

小口径強震計アレイで観測された2011年東北地方太平洋沖地震 (Mw9.0) の破壊伝播

#中原 恒・佐藤春夫・西村太志 (東北大学), 藤原広行 (防災科研)

Direct observation of rupture propagation during the 2011 off the Pacific coast of Tohoku, Japan, earthquake (Mw 9.0) using a small seismic array

#Hisashi Nakahra, Haruo Sato, Takeshi Nishimura (Tohoku Univ.) and Hiroyuki Fujiwara (NIED)

1. はじめに

我々は、2004年4月以来、宮城県牡鹿半島の南端(図1の▲印)で口径約500メートルの強震計アレイ観測を実施してきた。2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震の際には、そのうち4観測点で強震動が記録された。(1)この4観測点の配置は四辺形を構成していること、(2)GPSにより絶対時刻が確保されていること、(3)約2.5Hz以下の周波数帯において各観測点の波形がコヒーレントである(Nakahara et al., 2006)ことから、地震波形記録のセンブルランス解析に基づき、入射波の方位角とスローネスの推定が可能である。観測される高周波が断層面から直接到来したと解釈すると、断層での波動の輻射位置については破壊伝播を捉えることができる(たとえば Spudich and Cranswick, 1984)。本研究ではこの原理に基づき、東北地方太平洋沖地震の破壊伝播について調べた。

2. データ・解析方法

牡鹿アレイは震央(図1の★印)の西北西約120kmに位置する。図2に1観測点での加速度記録を示すが、観測された地震動は水平動で測定限界の2gを超え、上下動でも1gを超える強烈なものであった。主要動は200s以上も継続し、図2の記録上の時刻40s, 100sあたりに顕著な2つのバーストが見られるのに加えて、後に続く小さなバーストが150s, 170sあたりに少なくとも2つ確認される。記録が飽和していないと考えられる上下動成分を用いて、0.5-2Hzの周波数帯で、10.24s間の時間窓を2.56sずつずらしながら、センブルランス解析を行う。解析の際、標高や観測点直下の構造を考慮した走時の静補正はさしあたって行わない。

3. 結果と解釈

センブルランス解析の結果を図3に示す。(a)は0.5-2Hzの上下動加速度記録、(b)は上からセンブルランス値、バックアジマス、スローネスを示す。時刻は記録開始時を0sとしており、30s付近にS波初動が到達している。センブルランス値は時刻40sあたりを除き、おおむね0.8以上と高い値を維持する。時刻40sあたりの低下は、観測点2で上下動成分も振幅が飽和していたことによる。次にバックアジマスの結果を見ると、最初の顕著なバースト部分では、90度(東)程度からはじまり、約40s間かけて約60度(北東)まで変化する。これは震央から北あるいは北西への破壊伝播、つまり宮城県沖での破壊を示しているものと解釈される。その後2つ目の顕著なバーストでは、再び90度からはじまり、今度は135度(南東)に移動したことがわかる。これは、宮城県沖から福島・茨城県沖への破壊伝播があったと解釈される。さらにその後の小さい2つのバースト部分では、135度から180度(南)方向に変化する様子が見られ、茨城県沖での破壊を示すものと解釈される。このようなバックアジマスの系統的な時間変化が、破壊伝播の直接的な証拠である。スローネスに関しては、おおむね0.2s/kmより小さく、これらの波が実体波であることを示す。

次に解釈のため、入射波のバックアジマスの情報のみを利用して、1次元の直線断層(図1の太実線)を設定して、そこへ射影した見かけの破壊伝播速度を推定した。その結果が図4である。この結果を見ると、最初の顕著なバーストでは宮城県沖を東から北方向へ破壊が伝播したこと、2つの顕著なバーストでは、宮城県沖から福島・茨城県沖を東から南へ、その後の小さなバーストでは茨城県沖を南東へ、そしてさらに南へ移動したものと解釈される。以上のように、牡鹿アレイの解析から、今回の地震の破壊過程が(短周期で見ると)4つのステージからなることが分かった。

以上のように、本研究では、稠密な地震計アレイを用いると、数少ない観測点数(今回はわずか4点)でも地震の破壊伝播の様子を直接イメージできることが分かった。

謝辞 伊藤徳七氏、朽木敬樹氏に観測用地を貸与していただいています。観測点の保守に当たっては、東北大学グローバルCOEプログラム「変動地球惑星学の統合教育研究拠点」から経済的援助を受けました。地震直後のデータ回収の際には、東北大学地震・噴火予知研究観測センターにご協力いただきました。横浜市大の木下繁夫教授には、強震観測の開始当初から多くのご教示とご支援をいただいております。解析には気象庁・文部科学省の一元化震源カタログを使用しました。

