

## 微動のH/Vスペクトル比を利用した岩手県奥州市の基盤深度の推定\*

岩手大学工学部 畠山和也, 山本英和, 佐野剛

### 1. はじめに

常時微動は人間の日常活動, 交通, 工場などの人為的な振動や気象条件などからの自然な振動によるもので, 振動源や伝播経路, 地下構造, 表層地盤の特性を反映したものと考えられる。いつでもどこでも存在し測定可能であることから地震時の地盤振動特性などの概略的な予測などに利用されたり, 微動を伝播する表面波としてとらえ, 地下構造探査に利用されている。

微動から地下構造を推定する方法として, 微動アレー観測に基づいたレイリー波の分散特性を利用する方法と, 1点3成分微動の移動観測による水平成分と鉛直成分のスペクトル比を利用する方法の2通りがある。微動アレー観測は通常7台以上の地震計を同時に必要とし, 観測自体が大掛かりである。また, アレー長に依存した波長の波しか解析が行えないために, 深部の地下構造を推定するには数 km といった大規模なアレーを展開する必要がある。つまり, 都心部などではアレーの配置が困難であると考えられる。一方, 1点3成分微動の移動観測は地震計を1台しか使用せず, 観測時間が短いため, 多くの地点で観測が行える。また, 既知の情報が少ない地域における概略的探査の場合, アレー観測による正確な探査よりも深部の地下構造の推定が容易である。

我々はこれまでの研究で, 北上低地帯北部岩手県盛岡市において約300点, また北上低地帯中央部に位置する岩手県北上市において約100点, 盛岡・北上間で約60点の1点3成分微動測定を密に実施し, 微動H/Vスペクトル比を利用して基盤構造を推定してきた(山本ほか, 2006, 鷲坂ほか, 2007, 小松ほか, 2008)。しかしながら, 岩手県南部においては地下構造のデータがほとんどない。

本研究では, 奥州市において約80地点の1点3成分常時微動測定を実施し, 微動のH/Vに基づいて地盤の卓越周期を推定し, さらにH/Vがレイリー波の振幅比で説明可能と仮定して基盤深度の空間分布を推定する。

### 2. 微動測定

図1に研究対象地区を示す。測定地点は基本的には南北2km, 東西2kmの区画を作成し, できるだけ測定一点が等間隔になるように選定した。測点数は77点である。

微動測定に使用した機材を以下に示す。微動計として, レナルツ社製固有周期5秒3成分速度型振動計LE-3D5sを使用し, 収録機として, 白山工業(株)製データロガーLS-8000SHを使用した。一箇所における微動の測定時間は約15分間, サンプルング周波数は100Hzである。

---

\* Estimation of basement structures in Oshu City, Iwate Prefecture by using H/V spectral ratios of microtremor records  
by Kazuya HATAKEYAMA, Hidekazu YAMAMOTO and Tsuyoshi SANŌ

