

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 25 日現在

機関番号：12701

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2011～2014

課題番号：23340153

研究課題名(和文) 日本海東縁ひずみ集中帯の地殻構造の岩石学的イメージング

研究課題名(英文) Petrologic structure of the strain concentration zone along the eastern margin of Japan Sea

研究代表者

石川 正弘 (Masahiro, Ishikawa)

横浜国立大学・環境情報研究科(研究院)・教授

研究者番号：70232270

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,300,000円

研究成果の概要(和文)：東北日本から新潟に至る日本海側の地域では、プレート境界に匹敵する歪集中が観測される特異な地域であり、ひずみ集中帯と呼ばれる。本研究では、主要造岩鉱物や岩石の弾性波速度と地震波速度を比較することで、日本海東縁ひずみ集中帯の下部地殻構成岩石モデルを検討した。その結果、日本海東縁の下部地殻は東北本州弧中軸部と比べて輝石に富むはんれい岩で構成されていることが推定された。また、日本海東縁の最上部マントルは高 $V_p/V_s$ であり、東北本州弧中軸部の最上部マントルには存在しない異質な岩石(候補としては単斜輝石岩)で構成されていることを明らかにした。

研究成果の概要(英文)：This study presents a new view of the constituent rocks in the lower crust and uppermost mantle beneath the strain concentration zone along the eastern margin of Japan Sea of northeast Japan based on the P- and S-wave velocities obtained by seismic tomography and comparisons with the experimentally determined velocities of rock-forming minerals. We inferred that orthopyroxene exist in the high velocity lower crust as a main constituent mineral beneath the the eastern margin of Japan Sea of northeast Japan, underlain by high  $V_p/V_s$  anomaly (clinopyroxenite) in the uppermost mantle. These inferences suggest that the Miocene rift-related magmatism produced the high velocity lower crust and the high  $V_p/V_s$  uppermost mantle. Considering the regional distribution of these unusual uppermost mantle rocks, strain concentration is inferred to have related with rheological property of the unusual uppermost mantle.

研究分野：岩石物性

キーワード：ひずみ集中帯 地殻 下部地殻 地殻構造 日本海東縁

## 1. 研究開始当初の背景

東北日本から新潟に至る日本海側の地域では、プレート境界に匹敵する歪集中が観測される特異な地域であり、歪集中帯と呼ばれる(図1)。この地域では1964年に新潟地震(マグニチュード M7.5)が発生した以降は被害地震はしばらく発生していなかった。しかし、2004年10月に新潟県中越地震(M6.8)、2007年7月に新潟県中越沖地震(M6.8)が相次いで発生し大きな被害をもたらしたことにより、この地域で発生する地震像を明らかにする必要性が社会的にも高まってきた。日本海東縁歪集中帯の地殻マントル構造の解明と震源断層モデルの構築を目的として、2008年度から5ヵ年計画で文部科学省研究委託事業「ひずみ集中帯の重点的調査観測・研究」が実施されている。2009年度には会津から佐渡西方海域に至る海陸統合地殻構造調査が東京大学地震研究所(本研究分担者:佐藤)や海洋研究開発機構によって実施されており(図1のB-B'),本研究代表者(石川)も佐渡における構造探査に参加した(加藤他,2010地質学会講演)。今回申請した研究の目的は、まず、上記の地殻構造探査により得られた地震波速度構造や反射構造を岩石学的地殻構造としてモデル化すること、次に、地殻構成岩石モデルに基づいて歪集中帯の物理特性を見積もること、発展的に、岩石学的地殻構造が地殻変動や地震発生に及ぼす影響を解明することである。

