12－5　東北日本前弧域における巨大地震サイクル後半の沈降のメカニズム
Mechanism of interseismic subsidence of the Northeast Japan forearc during the late period of a gigantic earthquake cycle

篠島 僚平 [1, 2], 芝崎 文一郎 [2], 岩森 光 [3,4,5], 西村 卓也 [1], 中井 仁彦 [2]
[1] 京都大学防災研究所 , [2] 建築研究所 , [3] 東京大学地震研究所 , [4] 東京工業大 , [5] 海洋研究開発機構
Ryohei Sasajima[1,2], Bunichiro Shibazaki[2], Hikaru Iwamori[3,4,5], Takuya Nishimura[2], Yoshihiko Nakai[2]
[1]Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University, [2]Building Research Institute,
[3]Earthquake Research Institute, The University of Tokyo, [4]Tokyo Institute of Technology,
[5]Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

1. はじめに

牡鹿半島（宮城県）を中心とした東北日本の太平洋沿岸域は，2011 年東北地方太平洋沖地震以前約 100 年間の測地観測により年間 3 ～ 4 mm の速度で沈降し続けていたことが知られていた [1),2)] 第 1 図）．その沈降は沈み込む海洋プレートが陸側プレートを引きずり込むことによって生じていたと考えられるが，そのメカニズムは十分には明らかになっていない．これまでの研究では，単純化した地球内部の構造を用いたシミュレーションによりそのメカニズムの解明が試みられていたが，シミュレーション時に仮定する地球内部構造によって得られる結果が大きく異なってしまうという問題があった．実際の地球内部は，これまでの研究で用いられたような単純な構造ではなく，沈み込む冷たい海洋プレート等により，ある部分は温度が低く長い時間をかけてもほとんど流動せず, ある部分は温度が高く数年～数百年以上をかけて流動する性質（粘性）を持っている．よって，なぜ 2011 年東北地方太平洋沖地震前に東北日本沿岸域が速い速度で沈降していたのか？そのメカニズムを明らかにするためには，より現実に即した地球の内部構造を考慮したシミュレーションが必要不可欠である．そこで，本研究は可能な限り現実に即した地球の内部構造を考慮したシミュレーションにより，上述の沿岸域の沈降のメカニズムを明らかにすることを試みた [3)].

2. 研究手法・成果

本研究では様々な既存の研究に基づく詳細な地球内部の温度構造など [4)] を基に，可能な限り現実に即した地球内部構造を考慮して，約 600 年周期の東北地方太平洋沖の超巨大地震サイクルに伴う陸側プレートの変形のシミュレーションを行った．その結果，海洋プレートによる陸側プレートの引きずり込みが数百年にも及ぶと，陸側プレートの下のマントルの高温部の粘性という性質によって，その上に横たわる陸側プレートがより引きずり込まれ易くなることがわかった．それに伴い，陸側プレートの引きずり込みがプレート境界の深部（深さ 100 km 程度）まで及び，深部でのすべり欠損速度が大きくなり（第 2 図 c ），太平洋沿岸域が沈降するようになることが示された（第 2 図 a）．従って，2011 年東北地方太平洋沖地震前約 100 年間に渡り観測されていた東北日本太平洋沿岸域の沈降は，2011 年東北地方太平洋沖地震の発生要因である海洋プレートによる陸側プレートの引きずり込みが数百年以上に渡り継続した結果生じた現象を捉えていた可能性が高い．逆に超巨大地震サイクル中盤である今から 300 ～ 400 年前頃は，太平洋沿岸域はほとんど沈降していなかったと推測される (第 2 図 a).

