

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 5月18日現在

機関番号：15301

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2008～2011

課題番号：20540451

研究課題名（和文） 西南日本外帯蛇紋岩体の変形—磁性—年代解析による間欠貫入の検証

研究課題名（英文） Preliminary verification study on textural and magnetic development of serpentinites for intermittent diapirs in southwestern Japan

研究代表者

芳野 はるか（山口はるか（YOSHINO HARUKA）

岡山大学・地球物質科学研究センター・客員研究員

研究者番号：80359207

研究成果の概要（和文）：本研究の目的は、西南日本外帯に間欠分布する地磁気ダイポール異常の成因を、蛇紋岩ダイアピルの同時貫入によるとする仮説の検証である。このため、地磁気異常を示す蛇紋岩について変形-磁性-年代解析を行ない、形成過程を考察した。その結果、年代測定試料の発見には至らなかったが、4地域で2段階の蛇紋岩化過程と類似した磁化特性が明らかとなった。後期の蛇紋岩化過程は、いずれも変形を伴い一部で温度降下が示唆されたことから、上昇過程に相当すると考えられる。

研究成果の概要（英文）：Preliminary study on tectonomagnetic evolution of serpentinites in southwestern Japan was carried out to verify the hypothesis of fossil serpentine diapirs indicated from a series of dipole magnetic anomalies. Structural and magnetic study in field to microscopic scale revealed two stage serpentinitization accompanied by similar magnetic property within four areas. Shear deformation during second stage serpentinitization implies extrusion of serpentinites.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	2,100,000	630,000	2,730,000
2009年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2010年度	0	0	0
2011年度	400,000	120,000	520,000
総計	3,600,000	1,080,000	4,680,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：地球惑星科学・地質学

キーワード：テクトニクス、蛇紋岩、地磁気ダイポール異常、間欠貫入、変成変形過程

1. 研究開始当初の背景

西南日本外帯では、地磁気ダイポール異常が間欠的に分布し、蛇紋岩体の分布と一致する（村上・吉倉、1992；木戸ほか、2004）。これらは御荷鉾帯と黒瀬川帯にまたがって分布し、マリアナ前弧域の蛇紋岩海山と同様に、複数の岩体がほぼ同時期にダイアピル状に貫入した可能性が指摘されている（藤岡ほか、1995）。このような大規模な蛇紋岩の生

成は、西南日本のテクトニクスや地殻-マントル相互作用を考える上で重要な制約を与える。しかし、西南日本における蛇紋岩体の年代は直接求められておらず、また形成過程についても意見の相違がみられ（村田、1981など）、その相対的な時空間関係には不明点が多い。

一方、著者らはそれまでに四国において、強い帯磁率、磁化強度、弱い保磁力という特

性を示す蛇紋岩の存在を確認し、地磁気ダイポール異常の要因が、残留磁気の抗磁力の小ささにある可能性を指摘した(木戸ほか、2003; Kido et al., 2004)。そして、磁性鉱物に累帯構造を確認したことから、(1) 蛇紋岩化過程のどの段階で多軸化が起きたのか明らかにできると考えた。さらに、蛇紋岩中に発達するロジンジャイト脈付近のジルコンを用いた年代測定法が確立しつつあった(Dubinska et al., 2004) ことより、(2) 抗磁力低下に年代軸を加えることを企図した。

2. 研究の目的

西南日本外帯に間欠的に分布する地磁気ダイポール異常を示す蛇紋岩体について、その磁気獲得過程とともに年代を明らかにし、西南日本の沈み込みテクトニクスおよび地殻-マントル相互作用に制約を与えることである。具体的には、野外にて変形構造解析と岩石試料採取を行い、室内にて微細組織観察・岩石磁気解析・化学分析・放射年代測定を行って、蛇紋岩の変形-磁気-年代経路を推定する。

3. 研究の方法

西南日本外帯に間欠分布する地磁気ダイポール異常を示す蛇紋岩について、野外調査と室内解析を行った。

(1) 野外調査：地磁気ダイポール異常が確認された四国西部(構原)、中央部(土佐山田)、東部(坂州)および紀伊西部(下津)、東部(多気)において、蛇紋岩の産状調査と試料採取を行った(図1)。

