かった。

f) DG－3熱水のシリカは，地下水によって希釈されたと仮定すれば，Fig. Ⅱ·3.78に示すように，DG－3深部の貯留層温度は200℃前後と推定される。

8. 調査結果のまとめ

測温孔によって採取したコア，カッティングスの地質解析及び諸調査結果をもとに描いた地質断面図をFig. Ⅱ. 3. 79に示す。

地表調査では，Kaynarca周辺に存在する東西方向の地溝帯内には，Demirtas火砕流堆積物や，凝灰質シルト岩からなるSoma層が厚く，堆積していると考えられていた。しかし，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。

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。これらの熱水脈は，地溝帯を形成している東西方向の断層と関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.3.79, 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。

Fig. Ⅱ. 3. 80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と極立って大きい。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℃前後の浅部貯留層が存在すると考えられる。

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。

深度500m以深では孔内温度は徐々に上昇し，熱流量も増加している。

また，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℃～200℃の熱水貯留層の存在が期待できる。

しかし，測温孔の平均的な温度勾配（5～10℃/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。

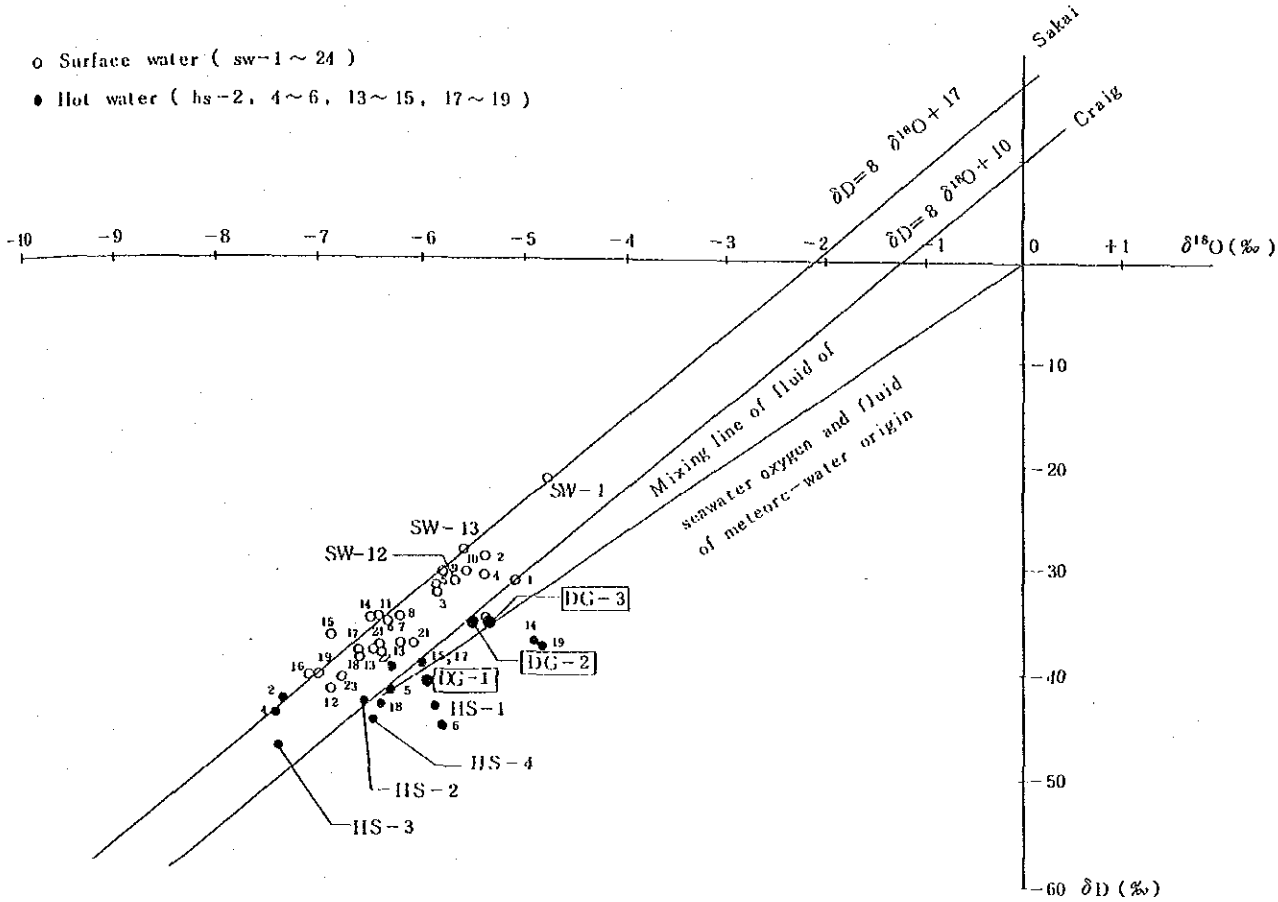


Fig II 3.74 Deuterium and oxygen-18 isotope ratios of hot spring and cold water (surface water) in the Dikili-Bergama geothemal field

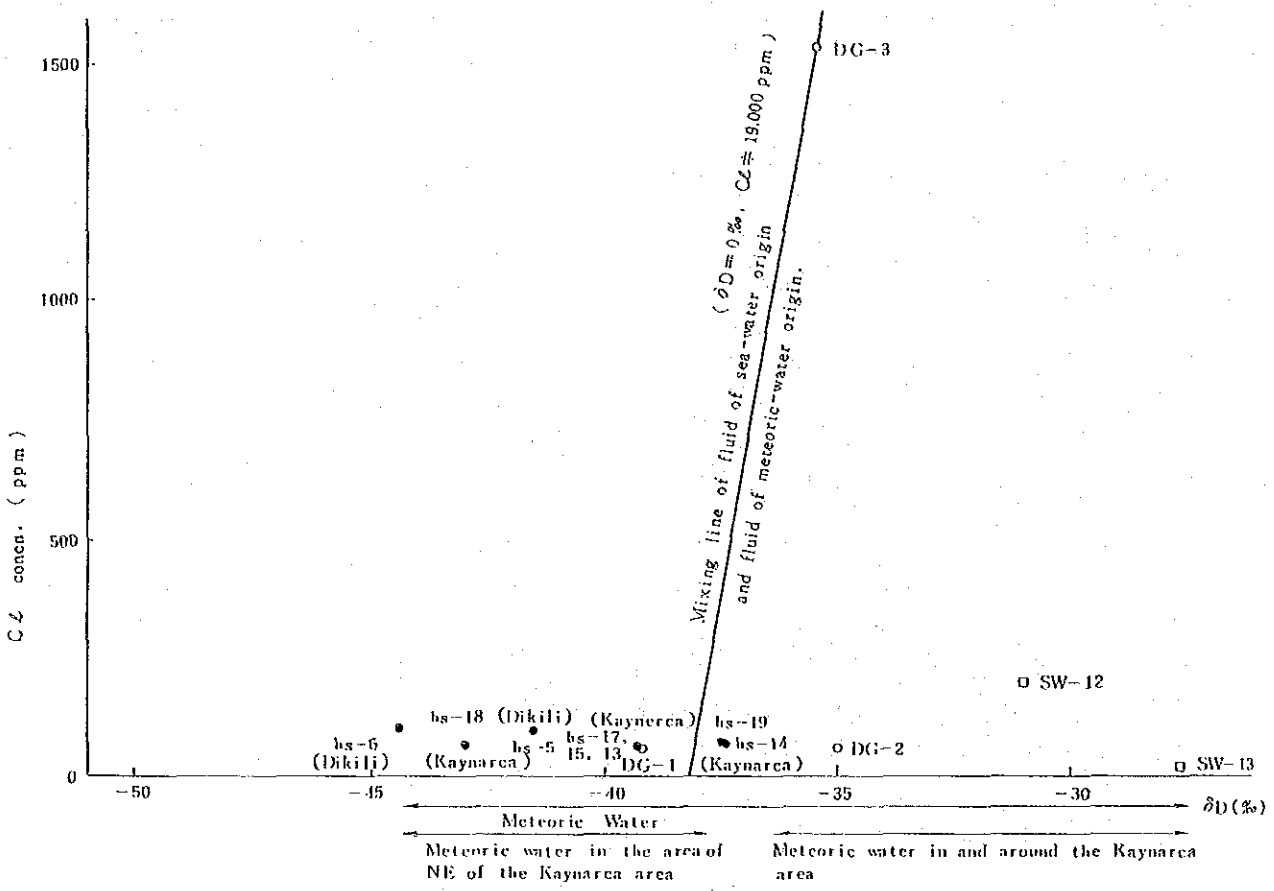


Fig II 3.75 Relationship between Cℓ concentration and δD value in geothermal water in the Dikili–Bergama geothermal field.

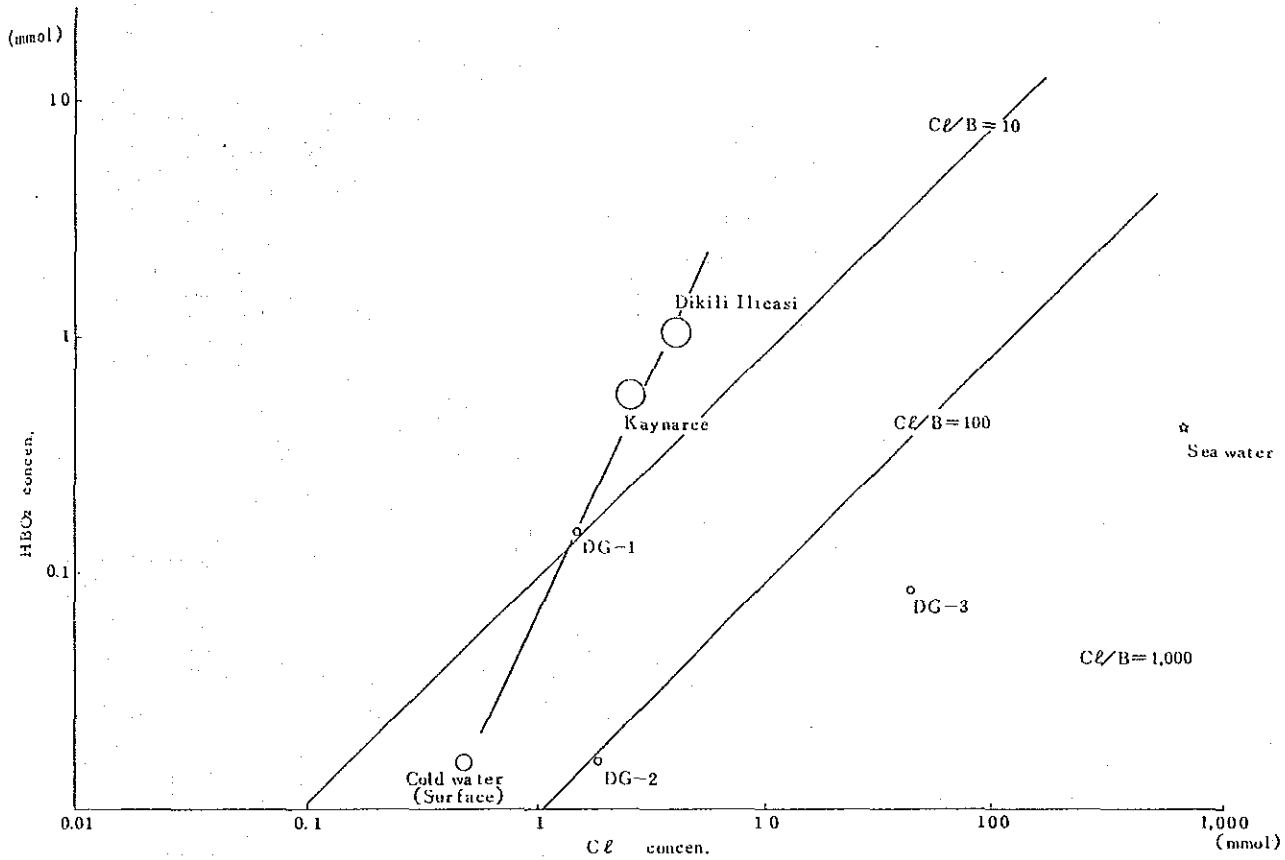


Fig II 3.76 Relationship between Cℓ and HBO_2 Concentration.

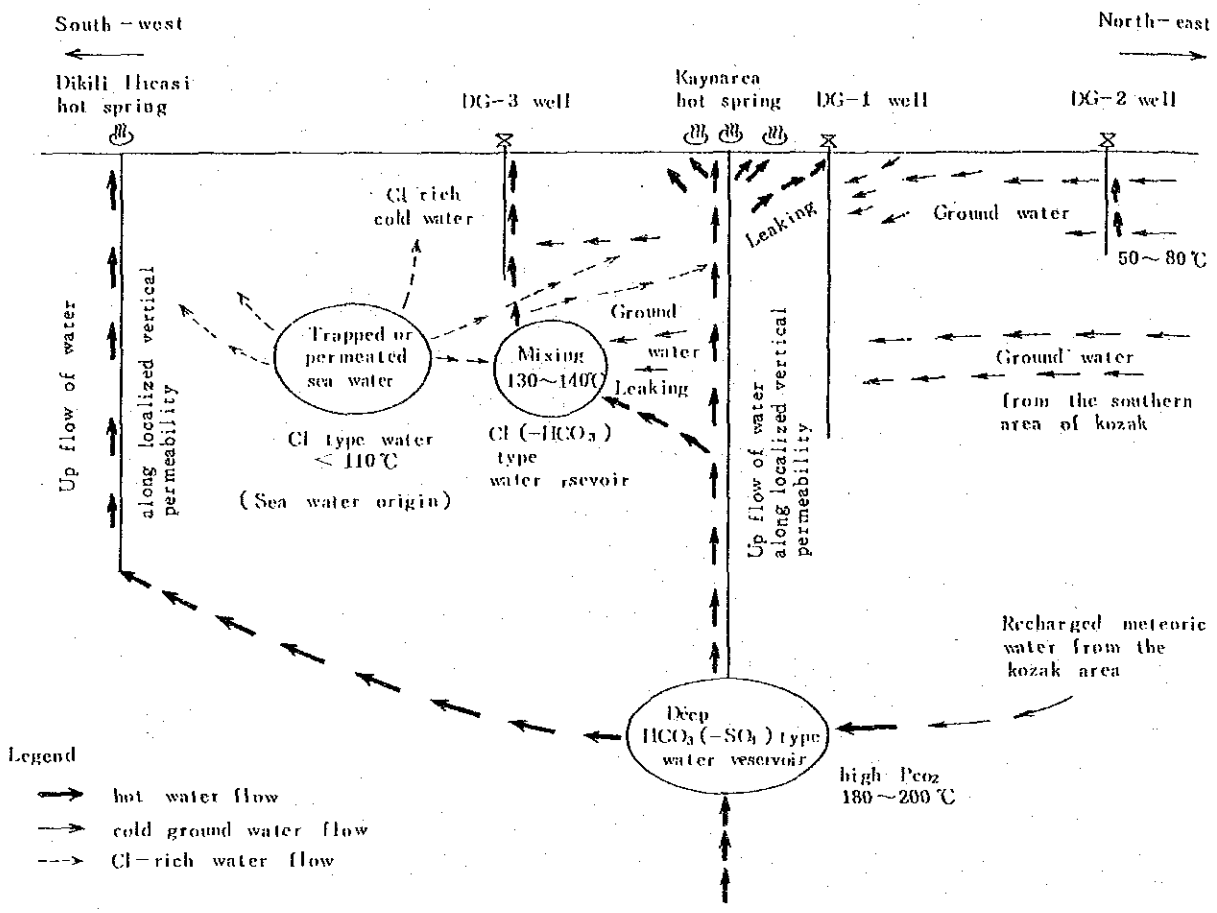


Fig II 3.77 Simplified model on geothermal fluid estimated by using chemical analysis data of temperature gradient holes

