

空中物理探査

— 探査事例の紹介 —

中山文也・五十嵐 亨・奥野孝晴

Air Born geophysics in OYO for civil engineering applications

Fumiya Nakayama, Toru Igarashi and Takaharu Okuno

Abstract

December in 2000, we started air-born geophysical service as one of new technologies in our company.

Four kinds of geophysical measurements, electromagnetic, magnetic, radioactivity and VLF can be done in our system. We have enhanced our own interpretation techniques of these geophysical data by using the Geological Interpretation Support System (GISS) which enables us to present survey result in three dimension and to extract more useful information.

In this short article, to demonstrate the feasibility of the air-borne geophysics in civil engineering applications, we present three field examples for active fault characterization, volcanic hazard evaluation and landslide characterization. These field examples show that air-borne geophysics can be very useful in civil engineering applications.

1. まえがき

当社は、平成12年12月1日、これまで空中電磁探査、空中磁気探査による40数件の火山、地すべりなどの調査、空中放射能探査による340数件の温泉・地下水探査等の実績を持つ㈱エースヘリコプターから、空中探査事業の全てを譲り受け、新たに空中探査事業を開始した。

空中探査の大きな特徴は、調査地に直接立ち入らずに、どんなに急峻な地形でも、迅速にかつ一度に広い地域が探査できること、なによりも、その結果が、我々に種々の有用な地質情報を提供してくれるところにある。

事業開始後ほぼ1年が経過し、その間に、4件の地すべり調査と1件の地下構造探査を実施している。

それらの調査を実施する中で、当社がこれまでに開発してきた3次元地質解釈支援システム (GISS)¹⁾ を利用して、探査結果を3次元表示にすることによって、空中探査結果の中から、さらに有用な情報の抽出も可能になり、空中探査とGISSとを合わせた新たなOYOの空中探査技術が誕生しつつある。それによって、今後、資源探査、地質構造調査はもとより、防災関連調査、環境関連調査等へとその活用される分野はさらに広がっていくものと考えている。

ここでは、当社が実施できる空中物理探査と探査事例の一端を紹介する。

2. 当社が実施できる空中物理探査

現在、当社が実施できる空中探査は、電磁探査、磁気探査、放射能探査、およびVLF探査の4項目で、それぞれの探査の概要は以下の通りである。

(1) 電磁探査

電磁気センサー (5周波数; 56KHz, 7200Hz, 5000Hz, 900Hz, 385Hz) を収納したバードをヘリコプターによって曳航し、人工的に1次磁場を発生させ、それによって引き起こされる大地の2次磁場を測定・解析し、地下100m~150mまでの鉱体、変質帯等の低比抵抗体の検出および大地の3次元的な比抵抗値の分布を探査する方法。

(2) 磁気探査

電磁探査と同様に、磁気センサーを収納したバードをヘリコプターによって曳航し、地層、岩石の持つ磁気を測定し、地質構造、岩質、資源の賦存等を探査する方法。

ヘリコプターを利用することで、対地高度を低くできることから、小規模な磁気異常の検出が、また密な測線間隔での測定ができることから、微細な磁気異常の分布を詳細に把握することができる。

(3) 放射能探査

ヘリコプターに搭載した、 γ 線スペクトロメータに

よって、岩石に微量に含まれるウラン (U), トリウム (Th), カリウム (K) 等の天然放射性同位元素が放出する γ 線を、エネルギー単位ごとに測定し、TC (Total Count), U, Th, K の計数值, U/Th 比, U/K 比, および U, Th, K 強度合成図等を作成する。それらをウラン等の資源探査のほか、地質調査, 断層・破碎帯調査, 温泉調査等に利用する。

上記の自然放射能探査装置に加え、当社は空中環境 γ 線モニタリングシステムも保有しており、空中から人工放射性核種を含む各種放射性核種の存在の有無や強度とその分布範囲も明らかにすることができる。

(4) VLF 探査

空中 VLF 探査は、米国海軍が対潜水艦通信に世界 9ヶ所に建設した大電力 (4~2,000Kw) の送信所から放射される VLF 帯 (3~30KHz) の電波を利用する電磁法探査の一種で、地表付近の比抵抗分布を調査する方法。

探査状況を写真-1 にて示す。



写真-1 探査状況
Picture-1 View of Survey

3. 探査事例の紹介

(1) 断層調査への適用

調査地は福島県東部の相馬市の西部に位置し、阿武隈花崗岩帯の東縁を走る双葉断層を対象に実施した空中電磁・磁気探査の事例である。図-1に地質図を示す。双葉断層は、調査地区のほぼ中央を走っており、断層の西側は新第三系の凝灰質岩 (Di) 及び安山岩溶岩 (An3) で覆われている。東側はジュラ紀の砂岩・粘板岩 (J2) が、さらに東側は断層で境されて新第三系・第四系が広く分布している。

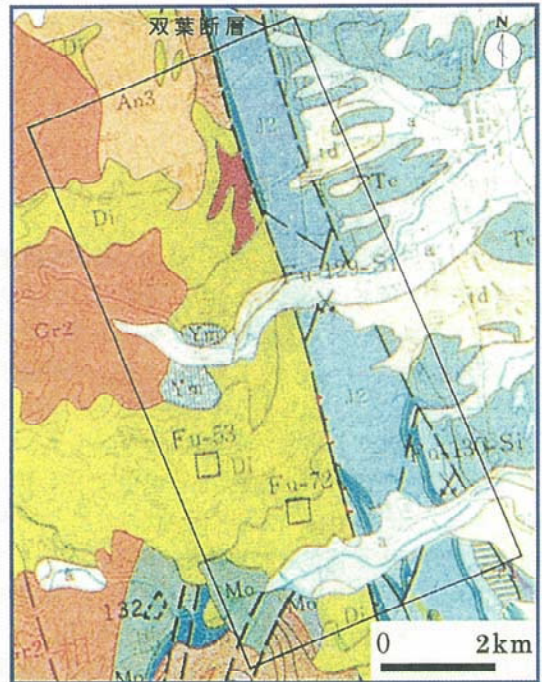
図-2 および図-3 に磁気探査及び電磁探査結果を示す。

a) 磁気探査

図-2の探査結果図から、北西部のやや高磁性部は安山岩溶岩が、南東部の低磁性部は堆積岩が卓越して分布している地区に当たる。北東部および南西部の高磁性部には、地表に露出しない潜在する火成岩体の存在が推定される。双葉断層は磁気不連続線として、岩質の境界に対応してほぼ南北方向に検出されている。

b) 電磁探査

図-3の探査結果は測定した5周波のうち5000Hz



(凡例)	a: 沖積層	td: 段丘堆積物
	Te: 第三紀泥岩	An3: 第三紀安山岩
	Di: 玄武岩質凝灰角礫岩	
	Gr2: 中生代花崗閃緑岩	
	J2: ジュラ紀砂岩・粘板岩	
	Ym: 古生代角閃緑岩	Mo: 古生代変成岩類

図-1 調査地の地質
Fig.1 Geologic Map in Survey Area

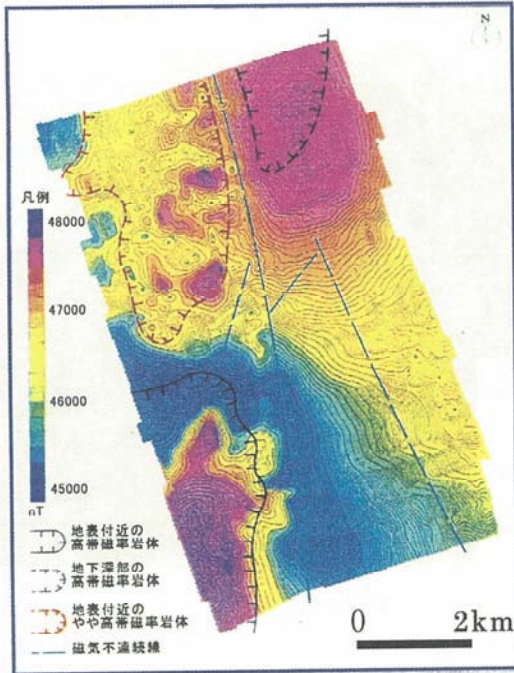


図-2 磁気探査結果
Fig. 2 The Result of Magnetic Survey

の結果（深度 20m 程度）を图示したものである。この結果を見ると、東部の $25 \Omega \cdot m$ 以下のやや低比抵抗帯は新第三紀及び沖積層に、中央部の $100 \Omega \cdot m$ 以上の高比抵抗帯はジュラ紀の砂岩・粘板岩に、また、西部の $25 \Omega \cdot m$ 以下のやや低比抵抗帯は新第三系の玄武岩質凝灰角礫岩に、西部の $800 \Omega \cdot m$ 以上の高比抵抗帯は花崗岩類の未風化部にそれぞれ対応している。双葉断層は中央部の高比抵抗帯と西部のやや低比抵抗帯の地層境界に一致している。これと平行して西側に見られる $10 \Omega \cdot m$ 以下の低比抵抗帯は平行する潜在断層を反映していると考えられる。

(2) 普賢岳における空中探査²⁾

長崎県雲仙普賢岳において溶岩ドーム（平成新山）の崩壊危険度を予測するために空中電磁・磁気・放射能探査等を実施した事例である。

調査実施時の普賢岳の状況を写真-2 にて示す。

写真とほぼ同方向から見た電磁・磁気・放射能探査の結果を鳥瞰図にしてそれぞれ図-4, 5, 6 に示す。

a) 電磁探査

5 周波数で得られた比抵抗値を基に、三次元比抵抗構造を求め、図-4 は地下 10m の比抵抗値の分布状況を图示したものである。

これによると、平成新山及び旧溶岩からなる山体部は高比抵抗値になっており、谷部では相対的に低比抵抗値を示している。これらの違いは、デサイト質溶岩からなる新旧山体は堅硬緻密な岩盤からなるのに対して、谷部では火砕流や土石流堆積物が厚く堆積していることによるものと推定される。

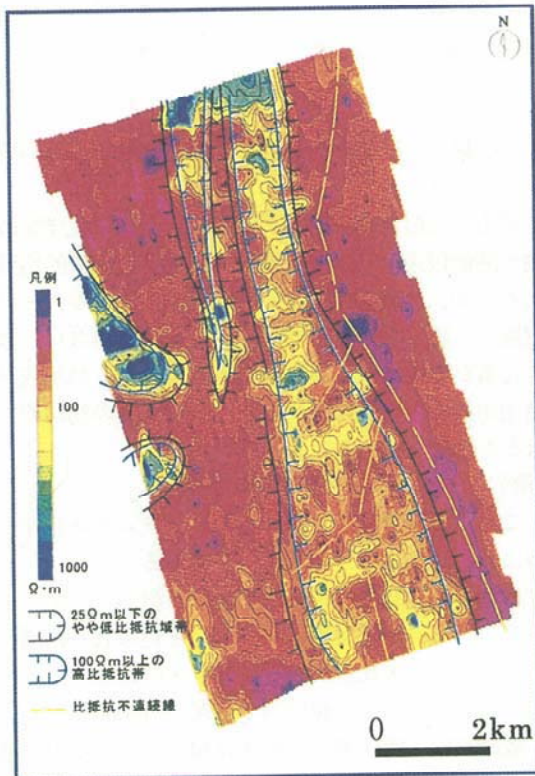


図-3 電磁探査結果
Fig. 3 The Result of Electromagnetic Survey



写真-2 調査実施時の普賢岳
Picture-2 Fugen-Volcano at time of survey

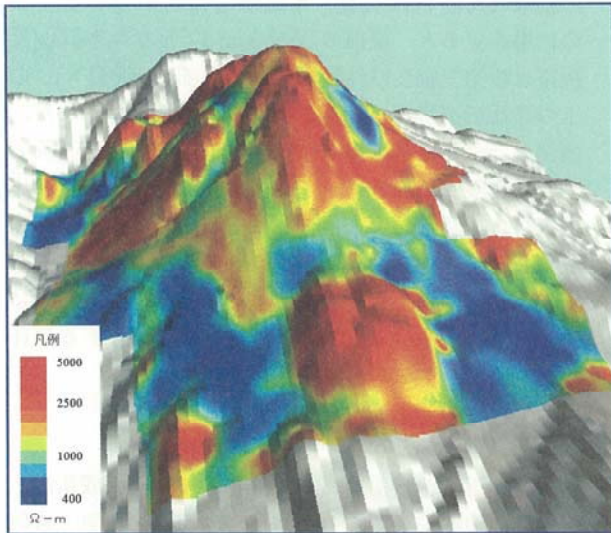


図-4 電磁探査結果
Fig.4 The Result of Electromagnetic Survey

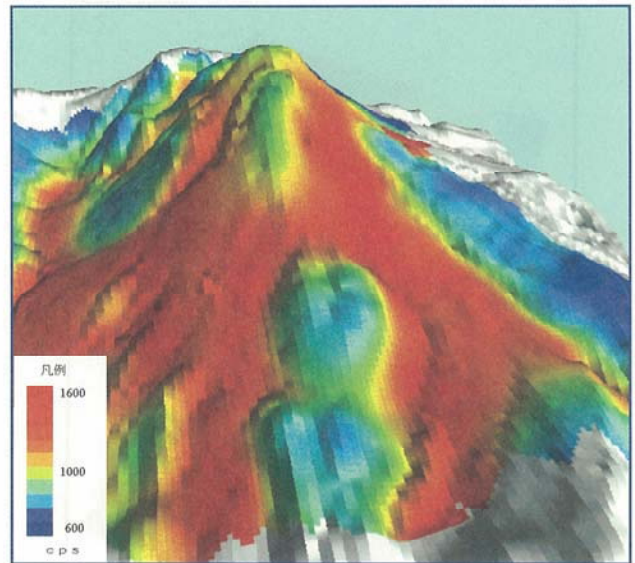


図-6 放射能探査結果
Fig.6 The Result of Radiation Survey

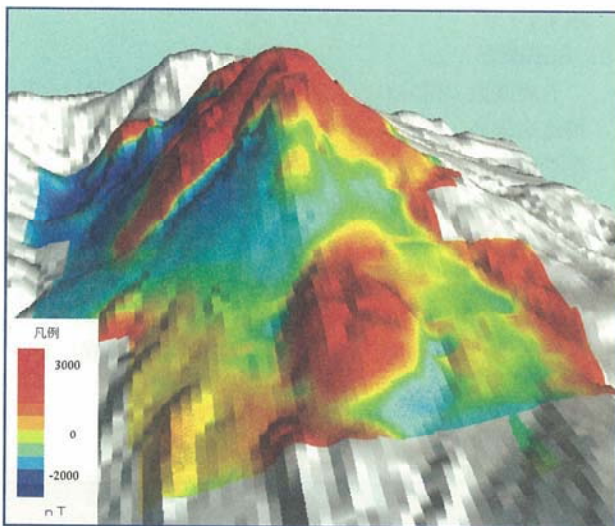


図-5 磁気探査結果
Fig.5 The Result of Magnetic Survey

b) 磁気探査

図-5は全磁力値に日変化、IGRF及び極磁気変換の各補正を行った極磁気異常図を鳥瞰図にして示したものである。

調査地の磁力値は、-2500~4000nTと変化に富んでいるが、大局的には、平成新山や旧火山活動で形成された溶岩からなる山体部は、正の磁気異常を、それに対して火砕流や土石流堆積物が厚く分布する谷部は負の磁気異常の傾向が見られる。

c) 放射能探査

図-6は全γ線の強度分布の鳥瞰図である。全γ線の強度は約500~1800cpsの広い範囲で変化している。大局的には普賢岳を構成する旧溶岩類の分布域、それに次いでドーム部は低く、火山砕屑岩や火砕流堆積物

表-1 岩盤性状毎の評価基準

Table.1 Criterion of Each Rock Properties

区 分	地 形 勾 配
盤 状 溶 岩	70度以上
破 碎 溶 岩	53度以上
岩 礫 状 溶 岩	35度以上

等の破碎化・岩砕化が進行している部分では高い値を呈している。

噴出した溶岩はデサイトであり、全岩の化学組成は噴火開始以来、SiO₂ = 63.5 ~ 65.5%と比較的均質である³⁾が、γ線強度の違いは溶岩の噴出ステージに関連し、噴出末期ほど熱水成分の増加に伴ない、放射性元素が増加したためと推定され、また、熱水成分の増加が溶岩の亀裂頻度や破碎、細片化等の物理的な性状とも相関していると考えられる。

d) 溶岩ドーム部の崩壊危険度の評価

これらの探査結果を基に、溶岩ドーム部を以下の3つに分類し図示したのが図-7である。

盤状溶岩：初生的な溶岩で起伏が激しく、かつ堅硬緻密で亀裂が少ないと見られる区域

- ・比抵抗値；4500Ω・m以上
- ・全γ線の強度；900~1300cps

破碎溶岩：盤状溶岩と形状は類似しているが、地形的には平坦で、かつ破碎がかなり進んでいると思われる区域

- ・比抵抗値；3000~4500Ω・m
- ・全γ線の強度；1000~1400 cps

岩礫状溶岩：侵食・ガリが発達し、かつ溶岩の自破

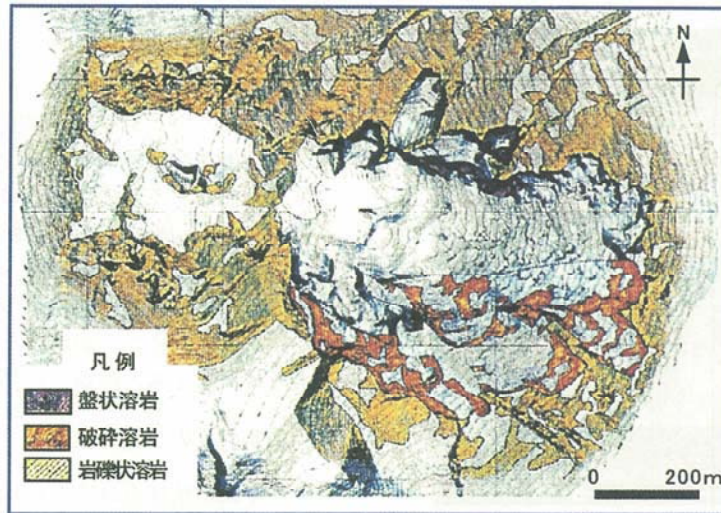
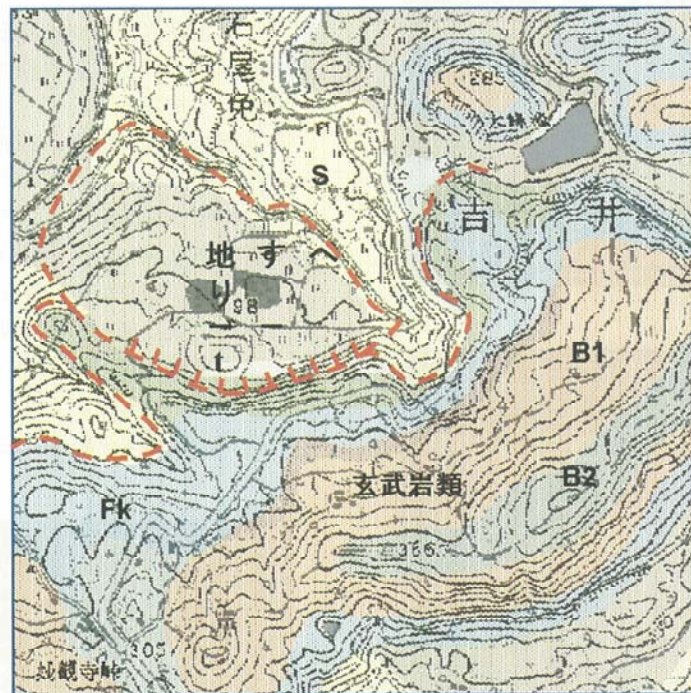


図-7 溶岩ドーム部の分類
Fig.7 Classification of Lava Dome



(凡例) t: 第四紀礫・砂及び粘土 B1,2: 第三紀玄武岩
Fk: 第三紀砂岩 S: 第三紀泥岩

図-8 調査地の地質
Fig.8 Geologic Map in Survey Area

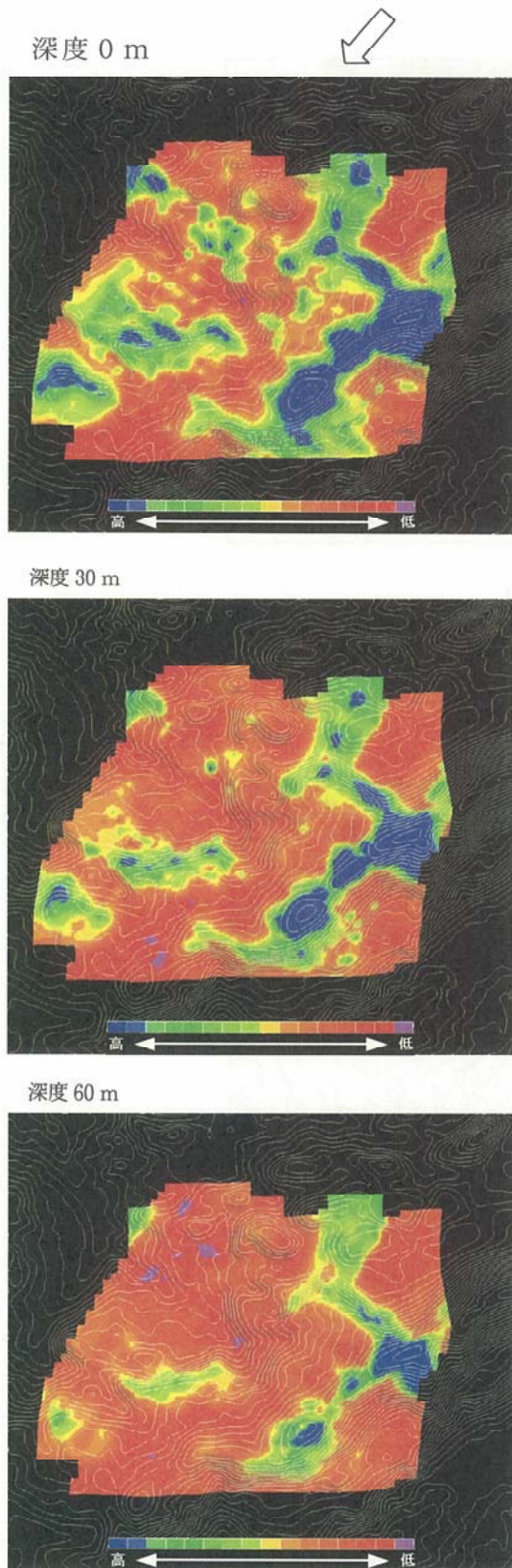


図-9 すべりの平面表示
Fig.9 The Results of Each Survey by 2D Display

砕や火砕流等によって岩礫状になっている区域

- ・比抵抗値；3000Ω・m以下
- ・全γ線の強度；1300cps以上

山腹崩壊や岩盤崩壊に対して提案されている各種危険度評価法³⁾を参考に、その岩盤性状毎に表-1のように地形勾配によって評価基準を定め、溶岩ドーム部の崩壊危険度の評価を行った。その結果、岩礫状溶岩の分布域において76%の広い範囲で崩壊の可能性が高いこと、また、崩壊はそれらの範囲で局所的・選択的に発生すると結論した。

