

単発エンジン航空機搭載型放射伝達スペクトルスキャナ（ARTS-SE）の試験観測飛行

Validation flights of the Airborne Radiative Transfer spectral Scanner for a Single-Engine aircraft (ARTS-SE)

*實淵 哲也¹

*Tetsuya Jitsufuchi¹

1. 防災科学技術研究所

1. National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention

防災科研は2015年6月に単発エンジン航空機搭載型放射伝達スペクトルスキャナ（the Airborne Radiative Transfer Spectral Scanner for a single-engine aircraft (ARTS-SE)）を開発した。ARTS-SEの搭載航空機は単発エンジン機であるセスナ208である。

ARTS-SEは2つのイメージングユニットから構成される。それらのユニットは、push-broom方式のイメージングスペクトロメーターとカメラシステムからなる。ARTS-SEのpush-broom方式のイメージングスペクトロメーターユニットは、可視・近赤外光域の380～1,100nmと赤外光域の8,000～11,500nmの波長域を観測する。このユニットは、2つのセンサーヘッドユニット（SHU）から構成される。それらは可視・近赤外（VNIR）SHUと赤外（LWIR）SHUよりなる。これらのSHUは、我々が先に製作したARTSのSHUを改造し実現した。ARTS-SEのカメラユニットは4つのカメラで構成される。その2つは可視カメラ、他の2つは熱赤外カメラである。

ARTS-SEの観測情報を火山観測等に活用するためには、ARTS-SEの試験観測を実施し、その性能を評価することが重要である。そのため防災科研では、性能評価のための試験観測として、幾何補正精度評価の為にバンドル調整観測飛行（愛知県）および火山試験観測（浅間山、箱根山（大涌谷））を2015年の晩秋に実施した。浅間山と箱根山（大涌谷）の試験観測では地熱活動を検出できた。我々は現在、バンドル調整観測飛行のデータを解析し、観測データの幾何補正に関するパラメータ導出や精度評価を実施中である。

キーワード：航空機搭載型超多波長画像分光装置、火山観測、赤外リモートセンシング

Keywords: airborne hyperspectral imager, volcano observations, infrared remote sensing

富士火山地域高分解能空中磁気異常図に認められる磁気異常分布の特徴について

Characteristics of magnetic anomalies on a high-resolution aeromagnetic anomaly map of Fuji Volcano

*大熊 茂雄¹、中塚 正¹、中野 俊¹、佐藤 秀幸²、大久保 綾子³*Shigeo Okuma¹, Tadashi Nakatsuka¹, Shun Nakano¹, Hideyuki Satoh², Ayako Okubo³

1.産業技術総合研究所 地質調査総合センター、2.原子力規制庁、3.(株)ハイドロソフト技術研究所

1.Geological Survey of Japan, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST), 2.The Secretariat of the Nuclear Regulation Authority, 3.Hydro-soft Technology Institute Co., Ltd.

産総研では、今回富士火山地域の空中磁気データを再処理し、「富士火山地域高分解能空中磁気異常図」（印刷中）を編集した。当該磁気異常図は、2003年に行われたと富士火山地域高分解能空中磁気探査と2007年に行われた富士火山東部地域高分解能空中磁気探査の両調査データに最新の処理を行って作成したものである。当該の磁気異常図を参照すると、富士火山においては、第一次近似的に山体が一様磁化していると仮定した場合の地形の影響で観測磁気異常を説明できるものの、北西および南東斜面では側火山の火口列や溶岩流の分布に対応した高磁気異常も認められる。一方、北東斜面中腹でも鷹丸尾溶岩の分布に対応した数条の高磁気異常が分布し、さらに下流側の山中湖方向には長波長の高磁気異常が重畳し、広域の磁気異常図で認められる丹沢山塊の花崗岩類に対応した高磁気異常に連続すると考えられる。一方、東斜面の須走口登山道南方付近には顕著な東西性の磁気異常が分布するものの、標高1,300m付近よりその東方（下流側）に連続しない。磁気異常の原因として当該地域にはより高磁性の地質が伏在していると推定される。

キーワード：富士火山、空中磁気異常図、磁気異常

Keywords: Fuji Volcano, aeromagnetic anomaly map, magnetic anomaly

低高度磁気データから推定した十勝岳の3次元磁化構造

High resolution three-dimensional magnetization mapping in Tokachidake Volcano using low altitude airborne magnetic survey data

