ISSN-2189-5155 for print ISSN-2189-5163 for online

国際火山噴火史情報研究集会 講演要旨集 2019-1

Proceedings of the International Meeting on Eruptive History and Informatics 2019–1



2019年7月14日(日) 福岡大学七隈キャンパス 国際火山噴火史情報研究集会 2019-1 プログラム

日時:2019年7月14日(日)

場所: 福岡大学七隈キャンパス 18 号館 2 階 1824 教室

- 主催:西日本火山活動研究集会,福岡大学理学部地球圏科学科火山・有機地質学研究室, 福岡大学工学部電子情報工学科メディア工学研究部門
- 後援: (公財) 阿蘇火山博物館

セッション1 斜面災害 9:00~10:05

座長:鳥井真之・太田岳洋

1-01 (9:00~9:20) 鳥井真之(熊本大学)・古市剛久(北海道大学)・長谷中利昭・北園 芳人(熊本大学)・遠田晋次(東北大学)・西山賢一(徳島大)・奥野充(福岡 大学)

「地震に伴うテフラ層の変形パターンとその成因: 熊本地震と胆振東部地震との 比較」

1-02 (9:20~9:50) 太田岳洋(山口大学)

「最近の火山岩地域での斜面崩壊の類似性」

1-03 (9:50~10:05) 鶴田直之・廣重法道・高橋伸弥・奥野充(福岡大学) 「スケールスペースを用いた地形特徴の表現に関する考察」

セッション2 噴火史情報(1) 10:15~11:30

座長: 辻 智大・小林 淳

2-01 (10:15~10:30) 坂本房江(福岡大学)角縁進(佐賀大学)・木戸道男(久留米大学)・松村秀喜(田川郡在住)・熊本智之(大和ボーリング工業)・澤田武美(山門高校)・奥野充(福岡大学)・英彦山団研グループ

「溶結部の黒曜石レンズの化学組成にもとづく今市火砕流の識別」

2-02 (10:30~11:00) 辻 智大(山口大学)・岸本 博(鹿児島地方気象台)・藤田浩司 (アジア航測)・中村千怜・長田朋大・木村一成(ナイバ)・池田倫治(四国総 研)・西坂直樹・大西耕造(四国電力)

「風化した降下軽石の粒度分布-九重第一軽石の例-」

2-03 (11:00~11:30) 小林 淳(静岡県富士山世界遺産センター)・萬年一剛(神奈川県 温泉地学研究所)・山口珠美(箱根ジオミュージアム)・長井雅史(防災科学技 術研究所)

「箱根火山中央火口丘上の火口列とその形成年代」

特別講演 11:40~12:20

座長:奥野 充

S-01 (11:40~12:40) 長谷中利昭(熊本大学)

「火山を究める一火山との関わりを振り返ってー」

セッション3 阿蘇カルデラ 13:20~15:10

座長: 宝田晋治・稲倉寛仁

3-01 (13:20~13:50) 宝田晋治(産総研)

「阿蘇4・姶良・洞爺噴火の火砕流・降下テフラの分布と噴出量推定」

- 3-02 (13:50~14:20) 宮城磯治(産総研)・須田泰市(東レリサーチセンター)・星住英 夫・斎藤元治(産総研)・宮縁育夫(熊本大学)・下司信夫(産総研) 「阿蘇カルデラの珪長質マグマの成因」
- 3-03 (14:20~14:40) 十川翔太・長谷中利昭・鳥井真之(熊本大学)・大石博之・田村智 弥(西日本技術開発) ・森 康(北九州市立自然史歴史博物館)

「南阿蘇村立野地域における先阿蘇溶岩の連続性:予察調査報告」

3-04 (14:40~15:10) 森 済(西日本技術開発)

「最近約100年の上下変動から見た阿蘇カルデラの活動度」

セッション4 噴火史情報(2) 15:20~16:50

座長: 堀川義之・鶴田直之

- **4-01** (15:20~15:35) 奥野 充(福岡大学) · Arkady B. Savinetsky · Olga A. Krylovich (ロシア科学アカデミー) · Virginia L. Hatfield (アリューシャン博物館) 「フォックス諸島,アナングラ島の泥炭層の掘削調査」
- **4-02**(15:35~16:305)角縁 進(佐賀大学)・下瀬洸也(芦刈小)

「ミクロネシア連邦チューク諸島 Weno 島の地質学的・岩石学的研究」

4-03 (16:05~16:20) 鶴田直之・廣重法道・奥村 勝(福岡大学)・鳥井真之・山尾敏孝 (熊本大学)

「潜在的意味論を用いたデータベース上の関連キーワード抽出と校正」

4-04 (16:20~16:50) 稲倉寛仁 (西日本技術開発)

「ベイズ統計学入門ーその2・ベイジアンネットワークー」

(表紙写真) 北西上空から見た Roundtop, Isanotski, Shishaldin 火山(2019.7.6 奥野撮影)

(裏表紙写真) ウムナック島の Airport Lake 沿いの泥炭層(2019.6.28 奥野撮影)

The International Meeting on Eruptive History and Informatics (2019-1)

Date: 14th July, 2019

Venue: Room 1824 in the 18th Building, Nanakuma Campus, Fukuoka University

Organization : The West Japan Volcanism Research Group, Laboratory of Volcanic and Organic Geology, Fukuoka University, Media Laboratory, Fukuoka University

Support : Aso Volcano Museum

Program:

Session 1 Slope Disaster $9:00 \sim 10:05$

Chair: Masayuki Torii and Takehiro Ohta

- 1-01 Tori, M. *et al.* "Deformation pattern of the tephra layer associated with the earthquake shaking and its origin: Comparison between the 2016 Kumamoto earthquake and the 2018 Hokkaido Eastern Iburi earthquake"
- 1-02 Ohta, T. "Similarity of the recent landslides in the volcanic rock fields"
- 1-03 Tsuruta, N. et al. "A study on representation of Terrain Features by using Scale Space Theory"
- (10:05~10:15 Short brake)

Session 2 Eruption history and informatics (1) $10:15 \sim 11:30$

Chair: Tomohiro Tsuji and Makoto Kobayashi

- **2-01** Sakamoto, F. *et al.* "Identification of the Imaichi pyroclastic-flow deposit based on the chemical composition of the obsidian lenses in welded part"
- **2-02** Tsuji, T. *et al.* "Total Grain Size Distribution of Altered Pumice Fall –Example of Kuju Daiichi Pumice Fall Deposit-"
- **2-03** Kobayashi, M. *et al.* "Eruption ages of the latest chains of craters on the central-cones of Hakone volcano"

(11:30~11:40 Short brake)

Special Session 11:40~12:40

Chair: Mitsuru Okuno

S-01 Hasenaka, T. "Investigation of volcanoes: Personal history of volcanic research"

(12:20~13:20 Lunch time)

Session 3 Aso caldera 13:20~15:10

Chair: Shinji Takarada and Hirohito Inakura

- **3-01** Takarada, S. "Estimation of Eruptive Volume of Large-scale Ignimbrites and Pyroclastic Falls of the Aso-4, Aira and Toya eruptions"
- 3-02 Miyagi, I. et al. "On the petrogenesis of felsic magma in Aso caldera"
- 3-03 Togawa, S. *et al.* "Lateral extension of Pre-Aso lavas at the western part of Tateno district, Minami-Aso village: Reconnaissance Report"
- **3-04** Mori, H. "Aso caldera activity for the last hundred years inferred from the vertical displacement in and around the caldera."

(15:10~15:20 Short brake)

Session 4 Eruption history and informatics (2) 15:10~16:45

Chair: Yoshiyuki Horikawa and Naoyuki Tsuruta

- 4-01 Okuno, M. *et al.* "Trench Survey of Peat Layers on Anangula Island, Fox Islands, SW Alaska"
- 4-02 Kakubuchi, S. and Shimose. K. "Geological and Petrological study of the Weno island in Chuuk Islands, Federated States of Micronesia."
- **4-03** Tsuruta, N. *et al.* "Detection and Correction-Proposal of Related Keywords on Database by using Latent Semantics"
- 4-04 Inakura, H. "Introduction to Bayesian Statistic -2. Bayesian Network-"

⁽Cover Photo) Roundtop, Isanotski, and Shishaldin volcanoes, NE Unimak Island (by M. Okuno, 6th July, 2019) (Back Cover Photo) Peat layers around Airport Lake, SW Umnak Island (by M. Okuno, 28th June, 2019)

1-01 地震に伴うテフラ層の変形パターンとその成因:熊本地震と北海 道胆振東部地震との比較

鳥井真之¹⁾・古市剛久²⁾・長谷中利昭¹⁾・北園芳人¹⁾・遠田晋次³⁾・西山賢一⁴⁾ 奥野 充⁵⁾

Deformation pattern of the tephra layer associated with the earthquake shaking and its origin: Comparison between the 2016 Kumamoto earthquake and the 2018 Hokkaido Eastern Iburi earthquake

Masayuki Torii1¹⁾, Takahisa Furuichi²⁾, Toshiaki Hasenaka¹⁾, Yoshito Kitazono¹⁾ Shinji Toda³⁾, Ken-ichi Nishiyama⁴⁾, Mitsuru Okuno⁵⁾

- 1) Center for Water cycle, Marine environment and Disaster management, Kumamoto University, Kumamoto 860- 8555, Japan
 - 2) Graduate School of Agriculture, Hokkaido University, Sapporo 060-8589, Japan
 - 3) International Research Institute of Disaster Science, Tohoku University
 - 4) Graduate School of Technology, Industrial and Social Sciences, Tokushima University
 - 5) Department of Earth System Science, Faculty of Science, Fukuoka University, Fukuoka 814-0180, Japan

火山地質と地震(地震動,地震断層)との関係において,それら複合要因による斜面災害に ついての発生メカニズムの理解は必ずしも進んでいない.近年,降下火砕物からなる地域で, 地震による規模の大きな斜面崩壊現象が立て続けに発生した.阿蘇カルデラ後カルデラ火山 群の位置する南阿蘇村では,2016年熊本地震時に震度6強を観測するとともに,地表地震断 層が出現し,その近傍の降下火砕物により構成された緩傾斜が多数崩壊した.さらに,2018 年北海道胆振東部地震では降下火砕物が分布する北海道厚真町で最大震度7が観測され,地 表地震断層が確認されていないにもかかわらず,多数の斜面崩壊が発生している.熊本地震 での斜面崩壊は草千里降下軽石層でのすべり面形成が一因と考えられている(笠間ほか,2018 など).しかし,演者らの調査では,すべり面の層準は必ずしも草千里降下軽石層ではない こと,また崩壊もシート状に滑る落ちるケースや,累重するテフラ層が縦の柵状(スライス 状)に断裂し並ぶ特徴的な構造など様々なケースが認められた.一方,厚真町においては, シート状の崩落が多数認められるものの,柵状構造は認められていない.地震動,地震断層 (活断層)そして降下火砕物の3要素は,崩壊現象発生の要因として何らかの因果関係が推定されることから,それらを結びつけ崩壊メカニズムを理解する必要がある.

Reference

笠間清伸・山縣史朗・田中大貴・古川全太郎・安福規之(2018)南阿蘇村高野台地区に分布する 火山灰質地盤の地震時安定性評価.地盤工学ジャーナル,**13**,171-181.



Fig.1 南阿蘇村高野台での地すべり. 草千里ヶ浜降下軽石層より下位にすべり面がある



Fig.2 南阿蘇村高野台での地すべり. プレッシャーリッジを形成している.

1-02 最近の火山岩地域での斜面崩壊の類似性

太田 岳洋 1)

Similarity of the recent landslides in the volcanic rock fields Takehiro Ohta¹⁾ *1) Yamaguchi University*, Yamaguchi 753-8512, Japan

近年,地震時に火山体や火山岩,火山噴出物の分布域で多くの斜面崩壊が発生し,多くの 人命が失われるなど甚大な被害が生じている.2016年熊本地震や2018年北海道胆振東部地 震においては,斜面表層に分布するテフラ層をすべり面とする表層崩壊が多発したことが報 告されている(宮縁,2016,柳井他,2019).また,熊本地震では阿蘇カルデラ壁において崩 壊深度の深い大規模な斜面崩壊が発生している(宮縁,2016).一方,豪雨によってもこれま でに,1990年梅雨前線による豪雨(阿蘇),1993年8月豪雨(鹿児島),2012年7月九州北 部豪雨(阿蘇),2013年台風第26号による暴風・大雨(伊豆大島),2017年7月九州北部 豪雨(日田)などにより,火山体や火山噴出物の分布域で数多くの斜面崩壊が発生し,甚大 な被害がもたらされている.さらに,2018年4月には大分県耶馬渓において地震や豪雨など の明瞭な誘因もなく,火砕流台地の浸食崖で大規模な斜面崩壊が発生し,6名の人命が失われ た.

日本には111の活火山が分布し、500万年前以降の新しい火山噴出物が広く分布しており、 これらの範囲において前述のように甚大な被害をもたらす多くの斜面崩壊が発生している. このことから、火山岩が分布する範囲において斜面崩壊の発生メカニズムを、素因、誘因の 両面から明らかにすることは、今後の防災・現在を考えるうえで重要な課題である.そこで、 2012年7月九州北部豪雨の際に大分県竹田市の阿蘇火砕流堆積物の分布域で発生した斜面崩 壊、2017年7月九州北部豪雨の際に日田市の火山岩分布地域で発生した斜面崩壊、そして 2018年4月の耶馬渓の斜面崩壊について現地調査を行い、それぞれの発生に寄与した地質条 件を明らかにし、それらの類似性を捉えたので、報告する.

1. 各地域における斜面崩壊地の地質構造

1.1 2012年7月九州北部豪雨における阿蘇火砕流堆積物分布域での斜面崩壊

大分県竹田市は阿蘇カルデラの東側に位置し,広く阿蘇火山の火砕流堆積物が分布する. 2012年7月九州北部豪雨の際には,竹田市の火砕流台地を下刻する河川沿いの斜面で多くの 斜面崩壊が発生した(図1).



図1 竹田市西部の地質と2012年7月九州北部豪雨時の斜面崩壊位置



図 2 Aso-4 火砕流堆積物における斜面崩壊地の地質状況

Aso-4 火砕流堆積物の分布域に位置する斜面崩壊地では,下位から降下火砕物層,非溶結凝 灰岩層,溶結凝灰岩層が認められた(山下・太田,2017,図2).降下火砕物層は主に褐色-黄 土色の降下軽石層や黒色の火山灰薄層から構成され(山下・太田,2017,図2),Aso-4/3間の 降下火砕物と推定される.非溶結凝灰岩層は基質が明灰色から灰褐色を呈し,直径が最大 20cm 程度の軽石を多量に含む.溶結凝灰岩層は基質が暗灰色で,強く溶結を受けているため 黒曜石がレンズ状を呈していた.また,鉛直方向に伸びる多数の冷却節理が確認できた.こ れらの凝灰岩層はAso-4 火砕流堆積物である.斜面崩壊はこれらの層のうちAso-4 火砕流堆 積物の非溶結部で発生したことが確認できた(山下・太田,2017).

一方, Aso-3 火砕流堆積物が最上位に分布する地域での斜面崩壊地では,下位から Aso-3/2 巻の降下火砕物と推定される降下火砕物層, Aso-3 火砕流堆積物の弱溶結凝灰岩が認められ た(山下・太田,2017,図3).一部の崩壊箇所では,降下火砕物層の上位に崖錐堆積物ある いは古い崩壊堆積物(二次堆積物)が分布する.降下火砕物層と上位層の境界部付近からは 水の湧出が確認された.斜面上部の滑落崖は粘土質で,直径約10 cmの」パイピングホールが 確認された.斜面崩壊は弱溶結の溶結凝灰岩または二次堆積物層で発生したと考えられる.







図4 滑落崖に認められるパイピングホール

1.2 2017年7月九州北部豪雨における日田市の火山岩分布域での斜面崩壊

2017年7月5日~6日の豪雨により,福岡県朝倉市,東峰村および大分県日田市において,約200箇所の斜面崩壊が発生し,死者行方不明者41名という甚大な災害が発生した.当該地域の地質は,朝倉市には概ね花崗岩類と変成岩類が分布し,東峰村から日田市にかけては新 第三期の火山岩類が分布する(図5).



図 5 福岡県朝倉市,東峰村および大分県日田市周辺の地質(産総研シームレス地質図) 赤枠:今回報告する調査範囲



図 6 レーダー雨量計による 2 日間雨量の分布と斜面崩壊位置(Ohta and Eguchi, 2019)
 黒枠:今回報告する調査範囲

当該期間において、朝倉アメダス観測所では最大時間雨量 129.5 mm,最大3時間雨量 261 mm,最大24時間雨量 545.5 mm が観測され、日田アメダス観測所ではそれぞれ 74 mm,180.5 mm,369.5 mm が観測された.レーダー雨量計による観測では7月5日~6日の2日間雨量が 朝倉市の広い範囲で 600 mm を越え、その範囲で多数の斜面崩壊が発生した(西村他,2018, 図 6).一方、火山岩が分布する東峰村から日田市では、北部で2日間雨量が 600 mm を超え る地域が分布するが、斜面崩壊は2日間雨量 400~550 mm の範囲で発生している(西村他, 2018、図 6).また、花崗岩類や変成岩類からなる朝倉市での斜面崩壊は、崩壊面積の小さい 表層崩壊が大多数であるのに対し、火山岩からなる東峰村から日田市での斜面崩壊は崩壊面 積が大きく(西村,2018)、表層崩壊ではなく岩盤崩壊が発生したと考えられる.

東峰村から日田市における火山岩分布地域における斜面崩壊(図5の赤枠内,図6の黒枠内)について,写真判読により地形の特徴を抽出し(図7),斜面崩壊地の現地踏査により地 質状況を把握した(図8).現地調査を行った斜面崩壊地は図7に示す8箇所である.その結 果は以下のとおりまとめられる(Ohta and Eguchi, 2019).

