

(1) 実施機関名：

東京大学地震研究所

(2) 研究課題（または観測項目）名：

超巨大プレート境界地震による内陸域の応力変化及び応力集中メカニズムの解明

(3) 最も関連の深い建議の項目：

5. 超巨大地震に関する当面実施すべき観測研究の推進

(1) 超巨大地震とそれに起因する現象の解明のための観測研究

ウ. 超巨大地震に誘発された内陸地震や火山活動等の解明

(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

ウ. 広域の地殻構造と地殻流体の分布

(2) 地震・火山噴火に至る準備過程

(2-1) 地震準備過程

ウ. ひずみ集中帯の成因と内陸地震発生の準備過程

(5) 本課題の5か年の到達目標：

東北地方太平洋沖地震発生後、日本列島内陸各地で地震活動が活性化あるいは静穏化するなど、地震活動に変化が生じた。これは、超巨大地震によって、プレート境界域のみならず、日本列島内陸域の応力状態が大きく変化したことを示すものである。長野県北部や茨城県北部で発生した M7 クラスの地震は、活発化した地震活動の顕著な例と言えよう。同様の現象は 1896 年の三陸地震 (M8.2) のほぼ 2 か月後に発生した陸羽地震 (M7.2) でも見られており、このような超巨大地震の発生は、内陸大地震発生の一つのメカニズムとして捉えるべきであろう。

本課題は、東北太平洋沖地震によって生じた地震活動変化を解明するとともに、広域応力の変化が個々の内陸震源断層周辺の応力場にどのように影響を与えるかを明らかにして、内陸大地震の発生機構解明に貢献することを目指す。

(6) 本課題の5か年計画の概要：

本課題では、東北地方太平洋沖地震発生後の活発化した地震活動域において、地震観測を基軸とした総合観測を実施し、まず、超巨大地震によって引き起こされた内陸域の応力場の変化と地震活動変化の実態を明らかにする。さらに、個別の内陸断層への応力集中のメカニズムを明らかにする。そのために、以下の研究を行う。

1. 内陸地震活動の応力変化応答の解明

日本に展開された高密度高感度地震観測網の観測データを基軸とし、GPS データ等の他の地球物理データを活用しつつ、列島域における地震活動変化と応力場の時間変化を、東北地方太平洋沖地震発生前から後まで追跡する。

2. 超巨大プレート境界地震に伴う応力の内陸地震断層への集中メカニズムの解明

応力集中のメカニズムとして、以下の2つの要因を作業仮説として考える。

(1) 地震時の破壊及び余効的滑りに起因する応力変化

(2) (1)にともなう内陸域の流体の影響

これらのメカニズムの解明のため、地震活動が活発化している地域において、基盤的高感度地震観測網を活用し、更に稠密な地震観測を実施する。すでに地震研究所は、長野県北部・新潟県南部、茨城県北部・福島県東部、房総半島～茨城県において地震観測を実施している。これらの観測成果を踏まえて、観測の継続/新規展開を進め、地震活動域における高精度震源・メカニズム解分布、3次元地震波速度・減衰構造を求め、応力変化、流体分布、活断層との関連などを明らかにする。(1)については、このような地震観測と海域観測・GPS観測との連携が有効である。(2)については、稠密地震観測と電磁氣的観測との連携が効果的である。

(7) 計画期間中(平成21年度～25年度)の成果の概要:

1. 東北地方太平洋沖地震発生以前の内陸域の応力場

2011年東北地方太平洋沖地震に伴う内陸域の応力変化の有無をより詳しく明らかにするために、まず、過去の臨時観測のデータを再解析し、より多くの地震を解析に使用することで、東北沖地震が発生する前の応力場について再検討を行った。その結果、脊梁から背弧側では東西(あるいは西北西-東南東)圧縮の応力場がみられる一方、前弧域では島弧方向に変化があり、北上山地と阿武隈山地では σ_1 軸がプレート収束方向を向いていない傾向にある(図1-1左)。その原因としては、重力によりつくられる応力がこの地域で支配的である可能性があげられる。

平成25年度には、東北日本内陸部の応力場について、メカニズム解とは別の独立の情報をを用いて抽出する目的で、東北日本に稠密に展開された定常地震観測網、臨時地震観測網で観測された地震波形記録を用いて、東北日本内陸域地殻内のS波偏向異方性構造の推定を行った。得られたS波偏向異方性には、地殻内の応力場に対応し地殻の最大水平圧縮応力軸方向と平行であるものと、構造に対応し断層の走向に平行であるものとが認められた(図1-1右)。

一方、関東地方北部から東北地方の沿岸部を含む領域で行ったS波偏向異方性の解析結果から、解析領域の西側においては概ね東西方向、東側である阿武隈山地から三陸地域においては、南北方向の偏向が観測された。粘弾性媒質を考慮した沈み込み帯における巨大地震発生サイクルの2次元有限要素モデリングから、島弧地殻全域で東西圧縮場となるのに対して、沿岸部の地殻浅部では東西伸長が卓越する結果が得られ、S波偏向異方性の空間変化と調和的であることがわかった。

2. クーロンの破壊規準に基づく誘発地震メカニズム解の分析

東北地方太平洋沖地震による内陸での誘発地震の発生メカニズムを理解するために、広域応力場と本震による応力変化を考慮して、クーロンの破壊規準に基づく地震のメカニズム解の分析を行った。この結果、誘発地震の発生には、間隙流体圧場の時間変化による断層強度の低下が重要な役割を果たしていることが明らかになった。また、平成25年度には、御嶽山周辺域の群発地震のメカニズム解から、地震メカニズムトモグラフィー法により間隙流体圧場を推定し、御嶽山東麓～南東麓の深さ5-12kmのところに静水圧を100-150 MPa程度上回る高圧間隙流体が存在することがわかった。この地域では、M3程度までの小地震は間隙流体圧場や応力場の不均質を反映して発生するが、M3以上の地震や数多くの微小地震群によって形成される数km以上のスケールでの破壊構造は、テクトニック応力場に支配されて生じるようである。

