

## 高精度地盤構造推定のための微動・重力・磁気の 統合観測システムと同時逆解析法の開発

A New Development of Inversion Technique to Estimate 3-D Ground  
Structure using Microseism, Gravity, and Magnetic Surveys

盛川 仁 (MORIKAWA HITOSHI)

東京工業大学・大学院総合理工学研究科・教授



### 研究の概要

地盤の3次元構造は地震動予測において非常に重要な情報である。本研究は、微動、重力、磁気という3つの異なる物理量を測定し、それらを同時逆解析することによって地盤構造モデルを推定する手法を確立することを目指している。そのために、解析手法と観測システムに関する要素技術を構築し、それらを統合することで新しい物理探査手法を開拓する。

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：社会・安全システム科学・自然災害科学

キーワード：被害予想・分析・対策，地盤構造探査

#### 1. 研究開始当初の背景

地盤構造、特に深い基盤の3次元形状を詳細に知ることは、地震動予測を行う上で非常に重要である。しかし、従来の物理探査手法では都市域程度の広さを持つ地盤構造を短時間で安価に推定することは容易ではない。

地盤構造に関連する物理量には、剛性と密度のように互いに高い相関を有するものがある。そのような関係をうまく活用することで地盤構造推定時の制約条件を厳しくすることができる。そのため、ひとつひとつの物理探査手法における精度がそれほど高くない場合でも、結果的に得られる地盤構造のモデルの精度は高いものとなることが期待される。

#### 2. 研究の目的

このような観点から、ひとつひとつの観測コストがそれほど大きくない微動、重力、磁気探査の3つの記録を同時に解析することで高精度に地盤の3次元構造を推定する手法を開発することが本研究の目的である。また、効率よく都市程度の広さの領域での観測を実現するために、重力と磁気については、自動車や無人ヘリコプターのような移動体にセンサーを搭載して移動しながら同時観測することで、観測の手間を大幅に軽減するための手法を確立する。

#### 3. 研究の方法

本研究では、大きく分けて「地盤構造推定アルゴリズムの構築」と「観測システムの開

発」という2つのテーマについて研究を行う。前者では異なる物理量の併合処理による地盤構造の逆解析手法の開発を、後者では移動体上での観測方法の開発を行う。

#### 4. これまでの成果

##### (1) 地盤構造推定アルゴリズムの構築

まず、最初に物理量として不安定な微動探査の精度を高めるために、位相速度の推定結果に非白色ノイズが及ぼす影響とその確率的特性を解析的に明らかにした。さらに、地震波干渉法を併用することで水平成層ではない地盤でも速度構造の推定精度を高める手法を提案した。

次に、微動と重力の記録から三次元多層地盤構造を推定する手法を開発した。この手法は、微動によって得られた基盤深度を制約条件にするだけでなく、密度と速度の関係を導入して、位相速度と重力異常を同時に満足するような地盤構造の推定しようとするものである。

さらに、重力と磁気の記録を同時に用いることで地表近くにまで達していると考えられる密度境界を検出するアルゴリズムを開発した。重力異常と磁気異常の間に成立するポアソンの式を応用して、境界位置に関する分解能は高いにもかかわらず、微小な異常体への感度は低いという相反する条件を満足する手法を実現した。図1に示されているとおり、本手法で抽出された密度境界は地質断面に見られる地層境界と高い相関を示して

いる。このことは、提案手法が十分に実用的な手法であることを示している。

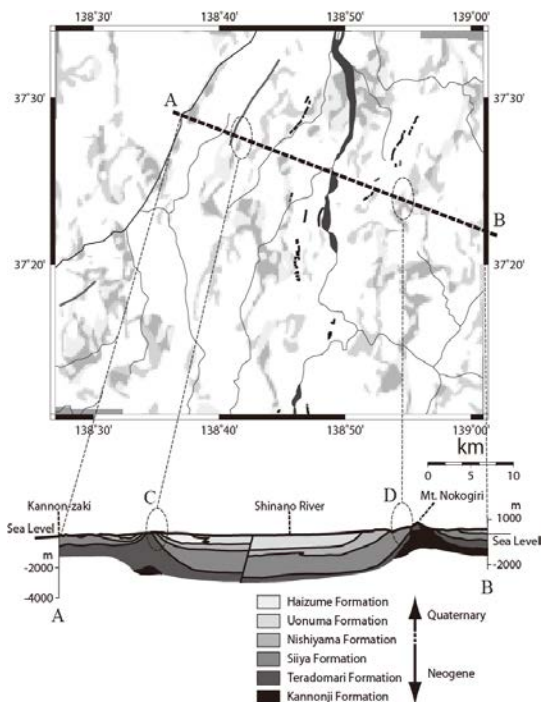


図1 重力と磁気データから抽出された密度境界の一例(濃い灰色ほど密度境界である可能性が高く、地質断面と高い対応を示している)

