

3. 流電電位法探査

本探査は熱流量調査用に掘削されたDG-1測温孔を用いて実施し、DG-1を電気探査学的に評価するとともに同測温孔周辺の地熱構造を推定した。

解析結果から推定されたKaynarca地熱地帯の地熱構造及びDG-1の遭遇した地熱貯留層の広がり及び形状をまとめると次の通りである。

Fig. II. 3. 8にCSAMT法探査及び流電電位法探査結果の総合集約図を示す。

- (1) 調査地域には、主としてNE-SW及びNW-SE方向の2本の断層が推定され、これらの方向に沿った低電位異常部が顕著に認められる。このことから、これらの2本の断層はKaynarca地熱地帯を形成している重要な構造であると推定される。
- (2) 上記のうち、NE-SW方向の断層は、Fig. II. 3. 9～Fig. II. 3. 11に示したように電流電極を点電極から200mケーシング、さらに500mケーシングに変えるにつれ、低電位異常部が南側に移動する示徴から南傾斜であると推定される。
- (3) DG-1が遭遇した地熱貯留層は、NE-SW系の断層の浅部であると考えられ、より深部の地熱貯留層は、DG-1のさらに南側に存在するものと推定される。
- (4) NW-SE方向の断層は、CSAMT法探査から最も顕著に認められた構造であるが、本調査では、DG-1の北東側に検出された低電位異常部と高電位異常部の境界部付近の形状によって同方向の断層が推定される。本断層沿いもその低電位異常の広がりから有望と考えられる。

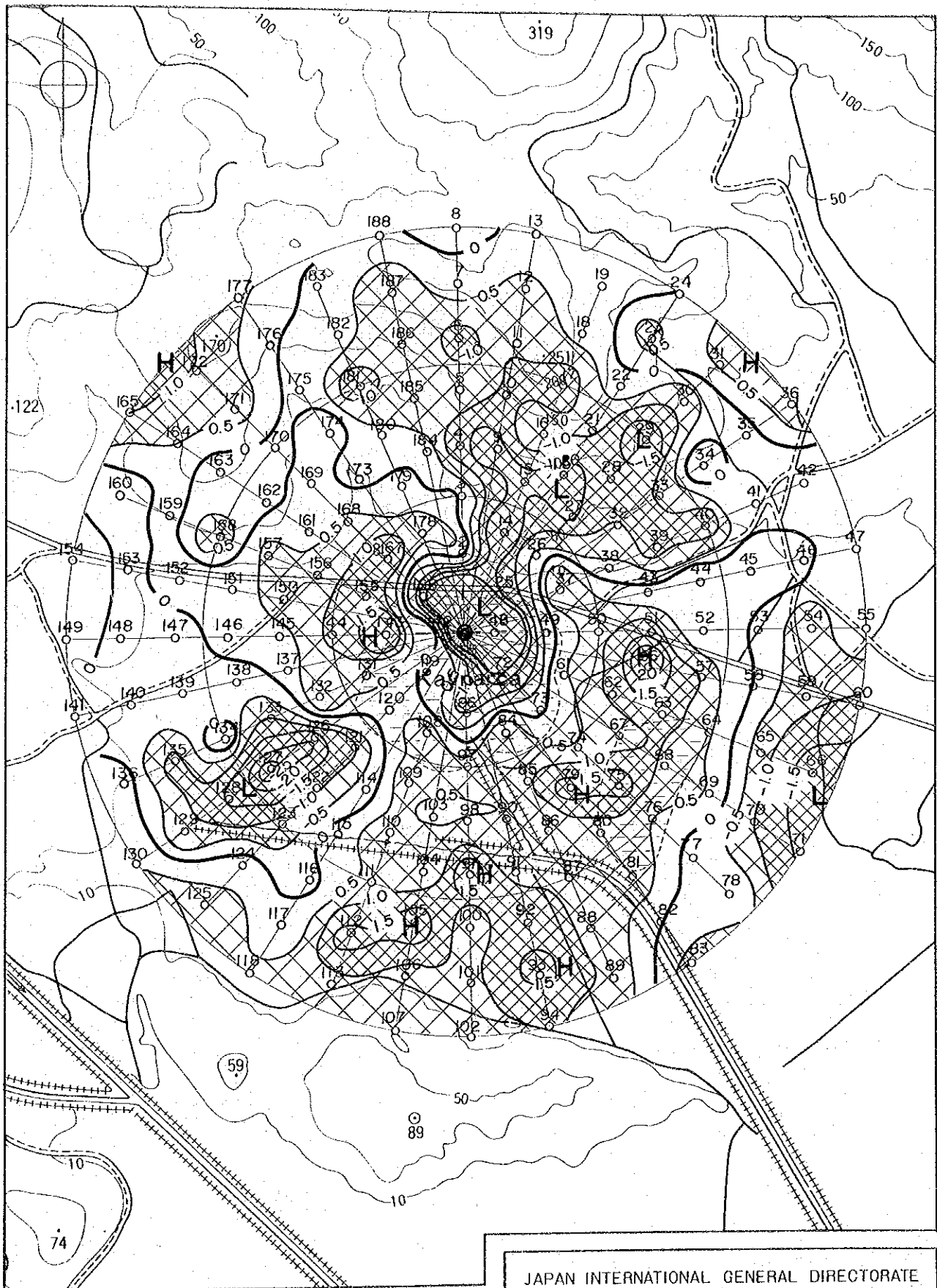
4. 熱流量調査

Kaynarca地熱地帯において測温孔を掘削し、坑内温度を測定することにより、本地域の地熱活動状況の評価した。さらに測温孔掘削時に採取されたコア及びカッティングの地質、地化学解析及び物性測定を行い、地熱モデル作成のための基礎資料を得た。

測温孔の掘削位置及び深度はFig. II. 3. 12測温孔位置図に示した。また各測温孔の柱状図をFig. II. 3. 13及びFig. II. 3. 14に示す。Fig. II. 3. 15には地質解析及び諸調査結果をもとに描いた地質断面図を示す。

調査結果は以下の通りである。

- (1) 地溝帯内に掘削されたDG-1、DG-3の地質解析からYuntdağ火山岩類Ⅲの溶岩が陥没部に流れ込み、Yuntdağ火山岩類Ⅰを覆って厚く分布していることが明らかになった。
- (2) DG-1では比較的浅部の深度100mから250mにかけて割れ目や熱水脈が多く認められる。これらの走向は東西方向を示すものが多く、地溝帯を形成しているWNW-ESE方向の断層と関



