

鹿屋付近の地下の電氣的構造について

大 島 汎 海

概 要

鹿屋付近の地下の電氣的構造探究の第1段階として、地磁気観測所鹿屋出張所の地磁気・地電流の変化記録をもとにして、大地比抵抗の垂直分布についての予備的な調査として地電流の異方性の状況と Magneto-tellurics における Cagniard の方法を試みた結果を報告する。鹿屋での地電流の異方性は周期数10秒から数10分にいたる変化に対して主軸の方向を時計廻りに変えてゆきながら次第に強まってゆく傾向が認められた。単純な Magneto-tellurics は鹿屋に対しては東西方向に対して適用するのが適当であること示し、その結果 $\rho_1=6\Omega\cdot\text{m}$, $\rho_2=40\Omega\cdot\text{m}$, $\rho_3\geq 2\times 10^4\Omega\cdot\text{m}$, $h_1=2\text{km}$, $h_2=30\text{km}$ という三層モデルが考えられた。最後にこのモデルについての憶測を述べたが、立ち入った議論はさらに十分な検討を加えた上で行なう必要があるだろう。

1. は し が き

地表面で観測される電場、磁場は地球の内部構造を知るための有力な道具の一つではあるが、短周期変化を使って地殻からマントル上層部にわたる辺りの電氣的状況を知らうとする一般に不均質不等方な複雑な地質構造に煩らわされて真相への接近がはばまれている。しかし地震予知・火山活動予知等の問題もからみ地殻・マントル上層部の電氣的構造を知ることとは一つの重要な課題である。

鹿屋は地電流主方向や Parkinson Vector の向きにおいて非常に特異な周期依存性をもっている⁽¹⁾。この事実は鹿屋付近の電氣的地下構造がシステムチックに深さとともに変わっていていることを示唆していて、はなはだ興味深いものがある。しかし鹿屋付近については今のところ対比すべき地下の資料はほとんどなく、困難を一層深くしている。ここでは何等かの手懸りを得るための予備調査として、まず地電流の異方性の状況を地磁気と地電流の相对应する変化から周期別にもとめ、さらに当不当の問題はさておいて初歩的調査段階として Cagniard の方法による Magneto-tellurics⁽²⁾ を試みた。

2. 鹿屋における地電流の異方性

地磁気観測所鹿屋出張所で得られた ordinary magnetograms と ordinary tellurigrams から読み取った短周期変化の資料をつかって、ありのままの磁場・電場の関係を見ることとした。対象とした短周期変化は現象の起時から極値時までの duration が2分から60分程度までのもので、地電流と地磁気の両変化の対応が良好なもののみを扱った。この場合、地電流の異方性の状態を知るのが目的であるので、地磁気変化はその水平面内での変化ベクトルがいろいろな方向を向いているものを選択する必要がある。こうして得られた地磁気、地電流の短周期変化ベクトルのデータを duration が2分から10分のクラスと10分以上のクラスとに

別け、地磁気水平変化ベクトルの大きさを ΔH 、方位角を θ_H 、それに対応する地電流の変化ベクトルの大きさを ΔE 、方位角を θ_E として、それぞれのクラスについて $\Delta E/\Delta H$ 、 θ_E を Fig. 1-a および b の極座標に表わし、 θ_E と θ_H との関係を Fig. 2-a および b のように求めた。ここで θ_E 、 θ_H は北を 0° として時計廻りに測るものとする。ただし図上には 0° 、 90° 、 180° 、 270° をそれぞれ N, E, S, W で表示した。当然のことであるが地磁気変化は南北方向に卓越し、図でも判るように相当に苦心して探したもののやはり東西方向の変化を見出すことは困難で少数例とならざるを得なかったのは残念である。しかしこの両図からでも鹿屋地電流の異方性を概観することは十分に可能で、二つのクラスの間にはっきりした差異を見出すことができる。もし地下が均質等方なものであるならば、Fig. 1 は円となり、Fig. 2 では $\theta_H = 270^\circ$ 、 $\theta_E = 180^\circ$ の原点を通り 45° の傾斜をもつ直線となるはずである。