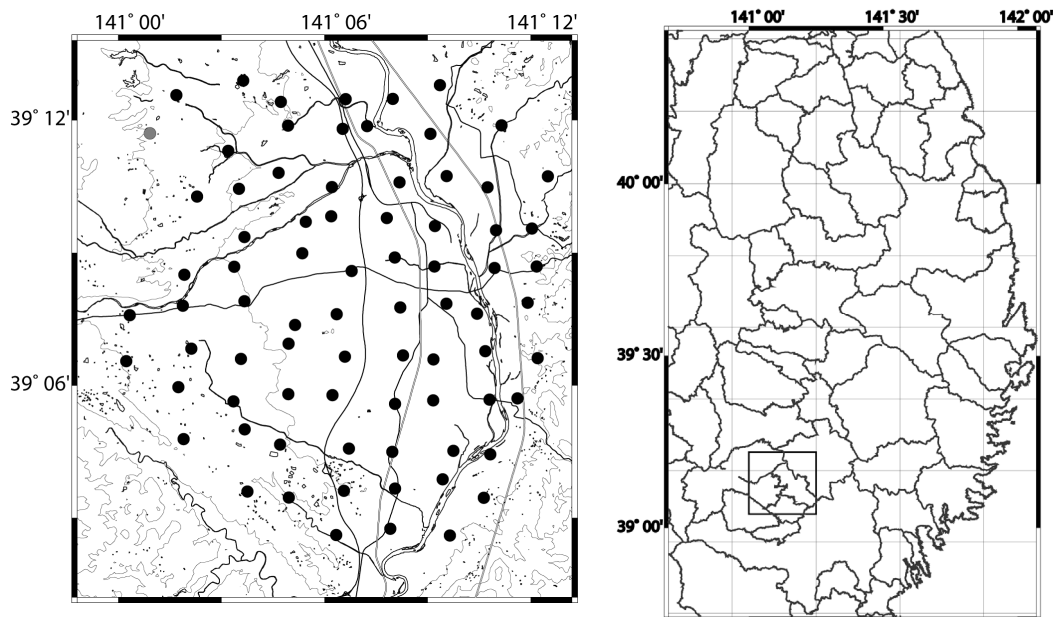


図 1 本研究における微動測定点。黒色の丸が微動観測点、灰色の丸は基盤強震ネット金ヶ崎観測点を示す。右図は岩手県地図。図中の実線で囲まれた部分が左図の測定範囲に対応する。

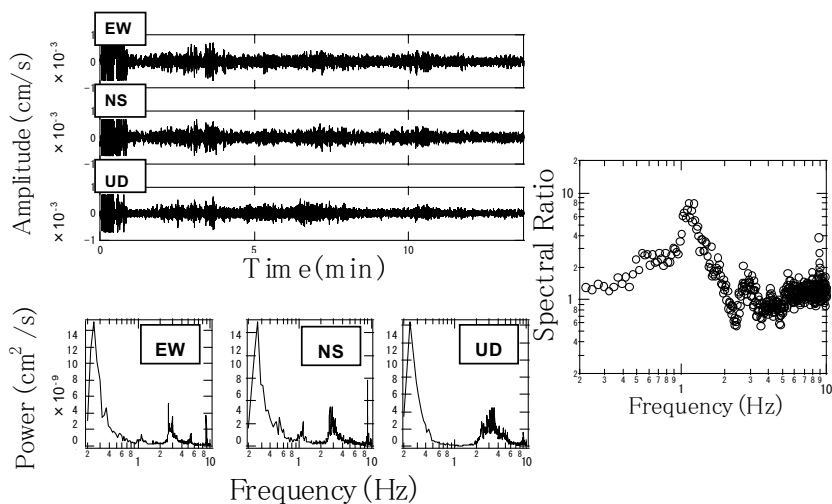


図 2 観測された微動波形，東西動，南北動，上下動のパワースペクトル，H/V スペクトル比。

### 3. 微動の H/V スペクトル

図 2 に測定した微動の波形，パワースペクトル，H/V スペクトルを示す。測定された 3 成分（東西動，南北動，上下動）の微動の波形から，FFT によるスペクトル解析により各成分のパワースペクトルを算出する。ただし，15 分の測定時間の中で車両の通行などによるノイズが混入している測定地点も多々存在していたため，以下の手順でスペクトル解析を実施した。測定

時間を、20.48秒ずらした40.96秒を基本とする解析区間に分割し、それぞれパワースペクトルを算出した。それぞれの区間でrms振幅を算出し、全測定区間のrms振幅を下回る区間のみを使用した平均パワースペクトルを算出した。この操作により車両などの通行による振幅の大きい区間を除外し、定常的な振動のみからスペクトルが計算されたと期待される。

こうして得られた東西動と南北動の相乗平均から水平動のスペクトルを算出し、それを上下動のスペクトルで除して、最終的には2乗根をとることにより微動のH/Vスペクトルを算出した。図3に北から9列目北緯(39°4'10" ~ 39°5'10")の同一緯度におけるH/Vの経度方向の変化を示す。西から東へ向かってH/Vのピーク周波数が大きくなるのがわかる。

