

平成 30 年 6 月 7 日現在

機関番号：10102

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2014～2017

課題番号：26282068

研究課題名(和文) 黒曜石の地質・岩石学的特質からみた北方圏先史時代人の動態に関する国際共同研究

研究課題名(英文) International collaborative research on the dynamics of prehistoric people in the Northern region from the viewpoint of the geology and petrology of obsidian

研究代表者

和田 恵治 (WADA, Keiji)

北海道教育大学・教育学部・教授

研究者番号：50167748

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,900,000円

研究成果の概要(和文)：北海道白滝、神津島、カムチャツカ半島の黒曜石溶岩の内部構造を明らかにした。黒曜石と流紋岩の層構造と岩石組織・組成から、高粘性マグマの発泡・脱ガス・冷却の過程を通じて、脱ガスが促進されると黒曜石に、気泡を残すと流紋岩になる形成モデルを提示した。北海道における体系的な考古学的黒曜石研究を構築した。蛍光X線分析と放射化分析法を組み合わせた最も実践的で精度が高い黒曜石石器の産地判別を可能とした。後期旧石器時代遺跡の3400点以上の黒曜石を分析した結果、最終氷期最盛期(約2万年前)を境として狩猟採集民集団の行動パターンとそれに付随する黒曜石調達行動が通時的変化を生じていることが明確になった。

研究成果の概要(英文)：We clarified the internal structure of obsidian lavas from the following three localities; Shirataki in the north Hokkaido, Kozushima, one of the Izu islands, and the Kamchatka Peninsula in Russia. Based on the layer structure in obsidian lava and the rock texture and composition, we presented a formation model of obsidian caused by the promotion of outgassing and of rhyolite by leaving air bubbles through the cooling process of highly viscous magma.

We constructed a systematic archeological obsidian research in Hokkaido. We made it possible to identify the sources of obsidian artifacts by the most practical and accurate method of combining X-ray fluorescence and neutron activation analysis. Analyses of more than 3,400 obsidian artifacts of the late Paleolithic sites in Hokkaido suggest that the behavior pattern of the hunter-gatherer group and accompanying obsidian procurement behavior changes with time as a boundary at the late glacial maximum of about 20,000 years ago.

研究分野：岩石学

キーワード：黒曜石 溶岩の内部構造 旧石器時代遺跡 化学組成による産地判別 発泡・脱ガス・冷却速度 黒曜石調達行動

1. 研究開始当初の背景

(1) 黒曜石の起源や原産地毎の地質・岩石学的特性がわからなければ、より定量的な先史時代集団の動態のプロセスを明らかにできない。地質学的研究を多くの原産地で行うことで、広域的な原産地間での黒曜石の正確な化学組成データを活かして先史時代人の黒曜石使用の時代変化や分布・流通ルートの解析が可能になる。

(2) 本研究では、黒曜石石材と石器を資料として北方圏における広域的な先史時代人の移住や交易に関する動態を地質学と考古学の両面から探求する。極東地域では黒曜石原産地の分布が不確かで特定できていないため、現地調査にはロシアとの共同調査が不可欠である。これまで進めてきたロシア・米国の共同研究者との連携を生かして国際学術組織をつくって、彼らとの共同研究から信頼性の高いデータを得て、地質学・物質科学・考古学による黒曜石の総合的な解析が期待できる。

2. 研究の目的

(1) 本研究は地質学・岩石学と考古学を専門とする日本及びロシア・アメリカから構成される国際学術組織によって黒曜石の地質及び岩石の特性を明らかにし、日本列島、アジア極東、北米の黒曜石岩体及び考古資料を効率的に深く共同研究し、北方圏における先史時代集団の移住や交流のネットワークシステムのモデルを構築することを目的とする。

(2) 報告例の少ないロシア沿海州やカムチャッカ・チュクチの黒曜石の分布と規模を明らかにし、北海道を含めた北方圏に産する黒曜石の総合カタログを作成し、電子化によるデータベースを提供する。集積された黒曜石データを使って地質考古学的手法を駆使し、北方圏での先史時代人の動態を復元する。

3. 研究の方法

(1) 黒曜石溶岩が露出する北海道白滝地域及び東京都神津島を集中的に調査研究し、層構造や岩石組織の精密な記載を行う。ロシア・カムチャッカ半島の黒曜石原産地の露頭調査をA. Grebennikov博士の協力を得て実施する。白滝黒曜石の形成過程を解明するためにガラスやマイクロライトのSEMによる観察・同定、ラマン分光システムによる組成解析、EPMAによる組成分析を行う。黒曜石の加熱・発泡実験により黒曜石の発泡温度を決定し、水分計により測定された黒曜石のH₂O量データも合わせ、黒曜石の微細組織の特性と成因を明らかにする。これらを総合して、黒曜石の総合カタログデータベースを作成する。

