

八幡平地熱地区における電気及び誘導 磁気探査

秋田大学鉱山学部 乗 富 一 雄

弘前大学理学部 鍋 谷 祐 夫

秋田大学鉱山学部 平 林 修

1. ま え が き

電気探査法により、地下構造を推定する場合、その電極配置の如何にかかわらず、測定される電界は、等方均質媒質の場合に期待される電界（基準電界）からのずれを求める方法がとられている。大地の比抵抗分布が側方変化をする場合には、成層構造の場合と異なり、電気探査の結果の解析には厄介なものとなる。我々が測定する電位差は、その地点近傍の電流密度と比抵抗に関する量であり、この二つの未知数に対して、一つの観測量で結果処理をしている。結果の解釈に任意性が伴うのは当然である。電流密度に関係した誘導磁気を測定することにより、比抵抗分布解釈により精度の高い推定が可能であるはずである。この意味において、地熱地区において実験した結果について報告する。地熱地区は、局所的に熱変質を受けた低比抵抗帯が存在する。従って、上述の目的のための実験場としては、小規模モデル地区となり得るものと考えた。

2. 調査地域の概要

調査地域は、Fig. 1に示されるように、岩手県岩手郡松尾村の西方、北ノ又川上流域（藤七沢）一帯であり、八幡平国立公園の南東地域に当る。地形は比較的峻しく、谷部は急峻である。北西約8kmの所に大沼地熱発電所、南東約8kmの所には松川地熱発電所があり、当調査域は、この中間に位置し、近傍には藤七温泉郷がある。

Fig. 2及びTable 1に示すように、山陵部には、第四紀の安山岩質溶岩が分布し、北ノ又川に沿って新第三紀の玉川熔結凝灰岩類（流紋岩質及び安山岩質）が分布する。

