

(1) 実施機関名：

東北大学

(2) 研究課題（または観測項目）名：

スラブ内地震の発生に至る過程の解明

(3) 最も関連の深い建議の項目：

2. 地震・火山現象解明のための観測研究の推進

(2) 地震・火山噴火に至る準備過程

(2-1) 地震準備過程

エ. スラブ内地震の発生機構

(4) その他関連する建議の項目：

2. 地震・火山現象解明のための観測研究の推進

(1) 日本列島及び周辺域の長期・広域の地震・火山現象

イ. 上部マントルとマグマの発生場

(5) 本課題の5か年の到達目標：

スラブ内地震の発生には、沈み込む海洋性プレートとともに深部へ持ち込まれる水が深く関与していることが明らかとなってきた。このことは、水の輸送を担う海洋性プレートがもつ不均質構造が、地震発生域の分布を規定している可能性を示している。また、このような水と地震活動との関連については、沈み込む前の海洋性プレート内についても指摘されており、outer rise 領域から深部スラブにいたる広大な領域を総合的に解析することにより、スラブ内地震の理解が深まると考えられる。

スラブ内の岩石の脱水が地震発生に及ぼす影響は二通り考えられる。一つは間隙水圧を上げる（有効法線応力を下げる）ことによりクーロン破壊応力を増加させる効果である。もう一つは蛇紋岩が脱水しても脆性破壊が生じずにクリープが生じ、それが周囲の岩石への応力集中をもたらすという可能性である。このモデルは、非地震性の滑り・変形が地震性領域への応力集中・増加をもたらすという点で、プレート境界型地震のアスペリティ・モデルと同等と考えることができる。どちらの影響が大きいのかは、詳細な構造と大地震の震源過程を調べれば決着がつくはずである。つまり、後者の影響が大きいのであれば、地震時に大きく滑った領域の外側に低速度域が分布することが期待される。

そこで、本研究では海溝外側の outer rise 領域から島弧下のスラブまでの構造を詳細に調べ、さらに、スラブ内地震の詳細な震源分布・震源過程も調べることにより、構造と地震活動との対応関係を明らかにする。その際に、スラブ表面からの震源までの距離やスラブの形状が重要な情報となるため、変換波を用いてスラブ表面の位置を高精度で推定する。このようにして得られた地震時滑り分布と余震活動・先駆的地震活動との関係や地震波速度構造との関係から、スラブ内地震の発生に至る過程をモデル化し、更にスラブ内大地震が発生する可能性の高い領域の同定を行う。

(6) 本課題の5か年計画の概要：

1. 海溝外側を含む領域での海底地震観測（H21～25年度）

スラブ内の構造推定と、outer rise 近傍の高精度震源決定を目的として、海溝の外側を含む海域で海底地震観測を実施する。

## 2. 詳細な震源分布・震源過程の推定 (H21~25 年度)

Hi-net のデータを用いて北海道から関東までのスラブ内の詳細な震源分布を推定する。また、海域については 1. の観測データを用いて、特に outer rise の下の地震の震源決定を行い、この付近で地震活動が二重面を形成しているか否かを検証する。さらに、スラブ内で発生した中~大地震について震源過程を推定する。

## 3. 詳細な構造の推定 (H21~25 年度)

初動到達時刻のみならず、変換波も用いることにより、特にスラブ表面付近の構造について詳細に調べる。1. の海底地震観測データからスラブ内を長距離通ってくる波線も利用することにより、スラブ内の構造を精度良く推定する。

## 4. スラブ内地震発生のモデル化 (H25 年度)

上記で得られた詳細な震源分布・震源過程と地震波速度構造の両方を説明できるスラブ内の温度と脱水反応、及びマントルウェッジへの水の輸送経路について、モデル化する。また、スラブ内地震に対するアスペリティ・モデルの適用の可能性を検討する。さらに、これらの結果に基づき、スラブ内大地震の発生ポテンシャルを評価する。

