

カリフォルニア北部 The Geysers 地熱地域における高減衰構造

Low-Q related to partially saturated pores within the reservoir beneath The Geysers area in the northern California

松原 誠^{1*}

MATSUBARA, Makoto^{1*}

¹ 防災科研

¹ NIED, Japan

カリフォルニア州北部の地熱地帯である The Geysers 地域の地下には、大きなリザーバが存在する。地震波トモグラフィから、このリザーバの内部は高速度かつ低 V_p/V_s であることが明らかになっている (Julian et al., 1996)。さらに、1991 年から 1998 年にかけてリザーバからの蒸気の抽出とともに V_p/V_s は減少してきた (Guasekera et al., 2003)。リザーバにおける蒸気と流体の状態を推定するために減衰構造の推定を行った。

解析領域は北緯 38.5-39.0 °N、西経 122.5-123 °W である。2002 年から 2008 年に北カリフォルニア地震データセンターで記録された 65,810 個の地震の中から発震機構解の決められている 1,231 個の地震を解析に用いた。解析領域内には 47 観測点が存在し、そのうち 27 観測点では 3 成分の波形が記録されている。バンドパスフィルターをかけた波形について、後続波の影響を除くため P 波および S 波の到達から 2 秒以内における最大振幅データを収集した。47 観測点で記録された 949 個の地震から収集された 8,545 個の P 波および 1,168 個の S 波の最大振幅データを減衰トモグラフィに適用した。Zhao et al. (1992) の速度トモグラフィ法に空間的相関 (スムージング) と観測点補正値を考慮した手法 (Matsubara et al., 2004, 2008) を減衰構造を推定する手法に変換した。速度構造は任意に入力できる三次元速度構造を用いる。本研究では、Thurber et al. (2009) で得られた北カリフォルニアの速度構造から本解析領域で得られている構造を用いた。Q の初期値は Ford et al. (2010) で得られている北カリフォルニアの平均値である 150 を用いた。

この付近の標高は 1000 ~ 2000m ある。海拔 0m 付近では低 Q 領域が Greywache 内の蒸気地リザーバの中央部から南部にかけて存在する。海面下 1km では低 Q 領域はリザーバの南側だけに存在する。しかし、海面下 2km では低 Q 領域はリザーバの北部に存在する。海面下 1 ~ 3km にかけてのリザーバの深部では felsite batholith が存在し、それに対応した高 Q 領域が得られた。鉛直断面では低 Q 領域が Greywache 層から Felsite の最上部にかけて、リザーバと一致して存在していることが分かる。Felsite 層は高 Q であるが、リザーバが広がっているところは低 Q になっている。

地熱地帯である The Geysers 地域は北東部の Collayomi 断層帯と南西部の Mercuryville 断層帯に囲まれている。Geysers Peak 断層は Mercuryville 断層の 3km 南西を、北西から南東にかけて走っている。Mercuryville 断層は北東傾斜で Geysers Peak 断層は南西に傾斜する。高 Q 領域はこれらの断層の間に存在し、その幅は断層の形状に合わせて深くなるにつれて広がっている。

液体の水が存在すると高 V_p/V_s になるが、蒸気の割合が多い場合は低 V_p/V_s になる。液体と蒸気の遷移領域にちかいたところでは、地震波の振幅は非常に小さくなることが実験結果から得られている (Ito et al., 1979)。部分的に飽和している領域では完全飽和の状態や乾燥している状態よりも Q は小さくなる。リザーバに対応した低 V_p/V_s かつ低 Q 領域は、リザーバが部分的に飽和しており、液体と蒸気の遷移領域に近い状態であることを示唆する。

キーワード: 地熱地帯, 減衰トモグラフィ, 遷移領域, 低 Q, 低 V_p/V_s

Keywords: Geothermal area, Attenuation tomography, Transition zone, Low Q, Low V_p/V_s

オントンジャワ海台中央部のP波速度構造と深部反射面

P-wave velocity structure and deep crustal reflections in the central Ontong Java Plateau

三浦 誠一^{1*}, 野口 直人¹, コフィン-ミラード², カワグルーサイモン³, ヴェラヴェーロナルド⁴, 小平 秀一¹, 深尾 良夫¹
MIURA, Seiichi^{1*}, NOGUCHI, Naoto¹, Millard F. Coffin², Simon Kawagle³, Ronald Verave⁴, KODAIRA, Shuichi¹, FUKAO, Yoshio¹

¹ 海洋研究開発機構, ² タスマニア大学, ³ パプアニューギニア大学, ⁴ パプアニューギニア鉱物資源庁

¹JAMSTEC, ²University of Tasmania, Australia, ³University of Papua New Guinea, PNG, ⁴Mineral Resource Authority, PNG

オントンジャワ海台 (OJP) は西太平洋の赤道付近に位置する水深 4000m 以浅の浅海域である。その面積は 1.86×10^6 ² であり (Mahoney et al., 2001) 日本のおよそ 5 倍にもおよぶ。浅い水深と広大な面積から地殻が厚いことは推定されてきたが、その厚さや深部構造については確定していなかった。また、世界最大の海台であるとともに、世界最大級の大規模火成岩区域 (LIPs) でもある (Coffin and Eldholm, 1994)。LIPs の形成過程は、通常のプレートテクトニクスによるメカニズムでは説明することができず、様々なモデルが提唱されているが観測結果をすべて説明するモデルはまだない。LIPs の形成時には周辺環境に大きな影響を与えたことがわかっており (例えば Tejada et al., 2009) 形成過程を解明することは、固体地球だけでなくさまざまな分野においても重要である。海洋研究開発機構では、OJP の中央部における深部構造を求め、深海調査船「かいれい」による人工地震探査を実施した (Miura et al., 2011)。マルチチャンネル反射法 (MCS) データによると、海底下 1 秒付近に強振幅の反射面がほぼ全範囲にて確認でき、その上側が堆積層、反射面より下が基盤で、深海掘削で確認されている玄武岩層に相当する (Mahoney et al. 2001)。基盤より深い部分にも反射面が複数確認できる。特に往復走時 11 - 13 秒、14 - 15 秒付近に強振幅反射面が確認でき、OJP の深部構造を反映するものと考えられる。海底地震計 (OBS) によるデータでは、初動走時はオフセット距離 300 以上まで確認できるとともに、後続反射波も複数確認できる。見かけ速度 7km/s の相は広範囲で確認でき、厚いことを示唆する。初動走時トモグラフィによって深さ約 40 までの速度構造を求めた。また、後続反射波を用いた走時マッピングによって境界面を求めた。それらによると、深さ 15 付近に連続的な境界面があり、その付近の速度は 7 km/s より少し遅く 6.8-6.9 km/s 程度である。深さ 33 - 35 と 42 - 45 付近に連続的な反射面が確認できる。OBS データによる速度モデルを用いて MCS データを深度変換すると、前述の 2 つの反射面は OBS データによるマッピング結果とよい相関を示す。これら深部反射面の解釈は今後の課題である。Coffin et al. (2006) によると、海台はプレート拡大軸の近傍かそうでないかによって構造が異なるとされている。拡大軸から離れた off-axis タイプであれば LIPs 形成前の海洋性地殻を保存しているとされているが、今回の探査結果からはそのような海洋性地殻が保存されている様子は確認できない。どちらかといえば LIPs 活動によって改変される on-axis タイプに似ている。本発表では MCS、OBS データによる解析結果およびそれらによる構造解釈と形成過程について議論する予定である。

キーワード: 大規模火成岩区域, オントンジャワ海台, MCS, OBS

Keywords: LIPs, OJP, MCS, OBS

日本列島下のモホ面直下最上部マントルの速度分布 Uppermost mantle velocity distribution just beneath the Moho discontinuity of Japanese islands

勝間田 明男^{1*}

KATSUMATA, Akio^{1*}

¹ 気象研究所

¹ Meteorological Research Institute, JMA

Katsumata(2010) は日本全国のもほ面深さ分布を求めた。そこでは層内の速度分布も同時に推定している。ここでは、日本列島のモホ面直下の最上部マントルの速度分布の特徴について概観する。このでは相対的信頼性の高いP波速度について主としてみてゆく。

東日本における最も顕著な特徴は、これまでも多くの研究において指摘されている火山直下の低速度である。ただし、火山フロント全体にわたって低速度が続いているのではなく低速度部分はまだら状態に分布している。北海道においては、東部・中部・西部に低速度の分布が認められる。火山フロントに沿ったものであれば東北東-西南西に配列することが期待されるが、中部についてはむしろ南北方向に低速度部が配列していると認められる。

