

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 5 月 23 日現在

機関番号：11301

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2012～2013

課題番号：24654180

研究課題名(和文) 巨大地震後の太平洋プレート応力場変化の実体と火山活動

研究課題名(英文) Volcanic activity on subducting Pacific plate with change of the stress field after an earthquake on plate boundary

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) 2,700,000円、(間接経費) 810,000円

研究成果の概要(和文)：三陸沖太平洋プレート上に存在する新種の火山、プチスポット火山の活動年代分布を詳細に求めるために、採取された溶岩のArAr年代測定およびU-Pb年代測定を行った。既に求められている噴出年代は、0～8.5 Maである一方、今回新たに求められた年代は3.8, 6.2, 9.2 Maであり、火山が9百万年以上前にもさかのぼる事を示す。定常的なプレートの屈曲によるアセノスフェアのメルトの集積・上昇が原因である可能性が更に高まった。本成果は、2014年日本地球惑星科学連合の大会で発表を行う。また、本研究と同じ手法を用いたチリ海溝沖の火山に関する学術論文Hirano et al. (2013)を発表した。

研究成果の概要(英文)：The new kind submarine volcanoes, petit-spot, were erupted on the subducting plate, which occur in a region of the plate-flexure prior to subduction into the trench off NE Japan. Monogenetic petit-spot volcanoes located on the NW Pacific Plate are too tiny, less than 2 km in diameter, and yield eruption ages of various times during 0 to 9 Ma with three new data of Ar-Ar datings of 3.8, 6.2, and 9.2 Ma each (papers in preparation). The erupting time would be over the 0 to 10 Ma along the present plate motion, suggesting the episodic eruption of magma over a large eruption area but with low volumes of magma production. As some samples, however, are generally not used to be analyzed by sample-irradiated ArAr dating, this study adopted the U-Pb dating with the separation of zircons and apatites, awaiting for future dating results. This study is reported by the oral presentation in JpGU 2014 Meeting, and the paper in Geochemical Journal (Hirano et al., 2013).

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：地球惑星科学・地球宇宙化学

キーワード：プチスポット 太平洋プレート 年代測定 玄武岩 日本海溝

1. 研究開始当初の背景

東北地方太平洋沖地震をきっかけとした東北日本の地殻応力場の激変は、今までの地震学の常識を覆した。沈み込む太平洋プレート側でもこのような変化が起きていることは容易に想像出来る。本研究ではその変動の1つとして、プレートの屈曲・破壊によって生じるプチスポット火山活動に焦点を当て、巨大地震後の火山活動の探査と、今まで以上に詳細なプチスポット火山の年代測定を行い、火山活動のタイミング・頻度を考慮し、沈み込むプレート屈曲・破壊の時代変遷を明らかにする。

2011年3月11日に発生し、東日本に甚大な被害をもたらした東北地方太平洋沖地震以降、東北地方の太平洋岸を中心に数メートル規模の移動(Ozawa et al., 2011)や、東北日本の圧縮場から引張場への変化(2011年4月11日の福島浜通りを震源とする誘発地震の震源過程:地震調査研究推進本部, 2011)など、巨大地震以降それをきっかけとして周辺の応力場が激変している。このことは海溝陸側の東日本だけでなく、海溝海側の太平洋プレート側でも当てはまることは容易に想像できる。

本研究海域である宮城沖～福島沖にかけての日本海溝～アウターライズでは、沈み込む太平洋プレートの表面の引張力が原因の正断層地震:アウターライズ地震が発生する場所である。2011年の巨大地震後の震源分布は発震回数や場所共にそれまでとは明らかな変化が現れ、最近発見された新種の火山・プチスポット火山群が発見されている場所と一致する。

プチスポット火山は、沈み込みに伴う太平洋プレートの屈曲に伴ったプレートの亀裂(断層)に沿ってマグマが上昇した新種の火山である(Hirano et al., 2006, Science)。今までの地球科学では日本海溝に沈み込む古く冷たいプレート上では火山活動は無いと考えられてきたが、プチスポット火山の発見によってそのような常識は覆された。今回の巨大地震による応力場の大きな改変は、太平洋プレート側の屈曲・亀裂にも影響し、プチスポット火山が活動した可能性がある。本研究では既存のプチスポット火山群が発見されている海域で観測や潜航調査を行い、巨大地震後の新たな溶岩および変動地形を見つけ出す。更にこれまで得られている溶岩試料の年代測定を正確に決定し、プレート屈曲と火山活動の変遷を明らかにする。

