

アレイ観測データに基づく 1998 年岩手県内陸北部の地震 (M6.1) 前後の発破波形変化について (3)
 松本聡 (秋田大・工資), 小原一成 (防災科研), 吉本和生, 斎藤竜彦 (東北大・理), 伊東明彦 (宇都宮大・教育), 長谷川昭 (東北大・理)

Detecting temporal change of waveform from explosion before and after occurrence of 1998 Sizuishi earthquake (M6.1) using seismic array data (3)

Satoshi MATSUMOTO¹, Kazushige OBARA², Kazuo YOSHIMOTO³, Tatsuhiko SAITO³, Akihiko ITO⁴, and Akira HASEGAWA³

- 1) Faculty of Engineering and Resource Science, Akita University
- 2) National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention
- 3) Graduate School of Science, Tohoku University
- 4) Faculty of Education, Utsunomiya University

はじめに 本講演では地殻内部の不均質構造が地殻活動によって変化するかどうかを検出を試み、検出可能性について議論する。1999年合同大会の発表において、東北日本弧の脊梁山地に位置する岩手県雫石町で発生した地震 (M6.1) の震源域で行われた地震前後の発破の波形変化が存在することを示した。ここではさらにどこでどのような程度の変化が生じたか詳しく議論する。

観測 雫石町を北端とする地域では爆破地震動研究グループによって1998年8月に発破が行われ、さらに9月3日の地震後にも震源域の真上に位置する発破点において同年11月に再発破が実施された。われわれは震源域から約30km離れた位置に測線長約4km、観測点128の短スパン地震計アレイを1998年8~11月の間展開し、発破を収録した。今回対象とする発破は図1に示すように、岩手県雫石町で爆破地震動研究グループによって行われた1998年8月(M10)、11月(M10R)である。

波形変化の検出 1999年合同大会の講演において、M10とM10Rの波形をそれぞれSlant stackして波形の違いについて議論した。波形の変化はslant stackしたM10とM10Rの波形を用いて位相差、コヒーレンスの時間変化を調べることによって求めた。その結果、4-8HzでP波初動部分から2秒後、約1秒間にわたって30ms程度位相が遅れ、8-16Hz、16-32Hzでは顕著な位相変化は見られないことが明らかになった。これは98年8月から11月の間に散乱体の位置が変化したことを意味している。変化部分に寄与する波形の到来方向を見積もるため、南北(x)、東西(y)方向スローネス0.0025s/kmごとに変化部分のセンプランス値、2乗振幅値を求めた。図2に波形変化が見られた経過時間におけるM10、M10Rの4-8Hz帯のセンプランス分布を示す。図からわかるように到来方向は2つの発破で若干異なることがわかる。また、センプランス値も2つの発破で異なる。直達波や高周波数帯域においてはこのような変化は見出せなかった。このこと

から、少なくとも観測システムの変化、震源関数の変化以外が原因となっていることが考えられる。ここで変化部分はP波起源だと仮定すれば、x,y方向のスローネス、経過時間から速度構造をもとにして構造が変化した位置を求める事ができる。空間位置を決定するために仮定した速度構造は $V(z)=5.3+0.058z$ km/s である。ここでVは速度、zは深さを表す。図2で示したセンプランス分布をもとにして、最大値およびその80%以上の値を持つ領域を東北大学によって決定された震源分布とともにプロットしたものを図3に示す。図2で示したセンプランス分布をもとにして、最大値およびその80%以上の値を持つ領域を東北大学によって決定された震源分布とともにプロットしたものを図3に示す。得られた散乱体位置は震源域に位置し1998年8月から11月にかけてやや東へ移動し、深さも深くなっている

