

新型火成活動「前弧アルカリマグマ」の成因と古地理の解明

New kind of volcanic activity “forearc alkaline magma” and tectonic implications

(日本地質学会推薦)

代表研究者 東北大学

平野 直人

Tohoku University

Naoto HIRANO

協同研究者

Alkaline magma, having high Na and K contents, found on the Earth generally erupts at oceanic islands, continental volcanoes, and petit-spot submarine volcanoes. On the Japanese mainland, such magmas are found only at a few volcanoes along the coast of the Japan Sea because most Japanese volcanoes occur because of the subduction of tectonic plates into the deep mantle. This subduction generally creates “volcanic arc” magmas having low Na and K contents. However, the Late Cretaceous alkaline magma is distributed around the Nemuro area, toward northeastern most of Japanese mainland, where the Pacific tectonic plate sinks into the deep mantle at oceanic trench (Kuril Deep). The presence of volcanoes at such cold places as those near the trench, termed the “forearc” area, is unlikely. The forearc alkaline magmas, however, erupted on a submarine sedimentary basin in the Late Cretaceous Nemuro Group (strata). This study investigates the origin of alkaline magmas via chemical analysis and paleo-geographic measurements.

Alkaline magmas of the Nemuro group are characterized by their high K content and are subdivided into two types, such as evolved and primordial magmas, based on their geological occurrences and chemical compositions. The evolved lavas clearly erupted into the submarine Nemuro basin. As the evolved lavas entrained sediments into their flows, eruptive ages are defined as the sedimentary age, corresponding to the radiometric age of Nemuro magmas. Although such high K magmas from the Nemuro area have been previously reported, this study discovers the eruption of other magmas in the Nemuro area. This study defines a peculiar setting for the paleo-oceanic plate subduction prior to the subduction of the present Pacific Plate below paleo-Hokkaido during Late Cretaceous based on the geological and geochemical characteristics of a few types of alkaline magmas of the Nemuro group.

研究目的

オホーツク海と太平洋に面した北海道東部地域は、ユーラシア大陸を起源とする他の日本列島とは異なり、約 1 億年前に北方または東方からプレート運動により移動してきたといわれているが (Maeda, 1990; Bazhenov & Burtman, 1994)、未だ特定されていない日本列島唯一の地球科学未開の地と言える。約 7000 ~ 6000 万年前、ここにマグマ活動があった。

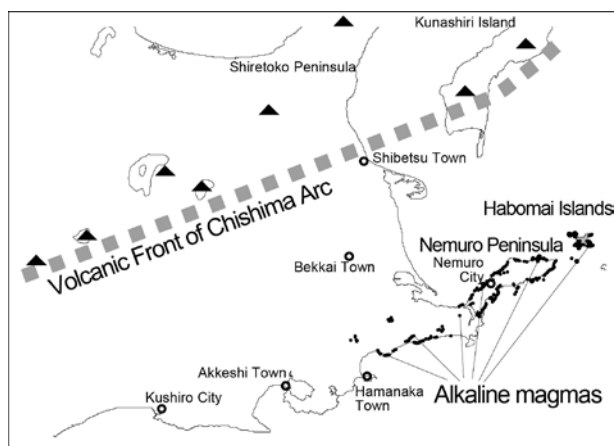
現在、千島海溝から太平洋プレートが沈み込み、約 200 km 離れて海溝とほぼ平行に千島弧の火山弧 (知床や国後島：図の黒三角) がある。それより海溝寄りの南側 (太平洋側) は火山弧に対して「前弧」

と呼ばれるが、沈み込んだプレートがまだ冷たく浅いため、マグマが発生し得ない (図の太点線より南)。根室地域や歯舞群島は当時から前弧域であったが (君波, 1978; Naruse, 2003)、このような前弧マグマ活動は世界を見ても極めて珍しい。この成因解明には、岩石を用いたマグマ発生条件と、道東の古地理復元が鍵となる。古地理から当時沈み込んでいたプレート配置を復元し、そこにマグマ発生条件を当てはめる。マグマに起因する岩石の産状、化学組成、年代、古地磁気測定から、本マグマの成因と噴出場を解明する。

