

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 3 日現在

機関番号：82706

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2012～2014

課題番号：24340136

研究課題名(和文)沈み込む太平洋プレートの岩石学的多様性と火山弧のレスポンス

研究課題名(英文)Geochemical variation in the subducting Pacific Plate and responses of the volcanic arc lavas

研究代表者

木村 純一(Kimura, Jun-ichi)

独立行政法人海洋研究開発機構・地球内部物質循環研究分野・分野長代理

研究者番号：30241730

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,100,000円

研究成果の概要(和文)：日本列島下に沈み込む太平洋プレートを構成する海洋地殻の42元素とSr-Nd-Nf-鉛同位体組成を測定し、沈み込む太平洋プレートの脱水・変成によって発生する流体組成のモデル計算を実施した。この流体がマントルに付加し発生する島弧マグマの組成を計算し、東北日本弧ならびに西南日本弧に噴出したマグマの組成を比較した。モデル計算で推定される物理条件と観測の間の整合を確認し、島弧マグマの複雑な生成条件を明らかにすることに成功した。この結果から東北日本と西南日本のマグマの成因が、基本的に沈み込む海洋プレートの温度に依存し、この2地域で化学組成の全く異なる島弧マグマ群が発生していることが明らかになった。

研究成果の概要(英文)：The Principal Investigator (PI) has measured 42 elements and Sr-Nd-Hf-Pb isotope compositions of the Pacific Plate materials subducting beneath the Japanese Islands. Using the data, PI has calculated compositions the fluids released from the Pacific Plate beneath Japan island arcs using a geochemical/petrological mass balance model. The released fluids were added to the mantle beneath the arcs and generated magmas; the same model also calculated these magma compositions. The observed compositions of magmas erupted on the NE and SW Japan arcs were compared with the calculated magma compositions. The geophysical parameters that control the magma compositions were also examined. The model successfully reproduced the observed magma compositions with reasonable geophysical parameters from geophysical observations. These studies finally revealed that the Plate temperature principally controls magma composition and magma production rate.

研究分野：岩石学・地球化学・火山学

キーワード：化学組成 同位体組成 沈み込み 太平洋プレート 島弧火山岩

## 1. 研究開始当初の背景

代表研究者はこれまで西太平洋の島弧沈み込み帯(クリル弧・東北日本弧・伊豆-マリアナ弧・西南日本弧・スンダ弧など)の島弧火山岩の岩石学的・地球化学的研究を進めてきた。これらの研究は、島弧マグマの成因を解明するため、地殻との混染作用・結晶分化作用の影響を考慮したうえで、沈み込むプレートやマントルウェッジの組成がどのようにマグマ組成に反映するかを検討したものである。この過程で島弧マグマを生成するためのスラブ脱水・融解作用と、スラブフラックスの付加をともなうマントルウェッジの融解作用を考慮した島弧マグマ生成マスバランスモデル(Arc Basalt Simulator ver.2 (ABS2), ver.3 (ABS3))を開発した。ABS3はかなりの程度的確に島弧マグマの特性を再現する数値モデルである。しかしモデルに用いる沈み込み物質(変質海洋玄武岩や堆積物など)の特性は、日本列島周辺では2-3の海洋掘削コアをのぞいて、必ずしもよく判っていない。その一方、これまで同位体組成からみて太平洋型マントルから形成された海洋地殻玄武岩と考えられていた太平洋プレートの一部には、インド洋型マントルに類似した起源物質があることが判ってきた。また、太平洋プレート上にある白亜紀海山もまた、インド洋型マントルに起因するマグマであることが判っている。すなわち、日本列島、とくに東北日本弧から伊豆-マリアナ弧に沈み込む太平洋プレート海洋地殻玄武岩の化学組成はこれまで考えられてきたように均質ではなく、全地球規模の同位体組成幅に匹敵する組成幅がある可能性がある。沈み込む太平洋プレート、とくに変質海底玄武岩と白亜紀海山の化学組成を測定し、それらのリサイクル物質である第四紀玄武岩マグマの組成と比較する事により、沈み込む海洋プレート物質がマグマ生成にどう関与しているかを明らかにすることが出来る。さらにABS3モデルによるマスバランス計算を用いて関与のメカニズムを定量的に検討することが出来る。

