

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 28 年度業務目的

平成 27 年度に引き続き岩石の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、まとめた弾性波速度のデータセットに基づき、首都圏の地殻構成岩石モデル及びスラブ温度構造モデルを得る。

(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	ishikawa@ynu.ac.jp
	技術補佐 員	本多 聡子	

(2) 平成 28 年度の成果

(a) 業務の要約

岩石の弾性波速度測定実験を高温高圧条件下で行い、弾性波速度に関する基礎データセットを構築した。また、首都圏の地殻構成岩石モデル及びスラブ温度構造モデルを得た。

(b) 業務の成果

1) 岩石の弾性波速度測定実験

関東下の基盤地質の一部である四万十帯は火山岩などの岩片を含む砂岩・泥岩などの堆積岩からなり、その弾性波速度を鉱物の弾性波速度から見積もることが原理的に不可能である。そこで、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、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。実験手法は平成 26 年度実施報告書に詳細があるのでそちらを参照してほしい。

関東山地の四万十帯・秩父帯および丹沢山地の丹沢層群の岩石試料の弾性波速度測定結果を図 1 と図 2 に示した。関東山地の四万十帯・秩父帯の地殻中深度相当の圧力 (0.4-0.6GPa) での P 波速度は 5.8-6.1km/s の範囲であり、丹沢山地の緑色岩の P 波速度と比較して低いのが特徴である。

四万十帯の砂岩や砂質泥岩の V_p/V_s は 1.55~1.65 程度と低いのが特徴であり、高い石英含有率に起因している。秩父帯のチャートは測定した岩石の中で最も低い $V_p/V_s=1.52-1.53$ を示した。比較のために、丹沢層群の緑色岩の V_p/V_s (約 1.75) も

示した。

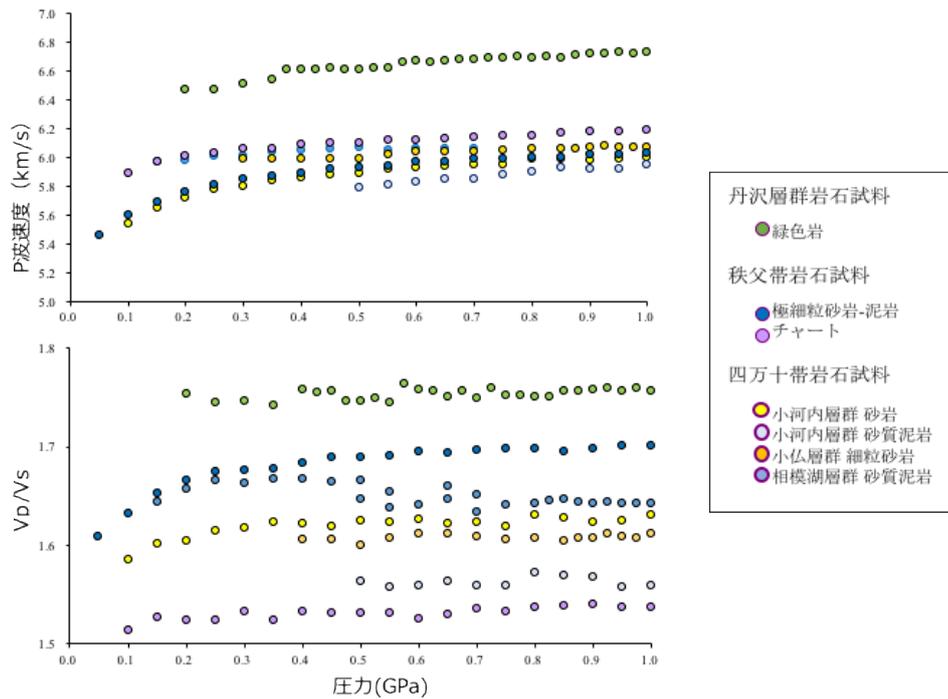


図1 高圧下における P 波速度及び V_p/V_s の測定結果。ピストンシリンダー型高圧発生装置を用いて最大 1.0 GPa の高圧条件下・室温で測定した。

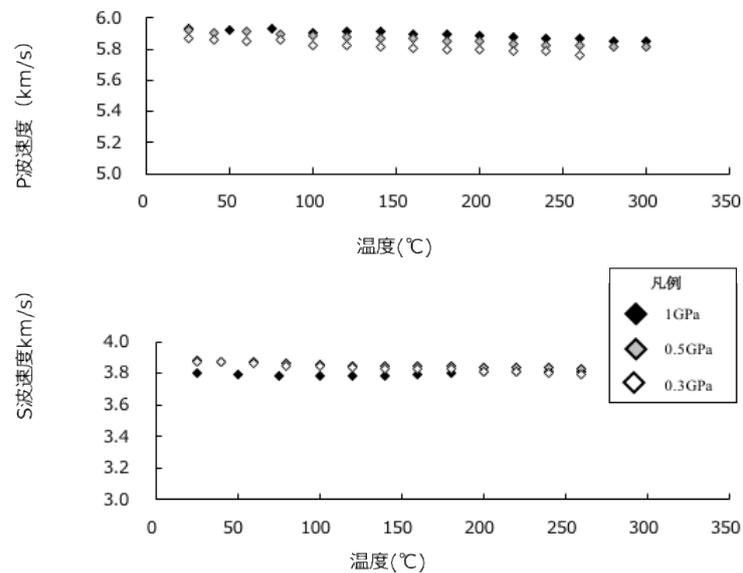


図2 高温高圧下における P 波速度及び S 波速度の測定結果。ピストンシリンダー型高圧発生装置を用いて 1.0 GPa、0.5 GPa、0.3 GPa の高圧条件下で、最高温度 300 °C で測定した。岩石は四万十帯の砂質泥岩である。