(2) 主要な黒曜石原産地の黒曜石標準化学組成値を求めるために、全岩および黒曜石ガラスの化学分析を蛍光X線及びEPMAによ

って行う。J. Ferguson博士の協力を得て北海道の黒曜石のINAA組成分析を行う。サハリンおよび北海道各地の後期旧石器時代石器の分析結果と遺跡資料調査をまとめ、周辺地域の同時代の行動論データを参考にし、旧石器時代の動態を考察する。ロシアに所蔵されている黒曜石遺物を現地調査し、考古学的分析を行う。

4. 研究成果

(1) ロシアのカムチャッカ半島南部(北緯53°2'10", 東経157°46'30")には北北東～南南西方向に約400mに渡って黒曜石溶岩が露出している。この黒曜石溶岩は、少なくとも3層の緻密な黒曜石層と発泡層が互層する複雑な内部構造を示している。マグマが火道内を上昇する際に上昇速度に不均質が生じたことにより、異なる岩石組織や含水量を持つ黒曜石層が形成されたと考えられる。

一方、神津島・砂糠山黒曜石溶岩は下位より、流紋岩帯(厚さ40m)、流紋岩-黒曜石漸移帯(厚さ10m)、黒曜石帯(厚さ20m)、黒曜石-多孔質流紋岩漸移帯(厚さ10m)、多孔質流紋岩帯(厚さ35m)の5帯に区分される。下部流紋岩帯と黒曜石帯の含水量に大きな違いがないことから、火道浅部までマグの発泡と脱水は進んだが、その後、脱ガスが促進されたマグマは黒曜石に、気泡を残したマグマは流紋岩になったと考えられる。

(2) 北海道白滝の黒曜石溶岩の内部構造は7層に分かれる。赤石山溶岩では球顆沢に沿って溶岩の上表面から下底面のほぼすべての内部構造が観察できる。溶岩内部は上部溶岩破砕層(5m)、上部の緻密な黒曜石層(15m)、上部縞状黒曜石層(70-80m)、流紋岩層(65m)、下部縞状黒曜石層(15m)、下部の緻密な黒曜石層(20m)、下部溶岩破砕層(3m)に区分される。

上部の縞状黒曜石層には、マグマが発泡してそのガスが抜けていく過程でできた微細な結晶が多く含まれる白色球形をした「球顆」が密集し、球顆濃集帯を構成する。またガスが抜けた通り道の痕跡を示すタフサイト脈が存在し、火道の脱ガスが活発に起こっていた領域であると考えられる。黒曜石はマグマが脱ガスした後に火道壁で急速に冷却して形成されたもので、流紋岩や発泡質の流紋岩は発泡・脱ガスがその後も継続して冷却されてきたと考えられる。

(3) 白滝地域の赤石山溶岩に見られる酸化した黒曜石試料を対象に顕微ラマン分光法による組織の解析を行い、高粘性マグマが地表を流動する際に経験する酸化過程を考察した。鉄チタン酸化物とガラスそれぞれのラマンスペクトルは黒曜石試料中に酸化部分が混在していることを示している。高粘性マグマは地表下で脆性-延性遷移を繰り返しながら破砕、酸化、焼きなましを経験し、酸化

部と非酸化部が混在する組織を形成すると考えられる。

(4) 結晶化が抑制されてガラス化が生じて黒曜石ができるメカニズムを考察した。白滝地域に噴出した十勝石沢溶岩の黒曜石を対象に、高粘性マグマが上昇した場合と地表下で冷却された場合のそれぞれについて時間と温度と転移の関係図を作成し、黒曜石ガラスの形成に必要な冷却速度を推定した。その結果、高粘性マグマの界面エネルギーの増大がガラス形成に必要な冷却速度に大きく寄与し、界面エネルギーが大きい条件下ではマグマ上昇時及び地表下での冷却時にガラスを形成することが明らかとなった。