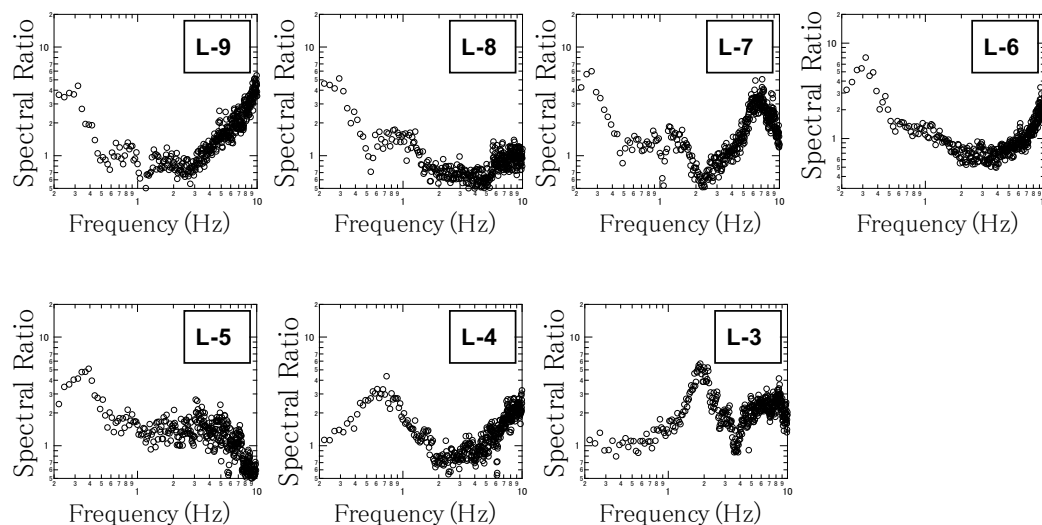


図3 北から9列目の微動のH/Vの経度方向の変化。L-9がこの範囲で最も西側、L-3が最も東側となる。

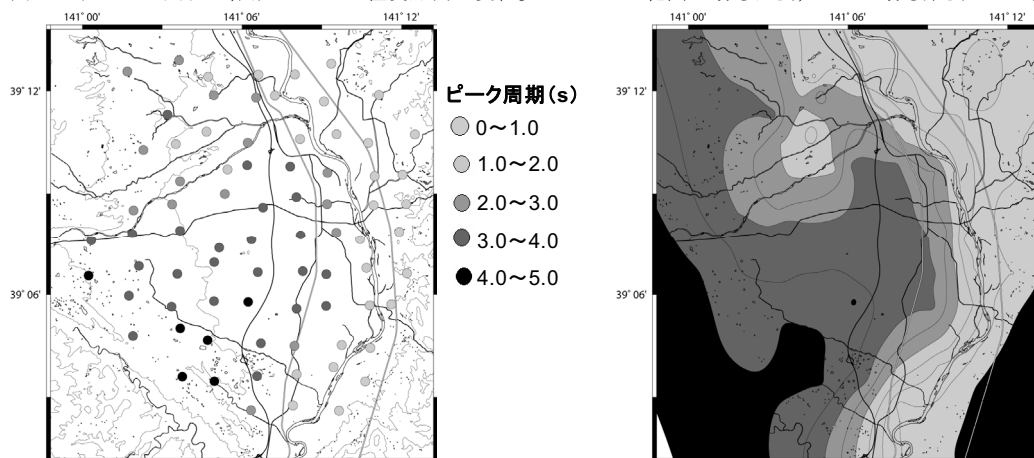


図4(a)

図4(b)

図4 H/Vピーク周期分布 (a)観測点におけるピーク周期, (b)コンター表示。

各地点で微動の H/V スペクトルからピーク周波数を読み取り、逆数をとることによりピーク周期とした。複数ピークが存在するところでは基本的には低周波側のピークを読み取った。

図4に微動の H/V スペクトル比のピーク周期の分布を示す。ピーク周期は全観測点である77点で算出された。北上川を挟んで東側ではピーク周期1秒以下の点が、西側ではピーク周期1秒以上の点が広く分布している。コンターで表現すると東西方向の変化がよくわかる。

#### 4. ピーク周期を用いた基盤深度の推定

図4より測定された H/V のピーク周期が、大局的には東部から西部に向かって徐々に大きくなっていることが示された。このことからピーク周期が地下構造、とりわけ基盤の構造に影響を受けていることが予想される。そこで、測定された H/V スペクトルが基本モードレイリー波で表現可能と仮定して基盤深度分布を推定する。ここでレイリー波振幅は、地下構造を表層と基盤の2層モデルと仮定して算出する。必要なパラメータは表層と基盤の、層厚、S波速度、P波速度、密度である。このうちP波速度と密度は、S波速度から換算する。さらに基盤の層厚は無限大とし、基盤のS波速度を3000m/sと仮定することで、変数は表層の層厚(基盤深度)と、表層のS波速度の2つとなる。

