

## マルチチャンネル反射法地震探査による1983年日本海中部地震震源域～飛鳥沖における地殻構造イメージング Crustal structure imaging around the rupture zone of the 1983 Nihonkai-Chubu earthquake by seismic reflection survey

野 徹雄<sup>1\*</sup>, 佐藤 壮<sup>1</sup>, 高橋 成実<sup>1</sup>, 小平 秀一<sup>1</sup>, 金田 義行<sup>1</sup>

NO, Tetsuo<sup>1\*</sup>, SATO, Takeshi<sup>1</sup>, TAKAHASHI, Narumi<sup>1</sup>, KODAIRA, Shuichi<sup>1</sup>, KANEDA, Yoshiyuki<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 海洋研究開発機構

<sup>1</sup>JAMSTEC

日本海東縁は、1983年日本海中部地震( $M_J7.7$ )や1993年北海道南西沖地震( $M_J7.8$ )など過去に大地震と大津波によって大きな被害地震が繰り返し発生している。このうち、1983年日本海中部地震は、佐渡海嶺西縁から奥尻海嶺西縁にかけて発生し、余震分布や発震機構の解析によって東傾斜の逆断層で引き起こされたとされている(e.g. Urabe et al., 1985 や Sato, 1985)。また、破壊面は3つの領域に分かれているとした震源域の南端付近に位置する破壊の開始点とし、逆くの字型の分布をしており、地殻構造の急変した場所で生じたと推定されている(大竹・他, 2002)。JAMSTECでは、2011年8月5日～8月27日までの期間に、日本海中部地震震源域南部の海域において、深海調査研究船「かいらい」によるマルチチャンネル反射法地震探査と海底地震計による地震探査を行った。この調査域内では、東北地方太平洋沖地震発生後、3月12日に秋田沖にて $M_J6.4$ の地震が発生し、地震活動の変化も生じている。本発表では、日本海中部地震震源域を中心に、男鹿半島沖大陸棚から大和海盆と日本海盆へ遷移する領域までのマルチチャンネル反射法地震探査の結果について報告する。この調査海域は、日本海中部地震震源域付近の地殻構造だけではなく、男鹿半島沖大陸棚における地殻構造や大和海盆・日本海盆と日本海東縁における地震発生との関係を検討する上で重要である。なお、本研究は、科学技術振興調整費「ひずみ集中帯の重点的調査観測・研究」の受託研究として実施した。

本調査は、計11測線でマルチチャンネル反射法地震探査を行った。主なデータ取得仕様は、発震間隔50m、エアガン総容量7800 cu.in. (約128リットル、Tuned airgun array[エアガン数32])、エアガン動作圧力2000 psi (約14 MPa)、エアガン曳航深度10m、受振点間隔12.5m、ストリーマケーブル曳航深度12m、ストリーマケーブルのチャンネル数444、オフセット100～5700m、サンプリング間隔2ms、記録長は16秒である。調査期間中、調査海域周辺の漁業活動による影響などはあったが、データの品質は概ね良好であった。

Preliminary な解析結果ではあるが、日本海中部地震の震源域付近は東傾斜の逆断層を伴った非対称な背斜が発達しており、背斜が発達している西側の地殻内は低周波な反射面が認められる。日本海中部地震震源域付近の基盤は、南側の測線の方が変形は大きい、堆積層内の変形は北側の測線の方が大きい。男鹿半島沖大陸棚に関しては、男鹿半島南部沖では測線の東端付近で急激に基盤深度が深くなり、堆積層の層厚が4秒以上に達する海盆を形成している。堆積層内には背斜が発達していて、基盤は低周波なイメージで不明瞭である。男鹿半島北部沖では、堆積層の層厚は最大2秒程度で南部沖と比較すると薄い、西傾斜の逆断層を伴った非対称な背斜が明瞭に発達しており、南部沖と比較すると変形構造の発達が顕著である。大和海盆・日本海盆においては、日本海盆に位置する北側の測線の方がモホ面の反射面を明瞭に確認することができ、地殻内も reflective で地殻全体を横切るようなコヒーレントな反射面も複数確認できる。

キーワード: 日本海東縁, ひずみ集中帯, 反射法地震探査, 日本海中部地震

Keywords: the eastern margin of the Japan Sea, strain concentration areas, seismic reflection survey, 1983 Nihonkai-Chubu Earthquake

## 海底地震計を用いた地震探査による日本海盆南縁部～男鹿半島北方沖・1983年日本海中部地震震源域の地震波速度構造 Seismic velocity image off the northern Oga Peninsula in the Japan Sea, deduced from the offshore seismic survey

佐藤 壮<sup>1\*</sup>, 野 徹雄<sup>1</sup>, 高橋 成実<sup>1</sup>, 小平 秀一<sup>1</sup>, 金田 義行<sup>1</sup>

SATO, Takeshi<sup>1\*</sup>, NO, Tetsuo<sup>1</sup>, TAKAHASHI, Narumi<sup>1</sup>, KODAIRA, Shuichi<sup>1</sup>, KANEDA, Yoshiyuki<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 海洋研究開発機構

<sup>1</sup>JAMSTEC

日本海東縁部では、約 30 Ma からの日本海拡大による伸張変形とその後約 3.5 Ma からの短縮変形により、褶曲 - 断層帯が発達、集中的に分布し (Sato, 1994)、多くの被害地震 (例えば、2004 年新潟県中越地震、2007 年新潟県中越沖地震) が発生している。しかしながら、日本海東縁部で発生する被害地震と、伸張・短縮変形を受けた地殻構造や褶曲 - 断層帯中の活断層、活褶曲との関係はよくわかっていない。被害地震と活断層、活褶曲を含めた地殻構造との関係を知るためには、日本海拡大の伸張変形のみで形成された日本海盆や大和海盆の海盆域から、伸張・短縮変形の集中により褶曲 - 断層帯が発達している日本海東縁部の大陸棚部にかけての地殻・最上部マントル構造の全体像を知ることは重要である。そこで、1983 年日本海中部地震の震源域と考えられている日本海東縁部の男鹿半島北方沖海域の地殻・最上部マントル構造を明らかにするために、2011 年に屈折法・広角反射法地震探査を実施した。本発表では、本探査で得られた地震波速度構造を報告する。

屈折法・広角反射法地震探査は、日本海盆南縁部から 1983 年日本海中部地震の震源域を横切り、粟島 - 男鹿断層帯 (岡村他, 1998) が位置する男鹿半島北方沖の大陸棚部にかけて、海底地震計 55 台と制御震源としてエアガンアレー (総容量 7,800 cubic inch) を用いて実施した。本探査の測線長は約 283 km である。海底地震計で得られたエアガン発振の記録では、堆積層を含めた地殻内、最上部マントルを通過した屈折波だけではなく、地殻、最上部マントル内からの反射波も確認できている。本研究では、探査測線下の地震波速度構造と反射面形状を求めるために、初動走時を用いたトモグラフィックインバージョン (Zhang et al., 1998) と後続の反射波走時を用いたマッピング法 (Fujie et al., 2006) を行った。

現在求まっている暫定結果は以下の通りである。日本海盆南縁部の地殻の厚さは約 9 km であり、佐渡島北西沖、粟島沖の大和海盆の地殻の厚さよりも十分に薄い。この日本海盆南縁部の地殻は、水深 3,000 m 付近で厚くなり始めている。地殻が厚くなり始める部分は、岡村他 (1998) で指摘されている奥尻海嶺から松前海台の西縁にかけて南西方向に分布している活構造帯に対応している。また、陸域にいくにしたがって、地殻は徐々に厚くなり、1983 年日本海中部地震の震源域下の厚さは約 19 km、モホ面は約 21 km に位置している。さらにこの震源域下では、上・中部地殻、下部地殻ともに P 波速度は周りと異なっており、P 波速度が異なっている地域の南東側の境界面は、1983 年日本海中部地震に関連する断層面に対応している可能性がある。日本海中部地震の震源域より陸側の大陸棚部では、活構造帯 (岡村他, 1998) に対応していると考えられる速度構造の不均質が確認でき、この不均質は一部では深さ約 10 km まで分布している。

本研究は科学技術振興調整費「ひずみ集中帯の重点的調査観測・研究」(文部科学省, 2008) の一環として実施した。

## ひずみ集中帯稠密直線アレイのレシーバ関数解析～序報

### Subsurface image inferred from receiver functions using a dense linear array in Niigata region: Preliminary results

汐見 勝彦<sup>1\*</sup>, 武田 哲也<sup>1</sup>, 関口 渉次<sup>1</sup>

SHIOMI, Katsuhiko<sup>1\*</sup>, TAKEDA, Tetsuya<sup>1</sup>, SEKIGUCHI, Shoji<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 防災科学技術研究所

<sup>1</sup>NIED

防災科学技術研究所では、文部科学省委託研究「ひずみ集中帯の重点的調査観測・研究」において、佐渡島から磐梯山南麓を結ぶ直線状の地震計アレイ（以下、直線アレイ）を設置し、臨時地震観測を行ってきた。今回、ひずみ集中帯域およびその周辺における地殻・最上部マントル構造の特徴を把握するため、この臨時観測および基盤観測網で得られたデータにレシーバ関数解析法を適用したので、その結果について報告する。

解析に用いた直線アレイは、臨時に設置した固有周期 1Hz の 3 成分速度型地震計 31 観測点および防災科研 Hi-net の津川、高郷両観測点からなる。臨時点については 2008 年 11 月から 2011 年 9 月、Hi-net 観測点については 2000 年 10 月から 2011 年 11 月までの間に発生した M5.5 以上の遠地地震記録を抽出し、十分な S/N を持つ観測記録に対してレシーバ関数の推定を行った。この際、1Hz および 2Hz をコーナー周波数とする低域通過フィルタを適用し、2 種類のレシーバ関数を得た。なお、本解析では、直線アレイからわずかに離れている防災科研 F-net の赤泊観測点についても、参考として同様の解析を行った。

磐梯山南麓および越後山脈内に設置された観測点では、比較的良好な記録が多数得られた。各観測点において、動径方向（radial）成分のレシーバ関数の経過時間 4~4.5 秒付近に明瞭な変換波位相が到着している。この到着時間は、おおそ深さ 35km 程度に存在する速度不連続面で励起したと考えられることから、モホ面起源と推定できる。この位相と同時間帯の transverse 成分レシーバ関数を見ると、一部の観測点において、地震波到来方向が 180 度（南）、270 度（西）、360 度（北）付近で位相の極性の逆転が発生していた。この特徴は、軸が南北あるいは東西を向く異方性媒質がモホ面付近に存在することを意味しており、この地域を対象とした S 波偏向異方性解析の結果 [例えば、榊原（2004）] と調和的である。ただし、近接している観測点において、特徴が全く異なるレシーバ関数が得られている例もあり、今後、より詳細な検討が必要である。新潟平野縁辺部に位置する観測点では、直達 P 波に相当する位相（経過時間ゼロに出現するパルス）の幅広化や遅延が顕著に見られた。同様の特徴は、国仲平野（佐渡島）や会津盆地に設置された観測点でも確認することが出来る。この特徴は、地表付近に低速度な層が厚く存在する場合に発生することが知られており、この場合、表層部分の多重反射波が顕著となり、モホ面からの変換波の到着時刻と重なることがある [汐見・小原（2005）; 地震 2]。そのため、これらの観測点で得られるレシーバ関数そのものの視覚的特徴から地殻構造を評価することは難しく、逆解析等の追加解析が必要となる。なお、これらの観測点において、2Hz のフィルタを適用した場合は、安定した結果を得ることが出来なかった。新潟平野内の観測点では、1Hz のフィルタを適用した場合であっても安定したレシーバ関数は推定出来ていない。これは、観測点が市街地にあることによる S/N の問題のほか、厚い堆積層内やその底面と地表面等との多重反射の影響があると考えられる。

今後は、レシーバ関数から得られる地殻内の異方性モデルの構築と S 波偏向異方性の比較、モホ面形状モデルの作成等を進める予定である。

キーワード: レシーバ関数, ひずみ集中帯, モホ面, 異方性

Keywords: Receiver function, High strain rate zone, Moho discontinuity, Anisotropy

## 東北日本背弧域のひずみ集中の諸問題

### Some problems on the deformation of the back arc region of Northern Honshu arc, Japan

佐藤 比呂志<sup>1\*</sup>, 石山 達也<sup>1</sup>

SATO, Hiroshi<sup>1\*</sup>, ISHIYAMA, Tatsuya<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 東京大学地震研究所

