

# 構成岩石モデルの構築

## 地震発生層下限の推定に向けて

横浜国立大学

### 研究全体の流れ

- 地殻構成岩石と断層下限の推定
  - ◆ 岩石・鉱物の弾性波速度と地震波速度を比較することで地殻・最上部マントル構成岩石モデルを検討
  - ↓
  - ◆ 岩石・鉱物多結晶の弾性波速度と地震波トモグラフィーの比較から温度構造モデルを検討
  - ↓
  - ◆ 地震発生層下限と温度構造の関係を検討
  - ↓
  - ◆ 構成岩石モデルと温度構造モデルから断層下限モデルを検討

### 令和2年度業務計画案

構成岩石モデルを推定するための弾性波速度などの岩石・鉱物の岩石物性の基礎データを取得・整理する。断層モデルの構築（2-5-1）および地震活動の情報（2-5-2）、の成果とともに、岩石物性の視点から地殻構成岩石モデルと地震発生層の下限についての検討を行う。

## 多結晶体の焼結実験

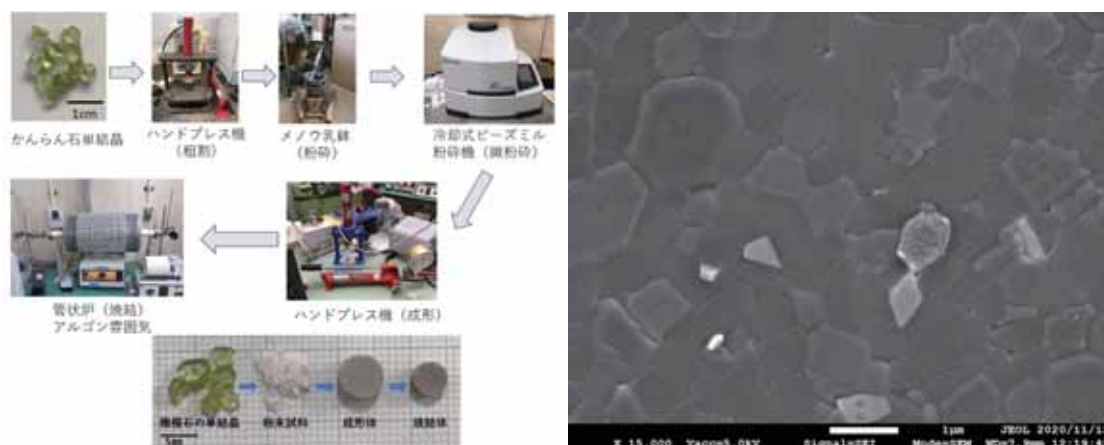


図1 多結晶体の焼結までの手順（左）と苦鉄質捕獲岩の焼結体 SEM 画像（右）

岩石・鉱物を極細粒まで微粉砕し、電気炉を用いて鉱物多結晶体の焼結実験を行った。本年度は九州北部に産出する苦鉄質捕獲岩に着目し、焼結実験を行った。左上と同じ手順で苦鉄質捕獲岩を微粉砕し、成形体を 1100℃で 8 時間保持し焼結した微細多結晶（粒径 1 μm 前後）が右上である。

