

## 東北地方 2011 年津波被災地における空中電磁探査

### Helicopter-borne EM survey over coastal areas inundated by the tsunami of March 11, 2011, in northeast Japan

大熊 茂雄<sup>1\*</sup>, 上田 匠<sup>1</sup>, 光畑 裕司<sup>1</sup>, 神宮司 元治<sup>1</sup>, 内田 利弘<sup>1</sup>

Shigeo Okuma<sup>1\*</sup>, Takumi Ueda<sup>1</sup>, Yuji Mitsuhata<sup>1</sup>, Motoharu Jinguji<sup>1</sup>, Toshihiro Uchida<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 産業技術総合研究所 地質調査総合センター

<sup>1</sup> Geological Survey of Japan, AIST

2012年6月に2011年津波被災地(仙台平野南部と福島県松川浦地域)における塩水の地下への浸透状況およびその下位の淡水性地下水の分布を把握することを目的として、ヘリコプターによる空中電磁探査を実施した。本調査は、2004年スマトラ沖地震の後にBGR(ドイツ連邦地球科学・天然資源研究所)がスマトラ島で行った同様の調査に次ぐ、世界でも二例目の調査である。

調査では、100m間隔で設定した東西方向の測線上で5周波数(340 Hz, 1.5, 6.9, 31, 140 kHz)の水平コイルと1周波数(3.3 kHz)の鉛直コイルで磁場を送受信し、電磁応答データを測定した。測定データを処理し、見掛け比抵抗データを周波数毎に作成した。

最も高い周波数(140 kHz)の見掛け比抵抗分布は地下の極浅部(~5m程度)の分布を示すもので、仙台平野南部の海岸線付近では4.0 ohm・m以下の非常に低い比抵抗を示し、塩水くさびのためと考えられる。海岸線から西方に数kmの内陸に渡る地域では、20ohm・m程度以下の低比抵抗層が広く分布し、その分布範囲の陸側境界は津波浸水域の末端部に良く一致する。これは、塩水(比抵抗0.25 ohm・m)の浸水が土壌や浅部地質(通常は数10 ohm・m以上)の比抵抗を低下させているものと考えられる。松川浦地域においても、同様であるが、海岸線より内陸に仙台平野南部より広い範囲で4.0 ohm・m以下の非常に低い比抵抗を示す。これは、当該地域が仙台平野南部地域より海水が長く滞留していたためと考えられる。

また、仙台平野南部地域の地下20~30m以深では、2.0~11.0 ohm・mの低比抵抗層が海岸線付近から内陸にむけて伸びており、農業用排水路など所々では地下浅部でも顕著であり、塩水くさびや化石塩水に対応すると考えられる。これらの低比抵抗層に囲まれた相対的な高比抵抗層も分布し、淡水性地下水の存在を示唆する可能性がある。

当該地域では、空中電磁探査による見掛け比抵抗分布の妥当性の検討のため、またより深部の比抵抗構造を明らかにするため、地上で電磁探査と高密度電気探査を実施している。今後はこれらのデータと比較検討を行うとともに、ボーリングを実施し、空中電磁探査の結果明らかとなった低比抵抗層に囲まれた相対的な高比抵抗層が、淡水性地下水の存在によるものか等を確認する予定である。

キーワード: 空中電磁探査, 比抵抗, 2011年東北地方太平洋沖地震, 津波, 地下水環境, 塩害

Keywords: airborne EM survey, resistivity, the 2011 Off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake, tsunami, groundwater environment, salt damage

## Three-dimensional electromagnetic modeling of topographic effects on electromagnetic field induction by GREATEM surveys Three-dimensional electromagnetic modeling of topographic effects on electromagnetic field induction by GREATEM surveys

Sabry Abd Allah<sup>1\*</sup>, Toru Mogi<sup>1</sup>, Elena Fomenko<sup>2</sup>  
Sabry Abd Allah<sup>1\*</sup>, Toru Mogi<sup>1</sup>, Elena Fomenko<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ISV, Faculty of science- Hokkaido university, <sup>2</sup>Moscow state university, Russia

<sup>1</sup>ISV, Faculty of science- Hokkaido university, <sup>2</sup>Moscow state university, Russia

