

# 人工地震のアレイ解析から推定される岩手火山の不均質構造

小菅正裕・千田良道（弘前大・理工）

## 1. はじめに

1998年から岩手山周辺では、浅発地震および低周波地震活動が活発化し、山体膨張を示唆する地殻変動が観測されるなど、噴火の可能性が指摘された。また、西岩手においては超長周期地震が発生し、これもマグマ活動に関連すると考えられている。同年の9月3日には岩手山南西部を震源とする岩手県内陸北部地震（M=6.1）が発生し、それに伴って岩手山西部の地震活動は低下したが、西岩手での噴気活動は依然として続いている。

このような状況の下で、岩手山の地下構造の解明を目的に、1999年には東北大学を中心とするグループが、2000年には火山体構造探査グループが人工地震探査を実施した。我々はこの機会を利用して、後続波から岩手山周辺の短波長不均質構造を推定するために、小アレイ観測を実施した。ここではまず、アレイによって観測された人工地震のエンベロープとセンブルランス解析からコーダ波の特徴を述べ、次に、slant stackによって推定した散乱体の位置と上記諸現象の発生位置との関係について述べる。

## 2. データ

人工地震探査は1999年6月と9月、および2000年10月の3回にわたって実施された。1999年の探査は山体の北と南に測線を張り、山体北東部の1か所でのショットであったが、2000年にはそれらの測線を含めて約350点の観測点が展開され、ショットも9か所で行われた。図1には2000年探査のショットと観測点の配置を示す。アレイ観測はこの3回の探査において同じ場所（焼切沢、図1のYKS）において実施した。アレイの地震計配置を図2に示す。地震計は2Hz上下動（L-22D）で、信号はデータロガー（LS-8000SH）に収録した。サンプリング周波数は250Hz、分解能は16ビットである。なお、2000年探査ではロガーの設定ミスがあり、図2に黒丸で示した観測点におけるデー

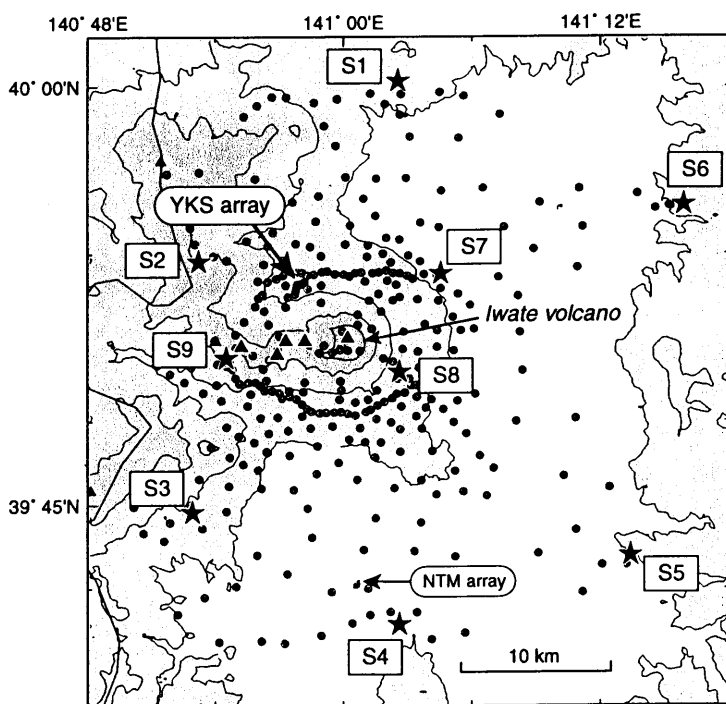


図1 2000年の探査におけるショット（★）と観測点（○）の分布。

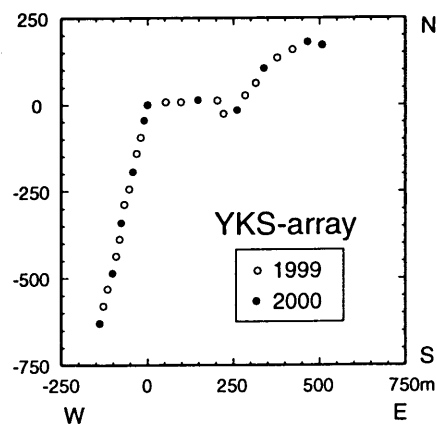


図2 焼切沢アレイの地震計配置。

タシが得られなかった。

今回は計 11 回のショットの中から、S/N 比の良い 1999 年の 2 回のショット、および 2000 年ショットの中の S1, S2, S7, S9 の 4 回のショットについて解析した。

### 3. 人工地震波形のエンベロープ

図 1 のショット点 S7 では 3 回の探査すべてにおいてショットが行われたので、まずこれらのショットに対する RMS エンベロープを比較した。その結果、細かい山谷の対応がつかない点はあるものの、エンベロープ形状の再現性は良いことがわかった。3 回の探査においてショットの方法には若干の違いがあったが、それはエンベロープ形状には影響を与えていない。

