

# 電磁気探査による立山カルデラの地下構造の研究 — 鳶泥と跡津川断層の東端部を探る —

酒井英男<sup>1)</sup>、丹保俊哉<sup>2)</sup>、飯田 肇<sup>2)</sup>、糸井理樹<sup>3)</sup>、王生 透<sup>4)</sup>、澤田豊明<sup>5)</sup>

## 1. はじめに

立山カルデラ(図1・写真1)は、約22万年前に活動した立山火山が谷頭侵食によって開析され、その後拡大して形成された侵食型カルデラと考えられる窪地形である。カルデラの内部には多数の崩壊地形がみられる。その一つである「鳶崩れ」は1858年4月9日に跡津川断層を震源とした推定M7.1の飛越地震の際に、外輪山の一部であった大鳶山と小鳶山の山体崩壊により形成された。このときの崩壊土砂量の見積もりは砂防上でも重要であるが、崩壊前の地形復元が難しいことから、現在まで複数の推定値が提言されているものの不確定な現状である(例えば、町田(1962)、Ouchi and Mizuyama(1989)などの概算がある)。更に、残留する崩壊土砂の量や地下の堆積構造に関する現地調査は少なく、その詳細は明確にされていない。そこで、上述の課題に対応するために、本研究では、カルデラ内での電磁気探査を試みた。従来、酒井他(2000,2002)により探査がカルデラ内で試みられ、浅部構造について成果が報告されている。

今回の探査では、立山カルデラの崩壊を誘導した地震の発生源である跡津川断層の位置の調査も目的とした。従来、地質調査により断層の東端は、砂防専用道路の有峰トンネル内まで確認されている(原山ほか, 2000)。更に内部まで断層は続くと推測されているが、厚い崩壊土砂のために調査は進んでいない。そのため探査によって地下構造を調べることで、断層のカルデラ内への延長も検討できると考え、調査を実施した。

## 2. 探査方法と測線

調査では、CSAMT (Controlled Source Audiofrequency Magneto Telluric)法による電磁気探査とシュルンベルジェ法電気探査を用いた。ともに、探査の対象物性は地下の電気比抵抗である。

CSAMT法では人工的に制御された電場・磁場を

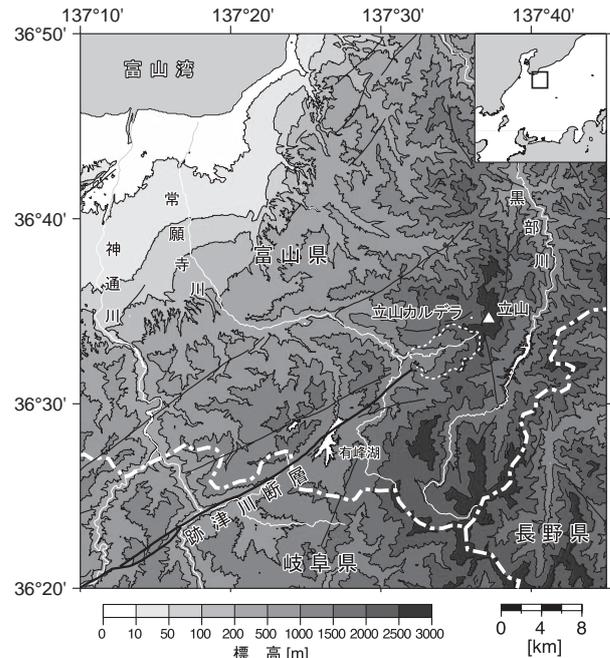


図1 立山カルデラと跡津川断層の位置



写真1 立山カルデラ(白破線内)

大地に発生させて地下へ送り、その応答を観測して、地下の比抵抗構造を求める。電磁波の送信源は、調査地域から数km離れた場所に設置する。調査地域で送信源からの電磁場が平面波として近似できる場合には、次の見掛比抵抗 $\rho_a$ の式、

1) 富山大学, 2) 立山カルデラ砂防博物館, 3) (株) エオネックス, 4) 新川水博物館準備室, 5) NPO 法人 山の自然文化研究センター

$$\rho_a = \frac{1}{\omega\mu} \left| \frac{E_x}{H_y} \right|^2$$

が成り立つ (Cagniard,1953). ここで,  $\mu$ : 真空中の透磁率,  $\omega$ : 角周波数,  $E$ : 測定電場,  $H$ : 測定磁場である. 実際の調査では, 測点を線状に配列させて, その下の垂直な断面の比抵抗分布を調べて地下構造を探る. 探査できる深度は用いる電磁波の周波数 $\omega$ に依存して変わってくる. 今回は 100m 深度までに対応できる周波数を利用した.