<sup>1</sup>ERI, Univ. Tokyo

太平洋プレートの沈み込みに伴う上盤プレートの変形は、プレート境界のカップリング強度など、プレート境界部での条件に一義的には大きく作用される。上盤プレートの変形については最も基本的なものは、リソスフェアの形状である。とくにウェッジマントル部分の大きな強度を有する部分と、背弧海盆域のリソスフェアの厚さについてのいかに妥当な形状を求めるかが、上盤プレートの長時間変形を考える場合、極めて重要である。東北日本背弧側の地質学的な短縮変形は、脊梁部から増大し、日本海東縁で最大となるが、基本的には温度構造を背景にした脊梁部でのリソスフェアの薄化、下部地殻の強度弱体化に起因し、さらには日本海拡大期のリフトによる上部地殻の薄化、断層形成などによる全体としての強度低下が推定される。リフト帯の断層褶曲帯の形成は、基本的には正断層の再活動によって達成されているが、その再活動帯には背弧側の西端にフロントがあり、再活動はその東側に限られる。これらの変形の基本的な形状には、沈み込み運動による火成活動も要因の一つではあるが、基本的には日本海上部マントル中のリソスフェアの形状が、一義的には重要である。

地質学的な塑性変形速度と、測地学的な変形速度には大きな乖離があり、2011年東北沖地震に伴う地殻変動は、そうした乖離を含めて、島弧における応力-ひずみの蓄積と解放を理解するために極めて重要である。とくに、地震発生前には新潟-神戸のひずみ集中帯が注目されていたが、同時に2011年東北沖地震のすべりの大きな領域には、短縮変形域が形成され、ここでは2003年宮城沖・2008年岩手宮城内陸地震が発生しており、東北沖地震のひずみ蓄積過程として理解することができる。

こうしたプレート境界から伝えられる応力やひずみがどのようにして蓄積され、そして解放されるのかを正しく理解するには、どの程度の塑性ひずみが上盤プレートに蓄積されているのかという、ひずみの収支を三次元的に理解する必要がある。これは極めて重要な課題であり、地球科学の全ての知識を動員して、モデル化を行っていくと同時に、必要な調査を海域に渡って進めていく必要がある。

## 東北日本弧の構成岩石モデルの構築とその問題 Petrological crustal structure model of the northeast Honshu arc, Japan

石川 正弘<sup>1\*</sup>ISHIKAWA, Masahiro<sup>1\*</sup><sup>1</sup> 横浜国立大学・大学院環境情報研究院<sup>1</sup>Yokohama National University

3月11日に三陸沖を震源とするマグニチュード9の巨大地震（東北地方太平洋沖地震）が発生した。それ以降、日本列島では東北日本の余効変動の影響で、島弧地殻内部を震源とする比較的規模の大きい内陸地震が多数発生している。しかし、島弧地殻内部を震源とする地震の分布は不均質であり、例えば、いわき市周辺地域では比較的多くの内陸地震が発生している。東北地方太平洋沖地震以降の東北日本の余効変動やそれに伴う内陸地震発生の不均質な分布は、東北本州弧の地殻や最上部マントルの粘性や強度を反映していると考えられるので、地殻・最上部マントルを構成する岩石種、鉱物組み合わせと構成鉱物体積比、鉱物化学組成を推測することが重要である。

東北日本の下部地殻の不均質についてはにより報告されている。この研究では一の目濁捕獲岩を使用し、温度 $\sim 800$ 、圧力 $\sim 1.0$  GPaの高温高压条件下でP波（ $V_p$ ）・S波（ $V_s$ ）測定を行ない、P波速度構造ならびに地震波速度トモグラフィーの岩石学的な解釈を行った。その結果、下部地殻において、背弧側では、日本海沿岸部は角閃石輝石はんれい岩、東北本州弧西側は角閃石はんれい岩が分布すると推定された。背弧側の鳥海山周辺と奥羽脊梁山脈地域の火山体周辺では、角閃石はんれい岩が部分熔融状態にある可能性が高い。北上山地は東北本州弧の中では特異な地震波速度値を示し、相対的に石英に富む岩石が分布すると推定された。この下部地殻の不均質性は東北本州弧の地質発達史と対応する。すなわち「北上山地の古い地殻」、「背弧海盆拡大期における日本海西縁及び沿岸部の大和海盆・飛鳥海盆の新しい地殻」、「鳥弧火山活動期における奥羽脊梁山脈での火山体の発達に対応する現在の地殻」、という長い地質発達史のなかでそれぞれに特徴的な下部地殻が形成されたと考えられる。下部地殻における輝石や石英の有無は下部地殻の粘性を見積もる上では非常に重要な情報である。地殻深部の粘性は東北日本の余効変動を理解する上で、決定的に重要なパラメータであるので、島弧の地殻深部の構成岩石の不均質性をより高精度に明らかにすることは、今後の東北日本の余効変動予測に向けた重要な戦略の一つと捉えている。そのためには、Nishimoto et al. (2008)の例で示されたように、岩石の弾性波速度データを用い、地殻構造探査や自然地震観測から得られた日本列島の地震波速度・地震波速度パータベーション・ $V_p/V_s$ 構造を統合的に説明する地殻構成岩石モデルを構築することが有効であると考えている。

さらにNishimoto et al. (2008)の地殻構成岩石モデルを拡張させる重要なポイントは、最新の地震波速度・地震波速度パータベーション・ $V_p/V_s$ 構造を用いてより広範囲、より高精度な地殻構成岩石モデルを構築することである。具体的には、太平洋沿岸から日本海溝にいたる東北本州弧海域の地殻構成岩石モデルを加えて、海溝域から日本海にいたる東北本州弧全体の地殻構成岩石モデルを構築することである。海溝域から日本海にいたる地殻構成岩石モデルを踏まえたうえで、地殻深部粘性や島弧地殻強度の分布をモデリングし、東北地方太平洋沖地震以降の東北日本の余効変動をより高い精度で評価することが可能となると期待される。また、南北方向への地殻構成岩石モデルの拡張も欠かせないと考えている。東北地方太平洋沖地震以降、余効変動と関連していると思われる内陸地震がいわき市周辺地域において比較的多く発生しており、周辺の地殻構成岩石モデルの構築は急務と考えている。最大級の内陸地震の一つとして、福島県浜通りにおいて2011年4月11日にM7.0の地震（震源深さ6 km）が発生しており、この内陸地震に伴って、塩ノ平断層に沿って地表地震断層（正断層）が出現している。塩ノ平断層の分布する基盤地質は阿武隈変成帯の東半分を占める御斎所変成岩類（緑色片岩や角閃岩を主要構成岩石として、変成チャートや泥質片岩を含む）であり、地表地質としては比較的硬い結晶質な岩石が分布している地域である。御斎所変成岩類は玄武岩類を主とするジュラ紀付加体が変成したものであり、周囲には白亜紀花崗岩を大量に伴う。地質発達史の時間軸の中では、前述の「北上山地の古い地殻」と「背弧海盆拡大期」の間に位置するものであり、その下部地殻の特徴を明らかにすることは、東北本州弧全体の地殻構成岩石モデルを構築する上で欠かせない課題の一つである。

キーワード: 地殻, 弾性波速度, 地震波速度, 東北, 島弧

Keywords: crust, elastic wave velocity, seismic velocity, Tohoku, island arc

## 東北日本弧の基盤構造と下部地殻構成岩石 Basement structures and lower crustal rocks of the NE Japan arc

吉田 武義<sup>1\*</sup>, 趙 大鵬<sup>2</sup>, 黄周伝<sup>2</sup>, 海野 徳仁<sup>2</sup>, 中島 淳一<sup>2</sup>, 松澤 暢<sup>2</sup>, 長谷川 昭<sup>2</sup>

YOSHIDA, Takeyoshi<sup>1\*</sup>, Dapeng ZHAO<sup>2</sup>, Zhouchuan HUANG<sup>2</sup>, Norihito UMINO<sup>2</sup>, Junichi NAKAJIMA<sup>2</sup>, Toru MATSUZAWA<sup>2</sup>, Akira HASEGAWA<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 東北大・理・地球惑星物質, <sup>2</sup> 東北大・理・予知セ

<sup>1</sup>Inst. Min. Petr. Econ. Geol., Graduate School of Sci., Tohoku Univ., <sup>2</sup>RCPEV, Graduate School of Sci., Tohoku Univ.

東北日本弧は典型的な背弧を伴う島弧のひとつである。近年、東北日本弧の地殻構造について、多くの新しい知見が得られてきている(例えば、佐藤ら、2004; Nakajima et al., 2006; Nishimoto et al., 2005, 2008、吉田、2009; Huang et al., 2010; Zhao et al., 2011、他)。それらによれば、東北日本弧の地殻構造は、弧を横切る断面においても、弧に沿った断面においても、顕著な不均質性を有している。それらの不均質性の多くは、東北本州弧で生じた火成活動や構造発達史と密接に関連している様に見える。

佐藤ら(2004)は反射法地震探査で観測された上部地殻が示す顕著なくびれを、それぞれ時期が異なる大和海盆の形成と北部本州リフト系の形成に対応していると解釈した。また、Nishimoto et al.(2005)は、多様な岩石から構成される目濁ゼノリスについて、 $V_p$ を決定し、それらに基づいて、東北日本弧の地殻構成岩石を検討し、下部地殻が主に角閃石を含む含水苦鉄質岩から構成されていることを明らかにした。さらに、Nishimoto et al.(2008)は、これらの目濁ゼノリスについて、高温高压下で $V_p$ 、 $V_s$ を同時測定し、その結果と地震波トモグラフィーの結果とを対応させて、東北日本弧下部地殻の構成岩石について、より詳細に検討している。その結果は、背弧海盆の形成に伴い生じた上部地殻が示す顕著なくびれに対応した下部地殻岩の不均質性が認められることを明瞭に示すとともに、大陸の断片である北上山地の下部地殻が背弧側第三系分布域の下部地殻とは明瞭に異なる性質を有していることを明らかにしている。また、中島ら(Nakajima et al., 2006)は、前弧域に位置する仙台西方の詳細な地震波トモグラフィーを示し、その地震波速度やポアソン比から、それらが、新生代の堆積岩層、流体を有し冷却途上にある浅所深成岩体、流体で充填された割れ目系の発達した部分、苦鉄質深成岩体、そして部分溶融した下部地殻岩等から構成されていることを示し、吉田(2008)はこれらの多様な速度ユニットの多くが火山フロント~前弧域での島弧火成活動の産物であることを示している。

本報告では、これらの最近の実験、観測結果より明らかになってきた島弧地殻にみられる多様な不均質性を、地質学的に構築されている東北日本弧の火成活動史や構造発達史と対応させて検討し、より詳細な地殻構造モデルの構築を試みた。Huang et al.(2010)、Zhao et al.(2011)は、日本海東縁部について、詳しい $V_p$ 、 $V_s$ トモグラフィ像を得て、その意義について議論している。彼らの結果を東北日本弧の基盤構造と対比するとともに、Nishimoto et al.(2008)の成果等と比較して、岩石学的モデルについて検討を行った。その結果、Huang et al.(2010)やZhao et al.(2011)により新たに得られた日本海東縁部についての $V_p$ 、 $V_s$ 値の広域的な変化は、この地域の地質構造、特に棚倉構造線や日本海拡大時に形成されたリフト構造の分布と極めて密接な対応をしていることが明らかとなった。このうち、棚倉構造線は背弧側においてVolcanic Rear Edge(火山分布の背弧側境界線)と重なっているが、これを境に、地震波異方性の広域分布が火山分布域での東西方向から、非火山分布域での北西-南東方向へと変化しており、火山分布域と非火山分布域の間には、マントル岩の異方性に違いがあり、日本海拡大後に活発な火山活動域であった火山分布域では、異方性が太平洋プレートの沈み込み方向に平行な東西に揃ったのに対して、非火山分布域では、より古い構造が保持されていると推定される。また、前弧側の北上山地の下部地殻岩が石英を多く含んだハンレイ岩~花崗岩質岩である(Nishimoto et al., 2008)のに対して、棚倉構造線より西側において分布する花崗岩質下部地殻岩にはアルカリ長石が、より多く含有されていることが、 $V_p$ 、 $V_s$ 値から推定される。このことは、棚倉構造線を境にして、下部地殻岩の性質が東側で、より海洋的で、西側で、より大陸的な特徴を示していることを示唆しているとともに、これまで棚倉構造線を境に、東側が、より新しい東北日本弧、西側が、より古い歴史をもつ西南日本弧に属するとされていることと調和的である。

キーワード: 日本海東縁部, 地震波トモグラフィー, 棚倉構造線, 大陸地殻

Keywords: Japan Sea, 3-D velocity structure, Tanakura tectonic line, Continental crust

## 海底地震観測から得られている日本海下の地震学的構造：今後の観測に向けて Seismic structures below the Japan Sea compiled from results of ocean bottom seismo- graphic observations

篠原 雅尚<sup>1\*</sup>, 中東 和夫<sup>1</sup>, 塩原 肇<sup>1</sup>

SHINOHARA, Masanao<sup>1\*</sup>, NAKAHIGASHI, Kazuo<sup>1</sup>, SHIOBARA, Hajime<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 東京大学地震研究所

<sup>1</sup>Earthquake Research Institute, University of Tokyo

The Japan Sea is one of back-arc basins in the northwestern Pacific, and is believed to be formed in association with subduction of an oceanic plate below the Japan island arc. Because seismic structure below the Japan Sea is important for revealing the formation of the Japan Sea and the present tectonics of the Japan island arc system, numerous seismic survey using ocean bottom seismometers and controlled seismic sources have been carried out since 1980's. As a result, the Japan Sea becomes one of the most well studied back-arc basins in the world. The northeastern area of the Japan Sea (the Japan Basin) has an oceanic crust. The crustal structures which are neither a typical oceanic nor continental crust were found in the Yamato Basin and the Tsushima Basin in the central part of the Japan Sea. The crustal thicknesses of both the basins are approximately twice that of the oceanic crust. The Kita-Oki Bank which is a topographic high in the southern Japan Sea comprises. In eastern margins of the Japan Sea, it is found that the crusts become thicker toward the Japan island and a variation of thickness of the upper crust is larger than that of the lower crust. It is also essential to obtain the deep seismic structure beneath the Japan Sea. From 2001 to 2004, long-term seismic observations were performed in the Sea using OBSs including broadband type to estimate the deep structure. The broadband OBS data enable an analysis of surface waves, and the estimated S-wave model does not have a large low-velocity zone in the upper mantle. In addition, travel time tomography analysis shows a high velocity anomaly in the mantle wedge extends down to a depth of approximately 150 km beneath the Yamato Basin. To obtain a variation of thickness of the lithosphere of the Japan Sea is necessary to elucidate the formation of the Sea and the dynamics of the arc-trench system at the present. Therefore sea floor long-term seismic observations using broadband seismic sensor are needed.

