

3. 1. 2. 2 関東下の構成岩石モデルの構築

(1) 業務の内容

(a) 業務の目的

関東下で予想される岩石の高温・高圧下での弾性波速度を測定し、構成岩石モデルを構築する。

(b) 平成 26 年度業務目的

関東周辺の地殻を構成する岩石を対象として弾性波速度測定実験を行なう。岩石の弾性波速度に関するデータを整理・収集するとともに既存の地震波トモグラフィーの結果に基づき、首都圏周辺域南部の地殻構成岩石に関する初期モデルを作成する。

(c) 担当者

所属機関	役職	氏名	メールアドレス
横浜国立大学大学院環境情報研究院	教授	石川 正弘	

(2) 平成 26 年度の成果

(a) 業務の要約

関東周辺の地殻を構成する岩石を対象として、弾性波速度に関する基礎データを得た。

関東下の陸側プレートの地殻構成岩石に関する初期モデルを得た。

平成 25 年度までに得られた関東下に沈み込むフィリピン海スラブの地殻構成岩石に関するモデルを更新した。

(b) 業務の成果

1) 岩石の弾性波速度測定実験

関東地域下では、伊豆小笠原弧前弧がフィリピン海プレートとして陸側プレートの下に沈み込む一方、神奈川県西部では伊豆小笠原弧北部が衝突することで、海洋性島弧地殻の断片が付加するという複雑なテクトニクスを起こしている(Sato *et al.*, 2005¹⁾、Arai *et al.*, 2009²⁾)。また、丹沢層群などの海洋性島弧の地殻断片の地質体の北部には四万十帯が分布している。四万十帯は首都圏周辺域にも連続していると推定されているが、関東平野では第四紀堆積物が広く表層を覆っているために直接その分布を追跡することができない。しかし、関東地域における本州地殻の構造と構成岩石を推測することは、関東地域の地殻物性モデルに粘性等の拘束条件を与える上で重要であり、首都直下地震を考察する上でも必要不可欠である。本年度は、関東地方の本州地殻構成岩石の初期モデルを検討するために、四万十帯および丹沢層群を構成する岩石を対象として高圧下で弾性波速度測定実験を実施した(図 1、P.82)。なお、実験に際しては、横浜国立大学石川研究室所属の本多聡子氏の協力を得た。

a) 実験手法

横浜国立大学設置のピストンシリンダー高圧発生装置を用いて(図 2、P.82)、直径 14 mm、長さ 12 mm のコア試料を対象として最大圧力 1.0 GPa 下で P 波速度 (V_p)、S 波速度 (V_s)、 V_p/V_s を測定した。圧力媒体としてタルクとパイロフィライトを使用した。山梨県大月市に露出している四万十帯古第三系の頁岩および山梨県北都留郡に露出している四万十帯白亜系の砂岩、神奈川県丹沢山地に露出している丹沢層群の角閃岩を実験試料として用いた。今回の実験では P 波・S 波発振用のデュアルモード圧電素子を用いたパルス反射法測定法を採用し、岩石の P 波速度と S 波速度を同時に測定し、 V_p/V_s を決定した。パルス反射法ではまず、任意波形発生装置から特定周波数の正弦バースト波 (P 波速度測定時に 7 MHz、S 波速度測定時に 3 MHz、2 周期または 3 周期、電圧幅 $2V_{p-p}$) を圧電素子に入力する。次に、電気信号は圧電素子により弾性波に変換され、高圧セルシステム内のバッファロードを伝搬し、岩石試料の下面と上面で反射し、圧電素子に戻ってきた弾性波はふたたび電気信号に変換される。波形データはデジタルオシロスコープで 1024 回のアベレーシングを施されたものである。岩石試料の上面と下面からの伝搬時間の差が岩石試料中を伝搬した往復走時であり、P 波及び S 波速度を測定する。

b) 実験結果

i) 四万十帯の頁岩

山梨県大月市には分布する四万十帯古第三系の岩石が分布しており、頁岩は主要な構成岩石のひとつである。今回、四万十帯から採取した頁岩を実験試料として用いた。主に微細粒な石英と長石から構成される緻密な岩石である。密度は 2.66 g/cm^3 である。実験時の温度は室温 25°C で、昇圧しながら 0.15 GPa から 0.70 GPa まで測定した。P 波速度、S 波速度、ならびに V_p/V_s をそれぞれ図に示した(図 3、P.83、図 4、P.83、図 5、P.84)。 0.5 GPa 以上の高圧側の P 波速度は約 $6.06\sim 6.07 \text{ km/s}$ 、S 波速度は約 $3.65\sim 3.67 \text{ km/s}$ であり、 V_p/V_s は約 $1.65\sim 1.66$ である。低 V_p/V_s は石英が主要構成鉱物として頁岩に含まれることを反映している。