シュルンベルジェ法電気探査は, 垂直方向での比抵抗の分布の調査に適している. 間隔 $L$ で設定した一对の電流電極から人工的な電流 $I$ を流し, その中心部に配置する間隔 $l$ の電極対で電圧 $V$ を測定する. 電流 $I$ と電圧 $V$ により, 測線の中心付近での見掛比抵抗 $\rho_a$ が,

$$\rho_a = \frac{L^2 - l^2}{4l} \times \frac{V}{I} \quad [L \geq 5l]$$

の式から得られる. 電流電極対の間隔 $L$ を変えて, 様々な深度までの $\rho_a$ の分布を得ることが出来る.



写真2 CASMT法の受信点M4の設置状況

図2に, 測点と測線の分布を表す. CSAMT法探査については, 測定点M1~M9(測線A)と測定点M10~M13(測線B)を設定した. 写真2は受信点M4の設置状況を示す. シュルンベルジェ法電気探査は, M11測点の近傍の地域で行った.

### 3. 探査結果と検討

#### 3-1. CSAMT法の探査結果

探査結果の解析では, 対象となる鳶泥と基盤岩の水平層構造を第一次近似として1次元インバージョン

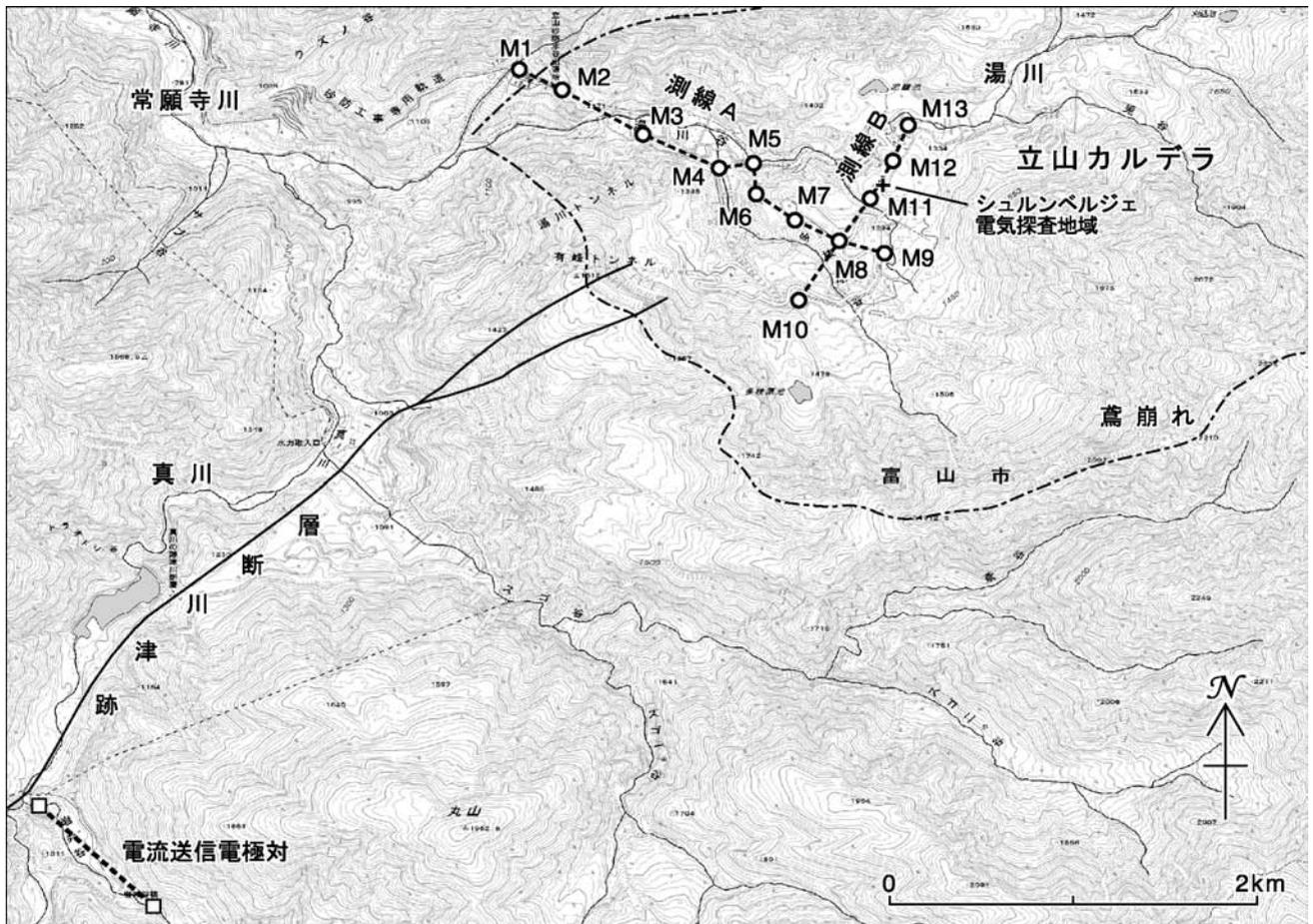


図2 探査で設定した測線と測点の分布 (国土地理院電子国土配信データを基図に使用)

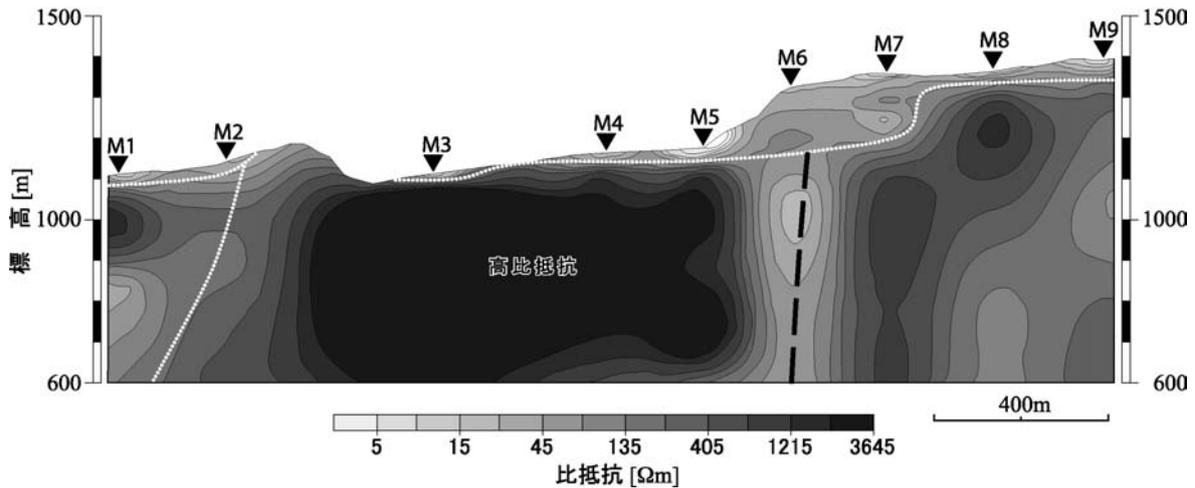


図3 測線Aでの比抵抗断面図（口絵1）

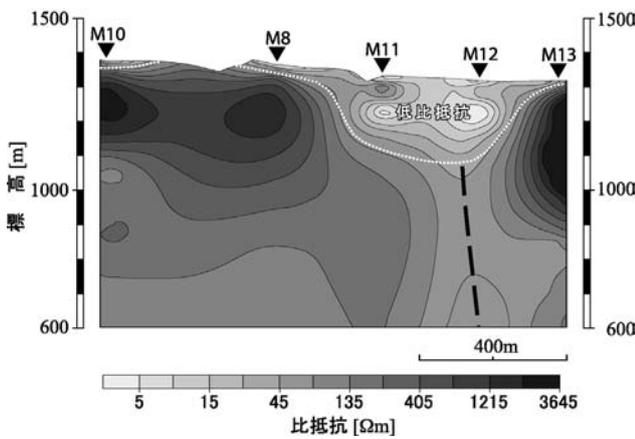


図4 測線Bでの比抵抗断面図（口絵2）

での計算を採用した。図3に、測線Aにおける探査結果を電気比抵抗の地下断面図（比抵抗断面図）として示している。更に、図4は測線Bにおいて得られた比抵抗断面図を示している。