### (7) 平成 24 年度成果の概要：

#### ● PS 変換波から推定された沈み込む海洋性地殻内の地震波速度構造

東北地方のスラブ内地震に見られる太平洋プレート上部境界での PS 変換波 (Matsuzawa et al., 1986) の走時を用いて、海洋性地殻の面的な P 波速度構造を推定した。その結果、P 波速度は前弧側で 6.5-7.5 km/s、背弧側で 7.5-8.5 km/s であり、火山フロント下を境に速度が大きく変化することが明らかになった。深さ 70-90km の範囲では、観測された P 波速度は岩石学的モデルや室内実験から期待される速度よりも 10%程度低く、含水鉱物に加えて多量の水が存在していることが強く示唆される。また、地殻内で地震活動が活発な上面地震帯 (Kita et al., 2006) はこの低速度域とよい対応を示す (図 1)。この明瞭な対応関係は、地殻内地震は含水鉱物の脱水によって生じた高間隙圧水によって生じているというモデルを支持する。

#### ●北海道下のスラブ内の減衰構造

北海道下において稠密地震観測網のデータも用いて地震波減衰構造を求めた。太平洋スラブ内は全体的には、これまでの研究と同様に低減衰 (高 Q) となっているが、地震波低速度領域としてイメージングされている海洋性地殻領域は高減衰 (低 Q) を示すことが明らかになった (図 2 及び図 3b)。海洋性地殻での地震発生には流体が関わることを支持する結果である。

#### ●スラブ内の応力の急変を示す地震クラスター

新潟県新発田市の下の深さ約 155km で発生している稍深発地震のクラスターについて、波形解析によりその特徴を調べた。その結果、地震クラスターは、太平洋スラブの地殻内に位置していること、正断層、逆断層地震が発生していること (図 4a)、波形の相似性から 9つの地震クラスターに分類できることが明らかになった。また、相互相関データを用いた震源決定の結果、正断層地震は逆断層地震よりも 1km 程度浅部で発生していることが分かった (図 4b)。この結果は、同じクラスターの中で応力場が急変していることを示している。海洋性地殻がエクロジャイト化する際の体積現象に伴って、浅部の引張場、深部の圧縮場が形成されているとすると、観測事実を説明することができる (図 4c)。

#### ● 2011 年東北地方太平洋地震後のフィリピン海スラブ内の地震活動

東北地方太平洋沖地震の 8 か月後に、関東地方下のフィリピン海スラブ内で活発化した地震活動 (M4.1 の最大地震とその余震) を解析した結果、以下のことが明らかになった。(1) 震源の広がり深さは 5km 程度であり、M4.1 の地震はその最深部で発生した。(2) 余震活動が深部から浅部へ徐々に移動する。(3) 相似な地震波形をもつ地震は面状に分布しており、それらの地震の破壊域は互いに重

ならない。地震活動が活発化するまでに要した8か月とその後の震源の移動は、間隙水圧の上昇及び脆性破壊を伴う水の移動の時間発展を反映している可能性が高い。

**(8) 平成24年度の成果に関連の深いもので、平成24年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：**

Kita, S., A. Hasegawa, J. Nakajima, T. Okada, 2012, T. Matsuzawa and K. Katsumata, High-resolution seismic velocity structure beneath the Hokkaido corner, northern Japan: Arc-arc collision and origins of the 1970 M 6.7 Hidaka and 1982 M 7.1 Urakawa-oki earthquakes, Journal of Geophysical Research, doi: 10.1029/2012JB009356, Vol. 117, B12301.

Nakajima, J., N. Uchida, T. Shiina, A. Hasegawa, B.R. Hacker, and S.H. Kirby, 2013, Intermediate-depth earthquakes facilitated by eclogitization-related stresses, Geology, in press.

van Keken, P. E., S. Kita, and J. Nakajima, 2012, Thermal structure and intermediate-depth seismicity in the Tohoku-Hokkaido subduction zones, Solid Earth, 3, 355-364, doi:10.5194/se-3-355-2012.