3．考察

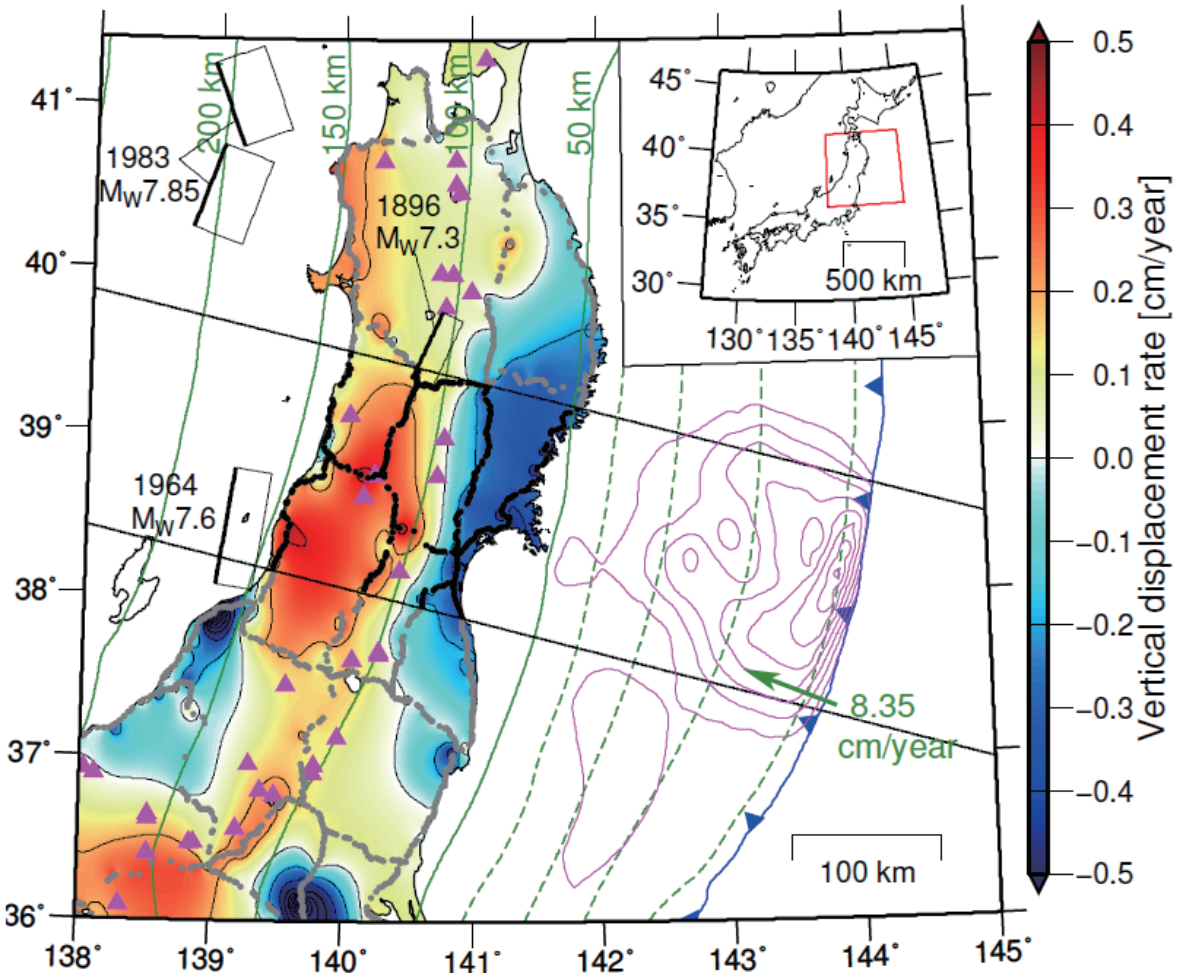
陸側プレートが引きずり込まれている期間が長いほど，その反発で生じる海溝型巨大地震の規模は大きくなっていくため，数百年にも渡って陸側プレートの引きずり込みが生じ続けている場所では，将来 2011 年東北地方太平洋沖地震のような超巨大地震が発生する可能性が考えられる．日本列島では，もう一箇所，沿岸域が 100 年以上に渡り速い速度で沈降を続けている場所があり，それは北海道東部の太平洋沿岸域（十勝～根室）である．北海道東方沖（千島海溝）では 17 世紀に超巨大地震が発生し，それ以前も平均 400 年程度の間隔で超巨大地震が発生していたことが，津波堆積物の研究から明らかになっている．本研究結果に基づくと，その過去 100 年以上に渡る北海道東部の太平洋沿岸域の沈降は，東北地方太平洋沿岸域で生じていた沈降と同様のメカニズムで生じていると考えられる．すなわち，北海道東方沖では 17 世紀の超巨大地震以降 350 ～ 400 年に渡り陸側プレートの引きずり込みが生じ続けており，過去 100 年間の沿岸域の沈降はその結果生じている現象と考えられる．

謝辞

本研究の一部は, 新学術領域研究「地殻ダイナミクスー東北沖地震後の内陸変動の統一的理解ー」(課題番号：26109007 及び 26109006）を受けて行われた.