## 苦鉄質捕獲岩の弾性波速度測定実験と地震波速度構造の比較

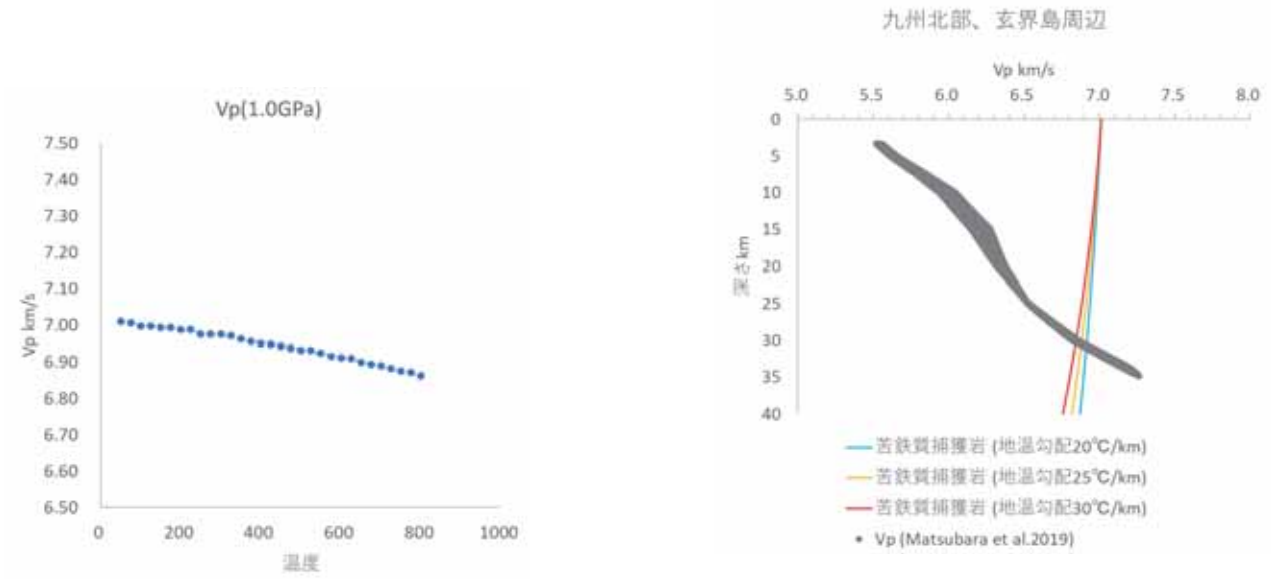


図2 苦鉄質捕獲岩の焼結体の弾性波速度（1.0GPaの例）（左）と地震波速度構造の比較（右）

苦鉄質捕獲岩の多結晶焼結体を対象に高温高压下で弾性波速度測定実験を行った。左図は1.0GPaにおける測定例である。右には苦鉄質捕獲岩の多結晶焼結体の弾性波速度と Matsubara et al.(2019)の3次元速度構造モデルから得た九州玄界島周辺のP波速度を比較した。

## 地震波速度データから脆性塑性境界深度を推定

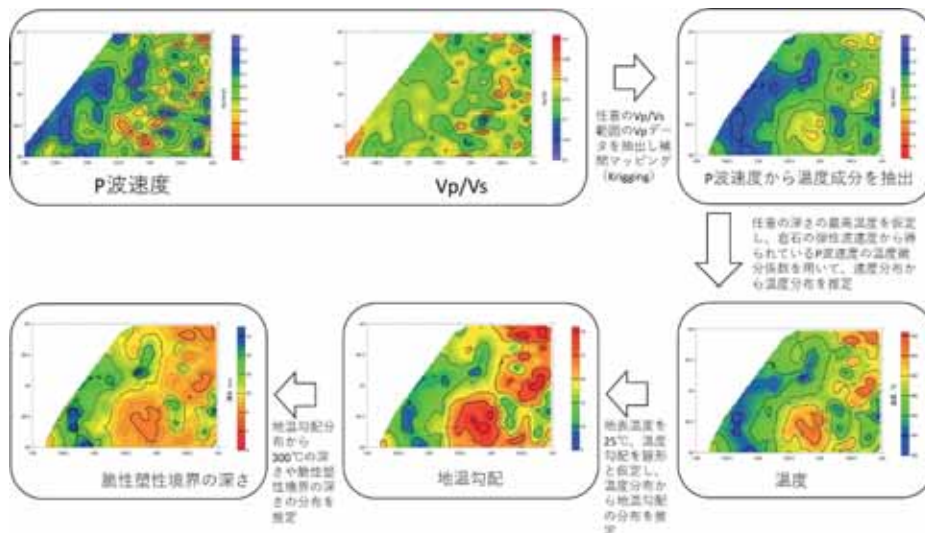


図3 地震波速度データから脆性塑性境界深度を推定する手順

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の地震波速度データから一定の  $V_p/V_s$  比の領域の速度データを用いることで、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°Cの深度、脆性塑性境界深度を推定することを試みる。

