

空中電磁探査を活用した崩壊深度の推定に関する研究

Research on a method of estimating the potential depth of slope failure using the Airborne Electromagnetic Survey

*瀬戸 秀治¹、高原 晃宙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

*shuji seto¹, teruyoshi takahara¹, 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 Research Institute, 2.Nippon Engineering Consultants Co., Ltd.

火山では、直接的な火山活動以外でも、御嶽山（1984年）や栗駒山（2008年）のように、火山体の一部が崩壊し、大規模な土砂災害が発生している。火山における崩壊するおそれのある斜面を調査する技術としては、空中電磁探査に関する研究事例がある。空中電磁探査は、人が立ち入ることができないような過酷な環境での調査や短時間で広範囲を調査する必要がある場合に有効な探査手法であり、ヘリコプターに探査装置を搭載して電磁誘導により地盤の比抵抗情報を非接触で取得することができる。現在、火山活動が活発で社会的影響の大きい15火山で空中電磁探査を活用した火山体調査が実施されている。これらの研究事例では、崩壊するおそれのある大まかな範囲を抽出しているが、斜面単位での抽出や崩壊深度の推定はなされていない。そのため、崩壊するおそれのある斜面を適切に抽出する手法の開発が求められている。

本研究では、まずはじめに、既往崩壊事例から崩壊した斜面の特徴を①キャップロック型②拡大崩壊型③地すべり型の3つに類型化するとともに、キャップロック型の斜面に着目し、地形・地質状況から崩壊するおそれのある範囲を抽出した。続いて、既往崩壊事例について微分フィルタを用いた比抵抗構造解析を行い、崩壊深度が比抵抗急変部に位置することを明らかにした。その結果、キャップロック型の斜面では、比抵抗急変部を抽出することで、崩壊深度を推定できる可能性があることがわかった。

本発表では、北海道駒ヶ岳、浅間山、阿蘇山などの事例について紹介する。

キーワード：空中電磁探査、比抵抗、火山、崩壊深度、微分フィルタ

Keywords: Airborne Electromagnetic Survey, resistivity, volcano, collapse depth, differential filter

周波数領域型空中電磁探査による比抵抗の深度情報に関する研究

Study on the depth information of resistivity using frequency-domain airborne electromagnetic survey

*奥村 稔¹、影浦 亮太¹、河戸 克志¹、高原 晃宙²、瀬戸 秀治²、木下 篤彦²

*minoru okumura¹, Ryota KAGEURA¹, Katsushi KAWATO¹, Teruyoshi TAKAHARA², Shuji SETO², Atsuhiko KINOSHITA²

1.大日本コンサルタント株式会社、2.国立研究開発法人土木研究所土砂管理研究グループ火山・土石流チーム
1.NIPPON ENGINEERING CONSULTANTS CO.,LTD., 2.Public Works Research Institute

空中電磁探査は、電磁誘導現象を利用して空中から地下の比抵抗分布を調査するもので、探査方法の違いから時間領域型と周波数領域型がある。周波数領域型は、複数の固定された送・受信コイルを格納したセンサーを航空機に曳航して計測するもので、時間領域型と比較して探査深度は浅いものの、分解能は高いとされる。周波数領域型空中電磁探査の解析は、まず、測定周波数毎に見掛比抵抗平面図を作成し、次に測定周波数と見掛比抵抗との関係式から求めた探査深度にその見掛比抵抗をプロットして見掛比抵抗断面図が作成される。この比抵抗の深度情報の精度を上げるために、数値モデルを使用したインバージョンに関する研究が進められているが、防災の実務的な観点で検証した事例は少ない。

そこで本研究は、実際の周波数領域型空中電磁探査の測定データを用いて見掛比抵抗断面と一次元インバージョン解析による断面を作成し、地質・地下水情報に基づいて、各々の比抵抗の深度情報について検討した。