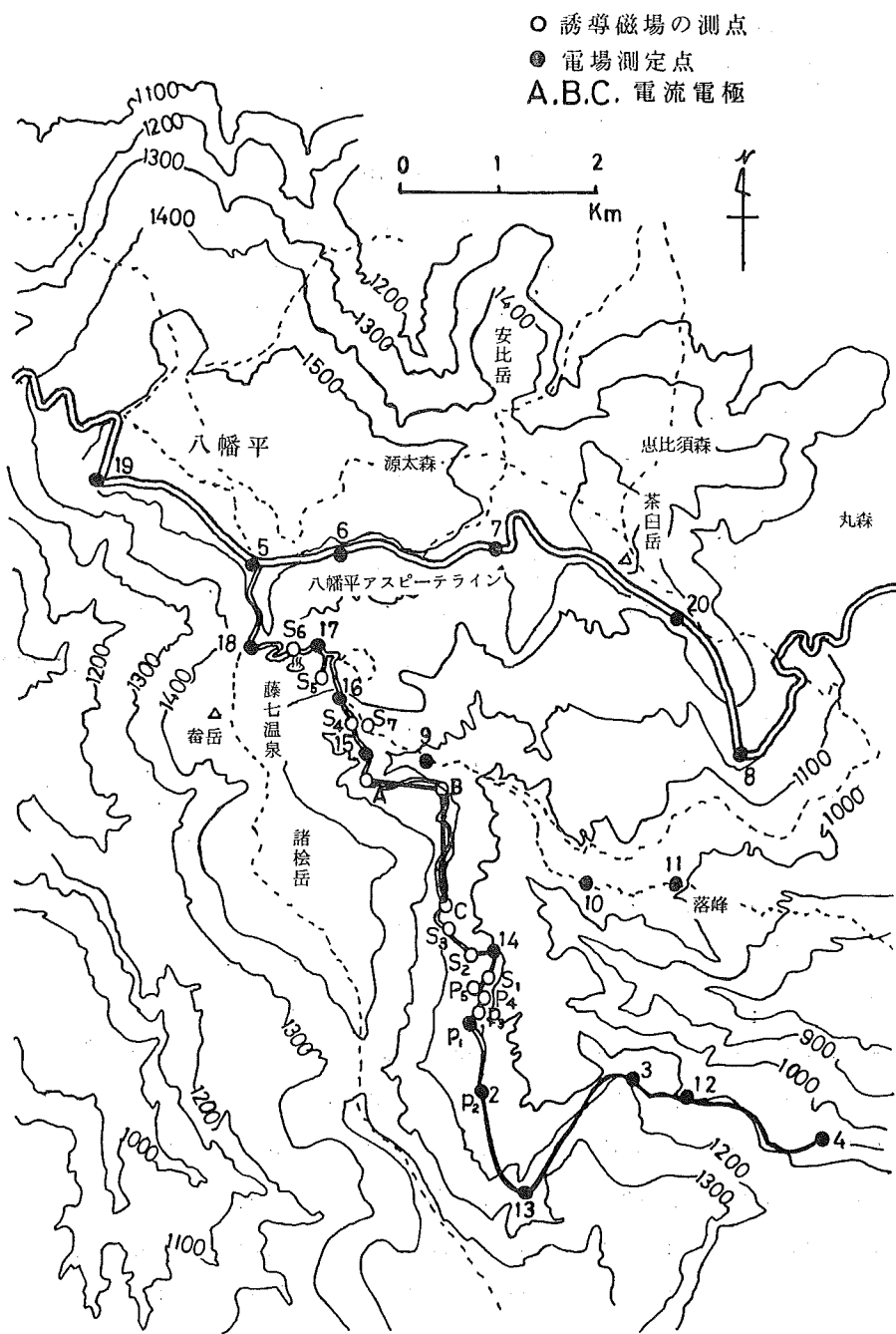


Fig. 1 Topographical map of surveyed area and the observation points. Black dots show the observation points of electric field and white circles show the observation points of magnetic field.