## 東北日本、日本海沿岸周辺の温度構造と地震発生層下限

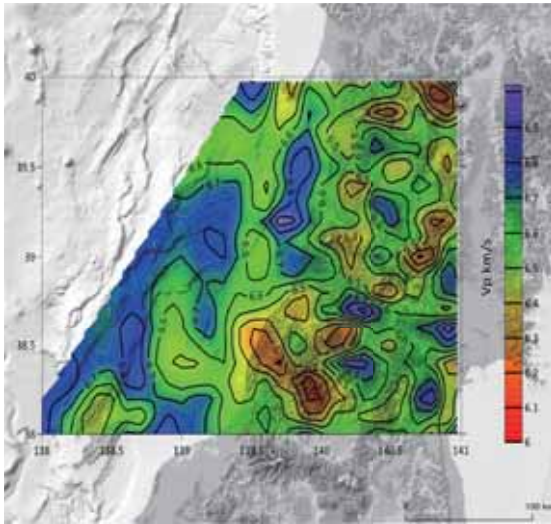


図4 深さ 20 km の P 波速度。防災科学技術研究所の三次元地震波速度構造の地震波速度データを使用。

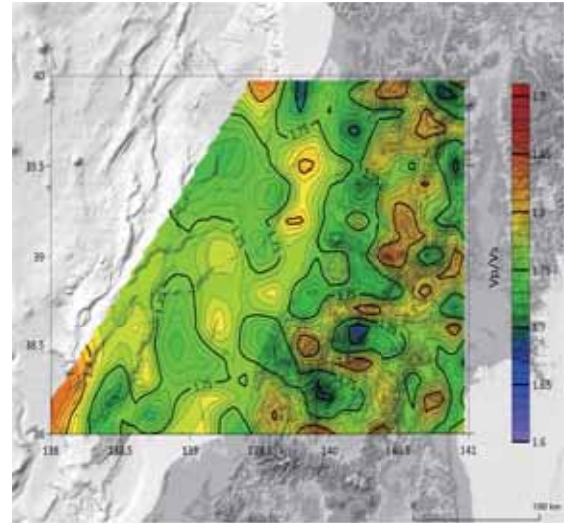


図5 深さ 20 km の Vp/Vs。防災科学技術研究所の三次元地震波速度構造の地震波速度データを使用。

東北地方の下部地殻の構成岩石に関しては、一般的には中程度からやや高い Vp/Vs で特徴付けられ、苦鉄質岩石で構成されていると解釈されている(例えば、平成 30 年度報告書)。図 4 と図 5 は山形周辺において深さ 20 km の P 波速度と Vp/Vs 比の分布を示している。

