#### 3.4 断層帯周辺の岩石物性に基づく地震発生層推定

# (1) 業務の内容

(a) 業務題目 断層帯周辺の岩石物性に基づく地震発生層推定

(b) 担当者

所属機関	役職	氏名
横浜国立大学大学院環境情報研究院	教授	石川正弘

(c) 業務の目的

より正確な地殻構成岩石モデルを構築するために岩石鉱物の弾性波速度測定実験を行 い、基礎データを得る。また、岩石と鉱物の弾性波速度およびレオロジーに関する既存デ ータを整理し、地殻構成岩石に関する初期モデルに基づき、活断層深部の震源断層域にお ける地震波速度構造に基づく地殻構成岩石モデルを考慮した地震発生層の厚さを検討す る。

(d) 3 ヵ年の年次実施業務の要約

1) 平成 29 年度:

日本列島の活断層-震源断層システム、特に 20 世紀以降に発生した内陸地震の震源断 層形状推定に必要な地震発生層の厚さを推定するための、地殻構成岩石に関する初期モデ ルを検討した。

2) 平成 30 年度:

前年に引き続き正確な地殻構成岩石モデルを構築するために岩石鉱物の弾性波速度測 定実験を行い、基礎データを得るとともに、日本列島の活断層-震源断層システム、特に 20 世紀以降に発生した内陸地震の震源断層形状推定に必要な地震発生層の厚さを推定す るための、地殻構成岩石モデルを検討した。

3) 令和元年度:

断層帯周辺の岩石物性に基づく地震発生層推定に関する研究のまとめを行った。

### (2) 令和元年度の成果

(a) 業務の要約

岩石鉱物の弾性波速度の視点から防災科学技術研究所の三次元地震波速度構造を解釈 することで東北地域、中央構造線周辺(四国・近畿・中国地域)、九州地域の地殻内部の温 度構造と脆性塑性境界の深さを推定し、地震発生層推定に関する研究のまとめを行った。

(b) 業務の実施方法

先行的に行われてきた地殻構成岩石モデルに関する研究において(例えば、Nishimoto

et al., 2008; 石川, 2017)、岩石鉱物の弾性波速度の視点から地震波速度構造を解釈する ことで、東北本州弧の地殻構成岩石モデルが検討されてきた。石英を主要鉱物として含む 上部地殻は一般的に低 Vp/Vs で特徴付けられる一方、上部地殻に苦鉄質岩石が分布する場 合は高い P 波速度で特徴付けられることが示されてきた(平成 28 年度「日本海地震・津 波調査プロジェクト」成果報告書)。地殻深部相当の高温高圧下における岩石鉱物の弾性波 速度測定実験から、P 波速度(Vp)とS 波速度(Vs)には明瞭な温度依存性が認められる 一方、Vp/Vs 比は温度依存性が非常に小さく、岩相に強く依存するということが示されて きた。つまり、特定の深さの地震波速度データセットから、一定の Vp/Vs 比の分布域の地 震波速度データを抽出することは、同一岩相の分布域から地震波速度の温度成分を抽出す ることになる。本研究では、防災科学技術研究所の三次元地震波速度構造(Matsubara et al., 2017)を用いて地震波速度データから温度成分を抽出し、地下の温度分布、地温勾配、 300℃の深度、脆性塑性境界深度などを推定する(図1)。



図1 地震波速度から温度構造を推定する手法。

(c) 業務の成果

図2と図3は東北地域の深さ20kmのP波速度トモグラフィーとVp/Vsトモグラフィーである。奥羽脊梁山地や朝日山地などの下部地殻は低Vpで特徴付けられる一方で、日本海東縁の下部地殻は高Vpを示す。東北地域の地殻構成岩石モデルに関する研究(Nishimoto et al. 2008;石川, 2017)によれば、日本海東縁から奥羽脊梁山地の下部地殻は角閃石はんれい岩や角閃石輝石はんれい岩等で構成され、P波速度の違いは主に構成鉱物比の変化を反映していると解釈されている。秋田県一ノ目潟に産する苦鉄質捕獲岩は下部地殻由来と考えられており、苦鉄質捕獲岩のVp/Vsは1.74~1.80程度である

