

タイムリバーサル法による活断層構造と震源球との比較

Comparison between active fault structure by time-reversal method and beachball

*菊池 年晃¹*Toshiaki Kikuchi¹

1.防衛大学

1.National Defense Academy

活断層の構造とその震動機構を解明することは地震予知の観点から重要である。比較的大きな地震に関しては、その発生後に気象庁から観測された震源球が報告される。この震源球は地震波の初動極性を震源付近の球上に置換したもので、その極性の分布図から活断層の亀裂方位が求められる。最近、著者らは地震波のタイムリバーサル処理に基づいた活断層の動的モデルを構築した。この動的モデルは震源球と類似した特性を持っている。そこで、今回は、震源球と動的モデルとを比較し、それらが示す初動極性分布と活断層の方位がほぼ一致することを示す。更に地震予知に繋がる動的モデルの特徴を示す。

初めに、震源球に関しては気象庁のホームページに詳説されている。受信した地震波の最先端のみの変位を正極と負極に分別し、その極性を、音線経路により受信点から震源付近まで戻した位置に再配置する。全方位にわたる受信点からの極性再配置は一つの球上に表示される。球上の極性分布の境界方位から活断層の方位が求められる。この方法では活断層の全体の変位に着目しているので処理周波数範囲は1 Hz以下の低周波である。次に、動的モデルについて概説する。このモデルは波動伝播に関するタイムリバーサルの原理に基づいて構築される。観測点で受波した地震波の中からP波成分を切り出して、その波を時間的に反転させる。その反転させた信号を伝播シミュレーション上で放射して、震源位置に形成されるパルス、即ちタイムリバーサルパルス(TRP)を求める。伝播シミュレーションには放物型方程式法を用いた。処理周波数範囲は1~20 Hzの広帯域である。震源を囲む観測点から求められたTRPの集合が、等価的な震源震動に相当する。その低周波特性は震源球に類似した特性を持つが、その高周波特性は動的な震動特性を示す。

動的モデルの実例として、2009年8月に駿河湾の中部で発生した地震を対象に述べる。震源を囲む44ヶ所の観測点で受信したP波信号にタイムリバーサル処理を施し、震源の位置に形成されるTRPを求めた。このTRPは震源が放射する等価的な音源に相当する。

一般に、雑音はランダムな振動であるから干渉性を持たない。そのため指向性もない。しかしながら、求められたTRPには明確な方位依存性が存在した。この方位依存性の成因を解明するために、方位に対するTRPの周波数スペクトルを求めた。周波数スペクトルは方位角によって大きく変化した。そこで、方位角に対する最大振幅周波数の分布を求めた。その結果、方位が西から東に移動するにつれて最大振幅周波数が大きく上昇して、そして下降した。音波の周波数変動は音源の移動によるドップラー効果が一般的である。しかしながら、上記地震の場合、震源と観測点の相対位置は大きく変化していないのでドップラー効果ではない。この場合の周波数上昇は音源が局所的に高速で移動したためと考えられる。移動方向は西伊豆西、河津及び伊東方向へ集中した。

これらの観測点で受信したP波を調べると特徴ある波形が表れた。西伊豆西の受信波の先頭部が膨張していた。しかし、西伊豆西に近い伊東と河津での受信波は通常の波形であった。この様に頭部が増大することは、活断層中における亀裂の進行速度が伝搬速度に近くなった場合に発生する。亀裂によって発生した圧力が高速で移動することにより累積的に加算される、即ち、パラメトリック効果によって生じると考えられる。西伊豆西はこの地震の特性を反映する特定点である。この観測点で受波した余震の波形は、本震以上にP波の先頭部が膨張していた。これは亀裂が断層全般に拡大したためと考えられる。一方、本震以前に発生した前兆地震でも先頭部の膨張が多く観測された。これらの結果から震源振動の動的モデルを提唱した。活断層から放射された狭角のビームが地表に達する点をパラメトリックスポット、ここで観測される頭部の増大したパルスの頭部をパラメトリックヘッドと呼ぶ。活断層から放射された狭角のビームの方位は活断層の方位である。従って、パラメトリックスポットの方位が、活断層の方位である。

この地震のパラメトリックスポットの方位は86°である。一方、気象庁が求めた震源球による方位は71°でほぼ一致している。また、TRPを1 Hzの低周波フィルターを通した信号の初動極性の分布は震源球の分布とほぼ一致

した。上記のように、TRPの高周波特性により活断層の放射ビームが算出され、また低周波特性から初動極性の分布が算出される。このことから、タイムリバーサル法に基づいた動的モデルは活断層の震動特性の解明に有効と考えられる。

本報告では、防災科学技術研究所のHi-netによる地震データを使用しました。ここに謝意を表します。

キーワード：タイムリバーサル法、震源振動、震源球

Keywords: Time reversal method, active fault vibration, beachball

データ探索のための地震波可聴化

Seismic audification and sonification for data exploration

*内出 崇彦¹、森本 洋太²、松原 正樹³

*Takahiko Uchide¹, Yota Morimoto², Masaki Matsubara³

1.産業技術総合研究所 地質調査総合センター 活断層・火山研究部門、2.ハーグ王立音楽院ソノロジー研究所、3.筑波大学 図書館情報メディア系

1.Research Institute of Earthquake and Volcano Geology, Geological Survey of Japan, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, 2.Institute of Sonology, Royal Conservatory of the Hague, 3.Faculty of Library, Information and Media Science, University of Tsukuba

地震波形記録は地震学における基本的なデータである。地震学者は通常、地震波形を画面や紙に描いて可視化して、そこから情報を読み取る。しかし、ほかの方法もある。地震波形を音に変換するという可聴化である。これは近年よく行われるようになってきたが、主に非専門家へのアウトリーチが目的である。われわれは、地震波の音を研究目的で利用することを試みている。一般に、時系列データを音に変換する方法には2つある。ひとつは時系列データをそのまま音響信号に見立てて再生するaudificationであり、もうひとつは瞬時周波数や振幅といったデータの特徴に応じて音を割り当てるというsonificationである。われわれは地震波形のaudificationとsonificationの手法を開発して、どのような情報が地震波可聴化音から聞き取れるかを検討した。

初めに2011年東北地方太平洋沖地震を題材とした。防災科学技術研究所の強震観測網(K-NET)と強震基盤観測網(KiK-net)の地表観測点のうち116点を適当に選んで使用した。一般に、地震波記録は聴きとるには周波数が低すぎるため、audificationの場合は再生速度を上げて、周波数を可聴域に移さなければならない。116観測点の地震波形のaudificationを10倍速の再生速度で行い、それらを重ね合わせた。可聴化音は聴きとることができるが、まだ低い。可聴化音からは日本全国に地震波形が広がる感じが感じ取れる。地震波の特徴をより明らかにするために、零交差率と振幅に応じて音を割り当てるsonification手法を設計した。10倍速で再生するものとしたため、可聴化音の全長は40秒ほど聞き取りやすい長さとなった。さらに、アウトリーチ活動で利用することも考慮して、怖くない雰囲気になるように音を選んだ。全116観測点からのデータは時間同期を考量した上で、同時に再生する。

Sonificationによって得られた音は、やはり全国的な地震波伝播を感じさせるものである。初めは大きく高い音であるのに対し、徐々に小さく低い音に移行していく。これは、地震波の幾何減衰や非弾性減衰の効果を反映している。可聴化音の23秒ごろ(発震時の230秒後に相当する)に、全国的な地震波伝播とは明らかに異なった高い音が聴こえた。地域ごとに可聴化を行ってこの原因を追究した結果、岐阜県飛騨地域からのものであることがわかった。この地域で動的に誘発された地震[例えば、Uchide, SSA, 2011; Miyazawa, GRL, 2011; 大見ほか, 地震, 2012]と時刻も一致する。

