

アウターライズ地震の記録にみられる特異な波群 –海洋を伝播するレイリー波–

野口科子（地震予知総合研究振興会）・前田拓人・古村孝志（東京大地震研）

1. はじめに

東北地方太平洋沖のアウターライズ地震では、他のプレート間地震などに比べ長周期（周期十数秒）の地震動が 100 秒以上も継続する現象がみられる。地震波形記録からは、表面波の後に長周期・大振幅の後続相がアウターライズ地震のみにおいて確認され、これが継続時間を長くしていることがわかっている。本報告では、差分法による地震波動伝播シミュレーションにより、この後続相の生成メカニズムを解明する。

2. 東北沖のアウターライズ地震の観測波形

2005 年 11 月 15 日に発生した東北はるか沖を震源とするアウターライズ地震で、地震記録の表面波部分に特異な後続相（図 1(b)）が記録された（野口・他, 2014）。近傍の同規模の地震の記録を網羅的に調査したところ、この特異な後続相（X 相）はアウターライズ地震の際にのみ現れ、プレート間地震やプレート境界上盤内の地震などでは観測されないことが明らかになった（図 1(c)）。X 相は、地震記録のレイリー波とみられる波群の 100 秒ほど後に現れ、振幅はレイリー波と同程度で周期 12–14 秒に卓越し、振動極性はレイリー波の特徴を示す。X 相は日本海側も含む東北・関東地方の全域でみられ、それらの地域での周期 10 秒以上の長周期地震動の継続時間を 100 秒以上も長くしている。アウターライズ地震の際にのみ現れるという特徴から、X 相は深海底から海溝軸を経て陸上へ至る伝播経路に起因するものと考えられる。

3. 3 次元差分法による数値シミュレーション

X 相の発生メカニズムを調べるため、海水層を考慮した 3 次元差分法による波動伝播シミュレーションを行った。シミュレーション結果を用いて Hi-net 観測記録と同様のレコードセクションを作成したところ、観測記録でみられた特徴をいずれもよく再現できた（図 2(b)）。震源から海溝軸、陸上に至るプロファイルで地上・海底での変位の時空間プロット（図 3(a)）から、レイリー波および X 相の海域での伝播のメカニズムが以下のように明らかになった。まず、震央付近からレイリー波が約 3 km/s で深海底を広がり、海溝軸を越えると伝播速度がわずかに遅くなる。続いて、震央付近から新たな波群（O 相）がゆっくり（～1 km/s）広がり、これは海溝軸を越えると伝播速度が顕著に速く（～3 km/s）なる。この速くなった波群が、陸上で X 相として現れる。

また、モデル構造の海水層を空気に置き換え、海水がない場合のシミュレーションを行ったところ、O 相と X 相は現れなかった（図 2(c), 図 3(c)）。またレイリー波は海水がある場合に比べると若干速く、より短周期成分を含み、正の分散を示した。さらに、プレート間地震についてのシミュレーションでも、陸側へ向かう O 相と X 相はみられなかった。ただし、海溝軸から太平洋側へは約 1 km/s で広がる O 相がみられた。

4. 流体層を含む構造を伝播するレイリー波

上記で検討した海水層を含む構造について、レイリー波の分散曲線と固有関数の計算を通じて、X相の生成メカニズムをさらに詳しく検討した(図4)。海洋プレートと厚さ6 kmの海水層を持つ構造では、基本モードの群速度は周期14~15秒に1 km/s以下の極小値をもつ(図4(a))。これは深海底でのO相の特徴に一致する。このとき、周期14秒での固有関数は、上下動と水平動ともに海中に最大振幅が現れる(図4(c))。海水層を薄くしていくと、周期14秒での固有関数はやがて地中に最大振幅をもつようになり、陸上を伝播するレイリー波により近い性質を示すとともに群速度も速くなる(図4(a))。これは、O相からX相への変換に対応する。以上から、X相は深海底でのある種のエアリー相により生成されていると言える。

