

超稠密地震観測網 Hi-net の広帯域利用 —地震波のモアレ現象—

前田拓人^(1,2)・小原一成⁽²⁾・古村孝志^(1,2)・齊藤竜彦⁽³⁾

(¹ 東京大学総合防災情報研究センター ² 東京大学地震研究所 ³ 防災科学技術研究所)

1. はじめに

日本では、防災科学技術研究所の Hi-net に代表される高感度地震観測網が平均観測点間隔 20km の高密度で整備されている。これらの地震観測網は元来近地微小地震を主たる対象にしているが、実際にはボアホール底での底 S/N 環境と広ダイナミックレンジをもつ収録機器によって遠地地震の長周期実体波・表面波が観測することができる。Hi-net の多くの観測点には 2 成分高感度加速度計が併設されており、傾斜計としての利用のほか広帯域地震計としても活用されているが、殆どの観測点で水平動 2 成分しか整備されておらず、高 S/N 比かつ Love 波が無い点で解りやすい上下動長周期地震波形の解析は困難であった。そこで、本研究では改めてこれらの高感度地震観測網データの広帯域地震観測記録網としての適用可能性を検討する。さらに、主に周期 20-50 秒帯域の広帯域波動場を面的に調査することで明らかになってきた興味深い波動現象を紹介する。

2. 時間領域フィルタリングによる Hi-net 波形記録の広帯域化

Hi-net に設置されている地震計は自然周波数 1Hz の速度計であり、そのままでは低周波成分の振幅および位相を正しく出力しない。そこで、この地震計の特性を補正し、より広帯域の STS-2 型地震計の特性での記録を模擬するシミュレーションフィルタ (e.g., Kanamori, et al., 1999) を設計および実装した。このフィルタは時間領域の 2 次の再帰型フィルタであり、大量の観測点記録であってもほぼリアルタイムに容易に処理することができる。

このフィルタを 2007 年 9 月のスマトラ沖の地震 (Mw8.5) およびその余震に適用し、近傍の F-net 広帯域地震計の記録と比較した。Figure 1 に Hi-net と F-net が同じ場所に設置されている静岡県地蔵堂観測点における生波形記録と、フィルタ適用後の Hi-net 記録を示す。F-net 記録との比較から、Mw8.5 の地震については周期 2-100 秒までの地震波がほぼ完全に再現されていたことが確認された。ただし、長周期側の限界は入射振幅に依存し、振幅の小さな Mw7.0 および 6.0 の余震では、長周期の地震動はそれぞれ 20 秒、10 秒までの帯域でしか再現できない。

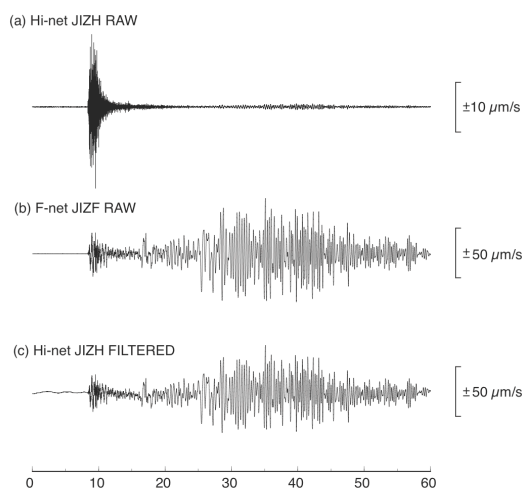


Figure 1. 2007 年スマトラ沖の地震

(Mw8.5) の際に静岡県地蔵堂(JIZ)観測点における Hi-net (a) と F-net (b) 地震計で収録された上下動速度波形記録。(c) Hi-net 速度記録に広帯域化フィルタを適用したもの。それぞれ右側に振幅スケールを示す。