## 東北日本、日本海沿岸周辺の温度構造と地震発生層下限

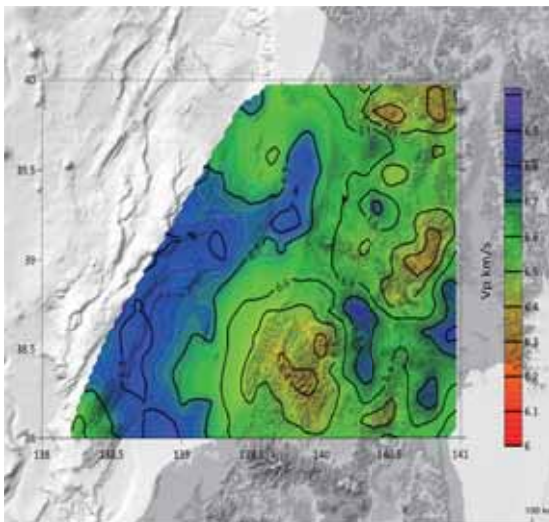


図6 深さ 20 km の Vp/Vs データから Vp/Vs=1.77~1.78 の領域の速度データを抽出し、クリギング補間した P 波速度分布

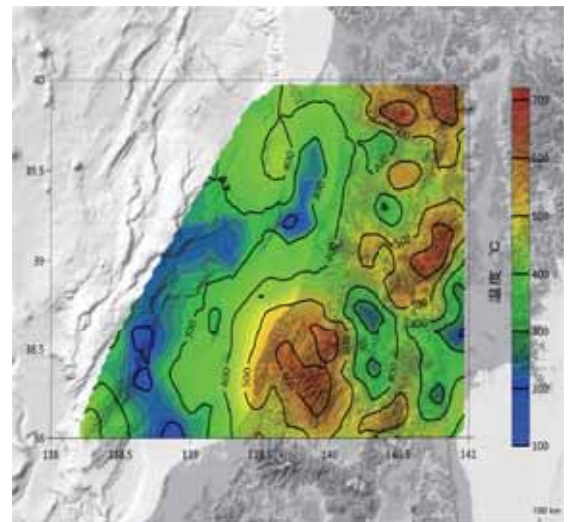


図7 深さ 20 km の温度の推定

男鹿半島の一ノ目淵に産する下部地殻由来の苦鉄質捕獲岩の Vp/Vs は 1.74~1.80 程度であることが岩石の弾性波速度測定実験から示されている。東北地方の深さ 20 km の一定の Vp/Vs 比の領域の速度データを抽出することは、任意の苦鉄質岩の分布域の速度データを抽出することになる。図 6 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)してクリギング補間した P 波速度分布である。温度構造を推定する上で、岩石学で推定された地温勾配を参考に解析域の地温条件を仮定した(最大地温勾配 33°C、地表温度 25°C、深さ 20 km で最高 685°C)。まずは、Vp/Vs=1.77~1.78 の範囲で抽出した P 波速度の最小値 6.34 km/s を 685°C と仮定した。次に、男鹿半島の一ノ目淵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 波速度の温度微分係数を参考に P 波速度低下率を  $1.0 \times 10^{-3} \text{ km s}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$  と仮定し、補完した P 波速度の分布(図 6)から温度分布を推定した(図 7)。なお、今回推定した温度構造や脆性塑性深度は、海域の水深を 0 m と仮定した暫定モデルである。図 7 の深さ 20 km の温度構造が示すように、脊梁周辺や朝日山地周辺に高温域が分布する一方、日本海沿岸には低温域が分布することが推定された。

