

地磁気変化異常の起り方

行 武 毅

(東京大学地震研究所)

1. ま え が き

最近では、地磁気変化を利用して、上部マントルの電気伝導度分布の研究が、盛んにおこなわれるようになった。いわゆる *Conductivity Anomaly* 研究であるが、これはもともと、地磁気変化の異常性がまず発見されて、その説明として、上部マントルの電気伝導度の異常分布がとらえられることとなった。各地で見出された地磁気変化の異常そのものが、決して単純なものでない上に、このような異常変化を引き起す原因が、また多様であるために、いわゆる *CA* 現象は、複雑で難解なものとする傾向がある。

ここでは、地磁気変化の異常とは何かという現象面から捉えた、いわば縦の見方を先ず述べ、次に横の見方としてそのような異常変化を起す原因として何が考えられるかを検討し、それぞれの原因に対応する観測例をみとめることにする。

2. 地 磁 気 変 化

日本のように比較的低緯度で、地磁気湾型変化のような1~2時間の変化を調べると、水平成分の変化は、いろいろな場所でほぼ同様であるのに対し、鉛直成分変化は、ある特定な場所でいつも異常に大きいことがある。第1図は、有名な中央日本異常を示す観測例であるが (Rikitake 1959, 1966) 太平洋岸の関東から紀伊半島にかけて、鉛直成分の変化が異常に大きいのが認められる。これに対して緯度 79.5° にあるカナダの Mould Bay では、また違った変化の異常が観測されている。第2図に Mould Bay での記録を約 700 km 離れた Resolute Bay で得られた記録と比較して示してある

(Rikitake 1966, Whitham 1963)。Mould Bay では、鉛直成分 (Z) の変化はゆるやかで、短周期成分の欠如していることに気付く。つまり Mould Bay では、Resolute Bay 等に比べて、鉛直成分の変化が小さいという意味で異常である。ある場所では、鉛直成分の変化が大きいから異常地域であるというし、他の場所では、鉛直成分の変化が小さいから異常であるという。このように一見矛盾した「変化異常」は何処から由来するのであろうか。

高緯度地方では、極光帯に近いので、空間的拡がりの小さい、不規則な変化が観測され易い。このような磁場の変化では、もともと鉛直成分が、水平成分と同じ程度の大きさ含まれている。すなわち高緯度では鉛直成分変化の大きいのが正常な状態である。これに対してよくCA研究の対象となる湾型変化は、中低緯度では、かなり広い範囲にわたって一様な、主として水平成分の変化の卓越した現象である。したがって、中低緯度での湾型変化について云えば、鉛直成分変化の小さいのが正常といえる。

ところで良導体の表面近くでは、磁場変化の面に垂直な成分は小さくなる傾向がある。完全導体の場合、表面では面に垂直な成分は零になってしまい、面に平行な磁場変化のみが残る。すなわち、導体の近くでは、磁場は導体の面に平行な面内で変化することになる。仮りに導体の表面が水平であると、その近くでは、磁場の鉛直成分は非常に小さくなる。Mould Bayのように、本来外部磁場に鉛直成分が含まれている所で、鉛直成分が小さくなる異常は、水平な構造をもつ導体が地表近くに存在すると考えれば説明がつく。しかし、もし中低緯度に水平成層構造をした導体が地表近くにあっても、もともと鉛直成分の変化の小さい湾型変化ではMould Bayで見られるような異常は観測されない。ところが導体の表面が傾いていると、外部磁場自体は水平成分しかない場合でも、導体の附近では面に平行になろうとする傾向があるために、鉛直成分の変化が現われることになる。中低緯度で湾型変化の際にみられる鉛直成分変化の異常は、このように導体が傾斜している部分や海と陸の境界のように、水平な導体の末端で起っていると考えられる。地表で観測される現象からみる限り、地下で導体が傾斜している場合と導体の端が観測点近くにある場合との区別は困難である。

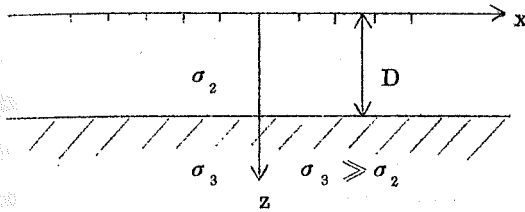
現象面で変化異常をひき起す構造を分類すると、上に述べた水平成層構造、傾斜構造（または末端効果）のほか、海峡効果とでも呼ぶべきものが存在する。導体の中に海峡のような隘路があると、導体中に誘導される電流は海峡と直角方向には流れることができない。したがって、磁場変化としては、海峡に直交する成分が卓越することになる。しかも広い海の中で一様に誘導された電流が、海峡では狭い部分に集中することになり、磁場の強さは著しく強いものとなる。このような効果は、地中海のサルヂニア島とコルシカ島の間や（Giorgi and Yokoyama, 1967）、関門海峡（Miyakosi, 1968）で観測されている。また、カナダ北極圏のAlertでは、磁場の変化がいつも、北西—南東の方向に限っておこる（Whitham and Andersen, 1962）。第2図のAlertの記録をみるとX成分とY成分とが、きわめて対称的に変化しているのが、これである。この特異な

現象は、地殻内に南西—北東にのびる導体の盛り上がりがあって、地殻内でいわば導体の海峡を構成していると考えれば、説明がつくであろう。第3図に一例を示したように、半島や岬の先端で見られる、著しい変化異常(笹井, 1969)も、この種の変化に分類できる。

3. 水平成層構造に対する電磁誘導

前節で、地磁気変化異常を理解するために、導体の分布形態を3種類に分類した。その中で、水平成層構造の場合は比較的構造がきまり易い。まず簡単な例題から考えてみよう。

第4図のように、良導体(σ_3)の上に厚さDの不良導体(σ_2)が重なっている場合、外



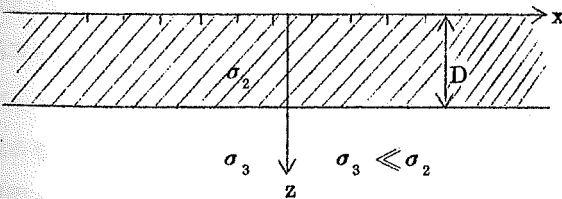
第4図

部で磁場、電場が $\exp i(px + qy) \exp(-\nu z) \exp(i\omega t)$ の形で変化すると、互いに直交する電場と磁場の比(E_x/H_y)、および磁場の鉛直成分と水平成分の比は、近似的に次のように書ける。

$$\frac{E_x}{H_y} = i\omega\mu D \quad (1)$$

$$\frac{H_z}{H_x} = \frac{i\nu^2}{p} D \quad (2)$$

但し、 μ は誘磁率、 $\nu^2 = p^2 + q^2$ 。 E_x/H_y と周期の関係から、あるいは外部磁場の拡がりわかっている場合には、 H_z/H_x の比から上の式を使って導体までの深さDの概略を見積ることができる。



