

令和 5 年 6 月 5 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2020～2022

課題番号：20K04098

研究課題名(和文)付加体に取り込まれたプチスポット玄武岩の確立

研究課題名(英文) Exploring petit-spot volcanoes into accretionary complex

研究代表者

平野 直人 (Hirano, Naoto)

東北大学・東北アジア研究センター・准教授

研究者番号：00451831

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：沈み込む太平洋プレートを構成する岩石を実際に提示し、これまでの認識とは異なる岩石や海底地質があることを提唱し、プチスポット玄武岩の微量元素の特徴からカーボナタイトに關与する特有の組成を見いだした(Hirano & Machida, 2022, *Comm. Earth Environ.* 3, 110)。本論文は、Top 10% Cited論文(*incomplete year)となった。これに基づくと、カリフォルニアのフランシスカン帯および日本の中生代前期付加体中の赤色チャートに脆性破壊させて貫入するアルカリ玄武岩の一部は、プチスポット火山活動に伴う玄武岩である可能性が高い。

研究成果の学術的意義や社会的意義

沈み込む太平洋プレートの物性や化学組成をいままでの概念とは異なる新たな物質として捉える必要が出てきたことを意味する重要な成果である。これにより、沈み込むプレートが引き起こす火成活動やプレート境界型巨大地震などについて、沈み込むプレート側からの見地の幅が広がった。沈み込むプレートを構成する岩石の物性や化学組成を加味する上で基盤となるデータである。また、付加体中のアルカリ玄武岩の再定義では、日本の地帯構造の基礎とも言える付加体の形成過程を一部組み立て直す必要がある。

研究成果の概要(英文)：Petit-spot volcanoes are young, small volcanoes erupted much carbon dioxide that erupt along fissures on tectonic plate from the asthenosphere. Carbonatitic materials in their source mantle occur a peculiar composition of the magma in their HFS elements. The type of rocks existing in the asthenosphere, as well as the asthenosphere melting process, have remained largely unknown. Hirano and Machida (2022) gives a better understanding of asthenospheric nature and geochemical compositions. The paper ranks among the Top 10% cited paper (incomplete year). Some alkaline basalts in the accretionary complex are newly recognized based on their geochemical compositions using Hirano and Machida (2022)'s work and radiometric eruption ages in this study. These are about some basaltic dikes into Early Cretaceous accretionary cherts.

研究分野：地質学

キーワード：付加体 アルカリ玄武岩 カーボナタイト 太平洋プレート アセノスフェア リソスフェア

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

地球上の新型火山プチスポット火山による深海底で活動するアルカリ玄武岩マグマの噴出は、最近世界各地の沈み込む海洋プレート上で報告されてきている。これまで注目されてこなかった沈み込む海洋プレートは、様々な組成改変を被り沈み込む事も分かってきた。旧来から認識・想定されていた海洋プレートの構成岩や化学組成とは、その実態が異なっていたのである。このため、過去の海洋プレートにおいても同様の現象が発生していたことが想定され、それらが残されている付加体や、前弧域に残されたアルカリ玄武岩の起源を見直し、現在のプチスポット玄武岩およびホットスポット玄武岩を再定義する必要がある。

2. 研究の目的

本研究では、各地の付加体中に取り込まれた、特異な貫入形態のアルカリ玄武岩および実際の深海底におけるプチスポット玄武岩を調査し、その形態、年代、化学組成から過去のアルカリ玄武岩火成活動の起源を同定する。付加体中のアルカリ玄武岩の同定(ホットスポットかプチスポットか)を微量元素組成により確立させる。これを踏まえ、付加体中のプチスポットの岩石を調査、解析し、付加体の新たな形成過程を提案する。

3. 研究の方法

プチスポット溶岩の化学組成はアルカリ玄武岩に分類される。アルカリ玄武岩は、海洋プレート上のホットスポット火山によって生産された海洋島や海山に多く見られるため、海洋プレート側から付加体中に取り込まれた海山や海洋島の一部としてこれまで漠然と認識されてきた。実際に、現世の太平洋プレート上で活動するホットスポット火山は、ハワイ諸島に代表されるとおり、定置のマグマ供給源がプレートよりも深部にあるため、多くはプレートの真ん中のはるか沖合に海山や海洋島を生産し、プレートの動きに沿って形成年代順に海山列を形成する。しかし、付加体の形成年代(付加年代)と付加体中のアルカリ玄武岩体の間の年代差が見られない事例(例: Senda et al., 2006) ごく小規模の岩体として単独に存在する事例(例: 谷口・小川, 1990) などホットスポット海山列では説明できないものが多くあった。また、プチスポット火山とホットスポット火山の化学組成から、両者の分類を試みる必要がある。本研究では、プチスポットとホットスポット火山における両アルカリ玄武岩の類似性と相違点、および年代層序を明確に定義する。