(3) 地すべりの3次元表示

空中電磁法探査は我々に地下100~150mまでの大地の比抵抗値を提供してくれる。

ここでは、それらの比抵抗値を当社がこれまでに開発してきた3次元地質解釈支援システム(GISS)を利用して、探査結果を3次元表示にすることによって地すべりの状況をより明らかにすることができた事例を紹介する。

ここで紹介する地すべりは図-8の地質図を示すように、玄武岩台地の縁辺部で幅約200m、最大落差約20mに亘って玄武岩が滑落・崩壊している大規模な地すべり地である。

電磁法探査の結果、比抵抗分布を平面的に3深度(GL-0,30,60m)について示したのが図-9である。図中地すべり部を「→」で表現してある。本調査地では地すべりブロックと思われる領域が高比抵抗値を示しており、それが地表から30,60mと深くなるにしたがって狭くなっている状況が推定される。

この結果をGISSの一つの機能を用いて標高図に載せ、図面を回転させて色々な角度から地すべりと思われる高比抵抗部を眺め、北東の方向(図-9の矢印方

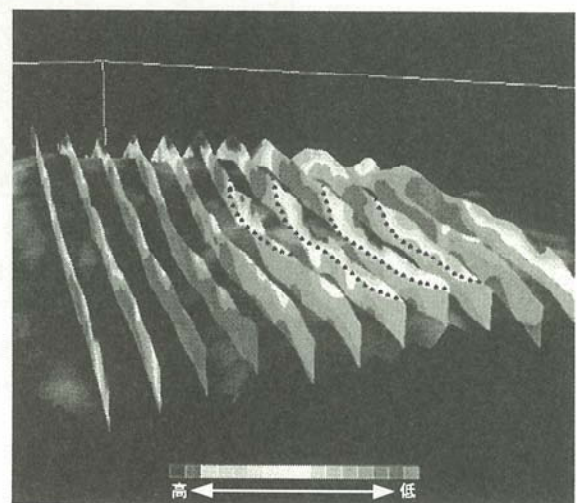


図-10 地すべりの三次元表示
Fig.10 The Results of Electromagnetic Survey by 3D Display

向) から見た比抵抗値断面を短冊状に並べて3次元表示にしたのが図-10である。それぞれの断面にはすべり面を推定して破線で表示した。このように、GISを用いることによって、地すべりの範囲、すべり面深度、すり鉢状を呈している形状等がより明瞭になり、地すべりの状況把握がより容易に実施できる。

4. おわりに

空中探査の概要と探査事例3例を紹介した。

当社が空中探査を開始してほぼ1年、その間に5件の探査を実施し、それらを通して空中物理探査とGISSとを合わせた新たなOYOの空中物理探査技術の創出に努めている。本報文はその一端を紹介してものであり、新たに創出するOYO空中物理探査技術については、次回、紙面を改めて紹介したい。

参 考 文 献

- 1) 原 弘, 小川卓司: 3次元地質解釈支援システム, 応用地質年報, NO.20, pp.131-138. 2000
- 2) 奥野孝晴, 斎藤基生 他: 空中探査法を利用した雲仙溶岩ドームの崩壊危険度予測評価, 地質調査所月報, 第52巻 第2/3号 pp113-124. 2001
- 3) 渡辺一徳, 星住英夫: 雲仙火山地質, 火山地質図, 8, 地質調査所. 1995

