8. 地下構造

8.1 電気探査による硫黄島の地下構造 (I)

川 崎 逸 郎*

Geological Structure of Iwo-jima Surveyed by Means of Electric Prospecting Method.

Ituro KAWASAKI

Abstract

The electric prospecting was performed in March 1975 and again in August 1978 to survey the geological structure of Iwo-jima. The following results were obtained:

- 1) The survey in March 1975 revealed apparent resistivity of gland surface at 5000 Ω -cm in the Motoyama area, which is the central part of Iwo-jima;
- 2) The low measurement of 5000 Ω -cm is equivalent to that of Alluvial plain. This measurement was found to persist as far as 100 m below sea-level.

I. はじめに

昭和50年3月12日～18日および昭和53年8月9日～18日の2回に亘り、東京都による小笠原硫黄島火山活動調査の一環として同島の地下構造探査を目的とした電気探査を実施した。

本調査では調査期間と機材の重量の都合で通常の大地球抵抗測定器を使用した。

II. 測定作業について

1) 測定器

本体：横河製 TYPE 3244型および L10 型大地球抵抗測定器

検流計：横河製 TYPE 2707

電源：ホンダ小型発電機 (DC12V 用)

コード：0.4mm ϕ ×50芯

電極接地抵抗測定用として SANWA N-401F, CX-505

2) 測定

電極配置は WENNER の四極法とした。その理由は $\rho=2\pi aR$ の式を満足するにはこの方法が最も妥当と考えるからである。測定値の季節変化と火山活動の影響の有無を調べる必要上、第2回目の調査時には第1回時と同一測点において、追跡調査を数点において実施し、第2図のような ρ -a 曲線の変化を知ることができた。

III. 解析について

硫黄島は現在活動を続けている火山島で地表付近に60°C 以上の高温部が分布し、岩盤は温泉作用によ

* 千葉大学理学部 Faculty of Science, Chiba-University

って軟質となり、噴気箇所も多い。電気探査には困難な条件のところである。

解析は次のような手法を用いた。

測定の結果は深さ a を算術目盛で、見掛け比抵抗値 ρ は対数目盛にとって ρ - a 曲線を描き、その右側に電流曲線 A- a を描き 2 つの曲線を比較できるようにする (第 3 図)。そして、 ρ - a 曲線の解析は標準曲線法を用いず直視法を重視した。その理由は、電氣的に計算し ρ - a 曲線を解析 (区分) することはできるが、それが直ちに地層区分ではない。解析の結果の適、不適は電氣的計算処理ではなく、ボーリング結果や露頭にある事実とどの程度近似するや否やで決定すべきであるという川崎 (1966) の考え方にもとづき、硫黄島においても ρ - a 、A- a 曲線の屈曲の姿態と測定地付近にある露頭にある地層との関連を確認しつつ地層区分を行った。それが第 3 図の Tu1~Tu3, Lava の境界である。第 5~6 図に 1975 年と 1973 年の全測点の ρ - a 曲線を掲示した。縮図の都合で A- a 曲線を省略してあるが、 ρ - a 曲線からそれぞれの測点の特長を知ることができる。

1) 調査地域と測点分布

第 1 図 調査地域と電気探査測点分布

第 2 図 前回測点の追跡調査の ρ - a 曲線の比較 (I)

第3図 ρ - a 曲線と電流曲線A- a と測定電圧との関係から地層区分を行なう(川崎の方式)

でも、変質の程度によって比抵抗値が違ってくる。1975年の測点 No. 4, No. 5, No. 6, No. 8, No. 9 付近は、元山凝灰岩と呼ばれている固結度の低い砂岩、泥岩のところであるが、測定の結果は第5図の ρ - a 曲線に見るように同じにはならない。No. 8, No. 9 測点の地表付近は岩盤温度が40°C以上のところ、傍には100°C以上の噴気があり岩盤は硫黄の噴気によって軟弱となっているところ、No. 6では元山凝灰岩の下位にある溶岩との境界付近に大規模な噴気が見られるところである。

第4図 千鳥ヶ原から見た元山南西部の急崖

第1回調査時の測点(第1図)のうち No. 1~No. 4 は西海岸千鳥ヶ浜に沿う道路に(第4図の崖の上), No. 5~No. 7 は北海岸から北東海岸に沿う道路に設けた。また、測点 No. 8, 9 は北部の台地にある北飛行場付近に, No. 10, 11 は南部の台地の千鳥飛行場に設けた。各測点の高度は、5,000分の1国土基本図から読み取り ρ - a 曲線の a の基準とした。

