

タイ王国サンカンペン地熱開発計画調査
テクニカルレポート
(第1次, 2次)
要 約

JICA LIBRARY

1224245 [9]

昭和59年1月

鉦工業計画課
保 存 用

国際協力事業団

タイ王国サンカンペン地熱開発計画調査
テクニカルレポート
(第1次, 2次)

要 約

昭和59年1月

国際協力事業団



1224245 [9]

目 次

1. はじめに	1
2. 調査結果の概要	3
2.1 第1次調査	3
2.1.1 地質調査	3
2.1.2 重力探査	3
2.1.3 磁気探査	3
2.1.4 モデルテスト井の検層および技術指導	4
2.1.5 地熱貯溜層概念モデルの作成	4
2.2 第2次調査	4
2.2.1 調査井データの収集	4
2.2.2 深部電気探査	5
2.2.3 弾性波探査	7
2.2.4 数値モデルの作成	8
3. 総合評価	9
3.1 地質構造	9
3.2 熱構造	10
3.3 水理構造	10
3.4 地熱貯溜層モデル	10
4. 結 論	13

圖 面 一 覽 表

Fig 1 - 1	Location of Project Area
Fig 2.1.1 - 1	Geological Map
Fig 2.1.1 - 2	Geological Profile
Fig 2.1.2 - 1	Bouguer Anomaly ($\rho=2.6$)
Fig 2.1.3 - 1	Total Magnetic Anomaly
Fig 2.2.2 - 1	Apparent Resistivity Isocontours (Period 11.1304 sec)
Fig 2.2.2 - 2	Total Conductance
Fig 2.2.2 - 3	Cross Section Map
Fig 2.2.3 - 1	Depth Section Map (Line - A)
Fig 2.2.3 - 2	Depth Section Map (Line - B, Line - C)
Fig 2.2.3 - 3	Depth Section Map (Line - D, Line - E)
Fig 2.2.3 - 4	Structure Analysis Map (L4)
Fig 2.2.3 - 5	Depth Structure Analysis Map (DL-2000m, SL-1,900m)
Fig 2.2.4 - 1	Factor Score Map for Regional Model (Factor 2)
Fig 3.4 - 1	Geothermal System of San Kampaeng Area
Fig 4 - 1	Compile Map of Surface Survey

1. はじめに

タイ王国サンカンベン地域における地熱開発の可能性を検討するために、地熱調査が国際協力事業団により実施された (Fig 1-1)。調査は第1次調査と第2次調査の2段階にわけて行われた。第1次調査は、昭和57年7月から58年2月までの間で、地質調査、重力探査、磁気探査およびモデルテスト井の検層および技術指導が実施された。第2次調査は、昭和58年1月から6月の間で、調査井データの収集、深部電気探査および弾性波探査が実施された。

この報告書は、上記調査の解析結果およびそれにもとづく地熱貯溜層の総合評価について、その概要を述べたものである。

なお第1次、第2次の現地調査において、タイ側カウンターパート (Electricity Generating Authority of Thailand, Department of Mineral Resources, Chiang Mai University) の全面的な協力をうけた。また本報告書をまとめるにあたり、タイ側から提供をうけた調査資料を利用した。

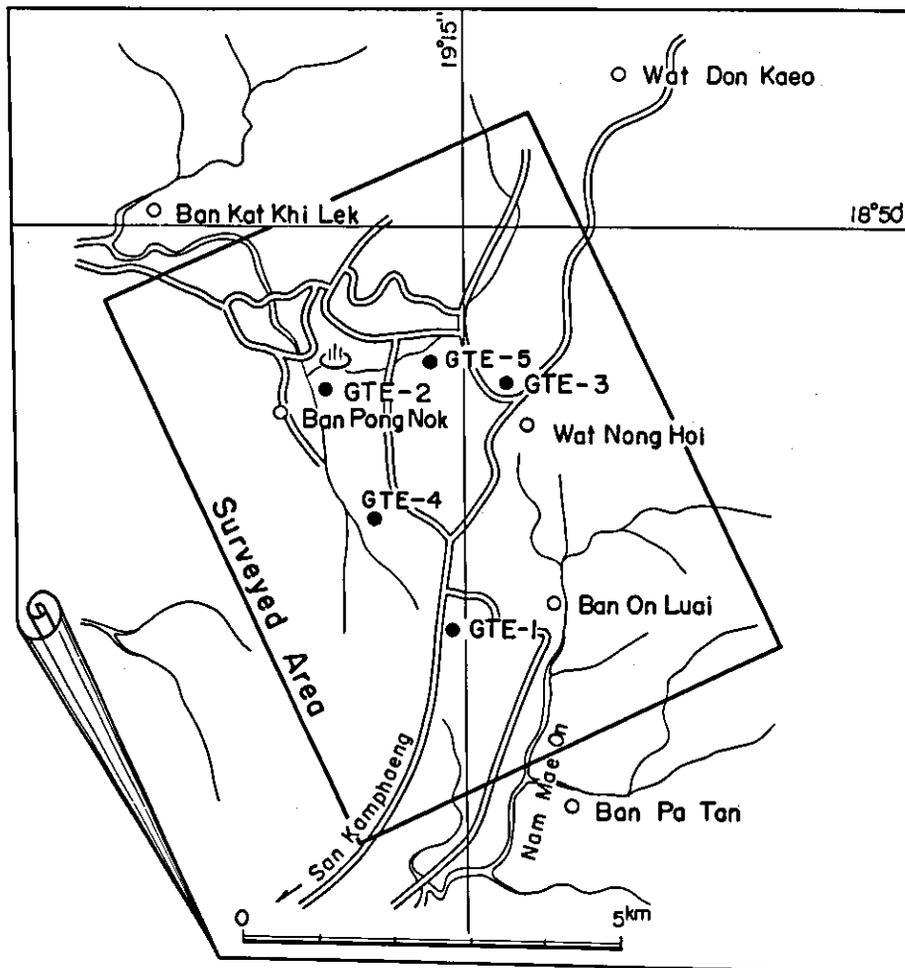
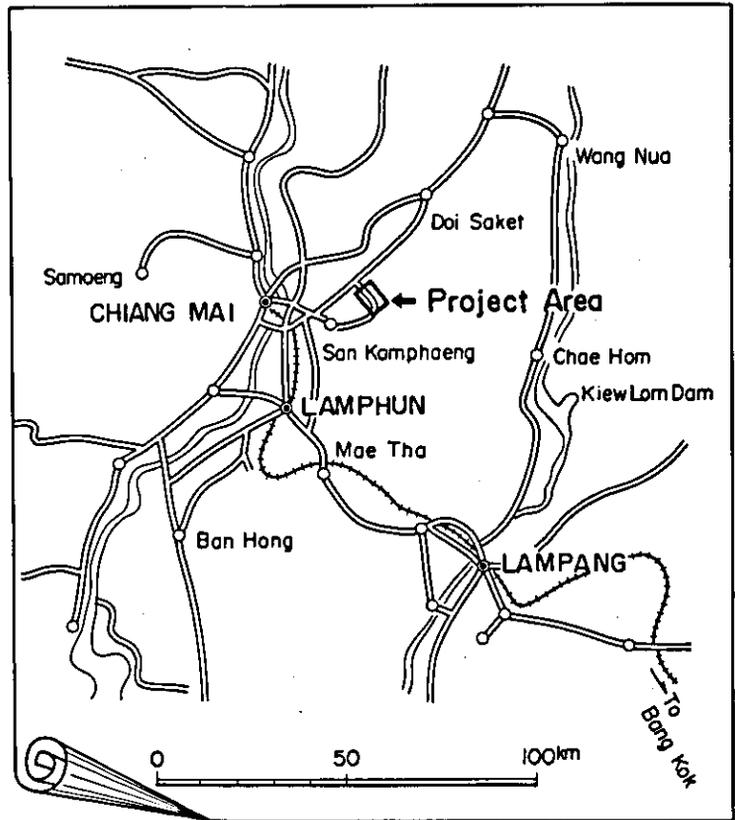
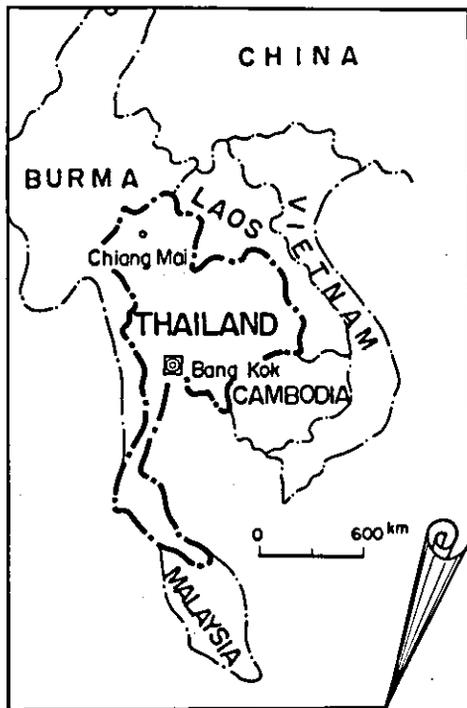


Fig.1-1 Location of Project Area

2. 調査結果の概要

2.1 第1次調査

2.1.1 地質調査

サンカンベン地域の地質は、下位から石炭紀の Mae Tha 層、二畳紀の Kiu Lom 層、三畳紀の花崗岩類および沖積層に区分される。構成岩石は、Mae Tha 層が砂岩、Kiu Lom 層が海成堆積岩（頁岩、シルト岩、砂岩、チャート、石灰岩）と玄武岩類（溶岩、火山砕屑岩）を主体とする。本地域は断層の発達が著しく、NS 性（NNW-SSE あるいは NNE-SSW 性を含む）の断層が主要で、それから派生する NW-SE 性、NE-SW 性および EW 性断層もみとめられる（Fig 2.1.1-1, 2）。

変質帯は、北部の Ban Pong Hom 部落から Ban Pong Nok 部落にかけて広く分布している。変質帯は過去の地熱活動の範囲を示しており、現在の地熱徴候地はこの変質帯の中に含まれる。

地熱徴候地は、Huai Pong 断層、その派生断層および Ban Mae Khu Ha 断層によって囲まれており、これらの断層が地熱流体の上昇および集積に重要な役割を果たしていることが推察される。

2.1.2 重力探査

等重力線図にみられる重力異常の一般的傾向は、NS 方向が最も卓越し、ついで NW-SE 性、NE-SW 性もみとめられる。この方向性は、本地域の一般的な地質構造（地層や断層の走向）とほぼ一致する。（Fig 2.1.2-1）。

本地域は大きくみると、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。岩石の密度測定および地層分布との対比から、Kiu Lom 層上部の玄武岩類は高密度岩体であり高重力異常に対応するのに対し、Kiu Lom 層下部の堆積岩類（チャート、頁岩など）は低密度岩体であり低重力異常に対応している。

地熱徴候地は、調査地域西部の低重力域の内部に位置し、3次残差の低重力域の縁辺部に相当する。これは岩石の変質や破砕作用によって、岩石が低密度化しているためと考えられる。

2.1.3 磁気探査

磁気異常は、調査地域中央部の Doi Tham 山地から北方にかけての地域において異常が著しく、NS 方向に直線状に分布している。その東部でやや異常がみとめられるのに対し、西部ではほとんど異常がみられない（Fig 2.1.3-1）。

磁気異常の著しい中央部は、Ban Mae Khu Ha 断層と Huai Mae Khu Ha 断層に囲まれた地域で、Kiu Lom 層中・上部の石灰岩、玄武岩類の分布地域にあたり、重力分布の急傾斜

帯にも相当する。磁性岩体の分布と断層位置については分布状況がほぼ同じ傾向を示している
ので、これらは密接に関係しているとみられる。すなわち、高磁性岩体の分布や断層を境にし
て、磁性の差異が生じていると推測される。

地熱徴候地周辺では、分布する堆積岩類自体の磁性がきわめて弱いため、地熱活動によって
消磁帯が生じたかどうかを検出することはできなかった。

2.1.4 モデルテスト井の検層および技術指導

検層作業は、調査地域内にタイ側で掘さくしたG T E - 3およびG T E - 4を対象とし、国
際協力事業団がタイ王国に供与した検層車および検層機器（温度、圧力、電気、キャリパー、
音波、流量）を用いて、2回にわたって実施した。

第1回目の検層は、G T E - 3が深度88mまで掘さくされた時点で行われ、坑底温度は32
℃（深度88m）であった。

第2回目の検層は、深度500mのG T E - 4で実施したが、坑内状況が不良のため164
mでセンサーが降下せずそれ以深は測定不可能であった。温度測定結果は、深度164mで44
℃であった。

