

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)

昭和59年1月

国際協力事業団

鉦計資

84-15

国際協力事業団

納入 年月 '85. 1. 14	122
登録No. 10990	64.3 MPN

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)

昭和59年1月

国際協力事業団

鉦計資

84-15

JICA LIBRARY



1049996[0]

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)

昭和59年1月

国際協力事業団

国際協力事業団	
受入 月日 '85. 1. 14	122
	643
登録No. 10990	MPN

は　じ　め　に

本報告書は、国際協力事業団が1982FYに実施した「タイ王国サンカンペン地熱開発計画調査」の調査結果をとりまとめたものである。本調査は、タイ王国北部サンカンペン地域における地熱開発の可能性を評価することを目的としてなされたもので、第1次調査として地質調査、重力探査および磁気探査を、第2次調査として深部電気探査および弾性波探査を行った。なお、この間に2度にわたり坑井検層の技術指導も実施された。

なお現地調査は、タイ側カウンターパート（Electricity Generating Authority of Thailand : EGAT, Department of Mineral Resources : DMR および Chiang Mai University : CMU）の協力のもとに行われた。ここに感謝の意を表す。またタイ側からは、すでに実施された地熱調査関係資料の提供をうけ、今回の調査の総合解析の参考資料とした。

目 次

I 結 論	1
I-1 調査の目的	1
I-2 調査地域	1
I-3 調査期間	1
I-4 調査者氏名	4
I-5 調査の概要	6
II JICA で行った調査	9
II-1 第1次調査	9
II-1-1 地質調査	9
II-1-2 重力探査	29
II-1-3 磁気探査	57
II-2 第2次調査	94
II-2-1 深部電気探査	94
II-2-2 弾性波探査	148
III タイ側で行った調査結果	193
III-1 調査結果の概要	193
III-2 地熱調査井の結果	195
III-3 地熱貯溜層モデル	197
IV 数値モデルの作成	199
IV-1 まえがき	199
IV-2 解析方法	199
IV-2-1 グリッドの設定	199
IV-2-2 入力データ	200
IV-2-3 手法	200
IV-3 解析結果	200
IV-3-1 広域モデルの解析結果	200
IV-3-2 狭域モデルの解析結果	205

IV-4 考 察	208
V 総合評価	209
V-1 地熱貯溜層構造モデル	209
V-1-1 地質構造	209
V-1-2 熱構造	210
V-1-3 水理構造	218
V-1-4 地熱貯溜層構造モデル	226
V-2 地熱開発の可能性と今後の調査計画	230
VI 結 論	231

圖 面 一 覽 表

PLII, 1.1-1	地質圖 Geological Map
PLII, 1.1-2	地質断面圖 Geological Profile
PLII, 1.1-3	地質路線圖 Geological Route Map
PLII, 1.1-4	岩石試料位置圖 Location Map of Rock Samples
PLII, 1.1-5	精密地熱徵候圖 Detailed Sketch of Geothermal Manifestation
PLII, 1.1-6	變質分帶圖 Zonal Distribution of Alteration Zone
PLII, 1.2-1	等重力線圖 ($\rho = 2.6$) Bouguer Anomaly
PLII, 1.2-2	3次傾向面圖 Gravity Trend
PLII, 1.2-3	3次殘差圖 Residual Gravity
PLII, 1.2-4	深部成分解析圖 (1,200m) Deep Gravimetric Component
PLII, 1.2-5	淺部成分解析圖 (190m) Shallow Gravimetric Component
PLII, 1.2-6	断面解析圖 (A-A') Underground Structure (A-A')
PLII, 1.2-7	断面解析圖 (B-B') Underground Structure (B-B')
PLII, 1.2-8	断面解析圖 (C-C') Underground Structure (C-C')
PLII, 1.2-9	地下構造平面圖 Underground Structure