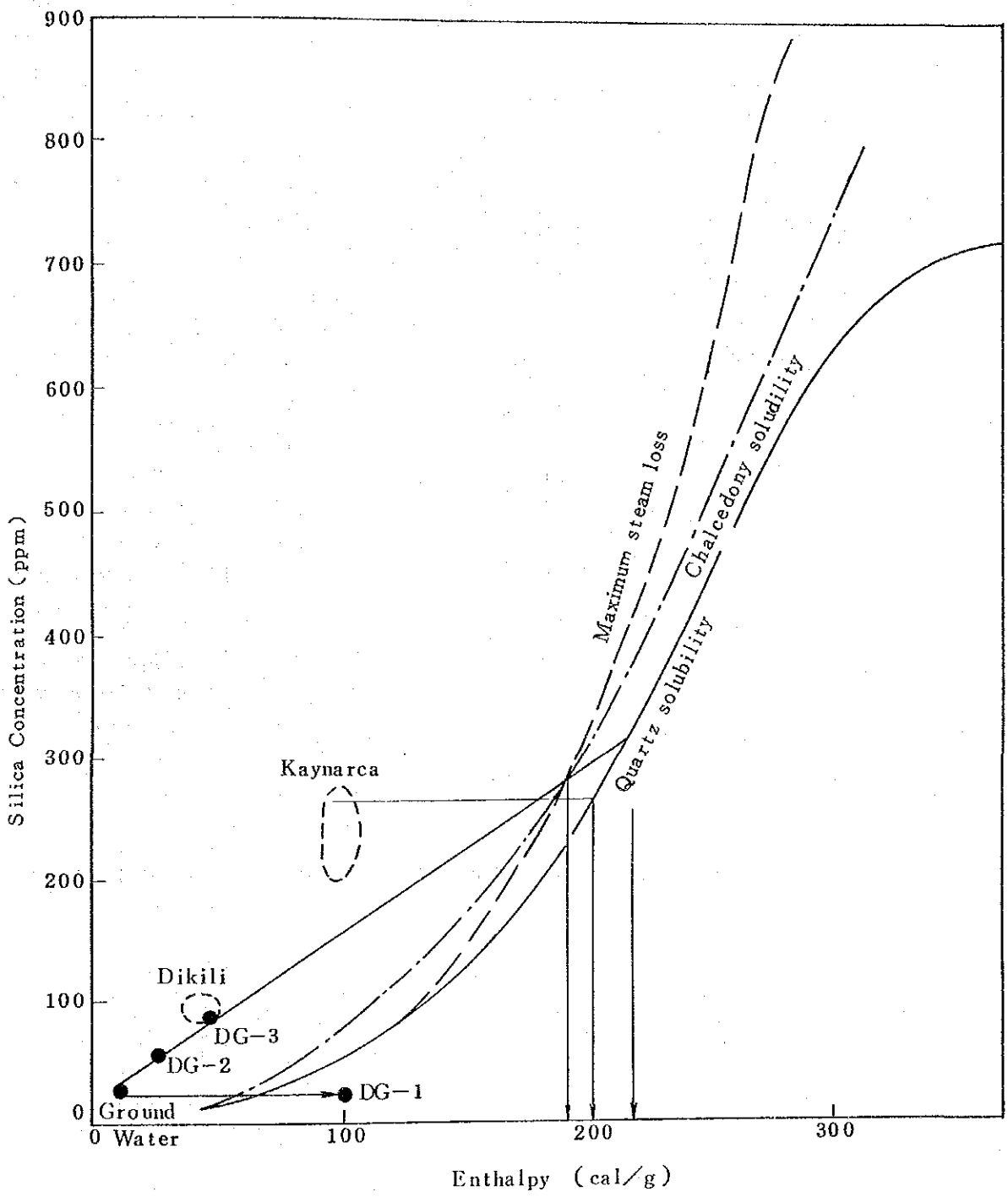


Fig II 3.78 Silica temperature by mixing model

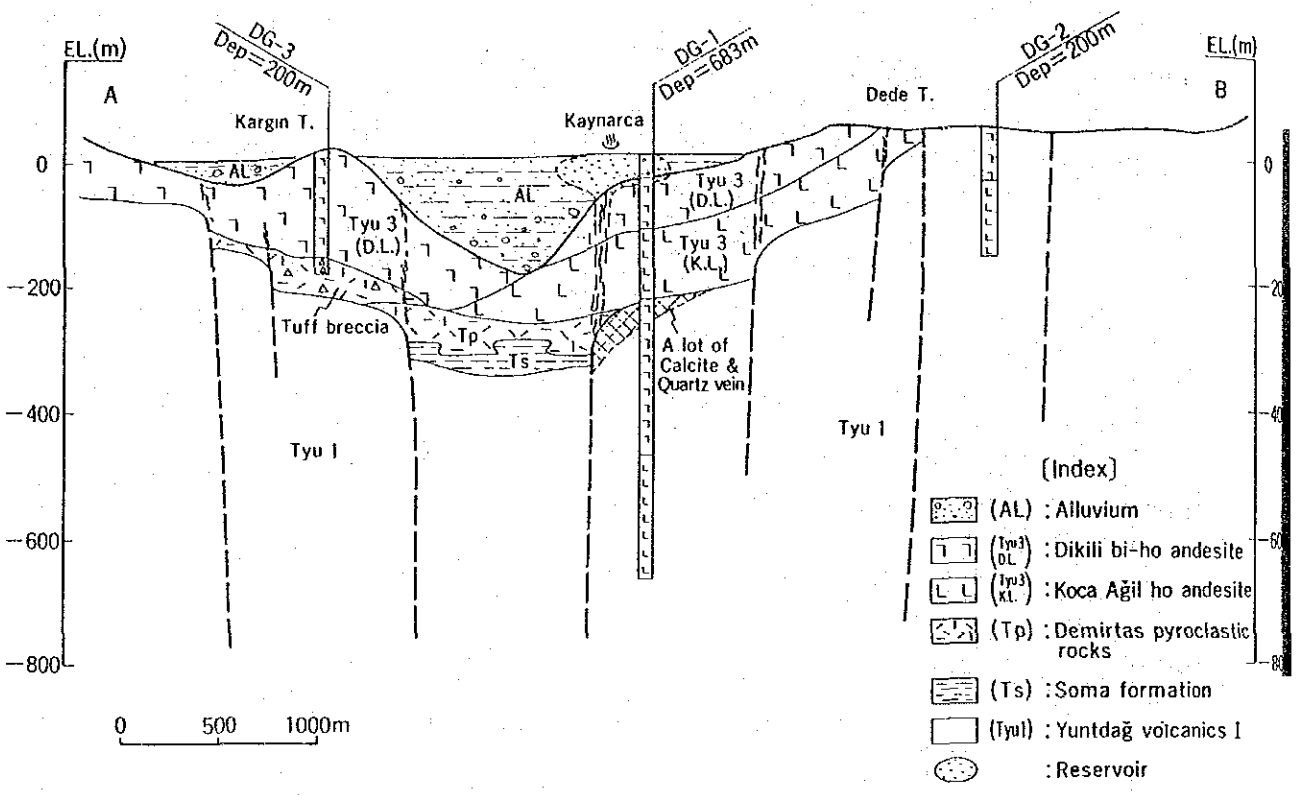


Fig. II.3.79 Geological cross section of the Kaynarca geothermal area.

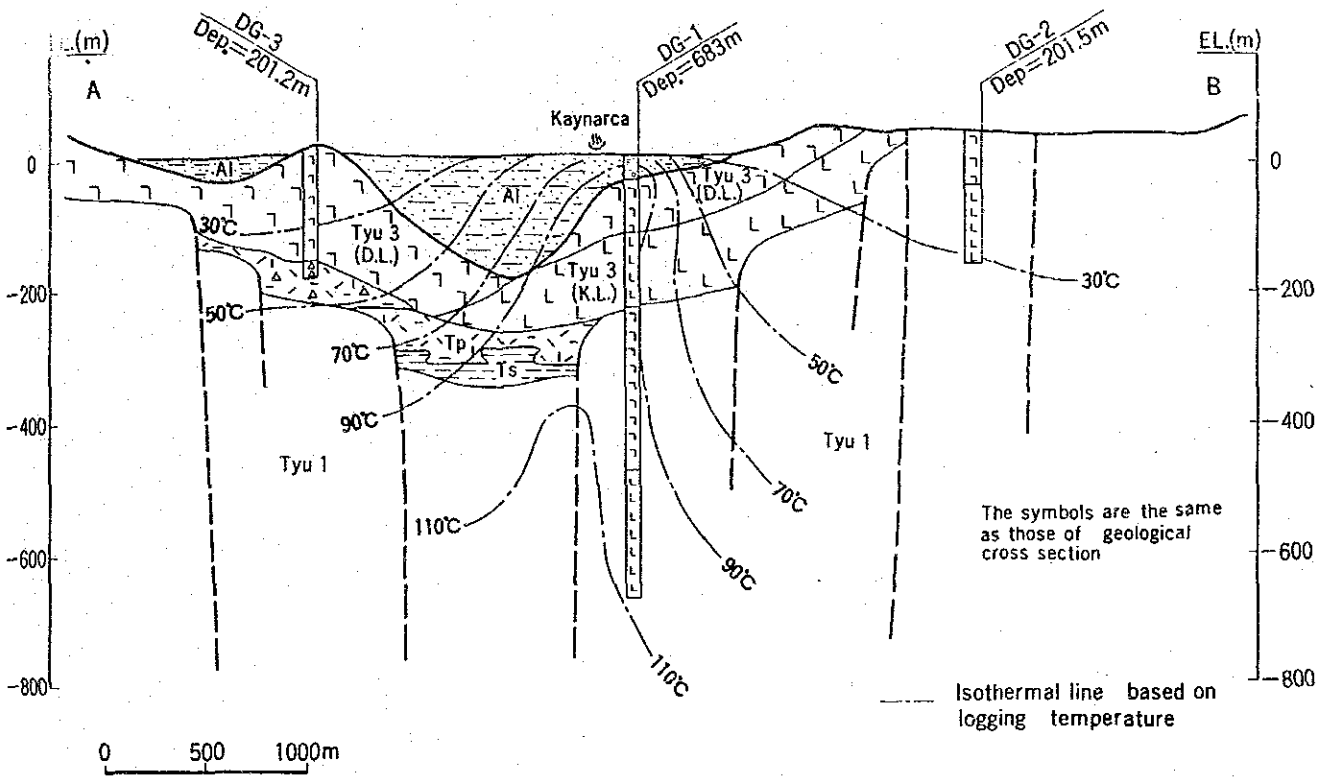


Fig. II.3.80 Isothermal line of the Kaynarca geothermal area.

Table II 3.11 Chemical composition of hot water from thermal gradient hole

Items		DG－1	DG－2	DG－3
pH	－	9.0(25℃)	7.6(25℃)	7.7(25℃)
COND	μs/cm	1800	1170	5500
T-S	mg/ℓ	1180	912	3500
Na	mg/ℓ	363	115	737
K	mg/ℓ	32.1	8.18	87.0
Li	mg/ℓ	0.533	0.077	0.143
Ca	mg/ℓ	10.8	129	313
Mg	mg/ℓ	2.29	28.3	63.0
F	mg/ℓ	4.23	1.68	0.27
Cℓ	mg/ℓ	51.2	63.1	1530
SO_4	mg/ℓ	553	320	131
HCO_3	mg/ℓ	282	281	251
HBO_2	mg/ℓ	6.7	0.7	3.7
$TSiO_2$	mg/ℓ	21.6	56.5	96.1
H_2S	mg/ℓ	<0.03	<0.03	<0.03
T－Fe	mg/ℓ	6.90	10.3	0.95
Aℓ	mg/ℓ	0.53	8.53	4.30
Br	mg/ℓ	<3.0	<3.0	4.7
I	mg/ℓ	<0.30	<0.30	0.48
As	mg/ℓ	0.0061	0.0153	0.0570
NH_4	mg/ℓ	0.67	0.22	0.20
δD	‰	－39.2	－35.0	－35.5
$\delta^{18}O$ (H_2O)	‰	－5.9	－5.6	－5.4
$\delta^{34}S$ (H_2O)	‰	16.3	10.9	13.4
$\delta^{18}O$ (SO_4)	‰	3.2	4.0	10.1
Tritium (SO_4)	T.R	<0.8	<0.8	<0.8
TCO_2	mg/ℓ	169	189	171

Table II.3.12 Geochemical temperatures and Cℓ/B and Cℓ/As atomic ratios in the waters sampled from DG−1, DG−2, DG−3 and others

		Geochemical Temperature (℃)				Cℓ/B	Cℓ/As
		Quartz	Chalcedony	Na・K・Ca・Mg	SO_4-H_2O		
well	DG−1	67	33	180	194	9.4	17,700
	DG−2	108	77	50	185	111	8,720
	DG−3	135	107	132	111	511	56,700
hot spring	Kaynarca	172 ~ 200	149 ~ 182	147 ~ 178	797 ~ 218	3.4 ~ 4.5	927 ~ 1270
	Dikili Ilıcasi	136 ~ 142	108 ~ 115	148 ~ 162	229 ~ 231	2.4 ~ 3.0	218 ~ 366
Cold Spring		−	−	−		34 ~ 49	126,000 ~ 222,000
Present Sea water		−	−	−		1207	4.0×10^7

第 Ⅲ 章　総　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砕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砕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。

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・破砕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。

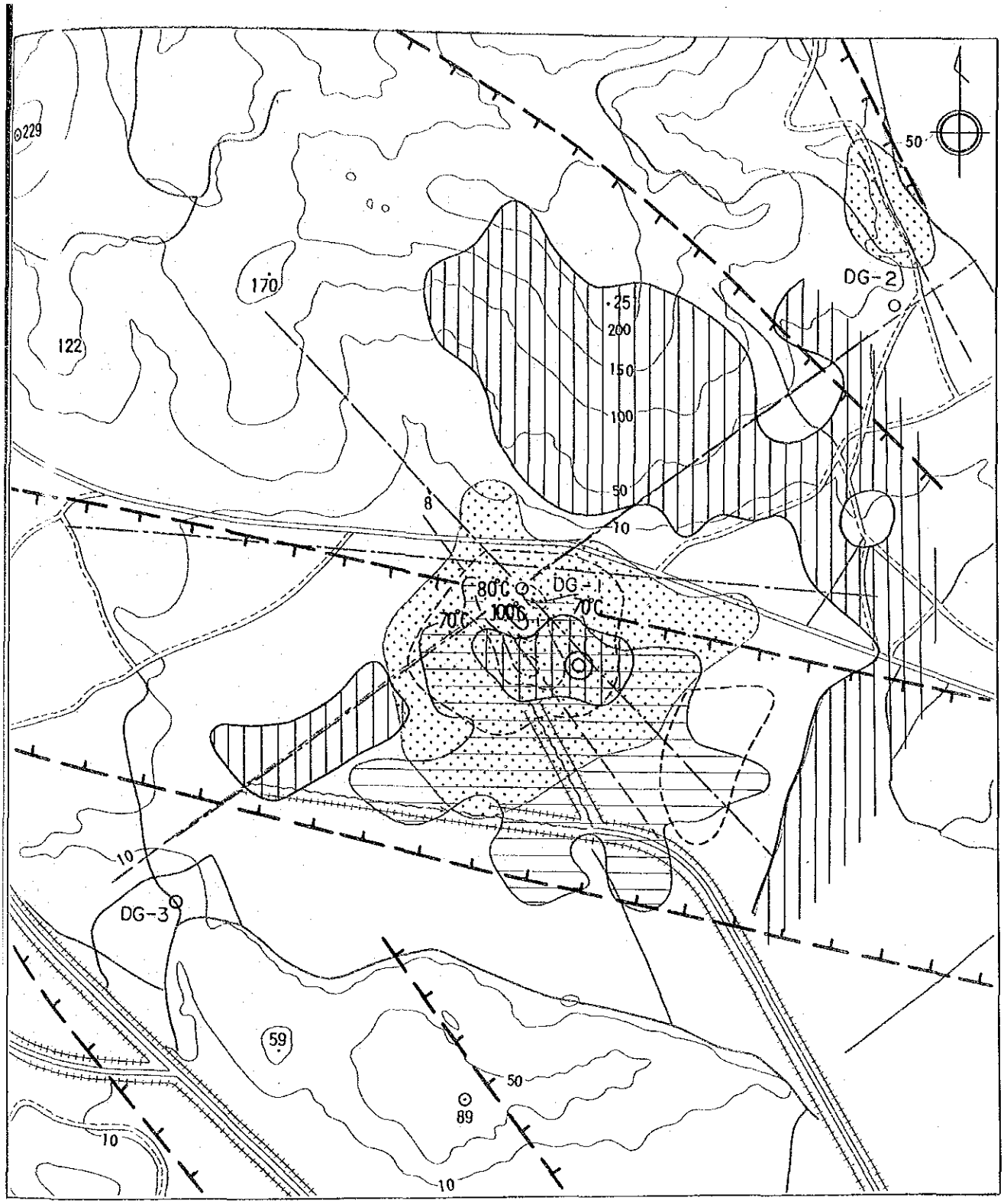
先第三紀堆積岩類やKozak花崗閃緑岩などの基盤岩類の構造は主としてNW-SE系断層がつくる小規模な地塁，地溝によって特徴づけられる。Dikili温泉及びKaynarca温泉は，地溝帯の南縁と北縁に位置している。Yuntdağ火山岩類Ⅰは溶岩を主としており，これらの断層破砕帯中に熱水が貯留されているものと推定される。先第三紀層中には石灰岩層が挟在すると考えられ，これらも熱水貯留層となりうる可能性がある。Yuntdağ火山岩類Ⅰ中に認められる凝灰角礫岩または凝灰岩及びDemirtas火山砕屑岩は，難透水層となっており，浅部貯留層と深部貯留層を分離しているものと推定される。この難透水層の上部には，Yuntdag火山岩類Ⅱ及び第四紀未固結層が分布しており，その破砕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，更に深部に凝灰岩や堆積岩の下部のYuntdağ火山岩類Ⅰの破砕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（$-SO_4$）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$HCO_3-C\ell$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$C\ell$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，



Legend

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

Fig. III.1.1 Synthetic interpretation map

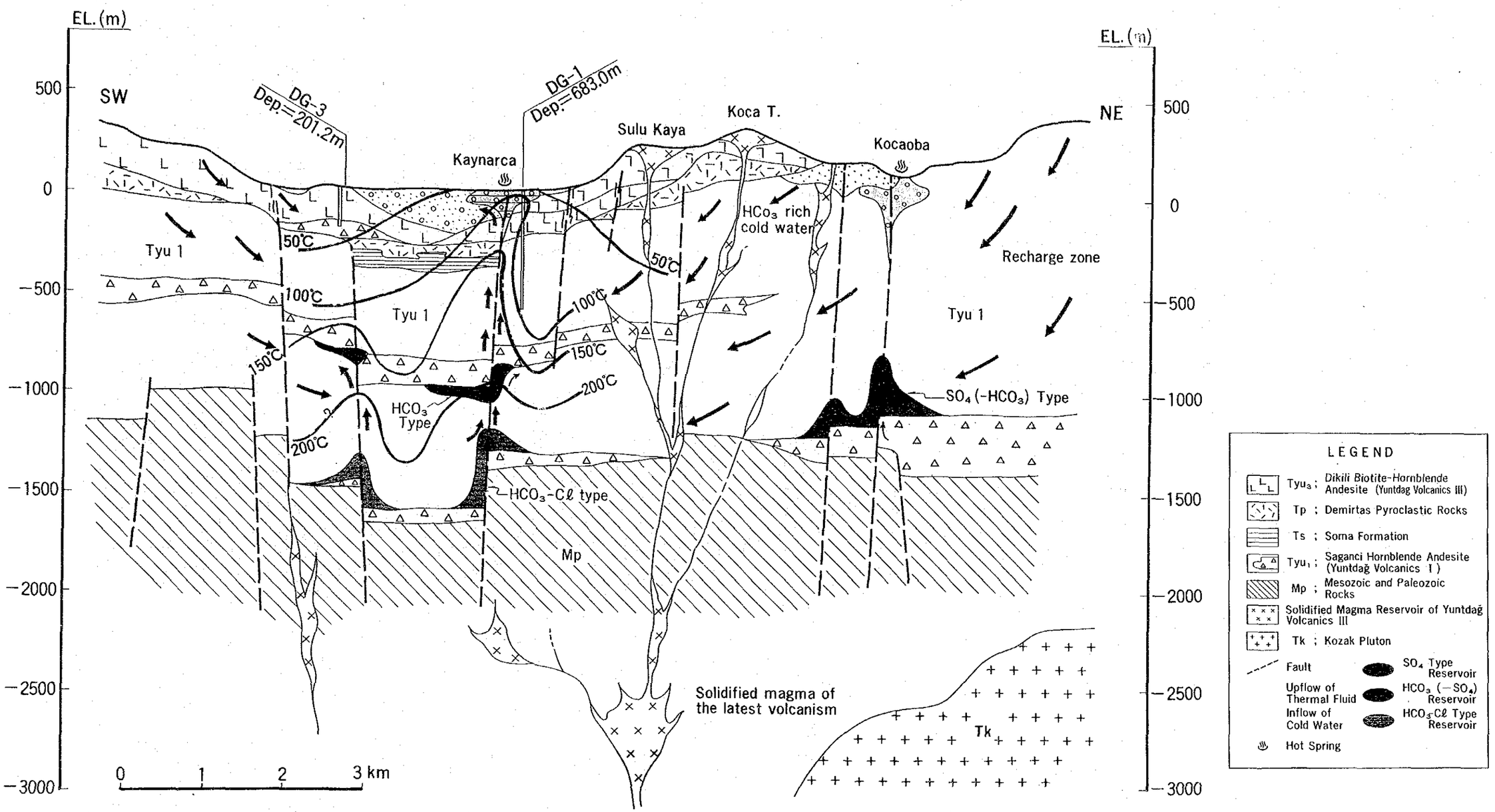


Fig. III.1.2 Conceptual model of the Kaynarca geothermal area

Dikili温泉に湧出していると考えられる。中性のHCO_3(−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推定されるこの型の熱水も，180℃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P_{CO_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℃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HCO_3(−SO_4)型の熱水の起源はトリチウム濃度，δD，$\delta^{18}O$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砕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が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℃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以上の温泉が存在する。これらのうち，60℃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℃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℃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1km^2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℃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℃以上の貯留層が広く分布する可能性は小さい。本地熱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CO_2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

