

# 深発地震のPコード波から推定される西太平洋地域最上部マンタルの不均質構造の空間分布

西村太志, 吉本和生 (東北大・理), 大滝壽樹 (産総研),  
神定健二 (気象研), Ibnu Purwana (インドネシア気象庁)

## 1. はじめに

上部マンタル不均質構造の推定には、実体波走時を用いたトモグラフィー手法により多くの成果があげられてきたことが広く知られているが、トモグラフィー手法では、稠密な地震観測網と適当に散らばって発生する自然地震の分布がその解像度を決定するため、観測点や地震の震源分布の分布が一様でないような広範囲の地域の不均質構造を同一の分解能で明らかにすることは容易ではない。そこで、本研究では、横方向の不均質構造に起因するP波のトランスバース成分を系統的に調べることにより、西太平洋地域の広い範囲にわたる上部マンタルの不均質構造の空間分布を求めた。

## 2. データ

地震発生域の不均質構造の影響を極力避けるため、深さ300km以深の深発地震によるPコード波を解析する。解析に用いる観測データは、我々が1997年からインドネシア地域に展開したJISNET観測網、日本に稠密に設置されているFREESIA観測網、世界各地に設置されているIRISの記録である。いずれの観測点においても、周期100秒程度まで記録できる広帯域地震計の3成分波形データを使用した。サンプリング周波数は20-50Hz, A/D分解能は24 bitである。

観測点直下の上部マンタルの横方向不均質構造に着目するため、P波到達後60秒間にIASPEI91の標準速度構造モデルから予測される変換波が到達しない波形を選択した。さらに、直達P波の最大振幅がノイズ振幅の20倍以上のものを選択し、S/N比のよいものを抽出した。そして、震源と観測点の位置関係からトランスバース成分を合成し、解析に用いた。

## 3. 平均的なトランスバース成分の振幅

まず横方向の不均質性の地域的な特徴をみるために、各観測点毎の平均的なトランスバース成分の振幅を調べた。平均的な振幅は次のようにして計算した。まず、各観測点で記録された個々の地震について、P波から60秒間について、3成分記録からトランスバース成分の地震波エネルギーと全P波エネルギーを計算する。続いて、トランスバース成分の地震波エネルギーの全P波エネルギーに対する比を計算する。この比を全ての地震について平均したのち平方根を取り、その観測点の平均的なトランスバース成分の振幅とする。図1の左側に、西太平洋地域で観測されたトランスバース成分0.04-0.08Hz周波数帯の振幅の空間分布を示す。観測点毎の差を強調するため、求められたトランスバース成分の振幅を全観測点の平均振幅より大きいときには赤丸で、小さいときには青丸で示す。図に明瞭に示されるように、沈み込むスラブや火成活動によるマンタルダイアピルが存在する島弧では(日本やインドネシア)トランスバース成分の振幅が大きくなっている。一方、オーストラリアやユーラシアの安定大陸に位置する観測点の振幅は概ね小さい。図1右側には、周波数0.64-1.28Hzの結果を示す。この高周波成分の結果は、低周波帯0.04-0.08Hzの場合と類似しているが、細かく見ると、ユーラシア大陸の南に位置するチベット高原付近の観測点の振幅が大きくなっていることが認められる。このような特徴は島弧地域ではあまり顕著でなく、この地域がインド大陸とユーラシア大陸の衝突境界であり、沈み込み帯のテクトニクスとは異なることを反映している可能性がある。図2には日本地域を拡大した図を示す。いずれの周波数帯においても、東日本は西日本に較べて振幅が大きく、両地域のテクトニクスの違いを反映している。

## 4. エンベロープ波形の特徴と散乱強度の深さ分布

上部マンタルの不均質性の深さ分布を調べるために、トランスバース成分のエンベロープ波形の特徴を調べる。まず、西太平洋地域をそのテクトニクスをもとに、東西日本、インドネシア(以上島弧)、南北

