

# 近地変位・速度波形に現れる破壊伝播の影響

小菅 正裕 (弘前大学理工学部)

## 1. はじめに

地震波形には断層の破壊過程・伝播経路・サイト特性の影響などが含まれ、それらを決定論的に分けて扱うことは不可能である。広帯域地震観測網の整備により、点震源として見た場合の地震モーメント・テンソルは中規模地震に対しても決定できるようになったが、破壊伝播の影響を抽出したり、散乱波を利用して地下構造を推定することは、一般的に行われるようにはなっていない。しかし、最近の高密度観測網の整備により、それらが次の研究の目標になりつつある。ここではその手始めとして、主に変位波形について、破壊伝播の影響がどのように現れるのかを実際のデータも用いて検討する。

## 2. データと波形

2001年8月14日、青森県東方沖を震源とするモーメントマグニチュード6.2の地震が発生した。図1に示すモーメント・テンソル解は低角逆断層型で、典型的なプレート境界地震である。この地震はK-netやKik-netの高密度強震観測網で記録され、近地変位波形にはnear-field termの効果が顕著に現れていることがわかった。波形の例を図2に示す。左側は震央距離を80 km~130 kmに限り、上下動成分の波形の方位依存性を示したものである。右側は240°~270°の方位に対して、transverse成分の波形の距離依存性を示した。左側の図ではP波およびS波振幅の初動のみではなく、その間に見られるnear-field termの

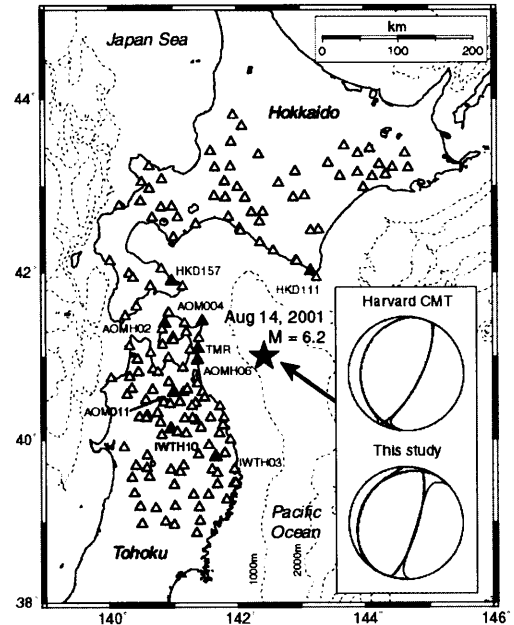


図1 2001年8月14日に青森県東方沖で発生した地震の震央(★)と観測点(三角印)の配置。▲は本研究でモーメントテンソル・インバージョンに用いた観測点。ハーバード大学と本研究によるモーメントテンソル解を右側に示す(下半球投影)。