(5) 北海道における体系的な考古学的黒曜石研究の枠組みを構築し、その実践研究を行った。この研究枠組みは、近年の欧米における研究を参考とし、北海道の地質学的・考古学的バックグラウンドを踏まえて構築されたものである。北海道の21箇所の地質学的黒曜石産地について、蛍光X線分析と放射化分析法を組み合わせて化学組成の判別を行うことで、今日において最も実践的で精度が高い産地判別を可能とする方法の一つと言える(出穂・ファーガソン 2016)。本研究では、この方法を以下(6)～(8)の分析試料に適用し、具体的な成果および見通しを得た。なお、現在も分析を継続している北海道およびサハリンの遺跡出土黒曜石試料については、今後も研究成果を学術論文として発信する予定である。

(6) 北海道の後期旧石器時代遺跡(暦年代で約3万年前～1万5千年前)の黒曜石を用いた21遺跡合計3400点以上の黒曜石試料に適用することで、以下の通時的変化があることが分かった。最終氷期最盛期(LGM、2万6千年前～2万年前)を境とし、(a)それ以前の段階(LGM以前)では、最近隣の黒曜石産地(10km圏内)が主に用いられる傾向が強い。そこに、遠距離(10～100km)もしくは超遠距離(100km以上)の黒曜石がわずかに用いられる。(b)LGMにおいては、最近隣の黒曜石が主に利用される一方で、遠距離もしくは超遠距離の黒曜石産地を一定程度かつ多角的に利用する。(c)LGM以後では、それ以前の時期の調達行動に加えて、遠距離もしくは超遠距離産地からの黒曜石を主要な石器石材として利用する遺跡が出現する。このような変化が生じた理由を、LGM以前・中・以後における環境変化に対応する、狩猟採集民行動の変化であると予察した(出穂・ファーガソン 2016; Izuho and Ferguson, 2017)。

(7) 同一石材環境における黒曜石調達行動の通時的変化をより具体的に検討するため、北海道帯広市南町2遺跡上層(2万6千年前)

の剥片石器群および下層(1万7千年前)の細石刃石器群の分析を実施した。結果、剥片石器群(下層)では、最近隣の十勝三股産黒曜石を主要な産地として利用しながらも、遠距離もしくは超遠距離の留辺蘂、白滝赤石山、十勝然別の黒曜石を用いていることが分かった。細石刃石器群(上層)では、超遠距離の白滝赤石山の黒曜石を主要な産地として用い、最近隣の十勝三股の黒曜石は極めてわずかにしか利用されていないことが分かった。このことから、狩猟採集民集団の行動パターンとそれに付随する黒曜石調達行動が通時的変化を生じていることを明確にできた(Izuho et al., 2016)。

(8) ロシア連邦サハリン州南部のスラヴナヤ4・5遺跡の分析を実施した。この遺跡は新石器時代初期(スラヴナヤ4遺跡:9500～8400年前、スラヴナヤ5遺跡:9000～7800年前)に年代づけられ、多数の黒曜石を用いた石器が出土している。分析の結果、最近隣ではあるが長遠隔地である白滝赤石山(421km)と置戸所山(452km)の黒曜石を、石刃素材の二次加工石器(完成品)としてだけではなく、長軸15cm程度の比較的大きなサイズの石刃核としても遺跡に持ち運んだことを明らかにした(Izuho et al., 2017)。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計9件)

後藤芳彦・和田恵治(2018)北海道屈斜路カルデラ中島火山の噴火年代—中島軽石のテフロクロノロジー—。地学雑誌, 127, 157-173. 査読有

DOI: 10.5026/jgeography.127.157

Suda, Y., A. V. Grebennikov, Y. V. Kuzmin, M. D. Glascock, K. Wada, etc. (2018) Inter-laboratory validation of the WDXRF, EDXRF, ICP-MS, NAA and PGAA analytical techniques and geochemical characterisation of obsidian sources in northeast Hokkaido Island, Japan. Journal of Archaeological Science: Reports 17, 379-392. 査読有

DOI: 10.1016/j.jasrep.2017.11.013

和田恵治(2017)黒曜石の地質・岩石学的特質-黒曜石溶岩の噴出と黒曜石の生成過程-。考古学ジャーナル, 703, 29-31. 査読無

Izuho, M., J. Ferguson, A. Vasilevski, V. Grishchenko, S. Yamada, N. Oda and H. Sato (2017) Obsidian sourcing analysis by X-ray fluorescence (XRF) for the Neolithic sites of Slavnya 4 and 5, Sakhalin Islands (Russia). Archaeological Research in Asia, 12: 54-60. 査読有

DOI: 10.1016/j.ara.2017.09.002

Sano, K. and Toramaru, A. (2017) Cooling and crystallization of rhyolite-obsidian lava: Insights from micron-scale projections on plagioclase microlites. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 341, 158-171.

