

## 重力異常と脈動の震動特性からみた上高地盆地焼岳山麓の基盤構造

赤松純平・諏訪 浩・市川信夫・駒澤正夫\*

\*産業技術総合研究所

### 要 旨

上高地盆地焼岳山麓の基盤構造を、重力異常と脈動特性とから推定した。重力測定はシントレックス重力計を用い、位置測量はDGPSによる。重力解析では、広域トレンドを除去したブーゲー異常図から、2層均質モデルによる3D構造を求めた。脈動の解析は、観測された上下動-水平動スペクトル比(H/V)をレーリー波のellipticityで近似することにより、速度構造を推定した。得られた結果は以下のようなものである。

- (1)基盤岩の形状は、典型的な山間盆地の性質を示す。
- (2)基盤は田代池付近から大正池付近に向け急激に沈降し、最深部の深さは500m程度と推定される。
- (3)基盤の深さ分布は脈動のH/Vのピーク周波数の分布と調和する。

キーワード：山間盆地の重力基盤、ブーゲー異常、脈動のH/V

### 1. はじめに

焼岳山麓上々堀沢では、土石流の総合的観測事業の一環として、土石流発生早期検知に資するための地盤震動の観測が行われている(例えば、Suwa et al., 2000)。土石流の流動と地盤震動との運動力学的な関係の解析も行われている(Suwa et al., 2003; 諏訪・赤松, 2002)。震動を波動論的に解析するためには、地盤構造と地震波速度などの情報が必要であり、これまで、小規模な屈折法地震探査と脈動観測が実施されている。地盤構造調査の一環として、盆地南西部において重力測定を行ったので、重力基盤構造と脈動の震動性状について報告する。

### 2. 地質概要

Fig.1に概略的地質構造(原山, 1990)を示す。盆地は横尾~大正池にかけて梓川に沿って発達しており(図のaの地域)、標高の高い山岳盆地としては幅が広く(~1,000m)、また河床勾配も緩やかである。両側の谷や沢により扇状地(t)が発達しているが、特に焼岳からの火砕流堆積物(Np)を材料にして発生する土石流の堆積物が梓川右岸の大正池西岸に広がっている。大正池は、1915年の焼岳噴火により

梓川が堰き止められて出来たが、以後土石流堆積物により埋め立てられて縮小してきた(南安曇郡誌改訂編纂会, 1956; 京都大学防災研究所, 1978)。盆地の南東側には古第三紀の穂高安山岩類(Si, Ye, W, M)から成る急峻な霞沢岳~六百山の山塊が迫っている。盆地の北西側は、三畳紀~ジュラ紀の美濃帯や穂高安山岩類を焼岳火山群の溶岩類(更新世後期~完新世)が覆っている。盆地の基盤はこれらの岩により構成されていると考えられる。

### 3. 重力の測定と解析

使用した重力計はSCINTREX CG-3Mである。盆地から数km離れた沢渡に、気象庁松本測候所の重力点から重力結合した基準点を設置して日々の測定の閉塞ループに用いた。重力値の測定精度は、測定条件の厳しい焼岳山頂付近の値でも、0.1mGal以内の精度を保っているものと思われる。重力測定点の位置測量は、調査域内に設置した基準点とのデファレンシャルGPS(DGPS)による。用いたGPSレシーバはLeica 520である。この基準点の座標は、国土地理院電子基準点奈川とのDGPSによった。この結果、各重力測定点の位置精度は数cm以内 特に悪い場合でも1m以内であり、重力解析には充分の精度が得られた。盆地内および周辺山

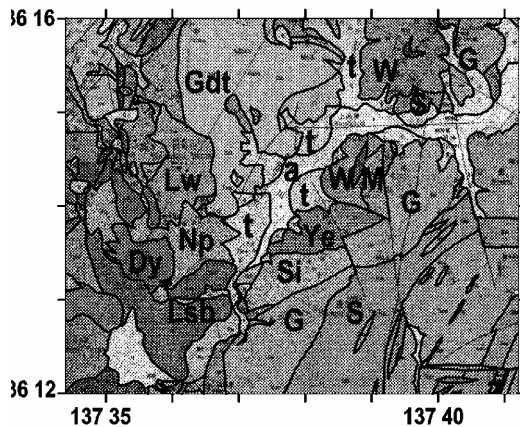


Fig.1 Geology in and around Kamikochi basin (after Harayama,1990). a : Fluvial deposits, t : Talus and fan deposits, Np : Pyroclastic flow deposits, Dy : Yakedake dome lava, Lsb : Shimohorisawa lava, Lw : Warudaniyama volcano lava, Gdt : Paleogene Takidani granodiorite, M, W, Ye, Si : Paleogene Hodaka andesites, G : Latest Cretaceous to early Paleogene granitic rocks, S : Triassic to Jurassic Mesozoic strata.