検層作業の主目的の一つである検層機器の取り扱いと検層方法の指導は、2回とも順調に行
われた。

2.1.5 地熱貯溜層概念モデルの作成

第1次調査の結果にもとづいて、サンカンベン地域の地熱貯溜層の概念モデルを作成した。

本地域の地熱貯溜層は、地熱徴候、変質帯および低重力異常域の分布からみて、これらの分
布範囲内に存在するものと推定される。さらに地質構造的にみて、貯溜層はHual Pong断層、
そのNW-S E性の派生断層およびBan Mae Khu Ha断層と密接に関係していると考えられ
る。すなわち、これらの断層が地熱流体の上昇、集積にとって重要な役割を果していると考えられる。

また熱水の貯溜にとって地層面に沿う横方向の割れ目も重要であり、本地域ではチャートや
泥質岩、溶食された石灰岩、Mae Tha層とKiu Lom層の不整合面付近が横方向の割れ目に富
んでいることが期待される。

第1次調査では地下深部の情報があまり得られなかったので、地熱貯溜層の深度およびその
熱源などは明確にできなかった。

2.2 第2次調査

2.2.1 調査井データの収集

タイ側で掘さくした調査井のデータを現地で収集し、数値モデルの作成および地熱貯溜層評

価のための基礎データとした。

タイ側によって500m級の調査井が5本(GTE-1~GTE-5)が掘さくされた。これらの坑井について、地質状況(岩相、変質、割れ目等)、検層記録(温度、比抵抗、音波検層)および掘さく記録(逸泥等)の諸データを、タイ側の協力により収集した。

2.2.2 深部電気探査

地磁気-地電流法および電磁垂直探査法にもとづいて誘動電場と磁場の比を測定することにより、本地域の比抵抗値(または導電度)の分布を明らかにした。すなわち基本的な見掛け比抵抗曲線と、トータルコンダクタンスの分布とともに、電氣的基盤および導電性地層の頂部の形態を明らかにした。

本地域の特徴は、全体に見掛け比抵抗値が高く、トータルコンダクタンスが低く、かつそのコントラストが小さいことがあげられる。これは本地域が古生代の堆積岩から構成されていて、一般に割れ目に乏しくて孔隙率が小さく、高比抵抗層が卓越することと対応している。

見掛け比抵抗分布における低比抵抗域は2ヶ所にみとめられる(Fig 2.2.2-1)。すなわちWat Pong Hom 部落を中心とする地熱徴候地周辺と、調査地域南東部のBan Mai 部落周辺である。地熱徴候地周辺での低比抵抗異常は、明らかに地下深部に賦存する地熱流体に起因すると考えられるが、Ban Mai 部落周辺のそれは縁辺部に位置するため全容は明らかでない。

トータルコンダクタンスの分布は、電氣的基盤より上位の地層における比抵抗異常を明らかにする。トータルコンダクタンスが200 mhos 以上の高導電性地帯は、地熱徴候地周辺のWat Pong Hom 部落を中心とする地域と、地域南東部のWat Nong Hoi 部落からBan Mai 部落の地域に発達する(Fig 2.2.2-2)。

また1次元比抵抗モデル解析の結果、導電性地層の頂部の形状が明らかにされたが、本地域では導電性地層が浅部と深部に2層みとめられる。浅部の導電性地層の頂部のもっとも盛り上った地域はWat Pong Hom 部落周辺で、海拔500m以浅の範囲にある。一方、深部の導電性地層の頂部の起伏は、海拔-3,000mから-9,000mと非常に高低差があり、かつ傾度も大きい。

同様に電氣的基盤の頂部の形態は、かなり起伏に富み海拔-2,000mから-10,000mにまで変化する。調査地域北部のWat Pong Hom 部落から調査井GTE-2にかけての地域では基盤の盛り上りは比較的浅い(海拔-2,000~-3,000m)が、それに隣接するBan Huai Dua 部落からBan Mae Khu Ha 部落をへてEGAT Camp にかけての地域では、海拔-5,000~-10,000mに達する著しい基盤の落ちこみがみとめられる。

地熱貯溜層の垂直方向にかんする情報を得るため、トータルコンダクタンスが300 mhos を越えるWat Pong Hom 部落(測点2-2)をとおる断面について、2次元モデル解析を行った(Fig 2.2.2-3)。測点2-2の下部には、深度500m以浅と約1,000~3,000

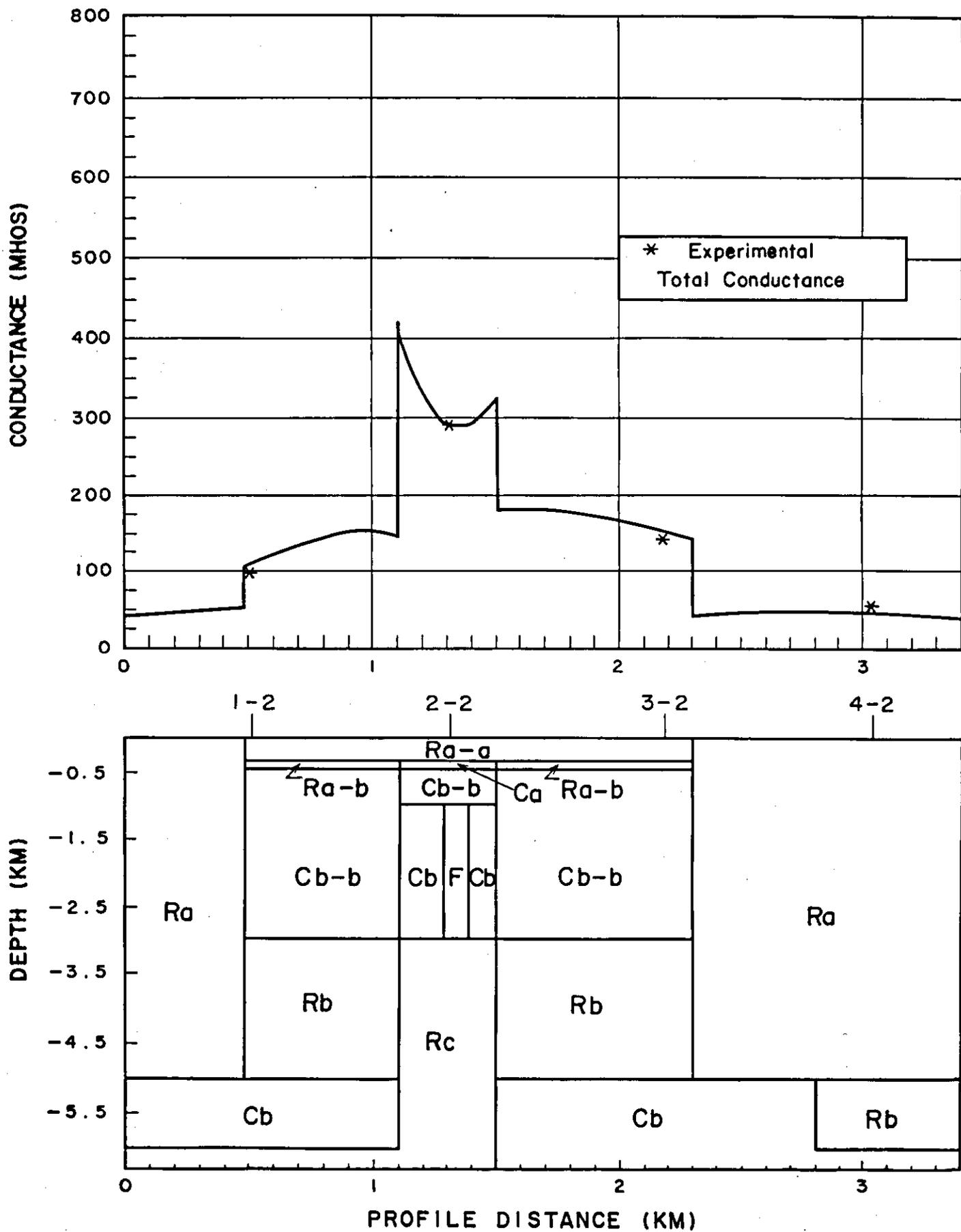


Fig 2.2.2. - 3 Cross Section Map
 (Sdg. NO.1-2. 2-2. 3-2. 4-2)

mの間の2層準に低比抵抗層がみつめられる。これらの低比抵抗層は、電氣的基盤の盛り上った頂部の上に位置している。このため基盤の落ちこみと共に、周囲では低比抵抗層が深度5,000 m以深と深くなっている。

深部電気探査によって得られた比抵抗構造からみて、地熱貯溜層の存在の可能性の高い地域は、次の2地域と考えられる。

第一は、測点2-2を含むWat Pong Hom 部落周辺の地域である。本地域は、トータルコンダクタンスが200 mhos 以上の高導電性異常を示し、見掛け比抵抗値(周期11秒)が $40 \Omega\text{-m}$ 以下の低比抵抗地域で、電氣的基盤の頂部が非常に浅く海拔-2,000 m程度まで盛り上った構造を示す。また本地域は、その南部に地熱徴候地を含み、上述の導電性異常が地熱流体の存在に起因していることはほぼまちがいないと思われる。また電氣的基盤の隆起部は、貯溜層の熱源となる高温岩体の可能性がある。この推測は、地質調査および弾性波探査から予想される潜在する花崗岩の分布と矛盾しない。

第二は、測点4-5, 3-6を含むWat Nong Hoi 部落からBan Mai 部落にかけての地域である。本地域は、トータルコンダクタンスが300 mhos 以上の高導電性異常を示し、見掛け比抵抗値(周期11秒)が $20 \Omega\text{-m}$ 以下の低比抵抗異常を示す。また電氣的基盤の頂部が海拔-3,000 m以浅まで盛り上った構造を示し、Wat Pong Hom 部落周辺と類似した構造を示している。しかしトータルコンダクタンス、比抵抗値およびそれらの広がりからみると、本地域はWat Pong Hom 部落周辺よりさらに地熱的に優勢である可能性がある。しかし、地表に地熱徴候のみられないこと、割れ目の発達に乏しいKiu Lom 層上部の玄武岩類が分布すること等から、地熱貯溜層が存在するとしてもかなり深いと考えられる。

2.2.3 弾性波探査

反射法による重合記録上において、顕著な反射層準を選定し $L_1 \sim L_8$ 層準とした(Fig 2.2.3-1, 2, 3)。地質的にみると L_7 層準までは二畳系のKiu Lom 層に、 $L_7 \sim L_8$ 層準は石炭系のMae Tha 層に、 L_8 層準以深は花崗岩類に対比されると考えられる。

L_4 層準は、海拔-800~-5,000 mの範囲に分布し、調査地域中央部から北部にかけて背斜構造があり、その軸は地熱徴候地付近をとおり。その構造方向は、ほぼNNW-SSE性で地質調査の結果と一致する(Fig 2.2.3-4)。

L_8 層準は、海拔-2,900~-6,700 mの範囲に分布し、調査地域北西部(Ban Pong Nok 部落の西方)で最も盛り上っている。比較的ゆるい起伏をくり返し、その構造方向はEW性が主体で、上位層($L_1 \sim L_7$ 層準)のそれと大きく異なっている。 L_8 層準以深は、花崗岩の貫入岩体と推定され、サンカンベン地熱地域の熱源になっている可能性がある。

主として回折源の分布傾向から、NW-SSE性断層が6条、NS性断層が4条、EW性断層

が1条の計11条の断層が推定された。

NW-SE性断層として、A測線始点付近から南東に向って④⑤①⑩⑨⑥の6条が推定される。①断層はSW落ち、他はNE落ちと考えられ、①⑩⑨は逆断層とみられる。

NS性断層として、調査地域北部の⑧断層と南東部の⑩、⑨、⑦断層があげられる。⑦断層はW落ちで、それ以外はE落ちと考えられ、⑧断層は逆断層とみられる。

また、地熱徴候地の北側に、EW性の⑥断層が推定される。

NW-SE性の⑤断層はHuai Pong断層に、NS性の⑩断層はHuai Mae Khu Ha断層にほぼ対応すると考えられる。

低周波数域の分布は、調査地域の北部(GTE-4の北方)に集中する傾向にある(Fig 2.2.3-5)。深度2000mレベルにおける低周波数域は、とくに⑤、⑨断層周辺に集中し、地熱徴候地もこの中に含まれる。断面においても、20Hz以下の低周波数域は、断層にそつた形で分布するものが多く、地熱貯溜層の存在を反映した情報とみられる。

2.2.4 数値モデル

第1次および第2次調査の結果得られた諸データの多変量解析を行い、地熱貯溜層のポテンシャルを規定する温度と透水性(割れ目)を支配する因子を推定した。

解析の対象とした地域は、調査地域全体の広域と地熱徴候地周辺の狭域の2ケースで、それぞれ500mおよび200m間隔のグリッドを設定した。各格子点に与えた変量は、断層からの距離、地層の傾斜、変質度、重力異常、重力傾度、磁気異常、トータルコンダクタンス、CO₂濃度、ラドン濃度、10m深地温および1m深地温の11項目である。

