からDede Tepe にかけて、及びBoz Tepe 山頂部、南部ではEvrensem Tepe, Masat Tepe, Kargin Tepe, Ballica Tepe周辺である。

本溶岩はKoca Tepe 周辺, Boz Tepe 山頂部及びDikili Ilıcasi 周辺では Demirtas 火山砕屑岩類を直接覆い, その他の部分ではYuntdağ 火山岩類 I, I 及びKoca Agıl 溶岩を覆っている。また本溶岩はÇam Tepe 東山麓やKoca Tepe 周辺でYuntdağ火山岩類 II中の新期溶岩に覆われている。構成岩石は, 角閃石-黒雲母安山岩からなる。

北部の山体を形成する溶岩は、大部分が濃赤暗灰色を呈し、南部の同溶岩よりもやや苦鉄質で斑晶少なく緻密である。それに対し南部の山体を形成する溶岩は斑状組織が顕著で、斜長石、角閃石、黒雲母の斑晶は北部山体の溶岩に比べ、大きく量も多い傾向がある。またDede Tepe 中腹やKargın Tepe 中腹付近では同質火山火山砕屑岩が挟在しているのがみられる。

全般的には、ドーム状山体と溶岩流が混在したような状態を示す。溶岩の流動方向は地形及び溶岩中の流理構造からDede Tepe や Payam Tepe 周辺では全体的にWまたはSW方向、Koca Tepe 周辺ではNW方向と推定される。

本溶岩中にはあまり強い変質は認められないが、熱水脈に沿って弱~中変質作用を受けているところがある。例えば Payam Tepe 南西の谷沿い、Eşkirburnu Tepe の南麓一帯及び Koca Tepe の南西麓には、熱水脈が多数みられる。熱水脈は一定方向に延びる石英脈(最大巾1m)や方解石脈などの他に、岩石の破砕部にネットワーク状に発達しているものもある。熱水脈の方向は NW系のものが多い。これらの熱水脈の存在は、Dikili 溶岩の噴出後もかなり活発な地熱活動があったことを示している。

c) Çam Tepe 石英安山岩

本溶岩は Çam Tepe 山麓に NE-SW方向に細長く伸びて分布し, Çam Tepe 流紋岩に覆われ, Dikili 黒雲母-角閃石安山岩を直接覆っている。

本溶岩は主として粗粒の黒雲母, 斜長石の斑晶を多量に含む石英安山岩からなる。 Çam Tepe 南麓では弱い変質を受け, シリカ鉱物を充填した熱水脈も認められている。

d) Çam Tepe 流紋岩

本浴岩はÇam Tepe山頂部から北西山麓を構成している。地質踏査の結果,Çam Tepe 石英安山岩を覆い,さらにDikili 黒雲母-角閃石安山岩を覆っていることが明らかになった。

構成岩石は灰白色、緻密な流紋岩からなる。細粒でかつ少量の石英、黒雲母の斑晶 を有し、流理構造が顕著で部分的に板状節理が発達している。

山体の西側はNE方向に延びる直線上の急崖を形成し、断層の存在を示唆している。また、同様の流紋岩からなる巾3m、長さ20mの貫入岩がArmu Tepe近くで、Yuntdağ火山岩類 I の玄武岩溶岩中に貫入しているのが認められた。

e) Koca Tepe 黑雲母-角閃石安山岩

本溶岩は、Koca Tepeから噴出し、NW方向とSE方向に流下している。本溶岩はほぼ全域でDikili 溶岩を覆うが、南東部ではDemirtas 火山砕屑岩類を直接覆っている。

構成岩石は、黒雲母-角閃石安山岩からなり、斑晶の占める割合が非常に多い(50%以上)。本溶岩は調査地域の中で最も新しい火山活動の1つと推定される。

f) Sulu Kaya 黑雲母-角閃石安山岩

本溶岩はDede Tepe と Payam Tepe の中間の鞍部に分布し、NW方向に流下している。本溶岩は、Dikili 溶岩を直接覆っており、Koka Tepe 溶岩と同様、本地域で最も新しい火山活動の1つと推定される。

構成岩石は、やや珪長質な黒雲母-角閃石安山岩からなる。淡灰色~中灰色を呈し、流理構造が発達している。斑状組織が顕著で大きな斜長石(大きさ=3~10 mm),や長柱状の角閃石(大きさ=3~8 mm)が特徴的である。 新鮮で熱水変質はほとんど受けていない。

3) 火山活動

本調査地域に認められる火山活動は、中新世のYuntdag火山活動 I 、 Demirtas 火山活動 I 及び中新世から鮮新世にかけてのYuntdag 火山活動 II 及び中新世から鮮新世にかけてのYuntdag 火山活動 II である。

Yuntdağ 火山活動 I は,Kozak 岩体の南西山麓を中心に活動し,大量の角閃石安山岩を噴出して広大な溶岩台地を形成した。この浴岩台地は,調査地域周辺では,南西から南部で沈降,北部では隆起している。隆起部では浸食されながら比較的平坦な地形を作ったと考えられる。

この比較的平地な溶岩台地上に、Demirtas火山活動による珪長質の火山砕屑岩が堆積 した。この火山活動の中心はDikili南方のDemirtas周辺と思われる。 この火山砕屑 岩は、調査地域全域にわたって小規模に露出している。

Demirtas 火山活動に続き、ほぼ同じ活動場でYutdağ 火山活動 IIの活動が生じた。 この活動はやや苦鉄質で玄武岩や輝石安山岩の溶岩が噴出した。本調査地域では、北東部 に部分的に認められる。

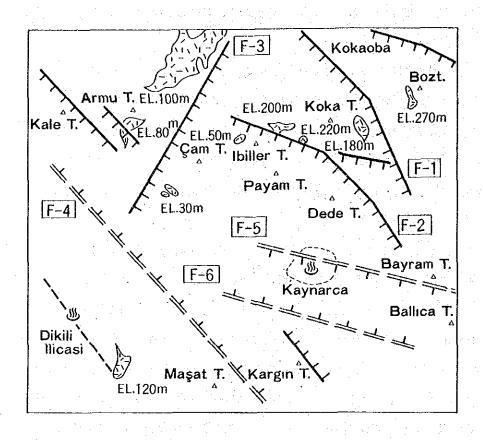
その後 Yuntdağ 火山活動 II により多数のドーム状火山が形成され, 現在の地形の原形が作られた。 Yuntdağ 火山活動は, まず Kaynarca 北方隣接地で始まり, やや苦鉄質な輝石 - 角閃石 安山岩溶岩を噴出した。続いて,調査地域全域で Dikili 黒雲母 - 角閃石安山岩溶岩が大量に流出した。これらは一部で凝灰集塊岩を伴っている。 Yuntdağ 火山活動 II の後期には, Çam Tepe 周辺で石英安山岩溶岩が N E 系の割れ目に沿って噴出し, 次いで流紋岩溶岩が流出した。その後活動はやや東に移り, Kaynarca 北方の2つの地域, Koca Tepe, Sulu Kaya で黒雲母 - 角閃石安山岩からなる溶岩ドームが形成された。これらの溶岩ドームの形成は,調査地域で最も新しい火山活動によるもので,その後火山作用が現在の地熱活動と関連している可能性が強い。

(3) 地質構造

1) 断層と地質構造

本調査地域には NW-SE系、NE-SW系及びWNW-ESE系の断層が認められる。 Fig. 1.3.4は、本地域の主な断層を示したものである。また、Fig. 1.3.4には Demirtas 火山砕屑岩類の各露頭における上位地層との境界面の標高を記入した。これらの標高 差はそれぞれの地質ブロックの断層運動による落差を示していると考えられる。

i) Koca Tepe 東側から、Kocaoba を通るNW-SE系の断層(F-1) 本断層は、Yuntdağ 火山岩類 I を切り、この断層を挟んで両側に分布するDemirtas 火山砕屑岩類の露頭の標高差からSW落ち、その落差は約50mと推定される。第2 次調査の熱水変質帯調査では、この断層を境として変質の程度が異なり、東側の方がより強い変質を受け、珪化帯が広く分布していることが明らかにされている。



LEGEND

F-1~F-6: Fault

EL. figure: Elevation of the upper boundary of the Demirtas pyroclastic rocks

Fig. II.3.4 Distribution of faults around kaynarca

ii) Dede Tepe 東側から Çam Tepe 北側へ抜ける NW-SE系の断層 (F-2)
Demirtas 火山砕屑岩類はこの断層の北側 Koca Tepe の南西山腹には標高 100~
220 m付近に分布するのに対し、南側の Ibiller Tepe 北西山麓では標高 20~50 mの

220 m付近に分布するのに対し、附回し Tot Her Tepe 北四山麓では標高 $20 \sim 50$ mのところに分布している。また Dede Tepe 南山麓に分布する Koca Ag 11 角閃石安山岩はこの断層の北側では認められない。以上のことから、本断層は S W落ちで、その落差は約170 mと考えられる。

III) Cam Tepe 西側を通るNE-SW系の断層(F-3)

Çam Tepe 西側の谷は、Kırodaからほぼ直線状を呈しており、またÇam Tepe 西山腹はNE方向に延びる直線状の急崖を形成していることから、この谷に沿った断層の存在が考えられる。重力探査の結果からも、この付近にNE系の断層が推定されている。

また、本断層をはさんで、Demirtas 火山砕屑岩類の分布する標高が異なり、北東側の方が高い。したがって本断層は、SE落ちでその落差は約70mと考えられる。

iV) Cam Tepe 南側のNW-SE系NE落ちの断層(F-4), Kaynarcaをはさんで WNW-ESE系S落ち及びN落ちの断層(F-5, F-6)。

これらの断層は、重力探査結果から推定される断層で、Yuntdağ 火山岩類 1 の露出範囲と考え合わせると、Çam Tepe 南側には幅約 1 ㎞、NW-SE系の陥没帯がKaynarca 周辺には同じく幅約 1 ㎞、WNW-ESE系の陥没帯が存在していることを示している。その陥没深度は300 m 前後と推定される。

本地域は、上記のNW系の断層によって切られた地質ブロックが調査地域の中央部に向って階段状に落ちこんでいる地構帯構造で特徴づけられる。

このNW系の断層運動は、Yuntdağ 火山岩類 I の噴出後(中新世中期)に始まり、その主要な活動はYuntdağ 火山岩類 II の噴出前にほぼ終了した。その後、この断層運動によって形成された陥没帯をDemirtas 火山砕屑岩やSoma 層、あるいはYuntdağ 火山活動III の噴出物が埋めていったと思われる。しかし、Yuntdağ 火山岩類 III 中にNW系の割れ目や熱水脈が多くみられることから、Yuntdağ 火山岩類 III の噴出後もこのNW系の断層運動は活動を継続したと考えられる。NE系の断層は、Dikili 溶岩噴出後もこのNW系の断層運動は活動を継続したと考えられる。NE系の断層は、Dikili 溶岩噴出後に活動し、Çam Tepe 石英安山岩溶岩や流紋岩溶岩はその断層にそって噴出したと推定される。

2) 断裂系

本調査では137の露頭において 558個の割れ目を測定した。割れ目の測定にあたっては 熱水脈を伴う割れ目や連続性のある割れ目のみを選んだ。

割れ目の走向・傾斜は、断裂面の極をステレオ投影法で北半球に投影し、それをウルフのステレオ投影ネットを用いて平面上に表わした。尚、割れ目の表示方法、コンター図の書き方、応力場の推定については添付資料A.1に述べた。

i) 解析結果

a) 断裂系

調査地域で測定された割れ目の走向・傾斜を地層別,地域別に分け,次の4枚の図に示した。

- ② Fig. I.3.5 Yuntdağ 火山岩類 I (Tyu1)中の断裂系
- ⑤ Fig. I.3.6 Demirtas 火山砕屑岩(Tp)中の断裂系
- © Fig. I.3.7 Yuntdag 火山岩類 II (Tyu 3)中の断裂系
- ⑦ Fig. 1.3.8 地域別断裂系のまとめ

地域毎に断裂系の特徴を述べると以下の様になる。

① Cam Tepe 周辺

この地域では,Demirtas 火山砕屑岩と Yuntdağ火山岩類 II(主に Çam Tepe 石英安山岩,流紋岩)中の割れ目を測定した。Demirtas 火山砕屑岩中の割れ目は Fig. II 3.6 に示すように,NS系からNE系のものが多い。また Yuntdag 火山岩類 III中の割れ目も Çam Tepe 南西部ではNE系が多く,東へ行く程 NW系が多くなってくる。このNE系の断裂は,Çam Tepe 西側を通るNE — SW系の断層に伴なったものと推定される。