一方、水深6 kmでの1次高次モードの群速度もやはり15秒付近に極小値をもつ(図4(b))が、3 km/sと基本モードより速い。こちらはシミュレーションで示された深海底でのレイリー波に一致し、やはり陸側へ伝播する時に陸上のレイリー波に変換される。海水がある時に陸上で観測されるレイリー波は単色的な性質を示すが、これもまた、このレイリー波が高次モードによる一種のエアリー相により生成されているためだと考えられる。

これら海域のレイリー波の基本モードおよび高次モードは、Takeo et al. (2014)が海域での地震波干渉法で発見したocean-modeおよびsolid-modeのレイリー波と同じものと思われる。また、海水層を考慮した波動伝播シミュレーションでも、海域特有のレイリー波について報告されている(Nakamura et al., 2012)が、陸上観測点の地震波形記録での明白な観測例としては本研究の例が最初とみられる。現在、東北沖に海底地震観測網が整備中であり、上記シミュレーションで示された海底での現象に関して実際の観測記録が得られることが期待される。

5. まとめ

東北沖のアウトサイズ地震の際に観測される特異な後続相について、海水を考慮した波動伝播シミュレーションを行い、その生成メカニズムを調べた。その結果、X相は海域のレイリー波の基本モードが陸上のレイリー波に変換したもので、X相の前の表面波部分も同様に海域のレイリー波の高次モードから変換したものであったことが示された。このことは、特に深海底や海溝などの深海域での波動伝播を含む長周期の地震動を評価する際には、海水層や地形を適切に考慮することが不可欠であることを示している。

謝辞

本研究では、防災科研による地震観測網Hi-netのデータを使用しました。また、数値シミュレーションにはJAMSTECの地球シミュレータおよび地震研究所のEICシステムを使用しました。記して感謝いたします。

参考文献

Nakamura, T., H. Takenaka, T. Okamoto, Y. Kaneda (2012), FDM Simulation of seismic-wave propagation for an aftershock of the 2009 Suruga Bay Earthquake: Effects of ocean-bottom topography and seawater layer, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 102(6), 2420-2435, doi: 10.1785/0120110356.

Takeo, T., D. W. Forsyth, D. S. Weeraratne, K. Nishida (2014), Estimation of azimuthal anisotropy in the NW Pacific from seismic ambient noise in seafloor records, *Geophys. J. Int.*, 199, 11-22, doi: 10.1093/gji/ggu240.

野口科子・前田拓人・古村孝志, アウターサイズ地震の記録にみられる特異な波群 -- 海水層が地震動に及ぼす影響, 東京大学地震研究所研究集会「海陸広域観測網がとらえる波動現象と地球内部不均質構造」, 東京, 2014年9月.

