

氏名（本籍）	南 裕介（富山県）
専攻分野の名称	博士（資源学）
学位記番号	工博甲 第11号
学位授与の日付	平成29年 3月22日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
研究科・専攻	工学資源学研究科・資源学専攻
学位論文題目（英文）	噴火様式の差異によるラハールの発生・流動様式への影響 -火山体直下熱水系の活動に起因する火山現象- (Effects of eruption type on the genesis, transportation, and deposition of some lahars - volcanic phenomena induced by activities of subvolcanic hydrothermal systems -)
論文審査委員	(主査) 教授 大場 司 (副査) 教授 今井 亮 (副査) 教授 内田 隆 (副査) 教授 石山 大三 (副査) 学外審査委員 伴 雅雄

論文内容の要旨

Lahar is a hazardous volcanic phenomenon. The term of a lahar is defined as the flow of a water-saturated mixture of water and debris that moves down on flanks of volcanoes. The flow characteristic of a lahar is changed by mixing with surface water as they travel downstream. Aspects of the downstream dilution and the flow transformation are influenced by solid components. The downstream dilution occurs more readily in clay-poor lahars (or cohesionless lahars) than in clay-rich lahars (or cohesive lahars) because clay-poor lahars mix with external water competently. The clay components of the clay-rich lahars are typically derived from the hydrothermally altered volcanic edifices. The componential characteristic, which is a clue to the origin of lahars, influence the flow behavior. To understand the behaviors including flow transformations, origin, and genesis of laharitic flow, we describe the lateral variations of sedimentary facies and the temporal variation in components for the lahar deposits at the northern base of Chokai volcano in this study. To consider the effects of activities of a subvolcanic-hydrothermal system on the occurrence of lahar, we investigated the mineralogy of the volcanic ash from the eruption at Ontake volcano on September 27, 2014, and compared with those of lahar deposits at the Chokai volcano.

Chokai volcano is an andesitic stratovolcano located in northeast Japan. There are volcanic-fan deposits at the northern base of Chokai volcano that overlie debris avalanche deposits. The volcanic fan gradient changes from steep to gentle with distance from the volcanic center. Microgeomorphology changes from lobate to smooth plain accordingly. The volcanic fan is composed of a series of post-collapse lahar deposits. The lahar deposits were emplaced as debris flow and hyperconcentrated flow mostly in the proximal volcanic fan, whereas the distal volcanic fan mostly comprises streamflow lahar facies and fluvial deposits, accompanying minor debris flow and hyperconcentrated flow facies. This spatial variation implies that lahars flowed down as debris flows in proximal area; then, they transformed into stream flows, although some debris/hyperconcentrated flows reached to the distal area. The facies variation reflects geomorphology of the volcanic fan; the debris flow deposits in the steep proximal volcanic fan form debris flow lobes, and the streamflow deposits form a gentle smooth plain in the distal volcanic fan. After the deposition of the debris avalanche 2.5 ka, lahar reached to the volcanic fan at least four times: the 4th – 6th century BC, 5th – 7th century AD, 8th-12th century AD, and 1801 AD. More debris flows arrived in the proximal volcanic fan, during mostly just after the emplacement of debris avalanche.

The volcanic ash of the eruption on 27th September 2014 at Ontake volcano consists mostly of altered rock fragments. The ash contains partly altered volcanic rock fragments consisting of primary igneous minerals (plagioclase, orthopyroxene, titanomagnetite, and feldspars) and volcanic glass accompanied by alteration minerals to some extents, and contains no juvenile fragments. These features indicate that the eruption was a non-juvenile hydrothermal eruption that was derived from the hydrothermal system developed under the crater. The major minerals derived from hydrothermal alteration zones are silica mineral, kaolin group mineral, smectite, pyrophyllite, muscovite, alunite, anhydrite, gypsum, pyrite, K-feldspar, albite, and rutile. Minor chlorite, biotite, and garnet are accompanied. Five types of alteration mineral associations are identified from observations on individual ash particles; silica - pyrite, silica - pyrite \pm alunite \pm kaolin, silica - pyrophyllite - pyrite, silica - muscovite \pm chlorite, and silica - K-feldspar \pm albite \pm garnet \pm biotite. The associations indicate development of advanced argillic, sericite, and potassic alteration zones under the crater. The occurrence of anhydrite veinlet and the set of alteration zones indicate hydrothermal alteration zones similar to late-stage porphyry copper systems. Comparing the mineral associations with the geologic model of the late-stage porphyry copper systems, the source depths of mineral associations are estimated to range from near surface to >2 km. The depths of advanced argillic alteration, sericite, and potassic

zones are 0 to ~2 km, ~1.5 to ~2 km, and >2 km, respectively.

Genesis of the lahar deposits at the northern base of Chokai volcano was inferred from their volumes, componential features, and historical documents. The muddy lahars occurred after the sector collapse in 466 BC. Series of sandy lahars followed the event of muddy lahar in the period between 5th to 9th centuries AD. Then, a muddy lahar took place in 1802 AD. The first lahar event was induced by the sector collapsed, and the sandy lahars in the next stage are attributed to magma eruptions. The final lahar event was caused by a hydrothermal (or phreatomagmatic) eruption. The facies variations imply the transformation from debris flow to hyperconcentrated flow (or sheetflood), preserved in both of muddy and sandy lahar deposits. Stratification of the hyperconcentrated flow (and sheetflood) deposits overlying the debris flow deposits indicate that flow transformation can occur even in muddy flow.