第5図

ところで、第5図のように、厚さDの良導体層(σ_2)が不良導体(σ_3)を覆っている場合、電場と磁場の関係式は次のようになる。

$$\frac{E_x}{H_y} = \frac{1}{4\pi\sigma_2 D} \quad (3)$$

$$\frac{H_z}{H_x} = \frac{\nu^2}{p} \frac{1}{4\pi\sigma_2 D \omega} \quad (4)$$

前と同様に、この関係式を使って $\sigma_2 D$ を見積ることができる。

具体例を二つ挙げることにする。ひとつはカナダでおこなわれた、地電位差の観測である。Meanookを中心として、先カンブリア紀の基盤岩が、電気伝導度の高い堆積岩で覆われている地域で観測が実施された(Garland and Webster, 1960)。周期1分以上の変化の振幅比と基盤の表面までの深さを図示したのが第6図である。電場の比は、Meanookの振幅を各地点での振幅で割って示されているから、この図は各点での電場の振幅と、良導体である堆積層の厚さとが逆比例の関係にあることを示している。この地域で、磁場変化は近似的に一樣であると見なすと、上に述べたことは、(3)式に充分表現されている。

第二の例は、北極海におけるソ連の流氷上の観測所における地磁気の観測である(Zhigalov, 1960, Rikitake, 1966)。第7図にみられるように氷とともに、観測所が、400m程度の浅い海から、2000mの深い海へ移動するにつれて地磁気変動の鉛直成分の振幅が小さくなっている。さらに周期に着目すると、10分程度の変化より、1時間程度の変化の方が振幅が大きくなっているが、これも(4)式から予想される通りである。

すでに第2図で示したように、カナダ北極圏のMould Bayでは、鉛直成分の変化が、短周期部で著しく欠如している。これは、導体が地表近くに存在することを意味している。水平成層構造を仮定して、 H_z/H_x と周期の関係から、導体表層までの深さを求めると約25kmという値が得られる。同様の操作を、Mould Bayを中心とした観測点について繰り返して、南東方向約700km離れたResolute Bayまでの導体層の深さを図示したのが第8図である(行武, 1968)。中間で50km位から急に100km位の深さに落ち込んでいる様子が窺える。

以上のように、水平成層の場合は、比較的容易に構造を求めることができるが、海洋と大陸の境界のように、導体の端での電磁誘導は、一般的に解析的に解くことが困難で、個々に

モデルをつくって、数値計算をおこなわねばならず、大変に厄介である(例えば, Schmu-
ucker, 1964, Rikitake 1969, Porath et al. 1970)。

4. 物質・状態の違いによる岩石電気伝導度の相違

地殻やマントルの構成物の中で、電気伝導度の高い物質として、どのようなものがあるかを検討してみよう。一般に乾いた岩石は電気伝導度が低い。例えば、ある実験では花崗岩は $10^{-28} \sim 10^{-25}$ emu だし、玄武岩がおよそ 10^{-8} emu、橄欖岩 10^{-15} emu の桁である。これに対してある種の鉱物は、ひじょうに大きな電気伝導度をもっている。マグネタイトやピロタイトでは、 $10^{-8} \sim 10^{-7}$ emu である(Parkhomenko, 1967)。これらの鉱物が広範囲に分布していれば、地磁気変化の異常をひき起すことも可能なわけである。

乾いた岩石の電気伝導度は低いが、水分を含ませると急激に伝導度がよくなるのが普通である。含水量によって4桁も5桁も電気伝導度のよくなる岩石が多い(Parkhomenko, 1967)。とくに堆積岩の中には、火山礫凝灰岩やある種の砂岩のように、含水率20~30%で、 $10^{-13} \sim 10^{-12}$ emu の伝導度をもつものがある(Yamazaki, 1966)。しかもこれらの堆積岩は、地表近くに広く分布して、帯水層を形づくっている。この含水量の多い堆積層の厚さ如何では、電磁誘導に大きな影響を与え得る。水それ自体は、大変良い伝導体である。海水の電気伝導度は、塩分の濃度により異なるが、およそ 4×10^{-11} emu とされている。したがって電磁誘導の問題を考えると、深さ5Kmもある海洋が存在した場合、これを無視することは不可能であろう。

電気伝導度は、物質の状態によっても変化する。温度による変り方は特に著しい。第9図は、オリピンを約400°Cから1200°Cの範囲で熱したものであるが、その間に電気伝導度は、5桁増加している(Noritomi, 1961)。他の鉱物や岩石についても、ほぼ同じような傾向がみられ、1000°C~1200°Cの範囲で、電気伝導度はおよそ $10^{-13} \sim 10^{-12}$ emu となる(Parkhomenko, 1967)。これに対して、圧力の影響はそれ程顕著ではない。例えば玄武岩に30000 Kg/cm²の圧力を加えても、桁が変わる程には変化しない。

このようにして、地殻および上部マントルで、電磁誘導に異常にもたらすものとしては、海水、含水比の高い堆積岩、および高温の岩石が考えられる。

5. 現象の到達深度

地殻なりマントルなりが、きわめて電気伝導度の高い物質で覆われていると、外部磁場の変化によって誘導される電流は、導体のごく表層に限られて、深部に到達できない。変化磁場の周期が短ければ短い程、導体の表面近くで減衰して、中へは滲透しない。いわゆる表皮効果である。半無限の導体を考えた場合に、変化の振幅が $1/e$ になる深さ δ は近似的に

$$\delta = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma\mu\omega}}$$

とかける。ここで、 σ は電気伝導度、 μ は透磁率、 ω は現象の周波数である。いまいくつかの電気伝導度の値に対し、周期 (T) が 1 秒、1 分、30 分、2 時間のときの δ の値を第 1 表に示す。

第 1 表 到達距離 δ

σ	T = 1 Sec	1 min	30 min	2 h
10^{-11} emu	0.50 Km	3.90 Km	21.4 Km	42.8 Km
10^{-12}	1.59	12.3	67.5	135
2×10^{-13}	3.56	27.6	151	302
2×10^{-15}	35.6	276	1510	3020

この表をみると、周期 1 分の変化に対しては、海水程度の電気伝導度だと δ は約 4 Km となり、深さ 5 Km の海があると殆んどその中で遮蔽されて、それより内側へは変化は滲透しないところが、周期が 30 分になると δ は約 21 Km となり、海を通り抜けて、海底にまで、現象がおよぶことになる。 $10^{-13} \sim 10^{-12}$ emu の電気伝導度をもつ帯水層が存在する場合には、周期が 1 分の変化としても、現象の到達距離は、12 Km ~ 30 Km となり、周期 30 分の場合は 70 Km 以上の厚さがないと遮蔽されない。乾いた岩石の場合、電気伝導度は 10^{-16} emu 以下であるから、周期 1 分とすると、 δ は約 300 Km、周期 30 分の場合は約 1500 Km となり、短周期変化を除いて殆んど素通しで、滲透すると考えてよい。

6. 地殻およびマントル電気伝導度の異常分布

前に述べたように、地殻および上部マントルにあって、電気伝導度を高める要因としては、海水の存在、水を多量に含んだ堆積層、高温の岩石（および熔融状態にある岩石）の3種類が考えられる。以下に、そのそれぞれに対応した地磁気変化の例を見ることにしよう。