Legend

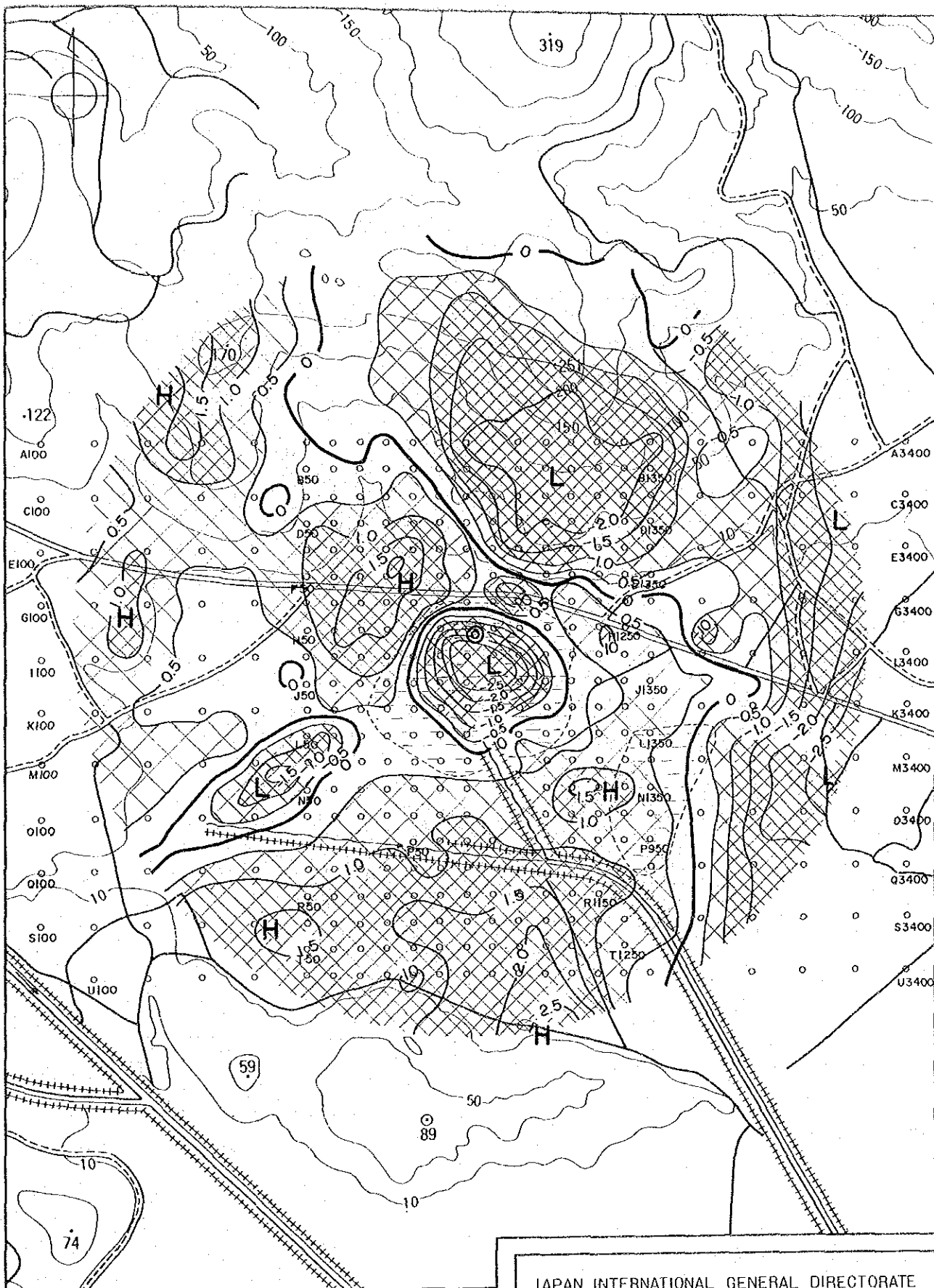
- station number and location
- ~○~ Contour line of residual potential (unit : 10^{-4} mv/A)

JAPAN INTERNATIONAL GENERAL DIRECTORATE
 COOPERATION AGENCY OF MINERAL RESEARCH
 AND EXPLORATION

GEOHERMAL DEVELOPMENT PROJECT
 IN
 DIKILI-BERGAMA FIELD

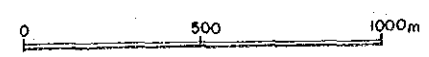
0 500 1000m

FigII.3.9 Residual potential map (point source)



JAPAN INTERNATIONAL GENERAL DIRECTORATE
 COOPERATION AGENCY OF MINERAL RESEARCH
 AND EXPLORATION

GEOHERMAL DEVELOPMENT PROJECT
 IN
 DIKILI-BERGAMA FIELD



Legend
 10 station number and location
 O Contour line of residual potential
 (unit : 10^{-4} mv/A)

FigII.3.10 Residual potential map
 (200m casing pipe)



Legend

- 10 station number and location
-
- ~○~ Contour line of residual potential
(unit : 10^{-4} mv/A)

FigII.3.11 Residual potential map
(500m casing pipe)