広域モデルの因子分析により、次の主要な3つの因子が抽出された。

因子1；この因子は、地層の傾斜、磁気異常および重力傾度が同じ挙動を示し、地質構造とくにその方向性をよく反映しているとみられる。

因子2；この因子は、重力異常とトータルコンダクタンスが高い因子負荷量を示し、また10m深地温とCO₂濃度が同じ挙動(負の因子負荷量)を示す。10m深地温を強く規制していることから、この因子は温度の因子あるいは地熱流体の存在に起因する因子と推定される。

この因子2に関する因子評点図は、ほぼNS性のコンターが卓越し、地熱徴候地を中心としてBan Pong Nok 部落からWat Pong Hom 部落にかけての地域に高い因子評点が分布する(Fig 2.2.4-1)。注目されるのは、地域南東部のWat Hua Fai 部落からWat Nong Hoi 部落にかけても高い因子評点が分布することである。しかしこの分布は、解析地域の末端でありその広がりや形状は明らかでない。

因子3；この因子は、断層からの距離、ラドン濃度、CO₂濃度および10m深地温が高い因子負荷量を示す。断層からの距離に強く影響を与えているので、本因子は割れ目に起因する因子

と考えられる。因子3に関する因子評点分布は、因子2のそれとパターンが類似する。

狭域モデルに関する多変量解析結果によると、各項目間の相関係数が全般的に高く、各探査項目の測定データが比較的少数の因子によって規制されていることを示す。因子分析によって、狭域モデルにおける温度あるいは地熱流体の存在を反映する因子が抽出されたが、因子評点の分布パターンは10m深温度分布とよく類似している。

3 総合評価

3.1 地質構造

サンカンベン地域の地質は、石炭紀のMae Tha層、二畳紀のKiu Lom層、三畳紀(K-Ar年代は 212 ± 10 m.y.)の花崗岩類および沖積層からなる。構成岩石は、頁岩、砂岩、チャート、石灰岩、玄武岩類であり、古生層の層厚は確認された部分で10,000mを越える。

本地域は、NNW-SSE性のHuai Pong断層とHuai Mae Koen断層によって、Doi Luang隆起帯(西部山地)、Ban Pong Hom沈降帯(中央低地)およびMae Tha隆起帯(東部山地)の3つに区分される。Doi Luang隆起帯は、石炭系のMae Tha層の塊状砂岩からなり、NW-SE性、EW性、NS性の断層が発達し、NW-SE性の褶曲もみとめられる。Ban Pong Hom沈降帯は、二畳系のKiu Lom層の海成堆積岩類、玄武岩類からなる。NNE-SSW性、NNW-SSE性およびNW-SE性の断層が発達する。褶曲構造は一部においてみとめられるが、全体として東傾斜の同斜構造を呈する。Mae Tha隆起帯は、Mae Tha層の砂岩およびKiu Lom層下部の頁岩からなり、北東部で三畳紀の花崗岩類の貫入がみとめられる。NNW-SSE性の断層が卓越し、またNS性ないしNW-SE性の褶曲構造が発達する。

また断層が多数形成されており、NS性(NNW-SSEあるいはNNE-SSW性を含む)の断層が主要で、それから派生するNW-SE性、NE-SW性およびEW性断層もみとめられる。

弾性波探査における回折波源の分布等から断層が推定されたが、その系統はNW-SE性6条、NS性4条、EW性1条の計11条である(㊶~㊸断層と呼称する)。地表地質調査によって確認された断層系と弾性波探査から推定された㊶~㊸断層とは、位置および方向が良く一致する傾向にある。

弾性波探査により、 $L_1 \sim L_8$ の仮想層準が設定され、地層区分がなされた。 L_2 層準からおそらく L_7 層準までが二畳紀の堆積岩で、構造解析の結果 $L_7 \sim L_8$ 層準までは石炭紀のMae Tha層と推定される。 $L_2 \sim L_3$ 、 $L_4 \sim L_5$ および $L_6 \sim L_7$ 層準間の各地層は、反射波密度が高く、高S-N比帯で、低周波数域の密集部が多いこと等から、地層が破碎されており地下に流体を貯溜している可能性がある。

3.2 熱構造

サンカンベン地域の地表地熱徴候は、Ban Pong Hom 沈降帯西縁部を流れる Huai Ang 川中流の Wat Pong Hom 部落と Ban Pong Nok 部落の中間の地域に認められる。地熱徴候の主体は温泉湧出で、湧出範囲は約 0.5 km×0.6 km である。また徴候地を中心として、主にその南方に変質帯が広がっており、アルナイト、カオリン、モンモリロナイト等の変質鉱物が生成し、累帯分布を示す。温度は 70～95℃と高温で、最高は 98℃に達している。

本地域の 10 m 深地温の 40℃等温線は約 0.4 km×0.6 km のひろがりを持ち、ほぼ地表徴候地と一致する。これは地温分布の高異常が、地熱流体の流動によってもたらされているためと考えられる。最高温度は、調査井 S-13 で測定された 139℃で、S-13 井を中心としてほぼ同心状に等温線が分布する。このことから、ある狭い通路にそって上昇してきた地熱流体が、地表付近の沖積層あるいは古生層の風化帯中を外方に拡散していったことが推測される。

湧出する温泉水の化学成分を利用した地化学温度計によると、推定地下温度は 160～210℃である。これはほぼ貯溜層の温度を代表していると思われる。

サンカンベン地熱地域の熱源については、地下深部に潜在する花崗岩体が関与している可能性がある。これは、タイ北部の温泉が花崗岩体の内部あるいはその周辺部に多く分布していること、サンカンベン地域の熱水の化学組成が花崗岩体の循環水の化学組成と類似すること、および弾性波探査の結果から深度 3～6 km に基盤岩（たぶん花崗岩類）が推定されたことによるものである。

3.3 水理構造

サンカンベン地域の水理構造についての情報は、大部分がタイ側の調査データにもとづいている。熱水の化学分析の結果によると、本地域の熱水は Cl 濃度が 80 mg/l 以下、SiO₂ 濃度が 150 mg/l 以下と非常に溶存成分が少なく、熱水の起源がマグマ水や遺留水にはほとんど依存していないことを示す。

降水量、蒸発散量、流去量等を考慮したサンカンベン地域の天水から地下水への潜在供給量は、 $150 \times 10^4 \text{ Kg/day/km}^2$ である。この値は、すでに開発されている地熱地域の例と比較しても十分大きい値である。

また熱水中のトリチウム濃度から、熱水の循環時間は約 30 年かまたはそれ以上で、成分の季節変動から地下水の混入が予想されている。

3.4 地熱貯溜層モデル

サンカンベン地域の熱源は、Doi Luang 隆起帯および Ban Pong Hom 沈降帯西部の地下深部に潜在する花崗岩体を主とし、これに深部断裂にそっての若干の地熱流体の上昇および広

域的熱流量に伴う熱が加わったものと予想される。弾性波探査の結果から、花崗岩体の上面深度は、地熱徴候地の地下3～6 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となることが考えられるが、この時の温度が地化学温度計(Na-K-Ca法)で得られた約190～210℃に近い値と思われる(Fig 3.4-1)。

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断層等にそ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が、上昇する過程で拡散し、地下水と混入し、地層面にそった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、さらに層位的にみてMae Tha層とKiu Lom層の不整合面および貫入した花崗岩の接触面等が割れ目に富み、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 $L_2 \sim L_3$ 、 $L_4 \sim L_5$ および $L_6 \sim L_7$ 層準間の地層は、高S-N比帯で低周波数域を示すが、上述のような岩相で割れ目に富んでいるとみられる。

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。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、深部電気探査の低比抵抗分布から約500 m以浅で起っていると考えられる。この温度は、シリカ温度計で推定された約160℃に近い値と予想される。

この熱水が、狭い通路をとおって地熱徴候地の中心部に上昇し、砂礫や泥からなる沖積層や厚い風化破碎帯中に拡散して、水平方向に広がる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は、深部500 m以浅(第1導電性地層)と約1,000～3,000 m(第2導電性地層)の2層準に低比抵抗層がみだされている。これは弾性波探査の結果ともよく調和し、とくに第2導電性地層は、 $L_2 \sim L_3$ 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。したがってサンカンベン地域の地熱貯溜層は、浅部貯溜層と深部貯溜層の2つにわけられる可能性がある。

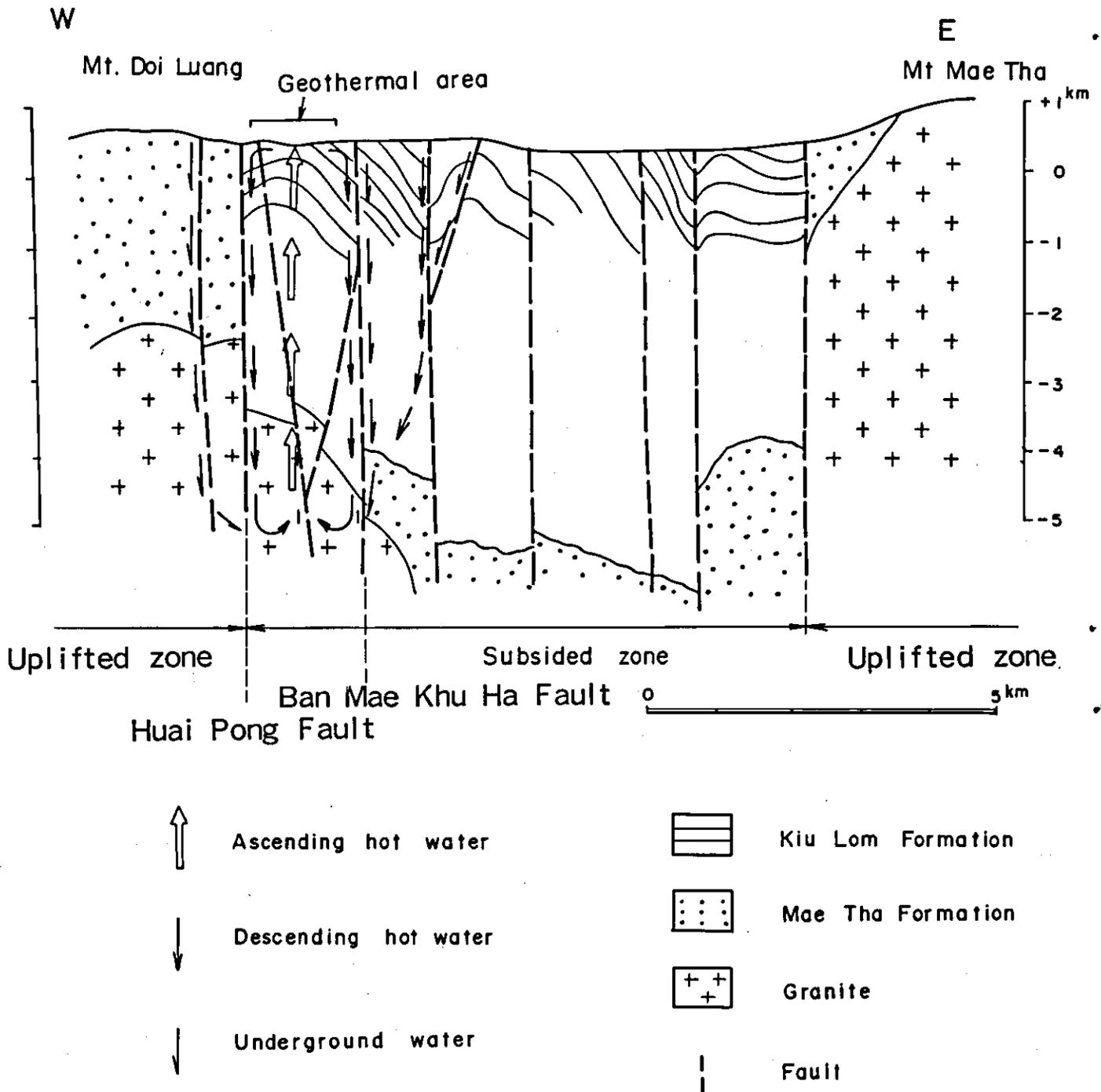


Fig 3.4-1 Geothermal System of the San Kampaeng Area

4. 結 論

昭和57年度に行われた第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、サンカンベン地域における地熱貯溜層の分布する範囲は、現在地表に地熱徴候がみられる Ban Pong Nok 地域にほぼ限定されると判断された。

この地域は、Huai Pong 断層、その派生断層および Ban Mae Khu Ha断層によつてはさまれており、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、比抵抗値、弾性波による結果の異常が集中している地域である (Fig 4-1)。

この地域が地熱開発の対象に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データが必要であるが、この点については今回の調査により次のようを示唆が得られた。

地熱貯溜層の広がりについては、深部電気探査によると測点2-2 (Mat Pong Hom 部落付近)の地下には深度500m以浅と1,000~3,000mの間の2層準に低比抵抗層がみとめられ、この低比抵抗層を地熱貯溜層とみなすとその巾は約400mとなる。この幅はNE-SW方向にそうものであるが、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。したがって、深部電気探査の結果から判断すると、サンカンベン地域の地熱貯溜層はほぼ円筒状に地下にのび、その頂部に地熱徴候が多く認められるという考え方がなりたつ。

