

硫黄列島の地形・地質概要

Geographical and Geological Overview of the Iwo Islands

山下浩之¹⁾・新井田秀一¹⁾・西澤文勝¹⁾

Hiroyuki YAMASHITA¹⁾, Shuichi NIIDA¹⁾ & Fumikatsu NISHIZAWA¹⁾

Abstract. The Iwo Islands are volcanic islands of Quaternary age, located along a volcanic front at the southern end of the Izu-Ogasawara Arc. The islands consist of the Kita-Iwo-To, Iwo-To, and Minami-Iwo-To islands. Here, we present the results of geomorphological, geological, and petrological investigations of each island. The Kita-Iwo-To island, the summit of a submarine stratovolcano, is composed of basalt of the sub-alkali rock series. The Iwo-To island emerged from the sea surface as the central cone of a caldera, which is approximately 10 km in diameter, and was formed at the summit of a stratovolcano. It is composed of trachyte or trachyandesite. The Minami-Iwo-To island, which is composed of basalt, is located on the southern rim of the Kitafukutoku Caldera, and has the Fukutoku-oka-noba Volcano as the central cone.

We also report on the petrological and geochemical descriptions of pumice that drifted to the Nansei Islands and the Kanagawa Prefecture, following the eruption of the Fukutoku-oka-noba Volcano in 2021. The pumice can be classified into seven types based on morphological characteristics. Petrographically, the pumice can be classified as trachyte or trachyandesite.

Key words: 硫黄列島、北硫黄島、硫黄島、南硫黄島、福徳岡の場

Iwo islands, Kita-Iwo-To island, Iwo-To island, Minami-Iwo To island, Fukutoku-oka-noba

1. はじめに

伊豆小笠原弧は、伊豆小笠原海溝からフィリピン海プレートの下に沈み込む太平洋プレートによって形成された海洋性島弧で、海洋上には北から伊豆大島、三宅島、八丈島、青ヶ島、鳥島、そうふがん 嬬婦岩につらなる伊豆諸島と、北硫黄島、硫黄島、南硫黄島からなる硫黄列島（火山列島）が連なる。硫黄列島については、当館の総合研究「小笠原諸島火山列島における動植物相と島嶼での進化（研究代表：苅部治紀）」において、特に動植物についての調査研究がなされ、その成果は2021年度の神奈川県立生命の星・地球博物館主催特別展「絶海の自然 硫黄列島をゆく」で紹介した。この特別展および展示解説書では、硫黄列島の地形、地質を簡単に紹介した。本報告では、あらためて北硫黄島、硫黄島、南硫黄島の地形、地質、形成史、岩石についてのレビューを行うとともに、南硫黄島の北東約5 kmに位置する福徳岡ノ場海底火山の2021

年の噴火に伴う漂着軽石について、岩石学的記載と全岩化学組成を公表する。なお、本稿の執筆にあたり、新井田が硫黄列島の位置及び硫黄列島の地形的な特徴を、西澤が2021年の福徳岡ノ場火山噴火の軽石の岩石学的記載を、それ以外の部分を山下が担当した。

2. 硫黄列島の位置

伊豆小笠原海溝の西側には北端の伊豆大島から八丈島、青ヶ島、鳥島などを経て嬬婦岩に連なる伊豆諸島がある。図1では1,000 m間隔の等深線を示しており、伊豆諸島周辺は、水深2,000 mより浅くなっていることがわかる。さらに南方へ向け、島だけでなく海面まで達していない海山・海丘が連続しており、延長線上に近年活発な火山活動により成長を続けている知られる西之島や硫黄列島が存在する。これを七島—硫黄島海嶺と呼ぶ。聳島を中心とした聳島列島、父島・兄島を中心とした父島列島、母島を中心とした母島列島を合わせた小笠原群島は、この海嶺よりも東側の前弧側にあり、伊豆小笠原海溝に近い位置にある。

本稿で列島名は、国土地理院の地形図によると「火山（硫

¹⁾ 神奈川県立生命の星・地球博物館
 〒250-0031 神奈川県小田原市入生田 499
 Kanagawa Prefectural Museum of Natural History
 499 Iryuda, Odawara, Kanagawa 250-0031, Japan
 山下浩之 : yama@nh.kanagawa-museum.jp

