

## 高密度・高速サンプリングの地震計アレイ観測による短波長不均質構造の推定 Lateral variation in seismic velocity around a fracture zone by a dense seismic observation and high frequency sampling

雑賀 敦<sup>1\*</sup>, 大久保 慎人<sup>1</sup>

Atsushi Saiga<sup>1\*</sup>, Makoto OKUBO<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 東濃地震科学研究所

<sup>1</sup>Tono Research Institute of Earthquake Science

我々は破砕帯周辺で高密度・高速サンプリングの地震計アレイ観測を行い、地震波速度を従来の10~100倍の決定精度と空間分解能で推定することを試みている。観測サイトとして、東濃地震科研に隣接する日本原子力研究開発機構瑞浪超深地層研究所を選んだ。瑞浪超深地層研究所では2本の立坑とそれを深度100m毎に結ぶ水平坑道(ステージ)の掘削が行われ、現在深度500mステージで発破による掘削工事が行われている。我々は深度100mから400mステージに1か所あたり3成分加速度計と1成分速度計で構成される、計9か所の18観測点を設置し、坑道掘削のための発破をサンプリング周波数10kHzで観測している。

1次元のP波速度構造を推定した結果、深度170m以深の土岐花崗岩で $5400 \pm 30$ m/s、170m以浅の瑞浪層群で $2430 \pm 40$ m/sであった。これは従来推定された値(土岐花崗岩: $5100 \pm 600$ m/s、瑞浪層群 $2300 \pm 200$ m/s)と調和的であったが、地震波速度について10倍ほど高精度な結果が得られた。岩石試験による弾性波速度との比較から岩石中の不均質量を推定したところ、不均質として含水を仮定した場合、花崗岩中で約2%、堆積層中で約26%であった。その他に、破砕帯周辺で水平方向の速度不均質が見られたので報告する。

キーワード: 破砕帯, 地震波速度, 含水率

## 表面波の広帯域アレイ解析による日本列島下の地殻・最上部マントルのS波速度異方性

### Shear-wave anisotropy in the crust and uppermost mantle beneath Japan from broadband array analysis of surface waves

竹尾 明子<sup>1\*</sup>, 西田 究<sup>1</sup>, 川勝 均<sup>1</sup>, 汐見 勝彦<sup>2</sup>

Akiko Takeo<sup>1\*</sup>, Kiwamu Nishida<sup>1</sup>, Hitoshi Kawakatsu<sup>1</sup>, Katsuhiko Shiomi<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 東京大学地震研究所, <sup>2</sup> 独立行政法人防災科学技術研究所

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

Recent deployments of dense seismic networks enable us the broadband array analysis of surface waves such as the noise correlation analysis (1-30 s), and the array analysis of teleseismic waveforms (30-100 s). As a result, we can reduce the influence of crustal structure to the estimation of radial anisotropy ( $V_{SH} < \text{or} > V_{SV}$ ) in the mantle. The dense seismic networks are also useful for measuring phase velocities of surface waves as a function of azimuth. We can then estimate azimuthal anisotropy in the mantle, whose spatial coverage and depth resolution are much higher than body-wave studies. Although the estimation of seismic anisotropy beneath Japan is essential for discussing the stress, deformation and flow related to the subduction process, the broadband phase velocities of surface waves and their azimuthal dependences have not been reported yet. We analyze broadband surface waves recorded by Hi-net tiltmeters (two-component high-sensitivity accelerometer) for obtaining radial and azimuthal anisotropy beneath Japan.

The analysis is performed for each of 120 arrays, where an array is an aggregate of 5-10 stations within a circle with a radius of 50 km. For each array, we first measure average phase velocities of Rayleigh and Love waves (1) by applying the spatial auto correlation method (Aki, 1957) to continuous records at periods of 3-20 s, and (2) by applying an array analysis method to teleseismic waveforms at periods of 30-100 s. Using these phase-velocity measurements, we estimate one-dimensional radially anisotropic structure beneath each array. In addition, the azimuthal dependences of Rayleigh-wave phase velocities are estimated from teleseismic waveforms.

The preliminary results show the presence of radial anisotropy ( $V_{SH} > V_{SV}$ ) in the crust beneath southern part of southwest Japan. In the uppermost mantle, the radial anisotropy ( $V_{SH} > V_{SV}$ ) exists beneath entire regions except for the coastal region near the Pacific Ocean. The fastest direction of Rayleigh-wave phase velocity is east-west at a period of 35 s where the wave has sensitivity to depths of about 30-70 km. The direction becomes north-south at a period of 75 s where the sensitivity exists at depths of about 70-150 km. Along the Itoigawa-Shizuoka tectonic line (ISTL), the direction is south-north at a period of 35 s, whereas the direction becomes east-west at a period of 75 s. In the western part of Hokkaido and eastern part of Tohoku, the direction is north-south at both 35 and 75 s.

For interpreting these results, we need to consider tectonics beneath Japan such as (1) the flow in the mantle due to subduction of the Pacific and Philippine Sea plates, (2) the paleo deformation frozen in the subducting plates, and (3) the east-west compression around the Hidaka Collision Zone and the ISTL. We will examine the uncertainty of estimated anisotropy, and will discuss the origin of anisotropy after comparing our results with previous results obtained by surface-wave tomography (Yoshizawa et al., 2010), S-wave splitting analysis (e.g., Nakajima and Hasegawa, 2004) and P-wave tomography (Ishise et al., 2005, 2008).

キーワード: 異方性, 地殻, マントル, 表面波, 地震波干渉法

Keywords: anisotropy, crust, mantle, surface wave, noise correlation analysis

## 白石断層の高精度反射法地震探査から明らかになった地下構造 High resolution seismic reflection profiling across the Shiroishi fault, northeast 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>, 照井 匡子<sup>2</sup>, 櫻井翔平<sup>2</sup>, 北村 重浩<sup>1</sup>, 中山 貴隆<sup>1</sup>, 飯高 隆<sup>1</sup>, 蔵下 英司<sup>1</sup>, 坂 守<sup>1</sup>, 芹澤正人<sup>1</sup>, 増田正孝<sup>1</sup>, 中島 剛<sup>1</sup>, 岩崎 貴哉<sup>1</sup>, 東中 基倫<sup>4</sup>, 阿部 進<sup>4</sup>  
Tatsuya Ishiyama<sup>1\*</sup>, Naoko Kato<sup>1</sup>, Hiroshi Sato<sup>1</sup>, Shin Koshiya<sup>2</sup>, Tsuyoshi Toyoshima<sup>3</sup>, Kyoko Terui<sup>2</sup>, Shohei Sakurai<sup>2</sup>, Shigehiro Kitamura<sup>1</sup>, Yoshitaka Nakayama<sup>1</sup>, Takashi Iidaka<sup>1</sup>, Eiji Kurashimo<sup>1</sup>, Mamoru Saka<sup>1</sup>, Masato Serizawa<sup>1</sup>, Masataka Masuda<sup>1</sup>, Gou Nakajima<sup>1</sup>, Takaya Iwasaki<sup>1</sup>, Motonori Higashinaka<sup>4</sup>, Susumu Abe<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> 新潟大学理学部地質学科, <sup>4</sup> 株式会社地球科学総合研究所

<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>JGI, Inc.

仙台平野西縁から福島盆地南西端にかけての奥羽脊梁山地東麓部には、逆断層が長さ約 80 km にわたり分布する。このうち、青麻山東麓部から白石盆地を経て福島盆地に至る区間には、村田断層・白石断層・越河断層・藤田東断層・桑折断層・台山断層・土湯断層と呼ばれる、北東走向・西傾斜の逆断層がほぼ連続的に連なっている。これらはいずれも第四紀後期の地形面を累積的に変位させる活断層である。これらの活断層は顕著なブーゲー重力異常の水平勾配の顕著な急変帯に沿って分布している。この急変帯は脊梁山地に後期中新世から鮮新世にかけて形成されたカルデラの外縁に相当すると考えられており (Sato et al., 2002) 活断層はこういったカルデラ形成に寄与した正断層の再活動である可能性がある。このような活断層の構造発達の背景を十分に理解するためには、浅部の複雑な構造や変動地形と深部構造を結びつけるために地下浅部の高解像度イメージングを行う必要がある。また、地表から地下深部にかけての構造地質的な関係を理解することは、活断層と震源断層の関わりを理解する上で重要な示唆となりうる。そこで、筆者らは文部科学省「東北太平洋沖地震の重点的調査観測・研究」の一環として、宮城県白石市において白石断層を横断する浅部の高解像度反射法地震探査を実施した。本実験では独立型収録システム GSR (OYO Geospace 社製) および中型パイプレーター震源 EnviroVib (IVI 社製) 2 台を用いた。測線は白石市地藏堂から同鎌先の児捨川沿い約 5 km 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: 12.5 m, 展開チャンネル数: 377 ch, スイープ長: 20 sec, スイープ周波数: 10-80 Hz, 地震計固有周波数: 10 Hz, 記録長: 3 sec, サンプリング間隔: 2 msec。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、白石断層およびその下盤側の地下 1 km までのイメージが取得できた。反射断面では、白石断層の変位地形として最も顕著である、高位・中位低位段丘面を変位させる一連の東向き撓曲崖の基部から地下に延びる西傾斜のスラストが確認できる。スラストは新第三系が参加する背斜東翼の基部を通過し、背斜は向斜に参加する新第三系・第四系に衝上するよう見える。また、emergent thrust の構造や位置は菅生田地点で実施されたトレンチ調査の結果と整合的である。このほか、変動地形で認められるより前縁の撓曲崖地形に対応する分岐伏在断層も認められる。今後は変動地形・表層地質や深部構造探査の結果などを併用して、白石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。なお、本研究は文部科学省委託調査「東北太平洋沖地震の重点的調査観測・研究」の一環として実施した。