## 反射法地震探査と活断層の変位速度から推定した東北日本南部の長期間地殻変動 Long-term permanent strain accumulation in southern Northeast Japan estimated from seismic reflection data and rates of

石山 達也<sup>1\*</sup>, 佐藤 比呂志<sup>1</sup>

ISHIYAMA, Tatsuya<sup>1\*</sup>, SATO, Hiroshi<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 東京大学地震研究所

<sup>1</sup>ERI, University of Tokyo

東北日本はユーラシア大陸縁辺のプレート間相互作用に伴い形成された島弧である。近年、ひずみ集中帯プロジェクトを中心とした精力的な地殻構造調査により、長期間地殻変動に重要な寄与をする活断層の浅部から深部にかけての構造が明らかになりつつある。さらに、変動地形学・第四紀地質学による活構造の理解についての進展と第四系層序データが蓄積され、新たな活構造の抽出やひずみ速度の推定が可能になってきた。そこで、本研究では、東北日本南部（富山トラフ・阿武隈山地）の島弧横断方向における活断層の浅部から深部構造と地表で求められるすべり速度に基づくひずみ速度分布を求めた。その結果、ひずみ速度は角田-弥彦断層で最大となり、いずれも  $10^{-8}$ /yr オーダーであるが、背弧域で大きくなり、前弧域で小さくなる。一方、活断層・活褶曲による上下変動の成分を除去した長波長地殻変動は、佐渡海峡から新潟平野にかけて最大となり、 $2-3$  mm/yr 程度の沈降となる。それ以外は波長  $50$  km 程度の隆起域がみられ、隆起速度は  $0.3$  mm/yr 程度と沈降速度の絶対値に比べてかなり小さい。陸棚斜面から海溝にかけては  $0.1$  mm/yr オーダーの沈降域となる。



## 歴史地震から見たひずみ集中帯 - 1762年宝暦佐渡の地震など

### The Research of Historical Earthquakes on the Eastern Margin of Japan Sea - 1762 Horeki Sado Earthquake etc.

松浦 律子<sup>1\*</sup>, 古村 美津子<sup>1</sup>, 岩佐 幸治<sup>1</sup>, 関根 真弓<sup>1</sup>, 鈴木 保典<sup>1</sup>

MATSU'URA, Ritsuko S.<sup>1\*</sup>, FURUMURA, Mitsuko<sup>1</sup>, IWASA, Koji<sup>1</sup>, SEKINE, Mayumi<sup>1</sup>, SUZUKI, Yasunori<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 地震予知総合研究振興会

<sup>1</sup> ADEP, ERC

ひずみ集中帯に発生する地震像を明らかにするため、我々は、江戸時代以降明治・大正・昭和・平成に発生したこの地域の地震に関する資料を収集・解析し、長期評価の精度向上に役立つよう、地震活動の履歴を詳細に検討してきた。糸魚川-静岡構造線までの主として東北～北信越地域の日本海東縁部のひずみ集中帯では、江戸時代以降でも50個近い被害地震が知られており、地震被害への配慮が必要な地域である。プロジェクト4年目には1762年宝暦佐渡の地震に加えてプロジェクト開始前に解析済みであった1644年正保本荘、1666年寛文越後高田、1670年寛文西蒲原、1694年元禄能代、1704年宝永津軽・羽後、1714年正徳信濃小谷、1762年宝暦越後新潟三條、1766年明和津軽、1791年寛政松本、1804年文化象潟、1828年文政越後三條、1847年弘化越後高田、1848年弘化津軽、1855年安政飛騨白川、1858年安政信濃大町の15地震に関してその後公表された史料の情報を加えて震度情報を増やす作業を行った。その結果新たに震度点が追加された地震が9、既に震度判定した地点の情報が増えた地震が4、前解析以降に新史料も新たな研究もなかった地震が2であった。これら追加解析の中で大きい変更があったのは1670年寛文西蒲原である。石橋(2011)の指摘によってこれまで江戸とされていた史料一点が会津若松の記述であることが判明した。これによって石橋は沼越峠断層や月岡断層あたりを震源と示唆しているが、むしろ会津若松震度情報の追加は、従来の我々の結果である、震源は文政三條地震の北隣で、サイズは三條地震よりやや小さい、を補強している。1762年宝暦佐渡の地震は、従来震源は1964年新潟地震の西隣とされてきた。今回の解析からは、佐渡島北西端の津波被害から震源は地震本部の長期評価の佐渡島北方沖領域の一部分、と考えられる。近世以降現代までを見ると、ひずみ集中帯では陸部ではM7程度、海域ではM7.5-8.0の被害地震が数列の帯状の領域を次々埋めるように発生してきているようである。

キーワード: ひずみ集中帯, 日本海東縁部, 歴史地震, 1762年宝暦佐渡地震, 1670年寛文西蒲原地震

Keywords: the concentrated deformation zone, Eastern Margin of Japan Sea, historical earthquakes, 1762 Horeki Sado earthquake, 1670 Kanbun Nishi-Kanbara earthquake

## 新潟南部地域における地震動・微動・GPS連続観測

### Strong ground motion, ambient noise, and GPS continuous observation in southern Niigata prefecture, JAPAN

吉見 雅行<sup>1\*</sup>, 林田 拓己<sup>1</sup>, 岡村 行信<sup>1</sup>, 堀川 晴央<sup>1</sup>, 竿本 英貴<sup>1</sup>

YOSHIMI, Masayuki<sup>1\*</sup>, HAYASHIDA, Takumi<sup>1</sup>, OKAMURA, Yukinobu<sup>1</sup>, HORIKAWA, Haruo<sup>1</sup>, SAOMOTO, Hidetaka<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 産業技術総合研究所 活断層・地震研究センター

<sup>1</sup> Geological Survey of Japan, AIST

新潟県柏崎市から南魚沼市に至る東西 50km 南北 15km 程度の範囲に、15 台の地震動・微動連続観測点と 31 台の GPS 連続観測点（うち 30 台は GPS+GLONASS）からなる観測網を構築した。

地震動・微動連続観測においては、弱震-強震対応の 3 成分速度計（東京測振製 VSE-355EI もしくは VSE-355JE）を設置した。観測点間隔は 5-10km である。水平 2 成分上下 1 成分を 1V/m/s の低感度値と 1000V/m/s の高感度値の両方を記録するものとした。集録周波数は 100Hz である。これらは全てオフライン観測とした。データは適宜回収し、自然地震動記録の収集のほか、増幅特性の把握、地震波干渉法解析（林田・吉見、本大会）に供した。なお、地震観測点網を覆うように微動アレイ探査を実施した（吉見・ほか、本大会）。

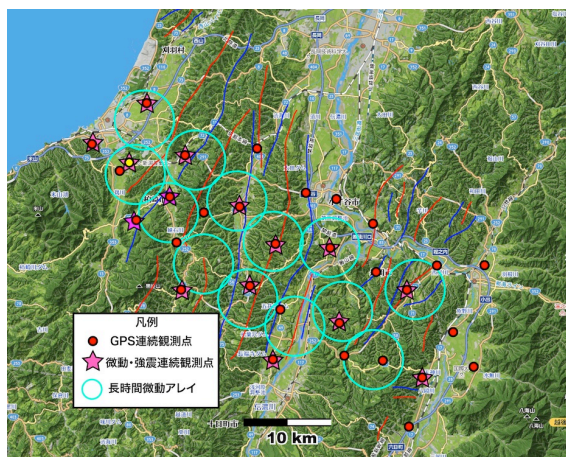
地殻変動の把握を目的とした GPS 連続観測においては地域の变形場の状況を予測して観測点を選定することが重要である。新潟南部地域は褶曲構造が発達しており、褶曲軸の走向はおよそ北北東-南南西から北東-南西方向である。地殻変動は褶曲軸直交方向に変化すると予想されるため、背斜、向斜の双方に観測点がほぼ均一に分布するように観測点を設置した。観測点間隔はおよそ 5km である。建造物の屋上外壁を中心とする計 31 点に 2 周波型の GPS 観測装置を設置し観測を実施した。観測は 30 秒サンプリングで連続観測とした。取得データは、国土地理院の GEONET と IGS 観測データを併せて詳細な座標決定を行い、地殻変動解析を行った（吉見・ほか、本大会）

今後はこれらのデータを総合することで、当該地域の地下構造および变形特性の把握を進め、当該地域の地震動予測の高度化に役立てる予定である。

本研究は独立行政法人原子力安全基盤機構の新潟工科大学敷地内における深部地震動観測システムプロジェクトの一環である「柏崎深部地震動観測サイト周辺の広域地下構造調査」の一部として実施した。

キーワード: 地震動, 微動, GPS, 新潟, 連続観測

Keywords: ground motion, ambient noise, GPS, Niigata, continuous observation



## 石狩低地東縁断層帯周辺の比抵抗構造 ( 3 )

### Resistivity structure around the Ishikari-teichi-toen fault zone, Hokkaido, Japan (3)

山谷 祐介<sup>1\*</sup>, 茂木 透<sup>2</sup>, 本多 亮<sup>2</sup>, 長谷 英彰<sup>1</sup>, 鈴木 敦生<sup>2</sup>, 橋本 武志<sup>2</sup>, 上嶋 誠<sup>1</sup>

YAMAYA, Yusuke<sup>1\*</sup>, MOGI, Toru<sup>2</sup>, HONDA, Ryo<sup>2</sup>, HASE, Hideaki<sup>1</sup>, Atsuo Suzuki<sup>2</sup>, HASHIMOTO, Takeshi<sup>2</sup>, UYESHIMA, Makoto<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 東京大学地震研究所, <sup>2</sup> 北海道大学大学院理学研究院附属地震火山研究観測センター

<sup>1</sup>ERI, Univ. Tokyo, <sup>2</sup>ISV, Fac. Sci., Hokkaido Univ.

In order to understand source processes of inland earthquake, it is important to reveal a crustal structure and distribution of fluids beneath the fault zone. Resistivity sounding using magnetotelluric (MT) method can detect resistivity structure down to a few dozen km, depending on a frequency band, and resistivity is a sensitive quantity to the presence of fluids. The Ishikari-teichi-toen active fault zone is located on the eastern edge of Ishikari lowland. This region corresponds to the geological and tectonic boundary between the central and southwestern Hokkaido, and is realized as a strain concentration zone compressed in the E-W direction. In order to image a resistivity structure including the lower crust, the MT survey was carried out in this region.

Prior to a 2-D analysis, we calculated MT responses by 3D resistivity model assuming the ocean and conductive sediments, in order to estimate the effect due to low resistivity of the ocean. As a result, a significant effect was clarified in TE mode at a frequency band below 0.03 Hz. Therefore, 2-D analysis treated the TM mode of a whole frequency band and TE mode above 0.03 Hz. The 2-D resistivity inversion code developed by Ogawa and Uchida (1996) estimated resistivity sections along four survey lines that were perpendicular to the fault zone.