*岩田 光義¹、茂木 透¹、大熊 茂雄²、中塚 正²

*mitsuyoshi iwata¹, Toru Mogi¹, Shigeo Okuma², Tadashi Nakatsuka²

1.北海道大学 大学院 理学研究院 附属地震火山研究観測センター、2.独立行政法人産業技術総合研究所 地質情報研究部門

1.Institute of Seismology and Volcanology, Faculty of Science, Hokkaido University, 2.Geological Survey of Japan, AIST

Tokachidake Volcano, central Hokkaido erupted in 1926, 1962 and 1988-1989 from the central part, in the 20th century. In recent years, the volcano is getting active at the 62-2 crater and the Taisho crater. A low altitude airborne magnetic survey was conducted in 2014 mainly over the active area of the volcano by the Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism to manage land slide risk in the volcano. We have re-analyzed the aeromagnetic data to delineate three-dimensional magnetic structure of the volcano.

The survey was flown at an altitude of 60 m above ground by a helicopter with a Cesium magnetometer in the towed-bird 30m below the helicopter. The low altitude survey enables us to delineate the detailed magnetic structure. We calculated magnetic anomaly distribution on a smooth surface assuming equivalent anomalies below the observation surface. Then the 3D magnetic imaging method (Nakatsuka and Okuma, 2014) was applied to the magnetic anomalies to reveal the three-dimensional magnetic structure. In this analysis, the magnetic structure with a thickness of 3,000 m was assumed as the initial model. As a result, magnetization highs were seen beneath the Ground crater and other craters around the summit of Tokachidake (62-2 crater, Ground crater, Nokogiridake crater, Suribachi crater and Kitamuki crater). This implies that magmatic activity occurred in the past at these craters. These magma should have already solidified and acquired strong magnetization. Relative magnetization lows were seen directly under the 62-2 crater and beneath the Ansei crater. This implies that these areas are still hot since the magma activity continues.

As described above, the distribution of magnetization can help us to better understand the subsurface structure of Tokachidake Volcano. However, its intensity seems to be more or less low overall compared to previous rock magnetic studies (i.e. Uesawa, 2008). This disagreement might be improved by more appropriate assumptions especially about the thickness of the magnetic model. This point should be further studied in detail.

Acknowledgement

We would like to thank the Asahikawa Development and Construction Department, Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism for providing the airborne magnetic survey data of Tokachidake Volcano.

キーワード：十勝岳、磁気異常、空中磁気探査

Keywords: Tokachidake, magnetic anomaly, aeromagnetic survey

Three-dimensional Inversion of Grounded Electrical-source Airborne Transient Electromagnetic (GREATEM) Survey Data

*Sabry Abd Allah¹, Toru Mogi¹, Kim Hee³, Elena Fomenko²

1.Institute of siesmology and volcanology-faculty of science, HOKKAIDO UNIVERSITY, 2.Formerly, Moscow State University, Russia , 3.Department of Energy Resources Engineering, Pukyong National University, Korea

Studies have shown that Grounded Electrical-Source Airborne Transient ElectroMagnetics (GREATEM) is a promising method for resistivity structures investigating in coastal areas, in addition to inaccessible areas such as volcanoes, mountains and deep forest cover. To expand the application of the GREATEM system, a three-dimensional (3-D) resistivity model that considers large lateral resistivity variations is required. In this paper, we present a frequency- domain 3-D electromagnetic (EM) inversion approach that can be applied to time domain data from GREATEM. In the frequency-domain approach, TEM data were Fourier-transformed using a smooth-spectrum inversion method, and the recovered frequency response was then inverted. To deal with a huge number of grids and a wide range of frequencies in airborne datasets, a method for approximating sensitivities is introduced for efficient 3-D inversion. Approximate sensitivities are derived by replacing adjoint secondary electric fields with those computed in the previous iteration. These sensitivities can reduce the computation time without significant loss of accuracy. Firstly, we verified both of our forwarding and inversion solutions. We then applied this approach to the GREATEM survey data from Kujukuri beach, central Japan. The inverted results of the field data are well fit with the previous study results at Kujukuri area, suggesting the applicability of this inversion approach for constructing 3D resistivity models from the GREATEM field survey data in the future.