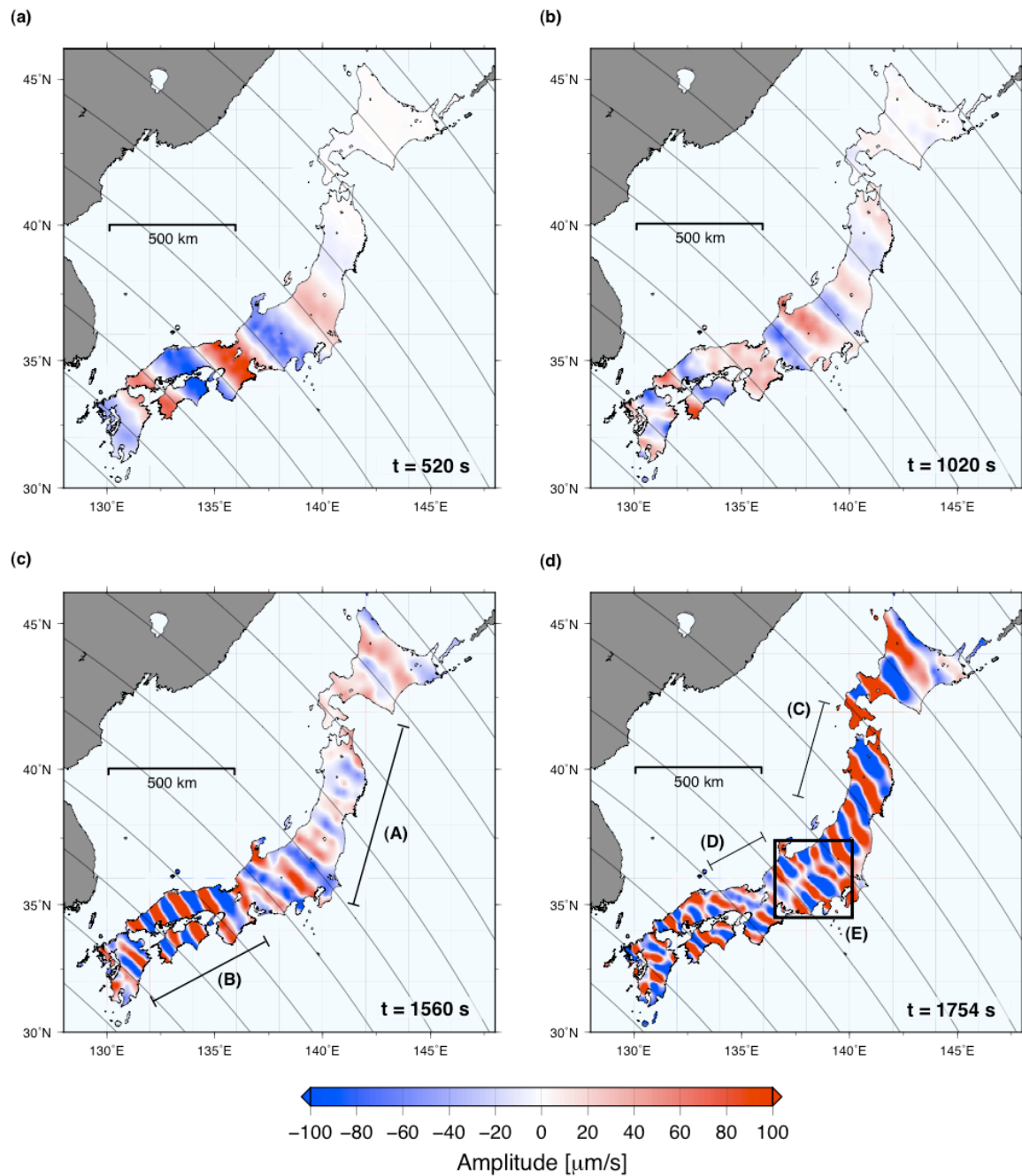


Figure 2. 広帯域化された Hi-net 上下動記録の 4 つの経過時間窓における空間分布スナップショット。周期 20-50 秒の帯域の波形を空間平滑化したものを示す。経過時刻は各図右下に示す。地図上の黒細線は震央からの 250km 間隔の等距離線を示す。カースケールは下段に示す。ただし、微小振幅の位相を強調するため、大振幅は同一色で飽和させている。

一方、2005 年 3 月の福岡県西方沖地震 ($M_w 6.6$) についても同様の解析を行ったところ、震央距離が 300km 以内の観測点では理論地震波形と広帯域化された波形が一致しなかった。Hi-net 地震計は振り子のストロークが 0.2cm (Obara, 2005) である。これらの観測点では、同設された KiK-net 加速度記録の最大振幅が Hi-net 速度計飽和限界の 3.95 gal (汐見, 2005) を超過し、地震計記録が飽和したためであると考えられる。