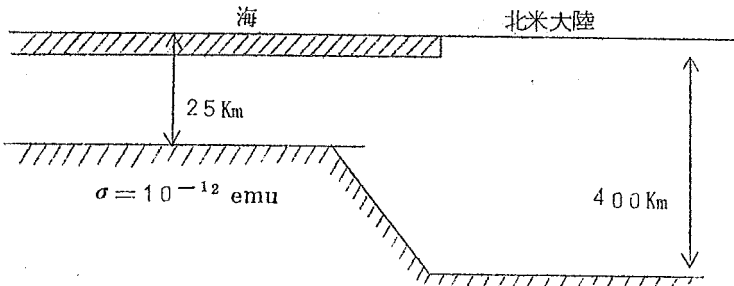
a. 海洋の存在によって引き起された地磁気変化の異常

第10図は、ハワイ島で得られた地磁気変化の一例である（力武他，1969）。ハワイ島は周囲を約4Kmの深海で囲まれた、直径約100Kmの島である。この島で、水平分力（H）や偏角（D）は、ほぼ一様に变化するが、鉛直成分（Z）の変化は、場所によってずいぶん異なっている。例えば島の北部（N）と南部（S）とでは、鉛直成分の変化は完全に逆転しているのがわかる。このような磁場変化の場所による違いは、海深を考慮に入れた電磁誘導の数値計算（笹井，近藤，1969）によってほぼ説明できる。これは Island effect と呼ばれている現象である。同じ現象は、伊豆大島、三宅島、オアフ島やクリスマス島などでも見出されている（笹井，1968参照）。

導体の表面近くでは、磁場変化は導体面とほぼ平行な平面内で变化することを前に述べた。地磁気変化に対して、このような面の存在することは、以前から知られていたが（Rikitake and Yokoyama, 1955）、オーストラリアの Parkinson は、第11図(a)に示すように、まず磁場変化の面を定め、その面から垂直下向きに単位ベクトルをたて、その水平面への投影を地図上に記入して、磁場変化面の傾きを表わした。このベクトルが大きい程、磁場変化面の傾斜が大きいことを意味する。第11図(b)にはオーストラリアの各点での Parkinson ベクトルが示してある。ベクトルは大部分は、海の方を向いている。これは海と陸の分布から期待される変化である（Parkinson, 1959, 1964）。

海洋と大陸の境界で得られる磁場変化のもうひとつの例は、カリフォルニアの場合である（Schmucker, 1964）。第12図はカリフォルニアにおける Parkinson ベクトルであるが、ベクトルがオーストラリアの場合と同じように、海の方を向き、海岸に近い程大きくなっているのがわかる。しかし後に、これらの変化は海水だけの影響によるのではなく、海洋と大陸下でのマントルの構造の違いが、部分的に影響していることが、海底における地磁気地電位差の観測で明らかになった（Filloux, 1967）。カリフォルニア沖の海底で地磁気偏角と、地電位差の観測をした結果、海底では海の表面から約25Kmの浅いところに 10^{-12} emu の導体が存在していて、大陸にはいると約400Km

の深さに落ち込むことがわかった(第13図)。



第13図 カルフォニア断面図

b 水を含んだ堆積層

水を含んだ堆積層が、電場の変化におよぼす例を前に見たが、ここでは磁場変化の観測例を挙げる。第14図は、関東地方における磁場変化面の傾きを表わすベクトルで、いわゆるパーキンソンのベクトルとは逆向きになっている。これを見ると関東地方の狭い範囲でもベクトルの向きが地域毎に違っている様子がわかる(久保木, 大島, 1965)。また第15図は、同じ地域での地磁気変化の鉛直分力と水平分力との比($\Delta Z/\Delta H$)であるが、狭い範囲で比が0.3~0.8の間で変化している(久保木, 大島, 1965)。関東地方は、厚い堆積層に覆われているとはいえ、必ずしも厚さが様ではなく、第16図に示すように、ところどころ基盤岩が地表近くまで盛り上っている(柳原, 横内, 1965)。ちょうど、そのような基盤岩の盛り上がったところに、柿岡の地磁観測所が存在するが、その直下での比抵抗の分布は、地電流の観測その他から第17図のように求められている(柳原, 1965)。これによると、600m位の深さのところから約1.4Kmの厚さの電気伝導度の高い(2.5×10^{-12} emu)層があり、その下は抵抗の大きい層があるが、30Km位の深さから再び 10^{-12} emuの導体層が現われる。第16図の堆積層の厚さは、第17図の最初の導体層の厚さを近似的に表わしていると思われる。第16図の中のベクトルは地表における地電流の卓越方向を表わすが、このような地電流変化の方向性、地磁気変化の向きや、 $\Delta Z/\Delta H$ の比は、地表近くに存在する電気伝導度の高い堆積層の分布に大きく左右されていると云えそうである。

さらに最近の詳しい調査では、柿岡とそこから約7Km離れた場所との間で、全磁力日変化に全振幅のおよそ4%におよぶ差のあることがわかった(大地, 柳原, 1969)、柿岡の地磁気観測所の構内においても、僅か200m離れた距離でも、外部磁場変化の

0.1~0.3%のおよぶ違いが磁場変化に認められることが明かになった(行武, 森, 1969)。

c. 高温物質の存在による磁場変化の異常

地殻なり上部マントルなりが、高温の状態であって、電気伝導度が高くなっており、地磁気変化に影響を及ぼすであろうとは以前から考えられていた。地磁気変化と地下温度との関係を確認するには、地磁気観測と地殻熱流量の測定が、同じ詳しさをなされる必要があり、必ずしも容易ではない。

我国で、“中央日本異常”とよばれている地磁気変化異常は、マントル中の高温物質の盛り上りによるものと考えられている。中央日本異常の典型的な例は、すでに第1図に示したが、多くの湾型変化より、鉛直成分と水平成分の比($\Delta Z/\Delta H$)をとると、第18図に見られるように、日本中央部で大きな値になる。このような地磁気変化異常は、日本列島を囲む海の影響ではないかという疑問が、当然出される(例えば Roden, 1964)。これに対して、Rikitake and Sasai は、日本列島周辺の海の深さの違いによる電気伝導度のコントラストを考慮に入れて、磁場が南北に変化した場合に誘導される磁場を計算して、 $\Delta Z/\Delta H$ を求めた。その結果は第19図に示す通りである。第18図の地磁気変化異常と、正負の分布は似ているが、大きさが非常に違う。従って、日本中央部の変化異常は海洋の影響ではないと考えられている。ところで、日本における地殻熱流量の測定より地下温度1000°Cの等温面の深さを求めると、第20図のようになる(渡部, 1969)。伊豆半島の先から紀伊半島を経て四国沖にかけて等温面の盛り上がりがあるのに気付く。この高温物質の存在が、中央日本異常をひき起していると推定されている。これらを考慮して、完全導体の凹凸によって、地磁気変化異常がおこっていると、その等深線をひいたのが第21図である(Rikitake, 1969)。日本中央部では太平洋側で急に深くなり、その後日本海にむかって徐々に浅くなっている。太平洋側および日本海側での導体までの深さは、それぞれ50 km, 40 kmとされている。

