

機関番号：13301

研究種目：基盤研究 (C)

研究期間：2008～2010

課題番号：20549003

研究課題名 (和文) プレート収束域のダイヤモンド探索へ向けた岩石学

研究課題名 (英文) Petrological study for finding of diamond in convergent plate margins

研究代表者

水上 知行 (MIZUKAMI TOMOYUKI)

金沢大学・自然システム学系・助教

研究者番号：80396811

研究成果の概要 (和文)：

日本で初めての天然ダイヤモンドの実態を理解するため、産地の地殻やマントル由来の捕獲岩を用いて、起源マグマと熱・物質構造の観点から岩石学的な研究を行った。その結果、(1) 多量のマグマ生成によるマントルの枯渇と上方へのマグマ供給、(2) シリカに富む流体もしくはメルトによるマントルメタソマティズム、(3) 深部由来のアルカリ火山岩マグマとマントルの反応を通じた斑れいノーライトの形成、という複数のマグマ活動が認識でき、西南日本のリソスフェアの構成が大きく変化してきた事実が明らかとなった。(3)は、西南日本全域のアルカリ玄武岩活動と関連づけられる。このマグマの起源深度の解明が日本の天然ダイヤモンドの成因への制約となるだろう。

研究成果の概要 (英文)：

In order to understand a petrological background for the natural diamond from Japan I carried out a petrological study of the mantle and crustal xenoliths in the Shingu alkaline basaltic dike. The results suggest the following magmatic events: (1) high degree of partial melting of mantle and production of a large amount of magma, and subsequent melt transport through veins; (2) mantle metasomatism probably by iron-rich melt; (3) formation of gabbro-norite through interaction between mantle and undersaturated alkaline magmas that have caused at depths. These magmatic activities have significant contributions to the thermal and lithological structures just before the subduction of Philippine Sea plate. Although there is no petrological signature found in the xenoliths for diamond-stable high-pressure conditions, the host alkali basaltic magma with significant amount of CO₂ might be such a high pressure origin.

交付決定額

(金額単位：円)

| | 直接経費 | 間接経費 | 合計 |
|--------|-----------|---------|-----------|
| 2008年度 | 2,500,000 | 0 | 2,500,000 |
| 2009年度 | 600,000 | 180,000 | 780,000 |
| 2010年度 | 400,000 | 120,000 | 520,000 |
| 年度 | | | |
| 年度 | | | |
| 総計 | 3,500,000 | 300,000 | 3,800,000 |

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：地球惑星科学 ・ 岩石・鉱物・鉱床学

キーワード：地殻・マントル物質、岩石・鉱物・鉱床学、テクトニクス

1. 研究開始当初の背景

四国新宮地域の単斜輝石岩捕獲岩中に二酸化炭素の流体包有物に伴って微少な天然ダイヤモンドが発見された(Mizukami et al., 2008)。沈み込み帯のダイヤモンド産出は、従来考えられていたよりも深い起源を持つマグマ活動の存在を示唆する。地殻、マントル捕獲岩はマグマプロセスの情報を読み取る有用な物質である。新宮地域の捕獲岩の岩石学的記載はGoto and Arai (1987)によってなされているが、輝石の微量元素組成について地球化学的な検討はなされていなかった。また、地殻由来の捕獲岩については、西南日本全体を見ても、鉱物化学組成等の基礎データの報告が非常に少ない。上記のダイヤモンドを含むような深部成分について実体を明らかにするため、より詳細な岩石学および地球化学的研究が必要となった。

ラマン二酸化炭素密度計の提案がなされ、岩石の起源深度を見積もる新たな手法として期待されたが、測定における系統誤差や上昇過程での密度変化に関して検討すべき点があった。

2. 研究の目的

本研究は、西南日本の玄武岩中の捕獲岩に発見されたダイヤモンドから示唆されるマントル上昇流の実体解明を目標とするものである。ダイヤモンド産地のマントル、地殻捕獲岩の岩石学的研究から、島弧リソスフェアを構成する通常の岩石成分(浅部成分)と深部に由来する岩石成分を識別できるか否かを課題としている。また、他の地域へ発展させ、西南日本全域の島弧リソスフェア形成史を論ずる。