次に、地熱流体の温度については、実測の資料としてタイ側の地下温度調査で、地熱徴候地に掘さくされた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℃以上に達することは確実と思われる。地化学温度計によれば、地熱流体の温度としてはSiO₂法で約160℃、Na-K-Ca法で約190~210℃という値が得られているので、1,000m以深の貯溜層内の地熱流体の温度は、200℃前後であろうと推定される。

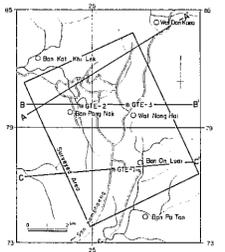
以上述べたように、地表調査から推定される地熱貯溜層の広がりはやや狭いように見えるが、当地域は断層によつて取りかこまれているため地層の破碎が著しく、貯溜層の広がりには予想以上に広い範囲を占めることが期待される。地熱徴候地の南側に変質帯が広く分布していることもこれを暗示する。また貯溜層の温度も、200℃前後あるいはそれ以上の高温が予想されるので、地熱開発の可能性を追求するため今後さらに調査を実施する価値があると判断される。

したがって、推奨できる今後の調査内容としては、現在地表に地熱徴候をもつ Ban Pong Nok 地域において、深度1,000~3,000mの間にある低比抵抗層を対象として調査井を掘さくし、地熱流体の存在、温度について調査することがあげられる。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サンカンベン地域が地熱開発地域として有望であるか否かの最終的評価を行うことが望ましいと結論される。

Fig. 2.1.1-1

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

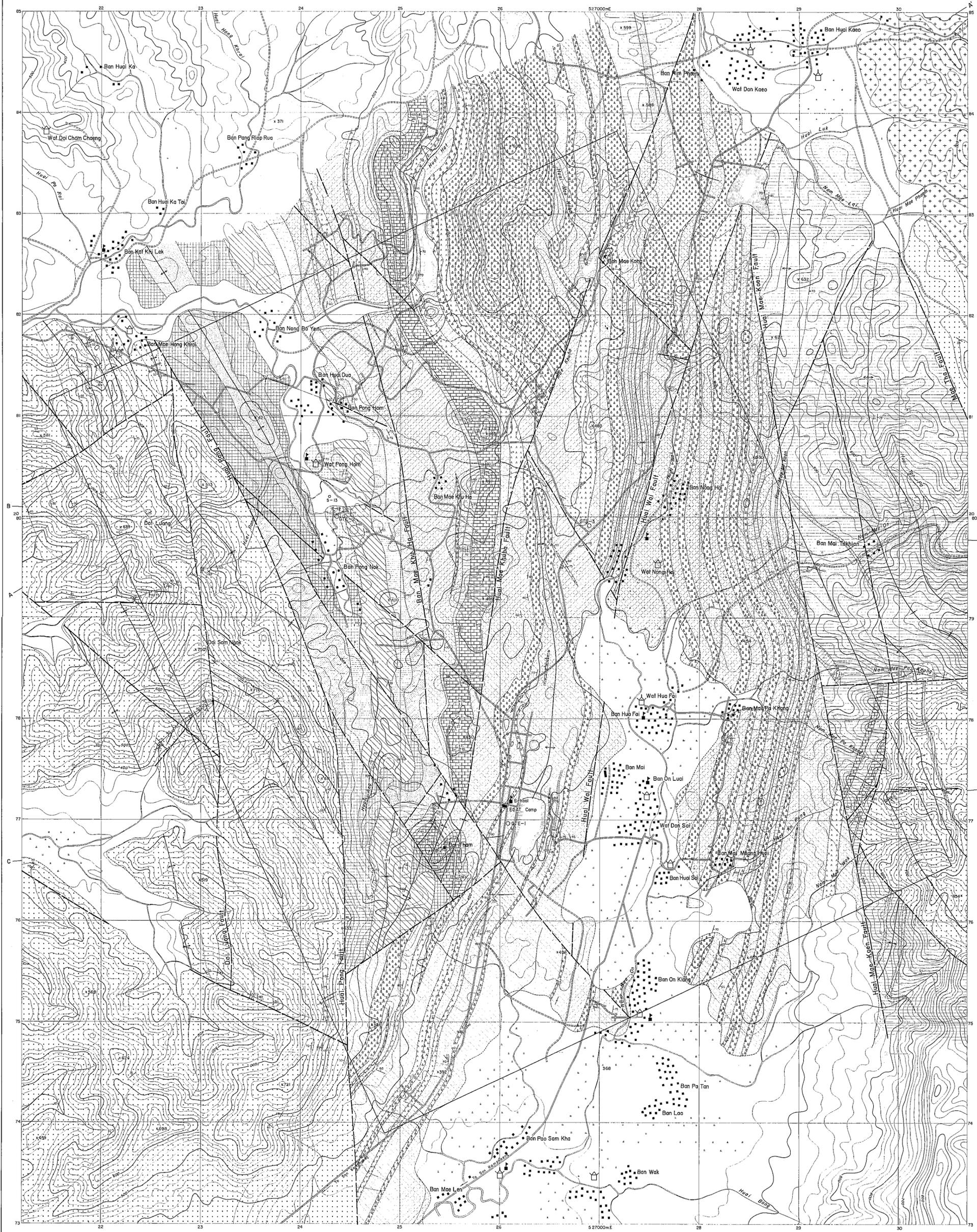
GEOLOGICAL MAP



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

MARCH 1983

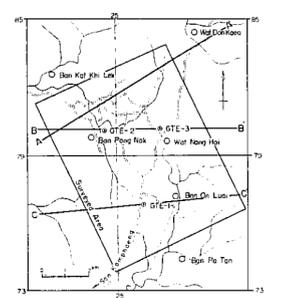
0 200 400m



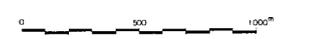
LEGEND

Alluvium	Alluvial deposit
Permian Kru Lan Formation	Basaltic tuff
	Basaltic tuff breccia, Lapilli tuff
	Basalt
	Shale
Carboniferous Mae Tha Formation	Siltstone > Sandstone
	Sandstone
	Chert
	Sandstone > Chert
	Chert > Sandstone
Carboniferous Mae Tha Formation	Shale > Sandstone > Chert
	Limestone
Carboniferous Mae Tha Formation	Shale
	Sandstone
	Porphyritic granite
	Bedding plane
	Joint
	Fissure
	Quartz vein
	Fault
	Anticline axis
	Syncline axis
	Structure line
A	Location of geological Profile

GEOLOGICAL PROFILE



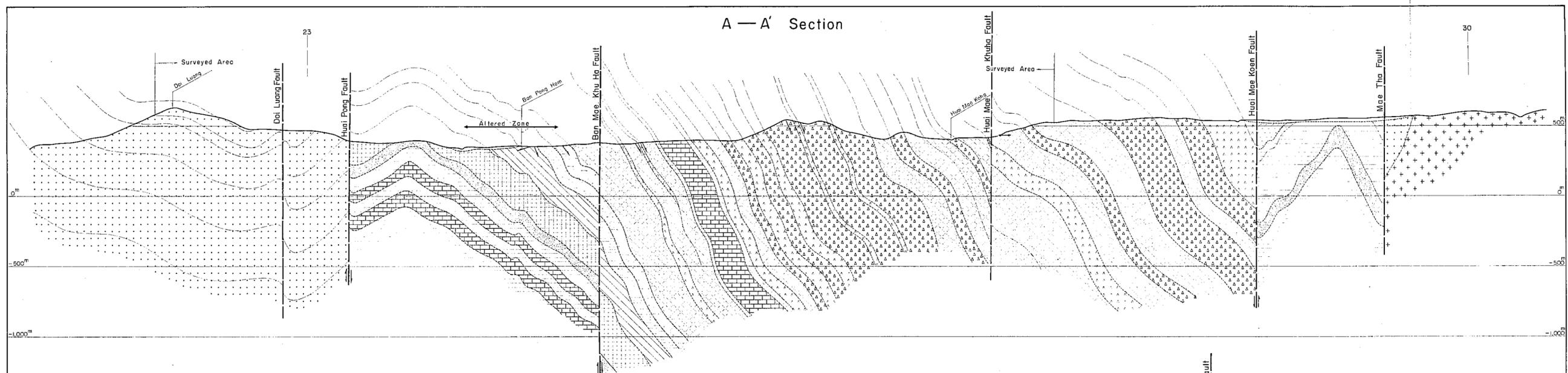
JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY
ELECTRICITY GENERATING AUTHORITY OF THAILAND
DEPARTMENT OF MINERAL RESOURCES
CHIANG MAI UNIVERSITY
MARCH 1983



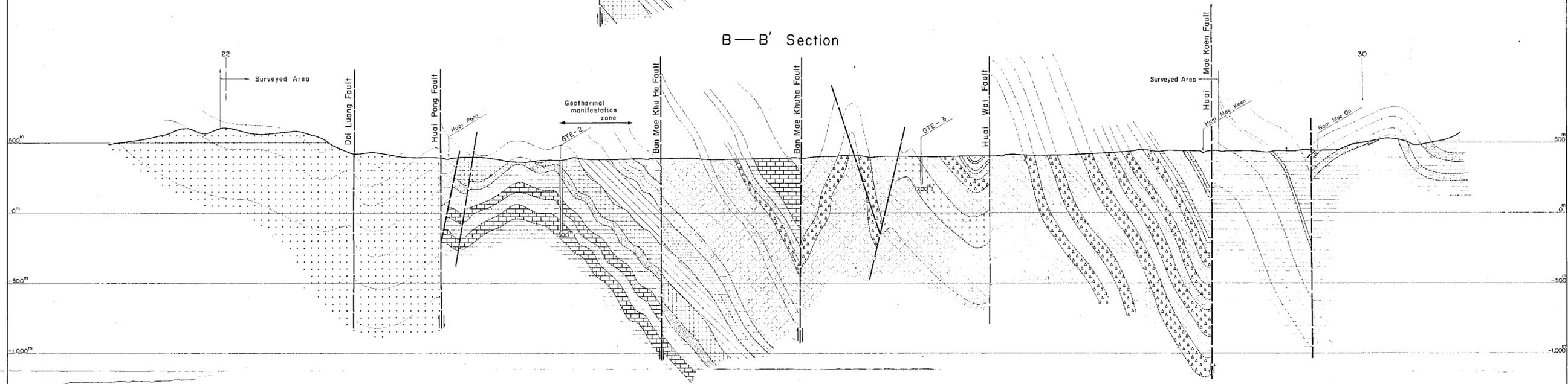
LEGEND

- Alluvium
 - Alluvial deposit
 - Basaltic tuff
 - Basaltic tuff breccia, Lapilli tuff
 - Basalt
- Permian
 - Shale
 - Siltstone → Sandstone
- Kiu Lam Formation
 - Sandstone
 - Chert
 - Sandstone → Chert
 - Chert → Sandstone
 - Shale → Sandstone → Chert
 - Limestone
- Carboniferous
 - Mae Tha Formation
 - Shale
 - Sandstone
 - Porphyritic granite
- Bedding plane
- Fault
- Structure line

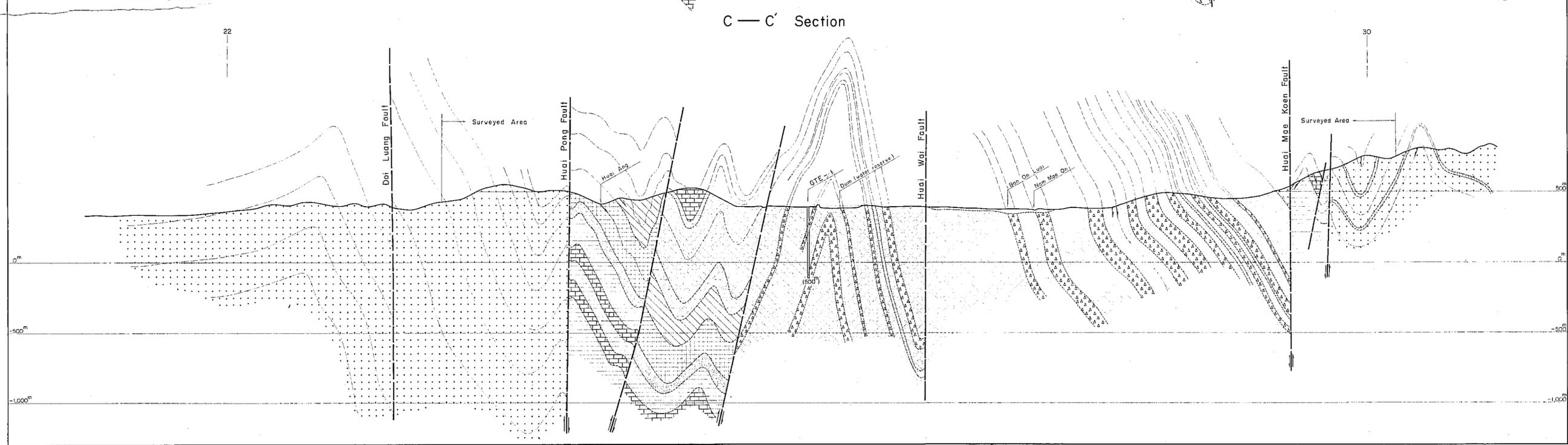
A — A' Section



B — B' Section

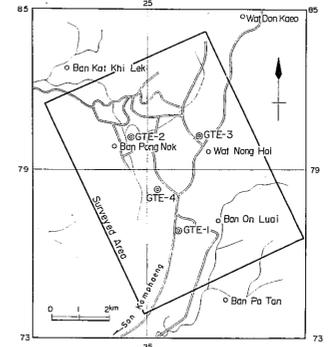


C — C' Section



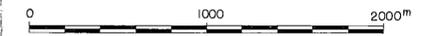
THE PRE-FEASIBILITY STUDY
ON
THE SAN KAMPAENG GEOTHERMAL DEVELOPMENT PROJECT
IN THE KINGDOM OF THAILAND