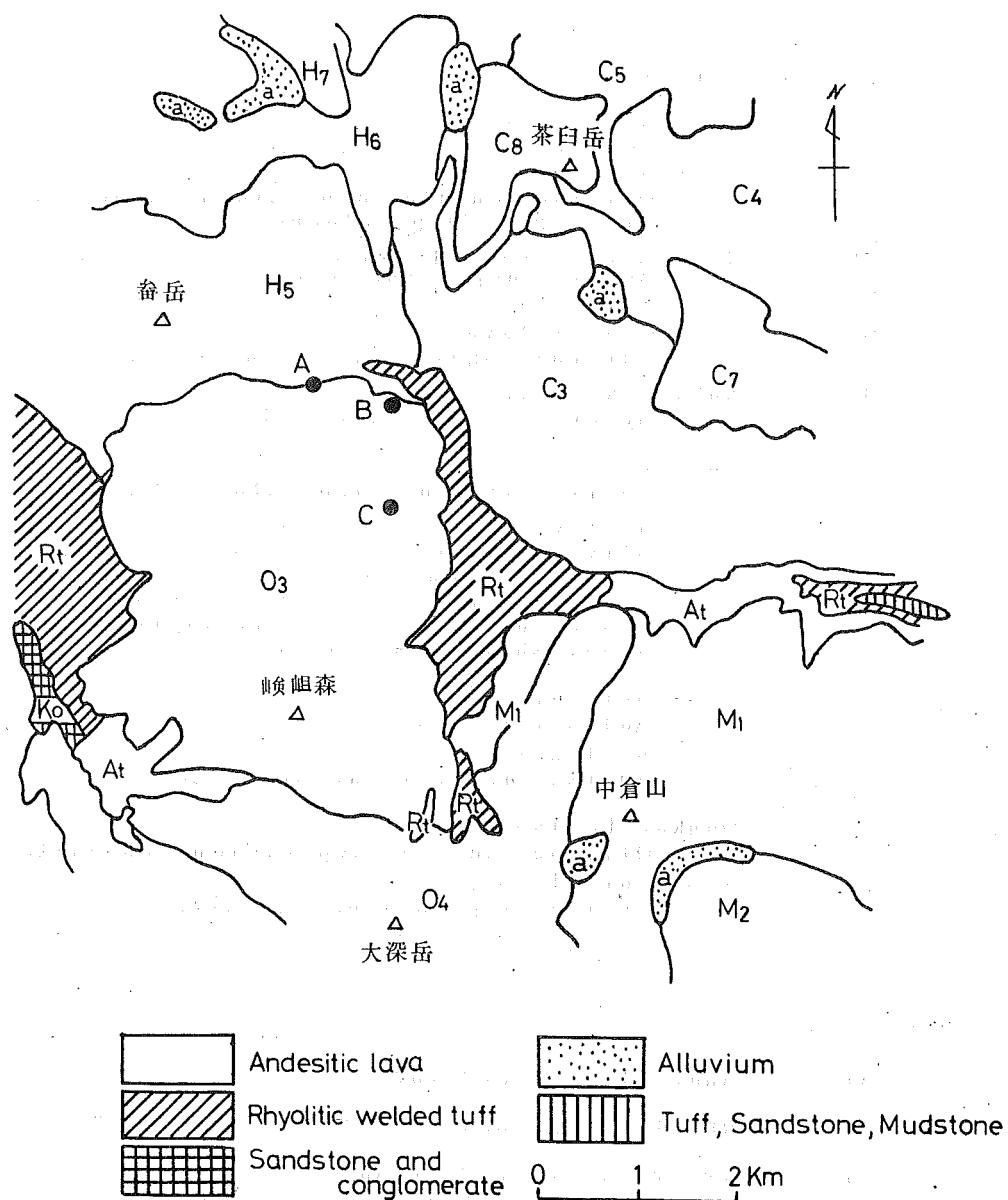


Fig. 2. The geological map of the field concerned.

Table 1. The explanation of the symbols notated
in geological map

QUATERNARY

a	:	Alluvium
M ₂	:	Marumori central cone lava Augite-hypersthene andesite
M ₁	:	Kamikura somma lava Olivine-augite-hypersthene andesite and augite-hypersthene
H ₇	:	Gentamori lava and Appidake lava Augite-hypersthene dacite
H ₆	:	Hachimantai lava Olivine-augite-hypersthene andesite
H ₅	:	Nokkodake lava Hypersthene-augite andesite
C ₈	:	Chausudake lava Augite-olivine-hypersthene andesite
C ₇	:	Onagane lava Olivine-augite-hypersthene andesite
C ₅	:	Daikokumori agglomerate Quartz-bearing olivine-augite- hypersthene andesite and augite- hypersthene andesite
C ₄	:	Marumori tuff Andesitic tuff
C ₃	::	Onagane lower lava Augite-hypersthene andesite
O ₄	:	Obukadake lava Olivine-augite-hypersthene andesite
O ₃	:	Kensomori lava Augite-hypersthene andesite

NEOGENE

Pliocene

At	:	Andesitic welded tuff
Rt	::	Rhyolitic welded tuff
Ki	::	Kitamatagawa formation Tuff, sandstone and mudstone

Miocene

Ko	:	Koshidomae formation Sandstone and conglomerate
----	---	--

3. 測定方法

Fig. 1に示された, A, B, Cの三点に電流電極を設置し, AとB, BとC, およびCとAの三通りの双極子電極配置により電流を流した。この電流に基づく, 電場の測定点はFig. 1に黒丸(測点番号1~20)で示されており, 誘導磁気の測点は白丸(測定番号P₁~P₅ およびS₁~S₇等)で示されている。

電流電極より地下に流した電流は, パルス幅2秒の矩形で, 正負の極性が変わる中間に2秒間の休止をもつもので, 1周期8秒となる。地中に流した電流は8 Ampであった。

電場の測点は, 電極間隔50~100 m程度の測線を二方向にとり, それぞれの測線間に得られた電位差からベクトル的に電場が算出された。各測定点について, 上記三通りの双極子電極配置に対する測定が行なわれている。