JAPAN INTERNATIONAL GENERAL DIRECTORATE
COOPERATION AGENCY OF MINERAL RESEARCH
AND EXPLORATION

GEOHERMAL DEVELOPMENT PROJECT
IN
DIKILI-BERGAMA FIELD

0 500 1000m

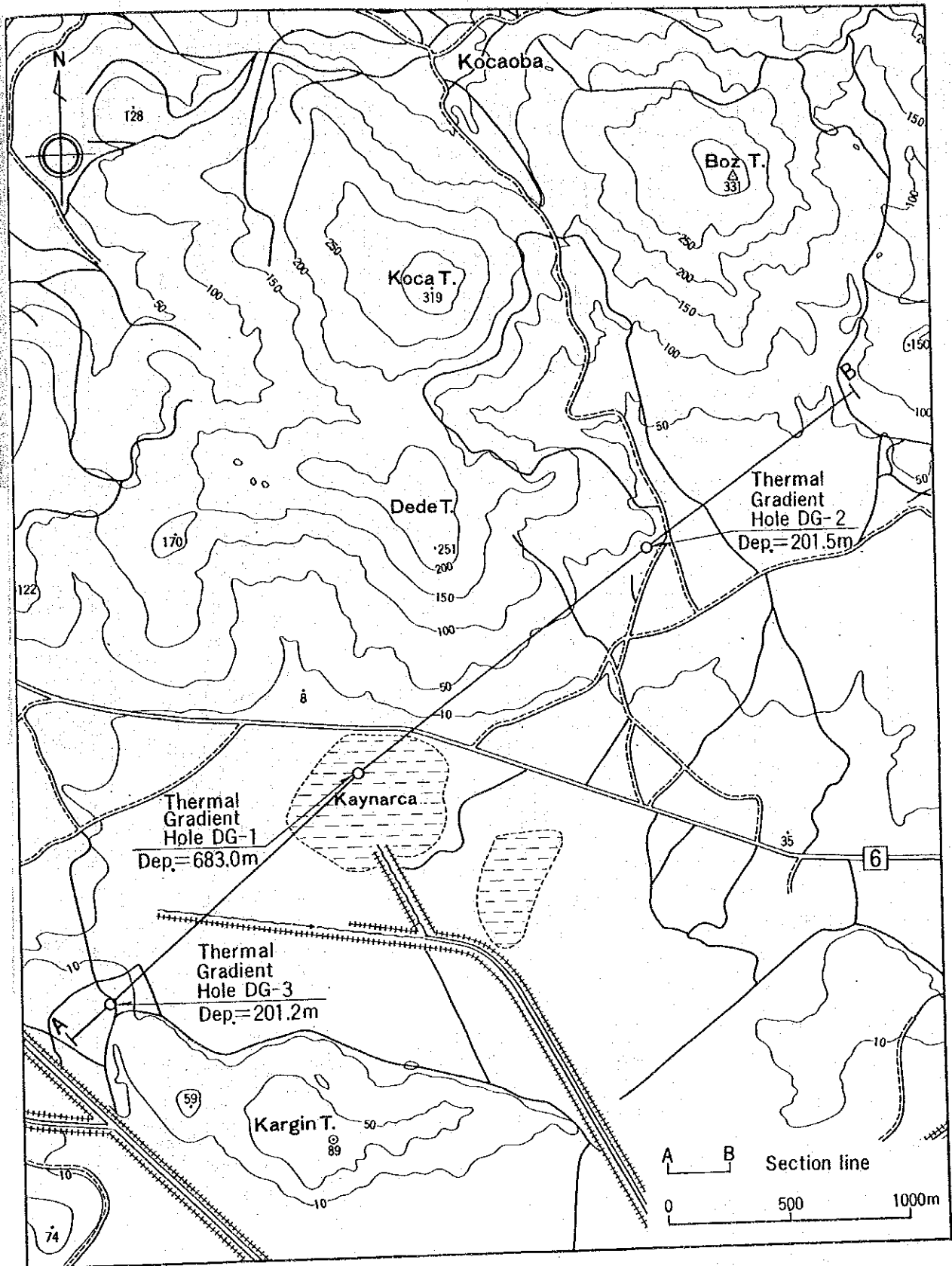
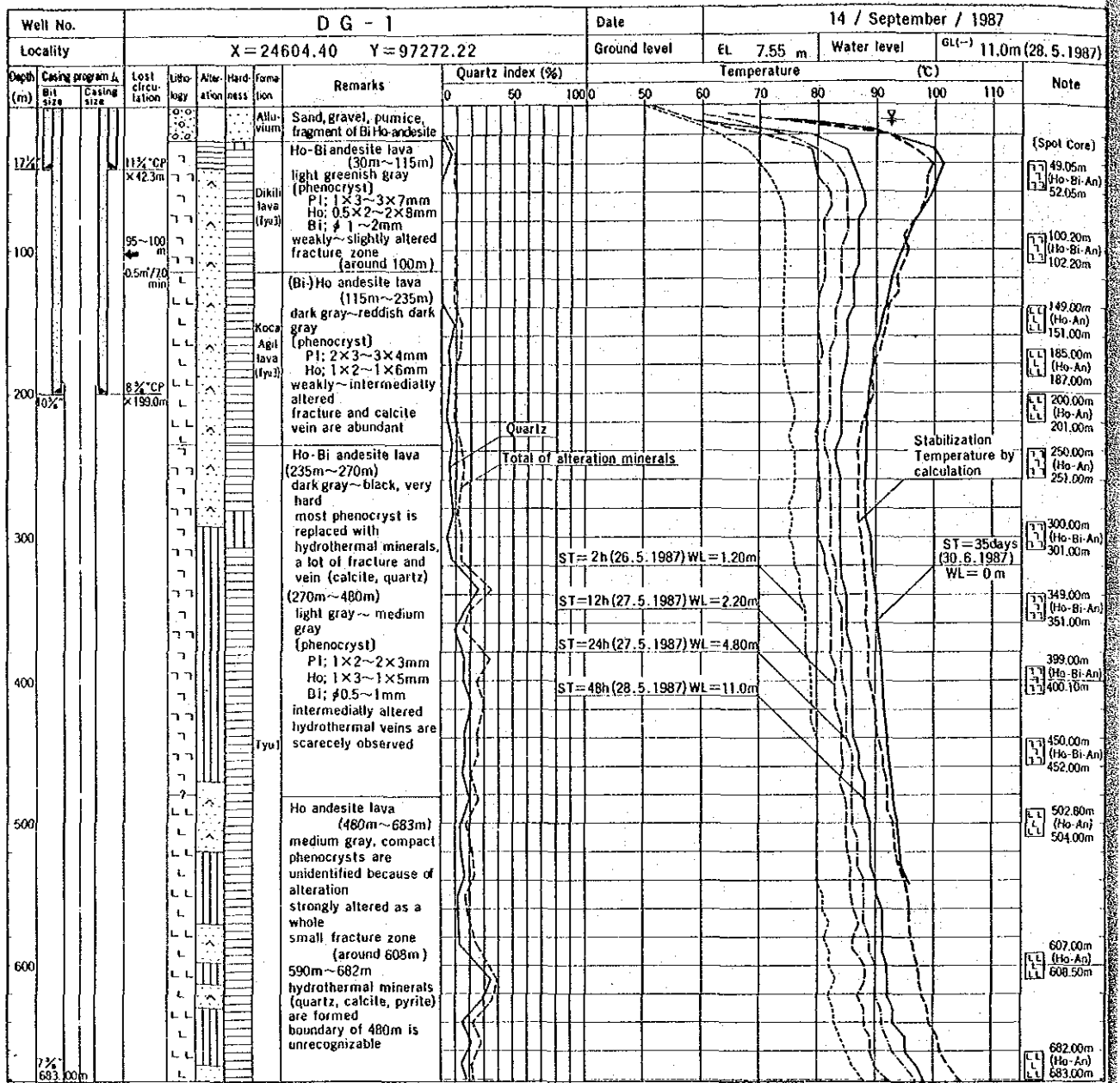


Fig. II.3.12 Location of thermal gradient holes



Legend

Lithology

Hardness

Alteration

- Alluvium
- Ho-Bi andesite
- Ho andesite
- Tuff breccia

- Hard
- Medium
- Soft

- I Silica mineral type
- II Hexagonal sulfate type
- III Aluminum silicate type
- IV Sheet aluminosilicate type
- V Framework silicate type
- Partially altered
- Unaltered