Audificationとsonificationによって、周波数や振幅の違いや変化を多くの観測点について同時に観測することが容易になった。本研究は、巨大地震から長距離を走ってきた地震波より高い周波数の地震波を放射する動的誘発地震を検出する方法として優れていると考えられる。

謝辞: 本研究では、防災科学技術研究所の強震観測網(K-NET)と強震基盤観測網(KiK-net)の地震波形記録を使用しました。

キーワード: 地震学、地震波可聴化(audification)、地震波可聴化(sonification)、2011年東北地方太平洋沖地震、動的誘発地震

Keywords: Seismology, Audification, Sonification, The 2011 Tohoku-oki earthquake, Dynamic triggering of earthquakes

核・マントル境界S波多重反射波の時間領域解析を用いたマントル構造の推定

Estimation of the mantle structure with multiple ScS phases by time-domain analysis

武藤 未央梨²、*蓬田 清¹Maori Muto², *Kiyoshi Yomogida¹

1.北海道大学大学院理学研究院地球惑星科学部門、2.北海道大学大学院理学院自然史科学専攻

1.Earth and Planetary Dynamics, Graduate School of Science, Hokkaido University, 2.Earth and Planetary Dynamics, Graduate School of Science, Hokkaido University

地震波形記録（あるいは単一記録中の異なった部分）の定量的な比較では、通常、FFTを用いたフーリエ解析、すなわち周波数領域での解析が用いられる。定常的な時系列ではこの手法は適当だが、地震学の多くの場合では、ある時間幅に集中している非定常的な波群が対象となる。このような信号の処理として古く開発された一つに、ウィナーフィルタがある。これは2つの時系列を時間領域で直接比較した結果をフィルタの形で示している。

ここでは、2016年5月30日の小笠原西方沖の巨大深発地震について、日本列島のF-netの広帯域地震波形記録から、マントル内をほぼ垂直に地表と核・マントル境界を往復するScS多重反射波について、ウィナーフィルタを用いた時間領域での解析を行い、従来の周波数領域でのスペクトル解析と比較する。一つの観測点でのトランスバース成分、すなわちSH波であるScS波やその多重反射波の部分を比較し、この地域のマントルの平均構造を推定する。

得られた波形記録ではScS波などの波群は、100-200秒程度の時間窓に入っている。他の信号の混入を避けるため、このような短い記録長の複数の時系列を比較することとなる。通常のスเปクトル解析では、各時系列の両端を滑らかにゼロに揃えるために何らかのフィルタ（例：taper filter）をかけた後、フーリエ解析を施す。高周波数成分はこのフィルタによる波形の変形の影響は少なく、位相も大きな変調はないが、広い底周波数領域ではスペクトルの振幅が傘上げされてしまうことが確認され、減衰構造の推定に大きく影響する。

そこで、二つの波群（例えば、ScS波とScS2波）の時間領域の記録を、入力と出力の時系列とみなし、ウィナーフィルタでこの二つを直接的に比較する。このフィルタは最小二乗フィルタの一種で、フィルタの係数（すなわちフィルタの長さ）が増えれば誤差は小さくなるが、大きく振動する不安定な特性となる。そこで、AICなどの統計的手法により誤差と係数の個数のトレードオフから最適なフィルタを求める。こうして得られたフィルタをフーリエ解析することで、振幅や位相の周波数特性が広い周波数帯域で安定・精度よく求めることができる。例えば、小笠原西方沖の深発地震のF-net波形では、周期20秒から0.5秒まで太平洋沿岸の観測点ではQ値が150-500程度に求まり、観測点毎の相違も議論できる。

このような時間領域のフィルタを用いた波群の定量的な比較は、他の例として、相互相関を求める際に、通常の係数を用いるよりも精度よく推定することが期待され、時間変化の検出などを従来の手法よりも安定して求める可能性がある。

キーワード：ScS多重反射波、マントル速度・減衰構造、時間領域波形解析

Keywords: multiple ScS phases, velocity and attenuation structure of the mantle, time-domain analysis of seismic waveforms

脈動実体波を用いた上部マントル不連続面変換波の検出

Detection of converted phases from the upper mantle discontinuities using teleseismic body-wave microseisms

*西田 究¹

*Kiwamu Nishida¹

1.東京大学地震研究所

1.Earthquake Research Institute, University of Tokyo

地震を用いた構造探査手法は、全地球スケール地球内部構造を知る上で大きな役割を果たしてきた。その解像度は地震分布の偏りに大きく制約される。この問題点を解決すべく、近年海洋波浪によって励起されたランダムな表面波を使い、観測点間の構造を抽出する手法(地震波干渉法)が発展してきた。実際に多くの地域で、地殻構造・上部マントル構造が決定されるようになってきた。より深部の構造を調べるため、地震波干渉法を用いた実体波の解析が注目され始めている。しかし実体波を抽出する際、励起源の不均質性が強い制約になることが知られている。本研究では地震波干渉法のように脈動の励起源が一様ランダムと仮定することとは対照的に、局所的かつ持続的なイベントとして捉える戦略を取る。励起源の重心からP波が射出していると仮定して、観測点下でのマントル不連続面でPS変換した波の検出を目指す。

イベントとして、2014/12/9に大西洋で発生した爆弾低気圧(weather bomb)に注目する。本解析ではまず、Hi-net 速度計 779点を使用し、観測されたP波からvertical centroid single forceの位置を推定した。波線理論に基づきP波に対するGreen関数を計算し、観測された上下動記録からその震源時間関数を推定した。

ここでは上部マントルでの変換波変換波(P660s等)は動径成分に卓越すると仮定する。色々な見かけ速度を仮定して動径成分をスタックし、推定した震源時間関数でデコンボリューションした。スタックに際しては、観測点直下の3次元不均質・大規模不均質構造が推定に大きく影響すると考えられるために、Icelandで発生した地震(2012 8/20)から観測点補正を計算した、その影響を取り除いた。予察的な解析では、日本列島下の660km不連続面でPからSVへ変換した波束を検出した。今後定量的に、既存のレシーバー関数の解析結果と比較検討してく予定である。

キーワード：脈動、アレー解析

Keywords: microseisms, ambient noise, array analysis

拡散・減衰モデルに基づく北海道東部における地震波減衰特性の推定

Estimation of seismic attenuation properties in eastern Hokkaido based on a diffusion-absorption model

*金谷 希美¹、江本 賢太郎²、中原 恒²、西村 太志²

*Nozomi Kanaya¹, Kentaro Emoto², Hisashi Nakahara², Takeshi Nishimura²

1.東北大学理学部宇宙地球物理学科、2.東北大学大学院理学研究科地球物理学専攻

1.Department of Geophysics, Faculty of Science, Tohoku University, 2.Department of Geophysics, Graduate School of Science, Tohoku University

コーダ波は一般に地下の不均質媒質によって散乱されたランダムな位相を持つ地震波で、十分な時間経過後にはエネルギーが空間に一樣等方に分布する特徴を持つと考えられている。しかし、火山フロント付近のように地下の減衰構造が大きく変化する地域では、その仮定が成り立たないことがある。例えば、東北地方では火山フロントを境にエネルギー分布が前弧側では大きく、背弧側では小さいというはっきりとした地域性が見られる。これは、異なる減衰係数を持つ隣り合う2層の半無限空間における地震波エネルギーの伝播を想定した拡散・減衰モデルによって、物理的に説明されている [Yoshimoto *et al.* (2006)]。このモデルにおける各領域のエネルギー密度の時間・空間発展は、拡散・減衰方程式に従う。本研究では北海道東部を対象とし、火山フロント付近でのSコーダ波エネルギー分布を求め、このような現象が他の地域でも見られるのかを調べた。さらに拡散・減衰モデルを適用して減衰特性を推定した。