なお探査結果の解釈において、調査地域の地質との比較として、原山ほか（2000）による報告（図6）を参照した。以下では、各測線の結果を考察する。

測線Aでは、地表から数m～約160mまでの領域が数十Ωm以下の低い比抵抗値を示している。これは地質分布を参照すると鳶泥を主体とする岩層なだれ堆積物と推定される（図中の点線は推定される岩層なだれ堆積物の堆積層や岩相の境界を示す）。この領域が最も厚いのはM6～M7の付近であり、約160mの層厚を示している。図2をみると、同地域は鳶崩れにおける土石流扇状地

の中央に相当する。また、M3～M5の範囲に見られる表層付近から深部まで続く高い比抵抗値の領域は、谷地形の底部の鳶泥が二次的に侵食された場所であり、基盤岩である花崗岩類の反応が強く現れていると推定できる。M1, 2, 8, 9の深部は、上記の領域よりも相対的に低比抵抗となっており、ここではマイロナイト化した基盤岩や火山岩の存在が示唆される。

測線Bでは、表層付近で数十Ωm以下の低比抵抗を示す領域は、測線Aと同様に鳶泥を主体とする岩層なだれ堆積物と推定される。図2をみると、測線Bは鳶崩れの土石流扇状地を横断する測線である。全体的に低比抵抗域は20mから30mの層厚を持っている。ただ、M11からM12にかけて領域は厚く、M12付近では約250mの深部まで達している。この範囲には鳶崩れ以前の崩壊土砂を含んでいる可能性があり、その影響が考えられる。また後で述べる電気探査の結果も考慮すると、跡津川断層の破碎帯における帯水状態を反映して低抵抗となっているとも考えられる。

跡津川断層の有無については、測線Aでは図3に破

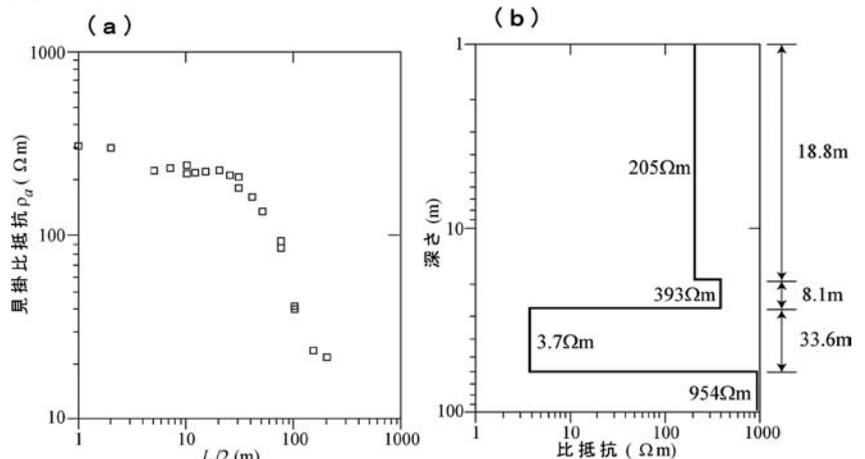


図5 (a) シュランベルジェ法電気探査の結果 (b) 1次元解析で得られた比抵抗の深度分布

線で示すように、M6の深部に低比抵抗の領域が続いている。また測線B(図4の破線)でもM12の深部に続く比較的低い比抵抗の領域があり、これらが断層破碎帯を示していると考えられる。

以上の探査で認められた断層破碎帯の位置は、有峰トンネルでの断層露頭の延長方向にある。このことから跡津川断層は、従来の研究で推定された東端部の位置よりカルデラ内部へ入り込んでおり、少なくとも約1.6km北東まで到達していることが推定される。