**(9) 平成25年度実施計画の概要：**

海溝外側を含むスラブ内の詳細な震源決定や構造推定、震源過程の推定を継続する。これらの詳細な震源分布・構造と震源過程を説明できるスラブ内の温度と脱水反応、更にマントルウェッジへの水の輸送経路についてモデル化する。アスペリティ・モデルについてはそれを内包するより高度で柔軟なモデルが必要とされており、間隙圧や応力場の時空間変化にも着目した地震発生モデルを構築し、これらの結果に基づき、スラブ内大地震の発生ポテンシャルを評価する。

**(10) 実施機関の参加者氏名または部署等名：**

岡田知己・中島淳一・日野亮太・趙大鵬・海野徳仁・松澤 暢・北 佐枝子・内田直希 他計 10 名程度（大学院生含む）

**他機関との共同研究の有無：有**

- 地震発生モデル化については USGS S.H. Kirby, 東工大 丸山茂徳, 大森総一, 京大 小木曾哲らとの共同研究
- 海底地震観測については気象庁との共同観測
- 北海道の陸域下の構造推定については北大 勝俣 啓との共同研究

**(11) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先**

部署等名：東北大学大学院理学研究科 地震・噴火予知研究観測センター

電話：022-225-1950

e-mail：zisin-yoti@aob.gp.tohoku.ac.jp

URL：http://www.aob.gp.tohoku.ac.jp/

**(12) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者**

氏名：松澤 暢

所属：東北大学大学院理学研究科 地震・噴火予知研究観測センター

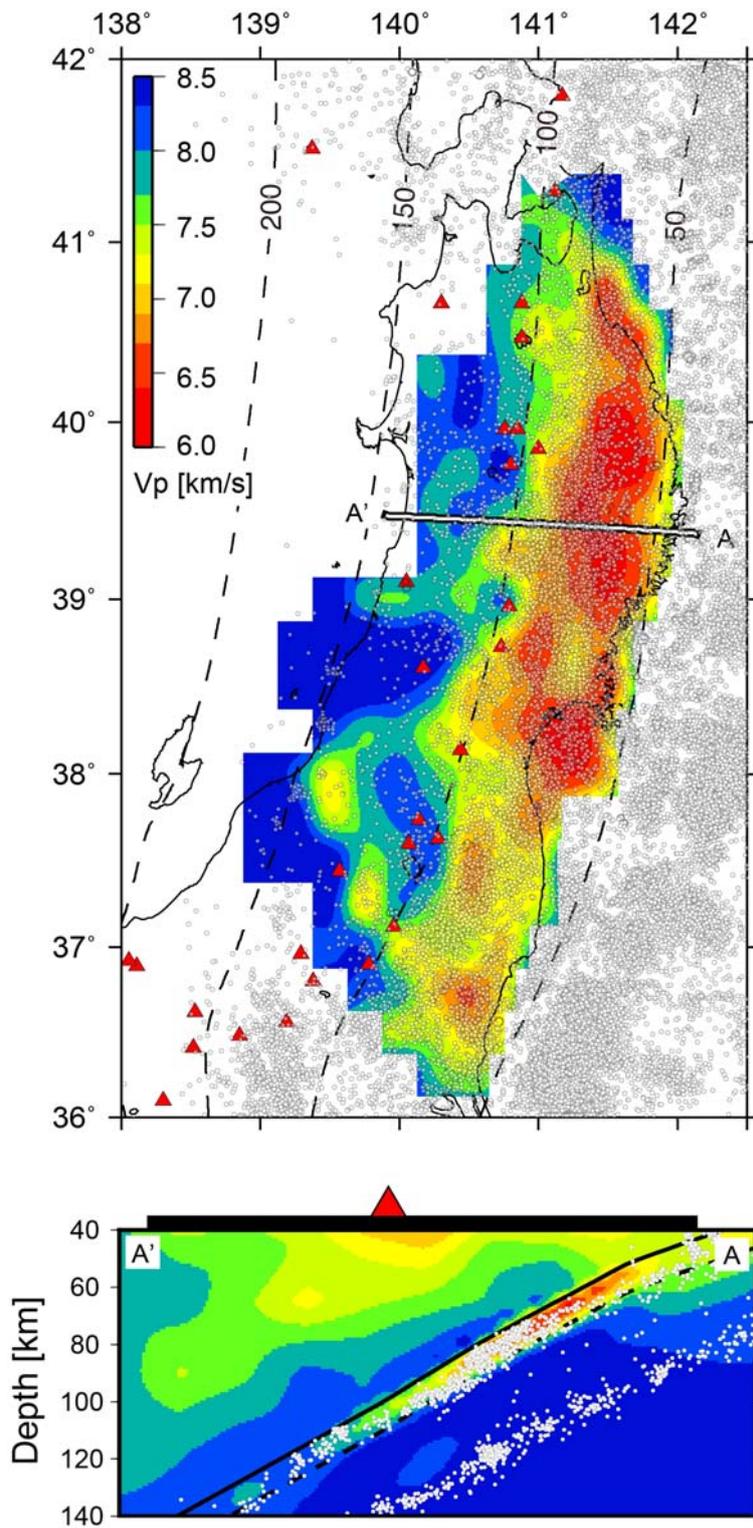


図1. PS変換波により推定された沈み込む海洋性地殻内のP波速度.

(上) PS変換波により推定された海洋性地殻内のP波速度分布. 海洋性地殻内で発生している地震(白丸)を重ねて示す.(下) 上図の測線A-A'に沿うP波速度構造の鉛直断面図.