The four inverted resistivity sections indicated a similar tendency, which consisted of three layers; resistive (0-2 km), conductive (2-7 km) and resistive (>7 km). The structure shallower than 7 km was consisted with seismic velocity structure, showing characteristics of the detachment and fold due to the thrusting activity. The conductive layers are significant (<10 ohm-m) below the middle part of the lowland but they do not extend to the east beyond the fault zone. This boundary can correspond to the extension of the main fault and be interpreted as a detachment of thrusting structure. The deeper part was almost uniform resistivity of a few ohm-m, except the conductor at the southwestern part, which was probably related to the activity of the Shikotsu caldera. On the other hand, the conductor implying fluids in the crust was not found beneath the fault zone. However, the MT response including such structure (i.e. deep conductor) could be removed during the 2-D analysis, because we reduced the MT data to prevent the sea effect, which was caused by the conductive seawater surrounding the study area. A full 3-D inversion analysis can resolve this problem effectively.

キーワード: ひずみ集中帯, 石狩低地東縁断層帯, 比抵抗構造, マグネトテルリック

Keywords: high strain rate zone, Ishikari-teichi-toen fault zone, resistivity structure, magnetotelluric

## 広帯域MT観測から推定される南東北地方の比抵抗構造(2)

## Resistivity structure in southern Tohoku region inferred from Wide-band MT surveys (2)

長谷 英彰<sup>1\*</sup>, 坂中 伸也<sup>1</sup>, 小山 崇夫<sup>1</sup>, 上嶋 誠<sup>1</sup>, 渡邊 篤志<sup>1</sup>, 宮川 幸治<sup>1</sup>, 芹澤 正人<sup>1</sup>, 小山 茂<sup>1</sup>, 山谷 祐介<sup>1</sup>  
HASE, Hideaki<sup>1\*</sup>, SAKANAKA, Shin'ya<sup>1</sup>, KOYAMA, Takao<sup>1</sup>, UYESHIMA, Makoto<sup>1</sup>, WATANABE, Atsushi<sup>1</sup>, Koji Miyakawa<sup>1</sup>,  
Masato Serizawa<sup>1</sup>, Shigeru Koyama<sup>1</sup>, YAMAYA, Yusuke<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 東京大学地震研究所, <sup>2</sup> 秋田大学

<sup>1</sup>Earthquake Research Institute, Tokyo University, <sup>2</sup>Akita University

In the tectonic zone, dehydrated fluid from a subducted oceanic plate is estimated to be localized in the crust and the upper mantle. It is considered that identifying the localized fluid is the critical key to clarify the mechanism of tectonic zone. Therefore, measuring of electrical resistivity structure which is highly sensitive to fluid, is thought to be contributing to clarify the mechanism of the tectonic zone. We started wideband magnetotelluric (MT) surveys in the northeastern margin of Japan sea tectonic zone since 2008. In 2010, we performed 27 MT surveys on YNZ line (Murakami, Niigata <-> Soma, Fukushima) from east to west in the southern part of Tohoku region. The surveys have been continued about 20 days at each site by using 12 measurement devices (11 of ADU07 [Metronix Geophysics] and a MTU [Phoenix Geophysics]). We obtained impedance responses by using the robust code of BIRRP (Chase and Thomson, 2004), and estimated 2D resistivity structure by using a 2D inversion code (Ogawa and Uchida, 1996). 2D models from TE and TM modes show a conductive part (C1) between two resistive parts (R1, R2) in the middle of the survey line. The C1 is located at the volcanic front, which can image that the C1 is partial melts or hydrothermal area.

キーワード: MT 調査, 比抵抗構造

Keywords: MT survey, resistivity structure

## 海陸地震観測網から推定される新潟県周辺における応力場の空間分布 Spatial distribution of stress field around Niigata prefecture inferred from a marine and land seismic network

真保 敬<sup>1\*</sup>, 町田 祐弥<sup>1</sup>, 篠原 雅尚<sup>1</sup>, 山田 知朗<sup>1</sup>, 望月 公廣<sup>1</sup>, 金沢 敏彦<sup>1</sup>

SHINBO, Takashi<sup>1\*</sup>, MACHIDA, Yuya<sup>1</sup>, SHINOHARA, Masanao<sup>1</sup>, YAMADA, Tomoaki<sup>1</sup>, MOCHIZUKI, Kimihiro<sup>1</sup>, KANAZAWA, Toshihiko<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 東大地震研

<sup>1</sup> ERI

日本海東縁部にはひずみ集中帯が存在し、規模の大きな地震が何度も発生している (Sagiya et al., 2000)。そのような地震の発生メカニズムやひずみ集中帯の形成過程を解明するためには、詳細な震源分布を把握し、その領域での起震応力場を推定することが重要である。最近では、2004年中越地震や2007年中越沖地震の余震の震源メカニズムを用いて、震源域周辺の応力場の推定が行われた (例えば, Kato et al., 2006; Imanishi et al., 2006; Imanishi and Kuwahara, 2009)。陸上観測点のみで沖合いの地震の震源を精度良く決定することは難しいため、それらを用いて新潟県周辺海域における応力場を正確に推定することは困難である。しかしながら、海底地震計を用いることによって海底下で発生した地震の震源を精度良く決定することにより、正確な応力場を推定できると考えられる。真保・他 (2010) は、新潟県上越沖に設置した長期観測型海底地震計 10 台をと陸上の定常観測点を用いて 2008 年 12 月から 2009 年 10 月までに発生した地震の震源決定を行い、その発震機構解を決定した。本研究では、これらの発震機構解を用いて応力テンソルインバージョンを行い、2004 年中越地震の震源域から新潟県周辺海域までの応力場の空間分布を調べる。

応力場の解析には Hardebeck and Michael (2006) の手法を用い、主応力軸を求めた。その結果、最大主応力軸は、北西-南東方向ないしは西北西-東南東方向を向いており、その傾斜角は水平に近くなっていることがわかった。また、最小主応力軸は、2007 年中越沖地震の本震付近で水平に近いが、2004 年中越地震の震源域周辺や新潟県周辺海域ではほぼ鉛直になっている。このことから、2007 年中越沖地震の本震付近で横ずれ型の応力場になっているが、他の領域では逆断層型の応力場になっていることを示しており、応力場が局所的に変化していることを示唆する。

## 1964年新潟地震震源域における浅部速度構造

### P-wave velocity structure model in a shallow part around the source area of the 1964 Niigata earthquake

町田 祐弥<sup>1\*</sup>, 真保 敬<sup>1</sup>, 篠原 雅尚<sup>1</sup>, 望月 公廣<sup>1</sup>, 山田 知朗<sup>1</sup>, 金沢 敏彦<sup>2</sup>

MACHIDA, Yuya<sup>1\*</sup>, SHINBO, Takashi<sup>1</sup>, SHINOHARA, Masanao<sup>1</sup>, MOCHIZUKI, Kimihiro<sup>1</sup>, YAMADA, Tomoaki<sup>1</sup>, KANAZAWA, Toshihiko<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 東京大学地震研究所, <sup>2</sup> 防災科学技術研究所

<sup>1</sup>ERI, Univ. Tokyo, <sup>2</sup>NIED

At the eastern margin of the Japan Sea, large earthquakes have been occurred (e.g., 1964 Niigata earthquake, the 1983 Japan Sea earthquake, the 2004 Chuetsu earthquake and the 2007 Chuetsu-oki earthquake) along the Niigata-Kobe Tectonic Zone (NKTZ). The NKTZ is recognized as a region of large strain rate along the Japan Sea coast and in the northern Chubu and Kinki district. Among these events, the 2004 Chuetsu earthquake and the 2007 Chuetsu-oki earthquake is triggered by reactivation of pre-existing faults within ancient rift systems by stress loading through a ductile creeping of the weak lower crust (Kato et al., 2008). Because the tectonic zone is thought to be spread in offshore region, it is difficult to understand a precise activity of the tectonic zone from only land-base observations. To compare the seismic activity with the crustal structure in the region is indispensable to understand the stress field in the tectonic zone and the tectonics in the eastern margin of the Japan Sea. In order to understand precise seismic activities in the NKTZ, especially in offshore region, we installed Ocean Bottom Cabled Seismometers (OBCSs) in the source region of the 1964 Niigata earthquake in 2010 (Shinohara et al., 2010). The OBCS system has a length of 25 km and 4 OBCSs were developed with 5 km interval. The OBCSs have three accelerometers as seismic sensor. In 2011, a seismic survey using airgun and OBCSs was carried out to obtain a seismic velocity model. To understand a precise crustal structure is necessary for precise earthquake locations. The precise seismic activities may contribute to understand a current state of the source region of the 1964 Niigata earthquake. In this study, we construct a P-wave velocity model below each OBCS using the tau-p mapping and the tau-sum inversion method (Stoffa et al., 1981; Shinohara et al., 1994). Then we estimate proper station corrections each OBCS for earthquake location.

キーワード: ひずみ集中帯, 1964年新潟地震, ケーブル式海底地震計, 地殻構造

Keywords: High strain rate zone in Japan, The 1964 Niigata earthquake, Ocean Bottom Cabled Seismometer (OBCS), Crustal structure

## ひずみ集中帯地殻構造探査:2012年六日町-直江津測線

### Crustal structure of the fold-and-thrust belt, Chuetsu, central Japan: result of 2012 Muikamachi-Naoetsu seismic survey

佐藤 比呂志<sup>1\*</sup>, 阿部 進<sup>2</sup>, 河合 展夫<sup>3</sup>, 加藤 直子<sup>1</sup>, 石山 達也<sup>1</sup>, 岩崎 貴哉<sup>1</sup>, 斉藤 秀雄<sup>2</sup>, 白石 和也<sup>2</sup>, 稲葉 充<sup>3</sup>, 川本友久<sup>4</sup>  
SATO, Hiroshi<sup>1\*</sup>, ABE, Susumu<sup>2</sup>, KAWAI, Nobuo<sup>3</sup>, KATO, Naoko<sup>1</sup>, ISHIYAMA, Tatsuya<sup>1</sup>, IWASAKI, Takaya<sup>1</sup>, SAITO, Hideo<sup>2</sup>, SHIRAIISHI, Kazuya<sup>2</sup>, Inaba Mitsuru<sup>3</sup>, Kawamoto Tomohisa<sup>4</sup>

<sup>1</sup> 東京大学地震研究所, <sup>2</sup> 地球科学総合研究所, <sup>3</sup> 石油資源開発(株), <sup>4</sup> 国際石油開発帝石(株)

<sup>1</sup>Earthquake Research Institute, Univ. Tokyo, <sup>2</sup>JGI, Inc., <sup>3</sup>Japan Petroleum Exploration Co., Ltd., <sup>4</sup>INPEX Corp.

はじめに:文部科学省が実施している「ひずみ集中帯の重点観測・研究」の一環として、新潟地域を中心に地殻構造探査を実施してきた。このプロジェクトでは、2012年まで新潟地域の計5測線について地殻構造探査を実施する予定である。探査の目的は、厚い(7km)堆積層の下に位置する震源断層の位置・形状を明らかにすることと、褶曲断層帯の形成をもたらした短縮変形が集中するメカニズムを明らかにすることである。2011年には、2004年中越地震震源域南方の六日町から十日町を経て直江津にいたる70kmの区間で、海陸統合地殻構造探査を実施した。

2011年六日町-直江津測線:2011年の測線は、六日町から西へ魚沼丘陵・十日町・東頸城丘陵を横断し、高田平野沖に至る延長55kmの区間に50m間隔で受振器を設置した。また、直江津から沖合に25m間隔で受振器が装着されている海底ケーブルを9km区間渡って展開した。海域では3020 cu. inchのエアガン、陸上では大型パイプソイス4台を用いて発震を行った。海域での発震作業は海岸から19kmの沖合まで実施し、測線長は70kmとなる。この他、計15点で、ダイナマイト(100kg)、パイプソイス・エアガンの集中発震点を配置した。発震は総計1473チャンネルの固定展開で収録された。実験は、2011年8月下旬から9月上旬に実施した。

反射断面と速度構造:長大オフセットによって得られた発震記録をもとに、屈折波トモグラフィー解析によって測線中央部で地下10km程度までの速度構造が明らかになった。先第三系のほぼ上面に相当するP波速度5.4km/sより大きな弾性波速度を示す領域は、東部の越後山地では地表近傍に位置するが、六日町断層の隆起側で大きく低下し、魚沼丘陵西部で約6kmの深度となる。東頸城丘陵下では、5kmから7kmの間に分布し、全体としては東頸城丘陵の西部から高田平野下にかけて凸型の形状を示す。反射法断面の解析においては、石油公団が実施した反射法地震探査の記録も含めて解析し、良好な反射法深度断面が得られた。