② Payan Tepe 周辺

この地域では、Yuntdağ火山岩類世のDikili 溶岩中の割れ目を測定した。大局的には、NW系の断裂が卓越しているが、その中にはNNW系とWNW系の2系統が認められる。またこのNW系の断裂は、熱水脈を伴っていることが多い。

③ Dede Tepe 周辺

この地域では、Yuntdağ火山岩類 I 、 Demirtas 火山砕屑岩類及び Yuntdağ

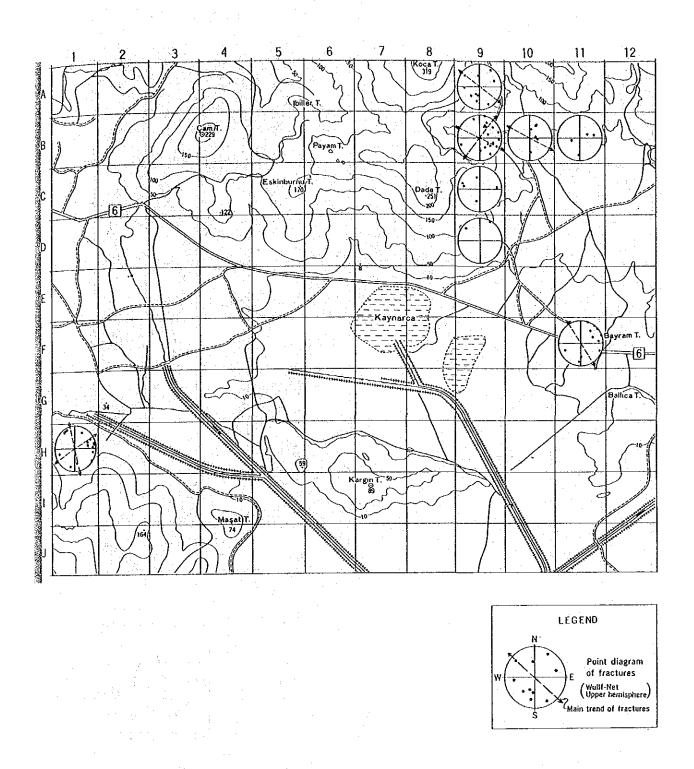
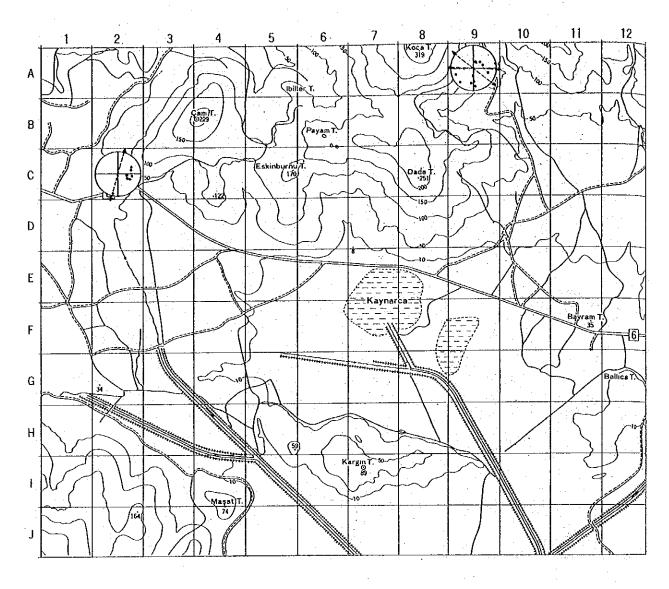


Fig. II.3.5 Fracture pattern of Yuntdağ Volcanics I in the Kaynarca geothermal area



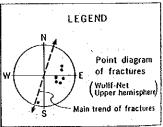
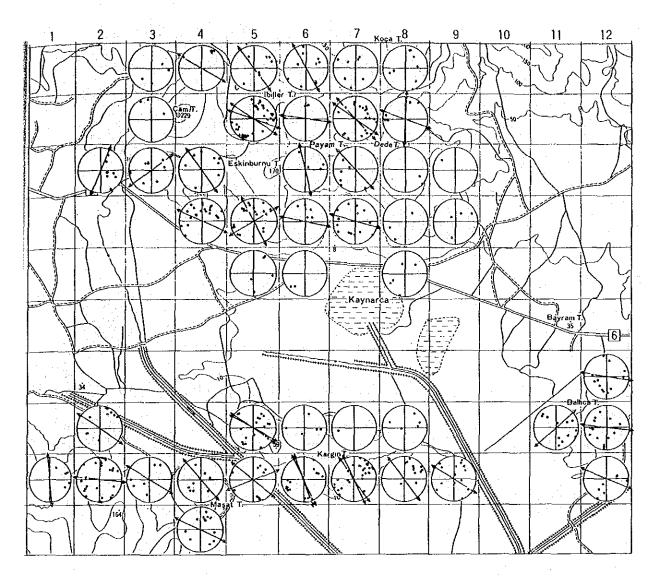


Fig. II.3.6 Fracture pattern of Demirtas pyroclastic rocks in the Kaynarca geothermal area



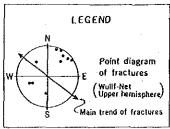


Fig. II.3.7 Fracture pattern of Yuntdağ Volcanics III in the Kaynarca geothermal area

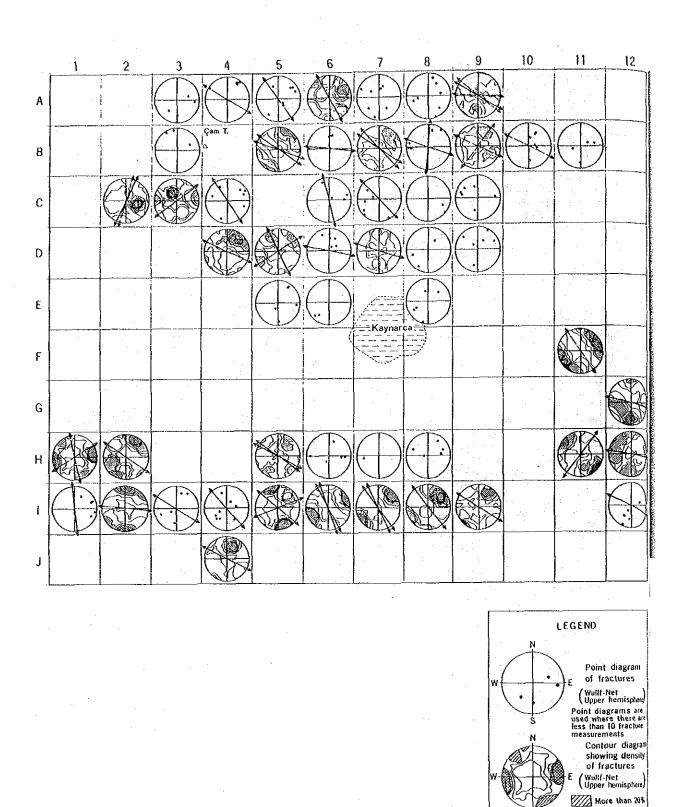


Fig. II.3.8 Composite map showing fracture pattern in the Kaynarca geothermal area

More than 30%
Search area: 10%
Main trend
of fractures in Tyu III
Main trend
of fractures in TP
Main trend
of fractures in Tyu I

火山岩類皿中の割れ目の走向、傾針を測定した。

全体的には、NW系の割れ目が卓越しているが、Yuntdag火山岩類 I やDemirtas 火山砕屑岩類中には、NE系やEW系の断裂が混在している。

NW系の断裂は、Dede Tepe 北側を通るNW系の断層及びKaynarca 周辺のWNW系の地溝帯の形成に関連したものと考えられる。

Masat Tepe 及び Kargin Tepe 周辺

この付近では、明らかにNW系の断裂が卓越している。ただMaşat Tepe 西方のYuntdağ火山岩類 I 中の割れ目にはNE系のものも認められる。 NW系の断層は、Çam Tepe 南方に推定されているNW-SE方向の陥没帯の形成に関連したものと考えられる。

⑤ Ballica Tepe 周辺

この地域では比較的WNW系及びEW系の割れ目が多い。このことはKaynarca の東方では陥没帯も含む地質構造全体がEW方向に向いていることを示唆している。

b) 熱水脈

熱水脈についてみると、Fig. I.3.9に示したようにBayram Tepe 及びEşkinburmu Tepe 周辺に数多く認められる。

Kaynarca の東方約 2 km にある Bayram Tepe では,最大 30 m にも及ぶ脈状のシンターが多数発達している。母岩は Yuntdağ 火山岩類 1 で,シンター中には方解石や石英の自形結晶が生成している。これらの結晶中に存在している流体包有物の均質化温度を測定したところ, $114 \sim 153 \, \mathbb{C}$ であったことから,本地域のシンターは地下で形成され,その後隆起,削はくを受け,現在地表に露出していると考えられる。

一方、Eşkinburnu Tepe 北西ではN 30° ~ 35° W方向、垂直~ 70° 傾斜、幅 10° 100cmのシリカ脈が数十本認められる。連続性もよく地表で $100\,m$ 以上にわたって観察できる。またEşkinburnu Tepe 南側斜面では、岩盤中の割れ目に沿ってしばしばシリカ鉱物が充填しており、これらの方向もNW-SE系が多い。いずれもDikili 溶岩中に発達しており、比較的新しい地熱活動によるものと考えられる。

熱水脈全体では、Fig. I. 3. 10 に示したように、NW-SE方向が圧倒的に多く、同方向に大きな脈も集中している。

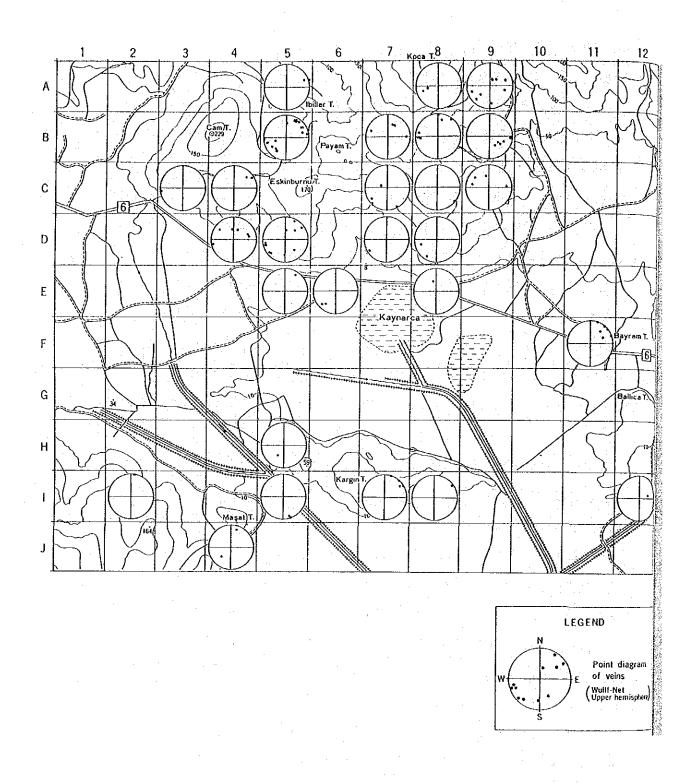


Fig. II.3.9 Pattern of hydrothermal veins in the Kaynarca geothermal area

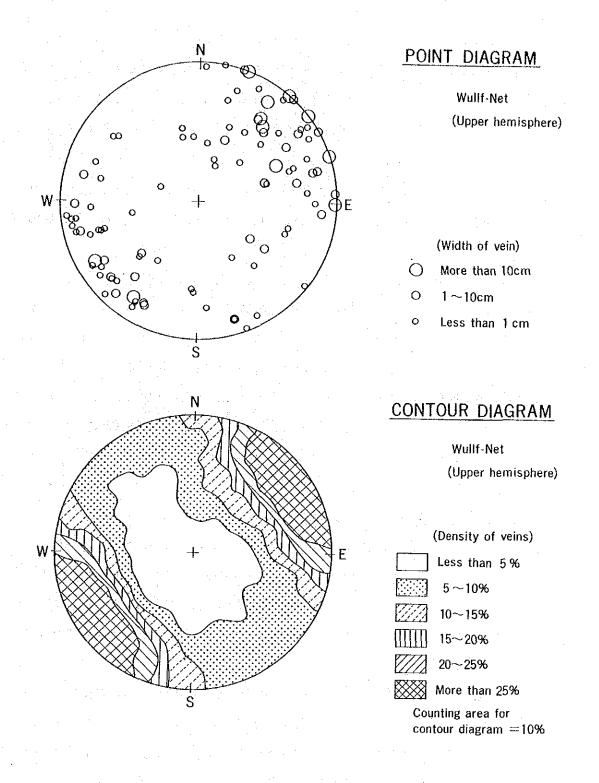


Fig. II.3.10 Plot of width and orientation of hydrothermal veins in the Kaynarca geothermal area.