- 今回発生した斜面崩壊の多くが,過去の崩壊跡の地形を呈する範囲の一部あるいは近接 した位置で発生している.
- ② 大部分の崩壊地の地質は、下位の火砕流堆積物を硬質で柱状節理が発達した安山岩質溶

岩流が覆っており,滑落崖は溶岩流に位置する.安山岩溶岩の岩質は角閃石両輝石安山 岩または両輝石安山岩である.そして,溶岩の下位には固結した火砕流堆積物が分布す る。

③ 調査地域北部は小鹿田焼や小石原焼などで有名な地域であり、その原料の粘土が採掘されるなど、強い熱水変質を受けた火山岩類が分布し、この範囲では斜面崩壊数が少ない.



図7 調査地域における斜面崩壊地周辺の地形の特徴(Ohta and Eguchi, 2019)



図 8 火山岩分布地域における斜面崩壊地の地質(Ohta and Eguchi, 2019)

1.3 2018年4月の耶馬渓での斜面崩壊

2018 年 4 月 11 日に中津市耶馬渓町で発生した斜面災害は,降雨や地震動など明瞭な誘因 もなく発生したことから,当該地域の地形・地質や地下水が強く関与していると考えられて いる.当該斜面周辺の地質は,上位から谷部に点在する阿蘇起源の火砕流堆積物,標高約 400 mの台地面を形成する今市火砕流堆積物,標高約 350 mのやや開析された台地面を形成する 耶馬渓火砕流堆積物,斜面下部の緩傾斜を形成する宇佐火山岩類(石塚他,2009)が分布する. 宇佐火山岩類を八面山安山岩類,釣鐘山安山岩類,宮園安山岩類,下毛層(凝灰角礫岩,砂 岩・シルト岩,溶岩部,変質部)と細分している報告もある(大分県,1994).

崩壊地の地質は以下のとおりである.滑落崖南側では滑落崖の上方から滑落崖にかけて溶結した耶馬渓火砕流が分布し、その下位に耶馬渓火砕流の非溶結部が分布する(太田他,2018,図9).この非溶結部の下位に弱溶結火砕流堆積物,非溶結火砕流堆積物,軽石流堆積物が分布する(太田他,2018,図9).これらのうち軽石流堆積物を除く火砕流堆積物は鉱物組合せや石基組織から耶馬渓火砕流の1ユニットと考えられる(太田他,2018).軽石流堆積物については、既存報告と対比はできていない.軽石流堆積物の下位には、下毛層の礫岩層、凝灰質砂岩とシルト岩の互層が分布する(太田他,2018,図9).一方,滑落崖北側では、最上部の耶馬渓火砕流溶結部の見かけ上の下位に軽石層が分布する(図10).この軽石は単斜輝石斜方輝石デイサイトで、今市火砕流基底部の降下軽石(石塚他,2009)と考えられる.よって、この軽石層は耶馬渓火砕流堆積物を不整合で覆う崖錐堆積物と考えられる(太田他,2018). また,滑落崖下部では下位層を高角の不整合で覆う非~弱溶結火砕流堆積物が堆積する(図10).この堆積物は岩石学的特徴から、耶馬渓火砕流堆積物のメンバーと考えられるが、堆積状況から本堆積物も崖錐堆積物の可能性が高い(太田他,2018).



図9 耶馬渓斜面崩壊地滑落崖南側の露頭写真



図10 耶馬渓斜面崩壊地滑落崖北側の露頭写真

斜面下部はくさび状に崩壊しており、その崩壊頭部の標高約 210m から湧水が常時湧出す る.くさび状崩壊部から滑落崖下部の間は崩落ブロックが堆積しており、この間の地質は把 握できない.くさび状崩壊部には斜面下部を構成する黄褐色を呈する凝灰角礫岩が露出する. 湧水点直上には緑色を呈する変質した凝灰角礫岩が分布する.X 線回折試験の結果、凝灰角 礫岩には石英、長石、クリストバライト、ハロイサイト、スメクタイトが含まれる.緑色の凝 灰角礫岩には石英、長石、緑泥石が認められる.これらの特徴から、斜面下部の凝灰角礫岩 は下毛層変質部(大分県、1994)に相当し、湧水点直上はより風化程度が高いと考えられる(太 田他、2018).

以上の結果から,崩壊地の地質構造は大局的には下位より,凝灰角礫岩(変質部),礫岩・ 凝灰質砂岩・シルト岩,耶馬渓火砕流堆積物(非溶結部),耶馬渓火砕流堆積物(溶結部)か らなる.凝灰角礫岩(変質部)と礫岩・凝灰質砂岩・シルト岩の境界は不明であるが,凝灰角 礫岩(変質部)上面には常時地下水が存在し,変質が進行していたと考えられる(図11左). 滑落崖の北側では非溶結部と礫岩・凝灰質砂岩・シルト岩は溶結部の急崖の連続部まで浸食 され,そこに非溶結部起源の土壌物質と今市火砕流の基底の降下軽石が崖錐として堆積して いたと推定される(図11右).



2. 火山岩分布地域における斜面崩壊地の地質構造の類似性

前章に述べた各地域における崩壊地の地質構造を以下に整理する.

2012 年 7 月九州北部豪雨時に竹田市の火砕流堆積物の分布地域で発生した斜面崩壊につい て, Aso-4 火砕流堆積物が分布する地域の斜面崩壊地の地質は, 滑落崖最上部に柱状節理の発 達した Aso-4 火砕流の強溶結部が分布し, その下位には透水性の高い同火砕流の非溶結部, さらにその下位には透水性の極めて小さい Aso-4/3 間の降下火砕物が分布する.一方, Aso-3 火砕流堆積物の分布地域の斜面崩壊地では, 崩壊は Aso-3 火砕流の弱溶結部あるいは崖錐堆 積物で発生し, それらの下位には上位層に比べて明瞭に透水性の小さい Aso-3/2 間の降下火 砕物層が分布する。

2017年7月九州北部豪雨の際に日田市の火山岩分布地域で発生した斜面崩壊箇所において 共通してみられ地質構造の特徴は,滑落崖頂部から上部にかけて,柱状節理の発達した溶岩 流が分布すること,その下位に固結した火砕流堆積物が分布することである.この火砕流堆 積物は固結しているため,岩盤全体としては上位の節理の発達した溶岩に比べて,小さい透 水性を有すると想定される.なお,同じ火山岩が分布する範囲内でも強く熱水変質が作用し た地域では,上位の溶岩部においても変質による粘土化が顕著であり,斜面全体として透水 性が低下していたことが推定される.

2018年4月に発生した耶馬渓の斜面崩壊地では,滑落崖頂部は耶馬渓火砕流堆積物の強溶 結部最下部にあたり,その下位には非溶結の火砕流堆積物が分布する.そしてその下位には よく固結した下毛層の礫岩,凝灰岩質砂岩とシルト岩の互層,凝灰角礫岩が分布する.火砕 流堆積物の強溶結部は滑落崖の上方に分布するものも含めて,柱状節理等の不連続面が発達 し,一部は開口していたことから,岩盤として高い透水性を有する.下位の非溶結部は多孔 質であることから,ある程度高い透水性を有すると考えられる.一方,下毛層の堆積岩類は 固結程度が高く,上位の火砕流堆積物に比べて岩盤としての透水性は小さいと推定される。 しかしながら,火砕流堆積物と下毛層堆積岩との層境界には顕著な湧水は認められず,下毛 層の凝灰角礫岩層中に顕著な湧水が確認されている.

以上から,検討した3地域の斜面崩壊の発生地域においては,滑落崖頂部に鉛直方向に伸 長する柱状節理が発達した強度の大きな火砕流堆積物の強溶結部あるいは溶岩が分布するこ とが,応用地質学的に類似した特徴としてあげられる.二つ目の類似する特徴としては,こ れらの強溶結部あるいは溶岩の下位に,これらよりも材料としての強度の低い非溶結の火砕 流堆積物が分布することがあげられる.このような大きな強度の岩盤の下位に強度の小さい 堆積物が分布する地質構造は,北松型地すべり地(黒田・松井,1970)などで特徴的にみられ る構造であり,溶結凝灰岩や溶岩をキャップロックとする斜面地質学的な"キャップロック構 造"であるといえる(藤田,2004).さらに,溶結凝灰岩をキャップロックとする場合にはその 下位の非溶結部のさらに下位の降下火山灰層あるいは堆積岩層が,また溶岩をキャップロッ クとする場合には下位の火砕流堆積物層が,キャップロックに対して岩盤として非常に小さ い透水性を示すことが想定される.

3. 火山岩分布地域の地質構造に規制された崩壊メカニズム

上述のように,対象とした3地域における地質構造は,斜面地質学的に①岩盤として高い 透水性を有し強度の大きなキャップロックの分布,②キャップロックの下位に低強度の岩盤 の分布,③キャップロックの下位に小さな透水性の岩盤の分布,で特徴づけられる。3地域の 斜面崩壊のうち竹田市と日田市の斜面崩壊の誘因が降雨であることは疑いようがないが,耶 馬渓の崩壊は明瞭な斜面崩壊に対する誘因現象は生じておらず,風化の進行にともなった岩 盤強度の低下と岩盤自体の自重が誘因と考えられる.斜面地質学的には類似した地質構造を 呈する地域で,異なった誘因によって同程度の規模の斜面崩壊が発生したことは,斜面崩壊 の発生に対する地質構造の重要性を示唆している.

降雨が誘因となった斜面崩壊は、キャップロック中の柱状節理に沿って降雨が下位の低強 度岩盤に浸透し、下位の低透水性岩盤の上位で浸透水が滞留するため、そこでの間隙水圧が 上昇して有効応力が低下することによって崩壊に至ると推定される.一方、強度低下と自重 が誘因と考えられる斜面崩壊は、通常の降水のキャップロック中の柱状節理に沿った浸透に より、下位の低強度層に地下水が供給され、その地下水が供給され続けることにより岩盤が 風化して強度が低下し、その強度を自重により作用する応力が超えた時に崩壊が生じると考 えられる.

いずれの場合も、斜面崩壊は降水がキャップロック中を浸透することに起因していると推 定され、間隙水圧が崩壊に至るまで上昇するか、風化の媒体となりうる常時の地下水の供給 程度にとどまるかは、降雨強度とキャップロックと下位層との透水性の相違の関係によると 推定される.この関係およびこの関係が斜面崩壊への寄与については、まったく解明されて おらず今後の課題といえよう.この問題を検討する際には、キャップロックの上位に分布す る降下火山灰層や土壌などの表層の影響も考慮する必要があると考える.

Reference

藤田崇(2004):Ⅱ.2章 基盤構造,地すべり 地形地質的認識と用語(地すべりに関する地 形地質擁護委員会編) 第Ⅱ編 地形地質場,社団法人日本地すべり学会,pp.118-132. 石塚他(2009):20万分の1地質図幅「中津」,産業技術総合研究所地質調査総合センター. 黒田和男・松井和典(1970):北松型地すべりと地質構造との関連性について-既刊資料に

よる予察的研究-,防災科学技術総合研究報告, No.22, pp.39-54.

- 宮縁育夫(2016):平成28 年(2016 年) 熊本地震によって南阿蘇村周辺域で発生した斜面災 害,地学雑誌, Vol. 125, No.3, pp.421-429.
- 西村智博・高見智之・松澤真(2018):調査地域における地すべり・崩壊の発生状況,2017年 九州北部豪雨災害調査団報告書,日本応用地質学会,pp.15-27.
- 太田岳洋・撰田克哉・松澤真・黒木貴一(2018):2018年4月耶馬渓斜面崩壊地の地質構造と 考えられるいくつかの崩壊モデル,日本応用地質学会平成30年度研究発表会講演論文集, pp.77-78.
- Ohta, T. and Eguchi, S. (2019): Landslides and debris flows in volcanic rocks triggered by the 2017 Northern Kyushu heavy rain, Proceedings of the seventh international conference on debris-flow hazards mitigation, Golden, Cororado, USA, pp.790-797.

大分県(1994):土地分類基本調査 耶馬渓 5万分の1 国土調査, 59p.

- 柳井清治・古市剛久・小山内信智(2019):2018年北海道胆振東部地震によって発生した山地 崩壊とテフラ層の関係,日本森林学会大会発表データベース,130巻J6.
- 山下純平・太田岳洋(2017):大規模火砕流の堆積分布域における豪雨時の斜面崩壊の発生 条件に関する検討,日本応用地質学会平成29年度研究発表会講演論文集,pp.235-236.

鶴田直之^{1,*}•廣重法道¹•高橋伸弥^{1,*}•奥野充^{2,*}

A Study on Representation of Terrain Features by using Scale Space Theory Naoyuki Tsuruta^{1,*}, Norimichi Hiroshige¹, Shin-ya Takahashi^{1,*}, Mitsuru Okuno^{2,*} ¹Department of Electronics Engineering and Computer Science, Faculty of Engineering, Fukuoka University

² Department of Earth System Science, Faculty of Science, Fukuoka University, Fukuoka 814-0180, Japan *ACRIFIS-EHAI, Jonan-ku, Fukuoka 814-0180, Japan

地形の勾配や凹凸により、地形形成の要因を土石流か地すべり、落石、崩落と識別することは、地形判読の一つとして広く行われている[1]。これに対し、地図がデジタル化された現 代においては、コンピュータを用いて地形判読を自動化できる可能性も広がっていると思わ れ、地形の曲率を用いた地形分類の研究を確認することができる[2,3]。さて、デジタル化され た地図データのうち、数値標高モデル(DEM)は一定の距離間隔でメッシュ化した地点にお いて標高(スカラー値)を記憶したものである。一方、デジタル画像のうち濃淡画像も一定 距離間隔でメッシュ化された画素に濃淡値(スカラー値)を記憶したものである。画像処理 の分野では、濃淡変化の曲率を分析するのに二次微分オペレータ(Laplacian Operator)を用い た演算と Gaussian フィルタによる平滑化操作を組み合わせて画像を分析する、スケールスペ ース理論(Scale Space Theory)が展開されている[4]。スケールスペース理論を応用すると画像 の領域分割や、画像特徴点の自動検出、検出した特徴点による類似画像の検索や位置合わせ が可能になる。本稿では、そのスケールスペース理論を DEM データに適用し、地形の分割や 分類、類似地形の検索に応用できるかどうかについて考察する。

Reference

- [1] いまさら聞けない地形判読, 月刊『測量』別冊, 公益社団法人日本測量協会
- [2] 横山, 白沢, 菊池, 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, 1999
- [3] 太田, 八戸, 数値標高モデルによる地形計測の現状と応用例, 応用地質, Vol. 46, No. 6, pp. 347-360, 2006
- [4] Lindeberg, Tony, Scale-Space Theory in Computer Vision, The Springer International Series in Engineering and Computer Science, 1994

2-01 溶結部の黒曜石レンズの化学組成にもとづく今市火砕流の識別

坂本房江¹⁾・角縁 進²⁾・木戸道男³⁾・松村秀喜⁴⁾・熊本智之⁵⁾・澤田武美⁶⁾・ 奥野 充⁷⁾・英彦山団研グループ

Identification of the Imaichi pyroclastic-flow deposit based on the chemical composition of the obsidian lenses in welded part Fusae SAKAMOTO¹, Susumu KAKUBUCHI², Michio KIDO³, Hideki MATSUMURA⁴, Tomoyuki KUMAMOTO⁵, Takemi SAWADA⁶, Mitsuru OKUNO⁷ and Hikosan Collaboration Group

1) Department of Earth System Science, Graduate School of Science, Fukuoka University, 8-19-1 Nanakuma, Jonan-ku, Fukuoka 814-0180, Japan

2) Faculty of Education, Saga University, 1 Honjo-machi, Saga 840-8502, Japan

3) Kurume University, 1635 Miimachi, Kurume 839-8502, Japan

4) Resident of Tagawa-gun, Fukuoka Prefecture

5) Daiwa Boring Industry, 5301-2 Nakatsuemura, Hita, Oita 877-0301, Japan

6) Yamato High School, 1730-1 Setaka-machi Kaminosho, Miyama, Fukuoka 835-0025, Japan

7) Department of Earth System Science, Faculty of Science, Fukuoka University, 8-19-1 Nanakuma, Jonan-ku, Fukuoka 814-0180, Japan

今市火砕流堆積物は中部九州に分布する,輝石デイサイト質の火砕流堆積物である.逆帯 磁し(松山逆磁極期),ハラミヨ・イベントに噴出(宇都・須藤,1985)した耶馬渓火砕流を 覆う特徴を持つ(鎌田ほか,1994a).(以下,地層としての火砕流堆積物のことを単に火砕流 と略記する).今市火砕流の co-ignimbrite ash-fall deposit は,給源から 900 km 以上も飛来した と考えられており(鎌田ほか,1994b),またその分布と層厚より今市火砕流は体積約 90 km³ におよぶ大規模火砕流であると推定される(鎌田ほか,1994a).耶馬渓火砕流と今市火砕流 の噴出年代は,0.98±0.02 Ma と 0.83±0.02 Ma の Ar-Ar 年代がそれぞれ得られている(宇都 ほか,1999).同じく中部九州に分布する阿蘇-4 火砕流(0.089±0.007 Ma, K-Ar 年代)(松本, 1996)と今市火砕流の強溶結部は野外で識別困難な場合が多い.両者は斑晶組み合わせや岩 石の磁化方位の違いによる識別も可能であるが,化学的特性がわかっておらず,そのため, まずは今市火砕流の化学組成を得る必要がある.坂本ほか(2019)は、今市火砕流の模式地 (鎌田ほか,1994a)周辺から採取した溶結部の試料を用いて,その中に含まれる黒曜石レンズの化学組成を蛍光X線(XRF)分析(WDS)により測定した.