顕微ラマン分光法を用いたダイヤモンド探索は非常に効率が悪く、面的な同時分析の技術開発を待たねばならない。その前段階として、岩石学および地球化学のデータから深部由来の岩石成分を認識するのが本研究の狙いである。

3. 研究の方法

愛媛県四国中央市新宮地域の三波川帯変成岩に貫入するアルカリ玄武岩に内包される地殻深部およびマントル由来の捕獲岩を採取し、試料の岩石薄片の顕微鏡観察を行なって、鉱物の量比および組織から岩石の種類を区分した。それぞれのグループについて、金沢大学設置のマイクロプローブ(EPMA)を用いて全構成鉱物の化学組成を測定した。さらに、マントル捕獲岩、地殻捕獲岩の単斜輝石、斜方輝石、斜長石について、レーザーア

ブレーション ICP 質量分析システム(金沢大学設置)による希土類元素等の微量元素組成の測定を行った。鉱物化学組成の基づく地質温度計および斜長石とスピネルの共存関係から岩石の形成温度及び圧力を推定した。また、ラマン分光法を用いた二酸化炭素流体包有物の密度測定の高精度補正方法を検討し、圧力の指標とした。これらの手法を組み合わせ、新宮の玄武岩活動年代(1800 万年前)における大陸縁の岩石構造および地温勾配を推定した。さらに、輝石の微量元素組成について、同化-分別結晶作用モデルを適用し、マントル物質との反応によるマグマ組成の変化や結晶分化作用について検討した。

4. 研究成果

(1) ラマン二酸化炭素密度計の標準試料

天然の二酸化炭素(液体)包有物のラマンフェルミ分裂ピーク位置の標準値を与えて標準試料とし、系統誤差の補正を行なった結果、波数 0.05cm^{-1} 以下の精確さが実現できるようになった。圧力にして 0.5kbar の誤差に相当し、ラマン密度計が地質学的に応用可能であることを示した。

(2) 四国下リソスフェアの岩石構造

新宮玄武岩中の捕獲岩の岩石種は大きく、斑れい岩、ダナイト-ウェールライト(D-W)、ハルツバージャイト-レールズライト(H-L)に区分される。そのうち斑れい岩質の岩石について新たに3種類のグループが識別できた。角閃石を含み変成岩の性質を帯びる斑れい岩(タイプA)、黒色単斜輝石と斜長石からなる斑れい岩(タイプB)に加えて、斜方輝石を含む斑れいノーライト(C)が主成分の一つとして見つかった。

輝石温度計や角閃石-斜長石温度計による推定温度は、斑れい岩、ダナイト、ハルツバージャイト-レールズライトの順に上昇するため、斑れい岩質の地殻とH-Lからなるマントルの間にダナイトを中心とした層が存在する構造が推定される。ダナイトには斑れい岩質の脈を含むのが一般的で、斜長石とスピネルの共存から約 0.8GPa の圧力が推定される。これは深さ 25km に相当し、島弧のモホ面付近を構成する岩石と考えて矛盾ない。岩石組織は強く再結晶しており、スピネルの組成はA1に富み、マントルのH-Lとは明瞭な違いを示す。

(3) マグマ活動の痕跡

上記のマントル、ダナイト層、地殻のそれぞれの層でマグマ活動の痕跡を調べ、鉱物化学組成、微量元素組成に基づき、共通のイベントを抽出した。その結果、2度のマグマ活動と両者の間に起こったマントルメタソマ

ティズムの3つのイベントで大部分の岩石の特徴が説明できるという結論を得た。これらに先行するリソスフェア構造として、中位にダナイト層が存在した事実も本研究から導かれる。