本地域の対象の岩石は、アルカリ玄武岩という種

類の岩石である。玄武岩は、地球内部地下 10~100km 以深の「マントル」が溶融して発生したマグマが冷え固まった岩石である。玄武岩の化学組成は、マグマ発生深度や地下深部の岩石の溶融程度、およびマントル中の岩石の種類によって異なる。アルカリ玄武岩マグマが発生するためには、特殊な条件が必要で、現在はフレンチポリネシアなど海洋島、大陸の東アフリカ地溝帯、三陸沖日本海溝の深海底で見えられた沈み込むプレート上のプチスポット海底火山 (Hirano et al., 2006) に代表的で、火山弧である日本は、礼文島など日本海側の「背弧」にごく稀にあるのみである。根室地域は沈み込んだプレートが浅く冷たい前弧 (下図) に位置し、世界中のどのアルカリマグマの成因にも当てはまらない。

また、本研究地域は日本の陸上地質の中で唯一その成因が未解明の場所と位置づけられる。岩石や地質の記載のみ行われていた 80 年代以前の研究群以降、このマグマ成因に関しては不明のまま放置されてきた。本研究により、この根室層群中のアルカリ玄武岩マグマの成因を解明し、新種の火山を位置づける。



研究経過

本助成前の初年度前半に根室市・浜中町・厚岸町・釧路町・標茶町において現地調査を行った。マグマ貫入岩および海底噴出岩の形態調査や周辺地層との相互関係によるマグマ活動の年代決定を行い、化学分析用岩石試料の採取を行った。現地では、各地のマグマ貫入岩と周囲の地層との相対的な年代を決定することができ、予定される Ar-Ar 放射年代決定や U-Pb 放射年代決定の補足データとなった。また、その後の化学分析結果による化学組成バリエーションに時間変化を入れて議論する準備を行うこととなっ

た。また、5 月には、研究ターゲットを提案するため、日本地球科学連合 (JpGU) と米国地球物理学連合 (AGU) の共催大会 (JpGU-AGU Joint Meeting 2017) で催された国際セッション「Living on the edge! Geodynamics, tectonics and paleogeography of East Asia during Phanerozoic」において招待講演を行った。また、途中経過をシアトルで行われた米国地質学会 (GSA) で発表し、北海道東部の特異性を広く認知させた。送金後の 11 月から本プロジェクトが本格始動し、マグマの形成場を探るための岩石の微量元素濃度測定を東京大学において、鉱物のラマン分光分析を北海道大学において、それぞれ行った。そのための粉末試料や薄片試料を作成するための岩石の加工処理を進めた。

本プロジェクト 2 年目は、日本地球惑星科学連合 2018 年大会における国際セッションでの発表と、岩石の年代測定を東京大学および京都大学において行うことから始めた。10 月には北海道東部地域へ野外巡検を進めた。この際には、根室地域の巡検に加え、本研究対象の地層の基部に分布する常呂帯の調査も行った。岩石中に含まれる磁力鉱物は、マグマが冷却した当時の地球の磁場方位を残しているため、本調査では、古地磁気から推定する古地理を解明するため、定方位での岩石試料採取を行った。さらに 11 月には、世界の深海底の火山研究における研究者が集まり、先端的な研究成果を報告する国際シンポジウム「Submarine Volcanoes: Windows into Earth's Dynamic Interior」が国立科学博物館において行われ、招待講演者として参加した。全世界にの深海底に広がる中央海嶺や点在するホットスポット火山、日本列島など環太平洋に代表される火山弧の火山、地球史で大量絶滅を引き起こした超巨大火成活動、そして筆者が講演した、プチスポット火山をはじめとするアルカリマグマ活動と、地球の様々な型の火山の研究者が集められた。それぞれの噴火過程やプレートテクトニクス上の位置づけ、全地球の物質循環の役割など、各最新研究が集められた有意義なシンポジウムとなった。