キーワード: 白石断層, 活断層, 浅層反射法地震探査

Keywords: Shiroishi fault, active fault, shallow seismic reflection profiling

## ハーフグラベン (地下基盤のV字谷構造) と深さ 10 km での P 波高速帯の一致 6 Relationship between half-graben and high-velocities area at depths of 10km 6

大石 幸男<sup>1\*</sup>  
Yukio Oishi<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> アトリエサイエンス  
<sup>1</sup> Atelier Science

中央構造線の南北の地殻構造を、海嶺の浅い沈み込みと背弧側からの抜け上がりモデルで図2(2012 大石)に示した。このモデルが丹沢(図1)、北海道中軸部の日高変成帯や神居古潭帯、イドンナップ帯にも当てはめられる可能性がある。

[3, 11 震源周辺の地殻]

図3に示すように東北地方太平洋沿岸にも深さ10 kmの地震波高速帯が分布する。そのうち北上山地にはアダカイト質安山岩が存在する。また八戸、宮古、南三陸の沖合約150~200 kmの所に3つの深さ10 kmの高速エリアが南北に並ぶ。

この3つの高速帯(東北プレート)の下のプレート境界面以深の太平洋プレートには厚さ約50 km幅約100 kmの低速帯が存在し、さらに南へと続き3, 11の震源付近を通り、茨城県沖に達する。

この低速帯は概ね低ポワソン比を示す。この低速、低ポワソン比は長崎県雲仙の地表から深さ約30 km、東西幅約30 kmのエリアにも見られる。これはすなわち火山下の流動性のあるマグマや部分溶融した岩体、クリストパライト、トリジマイト、石英などのシリカが東北沖から茨城県沖に存在している可能性を示唆している。

上記の低速帯の中に釜石沖から3, 11の破壊開始点、すなわち震源付近にまで、東西幅約20 km、南北約250 kmの高速帯が分布する。

東北プレートと下方の太平洋プレートの上下にまたがる高速帯を濃い青色の円で、低速帯を赤色の円で示した。

後者のエリアの近くでは、3, 11のM9の前震と思われる2011年2月13日からの最大M5, 5を始めとするまとまった地震のエリア、同3月9日のM7, 3、そしてM9の本震が起こっている。

この柔軟な低速帯は東からの後続の太平洋プレートに押されることにより押しつぶされ上方の東北プレートを押し上げプレート間の固着を強めていると思われる。

また、このような低速帯、高速帯の上下にまたがる分布によるプレート間の強い固着に加えて、低速帯の体積変化を伴った柔軟性が3, 11、以前の地震発生を極端に少ないものにし、そのことが巨大なアスペリティーを見逃す原因になった可能性がある。

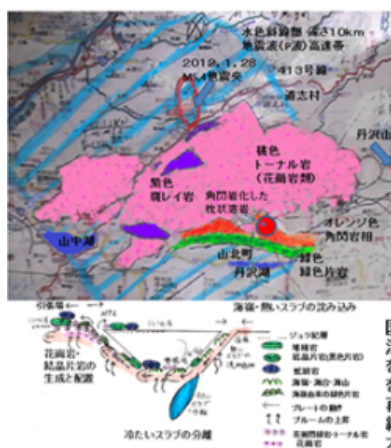


図 I  
西丹沢の地質(海嶺再浮上の現場)と深さ10kmの地震波高速帯  
図IIの中央構造線の南北で起こった、海嶺の浅い沈み込みと再浮上と同様の事が丹沢でも起きたと思われる。  
斑レイ岩、角閃岩が海嶺そのものの緑色片岩(一度地下に沈んでいた証拠)。  
トータル岩(花崗岩類)は海嶺と緑色片岩を再浮上させた浮力源。  
斑レイ岩等の微量元素分析が望まれる。

図 II  
深さ15km付近の脆性-塑性境界を通る沈み込んだ海嶺を含む熱いスラブの動きとその再浮上および花崗岩類と結晶片岩の生成と配置(2012 大石幸男 より)

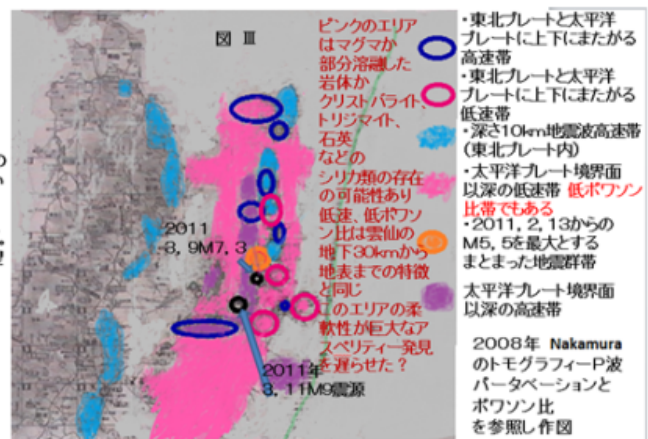


図 III  
ピンクのエリアはマグマが部分溶融した岩体かクリストパライト、石英などのシリカ類の存在の可能性あり  
低速、低ポワソン比は雲仙の地下30kmから地表までの特徴と同じ  
このエリアの柔軟性が巨大なアスペリティーを発見を遅らせた?  
東北プレートと太平洋プレートに上下にまたがる高速帯  
東北プレートと太平洋プレートに上下にまたがる低速帯  
深さ10km地震波高速帯(東北プレート内)  
太平洋プレート境界面以深の低速帯 低ポワソン比帯でもある  
2011. 2. 13からのM5, 5を最大とするまとまった地震群帯  
太平洋プレート境界面以深の高速帯  
2008年 Nakamuraのトモグラフィ-P波パターンとポワソン比を参照し作図



## 福島県浜通りの地震で出現した地震断層の地下構造調査 - 地震探査 - Seismic surveys of the earthquake faults appeared at the Fukushima-ken Hamadori earthquake

山口 和雄<sup>1\*</sup>, 伊藤 忍<sup>1</sup>, 加野 直巳<sup>1</sup>  
Kazuo Yamaguchi<sup>1\*</sup>, Shinobu Ito<sup>1</sup>, Naomi Kano<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 産業技術総合研究所

<sup>1</sup> AIST,GSJ

東北地方太平洋沖地震後の平成 23 年 4 月 11 日に発生した福島県浜通りの地震 (Mj7.0) によって地表地震断層が出現した活断層 (井戸沢断層および湯ノ岳断層) 周辺の 3 本の調査測線で反射法および屈折法による統合地震探査を実施した。

測線 1 (長さ 6.6km) および測線 2 (6.5km) は阿武隈高地南部東側に位置し起伏が大きく両者とも測線上の最大比高は約 400m に達する。測線 3 (4.2km) は低い丘陵地を横断する測線であり地形は緩やかである。調査地域周辺の地表の大部分は阿武隈花崗岩, 御斎所変成岩, およびこれらを基盤とする新第三系で覆われている。測線 1 は中央部で井戸沢断層の西側トレース (塩ノ平断層) を横断し, 東端部で東側トレースに接する。測線 2 は中央やや北東寄り湯ノ岳断層を横断し, 南西端で井戸沢断層東側トレースと接する。測線 3 は湯ノ岳断層南東端の延長部に位置し直下の伏在断層の有無は不明とされている。

3 本の測線全てで中型パイプレータ 2 台を震源とする「浅層反射法」(受振間隔 10m/発震間隔 10m), 測線 1 および測線 2 で地表地震断層位置を中心とする 2km 区間において高密度の「高分解能反射法」(受振間隔 5m/発震間隔 5m), 測線 1 および測線 2 で中型パイプレータ 4 台を震源とする「深部反射法・屈折法」(受振間隔 10m/発震間隔 40m) を実施した。受振は各測線の全範囲で固定展開とした。