最初のマグマ形成は高い部分溶融度(20%)のマン틀を形成した。これに対してダナイトの鉱物化学組成は低溶融度のマン틀に由来するマグマと調和的であり、このマグマ活動初期に形成されたか、マグマ活動に先行する構造の一部をなしていた可能性が強い。このダナイト中にネットワーク状に形成される斑レイ岩質脈は多様な組成を示すが、最大で20%程度の部分溶融により生じうる。脈と母岩のダナイトの間でFe-Mg交換が十分に行われており、古いステージのマグマ活動であることが分かる。

タイプBの斑れい岩が、捕獲岩を地表付近へもたらしたアルカリ玄武岩活動と関連づけられることは先行研究から示されている。今回見出されたタイプCの斑れいノーライトはマン틀に相当する平衡温度を示し、輝石の離溶を還元すると、1200°Cを超える高温が見積もられ、マン틀深度での比較的若いマグマ活動の産物であることが読み取れる。地球化学組成のモデル計算から、斑れいノーライトを形成したマグマは、タイプB斑れい岩の起源となるアルカリ玄武岩質マグマがマン틀と反応して形成されうることを示した。この結果は、西南日本のアルカリ玄武岩の一群がプリューム成分に MORB 成分が付加された組成を示す事実をうまく説明しており、マン틀において斜方輝石を減少させる大規模な反応が起こっていることを示唆する。

新宮下のマン틀H-Lは通常のマン틀に比べてFeに富む組成を有する。本研究により、その組成変化を生じたメタソマティズムが、上記のマグマ活動とは異なるステージとして認識できることが明らかになった。このような組成変化に対応するマグマ活動の痕跡が地殻由来の岩石に認められないことから、マグマ活動の静穏期における流体活動によるメタソマティズムの可能性が示唆される。

新宮捕獲岩に見られるアルカリ玄武岩マグマ活動の記録は、日本海側で1000万年前以降に活性化したアルカリ玄武岩の端緒が四国北部にあったことを示唆する。大陸プレート境界付近から日本海側への活動位置の移動は、島弧のリソスフェアの発達過程を理解する上で重要な制約となる。新宮玄武岩が活動した1800万年前は日本海が比較的ゆっくりと広がりつつある時期で、フィリピン海プレート沈み込みの直前に当たる。部に由来するマグマによる大陸リソスフェアの過熱が、プレート沈み込みに伴う高Mg安山岩形

成に寄与した可能性がある。

(4) ダイヤモンド産出との関連性

本研究で調査した限り、ざくろ石との共存など深部由来を直接示唆する岩石学的特徴を持つ捕獲岩は見つからなかった。一方で、二酸化炭素を含むシリカに不飽和なアルカリ玄武岩質マグマがマン틀深度で広範囲に影響を及ぼした事実は明らかとなった。このマグマの形成場がダイヤモンド安定条件に合ったか否かは興味深い問題である。初生マグマの化学組成を注意深く検討し、二酸化炭素を含む系におけるマン틀溶融実験との対比から起源を特定することが次なる課題として挙げられる。

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 7件)

- ① Miura, M., Arai, S. and Mizukami, T. (2011) Raman spectroscopy of hydrous inclusions in olivine and orthopyroxene in ophiolitic barzburgite: Implications for elementary processes in serpentinization. *Journal of Mineralogical and Petrological Sciences*, **106**, 91-96.
- ② Harigane, Y., Mizukami, T., Morishita, T., Michibayashi, K., Abe, N. and Hirano, N. (2011) Direct evidence for upper mantle structure in the NW Pacific Plate: Microstructural analysis of a petit-spot peridotite xenolith. *Earth and Planetary Science Letters*, **302**, 194-202.
- ③ Aoya, M., Kouketsu, Y., Endo, S., Shimizu, H., Mizukami, T., Nakamura, D. and Wallis, S. (2010) Extending the applicability of the Raman carbonaceous-material geothermometer using data from contact metamorphic rocks. *Journal of Metamorphic Geology*, **28**, 895-914.
- ④ Sumino, H., Burgess, R., Holland, G., Mizukami, T., Wallis, S. and Ballentine, C. J. (2010) Seawater-derived noble gases and halogens preserved in exhumed mantle wedge peridotite. *Earth and Planetary Science Letters*, **294**, 163-172.
- ⑤ Kouketsu, Y., Enami, M. and Mizukami, T. (2010) Omphacite-bearing metapelite from the Besshi region, Sambagawa metamorphic belt, Japan:

Prograde eclogite facies metamorphism recorded in metasediment. *Journal of Mineralogical and Petrological Sciences*, **105**, 9-19.