これまでの地球化学や地質学のデータを解析し、米国地球物理学連合での発表を行った。年度末には、東京大学および千葉工業大学から研究者を招き、本研究についての議論を行った。本研究による 2019 年 4 月末現在の学術論文成果は、Geological Magazine から受理され印刷中のものをはじめとした学術論文

が4件が公表されたほか、投稿準備中のものが2件あり、準備を進めている。

考察

北海道東部の地質は、そのほか全ての日本列島とは一線を画し、優黒色の砕屑岩の地質に卓越する。このことは、ユーラシア大陸縁部で発達した大部分の日本列島と北海道東部の起源が異なる証拠とも言える。本研究の玄武岩マグマが噴出している周囲の優黒色の地層である「根室層群」は7500万年前から4000万年前にかけての地層群である(Naruse, 2003)。周辺の地質のほとんどは、現在も活動を続けている摩周火山の数100～数1000年前の最近の噴出物に覆われているため、根室層群は、主に海岸沿いの数～数十メートルの崖に沿って露出し、内陸の場合は沢沿いの削剥された場所や碎石場においてまれに見られる程度である。この特徴は歯舞群島にも続いている。佐々(1932)などによる戦前の色丹島の地質記載も、根室半島の地質と同じ特徴を示すため、一連の地層が色丹島まで続いていることがうかがえる。つまり、本研究のアルカリマグマ貫入岩は、色丹島、歯舞群島、根室半島から釧路町にかけて東西約200kmもの範囲で分布していることが判明した(平野ほか, 2016)。

根室層群に貫入・噴出する火成岩類の多くは、アルカリマグマの中でも海洋島や日本列島には極めてまれであり、大陸の火山に多いK(カリウム)成分が高い特徴を持つ玄武岩であり、このようなアルカリ玄武岩は、日本海溝沖の深海底で活動するプチスポット海底火山の溶岩の特徴と一致する。少なくとも一部の噴火形態は、溶岩が根室層群の地層を巻き込んで流出している枕状溶岩の形態を持ち、深海底のマグマ流出が確認されていることから共通性がある。しかし、K以外の化学成分組成は、プチスポット火山のものや日本列島の背弧側で活動するもの、海洋島のもの、大陸のもの、いずれも共通の特徴を示すものは無く、噴火当時のマントルが特異な場所であったことを示唆する。

マグマは、ある一定の時間を経た温度低下に沿って、結晶を排出し、自身の化学組成が変化(分化)する。本地域のマグマは、根室層群最下部(約7000万年前)に貫入するより未分化のものと、より上位の浜中層(約6600万年前)中に貫入または噴出するより分化したものに大別されることがわかった。前

者は地層を介さず平行貫入している一方、後者は周囲の地層が固まっていない時点で堆積物を変形させ、巻き込みながら貫入・噴出していることから、これら両者はほぼ同時に活動した可能性が高い。このことは、放射性元素を用いた岩石の噴出年代測定データからも指示される。更に、マグマが貫入する最下部の地層中には、これまで報告されていなかった種類のマグマ噴出岩が発見された。データは未公表であるため、詳細は述べられないが、この岩石の化学組成から沈み込むプレートの特殊な状況が示されるため、現在解析中の古地磁気データを総合させ、当時の北海道東部の特異な噴出場を定義する。