2012年1月11日に施行された海洋研究開発機構調査船「みらい」MR11-08 Leg.3 航海において「東北地方太平洋沖地震によるプレート応力場の改編に伴う火山活動の可能性を探る」応募課題# EM11-33(研究代表者:平野直人)が採択され、三陸沖で巨大地震後のプチスポット火山活動の探査を行うために調査船の海底音響測深による海底の底質・海

底地形探査を行った。日本海溝海域周辺のプチスポット海域では、海底音響測深のデータが主に2003年から2005年にかけて得られており、海底地形および音響反射強度が強い海底が判明している。これらのデータと東北地方太平洋沖地震後の同海域のデータを比較し、巨大地震後の新たな溶岩流の流出の有無を確認する。この航海で得られたデータの解析をまず始めた。

引用文献:

Hirano et al. (2006) Science 313, 1426-1428.
Ozawa et al. (2011) Nature 475, 373-376.
地震調査研究推進本部 (2011)
http://www.jishin.go.jp/main/chousa/11apr_fukushima/

2. 研究の目的

東北地方太平洋沖地震をきっかけとした東北日本の地殻応力場の激変は、今までの地震学の常識を覆した。沈み込む太平洋プレート側でもこのような変化が起きていることは容易に想像出来る。本研究ではその変動の1つとして、プレートの屈曲・破壊によって生じるプチスポット火山活動に焦点を当て、巨大地震後の火山活動の探査と、今まで以上に詳細なプチスポット火山の年代測定を行い、火山活動のタイミング・頻度を考慮し、沈み込むプレート屈曲・破壊の時代変遷を明らかにする。

本研究は、東北地方太平洋沖地震の強烈な地殻変動の経験をきっかけに、その変動(亀裂に沿った火山活動の発生や断層運動の大きさなど)を陸上からは観測が難しい沈み込む太平洋プレート側でもとらえる挑戦的で重要な研究課題である。震災後の火山活動が確認できない可能性があるが、太平洋プレート側のアウターライズ地震に伴う地形変動を観測し、その断層崖から新たに露出したプチスポット火山の溶岩採取を行うことができる。

研究海域は、日本海溝の沖合の宮城沖・福島沖の海域であるが、プチスポット火山の分布が予想される反射強度が高い部分を数えただけでも80カ所(Hirano et al., 2008)と多い。そのうち3つの火山からしか試料が得られていない。このことは、プチスポット火山活動の活動頻度とプレート屈曲時期との関係を議論する上で妨げだった。本研究で岩石試料採取火山を増やし、これまで得られている火山の溶岩試料と共に化学成分分析(東北大・金沢大)と放射年代測定(東北大・東京大・株式会社京都フィッシュントラック)を行い、この問題を解決する。

Hirano et al. (2006)で発表されたプチスポット火山の成因は、その場所のテクトニックセッティングに基づいた仮説を立てたもので

あったが、本研究で更にその場所での溶岩の時代変遷を詳細に解明することにより、その確証が得られる。

引用文献：

Hirano et al. (2008) Basin Res. 20, 543–553.

3. 研究の方法

既に採択されている「みらい」研究調査船の課題（2012年施行のMR11-08航海）などの海底音響測深データを用い、過去の海底地形及びプチスポット火山の分布と比較し、東北地方太平洋沖地震後の地殻変動、火山活動の存在を捉える。また、いままで Ar–Ar 法によって一部の溶岩試料しか得られていなかったプチスポット火山の噴出年代を、さらにジルコン分離を施した U–Pb 年代測定を適用させ、更に数多く詳細に年代を決定させる。これら得られた年代データから、火山の活動位置、噴火の頻度、各火山の分布や並びから、プレート屈曲・破壊による応力場とプチスポット火山の活動原因を明確に決定する。

得られた溶岩の記載や、化学組成分析、鉱物組成の分析を行う。溶岩中の微量元素濃度測定および主要元素組成分析である。これらは、マグマの溶融度（マンテルが何%溶けて発生したのか）や、マグマ上昇時の粘性を示す指標であり、プチスポットの発生要因の解明に繋がるデータとなる。また、プチスポット火山は静水圧が 600 bar 以上もかかる深海底環境での噴出であるにもかかわらず、溶岩が著しく発泡している（Hirano et al., 2006）。これは中央海嶺等の今まで知られていた溶岩とは明らかに異質であり、マグマ中の大量の二酸化炭素の存在を示唆する。これは新種の火山プチスポットの成因解明に関わる重要な特徴であり（Hirano et al., 2011）溶岩中の揮発成分の測定も行う。これらは、年代結果とともに各組成の時間変遷をたどり、プレート屈曲との関わりを調べる上でとても重要である。