図1 位置図. (a) 九州の活火山の分布. 四角枠は(b)の範囲を示す. (b) 今市火砕流堆積物 の分布(星住ほか, 2004, 2015;石塚ほか, 2009を編集). 白抜きの矢印は, (c)の範囲 を示す. (c) 試料採取地点. 国土地理院の1:25,000 地形図「豊後今市」の一部.

この講演では、坂本ほか(2019)に加えて、模式地以外のデータについても報告し、今市火砕流の分布について検討する.以下では、坂本ほか(2019)の概略を紹介する.

1. 採取試料と分析方法

今市火砕流の模式地(鎌田ほか, 1994a)である大分県大分市福宗籠ノ台のLocs.A(9試料),Locs.B(1試料)と大分市太田のLoc.C(54試料)(図1)の強溶結部から採取した黒曜石レンズ計64試料をもちい,黒曜石レンズに含まれる主成分と微量元素を,低希釈ガラス円板を用いた蛍光X線分析法により測定した(坂本ほか, 2019).



図2 今市火砕流堆積物の代表的な SiO₂-酸化物図(坂本ほか, 2019)



図3 今市火砕流堆積物の代表的な微量元素図(坂本ほか, 2019)

2. 結果と予察的検討

全鉄は FeO として再計算し, Ig.loss を除いて 100 wt.%になるように規格化した値を用いる (坂本ほか, 2019). 主成分元素のデータの SiO₂-酸化物図を図 2 に, 微量元素を図 3 に示

す.

今市火砕流中の黒曜石レンズの化学組成は、SiO2の含有量が約61.8~68.3 wt.%であり、約5%の組成幅を有する. SiO2の含有量に対する各元素の組成変化について検討する. 一般に MgO や FeO などのコンパチブル元素は、結晶分化作用で組成変化を生じたとすると SiO2の 増加に対して下に凸の曲線的な変化をする(例えば、McBirney、1993). しかしながら今市火 砕流の黒曜石レンズの組成変化は図2に示されるように、SiO2含有量の増加に対して MgO 含 有量が直線的に減少するトレンドを示している. このことは今市火砕流の起源マグマグ溜り 内では、マグマミキシングによりマグマの化学組成が変化したことを示唆している.

Locs. A, Bにおける SiO₂含有量は、2 試料(SiO₂=66.2 と 66.0 wt. %)を除いて、Loc. C の 組成範囲の高シリカ側(SiO₂=67.8~69.3 wt.%)に集中する(図 2).このことは、今市火砕流 のマグマ溜りが不均質でその噴出口が割れ目(つまり複数の火口)である場合、Loc. C の方 向で化学組成の異なるフローユニットが合流し、一方で Locs. A, B の方向には組成幅の狭い ユニットだけが流下した可能性が考えられる.また、流走距離によって軽石の分別が生じた 可能性も考えられる.これらを検証するためには、より広範囲にデータを集める必要がある. ただし、これまでのところ Locs. A, B は合わせて 10 試料しかなく、さらに試料数を増やせば、 組成幅も拡大することも考えられる.どの程度の試料数があれば、組成幅を捉えることがで きるか、Loc. C での SiO₂含有量の平均値および標準偏差の積算した結果、概ね 30 試料でそ の値は収束すること分かった.つまり、Locs. A, B の 10 試料は十分でないと考えられる(坂 本ほか、2019).

3. 阿蘇-4 火砕流との比較:主成分元素と微量元素

阿蘇-4 火砕流の化学組成については, 柚原ほか(2010)の9 試料および柚原・梅嵜(2017)の14 試料の分析値と比較する. 阿蘇-4 火砕流の軽石の化学組成は, SiO₂含有量の幅が約68.0~70.5 wt.%であり(柚原・梅嵜, 2017; 柚原ほか, 2010),上記の今市火砕流と重複する.したがって,両者をSiO₂含有量で単純に識別することはできないが,他の成分で比較すると,TiO₂とP₂O₅の含有量は今市火砕流が高く,Al₂O₃とMnOの含有量は逆に阿蘇-4 火砕流が高い(図 2).さらに微量元素ではBa,Nb,V,Znの含有量は今市火砕流の方が高く,Gaの含有量は阿蘇-4 火砕流の方が高い(図 3).以上のように,坂本ほか(2019)では主成分および微量元素の含有量の比較によって,2つの火砕流堆積物を確実に識別できることを確認した.

Reference

星住英夫・尾崎正紀・宮崎一博・松浦浩久・利光誠一・宇都浩三・内海 茂・駒澤正夫・広島 俊男・須藤定久 (2004) 20 万分の1 地質図幅「熊本」,産業技術総合研究所 地質調査総合 センター.

- 星住英夫・斎藤 眞・水野清秀・宮崎一博・利光誠一・松本哲一・大野哲二・宮川歩夢 (2015) 20 万分の1 地質図幅「大分」(第2版),産業技術総合研究所 地質調査総合センター.
- 石塚吉浩・尾崎正紀・星住英夫・松浦浩久・宮崎一博・名和一成・実松健造・駒澤正夫 (2009) 20 万分の1 地質図幅「中津」,産業技術総合研究所 地質調査総合センター.
- 鎌田浩毅・檀原 徹・林田 明・星住英夫・山下 透 (1994a) 中部九州の今市火砕流堆積物と類 似火砕流堆積物の対比および噴出源の推定.地質雑, 100, 279-291.
- 鎌田浩毅・檀原 徹・山下 透・星住英夫・林田 明・竹村恵二 (1994b) 大阪層群アズキ火山灰 および上総層群 Ku6C 火山灰と中部九州の今市火砕流堆積物との対比:猪牟田カルデラか ら噴出した co-ignimbrite ash. 地質雑, 100, 848-866.
- McBirney A.R. (1993) Igneous Petrology (Second Edition). Jones and Bartlett Publishers, 508p.
- 松本哲一 (1996) 若い火山岩の K-Ar 年代測定:初生比補正とその応用例. 地調ニュース, no. 501, 12-17.
- 坂本房江・角縁 進・木戸道男・松村秀喜・熊本智之・澤田武美・奥野 充・英彦山団研グルー プ(2019)中部九州,今市火砕流堆積物中の黒曜石レンズの化学組成:阿蘇-4 火砕流との 識別. 福岡大学理学集報,49,79-88.
- 宇都浩三・須藤茂 (1985) 豊肥地熱地域の火山岩の K-Ar 年代. 地調報告, No. 264, 67-83.
- 宇都浩三・石塚 治・内海 茂・鎌田浩毅・檀原 徹 (1999) 大規模火砕流堆積物および広域テ
- フラのレーザ加熱 ⁴⁰Ar/³⁹Ar 年代測定:北東九州耶馬渓火砕流(ピンク火山灰)および今市 火砕流.地球惑星科学関連学会合同大会予稿集(CD-ROM), Vc-015.
- 柚原雅樹・梅寄恵司(2017)北九州市,城野遺跡に露出する阿蘇−4 火砕流堆積物中の軽石の 全岩化学組成. 福岡大学理学集報, 47, 105-118.
- 柚原雅樹・松田芳諒・平塚晃大・宮崎桂輔 (2010) 阿蘇-4 火砕流堆積物中の火山ガラスと軽石の蛍光 X 線分析. 福岡大学理学集報, 40, 217-231.

2-02 風化した降下軽石の粒度分布-九重第一降下軽石の例-

辻智大¹⁾・岸本博志²⁾・藤田浩司³⁾・中村千怜⁴⁾・長田朋大⁵⁾ ・木村一成⁵⁾・池田倫治⁶⁾・西坂直樹⁷⁾・大西耕造⁷⁾

> Total Grain Size Distribution of Altered Pumice Fall -Example of Kuju Daiichi Pumice Fall Deposit-

Tomohiro Tsuji¹⁾, Hiroshi Kishimoto²⁾, Koji Fujita³⁾, Chisato Nakamura⁴⁾, Tomohiro Nagata⁵⁾, Kazunari Kimura⁵⁾, Michiharu Ikeda⁶⁾, Naoki Nishizaka⁷⁾, Kozo Onishi⁷⁾

The Graduate School of Yamaguchi University, Yamaguchi 753-8512, Japan
 Kagoshima Meteorological Office, Kagoshima 890-0068, Japan
 Asia Air Survey Co. Ltd., Kawasaki 215-0004, Japan
 Naiba Co. Ltd., Takamatsu 760-0062, Japan
 Ehime Branch, Naiba Co. Ltd., Matsuyama 790-0056, Japan
 Shikoku Research Institute Inc., Takamatsu 761-0192, Japan
 Shikoku Electric Power Co. Inc., Takamatsu 760-8573, Japan

火山噴火による噴出物全体の粒度(Total Grain Size Distribution; TGSD)は、噴煙柱の特徴 を示す重要なパラメータであるだけでなく、降灰範囲での建物被害や健康被害を考慮する上 でも欠かせない情報である。特に、大規模噴火では降灰範囲が広くなるため災害の観点から 重要度は高い。しかしながら、大規模噴火は発生頻度が低いため観測例が少なく、十分に理 解されていない。一方、過去の噴火による噴出物は地層中に多数記録されており、これを丁 寧に解析することで十分なデータを得られる可能性がある。とはいえ、過去の噴出物は風化 や浸食されていることが多く、粒度分析が困難であることから、ほとんど研究がなされてい ない。そこで本研究では、約5.4万年前(長岡・奥野, 2015)に九重山にて起こった VEI5 規 模のプリニー式噴火によって放出された九重第一降下軽石(Kj-P1)の TGSD を推定するため に、地質調査および粒度分析を行った。今回、Kj-P1を上下部層に区分したため、それぞれの 部層の TGSD を検討した。また、噴出量については Tsuji et al. (2017)で検討されたが、Kj-P1を上下部層に区分したため、本研究では噴出量について再検討する。

1. Kj-P1 の層序

Kj-P1 は軽石を主体とする降下軽石層であり、九重山東麓では灰色の九重 D 火山灰の上位 に堆積している. Kj-P1 は単一の層として認識されていたが(長岡・奥野, 2014, 2015;川辺 ほか 2015)、本研究では、粒度分布、最大粒径、構成粒子組成などの違いから、下部層と上 部層に区分した.下部層は上部層に比べて最大粒径が小さい、細粒粒子に乏しく淘汰がよい、 風化程度が小さい、斜方輝石に乏しいなどの特徴がある.

2. 粒度分析方法の検討

一般に、テフラの粒度分析には篩分析、レーザー回折粒度分析が用いられており、本研究 でもこれらの手法を用いた.しかし、Kj-P1(特に上部層)は風化が著しいため、ダマ状にな った堆積物を分離することが難しい.また、湿式篩分析では風化した大きな軽石が壊れて細 粒分が多く計測されてしまい、正確な粒度測定ができない.その結果、露頭で観察される大 きな軽石を表現することができない.そこで、露頭にて撮影した降下軽石の写真を用いて、 軽石の輪郭をトレースする手法(画像解析法)を実施した.

画像解析の妥当性について,新鮮な降下軽石(新燃岳 2011 年 1 月 26~27 日降下軽石および九重第一降下軽石下部層の新鮮部)および現世の海浜礫(宿毛市松田川河口)を用いて篩分析と画像解析の結果を比較した.その結果,海浜礫および降下軽石の新鮮な部分では,篩分析による粒度分布を概ね表現することができた.

3. Kj-P1 上部層, 下部層の粒度

本研究では、下部層と上部層それぞれの TGSD を検討した.前述した画像解析法により露 頭で観察した風化した大きな軽石を計測することができた.この結果を篩分析およびレーザ 一回折分析の結果と統合し、上部層で 20 地点、下部層で 15 地点の粒度データを採取した.

粒度, 層厚, 緯度経度データをフリーソフト TOTGS に入力して, ボロノイ分布 (Bonadonna and Houghton, 2005) を用いて粒度データを解析した結果,上部層にて中央粒径-1.54 ϕ ,分散 2.49 ϕ ,下部層にて中央粒径 0.49 ϕ ,分散が 2.59 ϕ と推定された.これは画像解析を用いない 手法に比べて有意に粗い粒度であった.本結果は,噴火様式の類似した噴出物の TGSD (例え ば樽前 b 降下軽石(鈴木, 1973) や Cotopaxi Layer3, 5 (Tsunematsu and Bonadonna, 2015)) と類似した値となった. 今後,解析的手法を用いて手法の妥当性を検証することで,風化し た噴出物の粒度分布への応用が期待される.

4. Kj-P1 上部層,下部層の噴出量

各地点の層厚は粒度データを得た 20 地点を含めた合計 49 地点,下部層では粒度測定した 15 地点を含めた合計 36 地点で層厚データを得た.これらは Tsuji et al. (2017)で噴出量を算 出した際のデータに露頭数を拡充したものである.これらをもとに Tsuji et al. (2017) に従っ て、アイソパックを描き、積算コンター法、早川法(Hayakawa, 1985) および恣意的要素に 依存しにくいとされる Weibull 法(Bonadonna and Costa, 2012)を用いて噴出量を計算した. また、層厚データに基づく最小のアイソパックも描き、それを用いた積算コンター法の計算 結果を噴出量の最小見積値として仮定し、それを下回る値を過少見積と判断した.

その結果,上部層の噴出量は 1.79~3.57 km³(Weibull 法で 2.40 km³),下部層の噴出量は 0.45~0.82 km³(Weibull 法で 0.53 km³)と見積もられた.上部層,下部層を合計すると 2.74~ 4.39 km³であった.これは Tsuji et al. (2017)による 2.54 km³および須藤ほか(2007)による 2.03 km³よりも若干大きな値であり,長岡・奥野(2014)の 6.2 km³よりも小さな値である.

Reference

- Bonadonna C. and Houghton BF. (2005) Total grainsize distribution and volume of tephra-fall deposits. Bull of Volcanol, 67, 441-456.
- Bonadonna C. and Costa A. (2012) Estimating the volume of tephra deposits: A new simple strategy. Geology, 40, 415-418. Doi: 10.1130/G32769.1.
- Hayakawa, Y. (1985) Pyroclastic Geology of Towada Volcano. Bulletin of the Earthquake Research Institute, University of Tokyo, 60, 507-592.
- 川辺禎久・星住英夫・伊藤順一・山崎誠子(2015)九重火山地質図.火山地質図 no.19,産総研地質調査総合センター,8p
- 長岡信治・奥野 充(2014)九重火山のテフラ層序.月刊地球, 36, 281-296.
- 長岡信治・奥野 充(2015)九州中部,九重火山群の噴火史.地形,36,141-158.
- 須藤 茂・猪股隆行・佐々木 寿・向山 栄(2007)わが国の降下火山灰データベース 作成.地質調査研究報告, 58, 261-321.
- 鈴木建夫,勝井義雄,中村忠寿(1973)樽前降下軽石堆積物Ta-b層の粒度組成.火山,18, 47-63.
- Tsuji T., Ikdeda, M., Kishimoto, H., Fujita, K., Nishizaka, N. and Onishi, K. (2017) Tephra Fallout Hazard Assessment for VEI5 Plinian Eruption at Kuju Volcano, Japan, Using TEPHRA2. 2nd Transdisciplinary Research on Environmental Problems in Southeast Asia, IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 71, 12p. Doi: 10.1088/1755-1315/71/1/012002.
- Tsunematsu K. and Bonadonna C. (2015) Grain-size features of two large eruptions from Cotopaxi volcano (Ecuador) and implications for the calculation of the total grain-size distribution. Bull Volcanol, 77, 64-75.

2-03 箱根火山中央火口丘上の火口列とその形成年代

小林 淳¹⁾ •萬年一剛²⁾ •山口珠美³⁾ •長井雅史⁴⁾

Eruption ages of the latest chains of craters on the central-cones of Hakone volcano

Makoto Kobayashi¹⁾, Kazutaka Mannen²⁾, Tamami Yamaguchi³⁾ and Masashi Nagai⁴⁾

- 1) Mt.Fuji World Heritage Centre, Shizuoka Prefecture, Fujinomiya, Shizuoka 418-0067, Japan
- 2) Hot Springs Research Institute of Kanagawa Prefecture, Odawara, Kanagawa 250-0031, Japan
- 3) Hakone GeoMuseum, Hakone, Kanagawa 205-0631, Japan
- 4) National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention, Tsukuba, Ibaraki 305-0006, Japan

箱根火山の中央火口丘上には,北西-南東方向に連なった連続性のよい数条の火口列が分 布する。これらの形成年代は,神山山頂の北東側に並ぶ火口列で相対的に新しく,最新期活 動の噴火イベント(大涌谷テフラ群)に関連したものである.2015年噴火を含む最近の噴気・ 地熱異常はこの火口列の北西端付近で発生している。今回の調査で新たに発見した大涌谷園 地北方の火口列は主要幹線道路至近に位置するものであり,箱根火山の火山防災を考える上 で重要な意味を有する.

なお、本発表は、2015 年噴火後に実施した調査データの一部をまとめた内容(小林ほか、 投稿中;月刊地球)を紹介するものである.

1. はじめに

地形・地質学的調査に基づき,噴火ハザードを適切に評価し防災対策に生かすには,レー ザ測量データ(LPデータ)により飛躍的に検出が容易になった火口地形の抽出に加え,噴出 物の年代・分布等のデータを継続的に取得し検討することが重要である.

我々は、箱根 2001 年異常(気象庁編, 2013)を契機に、最新マグマ噴火(冠ヶ岳;約 3ka) 以降の噴火履歴を調査してきたが(小林ほか, 2006;土屋ほか, 2017).今回新たに高精度地 形データを入手し、また諸工事によって露頭状況が変化したことから、改めて神山・大涌谷 周辺の火山地形判読と地表地質調査を行った.