2) 首都圏の地殻構成岩石モデル及びスラブ温度構造モデル

a) 陸側プレートの構成岩石モデル

首都圏においては、フィリピン海プレートが相模トラフから陸側プレート下に

沈み込む一方で、神奈川県西部では伊豆・小笠原弧がその浮遊性から本州弧に衝突・付加し(Taira et al.,1998¹⁾,石川ほか, 2016²⁾、複雑な地殻構造が形成されている(Sato et al, 2005³⁾, Arai et al.,2009⁴⁾,2013⁵⁾,2014⁶⁾。御坂山地や丹沢山地などの伊豆小笠原弧起源の地塊の北側には、関東山地が位置しており、古アジア大陸に海洋性プレートが沈み込むことにより形成された三波川帯・秩父帯・四万十帯の各付加体からなる。関東平野下の基盤にはこれらの地質体が分布すると予想されるが、いわゆる基盤岩石が関東平野に露出していないために、関東下の陸側プレートの地殻構成岩石を直接観察することはできなかった。

防災科学技術研究所の日本列島下の三次元地震波速度構造(Matsubara and Obara, 2008⁷⁾)に基づき、西南日本から関東における深度 10 km の V_p/V_s の分布を図 3 に示した。弾性波速度測定実験の結果を用いて地下の構成岩石を解釈すると、四万十帯 ($V_p/V_s=1.6-1.7$) や丹沢層群($V_p/V_s=1.73-1.80$)の地下の分布を推定することが可能である。

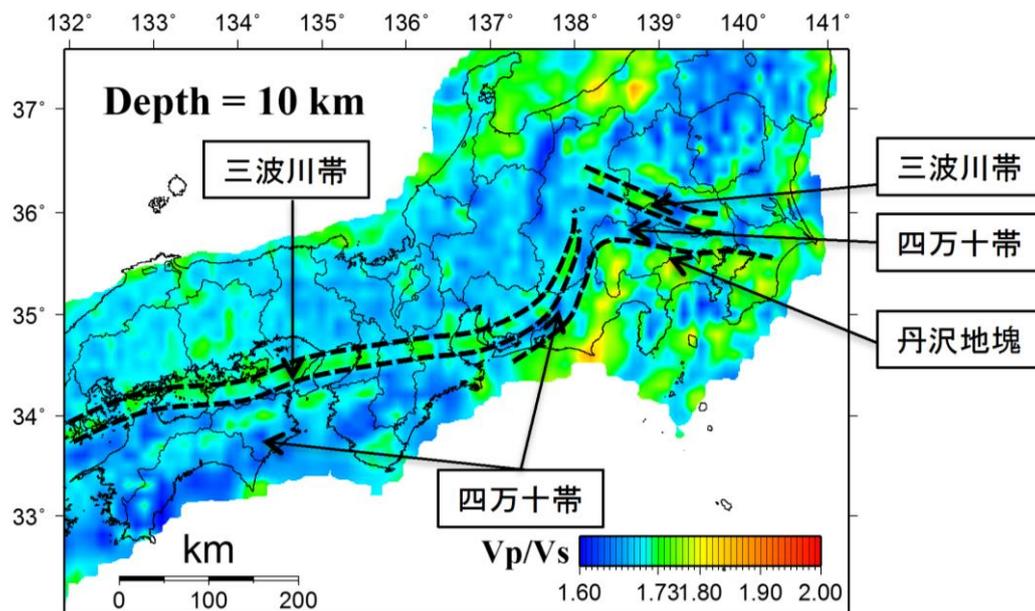


図 3 地下 10 km における四万十帯の分布。

b) スラブ構成岩石モデル及びスラブ温度構造モデル

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., 2011⁷⁾)は、首都圏の陸側プレート、首都圏下に沈み込むフィリピン海スラブと太平洋スラブの地震波速度の分布を捉えており、地震波速度の特徴は構成岩石に対応するものと期待される。そこで、上記の地震波トモグラフィー解析結果に基づき、陸側プレート、フィリピン海スラブと太平洋スラブの構成岩石と温度構造を推定した。

P 波速度の分布に基づく、日本海溝から沈み込んだ太平洋スラブの P 波速度が深さ 60 km で約 8 km/s まで急激に上昇する特徴が見られる。太平洋スラブとして沈み込んだ海洋地殻が青色片岩からローソン石エクロジャイトに相転移したことを反映していると推測される(図 4)。エクロジャイトの安定領域に基づく、青色片岩からロ

ーソン石エクロジャイトへの相転移が深さ 60 km で起きている場合、相転移箇所のスラブ温度は 300-450 °C と見積もられる (図 5)。高 V_p/V_s 異常 (>1.9) 域がスラブの相転移箇所の直上に分布しており、青色片岩がローソン石エクロジャイトに相転移する際にスラブから脱水した H_2O 流体であると推測される (図 4)。

V_p/V_s の分布から、広域的な流体分布域を推定した (図 6)。地殻とマントルを構成する主要な鉱物の V_p/V_s は 1.9 を超えないので、流体分布域の判定基準は、 V_p/V_s が 1.9 を超える領域とここでは定義した。南北に配列する流体分布が深度 45-60 km で認識され、太平洋スラブの海洋地殻の変成脱水反応に由来する水が上昇しているものと解釈される。また、深度 40-45 km において、東西に配列する流体分布が見られ、フィリピン海スラブの海洋地殻の変成脱水反応に由来する水が上昇しているものと考えられる。

P 波速度の分布に基づくと、相模トラフから沈み込んだフィリピン海スラブ伊豆弧前弧地殻の P 波速度が 6.5-7.0 km/s から 7.0-7.5 km/s まで増加する特徴が、深さ 40-45 km において見られる (図 7)。フィリピン海スラブとして沈み込んだ伊豆弧前弧地殻が緑色片岩からざくろ石角閃岩に相転移したことを反映していると推測される (図 8)。さらに、フィリピン海スラブ伊豆弧前弧地殻の P 波速度は深さ 50 km で約 8 km/s まで上昇する特徴を示し (図 9)、深さ 50 km でエクロジャイトに相転移していると推測される (図 8)。

