

中伊豆町小断層周辺の電氣的構造調査

東京大学地震研究所 歌田久司, 吉野登志男, 石川雄一,
本蔵義守, 小山 茂
気象庁地磁気観測所 河村 諠, 大地 洸, 桑島正幸

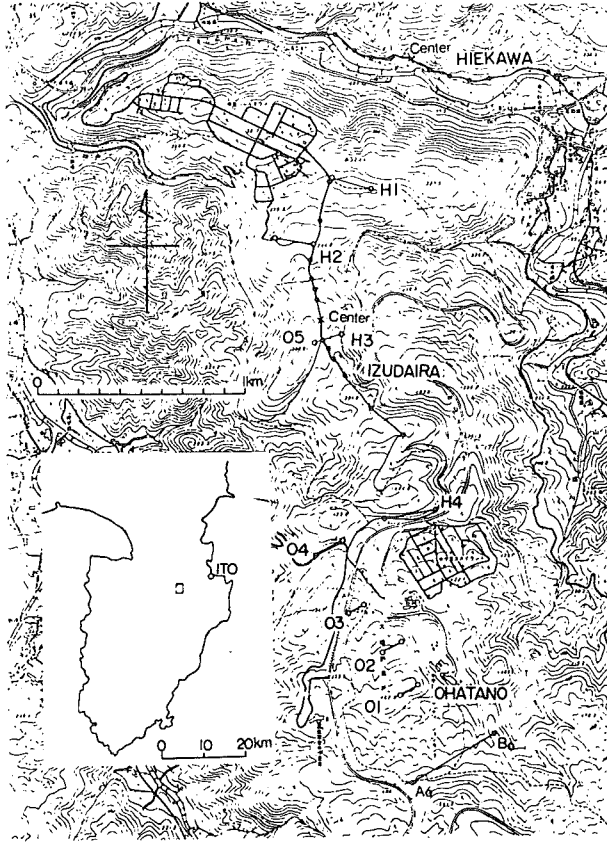
1. まえがき

地殻を構成する岩石の電気抵抗は、常温では岩石の空隙 (pore) 内に含まれる水の量とその比抵抗値によってほぼ規定される。これは、個々の造岩鉱物の比抵抗が一般には非常に大きいため、電流はほとんど空隙中の水を流れることによる。一方室内実験によれば、岩石に割れ目 (crack) が生ずることによって、数分の1ないし1桁の比抵抗の減少があることが示されている (Brace and Orange¹⁾)。こうした点から考えると、断層の活動によって破碎された岩石は、破碎されない岩石に比べ著しく低比抵抗であることが予想される。事実、兵庫県内にある山崎断層では、断層破碎帯の比抵抗が基盤に比べ1桁近く小さいことが明らかにされている (小野, 他²⁾)。

伊豆半島では過去数年間地盤に異常隆起のあることが、国土地理院の繰り返し水準測量によって明らかにされた (国土地理院³⁾)。隆起地域の中心に近い中伊豆町冷川で人工電位法による比抵抗測定を、1976年7～8月および11月に実施した (行武, 他⁴⁾)。ひき続き、1977年10月25～29日に第3回の観測を行なった。今回は、特に同地域内に存在する断層周辺の電氣的構造解明を目的とした観測を実施した。伊豆半島には多数の活断層が分布するが (星野, 他⁵⁾)、それらは非常に小規模なものが多い。今回の観測では、(1)これら小規模断層にも、それに附随して電氣的手法で検出可能な破碎帯が存在するか、(2)I.P. (Induced Polarization) 現象が断層の存在に対応するか、という問題を明らかにすることを目標とした。