c) 断裂系のまとめ及び応力場

地層別の断裂系の分布をFig. I.3.11に示した。今回測定した地層の中で最も古いYuntdağ火山岩類 I では、断裂はあらゆる方向に散らばり、卓越した方向は認められない。これはYuntdağ火山岩類 I が古く、多くの構造運動の影響を受けていることを物語っている。

本地域におけるNW系の断層運動は、(3)地質構造の項でも述べたように、Yuntdag 火山岩類 I の噴出後(中新世中期~後期)に始まり、Yuntdag 火山岩類 II の噴出前に その主要な運動はほぼ終了したが、その後もその活動は継続し、Fig. II. 3. 11 に示し たようにYuntdag 火山岩類 II の溶岩中に多くのNW系の断裂を形成した。

その後,Çam Tepe 石英安山岩や流紋岩が噴出した時期にはNE系の断層が形成され,その運動に伴うNSからNE系の断裂がÇam Tepe 石英安山岩や流紋岩あるいはÇam Tepe 周辺のDemirtas火山砕屑岩類中に認められる。

Fig. II.3.12は、Yuntdağ火山岩類III内に存在する断裂を使って、応力場の解析を試めた結果を示したものである。応力場を推定する場合、共役の断裂面が使われるが、野外で共役の断裂面を決定する時には、一般に以下のような条件を満たしていることが必要である。

- 。断裂面の性質が類似している。
- 。互いに切断しあっていて、それらが同時に形成されたと判断できる。
- 。断裂面の移動方向が互いに逆である。

しかし,本調査地域では,大部分が火山岩から構成されていること,道路の切通しなど地層の新鮮な断面が観察できる露頭が少なかった等の理由から共役な断裂を野外で決定する事ができなかった。

Fig. II. 3. 12 左側に、Yuntdağ 火山岩類 III 中の断裂の分布図及びコンター図を示した。前述したように、野外で共役な断裂を決定できなかったので、Fig. II. 3.8 に示した地域別断裂系をもとに、各地域において一対で出現することの多い3つの断裂系のグループA-A', B-B', C-C' を定め、これらは互いに共役な断裂であると仮定し、応力場解析を行なった。その結果をFig. II. 3. 12 右側に示す。この解析ではA-A', B-B' の断裂はNE系の張力場で形成されうることを示している。 この結果は DUMONT et. el. (1979)、 J. ANGELIER et. al (1981)研究結果

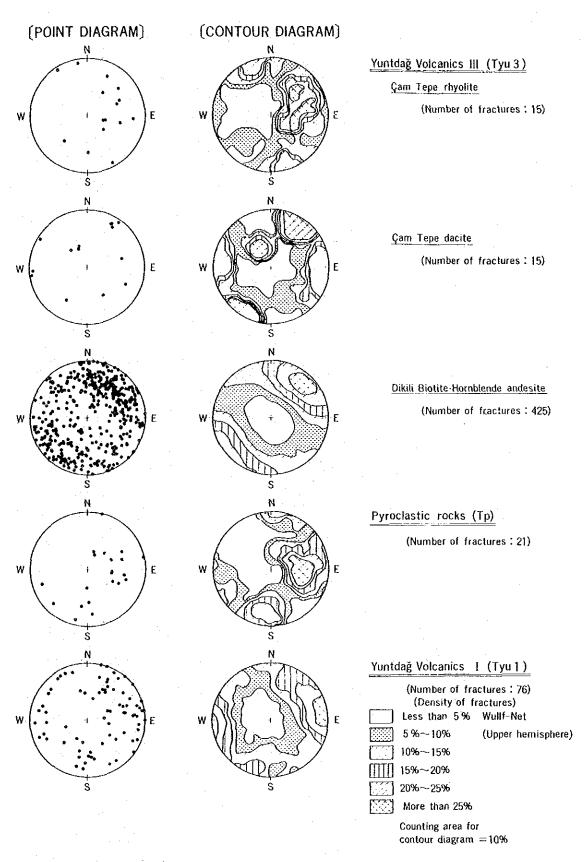


Fig. II.3.11 Fracture pattern in each formation

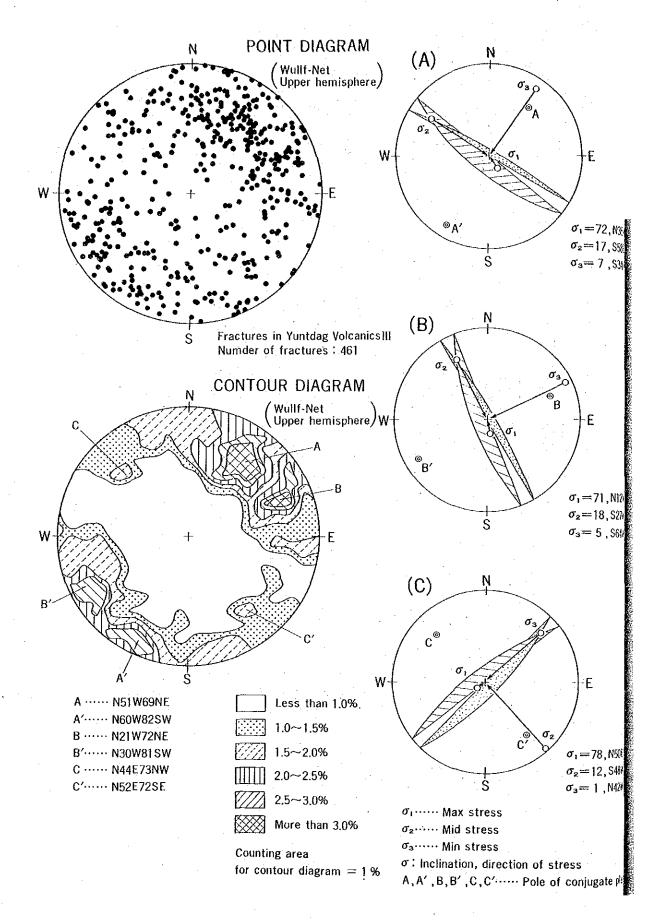


Fig. II.3.12 Presumed stress field in the Kaynarca geothermal area

に述べられているように、アナトリア西部では、中新世後期以降何回かの中断はある ものの、現在まで続いている NNE - SSWからNE - SW方向の張力場において、 NW-SE系からE-W系の地溝帯が形成されたという説と調和的である。

また、Fig. I.3.12 に示した C-C'の断裂は NW方向の張力場で形成されたことを示している。この断裂系は、Çam Tepe 周辺に認められる。Çam Tepe 溶岩噴出前後では NW系の張力場のもとで NE系の断層運動が存在していたと推定される。しかし、その規模はさほど大きくなく、局部的なものであったと考えられる。

(4) 地熱活動

本調査地域では、まずYuntdag 火山岩類 I の後火山作用によって、北部のKocaoba周辺と南部のDikili 温泉周辺で活発な地熱活動が存在していたと考えられる。Kocaoba及びDikili 温泉周辺ではいずれもNW-SE系の断層に沿って珪化帯が発達している。

Demirtas 火山砕屑岩類及び Yuntdağ 火山岩類 』の火山活動に伴う地熱活動はこの地域では認められない。

Yuntdağ 火山岩類 II のDikili 溶岩内には多くのNW系の熱水脈が存在している。 このことは、NW系の断層運動が地溝帯形成以後もひき続いて活動し、それと伴に地熱活動が活発であったことを示している。

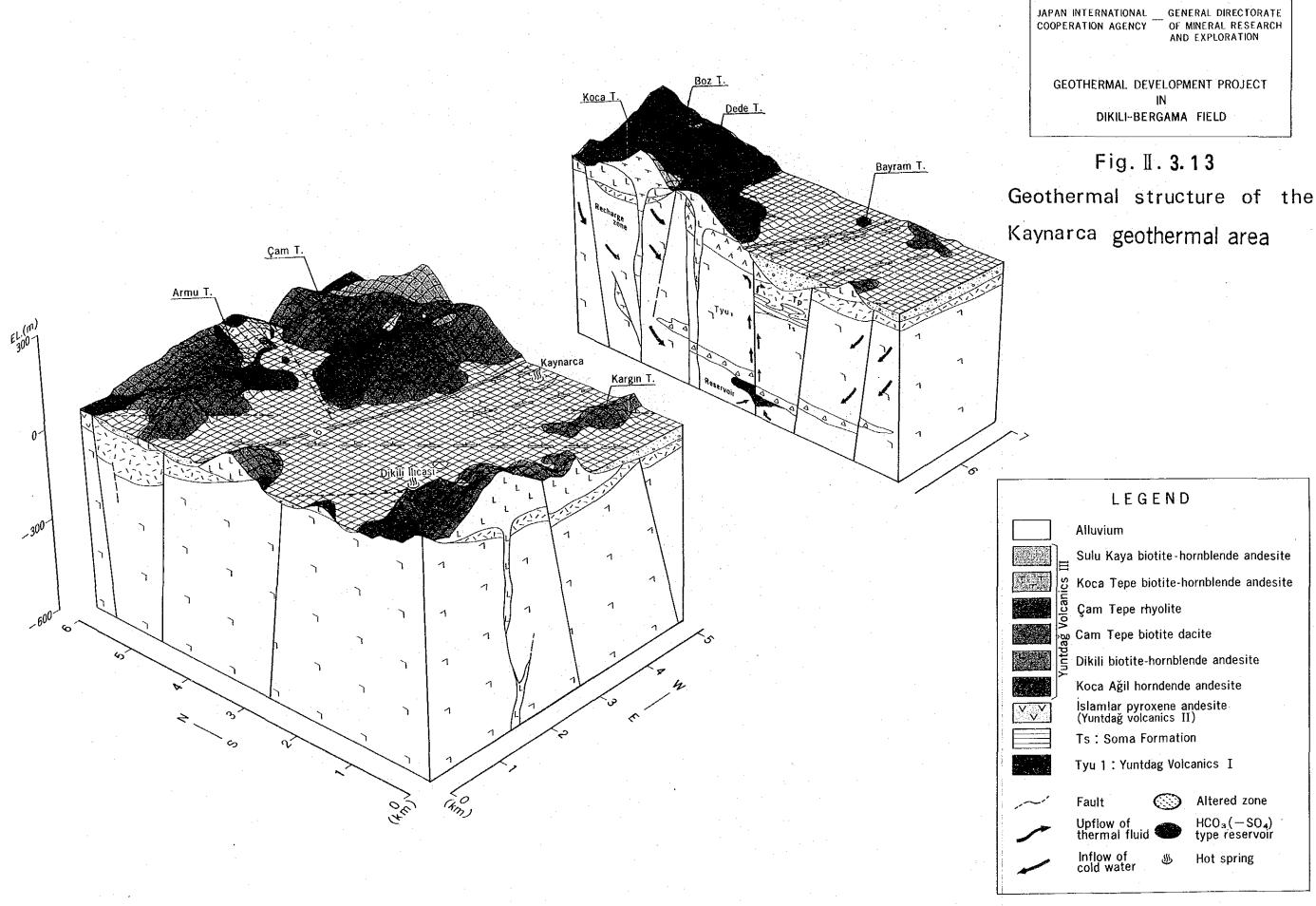
Yuntdag 火山岩類 II を噴出した火山活動の中で最も新期の活動である Sulu Kaya と Koca Tepe の 2 つの火山は、Kocaoba 温泉とKaynar ca 温泉のほぼ中間に位置しており、これらの後火山作用は現在の地熱活動の熱源となっている可能性が大きい。

