

令和 2 年 4 月 18 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K05715

研究課題名(和文) 海底岩石から直接読み解く沈み込むプレートの変動履歴

研究課題名(英文) Tectonic process resolved by geochemistry of submarine basalts

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) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：これまで確認されていたプチスポット火山は、プレート凹屈曲場での火山活動であったが、発生頻度が桁で小さいものの、プレート凸屈曲場での引張場でのマグマ活動が発見された。これらマグマ組成は、マグマ源の物質そのものである事が分かった。ドイツ・バイエルン地球科学研究所、シンガポール・南洋理工大学との共同研究では、液相濃集元素や炭素量が著しく高いことも判明した。また、中国第二海洋研究所との共同研究では、アセノスフェアの化学組成が初めて解明された(Liu et al., 2020, Nature Comm.)。また、マリアナ海溝沖の南鳥島周辺のプチスポット火山を報告した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

溶岩の産状・マグマ組成・噴出年代・マグマ上昇速度と、海底地形によるプレート構造およびその地理分布を照らし合わせ、プレートの変動履歴が明らかとなった。プレートの挙動が構成する岩石そのものから初めて示されるという点で大変意義深い。沈み込む海洋プレートの地殻構造や応力場の情報は、これまで海底音響探査や地震波を用いた構造探査、いくつかの過程を置いたシミュレーションなど、間接的な情報しか無かったが、本研究によりプレートの物質から直接的に得られた応力場・変動時期の情報として極めて貴重な成果が得られた。

研究成果の概要(英文)：Previous researches indicate that most of petit-spot erupted on concavely flexed plate are highly reacted with the depleted lithosphere during the magma ascending to surface. Geochemical composition of entrained xenolith from depleted mantle is disturbed by wall-rock interaction (Pilet et al., 2016). The research cruise KS-18-9, R/V Shinsei maru, in order to access the asthenosphere in August 2018 newly discovered the directly ascending petit-spot melt from asthenosphere (Sato, Hirano et al., 2018). The lavas, silica-poor and strongly alkaline with phenocrystic olivines, are completely discriminated from the majority of previous petit-spots. They selectively erupt atop the outer-rise wherein the lithosphere behaves entirely extensional during the ascent of melt from asthenosphere. Collaborated works with Univ. Bayreuth (Germany), Nanyang Tech. Univ. (Singapore), and Second Instit. Oceanogr. (China) provided several papers of Hirano et al. (2019), and Liu, Hirano et al. (2020).

研究分野：固体地球科学

キーワード：アウターライズ 太平洋プレート プチスポット アルカリ玄武岩 沈み込み 日本海溝

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

三陸沖の太平洋深海底で地球上の新種の火山・ブチスポットを 2006 年サイエンス誌から報告した。この火山は、プレート直下に存在するアセノスフェアの溶融物(マグマ)がプレートの屈曲に起因する割れ目に沿って上昇し、それが海底に染み出して火山が形成された(Hirano et al., 2006, Science)新種の火山である。この火山の成因は今までの地球科学の概念では説明出来ない新種の火山であることに加え、未だ不明のアセノスフェアの実体に関わるマグマであること、プレート屈曲に関わる割れ目や亀裂の存在(地震の痕跡)を示すことなど、多くの重要な要素を含む重要な成果であった。この溶岩および溶岩に取り込まれているマンテル捕獲岩は、人類が未入手であった沈み込むプレートとその直下の岩石そのものである。この火山の成因はプレート屈曲に関わる割れ目や亀裂の存在(地震の痕跡)を示す。

本課題では、日本海溝から沈み込む太平洋プレートの変動に起因して活動した数十のブチスポット火山の溶岩試料と取り込まれたマンテル捕獲鉱物を用いて、火山ごとの年代・マグマ組成・マグマ上昇速度の分布とそれら変化を、海底地形に現れているプレート活構造と対比させ、プレートの活構造や変動履歴を明らかにする。沈み込むプレートの変動履歴は地球物理観測では行われていたが、プレートを構成する岩石から直接解明する試みは初めてである。

