

Na-K-Ca法で推定された180~210℃に近いものと考えられる。

形成された地熱流体は、Huai Pong断層やその派生断層にそって上昇する。上昇の過程で伝導による冷却や地下水の混入によって地熱流体の温度は低下し、一部で160℃程度となる。

地表付近にまで上昇した地熱流体は140~100℃に温度が低下し、地熱徴候地で温泉として湧出する。温泉による放熱量は、約7 MWtである (Table III 1-2)。

地熱徴候地近傍で掘さくされたGTE-2および5の温度測定結果によると (PL III. 2-2.5), 温度勾配はほぼ一定で15℃/100m程度である。温度は直線的に上昇し、伝導による熱伝達が卓越している。したがってSan Kampaeng地熱地域は、周辺地域よりも高熱流量を示す伝導型地熱系に囲まれた、比較的中の狭い断層と関連する高温の熱水対流系と考えられる。

### V-1-3 水理構造

#### 1. 熱水の化学成分

Table V.1-2, 3に、San Kampaeng地熱地域の熱水の化学成分を示す。

Table V.1-2 Chemical compositions of the hot spring Water in the San Kampaeng area

	Tem (°C)	pH	TDS	Alkalinity (CaCO <sub>3</sub> )	Acidity (CaCO <sub>3</sub> )	S	Cl	F	K	S	Si
1. Shooting at 3-7 minutes interval, cloudy	85 100	8.5 9.0	1300	366	nd	20.56	50	85	194	25	93
2. Pool-clear	93	8.95	800	410	nd	15.25	42.4	78	164	24.5	109
3. Pool-clear	93	9.0	1500	252	nd	12.18	45.4	84	165	11.5	86
4. Bubbling- clear	100	9.4	1100	324	nd	20.96	37.4	97	140	21	93
5. Mixed by stream water	100	8.5	750	286	nd	7.97	41.0	80	135	11.5	74
6. Pool-clear	99.5	8.5	700	428	nd	11.27	78	85	182	22	87
7. Seeps in stream	99.5	8.45	700	370	nd	20.09	77	80	167	23	87
8. Pool-clear	80	8.0	450	392	nd	20.09	65	78	180	22	89
9. Mixed by stream water	97	8.3	400	366	nd	6.19	34	78	151	13.5	78
10. Pool-cloudy	95	8.3	400	432	nd	19.54	62	85	134	17	106

含有量の単位：mg/l (タイ側の資料から引用)

Table V.1-3. Chemical composition of waters of hot spring areas in the San Kampaeng area (in mg/l,  $T_{NKC}$ : Na-K-Ca temperature)  
 $T_{SiO_2}$ :  $SiO_2$  temperature

	T (°C)	pH	Li	Na	K	Rb	Cs	Mg	Ca	$SiO_2$	Cl	$SO_4$	$HCO_3$	$T_{NKC}$	$T_{SiO_2}$
1	92	7.4	.32	142	12.2	.17	.22	9.83	0.19	123	25	21	292	213	149
2	98	8.2	.35	151	13.5	.21	.28	0.18	2.42	148	26	35	312	192	159
4	100	8.9	.36	155	14.5	.22	.30	0.12	0.70	150	20	40	278	207	160
5	42	8.0	.28	140	13.0	.16	.20	3.35	11.52	123	15	71	280	178	149

(タイ側資料から引用)

この分析結果によると、San Kampaengの熱水はpHが約8~9程度の弱アルカリ性、アルカリ度は約300~430 (mg/l  $CaCO_3$ )を示す。各源泉により湧出状況や地下水、河川水の混入程度が異なるため、分析値もかなり変化する。

本地域の熱水の化学組成の最も大きな特徴は、その溶存固形物総量が1,500 mg/l以下と非常に少なく、Cl<sup>-</sup>濃度が80 mg/l以下、 $SiO_2$ 濃度が120~150 mg/l程度と小さい値を示すことである。これらの値はすでに開発されている世界のどの地熱地域の熱水と比較しても少ない。

タイ北部の熱水は、組成的に互いに類似しており、主要な陽イオンがNaであり、また主要な陰イオンが $HCO_3$ と $SO_4$ の、Na- $HCO_3$ - $SO_4$ 型化学相に属する (Fig V.1-3)。熱水中の塩類濃度が低いことは、熱水の起源がマグマ性でないことを示している。

このように溶存固形物総量の少ないのは、天水が熱源の岩石中を循環する時間が短いため岩石との反応が十分に行われないうち、熱源の岩石の温度があまり高くないために岩石と水との反応が進まないためと推測される。すなわち成分によっては逆のばあいもあるが、一般に温度が高いほど岩石中の成分が溶出しやすく、とくに $SiO_2$ は温度に敏感でかなり短期間で平衡に達する。また熱源の岩石が著しく破碎されていたり多孔質であるばあいは、反応面積が大きいため岩石と水の反応が進むと予想される。したがってSan Kampaeng地熱地域の地熱流体は、時間的、温度的および反応面積的にみて岩石と化学成分のやりとりを十分に行わなかったとみられる。

いずれにしてもマグマからの火山ガスや高温の水蒸気が、直接に源となって地熱流体を形成している可能性は小さい。

次の化学組成上の大きな特徴は、アメリカのロスアラモス研究所で進められている高温岩体研究で、花崗岩中を人工的に循環させたときに得られる熱水の化学組成と比較的よく似ていることである。この事実は、地下深部に位置する花崗岩体中を天水起源の地下水が循環することによって地熱流体が形成されたことを推測させる。

このようにして形成された地熱流体は、上昇して地表に流出するまでの過程で、さまざまな

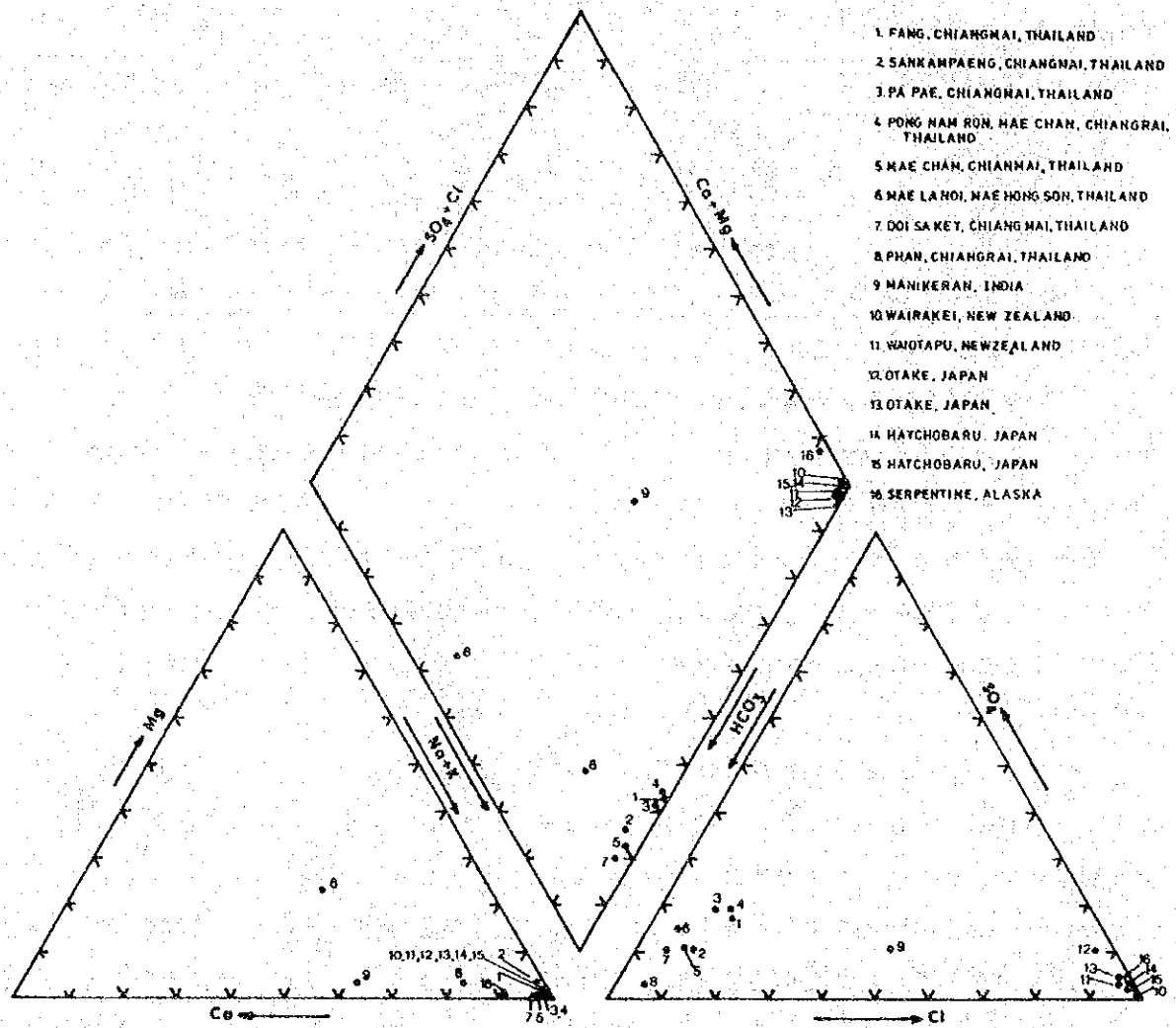


Fig V.1-3 Hydrochemical characteristics of thermal waters from Northern Thailand and other parts of the world