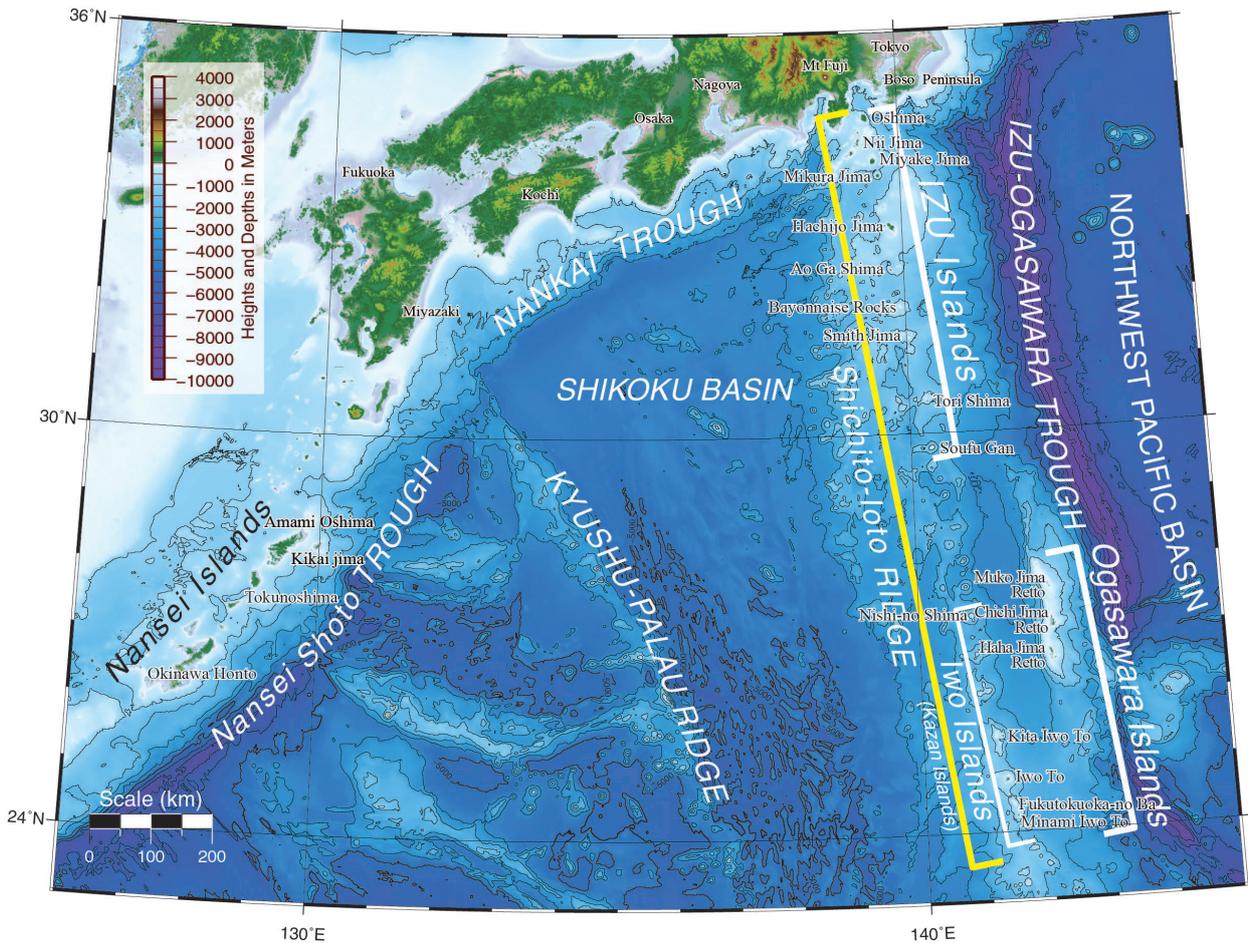


図 1. 海陸合成 DEM を用いた日本列島から南西諸島・小笠原諸島までの海底地形図。

黄) 列島」となっているが「硫黄列島」と表記する。なお、地図に示す地名の統一を図る目的で国土地理院と海上保安庁海洋情報部の間に昭和 35 年から設置されている「地名等の統一に関する連絡協議会」においては、火山(硫黄)列島は、西之島、北硫黄島、硫黄島、南硫黄島からなることが両者の間で確認されているが(安城・割田, 2009) 本稿では、北硫黄島、硫黄島、南硫黄島の 3 島を扱う。最南端の南硫黄島までは、本州から約 1,200 km の距離にある。硫黄列島周辺の地形を示したものが図 2 (a) である。等高線・等深線は 100 m 間隔である。

地形を紹介する図はすべて Generic Mapping Tools Version 4.5.6 (GMT: <https://www.soest.hawaii.edu/gmt/>) によって作成した。図の作成に当たっては、陸上地形は国土地理院の基盤地図情報数値標高モデルを使用した。海底地形については、日本海洋情報センター (https://www.jodc.go.jp/jodcweb/index_j.html) が公開している 500 m メッシュ水深データ (J-EGG500) と、内閣府南海トラフの巨大地震モデル検討会が評価検討に使用した地形データ (G 空間情報センター: https://www.geospatial.jp/gp_front/) を組み合わせた。陸上から海底まで連続するデジタル地形の作成は新井田 (2021) による。

図 2 のエリアには海上には 3 島しか現れていないが、海底にはいくつもの海丘・海山がみられる。図 2 (b) は、図 2 (a) に赤線区間 A-B で示す南北方向の断面図である。北硫黄島の西側には、噴火浅根や噴火浅根西ノ瀬、北側

には北硫黄堆や北海勢堆といった水深 1,000 m より浅い高まりがある。北硫黄島と硫黄島の間は、1,250 m 程度の谷によって隔てられており、硫黄島から南硫黄島までは海勢海丘、海神海丘、北福德海山などの 1,000 m より浅い海域がある。南硫黄島の南側には、西福德海山や福德海山がある。

北硫黄島、硫黄島、南硫黄島の各島の東西方向の断面図を図 3 に示す。図 2 (a) の赤線区間 C-D が図 3 (a) の北硫黄島東西断面図に、E-F 区間が図 3 (b) の硫黄島東西断面図に、G-H 区間が図 3 (c) の南硫黄島東西断面に相当する。

3. 地質各論

地形、地質、形成史、岩石について、それぞれ北硫黄島、硫黄島、南硫黄島ごとに紹介する。また、南硫黄島の北東約 5 km に位置する福德岡ノ場火山の概略と 2021 年噴火で漂着した軽石について、岩石学的特徴と地球化学的特徴を報告する。

3-1. 北硫黄島

北硫黄島は、西之島を除くと硫黄列島最北端の火山島である。火山活動の記録はない。面積は、5.56 km² (国土地理院, 2021)。水深 2,000 m 付近からそびえる海底火山で、図 3 (a) では陸上に現れている部分が巨大な海底火山の頂部に相当する。図 2 (b) ではピークである榊ヶ峰 (標

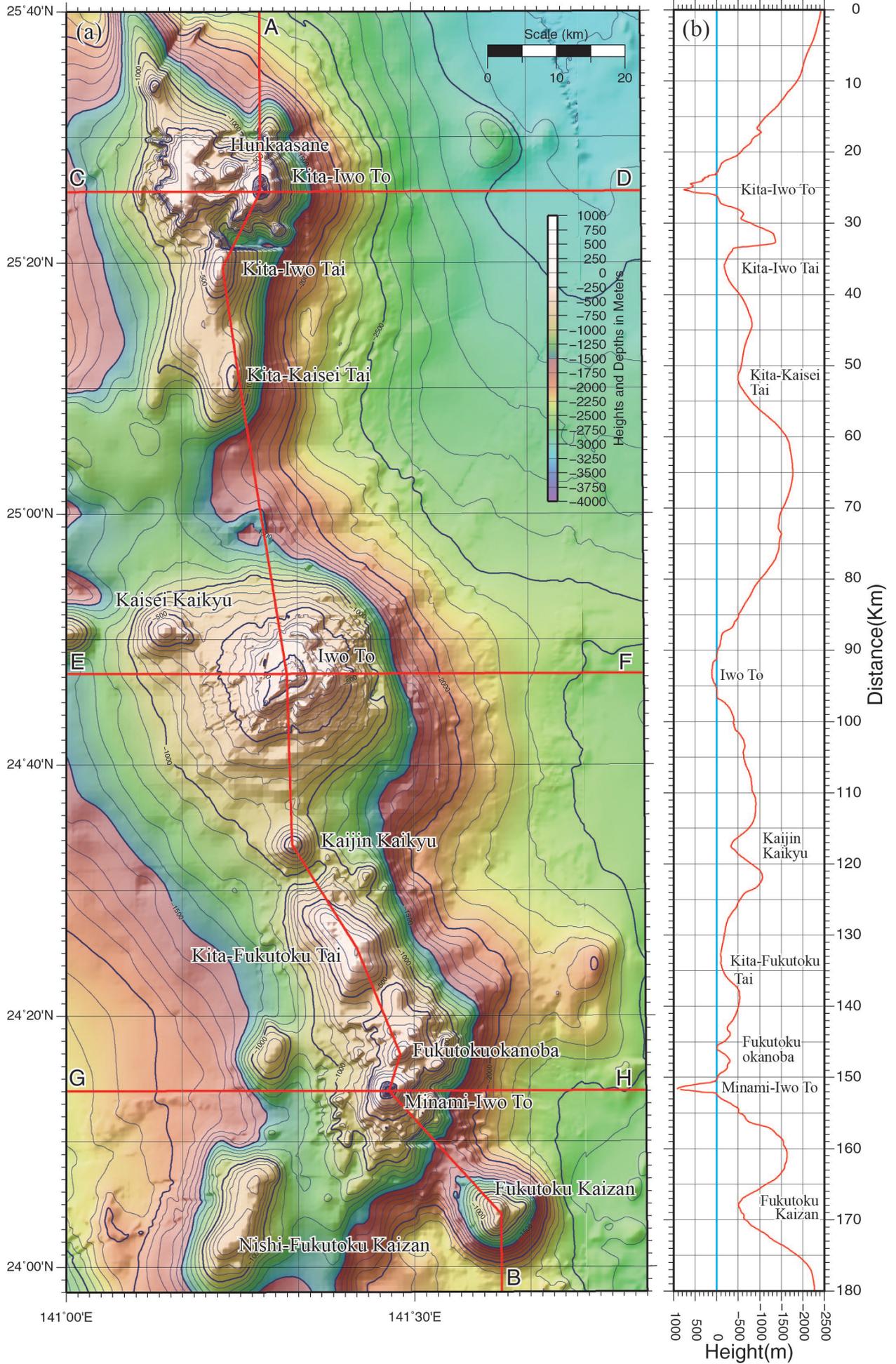


図2. 海陸合成 DEM を用いた硫黄列島周辺の海底地形図 (a) と南北断面図 (b).