ざくろ石角閃岩とエクロジャイトの安定領域に基づくと、沈み込んだフィリピン海スラブ伊豆弧前弧地殻のざくろ石角閃岩への相転移が深さ 40-45 km で起きている場合、ざくろ石角閃岩への相転移温度は 500 °C と見積もられる (図 8)。また、沈み込んだフィリピン海スラブ伊豆弧前弧地殻のエクロジャイトへの相転移が深さ 50 km で起きている場合、エクロジャイトへの相転移温度は 550-600 °C と見積もられる (図 8)。

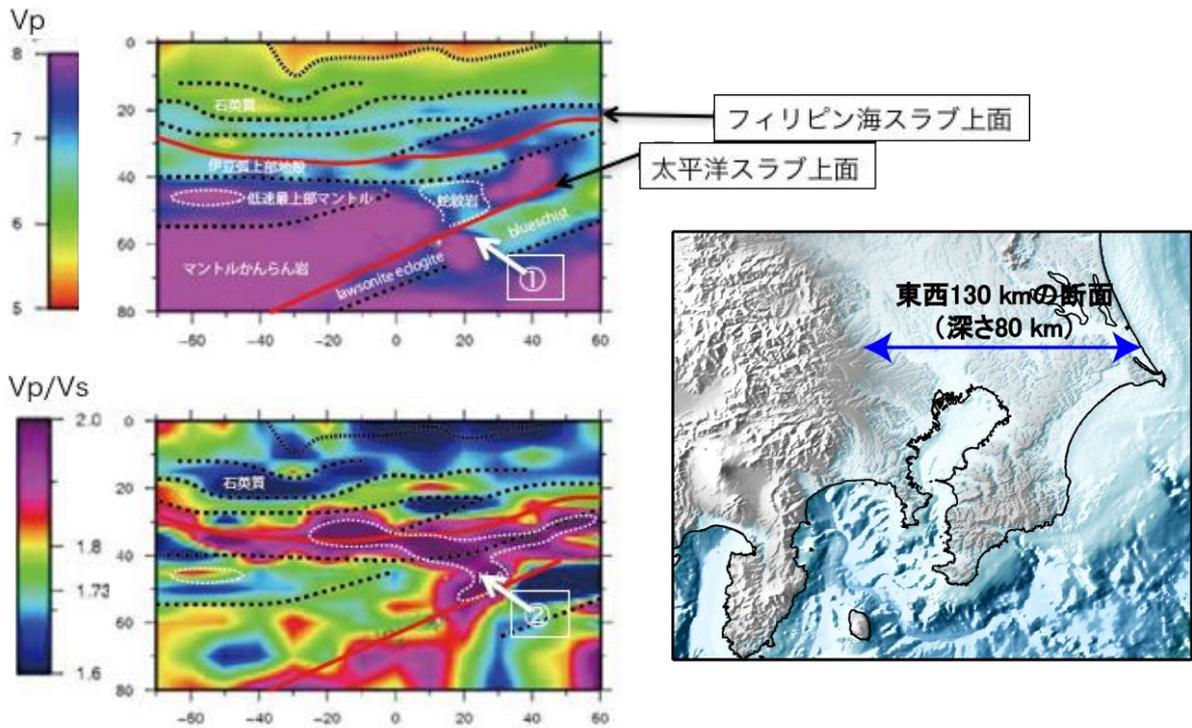


図4 P波速度と V_p/V_s の東西方向に沿う深度断面図。日本海溝から沈み込んだ海洋地殻のP波速度が深さ60 kmで急激に増加する(①)。高 V_p/V_s 異常 (>1.9) 域が分布する(②)。

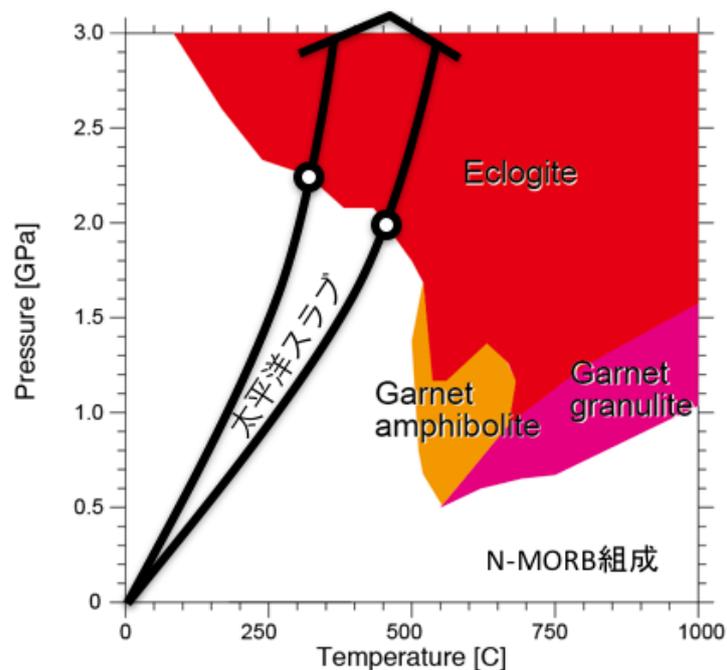


図5 中央海嶺玄武岩 (N-MORB) + H_2O (3.2 wt%) におけるざくろ石を含む岩石の安定領域。計算手順は平成26年度実施報告書に詳細があるのでそちらを参照してほしい。