基盤深度、すなわち表層の層厚を推定するためには、微動の H/V のピーク周期のみの利用では表層のS波速度を仮定する必要がある。本研究では、鷺坂ほか(2007)より基盤強震ネット花巻南観測点において行った方法を今回、基盤強震ネット金ヶ崎観測点においても行った。その結果、全地点での表層Vsを500m/sと設定した。図5に観測値と理論値の適合を示す。各観測点において理論値をVs=500m/sと固定し、層厚を変化させ、観測値に合わせこみ、層厚を推定する。これを全地点において行った。

図6に2層モデルにおける表層の層厚を示す。北上川の東側では層厚は最小11m、概ね100m以下程度を示し、東から西に向かって徐々に深くなり、範囲西端では最大500m程度となっている。この結果から、実際の標高から推定された表層の厚さの差をとることにより基盤の標高を推定した。図7に基盤の標高分布を示す。北上川の東側では基盤が露出している箇所が多く、最も高いところで基盤は海拔52mであった。範囲の東から西へかけて基盤は落ち込んでおり、最も深いところで基盤は海拔-412mであった。また、中央付近は複雑な形を示している。

最後に、本研究の1点3成分微動観測により推定された基盤の標高と、日本の重力(地質調査総合センター, 2004)から抜き出した重力異常分布(仮定密度2.3g/cm<sup>3</sup>)と比較を行った。図8に重力異常分布を示す。東から西にかけて重力異常が低くなっているため、基盤の深度が東から西へ深くなっていることが予想される。また、中央付近で複雑な形を示している。本研究において推定された基盤の標高分布と重力異常分布の傾向は似ていることがわかる。

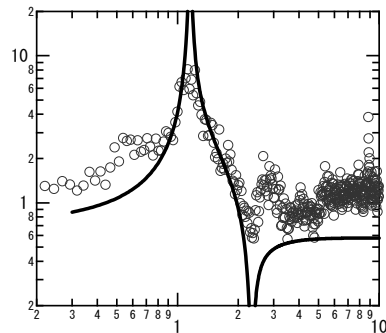


図5 観測値と理論値の適合。黒丸が観測値、実線が理論値を示す。

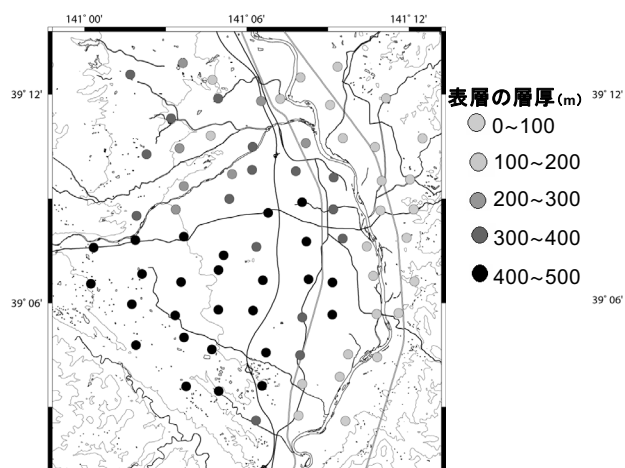


図 6 (a)

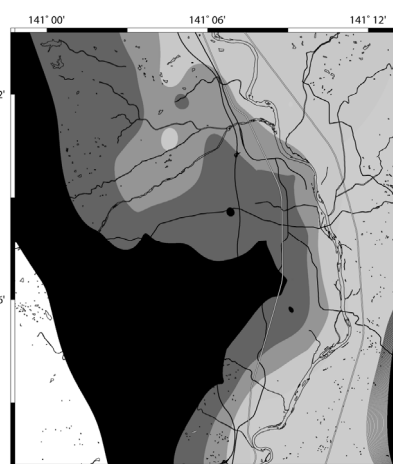


図 6 (b)