海域では溶岩試料を採取したにもかかわらず年代が判明していない火山が多く存在する。なぜなら、詳細は割愛するが、その多くは噴出時の海水急冷により溶岩中の Ar 同位体比が海水 (= 大気) の Ar 同位体組成と平衡に達しないうちに冷え固まってしまい、測定同位体比が噴出年代を示さない例（過剰 Ar : McDougall & Harrison, 1988）や、急冷に伴う非晶質ガラスの形成が Ar–Ar 年代測定の妨げになる（Iwata & Kaneoka, 2000; Koppers et al., 2000）例があるからである。これらの噴出年代を決定するために、本研究ではそのような不確実性を排除出来るジルコン粒子の U–Pb 年代測定や急冷ガラス部のフィッシュントラック法を用いた年代測定を取り入れ、とくに Ar–Ar 年代測定が不得意とする若い年代（0~100 万年）の測定も行う。

引用文献：

Hirano (2011) Geochem. J., 45, 157–167.

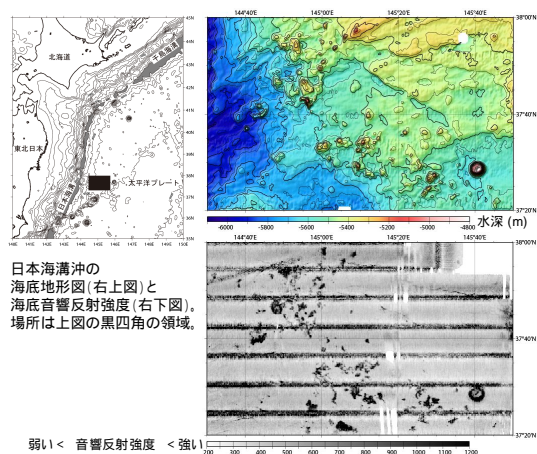
Iwata and Kaneoka (2000) Geochem. J., 34, 271–281.

Koppers et al. (2000) Chemical Geology, 166, 139–158.

McDougall and Harrison (1988) Oxford University Press, Oxford, 9, pp. 212.

4. 研究成果

東北地方太平洋沖地震後の海底音響探査データから地震前のプチスポット火山の分布の違いを検索した。「みらい」研究調査船の課題（2012年施行のMR11-08航海）で得られた音響測深データでは、海況不良により調査海域でのデータが多くは得られなかったものの、得られたデータからは、特に大きな変化は今のところ見出されていない。しかし音響測深データは日々蓄積されており、



2014 年 4 月に施行が決定した航海（YK14-05；上記左上図の黒色の海域の右上海底地形図と右下音響反射強度図）のデータも含めて、引き続き作業を進める。上記右下の音響反射図において、黒色の海底ほど溶岩の露出が予想される場所である。この航海では、「しんかい 6500」による全 9 潜航のうち、8 潜航において 10 のプチスポット火山から溶岩試料が採取された。本航海の第一報では、マンガンクラスト厚やパラゴナイト変質厚が薄く、溶岩の噴出からあまり時間経過が無い、ごく最近活動したと思われる火山の溶岩から、マンガンクラスト厚やパラゴナイト変質厚が非常に厚く、噴出後にある程度時間経過がある比較的古い火山まで、多様なプチスポット火山を確認した。これら岩石の分析や噴出年代は今後の成果を待ちたい。本結果と、上図右上図の地形から想定されるプレートの線形構造を踏まえて、プチスポット火山のリソスフェア内の上昇要因を解明していく予定である。

本研究で東北地方太平洋沖地震後の火山が発見出来ればその噴火時代は「2011 年」であ

るが、残念ながら今のところそのようなデータが見出されていないため、更に過去に活動した火山の噴火年代をより正確に求める作業を行った。

三陸沖日本海溝の海側、太平洋プレート上でのプチスポット火山の活動年代分布を詳細に求めるために、採取された溶岩の ArAr 年代測定および U-Pb 年代測定を行った。Hirano et al. (2001; 2006; 2008) で既に求められている噴出年代は、0~8.53 Ma の中で様々な噴出年代が報告されている。これらは、プレート移動速度に噴出年代を考慮すると、火山の場所を戻した噴出時の火山の位置が判明するが、それら位置は、全て海溝に平行なアウターライズ地形(地形の高まり)が始まる場所を示し、火山はいずれもアウターライズ屈曲の外側(凹屈曲側)に位置する。これは、少なくとも 920 万年前以降、プチスポット火山活動はプレート屈曲・破壊が生じる場所ではどこでも発生していたことを示す。

