

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 6月20日現在

機関番号：87101

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2009～2011

課題番号：21740385

研究課題名（和文） 蛇紋岩メランジにおける交代作用と変形の相互作用

研究課題名（英文） Interaction between metasomatism and deformation in serpentinite melange

研究代表者

森 康 (MORI YASUSHI)

北九州市立自然史・歴史博物館・自然史課・学芸員

研究者番号：20359475

研究成果の概要（和文）：長崎変成岩類（九州西端に分布する低温高压型変成帯）において、蛇紋岩メランジに見られる交代作用と変形の相互作用を記載した。その結果、交代作用に伴う空隙率や間隙水圧の変化が変形や流体移動のメカニズムに影響を与えている事例が見出された。同様の現象が、岩石の機械的混合場である前弧スラブ-マントル境界でも起きている可能性が考えられる。

研究成果の概要（英文）：Interaction between metasomatism and deformation in serpentinite melange was investigated in the Nagasaki metamorphic rocks, western Kyushu, Japan. Several types of the metasomatism involve changes in porosity and pore-fluid pressure and influence the mechanisms of deformation and fluid flow. Similar phenomena could occur at the forearc slab-mantle interface in subduction zones.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2010年度	800,000	240,000	1,040,000
2011年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
年度			
総計	2,600,000	780,000	3,380,000

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：変成岩、蛇紋岩メランジ、交代作用、変形、変成流体

1. 研究開始当初の背景

沈み込み帯の前弧スラブ-マントル境界では、地殻物質とマントル物質が機械的に混合されている。そこでは、低温高压型変成作用、交代作用、岩石の変形、流体移動、プレート境界型地震といった地球科学的に重要な現象が起きている。近年、これらの現象の相互作用に関する研究が盛んになりつつある。

長崎変成岩類（九州西端に分布する低温高压型変成帯）では、地殻起源の岩石（泥

質岩など）とマントル起源の岩石（蛇紋岩など）の機械的混合により形成された蛇紋岩メランジが発達する。蛇紋岩メランジ中では、様々な交代作用が生じているほか、交代作用に伴う変形が見られる場合がある。研究代表者は、蛇紋岩メランジに類似した環境にある前弧スラブ-マントル境界でも同様の現象が起きるのではないかと考え、交代作用と変形の相互作用の事例を集める本研究を着想した。

2. 研究の目的

本研究の目的は、長崎変成岩類の蛇紋岩メランジ中で見られる交代作用を記載し、それらと変形の相互作用を考察することである。研究事例を積み重ねることで、交代作用が変形とどのように連結しているかを明らかにするとともに、その影響について議論する。

3. 研究の方法

長崎県西彼杵半島および野母半島において野外調査を行い、長崎変成岩類の蛇紋岩メランジに含まれる構造岩塊の交代作用や変形を記載した。また、岩石試料を採集し、薄片顕微鏡観察、全岩化学組成分析、鉱物化学組成分析などを行った。全岩化学組成分析には蛍光X線分析装置およびCHN元素分析装置（北九州市立自然史・歴史博物館設置）を用い、鉱物化学組成分析には電子プローブマイクロアナライザー（九州大学設置）を使用した。試料中に流体包有物が見られる場合は、顕微RAMAN分光分析装置（熊本大学設置）を使用して流体種を同定した。得られた結果から、アイソコン法による物質移動解析（Grant, 1986）や組成一体積関係式（Gresens, 1967）の応用により交代作用に伴う空隙率と間隙水圧の変化を推定し、露頭で観察される変形との関係を考察した。

4. 研究成果

(1) 西彼杵半島

① 地質概要

西彼杵半島に分布する長崎変成岩類は、主に泥質・砂質片岩から成り、少量の塩基性片岩や蛇紋岩などを伴う。変成温度圧力条件は推定されていないが、片岩類の鉱物組み合わせの特徴から緑簾石-青色片岩相に相当すると考えられる。蛇紋岩は、泥質・砂質片岩中の構造的メランジまたはポッド状の構造岩塊として産する。蛇紋岩メランジは、アクチノ閃石片岩、滑石片岩、片状蛇紋岩のマトリックス中に多様な構造岩塊（泥質片岩、変ハンレイ岩、曹長岩、ヒスイ輝石岩、ロジン岩など）を含む（西山, 1989; Nishiyama, 1990）。蛇紋岩ポッドの周縁部には反応帯が見られる場合が多い（例えば、Mori *et al.*, 2007）。