### 3-2. シュルンベルジェ法探査の結果

図5aには、探査から得た見掛比抵抗の測定データを示している。右の図5bでは、測定データの解析にあたって、CSAMT法と同様に水平多層構造を仮定して比抵抗の深度分布を求める1次元解析を適用した。このシュルンベルジェ法の探査はCSAMT法の

M11測点の近くで実施しており、両方の探査結果を比較し検討できる。

図5bをみると、地表から26.9～60.5mの深度に3.7Ωmの低比抵抗の層が存在しており、その下層が950Ωm以上の高比抵抗を示している。低比抵抗層は、崩壊土砂の底部として帯水層を表していると考えられ、下層の高比抵抗層は基盤岩と推定され、不透水層として作用していることが示唆される。探査結果から、地表から60.5mまでの深度の領域が岩屑なだれ堆積物に相当すると考えられる。

### 4. まとめ

二つの手法による探査の結果から、立山カルデラ内部での鳶泥を代表する崩壊土砂の堆積状況を検討すると、図6に示す本研究の調査測定点のM6, 7, 11, 12付近を中心として堆積が多く、その最大厚は約

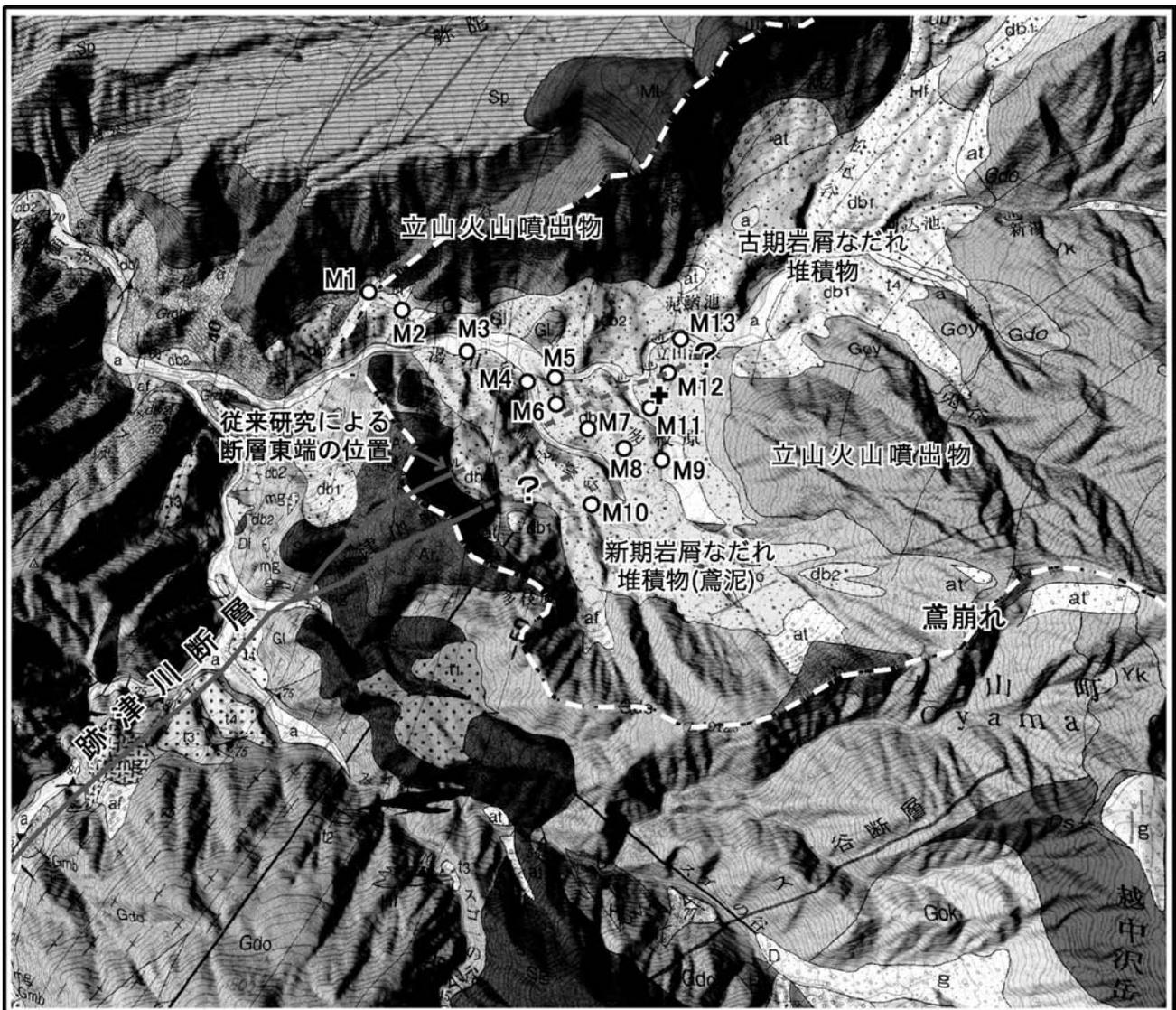


図6 原山他(2000)による地質分布と本研究で求めた跡津川断層の東部への延長(口絵3)

250mに達することが推定された。

今回は調査を行えなかったが、M5地点の対岸側の地域には、鳶泥が崩壊で流下した際に弥陀ヶ原台地へ押し寄せた堆積物が推定されている。そのためカルデラ内でも相対的に多量の鳶泥が存在し、しかも不安定な状態で堆積していると考えられる。今後は、これらの地域についても、崩壊土砂の構造と層厚の調査を行うことが必要である。今回の電磁気探査を用いる調査を積み重ねていくことで、鳶泥の堆積総量の精度良い算出も可能となると考えられる。

また、本研究により、カルデラ内での跡津川断層の位置についても成果が得られた。CSAMT探査によって断層破碎帯を示して地下深部まで続くほぼ鉛直方向の低比抵抗体の存在が示された。その位置を、従来の調査による跡津川断層の断層線と結ぶと、図6に赤い破線で描いたように認められた。つまり、本研究の探査結果により、有峰トンネルを横断する跡津川断層は、従来の研究による東端よりも約1.6km延長し、カルデラ内部まで及んでいることが示された。