東北地方においても火山直下の低速度地域が南北に連なっているとは見えない。下北半島・十和田湖・岩手山・栗駒山の下部の低速度部は南北につながってはならず、間に高速部が認められる。十和田湖・岩手山の低速度部は北上山地東部の低速度部につながっていると認められる。また、北上山地西部には南北方向の高速部が認められる。

福島県から長野県北部にかけての火山フロント沿いにも低速度部分が認められるものの、必ずしも連続的な分布はしておらず、火山フロント沿いにも相対的に高速部分が認められる。関東地方から中部地方に特徴的な構造は関東平野南部の低速度とその北側における高速度の分布である。また、秩父山地から伊勢湾にかけての低速度分布が認められるが、これはフィリピン海プレートの影響もあると考えられる。以上の特徴は、他の研究(例えば Matsubara et al. (2008) や Nakamura et al. (2008) の深さ 30km の速度構造)にも認められる。

西南日本における最大の特徴は中国地方の低速度である。これは Ito et al.(2009) によるマントル最上部の反射的な層に対応していると考えられる。白亜紀の花崗岩形成時における変性作用に関係している可能性があると考えられる(勝間田・鎌谷、2010)。P波速度については、中国地方の火山フロントに沿った領域では中国地方中央部に対して相対的に高速度となっていると見られるが、S波については火山フロントを含めて低速度になってみるとみられる。

九州においては、低速度域が九州の北西部と東部に分布していると認められる。なお、中国地方の低速度と九州の特徴は Matsubara et al.(2008) とは似た傾向となっているが、Nakamura et al.(2008) とは特徴が異なっている。

これらの特徴は何らかのテクトニックな要因に関係しているとみられる。火山の生成に関わる構造は板状というよりも円柱状であるかもしれない。

キーワード: 最上部マントル, 速度分布, 火山フロント

Keywords: uppermost mantle, velocity distribution, volcanic front

北上地域の広域重力解析 - コンラッド・モホ・スラブ残差重力異常に基づく解析 - Re-analysis of Gravity Anomaly around the Kitakami district based on Conrad-Moho-Slab-residual gravity anomaly

中山 英二^{1*}, 三輪 敦志², 小坂 英輝³, 内田 淳一⁴, 儘田 豊⁴

NAKAYAMA, Eiji^{1*}, MIWA, atsushi², KOSAKA, Hideki³, UCHIDA, Jun-ichi⁴, MAMADA, Yutaka⁴

¹ なし, ² 応用地質株式会社, ³ 東北大学, ⁴ 独立行政法人 原子力安全基盤機構

¹ none, ² Oyo co., ³ Tohoku University, ⁴ Japan Nuclear Energy Safety Organization

北上地域の活断層調査の一環として、既存の重力異常データの再解析を行った。再解析のポイントは、上部地殻の構造をより明瞭に抽出するために、源内・河野(1999)の手法を用いてコンラッド・モホ・スラブ残差重力異常(以下、CMSRGと表記)を計算したことにある。これは、対象地域では太平洋プレートの沈み込みや、脊梁山脈下に存在するコンラッド面/モホ面の凹地の影響が重力異常に現れ、上部地殻の構造に起因する重力異常を不明瞭にしている可能性が考えられたことによる。

ここでは、その再解析結果とその評価について報告する。

1. コンラッド・モホ・スラブ残差重力異常の計算方法

解析は北上地域を含む38.0~39.7°N / 139.8~141.5°Eの領域を対象とし、既存データとしては「日本の重力CD-ROM」に収録された2.67g/cm³ ブーゲー異常(1kmメッシュグリッド・データ)を用いた。これより、以下のステップでCMSRGを計算した。

コンラッド面、モホ面、太平洋プレート上面の深度分布(Zhao et al., 1992, Nakajima and Hasegawa, 2006)をモデル化し、上部地殻・下部地殻・大陸地殻側のアセノスフェア(マントルウェッジ)・スラブ・海洋プレート側のアセノスフェアからなる3次元モデルを作成する。スラブの厚さは90kmとした。

各層が密度的には均質であると仮定して、平均密度を与え、3次元密度構造モデルを作成する。平均密度は地震波トモグラフィ等の結果を参照して、上部地殻2.67g/cm³、下部地殻2.90g/cm³、アセノスフェア3.20g/cm³、スラブ3.42g/cm³と設定した。

3次元密度構造モデルによる重力異常をフォワード計算して、その結果を上記のブーゲー異常から差し引いて残差を求める。

このようにして得られたCMSRGを、源内・河野(1999)らが指摘するように、上部地殻内の構造(密度不均質性)を反映しているとみなした。なお、ステップにおいて、スラブ密度を3.42g/cm³(アセノスフェアとの密度差0.12g/cm³)としたのは、東北日本に見られる東から西に向かって単調に重力異常が低くなる傾向がスラブ沈み込みによると見なし、それを取り除くように設定した値で、Furuse and Kono(2003)が示した値(0.065g/cm³)よりかなり大きい。これは沈み込むに伴うスラブ内の鉱物相変化に伴う密度の変化を表しているとも考えられるが、この点についてはさらに検討を要する。

2. コンラッド・モホ・スラブ残差重力異常の特徴

得られたCMSRGは、広域にわたる長波長の成分が取り除かれ、断層やカルデラなどの地質構造との対比がより明瞭になった。これより、北上低地周辺域を切り出し、フィルタ処理による波長成分分離の手法も併用しながら、地質情報や反射法地震探査結果との比較検討を行った。これより、以下のような特徴が示された。

(1) CMSRGには、カルデラ、活断層など上部地殻浅部の構造がより明瞭に示されるようになった。

(2) 北上低地は東西から北北西-南南西の構造に切られてブロック化されており、その状況は、測地的なデータや震源分布と整合的である。

(3) 低重力異常の広がりや形態はリフト構造をよく反映している。

(4) 反射断面に基づくフォワード計算により、重力異常は主に基盤深度の変化に対応することが示された。

キーワード: 北上, 重力異常, 上部地殻, リフト

Keywords: Kitakami, gravity anomaly, upper crust, rift

重力異常に基づく能登半島北西部の基盤構造

Basement structure based on gravity anomaly in the northwestern Noto peninsula

水林 侑^{1*}, 澤田 明宏¹, 浜田 昌明¹, 本多 亮², 平松 良浩¹

MIZUBAYASHI, Tasuku^{1*}, SAWADA, Akihiro¹, HAMADA, Masaaki¹, HONDA, Ryo², HIRAMATSU, Yoshihiro¹

¹ 金沢大学, ² 北海道大学

¹Kanazawa Univ., ²Hokkaido Univ.

1. はじめに

能登半島北部は変動地形学的見地から東から宝立地塊、鉢伏地塊、猿山地塊、桑塚地塊と4つの地塊に分けられている(太田・平川, 1979)。さらに能登半島北方沖から西方沖にかけては、断続的に活断層が分布し、東から珠洲沖セグメント、輪島沖セグメント、猿山沖セグメント、門前沖セグメントに分けられる(井上・岡村, 2009)。2007年能登半島地震では、桑塚地塊で隆起が観測され、海底活断層の活動が地塊構造の形成に大きな役割を果たしていることが報告された(Hiramatsu et al., 2008)。

本研究では鉢伏地塊、能登半島北西部の猿山地塊、桑塚地塊が分布している陸域と、海底活断層の猿山沖セグメント、門前沖セグメントとの境界部を含めた範囲で、重力異常に基づいた密度構造解析を行った。密度構造解析から得られた基盤深度の分布と地塊区分、活断層セグメントとの関係について考察した。

2. ブーゲー異常と密度構造解析

重力データは金沢大学の既存重力データに加え、西南日本重力研究グループ(2001)、地質調査総合センター(2004)、国土地理院(2006)、北陸電力(株)により測定または公表された陸上測定データ、駒澤・大熊(2010)により報告された海域の重力グリッドデータを用いた。仮定密度は2400kg/m³とし、陸上重力データについては本多・河野(2005)の地形補正処理を行い、ブーゲー異常図を作成した。

密度構造解析は、2次元タルワニ法(Talwani et al., 1959)を適用し、須藤ほか(2005)の方法を基にして基盤深度図を作成した。北東-南西方向に11本、北西-南東に17本それぞれ2km間隔で測線を引き、尾崎(2009)による地質区分図より地表地質を拘束条件として密度構造解析を行った。解析に用いた密度はHonda et al. (2008a)を参照し、第四紀層を1800kg/m³、第三紀堆積岩を2200kg/m³、第三紀層を2400kg/m³、基盤を2670kg/m³の4層構造とした。