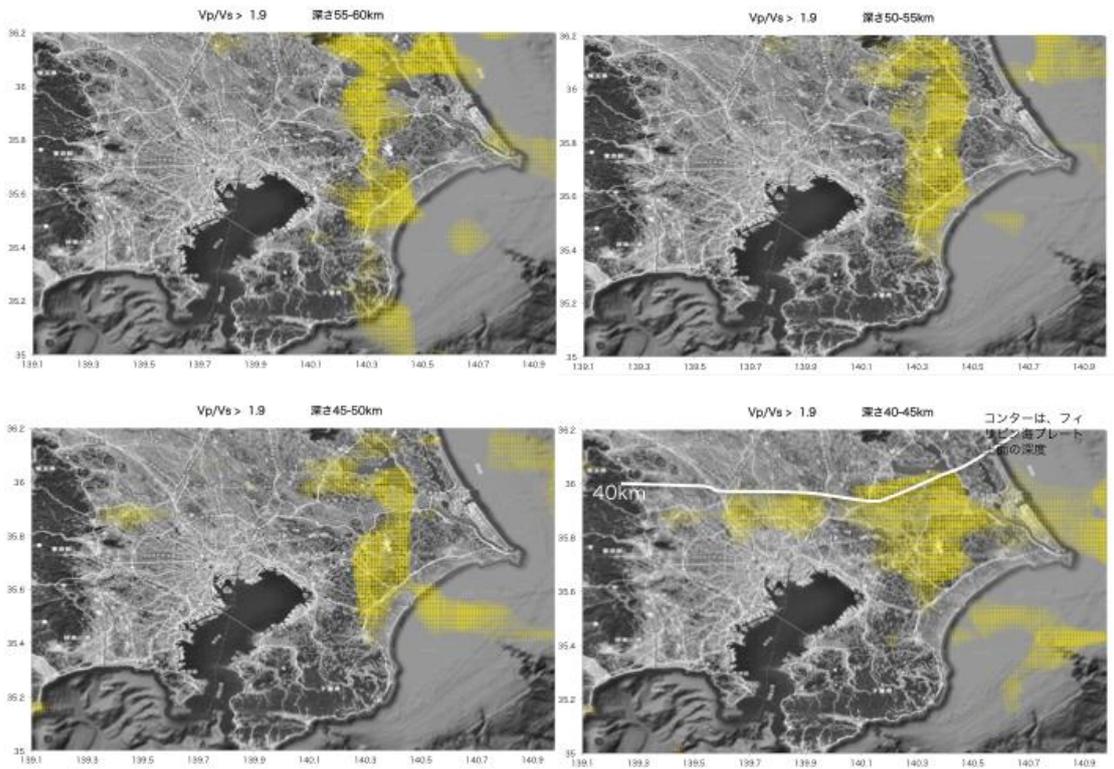


図6 推定される流体 ($V_p/V_s > 1.9$) の分布域(黄色)。

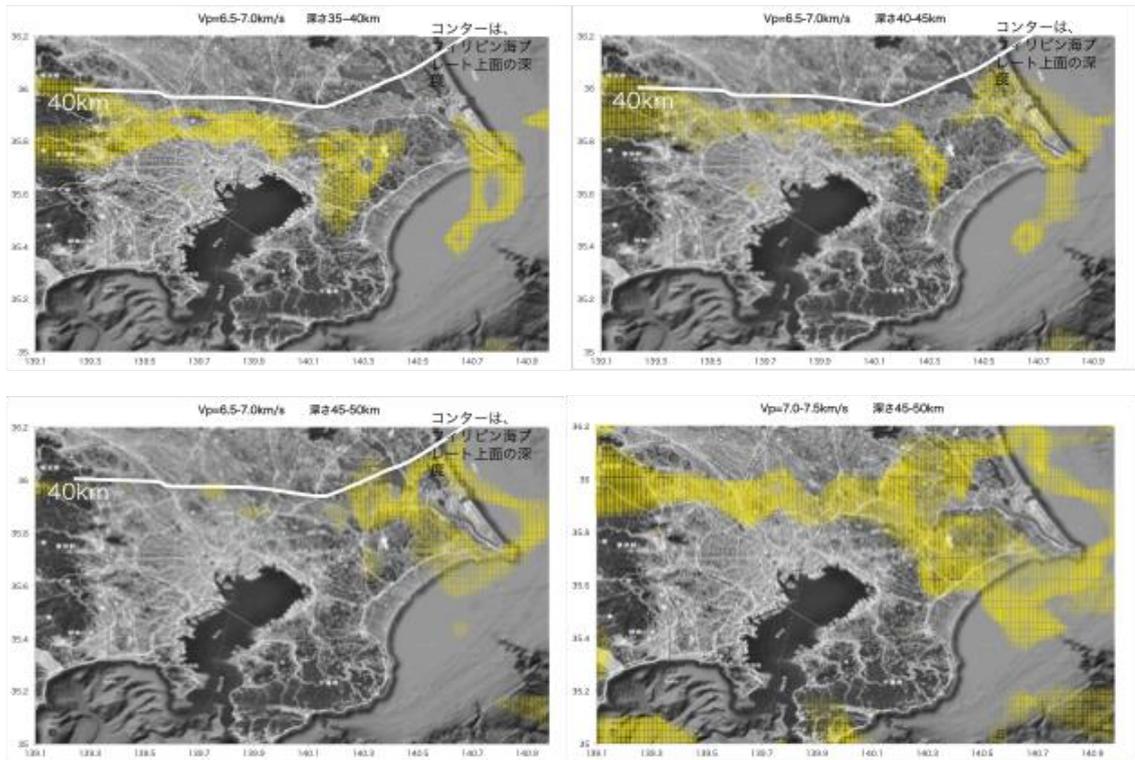


図7 P波速度分布(黄色)。

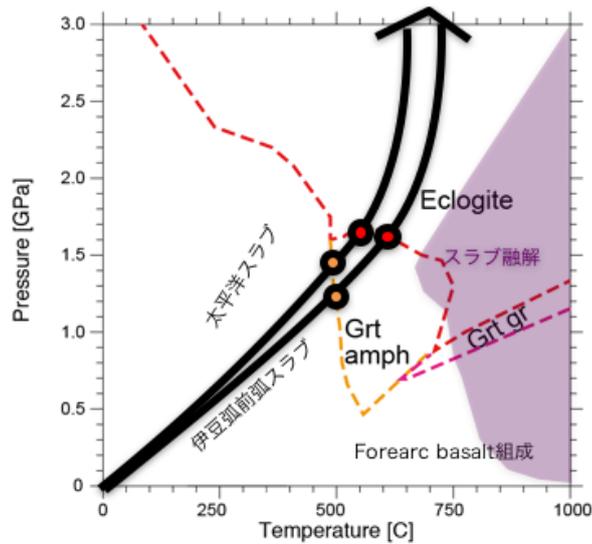


図 8 伊豆弧前弧玄武岩 + H₂O (3.2 wt%) におけるざくろ石を含む岩石の安定領域。計算手順は平成 26 年度実施報告書に詳細があるのでそちらを参照してほしい。

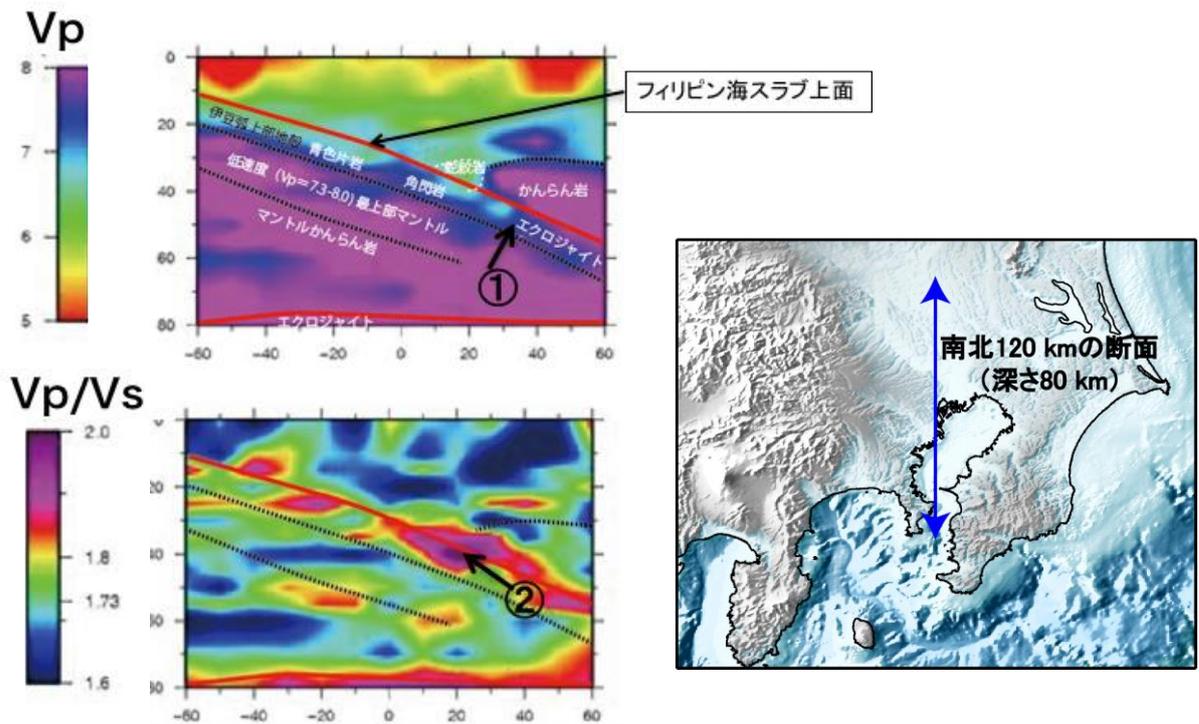


図 9 P 波速度と Vp/Vs の南北方向に沿う深度断面図。相模トラフから沈み込んだ伊豆弧前弧地殻の P 波速度が深さ 50 km で急激に増加する (①)。高 Vp/Vs 異常 (>1.9) 域が深さ 40 km に分布する (②)。

c) プレート境界上部における蛇紋岩の分布

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., 2011⁷⁾) と蛇紋岩の弾性波速度を比較することで、フィリピン海プレート上面から 3 km 上部に位置する蛇紋岩領域の分布を推定した。蛇紋岩の弾性波速度は、ダンカン

