

2-7 沈み込む海洋プレートの変形を考慮したプレート境界面上での相対運動速度の推定

Relative plate motion on plate interface considering intra-plate deformation

名古屋大学大学院 環境学研究科

Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University

1.はじめに

海溝型巨大地震の発生ポテンシャルの推定に関する研究において、プレート境界面上での相対運動速度は、基本的な情報であり重要である。従来の研究では、プレート境界面上での相対運動速度は、両プレートの剛体部分の相対運動速度をそのまま適用してきた。しかし、実際のプレートの沈み込み境界において、海洋プレートは Bending 等の変形を伴って沈み込んでおり、2つのプレートの相対運動速度をそのまま適用すると正確な運動速度を表現できない可能性がある。そこで我々は、沈み込む海洋プレートの変形を考慮したプレート境界面上での相対運動速度を求める手法を開発し、その影響を評価した。

2.手法

沈み込むプレートの変形に伴うプレートの運動速度の変化は、プレート内のひずみ速度が分かれば記述することができる。よって、沈み込む海洋プレート内のひずみ速度を見積もることができれば、その運動速度を推定することが可能である。本報告では、海洋プレート内の変形のうち、[1]Bending-Unbending, [2]沈み込む方向での一軸伸縮, [3]圧力増加に伴う等方圧縮, に伴う3つの変形速度を定量的に記述し、その変形に伴う運動速度変化を求めた。

まず、海洋プレート内の変形を記述するため、海洋プレートの上面を運動方向に沿って X 軸を、X 軸に直交する様に Z 軸をとる曲線座標系を設定する(図 1)。以下に3つの変形に伴う運動速度について説明する。

[1] Bending-Unbending

はじめに Bending-Unbending の変形に伴う偏差ひずみ速度 $\dot{\epsilon}_{xx} = 0$ の面を中立面 ($z=D$) として定義する。幾何学的な関係により、ある点での Z 軸に沿ったプレートの運動速度の変化 $V_x(x, z)$ がプレートの X 軸方向の曲率半径 $R_x(x, z)$ に比例することを用いて、プレート上面 ($z=0$) の2点の運動速度 $V_x(x_1, 0)$ と $V_x(x_2, 0)$ は中立面に対する運動速度の比として、次の様に記述することができる。

$$\frac{V_x(x_1, 0)}{V_x(x_1, D)} = \frac{R_x(x_1, 0)}{R_x(x_1, D)} = \frac{D}{R_x(x_1, D)} + 1 \quad \dots(1)$$

$$\frac{V_x(x_2, 0)}{V_x(x_2, D)} = \frac{R_x(x_2, 0)}{R_x(x_2, D)} = \frac{D}{R_x(x_2, D)} + 1 \quad \dots(2)$$

中立面の深さが一定の場合、中立面上の運動速度は一定であるため、下記の関係が成り立つ。

$$V_x(x_1, D) = V_x(x_2, D) \quad \dots(3)$$

よって式(1),(2),(3)よりプレート境界面上での速度変化は

$$\frac{V_x(x_2,0)}{V_x(x_1,0)} = \left(\frac{D}{R_x(x_2,D)} + 1 \right) / \left(\frac{D}{R_x(x_1,D)} + 1 \right) \quad \dots(4)$$

と記述できる。なお、X 軸方向に沿って中立面の深さが変化する場合は、式(4)を用いて X 軸方向に線積分を行うことで計算は可能である。

[2] 沈み込む方向の一軸伸縮

Bending-Unbending したプレートにおいては、沈み込む方向の一軸伸縮に伴う変形は中立面の位置がプレート境界面に対して上下への移動として現れる(図 2)。よって、上述の式を適用することで同様に計算することができる。

[3] 圧力増加に伴う等方圧縮

圧力増加に伴う等方圧縮に伴う変形は沈み込むプレート内の体積弾性率と圧力分布から求めることができる。この結果、浅部では Bending-Unbending, 及び、沈み込む方向の一軸伸縮に伴う速度変化に対して 1~2 桁程小さく、約 0.1(mm/year)の運動速度変化に相当する。

[1]と[2]に関する変形を定量的に記述するために必要なパラメータは、プレート形状(プレートの運動方向の曲率半径)と中立面の深さの2つである。なお、一軸伸縮に伴う中立面の上下の移動は、中立面の深さの推定に内包されるため、プレート形状と中立面の深さから求まるのは、[1]と[2]を合わせた変形である。入力パラメータと出力結果のフローチャートを図 3 に示す。