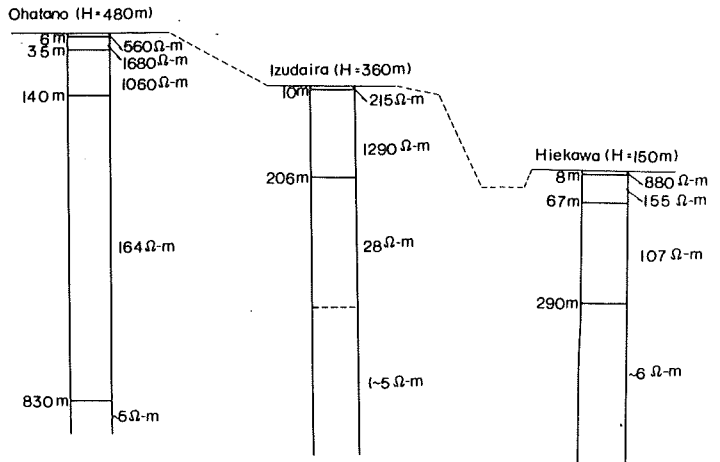
2. 測定地域とこれまでの結果

第1図に1976年7～8月および11月に実施した測定地域および電極配置を示す。大幡野高原 (OHATANNO), 伊豆平 (IZUDAIRA), および冷川 (HIKAWA) において、Schlumberger 法による、あるいは Bipole - dipole 法との併用による測定を行なった (行武, 他⁴⁾)。結果から水平層構造を仮定して得られた比抵抗垂直分布を第2図に示す。今回の測定は、大幡野高原と伊豆平とはさまれた地域で実施した (第3図)。この地域には図



第1図 観測地域（電極配置は1976年7～8月および11月の観測時のもの）

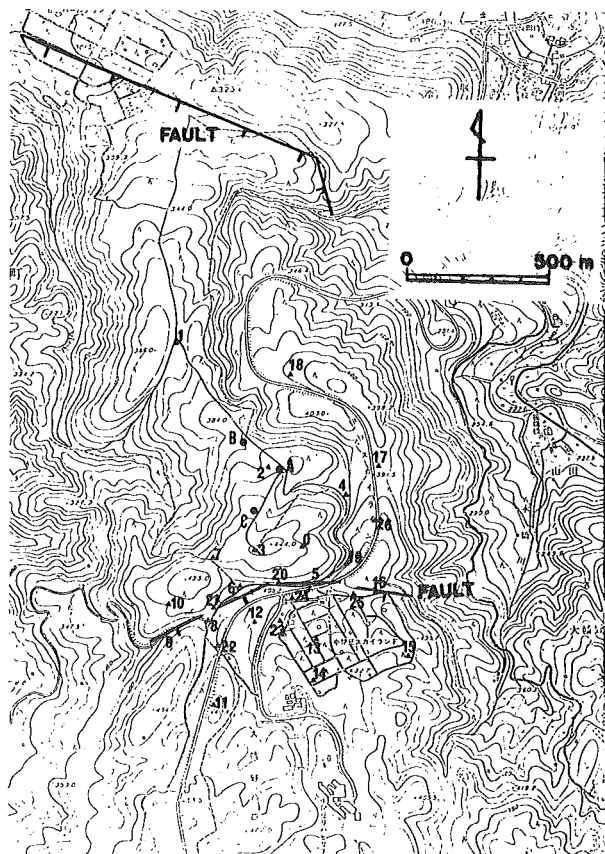
第2図 Schlumberger法によって得られた比抵抗垂直分布（行武，他⁴による）



に示したように、小規模の断層が存在する（星野，他⁵⁾）。黒丸A，B，およびCは電流電極位置を，また，番号つきの黒三角は電位差の測定点を示す。電流Dipole AB，およびACは，それぞれ長さ200m，196mで，直交して設置した。入力装置としては，最高800V 2Aの電流を流すことのできるIP発信機（横浜電子社製，容量2Kw）を使用した。実際に流した電流は1.5Aの交代直流（矩形波電流）で，周波数は0.1Hzおよび1Hzとし，場合に応じて0.3Hzおよび0.02Hzも併せて使用した。

3. 見かけ比抵抗と人工電流分布

電位測定点を固定する方法，例えばSchlumberger法（Keller and Frischknecht⁶⁾）



第3図 中伊豆におけるQuadrupole mappingの電極配置。黒丸A，BおよびCは電流電極，黒三角は電位測定点，番号は測点番号を表わす。図中，太線は活断層（星野，他⁵⁾）。

などは、電流電極間隔を拡大することにより深部の情報を得ることができ、いわゆる垂直探査法として有効である。一方、今回実施した Quadrupole Mapping 法 (第4図) では、電流電極を固定して電位測定点を移動させる。このため、測定値は各測定点ごとにその付近の比抵抗構造の影響を強く受けることになる。従って、この方法は水平方向の比抵抗異常の検出に有効であると言うことができる。

