

調査・研究に係る報告書及び要旨

「薩摩硫黄島の稲村岳スコリア丘における火山体の形成過程とスコリア噴火の関係」

要旨

鬼界カルデラは本土最南端の佐多岬から南西約 40 km に位置しており、その大部分が水没している。薩摩硫黄島はカルデラ壁として確認されており、島の南部に位置する稲村岳火山は 3.9 ka から活動を開始して 2.2 ka に活動を終えるまでに南溶岩・東溶岩・磯松崎溶岩の 3 つの溶岩流と降下スコリアを含んだ 3 層のテフラ層を噴出したスコリア丘で、それぞれの噴出物の層序関係から活動が Stage I~IV の 4 つに区分される。ここで、Stage I にテフラ 1 の噴出と南溶岩の流出、Stage II にテフラ 2 の噴出によるスコリア丘の形成と東溶岩の流出、Stage III にテフラ 3 の流出、Stage IV に磯松崎溶岩の流出がそれぞれ発生したとされている。しかし稲村岳火山の噴火史の詳細について十分な議論は行われておらず、特にスコリア丘の形成過程に関してはこれまでの研究で言及されていない。したがって本研究では稲村岳火山におけるスコリア丘の形成過程を復元することを目的として、3 つの溶岩流によって形成される溶岩海岸の現地調査や地形判読による稲村岳火山の新たな地形区分によって稲村岳火山の活動とスコリア丘形成の対応を行った。

現地調査の結果、南溶岩、東溶岩、磯松崎溶岩それぞれにおいてスコリアラフトが確認された。南溶岩上でスコリアラフトが確認されたことから、南溶岩が流出したときには稲村岳スコリア丘がある程度形成されている必要があるため、最初のスコリア丘形成は Stage II ではなく Stage I に行われたと考えられる。また、地形判読によってそれぞれの溶岩流の流れを確認したほか、スコリア丘には南東部を除いてガリーが見られ、南東部では崩壊したと思われる痕跡が確認された。これらをもとにそれぞれの溶岩流とスコリア丘の境界を区分したほか、従来の地形区分では行われていなかった稲村岳スコリア丘の区分も新たに行った。

以上を踏まえて、稲村岳火山におけるスコリア丘の形成過程を次のように復元した。最初期に形成されたスコリア丘は南溶岩の流出に伴って崩壊し (Stage I)、その後修復されるが東溶岩の流出によって次は北東方向に大きな馬蹄形状の崩壊地形が形成された (Stage II)。その後、この崩壊地形を修復しきる前にスコリアの噴出は終了し (Stage III)、最後に磯松崎溶岩がスコリア丘北西部の一部を崩しながら流出し、活動が終了した (Stage IV)。

キーワード：稲村岳スコリア丘、南溶岩、東溶岩、磯松崎溶岩、スコリアラフト

1. 研究背景

鬼界カルデラは加久藤・小林，始良，阿多などの大型カルデラが並ぶ鹿児島地溝に属しており，本土最南端の佐多岬から約40 km南西に位置している(前野・谷口，2005; Fig. 1a)．鬼界カルデラは東南20 km，南北17 kmにおよぶ大型カルデラであるが，その大部分は水没しており薩摩硫黄島や竹島などがカルデラ壁として海上で確認される程度である(Matumoto, 1943; Fig. 1b)．このカルデラは過去数10万年間にわたる複数回の大規模噴火によって形成され，7.3 kaには最新の噴火である鬼界アカホヤ噴火によって鬼界アカホヤ火山灰を噴出した．硫黄岳火山(流紋岩質)，稲村岳火山(玄武岩質)，昭和硫黄島(流紋岩質)，海水面下の中央火口丘群は鬼界アカホヤ噴火以降に成長した．小野・他(1982)，奥野・他(2000)，Kawanabe and Saito (2002)によって硫黄岳と稲村岳起源のテフラに関する¹⁴C年代が報告されている．その結果，硫黄岳火山の活動が5.2 kaに開始して，3.9 kaから始まる稲村岳火山の活動を経て2.2 kaから硫黄岳火山の活動が再開したことが明らかにされている(前野・谷口，2005)．

現在も活動している硫黄岳火山に関しては，火山ガスの組成や放出量の観測結果に基づいた脱ガスプロセスに関する議論が行われている(Kazahaya et al., 2002; Shinohara et al., 2002)．さらに現在の鬼界カルデラのマグマ溜まりは，流体含有物中の揮発性成分量の変化(Saito et al., 2001)や苦鉄質含有物の存在(Saito et al., 2002)から上部に珪長質マグマ，下部に苦鉄質マグマを持つ層構造を成していると考えられている(Saito et al., 2002; Kazahaya et al., 2002)．

稲村岳火山の噴出物はスコリア丘の周囲に分布する南溶岩，東溶岩，磯松崎溶岩の3つの溶岩流(前野・谷口，2005; Fig. 2)の他に薩摩硫黄島全土に渡って分布する降下スコリアを含んだ3層のテフラ層が確認されている．前野・谷口(2005)はそれぞれの噴出物の層序関係から稲村岳火山の活動期を最初期の活動期 Stage I から最後の活動期 Stage IVまで区分し(Table 1, 前野・谷口，2005 改変)，噴火史の考察を行った．テフラ2は他のテフラ群と比較して層厚が最大であることから稲村岳火山の主たる活動によるとされ，稲村岳スコリア丘に対比されているが，その形成過程については言及されていない．

