

# 総合空中探査システムによる 地下深部地質構造調査

結城 洋一<sup>1)</sup>・西川 徹<sup>1)</sup>・山根 誠<sup>1)</sup>・中山 文也<sup>1)</sup>・池田 和隆<sup>1)</sup>・山下 善弘<sup>1)</sup>

## 1. はじめに

滋賀県と三重県の県境において、総合空中探査システムを用いて大規模な地質構造調査を実施した。調査は、地下深部における断層や基盤岩などの地質構造を評価するための基礎資料の取得を目的とした。総合空中探査システムは、文部科学省産学官連携イノベーション創出事業費補助金により、電力中央研究所、北海道大学、京都大学、九州大学、(株)セレスおよび応用地質(株)の共同研究で開発された。

## 2. 調査概要

空中物理探査は、約15km<sup>2</sup>の地域を対象に実施した。総合空中探査システムで実施した空中物理探査は、空中電磁探査、空中磁気探査、空中放射能探査である。空中電磁探査は地表に送信源を設置する地表ソース型空中電磁探査法(GREATEM)であり、空中磁気探査はセンサーを2個吊り下げたデュアルバード型空中磁気探査法である。また、空中放射能探査は放射線検出器NaI(Tl)が33.6リットルの容積を持つ探査システムを使用して同時期に探査を実施した。第1表に調査数量、第1図に調査位置図を示す。調査地周辺には高圧送電線が多数通っており、調査範囲から除外した。

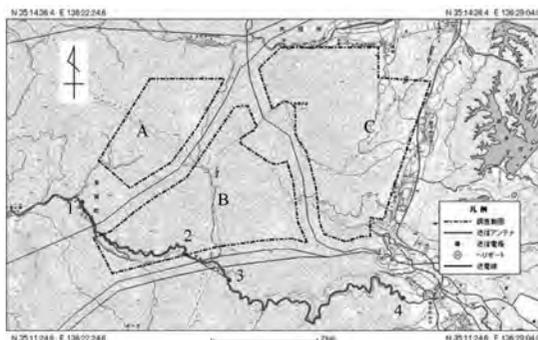
空中物理探査で測定した各種物理量から強度分布図を作成し、空中物理探査に先行して実施した地表地質踏査結果を検証データとして地質構造を推定した。

## 3. 調査地の地形、地質

調査地は鈴鹿山脈北部に位置し、烏帽子岳(865.1

第1表 調査数量.

調査種目	調査面積	測線距離	備考
電磁探査	14.83km <sup>2</sup>	各探査	同一地域で各探査を実施した。
磁気探査		230.5km	
放射能探査		総測線距離 691.5km	



第1図 調査位置図.

m)、三国岳(標高894.0m)、御池岳(標高1247.0m)などの山々が南北に連なる。鈴鹿山脈は東側が高く西側が低い傾動地塊で、鈴鹿山脈東麓断層帯の活動により隆起したと考えられている。三重・滋賀県境の鞍掛峠を分水界として、東側は員弁川水系(員弁川上流・河内谷川・冷川など)、西側は犬上川水系(犬上川上流・黒川・百々女鬼川など)に属する。沢は深く切り込み、急峻なV字谷を形成する。

調査地の地質は美濃帯に属し、基盤岩は砂岩、泥岩、チャート、緑色岩、石灰岩が分布し、砂礫層は東海層群の未～半固結の砂礫が分布する。美濃帯は、山脈脊梁部に分布する石灰岩層を主体とした衝上地塊と、その周辺に分布する非石灰岩相(泥岩主体で塊状砂岩、チャート、石灰岩などのブロックを含む)に

1) 応用地質株式会社

キーワード: 空中物理探査, 空中電磁探査, GREATEM





第3図 電磁パード.



第4図 磁気パード.



第5図 放射能検出器.

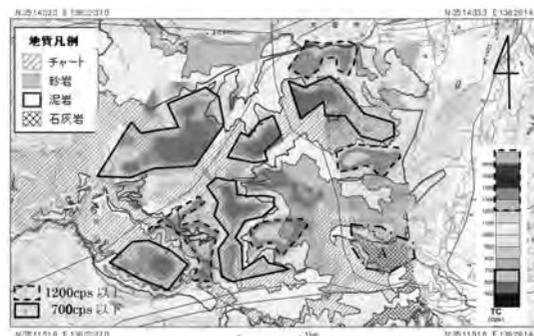


第6図 GREATEM測定状況.