誘導磁場の測定は, SchonstedtのMND-5C-25 NB型のNull sensorを使用した。一成分しかないので, これをトランシット型の三軸回転台に取り付けて三成分の測定を行っている。

南北及び上下成分を測定する際には, 打消磁場用として磁石を使用した。このflux-gateの感度は, 約 $1\text{ mV}/\gamma$ であるので, 測定精度は 0.02γ 程度まで上げることが出来る。

4. 測定結果

4-1 比抵抗分布

前章に述べた手法により, Fig. 1に示す地点20ヶ所において, いわゆるDipole

mapping法により, 電場が測定された。3組の電流電極配置, AB, BC及びCAのそれぞれに対して測定値から算出された電場の方向がFig. 3, Fig. 4及びFig. 5に実線の矢印で示してある。

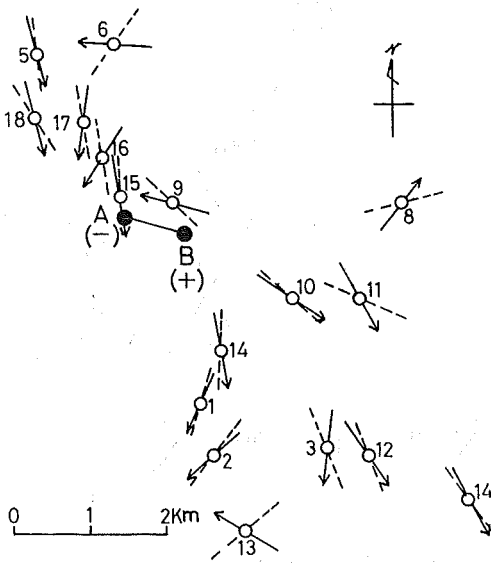


Fig. 3 The direction of electric field for AB electrode array. arrow: observed direction of electric field, dotted line: The direction for isotropic medium.

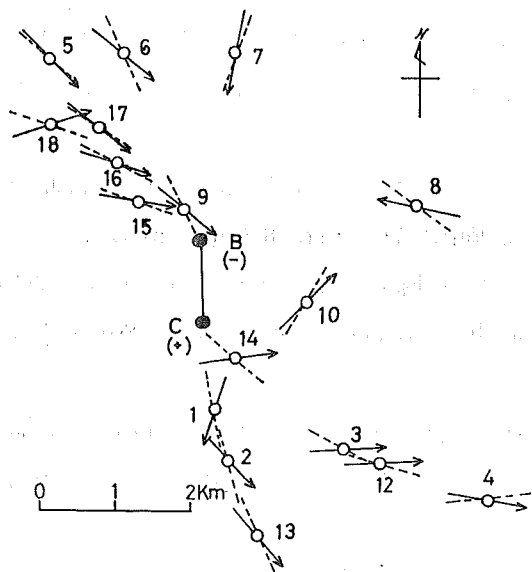


Fig. 4 The direction of electric field for BC electrode array.

これらの図には、均質な媒介に対する電場（基準電場）の方向が点線で示されている。実測された電場と、基準電場との方向の差異は電流電極と電位測定点との間、もしくはそれらの周辺部における比抵抗分布の不均質性を反映している。

それぞれの電極配置に対する実測電場を用いて、見掛比抵抗値 ρ_a を算出し、その値が電場測定点に所属するものとして、 ρ_a の分布図を描いたものが Fig. 6, Fig. 7 および Fig. 8 に示されている。