スコリア丘は一般的な火山地形のひとつであるが，その形成過程は十分に分かっていない．MiGetchin et al. (1976)は穏やかなストロンボリ式噴火によって非常に粗い粒子が蓄積することでスコリア丘が形成されると主張し，その一方で噴火の集中期にスコリア丘が形成されたという主張もある(Wood, 1980; Fierstein et al., 1997; Riedel et al., 2003; Yasui and Koyaguchi, 2004; Valentine et al., 2005; Martin and Németh, 2006; Sable et al., 2006)．1986年には伊豆大島火山で発生した準プリニー式噴火によってスコリア丘が形成されており，Manenn and Ito (2007)は噴煙からの粒子の落下に関する理論モデルと噴煙の形に関する理論モデルによってスコリア丘の形成過程の考察を行った．また，大小41以上の玄武岩質単成火山によって構成される小値賀島単成火山群では海蝕崖にお

いてスコリア丘の内部構造を観察することが可能であり、火山地質の調査やスコリア丘形成発達過程のモデルの推定、スコリア丘と溶岩流出の関係などが行われている(山本・谷口, 1998; 山本, 2001; 山本, 2003)。

稲村岳火山に関しては、その学術論文の少なさからジオサイトとしての整備も進んでいないのが現状である。さらに、スコリア丘の形成過程についても議論する余地が残されている。以上を踏まえて、本研究では稲村岳火山の活動とスコリア丘の形成を対応させることによって、稲村岳火山におけるスコリア丘形成過程の復元を行うことを目的とした。

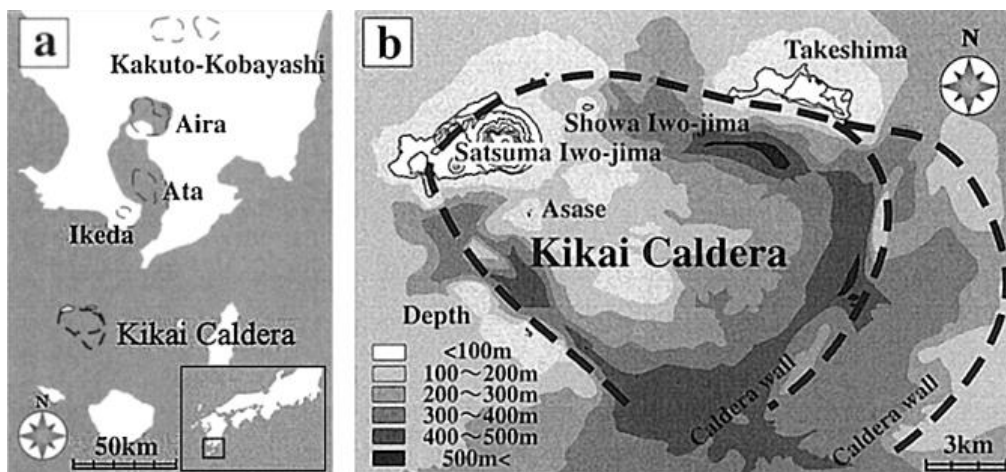


Fig. 1 Index maps. (a) Location of Kikai Caldera, (b) Topography of Kikai Caldera (Maeno and Taniguchi, 2005).

