

平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震の概要

西澤あずさ*

Brief overview of the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake

Azusa NISHIZAWA*

Abstract

‘The 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake’ (M_w 9.0) on March 11 was the largest earthquake observed in Japan and caused devastation in the Tohoku region, especially because of the huge tsunami. About one year has passed since the earthquake and we have accumulated a large quantity of data not only from dense seismic and geodetic networks in Japan and the world, but also from satellites. In this report, we summarize the findings from these data at the present time.

1 はじめに

2011 年 3 月 11 日 14 時 46 分に三陸沖で、 M_w 9.0 の地震が発生した。この地震の発震機構は、西北西—東南東方向に圧力軸を持つ低角逆断層型で、太平洋プレートと陸のプレートの境界で発生した地震であった。この地震により宮城県栗原市で震度 7、宮城県、福島県、茨城県、栃木県で震度 6 強など広い範囲で強い揺れを観測した (Fig. 1 (a))。また、太平洋沿岸を中心に高い津波を観測し、特に東北地方から関東地方の太平洋沿岸では大きな被害があった (Fig. 1 (b))。気象庁はこの地震を「平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震」と命名した（今後は簡便のため東北沖地震と表記する）。一方、東北沖地震による災害及びこれに伴う原子力発電所事故による災害については、「東日本大震災」と呼称される。2012 年 3 月 10 日現在において警察庁によってまとめられた死者数は、一連の余震での死者も含める

と、15,854 人、行方不明者数は 3,155 人となっている。

東北沖地震の発生からほぼ 1 年が経過し、日本における高密度観測や世界中の観測点あるいは宇宙における観測から、これまでに類のない大量のデータが得られ、東北沖地震について数多くの知見が得られてきた。いまだ未解決の問題も多く残されているが、これまでに得られている研究成果について概説する。

一方、海上保安庁においては、以前より、地震調査研究に資する観測として、日本海溝域において海底地形調査、地磁気・重力観測や地殻構造調査を実施してきた。これまでに得られている調査結果から、震源域はどのような地球物理学的特徴を有していたかについても取りまとめる。

2 地震活動

東北沖地震の発生前には、地震調査研究推進本

* 技術・国際課地震調査官 Director for Earthquake Research, Technology Planning and International Affairs Division
(現職 技術・国際課海洋研究室 Current position : Ocean Research Laboratory, Technology Planning and International Affairs Division)

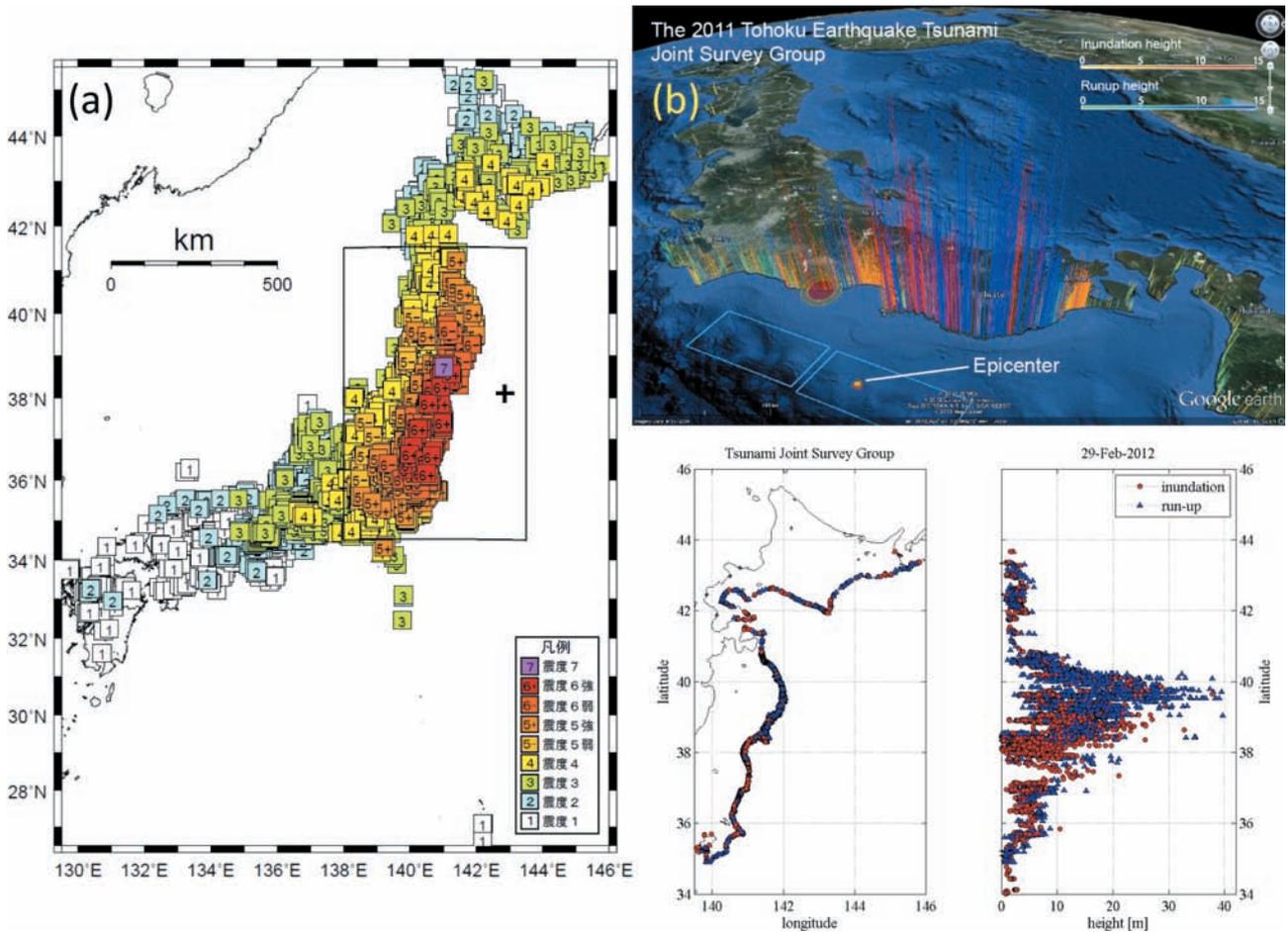


図1 (a) 平成 23 年 (2011 年) 東北地方太平洋沖地震の震度分布 (気象庁ホームページ). (b) 東北地方太平洋沖地震津波合同調査グループ (2012) によりまとめられた津波観測値. 上図は東日本を太平洋側から見た場合, 下図は東日本の範囲で緯度方向に投影した図である. 青三角は遡上高, 赤丸は浸水高を示す.

Fig.1 (a) Seismic intensity map of the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake (Japan Meteorological Agency). (b) Tsunami heights compiled by the 2011 Tohoku Earthquake Joint Survey Group.

部の地震調査委員会によって, その長期発生予測がなされていた (地震調査委員会, 2000). 三陸沖北部から房総沖の評価対象海域の領域区分を Fig.2 (a) に示す. 「宮城県沖」では M 7.5 前後の地震が平均 37.1 年間隔で繰り返されており, 今後 30 年間の発生確率は 99% という高い値であった. M 8.2 の 1793 年の地震は, さらに沖合の「三陸沖南部海溝寄り」が連動した地震と考えられていた. この「宮城県沖」では, 2005 年 8 月に M 7.2 の地震が発生したが, 予想された M 7.5 には達しなかったため, まだすべり残しがあるとの評価がなされていた.

M_w 9.0 となった東北沖地震では, 「三陸沖南部海溝寄り」, 「三陸沖北部から房総沖の海溝寄

り」の一部で大きなすべり量が観測され, 「三陸沖中部」, 「宮城県沖」, 「福島県沖」, 「茨城県沖」の領域も震源域とされた (地震調査委員会, 2011). 津波堆積物等の調査から, 平安時代の 869 年 (貞観) に大きな津波を伴った三陸沖巨大地震 (M 8.3) があり, 浸水域の分布を説明できる震源モデルとして, 長さ 200 km, 幅 100 km, 深さ 15 km ですべり量を 7 m とするプレート境界地震 (M_w 8.1–8.4) が推定されていた (例えば, 佐竹・他, 2008) が, それが 2011 年に発生するとは想像できなかった. 東北沖地震の発生をなぜ事前に予測できなかったかについては, 松澤 (2011) によって詳しく議論されている.