測線 1 は, 浅層反射法で, 浅部において連続的な反射面を見出すことは困難である。地表地震断層位置近傍についても, 断層構造を直接的に示唆する反射イベントは認め難い。やや深部に注目すると, 浅層反射法重合記録の往復走時約 0.3 秒から同約 1.5 秒にかけての部分は, 地表地震断層位置より東側で reflective であり, 西側で連続的な波群に乏しく振幅も相対的に小さい。これは基盤岩内部の状態を反映したものである可能性がある。深部反射法も, 断層近傍において容易に解釈可能な反射イベントを見出すことは難しい。より深部に注目すると, 一連の波群は深度約 7km を境に, これより深部において振幅を減じる。当地域周辺の余震分布と比較すると, この振幅の境界は震源が集中する領域とほぼ一致し, 何らかの関連が示唆される。これより深部では, 測線西半分の往復走時約 4.4 秒, 深度約 12 km に連続性のよいイベントが認められ, 地殻内部の何らかの境界を示している可能性がある。

測線 2 は, 浅層反射法で, 新第三紀の堆積岩および第四紀の谷底堆積物が分布する区間 (測線全体の約 2/3) において, 地表から基盤上面に至るまでの堆積層構造が明瞭に捉えられた。基盤上面は細かな起伏を伴いながら緩やかに北東側に傾斜し, 深度約 300m から北東側へ傾斜を増して最大深度約 700m に達する。これより北東側では基盤深度は急激に浅くなり, 湯ノ岳断層地表位置付近で地表に達する。堆積層内に部分的に背斜状の構造が認められる。屈折トモグラフィ解析による速度構造は反射法で推定された堆積層構造を極めてよく説明している。表層付近の低速度分布は浅部の堆積層の起伏とよく一致しており, 基盤傾斜が急変する付近においても, 反射法による基盤形状と速度分布はよく対応している。深部反射法は, 湯ノ岳断層地表位置から堆積層最深部を経て南西端の井戸沢断層延長部に, 直ちに解釈可能な反射イベントを見出すことはできない。

測線 3 の北西方向約 1.5km 地点付近まで湯ノ岳断層に沿った地表地震断層が確認されている。測線 3 は, 基盤深度は測線南端において約 500m であり, ほぼフラットで, 途中 2 箇所ほどで緩やかに傾斜し, 深度約 800m となる。地表地震断層の直線延長の本測線との交差付近では基盤の落差は認められない。堆積層の構造は北向きに緩やかに傾斜しているが, 測線上のいずれの区間においても, 断層構造を示唆するような明瞭な基盤落差, あるいは褶曲を認めることはできない。

現地調査の実施に際して, いわき市役所の田人・遠野・常磐・小名浜の各支所にご協力いただきました。地震探査は (株) 地球科学総合研究所が実施しました。以上の関係機関に感謝します。

キーワード: 福島県浜通りの地震, 井戸沢断層, 湯ノ岳断層, 地下構造, 地震探査

Keywords: Fukushima-ken Hamadori earthquake, Itozawa fault, Yunodake fault, Subsurface structure, Seismic survey

## 2011 年いわき地震域の不均質構造と地震発生との関係

## Seismic imaging of the 2011 Iwaki earthquake area: Effect of Pacific slab dehydration on the rupture nucleation

北川 弘樹<sup>1\*</sup>, 趙 大鵬<sup>1</sup>, 豊国 源知<sup>1</sup>Hiroki Kitagawa<sup>1\*</sup>, Dapeng Zhao<sup>1</sup>, Genti Toyokuni<sup>1</sup><sup>1</sup> 東北大学・理・予知セ<sup>1</sup> RCPEVE, Tohoku Univ.

2011年4月11日のいわき地震(M7.0)は、井戸沢断層の活動によって発生した正断層型の地殻内地震である。これまで井戸沢断層では大きな地震の発生が予想されていなかったことから、その発生要因が注目され、地震波トモグラフィーによる震源域近傍の詳細な3次元不均質構造の推定が望まれていた。

Tong et al. (2012) は、2011年いわき地震の震源域及びその周辺域の地殻と上部マントルについて、高解像度のトモグラフィーモデルを決定した。この結果に基づいて、著者らは、いわき地震とその余震はおもに地震波速度やポアソン比の急変部で発生していること、震源域下の下部地殻と上部マントルにある低速度異常体が、沈み込む太平洋スラブの脱水で解放された流体の存在を示す可能性があることを指摘した。日本列島で過去に発生した地殻内大地震では地殻流体の関与が発見されており(例えば、Zhao et al., 1996, 2010; Wang and Zhao, 2006a, b; Gupta et al., 2009; Cheng et al., 2011; Padhy et al., 2011)、2011年いわき地震でも同様なメカニズムが働いたと考えられる(Tong et al., 2012)が、詳細な議論のためには、さらに高解像度のトモグラフィーモデルが必要である。

今回我々は、Tong et al. (2012) に比べて観測期間を1年間以上延長し、2002年5月から2012年11月の期間に気象庁一元化カタログに記録された地震の中から、(1) M1.5以上で30点以上の観測点で観測されていること、(2) 震源の分布を均一とし群れるのを防ぐために解析領域を小さなブロックに分けて、各ブロックの中で観測された走時データが最も多い地震を選ぶ、(3) 震源の決定誤差が4.0 km以下である、という条件で6,912個の地震と139点の観測点を選んだ。また、先行研究より精度の高いトモグラフィーモデルを得るために、本研究では新たに震源の決定精度が悪い海岸から20 km以上離れた地震を使わないという条件を加えた。結果として5,099個の地震と139点の観測点による163,585個のP波到達時刻データと150,182個のS波到達時刻データをインバージョンに用いた。解析手法はZhao et al. (1992)の手法を適用した。グリッド間隔はいわき地震域で0.08°間隔、そのほかの領域では0.15°間隔とした。最終のroot-mean-square (RMS) 走時残差はP波トモグラフィーでは0.171 s、S波トモグラフィーでは0.248 sとなった。

今回得られたトモグラフィーモデルはTong et al. (2012)の結果と調和的であるが、我々の結果のほうがより高い解像度と信頼度を持っている。火山フロント直下の地殻内と上部マントルウェッジ内に高温の弧状マグマによる強い低速度異常が見られた。また、いわき地震の震源と福島第一原子力発電所(FNPP)の近くを走る双葉断層の下部地殻と上部マントルに、スラブ上面から続く顕著な低速度異常体が先行研究より非常に鮮明にイメージングされた。これらの低速度異常体は沈み込む太平洋スラブの脱水による流体を表していると考えられる。2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震(Mw9.0)の影響で、陸側のオホーツクプレートにおける応力場の変化が生じ、いわき地域の地震活動が非常に活発になった。本研究の結果は、太平洋プレートの脱水と地殻応力場の変化によって、いわき地震が誘発されたことを示唆したTong et al. (2012)の結果を支持する。井戸沢断層と双葉断層の下の構造が似ていることから、将来予期される巨大地震に備えてFNPPの耐震措置を強化するべきだと思われる。

## 参考文献

- Cheng, Zhao & Zhang (2011) PEPI 184, 172-185.  
Gupta, Zhao, Ikeda, Ueki & Rai (2009) J. Asian Earth Sci. 35, 377-390.  
Padhy, Mishra, Zhao & Wei (2011) Tectonophysics 509, 55-68.  
Tong, Zhao & Yang (2012) Solid Earth 3, 43-51.  
Wang & Zhao (2006a), EPSL 244, 16-31.  
Wang & Zhao (2006b), PEPI 155, 313-324.  
Zhao, Hasegawa & Horiuchi (1992), JGR 97, 19909-19928.  
Zhao, Kanamori, Negishi & Wiens (1996), Science 274, 1891-1894.  
Zhao, Santosh & Yamada (2010), Island Arc 19, 4-16.

キーワード: 地震波トモグラフィー, 2011年いわき地震, 地殻流体

# Japan Geoscience Union Meeting 2013

(May 19-24 2013 at Makuhari, Chiba, Japan)

©2013. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.