3. 秋田県森吉山周辺の誘発地震活動

秋田県北部の森吉山周辺では、東北沖地震後に顕著なマイグレーションを伴う誘発地震活動が活発化した。この誘発地震震源域において臨時観測を実施し、そのデータを含めて震源の再決定を行い、震源のマイグレーションについて検討した。マイグレーションは複雑な様相を示すが、それが異なる圧力源からの複数のシーケンスから成っているためと仮定して、圧力増加の時刻、圧力源の位置、及び拡散係数を推定した。その結果、圧力源は震源域付近でわずかに深く、拡散係数は時間的に増大する

傾向を示した。また、平成 25 年度には、地震波形に含まれる反射／散乱波のバックプロジェクションにより、反射／散乱源の位置を推定した。その位置は震源域の南東約 5 km で、深さは約 13 km である。この深さは深部低周波地震の深さの上限に近い。

4. 東北地方で発生した内陸域の誘発地震震源域の地震波速度構造と地震活動（1207, 1219 参照）

東北地方で発生した内陸域の誘発地震群について、1) 震源域周辺の地殻内の地震波速度構造と 2) 震源の詳細な時空間分布とについて検討を行った。これらの領域において緊急合同観測で設置した観測点を使用し、震源位置や速度構造の決定精度の向上を行った。その結果、1) 火山下や震源域の深部に地震波速度の低速度域が見られた。この低速度域は流体の分布域であると考えられる。2) これらの領域では震源域が時間とともに広がる様子が見られた。この時間発展は流体の拡散で説明できる。したがって応力変化以外の別の原因としては流体圧の変化を挙げることができる。

5. 茨城県北部・福島県南東部の正断層運動型の地震活動と比抵抗構造

東北地方太平洋沖地震により誘発された茨城県北部・福島県南東部の正断層型地震活動の解明のため、約 60 点から構成される臨時観測点を高密度に展開・維持し、これらのデータ及び周辺の定常観測網データを用いて、高精度な震源分布と詳細な地震波速度構造を推定した。震源分布は茨城県北部において南西傾斜の明瞭な面状分布を示すが、福島県南東部のいわき地方では小規模な面状分布が東西に複雑に広がっている。平成 25 年度に行った詳細な震源決定では、いずれの地域でも深さ方向に共役な断層系が複雑に分布している様子が明らかになった。一方、2011 年 4 月 11 日に発生した福島県浜通りの地震（M7.0）の震源北側の浅部には、顕著な高速度体がイメージングされた。この高速度体は福島県浜通りの地震（M7.0）発生時の大滑り域に概ね一致する。更に、この高速度体内の余震活動は周囲に比べて低調である。また、M7 地震震源域の深部には流体の存在を示唆する低速度体がイメージングされた。一部の地震クラスターでは、流体の関与を支持する震源の移動現象が見られた。このような地殻内の不均質な構造が、誘発地震活動の時空間発展を規定していたと考えられる。また、多くの誘発地震は 10 km 以浅で起きているが、深さ 15-20km にも局在化していることが明瞭になった。この地震のメカニズム解を調べたところ、正断層型だけでなく、横ずれ型・逆断層型も発生しておりメカニズム解に多様性が見られた。

一方、茨城県北部・福島県南東部の地域において、地震発生に関する流体の寄与を調べるために、25 か所で地球電磁気学的調査を行った。図 5-2 に示すように、全体の傾向として地震は低比抵抗域に囲まれた比抵抗の高い領域で起こっていることが明らかとなった。また、2011 年 4 月 11 日に発生した福島県浜通りの地震（M7.0）の震源域周辺では、上述の地震波速度構造に似た構造のパターンを示し、震源域が高比抵抗であるのに対し、その直下の低速度域には低比抵抗域が分布し、地震波速度構造と共に、流体の存在を示唆した。また、観測域のやや南側になるが、茨城県北部の最初の地震活動があった地域は低比抵抗域となっていて、流体がこの地域の最初の活動を誘発した可能性が指摘できる。

これらの領域における S 波偏向異方性の解析結果から、東北地震発生前から南北方向の偏向が存在しており、東北日本で一般的に観測されていた東西圧縮とは異なる応力場にあることが明らかになった。1. の粘弾性モデリングでも示されたように、もともと東西伸長の場であったという特殊性が、東北地震による東西伸長の影響を強く受けて活発な誘発地震活動を引き起こしたものと考えられる。

6. 長野県北部及び岐阜県北部の誘発地震活動

2012 年 7 月 10 日に長野県北部を震源とする M5.2 の地震が発生した。この地域は、新潟から神戸にかけてのひずみ集中帯に位置し、過去には 1847 年の善光寺地震等の M 7 級被害地震の震源域が並び、十日町断層帯等の活断層や活褶曲構造が存在している。これらの走向は、主に北東—南西方向で南東もしくは北西傾斜の逆断層であり、最近の被害地震は、そのような逆断層型の地震が主であった。それに対し、今回の地震の発震機構解は、P 軸は同様の北西—南東方向であるが、T 軸が北東—南西方向である横ずれ型である。そこで、震源域直上に 3 点の臨時観測点を設置し、震源決定を行なった結果、余震は、ほぼ東西方向の走向を持った鉛直な面状に分布し、深さは約 5~10km の範囲になった。この走向が発震機構解の節面のひとつとほぼ一致することから、これが今回の地震の地震断層面である

と思われる。この震源域のすぐ北東側や東側では、東北地方太平洋沖地震の直後に M6.7、1 か月後に M5.6 の地震が発生し、それぞれ逆断層型と横ずれ型である。このように狭い範囲での発震機構解の違いは、東北地震によるこの地域の応力状態が時間変化したためと考えることもできるが、以前から新潟県と長野県の県境付近では同様の発震機構解の違いが見られていたことから、地域差が原因である可能性も考えられる。