解析には、北海道十勝地域で発生したやや深発地震（2013年2月2日、深さ102km, M6.5）を選択した。防災科学技術研究所の高感度地震観測網Hi-netより、北海道東部の観測点40点の記録を用いた。各観測点の東西・南北・上下動3成分の速度記録について、2-4, 4-8, 8-16, 16-32Hzの周波数帯のバンドパスフィルタ処理を行った。それらのSコーダ波部分に5秒間の時間窓を7つとり、それぞれに対して二乗平均振幅の3成分和を算出した。その値に地殻・上部マントルの平均的な密度 $3.0[\text{g}/\text{cm}^3]$ を乗じることによりSコーダ波エネルギー密度とした。

エネルギー密度の空間分布を調べた結果、前弧側では一樣に大きいエネルギー分布である一方、背弧側では火山フロントからの距離と共にエネルギーが減少するという東北地方と同様の現象が見られた。各時間窓における火山フロントからの距離とSコーダ波エネルギー密度の関係を周波数帯ごとに調べると、背弧側でのエネルギー密度は距離とともに指数関数的に減少しているのに対し、前弧側のエネルギー密度は距離によらずほぼ一定となり、経過時間に伴い指数関数的に減少する。背弧側の空間減少率の値は全周波数帯で平均して東北地方の結果（2-32Hzで $(1.7-4.8) \times 10^{-2} [\text{km}^{-1}]$ ）より2-3倍程度大きい。その周波数依存性は東北地方と同程度となる。拡散・減衰モデルによれば、背弧側の空間減少率は拡散係数と減衰係数の比の平方根で決まり、前弧側の時間減少率は減衰係数で決まる。この関係を解析結果に適用し、平均的なS波の散乱係数 $(0.01[\text{km}^{-1}])$ を仮定して内部減衰の Q_i^{-1} 値を求めたところ、背弧側の Q_i^{-1} 値は全周波数帯で東北地方よりやや大きいと見積もられた。一方で前弧側の Q_i^{-1} 値は背弧側よりも小さく、 $Q_i^{-1} \propto f^{-1}$ 程度の周波数依存性を持っていた。同様の結果は、他の2つの地震を解析した場合にも求められた。

謝辞：本研究では、防災科学技術研究所が提供する高感度地震観測網 Hi-net の波形を使用させて頂きました。また、気象庁が提供する気象庁一元化処理震源リストのデータを使用させて頂きました。記して感謝いたします。

キーワード：拡散、減衰、コーダ波、火山フロント

Keywords: diffusion, attenuation, coda-wave, volcanic front

一次元地下構造モデルの推定を目的としたトランスディメンショナル波形インバージョンの開発 Development of trans-dimensional waveform inversion to estimate 1D layered underground structure model

*久保 久彦¹、鈴木 亘¹

*Hisahiko Kubo¹, Wataru Suzuki¹

1. 独立行政法人防災科学技術研究所

1. National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention

震源過程解析における信頼性の高いグリーン関数の構築を目的として、しばしば小地震の波形モデリングを基にした一次元地下構造モデルの推定が図られている (e.g., Ichinose et al. 2003; Kakehi 2004; Asano and Iwata 2009)。本研究ではリバーシブルジャンプマルコフ連鎖モンテカルロ法 (rjMCMC法、Green 1995) を用いた、一次元地下構造の推定を目的とする新たな波形インバージョン手法を開発する。rjMCMC法を用いたトランスディメンショナルインバージョンの利用は地球物理学の分野で近年進んできている (e.g. Malinverno 2002; Agostinetti and Malinverno 2010; Bodin et al. 2012; Dettmer et al. 2014; Hawkins and Sambridge 2015)。rjMCMC法の利点として、同手法はモデルパラメータ数も逆問題の未知数とする解析手法であるため、解の複雑性を決める一つの要因であるモデルパラメータ数を人の手を介することなく記録から直接決めることができる点が挙げられる (Gallagher et al. 2009; Agostinetti and Malinverno 2010)。層数や初期構造モデルなどの強い事前情報を必要としないという点で、本研究で提案する波形インバージョン手法は高い汎用性を持つと考えられる。そのほかの利点としてはMCMC法で得られる解の確率分布が解の不確実性の評価に有用である点が挙げられる。得られた地下構造モデルの不確実性に関する情報は震源インバージョンへの理論誤差の導入などにおいて役立つことが期待される。

一次元地下構造モデルの層構造は個数可変のボロノイ分割を用いて表現する (e.g. Bodin et al. 2012)。観測方程式の誤差はガウス分布に従っており、互いに独立であると仮定する。本手法における未知数は層数、各層の厚さ、各層のVs、そして誤差の大きさに相当するハイパーパラメータである。各層のVpおよび密度はBrocher (2005)の経験式より各層のVsから求める。各層のQpおよびQsはKawabe and Kamae (2008)およびKoketsu et al. (2009)を参考に各層のVsから求める。理論波形は離散化波数積分法 (Bouchon 1981) と反射・透過係数行列法 (Kennett and Kerry 1979) を用いて計算する。またモデルのサンプリングにおいてパラレルテンパリングアルゴリズム (e.g. Sambridge 2013) を導入している。パラレルパラレルテンパリングアルゴリズムは、MCMC法におけるモデルの受託・棄却に関する温度が異なる系を並列で実行し、一定回数でそれぞれの系が持つ温度をメトロポリスヘイスティングス基準に基づいて交換していくことで、サンプリングの効率性の向上とパラメータの探索領域の拡充を図る手法である。

発表では理論テストや実際の記録を用いた解析を通して、本手法の妥当性やその有用性を示す予定である。

キーワード：トランスディメンショナル波形インバージョン、一次元地下構造モデルの推定、リバーシブルジャンプMCMC法

Keywords: Trans-dimensional waveform inversion, Estimation of 1D structure model, Reversible jump MCMC method

大規模シミュレーションとアジョイントカーネルに基づく沈み込み帯での地震波伝播の考察
Property of the seismic-wave propagation in subduction zone studied by large-scale simulation and adjoint kernels

*岡元 太郎¹、竹中 博士²、中村 武史³、青木 尊之⁴

*Taro Okamoto¹, Hiroshi Takenaka², Takeshi Nakamura³, Takayuki Aoki⁴

1.東京工業大学 理学院 地球惑星科学系、2.岡山大学大学院 自然科学研究科、3.海洋研究開発機構 地震津波
海域観測研究開発センター、4.東京工業大学 学術国際情報センター

1.Department of Earth and Planetary Sciences, School of Science, Tokyo Institute of Technology,
2.Graduate School of Natural Science and Technology, Okayama University, 3.R&D Center for
Earthquake and Tsunami, Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, 4.Global Scientific
Information and Computing Center, Tokyo Institute of Technology