(Nishimoto et al., 2008)。図1に示したように、まずは、防災科学技術研究所の三次元 地震波速度構造(Matsubara et al., 2017)を用いて深さ 20 km の地震波速度データから Vp/Vs=1.77~1.78 の分布域の P 波速度を抽出し、クリギング補間した P 波速度分布図を 作成した。次に温度構造を推定する上で、東北地域の地温勾配(Kushiro, 1987)を参考に 解析域の地温条件を仮定した(最大地温勾配 33℃/km、地表温度 25℃、深さ 20 km で最 高 685℃)。抽出した P 波速度の最低値 6.34 km/s を 685℃、P 波速度低下率を 1.0×10<sup>-3</sup> km s<sup>-1</sup>℃<sup>-1</sup>と仮定し(一ノ目潟に産する苦鉄質捕獲岩の弾性波速度の温度依存性を参考)、 補完した P 波速度分布から温度分布を推定した。図4は東北で推定された深さ 20 km の 温度分布である。奥羽脊梁山地周辺と朝日山地で下部地殻温度が高いことが読み取れる。 地温勾配を線形と仮定して深さ20kmの温度分布図から地温勾配分布図に変換し(図5)、 さらに 300℃の深さ分布を推定した (図 6 )。平成 28 年度「日本海地震・津波調査プロジ ェクト」成果報告書同様に地殻の流動応力は石英のレオロジーパラメーターを用いて、圧 縮場における歪速度を 10<sup>-7</sup> yr<sup>-1</sup>と仮定し計算し、図5の地温勾配分布を用いて脆性塑性境 界の深さ分布を見積もった(図7)。図に示されるように、脊梁周辺や朝日山地周辺で脆性 塑性境界の深さが浅く、日本海沿岸では深い傾向が読み取れ、大局的には D90 の深さ分布 と類似した傾向を示した。宮城県北部などでは D90 よりも脆性塑性境界がかなり深く推定 されており、今後の検討が必要である。

四国・中国・近畿地域については、四国と紀伊地域において四万十帯が 20 km 以深まで 分布しているので(平成 30 年度成果報告書)、東北の温度構造解析のように深さ 20 km の 苦鉄質岩分布域から地震波速度データを広範囲に抽出することができない。四国・中国・ 近畿地域では石英質岩石が分布すると考えられた深度 15 km の地震波速度データを使用 して(Vp/Vs=1.695~1.705 の領域のデータ抽出)、300℃の深さ分布と脆性塑性境界分布 を求めた(図8,9)。ここでは最大地温勾配 33℃/km、地表温度 25℃、深さ 15 km の最 高温度 520℃、P 波速度最低値 5.92 km/s の温度 520℃、P 波速度低下率 1.0×10<sup>-3</sup> km s<sup>-1</sup> <sup>1</sup>℃<sup>-1</sup>と仮定し、東北と同様の手順(図1)で解析した。その結果、300℃深度は中央構造 線付近に沿って浅く、その北側と南側は深くなる特徴が読み取れた。脆性塑性境界深度の 傾向は D90 の深さ分布と類似している。

隣接する九州地域については四国・中国・近畿地域の解析と同様の手順で、深度 15 km のデータを使用して(Vp/Vs=1.695~1.705 の領域のデータ抽出)、300℃の深さ分布と脆 性塑性境界分布を求めた(図 10, 11)。鹿児島周辺や大分周辺では 300℃深度や脆性塑性 境界が浅く、D90の深さ分布と傾向が類似しているが、九州中央部では D90 と比較してや や浅めであり、さらなる検討が必要である。