一方、岐阜県北部の飛騨山脈付近で発生した2つの地震クラスターに注目し、東北地方太平洋沖地震がもたらした静的・動的な応力変化に対する地震活動の変化を明らかにした(図 6a-b)。気象庁一元化震源カタログを用いた波形相関処理によるパターン検索(Matched Filter Technique)を適用することで、本震前後の地震活動をより正確に捉えることに成功した。2つの地震クラスターの内、西側の地震活動度は本震発生後に若干の増加を示した(図 6c)。気象庁カタログによると、東北地方太平洋沖地震の発生後約1日間に地震活動の静穏化が見られたが、これは検出限界による見かけのものと考えられる。西側のクラスターにもたらされた静的応力変化から地震活動度の変化を予測すると若干の増加を示し、観測結果と定性的に良い一致を示す。一方、東側のクラスターでは、東北地方太平洋沖地震による表面波の伝播中に最初の地震が発生し、その後、西側クラスターに比べて非常に活発な活動が見られた(図 6d-e)。この活発な地震活動の要因として、静的応力変化だけでは不十分で、表面波が作り出す動的応力変化による断層強度の減少や、2次余震による影響が考えられる。

7. まとめ

2011年東北地方太平洋沖地震発生後、東北地方内陸域では秋田県北部の森吉山周辺、福島県・山形県境付近、茨城県北部・福島県南東部等の数か所で活発な誘発地震活動が発生し、現在に至るまで活動的な地域も存在する。また、長野県北部のように1年以上経過したのちに活発化した地震活動も見られる。これらの地震についてクーロンの破壊規準に基づく地震のメカニズム解の分析を行った結果、誘発地震の発生には、間隙流体圧場の時間変化による断層強度の低下が重要な役割を果たしていることが明らかになった。御嶽山周辺では静水圧を上回る高圧間隙流体の存在が明らかにされ、小規模の地震ほどこれらの不均質な応力場の影響を受けやすい。顕著な誘発地震活動の領域では明瞭な震源移動が観測されており、流体の拡散が地震発生に影響を与えている可能性がある。森吉山周辺では、この震源移動源と地震波解析から推定される散乱源の関係が議論された。これらの誘発地震活動域の深部には地震波速度の低速度域が見られる場合が多く、この低速度域は流体の分布域であると考えられる。たとえば、茨城県北部・福島県南東部では、東北地方太平洋沖地震の本震発生の1か月後に M7 の福島県浜通りの地震が発生しており、その大滑り域は高速度体・高比抵抗体に対応し、その深部には流体の存在を示唆する低速度域が広がっていると同時に、大滑り域の周囲は低速度・低比抵抗で特徴づけられ、M7地震の発生前から誘発地震活動が開始していることから、このような構造の違いが地震発生に大きな影響を及ぼしたことが考えられる。また、阿武隈山地を含む前弧域では、東北地方太平洋沖地震発生以前から σ_1 軸がプレート収束方向を向いていない傾向にあり、その原因としては重力によりつくられる応力が、この地域で支配的である可能性があげられる。また S 波偏向異方性の解析結果では、この領域を含む東北地方太平洋沿岸がプレート収束方向とは直交する偏向方向となっており、粘弾性を考慮したモデリングでも地殻浅部で東西伸長が説明できることから、これらの効果が、非常に活発な正断層型地震活動を誘発した原因として考えられる。

(8) 平成 25 年度の成果に関連の深いもので、平成 25 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

1.

吉田圭佑・長谷川昭・岡田知己, 臨時観測データを用いて推定した東北日本の応力場-プレート収束と地形効果-, 地球惑星科学連合 2013 年大会, 2013.

吉田圭佑・長谷川昭・岡田知己, 中島淳一, 臨時観測データを用いて推定した 2011 年東北沖地震前後での東日本地殻内の S 波偏向異方性構造, 日本地震学会 2013 年秋季大会, 2013.

Takashi Iidaka, Jun Muto, Kazushige Obara, Toshihiro Igarashi and Bunichiro Shibasaki, Trench-parallel crustal anisotropy along the trench in the fore-arc region of Japan, *Geophys. Res. Lett.*, DOI: 10.1002/2013GL058359.

2014.

2.

Terakawa, T., Y. Yamanaka, H. Nakamichi, T. Watanabe, F. Yamazaki, S. Horikawa, and T. Okuda, Effects of pore fluid pressure and tectonic stress on diverse seismic activities around the Mt. Ontake volcano, central Japan, *Tectonophysics*, 608, 138-148, 2013.

Terakawa, T., C. Hashimoto, M. Matsu'ura, Changes in Seismic Activity Following the 2011 Tohoku-oki Earthquake: Effects of Pore Fluid Pressure, *Knowledge for the future IAHS-IAPOS-IASPEI IUGG, S303PS.03*, 2013, Gothenburg, SWEDEN.

Terakawa, T., Y. Yamanaka, H. Nakamichi, T. Watanabe, F. Yamazaki, S. Horikawa, T. Okuda, Effects of pore fluid pressure and tectonic stress on diverse seismic activities around the Mt. Ontake volcano, central Japan, *AGU 2013 Fall Meeting, T51D-2492*, 2013, San Francisco, USA.

寺川寿子, 地震の発生における応力と流体の役割: 2011年東北地方太平洋沖地震による誘発地震の発生を例に, *日本地球惑星科学連合 2013年大会, SCG66-08*, 2013. (招待講演)

寺川寿子・S. A. Miller, 地震メカニズムトモグラフィ法によるバーゼル地熱貯留層での間隙流体圧分布の時間発展解析, *日本地震学会 2013年秋季大会*, 2013.

3.

Kosuga, M. and K. Masukawa, 2013, Possible pathway of geofluid suggested by deep low-frequency earthquakes, scattered phase, and migration of earthquakes, *地球惑星科学連合 2013年大会*.

小菅正裕, 2013, 秋田県森吉山周辺で発生している誘発地震の震源のマイグレーション, *日本地震学会 2013年度秋季大会*.

4.