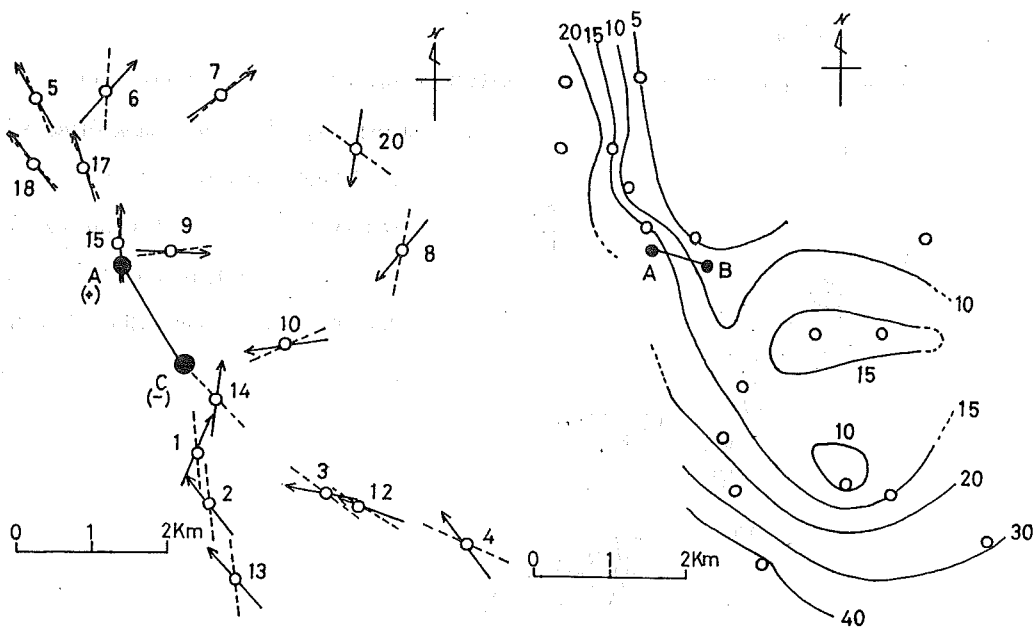


Fig. 5 The direction of electric field for CA electrode array.

Fig. 6 The apparent resistivity map obtained from AB electrode array (unit: ohm.m.)

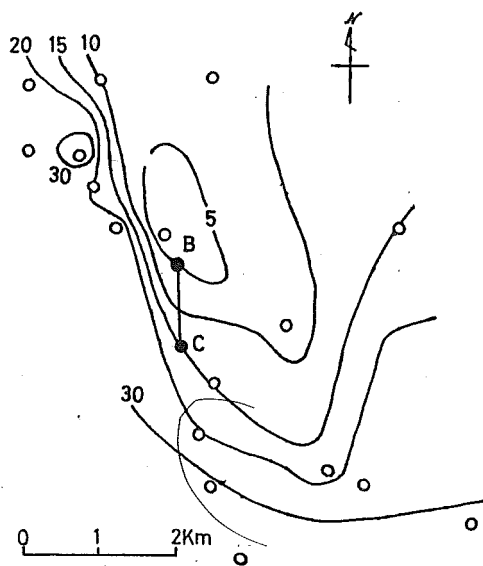


Fig. 7 The apparent resistivity map obtained from BC electrode array (unit:ohm m.)

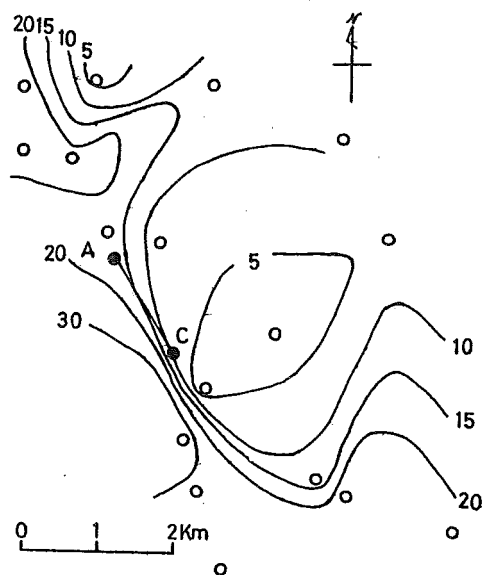
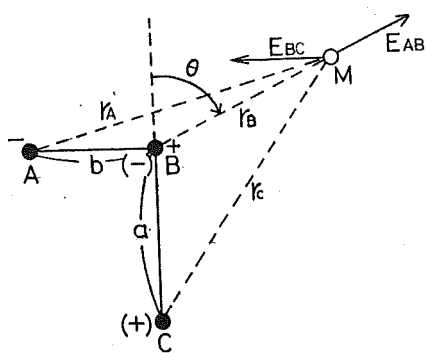


Fig. 8 The apparent resistivity map obtained from CA electrode array.(unit:ohm.m.)