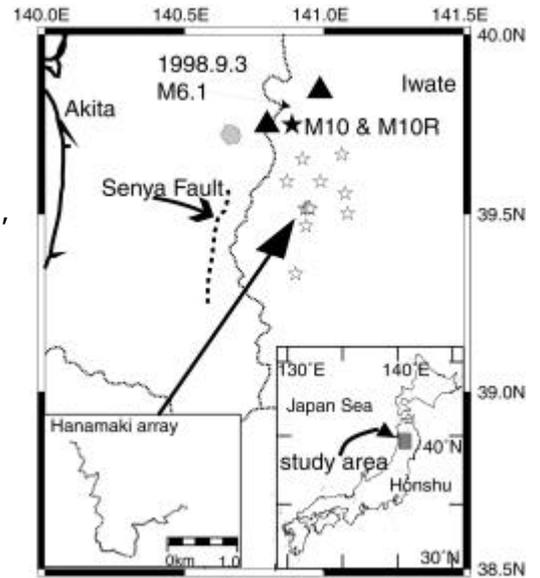


図1. アレイおよび発破点位置。

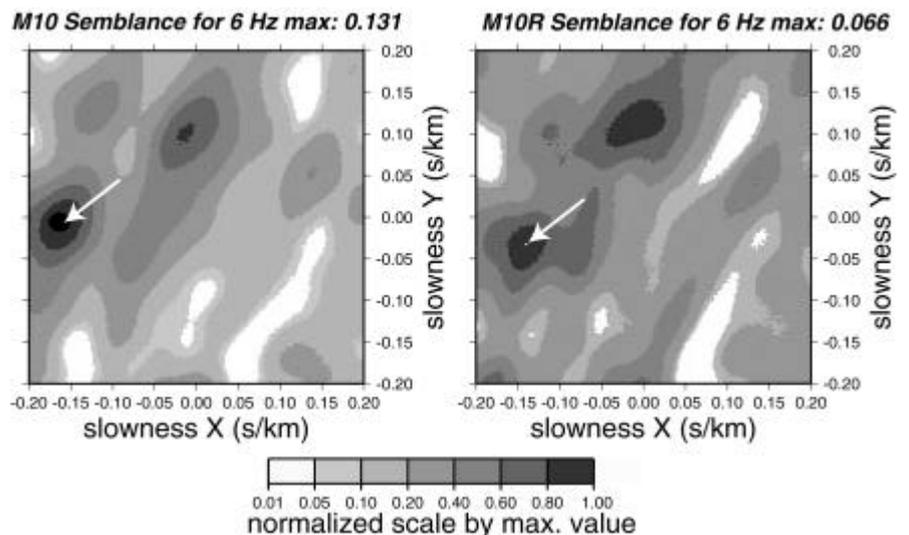


図2. 位相変化が見られた時間におけるM10、M10Rのスローネスに対する4-8Hz帯のセンプランス分布。矢印は最大値の位置を示す。

ことが分かった．南北と深さに関する位置は，アレイと震源の位置関係から必ずしも十分に抑えが効いていないため絶対値の議論は難しいが相対的に深い位置に移動していると考えられる．この変化の起源は 9 月 3 日に発生した M6.1 の地震に関連した現象である可能性が考えられると同時に，1998 年から活発化している岩手山の火山活動に関連しているとも考えられる．

波形変化の検出能力と散乱強度

ここで検出された波形変化は観測点 1 点での収録波形では検出できなかった．これは時間的に変化をしなかったランダム不均質による散乱波が時間変化した散乱体からの波の寄与による波形変化の検出の妨げになっていると考えられる．観測点に到達するこの散乱波のエネルギーは不均質が一様に分布していた場合，いろいろな方向からの散乱波エネルギーを積分した大きさとなる[Sato (1977)]．観測点 1 点の場合，この積分はすべての方位でほぼ一様な重みを持って行うことになる．一方，アレイの場合方位，スローネスを決めて重合することにより検出能力に指向性をもたせることで有効な積分範囲を限定することができる．勿論これはアレイの観測点数，形状，すなわちアレイレスポンスに依存する．本研究のアレイの場合，エネルギーの寄与が $1/10$ となる角度は約 30° 程度である．つまり，仮定した方向から 30° 以上ずればその方向からのランダム不均質の影響を受けないことになる．図 3 に重合した波形の包絡線と 1 観測点での波形包絡線を示す．ここで見られるように直達波後から重合波形の方がエネルギーレベルが下がっていることが分かる．これはランダム不均質の寄与範囲が重合によって限定されたためとかが得られる．構造変化検出の際のもうひとつの要因は変化する媒質の広がりである．アレイから見てどの程度の視角範囲で広がりを持つかが検出する上で重要である．図 4 にターゲットの存在するアレイからの視角に対する検出の下限值を示す．ここで， g_0 は一様に分布するランダム不均質の散乱強度 g はターゲットの散乱強度である．観測点 1 点の場合，当然分布範囲が 180 度の視角を持った時バックグラウンドの散乱強度と同程度の値が下限となる．本研究のアレイの場合，いろいろな方向で重合した結果変化した媒質の広がりが 30 度を越えることは考えにくい．このことと 1 観測点では検出できないことを考慮すると，分布範囲が 30 度程度の場合せいぜい一様に分布するランダム不均質の強度と同程度から 10 倍程度の強度の散乱体がある位置を移動した，あるいは消失し，東側で新たに発生した可能性が考えられる．また，11 月の M10R で見られた散乱波はそのセンブランス係数が小さくなり，重合振幅も小さくなっていることから相対的に散乱強度が低下したと解釈できる．