(タイ側資料から引用)

程度に地表水の混入を受けていると考えられるが、その根拠は以下の通りである。

- (1)  $\text{SiO}_2$ 法で求めた地下温度は約 $160^\circ\text{C}$ であり、 $\text{Na-K-Ca}$ 法のそれは約 $200^\circ\text{C}$ を示し、約 $40^\circ\text{C}$ の差がある。これは $\text{Na-K-Ca}$ 法の地下温度はより深部の温度を指示するのに対して、 $\text{SiO}_2$ 法による地下温度はより浅部の地下水混入後の温度を示すためと考えられる。
- (2) 本地域の熱水は、他地域の熱水に比べて比較的 $\text{Mg}$ に富む。また各源泉を比較すると、 $\text{Mg}$ の含有量は泉温と逆相関する傾向をもつ。一般に浅部地下水が $\text{Mg}$ に富むことから考えて、本地域の熱水は浅部地下水が混入している可能性が高い。
- (3) Fig V.1-4に示すように、熱水の $\text{Cl}$ 濃度が季節変動を示し、雨季の終りの8~9月頃に急激な上昇を示す。これは雨季に多い降水が地下に浸透して熱水と混入するため $\text{Cl}$

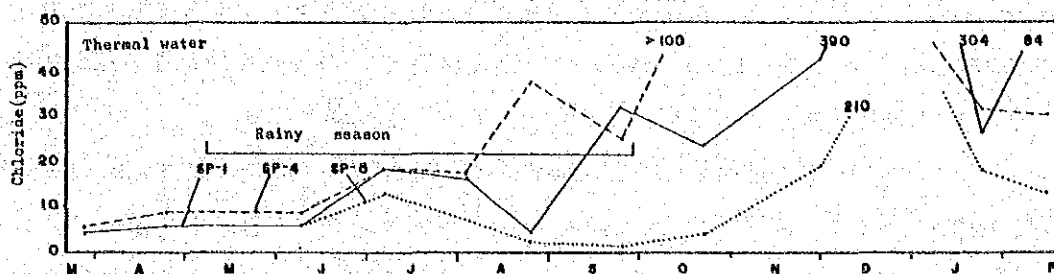


Fig V.1-4 Variation of Chloride Concentrations with Time in San Kamphaeng Area (タイ側資料から引用)

濃度が低くなると解釈される。あるいは雨季の降水が3~4ヶ月かかって地下の熱水貯溜層の周辺に達し、それに対して圧力を加えるために乾季に地下深部からの高Cl濃度熱水が湧出するとも考えられる。多くの温泉において、降水や河川の水量の変化が温泉の湧出量および温度の変化をもたらす例が知られている。

## 2. 変質帯

前述のように、地熱変質によってできる鉱物の組みあわせは、岩石の化学組成にも依存するが主として熱水の温度と化学組成によって規制される。したがって変質鉱物とその組合せを調べることによって、熱水の化学組成についてある程度推定することができる。

本地域の変質帯は中心から周辺に向ってアルナイト帯→ハロイサイト帯への累帯構造を呈するが、この順に熱水は高温から低温に変化すると同時に液性も酸性あるいは硫酸酸性から中性ないし弱酸性に変化していったものと推察される。

今回の変質帯調査は地熱徴候地を中心として行われ、変質帯の分布は現在の地熱徴候地とほぼ一致することが判明した。しかし詳細にみると両者の分布はややくいちがいが認められ、10m深地温分布の中心(地熱徴候地の中心)は130℃以上を記録したS-13井であるのに対して、変質帯の中心と考えられるアルナイト帯は地熱調査井GTE-2の南方約30m以南である。

S-13井とGTE-2井の距離は約200mあるので、変質帯の分布の中心と10m深地温の中心は少なくとも200m以上離れているとみられる。また分布の方向性も両者の間でいくぶん異り、変質帯の延びの方向はWNW-ESE性であるのに対して、10m深地温分布の形はほぼNW-SSE性を示す。

両者の分布がずれていることは、地熱流体の地表付近での活動の中心が時代と共に北方に移動したことを意味している。この移動の原因は、粘土化を主とする変質作用によって割れ目や空隙が充てん(自閉作用 Self Sealing)されたために生じたと解釈される。

変質帯の中心が、GTE-2井の南方にあるという事実は重要な意味を持っている。すなわ

ち、深部からの地熱流体の供給がより南方から行われた可能性を示すからである。以上の推論からHuai Pong断層から派生し Ban Pong NokをとるNW-SE性断層が地熱流体の上昇に影響を与えているものと推測される。

高島・河田(1981)の変質帯調査によると、変質帯は現在の温泉湧出地から南方に約1km連続していることが報告されている。変質鉱物は石英、セリサイト、カオリン、緑泥石、モンモリロナイト、ハロイサイト、硬石こう、石こう、アルナイトおよび鉄明ばん石で、地熱徴候地付近の変質鉱物とほぼ一致する。したがって、今回の調査で明らかになった変質帯の分布は、その分布と変質鉱物の種類から、高島・河田(1981)が示したNNW-SSE性のより大きな変質帯と考えられる。

また今回の変質帯調査により、地熱徴候地の北方のBan Pong Hom付近に、カオリン変質帯の存在が認められた。この変質帯が、地熱徴候地から南方に広がる変質帯と連続しているか、あるいは時代的に同じかどうかは明らかにし得なかった。

変質帯の分布は、地質構造的にみてHuai Pong断層とBan Mae Khu ha断層にはさまれた地域にあり、かつNW-SE性派生断層による構造規制を受けていると考えられる。

### 3. 水理調査

本地域の水理調査は、タイ側によって行われた。その結果によると、降水から地下水への潜在供給量は $150 \times 10^4 \text{ kg/day/km}^2$ であり、また地熱開発に利用可能な表流水は充分である。

降水から地下水への供給量を見積ることは、地熱貯溜層の規模や流体採取量を推定するにあたって重要である。この種の水理調査は、Fan地熱地域で実施されたが、San Kampaeng地熱地域と状況が類似しているので参考になると思われる。

Fan地域の熱水の同位体分析(D/H,  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ )の結果、熱水の起源は天水であり、供給地の標高は地熱地域に比べて250-300m高いことが推測された。またFan地域の天水供給地域は花崗岩からなり、全般に孔隙率および浸透率が小さく、流出量は総有効降水量の90%に達すると見積られた。気象学的データは、Chiang Rai気象ステーションの観測にもとづくが、年平均降水量は1,776mm/年であり、Penmanの経験式による蒸発散量は1,173mm/年である。地熱地域への供給有効な天水の量は次式によって求められる。

$$Q = 0.10 \times (P - E) \times A \times 5.59 \times 10^6$$

ここで、Q：供給量 (gallons/day)

A：地域面積 (km<sup>2</sup>)

P：降水量 (inches/day)

E：蒸発散量 (inch/day)

この式でもとめられた Fan 地熱地域の供給量は  $365 \times 10^3$  gallons/day/km<sup>2</sup> である。

これに対して、詳しい調査データは不明であるが、San Kampaeng 地熱地域の天水供給量は  $150 \times 10^4$  kg/day/km<sup>2</sup> と見積られている。したがってすでに開発が行われている地熱地域と比べたばあい、本地域の天水供給量は、十分大きいと考えることができる。

次に本地域の水理構造を、地質的に検討する。本地域の地質層序は、下位から石炭系の Mae Tha 層、二畳系の Kiu Lom 層（下部・中部・上部）および三畳紀の花崗岩類から構成される。一般に古生層および花崗岩自体は、空隙率は数%以下、透水量係数は  $10^{-15}$  m<sup>3</sup> オーダーである。したがって割れ目が発達しないばあいは、本地域をつくる岩石は、きわめて熱水の保水性（貯溜性）および透水性に乏しいといえる。すでに地熱開発が行われているイタリアの Larderello、アメリカ合衆国の Geysers および日本の濁川などにおいて、主要な蒸気生産層は古生代および中生代の岩石からなる。これらの岩石はいずれも地質的に破碎の進んだ地層で、とくに断層が流体の通路ないし貯溜部として重要であることが知られている。