3. 結果考察

猿山地塊には、基盤深度が1000m以深の領域が存在し、桑塚地塊には500m以浅の領域が存在する。猿山地塊は隣接する両隣の地塊に比べてブーゲー異常の値が低く(Honda et al., 2008b)、基盤構造の解析から、猿山地塊と桑塚地塊は最大約1500mの基盤深度差を有することが明らかになった。桑塚地塊と猿山地塊の境界付近は、基盤深度が北に向かって深くなる遷移域と対応する。また猿山地塊と鉢伏地塊の境界付近は、東へ向かって基盤深度が浅くなる遷移域とも対応する。

井上・岡村(2009)による海底活断層セグメントの関係については、猿山沖セグメントは陸海境界に認められる基盤深度差が約1000mの基盤等深線の急変部に対応し、門前沖セグメントは陸上への延長部も含め基盤深度差が約600mの基盤の高まりの北西縁部に対応する。猿山沖セグメントと門前沖セグメントはそれぞれ猿山地塊、桑塚地塊に対応する。尾崎(2009)による活断層分布と基盤深度分布を対応させると、陸域の基盤深度の遷移域には活断層は分布していない。また、門前沖セグメントに分布する活断層の運動が、桑塚地塊の北西側の構造を制限しているものと推測される(Hiramatsu et al., 2008)。このことから能登半島北西部の地塊運動は、海底活断層の運動によるものであることが示唆される。

濃尾断層帯周辺における地震波干渉法から得られた減衰率の空間変化の推定 Estimation of quality factor of auto correlation function obtained by seismic interferometry around the Noubi fault zone

辻 清根^{1*}, 平松良浩², 濃尾合同観測グループ³

TSUJI, Sugane^{1*}, Yoshihiro Hiramatsu², Joint observation group in the Noubi-earthquake region³

¹ 金沢大学自然科学研究科地球環境学専攻, ² 金沢大学自然システム学系, ³ 濃尾合同観測グループ

¹Graduate school of Natural Science of Technology, Kanazawa University, ²School of Natural System, Kanazawa University,

³Joint observation group in the Noubi-earthquake region

地震波干渉法は、地表にある観測点での波動場記録の自己相関(ACF)をとることで、地表の同一点に震源、観測点を設置した場合の反射波記録を生成する手法である(Claerbout,1968).Sens-Shoenfelder and Wegler(2006)は、地震波干渉法を用いて2004年新潟県中越地震(M6.8)前後における常時微動のACFの減衰率(QACF)を計算し、新潟県中越地震震源域でのQC(Jin and Aki,2005)と調和的であることを示した。一方で、地震波干渉法で得られたACFは表面波が卓越した波であること、QACFはQCより浅い深度における不均質性を反映していると考えられる結果を示した報告もなされており(Mouri et al.2010; 辻 他,2011 地震学会, 秋季大会),QACFがQCと同じ地殻の不均質性を反映したパラメータであることが示されていない。本研究では、新潟 神戸歪集中帯(Sagiya et al.,2000)に属する濃尾断層帯周辺においてQACF,QCの解析、比較することで、それぞれが反映していると考えられる地下の不均質性の解明を行い,QACF/QCと地震活動の関係性についての調査を目的とする。

QACFの推定には、濃尾断層帯周辺における59観測点で2010年2-5月の三ヶ月間で観測された上下動成分の連続地震波形を用いた。また、QCの推定には2009年6月~2011年6月の二年間でQACF解析と同じ観測点で観測された上下・水平成分の地震波形を用いた。用いた地震数は160個である(震源が30kmより浅く、M1.8以上の地震を選択)。

QC解析方法は、まずイベント波形に対して1-2,2-4,4-8,8-16,16-32Hzの5つの周波数帯でバンドパスフィルタをかけ、RMS振幅を計算する。RMS振幅に対し、実体波を想定した場合の一次後方散乱式(Aki & Chouet,1975)を適用し、ロバスト推定法を用いて直線近似を行いQC値を推定する。

QACFの解析方法は、まず1分間ごとに計算したACFを1カ月分スタックし、QC解析と同様の周波数帯のバンドパスフィルタをかけ、フーリエ変換を行いスペクトルを計算する。この時、人工起源と考えられるラインスペクトルを除去する。次に、逆フーリエ変換をもちいて波形に戻し、RMS(Root Mean Square)振幅を計算し、の式を適用し、最小二乗法を用いてQ値を求める。

$$A_{acf}(f, t) = A/t^n * \exp(-ft)/(Q_ACF(f))$$

この時、QACFが本研究で得られたQCと同じ値になる時のn値の推定を行った。その結果、全観測点のn値の平均値と標準偏差は1-2Hzの時 0.87 ± 0.47 ,2-4Hzの時 0.50 ± 0.38 ,4-8Hzの時 0.57 ± 0.44 ,8-16Hzの時 0.38 ± 0.36 ,16-32Hzの時 0.44 ± 0.38 という値を示した。QACFがQCと同じ地殻の不均質性を反映したパラメータであるとすれば、Q値が等しくなるのはn=1の時であるので、QACFとQC値は異なる地下の不均質性を反映していると考えられる。また、n=1の実体波を想定した場合QACFは概して負の値を示した。このことから、本研究で得られたACFは全ての周波数帯で表面波が卓越した波であることが考えられる。

本研究で得られたQCは大よそJin and Aki(2005)の結果と整合的な値を示した。一方で、QACFは本研究で得られたQCやJin and Aki(2005)のQCと比べると約50%程度の値を示した。また、解析領域を6分×6分の格子で区切り、その小領域内での過去10年間で発生した(M1.0以上)地震数と小領域内の平均的なQCとQACFの値を比較した結果、それぞれの相関係数は深度4.0-9.0kmの時 $RQACF=-0.22$, $RQC=0.06$,深度9.0-14.0kmの時 $RQACF=0.09$, $RQC=-0.56$ となり、QACFは深度4.0-9.0kmにおける地震活動とやや負の相関を示し、一方でQCは深度9.0-14.0kmの地震活動と負の相関をもつことを示した。従って、QACFはQCより浅い深度における地震活動と関係があり、QCとは異なる不均質性を反映したパラメータであると考えられる。

箱根火山の群発地震発生域における 1995 年から 2010 年までの S 波スプリッティング解析 Shear-wave Splitting Analysis in the Focal Area of Earthquake Swarm at the Hakone Volcano from 1995 to 2010

丹原 裕^{1*}, 田所 敬一¹, 行竹 洋平², 本多 亮², 伊東 博²

NIHARA, Yu^{1*}, TADOKORO, Keiichi¹, YUKUTAKE, Yohei², HONDA, Ryuu², Hiroshi Ito²

¹名古屋大学 環境学研究科, ²神奈川県温泉地学研究所

¹Grad. Sch. Environ. Stud., Nagoya Univ., ²Hot Springs Research Institute

箱根火山は、現在でも活発な噴気活動が続いている活火山であり、たびたび群発地震が発生している。これまでの先行研究で、箱根火山域の群発地震の発生と地殻内流体との関係が議論されており、その発生原因については地下深部からの熱水活動によるものが考えられている。そこで、本研究では、箱根火山で発生した 2001 年と 2009 年の群発地震の震源域直上の観測点で 1995 年から 2010 年の間に連続的に収録された地震波形データを用いて、上部地殻のクラック分布を検出するのに有効な手段である S 波スプリッティング解析を行い、その周辺のクラック分布を明らかにし、群発地震の発生との関連性について議論する。

本研究では、2001 年と 2009 年の群発地震の震源域直上に設置された観測点 (KZR) において、1995 年 4 月から 2010 年 6 月までに収録した地震波形を用いた。それらの地震波形のうち、S-P 変換波の影響を避けるために各観測点への入射角が 35°以内で、S 波初動の明瞭なものを選び出し、解析に用いた。解析は、10Hz のローパスフィルタをかけた水平 2 成分の波形に対して、座標軸を 5°ずつ回転させ、片方の成分の波形の時間をずらしながら相互相関係数を計算していく方法を採用した (たとえば Shih and Meyer, 1990)。S 波スプリッティング解析から求められるパラメタは、はやい S 波の振動方向 () と 2 つの波の到達時間差 (DT) であるが、相互相関係数が最も大きいときの座標軸の回転角度と時間差をそれぞれのパラメタとして採用した。また、相関係数に対しフィッシャーの z 変換を行い、z 値の 95% の信頼区間を求め、それを逆変換することでそれぞれのパラメタの信頼区間を計算した。その結果、DT の信頼区間が 20ms より大きい解析結果を信頼性に欠けるものと判断し除外した。