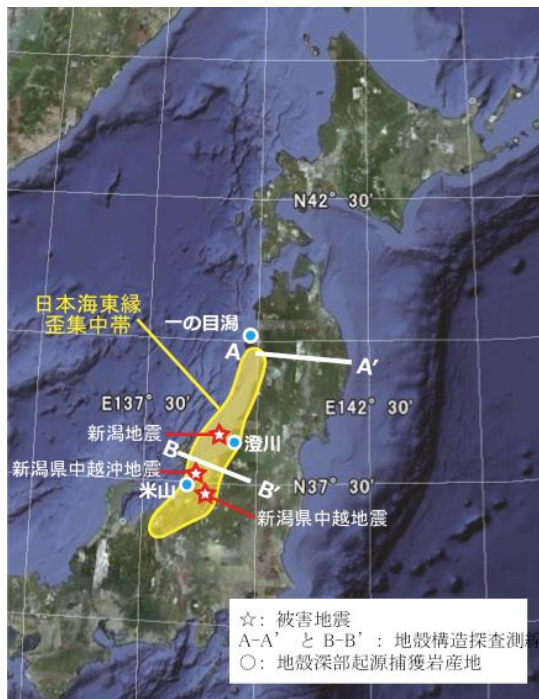


図1 日本海東縁ひずみ集中帯の分布

## 2. 研究の目的

東北日本から新潟の日本海東縁部の地域は、プレート境界に匹敵する歪集中が観測される特異な地域であり、“ひずみ集中帯”と呼ばれる。この地域では活断層を震源とする

新潟地震(1964年)・新潟県中越地震(2004年)・新潟県中越沖地震(2007年)の被害地震を発生してきた。この地域の地殻構造を岩石学的にイメージングすることは、歪集中帯の強度や地震発生場を理解する上で極めて重要である。本研究では、歪集中帯周辺に分布する火山岩・花崗岩類の中に捕獲された地殻深部由来の岩石を対象に高温高压下での弾性波速度測定実験を行い、日本海東縁歪集中帯の地殻構造の岩石学的イメージングを地質学・地震学・岩石学・岩石物性分野研究者との共同研究の枠組みの中で行い、岩石学的地殻構造が地殻変動や地震発生に及ぼす影響を明らかにする。

## 3. 研究の方法

研究対象とする地域は日本海東縁歪集中帯である。岩石鉱物の弾性波速度と地震波速度を比較することによって、日本海東縁部歪集中帯の岩石学的地殻断面モデルを構築する。この地殻構成岩石モデルに基づき、地殻強度を数値モデル化する。

## 4. 研究成果

(1) 東北本州弧および日本海東縁ひずみ集中帯の地殻構成岩石モデルを検討した。東北本州弧中軸部の下部地殻は日本海東縁沿や北上山地よりも高い $V_p/V_s$ で特徴づけられる(図2、図3)。主要造岩鉱物の弾性波速度と地震波モグラフィーを比較した結果、東北本州弧中軸部下地殻の主要構成鉱物は角閃石と斜長石であり、角閃石はんれい岩や角閃岩が代表的な構成岩石であると推測した。日本海東縁の下部地殻の地震波速度分布は、東北本州弧中軸部と大半が重複するが、P波速度およびS波速度ともに相対的に高速度側に、そして僅かながら低 $V_p/V_s$ 側に分布しており、日本海東縁の下部地殻は斜長石とに加えて斜方輝石角閃石はんれい岩から構成されると解釈される。日本海東縁の最上部マントルの地震波速度分布は、東北本州弧中軸部と比較して相対的に高 $V_p/V_s$ 側に分布しているのが特徴である。主要造岩鉱物の弾性波速度と比較した結果、この地震波速度域は、単斜輝石の速度とほぼ同じであるので、代表的な構成岩石の候補として単斜輝石岩が考えられる。もうひとつの解釈としては、かんらん石に富むトロクトライトまたはかんらん石と単斜輝石に富むかんらん石はんれい岩が最上部マントルの代表的な構成岩石とするものである。何れにしても日本海東縁沿岸地域には、日本海拡大に伴って形成された東北本州弧のリフト活動期にモホ面深度付近に形成された沈積岩が大規模分布していると本研究から示唆される。