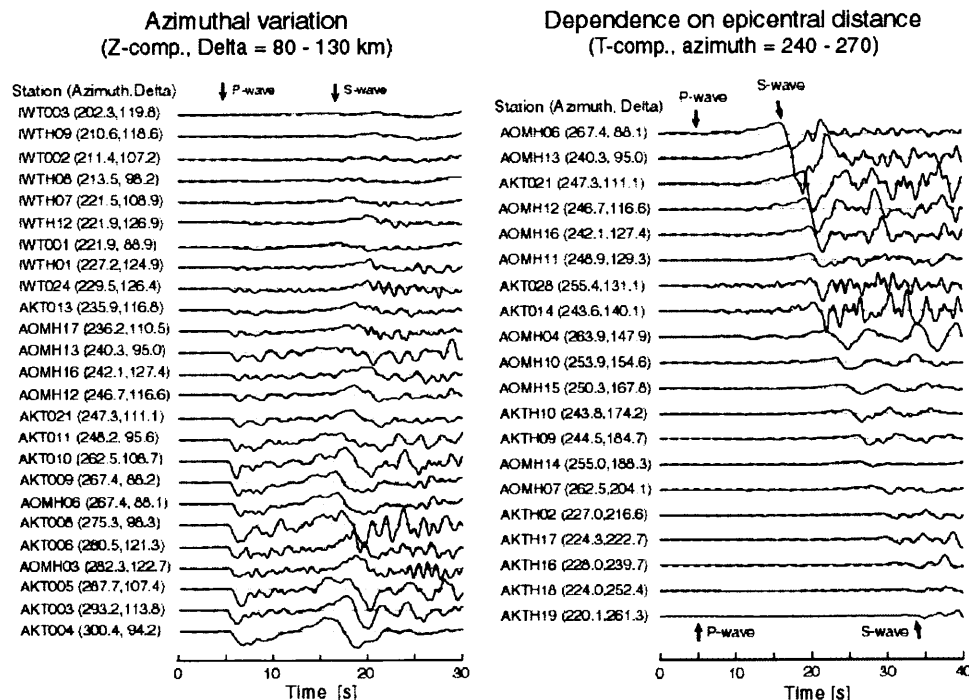


図2 観測された変位波形の方位依存性(左)と震央距離依存性(右)。振幅は全トレースの最大値で規格化してある。

振幅にも方位依存性が見られること、右側の図には、near-field termの振幅が距離とともに急激に小さくなることが示されている。S波直前のtransverse成分の振幅を用いて距離依存性を評価すると、距離の $-2$ 乗から $-4$ 乗に比例する。これは実体波振幅の距離依存性（ $-1$ 乗）とは明らかに異なる。

なお、強震計による加速度波形から変位波形への変換時に不安定な長周期成分が生じることがあるが、強震観測点に隣接する広帯域地震観測点との変位波形の一致が良いことと、図2において隣接する観測点間での波形が良く似ていることから、変位への変換の問題が以後の解析に重大な影響を及ぼすことはないと判断した。ただし、図2のいくつかの観測点ではS波の後に周期1~数秒の後続波が現れており、これはサイト特性の影響と思われる。

### 3. 点震源を仮定してのモーメントテンソル・インバージョン

図1で▲で示した9観測点の3成分波形記録を用い、点震源を仮定したモーメント・テンソル・インバージョンを行った。この場合には周波数0.03~0.1Hzの長周期成分だけを用いた。得られたモーメント・テンソル解(図1)はハーバード大学による解とほぼ同じであるが、モーメントマグニチュードは6.0とやや小さめに求まった。観測点の組み合わせや周波数帯域を変えたインバージョンも行ったが、解はそれらにはあまり依存しない。理論波形は観測波形の大まかな特徴、たとえば各観測点間での振幅比や成分間の振幅比などを説明できているが、残差振幅の大きさは位相にも依存するため、残差の空間分布を求めるのは単純ではない。

### 4. 理論変位波形に現れる破壊伝播の影響

そこで、破壊伝播の影響が現れることが理論的に期待される位相に着目して残差を調べることにした。ここでは破壊伝播を点震源の移動によって近似した。今回解析した地震に合わせて、図3に示すようなモーメントテンソル解を考え、6通りの破壊伝播を考えた。観測点も図1の場合を想定して断層の中心からの距離を80kmとし、同心円上の5点での波形を計算した。断層の長さは20kmで、破壊伝播速度は3km/sとした。

図3のような破壊伝播を考えた場合の波形と、点震源を考えた場合の波形の差を示したものが図4である。6通りの破壊伝播方向に対して、5観測点での残差波形を重ねてプロットしてある。影をつけた部分がP波からS波までの区間で、near-field termの影響が最も強く現れる部分である。この図を見ると、いくつかの特徴的なパルス(図で丸をつけた部分)に破壊伝播の影響が現れることがわかる。たとえば、西に低角で傾いた面上を破壊が深い方に向かって伝わる場合(direction 1)、伝播方向の観測点ではZおよ