まず、付加体分布地域や火山地域における大規模な崩壊や地すべりを含む広域斜面での測定データを収集し、大規模な崩壊斜面や地すべり斜面における見掛比抵抗の深度情報を整理した。その結果、大規模な崩壊斜面や地すべり斜面とその近傍の斜面は、(1)浅部から深部に向かって高比抵抗から低比抵抗となり、その比抵抗コントラストが明瞭なタイプと、(2)浅部から深部に向かって低比抵抗から高比抵抗となり、その比抵抗コントラストが不明瞭なタイプに大別できた。また、土砂の移動形態に着目すると、大規模な崩壊斜面の近傍には、(1)タイプの比抵抗構造を示す斜面が多いことが確認できた。

そこで、(1)タイプを対象として、実際の測定データを用いてSengpiel (2000)の方法での見掛比抵抗断面を作成するとともに、一次元インバージョン解析を行った。さらに、ボーリングで確認された地質と地下水の情報に基づいて、これら深度方向の比抵抗分布の精度を比較検討した。その結果、(1)タイプでは、見掛比抵抗断面と一次元インバージョン解析では、比抵抗が変化する深度がほぼ同程度であることが確認できた。このことから、(1)タイプの場合、Sengpiel (2000)の断面表示方法の妥当性が実際の測定データから確認され、見掛比抵抗断面でも大規模崩壊に関わる概略調査としての精度は確保されていると考えられた。

一方、(2)タイプは、見掛比抵抗断面では明瞭な比抵抗コントラストが得られにくく、定量的な検討は難しいと考えられる。

今後、(2)タイプでの比抵抗の深度情報の精度を上げるために、一次元インバージョン解析による検討を行うとともに、防災実務での適用例がほとんど無い周波数領域型空中電磁探査における二次元や三次元インバージョンについても実際の測定データを適用した研究を進めていきたい。

キーワード：周波数領域型空中電磁探査、比抵抗断面、インバージョン

Keywords: frequency-domain airborne EM, resistivity section, inversion

空中送受信型時間領域空中電磁法探査の適用例

A case study of aerial time domain helicopter EM survey

*平田 諒次¹、結城 洋一¹、プラダン オム¹

*Ryoji Hirata¹, Youichi Yuuki¹, Om Pradan¹

1.応用地質株式会社

1.OYO corporation

空中送受信型の時間領域空中電磁法探査システムは、海外では以前からいくつかのシステムが開発され実施されてきた。国内でも最近、海外の調査会社が機材を持ち込み、調査が実施されている。一方、国内にあるシステムは、10年位前から地上発信空中受信型の時間領域空中電磁法探査システムが運用されていたが、昨年始めて空中送受信型のシステムが国内に導入された。

本報告では、新たに国内に導入された空中送受信型時間領域空中電磁法システム（P-THEM）を利用した探査事例を紹介する。

キーワード：時間領域電磁法、空中探査

Keywords: time domain EM, airborne survey

飛行対地高度が空中重力偏差法探査結果に与える影響

Influence of ground clearance on airborne gravity gradiometry survey

*相部 翔¹、代田 敦¹、千葉 昭彦¹、山口 宏²、福田 真人³

*Sho Aibe¹, Atsushi Shirota¹, Akihiko Chiba¹, Hiroshi Yamaguchi², Masato Fukuda³

1.住鉱資源開発株式会社、2.株式会社フグロジャパン、3.独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構

1.Sumiko Resources Exploration & Development Co., Ltd., 2.Fugro Japan Co., Ltd., 3.Japan Oil, Gas and Metals National Corporation

物理探査では、センサと対象との距離が大きくなるにつれて分解能が低下する性質があり、空中物理探査においては対地高度が高くなるにつれて分解能が低下する。高分解能の探査を行なうには、対地高度が低いことが望まれるが、実際は地表の樹木、送電線等の構造物、地形の起伏があるため、障害物より高い対地高度をとらなければならない。対地高度は上方接続で理論的に計算できるが、実際に同じ地域に対して対地高度を変えて測定した例は少ない。

独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構では「地熱資源ポテンシャル調査のための広域空中物理探査」で、高度120mを前提として空中重力偏差法測定を行なっている。その中で、鉛直重力偏差 G_{00} および鉛直重力 g_0 の測定値の違いを検討する目的で、同じ測線で120m、250m、500m、750mと対地高度を変えた測定を行った。