測定は第4図に示したような電極配置で行ない、直交する電流 Dipole AB, AC に対し、OM, ON 直交2成分の電位差を測定する。なお、この際用いる電流の周波数は、過渡現象の影響がなく直流とみなしうるもの (0.1 Hz) である。電位電極間隔は充分短くし (5.0 m 以下)、電位の平均勾配を電場として扱った。電流 Dipole AB, AC に対し、電場 E_{AB} , E_{AC} が測定された時、点 (r, ϕ) における見かけの比抵抗を、Doicin⁷⁾ と同様な形式で、

$$\rho_Q = \frac{2\pi}{I} |E_{AB} \times E_{AC}|^{1/2} G_Q^{-1/2} \quad (1-a)$$

$$G_Q = \left(\frac{1}{r^2} - \frac{r-a \cos \phi}{r_B^3} \right) \frac{1}{r_c} a \cos \phi + \left(\frac{1}{r^2} - \frac{r-a \sin \phi}{r_c^3} \right) \frac{1}{r_B} a \sin \phi \quad (1-b)$$

によって算出した。

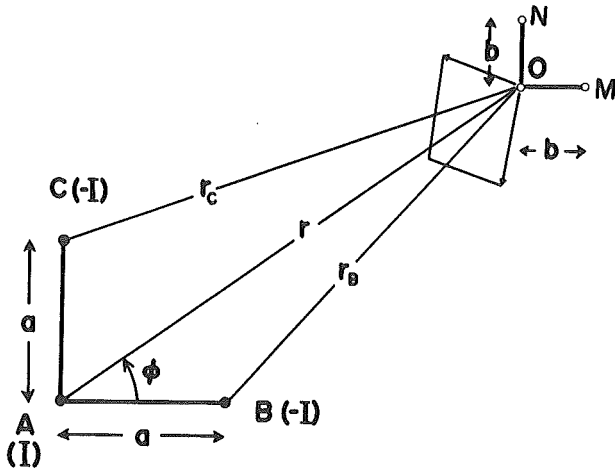
人工電流場は、電極配置から見て理想的には双極子場となるはずであるが、実際には水平方向の比抵抗の不均質が原因となり、測定された電場の向きは程度の差はあれ乱されたものとなる。そこで測定された電場の方向 θ_M の、一様媒質に予想される電場の方向 θ_H かけのずれ

$$\delta = \theta_M - \theta_H \quad (2)$$

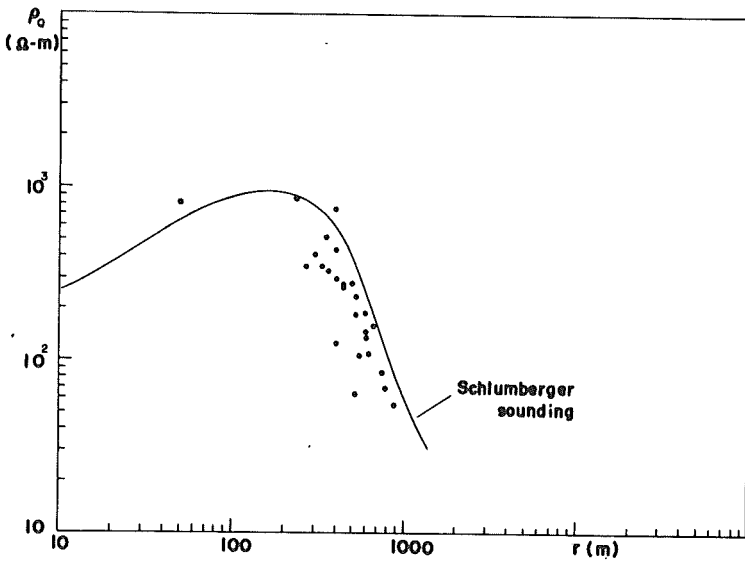
は、水平方向の媒質の不均質さに対応した分布になるものと考えられる。

ここでは、見かけ比抵抗 ρ_Q および電場の方向のずれ δ_{AB} , δ_{AC} の分布から、測定地域の構造を議論することにする。なお、Quadrupole Mapping 法では電流 Dipole AB, AC に対し、それぞれ固有の見かけ比抵抗 ρ_{AB} , ρ_{AC} を求めることができるが (Keller, et al.⁸⁾), これらは、Dipole の方向性による影響が含まれるのでここでは用いない。

第5図は ρ_Q を距離 r に対し両対数にプロットしたもので (黒丸)、実線は伊豆平における Schlumberger 法によって求めた比抵抗垂直分布モデル (第2図) に対する理論曲線である。 $\rho_Q - r$ の関係はこの曲線とよく似た傾向を示している。今回得られた結果にこの曲線を適合させるためには、前に得られた伊豆平のモデルで第2層と第3層の境界の深さを数 m 浅くすればよいことがわかる。いずれにしても、観測地域の構造は平均的に見れば、数 100 $\Omega - m$