論文審査結果の要旨

1 論文審査結果の要旨

本論文は、火山災害をもたらす現象の一つであるラハールに関する地質学的研究である。本研究は、(1) ラハール堆積物と火山麓扇状地の地形学的特徴およびその発達史との関連性、および(2) 火山体直下の熱水系由来物質を含むラハールが如何に火山活動との関連しているかについて着目したものである。ラハールと火山麓扇状地の関連性については、鳥海山における2500年前以降のラハールを主要な調査対象とし、流動様式や堆積物の特徴と地形との関係を解明した。火山麓扇状地上部の急傾斜地では、土石流堆積物が卓越し、土石流ローブが明瞭に発達している。中部では、土石流堆積物と河川性堆積物が混在し、土石流ローブは不明瞭である。下部では明瞭な土石流地形は局所的にしか認められずに平坦な地形が発達しており、後背湿地にしばしばラハールが洪水流として流出している。火山麓扇状地を構成するラハール堆積物は複数存在し、繰り返しラハールが発生したことを示している。上部では、少なくとも16層のラハール層が認められ、そのうち上部8層は砂質火山灰に富み、下部8層は熱水変質物に富む粘着性ラハールである。下部の粘着性ラハールは鳥海山山体内部の熱水系に由来すると解釈した。中部～下部の堆積物から採取した有機物試料に対して放射性炭素年代測定を実施し、各ラハールの年代決定を実施した。その結果、ラハールの発生時期を決定し、下部の粘着性ラハールは2500年前の山体崩壊直後、その後5～9世紀頃に砂質火山灰に富むラハールが発生し、最後に西暦1801年に再び粘着性ラハールが発生したことを解明した。さらに本研究では、火山熱水系由来の粘着性ラハールの起原を解明するため、火山熱水系由来物質を多量に放出した2014年御嶽山水蒸気噴火の火山灰の調査を実施した。この調査では、火山灰に含まれる変質鉱物の種類を火山灰粒子毎に同定し、その組織観察を行った。その結果、多様な変質鉱物組み合わせが認められ、大まかに高度粘土化変質、白雲母変質、カリ変質に分類できた。この多様な変質タイ

プは火山体直下に累帯分布する変質帯に由来すると解釈される。御嶽山のような成層火山の直下に発達する変質累帯は、成層火山の化石と考えられている斑岩銅鉱床地域で過去に地質構造がよく調査され、Sillitoe(2008)等により地質構造の典型モデルが提唱されている。本研究では、御嶽山の地下に斑岩銅地帯と同様の変質累帯が存在すると解釈し、地質モデルと比較することにより、火山灰の起原深度を決定した。火山灰粒子は、最深 2km 以上の深さ（カリ長石帯）から、地表付近まで（高度粘土化変質）の幅広い深度に由来することが分かった。御嶽山では、水蒸気噴火の際に、小規模なラハールが発生している。鳥海山の粘着性ラハールも御嶽山同様に火山体の熱水系に由来すると考えられるものの、水蒸気噴火によってもたらされたものであるかは不明である。そこで、既往研究を元にラハールの体積と粘着性ラハールの起原について検討した。一般に斜面崩壊によって山体内部の熱水変質物がもたらされる場合と比較して、水蒸気噴火によってもたらされる粘着性ラハールはの体積は一般に小さい。鳥海山の粘着性ラハールの体積は大きいいため、水蒸気噴火によるものでは無い可能性が高い。

本論文の内容の一部（火山麓扇状地上部の地形と層序，御嶽山 2014 年火山灰の分析）については、申請者南が筆頭著者である査読付き論文（うち一編は英文）を出版している。未出版の内容も含め、国際的にみてもレベルの高い研究成果であり、かつ新規性が高い内容である。以上より、博士論文に相応しい論文であると判断できる。

2 最終試験結果の要旨

上記論文の内容について口頭で発表を行い、外部審査員である山形大学伴雅雄教授を含む 5 名の審査委員が評価を行った。予備発表において指摘された事項（堆積環境に関する用語の定義，熱水系の温度・深度等を推定するための鉱物学的検討，ラハールの体積に関する検討）について本試験までに検討・修正を行い、口頭発表にてその結果を明示した。発表は論文と同じ構成で研究内容の説明が行われ、論理的かつ理解しやすいプレゼンテーションを行った。発表後の質疑応答では、砂質・泥質堆積物層相からの運搬堆積様式の解釈方法，ラハールの流動様式変化とは何か，コロフォーム組織を示すカリ変質岩の起原，他地域で産するミョウバン石との比較等について質疑があり，それぞれの質問に対して適切に回答が述べられた。口頭発表による最終試験の結果，発表内容，質疑応答ともに博士を授与するに相応しいと判断され，合格であると判断した。