Fig. II .3. 13 Geologic Column of DG-1

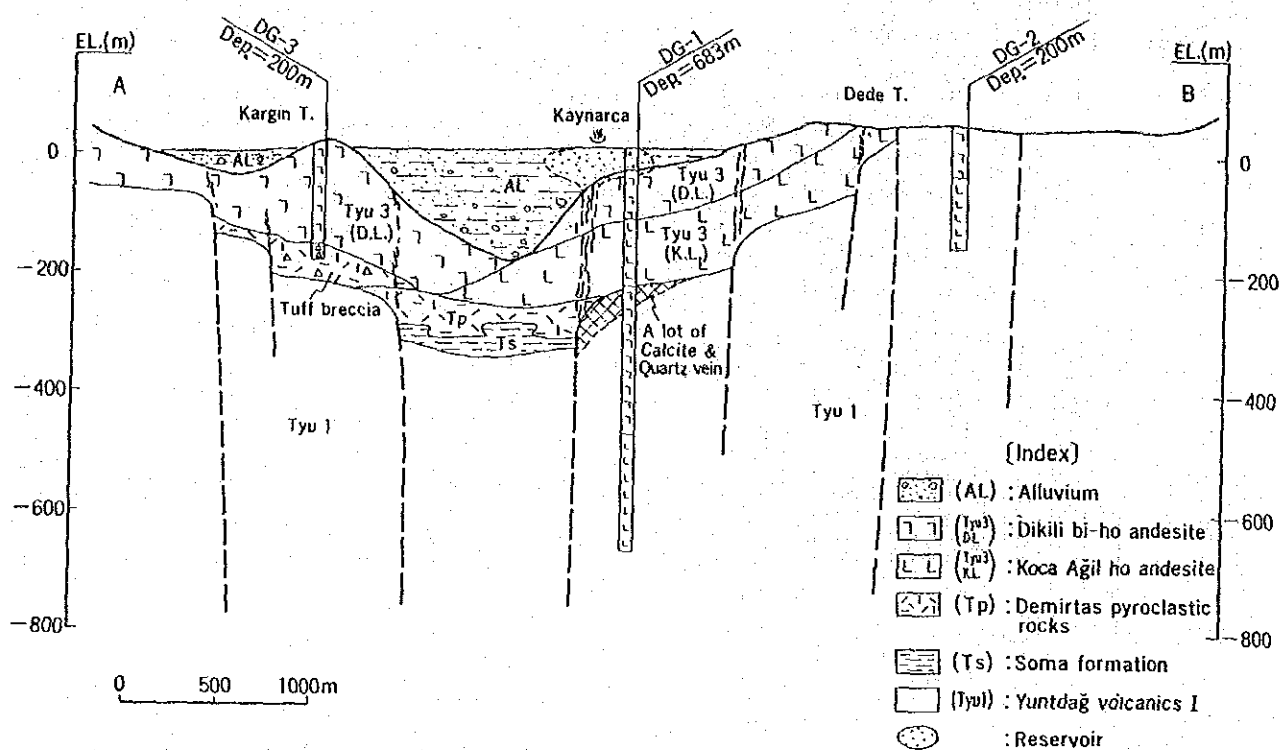


Fig. II. 3. 15 Geological cross section of the Kaynarca geothermal area.

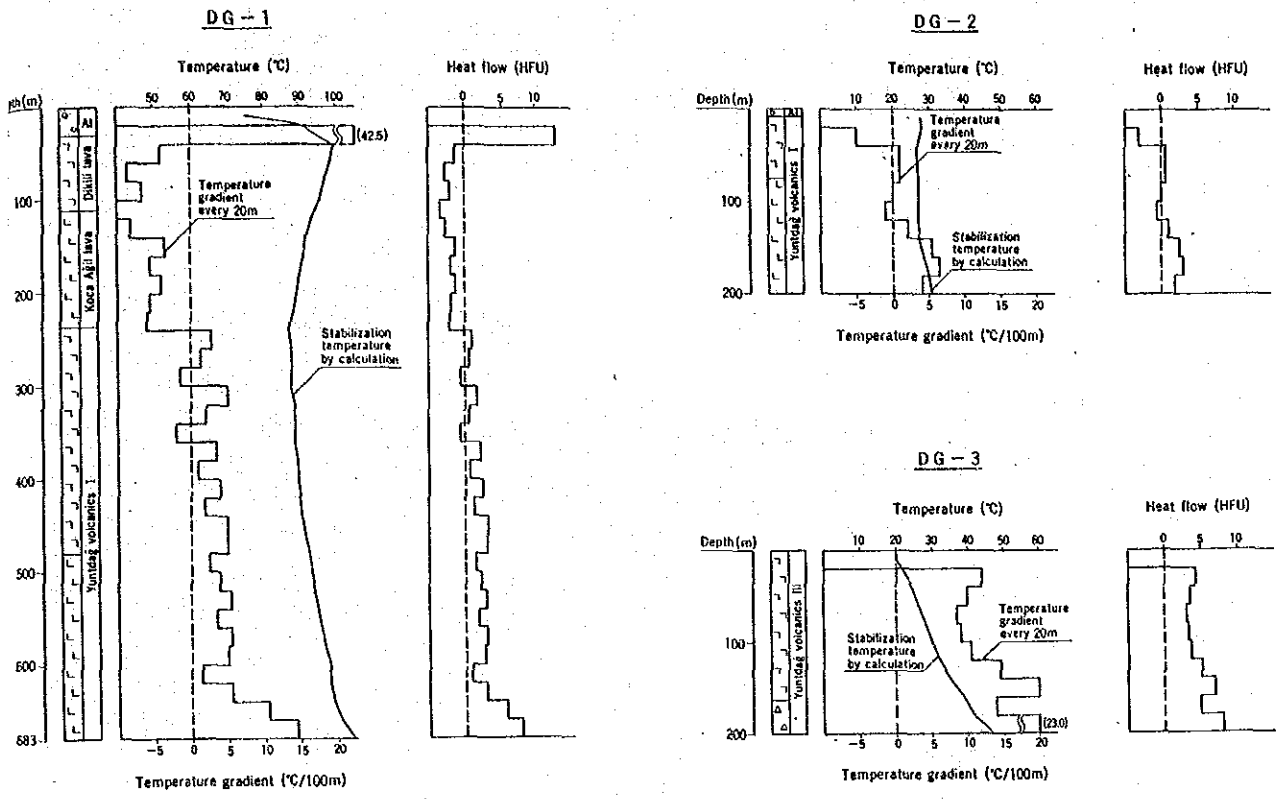


Fig.II 3.16 Heat flow of thermal gradient hole

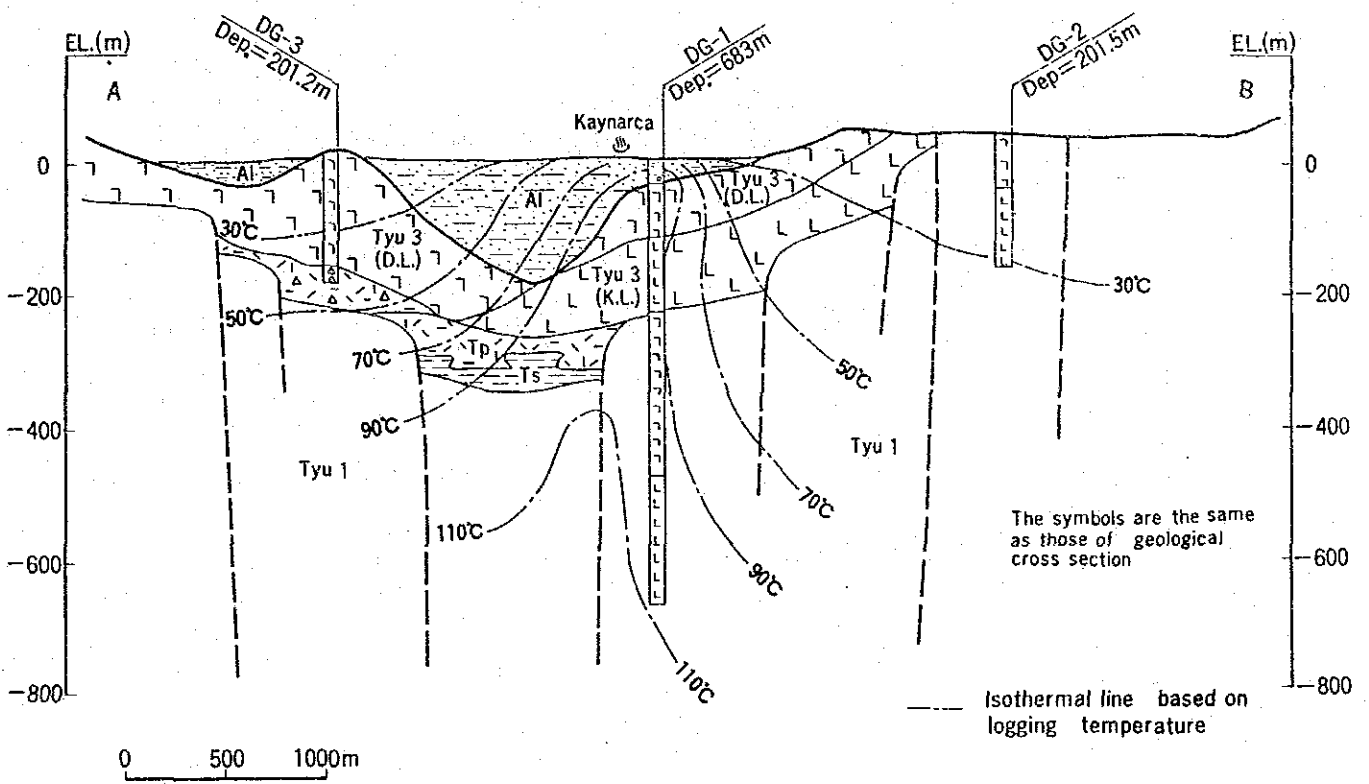


Fig II . 3.17 Isothermal line of the Kaynarca geothermal area.