3. 地震波動場の面的分布とモアレ現象

広帯域化によって再現された長周期表面波群は、Hi-netの平均観測点間隔 (20km) より長い波長を持つ。そのため、地震波の位相のコヒーレンスの空間分布を直接地図上にマッピングすることが可能になる。2007 年 9 月のスマトラ沖の地震波の周期 20-50 秒帯の位相の面的分布を、地図上に位相極性をマッピングすることで調べた (Figure 2)。経過時間が短いうちはコヒーレントな位相を持つ実体波が大円経路に沿って伝播していく様子が確認された (Figure 2a,b)。その後大振幅の表面波が現れるが、実体波と明らかに異なる伝播方向を持っている事が面的に確認できる (Figure 2c)。また、表面波が卓越するようになると、震央から遠ざかるほど表面波波長が長く、地震波の分散性を空間的に把握することができる (Figure 2d)。さらに、後続位相になると、中部日本において波面に沿って位相が断裂している様子 (Figure 2d 矩形領域) が確認された。類似した特徴を持つ波群がペルー地震での高感度加速度計記録について小原 (2003) によっても報告されているが、この断裂の原因は不明なままであった。そこで、日本列島中部の半径 120km 内の 120 観測点を用いてアレイ解析を行った。Figure 3 に位相の断裂が見られた経過時間前後のアレイ解析に依る到来方向推定の結果を示す。位相の断裂が観測される直前 (Figure 3a) には大円経路の西側から、直後 (Figure 3c) には東側から到来する波群が同定されていて、断裂が観測された時刻にはこの二つの波群両方が同時にアレイに入射している。わずかに到来方向が異なる平面波が重畳すると、互いの位相が干渉し、位相の逆転現象が起こる。これは光学におけるモアレ現象 (Takasaki, 1970) に相当するものであると考えられる。

一方、2009 年 7 月 15 日に発生した New Zealand の地震では、ほぼ鉛直に入射する P 波群の直後から、直達波の P 波入射の直後に、主に西南日本を東から西に伝播する散乱波が確認された (前田・他, 2009)。この地震波群はアレイ解析と数値シミュレーションとの比較から、房総半島南東沖の三重会合点からの散乱波であることが明らかになっている。このように、長周期波動の空間分布を精査することで、プレート形状、地形、そして不均質構造を地震波伝播の様子から直接視覚的に捉えることが可能になると期待される。

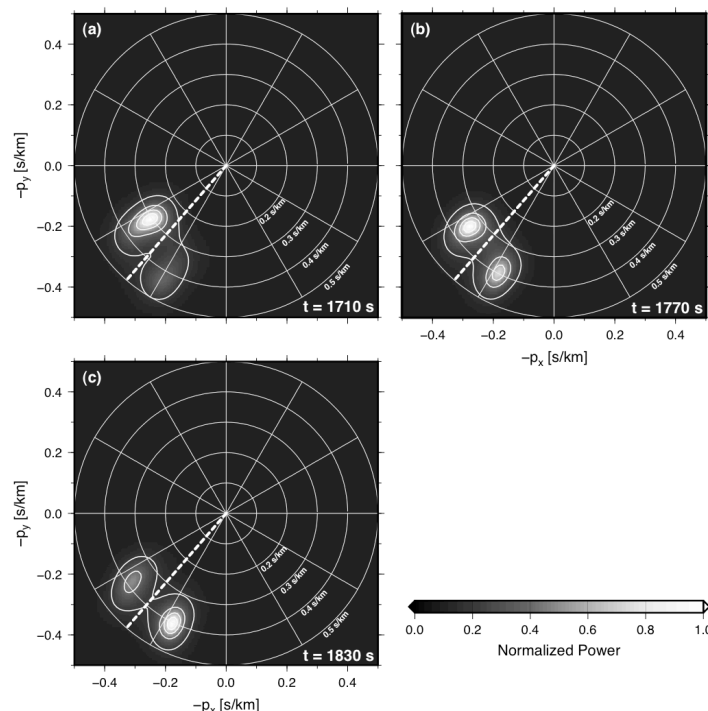


Figure 3. Figure 2d の時価間前後におけるアレイ解析による F-K スペクトル。各スペクトル分布のピーク的位置の方向が波群の到来方向を、中心からの距離がスローネスをそれぞれ示す。