2. 中央火口丘上(神山・大涌谷周辺)の火口列とその形成年代

(1) 火山地形 (火口地形) の判読

国土地理院が管理し神奈川県から提供を受けた LP データから得られた 1m DEM をもとに 赤色立体図を作成し(アジア航測(株)千葉氏作成),火山地形判読を行った.

神山北西斜面に開いた馬蹄形火口の脚部(大涌谷園地)には、山体崩壊に関連した岩屑な だれ堆積物(Hk-Kmd.a),冠ヶ岳溶岩ドームに関連した火砕流堆積物(Hk-Kn)及びその後の ラハール堆積物等で構成された地形面が分布する.一方,神山・大涌谷から駒ヶ岳,早雲山 にかけては、北西-南東方向に連なった連続性のよい数条の火口列が分布し(図1),特に神 山北東稜線付近には火口地形が密集する(図1中B).これと2015年噴火口を挟んだ北西方 (大涌谷園地北方)には、幅15m以上、比高10m以上の楕円形~円形の凹地が北西-南東方

向に 500m 程度に渡り連なって1条の火口列を形成することが分かった(同A).

(2) 噴火堆積物の年代・分布

大涌谷テフラ群(Hk-Ow 群:小林ほか,2006)は、水蒸気爆発を起源とする降下火砕物堆 積物及び火砕サージ堆積物とこれらの二次堆積物からなる5つのテフラ(下位より,Hk-Ow1 ~Ow5)であり、それらの年代は、約3ka(Hk-Ow1)、約2ka(Hk-Ow2),12世紀後半から 13世紀にかけての比較的短期間(Hk-Ow3~5)と推定されている.

大涌谷園地付近には Hk-Ow 群に関連したラハール堆積物等が分布するが, Hk-Ow1 及び Ow2 のラハール堆積物は, Hk-Ow3~5 のものとは異なり, 現噴気地帯から離れた現河床から 高い地点にも分布することから, 比較的大規模が大きく, 噴出源が広範囲に及ぶイベントで あった可能性を示唆する (図 1, 図 2). 一方, 神山北西稜線付近には, Hk-Kn 及び Hk-Kmd.a. 起源の降下火砕物が分布し, それを覆って Hk-Ow1 もしくは Ow2 の降下火山灰を確認でき る. しかし, 神山山頂から南東にかけてはこれらの薄層が分布するのみで, 神山山頂部を構成する溶岩ドーム形成に噴出した block and ash flow 堆積物(神山 5 テフラ: Hk-Km5(小林, 1999);約 8ka) までの層準に火口近傍堆積物を確認することができない(図 2)。

3. 火口列の形成年代とその変遷

Hk-Ow1 及び Ow2 の降下火山灰は神山北東稜線を中心に分布し,これらのラハール堆積物 は大涌谷園地や姥子遊歩道沿いに分布する。したがって,これらの噴出源は神山の北東稜線 付近の火口群と推定できる。Hk-Ow1 のラハール堆積物は,大涌谷園地北方(Loc.214)にも 分布することから,Hk-Ow1 イベントの火口列は,神山の北東稜線付近の火口群から大涌谷を 挟んで大涌谷園地北方の主要幹線道路(大涌谷三差路付近)にまで達した可能性がある。一 方, Hk-Ow3~5は, その火砕サージ堆積物が確認できる露頭(Loc.216)の近傍に短い火ロ列 が判読されることから, この火ロ列から大涌谷園地内の現噴気地帯にかけての地域から噴出 したと考えられる.



図1 神山・大涌谷周辺の火山地形分類図(小林ほか,投稿中)

赤色立体図は神奈川県から提供を受けた LP データから得られた 1mDEM をもとに作成した. その作成 手法は、アジア航測(株)の赤色立体図作成手法(特許 3670274, 特許 4272146)を使用した. 等高線は、 基盤地図情報(数値標高モデル: 5m メッシュ)をもとに qgis にて描画した。



図2 神山・大涌谷周辺の対比柱状図(小林ほか、投稿中)

放射性炭素年代及び暦年較正年代,並びに,外来広域テフラ(カワゴ平テフラ(Kg)及び神津島天上山 テフラ(Kz-Tj)の検出層準を併記した。

噴火中心(火口列)の変遷に着目すると(図3),神山山頂溶岩イベント以降,その山体崩 壊を経て冠ヶ岳イベントまでの活動(約8ka~約3ka)では,現在の神山山頂部から北東方向 に噴火中心が移動したように見える。神山山頂付近に判読される火口列の大部分はこの時期 に形成したと推定される.その後のHk-Ow 群の活動(約3ka以降)では,噴火中心がさらに 北東側に移動し,神山の北東稜線から大涌谷の谷頭部を中心とする北西-南東方向に伸びる 火口列沿いで発生したと考えられる.最近の噴気・地熱異常はこの火口列沿いで発生してお り,さらに 2015 年噴火の際に観測された地殻変動から求められた熱水貫入面(Doke et al., 2018) とも調和的であることから,2015 年噴火は Hk-Ow 群の噴火を引き起こした熱水クラックの 再活動の可能性があるといえるかもしれない.



Reference

- 小林 淳・萬年一剛・山口珠美・長井雅史(投稿中):箱根火山最新期噴火活動に関連した 地形と堆積物.月刊地球.
- 小林 淳・萬年一剛・奥野 充・中村俊夫・袴田和夫(2006):箱根火山大涌谷テフラ群ー 最新マグマ噴火後の水蒸気爆発堆積物-,火山,51,245-256.
- 土屋美穂・萬年一剛・小林 淳・福岡孝昭(2017):箱根火山大涌谷テフラ群から見つかった2種類の火山ガラスーその給源火山と年代への制約-,火山, 62, 23-30.

- 気象庁編(2013):日本活火山総覧(第4版) Ⅱ. 関東・中部・伊豆・小笠原編, 気象庁, 1097p.
- 小林 淳(1999):箱根火山の最近5万年間のテフラ層序と噴火史,第四紀研究,38,327-343.
- Doke et al. (2018) : InSAR analysis for detecting the route of hydrothermal fluid to the surface during the 2015 phreatic eruption of Hakone Volcano, Japan. Earth, Planets Sp 70:63. doi: 10.1186/s40623-018-0834-4
- 小林 淳(2008):箱根火山中央火口丘期の噴火史とカルデラ内の地形発達史―噴火活動と 密接な関連を有する地形―,神奈川県立博物館調査研究報告(自然科学),13,43-60

S-01 火山を究める 一火山との関わりを振り返って一

長谷中 利昭

Investigation of volcanoes: Personal history of volcanic research

T. Hasenaka

Center for Water Cycle, Marine Environment and Disaster Management, Kumamoto University, Kumamoto 860-8555, Japan

"Kazan wo Kiwameru" or "Investigation of Volcanoes" is a title of the Omni-bus style general education class at Kumamoto University. It represents the research history of the author, from volcanoes in Mexico to those in Kyushu island. Upon retirement, the author decides to make a partial record of what he has done.



Fig. 1. Title figure used for the Moodle website of general education class for which the author was the organizer. The class started in 2005 and continues in 2019.

1. はじめに

筆者は2019年3月に熊本大学を定年退職し,年号も変わった令和元年6月1日に最終講義をした. 60分で話せたことは限られているので文章に残しておこうと思い,パソコンに向かった.書いていると話さなかったことも思い出すものである.また拘っていたことも見えてきた.これから研究者を目指す人に読んでいただけたら幸いである.時代の変化は著しいが,共通する点もあると思う.

2. 小学~高校時代(1959-1972 A.D.)

生まれと育ちは兵庫県明石市. 東経 135 度子午線の町である.

小学生だった頃「科学」という学習誌の付録が随分充実していたことを思い出す.ある時に火 山噴火キットが付録になっていたが,広くて安全な場所を探しきれず,何日も悶々と悩み続けて, ついに野外実験ができなかったのが残念な思い出である.当時の学習雑誌の付録,今で言う「キ ッチン科学」は随分充実していたと思う.

中学,高校では六甲山系の山歩きをよくしていた.ある年に六甲山系の西端の山に登ったら, 北側にあった山塊が見事に無くなっていたのには驚いた.花崗岩の山を切り崩しては,その土砂 をベルトコンベアで須磨の海岸まで運び,そこからハシケで神戸沖に運んで人工島を作っていた. 山の跡は西神などの団地になり,海にはポートアイランドや六甲アイランドが作られ,山と海に 挟まれて限られた土地しかなかった神戸は,人が住める土地を増やしていた.人の手による大規 模で急激な構造運動を目の当たりにしたのが,印象に残っている.

高校の物理は手強かったが、教科書の式の展開を頭の中で整理して試験に臨んだらなぜか満点 を取った.物理の押原先生から「1 Newton ならぬ 1 Hasenaka という単位が将来できるかも知れ ん」と言われて「豚もおだてりゃ木に登る」よろしく、舞い上がってしまった.物理を勉強しよ うと思い込んで、素粒子研究の紹介本を読み耽ったものである.当時まだ現役だった湯川秀樹教 授がいる京都大学理学部を目指した.教師の何気ない一言で生徒は強い影響を受けるものである. 立場変わって学生に変な影響を与えてこなかったか心配である.

3. 大学~大学院時代(1972--1979 A.D.)

大学の入学式で吹奏楽団の演奏後,総長が壇上に登るや否や,ヘルメット学生がなだれ込んで きて壇上を占拠し,総長からマイクを取り上げてアジ演説を始めた.大混乱の中,入学式は中止. 翌日から半年授業がないという事態になった.トンでもない大学生活の始まりである.大学院生 がチューターとなって新入生が学ぶ自主ゼミがあったので,素粒子のゼミに参加したが,全くチ ンプンカンプンで,素粒子研究をあっさり諦めた.さらに同級生たちの頭の良さは舌を巻くばか りで,とても競争できる相手ではないと思わされた.

専門課程では地質学鉱物学教室を選んだ. ロの悪い先輩(生物学)は「地鉱(ちこう)と化(ば け)」と言って希望者が少ない地質学鉱物学教室,化学教室を衰退する学問の代表としてバカに していた. 肩身の狭い思いであった. 当時は 200 名余りが物理学(物理第一教室=素粒子,物理 第二教室=物性)を選び,次に人気があったのは生物物理学教室であった. 同学年で地鉱の専門 課程に進学したのは筆者を入れて2名. 上の学年から降りてきた人が4,5人.最初の授業に顔 を出したきり,姿を消した先輩もいた.

岩石学分野の早瀬一一(いちかず)教授は退官直前であったために,研究者を目指すならば外 に出て行くように勧められた.当時は,大学院生の先輩から化学分析を教えてもらったり,ゼミ で鍛えてもらったり,他の大学に「武者修行」に出て行ったりしていた.院生の先輩に連れられ て鳥取県三朝の岡山大学温泉研究所に行った時のことは強い印象に残っている. 固体地球化学の 松井義人先生,安定同位体地球化学の酒井均先生,高圧実験の伊藤英司先生など颯爽たるメンバ ーがいた. さらに金沢大学の変成岩岩石学の坂野昇平先生も加わり,サロン風に皆が集まっては 活発に議論をしていた. そこに東大の院生だった高橋栄一さん,福山博之さん,京大の院生,川 寄智佑さん,岡本健二さんも加わり,それは活気があった. 当時の京大の岩石学分野の1年先輩 の柵山雅則さん,2 年後輩の巽好幸さんは久城育夫先生の東大に,2年後輩の平島崇男さんは坂 野昇平先生の金沢大に行った. 坂野先生から「カリフォルニア大学のカーマイケルが院生を探し ている.」という話を伺い,一も二もなく手を挙げた.

4. 留学, そしてポスドク時代(1979--1988 A.D.)

大学院はカリフォルニア大学バークレー校.研究テーマの地質調査で毎年メキシコに出かけた. ポスドクはイリノイ州のノーザンイリノイ大学である.ボスは火成岩体,南極研究の Jon Berg 教 授,同僚にニカラグア火山の Jim Walker 教授がいた.

Carmichael 教授の研究室には2つのグループがあった.理論・実験系とフィールド系である. 前者は熱力学的パラメータを実験によって測定し,熱力学モデルを構築することを目指し、後者 は火山地域の野外調査,岩石試料の分析からマグマ発生・分化モデルを構築することを目指して いた.フィールドには研究室のグループほぼ全員で毎年 12~2 月頃にメキシコに行っていた.そ れまでに Steve Nelson が Volcan Ceboruco, Gail Mahood が La Primavera Caldera, Jim Luhr が Volcan Colima を調査していた. Jamie Allen は Colima Graben を調査地候補にしていた. 1979 年 12 月に研 究室メンバー,アシスタントが一緒になって 3 台の車に分乗して 5 日間かけてメキシコの調査地 まで移動した. Ian Carmichael は飛行機,レンタカーで後ほど本隊に合流した.バハ・カリフォル ニア,セボルコ火山,コリマ火山の調査後に、コリマ州から東のミチョアカン州に行き,Volcan Paricutin がある単成火山群の予察的調査をした. どこまでもスコリア丘が続く広大な火山地域に 感激した.この火山地域が筆者の Ph.D.の研究テーマになった.

調査地のミチョアカン州からグアナフアト州にまたがる 4 万 km² もの地域は世界に類を見ない 規模の独立単成火山群であった.単成火山群にはハワイのマウナケアのように楯状火山の斜面に 側噴火した単成火山群と,親火山が無いものがある.日本の東伊豆単成火山群,阿武単成火山群 と同様,メキシコの調査地は後者の独立単成火山群である.東大地震研の中村一明先生が定義し た"monogenetic volcanoes"の語句を使って論文を書き,Carmichael に草稿を見せるとNG だった. 和製英語だと言うし, "-genetic" は成因を表すので「単一の成因を持つ火山」と言う意味になると 言う.結局, "monogenetic volcanoes"を全て別の表現にして,論文を仕上げた.当時,欧米の火山 学者にも"monogenetic volcanoes"を受け入れない人達がいたが,時と共に受け入れられていったよ うに思う.今では国際会議で海外の研究者も普通に使っている.
現地調査結果と作成したカタログを元に火山地域を"Michoacan-Guanajuato Volcanic Field"と定 義した.カタログ作りのためメキシコ・シティーの CETENAL (Comision de Estudios del Territorio Nacional),日本で言えば国土地理院から数多くの5万分の1地形図,地質図,空中写真を購入し た.地質図は一部地域だけだが,一面,火山岩の赤一色,スコリア丘だけ火砕岩のピンクであっ たのは驚いた.地形図からスコリア丘,溶岩ドーム,マール,独立溶岩流などを読み取り,通し 番号を付けていったら,1番から始まり最後は1040番になった.カタログ作成では,底面の長径, 短径,火口の長径,短径,比高を計測したり,溶岩流の体積を見積もったりという,気の長い作 業を行なった.調査地には5年間で計5回訪れ,できる限り多くの単成火山を回って,斜面角の 測定,写真撮影,分析試料の採集をした.

調査地域に成層火山ができず,独立単成火山群ができた成因の一つは、マグマ噴出率が低いこ とであった. [マグマ噴出率] = [噴出マグマ体積] / [火山活動期間] なので,火山体,溶岩流 の計測. テフラとスコリア丘の体積比の統計データ収集,代表的な単成火山の K-Ar,¹⁴C 年代測 定,単成火山の年代尺度になるパラメータ(斜面角,比高/底面径)測定など膨大なデータが必 要であった.指導教官の Carmichael は EPMA,化学分析値を使わない岩石学だと興奮して,励ま してくれた.年代尺度としてスコリア丘の斜面の gully density(侵食谷密度)や溶岩流の表面地形 も使えることがわかり,年代の分類が可能になった.小さいマグマ噴出率で火山群ができたこと のもう一つの要因は、少量のマグマが地表に出やすい条件を満たすテクトニックなものだと考え ている.



Fig. 2. Ian Carmichael's stdents Tree. The top left corner is exaggerated, where names of Hasenaka and Masaya (Miyoshi) are included (Ghiorso et al., 2013).

5. 東北での15年(1988--2003 A.D.)

東北大学理学部岩石鉱物鉱床学教室の助手の職を得て日本に帰国した.青木謙一郎教授の講座 で,藤巻宏和助教授,吉田武義助教授がいた.1997年には新設の東北アジア研究センターに異動 し、谷口宏充教授のグループに所属したが、2年で秋田大学工学資源学部素材資源システム研究 施設に移った.大口健志教授のグループである.秋田大学も3年少しで異動することになった.

青木研究室の院生であった太田岳洋さんのフィールドである由布鶴見,鬼蓑に来て九州との縁 ができたように思う.由布鶴見の岩石はかんらん石,輝石,角閃石,黒雲母,斜長石となんでも 入っており,マグマ混合の産物だと思われた(太田ら,1990).たまたま通りかかった大分道の 工事現場で火砕丘が大きく削られて内部構造が見えていた.鬼蓑(おにのみ)単成火山で,分析 値は沈み込み成分の欠乏,すなわち非島弧の特徴を示していた(太田ら,1992).後のホウ素研 究で明らかになった北部九州の火山における沈み込み成分の欠乏をこの時に発見した.

火山学会のポスター会場で学習院大学の福岡孝昭先生が発表されていた火山岩中のホウ素の定 量方法は衝撃的だった.沈み込み成分の一つであるホウ素を原子炉で即発ガンマ線分析法によっ て高い確度で測定できるという.この研究手法は発展性があると直感し,その場で弟子入りを志 願した.既に一番弟子がいて,それは別府の京大地球熱学研究施設の佐野貴司さんだった.茨城 県東海村の原子力研究所(原研)でマシンタイムを取って,24時間(時には72時間)交代で試料 交換をして測定するという実験が1995年にスタートした.原研の放射線を扱う管理区域内は規則 も厳重で神経を使った.この実験グループには後に東京経済大学の新正裕尚さんも加わった.即 発ガンマ線実験は2011年の東日本大震災で日本中の原子炉が運転停止になるまで続けた.