今回の調査結果から推定したKaynarca 地熱帯の地熱構造図をFig. II.3.13に示す。 Kaynarca 周辺の地下構造は重力異常図や地質図から、NW-SE系、WNW-ESE系の断層によって規制されているものと考えられる。本地域の基盤岩の形状は、高重力異常や断層の分布から判断して、Dikli 温泉南部地下、及びSulu Kaya、Koca Tepe地下で隆起し、地塁構造を形成しているものと考えられる。逆にDikili温泉とKaynarca間はNW-SEあるいはWNW-ESE方向の陥没部となっている。地構帯形成の構造運動は、Yuntdağ火山岩類 II の噴出以降、Yuntdağ火山岩類 IIIの活動後まで続いたと推定され、陥没部には、Soma層やDemirtas火山砕屑岩類及びYuntdağ 火山岩類 III が厚く堆積したと思われる。

地化学解析からKaynarcaの熱水の起源は、Kozak 岩体の南西麓で流入した地表水 (天水)で、地下に浸透した天水は、マグマ起源の熱源によって加熱されたものと推定さ れている。

熱水は,深部では基盤岩とYuntdağ火山岩類 I の境界付近や断層周辺の破砕帯,浅部ではYuntdağ火山岩類 II 中の割れ目に貯えられ,熱水貯留層を形成していると考えられる。またその際,Yuntdağ火山岩類 I 中に挟在された凝灰角 篠岩層は帽岩の役割をしていると推定される。

これらの熱水貯留層から一部の熱水が、地溝帯を形成している断層やそれに伴う割れ目に沿って上昇し、Kaynarca 周辺の温泉、噴気帯を形成していると考えられる。



1.3.2 CSAMT法探查

1. 調查目的

第2次調査結果,選定されたディキリ地区のKaynarca 地熱地帯の電気的地下構造を把握し,熱流量調査のための掘削位置選定のための資料を得る。また,熱流量調査井を利用して実施した流電電位法探査結果を合せて調査地域の地熱構造を電気構造的に把握する。

2. 調查手法

(1) 調査方法

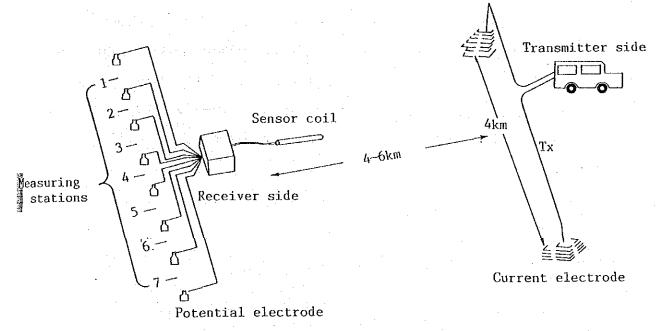


Fig. II. 3.14 Survey configuration for CSAMT measurement

Fig. II. 3.14にCSAMT法測定法概略図を示す。 図に示すように調査は,他の電気探査法と同様に,主として送信部と受信部に分かれる。今回の調査においては,送信部は,約4km程度ほぼ直線状に布設した電流ダイポールを通して,2⁻²~2⁹Hzの周波数帯の間で,16種類の周波数を選択して,1~4Aの電流を流した。また,受信部は,ファーフィルドと考えられる電流ダイポールより遠方(有効範囲は,通常4~8km程度)に離れた地域において,電流ダイポールによって発生した電磁場により,大地に誘起される誘導電流及びそのときの二次磁場を測定した。誘導電流(電場)の測定は,最大7点を8個の塩化鉛電極を用いて同時に測定し,また,測線方向は電流ダイポールと平行に設置した。磁場の測定は,インダクションコイル(Induction Coil)を同時に測定する7点の中心部に電流ダイポールと垂直の方向に設置した。このとき,コイルはノイズ等の影響によるデータのS/N比の低下を考慮

し, それらの対策としてコイルの地中埋設, 高圧電線近隣の電線布設の回避, 電線接続部の 漏洩のチェック, スタッキング処理回数の増加等を行い, データの取得を行った。

しかしながら、調査地の中央部には、東西に走る主な自動車道及びそれと平行の配電線及び電話線が数多く架設されており、それらの影響により、非常にノイズの多い測定不能な点が認められた。これらの点のうちデータとして利用不能なものは、他の点のデータによる編集等を行うことにより、参考資料として用いた。

(2) 解析方法

データ解析は、Fig. II. 3. 15 に示すようなフローに沿って実施した。このうち、ニアフィールドの補正計算は、JICAからトルコ共和国へ供与された解析ソフトのなかの補正計算プログラムを用いて行った。また、層構造解析は、各測点で得られたデータに層構造モデルの値から計算して得られる理論値(見掛比抵抗)が最も一致するような反復計算を繰り返すことにより実施した。

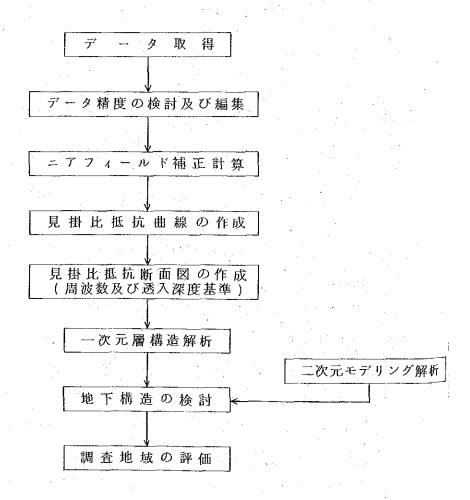


Fig. II. 3. 15 Flow of analysis for CSAMT measurement

3. 調査結果及びまとめ

調査測線A~Uの21測線の各測点のデータから,周波数128,4及び0.25Hzの3種類の 周波数別見掛比抵抗等比抵抗線図を作成した。

1) 見掛比抵抗等比抵抗線図 (f = 128 Hz) (Fig. I. 3. 16)

測定された見掛比抵抗値は、概ね1.0 ohm-mから14 ohm-mの範囲である。本比抵抗分布は、全般的には地表付近から深度100m付近までの平均的な値を示したものと考えられる。

分布の形状は,調査地域中央部に 4 ohm-m以下の低比抵抗域が概ね東西方向に広範に分布し,このうち,特に中央部及び中央よりやや南東方向の箇所に 2 ohm-m 以下の極低比抵抗域が認められる。Kaynarca で認められる噴気,湧水等の地熱徴候の大部分は,この極低比抵抗域内及びその周辺に分布する。このため,本極低比抵抗域は,Kaynarca の浅部の地熱徴候の分布及び熱水活動による変質帯の分布と密接な関連をもったものと推定され,かつ,それらの一部の分布を反映したものと思われる。

また、Kaynarcaから南西方向に3 ohm-m の帯状の低比抵抗域が延びており、同方向の線構造の存在を示唆している。

相対的な高比抵抗域(8ohm-m以上)は、北部及び南部の山岳地形に沿って認められる。128Hzのデータは、地表付近の比抵抗分布を反映しており、このなかに示される高 比抵抗域は、地表で認められる山岳地形の火山岩の分布を示しているものと考えられる。

2) 見掛比抵抗等比抵抗線図 (f=4 Hz) (Fig. I. 3.17)

中央部のKaynarcaから南東方向に延びるような2ohm-m以下の極低比抵抗域が認められる。この極低比抵抗域の北西延長部に、局所的な相対的低比抵抗域(7ohm-m以下)が概略北西-南東方向の線構造状に分布している。また、西端部の測点G100と東端部の測点K3400を結ぶような線構造がコンターの形状から認められる。 前図で認められた北東-南西方向の帯状の低比抵抗域は、本図からは顕著に認められない。

本比抵抗分布のうち、中央部の極低比抵抗域、北部の山岳部の高比抵抗域の中の相対的低比抵抗部等の配列及び分布、さらにはコンターの疎密分布から、それらが方向性をもって分布するのは、その方向性に沿った地質構造及びその深部の地熱構造に起因したものと推定される。

3) 見掛比抵抗等比抵抗線図 (f = 0.25 Hz) (Fig. II. 3.18) 周波数が 0.25 Hz 付近の見掛比抵抗の分布は、深部 (500~1000 m) の比抵抗の分布を 反映しているものと考えられる。分布の形状は前図と概略同じであるが、本図のほうがより線構造を反映している。そのうち、Kaynarcaを通る北西-南東方向のものは顕著に認められ、特に、北部の山岳部に認められた高比抵抗域中に認められる帯状の相対的低比抵抗域(22 ohm-m以下)は、この線構造を明瞭に反映している。 東西方向の線構造もコンターの疎密分布から同様に認められるが、本構造は、周波数が4日とのもののほうがより顕著である。その他、弱い示徴であるが、低比抵抗域の分布及びコンターの配列等から前述の北西-南東方向の線構造に斜交するようなKaynarcaを通る北東-南西方向の示徴もうかがえる。

4) 測線毎の見掛比抵抗断面図

A~U測線は全て,東西方向にセットされた測線で,これらの見掛比抵抗断面図の変化 より,調査地域の東西方向の比抵抗分布の深度別変化をみることができる。以下に各測線 の比抵抗分布について述べる。

a. A測線(Fig. I. 3.19)

西端部の測点100及び中央部の測点1700,1900付近に低比抵抗域が存在する。西部と東部では、東部側が全般的に高い比抵抗値を示している。

b. B測線 (Fig. I. 3. 20)

測点1150, 1250付近に低い比抵抗域が認められる。この低比抵抗部は周波数4~64 Hz 付近であり 比較的浅部のものを反映したものと考えられる。

c. C測線(Fig. I. 3.21)

全般的に10 ohm-m前後の比抵抗値を示しており,一部の測点で低比抵抗部が認められる。

d. D測線(Fig. I. 3. 22)

西端部付近の測点 150, 250 付近に低比抵抗部が認められ, その他は, 平均的には 10 ohm-m前後の比抵抗値で形成されている。

e. E測線(Fig. I. 3. 23)

東部の測点 2600を中心とするような低比抵抗域が認められる。その他の測点にも局所的な低比抵抗域が存在するが、その広がりは狭小である。

f. F測線 (Fig. I. 3. 24)

調査測線全般が, 低周波数域を除き平均10 ohm-m程度の比抵抗域である。測線内に 局所的な低比抵抗部(測点 450, 750及び1150)が認められる。

g. G測線(Fig. II. 3. 25)

中央より東部にかけた範囲(測点 1900 付近より測点 2800 付近)で低比抵抗部 が存在する。この部分は周波数 18 ~ 512 Hz の範囲のものであり、 浅部の低比抵抗部を示したものと考えられる。

h. H測線 (Fig. II. 3. 26)

測点450付近及び東端部の測点1250付近に低比抵抗域が存在する。本測線は Kaynarca 地熱地帯の北端部に位置する測線である。

i. I測線(Fig. II 3.27)

前述のA~H測線に比べると,測線全域にかけてかなり低い(5.8 ohm-m以下)比抵抗値を示している。特に中央部の測点である1500付近から2600付近までは,3.2 ohm - m以下の極低比抵抗域を形成しており,これは,Kaynarcaの地熱構造と密接に関連した示徴と考えられる。

j. J測線(Fig. I. 3. 28)

本測線はKaynarcaのほぼ中心部を横切る測線であるため, 測線全域にわたりかなり低い比抵抗値が認められる。特に, 測点 350 付近から, 東端部の測点 1350 にかけて, 3.2 ohm-m以下の極低比抵抗値を示し, さらに, 測点 450 から 750 及び1000 から1150は, 1.8 ohm-m以下を示している。これらの極端に低い比抵抗値は, Kaynarcaの地下構造と密接に関連したものと考えられる。

k. K測線 (Fig. II. 3. 29)

本測線も同様にKaynarcaのほぼ中心を横切る測線である。測点300,500及び700付近を除く測線全域に低い比抵抗値が認められ,特に,測点1200付近から2800付近に至る範囲は,3.2 ohm-m以下の極比抵抗域を示している。また,測点1600付近から2400に至る範囲は,1.8 ohm-m以下の非常に低い値を示しており,Kaynarcaの活発な地熱活動を反映したものと推定される。