連があると思われる。この断層は重力探査や地質調査から南傾斜と推定されていることから、DG-1は浅部でこの断層を切るか、あるいはその近くを通ったと考えられる。したがって、DG-1はFig. II. 3.15, 地質断面図に示したように、やや地塁側に掘削されたと判断される。

(3) Fig. II.3.16に各測温孔の推定平衡温度、温度勾配及び熱流量を示した。またFig. II.3.17に測温孔周辺の地下等温線図を示した。地下温度は、断層に沿って上昇していることがわかる。またDG-1の深度20mから100m付近では地下温度が急激に上昇し、熱流量も12.75HFUと際立って大きい。ここではクリストバライトが石英に転移していること、Hg濃度が高いこと、深度95m付近で小規模な逸水層が認められたことから判断して、100°C前後の浅部貯留層が存在すると考えられる。

(4) DG-1の深度100mから500mにかけては、温度勾配が小さく地下温度はほぼ一定である。また掘削中も深度95m以深では逸水層は認められなかった。この区間は塊状、緻密なYuntdağ火山岩類Iにあたり、岩石中の割れ目も変質鉱物によって充填され難透水性の地層となっている。

(4) 測温孔から得られた熱水の化学分析結果によると、Kaynarcaの地下深部には180°C~200°Cの熱水貯留層の存在が期待できる。しかし、側温孔の平均的な温度勾配(5~10°C/100m)から考えると、高温の熱水貯留層の存在する深度は1000m以深と思われる。

II.3.2 地熱構造

Kaynarca地熱地帯の熱源は、本地域における最も新期の火山活動であるSulu KayaとKoca Tepe両火山の後火山作用に由来している可能性が大きい。

Kozak岩体の南西麓で流入した地表水(天水)はこの熱源によって加熱され、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碎帯、浅部ではYuntdağ火山岩類Iの割れ目に貯えられ、熱水貯留層を形成していると思われる。

本地域では地質調査及び重力探査による低異常から西北西-東南東方向の地溝帯が存在していると考えられ、Kaynarcaはその陥没部に位置している。またCSAMT法探査では主として以下の3本の線構造が推定される。

- (a) Kaynarcaのやや北側を通り、EW方向に延びる線構造
- (b) Kaynarcaを通り、NW-SE方向に延びる線構造
- (c) Kaynarcaを通り、NE-SW方向に延びる線構造

この中で(a)の線構造は陥没部北縁を通る断層と位置的にも方向的にもほぼ一致しており、地溝帯

を形成する断層の一つを反映したものと考えられる。また(b)の線構造については、Kaynarca周辺の地表岩石中には、NW-SE方向の割れ目や熱水脈が卓越していることから考えると、NW-SE方向に地熱流体の通路になり得る断層あるいは破碎帯が存在している可能性が高い。(c)の線構造については、流電電位法探査においても顕著に認められ、電流電極を点電極から200mケーシングさらに500mケーシングに変えるにつれ低電位部分が南側に移動することから、NE-SWの走向をもち、南傾斜の断層の存在を示していると思われる。

すなわちKaynarca地熱帯には地溝帯を形成するWNW-ESE方向南傾斜の断層及びそれと交差するNW-SE及びNE-SW方向の断層が存在し、地熱流体はこれらの断層に沿って上昇し断層に伴った破碎帯中に貯留されていると考えられる。

またDG-1南東部は地熱貯留層あるいは熱水変質帯の示徴であるCSAMT探査の高縦電導度域及び流電電位法探査の低電位異常部の両者が共通して発達しており、地熱活動の活発な地域であると判断される。

第 Ⅲ 章 總 合 解 析

第Ⅲ章 総合解析

Ⅲ.1 貯留層範囲の推定及び地熱系モデル

Ⅲ.1.1 貯留層範囲の推定

Kaynarca地熱地帯の浅部貯留層は地表付近の第四紀沖積層中に主として発達しており、比抵抗値は低い値を示すものと推定される。一方、深部貯留層は、第三紀火山岩類中の破碎帯内に発達すると想定され、比抵抗値は浅部貯留層や帽岩となる堆積岩類程低い値を示さないと予想される。したがって、深部貯留層の分布は地質調査、土壌ガス調査、CSAMT法探査、流電電位法探査などから推定される熱水の上昇通路となっている断層の位置から概略知ることができる。

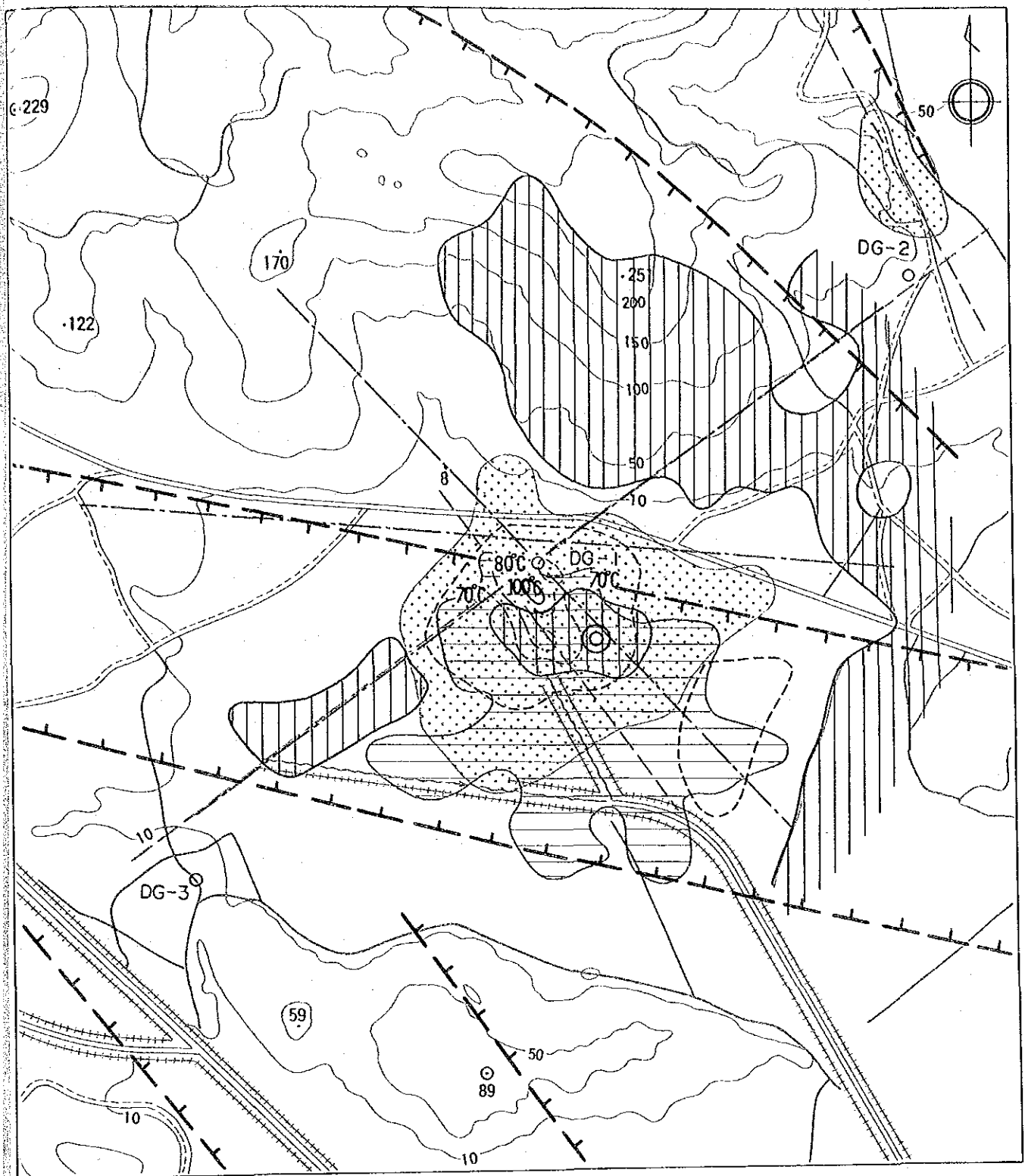
Kaynarca地域の浅部地熱貯留層は、Fig. Ⅲ. 1. 1 に示すCSAMT法探査から得られた高縦電導度域に分布すると考えられる。この範囲は同時に土壌及び土壌ガス中のHgの高濃度域とはほぼ一致する。即ち、浅部地熱貯留層はFig. Ⅲ. 1. 1 に示すようにKaynarcaの温泉群が分布する場所及びその南東隣接地区に広がっているものと解釈される。しかもこの浅部貯留層域は地質及び物理探査によって推定されたKaynarcaを通るNW-SE系断層の南西側を中心に広がっている。