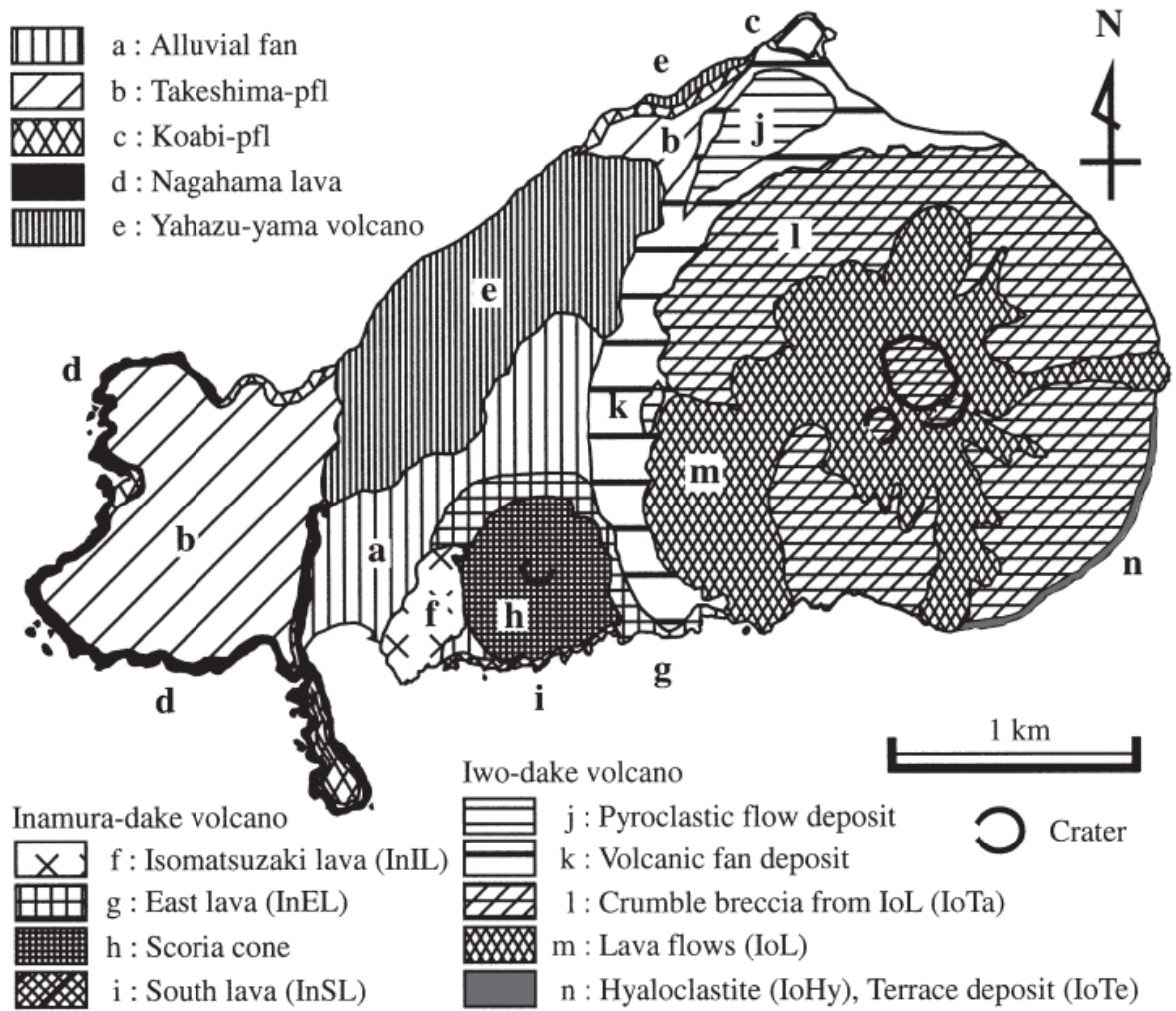


Fig. 2 Geological map of Satsuma Iwojima Island (Maeno and Taniguchi, 2005).

Table 1 Ejecta of Inamura-dake in each active phase (Maeno and Taniguchi, 2005).

Active stage	Ejecta	
Stage IV		Isomatsuzaki lava
Stage III	Tephra 3	
Stage II	Tephra 2	East lava
Stage I	Tephra 1	South lava

2. 地質概要

薩摩硫黄島は北東から南西にかけてカルデラ壁が明瞭な地形として残されており (Fig. 2), 北側の矢筈山および西側に分布する長瀬溶岩は鬼界カルデラが形成されるよりも前に形成され, カルデラ壁の一部を構成している. 東側のカルデラ内には流紋岩質の硫黄岳火山と玄武岩質の稲村岳火山が存在する. 硫黄岳火山は標高約 700 m の急峻な山体を持ち, 山体の大部分に発達したガリーの上位は山頂付近から流出した溶岩流, 崖錐堆積物に覆われている. 山頂の大きな火口のほか, 南西側に小火口が認められ, 山体の各所に噴気口が存在する. 稲村岳火山は標高約 230 m の円錐形の山体を持つスコリア丘で, 北東側に開いた山頂火口と北西麓の小火口が認められる (Fig. 3). 小野・他(1982)によって稲村岳火山はスコリア丘のほかに南溶岩, 東溶岩, 磯松崎溶岩の3つの溶岩流に区分されている(前野・他, 2001).

カルデラ壁外側の平坦な台地は, アカホヤ噴火の際に堆積した竹島火砕流堆積物によって広く覆われている. 竹島火砕流堆積物以前の堆積物は, 矢筈山の溶岩や火砕岩, 西側の台地の長浜溶岩や小アビ火砕流堆積物である. 竹島火砕流堆積物の上位には, 硫黄岳火山および稲村岳火山起源のテフラが認められる. これらのテフラは構成物と噴出源の違いから下部層, 中部層, 上部層の3層に区分され, それぞれ硫黄岳火山前期, 稲村岳火山, 硫黄岳火山後期に対応する. 硫黄岳火山は溶岩ドームとそれを覆う溶岩流, 崖錐堆積物によって構成されており, 崖錐の下部には海成段丘を構成するハイアロクラスタイト, それを覆う火山円礫岩層が確認される. また, 硫黄岳火山の山麓には火砕流などの流れ堆積物が広く分布している(前野・他, 2001).



Fig. 3 Aerial photograph of the area around Inamura-dake scoria cone from GSI maps.

3. 研究手法

3-1. 現地調査

稲村岳火山の南麓には東西約 700 m にわたって南溶岩が分布し，東溶岩と磯松崎溶岩の一部も海岸に露出している (Fig. 4). これらの溶岩によって形成される溶岩海岸には稲村岳火山の露頭が広がっており，海岸を歩きながら露頭やそれぞれの溶岩の観察を行った. また，薩摩硫黄島の北部にある平家城 (Fig. 5, 前野・谷口, 2005) において露頭観察を行った.



Fig. 4 Lava coast formed by South lava, East lava, and Isomatsuzaki lava.