ii) 四万十帯の砂岩

山梨県北都留郡には分布する四万十帯白亜系の岩石が分布しており、砂岩は主要な構成岩石のひとつである。今回、四万十帯白亜系から採取した砂岩を実験試料として用いた。主に石英と長石から構成される緻密な岩石である。密度は 2.67 g/cm^3 である。実験時の温度は室温 25°C で、昇圧しながら 0.15 GPa から 1.00 GPa まで測定した。P 波速度、S 波速度、ならびに V_p/V_s をそれぞれ図に示した(図 6、P.84、図 7、P.85、図 8、P.85)。 0.5 GPa 以上の高圧側の P 波速度が約 $6.00\sim 6.08 \text{ km/s}$ 、S 波速度が約 $3.75\sim 3.78 \text{ km/s}$ 、 V_p/V_s が約 $1.60\sim 1.61$ である。低 V_p/V_s が特徴的であり、頁岩と同様に石英が主要構成鉱物として含まれることを反映している。

iii) 丹沢層群の角閃岩

丹沢層群は海洋性島弧である伊豆小笠原弧の上部地殻を構成していたものが伊豆弧の衝突付加によって本州陸側に露出したと考えられている。丹沢層群の一部は変成作用を被

っており、今回の実験に用いた角閃岩は主に角閃石、斜長石から構成されている。密度は 2.92 g/cm^3 である。

実験時の温度は室温 25°C で、昇圧しながら 0.20 GPa から 1.00 GPa まで測定した。P 波速度、S 波速度、ならびに V_p/V_s をそれぞれ図に示した(図 9、P.86、図 10、P.86、図 11、P.87)。 0.5 GPa 以上の高圧側の P 波速度が約 $6.61\sim 6.73 \text{ km/s}$ 、S 波速度が約 $3.79\sim 3.83 \text{ km/s}$ 、 V_p/V_s が約 $1.75\sim 1.76$ である。

c) 関東下の陸側プレートの地殻構成岩石

地表に分布する岩石の弾性波速度を高圧条件で測定することは、地表に露出する地質体が地殻のどの深さまで分布するのかを推測する上で重要な研究である。平成 24 年度の業務では丹沢深成岩を、平成 25 年度の業務では丹沢層群の緑色岩の弾性波速度測定を行ってきたので、本年度は新たに四万十帯の岩石について弾性波速度測定を行った。本業務の実験によって得られた四万十帯の頁岩および砂岩の P 波速度はそれぞれ約 $6.06\sim 6.07 \text{ km/s}$ と約 $6.00\sim 6.08 \text{ km/s}$ である。この岩石の速度は Arai *et al.* (2009)²⁾で示された四万十帯の分布域の上部地殻深部の速度 ($6.1\text{-}6.2\text{ km/s}$) とほぼ調和的であり、四万十帯が 10 km 超の深さまで分布することを示唆する。一方、四万十帯の分布域の 10 km 超以深の地殻深部では P 波速度は $6.5\text{-}6.6 \text{ km/s}$ であるので²⁾、石英を主要構成鉱物とする四万十帯の頁岩や砂岩が構成岩石とは考えられない。図 12 (P.87) に示したように、四万十帯の頁岩および砂岩は著しく低い V_p/V_s で特徴付けられる。首都圏を含む関東平野部はいわゆる基盤岩石が露出していないために、その地殻構成岩石は現時点では不明であるが、主に頁岩および砂岩から構成される四万十帯は低 P 波速度かつ低 V_p/V_s の領域として地震波トモグラフィーから分布域を推測できるかもしれない。