なお周期数10秒の脈動について rapid-run induction magnetogram および rapid-run tellurigram を使って同じような調査を行なって見たが、こちらでは地磁気データが時間による微分形となっているため振巾のとりあつかいが面倒となるので方位角のみについて θ_H と θ_E の関係を取って見た。結果は Fig. 2-c のとおりで均質等方に非常に近い性情を示しており、あきらかに Fig. 2-a, b の状態とは異っている。

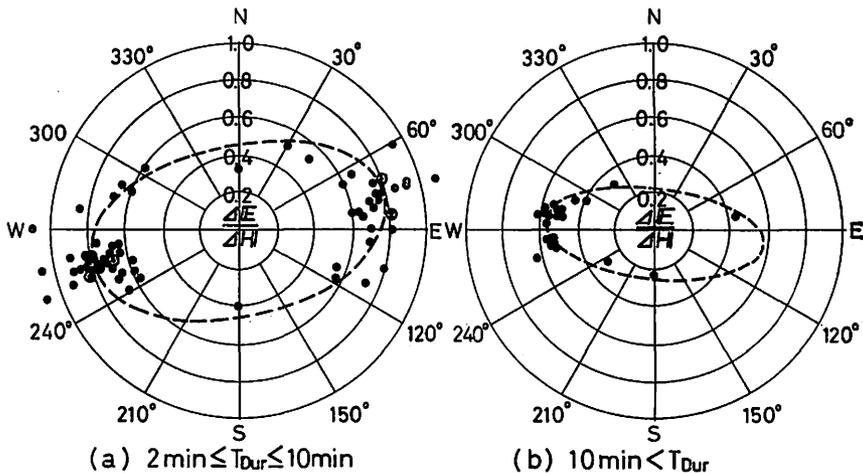


Fig. 1. Anisotropic change of earth-current vector for the unit vector of geomagnetic horizontal force at Kanoya. The radial distance of each dot indicates the ratio $\Delta E/\Delta H$, and the direction shows the azimuth of earth current vector.

3. 鹿屋における Magneto-tellurics の適用

鹿屋の地磁気、地電流の変化から Cagniard の見掛け比抵抗 $\rho_a = 0.2T(E/H)^2$ を求める。ここで T は変化の周期で、 E/H は互に直交する地磁気・地電流の振巾比である。対象とした変化は日本近傍を考える場合一様磁場の取り扱いをしても差支えないと考えられる pc3, pi2, ssc, si, bay および bay-like の現象の中から相互の対応性の良好なもののみを選んだ。⁽³⁾