図 2 東北地域の深さ 20 km における P 波速度トモグラフィー(Matsubara et al., 2017)



図3 東北地域の深さ 20 km における Vp/Vs トモグラフィー(Matsubara et al., 2017)



図4 東北地域で推定された深さ 20 km の温度



図5 東北地域で推定された地温勾配



図6 東北地域で推定された 300℃の深さ



図7 東北地域で推定された脆性塑性境界の深さ



図8 四国・中国・近畿地域で推定された 300℃の深さ



図9 四国・中国・近畿地域で推定された脆性塑性境界の深さ



図 10 九州地域で推定された 300℃の深さ



図 11 九州地域で推定された脆性塑性境界の深さ

(d) 結論ならびに今後の課題

岩石鉱物の弾性波速度の視点から地震波トモグラフィーを解釈することで、まずは地殻 構成を推定し、次に Vp/Vs トモグラフィーから同一岩石種が分布すると推定される領域の 地震波速度を抽出することで地殻内部の温度構造を推定し、最終的に脆性塑性境界の深さ 分布を検討した。東北では脊梁周辺などで脆性塑性境界の深さが浅く、日本海沿岸では深 い傾向がみられた。四国・中国・近畿地域の脆性塑性境界の深さは中央構造線付近に沿っ て浅く、その北側と南側は深い。東北地域と四国・中国・近畿地域で推定した脆性塑性境 界の深さは D90 の深さ分布と類似している。九州地域では鹿児島周辺や大分周辺で脆性塑 性境界深度が浅く、D90 の深さ分布と類似しているが、九州中央部では D90 と比較して 300℃深さや脆性塑性境界の深さがやや浅めに推定されている。東北地域や四国・中国・近 畿地域でも局所的には 300℃深さや脆性塑性境界が D90 より深めに推定されており、さら なる検討が必要である。

(e) 引用文献

- 平成28年度「日本海地震・津波調査プロジェクト」成果報告書,3.4 断層帯周辺の岩石 基 < 地 生 層 推 定 物 性 に づ 震 発 http://www.eri.u-. tokyo.ac.jp/project/Japan\_Sea/JSH28Report/PDF/18\_H28JSPJ-C3.2.5.3.pdf, 2017. 活断層の評価に関する調査研究「断層帯深部形状の評価に関する活断層調査研究」 平成 30 年度 成果報告書, 3.4 断層帯周辺の岩石物性に基づく地震発生層推定, https://www.jishin.go.jp/main/chousakenkyuu/active\_fault\_research/Bh30/h30\_active\_fault\_research\_B3\_4.pdf, 2019.
- 石川正弘,岩石の弾性波速度に基づく島弧地殻深部及び最上部マントルの構成岩石の推定: 伊豆弧と東北本州弧,地質学雑誌,123,355-364,2017.
- Kushiro, I., A petrological model of the mantle wedge and lower crust in the Japanese island arcs, B.O. Mysen (Ed.), Magmatic Processes: Physicochemical Principles, Geochemical Society, 165-181, 1987.
- Nishimoto, S., M. Ishikawa, M. Arima, T. Yoshida, and J. Nakajima, Simultaneous high P-T measurements of ultrasonic compressional and shear wave velocities in Ichinomegata mafic xenoliths: Their bearings on seismic velocity perturbations in lower crust of northeast Japan arc, J. Geophys. Res., 113, B12212, doi:10.1029/2008JB005587, 2008.
- Matsubara, M., H. Sato, K. Uehira, M. Mochizuki, and T. Kanazawa, Three-dimensional seismic velocity structure beneath Japanese Islands and surroundings based on NIED seismic networks using both inland and offshore events, Journal of Disaster Research, 12, 844-857, doi:10.20965/jdr.2017.p0844, 2017.