地質学的な解釈:ボーリング資料も含めて、地質構造の解釈を行い、構造断面を作製した。基盤岩中には低?中角度の逆断層が形成され、全体の短縮構造を形成している。とくに、下部寺泊層でデタッチメントが存在し、上部中新統?鮮新統を能動層として褶曲が発達している。こうしたデタッチメントの介在により、堆積層下の震源断層と活褶曲・活断層の関係は単純ではなく、デタッチメントを介した乖離を示している。

## 高田平野東縁における高分解能反射法地震探査

### High-resolution seismic reflection profiling in the eastern margin of Takada plain, central Japan

加藤 直子<sup>1\*</sup>, 佐藤 比呂志<sup>1</sup>, 石山 達也<sup>1</sup>, 蔵下 英司<sup>1</sup>, 越谷 信<sup>2</sup>, 戸田 茂<sup>3</sup>, 豊島 剛志<sup>4</sup>, 斉藤 秀雄<sup>5</sup>, 白石 和也<sup>5</sup>, 阿部 進<sup>5</sup>, 北村 重浩<sup>6</sup>, 中山 貴隆<sup>6</sup>, 脇田 懸<sup>3</sup>, 品田 航也<sup>4</sup>

KATO, Naoko<sup>1\*</sup>, SATO, Hiroshi<sup>1</sup>, ISHIYAMA, Tatsuya<sup>1</sup>, KURASHIMO, Eiji<sup>1</sup>, KOSHIYA, Shin<sup>2</sup>, TODA, Shigeru<sup>3</sup>, TOYOSHIMA, Tsuyoshi<sup>4</sup>, SAITO, Hideo<sup>5</sup>, SHIRAIISHI, Kazuya<sup>5</sup>, ABE, Susumu<sup>5</sup>, KITAMURA, Shigehiro<sup>6</sup>, NAKAYAMA, Yoshitaka<sup>6</sup>, Kakeru Wakita<sup>3</sup>, Kouya Shinada<sup>4</sup>

<sup>1</sup> 東京大学地震研究所, <sup>2</sup> 岩手大学工学部, <sup>3</sup> 愛知教育大学教育学部, <sup>4</sup> 新潟大学理学部, <sup>5</sup> 地球科学総合研究所, <sup>6</sup> 東京大学大学院理学系研究科

<sup>1</sup>ERI, Univ. of Tokyo, <sup>2</sup>Civil and Envir. Eng., Iwate Univ., <sup>3</sup>Aichi University of Education, <sup>4</sup>Faculty of Science, Niigata Univ., <sup>5</sup>JGI, Inc., <sup>6</sup>Graduate School of Science, Univ. of Tokyo

文部科学省プロジェクト「ひずみ集中帯の重点的観測・研究」の一環として、直江津-六日町測線において震源断層のイメージングを目的とした地殻構造探査が実施された(佐藤ほか, 2012)。この探査は、上部地殻全体の大まかな構造のイメージングに焦点を当てているため浅層部の地質構造に対しては分解能が低い。このため活断層が分布すると報告されている高田平野東縁において浅層部の詳細な地質構造を明らかにするために高分解能反射法地震探査を行った。上越市東部の高田平野東縁には活断層である高田平野東縁断層(活断層研究会, 1980; 渡辺ほか, 2009 など)が分布する。

高分解能反射法地震探査を行った期間は2011年8月下旬で、測線は上越市大潟区潟田から吉川区東鳥越に至る約7km区間である。震源は中型のパイロサイズ2台を使用した。受振点間隔は12.5mで計541チャンネルの固定展開でデータを取得した。受振システムは地震研究所のオフラインレコーダ(LS8200SD)とJGI製MS2000を用いた。発震点間隔は12.5m, スweep周波数は8-80Hz, 標準スイープ回数は2回である。レコーディングのサンプリング間隔は4 msecで記録長は5 secとした。得られたデータに関して反射法地震探査は共通反射点重合処理法により解析を行った。

反射法では約2 kmまでのイメージが得られ、全体的には緩やかな非対称の背斜構造が示された。この背斜構造の中には楔状断層(wedge thrust)が見られる。大局的な構造はより深く位置する主断層が伏在し、浅層部の楔状断層は2次的な断層であると考えられる。主断層の存在は大深度探査の結果と調和的である。



## ボーリング調査による高田平野東縁断層帯の上下平均変位速度 Late Pleistocene uplift rate across the eastern margin fault zone of the Takada-heiwa based on borehole drillings

廣内 大助<sup>1\*</sup>, 石山 達也<sup>2</sup>, 鈴木 毅彦<sup>3</sup>, 今泉 俊文<sup>4</sup>, 佐藤 善輝<sup>5</sup>, 丸山 陽央<sup>6</sup>, 細矢 卓志<sup>7</sup>, 橋本 智雄<sup>7</sup>

HIROUCHI, Daisuke<sup>1\*</sup>, ISHIYAMA, Tatsuya<sup>2</sup>, SUZUKI, Takehiko<sup>3</sup>, IMAIZUMI, Toshifumi<sup>4</sup>, SATO, Yoshiki<sup>5</sup>, MARUYAMA, Haruhiro<sup>6</sup>, HOSOYA, Takashi<sup>7</sup>, HASHIMOTO, tomoo<sup>7</sup>

<sup>1</sup> 信州大学, <sup>2</sup> 東京大学地震研究所, <sup>3</sup> 首都大学東京, <sup>4</sup> 東北大学, <sup>5</sup> 九州大学, <sup>6</sup> 名古屋大学, <sup>7</sup> 中央開発株式会社

<sup>1</sup>Shinshu UNIV., <sup>2</sup>Tokyo UNIV., <sup>3</sup>Tokyo metropolitan UNIV., <sup>4</sup>Tohoku UNIV., <sup>5</sup>Kyushu UNIV., <sup>6</sup>Nagoya UNIV., <sup>7</sup>Chuo kaihatsu Corporation

### 1. はじめに

高田平野は東北日本弧日本海側南部における第三系以降の大規模変動帯に位置する。平野西方には西頸城丘陵, 東には関田山地が分布し, 両者はいずれも第三系の大規模褶曲構造によって形作られている。これらに挟まれる高田平野と両山地との境界付近には, 渡辺ほか(2002), 池田ほか(2002)によって, 段丘面に変位を与え, 平野を低下させるセンスの大規模活断層が平野の東西両縁に認定された。一方これら断層の後期更新世における変位量や変位速度といった活動性に関する資料は非常に少なく, 上盤側における平山面の変形などから変位量を見積もった藤本(1999), 藤本・早津(1999)や渡辺ほか(2003)があり, 下盤側の指標を捉えて変位速度を認定した研究は, 断層帯南部で渋江川火砕流堆積物(早津ほか, 1994)の変位量 60-70mを見積もった吾妻ほか(2006)のみである。ひずみプロジェクトによる廣内ほか(2010)では, 平野西縁において, 群列ボーリング調査を実施し, 平山面と MIS5e 相当の海成層がやく 80m 以上の上下変位を持ち, 上下方向の変位速度はおおよそ 1m/ky であることを明らかにしている。

これに続いて本研究では, 平野東縁において, 断層を挟んで複数のボーリングを実施し, 既存の試錐資料とあわせながら, 高田平野東縁断層帯の変位量など活動性を明らかにすることを目的として調査を行った。本研究は文部科学省「ひずみ集中帯の重点的調査・観測研究」の一環として実施したものである。

### 2. 高田平野東縁断層帯周辺の変位地形と調査地点

高田平野東縁断層帯は, 東傾斜, 東側隆起の活断層であり, 断層帯の北部では南北走向で, 隆起側の平野丘陵境界付近に, 小規模な段丘面を形成しながら連続し, その北端は日根津付近まで認定されている(渡辺ほか, 2002)。その北部には MIS5 相当の海成段丘の原之町面(平山面相当)が広く分布する。この段丘面は開析を受けるものの, 北~西へ向かって緩やかに低下し, 日根津の北延長から西には分布しないことから, 段丘の西端より西に東側隆起, 東傾斜の断層が推定される。本研究では, 原之町面の露頭調査並びに低下側などで断層推定位置を横切る計 5 本のボーリング調査(TK-E1~5)を実施した。

### 3. 露頭・コアの層相と産出する指標テフラ

断層の上昇側に位置する原之町段丘原之町地区では, 約 1.7m のローム層が分布し, その下位には湿地~ラグーン相のシルト~微細砂層が連続する。風成ローム層中の深さ 1.3 m-1.4m より, K-Tz(鬼界葛原)テフラが産出し, さらに上位には斜方輝石や角閃石の屈折率や主成分分析の結果, DKP(大山倉吉)と Nm-KN(沼沢金山)テフラが認められた。原之町面の形成時期は, K-Tz の下位に約 30cm の風成ロームがあること, 段丘面の分布は広く, 海進に対応したと考えられる粘土やシルトなどの堆積物が分布することなどから, MIS5e 相当と考えられる。一方低下側のコアは解析中であるが, MIS5 に相当する可能性が高いラグーン相の堆積物などが確認できる。テフラの分析などを行い, 当日発表予定である。低下側コアの MIS5 に対比される可能性のある堆積物は, 標高-40 m~-50 m 付近に認められる。原之町段丘面の標高を約 25 m として単純に計測した上下変位量は約 65 m である。今後コアのテフラや堆積環境解析を行い, 断層低下側層序の詳細対比など検討し, また地下構造探査の結果も踏まえながら, 高田平野東縁断層帯の上下平均変位速度を検討する。

キーワード: 高田平野東縁断層帯, 平均変位速度, 活断層, 高田平野, 群列ボーリング

Keywords: the eastern margin fault zone of the Takada-heiwa, sliprate, active fault, Takada-plain, borehole drillings

## 鳥越断層の高精度反射法地震探査による地下構造 High resolution seismic reflection profiling across the Torigoe fault, central Japan

石山 達也<sup>1\*</sup>, 加藤 直子<sup>1</sup>, 佐藤 比呂志<sup>1</sup>, 越谷 信<sup>2</sup>, 豊島 剛志<sup>3</sup>, 越後 智雄<sup>4</sup>, 小林 健太<sup>3</sup>, 戸田 茂<sup>5</sup>, 今泉 俊文<sup>6</sup>, 岡本 貴太<sup>7</sup>, 入谷 正人<sup>7</sup>, 田中 麻衣<sup>7</sup>, 小野寺 智也<sup>2</sup>, 畠山 拓也<sup>2</sup>, 照井 匡子<sup>2</sup>, 小池 太郎<sup>8</sup>  
ISHIYAMA, Tatsuya<sup>1\*</sup>, KATO, Naoko<sup>1</sup>, SATO, Hiroshi<sup>1</sup>, KOSHIYA, Shin<sup>2</sup>, TOYOSHIMA, Tsuyoshi<sup>3</sup>, ECHIGO, Tomoo<sup>4</sup>, KOBAYASHI, Kenta<sup>3</sup>, TODA, Shigeru<sup>5</sup>, IMAIZUMI, Toshifumi<sup>6</sup>, OKAMOTO, Takahiro<sup>7</sup>, IRITANI, Masato<sup>7</sup>, TANAKA, Mai<sup>7</sup>, Tomoya Onodera<sup>2</sup>, Takuya Hatakeyama<sup>2</sup>, Tadako Terui<sup>2</sup>, KOIKE, Taro<sup>8</sup>

<sup>1</sup> 東京大学地震研究所, <sup>2</sup> 岩手大学工学部, <sup>3</sup> 新潟大学理学部地質学科, <sup>4</sup> 財団法人地域地盤環境研究所, <sup>5</sup> 愛知教育大学, <sup>6</sup> 東北大学理学研究科地学専攻, <sup>7</sup> 新潟大学大学院自然科学研究科, <sup>8</sup> 株式会社ジオシス

<sup>1</sup>ERI, University of Tokyo, <sup>2</sup>Faculty of engineering, Iwate University, <sup>3</sup>Department of Geology, Faculty of Science, Niigata University, <sup>4</sup>Geo-Research Institute, <sup>5</sup>Aichi Educational University, <sup>6</sup>Department of Geosciences, Tohoku University, <sup>7</sup>Graduate School of Science and Technology, Niigata University, <sup>8</sup>Geosys, Inc