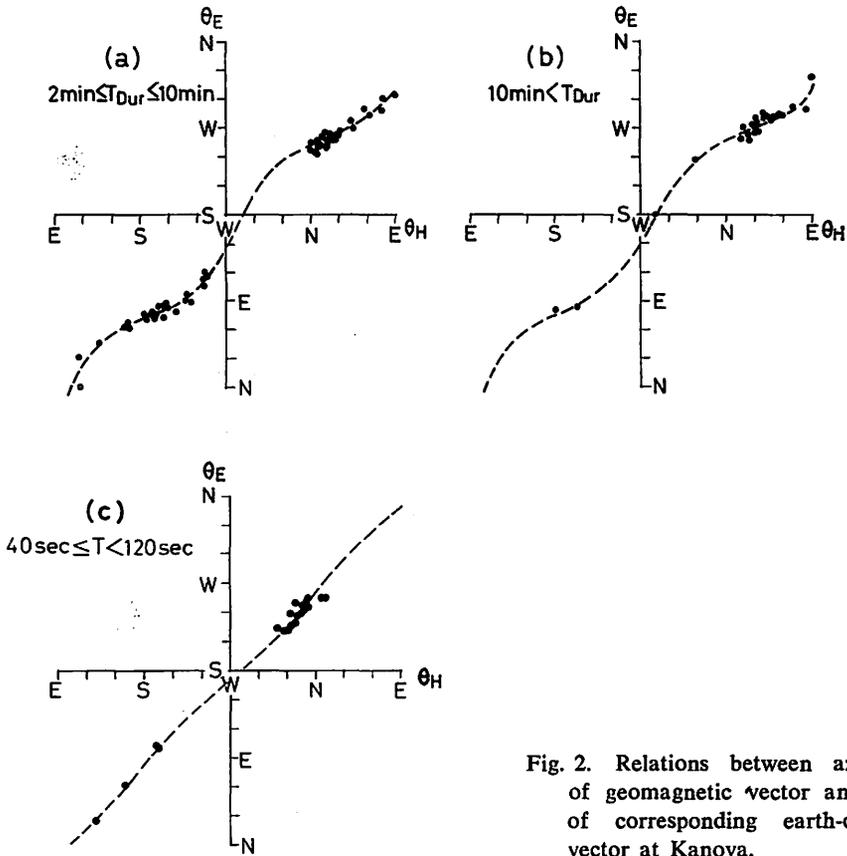


Fig. 2. Relations between azimuth of geomagnetic vector and that of corresponding earth-current vector at Kanoya.

これによって周期 20sec から 6000 sec までの範囲の変化が得られる。前節でも述べたように地磁気では南北方向の変化が卓越しており、東西方向の適当な変化を見出すことは困難であり、地電流の異方性の状態からも E/H は地磁気の南北変化と地電流の東西変化の振幅比をとる方が妥当であると考えられる、このことは Fig. 3-a および b から明らかで、鹿屋においては地電流の東西成分変化量 ΔE はその大部分を地磁気南北成分（水平分力）変化量 ΔH に依存する形を示しているが、地電流南北成分変化量 ΔN は地磁気東西成分（偏角）変化量 ΔD にはあまり依存性がなく ΔE と同様 ΔH への依存性が強いという結果があらわれている。これは Cagniard の方法をとる場合、 ΔE 対 ΔH に関するかぎりは均質等方として取り扱っても真実に対する比例関係的な結果を得ることが可能であることを示し、 ΔN 対 ΔD に対しては単純な方法による magneto-tellurics を適用することができないことを示している。したがってここではできるだけ地磁気変化が南北方向を向いたもののみを選び出して、それに対応する地電流の東西成分を読み取った。この ΔH 、 ΔE を使って Cagniard の方法により見掛けの比抵抗 $\rho_a = 0.2T(\Delta E/\Delta H)^2$ を計算し、Fig. 4 に示したような ρ_a 対 T の関係を求めた。この関係は二層モデルで解釈できそうもないことは一見してあきらかである。しかし

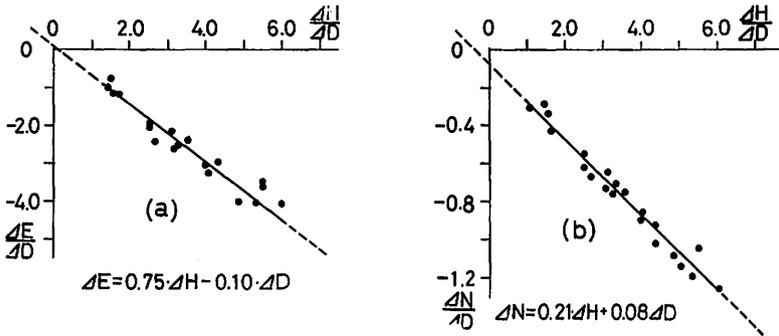


Fig. 3. Relations between earth-current and geomagnetic variation at Kanoya.

- (a) East component of earth-current, ΔE , and geomagnetic horizontal intensity, ΔH , and declination, ΔD .
- (b) North component of earth-current, ΔN , and geomagnetic horizontal intensity, ΔH , and declination, ΔD .