地殻の一部が高温になっていて、地磁気変化に異常が観測される例はアメリカ大陸西部にも見られる。第22図はアリゾナ州からオクラホマ州にかけておこなわれた地磁気変化の観測である(Schmucker, 1964)。3成分についての記録が西から東へ並べてあるが、鉛直成分(Z)の変化に着目すると、西側では変化が小さくLACで特異な変化をし、それより東側では、振幅が大きくなっている。これは西側で、導体が地表近く約160 kmの深さにあり、COR附近で急に深く落ち込んで、東側では導体が約320 kmの深さになっているためと考えられている。この地域の北側36°Nから42°N, 101°Wから116°

Wの地域では、第23図の白丸の点に合計42台の磁力計を設置して、地磁気変化の連続観測が実施された(Reitzel et al. 1970)。湾型変化を周期分析し、鉛直成分の周期60分の振幅の分布を図示したのが第24図である。南北方向に振幅の大きい帯が並んでいるのが認められる。同図には、地殻熱流量の分布も、あわせて示してあるが、地磁気鉛直成分変化の大きい地帯が、ちょうど、熱流量の大きい地域から小さい地域への移り目にあっている。地磁気変化を解析して、この地方での導体分布は、第25図のようになるかと推定されている(Porath et al. 1970)。西側で導体が浅いのは、この地域で熱流量が大きく、地表近くまで高温になっているためと考えられる。

7. む す び

地磁気変化の解析から得られるのは、地下の電気伝導度分布である。電気伝導度を高めて、地磁気変化の異常をもたらす原因としては、前に述べたように海水の分布、水を含んだ堆積層の存在、高温の岩石の分布などいくつか考えられ、観測された地磁気変化の現象のみからは、地磁気変化異常をひき起すもとになった原因を一意的に決定することはできない。いわゆるCONDUCTIVITY ANOMALYの研究も、他の分野の研究と、相補的關係にあることは、いまさらいうまでもない。この意味から、典型的な島弧の地下構造をなして、諸種の地球物理学的観測の実施されている東北地方で、日本海から太平洋岸にかけて、東西に精密な同時観測網をはることは、特に重要であると思われる。地殻熱流量測定の結果によれば東北地方では、日本海側が浅い部分まで高温であること、陸地の中央部で、太平洋の方向に等温面が急に深くなっていることが明らかにされている。このような地殻内温度の違いが顕著な地域での地磁気変化の研究は、地下構造の相違を調べる上でひとつの有力な資料を提供し得るものと考えられる。地磁気変化異常をおこす原因のひとつとしての海洋の役割は、近年次第に解明されつつあるが、多量の水を含んだ堆積岩の影響は、いまだに不明な点が多い。今後は、堆積層の影響を詳しく調べることも大きな課題である。

電気伝導度を大きくする要素として、きわめて重要であると考えられながら、現在なおあまり手をつけられずに残っている分野がある。それは、熔融状態における岩石の電気伝導度変化の問題である。岩石が溶けた場合、電気伝導度が飛躍的に増大するのではないかと推測されているが、実験技術上の困難さから、充分研究されているとはいえない。最近では、地震波の解析から、マントルの一部に部分熔融した処があるのではないかという議論もな

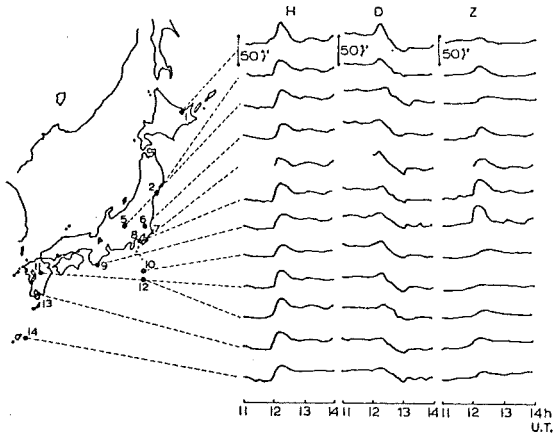
れるようになった。また地磁気変化の観測から、かなり深い部分で、導体がある厚さをもって層状に存在するのではないかと推定される場所もある。これは、地殻の深部程温度が高くなるという温度分布だけでは説明できないものである。途中で熔融状態の層があって、電気伝導度が著しく大きくなっていると考えれば、好都合のこともある。今後熔融状態での岩石電気伝導度の研究が発展することを期待して止まない。

文 献

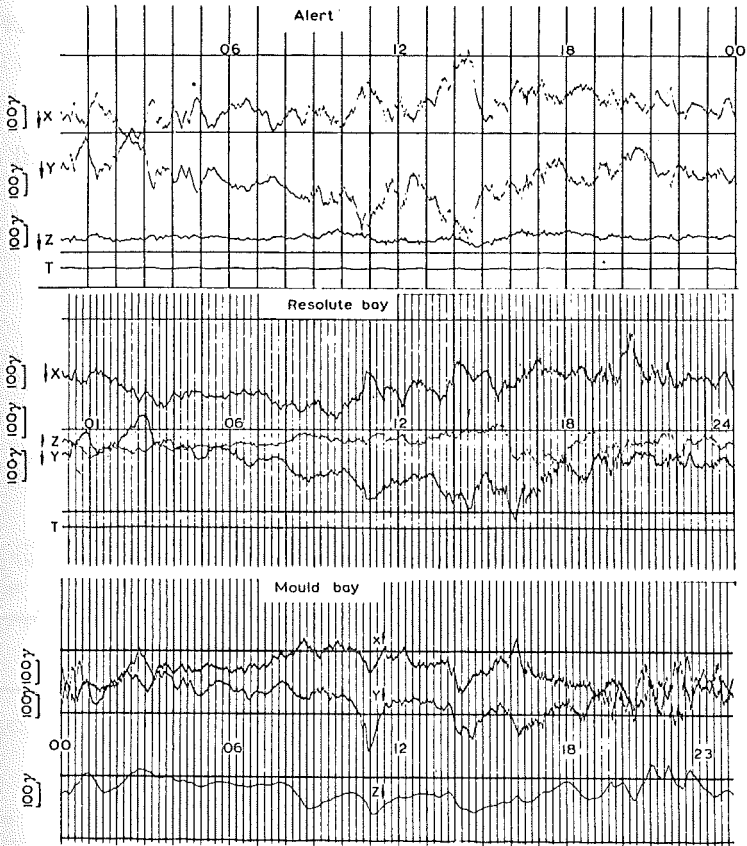
- 1) Filloux, J. H., Oceanic Electric Currents, Geomagnetic Variations and the Deep Conductivity Structure of the Ocean-Continent Transition of Central California, Ph. D Thesis, Univ. California, 1967.
- 2) Garland, G. D. and T. F. Webster, Studies of Natural Electric and Magnetic Fields, Jour. Res. Nat. Bureau Stand, 64D, 405-408, 1960.
- 3) Giorgi, M. and I. Yokoyama, Geomagnetic Variations Observed at Maddalena Island, Sardinia, Nature, 214, 477-478, 1967.
- 4) 久保木忠夫, 大島汎海, 日本における地磁気変化ベクトルの異常について(第2報) — 関東地方の地磁気変化ベクトルの異常 — 気象庁研究時報 17, 130-152, 1965
- 5) Miyakosi, J., Enhancement in the Short Period Variation of Geomagnetic Declination Observed in the Underwater Tunnel of the Kanmon Straits, 鳥取大学教養部紀要 2, 205-211, 1968.
- 6) Noritomi, K., The Electrical Conductivity of Rock and the Determination of the Electrical Conductivity of the Earth's Interior, Jour. Min. Coll., Akita Univ., A, 1, 27-59, 1961.
- 7) 大地洗, 柳原一夫, 地電流および全磁力の Island effect, 日本における CONDUCTIVITY ANOMALY 研究, 175-178, 1969.
- 8) Parkhomenko, E. I., Electrical Properties of Rocks, Plenum Press, New York, 1967.
- 9) Parkinson, W. D., Conductivity Anomalies in Australia and the Ocean Effect, Jour. Geomag. Geoelect., 15, 222-226, 1964.
- 10) Parkinson, W. D., Directions of Rapid Geomagnetic Fluctuations, Geophys. Jour. Roy. Ast. Soc., 2, 1-14, 1959.
- 11) Porath, H., D. W., Oldenburg and D. Z. Gough, Separation of Magnetic Variation Fields and Conductive Structures in the Western United States, 1970 in press.
- 12) Reitzel, J. S., D. I. Gough, H. Porath and C. W. Anderson, Geomagnetic Deep Sounding and Upper Mantle Structure in the Western United States, 1970 in press.