2) フィリピン海スラブの地殻構成岩石

フィリピン海プレートの東縁に海洋性島弧（伊豆小笠原弧）が形成されているために、関東の陸側プレートの下には伊豆小笠原弧の火山フロントから前弧域が沈み込んでいる。その為に関東下に沈み込むフィリピン海スラブの温度は火山フロント側では比較的高温であり、前弧域に向かって相対的に冷たくなっていると推測される。首都圏地震観測網 (MeSO-net) による地震波トモグラフィー (Nakagawa *et al.*, 2011³⁾) は、東京湾直下のフィリピン海スラブの P 波速度が上昇していく様子を捉えており、P 波速度の上昇は沈み込んだ伊豆弧前弧地殻の変成作用に伴う相転移に対応するものと期待される。フィリピン海スラブ、特に沈み込んだ地殻がどのように変成し、鉱物組み合わせが変わっていくのかを推測するために、伊豆弧前弧玄武岩の伊豆弧前弧玄武岩の全岩化学組成 (Taylor *et al.*, 1992⁴⁾) を用いて Theriak-Domino ソフトウェアで相図（鉱物組み合わせ）を平成 25 年度に引き続き作成し、鉱物組み合わせに基づきエクロジャイト、ざくろ石角閃岩、ざくろ石グラニュライトの岩相分布領域と部分融解域を推測した（図 13、P.88）。また、地震波トモグラフィー (Nakagawa *et al.*, 2011³⁾) は、東京湾直下の V_p/V_s もマッピングしており、高 V_p/V_s 領域は沈み込んだ伊豆弧前弧地殻の変成作用に伴う脱水した H_2O 分布に対応するものと期待される。沈み込んだ伊豆弧前弧地殻がどのように変成し、脱水していくのかを推測するために、伊豆弧前弧玄武岩の全岩化学組成 (Taylor *et al.*, 1992⁴⁾) を用いて Theriak-Domino

ソフトウェアで含水鉱物として含まれる H_2O 量を推測した (図 14、P.88)。東京湾直下の深さ約 40 km でエクロジャイトに相転移する条件を考えると、やや暖かいスラブの沈み込みに伴う変成作用と脱水作用によって、沈み込んだ海洋地殻の地震波速度と周辺域の高 V_p/V_s を説明することが出来るかも知れない。

(c) 結論ならびに今後の課題

関東周辺の本州地殻を構成する岩石を対象として、最大 1.0 GPa の高圧下で弾性波速度測定実験を行い P 波速度、S 波速度、 V_p/V_s に関する基礎データを得た。具体的には、山梨県に露出している四万十帯の頁岩および砂岩、神奈川県丹沢山地に露出している丹沢層群の角閃岩を実験試料として用いた。測定の結果、山梨県に露出している四万十帯の頁岩および砂岩はともに 0.5 GPa 以上の高圧側の P 波速度が約 6.06~6.07 km/s と約 6.00~6.08 km/s、S 波速度が約 3.65~3.67 km/s と約 3.75~3.78 km/s、 V_p/V_s が約 1.65~1.66 と約 1.60~1.61 である。また、神奈川県丹沢山地に露出している丹沢層群の角閃岩は P 波速度が約 6.61~6.73 km/s、S 波速度が約 3.79~3.83 km/s、 V_p/V_s が約 1.65~1.66 である。丹沢層群の角閃岩の測定値は、平成 25 年度業務の実験で得た丹沢層群の緑色岩の P 波速度、S 波速度、 V_p/V_s と同程度の値である。四万十帯の頁岩および砂岩と丹沢層群の角閃岩および緑色岩の測定結果を比較すると、四万十帯の頁岩および砂岩の低い P 波速度と著しく低い V_p/V_s で特徴付けられることが明らかである (図 12、P.87)。四万十帯の頁岩および砂岩は主に石英や長石の粒子から構成されており、低い V_p/V_s は多くの石英粒子を含むことに起因している。したがって、主に頁岩および砂岩から構成される四万十帯は低 P 速度かつ低 V_p/V_s の領域として見える可能性があることがわかった。首都圏を含む関東平野部はいわゆる基盤岩石が露出していないために、首都圏周辺下の本州地殻構成岩石は現時点では不明であるが、地震波トモグラフィーから温度構造を推測して行くことが今後の課題として考えられる。

平成 25 年度に引き続き、首都圏地震観測網(MeSO-net) による地震波トモグラフィー (Nakagawa *et al.*, 2011³⁾) に基づきフィリピン海スラブの地殻構成岩石モデルを検討した。加えて、スラブからの脱水モデルを検討した。今後も、MeSO-net による地震波トモグラフィー (Nakagawa *et al.*, 2011³⁾) と岩石の鉱物組み合わせの相平衡計算、脱水モデル、岩石の弾性波速度に基づき、首都圏直下のフィリピン海スラブの構成岩石を推測し、沈み込みに伴う海洋地殻の相転移と H_2O の分布、スラブ温度構造についてさらに妥当なモデルを検討する必要がある。

今年度、はじめて、上盤側プレートの地殻構成岩石について岩石の弾性波速度に関する基礎データを収集した。今後も継続して早急にデータを収集する必要がある。平成 27 年度は上盤側プレートと下盤側プレートを統合することが重要な課題である。

(d) 引用文献

- 1) Sato, H., Hirata, N., Koketsu, K. Okaya, D., Abe, S., Kobayashi, R., Matsubara, M., Iwasaki, T., Ito, T., Ikawa, T., Kawanaka, T., Kasahara, K. and Harder, S.: Earthquake Source Fault Beneath Tokyo, Science, Vol.309, pp.462-464, 2005.
- 2) Arai, R., Iwasaki, T., Sato, H., Abe, S. and Hirata, N.: Collision and subduction structure of

the Izu–Bonin arc, central Japan, revealed by refraction/wide-angle reflection analysis, Tectonophysics, Vol.475, pp.438-453, 2009.