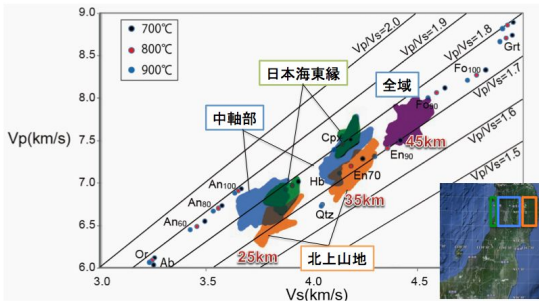


図2 東北本州弧(北緯39-40度)の中軸部、日本海東縁、北上山地のP波速度・S波速度の分布

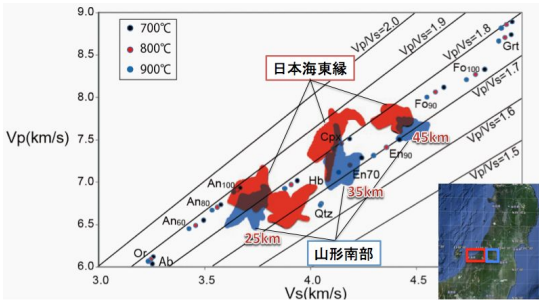


図3 新潟周辺および山形南部のP波速度・S波速度の分布

(2) 東北日本中部域の第四紀火山について、地殻下部が熔融して生成されたデイサイト質の噴出物の岩石学的(斑晶組み合わせと全岩組成)を基に、源岩について検討したところ、フロント側と背弧側で明確な差異はなく、主に角閃石はんれい岩の熔融で説明できるという結果が得られ、地震波速度から推測された下部地殻構成と調和的な結果である。

(3) 日本海東縁に位置する新潟県羽越地域澄川には地殻深部に由来する片麻岩類が捕獲岩として産する。採取した澄川片麻岩はざくろ石スピネル珪線石黒雲母片麻岩やざくろ石黒雲母片麻岩に鉱物組み合わせから分類される(図4)。これらの捕獲岩の弾性波速度を構成鉱物体積比と鉱物化学組成から算出した。例えば、変成条件に相当する900、0.6GPaの温度圧力の弾性波速度を計算した結果、P波速度は6.1-6.6km/sである。この速度は新潟周辺部の下部地殻のP波速度よりも低速度であるので、澄川片麻岩は現在の新潟周辺部の下部地殻を構成する主要構成岩石ではないと考えられる。