BOUGUER ANOMALY ($\rho = 2.6$)



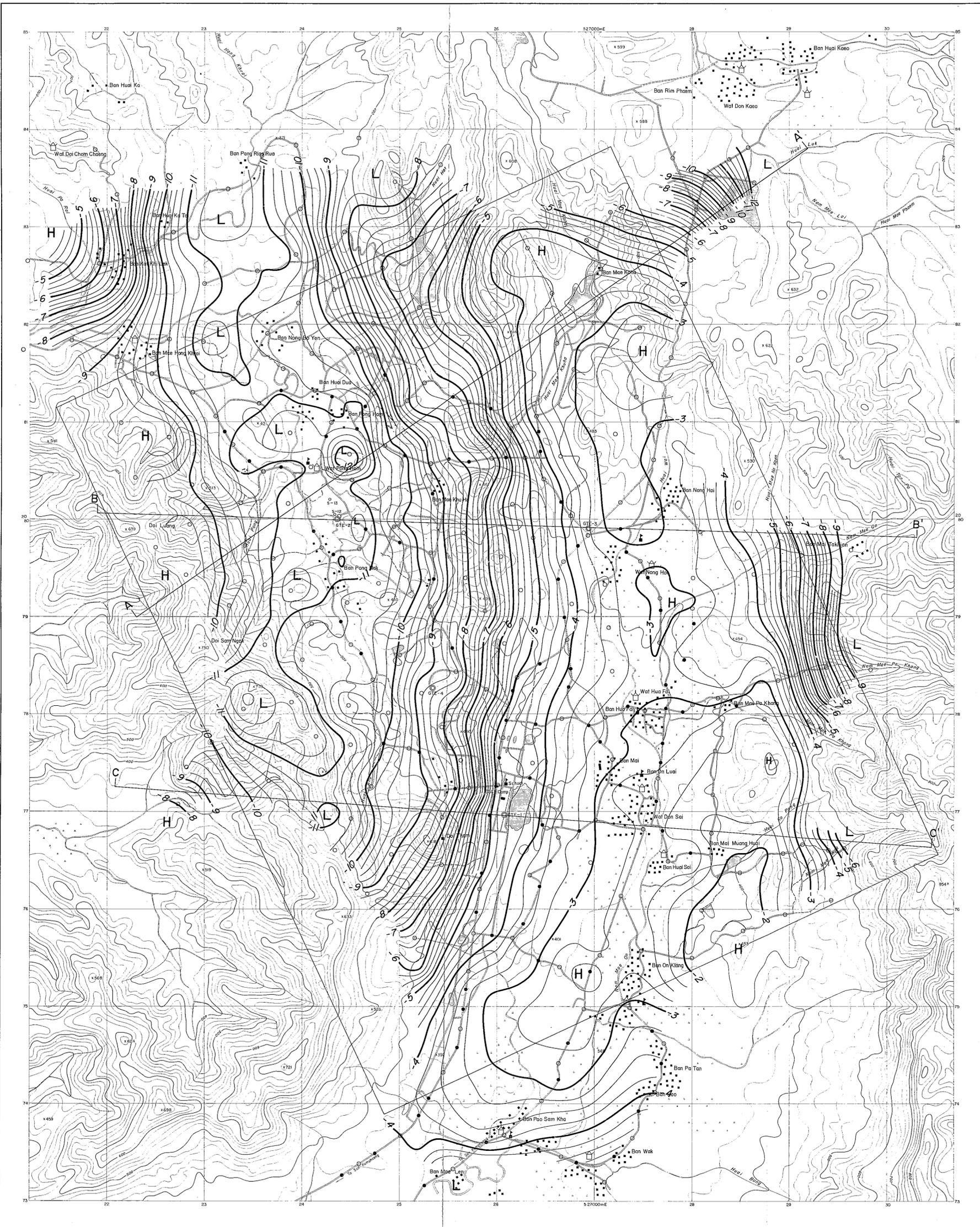
JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY
ELECTRICITY GENERATING AUTHORITY OF THAILAND
DEPARTMENT OF MINERAL RESOURCES
CHIANG MAI UNIVERSITY

MARCH 1983



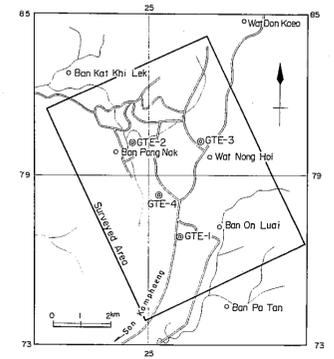
LEGEND

- Wide road
- Narrow path
- Stream
- Village
- Wat
- School
- Rice field
- Dam (water reserve)
- Gravity station surveyed by JICA
- Gravity station surveyed by DMR
- Drill hole
- 1.0 mgal } Contour line
- 0.25 mgal }
- High gravity anomaly
- Low gravity anomaly
- Profile of underground structure



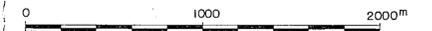
THE PRE-FEASIBILITY STUDY
ON
THE SAN KAMPAENG GEOTHERMAL DEVELOPMENT PROJECT
IN THE KINGDOM OF THAILAND

TOTAL MAGNETIC ANOMALY



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

MARCH 1983



LEGEND

- Wide road
- Narrow pass
- Stream
- Village
- Wat
- School
- Rice field
- Dam (water reserve)

- Magnetic station
- Drill hole
- 20 gamma } Contour line
- 5 gamma }
- High magnetic anomaly
- Low magnetic anomaly
- Profile of underground structure

Inclination : 15° N

Declination : N 6° W

Total intensity : 43,500 gamma

Profile for magnetic modeling

Geological profile

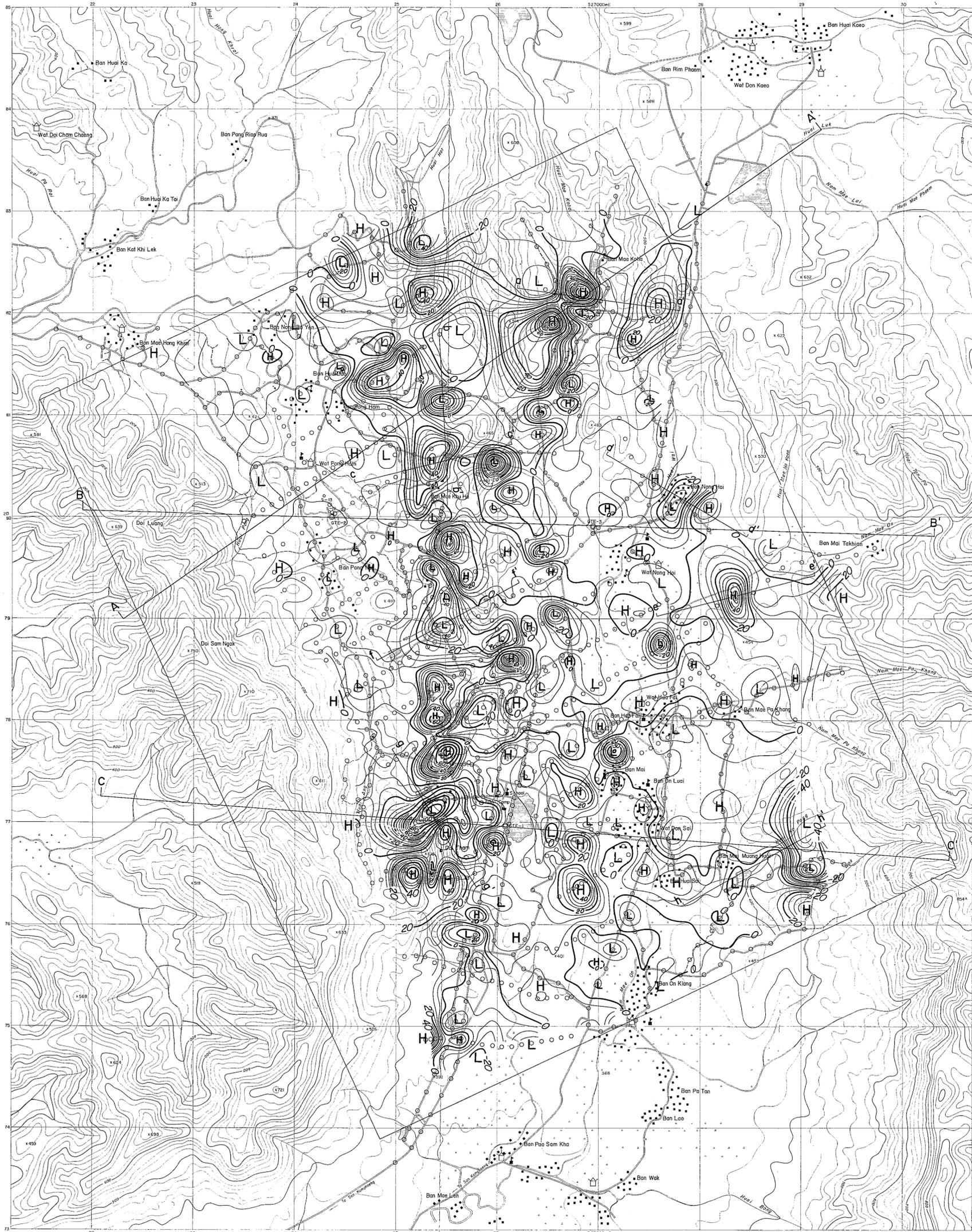
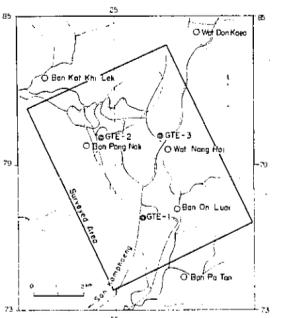