## (3) 平成 29~令和元年度の成果

(a) 業務の要約

岩石鉱物の弾性波速度の視点から防災科学技術研究所の三次元地震波速度構造を解釈 することで東北地域、中央構造線周辺(四国・近畿・中国地域)、九州地域の地殻内部の温 度構造と脆性塑性境界の深さを推定し、地震発生層推定に関する研究のまとめを行った。

(b) 業務の実施方法

本研究では、岩石鉱物の弾性波速度の視点から防災科学技術研究所の三次元地震波速度 構造を解釈することで、上部地殻・下部地殻境界の推定や上部地殻の構成岩石の推定を行 う。また、地震波速度データから温度成分を抽出し、地下の温度分布、地温勾配、300℃の 深度、脆性塑性境界深度などを推定する。

(c) 業務の成果

先行的に行われてきた日本海地震・津波調査プロジェクトの地殻構成岩石モデルに関する 研究において、岩石鉱物の弾性波速度の視点から防災科学技術研究所の三次元地震波速度構 造を解釈することで、東北本州弧の上部地殻と下部地殻の境界は6.5 km/sのP波速度とほぼ 一致することが示されてきた(図12)。また、石英を主要鉱物として含む上部地殻は低Vp/V sで特徴付けられること、一方、中新世リフト活動に伴う玄武岩質マグマ活動で形成した苦鉄 質上部地殻は高Vp/Vsで特徴付けられることが示されてきた。本研究では、岩石鉱物の弾性 波速度の視点から防災科学技術研究所の三次元地震波速度構造を解釈することで、西南日本 の上部地殻・下部地殻境界の推定や上部地殻の構成岩石の推定を行った(図13)。図14には 琵琶湖南部を東西に横断するP波速度とVp/Vs比の断面とを示した。P波速度6.5 km/s(太線) を上部地殻と下部地殻の境界と仮定すると、琵琶湖周辺の上部地殻の層厚は約25 kmと概算 され、東北と比較して厚い特徴を示す。図13の青色で描画された低Vp/Vs層の底面はP波速度 6.5 km/sにほぼ一致しており、琵琶湖周辺の上部地殻が石英を主要鉱物とする岩石で構成さ れると推定した。図15には四国・中国地域を南北に横断するP波速度パータベーション断面 とVp/Vs断面を示した。中国地方の上部地殻は低Vp/Vsで下部地殻は相対的に高いVp/Vs比で 特徴付けられ、上部地殻は花崗岩類等の石英長石質な岩石で、下部地殻は苦鉄質岩石で構成 されると推定される。四国では、高Vpで特徴付けられる三波川変成帯が北に傾斜している形 態や、低Vpと低Vp/Vsで特徴付けられ石英を主要鉱物とする四万十帯が地殻深部まで分布す ることが読み取れる。

岩石の弾性波速度と温度の関係を決定することは、P波速度パータベーションから温度構造を推定する際に重要となる。これまでの高温高圧条件における弾性波速度測定実験から、 岩石のP波速度やS波速度には温度依存性がある一方で、Vp/Vs比は温度依存性が著しく小さ く、岩石種に大きく依存することがわかっている(例えば、Nishimoto et al., 2008)。図1 6には四国の三波川変成帯に産するざくろ石角閃岩の弾性波速度測定結果を示した。本実験ではピストンシリンダー装置を用いて最大圧力1.0 GPa最高温度500 ℃でP波速度とS波速度を同時測定した。P波速度には温度依存性があり、P波速度の100℃あたりの速度低下率は 約0.09 km/sである。一方、Vp/Vs比は100~500 ℃の範囲でほとんど変化しないことが実験から示された。