## 謝辞

調査にあたり、國香正稔氏、(株)エオネックスの西田達夫氏と番場康子氏、田中地質の田中保士氏に御助力頂いた。感謝します。

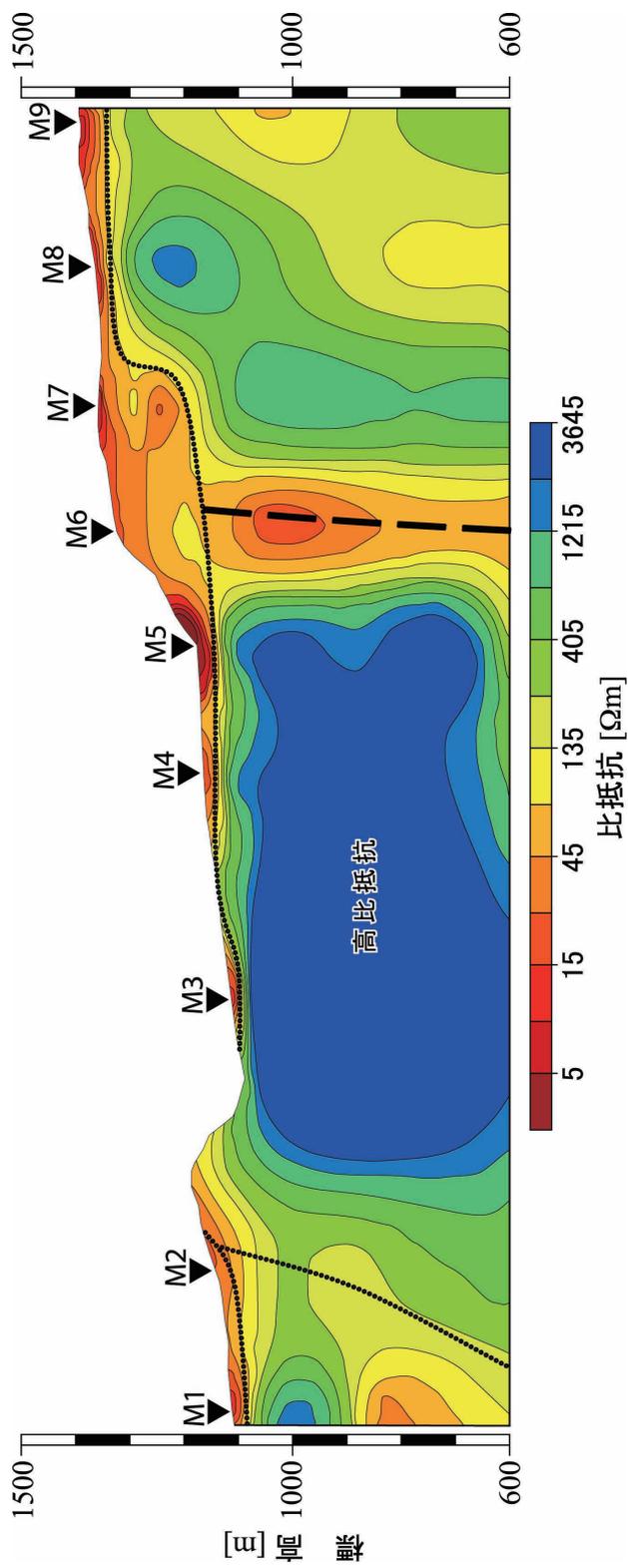
## 参考文献

- Cagniard, L. (1953): Basic theory of the magnetotelluric method of geophysical prospecting, *Geophysics*, 18, pp.605-635.
- 原山 智・高橋 浩・中野 俊・刈谷愛彦・駒澤正夫(2000):立山地域の地質. 地域地質研究報告(5分の1地質図幅), 地質調査所, 218p.
- 町田 洋 (1962): 荒廃河川における浸食過程—常願寺川の場合—, *地理評*, 35, p.157-174.
- Ouchi, S. and Mizuyama, T. (1989): Volume and movement of Tombi Landslide in 1958, Japan. *Trans. Japan. Geomorph. Union*, 10, p.27-51.
- 酒井英男・澤田豊明・飯田肇 (2000): 立山カルデラの電磁気探査, 立山カルデラ研究紀要, 第1号, 立山カルデラ砂防博物館, 9-16.
- 酒井英男・中埜貴元・野村成宏・堀井雅恵・澤田豊明・飯田肇・國香正稔 (2002): 立山カルデラ内のどじょう池の地中レーダ探査, 立山カルデラ研究紀要, 第3号, 立山カルデラ砂防博物館, 15-24.