At the subduction zones, such as the Japan trench, the Nankai trough and the Ryukyu Islands, the propagation of the seismic-waves are affected by the strong lateral heterogeneities [1]. Such effects must be considered in generating the synthetic waveforms for the analyses of earthquake sources and structural heterogeneities. In the previous presentation [2], by using a 3D structure model for the northeastern Japan (including Japan trench) and by using finite-difference simulations, we showed that the observed surface-waves with a period band of 12-40 s were well reproduced by the synthetics while for periods shorter than around 10 s the misfit between the observed and synthetic waveforms were large. In order to improve the structure model for the short-period waves we need to understand the properties of the wave propagation through the heterogeneous media. Thus, in this paper, as a continuation of the project [2], we study the property of the wave propagation in term of the adjoint kernels [3-6] which represent how the waves sample the different part of the structure. As an example, we use the same 3D structure model (Japan trench) and the same shallow suboceanic earthquake whose epicenter is only about 50 km landward from the trench (2003/11/1, Mw5.8) as those of [2]. We apply a GPU-accelerated finite-difference program developed by ourselves [7,8] and use the TSUBAME-2.5 supercomputer in Tokyo Institute of Technology. As in [6] the adjoint kernels are computed by using two wave-fields: one propagates from the source point and the other from the station point. We selected a KiK-net station, Yamada (IWTH21 in Iwate) as the preliminary example. The horizontal slice of the resultant rigidity kernel at near the source depth (11 km) and at period of 12.80 s shows nearly symmetric pattern with respect to the straight line (i.e., great circle path) connecting the source and the receiver positions projected onto the plane of the slice. Thus, for this period, the distortion of the wave propagation path is weak: the required perturbations in material parameters would be applied mainly to those along and near the great circle path to improve the structure. The rigidity kernel at period of 7.31 s, however, shows distorted pattern that represents complicated wave propagation such as bending and scattering. This result indicates that perturbations just along the great circle path would not be enough to improve the structure for short period waves. We will consider more kernels computed for the Japan trench and the Ryukyu Islands. This project is partially supported by HPCI System Research Project (hp130118), JHPCN (15-NA12) and KAKENHI (26282105).

References: [1] Nakamura, T. et al. *Scientific Reports*, doi: 10.1038/srep16648, 2015. [2] Okamoto, T. et al. *JPGU Meeting*, SSS25-P02, 2015. [3] Tarantola, A. *Geophysics*, 49, 1259-1266, 1984. [4] Tanimoto, T. *Geophys. J. Int.*, 102, 89-100, 1990. [5] Tromp, J. et al. *Geophys. J. Int.*, 160, 195-216, 2005. [6] Tanimoto, T. and Okamoto, T. *Geophys. J. Int.*, 198, 1081-1095, 2014. [7] Okamoto, T. et al., *Earth Planets Space*, 62, 939-942, 2010. [8] Okamoto, T. et al., *GPU Solutions*

to Multi-scale Problems in Science and Engineering, 375-389, Springer-Verlag, 2013.

キーワード：アジョイント・カーネル、沈み込み帯の地震、短周期地震波のモデリング、GPU計算、差分法
Keywords: adjoint kernel, subduction zone earthquake, modeling short period seismic waves, GPU computing, finite-difference method

地震波散乱による見掛け輻射特性および振幅のばらつきの周波数・震源距離変化を考慮した地震動予測

Ground-motion prediction based on the scattering theory by incorporating the effects of random velocity inhomogeneities in the crust

*吉本 和生¹、武村 俊介²、小林 学¹

*Kazuo Yoshimoto¹, Shunsuke Takemura², Manabu Kobayashi¹

1.横浜市立大学、2.防災科学技術研究所

1.Yokohama City Univ., 2.NIED

はじめに

近地地震の高周波数帯（約1 Hz以上）の地震波の振幅には、地殻構造のランダム不均質性による散乱作用を反映した最大振幅分布の方位依存性の消失（見掛け輻射特性の崩れ; Kobayashi et al., 2015）および最大振幅のばらつき（以下、単に振幅のばらつき; Yoshimoto et al., 2015）が観測される。このような観測現象については、近年になって地震波散乱の基礎研究（例えば、Sawazaki et al., 2011）が大きく進展したことから、そのモデル化や定量的な評価が可能になった。本研究では、地震波散乱による見掛け輻射特性および振幅のばらつきの周波数・震源距離変化を考慮した地震動分布の予測手法を提案する。

地震動分布の予測手法

近地で発生する小・中規模の地殻内地震による地震動の最大振幅の空間分布を地震波散乱理論に基づいて予測する。簡単のため、地殻構造のランダム不均質性による散乱作用だけを考慮し、非弾性による減衰（内部減衰）や地盤の増幅特性の影響は考慮しない。地殻構造のランダム不均質性は空間的に一様であると仮定し、指数関数型の自己相関関数で表されるとする。また、震源はダブルカップル型の点震源モデルで近似し、各観測点の最大振幅はS波の特定の周波数成分によって発現すると仮定する。

最大振幅の空間分布は以下の2ステップの計算により評価できるとする：（1）見掛け輻射特性の崩れ（周波数・方位・距離による変化）の平均的な指標（平均振幅に相当）を求める、（2）振幅のばらつき（周波数・距離に依存）を平均振幅に重畳する。計算ステップ1には、Sawazaki et al. (2011)による前方散乱近似に基づいた地震波エンベロープの評価手法を使用する。同手法の使用により、ダブルカップル型震源による非等方的な地震動分布の評価が可能になる。計算ステップ2には、Yoshimoto et al. (2015)によるランダム不均質中の点震源から伝播する波の振幅のばらつきの評価手法を使用する。

議論

上述の地震波散乱理論に基づいた地震動分布の予測手法は、観測される見掛け輻射特性および振幅のばらつきの周波数・震源距離変化を同時に説明できる。例えば、ダブルカップル型震源の非等方的な輻射特性は震源距離の増大とともに地震波散乱の影響で不明瞭になる。その一方で、振幅のばらつきは震源距離の増大にともない大きくなる。その結果、両効果の相乗作用として、震源距離が十分に大きくなっても、同距離における最大振幅には観測点間で10倍程度の差異が発現し、観測される地震波振幅の距離減衰の特徴を定性的に再現する。学会発表では、見掛け輻射特性および振幅のばらつきの周波数・震源距離変化の数値評価の結果について詳しく紹介するとともに、その結果と地殻構造のランダム不均質性との関係についても説明する。尚、観測されたP波とS波の最大振幅のばらつきの特徴については、本セッションの小林・他（2016、本大会）を参照されたい。

キーワード：地震波散乱、見掛け輻射特性、振幅のばらつき、地震動予測、ランダム不均質性

Keywords: Seismic scattering, Apparent radiation pattern, Amplitude fluctuation, Ground-motion prediction, Random velocity heterogeneity

地殻構造の短波長ランダム不均質性による地震波の振幅のばらつき

Seismic amplitude fluctuations in small-scale random velocity heterogeneous crust

*小林 学¹、吉本 和生¹、武村 俊介²*Manabu Kobayashi¹, Kazuo Yoshimoto¹, Shunsuke Takemura²

1.横浜市立大学大学院生命ナノシステム科学研究科、2.防災科学技術研究所

1.Yokohama City University, 2.NIED

はじめに

高周波数帯（約1 Hz以上）では観測される地震波の振幅に大きなばらつきがみられる。この要因として、地盤増幅や震源の輻射特性の他に、地殻構造の短波長ランダム不均質性による地震波散乱の影響が指摘されている（例えば、Hoshiba, 2000）。Yoshimoto et al. (2015) は、高品質なHi-netで得られた地震波形の解析から地殻内地震のP波振幅のばらつきの特徴を明らかにし、その周波数・距離依存性について数理モデルにより評価が可能であることを示した。しかしながら、地震動予測の高度化に関連するS波振幅のばらつきの特性の把握についてはこの限りでなく、詳細は依然として不明である。本研究では、P波振幅に加えてS波振幅のばらつきについても解析することで、それぞれの周波数・距離変化の特性について詳しく調べた。