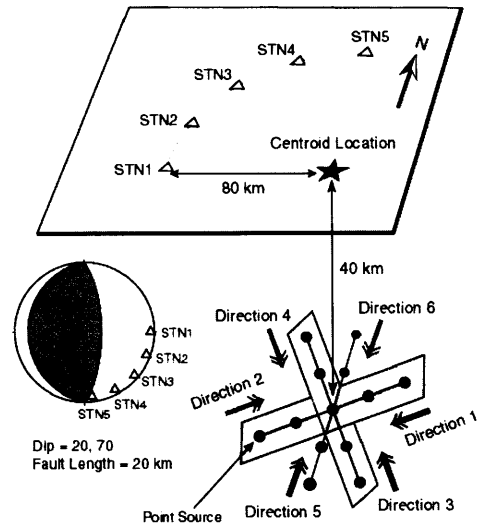


図3 仮定したモーメント・テンソル解と、点震源の移動で表した単純な破壊伝播のモデル。震源と観測点の配置を上を示す。

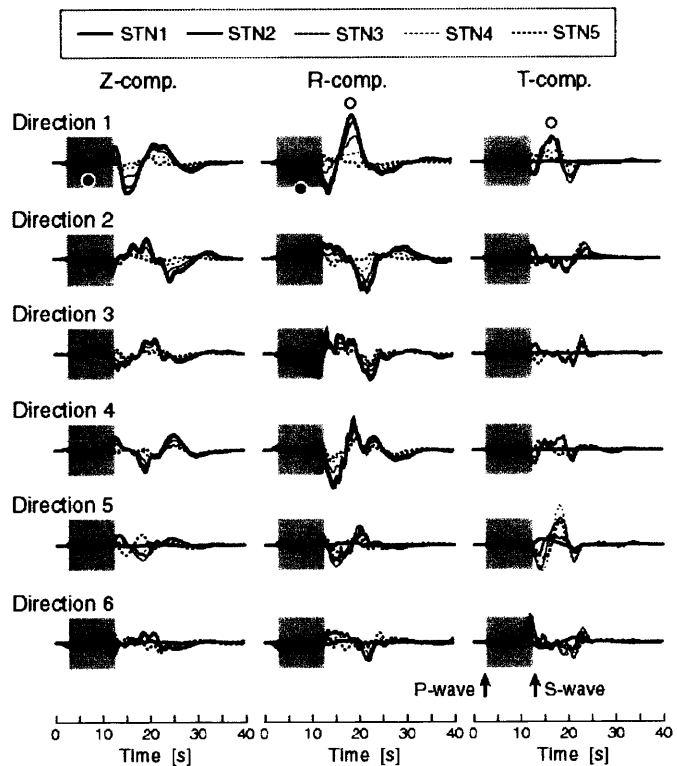


図4 図3の破壊伝播を考えた場合と点震源を仮定した場合の変位波形の差。6通りの伝播方向に対して、5観測点での波形を重ねて示す。影をつけたのはPコード波部分。

びradial成分のP波とS波の間(●部分)で負の残差をもつことがわかる。これらの特徴的なパルスは、破壊伝播の影響が累積的に作用して生じたものと定性的には解釈ができる。従って、このような部分の残差の空間分布を調べることで、断層面や破壊伝播方向が推定できると考えられる。

### 5. 実際の残差振幅の分布

実際の解析として、本研究で求めたモーメントテンソル解(図1)からの理論波形と実際の観測波形との残差の空間分布を求めた。結果の一例を図5に示す。これはZ成分におけるPコーダ波部分での谷の振幅の空間分布である。周波数帯域はモーメント・テンソル・インバージョンを行ったときよりは高周波成分も含めて、0.02~0.5Hzとした。これを見ると、振幅は下北半島で大きな負の値をとり、図4の結果と併せて考えると、モーメント・テンソル解の低角の節面が断層面で、破壊は東から西へ進んだと推定される。