岩手火山の火山岩の即発ガンマ線分析結果から沈み込み成分の正確な見積もりができたことは 大きな成果である(Sano et al., 2001). 岩手火山には福岡先生, 佐野さんと3人で試料採集に出か けた. 普段から登山をされている福岡先生はゆっくり登るがペースは乱れず, 最後には追い抜か れてしまった. 岩手火山の研究には東大地震研の兼岡一郎先生, 島岡晶子さんが加わり, タンデ ム加速器による¹⁰Beの測定をしてもらえた. お陰でプレートの沈み込み, 沈み込み成分のマント ルへの付加, 部分溶融そして噴火に至るまでの時間的制約ができた(Sano et al. 2017).

6. 熊本での17年(2003--2019 A.D.)

自分の研究室を持ち、学生を指導できるようになった.ホウ素分析、学生の故郷の火山研究、 その時の重点研究など、いろんなテーマを与えた.秋田大学から熊本に来てくれた三好雅也さん とは阿蘇の岩石学を究めようとして、頻繁に阿蘇に調査、サンプリングに出かけた.「1日で12 個の異なる溶岩をサンプリングできたら阿蘇高原ビール!」と目標を掲げた時には日没後ランク ルのヘッドライトで露頭を照らして12 個目のサンプルを取った.彼の最初の論文は手こずった が、東北大の青木先生から「Petrography をしっかりした良い仕事」と褒めていただいて誇らしい 思いであった(三好ら、2005).谷田康介さんの時は地球化学図を作りたいという希望を入れて、 研究室総動員、さらに小松俊文先生、小松研メンバーにまで手伝ってもらって白川、菊池川の砂 さらいをした.研究手法の指導は丹沢山地で地球化学図作りをしていた立正大学の福岡孝昭先生 にしていただいた.谷田さんが昼夜も休まず,試料採取,試料処理,翌日の調査準備をしたのは 敢闘賞ものであった.

ホウ素プロジェクトを九州の火山で行ったところ,九州の複雑なテクトニクスの変遷を反映し て興味ある結果が出た(Miyoshi et al., 2008). 若くて「熱い」プレートが沈み込む北部九州と古 くて「冷たい」プレートが沈み込む南部九州では沈み込み成分もホウ素の付加量も対照的に異な っていたのである.研究室のメンバーには九州各地の火山岩試料を準備してもらい,可能な限り 原研での即発ガンマ線分析に参加してもらった.放射線取扱者の講習を受け,定期的に健康診断 を受けるなど,時間を取られて大変だったと思うが,原子炉での実験は学生に取って有益な体験 になったと思っている.

かねてから留学生を受け持ちたいと思っていたところ、大学院自然科学研究科の国際化プロジ ェクトに予算が付いたのでインドネシアから4名の留学生を迎えた.留学生にJASSOの奨学金配 分が得られたのは大きかった.インドネシアの留学生たちとジャワ島の火山の研究を始めて、一 緒に火山を巡ったのは貴重な経験となった(Handini et al., 2017).研究室も国際的になり、院生 たちも日常的に英会話をするようになった.また海外の研究者を招へいし、集中講義をしてもら う予算があったので、毎年手をあげて採用された.Oregon大学のPaul Wallace 教授、South Florida 大学のJeff Ryan 教授, Bandung 工科大学の Emmy Relawati 教授、NSF の Jamie Allen 教授に集中講 義をお願いした.研究科長からは特定の教員がこの制度を使い過ぎていると注意されたものであ る.留学生に提供する英語の授業を自分も提供したいと思い、2007年から 2018年ま で、"Volcanology"の講義を毎年担当した.自然科学研究科の留学生、短期留学計画で熊本に来て いる留学生、さらに英語力を鍛えたい日本人学生も出席した.受講生の国籍はインドネシア、パ プアニューギニア、グアテマラ、アメリカ、ケニア、スーダン、ドイツ、フランス、韓国、中国、 モンゴルと多様であった.

2011年の東日本大震災以降,研究用原発が停止して再開のめどが立たなくなったので,研究の 軸足を大規模カルデラ噴火の前兆現象というテーマに移して行った.関口悠子さんと姶良カルデ ラ噴火の前の一連の前駆噴火の研究をした(関口ら,2014).その後,阿蘇4カルデラ噴火とそ の直前の大峰火山と高遊原溶岩の研究に発展し,大規模噴火直前のマグマ供給系モデルの構築を 目指している(椎原ら,2017).

集中講義で招へいした Wallace 教授に田村智弥さんのインターンシップをお願いしたところ快 く引き受けてくれた.田村さんはメルト包有物分析のノウハウを Wallace 教授から伝授され,そ れを持ち帰って,研究室のメルト包有物研究の礎を作った(田村ら,2015).その後,東大地震研 の共同利用で安田敦教授,外西奈津美技官に FT-IR, EPMA 分析の指導をお願いしてメルト包有物 の研究を続けている.学生たちは毎年東大地震研に出かけて実験をするようになり,大規模噴火 の前駆噴火の噴出物のメルト包有物,完新世の阿蘇の噴出物のメルト包有物を分析した(杉山ら, 2017;川口ら, 2017).

2016年の熊本地震は研究室にとって大きな出来事であった.減災型社会システム実践研究教育 センターの鳥井真之特任准教授と,何度も被災地,斜面崩壊現場に足を運んだ.被災地でみた現 象の中でも earth flow が奇妙な現象で印象的であった(Torii et al., 2017). 翌年に統合新設された 水循環・減災研究教育センターに異動し,現場調査を続けることになった.研究室の学生たちを 何度も災害復旧工事現場に連れて行き,現在は阿蘇大橋崩壊現場に露出する火山岩類の調査,化 学分析を行なっている..

7. 謝辞

2019年6月1日に熊本大学,渋谷秀敏教授,福井大学,三好雅也准教授の尽力のお陰で,最終 講義と退職記念の集まりの機会を作っていただきました.西日本技術開発の稲倉寛仁博士,福岡 大学の奥野充教授には,最終講義の内容を研究集会で話すことを勧めていただきました.

タイトルの「火山を究める」は筆者が 2005 年から 2018 年まで熊本大学教養教育で受け持った 学際科目(後に社会連携科目)の科目名です.授業では火山に関わる下記の専門家を招いて様々 な切り口で「火山」について講義していただきました.

大倉敬宏(京大阿蘇火山研),横尾亮彦(京大阿蘇火山研),須藤靖明(京大阿蘇火山研→阿蘇 火山博物館),鍵山恒臣(京大阿蘇火山研),田中良和(京大阿蘇火山研),池辺伸一郎(阿蘇火 山博物館),新村太郎(熊本学園大),宮縁育夫(森林総研),下村雅直(福岡管区気象台),稻 葉博明(福岡管区気象台),中村清隆(福岡管区気象台),槌田禎子(テレビ長崎),谷原和憲 (日本テレビ),神戸金史(RKB毎日),春山純一(JAXA),長谷義隆(熊本大),磯部博志(熊 本大),嶋田純(熊本大),渋谷秀敏(熊本大),横瀬久芳(熊本大),石丸聡子(熊本大),望 月伸竜(熊本大),鳥井真之(熊本大),三好雅也(熊本大)[順不同,所属は当時].

筆者の研究成果,特に熊本大学に来てからの成果は研究室の学生,院生との二人三脚の賜物で す.共に研究ができたことは無上の喜びです.

以上の方々, さらに本文中で述べさせていただいた方々に深く感謝します.

Reference

- Ghiorso, M.S., Moore, G., and Wallace, P.J. (2013) An issue honoring Ian S. E. Carmichael. Contrib. Mineral. Petrol., v. 166, p. 655-663.
- Handini, E., Hasenaka, T., Harijoko, A., Mori, Y. (2017) Variation of slab component in Ancient and Modern Merapi products: a detailed look into slab derived fluid fluctuation over the living span of one of the most active volcanoes in Sunda arc. J. Applied Geology, v. 2, p. 1-14.

- Hasenaka, T. and Carmichael, I.S.E. (1985) The cinder cones of Michoacan-Guanajuato, central Mexico: their age, volume and distribution, and magma discharge rate. Journal of Volcanoiogy and Geothermal Research, v. 25, p.105-124.
- 川口允孝・長谷中利昭・安田敦・外西奈津美・森康(2017)メルト包有物からみた阿蘇火山における 玄武岩質マグマの揮発性成分含有量.月刊地球,号外 68, 86-91
- 三好雅也・長谷中利昭・佐野貴司(2005) 阿蘇カルデラ形成後に活動した多様なマグマとそれらの成 因関係について,火山,v. 50, p. 269-283.
- Miyoshi, M., Fukuoka, T., Sano, T., Hasenaka, T., (2008) Subduction influence of Philippine Sea plate on the mantle beneath northern Kyushu, SW Japan: an examination of Boron contents in basaltic rocks. Journal of Volcanology and Geothermal Research, v. 171, p. 73-87.
- 太田岳洋·長谷中利昭·藤卷宏和(1990)大分県中部,由布·鶴見火山群の地質と岩石.岩石鉱物鉱床学 会誌, v. 85, p.113-129.
- 太田岳洋·長谷中利昭·伴雅雄·佐々木実(1992)由布-鶴見地溝帯内, 鬼蓑単成火山の 非島弧的な地質 学的, 岩石学的特徴. 「火山」, v. 37, p.119-131.
- Sano, T., Hasenaka, T., Shimaoka, A.K., Yonezawa, C., Fukuoka, T. (2001) Boron contents of Japan Trench sediments and Iwate basaltic lavas, Northeast Japan arc: Estimation of sediment-derived fluid contribution in mantle wedge, Earth and Planetary Science Letters, v. 186, p. 187-198.
- Sano, T., Hasenaka, T., Shimaoka, A., Fukuoka, T., and Nagai, H. (2017) Low ratio of sediment recycling at Northeast Japan Arc: Constraints from 10Be isotopes and B-Ba-K-Be systematics. Geochem. J., v. 51, p. 277-291.
- 関口悠子,長谷中利昭,森康(2014)姶良カルデラ火山に見られる3回のマグマ活動サイクル,月刊 地球, v. 36, 303-309.
- 椎原航介・長谷中利昭・安田敦・外西奈津美・森康(2017) 阿蘇-4 火砕噴火直前に噴火した大峰火山 ーメルト包有物からみるマグマ供給系の変遷-,月刊地球,号外 68, 80-85.
- 杉山芙実子・長谷中利昭・安田敦・外西奈津美・森康(2017) 阿蘇3, 阿蘇4間テフラに含まれる鉱物 中のメルト包有物 ―カルデラ噴火前のマグマ供給系の推定―,月刊地球, 号外68,74-79.
- 田村智弥,長谷中利昭, Paul Wallace,安田敦,森康(2015)九州の火山フロントにおけるマグマ生成プロセス-メルト包有物からのアプローチー,月刊地球, v. 37, 106-112.
- Torii, M., Okuno, M., Nishiyama, K., Kitazono, Y., Hasenaka, T. and Yokota, S. (2017) Three types of sediment movement in the Sannoudani River, Minamiaso Village, Kumamoto Prefecture, southwest Japan. J. Sedimentological Society of Japan, v. 75, n. 2, p. 64

3-01 阿蘇4・姶良・洞爺噴火の火砕流・降下テフラの分布と 噴出量推定

宝田 晋治1)

Estimation of Eruptive Volume of Large-scale Ignimbrites and Pyroclastic Falls of the Aso-4, Aira and Toya eruptions

Shinji Takarada¹⁾

1) Geological Survey of Japan, AIST, 1-1-1, Site 7, Higashi, Ibaraki 305-8567, Japan

カルデラ形成を伴う大規模噴火の噴出量は,長期的噴火予測,噴火の活動度評価,地球物 理学的・岩石学的な定量的評価を行うための重要な基本パラメータの1 つであり,マグマ 噴出量-時間階段図の高精度化のためにも重要である.ここでは,阿蘇4,姶良Tn,洞爺噴 火による降下テフラ及び火砕流の噴出量を推定した.降下テフラの噴出量推定に当たって は,既存の陸域及び海域の降下テフラの情報を収集し,新たに等層厚線図を作成した上で, 降下テフラの噴出量と,総噴出量を推定した.阿蘇4降下テフラの体積は,590~920 km³ (240~370 km³DRE)と推定され,火砕流堆積物と合わせた阿蘇4噴火の総噴出量は,<u>840~</u> 1,640 km³ (380~790 km³DRE)となった.姶良Tn降下テフラの体積は,440 km³ (180 km³DRE) と推定され,火砕流堆積物と合わせた姶良Tn噴火の総噴出量は,<u>940~1,040 km³</u> (380~ 430 km³DRE)となった.洞爺降下テフラの体積は,150 km³ (60 km³DRE)と推定され,火砕流 堆積物と合わせた洞爺噴火の総噴出量は,<u>230~310 km³</u> (100~140 km³DRE)となった.

1. 阿蘇4噴火

約89kaの阿蘇4噴火に伴う降下テフラについて,既存の文献から,合計71の陸域及び海 域の降下テフラの位置,層厚を集め整理した.Albert et al. (2018), Smith et al. (2013)の水月湖の降下テフラ, Aoki (2008), Furuta et al. (1986),中嶋ほか (1996), 新井ほか(1981),新井・町田 (1983),清水ほか (1997),町田ほか (1985),青木ほか (2000),青池 (2010)の海底の降下テフラ,檀原ほか (2010),竹村・横山 (1989)の琵琶湖 の湖底の降下テフラ,町田ほか (1985),長橋ほか (2007)の陸域の降下テフラの文献データ を使用した.

位置情報と層厚データを、GIS ソフト上にプロットした上で. 等層厚線図を作成した. 阿

- 37 -

蘇4降下テフラの分布の特徴として,北海道北東部に層厚15 cmのデータが数点あり,それ らは本州付近のデータに比べて厚い傾向があることが挙げられる.北海道北東部のデータを 活かし,比較的広い範囲を囲むように作成した等層厚線図が,図1である(最大ケース). 一方,北海道北東部のデータは異常値として等層厚線図には反映せず,その他のデータを活 かして作成した等層厚線図も検討した(最小ケース).各等層厚線が占める面積をGISソフ トで計算し,区間積分法(宝田ほか,2001)で体積を推定した.



図1. 阿蘇4降下テフラの分布と等層厚線図(最大ケース)

最大ケースでは、16 cm と 64 cm で区切り、グラフ上で直線近似できる 3 つの領域に区 分して体積を求めた(図 2).火口近傍は、現在の阿蘇カルデラの面積(5.3×10⁸ m³)ま で、遠方は、10¹⁴ m²の領域まで計算した.カルデラ縁での層厚は、64 cm と 128 cm の等層 厚線のデータの傾向を外挿し、約 3m とした.その結果、遠方から 16 cm の等層厚線の領域 では 4.0×10¹⁴ kg、16~64 cm の等層厚線の領域では 4.7×10¹⁴ kg、64 cm からカルデラ縁ま での領域では 4.7×10¹³ kg となり、合計 9.2×10¹⁴ kg となった.降下テフラの密度を 1,000 kg/m³ と仮定すると、それぞれ、400 km³、470 km³、47 km³ となり、合計 <u>920 km³</u> となった.





図2. 阿蘇4降下テフラの各等層厚線の面積と単位面積あたりの重量の関係(最大ケース). 16 cm と 64 cm の等層厚線で分割し3 つの領域に区分した.火口近傍はカルデラの面積,遠方は 10¹⁴ m²まで計算している.

最小ケースでは、合計 5.9×10¹⁴ kg となった.降下テフラの密度を 1,000 kg/m³と仮定すると合計 <u>590 km³</u>となった.密度 2,500 kg/m³の溶岩換算値 (DRE)では、合計約 240 km³となった.

今回求められた阿蘇4降下テフラの推定体積 590~920 km³ (240~370 km³DRE)の値は, これまでの推定値400 km³以上(町田ほか,1985;町田・新井,2003)よりも有意に増加し ている.これは,当時は十分考慮されていなかった遠方の海域のテフラが考慮されたことに よって分布域が大幅に広がったことや,体積の計算手法が異なることなどが原因であると考 えられる.

阿蘇4火砕流堆積物の体積の推定値(宝田・星住, 2016)は, 720 km³(最大), 470 km³ (平均), 250 km³(最小)であり, DRE 換算では, 420 km³(最大), 270 km³(平均), 140 km³ (最小)であった.したがって, 阿蘇4噴火の総噴出量は, <u>840~1,640 km³</u>となり, DRE 換算 値では, 380~790 km³と推定される.これまでの総噴出量の推定値 600 km³(町田・新井, 2003)に比べ約1.4~2.7倍となった.阿蘇4は, VEI7~8 クラスの噴火であったと考えら れる.

2. 姶良噴火

約 30 ka の噴火に伴う姶良 Tn (姶良丹沢) 降下テフラについて, 既存の文献から, 陸域 及び海域の降下テフラの位置, 層厚データを集め整理した.姶良 Tn 降下テフラは, 河合・三 宅(1999), 河合 (2001)の陸域の降下テフラ, Smith et al. (2013), Albert et al. (2018) の水月湖の降下テフラ, 新井・町田 (1983), Machida and Arai (1983), 青木・新井 (2000), 町田・新井 (1998), Furuta et al. (1986) の海域の降下テフラ, Machida and Arai (1983) の海域の降下テフラ, 町田ほか (1983) の韓国の降下テフラ, 工藤・小林 (2013) の東北地域北部の降下テフラの文献データを使用した.