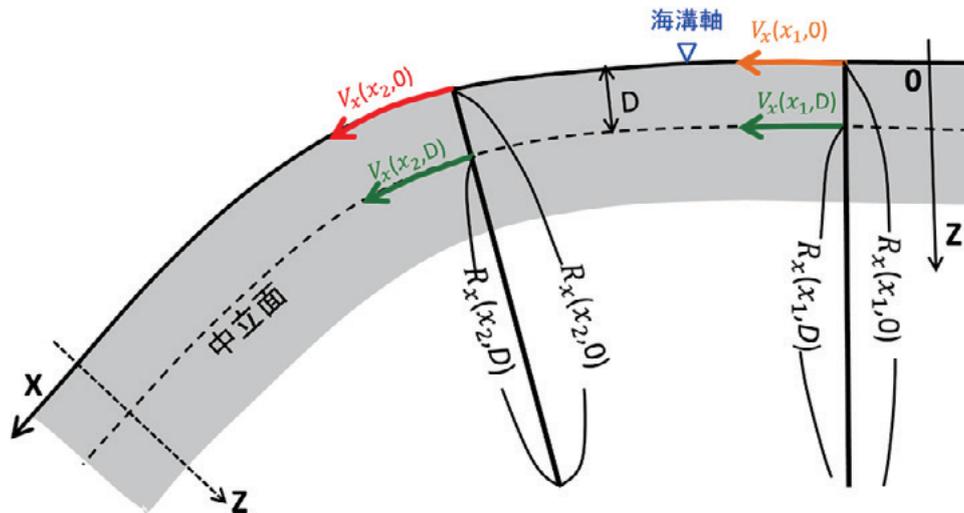
3. データ

解析に用いたプレート上面の形状は、地震活動と地震波トモグラフィーによって得られたものを用いた[Kita *et al.*,2010a,*EPSL*; Nakajima and Hasegawa, 2006,*JGR*; Nakajima *et al.*,2009,*JGR*]. ただし、浅部は地震波反射探査法による結果、沈み込む前の領域は海底地形を用いた(図 4)[Miura *et al.*,2005,*Tectonophysics*; 日本海洋データセンター, 500m メッシュデータ; National Geophysical Data Center, ETOPO1]. また、中立面の深さは、海洋プレート内地震のメカニズム分布から推定されたものを用いた(図 5)[Kita *et al.*,2010b,*Tectonophysics*].

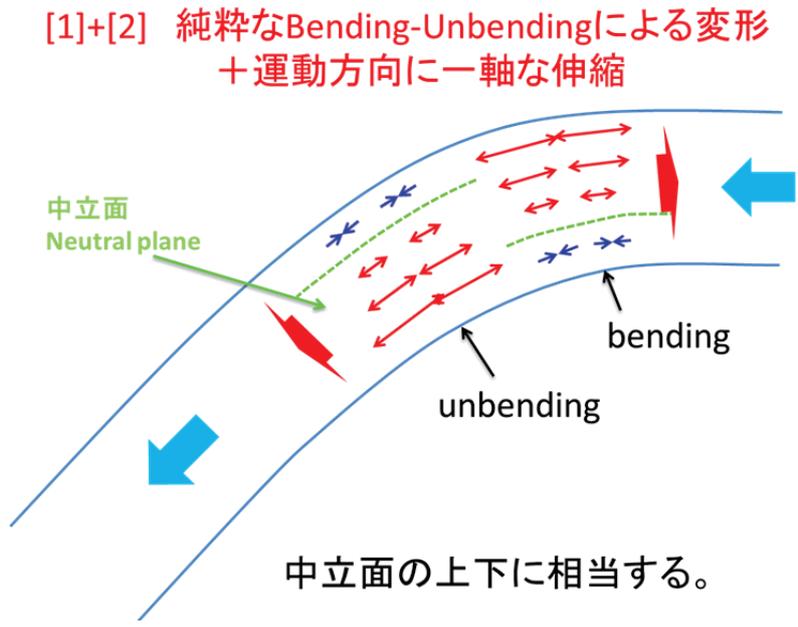
4. 結果

東北地方に沈み込む太平洋プレート上面の運動速度分布を、上記の[1][2][3]に起因するプレート内の変形を考慮して求めた。その結果、Bending によって曲率半径が小さくなっている所では、最大で 1.1~1.3 倍程度まで運動速度が増していることが分かった(図 6)。特に、プレートの伸びが顕著な北海道東部では、3cm/year 増の約 10.5cm/year で沈み込んでいる部分があることも分かった。逆に襟裳岬の東側では顕著な Unbending のため運動速度が 7.5cm/year まで減速している部分があることも分かった。また、本手法による結果は、東北沖アウターライズ付近の太平洋プレート上面の伸張速度とよく一致しており、本手法の妥当性を示す一つの根拠となる[岩淵,2012,地震 65-1].