## 2. 研究の目的

東北本州弧に沈み込む太平洋プレートの海洋底玄武岩・白亜紀海山・堆積物の地球化学的特徴を明らかにし、それらが東北本州弧の第四紀マグマ組成に与える影響を調べる。それによって沈み込むプレート物質が島弧マグマの生成にどのように関与するかを明らかにする。そのため、沈み込むプレート物質試料の主成分元素・微量元素、Sr-Nd-Hf-Pb同位体分析を実施し、数値的マスバランスモデル(Arc Basalt Simulator モデル)を適用して第四紀マグマへの寄与を定量的に把握する。

## 3. 研究の方法

北西太平洋の海洋掘削試料・海山試料の岩石記載・全岩主成分・微量元素・同位体組成分析を行う。分析結果をもとに(1)東北本州弧に沈み込む太平洋プレートの化学組成マップを作成する。東北本州弧の第四紀火山岩データベースをもとに、(2)沈み込み物質の空間分布とマグマアウトプットの空間的な対応を検討する。さらに対応する物質をもちいた物質循環シミュレーション計算を行い、(3)沈み込み帯の定量的マスバランスモデルを検証する。具体的には、下記の研究を実施する。

沈み込む海洋地殻変質玄武岩・白亜紀海山・堆積物の主成分元素・微量元素・Sr-Nd-Hf-Pb同位体組成を分析し、西太平洋地域の太平洋プレートの地球化学的特性とその組成空間分布を明らかにする。

の分析結果、東北本州弧の第四紀火山岩の分析結果を用いてABS3モデルで変質海洋地殻玄武岩の島弧マグマへの寄与率を定量解析する。

島弧の数値マスバランスモデルをもとに島弧下の物質収支を検討する。

島弧マスバランスモデルABS4を改良し、より高精度のモデルを構築する。

## 4. 研究成果

日本列島下に沈み込む、太平洋プレートを構成する海洋地殻玄武岩51試料の主成分・微量元素42種の組成と、ストロンチウム-ネオジミウム-ハフニウム-鉛同位体組成を測定し、海洋地殻の地球化学的特徴を明らかにした。

分析した化学組成および沈み込む海洋堆積物の化学組成(既存データ)を用い、ABS3モデルを改良したABS4モデルにより沈み込む海洋プレートスラブの脱水・変成過程における鉱物組成や岩石組成の化学変化のモデル計算を実施した。その結果として、スラブから生成する海洋プレートスラブ流体の化学組成を予想した。

このスラブ流体が海洋プレート上にあるマントルに付加し発生する島弧マグマの化学組成についてABS4モデルを用いて計算した。この仮想的マグマの組成と東北日本弧ならびに西南日本弧に噴出した実際の島弧マグマの組成の既存データとを比較した。この計算過程で、使用される海洋プレートの温度、スラブ流体のマントルへの付加量、マントルの融解温度と融解深度、その融解度を変化させ、いかなる条件でモデル計算によってえられるマグマの組成が実際に観測される島弧マグマの組成と一致するかを検討した。

その結果、これまで考えられていたマントルや海洋プレートスラブの温度条件の範囲内で、実際に観測されるマグマの組成が生成しうることを明らかにした。さらに、地震学

的観測に基づくスラブやマントルを構成する岩石の地震波速度と、岩石学的モデルによって計算された地震波速度とを比較し、地球物理学的観測量と、モデルによる推定量が一致する事を確認した。

以上の検討を元にして、42 元素および 4 同位体の元素バランスを用いて、モデルと観測物理量の間での整合性をとり、島弧マグマの複雑な生成条件を明らかにすることに成功した。この結果をもとに東北日本弧と西南日本弧のマグマの成因を比較検討し、それらは基本的には沈み込む海洋プレートの温度や速度に依存し、2つの地域で化学組成の全く異なる島弧マグマが発生していることが明らかになった。これまで知られていた2つの島弧のマグマ組成の違いについて、成因から合理的に説明することに成功した。

上記の研究成果は、すべて著名国際誌に公表した。また、これまで進めてきた研究を元にして、同様の研究を日本列島周辺のクリル弧、カムチャッカ半島、小笠原弧、日本海玄武岩、中国東部玄武岩などに共同研究として展開し、島弧間で異なるマグマ組成の成因の比較を実施し、それらの成果も著名国際誌に公表した。

この研究の過程でマスバランスモデル ABS3 を改良し、ABS4 モデルとして成果論文に公表した。それと同時に、岩石の分析手法の改良を実施し、Sr, Nd, Pb 同位体の局所分析法、および、マルチコレクター質量分析計を用いた気化法 Os 同位体測定法の新分析手法を開発して、著名国際誌に公表した。