PLII. 1.3-1	全磁力図 Total Magnetic Intensity
PLII. 1.3-2	全磁力変化図 Total Magnetic Anomaly
PLII. 1.3-3	Upward図 Upward Continuation
PLII. 1.3-4	深部成分解析図 Deep Magnetic Component
PLII. 1.3-5	浅部成分解析図 Shallow Magnetic Component
PLII. 1.3-6	断面計算結果図 Result of Magnetic Modeling
PLII. 1.3-7	地下構造図 Underground Structure
PLII. 2.1-1	見掛比抵抗分布図 (T = 0.11 sec) Apparent Resistivity Isocontours
PLII. 2.1-2	見掛比抵抗分布図 (T = 11sec) Apparent Resistivity Isocontours
PLII. 2.1-3	見掛比抵抗分布図 (T = 39 sec) Apparent Resistivity Isocontours
PLII. 2.1-4	トータルコンダクタンス分布図 Total Conductance
PLII. 2.1-5	導電性地層頂部図 (浅部) Structure Isocontours for the Top of the Shallow Conductive Formation
PLII. 2.1-6	導電性地層頂部図 (深部) Structure Isocontours for the Top of the Deep Conductive Formation
PLII. 2.1-7	高比抵抗被覆層アイソパック図 Isopachs of the Overburden Overlying the Deep Conductive Formation
PLII. 2.1-8	電気的基盤頂部図 Top of the Electrical Basement

- PLII. 2.1-9 サブセット図
Subset Map
- PLII. 2.1-10 2次元モデル断面位置
Cross - Section Locations
- PLII. 2.2-1 測線配置図
Seismic Survey Line Map
- PLII. 2.2-2 屈折法解析図
Refraction Method Analysis Map
- PLII. 2.2-3 表層速度分布図
Weathering Layer Velocity Distribution Map
- PLII. 2.2-4~8 側面反射解析図
Side Reflection Analysis Map
- PLII. 2.2-9 側面反射分布総括図
Side Reflection Distribution Map
- PLII. 2.2-10~14 回折源分布総括図
Diffraction Source Distribution Map
- PLII. 2.2-15 発破孔底温度分布図
10 m Depth Temperature Distribution Map
- PLII. 2.2-16~20 記録断面図
Final Stack (Time Section)
- PLII. 2.2-21~25 S - N 比分布図
Amplitude Distribution Map
- PLII. 2.2-26~30 周波数分布図
Frequency Distribution Map
- PLII. 2.2-31~35 時間断面図
Time Section Map (With Reflective Layer)
- PLII. 2.2-36~40 深度補正断面図
Final Stack (Depth Section)
- PLII. 2.2-41~43 深度断面図
Depth Section Map
- PLII. 2.2-44 L - 4 層準 構造平面図
Structure Analysis Map (L - 4)

- PLII. 2.2-45 L-8 履準構造平面図
Structure Analysis Map (L-8)
- PLII. 2.2-46 DL-1,000m 構造平面図
Depth Structure Analysis Map (DL-1,000m)
- PLII. 2.2-47 DL-2,000m 構造平面図
Depth Structure Analysis Map (DL-2,000m)
- PLIII. 2-1 総合柱状図 (GTE-1)
Compiled Column (GTE-1)
- PLIII. 2-2 総合柱状図 (GTE-2)
Compiled Column (GTE-2)
- PLIII. 2-3 総合柱状図 (GTE-3)
Compiled Column (GTE-3)
- PLIII. 2-4 総合柱状図 (GTE-4)
Compiled Column (GTE-4)
- PLIII. 2-5 総合柱状図 (GTE-5)
Compiled Column (GTE-5)
- PLIV-1 広域モデルの因子評点図 (因子1)
Factor Score Map for Regional Model (Factor 1)
- PLIV-2 広域モデルの因子評点図 (因子2)
Factor Score Map for Regional Model (Factor 2)
- PLIV-3 広域モデルの因子評点図 (因子3)
Factor Score Map for Regional Model (Factor 3)

I 緒 論

I 緒 論

I-1 調査の目的

本調査は、タイ王国 San Kampaeng 地域の地熱賦存状況を明らかにし、地熱開発の可能性を評価することを目的として、1982FYに国際協力事業団により実施されたものである。この目的のために、第1次調査として地質調査、重力探査、磁気探査およびモデルテスト井の検層と技術指導が、第2次調査として深部電気探査、弾性波探査および調査井のデータ収集が行われた。

第1次調査の結果は、「昭和57年度タイ王国サンカンベン地熱開発計画調査中間報告書」として提出された。

本報告書は、第1次・第2次調査の調査結果、解析結果およびそれらの総合的考察について述べたものである。

I-2 調査地域

San Kampaeng 地熱地域は、タイ王国北部の Chiang Mai 州にあり、Chiang Mai 市東方約 30 km に位置する。調査地域は、北緯 $18^{\circ}45'$ ~ $18^{\circ}50'$ および東経 $99^{\circ}13'$ ~ $99^{\circ}17'$ の範囲で、その面積は約 5.0 km^2 である (Fig I-1)。