位置情報と層厚データを元に,等層厚線図を作成した.水月湖では,35.1 cmの層厚が報告されている(Smith et al., 2013; Albert et al., 2018)ため,近畿,中部,九州付近に32 cmの等層厚線を引いた.給源付近の宮崎では80 cm,90 cmの層厚が報告されているため,給源付近に64 cmの等層厚線を引いた.各等層厚線が占める面積をGIS ソフトで計算し,阿蘇4と同様に区間積分法で体積を推定した.

計算に当たっては、8 cm と 32 cm の等層厚線で区切り、グラフ上で直線近似できる 3 つの領域に区分して体積を求めた. その結果、遠方から 8 cm の等層厚線の領域では 1.1×10^{14} kg、8~32 cm の等層厚線の領域では 1.8×10^{14} kg、32 cm からカルデラ縁までの領域では 1.5×10^{14} kg となり、合計 4.4×10^{14} kg となった. 降下テフラの密度を 1,000 kg/m³ と仮定 すると、それぞれ、110 km³、180 km³、150 km³ となった. 容度 2,500 kg/m³の溶岩換算値 (DRE)では、合計約 180 km³ となった.

今回求められた姶良 Tn 降下テフラの推定体積 440 km³ (180 km³DRE) の値は,これまでの 推定値 150 km³以上(町田・新井, 2003) よりも有意に増加している.これは,水月湖の層 厚データにより,32 cm の等層厚線の範囲が広がったこと,陸域や海域のデータが増え,等 層厚線図の形状が大きく異なること,体積の計算手法が異なることなどが原因であると考え られる.

姶良入戸火砕流堆積物の体積の推定値(宝田ほか,2017)では,500 mメッシュ,1 kmメ ッシュ,5 kmメッシュを用いて,火砕流堆積物の体積を詳細に求めた.その結果,各メッ シュの推定結果のうち,平均値が妥当であるとされ,体積は500~600 km³(200~250 km³DRE)と推定された.したがって,姶良 Tn 噴火の総噴出量は,<u>940~1,040 km³</u>となり, DRE 換算値では,380~430 km³と推定される.姶良 Tn 噴火は,VEI7~8 クラスの噴火であっ たと考えられる.

3. 洞爺噴火

約106 kaの洞爺噴火に伴う洞爺降下テフラについて、既存の文献から、陸域及び海域の

- 40 -

降下テフラの位置,層厚を集め整理した.ここでは,町田ほか(1987)の北海道及び東北地 域,日本海のデータ,工藤(2018)の十和田地域のデータ,古澤(2003)の岩手山東麓のデー タ,八木・早田(1989)の鬼首地域の文献データを使用した.

位置情報と層厚データを元に、等層厚線図(1, 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128 cm)を作成した. 日高で100 cm, 男鹿で55 cmの層厚(町田ほか, 1987)が報告されており、等高線がややいびつな形となっている. 各等層厚線が占める面積をGIS ソフトで計算し、阿蘇4や姶良Tnと同様に区間積分法で体積を推定した.

計算に当たっては、2 cm、8 cm、64 cm の等層厚線で区切り、グラフ上で直線近似できる 4 つの領域に区分して体積を求めた. その結果、遠方から2 cm の等層厚線の領域では 5.1× 10^{12} kg、2~8 cm の等層厚線の領域では 8.0×10¹² kg、8~64 cm の等層厚線の領域では 8.5 ×10¹³ kg、64 cm からカルデラ縁までの領域では 5.0×10¹³ kg となり、合計 1.5×10¹⁴ kg と なった. 降下テフラの密度を 1,000 kg/m³ と仮定すると、それぞれ、5 km³、8 km³、85 km³、 50 km³ となり、合計 <u>150 km³</u> となった. 密度 2,500 kg/m³の溶岩換算値 (DRE)では、合計約 60 km³ となった.

今回求められた洞爺降下テフラの推定体積 <u>150 km³</u> (60 km³DRE)の値は、これまでの推定 値 150 km³以上(町田ほか、1987;町田・新井、2003)と同じ値となった.洞爺火砕流堆積 物の体積の推定値は、80 km³(平均値)~160 km³(最大値), DRE 換算値では、40 km³(平均 値)~80 km³(最大値)と推定されている(宝田ほか、2018).この推定値は、既存の Goto et al. (2018)の火砕流堆積物の推定値 36.8 km³以上や、町田ほか(1987)の火砕流堆積物の推 定値 20 km³以上と比較して、2~8 倍程度となった.したがって、洞爺噴火の総噴出量は、 <u>230~310 km³</u>となり、DRE 換算値では、100~140 km³と推定される.洞爺噴火は、VEI7 クラ スの噴火であったと考えられる.

4. まとめ

阿蘇4噴火,始良Tn噴火,洞爺噴火に伴う降下テフラの噴出量の推定を行った.推定に 当たっては,既存の陸域及び海域の降下テフラの情報をコンパイルし,新たに等層厚線図を 作成した上で,降下テフラの噴出量と,総噴出量を推定した.区間積分法(宝田ほか, 2001)による推定では,阿蘇4降下テフラの体積は,590~920 km³(240~370 km³DRE)と推定 され,火砕流堆積物と合わせた阿蘇4噴火の総噴出量は,<u>840~1,640 km³</u>(380~790 km³DRE)となった.姶良Tn降下テフラの体積は,440 km³(180 km³DRE)と推定され,火砕流 堆積物と合わせた姶良Tn噴火の総噴出量は,<u>940~1,040 km³</u>(380~430 km³DRE)となった. 洞爺降下テフラの体積は,150 km³(60 km³DRE)と推定され,火砕流堆積物と合わせた洞爺噴 火の総噴出量は,<u>230~310 km³</u>(100~140 km³DRE)となった. 海底降下テフラなどのデータが増えて来ており、これらを使って他の大規模カルデラ形成 噴火の降下テフラの噴出量の見直しを進めていく必要がある.また、他の降下テフラの算出 方法の適用による推定した噴出量の検証も必要である.今回の総噴出量推定では、阿蘇4噴 火と姶良 Tn 噴火は1,000 km³以上の噴出量であった(VEI8)可能性があることが示された. 大規模カルデラ形成噴火の噴出量推定結果が、今後の長期的噴火予測、噴火の活動度評価、 地球物理学的・岩石学的な定量的評価にとって、重要な基礎データとなることが期待され る.

キーワード: 阿蘇4, 姶良, 洞爺, 火砕流, 降下テフラ, 噴出量

Reference

Albert, P. G., Smith, V. C., Suzuki, T., Tomlinson, E. L., Nakagawa, T., McLean, D., Yamada, M., Staff, R. A., Schlolaut, G., Takemura, K., Nagahashi, Y., Kimura, J. and Suigetsu 2006 Project Members (2018) Constraints on the frequency and dispersal of explosive eruptions at Sambe and Daisen volcanoes (South-West Japan Arc) from the distal Lake Suigetsu record (SG06 core). Earth-Science Reviews, vol. 185, p. 1004-1028.

青池 寛・西 弘嗣・坂本竜彦・飯島耕一・土屋正史・平 朝彦・倉本真一・眞砂英樹・下北コ ア微化石研究グループ(2010)地球深部探査船「ちきゅう」の下北半島沖慣熟航海コア 試料-物性変動から予測される古環境変動-. 化石, no.87, p.65-81

- Aoki, K. (2008) Revised age and distribution of ca. 87 ka Aso-4 tephra based on new evidence from the northwest Pacific Ocean. Quaternary International, 178, 100-118.
- 青木かおり・新井房夫(2000) 三陸沖海底コア KH94-3, LM-8 の後期更新世テフラ層序. 第四 紀研究, 39, 107-120.

青木かおり・山本浩文・山内守明(2000)「みらい」MR98-03 次航海及び MR99-K04 次航海で採 取された海底コアの第四紀後期テフラ層序.海洋科学技術センター試験研究報告, no. 41, p. 49-55

新井房夫・町田 洋(1983)日本列島周辺の深海底テフラ・カタログ.日本列島周辺の深海 底堆積物の分析を中心とした第四火山活動と気候変動の研究,昭和57年度科学研究費補 助金(総合研究 A)研究成果報告書, 7-34.

新井房夫・大場忠道・北里 洋・堀部純男・町田 洋 (1981)後期第四紀における日本海の 古環境-テフロクロノロジー,有孔虫群集解析,酸素同位体比法による-. 第四紀研究, 21,209-230.

檀原 徹・山下 透・岩野英樹・竹村恵二・林田 明(2010) 琵琶湖 1400m 掘削試料の編年_フ ィッション・トラック年代とテフラ同定の再検討. 第四紀研究, 49, 101-119.

古澤 明(2003) 洞爺火山灰降下以降の岩手火山のテフラの識別.地雑,109,1-19.

Furuta, T., Fujioka, K. and Arai, F. (1986) Widespread submarine tephras around Japan-Petrographic and chemical properties. Marine Geology, 72, 125-142.

Goto, Y., Suzuki, K., Shinya, T., Yamauchi, A., Miyoshi, M., Danhara, T. and Tomiya, A. (2018) Stratigraphy and lithofacies of the Toya ignimbrite in southwestern Hokkaido, Japan: insights into the caldera-forming eruption at Toya Caldera. *Jour. Geography*, 127, 191-227.

河合小百合(2001)姶良 Tn 火山灰(AT)の等層厚線図と分布軸の再検討.地球科学, 55, 51-54.

河合小百合・三宅康幸(1999) 姶良 Tn テフラの粒度・鉱物組成—広域テフラの地域的変異の 一例—. 地質雑, 105, 597-608.

工藤 崇(2018) 十和田火山先カルデラ期噴出物に挟まれる洞爺火山灰. 地質調査研究報告,

69, 31-36.

- 工藤 崇・小林 淳(2013) 十和田火山, 先カルデラ期~カルデラ形成期テフラの放射年代 測定. 地質調査研究報告, 64, 305-311.
- Machida, H. and Arai, F. (1983) Extensive ash falls in and around the Sea of Japan from large late Quaternary eruptions. Jour. Volcanol. Geotherm. Res., 18, 151-164.
- 町田 洋・新井房夫(1998)日本列島周辺の深海底に分布するテフラ.第四紀研究, 26, 227-242.
- 町田 洋・新井房夫・李 柄高・森脇 広・江坂輝弥(1983) 韓半島と済州島で見出された九 州起源の広域テフラ. 地学雑誌, 92, 39-45.
- 町田 洋・新井房夫・百瀬 貢 (1985) 阿蘇4火山灰一分布の広域性と後期更新世指標層としての意義一.火山, 30, 49-70.
- 町田 洋・新井房夫・宮内崇裕・奥村晃史(1987)北日本を広くおおう洞爺火山灰. 第四紀 研究, 26, 129-145.
- 町田 洋・新井房夫(2003) 新編 火山灰アトラス -日本列島とその周辺-. 東京大学出版会. 336p.
- 長橋良隆・佐藤孝子・竹下欣宏・田原敬治・公文富士夫(2007)長野県,高野層ボーリング コア(TKN-2004)に挟在する広域テフラ層の層序と編年.第四紀研究,46,305-325.
- 中川光弘・藤岡換太郎・古田俊夫・小泉聡子(1994)日本海, Leg. 127, 128 コア中の火山灰 層.月刊地球, 16, 691-698.
- 中嶋 健・吉川清志・池原 研・片山 肇・木川栄一・上嶋正人・瀬戸浩二(1996)日本海南東 部における海底堆積物と後期第四紀層序-特に暗色層の形成時期に関連して-. 地質学雑 誌, 102, 125-138.
- 清水秋秀・鳥井真之・椎原美紀・尾田太良(1997) 三陸沖海底コア KH94-3 LM8 PC5 の最下部 付近にみられる火山灰層から推定される基底の年代.熊本大学理学部紀要(地球科学), 15,1-7.
- 白井正明・多田隆治・藤岡換太郎(1997) 0DP 日本海試料との対比に基づく男鹿半島安田海 岸更新世中-後期テフラの同定と年代.第四紀研究, 36, 183-196.
- Smith, V.C., Staff, R.A., Blockley, S.P.E., Ramsey, C.B., Nakagawa, T., Mark, D.F., Takemura, K., Danhara, T. and Suigetsu 2006 Project Members (2013) Identification and correlation of visible tephras in the Lake Suigetsu SG06 sedimentary archive, Japan: chronostratigraphic markers for synchronizing of east Asian/west Pacific palaeoclimatic records across the last 150ka. *Quaternary Science Reviews*, 67, 121-137.
- 宝田 晋治・星住 英夫(2016) 阿蘇 4 大規模火砕流の分布・体積と火砕流の流動堆積機構, 国際火山噴火史情報研究集会 2016,福岡大,2016.7.
- 宝田 晋治・工藤 崇・下司信夫・星住英夫(2017)入戸・八戸・阿蘇4火砕流堆積物の分布と 噴出量見積り. JpGU-AGU Joint Meeting 2017,千葉,幕張, 2017. 5.
- 宝田 晋治・宮城 磯治・東宮 昭彦(2018) 洞爺及び屈斜路火砕流の分布と噴出量推定.日本 火山学会 2018 年度秋季大会,秋田大学,2018.9.
- 宝田晋治・吉本充宏・北川淳一・平賀正人・山元孝広・川邊禎久・高田 亮・中野 俊・星住 英夫・宮城磯治・西村裕一・三浦大助・廣瀬 亘・石丸 聡・垣原康之・遠藤祐司・野呂 田 晋・新井田清信・石塚吉浩・工藤 崇・相沢幸治・本間宏樹・江草匡倫・石井英一・ 高橋 良(2001)有珠火山2000年噴火の降灰と火口近傍の状況.地質調査研究報告,52, 167-179.
- 竹村恵二・横山卓雄(1989) 琶琵湖 1400m 掘削試料の層相からみた堆積環境. 陸水学雑誌, 50, 247-254.
- 八木浩司・早田 勉(1989) 宮城県中部および北部に分布する後期更新世広域テフラとその 層位.地学雑誌, 98, 39-53.

本研究の成果は,原子力規制庁からの平成 30 年度原子力施設等防災対策等委託費「火山影響 評価に係わる技術的知見の整備」として実施したものの一部である. 3-02 阿蘇カルデラの珪長質マグマの成因

宮城磯治¹⁾·須田泰市²⁾·星住英夫¹⁾·斎藤元治¹⁾·宮縁育夫³⁾·下司信夫¹⁾

On the petrogenesis of felsic magma in Aso caldera

Isoji Miyagi¹, Taichi Suda², Hideo Hoshizumi¹, Genji Saito¹, Yasuo Miyabuchi³, Nobuo Geshi¹

Geological Survey of Japan, Ibaraki, 305-8567, Japan
Toray Research Center, Inc., Shiga 520-8558, Japan
Kumamoto Univ., Kumamoto 860-8555, Japan

1. 背景

カルデラ噴火は、何百立方キロものマグマを短時間に噴き出し周囲を火砕流と降下軽石で 埋め、直径数十kmもの窪地を形成する、天変地異である.人類はこのような噴火を未だに経 験していないが、地質学的な証拠の枚挙にはいとまがない.ひとたびカルデラ噴火が起きれ ば広範囲に重篤な被害が及ぶことは明らかである.将来のカルデラ噴火災害への備えをより 的確に実施するためには、いま地下に蓄積されているマグマの量、深度、物性、等の基礎的 な情報をより正確に求めることが、必要不可欠だと考えられる.さらに、カルデラ噴火で放 出される莫大な量の珪長質マグマの生成・蓄積のメカニズムは、火山学的に非常に興味深い 研究対象である.

本研究でとりあげる阿蘇は、カルデラ火山の代表的な事例である.阿蘇は27万年の活動開 始以後,これまで4度にわたりカルデラ噴火を繰り返した.それらは阿蘇1(27万年前),阿 蘇2(14万年前),阿蘇3(12万年前),阿蘇4(9万年前)と呼ばれている.このうち最大・最新 の阿蘇4については、カルデラ噴火前後の層序が最近の地質調査で明らかになりつつあるた め、噴出物の岩石学的な観察により大規模噴火前後のマグマだまりの状態変化を詳細に追う ことが可能になった.阿蘇は現在も活発に火山活動を継続しているため、最新のマグマ試料 を入手することが可能である.更に、阿蘇では地球物理学的な観測も行われているため、岩 石学的な観察結果と比較することにより、マグマだまりの検出の確からしさを高めることも 可能である.

2. 課題

大規模な珪長質マグマだまりの成因に関する従来の研究においては、深部から供給された マグマは周囲の岩石と密度がつりあう深度(密度中立点)で浮力を失い横に広がってマグマ だまりを形成し、結晶の分離や地殻の部分溶融によって生じたより密度の低いマグマがさら に上部にたまりを形成する、という理解が一般的である.

このような理解の下では一切のプロセスが地下深部で進行するため,原材料となる玄武岩 質マグマの量を地上からの観測によって精度よく見積もることは非常に困難である.したが って玄武岩質マグマから生産される珪長質マグマの量を見積ることも,困難である.

3. 解決法

我々は、従来の理解とは異なり、深部の玄武岩質マグマが一旦地表浅所に上昇・脱ガスし た後に深部に戻り、珪長質マグマへと分化した可能性が高いことを、岩石学的に明らかにし た.この理解の下では、火山ガスの放出量の観測にもとづいて、脱ガスした玄武岩質マグマ の量を見積もり、それから生産される珪長質マグマの量を計算出来る可能性がある.

4. 結果と解釈

阿蘇の複数の活動ステージから得られた噴出物を対象に,化学分析と熱力学解析を行い, マグマの深さ,温度,物性の見積もった.また,珪長質マグマの生成経緯とそれに要した時 間に関する考察を行った.局所化学分析には産総研の EPMA (JEOL JXA-8530) と SIMS (CAMECA NanoSIMS50L) を,熱力学解析には Rhyolite-MELTS (Gualda et al., 2012) と Volatilecalc2.0 (Newman and Lowenstern, 2002) を用いた.