東北沖地震の震源断層モデルについては, これ

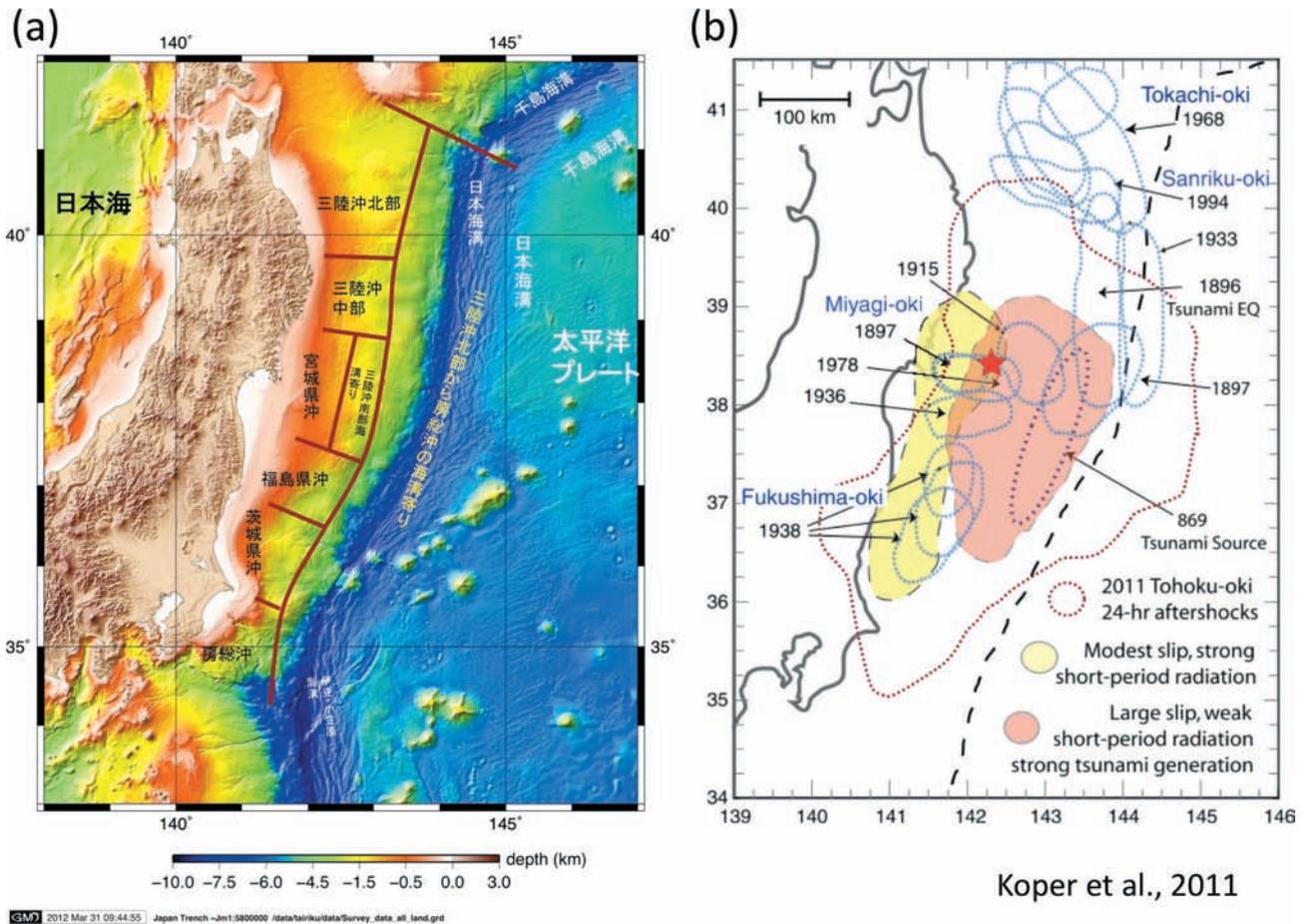


図2 (a) 三陸沖から房総沖にかけての評価対象領域の区分け (地震調査推進本部, 2011). (b) 東北沖地震の破壊のセグメンテーションの概念図 (Koper et al., 2011 による). 赤星は USGS による本震の位置. 本震発生後 1 日間の余震活動領域を赤点線で示す. 黄色の領域は比較的小さな地震モーメントでの短周期地震動が発生し, 橙色の領域は, 短周期地震動がほとんど生成せず大きなすべりがあったところに対応する. 楕円は過去の地震の震源域を示す.

Fig. 2 (a) Target areas of long-term evaluation of the subduction zone from off Sanriku to off Boso (The Headquarters for Earthquake Research Promotion, 2011). (b) Schematic map of inferred fault zone rupture segmentation for the 11 March 2011 Tohoku-Oki Earthquake compiled by Koper et al. (2011). The red star indicates the USGS location of the main event. The one-day aftershock region is indicated by red dots. The olive-colored region is where co-seismic short-period radiation with relatively low seismic moment is imaged. The orange-colored region is where little short-period radiation, but large slip is placed. Locations of historic offshore earthquake ruptures along the Tohoku coast are indicated with blue ellipsoidal shapes.

までに長周期および短周期地震記録, 地殻変動, 津波など多様なデータの解析により数多くのモデルが提出されている. 例えば, Koper et al. (2011) は, 東北沖地震の特徴として, 海溝軸付近でのゆっくりした大きなすべり, 弱い高周波地震動, 大津波発生に対して, 震源域陸側深部での強い短周期地震動発生との空間的棲み分けの存在を示している (Fig. 2 (b)).

東北沖地震の発生以降, 震源域及び海溝軸の震源域の外側 (Fig. 3 (a) の四角で囲まれた領域, 気象庁ホームページ) で地震活動が活発になった. 2012年3月8日までの M 5以上の地震数は 599, M 6以上は 97, M 7以上は 6である. Fig. 3 (b) に示されるように, 地震活動は全体的には次第に低下しているが, 本震発生前と比べると活発な状況が続いている (気象庁ホームペー

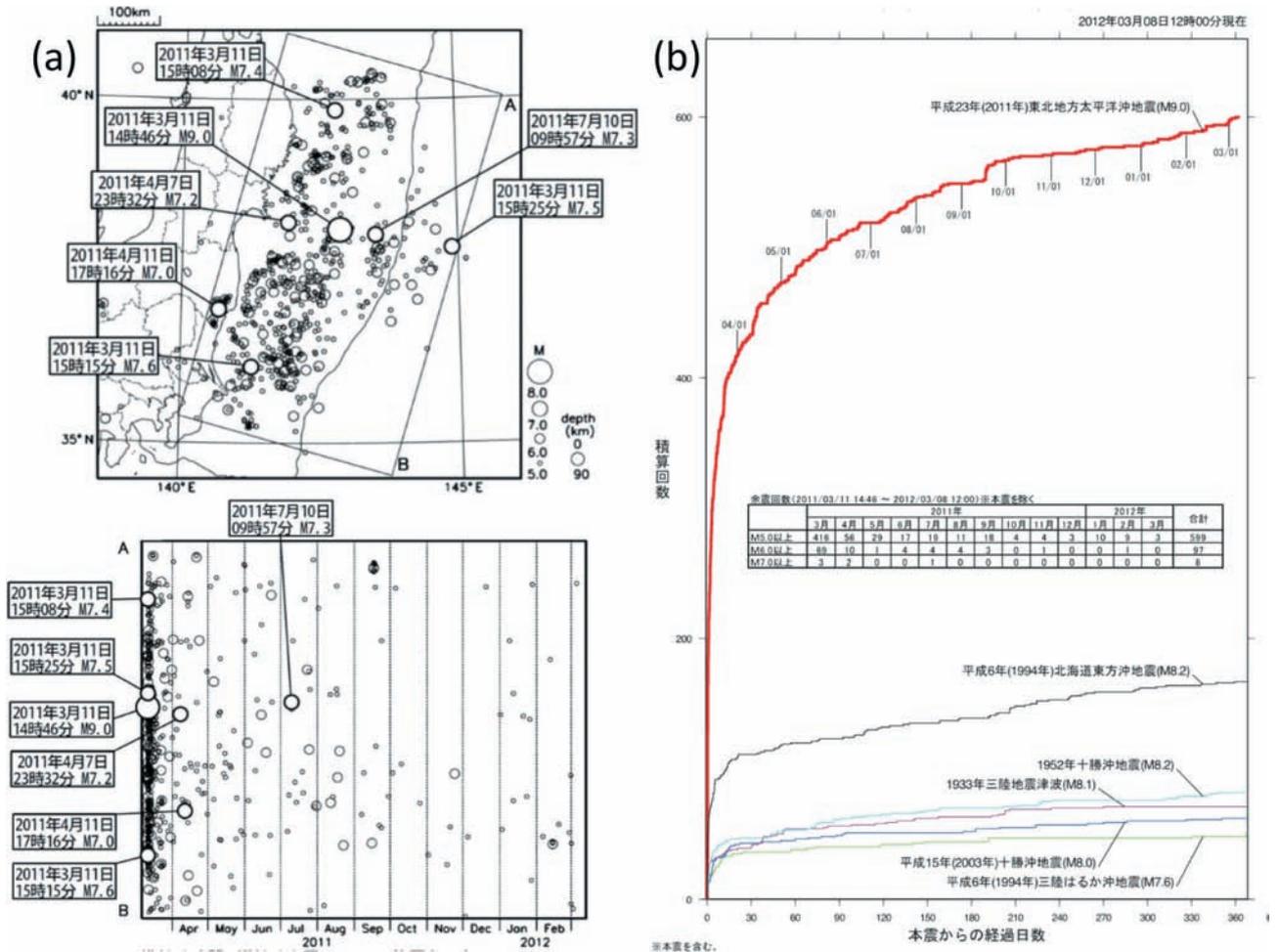


図3 (a) 平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震の余震分布(気象庁ホームページ). (b) 海域で発生した主な地震の余震回数比較(本震を含む, $M \geq 5.0$, 気象庁ホームページ).