らん岩(dunite)-蛇紋岩(lizardite)系列の Vp および Vs データ(Christensen, 2010⁸⁾)を用いた。

図 10 と図 11 には蛇紋岩化率 25-75 %の領域を、図 12 には蛇紋岩化率 50-75 %の領域をそれぞれ示した。蛇紋岩化率 25-75 %の領域は、陸側プレートの地殻マントル境界に分布するもの(陸側プレートのマントルかんらん岩の蛇紋岩化に伴うもの)と、陸側プレート地殻内部のもの(蛇紋岩が何らかのプロセスで陸側プレート地殻内に取り込まれたもの)に区分される。

房総半島中央部と房総沖において蛇紋岩化域と推定された領域はスロースリップ領域とオーバーラップしており、房総半島下のプレート境界面で発生するスロースリップ現象はプレート境界面上の蛇紋岩と関連していると考えられる。

蛇紋岩化率 50-75 %の領域は、陸側プレートの地殻内部のものに限られ、プレート境界の深度 32-34 km 付近(松戸市・柏市)、プレート境界深度 16-18 km 付近(房総沖海底下、房総南部、横須賀)と非常に浅いプレート境界深度(相模湾)に分布する。プレート境界深度 16-18 km 付近(房総沖海底下、房総南部、横須賀)の蛇紋岩化率 50-75 %域と陸上の蛇紋岩の分布域が一系列の西北西-東南東の帯状に並ぶ(図 13)。この蛇紋岩配列はプレート境界深度 16-18 km 付近から地表までほぼ垂直に分布していると思われる。