新潟堆積盆地に発達する褶曲・衝上断層帯のうち、東頸城丘陵北部（いわゆる西山中央油帯）は、北北西走向の軸跡を有する非常に複雑な複背斜構造を呈している。2010年に行われた深部構造探査・三島-東山測線とその地質学的な解釈から、この構造が地下深部に存在する東傾斜の低角な衝上断層とそこから分岐する西傾斜の比較的高角な逆断層群の上盤側に形成された複背斜構造であること、過剰間隙水圧下にある寺泊層の延性変形によってデタッチメント褶曲が形成されており、浅部の構造をより複雑にしていることなどが明らかになった（佐藤ほか, 2011）。鳥越断層は東頸城丘陵北部と越後平野の地形・地質境界に位置し、第四紀後期の地形面を累積的に変形させることから地形・地質の構造的な落差に寄与した主要な活断層である。三島-東山測線の結果によれば、西傾斜の逆断層である鳥越断層は地下約10kmで東傾斜の衝上断層に収斂する。一方でその先端部は非常に複雑な分岐構造を呈しており、浅部の複雑な構造や変動地形と深部構造を結びつけて論じるためには地下浅部の高解像度イメージングを行う必要がある。そこで、筆者らは文部科学省「ひずみ集中帯の重点的調査観測・研究」の一環として、鳥越断層を横断する測線において浅部の高解像度反射法地震探査を実施した。本実験では、東京大学地震研究所所有のマルチチャンネル陸上反射法地震探査システム GDaps-4（（株）地球科学総合研究所製）および小型バイブレーター震源 T-15000（IVI社製）を用いた。測線は長岡市高瀬町から同鳥越の約6.1km区間である。主なデータ取得パラメータは以下の通りである：受振・発振点間隔：10m、展開チャンネル数：200ch、スイープ長：24sec、スイープ周波数：10-100Hz、地震計固有周波数：10Hz、記録長：3sec、サンプリング間隔：2msec、平均垂直重合数：5-7、平均水平重合数：110。測線周辺のノイズレベルは非常に低く、その結果ほぼ全てのショット記録においてS/N比の高い良好な記録が得られた。この観測記録を用いて、Super-XC（（株）地球科学総合研究所製）を使用した共通反射点重合法に基づくデータ解析を行った。その結果、鳥越断層およびその下盤側の地下1.5kmまでのイメージが取得できた。それによれば、鳥越断層上盤側の複背斜構造が下盤側の地層に衝上する様子が確認出来る。さらに、断層下盤側の地層は緩やかな背斜・向斜構造を呈しており、これらは南北に分布する活褶曲が沈下して測線付近でオーバーラップしていることを示唆する。今後は変動地形・表層地質・ポーリング層序・既存の反射断面などを併用して、鳥越断層の浅部地質構造について詳細な解析を進める予定である。

キーワード: 鳥越断層, 活断層, 活褶曲, 反射法地震探査, 新潟

Keywords: Torigoe fault, active fault, active fold, seismic reflection profile, Niigata

## 新潟地域における高分解能な地震波速度構造と地震活動との関係

### Improved, high-resolution underground velocity structure in the Niigata region and its relation with seismicity

Enescu Bogdan<sup>1\*</sup>, 武田 哲也<sup>1</sup>, 浅野 陽一<sup>1</sup>, 小原 一成<sup>2</sup>, 関口 涉次<sup>1</sup>, 佐藤 比呂志<sup>2</sup>

ENESCU, Bogdan<sup>1\*</sup>, TAKEDA, Tetsuya<sup>1</sup>, ASANO, Youichi<sup>1</sup>, OBARA, Kazushige<sup>2</sup>, SEKIGUCHI, Shoji<sup>1</sup>, SATO, Hiroshi<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 防災科学技術研究所, <sup>2</sup> 東京大学地震研究所

<sup>1</sup>National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention, <sup>2</sup>Earthquake Research Institute, The University of Tokyo

Niigata area is part of a broader region, located in the central and north-eastern part of Japan, known for its high strain rates (Sagiya et al., 2000). To have a detailed understanding of the seismotectonic characteristics in the Niigata region, we have installed a dense temporary network of 300 seismic stations, which started functioning from 2008. In a previous tomography analysis (Enescu et al., 2011) we have revealed the undulated surface of the basement rock, hidden under a thick low-velocity layer of Neogene sediments and volcanic extrusions that form the Niigata basin. The earthquake locations, inverted together with the velocity structure, became systematically shallower, in agreement with results reported before (e.g., Kato et al., 2009).

In this study, we have used additional very deep earthquakes to better constrain the basement structure. The data consists of 1805 crustal events that have 151,780 P-wave and 169,696 S-wave arrivals, recorded at 434 temporary and permanent seismic stations. We have also manually picked deep earthquakes, with magnitudes larger than 3.5, which occurred within the subducting Pacific plate and have depths between 80 and 280 km. We have given ten times additional weight to the deeper events. The tomography inversion is conducted using the tomoDD software (Zhang and Thurber, 2003). The horizontal and vertical grid spacing were of 5 ~ 10 km and 2 ~ 10 km, respectively.

Due to the inclusion of deep earthquake picks, the velocity image of middle to lower crust was improved. The clearest feature of our velocity model is the undulated surface of the basement rock extending from SW to NE. Compared with the results we have reported previously, the undulated structure could be imaged further to the north-east, beneath the Niigata basin. The obtained results indicate that the majority of the earthquakes are located in regions where the P-wave velocity ranges from 5.5 to 6.5 km/sec. Most of the events occur on the flanks of the low-velocity region; in the basin area (of low-velocity) and the undulated basement underneath there is almost no seismicity. However, a few earthquakes do occur in the deeper region (at depths below 15 km). The earthquake activity from 2001 to present (Hi-net catalog) confirms these features. In particular, the aftershocks of the 2004, M6.8 and 2007, M6.8 Niigata earthquakes, as well as the more recent seismic activity following the M6.7 Nagano earthquake (April, 2011) are all located either on the flanks of the low-velocity region or slightly further apart. A high velocity body (i.e., P-wave velocity larger than about 6.5 km/s) is imaged below the central axis of the rift-like structure, similar with results reported by Kato et al. (2009). However, the high velocity body appears to be present only in the central part of our study region, in-between the aftershock distributions of the 2004 and 2007 Niigata aftershock sequences. Only a few earthquakes occur within the higher velocity region. The existence of the higher velocity body constrains the lower limit of the seismogenic region. The detailed mapping of the rift-like structure helps understanding where and why large earthquakes nucleate.

## 長野県北部地震の地殻変動と栄村・津南町 - 松之山地域の地震テクトニクス Crustal movement of North Nagano earthquake and seismotectonics of the Sakae - Tsunan - Matsunoyama district

伊藤 優花<sup>1\*</sup>, 竹内 章<sup>1</sup>

ITO, Yuka<sup>1\*</sup>, TAKEUCHI, Akira<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 富山大学大学院理工学教育部

<sup>1</sup> Graduate school of Science and Engineering for Education, University of Toyama

2011年3月11日14:46宮城県沖でM9.0の東北地方太平洋沖地震が発生し、この地震に誘発されるように、翌3月12日午前3:59長野県と新潟県の県境で深さ8kmを震源とする、M6.7の長野県北部地震が発生した。今回は、この「誘発地震」にかかわる震源断層面の特徴、電子基準点の変位を検討した結果を報告する。

震源域周辺のGPS電子基準点の解析結果(国土地理院, 2011)によれば、長野県北部地震により「松之山」では北東へ39.3cm、「長野栄」では北に4.2cmの水平移動が報告されている。また、震源メカニズム解は3月12日の本震は逆断層型の地震であり、中越地震や中越沖地震と同様であった。本研究では、電子基準点の地震時の詳細な挙動を明らかにすることを試みた。

まず、電子基準点の変位を詳細に明らかにするためにGEONETのGPSデータを解析した。時系列解析より、東北地方太平洋沖地震と長野県北部地震の影響による変位を分離してとらえることができ、長野県北部地震のみで生じた変位は、「松之山」では北方向に35.6cm、東方向に20.2cm、30.0cmの隆起、「長野栄」では北方向に7.7cm、西方向に9.0cm、10.4cmの隆起の変位が見られた。

つぎに、余震分布より断層面を推定し、断層運動により地表に生じる変位計算を行った。

余震が面的な分布から想定される断層面の姿勢はN58°W 38°Eであった。信濃川左岸側ではこの走向の活断層が知られているが、地表地震断層が想定される右岸南方山地に活断層の分布は知られていない。また、過去の震源メカニズム解より、長野県北部地震の震央および周辺地域では、NW-SE圧縮であることが知られており、十日町断層の南方延長部が活動した可能性も考えられた。

そこで、DCSTN(岡田, 1992)により、断層運動によって地表に生じる変位計算を行ったが、期待されるNE-SW走向の逆断層では、この変位は説明できなかった。ほかに、どのような断層を仮定しても、北東または北に大きく変位した電子基準点の変位の原因と言える断層モデルは見つからなかった。それゆえ、長野県北部地震本震時の地殻変動については断層運動ではなく、地盤の局所的な挙動が考えられる。ひとつの可能性として、北部フォッサマグナ東縁と中央隆起帯西縁の交点を特徴づける松之山ドームにおける高速変形(不均等な隆起沈降)があげられ、原因にはジオプレッシャーに関係する流体移動が考えられる。

キーワード: 長野県北部地震, 電子基準点, 断層, 松之山ドーム, ジオプレッシャー

Keywords: North Nagano earthquake, GEONET, faults, Matsunoyama dome, geopressure

## 新潟南部地域における GNSS 連続観測網の構築 GNSS continuous observation network in southern Niigata Prefecture

吉見 雅行<sup>1\*</sup>, 松浦友紀<sup>2</sup>, 森俊行<sup>3</sup>  
YOSHIMI, Masayuki<sup>1\*</sup>, Yuki Matsuura<sup>2</sup>, Toshiyuki Mori<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 産業技術総合研究所 活断層・地震研究センター, <sup>2</sup> 日立造船株式会社, <sup>3</sup> ジオサーフ株式会社  
<sup>1</sup>Geological Survey of Japan, AIST, <sup>2</sup>Hitachi Zosen Corp., <sup>3</sup>GEOSURF Corp.

新潟県柏崎市から南魚沼市に至る東西 50 km 南北 15km 程度の範囲にて 30 観測点からなる観測点間距離 5km 程度の GNSS 連続観測網を構築した。受信機は Leica geosystems GR10, アンテナはレドーム一体型の AR10 である。観測点は鉄筋コンクリート造の小中学校・高等学校・公民館の屋上壁面固定もしくは地上設置とした。当地域は豪雪地帯であるが冬期間でも観測を継続するため壁面固定観測点のアンテナは屋上面より 1m 以上上方になるよう設置した。観測網の全観測点の観測開始日は 2011 年 12 月 9 日である。

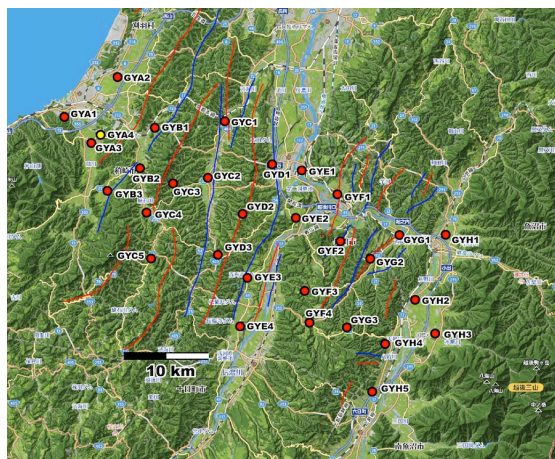
データ解析はソフトウェア Bernese Ver5.0 を用いて次のように行った。30 秒サンプリングのデータを用い、仰角 15 度以上の衛星のみを採用した。1 日 (UT0 時?24 時) を単位とし、各観測点の日座標値を ITRF2005 座標系に準拠して計算した。GPS データについては、周辺の GEONET 観測点と遠方の IGS 観測点のデータを用いて解析した。使用暦は IGS 発行の最終暦とした。新潟周辺の観測点網には固定点を置かず、十分遠方の IGS 観測点 6 点の座標値を強く拘束して解いた。対流圏パラメータは 1 時間ごとに推定した。また GPS と GLONASS データの統合解析も実施した。これについては、観測点網のみのデータを用いている。

観測網全体が東方向に移動する結果が得られた。観測網内部の変位のバラツキなどはまだ把握できない。今後数年間の観測を行い、当地域の地殻変動の地域特性を把握していく予定である。

本研究は独立行政法人原子力安全基盤機構の新潟工科大学敷地内における深部地震動観測システムプロジェクトの一環である「柏崎深部地震動観測サイト周辺の広域地下構造調査」の一部として実施した。

キーワード: GPS, 地殻変動

Keywords: GPS, crust deformation



## ひずみ集中帯地域における浅部・深部統合地盤モデルの構築

### Construction of integrated velocity model of shallow and deep structure in the high strain rate zone

先名 重樹<sup>1\*</sup>, 前田宜浩<sup>1</sup>, 稲垣賢亮<sup>2</sup>, 松山尚典<sup>2</sup>, 森川信之<sup>1</sup>, 藤原広行<sup>1</sup>

SENNA, Shigeki<sup>1\*</sup>, Takahiro Maeda<sup>1</sup>, Yoshiaki Inagaki<sup>2</sup>, Norihiro Matsuyama<sup>2</sup>, Nobuyuki Morikawa<sup>1</sup>, Hiroyuki Fujiwara<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 防災科研, <sup>2</sup> 応用地質(株)

<sup>1</sup>NIED, <sup>2</sup>OYO corp.