SSS26-P06

会場:コンベンションホール

時間:5月19日 18:15-19:30

Keywords: Seismic tomography, The 2011 Iwaki earthquake, Crustal fluid

## 重力異常に基づく能登半島北部の基盤構造 The basement structures of the northern Noto Peninsula based on the gravity anomalies

水林 侑<sup>1</sup>, 澤田 明宏<sup>2\*</sup>, 浜田 昌明<sup>1</sup>, 本多 亮<sup>3</sup>, 平松 良浩<sup>2</sup>  
Tasuku Mizubayashi<sup>1</sup>, Akihiro Sawada<sup>2\*</sup>, Masaaki Hamada<sup>1</sup>, Ryo Honda<sup>3</sup>, Yoshihiro Hiramatsu<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 金沢大学大学院自然科学研究科, <sup>2</sup> 金沢大学理工研究域, <sup>3</sup> 東濃地震科学研究所

<sup>1</sup>Natural Science and Technology, Kanazawa Univ., <sup>2</sup>College of Science and Engineering, Kanazawa Univ., <sup>3</sup>TRIES

上部地殻の地塊構造はしばしば地質学的または地形学的データのような地表から得られる情報によって定義される。地質学的ブロック構造を3次元的に知るためには地下構造モデルを構築することが必要であり、重力調査は地下の密度構造を明らかにするために有効である。

我々は能登半島北部において重力調査を行うとともに既存測定データをあわせて重力異常分布データを作成した。これを基に、13 × 35の2次元断面上で2次元タルワニ法を用いて地下密度構造を推定した。

我々は前回地震学会における発表以降、基盤構造について検討をおこなうことで結果に改良を行うとともに、その基盤構造についての検証を行った。2次元断面を組み合わせることで3次元地下構造を推定するという手法には精度についての検証はこれまでされていなかった。そこで我々は2次元断面から得られた3次元地下構造を角柱によってモデル化し、角柱が地表に及ぼす引力効果を3次元的に解析することで得られる理論引力効果と観測重力異常値とを比較した。その結果、2次元断面の組み合わせから構築された3次元地下構造から得られる引力効果は観測重力値を断面上のみならず平面的に満足させる結果が得られた。

キーワード: 重力異常, 能登半島, 基盤構造

Keywords: gravity anomaly, Noto peninsula, basement structure



## 地震波干渉法による関東平野の堆積層構造の推定 - 上総層群及び相当層の基底深度 -

### Basal boundary depth of the Kazusa Group and its equivalents in the Kanto Plain inferred from seismic interferometry

吉本 和生<sup>1\*</sup>, 平田 直<sup>2</sup>, 笠原 敬司<sup>2</sup>, 小原 一成<sup>2</sup>, 佐藤 比呂志<sup>2</sup>, 酒井 慎一<sup>2</sup>, 鶴岡 弘<sup>2</sup>, 中川 茂樹<sup>2</sup>, 木村 尚紀<sup>3</sup>, 棚田 俊收<sup>3</sup>, 宮岡 一樹<sup>4</sup>, 中原 恒<sup>5</sup>

Kazuo Yoshimoto<sup>1\*</sup>, Naoshi Hirata<sup>2</sup>, Keiji Kasahara<sup>2</sup>, Kazushige Obara<sup>2</sup>, Hiroshi Sato<sup>2</sup>, Shin'ichi Sakai<sup>2</sup>, Hiroshi Tsuruoka<sup>2</sup>, Shigeki Nakagawa<sup>2</sup>, Hisanori Kimura<sup>3</sup>, Toshikazu Tanada<sup>3</sup>, Kazuki Miyaoka<sup>4</sup>, Hisashi Nakahara<sup>5</sup>

<sup>1</sup> 横浜市立大学生命ナノシステム科学研究科, <sup>2</sup> 東京大学地震研究所, <sup>3</sup> 防災科学技術研究所, <sup>4</sup> 神奈川県温泉地学研究所, <sup>5</sup> 東北大学理学研究科

<sup>1</sup>Nanobioscience, Yokohama City Univ, Yokohama, Japan, <sup>2</sup>ERI, Univ. of Tokyo, Tokyo, Japan, <sup>3</sup>NIED, Tsukuba, Japan, <sup>4</sup>Hot Springs Res. Inst. of Kanagawa Pref, Odawara, Japan, <sup>5</sup>Geophysics, Science, Tohoku Univ, Sendai, Japan

#### 1. はじめに

首都圏における長周期地震動の発生を正確に評価するには、関東平野で盆地状の地盤構造を形成する新第三系の堆積層の構造の地域変化を明らかにする必要がある。関東平野におけるこの堆積層は、地表近くから、地震波速度の小さい上総層群及び相当層や上総層群及び相当層によって構成されていると考えられている。本報告では、地震波干渉法を地震波形記録に適用して推定した関東平野における上総層群及び相当層の基底深度について紹介する。

#### 2. データと解析

首都圏地震観測網 (MeSO-net) や首都圏強震動総合ネットワーク (SK-net) 等の地震観測点で得られた 231 の近地地震についての波形記録を解析した。地震波干渉法では、各観測点の加速度波形を変位波形に変換し、直達 S 波を含む 10 秒間の SH 成分について自己相関関数を求めた後に、重合処理により地盤の S 波レスポンス関数 (地盤の S 波反射応答関数) を評価した。そして、この S 波レスポンス関数を直線状に配列した多数の観測点について並べることによって疑似反射断面を作成した。さらに、堆積層中からの反射 S 波の往復走時を検出した後に、その値から VSP 法調査 (山水 2004・他) で得られている首都圏内 14 地点の S 波速度構造モデルを線形補間及び外挿して用いることで上総層群及び相当層の基底深度を推定した。

#### 3. 結果

上記の波形処理によって求められた地盤の S 波レスポンス関数には多くの観測点において、上総層群及び相当層の基底からの反射 S 波に対応する明瞭な大振幅の位相が検出された。特に MeSO-net の観測点では地震計を深さ 20m 程度のポアホールに設置していることから、SK-net などの観測点の波形データと比較してノイズが小さく、安定してこの反射波の位相が検出された。この位相の発現時間は、地表 上総層群及び相当層の基底間の S 波の往復走時に相当するものであり、地域によって大きく変化することが確認された。例えば、MeSO-net のつくば 藤沢測線では、千葉県内で 3.5 秒程度、東京都区部の北東部で 4.0 秒程度、神奈川県に入ると 3.0 秒程度以下にまで小さくなる。これらは深度に換算すると、それぞれ 1.0km 強、1.5km 程度、及び 1km 程度以下になる。上総層群及び相当層の基底深度は、大局的に見ると房総半島の付け根付近にあたる千葉市周辺で特に大きくなる傾向が見られる。本発表では、複数の疑似反射断面とともに深度換算の結果の地域変化を示して、関東平野における上総層群及び相当層の基底深度の詳細について提示する。

#### 謝辞

本研究では、首都圏地震観測網の地震波形記録及び、首都圏強震動総合ネットワークの東京都、東京消防庁、茨城県、神奈川県、群馬県、埼玉県、千葉県、栃木県、横浜市、東京大学地震研究所の強震波形記録を使用しました。また、気象庁と防災科学技術研究所の強震波形記録、東京ガス (株) の SI センサ波形記録を使用させていただきました。本研究は、東京大学地震研究所共同研究プログラムの援助を受けました。ここに記して感謝します。

キーワード: 地震波干渉法, 関東平野, 堆積層構造, 上総層群

Keywords: seismic interferometry, Kanto Plain, sedimentary structure, Kazusa Group

## スペクトル比法を用いた東海地域における地震波減衰構造の推定 Attenuation structure beneath the Tokai region, Central Japan using a spectral ratio method

高岡 宏之<sup>1\*</sup>, 津村 紀子<sup>1</sup>, 加藤 愛太郎<sup>2</sup>, 吉田 康宏<sup>3</sup>, 勝俣 啓<sup>4</sup>, 山岡 耕春<sup>5</sup>, 國友 孝洋<sup>5</sup>, 山崎 文人<sup>5</sup>, 大久保 慎人<sup>6</sup>  
Hiroyuki Takaoka<sup>1\*</sup>, Noriko Tsumura<sup>1</sup>, Aitaro Kato<sup>2</sup>, Yasuhiro Yoshida<sup>3</sup>, Kei Katsumata<sup>4</sup>, Koshun Yamaoka<sup>5</sup>, Takahiro Kunitomo<sup>5</sup>,  
Fumihito Yamazaki<sup>5</sup>, Makoto OKUBO<sup>6</sup>

<sup>1</sup> 千葉大学大学院理学研究科, <sup>2</sup> 東京大学地震研究所, <sup>3</sup> 文部科学省 研究開発局 地震・防災研究課, <sup>4</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>5</sup> 名古屋大学環境学研究科附属地震火山研究センター, <sup>6</sup> 東濃地震科学研究所  
<sup>1</sup>Graduate School of Science, Chiba University, <sup>2</sup>Earthquake Research Institute, University of Tokyo, <sup>3</sup>Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology, <sup>4</sup>Institute of Seismology and Volcanology, Hokkaido University, <sup>5</sup>Earthquake and Volcano Research Center, Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University, <sup>6</sup>Tono Research Institute of Earthquake Science

東海地域はフィリピン海プレートがユーラシアプレートの下へ沈み込んでおり、その境界において長期的なスロースリップ (LTSS) や非火山性の深部低周波地震 (LFE) が発生している地域である。既存研究から、それらは地震性の固着すべりと安定すべりの遷移領域で、プレート境界近傍の流体が影響して発生していると考えられている。Q 値は流体の存在に敏感なパラメータで、特に  $Q_p/Q_s$  値は岩石中の水の飽和度によって敏感に変化するので、水がどのような状態で存在しているかを示す重要なインディケータである。本研究では  $Q_p/Q_s$  値及び  $Q_s$  値を推定し、 $Q_p$  値や地震波速度などのパラメータと比較し、プレート境界近傍のより詳細な物性を推定することを試みた。

本研究では P 波と S 波の速度振幅スペクトルの比をとって  $Q_p/Q_s$  値を推定するスペクトル比法を開発し、データに適用した。

本研究では東京大学地震研究所、千葉大学、気象研究所、静岡大学、名古屋大学、北海道大学および東濃地震科学研究所が 2008 年 4 月～8 月の期間に設置した臨時観測点と防災科学技術研究所 Hi-net 観測網の定常観測点の計 113 点で得られた 92 個の地震から 750 個波形スペクトルを作りスペクトル比法の解析に用いた。