平成29年度は、防災科学技術研究所の三次元地震波速度構造を用いて、特定範囲のVp/Vs 域のP波速度構造を抽出することで、同一岩石種が分布すると推定される範囲において、温度 のゆらぎを速度構造から定性的に推定することを試みた。図17は琵琶湖を中心とした近畿地 方における深さ15 kmのP波速度パータベーション構造とVp/Vs構造である。Vp/Vs構造から 低Vp/Vsで示された石英質地殻と高Vp/Vsの苦鉄質地殻が分布することが読み取れる。図18 は石英質岩石が分布すると推定される領域(図17bの青で示された範囲)からVp/Vs=1.69~ 1.71の領域を抽出したVpパータベーションを深さ15 kmと25 kmで示したものであり、同一 岩相が分布する地殻内部の定性的な温度分布として解釈される。深さ25 kmでは近畿地方北 部周辺に相対的な高温域が分布することと、太平洋側に向かって相対的に低温域が分布する ことが読み取れ、深さ15kmと比較して広域的な温度分布傾向が判読された。

図 19~23 はそれぞれ図 13 に示した領域の P 波速度と S 波速度の南北変化であり、地 殻深部の定性的な温度変化であると解釈される。図 19 は東経 132.9 ~133.0°の四国・中 国地方(深さ 20 km)において Vp/Vs=1.69~1.77の領域を抽出した P 波速度とS 波速度 の南北変化である。相対的に低速度である中央構造線周辺から南部の地下は相対的に高温 である一方、相対的に高速度な瀬戸内海の地下は相対的に冷たい領域であると推定される。 図 20 は東経 133.2 ~133.3 °の四国・中国地方(深さ 20 km)において Vp/Vs=1.69~1.75 の領域を抽出した P 波速度と S 波速度の南北変化である。相対的に低速度である愛媛県東 部の中央構造線周辺および島根県・鳥取県境界付近の更新世火山フロントの地下は相対的 に高温である一方、相対的に高速度な広島県・岡山県境界付近の瀬戸内海沿岸、日本海沿 岸、太平洋沿岸の地下は相対的に冷たい領域であると推定される。鳥取県西部地震の震源 断層は相対的に高温域で発生した地震と解釈される。図 21 は東経 134.1~134.2°の四国・ 中国地方(深さ 20 km)において Vp/Vs=1.69~1.77の領域を抽出した P 波速度とS 波速 度の南北変化である。相対的に低速度である徳島県の中央構造線周辺および鳥取県の更新 世火山フロントの地下は相対的に高温である一方、相対的に高速度な岡山県周辺の瀬戸内 海沿岸、鳥取県の日本海沿岸、室戸岬周辺の地下は相対的に冷たい領域であると推定され る。図 22 は東経 134.8 ~134.9°の四国・中国地方(深さ 20 km)において Vp/Vs=1.69~ 1.77 の領域を抽出した P 波速度と S 波速度の南北変化である。相対的に低速度である中 央構造線推定分布域および更新世火山フロントの地下は相対的に高温である一方、相対的 に高速度な淡路島北縁、日本海沿岸、太平洋の地下は相対的に冷たい領域であると推定さ れる。兵庫県南部地震の震源断層である野島断層は相対的に低温域で発生した地震と解釈 される。図 23 は東経 136.0 ~136.1°の近畿地方(深さ 20 km)において Vp/Vs=1.73~ 1.76 の領域を抽出した P 波速度と S 波速度の南北変化である。相対的に低速度である中 央構造線推定分布域および琵琶湖北方の地下は相対的に高温である一方、相対的に高速度 な中央構造線南方の地下は相対的に冷たい領域であると推定される。

先行的に行われてきた地殻構成岩石モデルに関する研究において(例えば、Nishimoto et al. 2008;石川, 2017)、岩石鉱物の弾性波速度の視点から地震波速度構造を解釈することで、東北本州弧の地殻構成岩石モデルが検討されてきた。石英を主要鉱物として含む上