第2回調査の測点は第1回測点分布の間隙を埋めるよう配置した。500m ごとに1測点を予定したが現地事情により1.0~1.5km に1測点となった。

2) 1975年と1978年の測定結果について

電探測定による比抵抗値は地表の状態によって、同一深度にある同一岩盤においても風化の程度、割れ目の入りぐあい等によって測定値が違うのが普通である。まして、本島のような火山島では地表付近から地下の深いところまで、岩盤をつくる原岩の構造が変質しているところが多い。したがって同じ岩質のところ

第5図 1957年調査結果から作成した模式地質断面図

第 1 表 小笠原硫黄島電探測定結果と地質図との関係

電探測定による地層区分	見かけ比抵抗値	地質図による地層区分
Tu1: (段丘礫層を含む スコリア質, 砂礫層)	$50 \times 10^3 \sim 100 \times 10^3 \Omega \text{cm}$	千鳥ヶ原砂礫層
Tu2: (砂質凝灰岩)	$30 \times 10^3 \sim 100 \times 10^3 \Omega \text{cm}$	元山凝灰岩
Tu3: (砂質凝灰岩)	$50 \times 10^3 \sim 100 \times 10^3 \Omega \text{cm}$	元山凝灰岩 (軽石層)
Lava	$10 \times 10^3 \sim 100 \times 10^3 \Omega \text{cm}$	溶岩および迸込岩

以上の事実から同一の岩質からなる岩盤であっても同じ比抵抗値にはならない。 ρ -a 曲線は測定地域の十分な情報が得られないと解析（ここでは地層区分）は難しい。これらのことを考慮して地層区分を第 1 表のように行ない、第 5、6 図のような模式地質断面図を作成した。前記のように、測点間隔が 1.0～1.5km では地質断面図を描くのは難しいことであるが、現地事情を考慮して作成した。しかし、第 5、6 図程度のスケールでは特に大きな変更はないものとする。第 5～6 図を本島の地質と比較するとかなりの共通点を見出すことができる。

3) 模式地質断面図 I (1975)

第 5 図 A, B, C, D はそれぞれ測点のレベルを合せて作成し ρ -a 曲線を配置し地質断面図と対応させた。A は千鳥ヶ浜海岸の急崖に沿った測線上の断面で急崖の上部に位置するところの Tu1, Tu2, Tu3 の各層準は測点 No. 1 より No. 3 の方向（南から北）に緩く傾いている。これらの層準は第 4 図の写真のように断層によってモザイク状に断ち切られている。そのすべての断層は図示できないので測点間に F の記号で入れた（第 6 図）。次にそれぞれの図にある太い破線は推定した高温部の位置である。

1967 年川崎は箱根山湯ノ花沢にある硫黄山において駒ヶ岳溶岩 CC7 の厚さを測る必要があり電探測定を実施した（第 7 図）。 ρ -a 曲線の屈曲の姿態は現地の地層区分に適合することを確かめた。図中 gas と breccia の部分は高温の硫黄ガスの噴気する位置である。A 図の測点 No. 3, 4, 5 がこれに相当する。この高温部の位置を測点 No. 2, 1 の ρ -a 曲線上に推定すると A 図にある太い破線である。以上のようにして、第 5、6 図は地質情報も加味して作図した。

4) 比抵抗値の分布 I (1975)

第 5 図の ρ -a 曲線に包括線を描いて平滑な曲線とし、+50m, +0m, -50m, -100m の値を読み等値線を描いてみると第 8 図、第 9 図-A, B のような比抵抗値の水平分布図になる。次にこの等値線図の北端④と南端⑤を結ぶ線上の断面図をつくってみると第 9 図-C のような比抵抗値の垂直分布の模式図ができる。比抵抗値の水平分布は元山付近を中心として北側と南側に高く、最も高い値は南の摺鉢山付近の $200 \times 10^3 \Omega \text{cm}$ 、最も低い値は元山付近の $5 \times 10^3 \Omega \text{cm}$ である。この値は第 10 図のように海面下 -100m まで続いている。これは元山付近の泥地獄や硫黄の噴気で岩盤が軟弱となっているような状態が、しかも泥地獄や噴気が 100°C 以上の高温であることから海面下 100m 以深まで 100°C 以上の高温部が続いていると考えることができる。

5) 模式地質断面図 II (1978)