地熱徴候地は、調査地域の北西部の Wai Pong Hom と Ban Pong Nok の中間にあり、多数の高温の温泉の湧出によって特徴づけられる。

調査地域の西部を海拔 500 ~ 650 m の Doi Luang 山地が、東部を海拔 500 ~ 850 m の Mae Tha 山地がほぼ南北に走り、その間を数 km の巾をもって海拔 350 ~ 450 m の低平地が占めている。

I-3 調査期間

第1次調査は地質調査、重力探査、磁気探査およびモデルテスト井の検層と技術指導であるが、野外作業は昭和57年7月6日にはじまり、すべて予定通り昭和57年12月28日に終了した。ただし、第2回目のモデルテスト井の検層と技術指導は、タイ王国で実施した対象となるべき調査井の掘さく都合上、当初計画した昭和58年3月15日の予定を約2ヶ月くりあげ、昭和58年1月23日より10日間とし、調査期間も20日間から半分の10日間に計画を変更した。

第2次調査は、深部電気探査、弾性波探査および調査井データの収集を行い、昭和58年1月4日に開始し昭和58年6月24日に終了した。Tab I-1 に調査期間を示す。

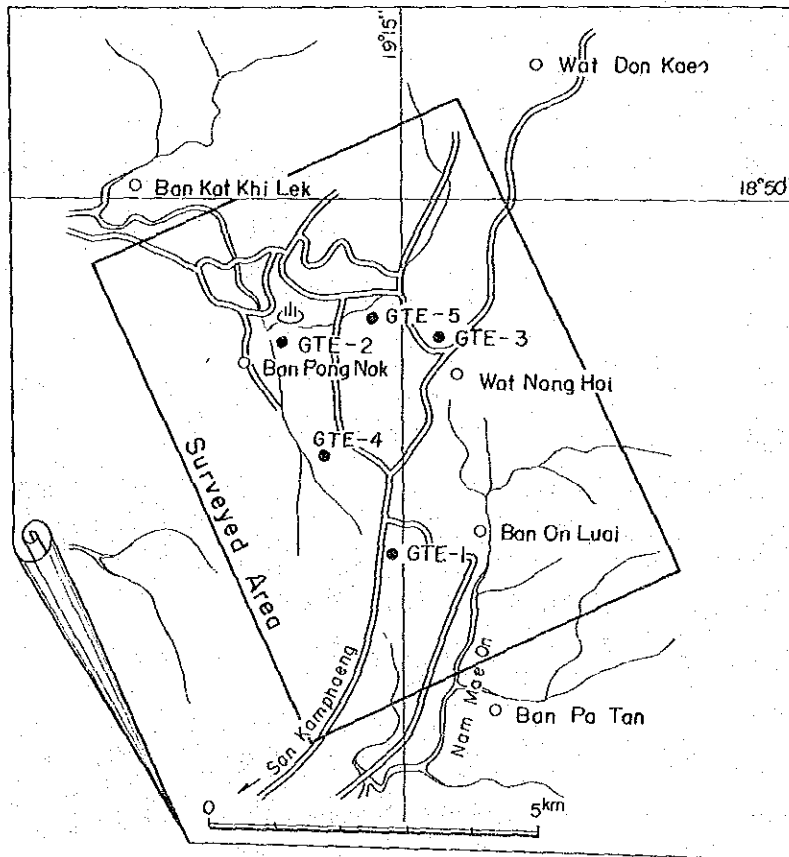
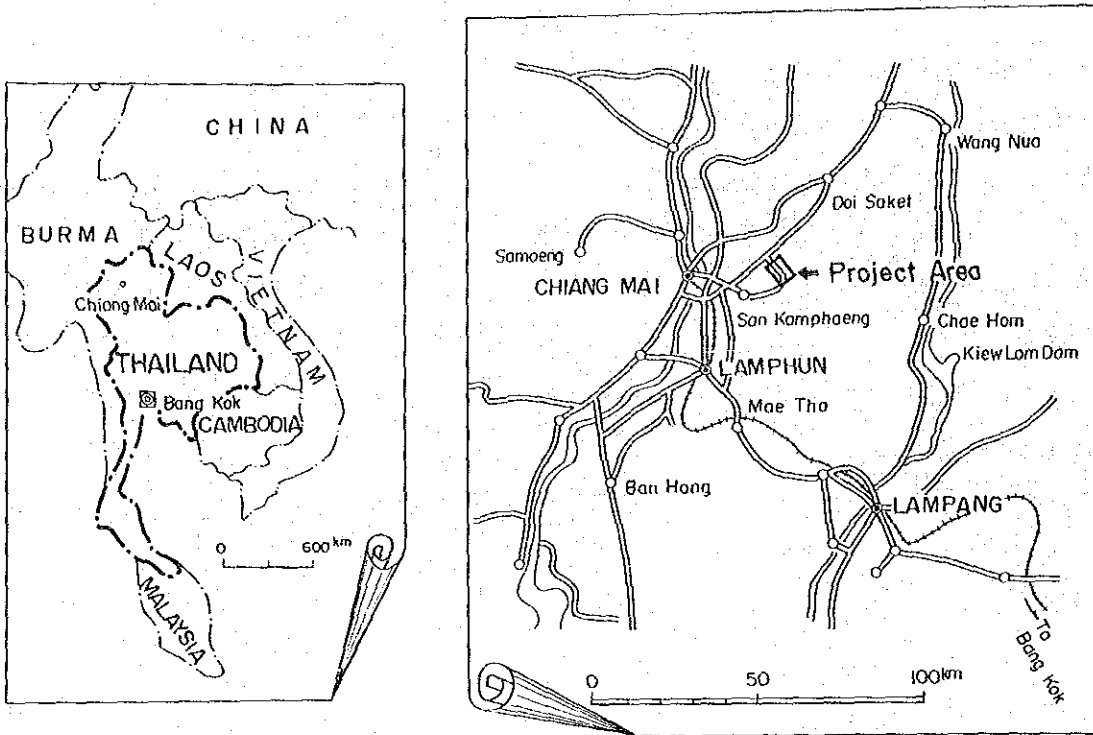