データと解析手法

解析には、中国地方の地殻内で発生した横ずれ型の23地震のHi-net速度波形記録を用いた。Kobayashi et al. (2015) の解析手法を使用し、1-2, 2-4および4-8 Hzのフィルターをかけた震源距離75 km以下の速度波形について、震源経過時間60-70秒の平均S波コーダ振幅で規格化した3成分合成最大P波およびS波振幅（以下、単にP波振幅、S波振幅）を評価した。また、震源の輻射特性の影響を最小化するために、CMT解から予測される輻射特性係数（Aki and Richards, 2002, Ch. 4）が0.7以上のデータのみを使用した。

地震波の振幅のばらつき

S波振幅のばらつきは、2-4 Hz以下では、震源距離の増大とともに単調に大きくなり、震源距離約70 kmで最小値と最大値の差が約10倍に達した。それと比べて、より周波数の高い4-8 HzでのS波振幅のばらつきには、その大きさが震源距離の増大とともに急激に大きくなり、震源距離約30 kmで最小値と最大値の差が約10倍に達し、それ以遠では概ね頭打ちになる特徴が見られた。P波振幅のばらつきについては、Yoshimoto et al. (2015)と同様の解析結果が得られた。

本研究で測定されたP波振幅とS波振幅のばらつきには、震源距離の増大とともに単調に増加し、周波数が高いほどその増加率が大きいなどの周波数・距離変化が共通点として見られた。このことから、S波振幅のばらつきもP波振幅のばらつきと同様に、地殻の地震波速度構造の短波長ランダム不均質性による地震波散乱によって引き起こされているものと解釈される。

謝辞

防災科学技術研究所の高感度地震観測網Hi-net・広帯域地震観測網F-netの波形記録およびF-netのCMT解を使用しました。また、気象庁の一元化震源情報を使用しました。

キーワード：振幅のばらつき、地震動予測、短波長ランダム不均質性、地震波伝播、地震波散乱

Keywords: Amplitude fluctuation, Ground-motion prediction, Small-scale random velocity heterogeneity, Seismic wave propagation, Seismic scattering

常時微動を用いた地震波干渉法による震源断層近傍の地震波速度変化の検出可能性
detectability of temporal variation in seismic velocity around an earthquake source fault,
using a seismic interferometry

*植村 美優¹、川方 裕則¹、平野 史朗¹

*Miyuu Uemura¹, Hironori Kawakata¹, Shiro Hirano¹

1.立命館大学理工学部物理科学科

1.Department of Physical Science College of Science and Engineering Ritsumeikan University

On the basis of experimental studies (e.g. Yoshimitsu et al., 2009 and Lockner et al., 1977), it has been expected that seismic velocity decreases prior to earthquakes. To detect temporal variation in the velocity, stable monitoring of the velocity for a long time is required. Seismic interferometry using micro-tremors is one of the potential techniques which enable us to detect such variation if seismic stations are densely located. With a seismic interferometry technique, some researchers have tried to detect the velocity variation before and after an earthquake using seismograms of a station pair whose interval was longer than ~20 km, but remarkable variation preceding target earthquakes have never been reported. If we can use seismograms of a station pair with a shorter interval, we might be able to detect the variation. In this study, we chose the 2014 Nagano Kamishiro Fault Earthquake (Mj 6.7) as a target, whose source fault (Kamishiro fault) is located between two NIED Hi-net seismic stations (N.HBAH and N.HKKH). The interval of these stations is about 7.3km.

At first, we investigated how frequency contents of micro-tremors depend on time, such as day or night, weekday or weekend. After checking, we confirmed that seismograms on Saturday night are the best for our analysis. After applying one-bit normalization, we divided continuous seismograms into one-minute seismograms. Then, we calculated the cross-correlation function of each one-minute seismograms pair of two stations, and stacked all cross-correlation functions for a period of six hours, on Saturday night. Finally, we obtained stacked cross-correlation from 2011 to 2015.

We found obvious and pulse-like phases around -2s, from which we estimate apparent seismic velocity ~3.5km/s. Further, we found the increase and decrease in velocity during two years before the earthquake. However, the variation of average velocity is as large as 10%, and we cannot find any corresponding phase in positive time. Moreover, we could not find any coseismic variation. It is suggested that distribution of the micro-tremor sources is anisotropic and asymmetric in space and unstable in time even though we focused only on November and December for every year. Consequently, if we try to detect the structure variation around a seismic source fault, we should confirm that the spatio-temporal distribution of the micro-tremors source does not change.

Acknowledgments: We used continuous waveform records of NIED high-sensitivity seismograph network in Japan (Hi-net).

キーワード：地震波干渉法、常時微動

Keywords: seismic interferometry, micro-tremor

地震波干渉法の1ビットノーマライズ処理に対する余震活動の影響

Effect of successive aftershocks for one-bit normalization on the seismic interferometry

*磯野 卓也¹、山田 卓司¹、河原 純¹*Takuya Isono¹, Takuji Yamada¹, Jun Kawahara¹

1.茨城大学

1.Ibaraki University

1. はじめに

1ビットノーマライズ処理(以下、ノーマライズと記す)とは、地震波解析の過程で観測波形に行う抽出処理のひとつである。その原理は、観測波形の振幅値の正負のみによって、その値を±1のどちらかに変換するものである。振幅の大小に左右されずに位相の正負のみを抽出できるため、地震波干渉法のような相関関数を用いる解析においては、自然地震の影響を最小限に抑えるために用いられている。

Fig.1(a) は、茨城県内の大子における雑微動記録から自己相関関数 (ACF: Auto-correlation function) を計算し、その時間変化を示したものである。Hi-netの観測波形に1~3Hzのバンドパスフィルタをかけた後、60個の自己相関関数を平均することで各日の結果としており、赤い部分は正の相関を示している。2011年東北地方太平洋沖地震(以下、2011年東北地震と記す)の直後に、ACF卓越周波数の変化とLag time 5s 付近のコヒーレントな位相の分断が確認できる。

これは、余震のように自然地震が断続的に記録される場合に、ノーマライズによって変換した波形内にランダムなタイミングで起きる地震による位相が残されることから、それらを用いた解析に影響が生じたものと考えられる。

本研究では、余震がどの程度ノーマライズに影響するのかを調査した。

2. 解析手法

地震波干渉法を用いて、ノーマライズ後の波形からACFを算出し、波形重合(スタッキング)の回数を変えて比較を行った。波形重合は、同時間長のACFを平均することで信号を増幅させる処理である。ランダムに観測される余震が、スタッキングの過程でどの程度減衰するかを確認し、ノーマライズの有効性を検証した。

対象としたのは2011年東北地震に伴う余震で、茨城県内の大子と十王にあるHi-net観測点での観測波形を使用した。2011年2月から2011年5月までの毎月1日と15日の計8日間、各日24時間分の波形を取得し、1~3Hzのバンドパスフィルタとノーマライズの後、1分間ごとにACFを算出した。これらを1, 3, 5, 10, 24時間分ずつスタッキングしたものを並べ、比較を行った。

3. 結果および考察

Fig.1 (b),(c) は、大子のACFの例である。1時間分から10時間分スタッキングしたACFで見られたランダムな余震による見かけの信号は、24時間分スタッキングしたACFでは減衰していた。また、コヒーレントな位相が明確であったのは24時間分スタッキングしたACFのみであり、10時間分までのスタッキングでは、任意の正の相関とその両隣の負の相関を時間経過に合わせて追うことが困難であった。これは、解析に使用した日数による影響も考えられるが、10時間分までではノーマライズが余震から受けた影響を除ききれないことによる可能性が考えられる。