- 3) Nakagawa, S., Kato, A., Sakai, S., Nanjo, K., Panayotopoulos, Y., Kurashimo, E., Obara, K., Kasahara, K., Aketagawa, T., Kimura, H. and Hirata, N.: Heterogeneous Structure and Seismicity beneath the Tokyo Metropolitan Area, AGU Fall Meeting Abstracts, 2011.
- 4) Taylor, R. N., Lapierre, H., Vidal, P., Nesbitt, R. W. and Croudace, I. W.: Igneous geochemistry and petrogenesis of the Izu-Bonin forearc basin, AGU Fall Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results, Vol.126, pp.405-430, 1992.

(e) 学会等発表実績

学会等における口頭・ポスター発表

発表成果（発表題目、口頭・ポスター発表の別）	発表者氏名	発表場所 （学会等名）	発表時期	国際・国内の別
首都圏直下のフィリピン海スラブの相転移と温度（口頭）	石川正弘・ 中川茂樹・ 酒井慎一・ 平田 直・ 佐藤比呂志・ 笠原敬司	日本地球惑星科学 連合 2014 年大会 （横浜市）	2014 年 4 月 30 日	国内
メガスラスト直下のスラブ構成岩石：伊豆衝突帯（ポスター）	石川正弘	日本地球惑星科学 連合 2014 年大会 （横浜市）	2014 年 5 月 1 日	国内
関東地震震源断層直下のスラブ構成岩石：伊豆衝突帯の例（口頭）	石川正弘・ 坪川祐美子・ 本多聡子	日本地質学会 （鹿児島市）	2014 年 9 月 15 日	国内

学会誌・雑誌等における論文掲載

なし

マスコミ等における報道・掲載

なし

(f) 特許出願，ソフトウェア開発，仕様・標準等の策定

1) 特許出願

なし

2) ソフトウェア開発

なし

3) 仕様・標準等の策定

なし

(3) 平成 27 年度業務計画案

平成 26 年度に引き続き関東周辺の地殻を構成する岩石を対象として弾性波速度測定実験を行い、弾性波速度に関する基礎データセットを構築する。また、得られた弾性波速度の基礎データセットに基づき、首都圏北部の地殻構成岩石モデルを得る。

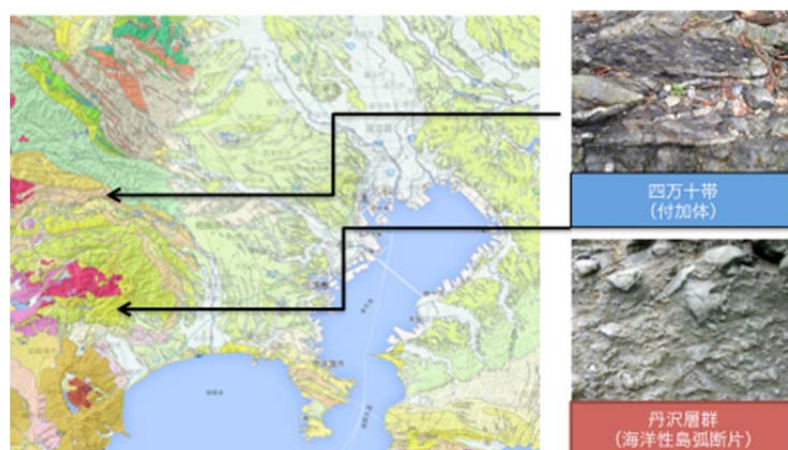


図 1 四万十帯の頁岩および砂岩、丹沢の角閃岩試料の採取地点。産総研地質調査総合センター 20 万分の 1 日本シームレス地質図 (<https://gbank.gsj.jp/seamless/>) を用いた。