Fig. I-1 Location of project area

Table 1-1 調査期間

調査項目		期 間	現 地 調 査	国 内 解 析
第 一 次 調 査	地 質 調 査		自 S 5 7. 7. 6 至 S 5 7. 8. 5 } 3 1 日間	自 S 5 7. 8. 6 至 S 5 8. 3. 3 1
	重 力 探 査		自 S 5 7. 1 1. 1 至 S 5 7. 1 2. 2 8 } 5 8 日間	自 S 5 8. 1. 4 至 S 5 8. 3. 3 1
	磁 気 探 査		自 S 5 7. 1 1. 1 至 S 5 7. 1 2. 2 8 } 5 8 日間	自 S 5 8. 1. 4 至 S 5 8. 3. 3 1
	モデルテスト井の 検層と技術指導		(第1回目)自 S 5 7. 7. 2 8 至 S 5 7. 8. 1 6 } 2 0 日間 (第2回目)自 S 5 8. 1. 2 3 至 S 5 8. 2. 1 } 1 0 日間	—
第 二 次 調 査	深部電気探査		自 S 5 8. 1. 4 至 S 5 8. 2. 2 2 } 5 0 日間	自 S 5 8. 6. 1 至 S 5 8. 7. 3 0
	弾性波探査		自 S 5 8. 1. 4 至 S 5 8. 3. 3 1 } 8 7 日間	自 S 5 8. 4. 1 至 S 5 8. 9. 8
	調査井データの 収 集		自 S 5 8. 6. 1 5 至 S 5 8. 6. 2 4 } 1 0 日間	—

1-4 調査者氏名

本調査団の団長、各調査の責任者および担当者氏名は以下のとおりである。

Table 1-2 調査団の構成

調査名	氏名	所属機関
団長	中村久由	日本重化学工業㈱
地質調査	若林健介 ^(*)	三井金属資源開発㈱
	田上勇吉	同上
	井出俊夫	日本重化学工業㈱
重力探査	木村美紀夫 ^(*)	三井金属資源開発㈱
磁気探査	三好福次郎 ^(*)	三井金属資源開発㈱
モデルテスト井の検 層と技術指導	高山孝夫 ^(*)	開発工業㈱
	小原幸正	日本重化学工業㈱
深部電気探査	野淵和久 ^(*)	日本重化学工業㈱
	高杉真司	同上
弾性波探査	有部明 ^(*)	宇部興産㈱
	野原和良	同上
	河村虹児	同上
	鈴川俊道	同上
	堀敬史	同上
調査井データの収集	若林健介 ^(*)	三井金属資源開発㈱