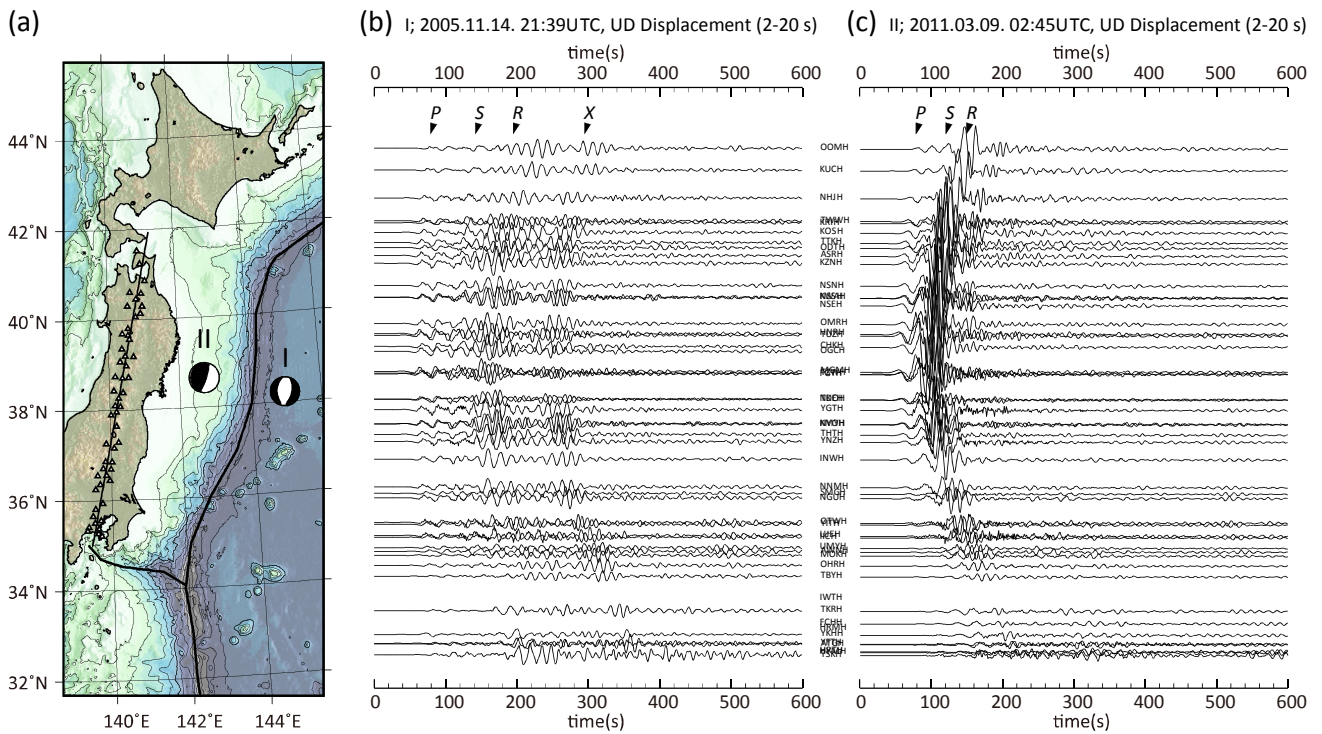


図 1. (a) (b)および(c)の地震の震源および観測点位置. (b) 図 1(a)I の Hi-net 上下動変位観測波形記録. (c) 図 1(a)II の Hi-net 上下動変位観測波形記録. 図中矢印は同定された位相を示す.