本地域を構成する各地層の水理学的性質の概要は、以下の通りである。

Mae Tha 層は石英質の塊状砂岩からなり、節理等の割れ目は少なく、一部に発達している構造性節理は石英脈で充てんされているばあいが多いので、全体的な透水性は小さいと予想される。Kiu Lom 層下部は砂岩、頁岩、シルト岩、石灰岩、チャートなどの各種の堆積岩の互層から構成され、Mae Tha 層や Kiu Lom 層中・上部に比較して節理やへき開が発達し割れ目に富んでいる。とくにチャート層、泥質岩（頁岩、シルト岩）層が細片化していることが野外調査から認められる。したがってこれらの既存割れ目が開口性のばあい、Kiu Lom 層下部は透水性が大きいと推測される。Kiu Lom 層中・上部は、一部に石灰岩、頁岩層を挟むが玄武岩類（溶岩、火山砕屑岩）を主体とする。本層中の割れ目は、風化や変質によりゆ着性のものが多いため、地層全体としては難透水性と思われる。

したがって、大まかな層序的観点から次のような水理地質区分が可能である (Table V.1-4)。

Table V.1-4 San Kampaeng 地域の水理地質層序

Kiu Lom 層中・上部 (玄武岩類) .....	難透水層
~~~~~ (整合) ~~~~~	
(割れ目が開放性のばあい)	
Kiu Lom 層下部 (チャート, シルト岩, 砂岩, 石灰岩等) .....	透水層
~~~~~ (不整合) ~~~~~	
Mae Tha 層 (砂岩)	難透水層

この区分は、一般的な地熱系における帽岩（難透水性加圧層）-貯溜層（透水性帯水層）-不透水性基盤岩のシステムと一致しているように見える。しかし San Kampaeng 地熱地域の地質的構造的な特性から、水平方向に大きく広がる帽岩や貯溜層は考えがたい。すなわち、断層面（おおよそ  $80\sim 90^\circ$ ）や地層面（ $60\sim 80^\circ$  のものが多い）がかなり高角度であることから断層に伴われる破砕帯や地層に特有な割れ目ゾーンも急傾斜であると推定される。このような場合、地熱流体の浮力が鉛直上方に働らくことや、通路としての割れ目ゾーンが高角度であること（ $60\sim 90^\circ$ ）から、地熱流体の運動および貯溜は垂直方向が主であると予測される。したがって、Kiu Lom 層中・上部の玄武岩類が帽岩として働いていて、その下に広範囲に地熱流体が貯溜されている可能性は小さいと思われる。

#### 4. 熱水の循環時間

地表水が地下に浸透し加熱されてできた熱水が浸透してからどれだけの年月を経ているかを知る方法として、トリチウムの濃度を測定する方法がある。San Kampaeng 地熱地域の熱水トリチウム分析値は、4.5 および 9.0 TU ( $T/U \times 10^{18}$ ) である。トリチウムを含む熱水の年代は、新しい地下水の混入がないばあい一般に次のように考えられる。

- (1) 3 TU 以下の水は、ほぼ 30 年より古い。
- (2) 3 ~ 20 TU の水は、1952 ~ 1962 年の水爆実験による高濃度のトリチウムを含む。
- (3) 20 TU 以上の水は、最近の高濃度トリチウムを含む。

したがって、San Kampaeng 地熱地域の熱水は、30 年前に近いやや古い年代のものといえる。しかし地表に湧出している熱水には新しい地下水の混入が予想されており、この影響を考慮すると深部へ循環して再湧出した熱水の年代は 30 年以上と推定される。

#### 5. 地下水流動系

地熱系（地熱貯溜層を含む）はその周辺を通常の地下水流動系にとりまかれており、熱や水のやりとりあるいは圧力の相互作用を通して影響をうけていると考えられる。すなわち地下水流動系は、地熱貯溜層に天水を供給したり圧力をおよぼしたり貯溜層に浸入して熱をうばうものとして重要である。

地下水の流れは帯水層中の水平流れのみでなく、複雑で立体的な地下水流動系として捉えられている。

Toth の地下水流動系モデルは、等方、等質の地層断面を考え、それに広域的な地形の変化と、局地的な地形変化を考えに入れて、流動系のパターンを定常流として図示したものである (Fig V.1-5.)。

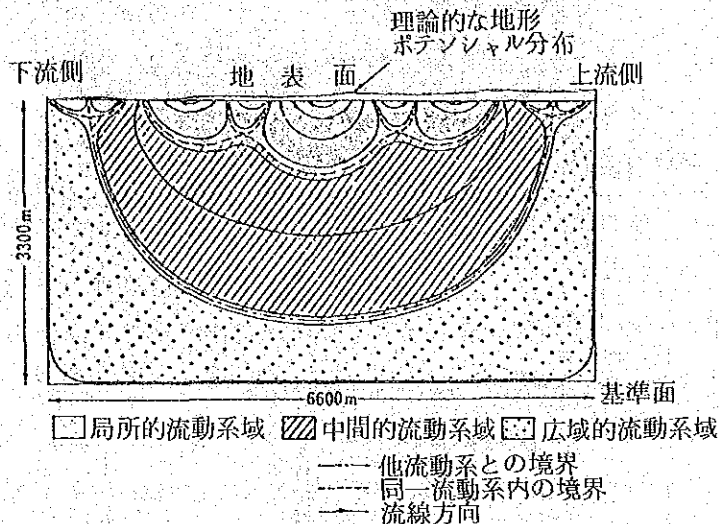


Fig V.1-5 単純な地下水盆地断面における理論的流動系のパターン

この図によると、等方、等質の単純な地層断面であっても、地下水の流動は複雑で、いくつかの地域的な流動系に区分される。すなわち、地形の変化を反映する位置のポテンシャルによって、広域的なものから局所的なものへと、その規模に応じた、つぎの3段階の流動系に区分される。

- (1) 広域流動系：地下水盆地全域にわたって大地的に、地下水盆地の高所にある流出区にむかう大規模な流れ。
- (2) 中間的流動系：広域流動系を規定する地形変化よりも、やや小規模な地形の高低差によって生ずる中規模な地下水の流れ。
- (3) 局所的流動系：局所的な地形の高低差によって生ずる小規模な地下水の流れ。

地形的にみれば、Doi Luang 隆起帯から Chiang Mai 盆地へ、Doi Luang 隆起帯と Mae Tha 隆起帯から Ban Pong Hom 沈降帯へ向う大規模な流れが、広域流動系と考えられる。これに対して、Ban Pong Hom 沈降帯を北流する Huai Pong 川流域と南流する Huai Wai 川流域の地形区分によって規定されるのが中間流動系と考えられる。また地熱徴候地を流れる Huai Pong 川の右岸支沢の流域が、局所流動系に対応するといえる。局所流動系は、比較的浅い沖積層や古生層の風化帯中の流れと考えられ、浅部の温泉帯水層の流れに影響を与え、地温分布や温泉湧出を規制していると考えられる。

本地域において地熱流体の上昇・集積にとって、中間流動系が重要な役割を演じていると推定される。すなわち、Huai Pong 川流域の中間流動系の主要な流れは上流から下流へ（南→北）であると思われる。Huai Pong 断層から派生する NW-SE 性の断層を通して地熱流体が上昇していると仮定した場合、上昇する地熱流体は中間流動系の水平的な流れに押されて、北方の下流側へ流れる傾向にあると予測される。現在の地熱徴候地と変質帯の分布から考えられた地熱



流体の通路の変遷は、上の予測と調和する。

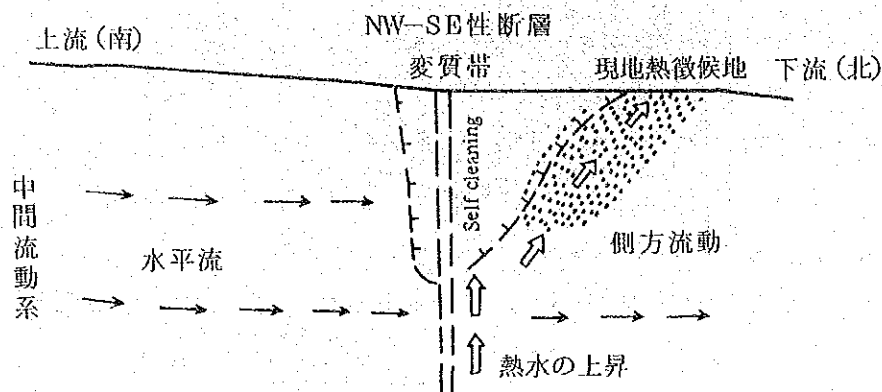


Fig V.1-6 地熱系と地下水流動系

#### V-1-4 地熱貯溜層構造モデル

##### 1. 地熱貯溜層の概要

前節で検討してきた San Kampaeng 地域の地質構造、熱構造および水理構造をまとめて、本地区の地熱貯溜層構造モデルを推定する。

San Kampaeng 地域の熱源は、Doi Luang 隆起帯および Ban Pong Hom 沈降帯西縁部の地下深部に潜在する花崗岩体を主とし、これに大規模な断層（構造帯を区分するような断層あるいはランドサット画像にあらわれている S 字状リニアメントのような第 1 級構造線をさす）に沿っての地熱流体の上昇およびタイ北部に共通する広域の高熱量が加わったものであろう。花崗岩体の上面深度は、弾性波探査の反射層準の解析から地熱徴候地の地下で約 3.5~4.0 km と推定される。天水がこの深度まで浸透し、岩体内部を循環することによって加熱され地熱流体になると考えられるが、この時の温度が熱水を利用した Na-K-Ca 温度計によって推定された 190~210 °C に近い値と思われる。