#### 1. はじめに

強震動予測を高度化するためには、0.1秒から10秒程度の広帯域の地震動特性を評価できるような地盤モデルの構築が重要な課題の一つである。そのためには、これまで別々にモデル化を実施してきた浅部地盤モデルと深部地盤モデルを統合し、観測記録を再現できるようなモデルの作成を進めていくことが不可欠である。しかしながら、双方の地盤モデルを単純に結合して利用することになれば、浅部と深部地盤の両方に影響のある周期付近(0.5~2秒)を十分説明できるモデルを再検討した上で作成する必要があるため、ボーリングデータの収集と、接続する周期帯を説明する上で重要な微動データを収集し、浅部・深部を接合した上での地盤モデルの再検討が必要である。本研究では、山形県全域において、面的に詳細な常時微動探査を実施し、浅部・深部統合モデル(初期地質モデル)を作成した。また、新潟県全域においては、昨年実施した初期地質モデルおよびS波速度構造を見直し、浅部・深部統合地盤モデルの高度化を行った。

#### 2. 微動観測と初期地質モデルの作成および地震動データ等の収集

山形県全域において、主に小・中・高校の敷地を利用した単点による微動観測(合計435地点)と、K-net、KiK-net、自治体の震度観測地点において微動アレイ観測(合計45地点)をそれぞれ実施した。観測には水平2成分上下動1成分およびロガー(LS-7000XT)が装備された微動観測装置JU-210およびJU-215(白山工業社製)を用いた。観測は、単点については、新潟県内の主に低地・台地について2kmメッシュ毎の学校・市施設等を選択し、1観測点あたり20分以上の測定を実施した。微動アレイ観測については、半径R=400,200,100mの大きさの三角計のアレイと、それよりも小さな半径については一辺75mのL字アレイ(一部の地点ではR=10,20,40mの小三角アレイ)を展開し、各三角アレイについて1時間程度、L字、小アレイ等については30分~40分程度の観測を行った。また、山形県で収集したボーリングデータより、初期地盤モデル(地質モデル)も作成した。さらに山形県の自治体震度計の地震波形について、平成23年1月~平成23年11月までのデータを収集した。

#### 3. 初期浅部・深部統合地盤モデル作成方法の見直しによるS波速度構造の算出と周期特性等の検討

新潟地域については、これまで作成していた初期地盤モデル(浅部地盤モデル+J-SHISモデル)が微動観測で得られた位相速度と大きく乖離した。そのため、浅部と深部をつなぐ構造接続部分を柏崎の3000mのポアホールのVsデータと、新潟平野に多数存在する基礎試錐のVpデータとの変換式を作成し、J-SHISの深部地盤構造モデル最上部のVs=600(m/s)と浅部地盤モデルの最下部(低地部でVs=200~300(m/s)程度)の間をVs=300,400,500(m/s)の100(m/s)で等間隔となるように速度層を追加した。追加された速度構造モデルによる理論位相速度は、観測位相速度と調和的であり、周期特性を合わせるジョイントインバージョン計算の収束性が極めて良くなった。また、モデルから計算される周期特性等の結果は、地震観測記録による周期特性等の結果と比較し、調和的な結果が得られることが確認できた。

#### 4. まとめ

本研究において、初期地質モデルの作成の時点で、微動観測による位相速度の結果と近い結果を得ることが出来き、解析結果の収束性も非常に良くなった。今後、地域毎にこのような取り組みを実施し、全国の浅部・深部統合地盤モデルの構築について、さらなる精度の向上を目指す。

<謝辞>

本研究は、文科省委託事業「ひずみ集中帯における調査・研究」(H20~H24)により実施したものである。

キーワード: 浅部・深部統合地盤モデル, 強震動, 微動観測, 地質層序, S波速度構造

Keywords: Integrated structure model, strong-motion, microtremor measurements, Geology stratigraphy, S-wave velocity

## 1828年三条地震の高震度域における微動観測

### Microtremor Measurement at Large Seismic Intensity Regions of the 1828 Sanjo Earthquake

三宅 弘恵<sup>1\*</sup>, 坂上 実<sup>1</sup>, 宮川 幸治<sup>1</sup>, 浦野 幸子<sup>1</sup>, 瀧 一 起<sup>1</sup>

MIYAKE, Hiroe<sup>1\*</sup>, Minoru Sakaue<sup>1</sup>, Koji Miyakawa<sup>1</sup>, URANO, Sachiko<sup>1</sup>, KOKETSU, Kazuki<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 東大地震研

<sup>1</sup> Earthq. Res. Inst., Univ. Tokyo

1828年三条地震は、新潟県三条市および見附市付近を震源としたM6.9(宇佐美, 2003)程度の内陸地震と考えられており、その震源に関して様々な研究がなされている。震源域は、新潟-神戸ひずみ集中帯に位置し、2004年新潟県中越地震や六日町断層帯と月岡断層帯の間に位置する。死者1,681人、家潰13,149棟など(宇佐美, 2003)の甚大な被害に関する歴史記録が豊富であり、震度分布を用いた強震動評価に適した歴史地震である。

三条地震の震源断層モデルについては、歴史震度分布を観測データとして、加茂~見附~長岡に至る越後平野東縁において、南東傾斜および北西傾斜の断層面の検討がなされている(徳光・他, 2006 歴史地震; 石瀬・他, 2010 地震学会, 2011 連合大会)。石瀬・他(2011)はMw 6.95のシナリオ地震を想定し、簡便法による強震動評価を行った。南東傾斜の断層面の場合、見附~長岡にかけて震度7の領域が得られた一方、北西傾斜の断層面の場合、加茂~見附~長岡の全域および三条市街も含む広い地域で震度7が得られる結果となった。しかし、詳細法による強震動予測を行う場合、震源近傍において簡便法よりも高震度域が広がるケースがあるため、断層面傾斜の検討に際しては、高震度域における地盤増幅特性の精度良い推定が重要な課題となる。

矢田・ト部(2010)の歴史震度分布によると、三条地震の高震度域は越後平野内およびその東縁部に多く見られる。越後平野内では、先名・他(2011)により稠密微動探査および深部・浅部統合地盤モデルの作成が行われている。そこで我々は、震度7の領域が顕著な見附市東山丘陵付近(田井・名木野・明晶町・小栗山町)、震度5~7が混ざっている見附市から三条市に至る越後平野東縁(高安寺・大面・北潟・矢田・吉野家)、および震度7と5の地点が隣接する田中新田と弥彦を対象に、地盤増幅特性の調査を目的とした微動観測を行った。

観測期間は2011年11月28日から30日の日中に行った。観測機器はSMAR-6A3Pの三成分加速度センサーとLS-7000XTのロガーから構成される機動型強震計を用いた。1地点における測定は30分とし、100 Hz サンプリングで収録した。初期解析の結果、H/V スペクトル比の卓越周期は、震度7の地点において約1 Hz が卓越する地点が多かったが、そうでない地点では3~5 Hz の卓越が見られた。今回の観測地点は、ほぼ全地点が微地形区分において後背湿地に該当するが、増幅率が地点によって違う可能性があるため、今後の精査が必要である。

キーワード: 三条地震, 歴史地震, 微動観測, H/V スペクトル比

Keywords: Sanjo earthquake, historical earthquake, microtremor measurement, H/V spectral ratio

## ひずみ集中帯における歴史地震データベースの試作版 The trial edition of historical earthquake data base in high strain rate zone

佐竹 健治<sup>1</sup>, 西山 昭仁<sup>1\*</sup>, 矢田 俊文<sup>2</sup>, 卜部 厚志<sup>3</sup>, 前嶋 美紀<sup>4</sup>

SATAKE, Kenji<sup>1</sup>, NISHIYAMA, Akihito<sup>1\*</sup>, Toshifumi Yata<sup>2</sup>, URABE, Atsushi<sup>3</sup>, MAEJIMA, Yoshinori<sup>4</sup>

<sup>1</sup> 東京大学地震研究所, <sup>2</sup> 新潟大学人文学部, <sup>3</sup> 新潟大学災害・復興科学研究所, <sup>4</sup> (株) まえちゃんねっと

<sup>1</sup>Earthquake Research Institute, the University of Tokyo, <sup>2</sup>Faculty of Humanities, Niigata University, <sup>3</sup>RINHDR, Niigata University, <sup>4</sup>Maechan-net Ltd.

日本には数多くの史料が現存しており、歴史学者の間で分析が行われている。これらの史料（特に文献史料）には、日本やその近傍で発生した地震について、発生日時や被害状況の記述が含まれている。しかし、これらの史料の分析に際しては歴史学の知識が必要であり、他分野の研究者が直接利用するのは容易ではない。西暦 1600 年頃までの歴史地震の史料については、石橋・他によって「[ 古代・中世 ] 地震・噴火史料データベース」が作成されている。それ以降の江戸時代になると、史料の分量は多くなり、多種多様になるために、史料内容の吟味はより重要になってくる。本研究では、歴史地震に関する史料本文と、史料から分析された被害率や推定震度など各種データを組み合わせて、歴史地震データベースの試作版を作成した。

本研究で試作した歴史地震データベースは、地震史料データベースと震度データベースから構成されている。試作版の地震史料データベースでは、江戸時代に越後国（現在の新潟県）で発生して大きな被害を及ぼした、1751 年越後高田地震と 1828 年越後三条地震を取り上げている。これらの歴史地震について記述されている史料の中から、信頼性の高い史料のみを選び出して XML データ化し、地震史料データベースを作成した。このデータベースには、地震被害の様子を描いた絵画史料も含まれており、地震の様子を視覚的に知ることができる。

この地震史料データベースから、地震発生時の村・町ごとの総家数と、倒壊家屋数の両方が記されている史料を選び出して、それらの史料から村・町ごとに家屋倒壊率を算出した。なお、時代によって村・町ごとの総家数は変化するため、地震発生と同時に記されている史料が必要不可欠である。これらの家屋倒壊率から、宇佐美（1986）の「歴史地震のための震度表」に基づいて、気象庁（JMA）震度階における震度の推定を試みた。この研究で用いた家屋倒壊率と震度と関係は以下のとおりである。

気象庁震度階 7 (改正メルカリ震度階 XII) : 家屋倒壊率 81-100%

気象庁震度階 6 (改正メルカリ震度階 X-XI) : 家屋倒壊率 71-80%

気象庁震度階 5+ (改正メルカリ震度階 IX) : 家屋倒壊率 1-70%

気象庁震度階 5- (改正メルカリ震度階 VIII) : 家屋倒壊率 0%

このようにして得られた推定震度から、Google Earth を用いて震度データベースの試作版を作成した。今後は、他の地域においても同様な地震史料データベースを作成していき、震度データベースの作成を試みたい。

謝辞：本研究は、文部科学省の研究プロジェクト「ひずみ集中帯の重点的調査観測・研究」の一環として実施されたものです。

キーワード: 歴史地震, 1751 年越後高田地震, 1828 年越後三条地震, 家屋倒壊率

Keywords: historical earthquakes, 1751 Echigo-Takada earthquake, 1828 Echigo-Sanjo earthquake, ratio of collapsed houses



## 草津白根山南部の地震活動

### Seismic activity at southern part of Kusatsu-Shirane volcano

山脇 輝夫<sup>1\*</sup>, 野上 健治<sup>1</sup>, 青山 裕<sup>2</sup>

YAMAWAKI, Teruo<sup>1\*</sup>, NOGAMI, Kenji<sup>1</sup>, AOYAMA, Hiroshi<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 東京工業大学火山流体研究センター, <sup>2</sup> 北海道大学理学研究院

<sup>1</sup> Volcanic Fluid Research Center, Tokyo Institute of Technology, <sup>2</sup> Graduate School of Science, Hokkaido University

We examined seismic activity at southern part of Kusatsu-Shirane volcano with our seismic network supported by temporary stations. We have observed seismic activity of the volcano since 2001. Currently six stations are concentrated within about 1 km from the main crater lake, Yugama. Based on past seismic network, Mori et al. (2006) pointed out two seismic clusters, one at Yugama and the other at Ainomine, an old volcanic cone 1.5 km to the south of Yugama. Mori et al. (2006) also pointed out that seismic activity at the latter zone is comparable to the former. There used to be a station at Ainomine till few years ago, and current capability of event detection is relatively low. In response to the crustal deformation event on May 27, 2011, we constructed a temporal seismic station to the south of Ainomine. The station is equipped with a L-4C three-component seismometer by Mark Products Corporation and LS-7000 data logger by Hakusan Corporation. Seismic data are stored on site and periodically collected. Collected data are then combined with our data of real time seismic network. Now seismic events are detected based on variation of seismic amplitude.

