

(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、非地震性のすべり・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すべり分布と余震活動・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、さら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、さら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。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 22 年度成果の概要:

東北日本・北海道東部陸域下の詳細な震源分布・震源過程の推定

東日本の太平洋スラブ内には二重深発地震面があることが知られているが、近年の研究により、その上面・下面の間(面間)にも定常的な地震活動が一部地域にあること[菅ノ又ほか, 2006 など]や、大地震の破壊域の一部が二重面の間に達する場合も報告されている。またこのような面間地震の発生は、岩石学的な研究からも予想されている[例えば Omori et al, 2002]。そこで、北海道を含めた東日本陸域下での震源の空間分布を詳細に検討したところ、大スラブ内地震の余震域を除いた場合でも、面間地震活動が明瞭に存在することが示された(図 1)。特に東北中央部～南部の前弧側、北海道東部前弧域に集中しており、それらの場所は、海山地形の発達する領域のプレート沈み込み方向延長上に位置している。このような海山では plume によって水が付加されたと考えられており[Kirby, 1995 など]、海山と面間地震との対応は、面間地震の発生に岩石の脱水反応が関係していることを示唆している。

また昨年度の報告で、面間地震を含むスラブ内地震の発震機構解に応力テンソルインバージョン法を適用し、東北日本・北海道両地域でのスラブ内における応力の中立面の位置が、東北日本ではスラブ表面から 20-25km、北海道では 9-13km と違いがあること示した。本年度はさらに誤差の推定も行ったところ、図 1 (d)-(e) に示すように、誤差を考慮しても東北日本と北海道では中立面の深さが異なることが明らかとなった[Kita et al., 2010b]。大地震の余震域は中立面を越えておらず、スラブ内地震の破壊域の広がり、スラブ内の応力場により規定されていることを示唆している。

海溝近傍の詳細な震源分布と発震機構解の推定

近年の研究により、東北日本前弧・海溝近傍のプレート内においても地震活動が二重面構造(二重浅発地震面)を持ち、その起震応力場は上面が正断層型、下面が逆断層型の卓越しており、二重深発地震面の応力場とは逆になっていることが示されている[Gamage et al., 2009]。しかし、海域下における研究の為、得られた発震機構解のデータは十分ではなかった。そこで、東北日本前弧域における海底地震観測データに陸域地震観測によるデータを統合し、海溝下の地震の震源決定および発震機構解の推定を行った。その結果、海溝下の正断層型のプレート内大地震である 1933 年三陸沖地震の震源域において、上面と下面の間にも地震が発生しており、プレート境界から約 15km を境に浅部側に正断層型、深部側に逆断層型が分布することが分かった[古賀, 2010]。この観測事実は、海溝近傍のプレート内に形成される二重浅発地震面が、アンベンディングモデルによって説明可能であることを示している。

日高地域下の詳細な地震波速度構造、島弧-島弧衝突とスラブ内地震の関係

前計画の H22 年度の成果報告において北海道島弧会合部下でみられる上面地震帯の深部シフトは、この地域に特異に沈み込む地殻物質が深さ 85 km 程度のスラブ表面まで達するために、85 km 以浅でのマントルウエッジ対流によるスラブの加熱が妨げられ、スラブ表面の温度上昇が周辺域に対して遅れる為であることを示した [Kita et al.,2010a]。本年度はさらに詳細な構造と震源分布を得ることを目的として、陸域定常観測網のデータのほかに合同観測データ [勝俣ほか, 2002] を加え、地震波速度構造を求めた (北海道大学 勝俣との共同研究)。その結果、スラブ直上に存在する地殻物質の東縁は日高衝上断層に対応していることが示された。一方、日高衝上断層を西縁とする日高変成岩帯下では、橄欖岩と考えられる地震波速度を持つ物質が通常の内陸地殻領域まで深部から西に向かって斜めに貫入していることが示された [北ほか, 2010]。特異に沈み込む地殻物質の構造を詳しく見ると、高速度層と低速度層の互層になっていることがわかった。その層の傾きはおよそ 40-60 °程度であり、走行はほぼ南北となっていた。その互層の境界のうち 1 つは、1982 年浦河沖地震の本震断層面に対応していた。互層構造は日高変成帯の東側のマントル物質と地殻物質の境界付近にも見られ、その互層の境界は陸上の地質構造線または活断層の空間分布と対応していることが分かった。またその境界域下のスラブ内を見ると、70 °程度の走向をもち、上面～下面にかけて連続的な筋状の地震活動が見つかった。これは、スリバー運動による千島前弧物質の衝突過程が、同地域でのスラブ内・面間地震の発生原因に関わっていることを示唆している。

(8) 平成 22 年度の成果に関連の深いもので、平成 22 年度に公表された主な成果物 (論文・報告書等) :
長谷川昭・中島淳一・内田直希・弘瀬冬樹・北佐枝子・松澤暢, 2010, 日本列島下のスラブの三次元構造と地震活動, 地学雑誌, 119, 190-204.