地熱開発を阻害する発電設備内に発生するスケールは，その組成から概略２つに分けられる。生産井，２相流配管等の蒸気供給装置に付着するスケールは，主に炭酸カルシウム（$CaCO_3$）スケールである。また，蒸気分離後の熱水輸送管，還元井に付着するスケールは，主にシリカ（SiO_2）スケールである。さらに，セパレーターにより熱水と蒸気が完全に分離されない場合は，タービン内部にもシリカと塩化ナトリウム等の化学成分が複合して沈着することがある。それぞれのスケールの生成機構は異なり，付着速度に影響する因子も異なる。したがって，各スケール問題に対する対処案を検討する場合，各付着スケールの生成機構を十分に解明した上で，最も妥当な対処法を選定しなければならない。

地質，地化学調査，物理探査等の地上調査段階で，将来開発時のスケール障害について予測することは難しい。 特に，蒸気供給系のスケール付着の可能性，付着場所等については，地下の貯留層熱水の化学及び物理特性が明らかになっていなければ，判断することが出来ない。調査井から将来開発される地熱流体が噴出していれば，貯留層流体の特性を明らかに出来，スケール付着予測が可能である。本調査地域の場合，いずれの孔井（ＤＧ－１～３）からも将来の地熱開発に利用出来るような流体が得られなかったことから，Kaynarca 温泉に湧出している熱水が地下深部の貯留層熱水とほぼ等しい化学組成を示していると仮定して，スケール付着の予側及び対策について検討した。

Ⅳ.3.1 スケール生成予測

既報（PROGRESS REPORT Ⅱ）に示したように，Kaynarca 温泉地下の熱水は，Na－Ca SO_4（－HCO_3）型のものとNa－Ca－HCO_3（Cl）型のものとの混合によって生成されていると考えられる。ＤＧ－２熱水は前者のものが主で，ＤＧ－３熱水は後者のものが主となる熱水と考えられる。Kaynarca 温泉湧出熱水は中性（ｐＨ7.4～8.7）のNa－Ca－SO_4（－HCO_3）型のものである。地下熱水温度は220～230℃に達するものと推定される。また，Kaynarca 温泉には炭酸ガスが発生していることから，地下貯留層中の炭酸ガス分圧は通常の地熱地帯の場合より高いと考えられる。Kaynarca 温泉に湧出している熱水の化学特性は，各熱水とも類似しており，スケール生成に関与する化学成分のうちHCO_3，T－CO_2濃度は高く，Ca，SiO_2 濃度は比較的低い。

Kaynarca 温泉に湧出している熱水の化学特性が地下に貯留されている熱水の特性を反映していると仮定して，将来開発された時のスケール生成の予測を行った。

$CaCO_3$ スケール付着の予測は，一般に，飽和指数ＳＩ（ＳＩ＝実測イオン濃度積／溶解度積）や Langelier 飽和指数Ｓ（Ｓ＝ｐＨ（実測）－ｐHs（計算））の計算結果から判断されている。

これらの計算で得られた結果は，実際のスケール付着傾向と完全には一致しないが，定性的には妥当な結果が得られており，有効な予測手法と考えられる。特に，Langelier 飽和指数による予測は，実施例も多く，妥当な予測結果が得られる可能性が高い。本調査においてもLangelier飽和指数を求めてスケール付着の可能性について検討した。

計算結果は，PROGRESS REPORT Ⅰ及びⅡに示した。Kaynarca 地熱地帯のどの温泉でもLangelier 飽和指数Sは正の値を示し，各温泉水は$CaCO_3$について過飽和状態にあると考えられる。経験的にS≧＋1.0，60℃以上の熱水からは$CaCO_3$のスケールが生成しやすいと考えられる。なかでも沸とうした熱水の場合，S≧＋2.0のものが孔井内にスケールを生成しやすいようである。Kaynarca 温泉の沸とう泉のSは＋1.8の大きな値を示す。したがって，Kaynarcaで将来開発を実施した場合，$CaCO_3$ スケールが蒸気供給装置に付着する可能性がある。更に，熱水貯留層内のPCO_2が高ければ，地下熱水の$CaCO_3$の溶解度が高まり，溶存Ca，CO_3（HCO_3）濃度が高くなる。そのため，噴出時に$CaCO_3$スケールの析出する可能性が一層高くなる。

一方，SiO_2 スケール付着の予測は，一般に熱水に含有されるモノケイ酸の過飽和度と熱水のpHで判断される。Kaynarca 地区の地下温度200℃のところから蒸気を取り出せば，噴出熱水のシリカ濃度は約340ppm SiO_2 となり，99℃以上の熱水からシリカスケールは析出しない。したがって，この場合は，蒸気分離後熱水を還元するにしても，熱水に対する処理は必要としない。ところが，地下温度220℃のところから蒸気を取り出せば，噴出熱水のシリカ濃度は約450 ppm SiO_2 となり，約120℃以上の温度に熱水を保たなければスケール析出の可能性がある。したがって，大気に開放される型の熱水路や還元熱水パイプ，還元井では無処理の熱水を通水すればスケールが付着し，通水流量や還元量が低下すると考えられるが，過飽和度（シリカ濃度－無定形シリカの溶解度）が小さいので，この程度の地下温度では重大な問題とはならない。なお，本地域では考え難いが，噴出熱水が酸性である場合は，スケールの付着はおこり得ない。一般的に，シリカスケールが発電所運用上の大きな問題となる地熱地帯は，温度が250～300℃の熱水卓越型の活発な地熱地帯である。したがって，本地域の場合，生産井に付着する炭酸カルシウムスケールに注意を払う必要がある。

Ⅳ.3.2 スケール付着防止策

本地域では炭酸カルシウムスケール付着が問題となる可能性が高いことから，蒸気供給系に付着するスケール対策について述べる。

$CaCO_3$ スケール生成は，次の化学反応によって生じる。

$$Ca^{2+} + CO_3^{2-} \rightarrow CaCO_3(\downarrow)$$

この反応にかかわる〔CO_3〕は，次のCO_2脱ガスによって，高濃度となり，反応を促進する。

$2HCO_3^- \rightarrow CO_2(Aq) + CO_3^{2-} + H_2O$

$CO_2(Aq) \rightarrow CO_2(Vap)$

以上の反応の進行を防止すれば，スケール付着を防ぐことが出来る。

生産井孔内で上記の反応が生じ，スケールが最も析出しやすいのは，脱ガスが生じ，Ca^{2+}やCO_3^{2-}の濃度が上昇する深度である。このような熱水性状の変化がおこるのは，熱水のフラッシュ・ポイント付近である。実際に，$CaCO_3$スケールは，フラッシュ・ポイントから口元にむかって孔内をテッパー状に付着していることが多い（Fig. Ⅳ. 3. 1）。　したがって，熱水の処理ははフラッシュ・ポイント以深で行う必要がある。もし，設定された口元圧力において，生産井内にフラッシュ・ポイントが無く，貯留層内に存在する場合は，岩石のクラックが$CaCO_3$スケールで閉塞する可能性があるため，口元圧力をコントロールすることによって，フラッシュ・ポイントを孔井内へ移動させ，熱水を処理した方が良いと考えられる。

$CaCO_3$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，ポンプを用いて地上から孔井内へポリアクリル酸塩を注入して，前述の$CaCO_3$生成反応をおさえ，炭酸カルシウムの孔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に比較して，発電所設備や周辺環境に与える影響はほとんど無視することが出来る。したがって，現在までの実績等から，現在のところ孔井内へのポリアクリル酸塩の注入が，生産井孔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もリン酸塩，鉱酸（塩酸，硫酸）の注入も，$CaCO_3$の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，鉱酸の注入によるpHのコントロールは，腐食インヒビターの添加によって，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。

薬注法は，孔井掘削後孔内に薬注パイプを設置し，フラッシュポイント深度以深に注入口をセットする方法もある。この方法は孔井噴出流体の物理特性（エンタルピー，流量）を低下させる可能性が高く，噴出勢力の強い孔井では薬注パイプが浸食されるので，Fig. Ⅳ. 3. 2のように掘

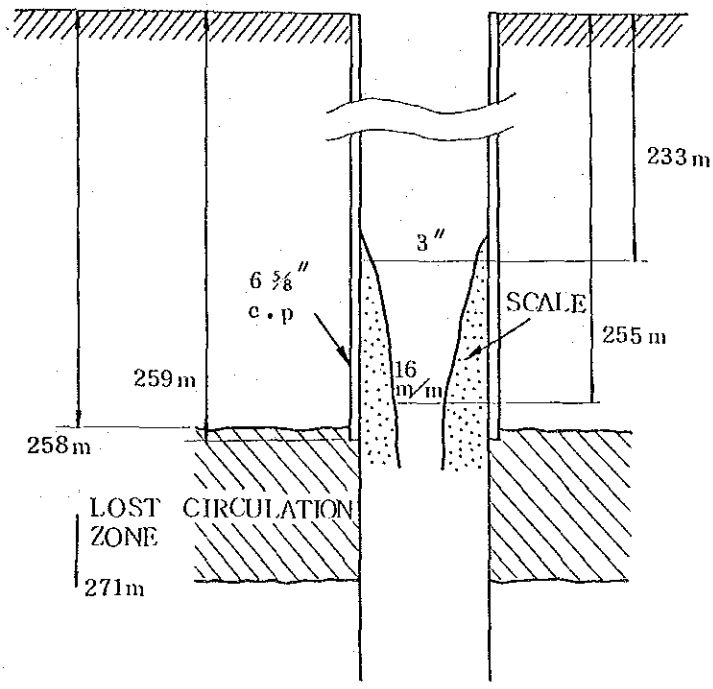


Fig. IV. 3. 1 An example of carbonate scale deposited in a production well
(Otake geothemal field)

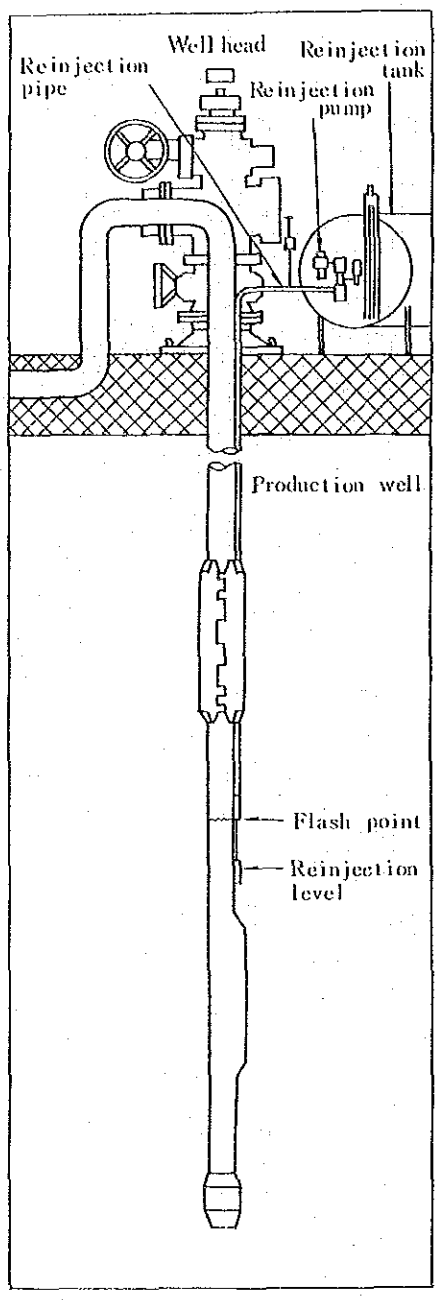


Fig. Ⅳ. 3. 2 Injection system of chemicals for carbonate scale prevention

削時に薬注パイプをケーシングパイプの外側に設置するように工事することが望まれる。

ところで，薬注法は，孔内の高温，高圧条件下の地熱流体中へ地上から薬品を注入する方法であるため，特殊な技術を必要とする。薬注法を採用する前に次の項目については十分検討する必要がある。

(1) 薬注パイプ設置以前にフラッシュ・ポイント深度を求める。

(2) 薬注ポンプ，パイプが試薬に対して，あるいは温度・圧力に対して十分耐久性があるかどうか検討する。

(3) 薬注圧力，流量について，噴出時の孔内圧力，流体の化学特性に基づいて検討する。

一方，すでに炭酸カルシウムスケールによって閉塞した生産井は，Fig. Ⅳ.3.1 に示すようにスケールがフラッシュ・ポイント付近に集中して，付着しているので機械的に除去することも可能であるが，ポンプ及び薬注パイプを用いて鉱酸（＋腐食インヒビター）により溶解除去を行った方が効率的であると考えられる。酸による除去法の採用に際しては，強酸の取り扱い，インヒビターの効果等について，十分検討を行う必要がある。

以上，述べた除去法及び防止法を実施することによって，コストを別にすれば，炭酸カルシウムスケール問題はほぼ解決出来るものと考えられる。

付　帯　資　料

付帯資料目次

A. 1　地質精査

A. 1. 1　断裂の表示方法 …… A 1

A. 1. 2　コンター図の書き方 …… A 2

A. 1. 3　応力場の求め方 …… A 3

A. 2　CSAMT探査

A. 2. 1　調査測線及び測点位置 …… A 4

A. 2. 2　測定装置 …… A 7

A. 2. 3　解析理論及びその方法 …… A 8

A. 3　流電電位法探査

A. 3. 1　調査測線及び測点位置 …… A15

A. 3. 2　測定装置 …… A18

A. 3. 3　解析理論及びその方法 …… A18

A. 4　熱流量調査

A. 4. 1　平衡温度計算 …… A21

A. 4. 2　熱流量計算 …… A21

A. 4. 3　X線分析概要 …… A22

A. 4. 4　コア中の断裂測定方法 …… A23

A. 4. 5　流体包有物均質化温度測定法 …… A24

A. 4. 6　コア中の物性値測定方法 …… A26

A. 5　測温孔の検層結果 …… A30

付帯資料　付図・付表リスト

付　図

Fig. A. 1. 1　Method for plotting fracture orientation
(断裂系の走向・傾斜表示方法)

Fig. A. 1. 2　Method for making contour diagram
(コンター図の書き方)

Fig. A. 1. 3　Presumption of stress field and relation between fault and axis of principal stress
(応力場の推定方法及び断層と主応力軸の関係)

Fig. A. 2. 1　Survey lines and points for CSAMT measurement
(調査測線及び測点)

Fig. A. 2. 2　Apparent resistivity us frequency calculated by Cagnicard equation over homogeneous earth of 1,000 ohm-m
2.　(見掛比抵抗曲線)

Fig. A. 2. 3　Apparent resistivity us frequency calculated using "near-field" equation over homogeneous earth of 1,000 ohm-m
(1,000 ohm-mの均質大地上のニア・フィールドの式による周波数に対する見掛比抵抗曲線)

Fig. A. 2. 4　Homogeneous earth apparent resistivity curves
(均質大地における見掛比抵抗曲線)

Fig. A. 3. 1　Survey lines and points for Mise-a'-la-masse measurement
(調査測線及び測点)

Fig. A. 3. 2　Shape of the electric field around a current electrode
(電流電極によって形成される電場)

Fig. A. 4. 1　Principles of the fluid inclusion thermometry
(流体包有物温度計原理図)

Fig. A. 5. 1　Results of temperature logging(DG-1)
(温度検層結果(DG-1))

Fig. A. 5. 2　Logging column of DG-1
(検層結果図(DG-1))

付　表

Table A. 2. 1　Survey lines and point
（調査測線及び測点）

Table A. 2. 2　Specifications of the equipments for CSAMT survey
（CSAMT法探査機器の仕様）

Table A. 2. 3　K(r) value for near-field apparement resistivity formula
（ニア・フィールドの見掛比抵抗の式に対するK(r)値）

Table A. 2. 4　Transition triangle factor for various transmitters-receiver distanceand resistivity
（トランスミッターとレシーバーの距離及び比抵抗の値に対するトランジショントライアングルファクター）

Table A. 3. 1　Survey lines and points
（調査測線及び測点）

Table A. 3. 2　Specifications of the measuring equipments for Mise-a'-la-masse survey
（流電電位法調査機器の仕様）

Table A. 5. 1　List of logging
（検層リスト）

Table A. 5. 2　Results of temperature logging(DG-1))
（温度検層結果(DG-1)）

A. 1　地質精査

A. 1. 1　断裂の表示方法

断裂の走向，傾斜は，断裂面の極をステレオ投影法で北半球に投影し，それをウルフステレオ投影ネットを用いて平面上（ポイントダイヤグラム）に表わした。

プロットの方法はFig.A.1.1に示すように，ウルフネット上で，中心点から断裂の走向に垂直な直線に沿って，逆方向に傾斜角をとればその点が断裂の極を表わすことになる。