したがって、1ビットノーマライズ処理に対する余震の影響は無視できないものであるといえる。波形取得に時間を要するものの、24時間分スタッキングすることによってその影響を減衰させることは可能とみられる。

謝辞

解析にはHi-netの観測波形を使用させていただきました。

キーワード：地震波干渉法、1ビットノーマライゼーション、続発する余震

Keywords: Seismic interferometry, One-bit normalization, Successive aftershocks

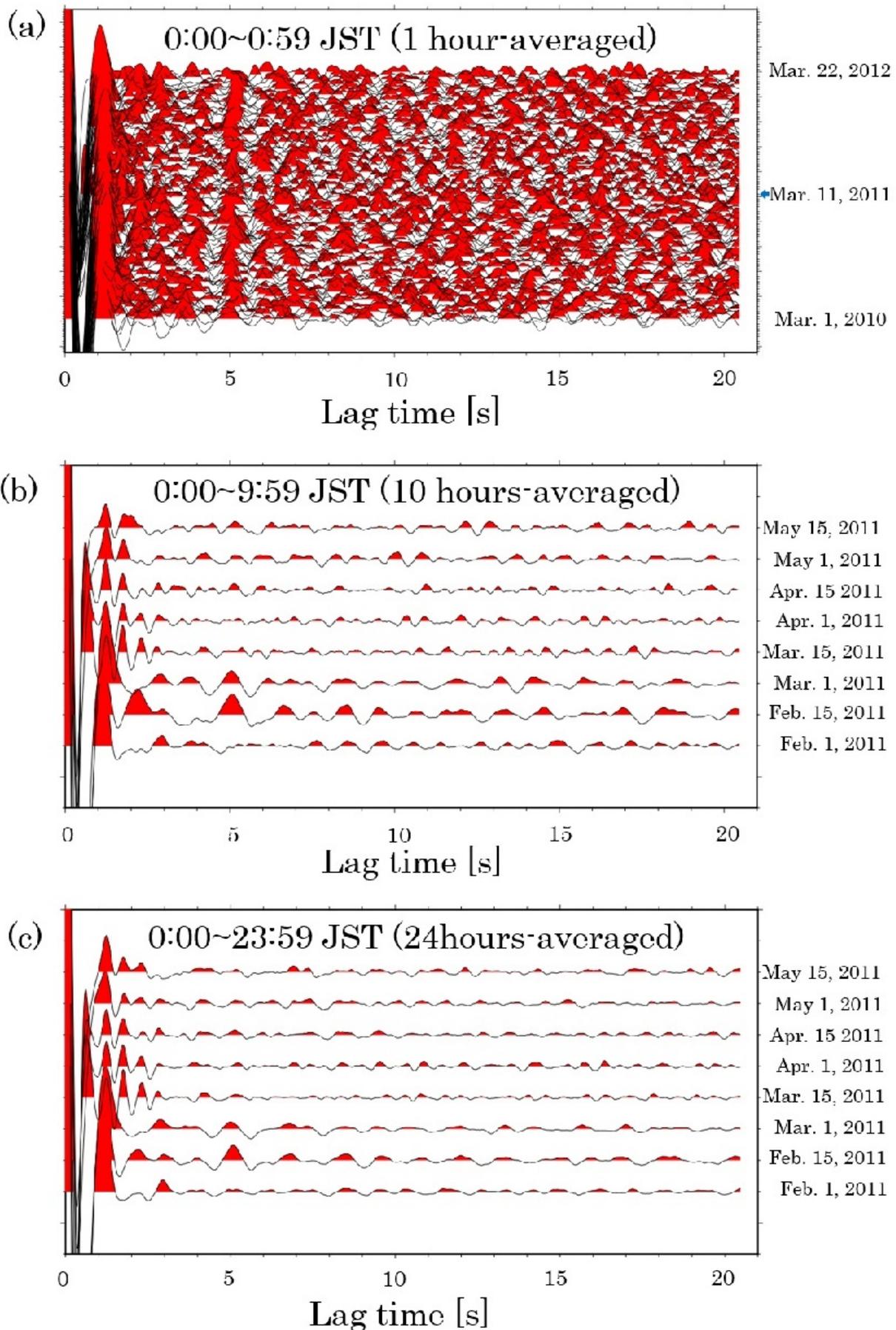


Fig. 1 (a) An example of averaged ACF at Daigo, Ibaraki prefecture, Japan. Individual ACFs were averaged by 60 one-min results. (b) ACFs averaged by 600 results. (c) ACFs averaged by 1440 results.

宮城県における東北地方太平洋沖地震前後の地震波速度変化

Subsurface velocity change in Miyagi prefecture associated with the 2011 off the Pacific coast of Tohoku earthquake

*沼澤 雄也¹、山田 卓司¹、河原 純¹

*Yuya Numasawa¹, Takuji Yamada¹, Jun Kawahara¹

1.茨城大学

1.Ibaraki University

1. はじめに

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震（以降 2011年東北地震と記す）は日本の本州東部に強い揺れをもたらした。本研究では、防災科学研究所の高感度地震観測網(Hi-net)で観測された微動波形の自己相関関数を計算し、宮城県における2011年東北地震前後での地震波速度構造変化の有無を検討した。

2. 地震波干渉法

地震波干渉法は、2観測点間における観測地震波形の相互相関関数を計算することにより、片方の観測点に震源があった場合、もう一方の観測点で得られる波形（グリーン関数）を疑似的に生成する手法である。したがって、観測波形の自己相関関数を求めることで、その点を仮想震源かつ観測点とした場合に観測される反射波を疑似的に生成することができる。

すなわち、自己相関関数の変化を調べることにより、人工震源を使わずに地下反射面の位置および地下速度構造の時間変化を監視することができる。

3. 使用データと処理

宮城県内のHi-net観測点のうち、2011年東北地震前後で連続波形記録が利用可能であった10観測点における連続地震波形データを使用した。解析期間は、2011年2月1日から4月30日までの3ヶ月間で、人間活動の影響を避けるために日本時間の午前2時から3時のデータを使用した。具体的な波形処理は、以下のとおりである。

まず、観測波形にバンドパスフィルターを適用し、1.0~3.0Hzの帯域の波を抽出してS/N比を向上させた。次に、自然地震の影響をできるだけ除くために、振幅を1と-1に二値化する1ビットノーマライズ処理（Shapiro *et al.*, 2005）を施した後、自己相関関数を計算した。なお、各月1日の午前2時から3時までの1分間の自己相関関数60個の平均を各日の結果とすることにより、解析結果の安定性を確保するよう工夫した。

4. 結果および考察

図1は白石観測点で2011年2月1日から4月30日に観測された波形で計算した自己相関関数を示している。図中の黒矢印は、2011年東北地震が発生した3月11日を表す。Lag timeが4秒および5秒付近にコヒーレントな波群が見られ、これは地下からの反射波を表していると考えられる。この波群の到達時刻の変化に注目したところ、3月11日を境に遅れており、2011年東北地震によって地震波速度が低下したと考えられる。この結果

は、Nakahara(2014)と調和的である。

また、波群の振幅に注目すると、2011年東北地震直後に自己相関係数が下がり、不明瞭となっていることがわかる。これは本震後に多発した余震の影響が1ビットノーマライズ処理でも除去しきれないことが原因として考えられる。この問題については、磯野ほか（2016, 本大会）で詳しく議論する。