Fig. 3 (a) Aftershock activity of the Tohoku-Oki Earthquake ($M \geq 5$, Japan Metrological Agency). Upper and lower figures show epicentral distribution and time-space plot in the upper rectangular area, respectively. (b) Cumulative number of the aftershocks of Tohoku-Oki Earthquake ($M \geq 5$, Japan Metrological Agency).

ジ). 特に, 福島・茨城県境付近では東北沖地震の発生直後から $M 6$ クラスを含む活発な地震活動が起こり, 4月11日には $M 7.0$ の地震により最大震度6弱が観測された. これらの地震の多くは東西方向に張力軸を持つ正断層型で, 次章で示すように東北沖地震によって東日本が東西方向に引き延ばされたことによると考えられている. この地震活動は地震発生後1年が経過した現在でも活発である. また, 誘発地震として, 本震の翌日の3月12日に発生した長野県北部地震 ($M 6.7$, 深さ8 km, 北北西-南南東方向に圧力軸を持つ逆断層型) や3月15日静岡県東部の地震 ($M 6.4$, 深さ15 km, 南北方向に圧力軸を持つ

左横ずれ断層) では, いずれも最大震度6強が観測された.

Fig. 4には, 東北沖地震発生前後の深さ60 km以浅の地震活動を海底地形の陰影図上にプロットしたものを示す. 東北沖地震の特徴の1つとして, 本震発生およそ40分後の海溝海側で正断層型地震 ($M 7.5$) の発生 (Fig. 3 (a) の四角内の東端の地震に対応) があげられる. この地震はいわゆるアウターライズの地震で, プレート境界型の本震の影響により太平洋プレートに張力が働いた結果生じたと考えられる. 海溝海側の地震活動をみると, 地震発生前では北緯 38° 付近において, 2005年 $M 7.2$ の余震に対応する地震活動が

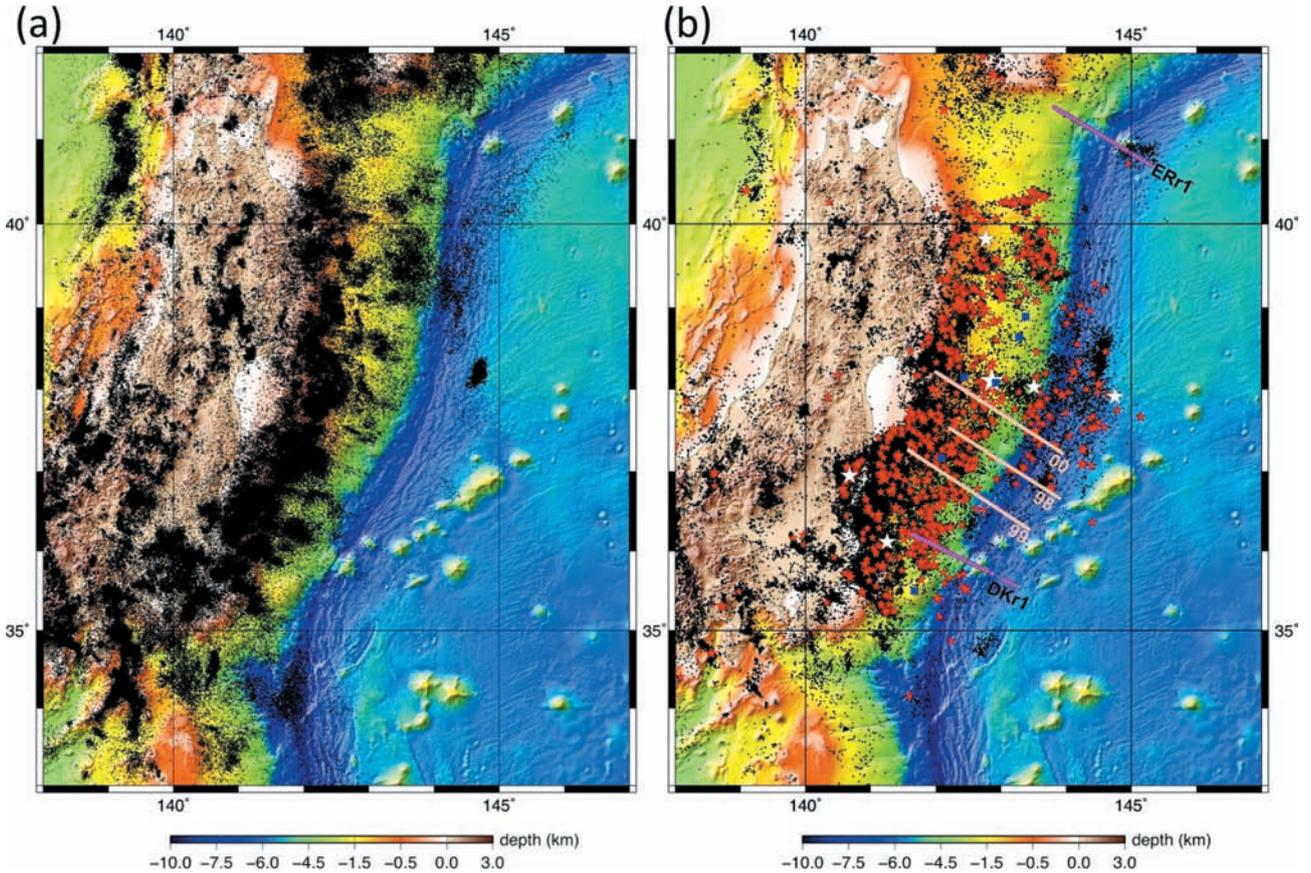


図4 (a) 東北沖地震発生前の地震活動 (1923–2011年3月11日, 深さ60 km 以浅, 気象庁一元化震源による). (b) 東北沖地震発生以後の震央分布. 2011年3月11日–2012年5月29日. 赤星は $M \geq 5$ 以上, 白星は $M \geq 7$ 以上の震央の位置を示す. 青四角は海底基準点, ピンクの実線はマルチチャンネル反射探査測線, 点線は屈折法地震波速度構造及びマルチチャンネル反射探査測線の位置を示す.

Fig. 4 (a) Epicentral distribution before the Tohoku-Oki earthquake (1923–Mar. 11, 2011, depth ≤ 60 km, Japan Meteorological Agency). (b) Epicentral distribution after the Tohoku-Oki earthquake (Mar. 11, 2011–May 29, 2012, depth ≤ 60 km, Japan Meteorological Agency). White and Red asterisks indicate epicenters with $M \geq 7$ and $M \geq 5$, respectively. Pink solid lines, dotted lines and blue squares are positions of the multi-channel seismic lines, refraction seismic profiles, and sea-floor reference points, individually.

顕著であった (例えば, Hino et al., 2009). 北緯 38.5° 以北の海溝海側の活発な地震活動は1933年三陸沖地震 ($M 8.1$) の余震活動に対応していると考えられる. 東北沖地震の余震は, 北緯 39° 以南でより活発である.

東北沖地震発生前では, およそ1ヵ月前の2月中旬頃から本震の破壊開始点の東側の海域で地震活動が活発になり, 3月9日には, 沖合の $M 7.3$ の地震が発生した (Fig. 5 (a)). この時は, これによって「宮城県沖」と「三陸沖南部海溝寄り」が連動する $M 8$ 級の大地震発生の可能性は低くなったとも考えられた. しかしながら, 地震後に

行われた前震活動の詳細な解析により, 本震の破壊開始点へ向かうゆっくりすべりの伝播がほぼ同じ領域で2度にわたって発生し (Fig. 5 (b)), これらのゆっくりすべりの伝播が引き起こす力の集中により, 本震発生が促進された可能性が示された (Kato et al., 2012).

3 地殻変動

国土地理院において1996年にGEONET (GNSS連続観測システム) の運用が開始され高精度の地殻変動の監視が可能になって以降, 東北沖地震の発生まで, 東北地方では概ね東西方向