- 13) Rikitake, T., Anomaly of Geomagnetic Variations in Japan, Geophys. Jour., 2, 276-287, 1959.
- 14) Rikitake, T., Electromagnetism and the Earth's Interior, Elsevier, 1966, Amsterdam.
- 15) Rikitake, T., The Undulation of an Electrically Conductive Layer beneath the Islands of Japan, Tectonophysics, 7, 257-264, 1969.
- 16) Rikitake, T. and I. Yokoyama, The Anomalous Behaviour of Geomagnetic Variations of Short Period in Japan and its Relation to the Subterranean Structure. The 6th Report, Bull. Earthq. Res. Inst., 33, 297-331, 1955.
- 17) 力武常次, 行武毅, 吉野登志男, 山崎良雄, D. P. Klein, ハワイ島における地磁気短周期変化の観測, 日本における CONDUCTIVITY ANOMALY 研究, 157, 162, 1968.
- 18) Roden, R. B., The Effect of an Ocean on Magnetic Diurnal Variations, Geophys. Jour., 8, 375- , 1964.
- 19) 笹井洋一, 地磁気変化におよぼす海の影響, CONDUCTIVITY ANOMALY SYMPOSIUM 講演集, 133-142, 1968.
- 20) 笹井洋一, 中部日本における地磁気変化異常, 日本における CONDUCTIVITY ANOMALY 研究, 43-55, 1969.
- 21) 笹井洋一, 近藤万作, 地磁気短周期変化に及ぼす Island Effect, 日本における CONDUCTIVITY ANOMALY 研究, 163-174, 1969.
- 22) Schmucker, U., Anomalies of Geomagnetic Variations in the Southwestern United States, Jour. Geomag. Geoelect., 15, 193-221, 1964.
- 23) 渡部 輝彦, 四国海盆の海洋底地殻熱流量と地下温度構造, 日本における CONDUCTIVITY ANOMALY 研究, 91-95, 1969.
- 24) Whitham, K., An Anomaly in Geomagnetic Variations at Mould Bay in the Arctic Archipelago of Canada, Geophys. Jour. Roy. Ast. Soc., 8, 26-43, 1963.
- 25) Whitham, K. and F. Andersen, The Anomaly in Geomagnetic Variations at Alert in the Arctic Archipelago of Canada, Geophys. Jour. Res. Ast. Soc., 7, 220-243, 1962.

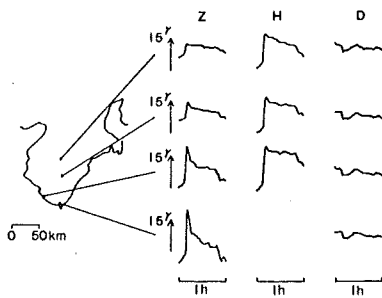
- in Japan,
Interior,
Conductive
sics, 7,
aviour of
n and its
th Report,
島における地磁気
157, 162, 196
o Diurnal
..
OMALY SYMPO
TIVITY ANO-
、日本における
ons in the
lect., 15,
s CONDUCTIVI
ons at Mould
nys. Jour.
omagnetic
of Canada,
62.
- 26) Yamazaki, Y., Electrical Conductivity of Strained Rocks. The Second Paper. Further Experiments on Sedimentary Rocks, Bull. Earthq. Res. Inst., 44, 1553-1570, 1966.
- 27) 柳原一夫, 柿岡付近の深層比抵抗の推算, 地磁気観測所要報, 12, 115-122, 1965.
- 28) 柳原一夫, 柿内恒雄, 地電流の地方異常と大地比抵抗, 地磁気観測所要報, 12, 105-113, 1965.
- 29) 行武毅, カナダ北極圏の Conductivity Anomaly., CONDUCTIVITY ANOMALY SYMPOSIUM 講演集, 73-80, 1968.
- 30) 行武毅, 森俊雄, 柿岡における地磁気の局地変化, 日本における CONDUCTIVITY ANOMALY 研究, 185-188, 1969.
- 31) Zhigalov, L. N., Some Features of the Variation of the Geomagnetic Vertical Component in the Arctic Ocean, Collection of articles, relating to I. G. Y. Program Geomagnetic Disturbances, 1960. Acad. Sci. Press, Moscow.



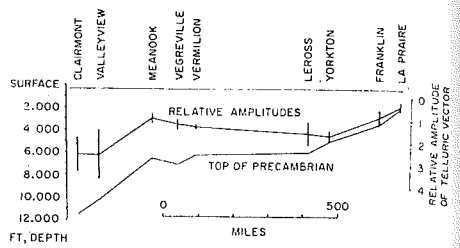
第1図 中央日本異常の観測例
(湾型変化)