謝辞：

本研究では防災科学技術研究所のHi-net観測点における波形データを使用しました。

キーワード：地震波干渉法、速度変化、東北地方太平洋沖地震

Keywords: Seismic interferometry, Velocity change, 2011 Tohoku earthquake

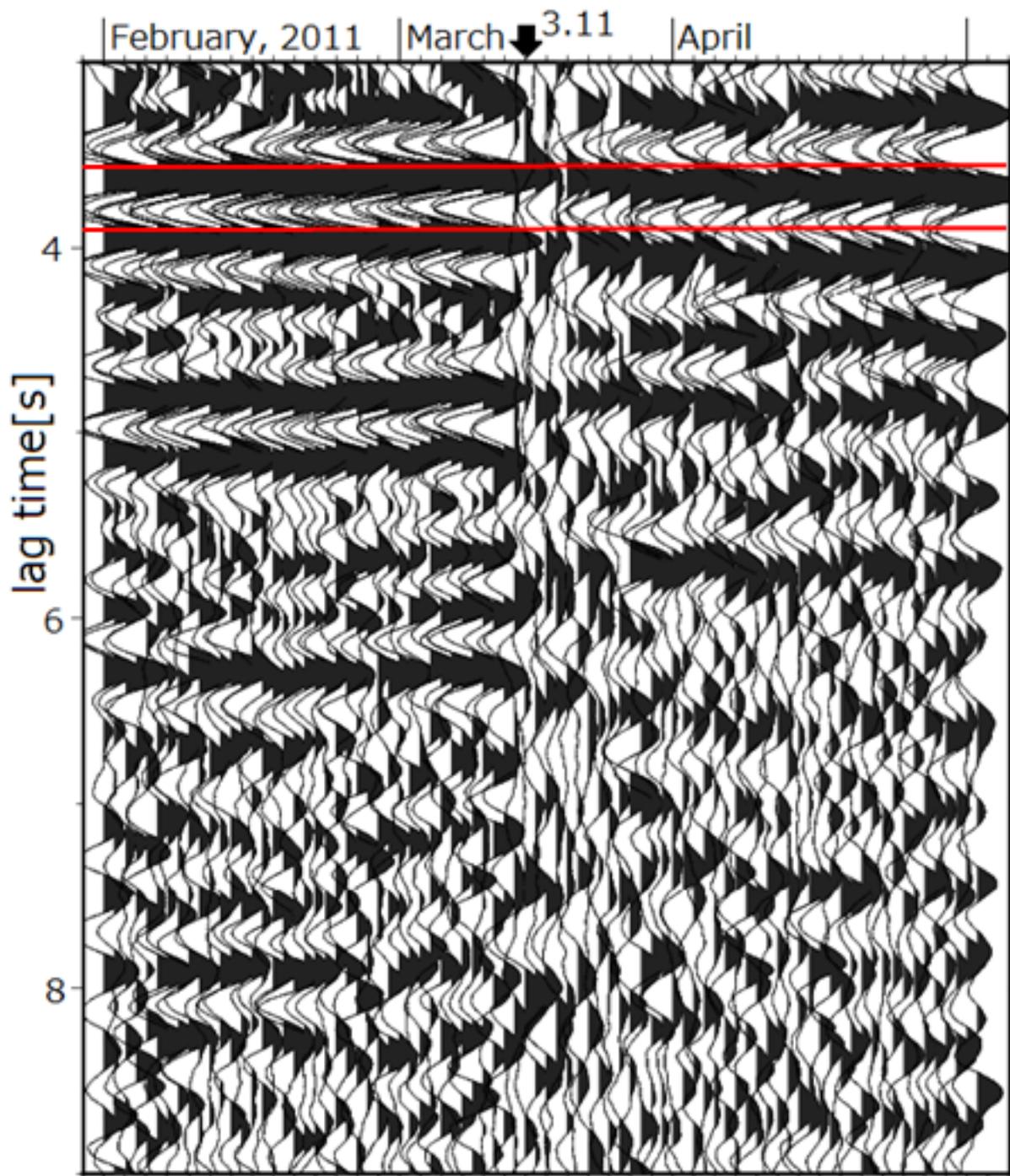


Figure 1. Calculated ACFs at Shiroishi station. Horizontal axis indicates dates from February 1 to April 30, 2011. Vertical one shows lag times of ACFs.

Seismic Wave Propagation in a 6-story Building Using Seismic Interferometry of Strong Motion and Broadband Records

*Loic Viens¹, Hiroe Miyake^{2,1}, Kazuki Koketsu¹, Shin'ichi Sakai¹, Koji Miyakawa¹, Takashi Furumura¹

1.Earthquake Research Institute, University of Tokyo, 2.Center for Integrated Disaster Information Research, Interfaculty Initiative in Information Studies, University of Tokyo, Tokyo, Japan

Seismic waves generated by earthquakes propagate from the source in all directions throughout the Earth. At a given site on which a building is situated, incoming seismic waves, which are a convolution of the source, path, and site effects, propagate inside the building causing the structure to vibrate. The response of a building to earthquake ground motions mainly depends on the velocity of shear waves and their attenuation in the building. To investigate the response of a 6-story campus building of the University of Tokyo, we deployed ten 3-component seismometers (5 strong motion and 5 broadband sensors) for 5 months between July and November 2015. The building is 28.8 m high from the basement to the roof top, and has a rectangular shape of 85 m by 16 m, with the long side on the east-west axis. The strong motion and broadband seismometers were placed together at the basement, 2F, 3F, 5F, and roof top, and recorded continuous data with a sampling rate of 100 Hz that was shifted to 200 Hz for the last month of the experiment. We use deconvolution interferometry of ambient vibration and earthquake records to determine the properties of the waves (e.g., wave velocity, frequency content, and attenuation) propagating inside the building. We find that the frequency of the fundamental mode is around 2.7 Hz for the EW component and 3.1 Hz for the NS component, due to the rectangular shape of the building. Moreover, extracted waves propagate faster in the NS direction than in the EW direction. We also find that the deconvolved waves computed from strong motion and broadband records are similar for this building. However, broadband sensors would be more appropriate to investigate the characteristics of high-rise buildings that have long natural periods.

Keywords: Ambient seismic field, Seismic interferometry, Building response

1-D SIMULATION OF LONG-PERIOD GROUND MOTIONS IN THE KATHMANDU VALLEY DURING MEDIUM AND LARGE EARTHQUAKES

*Subeg Man Bijukchhen¹, Nobuo Takai¹, Michiko Shigefuji², Masayoshi Ichiyanagi², Tsutomu Sasatani, Yokito Sugimura

1.Graduate School of Engineering, Hokkaido University, 2.Institute of Seismology and Volcanology, Graduate School of Science, Hokkaido University

Kathmandu valley, housing the capital and most populous city in Nepal, lies in seismically active region of the Himalayan collision zone where large earthquakes occur during certain periods. The valley in central Nepal is a basin formed by drying up of a lake of Plio-Pleistocene origin and has ~ 600 m thick unconsolidated sediments. It has suffered the brunt of past earthquakes due to the wave amplification as a result of basin effect. The impact of an earthquake is directly related to the amplification of seismic waves due to the sediments in a basin. Hence, it is necessary to study the behaviour of seismic waves in the basin to help reduce the damages to infrastructure during earthquake. To meet the aim, seismic records and information of underground structures are necessary. Though previous studies have tried to study the underground structure of the valley, there is still much to be done.