- ⑥ Hattori, K., Wallis, S., Enami, M. and Mizukami, T. (2010) Subduction of mantle wedge peridotites: Evidence from the Higashi-akaishi ultramafic body in the Sanbagawa metamorphic belt. *Island Arc*, **19**, 192-207.
- ⑦ Aoya, M., Mizukami, T., Uehara, S. and Wallis, S. (2009) High-P metamorphism, pattern of induced flow in the mantle wedge, and the link with plutonism in paired metamorphic belts. *Terra Nova*, **21**, 67-73.

[学会発表] (計 9件)

- ① 野口 渉・水上 知行 (2010) 愛媛県新宮に産する斜長石を含むかんらん岩捕獲岩の岩石学的研究. 日本地質学会 2010 年大会 2010 年 9 月 18 日. 於富山大学(富山県).
- ② 服部 達也・水上 知行・荒井 章司・田村 明弘 (2010) 三波川帯東赤石かんらん岩体のかんらん石-単斜輝石集積岩の起源 magma. 日本地質学会 2010 年大会. 2010 年 9 月 18 日. 於富山大学(富山県).
- ③ Mizukami, T., Wallis, S., Hattori, K. and Enami, M., Higashi- akaishi peridotite body from a hanging wall of an oceanic subduction zone at the east Eurasian margin. Goldschmidt2010 (Geochemistry Conference) 2010 年 6 月 16 日. 於 Knoxville Convention Center (USA)
- ④ Hattori, T. and Mizukami, T. (2010) Compositional layering of the Higashi-akaishi peridotite body in Sanbagawa belt: A record of fractionational crystallization. 日本地球惑星科学連合大会 2010. 2010 年 5 月 26 日. 於幕張メッセ (千葉県)
- ⑤ Mizukami, T. (2010) Pressure estimation using Raman CO₂ densimeter. 日本地球惑星科学連合大会 2010. 2010 年 5 月 25 日. 幕張メッセ (千葉県)
- ⑥ 水上 知行 (2009) 四国新宮地域に産する地殻-マントル捕獲岩から読み取るユーラシア大陸東縁の熱構造. 日本地質学会 2009 年会. 2009 年 9 月 4 日. 於岡山理科大学(岡山県).
- ⑦ 水上 知行・鍵 裕之・Simon Wallis・福良 哲史 (2009) クリソタイル O-H 結合の収縮挙動: ラマン分光による高压下その場観察. 日本惑星地球科学連合 2009 年会. 2009 年 5 月 16 日. 於幕張メッセ (千葉県)
- ⑧ 水上 知行・榎並 正樹・毛利 崇・ウォリス=サイモン (2008) 三波川帯東赤石岩体周辺のザクロ石中石英包有物の残留歪み. 日本鉱物科学会 2008 年会. 2008 年 9 月 20 日. 於秋田大学(秋田県).
- ⑨ 水上 知行, 荒川 雅, 山本 順司, 鍵 裕之, 榎並正樹, 川本竜彦, 小林記之, 平島崇男, 中野信彦, 小山内 康人, 石橋秀巳, M. Satish-Kumar (2008) ラマン密度計のための二酸化炭素標準試料. 2008 年 5 月 25 日. 幕張メッセ (千葉県)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

水上 知行 (MIZUKAMI TOMOYUKI)
金沢大学・自然システム学系・助教
研究者番号: 80396811

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし