

## 新しい空中探査技術の紹介

応用地質株式会社 ○結城 洋一、島山 晃陽  
池田 和隆、中山 文也

### 1. はじめに

空中物理探査は、広い地域や人が立ち入り困難な急峻な地域、自然保護地など人が立ち入れない地域を、空中から迅速に精度良く調査できる探査法である。空中物理探査は我々に、種々の有用な地質情報を提供してくれる。

地質調査で行われている探査は、取得する物理量から空中電磁探査、空中磁気探査、空中放射能探査、空中重力探査などが行われている。また、測定機器を搭載するプラットフォームは、従来からの飛行機、ヘリコプターに加え、最近は無入航空機も使われるようになった。個々の探査技術についても、測定技術の大幅な進歩により、新しい技術が導入されている。特に空中電磁探査は従来の探査法に加え、発信源を地上に設置する新しい探査法が実用化された。

本発表では、最近新たに開発された空中電磁探査法について紹介するとともに、空中電磁探査法以外の探査技術についてもあわせて紹介する。

### 2. 空中電磁探査法

空中電磁探査法は、国内において地下の地盤情報を調査できる唯一の空中物理探査法である。従来から国内で行われてきた空中電磁探査法は、ヘリコプターからバードを曳航しながら複数の周波数の電磁波を発信し地下で誘起される誘導磁場を連続的に測定する周波数ドメイン空中電磁探査法と呼ばれる探査法である。最近新たに、地上に発信ソースを設置する地表ソース型空中電磁探査法が開発された。以下に、この探査法の原理と探査システムについて紹介する。

#### (1) 探査原理

大地の電磁応答を時間の関数として測定する電磁法である。図1に測定原理の概念図を示す。

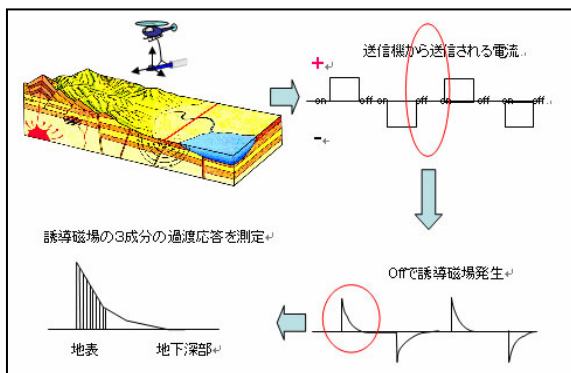


図1 測定原理概念図

大地に送信した電流を急激に遮断後、2次磁場（誘導磁場）の過渡現象を測定する。過渡応答は、早い時間の応答は浅い深度の情報で、遅い時間の応答は地下深部の情報である。地下深部の比抵抗構造を知るためには、送信間隔

を長くし、過渡応答も遅い時間のデータを測定する。浅いところの情報は、早い時間の過渡応答を測定するために、高速でサンプリングを行う。

#### (2) 探査システム

地表ソース型空中電磁探査法は、電磁波発信装置を地上に設置することで、探査システムを小型・軽量化できるメリットがある。以下にこの探査法で開発した探査システムを紹介する。

##### ①ミニボーンシステム

無人ヘリコプターを利用した探査システムである。探査システムを無人ヘリコプターに搭載できる重量やサイズまで小型軽量化し、実用化を実現した。タイムドメイン探査法の特長は、プライマリー磁場（一次磁場）の影響がない状態で測定が可能のため、従来は地下深部の調査に適用されてきた。しかしながら、最近のデジタル技術の進歩により、これまでは不可能だとされてきた浅い領域での測定が可能となり、深度100～200mの地下浅部の探査に適用できるようにした。

図2に、測定飛行状況を示す。使用する無人ヘリコプターは富士重工製で、有効搭載量は約100kgである。1回に探査できる面積は、無人ヘリコプターの無線到達範囲による。見通し距離で200～300mの範囲である。測定



図2 ミニボーン測定状況

は、誘導磁場の鉛直成分を測定する。探査システムを地上で移動しながら連続的に測定することも可能で、より詳細な地盤情報を得ることができる。

##### ②鯰(NAMAZU)と鰻(UNAGI)

2つの空中電磁探査システムは、電力中央研究所・北海道大学・京都大学・九州大学・応用地質株式会社・株式会社セレスが文科省産官学連携イノベーション創出事業補助費補助金（独創的革新技術開発研究提案公募制度）で開発した総合空中探査システム（IASS）<sup>1)</sup>の技術である。名前は曳航するバードの形状からつけた愛称で、正式名称はGREATEM (Grounded Electrical Source Airborne Transient EM) である。図3にそれぞれのシステムの測定状況を示す。鯰(NAMAZU)と鰻(UNAGI)は、ミニボーンシステムの発展型で、測定は誘導磁場の3成分を測定する。



図3 鯰(NAMAZU)(左)と鰻(UNAGI)(右)

鯰(NAMAZU)は、有人機を利用する探査システムである。深度1000mまでの比抵抗構造を調査することが出来る。1回で調査できる面積は、地上に設置する送信電極の距離による。これまでに設置した送信電極の最大距離は3kmである。測定地域の地盤の比抵抗によるが、概ね送信電極を1辺とした正方形のエリアの深度1000mまでの比抵抗構造を知ることができる。

鰻(UNAGI)は、鯰(NAMAZU)システムをスケールダウンし、無人ヘリコプターに搭載するシステムである。早い時間の過渡応答に対応できる周波数特性を持ち、地下浅部の比抵抗情報を取得できるようにした。可探深度は、ミニボーンシステムと同じ100~200mである。複雑な地形や急激に比抵抗が変化するような地盤環境でも適用可能である。

(3) 解析

鯰(NAMAZU)と鰻(UNAGI)は、誘導磁場の3成分を測定する。地下深部を探索する鯰(NAMAZU)は、深部情報を持つ遅い時間の誘導磁場過渡応答を解析する。図4に波形データの例を示す。バードのゆれやノイズを測定波形データから除去し、解析波形データから地盤の比抵抗情報を求める。

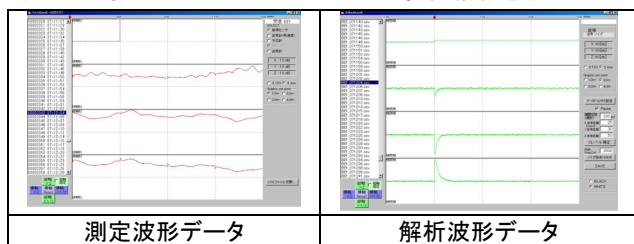


図4 測定波形データと解析波形データの例

また、空中電磁探査で測定したデータは三次元の位置情報を持つため、これを空間情報としてランダムにグリiddingすることにより、比抵抗構造図を作成することができる。この比抵抗構造図から、地下の地質構造を容易に推定することが可能となる。また、同一空間上に他の物理データを加えることにより、さらに精度良く地質構造を解釈することができる。図5に鯰(NAMAZU)で測定した比抵抗構造図を示す。

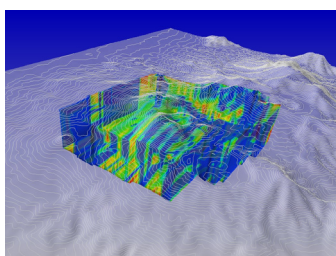


図5 比抵抗構造図(深度800m)

3. その他の空中物理探査

文科省で開発した総合空中探査システムは、空中電磁探査システム他、磁気探査システム、熱赤外線撮影システムも新たに開発した。最近国内では空中重力探査も行われている。<sup>2)</sup> また、位置情報や地形情報の取得技術の進歩により、簡単に三次元地形データを取得することが出来る。

空中磁気探査は、2個のセンサを組み合わせたデュアルバードシステムが開発された。2個のセンサを曳航することにより、上下センサの差から磁気鉛直傾度をもとめることができる。これにより、磁化の異なる浅部の物質境界や堆積層の厚さの違いを強調させることができる。阿蘇火山で実施したシングルセンサの結果図と、磁気鉛直傾度図を図6に示す。

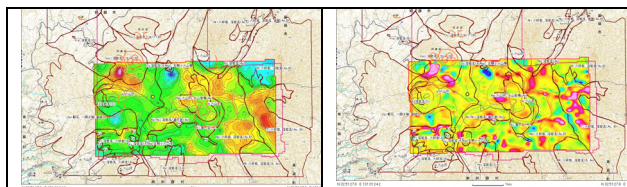


図6 全磁力図(左)と磁気鉛直傾度図(右)

図の比較から、磁気鉛直傾度結果図が表層部分の短波長に起因する磁気異常を多数とらえていることがわかる。

位置情報の測定技術は、近年のGPSの進歩など目覚ましいものがある。地形計測においても、空中レーザ測量などの新しいデジタル技術がさかんに行われている。最近新たに無人ヘリコプターを利用した空中レーザ測量マッピングシステムが実用化された。<sup>3)</sup> 狭い範囲を低コストで簡単にデジタル地形データを得ることが出来るようになってきた。これらのデジタル情報を空中物理探査結果とあわせることにより、さらに多くの情報をもたらしてくれる。また、最近海外では空中レーダ探査も実用化されており<sup>4)</sup>、今後の探査技術の広がり可能性に期待を持たせてくれる。

4. まとめ

空中物理探査はデジタル技術の進歩により、これまで不可能だと思われていた測定領域での探査が実用化されてきた。測定技術の進歩に伴い、測定精度は飛躍的に向上している。特に空間分解能の精度向上は、GPSの登場と精度向上が大きく寄与している。広域から狭いエリア、表層から地下深部までのあらゆる条件において、最適な探査法を選択することにより、空中から探査することが可能となった。また、プラットフォームの多様化により、低コスト化を実現した。

空中物理探査技術は地質調査において、これからも大いに期待できる探査技術である。

《引用・参考文献》

- 1)楠建一郎他、物理探査学会春季学術講演論文集、2005
- 2)瀬川爾朗他、測地学会誌第46巻第3号、2000
- 3)長井 正彦他、センサ融合による3次元マッピング、地球惑星科学連合2006
- 4)野木義史他、昭和基地周辺域における日独航空機地球物理観測、地球惑星科学連合2006