2. 研究の目的

沈み込むプレートの活構造はプレート境界周辺の地殻変動に大きな影響を及ぼす。本課題では、日本海溝から沈み込む太平洋プレートの変動に起因して活動した数十のブチスポット火山の溶岩試料と取り込まれたマンテル捕獲鉱物を用いて、火山ごとの年代・マグマ組成・マグマ上昇速度の分布とそれら変化を、海底地形に現れているプレート活構造と対比させ、プレートの活構造や変動履歴を明らかにする。

それまで側方に移動していた海洋プレートは、海溝で向きを変え地下深部に沈み込む。その手前ではプレートが地下深部方向に引きずられ引張場が発生するため、海溝軸に平行な正断層群(ホルスト&グラーベン)が発達し、深海底面を直接隆起または沈下させる。この変動は、1933 年昭和三陸地震津波に代表されるアウターライズ地震の原因でもある。本研究では、各火山の年代・組成・マグマ上昇速度の分布とこれら構造と対比させ、時間軸に沿った応力場の移動と火山活動推移との関係を明らかにし、沈み込むプレートの変動過程を時間軸を入れて可視化させる。このような沈み込むプレートの構造や変動過程は、これまでは調査船による海底音響測深を用いた海底地形観測(e.g. Fujiwara et al., 2011)や、地震波による海底下の構造探査(e.g. Kodaira et al., 2014)により主に議論が行われてきた。本研究のようにプレートを構成する岩石そのものを用いて解明する試みは初めてである。

3. 研究の方法

主に地質学、岩石学、地球化学を基軸とした海洋底科学で構成され、そのデータを元に固体地球物理学や地殻進化学といった分野を取り入れて行う。潜航映像による海底火山の溶岩形態、採取岩石の処理加工と記載作業、溶岩の全岩化学組成、捕獲結晶の濃度分布などを行う。研究期間中に施行した東北海洋生態系調査研究船「新青丸」による KS-18-9 航海によって得られた東北日本沖太平洋プレート・アウターライズ上のブチスポット火山の岩石試料を用い、化学分析により判明するマグマ成分組成から、マグマ上昇過程、マグマ供給源の情報を得る。これら複数の火山についてのデータから、プレートの応力場との相互関係を明らかにする。

4. 研究成果

ブチスポット火山の中でも特異な岩石種、化学組成(低 Si、高 Na、高 CO₂ など)を示す火山噴出物の岩石試料採取を集中的に行った。これら構成鉱物や斑晶鉱物量の解析から、マグマが上昇する間の交代作用(リソスフェアとの化学組成の同化)(Pilet et al., 2016)が少なく、マグマ源のアセノスフェアの物質そのものに近い成分である事が確認されている(Sato et al., 2018)。溶岩は海水起源の鉄マンガンクラストを被覆しておらず、噴出が極めて若いと判断できる。

ドイツ・バイエルン地球科学研究所、シンガポール・南洋理工大学、高知コアセンターとの共同研究では、アルカリ元素、Rb や Th などの液相濃集元素、および炭素含有量が著しく高く、各溶岩組成は均質ではなくバリエーションが見られた。また、これら岩石が持つ Mg、Pb などの同位体の情報から、マグマ源としてのアセノスフェアの化学組成が天然の試料から初めて解明された(Liu, Hirano et al., 2020, Nature Comm.)

また、マリアナ海溝沖の南鳥島周辺の深海底からプレート凹屈曲場で活動する同様のプチスポット火山が初めて報告された (Hirano et al., 2019, Deep-Sea Res. I)。ここでは、マリアナ海溝に沈み込む太平洋プレートのアウターライズ構造の幅が他の沈み込み帯よりも広いことが知られており、日本海溝沖のアウターライズ (約 600km) に比べて海溝から約 1.5 倍の距離でプチスポット火山活動が存在していることが判明した。本研究は、国内外にプレスリリースを行い、米国の情報誌 Newsweek で紹介された。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計10件（うち査読付論文 9件 / うち国際共著 4件 / うちオープンアクセス 6件）