1978 年調査の模式断面図を 1975 年調査と比べると特徴的な点は次の通りである。

i) 第 6 図-E では基底にある溶岩、迸入岩は北方に向かうほど地表に近くなり、日出浜では海岸の海蝕崖に露われるようになる。ここではたくさんの噴気孔の配列や浅丘状にある岩体の配置等の微地形からわずかに断層の存在を知ることができる。

ii) 第 6 図-F では基底の溶岩が北部と南部に分断してあるが、海岸では断層によって海水準のレベル

第6図 1978年調査結果から作成した模式地質断面図

IWOYAMA, Hakone (May. 27 '67)

NO.3 (H=1078m)

TYPE: L10

第7図 箱根山駒ヶ岳南斜面，湯ノ花沢硫黄山における電探測定の結果
上図は測定位置，下図は ρ - a 曲線，駒ヶ岳溶岩の厚さが判定できる。

第8図 1975年調査結果から作成した比抵抗値の垂直分布の模式図
 $\times 10^3 \Omega \text{cm}$ は図の中の数字の単位，右の数字は標高

まで上昇しているところがある。Tu1, Tu2, Tu3 の各層準はほぼ水平に図のように位置するものと考えられる。

iii) 第6図-G は本島の北部の高い台地と南部の低い台地との接続部の模式断面図である。測点 No. 9 は地形上僅かに高く，その両側にある測点 No. 6 と No. 8 の位置は断層面によって低くなり地塁状の断面に測点が配置されている。測点 No. 9 と No. 6, No. 8 の間にある噴気現象は地塁の基底にある高温の溶岩の影響が断層に沿って上昇したものと解釈する。

6) 断層分布について

第5, 6図と現地踏査から，地質断面図に記入した断層について検討した。その結果本島は，第10図のような小地塊からなる Mosaic pattern の構造となっている。これらの断層について，方向や配置と分布，観察した地形から整理すると，本島は第10図のA-Bを境界として北半部の元山地塊は南東方向に動いたものと考えることができる。

7) 比抵抗値分布 II (1975年と1978年との比較)

1978年8月の本島の比抵抗値の等値線図を描いたのが第9図-A である。1978年の調査は8月で，路上の日中気温46°C，測定条件に恵まれず，1975年のように測定深度がとれず，比較できるのは0 m Levelのみであった。第9図-A とBには3年の経過がある。A図ではB図にあった $5 \times 10^3 \Omega \text{cm}$ の値は，本島の北と南に後退し $3 \times 10^3 \Omega \text{cm}$ 以下の低い値が本島の北半部を占めるようになった。 $3 \times 10^3 \Omega \text{cm}$ 以下とい

第9図 小笠原硫黄島における比抵抗値の分布

Aは1978年, Bは1975年の測定結果。数字の単位は $10 \times 10^3 \Omega \text{ cm}$, 1978年では比抵抗値 $3,000 \Omega \text{ cm}$ 以下のところが大きくひろがっている。CはA-B方向に垂直断面をとり, 測定値の垂直分布を見たもの。1978年には0 mの付近に $3,000 \Omega \text{ cm}$ の値が大きくひろがった。

第10図 電探測定の結果から判定した小笠原硫黄島の断層網
④-⑤を境として矢印の方向に動いたのではなかろうか。

う比抵抗値は通常沖積低地の湿地域に等しい値である。C図の垂直断面模式図に0 mの値を記入すると $3 \times 10^3 \Omega \text{ cm}$ の値が大きくひろがった状態となる。これらの違いは季節変化ではなく, 本島の自然条件から考えて, 地下深部において比抵抗値が低くなるような変化が起きたものと解釈できる。

IV. 要 約

以上を要約すると次のようになる。

(1) 第5, 6図のような模式地質断面図が得られた。これらの図は, 既に報告されている地質図と比べて調和的である。

(2) 現地踏査と地形図から第10図の断層網図を作成した(あえて航空写真を使用しなかった)。本図から, 本島は④-⑤を境界として北半部は南東方向に, 南半部は北西方向に動いているという推測をたてた。

(3) 2回に亘る測定で最も注意したのは火山活動に関係ある比抵抗値の変化である。追跡調査の結果, 変化は予想したところに現われたといってよい。第9図を見ると比抵抗値の分布傾向に大

第11図 ボーリングデータ（検層ログ P, 自然電位 SP）と電気探査の P-a 曲線の比較
それぞれの曲線が調和的であることがわかる。

ボーリングポイントと電探測点との距離が400mあり、周囲の地表状況からみると必ずしも一致しなくともよい。しかし、100mと130mでコアに凝灰質岩の存在するところは、 ρ -a 曲線に低い比抵抗値となっているところに一致する。