(*)は、各調査の責任者を示す。

Table 1-3 タイ側カウンターパート

調査名	氏名	所属機関 ^(*)
全般	CHAYA-JIYACAT	EGAT
	CHAI-ASA BHOTIRVNGSIYAKORN	EGAT
	KIATICHAI PATIKONSIN	EGAT
	AMNUAYCHAI TIENPRASERT	DMR
地質調査	SURACHAI PRASERDVIGAI	EGAT
	VISIT COOTHONGKUL	EGAT
	ADICHAT SURINKUM	DMR
	PRAPAT SOPHONPONQHIPAT	DMR
重力探査	SURACHAI PRASERDVIGAI	EGAT
	VISIT COOTHONGKUL	EGAT
	PRECHA LAOCHU	DMR
磁気探査	SURACHAI PRASERDVIGAI	EGAT
	PAIROAG RANGPOLSUMRIT	DMR
モデルテスト井 の検層と技術指 導	JIRAKOM PADUMANON	EGAT
	BUNCHA KONGSUPAPKUL	EGAT
	EKACHI SINRATAPAKDI	EGAT
	PRAMUAL WONGPUNGA	EGAT
	SOMMART SARI	EGAT
深部電気探査	SURACHAI PRASERDVIGAI	EGAT
	WANCHAI PRASARTKETVITAYA	EGAT
	SUEBSAK SOLGOSOOM	DMR
弾性波探査	SOMCHAI WONGPORNPAKDEE	EGAT
	SURACHAI PRASERDVIGAI	EGAT
	SUTHEP LERTSRIMONGKOL	EGAT
	VISIT COOTHONGKUL	EGAT
	PRECHA LAOCHU	DMR

EGAT: Electricity Generating Authority of Thailand

DMR : Department of Mineral Resources

I-5 調査の概要

本調査の数量および内容を以下に示す (Table I-4)。

Table I-4 調査概要

調査項目	数 量	内 容
地質調査	調査路線長：約 95 km 岩石薄片観察： 51 個 化石鑑定： 5 個 年代測定： 5 個 X線回折分析：103 個	地層区分：(下位)石炭系の Mac Tha 層，二疊系の Kiu Lom 層，三疊紀の花崗岩および沖積層(上位)に区分される。 断層系：主要断層は NNW-SSE 性，その他 NNE-SSW, NW-SE, NE-SW 性の断層が認められる。 変質帯：地熱徴候地を中心に発達し，5 分帯される。
重力調査	重力測点：230 点 コンパイル点： 87 点 岩石密度測定： 84 個	等重力線の走向は，NS, NW-SE, NE-SW 性が卓越する。 Kiu Lom 層中・上部は高重力異常に対応し，Kiu Lom 層下部は低重力異常に対応する。 地熱徴候地は低重力域に位置する。
磁気探査	磁気測定：901 点 帯磁率測定： 84 個 現地帯磁率測定：9 箇所	Ban Mae Khu Ha 断層，Huai Mae Khu Ha 断層および Huai Wai 断層南部に磁性岩体(磁気異常)が推定される。
モデルテスト 井の検層と技術指導	検層坑井：GTE-3 GTE-4	検層作業は，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)を用いて行われた。 GTE-3 は深度 88 m まで，GTE-4 は 164 m まで検層を実施した。
深部電気探査	測 点： 33 点	全体として，トータルコンダクタンス値は小さい。 地熱徴候地および調査地域南東部(Wat Hua Fai 周辺)が 300 mhos 以上の高トータルコンダクタンス値を示す。
弾性波探査	測 線： 5 本 測 線 長：14,225m	反射法の重合記録から，L ₁ ~L ₈ の仮想層準が認められる。L ₈ 層準以浅は古生層，L ₈

調査項目	数 量	内 容
弾性波探査	発 破 孔 数：315孔	層準以深は花崗岩と推定される。また回折源の分布傾向から、NW-SE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る。
調査井データの収集	対 象 坑 井： 5本	GTE-1 からGTE-5 の5本の調査井について、地質調査、坑内検層データを収集した。

Ⅱ JICAで行った調査

II JICAで行った調査

II-1 第1次調査

II-1-1 地質調査

I まえがき

地質調査は、San Kampaeng 地域を構成する地層の岩相、層序、地質年代および地質構造を明らかにし、地質と地熱現象（地熱徴候、変質帯分布等）との関係あるいは他の調査結果との関係を解明することにより、本地域の地熱貯溜層構造を推定することを目的として行われた。

調査にあたっては、タイ王国発行の50,000分の1地形図を拡大した10,000分の1地形図を使用し、約1ヶ月にわたって主要ルートの地質調査および変質帯調査を実施した。なお地熱徴候地などとくに重要と考えられる地域については、簡易測量を併用して大縮尺の地形図作成および地質スケッチを行った。調査時に採取した岩石試料は日本へ持帰り、それぞれの目的に応じて顕微鏡観察、化石鑑定、年代測定およびX線回折分析のための試料とした。