Fig. 2.2.2-1

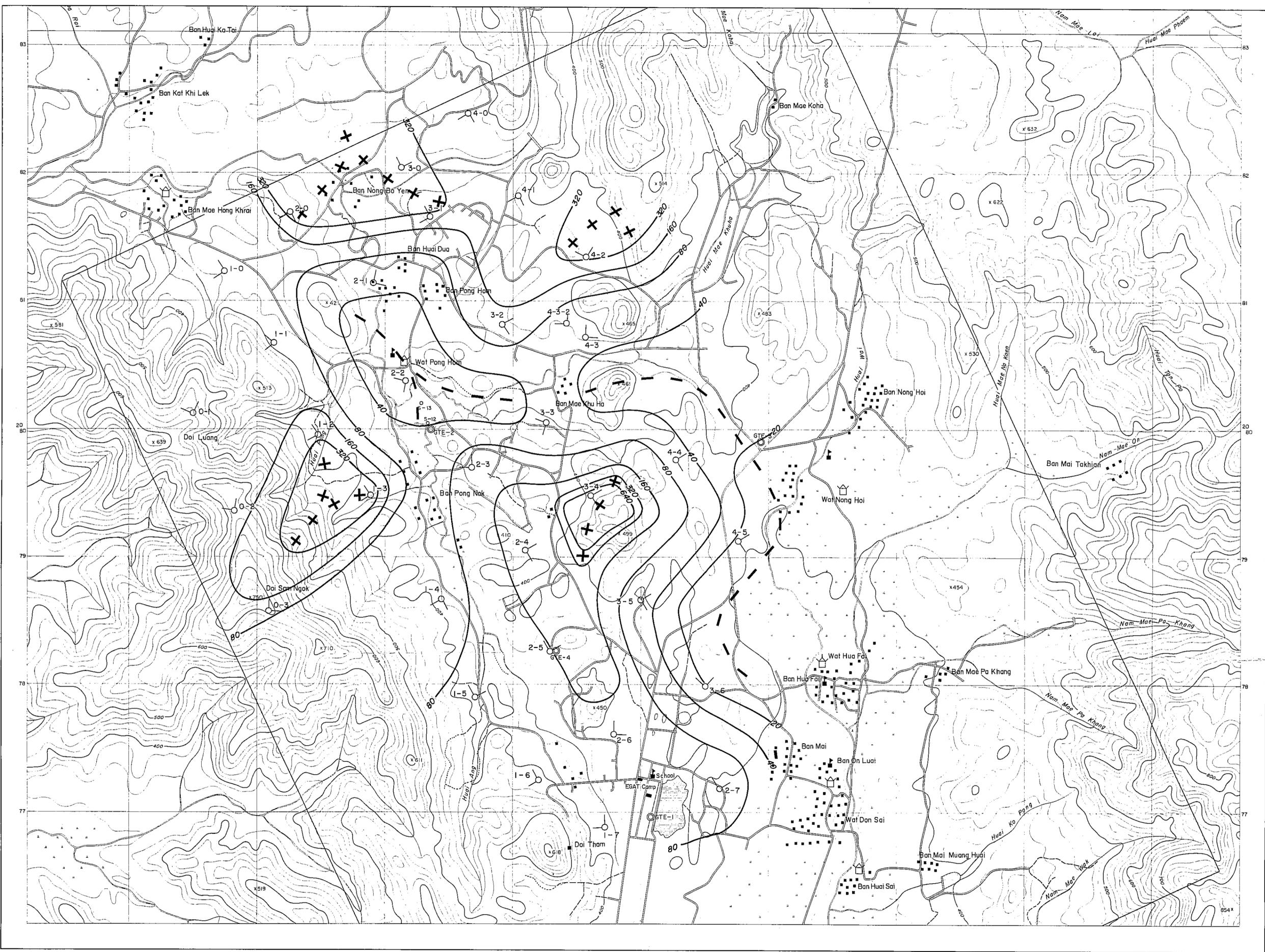
THE PRE-FEASIBILITY STUDY
ON
THE SAN KAMPAENG GEOTHERMAL DEVELOPMENT PROJECT
IN THE KINGDOM OF THAILAND

**APPARENT RESISTIVITY ISOCONTOURS
(Period 11.1304sec)**



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

MARCH 1983

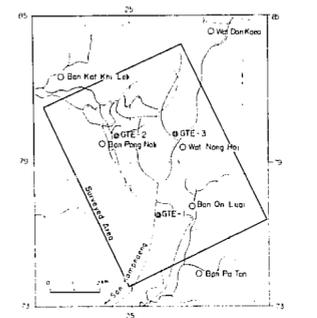


LEGEND

-  Confirmed road
-  Unconfirmed road
-  Stream
-  Village
-  Wat
-  School
-  Rice field
-  Dam (water reserve)
-  Apparent resistivity contour (Ω-m)
-  High resistivity anomaly
-  Low resistivity anomaly
-  Measurement point

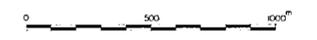
THE PRE-FEASIBILITY STUDY
ON
THE SAN KAMPAENG GEOTHERMAL DEVELOPMENT PROJECT
IN THE KINGDOM OF THAILAND

TOTAL CONDUCTANCE



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

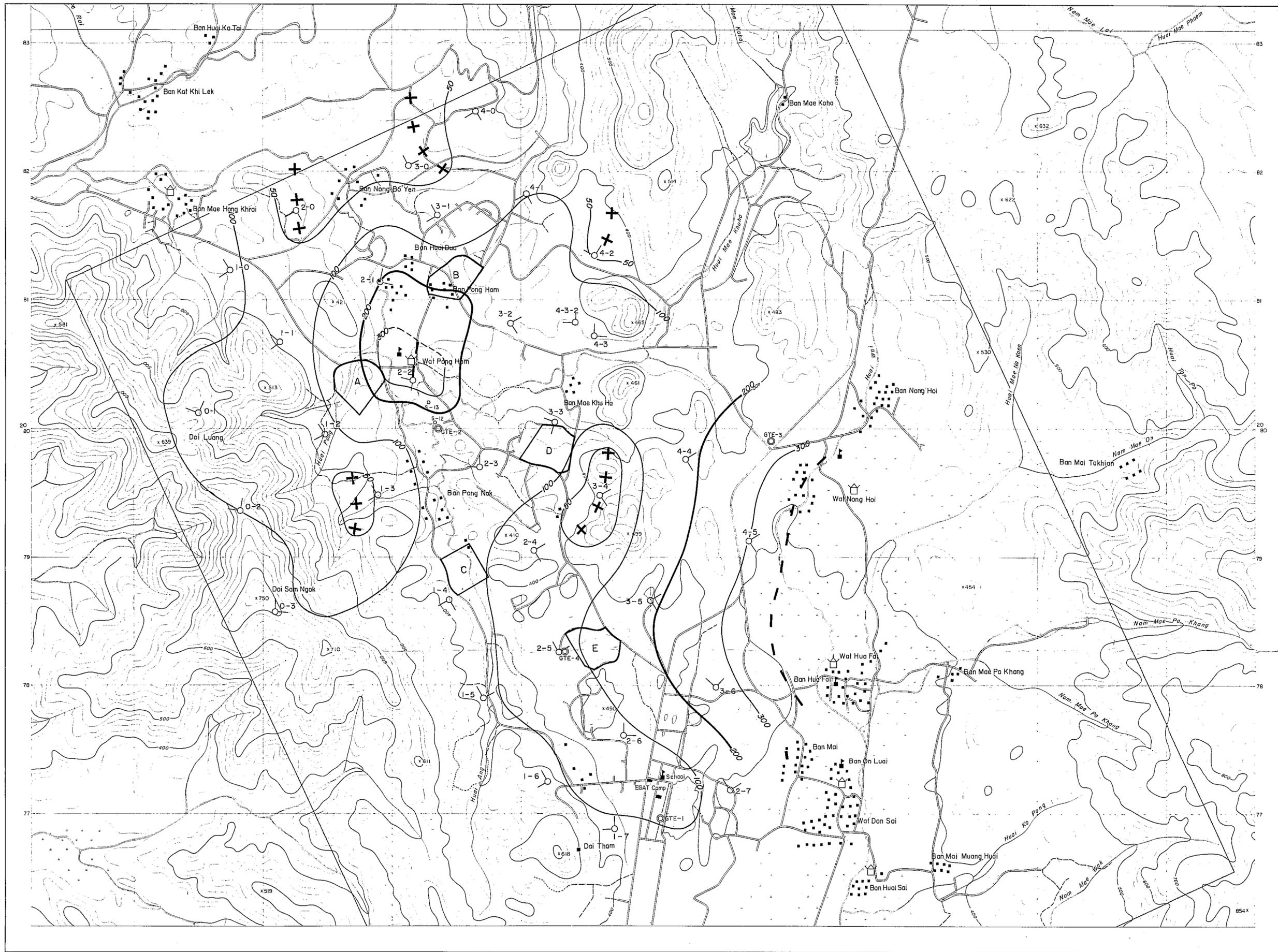
MARCH 1983



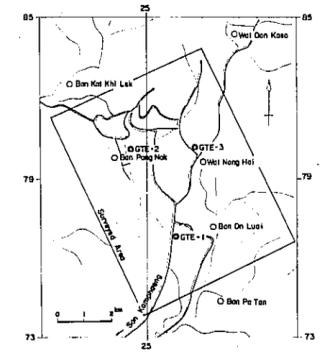
LEGEND

- Confirmed road
- Unconfirmed road
- Stream
- Village
- Wat
- School
- Rice field
- Dam (water reserve)

- Total conductance (mhos)
- Low conductance anomaly
- High conductance anomaly
- Measurement point



DEPTH SECTION MAP
 (LINE-A)

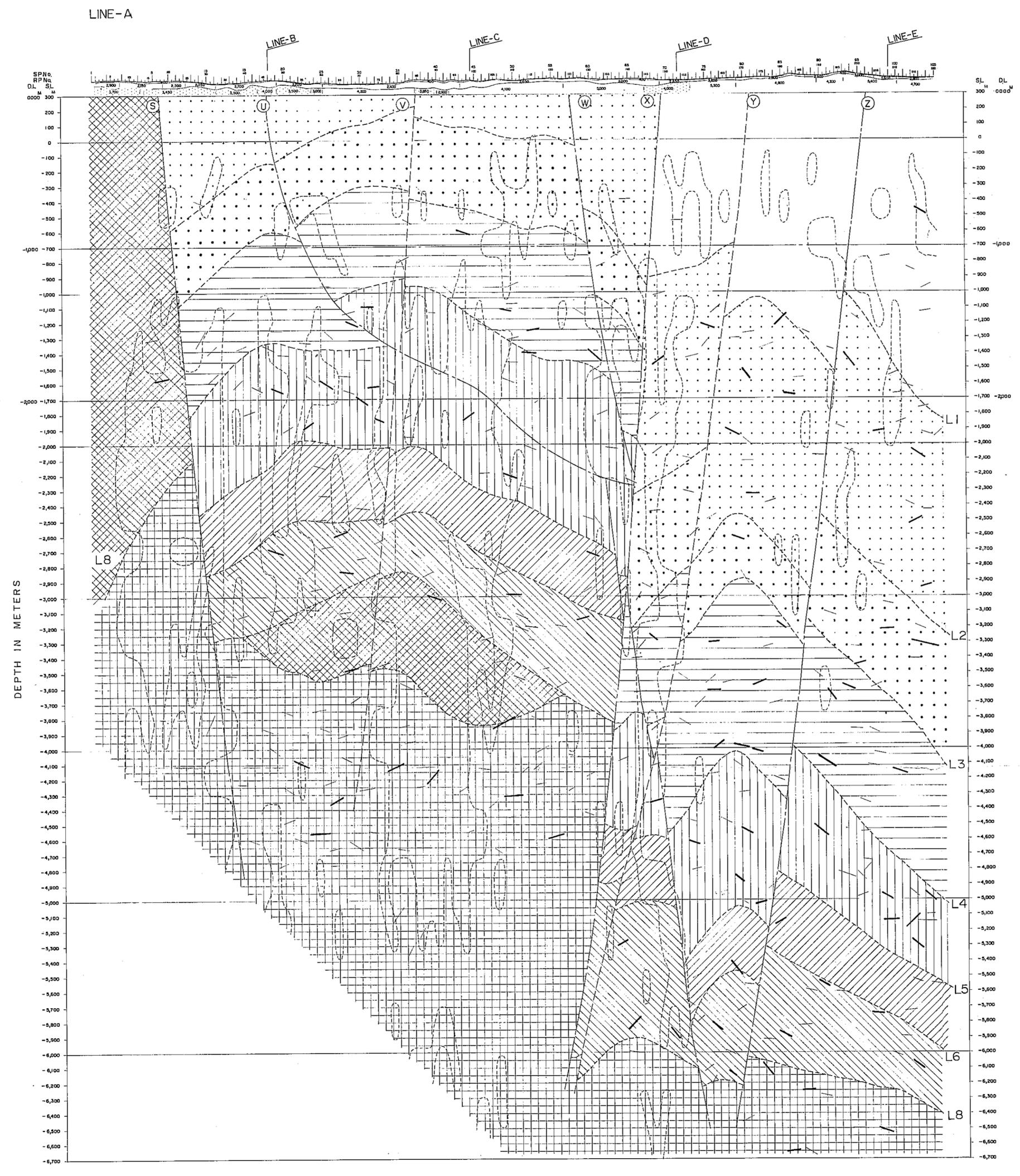
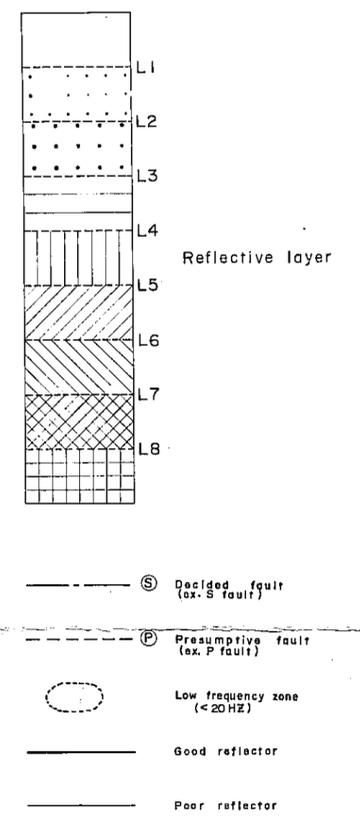


JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY
 ELECTRICITY GENERATING AUTHORITY OF THAILAND
 DEPARTMENT OF MINERAL RESOURCES
 CHIANG MAI UNIVERSITY

