

平成22年 5月25日現在

研究種目：基盤研究（B）  
 研究期間：2007～2009  
 課題番号：19340160  
 研究課題名（和文） 地殻部分融解域のポアソン比に関する高温高压測定実験  
 研究課題名（英文） Laboratory measurement of Poisson's ratio of lower crustal molten rocks under high temperatures and pressures

研究代表者  
 有馬 眞 (ARIMA MAKOTO)  
 横浜国立大学・大学院環境情報研究院・教授  
 研究者番号：10184293

研究成果の概要（和文）： 高温高压条件下で岩石試料の  $V_p$  と  $V_s$  を精密に測定可能とする装置を開発し、地殻構成岩石の部分融解条件において弾性波速度測定実験を行った。部分融解が弾性波速度に及ぼす影響を実験的に明らかにした。珪酸塩メルトや超臨界フルイド流体相のポアソン比や  $V_p/V_s$  比への影響評価を行い、東北日本の火山フロント地域の最上部マントルから火山直下まで連続して分布する低速度異常帯のポアソン比や  $V_p/V_s$  比の特性から、火山帯直下の地殻構造と珪酸塩メルトの存在量を推定した。

研究成果の概要（英文）： To examine effects of melt and fluid on  $V_p$  and  $V_s$  of crustal rocks, the present study has developed experimental techniques to measure ultrasonic velocities of rocks in the rock-water systems at high pressures and temperatures with a piston cylinder apparatus. We conducted  $V_p$  and  $V_s$  measurements of partially molten rocks and rocks having pore water, and propose a petrological model for the low velocity anomalous zone located at the northeast Japan arc crust.

## 交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	6,900,000	2,070,000	8,970,000
2008年度	2,800,000	840,000	3,640,000
2009年度	2,800,000	840,000	3,640,000
年度			
年度			
総計	12,500,000	3,750,000	16,250,000

研究分野：地球科学

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：弾性波速度、ポアソン比、地殻、部分融解、高温高压

## 1. 研究開始当初の背景

最近の地震学的研究により、島弧地殻の地震波速度構造、特にS波速度構造の解明が進み、地殻の  $V_p/V_s$  比・ポアソン比構造も詳細に示されるようになってきた。即ち、実験室で行う弾性波速度の測定値を、これら島弧地殻の地震波速度構造と比較することにより、

地殻におけるメルトの分布を定量的に見積もることが可能になってきた。東北日本では火山フロントに沿って、最上部マントルから火山直下まで低速度異常が連続しており、流体相（メルト）の存在が示唆されている。最上部マントル・下部地殻の低速度異常は高  $V_p/V_s$  比で特徴づけられる、一方、上部地殻

の低速度異常は低  $V_p/V_s$  比で特徴づけられることから、このような  $V_p/V_s$  比の高低の違いはメルトと超臨界  $H_2O$  流体の違いを反映していることが示唆されている。しかし、メルトや  $H_2O$  流体の  $V_p/V_s$  比への影響評価に関する実験的研究は充分行われておらず、低速度層の実体についてコンセンサスは得られていない。したがって、島弧地殻深部岩石に関する弾性波速度データは、日本列島の速度異常域やポアソン比異常域の実体を明らかにする上でも必要不可欠である。

## 2. 研究の目的

沈み込み帯に位置する日本列島では火山活動は必然であり、地殻内部におけるメルトの分布を定量的に明らかにすることは島弧におけるメルト生成機構を解明する上で非常に重要である。

メルトが存在する部分熔融層は地震波低速度層として現れると予想されるため、本研究では、地殻内部のメルト存在域を地震波速度・ポアソン比・ $V_p/V_s$  比から区分することを目的の一つとする。そのためには、島弧地殻深部に相当する高温高压条件で、中部地殻・下部地殻物質のポアソン比を精密に測定することが不可欠である。本研究具体的な目的は以下の通りである。