A grounded electrical source airborne transient electromagnetics (GREATEM) survey was performed at Kujukuri beach in central Japan, where an alluvial plain is dominated by sedimentary rocks and shallow water. A reliable resistivity structure was obtained at a depth range of 300-350 m both on land and offshore, in areas where low-resistivity structures are dominant (Ito et al., 2011). Another GREATEM survey was performed at northwestern Awaji Island, where granitic rocks crop out onshore. Underground resistivity structures at depths of 1 km onshore and 500 m offshore were revealed by this survey. The absolute resistivity found onshore was much lower than existing results. To circumvent this problem and understand the reason for the inaccurate results, we used a three-dimensional (3D) electromagnetic (EM) modeling scheme based on the staggered-grid finite-difference (FD) method (Fomenko and Mogi, 2002) to study the effects of oceanic saltwater (or the sea effect) on EM field induction when conducting GREATEM surveys at coastal areas with topographic features. Topography in our model was represented as an anomaly ( $1\text{E-}8$  S/m) in the air layer. We selected a 3D-topographic model consisting of a topographic feature ( $1\text{E-}2$  S/m) placed on top of a uniform half-space earth medium ( $1\text{E-}3$  S/m). The resistivity contrast was  $1\text{E}+6$  times between the air and the topography. In the topographic area we used X: 50 x Y: 50 x Z: 25 m cells. Outside the topographic area, irregular cells were used. The total number of nodes was  $52 \times 38 \times 32 = 63232$  cells. The computation was done for four topographic slope angles (90, 45, 26.5 and 14 Degree). A horizontal electric dipole source was directed along the y-axis situated at the origin ( $x = -1500$ )

The most significant effect of topography on EM field induction occurs at low flight altitudes and gradually decreases with increasing the flight altitude. The topographic effect of steep slope angles (e.g., 90 and 45 Degree) is higher than for gentler slopes (e.g., 26.5 and 14 Degree). Furthermore, the area of the topographic feature closer to the dipole source has a larger effect on EM field induction for several meters.

キーワード: Airborne EM, coast effect, Topography effect, 3D resistivity modeling, GREATEM surveys

Keywords: Airborne EM, coast effect, Topography effect, 3D resistivity modeling, GREATEM surveys

## 水平加速度補正のための厳密解とその使用法 Precise formula for horizontal acceleration correction and method for its effective use

楠本 成寿<sup>1\*</sup>, 瀬川 爾朗<sup>2</sup>  
Shigekazu Kusumoto<sup>1\*</sup>, Jiro Segawa<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 富山大学大学院理工学研究部 (理学), <sup>2</sup> 東京海洋大学

<sup>1</sup>Graduate School of Science and Engineering for Research, University of Toyama, <sup>2</sup>Tokyo University of Marine Science and Technology

We provide a precise formula for horizontal acceleration correction and discuss a method for its effective use in airborne gravity measurements using the SEGAWA airborne (helicopter-borne) gravimeter.

In order to determine a gravity anomaly from the observed acceleration data using a gravimeter, it is necessary to perform vertical acceleration correction, Eotvos correction, normal gravity correction, free-air reduction, and horizontal acceleration correction. These corrections (with the exception of the vertical acceleration correction and horizontal acceleration correction) each have precise individual formulas. The precise formula for the horizontal acceleration correction has not yet been presented because it is considered to be an optional correction. In fact, horizontal acceleration correction is unnecessary if the gravimeter sensor remains vertical at all times.

In previous horizontal acceleration corrections, the equations that give the component acceleration vectors acting on the gravimeter with a platform off-level angle and that give the off-level angle of the platform were linearized. Of course, the linearization of the equations is a valid technique for simplifying calculations and for finding the essence of the problem. In the present horizontal acceleration correction, the linearized equations are normally used because the off-level angle is generally kept very small using a gyroscope. However, this equation cannot deal effectively with sudden large acceleration changes caused by turning which changes the measurement profile.

In this study, we first provide the precise formula mentioned above for horizontal acceleration correction without linearization and evaluate the effects of the nonlinear terms in a new solution. In addition, we suggest a method for estimating the true values of the gravity and the off-level angle by successive iteration because our equation requires the true values to estimate the correction amount by deriving the true gravity value and the off-level angle.