## (2) 観測システムの開発

移動体を用いた観測では大きな振動のもとで微小な重力値を検出する必要がある。そのためセンサーとデータロガーには高い分解能と広いダイナミックレンジという互いに相反する条件を同時に満足することが求められる。このような条件を高いレベルで満足する既存の装置が得られなかったため、データロガーおよび加速度センサーをそれぞれ新規に開発した。いずれも、これまでになく全く新しい方法によって実現しており、性能試験によってその高い性能が確認された。

移動体上の重力計からの出力信号は移動体の振動によって重力の微小な変化がマスクされている。適切な方法で重力値のみを抽出する必要がある。そこで、ブラインド信号分離(BSS)、経験的モード分解法(EMD)などを応用して重力値のみを抽出する手法を検討した。その結果、いずれの方法もある程度の精度で重力値に対応する信号を抽出可能であることが明らかとなった(図2)。しかし、その一方でいずれの方法にも長所短所があることも明らかとなった。

移動体の運動履歴や姿勢を正確に計測するためにGPSを4個用いた計測手法を検討した。搬送波位相を用いることで高い精度を実現できることを確認したが、重力異常を抽出するには精度が不十分であることも同時に明らかとなったため、ジャイロを併用する手法を検討することとした。

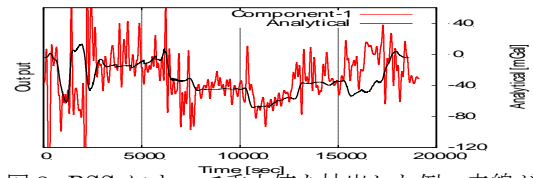


図2 BSSによって重力値を抽出した例。赤線が本研究による解析結果、黒線が既存のデータから期待される重力変化

## 5. 今後の計画

微動・重力・磁気の3つの異なる物理量のうち2つずつの組み合わせについて得られている併合処理手法を拡張し、3つを用いた同時逆解析によって地盤構造を推定する手法を開発する。また、移動体の運動履歴の測定精度を高めると共に、重力計の出力からこれらの影響を取り除いて重力値を抽出するアルゴリズムを完成させる。

解析手法の精度向上とともに、センサーの改良を引き続き実施して計測データ自体の精度向上を図る。

最後に、微動、重力、磁気既知の地域において、本研究で開発されたシステムを用いて実際に観測を実施するとともにその記録から地盤構造を推定し、本研究で得られた手法の妥当性を検証する。

## 6. これまでの発表論文等(受賞等も含む)

松尾寛子・盛川仁・松田滋夫・徳江聡・駒澤正夫・楠本成寿：フォースバランス型加速度計を用いた簡易相対重力計開発のための基礎的研究，土木学会論文集 A1 特集号(掲載決定)

荒木正之・盛川仁・伊藤貴盛・谷川正真・松本敬太郎：A/Dコンバータのハイブリッド利用による広ダイナミックレンジのデータロガーの開発，日本地震工学会論文集，第11巻，第3号，2011.8，pp.59-72.

Morikawa, H., Tanigawa, M., Kobayashi, T., and Matsuo, H., "Preliminary analysis for ground structure around source region of 2008 Iwate-Miyagi Nairiku Earthquake," *Journal of Civil Engineering and Architecture*, Vol.5, No.2, 2011.2, pp.175-179.

佐伯昌之・盛川仁・松田滋夫：ラジコンヘリコプター動的姿勢計測のための1周波GPS測位解析アルゴリズムの開発，第13回日本地震工学シンポジウム論文集，2010.11，pp.2293-2298.

盛川仁・大堀道広・飯山かほり：微動の2点同時観測から求められる空間自己相関係数と位相速度に関する一考察，日本地震工学会論文集，第10巻，第2号，2010.5，pp.89-106.

ホームページ等

<http://quake.enveng.titech.ac.jp/airgrav/>