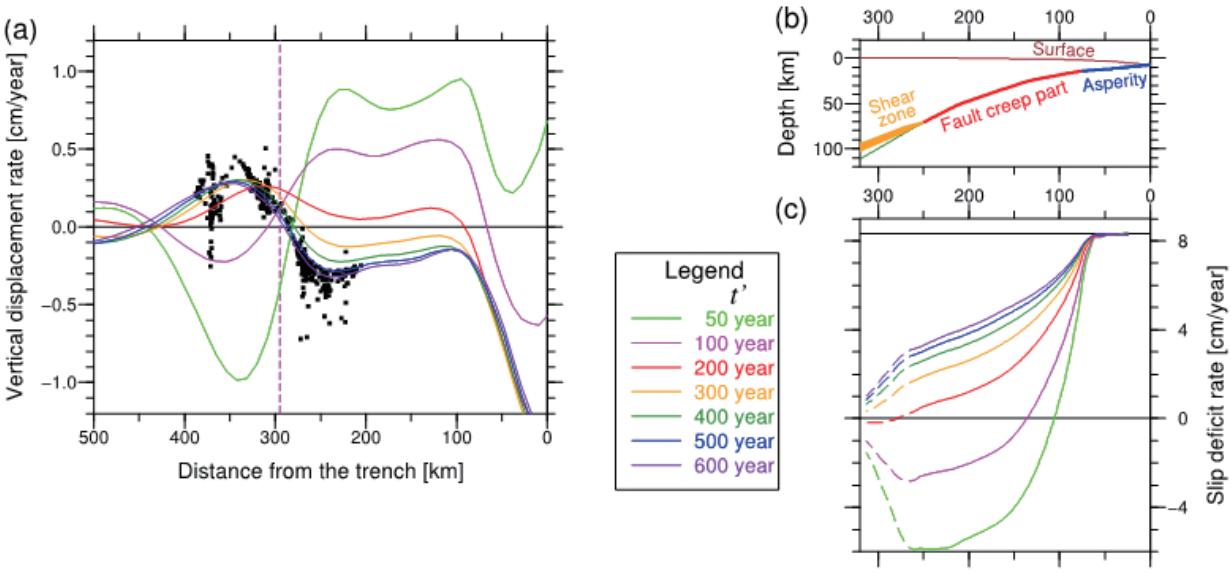
参考文献

1) 国見利夫・高野良仁・鈴木実・斎藤正・成田次範・岡村盛司 (2001). 水準測量データから求めた日本列島 100 年間の地殻変動 . 国土地理院時報 .
2) Nishimura T. (2014), Pre-, co-, and post-seismic deformation of the 2011 Tohoku-oki earthquake and its implication to a paradox in short-term and long-term deformation. *J. Disaster Res*,. 9(3), 294–302, doi: 10.20965/jdr.2014.p0294.
3) Sasajima, R., Shibazaki, B., Iwamori, H., Nishimura, T., and Nakai, Y. (2019). Mechanism of subsidence of the Northeast Japan forearc during the late period of a gigantic earthquake cycle, *Scientific reports*, 9(1), 5726. doi:10.1038/s41598-019-42169-y.
4) Horiuchi, S., and Iwamori, H. (2016), A consistent model for fluid distribution, viscosity distribution, and flow ‐ thermal structure in subduction zone, *J. Geophys. Res. Solid Earth*, 121, 3238–3260, doi:10.1002/2015JB012384.
5) Iinuma, T., et al. (2012), Coseismic slip distribution of the 2011 off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake (M9.0) refined by means of seafloor geodetic data, *J. Geophys. Res. Solid Earth*, 117, B07409, doi:10.1029/2012JB009186.



第 1 図　水準測量観測による 1892–1906 から 1986–1999 の約 100 年間の東北地方の地表上下変動速度（オリジナルデータは国見他（2001）[1]による）. プラスが隆起でマイナスが沈降を表す . 三つの地震の地震時及び余効変動の影響を取り除いている . モデル結果は , 2 本の黒線で囲んだ領域のデータと比較する . ピンクは , 2011 年東北沖地震時の推定すべりの分布 [5]（10 m 間隔で示す）である . After Sasajima et al.（2019）[3].

Fig. 1　Vertical displacement rate in the Northeast Japan island arc obtained through leveling measurements in the observation period of around 100 years ranged from 1892–1906 to 1986–1999（Original data: Kunimi et al.（2001）[1]）. Co- and post-seismic vertical displacements of the three inland earthquakes were subtracted. Data used in this study are in the range marked by the two black lines. Pink contours indicate the coseismic slip of the 2011 Tohoku earthquake at 10 m intervals [5]. After Sasajima et al.（2019）[3].



第 2 図　超巨大地震のプレート間カップリングのモデル化の結果 . (a) 観測とシミュレーションから得られた地表上下変動速度 . 黒点は第 1 図の 2 本の黒線で挟まれた範囲の水準測量観測による東北沖地震前のおよそ 100 年間における地表上下変動速度を示す . 各色線は本シミュレーションによる , 超巨大地震のアスペリティが固着してからの経過時間 *t'* における地表上下変動速度を示す . ピンクの垂直破線は火山フロントの位置を示す . シミュレーションでは超巨大地震サイクル後半にかけて太平洋沿岸域の沈降速度が増加していく結果が得られ , 500 ～ 600 年後の結果は水準測量観測結果とおおよそ良い一致を示す . (b) 2 次元モデルの断面図を , プレート境界条件と共に示す . 緑線はプレート境界面 . (c) モデルにより得られたプレート境界面と延性せん断帯におけるすべり欠損速度を実線と点線で示す . 水平の実線は , 完全固着の場合のすべり遅れ速度（8.35 cm/year）を示す . After Sasajima et al.（2019）[3].

Fig. 2　Results of the model of interplate coupling of megathrust earthquakes. A recurrence interval of the megathrust earthquakes is assumed to be 600 years (a) Modeled and observed vertical displacement rate on the surface. Black dots indicate the observed vertical displacement rate for ~100 years before the 2011 Tohoku earthquake based on leveling data are in the range marked by the two black lines in Figure 1.　Colored lines indicate the modeled vertical displacement rate at each t', where t' is the time from when the locking of the asperity begins. Pink vertical dashed line indicates the location of the volcanic front. (b) Cross section of the plate interface of the model with boundary conditions. Green line indicates the slab's upper surface. (c) Modeled slip deficit rate on the plate interface (solid lines) and across the shear zone (dashed line) at each t'. Thick horizontal black line (8.35 cm/year) indicates the full interplate coupling. After Sasajima et al.（2019）[3].