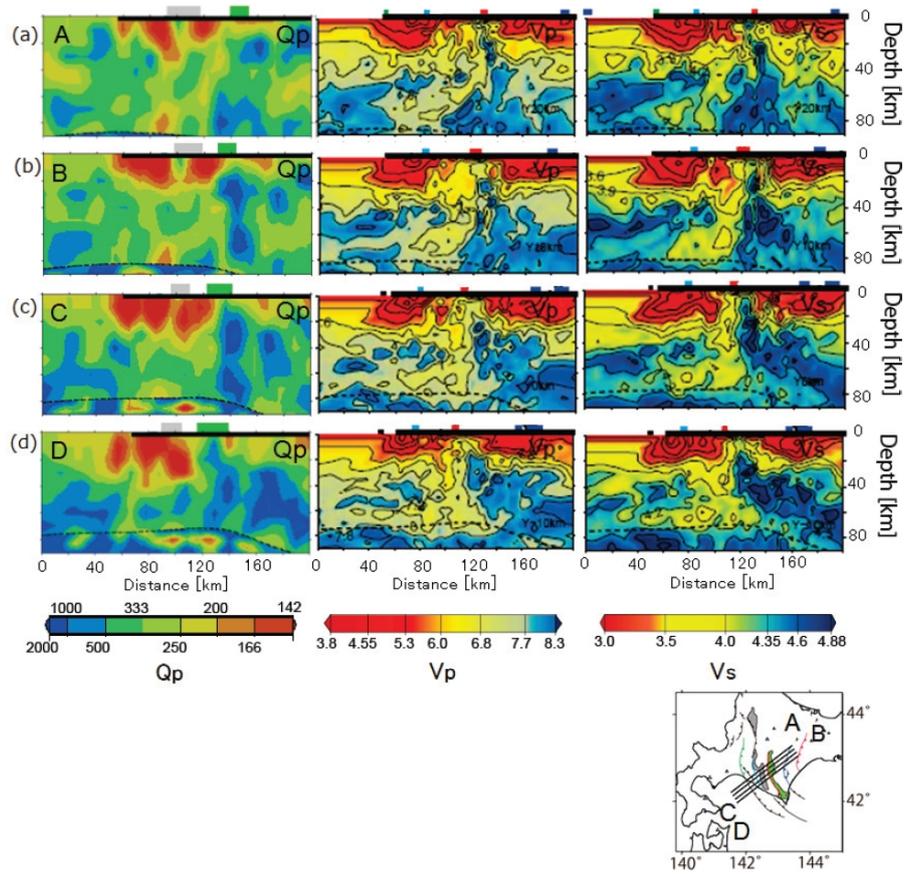


図2. 北海道下の地震波減衰・速度構造。

推定された  $Q_p$  構造（左）と Kita et al. (2012) による  $V_p$ （中央）と  $V_s$ （右）の鉛直断面図。挿入図中の黒線は断面図を作成した位置を、断面図中の黒点線はスラブ表面の位置（Kita et al., 2010）を示す。

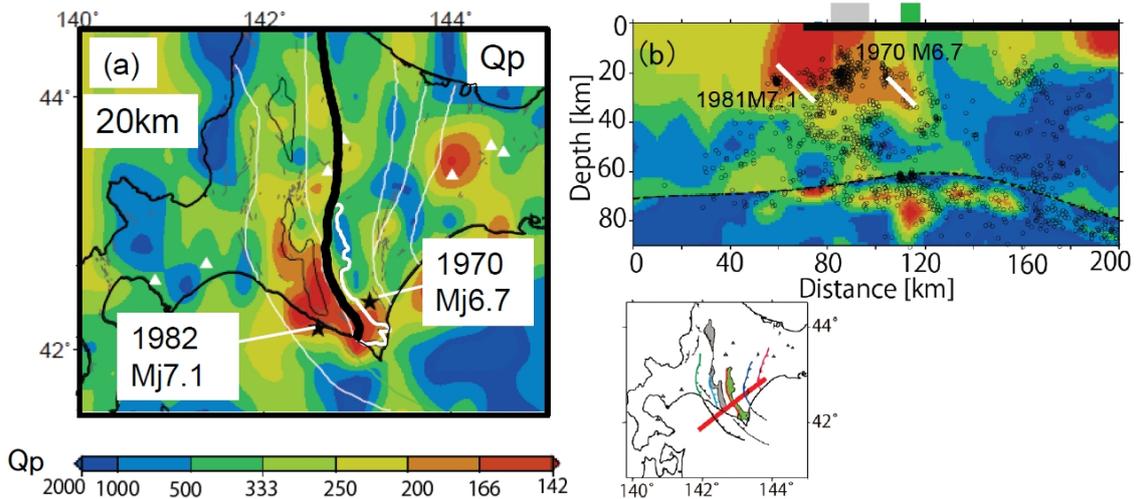


図3. 北海道下の地震波減衰構造と地震活動。

推定された  $Q_p$  構造の (a) 深さ 20km の水平断面及び (b) 鉛直断面。図 a 中の白色細線は地質境界を示す。図 b 上端の黒太線、緑矩形及び灰色矩形は、それぞれ陸域、日高変成帯及び神居古潭変成帯の位置を示す。黒点線及び黒丸は、スラブ表面の位置（Kita et al., 2010）と地震活動を示す。