その結果、対地高度の上昇で鉛直重力偏差が鉛直重力に比べ、著しく分解能が低くなることを実測定で確認できた。各高度での実測値と、対地高度120mの実測値を各高度に上方接続した理論計算値とが調和的であるか検証を進めている。

キーワード：空中重力偏差法探査、鉛直重力偏差、飛行対地高度

Keywords: Airborne Gravity Gradiometry, Vertical gravity gradient, Flight height

空中、海上および深海地磁気3成分測定による青ヶ島の3次元磁化構造調査

3D magnetization structure of Aogashima Volcano by aero-, sea-surface and deep-sea magnetic vector surveys

松尾 淳¹、伊勢崎 修弘²、*佐柳 敬造²

Jun matsuo¹, Nobuhiro Isezaki², *Keizo Sayanagi²

1.0Y0インターナショナル株式会社、2.東海大学海洋研究所

1.0Y0 International Corporation, 2.Institute of Oceanic Research and Development, Tokai University

Measurement of magnetic anomaly vectors is absolutely essential to obtain a magnetization structure of the magnetized body. We have developed a new magnetometer for measurement of the vector magnetic field, called High Precision Magnetic survey System (HPMS), which can be used in various situations, for instance, in the air, on the sea surface and in the deep-sea. We have applied the HPMS as Heliborne Three Component Magnetometer (HTCM), Deep-tow Three Component Magnetometer (DTCM) and Shipboard Three Component Magnetometer (STCM) for airborne surveys (2006 and 2009) and marine magnetic surveys (2014) over and around the volcanic island, Aogashima. A helicopter of Nakanihon air service and Tokai University Vessel 'Bousei-Maru' were used for the HTCM surveys and for the STCM and DTCM surveys, respectively. The Aogashima Island is an active volcanic island included in the Izu-Ogasawara volcanic arc. The objectives of this study were to obtain magnetic anomaly vectors on Aogashima volcano by aero-, sea surface and deep-sea magnetic surveys, and to clarify 3 dimensional spaced 3 component magnetization structure of the volcano.

In the HTCM surveys, a towing frame mounted with the HPMS, GPS and wireless LAN devices was towed using a fiber rope below the helicopter. In the DTCM survey, the towing frame mounted with the HPMS, acoustic positioning (SSBL) and acoustic communication devices was towed near the sea bottom using a wire rope. In the STCM survey, the towing frame mounted with the HPMS and GPS devices was fixed on the after-deck of the ship. Three components of the observed geomagnetic field, $F = (H_h, H_s, H_v)$, and gyro data (yaw, pitch, roll) are sampled in 10Hz. SSBL positions are fixed every 10 seconds. F , the vector in ship's coordinate (heading, starboard, vertical) is rotated to the vector in Earth's coordinate (X, Y, Z : north, east, vertical down) using the gyro data. From the rotated vector (X, Y, Z), the IGRF field is subtracted to get three components of a magnetic anomaly (dX, dY, dZ).

3D spaced 3 component magnetizations of the Aogashima volcano are analyzed by solving the linear least square equation for the obtained magnetic anomaly vectors. We tried 4 layer block model which consists of blocks with width of 500m, depth of 500m, and thickness of 250 m, 500 m, 750 m and 1000 m. The total number of the blocks is 2,492. The upper surface of Layer 1 approximates topographic surface. 25,536 data of three components of magnetic anomalies were inputted, and 7,476 data of three components of magnetization of 3D magnetized body were obtained by magnetization inversion with least square method using a dumping factor.