(1)阿蘇の苦鉄質マグマには揮発性成分に富む/乏しい2種類が存在する. このうち揮発性成 分に乏しい苦鉄質マグマは,2014年の阿蘇中岳の噴出物 (Saito et al.,2018) に対比され,深 部から供給された揮発性成分に富む苦鉄質マグマが圧力深度約12km (約300MPa) で揮発性 成分に飽和後,地下数 km 以浅にまで上昇・脱ガスしたことによって生産されたと考えられ る.

(2)安山岩質なメルトは 10 MPa 以下から約 500 MPa 以上 (地下 20 km 以上) におよぶきわ めて広い圧力範囲で,基本的に揮発性成分に不飽和であることが明らかになった.この安山 岩質メルトは,揮発性成分を失った苦鉄質マグマが地下 12 km (約 300 MPa) で揮発性成分 に不飽和な条件で結晶化することによって生じたと考えられる.

(3)デイサイト質~流紋岩質なメルトは,揮発性成分に不飽和/飽和したものの両方が観察された. 阿蘇のデイサイト質~流紋岩質斑晶マグマは,揮発性成分に不飽和な安山岩質メルトが更に結晶化することにより,メルトに濃縮した揮発性成分が最終的には飽和したものだと 考えられる.

以上をまとめると、阿蘇の珪長質マグマは、マントルから供給された揮発性成分に富む苦 鉄質マグマが火口直下の浅所で脱ガスすることによって生じた揮発性成分に乏しい苦鉄質マ グマを原材料として,地下12km(一部はそれ以深)で結晶分別作用により生じたと考えられる.

5. 応用と展望

揮発性成分に乏しい苦鉄質マグマの生産速度にもとづいて、珪長質マグマの生産速度を推 定する. MELTS よると、阿蘇の苦鉄質マグマの結晶化により生じる珪長質マグマの分量は、 苦鉄質マグマの5分の1程度である. 揮発性成分に乏しい苦鉄質マグマの生産速度は、阿蘇 中岳の二酸化硫黄放出率と苦鉄質マグマの二酸化硫黄濃度から算出できる. 阿蘇では現在の 阿蘇中岳と同規模の苦鉄質マグマの脱ガス活動が数万年以上継続していると仮定する. 阿蘇 中岳の二酸化硫黄ガス放出率を 500 トン/日とおく (500~1000 トン/日,気象庁,予知連 報告). 脱ガス前の阿蘇のマグマの二酸化硫黄濃度は、0.25 重量%とおく. すると脱ガスマグ マの生産量は 0.2 メガトン/日,1年間に 73 メガトン,1万年あたり 730 ギガトンと見積も られる(数値は誤差を考慮しない単純計算:以下同様).この結晶化によって生じる珪長質マグ マは、苦鉄質マグマの5分の1量であるから、1万年あたり146ギガトンと見積られる.阿 蘇3の噴火年代は12万年前、阿蘇4が9万年前であるから、阿蘇3から阿蘇4までの3万 年間には 2190 ギガトンの苦鉄質な脱ガスマグマが生じ、これが結晶化すれば約 438 ギガト ンの珪長質マグマと、1752 ギガトンの固結した苦鉄質マグマが地下に生じる計算である.阿 蘇中岳の二酸化硫黄ガス放出率にはゆらぎがあるだろう.もし二酸化硫黄放出量を 1000 ト ン/日とするなら, 珪長質マグマの量は二倍の, 876 ギガトンと見積もられる. この珪長質 マグマがすべて溶融状態にあったかどうかはわからない、また、溶融状態にある地下のマグ マが全て噴出するとは限らない.したがって上で見積った珪長質マグマの量は、阿蘇4の噴 出量より多い可能性がある. 阿蘇 4 テフラのみかけ体積は 600 立方キロ以上と見積もられ (町田・新井, 2003), みかけの比重を 1.25 と仮定すれば阿蘇 4 の噴出量は 480 ギガトンと 考えられる.この値は、上で試算した珪長質マグマ量(438~876ギガトン)の範囲内にある.

同様の試算を阿蘇4以降の期間についても行なうことにより、地球物理観測のターゲットの深さ、大きさ、物性の参考にできると思われる.

謝辞

本研究は原子力規制庁の受託研究(平成 30 年度火山影響評価に係る知見の整備)として行なわれた.

Reference

- Gualda, G. A. R., Ghiorso, M. S., Lemons, R. V., and Carley, T. L. (2012). Rhyolite- MELTS: a Modified Calibration of MELTS Optimized for Silica-rich, Fluid-bearing Magmatic Systems. J. Petrol., 53(5):875–890.
- Newman, S. and Lowenstern, J. B. (2002). VolatileCalc: a silicate melt- H2O-CO2 solution model written in Visual Basic for excel. Comput. Geosci., 28:597–604.
- Machida, H. and Arai, F. (2003). Atlas of tephra in and around Japan. ISBN 4-13-060745-6 (in Japanese). University of Tokyo Press.
- Saito, G., Ishizuka, O., Ishizuka, Y., Hoshizumi, H., and Miyagi, I. (2018). Petrological characteristics and volatile content of magma of the 1979, 1989, and 2014 eruptions of Nakadake, Aso volcano, Japan. Earth, Planets and Space, 70(197):1–26.

3-03 南阿蘇村立野地域における先阿蘇溶岩の連続性:予察調査報告

十川翔太¹•長谷中利昭²•鳥井真之²•大石博之³•田村智弥³•森康⁴

Lateral extension of Pre-Aso lavas at the western part of Tateno district, Minami-Aso village: Reconnaissance Report

Shota Togawa¹⁾, Toshiaki Hasenaka²⁾, Masayuki Torii²⁾, Hiroyuki Oishi³⁾, Tomoya Tamura³⁾, Yasushi Mori⁴⁾

1) Graduate School of Science and Technology, Kumamoto University, Kumamoto 860-8555, Japan

 Center for Water cycle, Marine environment and Disaster management, Kumamoto University, Kumamoto 860-8555, Japan

3) Kitakyushu Museum of Natural History and Human History, Fukuoka 805-0071, Japan

4) West Japan Engineering Consultants, Fukuoka 810-004, Japan

カルデラを形成した Aso-1 大規模火砕流噴火までの火山活動の詳細を理解するために、先 阿蘇火山岩類^[1]の溶岩に注目し調査を行っている.南阿蘇村立野周辺では熊本地震や豪雨に よる斜面崩壊による露頭の出現[2]により、先阿蘇火山岩類の層序を把握し易くなっているこ とから、演者らはこれまで阿蘇大橋崩落現場の大崩壊地や立野区北側斜面(図1;立野エリ ア)の現地調査を行い、採取した先阿蘇火山岩類の岩石記載と化学分析、K-Ar 年代測定を行 ってきた.このエリアは主に先阿蘇溶岩と凝灰角礫岩からなり、そのうち溶岩は12層準確認 され、それらは斑晶組合せに基づき4タイプに分かれること、マグマ混合の影響を受けた安 山岩が卓越すること,噴出年代は約 0.80-0.32 Ma であることが分かってきた^[3-4]. Aso-1 火砕 流噴火に至るまでの先カルデラ期火山活動の変遷を詳細の明らかにするため、側方への連続 性が確認できる溶岩を鍵層とし、複雑に分布している本地域の溶岩層序を確立し時間的分解 能を向上させる必要がある. そこで, 先阿蘇火山岩類の最上部が存在する可能性が高い南阿 蘇村立野新所区北西部(図1;新所エリア)の急崖の調査を行った.ここでは、地形図や赤色 立体図により東西方向への連続性がみられ鍵層となりうる先阿蘇溶岩の存在が認められる. 各セクションの柱状図(S1-S7)とその対応を図2に示す. S1とS2は調査地域西部, S3-S7 は調査地域東部に位置する. S2 と S3 は約 1 km 離れている. S1 は 4 枚, S2 は 5 枚, S3 と S4 は各 8 枚, S5 は 7 枚, S6 と S7 は各 6 枚の先阿蘇溶岩が確認できる. S4-S7 では先阿蘇火山 岩類の上位約 20 m に Aso-1 火砕流堆積物(約 0.27 Ma^[5])が確認できた. Aso-1 火砕流堆積物 および各溶岩の間隙堆積物については、崖錐に被覆されていることが多く、その詳細の確認 は困難であった.



図1. 調査位置図 赤線で囲われた範囲は各個柱状図(図2)の各セクション(S1-S7)を示す.



図2. 調査地域に分布する先阿蘇火山岩類の各個柱状図.

現地調査と地形判読,そして,岩石の肉眼観察では,本地域には少なくとも9枚の先阿蘇 溶岩が分布する可能性があり,S1からS7まで連続する溶岩は認められないことが分かった. 調査地域内で最も西部に位置するS1の試料は全てかんらん石,単斜輝石,直方輝石,斜長石, 不透明鉱物の斑晶組合せの溶岩である.岩石手標本での観察にとどまるが,S4,S5の試料は, かんらん石,単斜輝石,直方輝石,斜長石,不透明鉱物の斑晶に加えて普通角閃石斑晶を含 む溶岩であると思われる.そのため現時点では,S1とS4,S5の溶岩対比は困難と考えられ る.今後,岩石記載および岩石の化学分析を行い,対比をより確かなものにする必要がある. また,新所エリア(図1)より下位の層準が分布すると推定される立野エリアとの対応関係を 検討していくことが,この地区での先阿蘇火山岩類全体の層序を確立する上で重要であると 思われる.

謝辞

本研究は 2019 年度東北大学災害科学国際研究所の共同研究助成を受けて行うことができま した.厚く感謝いたします.

Reference

[1] 小野晃司 (1965): 阿蘇カルデラ東部の地質. 地質学雑誌, 71, 541-553.

[2] 鳥井真之・長谷中利昭・北園芳人・奥野充 (2017): 熊本地震に伴う南阿蘇村立野地区の阿 蘇カルデラ壁の崩壊.月刊地球,号外 68,57-60.

[3] 長谷中利昭・鳥井真之・十川翔太(2018):先阿蘇火山岩類の岩石と年代:カルデラ期への移行は何が要因となったか.国際噴火史情報研究集会講演要旨集, 6-9.

[4] 十川翔太・長谷中利昭・鳥井真之・森康(2018):南阿蘇村立野地域の先阿蘇火山岩類: カルデラ期以降の阿蘇火山噴出物の化学組成との比較.国際噴火史情報研究集会講演要旨 集,98-102.

[5] 松本哲一・宇部浩三・小野晃司・渡辺一徳(1991): 阿蘇火山岩類の K-Ar 年代測定—火山 層所との整合性と火砕流試料への適応—. 日本火山学会秋季大会講演予稿集, 73p.

3-04 最近約 100 年の上下変動から見た阿蘇カルデラの活動度

森 済1)

Aso caldera activity for the last hundred years inferred from the vertical displacement in and around the caldera. Hitoshi Mori¹⁾ 1) West Japan Engineering Consultants, Inc., Fukuoka 810-0004, Japan

九州中央部に位置し、わが国有数の活動的火山である阿蘇中岳を有する阿蘇カルデラは、 東西 18 km,南北 27 kmの大きなカルデラである.過去 30 万年間に 4 回の破局的噴火を起こ しており,破局的噴火の可能性が懸念されている.最近の観測技術の発展により、ごく最近 のカルデラの地殻変動は明らかになってきたが、中長期的な変動情報は数少ない.阿蘇カル デラでは、中央部をほぼ東西に一等水準路線が通り、明治半ば以降、上下変動が観測されて いる.水準測量は、古典的手法ではあるが、上下変動については、現在でも最も高精度な測 量手法である.また、1990年代から整備された電子基準点がカルデラ内の 3 箇所に配置され ていて、1997年4月から連続観測が行われている.これらのデータを用いて、明治以降の阿 蘇カルデラの上下変動について、考察する.



1. 水準測量による上下変動

Fig.1 阿蘇カルデラを横切る一等水準路線(太線)とカルデラ内の3点の電子基準点(長陽,阿 蘇,高森)および東西の参照電子基準点(直入,熊本)(▲;電子基準点,□;Fig.3に示す時 間変化を見ることのできる水準点およびその基準水準点)

Fig.1 に、阿蘇カルデラを通る一等水準路線を示す.水準路線中の太線部分はFig.3 に変動 を示す区間、□は Fig.2 に時間変化を示す水準点(BM1896,1897,1889)及び基準水準点(東 側 BM1915,西側 J1873).一等水準測量は、1893、1941、1964、1988、2003、2016年に 陸地測量部および国土地理院により行われている.



Fig.2 カルデラ内の中央部の2点(BM1896とBM1897)およびカルデラ西縁の点(BM1888)の1893年から2003年までの上下変動



Fig.3 5回の一等水準測量間の各期間の上下変動. 横軸は水準点番号, 色付き四角内はカル デラ内の水準点, BM1888, BM1896および BM1897 は全期間データがある水準点

Fig.2 に示す時間変化からわかるように、カルデラ内の水準点は、同じ別府島原地溝帯内の カルデラ外の基準点に対して、最近約 100 年間沈降する傾向にある.また、各測期間の変動 を示した Fig.3 からわかるように、カルデラ内の水準点がカルデラ外の水準点と比較して、 相対的に沈降している期間が、1941~1964~1988~2003 とつづいており、2003~2016 年 は途中で切れているため同じ図に示せないが、熊本地震に伴って断層が形成されて大きく変 動したカルデラ西部の一部分を除けば、それ以前の期間と同様にカルデラ内の水準点がカル デラ外の点に対して、相対的に沈降している.

2. 電子基準点の上下変動

阿蘇カルデラの西部・南東部・中央部の3箇所に電子基準点が設置されている(Fig.1).カ ルデラ中央部に電子基準点があるのは、北海道の屈斜路カルデラと阿蘇カルデラのみで、カ ルデラ内に3箇所以上の観測点があるのは、桜島島内に3箇所とカルデラ北部に1箇所設置 されている姶良カルデラと、阿蘇カルデラのみである.水準測量は、前述したように観測間 隔十数年以上と間が開いていて、2003年11月~2016年7月の変動には2016年4月の熊本 地震の影響が含まれている.一方、電子基準点では連続観測が行われており、突発的な事象 である地震等の影響を評価することができ、2016年4月の熊本地震の影響を考察することが 可能となる.熊本地震の影響としては、地震時のステップと地震後の余効変動がある.地震 時のステップについては、地震断層近傍の点が大きく影響を受けるが、そのほかの点でも、 広範囲にわたって観測されている.カルデラの中長期的変動を考える上で、地震時のステッ プは、補正の対象と考えられる.また、余効変動については、一部の点では、現在でも認めら れていて、経年変化との分離が難しい.そのため、余効変動もカルデラの変動を見る上では 補正の対照とすべきと考えるが、今回は、ステップとともに今後の課題とし、熊本地震前ま での変動について考える.

Fig.4 にカルデラ内の3電子基準点の1997年4月~2016年4月13日までの,阿蘇カルデ ラと同じ別府島原地溝内東方の直入電子基準点を基準とした上下変動を示す.図からわかる ように,2016年の熊本地震前まで,カルデラ内の3電子基準点は,直入電子基準点に対し沈 降傾向にあったことがわかる.

広域の変動を見るために, Fig.5 に中部九州域の電子基準点の 1998 年 3 月~2016 年 3 月 までの期間の F3 値の変化分布を示す.中部九州では,相対的に東側が隆起する傾向が見られ る.その中で,阿蘇カルデラと九重山地域が,周囲に比べて相対的な沈降域となっているこ とが明瞭に認められる.

以上のことから,阿蘇カルデラは1998年3月~2016年3月の期間沈降傾向が卓越していて,非活動的な状態にあったと考えられる.



Fig.4 阿蘇カルデラ内の3電子基準点(長陽,阿蘇,高森)の電子基準点熊本(カルデラ中 心の西方約30km)基準の上下変動(国土地理院の日々のF3値を使用. 点線は,全期間通じ ての傾向を示す



Fig.5 中部九州の電子基準点の上下変動分布 (F3値の1ヶ月平均値の差, 1998年3月~2016年3月)

3. まとめ

明治以来行われてきた一等水準測量から、20世紀の阿蘇カルデラは、沈降傾向が卓越して おり、カルデラの活動としては、低調な状態にあったと言える.電子基準点の変動からは、 20世紀末以降、熊本地震前までは、阿蘇カルデラの沈降傾向は続いており引き続き非活動的 な状態にあったと考えられる.また、2016年4月の熊本地震の影響はあるが、影響の少ない カルデラ内の中央部から東方に伸びる水準測量の結果からは、熊本地震の影響も含めて、2016 年7月までは、沈降傾向が続いていたと考えられる.

したがって,現在まで最近の約100年間は,阿蘇カルデラの活動度は極めて低い状態にあると考えられる.

Reference

産業総合研究所地質調査総合センター27) 阿蘇カルデラ,

https://www.gsj.jp/data/openfile/no0613/52Aso.pdf

国土地理院一等水準点検測成果集録,

https://vldb.gsi.go.jp/sokuchi/level/KENSOKUSYUROKU/

国土地理院,電子基準点日々の座標値[F3], http://terras.gsi.go.jp/pos_main.php

森済(2019)上下変動から見た阿蘇カルデラの中長期的活動,月刊地球(投稿中).