2 現地調査

地質調査は、面積約50km²、ルート長約95kmにわたって実施した。調査に使用した地形図は10,000分の1拡大図を用いたが、現状とは違っているところも多かったので主要ルートについてはポケット・トランシット・コンパスと間縄を用いて簡易測量を行いながら地質調査を実施し、10,000分の1地質ルートマップを作成した。

変質帯調査は、地熱徴候の発達するBan Pong NokからWat Pong Homにかけての地域について、2,000分の1ルートマップを作成した。本地域の熱水変質作用は、上記の地熱徴候地において発達するが、その他の地域ではほとんど認められなかった。

3 解析方法

現地調査のさいに採取した試料について、室内解析として顕微鏡観察、化石鑑定、年代測定およびX線回折分析を行った。

顕微鏡観察は、代表的岩石51個について薄片試料を作成し、顕微鏡下で観察して鉱物を同定し岩石名を決定した。

化石鑑定は、野外で有孔虫化石などの存在が認められた石灰岩5個について実施し、時代決定のための資料とした。

年代測定は、調査地域内に分布する火成岩類（玄武岩および花崗岩）のうち5個についてK-Ar法によって実施した。

X線回折分析は、地熱徴候地の変質岩103個について実施し、変質鉱物を同定した。

上記の現地調査、室内解析の結果にもとづき、地質図、地質断面図および変質帯分布図を作成した。この結果、本地域を構成する地層の岩質、層序、時代および地質構造が明らかになり、さらに地質構造と地熱徴候あるいは変質帯との関係が把握された。

4 調査結果

4-1 調査地域周辺の地質環境

San Kampaeng 地域の地質の理解を助けるために、周辺地域の地質環境について概括する (Fig II.1.1-1)。調査地域を含むタイ国北部は、インドシナ半島のほぼ中央部に位置する。

インドシナ半島地域の最古の岩石 (基盤岩) は、先カンブリア紀末期または古生代初期の造山運動によって形成された変成岩類 (片麻岩類、古生代花崗岩類) であり、カンボジア国境に近いベトナム南部の Kontum 高原、ベトナム北部の紅河流域、ビルマ北部の Myitkyina 周辺地域およびタイ北部の Chiang Mai 西方地域などに分布している。この変成岩類は、古い地塊化した大陸核を構成している。

この大陸核を中心にして順次その外側に、ヘルシニア期 (石炭紀)、インドシニア期 (二畳紀からジュラ紀におよぶが主として三畳紀)、ヒマラヤ期 (白亜紀から第四紀) の三時期の造山帯が分布している。すなわち時代とともに、新しい地層が付加されて大陸核が拡大発達していったと考えられている。

ヘルシニア期造山帯はインドシナ半島東部に分布し、Annamia 地塊を構成している。

インドシニア期造山帯は、インドシナ半島全域に広く発達し、Indosinia 地塊を形成している。

ヒマラヤ期造山帯は、ビルマからアンダマン海をとおるスマトラ島、ジャワ島までのびているが、ボルネオ、フィリピン群島も本造山帯に含まれ、Indosinia 地塊をとりかこむ形を呈する。またヒマラヤ期造山運動は Indosinia 地塊に対して、ゆるい波曲と断層地塊運動を与えている。これらの運動は、Indosinia 地塊の陸地と陸海棚を決める大きな要因になっているとともに、EWないしWNW-ESE 方向およびNSないしNNE-SSW 方向の2つの異なる褶曲構造を形成したと考えられる。

タイ国に現在みられる地質構造は、複数の造山運動の産物であり、とくに造山運動に伴う断裂運動の影響を強く受けている。この断裂運動は、第三紀以後現在まで続いており、上部第三系の地質構造や更新統の段丘の形態にも影響を与えている。このような現在まで続く断裂運動の原因については、アンダマン海の膨張とそれに伴うタイ国北部からビルマにかけての地域における引張応力場の発生によるものと考えられている。またビルマの地震活動は、西から東に向かって震源が深くなる傾向を示し、その分布はインドネシア群島外側のジャワ海