部地殻は一般的に低 Vp/Vs で特徴付けられる一方、上部地殻に苦鉄質岩石が分布する場合 は高い P 波速度で特徴付けられることが示されてきた(平成 28 年度「日本海地震・津波 調査プロジェクト」成果報告書)。地殻深部相当の高温高圧下における岩石鉱物の弾性波速 度測定実験から、Vp と Vs には明瞭な温度依存性が認められる一方、Vp/Vs 比は温度依存 性が非常に小さく、岩相に強く依存するということが示されてきた。つまり、特定の深さ の地震波速度データセットから、一定の Vp/Vs 比の分布域の地震波速度データを抽出する ことは、同一岩相の分布域から地震波速度の温度成分を抽出することになる。本研究では、 防災科学技術研究所の三次元地震波速度構造(Matsubara et al., 2019)を用いて地震波速 度データから温度成分を抽出し、地下の温度分布、地温勾配、300℃の深度、脆性塑性境界 深度などを推定した(図 24)。

図 25 と図 26 には東北地域の深さ 20 km の P 波速度と Vp/Vs 比をそれぞれ示した。東 北地域の下部地殻は奥羽脊梁山地、朝日山地などでは低 Vp で特徴付けられ、日本海東縁 では高 Vp で特徴付けられる。東北地域の地殻構成岩石モデルに関する研究 (Nishimoto et al., 2008;石川, 2017)から日本海東縁から奥羽脊梁山地の下部地殻は角閃石はんれい 岩や角閃石輝石はんれい岩等で構成され、P 波速度の違いは主に構成鉱物比の変化を反映 していると解釈されている。秋田県一ノ目潟に産する苦鉄質捕獲岩は下部地殻由来と考え られており、苦鉄質捕獲岩の Vp/Vs は 1.74~1.80 程度である(Nishimoto et al., 2008)。 ある深さの地震波速度データから一定の Vp/Vs 比の領域の速度データを抽出することは、 同一岩相の分布域から温度成分を抽出することになる。図 24 に示したように、まずは、 Vp/Vs=1.77~1.78 の範囲の P 波速度を抽出(温度成分を抽出)し、抽出したデータをク リギング補間した P 波速度分布図を作成する。次に温度構造を推定する上で、東北地域の 地温勾配(Kushiro, 1987)を参考に解析域の地温条件を仮定する。ここでは最大地温勾配 33℃/km、地表温度 25℃、深さ 20 km で最高 685℃とした。Vp/Vs=1.77~1.78 の範囲で 抽出した P 波速度の最低値 6.34km/s を 685℃と仮定し、次に、男鹿半島の一ノ目潟に産 する下部地殻由来の苦鉄質捕獲岩の弾性波速度から得られている高温域のP波速度の温度 依存性を参考に P 波速度低下率を 1.0×10<sup>-3</sup> km s<sup>-1</sup>℃<sup>-1</sup>と仮定し、補完した P 波速度分布図 から温度分布を推定した。図 27 は東北で推定された深さ 20 km の温度分布である。奥羽 脊梁山地周辺と朝日山地で下部地殻温度が高いことが読み取れる。地温勾配を線形と仮定 して図 27 の深さ 20 km の温度分布図から地温勾配分布図に変換し (図 28)、さらに 300℃ の深さ分布を推定した(図 29)。平成 28 年度「日本海地震・津波調査プロジェクト」成果 報告書同様に地殻の流動応力を石英のレオロジーパラメーターを用いて、圧縮場における 歪速度を 10<sup>-7</sup> yr<sup>-1</sup>と仮定し、図 28 の地温勾配分布を用いて脆性塑性境界の深さ分布を見 積もった(図 30)。図に示されるように、脊梁周辺や朝日山地周辺で脆性塑性境界の深さ が浅く、日本海沿岸では深い傾向が読み取れ、大局的には D90 の深さ分布と類似した傾向 を示した。宮城県北部などでは D90 よりも脆性塑性境界がかなり深く推定されており、今 後の検討が必要である。