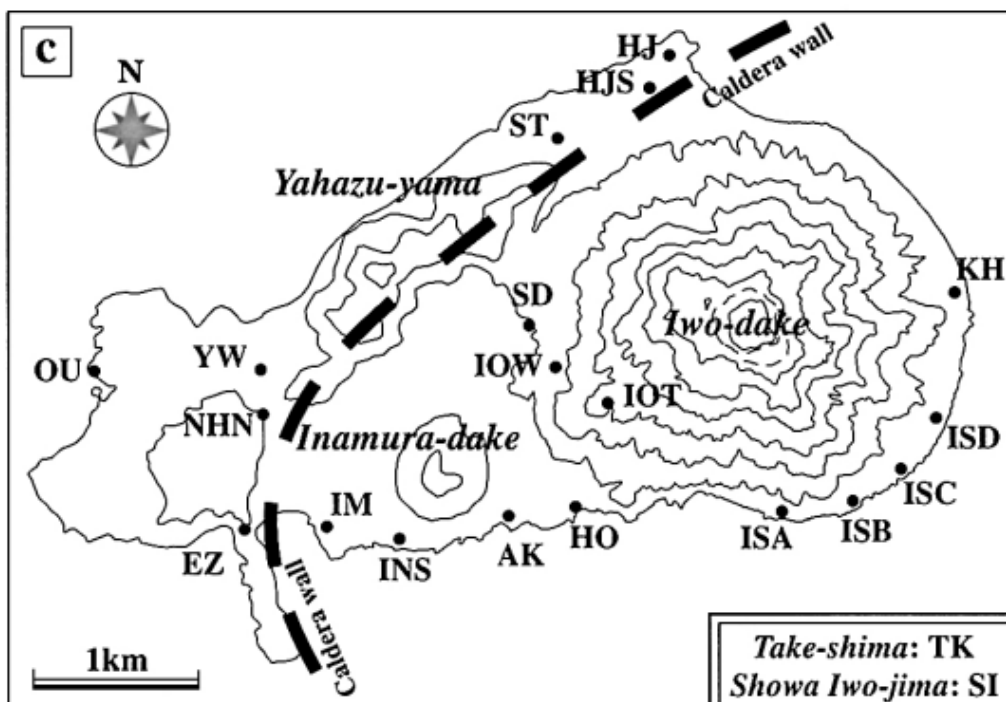


Fig. 5 The topography with outcrop distribution in Satsuma Iwojima Island (Maeno and Taniguchi, 2005).

3-2. 地形区分

薩摩硫黄島においてドローン (UAV) などを用いて撮影した写真や地理院地図, Google Earth をもとに稲村岳火山の地形を判読し, 地形の再区分を行った. 地形区分には, 地理院地図で空中写真, 傾斜量図, 陰影起伏図(透過 58 %)を組み合わせ作成した地図(Fig. 6)を使用した.

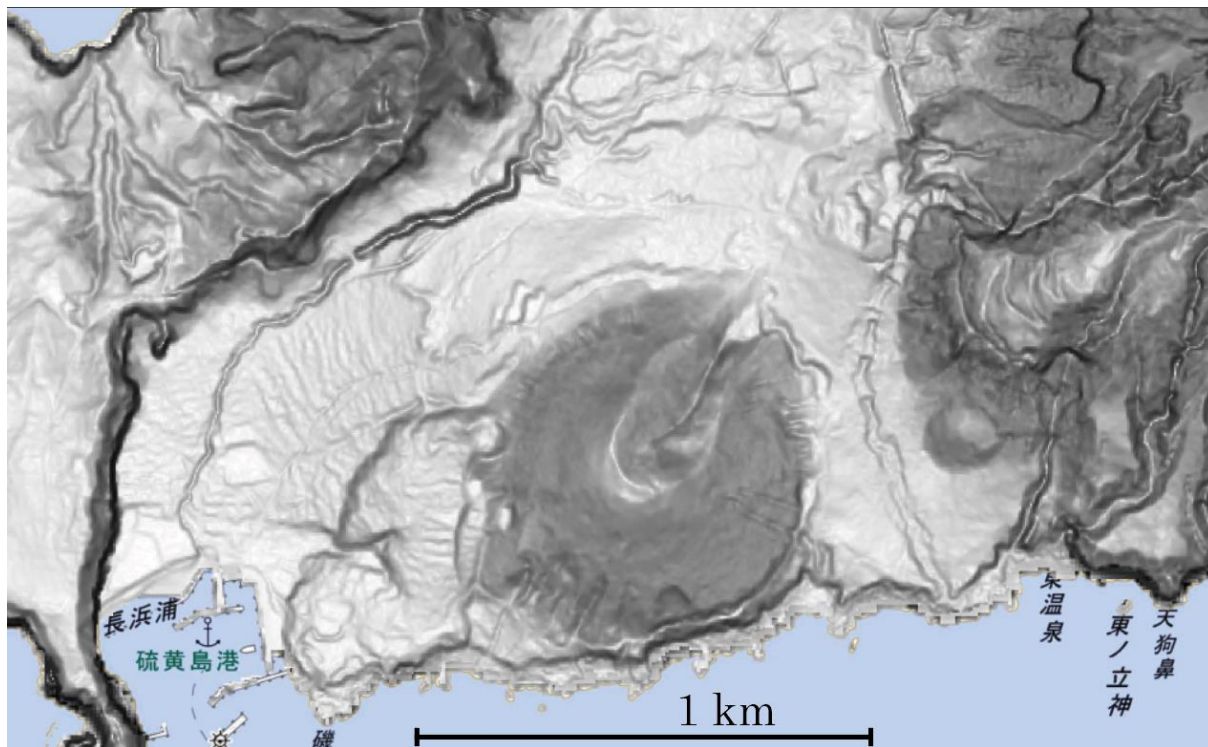


Fig. 6 Map of Inamura-dake created by combining aerial photograph, slope map, and shading undulation map with 58% transparency from GSI maps.

4. 研究結果

4-1. 現地調査

溶岩海岸になっている南溶岩，東溶岩，磯松崎溶岩それぞれにおいて赤く変色したスコリアラフトが見られた (Fig. 7~9) ほか，南溶岩において赤く変色した露頭を確認した (Fig. 10)．平家城の露頭ではテフラ1~3に含まれる降下スコリアをそれぞれ確認した (Fig. 11)．また，それぞれの溶岩を計6か所で採取して薄片を作製し (Fig. 12, 13)，観察を行った．しかし，赤く変色した露頭と作製した薄片の観察に関しては稲村岳火山におけるスコリア丘形成過程の復元と結びつけることができなかつたため十分な議論が行えておらず，より高精度な復元をするための今後の課題とした．



Fig. 7 Scoria raft on South lava.