岡田知己・高木涼太・吉田圭佑・米川真紀・山村卓也・長谷川昭・東北地方太平洋沖地震合同余震観測グループ, 2013, 東北沖地震後の内陸誘発地震の地震活動と地殻構造, *地球惑星科学連合 2013年大会*

Okada, T., Matsuzawa, T., Umino, N., Yoshida, K., Hasegawa, A., Takahashi, H., Yamada, T., Kosuga, M., Takeda, T., Kato, A., Igarashi, T., Obara, K., Sakai, S., Saiga, A., Iidaka, T., Iwasaki, T., Hirata, N., Tsumura, N., Yamanaka, Y., Terakawa, T., Nakamichi, H., Okuda, T., Horikawa, S., Katao, H., Miura, T., Kubo, A., Matsushima, T., Goto, K., Miyamachi, H., 2014, Hypocenter migration and crustal seismic velocity distribution observed for the inland earthquake swarms induced by the 2011 Tohoku-Oki earthquake in NE Japan: implications for crustal fluid distribution and crustal permeability, *Geofluids*, under review.

5.

加藤愛太郎, 五十嵐俊博, 小原一成, 酒井慎一, 武田哲也, 岩崎貴哉, 2011年東北地方太平洋沖地震による誘発地震活動域のイメージング, *日本地球惑星科学連合 2013年大会, 幕張, May 20-24, 2013*.

6.

Aitaro Kato, Jun'ichi Fukuda, and Kazushige Obara, Response of seismicity to static and dynamic stress changes induced by the 2011 M9.0 Tohoku-Oki earthquake, *Geophys. Res. Lett.*, 40, doi:10.1002/grl.50699, 2013.

加藤愛太郎, 福田淳一, 小原一成, 2011年東北地方太平洋沖地震がもたらした静的・動的な応力変化による地震活動の応答, *日本地震学会 2013年秋季大会, 横浜, 10月9日, 2013*.

加藤愛太郎, 福田淳一, 小原一成, 2011年東北地方太平洋沖地震後の見かけの地震活動静穏化, *日本地球惑星科学連合 2013年大会, 幕張, May 20-24, 2013*.

Takashi Iidaka and Kazushige Obara, Shear-wave splitting in a region with newly-activated seismicity after the 2011 Tohoku earthquake, *Earth Planets Space*, 65, 1059-1064, 2013.

(9) 実施機関の参加者氏名または部署等名:

小原一成・岩崎貴哉・平田 直・飯高 隆・酒井慎一・上嶋 誠・蔵下英司・五十嵐 俊博・加藤 愛太郎

他機関との共同研究の有無：有

2011年東北地方太平洋沖地震合同余震観測グループ（北海道大学（高橋浩晃・勝俣啓），弘前大学（小菅正裕），東北大学（岡田知己・三浦哲），千葉大学（津村紀子），防災科学技術研究所（武田哲也），名古屋大学（山中佳子・寺川寿子），京都大学防災研究所（片尾浩），高知大学（久保篤規），九州大学（松島健），鹿児島大学（後藤和彦））

(10) 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：東京大学地震研究所

電話：03-5841-5712

e-mail：yotikikaku@eri.u-tokyo.ac.jp

URL：

(11) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：小原一成

所属：東京大学地震研究所

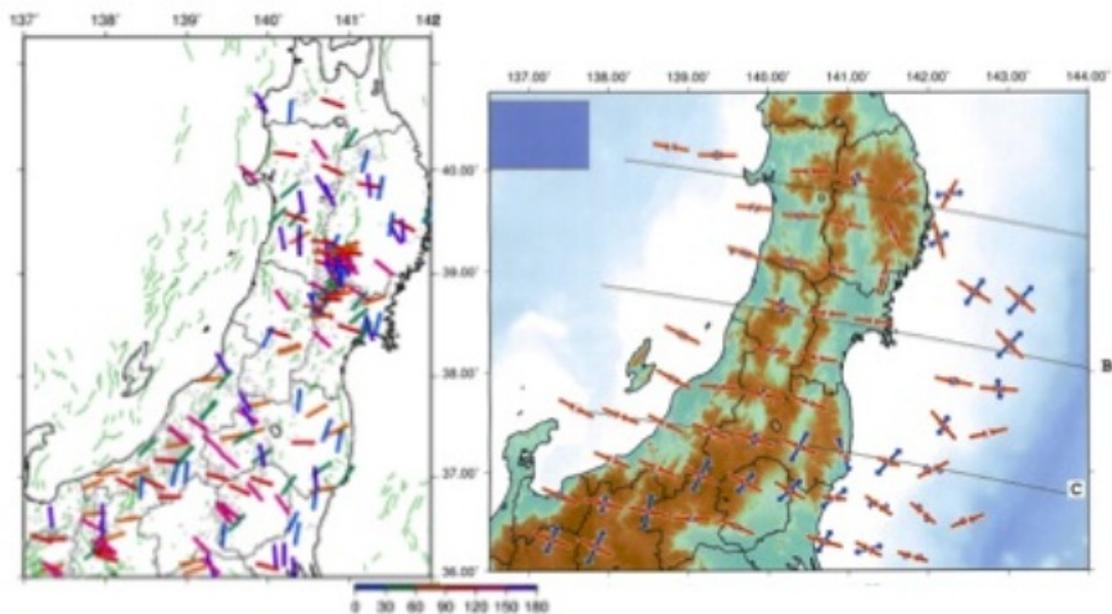


図1-1. S波偏向異方性と上盤側プレート内応力場.

(左) 推定されたS波偏向異方性の平均の方向の分布. S波偏向異方性を推定した観測点の位置に, 速いS波の振動方向の平均方向を示した. 平均の方向を北から東に測った方位角をカラースケールで表す.

(右) 東北沖地震発生前の上盤側プレート内応力場. 赤は最大主応力軸を, 青は最小主応力軸を示す.