岳地域の観測は、2002年11月、2003年6月および10月に行われた。盆地内と盆地周辺の測点数は73点である。なお、2002年11月には1周波のMagellan ProMark-XのDGPSによったが、数10cmの精度が保たれていることが確認されている。

解析ではまず、測定データに周辺データとして産業技術総合研究所がコンパイルしている周辺地域約15km以内の重力データを加え、所定の地形補正やブーゲー補正を行ってブーゲー異常図を100m間隔の格子点上で計算して作成した。地形補正は、実際の地形を仮想扇形プリズムによる集合体に近似して60kmの範囲まで、地球の曲率効果も考慮して行った。仮定密度は $2.3\text{g/cm}^3$ とし、地形データは国土地理院発行の50mDEM(500m以内)、250mDEM(500m以遠)を用いた。なお、重力値はIGSN71に準拠させ、正規重力値は測地規準系1980による式を用いている。得られたブーゲー異常図をFig.2に示す。盆地の形に対応して、北東-南西方向に長い低異常を示しているが、大正池付近に向けて急激に減少し、盆地周囲に比べ5mGal程度小さくなっている。

Fig.2の重力異常には、地殻構造などの深い構造の影響が広域異常として含まれている。この影響を除去するために接続高度2kmの上方接続フィルターを用いた。これは深さ700m程度までの構造を主に反映する。Fig.3に得られた残差重力異常を示す。残差重力異常図のコンターの形は、概ねFig.2に示されたブーゲー異常図のコンターの形に似ているので、このような小さな盆地では広域トレンドの影響は少ないと考えられる。

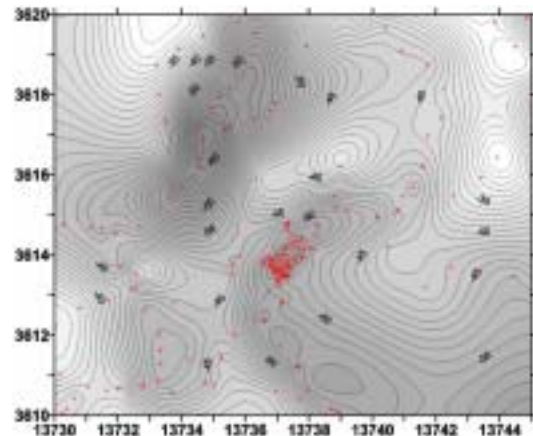


Fig.2 Bouguer anomaly. Reduction density =  $2.3\text{g/cm}^3$ . Contour interval = 1mGal. +: gravity site.

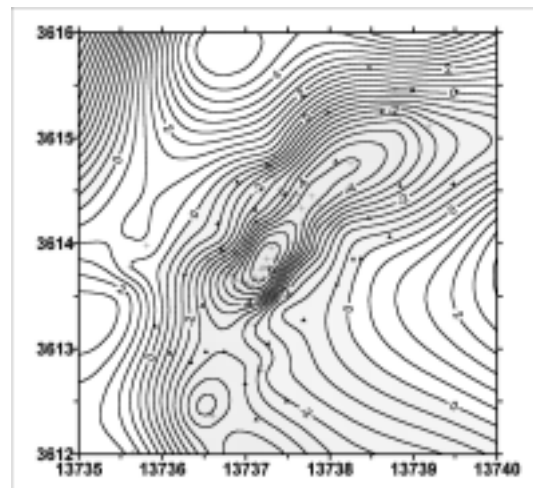


Fig.3 Residual Bouguer anomaly filtered with continuation technique. Continuation heights are 50m and 5,000m. Contour interval = 0.5mGal.