解析に用いたイベントを 2001 年および 2009 年に発生した群発地震のイベント (グループ I) とそれ以外のイベント (グループ II) の 2 つのグループに分けた。使用した地震数は、グループ I が 51 個、グループ II が 115 個であった。解析の結果、北を 0°とし時計回りに測った場合の の方向と DT の平均値は、それぞれグループ I で $140 \pm 2^\circ$ と $86 \pm 2\text{ms}$ 、グループ II で $125 \pm 2^\circ$ と $55 \pm 2\text{ms}$ となり、グループ間で と DT の両方に有意な違いがみられた。この の違いは反映している異方性の違いを示唆している。グループ I の震源は観測点直下の深さ 2.5km 以浅に、グループ II の震源は深さ 30km までの比較的広い領域に位置しているため、グループ I の結果は、群発地震発生時において群発地震震源域近傍に相対的に高い密度でクラック群が分布していたことを示唆している。また、クラックの配向方向は 2009 年の群発地震の震源の並びの方向と一致しており、群発地震の発生との関連性が示唆される。一方、グループ II の結果は、それらのクラックとは別の方向を向いたクラックが相対的に低い密度でより広域に分布していることを示唆している。また、グループ II の震源からのパス上にグループ I の結果から推定されたクラック構造が存在するとすれば、その構造の時間的変化を示唆している。つまり、群発地震の震源域近傍のクラックは、群発地震発生時以外は、広域に分布するクラックよりも低い密度で分布している可能性を示唆している。

以上のことから、群発地震の震源域近傍には、ごく浅部に周囲とは異なる方向に並んだクラック群が存在しており、群発地震の発生に伴ってそのクラック密度が高まる可能性があることが明らかになった。箱根火山域における群発地震は、これら浅部のクラック構造の中に選択的に地殻内流体が入り発生することが推定される。

キーワード: S 波偏向異方性, 箱根火山, 群発地震, 地殻内流体, クラック

Keywords: Shear-wave splitting, Hakone Volcano, earthquake swarm, crustal fluid, crack

異方性傾斜構造を伝わる S 波・Ps 変換波の剥ぎ取り解析

Stripping analysis of S and Ps waves traveling through a dipping anisotropic layer structure

渡辺 光美^{1*}, 小田 仁²

WATANABE, Mitsumi^{1*}, ODA, Hitoshi²

¹ 岡山大学大学院自然科学研究科, ² 岡山大学理学部地球科学科

¹Graduate School of Natural Science and Technology, Okayama University, ²Department of Earth Sciences, Faculty of Science, Okayama University

1. はじめに

多層構造を伝った直達 S 波のスプリットングは多くの層の異方性の影響を受けるため、検出された偏向異方性がどの深さの異方性を反映しているのかわからない場合がある。そこで、レシーバ関数に現れる Ps 変換波のスプリットング解析によって異方性構造を推定する方法が開発された (McNamara and Owens, 1993)。しかし、Ps 変換波の場合も、その偏向異方性が変換面よりも上の層の異方性によって影響されるため、直達 S 波に伴ったものと同じ問題が起きる。この問題を解決するために、深い層で発生した Ps 変換波に対して、その層より上に存在する層の異方性の影響を補正する方法 (剥ぎ取り法) が考案された (Oda, 2011)。本研究では、地殻、マントルウエッジ、斜めに沈み込む海洋プレートからなる沈み込み帯に P 波や S 波を入射させ、伝播した S 波やプレート境界で発生する Ps 変換波に剥ぎ取り法を適用し、地殻やマントルウエッジの S 波偏向異方性を推定する数値実験を行った。その結果、傾斜多層構造の異方性の推定に対しても、剥ぎ取り法が有効であることを確認した。また、多層構造に様々な周期の S 波を入射させ、異方性構造が S 波偏向異方性に与える影響を周波数毎に調べた。

2. 傾斜構造への適用

沈み込み帯の速度構造を想定し、地表から上部地殻、下部地殻、マントルウエッジ、海洋地殻、海洋プレートから成る 5 層構造を仮定した。プレートを等方性弾性体の基盤とし、他の 4 層に六方対称軸の方位と傾斜角、異方性の大きさを与えた。また、上部地殻と下部地殻は水平とし、海洋地殻、海洋プレートは水平面から 25 度傾いているものとした。基盤に P 波を入射したときの伝達関数を使って P 波レシーバ関数の radial 成分と transverse 成分を合成した。下部地殻上面で発生した Ps 変換波のスプリットング解析によって上部地殻の異方性を推定し、モホ面で発生した Ps 変換波に剥ぎ取り法を用いることによって下部地殻の異方性を推定した。得られた異方性は、速度構造に与えたものと一致した。海洋地殻上面および基盤で発生した二つの変換波は、海洋地殻の厚さを薄くしたために、レシーバ関数上で分離できなかった。そのため、二つの変換波を海洋地殻上面で発生した一つの Ps 変換波とみなして、この変換波に対して上部・下部地殻の異方性の補正を剥ぎ取り法によって行った。補正した変換波にスプリットング解析を行った結果、速軸の方向やスプリットタイムがマントルウエッジの異方性から予測される値と一致した。これらのことから、剥ぎ取り法は境界面が傾斜している場合にも有用であり、二つの Ps 変換波が分離できない場合は一つの変換波とみなして剥ぎ取り解析しても問題ないことが分かった。

3. S 波への適用

深部の境界面で発生した Ps 変換波は同定しにくいことがある。この場合、直達 S 波の解析が有用であると考えられる。そこで、Ps 変換波によって推定された地殻の異方性を用いて、深部層を伝播した直達 S 波に対して地殻の異方性の影響を補正し、補正された S 波から深部層の異方性を推定する方法を検討した。上記と同じ沈み込み帯の異方性構造の基盤に P 波と S 波を入射させ、P 波レシーバ関数と S 波を合成した。レシーバ関数の Ps 変換波から上部・下部地殻の異方性を推定し、S 波に対して上部・下部地殻の異方性の補正を剥ぎ取り法によって行った。補正後の S 波はマントルウエッジのみの異方性の影響を受けて分裂しているので、これをスプリットング解析すると、マントルウエッジの異方性を正しく推定することができた。これらの結果から、マントルウエッジの異方性の推定のために、直達 S 波に剥ぎ取り解析を行うことは有用であることが判明した。

4. S 波偏向異方性の周期依存性

半無限等方弾性体の基盤の上に二層から成る異方性成層構造を仮定し、基盤に S 波を入射したときの伝達関数を使って S 波を合成した。S 波の伝播方向は北から 10 度毎に 360 度の範囲で与えた。各層の異方性は六方対称として、対称軸の方位と傾斜角、異方性の大きさを各層に与えた。また、第二層の厚さを第一層の 5 倍とした。得られた S 波の合成波形にスプリットング解析を行い、S 波偏向異方性の速軸の方向とスプリットタイムを推定した。入射する S 波の周期が短い場合、S 波偏向異方性の速軸の方向が第一層の六方対称軸の方向とほぼ一致した。S 波の周期を長くすると、速軸の方向は第二層の六方対称軸の方向と一致する傾向を示した。しかし、スプリットタイムは S 波の周期に関わらず速度構

Japan Geoscience Union Meeting 2012

(May 20-25 2012 at Makuhari, Chiba, Japan)

©2012. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.



SSS34-P08

会場:コンベンションホール

時間:5月21日 13:45-15:15

造から予測される値とは一致しなかった。これらの結果から、直達S波を用いて異方性の推定を行う場合、短周期であれば薄い表層の異方性、長周期であれば深部のより厚い層の異方性を見ることができるといえる。

キーワード: 剥ぎ取り解析, S波偏向異方性, P s変換波, 直達S波, 異方性傾斜構造

Keywords: Stripping analysis, S-wave polarization anisotropy, dipping anisotropic layer structure, Ps converted wave

神縄断層西方延長の地殻比抵抗構造

Crustal resistivity structure at the western extension of Kannawa Fault

小川 康雄^{1*}, 本蔵 義守¹, 吉村 令慧², 神田 径¹, 上嶋 誠³

OGAWA, Yasuo^{1*}, HONKURA, Yoshimori¹, YOSHIMURA, Ryokei², KANDA, Wataru¹, UYESHIMA, Makoto³

¹ 東京工業大学火山流体研究センター, ² 京都大学防災研究所, ³ 東京大学地震研究所

¹ Volcanic Fluid Res. Centr., Tokyo Institute of Technology, ² DRRI, Kyoto University, ³ ERI, University of Tokyo

はじめに:

神縄・国府津-松田断層系は現在の伊豆ブロックと本州ブロックの境界にある。神縄断層の西方延長については富士火山もしくは愛鷹火山の噴出物に覆われており、活断層としては認識されていないが、その構造は未だ不明である。そこでMT法によって神縄断層西方延長の深度4kmまでの比抵抗構造を解明するために、広帯域MT観測を行った。

観測:

箱根カルデラ南東縁から河口湖にいたる45kmの測線上において広帯域MT観測を実施した。観測には、フェニックス社MTU5システムを用いて、周波数300Hzから0.5mHzの範囲で自然界の変動する電磁場を計測した。人工ノイズの影響を低減させるために、国土地理院の江刺観測点の時系列データをレファレンス信号としてインピーダンスを計算し、周波数300Hzから1Hzまでの範囲では、すべての良好なデータが得られた。また観測点によっては、周波数0.3Hz程度までの解析が可能になった。

解析:

得られたインピーダンスについて、周波数・観測点ごとに、2次元走向を推定した(McNeice and Jones, 2001)が、顕著な走向を見出すことはできなかった。そこで、解析にあたっては、測線方向に直交する方向を2次元走向と仮定することとし、TMモードのデータについてのみ解析を行った。

解析結果:

2次元構造解析プログラム(Ogawa & Uchida, 1996)を用い、観測点のごく近傍の影響をstatic shiftパラメータとして除去しつつ深部構造を解析した。初期モデルは100ohmm一様の大地としたが、測線の南東延長の海による電磁誘導もモデル計算で考慮した。繰り返し計算によって収束し、rmsが1.55となった。

解析結果:

最終的な比抵抗モデルでは、丹沢山地の高比抵抗ブロックが顕著である。その東側では低比抵抗層が南東に向かって徐々に厚く分布する。神縄断層の延長部は、この低比抵抗層の北西端付近にあると思われる。またこの低比抵抗層は4km程度に厚いと推定される。またこの低比抵抗層の中に、北西方向の不連続が見出せる。この構造は、伊豆ブロックが0.5Maに衝突するまで、トラフが存在し、足柄層が厚く堆積したこと、さらにその後の伊豆の衝突で変形していると解釈できる(Amano, 1991; 松田, 2007)。箱根カルデラでは地表付近1-2kmに顕著な低比抵抗層が存在するが、これは地熱系で変質を受けた粘土鉱物を含む地層をあらわしている。カルデラの外縁ではこの低比抵抗層は失われている。

キーワード: 神縄断層, 衝突, 比抵抗, MT法

Keywords: Kannawa fault, collision, resistivity, magnetotellurics

房総半島縦断地殻構造探査測線 (房総 2002) の速度構造解析 Velocity profile along the Boso peninsula: result of Boso 2002

中山 貴隆^{1*}, 佐藤 比呂志¹, 岩崎 貴哉¹, 阿部 進²

NAKAYAMA, Yoshitaka^{1*}, SATO, Hiroshi¹, IWASAKI, Takaya¹, ABE, Susumu²

¹ 東京大学地震研究所, ² 地球科学総合研究所

¹ERI, Univ. Tokyo, ²JGI, Inc.

房総半島は関東平野の東縁に位置していて、一般の沈み込み帯では海域に分布する前弧域の地質体(付加体, 外縁隆起帯, 前弧海盆堆積物)が陸上に露出している(斉藤, 1992; 川上・宍倉, 2006)。加えて, 房総半島ではユーラシアプレートの下に沈み込むフィリピン海プレートが陸域としてはきわめて浅い位置にある(sato et al., 2005)。そのため, 本地域は沈み込み帯近傍の地質学的プロセスを理解するために, 陸上での観測・調査によって研究がおこなえるという点で, 格好のフィールドとなっている。

房総半島では 2002 年に大都市大震災軽減化特別プロジェクトの一環で地殻構造探査が実施された(佐藤ほか, 2003)。房総 2002 では房総半島南端の野島崎沖から房総半島の中央部を通り茨城県鹿嶋市に至る北北東 - 南南西の測線が設置された。測線長はおよそ 150km で, 測線全域に 2473 点の受振器を配置し, 12 点のダイナマイト発震(最大薬量 300kg)が実施された。さらに測線南部では 496 点でのパイロサイズ発震に加え, 11 点でエアガンとパイロサイズ車による集中発震が実施された。平均受振点間隔は測線南部で 50m, 測線北部で 100m である。

本データに関しては主として反射法地震探査の結果からフィリピン海プレートの形状などが明らかにされている(sato et al., 2005)。しかし, 現在までに詳細な速度構造は十分に明らかにされていない。特に付加体内部の地質構造を明らかにするためには詳細な速度構造解析が有効なアプローチである。そのため, 本研究では波線追跡法によるフォワードモデリング(岩崎, 1988)や屈折トモグラフィ解析による速度構造解析をおこない, 得られた速度構造や反射法の結果, 地表地質の情報を統合して房総半島の地質構造を明らかにすることを目的として研究を進めている。

前述の波形データについて初動走時を用いて波線追跡法解析によるフォワードモデリングを行った。得られた結果を以下にまとめる。

- (1) 新第三系より新しい堆積層の P 波速度は 1.7km/s から 3.2km/s である。
- (2) 測線中央部で P 波速度 1.9km/s から 3.2km/s の堆積層が 4km と厚く堆積している。
- (3) 新第三系の基盤は全体として北ほど浅い構造を示し, 香取周辺では 1km よりも浅い。基盤上部の P 波速度は 4.8km/s から 5.4km/s で, 嶺岡帯北方で遅い。
- (4) 得られた先新第三系上面の深度は, 既存の反射法地震探査やボーリングのデータと調和的である。
- (5) 嶺岡帯周辺では P 波速度 4km/s の層がかなり浅い領域に存在するが, 深い領域では周辺よりも P 波速度が遅いという特徴がある。

キーワード: 房総半島, 前弧構造, 地震波速度構造, 屈折法地震探査, 関東平野, フィリピン海プレート

Keywords: Boso peninsula, fore arc structure, seismic velocity structure, seismic refraction method, Kanto Plain, Philippine sea plate

紀伊半島群発地震発生域およびその周辺部における地殻内速度不連続面の推定 (その2)

Estimation of velocity discontinuities in and around the swarm seismicity region beneath the Kii Peninsula (Part 2)

土井 一生^{1*}, 川方 裕則¹

DOI, Issei^{1*}, KAWAKATA, Hironori¹

¹ 立命館大学理工学部

¹ Ritsumeikan Univ.

紀伊半島、特に和歌山地域において、非火山性の群発地震活動が地殻内で定期的に見られる (Mizoue, 1971; Matsunami and Nakamura, 2004)。当地域では、反射波解析 (Mizoue, 1971) やレーバ関数解析 (例えば、Yamauchi et al., 2003; 汐見ほか, 2008; Ueno et al., 2008; 澁谷ほか, 2009) などからコンラッド面やモホ面などの大局的な構造が明らかにされている。また、Kato et al. (2010) は群発地震域南部において 5 km 四方程度の領域で稠密地震観測網を展開し、走時トモグラフィ解析から、深さ 25 km 付近に低 V_p/V_s 領域を検出し流体が存在することを示唆している。このように群発地震発生域下の地殻構造が明らかになりつつあるが、いまだその発生メカニズムを解明するには至っていない。

本研究では、和歌山地域下深さ 40-70 km で発生するフィリピン海プレートのスラブ内地震による S_p 変換波を用いて、群発地震発生域およびその周辺域において横断的に地殻内速度不連続面を推定した。檜崎ほか (2010) が用いた深発地震の波形よりも高周波 (2~8Hz 程度) 成分を多く含むため、速度不連続面の分布を地殻内地震の発生していない領域も含めて高解像度で推定できることが期待される。解析には、和歌山地域の Hi-net 観測点 7 点で記録された 658 トレースを用いた。水平 2 成分の記録をラディアル・トランスバース方向に回転し、目視で P 波・S 波初動時刻を読み取った。変換波の走時から V_p を 6.0 km/s、 V_p/V_s 比を 1.73 と仮定し変換点の座標を計算した。和歌山地域下を水平方向 5 km 間隔、鉛直方向 2 km 間隔のブロックに分割し、変換波の走時における振幅を対応する変換点の座標が位置するブロックに割り当てた。その振幅をスタックすることで各ブロックにおける変換強度を推定した。

その結果、和歌山地域およびその周辺において深さ約 5 km、約 10 km が群発地震発生領域に、深さ約 20 km に和歌山地域およびその周辺部に位置する速度不連続面を推定した。これらの速度不連続面からの変換波の振幅を読み取り、周辺の観測点の押し引き分布から推定したメカニズム解より計算される放射特性で補正し、変換係数を計算するなどし、速度不連続面の性質を調べ、群発地震の発生メカニズムについての議論を行う。

紀伊半島南部下の遷移領域におけるプレート構造

Seismic structure of the locked-sliding transition on the plate boundary beneath the southern part of Kii Peninsula

蔵下 英司^{1*}, 飯高 隆¹, 岩崎 貴哉¹, 雑賀 敦², 津村 紀子³, 酒井 慎一¹, 平田 直¹

KURASHIMO, Eiji^{1*}, IIDAKA, Takashi¹, IWASAKI, Takaya¹, SAIGA, Atsushi², TSUMURA, Noriko³, SAKAI, Shin'ichi¹, HIRATA, Naoshi¹