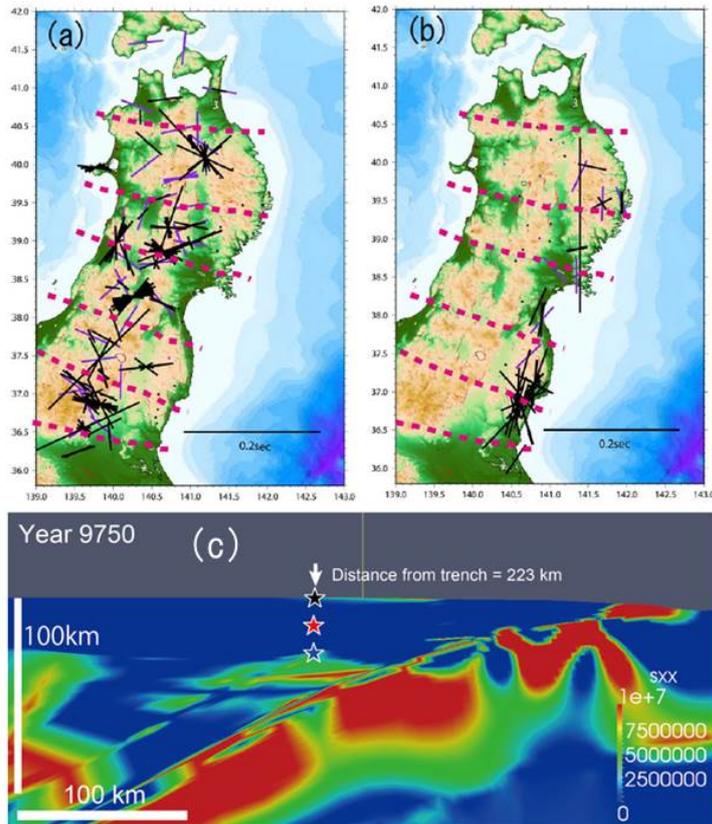


図1-2. S波偏向異方性の分布と応力場モデリング結果.

(a, b) それぞれの観測点直下の地震に対して得られたS波偏向異方性の分布. 解析領域の西側及び東側で得られた結果を(a), (b)に示す. 軸の方向が速い振動方向の方位, 軸の長さが速い振動方向と遅い振動方向の時間差を表す. 紫の点線は Kaneshima(1990)による最大圧縮場の方向である.

(c) 2次元有限要素モデリング開始時から9750年目(プレート境界巨大地震の10サイクル目)の応力場. 青がニュートラルから東西圧縮, 赤が東西伸長の応力場を示す.

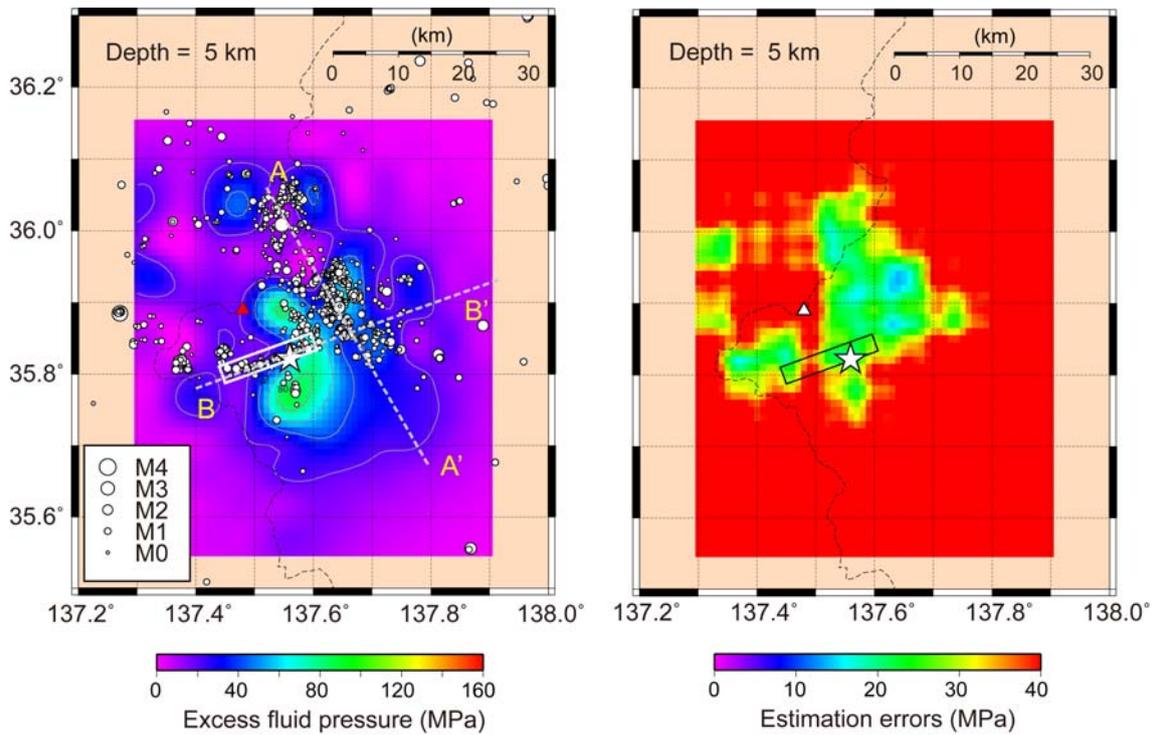


図2-1. 御嶽山周辺域の間隙流体圧場とその推定誤差（深さ5km）

(a) 間隙流体圧分布. 値は静水圧からの超過分を示す. 白い○は本研究で求めた震源分布（深さ3.75-6.25 km）を示す. 白い矩形と☆は1984年長野県西部地震の震源断層および震源を示す. グレーの破線は図2-2で間隙流体圧分布を示した断面の位置を示す. (b) 間隙流体圧の推定誤差分布.