査読有

DOI: 10.1016/j.jvolgeores.2017.05.012

出穂雅実・ジェフリーファーガソン(2016)「黒曜石の体系的産地分析からわかってきた古サハリン - 北海道 - 千島半島の後期旧石器時代における狩猟採集民行動の変化」『晩氷期の人類社会：北方先史狩猟採集民の適応行動と居住形態』、129-145 頁、六一書房。査読有

Izuho, M., Ferguson, J., Oda, N., Nakazawa, Y., Akai, F., and Yamahara, T. (2016) Forgotten times and spaces: New perspectives in paleoanthropological, paleontological and archeological studies. *Institute of Archeology of the Czech Academy of Sciences; Masaryk University*, pp.258-290. 査読有

和田恵治・佐野恭平(2015)北海道, 白滝ジオパークの黒曜石溶岩の内部構造. *火山*, 60, 151-158. 査読有

DOI: 10.18940/kazan.60.2_151

Sano, K., Wada, K. and Sato, E. (2015) Rates of water exsolution and magma ascent inferred from microstructures and chemical analyses of the Tokachi-Ishizawa obsidian lava, Shirataki, northern Hokkaido, Japan. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 292, 29-40. 査読有

DOI: 10.1016/j.jvolgeores.2014.11.015

〔学会発表〕(計 26 件)

佐藤鋭一・佐野恭平・出穂雅実・A.V. Grebennikov・和田恵治(2017)カムチャツカ半島南部, 黒曜石溶岩の内部構造と形成過程. 日本火山学会 2017 年度秋季大会.

Sato, E., K. Sano, M. Izuho, A. V. Grebennikov and K. Wada (2017) Internal structure and magma ascent process of obsidian lavas in the south of Kamchatka Peninsula, Russia. IAVCEI 2017 Scientific Assembly.

Izuho, M. and J.R.Ferguson (2017) Temporal Changes and Regional Varieties in Obsidian Use during the Upper Paleolithic on Hokkaido (Japan), 11th International Symposium on Knappable Materials.

Goto, Y. and J. McPhie (2017) Tectonics, structure and resurgence of the largest Quaternary caldera in Japan: Kutcharo, Hokkaido. IAVCEI 2017 Scientific Assembly.

Sano, K., E. Sato, K. Wada (2017) Oxidation state and outgassing process of obsidian lava

inferred from microRaman spectroscopy. IAVCEI 2017 Scientific Assembly.

Wada, K. and Sano, K. (2017) Emplacement mechanism of obsidian-rhyolite magma: observation of whole internal section of the Shirataki obsidian lava, northern Hokkaido, Japan. IAVCEI 2017 Scientific Assembly.

佐野恭平・佐藤鋭一・和田恵治(2017)顕微ラマン分光法を用いた“赤い黒曜石”の組織解析. 日本地球惑星科学連合 2017 年大会.

Izuho, M. (2017) Collect this blocky one, not that rounded one: Upper Paleolithic Obsidian Use in Paleo-SHK Peninsula. Public talk at the Institute of Archaeology and Ethnography, Siberian Branch of Russian Academy of Sciences.

Wada, K. and K. Sano (2016) Emplacement model of obsidian-rhyolite magma deduced from complete internal section of the Akaishiyama lava, Shirataki, northern Hokkaido, Japan. AGU fall meeting 2016.

Wada, K. and K. Sano (2016) Occurrence of Spherulite Concentration Zone and Internal Structure of the Shirataki Obsidian Lava, Northern Hokkaido, Japan. Goldschmidt Conference 2016.

Sano, K., E. Sato, Y. Goto, and K. Wada (2016) Structure, texture and water concentration profiles of obsidian lavas -Insight for magma ascent and structure formation processes-. Goldschmidt Conference 2016.

Wada, K. and Sano, K. (2016) Genesis of internal structure of Shirataki obsidian, northern Hokkaido, Japan. International Obsidian Conference.

Goto, Y. and Wada, K. (2016) Internal structures of a Quaternary obsidian lava at Sanuka-yama, Kouzu-shima Island, Japan. International Obsidian Conference.

和田恵治・佐野恭平(2016)北海道白滝、赤石山黒曜石溶岩の内部構造と噴出過程. 日本火山学会 2016 年秋季大会, 富士吉田市民会館・ふじさんホール(山梨県富士吉田市).