このようにして形成された地熱流体は、Huai Pong 断層、その派生断層あるいは Ban Mae Khu Ha 断層等に沿って上昇するとみられる。主要な貯溜層は、これらの高角の断層群と考えられる。同時に、上昇する過程で拡散し、地下水を混入し、地層面に沿って横方向の貯溜層を形成している可能性がある。すなわち岩相的にみて破碎されやすいチャート、頁岩あるいは溶蝕された石灰岩、層位的にみて Mae Tha 層と Kiu Lom 層との不整合面および貫入した花崗岩と古生層との接触面などが割れ目に富み、貯溜層となっている可能性がある。弾性波探査によって想定された L<sub>2</sub>~L<sub>3</sub>、L<sub>4</sub>~L<sub>5</sub> および L<sub>6</sub>~L<sub>7</sub> 層準間の地層は、高 S-N 比帯で低周波数域を

示すが、上述したような岩相層準にも特有な割れ目に富んだ層準とみられる。

地熱流体は、上昇の過程で主として伝導的に冷却するが、浅部では直接地下水の混入をうけて温度が低下する。湧出する温泉の成分の季節的変動が敏感なことから、地下水の混入はあまり深くなく、弾性波探査の風化帯の層厚および深部電気探査の低比抵抗層分布から約500m以浅で起っていると考えられる。この時の温度は、 $\text{SiO}_2$  温度計で推定された160°Cないしは調査井S-13で測定された139°Cに近いと考えられる。

地下水の混入をうけた後の熱水が狭い通路（断層面の一部）をとおって地熱徴候地の中心部（S-13井付近）に上昇し、砂礫、泥からなる沖積層や厚い風化破碎帯中に拡散し、水平方向に拡がって地表付近の温泉帯水層を形成していると推定される。

深部電気探査によると、Huai Pong断層とBan Mae Khu Ha断層にはさまれた地域で、深部500m以浅（第1導電性地層）と約1,000~3,000m（第2導電性地層）の2層準に低比抵抗層が見いだされている。これは弾性波探査の結果とも良く調和し、とくに第2導電性地層は、 $L_2 \sim L_8$  層準（花崗岩体上面）までの反射面の著しい部分に一致している。したがってSan Kampaeng地域の地熱貯溜層は、浅部および深部貯溜層に分けられる可能性がある。以上まとめて、模式的なSan Kampaeng地熱貯溜層モデルを示す（Fig V. 1-7）。

## 2. 地熱貯溜層の範囲

San Kampaeng地熱貯溜層の範囲（平面的広がり）は、地質構造、地下温度、重力異常、低比抵抗層分布、弾性波の低S-N比帯の分布から、現在の地表地熱徴候をもつBan Pong Nok地域にほぼ一致すると推定される。

地質構造的にみた場合、現地熱徴候地および変質帯の分布はNS性のBan Mae Khu Ha断層、Huai Pong断層およびそれから派生するNW-SE性の断層に囲まれた地域内にある。変質帯は過去から現在までの地熱活動の総和であり、現在の地熱徴候地を含めてかなり広範囲に分布しているということは、地熱活動が広範にかつ長期的に行われたことを意味する。また地熱徴候地は、Kiu Lom層下部の頁岩、砂岩、チャート互層からなる背斜構造の軸部からやや東翼にかけて位置している。この地域は、深部電気探査の結果からみると電氣的基盤をなすRc層が盛り上っており、弾性波探査によっても背斜構造帯に相当する。このように地層の背斜構造の翼部に造構運動におけるせん断帯が発達しているために、地下深部からの地熱流体の通路となっている可能性がある。

重力探査の結果によると、本地域は大きくみて東部の高重力域、中央部の高重力傾度帯および西部の低重力域からなる。地熱徴候地は、西部の低重力域の内部に位置し、かつ3次残差の低重力域の縁辺部に相当する。これは変質や破碎作用によって、岩石が低密度化しているためとも考えられ、この低重力域が大きくみて地熱貯溜層の範囲を枠決めしていると考えられる。

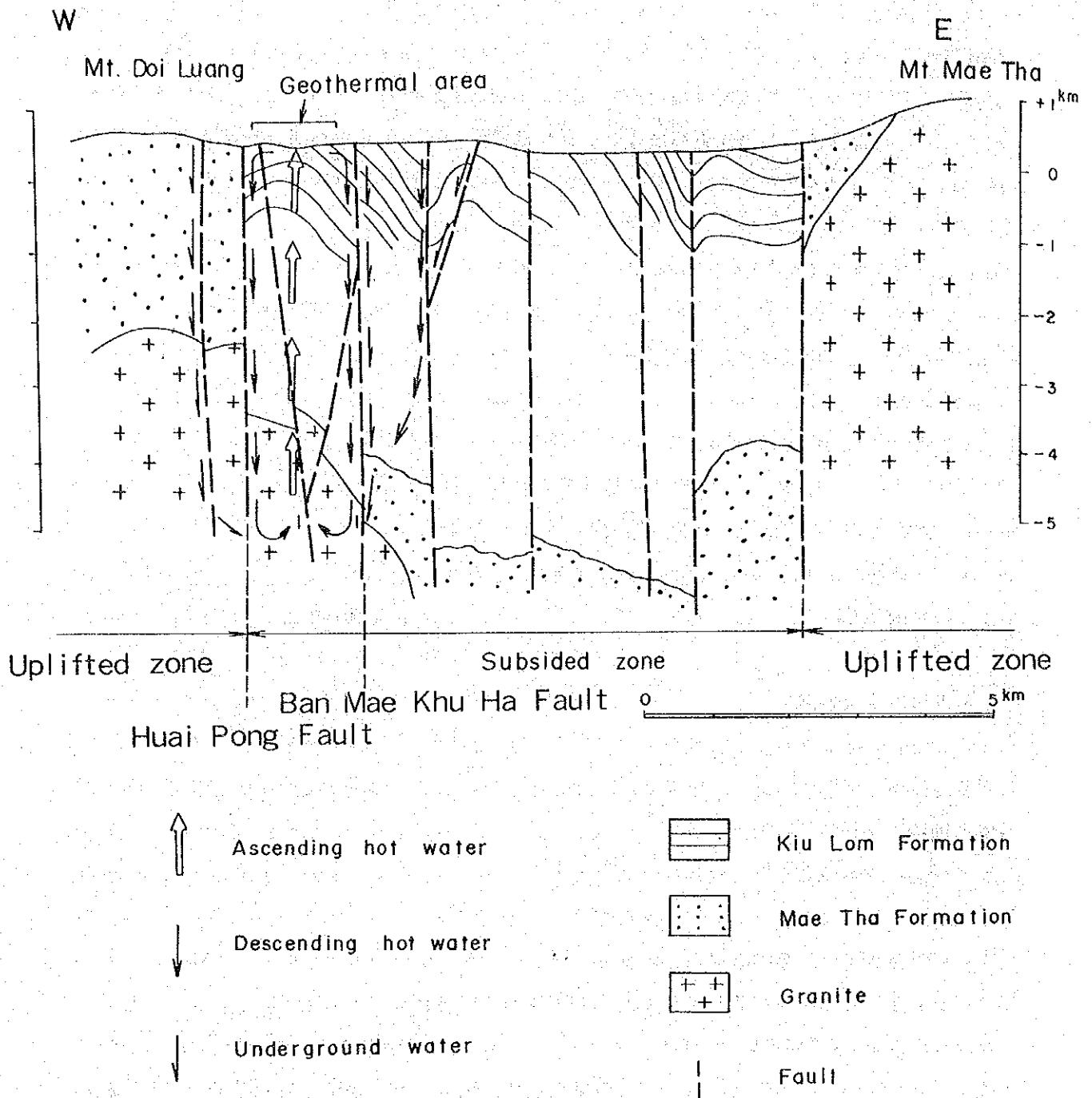


Fig. V.1-7 Geothermal System of the San Kampaeng Area

1.0m深地温分布図によると、40℃以上の高温域は現地熱徴候地に限定され、約0.4km×0.6kmの広がりをもつ。これは高温域が地下からの温泉の流出によって形成されていることを示す。また30℃以上の温度を示す地域が、弾性波探査のE測線の一部を含むごく狭い地域で見いだされた。この温度異常が何によってもたらされているかは明らかでないが、現在のところ地熱流体の賦存と関係しているという証拠はみつからない。以上の2地域を除くと、すべての地域が1.0m深地温が20~30℃であり、年平均気温と同じで地熱異常は認められない。