(1) 高温高压下で岩石試料の P 波・S 波速度を同時に測定する装置をさらに改良し、 $V_p/V_s$  比やポアソン比を精密に測定可能とする。

(2) メルトが P 波速度・S 波速度・ポアソン比に及ぼす影響を定量的に明らかにする。つまり、部分融解を岩石物性の視点から区分する指標を構築する。

## 3. 研究の方法

横浜国立大学設備のピストン-シリンダー型高压発生装置（内径 34mm）は島弧地殻深部同等の高温高压を発生可能であり、部分融解条件での弾性波速度装置へ改良した。コアドリルおよび切断機を用いて岩石コア試料を成型する。岩石コア試料は Pt カプセルに封入し、その側面は BN で覆う。Pt カプセルの片面は Pt バッファローッドと接し、バッファローッドのもう一方の面に鏡面研磨した円盤状のリチウムニオベート振動子を密着させる。圧力媒体はタルクを使用した。

## 4. 研究成果

(1) 丹沢山地に産する角閃石斑レイ岩の高温高压下における弾性波速度測定

丹沢山地は南部フォッサマグナ地域に位置する。フィリピン海プレートは、南海・駿河・相模トラフで本州弧の下に沈みこんでいるが、伊豆・小笠原島弧は沈み込むことができず、南部フォッサマグナ地域で海洋性島弧地殻を付加している。岩石学的研究によれば、

丹沢山地にはこの衝突・付加した伊豆・小笠原島弧の上部地殻から地殻深部までが広く露出している非常に稀な場所であり、海洋性島弧地殻の岩石学的構造を研究する上で注目されている。Kitamura, Ishikawa, Arima, (2003, Tectonophysics, 371, 213-221)は室温高压条件における丹沢深成岩類の弾性波速度実験から伊豆弧中部地殻にはトータル岩が、下部地殻上部には角閃石斑レイ岩がそれぞれ分布していると考えている。

これまでの丹沢深成岩類を用いた弾性波速度測定実験は、室温高压条件下のデータに温度補正を加えたものしか行われておらず、また P 波速度しか測定されていません。そこで本研究では丹沢山地に産する角閃石斑レイ岩の高温高压条件下における弾性波速度測定を行うことにより、より正確な伊豆小笠原島弧の地殻物性を求めることを目的としました。今回岩石試料として用いた角閃石斑レイ岩のサンプリング地点を示した（図 1）。大柵沢岩体でサンプリングした角閃石斑レイ岩と、道志川岩体でサンプリングした角閃石斑レイ岩を岩石試料として、高温高压実験を大柵沢の試料で 2 回、道志川の試料で 3 回行った。図 2 の上側が大柵沢のもので、下側が道志川で採取した角閃石斑レイ岩の鉱物モード比である。両岩石とも、角閃石と斜長石が約 80 vol. % を占めており、他に石英や磁鉄鉱、緑閃石も少量含まれていた。大柵沢の角閃石斑レイ岩では、他に少量の緑泥石、輝石、黒雲母も含まれていた。また、どちらにも多く含まれる斜長石の An 成分は、大柵沢が 90~94、道志川が 86~95 であった。