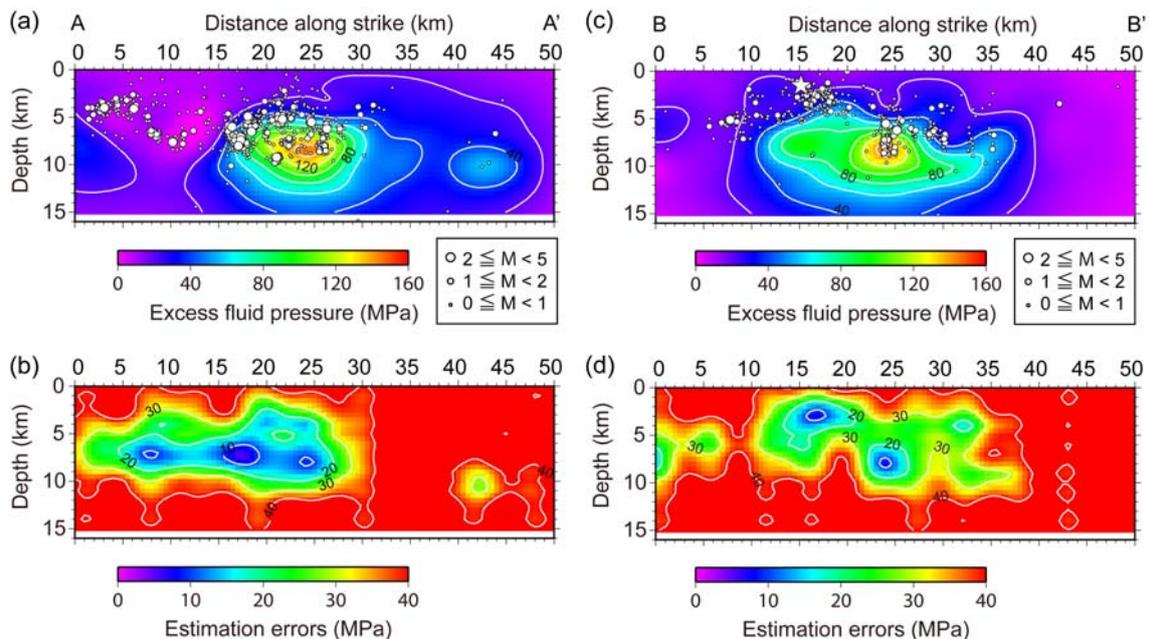


図2-2. 鉛直断面の間隙流体圧分布.

(a) 現在最も地震活動が活発な地域の断面（図2-1のA-A'断面）. 白い○は本研究で求めた震源分布（断面から2km以内の地震）(b) (a)の間隙流体圧の推定誤差. (c) 長野県西部地震の震源断層に沿う断面（図2-1のB-B'断面）. 白い○は(a)と同様. 白い☆は1984年長野県西部地震の震源. (d) (c)の間隙流体圧の推定誤差.

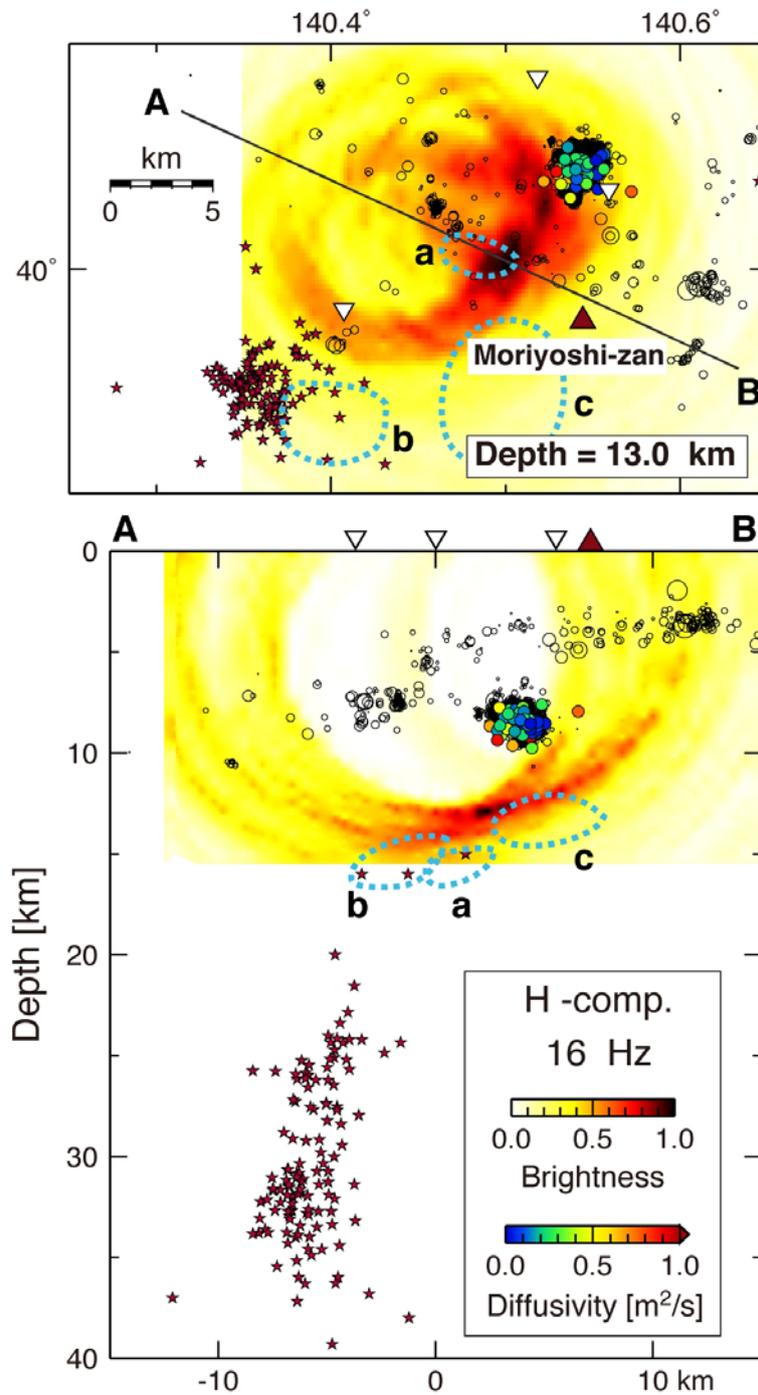
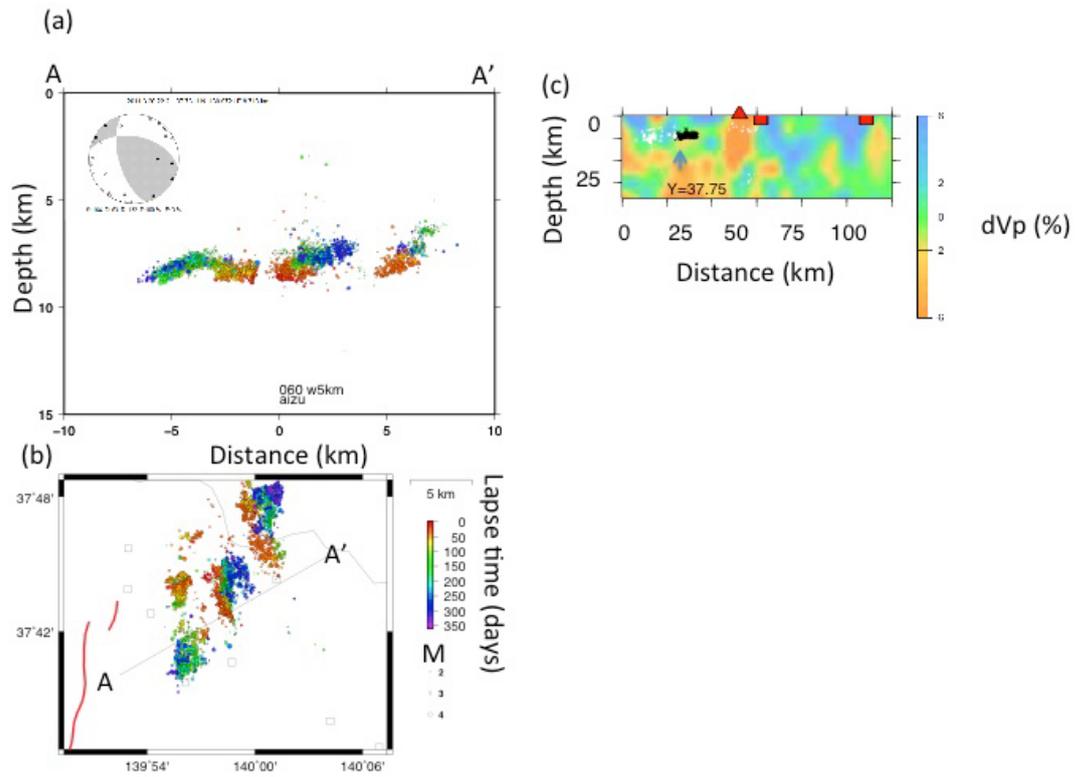