図 2 弾性波測定装置。ピストンシリンダー型高圧発生装置（左上）と従来の高圧セルシステムの一例（左下）。今回設計した高圧セルシステム。

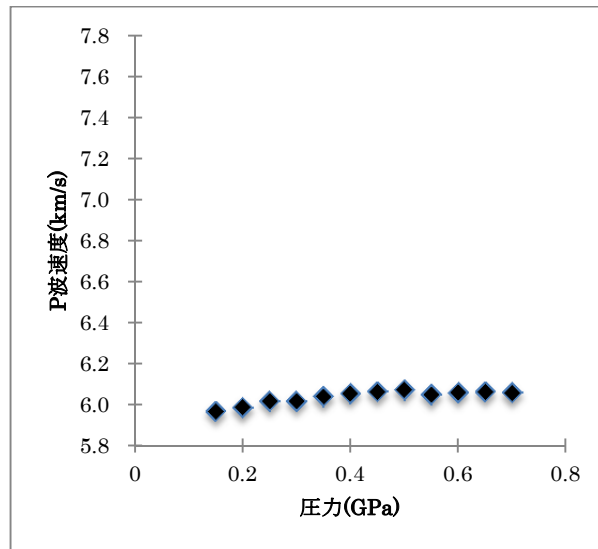


図3 四万十帯を構成する頁岩のP波速度測定実験結果（室温）。山梨県大月市に露出する四万十帯を構成する頁岩を実験試料として、ピストンシリンダー型高圧発生装置を用いて最大0.7 GPaの高圧条件下・室温でP波速度を測定した。0.5 GPa以上の高圧側のP波速度は約6.06～6.07 km/sである。

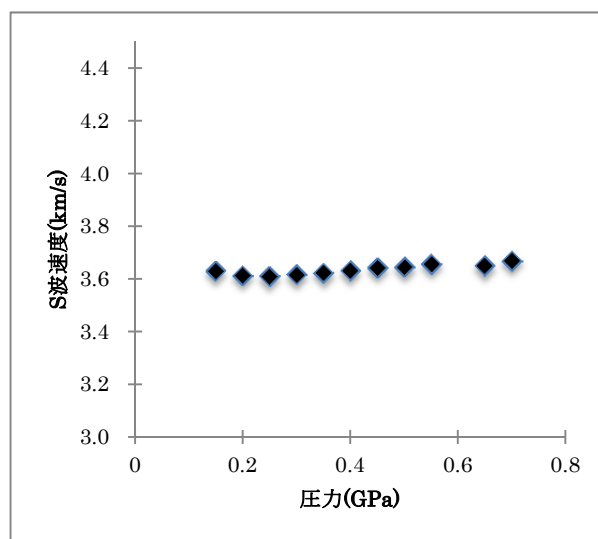


図4 四万十帯を構成する頁岩のS波速度測定実験結果（室温）。山梨県大月市に露出する四万十帯を構成する頁岩を実験試料として、ピストンシリンダー型高圧発生装置を用いて最大0.7 GPaの高圧条件下・室温でS波速度を測定した。S波速度は約3.6 km/sである。0.5 GPa以上の高圧側のS波速度は約3.65～3.67 km/sである。

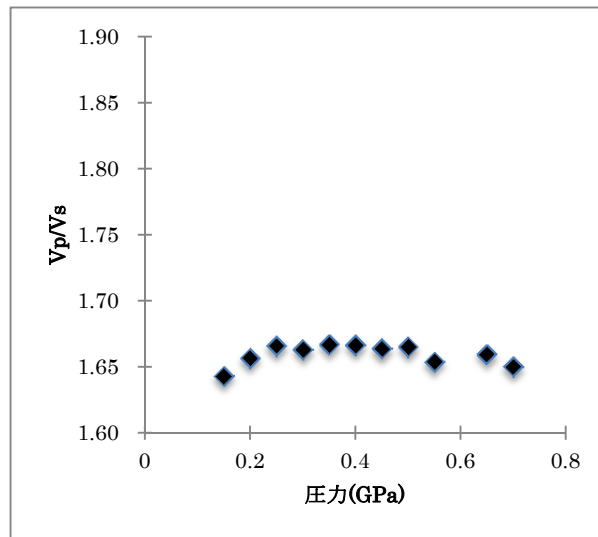


図 5 四万十帯を構成する頁岩の V_p/V_s 測定実験結果（室温）。山梨県大月市に露出する四万十帯を構成する頁岩を実験試料として、ピストンシリンダー型高圧発生装置を用いて最大 0.7 GPa の高圧条件下・室温で V_p/V_s を測定した。0.5 GPa 以上の高圧側の V_p/V_s は約 1.65～1.65 である。