ユーラシア, 東アジア, オーストラリア (以上大陸) の7つの地域に分類する. そして, 各地域毎の各地域に含まれる地震観測点で記録されたトランスバース成分のエンベロープ波形を, 上下動成分のエンベロープ波形の最大振幅で規格化したのちに重合し, 平均的なトランスバース成分のエンベロープ波形を求める. このときP波の見かけ入射角が20度から40度内のイベントのみを対象とした. 図3に各地域毎の0.04-0.08Hz, 0.08-0.16Hz帯の平均的なエンベロープ波形を赤線で示す. 上段4つの大陸地域の最大振幅は, 下段3つの島弧地域の最大振幅の約50%となっている. 島弧に位置する東西日本とインドネシアのエンベロープ波形は, 安定大陸に位置するオーストラリア, 西アジア, 南北ユーラシアの各地域のエンベロープ波形に比べて, その振幅が2倍以上大きいことがわかる. また, いずれの地域においても, 多少の振幅の揺らぎはあるものの, P波の到達時間から60秒間にわたりトランスバース成分に信号が現れている.

これらのエンベロープ波形を説明するために, Pコード波のトランスバース成分が地殻及び上部マントルの不均質構造によるPP散乱波, PS散乱波により合成されていると考え, 理論波形との比較から, 横方向不均質構造の深さ分布を推定した. この推定には, 等方一次散乱過程を取り入れた理論波形に基づくインバージョン法[1]を, 深発地震からの平面P波入射の場合に変更し, 解析に使用した. 図4に各地域の散乱強度の深さ分布を示す. 東日本では, 0.04-0.08Hz, 0.08-0.16Hz帯のいずれの周波数帯で, 散乱強度の大きい領域が深さ300kmにある. 西日本は, 散乱強度が大きい領域は深さ100-200km程度までと浅く, その強度もやや弱い. インドネシアは, 両周波数帯でやや異なる散乱強度の深さ分布を示すが, 両周波数帯とも深さ200km程度までは散乱強度が大きい. これらの強い不均質性は沈み込むスラブやそれに起因する火成活動により生じていると考えられる. さらに, 観測点の密な東西日本を比較すると, 東日本の不均質性は強く, かつ, 深さ300km程度まで続いているのに対し, 西日本の不均質性は相対的に弱く, 深さも100-200km程度までである. この違いは, 太平洋プレート, フィリピン海プレートという異なるプレート活動による上部マントル構造の違いを反映している可能性が高い. 東日本地域では, 沈み込む太平洋プレートは古く, 下部マントル上部までもぐり込んでいる. そして, 活火山が多く分布し, 火山前線が顕著である. 一方, 西日本地域では, フィリピン海プレートの沈み込み深度は200km程度であり, また, 火成活動は東日本に比較して活発ではない. ただし, 細かく見ると, 火成活動の活発な九州のいくつかの観測点では, 不均質性が強く (トランスバース成分の振幅が大きい) なっている. このように, 同じ島弧地域にあっても, テクトニクスの違いにより不均質性の強度は空間的に変化していることが明らかとなった.

一方, 安定大陸の各地域は, 散乱強度は東日本の最大値の20%以下である. しかしながら, 多くの地域で深さ300km以深の散乱強度が深さ100km程度の浅いところと同程度の値を示し, 上部マントルの下部まで横方向の不均質性が存在することがわかる. この原因としては, 410km不連続面などの水平成層構造が若干横方向に変化していることや長波長近似 (波線理論) では現実的に検出できない短波長の構造の揺らぎが存在していることが考えられる.

なお, 高周波側については, 散乱強度が大きくなり多重散乱の効果を加味する必要が生じるため, 今回インバージョン解析をしなかった.

## 5. まとめ

西太平洋域の広帯域地震観測点で記録された深発地震のP波初動から60秒間のトランスバース成分の振幅を調べ, 地殻及び上部マントルの横方向不均質性の空間分布を調べた. その結果, 日本やインドネシアなどの島弧では, もぐり込むプレート活動 (コールドプルーム) に起因すると考えられる横方向の強い不均質性が深さ300km程度まで続いていることが明らかとなった. また, オーストラリアやユーラシアなどの安定大陸下上部マントルでは, 不均質性の強度は島弧に比べて20%以下であるが, 数百キロメートルの深い領域にも不均質性が存在していることが明らかとなった.