## 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 28 件)

1. Hirahara Y., Kimura J.-I., Senda R., Miyazaki T., Hiroshi K., Takahashi T., Chang Q., Vaglarov S.B., Sato T., Kodaira S. (2015) Geochemical variations in the Japan Sea back-arc basin basalts formed by high-temperature adiabatic melting of a hydrous mantle metasomatized by sediment subduction components. *Geochemistry Geophysics Geosystems*, DOI: 10.1002/2015GC005720. (査読有り)
2. Martynov A.Y, Martynov Y.A., Rybin, A.V., and Kimura J.-I. (2015) Role of back-arc tectonics in the origin of subduction magmas: new Sr, Nd, and Pb isotope data from Middle

Miocene lavas of Kunashir Island (Kurile Island Arc). *Russian Geology and Geophysics*, 56. 363–378,

DOI: 10.1016/j.rgg.2015.02.001. (査読有り)

3. Saita H., Nakajima J., Shiina, T., and Kimura J.-I. (2015) Slab-derived fluids, fore-arc hydration, and sub-arc magmatism beneath Kyushu, Japan. *Geophysical Research Letter*. 42, 1685–1693, DOI:10.1002/2015GL063084. (査読有り)
4. Kimura J.-I. and Kawabata H. (2015) Ocean Basalt Simulator version 1 (OBS1): Trace element mass balance in adiabatic melting of a pyroxenite-bearing peridotite. *Geochemistry Geophysics Geosystems*, 16, DOI:10.1002/2014GC005606. (査読有り)
5. Chang Q., Kimura J.-I., and Vaglarov S.B. (2015) In situ Sr isotope measurement of small glass samples using multiple-Faraday collector inductively coupled plasma mass spectrometry with 1012Ω resistor high gain Faraday amplifiers. *Journal of Analytical Atomic Spectrometry*. 30, 515-524, DOI: 10.1039/C4JA00297K. (査読有り)
6. Kimura J.-I. and Kawabata H. (2014) Trace element mass balance in hydrous adiabatic mantle melting: Hydrous Adiabatic Mantle Melting Simulator version 1 (HAMMS1) model. *Geochemistry Geophysics Geosystems*, 15, 2467-2493, DOI: 10.1002/2014GC005333. (査読有り)
7. Kimura J.-I. and Nakajima J. (2014) Behaviour of subducted water and its role on the arc magma genesis in the NE Japan arc: A combined geophysical and geochemical approach. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 143, 165-188, DOI: 10.1016/j.gca.2014.04.019. (査読有り)