図 6 2層モデルでの基盤の層厚 (a)観測点における層厚, (b)コンター表示。

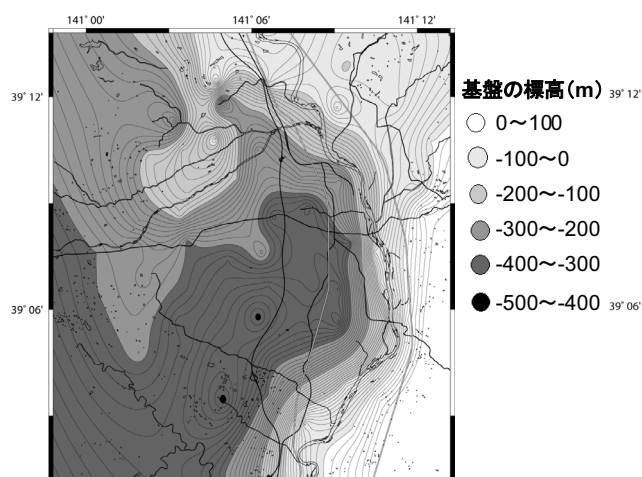


図 7

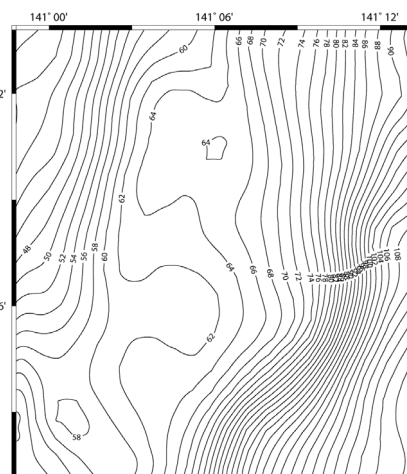


図 8

図 7 基盤標高分布。

図 8 日本の重力(地質調査総合センター, 2004)から本研究の測定範囲部分を抜き出した仮定密度  $2.3\text{g/cm}^3$  のブーゲー異常分布(単位, mgal)。東側で高異常, 西側で低異常を示す。東から西に向かってブーゲー異常が小さくなっている。

## 5. まとめ

岩手県奥州市において 77 点の 1 点 3 成分微動測定を実施し、その全地点で H/V スペクトルのピーク周期を読み取り、レイリー波振幅に基づいて 2 層モデルの基盤の深度分布を推定した。その結果、

1. H/V のピーク周期は、大局的に東部から西部に向かって徐々に長くなっている。
2. 研究範囲における基盤深度はおおむね東から西にかけて深くなっている。
3. 推定された基盤深度分布は、重力異常分布と傾向が似ている。

今後の課題として、H/V の形状を精査し、単純 2 層モデルを拡張する地区を判別し、より真実に近い構造モデルを構築する必要がある。

## 謝辞

微動の測定・解析には岩手大学工学部建設環境工学科地下計測学研究室の学生の協力を得た。日本の重力 CDROM から重力異常を抜き出す際にプログラムを利用させていただいた。記してここに謝意を表する。

## 参考文献

山本英和，角舘健太，佐野剛，齋藤徳美，郷右近友貴（2006），高密度測定された微動の H/V スペクトル比を利用した盛岡市域の基盤構造の推定（その 2），社団法人物理探査学会第 114 回学術講演会講演論文集，pp. 134-137.

驚坂志織，山本英和，佐野剛(2007)，微動の H/V スペクトル比を利用した岩手県北上市の基盤深度の推定，東北地域災害科学研究，第 43 巻，pp. 45-50.

小松美緒，山本英和，佐野剛(2008)，微動の H/V スペクトル比を利用した岩手県花巻市，紫波町，矢巾町の基盤深度の推定，東北地域災害科学研究，第 44 巻，pp. 45-50.

齋藤正徳，柁沢宏之(1993)，成層構造に対する反射率，表面波分散曲線の計算Ⅱ．レイリー波の計算，物理探査，第 46 巻，4 号 pp. 283-298

地質調査総合センター(編) (2004)，日本の重力 CD-ROM 第 2 版，数値地質図 P-2，地質調査総合センター