## 跡津川断層帯周辺におけるコーダ Q の空間分布 Spatial distribution of coda Q around the Atotsugawa fault zone

平松 良浩<sup>1\*</sup>, 澤田 明宏<sup>1</sup>, 山内順公<sup>1</sup>, 上山信吾<sup>1</sup>, 西上 欽也<sup>2</sup>, 蔵下 英司<sup>3</sup>, 歪集中帯大学合同地震観測グループ<sup>4</sup>  
HIRAMATSU, Yoshihiro<sup>1\*</sup>, SAWADA, Akihiro<sup>1</sup>, Yoritaka Yamauchi<sup>1</sup>, Shingo Ueyama<sup>1</sup>, NISHIGAMI, Kin'ya<sup>2</sup>, KURASHIMO, Eiji<sup>3</sup>, Japanese University Group of the Joint Seismic Observations at NKTZ<sup>4</sup>

<sup>1</sup> 金沢大学, <sup>2</sup> 京大防災研, <sup>3</sup> 東大地震研, <sup>4</sup> 歪集中帯大学合同地震観測グループ

<sup>1</sup>Kanazawa Univ., <sup>2</sup>DPRI, Kyoto Univ., <sup>3</sup>ERI, Univ. of Tokyo, <sup>4</sup>Japanese University Group of the Joint Seismic Observations at NKTZ

内陸地震を発生させる応力蓄積過程の解明のために歪速度が周辺地域に比べ 1 桁程度大きい新潟から神戸にかけての歪集中帯 (Sagiya et al., 2000) が注目されている。歪集中帯の地震学的な特徴の 1 つとして低 coda Q 地域 (Jin and Aki, 2005) であることが挙げられる。Hiramatsu et al. (2010) では、歪集中帯周辺における S 波偏向異方性と Jin and Aki (2005) の結果から地殻における応力蓄積速度の空間変化量を推定し、下部地殻における大きな変化量が歪み集中帯の原因であることを指摘した。本研究では跡津川断層帯周辺における稠密な地震観測データを用いて、歪集中帯内部の coda Q の詳細な空間分布を明らかにし、歪集中帯との関連性、3 次元地震波速度構造との比較、下部地殻における応力蓄積速度の空間変化量、について議論する。

解析には跡津川断層帯周辺における合同自然地震観測、Hi-net、大学、気象庁の観測点で得られた 3 成分地震波形データを使用した。解析に用いた地震は 2004 年 11 月から 2006 年 12 月に飛騨地方および北陸地方で発生した M1.8 以上、深さ 30 km 以浅の 186 個の地震である。Sato (1977) の一次等方散乱モデルを適用し、1.5Hz から 24 Hz までの 10 周波数帯においてコーダ Q 値を推定した。

低周波数帯である 1.5 Hz 帯や 2.0 Hz 帯では、北東-南西方向に跡津川断層帯と重なるように低コーダ Q 域 (高コーダ Q-1 域) が広がり、跡津川断層帯から離れるにつれ、高コーダ Q (低コーダ Q-1) になる。しかし、この低コーダ Q 域は周波数帯が高くなるにつれて不明瞭となる。すなわち、新潟-神戸構造帯に対応するコーダ Q の空間変化は低周波数帯で顕著である。

低周波数帯のコーダ Q 値の空間分布について、Nakajima and Hasegawa (2007) による地震波トモグラフィーの S 波速度構造と比較すると、上部地殻下部から下部地殻での S 波速度と相関が見られ、低速度では低コーダ Q、高速度では高コーダ Q となる傾向がある。したがって、低周波数帯におけるコーダ Q 値は地殻の脆性?延性遷移領域以深の状態を反映したパラメータであると考えられる。

Hiramatsu et al. (2010) による方法を用いて、コーダ Q 値と GPS 観測で得られた差歪速度 (Sagiya et al., 2000) との関係から応力蓄積速度の空間変化量を推定すると、1.5 Hz 帯で  $15 \pm 3$  kPa/year、2.0 Hz 帯では  $18 \pm 4$  kPa/year と求められる。これらの値は Jin and Aki (2005) の結果から推定された値 ( $13 \pm 3.5$  kPa; Hiramatsu et al., 2010) より若干大きく、跡津川断層帯周辺地域では応力蓄積速度の空間変化量が新潟-神戸構造帯での平均的な値より大きい可能性がある。

謝辞: 本研究を行うにあたり、跡津川断層帯周辺域における合同自然地震観測、東京大学地震研究所、京都大学防災研究所、名古屋大学、防災科学技術研究所、気象庁の波形データを使用しました。また、東北大学の中島淳一博士には地震波トモグラフィーデータを提供して頂きました。記して感謝いたします。

キーワード: 跡津川断層帯, コーダ Q, 応力蓄積速度, 歪集中帯

Keywords: the Atotsugawa fault zone, coda Q, stressing rate, high strain rate zone

## 発震機構解から推定した九州内陸の応力場と間隙水圧分布

### Stress field and pore-pressure distribution in seismogenic zone of Kyushu, Japan inferred from and focal mechanisms

千蔵 ひろみ<sup>1</sup>, 松本 聡<sup>1\*</sup>, 大倉 敬宏<sup>2</sup>, 宮崎 真大<sup>1</sup>, 安部 祐希<sup>2</sup>, 清水 洋<sup>1</sup>, 井上 寛之<sup>2</sup>, 中元 真美<sup>1</sup>, 吉川 慎<sup>2</sup>, 山下 裕亮<sup>1</sup>, 植平 賢司<sup>1</sup>

CHIKURA, Hiromi<sup>1</sup>, MATSUMOTO, Satoshi<sup>1\*</sup>, OHKURA, Takahiro<sup>2</sup>, MIYAZAKI, Masahiro<sup>1</sup>, ABE, Yuki<sup>2</sup>, SHIMIZU, Hiroshi<sup>1</sup>, Inoue Hiroyuki<sup>2</sup>, NAKAMOTO, Manami<sup>1</sup>, Shin Yoshikawa<sup>2</sup>, YAMASHITA, Yusuke<sup>1</sup>, UEHIRA, Kenji<sup>1</sup>

<sup>1</sup>九州大学 地震火山観測研究センター, <sup>2</sup>京都大学火山研究センター

<sup>1</sup>Institute of Seismology and Volcanology, Kyushu Univ., <sup>2</sup>Aso Volcanological Laboratory, Kyoto University

九州内陸では横ずれ型の発生メカニズムをもつ地震が卓越しており、活断層である日奈久断層付近や2005年福岡県西方沖地震(M7)震源域において高い地震活動度を示している。一方、大分県別府湾から長崎県島原半島に跨る別府島原地溝帯と呼ばれる地域において、過去の規模の大きな地震の多くが発生しており、微小な地震活動も活発である。この地域では正断層型の発震機構解も見られる。また、阿蘇や霧島、桜島など活発な活火山があることから、これらと地震活動の相互作用が地震発生場を理解する上で重要な課題となっている。本研究では九州での地震活動特性を理解するために地殻内応力場を詳細に調べ、空間的特徴や違いと地震活動の関連を議論する。

本研究では精度向上させる観測点配置を検討し、京都大学と共同で2009年11月から計35点の観測点を展開してデータを取得した。このデータを九州地域の九州大学・京都大学のルーチン観測・臨時観測、防災科学技術研究所 Hi-net、気象庁によるデータとともに処理を行った。

解析した地震は2000年1月から2011年8月までの深さ20km以浅に発生した地震を用い、震源はSaiga et al. (2010)による3次元速度構造を用いて震源の再決定を行った。発震機構解はP波初動極性を用いて決定し、このうち、精度の良い1889個を選んだ。

応力場は微小地震の発震機構解をもちいて応力テンソルインバージョンを行って推定した。緯度・経度方向に0.2°のグリッドを設定し、グリッド内の応力を一様とした。インバージョンによって得られた空間分布の特徴は、福岡県西方沖地震震源域や日奈久断層周辺に比べ、別府島原地溝帯のうち阿蘇西部や霧島などで最大主圧縮応力(?1)と中間主圧縮応力(?2)が近い値を取ることが明らかになった。これはこの地域で正断層型の地震が発生していることを示す応力場である。また、主応力の方向は地溝帯周辺で向きが変化していることが明らかになった。これは媒質中に非弾性変形をおこす物質が存在している可能性を示唆している。

次に、断層の破壊はクーロン・ナビエの破壊基準によると仮定し、地殻の強度を低下させる間隙水圧の空間分布について検討した。ここではTerakawa et al. (2010)の方法を用い、グリッドごとの間隙水圧の推定を行った。彼らの方法は、ある応力場の中での発震機構解の違いが間隙水圧の変化であると見なして、間隙水圧を推定する。ここでは、グリッドごとの平均間隙水圧と静水圧の差  $P$  を求めた。大局的傾向として、別府島原地溝帯では  $P$  は小さく、福岡西方沖地震や日奈久断層周辺では大きくなっている。すなわち、地震活動の活発な活断層地域では高間隙水圧であることを示している。

キーワード: ひずみ集中帯, 応力, 間隙水圧, 地震活動, 九州

Keywords: stress field, pore-pressure, seismic activity, Kyushu

## ひずみ集中帯内外でのM7クラス地殻内地震系列間の震源特性の比較(3) Comparisons of source characteristics among recent disastrous inland earthquake sequences in Japan (3)

染井 一寛<sup>1\*</sup>, 宮腰 研<sup>1</sup>, 浅野 公之<sup>2</sup>, 岩田 知孝<sup>2</sup>

SOMEI, Kazuhiro<sup>1\*</sup>, MIYAKOSHI, Ken<sup>1</sup>, ASANO, Kimiyuki<sup>2</sup>, IWATA, Tomotaka<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 地盤研, <sup>2</sup> 京大防災研

<sup>1</sup>G.R.I., <sup>2</sup>DPRI, Kyoto Univ.

地域性や断層タイプ別のような地震発生環境による震源特性の違いを調べることは、将来発生する地震の強震動予測を行う上で重要な問題である。本研究は、日本各地で起きているM7クラスの内地殻内地震の本震、余震の地震系列の震源特性を評価し、地震発生環境のひとつとして、「ひずみ集中帯」の内外で発生した地震という点に着目した比較を行ってきた。前報まで(染井・他, 2010, 2011, JpGU)は、ひずみ集中帯内の8地震系列と外の5地震系列を対象とした。これらの地震系列の結果からは、本震や地震系列全体について、ひずみ集中帯の内外、また断層タイプによる震源特性の違いは無かった。

今回は、2011年東北地方太平洋沖地震以降に発生した4つの内地殻内地震(ひずみ集中帯内:2011年3月12日長野県北部の地震, 2011年3月12日青森県西方沖の地震, ひずみ集中帯外:2011年3月15日静岡県東部の地震, 2011年4月11日福島県浜通りの地震)の地震系列を新たに解析し、計16地震系列356イベント( $M_w$ :3.1-6.9)を対象とした。前回までと同様に、S波コーダを用いたスペクトル比法による解析を行った。また、本震など規模の大きい地震のスペクトル形状やコーナー周波数の推定精度を高めるため、幾つかのイベントペアに対しては、データセットとして、可能な限り多くの強震記録と、さらにF-net広帯域地震計記録を用いた。F-net広帯域地震計記録はこれまでのデータより低周波数域において高いSN比が確保されており、コーナー周波数が比較的低周波数側にある規模の大きな地震に対しては有効なデータセットである。なお、使用する記録は、イベントペア間で、解析区間(S波コーダ部)の時間減衰曲線の共通性(コモンシェープ)を確認している。その結果、観測震源スペクトル(比)はほとんど $\omega^{-2}$ 震源スペクトル(比)モデルによってモデル化が可能であることには変わりなかった。以上から推定されたコーナー周波数から、スケーリング評価を行った。得られた応力降下量に注目すると、新たに解析したイベント群を入れても、ひずみ集中帯内外という地震発生環境による違いは前回までと同様に確認されなかった。

### 謝辞

独立行政法人防災科学技術研究所 K-NET, KiK-net, F-net, 関西地震観測研究協議会による強震記録, F-netの広帯域地震計記録, モーメントテンソル解, 気象庁一元化震源カタログの震源情報を、それぞれ使用しました。東京大学地震研究所加藤愛太郎博士には2007年能登半島地震系列, 2004年新潟県中越地震系列の再決定震源情報を使わせて頂きました。記して感謝いたします。

キーワード: ひずみ集中帯, S波コーダ, 震源スペクトル比, コーナー周波数, スケーリング

Keywords: High strain rate zone, S-wave coda, Source spectral ratio, Corner frequency, Scaling