## 東北日本、日本海沿岸周辺の温度構造と地震発生層下限

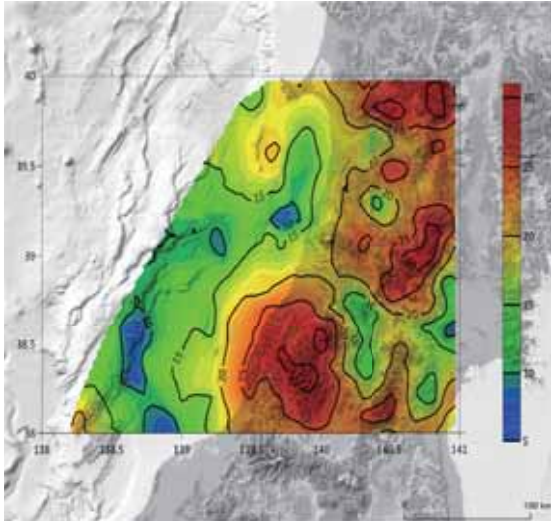


図 8 地温勾配 (°C/km) の推定

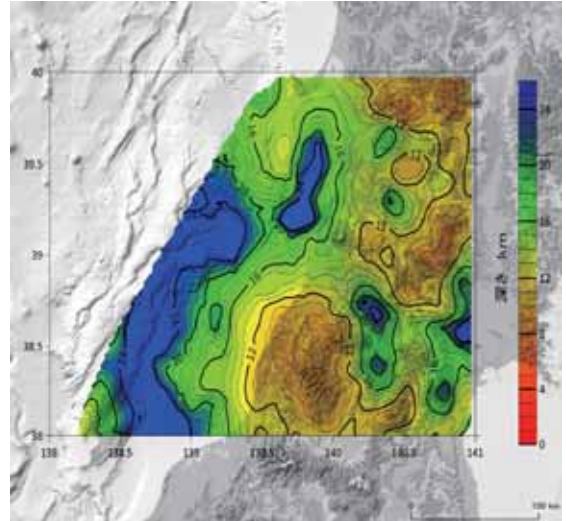


図 9 300°Cの深さの推定

地温勾配を線形と仮定して図7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 8)、さらに 300°Cの深さ分布を推定した (図 9)。平成 28 年度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を用いて、圧縮場における歪速度を  $10^{-7}\text{yr}^{-1}$  と仮定し、図 8 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 10)。

## 東北日本、日本海沿岸周辺の温度構造と地震発生層下限

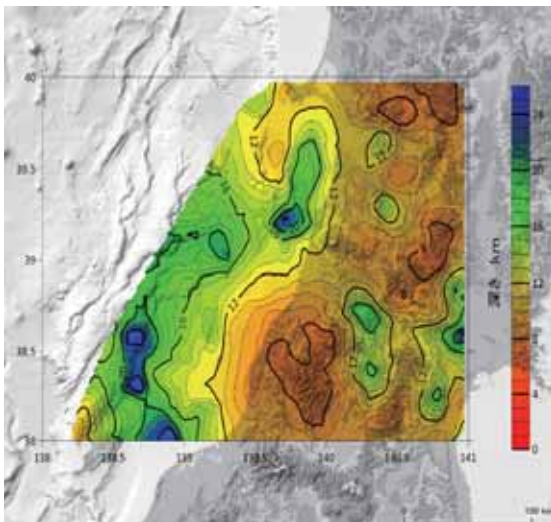


図 10 脆性塑性境界の深さの推定

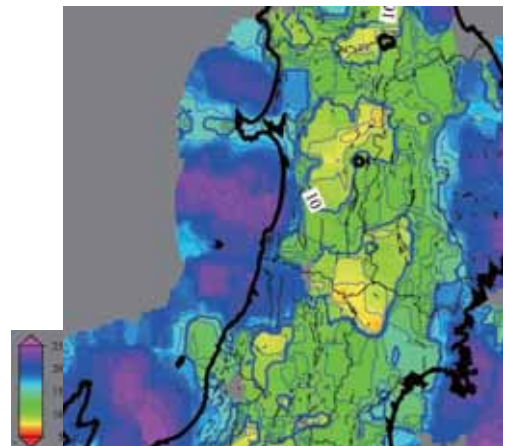


図 10 D90 (松原他,2020 地震学会)

平成 28 年度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を用いて、圧縮場における歪速度を  $10^{-7}\text{yr}^{-1}$  と仮定し、図 8 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 10)。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 (図 10) と類似した傾向を示した。なお、岩手・宮城内陸地震の震源域では脆性塑性境界が浅く余震の深さ分布と整合的である。