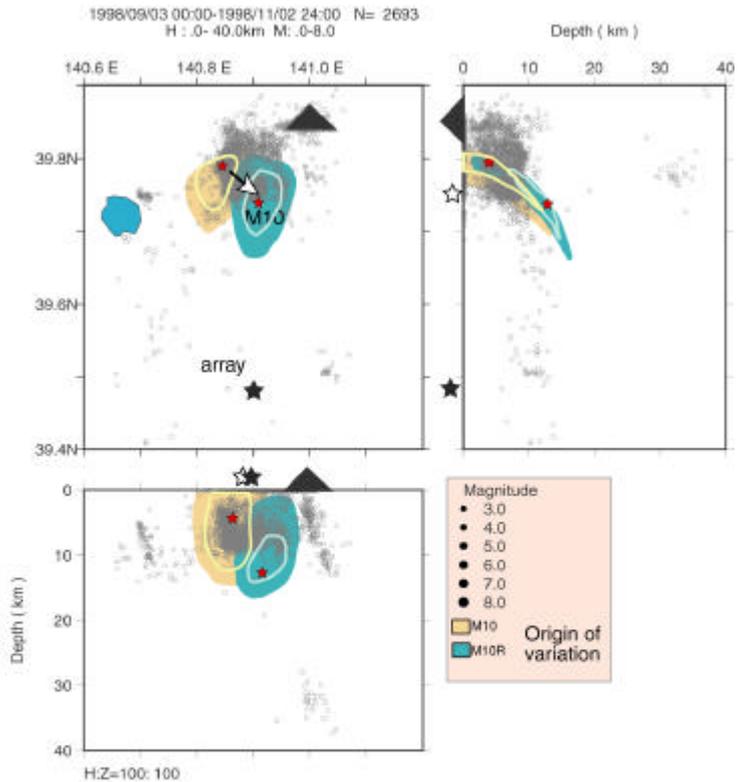


図 3．図 2 に示した M10, M10R に対する 4-8Hz のセンブランス分布の空間投影図． は東北大学によって決定された震源を示す． はアレイ位置， は発破位置を示す．

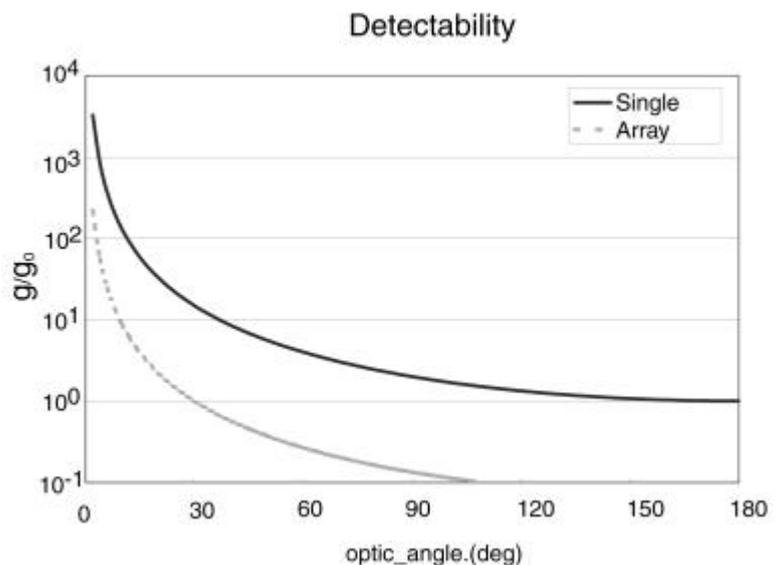


図 4．不均質構造変化の検出能力．横軸はアレイから見た構造変化領域の視角．縦軸はバックグラウンドの散乱係数で規格化された不均質強度変化．実線は 1 観測点，点線は本研究のアレイを示す．

謝辞 本研究は爆破地震動研究グループおよび内陸地震研究グループによる発破を使用させていただいた．記して感謝の意を表します．