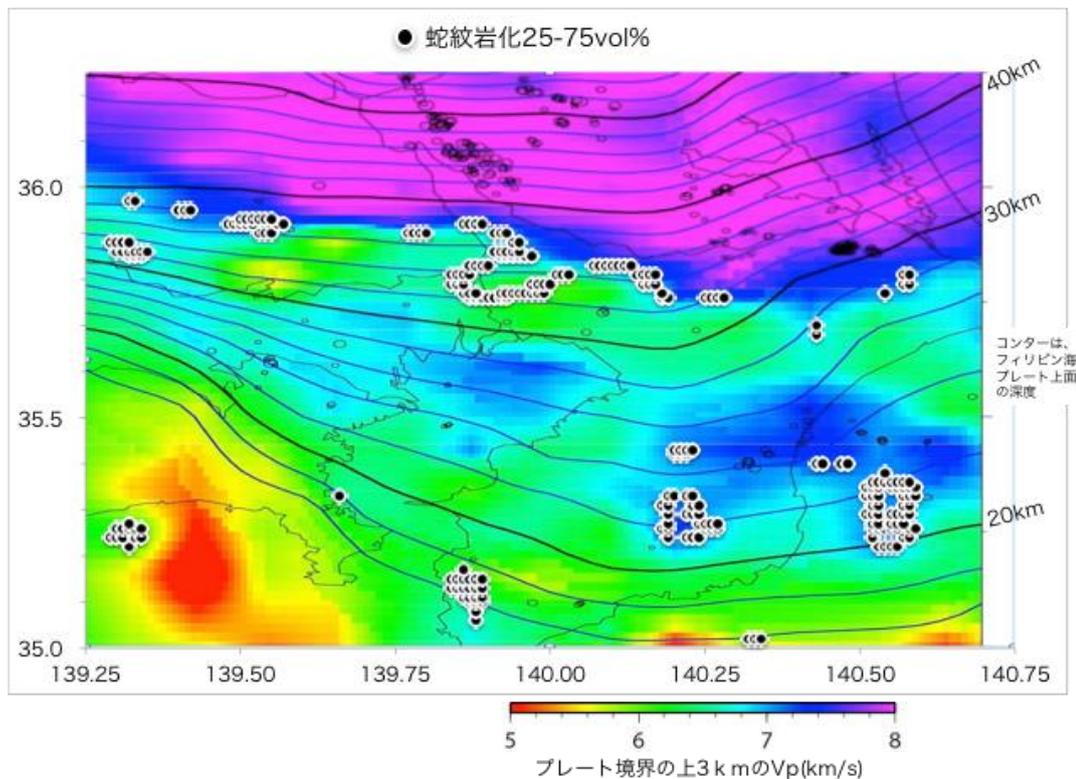


図 10 プレート境界より上部 3 km における蛇紋岩化率 25-75 %の領域 (●)。コンターはプレート境界の深さを示す。カラーはプレート境界よりも 3 km 上部の P 波速度を表す。蛇紋岩化領域の判定基準は、ダンかんらん岩-蛇紋岩 (lizardite) 系列の Vp