残差重力異常図から、駒澤(1984)の逐次近似法により均質2層3次元モデル(基盤+堆積層)を構築した。仮定した密度差は $0.3\text{g/cm}^3$ である。これは基盤 $2.6\text{g/cm}^3$ 、堆積層 $2.3\text{g/cm}^3$ を想定したものである。計算に際し、境界条件として基盤岩の深さを与える必要がある。盆地周辺山岳地域の独立標高点(22点)と岩盤露頭(10点)の基盤岩の深さを、風化を考慮して20mと仮定して用いた。Fig.3には、コントロールポイントの位置が印で示されている。得られた基盤モデルをFig.4に、盆地を横断する3測線における断面図をFig.5に示した。これらの図は標高で表示されている。基盤の深さは、田代池周辺では100~150mと浅いが、大正池畔にかけて急に深くなり、最深点では約500mに達する。

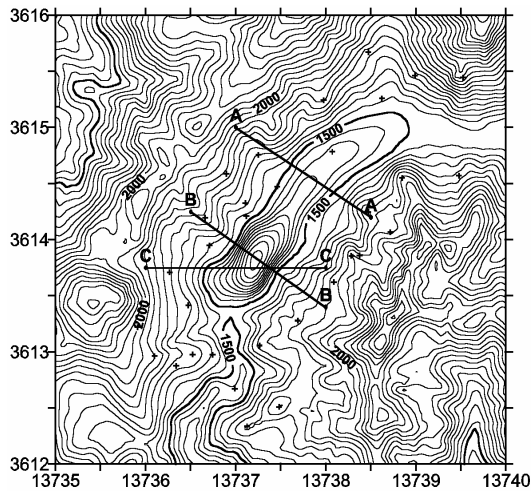


Fig.4 Gravity basement shown in altitude (m). Contour interval is 50m. + denotes control point for boundary condition. Profiles for cross sections in Fig. 5 are shown.

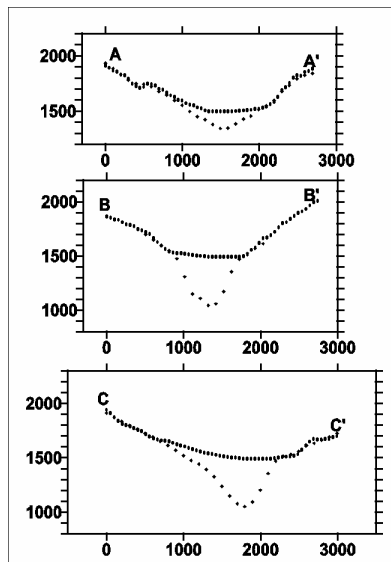


Fig.5 Cross sections for gravity basement and ground surface. Profiles are shown in Fig.4

基盤の深さは、堆積層と基盤との密度差により大きく変化する。ここでは、盆地底部に存在が想像される氷河堆積物や火山堆積物を考慮して密度差は $0.3\text{g}/\text{cm}^3$ と、盆地の構造解析としてはやや小さい値を用いている。堆積層として $2.3\text{g}/\text{cm}^3$ を想定しているが、表層は、河川堆積物、焼岳の火山灰や火砕流堆積物など密度はずっと小さい値(例えば $2.0\text{g}/\text{cm}^3$ 程度)が考えられる。このような層が数10mの深さまであれば、基盤深度は100m程度浅くなる。しかしながら、最深部の深さは350mより深いことは確かであろう。このことを脈重観測記録により検討する

#### 4. 脈動のH/V スペクトル比

堆積盆地において観測される脈動の上下動水平動スペクトル比のピーク周期( $T_p$ )は、堆積層の厚さに密接に関係することが知られている。ここでは、上高地盆地内の16地点で2001年と2003年のそれぞれ11月に得られた記録のH/Vの性質を調べる。

脈動記録は、1秒速度計(Mark L-4)3成分を用い、10Hzのlow pass filterを通して、100Hzのサンプリングによって得られた。記録時間は約10分間である。スペクトル比H/Vの計算は、解析区間が約80秒間のフーリエスペクトルを、6~7区間について計算し、平均値を各地点のスペクトルとしてその比から求めた。観測地点での交通ノイズはほとんど無く観測記録のほぼ全区間が解析に使えた。