4. 研究成果

沈み込む太平洋プレートにはどんな岩石があるのかを示し、これまでの認識とは異なる岩石や海底地質があることを提唱した(Hirano & Machida, 2022, *Comm. Earth Environ.* **3**, 110)。本論文では、マグマ発生時のマントル溶融における豊富な炭素成分による、カーボナタイト-シリケート不混和を想定し、得られた溶岩資料の化学組成から不混和時の各微量元素の分配係数を用いて不混和現象の有無を見積もった。その結果、少なくともプチスポット火山群の5割程度のマグマが不混和現象を起こしていることが予想できる。これは日本、米国、スイス、中国、ドイツ、シンガポールの研究者らと進めてきた国際共同プロジェクト、および東北日本沖合および南鳥島周辺海域の太平洋プレートの複数の調査航海による研究成果群を総括したレビュー論文であり、東北アジアの地殻変動を規制する沈み込む海側のプレートそのもの(物質や温度構造など)の実体を解明する研究プロジェクトの一環である。本論文は、Top 10% Cited 論文(*incomplete year)となった。

また、プレート直下のアセノスフェアは、炭素の存在によって説明できることが明らかとなり(Mikuni, Hirano et al., submitted) プレートを構成するマントル岩を汚染させていることも判明した(Mikuni, Hirano et al., 2020, *Progr. Earth Planet. Sci.* **9**, 62.)。この結果、太平洋プレートを構成するマントル岩石は、従来想定されていたものよりも、流体の影響を被り、希土類元素など多くの元素を交代していることが判明した。さらに、マグマ活動に伴う海底表層の地質擾乱(Akizawa, Hirano et al., 2022, *Marine Geol.* **444**, 106712) および同産する鉄マンガンクラストの化学組成から読み取る最近数百万年間の海底環境変動(Azami, Machida, Hirano et al., 2023, *Comm. Earth Environ.* **4**, 191.)についても、プチスポット火山による海底表層環境の変動や擾乱の様子が明らかとなった。これら成果群は、沈み込む太平洋プレートの物性や化学組成をいままでの概念とは異なる新たな物質として捉える必要が出てきたことを

意味する重要な成果である。

Hirano & Machida (2022, *Comm. Earth Environ.* **3**, 110) で示した地球化学的分類に基づくと、カリフォルニアのフランシスカン付加体の付加体中赤色チャートに脆性破壊させて貫入するアルカリ玄武岩 (Dumitru et al., 2018) は、周囲の付加体の付加年代と比較するための噴出年代の試みがかなわなかったものの、沈み込む古いプレート上でのプチスポット火成活動である可能性が高い。また、調査を行った愛知県犬山市のチャートに貫入した玄武岩は、その噴出年代 (Ar-Ar 年代) およびぶりょう元素組成から、プチスポット火山活動に伴う玄武岩であることが判明しつつある (未公表・準備中)。いっぽう、北海道東部の常呂帯に分布するアルカリ玄武岩体は、その規模や地質層序からホットスポットに想定される海山の付加によるものであることを報告した (Sakai, Hirano et al., 2021, *Geol. Mag.* **158**, 72-83)。また、本来マグマ活動が無い場所である現在の火山フロントよりも海溝側、釧路町～歯舞群島・色丹島を含む根室市にかけて、マグマ活動の痕跡である玄武岩の噴出岩や貫入岩は、アルカリ玄武岩でありながら、カリウム濃度のみ高い枯渇した島弧マグマであることが判明した。当時の古太平洋の真ん中で発生した海洋性島弧の残骸が想定される。これら地質基盤および地質の起源について古太平洋内部にあった 7000 万年前から 6200 万年前にかけてのマグマ活動であることが判明した (Yutani, Hirano et al., 2023, *Cretaceous Research* **147**, 105510)。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計15件（うち査読付論文 14件／うち国際共著 5件／うちオープンアクセス 7件）