キーワード: 航空重力測定, 水平加速度補正

Keywords: Airborne gravity measurement, Horizontal acceleration correction, Precise formula for horizontal acceleration correction

## 観測データ信号と外的信号の統計的な独立性を用いた重力異常データからのノイズ除去についての基礎的検討 Denoise of Severely Contaminated Gravity Anomaly Data Using Statistical Independence of Source and Perturbation Signals

本田 利器<sup>1\*</sup>, プレム カトリ<sup>1</sup>, 盛川仁<sup>2</sup>  
Riki Honda<sup>1\*</sup>, Prem Prakash Khatri<sup>1</sup>, Hitoshi Morikawa<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 東京大学, <sup>2</sup> 東京工業大学

<sup>1</sup> Univ of Tokyo, <sup>2</sup> Tokyo Institute of Technology

### 1. Introduction

Gravity anomaly, which is caused by the spatial distribution of stiff (heavy) layer, is used for the estimation of ground structure. For the improvement of usability and applicability, Morikawa et al.[1] has been working on the development of compact gravity observation system using force-balance (FB) accelerometer. It has a difficulty that the observed data is severely contaminated by various kinds of disturbances such as tilting motion of the carrier vessel. This report presents a scheme to extract the gravity anomaly signal from the noise-contaminated observed data, by exploiting the statistical independent property of gravity anomaly data and other perturbation signals. Although the final objective is to measure the gravity anomaly by using the air plane or some other aviation carrier, as a basic study of the research, this paper works on the results obtained by the ship in the Toyama Bay.

### 2. Methodology

As a scheme of considering independence of signals of source and other signals, blind source separation (BSS) techniques are used. Second Order Blind Identification method (SOBI)[2] separates signals from different sources by exploiting the statistical property of data. It separates the target source by assuming that source and unwanted data are un-correlated at various time-lags. Similar scheme is also implemented with the Independent Component Analysis (ICA), which separates the sources by maximizing the independence of linearly transformed observed signals. The method is referred to as ThinICA[3].

### 3. Data Observation

The presented schemes are applied to the data obtained by the field survey which was conducted at The Toyama Bay area, Japan. The carrier vessel was a middle size ship of 55 long. As the reference for comparison, we use the data generated based on the reliable data measured by AIST (National Organization of Advanced Industrial Science and Technology) by considering the Eotvos effect due to the location of the carrier and the free air anomaly, etc.

### 4. Results

It was found that application of low pass filtering (LPF) is efficient as a pre-process of observed data. Both SOBI and ICA worked well after the data is processed by low pass filter (LPF). As for the applicability of devices, combination of VSE data and vertical component of accelerometer Titan (Taurus-Z) were found to be suitable for our data set. It was also discussed that the motion of the carrier vessel influences the performance of noise removing algorithm. Under certain conditions, the proposed method was not able to salvage the gravity anomaly data from the observed data with the accuracy sufficient for the purpose of identification of gravity anomaly distribution. It was difficult, for example, to salvage the gravity data from the data obtained during the ship is stopped. Comparison of the LPFed observed data and the data extracted by the presented method using SOBI and ThinICA show that they are at acceptable level for the purpose of subsurface modeling. It would require, however, improvement for the application for the data obtained by the aviation carrier devices such as unmanned helicopter.

### 5. Conclusion

The noise removal method for the highly contaminated data to salvage the target data is discussed. The method is applied to the observed data from Toyama. It requires the condition for the mobility of carrier vessel. For the purpose of data obtained using the aviation device, considerable improvement of performance is required.

### REFERENCES

- [1] Matsuo, H. et al. Proc. 31st JSCE Earthq Engng Sympo, pp. Paper No. 1?052, 11 2011. (in Japanese).
- [2] Belouchrani, A. et al. IEEE Transactions on Signal Processing, Vol. 45, pp. 434?444, 1997.
- [3] Cruces, S. and Cichocki, A. ICA2003, 4 2003.

# Japan Geoscience Union Meeting 2013

(May 19-24 2013 at Makuhari, Chiba, Japan)

©2013. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.



STT55-P04

会場:コンベンションホール

時間:5月22日 18:15-19:30

キーワード: 重力異常, 独立成分分析

Keywords: Gravity Anomaly, Independent Component Analysis

## 直交座標系における固有関数展開を用いた空中磁気データの正則化 Regularization of the aeromagnetic data using eigen-function expansion in Cartesian coordinate system

宇津木 充<sup>1\*</sup>Mitsuru Utsugi<sup>1\*</sup><sup>1</sup> 京都大学大学院理学研究科<sup>1</sup> Kyoto Univ.