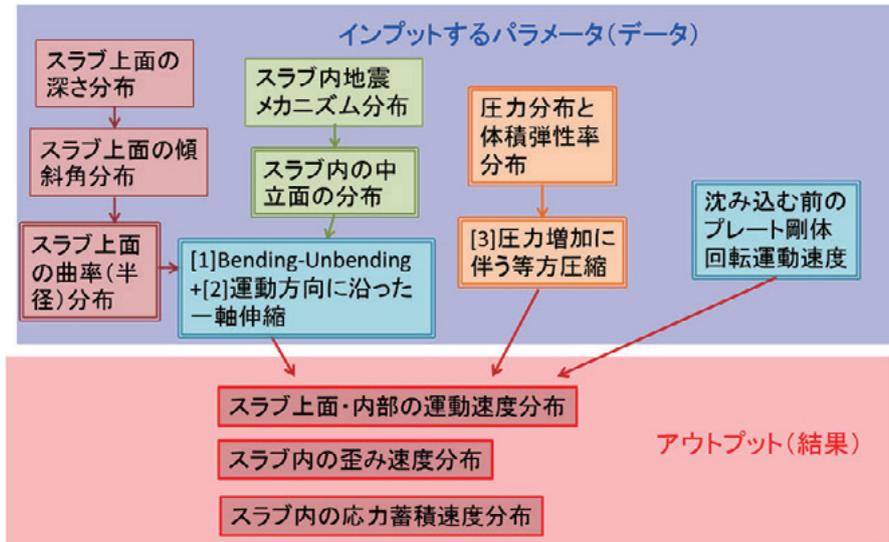
謝辞 本研究におきまして、日本海洋データセンターによる 500m メッシュ海深データ、及び National Geophysical Data Center の ETOPO1 の海深データを使用させていただきました。ここに感謝を記します。



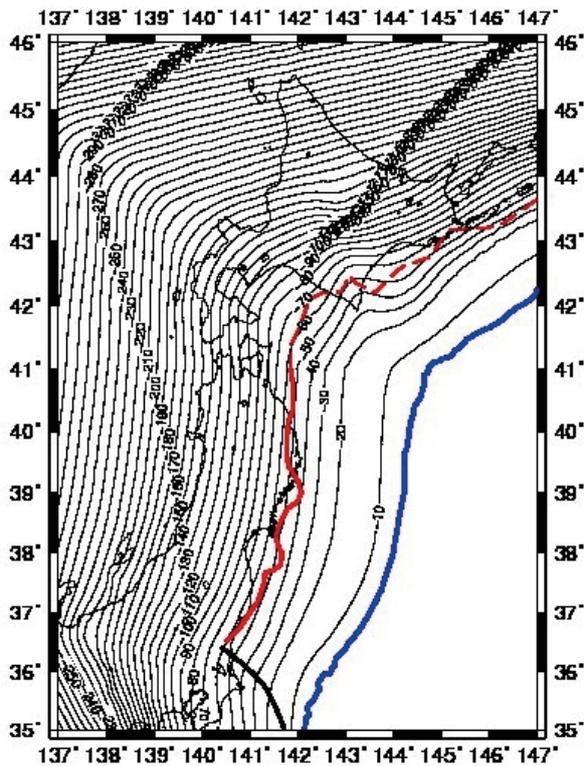
第 1 図 本研究で用いた沈み込む海洋プレートにおける曲線座標系と式(1), (2)及び(3)の関係。
 Fig.1 Orthogonal curvilinear coordinate system that is used in this study. The notation in Eq. (1), (2) and (3) are shown in this figure.



第 2 図 Bending-Unbending に伴う変形に運動方向に一軸な伸縮を加えると、中立面の位置がプレート境界面に対して上下に移動する。
 Fig.2 The stress-neutral surface in the subducting slab in bending and unbending state moves up- and downward due to axial extension and compression.