1. 著者名 Akizawa Norikatsu, Hirano Naoto, Matsuzaki Kenji M., Machida Shiki, Tamura Chiori, Kaneko Junji, Iwano Hideki, Danhara Tohru, Hirata Takafumi	4. 巻 444
2. 論文標題 A direct evidence for disturbance of whole sediment layer in the subducting Pacific plate by petit-spot magma?water/sediment interaction	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Marine Geology	6. 最初と最後の頁 106712 ~ 106712
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.margeo.2021.106712	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Ganbat Ariuntsetseg, Pastor Gal'n Daniel, Hirano Naoto, Nakamura Norihiro, Sumino Hirochika, Yamaguchi Yuji, Tsujimori Tatsuki	4. 巻 126
2. 論文標題 Cretaceous to Miocene NW Pacific Plate Kinematic Constraints: Paleomagnetism and Ar ⁴⁰ /Ar ³⁹ Geochronology in the Mineoka Ophiolite M?lange (Japan)	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Geophysical Research: Solid Earth	6. 最初と最後の頁 e2020JB021492
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1029/2020JB021492	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 Aftabuzzaman Md., Yomogida Kazuki, Suzuki Shota, Takayanagi Hideko, Ishigaki Akimasa, Machida Shiki, Asahara Yoshihiro, Yamamoto Koshi, Hirano Naoto, Sano Shin Ichi, Chiyonobu Shun, Bassi Davide, Iryu Yasufumi	4. 巻 30
2. 論文標題 Multi approach characterization of shallow water carbonates off Minamitorishima and their depositional settings/history	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Island Arc	6. 最初と最後の頁 e12400
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/iar.12400	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 Hirano Naoto, Sumino Hirochika, Morishita Taisei, Machida Shiki, Kawano Takaomi, Yasukawa Kazutaka, Hirata Takafumi, Kato Yasuhiro, Ishii Teruaki	4. 巻 30
2. 論文標題 A Paleogene magmatic overprint on Cretaceous seamounts of the western Pacific	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Island Arc	6. 最初と最後の頁 e12386
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/iar.12386	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Hirano Naoto, Sumino Hirochika, Morishita Taisei, Machida Shiki, Kawano Takaomi, Yasukawa Kazutaka, Hirata Takafumi, Kato Yasuhiro, Ishii Teruaki	4. 巻 30
2. 論文標題 A Paleogene magmatic overprint on Cretaceous seamounts of the western Pacific	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Island Arc	6. 最初と最後の頁 e12386
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/iar.12386	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Yamamoto Junji, Hirano Naoto, Kurz Mark D.	4. 巻 552
2. 論文標題 Noble gas isotopic compositions of seamount lavas from the central Chile trench: Implications for petit-spot volcanism and the lithosphere asthenosphere boundary	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Earth and Planetary Science Letters	6. 最初と最後の頁 116611-116611
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.epsl.2020.116611	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Sakai Shunta, Hirano Naoto, Dilek Yildirim, Machida Shiki, Yasukawa Kazutaka, Kato Yasuhiro	4. 巻 158
2. 論文標題 Tokoro Belt (NE Hokkaido): an exhumed, Jurassic ? Early Cretaceous seamount in the Late Cretaceous accretionary prism of northern Japan	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Geological Magazine	6. 最初と最後の頁 72-83
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1017/S0016756819000633	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Miyata Jun, Takayanagi Hideko, Ishigaki Akimasa, Hirano Naoto, Shiokawa Satoshi, Nishimura Akira, Nakazawa Tsutomu, Ishikawa Tsuyoshi, Nagaishi Kazuya, Tokuyama Hidekazu, Ishiwatari Akira, Iryu Yasufumi	4. 巻 29
2. 論文標題 Tectonic implications of carbonate deposits on the eastern slope of the Hahajima Seamount in the collision zone between the Izu?Bonin Arc on the Philippine Sea Plate and the Ogasawara Plateau on the Pacific Plate	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Island Arc	6. 最初と最後の頁 e12368
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/iar.12368	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Liu Jia, Hirano Naoto, Machida Shiki, Xia Qunke, Tao Chunhui, Liao Shili, Liang Jin, Li Wei, Yang Weifang, Zhang Guoying, Ding Teng	4. 巻 11
2. 論文標題 Melting of recycled ancient crust responsible for the Gutenberg discontinuity	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Nature Communications	6. 最初と最後の頁 172-172
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41467-019-13958-w	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Morishita Tomoaki, Hirano Naoto, Sumino Hirochika, Sato Hiroshi, Shibata Tomoyuki, Yoshikawa Masako, Arai Shoji, Nauchi Rie, Tamura Akihiro	4. 巻 11
2. 論文標題 Alkali basalt from the Seifu Seamount in the Sea of Japan: post-spreading magmatism in a back-arc setting	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Solid Earth	6. 最初と最後の頁 23-36
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5194/se-11-23-2020	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 平野直人	4. 巻 1
2. 論文標題 太平洋プレートの組成進化-海山・ブチスポット・緑色岩	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 新地球	6. 最初と最後の頁 33-41
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Hirano Naoto, Machida Shiki	4. 巻 3
2. 論文標題 The mantle structure below petit-spot volcanoes	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Communications Earth & Environment	6. 最初と最後の頁 110
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s43247-022-00438-1	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Mikuni Kazuto, Hirano Naoto, Akizawa Norikatsu, Yamamoto Junji, Machida Shiki, Tamura Akihiro, Hagiwara Yuuki, Morishita Tomoaki	4. 巻 9
2. 論文標題 Lithological structure of western Pacific lithosphere reconstructed from mantle xenoliths in a petit-spot volcano	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Progress in Earth and Planetary Science	6. 最初と最後の頁 62
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1186/s40645-022-00518-y	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Yutani Taku, Hirano Naoto, Tanaka Hiroataka, Sumino Hirochika, Machida Shiki, Sekimoto Shun, Yoneda Shigekazu, Kato Yasuhiro	4. 巻 147
2. 論文標題 An intraoceanic juvenile arc of shoshonite and adakitic andesite in the Nemuro Belt, the Lesser Kuril Arc, across the K/Pg boundary	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Cretaceous Research	6. 最初と最後の頁 105510 ~ 105510
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.cretres.2023.105510	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Azami Keishiro, Machida Shiki, Hirano Naoto, Nakamura Kentaro, Yasukawa Kazutaka, Kogiso Tetsu, Nakanishi Masao, Kato Yasuhiro	4. 巻 4
2. 論文標題 Hydrothermal ferromanganese oxides around a petit-spot volcano on old and cold oceanic crust	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Communications Earth & Environment	6. 最初と最後の頁 191
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s43247-023-00832-3	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計15件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 3件)