1. L測線 (Fig. I. 3. 30)

測線全域が、3.2 ohm-m以下の極低比抵抗値を示し、特に、測点 650 ~ 950 及び 1250 より東側の箇所は、1.8 ohm-mと非常に低い比抵抗値を示している。これらの低 比抵抗域は、2~18 Hz と前述の測線群よりも低い周波数(深部)に認められ、Kaynarca の低比抵抗部が、西部より東部にかつ南部でやや深くなる傾向をもつことが分かる。

m. M測線 (Fig. II. 3. 31)

本測線では、浅部の比抵抗分布を除けば、中央部から東部にかけて 3.2 ohm-m 以下の極低比抵抗域が広範に分布している。このうち、測点 2000付近 から 3000付近にかけては 1.8 ohm-m以下の非常に低い値を示し、地下に比較的高温の流体が貯留された地層が存在していることを示唆している。

n. N測線 (Fig. II. 3.32)

M測線と同様に中央から東部にかけて 3.2 ohm-m以下の極低比抵抗域であり、その中で測点 1250 を中心とするような非常に低い比抵抗部が存在する。 本測線及び他の測線でも同様であるが、本調査地域で認められる低比抵抗部は、縦方向に沿って分布する形状を示しており、これは、本調査地域の地熱構造が断裂系の構造等により支配されていることを示すものである。

o. O測線 (Fig. II. 3. 33)

M, N測線と同様である。中央から東部にかけた範囲(測点1600付近から測点3200付近)で3.2 ohm-m以下の極低比抵抗域が認められる。中央から西部は地表付近(128~512Hz)のみに、非常に低い比抵抗域が認められる。

p. P測線 (Fig. I. 3. 34)

東端部の測点950に、最も低い比抵抗部が存在する。これは、北側のO測線で認められた最も低い比抵抗部とほぼ一致する。

q. Q測線(Fig. II. 3. 35)

1~P測線に比較して、全般的に比抵抗分布の値がやや高くなっている。全般的な傾向は、中央から西部にかけて地表付近で比抵抗が低く、深度を増すにつれて比抵抗値が上昇する。中央より東部にかけては、4~32Hzの間で低い比抵抗値が認められる。

r. R測線 (Fig. II. 3. 36)

中央部の測点650付近で地表付近より低い比抵抗値が認められ、東端部の測点1050、1150においても周波数2~64Hzにおいて低い比抵抗値が認められる。

s. S測線(Fig. I. 3. 37)

全般的にやや高い比抵抗分布を示している。中央からやや東部よりの測点2300付近に地表付近より低い比抵抗帯が認められる。

t. T測線(Fig. II. 3 38)

測点750,850付近に地表付近から低い比抵抗帯が認められる。

u. U測線(Fig. II. 3. 39)

中央部より東部にかけては, 西部とは対照的な低比抵抗部を示している。しかしながら, それらは深部に認められる低い比抵抗帯ではなく, 地表付近に認められるものである。

(2) 層構造解析結果からの比抵抗分布

1)解析比抵抗断面

Fig. I. 3. 19から Fig. II. 3. 39 に示す見掛比抵抗断面の下半部には、各測点のデータを用いて実施した1次元層構造解析結果を示している。各分布の特徴については、次節の平面分布で述べることとするが、代表的な測線3本について以下に説明する。

i) C測線 (Fig. I. 3. 21)

本測線は、調査地域の北部に位置し、電気基盤層の分布は、全般的に西部で浅く、東部で深くなっている。電気基盤層上位の比抵抗値は、次に述べるKaynarcaに設置されたK測線のそれに比較すると、かなり高い値を示しており、また、一般の地熱地帯で認められる低比抵抗値(3~5 ohm-m)よりも高い。このことから、本測線周辺は、Kaynarca に認められるような、顕著な地熱活動及び変質帯は存在しないものと推定される。

ii) K測線(Fig. I. 3. 29)

本測線は、Kaynarcaのほぼ中央部を東西方向に横切る測線である。比抵抗層分布で特徴的なことは、Kaynarcaのほぼ中心部である測点1600~2000の範囲では、低比抵抗層の値が1~2 ohm-mと極端に低く、これに伴い、その下部の電気基盤層が隆起構造を呈していることである。これは、一般の地熱地帯で認められる電気構造的特徴であり、本測線の地下には、地熱流体が存在するような構造が存在することを示唆している。低比抵抗層は、本調査地域の特徴からみると、浅部の温泉滞水層あるいは、熱水変質帯の分布に対応しているものと推定される。

iii) S測線(Fig. I. 3. 37)

本測線はKaynarca の南部に設置された測線であり、電気基盤層の分布は、前述の K測線と異なり、東部で浅く、中央部より西部にかけて深い傾向をもつ。それに伴いそ の上位の低比抵抗層の値は、測点2400~2800付近で2~3 ohm-mと低い値を示して いる。前述のK測線と本測線から、Kaynarca に認められる地熱構造は、 南東方向に 延びていることが分かる。

2) 等縦電導度分布 (Fig. II. 3. 40)

調査地域における見掛比抵抗曲線は、全般的に云って、一般の地熱地帯でみられるような高-低-高の3層構造を示すというよりむしろ、高-低-低-高、あるいは、低-中-低-高という4層構造を示す。したがって、この地域では4層構造による解析が実測値と良い一致を示した。このため、深部の熱構造あるいは、熱水変質帯の分布等と密接に関わっていると推定される低比抵抗層を評価するために、第2層あるいは、第3層のいずれを選択するかが困難であるため、第2層及び第3層の層厚及び比抵抗値を用いて縦電導度を計算し、調査地域の低比抵抗層の分布を評価した。

130 mho 以上の高縦電導度域がKaynarca 付近及びその南部に分布しており, 更に 170 mho 以上の高縦電導域は, Kaynarca を通り, 北西-南東方向に配列している。

この高級電導度域は、見掛比抵抗分布から推定された北西 - 南東及び北東 - 南西方向の電気的線構造の南側に分布しており、両線構造に挟まれた形状を示している。したがってこの区域は電気的線構造に規制された地下深部の地熱貯留層あるいは熱水変質帯の分布地域を反映しているものと考えられる。

3) 電気基盤層等深線図 (Fig. II. 3.41)

電気基盤層は、層構造解析により検出される層のうち、最下位に位置する比較的高い比 抵抗値を示す層である。通常、地熱貯留層は、電気基盤層中に存在し、かつ電気基盤層の 深度分布の急変部(電気的不連続部)に沿って貯留されている場合が多い。このような意 味で、電気基盤層の隆起部及び不連続部の分布を把握することは、地熱貯留構造を推定す るうえで重要である。

調査地域中央部, Kaynarca 付近から, その南東部にかけて,電気基盤層の深度が S.L - 400 m以浅を示す相対的な隆起構造を呈している。 調査地域北部及び南西部は, 逆に相対的な沈降域となっている。 Kaynarca 及びその南部域は, 重力探査からは, 陥没構造として検出されており, 実際の地質構造も陥没構造として解釈されている。電気探査的には, 地熱活動が調査地域に存在しない場合は, 同様の陥没構造として検出される可能性が高いが, 本調査地域のように活発な地熱徴候, それに伴う地熱構造が存在する場合は, 見掛け上の隆起構造として検出される場合が多い。これは次のような理由による。

- ① 低比抵抗層の存在のため、その層厚が薄く計算され、その下位の電気基盤層が見掛け上の隆起構造を呈する。
- ② 陥没構造内に地熱構造が存在する場合は、その比抵抗構造は陥没構造となる地質構

造を反映せず、①の理由による隆起構造として反映される。

したがって、地熱調査における電気探査から得られた隆起構造は地質構造的な解釈を行う場合、間違いを生じる場合があるため注意が必要である。電気探査から得られた隆起構造は、地熱構造(変質帯、断層、温泉層等)の存在示徴であり、それらの連続性、方向性の解釈が地熱探査上のキーポイントとなる。このような意味で、隆起構造の分布に注目すると、同分布は、概略Kaynarca帯から南東方向に延びており、これは、見掛比抵抗の分布の各平面図から推定された北西-南東方向の線構造に沿うような形状を呈している。これは、調査地域は主として北西-南東方向の地熱構造が卓越していることを示している。また、見掛比抵抗分布から認められた北東-南西方向の線構造の示徴は、北東部にわずかに認められる隆起部とKaynarcaを結ぶ方向に若干認められるものの顕著ではない。

4) 電気基盤層等比抵抗線図 (Fig. 1.3.42)

最下層である電気基盤層の解析結果から得られた比抵抗分布により、より深部の水理地下構造及び熱的な構造を推定することが可能となる。ただし、解析結果、得られた電気基盤層の比抵抗値は、一般には、その解析精度は、その上位の層に比べて劣り、場合によっては、オーダーが1桁~2桁の誤差を有することがある。電気基盤層の比抵抗分布によって熱的な構造を推定する場合は、大局的な傾向を把握するに留めることが適当である。

本分布において40 ohm-m以下を示す低比抵抗域は,Kaynarca 周辺, その西部域,南東部域及び北部域に認められる。これらの地域は,いずれも比較的深部にまで低い比抵抗値が分布すると推定される箇所であり,このうちのある部分は,本地域の地熱構造と密接な関わりをもつものと考えられる。とくに,その分布がある方向に連続して帯状に分布する場合,それらが深部の断裂系を反映している可能性がある。このような意味において,Kaynarca 地熱地帯周辺で,比較的,ある方向に連続して分布する傾向をもつ低比抵抗域は,Kaynarca から南東方向に延びるものが認められる。この構造は,Fig. II. 3. 43 に示す I ~ P測線を並べた見掛比抵抗断面図の低比抵抗部を連続的にみても,その存在を推定することができる。その他,Kaynarca の西部及び南西部には低比抵抗部が広範に認められる。これらの地域は,浅部では,顕著な低比抵抗域が存在しないものの,深部では相対的に低い比抵抗部が存在することを示しており,Kaynarca 地熱地帯から西部あるいは南西部に延びる構造が存在する可能性を示唆するものである。

(3) 2次元モデリング計算

調査測線中で,Kaynarca の中央部に設置されたM測線の比抵抗分布パターンは,本調

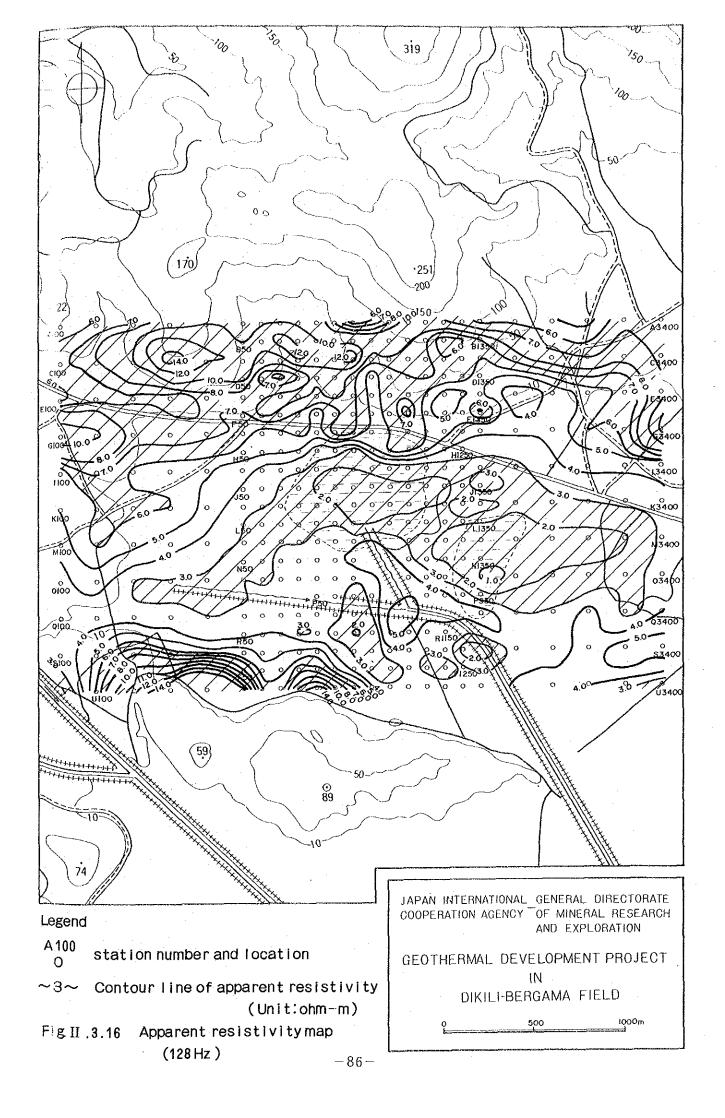
査地域を代表する典型的比抵抗分布のパターンである。そこで、Fig. II. 3. 44 に示す $_{kj}$ なブロック状の比抵抗モデルを作成し、調査地域の地下構造の検討を行なった。解析結果Fig. II. 3. 45 に示す。図の上部は、実測値によるM測線の見掛比抵抗分布であり、下部はモデル計算結果である。両図からわかるように、比抵抗分布のパターンはかなりよく一致しており、調査地域の比抵抗構造はFig. II. 3. 44 に示すような構造と推定される。 その特別を挙げると次の通りである。