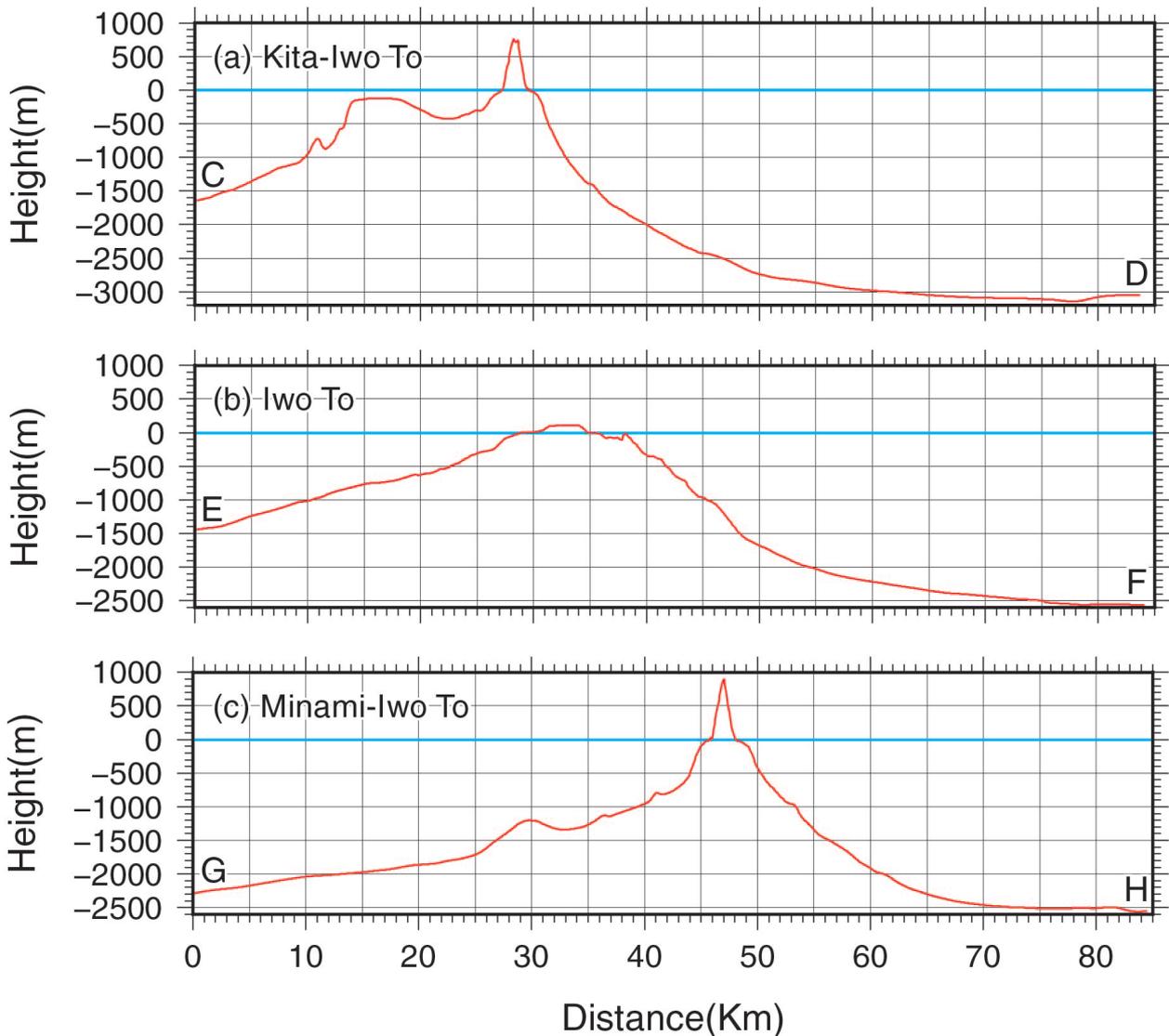


図3. 海陸合成DEMを用いた硫黄列島各島周辺の東西断面図。(a)：北硫黄島，(b)：硫黄島，(c)：南硫黄島。

高792m)の北側標高700mあたりに平坦面があることがわかる。ここは「三万坪」と呼ばれ、陥没地形(カルデラ)と考えられている。

地質に関する研究成果は南硫黄島に次いで少なく、今回の報告では、菊池・今泉(1984)と中野・古川(2009)に基づき紹介する。なお、研究史については中野・古川が詳しい。

北硫黄島の地形および地質学的研究が網羅的に報告されたのは、菊池・今泉(1984)である。菊池・今泉(1984)は、海上より島の全周を観察し、地質図を作成した。また火砕物が不整合に接する堆積構造から、山体を古期北硫黄火山と新期北硫黄火山に区分し、島の北東部にある火口状の地形を火口と見なし古期北硫黄火山に、島の南部の榊ヶ峰を含む南北に細長い稜線を火口縁とみなし、新期北硫黄火山の火口とした。古期北硫黄火山は1万年前に海底火山として活動し、火山島を形成、8,000年前まで浸食・削剥され、その後新期火山が形成したと考察した。

中野・古川(2009)が、地形、地質及び岩石について詳細な報告を行っている。それによると、菊池・今泉(1984)と同様に、北硫黄島は古期火山と新期火山に区分され、その境界には不整合が発達することを確認

したが、菊池・今泉(1984)とは境界の位置が異なるとした。山体は、成層した凝灰岩、火山礫凝灰岩、凝灰角礫岩、アア溶岩の塊状部・クリンカーの累重が卓越し、現在の陸上部分は水中噴火の痕跡は見られず、陸上で成長したものとした。また、167本の放射状岩脈を海食崖から確認した。採集した岩石について、全岩化学分析を行い、全岩化学組成(主要元素)の報告を行った。それによると、岩石は、low-Kからmedium-Kの玄武岩($\text{SiO}_2=47.3-51.2\text{ wt.}\%$ 、 $\text{K}_2\text{O}=0.17-0.57\text{ wt.}\%$)が19点と、medium-Kの安山岩($\text{SiO}_2=58.6\text{ wt.}\%$ 、 $\text{K}_2\text{O}=1.14\text{ wt.}\%$)が1点であった。古期火山と新期火山の間に化学組成に差は認められず、また、溶岩と岩脈が同じ組成であることを報告した。玄武岩は斜長石の斑晶に富み、その他の斑晶に橄欖石±単斜輝石だが、無斑晶質の玄武岩も確認されている。安山岩は無斑晶質に近く、斜長石、単斜輝石のほかごく少量の橄欖石斑晶を含み、古期火山を貫く岩脈として報告している。