上高地盆地のような細長い山間盆地では、水平動成分に方位特性の現れることが多い。H/Vのピーク周期を求めるに先立ち、H/Vにおける方位特性を全ての観測点で調べた。Fig.6にH/Vの方位特性の解析例を示す。図は、15度刻みに座標軸を回転させたもので、左上が南北動成分/上下動成分、右上が東西動成分/上下動成分である。方位によりH/Vの形状、従ってピーク周期の位置が変化している。この例では、 $30\sim 45$ 度の方位で、長周期のピークが明瞭に現れる。この方位はこの観測点における盆地の全体的な方位に近い。ここでは、 $T_p$ として最も長い周期のピークの周期を用いる。

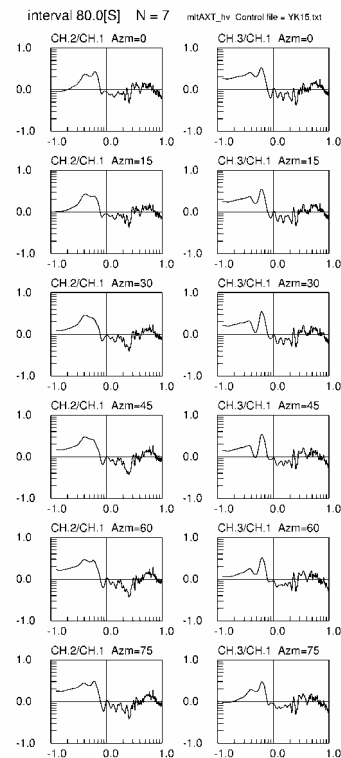


Fig.6 Variation of H/V with azimuth of H component.

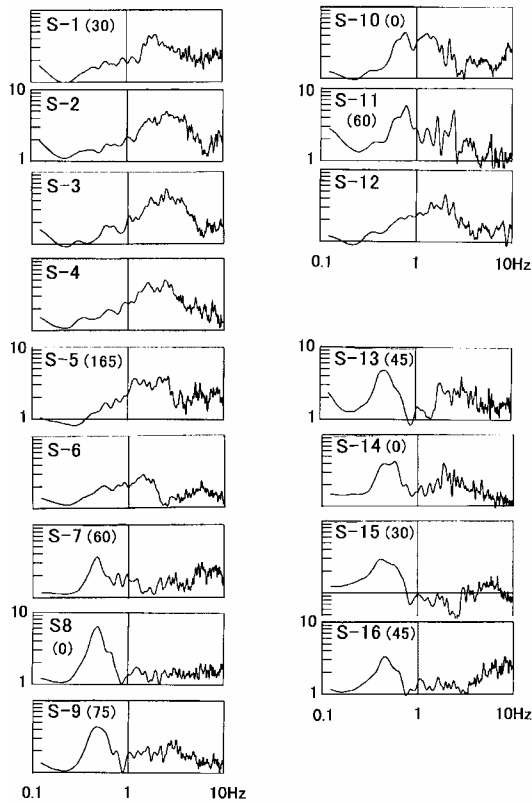


Fig.7 Spatial change of H/V spectral ratio. Azimuth of H component was adjusted to obtain lowest  $T_p$ .

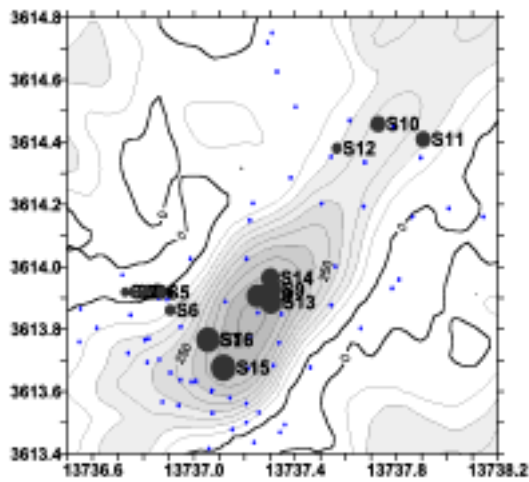


Fig.8 Location of site for microseisms. Size of dot shows amount of  $T_p$ .