地殻中の岩石磁化分布による磁気異常を計測する有力な手法の一つに空中磁気観測がある。これは磁力計を飛行機などに搭載し空中から地磁気分布を計測するものである。しかしこうした観測では飛行高度の調整が難しいため得られるデータは非平面上のデータとなる。さらに近年、特に火山における観測では、詳細な磁気異常分布を計測する為ヘリコプターを用い低速で地形に沿った飛行を行う方法が多く用いられている。しかしこうした観測では、観測面の曲率により磁気異常分布が歪められる為飛行高度の補正を行う必要がある。

磁場や重力などのポテンシャルデータは、ある面上で稠密な観測が行われた場合そのデータを用いその面周辺の3次元的な場を推定する事が出来る。観測面上方の場の推定を上方接続、下方の推定を下方接続という。こうした方法を用い、地形に沿った等高度面上などの磁気異常分布を推定する事が行われている。非平面で得られたデータの上方・下方接続には等価磁気ソースを用いたインバージョンで場を推定する方法が一般に用いられる。しかしこの方法の問題点は、インバージョンにより解くべき観測方程式が疎行列で表されるため計算コストが大きくなるという点にある。この点を改良すべく、本研究ではラプラス方程式の固有関数を用いたデータ正則化手法を提案する。この方法では、観測方程式が疎行列で表し得るので計算コストの軽減が期待できる。

一般に、ソースを含まない領域中でポテンシャルはラプラス方程式を満足するが、その解は領域の境界で与えられる境界条件により決まる。本研究では、領域  $V = \{(x,y,z): -L_x \leq x \leq L_x, -L_y \leq y \leq L_y, z_0 \leq z \leq z_1\}$  を考え、その境界で以下の条件を課した。

$$(x = \pm L_x, y, z) = 0, \quad (x, y = \pm L_y, z) = 0, \quad (x, y, z = z_0) = 0$$

一般に地磁気は距離の減衰の効果が大きいので、観測対象領域内にソースを持つ磁気異常の振幅は十分遠方で殆ど0となる。上の条件はこの事を考慮している。

ラプラス方程式を変数分離し、上の境界条件を課す事で基本解が得られる。その場合、解は  $x$ - $y$  平面において2次元ラプラス方程式の固有関数となり、これに  $z$  の exponential を掛けたものが3次元の基本解となる。またこの基本解は、 $V$  内での体積積分で表される内積について直交関係を持つ。こうして領域  $V$  内のポテンシャル分布を基本解の重ね合わせで表現する事が出来、さらに直交性から  $V$  内の体積積分でその展開係数を求める事が出来る。この関係のある観測面で得られた稠密な磁場データに適用する事で、展開係数を見積もり  $V$  内の3次元的な磁場分布を推定する事が出来る。この操作は、観測データから展開係数を逆問題で解く事に帰着される。

この計算方法の利点は、基本解が固有値  $\times z$  の exponential で表されるので固有関数の次数が高くなると十分速く減衰する為、適当な閾値で打ち切る事で解くべき観測方程式が疎行列で表現される事にある。

但し上記の方法だけでは、データにノイズが含まれている場合それが磁場分布の推定結果にそのまま反映されてしまう。この為本研究では、展開係数が波数空間上で滑らかな分布を持つと仮定し波数空間における平滑化拘束条件を付与する事でノイズリダクションのスキームを与えた。この際、拘束条件の重み係数の選択に任意性が残るので赤池ベイズ情報量基準 (ABIC) を用い最適な係数 (ハイパーパラメータ) を選択した。ABIC は観測方程式を直接法で解かなければならないが、先に述べたように観測方程式が疎行列で表現されるため現実的な時間で解を求める事が出来る。

本発表ではこの計算方法の理論計算例、実観測データに適用した例を紹介し、その有効性について議論する。

キーワード: 空中磁気観測, 上方接続, 下方接続, データ正則化

Keywords: aeromagnetic observation, upward continuation, downward continuation, regularization