Fig. 8 Scoria raft on East lava.



Fig. 9 Scoria raft on Isomatsuzaki lava.



Fig. 10 Red outcrop on South lava.



Fig. 11 Outcrop at HJ

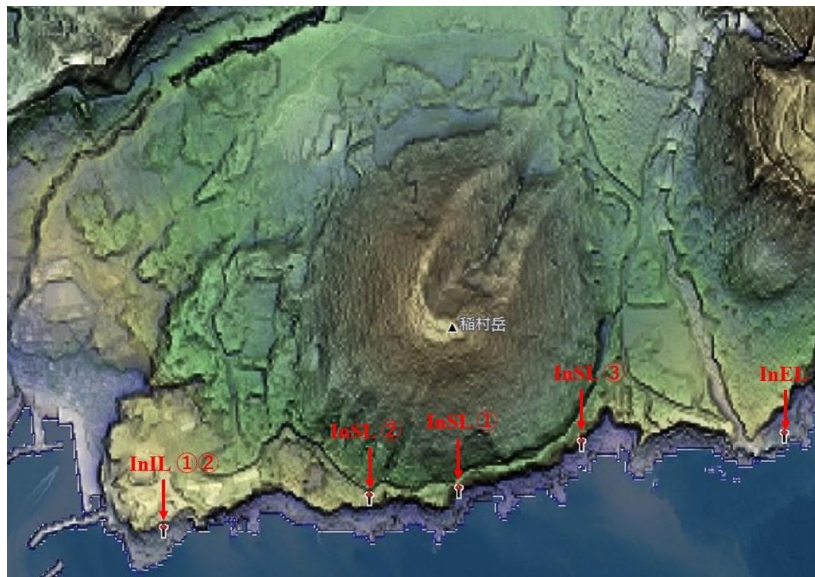


Fig. 12 The point where each lava was collected

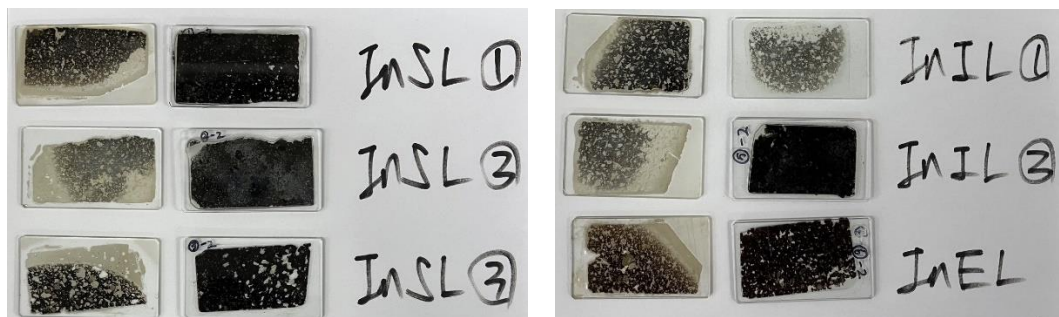


Fig. 13 Created flakes

4-2. 地形区分

地形判読によってそれぞれの溶岩の流れを確認したほか、稲村岳スコリア丘には南東部を除いてガリーが見られ(Fig. 14~19), 南東部では崩壊したと思われる痕跡が確認された(Fig. 20, 21). これらをもとに稲村岳火山を地形区分したものを Fig. 22 に示す. ただし, スコリア丘を黄色, 南溶岩を紫色, 東溶岩を青色, 磯松崎溶岩を桃色で表しており, 境界線の色は層序が上位のものを使用している. 本研究における地形区分では, 従来地形区分では行われていなかった稲村岳スコリア丘の区分も行っている.



Fig. 14 Gully found in the SW part of Inamura-dake scoria cone.

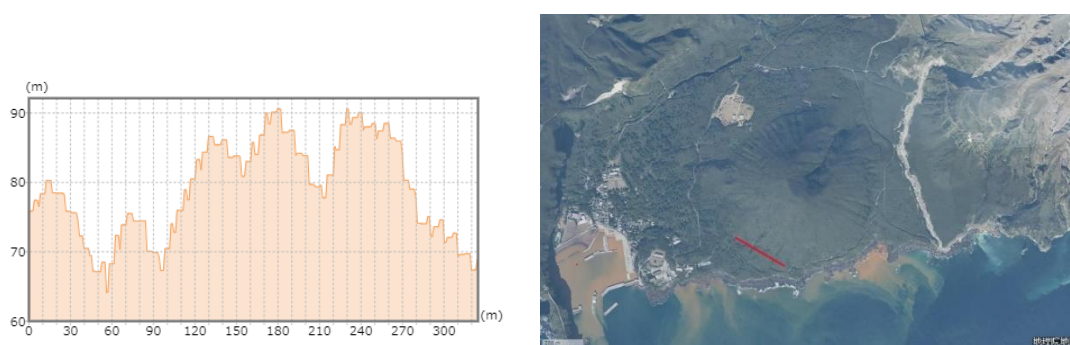


Fig. 15 Cross-sectional view of the SW part of Inamura-dake scoria cone.