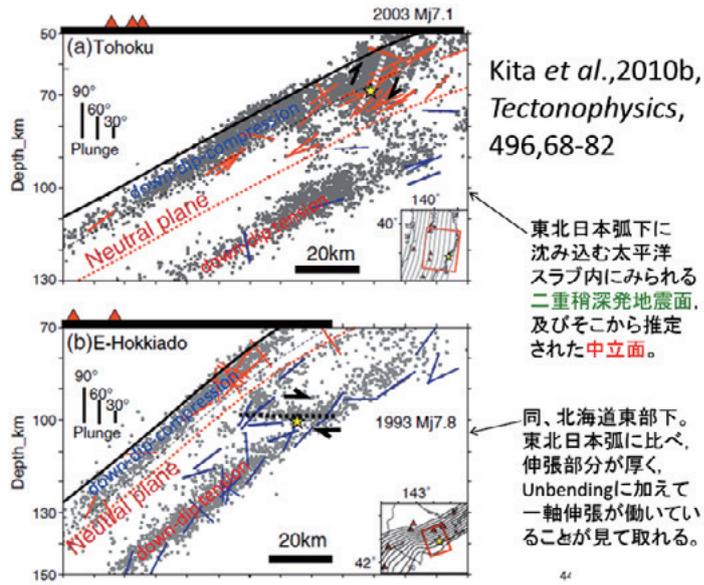


第3図 入力パラメータと出力結果のフローチャート。
 Fig.3 The relation between the outputs and input parameters.

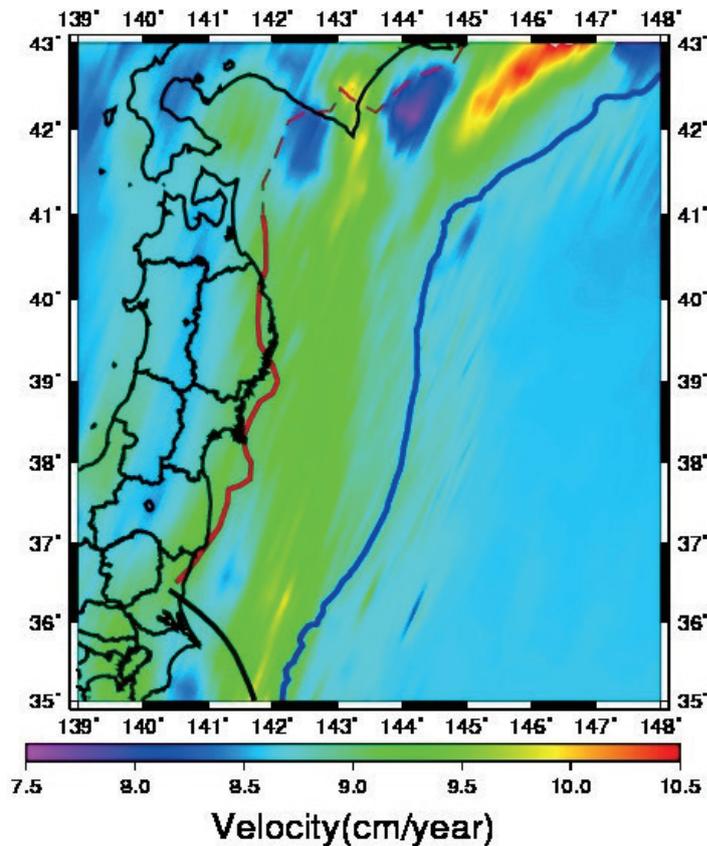


第4図 今回用いた太平洋プレート上面の等深度面。青太線は日本海溝軸，赤太線はスラスト型地震の発生最深境界[Igarashi *et al.*,2001]，黒太線はPH-slab 北東端[Uchida *et al.*,2009]を表す。

Fig.4 Depth contour of the upper surface of subducting Pacific plate in the northeastern part of Japan. Blue solid line indicates the axis of Japan trench. Red solid line shows the lower boundary of the region where low-angle thrust earthquakes occur[Igarashi *et al.*,2001]. Black solid line shows the northeastern boundary of the subducted Philippine Sea plate.



第5図 プレート内地震のメカニズム解分布から推定された中立面の深さを表す。
Fig.5 Depth distribution of stress-neutral plane inferred from the focal mechanisms of in-slab earthquakes.



第6図 本研究によって得られた、プレート内変形を考慮した PAC-NA 相対運動速度分布。プレート運動の初期速度は、ITRF2005 の PAC-NA の相対運動速度で、図の北端で約 8.4cm/year、図の南端で約 8.6cm/year である。青太線、赤太線及び、黒太線は図4を参照。
Fig.6 Relative velocity of pacific plate with reference to the North-American Plate considering intra-plate deformation. Initial velocity of plate motion is given by ITRF2005, in which the velocity is 8.4cm/year at the northern edge of the figure and 8.6cm/year at the southern edge. Refer to figure 4 for the notation of blue, red and black solid lines.