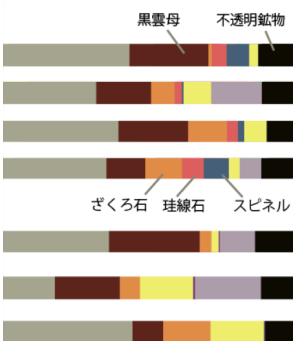


図4 新潟県羽越地域澄川に産する地殻深部に由来する片麻岩類の構成鉱物モード比。上4つがざくろ石スピネル珪線石黒雲母片麻岩、下3つがざくろ石黒雲母片麻岩。

(4) 日本海盆、大和海盆、日本海東縁背弧リフト、島弧地殻の地殻構造を単純化し、レオロジー強度を計算し、強度の相対的な違いを比較した。日本海盆、大和海盆、日本海東縁背弧リフトともに海洋底年齢を一律に2000万年と温度構造を仮定した。大和海盆や背弧リフトと隣接する島弧地殻の温度構造も同様の温度構造を仮定した。日本海盆、大和海盆、背弧リフト、島弧地殻の水深はそれぞれ3500m、2500m、500m、500mと仮定した。歪速度は $10^{-7}/\text{yr}$ とした。日本海盆は、海洋地殻の層厚を10.5kmと仮定した。海洋地殻は玄武岩やはんれい岩から構成されると一般的に考えられているので、はんれい岩の主要構成鉱物である斜長石のレオロジーパラメーターを用いて圧縮強度断面を計算した。その結果、4つの地殻構造の中では、マンテルが一番浅くまで存在するので最も強度が大きくなっている。大和海盆は、海洋地殻の層厚を16.5kmと仮定した。日本海盆同様に海洋地殻は玄武岩やはんれい岩から構成されると一般的に考えられているので、斜長石のレオロジーパラメーターを用いて圧縮強度断面を計算した。4つの地殻構造の中では、日本海盆の次に強度が大きくなっている。ただし、用いるレオロジーパラメーターによっては日本海盆と同じ強度を示す。日本海東縁背弧リフトは、上部地殻層厚8.5km、下部地殻層厚16kmと仮定した。上部地殻は花崗岩、下部地殻は輝緑岩のレオロジーパラメーターを用いて圧縮強度断面を計算した。日本海盆や大和海盆と比較して、強度はモホ面が深いために強度は著しく小さい。島弧地殻は、上部地殻層厚13.5km、下部地殻層厚11kmと仮定した。上部地殻は花崗岩、下部地殻は輝緑岩のレオロジーパラメーターを用いて圧縮強度断面を計算した。日本海東縁背弧リフトと比較して断層下限深度が相対的に浅くなった要因は花崗岩質な上部地殻が厚いことである。日本海盆、大和海盆、日本海東縁背弧リフト、島弧地殻の地殻構造を単純化し、レオロジー強度を比較すると、日本海盆と大和海盆の強度が日本海東縁背弧リフトや島弧地殻の強度より非常に大きいことは明瞭である。しかし、日本海東縁背弧リフトと島弧地殻の強度を比較すると、島弧地殻の方が小さな強度であり、日本海東縁のひずみ集中を説明できない。図2や図3のP波速度・S波速度座標上に示したように日本海東縁の最上部マンテルの地震波速度は特異的な速度域にプロットされており、最上部マンテルの構成岩石が通常想定されるかんらん岩とは異なる岩石であると推測される。日本海東縁の特異な最上部マンテルの構成岩石を推測し、強度へ及ぼす影響を評価する



ことが今後の課題の一つとして残る。なお、本研究課題と関連する研究プロジェクト「日本海地震・津波調査プロジェクト」(文部科学省、委託先:東京大学)が2013年9月から動き出している([http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/project/Japan\\_Sea/index.html](http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/project/Japan_Sea/index.html))。本科学研究費課題の成果をリンクさせながら日本海地震・津波調査プロジェクトにおいて本研究成果の一部を取り込みながら研究を継続させていく予定である。

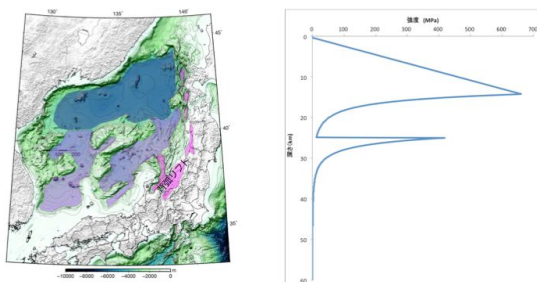


図5 日本海東縁背弧リフトの強度プロファイル

## 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11件)

Ishikawa, M., Matsumoto, Y., Effect of fluid  $H_2O$  on compressional wave velocities in quartz aggregate up to 500 °C at 0.5 GPa, *Earth, Planets and Space*, 査読有, 66:35, 2014

DOI:10.1186/1880-5981-66-35

石川正弘・松原誠・武田哲也, 北上山地下の珪長質下部地殻と斜方輝石岩マントル: 白亜紀スラブメルトイングの証拠. *岩石鉱物科学*, 査読有, 43, 2014, 100-107.