Fig. 16 Gully found in the NE part of Inamura-dake scoria cone.

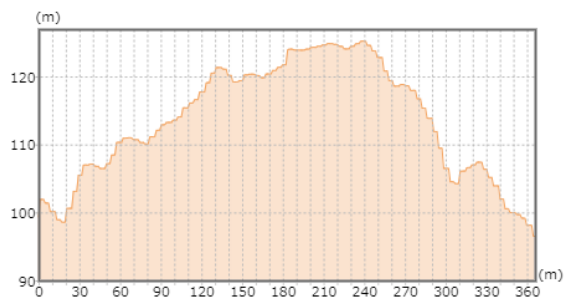


Fig. 17 Cross-sectional view of the NE part of Inamura-dake scoria cone.



Fig. 18 Gully found in the NW of Inamura-dake scoria cone.

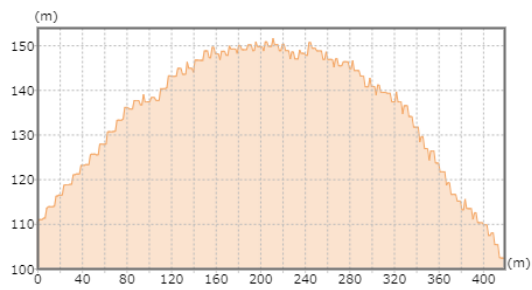


Fig. 19 Cross-sectional view of the NW part of Inamura-dake scoria cone.



Fig. 20 Collapsed trace found in the SE of Inamura-dake scoria cone.

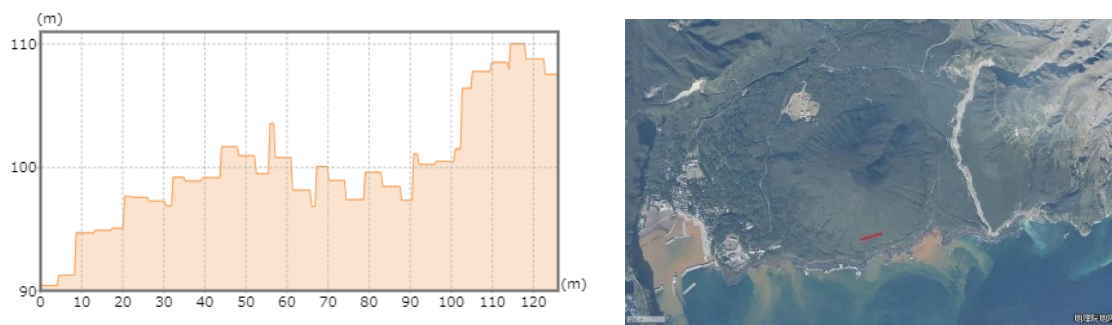


Fig. 21 Cross-sectional view of the SE part of Inamura-dake scoria cone.

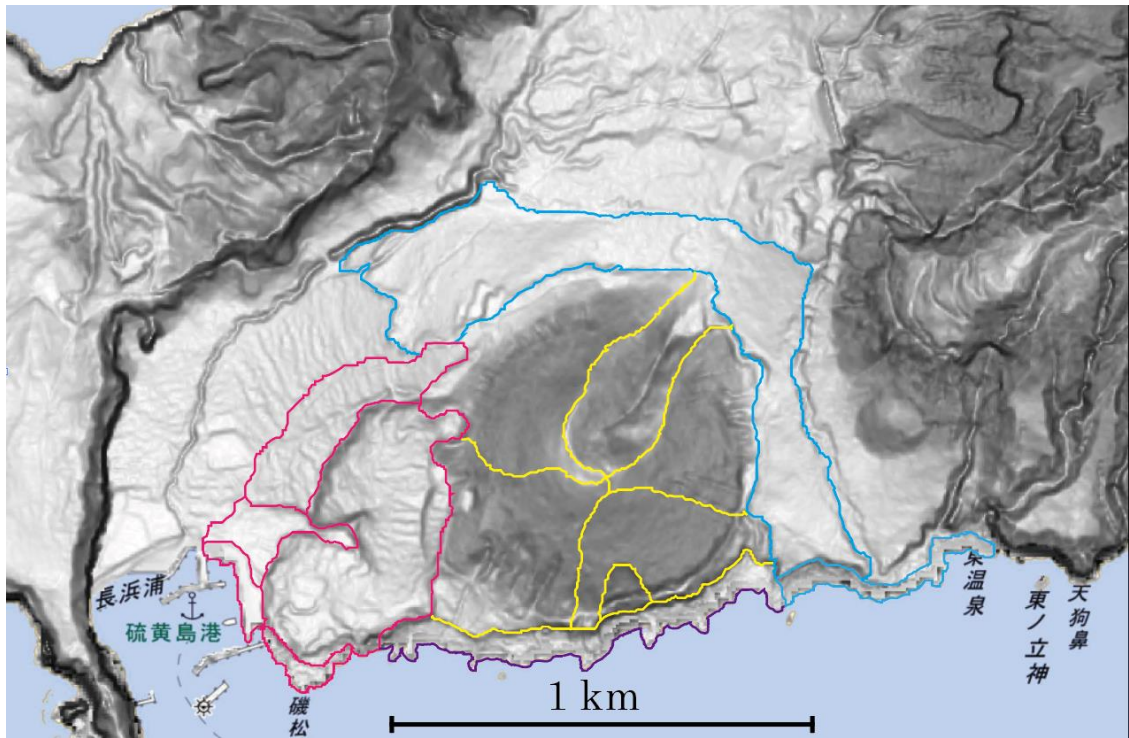


Fig. 22 Topographical classification map of Inamura-dake volcano (Scoria cone is shown in yellow, South lava in purple, East lava in blue, and Isomatsuzaki lava in peach, and the color of the boundary line is that of the upper stratigraphic unit).