(GREATEM)である。信号源として、ケーブルの両端を地面に設置したケーブルに電流を送信し、電流を急激に遮断することにより地下で発生する誘導磁場の過渡応答を計測・解析することで、地下の比抵抗構造から地質構造を推定する方法である。第1図に示す太線がケーブル位置であり、1～4が電極設置位

第4表 測定飛行仕様.

探査種目	項目	仕様
空中電磁探査	飛行高度	100m (対地高度)
	飛行速度	50km/h
	主測線間隔	100m
空中磁気探査	交差測線間隔	1000m
	飛行高度	100m (対地高度)
	飛行速度	100km/h
空中放射能探査	主測線間隔	100m
	交差測線間隔	1000m
	飛行高度	100m (対地高度)
	飛行速度	100km/h
	主測線間隔	100m
	交差測線間隔	1000m



第7図 空中放射能探査結果(全ガンマ線).

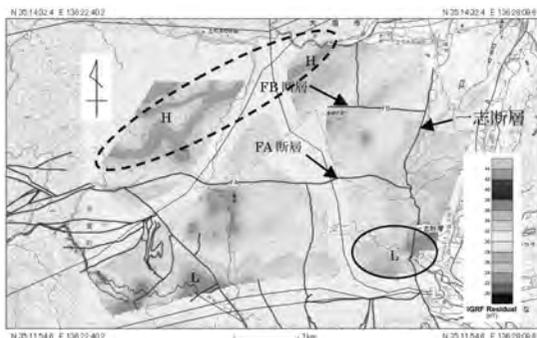
置である。送信源に対する調査可能エリアの目安は、電極間距離を1辺とする四角形が最大調査範囲であるため、調査は電極1, 3間のケーブル配置(4.34km)で調査エリアA・Bを実施し、電極2, 4間のケーブル配置(7.54km)で調査エリアCとBの一部を重複して探査を実施した。

## 5. 空中物理探査結果

### 5.1 空中放射能探査結果

空中放射能探査結果の全ガンマ線強度分布図を第7図に示す。図に示す地質区分は、調査地の代表的な地質分類を表示した。

この地域の全ガンマ線放射能強度は、約500～1,600CPSの範囲にある。この結果から、700CPS以下の低放射能分布域(図中実線)はチャートの分布域と



第8図 空中磁気探査結果(IGRF残差図)。

ほぼ一致しており、1,200CPS以上の高放射能分布域(図中破線)は泥岩の分布域とほぼ一致している。

調査地南部にある石灰岩分布域(図中A)は低放射能を示す。これらの結果は、地質踏査結果とほぼ一致しており、地質踏査から得られた地質区分を補間するデータとして使用した。

## 5.2 空中磁気探査結果

空中磁気探査結果の磁気異常図(IGRF残差図)を第8図に示す。また、図に示した東西の線は、地質踏査で確認された断層(FA, FB断層)を示す。

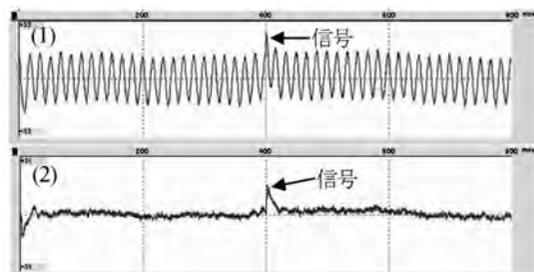
調査地東側に南北にあるのが、美濃帯と東海層群を分けている一志断層である。一志断層を境に磁気強度が変化しており、構造の違いを反映している。また、図右下の実践楕円(L)は露頭で石灰岩が確認されている部分で、低磁気異常を呈している。調査地南側には低磁気異常のエリアが分布しているが、同様に石灰岩の影響によるものと思われる。調査地北西には高磁気異常の連続した帯が分布する(図左上の破線楕円(H))。地表踏査から貫入岩の花崗班岩がWSW-ENEに分布しているのが確認されており、その影響が出ているものと思われる。

## 5.3 空中電磁探査(GREATEM)結果

### データ処理

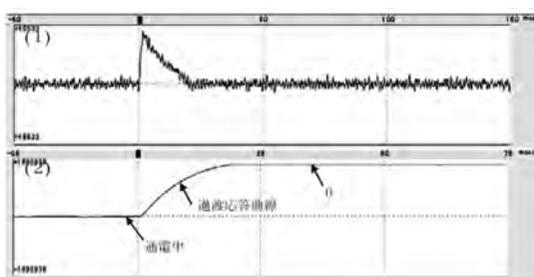
調査地は高圧送電線に囲まれており、全ての測定データに送電線に起因する電磁ノイズが混入した。このような状況であったので、はじめにデータ処理について述べる。

計測データははじめにゆれによる磁場ノイズを補正し、調査エリア内の参照点データを用いて、自然ノ



第9図 データ処理波形データ例。

- (1) ゆれ補正、自然ノイズ除去後スタッキングデータ
- (2) 商用電磁波ノイズ除去後の波形データ



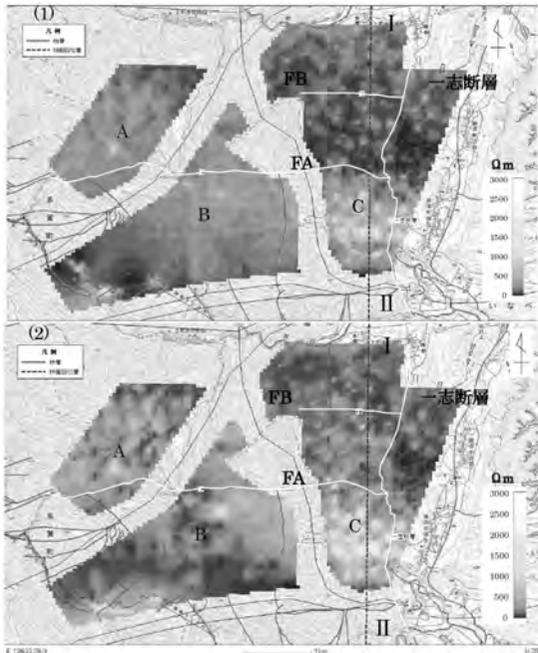
第10図 信号区間解析波形(1)と過渡応答曲線(2)。

ズを除去した。さらに5サイクル分のデータをスタッキングすることにより、信号区間の検討を行った。また、調査エリアは5本の高圧送電線に囲まれており、計測データには送電線から発生するノイズが含まれるため、デジタルフィルタでノイズを除去した。第9図にスタッキング後の波形データとノイズ処理後の波形データを示す。

波形データはさらに0レベルを決定して信号区間を抽出し、送信源近傍の原点データにより送信・受信機器の周波数応答を補正し、時間積分を行って過渡応答曲線を求めた。これらの処理の後、鉛直磁場データによる一次元解析を行った。インバージョンは8深度、約1,200mまで行った。データ処理した地点数は12,000点あり、1点当たりのデータ数は20,000データである。第10図に信号区間を抽出して原点補正を行ったデータと、積分後の過渡応答曲線を示す。

### 解析結果

第11図に空中電磁探査の比抵抗平面図(地表面、等標高200m)を示す。第12図に地表地質踏査結果



第11図 空中電磁探査結果.

(1) 地表面比抵抗平面図, (2) 標高200m比抵抗平面図

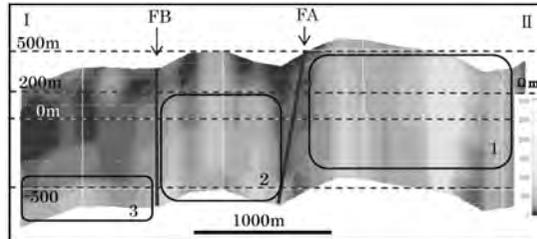


第12図 地質断面図.

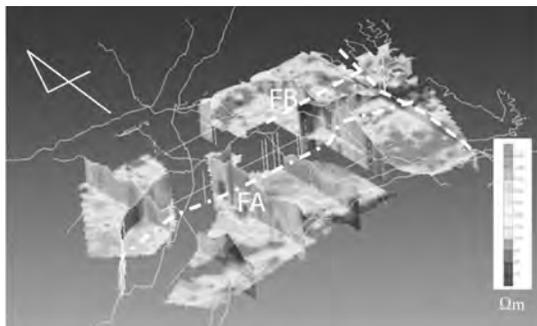
から推定した地質断面図(第11図破線位置)を示す.

調査エリアCを例に取ると, 第11図, 第12図に示すFA, FB断層によって地質構造は分断されており, 第12図から, 縦に卓越した構造であることがわかる. また, FAを境に北側(図I方向)が約300m落ち込み, さらにFBを境に落ち込んでいる構造であると推定された.

第11図(1)は地表面の比抵抗分布であるが, FA, FBに挟まれたエリアは低比抵抗を呈す. この部分は, 地質踏査で把握した泥岩の卓越領域であり, 泥岩の低比抵抗性と対応する. 同エリアは第11図(2)の標高200 mスライスでは低~高の中間の比抵抗帯であり, 地質断面図では砂岩分布域に相当する. また, FBの南側は, 地質断面図では表層に砂岩が分布し, 地下深部に石灰岩が分布している. 比抵抗分布



第13図 比抵抗断面図.



第14図 パネルダイアグラム.

もFBの南側の表層(第11図(1))では比抵抗値は中間の値を示し, 地下深部(第11図(2))でも高比抵抗域が分布しており, 地質分布と対応する.

調査地域東側にある一志断層は, 第11図(2)では断層を境にして西側的美濃帯が高比抵抗, 東側の東海層群が低比抵抗を示すことから, 断層の位置を三次元的に推定することができる. 以上のように, 踏査結果から推定した地質構造と, 空中電磁探査結果から得られた比抵抗構造は概略対応している.

次に, 地質断面図と同じ位置の比抵抗断面図を第13図に示す. 断面図左に記載した数字は標高である. 断面図は, 標高-800~600mの範囲を示す. 第13図では第12図の地質断面図と同様に, FA, FB断層を挟んで比抵抗構造が大きく変化し, 高比抵抗領域2はFA断層を境に北側(図I方向)で領域1より約300m落ち込んでいる. この高比抵抗域は, 石灰岩分布域であると推定される. さらに高比抵抗領域はFB断層を境に, 領域3として北側に約600m落ち込んでおり, 地質構造は比抵抗構造としても現れている.

また, 平面図で見られる島状の小規模な比抵抗分布の変化や, 断面図で見られる縦に連続する比抵抗

分布の変化は、地表地質分布が確認できるところでは、局所的な地質分布や、岩脈や小断層などの高角度な地質構造を反映しているものと推定した。

第14図には、平面図と断面図を三次元表示したパネルダイヤグラムを示す。図中の平面図は深度200mの等標高平面図である。

## 6. まとめ

山岳地において総合空中探査システム(空中電磁探査, 空中磁気探査, 空中放射能探査)を実施し、表層から地下深部までの各物性値の空間分布と地質分布との対応を検討した。それぞれの探査から得られた知見を以下に述べる。

- ・ 空中放射能探査では、放射能強度分布と表層地質分布との対応性があることが確認できた。特に、泥岩は高放射能分布域として捉えることが可能である。
- ・ 空中磁気探査では、磁気異常図から断層による地盤構造の違いと石灰岩の分布域を推定することができた。
- ・ 空中電磁探査では、地表地質踏査で推定した地質構造と空中電磁探査の比抵抗構造から推定した地質構造が整合しており、表層から深度1,000m程度までの地質構造を推定することができた。この結果から、地上に送信源を設置する地表ソース型空中電磁探査法は、調査範囲に応じた距離の送信アンテナを設置することで、山岳地域でも十分活用できることが確認できた。

総合空中探査システムは複数の物理量を得ることができ、これらのデータを総合的に地質解析に活用することにより、表層から深度1,000m程度の地下深部までの地質構造を推定するのに有効である。また、地表地質踏査やボーリング調査など、地上探査のデータを空中物理探査結果の検証データとして活用することにより、地質解析の精度が大幅に向上することが可能となる。

さらに、地上からの探査データをグラントゥールースとして利用し、地盤の工学的性質と関連付けて空中物理探査データを指標化することにより、土木分野や防災分野など広い範囲での活用が期待できる。

## 参考文献

- 伊藤久敏・海江田秀志・楠 建一郎・茂木 透・田中良和・藤光康宏・結城洋一(2007)：ヘリコプターを用いた総合空中探査システムの開発(その1)－空中電磁, 空中磁気, 空中放射能, 空中赤外映像の各探査手法の高度化－, 電力中央研究所研究報告, N06011, 21.
- 伊藤久敏・海江田秀志・楠 建一郎・茂木 透・田中良和・藤光康宏・結城洋一(2007)：ヘリコプターを用いた総合的な空中物理探査システムの開発(その2)－阿蘇火山, 磐梯火山への適用と防災への適用性の検討－, 電力中央研究所研究報告N06012, 20p.
- Mogi, T., Kusunoki, K., Kaieda, H., Ito, H., Jomori, A., Jomori, N. and Yuuki, Y. (2009) : Grounded electrical source airborne transient electromagnetic (GREATEM) survey of Mount Bandai, north-eastern Japan; Exploration Geophysics, 2009, 40, 1-7; Butsuri-Tansa, 2009, 62, 1-7; Mulli-Tansa, 2009, 12, 1-7

YUUKI Youichi, NISHIKAWA Toru, YAMANE Makoto, NAKAYAMA Fumiya, IKEDA Kazutaka and YAMASHITA Yoshihiro (OYO Corporation) (2011) : Deeper geological structure survey using an integrated airborne survey system.

< 受付：2010年8月2日 >