3-2. 硫黄島

硫黄島は、面積が27.73km²(国土地理院、2021)と小笠原諸島最大の島で、現在も地熱活動が活発で、島内

や周辺海域でしばしば水蒸気爆発が起こる火山島である。

硫黄島の地形は、貝塚ほか (1983; 1985) で報告されている。南北断面の図 2 (b) や東西断面の図 3 (b) が示すように、硫黄島は、海底面からの比高が 2,000 m 以上の成層火山で、山頂部に直径約 10 km のカルデラ (大部分は海面下) が存在する。硫黄島本体がカルデラ中央の火山に相当し、特に火山の中心部は北寄りの元山地域で標高 100-120 m の平坦な台地状の地形をなしている。西側の釜岩や北西側の監獄岩、東側の東岩などがカルデラ壁に相当する。最高峰の摺鉢山 (標高 161 m) はカルデラ縁外に生じた側火山とした。地殻変動が継続しており、摺鉢山の中心部を除くほぼ全島に海成段丘が発達する。最高位の段丘面で採集された造礁珊瑚の ^{14}C 年代から、年間隆起率を 15 ~ 20 cm と推定している。

長井・小林 (2015) は、貝塚ほか (1983; 1985) の報告を基に、地質図を作成し、層序ブロックダイアグラムを作成した。層序を決定するにあたり年代測定を行った。すなわち、釜岩のビーチロック堆積物中の貝殻試料および、日出浜火砕流堆積物の火山砂層中の炭化木片で ^{14}C 年代測定を行い、釜岩のビーチロック堆積物が 2.0 cal kBP に堆積、日出浜火砕流堆積物が 2.7 cal kBP に噴出したとした。また、外輪山の一部を構成する比較的古い可能性のある岩石を K-Ar 年代測定を行ったが、信頼できる年代値を得ることができず、後期更新世以降の噴出物とまでしか断定できなかつたとしている。

長井・小林 (2015) による、硫黄島の形成史は次の通り。外輪山については、粗面安山岩から粗面岩質マグマの活動形成されていることから、カルデラ形成後と似たマグマ組成、噴火様式があったことが予測されるが、山体構造や活動年代も不明な点が多い。カルデラ地形がいつ誕生したのかは不明であるが、2.7 cal kBP の元山噴火以前に、既に堆積盆としてのカルデラ底が存在していた可能性を指摘した。元山噴火 (2.7 cal kBP) は粗面岩質マグマによる火砕流を伴う大規模な噴火で、日出浜火砕流堆積物として水中に堆積した。その後、元山溶岩が流出し、厚さ 70 m 以上のドーム状の水中溶岩流を形成した。元山溶岩がまだ高温時に、地滑りの崩壊を起こし、金剛岩火砕堆積物として定置した。続いて、再び大規模な火砕噴火が起こり、元山溶岩の山体や周辺の旧山体、海底堆積物を破壊・侵食しつつ、四方に水中火砕流として流下した。この火砕流による水中堆積物の厚さは 100 m に達する。その後、カルデラ南西縁の外側付近の海底で、粗面岩質マグマの爆発的噴火が起こった。初期に流下した水中火砕流は、摺鉢山下部火砕堆積物として定置した。さらに摺鉢山北部の浅海で水蒸気マグマ爆発が起こり、水中火砕流や水中火砕サージが発生し、摺鉢山中部火砕堆積物が形成した。引き続き摺鉢山溶岩が流出し、火山島を形成した。その後、ある程度の時間間隙を経て、摺鉢山溶岩の島内で、やや K_2O に乏しい粗面岩質マグマの噴火が起こり、火砕丘を形成した。カルデラ内では、マグマの浅所貫入により元山を中心にカルデラ底の隆起が始まり、遅くとも 0.5 kBP 頃までには元山の上部は海面に達し、硫黄島が誕生した。この隆起運動は現在も継続しており、硫黄島の周囲には海岸段丘を形成しながら島

の面積を広げている。

長井・小林 (2015) では、さらに、火砕岩を含む岩石の記載と全岩化学分析を実施した。初期の監獄岩溶岩から摺鉢山上部火砕流堆積物まで偏光顕微鏡観察を実施した結果、斑晶鉱物に斜長石、単斜輝石、橄欖石、鉄チタン酸化物と少量の磷灰石を伴うことを報告した。斑晶量は 5 ~ 30 vol.% で多くは 10 ~ 15 vol.% 程度であった。苦鉄質な資料ほど斑晶量が多い傾向が見られた。全岩化学組成は、 SiO_2 が 57.2 ~ 61.8 wt.% の範囲に集中する。詳細には主に SiO_2 含有量から 4 つのグループに分けたが、マグマの成因については議論していない。

小坂ほか (1985) は、硫黄島の火山活動と地球化学、岩石の地球化学的特徴を記載した。その中で、硫黄島および海底を含めた硫黄島近海の岩石の化学分析を実施した。その結果、全試料を通じて SiO_2 が 53 - 60 wt.% で、 $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ 含有量が 8.07 ~ 10.53 wt.% で、粗面安山岩から粗面岩に該当した。硫黄島近海の岩石については、粗面安山岩から粗面岩に該当するものの、沖合の資料では SiO_2 含有量が 57.2 wt.% から 53.1 wt.% まで減少することを指摘している。

3-3. 南硫黄島

南硫黄島は、硫黄列島最南端の火山島である。火山活動の記録はない。図 2 (b) が示すように、福德岡ノ場火山を中央火口丘とする北福德カルデラの南縁に位置する。陸上部は平坦面がほとんどなく、円錐形に近い形をしていることが図 3 (c) の断面図から示される。地質に関する研究成果は極めて少なく、湯浅・玉木 (1982)、福山 (1983)、中野 (2008) に限る。今回の報告では、これらの報告に基づき、南硫黄島を紹介する。

湯浅・玉木 (1982) は、1979 年に短時間南硫黄島に上陸して岩石採集を行い、そこで得られた岩石資料から、岩石学的記載と全岩化学組成、および鉱物の化学組成を報告している。本報告では、唯一鉱物の化学組成が報告されている。報告された岩石は、普通輝石橄欖石玄武岩の溶岩及び岩脈であった。

1982 年に自然環境の解明のための動植物、地質調査がなされ、その結果が福山 (1983) でまとめられている。この福山 (1983) が、南硫黄島の地質を網羅的に調査した第一報と思われる。福山 (1983) の報告の概要は以下の通り。

南硫黄島の山頂には東半分を欠いた火口があり、約 50 m の窪みをなしている。島は火山岩からなるが噴火の記録はない。島を構成する岩石は、玄武岩質の溶岩流とアグルチネート (溶結集塊岩) で、強く溶結しているために急な斜面が保たれている。海面上の山体は、溶岩流とアグルチネート (溶結集塊岩)、火砕流堆積物、空中降下スコリア及び火山灰層、岩脈群より構成され、すべて陸上噴出物で、岩質は玄武岩質である。体積率は、溶岩流とアグルチネートが大半を占める。山体を、空中降下火砕物によって噴火活動を、古期火山 I (OV1)、古期火山 II (OV2)、新規火山 (YV) に区分した。また、溶岩の熱残留磁化方位がすべて正のため、島の形成は古くとも数 10 万年前以降と推測した。これらの結果から、数