参考文献

1. Bazhenov & Burtman (1994) Upper Cretaceous paleomagnetic data from Shikotan Island, Kuril Arc: Implications for plate kinematics. *Earth and Planetary Science Letters* **122**, 19–28.
2. 君波 (1978) 根室層群の層序の再検討. 地球科学 **32**, 120–132.
3. Hirano, Takahashi, Yamamoto, Abe, Ingle, Kaneoka, Kimura, Hirata, Ishii, Ogawa, Machida, Suyehiro (2006) Volcanism in response to plate flexure. *Science* **313**, 1426–1428.
4. 平野・油谷・山本 (2016) 歯舞群島と色丹島の地質資料と岩石試料の重要性. 東北アジア研究 **20**, 61–74.
5. Maeda (1990) Opening of the Kurd Basin deduced from the magmatic history of Central Hokkaido, North Japan. *Tectonophysics* **174**, 235–255.
6. Naruse (2003) Cretaceous to Paleocene depositional history of North-Pacific subduction zone: reconstruction from the Nemuro Group, eastern Hokkaido, northern Japan. *Cretaceous Research* **24**, 55–71.
7. 佐々 (1932) 南千島色丹島の地質に就いて. 地質学雑誌 **39**, 345–349.

研究の発表

口頭発表

1. Yutani, [Hirano](#) (2017) Igneous activities of the Paleo-Kuril forearc induced by Izanagi-Pacific ridge. *JpGU-AGU Joint Meeting*, MIS08-04. (May 25, 2017, Makuhari Messe, Chiba, Japan) ※招待講演

2. Hirano (2017) Accretionary records on Japanese archipelago, NW Pacific rim. *GSA Annual Meeting*, 115-6. (October 23, 2017, Washington State Convention Center, Seattle, Washington, USA)
 3. Sakai, Hirano, Machida (2018) Tectonic reconstructions and origin of Cretaceous greenstones, Tokoro Belt, NE-most of Japan. *JpGU 2018*, SMP34-P11. (May 20, 2018, Makuhari Messe, Chiba, Japan)
 4. 油谷・平野・町田・山本 (2018) 根室層群に貫入したアルカリマグマの分布と噴出場. 日本地質学会第 125 年学術大会, R15-O-2. (北海道大学, 札幌市. 2018 年 9 月 6 日) ※北海道胆振東部地震の影響で中止
 5. 平野 (2018) 深海底へのサンプルリターン —現在と過去の太平洋深海底へ—. 伊達市噴火湾文化研究所・東北大学東北アジア研究センター第 9 回学術連携交流講演会 (だて歴史の杜カルチャーセンター, 伊達市. 2018 年 10 月 26 日)
 6. Hirano (2018) Submarine petit-spot volcanoes induced by the plate flexure prior to subduction. *Submarine Volcanoes: Windows into Earth's Dynamic Interior, International Symposium at National Museum of Nature and Science*. (November 3, 2018, National Museum of Nature and Science, Tokyo, Japan) ※招待講演
 7. Sakai, Hirano, Dilek, Machida, Yasukawa, Kato (2018) A broad distribution of accreted intraplate volcanic edifice in the Late Cretaceous Tokoro greenstone belt, NE-most of Japan. *AGU Fall Meeting 2018*, T31D-1883. (December 12, 2018, Washington Convention Center, Washington D.C., USA)
 8. 平野 (2019) 太平洋プレートの組成進化～白亜紀海山・若い海山・プチスポット・緑色岩. 千葉大学テニユアトラック教員主催セミナー (2019 年 3 月 8 日, 千葉大学理学部, 千葉市)
- 誌上発表
1. 平野 (2017) プチスポット形成過程と沈み込むリソスフェアへのインプット. *地学雑誌*, **126** (2), 195–206.
 2. Machida, Kogiso, Hirano (2017) Petit-spot as definitive evidence for partial melting in the asthenosphere caused by CO₂. *Nature Communications* **8**, 14302.
 3. Sato, Hirano, Machida, Yamamoto, Nakanishi, Ishii, Taki, Yasukawa, Kato. (2018) Direct ascent to the surface of asthenospheric magma in a region of convex lithospheric flexure. *International Geology Review* **60** (10), 1231–1243.
 4. Sakai, Hirano, Dilek, Machida, Yasukawa, Kato (2019) Tokoro Belt (NE Hokkaido): A large seamount in the Late Cretaceous accretionary prism of Japan. *Geological Magazine*. In press.