和田恵治・弦巻峻哉・池谷内諒・佐野恭平・佐藤鋭一(2016)黒曜石の加熱実験: 発泡温度と多孔体(パーライト)組織の分類. 日本地球惑星科学連合 2016 年大会.

佐野恭平・佐藤鋭一・後藤芳彦・和田恵治(2016)黒曜石溶岩のマグマ上昇・脱ガス過程-溶岩構造、岩石組織、含水量分布に基づく考察-. 日本地球惑星科学連合大会 2016 年大会.

佐藤鋭一・出穂雅実・Andrei V. Grebennikov・佐野恭平・和田恵治(2016)カムチャツカ半島南部, 黒曜石溶岩の内部構造. 日本地球惑星科学連合 2016 年大会.

Wada, K., Sano, K. and Goto, Y. (2015) Characteristics of rock micro-texture of obsidian for some obsidian sources in Japan Island. 10th International Symposium on Knappable Materials.

佐野恭平・寅丸敦志・和田恵治(2015)TTT
図の応用による黒曜石ガラスの形成過程. 日
本地球惑星連合大会 2015 年大会.

Izuho, M., Ferguson, J. R., Glascock, M. D.,
Oda, N., Akai, F., Nakazawa, Y., and Sato, H.
(2014) Integration of Obsidian Compositional
Studies and Lithic Reduction Sequence Analysis
at the Upper Paleolithic Site of Kamihoronai-Moi,
Hokkaido (Japan). *Seventh Annual Meeting of the
Asian Paleolithic Association.*

②佐野恭平・寅丸敦志・和田恵治(2014)黒
曜石溶岩中のマイクロライトの形態から推
定されるマグマ上昇過程. 日本火山学会
2014 年度秋季大会.

②後藤芳彦・佐野恭平・佐藤鋭一・和田恵治
(2014)神津島砂糠山黒曜石溶岩の内部構造.
日本火山学会 2014 年度秋季大会.

③和田恵治・向井正幸・佐野恭平・出穂雅実・
佐藤宏之(2014)北海道における黒曜石原産
地の地質学的及び岩石学的データの集約.
日本文化財科学会第 31 回大会.

④池谷内 諒・和田恵治・齊藤文朗(2014)
北海道産黒曜石の加熱実験によるパーライト
の形成温度と岩石組織. 日本地球惑星連
合大会 2014 年大会.

⑤Ferguson, J. R., and Izuho, M. (2014) Upper
Paleolithic Obsidian Use on Hokkaido, Japan.
*79th Annual Meeting of the Society for American
Archaeology.*

⑥Terry, K., Izuho, M., Oda, N., Buvit, I., and
Ferguson, J. R. (2014) Adaptive Network
Strategies and Landscape Use: Geochemical
Obsidian Sourcing and Tool Consumption during
the Last Glacial Maximum in Hokkaido, Japan
(preliminary results). *79th Annual Meeting of the
Society for American Archaeology.*

〔図書〕(計 1 件)

佐藤宏之・山田哲・出穂雅実編(2016)『晩
氷期の人類社会：北方先史狩猟採集民の適応
行動と居住形態』、276 頁、六一書房。

〔産業財産権〕

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1)研究代表者

和田 恵治 (WADA, Keiji)
北海道教育大学・教育学部・教授
研究者番号：50167748

(2)研究分担者

出穂 雅実 (IZUHO, Masami)
首都大学東京・人文科学研究科・准教授
研究者番号：20552061

後藤 芳彦 (GOTO, Yoshihiko)
室蘭工業大学・工学研究科・准教授

研究者番号：20221252

(3)連携研究者

佐藤 鋭一 (SATO, Eiichi)
神戸大学・大学教育推進機構・助教
研究者番号：40609848

佐藤 宏之 (SATO, Hiroyuki)
東京大学・人文社会系研究科・教授
研究者番号：50292743

小野 昭 (ONO, Akira)
明治大学・研究知財戦略機構・教授
研究者番号：70000502

(4)研究協力者

佐野 恭平 (SANO, Kyohei)
中沢 祐一 (NAKAZAWA, Yuichi)
赤井 文人 (AKAI, Fumito)
山田 哲 (YAMADA, Satoru)
尾田 識好 (ODA, Noriyoshi)
山原 敏朗 (YAMAHARA, Toshiro)
Jeffrey R. Ferguson
Michael Glascock
Alexander A. Vasilevski
Vyacheslav Grishchenko
Andrei. V. Grebennikov
Jocelyn McPhie