The records of a medium sized (mb4.9) earthquake is used to construct a 1-D velocity model of the basin. The earthquake occurred in 2013 August 30 in Tibet-Nepal border (80 km NE of Kathmandu) was recorded in four accelerometers installed as a collaborative work between Hokkaido University and Tribhuvan University. We used acceleration record from the rock-site station as the input motion to model the velocity structure under three sediment-site stations. Available geological maps and borehole logging data were used as the basis for constructing the velocity models which were tuned with trial-and-error. The SH component of the input motion was band-passed filtered (0.1-0.5 Hz) and passed through the velocity models by using the Propagator Matrix method to simulate the waveform for the sediment sites. The input motion was considered to impinge the basin perpendicularly as the hypocentre of the earthquake was more than 50 km deep. We fixed the shear wave velocity of basement rock as 3.2 km/s based on the 1-D velocity model of the Himalaya region. As the shear-wave profiling carried out in 2011 during the installation of the accelerometers shows the rock-site station to have a shear wave velocity of more than 700 m/s, we considered a ~20 m thick weathered rock layer at the bottom of the basin overlying the fresh bedrock.

We found a good-fit of the simulated waveforms when compared with the observed waveform in the initial S-wave motion of the Tibet Earthquake. We also used the same velocity models to simulate the 2015 Gorkha Earthquake (Mw7.8) and they also showed a good-fit with observed waveforms. Nevertheless, the amplification in the later phases in one of the station couldn't be simulated properly. The complex basement topography and 3-D basin structure might have played a role in the high amplification in the later phases. We will work further in understanding the 3-D basin structure of the Kathmandu valley in future.

Keywords: Kathmandu Valley, 1-D velocity structure, Propagator Matrix

茨城県及び福島県の県境付近で発生した内陸地殻内地震による茨城県沿岸域における長周期地震動に関する評価・分析（その2）

Numerical simulation of long-period ground motion generated from intraplate earthquakes around Ibaraki and Fukushima prefectures ~ Part II

*藤原 了¹、桐田 史生²、河路 薫¹、山崎 敏彦²、瓜生 満²

*Satoru Fujihara¹, Fumio Kirita², Kaoru Kawaji¹, Toshihiko Yamazaki², Mitsuru Uryu²

1.伊藤忠テクノソリューションズ、2.日本原子力研究開発機構

1.ITOCHU Techno-Solutions, 2.Japan Atomic Energy Agency

2011年3月11日に発生した平成23年（2011年）東北地方太平洋沖地震（Mw9.0：以下、「東北沖地震」という。）に伴う東北日本太平洋側の応力場の変化に誘発される形で、内陸の地殻内において同年4月11日福島県浜通りの地震（M7.0：以下、「浜通り地震」という。）が発生したと考えられている。浜通り地震の発生以降、震源断層と思われる井戸沢断層及び湯ノ岳断層周辺では多数の余震が発生しており、これら浜通り地震及びその余震によって、茨城県北部沿岸域の一部の地震観測点において長周期地震動が観測された。東北沖地震以前、茨城県北部沿岸域では内陸地殻内地震がほとんど発生しておらず、内陸地殻内地震と長周期地震動に関する地震動特性の知見は乏しかった。したがって、東北沖地震以降得られた長周期地震動の特徴を正確に理解し、これらを踏まえた地震動評価を行うことは、これらの周辺地域における耐震設計を行う上において重要である。

本研究では、茨城県北部沿岸域における内陸地殻内地震による長周期地震動及び強震動評価の高精度化を主な目的としている。既往研究¹⁾を基盤として、地震調査研究推進本部による地盤構造情報を踏まえ、新たにプレート構造を踏まえた茨城県北部沿岸域における三次元地盤構造モデルを作成し、さらに、茨城県北部沿岸域の地震観測点（防災科学技術研究所の基盤強震観測網KiK-net観測点及び日本原子力研究開発機構）で得られた浜通り地震の余震（内陸地殻内地震）の地震観測記録を用いて有限要素法による波動伝播シミュレーション解析を行うことで、地震観測点で得られた長周期地震動を説明する三次元地盤構造モデルの構築・最適化を行う。また、最適化に用いた地震と同程度の規模及びメカニズムの地震に加え、茨城県沖で発生するプレート間地震を用いて三次元地盤構造モデルの妥当性を評価することで、より多角的な精度を確保した地盤構造モデルを作成する。

次に、茨城県北部沿岸域における地震動の伝播特性を把握するために、最適化された三次元地盤構造モデルに対して茨城県北部沿岸域周辺で発生する地震の震源付近に仮想的な震源を設定し、波動伝播シミュレーションを実施する。具体的には、浜通り地震の震源付近の他、多くのプレート間地震が発生する茨城県沖等からの地震動の伝播特性を評価する。結果として、浜通り地震の様な内陸の浅い地震において一部の地震観測点において確認される長周期地震動は基盤の不整形性が要因であることを把握すると共に、茨城県沖で発生する地震の様なプレート境界の深い地震においては、前述した長周期地震動があまり励起されないことを把握した。

以上のように、茨城県及び福島県の県境付近で発生した内陸地殻内地震による茨城県沿岸域における長周期地震動に関して評価・分析した既往研究について、更なる検討を行った結果を報告する。

1) 藤原了, 桐田史生, 河路薫, 山崎敏彦, 瓜生満, 安田昌宏: 茨城県及び福島県の県境付近で発生した内陸地殻内地震による茨城県沿岸域における長周期地震動に関する評価・分析, 日本地球惑星科学連合2015年大会, 2015.05.

キーワード：三次元地盤構造モデル、長周期地震動、福島県浜通り地震、波動伝播解析

Keywords: 3D structure, Seismic wave propagation, FEM simulation, Hamadori

2015年11月24日にペルーで発生した2個の深発地震の日本における波形の特徴

The feature of waveform in Japan of two deep earthquakes which occurred beneath Peru on November 24, 2015

*関根 秀太郎¹、津村 建四朗¹

*Shutaro Sekine¹, Kenshiro Tsumura¹

1.地震予知総合研究振興会

1.Association for the Development of Earthquake Prediction (ADEP)

2015年11月24日22時45分38秒と50分53秒（UTC）にブラジルとチリの国境付近の深さ600km付近において2回の地震が相次いで発生した。USGSによれば2回の地震ともMw 7.6の地震であり、メカニズム解も正断層型でほぼ似たような地震であった。

この2つの深発地震は日本全国で観測されているが、その観測波形を並べて見てみると、一つ目の地震と二つ目の地震において最大振幅比が一定ではなく、0.5倍から2倍程度のばらつきが生じていた。メカニズム解とマグニチュードがほぼ同じである2つの地震においてこのように大きなばらつきがあるのが不思議だった為、どこに原因があるかを探ることにした。

この二つの震源から見て、日本の観測網は角距離で約135度から150度の範囲に位置しており、シャドーゾーンの境目である143度は、中部地方で通過していることがわかった。また、理論走時を計算したところ、最大振幅だと判断した部分は、PKPやPKIKPなどの波群での振幅であることがわかった。この波群の振幅分布は、それぞれの地震においては角距離が140度を越えたあたりから徐々に大きくなり、143度を超えると急増するように見える。さらに2つの地震の震源が0.5度ほど離れて発生していた事によって、角距離がずれた為に、2つの地震の最大振幅比が変化することがわかった。

発表では、日本各地におけるこれらの地震の波形の特徴を示し、メカニズムの影響等を除いた分布から、地球内部構造の影響がどれくらい見られるかについて考察をする。

キーワード：シャドーゾーン、深発地震

Keywords: shadow zone, deep earthquake