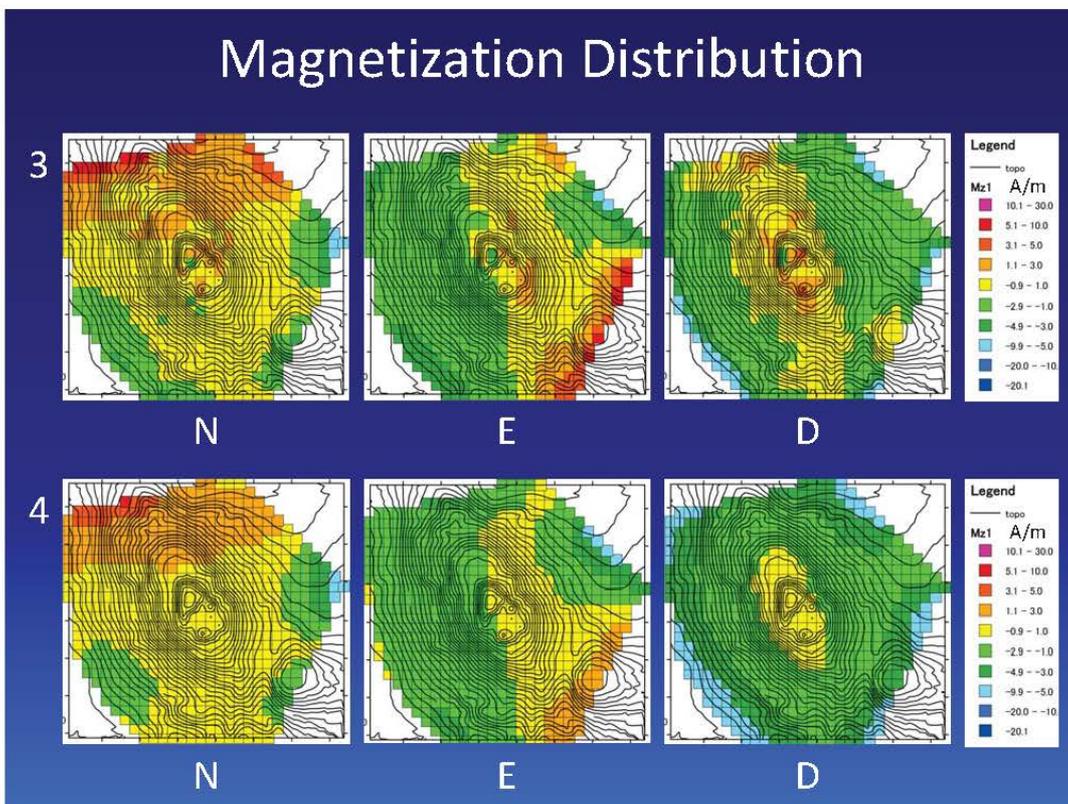
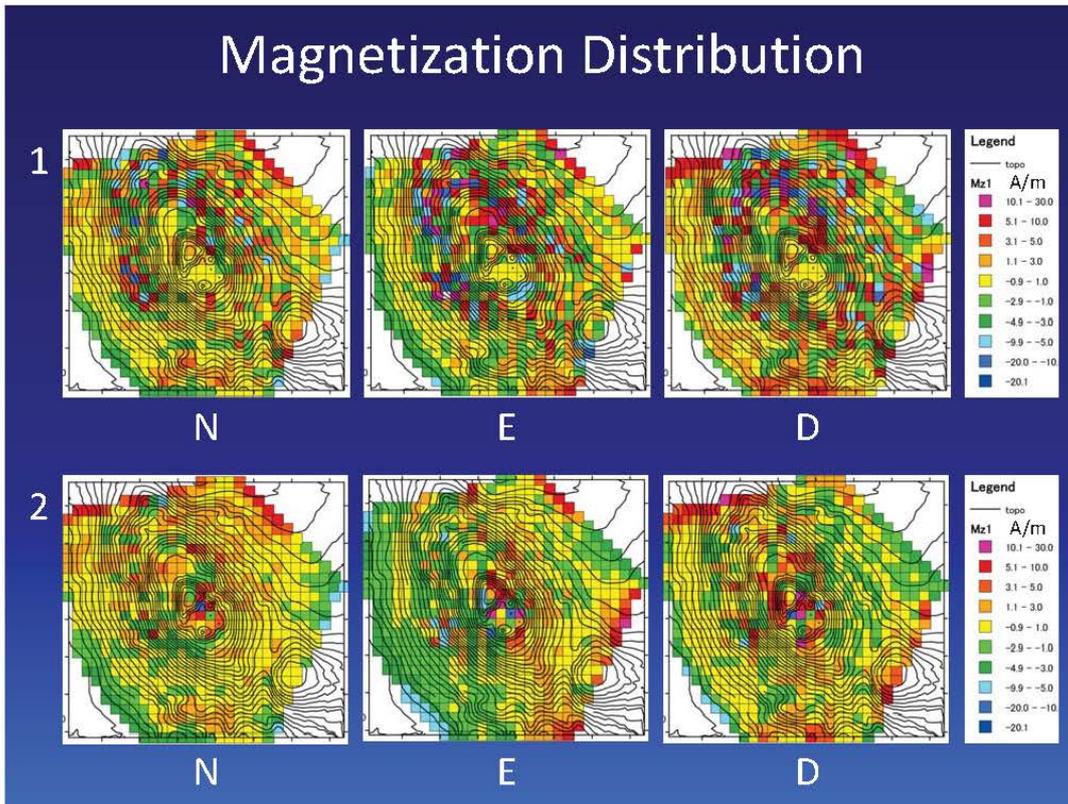
The figure shows three components of magnetization of each layer. Thin contour lines show the topography. The Aogashima Island is located at the center of each map. The shallower layers have complicated magnetization distribution, especially in Layer 1. There are larger magnetization to the north of the island as seen in Layers 1 and 2. The deeper layers such as Layers 3 and 4 have smooth magnetization distribution comparing with Layers 1 and 2. Layers 3 and 4 show the following characteristic distributions: relatively large positive north component of magnetization to the north of the island, contours of east component of that elongated along the ridge, and small downward component of that along the ridge in Layer 3 and under the island in Layer 4.