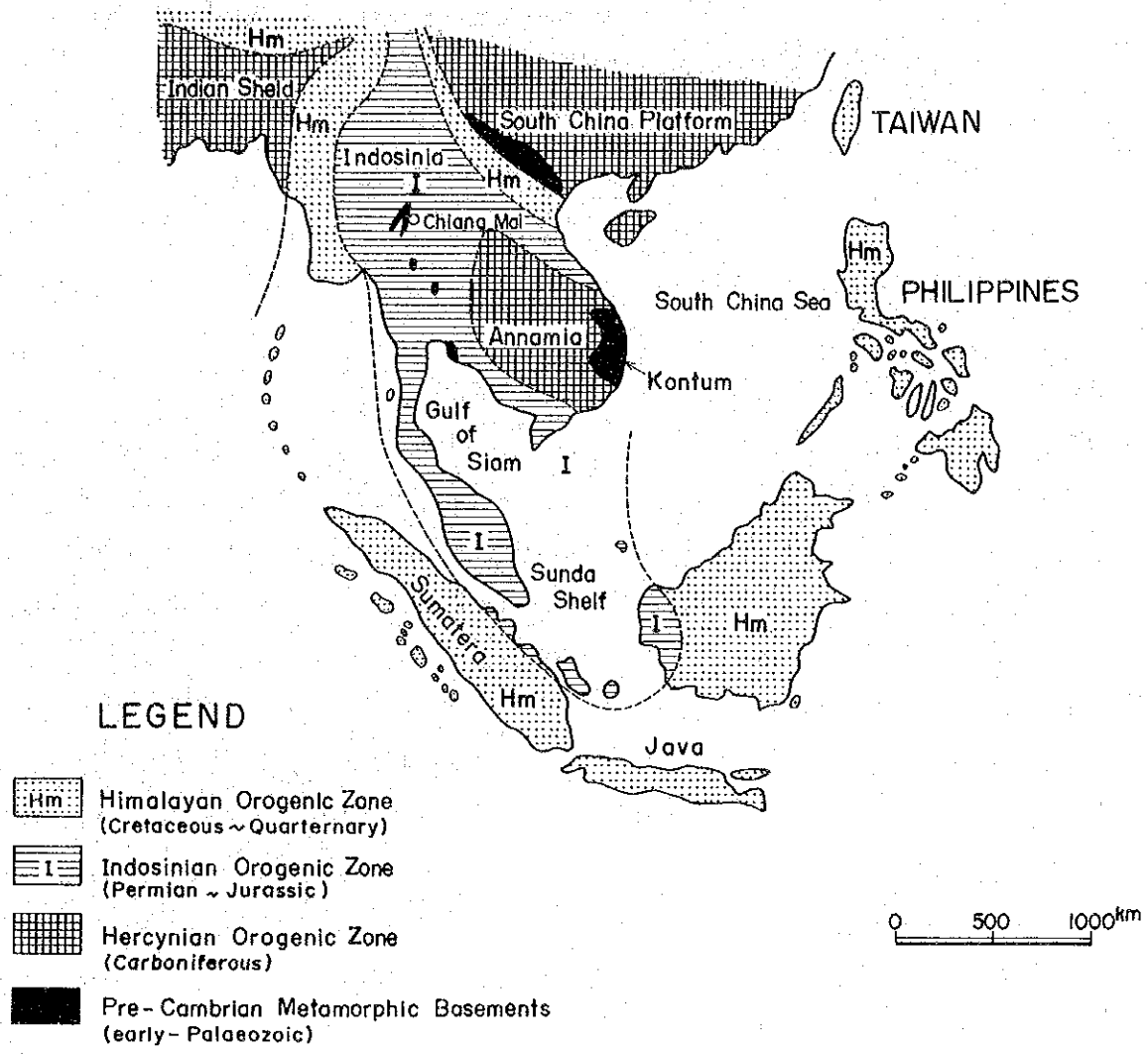


Fig. II.1.1-1 Major geological unit of southeast Asia

溝の延長上にある。この事実からビルマからタイ北部にかけての地域は、地質構造からみて島孤と同じ性格もあわせもっていると考えられる。

タイ北部地域は、断裂運動の結果にもとづいて次の4つの地質構造区に分けられる (Fig. II. 1.1-2)。すなわち、西側から西部構造区 (West Tectonic Province)、西部主要山岳地帯構造区 (Main Western Range Tectonic Province)、中央北部構造区 (Central North Tectonic Province) および東部構造区 (East Tectonic Province) である。

西部構造区は、Mae Sariang および Mae Sot 以西のタイ最西部の地域である。本構造区を構成する地層は、石炭紀からジュラ紀までの厚い炭酸塩岩と砕屑岩からなり、火山岩類は認められていない。断層による沈降帯であり、約300mにおよぶ第四紀の淡水堆積物におおわれている。本構造区は国境を越えて西方のビルマまで広がっており、Shan-Thai 地塊の西側における地溝縁に相当する。