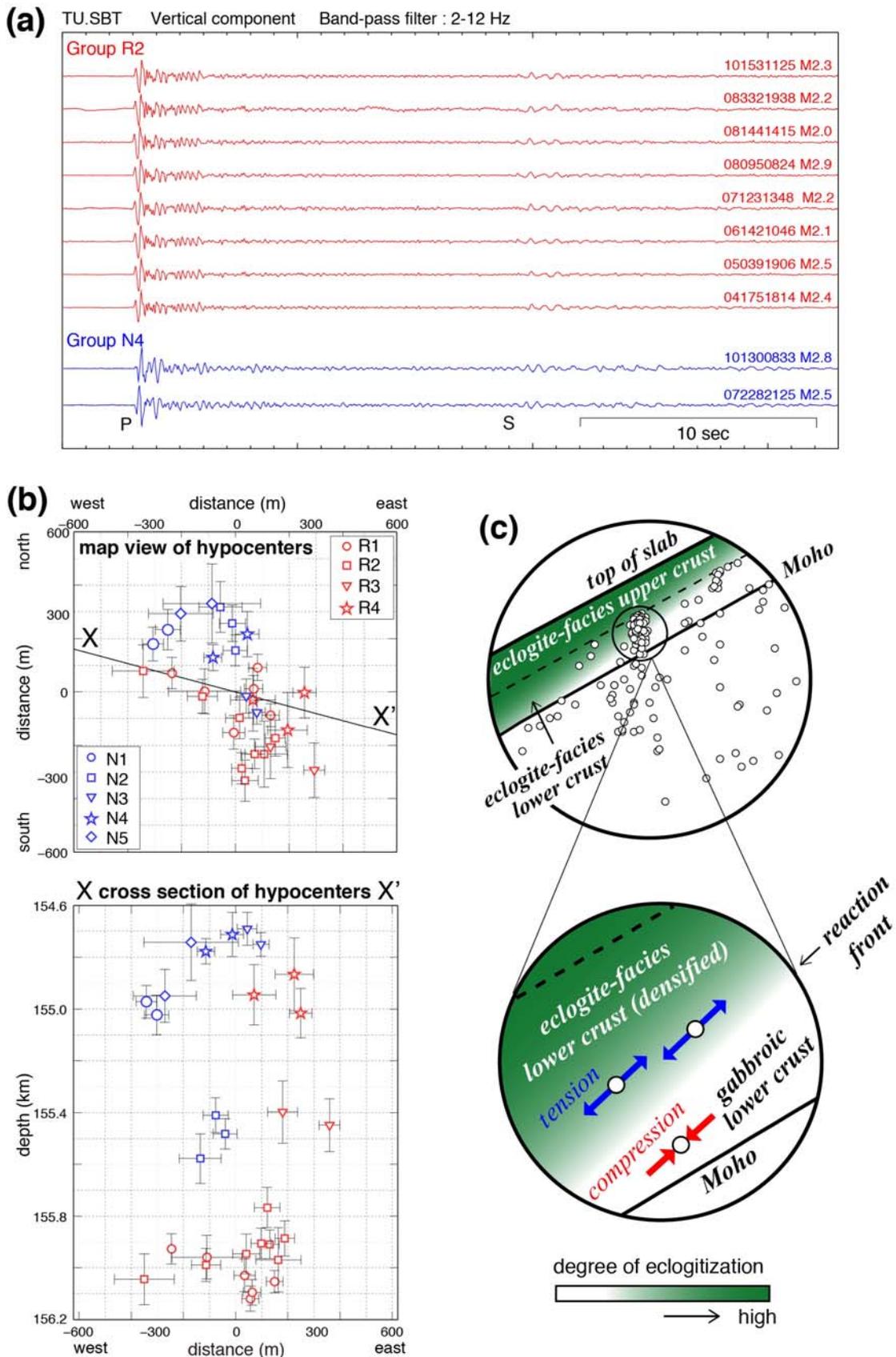


図4. 新発田の下のスラブ内地震クラスター。

(a) 地震クラスター直上の観測点で観測された地震波形例。赤が逆断層地震，青が正断層地震（以下同じ）。(b) 再決定された震源分布。シンボルは波形の相似性で分類した9つのグループに対応。(c) 解釈図。エクロジャイト化により，反応フロントの浅部に引張場，深部に圧縮場が形成される。