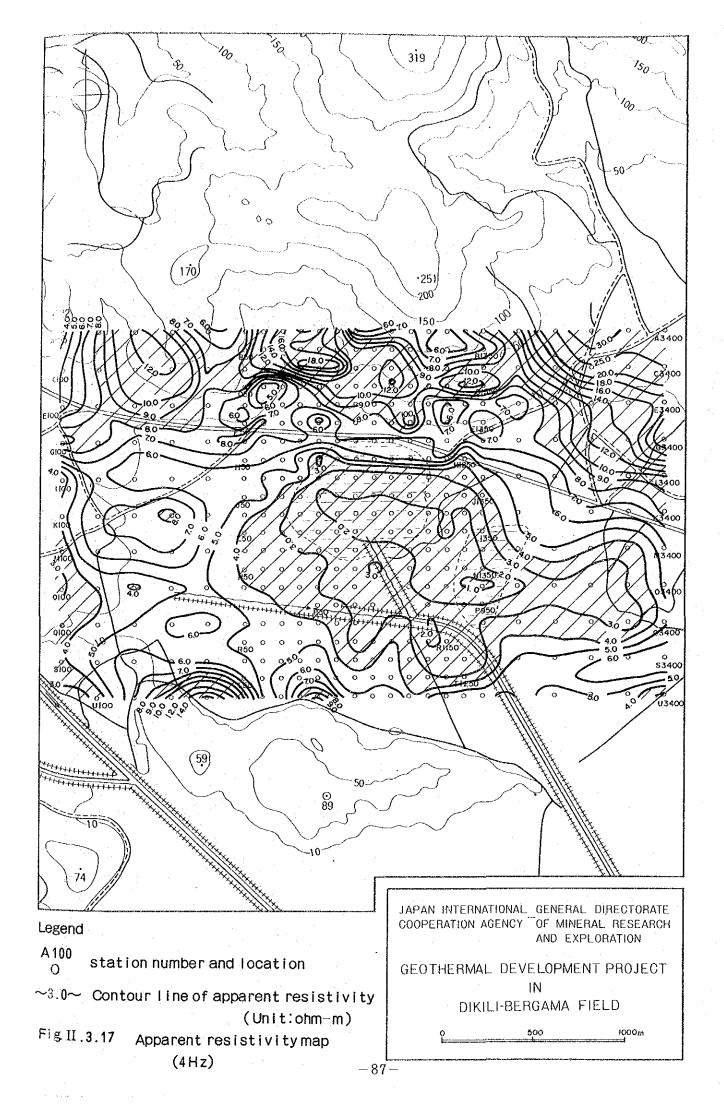
- a. 測点 2300 付近に 1 ohm m前後の垂直方向の断裂構造が存在する。
- b. 測点 2300より東部は50 ohm-m程度の電気基盤層が浅部にまで隆起しており, 逆 西部ではその上位に2~3 ohm-mの低比抵抗層が300~400 m分布している。
- c. 上記a, bよりKaynarca地熱地帯を形成する地熱構造は, 垂直方向の断裂構造, すなわち断層構造であり, 本地域の高温の熱水は, これらの断層沿いに貯留されていると推定される。

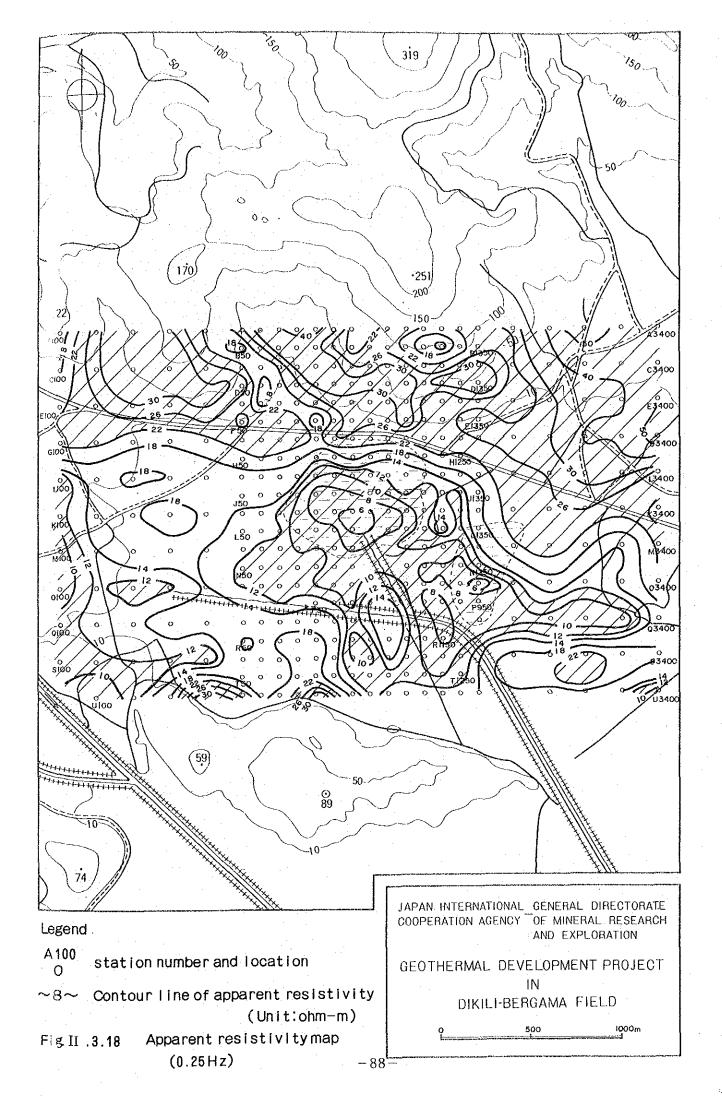
(4) まとめ

各解析結果から得られた電気的地下構造から推定された調査地域の地熱構造は次の通りである。Fig. II. 3. 46 に総合集約図を示す。

- a. 見掛比抵抗分布から主として以下の3本の線構造が推定される。
 - ① Kaynarca のやや北側を通る。概ね東西方向に延びる線構造。
 - ② Kaynarca を通り、北東-南西方向に延びる線構造。ただし、本線構造は②の線 造の示徴に比べるとやや弱い示徴である。
 - b. 上記の②及び③の線構造に挟まれた交点及びその南部側であるKaynarca 地熱地帯 辺は、高縦電導度域であり、本地域の地熱構造を理解する上で重要である。 この高縦 導度域は、主としてKaynarca 地熱地帯を中心に認められることから、同地熱地帯の 温の温泉帯水層及び浅部に広範に分布する熱水変質帯等に関連した示徴と推定される。
 - c. 深部の比抵抗分布から、調査地域には、北西-南東方向の断裂系の存在が推定され、 また、同様にKaynarcaから西部あるいは南西部に延びる構造の存在が推定される。 ただし、それは、北西-南東方向の線構造に比較するとその示徴は弱い。
 - d. 2次元モデル計算結果から、調査地域の地熱構造は、断層構造であると推定され、上記 a~cの線構造は本調査地域の地熱流体の動きを支配する重要な断層であると推定される。







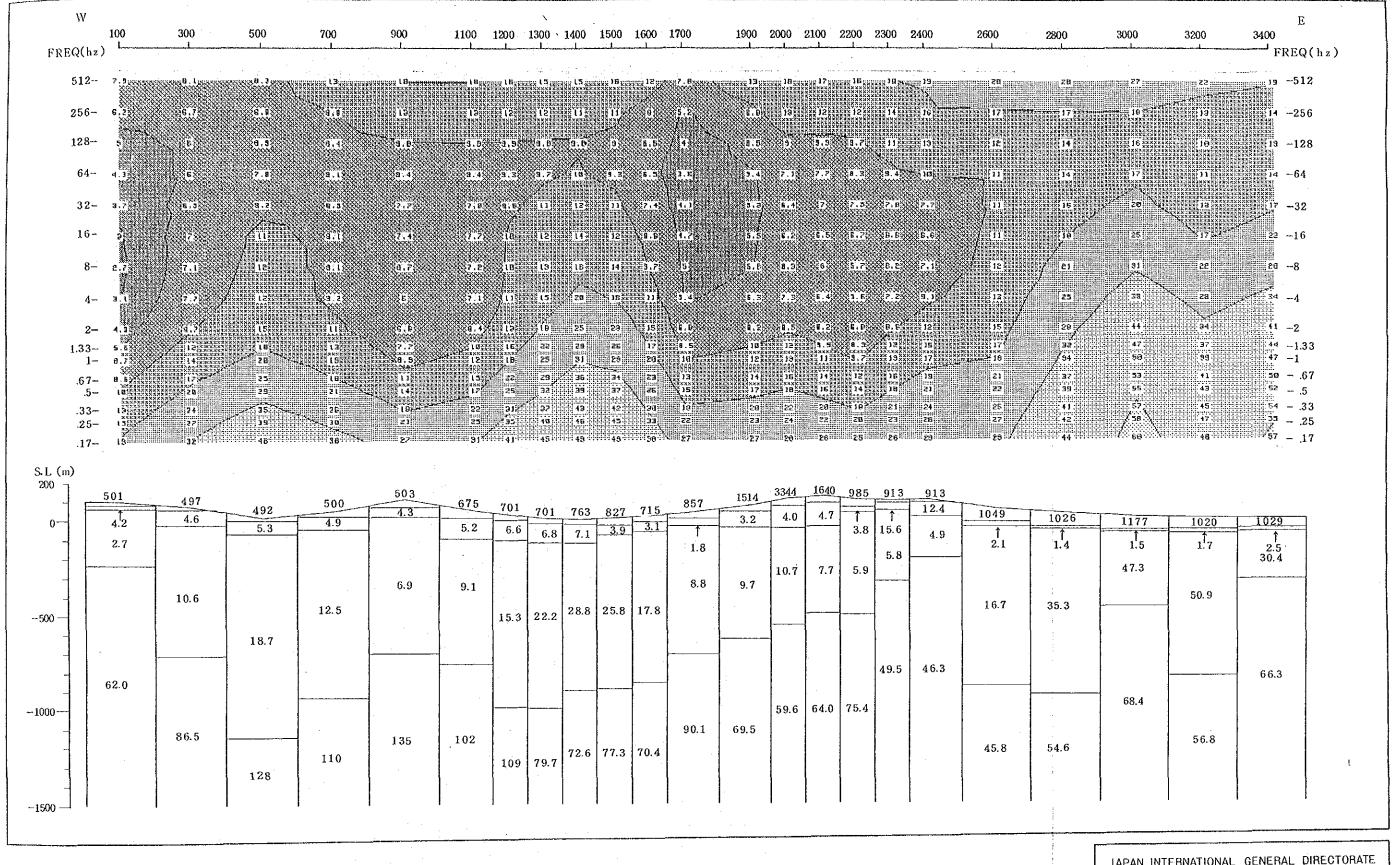
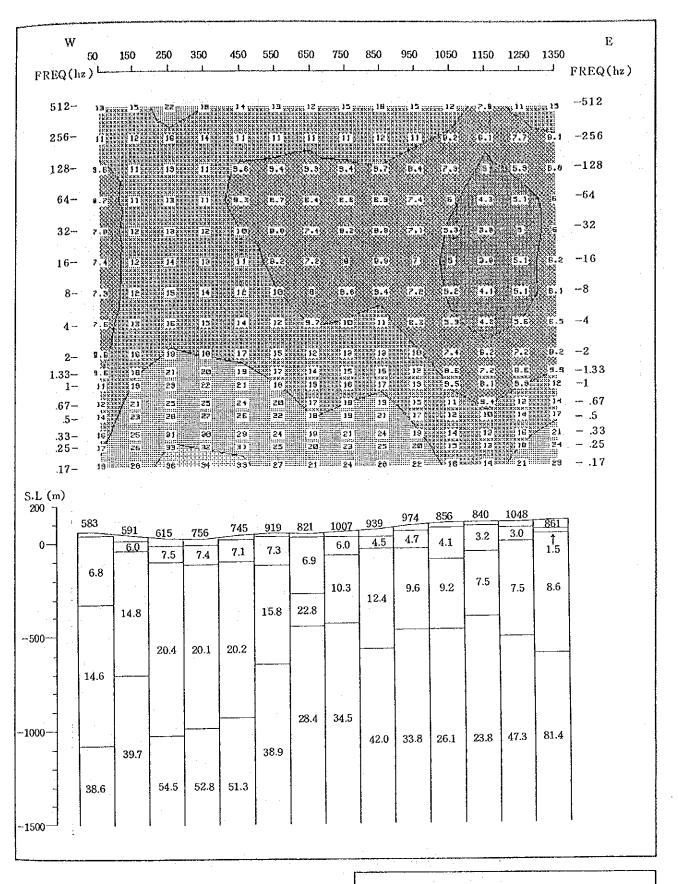