DOI: 10.2465/gkk.140120

Takeyoshi Yoshida, Jun-ichi Kimura, Ryoichi Yamada, Valerio Acocella, Hiroshi Sato, Dapeng Zhao, Junichi Nakajima, Akira Hasegawa, Tomomi Okada, Satoru Honda, Masahiro Ishikawa, Oky Dicky Ardiansy Prima, Takeshi Kudo, Bunichiro Shibasaki, Akiko Tanaka, Toshifumi Imaizumi, Evolution of late Cenozoic magmatism and the crust-mantle structure in the NE Japan Arc. *Geological Society, London, Special Publications*, 査読有, 385, 2014, 335-387.

DOI: 10.1144/SP385.15

Hiroi, Y., Yanagi, A., Kato, M., Kobayashi, T., Prame, B., Hokada, T., Satish-Kumar, M., Ishikawa, M., Adachi, T., Osanai, Y., Motoyoshi Y. and Shiraishi, K., Supercooled melt inclusions in lower-crustal granulites

as a consequence of rapid exhumation by channel flow. *Gondwana Research*, 査読有, 25, 2014, 226-234.

DOI:10.1016/j.gr.2013.04.001

Tetsuo No, Takeshi Sato, Shuichi Kodaira, Tatsuya Ishiyama, Hiroshi Sato, Narumi Takahashi, Yoshiyuki Kaneda, The source fault of the 1983 Nihonkai-Chubu earthquake revealed by seismic imaging. *Earth and Planetary Science Letters*, 査読有, 400, 2014, 14-25.

DOI:10.1016/j.epsl.2014.05.026

林信太郎・伴雅雄・大場司, 鳥海山1800-1804年噴火におけるマグマ性の爆発的噴火活動. *歴史地震*, 査読有, 28, 2013, 85-90.

Ban, M., Ohba, T., Fujinawa, A., B01: Active Volcanoes in Northeast Japan, 2013 IAVCEI Field Trip Guide. *Bull. Volcanol. Soc. Jpn.* 58, 2013, B1-1-34. CD BOOK.

伴雅雄, 蔵王火山. *日本地質学会巡検案内書*. *地質雑*, 査読有, 119, 補遺, 120-133, 2013.

大場司・林信太郎・伴雅雄・近藤梓・葛巻貴大・鈴木真悟・古木久美子, 最近4500年間の鳥海火山の噴火活動. 湿原堆積物に保存された火山灰層の解析. *火山*, 査読有, 57巻, 65-76, 2012

Miura, K., Ban, M., Ohba, T., Fujinawa, A. Sequence of the 1895 eruption of the Zao volcano, Tohoku Japan. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 査読有, 247-248巻, 2012, 139-157

DOI: 10.1016/j.jvolgeores.2012.08.005

Nakahigashi, K., 9名, H. Sato, 他6名, Seismic structure of the source region of the 2007 Chuetsu-oki earthquake revealed by offshore-onshore seismic survey: asperity zone of intraplate earthquake delimited by crustal inhomogeneity, *Tectonophysics*, 査読有, 400, 2012, 14-25

DOI:10.1016/j.tecto.2012.06.052-47.

[学会発表](計19件)

Tsubokawa Y, Ishikawa M. Syntering of fine-grained polycrystalline diopside. 第34回極域地学シンポジウム, 2014年12月2日, 立川

本多聡子・石川正弘、曹灰長石ナノ粉末を用いた多結晶体の作製. *地殻ダイナミクス全体キックオフ会議*, 2014年10月20日, 京都

坪川祐美子・石川正弘、ディオブサイド細粒多結晶体の焼結. *地殻ダイナミクス全体キックオフ会議*, 2014年10月20日, 京都

坪川祐美子・石川正弘、ディオブサイドの細粒多結晶体の焼結. *日本鉱物科*

学会、2014年9月17日、熊本  
本多聡子・石川正弘、曹灰長石ナノ多結  
晶体の焼結。日本地質学会、2014年9  
月13日、鹿児島

佐藤比呂志・石山達也・加藤直子・稲葉  
充、北部フォッサマグナおよび北陸沖の  
地殻構造--北米プレート境界は存在す  
るか?日本地質学会、2014年9月13  
日、鹿児島