四国・中国・近畿地域については、四国と紀伊地域において四万十帯が20km以深まで 分布しているので(平成30年度成果報告書)、東北の温度構造解析のように深さ20kmの 苦鉄質岩分布域のデータを広範囲に抽出することができない。四国・中国・近畿地域では 深度 15 km のデータを使用して (Vp/Vs=1.695~1.705 の領域のデータ抽出)、300℃の深 さ分布と脆性塑性境界分布を求めた (図 31, 32)。ここでは最大地温勾配 33℃/km、地表 温度 25℃、深さ 15 km の最高温度 520℃、P 波速度最低値 5.92km/s の温度 520℃、P 波 速度低下率 1.0×10<sup>-3</sup> km s<sup>-1</sup>℃<sup>-1</sup>と仮定し、東北と同様の手順(図 24) で解析した。300℃ 深度は中央構造線付近に沿って浅く、その北側と南側は 300℃深度が深い。脆性塑性境界 深度の傾向は D90 の深さ分布と類似している。

隣接する九州地域については四国・中国・近畿地域の解析と同様の手順で、深度 15 km のデータを使用して(Vp/Vs=1.695~1.705 の領域のデータ抽出)、300℃の深さ分布と脆 性塑性境界分布を求めた(図 33, 34)。鹿児島周辺や大分周辺では 300℃深度や脆性塑性 境界が浅く、D90の深さ分布と傾向が類似しているが、九州中央部では D90 と比較してや や浅めであり、さらなる検討が必要である。



図 12 東北地方の地殻構成岩石モデル(Nishimoto et al., 2008; 石川, 2017)の例。岩 石鉱物の弾性波速度と地震波速度構造を比較することで東北本州弧の地殻構成 を推定した。高 Vp/Vsの上部地殻は中新世リフト活動に伴う玄武岩質マグマ活 動の痕跡と解釈され、低 Vp/Vsの上部地殻は石英を主要鉱物とする岩石で構成 されると解釈される。



図 13 研究対象範囲を示す位置図。地殻構成の推定を行なった位置を青い線で示す。温 度構造の推定範囲を赤線で囲んだ。背景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。



図 14 琵琶湖周辺の地殻構成モデル。(A)深さ8kmのVp/Vs、(B)赤線に沿ったP波速度断面、(C)赤線に沿ったVp/Vs断面。



図 15 西南日本の地殻構成の推定(東経 134.25°)。中国地方の上部地殻は低 Vp/Vs で 特徴付けられ花崗岩類等の石英長石質な岩石で構成されると推定される。四国地方の地 殻は低 Vp と低 Vp/Vs で特徴付けられ石英を主要鉱物とする岩石(四万十帯)で構成さ れると解釈される。苦鉄質片岩を主要構成岩石とする三波川変成帯は高 Vp で特徴付け られる。



図 16 圧力 1.0 GPa におけるざくろ石角閃岩の P 波速度と Vp/Vs。



図 17 地震波速度構造から温度構造を推定する手順。(a)P 波速度パータベー ション、(b) Vp/Vs、(c)定性的な温度構造。



図 18 地震波速度構造から推定される定性的な温度構造。(a)深さ 15 km、(b) 25 km。



図 19 地震波速度構造(東経 132.9 ~133°)から推定される定性的な温度構造と S 波パータベーション。



図 20 地震波速度構造(東経 133.2 ~133.3°)から推定される定性的な温度構造。



図 21 地震波速度構造(東経 134.1 ~134.2°)から推定される定性的な温度構造。



図 22 地震波速度構造(東経 134.8 ~134.9°)から推定される定性的な温度構造。



図 23 地震波速度構造(東経 136 ~136.1°)から推定される定性的な温度構造。



図 24 地震波速度から温度構造を推定する手法。



図 25 東北地域の深さ 20 km における P 波速度(Matsubara et al., 2019)



図 26 東北地域の Vp/Vs(Matsubara et al., 2019)