解析の結果、深さ 0～15km の浅部では、中央構造線を境に東側では相対的に  $Q_p/Q_s$  値が高く、 $Q_s$  値が低いのに対し、西側では相対的に  $Q_p/Q_s$  値が低く、 $Q_s$  値が高くなる傾向が見られた。中央構造線は西南日本における内帯と外帯の境界であり、内帯には主に花崗岩が分布している。外帯には、ジュラ紀変成岩、白亜系の岩石、古第三系の岩石が分布している。推定された Q 値の違いは分布している岩石の違いを反映している可能性がある。また、内帯側でも中央構造線を境に西側 5km ほど  $Q_s$  値が低い領域が存在した。これは断層運動による破碎が影響したと解釈した。深さ 15km～35km の深部では、フィリピン海プレート上面を境に上盤の大陸地殻側で  $Q_p/Q_s$  値が低く、 $Q_s$  値が高い領域 A、下盤の沈み込む海洋プレート側で  $Q_p/Q_s$  値が高く、 $Q_s$  値が低い領域 B が存在した。先行研究で推定された  $Q_p$  構造、地震波速度構造と比較したところ、領域 A は高  $Q_p$  値、高速度領域に対応し、領域 B は相対的に低  $Q_p$  値、低速度、高 VP/VS 領域に対応した。高  $Q_p/Q_s$ 、低  $Q_s$ 、低  $Q_p$ 、低速度、高 VP/VS という結果から、領域 B には高圧流体が存在すると考えられる。海洋プレート内に高圧流体が存在するためには上方への流体の移動を疎外する機構が必要である。低  $Q_p/Q_s$ 、高  $Q_s$ 、高  $Q_p$ 、高速度という結果から、領域 A が不透水性の非常に硬い岩石であると解釈すると、領域 A がキャップロックとなり海洋プレートから供給される流体をトラップしたことにより、海洋プレート内の領域 B が高圧となった可能性が考えられる。キャップロック領域は長期的なスロースリップのすべりの大きい領域の直上に位置するため、スロースリップの発生原因がキャップロックによって生まれる高圧流体と関連している可能性が高い。

キーワード: 地震波減衰構造, スペクトル比法, Q 値, 東海地域, スロースリップ

Keywords: Attenuation structure, spectral ratio method, Q value, Tokai region, Slow slip

## 紀伊半島南部下の遷移領域におけるプレート境界域の3次元構造

### 3-D structure of the locked-sliding transition on the plate boundary beneath the southern part of Kii Peninsula

蔵下 英司<sup>1\*</sup>, 飯高 隆<sup>1</sup>, 岩崎 貴哉<sup>1</sup>, 雑賀 敦<sup>2</sup>, 津村 紀子<sup>3</sup>, 酒井 慎一<sup>1</sup>, 加藤 愛太郎<sup>1</sup>, 山崎 文人<sup>4</sup>, 宮下 芳<sup>5</sup>, 澁谷 拓郎<sup>6</sup>, 伊藤 潔<sup>7</sup>, 武田 哲也<sup>8</sup>, 小原 一成<sup>1</sup>, 平田 直<sup>1</sup>

Eiji Kurashimo<sup>1\*</sup>, Takashi Iidaka<sup>1</sup>, Takaya Iwasaki<sup>1</sup>, Atsushi Saiga<sup>2</sup>, Noriko Tsumura<sup>3</sup>, Shin'ichi Sakai<sup>1</sup>, Aitaro Kato<sup>1</sup>, Fumihito Yamazaki<sup>4</sup>, Kaoru Miyashita<sup>5</sup>, Takuo Shibutani<sup>6</sup>, Kiyoshi Ito<sup>7</sup>, Tetsuya Takeda<sup>8</sup>, Kazushige Obara<sup>1</sup>, Naoshi Hirata<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 東大地震研, <sup>2</sup> 東濃地震科学研究所, <sup>3</sup> 千葉大, <sup>4</sup> 名古屋大, <sup>5</sup> 茨城大, <sup>6</sup> 京大防災研, <sup>7</sup> (株) 阪神コンサルタンツ, <sup>8</sup> 防災科研  
<sup>1</sup>ERI, Univ. Tokyo., <sup>2</sup>TRIES,ADEP, <sup>3</sup>Chiba Univ., <sup>4</sup>Nagoya Univ., <sup>5</sup>Ibaraki Univ., <sup>6</sup>DPRI, Kyoto Univ., <sup>7</sup>Hanshin Consultants Co., Ltd, <sup>8</sup>NIED

フィリピン海プレートが沈み込む紀伊半島沖南海トラフ周辺域では、東南海地震(1944年)や南海地震(1946年)などの巨大地震が繰り返し発生している。この地域での地震発生様式を考える上で、沈み込むフィリピン海プレートや西南日本弧の地殻構造を詳細に把握することが重要である。近年、固着域深部延長上のプレート境界遷移領域では、深部低周波微動、超低周波地震、スロースリップといったプレート境界のすべり運動と考えられる現象が発見されている(例えば、Obara et al., 2002; Obara and Hirose, 2006; Ito et al., 2007)。これら現象が発生している紀伊半島南部下の地震波速度構造、プレート境界面の形状や物理特性を把握する目的で、2004年度に和歌山県新宮市から京都府舞鶴市に至る「新宮-舞鶴測線」と和歌山県大塔村から三重県熊野市に至る「大塔-熊野測線」のそれぞれで制御震源地殻構造探査(Ito et al., 2005; Kurashimo et al., 2005)が、2009年度と2010年度には、和歌山県みなべ町から奈良県十津川村を経て下北山村に至る「みなべ-下北山測線」で稠密自然地震観測(蔵下・他, 2010)及び制御震源地殻構造探査(蔵下・他, 2011)が実施された。これら観測データの解析から、それぞれの測線下におけるフィリピン海プレートの形状やプレート境界域の地震波速度構造に関する知見が得られつつある(例えば、蔵下・他, 2012)。しかしながら、詳細な3次元的不均質構造を明らかにするには至っていない。そこで、紀伊半島南部下のプレート境界域の構造を3次元的に把握する為に、これら探査測線上での発破と紀伊半島下で発生した自然地震を、探査測線上の観測点及び紀伊半島にある定常観測点で観測したデータから読み取ったP波・S波の初動走時データに対して地震波トモグラフィー解析(Thurber and Eberhart-Phillips, 1999)を適応した。トモグラフィー解析の初期モデルには、連携震源決定法(Kissling et al., 1994)を用いて得た1次元速度構造モデルを使用した。得られた3次元地震波速度構造からは、「みなべ-下北山測線」の十津川村より西側で、深さ約25km以深に分布するP波速度が7.5km/secを超える領域は南に延びて存在していることが確認できた。また、深部低周波微動は、この高速度領域を避けるように分布し、深部低周波微動発生域では $V_p/V_s$ 値が大きくなることから、深部低周波微動発生過程において流体の関与が示唆される。

謝辞: 気象庁, 防災科学技術研究所の波形データを利用しました。解析に使用した震源リスト作成には、気象庁と文部科学省が協力してデータを処理した結果(気象庁一元化処理震源カタログ)を使用させて頂きました。ここに記して深く感謝の意を表します。

キーワード: フィリピン海プレート, 地震波トモグラフィー, 遷移領域, 非火山性深部低周波微動

Keywords: philippine sea plate, seismic tomography, transition zone, nonvolcanic deep low frequency tremor



## 紀伊半島下の三次元地震波減衰構造

### Three-dimensional attenuation structure beneath Kii Peninsula

梅山 恵理<sup>1\*</sup>, 津村紀子<sup>1</sup>, 蔵下英司<sup>2</sup>, 飯高隆<sup>2</sup>, 酒井慎一<sup>2</sup>, 加藤愛太郎<sup>2</sup>, 雑賀敦<sup>3</sup>

Eri Umeyama<sup>1\*</sup>, TSUMURA, Noriko<sup>1</sup>, KURASHIMO, Eiji<sup>2</sup>, IIDAKA, Takashi<sup>2</sup>, SAKAI, Shinichi<sup>2</sup>, KATO, Aitaro<sup>2</sup>, SAIGA, Atsushi<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 千葉大学, <sup>2</sup> 東京大学地震研究所, <sup>3</sup> 東濃地震科学研究所

<sup>1</sup>Chiba University, <sup>2</sup>Earthquake Research Institute, University of Tokyo, <sup>3</sup>Tono Research Institute of Earthquake Science

