

海底地形による遠地長周期実体波散乱：Hi-net アレイと大規模数値シミュレーションによる検討
前田拓人¹・古村孝志^{2,1}・小原一成¹（¹東大地震研²東大総合防災情報研究センター）

Scattering of long-period body-waves by far-field earthquake
derived from Hi-net array and large-scale numerical simulation

Takuto Maeda¹, Takashi Furumura^{2,1} and Kazushige Obara¹
(¹ERI, Univ. Tokyo, ²CIDIR, Univ. Tokyo)

1. はじめに

防災科学技術研究所の基盤的観測網 Hi-net の地震計は元来は 1Hz 以上の高周波を観測対象にしているが、ポアホール底の低ノイズ環境と高い A/D ダイナミックレンジのため、遠地巨大地震は最大 100 秒程度までの広帯域地震動を記録できる (Maeda et al., 2011)。そのため、Hi-net は周期 20 秒以上の地震波に対する非常に強力なアレイ観測網として機能しうることが期待される。今回我々は広帯域アレイとしての Hi-net 記録から 2009 年 7 月のニュージーランド南島付近の地震 (M7.8) をはじめとした複数の遠地地震の P 波入射にともなう顕著な散乱波を検出ならびに同定し、大規模な差分法数値計算によってその成因を明らかにしたので報告する。

2. 散乱波の抽出と散乱源の同定

遠地実体波波形を Hi-net 上下動記録の特性を補正後、空間方向に振幅を平滑化することでコヒーレントな散乱波群を同定した。検出された散乱波は上下動に顕著に見られ、周期 30 秒付近に卓越している。波群は P 波の直後から観測され、主として西南日本に広がっていく。同様な波群は 2006 年から 2013 年の間に発生した数多くの遠地地震に伴って観察された。だが、散乱波の前後には震源から到着したコヒーレントな P 波ないしは PP 波が重畳しており、散乱波の詳細な到来方向解析が困難であった。そこで、観測点毎に震央距離が±50km 内の観測点について走時を揃えてスタックした“平均波”を計算した。等震央距離面に沿ってスタックすることにより、伝播方向が異なる散乱波を小さくすることができ、S/N 比の高い直達 P 波と PP 波だけを抽出することができた。この平均波を元の地震波形から差引くことで、散乱波のみから構成される波動場を抽出した。こうして抽出された散乱波の上下動成分に対してセンブリクス解析を行ったところ、千葉県南東沖の太平洋スラブの沈み込み口である海溝軸（三重会合点）付近に散乱源が同定できた。アレイ解析の特性上、散乱源の位置決定の信頼性はアレイからの視線方向で相対的に劣っている。しかしジャックナイフテストの結果、同定された散乱源の位置の標準偏差は 60km 程度であり、海溝軸近傍で散乱が起こったという結論に影響は無い。

3. 大規模シミュレーションによる成因の検討

散乱波の成因を探るため、現実的な 3 次元不均質構造下での差分法による波動伝播シミュレーションを実施した。速度構造としては強震動地震学分野で構築されたコミュニティモデルである JIVSM (Koketsu et al., 2008) をもとに、そのモデルがカバーしていない外部領域を SLAB1.0 のプレート形状モデルや JTOPO30v2 の海底地形を参考に拡張したものをを用いた。計算は中部日本を中心とした東西 1200km×南北 800km×深さ方向 600km の領域で行い、鉛直下方から特徴的な波長 200km の Kupper wavelet を P 波として上方に入射させた。我々が用いる地震動シミュレータ (Maeda et al., 2013) は数万 CPU までのきわめて大規模な問題にも良好に適用できるうえ、海底ならびに地表面において固液境界条件 (e.g., Nakamura et al., 2012) が適用されており、海水を S 波速度 0 の弾性体として正しく取り込む事ができる。本計算には 2400 個の CPU および約 3TB のメモリを要した。

シミュレーションの結果、海溝軸付近からは 2 種類の相異なる成因をもつ散乱波が発生することが明らかになった。一つは地表で反射した P 波がプレート境界でプレートの傾斜方向に押し出されるもので、メキシコの沈み込み帯ではじめて確認されたもの (Dominguez et al., 2012) と同種のものと考えられる。ただし、この波群は主として P 波として伝達するため継続時間が短く、見かけ速度も観測とは一致しない。もう一つの波群は海溝軸の海底地形によってトラップされた海中音波群を起源とするものである。海中にトラップされた音波は海面と海底で反射を繰り返すが、海底で反射するたびにそのエネルギーの一部が固体地球の弾性波に再変換し、日本列島を縦断する。この効果は特に推進の深い 3 重会合点付近で顕著であり、そこから散乱波が同心円上に広がっていく様子が再現された。さらに、海中の多重反射を起源とするためその継続時間は 300 秒以上と非常に長く、全体としてその特徴が観測事実をきわめて良く説明する。これら二つが本質的に異なる起源をもつことは、あえて海水を排した波動伝播シミュレーションを行ったときに前者のみが現れることから確認できた (図)。