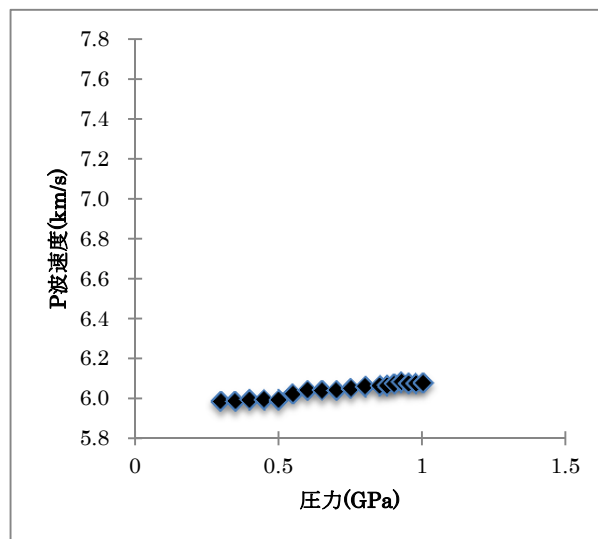


図 6 四万十帯を構成する砂岩の P 波速度測定実験結果（室温）。山梨県北都留郡に露出する四万十帯を構成する砂岩を実験試料として、ピストンシリンダー型高圧発生装置を用いて最大 1.0 GPa の高圧条件下・室温で P 波速度を測定した。0.5 GPa 以上の高圧側の P 波速度は約 6.00～6.08 km/s である。

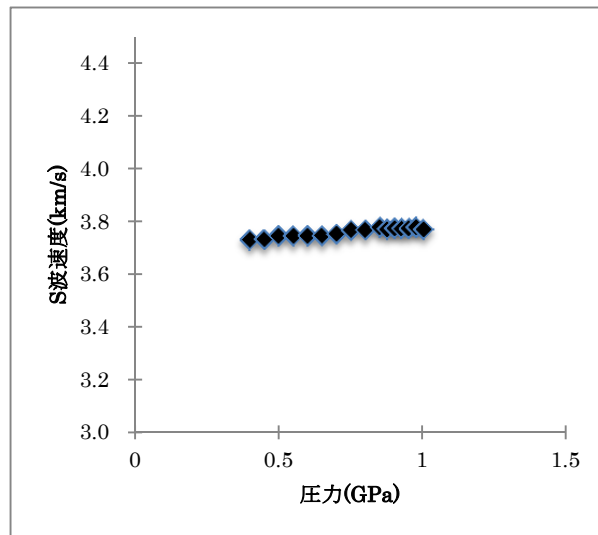


図 7 四万十帯を構成する砂岩の S 波速度測定実験結果（室温）。山梨県北都留郡に露出する四万十帯を構成する砂岩を実験試料として、ピストンシリンダー型高圧発生装置を用いて最大 1.0 GPa の高圧条件下・室温で S 波速度を測定した。0.5 GPa 以上の高圧側の S 波速度は約 3.75～3.78 km/s である。

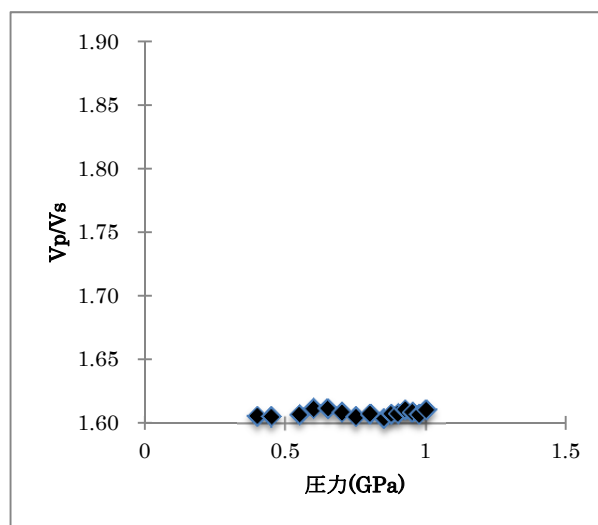


図 8 四万十帯を構成する砂岩の V_p/V_s 測定実験結果（室温）。山梨県北都留郡に露出する四万十帯を構成する砂岩を実験試料として、ピストンシリンダー型高圧発生装置を用いて最大 1.0 GPa の高圧条件下・室温で V_p/V_s を測定した。0.5 GPa 以上の高圧側の V_p/V_s は約 1.60～1.61 である。