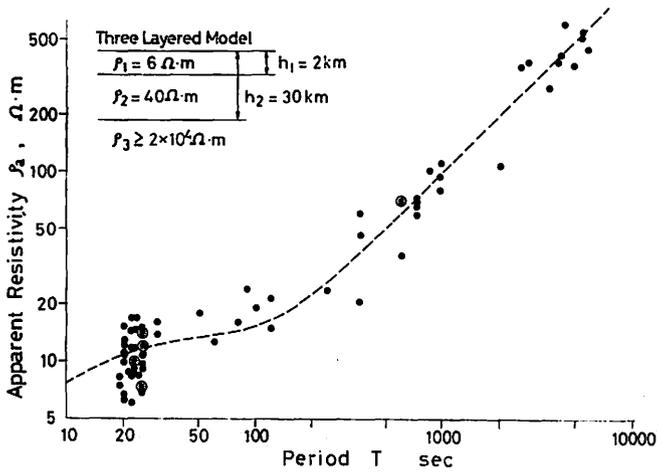


Fig. 4. Magneto-telluric analysis at Kanoya: each dot shows the measured apparent resistivity, $0.2 T(E/H)^2$, and the dashed line shows the calculated curve for the 3-layer model shown in the upper left part of the figure.

$T = 200 \text{ sec}$ のあたりで 2 部分に分けて見ると、 $T < 200 \text{ sec}$ および $T > 200 \text{ sec}$ のそれぞれの部分は二層問題として解釈が可能な様子を示しており、 $T < 200 \text{ sec}$ に対しては $\rho_1 = 5 \Omega \cdot m$, $\rho_2 = 35 \Omega \cdot m$, $\rho_1 \cdot \rho_2$ の境界の深さ $h_1 = 2 \text{ km}$, $T > 200 \text{ sec}$ に対しては $\rho_1 = 35 \Omega \cdot m$, $\rho_2 = \infty$, $h_1 = 40 \text{ km}$ または $\rho_1 = 25 \Omega \cdot m$, $\rho_2 = \infty$, $h_1 = 28 \text{ km}$ がよく当てはまることが判った。この結果より Fig. 4 はほぼ三層問題として解釈できるという見通しがつき、その場合の各層の比抵抗値および各層の厚さに対する目安も得られた。これをもとに地表付近のごく表層を無視し

て Fig. 4 の図中に示した三層モデルの垂直比抵抗分布を考え、これに対する見掛け比抵抗を Cagniard に従って計算し、その結果を図中に破線の曲線として示した。図を一見して判るようにこの計算値と実測値は非常によく一致している。ただこのモデルがどこまで実際の鹿屋の地下構造を示しているかを確かめる比較資料が見当たらないのが残念である。しかし、前節で述べた異方性の状態および Fig. 3 の結果から見て、このモデルはすくなくとも実際の鹿屋の地下比抵抗分布と相似の関係にあるものと見て大きな誤りはないものと考えてよいだろう。

4. 考 察

鹿屋地電流の異方性は周期数10秒の変化から周期数10分の変化にいたる間に主軸の方向を次第に時計廻りに変えてゆくとともに異方性を強めてゆく傾向が認められた。この異方性の周期によるシステムチックな変化をこの付近の地下構造とどう結びつけてゆくか、その結果が今回 Cagniard の方法をそのまま適用して求めた地下比抵抗分布にどのような変更を求めてくるかは今後の問題となるところである。ただ Fig. 3 の $4E-4H$, $4N-4D$ の関係から今回の結果は比較的単純な修正によって実際の地下比抵抗分布に近づくことができるのではないかと考えている。吉松が1957年に二層モデルとして同様の結果を出している⁽⁴⁾が単純な magneto-tellurics を適用するかぎり同じような結論となるのは当然で互に裏付けとはなりえない。今回の三層モデルとした場合の結果で非常に顕著なことは 30km 付近において上層に対し下層が数 100 倍以上という大きな比抵抗値を示したことと 2km から 30km までの第 2 層が水成層の比抵抗に相当するほどの小さな比抵抗値を示していることである。現段階では大胆すぎるかもしれないが各層の地質構造的な対比を考えてみる。まず第 1 層については鹿屋付近の地質構造を支配している古代の阿多、始良両火山の噴出物の堆積⁽⁵⁾がまず考えられる。第 2 層については鹿屋付近の基磐の深さとしてそれほど無茶な値ではない。しかし基磐の比抵抗値としては $40\Omega\cdot m$ というのは 1 乃至 2 桁小さすぎるのではないかという疑問が残る。次に第 2, 第 3 層の境界である 30km 付近における大きな不連続であるが、この 30km 前後という値は鹿屋付近のモホロビッチ不連続面の深さとして地震波速度、重力のブーゲー異常分布より推定されている値と非常によく一致している。即ち神沼がレーリー波位相速度法より求めた日本の地殻の厚さの分布⁽⁶⁾によると鹿屋付近でのモホロビッチ面は約 27 km の深さであり、金森が日本列島内の重力のブーゲー異常より求めた日本のモホロビッチ面の深さの分布⁽⁷⁾からは約 31km が得られている。勿論これらはそれぞれ地殻のモデル、地殻およびマントルの平均密度等の仮定を基礎にしているから確かさの点では magneto-tellurics に比べて数等優れているといえるほどではないかも知れないが要するに異なった立場・方法による結果がほぼ同じ点を指しているということに意義があると考えられる。この結果から 30km 付近における比抵抗の大きなギャップは単なる偶然ではなくモホロビッチ不連続面と関連があるものと考えてよいのではないだろうか。この第 3 層の値はマントル上層部の比抵抗値としては不自然な値ではない。