第2図 Mould Bay, Resolute Bay, Alert
での地磁気変化。

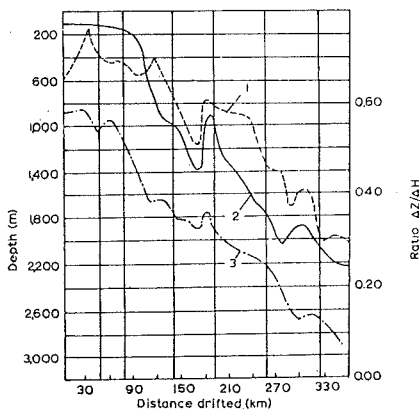


第3図 紀伊半島におけるS C

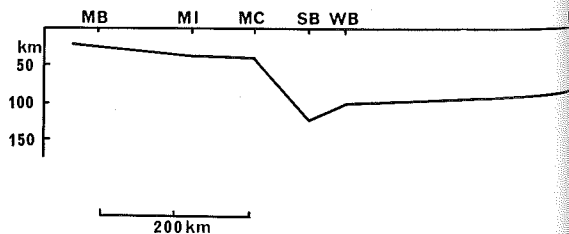


第6図

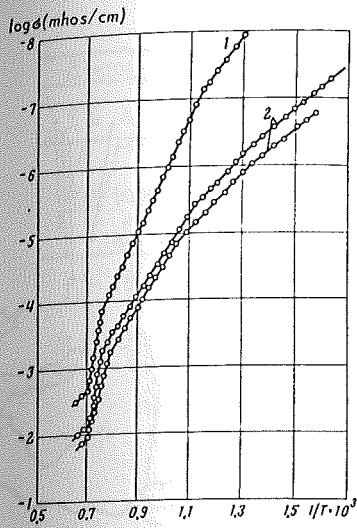
カナダにおける地電場の振幅変化と堆積層の厚



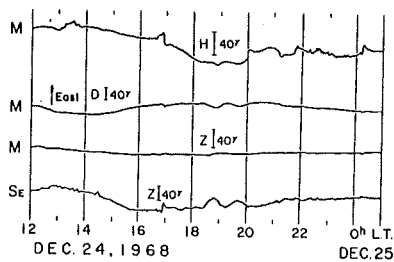
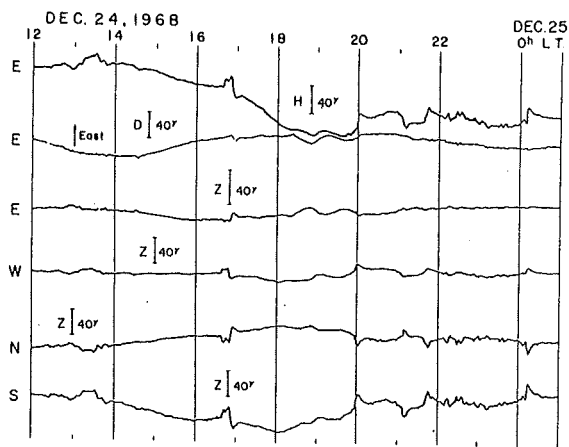
第7図 北極海流氷上での地磁気観測



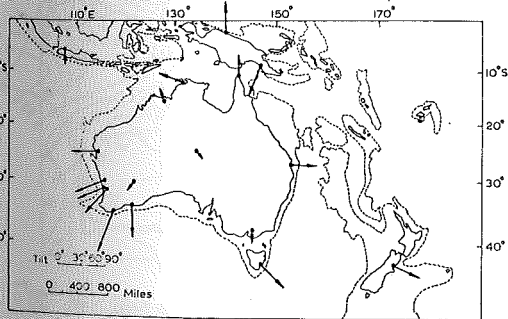
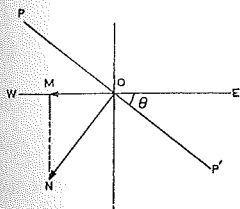
第8図 Mould Bay--Resolute Bay 間 導体層の分布