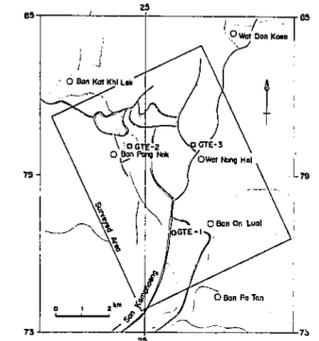
MARCH 1983



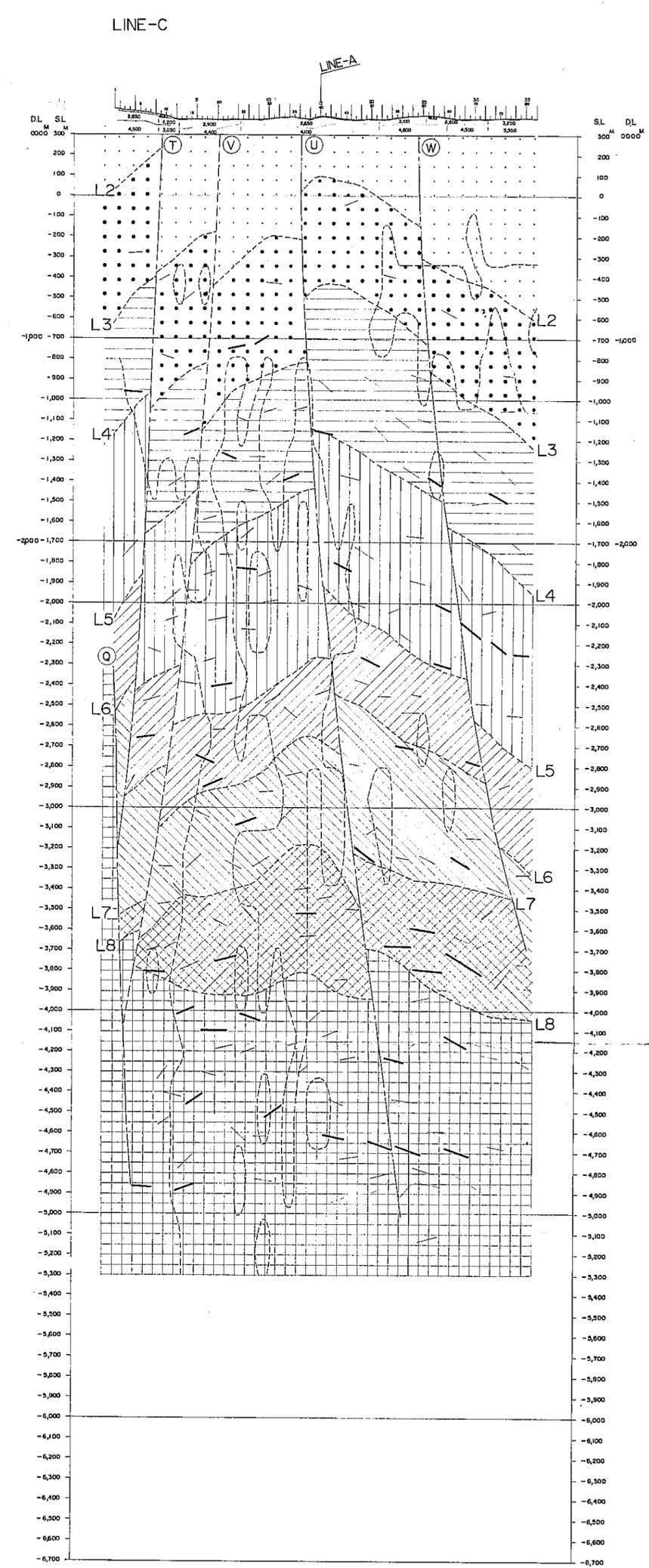
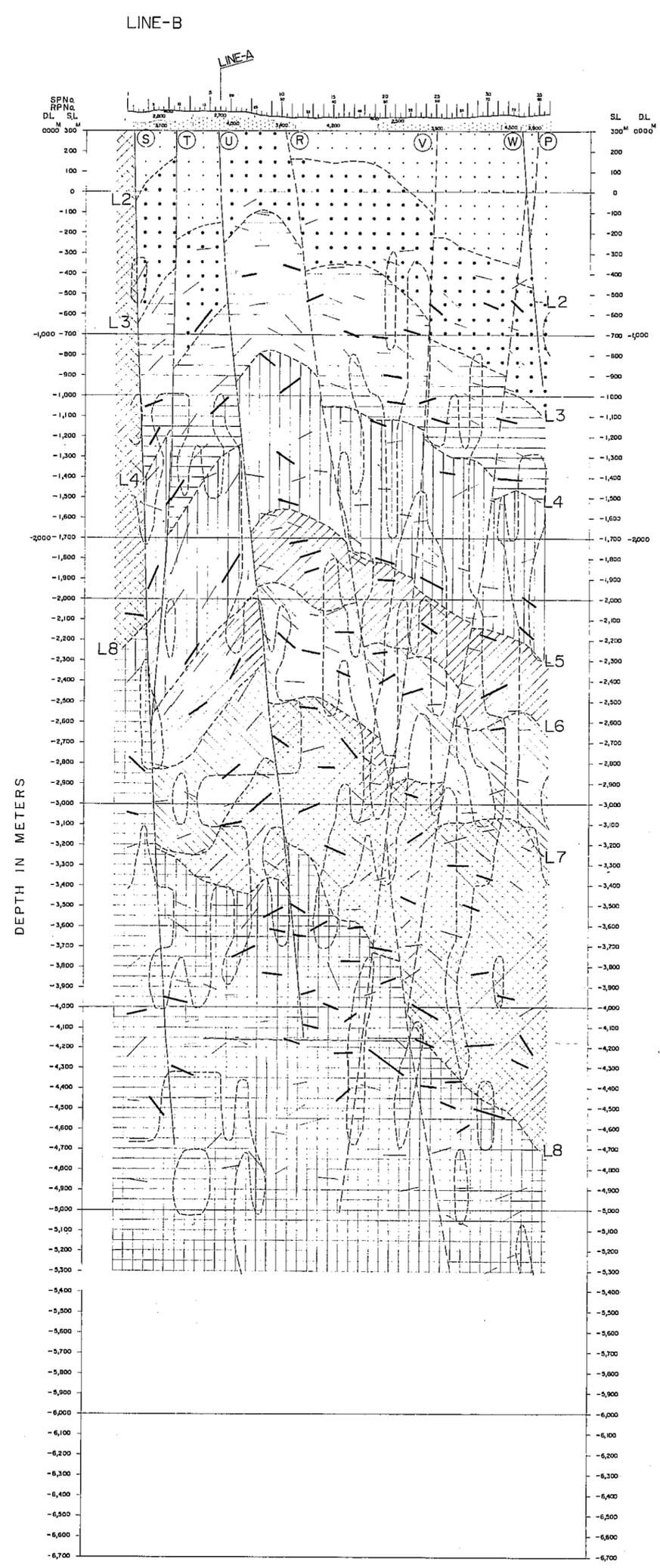
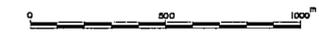
LEGEND



DEPTH SECTION MAP
 (LINE-B, LINE-C)



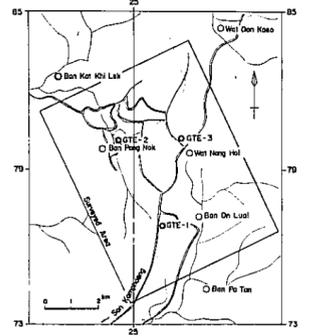
JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY
 ELECTRICITY GENERATING AUTHORITY OF THAILAND
 DEPARTMENT OF MINERAL RESOURCES
 CHIANG MAI UNIVERSITY
 MARCH 1983



LEGEND

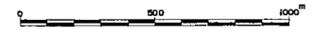
- L1
 - L2
 - L3
 - L4
 - L5
 - L6
 - L7
 - L8
- Reflective layer
- Ⓢ Decided fault (ex. S fault)
 - Ⓟ Presumptive fault (ex. P fault)
 - Low frequency zone (<20Hz)
 - Good reflector
 - Poor reflector

DEPTH SECTION MAP
(LINE-D, LINE-E)

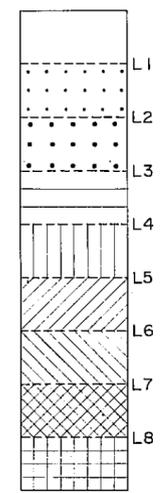


JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY
ELECTRICITY GENERATING AUTHORITY OF THAILAND
DEPARTMENT OF MINERAL RESOURCES
CHIANG MAI UNIVERSITY

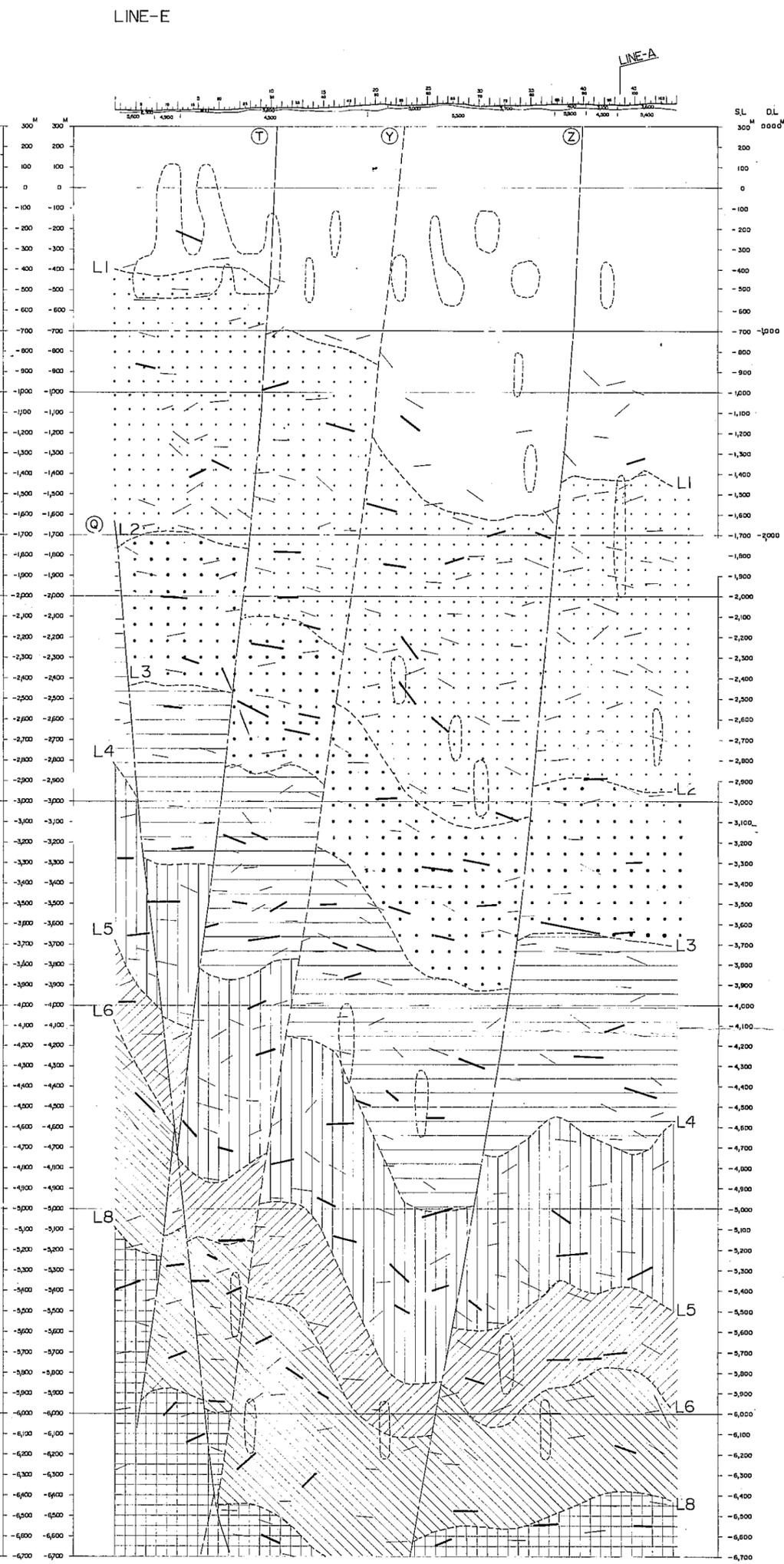
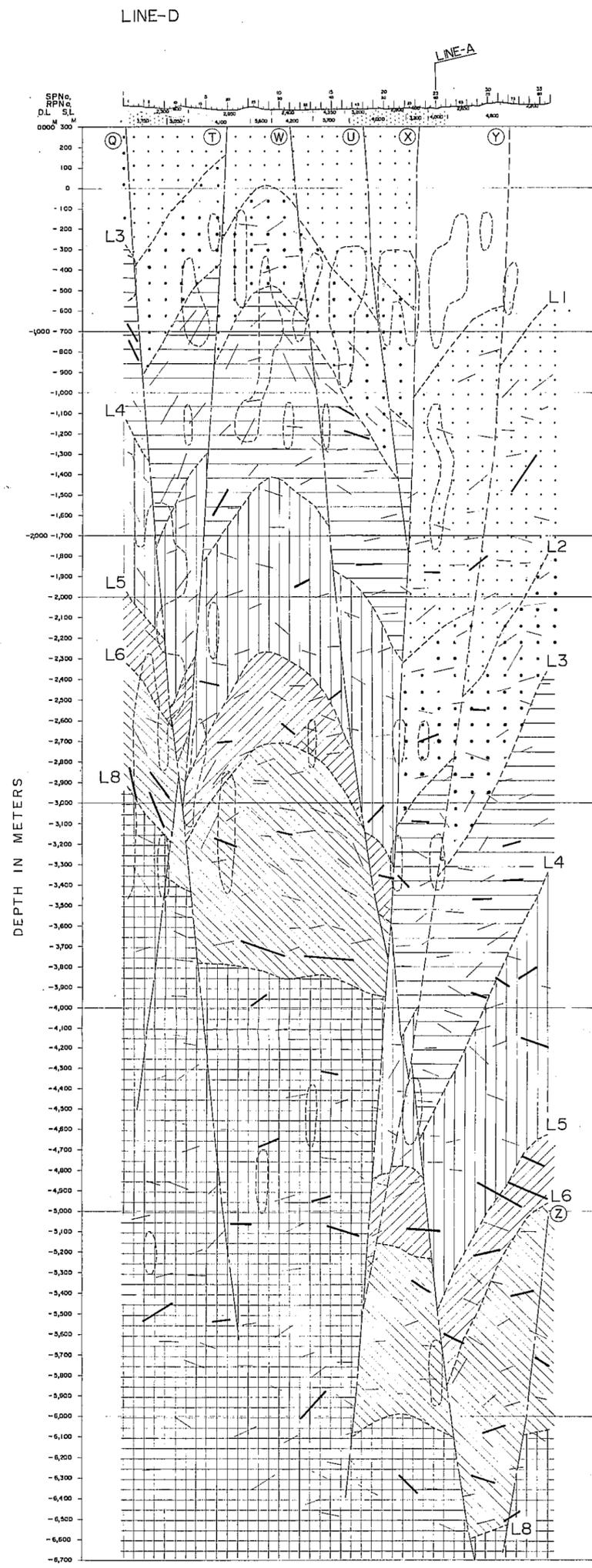
MARCH 1983