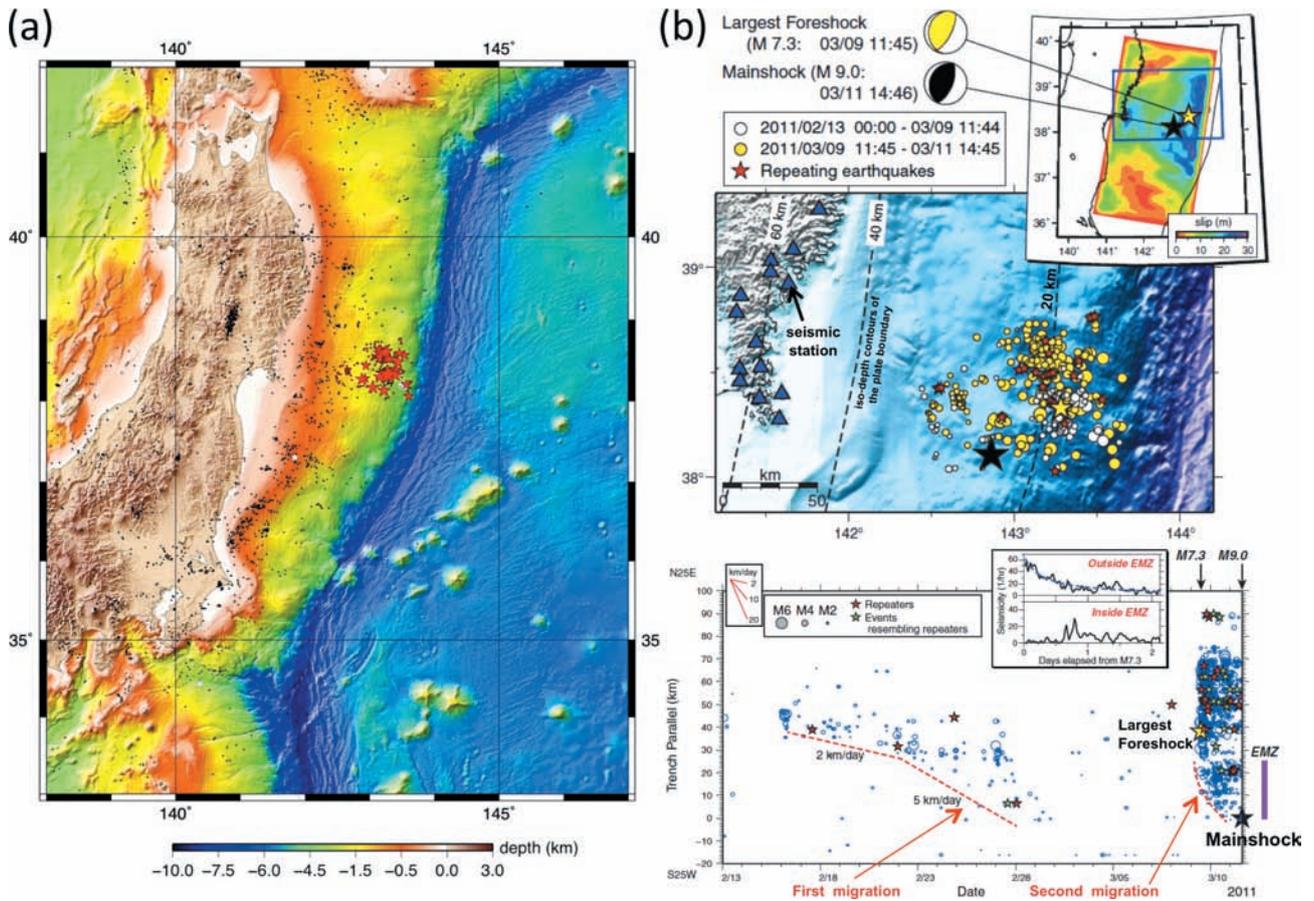


図5 東北沖地震の前震活動。(a) 2011年2月13日-3月11日に発生した地震の震央分布。(深さ60 km以浅, 気象庁一元化震源による)。3月9日 M 7.3以降は赤で, $M \geq 5$ は星印で示した。(b) Kato et al. (2012) による前震活動と本震との位置関係。白丸・黄丸: 基準地震に用いた気象庁カタログの震央, 赤星: 気象庁カタログに含まれる小繰り返し地震の震央。右上の挿入図は, Ide et al. (2011) による本震時のすべり量分布を示す。下図は検出された地震の時空間分布。縦軸は, 海溝軸に平行な距離を示す。赤い破線は, 震源移動のフロントの位置を表す。赤星: 気象庁カタログ内の小繰り返し地震, 緑星: 小繰り返し地震に類似したイベント。EMZは地震活動移動領域 (earthquake migration zone) を示す。

Fig. 5 Foreshock activity of the Tohoku-Oki earthquake. (a) Epicentral distribution before the Tohoku-Oki earthquake (Feb.13, 2011-Mar. 11, 2011, depth ≤ 60 km, Japan Metrological Agency). Red symbols are epicenters after the largest foreshock of M 7.3 on Mar. 9, 2011. Asterisks indicate epicenters with $M \geq 5$. (b) Relation between the foreshocks and the mainshock rupture identified by Kato et al. (2012). Top: map of the foreshock region of the 2011 Tohoku-Oki earthquake. Inset shows distribution of the total mainshock slip imaged by Ide et al. (2011). Bottom: space-time diagram of all detected events between 13 February and the mainshock origin time, with earthquake origin locations indicated in terms of the distance along the trench axis. EMZ indicates earthquake migration zone.

へ, 特に太平洋側の観測点において1997-2000年の平均では年間2 cm 強の短縮を示す地殻変動が観測されていた。ところが, 東北沖地震に伴って水平方向では最大約5.3 m 東南東への地殻変動が観測され, 地震前とは反対である東西方向への伸張を示す地殻変動が観測された (Fig. 6)。

地震後も地震前とは異なる東西伸張を示す地殻

変動が観測され続けており (国土地理院ホームページ), 地殻変動の水平成分は地震後1年間で最大70 cm を越えている (Fig. 7 (a))。この変動からプレート境界における余効すべり量分布が推定され (Fig. 7 (c)), その規模は2012年3月まででおよそ M_w 8.7 と見積もられている。本震時のすべり域の北西側と南側 (銚子沖) に, 比較的

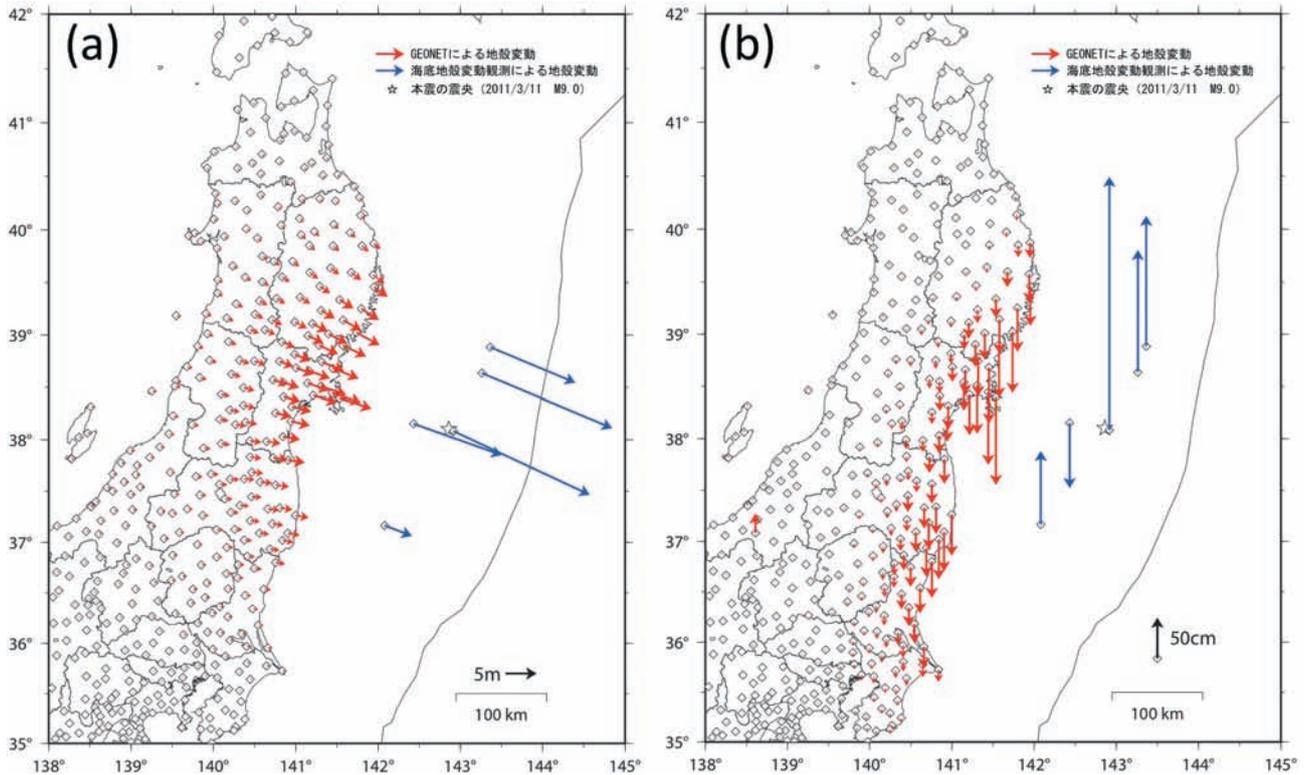


図6 地震時の陸域および海域の地殻変動（国土地理院ホームページ）. (a) 水平成分, (b) 上下成分.

Fig. 6 Coseismic slip of the Tohoku-Oki earthquake (Geospatial Information Authority of Japan). (a) Horizontal displacement. (b) Vertical displacement.