図 27 東北地域で推定された深さ 20 km の温度



図 28 東北地域で推定された地温勾配



図 29 東北地域で推定された 300℃の深さ



図 30 東北地域で推定された脆性塑性境界の深さ



図 31 四国・中国・近畿地域で推定された 300℃の深さ



図 32 四国・中国・近畿地域で推定された脆性塑性境界の深さ



図 33 九州地域で推定された 300℃の深さ



図 34 九州地域で推定された脆性塑性境界の深さ

## (d) 結論ならびに今後の課題

岩石鉱物の弾性波速度の視点から地震波トモグラフィーを解釈することで日本周辺の 地殻構成を推定し、Vp/Vsトモグラフィーから同一岩石種が分布すると推定される領域の 地震波速度を抽出することで、地殻内部の温度構造を推定し、さらに脆性塑性境界の深さ 分布を検討した。東北では脊梁周辺などで脆性塑性境界の深さが浅く、日本海沿岸では深 い傾向がみられた。四国・中国・近畿地域の 300℃深さや脆性塑性境界の深さは中央構造 線付近に沿って浅く、瀬戸内海周辺に相対的な低温域が分布するために脆性塑性境界が深 い。中国地方北側の更新世火山フロント周辺では相対的な高温域が分布するために脆性塑 性境界が浅いことが推定された。

東北地域と四国・中国・近畿地域で推定した 300℃深さや脆性塑性境界の深さは D90 の 深さ分布と類似している。九州地域では鹿児島周辺や大分周辺で 300℃深度や脆性塑性境 界深度が浅く、D90 の深さ分布と類似しているが、九州中央部では D90 と比較して 300℃ 深さや脆性塑性境界の深さがやや浅めに推定されている。東北地域や四国・中国・近畿地 域でも局所的には 300℃深さや脆性塑性境界が D90 より深めに推定されており、さらなる 検討が必要であり、今後の課題である。

## (e) 引用文献

- 平成 28 年度「日本海地震・津波調査プロジェクト」成果報告書, 3.4 断層帯周辺の岩石 物 性 に 基 づ く 地 震 発 生 層 推 定 , http://www.eri.utokyo.ac.jp/project/Japan\_Sea/JSH28Report/PDF/18\_H28JSPJ-C3.2.5.3.pdf, 2017.
- 活断層の評価に関する調査研究「断層帯深部形状の評価に関する活断層調査研究」平成 30 年度 成果報告書, 3.4 断層帯周辺の岩石物性に基づく地震発生層推定, https://www.jishin.go.jp/main/chousakenkyuu/active\_fault\_research/B-

h30/h30\_active\_fault\_research\_B3\_4.pdf, 2019.

- 石川正弘,岩石の弾性波速度に基づく島弧地殻深部及び最上部マントルの構成岩石の推定:伊豆弧と東北本州弧,地質学雑誌,123,355-364,2017.
- Kushiro, I., A petrological model of the mantle wedge and lower crust in the Japanese island arcs, B.O. Mysen (Ed.), Magmatic Processes: Physicochemical Principles, Geochemical Society, 165-181, 1987.
- Nishimoto, S., M. Ishikawa, M. Arima, T. Yoshida, and J. Nakajima, Simultaneous high P-T measurements of ultrasonic compressional and shear wave velocities in Ichinomegata mafic xenoliths: Their bearings on seismic velocity perturbations in lower crust of northeast Japan arc, J. Geophys. Res., 113, B12212, doi:10.1029/2008JB005587, 2008.
- Matsubara, M., H. Sato, K. Uehira, M. Mochizuki, and T. Kanazawa, Three-dimensional seismic velocity structure beneath Japanese Islands and surroundings based on NIED seismic networks using both inland and offshore events, Journal of Disaster Research, 12, 844-857, doi:10.20965/jdr.2017.p0844, 2017.
- 産業技術総合研究所地質調査総合センター(編),20万分の1日本シームレス地質図,2015.