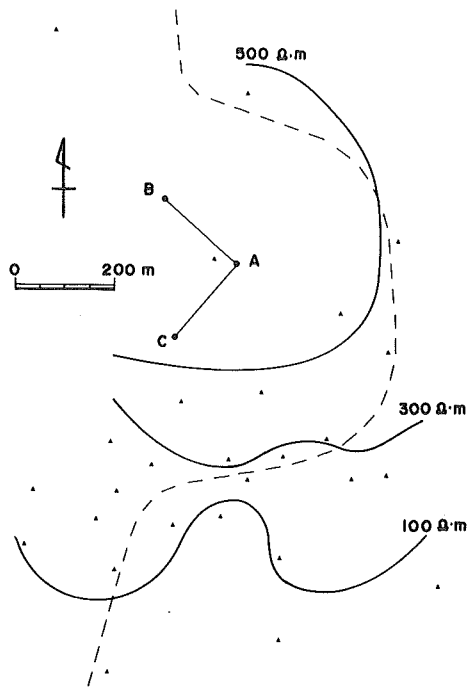


第4図 Quadrupole-quadrupole 電極配置



第5図 電流源からの距離 (r) に対する見かけの比抵抗 (ρ_Q)

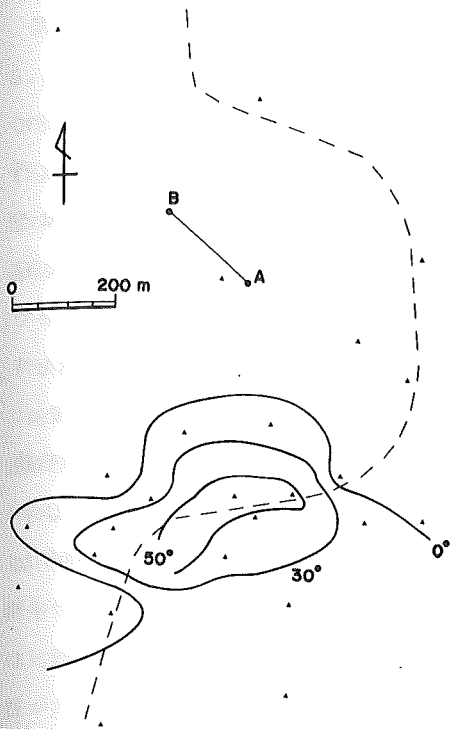
の表層と、 $1\text{ K}\Omega\text{-m}$ 以上の第2層および数 $10\ \Omega\text{-m}$ の第3層からなるということが出来る。しかし、 ρ_Q 個々の値を見るとかなりのばらつきが見られる。この測定における測定精度は、距離の測定誤差および電位差の読み取り誤差を加味して約 10% 前後となるが、 ρ_Q のばらつきは有意に大きい。従ってこれは各測定点付近の、比抵抗の不均一による擾乱によるものであると考えられる。



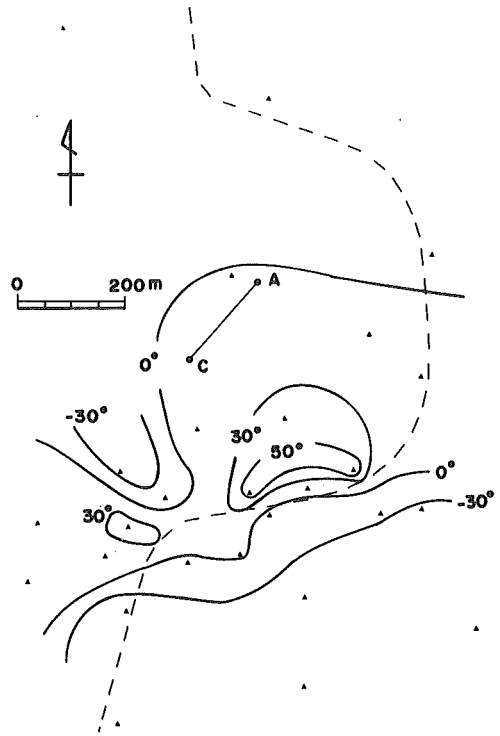
第6図 見かけの比抵抗(ρ_Q)の水平分布(点線は伊豆スカイライン)