Keywords: Airborne EM, , GREATEM, 3-D inversion, Frequency-domain inversion., 3-D forward modeling

深層崩壊斜面で実施された空中電磁探査による比抵抗構造と地盤内部構造の関係

Relationship between Resistivity Distributions by Airborne Electromagnetic Method and Underground Structure

*高原 晃宙¹、瀬戸 秀治¹、野池 耕平¹、森 加代子¹、木下 篤彦¹、水野 秀明¹、河戸 克志²、奥村 稔²、影浦 亮太²

*Teruyoshi Takahara¹, Shuji SETO¹, Kohei NOIKE¹, Kayoko MORI¹, Atsuhiko KINOSHITA¹, Hideaki MIZUNO¹, Katsushi KAWATO², Minoru OKUMURA², Ryota KAGEURA²

1.国立研究開発法人土木研究所、2.大日本コンサルタント株式会社

1.Public Works Reserch Institute, 2.Nippon Engineering Consultants Co.,LTD.

深層崩壊は、発生頻度は低いが生産される土砂量が多いことから甚大な被害を引き起こす可能性が高い現象である。よって、深層崩壊の発生のおそれのある領域の抽出及び規模を精度良く推定する手法を開発することは重要である。既往研究では、地下の情報を広域に取得できる空中電磁探査手法を用いて、深層崩壊の発生を引き起こす可能性が高い領域において崩壊深を推定する手法の検討が行われている。それらの成果として、深層崩壊が発生した領域では、上層部分が高比抵抗値を示す構造を有することがわかっている。しかし、空中電磁探査によって取得した比抵抗構造が、地質や地下水にどのように影響されて分布しているかを詳細に検討できていない。そこで、本研究では、比抵抗構造と地盤内部構造の関係を把握することを目的とした。

まず、過去に深層崩壊が発生した領域において多雨期と寡雨期の二時期で実施された空中電磁探査の結果から比抵抗分布図を作成し、両者を比較した。次に、同領域で実施されたボーリング調査結果及び孔内水位観測結果から、対象領域での地下水位面を推定した。続いて、比抵抗断面図と推定した地下水位面を比較し、比抵抗分布と地下水位面の関係性について検討した。

検討の結果、以下のことがわかった。広域の比抵抗分布を把握するために作成した地表部分の比抵抗分布図では、多雨期では寡雨期と比べて低比抵抗を示す領域が広いことが認められた。また、鉛直方向に着目し作成した比抵抗断面図では、多雨期での比抵抗分布は寡雨期に比べて比抵抗の急変部分が不明瞭であることが認められた。よって、多雨期及び寡雨期それぞれの時期で実施した空中電磁探査結果に明瞭な差が生じることが確認できた。これは、地中内部の水分分布状況が影響しているものと推察される。また、比抵抗断面図とボーリング調査結果及び孔内水位観測結果の比較から、比抵抗値の急変部と地下水位推定面の位置が概ね一致することが確認できた。

キーワード：深層崩壊、空中電磁探査、比抵抗

Keywords: Deep-seated Catastrophic Landslide, Airborne Electromagnetic Method, Resistivity

重力偏差テンソルの鉛直勾配成分のパワースペクトルと平均境界深度の関係

Relationship between the average depth of a causative layer and the power spectrum of the vertical gradient component of a gravity gradient tensor

*楠本 成寿¹、東中 基倫²

*Shigekazu Kusumoto¹, Motonori Higashinaka²

1.富山大学大学院理工学研究部(理学)、2.株式会社地球科学総合研究所

1.Graduate School of Science and Engineering for Research, University of Toyama, 2.JGI, Inc.

重力偏差テンソルの鉛直勾配成分のパワースペクトルと平均境界深度の関係を導いた。その結果、重力偏差テンソルの鉛直勾配成分のパワースペクトルと平均境界深度の関係は、片対数表示で非線形になることが判明した。

重力偏差探査により、重力偏差テンソルの6成分が観測され、これらを用いた構造解析手法の研究・開発も進められてきている(例えば、Zhang et al., 2000; Beiki and Pedersen, 2010; Barnes and Barraud, 2012; Martinetz et al., 2013)。これらの解析では、特定波長の重力偏差成分を抽出するフィルタリングは、ほとんど実施されてきていない。理由の一つとして、偏差テンソルの各成分の波長特性が、全て異なることが考えられる。

構造解析において、フィルタリングは重要であり、データにフィルタを施す際には、地下構造との関係がある程度判明している必要がある。重力異常の場合、よく知られた重力異常のパワースペクトルと構造の平均境界深度の関係が重要な役割を果たす。重力偏差テンソルの場合、そのような関係式がまだ示されていない。