大きなすべりが推定されている。

東北沖地震発生前, 地震時, 地震後を通して, 海上保安庁による震源域直上の海底地殻変動観測は画期的な成果をあげている（例えば, Matsu-moto et al., 2008 や Sato et al., 2011 等）が, 東北沖地震に伴う海底地殻変動観測の詳細については本報告 10 にまとめられているので, ここでは触れない。

4 日本海溝域における地球物理データのとりまとめ

海上保安庁では, 日本海溝域においてこれまでに多くの海底地形調査, 地磁気・重力観測や地殻構造調査を実施してきた。海底地形データに関しては, 海洋研究開発機構 (JAMSTEC) の取得データと共に泉・他 (2012) により取りまとめられ, 変動地形の解析等に利用されている。ここでは, 震源域における基礎資料として, 他の地球物理学データについても紹介する。

Fig. 8 には, フリーエア重力異常とブーゲー重力異常図にそれぞれ震央分布を重ねたものを示す。Fig. 8 (b) の海溝海側斜面に沿ったブーゲー重力異常の変化が大きいところ（青色と黄色の境界付近）に沿って M 5 以上の震央が線状に並んでいるように見えるのは興味深い。この領域の震源決定結果は東西方向に精度が悪いので, 海底地震計を用いた観測結果と比較する必要がある。

地磁気異常図と海底地形および余震の震央分布を Fig. 9 に示す。日本海溝で沈み込む太平洋プレートは $N 70^{\circ} E$ の走向を持つ縞状の地磁気異常を示し, プレートの年代は南から北に向かって若くなっている (Nakanishi, 2011)。海溝海側の余震活動の活発な領域は, M 系列地磁気縞模様の $M 8$ から $M 10 N$ がずれている不連続の西側に対応しているようにも見える。Nakanishi (2011) は, この地磁気縞状異常の不連続は疑似断層の痕跡に相当し, この領域は中央海嶺の伝播 (propagating spreading ridge) により生成された

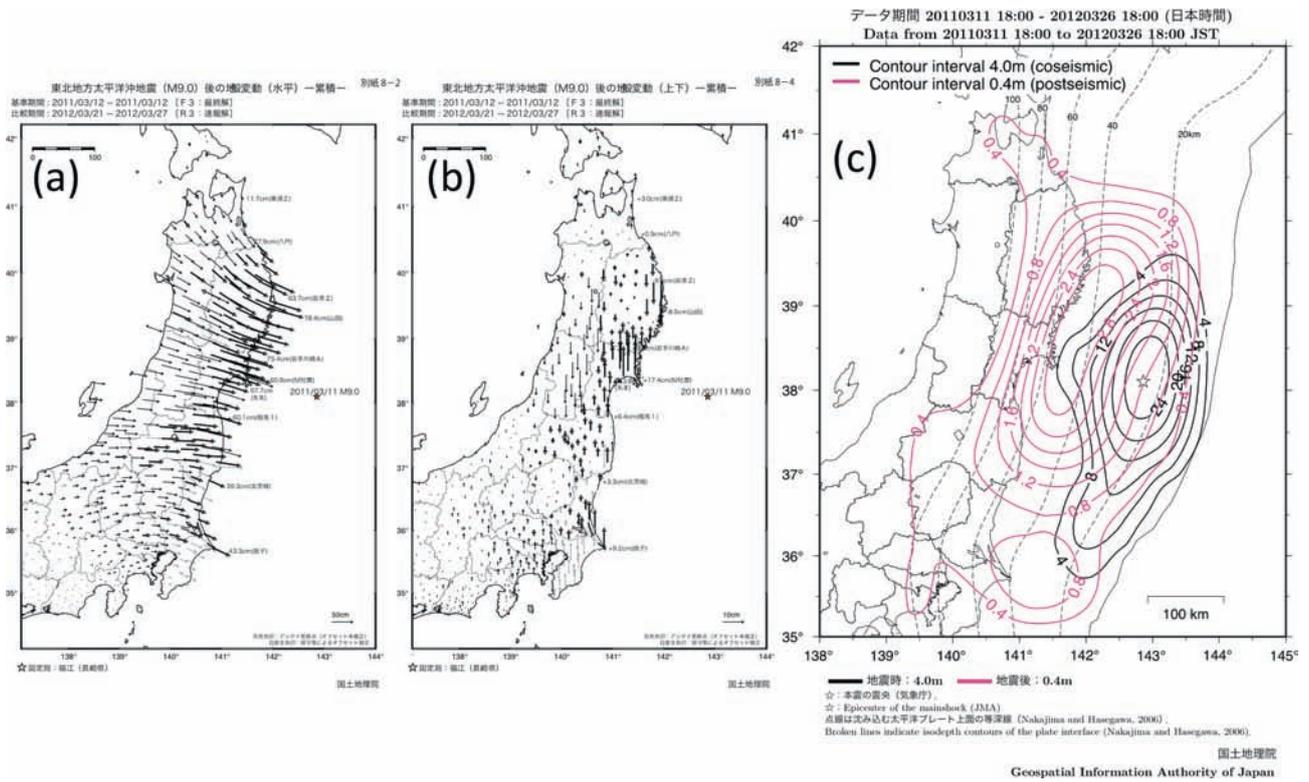


図7 地震後の陸域の地殻変動 (国土地理院ホームページ). (a) 水平成分, (b) 上下成分. (c) 地震時と地震後のすべり分布の比較.

Fig. 7 Postseismic slip of the Tohoku-Oki earthquake (Geospatial Information Authority of Japan). (a) Horizontal displacement. (b) Vertical displacement. (c) Comparison between coseismic and postseismic slip distributions on the plate boundary.

と推定している. また, 東北沖地震後には, Fig. 9 で PR で示されている abandoned propagating spreading ridge 領域でまとまった地震活動が見られる.

福島県沖から宮城県沖のマルチチャンネル反射法地震探査は, 加藤 (2000 a), 加藤・他 (2000 b), 海上保安庁海洋情報部 (2004) により, Fig. 4 (b) に示すように大陸斜面から海溝海側斜面まで海溝軸を横断する 3 測線に対して実施されている. 各測線に対する深度断面図を Fig. 10 に示す. 福島沖の大陸斜面には多数の滑落崖から構成される東側に凹な海底地すべりが分布し, これらの滑落崖から連続して東側に傾斜する正断層が存在する (加藤, 2000 a). 現在観測されている陸棚斜面浅部における活発な (広義の) 余震活動では, 地震のほとんどが東西に張力軸をもつ正断層型であり, 反射断面図で検出された正断層群と関連していると考えられる. 一方, 海溝軸近傍では, 海

溝海側斜面下で海底地形に顕著に見られる horst and graben 構造が陸側プレート下に沈み込んでいるイメージが明瞭に得られている. horst and graben 構造は, アウターライズ浅部において沈み込む海洋プレートが張力を受けて破壊する正断層型の地震と同様のメカニズムで形成されていると推定される.

また, 大陸棚調査の一環として, 日本海溝の南北端において陸側プレートの下に沈み込みつつある第一鹿島海山および襟裳海山を横断する海溝軸にほぼ平行な屈折法地震探査およびマルチチャンネル反射法地震探査も実施している (Figs. 11 and 12, 渡邊・他, 2007; Nishizawa et al., 2009). いずれの測線においても, 陸側プレート下に, 断裂しつつ沈み込む海山のイメージが明瞭に得られている. 襟裳海山を横断する測線 E R r 1 測線の海溝海側では 2012 年 3 月 14 日に M 6.9 の正断層型の地震が発生し, アウターライズのタイプのまと