Fig II.3.19 Apparent resistivity pseudosection and 1D inversion results (A line) (Unit:ohm-m)



(Unit:ohm-m)

Fig. II .3.20 Apparent resistivity pseudosection and 1D inversion results (B line)

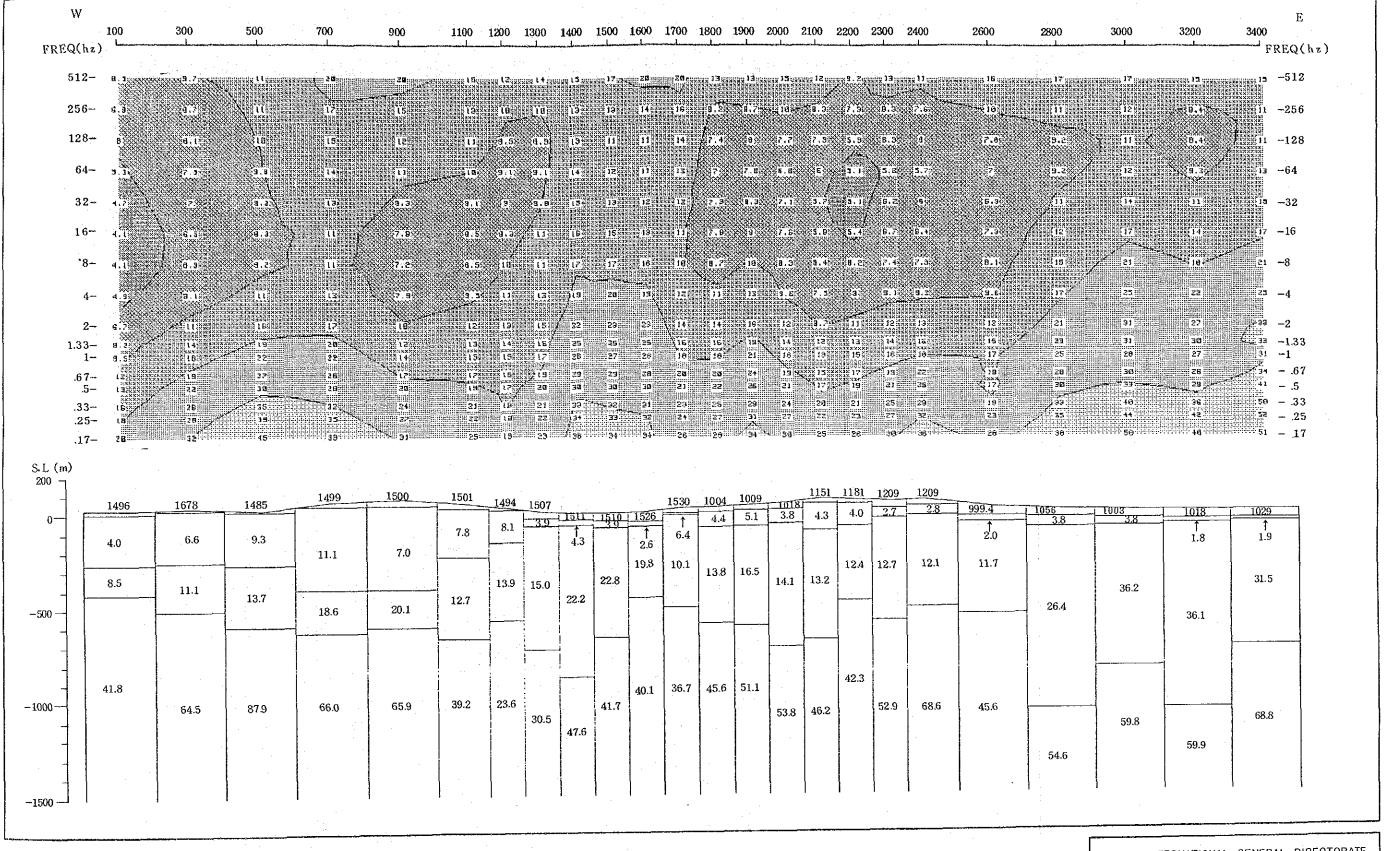


Fig II .3.21 Apparent resistivity pseudosection and 1D inversion results (C line) (Unit:ohm-m)

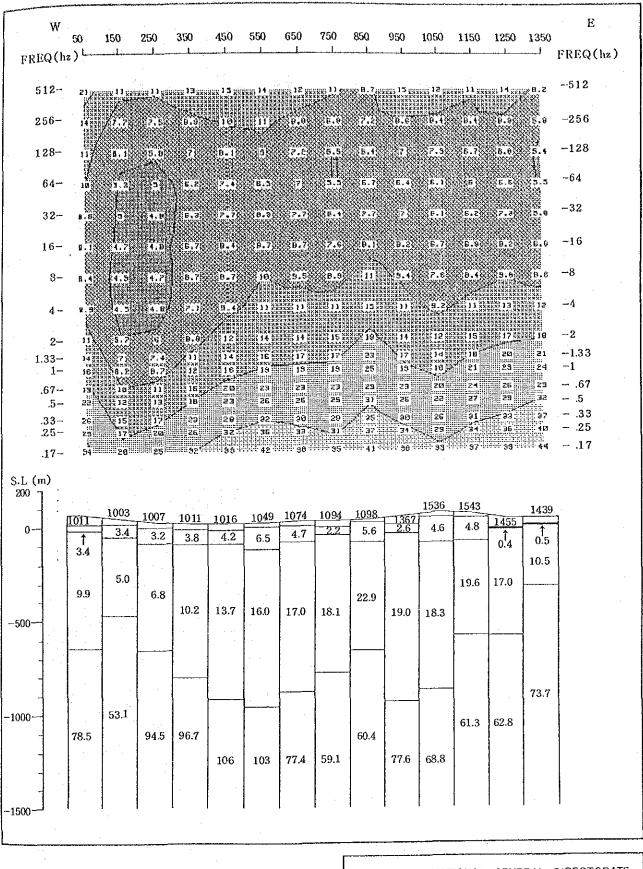


Fig II .3.22 Apparent resistivity pseudosection and 1D inversion results (D line)

(Unit:ohm-m)

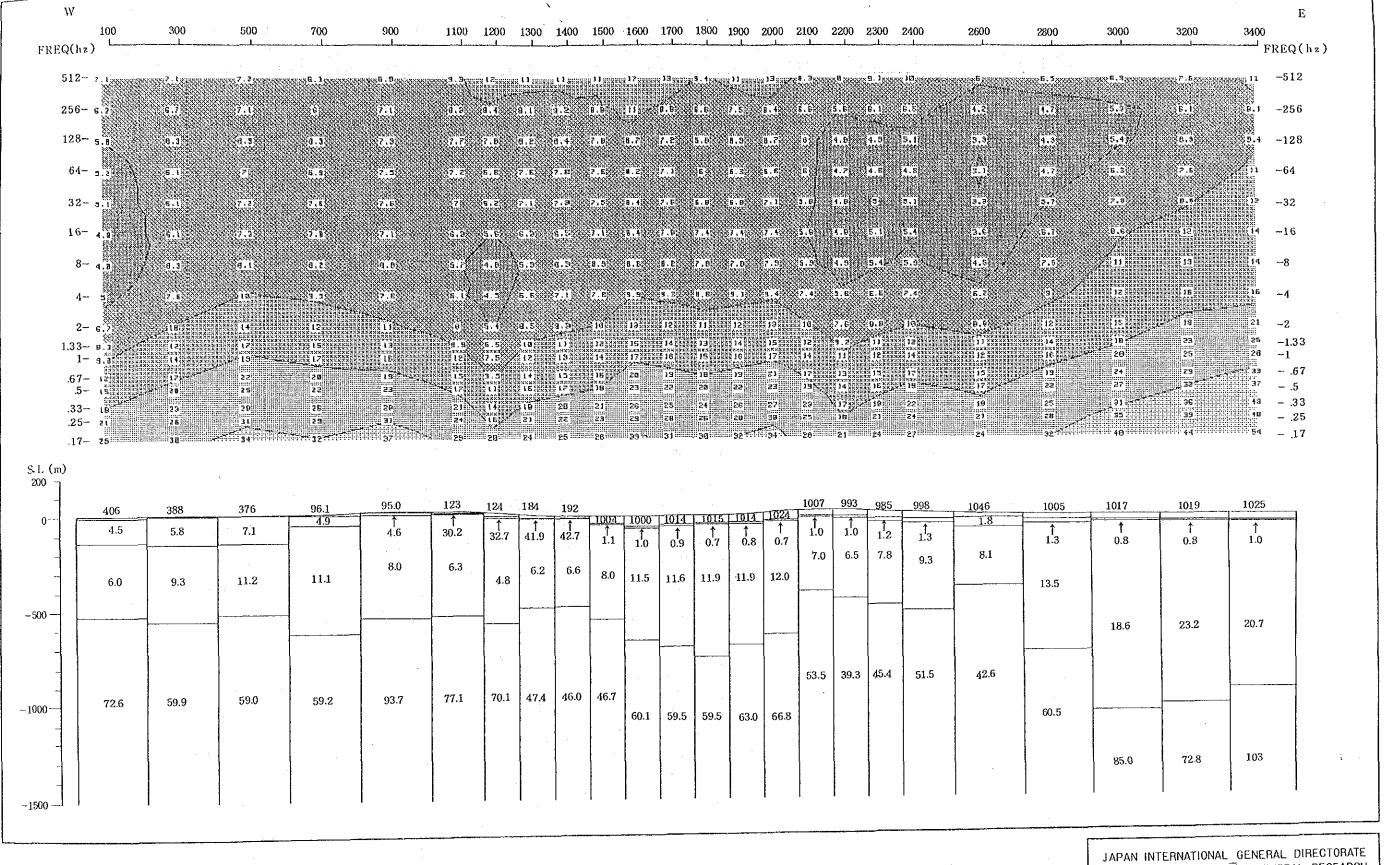


Fig II .3.23 Apparent resistivity pseudosection and 1D inversion results (E line) (Unit:ohm-m)

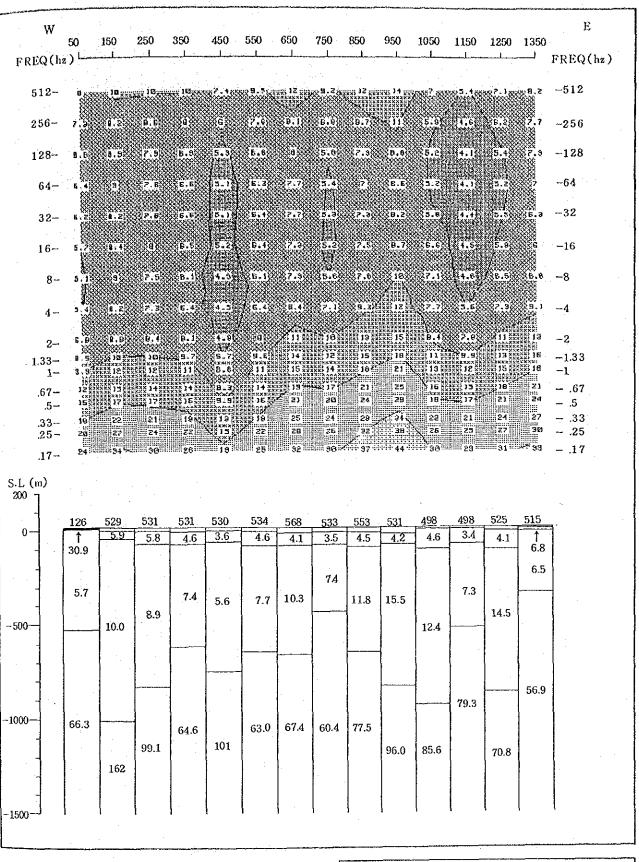


Fig II .3.24 Apparent resistivity pseudosection and 1D inversion results (F line)