深部電気探査によるトータルコンダクタンスおよび見掛け比抵抗の分布は、地熱流体の賦存範囲をかなり適確に指示していると考えられる。本地域は、大部分がトータルコンダクタンス200mhos以下の導電性の低い地層によって占められている。しかし200mhos以上の高導電性地帯が2ヶ所において認められる。1ヶ所はWat Pong Homの測点2-2を中心とした地域であり、もう1ヶ所はWat Hong HoiからWat Hua Faiにかけての調査地域の南東部である。前者は明らかに現地熱徴候地と関係あり、200mhosの等値線は閉曲線をなしている。しかし、より詳細にみると過去の地熱活動の産物である変質帯の分布、40℃以上の高温帯で示される現地熱徴候地、およびトータルコンダクタンス200mhosで示される高導電性地帯は完全に一致せず、南から北に向かってオーバーラップしながら分布する。これが地下深部の地熱貯溜層の範囲とどう関係にあるかは明らかではない。地域南東部の高導電性地帯は、かなり大規模な高導電性異常の一部であることは確かである。しかしこの200~300mhos以上の地域において、1.0m深地温や温泉流出などの地熱異常や、断層あるいは破碎帯に起因する透水性ゾーンが認められていないことから、この地域の地熱ポテンシャルは現在のところ未知数である。

弾性波探査の構造解析によると、本地域はBan Mae Khu HaからDoi Thamにいたるほぼ南北のゾーン（ほぼ断層に相当）を境として、その西側地域と東側地域で地質構造が異なる。すなわちL<sub>4</sub>層準の構造等高線によって示されるように、西側地域は隆起しているのに対して東側地域は沈みこんでいる。また西側地域は低周波数帯が広範囲に認められ、とくにA測線北半部、B測線、C測線において著しい。しかし東側地域において、低周波数帯はほとんど分布しない。地熱徴候地は、解析基準面下-1,000mおよび-2,000mのレベルにおける低周波数の分布域の中に含まれていることから、低周波数帯が地層の割れ目に富むゾーンであり、地熱流体を貯溜している可能性が指摘される。

以上述べたように、地表における現地熱徴候地は、重力探査の示す低重力域、深部電気探査の示す高導電性地帯、弾性波探査の示す低周波数帯、地質調査の示す断層帯および、変質帯の分布と空間的に非常に密接に結びついていることが明らかとなった。地表での地熱徴候（地熱流体の流出域）が、地下の地熱貯溜層とどのように連続しているかが問題であるが、各調査の解析断面に示されるように、断層、フラクチャー、低周波数帯はほぼ垂直方向にのびているこ

とから地熱貯溜層もかなり鉛直に近い高角で地下深部につながっているものと推測される。

#### V-2 地熱開発の可能性と今後の調査計画

以上の考察から San Kampaeng 地域における地熱貯溜層の潜在地域は、現在地表に地熱徴候が分布する Ban Pong Nok 周辺と推定される。

深部電気探査で示された東西方向の比抵抗断面から判断すると、貯溜層とみなされる幅約 400 m の低比抵抗層が地表から 500 m 付近の深さと、深度 1,000 m から 3,000 m までにわたる部分とに存在する。南北方向の幅は断面がないため明らかでないが、おそらく貯溜層はシリンダー状の形で地下にのびており、この貯溜層からの熱水の洩れが地上で見られる地熱徴候であると判断される。また、貯溜層内の地熱流体の温度については、温泉水中に含まれる Na, K, Ca を化学温度計として用いた結果から 190 ~ 210 °C と推定される。

このような結果から、この地域の地熱開発の可能性を確かめるため、貯溜層の広がり、地熱流体の温度についてさらに調査を行う価値があると結論される。

今後の調査計画の内容としては、この貯溜層の直上から調査井を掘さくし、地熱流体の存在とその温度を確認することがあげられる。さらに、蒸気、熱水が噴出した場合には、流量特性試験を行うことが望ましい。

以上述べたような、調査井掘さくを含む第 3 次調査に先立ち、本地域における地熱貯溜層の広がり、その中心等をさらに精密に把握する必要があると考えられ、深部電気探査 (MT 法) による補足調査を実施することが望まれる。また、調査地域の南東部 (Ban Mae 地域) にも高コンダクタンス帯 (200 mhos 以上) が認められたが、測点数が少なく、その広がりを確認するまでに至っていない。そこで、この地域についても測点を補足し、高コンダクタンス帯の形態、広がりを調査することが必要と考えられる。以上の総合的な調査結果の解析から、最終的にこの地域が地熱開発の対象になり得るかどうかを評価すべきである。

## VI 結 論



## VI 結 論

昭和57年度に実施された第1次および第2次調査と、昭和58年度になされた解析の結果から、San Kampaeng地域における地熱貯溜層の存在範囲は、現在地表に地熱徴候をもつBan Pong Nok地域にほぼ限定されると判断された。

この地域は、NS性のHuai Pong断層およびBan Mae Khu Ha断層から派生するNW-SE方向の断層によって囲まれ、もともと地表に優勢な地熱徴候を有するのみならず、地下温度、重力、比抵抗、弾性波の異常が集中している地域である。この地域が開発の対象となり得るかどうかを知るには、さらに地熱貯溜層の広がり、地熱流体の温度についての資料を収集する必要があるが、この点については今回の調査により次のような示唆が得られた。

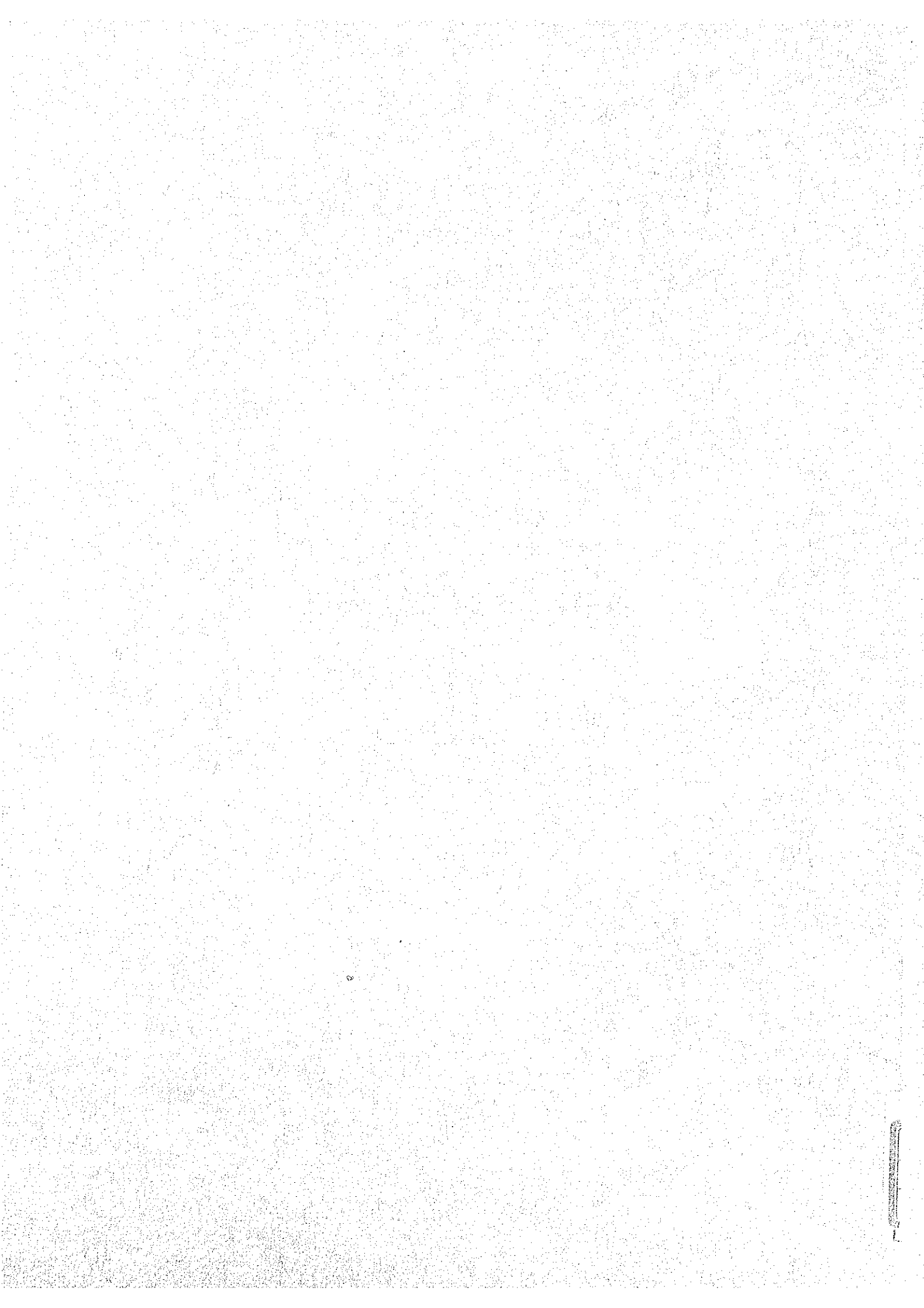
地熱貯溜層の広がりについては、深部電気探査によるとWat Pong Hom地域の地下に深度500m以浅と、1,000m~3,000mの間の2層準に低比抵抗層が認められたが、この低比抵抗層を貯溜層とみなすとその幅は約400mとなる。この幅はNE-SW方向に沿うものであるが、トータルコンダクタンスの分布から判断すると、NW-SE方向における低比抵抗層の幅は前者と大差なく400~500m程度とみなされる。従って深部電気探査の結果から判断する限り、当地域の貯溜層はほぼ円筒状に地下にのび、その頂部に地熱徴候をおくという考えがなりたつ。