十万年前に南硫黄島海底火山は海面上まで成長し古期火山I (OV1) を形成。その後休止期を挟んだ後、溶岩とアグルチネートを噴出し古期火山II (OV2) を形成。その後、現在の山頂火口からスコリア質ラピリ、火山灰を噴出。後にアグルチネートを噴出するストロンボリ式噴火を繰り返し現在の高度まで成長したという形成史を考えた。

岩石は、溶岩、火砕岩ともすべて玄武岩質で、斑晶鉱物の組み合わせから、アンカラマイト、橄欖石玄武岩、普通輝石・橄欖石玄武岩に区分され、古期火山では、これらすべてを産し、溶岩と岩脈でも同様であった。斑状組織の溶岩がほとんどだが、岩脈の急冷縁では無斑晶質岩石も産する。斑晶鉱物は、橄欖石、普通輝石、斜長石、磁鉄鉱で、石基鉱物も同様である。新期火山では橄欖石玄武岩が卓越する。全岩化学組成から、CIPW ノルム計算を実施し、その結果、ノルム石英は計算されず、ノルムネフェリンが計算され、アルカリ岩が含まれていることが確認されている。このようなアルカリ岩が火山前線にあることは珍しいことを指摘した。

中野 (2008) は、2007 年に実施された南硫黄島の学術調査の報告を行っている。中野 (2008) は、山体を古期火山噴出物 -1、古期火山噴出物 -2、南部中期火山噴出物、北部中期火山噴出物、新期火山噴出物に区分した。このうち古期火山噴出物 -1 は、福山 (1983) の古期火山 I (OV1) に、古期火山噴出物 -2 は福山 (1983) の古期火山 II (OV2) に相当するとした。その他、岩脈の数を測定し、254 本を確認、さらにそのうちの岩脈 197 本を計測し、岩脈幅 10 cm から 300 cm まで、平均が 99 cm であることを確認し、走向は山頂方向を示すことから、山頂火口下の火道から、放射状に発達した岩脈であるとした。福山 (1983) で報告された山頂火口については、直径が約 150 m、深さ 30-40 m の火口であることを報告した。また、側噴火の痕跡は見あたらないとしている。岩石については、湯浅・玉木 (1982) や福山 (1983) と同じであったが、特徴的に単斜輝石を 40 - 50 vol.% 程度含む玄武岩を報告している。

3-4. 福徳岡ノ場海底火山

福徳岡ノ場海底火山は、図 2 (b) 南北断面が示すように南硫黄島、北福徳堆などからなる南北約 30km、東西約 15km にわたる巨大な複合火山体の中央部に位置する、北福徳カルデラの中央火口丘である (伊藤ほか, 2011)。これまで 1904-1905 年、1914 年、1986-1987 年、2005 年、2010 年に噴火が確認されている。このうち、1904-1905 年、1914 年、1986-1987 年の噴火では新島が形成されたが、波蝕により消滅した (伊藤ほか, 2011)。噴出物は、硫黄島と同じく粗面岩質のアルカリ岩であることが報告されている (小坂ほか, 1990b)。また、1986-1987 年の噴火で放出された軽石は、海流に乗って琉球列島に漂着したことが報告されている (加藤, 1988)。さらに 1986-1987 年噴火の 4 年後の 1991 年には、相模湾にまで福徳岡ノ場起源の軽石が漂着したことが報告されている (森ほか, 1992)。

3-4-1. 福徳岡ノ場海底火山 2021 噴火

2021 年 8 月 13 日から 15 日にかけて福徳岡ノ場では大

規模な海底噴火が発生した。噴火は、13 日 6 時前に発生し、初期にプリニー式噴火を行った後、後半は間欠的なスルツエ式噴火に移行し、15 日 15 時 55 分の噴火を最後に終了した (及川ほか, 2021; 産業技術総合研究研, 2021)。気象衛星ひまわりから観測された噴煙高度は 16,000 m 以上に達した (気象庁, 2021)。噴出物量は約 1~5 億 m³ (DRE 換算) と推定され、火山爆発指数 (VEI: Newhall and Self, 1982) および噴火マグニチュード (噴火 M: 早川, 1991; Pyle, 2000) は、それぞれ VEI=4、噴火 M = 4.5~5.1 と推定されている (産業技術総合研究研, 2021)。また、この噴火により 8 月 15 日には新たな火砕丘が形成されたが、衛星画像の解析から 2022 年 12 月初旬には陸域は消滅したとされる (気象研究所, 2021)。この噴火に伴い、海域に大量の軽石が供給され、形成された軽石ラフトの漂流・拡散が確認された (池上, 2021)。漂着した軽石は 2021 年 10 月上旬以降に南西諸島に到達し、同年 11 月中旬以降に伊豆諸島においても確認されている (産業技術総合研究所「日本の火山データベース」から引用)。

3-4-2. 軽石の形態的特徴

ここでは、福徳丘ノ場における 2021 年の噴火後に沖縄県内に漂着し採取された軽石について、肉眼的観察に基づいてその形態的な特徴を示す。観察に用いた軽石礫は、沖縄本島の沖縄県国頭郡今帰仁村および国頭郡大宜味村において、それぞれ 2021 年 10 月 26 日、11 月 23 日に採取され、当館に持ち込まれたサンプルである。図 4 に採取地点の位置情報とともに、得られた軽石礫の形態的な多様性を示す代表的な軽石礫の外観をまとめた。軽石礫は、形態的な特徴 (色・外形・組織) に応じ、7 種類に分類した。なお、持ち込まれた試料については、採取の基準が設定されていないため、本稿では定性的な分類にとどめる。

得られたサンプルのうち、最も多く見られたのは、灰白色を呈する軽石礫 (Type-A) である (図 4A)。長径が 5 cm に満たない軽石のほとんどはこの灰白色軽石である。この軽石礫は、表面に凹凸が少なく、よく円磨された特徴をもつとともに、単斜輝石や斜長石、黒色ガラスからなる集斑晶をもつ。また、表面にはパン皮状の亀裂やひびがみられるものもある。明灰色を呈する軽石 (Type-B) は、繊維状に引き伸ばされた構造が見られ、ガラス光沢がある (図 4B)。灰褐色を呈する軽石 (Type-C) は、灰白色のものに比べ、丸い気泡が目立ち、その径も大きい特徴をもつ (図 4C)。また、標本全体の個数に対して数は少ないが、茶褐色 (Type-D) や黒色を呈する軽石礫 (Type-E) も認められる (図 4D, E)。茶褐色および黒色の軽石礫にはガラス光沢がある。また、灰白色部と黒色部とが縞状あるいは不定形に接する外観を呈するもの (Type-F) もみられる (図 4F)。全体のうち頻度は少ないが、灰色部と暗灰色部が 1~2 mm 未満の厚さで縞状に混じり合う軽石 (Type-G) が存在する (図 4G-1, 4G-2)。このような縞状を呈する特徴をもつ軽石礫のうち、最も噴火後の摩耗や破壊が少ないとみられる今帰仁村で採取された試料は、一部に急冷されたとみられるクラックが発達する、著しく発泡に乏しいガラス化した黒色部