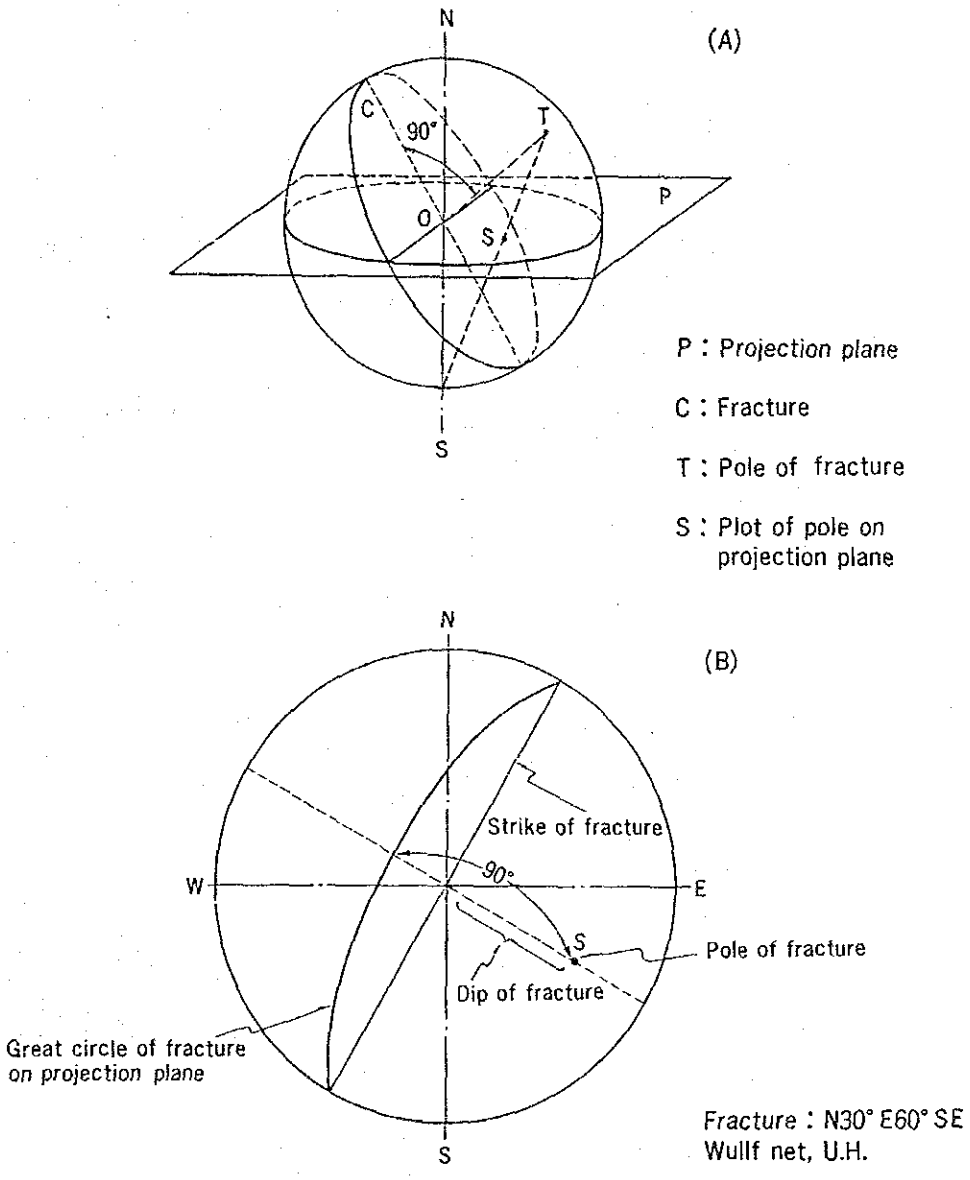


Fig. A.1.1　Method for plotting fracture orientation

A. 1. 2　コンター図の書き方

コンター図は，Fig.A.1.2に示すように，ポイントダイヤグラムを格子に区分し，格子点を中心としてある一定の半径の小円を与え，その範囲に含まれる断裂の極の数を数えて，それを%で表現する。その値を格子点の値としてコンターを描く。

割れ目の卓越方向を大局的に見る場合は，半径の大きな小円を，割れ目が集中するポイントを正確に求める場合は半径の小さな小円を用いる。

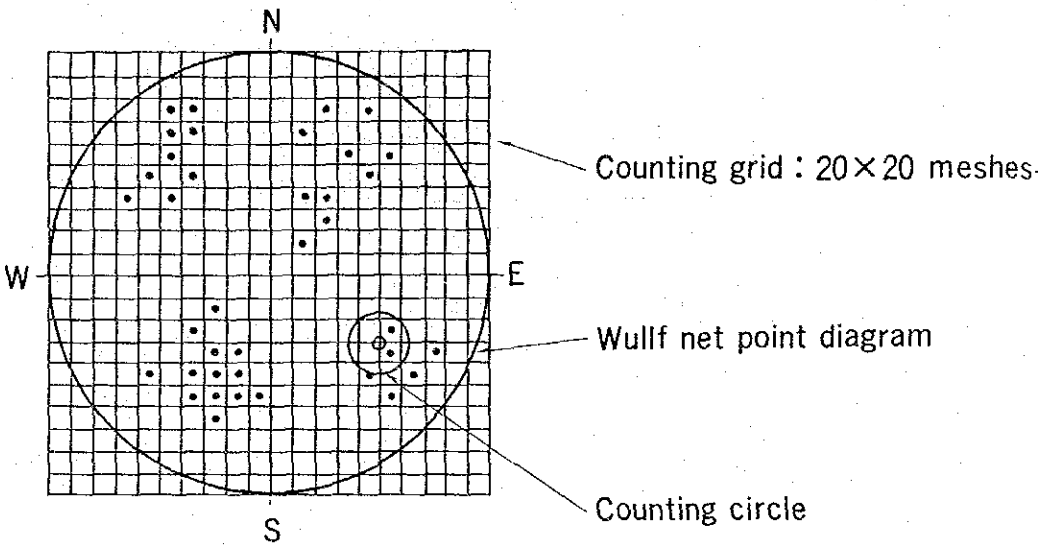
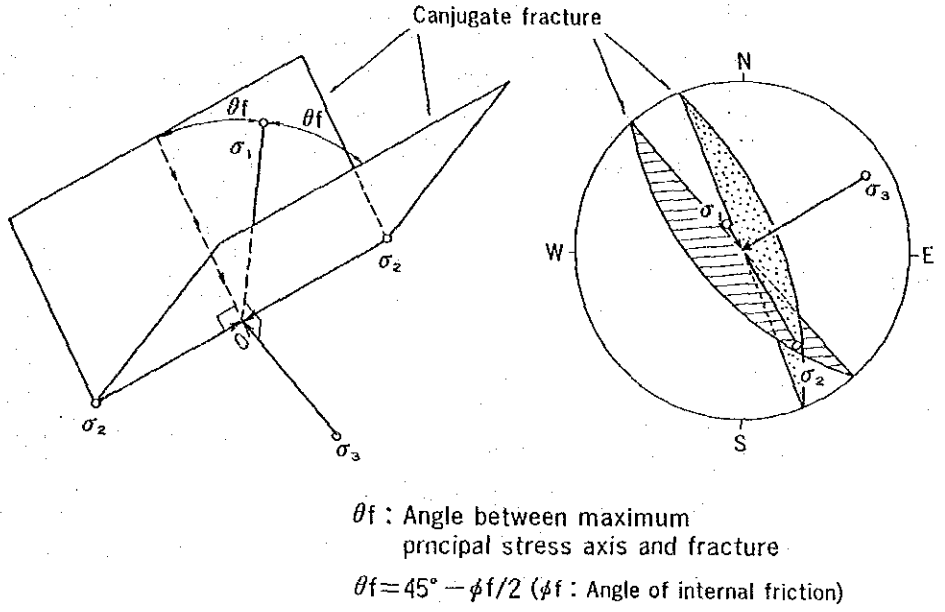


Fig. A.1.2　Method for making contour diagram

A. 1. 3　応力場の求め方

応力状態は，3つの直交する主圧縮応力軸σ1（最大），σ2（中間），σ3（最小）であらわすことができる。これらはいずれも圧縮を正とする。

Fig. A. 1. 3に応力場の求め方と断層主圧縮応力軸の関係を示した。



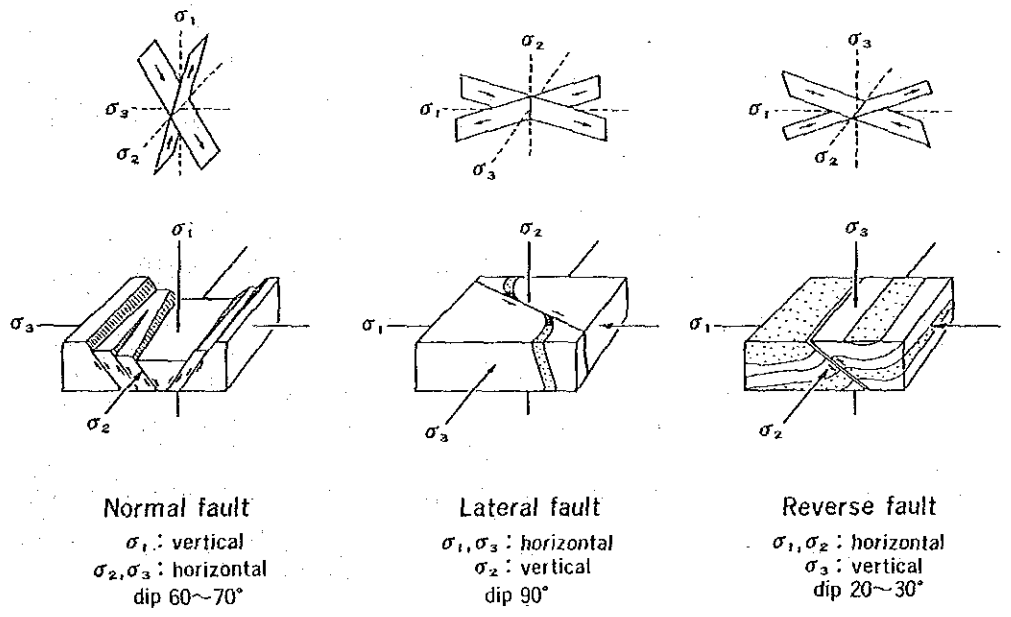


Fig. A. 1. 3　Presumption of Stress field and Relation between fault and axis of principal stress (Anderson, 1951)

A.2. CSAMT探査

A. 2. 1　調査測線及び測点位置

調査のために必要な測線及び測点の測量は，トルコ側の測量技術者によって行なわれた。それらの番号及び位置は，Table A. 2. 1及びFig. A. 2. 1に示す通りである。

Table A. 2,1　測線及び測点番号

測線名	測　点　番　号	測点数
A	100, 300, 500, 700, 900, 1100, 1200, 1300, 1400, 1500, 1600, 1700, 1900, 2000, 2100, 2200, 2300, 2400, 2600, 2800, 3000, 3200, 3400,	23
B	50, 150, 250, 350, 450, 550, 650, 750, 850, 950, 1050, 1150, 1250, 1350	14
C	100, 300, 500, 700, 900, 1100, 1200, 1300, 1400, 1500, 1600, 1700, 1800, 1900, 2000, 2100, 2200, 2300, 2400, 2600, 2800, 3000, 3200, 3400	24
D	50, 150, 250, 350, 450, 550, 650, 750, 850, 950, 1050, 1150, 1250, 1350	14
E	100, 300, 500, 700, 900, 1100, 1200, 1300, 1400, 1500, 1600, 1700, 1800, 1900, 2000, 2100, 2200, 2300, 2400, 2600, 2800, 3000, 3200, 3400	24
F	50, 150, 250, 350, 450, 550, 650, 750, 850, 950, 1050, 1150, 1250, 1350	14
G	100, 300, 500, 700, 900, 1100, 1200, 1300, 1400, 1500, 1600, 1700, 1800, 1900, 2000, 2100, 2200, 2300, 2400, 2600, 2800, 3000, 3200, 3400	24
H	50, 150, 250, 350, 450, 550, 650, 750, 850, 950, 1050, 1150, 1250, 1350	14
I	100, 300, 500, 700, 900, 1100, 1200, 1300, 1400, 1500, 1600, 1700, 1800, 1900, 2000, 2100, 2200, 2300, 2400, 2600, 2800, 3000, 3200, 3400,	24

測線名	測　点　番　号	測点数
J	50, 150, 250, 350, 450, 550, 650, 750, 850, 950, 1050, 1150, 1250, 1350	14
K	100, 300, 500, 700, 900, 1100, 1200, 1300, 1400, 1500, 1600, 1700, 1800, 1900, 2000, 2100, 2200, 2300, 2400, 2600, 2800, 3000, 3200, 3400,	24
L	50, 150, 250, 350, 450, 550, 650, 850, 950, 1050, 1150, 1250, 1350	13
M	100, 300, 500, 700, 900, 1100, 1200, 1300, 1400, 1500, 1600, 1700, 2000, 2100, 2200, 2300, 2400, 2600, 2800, 3000, 3200, 3400	22
N	50, 150, 250, 350, 450, 550, 650, 950, 1050, 1150, 1250, 1350	12
O	100, 300, 500, 700, 900, 1100, 1200, 1300, 1400, 1500, 1600, 1700, 2000, 2100, 2200, 2300, 2400, 2600, 2800, 3000, 3200, 3400	22
P	50, 150, 250, 350, 650, 750, 850, 950	8
Q	100, 300, 500, 700, 900, 1100, 1200, 1300, 1400, 1500, 1600, 1700, 2400, 2600, 2800, 3000, 3200	17
R	50, 150, 250, 350, 450, 550, 650, 750, 850, 950, 1050, 1150	12
S	100, 300, 500, 700, 900, 1100, 1200, 1300, 1400, 1500, 1600, 1700, 1800, 1900, 2000, 2100, 2200, 2300, 2600, 2800, 3000, 3200, 3400,	23
T	50, 150, 250, 350, 450, 550, 650, 750, 850, 950, 1050, 1150, 1250	13
U	100, 300, 500, 700, 900, 1100, 1200, 1300, 1400, 1500, 1600, 1700, 1800, 1900, 2000, 2100, 2200, 2600, 2800, 3000, 3200	21
合　計		376

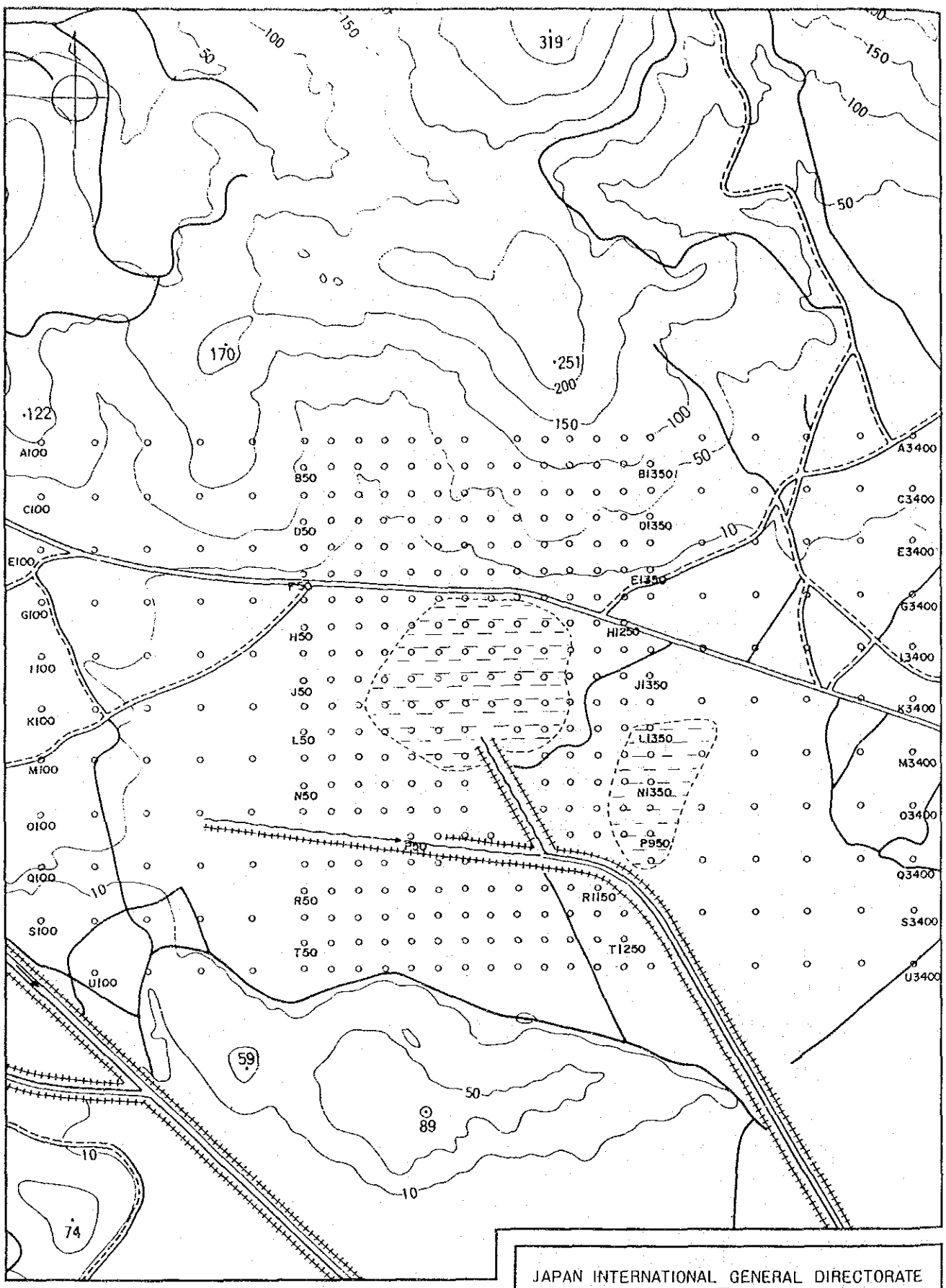


Fig. A. 2. 1 Survey lines and points for CSAMT measurement

JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY

GENERAL DIRECTORATE OF MINERAL RESEARCH AND EXPLORATION

GEOTHERMAL DEVELOPMENT PROJECT IN DIKILI-BERGAMA FIELD

0 500 1000m

A・2、2　測定装置

調査に使用した装置は，Table A・2. 2 に示すとおりである。

Table A・2.2 Specifications of the equipment for CSAMT survey

Equipment	Model	Manufacture	Specification
Transmitter	IPT-1	Phophisics, Inc.	Output: 10 A max., 800 V max., 60 V min., 3 kW max. Frequency: DC to 10 kHz
Motor Generator	MG-3	Phoenix Geophysics, Inc.	Output: 3 kVA max., 8 HP at 3,000 rpm
Magnetic Sensor Coil	AMT-30	Phoenix Geophysics, Inc.	Inductance: 75 Henries. 500 ohms DC resistance Sensitivity: 0.05 volts/gamma
Receiver	V-4	Phoenix Geophysics, Inc.	Dynamic range: 10 volts Frequencies: 0.0625 to 8,192 Hz in 18 binary step SP cancellation: Up to 2.5 volts automatic Notch filter: 1st, 3rd and 5th harmonic of 50 Hz or 60 Hz A-D conversion: 16 bits resolution, 10 V range Memory: 40 k bytes of EPROM 48 k bytes of RAM memory
Electrode	PE-2	Phoenix Geophysics, Inc.	$Pb\text{-}PbCl_2$ type porous pot