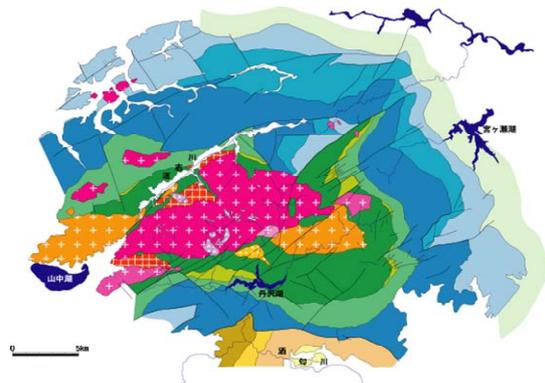


図 1 丹沢山地の地質図および岩石採取地点

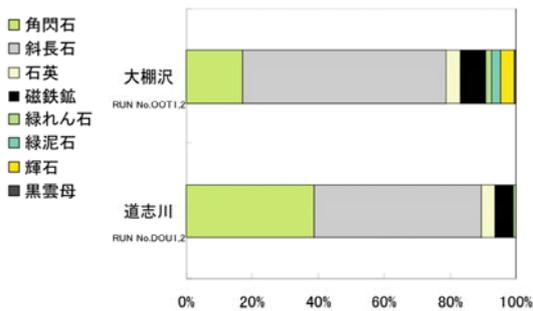


図2 岩石試料の鉱物モード比

図3は実験に用いる高圧セルシステムおよび弾性波速度測定装置の概略図となっている。直径5.7mm、長さ6.0mmに整形した岩石コア試料を白金カプセルに封入し、バッファローッドと接するように高圧セル中心部に設置した。また、バッファローッドには鏡面研磨した円盤状のデュアルモードのリチウムニオベート振動子を密着させた。圧力媒体としてタルクおよびパイロフィライトを使用した。Pt-Rh熱電対はアルミナ碍子を通して高圧セル中心部に設置し、常時温度測定を行った。実験方法としてパルス反射法を用いました。パルス反射法とはパルスジェネレーターから発せられた電気信号が振動子を伝って弾性波にかわり、バッファローッドを透過して試料の下側で跳ね返る波と、試料の上側で跳ね返る波のピークの伝播時間をこちらの式に代入してP波およびS波の速度を求める方法です。振動子はP波とS波を同時に測定可能なデュアルモード素子を使用しました。本研究では丹沢山地に産する角閃石斑レイ岩について、パルス反射法によりP波速度 ( $V_p$ ) およびS波速度 ( $V_s$ ) を最大1.0 GPa、800°Cの高温高圧条件下において測定し、それらやポアソン比の温度微分係数を決定した。

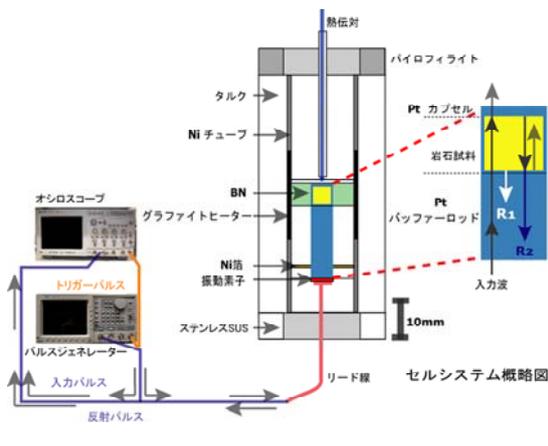


図3 高圧セルシステムおよび弾性波速度測定装置の概略図

ピストンシリンダー型高圧発生装置を用いて、0.1-1.0GPaまで昇圧させた後、25-800°Cまで試料を加熱した。試料は直径約6mm、高さは約5.5mmの円柱コアで、Ptカプセルに封入した。LiNbO<sub>3</sub>の10° Y-cut振動素子を使用した。タルクを圧力媒体とし、パルス反射法で測定を行った。

測定の結果、 $V_p$ とその温度微分係数は圧力1.0GPa、温度範囲25-800°Cにおいて、大柵沢産角閃石斑レイ岩が7.07-6.62km/s、 $-4.23 \times 10^{-4} \text{km s}^{-1} \text{C}^{-1}$ 。道志川産角閃石斑レイ岩が7.12-6.77km/s、 $-4.83 \times 10^{-4} \text{km s}^{-1} \text{C}^{-1}$ となった。 $V_s$ とその温度微分係数は圧力1.0GPa、温度範囲25-700°Cにおいて、大柵沢産角閃石斑レイ岩が3.81-3.56km/s、 $-3.86 \times 10^{-4} \text{km s}^{-1} \text{C}^{-1}$ 。道志川産角閃石斑レイ岩が3.79-3.42km/s、 $-5.94 \times 10^{-4} \text{km s}^{-1} \text{C}^{-1}$ であった。また、大柵沢産角閃石斑レイ岩のポアソン比は0.29-0.30で、道志川産角閃石斑レイ岩は0.30-0.33であった。大柵沢の試料と比較して道志川のは温度に強く依存しており、ポアソン比も高温になるにつれてかなり高い値を示した(図4)。