第6図は ρ_Q の水平分布を、等見かけ比抵抗線で示したものである。モデル計算によれば、横方向に均質な水平層構造に対する ρ_Q の分布は、ほぼ同心円状となる。また、一様媒質中に比抵抗異常領域がある場合には、その形状によく対応した ρ_Q 分布が得られることが知られている。観測結果は、ほぼ同心円に近い分布であるがところどころゆがみが見られる。特に伊豆スカイライン(破線)の南側のゆがみは大きく、この付近の地下に低比抵抗異常領域があることが考えられる。一方、 δ_{AB} 、 δ_{AC} の分布から(第7a図、7b図)、ほぼ同じ地域を中心として、電場の方向が著しく乱されており、大きいところで 50° 以上になっている。

以上の結果を総合すると、大幡野高原と伊豆平の間にあると推定されている小断層(第3図)は、低比抵抗の破碎帯を伴ったものであると結論できよう。しかし、低比抵抗帯の拡がりからすると、その延長は第3図に描かれているものよりはかなり短いものと推定される。しかし、その延長や巾がどの程度のものであるかについて結論を出すためには、さらに詳しい調査が必要である。



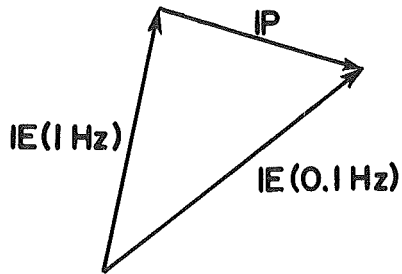
第7-a 図 電流の方向のずれ (δ_{AB}) の水平分布



第7-b 図 電流の方向のずれ (δ_{AC}) の水平分布

4. IP 強度分布

測定の際、矩形波電流を入力した時の出力電圧波形は、入力と同一周波数の矩形波となり、等価回路として抵抗だけを考えればよい場合もあるが、時としてキャパシタンスやインダクタンスを挿入した時と類似した過渡現象が見られる時がある。物理探査法の一つであるIP法(Induced Polarization method)では、単一の測線において周波数を変えた測定を行ない、分極の強度を表わすパラメータとして、次の様な量、PFE(Percent Frequency Effect)

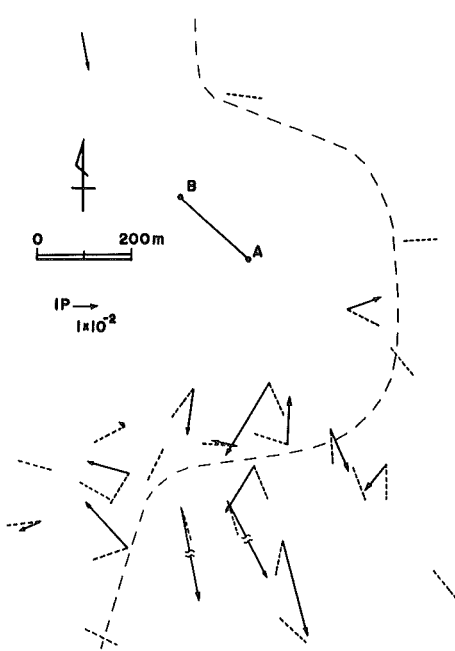


第8 図 周波数 0.1 Hz および 1 Hz で測定された電場と、分極ベクトル P との関係

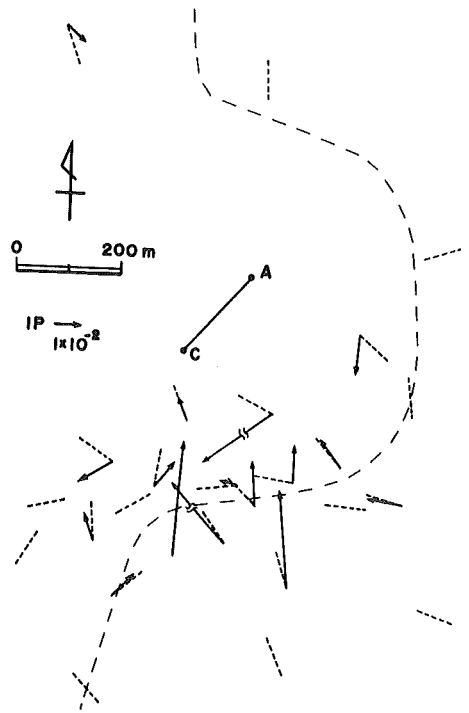
$$PFE = \frac{V(\omega_1) - V(\omega_2)}{V(\omega_1)} \times 100 \quad (\%) \quad (3)$$