¹ 東大地震研, ² 東濃地震科学研究所, ³ 千葉大

¹ERI, Univ. Tokyo, ²TRIES,ADEP, ³Chiba Univ

The Nankai trough region, where the Philippine Sea Plate (PHS) subducts beneath the SW Japan arc, is a well-known seismogenic zone of interplate earthquakes. The most recent great earthquakes occurred in 1944 (Tonankai Earthquake, $M=7.9$) and 1946 (Nankai Earthquake, $M=8.0$). Detailed crustal and upper mantle structure of the subducting Philippine Sea Plate and the overlying SW Japan arc are important to constrain the process of earthquake occurrence. Active and passive seismic experiments were conducted to obtain a structural image beneath the southern part of Kii Peninsula, southwestern Japan (e.g., Kurashimo et al., 2011). Sixty 3-component portable seismographs, approximately 1 km apart, were installed on a survey line between Shimokitayama and Minabe in the east-west direction. To improve accuracy of hypocenter locations, we additionally deployed six 3-component seismic stations around the survey line. Waveforms were continuously recorded during a five-month period from December, 2009. The continuously recorded data were divided into event files, starting from an origin time determined by the Japan Meteorological Agency. In October of 2010, a deep seismic profiling was conducted in the southern part of Kii Peninsula. In this experiment, 290 seismometers were deployed on a 60-km-long line between Shimokitayama and Minabe in the east-west direction with about 200 m spacing, on which five explosives shots were fired as controlled seismic sources. In order to obtain a high-resolution velocity model, a well-controlled hypocenter is essential. Due to this, we combined the seismic array data with permanent seismic station data. We used 41 permanent seismic stations in the present study. Permanent seismic stations observed the controlled seismic signals as well as natural earthquakes. We picked P- and S-wave arrivals of 677 events, including 671 local earthquakes and 6 explosive shots. The arrival times for the first P- and S- waves obtained from local earthquakes and explosive shots were used in a joint inversion for earthquake locations and three-dimensional V_p and V_p/V_s structures, using the iterative damped least-squares algorithm, simul2000 (Thurber and Eberhart-Phillips, 1999). The depth section of V_p/V_s structure shows the lateral variation of the V_p/V_s values along the top of the PHS. Clustered low-frequency earthquakes are located in and around the high V_p/V_s zone.

キーワード: フィリピン海プレート, 地震波トモグラフィ, 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

南琉球弧におけるフィリピン海プレートの上表面と固着域 Upper surface of Philippine Sea plate and asperity in the south Ryukyu arc

新城 安尚^{1*}, 中村 衛¹

ARASHIRO, Yasuhisa^{1*}, NAKAMURA, Mamoru¹

¹ 琉球大学大学院理工学研究科

¹ Graduate School of Science, Ryukyu University

We determined the focal depths of hypocenters of earthquakes near the Ryukyu Trench using the arrival time of the depth phase, and estimated the position of the upper interface of subducted Philippine Sea plate beneath the south Ryukyu arc. The Ryukyu trench is a convergent plate boundary extending about 1200km from Kyusyu to Taiwan. The Philippine Sea plate is subducting at a rate of 5- 7 cm/yr northwestward. The seismic coupling is assumed to be weak. However, recent observations showed that the plate interface is regionally coupled along the Ryukyu Trench. The occurrence of very low frequency earthquakes and slow slip events are implicated as the locked plate interface. Fine structure of the subducted plate interface is important to estimate the pressure and temperature condition of the coupled and decoupled zone, which inform us what is the essential parameter for the formation of interplate coupling in the Ryukyu trench. However, depths of the hypocenters have large errors for the hypocenter determination near the Ryukyu Trench region because the seismic stations are limited to the islands and far from the trench. We relocated the hypocenters of earthquakes using the arrival times of the sP phases. The sP phase is the S-to-P converted phase at the seafloor. The phase velocity of the sP phase is the same as that of the P phase. The particle motion of the sP phase is dominant with vertical component. Using the sP-P delay time, we can estimate the accurate focal depths. The waveforms at the JMA stations are used for the analysis. We used the earthquakes whose magnitudes were over 3.5. We selected two areas, southern Iriomote area and southern Miyako area. For the southern Iriomote area, we selected the earthquakes which occurred in the range of 123.4E to 124E, and 23.2N to 23.5N. The epicentral distances of earthquakes range from 87km to 120km from Iriomote Island, and sP-P times are at the range of 0.64- 5.98s. The other is the southern Miyako region ranging from 125E to 125.4E, and 23.7N to 24.4N. The epicentral distances of the earthquakes range from 35- 113km from Miyako Island. First we picked the arrival times of the sP phases from the waveforms. sP-P times in the events which occurred in the south Iriomote area and south Miyako area are 0.64- 5.98s and 0.72- 4.11s, respectively. Second we computed the focal depth of earthquake using sP-P time delays. The 2D velocity structure was employed for the calculation of the sP travel times. And sP-P times of the events in the southern Miyako region 0.72- 4.11s. Then we estimated focal depths using sP-P time delays. The results show that the focal depths are 7.1- 26km in the Iriomote area, and 6- 20.3km in the Miyako area. Next, we relocated the hypocenters using P, S, and sP arrival times. The relocated hypocenters are distributed at the depth range from 5- 20km in the southern Iriomote region near the trench, while the hypocenters are at the depth range of 35- 50 km by the JMA catalogue. in this area. In the southern Miyako region, The hypocenters are distributed at the depth from 5- 20km, while the hypocenters are at the depth range of 10- 50km by the JMA catalogue in this area. The strike-slip faulting type earthquakes are dominant at the south of the Iriomote Island. Since the relocated depth of the earthquakes are 5- 20km and these are in the subducted Philippine Sea plate, the earthquakes occurred in the Philippine Sea plate. Thus, the estimated depth of the plate interface is shallower than that estimated using the usual hypocenter catalogue. And, if the estimated depth is shallower, we consider that temperature and pressure are higher than before.

キーワード: フィリピン海プレート, depth phase, 震源再決定, 固着域

Keywords: Philippine Sea Plate, depth phase, relocation, asperity

南部琉球弧における3次元速度構造と繰り返しスロースリップイベントとの関連 Three-dimensional P-and S-wave velocity structures in the southwestern Ryukyu arc, and its relationship to repeating slo

中村 衛^{1*}

NAKAMURA, Mamoru^{1*}

¹ 琉球大学理学部

¹ Faculty of Science, University of the Ryukyus

琉球弧南部はフィリピン海プレートが年間約8cmの速度で沈み込むプレート境界である。この地域では1771年に津波マグニチュード8.5の八重山地震津波が海溝付近で発生している。一方、近年のGPS観測からは琉球弧南部の八重山諸島直下で半年間隔の規則的な繰り返しスロースリップイベントが発生していることが明らかになってきた(Heki and Kataoka, 2008)。このスロースリップイベントは沈み込んだフィリピン海プレート上面の深さ20~40kmで発生し、その大きさはMw6.6である。また八重山諸島では定常的な地震活動に加えて群発地震活動(清水・他, 1993, 大森・他, 1993)が盛んに発生している。また八重山諸島中央にある竹富島の周辺では海底熱水活動が観測されており、その³He/⁴Heが高いことが知られている(大森・他, 1993)。これらのことはマントルからの何らかの流体が熱水活動に関与し、さらにその流体は群発地震活動およびプレート上面でのスロースリップイベントと何らかの関連がある可能性を持っている。しかしこの地域ではプレート上面の位置と地震活動の関係および熱水活動と地殻内不均質構造の関係についてほとんど調査がおこなわれていない。そこで3次元速度構造決定と震源再決定をおこない、スロースリップイベントの断層面とスラブ内地震との位置関係、および陸側プレート内部の群発地震活動との関係について調べた。

Double-difference tomography (Zhang and Thurber, 2003)を用いて3次元速度構造を決定した。八重山諸島に分布する気象庁観測点13点でのP波およびS波到達時刻読み取り値を使用した。2000年1月1日から2012年1月1日までに発生した7765個の地震を用いた。地震の震源は23.8~24.7N、123.0~124.5E、深さ0~150kmである。

使用したP波S波はそれぞれ49306個および47342個である。トモグラフィーのグリッド間隔は水平方向に10~20km、深さ方向に5~20kmである。

計算の結果、スロースリップイベントの断層面はフィリピン海プレート内で発生する地震より約15~20km浅いことが明らかになった。またスロースリップイベントの断層面の深さは、西表島直下で観測されるS波反射体の深さ(中村, 2000)と調和的である。S波反射体の深さは西表島北部で23~40kmであり、沈み込んだフィリピン海プレート上面と解釈されている。これらのことから、フィリピン海プレート内で発生する地震はプレート上面から約20kmスラブ内で発生しており、プレート上面近傍では地震活動が非常に低調である可能性を示唆している。