5. 考察

前野・谷口(2005)は Table 1 で示したように、稲村岳火山において Stage I にテフラ 1 の噴出と南溶岩の流出, Stage II にテフラ 2 の噴出によるスコリア丘の形成と東溶岩の流出, Stage III にテフラ 3 の流出, Stage IV に磯松崎溶岩の流出がそれぞれ発生した考察している。ここで、本研究の現地調査によって発見したスコリアラフトのうち東溶岩, 磯松崎溶岩において確認されたスコリアラフト(Fig. 7, 8)の存在は、上記の考察に矛盾がないことを示唆している。しかし、南溶岩においてもスコリアラフトが確認されることから(Fig. 6)、南溶岩が流出したときにはある程度山体形成が完了している必要があると考えられる。したがって、稲村岳スコリア丘の形成時期は Stage II ではなく Stage I であると考察した。

以上を元に、稲村岳の山体形成過程を Fig. 23 のように復元した。ただし、中央の赤丸は火口を、破線は境界線が未確定なことを、赤く塗りつぶされた部分はその時期に活動している部分であることをそれぞれ表している。Stage I ではテフラ 1 の噴出によって山体がある程度形成され(Fig. 23, ①)、その後南溶岩の流出によって山体の南部が崩壊した(Fig. 23, ②)。Stage II にはテフラ 2 の大規模な噴出によって現在の山体が形成されるが(Fig. 23, ③)、東溶岩の流出に伴って再び山体崩壊が発生し、北東方向に開いた馬蹄形状の崩壊地形が形成された(Fig. 23, ④)。Stage III に噴出したテフラ 3 は馬蹄形状の崩壊地形を修復しきる前に噴出が終了し(Fig. 23, ⑤)、Stage IV で磯松崎溶岩が山体の北西部の一部を破壊しながら流出したことによって現在の山体形成が完了した(Fig. 23, ⑥)。

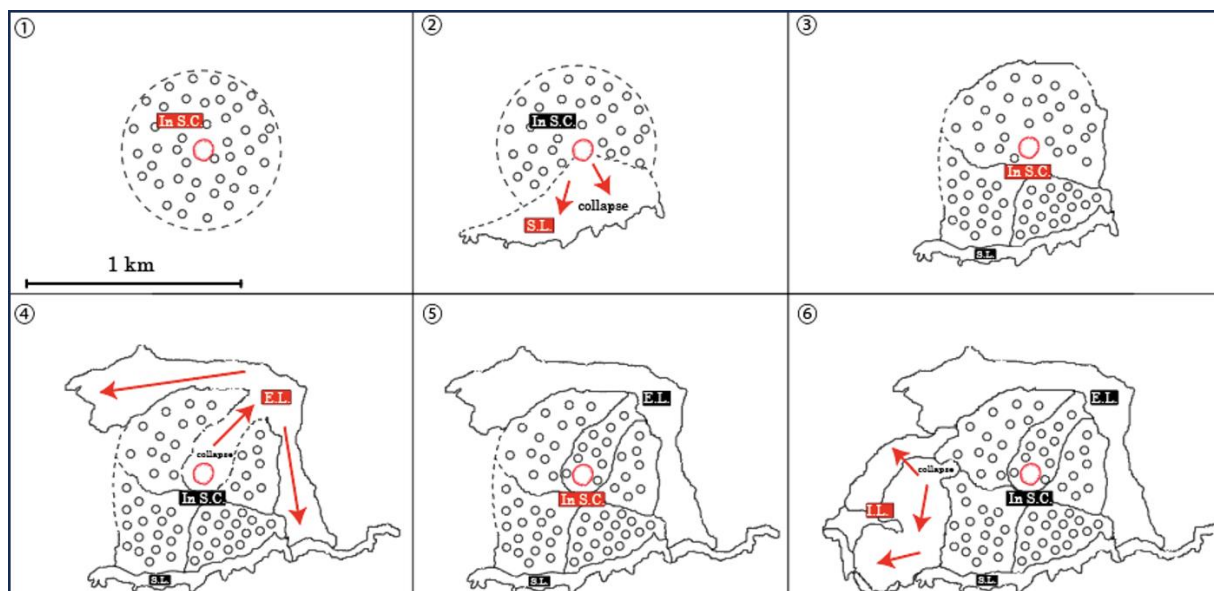


Fig. 23 Formation process of Inamura-dake scoria cone (The red circle in the center indicates the crater, the dashed line indicates the undetermined boundary, and the red filled area indicates the active part of Inamura-dake at that time).