を求めることがよく行なわれる。ここで $V(\omega_1)$ 、 $V(\omega_2)$ は、それぞれ入力電流値を一定にした場合の周波数 ω_1 、 ω_2 に対する出力電位差である。しかし、我々の観測は2次的に行なったものであり、分極はベクトルとして考えなければならない。そこで、第8図に示すように入力電流値が一定の場合の、0.1 Hzと1 Hzに対する出力電場の差で分極ベクトルPを定義した。第9 a 図、9 b 図に分極ベクトルPの分布を示す。各ベクトルは直流電場の大ききで規格化して表わしてある。従って、このベクトルの各成分は(3)式のPFEとほぼ同じ意味を持つ。

なお、この測定結果には電磁誘導による効果も含まれているはずである。IP法における誘導効果の補正は重要な問題とされており、例えば層構造に対する理論計算による補正法(Dey and Morrison⁹⁾)などがあるが、この方法を適用しうるのは地表付近が一様に近い特別な場合に限られる。従ってここでは、誘導効果の補正は行なっていない。



第9-a 図 電流 Dipole AB に対する分極ベクトル(矢印)および電場(点線)の分布



第9-b 図 電流 Dipole AC に対する分極ベクトルおよび電場の分布

第9-a図, 9-b図を見ると, 分極ベクトルは, 比抵抗異常領域の周りで大きい傾向がある。しかしこの傾向はかなり広い範囲にわたっており, 比抵抗異常領域との対応は必ずしもよくない。なおベクトルの方向は, 測定点5, 12, 24などではいずれの電流Dipoleに対しても, ほぼ南北方向にそろっている。この事は, この断層の走向がほぼ東西であり, 断層上と思われる測定点5, 20で, 電場の向きがいずれの電流Dipoleに対しても東西にそろっている事と対称的である。

5. まとめ

地質調査によって指摘された小断層の周辺で人工電位法による電気探査を実施した。この推定断層上では見かけ比抵抗が小さいこと, 電場がほぼ断層と平行になることなどの結果が得られた。これらは, この断層が小規模断層とはいえ, 破碎帯を伴うものであることを意味している。しかし, IP強度の分布は比抵抗や電場の分布とは違って, 強い強度を示す点が必ずしも断層付近に集中していないことがわかった。今回の観測から, 伊豆半島に多数分布する活断層は比較的小規模のものが多いが, それらは電氣的に検出可能な破碎帯を有するものである可能性が大きいと言えよう。

観測実施に当っては, 前回同様, 中伊豆町役場, 全国共済農業協同組合・中伊豆リハビリテーションセンター, 国民宿舎中伊豆荘の方々の御協力を得た。これら多くの関係者の方々に深謝の意を表す。

参 考 文 献

- 1) Brace, W.F. and A.S. Orange, Electrical resistivity changes in saturated rocks during fracture and frictional sliding, *J. Geophys. Res.*, 73, 1433-1445, 1968
- 2) 小野吉彦, 村上裕, 行武毅, 人工電位法による山崎断層周辺の比抵抗構造について, 地磁気観測所技術報告, 17, 61-68, 1978
- 3) 国土地理院地殻調査部, 伊豆半島の地殻変動, 地震予知連絡会会報, 16, 82-87, 1976
- 4) 行武毅, 吉野登志男, 歌田久司, 本蔵義守, 小山茂, 河村謙, 大地洗, 森俊雄, 田中秀文, 若林哲也, 吉田稔, 伊豆半島地盤異常隆起地域の電気抵抗測定, 地震研究所彙報, 52, 163-171, 1977

- 5) 星野一男, 橋本知昌, 松田時彦, 伊豆半島北東部の活断層分布図, 地震予知連絡会会報, 17, 51-52, 1977
- 6) Keller;G.V. and F.C. Frischknecht,Electrical methods in geophysical prospecting,Pergamon press,Oxford,1966
- 7) Doicin,D., Quadripole - quadripole arrays for direct current resistivity measurements - model studies,Geophysics,41, 79-95, 1976
- 8) Keller,G.V., R.Ferguson, C.Y.Lee, N.Harthill,and J.J.Jacobson The dipole mapping method, Geophysics, 40, 451-472, 1975
- 9) Dey,A. and H.F. Morrison, Electromagnetic coupling in frequency and time domain induced polarization surveys over a multilayered earth,Geophysics,38, 380-405, 1973