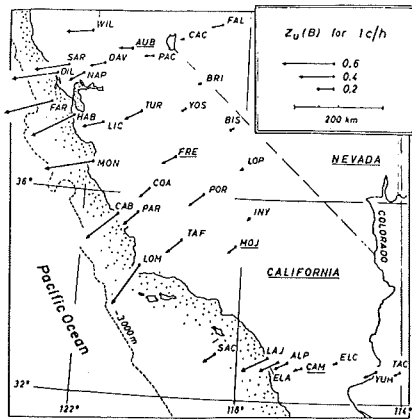
第9図 Olivine の電気伝導度の温度変化



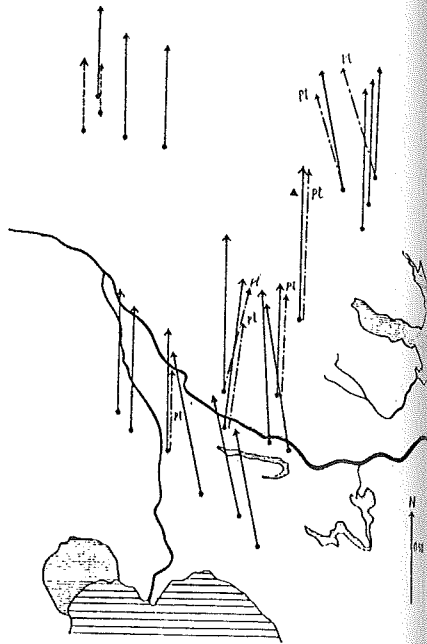
第10図 ハワイ島における地磁気変化



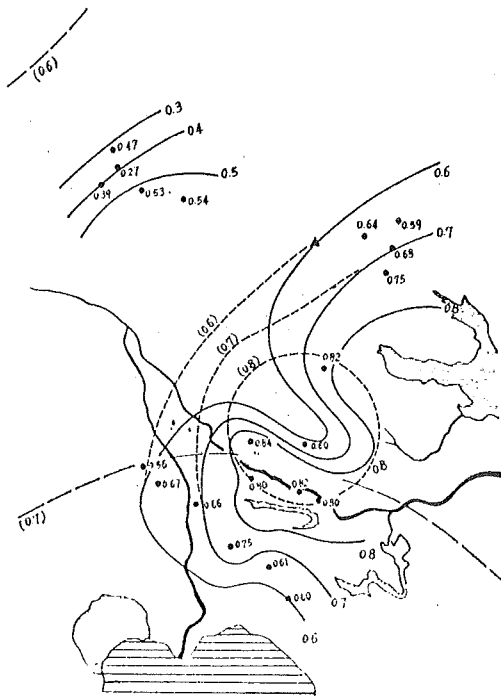
第11図
オーストラリアの Parkinson ベクトル



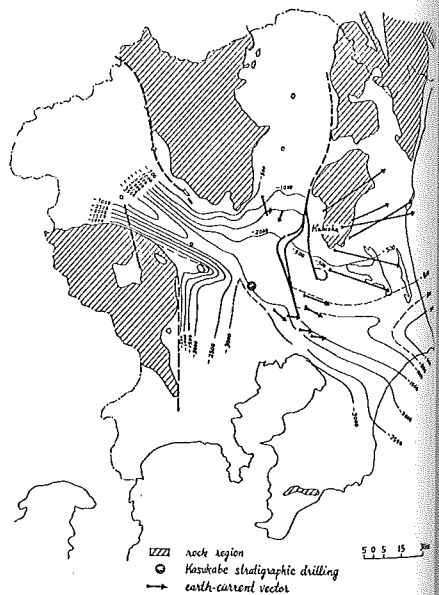
第12図
カリフォルニアのParkinson ベクトル



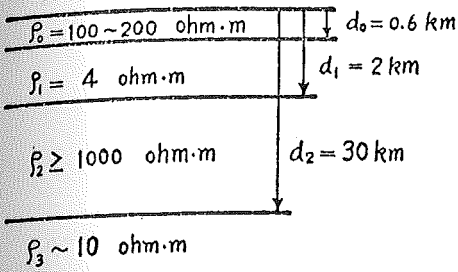
第14図 関東地方の磁場変化面の傾



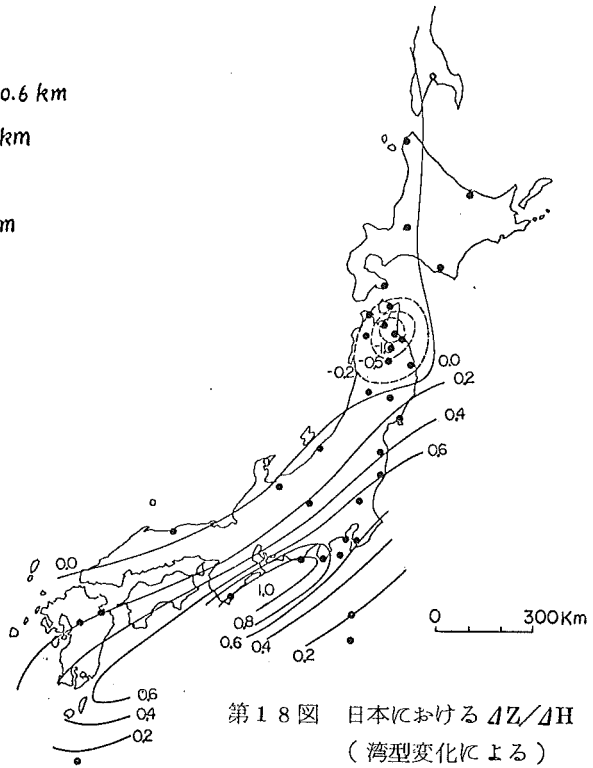
第15図 関東地方における鉛直分力と水平分力の変化比 ($\Delta Z/\Delta H$)



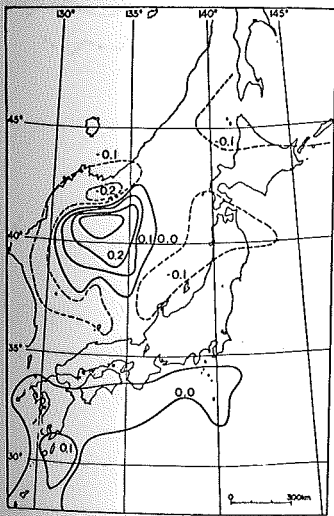
第16図 関東地方の堆積層と基盤岩の分ベクトルは、地電流の卓越方向



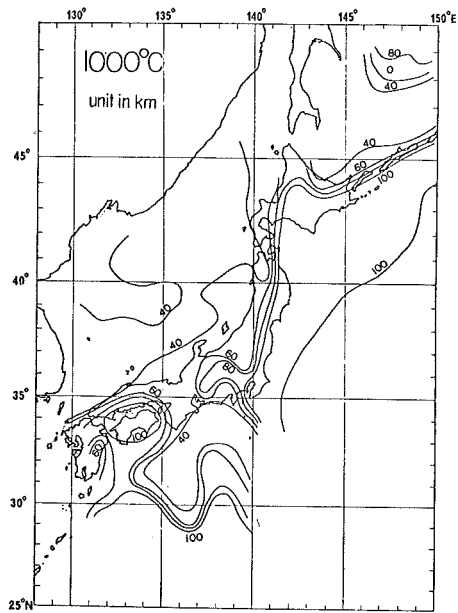
第17図 柿岡における比抵抗分布



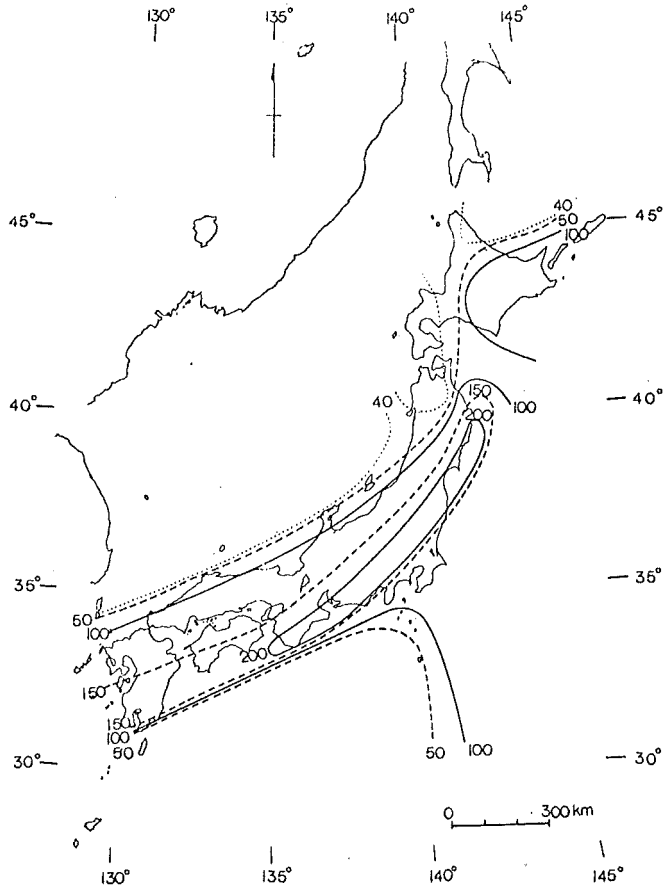
第18図 日本における $\Delta Z/\Delta H$
(湾型変化による)