8. [Kimura J.-I.](#), Nozaki T., Senda R. and Suzuki K. (2014) Precise determination of Os isotope ratios in 15–4000 pg range using a sparging method using enhanced-sensitivity multiple Faraday collector–inductively coupled plasma–mass spectrometry. *Journal of Analytical Atomic Spectrometry*. DOI: 10.1039/C4JA00092G. ( 査読有り )
9. [Kimura J.-I.](#) and Ariskin A. (2014) Calculation of water bearing primary basalt and estimation of source mantle conditions beneath arcs: PRIMACALC version 2 (PRIMACALC2) model for WINDOWS. *Geochemistry Geophysics Geosystems*. 15, 1494–1514, DOI: 10.1002/2014GC005329. ( 査読有り )
10. Zellmer G.F., Hwang S.-L., Sakamoto N., Iizuka Y., Harada S., [Kimura J.-I.](#), Tamura Y., Yurimoto H. (2014) Interaction of arc magmas with subvolcanic hydrothermal systems: insights from compositions and metasomatic textures of olivine crystals in fresh basalts of Daisen and Mengameyama, Western Honshu, Japan. *Geological Society London Special Publications*, 410, DOI: org/10.1144/SP410.3. ( 査読有り )
11. [Kimura J.-I.](#), Gill, J.B., Kunikiyo T., Osaka I., Shimoshioiri Y., Katakuse M., Kakubuchi S., Nagao T., Furuyama K., Kamei A., Nakajima J., van Keken, P.E., and Stern R.J. (2014) Diverse magmatic effects of subducting a hot slab in SW Japan: results from forward modeling. *Geochemistry Geophysics Geosystems*, 15, 691–739, DOI:10.1002/2013GC005132. ( 査読有り )
12. Kuritani T., Yoshida T., [Kimura J.-I.](#), Takahashi T., Hirahara Y., Miyazaki T., Senda R., Chang Q., and Ito Y. (2014) Primary melt from Sannome-gata volcano, NE Japan arc: constraints on generation conditions of rear-arc magmas. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 167, DOI: 10.1007/s00410-014-0969-7. ( 査読有り )
13. Sakuyama T., Nagaoka S., Miyazaki T., Chang Q., Takahashi T., Hirahara Y., Senda R., Itaya T., [Kimura J.-I.](#), and Ozawa K. (2014) Melting of the uppermost metasomatized asthenosphere triggered by fluid fluxing from ancient subducted sediment: Constraints from the Quaternary basalt lavas at Chugaryeong volcano, Korea. *Journal of Petrology*, 55, 499-528, DOI:10.1093/petrology/egt074. ( 査読有り )
14. Sakuyama T., Tian W., [Kimura J.-I.](#), Fukao Y., Hirahara Y., Takahashi T., Senda R., Chang Q., Miyazaki T., Obayashi M., Kawabata H., and Tatsumi Y. (2014) Melting of a stagnant slab in the mantle transition zone: Constraints from Cenozoic alkaline basalts in eastern China. *Chemical Geology*. DOI: 10.1016/j.chemgeo.2013.09.012. ( 査読有り )
15. Yoshida T., [Kimura J.-I.](#), Yamada R., Acocella, V., Sato H., Zhao D., Nakajima J., Hasegawa, A., Okada, T., Honda, S., Ishikawa M., Prima O.D.A., Kudo T., Shibasaki B., Tanaka A. and Imaizumi T. (2014) Evolution of Late Cenozoic Magmatism and the Crust-Mantle structure in the NE Japan Arc. Gómez-Tuena, A., Straub, S.M. & Zellmer, G. F. (eds.). *Orogenic Andesites and Crustal Growth*, Geological Society London Special Publications, 385, 335-387, DOI: 10.1144/SP385.15. ( 査読有り )
16. Kuritani T., Yoshida T., [Kimura J.-I.](#), Hirahara Y., Takahashi T. (2014) Water content of primitive low-K tholeiitic basalt magma from IwateVolcano, NE Japan Arc:

- implications for differentiation mechanism of frontal-arc basalt magmas. *Mineralogy and Petrology*, 108, 1-11,  
DOI: 10.1007/s00710-013-0278-2. ( 査読有り )
17. Almeev R., Holtz F., Ariskin A., and Kimura J.-I. (2013) Storage conditions of Bezymianny Volcano parental magmas: Results of phase equilibria experiments at 100 and 700 MPa. *Contributions of Mineralogy and Petrology*, 166, 1389-1414,  
DOI:10.1007/s00410-013-0934-x. ( 査読有り )
18. Kimura J.-I., Kawabata H., Chang Q., Miyazaki T., and Hanyu T. (2013) Pb isotope analyses of silicate rocks and minerals with Faraday detectors using enhanced-sensitivity laser ablation-multiple collector-inductively coupled plasma mass spectrometry. *Geochemical Journal*, 47, 369-384. ( 査読有り )
19. Kimura J.-I., Chang Q., and Kawabata H. (2013) Standard-less determination of Nd isotope ratios in glasses and minerals using laser-ablation multiple-collector inductively coupled plasma mass spectrometry with a low-oxide molecular yield interface setup. *Journal of Analytical Atomic Spectrometry*. 28, 1522-1529, DOI:10.1039/C3JA50109D. ( 査読有り )
20. Kimura J.-I., Takahashi T. and Chang Q. (2013) A new analytical bias correction for in-situ Sr isotope analysis of plagioclase crystals using laser ablation-multiple collector-inductively coupled plasma-mass spectrometry. *Journal of Analytical Atomic Spectrometry*. 28, 945-957,  
DOI:10.1039/C3JA30329B. ( 査読有り )
21. Li Y.-B., Kimura J.-I., Machida S., Ishii T., Ishiwatari A., Maruyama S., Qiu H.-N., Ishikawa T., Kato Y., Haraguchi S., Takahata N., Miyazaki T. and Hirahara Y. (2013) High Mg adakite and low Ca boninite from the Bonin forearc seamount: Implication for the reaction between the slab melt and depleted mantle. *Journal of Petrology*. 54, 1149-1175,  
DOI:10.1093/ptrology/egt008. ( 査読有り )
22. Almeev R., Ariskin A., Kimura J.-I., Barmina G.S. (2013) The role of polybaric crystallization in genesis of andesitic magmas: phase equilibria simulations of Bezymianny volcanic subseries. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 263, 182-192,  
DOI: 10.1016/j.jvolgeores.2013.01.004. ( 査読有り )
23. Almeev R., Kimura J.-I., Ariskin A., and Ozerov A. (2013) Decoding crystal fractionation in water-rich calc-alkaline magma from Bezymianny volcano, Kamchatka, Russia, using mineral and bulk rock chemistry. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 263, 141-171,  
DOI: 10.1016/j.jvolgeores.2013.01.003. ( 査読有り )
24. Kuritani T., Kimura J.-I., Ohtani E., Miyamoto H., and Furuyama K. (2013) Transition zone origin of potassic basalts from Wudalianchi volcano, northeast China. *Lithos*, 156-159, 1-12,  
DOI:org/10.1016/j.lithos.2012.10.010. ( 査読有り )
25. Takahashi T., Hirahara Y., Miyazaki T., Senda R., Chang Q., Kimura J.-I., and Tatsumi Y. (2012) Primary magmas at the volcanic front of NE Japan arc: Coeval eruption of crustal low-K tholeiitic and mantle-derived medium-K calc-alkaline basalts at Azuma volcano. *Journal of Petrology*, 54, 103-148,