次に地熱流体の温度についてであるが、実測の資料としてタイ側でなされた30m深の地下温度調査において、地熱徴候地の中のS-13井で139℃という値が得られている。この測定値から判断すると、深部における地熱流体の温度は少なくとも139℃以上に達するものと思われる。地化学温度計によれば、地熱流体の温度としてSiO<sub>2</sub>法で約160℃、Na-K-Ca法で192~207℃という値が得られているので、1,000m以深の貯溜層内の温度は200℃前後と推定される。

以上述べたように、地表調査から推定される地熱貯溜層の広がりには、やや狭いようにみえるが、当地域は断層によって取りかこまれているため地層が著しく破碎され、貯溜層の広がりには予想以上に広い範囲を占めることが期待される。地熱徴候地の南側に変質帯が広く分布していることもこれを暗示する。また、地下温度については30mという浅部で139℃が記録され、地化学温度計により160℃以上おそらく200℃前後の貯溜層温度が期待されるので、地熱開発の可能性を確かめるため、今後さらに調査を実施する価値があると判断される。

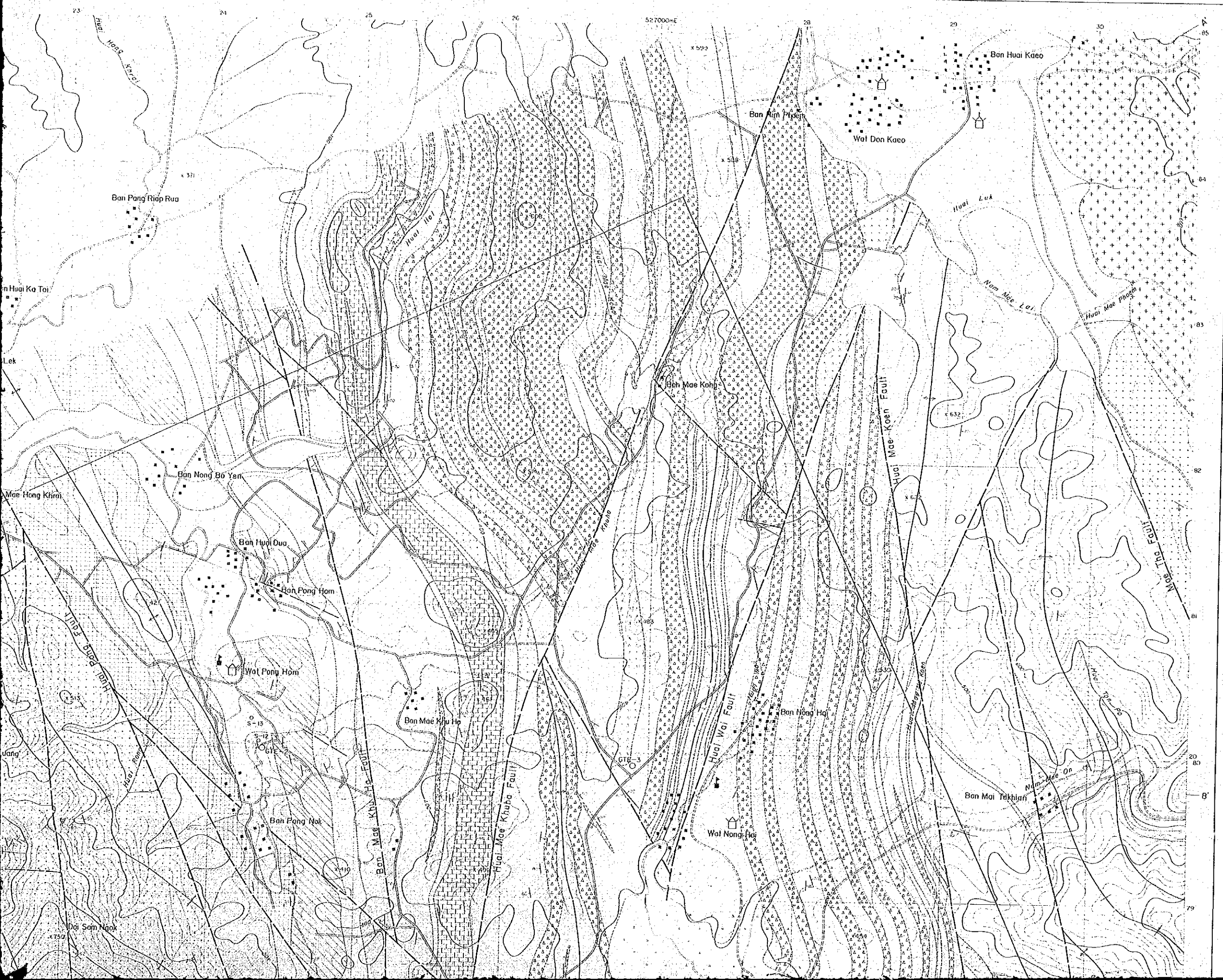
したがって、推奨できる今後の調査内容としては、深部電気探査により知られた貯溜層の存在範囲で深度1,000~3,000mの間にある低比抵抗層および弾性波探査から得られた低周波数帯を対象として調査井を掘さくし、地熱流体の存在、温度についての調査を行い、さらに流体が噴出する場合には蒸気、熱水の流量特性試験を試み、総合的な調査資料の解析結果から当地域が地熱開発地域としての可能性を有するかどうかの最終的評価がなされることが望ましい。