繰り返しスロースリップイベントの断層面は低V_p領域に分布する。この領域は下部の高V_p/V_s領域と上部の低V_p/V_s領域に挟まれている。V_p/V_sの高低が流体に関係していると考えれば、沈み込んだスラブから脱水した流体が上方へ移動できずにプレート上面にトラップされていると考えられる。プレート上面が強いS波反射体として観測されることは、この考えを裏付ける。

繰り返しスロースリップイベントの断層面の先端は陸側プレートの下部地殻での地震活動のクラスターに接続する。これはトラップされた流体が断層を通じて上方へ移動し、下部地殻に蓄積し微小群発地震活動を起こしていると推定される。竹富島で観測される熱水活動および高い³He/⁴Heは、こういった地下深部の流体によって形成されたのであろう。

キーワード: 地殻構造, フィリピン海プレート, 沈み込み, 琉球海溝, 地震波トモグラフィー

Keywords: crustal structure, Philippine Sea plate, subduction, Ryukyu Trench, seismic tomography

九州中央部縦断人工地震探査 2011 (観測概要)

Seismic Exploration along a longitudinal profile in the central part of Kyushu, 2011 - The outline of the experiment -

宮町 宏樹^{1*}, 大倉 敬宏², 片尾 浩³, 松本 聡⁵, 岩崎 貴哉⁴, 蔵下英司⁴, 及川 純⁴, 植木 貞人⁶, 平原 聡⁶, 2011九州縦断探査グループ¹

MIYAMACHI, Hiroki^{1*}, OHKURA Takahiro², KATAO Hiroshi³, MATSUMOTO Satoshi⁵, Iwasaki Takaya⁴, KURASHIMO Eiji⁴, OIKAWA Jun⁴, UEKI Sadato⁶, HIRAHARA Satoshi⁶, Research Group for Explosion Seismology in Kyushu2011¹

¹ 鹿児島大学大学院理工学研究科, ² 京都大学大学院理学研究科, ³ 京都大学大学防災研究所, ⁴ 東京大学地震研究所, ⁵ 九州大学大学院理学研究院, ⁶ 東北大学大学院理学研究科

¹Graduate School of Science and Engineering, Kagoshima University, ²Graduate School of Science, Kyoto University, ³Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University, ⁴Earthquake Research Institute, The University of Tokyo, ⁵Graduate School of Science, Kyushu University, ⁶Graduate School of Science, Tohoku University

Seismic exploration using artificial sources was conducted in Kyushu, Japan in November, 2011, in order to clarify the detailed velocity structure in the crust beneath Kyushu. Our seismic profile runs longitudinally across the central part of Kyushu, and the Beppu-Shimabara graben and the Aso caldera are located in the middle part of the profile. Geologically the north and middle parts of the profile are widely covered by the volcanic rock group. On the other hand, the Chichibu Belt and the Shimanto Belt, which are composed of the sedimentary rocks, are distributed in the south part of the profile.

On the about 152 km long profile, we deployed 535 temporary seismic stations and 7 shot points with charges of 100 to 300 kg dynamite. The seismic stations, located mainly in the middle part of the profile, equipped a 4.5Hz vertical component seismometer and a portable data logger "LS-8200SD". The other stations located in the north and south parts have a 2Hz vertical component seismometer and a portable data logger "LS-8000SH" or "LS-8200SD". Seismic waves are digitally recorded by the loggers with a 250Hz or 200Hz sampling. The locations of the stations and shots are basically estimated by the handy GPS instrument.

The shots were fired on November 28, 2011. We can successfully observe the seismic signals generated from each shot. However, it is found that the signals from the shots S1, S2, S3, and S7 located in the north and middle part of the profile are greatly attenuated due to the thick surface layer of the volcanic rocks. And also no obvious reflection waves are observed. On the other hand, the refraction and reflection signals from S4, S5, and S6 in the south part, can be clearly observed. It is suggested that preliminary travel time curves obtained from all shots are well correlated with the surface geology.

We installed the 8 hours long recording time schedule to the portable logger, and aimed for detecting seismic waves derived from micro earthquakes. We can fortunately observe the seismic waves generated by some micro earthquakes occurred near the profile. These data may be available for validate the velocity model estimated from the travel time data.

キーワード: 九州, 地殻構造

Keywords: Kyushu, Velocity structure

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 5 Relationship between half-graben and high-velocities area at depths of 10km 5

大石 幸男^{1*}
OISHI, Yukio^{1*}


¹アトリエサイエンス
¹Atelier Science

深さ10 kmのP波高速帯・パータベーション (松原誠 2005) と関東のV字谷構造 (ハーフグラベン) の分布がほぼ一致する。(大石幸男 2007)

またつくばを中心とする茨城県南が上盤 (埼玉県の秩父、寄居付近) の下方、深さ約20 kmから東方へ抜け上がってきた下盤、すなわちリフト縁辺隆起帯であり、変成コアコンプレックスである可能性がある。(大石幸男 2011) これはつくば付近のモホ面が深さ25 kmと浅い、ブーゲー重力異常が高い、熱流量が大きい

同様のことが他の地方の中央構造線 (M T L) 以南からの、深さ約20 km付近の塑性、脆性境界付近からの北方への上昇、抜け上がりがあった可能性がある。深さ10 kmのP波高速帯の長大な帯 (松原誠 2005) が近畿、中国地方のM T Lの北方近傍に見られるのは、このリフト運動の痕跡であるかもしれない。岸和田 (大阪)、淡路島、柳井 (広島) に見られるマイロナイトはその時持ち上げられたものと考えられる。またこの長大な高速帯は西に行くほどM T Lから遠ざかっている (岸和田はM T Lから約10 km北方であるが柳井ではM T Lから約50 km以上北方に離れている) これは西に行くほどリフトの開く量が大いことを示している。この長大な高速帯は九州には直線的につながっていない。九州の深さ10 kmの高速帯は複雑な分布を示すが、これは面白いことに炭田 (含亜炭田) の分布とほぼ一致する。

[九州の深さ10 kmのP波高速帯と炭田ハーフグラーベンの分布の一致]

福岡県の筑豊、佐賀県、長崎県の唐津、佐世保、熊本県の天草の炭田の分布と九州の深さ10 kmのP波高速帯・パータベーションの分布がほぼ一致する、。筑豊炭田の下には白亜紀の花崗岩類がありこの貫入が大地の引張、沈降をもたらした土砂の堆積、植物の繁茂、沈降、堆積の連鎖を生んだと考えられる。炭田のあるところは大地の引張、沈降を物語るものであり、正断層、ハーフグラベンのものであることを示す。佐賀県東部と福岡県西部の炭田のない地震波高速帯には白亜紀の花崗岩が分布する。

[九州のM T L 付近に結晶片岩が大分県の一部にしかないのは何故か]


九州のM T L (臼杵八代構造線 U Y L) 付近には大分県の佐賀関、臼杵地域にしか存在しない。三波川帯と年代的に一致するのは大分県のそれ以外にはM T Lの北方、はるか西方の長崎県西彼杵半島、天草下島の西端部 (高浜) のみである。これは九州の大規模な火山活動で失われてしまったためである可能性も考えられるが以下のことがらを検証してみると別の可能性も考えられる。西彼杵半島の結晶片岩の年齢は大分の結晶片岩の年齢とほぼ等しく約80 Maである、
1 西彼杵半島の東側にはマンガン鉱が南北に3か所並んで分布し、同様のことが大分の結晶片岩の東側に北東、南西方向に並ぶ、
2

長崎県、有明海、熊本県西部は第四紀の引張場であり、第四紀の火成層が東西に細長く分布する、
3

西彼杵半島の南西部の赤首、南部の城山の断層付近にマイロナイトがある、
4

九州のM T Lを境に北部は過去100年間北に年間1 cm以上ずつ離反している、
5

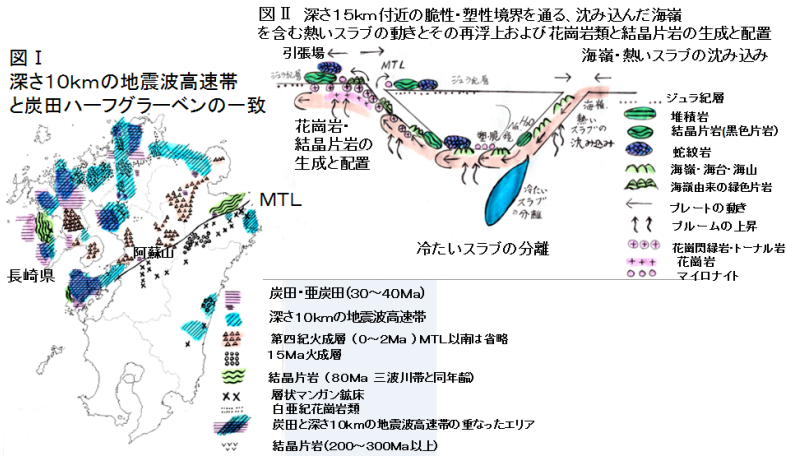
1~5から長崎県西彼杵半島は九州のM T Lの地下深さ、20 km付近の、大分の結晶片岩帯の南西方、阿蘇の南東付近から抜け上がり、さらに西方に反時計回りに回転しながら大きく移動した (約200 km) 可能性がある。