図3. 秋田県森吉山付近の誘発地震活動と散乱源分布.

誘発地震の震源を黒丸、震源のマイグレーションから推定した圧力源の位置を色の付いた丸、及びバックプロジェクション法で求めた輝度（背景の色. 反射/散乱波の波動エネルギーに相当）の分布をカラーパレットで示す. 丸の色は拡散係数を表す. 星印は深部低周波地震の震源. 白い三角形は観測点の位置を示す.



2

図4. 福島・山形県境周辺（磐梯山・吾妻山近傍）で発生した誘発群発地震の震源分布。
 (a) (b)のA-A'に沿う鉛直断面図。色は東北沖地震からの経過時間を示す。代表的なメカニズム解の例をあわせて示す。(b)震央分布図。□は観測点を示す。(c)群発地震の震源域を通るP波速度偏差を、東西鉛直断面図で示す。白点は東北沖地震以前、黒点は東北沖地震後の震源を示す。▲は火山を、■は活断層を示す。

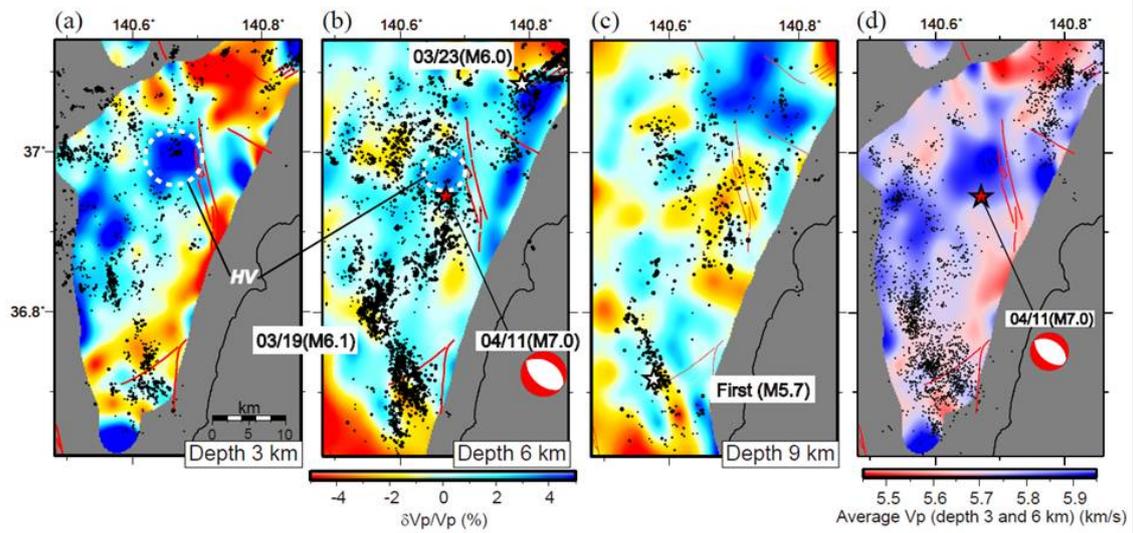


図5-1. P波速度パーターベーションの深さ3 km(a), 6 km (b), 9 km (c)における分布. それぞれの深さの1.5 km以内の再決定震源を黒点で示す. HVは高速度体を表す. (d)は深さ3 kmと6 kmの間の V_p 平均速度. 小さい点は東北地方太平洋沖地震(2011年3月11日)以降M7.0福島県浜通りの地震(2011年4月11日)までの気象庁一元化カタログに掲載されている地震の震央分布を表わす. 赤線は主要活断層を示す.