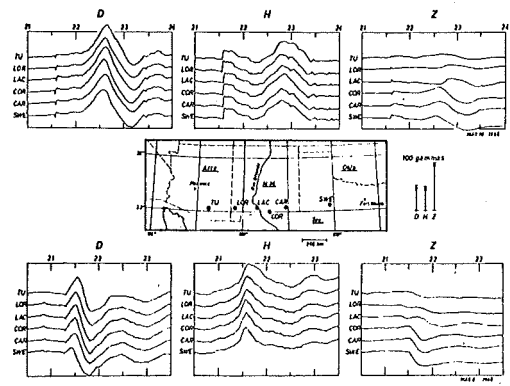
第19図 海に誘導された電流による $\Delta Z/\Delta H$



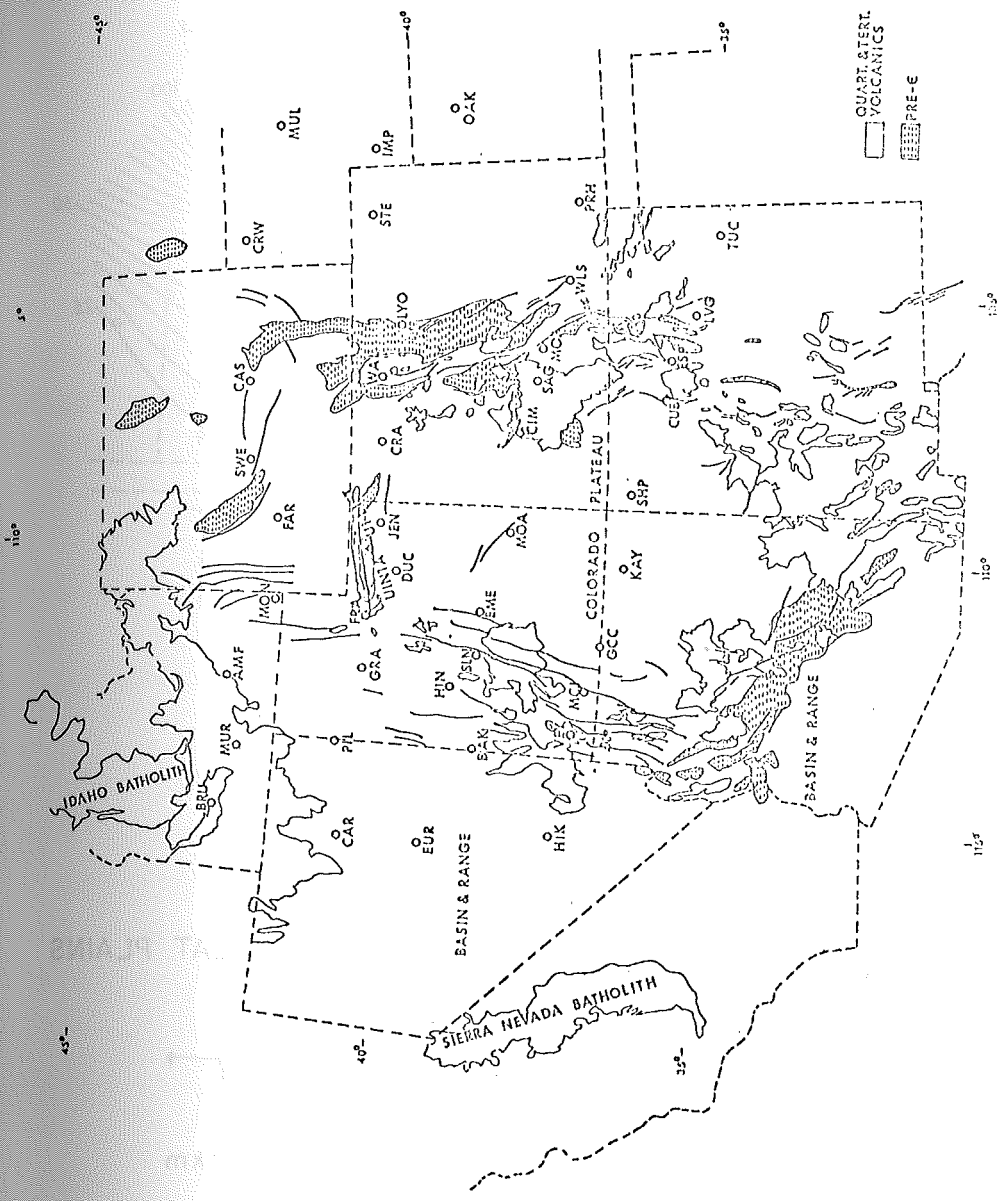
第20図 1,000°Cの等温面の等深線



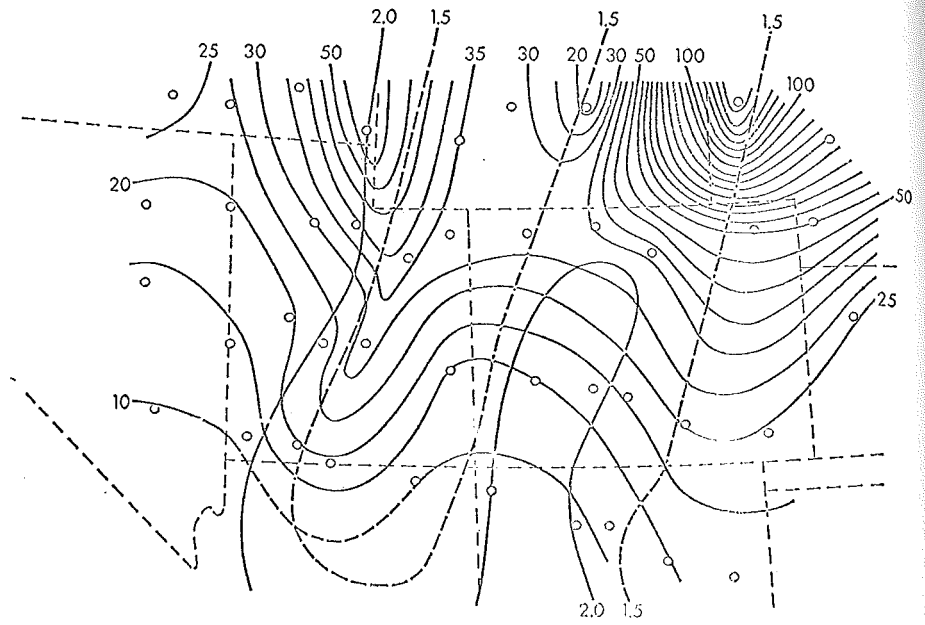
第 21 図 導体面の等深線



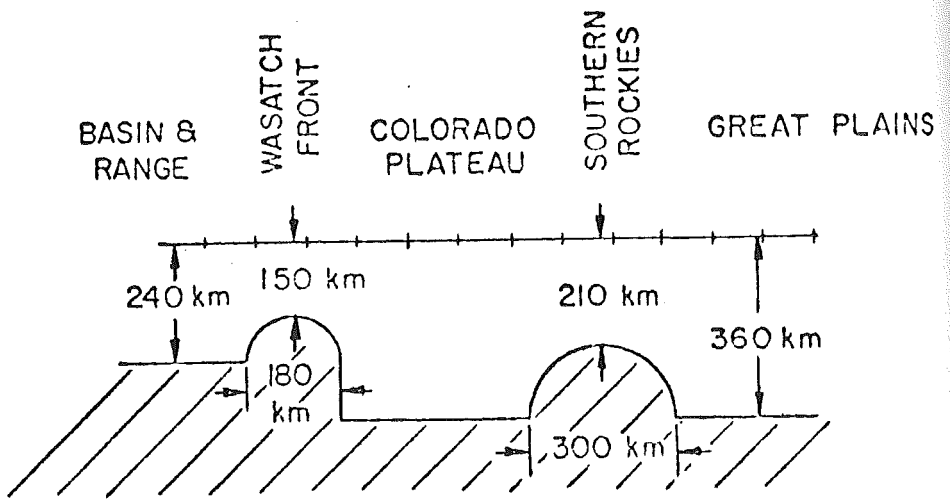
第 2 2 図 米国アリゾナーオクラホマ地方の地磁気変化異常



第 2 3 图 地磁观测点分布图



第 2 4 图 地磁鉛直成分变化量と地殼熱流量



第 2 5 图 導体分布図