 は海嶺、海台、海山を含む熱いスラブが浅く沈み込み、延性 (塑性) 脆性境界付近を水平移動し、その過程で生み出した花崗閃緑岩、トータル岩、花崗岩、の浮力で背弧側に再浮上する様の模式図である。沈み込み時に引き込まれた堆積岩は強い圧力によって結晶片岩になり、海嶺によって削られ加水されたマントル (カンラン石) は蛇紋岩になり、延性脆性境界を通過した花崗岩類はマイロナイト化する。海嶺、海山そのものも強い圧力や海水によって緑色片岩、曹長石を含む塩基性の片岩となり、花崗岩とともに上昇し結晶片岩、蛇紋岩、マイロナイト等を背弧側に押し上げる。この再浮上した下盤である海嶺、海山がリフト縁辺隆起帯、変成コアコンプレックスであり、海嶺に潜り込まれた上盤の北側端が中央構造線 (M T L) であると考えられる。柏や成田 (千葉県)、西彼杵半島 (長崎県) の結晶片岩は浮上した下盤に乗ったままであるが、四国、紀伊半島などの他の結晶片岩 (三波川帯) は上昇した下盤から南のM T L以南の上盤に積み下ろされたと思われる。

SSS34-P16

会場:コンベンションホール

時間:5月21日 13:45-15:15



1988-1990 別府湾および豊後水道における反射法データ再処理の試み Reprocessing of 1988-90 Seismic Reflection Data of the Beppu Bay and the Bungo Strait : A new attempt

井川 猛^{1*}, 竹村 恵二², 佐藤 比呂志³, 伊藤 谷生⁴, 山北 聡⁵, 石山 達也³, 阿部 進⁶, 川崎 慎治⁶

IKAWA, Takeshi^{1*}, Keiji Takemura², Hiroshi Sato³, ITO, Tanio⁴, Satoshi Yamakita⁵, Tatsuya Ishiyama³, Susumu Abe⁶, Shinji Kawasaki⁶

¹ 阪神コンサルタント (前, 地球科学総合研究所), ² 京都大学理学部, ³ 東京大学地震研究所, ⁴ 帝京平成大学現代ライフ学部, ⁵ 宮崎大学教育文化学部, ⁶ 地球科学総合研究所

¹Hanshin Consultants (prev. JGI), ²Faculty of Science, Kyoto University, ³Earthquake Research Institute, University of Tokyo,

⁴Faculty of Modern Life, Teikyo Heisei University, ⁵Faculty of Education and Culture, Miyazaki University, ⁶JGI

別府湾およびその周辺において、1988年度から1990年度にかけて大規模な物理探査調査が行われた。このプロジェクトは、故堀江正治教授(古気候および陸水学)により提唱された琵琶湖における古環境研究(Horie, 1987; 1991)による大規模反射法及び大深度(1400 m)掘削に引き続くものであり、当時の京都大学理学部地球物理学教室各部門の全面的協力のもとで実施されたエアガン海上反射法調査、海底重力調査、別府湾岸における陸上パイプロサイス反射法調査などであった。その現場および基本データ処理作業については、石油資源開発株式会社の子会社 地球科学総合研究所が受託し、その総合的報告は京都大学の由佐他(1992)により報告されている。しかし、同プロジェクトにおける湾内の反射法調査については、沿岸の漁業活動、航行船などを避けるため、664 mの水中ケーブルしか使用出来ず、湾の外側の豊後水道でも1473 mのケーブル使用が限度であった。このため、反射法の特徴であるCDP重合による多重反射除去が十分に行われていないという問題が残されたのである。そこで、まず一部のデータに対して再処理を行い、その結果を8th International Symposium on Deep Seismic Profilingにおいて報告した(Ikawa et al., 1998)。今回は更に、それを改善する試みを行ったので報告する。今後は、これらの試みを踏まえて、別府湾、豊後水道の反射法データ全体の再処理を進め、別府湾における地下構造の再解析を行う。その成果が他の地学的分野の基礎データとなることを期待している。

注) 井川猛の現所属:(株)阪神コンサルタント

キーワード: 別府湾, 豊後水道, 海上反射法地震探査, 多重反射, 再処理

Keywords: Beppu bay, Bungo strait, marine seismic reflection, multiple, reprocessing

低重合反射法地震探査によるニュージーランド北島・ワイララパ断層の深部地下構造

Preliminary results of SAHKE II low fold seismic reflection profile across the Wairarapa fault, New Zealand

石山 達也^{1*}, 蔵下 英司¹, 加藤 直子¹, 佐藤 比呂志¹, 飯高 隆¹, 岩崎 貴哉¹, 北村 重浩¹, 中山 貴隆¹, スチュアート・ヘンリーズ³, マーサ・サヴェージ², ティム・スターン², ルパート・サザーランド³, デービッド・オカヤ⁴

ISHIYAMA, Tatsuya^{1*}, KURASHIMO, Eiji¹, KATO, Naoko¹, SATO, Hiroshi¹, IIDAKA, Takashi¹, IWASAKI, Takaya¹, KITAMURA, Shigehiro¹, NAKAYAMA, Yoshitaka¹, Stuart Henrys³, Martha Savage², Tim Stern², Rupert Sutherland³, David Okaya⁴

¹ 東京大学地震研究所, ² ヴィクトリア大学ウェリントン校, ³ ニュージーランド核地質研究所, ⁴ 南カリフォルニア大学
¹ERI, University of Tokyo, ²Victoria University of Wellington, ³GNS Sciences, ⁴University of Southern California

ニュージーランド北島・ヒクラング沈み込み帯では太平洋プレートがオーストラリアプレートの下に年間 40mm 余りの速度で斜めに沈み込みをしている。上盤側プレートにはウェリントン断層やワイララパ断層といった大規模な右横ずれ断層が発達しており、そのうちのワイララパ断層は 1855 年に Mw8.1 以上の地震を起こしたと考えられている。地震活動や 1855 年の地震時変位量と地表地震断層の長さの比などから、ワイララパ断層はメガスラストから延びる分岐断層であると推定されているが、地殻構造データが不足しており、実態は不明であった。ヒクラング沈み込み帯の地殻構造特性やこれら分岐断層の形状とメガスラストとの関係の解明は、沈み込み帯におけるひずみ分配と構造の関係を明らかにするという地学的に重要な課題に答えると同時に、震源近傍に位置する首都ウェリントンの地震発生ポテンシャルを考える上で非常に重要なテーマである。このような課題の解決を目指して、東京大学地震研究所・ヴィクトリア大学ウェリントン校・ニュージーランド核地質研究所の合同観測として、オフライン観測点 878 箇所と発破点 12 箇所による地殻構造探査を実施した (Seismic Array HiKurangi Experiment II ; SAHKE II)。本発表では、そのうちワイララパ断層周辺に展開した稠密観測区間の観測波形からみたワイララパ断層の深部地下形状について述べる。初期的な解析として、通常の共通反射点重合法に基づいて、CDP 編集、初動抑制ミュート、NMO、標高補正、周波数フィルターといった処理を行った。その結果、ワイララパ断層の西側に広がり三畳紀の砂岩 (グレイワッケ) よりなる Rimutaka 山地の下、深さ 20 km から西に傾斜して上方に伸びる反射面が認められる。この反射面について、傾斜を保ちながら地表まで伸ばすと、およそワイララパ断層の地表位置と調和的である。ワイララパ断層に対応すると見られる反射面の下位には、これよりも緩やかに西に傾斜する反射面が認められ、これは太平洋スラブ上面に対応すると考えられる。ワイララパ断層の反射面は太平洋スラブ上面の反射面に収斂することから、SAHKEII による地殻構造のデータの初期解析結果は、ワイララパ断層がメガスラストからの分岐断層という解釈を支持するよう見える。

Keywords: Wairarapa fault, low fold seismic reflection profile, Hikurangi subduction margin, active fault, splay fault