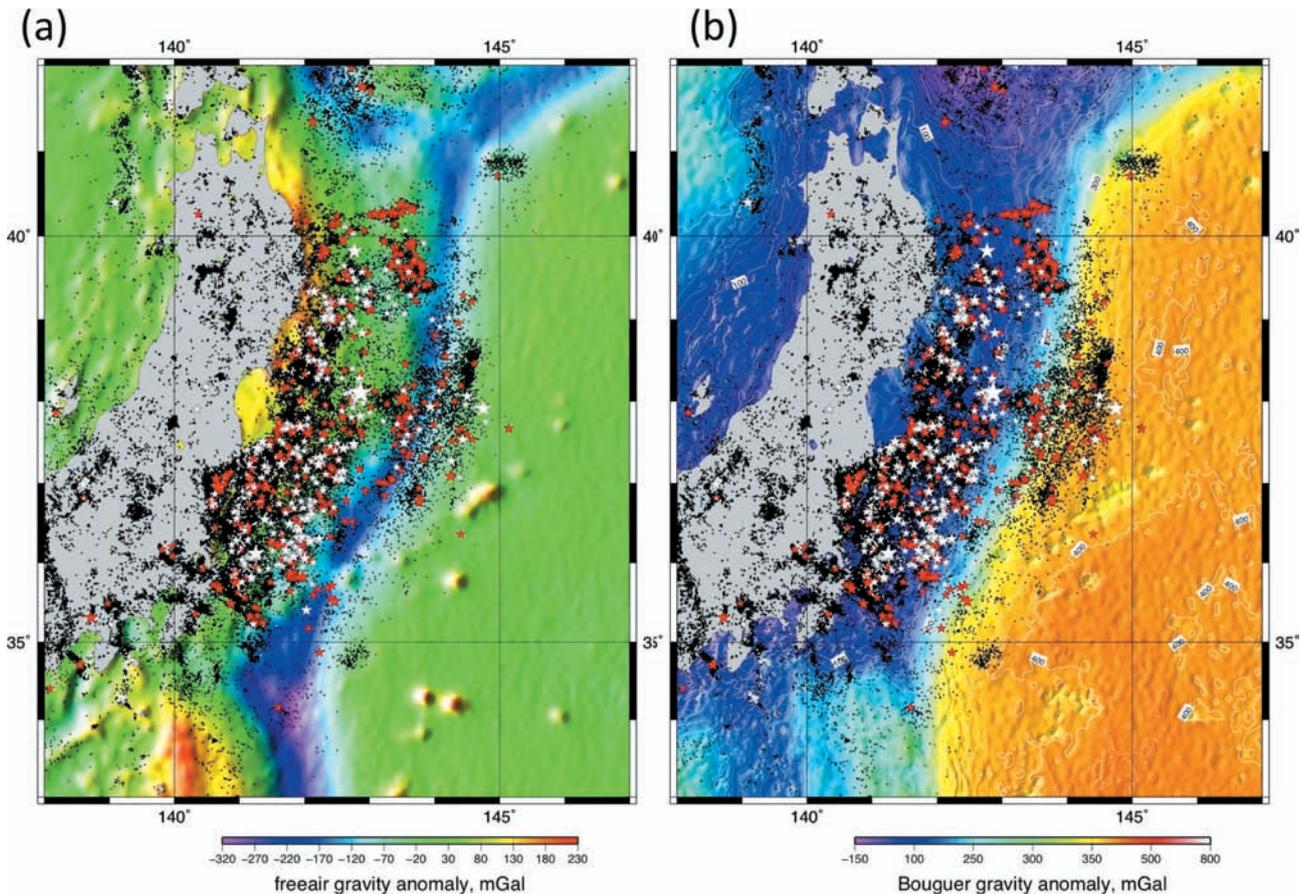


図8 (a) フリーエア重力異常と余震活動。(b) ブーゲー重力異常と余震活動。白は本震後24時間以内に発生した地震の震央で、赤は2011年3月11日-2012年5月29日の期間の震央(気象庁一元化震源)を示す。星印は $M \geq 5$ 、深さ60km以浅の地震に対応している。

Fig. 8 (a) Free-air gravity anomaly and aftershock activity. (b) Bouguer gravity anomaly and aftershock activity. White and red symbols show aftershock epicenters (Japan Meteorological Agency) for 24 hours and during Feb. 13, 2011-May 29, 2012, respectively. Asterisks indicate epicenters with $M \geq 5$ and depth ≤ 60 km.

まった地震活動があった (Fig. 11 (a)). 第一鹿島海山を横断するP波速度構造モデル (Fig. 12 (c)) と余震活動分布 (Fig. 4 (b)) を比較すると、地震前と同様に、地震活動が活発な領域は速度構造から推定されるバックストップよりも陸側に対応している。

5 終わりに

東北沖地震が発生して1年が経過したが、まだ活発な余震活動が続いており、地殻変動も小さくなりつつも継続している。 M_w 9の超巨大地震は日本列島全体に影響を及ぼしているが、今後の誘発地震活動や火山活動の予測は困難であり、おそらく数十年間は注意を怠ることはできない。

東北沖地震の大きな特徴は、予想していなかった海溝軸付近で大きなすべりが発生し、巨大な津波を引き起こしたことである。これまでも海域の調査は重要であると認識されつつも、その技術的な困難さにより大きく前進することはなかった。本地震の発生により、すでに、日本海溝域では海底地震津波観測網や海底基準局の増設が始まっている。特に、千島海溝域や日本海溝の海側のアウトライズもカバーする予定である海底地震津波観測網は、緊急地震速報や津波速報にすぐに役立つと期待できる。また、これらの観測網によるデータの蓄積と共に、巨大地震および津波の発生に関する理解がさらに進むであろう。その結果は、他の沈み込み帯のプレート境界地震発生域

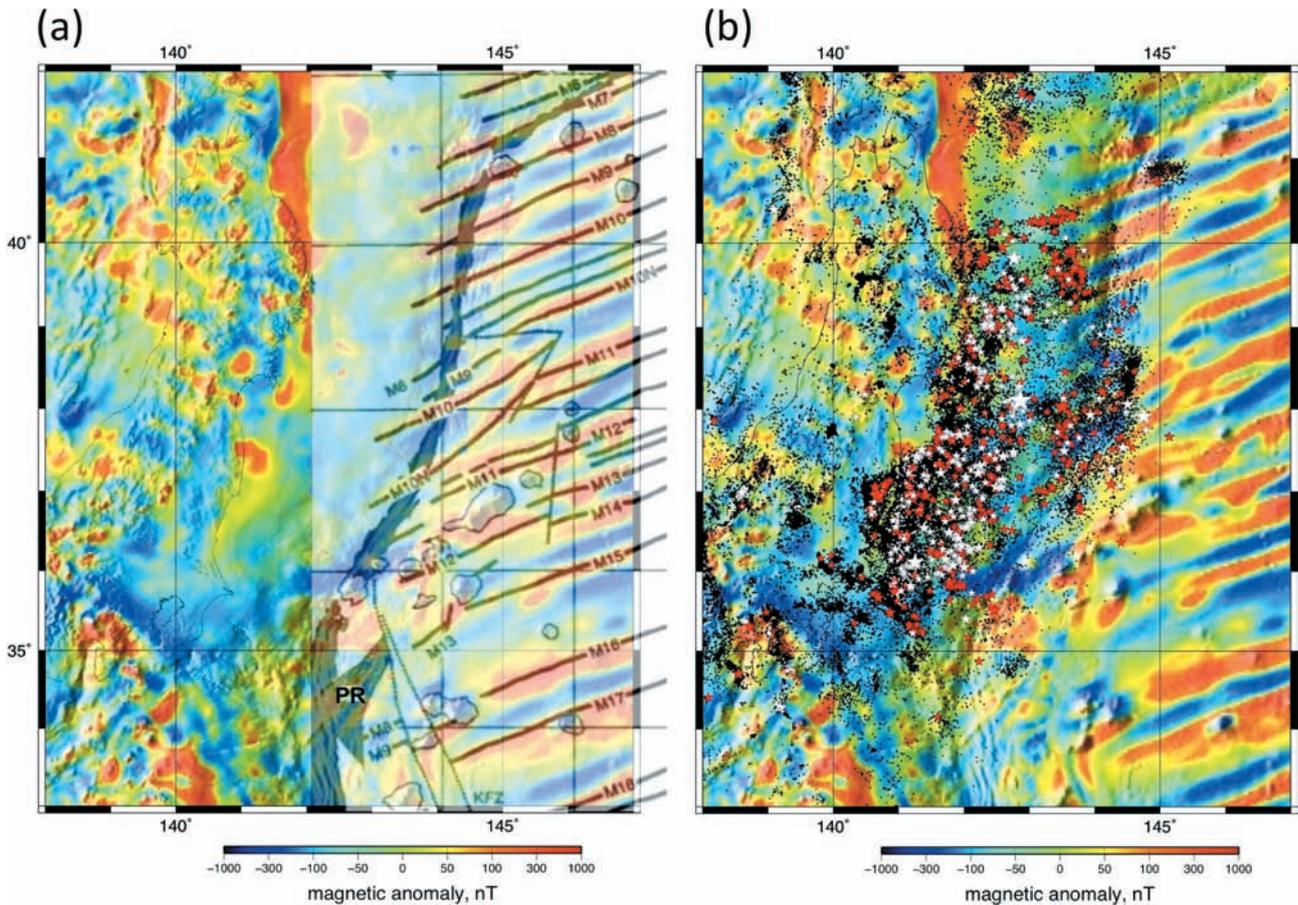


図9 (a) 地形に地磁気異常を重ねた図。M 番号付き実線は、縞状地磁気異常 (Nakanishi, 2011) を示す。PR は活動を停止した伝搬性海洋拡大海嶺軸、破線は伝搬する拡大軸によって生成された疑似断層の痕跡に相当する。(b) 地磁気異常に地形を重ねた図に余震活動をプロットしたもの。白は本震後 24 時間以内に発生した地震の震央で、赤は 2011 年 3 月 11 日~2012 年 5 月 29 日の期間の震央 (気象庁一元化震源) を示す。星印は $M \geq 5$ 、深さ 60 km 以浅の地震に対応している。

Fig. 9 (a) Magnetic anomaly on the shaded topographic map. Solid lines with M-number dotted lines denote magnetic anomaly lineations. Dotted lines show possible pseudofaults caused by propagating spreading ridges. PR is abandoned propagating spreading ridge. (b) Magnetic anomaly and aftershock activity. White and red symbols show aftershock epicenters (Japan Metrological Agency) for 24 hours and during Feb.13, 2011-May 29, 2012, respectively. Asterisks indicate epicenters with $M \geq 5$ and depth ≤ 60 km.