問題は第 2 層の異常に小さい比抵抗値と第 3 層との間の数倍にも及ぶ比抵抗値のギャップである。この点柳原の柿岡付近に対する結果⁽⁸⁾⁽⁹⁾とは全く対照的である。これらの疑問点に

ついでに議論は今回の結果をもとにしてさらに十分な検討を加えてから行なわれることが必要である。

謝 辞

この論文をまとめるにあたり多大の御指導・御助言をいただいた柳原一夫地磁気観測所長ならびに鹿屋出張所において観測に励んでいられる方々に厚くお礼申し上げます。

文 献

- (1) 久保木忠夫, 大島汎海(1965): 地磁気観測所要報, 別冊 2, PP.1-91.
- (2) Cagniard, L. (1953): *Geophysics*, 18, PP.605-635.
- (3) Price, A., T. (1964): *J. Geomag. Geoelectr.*, 15, PP.241-248.
- (4) Yoshimatsu, T. (1957): *Memo. Kakioka Mag. Obs.*, 別冊 1, PP.1-76.
- (5) 松本達郎, 野田光雄, 宮久三千年(1962): 日本地方地質誌, 九州地方, PP.198-319.
- (6) 神沼克伊(1964): 地学雑誌, 73, PP.219-223.
- (7) 金森博雄(1964): 地学雑誌, 73, PP.243-246.
- (8) 柳原一夫, 横内恒雄(1965): 地磁気観測所要報, 12, 1, PP.105-113.
- (9) 柳原一夫(1965): 地磁気観測所要報, 12, 1, PP.115-122.

On the Subterranean Electric Structure near Kanoya

Hiroshi OSHIMA

Abstract

Behavior of anisotropy of earth-currents and the Cagniard's magneto-telluric analysis are studied as a preliminary research on the vertical distribution of earth-resistivities in the vicinity of the Kanoya Magnetic Observatory. This study is the first step to the research of subterranean electric structure near Kanoya. Data of geomagnetic and earth-current rapid-variations at Kanoya are used in this study.

It is found out that the main axis of anisotropy changes its direction clockwise with increase of the period of geomagnetic rapid variations from several 10 sec to several 10 min and simultaneously anisotropy is intensified.

At Kanoya, it may be reasonable to apply the Cagniard's simple magneto-tellurics to the east-west component of the earth-current, because the component is depending mainly on horizontal intensity of geomagnetic field variation, as shown in Fig. 3. And three layered model, $\rho_1=6\Omega\cdot m$, $\rho_2=40\Omega\cdot m$, $\rho_3\geq 2\times 10^4\Omega\cdot m$, $h_1=2$ km, $h_2=30$ km, is deduced from the result of it's application.

In the last section, some speculations are described on interpretation of this model, but further discussions will be done after more sufficient research.