今後、日本でも重力偏差テンソルデータの取得が進むと、地下構造解析において、各成分についてどのようなフィルタリングが適切かという議論が生じてくると予想される。そこで、重力偏差テンソルのうち、構造解析や解釈の際によく用いられる、鉛直勾配成分のパワースペクトルと平均境界深度の関係を導出した。

本研究で得られた解を、中部九州の九重で取得された重力偏差テンソルの鉛直勾配成分のパワースペクトルに適用し、平均境界深度を推定したところ、ブーゲー重力異常のパワースペクトルから推定される平均境界深度と概ね調和的な結果を得た。一方で、長波長成分については平均境界深度を推定できないという問題や、ほぼ同じ平均境界深度を与える波数域が、鉛直勾配成分では、高波数域に移動し、その幅が高波数域ほど広くなる傾向にあるという特性が示された。

[謝辞] 九重地域の重力偏差テンソルデータの使用については、独立行政法人 石油天然ガス・金属鉱物資源機構より格別のご配慮を頂きました。記して感謝致します。本研究の一部はJSPS科研費15K14274により行われました。

[文献] Barnes and Barraud, 2012, *Geophysics*, 77, G1-G11.; Beiki and Pedersen, 2010, *Geophysics*, 75, I37-I49.; Martinetz et al., 2013, *Geophysics*, 78, B1-B11.; Zhang et al., 2000, *Geophysics*, 65, 512-520.

キーワード：重力偏差テンソル、スペクトル解析、平均境界深度

Keywords: Gravity gradient tensor, Spectrum analysis, Average depth of causative layer

原因位置推定手法としての引力探査

Gravitation exploration as an estimation procedure of a causative position

*楠本 成寿¹、盛川 仁²*Shigekazu Kusumoto¹, Hitoshi Morikawa²

1.富山大学大学院理工学研究部(理学)、2.東京工業大学大学院総合理工学研究科人間環境システム専攻

1.Graduate School of Science and Engineering for Research, University of Toyama, 2.Department of Built Environment, Interdisciplinary Graduate School of Science and Technology, Tokyo Institute of Technology

重力探査は、鉱床、油田といった様々な地下構造調査のために広く用いられてきた。重力測定手法においても、ラコスト重力計やシントレックス重力計といった可搬型相対重力計のほか、船上重力計や空中重力計、さらにボアホール重力計による測定が精度良く実施されてきている。これに伴い、これらの測定手法に応じた補正法や解析手法が提案されてきている。近年は、重力偏差計を用いた重力偏差テンソルの計測が空中や地中で精力的に行われてきており、テンソルの6成分を用いた半自動解釈手法やインバージョン手法の開発が積極的に進められてきている。これらに対し、重力異常の原因となっている物体の水平引力成分は、地下構造解析に必要とされることが少ないため、これまでほとんど研究対象になってこなかった。しかしながら、近年の重力勾配テンソルを用いた構造解析手法には、 g_x , g_y を用いる計算もある。例えば、オイラー・デコンボリューションにおいて、従来型オイラー・デコンボリューション(例えば, Reid et al., 1990: Geophysics)では g_z , g_{zx} , g_{zy} , g_{zz} で計算を行うが, Zhang et al (2000: Geophysics)により提案されているテンソル・オイラー・デコンボリューションでは、重力異常とその勾配だけでなく、 g_x と g_y 、さらにそれらの勾配も用いられる。また、航空重力測定では、機体の水平加速度補正を行う目的で、鉛直加速度の計測だけでなく、水平加速度の計測も行う。このデータを構造探査に用いるべく、解析方法の考案もなされている(例えば, Anencchione et al., 2006; Geophysics)ため、水平引力成分の研究も今後重要になってくると思われる。本研究では、原因物体に対する引力3成分の関係から、その位置を推定する手法を考案した。この手法は、いわゆるインバージョンではなく、オイラー・デコンボリューションに代表される、半自動解釈手法の一つである。実際の問題解決手法は、オイラー・デコンボリューションに近いが、構造指数を与える必要がなく、解析ウインド幅だけを与える。球を用いた数値実験では、その3次元位置を正確に推定することが出来た。立方体についてはその形状を正確に推定できた。テンソル・オイラー・デコンボリューションとの比較を行ったところ、本手法で推定される構造は、全体的に深く推定されることが分かった。[謝辞]本研究は、JSPS科研費15K14274の助成を受けたものです。記して感謝致します。

キーワード：引力探査、オイラー・デコンボリューション

Keywords: Gravitation exploration, Euler deconvolution