4-01 フォックス諸島,アナングラ島の泥炭層の掘削調査

奥野 充¹⁾, Arkady B. Savinetsky²⁾, Olga A. Krylovich²⁾, Virginia L. Hatfield³⁾

Trench Survey of Peat Layers on Anangula Island, Fox Islands, SW Alaska

Mitsuru Okuno¹⁾, Arkady B. Savinetsky²⁾, Olga A. Krylovich²⁾, Virginia L. Hatfield³⁾

 Department of Earth System Science, Fukuoka University, Fukuoka 814-0180, Japan
Severtsov Institute of Ecology and Evolution, Russian Academy of Sciences, Leninsky pr. 33, 119071 Moscow, Russia

3) Museum of the Aleutian, Unalaska, Alaska 99685, USA

Anangula Island, which belongs to the Fox Islands of the Aleutian Islands, is located about 7 km north of Nikolski near the southwest part of Umnak Island (Fig. 1). Stratigraphy and radiocarbon ages (Fig. 2) of the Holocene tephra-peat layers have been reported at Airport Lake near Nikolski (Black, 1974). The narrowest part of the sea separating both islands is less than 2 km, which is reported to be almost the same during that time (Black, 1974, 1975). On Anangula Island, the oldest remains of Aleut (Black and Laughlin, 1964) date to about 8400 BP. In this talk, we describe the stratigraphy of the peat layer excavated near the oldest archaeological site in the Aleutians, introduce the Holocene stratigraphy around Nikolski described by Black (1974, 1975), and correlate it.

For this research, we used the Grant-in-Aid for Scientific Research (C) "International Joint Research on Tephrochronology, Archaeology, and Paleoecology on the Aleut Sites in the West of the Fox Islands".

Key words: Anangula Island, Holocene stratigraphy, peat and tephra layer, radiocarbon dating

アナングラ島(Anangula Island)は、アリューシャン列島のフォックス諸島(Fox Islands) に属し、ウムナック島(Umnak Island)南西部のニコースキー(Nikolski)北の約7km にある 属島である(Fig. 1). ニコースキー近傍のAirport Lake では、完新世のテフラ-泥炭層の層序 と放射性炭素年代(Fig. 2)が報告されている(Black, 1974).両島間を隔てる海の一番狭い 部分は 2 km に満たない.このような状況は当時もほぼ同じと考えられている(Black, 1974, 1975).アナングラ島では、約8400 BPのアレウト最古の遺跡(Black and Laughlin, 1964)が 報告されている.この講演では、アレウト最古の遺跡近傍で掘削した泥炭層の層序を報告し、 Black(1974, 1975)が記載したニコースキー周辺の完新世層序を紹介し、それらと対比する. この研究には、科学研究費補助金 基盤研究 (C)「フォックス諸島西部のアレウト遺跡に関するテフラ学・考古学・古生態学の国際共同研究」を使用した.

Reference

- Black, R.F. (1974) Late Quaternary sea-level changes, Umnak Island, Aleutians: their effects on ancient Aleuts and their causes. *Quaternary Research*, **4**, 264-281.
- Black, R.F. (1975) Late-Quaternary geomorphic processes: Effects on the Ancient Aleuts of Umnak Island in the Aleutians. *Arctic*, **28**, 159-169.
- Black, R.F. and Laughlin, W. S. (1964) Anangula: a geologic interpretation of the oldest archeologic site in the Aleutians. *Science*, **143**, 1231-1232.



Fig. 1 Index maps (after Black, 1975)



Fig. 2 Columnar section and radiocarbon ages at Airport Lake, Umnak Island (after Black, 1974)

4-02 ミクロネシア連邦チューク諸島 Weno 島の地質学的・岩石学的研究

角縁進¹⁾•下瀬洸也²⁾

Geological and Petrological study of the Weno island in Chuuk Islands, Federated States of Micronesia.

Susumu Kakubuchi¹⁾ and Koya Shimose²⁾

Department of Earth Science, Faculty of Education, Saga University, Saga 840-8502, Japan
Ashikari primary school, Ashikari-cho, Ogi, Saga 49-0314, Japan

チューク環礁は、西太平洋カロリン諸島内に位置する島々で、周囲 200 km に及ぶチューク環礁 と、その中に位置する複数の火山島群からなり、かつてはトラック諸島と呼ばれていた. 地質の報 告が初めてなされたのは Stark and Hay (1963) であり、環礁内の火山島群はかつて一つの大きな 火山島を形成していたものが浸食されたものだと考え、各島に認められる岩脈の方向から、東西に のびた方向で 3 カ所の噴火口を推定している. また各島に分布する溶岩の分布と岩石記載がされ ているが、「詳細不明玄武岩」が島の大半を占めるなど、不十分な報告であった.

今回調査対象とした Weno 島は火山群の中では北東部に位置する比較的大きな島で, Stark and Hay (1963) が推定した火山島の断面を調べることが出来ると考えられる. Weno 島は一辺が 約7km の正三角形状で,標高 368 m の Tonoken 山が最高峰であり,北東に向かって緩やかに 傾斜している.海岸部はマングローブの湿地帯であるが,内陸部は密林で,至る所が溶岩の崖とな っている. 溶岩の崖には数多くの要塞としての防空壕が掘られている. Weno 島の密林の中をくま なく調査し,岩石試料を採取した.採取した岩石は薄片観察および 70 試料については XRF による 主成分元素および微量元素分析を行った.調査の結果,溶岩は 12 層に区分され,これらはほぼ平 坦に積み重なる形で分布し,約10 度の傾斜で北西に傾斜している(Figs, 1, 2). ごく一部に薄い火 山砕屑岩が挟まれる.NW-SE 走向と NEW-SES 走向の幅 1~5 m の岩脈も認められる.

SiO₂--(Na₂O+K₂O)図(Fig. 3)ではいずれもアルカリ岩の領域にプロットされ,玄武岩~トラカイトまでの幅広い組成幅を有する. 岩脈は SiO₂ 含有量が低く(42.7~44.5wt%)アルカリの含有量が高い (3.7~5.4 wt%)ベイサナイトに区分される. いずれの溶岩も Mattey (1982) が区分した TMLS (Truk Main Lava Series) に相当する.







Fig. 2 柱状図



Fig. 3 SiO₂-(Na₂O+K₂O)図

Lee *et al.* (2001) は本島の5試料の全岩 K-Ar 年代データを報告している. 今回の調査結果と 合わせると,火山活動は3つのステージに区分される. すなわち,

活動ステージ1:溶岩1~溶岩4 (11.29±0.23~10.16±0.21Ma)

・活動ステージ2:溶岩 5~溶岩 10 (9.76±0.21~9.55±0.19Ma)

・活動ステージ3:溶岩 11~12 (6.68±0.29Ma)

となる.

MgOwt%を横軸にとった組成変化図(Fig. 4)では、最も MgO に富む溶岩(Cpx-Ol Basalt)から 連続的に組成を変化させているようにも認められるが、横軸に MgOwt%縦軸に溶岩の層序(噴火 順序)をとった図では、活動ステージ1では MgO=6%の溶岩から順に、MgO=7wt%の溶岩へと変化 する. しかし活動ステージ2では MgO に富んだ玄武岩溶岩から活動を開始し、MgO に乏しい溶岩 へと変化するマグマサイクルが2回存在する. 最後の活動ステージ3でも MgO に富んだ玄武岩溶 岩から分化した溶岩へと組成を変えることが明らかとなった.



Fig. 4 層序に対する MgO wt%の変化

引用文献

- Keating, B.H., Mattey, D.P., Helsley, C.E., Naughton, J.J. Epp, D., Lazarewicz, A. and Schwank, D. (1984) Evidence for a hot spot origin of the Caroline Islands. *JGR (Solid Earth)*, **89**, 9937-9948.
- Lee J.I., Hur S.D., Park B.K. and Han S.J. (2001) Geochemistry and K-Ar of Alkali Basalts from Weno Island, Caroline Islands, Western Pacific. *Ocean and Polar Research*, **23**, 23-34. (in Korean with English abstract)
- Mattey D.P. (1982) The minor and trace element geochemistry of volcanic rocks from Truk, Ponape and Kusaie, Eastern Caroline Islands; the evolution of a young hot spot trace across Old Pacific Ocean Crust. *Contrid Mineral Petrol*, **80**,1-13.
- Rehman H.U., Nakayama H. and Kawai K. (2013) Geological origin of the Volcanic Islands of the Caroline Group in the Federated States of Micronesia, Western Pacific. *South Pacific Studies*, .**33**, 101-118.
- Stark J.T. and Hay R.L. (1963) Geology and Petrography of. Volcanic Rocks of the. Truk Islands, East. Caroline Islands. *Geological survey Professional Paper*, 409, 1-41.

4-03 潜在的意味論を用いた データベース上の関連キーワード抽出と校正提案

鶴田直之^{1,*}•廣重法道^{1,*}•奥村 勝^{2,*}•鳥井真之^{3,*}•山尾敏孝⁴

Detection and Correction-Proposal of Related Keywords on Database by using Latent

Semantics

Naoyuki Tsuruta^{1,*}, Norimichi Hiroshige¹, Masaru Okumura^{2,*},

Masayuki Torii^{3,*}, Toshitaka Yamao⁴

¹Department of Electronics Engineering and Computer Science, Faculty of Engineering, Fukuoka University ² The Information Technology Center, Fukuoka University

³Center for Water cycle, Marine environment and Disaster management, Kumamoto University, Kumamoto 860-

8555, Japan

⁴Faculty of Advanced Science and Technology, Kumamoto University, Kumamoto 860-8555, Japan. *ACRIFIS-EHAI, Jonan-ku, Fukuoka 814-0180, Japan

データベースは、データ入力時に人手を介することによりデータの信頼性を損ねる可能性 がある。そこで、データ入力の正確性を高めるために、何らかの入力規則を定め、規則通り にしか入力できなくするか、規則違反の入力を検出して指摘する工夫がなされるのが普通で ある。例えば、必須項目を指定して入力漏れを防止したり、入力内容をメニューから選ぶよ うにしてタイプミスや表記のゆらぎを防止したりである。しかし、一般的・汎用的な入力規 則の効力は十分ではない。例えば、フリーキーワードの入力において、想定しうる全てのキ ーワードをメニュー化することは現実的ではないからである。一方、既に入力済みのデータ を分析することにより、入力ミスの傾向や表現のゆらぎと言った、そのデータベース特有の エラーを検出し、入力規則を改善できる可能性がある。本稿では、データにタグ付けされた キーワードに対して表現のゆらぎや類義語の候補を抽出することを考え、データベースの分 析技術として潜在的意味論を用いる手法を提案し、初期実験から手法の有効性を考察する。 抽出語が表現のゆらぎか、類義語かは、人間が判断し、手修正することを前提とするものの、 データベースの精度を高めるための手間は大幅に削減されると期待する。

Reference

S. Deerwester, S.T. Dumais, G.W. Furnas, T.K. Landauer, and R. Harshman. Indexing by Latent Semantic Analysis, Journal of the American Society for Information Science, 41(6):391-407, 1990. **4-02** ベイズ統計学入門 ーその2・ベイジアンネットワークー

稲倉 寛仁¹⁾

Introduction to Bayesian Statistic -2.Bayesian Network-Hirohito Inakura¹⁾

1) West Japan Engineering Consultants, Inc., Fukuoka 810-0004, Japan

ベイズ統計学は、18世紀のイギリスのトーマス・ベイズの遺稿を端とする比較的歴史のあ る学問であるにも関わらず、19世紀前半には主観確率の考え方に批判を受け一度は歴史の闇 へと葬りさられた学問である.しかしながら、第二次世界大戦以降にその有用性が知れ渡り、 特に近年では、マイクロソフト社をはじめとするネット企業が挙ってベイズ統計学を取り入 れている(小島、2015;酒井・酒井、2016など).Googleの検索における PageRank や Amazon における買い物リストなどもそれにあたり、我々は知らず知らずのうちにベイズ統計学の世 界に取り込まれている.今回の発表では、ベイズ統計学の中核をなす「ベイズの定理」をお さらいするとともに、その応用である「ベイジアンネットワーク」について紹介する.

1. ベイズの定理

ベイズ統計学は、ベイズの定理に基づく統計学であり、

$$p(A|B) = \frac{p(B|A)p(A)}{p(B)} - (1)$$

に基づき展開される.このとき、A という事象が発生する確率(p(A))を事前確率、B という 事象が起こった時にA という事象が起こる条件付き確率(p(A|B))を事後確率、p(B|A)を尤 度と言う.ベイズ統計学では観測事象(観測された事象 B)から推定したい事柄(それが起因 である原因事象 A)を、確率的な意味で推論する.

2. ベイズの定理で考える

ある特定のガンの罹患率を 0.1%とし、このガンに罹患しているかどうか検査するガン検 査があって、罹患している人は 95%の確率で陽性と診断される.他方.健康な人が誤診とさ れる確率は 2%とする.この関係は Table.1 のように表せる.この検査であなたが陽性と診 断されたとき、ガンに罹患している確率はベイズの定理で以下のように計算される.

Table. 1 Organized example in a table

	ガン	健康
p(A)	0.001(0.1%)	0.999(99.9%)
p(B A)	0.95~(95%)	0.02(2%)
p(B)	$0.95 \times 0.001 + 0.02 \times 0.999$	

$$p(A|B) = \frac{p(B|A)p(A)}{p(B)} = \frac{0.95 \times 0.001}{0.95 \times 0.001 + 0.02 \times 0.999}$$
$$= \frac{0.00095}{0.02039} = 0.0454 \approx 4.5\%$$

したがって、あなたが陽性という検査を得た上で、ガンに罹患している確率は4.5%程度である.

3. 条件付き確率

前述のとおりベイズの定理を取り扱うのは、Bという事象が起こった時にAという事象が 起こる条件付きであり、AとBの確率を掛け合わせた同時発生確率ではない.ベイズの定理・ 条件付き確率に基づくベイズ統計学的思考は、Google や Amazon などのネット企業の十八 番的なもので、前述の計算もあってなんだか面倒くさく見えるが、その実はもっと身近なと ころで頻繁に使われている.夏のバーゲンのくじ引きやサマージャンボ宝くじなどを目の当 たりにした時の我々の思考パターンがそれに該当する.くじ引きの場合、当たりの数(当選 確率)は当然決めっているので、既に上位の景品が出ている場合には期待度は半減するが、 まだ上位の景品が残っていれば期待度はぐっとあがり、ガラガラポンをかける手にはついつ い力が入る.同様にサマージャンボ宝くじも一等前後賞等の当たり本数は決まっており、主 催者側によるとどの売り場もあたる確率は同じということになっているが、過去に高額賞金 が出た売り場には長蛇の列ができる.このようにネットだけでなく、実生活においても我々 はベイズ統計学的思考を常に働かせている.ここで重要な点は、ベイズ統計学における確率 は行動(結果)によって変化することであり、頻度論の従来の統計学において確率が一定で あることとは異なる.これがベイズ統計学の醍醐味である.

4. ベイジアンネットワーク

ベイズの定理の(1)式のAを「ある仮定(Hypothesis)」が成立する」時の事象,Bを「結果(すなわちデータ(Data)が得られる)時の事象とすると,(1)式は下記のように書き換えられる(坂井・酒井,2016)。

$$p(H|D) = \frac{p(D|H)p(H)}{p(D)} - (2)$$

(2)式のHは「ある仮定が成立する」ときの事象を表し、ベイズ統計学ではその仮定を「原因」と解釈する.そうするとp(H|D)は「データDが得られた時の原因がHである」と解釈でき、データDの原因と考えることができる.前述のガンの条件付き確率計算の事例に当てはめると、「検査のデータD(陽性・陰性の確率)が得られた時の原因がH(ガンの罹患確率)である」というようになる.この事例は一つの原因に対してデータが一つであるという単純な事例であるが、原因が複数あることも考えられる(Fig.1)。



Fig. 1 Relation between data and cause on Bayesian theory

さて,検査の結果からガンの確率が分かったことで,「病院で再検査する」あるいは「慌て てがん保険に入る」など,得られたデータが新たな原因となって更に次のデータを生むとい う場合も考えられる.複数の原因と複数のデータ(すなわち結果)が確率の連鎖になってい る場合がそれにあたり,このような原因と結果の関係を示したネットワークをベイジアンネ ットワーク(ベイジアンビリーフネットワーク,ベイズネットとも呼ぶ)という。

ベイジアンネットワークは Fig.2 のように簡単な図で表現され、このネットワーク中の〇 はノードと呼ばれる、各ノードの因果関係は矢印によって結ばれ、原因から結果に矢印が向 けられる.その矢印の出発点のノードを親ノード、矢印の先にあるのを子ノードという.子 ノードは親ノードからのみ影響を受け、親の親(すなわち祖父や祖母)など、2段以上離れ たノードの影響は受けないことが仮定さている(マルコフ条件).



Fig. 2 Example of Bayesian Network and its relation

ノードの表す○の中には文字が書かれているが.この文字は確率変数を表している.確率 変数は二値を取り.対象とする現象が起こった時を1(真),起こらなかった時を0(偽)で 表す.この確率分布はネットワーク作成者が与えるか,計算で求める。また,矢には上下ノ ードの確率変数の関係を結びつける条件付き確率を与える.発表ではベイジアンネットワー クを使った簡単な計算事例を示す。

5. ベイジアンネットワークの計算ソフトウェア

木村・岩崎(2006)ではベイジアンネットワークの計算ソフトウェアを紹介しているが, 情報としてやや古い.最近でよく使われいるものとしては以下のようなものがある.

BayoLink (NTT データ数値システム:<u>http://www.msi.co.jp/bayolink/</u>) Bayes Server (Bayes Server Limited : <u>https://www.bayesserver.com</u>) Netca (Norsys Software : <u>https://www.norsys.com/</u>) Uninet (LightTwist Software : <u>http://www.lighttwist.net/wp/uninet</u>)

Reference

- 木村陽一・岩崎弘利(2006)ベイジアンネットワーク技術・ユーザ・顧客のモデル化と不確 実性推論.東京電機大出版局,170p.
- 小島寛之(2015)完全独習ベイズ統計学入門.ダイヤモンド社,288p
- 涌井良幸・酒井貞美(2016)身につくベイズ統計学.ファーストブックSTEP,技術評論 社,238p.