①産状調査：木戸が作成した地磁気異常の詳細データに基づいて山口、平内が蛇紋岩体の規模を確認した。また、露頭にて構造地質学的手法を用いて、剪断変形を被った蛇紋岩の構造解析を行った。さらに、蛇紋岩で初めての年代測定例(Dubinska et al., 2004)を参考に、ロジンジャイトの産状観察を行い、簡易磁気測定を行って、磁気強度と変形様式、ロジンジャイトの産状との関係を調べた。

②試料採取：調査結果をもとに、室内解析に適した岩石試料を採取した。蛇紋岩、ロジンジャイト、蛇紋岩とロジンジャイトの反応縁を採取した。また、蛇紋岩については、磁気強度が異なるもの、変形様式が異なるものを採取した。

(2) 室内解析：

①微細組織観察 (山口、平内)
蛇紋岩試料について、Hirauchi (2006) や Hirauchi and Yamaguchi (2007) の手法を用いて、顕微鏡で詳細な観察を行い、変形様式と変形段階を明らかにした。また、電子顕微鏡にて磁性鉱物の形態変化を調べ、変形-磁性の対応関係を調べた。

②岩石磁気解析 (木戸、山口)
蛇紋岩試料について、木戸ほか(2003)と同様の手法で蛇紋岩試料全般について、段階交流消磁実験、残留磁気交流消磁測定、磁気ヒス

テリシス測定などの岩石磁気解析を行い、磁化特性を明らかにした。また、①で明らかになった変形様式や変形段階との対応関係を照合し、抗磁力の小ささがどの段階で起きたのかを調べた。

③化学分析 (山口)

①で確認した磁性鉱物について、電子プローブマイクロアナライザーにて化学分析を行い、累帯構造や組成変化を調べた。そして、①で明らかになった磁性鉱物の形態変化や②で明らかになった磁化特性との対応関係を照合し、抗磁力の小ささの要因を考察した。

④年代測定 (山口)

ロジンジャイトおよび蛇紋岩試料について、ジルコンの鉱物分離を試みたが、回収できなかった。さらに、最近別地域の蛇紋岩について、新たに分離方法を開発した台湾中央研究院の福山研究員にも分離を依頼したが、ジルコンの発見に至らなかった。このため、年代測定については、別手法を検討することとし、期間内遂行を断念した。

⑤形成過程の考察 (山口、木戸、平内)

木戸が Kido et al. (2004) の手法を用いて、調査を行った4地域について改めて3次元磁化インバージョンを行い、3次元形態を計算した。そして、これと産状調査との照合を行い、地磁気ダイポール異常の産状を考察した。また、蛇紋岩化過程と磁化特性の対応関係より蛇紋岩体の形成過程を明らかにし、そのテクトニックな背景を考察した。

4. 研究成果

(1) 地磁気ダイポール異常と蛇紋岩分布
新たに行った3次元磁化インバージョンでは、木戸ほか(2004)とあまり変わらない計算結果が得られた。地磁気異常は、四国東部と紀伊東部で塊状にまとまった形状を示すが、紀伊東部の野外調査では、蛇紋岩体は確認できなかった。このことは、紀伊東部においても、四国東部と同等の規模もしくは類似の性質をもつ蛇紋岩体または超塩基性岩体が、地下に存在する可能性を示唆すると考えられる。また、四国中央部と紀伊西部では、地磁気異常は複数に分かれた形状を示し、東西に引きちぎられた分布を示唆した。これは、蛇紋岩体の規模が小さく、剪断変形を強く被っていた野外産状と調和的である。

(2) 蛇紋岩の変成変形過程

四国と紀伊西部の蛇紋岩体には面構造が顕著に発達しており、走向・傾斜はほぼ一定で、北傾斜であった。一般に蛇紋岩は、大小様々な角礫状のブロックの周囲を葉片状をなすマトリックスが囲む block-in-matrix 構造をしており、各ブロックの長軸方向は全体としてマトリックスの面構造の方向と調和的であった。ブロック状蛇紋岩には、S-C 構造などの複合面構造が確認され、剪断センスは主に top to the south の右ずれ成分を伴う逆断層であった。四国東部では、ブロック内部に初期的な縞状構造が確認されたほか、四国西部では、ブロック状蛇紋岩は黒色断層ガウジからなる剪断帯により局所的に切られて