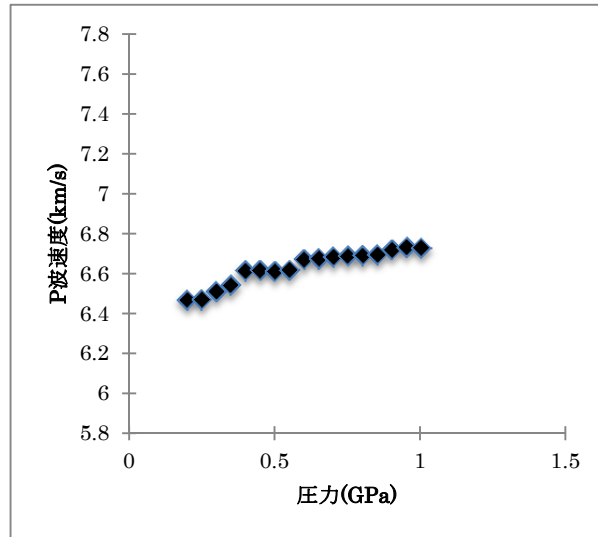


図 9 丹沢層群を構成する角閃岩の P 波速度測定実験結果（室温）。神奈川県丹沢山地に露出する丹沢層群を構成する角閃岩を実験試料として、ピストンシリンダー型高压発生装置を用いて最大 1.0 GPa の高压条件下・室温で P 波速度を測定した。0.5 GPa 以上の高压側の P 波速度は約 6.61～6.73 km/s である。

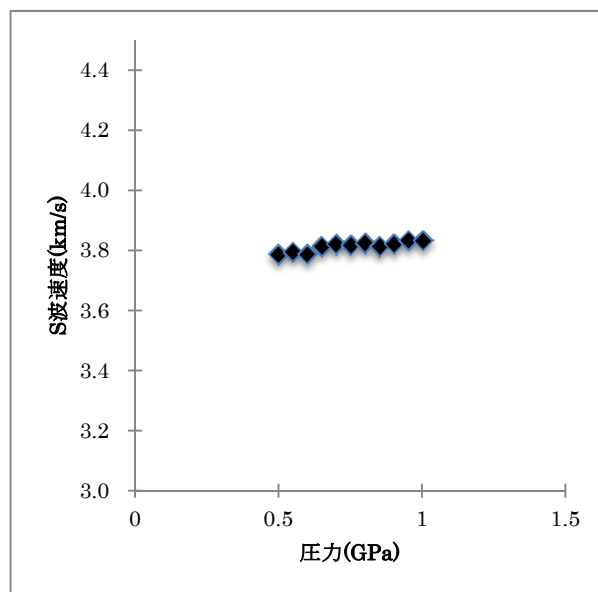


図 10 丹沢層群を構成する角閃岩の S 波速度測定実験結果（室温）。神奈川県丹沢山地に露出する丹沢層群を構成する角閃岩を実験試料として、ピストンシリンダー型高压発生装置を用いて最大 1.0 GPa の高压条件下・室温で S 波速度を測定した。0.5 GPa 以上の高压側の S 波速度は約 3.79～3.83 km/s である。

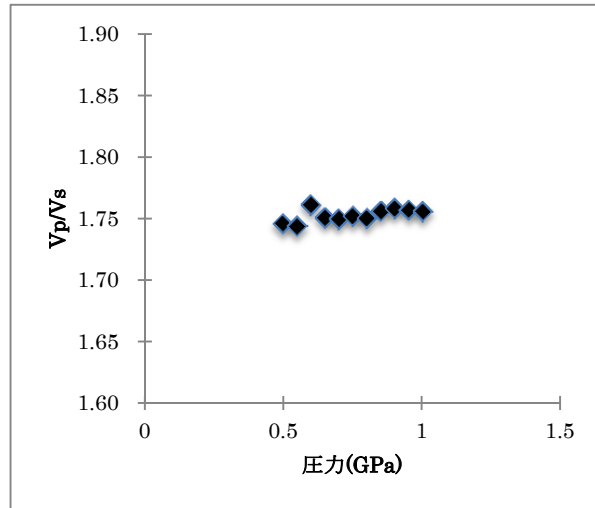


図 11 丹沢層群を構成する角閃岩の V_p/V_s 測定実験結果（室温）。神奈川県丹沢山地に露出する丹沢層群を構成する角閃岩を実験試料として、ピストンシリンダー型高压発生装置を用いて最大 1.0 GPa の高压条件下・室温で V_p/V_s を測定した。0.5 GPa 以上の高压側の V_p/V_s は約 1.75～1.76 である。