1. 著者名 K. Azami, N. Hirano, S. Machida, K. Yasukawa, Y. Kato	4. 巻 493
2. 論文標題 Rare earth elements and yttrium (REY) variability with water depth in hydrogenetic ferromanganese crusts	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Chemical Geology	6. 最初と最後の頁 224-233
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) j.chemgeo.2018.05.045	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 Yuki Sato, Naoto Hirano, Shiki Machida, Junji Yamamoto, Masao Nakanishi, Teruaki Ishii, Arashi Taki, Kazutaka Yasukawa, Yasuhiro Kato	4. 巻 60
2. 論文標題 Direct ascent to the surface of asthenospheric magma in a region of convex lithospheric flexure	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 International Geology Review	6. 最初と最後の頁 1231-1243
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/00206814.2017.1379912	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 L. Rochat, S. Pilet, O. Muntener, T. Duretz, L. Baumgartner, N. Abe, N. Hirano	4. 巻 45
2. 論文標題 Garnet xenocryst from petit-spot lavas as an indicator for off-axis mantle refertilization at intermediate spreading ridges	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Geology	6. 最初と最後の頁 1091-1094
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1130/G39427.1	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 該当する
1. 著者名 Baba Kiyoshi, Tada Noriko, Matsuno Tetsuo, Liang Pengfei, Li Ruibai, Zhang Luolei, Shimizu Hisayoshi, Abe Natsue, Hirano Naoto, Ichiki Masahiro, Utada Hisashi	4. 巻 69
2. 論文標題 Electrical conductivity of old oceanic mantle in the northwestern Pacific I: 1-D profiles suggesting differences in thermal structure not predictable from a plate cooling model	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Earth, Planets and Space	6. 最初と最後の頁 111
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1186/s40623-017-0697-0	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 平野直人	4. 巻 126
2. 論文標題 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	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 地学雑誌	6. 最初と最後の頁 195-206
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5026/jgeography.126.195	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 Machida Shiki, Kogiso Tetsu, Hirano Naoto	4. 巻 8
2. 論文標題 Petit-spot as definitive evidence for partial melting in the asthenosphere caused by CO2	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Nature Communications	6. 最初と最後の頁 14302 ~ 14302
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/ncomms14302	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, Machida Shiki, Sumino Hirochika, Shimizu Kenji, Tamura Akihiro, Morishita Taisei, Iwano Hideki, Sakata Shuhei, Ishii Teruaki, Arai Shoji, Yoneda Shigekazu, Danhara Tohru, Hirata Takafumi	4. 巻 154
2. 論文標題 Petit-spot volcanoes on the oldest portion of the Pacific plate	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers	6. 最初と最後の頁 103142 ~ 103142
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.dsr.2019.103142	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 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 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 Sakai Shunta, Hirano Naoto, Dilek Yildirim, Machida Shiki, Yasukawa Kazutaka, Kato Yasuhiro	4. 巻 -
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 2019年
3. 雑誌名 Geological Magazine	6. 最初と最後の頁 1~12
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 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
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

[学会発表] 計22件 (うち招待講演 3件 / うち国際学会 14件)