[1]Nishimura, T, M. Fehler, W. S. Baldrige, P. Roberts, and L. Steck: Heterogeneous structure around the Jemez Volcanic Field, New Mexico, USA, as inferred from the envelope inversion of active-experiment seismic data, *Geophys. J. Int.*, 131, 667-681, (1997)

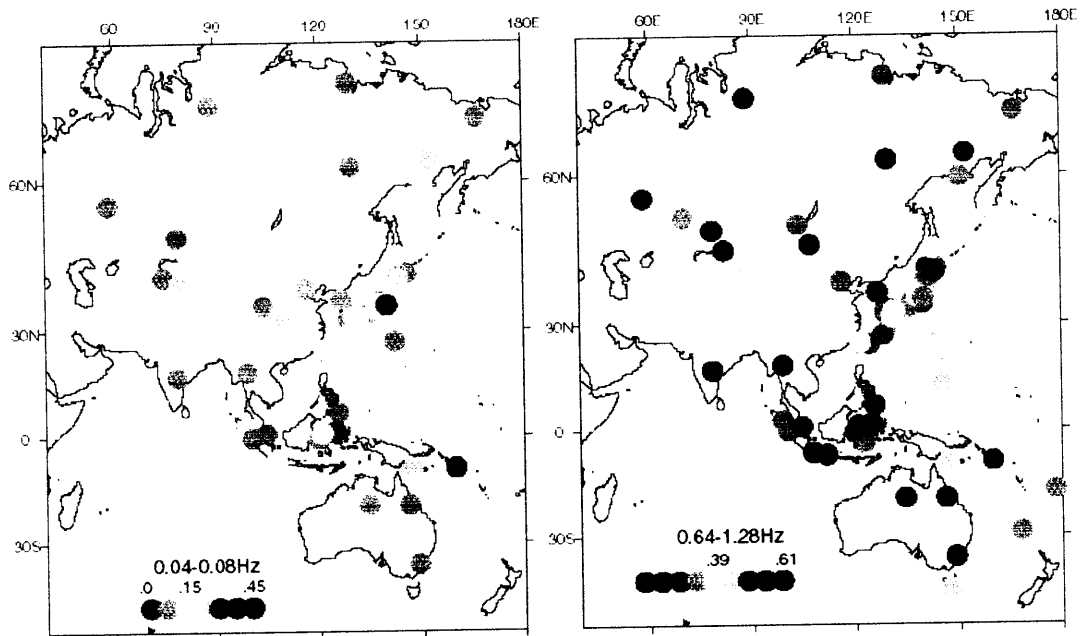


図1. 西太平洋地域の各観測点で記録されたP波のトランスバース成分の平均振幅. (左) 0.04-0.08Hz (右) 0.64-1.28Hz 周波数帯の結果. 各観測点の振幅は, 全観測点の平均値より大きいときは赤色, 小さいときは青色で示されている