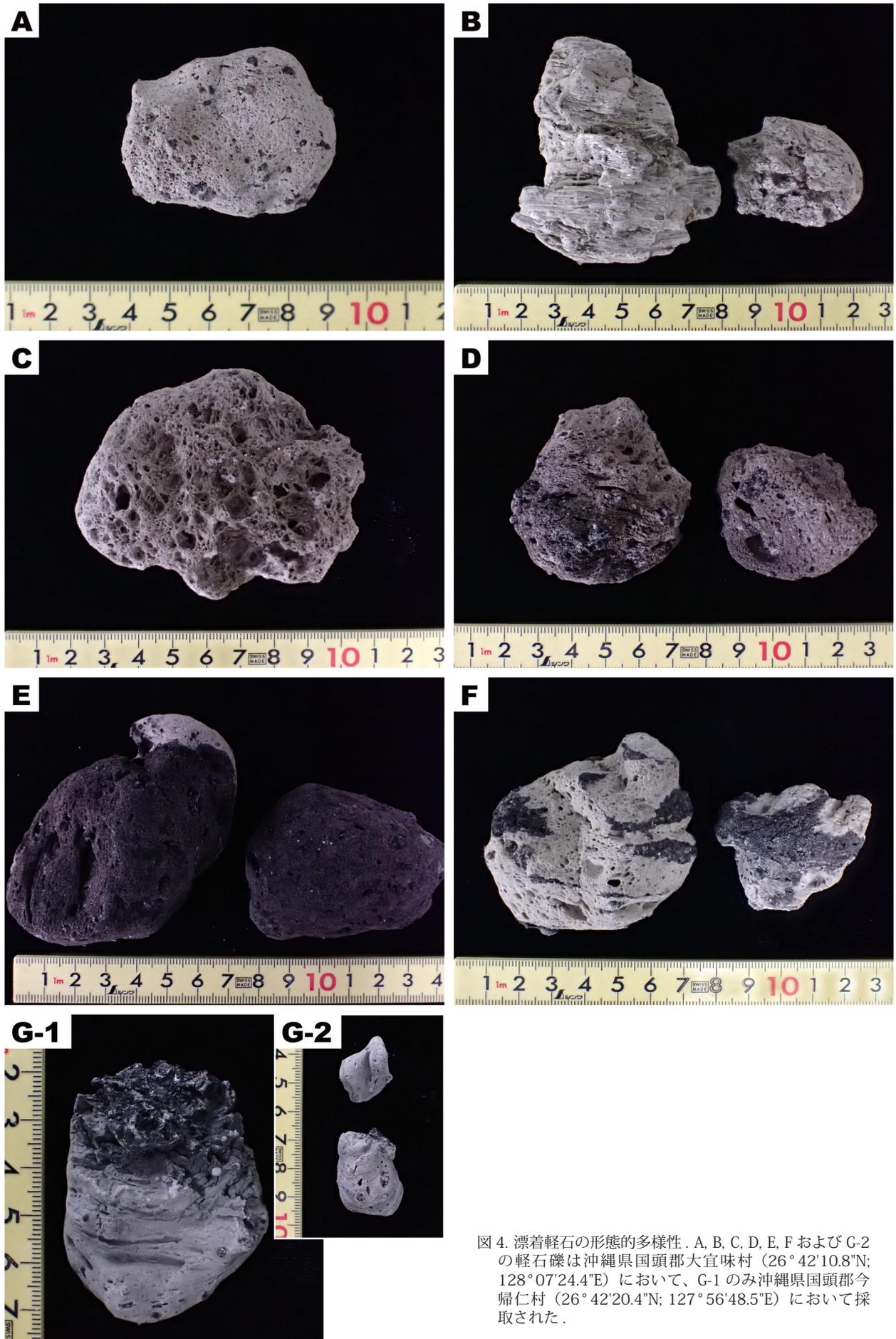


図4. 漂着軽石の形態的多様性. A, B, C, D, E, F および G-2 の軽石礫は沖縄県国頭郡大宜味村 (26°42'10.8"N; 128°07'24.4"E) において、G-1 のみ沖縄県国頭郡今帰仁村 (26°42'20.4"N; 127°56'48.5"E) において採取された。

をもつ (図 4G-2)。

産業技術総合研究所 (2021) は、8月22日8時に軽石ラフトから採取した軽石の形態的特徴を、表面は平滑でなく凹凸のある形状をなし、凹んだ分に沿って網目状にクラックが発達する形状をなすと報告した。一方、今回観察した試料は、これらの特徴が顕著ではなかった。これは今回の試料が噴火から2ヶ月以上経過していることや、浜辺に漂着したものであることから、噴火直後に比べて軽石礫の摩耗、破壊が進んでいたためと考えられる。また、外側が細かく内側で大きいとする気泡径の特徴 (産業技術総合研究所, 2021)、については灰褐色を呈する Type-C の軽石礫 (図 4C) で顕著に認められた。

4. 岩石の全岩化学組成

硫黄列島に見られる火山岩の全岩化学組成について比較を行った (図 5)。北硫黄島の火山岩の全岩化学組成は、中野・古川 (2009)、津屋 (1936) および岩崎 (1937) によるもので、硫黄列島の中では Total alkali 値が低く、Cox *et al.* (1979) に基づく Total alkali-SiO₂ ダイアグラムでは、

sub-alkali rock series の玄武岩に分類される。また、FeO/MgO-SiO₂ 図では、ソレライト岩系に区分される。硫黄島の火山岩の全岩化学組成は長井・小林 (2015)、小坂ほか (1985, 1990b)、吉田ほか (1987)、津屋 (1936) および岩崎 (1937) によるもので、Cox *et al.* (1979) に基づく Total alkali-SiO₂ ダイアグラムでは、大部分が粗面岩から粗面安山岩に区分され、一部がベンモレアイトやミュージアライトに区分される。

なお、硫黄島のアルカリ岩類のマグマの成因については未解決であり、今後の研究課題である。南硫黄島の火山岩の全岩化学組成は福山 (1983) および湯浅・玉木 (1982) によるもので、広義には玄武岩に区分されるが、Cox *et al.* (1979) に基づく Total alkali-SiO₂ ダイアグラムでは、Total alkali 値が、alkali rock series と sub-alkali rock series の境界付近にまたがる。そのため、CIPW ノルム計算でノルムネフェリンが計算されるのであろう。