A· 2. 3　解析理論及びその方法

1.　CSAMT法の基礎理論

CSAMT法の基礎概念は，MT法の平面波仮定領域において，Cagniard(1953)によって提唱された半無限均質大地における見掛比抵抗（apparent resistivity）の計算式を用いて，大地の比抵抗分布を求めることである。

$$\rho a = \frac{1}{5f}\left|\frac{Ex}{Hy}\right|^2 \quad \cdots\cdots (1)$$

但し，　ρa　：　見掛比抵抗（ohm−m）

f　：　周　波　数（Hz）

Ex　：　電場の強さ（mV/Km）

Hy　：　磁場の強さ（γ）

このうちExとHyは互いに直交する成分である。

但し，（1－1）式は飽くまでも，平面波仮定が成立する領域でのみ有効である。本領域はCSAMT法においては，人工的なシグナルを発生させるために調査地域遠方に設置する電流ダイポールからの距離によって定義される。通常，この平面波仮定によるCagniardの式が成立する領域は，ファーフィールド（far-field）と呼ばれ，ファーフィールドの距離（Lf）は，次式で表わされる。

$$Lf\,(m) \geq 3 \times \text{skin depth} \fallingdotseq 1509\sqrt{\rho/f} \quad \cdots\cdots (2)$$

ここでρは均質大地の比抵抗（ohm-m），fは周波数（Hz）である。（1－2）式により，電流ダイポールと測点位置の距離がLfより小さい領域は，平面波の仮定が成立せず，この領域はニアフィールド（near-field）と呼ばれる。ニアフィールドにおいて測定されたデータは，実際の大地を構成する比抵抗よりも大きな比抵抗値として得られるためその補正が必要である。この補正は，一般にニアフィールド補正（near-field correction）と呼ばれる。また，高周波数域から低周波数域に変化するのに応じて，ファーフィールドからニアフィールドに移行する中間のゾーンを本報告書では，トランジション（遷移）フィールドとよぶ。これらの補正方法について次項より述べる。

2. ニアフィールド及びトランジションフィールド補正計算

ニアフィールドの補正計算は，フェニックス社（カナダ）によって開発された手法を用いた。その補正法の概要について以下に説明する。

前項で述べたように，CSAMT法で，平面波仮定が成立する領域の電流ダイポールからの距離は次式で定義される。

$$Lf \rangle 3 \times \text{skin depth} \fallingdotseq 1509\sqrt{\rho/f} \quad \cdots\cdots (3)$$

調査地において，電流ダイポールと受信機との間の距離がLfより小さい場合，測定域は実際には平面波仮定が成立しない。この地域を通常ニアフィールド（near-field）と呼び，ニアフィールドで測定した比抵抗値は，現実の値より大きく出る。ニアフィールドにおける見掛比抵抗曲線の特徴は，その傾きが45°となり，2^n の周波数においてnの値が小さくなるにつれ，見掛比抵抗値が倍々と増加する傾向をもつことである。また，ファーフィールドとニアフィールドの中間部は，トランジションフィールド（transition field）と呼ぶ。Fig.A.2.2にこれらの3つのフィールドを示した参考図を示す。補正を必要とするのは，ニアフィールド及びトランジションフィールドであり，図に示すように電流ダイポールと受信機の距離が大きい（図中波線の曲線）ほど平面波仮定の成立するファーフィールドは広範囲の周波数帯にわたって存在する。

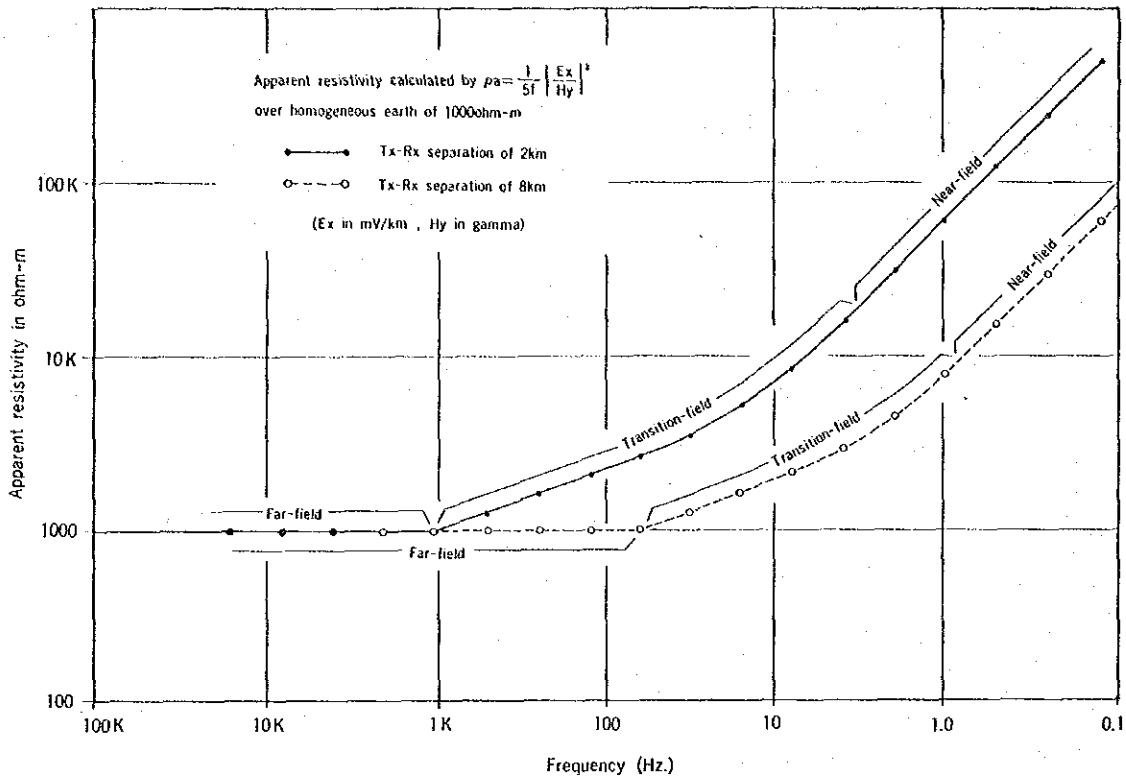


Fig. A.2.2 Apparent resistivity vs frequency calculated by Cagniard equation over homogeneous earth of 1,000 ohm-m

(1) ニアフィールド補正

ニアフィールド補正は，次の式を基本とする。

$$\rho a = K(r) \cdot r \cdot \left| \frac{Ex}{Hy} \right| \quad \cdots\cdots (4)$$

ここでrは，電流ダイポールと受信機との距離(Km)であり，K(r)はrを変数とするニアフィールド補正係数である。Ex，Hyは電場，磁場の強さであり，単位はそれぞれmV/Km及びgammaである。Table A. 2. 3には，均質大地におけるrと大地の比抵抗Kをファクターとする補正係数K(r)の例を示す。また，Fig. A. 2. 3には，ニア・フィールドの補正式(1－4)に基づく見掛比抵抗曲線を示す。図に示すように(1－4)式による見掛比抵抗値は，前述Fig. A. 2. 2の場合とは逆に，ニアフィールドの領域で大地の比抵抗と等しい値を与えることがわかる。このことは，ファーフィールドにおいてはCagniardの式を用い，ニアフィールドにおいては，ニアフィールドの補正式を用いて計算すれば，2つの領域は正しい比抵抗値を得ることができることを意味している。本調査結果においても，ニアフ

ィールド領域における補正は，本手法を適用した。

Table A.2.3 K(r) value for near-field apparent resistivity formula

$\rho a = K(r) \cdot r \cdot \left| \frac{Ex}{Hy} \right|$ r : Tx-Rx distance in km

r (km)	K 1ohm-m	K 10ohm-m	K 100ohm-m	K 1000ohm-m	K 10000ohm-m	K average
.5	2.528	2.523	2.527	2.524	2.523	2.52
1.0	1.409	1.406	1.407	1.406	1.405	1.41
1.5	1.046	1.048	1.049	1.048	1.047	1.05
2.0		.890	.890	.889	.889	.889
2.5		.806	.805	.805	.805	.805
3.0		.755	.755	.756	.755	.755
3.5		.726	.724	.724	.724	.724
4.0			.702	.703	.702	.702
5.0			.676	.676	.676	.676
6.0			.661	.661	.661	.661
8.0			.646	.646	.646	.646
10.0	frequency is too low to		.642	.642	.642	.642
12.0	achieve good accuracy			.636	.636	.636
14.0	in field calcuration			.635	.635	.635
17.0	for near-field situation			.635	.634	.634
20.0					.633	.633

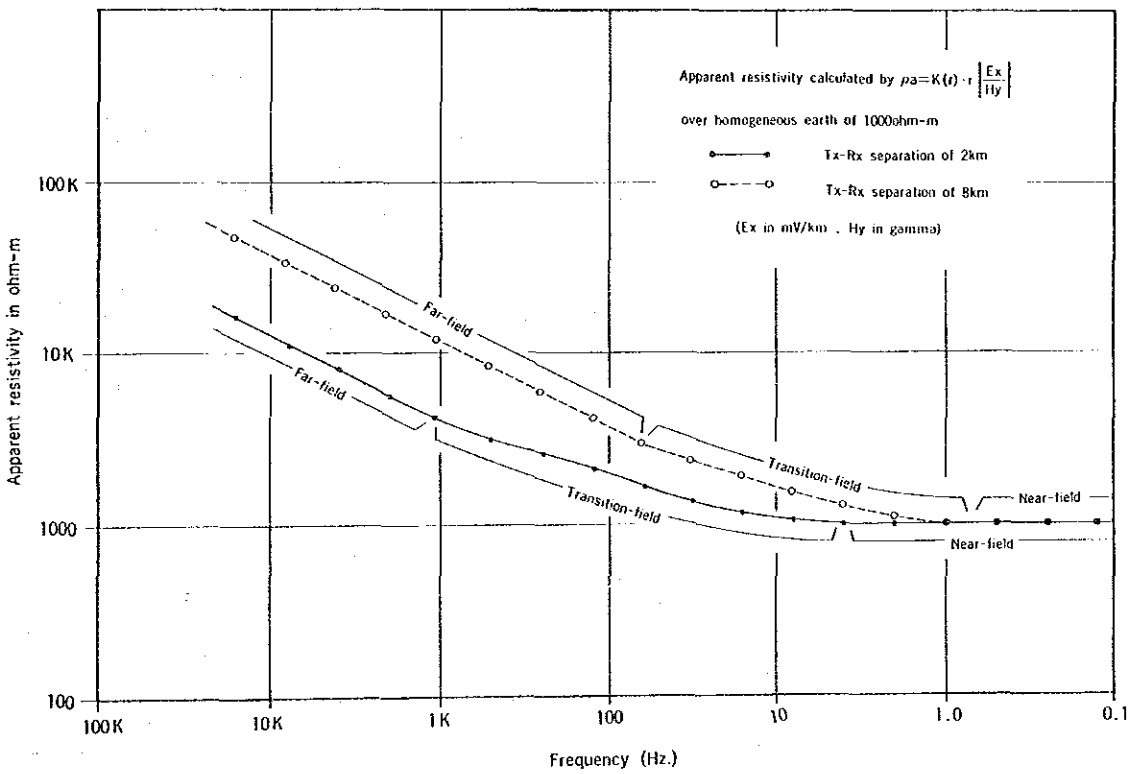


Fig. A.2.3 Apparent resistivity vs frequency calculated using "near-field" equation over homogeneous earth of 1,000 ohm

(2) トランジションフィールド補正

トランジションフィールドにおける補正は，ニアフィールド補正に比較すると複雑である。本領域については，以下に述べるトランジショントライアングル法によって補正を行った。Fig. A. 2. 4に，100，1000及び10000 ohm-mの均質大地におけるCagniardの式及びニア・フィールドの補正式によってつくられるトランジショントライアングルの例を示す。このトランジショントライアングルは，Cagniardの式とニアフィールドの補正式及び実際の大地を構成する比抵抗のライン（対数軸の横軸）によって囲まれた三角形の領域を意味する。このトランジショントライアングルは，電流ダイポールと受信機の距離が一定の場合，大地の比抵抗が変化しても殆んど同じ形状を示す。

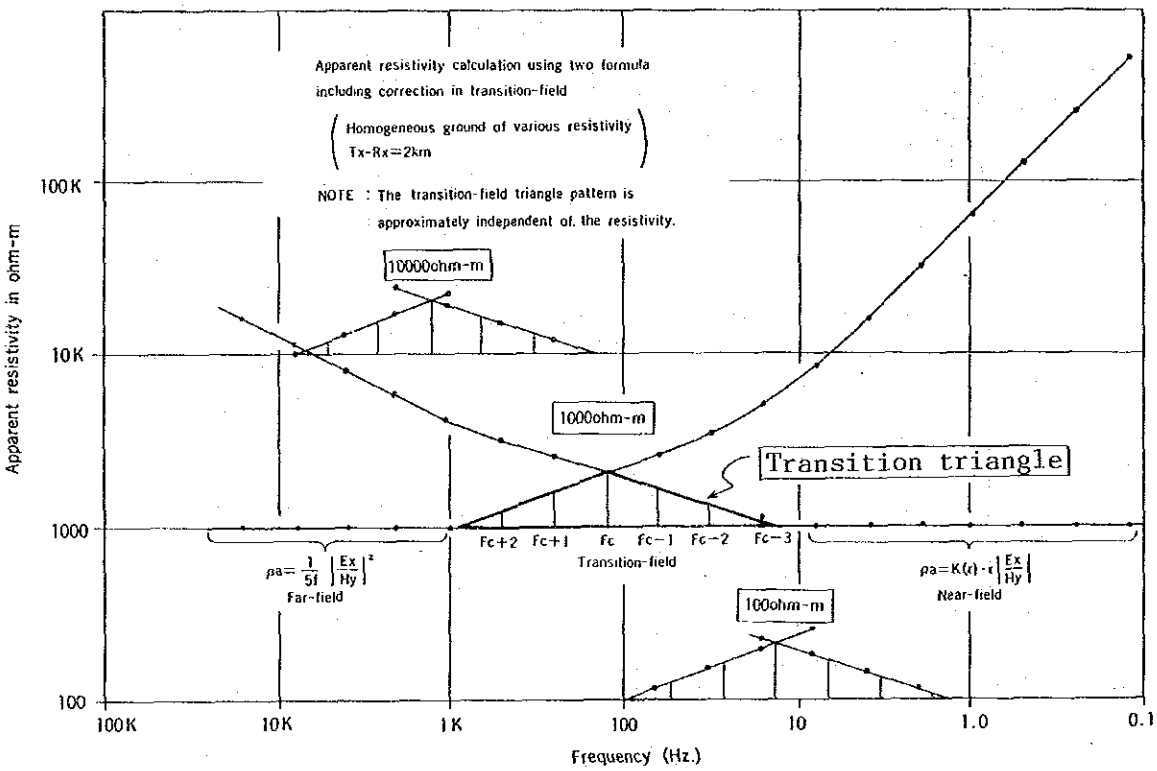
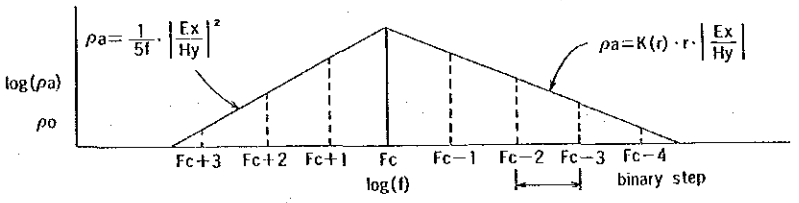


Fig. A.2.4 Homogeneous earth apparent resistivity curves.
The Cagniard equation is used for the far field;
"near-field" equation for near field data; and
the transition triangle method to calculate resistivity
in the transition zone.

そのため，この領域の補正は，電流ダイポールと受信機の距離に対する関数として定義づけられる。この関数を，トランジショントライアングルファクター（Transition Triangle Factor）と呼び，これらの値を示したものをTable A.2.4に示す。図中のFcは，Cagniardの式とニアフィールドの補正式が交差する対数目盛りにおける周波数の値であり，Fc+nは，Fcからの2^nステップの周波数の値を示す。すなわち，調査地域で測定した値（Ex，Hy）を用いて，Cagniardの式とニアフィールドにおける補正式による曲線を作成し，それらの交点部からトランジショントライアングルの頂点が得られれば，トランジショントライアングルファクターを用いて，トランジションフィールドの補正を施すことができる。

調査データは，以上のニアフィールド及びトランジションフィールドの補正を施し，MT探査におけるサウンディング曲線に近似させ解析を行った。

Table A.2.4 Transition triangle factor for various transmitter-receiver distance and resistivity



Tx-Rx	ρa / ρo Fc+5 Fc+4 Fc+3 Fc+2 Fc+1 Fc Fc−1 Fc−2 Fc−3 Fc−4 Fc−5	resistivity ρo
.5km	1.25 1.7 2.35 3.3 4.4 3.2 2.3 1.7 1.3	100 ohm-m
	1.25 1.7 2.3 3.2 4.3 3.2 2.4 1.75 1.3	1000
	1.3 1.75 2.35 3.3 4.3 3.2 2.35 1.75 1.3	10000
	.74 .74	slope
1.0km	1.2 1.6 2.15 2.85 2.2 1.73 1.35 1.04	1 ohm-m
	1.15 1.6 2.2 2.9 2.25 1.75 1.35 1.05	10
	1.2 1.6 2.15 2.8 2.2 1.7 1.3 1.0	100
	1.2 1.6 2.2 2.85 2.2 1.75 1.35 1.03	1000
	1.2 1.65 2.2 2.85 2.2 1.75 1.35 1.04	10000
	.76 .77	slope
2.0km	1.2 1.6 2.1 1.65 1.3	100 ohm-m
	1.3 1.65 2.1 1.55 1.2	1000
	1.2 1.6 2.1 1.6 1.3	10000
	.77 .77	slope
8.0km	1.3 1.75 1.35 1.15	100 ohm-m
	1.3 1.75 1.4 1.15	1000
	1.35 1.75 1.45 1.15	10000
	.78 .80	slope
20.km	1.35 1.75 1.4 1.15	100 ohm-m
	1.35 1.75 1.45 1.2	1000
	1.35 1.75 1.45 1.15	10000
	.78 .80	slope

Tx-Rx in km	.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	4.0	5.0	6.0	8.0	10.0	13.0	16.0	20.0
Interporated (ρa/ρo) at Fc	4.4	2.9	2.4	2.1	2.0	1.9	1.8	1.78	1.76	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75

3. 層構造解析

大地を水平層と仮定した場合の，地磁気地電流法における地表で測定される大地のインピーダンスは次式で表わされる。

$$Z(0)=\frac{i\mu\omega}{\gamma_1}\coth[\gamma_1 h_1+\coth^{-1}\{\frac{\gamma_1}{\gamma_2}\coth(\gamma_2 h_2+\coth^{-1}[\frac{\gamma_2}{\gamma_3}\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\coth^{-1}\{\frac{\gamma_{n-2}}{\gamma_{n-1}}\coth(\gamma_{n-1}h_{n-1}+\coth^{-1}\frac{\gamma_{n-1}}{\gamma_n})\}\cdots]))]$$