In conclusion, we have developed the versatile and useful equipment corresponding to a

multiplatform that can survey the vector magnetic fields in the air, on the sea surface and in the deep-sea. That enables us to calculate the 3 dimensional and 3 components magnetization. The HPMS should make a contribution for more detailed and reliable magnetic geophysical surveys.

キーワード：地磁気3成分異常、磁化ベクトル、3次元磁化構造、汎用型3成分磁力計、船上3成分磁力計、深
曳航式3成分磁力計

Keywords: three components of geomagnetic anomaly, magnetization vector, 3D magnetization structure, vector magnetometer for multi-platform, Shipboard Three Component Magnetometer (STCM), Deep-tow Three Component Magnetometer (DTCM)



無人ヘリコプターを利用した口永良部島繰り返し空中磁気測量

Repeated aeromagnetic surveys at Kuchi-erabu-jima volcano by using unmanned helicopter

*小山 崇夫¹、金子 隆之¹、大湊 隆雄¹、渡邊 篤志¹、神田 径²

*Takao Koyama¹, Takayuki Kaneko¹, Takao Ohminato¹, Atsushi Watanabe¹, Wataru Kanda²

1.東京大学地震研究所、2.東京工業大学

1.Earthquake Research Institute, University of Tokyo, 2.Tokyo Institute of Technology

Kuchi-erabu-jima island is an active volcanic island in Kyushu, and some volcanic events happened in the last century. Very recently, a phreatic eruption occurred on Aug. 23rd 2014, and a phreatomagmatic explosion followed it on May 29th 2015. At the latter eruption, a pyroclastic flow attacked a village, and all the residents in the island have evacuated out of the island. The eruptive activity never happens after a tiny Vulcanian eruption on 18th June 2015.

We conducted repeated aeromagnetic surveys in April and September 2015 by using unmanned helicopter. The altitude of the flight was kept to about 100 m above the ground and geomagnetic total intensity data at an almost whole area above the volcanoes were obtained. A total measurement length of flight was about 60 km.

The first survey in April 2015 revealed that the average magnetization is so small as about 1.8 A/m, which is typical value for andesite. Also the crater areas show very low magnetization, while surrounding areas of the crater have relatively strong magnetization as much as 3 A/m. The second survey in September detected small changes of the geomagnetic field. It reveals that the demagnetization in the crater and the magnetization around the crater. It may indicate that the magmatic products erupted out of the crater and showed the demagnetized features, while some ashes and pyroclastic flow remain at the volcanic surface around the crater and got some magnetization.

キーワード：空中磁気測量、無人ヘリコプター、火山

Keywords: aeromagnetic survey, unmanned helicopter, volcano

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