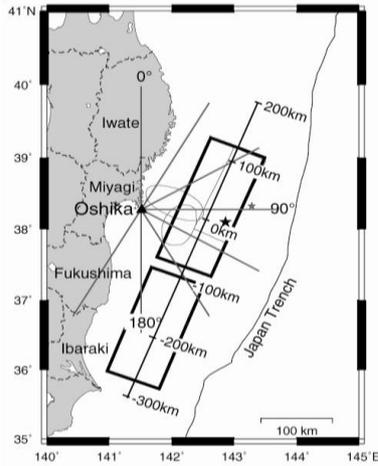


図1 牡鹿アレイ (黒三角) と国土地理院暫定解による断層モデル (太実線の四角). 観測点からの放射状にバックアジムスを記す. 北北東-南南西走向の直線は後の解析で用いる直線断層.

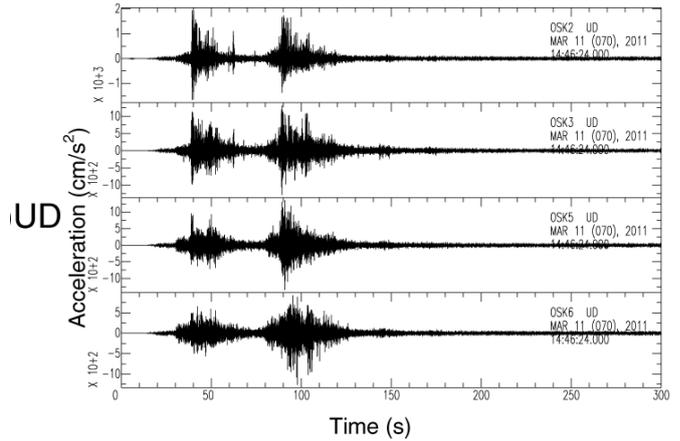


図2 牡鹿アレイで記録された本震の記録 (加速度, 上下動). 上から観測点 2, 3, 5, 6. 横軸の 30 秒付近が直達 S 波初動に対応する.

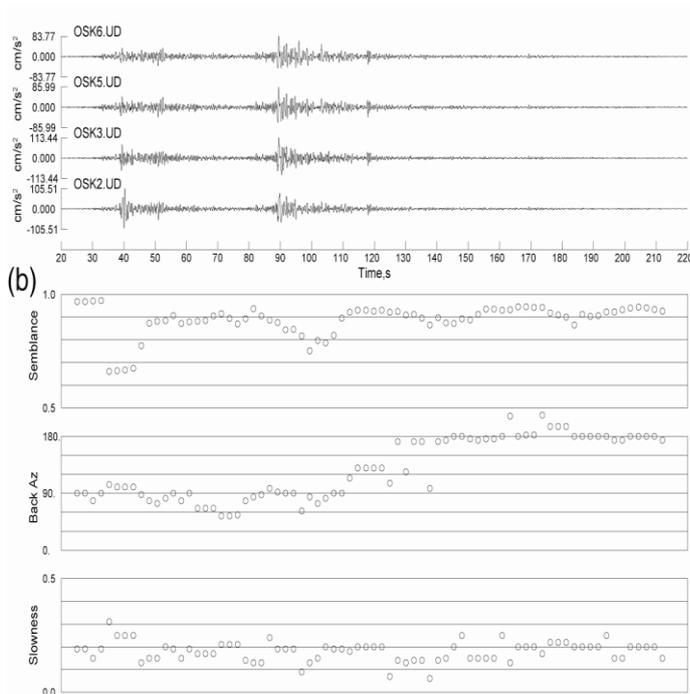


図3. (a) 0.5-2Hz の上下動加速度記録. (b) 上からセンブランス値, バックアジムス, スローネス. 結果は時間窓の中央に表示.

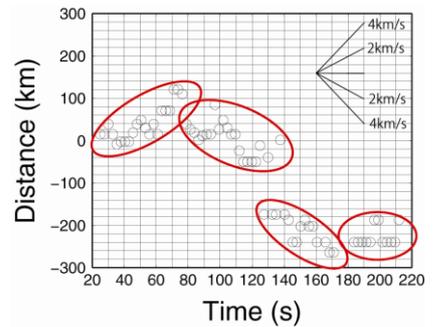


図4 入射波のバックアジムスのみを用いて直線断層に投影した波動輻射点. 赤線で囲んだ様に, 4つのステージからなると解釈.