一方、深部貯留層はKaynarca周辺地域に存在する断層破碎帯に沿って分布すると考えられる。諸調査の結果、断層はKaynarcaを通るNE-SW系、NW-SE系及びKaynarcaのやや北を通るE-W系の3系統が推定される。Fig. Ⅲ. 1. 1 に示すように低電位異常域は大局的にNE-SW方向に広がる傾向を持っている。即ち、Kaynarca温泉群はNE-SW系とNW-SE系の断層の交点部に位置している。また、CSAMT法探査結果での高縦伝導度域と流電電位法探査での低電位異常域はDG-1の200m南東部ではほぼ一致しており、この部分が深部熱水の上昇域である可能性が大きい。

Ⅲ.1.2 地熱系モデル

第1次及び第2次調査で作成された地熱構造概念モデル及び第3次調査結果をもとにFig. Ⅲ. 1. 2 に示すようなKaynarca周辺地域の地熱系モデルを作成した。

Dikili-Bergama地熱地帯には、KiriklarからDikiliにかけてE-W方向に伸びる低地帯が広がっており、その中には沸騰泉を有するKaynarca温泉と、Cl濃度の比較的高い熱水を湧出するDikili温泉が分布している。この低地帯はWNW-ESE断層によって形成された地溝帯で、明瞭な重力の低異常域として示されている。



Legend

- | | | | |
|-------|---|-----|--|
| ○ | : Kaynarca hot spring area | ● | : Overlapped area of high Hg contents in soil and soil-gas |
| ○ | : Thermal gradient hole (DG-1 ~ DG-3) | --- | : Estimated faults from geochemical survey |
| ├ | : Estimated faults from geological survey and gravity anomaly | ▨ | : High longitudinal conductance zone (more than 130 mho, CSAMT) |
| 100°C | : Temperature contour of hot spring and fumarole | ▩ | : Low residual potential zone (less than -0.5×10 mV/A, mise-a-la-masse) |
| ⊙ | : Recommended site for deep exploratory well | --- | : Estimated faults from CSAMT |