② 泥質片岩の曹長岩化

蛇紋岩メランジに含まれる泥質片岩の構造岩塊は、メランジマトリックスとの接触部に沿って白く曹長岩化している（図1）。曹長岩化帯は、泥質片岩と比較して片理が弱くぼぼ塊状である。泥質片岩と曹長岩化帯に褶曲や鉱物脈は見られない。メランジマトリックスは、主にアクチノ閃石の柱状



図1 泥質片岩の構造岩塊に見られる曹長岩化

結晶から成り、それらがS-C構造や褶曲を形成している。

曹長岩化帯では、曹長石の増加とともに石墨の消失および石英と白雲母の減少が生じている。また、曹長石結晶中に多数の CH_4 および H_2O 包有物が含まれる。泥質片岩中には流体包有物が少ない。このことは、曹長岩化に伴って石墨から CH_4 が生成されたことを示す。

解析の結果、曹長岩化に伴う岩石の体積変化は約20%の減少と推定された。この体積減少量は、生成される流体(CH_4 および H_2O)では補えないほど大きい。その結果、曹長岩化帯では空隙率の増加や間隙水圧の低下が起き、岩石全体が収縮したと考えられる。メランジマトリックスに見られる変形も、その影響を受けたものである可能性がある。

③ ヒスイ輝石岩の曹長岩化



図2 ヒスイ輝石岩の構造岩塊の周縁部に見られる反応帯

西彼杵半島の蛇紋岩メランジは、局所的にヒスイ輝石岩の構造岩塊を含む。ヒスイ輝石岩は、高圧下で安定なヒスイ輝石+石英の鉱物共生を保持している（Shigeno *et al.*, 2005）。また、曹長岩化した反応帯を伴う（図2）。ヒスイ輝石岩も反応帯も塊状であり、褶曲や鉱物脈は見られない。

解析の結果、曹長岩化に伴う岩石の体積変化は約 10%の増加と推定された。また、曹長岩化が流体 (H₂O) の消費を伴うことが明らかになった。このことは、反応帯で空隙率の低下が起きたことを示す。空隙率の低い反応帯は、外部からヒスイ輝石岩への流体の浸透を阻害し、高压下で安定な鉱物共生の保存を助けたかもしれない。

④ 泥質片岩と蛇紋岩の反応帯



図3 蛇紋岩ポッドの周縁部に見られる反応帯

ポッド状の蛇紋岩塊と周囲の泥質片岩の境界には、しばしば反応帯が発達する (図3)。反応帯は、境界に平行な複数の鉱物帯から成る。研究対象とした反応帯の場合、構成鉱物の特徴などから、滑石 + 炭酸塩鉱物帯と炭酸塩鉱物 + 石英帯は蛇紋岩から、緑泥石帯と白雲母帯と曹長石帯は泥質片岩から派生したものと考えられる。どの鉱物帯の岩石も塊状である。蛇紋岩中にはマグネサイト + 石英脈、白雲母帯と曹長石帯と泥質片岩の中にドロマイト脈が見られる。また、曹長石帯と泥質片岩の境界に剪断帯が見られる。

解析の結果、反応帯の中央における交代作用 (滑石 + 炭酸塩鉱物帯 → 炭酸塩鉱物 + 石英帯、白雲母帯 → 緑泥石帯の反応) に伴う岩石の体積変化は約 10%の増加と推定された。また、交代作用により流体 (H₂O または CO₂) が消費されることが明らかになった。このことは、反応帯で空隙率の低下が起きたことを示す。

対照的に、反応帯の縁辺部における交代作用 (蛇紋岩 → 滑石 + 炭酸塩鉱物帯、泥質片岩 → 曹長石帯の反応) に伴う岩石の体積変化は 10~20%の減少と推定された。また、交代作用により流体 (H₂O または CO₂) が生成されることが明らかになった。岩石の体積減少量は流体の体積増加量をやや上回り、空隙率の増加や間隙水圧の低下が示唆される。これは脈形成に必要な水圧破砕の十分条件が満たされていなかった可能性を示すもので、露頭での観察と矛盾する。その理由は、現時点では分かっていない。