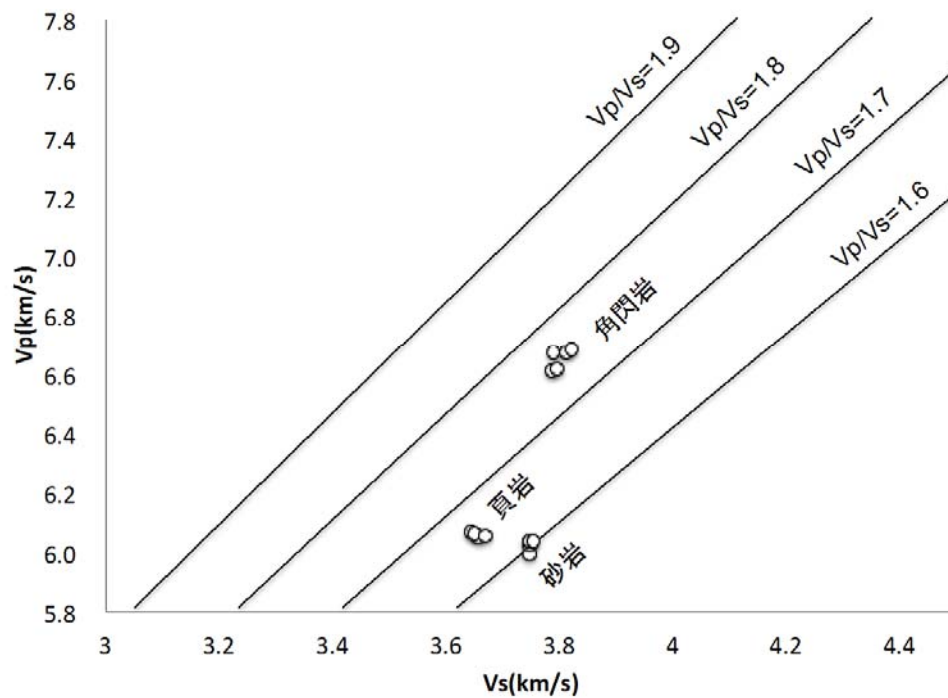


図 12 四万十帯を構成する頁岩および砂岩と丹沢層群を構成する角閃岩の V_p/V_s 。圧力が 0.4 GPa から 0.7 GPa のデータを V_p - V_s 座標上にプロット。

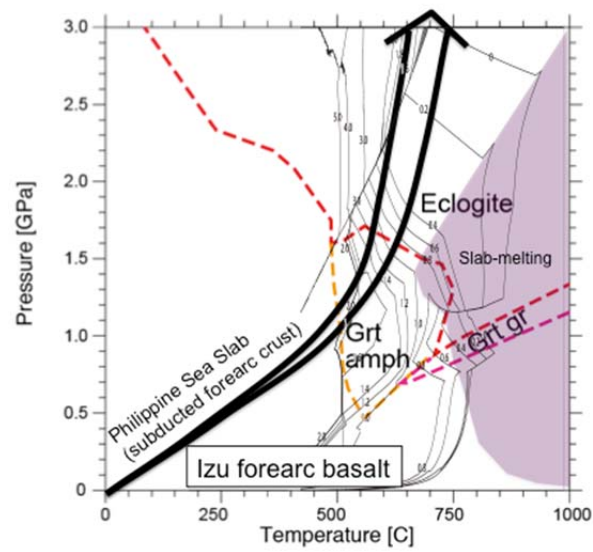


図 13 伊豆弧前弧玄武岩組成の岩相と部分融解域。T 伊豆弧前弧玄武岩の化学組成を用いて鉱物組み合わせを Theriak-Domino プログラムを用いて計算し、エクログャイト (Eclogite) ・ざくろ石角閃岩(Grt amph) ・ざくろ石グラニュライト(Grt gr)の分布域を推測した一例。

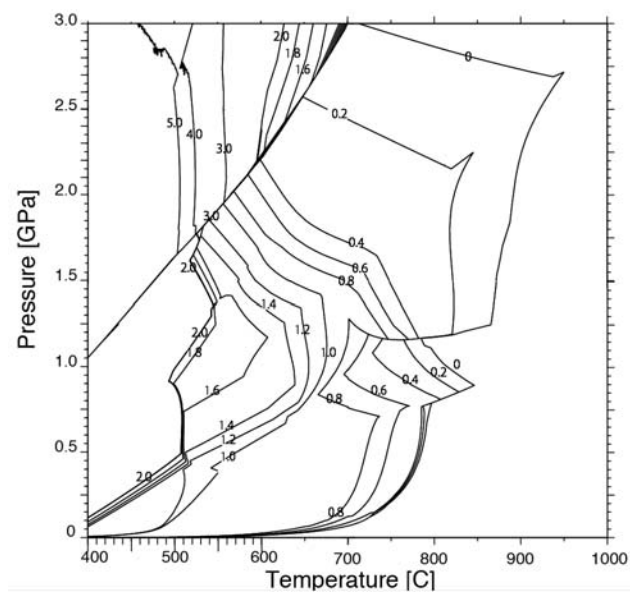


図 14 伊豆弧前弧玄武岩組成の高温高压における含水鉱物中に含まれる H₂O 含有量(wt%)の見積もり。伊豆弧前弧玄武岩の化学組成を用いて Theriak-Domino プログラムを用いて計算した結果の一例。