北佐枝子・岡田知己・中島淳一・松澤暢・長谷川昭・勝俣啓, 2010, 北海道・日高変成帯下における島弧-島弧衝突部の詳細な地震波速度構造, 2010 年地震学会秋季大会発表予稿。

Kita, S., T. Okada, A. Hasegawa, J. Nakajima, and T. Matsuzawa, 2010a, Anomalous deepening of a seismic belt in the upper-plane of the double seismic zone in the Pacific slab beneath the Hokkaido corner : Possible evidence for thermal shielding caused by subducted forearc crust materials, Earth Planet. Sci. Lett., 290, 415-426.

Kita, K., T. Okada, A. Hasegawa, J. Nakajima, T. Matsuzawa, 2010b, Existence of interplane earthquakes and neutral stress boundary between the upper and lower planes of the double seismic zone beneath Tohoku and Hokkaido, northeastern Japan, Tectonophysics, 496, 68-82.

古賀祥子, 2010, 日本海溝周辺における太平洋スラブ内の地震発生機構と地震波速度ゆらぎ, 東北大学修士論文, 71pp.

(9) 平成 23 年度実施計画の概要 :

当初の予定どおり、海溝外側を含む領域での海底地震観測のデータ解析を進め、広域観測網のデータも含めて、詳細な震源分布・震源過程の推定、詳細な構造の推定を引き続き行う。

(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

地震発生の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

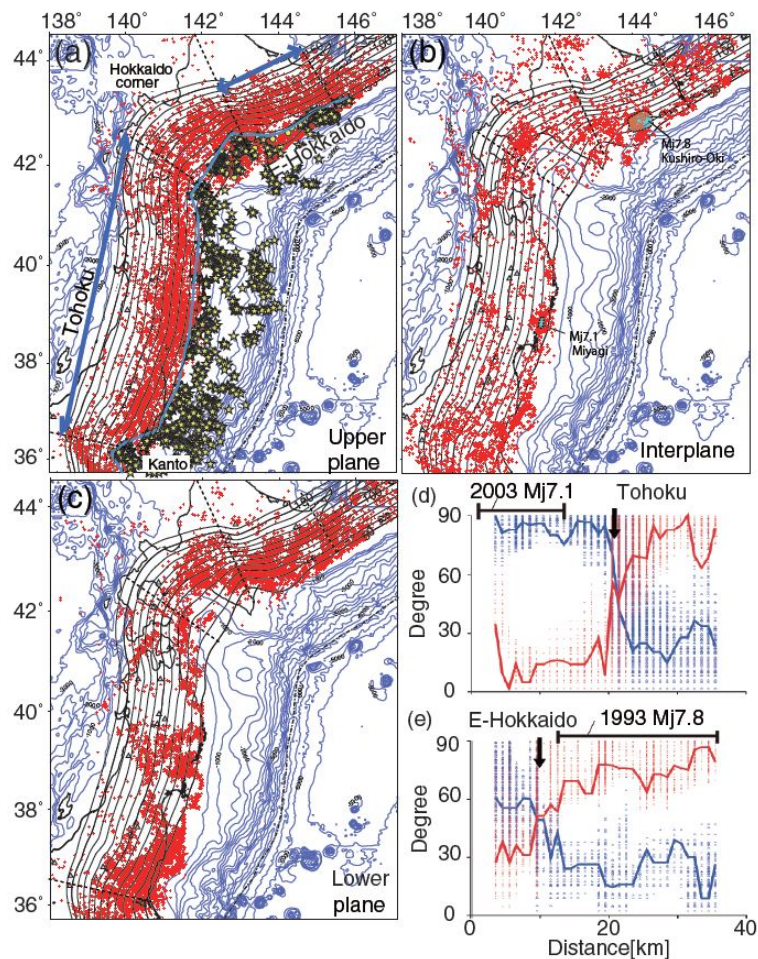


図1．スラブ内の地震と応力の分布．

(a) 二重深発地震面の上面の地震 (b) 上下面間の地震 (c) 下面の地震の分布．赤はスラブ内地震，灰線は太平洋プレート表面深さの等深線，薄青線は海底地形の等深線を表す (d) 東北地方と (e) 北海道東部でのスラブ内の主応力軸の向きの分布．横軸はプレート表面からの距離，縦軸は主応力軸とプレート表面の最大傾斜方向がなす角を表す．最大主圧縮軸と最小主圧縮軸を赤線と青線で表し，その68%の信頼区間の範囲を×印で，またその地域で過去に発生した大地震の余震域を黒線で示す．矢印は，推定された各地域の中立面の位置を示す [Kita et al., 2010b]．