このように、泥質片岩と蛇紋岩の反応帯では空隙率や間隙水圧の変化が場所により異なることが明らかになった。

(2) 野母半島

① 地質概要

野母半島に分布する長崎変成岩類は、古期変成ハンレイ岩、野母崎累層、三和累層に大別される (宮崎・西山, 1989)。各ユニットは断層で接しており、変成温度圧力条件や変成年代が異なる (宮崎・西山, 1989、Nishimura, 1997)。三和累層の場合、変成温度圧力条件は片岩類の鉱物組み合わせの特徴から緑色片岩相に相当すると考えられる。三和累層中の蛇紋岩メランジは、主に緑泥石やアクチノ閃石から成るマトリックス中に多様な構造岩塊 (曹長岩、泥質片岩、変ハンレイ岩など) を含む。

② 泥質片岩の曹長岩化

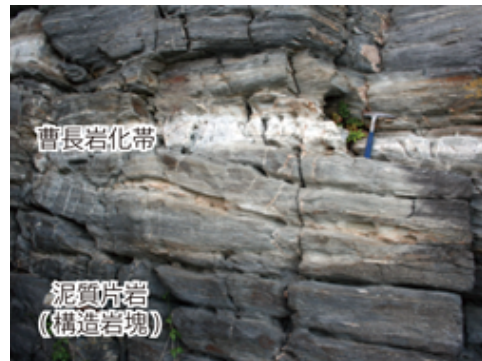


図4 泥質片岩の構造岩塊内部に見られる曹長岩化

蛇紋岩メランジに含まれる泥質片岩の構造岩塊の内部に、片理とほぼ調和的な層状の曹長岩化が見られる (図4)。片理は、曹長岩化が著しい中央部に向かって弱くなる。泥質片岩と曹長岩化帯に褶曲は見られない。泥質片岩中に見られる石英脈は、それ自身が曹長岩化を受けていることから交代作用以前に形成されたものと考えられる。

曹長岩化帯では、曹長石の増加とともに石墨の消失および石英と白雲母の減少が生じている。また、曹長石結晶中に多数の CH₄ および H₂O 包有物が含まれ、曹長岩化に伴い石墨から CH₄ が生成されたことを示す。

解析の結果、曹長岩化に伴う岩石の体積変化は約 10%の減少と推定された。この体積減少量は、生成される流体 (CH₄ および H₂O) では補えないほど大きい。その結果、曹長岩化帯では空隙率の増加や間隙水圧の低下が起き、岩石全体が収縮したと考えられる。そのことが、外部から泥質片岩への流体の侵入を容易にし、このような層状の曹長岩

化を引き起こしたものと推測される。

(3) 考察

本研究が収集した研究事例からは、蛇紋岩メランジにおいて交代作用に伴う空隙率変化と間隙水圧変化が岩石の変形の原因となりうることを示された。交代作用と変形の相互作用は、次の2つのタイプに大別される。

① 岩石の体積減少が著しく、空隙率の増加と間隙水圧の低下を伴うもの。西彼杵半島および野母半島における泥質片岩の曹長岩化がこれにあたる。空隙率の増加は流体の浸透を容易にするため、このタイプの交代作用は広域的な流体移動を促進する役割を果たす可能性がある。また、間隙水圧の低下とともに岩石が収縮するような延性変形を起こすと考えられる。

② 岩石の体積増加が起き、空隙率の低下を伴うもの。西彼杵半島におけるヒスイ輝石岩の曹長岩化がこれにあたる。このタイプでは、交代作用を受けた部分の空隙率が低下するため、流体移動を阻害する役割を果たす可能性がある。

これら2つのタイプの交代作用は、独立している場合もあれば、西彼杵半島における泥質片岩と蛇紋岩の反応帯のように同一の過程の中で共存する場合もある蛇紋岩メランジにおける交代作用と変形の相互作用は複雑で、本研究で一般論を展開できるまでには至らなかった。しかし、相互作用の鍵を握るのが空隙率や間隙水圧の変化であることは確かである。今後、歪み速度や反応進行度といった速度論的視点からの検討を進め、交代作用と変形の相互作用に関する理解を深めたい。

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4件)

- ① Shigeno, M., Mori, Y., Shimada, K., Nishiyama, T. (2012) Jadeitites with metasomatic zoning from the Nishisonogi metamorphic rocks, western Japan: fluid-tectonic block interaction during exhumation. *European Journal of Mineralogy*, 24, 289–311. 査読有.
DOI: 10.1127/0935-1221/2012/0024-2195
- ② Shigeno, M., Mori, Y., Shimada, K., Nishiyama, T. (2012) Origin of omphacites from the Nishisonogi metamorphic rocks,

western Kyushu, Japan: comparison with jadeitites. *European Journal of Mineralogy*, 24, 247–262. 査読有.

