広幸	垂水市総務課	掛長
-------	--------	----

(7) 大学院生の参加状況

修士 2名、博士 1名 研究に参加（修士論文にとりまとめた）

(8) 関連して公表した論文、学会・研究会発表など：

研究集会「連動性の高い火山災害軽減のための総合的研究」，2016年11月25日

大見士朗：焼岳火山の研究監視観測網の現状

吉村令慧・橋本武志・宮崎真大・中川潤・加茂正人・菅野倭大朗・高田将仁・

三浦勉・中本幹大・荒上夏奈・大見士朗・井口正人，電磁気学的手法による
焼岳の構造推定－広帯域MTおよび磁気探査－，研究集会

及川輝樹：焼岳火山の噴火－過去・現在・未来－

重野伸昭：焼岳の最近の火山活動と噴火警戒レベル

宮田秀介：融雪型火山泥流到達範囲およびそのタイミングの予測手法

井口正人：連動性の高い火山災害軽減のための総合的研究

辻本浩史・井上 実・志村智也・町田駿一：UAVとドップラーライダーによる山
岳域気象観測

田中博：リアルタイム火山灰追跡 PUFF モデルを用いた航空安全対策

宮本邦明：メラピ火山を対象とした防災支援システムの開発

大石哲：レーダーによる噴煙量と降灰量分布推定に関する研究

研究集会「桜島噴火総合研究グループ」

大湊隆雄：桜島における無人ヘリによるGPS観測2011年11月-2016年9月

大久保修平：桜島火山の重力変動（2009年～2016年）を読み解く

山本圭吾・他：桜島火山周辺における精密水準測量（2016年11月）

八木原寛・他：鹿児島湾奥部における繰り返し海底地震観測

筒井智樹・他：反復地震探査の成果と今後の課題

大見士朗・他：桜島火山におけるマグマ活動発展過程の研究－雑微動解析によ
る構造変化－

山岡耕春・他：2015年8月15日のマグマ貫入イベントに伴いアクロスで捉えた地
震波伝播特性の変化

為栗健・他：2015年桜島で発生したマグマ貫入イベント前後の地震活動につい

て

長山泰淳・他：桜島2015年8月のマグマ貫入イベントにおける地殻変動の応答遅延時間分布及び緩和時間分布

中道治久・他：振幅を用いた2015年8月桜島マグマ貫入イベントに伴う地震の震源推定

藤田英輔：噴火未遂：2000年三宅島と2015年桜島の比較

小澤拓：合成開口レーダーを用いた火山活動把握に関する研究

風早竜之介：火山性流体の移動評価に基づく噴火現象の解明

嶋野岳人：火山灰粒子の顕微分光測色による定量分類法の検討

中川光弘：桜島火山噴火活動の岩石学的モニタリング：2015年噴火活動について

新谷直己：メルト包有物から制約する桜島火山歴史時代噴火のマグマ蓄積深度
太田雄策：国土地理院リアルタイムGNSS解析システム (REGARD) による噴煙柱即時把握の可能性について

佐藤英一：気象レーダー等を用いた桜島噴煙観測～レーダー観測状況及び観測データを利用したデータ同化手法の検討

真木雅之：XバンドMPレーダによる火山灰雲の三次元可視化

Sung-Ho Suh : Shapes and terminal velocities of volcanic ash particles measured with 2DVD