## 東北日本、日本海沿岸周辺の温度構造と地震発生層下限

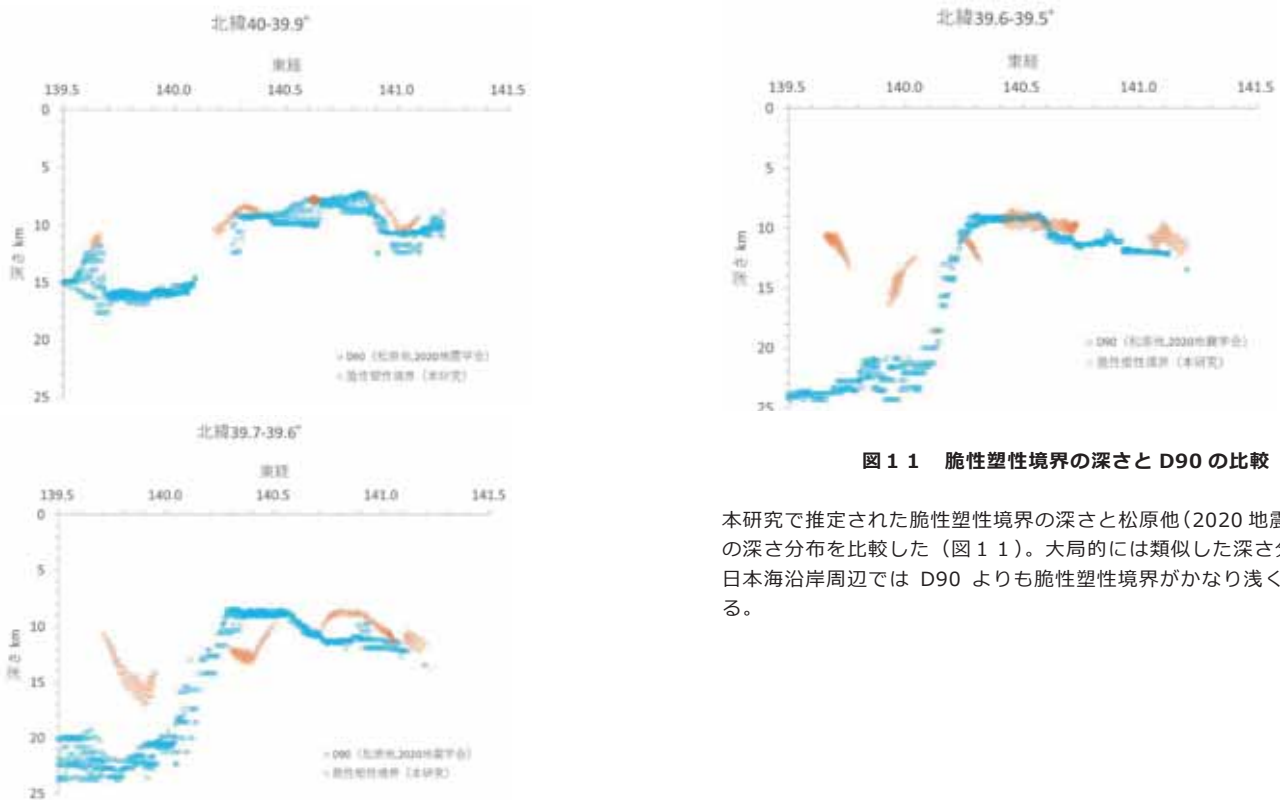


図 1 1 脆性塑性境界の深さと D90 の比較

本研究で推定された脆性塑性境界の深さと松原他(2020 地震学会)の D90 の深さ分布を比較した (図 1 1)。大局的には類似した深さ分布を示すが、日本海沿岸周辺では D90 よりも脆性塑性境界がかなり浅く推定されている。