以上から、電気探査による推定は、測定方法を測定者によっては良い結果を得ることができるということがいえる。

② 機器測定では、機器の系統発生過程を充分検討すること、測定の結果得られた数値の処理についての基本姿勢、すなわち、数字を出すまでの過程を重要視することの必要性について重複を恐れず縷々と述べた。なお測定作業の細部は小笠原硫黄島火山活動調査報告第Ⅱ、Ⅲ報を参照されたい。

謝 辞

2回に亘る小笠原硫黄島調査に電気探査の機会を与えられた東京工業大学の小坂丈子教授と小沢竹二郎助教授（現埼玉大学教授）、平林順一助手の各位、また炎天下の電探作業に従事された千葉大学園芸学部、理学部の学生諸君に心からの感謝を捧げます。

きな変化は認められない。しかし、比抵抗値の水平分布や垂直分布において、0 m付近の値が大きく変ったことは注目すべきである。このようなばあい、引続き追跡調査を行うことが最良と考える。

後 記

① 稿了後、測点 No. 8より北の方向400mの地点におけるボーリング資料（2. 4章参照）を入手し、その資料を電気探査の結果を対応させたのが第11図である。ボーリングポイントと測点 No. 8の周縁の地表は至るところ硫黄臭のガス噴気が強く元山凝灰岩の岩盤は変質し、安山岩質の溶岩が各所に露出するところである。

第11図は左から ρ -a 曲線、検層ログ曲線 P, 自然電位曲線 SP を並べたもので、ボーリングデータから判定したコアの区分と、それぞれの曲線の対応を示した。

第11図では、 ρ -a 曲線の ρ の高いところと検層ログの P の高いところは僅かにズレる傾向が現われており、地表の状態からみると双方の測定データは調和的であるといえる。しかし、コアの実体と電探測定から判定した地質区分は必ずしも一致していない。ボーリングポイントでは凝灰質岩のところは地表から20mの深さまでとなり、大部分は溶岩となって凝灰質岩の部分は深度100mの付近と130mの付近に僅かに存在することになる。

ρ -a 曲線では130m 付近を境として上位を元山凝灰岩、下位を熔岩と判定した。この違いはボー

参考文献

- 遠藤源助・竹内睦雄・松坂総一郎 (1973) : 電気探査における三次元モデル地層の研究. 物理探査, **26**, p. 251-259.
- 川崎逸郎 (1965) : 電探測定値の季節変化 (I)—浅間火山鬼押し付近について—. 応用地質, **6**, p. 115-120.
- 川崎逸郎 (1966) : 電探測定値の季節変化 (II)—八ヶ岳東麓海ノ口牧場について—. 応用地質, **7**, p. 79-86.
- 竹内睦雄・金 喜俊・野口康二・遠藤源助 (1983) : 電気探査比抵抗法による地下浅部調査. 物理探査, **36**, p. 111-117.
- 竹内睦雄 (1985) : 電気探査ダイポール・ダイポール法による地下浅部探査. 土と基礎, **33**, No. 7, p. 29-32.
- 保国光敏・阿部 裕・土弘道夫・五十嵐寛昌 (1985) : 電波探査技術を利用した浅層地盤調査法. 土と基礎, **33**, No. 7, p. 33-36.

8.2 電気探査による硫黄島の地下構造 (II)

遠 藤 源 助* 高 橋 博**

Subsurface Geological Structure by Electric Survey in Iwo-jima

Gensuke ENDO and Hiroshi TAKAHASHI

Abstract

Electric surveys were performed along four survey lines by three methods such as apparent resistivity by dipole-dipole, array, spontaneous potential and frequency effect of induced polarization in the island of volcano, Iwo-jima. It is concluded that combination of those methods is effective to survey complex geologic structure, convection of hydrothermal fluid and distribution of alteration zones in volcanic and hydrothermal areas.

I. ま え が き

火山列島硫黄島では活発な地盤変動が進行しており, 水蒸気爆発や陥没, 熱水噴出などの火山性現象が発生し, ほぼ全島が地熱・温泉地帯である。とくに火山現象を伴う活動中の断層地帯では, 噴気・硫気現象が活発である。このような活動をしている地下の状態を知るために, 1978年12月電気探査法による地下構造調査を行なった。

II. 測 定

測定は噴気・硫気活動が広い区域にみられる元山地域 (第1図) と地表面象の活発な阿蘇台断層地域 (第2図) で実施した。

測定方法は自然電位法, 比抵抗法および強制分極法で, 比抵抗法および強制分極法の測定は双極子電極配置によって行なった。

* 早稲田大学理工学部 School of Science and Engineering, Waseda University

** 国立防災科学技術センター National Research Center for Disaster Prevention