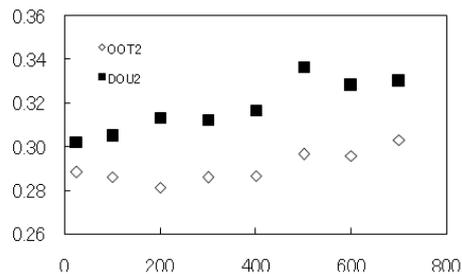


図4 ポアソン比と温度の関係

実験終了後、実験試料の構成鉱物や反応組織を鏡下観察し、鉱物化学組成をEPMAで分析した。その結果、どちらの試料にもガーネットが生成されており、大柵沢では部分融解時に形成されたと思われる自形のものも確認できた(図5)。またどちらにも輝石類が多く見られるようになった。グラニュライト相の変成作用を被り、角閃石が脱水反応を起こし、速度及びポアソン比にも影響を及ぼしたと思われる。

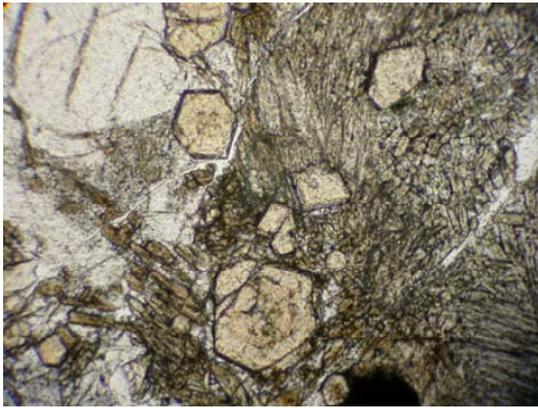


図5 高圧高温実験後の岩石試料薄片写真

(2) 東北日本の下部地殻構成岩石モデルと部分融解域の推定

近年の地震観測技術向上により東北本州弧地下深部に関する精度良い地震波速度の不均質モデルが得られている。例えば、Nakajima et al. (2001) が明らかにした地震波トモグラフィーによって東北本州弧地下深部の地震波速度分布が不均質であることが示唆されている。この原因として考えられるのが ① 温度異常, ② フリイド (マグマや水), ③ 構成岩石などの不均質構造が挙げられるが, 詳細を明らかにしている研究は数少ない。岩石学的研究から見積もられるモデルと地震学的速度構造を同一に矛盾無く論議を行うには岩石の物性を精確に決めることが極めて重要である。Nishimoto et al. (2008) の研究では一の目湯捕獲岩を使用し, 温度 $\sim 800$  °C, 圧力 $\sim 1.0$  GPa のサブソリダス条件下で P 波 ( $V_p$ )・S 波 ( $V_s$ ) 測定を行った。これらの結果を用い, P 波速度構造ならびに地震波速度トモグラフィーの岩石学的な解釈を行った。地震波速度トモグラフィーにおける速度偏差不均質構造を岩石学的に解釈するために, 測定実験から得られた  $V_p$  および  $V_s$  との比較を行った。比較は深度 25 km における背弧, 奥羽脊梁山脈, 北上山地で行い, その岩石分布・温度構造を推定した。比較にあたっては, Iwasaki et al. (2001) との比較から見積もられた下部地殻構成岩の  $V_p$  および  $V_s$  値を用い, 地下深部における一次元基準速度プロファイルを設定した。その基準速度から実験速度の速度偏差値 ( $dV_p$ ,  $dV_s$ ) を求め,  $V_p$ ,  $V_s$  の速度偏差を軸とした  $V_p$ - $V_s$  速度偏差図上で実験データとトモグラフィーデータとの比較検討を行った。この  $V_p$ - $V_s$  速度偏差図上では, 一定圧の場合, 温度の効果により速度は低下するが,  $V_p/V_s$  比の変化は小さい。その結果,  $V_p$ - $V_s$  速度偏差図上で,  $V_p/V_s$  比が異なる岩石を互いに識別することが可能である (図6)。比較の結果,