電極配置によって、見掛け抵抗分布に差異があるが、大局的に見れば、北西から南東方向の trend が卓越する。これを、Fig. 2 の地質図と対比すれば、第四紀溶岩（嶺岨森溶岩）及び新第三紀の安山岩質熔結凝灰岩の分布に規制されて、前者の分布域では見掛け抵抗が高く、後者の部分では低比抵抗帯となっている。

AB及びBCの電極配置はほぼ直交している。両者を直交関係にあるものとして、Dorcin (1976) の方法により、それぞれの電極配置から求められた電場 E_{AB} 及び E_{BC} からそのベクトル積によって見掛け抵抗 $\rho_a \cdot M$ を算出してみた。この場合、電極配置と測点間の距離、その



他の関係をFig. 9のように与えると、 $\rho_a \cdot M$ は次式で与えられる。

$$\rho_a \cdot M = 2\pi |E_{AB} \times E_{BC}|^{\frac{1}{2}} Q^{-\frac{1}{2}} I^{-1}$$

ここで、

$$Q = \frac{a \sin \theta}{r_c^3} \left(-\frac{1}{r_b^2} + \frac{r_b + b \sin \theta}{r_A^3} \right) - \frac{b \cos \theta}{r_A^3} \left(\frac{1}{r_b^2} - \frac{r_b a \cos \theta}{r_c^3} \right)$$

Fig. 9. The quadrupole—quadrupole configuration. The source layout of two perpendicular dipoles AB and BC. Receiver dipoles are set at point M

$\rho_a \cdot M$ を各測点に所属させて、その分布図を描いたものが Fig. 10 である。前述の分布図

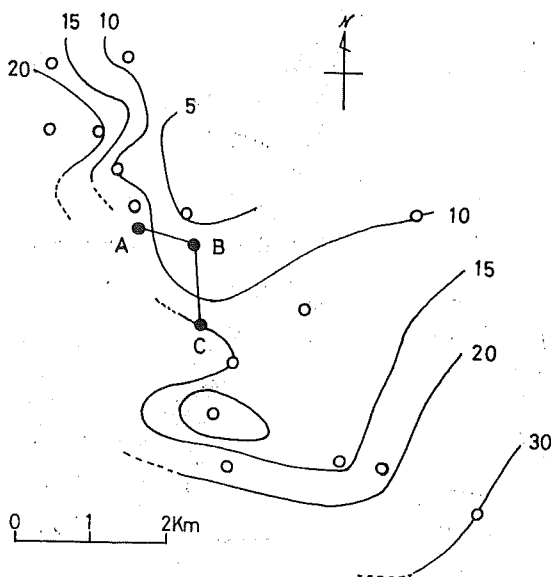


Fig. 10. The apparent resistivity map calculated product of E_{AB} and E_{BC} . (unit:ohm, m.)

に比べると、電極配置ごとの見掛比抵抗異常が平均化されて、電極配置 AC の場合に類似したものとなるが、さらに単純化されたものとなった。しかし、北西 - 南東方向の trend を持つ傾向は残っている。

電極配置域の東側に接して、Fig. 1 にも見られるように、A C 方向に沿って藤七沢がある。この沢沿いには、藤七温泉をはじめ温泉が湧出して、地熱地帯が分布する。この地熱地帯の分布域は、 $\rho_a \cdot M$ の低い分布域と一致している。藤七沢沿いに低比抵抗帯が分布するとすれば、電流はここに