Fig. III.1.1 Synthetic interpretation map

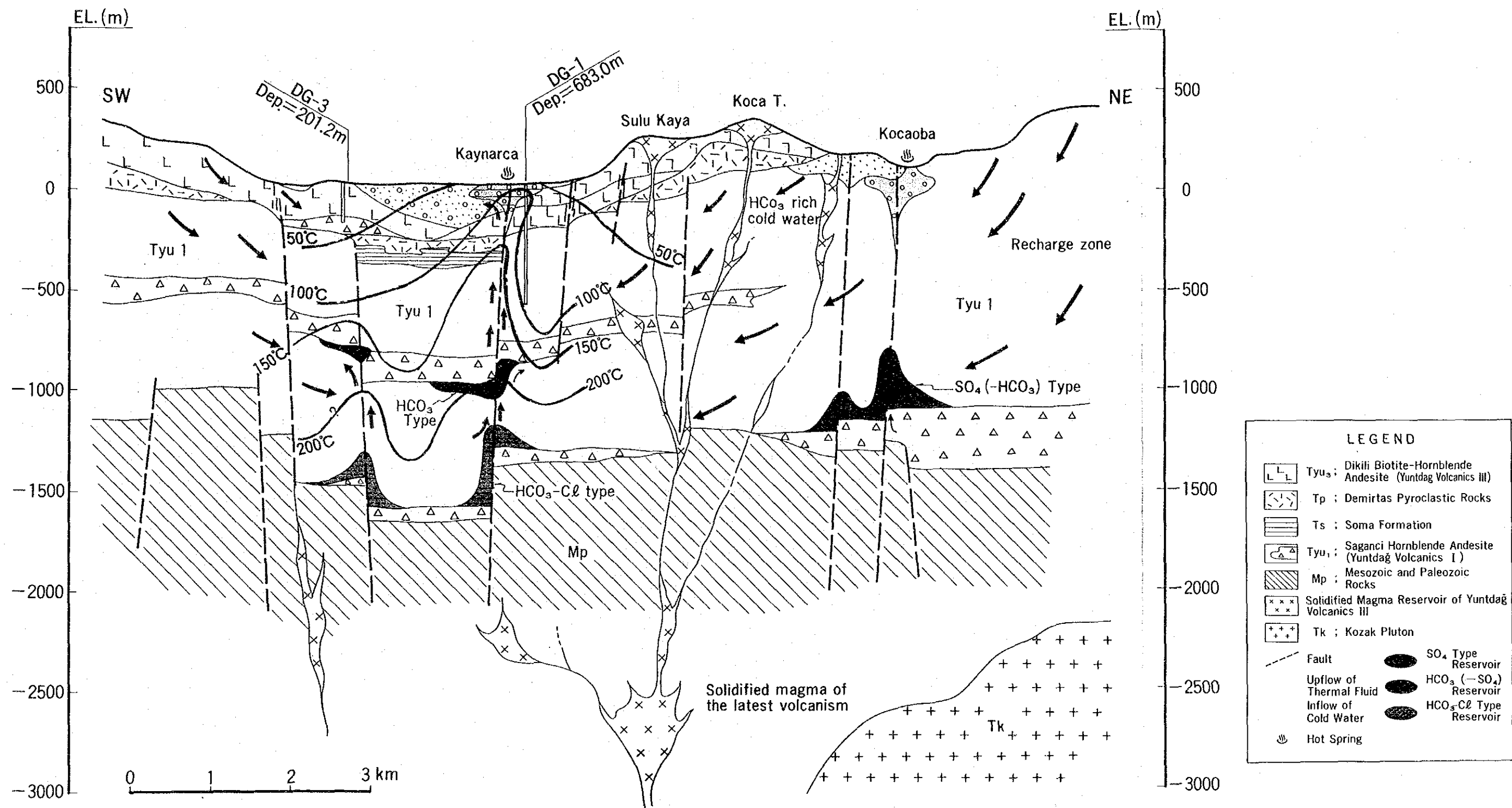


Fig. III.1.2 Conceptual model of the Kaynarca geothermal area

断層は前述のE-W系の他に、NW-SE系及びNE-SW系の3系統が認められる。温泉や熱水変質帯は主として断層に沿って分布している。したがって本地域の地熱流体は断層沿いに上昇し、少なくとも一部は断層・破碎帯に貯留されていることは明らかである。地表に露出する第三紀~第四紀にかけての火山岩中に発達する断裂はNW-SE系のものが卓越し、特に熱水脈を伴う割目は大部分がNW-SE系である。本地域の地表付近の地熱活動は、NW-SE系の断層及びそれに伴う割目に沿って上昇した熱水によるものと考えられる。一方、Kaynarca付近のNE-SW系の断層は、土壌及び土壌ガス中のHg濃度分布及びCSAMT法探査の高縦電導度域や、流電電位法探査の低電位異常域の広がりから推定された。そのため、深部ではNW-SE系断層の他にNE-SW系の断層が存在することが推定され、Kaynarca温泉群は、この2系統の断層の交点に位置している。

先第三紀堆積岩類やKozak花崗閃緑岩などの基盤岩類の構造は主としてNW-SE系断層がつくる小規模な地壘、地溝によって特徴づけられる。Dikili温泉及びKaynarca温泉は、地溝帯の南縁と北縁に位置している。Yuntdağ火山岩類Ⅰは溶岩を主としており、これらの断層破碎帯中に熱水が貯留されているものと推定される。先第三紀層中には石灰岩層が挟在すると考えられ、これらも熱水貯留層となりうる可能性がある。Yuntdağ火山岩類Ⅰ中に認められる凝灰角礫岩または凝灰岩及びDemirtas火山碎屑岩は、難透水層となっており、浅部貯留層と深部貯留層を分離しているものと推定される。この難透水層の上部には、Yuntdag火山岩類Ⅲ及び第四紀末固結層が分布しており、その破碎帯及び多孔質部が浅部貯留層となっていると推定される。

Yuntdağ火山岩類Ⅲのうちで最も新しい活動によって生じたSulu Kaya溶岩とKoca Tepe溶岩はKaynarca温泉とKocaoba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。調査地域に認められる過去の地熱活動は、第三紀中新世~鮮新世のYuntdagⅠ火山活動、Demirtas酸性火山活動及びYuntdagⅡ火山活動に起因したもので、それぞれの地熱活動及び熱水の性状は熱水変質帯の調査・解析によって明らかにされた。

現在の地熱系は、熱水及び地表水の化学成分、同位体比から以下のように解釈される。

Kaynarca地熱地帯では地溝帯内の沖積層とYuntdağ火山岩類Ⅲ中に浅部貯留層が存在し在更に深部に凝灰岩や堆積岩の下部のYuntdağ火山岩類Ⅰの破碎部に中高温貯留層が期待される。

浅部貯留層内には低温の HCO_3 型熱水が存在している。深部の中~高温貯留層には HCO_3 ($-\text{SO}_4$)型熱水が賦存しており、180~200℃に達するものと考えられる。この貯留層より更に深部には同位体温度から推定された220~230℃熱水が賦存する可能性がある。この熱水は岩石との反応を考慮すれば中性の HCO_3 -Cl型と考えられる。その他、この地域には海水起源の比較的低温(110℃以下)の中性Cl型流体が貯留されていると推定される。これらの熱水と地下水が混合してKaynarca、

Dikili温泉に湧出していると考えられる。中性の $\text{HCO}_3(-\text{SO}_4)$ 型熱水は、Kaynarca, Dikili 温泉水に共通のもので、微量化学成分、同位体比からみれば、両温泉は同一の熱水系に属していると推定される。このように熱水系としてある程度の広がりがあるこの型の熱水も、 180°C 以上の温度が期待されるのはKaynarca周辺に限られ、その貯留深度は堆積岩中で発生した炭酸ガスのために貯留層の Pco_2 が高まり、かなり深くなっていると想定される。電気探査結果からも深部地熱貯留層は800m以深と推定され、 200°C 程度の貯留層としては開発されている他の地熱地帯と比べ深いものとなっている。

一方、開発の対象となる可能性のある中性 $\text{HCO}_3(-\text{SO}_4)$ 型の熱水の起源はトリチウム濃度、 δD , $\delta^{18}\text{O}$ 比から地表水と考えられ、その流入域は調査地域の北東部と想定される。したがって、この熱水系の加熱源もその方向にある可能性がある。また、熱水の循環時間は75年以上と計算され、他の活発な地熱地帯の流体の循環時間と比較しても、流体の地下における滞留時間は十分なものであると考えられ、比較的規模の大きい熱水系が存在していると推定される。

Kaynarcaではこの深部高温熱水の一部がNW-SE系断層とNE-SW系断層の交点付近の破碎部から上昇しているものとCSAMT法探査と流電電位法探査結果及び地化学調査結果から推定された。本調査中にKaynarcaの北部隣接地に掘削されたDG-1(深度638m)は断層に遭遇せず、高温の熱水貯留層は確認出来なかった。この掘削によりKaynarca周辺では深部地熱流体の上昇域は限られており、しかも貯留層の水平方向への広がりも小さいことが明らかになった。これは、流電電位法探査結果の低電位異常域の広がりも比較的小規模なことからも裏付けられている。

以上のように、Kaynarca地熱地帯では地下深部に 200°C 以上の高温地熱流体が期待されるものの、1000m以深にその貯留層が存在する可能性は小さく、深部の貯留層の広がりも小さいと考えられる。

Ⅲ.2 調査地域の地熱ポテンシャル(開発可能性)の評価

Ⅲ.2.1 地熱ポテンシャルの評価

Dikili-Bergama地熱地帯には、 20°C 以上の温泉が存在する。これらのうち、 60°C 以上の温泉は調査地域南西部のDikili周辺のYuntdağ火山岩類Ⅲ分布域、特にDikili-kiliklar地溝帯内及び断層上に集中している。即ち、本地域の比較的高温の温泉は新期火山活動に起因するもので、しかも断層と密接な関係があることが明らかとなった。本地熱地帯のうち、沸騰泉が認められるKaynarcaを中心にして、諸調査・探査を実施して以下のような結論を得た。

1. 熱源は北部後背山地にある、調査地域内で最も新しいKoca Tepe及びSulu Kaya火山岩類のマグマ活動に由来していると推定される。しかし、これらの火山は約200万年以上前の鮮新世に活動した可能性が大きく、しかも規模が小さいため、本地域の地熱活動はすでに活発な時期を過ぎ、退潮期にあるものと考えられる。

2. 温泉水の化学成分から判断すると、地下深部Yuntdağ火山岩類 I 中には180~200°Cの貯留層が存在するものと考えられる。また、いくつかの化学データはより深部に200°C以上の地熱流体が存在する可能性を示している。