## 東北日本、日本海沿岸周辺の温度構造と地震発生層下限

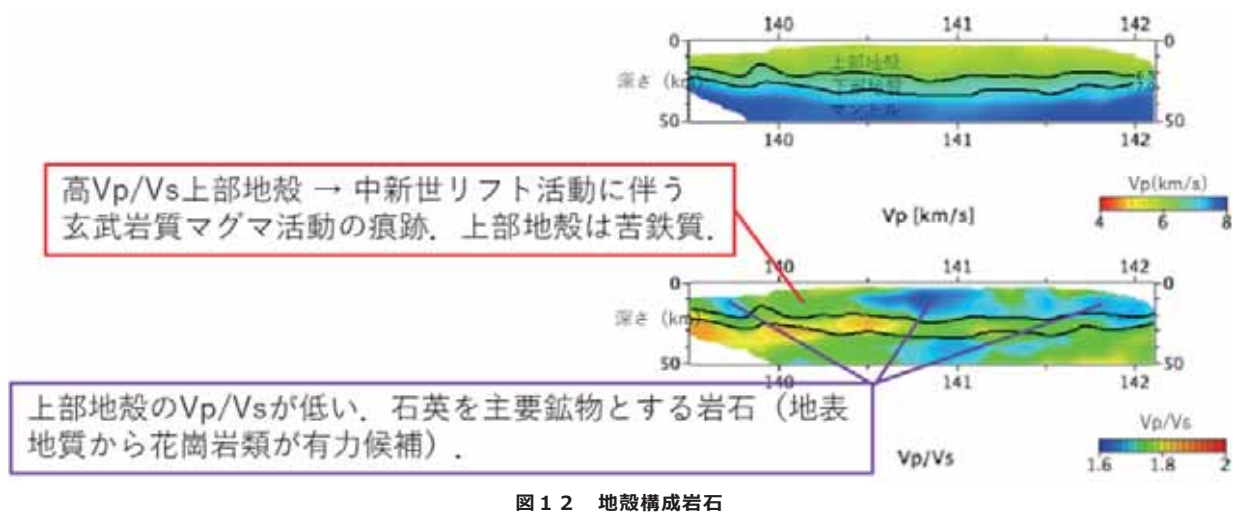


図 1 2 地殻構成岩石

図 1 2 は北緯 40° の  $V_p$  および  $V_p/V_s$  断面である。日本海沿岸周辺の上地殻は高  $V_p/V_s$  で特徴づけられており、中新世リフト活動に伴う玄武岩質マグマの影響で地殻が苦鉄質になっていると推定される。このために日本海沿岸周辺の中新世リフト地殻では苦鉄質地殻の影響で D90 が深くなっていると解釈される。

## 東北日本、日本海沿岸周辺の温度構造と地震発生層下限

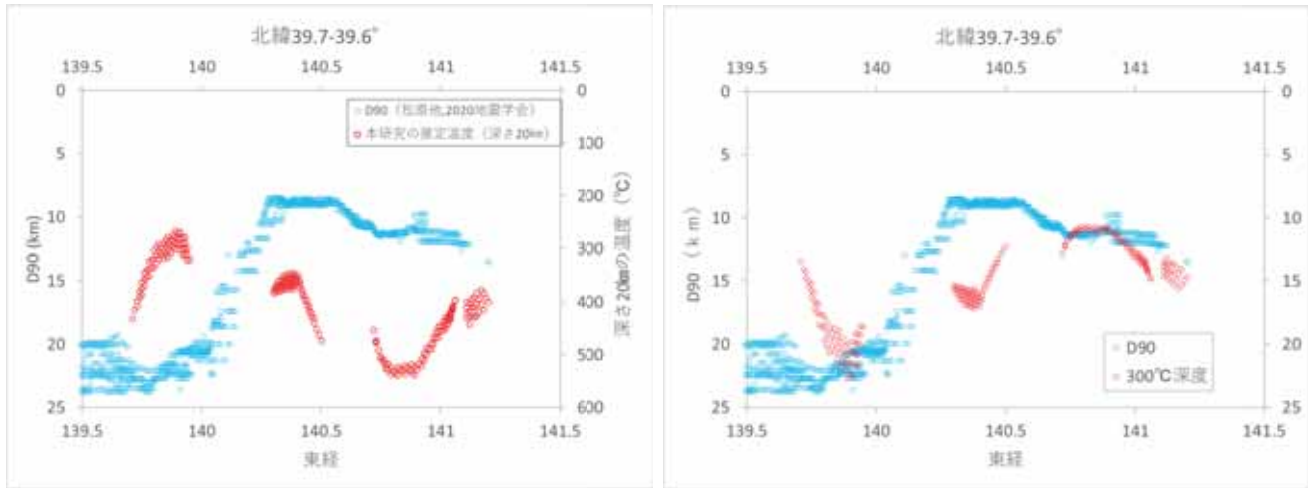


図 13 深さ 20 km の推定温度 (左) と 300°C の深さ (右)

本研究で推定された深さ 20 km の推定温度 (左) と 300°C の深さ (右) と松原他 (2020 地震学会) の D90 の深さ分布を比較した日本海沿岸周辺の中新世リフト地殻では地殻内部の温度が相対的に低い。中新世リフト地殻の温度が低いことも D90 が深くなることに影響を及ぼしていると解釈される。