(5)

ただし，　Zo ：　n層の多層構造モデルのインピーダンス

μ　：　大地の透磁率

γn　：　空間周波数（wave number，ラジアン波長の逆数）

ω　：　角周波数（angular freguency）

hn　：　層　厚

上式よりn層における各層のインピーダンスは以下のように書くことができる。

$$\left.\begin{aligned} Z_n&=\frac{\omega\mu}{\gamma_1}\coth(-i\gamma_1 h_1+\coth^{-1}\frac{\gamma_1}{\omega\mu}Z_{n-1})\\ Z_{n-1}&=\frac{\omega\mu}{\gamma_2}\coth(-i\gamma_2 h_2+\coth^{-1}\frac{\gamma_2}{\omega\mu}Z_{n-2})\\ Z_1&=\frac{\omega\mu}{\gamma_n}\end{aligned}\right\}\quad(6)$$

ここで，　$\frac{Z_n}{Z_1}=R_n$ ……（7）

を定義すると，

$$R_n=\coth\{-i\gamma_1 h_1+\coth^{-1}[\sqrt{\frac{\rho_2}{\rho_1}}\coth(-i\gamma_2 h_2+\coth^{-1}\sqrt{\frac{\rho_3}{\rho_2}}\coth[-i\gamma_3 h_2+\cdots\cdots+(\sqrt{\frac{\rho_{n-1}}{\rho_{n-2}}}\coth\{-i\gamma_{-1}h_{n-1}+\coth^{-1}\sqrt{\frac{\rho_n}{\rho_{n-1}}})\cdots]\}))]\}$$

……（8）

となる。ただし，　$\gamma n=(i\sigma_n\omega\mu)^{1/2}$ であり，　$\sigma n=\frac{1}{\rho n}$ である。

また，インピーダンスと比抵抗の間には次の関係が成立する。

$$\frac{\rho a}{\rho_1} = \frac{|Zn|^2}{|Z_1|^2} \quad \cdots\cdots (9)$$

したがって，　$\rho a = \rho_1 |Rn|^2$ …… (10)

となる。一般に地層がn層の場合は，各層の比抵抗ρiと各層の厚さhi（i＝1，2，…n）を与えれば(10)式と(8)式から見掛比抵抗曲線を計算できる。今回は，この（ρi，hi）に初期値を与え，それから得られた見掛比抵抗値と実測された見掛比抵抗値の残差の2乗和が最小となるような計算を繰り返し，最終解を得て，各地層の比抵抗値及び層厚を求めた。

A.3　流電電位法探査

A.3.1　調査測線及び測点位置

調査に必要な測点の測量は，トルコ側の技師によって行われ，それらの番号及び位置は，Table A.3.1及びFig.A.3.1に示す通りである。

Table A.3.1　測線及び測点番号

測線名	測　点　番　号	測点数
A	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8,	8
B	9, 10, 11, 12, 13	5
C	14, 15, 16, 17, 18, 19	6
D	20, 21, 22, 23, 24	5
E	25, 26, 27, 28, 29, 30, 31	7
F	32, 33, 34, 35, 36	5
G	37, 38, 39, 40, 41, 42	6
H	43, 44, 45, 46, 47	5
I	48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55	8
J	56, 57, 58, 59, 60	5
K	61, 62, 63, 64, 65, 66	6
L	67, 68, 69, 70, 71	5

測線名	測　点　番　号	測点数
M	72, 73, 74, 75, 76, 77, 78	7
N	79, 80, 81, 82, 83	5
O	84, 85, 86, 87, 88, 89	6
P	90, 91, 92, 93, 94	5
Q	95, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 102	8
R	103, 104, 105, 106, 107	5
S	108, 109, 110, 111, 112, 113,	6
T	114, 115, 116, 117, 118	5
U	119, 120, 121, 122, 123, 124, 125	7
V	126, 127, 128, 129, 130	5
W	131, 132, 133, 134, 135, 136	6
X	137, 138, 139, 140, 141	5
Y	142, 143, 144, 145, 146, 147, 148, 149,	8
Z	150, 151, 152, 153, 154	5
AA	155, 156, 157, 158, 159, 160	6
BB	161, 162, 163, 164, 165	5
CC	166, 167, 168, 169, 170, 171, 172	7
DD	173, 174, 175, 176, 177	5
EE	178, 179, 180, 181, 182, 183	6
FF	184, 185, 186, 187, 188	5

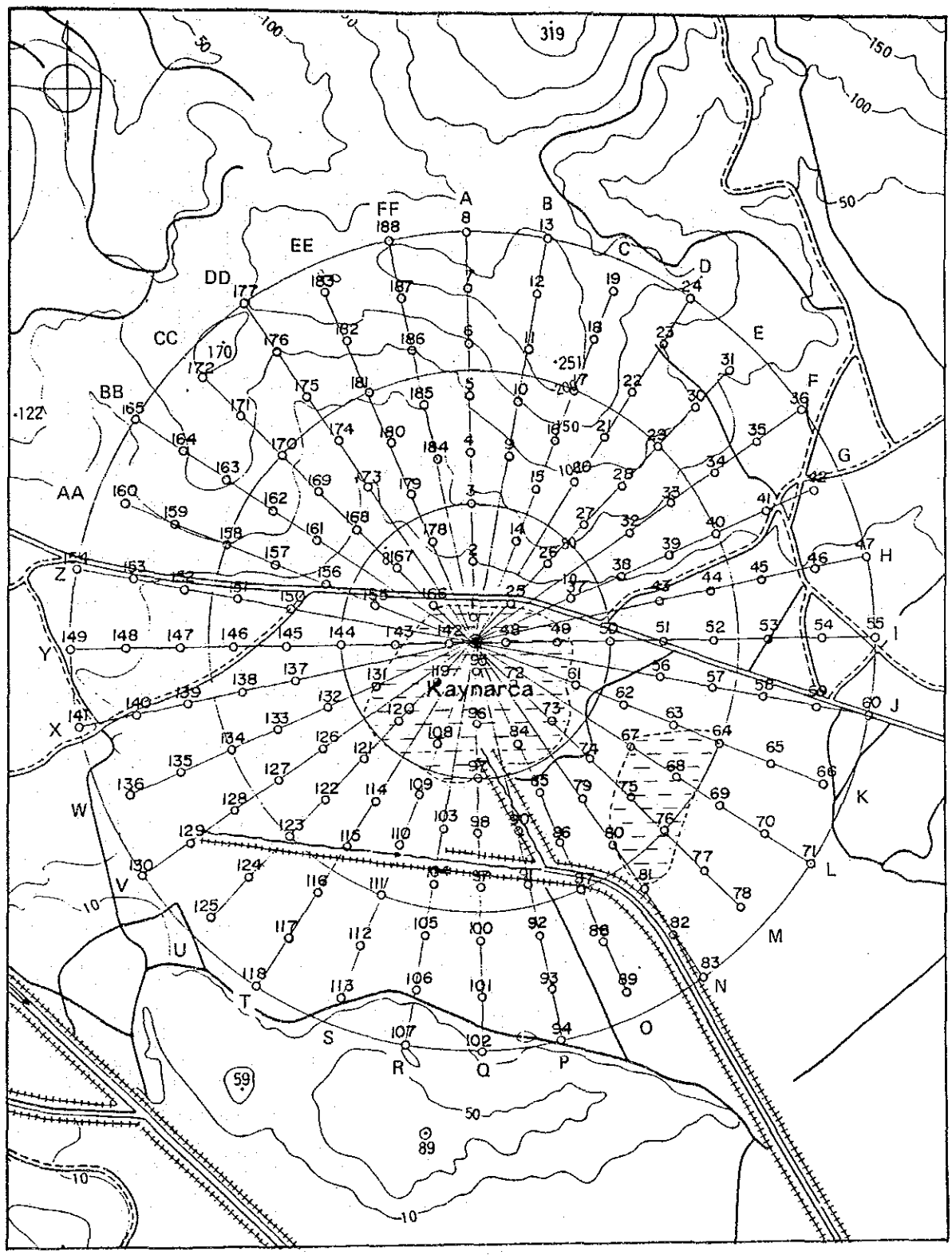


Fig. A.3.1 Survey lines and points for Mise-á-la-masse survey

A. 3. 2　測定装置

調査に使用した装置は，Table A. 3. 2に示すとおりである。

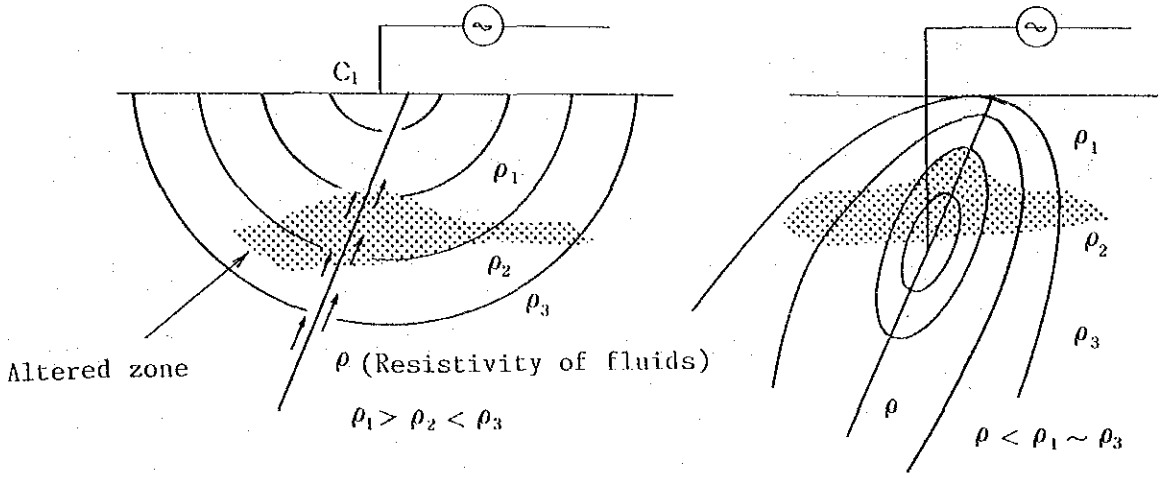
Table A. 3. 2 Specifications of the measuring equipments for Mise-á-la-masse survey

Equipment	Model	Manufacture	Specification
Transmitter			
IP transmitter	IPT-1	Phoenix Geophysics, Inc.	Output: 900 V, 10 A 3 kVA max.
Engine generator	MG-3	Phoenix Geophysics, Inc.	Output: 45 - 75 V, 3 kVA
Recorder	EPR-100A	Towa Denpa	±1 mV to 100 V
Standard resistor		Yokogawa Denki	1 ohm
Receiver			
Recorder	EPR-100A	Towa Denpa	±1 mV to 100 V
Prefilter	YI5606	Yokohama Denshi	

A. 3. 3　解析理論及びその方法

1. 流電電位法の基礎概念

流電電位法は，Fig. A. 3. 2の右側に示すように，ケーシング等を利用して，直接，深部の地熱貯留層まで電気を流す方法である。この場合，電流は，地熱貯留層の周囲の岩石の比抵抗が比較的高いこともあり，地熱貯留層沿いに，最も良く流れると考えられる。すなわち，流電電位法による電流電極によって形成される電場の形状は，シュランベルジャー法よりも，地熱貯留層の形状に大きく影響されたものとなる。そこで，この電位分布異常を地表で測定し，検出できれば，地下深部の熱構造，地熱貯留層の形状等を推定することが可能となる。また，本手法は，地熱貯留層に遭遇した坑井のみに対して有効であるとは限らず，地熱貯留層の周囲に掘削された坑井を用いて実施してもその比抵抗異常を検出することは可能である。



(1) Electrode localed at earth surface (Schlumberger method)

(2) Mise-á-la-masse method

Fig.A.3.2 Shape of the electric field around a current electrode

2. データ処理の方法

大地が等方均質で，その比抵抗ρが一様と仮定した場合のV/I の値は四極電極の式に基づき，次式で与えられる。

$$\frac{V}{I}=K\cdot F(\overline{PiCj},\ \ell)$$

但し，$K=\dfrac{\rho}{2\pi}$ （ρは一定）

$$F(\overline{PiCj},\ \ell)=\frac{1}{\ell}\log_e\frac{\overline{P_2C_1}\left(\ell+\sqrt{\ell+\overline{P_1C_1}^2}\right)}{\overline{P_1C_1}\left(\ell+\sqrt{\ell+\overline{P_2C_1}}\right)}\cdot\frac{1}{\overline{P_1C_2}}+\frac{1}{\overline{P_2C_2}}$$

$\overline{P_1C_1}$，$\overline{P_1C_2}$，$\overline{P_2C_1}$，$\overline{P_2C_2}$ は各電極間の距離

ℓはケーシングの長さ

今回，DG－1の計算に設定したℓの長さは挿入したケーシングの長さ200m及び500mである。

(1)式は，1本の垂直な線電極と1個の点電極によって形成される理論電位の式であり，左辺のV/Iは，右辺の係数Kが一定の場合，すなわち，大地の比抵抗ρが一様な場合，$F(\overline{PiCj},\ \ell)$を変数とした関数となる。すなわち，これらのF関数を計算した結果得られたコンターの形状

は，ケーシングに電流Ｉを流した場合の理論電位分布の形状を表す。

今回，$\overline{PiCj}$ の値は，地形の凹凸の影響を考慮して水平距離ではなく斜距離を用い，地形の影響を加味した。

ここで，

$$K = \frac{\rho}{2\pi} = \frac{V}{I} \Big/ F(\overline{PiCj}, \ell) \quad \cdots\cdots (2)$$

を定義すると，この式によって得られるＫ値の分布は，調査対象坑井周辺の見掛比抵抗分布と同様の分布を示す。また，このＫ値は，調査地域の地層が均質でその比抵抗 ρ が一様な場合は，各測点ともほぼ同じ値となる。しかしながら，現実には，前述のように破砕帯・変質帯等により，地下の比抵抗分布は，かなり不均質に変化しており，各測点のＫ値は，それらを反映し不規則な変化を示している。そこで，調査地域で得られたこれらのＫ値の相対的な異常を抽出するため，Ｋ値を井戸を原点として井戸からの距離ｄの関数で定義する。

$$K = F(d) \quad \cdots\cdots (3)$$

このとき，前述の（$\overline{PiCj}$, ℓ）をジオメリックファクター（Geometric Factor）とし，F_G で表わすと，そのときの電位は，次式によって与えられる。

$$\frac{V}{I} = F(d) \times F_G \quad \cdots\cdots (4)$$

電位偏差（比抵抗異常値）は観測値と(4)式を用いて次式によって求められる。

$$\Delta \frac{V}{I} = \left(\frac{V}{I}\right)_{obs.} - F(d) \times F_G \quad \cdots\cdots (5)$$

今回の調査結果に基づくＦ(d)は，二次曲線を用いた回帰計算によって求めた。

A. 4　熱流量調査

A. 4. 1　平衡温度計算

平衡温度の推定には，円柱座標系で，熱伝導を仮定した方法を用いた。今，孔内のある深度が初期の温度から掘削作業によって冷却され，掘削停止後，時間の経過とともに孔内温度が初期の温度に回復していくと考える。

式で表わすと次のようになる。

$$Tf = a + b \ln(b \times 100 + 1)$$

ただし，　Tf　：　平衡温度

Ti　：　送水停止後（hi）時間における温度（i＝1,2,3……N）

hi　：　送水停止後の時間（i＝1, 2, 3 ……N）

$$a = \bar{T} - b\bar{h}$$

$$b = Sxy / Sx$$

$$\bar{T} = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} T_i$$

$$\bar{h} = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} \ln h_i$$

$$Sx = \sum_{i=1}^{N} (\ln hi - \bar{h}$$

$$Sxy = \sum_{i=1}^{N} (\ln hi - \bar{h})(T_i - \bar{T})$$

A. 4. 2　熱流量計算

地下の高温部から低温部に向けて岩石中を伝導によって流れる熱量を地殻熱流量とよび，次式によって定義されている。

$$Q = K \cdot \frac{\partial T}{\partial Z}$$

ただし，　K　：　岩石の熱伝導率（cal／cm・sec・℃）

$\frac{\partial T}{\partial Z}$：　垂直下方向の地温勾配（℃／cm）

Q　：　地殻熱流量（cal／cm²・sec）

A.4.3　X線分析概要

X線分析結果から変質作用の性状およびその程度を把握するために，変質分帯を行うとともに石英指数という概念を用いて，変質帯の評価を行った。以下にその原理について概説する。

(1) 石英指数（Q1）

石英指数は，試料中のある鉱物の最強X線強度Im（cps）を，同じ実験条件下で測定した純粋な石英の最強X線強度Iq（cps）の百分率で表わしたものである。

$$\text{石英指数（Q1）} = \frac{Im}{Iq} \times 100$$

この値は，石英については試料中の石英の含有量（重量%）を意味し，他の鉱物については相対的な量比を意味するに過ぎない。ただし，その鉱物の純粋な最強X線強度Ip（cps）がわかれば次式によってその鉱物の含有量Cmが計算されるという便利さを持つ。

$$Cm\,(wt.\%) = QI \times \frac{Iq}{Ip}$$

したがって，石英指数を用いてX線回折実験結果を表示すれば，各試料間の定量的な比較検討が可能となる。

(2) 変質分解

変質岩は，それを構成する主要な変質鉱物の化学的あるいは，結晶化学的性質によって，Ⅰ～Ⅴ型に分類できる。

Ⅰ型　シリカ鉱物型（珪化岩）

Ⅱ型　六方硫酸塩型（明バン石型）

Ⅲ型　アルミニウム珪酸塩型（カオリン－パイロフィライト型）

Ⅳ型　層状アルミノ珪酸塩型（アルミノ粘土鉱物型）

Ⅴ型　立体網珪酸塩型（沸石－長石型）

なお，過半変質岩，半変質岩及び部分変質岩をまとめてⅥ型とし，未変質岩をⅦ型とすると，変質作用を統一的に表示することができる。

以下各タイプの特徴を略述する。

① Ⅰ型（最強変質型）

変質生成したシリカ鉱物が50%（重量）以上含まれるもので，地熱流体の通路の中心に発達する。したがって，地熱貯留層や地熱流体の上昇通路を知るうえに，最も重要な変質タイプである。このタイプは，中性～アルカリ性の条件下でも生成するが，酸性条件下での方が生成され易い。最も普遍的な出現鉱物は，クリストバライトと石英で，前者は100℃前後で