いた。四国西部と中央部では、蛇紋岩化の程度は著しく、スピネル（一部フェリットクロマイト化）以外の初生マントル鉱物（かんらん石や輝石類）は確認できなかったが、四国東部と紀伊西部では、一部に初生マントル鉱物が見つかった。

四国西部の鏡下観察結果を以下に記す。ブロックは、主に塊状のアンチゴライト蛇紋岩からなる。アンチゴライトは、長径約10~150 μmの柱状結晶からなり、不規則に配列し interlocking texture および interpenetrating texture (Wicks and Whittaker, 1977) を形成している (図2A)。アンチゴライトの他には磁鉄鉱、ブルーサイト、緑泥石などの2次鉱物を含む。緑泥石は含クロム磁鉄鉱の周囲に発達していることが多い (図2B)。ブルーサイトとアンチゴライトは interlocking な関係にあることから、両者は同時期に形成されたことを示唆する。また、1試料において、アンチゴライトの片状組織をもつ蛇紋岩が認められた (図2C)。伸長したブルーサイトがアンチゴライトの片理面に沿って存在する。マトリックスはクリソタイルからなり、ブロック間を充填している様子が見てとれる (図2D)。より破碎が進行した試料には、定向配列をなすクリソタイル粒子が顕著に認められ、円礫壱一円礫状の小岩片の周囲を取り囲んでいる (図2E)。黒色ガウジ中のクリソタイルには、細粒な磁鉄鉱粒子が顕著に発達する特徴がある。またマトリックス中にはクリソタイルとともに緑泥石が存在し、互層状をなす場合がある (図2F)。四国中央部と紀伊西部では、ブロックにアンチゴライトは確認できず、クリソタイルとリザルダイトを主体とする蛇紋岩だった。

(3) 蛇紋岩の磁化特性

反射像や電子像の観察より、ブロック中の磁性鉱物は、米粒状の集合体またはスピネル周囲に等方的に成長しているのに対し、マトリックス中の磁性鉱物は、著しく異方性が高かったり、非常に細粒の集合体が脈状に分布することが明らかとなった (図3)。段階交流消磁測定の結果、帯磁率が最大変化率を示す温度が570~580°Cに集中したことから、蛇紋岩に含まれる強磁性鉱物は純粋な磁鉄鉱であることが分かった。また、磁気ヒステリシス測定の結果、いずれも擬似単磁区に位置することが明らかとなった。そして、四国西部と中央部、紀伊西部では、相対的にブロックの方がより多磁区に近いふるまいを示したが、四国東部では例外的に初期構造を示すブロックで単磁区的なふるまいが確認された。残留磁気の交流消磁測定では、ブロックは6mT時点で、マトリックスは12mT時点で、80%の初期の残留磁化強度を失っていることが明らかになった。このことは、残留磁気の抗

磁力が小さいため、初生残留磁化を残さず、常に最新の地球磁場方向に再配列してしまうことを示す。

抗磁力は、ガウジよりマトリックス、マトリックスよりブロックと剪断変形が進行していないほど弱いことが分かった (図4)。観察より、ブロック中の磁性鉱物は、相対的に等方的に成長しており、これが多磁的なふるまいや抗磁力の小ささに影響したことが考えられる。このことは、地磁気ダイポール異常が初期構造を残す四国東部で明瞭だが、著しく剪断した四国中央部では分断されていることと調和的である。

(4) 蛇紋岩の形成過程

以上より、全域で少なくとも2段階の蛇紋岩化過程が確認できた。下記に、3段階が確認できた四国西部を例に、推定した形成過程を示す。

まず、比較的静的な条件下でかんらん岩が蛇紋岩化し、より高温で安定なアンチゴライトを主体とする塊状蛇紋岩を形成し、磁性鉱物が等方的に成長した。反応式として、 $Olivine + H_2O \rightarrow Antigorite + Brucite$ が考えられる。引き続き $Antigorite + Al^{3+} + H_2O = Chlorite$ の反応によって緑泥石が形成されたと考えられる。なお、Alは輝石類の蛇紋岩化によって供給されたと考えられる。次に、アンチゴライトを主体とする蛇紋岩全体が脆性的な剪断変形を被ってブロック化し、より低温で安定なクリソタイルの再結晶作用によって特徴付けられるマトリックスが形成された。この剪断変形は、上盤が南へ衝上する剪断センスを示しており、蛇紋岩体の上昇過程に対応すると考えられる。この後さらに、より浅部に定置した蛇紋岩体に、断層破碎が生じて、ガウジが形成されたと考えられる。