## 北海道南西部・東北北西部の温度構造と地震発生層下限の推定

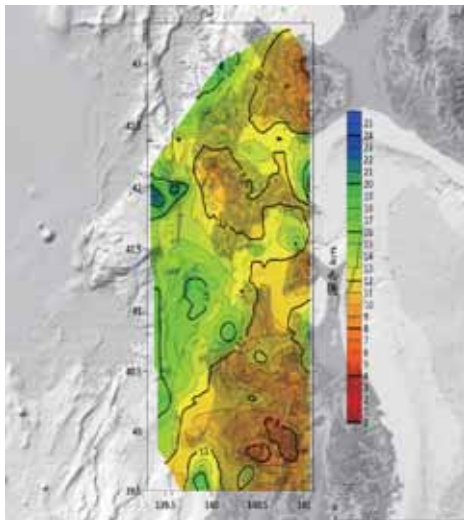


図 14 脆性塑性境界の深さの推定



図 15 D90 (松原他,2020 地震学会)

北海道南西部・東北北西部の脆性塑性境界深度の分布の推定を試みた。脆性塑性境界の深さは大局的には D90 の深さ分布と類似した傾向がみられるが、日本海部分では D90 が本研究で推定された脆性塑性境界よりも深くなる傾向がある。

## 北陸の温度構造と地震発生層下限の推定

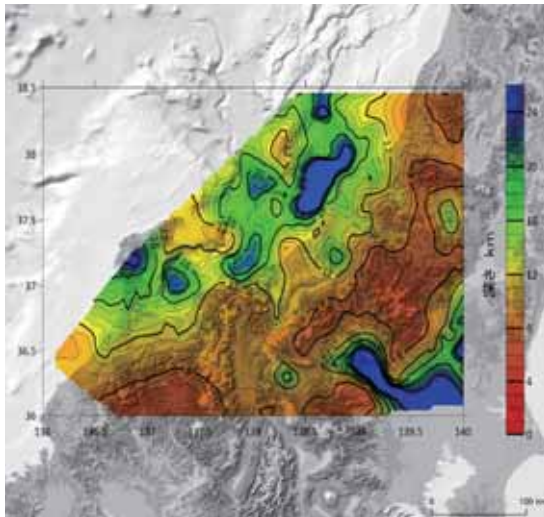


図 16 脆性塑性境界の深さの推定

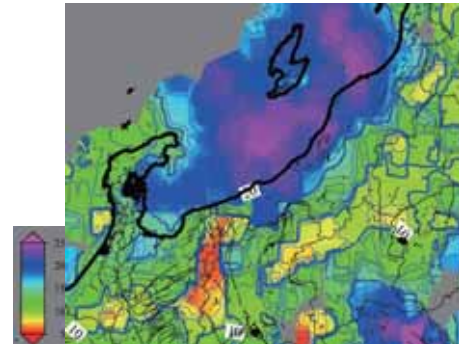


図 17 D90 (松原他,2020 地震学会)

北陸周辺の脆性塑性境界分布を求めた。脆性塑性境界の深さは大局的には D90 の深さ分布と類似した傾向がみられるが、日本海東縁の中新世リフト活動部位では D90 が本研究で推定された脆性塑性境界よりも深くなる傾向がある。

## まとめ

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によって、日本海沿岸周辺の地殻の温度構造と脆性塑性境界の深さを推定し D90 と比較した。その結果、深さ 20 km の地震波トモグラフィからは、脊梁周辺などには高温域が分布し脆性塑性境界が浅い一方で、日本海沿岸には低温域が分布し脆性塑性境界が深いことが推定された。脆性塑性境界の深さは大局的には D90 の深さ分布と類似した傾向がみられるが、中新世リフト地殻では D90 が本研究で推定された脆性塑性境界よりもかなり深くなっており、地殻が苦鉄質で構成されている影響であると解釈される。