深度 25 km において, 背弧側では, 高速度域 (日本海沿岸部,  $dV_p = 1\sim 3\%$ ,  $dV_s = 2\sim 5\%$ ) は角閃石輝石はんれい岩, 基準速度とそれほど差のない地域 (東北本州弧西側,  $dV_p = -1\sim -1\%$ ,  $dV_s = -2\sim 2\%$ ) は角閃石はんれい岩が分布し, その温度範囲は  $600\sim 800$  °C 前後と推定された。背弧側の鳥海山周辺と奥羽脊梁山脈地域の火山体周辺では, そのほとんどが低速度異常を示す地域で,  $dV_p < -2\%$ ,  $dV_s < -3\%$  の低速度異常域は角閃石はんれい岩かつ  $800$  °C 以上のソリダス温度を超えていると推定され, 部分融解状態にある可能性が高い。一方で, 北上山地におけるトモグラフィーの速度偏差は, 一の目湯捕獲岩の実験データとは明らかに異なる値を示し ( $dV_p = -2\sim -4\%$ ,  $dV_s = 2\sim 4\%$ ), 様々な鉱物の速度偏差値から背弧側よりは珪長質な岩石が分布する可能性がある。以上のように東北本州弧の下部地殻は東西方向において構成岩石, 温度分布の不均質性が認められた。この不均質性は東北本州弧の地質構造と明らかな対応が見られ, すなわち, 北上山地の古い地殻, 背弧海盆拡大期における日本海西縁及び沿岸部の大和海盆・飛鳥海盆の新しい地殻, 島弧火山活動期における奥羽脊梁山脈での火山体の発達に対応する現在の地殻, という長い構造発達史のなかで形成されたと推定される。

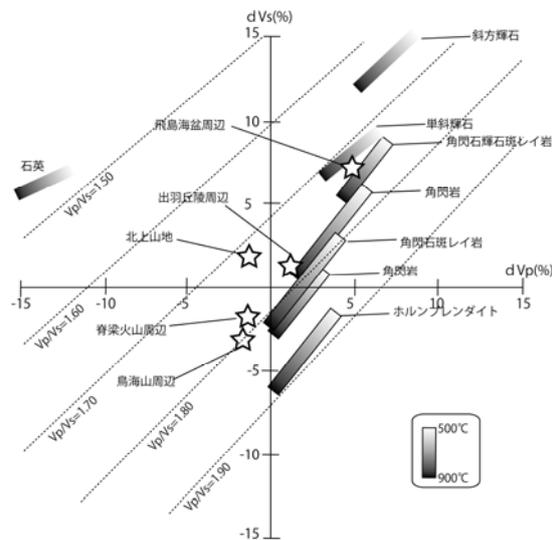


図6. 圧力 0.8GPa における一の目湯捕獲岩の岩石速度と深度 25km の地震波トモグラフィーを  $dV_p$ - $dV_s$  座標上で比較

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 5 件)
- ① Matsumoto, Y., Ishikawa, M., Terabayashi, M. & Arima, M. (2010) Simultaneous measurements of

compressional wave and shear wave velocities, Poisson's ratio,  $V_p/V_s$  under deep crustal pressure and temperature conditions: Example of silicified pelitic schist from Ryoke belt, SW Japan. the Island Arc, vol.19, p. 30-39. 査読有.