なお、今回明らかとなった剪断変形と抗磁力の関係をふまえると、地磁気ダイポール異常の要因と考えられる抗磁力の小ささは、これら後期の剪断変形の進行と共に弱められた可能性が考えられる。

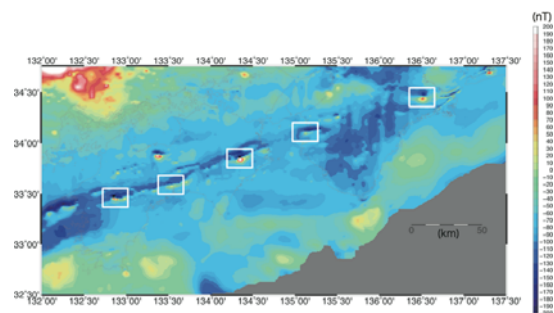


図1 調査地域の地磁気ダイポール異常

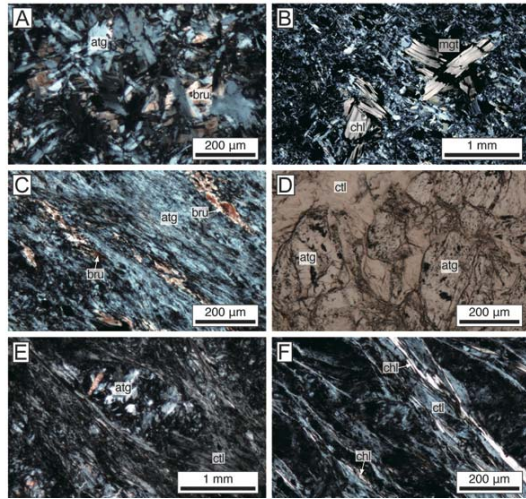


図2 偏光顕微鏡写真

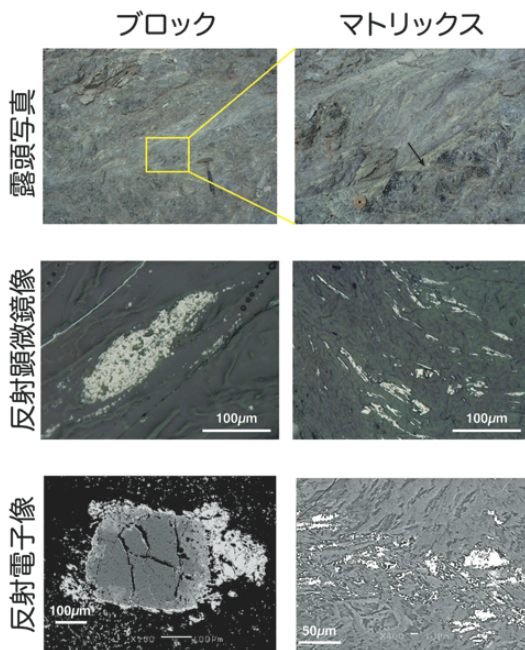


図3 変形様式と磁性鉱物

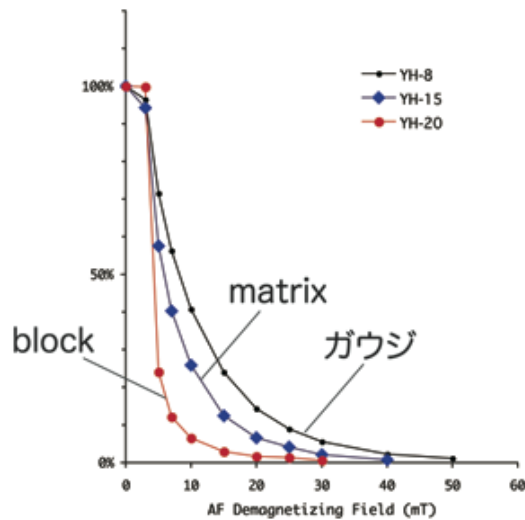


図4 交流消磁測定結果と剪断変形

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 (計7件)