このようにして得た全てのH/VをFig.7に、観測点の位置をFig.8に示す。Fig.7のH/Vの形状は各地点とも明瞭なピークを有しており、堆積層と基盤とのインピーダンス比の大きいことを示唆している。H/Vのピーク周波数と重力基盤の深さとの関係に着目すると、基盤の深さが増加するS\_1地点からS\_9地点にかけて2~3Hzから0.4~0.5Hz

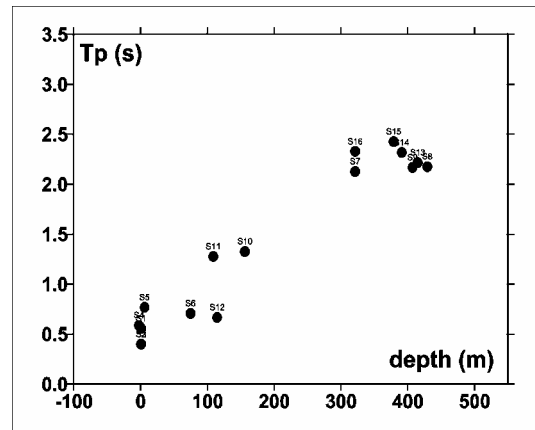


Fig.9 Relation between peak period of H/V ( $T_p$ ) and depth to gravity basement.

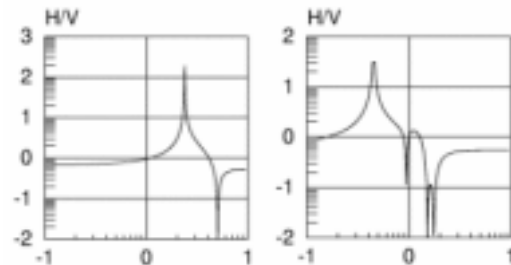


Fig. 10 Ellipticity of Rayleigh waves. Left: 2 layer model for site S-1 ~ S-3, right: 3 layer model for site S-7 ~ S-9.

Table 1 Parameters for Rayleigh waves

	No	H(m)	Vs(m/s)	Vp(m/s)	(g/cm <sup>3</sup> )
2 layers	1	40	300	1,500	1.8
	model 2	-	2,500	4,600	2.5
3 layers	1	75	300	1,500	1.8
	model 2	300	700	2,100	2.0
	3	-	2,500	4,600	2.5

まで系統的に変化している。観測点S-1~S-6は山際から盆地平野部に至る斜面上、S-7~S-9とS-13~S-15は大正池の西岸、また、S-10~S-12は田代池方面である。Fig.8において、観測点の位置の丸印は、 $T_p$ の大きさに比例させて描いてある。

Fig.9は、 $T_p$ と重力基盤の深さとの関係である。基盤の深さは、観測点から半径200m以内の重力基盤格子点の平均値である。 $T_p$ と基盤の深さには直線的な関係があり、重力基盤が波動論的な基盤でもあることを示している。なお、

観測点S-6のH/V(Fig.7)は、 $0.5\sim 0.6\text{Hz}$ と $1.5\text{Hz}$ 近辺とにピークがあるが、方位特性の検討からTpとして低周波のピークを選んだ。

次に、このようなピーク周期を与える地盤の大まかな速度構造を1次元モデルにより求めてみる。脈動のH/Vをレーリー波のellipticityで近似したものをFig.10に用いたモデルパラメタをTable 1に示す。表層のS波速度 $300\text{m/s}$ は地震探査実験によって得られた値を用いており、H/Vのピークの位置が合うように試行錯誤で値を選んだ。このような速度層を仮定すると、S\_1~S\_3地点では、基盤の深さは数十m程度になる。S\_7~S\_9地点などの大正池の岸边では、 $300\text{m/s}$ の層が深部まで存在するとは考えられないので、第2層に圧密を受けた速度の大きい層を仮定した。このようなモデルでは、基盤は重力基盤よりやや浅く( $375\text{m}$ )求まる。重力解析における密度値、波動解析における速度値とも、今後最適なものにする必要があるが、脈動観測資料は、重力解析において密度の小さい表層を仮定する際に、モデルに制限を与える手段として使えそうである。