紀伊半島は、過去 100 ~ 150 年周期で繰り返し発生してきた海溝型巨大地震の震源域近傍に位置し、和歌山県北部における浅部群発地震や、紀伊水道から伊勢湾にかけての非火山性深部低周波微動 (Obara, 2002) の存在などが認められる等、防災とテクトニクスの両面から注目される地域である。本研究では、温度や密度等の物性データに敏感なパラメータである Q 値を求めることで、紀伊半島の地下において不均一な地震波減衰構造を推定し、当該地域の地下構造解明に寄与したい。そこで、Tsumura et al. (2000) によるインバージョン手法を用いて、複数の観測地震波形スペクトルから震源パラメータ、Q 構造、観測点近傍の地盤増幅特性を同時推定した。

今回、東経 134.75 ° ~ 136.85 ° までを 10 個、北緯 33.3 ° ~ 34.75 ° までを 8 個、深さ方向は地表 ~ 5km, 5 ~ 10km, 10 ~ 20km, 20 ~ 35km, 35 ~ 50km, 50 ~ 80km の 6 層の計 480 個に分割したブロックを設定し、観測スペクトルの値からインバージョンにより各ブロックの Q 値を求めた。

まず、インバージョン解析をした結果の再現性を確認するためのチェッカーボードテストを行った。その結果、第 1 層では、北緯 34.45 ° 以南で Q 値の高低パターンが再現され、良好な解像度であった。第 2 層、第 3 層では北緯 34.25 ° 以南で概ね良好である。第 4 層、第 5 層、第 6 層では、良好な解像度が得られる地域が限定され、深部低周波微動の発生深度領域にあたる第 4 層では北緯 34.1 ° 以南で解像度が良く、第 5 層では和歌山県北部を除く東経 135.35 ° ~ 136.1 °、北緯 33.65 ° ~ 34.45 ° の地域、第 6 層では、おおそ奈良県の地下でのみ解像度が良かった。第 1 層、第 2 層の浅部群発地震発生領域直下、第 4 層と第 5 層の微動発生領域および直下領域で Q 値がおおむね再現されており、当該地域のテクトニクス解明に有意な解析結果が得られることが期待される。

今後は北部ブロックの第 1 層、第 2 層を通る波線を加え、北緯 34.25 ° 以北における地下浅部の更なる解像度の向上を目指すとともに、実データによるインバージョン結果から当該地域の地震波減衰構造を明らかにする。

キーワード: 低周波微動, 紀伊半島, Q 値, 減衰, トモグラフィ

Keywords: non-volcanic deep low-frequency tremors, Kii Peninsula, Q value, attenuation, tomography



## 近畿地方北部における地震活動と地震波速度構造 The seismicity and the seismic velocity structure in the Northern Kinki District

海谷 絵未<sup>1\*</sup>, 片尾 浩<sup>1</sup>, 澁谷 拓郎<sup>1</sup>, 飯尾 能久<sup>1</sup>, 三浦 勉<sup>1</sup>  
Emi Kaiya<sup>1\*</sup>, Hiroshi Katao<sup>1</sup>, Takuo Shibutani<sup>1</sup>, Yoshihisa Iio<sup>1</sup>, Tsutomu Miura<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 京都大学防災研究所

<sup>1</sup> Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University

近畿地方北部、特に大阪府北部から京都府中部地域では定常的に微小地震が多発している。しかし、これらの微小地震活動の原因、また地殻構造や周辺の活断層との関係性についてはよくわかっていない。

京都大学防災研究所では「満点計画」により、近畿地方北部において2008年11月から45点、2010年4月以降は37点の臨時観測点を設置して稠密地震観測を行っている。丹波山地中央部における平均観測点間隔は約5kmで、定常観測網に比べると密であるため、従来の定常観測点のデータのみによる解析よりも高解像度の結果を得ることができると考えられる。本研究では、稠密地震観測データを用いることでより高解像度の地震波速度構造を推定し、微小地震活動の原因を探ることを目的とする。

地震波速度トモグラフィーはFMTOMO (Rawlinson et al., 2006) を用い、波面法により理論走時計算を行い、インバージョン解析を行った。解析においては、グリッド間隔や使用するデータ数等を変化させて解像力の検討を行った。

現在までの暫定的結果としては、微小地震が多く発生する丹波山地中央部には相対的に低速度が見られ、琵琶湖西岸地域周辺で一部高速度であるという特徴が見られる。

講演では、さらに詳細な3次元速度構造解析結果を示し、地震活動や比抵抗構造との関係について比較検討する予定である。

キーワード: 近畿地方北部, 速度構造, 地震波速度トモグラフィー

Keywords: the Northern Kinki District, seismic structure, seismic velocity tomography

## 四国西部三波川帯における原位置で取得した深部地盤物性による地盤増幅特性および地震発生層の検討(速報) Evaluation of earthquake amplification characteristic and seismogenic layer by in-situ deep underground rock properties

石川 慶彦<sup>1\*</sup>, 西坂 直樹<sup>1</sup>, 下口 裕一郎<sup>1</sup>, 大野 裕記<sup>1</sup>, 菅原 大介<sup>2</sup>, 田村 栄治<sup>2</sup>, 安藤 賢一<sup>3</sup>, 長井 千明<sup>3</sup>, 木村 一成<sup>4</sup>  
Yoshihiko Ishikawa<sup>1\*</sup>, NISHIZAKA, Naoki<sup>1</sup>, SHIMOGUCHI, Yuichiro<sup>1</sup>, OHNO, Yuki<sup>1</sup>, KANBARA, Daisuke<sup>2</sup>, TAMURA, Eiji<sup>2</sup>, ANDO, Kenichi<sup>3</sup>, NAGAI, chiaki<sup>3</sup>, KIMURA, Kazunari<sup>4</sup>

<sup>1</sup> 四国電力株式会社, <sup>2</sup> 株式会社四電技術コンサルタント, <sup>3</sup> 株式会社大林組, <sup>4</sup> 株式会社ナイバ

<sup>1</sup>Shikoku Electric Power Co. Inc, <sup>2</sup>Yonden Consultants Co. Inc, <sup>3</sup>Obayashi Co. Inc, <sup>4</sup>Naiba Co. Inc

### 1. はじめに

重要構造物の地震動評価を適切に行うためには、構造物の立地する地盤の地震基盤から地表にかけての地盤増幅特性や地震発生層の深さを把握する必要がある。そのためには、地震波速度、密度、地殻熱流量等の地盤物性が必要であり、地下深部に至る地盤物性を原位置で直接取得することが地震動評価の信頼性を高める上で重要である。一般に沖積平野や軟岩地域では掘削が容易で地震動の増幅も大きいため、深さ1,000mを超える地下深部まで原位置の地盤物性による検討が報告されているが、硬岩地域における報告はほとんどみられない。

本研究では、極めて堅硬な三波川帯の結晶片岩が地表に分布する四国西部の佐田岬半島付け根付近において、最深約2,000mまでボーリング孔を掘削するとともに、孔を利用した各種の物理検層によって地表から深度約2,000mにかけての連続的な地盤物性を取得し、地盤増幅特性および地震発生層の深度について検討した。ここではその結果を速報する。

### 2. 調査概要

#### (1) 深部ボーリング

深部地震観測のため、各々深さ約500m、約2,000mのボーリング孔を掘削した。

#### (2) 物理検層

深部ボーリング孔を利用してP S検層(ダウンホール法, サスペンション法)、密度検層、温度検層等の各種検層を実施した。

### 3. 検討結果

#### (1) 地盤増幅特性

・ボーリング掘削地点では、地表付近に埋立土や風化岩が薄く分布し、深度50mで新鮮な岩盤に達する。深度50mから深度約2,000mまで掘削中の逸水も確認されず、堅硬かつ緻密な結晶片岩が連続して存在する。

・P S検層(ダウンホール法)による地盤のS波速度は深度50m~620mで2.2~2.6km/s、620m~1280mで3.0km/s、1,280m~2,000mで3.3km/sと深度方向に漸増し、P S検層(サスペンション法)による速度値もほぼ同等である。深度2,000m以深は地震基盤に相当する。

・密度検層による地盤の密度は、深度50m~2,000mで2.7~3.0g/cm<sup>3</sup>を示し、岩種に応じて変化するものの、深度方向への大局的な増減傾向は認められない。

・原位置で取得した速度構造や密度構造から設定した地盤構造モデルを用いて地盤増幅特性を検討したところ、地震基盤(深度2,000m)から地表付近の岩盤までの伝達関数は1前後であり、増幅はほとんど認められない。

・今後、各深度の地震計で取得する鉛直アレー地震観測記録を用いて、地盤増幅特性の評価をさらに高度化する予定である。

#### (2) 地震発生層

・P S検層(ダウンホール法)による地盤のP波速度は深度50m~620mで4.6~5.0km/s、620m~1,280mで5.2km/s、1,280m~2,000mで5.5km/sと深度方向に漸増し、P S検層(サスペンション法)による速度値もほぼ同等である。地震発生層の上限深さはP波速度が約6km/sの層の上面に対応するとされており(例えば、入倉・三宅, 2001; 吉井・伊藤, 2001; 廣瀬・伊藤, 2006)、当該地点における地震発生層の上限は深度2kmよりも深いと考えられる。

・温度検層によると、気温の季節変動の影響を無視できる深度300m~2,000mの地温勾配は2.81 / 100m、深度2,000mにおける地温は73.2であった。ボーリング孔の掘削で取得した岩石コアの熱伝導率を用いて算定した地殻熱流量は74mW/m<sup>2</sup>であり、Tanaka(2004)の知見に照らし合わせると、地震発生層の下限に相当するD90%は深度15km程度と推定される。

・気象庁一元化震源によると、ボーリング掘削地点付近における内陸地殻内地震の発生深さは約2km~12kmである。また、地震調査委員会(2011)は、当該地点付近における地震発生層の下限深さを約15kmとしている。これらは上記の原位置で取得した地盤物性による評価と整合的である。

# Japan Geoscience Union Meeting 2013

(May 19-24 2013 at Makuhari, Chiba, Japan)

©2013. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.