にも応用することが可能となり、国際的にも貢献できるであろう。

今回本報告をまとめるにあたり、これまでに蓄積された日本海溝域のデータを取りまとめる機会を得た。まだ本報告に掲載できなかったデータもあるので、今後はそれらも含めてきちんとしたデータベースを構築し、多くの方に利用していただけるようにしたい。

謝 辞

海洋調査課大陸棚調査室の堀内大嗣さんは、東

北沖海底地形データの取りまとめや、マルチチャンネル反射地震断面の作成をしてくれました。技術・国際課の金田謙太郎さんはブーゲー重力異常の計算をしてくれました。記して感謝します。

参考文献

Hino, R., et al. (2009), Insight into complex rupturing of the immature bending normal fault in the outer slope of the Japan Trench from aftershocks of the 2005 Sanriku earthquake ($M_w = 7.0$) located by ocean bottom seismometry,

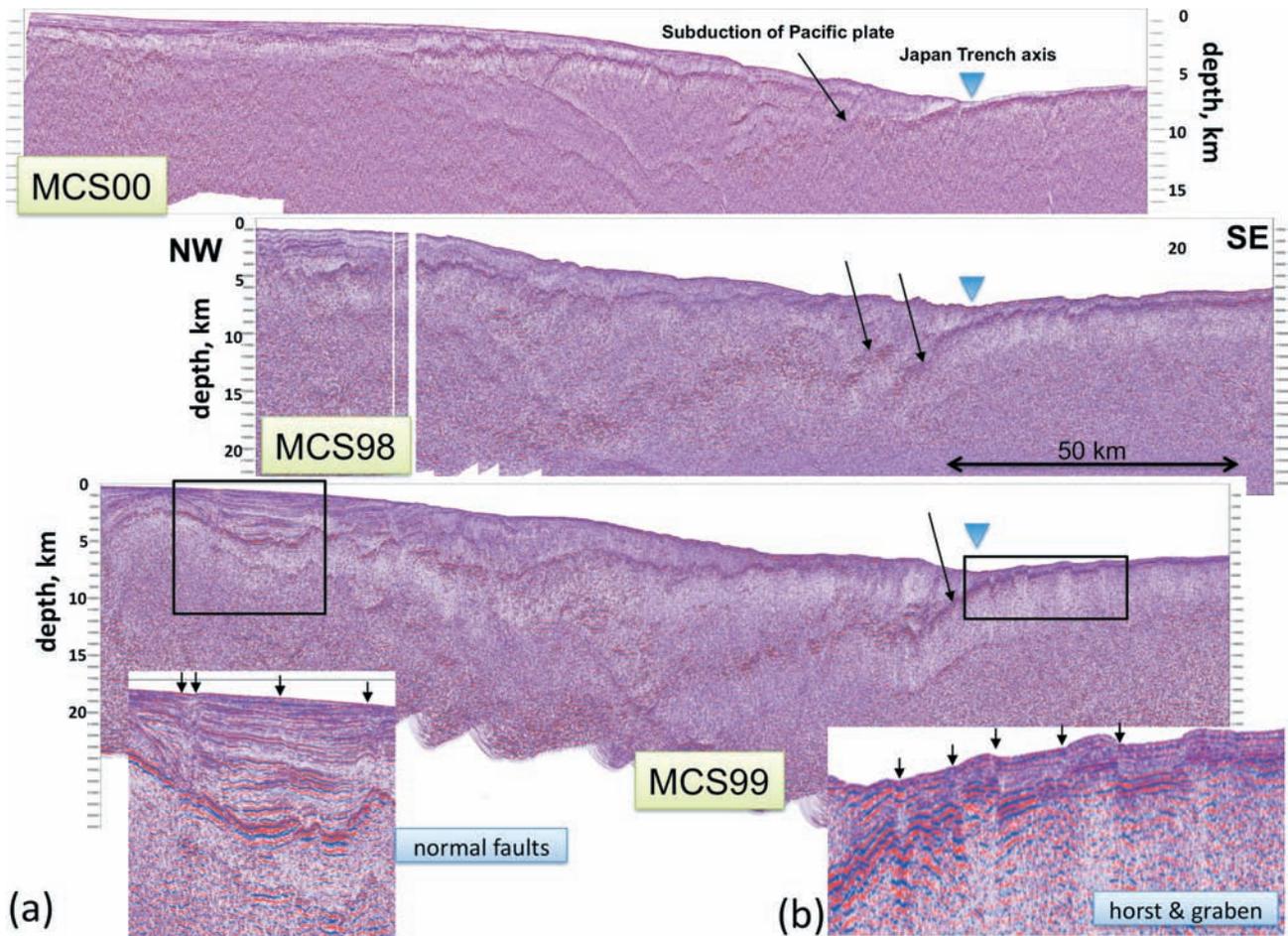


図 10 宮城県沖および福島県沖で得られたマルチチャンネル反射地震断面（深度断面図）。測線の位置は第 4 図 (b) に示されている。MCS 99 測線について、海溝陸側下の正断層と海側斜面の horst and graben 構造の部分拡大して示す。

Fig. 10 Multi-channel seismic reflection profiles obtained across the Japan Trench at the east of Miyagi and Fukushima (Depth section). The position of the lines are shown in Fig. 4 (b). The portions of the normal faults on the landward slope of the Japan Trench and horst and graben structure on the seaward slope are enlarged.

Geochem. Geophys. Geosyst., **10**, Q 07 O 18, doi: 10.1029/2009 GC 002415.

Ide, S., A. Baltay, G. C. Beroza (2011), Shallow Dynamic Overshoot and Energetic Deep Rupture in the 2011 *Mw* 9.0 Tohoku-Oki Earthquake, *Science* **332**, 1426; DOI: 10.1126/science.1207020.

泉紀明・堀内大嗣・西澤あずさ・木戸ゆかり・中田高・後藤秀昭・渡辺満久 (2012), 鈴木康弘, 150 m グリッド DEM から作成した日本海溝付近の 3D 海底地形, *海洋情報部研究報告*, **48**, 148-157.

地震調査委員会 (2000), 宮城県沖地震の長期評価, <http://www.jishin.go.jp/main/chousa/00nov4/miyagi.htm>.

地震調査委員会 (2011), 三陸沖から房総沖にかけての地震活動の長期評価 (第二版) について, http://www.jishin.go.jp/main/chousa/11nov_sanriku/index.htm.

海上保安庁海洋情報部 (2004), 日本海溝 (福島沖・福島沖東) 海洋測量資整理報告書.

Kato, A., et al. (2012), Propagation of slow slip leading up to the 2011 *Mw* 9.0 Tohoku-Oki earthquake, *Science*, **10**, 705-708, DOI:

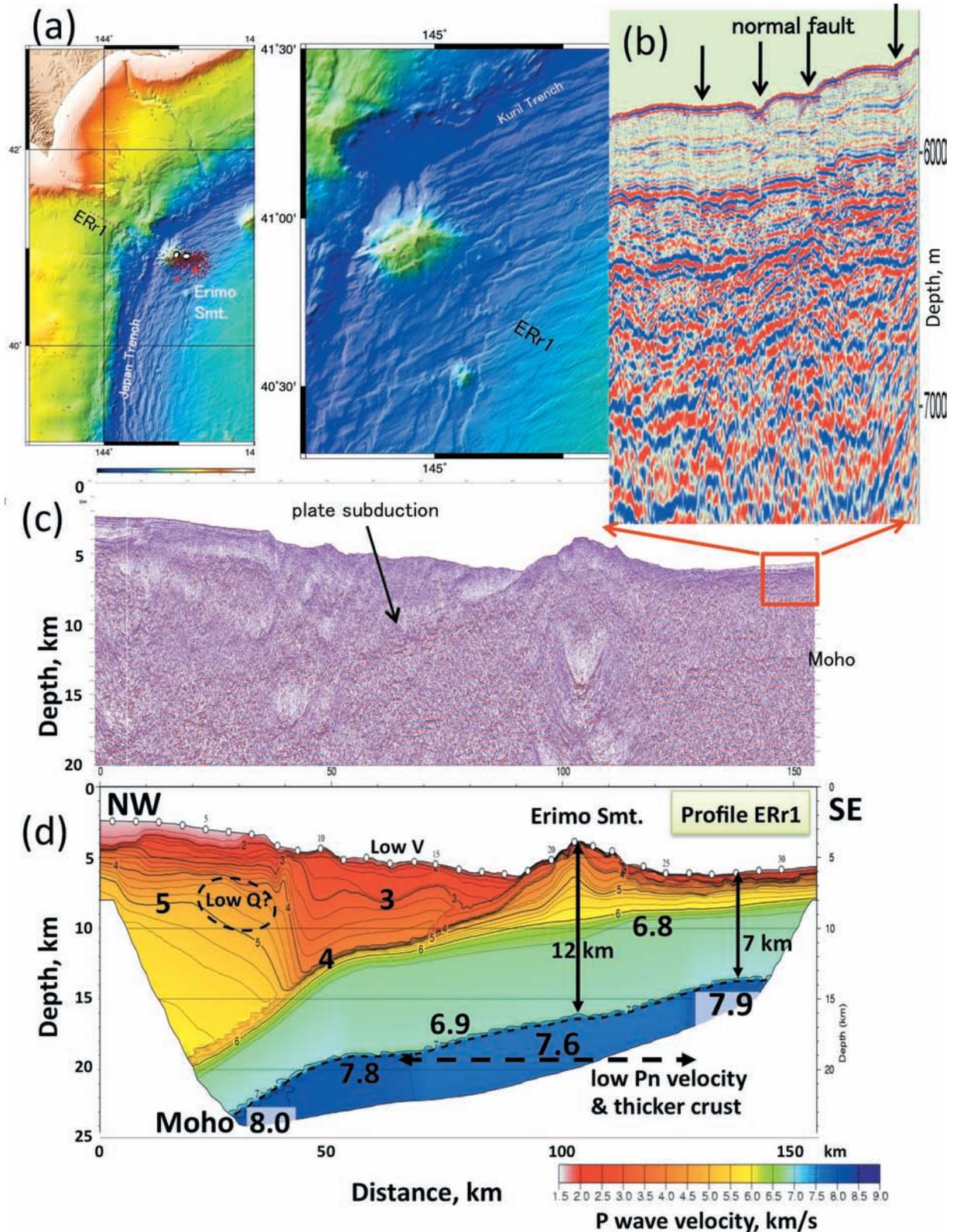


図 11 襟裳海山を横断する地震学的構造。(a) 測線の位置 (ピンク点線) および 2012 年 3 月 14 日 (M 6.9) の地震の余震 (3 月 14 日 - 27 日, 赤星は $M \geq 6$, 気象庁一元化震源による)。メカニズム解は Global CMT 速報解。(b) 海溝海側斜面の horst and graben 構造部分の拡大。(c) マルチチャンネル反射地震断面 (深度断面図)。(d) P 波速度構造断面図。

Fig. 11 Seismic structure across Erimo Seamount. (a) Position of the profile (pink dotted line) and aftershock activity of M 6.9 earthquake on Mar. 14, 2012 (Mar. 14-27, 2012, red asterisks : $M \geq 6$, Japan Metrological Agency). Mechanisms are from quick solution by Global CMT. (b) Enlarged section of the horst and graben structure on the seaward slope of the trench. (c) Multi-channel seismic reflection profile (depth section). (d) P-wave structural model. Iso-velocity contours with an interval of 0.25 km/s are shown. Dashed ellipsoid indicates the estimated position of low-Q zone.