この結果は、散乱波解析とその物理的な解釈にあたり、地球内部のランダム不均質構造のみならず地形 (Takemura et al., 2013) や特に海水 (Noguchi et al., 2013) の影響を考慮しなければならないことを示唆している。

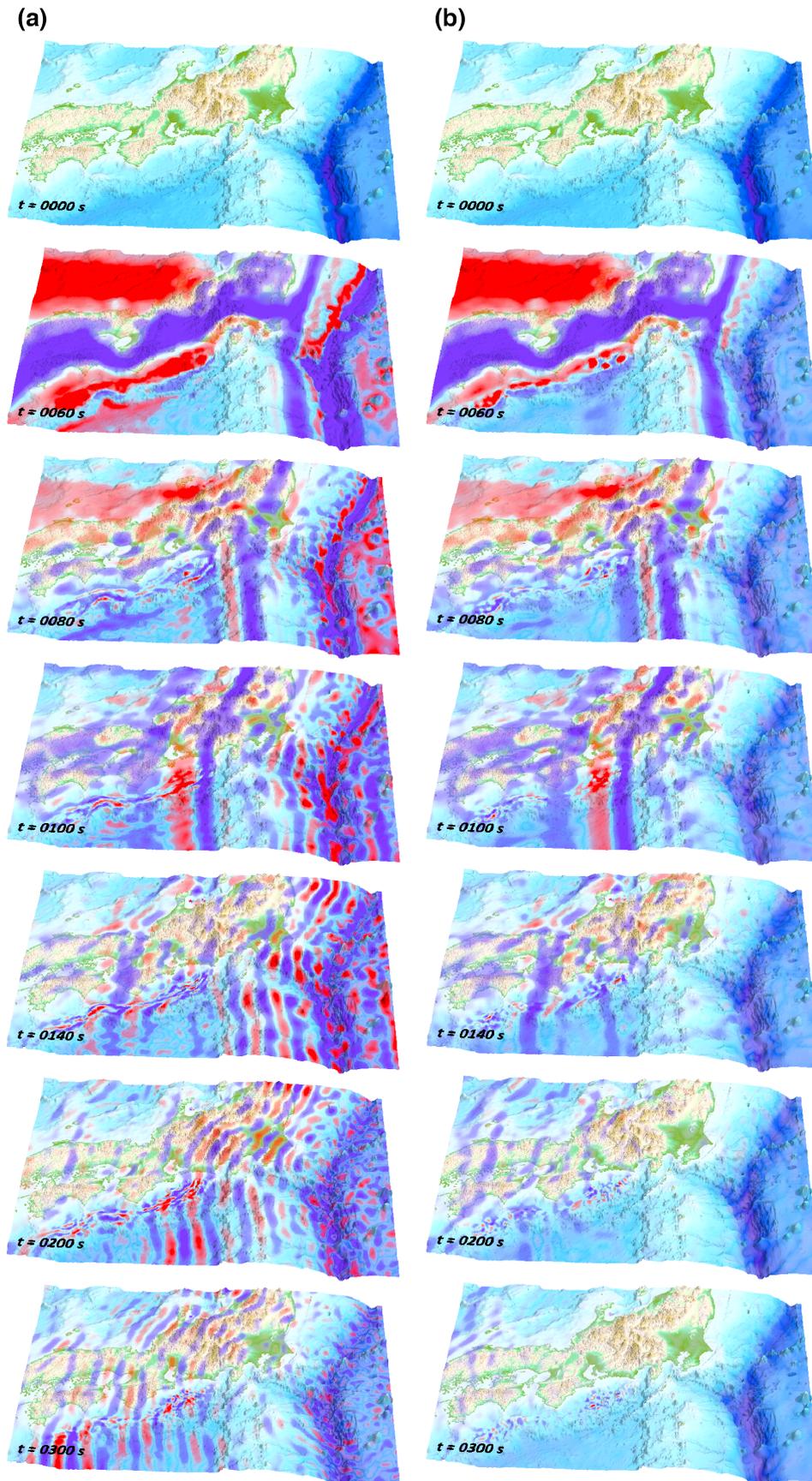


図. 大規模数値計算の結果。平面P波入射にともなう地表ならびに海底面における上下動速度振幅の応答の位相を色で示している。(a)海水有りの場合 (b)海水無しの場合をそれぞれ示す。海水が存在する場合にのみ海溝付近から強い散乱波が長継続時間にわたって観察される。