集束し、それより以遠の地域の電流密度は小さくなる。見掛比抵抗はそれに対応して小さなものとなる。Fig. 10 に見られる AB 電極の北東域に比抵抗の低い領域は、地熱地帯の存在によるものと思われる。

なお、この低比抵抗の分布状況からすれば、この藤七沢の地熱地帯に沿う低比抵抗帯は、相当深部(1km 以上)に及ぶものと思われる。

4-2. 磁 場 分 布

Dipole mapping のために流した人工電流を利用して、それに基づく誘導磁場を測定したが、その結果は Table 2 に示されている。3成分が測定されているが、水平成分の方向を、電極配置に対応させて描いたものが Fig. 11 である。

水平成分の大きさは、各測点に数値で記入されている。Fig 11 中に点線で示されている方向は、基準電場の方向を示している。各点における磁場の方向と、基準電場の方向とは、全般的にはほぼ直交関係にあり、主として測点近傍の電流によって磁場が誘導されていることがわかる。ただし、場所によっては、誘導磁気が基準電場から期待されるものとは著しくずれている所も見

	A (-) B (+)				B (-) C (+)				C (-) A (+)			
	X	Y	H	Z	X	Y	H	Z	X	Y	H	Z
P ₁	0	0	...	0	0	-0.24	0.24	-0.22	+0.16	+0.3	0.34	+0.23
P ₂	0	0	...	0	-0.11	-0.14	0.17	0	+0.16	+0.14	0.21	0
P ₃	0	0	...	0	-0.23	-0.37	0.43	-0.21	+0.28	+0.43	0.51	+0.24
P ₄	+0.16	-0.16	0.22	-0.12	-0.33	-0.28	0.43	-0.4	+0.37	+0.41	0.55	+0.3
P ₅	0	0	...	0	-0.4	-0.37	0.54	-0.45	+0.26	+0.41	0.49	+0.45
S ₁	0	0	...	0	-0.4	-0.28	0.49	-0.52	+0.35	+0.4	0.53	+0.53
S ₂	0	0	...	0	-0.61	-0.49	0.78	-0.89	+0.45	+0.73	0.86	+0.89
S ₃	+0.16	-0.23	0.28	0	-0.43	-4.15	4.17	-3.57	+0.28	+4.39	4.4	+3.74
S ₄	+0.28	-0.61	0.67	-1.3	-0.4	-0.3	0.5	0	-0.37	+1.62	1.66	+2.52
S ₅	+0.12	-0.26	0.29	-0.2	0	0	...	0	0	+0.3	0.3	0
S ₆	0	-0.16	0.16	0	0	0	...	0	0	+0.24	0.24	0
S ₇	+0.49	-0.4	0.63	-1.06	-0.24	-0.16	0.29	-0.21	0	+0.89	0.89	+0.73
T ₁	-0.3	0	0.3	0	-0.2	0	0.2	+0.24	+0.49	-0.16	0.51	-0.4

Table 2. The intensities of induced magnetic field by the current injected into the ground by three types of dipole.