後者に転移する。

② Ⅱ型（強変質型）

明バン石やその他の六方晶系の結晶構造を有する硫酸塩の生成で特徴づけられ，硫酸酸性の条件を指示する。

またこのタイプは，地熱流体の上昇通路周辺や，地熱流体の地表への湧出付近に生成するので，地熱構造を知るうえの指針となり得る。

③ Ⅲ型（中変質型）

カオリン鉱物あるいはパイロフィライトの生成によって特徴づけられ，酸性条件を指示する。低温から高温になるにしたがって，ハロサイト→カオリナイト→カオリナイト＋パイロフィライトあるいはディッカイト→パイロフィライトのように，鉱物組合せが変化する。

④ Ⅳ型（弱変質型）

モンモリロナイト，緑泥岩，雲母及びそれらの混合層粘土鉱物を生成しているが，沸石，長石を欠くタイプである。このタイプは酸性変質帯の周辺部に生成していることが多い。

Ⅳ型の変質タイプからの熱水は，例は少ないが弱酸性～中性である。変質温度が上昇するにつれて，鉱物組合せはモンモリロナイト→緑泥岩＋雲母のように変化するが，その詳細は不明である。なお，膨潤層を含まない純粋な雲母は250℃以上の高温でなければ生成し得ないので，地熱探査の1指針となる。

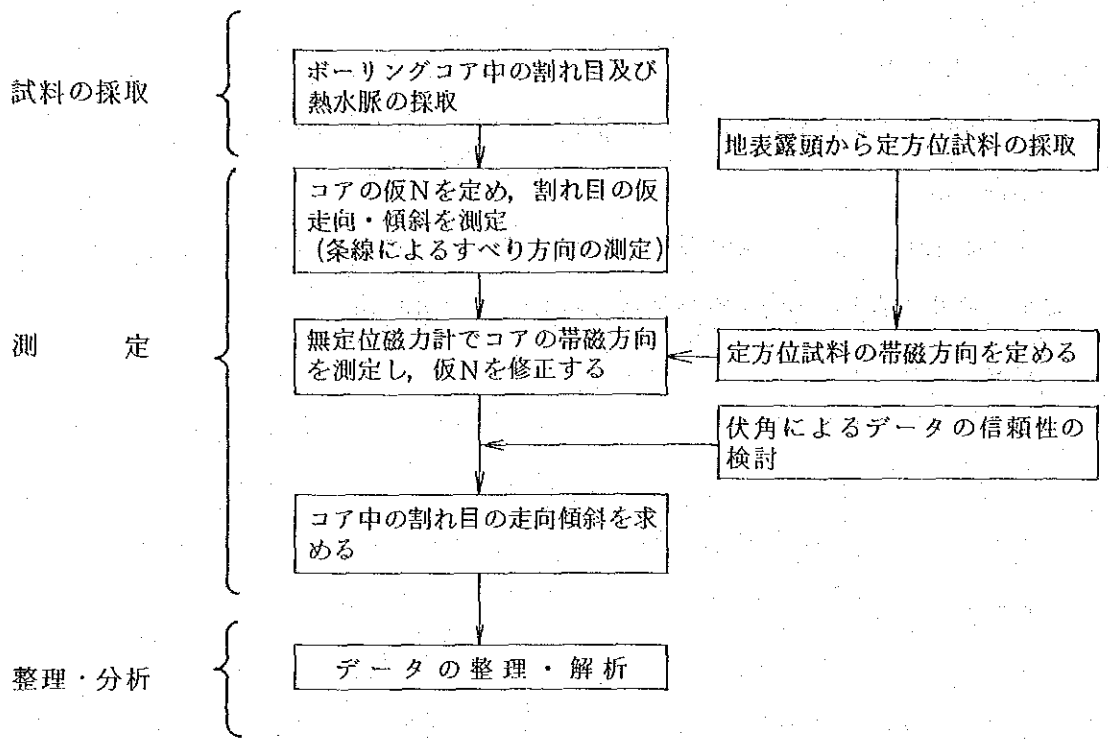
⑤ Ⅴ型（微弱変質型）

沸石あるいは長石の生成によって特徴づけられるが，ほとんど全ての場合，Ⅳ型の粘土鉱物を伴っている。このタイプは，中性～アルカリ性の条件下で生成しているもので，現在世界の多くの地熱帯で認められており興味深い。Ⅴ型の貯留層からの熱水のpHはほとんど中性～アルカリ性である。温度上昇による鉱物変化は複雑であるが，一般的には輝沸石→濁沸石→ワイラケ沸石→Na－長石→K－長石の順序である。

A.4.4 コア中の断裂測定方法

孔井掘削によって得られたコアの中に認められる断裂の走向・傾斜を求めることは，その地域の地質構造を推定し，地下における流体の通路を探る上においても重要な調査である。

今回の調査では，岩石中の自然残留磁気を利用してコアの方位を定め，断裂の走向・傾斜の測定を行った。その測定手順をコア中の断裂系調査フローに示す。



コア中の断裂系調査フロー

A. 4. 5　流体包有物均質化温度測定

(1) 概　　要

熱水脈及び晶洞から採取した鉱物中に取り込まれた流体包有物を用いて，均質化温度を測定し，鉱物生成時の地熱流体の温度を推定する。地下平衡温度や熱史などを知る上で，この流体包有物均質化温度データが重要な役割を果すことは，世界各地の地熱帯で確認されている。

流体中で鉱物が生成する時，鉱物がその流体を取り込むことがあり，これを流体包有物という。流体が取り込まれる時には，3つの状態が考えられる。これは①液体が取り込まれる。②②気体が取り込まれる。③液体と気体が取り込まれる状態である。

温度決定には，①の場合と②の場合が用いられるが，①の方が容易に決定でき，②は③を含む可能性があること，測定時の観察に多くの注意が必要であることなどから，通常①の場合を用いる。②及び③は，その鉱物が生成した時に，流体が沸騰し気液2相のみになっていたことを示しているので，液体の沸騰現象の存在を知るのに利用できる。

①の場合，すなわち取り込まれた流体が液相の場合について，最も簡単な純粋な水を考えて

以下に説明する（以下Fig. A. 4. 1参照）。

鉱物中に取り込まれた時の温度を305℃，200バールとするとその時の水の密度は0.732 g/cm³である。

流体が取り込まれた後温度低下に伴い，この水の圧力は，$\rho = 0.732$等比容積上を降下し，Th点で飽和蒸気圧曲線（290℃，74.5バール）に達する。290℃以下になると包有物中に気相（水蒸気）が出現しはじめ，さらに温度が下がると，その温度の飽和水蒸気圧に保たれながら気相は徐々にその体積を増していく。

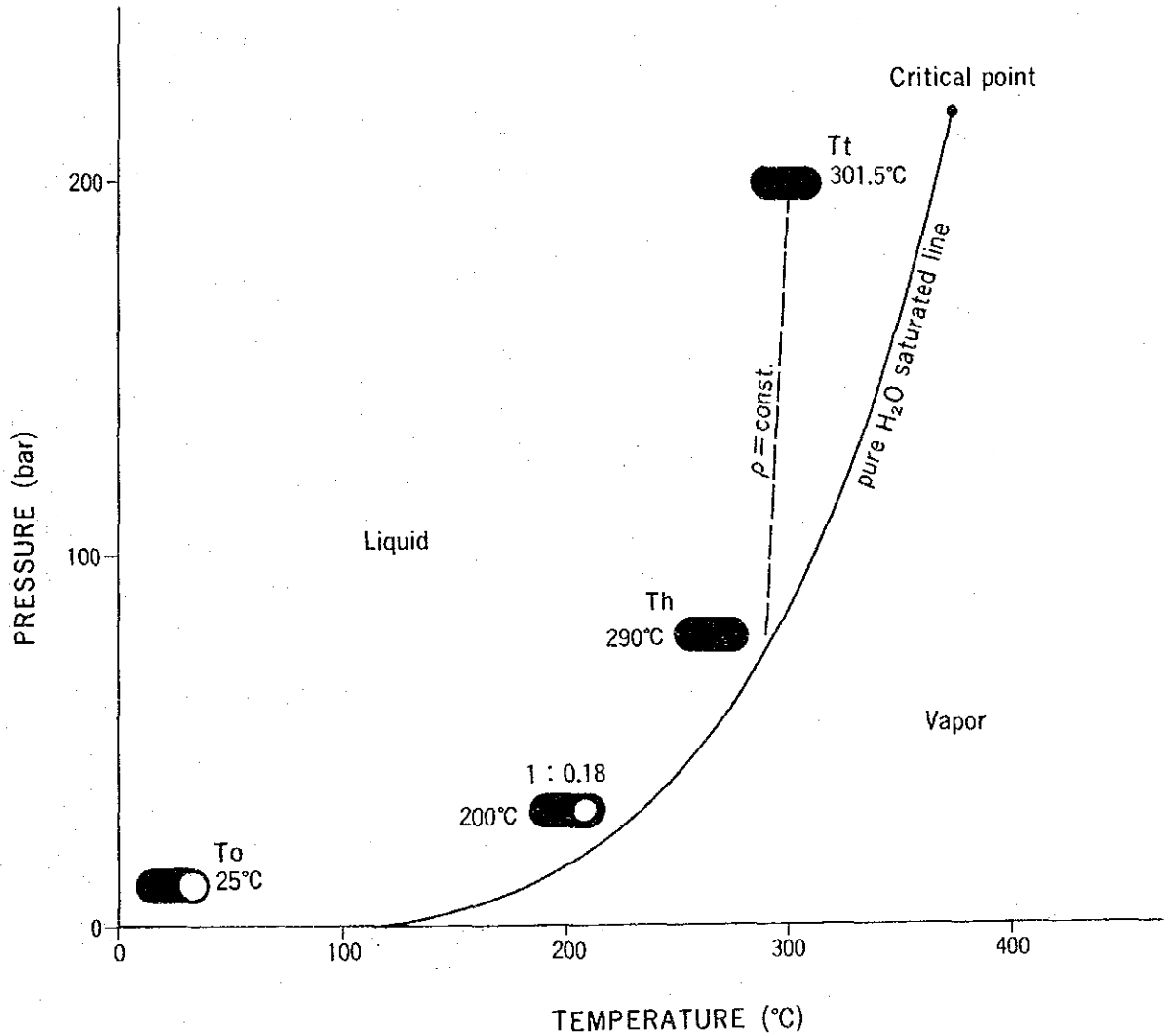


Fig. A.4.1 Principles of the fluid inclusion thermometry

Tt : trapping temperature　　Th : homogenization temperature
To : observation temperature

流体包有物温度の測定は，上記と逆に包有物を徐々に加熱していく。すると気相は次第に小さくなっていき，ついには消失し，包有物が液相になる温度を決定することができる。この温度を均質化温度（Homogenization Temperature，Fig. A. 4. 1から明らかなように，均質化温度（Th点）と流体が取り込まれた温度（Tt点）とは異なっている。この場合流体包有物生成時の流体の圧力がわかれば，正しい流体温度を計算で求めること（圧力補正）ができる。

(2) 測定機器

測定には下記の機器を使用した。

① 温度コントローラー ： FP－80（メトラー社）

② 加熱ステージ ： FP－82（メトラー社）

③ 顕微鏡 ： XTP－11（日本光学社）

A. 4. 6 コアの物性値測定方法

(1) 密 度（空隙率）

測定は2つの状態について，次の手順で実施した。

a) コアリング（φ50㎜）した試料を5～6㎝の長さに切り，それを24時間以上浸水した後，水中重量（強製湿潤状態の水中重量）を測定し，更に，試料表面の付着水を拭きとり，重量（強製湿潤状態の空中重量）を測定する。

b) 次に熱風恒温乾燥器で105℃の状態で24時間以上保持後，デシケーターの中で室温まで冷却し，重量（強制乾燥状態の空中重量）を測定する。

以上の測定結晶から各状態における密度及び空隙率を次式により求め，3桁の有効数字で表示する。

$$\text{強制乾燥状態密度} = \frac{W_3}{W_1 - W_2}$$

$$\text{強制湿潤状態密度} = \frac{W_1}{W_1 - W_2}$$

$$\text{有効空隙率} = \frac{W_1 - W_3}{W_1 - W_2} \times 100\ (\%)$$

W_1 ： 強制湿潤状態の空中重量

W_2 ： 強制湿潤状態の水中重量

W_3 ： 強制乾燥状態の空中重量

(2) 熱伝導率

測定は非定常熱線法のボックス・プローブ（Box Prove）法で実施する。測定は次の順序で行う。

a) コアリング（φ50％）した試料を長さ10cmに切断し，縦に2分割し，片方の分割面を平滑に仕上げる。

b) 測定に先立ち，装置を調整後，標準プレート（1.138 kcal/m・h・℃）の測定を行い，誤差が±3.0％以内であることを確認して試料の測定を行う。標準プレートの測定は5試料ごとに行う。

c) 測定は同一試料に対して3回行い，結果はC.G.S単位に換算（1 kcal/m・h・℃＝0.002778 cal/cm・sec・℃）として，その平均値を3桁の有効数字で表示する。

d) ボックス・プローブ法における測定式は以下のとおりである。

$$\lambda p = k \cdot \frac{I^2 \ \ell n(t_2/t_1)}{(V_2 - V_1)} - H$$

λp ：サンプルの熱伝導率（kcal/mh℃）

K，H ：プローブによって定まる定数（ヒーター線の抵抗，熱電対の熱電能，熱電導率既知の基材の熱伝導率などを含む）

I ：ヒータ線を流れる電流（A）

t_1，t_2 ：サンプリング時間

V_1，V_2 ：CA熱電対のmv出力

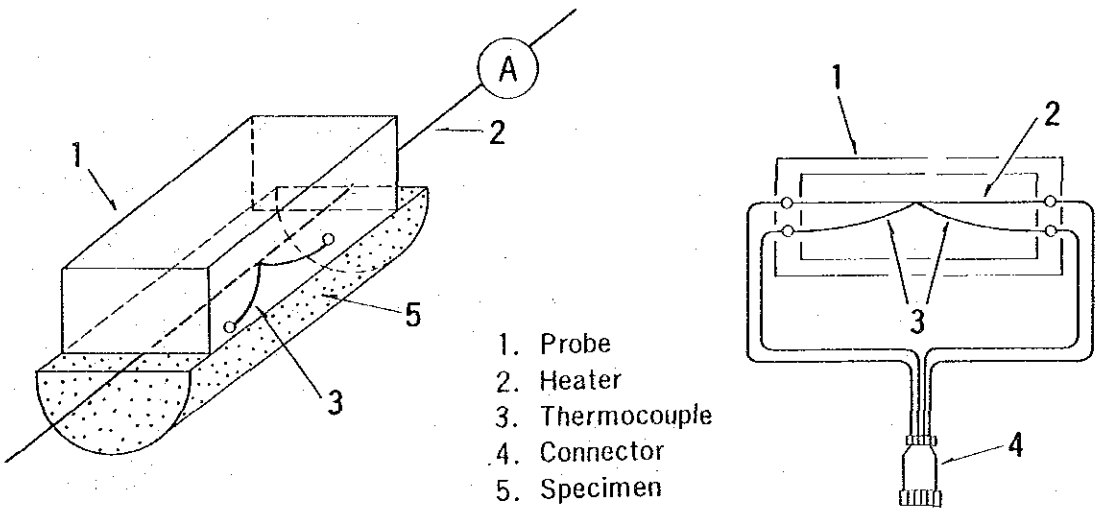
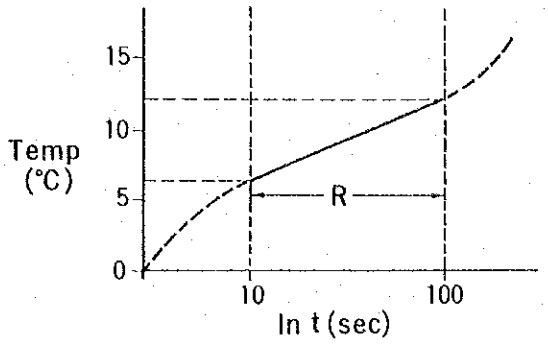


Fig.A Construction of Probe.



R : Calculation Range of Thermal Conductivity

Fig.B　Relation between ln Time and Temperature.

(3) 帯磁率

a) コアリング（φ50㎜）した試料を10㎝の長さに切断し，零位法で測定する。

b) 測定装置を十分調整した後，測定を繰返す。調整は5試料ごとに行い，次の式で結果を求める。

$$K = Q \cdot \left(\frac{Do}{D}\right)^2$$

K ： 真の帯磁率（$\times 10^{-6}$ C. G. S emu）

Q ： 見掛帯磁率（$\times 10^{-6}$ C. G. S emu）

Do： 装置基準直径（1インチ≒25.4㎜）

D ： 測定試料直径（㎜）

(4) 比抵抗

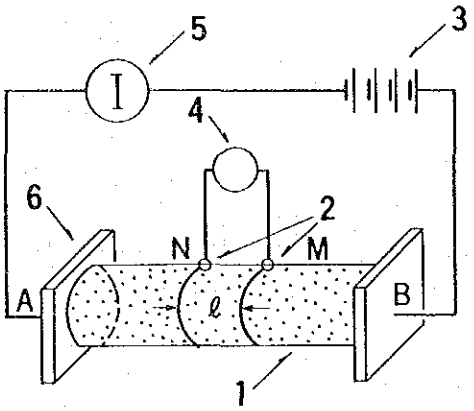
a) コアリング（φ50㎜）した試料を10㎝の長さに切断し，両端面を平行かつ平滑に仕上げる。

b) 測定は概略図の通り，強制湿潤状態で直流4極法を用いて行う。手順は次の通りである。

- 試料に表面電流を除くガード端子を取付ける。
- 試料の両端面，各端子用銅線沿いに導電性銀ペーストを塗布する。
- 試料を強制湿潤状態にする。
- 試料ホルダーに試料をセットし小型の万力で固定する。
- 試料に通電し測定端子間の電位差を，精密直流電位差計で測定する。この時の電流を電流計で読み取る。測定は試料通電後，5分後，10分後，15分後，20分後とする。（結果の値は10分後の測定値を採用する）

・結果は次の式で求める。

$$\rho = R \cdot \frac{S}{\ell} = \frac{\Delta V}{I} \cdot \frac{S}{\ell}$$



1. Specimen
2. Measuring terminal
3. Stabilized voltage power unit
4. Potentiometer
5. Ammeter
6. Vise

Fig.C Outline diagram of Resistivity Measurement.