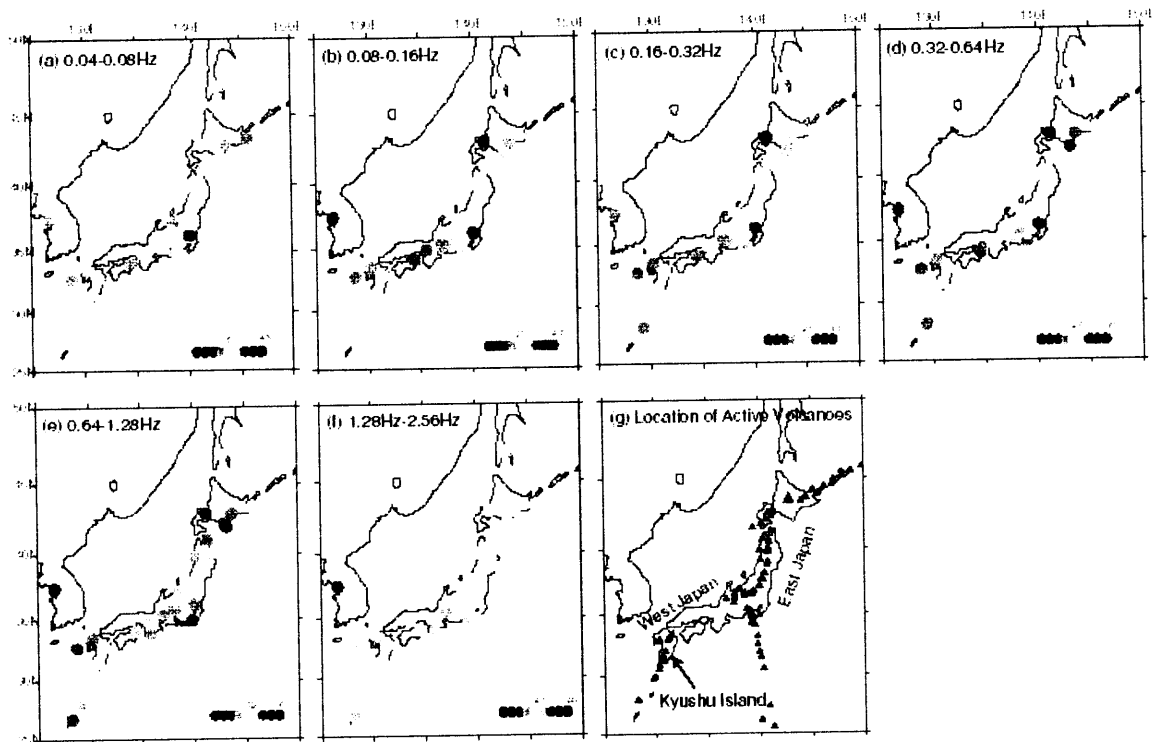


図2. 日本地域のトランスバース成分の平均振幅の空間分布. (a) 0.04-0.08Hz, (b) 0.08-0.16Hz, (c) 0.16-0.32Hz, (d) 0.32-0.64Hz, (e) 0.64-1.28Hz, (f) 1.28-2.56Hzの周波数帯での結果. 色のパターンは図1と同じ. (g)日本の活火山の分布.