Fig.9に見られるTpと基盤の深さとの比例関係は、脈動の震動モードが主として地盤の1次元構造に支配されていることを表している。しかしながら、Fig.6に示したように、水平動成分は方位特性を持っているので、盆地の2次元構造の影響を受けていることは明らかである。Bard and Bouchon(1985)は、堆積盆地の2次元共振についてモデル計算を行い、盆地の形状とインピーダンス比の違いによる共振モードの変化と地盤の固有周期への影響を議論した。それによると、インピーダンス比が3~4では、形状比(最大の深さと盆地幅の半分との比)が $0.3\sim 0.4$ 以上で2次元共振を起こす。2次元のレスポンスでは、水平方向のモードのため観測点の位置によらず地盤の卓越周期が同じになる。上高地盆地は、Fig.5のB-B'測線に見られるように、重力基盤の形状比は1に近い。しかし、観測されたH/Vは1次元のレスポンスとして説明出来る。このことは、観測されたH/Vが地表近くの速度の違い薄い層(基盤岩との形状比は小さい)に強く支配されているためと解釈すること可能であるが、これについては今後の課題としたい。

梓川は、焼岳噴出以前は現在の焼岳付近を西に流れ、高原川、神通川を経て富山湾に注いでいたが、焼岳の噴火により堰き止められ、現在の流路になったという説がある(降旗, 1998)。現在の基盤が大正池付近で急に深くなっていることは、焼岳の噴火活動や想定されている流路の変遷などに関係して興味深い。

## 5. まとめ

上高地盆地南西部の基盤構造を重力異常により推定した。堆積層と基盤との密度差を $0.3\text{g/cm}^3$ とした3次元均質2層モデルは、梓川に沿って典型的な山間盆地の形状を示している。基盤は、田代池付近から大正池付近に向け急激に落ち込み、最深部の深さは $500\text{m}$ 程度に達する。ただし、表層に密度の小さい層の存在を考慮するなら、 $100\text{m}$ 程度は浅くなる。基盤の深さ分布は脈動のH/Vのピーク周波数の分布と調和しているが、深さの絶対値については今後の検討課題である。

## 参考文献

- 京都大学防災研究所(1978): 昭和52年度焼岳土石流調査報告, 建設省(現国土交通省)松本砂防事務所技術資料, No.29, 4-88.
- 駒澤正夫(1984): 北鹿地方の定量的重力解析について, 物理探査, 37, 123-134.
- 諏訪浩・赤松純平(2002): 土石流のエネルギー損失に占める弾性波成分 第12回環境地質学シンポジウム論文集, 191-194.
- 原山智(1990): 5万分の1地質図幅「上高地」地質調査所.
- 降旗和夫(1998): 梓川の地形, 安曇村誌第1巻自然, 77-94.
- 南安曇郡誌改訂編纂会(1956): 第5章第1節湖沼, 南安曇郡誌(自然編), 243-253.
- Bard, P.Y. and M. Bouchon(1985): The two-dimensional resonance of sediment-filled valleys, Bull. Seis. Soc. Am., 75, 519-541.
- Suwa, H., J. Akamatsu and Y. Nagai(2003): Energy radiation by elastic waves from debris flows, Proc. 3rd Int'l Conf. on Debris-Flow Hazards Mitigation: Mechanics, Prediction, and Assessment, 895-904.
- Suwa, H., Yamakoshi, T. and Sato, K.(2000): Relationship between debris-flow discharge and ground vibration, Proc. 2nd International Conference on Debris-Flow Hazards Mitigation: Mechanics, Prediction, and Assessment, 311-318.

Bedrock structure of Kamikochi basin at the foot of Yakedake Volcano inferred from gravity anomaly and vibrational characteristics of microseisms

Junpei AKAMATSU, Hiroshi SUWA, Nobuo ICHIKAWA  
and Masao KOMAZAWA\*

\* Geological Survey of Japan, AIST

#### Synopsis

Bedrock structure of the southwestern part of Kamikochi basin at the foot of Yakedake Volcano was studied with gravity anomaly and vibrational characteristics of microseisms. 3D gravity basement structure was obtained using Bouguer anomaly. In the analysis, the regional trend was filtered with upward continuation technique. As a result, typical gravity basement for intra mountain basin was obtained: (1) basement subsides with sharp edge along basin boundaries at the foots of mountains as suggested with surface topography and (2) basement subside steeply from the area of 150m deep around Tashiroike Swampland to Taishoike Lake area of 500m deep.

Horizontal-to-vertical spectral ratios (H/V) of microseisms were examined. The shapes of H/V vary with azimuth of horizontal component, suggesting the effect of three-dimensional bedrock configuration. However, we found very good correlation between peak period of H/V and depth to the gravity basement.

Keywords: Bouguer gravity anomaly, intra mountain basin, H/V of microseisms.