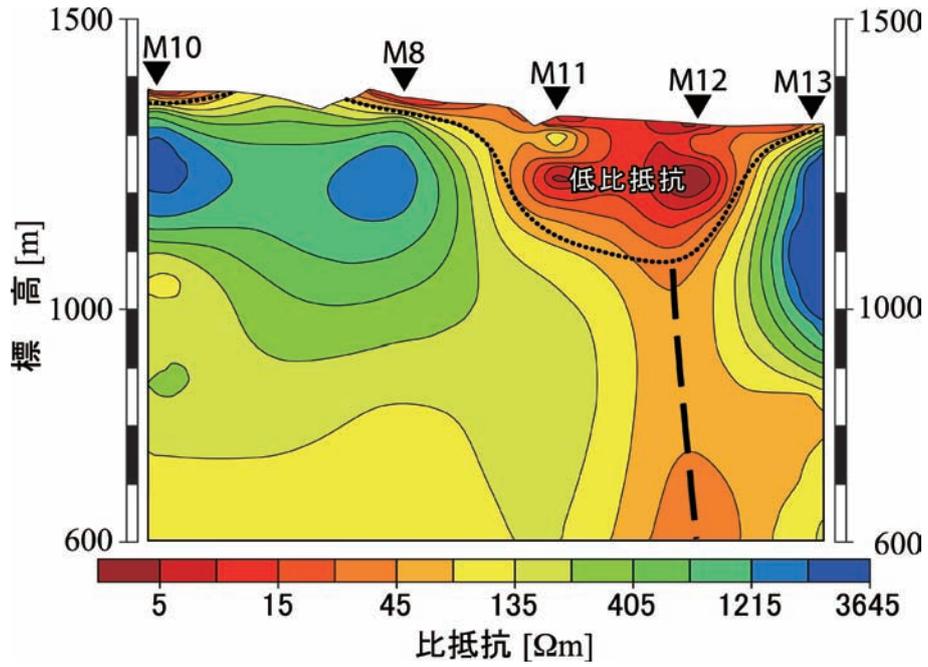
## 【要 旨】

立山カルデラ西部地域において鳶泥を主体とする土石流堆積物の堆積厚、および立山カルデラ付近まで露頭が確認されている跡津川断層が、カルデラ内に延伸・伏在しているのかについて調査した物理探査結果について報告する。探査内容は電磁気探査を2測線、そして比抵抗探査が1地点である。全ての測点において表層に低比抵抗層が認められ、水分を含んだ土石流堆積物の層と推定された。その層厚は最大で約250mに達していると考えられる。その下層には高比抵抗な領域が広範囲に分布することから電気伝導度の低い基盤岩で構成されていることが推定された。また一部分でこの高比抵抗領域を、比較的比抵抗領域が鉛直な帯として分断していることが分かった。この帯は跡津川断層の走向の延長上に分布していることから土石流堆積物の下に伏在する断層破碎帯であると考えられ、その位置から跡津川断層が約1.6km延伸すると推定された。

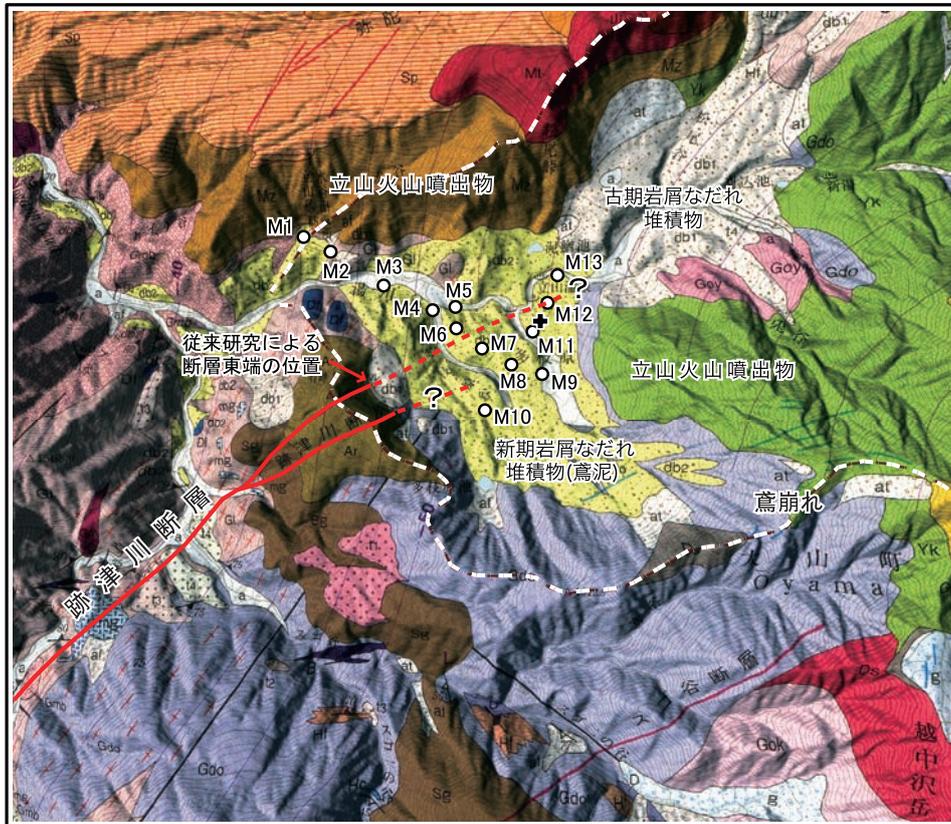
電磁気探査による立山カルデラの地下構造の研究  
— 鳶泥と跡津川断層の東端部を探る —



口絵1 測線Aでの比抵抗断面図



口絵2 測線Bでの比抵抗断面図



口絵3 原山他(2000)による地質分布と本研究で求めた跡津川断層の東部への延長