を満たし、かつ、 V_p/V_s 値が ± 0.025 の範囲内の領域とした。

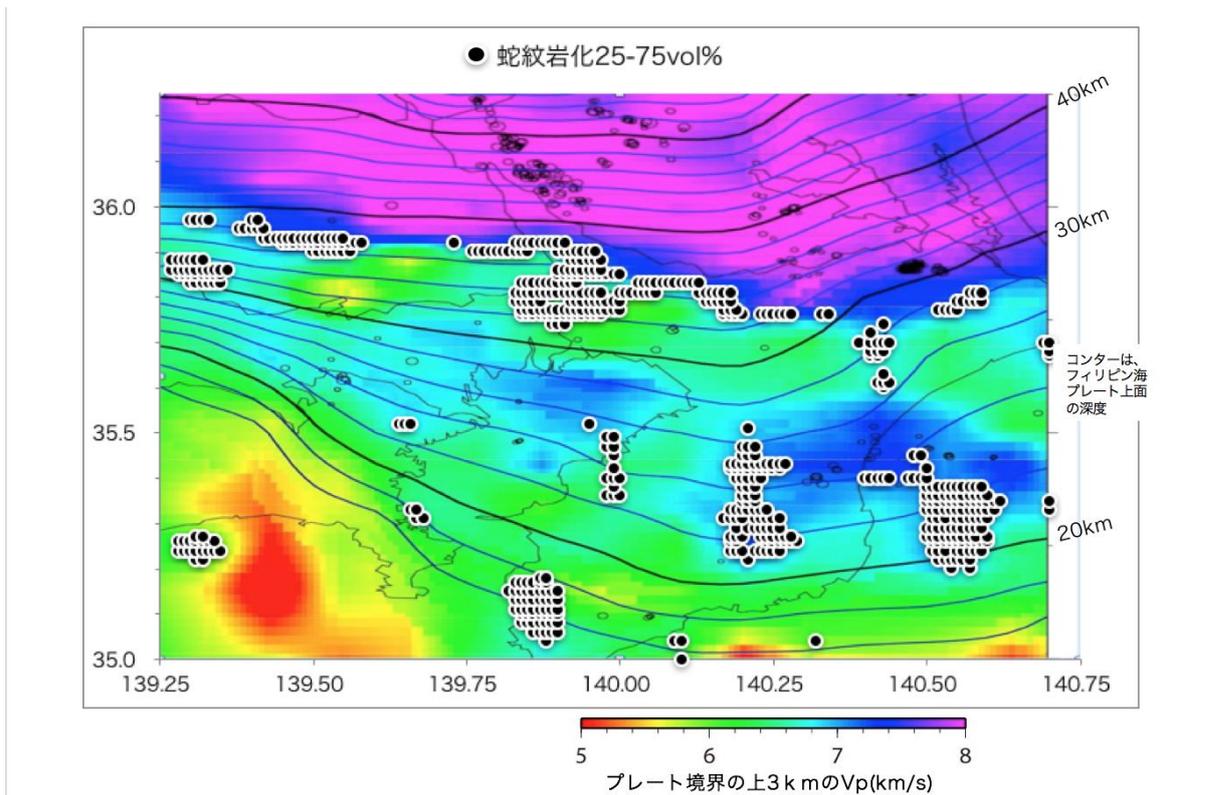


図 1 1 プレート境界より上部 3 km における蛇紋岩化率 25-75 % の領域 (●)。コンターはプレート境界の深さを示す。カラーはプレート境界よりも 3 km 上部の P 波速度を表す。蛇紋岩化領域の判定基準は、ダンかんらん岩-蛇紋岩 (lizardite) 系列の V_p を満たし、かつ、 V_p/V_s 値が ± 0.05 の範囲内の領域とした。

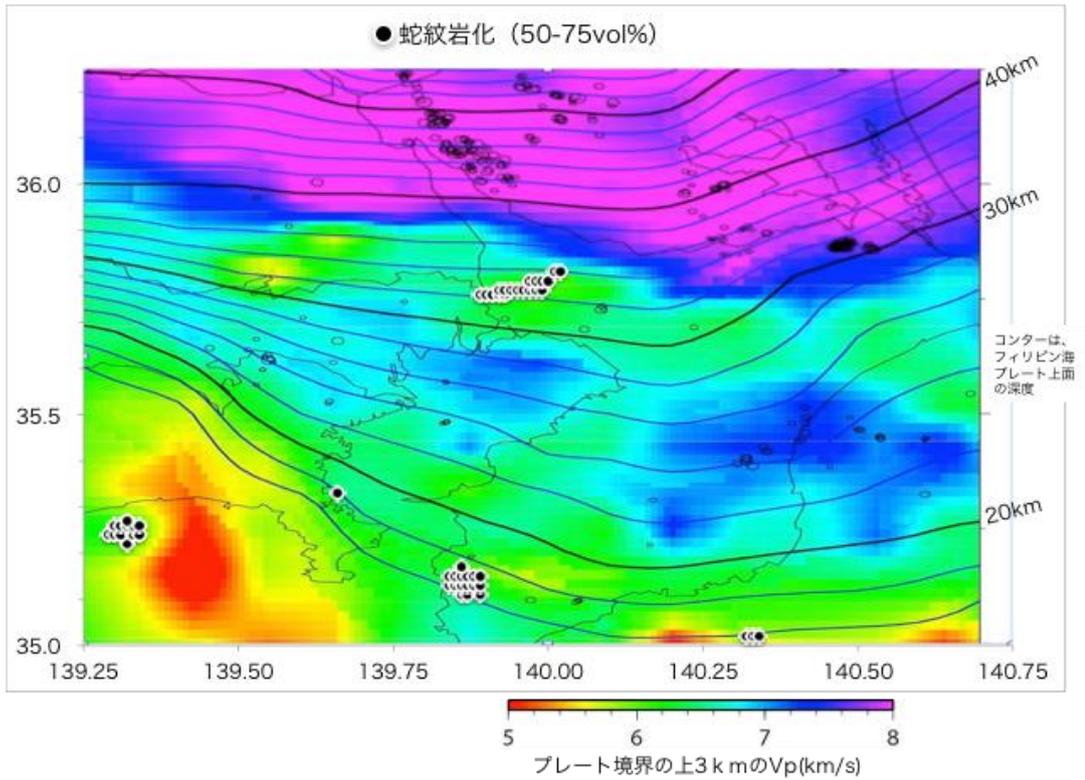


図 1 2 プレート境界より上部 3 km における蛇紋岩化率 50-75 % の領域 (●)。コンターは、プレート境界の深さを示す。カラーはプレート境界より 3 km 上部の P 波速度を表す。蛇紋岩化領域の判定基準は、ダンかんらん岩-蛇紋岩 (lizardite) 系列の V_p を満たし、かつ、 V_p/V_s 値が ± 0.025 の範囲内の領域とした。