福岡ノ場の軽石については、小坂ほか (1990b) および吉田ほか (1987) らによる、従来の研究成果から、福岡ノ場由来の軽石は、ベンモアナイトから粗面岩、

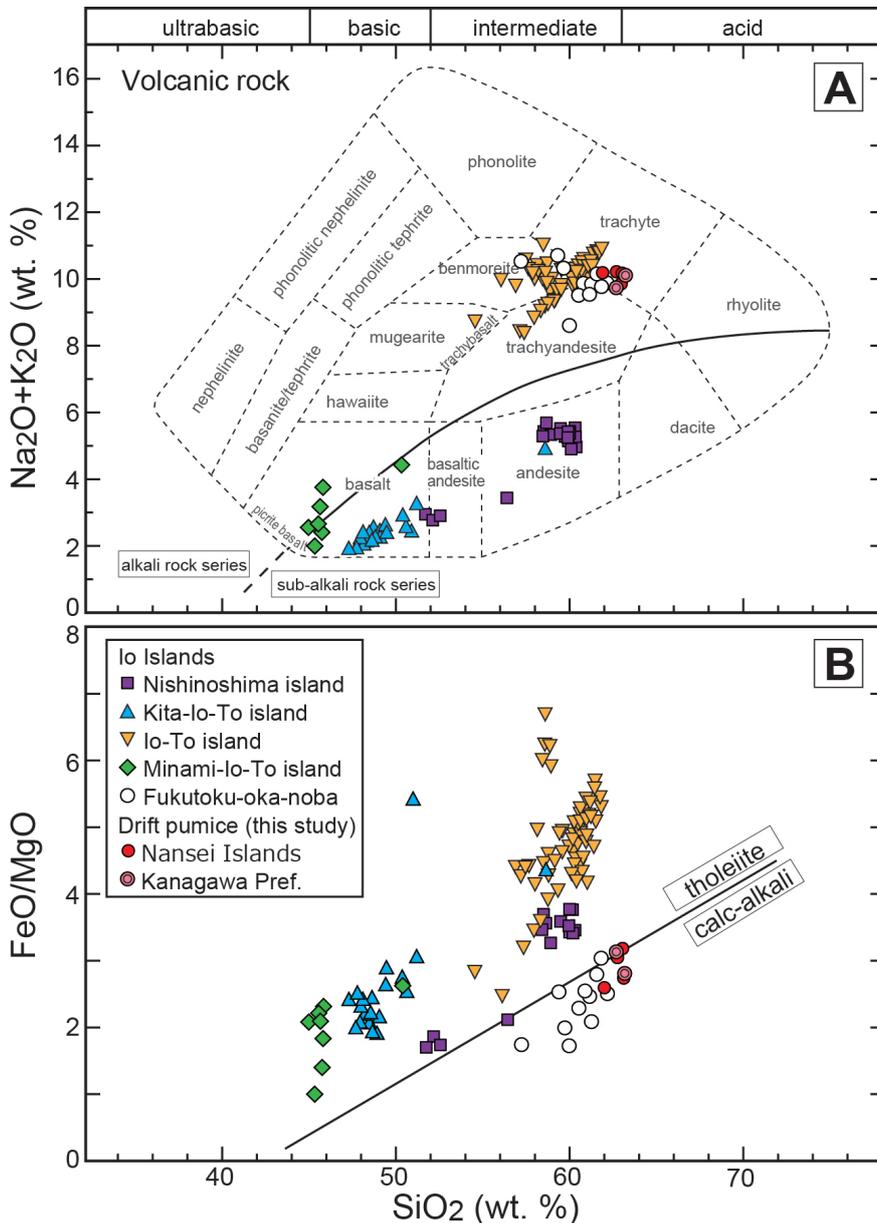


図 5. 硫黄列島に産する火山岩および硫黄列島福岡ノ場起源軽石の全岩組成比較。A: Total alkali-SiO₂ 図。B: FeO/MgO-SiO₂ 図。

分析値は、西之島が海野・中野 (2007) および小坂ほか (1990a)、北硫黄島が中野・古川 (2009)、津屋 (1936) および岩崎 (1937)、硫黄島が長井・小林 (2015)、小坂ほか (1985, 1990b)、吉田ほか (1987)、津屋 (1936) および岩崎 (1937)、南硫黄島が福山 (1983) および湯浅・玉木 (1982)、福岡ノ場が小坂ほか (1990b) および吉田ほか (1987)、漂着軽石は本研究。Total alkali-SiO₂ ダイアグラム中の岩石の分類は Cox *et al.* (1979) に、FeO/MgO-SiO₂ ダイアグラム中のソレライト岩系とカルケアルカリ岩系の境界は、Miyashiro (1974) に基づく。

表 1. 福徳岡ノ場火山起源の漂着軽石の全岩化学組成

	Nansei Islands					
	Okinawa Prefecture		Kagashima Pref.		Kanagawa Prefecture	
	Nakagusuku type-A	Ogimi type-A	Ogimi type-E	Kikaijima type-C	Mitohama type-A	Jyougashima type-A
Major elements (wt. %)						
SiO ₂	62.65	61.40	62.51	61.77	62.65	63.07
TiO ₂	0.56	0.58	0.57	0.57	0.56	0.55
Al ₂ O ₃	16.11	15.92	16.30	16.07	16.86	16.36
Fe ₂ O ₃	5.03	5.34	5.20	5.06	5.00	4.89
MnO	0.17	0.18	0.17	0.17	0.17	0.17
MgO	1.66	1.88	1.53	1.44	1.46	1.56
CaO	2.95	3.60	3.09	3.08	3.40	2.97
Na ₂ O	5.34	5.58	5.51	5.05	5.33	5.42
K ₂ O	4.67	4.44	4.61	4.64	4.35	4.64
P ₂ O ₅	0.21	0.23	0.22	0.22	0.23	0.22
total	99.35	99.14	99.71	98.05	100.00	99.84
L.O.I.	1.16	1.32	1.66	0.26	0.72	3.47
Trace elements (ppm)						
Ba	1587	1538	1584	1570	1605	1604
Cr	16	19	4.3	7.3	18	14
Cu	25	19	25	28	18	15
Nb	12	12	12	13	11	13
Ni	8.5	8.0	5.2	5.9	3.9	6.3
Rb	97	91	93	94	88	96
Sr	425	472	462	461	585	473
V	75	85	81	77	75	67
Y	34	35	34	35	33	34
Zn	88	76	91	96	92	90
Zr	254	243	251	252	238	256

表中の“type”は軽石の形態的特徴の分類に基づく。

粗面安山岩の組成をもつことが知られている（図 5A）。今回、小坂ほか（1990b）および吉田ほか（1987）の分析結果に合わせて、沖縄県大宜味村、鹿児島県喜界島および神奈川県に漂着した、計 6 点の福徳岡ノ場火山の 2021 年 8 月の噴火由来と思われる漂着軽石について、全岩化学分析を実施して比較を行った。全岩化学分析は、当館設置の蛍光 X 線分析装置（(株)リガク Primus II）を用いて検量線法にて実施した。全岩化学分析を行った元素は、主要元素（SiO₂、TiO₂、Al₂O₃、Fe₂O₃、MnO、MgO、CaO、Na₂O、K₂O、P₂O₅ の 10 元素）と、微量元素（Ba、Cr、Cu、Nb、Ni、Rb、Sr、V、Y、Zn、Zr の 11 元素）である。各元素の分析条件については Rigaku（2013）を参考にした。漂着軽石は、1 週間程度蒸留水につけて塩抜きを行った後、恒温器で乾燥させ、タングステンカーバイト製乳鉢で軽く粗割してからメノウ乳鉢で粉碎して粉末試料を作成した。作成した粉末試料は、850℃で強熱減量し、揮発性元素（主には水分）を算出した後、同じ試料にてガラスビードを作製した。分析結果を表 1 に示す。

6 点の試料の分析結果から、主要元素、微量元素とも大差は見られず、同起源の軽石であることが推定される。ただし、含水量（LOI）には違いが見られた。SiO₂ 含有量は 61.40 から 63.77 wt.%、Na₂O+K₂O 値は、9.68 から

10.13 wt.% で、Cox *et al.* (1979) に基づく Total alkali-SiO₂ ダイアグラムでは、粗面岩に相当する（図 5A）。K₂O をはじめ、Ba や Rb、Sr などの LIL 元素が高いことが特徴的である。漂着軽石と、これまでに知られている福徳岡ノ場起源の軽石の組成（小坂ほか、1990b、吉田ほか、1987）と比較したところ、組成の違いが見られないことから、漂着軽石は福徳岡ノ場起源と断定できる（図 5）。なお、福徳岡ノ場起源の軽石は、硫黄島と同じく粗面岩質のアルカリ岩とされているが（小坂、1990b）、福徳岡ノ場の軽石は、硫黄島の粗面岩及び粗面安山岩と比較して、FeO/MgO 比が高いことで特徴づけられる。