日向洋：桜島火山近傍LIDAR観測による火山噴出物の散乱特性

後藤周：桜島における大規模火山噴火を想定した事前広域避難施策に関する検討

下司信夫：火山地質図整備及び噴火シナリオの作成・高度化

西村太志：桜島火山の噴火に伴う傾斜変動の特徴とその物理的解釈

井口正人：先行する地盤膨張に基づく桜島昭和火口爆発の発生時刻及び規模の確率的予測

平成28年度京都大学防災研究所研究発表講演会（2017年2月21日・22日）

井口正人：火山観測機器を用いた土石流の量的検出

辻本浩史・井上 実・志村智也・町田駿一：UAVとドップラーライダーを用いた急峻な山岳地域における気象観測

吉村令慧・橋本武志・宮崎真大・中川潤・加茂正人・菅野倭大朗・高田将仁・三浦勉・中本幹大・荒上夏奈・山崎健一・大見士朗・井口正人、焼岳での電

磁気観測 -広帯域MT観測および磁気探査-

井上 実・佐々木寛介・小林明樹・辻本浩史・志村智也：ドローン（UAV）を用いた高層気象観測技術の実証、水文・水資源学会2017年度発表会
吉村令慧・橋本武志・宮崎真大・中川潤・加茂正人・菅野倖大朗・高田将仁・三浦勉・中本幹大・荒上夏奈・山崎健一・大見士朗・井口正人，焼岳での電磁気観測，Conductivity Anomaly（CA）研究会，2017年1月11日・12日。
吉村令慧・橋本武志・宮崎真大・中川潤・加茂正人・菅野倖大朗・高田将仁・三浦勉・中本幹大・荒上夏奈・山崎健一・大見士朗・井口正人，焼岳での電磁気観測 -広帯域MT観測および磁気探査-，JpGU-AGU Joint Meeting 2017，2017年5月。

概要

火山噴火は地表に火山灰、火砕流等が突然噴出する現象であり、可動性の高い物質が大気中および地表に拡散・堆積することにより連鎖的に災害を引き起こす。火山噴火による災害を軽減するために、火山観測により現在の火山活動を評価し、将来発生しうる噴火の定量的なシナリオを作成し、それに基づいて、火山灰の拡散及び降下や火砕流の流下と降雨がもたらす土石流などの二次移動を予測し、さらに、被害を予測する研究を行った。本プロジェクトでは従来の火山研究者だけでなく、火山に関連する地球惑星科学研究者に加え、気象学、土砂工学、情報学の研究者の所内外からの参画を得た。特に防災研究所内においては11の研究領域からの研究者が参加しており、火山災害の軽減のためには横断的連携が効果的であることが改めて示された。桜島では、始良カルデラ地下におけるマグマの蓄積増加量から大正3（1914）年級のVEI 4～5の大規模マグマ噴火の発生が予測されており、都市域を含む地域での避難行動までが検討された。焼岳は明治・大正期に噴火活動を頻発させており、過去の噴火履歴からVEI 2程度の水蒸気噴火が予想され、観測体制の整備を受けた防災対策が議論された。本研究は研究期間が1年と短いので、拠点としての枠組みの構築と基本技術の開発にとどまっているが、今後の研究の展開の方向性を明確に示すことができる。1つは火山灰の拡散と火砕流の流動の予測精度を向上させることである。このためには火山灰・火砕流の量的な予測とリアルタイムでの把握が重要である。火山灰の拡散は基本的に風の場合に依存するので、火山近傍の風の場合の把握が必要であり、特に、山頂付近における下降流が重要である。山頂

付近の下降流は火口周辺に多量の火山灰を堆積させるので、集中的に堆積した火山灰は土石流・泥流の発生源となる。噴火した直後の火山灰の量的な把握にはレーダーの活用が考えられる。桜島においては高度2000m以上の噴煙であれば、検知できるので、これを地上観測と照合させることにより定量化の精度を上げる必要がある。レーダーはもともと降雨の空間的把握に利用されており、火山灰雲と雨雲の両方を検知し、さらにそれらを識別しつつ、降灰とその後の土石流・泥流の発生予測を行う必要がある。

もう1つは火山体内部での地下水・熱水の把握である。火山体内部には常に地下水があり、大規模噴火でない限り水蒸気噴火のフェーズを経て、マグマ噴火に至る。火山体内部の地下水は水蒸気噴火のフェーズにおいても泥流として流出する可能性があり、地下水の把握は極めて重要である。本プロジェクトで実施したMT観測によって地下水・熱水の位置と構造的特性を調査するのに加え、地下水・熱水たまりの絶対量の把握とそれへの流入・流出を把握する研究が必要である。

本プロジェクトでは学生の参加は多くはないが、従来の火山学の枠組みにとらわれない研究は今後、新たな視点の学生の確保につながる可能性がある。また、多くの自治体の防災担当者があったので、その教育という意味では一定の成果が認められる。今後は、研究成果を火山防災協議会の枠組みにおける防災対策の議論で共有していく必要がある。

(9) 書類提出先：宇治地区事務部 研究協力課 共同利用担当

e-mail: kyodo@dpri.kyoto-u.ac.jp