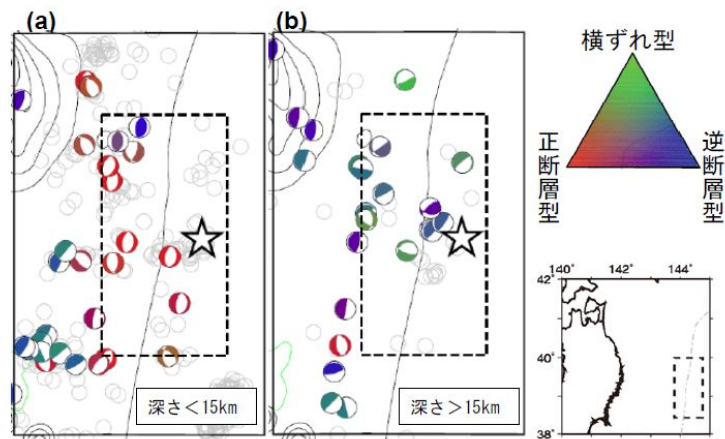


図2．日本海溝近傍のプレート内地震の空間分布とその発震機構解．
 (a)15km 以浅の地震 (b) 15km 以深の地震．1933 年三陸沖地震の震央を 印で示す．発震機構解の色は右上挿入図の三角ダイアグラムに対応する [古賀, 2010] ．

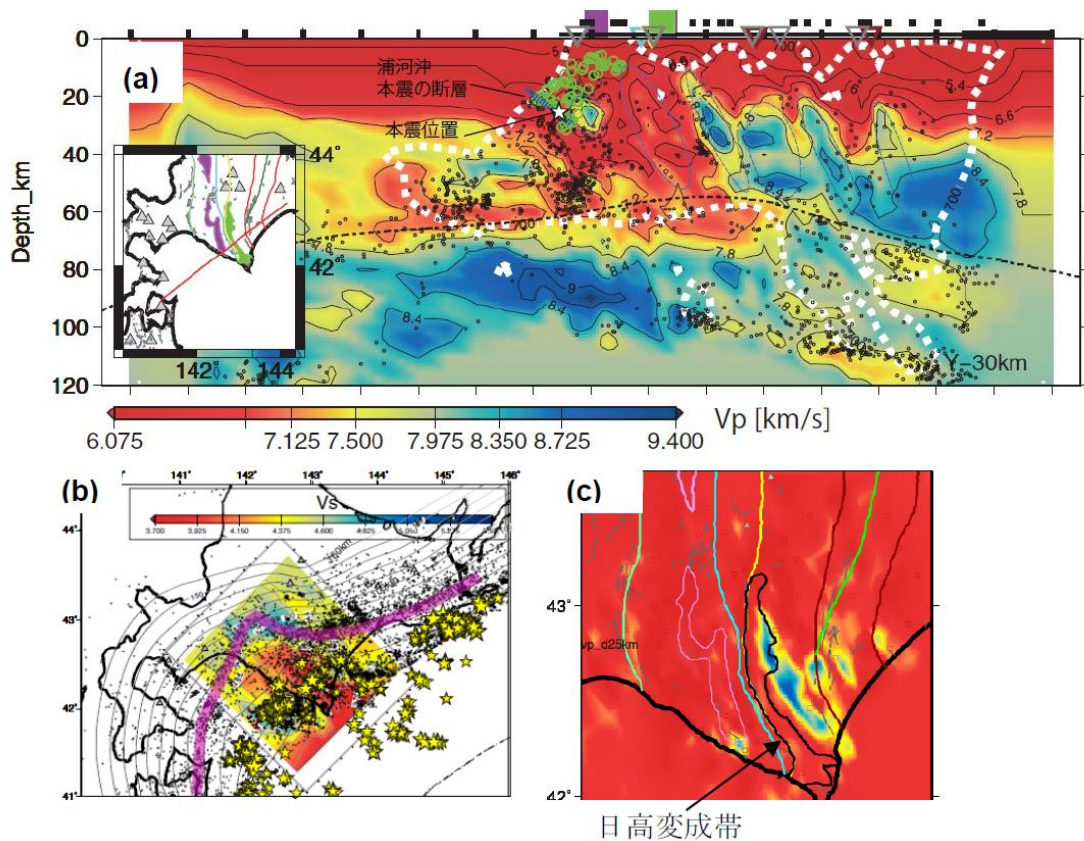


図3．合同観測データも用いて推定された北海道島弧会合部の P 波速度構造．
 (a) 断面図．黒丸印は震源，星印および緑丸印は森谷ほか [1983] による 1982 年浦河沖地震の本震及び余震，緑色の太線は日高変成帯，灰色 印は活断層の位置，それ以外の 印は地質構造線を示す (b) マントルウェッジの地震波速度分布と上面地震帯との関係．太平洋スラブ上部境界面より 10km 上方の曲面に沿う S 波速度を示す．黒十字印と黄色星印はそれぞれ上面の地震および小繰り返し地震を表す．上面地震帯を桃色線で示す．(c) 深さ 25km での平面図．赤線，緑線，黄色線，水色線は地質構造線を，灰色線は活断層の位置を表す．日高変成帯と神威古潭変成帯の位置を黒線と白線で示す．