THE  
EL  
Alt  
Perman  
Kiu Lon  
Circumfer  
Mae Tha

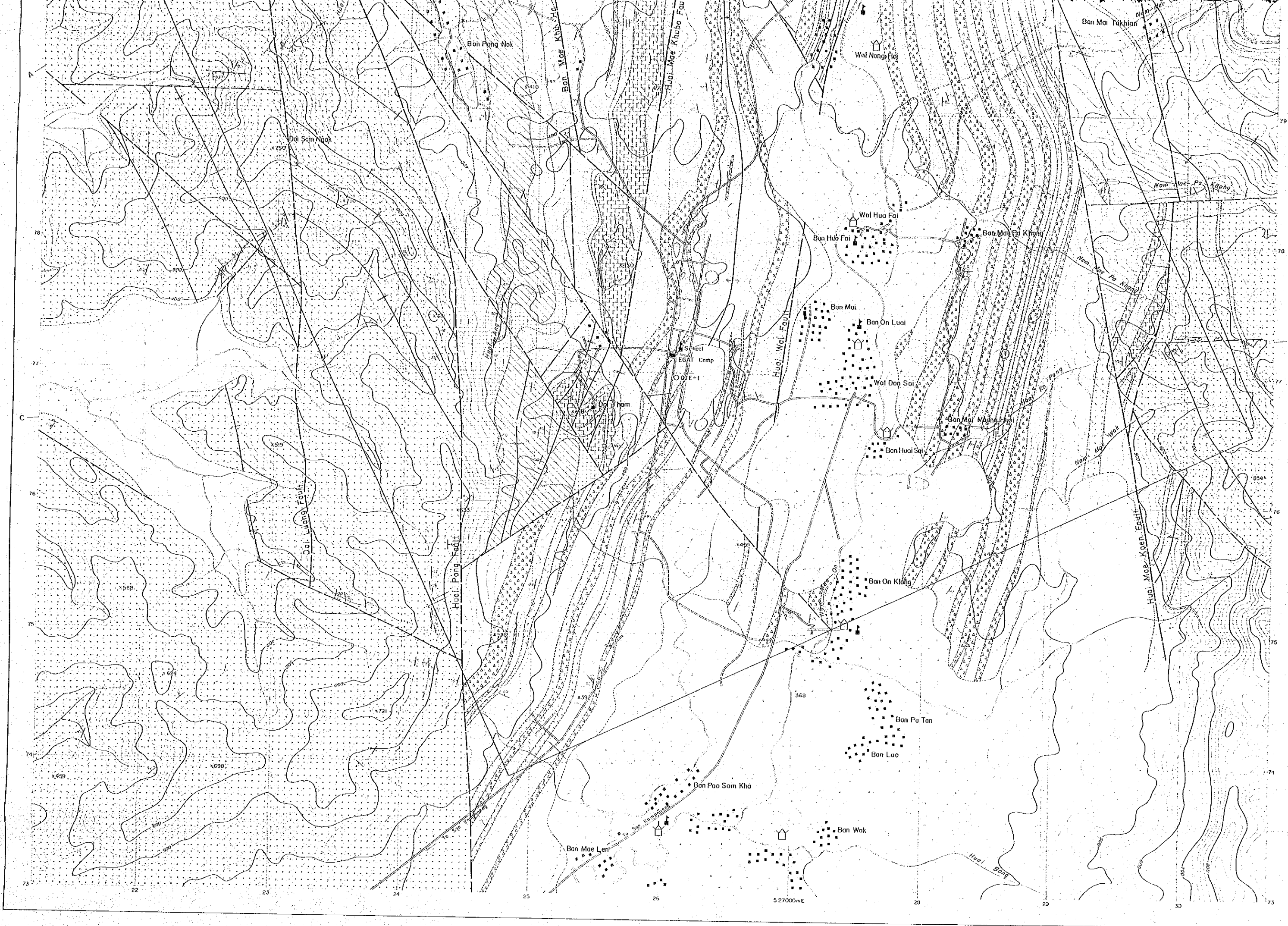


THE PRE-FEASIBILITY STUDY **PL. II.1.1-1**  
 ON  
 THE SAN KAMPAENG GEOTHERMAL DEVELOPMENT PROJECT  
 IN THE KINGDOM OF THAILAND  
**GEOLOGICAL MAP**

JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY  
 ELECTRICITY GENERATING AUTHORITY OF THAILAND  
 DEPARTMENT OF MINERAL RESOURCES  
 CHANG MAI UNIVERSITY  
 MARCH 1983

**LEGEND**

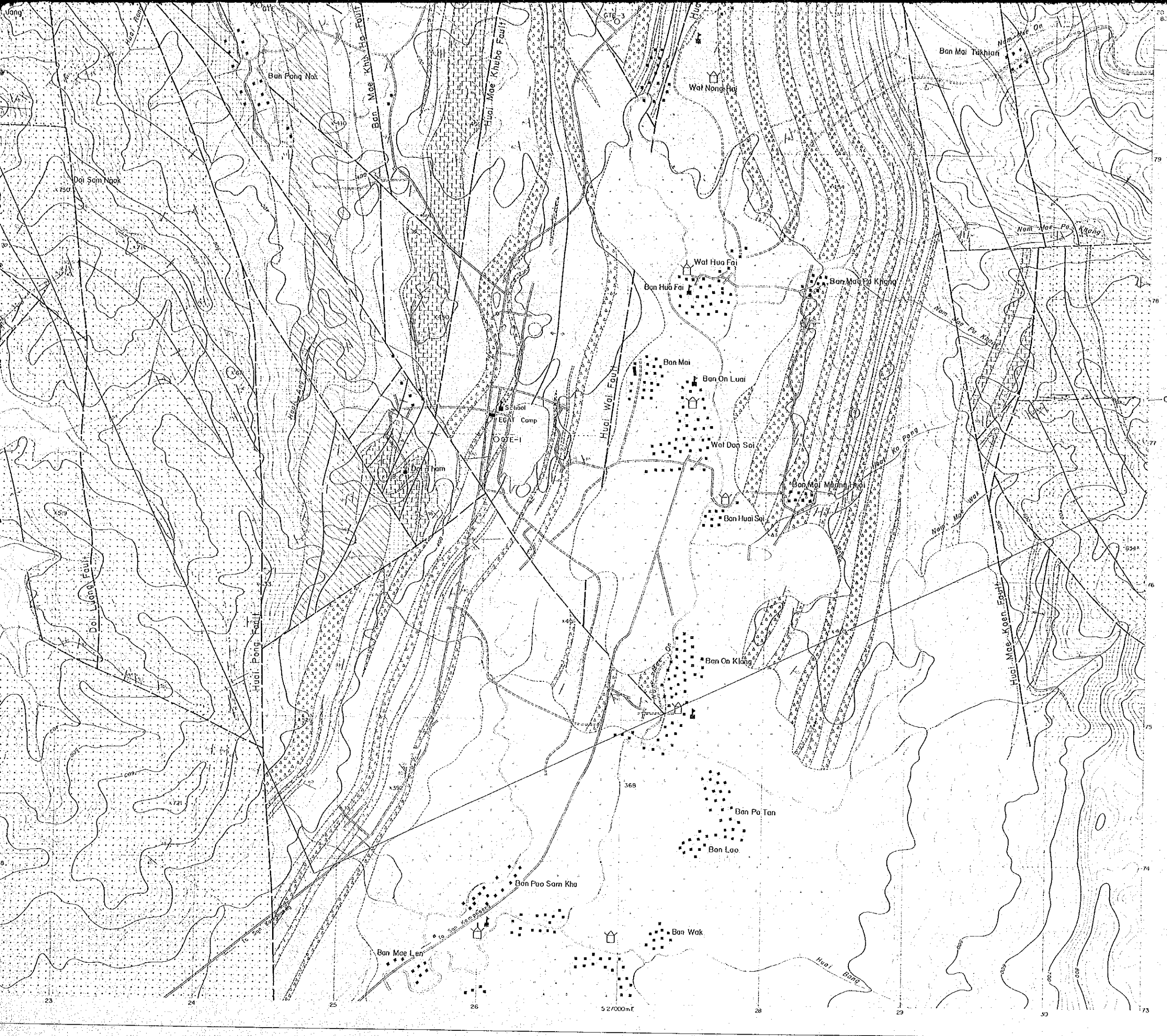
Alluvium		Alluvial deposit
		Basaltic tuff
		Basaltic tuff breccia, Lapilli tuff
		Basalt
		Shale
Permian		Siltstone to Sandstone
Kru Lon Formation		Sandstone
		Chert
		Sandstone to Chert
		Chert to Sandstone
		Shale to Sandstone to Chert
		Limestone
Carboniferous		Slate
Mae Tha Formation		Sandstone
		Porphyritic granite
		Bedding plane
		Joint
		Fissure
		Quartz vein
		Fault
		Anticline axis
		Syncline axis
		Structural line
		Location of geological profile



79  
78  
77  
76  
75  
74  
73

B'  
79  
78  
77  
76  
75  
74  
73

1:52700



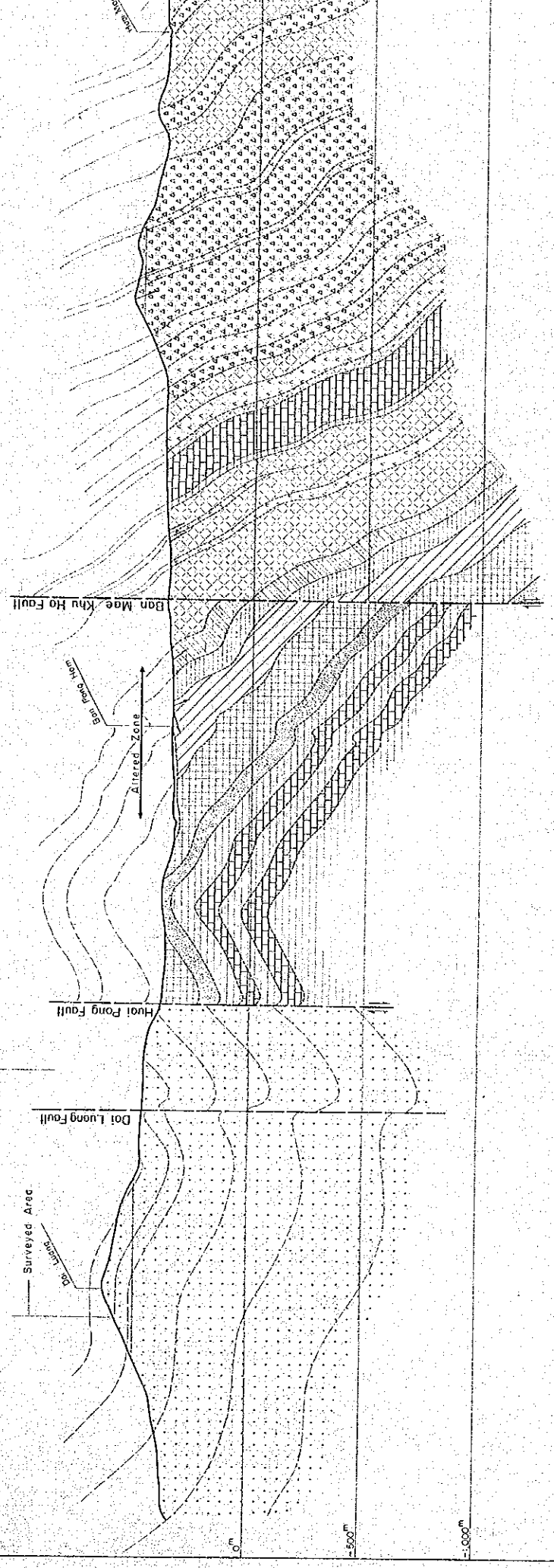
- Fault
- Structure axis
- Structure axis
- Structure axis