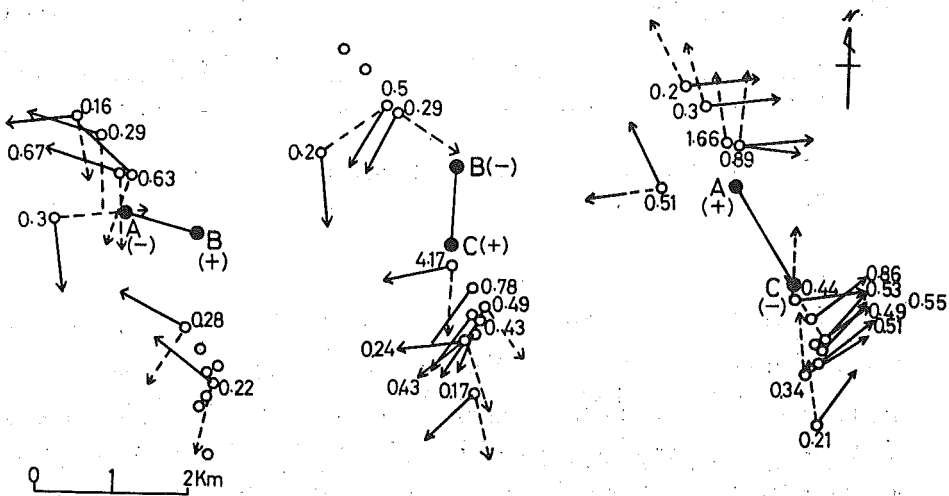


Fig. 11. The directions and the values of horizontal magnetic field induced by the current of dipole electrode array. Numerals show the horizontal magnetic intensity in gamma unit.

受けられる。以下に、磁場測定によって見出される特徴のいくつかを述べる。

A B電極配置に対する磁場は、電極の南部域において2点だけにしか検知されない。かつ、 p_4 の点における値は、それよりも電極に近い S_3 点の値に比べて、異常に大きく、磁場の方向も基準電場方向との直交関係からのずれが大きい。これは p_4 点の南部に存在する低抵抗域(Fig.10参照)に電流が集束することを示唆する。 S_3 点においては、鉛直成分が観測されず、かつ磁場の方向と基準電場の方向との直交関係も成立している。この地点では、均質媒質の場合に近い電流分布をしているものと考えられる。A B電極の北部では磁場の鉛直成分は負であり、又、 S_4 、 S_7 の点では鉛直成分が非常に大きい。このことは、これらの測点の西側において電流密度が卓越し、それは北に向うに従って下部の方へもぐり込む傾向が強いことを意味する。

B C電極配置に対しては、北部域の磁場がA B、C A電極配置に対するものより小さい。これは、B電極のすぐ北側に谷があり、B C電極配置の際には、この谷の影響が最も強く現れるものと思われる。B C電極配置の場合にも、前述のA B配置の場合と同じく、 S_4 と S_7 では、電極に近い S_7 の磁場の方が小さい値を示す。この近傍では、電流の異常分布が存在するものと思われる。

C A電極配置に対して、電極の南部域においては、B C配置の場合と同様に、 P_5 、 S_1 の地点における磁場の値が小さい。又、一見して分ることは、殆んどどの点における磁場の方向は、A-C方向に直交するような傾向が強い。さらに、C A電極配置の場合は、A B、B C、何れの配置の場合よりも各測点における磁場の強さが大きく、従って遠隔地まで検知可能となっている。これは、C Aの電極間隔が、他の何れよりも大きいためにもよるが、C-Aの方向に電流が卓越して流れているためと考えるべきであろう。 S_5 、 S_6 、 S_7 の各点における磁場の強さが殆んど同じ値であることは、Aの北西方向に、チャンネル構造をもつ低抵抗帯が延びていることを意味する。

この事は、Dipole mappingによる比抵抗分布図とも矛盾しない。

5. ま と め

八幡平地熱地区における電気探査(Dipole mapping法)と、人工電流の誘導磁気測定結果の概略を述べた。この実験では、従来のDipole mapping法を発展させたQuadri-Pole法の試みと、誘導磁気法の適用性についての検討が目的であったが、成層構造でない、水平的に比抵抗変化に富む地域の探査には、これらの手法は有効であることが確められた。局所的な比抵抗異常が存在する場合、地電流分布に関する情報を得ることは、構造解析上極めて重要なことである。比抵抗探査は、地表付近の極く浅部の影響を強く受ける。この欠点を補う意味からも、今後、誘導磁気測定は、さらに検討さるべき手法であると思われる。

最後に、この実験を遂行するに当って、同和鉱業北部探査室は、発電機、トランスミッターの提供さらにその操作上の指導等多大の協力をして下さった。心からの謝意を表したい。

参 考 文 献

Darin Dorcim (1976): Quadripole-Quadripole
array for direct current measurements
-Model studies.

Geophysics Vol, 41, No 1, 99, 79-95.