6. まとめ・今後の展望

本研究では、稲村岳火山におけるスコリア丘の形成過程を復元することを目的として、稲村岳火山から噴出した南溶岩、東溶岩、磯松崎溶岩の3つ溶岩流によって形成される溶岩海岸の現地調査や、地形判読による稲村岳火山の新たな地形区分によって稲村岳火山の活動とスコリア丘形成の対応を行った。

南溶岩上で確認したスコリアラフトの存在は、南溶岩が流出した際には既に稲村岳スコリア丘が存在していた可能性が高いことを示唆している。したがって、スコリア丘は稲村岳火山の活動の最初期に形成されたのだと考えた。また、稲村岳スコリア丘に見られる崩壊地形から、スコリア丘は各活動期において降下スコリアを含んだテフラの噴出による形成・修復と溶岩の流出による崩壊を繰り返しながら形成されてきたのだと考えた。

しかし、本研究では南溶岩上で発見した赤く変色した露頭に関する議論やそれぞれの溶岩を採取して作製した薄片の観察について十分に行うことができていない。さらに、稲村岳スコリア丘の地形区分に関してもさらに細かく区分できる可能性が残っている。これらを考慮することによって、より高精度な復元ができると考えられる。

謝辞 現地調査は鹿児島県三島村の「令和5年度 三島村ジオパーク学術研究等奨励補助金」の助成を受けて実施し、三島村役場の坂本房江氏には便宜を図っていただいた。記して謝意を表します。

引用文献

- Fierstein, J., Houghon, B. F., Wilson, C. J. N. and Hildreth, W. (1997) Complexities of plinian fall deposition at vent: An example from the 1912 Novarupta eruption (Alaska). *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, **76**, 215–227.
- Kawanabe, Y. and Saito, G. (2002) Volcanic activity of the Satsuma-Iwojima area during the past 6500 years. *Earth Planets Space*, **54**, 295–301.
- Kazahaya, K., Shinohara, H. and Saito, G. (2002) Degassing process of Satsuma-Iwojima volcano, Japan: supply of volatile components from a deep magma chamber. *Earth Planets Space*, **54**, 327–335.
- Manenn, K and T. Ito (2007) Formation of scoria cone during explosive eruption at Izu-Oshima volcano, Japan. *Geophysical Research Letters*, **34**, L18302.1–L18302.5
- 前野 深・宮本 毅・谷口 宏充 (2001) 鬼界カルデラにおけるアカホヤ噴火以降の火山活動史. 東北アジア研究, **6**, 253–277.
- 前野 深・谷口 宏充 (2005) 薩摩硫黄島におけるカルデラ形成期以降の噴火史. 火山, **50**, 71–85.
- Martin, U., and K. Németh (2006) How strombolian is a “Strombolian” scoria cone? Some irregularities in scoria cone architecture from the Transmexican Volcanic Belt, near Volcan Ceboruco (Mexico) and Al Haruj (Libya). *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, **155**, 104–118.

- Matumoto, T. (1943) The four gigantic caldera volcanoes of Kyusyu. *Jap. Jour. Geol. Geor.*, **19**, sp., 1-57.
- McGetchin, T. R., M. Settle, and B. A. Chouet (1974) Cinder cone growth modeled after northeast crater, Mount Etna, Sicily. *J. Geophys. Res.*, **79**, 3257-3262.
- 奥野 充・福島 大輔・小林 哲夫 (2000) 南九州のテフロクロノロジー—最新 10 万年間のテフラ一. 人類史研究, **12**, 9-23.
- 小野 晃司・曾根 龍典・細野 武男 (1982) 薩摩硫黄島地域の地質. 地域地質研究報告(5 万分の 1 図幅), 地質調査所, 1-80.
- Riedel, C., G. G. J. Ernst, and M. Riley (2003) Controls on the growth and geometry of pyroclastic constructs. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, **127**, 121-152.
- Sable, J. E., B. F. Houghton, C. J. N. Wilson, and R. J. Carey (2006) Complex proximal sedimentation from plinian plume: The example of Tarawera 1886. *Bull. Volcanol.*, **69**, 89-103.
- Saito, G., Kazahaya, K., Shinohara, H., Stimac, J. and Kawanabe, Y. (2001) Variation of volatile concentration in a magma system of Satsuma-Iwojima volcano deduced from melt inclusion analyses. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, **108**, 11-31.
- Saito, G., Stimac, J. Kawanabe, Y. and Goff, F. (2002) Mafic inclusions in rhyolites of Satsuma-Iwojima volcano: evidence for mafic-silicic magma interaction. *Earth Planets and Space*, **54**, 303-325.
- 産業技術総合研究所, 「噴火史-Iwojima」
https://gbank.gsj.jp/volcano/Act_Vol/satsumaioujima/vr/pic/104.html, (最終閲覧日 2024/2/14).
- Shinohara, H., Kazahaya, K., Saito, G., Matsushima, N. and Kawanabe, Y. (2002) Degassing activity from Iwodake rhyolitic cone, Satsuma-Iwojima volcano, Japan: formation of a new degassing vent, 1990-1999. *Earth Planets Spaces*, **54**, 175-185.
- Valentine, G. A., D. Krier, F. V. Perry, and G. Heiken (2005) Scoria cone construction mechanisms, Lathrop Wells volcano, southern Nevada, USA. *Geology*, **33**, 629-631.
- Woods, A. W. (1988) The fluid dynamics and thermodynamics of eruption columns. *Bull. Volcanol.*, **50**, 169-193.
- 山本 裕朗・谷口 宏充 (1998) 小値賀島単成火山群の火山地質. 東北アジア研究, **3**, 201-232.
- 山本 裕朗 (2001) 小値賀島単成火山群における噴石丘の形成発達過程. 火山, **46**, 239-256.
- 山本 裕朗 (2003) 小値賀島単成火山群における噴石丘の溶岩流出形態. 火山, **48**, 11-25.
- Yasui, M., and T. Koyaguchi (2004) Sequence and eruptive style of the 1783 eruption of Asama volcano, central Japan: A case study of an andesitic explosive eruption generating fountain-fed lava flow, pumice fall, scoria flow and forming a cone. *Bull. Volcanol.*, **66**, 243-262.