2000 年には 9 発のショットが行われたが、その波形はショットごとに異なる。今回解析したショットについてのエンベロープ (4-12 Hz 帯) を示したのが図 3 である。上段は最大振幅で規格化して示したものである。ショットごとの波形の違いがこれにも現れており、ショット S2 のエンベロープは P 波初動直後から一定の割合で単調減少するのに対し、ショット S7 では P 波初動から 6 秒程度の振幅はあまり変わらず、その後減少を始める。この図を見るとエンベロープ振幅の減少のしかたには規則性がないようにも見えるが、図の 10 秒付近での振幅が等しくなるように縦軸方向に波形をずらすと、10 秒付近から後の振幅の減少のしかたは非常に良く揃っていることがわかる。従って、初動から 6 秒間程度の時間範囲のコーダ波には、ショット-観測点間およびその周辺での地下構造の不均質性が反映され、その後は地下構造の広域的な特性によってエンベロープが規定されているものと考えられる。

### 4. 人工地震のセンブルス解析

アレイ記録のセンブルス解析を行い、コーダ波のコヒーレンス・到来方向・見かけスローネスを測定した。ショット S7 及び S9 においてはある程度センブルス値の高いコーダ波が存在するが、ショット S1 および S2 においては初動以外でセンブルス値の大きい位相は認められない。これを図 3 と合わせて見ると、岩手山から離れたショット S1 および S2 では、P 波到達後に振幅は単調に減少し、コヒーレントな波はほとんど含まれていない。これに対して、岩手山西側のショット S9 では振幅の時間減衰の割合はショット S1 と同程度であるが、コヒーレントな位相が一部含まれている。岩手山北東部のショット S7 では P 波到達から約 6 秒間はコーダ波振幅が非常に大きく、コヒーレントな位相も多数含まれている。ショット S7 および S9 のコーダ波の見かけスローネスは P 波初動のそれよりは全般に大きい。コヒーレントな波の到来方向は特徴的な分布を示し、ショット S7 からはアレイの北東方向、ショット S9 からはアレイの南西方向以外からのコヒーレントな波の到来は見られない。いずれもアレイから見てショットを含む方向である。

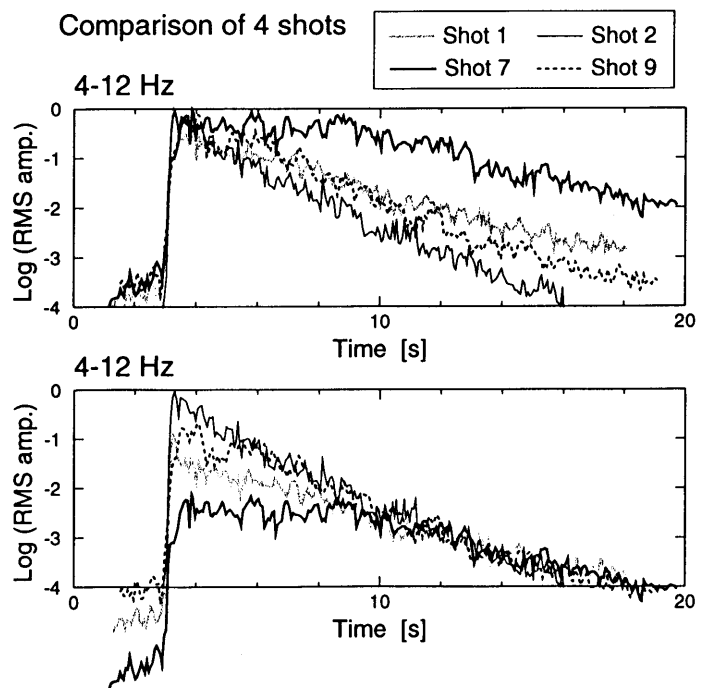


図 3 2000 年の 4 か所のショットの RMS エンベロープ。上段は最大振幅で規格化して示したもので、下段は 10 秒付近での振幅が等しくなるように縦軸方向にずらして示したもの。

## 5. 散乱体分布の推定

センブランス値は波のコヒーレンスの度合いを示すだけなので、振幅の情報は含まれていない。そこでアレイ観測記録の slant stack を行い、散乱体の位置を推定した。ここでは3次元空間内の格子点上の各点に仮想的な散乱点を置き、それから期待されるスローネスの値を用いて波形を重ね合わせた。今回はコーダ波の振幅が大きく、コヒーレントな位相が多数含まれていたショット S7 と S9 について解析した。それぞれ単独のショットについての解析であるので空間分解能はあまりよくないが、いくつか興味深い結果が得られた。図4はそれぞれのショットからの特徴的な散乱体の位置（図の右側）と、これまでの研究から知られている圧力源・低周波地震の震源等を示したものである。