1. 発表者名 Mikuni, K., N. Hirano, N. Akizawa, S. Machida, A. Tamura, T. Morishita
2. 発表標題 Geochemical structure of the oldest Pacific lithosphere
3. 学会等名 Goldschmidt 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Nakao, K., N. Hirano, H. Sumino
2. 発表標題 Noble gas isotopic composition of directly ascending petit-spot from the northwest Pacific Ocean
3. 学会等名 JpGU 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 平野直人
2. 発表標題 沈み込む太平洋プレートの改変とプチスポット火山活動による北日本収束境界への影響
3. 学会等名 日本地球化学会第76年年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中尾魁史・平野直人・角野浩史
2. 発表標題 沈み込む太平洋プレートの改変とプチスポット火山活動による北日本収束境界への影響
3. 学会等名 日本地球化学会第76年年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 三國和音・平野直人・秋澤紀克・町田嗣樹
2. 発表標題 The geochemical structure of pre-subducting lithosphere explored from petit-spot volcano
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2021年大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 股村祐希・平野直人・藤井昌和
2. 発表標題 音響探査データを用いたプチスポット火山の推定および分類
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2021年大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 新保陽輔・平野直人・油谷拓
2. 発表標題 Reclassification of oceanic intraplate basalts using trace element compositions of hotspots and petit-spots
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2021年大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 平野直人・角野浩史・森下泰成
2. 発表標題 Magmatic evolutions erupted on the Cretaceous seamount province, western Pacific Plate
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2021年大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Hirano, N., Y. Katsuragi, T. Ushikubo & K. Shimizu
2. 発表標題 Extremely High Volatiles of Petit-Spot
3. 学会等名 Goldschmidt Abstracts 2020, 1029. (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 平野直人・三國和音・新保陽輔・秋澤紀克・町田嗣樹
2. 発表標題 プレート沈み込み手前で発生するプチスポット火山が引き起こす地質擾乱・マントル交代作用
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2022大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 新保陽輔・平野直人・秋澤紀克・角野浩史
2. 発表標題 美濃帯犬山セクションの層状チャートに貫入する塩基性・超塩基性岩脈の意義
3. 学会等名 日本地質学会第129年学術大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 三國和音・平野直人・秋澤紀克・町田嗣樹
2. 発表標題 プチスポット火山がもたらすケイ長質捕獲岩：太平洋プレート最古部の海洋地殻物質断片
3. 学会等名 日本地質学会第129年学術大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 三國和音・平野直人・町田嗣樹・角野浩史・秋澤紀克・田村明弘・森下知晃・加藤泰浩
2. 発表標題 西太平洋海域におけるプチスポット火山群の地球 化学的特徴
3. 学会等名 日本地球化学会第69会年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 平野直人・角野浩史・岩野英樹・檀原徹・平田岳史
2. 発表標題 沈み込む太平洋プレートの実体とブチスポット火山群のAr-Ar年代・U-Pb年代
3. 学会等名 日本地球化学会第69会年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 新保陽輔・平野直人
2. 発表標題 EM-1成分に富むプレート内玄武岩の元素組成と比較したブチスポット玄武岩の特徴
3. 学会等名 日本地球化学会第69会年会
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 鹿野 秀一、平野 直人、千葉 聡	4. 発行年 2021年
2. 出版社 古今書院	5. 総ページ数 92
3. 書名 大陸と日本をつなぐ自然史	

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------