A. 5　測温孔の検層結果

ＭＴＡが実施した熱流量測温孔ＤＧ－1, 2, 3の検層の一覧表をTable A. 5. 1に，ＤＧ－１の温度検層結果をTable A. 5. 2にまとめた。またＤＧ－１の各種検層リストをFig. A. 5. 1及びFig. A. 5. 2に示す。

Table A.5. 1 List of logging

Well No.	Logging Type	Measured Depth (m)	Date	Remarks
DG-1	Temperature Log (1)	2.50--682.50	26.5.1987	ST = 1 hour
	" (2)	5.00--682.50	27.5.1987	ST = 12 hours
	" (3)	5.00--682.50	27.5.1987	ST = 24 hours
	" (4)	7.50--682.50	28.5.1987	ST = 48 hours
	"	3.00-- 45.50	-	Drilling depth = 45.50 m
	"	2.00--100.50	-	Drilling depth = 100.20 m
	"	2.00--250.00	27.4.1987	Drilling depth = 250.00 m
	"	2.00--300.00	7.5.1987	Drilling depth = 300.00 m
	"	2.00--350.00	8.5.1987	Drilling depth = 351.00 m
	"	2.00--398.70	10.5.1987	Drilling depth = 399.00 m
	"	5.00--450.00	14.5.1987	Drilling depth = 450.00 m
	"	15.00--502.50	17.5.1987	Drilling depth = 502.80 m
	"	3.50--550.00	20.5.1987	Drilling depth = 550.40 m
	"	0.00--607.50	23.5.1987	Drilling depth = 608.50 m
	"	1.50--646.00	24.5.1987	Drilling depth = 646.50 m
	Electrical Log (1)	200.00-- 43.00	2.5.1987	
	" (2)	682.50-- 20.00	26.5.1987	
	Gamma-Ray/Neutron Log	680.00-- 2.50	-	
DG-2	Temperature Log (1)	2.00--200.00	8.5.1987	ST = 1 hour
	" (2)	0.00--201.00	9.5.1987	ST = 12 hours
	" (3)	2.00--200.00	9.5.1987	ST = 24 hours
	" (4)	2.00--200.00	10.5.1987	ST = 48 hours
	Electrical Log	200.00-- 24.00	9.5.1987	
	Gamma-Ray/Neutron Log	0.00--200.50	9.5.1987	
	Density Log	200.00-- 0.00	9.5.1987	
DG-3	Temperature Log (1)	0.00--200.50	20.4.1987	ST = 1 hour
	" (2)	0.00--200.00	21.4.1987	ST = 12 hours
	" (3)	0.00--201.00	21.4.1987	ST = 24 hours
	" (4)	0.00--200.00	22.4.1987	ST = 48 hours
	Electrical Log	200.00-- 30.00	20.4.1987	
	Gamma-Ray/Neutron Log	0.00--200.50	21.4.1987	
	Density Log	200.00-- 0.00	21.4.1987	

Table A. 5. 2 Results of temperature logging (DG-1)

Depth (m) \ Date	4.'87	27. 4.'87	7. 5.'87	8. 5.'87	10. 5.'87	12. 5.'87	14. 5.'87	17. 5.'87	20. 5.'87	23. 5.'87	24. 5.'87
10	44.2	42.3	48.0	48.0	51.5	52.0	57.5	57.0	61.2	58.0	61.0
20	50.0	46.7	50.3	59.0	56.0	57.5	65.0	62.0	66.0	58.5	66.0
30	63.2	51.0	59.5	66.0	58.0	59.0	68.5	65.2	69.5	66.5	68.5
40	66.6	53.9	58.0	63.5	59.0	61.0	72.5	65.0	71.8	70.0	68.0
50	692(45.5)	56.1	60.0	61.0	61.0	64.3	74.3	73.6	71.5	78.0	68.0
60		59.8	60.3	59.8	61.5	64.3	75.2	73.5	71.6	78.3	78.0
70		62.4	60.3	59.0	62.0	65.0	74.2	74.9	71.7	78.8	79.5
80		64.1	60.3	59.0	62.0	65.0	75.6	74.0	72.1	79.2	79.3
90		65.3	60.3	59.0	62.0	64.0	75.5	74.8	71.9	78.5	79.6
100		66.4	59.5	58.5	61.7	64.3	74.5	73.2	71.8	79.0	79.3
110			60.0	58.5	61.5	64.2	73.9	73.8	72.0	79.0	79.7
120			59.7	58.5	61.5	64.3	74.5	74.6	72.1	79.0	79.7
130			59.7	58.5	61.7	64.0	75.1	73.5	72.2	78.8	79.5
140			59.7	58.8	62.0	64.0	74.5	74.6	72.0	76.8	79.5
150			59.7	58.8	62.0	64.0	74.8	74.5	72.3	78.3	79.6
160			59.7	58.8	62.0	64.0	74.5	73.6	72.2	78.5	79.5
170			59.7	58.5	62.0	64.0	74.6	74.4	72.0	78.4	79.5
180			59.7	58.5	62.0	64.0	74.5	73.8	72.3	78.5	79.5
190			59.7	58.5	62.0	64.0	74.6	74.5	72.5	78.5	79.5
200			59.8	58.2	62.0	64.0	74.4	73.2	72.2	78.0	79.5
210			60.2	58.0	61.5	64.0	74.7	74.5	72.7	78.5	79.4
220			60.3	58.0	61.5	64.0	74.0	74.7	72.7	78.4	79.5
230			60.6	58.0	61.3	64.0	74.5	74.8	73.0	79.3	79.5
240			62.0	58.2	61.3	64.0	74.6	74.8	73.1	78.4	79.4
250			65.5	59.0	61.1	64.3	74.7	74.8	73.2	78.5	79.2
260				59.0	61.2	64.3	74.0	74.8	72.9	78.7	79.3
270				58.0	61.3	64.3	74.6	74.8	73.3	78.7	79.3
280				60.5	61.7	64.3	74.7	74.8	73.3	78.8	79.2
290				60.6	62.0	64.3	74.7	74.8	73.4	78.8	79.8
300				60.5	62.3	64.3	74.7	75.2	72.5	78.9	79.7
310					62.5	64.4	74.7	75.3	74.2	79.4	79.8
320					63.5	64.7	75.3	75.4	73.9	79.0	79.9
330					63.7	65.2	75.5	75.8	74.1	79.0	80.0
340					64.0	65.2	76.0	76.3	75.1	79.2	80.0
350					66.5	65.3	76.1	76.3	75.3	79.4	80.0
360					66.5(351.0)	65.5	76.2	76.3	74.0	79.5	80.2
370						65.7	76.3	76.3	74.9	79.5	80.4
380						65.9	76.9	76.3	75.8	79.6	80.4
390						68.2	77.0	76.3	76.2	79.7	80.5
400						70.0(399.0)	77.0	76.3	76.3	79.7	80.7
410							77.4	76.3	76.3	80.0	80.9
420							77.6	76.4	76.1	80.1	81.0
430							77.8	76.4	76.7	80.2	81.0
440							78.5	76.5	76.7	80.3	81.1
450							79.0	76.5	76.6	80.4	81.2
460								76.5	75.6	80.4	81.3
470								76.6	76.7	80.5	81.4
480								76.7	77.0	81.0	81.5
490								76.8	77.2	81.2	81.6
500								76.9	77.6	81.3	81.6
510								77.0(502.8)	78.0	81.4	81.7
520									78.4	81.6	81.8
530									77.5	81.7	82.0
540									79.8	82.0	82.0
550									82.2	82.0	82.0
560										82.3	82.1
570										82.5	82.2
580										83.0	82.4
590										83.2	82.6
600										83.5	82.7
610										83.6(608.5)	82.9
620											83.2
630											83.4
640											83.7
650											83.9(646.5)

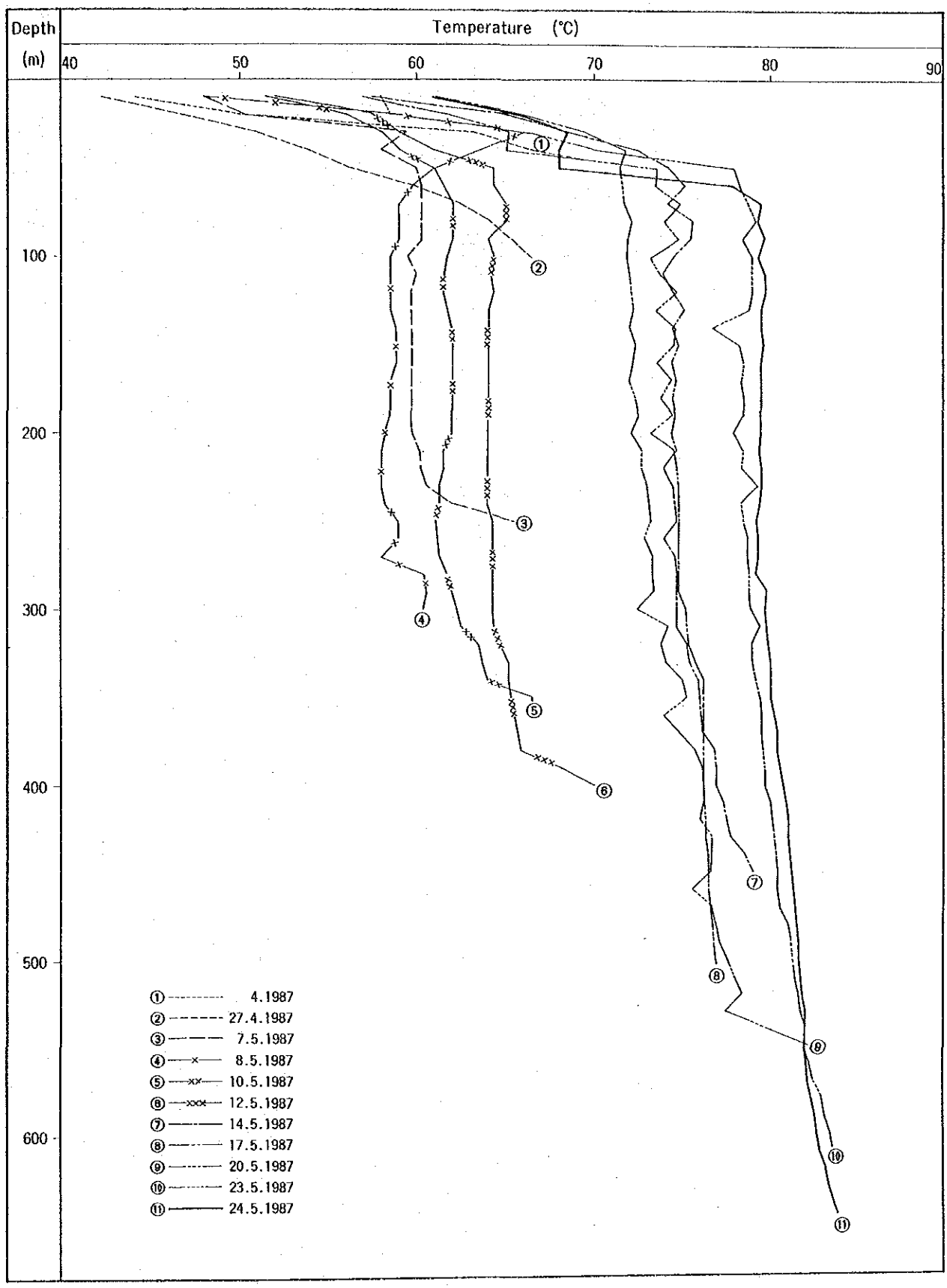


Fig. A. 5. 1 Results of temperature logging (DG−1)

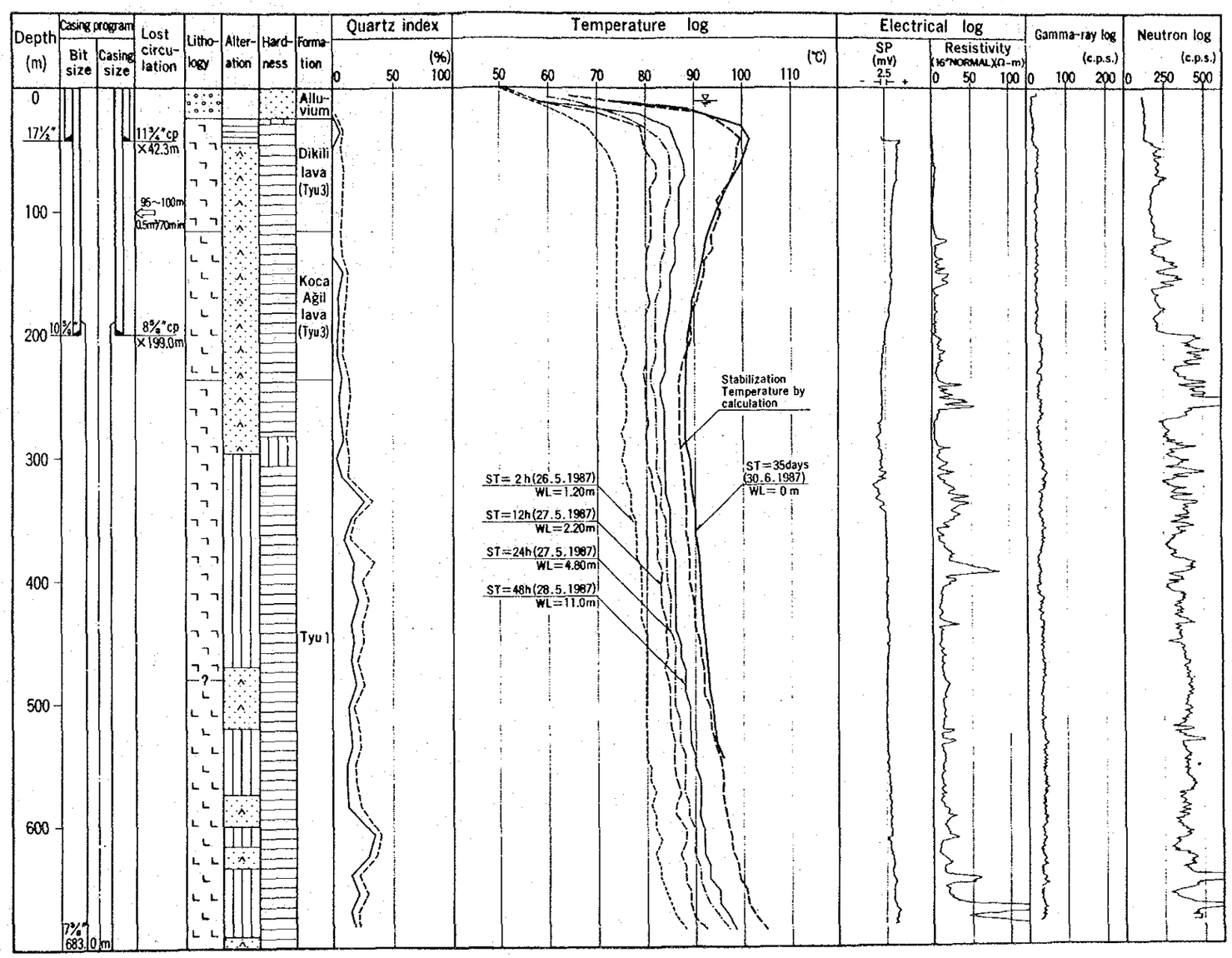


Fig. A.5.2(1) Logging column of DG-1

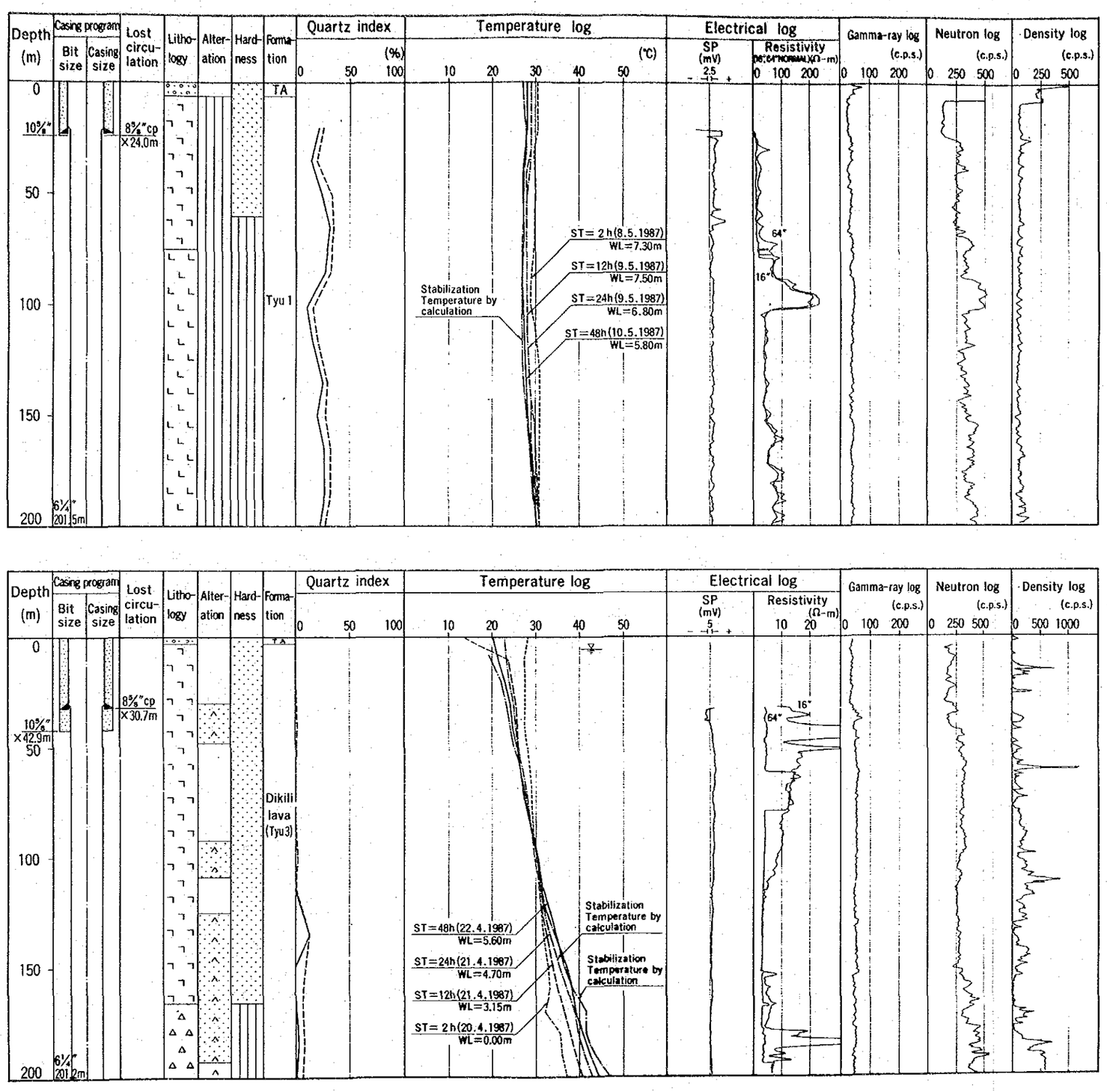


Fig.A.5.2(2) **Logging column of DG-2, DG-3**

JICA