一方、今回新たに求められた ArAr 年代 (Machida, Hirano et al., 準備中) では、3.8、6.2、9.2 Ma が得られた。これは、北西太平洋に無数に散在するプチスポット海底火山が 9 百万年以上前にもさかのぼり、火山の発生頻度がまばらで、地理的な偏りも見られないという結論に収束する事を示し、定常的なプレートの屈曲による下部リソスフェア~アセノスフェアにかけてのメルトの集積・上昇が原因である可能性が更に高まった。更に、各サイトの溶岩の組成分類と地形配列および年代値に相関が盛られることが本研究期間終期に判明し、現在データのとりまとめを進めている。ArAr 年代測定は東京大学地殻化学実験施設、東京大学アイソトープ総合センター、東北大学金属材料研究所らの協力のもと、進められた。

一方、U-Pb 年代測定は、プチスポット火山が発見されている海域の中でも 0.05~1 Ma に活動したと予想されている火山がある最も沖合の東経 150 度付近の海域の岩石試料を中心に行った。この海域では噴出時の水冷破砕によって形成された火山ガラスが多いため、ArAr 年代測定に適さない岩石試料が多い。また最終的な年代値の決定には至っていないが、ArAr 年代測定を行った海溝側の海域の火山よりは、比較的若い年代であると予測される。これは、最近の分析装置の精度向上とレーザーによる試料抽出計の正確さの向上による貢献が非常に大きく、このような非常に若い噴出岩の放射年代測定が可能となったと言える。また、ジルコン粒子が一般的に少ないとされる玄武岩から粒子を得たことは、株式会社京都フィッシュントラックによる貢献が大きい。U-Pb 年代測定は、既述の京都フィッシュントラックおよび京都大学理学部の協力で行った。また、既に述べたように、研究海域の溶岩試料採取を目的とした調査航海は、2014 年 4 月に施行されることが決定したため本研究は継続する。

本成果は、2014 年 4 月末~5 月はじめにかけて行われる日本地球惑星科学連合の大会で発表(プチスポットの配列と海洋プレートの変形構造)を行い、2012 年にはプレート構造とマグマ上昇に関する国際学会での発表 (Mantle structure below the petit-spot) をイタリアで行った。この予稿は雑誌論文にも掲載されている。

また、本海域の内容ではないが、本研究と同じ手法を用いたチリ海溝沖のプチスポット火山に関して本研究の途中経過として学術論文 Hirano et al. (2013) “Petit-spot lava fields off the central Chile trench induced by plate flexure” を *Geochemical Journal* に発表し、他の海域についても学会発表を二件(日本地球惑星科学連合 2013 年大会: フレンチポリネシア海域の海底火山探索)(2012 年度 日本地球化学学会年会: チリ海溝のプチスポット火山)行っている。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 2 件)

Naoto Hirano, Shiki Machida, Natsue Abe, Tomoaki Morishita, Akihiro Tamura & Shoji Arai. Petit-spot lava fields off the central Chile trench induced by plate flexure. *Geochemical Journal*, vol. 47, p. 249-257, 2013. 査読あり

Naoto Hirano, Junji Yamamoto & Satoshi Okumura, Mantle structure below the petit-spot, *Mineralogical Magazine*, 77(5) 1302-1302, 2013. 査読なし

[学会発表](計 4 件)

平野直人, 中西正男, プチスポットの配列と海洋プレートの変形構造, 日本地球惑星科学連合 2014 年大会, SCG67-06, 2014 年 5 月 1 日, パシフィコ横浜, 横浜.
Naoto Hirano, Junji Yamamoto & Satoshi Okumura, Mantle structure below the petit-spot, 2013 Goldschmidt Conference, August 27, 2013, Florence, Italy.

平野直人, 中西正男, 阿部なつ江, 町田嗣樹, フレンチポリネシア海域の海底火山探索, 日本地球惑星科学連合 2013 年大会, 2013 年 5 月 22 日, 幕張メッセ, 千葉.
平野直人, 町田嗣樹, 阿部なつ江, 森下知晃, 田村明弘, 荒井章司, チリ海溝のプチスポット火山, 2012 年度日本地球化学学会年会, 2012 年 9 月 11 日, 九州大学箱崎キャンパス, 博多.

[図書](計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況(計 0 件)

○取得状況（計 0 件）

〔その他〕
該当なし

6 . 研究組織

(1)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

(2)研究分担者

なし()
研究者番号：

(3)連携研究者

なし()
研究者番号：