佐藤比呂志・石山達也・加藤直子・白石  
和也・阿部進・東中基倫・斎藤秀雄・稲  
葉充・武田哲也・川本友久、2013年北  
陸沖地殻構造探査の成果-背弧中絶リフ  
トの地殻構造-。石油技術協会特別講演  
会春季講演会、2014年6月5日、新潟  
大平茜・石川正弘、微粒正長石多結晶体  
の焼結実験。日本地球惑星科学連合  
2014年大会、2014年4月30日、横浜  
Ohira A, Ishikawa M., Sintering  
experiments on fine-grained  
polycrystalline orthoclase. Geofluid  
3, 2014年2月28日、東京

Ishikawa M., Matsubara M., Takeda T.,  
Tsuchiya N., Quartzofeldspathic lower  
crust and orthopyroxenitic uppermost  
mantle of Kitakami Belt,  
Japan: Structural and petrological  
evidence for slab melting and  
melt/mantle reaction. Geofluid 3,  
2014年2月28日、東京

佐藤比呂志・石山達也・加藤直子・阿部  
進・白石和也・斎藤秀雄・武田哲也・松  
原誠・稲葉充、東北日本背弧中絶リフト  
縁の大規模ウェッジスラストの形成。  
日本地震学会、2013年10月7日、横浜  
佐藤比呂志・石山達也・加藤直子・阿部  
進・白石和也・斎藤秀雄・稲葉充・石川  
正弘・武田哲也・松原誠、東北日本の背  
弧中絶リフトの形成と短縮変形。日本地  
質学会、2013年9月14日、仙台

Ban M, Takahashi T, Hirahara Y, Ohba  
T, Fujinawa A, Hayashi S, Yoshida T,  
Kimura J-I, Miyazaki T, Chang Q, Senda  
R, Tatsumi Y, Sr-Nd-Pb isotope  
compositions of frontal arc  
stratovolcanoes in Northeast Japan  
arc. IAVCEI 2013 Joint Assembly, 2013  
年7月20日、鹿児島

Ishikawa M., Stepwise Changes in Vp,  
Vs and Vp/Vs in Gabbroic  
Rocks. American Geophysical Union  
Fall meeting, 2012年12月6日、サン  
フランシスコ(米国)

石川正弘、日本海溝沈み込み帯のプレ  
ート境界近傍の花崗岩と蛇紋岩。日本地質  
学会、2012年9月16日、堺

佐藤比呂志、阿部進、河合展夫、加藤  
直子、石山達也、岩崎貴哉、斎藤秀雄、  
白石和也、稲葉充、川本友久(2012)ひ  
ずみ集中帯地殻構造探査:2012年六日

町-直江津測線。日本地球惑星科学連合、  
2012年5月23日、幕張

佐藤比呂志、石山達也、東北日本背弧域  
のひずみ集中の諸問題。日本地球惑星科  
学連合、2012年5月23日、幕張

石川正弘、東北日本弧の構成岩石モデル  
の構築とその問題。日本地球惑星科学連  
合、2012年5月23日、幕張

石川正弘、東北日本弧の地殻深部の不均  
質。日本地球惑星科学連合、2012年5月  
23日、幕張

〔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〕  
ホームページ等

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

石川 正弘 (ISHIKAWA, Masahiro)  
横浜国立大学・大学院環境情報研究院・教  
授

研究者番号: 70232270

### (2) 研究分担者

佐藤 比呂志 (SATO, Hiroshi)  
東京大学・地震研究所・教授  
研究者番号: 00183385

伴 雅雄 (BAN, Masao)

山形大学・理学部・教授

研究者番号: 50208724