- DOI:10.1093/petrology/egs065. ( 査読有り )
26. Kimura J.-I. and Sano S. (2012) Reactive melt flow as the origin of residual mantle lithologies and basalt chemistries in mid-ocean ridges: Implications from the Red Hills peridotite, New Zealand. *Journal of Petrology*, 53, 1637-1671, DOI:10.1093/petrology/egs028. ( 査読有り )
  27. Kimura J.-I., Tani K. and Chang Q. (2012) Determination of Hf isotope ratios in zircon crystal using an ultraviolet laser ablation desolvating nebulizer dual sample introduction multiple-collector inductively coupled plasma mass spectrometry. *Geochemical Journal*, 46, 1-12. ( 査読有り )
  28. Martynov A.Y., Kimura J.-I., Martynov Y.A., Katakuse M., Rybin, A.V. (2012) Indian MORB-type mantle beneath the Kuril Island arc: Isotopic investigation of the mafic lavas of Kunashir Island. *Petrology*, 20, 102-110. ( 査読有り )

[ 学会発表 ] ( 計 7 件 )

1. Kimura J.-I. Ocean Basalt Simulator version 1 (OBS1): Trace element mass balance in adiabatic melting of pyroxenite-bearing peridotite. AGU Fall Meeting, December 17, 2014, San Francisco, USA.
2. Kimura J.-I. and Gill J.B. Diverse magmatic effects of subducting a hot slab in SW Japan: results from forward modeling. 日本地球惑星科学連合2014年大会, 2014年4月29日, パシフィコ横浜, 神奈川県横浜市.
3. Kimura J.-I., and Kawabata H. Trace element mass balance in hydrous adiabatic mantle melting: The HAMMS1 model. 日本地球惑星科学連合2014年大会, 2014年4月28日, パシフィコ横浜, 神奈川県横浜市.
4. Kimura J.-I., Chang, Q., Takahashi, T., Kawabata H. Standardless determination of Nd and Sr isotope ratios in geological samples using LA-MC-ICP-MS with a low-oxide molecular yield interface setup. AGU Fall Meeting, December 13, 2013, San Francisco, USA.
5. Kimura J.-I. and Nakajima J. Behavior of subducted water and its role on the arc magma genesis in the NE Japan arc: A combined geophysical and geochemical approach. 国際火山学地球内部化学協会 2013年学術総会 ( IAVCEI 2013 ), 2013年7月20日, かがしま県民交流センター, 鹿児島県鹿児島市.
6. Kimura J.-I., Hirahara Y., Takahashi T., Miyazaki T., Senda R., and Chang Q. Sea floor basalts of the Japan Sea back-arc basin revisited: Upwelling and melting of hydrous mantle and slab sediment during sea floor spreading. 日本地球惑星科学連合2013年大会, 2013年5月21日, 幕張メッセ, 千葉県千葉市.
7. Kimura J.-I. Reactive Melt Flow as the Origin of Residual Mantle Lithologies and Basalt Chemistries in Mid-Ocean Ridges. 日本地球惑星科学連合2012年大会, 2012年5月24日, 幕張メッセ, 千葉県千葉市.

## 6 . 研究組織

### (1) 研究代表者

木村 純一 ( Kimura, Jun-Ichi )  
独立行政法人海洋研究開発機構・地球内部物質循環研究分野・分野長代理  
研究者番号 : 30241730