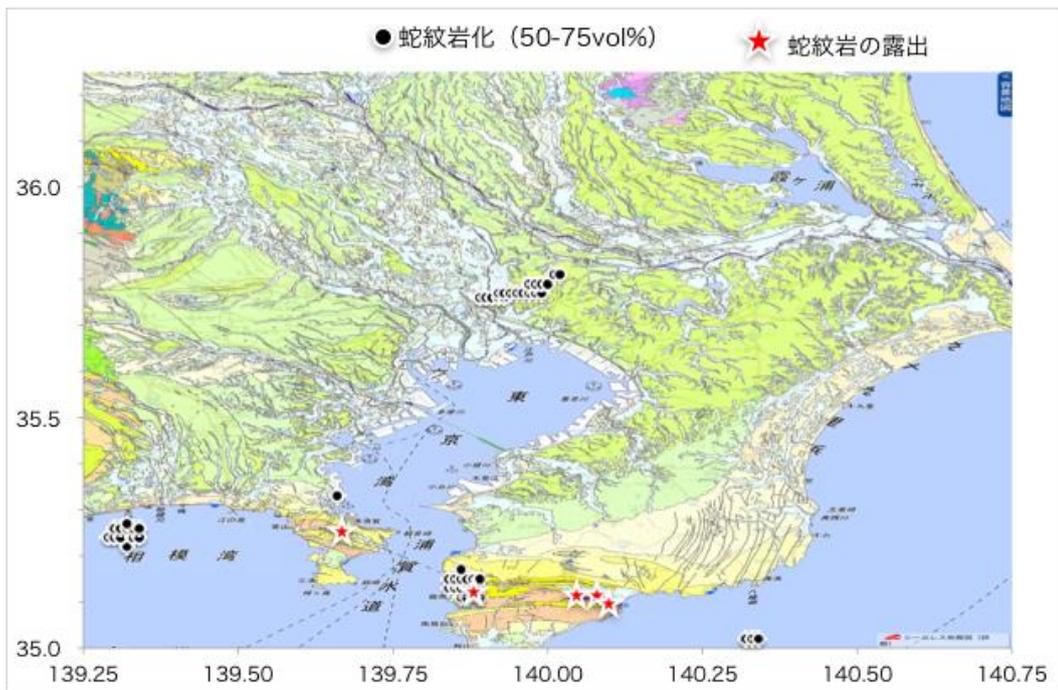


図 1 3 プレート境界より上部 3 km における蛇紋岩化率 50-75 % の領域 (●)。赤い☆

印は陸上に分布する蛇紋岩。背景の地質図は産業技術総合研究所地質調査総合センター（編）（2015）の20万分の1日本シームレス地質図を使用。

(c) 結論ならびに今後の課題

四万十帯は低い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弾性波速度実験から示され、西南日本から関東域にかけての四万十帯の分布が推定できた。

太平洋スラブの海洋地殻部分の青色片岩からローソン石エクロジャイトへの相転移は深さ60 kmで発生している。太平洋スラブの温度は、深さ60 kmで300-450 °Cと推定される。

フィリピン海スラブの伊豆弧前弧地殻部分の緑色片岩からざくろ石角閃岩へ相転移は深さ40-45 kmで、また、ざくろ石角閃岩からエクロジャイトへの相転移は深さ50 kmで発生していると考えられる。フィリピン海スラブの温度は深さ40-45 kmで500 °C、深さ50 kmで550-600 °Cと推定される。

蛇紋岩化率25-75%の領域は、プレート境界深度32-34 km付近の陸側プレートの地殻マントル境界に分布するもの（陸側プレートのマントルかんらん岩の蛇紋岩化に伴うもの）と、より浅部のプレート境界上の陸側プレート地殻内部のもの（蛇紋岩が何らかのプロセスで陸側プレート地殻内に取り込まれたもの）に区分される。房総半島中央部と房総沖において蛇紋岩化域と推定された領域はスロースリップ領域とオーバーラップしており、房総半島下のプレート境界面で発生するスロースリップ現象はプレート境界面上の蛇紋岩と関連していると考えられる。

蛇紋岩化率50-75%の領域は、プレート境界深度16-18 km付近（房総沖海底下、房総南部、横須賀）と非常に浅いプレート境界深度（相模湾）に分布する。プレート境界深度16-18 km付近（房総沖海底下、房総南部、横須賀）の蛇紋岩化率50-75%の領域と陸上の蛇紋岩の分布域が一系列の西北西-東南東の帯状に並ぶ（図13）。この蛇紋岩配列はプレート境界深度16-18 km付近から地表までほぼ垂直に分布していると推定される。

(d) 引用文献

- 1) Taira, A., Saito, S., Aoike, K., Morita, S., Tokuyama, H., Suyehiro, K., Takahashi, N., Shinohara, M., Kiyokawa, S., Naka, J. and Klaus, A.: Nature and growth rate of the Northern Izu-Bonin (Ogasawara) arc crust and their implications for continental crust formation, *Island Arc*, Vol.7, Issue 3, pp.395-407, 1998.
- 2) 石川正弘, 谷健一郎, 桑谷立, 金丸龍夫, 小林健太: 丹沢山地の地質: 伊豆衝突帯のジオダイナミクス. *地質学雑誌*, 122, 291-304, 2016.
- 3) 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.
- 4) 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, Issue 3-4, pp.438-453, 2009.

- 5) Arai, R., Iwasaki, T., Sato, H., Abe, S. and Hirata, N.: Crustal structure of the Izu collision zone in central Japan from seismic refraction data, *Journal of Geophysical Research Solid Earth*, Vol.118, Issue 12, pp.6258–6268, 2013.
- 6) Arai, R. and Iwasaki, T.: Crustal structure in the northwestern part of the Izu collision zone in central Japan, *Earth, Planets and Space*, Vol.66, Issue 1, article 21, 2014.
- 7) Matsubara, M., Obara, K. and Kasahara, K.: Three-dimensional P- and S-wave velocity structures beneath the Japan Islands obtained by high-density seismic stations by seismic tomography, *Tectonophys.*, Vol.454, pp.86-103,2008.
- 8) 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.
- 9) Christensen, N. I.: Serpentinites, Peridotites, and Seismology, *International Geology Review*, Vol.46, pp.795-816, 2004.

(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
関東山地における四万十帯の下限深度：関東山地および丹沢山地に産する岩石の高圧下における弾性波速度(ポスター)	石川正弘・本多聡子	日本地球惑星科学連合連合大会 2016年年会	2016年5月23日	国内
関東山地南部秩父帯・四万十帯の砂岩・泥岩および丹沢層群緑色岩の高圧下における弾性波速度測定(ポスター)	本多聡子・石川正弘	日本地球惑星科学連合連合大会 2016年年会	2016年5月23日	国内
関東山地南部秩父帯・四万十帯岩石の高温高圧下におけるP波S波同時測定(ポスター)	本多聡子・石川正弘	日本鉱物科学会 2016年大会	2016年9月23日	国内

学会誌・雑誌等における論文掲載

掲載論文（論文題目）	発表者氏名	発表場所（雑誌等名）	発表時期	国際・国内の別

丹沢山地の地質：伊豆衝突帯のジオダイナミクス	石川正弘，谷健一郎，桑谷立，金丸龍夫，小林健太	地質学雑誌，122，291-304	2016年	国内
------------------------	-------------------------	-------------------	-------	----

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