ショット S7 から推定される散乱体は、岩手山の北側の直径 5km 程度の領域に存在する。この位置は岩手山東側での地殻内低周波地震の震源域に隣接している。一方、ショット S9 から推定される散乱体は岩手山の西方に南北に長く分布する。この位置は Nishimura et al. (2000) によって推定された超低周波地震の震源、あるいは地殻変動から推定された球状圧力源の位置に近い。このように、散乱体が分布する可能性がある領域は、いずれもマグマ活動に関連する現象が生じている領域となっている。このことは、今回観測されたコーダ波の形成にマグマが寄与している可能性を示す。ただし、今回の解析はまだ予備的なもので、前述のように空間分解能は低い。今後は複数の人工地震、さらに、1999年にアレイで観測された自然地震についての解析結果を重ね合わせることで散乱体位置の推定精度を上げ、より詳細な議論を行いたい。

謝辞：東北大学理学研究科および火山体構造探査グループには、観測において便宜を図っていただき、波形データを使用させていただきました。ここに記して感謝します。

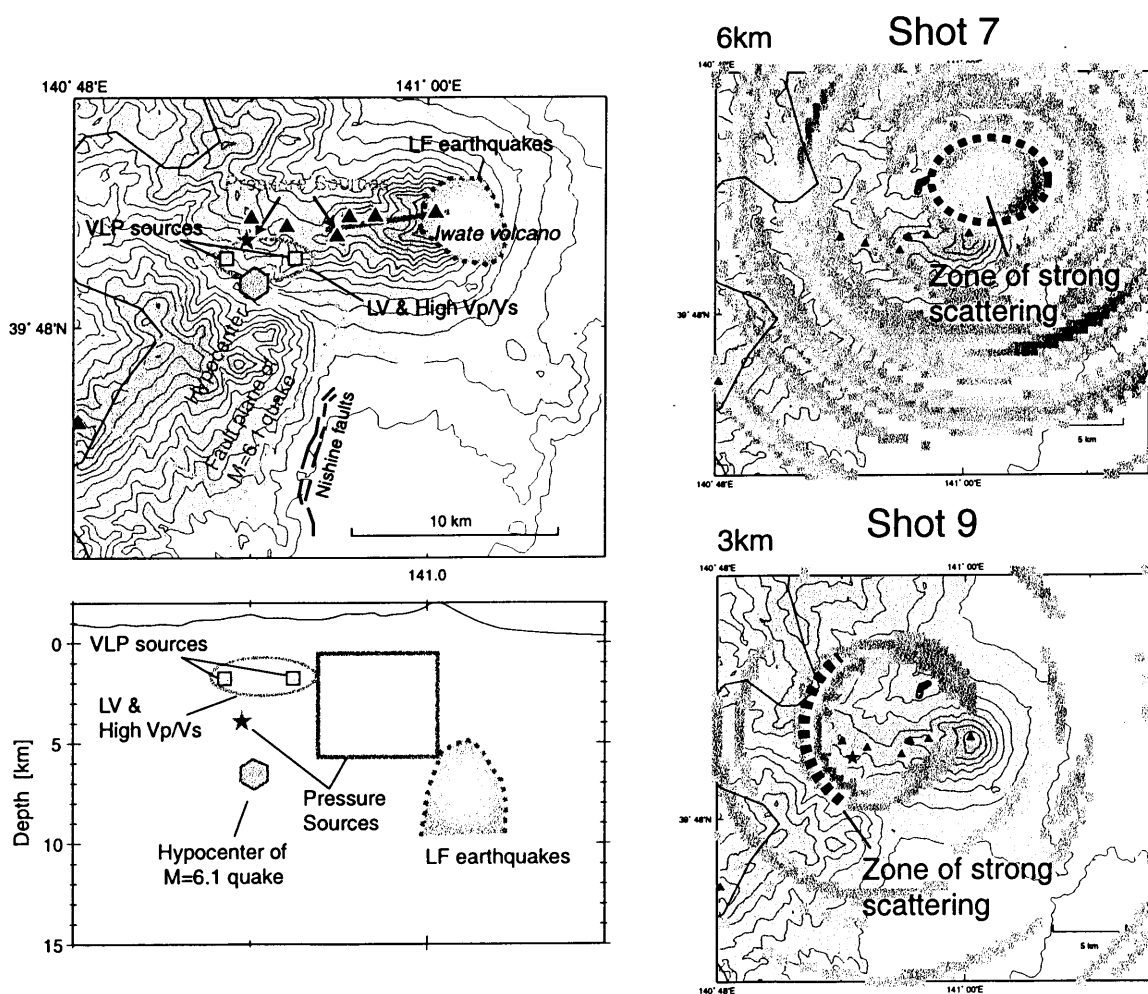


図4 それぞれのショットから推定された特徴的な散乱体の位置（右側）と、これまでの研究から知られている圧力源の位置および低周波地震の震源（左）。