A - A location of geological Profile

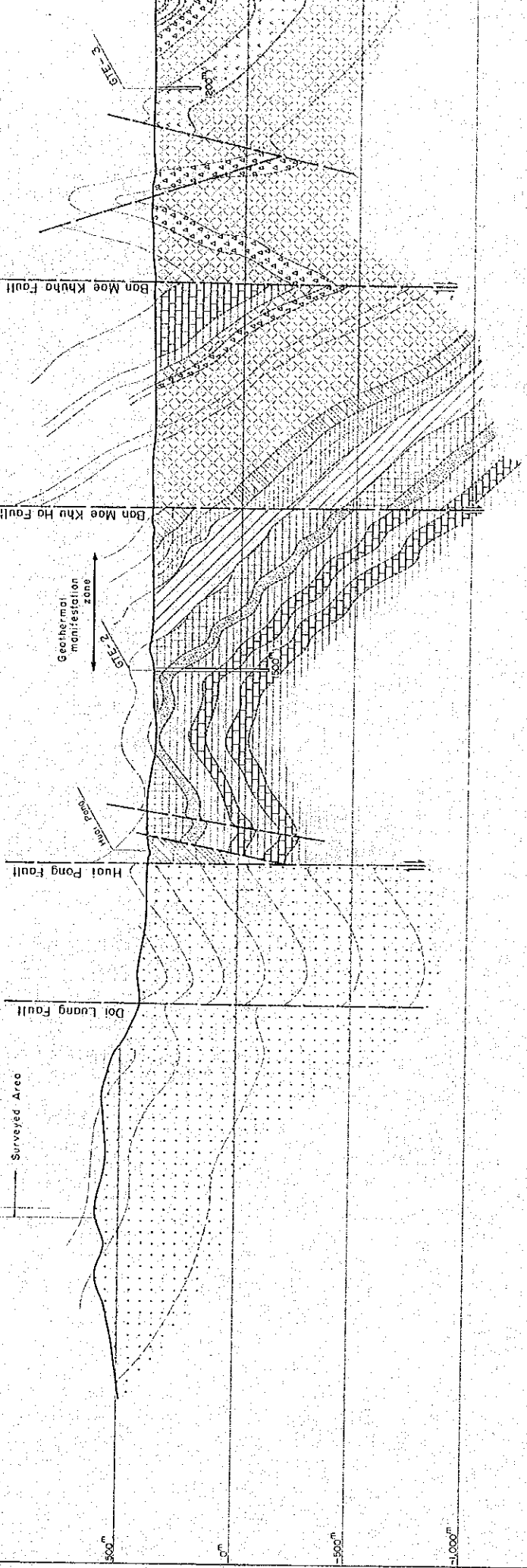
80  
79  
78  
77  
76  
75  
74  
73

23 24 25 26 27 28 29 30  
5 2/3000 m:f

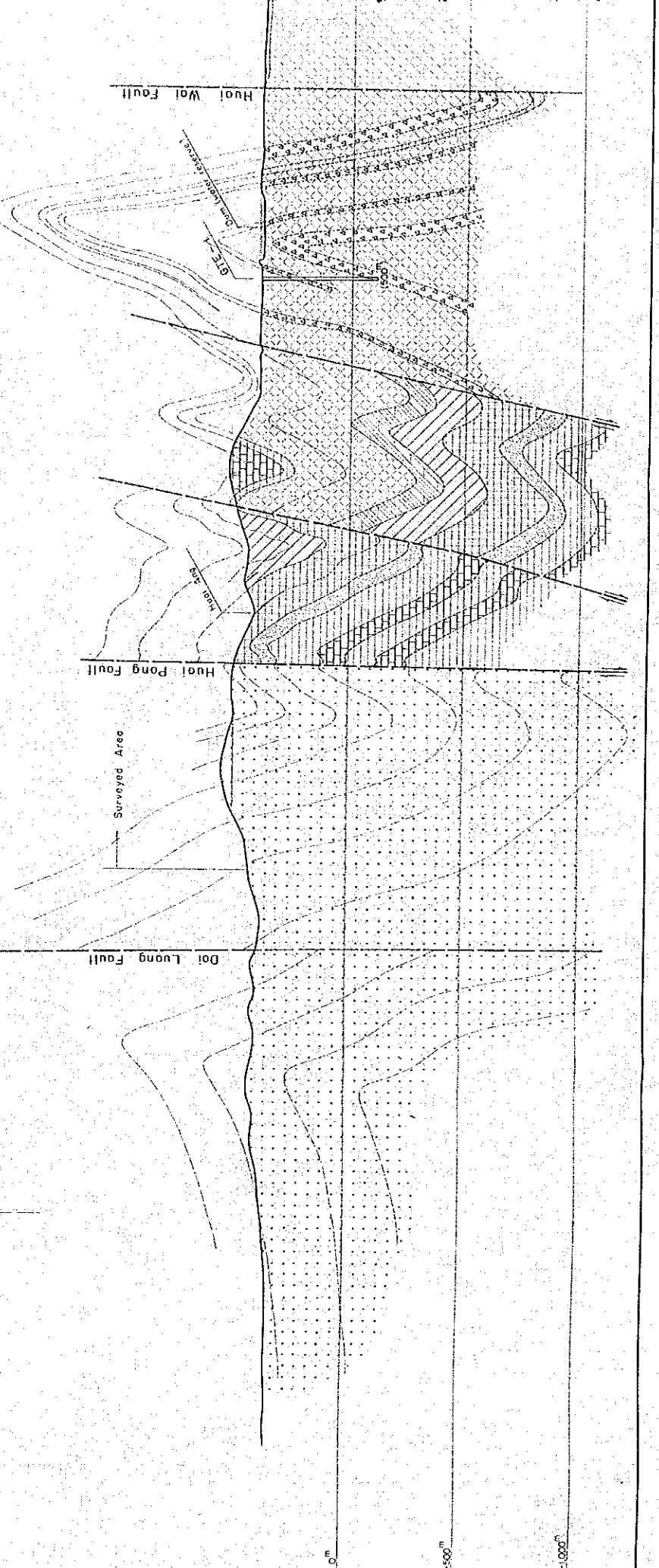
A—A' Section



B—B' Section



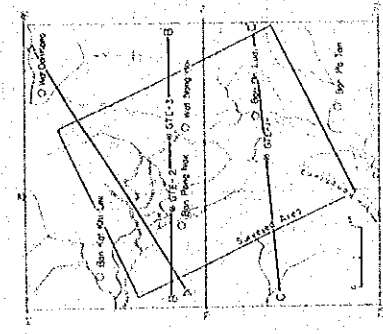
C—C' Section



THE PRE-FEASIBILITY STUDY  
ON  
THE SAN KAMRANG GEOTHERMAL DEVELOPMENT PROJECT  
IN THE KINGDOM OF THAILAND

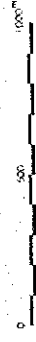
PL II.1.1-2

GEOLOGICAL PROFILE



JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY  
ELECTRICITY GENERATING AUTHORITY OF THAILAND  
DEPARTMENT OF MINERAL RESOURCES  
CHIANG MAI UNIVERSITY

MARCH 1983



LEGEND

Atlixium	Alluvial deposit
	Basaltic tuff
	Basaltic tuff breccia, Lapilli tuff
	Brachi
	Shale
	Siltstone & Sandstone
	Sandstone
	Chert
	Sandstone & Chert
	Chert & Sandstone
	Shale & Sandstone & Chert
	Limestone
	Shale
	Sandstone
Carboniferous Moe Tho Formation	Phyphyritic granite
	Breccia dike
	Fault
	Structure line