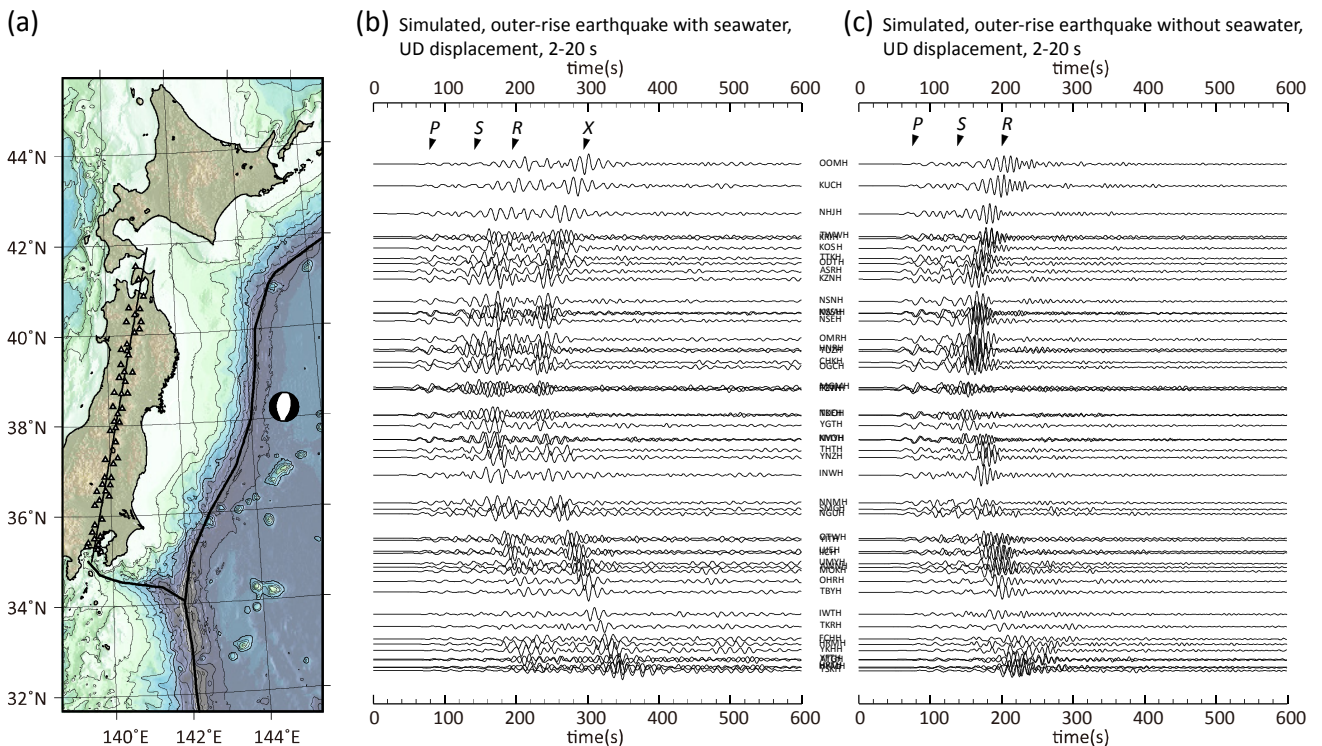


図 2. 2005 年アウターライズ地震のシミュレーションの合成波形. (a) (b)および(c)での震源および波形出力点位置. (b) 合成された上下動変位波形. (b) 海水層を空気に置き換えた場合の上下動変位波形. 図中矢印は同定された位相を示す.