5. おわりに

硫黄列島を構成する、北硫黄島、硫黄島、南硫黄島の 3 島について、地形、地質及び島を構成する岩石に関するこれまでの研究を概観した。3 島のうち、硫黄島は自衛隊の基地があることなどから、比較的地質調査が行われているが、北硫黄島と南硫黄島に関する地質学的な情報は極めて少ない。岩石学的には、low-K から medium-K のソレアイト岩系の玄武岩が見られる北硫黄島から、アルカリ岩を産する硫黄島、そして alkali rock series と sub-alkali rock series の両方を産する南硫黄島と、隣接する地域で異なる種類の火山岩を産するメカニズムは大変興味

深い。マグマの成因の究明は今後の研究課題となろう。一方、漂着軽石で話題になった福徳岡ノ場火山については、軽石の岩石学的、地球化学的データを公表することができた。これらの基礎データが、今後の研究への足掛かりになればと願う次第である。

謝 辞

国立科学博物館の谷健一郎博士、ネコのわくわく自然教室の丸谷由氏、東京都立大学の石村大輔博士、神奈川県水産技術センターの岡部 久氏、当館の苅部治紀氏、および小竹明日香氏、石佛敦子氏、金子暖氏には、福徳岡ノ場火山由来の軽石の収集に関してお世話になった。以上の方々に深くお礼申し上げます。

引用文献

- 安城たつひこ・割田育生, 2009. 我が国の広域な地名及びその範囲についての調査研究. 海洋情報部技報, **27**: 9-17.
- Cox, K. G., J. D. Bell & R. J. Pankhurst, 1979. The Interpretation of Igneous Rocks. 450 pp, Allen and Unwin, London.
- 福山博之, 1983. 火山列島, 南硫黄島の地質. 地学雑誌, **92**(1): 55-67.
- 池上郁彦, 2021. 福徳岡ノ場 2021 年噴火により噴出・拡散した軽石ラフト. 日本火山学会 2021 年秋季大会予稿集.
- 伊藤弘志・加藤正治・高橋昌紀・斎藤昭則, 2011. 伊豆-小笠原弧, 福徳岡ノ場火山における 2010 年噴火の火山地形. 海洋情報部研究報告, **27**: 9-13.
- 岩崎岩次, 1937. 本邦火山の地球化学的研究(其十) 火山列島硫黄島及び北硫黄島の溶岩の化学組成. 日本化学会誌, **58**(12): 1269-1279.
- 貝塚爽平・宮内崇裕・長岡信治, 1983. 硫黄島の海成段丘・活断層と変動史. 小笠原研究, (9): 13-45.
- 貝塚爽平・加藤 茂・長岡信治・宮内崇裕, 1985. 硫黄島と周辺海底の地形. 地学雑誌, **94**: 424-436.
- 加藤祐三, 1988. 福徳岡の場から琉球列島に漂着した灰色軽石, 火山第 2 集, **33**(1): 21-30.
- 菊池隆男・今泉俊文, 1984. 北硫黄島の地形と地質. 小笠原研究, (10-11): 1-24.
- 気象研究所, 2021. Landsat-8 および ALOS-2/PALSAR-2 データを用いた福徳岡ノ場の地形変化. 第 149 回火山噴火予知連絡会資料.
- 国土地理院, 2021. 令和 3 年全国都道府県市区町村別面積調(1 月 1 日時点), <https://www.gsi.go.jp/KOKUJYOHO/MENCHO-title.htm> (2021 年 5 月 11 日確認).
- Miyashiro, A., 1974. Volcanic rock series in Island arc and continental. American Journal of Science, **274** (4): 321-355.
- 森 慎一・山下浩之・五島政一, 1992. 相模湾沿岸に漂着した小笠原・福徳岡の場海底火山起源の軽石. 平塚市博物館研

- 究報告「自然と文化」, (15): 1-14.
- 長井雅史・小林哲夫, 2015. 小笠原硫黄島の火山形成史, 地学雑誌, **124**(1): 56-99.
- 中野 俊, 2008. 火山列島, 南硫黄島火山の地質. 小笠原研究, (33): 31-48.
- 中野 俊・古川竜太, 2009. 火山列島, 北硫黄島火山の地質概要. 地質調査所研究報告, **60**(7/8): 395-405.
- 新井田秀一, 2021. 地球観測衛星画像や DEM を用いた神奈川の地形判読. 神奈川県立博物館調査研究報告(自然科学), (16): 181-190.
- 及川輝樹・柳澤宏彰・池上邦彦・石塚 治・水落裕樹・東宮昭彦・森田雅明・中野 俊・川口亮平・中村政道, 2021. 小笠原島, 福徳岡ノ場における 2021 年 8 月の噴火. 日本火山学会 2021 年秋季大会予稿集.
- 小坂丈予・平林順一・松田鉦二・大島章一・土出昌一・加藤 茂, 1990a. 伊豆・小笠原弧海域の海底火山活動に伴って噴出した岩石とその付近に産出する火山岩の化学成分. 水路部研究報告, (26): 61-85.
- 小坂丈予・松田鉦二・平林順一・土出昌一, 1990b. 南方諸島海域の海底火山活動に伴って噴出した岩石の化学成分. 火山第 2 集, **35**(1): 57-61.
- 小坂丈予・小沢竹二郎・松尾禎士・平林順一・大隅多加志, 1985. 硫黄島における地球化学的研究. 地学雑誌, **94**: 551-563.
- Rigaku, 2013. Silicate Rock Analysis by Fusion Method. Rigaku Application note XRF 5018, 1-4.
- 産業技術総合研究所, 2021. 福徳岡ノ場, 2021 年 8 月 13-15 日の活動と噴出物量の推定. 第 149 回火山噴火予知連絡会資料.
- 産業技術総合研究所, 日本の火山データベース, 福徳丘ノ場, https://gbank.gsj.jp/volcano/Quat_Vol/volcano_data/G31.html. (2022 年 2 月 2 日確認).
- 気象庁, 2021. 令和 3 年(2021 年)の福徳岡ノ場の火山活動, https://www.data.jma.go.jp/svd/vois/data/tokyo/STOCK/monthly_v-act_doc/tokyo/2021y/331_21y.pdf. (2022 年 2 月 2 日確認).
- 津屋弘達, 1936. 火山列島硫黄島に就いて. 火山, 3: 28-52.
- 海野 進・中野 俊, 2007. 父島列島地域の地質. 地域地質研究報告(5 万分の 1 地質図幅), 産総研地質調査総合センター, 71p.
- 吉田武義・藤原秀一・石井輝秋・青木謙一郎, 1987. 伊豆・小笠原弧, 福徳岡の場海底火山の地球化学的研究. 東北大学核理研報告, (20): 202-215.
- 湯浅真人・玉木賢策, 1980. 魔の島-南硫黄島-. 地質ニュース, (306): 36-43.
- 湯浅真人・玉木賢策, 1982. 火山列島, 南硫黄島の玄武岩. 地調月報, **33**: 531-540.