SSS26-P13

会場:コンベンションホール

時間:5月19日 18:15-19:30

・以上より、ボーリング掘削地点における地震発生層の上限は深度 2km よりも深く、下限は深度 15km 程度であると評価される。

キーワード: 地盤増幅特性, 地震発生層, 深部地盤物性, 地震波速度構造, 地殻熱流量

Keywords: earthquake amplification characteristic, seismogenic layer, deep underground rock properties, seismic velocity structure, heat flow

## レシーバ関数を用いて推定した九州地方のモホ面の深度分布 Depth distribution of the Moho discontinuity beneath Kyushu, Japan, as derived from receiver function analyses

安部 祐希<sup>1\*</sup>, 大倉敬宏<sup>1</sup>, 平原和朗<sup>1</sup>, 澁谷拓郎<sup>2</sup>

Yuki Abe<sup>1\*</sup>, Takahiro Ohkura<sup>1</sup>, Kazuro Hirahara<sup>1</sup>, Takuo Shibutani<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 京都大学大学院理学研究科, <sup>2</sup> 京都大学防災研究所

<sup>1</sup> Graduate School of Science, Kyoto Univ., <sup>2</sup> DPRI, Kyoto University

九州地方は、フィリピン海プレートの沈み込み、中央構造線の運動、背弧の拡大などの影響を受けて地殻の運動や変形が複雑な地域であり、成因の特定されていない地質構造や火山が存在する。モホ面の深度分布は、地殻のひずみやマントルの流動を反映しており、テクトニクスや火山活動を考察する上で重要な情報である。そこで、私たちはレシーバ関数 (RF) を用いて九州地方のモホ面の深度分布を推定した。

私たちは、九州地方に防災科学技術研究所が設置した Hi-net の観測点、および気象庁・九州大学・鹿児島大学・京都大学が設置した J-array の観測点で得られた遠地震波形をもとに RF を作成した。RF の作成には時間拡張型マルチテーパ (Shibutani et al., 2008, BSSA) を用い、0.56Hz 以上の高周波数成分を除去した。作成した RF を Matsubara et al. (2008, Tectonophys.) の 3 次元速度構造をもとにスタックし、北緯 31 度から 34 度まで 0.1 度おきに東西断面図を作成した。

私たちは、作成した RF 断面図から九州地方のモホ面の深度分布の推定を試みた。北緯 33 度以南かつ東経 131 度以東の地域では、モホ面からの Ps 変換波に対応する明瞭なピークが得られず、モホ面の深度を推定することができなかった。モホ面深度が推定できた領域では、その深度分布に以下のような特徴がある。

九州地方の北緯 32 度より南側の地域では、モホ面が 35km より浅部に存在する。そのなかでも、薩摩半島南部と大隅半島ではモホ面深度が 30km 以内である。北緯 32-33 度の地域では、布田川・日奈久断層よりも南側の地域でモホ面が 35km より深部に存在し、それ以外の地域ではモホ面は 30-35km の深さに存在する。北緯 33 度より北側の地域のうち、東経 130 度から西側ではモホ面は 35km より深部に存在し、東経 131 度から東側ではモホ面は 30-35km の深さに存在する。東経 130-131 度の地域では、北東側のモホ面が 35-40km、南西側のモホ面が 30-35km の深さに存在する。

東経 130.3 度より東側の地域では、北緯 32 度を境に北側から南側にかけてモホ面深度が 38km 程度から 33km 程度に変化する。Takayama and Yoshida (2007, JGR) は、1998-2002 年の GPS データから、北緯 32 度より南側の地域は南東方向に伸張しながら変位していること、および北緯 32 度より北側の地域は南東方向にほとんど変位していないことを示し、南側の地域における伸張の原因は背弧の拡大やスラブの後退の影響であると主張した。私たちが見出した地殻の薄化も、そのように地殻が引き伸ばされることが原因であると考えられる。

東経 131 度より西側では、布田川・日奈久断層に平行な帯状の領域で、モホ面が周囲より浅部に存在する。この帯状の領域は、一方の境界が布田川・日奈久断層であり、別府島原地溝がこの領域内にある。また、この領域の幅は 70-80km である。この領域の内側では、外側に比べてモホ面の深度が 5-10km 浅い。多田 (1993, 地質学論集) は、島原半島を南北に横切る測線上で観測された重力値をもとに、島原半島を中心とする幅 50km の領域でモホ面が最大で 10km 上昇していると推定しており、私たちの解析結果はそのフォワードモデリングと調和的である。この帯状の領域の直下ではマントルの上昇流が存在する可能性がある。

キーワード: 九州, モホ面, レシーバ関数

Keywords: Kyushu, Moho, receiver function



## 宮崎平野における第三紀前弧堆積盆の重力異常解析 Re-analysis of Gravity Anomaly around the Tertiary forearc basin of Miyazaki Plane

小坂 英輝<sup>1\*</sup>, 中山 英二<sup>2</sup>, 黒澤 英樹<sup>2</sup>  
Hideki Kosaka<sup>1\*</sup>, Eiji Nakayama<sup>2</sup>, Hideki Kurosawa<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 環境地質, <sup>2</sup> 応用地質

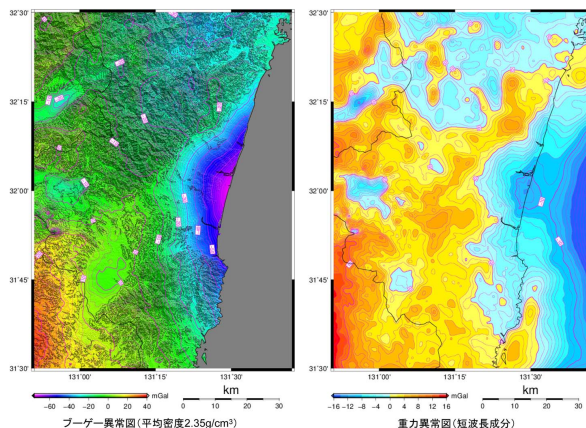
<sup>1</sup>Kankyo Chishitsu Co., Ltd, <sup>2</sup>Oyo Co.

筆者らは、第三紀に形成された前弧堆積盆（宮崎層群）が陸化している宮崎平野を対象として、その堆積盆の構造を明らかにするために、既存の重力異常の再解析を行った。再解析に使用したデータは、「日本の重力CD-ROM」、「西南日本重力データベース」に収録されているフリーエア異常データである。再解析では、仮定密度 2.35g/cm<sup>3</sup> を用いて計算したブーゲー異常に上方接続処理を施して長波長成分からなる傾向面を求め、これを元のブーゲー異常から差し引くことで、上部地殻構造に起因する短波長成分を抽出した。上方接続距離は 3km としており、得られた結果は深さ 1-2km までの地質構造を反映していると考えられる。再解析の結果、北東 - 南西方向の地質構造と宮崎層群の分布と対応する低重力異常が示された。宮崎層群の西縁とほぼ一致する重力異常の急変部には、西へ凸状に張出した形状が複数みられる。その形状は、宮崎平野の堆積盆が北部・中部・南部に分けられることを示唆する。

なお、堆積盆南部では外所地震（1662年）において海岸沿いが沈降したことが知られている。その沈降域には今回の重力図（短波長成分）でも低重力異常が示されている。

キーワード: 前弧堆積盆, 重力異常, 上方接続処理, 重力異常の急変部

Keywords: forearc basin, Gravity Anomaly, Coparison of Variance of Upward Residual, steep gravity gradient



## 小笠原海台南東海域における下部地殻内P波速度の異方性 P-wave velocity anisotropy in oceanic lower crust near the Ogasawara Plateau

金田 謙太郎<sup>1\*</sup>, 西澤 あずさ<sup>1</sup>, 森下 泰成<sup>1</sup>, 及川 光弘<sup>1</sup>  
Kentaro Kaneda<sup>1\*</sup>, Azusa Nishizawa<sup>1</sup>, Taisei Morishita<sup>1</sup>, Mitsuhiro Oikawa<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 海上保安庁海洋情報部