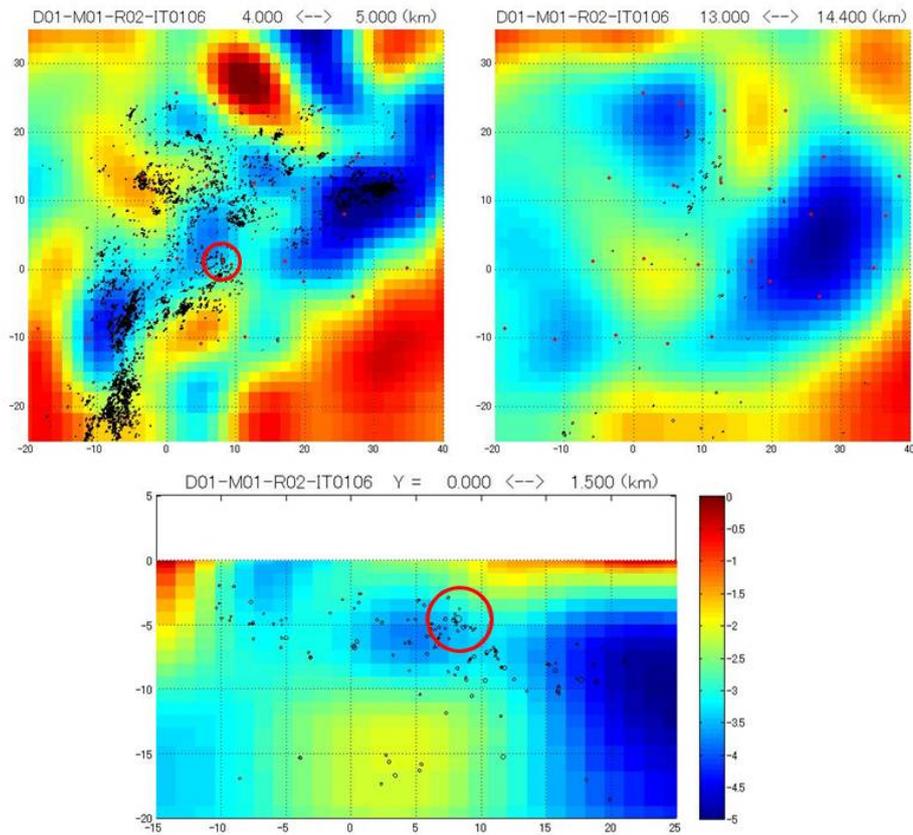


図5-2. 茨城県北部・福島県南東部地域における比抵抗分布。

深さ 4-5 km (上左), 13-14km (上右) における結果を示す。図中の赤点の位置で調査を実施した。また, Y = 0-1.5 km での断面図を示す (下中)。Y 軸は N25 ° W の方向にとり, 北緯 36.903 度, 東経 140.593 度の地点を原点としている。暖色系は比抵抗値が小さく, 寒色系は比抵抗値が大きいことを表わす。また, M7.0 福島県浜通りの地震 (2011 年 4 月 11 日) の位置を赤丸で示す。

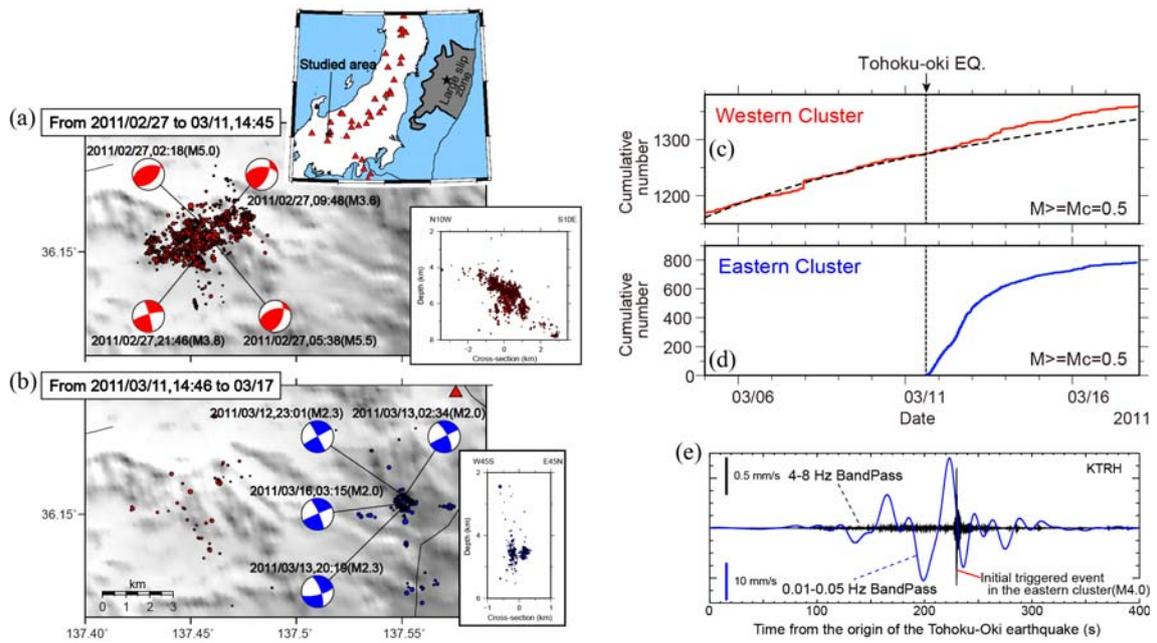


図6. 飛騨山脈付近の東北地方太平洋沖地震発生前後の地震活動と波形例.

(a-b) 震源分布と発震機構解の代表例. 挿入図は震源分布の深度断面を表す. (c-d) 西側と東側の地震クラスターの地震の積算個数の時間変化 ($M \geq 0.5$). (e) 地震観測点 N.KTRH で観測された地震波形 (青線は 0.01-0.05 Hz, 黒線は 4-8 Hz の帯域). 東北地方太平洋沖地震の表面波伝播中に, 東側クラスターの最初の地震が発生したことがわかる.