DOI: 10.1127/0935-1221/2012/0024-2198

- ③ Miyazoe, T., Enami, M., Nishiyama, T., Mori, Y. (2012) Retrograde strontium metasomatism in serpentinite mélange of the Kurosegawa Zone in central Kyushu, Japan. *Mineralogical Magazine*, 76, 635–647. 査読有.
DOI: 10.1180/minmag.2012.076.3.14
- ④ Mori, Y., Orihashi, Y., Miyamoto, T., Shimada, K., Shigeno, M., Nishiyama, T. (2011) Origin of zircon in jadeitite from the Nishisonogi metamorphic rocks, Kyushu, Japan. *Journal of Metamorphic Geology*, 29, 673–684. 査読有.
DOI: 10.1111/j.1525-1314.2011.00935.x

[学会発表] (計8件)

- ① 森康, 重野未来, 西山忠男. 超塩基性メランジにおける流体-岩石相互作用と変形: アイソコン法を用いた研究例. 日本鉱物科学会 2011 年年会. 2011 年 9 月 10 日. 茨城大学水戸キャンパス.
- ② Mori, Y., Orihashi, Y., Miyamoto, T., Shimada, K., Shigeno, M., Gouzu, C., Hyodo, H., Nishiyama, T. Relict igneous zircon in jadeitite from the Nishisonogi metamorphic rocks, Kyushu, Japan: an indicator of protolith characteristics. The 20th General Meeting of the International Mineralogical Association. 2010 年 8 月 25–27 日. Budapest, Hungary.
- ③ Shigeno, M., Mori, Y., Shimada, K., Nishiyama, T. Formation of jadeitite in the Nishisonogi metamorphic rocks, Kyushu, Japan: prograde albite-decomposition and retrograde fluid-jadeitite interaction. The 20th General Meeting of the International Mineralogical Association. 2010 年 8 月 25–27 日. Budapest, Hungary.
- ④ Nishiyama, T., Shigeno, M., Mori, Y. Jadeitite, omphacite rocks, and albitite as a metasomatic series in a serpentinite mélange from the Nishisonogi metamorphic rocks, western Kyushu, Japan. The 20th General Meeting of the International Mineralogical Association. 2010 年 8 月 25–27 日. Budapest, Hungary.
- ⑤ Mori, Y., Shigeno, M., Nishiyama, T. Metasomatic fractionation between LIL elements and HFS elements in subduction-zone mélange. Kumamoto International Symposium III. 2009 年 8 月 3 日. 熊本大学.
- ⑥ Mori, Y., Orihashi, Y., Gouzu, C., Miyamoto,

T., Shimada, K., Shigeno, M., Nishiyama, T.
Formation of jadeitite in the Nishisonogi
metamorphic rocks, Kyushu, Japan (2)
geochronology and protolith. Kumamoto
International Symposium IV. 2009年10月
9日. 熊本大学.

⑦ Shigeno, M., Mori, Y., Shimada, K.,
Nishiyama, T. Formation of jadeitite in the
Nishisonogi metamorphic rocks, Kyushu,
Japan (1) reaction microtextures and P-T
conditions. Kumamoto International
Symposium IV. 2009年10月9日. 熊本
大学.

⑧ Mori, Y., Shigeno, M., Nishiyama, T.
Metasomatic fractionation between LIL
elements and HFS elements in subduction-
zone mélange. Kumamoto International
Symposium III. 2009年8月3日. 熊本大
学.

6. 研究組織

(1)研究代表者

森 康 (MORI YASUSHI)

北九州市立自然史・歴史博物館・自然史
課・学芸員

研究者番号：20359475

(2)研究協力者

西山 忠男 (NISHIYAMA TADAO)

熊本大学・自然科学研究科・教授

研究者番号：10156127

重野 未来 (SHIGENO MIKI)

北九州市立自然史・歴史博物館・自然史
課・研究生

島田 和彦 (SHIMADA KAZUHIKO)

九州大学・理学部・地球惑星科学科・技
官