## 空中磁気探査による雲仙岳の磁化構造解析 Analysis of the magnetization intensity in Mt. Unzen using an air-borne magnetic survey data

結城 洋一<sup>1\*</sup>, 黒木 瑞昭<sup>1</sup>, 中山 英二<sup>1</sup>  
Youichi Yuuki<sup>1\*</sup>, Mizuaki Kuroki<sup>1</sup>, Eiji Nakayama<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 応用地質株式会社

<sup>1</sup> OYO Corporation

国土交通省九州地方整備局雲仙復興事務所が発注した「平成24年度空中物理探査解析外業務」において、今後の防災対策の基礎資料とするために、雲仙岳溶岩ドーム及びその周辺の空中物理探査及び解析、航空レーザ測量を実施した。

空中物理探査は空中電磁探査、空中磁気探査を実施したが、空中磁気探査結果について三次元インバージョン解析を行い、地表から深度1000m程度までの磁化構造を求めた。また、1999年に長崎県島原振興局が実施した空中磁気探査結果との変化を見るために磁気異常の差分を求めた。さらに、差分結果に対して三次元インバージョンを行い、地下の磁化構造の変化を三次元的に捉えた。

本発表では、2時期に実施した空中磁気探査結果から求めた磁化構造の変化から、雲仙岳の地表面及び深部の地下構造を推定した結果を発表する。

キーワード: 空中磁気探査, 空中物理探査, 三次元インバージョン, 雲仙岳, 溶岩ドーム, 斜面崩壊

Keywords: Airborne magnetic survey, Airborne geophysics, Three-dimensional inversion, Mt. Unzen, Lava dome, slope failure

## 姫川流域における深層崩壊の発生の恐れのある斜面に対する空中電磁探査 The airborne electromagnetic survey to the slope with high risk of deep catastrophic land- slide in the Himekawa basin

一色 弘充<sup>1\*</sup>, 森田 耕司<sup>1</sup>, 石塚 忠範<sup>1</sup>, 判田 乾一<sup>2</sup>, 石川 一栄<sup>2</sup>, 宮澤 和久<sup>2</sup>, 伊藤 哲雄<sup>3</sup>, 滝川 義治<sup>3</sup>  
Hiromitsu ISSHIKI<sup>1\*</sup>, MORITA, Kouji<sup>1</sup>, ISHIDUKA, Tadanori<sup>1</sup>, HANDA, Kenichi<sup>2</sup>, ISHIKAWA, Kazuei<sup>2</sup>, MIYAZAWA,  
Kazuhisa<sup>2</sup>, ITOH, Tetsuo<sup>3</sup>, TAKIGAWA, Yoshiharu<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 独立行政法人土木研究所 土砂管理研究グループ, <sup>2</sup> 国土交通省北陸地方整備局 松本砂防事務所, <sup>3</sup> 株式会社キタック  
<sup>1</sup>Public Works Research Institute, <sup>2</sup>MLIT Matsumoto Sabo Office, <sup>3</sup>Kitac Corporation

姫川流域では、稗田山の崩壊をはじめとして、過去に大規模な深層崩壊が多数生じており、多くの地すべりや大規模崩壊跡地が分布している地域である。国土交通省では、「深層崩壊の発生の恐れのある渓流抽出マニュアル(案)」に基づき調査を行い、渓流レベル評価結果を公表しているが、姫川流域では相対的に危険度が高い渓流が抽出されている。

さらに深層崩壊の発生の恐れのある斜面の絞り込みに対して、空中写真判読や数値標高モデルから抽出する手法や、レーザープロファイラー地形図を用いた評価手法などが研究されているが、広範囲に地下構造を取得し深層崩壊の深度方向の情報を得るためには空中電磁探査を用いた評価手法が有効である。

本研究では、姫川流域のうち、特に深層崩壊の恐れの高い浦川上流域および大所川中流域を対象として空中電磁探査を行い、三次元比抵抗分布の把握を行った。そして、ある特定の斜面に対してボーリング調査や孔内試験を行い、空中電磁探査結果による比抵抗分布図と比較することで、深層崩壊の恐れのある層厚の抽出手法について検証した。

キーワード: 深層崩壊, 空中電磁探査, 比抵抗, 微地形, 飽和度

Keywords: deep catastrophic landslide, airborne electromagnetic survey, resistibility, microtopography, saturation