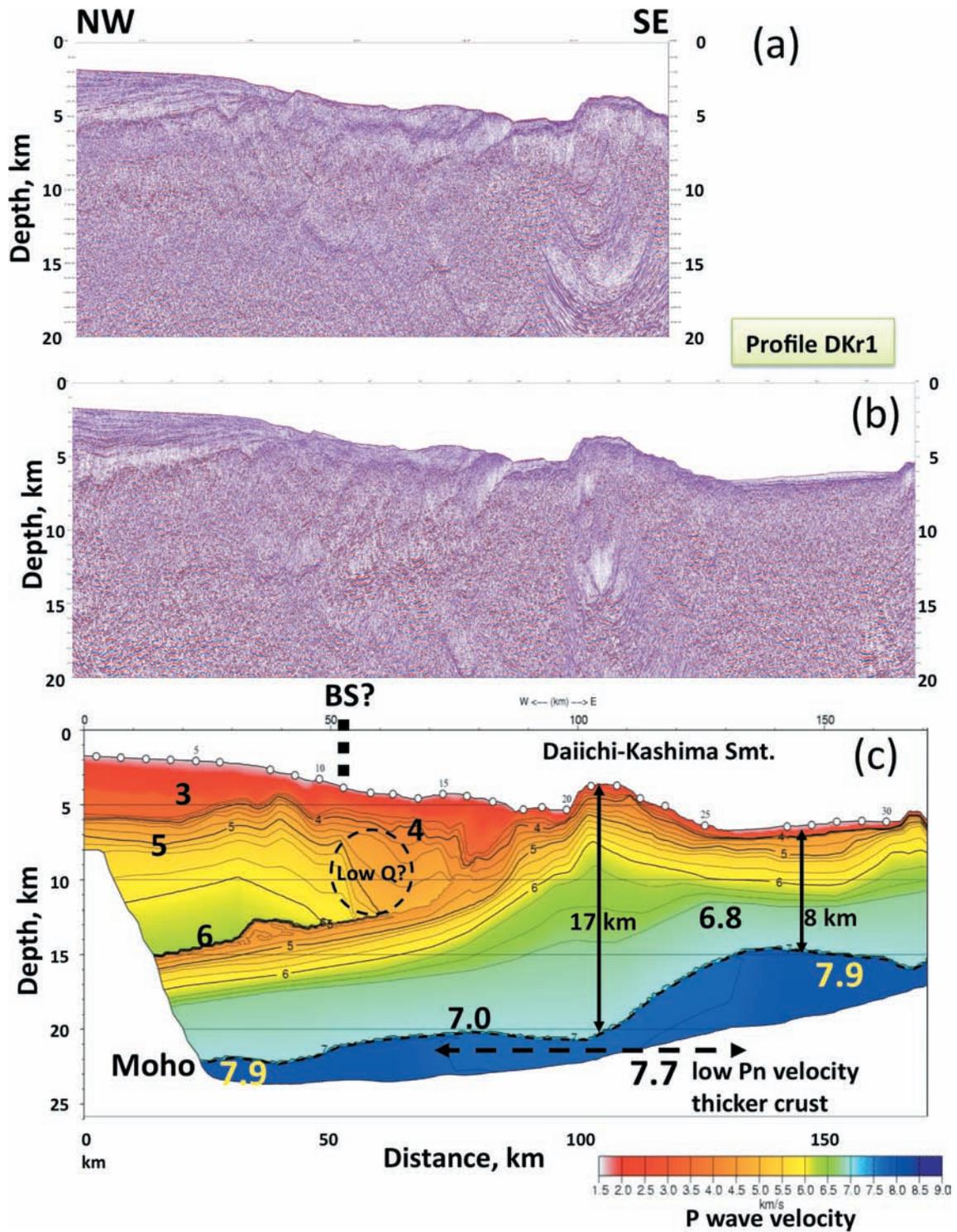


図 12 第一鹿島海山を横断する地震学的構造。測線の位置は第 4 図 (b) に示されている。(a) マルチチャンネル反射地震断面 (重合前深度マイグレーション断面図)。(b) マルチチャンネル反射地震断面 (深度断面図)。(c) P 波速度構造断面図。

Fig. 12 Seismic structure across Daiichi-Kashima Seamount. The position of the line is shown in Fig. 4 (b). (a) Multi-channel seismic reflection profile (PSDM : poststack depth migration section). (b) Multi-channel seismic reflection profile (prestack depth migration section). (c) P-wave velocity structural model. Iso-velocity contours with an interval of 0.25 km/s are shown. Dashed ellipsoid and vertical dashed line indicate the estimated position of low-Q zone and backstop, respectively.

- 10.1126/science.1215141.
- 加藤幸弘 (2000 a), 日本海溝, 福島沖の巨大斜面崩壊と地質構造, 地球惑星科学連合大会, Sj-P 004.
- 加藤幸弘・小笠原祥平・登崎隆志 (2000 b), 日本海溝, 福島沖大陸斜面の斜面変動と浅部地殻構造, 地震学会講演予稿集, p 157.
- 気象庁ホームページ, http://www.seisvol.kishou.go.jp/eq/2011_03_11_tohoku/index.html.
- 国土地理院ホームページ, http://www.gsi.go.jp/BOUSAI/h23_tohoku.html.
- Koper, K. D., A. R. Hutko, T. Lay, C. J. Ammon, and H. Kanamori (2011), Frequency-dependent rupture process of the 2011 Mw 9.0 Tohoku Earthquake: Comparison of short-period P wave back projection images and broadband seismic rupture models, *Earth Planets Space*, **63**, 599-602.
- Matsumoto et al. (2008), Weak interplate coupling beneath the subduction zone off Fukushima, NE Japan, inferred from GPS/acoustic seafloor geodetic observation, *Earth Planets Space*, **60**, e 9-e 12.
- 松澤暢 (2011), なぜ東北日本沈み込み帯で M9 の地震が発生しえたのか?—われわれはどこで間違えたのか?, *科学*, **81**, 1020-1026.
- Nakanishi, M. (2011), Bending-related topographic structures of the subducting plate in the northwestern Pacific Ocean, Accretionary Prisms and Convergent Margin Tectonics in the Northwest Pacific Basin (Modern Approaches in Solid Earth Sciences), Y. Ogawa et al. (eds), 1-38.
- Nishizawa et al. (2009), Seismic structure of the subducting seamounts on the trench axis: Erimo Seamount and Daiichi-Kashima Seamount, northern and southern ends of the Japan Trench, *Earth Planets Space*, **61**, e 5-e 8.
- 佐竹健治・行谷佑一・山木滋 (2008), 石巻・仙台平野における 869 年貞観津波の数値シミュレーション, *活断層・古地震研究報告*, **8**, 71-89.
- Sato, M., T. Ishikawa, N. Ujihara, S. Yoshida, M. Fujita, M. Mochizuki, and A. Asada (2011), Displacement above the hypocenter of the 2011 Tohoku-Oki earthquake, *Science*, **332**, 1395. doi: 10.1126/science.1207401.
- 東北地方太平洋沖地震津波合同調査グループ, <http://www.coastal.jp/tjtj/>.
- 渡邊奈保子・田賀傑・西下厚志・河原木一・及川光弘・倉持幸志・泉紀明 (2007), 第一鹿島海山および襟裳海山周辺海域における精密地殻構造探査, *海洋情報部技報*, **25**, 40-50.

要 旨

2011年3月11日14時46分に発生した「平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震」は、日本における観測史上最大級の Mw 9.0 の超巨大地震であり、特に大規模な津波は東北地方に甚大な被害を及ぼした。本地震の発生からほぼ1年が経過し、日本における高密度観測や世界中の観測点あるいは宇宙における観測から、これまでに類のない大量のデータが得られ、本地震について非常に多くの知見が得られた。いまだ未解決の問題も多く残されているが、これまでに得られている研究成果について概要を述べる。