LEGEND



- ⑤ Decided fault (ex. S fault)
- Ⓟ Presumptive fault (ex. P fault)
- Low frequency zone (<20Hz)
- Good reflector
- - - Poor reflector

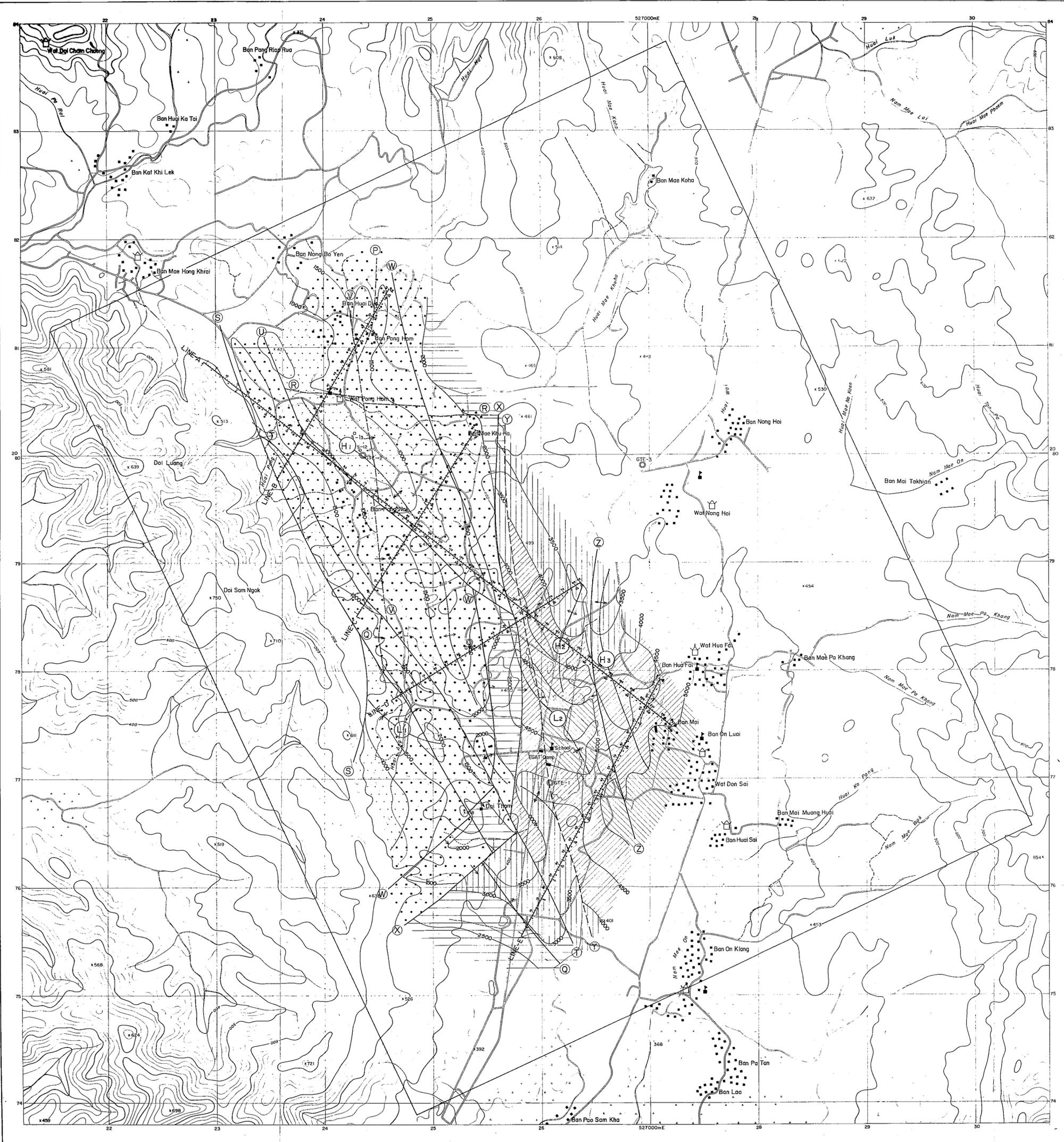


THE PRE-FEASIBILITY STUDY Fig. 2.2.3-4
ON
THE SAN KAMPAENG GEOTHERMAL DEVELOPMENT PROJECT
IN THE KINGDOM OF THAILAND

STRUCTURE ANALYSIS MAP
(L-4)

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

MARCH 1983



- LEGEND**
- Confirmed road
 - Unconfirmed road
 - Stream
 - Village
 - Wat
 - School
 - Rice field
 - Dam (water reserve)
 - DL (m)
 - 0^m ~ -1500^m
 - 1000^m ~ -2500^m
 - 2500^m ~ -3500^m
 - 3500^m ~ -4500^m
 - 4000^m ~ -5500^m
 - 5000^m ~ -6500^m
 - Contour line (DLm)
 - Decided fault (ex. Z fault)
 - Presumptive fault (ex. Y fault)
 - Anticline axis (ex. H₂ Anticline axis)
 - Syncline axis (ex. L₂ Syncline axis)

THE PRE-FEASIBILITY STUDY ON THE SAN KAMPAENG GEOTHERMAL DEVELOPMENT PROJECT IN THE KINGDOM OF THAILAND (DL -2000^m)
DEPTH STRUCTURE ANALYSIS MAP

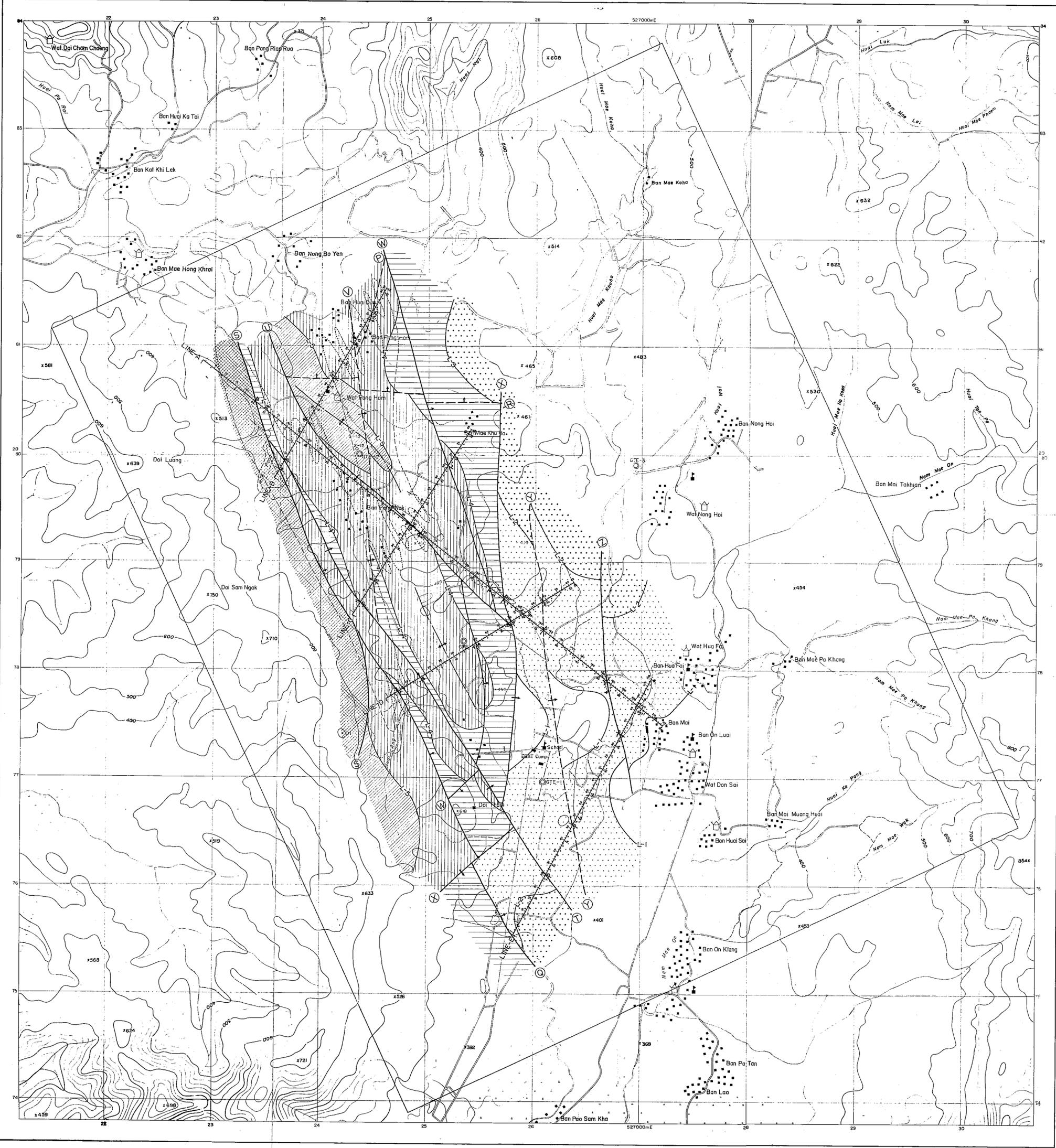
Fig.2.2.3-5

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

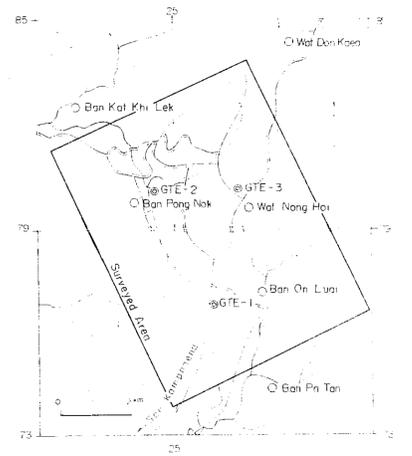
0 500 1000m

LEGEND

- Confirmed road
- Unconfirmed road
- Stream
- Village
- Wat
- School
- Rice field
- Dam (water reserve)
- Reflective layer
- Decided fault (ex. S fault)
- Presumptive fault (ex. P fault)
- Anticline axis
- Syncline axis
- Low frequency zone (<20Hz)



THE PRE-FEASIBILITY STUDY
ON
THE SAN KAMPAENG GEOTHERMAL DEVELOPMENT PROJECT
IN THE KINGDOM OF THAILAND
**FACTOR SCORE MAP FOR REGIONAL MODEL
(Factor 2)**



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

MARCH 1983



LEGEND

-  Confirmed road
-  Unconfirmed road
-  Stream
-  Village
-  Wat
-  School
-  Rice field
-  Dam (water reserve)
-  Factor score contours