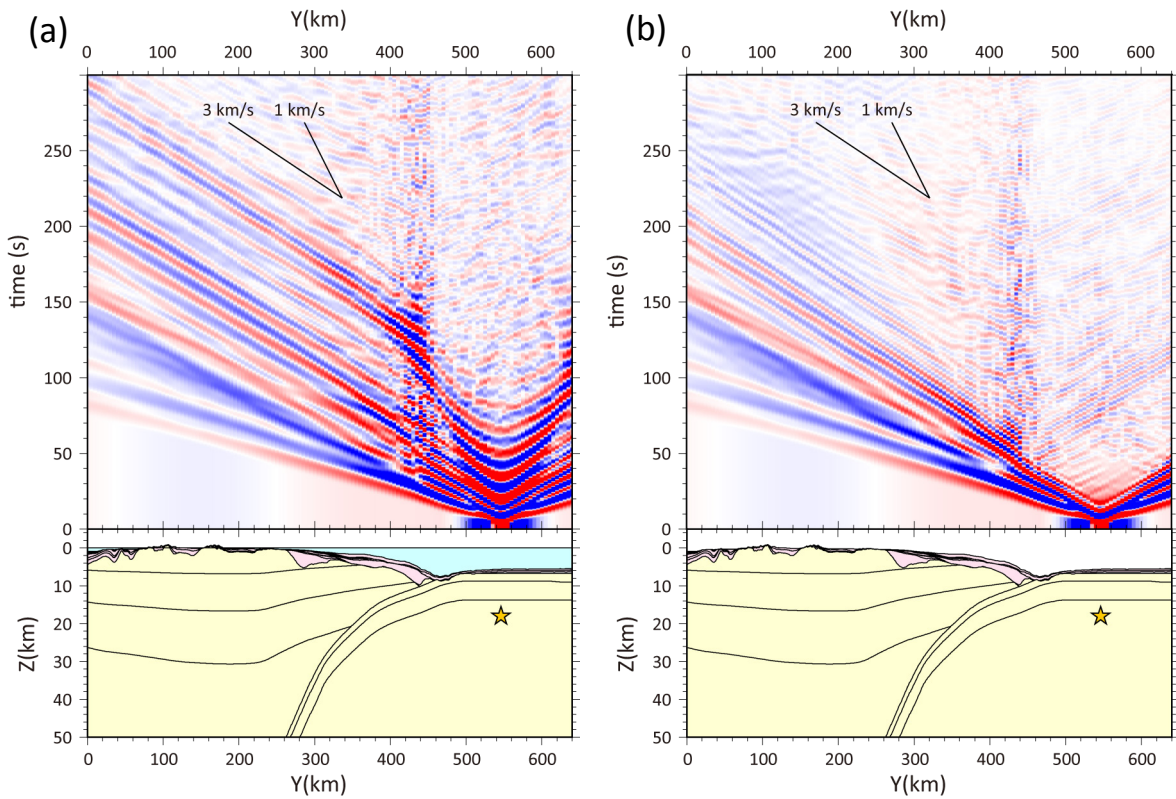


図 2. 2005 年アウターライズ地震のシミュレーションの、東西測線に沿った地表および海底での上下動変位の時空間分布。(a)は海水層を考慮した場合、(b)は海水層を空気に置き換えた場合。

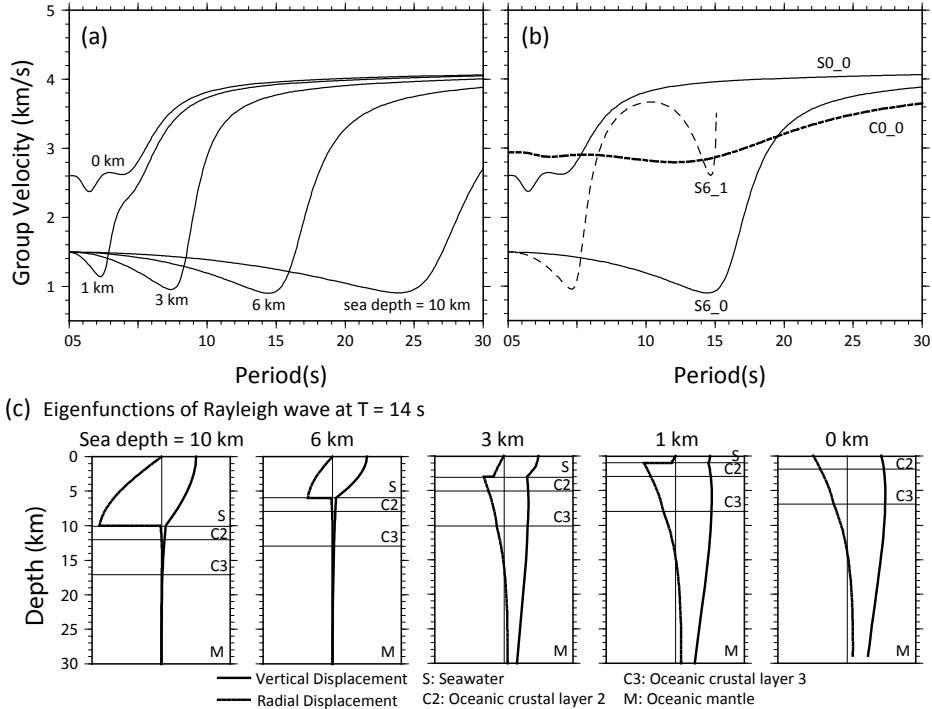


図 3. 海水層がある場合のレイリー波の分散曲線と固有関数。(a) 海洋プレートと海水層からなる構造による分散曲線。(b) S6_0; 海洋プレートと海水層 6 km での基本モード, S6_1; 海洋プレートと海水層 6 km での 1 次高次モード, S0_0; 海洋プレートのみでの基本モード, C0_0; 大陸地殻・マントルでの基本モード。(c) 海洋プレートと海水層からなる構造による周期 14 秒での固有関数。