土壌及び土壌ガス中の水銀濃度の分布、CSAMT法探査の高縦電導度域や流電電位法の低電位異常域の広がりから、地熱貯留層はKaynarca南部域約1 km²の範囲にあると考えられる。また、深部地熱流体の上昇通路は、NE-SW系、NW-SE系の2系統の断層の交点付近の比較的せまい範囲と考えられる。

4. 熱流量調査孔の掘削結果、Kaynarcaの北部では、深度約700mまでは顕著な断層は認められず、温度は100°C程度と低い。電気探査結果からみると、電気基盤層の不連続部付近の低比抵抗層の厚さは600~800mであり、地熱貯留層が、通常電気基盤層中に存在することを考慮すると、調査地域に期待される深部地熱貯留層は、800m以深に存在するものと推定される。

5. 温泉水の化学成分から判断すると開発に際して、生産井内の炭酸カルシウム系スケールの析出（蒸気発生設備のコスト増大）や高い不凝結ガス濃度のための低質の蒸気の供給（発電効率の悪化）等の問題が生じる可能性が高い。

以上のようにDikili-Bergama地熱地帯で最も活発な地熱徴候を有するKaynarca地区においても、1000m以浅における200°C以上の貯留層が広く分布する可能性は小さい。本地熱地帯はすでに開発が成功したどの地熱地帯と比較しても、更にトルコのKızıldereやGermencik地熱地帯に比べても地熱ポテンシャルが低いと判断される。

Ⅲ.2.2 発電可能性評価

本地熱地帯は、地下に貯留される発電利用可能な流体の温度がそれ程高くない、貯留深度が深い、さらに貯留規模が小さい、いわゆる地熱ポテンシャルの低い地熱地帯であること、また開発に際して、スケール問題や不凝結ガス問題が生じる可能性の高い地熱地帯であること等から、経済的に発電用の地熱開発を行うことは難しいと判断される。

第 IV 章 今後の開発について

第Ⅳ章 今後の開発について

Ⅳ.1 当調査地の開発について

当調査地域で最有望と選定されたKaynarca地熱地帯で、発電を目的に開発するにはかなり困難と判断される。しかしKaynarca地熱地帯の地下深部Yuntdağ火山岩類Ⅰ中には180~200℃の熱水貯留層が存在すると推定される。この深部貯留層を開発して、調査地の地域性を考慮した多目的利用が考えられる。トルコ国内の他の地熱地帯をみると、Germencik-Omerbeyli地熱地帯では地表から深度600mまでの温度は90℃であるが、それ以深では温度勾配が上昇し深度1100mで206℃まで上昇している例もあり、Kaynarca地熱地帯でも第1~3次調査の結果推定された深部貯留層の存在は十分期待できる。

将来、地熱発電の技術革新により当調査地域のエネルギー価値が変わった場合、1500~2000mの調査井掘削による深部貯留層の資源量の確認を行うことが考えられる。

Ⅳ.2 多目的利用について

現在までの調査資料によると、当該地熱地帯では地熱流体からの鉱物資源の回収はドライアイス製造用のCO₂ガス採取のみである。また、当該地熱帯は気温が最高40℃、最低-2℃の非住居地区であり、産業もほとんどなく冬期に羊の放牧場となっている程度である。

当該地熱地帯の多目的利用を計画する場合、これらの地熱資源の特性及び地域性を考慮し、冬期の利用と夏期の利用の組合せをはかり年間の負荷率を高くする必要がある。例えば冬期の利用としてはグリーンハウスによる施設園芸や畜舎暖房、夏期の利用としてはヒートポンプ利用による空調貯蔵庫、牧草乾燥等が考えられる。またトルコの特産品である皮革製品やカーペットの製造工程に利用することも考えられる。具体的な多目的利用計画に際しては、これらの需要調査、経済性調査を行う必要がある。

IV.3 スケール生成予測及び対策の提案

本調査地域内のKaynarca温泉に湧出している熱水データから将来この地域を開発した場合のスケール問題について検討した。

IV.3.1 スケール生成予測

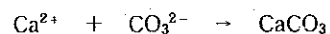
生産井に沈積するCaCO₃スケールについて、Langelier指数を用いて検討した(Progress Report I及びII)。この結果、Kaynarca地熱地帯でも将来開発を実施した場合、CaCO₃スケールが蒸気供給系に付着する可能性が高いことが判明した。

一方、蒸気分離後の熱水輸送パイプ、還元井等の還元系に付着するスケールはシリカ濃度から、地下温度が200℃の場合は全く障害とならず、地下温度が220℃の場合、若干問題となる可能性があることが予測された。したがって、220℃の場合、還元熱水の温度を約120℃に保つようにした方が良いと考えられる。ただし、他の活発な地熱地帯の場合ほど、重大な問題とはならないと考えられる。

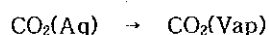
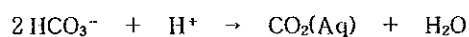
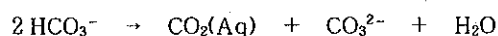
IV.3.2 スケール付着防止対策

本地域の開発に際しては、CaCO₃スケールの蒸気供給システムへの付着について留意する必要があると考えられる。

CaCO₃スケールは次の反応によって生じるので、この反応を阻害するようにすれば、CaCO₃スケールの生成は防止可能である。



この反応はCO₂の脱ガスによって促進するので、坑井内のフラッシュポイント近傍で、スケールは析出しやすくなる。この反応にかかわるCO₃²⁻濃度は次の反応によってコントロールされる。



CaCO₃の析出する地熱地帯、温泉では、スケール付着を防止するために、口元圧力コントロール、注水法、ダウンホールポンプの使用、炭酸ガス分圧コントロール、薬注法等が考案されているが、規模の大きい開発で成功しているのは薬注による方法である。用いられる薬品はリン酸塩、ポリアクリル酸塩が一般的であるが、日本の炭酸カルシウムの発生しやすい地熱地帯(森地熱地帯、野矢地熱地帯)では、地上からポンプを用いて坑井内へポリアクリル酸塩を注入して、前出のCaCO₃生成反応をおさえ、炭酸カルシウムの坑内析出をほぼ完全に防ぐことに成功している。また、ポリアクリル酸塩の薬注は、濃度数ppmを維持するだけで十分効果が期待出来ることから、リン酸塩や他の薬品と比較して、発電所設備や周辺環境に与える影響は小さく、ほとんど無視出来る。したがって、

現在までの実績等から、現在のところ坑井内へのポリアクリル酸塩の注入が、生産井坑内スケール付着防止のために最も推奨される方法である。

ポリアクリル酸塩の注入以外にリン酸塩、鉍酸（塩酸、硫酸）の注入も、 CaCO_3 生成反応をおさえることから、スケール防止効果が期待される。特に、鉍酸の注入によるpHコントロールは、炭酸カルシウムスケールだけでなくシリカスケール生成の防止も可能となると考えられる。ただし高温条件下で、腐食インヒビターが十分な効果を発揮するかどうか検証する必要がある。

薬注は坑井内のフラッシュ・ポイント以深に行う必要があり、薬注により噴出流体の物理特性が変化する可能性があるため、注入深度、薬注管の設置方法等については、坑井掘削計画時に十分検討する必要がある。

薬注法の採用により、トルコの他の地熱地帯でも生産井スケール問題は解決出来ると考えられる。

JICA