<sup>1</sup>JHOD

小笠原海台は、北西太平洋プレート上の直径 150-200km 程の海台で、海溝部に位置しているものの完全には海溝に沈みこんでおらず、フィリピン海プレートと衝突していると考えられている。小笠原海台の南東には、海洋性地殻に特徴的な地磁気のリニエーションが確認される平坦な海域が広がっており、海上保安庁は、このリニエーションとほぼ垂直及び水平方向に調査測線を設定し、海底地震計を用いた屈折法地震探査及びマルチチャンネル反射法探査を実施した。その結果得られた速度構造モデルは、下部地殻内にP波速度異方性が存在していることを示唆しており、本発表で報告する。

海上保安庁は、大陸棚調査の一環として、小笠原海台周辺の地殻構造を把握するため、小笠原海台南東方に広がる地磁気のリニエーションに平行な測線 OGr16、リニエーションに垂直な測線 OGr13 において、総容量 8,040 cubic inch (131.8 ?) のチューンドエアガンアレイを人工震源とした屈折法及び反射法地震探査を実施した。解析結果の品質を担保するため、両測線はほぼ垂直に交差するように設定されている。屈折法地震探査では、海底地震計を約 5 km 間隔で設置し、距離 200 m 間隔でエアガンアレイを発震した。反射法探査では、ケーブル長 6,000 m のマルチチャンネルストリーマケーブルを曳航し、距離 50 m 間隔の発震を実施した。

OGr13 上の測線交点付近に設置した海底地震計の記録には、下部地殻を伝播したと思われる見かけ速度約 6.8 km/s のP波初動が確認されたが、測線交点付近に設置した OGr16 の海底地震計の記録には、同様に見かけ速度約 6.8 km/s のP波初動が確認されるものの、この見かけ速度を持つ初動は急激に減衰し、やがて確認できなくなる。そのため、OGr16 下の下部地殻内には、地震波を減衰させる構造、もしくは、6.8 km/s より遅いP波速度構造が広がっていることが予想された。

幸いにも、両測線共、マルチチャンネル反射法探査では明瞭なモホ面からの反射波が記録され、海底地震計の記録では PmP 及び Pn を確認することができたため、解析にあたっては、下部地殻の速度及びモホ面位置を変化させ、両地震探査の記録と整合的になるような速度構造モデルを求めることにした。この結果、OGr16 では、下部地殻内でP波速度構造が逆転しているモデルが整合的であり、逆転部の平均P波速度は約 6.5 km/s との値が得られた。この速度は、OGr13 で得られた速度構造モデルの下部地殻の平均速度 (約 6.9 km/s) と比べて有意に遅く、下部地殻内におけるP波速度異方性を示しているものと思われる。OGr16 のみならず、OGr16 と平行な測線である OGr15、OGr17 等においても、同様に下部地殻内におけるP波構造の逆転現象が確認され、速度異方性は当調査海域周辺に広く確認されるものと思われる。

速度異方性が生じる要因としては、プレート沈み込みに伴う断層の発達、下部地殻の結晶再配列などが考えられるが、未だ結論は出ず、現在検討中である。

キーワード: 地殻構造, P波速度異方性, 海洋性地殻

## 海域構造調査によるニュージーランド北島南端におけるヒクラング沈み込み帯の速度構造と重力モデリング

### Wide-angle OBS velocity structure and gravity modeling along the SAHKE transect, lower North Island, New Zealand

望月 公廣<sup>1\*</sup>, 山田 知朗<sup>1</sup>, 篠原 雅尚<sup>1</sup>, 岩崎 貴哉<sup>1</sup>, 佐藤 比呂志<sup>1</sup>, ヘンリース スチュアート<sup>2</sup>, サザーランド ルパート<sup>2</sup>  
Kimihiro Mochizuki<sup>1\*</sup>, Tomoaki Yamada<sup>1</sup>, Masanao Shinohara<sup>1</sup>, Takaya Iwasaki<sup>1</sup>, Hiroshi Sato<sup>1</sup>, HENRYS, Stuart<sup>2</sup>, SUTHERLAND, Rupert<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 東京大学地震研究所, <sup>2</sup>GNS Science

<sup>1</sup>Earthquake Res. Inst., Univ. of Tokyo, <sup>2</sup>GNS Science

As part of the Seismic Array HiKurangi Experiment (SAHKE) project, we acquired wide-angle reflection / refraction seismic data using ocean bottom seismometers (OBSs) along a transect across the southern North Island of New Zealand, where the Hikurangi Plateau, an early Cretaceous large igneous province, which subducts westward beneath Wellington, the capital city of New Zealand. The SAHKE project was designed to investigate the physical parameters controlling locking at the plate interface beneath the southern North Island and characterize slip processes in a major segment of the Hikurangi system. We deployed 16 OBSs with 5 km spacing off the east coast and 4 OBSs with 10 km spacing off the west coast. Controlled airgun sources were shot at every 100 m along a 350 km onshore-offshore transect. Although data from OBSs at shallow depths (~100 m) contain large amplitude ambient noise, first arrivals from the airgun sources can be traced up to over 100 km offset on record sections of most OBSs. We applied first-arrival travel-time inversion in order to obtain P-wave velocity structure along the 80 km-long OBS profile off the east coast. Starting with a simple stratified velocity model including subduction structure, we iteratively revise the initial model and put more constraints on the first arrival picks. The velocity structure to ~20 km depth was resolved, and the down going slab was clearly imaged. We picked travel times of reflected waves, and projected reflection points by applying a travel-time migration method using the first arrival velocity model. Reflection interfaces including the plate interface, a prominent phase that may represent the base of the Hikurangi Plateau and an interface between the upper and lower crusts are imaged. These interfaces can also be traced westward beneath the Wellington Region and consistent with observations from onshore active source data. We also observed P-wave arrivals with very fast apparent velocities (> 8.5 km/s) on the eastern-most OBSs, at offsets larger than ~120 km. These arrivals are not reversed but can be explained as a refractions from the base of the Hikurangi Plateau crust beneath the Chatham Rise or as an eclogite layer within lower crust. We use gravity data and Vp-density relationships to test the hypothesis that the lower crust of the Hikurangi Plateau has transformed to eclogite.

キーワード: ヒクラング沈み込み帯, ヒクラング海台, 人工地震調査, 海底地震計

Keywords: Hikurangi subduction zone, Hikurangi Plateau, active seismic survey, ocean bottom seismometer

Does the crustal flow intrude into the Longmen-Shan fault zone in the southeastern Tibetan plateau?

Does the crustal flow intrude into the Longmen-Shan fault zone in the southeastern Tibetan plateau?

Wang Zhi<sup>1\*</sup>

Zhi Wang<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>State Key Laboratory of Oil and Gas Reservoir Geology and Exploitation, Chengdu Univ. of Tech.

<sup>1</sup>State Key Laboratory of Oil and Gas Reservoir Geology and Exploitation, Chengdu Univ. of Tech.

The Longmen-Shan range front, characterized by convergent mountain building with a greater topographic gradient than anywhere else on the Tibetan Plateau, lies in a conjunctive area between the northwestern Songpan-Ganze terrane and the Sichuan foreland basin. The Songpan-Ganze fold system has obliquely collided with the Sichuan foreland basin, resulting in three large reverse-thrust and strike-slip faults along the Longmen mountain region with 250-300 km extents, including the Guanxian-Jiangyou fault (fore fault), the Yingxiu-Beichuan fault (central, principal fault), and the Wenchuan-Maowen fault (rear fault), oriented from southwest to northeast across the fault zone (Figure 1). The Longmen-Shan fault zone is one of the most extensively studied areas in the world, yet its deformation model and seismic generating mechanism remain subjects of vigorous debate. This paper presents a new three-dimensional (3-D) velocity model determined using 136,795 P and Pn phases and 121,292 S and Sn phases from 16,142 local earthquakes, together with two-dimensional (2-D) magnetotelluric (MT) profiles from previous studies, to investigate the nuclei of crustal deformation and earthquake generation along the reverse-thrust and strike-slip fault zone. It has been observed that anomalously low velocity, with low resistivity relative to the Sichuan foreland basin, is in sharp contrast to high-velocity and high-resistivity anomalies in the Songpan-Ganze block in the upper crust. The tomographic model presented here reveals two crustal bodies with anomalously low velocity and high conductivity underneath the Longmen-Shan fault zone, which is separated into three contrasting segments by the bodies. These low-velocity and low-resistivity bodies have been interpreted as being associated with extrusion of either fluids or products of partial melting from the lower crust, the upper mantle, or both. This suggests strong variations in the rheological strength of the rock along the fault zone. This finding implies that the coupling between these presumably fluid-bearing bodies and earthquake generation could be extremely complex and that there is dramatic variation from the southwestern portion to the northeastern segment along the fault belt. It is suggested here that this complex and variable deformation system along the fault zone played a principal role in controlling seismic generation and rupturing during the 2008 Wenchuan earthquake (Ms 8.0) and that it will do so again during possible future earthquakes in the region.

Keywords: Crustal flow, Crustal deformation, Longmen-Shan fault zone, seismic tomography, Crustal stress, continental colliding