- ② Kono, Y., Ishikawa, M., Harigane, Y., Michibayashi, K., Arima, M. (2009) P- and S-wave velocities of the lowermost crustal rocks from the Kohistan arc: Implications for seismic Moho discontinuity attributed to abundant garnet. *Tectonophysics*, 467, 44-54. 査読有.
- ③ Ishikawa, M., Shingai, E. Arima, M. (2008) Elastic properties of high-grade metamorphosed igneous rocks from Enderby Land and eastern Dronning Maud Land, Antarctica: evidence for biotite-bearing mafic lower crust. *Geol. Soc., London, Special Publications*, 308, 183-194. 査読有.
- ④ Nishimoto, S., M. Ishikawa, M. Arima, T. Yoshida, and J. Nakajima, (2008) Simultaneous high P-T measurements of ultrasonic compressional and shear wave velocities in Ichino-megata mafic xenoliths: Their bearings on seismic velocity perturbations in lower crust of northeast Japan arc, *J. Geophys. Res.*, 113, B12212, doi:10.1029/2008JB005587. 査読有.
- ⑤ Kono, Y., Miyake, A., Ishikawa, M., Arima, M. (2008) Temperature derivatives of elastic wave velocities in plagioclase ( $An_{51\pm 1}$ ) above and below the order-disorder transition temperature. *American Mineralogist*, 93, 558-564. 査読有

[学会発表] (計 6 件)

- ① S. Saito, M. Ishikawa M. Arima, Y. Tatsumi (2009) Simultaneous ultrasonic velocities, porosity and pressure measurements at upper to lower crustal pressures using piston-cylinder apparatus: Influence of microcracks on the elastic properties of crustal rocks. AGU Fall Meeting San Francisco, December 16
- ② 松本有希, 高温高压条件下での多結晶石英の弾性波速度への水の影響, 日本地質学会, 2008年9月21日, 秋田
- ③ 勝根郷, 丹沢山地に産する角閃石ハンレ

イ岩の最大 1.0GPa 800°Cにおける弾性波速度測定, 日本地球惑星科学連合, 2008年5月26日, 幕張

- ④ Kojo, S., Elastic wave velocities and Poisson's ratios of amphibolite up to 900 ° C at 1.0 GPa: Effect of dehydration melting on Poisson's ratio of mid- to lower crustal rock, American Geophysical Union Fall meeting, 2007年12月12日, San Francisco
- ⑤ 小城志保子, 丹沢角閃岩・緑色片岩の高温高压条件下における弾性波速度とポアソン比, 日本地質学会, 2007年9月10日, 札幌
- ⑥ 勝根郷, 丹沢山地に産する角閃石ハンレイ岩の高温高压下における弾性波速度測定, 日本地質学会, 2007年9月10日, 札幌

[図書] (計 1 件)

- ① Ishikawa, M. & Arima, M. (2009) Laboratory measurements of ultrasonic wave velocities of crustal rocks at high pressures and temperatures: Petrological structure of Izu-Bonin-Mariana arc crust. *In* Gupta & Dasgupta (eds). *Physics and Chemistry of the Earth's Interior. Crust, Mantle and Core*, p.143-152. Springer-Verlag

[その他]

ホームページ等

[http://www.eis.ynu.ac.jp/natural\\_frame.htm](http://www.eis.ynu.ac.jp/natural_frame.htm)

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

有馬 眞 (ARIMA MAKOTO)

横浜国立大学・大学院環境情報研究院・教授  
研究者番号: 10184293

### (2) 研究分担者

石川 正弘 (ISHIKAWA MASAHIRO)

横浜国立大学・大学院環境情報研究院・准教授

研究者番号: 70232270

(H.20→21 連携研究者)

### (3) 連携研究者