図5は実際の振幅でプロットしているの、震源に近い下北半島で大きな値をとるのは当然かもしれない。そこで次に、時間ウィンドウをPコーダ波の前半部分と後半部分、Sコーダ波の前半部分と後半部分に分け、それぞれのウィンドウ内での残差振幅の累積値を計算した。Z成分におけるPコーダ波前半部分や、Z成分におけるSコーダ波前半部分での結果からも、図5と同様な断層面と破壊伝播方向が推定されるが、必ずしもその解釈と調和しない結果が得られる時間ウィンドウもあり、手法的にはまだ改善を要する部分もあることがわかった。

### 6. 終わりに

本研究では、近地で観測された変位波形に含まれている破壊伝播の影響を、点震源を考えた場合の理論波形との残差振幅の空間分布から検討した。より詳細な解析を行う場合には、破壊伝播や不均一なすべり量の分布をインバージョンで求めることが考えられるが、断層面と破壊伝播方向を推定するという目的には、本研究のような簡便な手法での解析で十分な場合がある。

残差の空間分布には破壊伝播の影響の他に、散乱波の効果やサイト特性の影響も含まれている。前者は残差の累積値を減少させる効果があるであろうし、後者の影響は時間的に後のウィンドウに強く現れるであろう。これらの効果は断層面と破壊伝播方向を決めた次のステップとして解析するのが適当であり、今後の課題である。

謝辞：本研究にはK-net およびKik-net による観測波形を使用しました。記して感謝します。

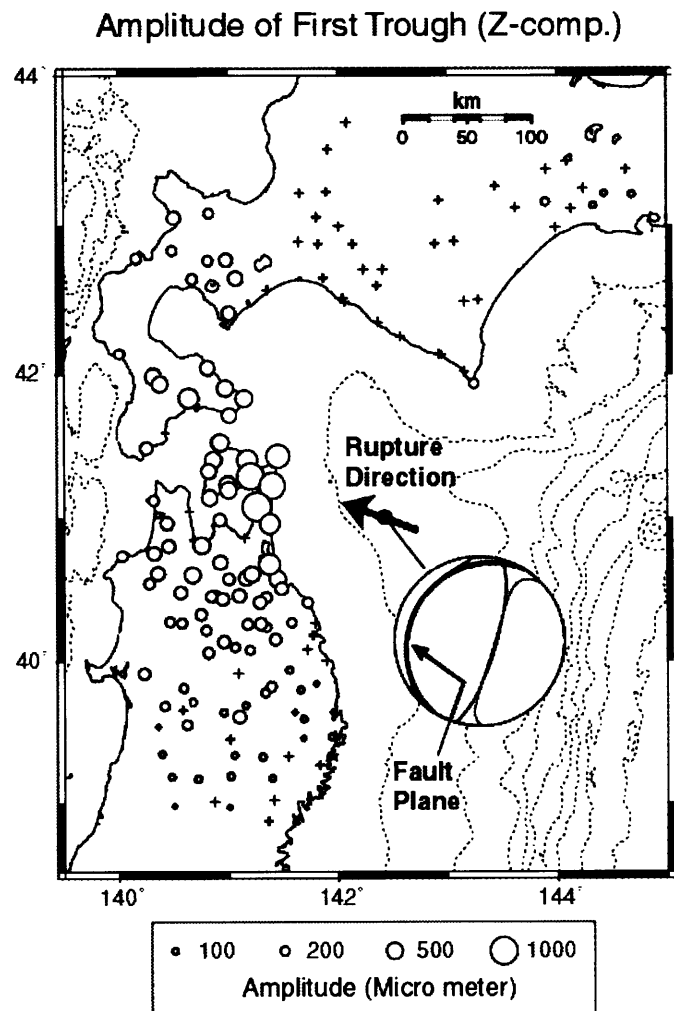


図5 Pコーダ波部分での谷の振幅の空間分布。図4 との比較から、低角の面が断層面で、破壊は陸に向かって進んだと解釈される。