1. 発表者名 Naoto Hirano, Shiki Machida, Shipboard Scientific Party KS-18-9
2. 発表標題 Directly ascending asthenospheric melt erupted atop outer rise: the preliminary report of cruise KS-18-09, R/V Shinsei
3. 学会等名 AGU Fall Meeting 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yuki Katsuragi, Naoto Hirano, Yuki Sato, Kenji Shimizu
2. 発表標題 Volatile composition of asthenosphere below NW Pacific lithosphere revealed by petit-spot basalt
3. 学会等名 AGU Fall Meeting 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Naoto Hirano
2. 発表標題 Submarine Petit-Spot Volcanoes Induced by the Plate Flexure Prior to Subduction
3. 学会等名 Submarine Volcanoes: Windows into Earth's Dynamic Interior, International Symposium at National Museum of Nature and Science. (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yuki Katsuragi, Naoto Hirano, Yuki Sato, Kenji Shimizu
2. 発表標題 H2O/F ratios in asthenosphere inferred from volatile compositions of petit-spot lavas
3. 学会等名 JpGU 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 平野直人
2. 発表標題 アセノスフェアから速やかに上昇したプチスポット「直プチ」調査
3. 学会等名 ブルーアース・サイエンス・テク2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 浅見慶志朗・平野直人・木村純一
2. 発表標題 Sr isotope ratios identify origins of detrital materials in ferromanganese crusts: implication for tectonic and climatic impacts to submarine environment
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2018年大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 佐藤勇輝・平野直人
2. 発表標題 Missing carbonate and petit-spot silicate liquid immiscibility
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2018年大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Naoto Hirano
2. 発表標題 Mantle compositions below petit-spot volcanoes of the NW Pacific Plate
3. 学会等名 2017 Fall Meeting, American Geophysical Union (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Naoto Hirano
2. 発表標題 Accretionary records on Japanese archipelago, NW Pacific rim
3. 学会等名 2017 Annual Meeting, Geological Society of America (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Yuki Sato, Naoto Hirano
2. 発表標題 Structure of asthenosphere interpreted by submarine petit-spot volcanoes
3. 学会等名 14th Annual Meeting, Asia Oceania Geosciences Society (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Keishiro Azami, Naoto Hirano, Takahashi, Watanabe
2. 発表標題 Origin of diagenetic signal in hydrogenetic ferromanganese crusts from petit-spot volcanoes
3. 学会等名 14th Annual Meeting, Asia Oceania Geosciences Society (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Naoto Hirano, Yuki Sato, Arashi Taki
2. 発表標題 Metasomatic records of lithosphere prior to subduction inferred from petit-spot
3. 学会等名 JpGU-AGU Joint Meeting (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Shiki Machida, Tetsu Kogiso, Naoto Hirano
2. 発表標題 Existence of CO ₂ -rich melt in the asthenosphere evidenced by petit-spot
3. 学会等名 JpGU-AGU Joint Meeting (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 平野直人、河野尊臣、森下泰成、角野浩史
2. 発表標題 最古の太平洋プレート上に存在する南鳥島の地質学的意義
3. 学会等名 日本地質学会第124年学術大会, 2017年愛媛大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 佐藤勇輝、平野直人
2. 発表標題 Direct-ascended petit-spot magma from asthenosphere with little or no assimilation
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2017年大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 浅見慶志朗、平野直人、町田嗣樹、安川和孝、加藤泰浩
2. 発表標題 超深海における海水起源鉄マンガンクラストのREY組成
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2017年大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Sebastien Pilet, Naoto Hirano
2. 発表標題 Is mantle upwelling required to produce intraplate magma ? -The counter example of petit-spot volcanoes
3. 学会等名 EGU General Assembly 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hirano Naoto, Yutani Taku, Sakai Shunta
2. 発表標題 Petit-spot submarine volcanoes as a geological perturbation of subducting plate
3. 学会等名 2019 GSA Annual Meeting (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hirano Naoto, Sumino Hirochika
2. 発表標題 Petit-spot and seamount rejuvenation overprinting western Pacific plate
3. 学会等名 AGU Fall Meeting 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Sakai Shunta, Hirano Naoto, Machida Shiki
2. 発表標題 Geochemical and geological implications of in-situ basalts and petit-spot basalts since Late Cretaceous accretionary complexes in Japan
3. 学会等名 AGU Fall Meeting 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 桂木悠希・平野直人・清水健二・Rodriguez Fidel・Oalman Jeffrey・油谷拓
2. 発表標題 Geochemical variations of the asthenosphere inferred from the geochemistry of petit-spot lavas in the NW Pacific plate
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2019年大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 平野直人・油谷拓・桂木悠希・Oalman Jeffrey・Rodriguez Fidel
2. 発表標題 アセノスフェア組成の探究：新青丸KS-18-9航海による「直プチ」調査
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2019年大会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔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
--	---------------------------	-----------------------	----