- ① Kinoshita, M., Moore, G. F. and Y. Kido, Heat flow estimated from BSR and IODP borehole data: Implication of recent uplifting of the imbricate thrust zone in the Nankai Trough off Kumano, *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 査読有, Vol. 12, Q0AD18, 2011, doi:10.1029/2011GC003609.
- ② Tsuji, T., Yamaguchi, H., Ishii T. and T. Matsuoka, Mineral classification from quantitative X-ray maps using Neural Network: Application to volcanic rocks. *Island Arc*, 査読有, Vol. 19, 2010, pp. 105-119.
- ③ Nakanishi A., Kurashimo E., Tatsumi Y., Yamaguchi H., Miura S., Kodaira S., Obana K., Takahashi N., Tsuru T., Kaneda Y., Iwasaki T., and N. Hirata, Crustal evolution of the southwestern Kuril Arc, Hokkaido Japan, deduced from seismic velocity and geochemical structure. *Tectonophysics*, 査読有, Vol. 472, 2009, pp. 105-123.
- ④ Raimbourg, H., Shibata, T., Yamaguchi, A., Yamaguchi, H. and G. Kimura, Horizontal shortening versus vertical loading in accretionary prisms. *Geochemistry Geophysics Geosystems*, 査読有, 10, Q04007, 2009, doi:10.1029/2008GC002279.
- ⑤ Fujiwara, T., Kido, Y., Tamura, Y., and O. Ishizuka, Gravity and magnetic constraints on the crustal structure and evolution of the Horeki seamount in

the Izu-Ogasawara (Bonin) arc, EPS, 査読有, Vol. 61, 2009, pp. 333-343.

- ⑥ Uraki, S., Kido, Y., Sanada, Y., Kuramoto, S., Okano, T., Saga, H., Park, J-O., Moore, G., and A. Taira, Kumano-nada 3D seismic data acquisition and processing, Butsuri-Tansa (Geophys. Explor.), 査読有, Vol. 62, No. 2, 2009, pp. 277-288.
- ⑦ Hirauchi, K., Tamura, A., Arai, S., Yamaguchi H. and K. Hisada, Fertile abyssal peridotites within the Franciscan subduction complex, central California: Possible origin as detached remnants of oceanic fracture zones near a slow-spreading ridge. Lithos, 査読有, Vol. 105, 2008, pp. 319-328.

[学会発表] (計4件)

- ① 山口はるか, 平内健一, 木戸ゆかり (2011) 西南日本外帯の地磁気ダイポール異常を示す蛇紋岩の組織と岩石磁気特性, 日本地質学会, 2011年9月11日, 茨城
- ② 山口はるか, 木戸ゆかり, 平内健一 (2010) 四国ダイポール異常を示す蛇紋岩の磁気解析, 変成岩シンポジウム, 2010年3月21日, 広島
- ③ 山口はるか, 平内健一, 木戸ゆかり (2009) 西南日本外帯の地磁気ダイポール異常を示す蛇紋岩の組織と磁気特性, 日本地質学会, 2009年9月4日, 岡山
- ④ 山口はるか, 平内健一, 木戸ゆかり (2008) 地磁気ダイポール異常を示す四国蛇紋岩の変形過程と磁気特性, 地球惑星科学連合学会, 2008年5月25日, 千葉

[図書] (計2件)

- ① 女性海洋研究者チーム著 (一部執筆: 木戸ゆかり), 窪川かおる編集, 東海大学出版会, 「海のプロフェッショナル: 海洋学への招待状」, 2010, 173p.
- ② きむらゆういち著 (科学記載監修: 木戸ゆかり), 教育画劇, 「もし、あなをずっとほってくとちきゅうのうらにでられるの?」, 2010.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

芳野 (山口) はるか (YOSHINO HARUKA)
岡山大学・地球物質科学研究センター・客員研究員
研究者番号: 80359207

(2) 研究分担者

木戸 ゆかり (KIDO YUKARI)
海洋研究開発機構・地球深部探査センター・技術主任
研究者番号: 20359194

(3) 研究協力者

平内 健一 (HIRAUCHI KENICHI)
広島大学・大学院理学研究科・学振特別研究員 (PD)
研究者番号: 10633290