(Unit:ohm-m)

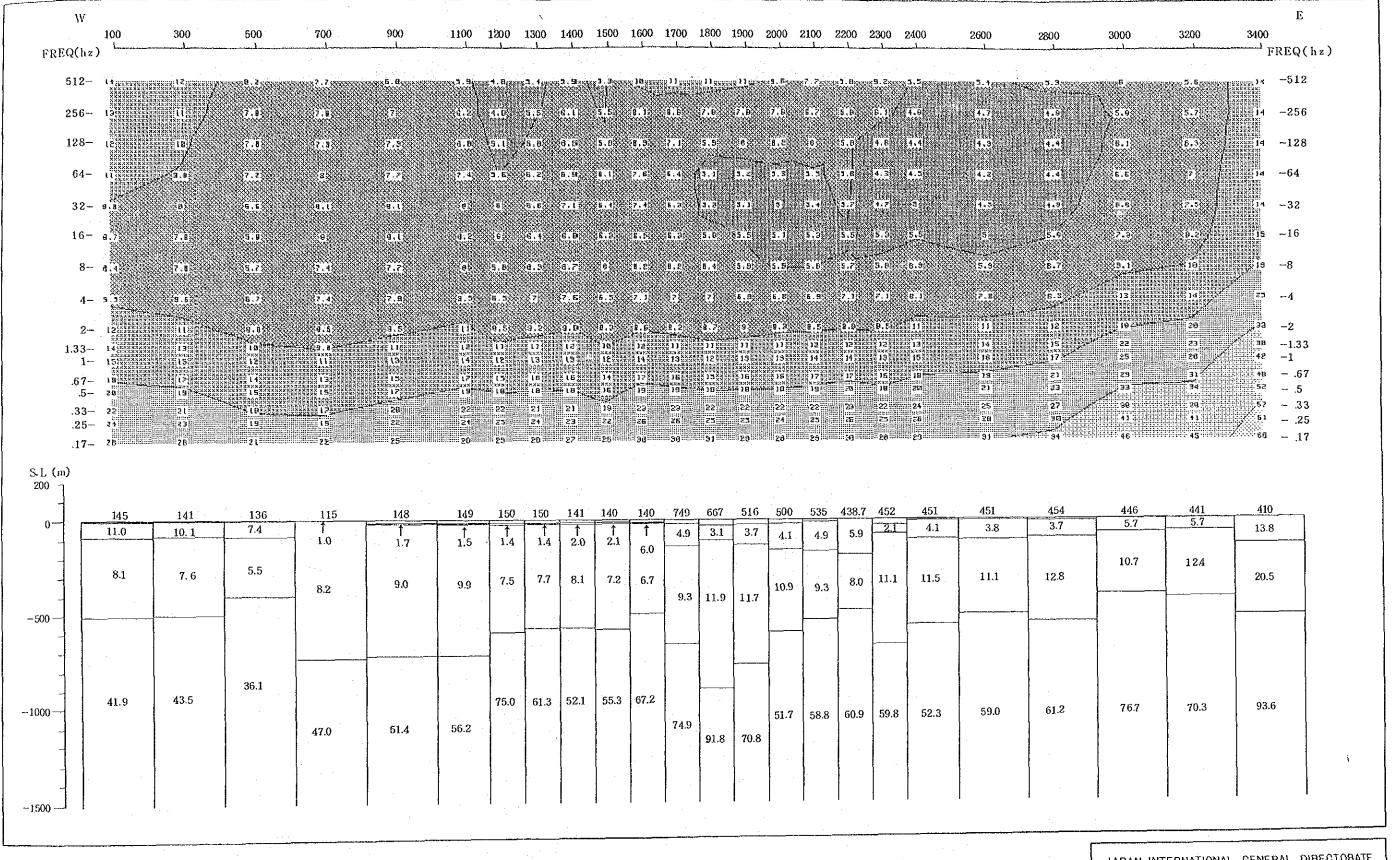


Fig II .3.25 Apparent resistivity pseudosection and 1D inversion results (G line) (Unit:ohm-m)

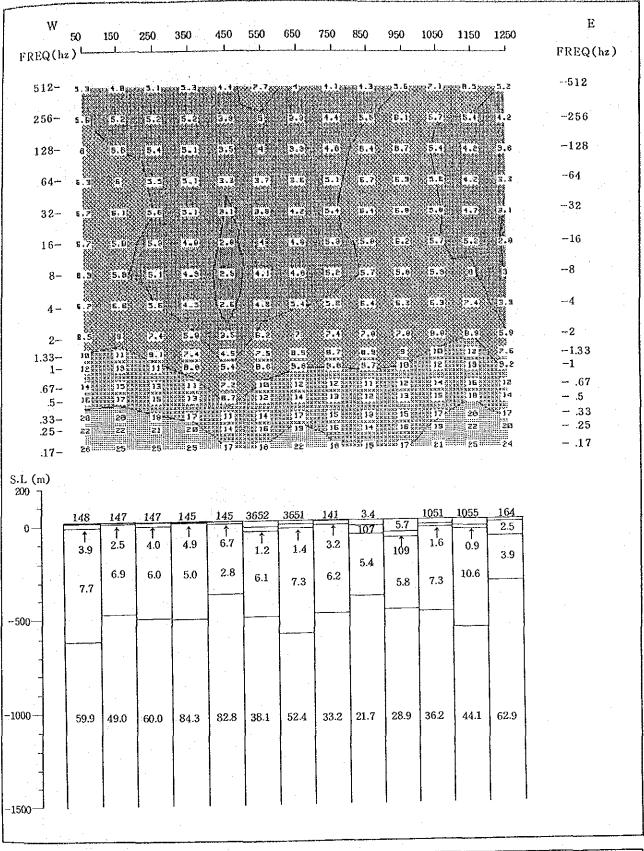


Fig II.3.26 Apparent resistivity pseudosection and 1D inversion results (H line)

(Unit:ohm-m)

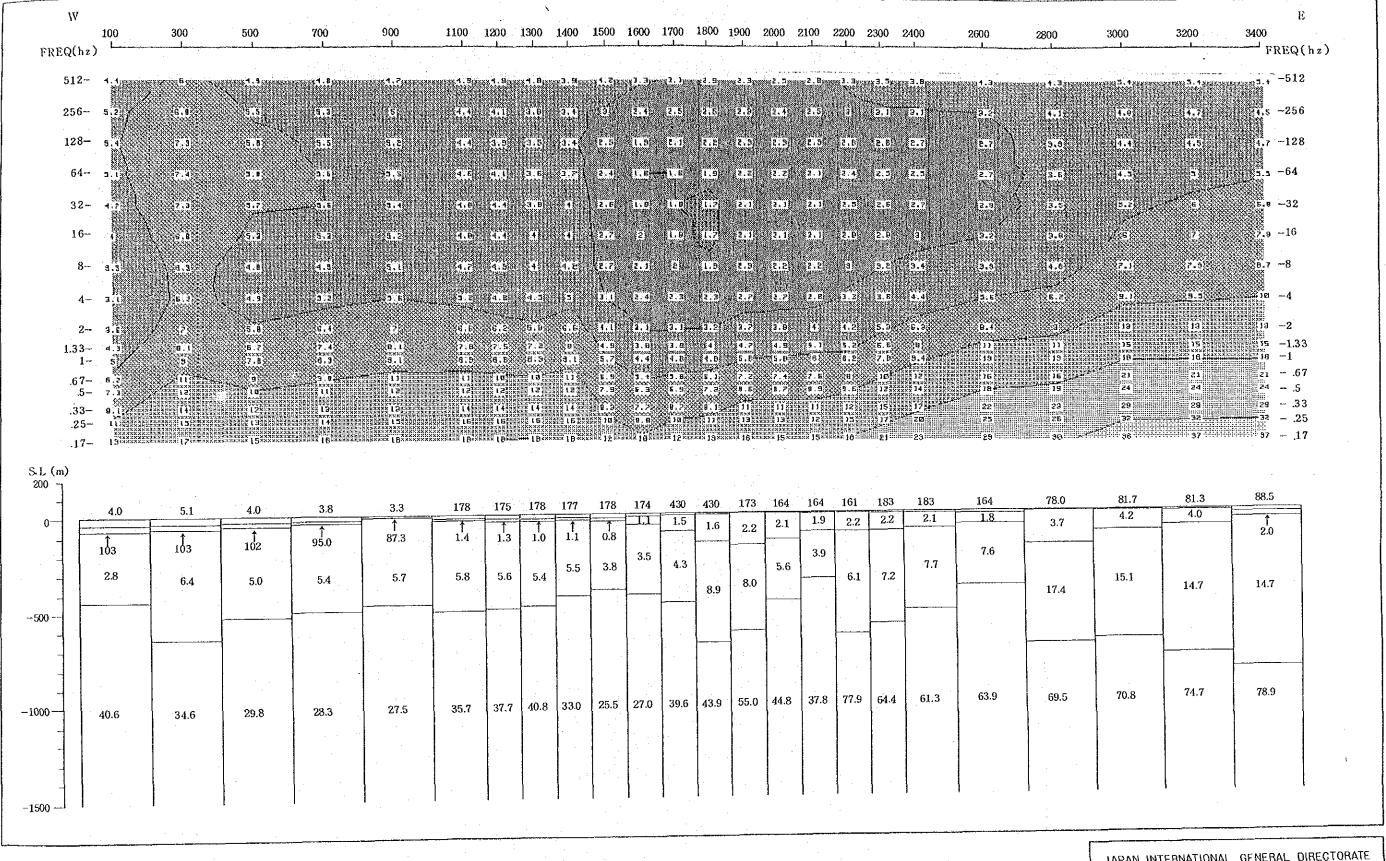


Fig II.3.27 Apparent resistivity pseudosection and 1D inversion results (I line) (Unit:ohm-m)

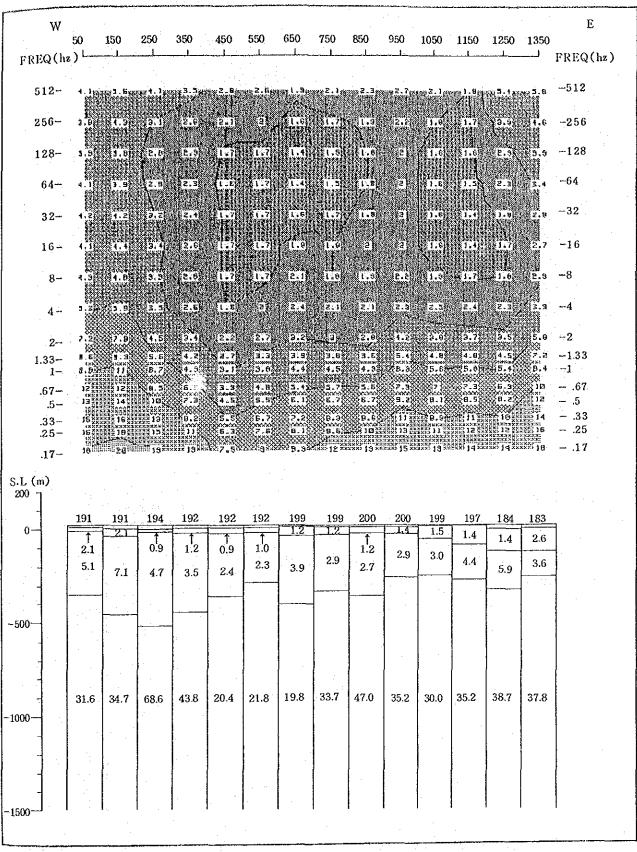


Fig II .3.28 Apparent resistivity pseudosection and 1D inversion results (J line)

(Unit:ohm-m)