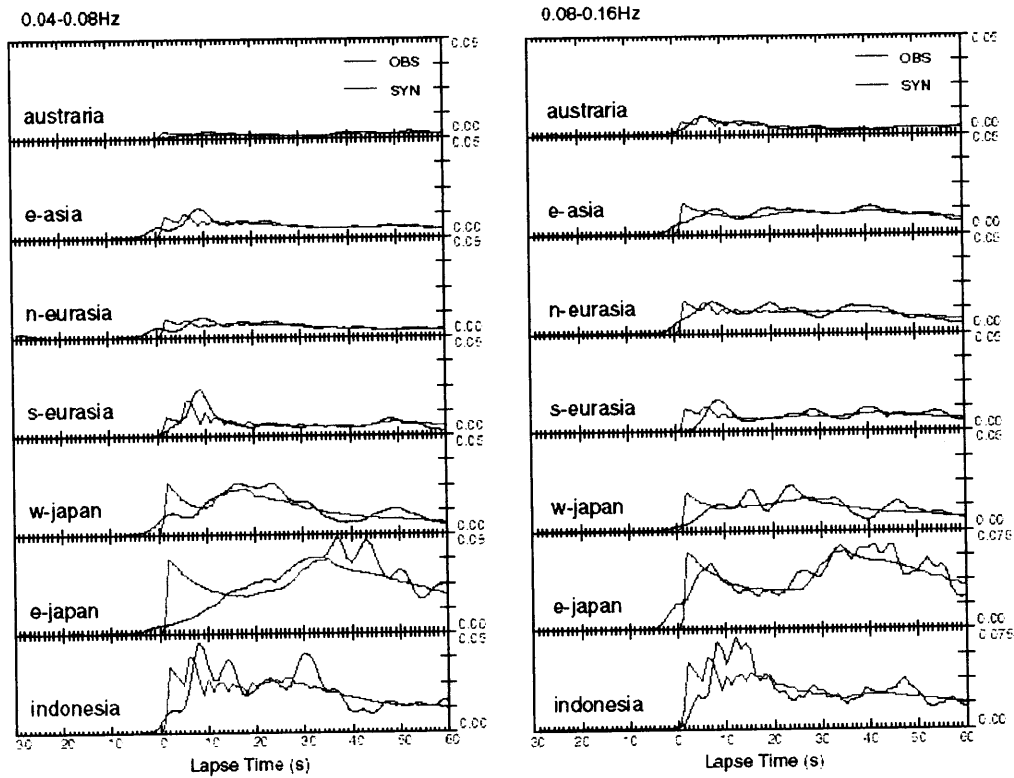


図3. 観測されたPコード波のトランスバース成分のエンベロップ波形（赤線）. 0.04-0.08Hzと0.08-0.16Hz周期帯の結果. 振幅は上下動エンベロップ波形の最大振幅で規格化した. 上段の5地域は安定大陸, 下段3地域は島弧の記録. 青線はエンベロップインバージョン法[2]により求められた最適な理論エンベロップ波形. austraria, e-asia, n- Eurasia, s- Eurasia, w-japan, e-japan, indonesia はそれぞれ, オーストラリア, 東アジア, 北ユーラシア, 南ユーラシア, 西日本, 東日本, インドネシアを示す.

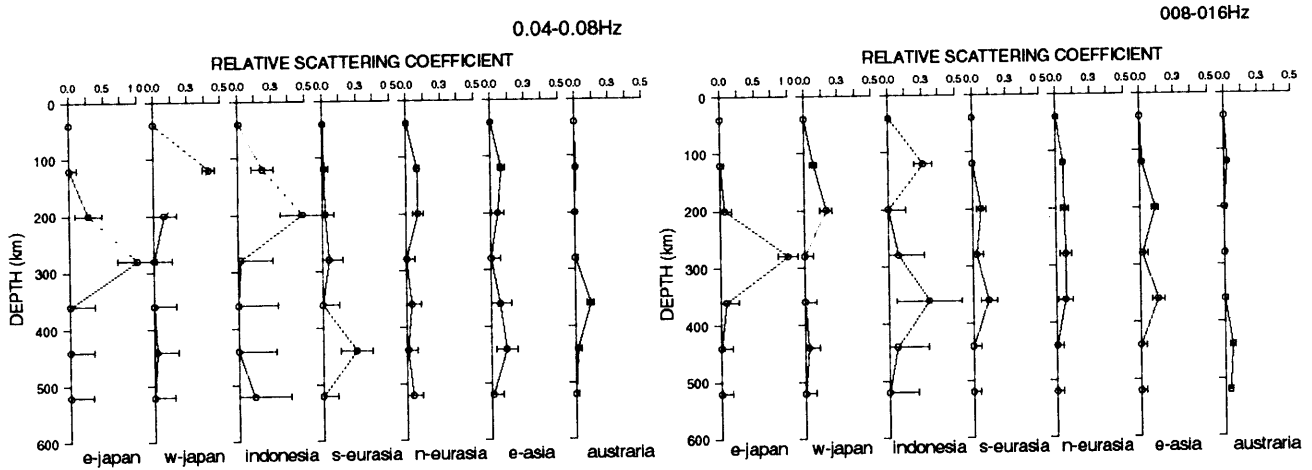


図4. エンベロップインバージョンにより推定された散乱係数の深さ分布. 0.04-0.08Hz, 0.08-0.16Hz 周波数帯の結果. 求められた散乱係数を丸印で示す. 横棒はエラーバー. 散乱係数は最大値 (e-japanの深さ280kmの値) で規格化してあることに注意. e-japanのみ横軸の最大値が1, 残りは0.5であることに注意.