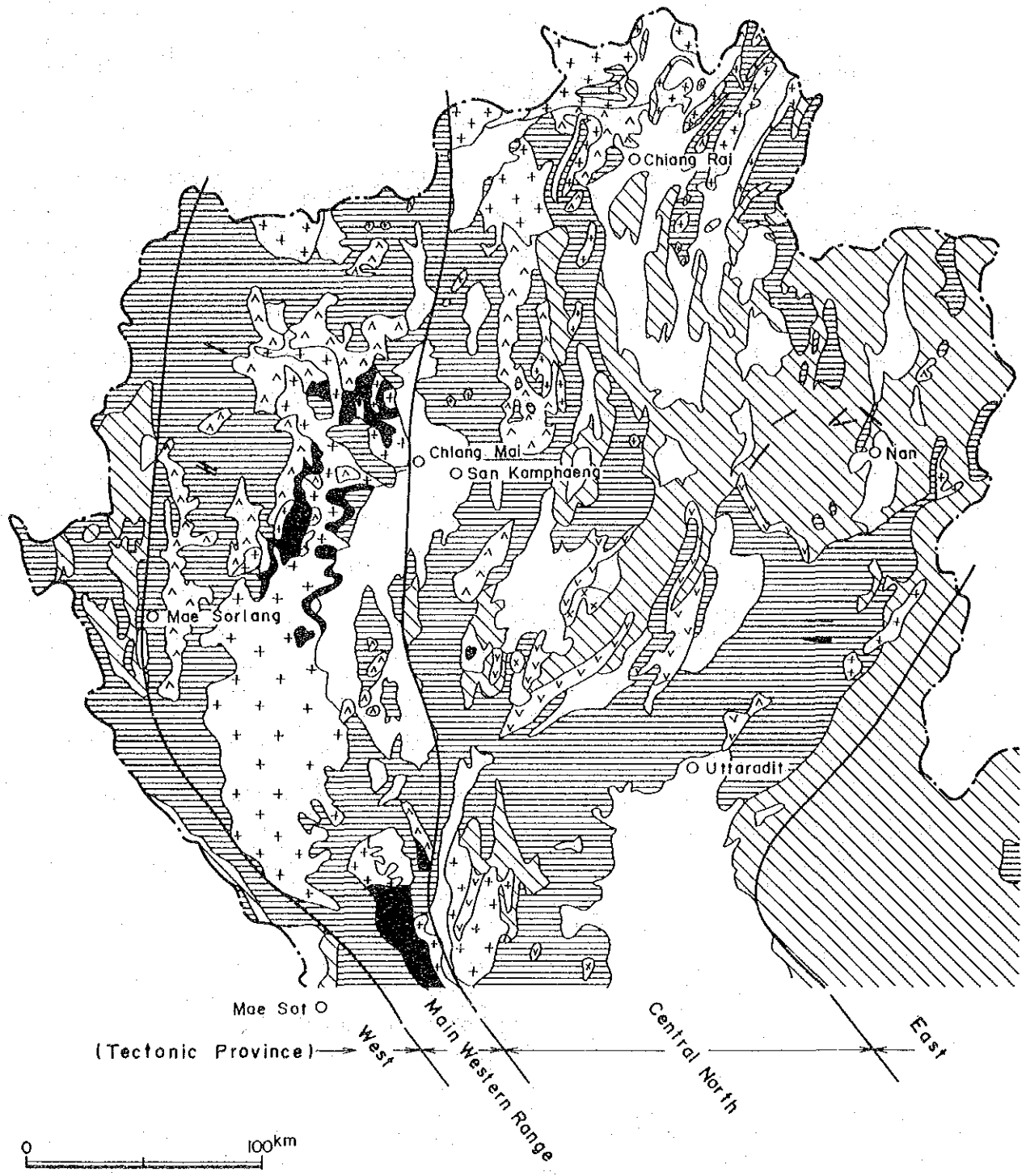
西部主要山岳地帯構造区は、Mae Sariang と Chiang Mai の間にあるタイ国の主要山岳地帯を含み、南北延長は遠く Kanchanaburi にまで連続する。本構造区を構成する岩石は、アーチ状の花崗岩の貫入を伴う先カンブリア紀の変成堆積岩類と、これを不整合におおう古生代初期の弱変成大陸棚堆積岩からなる。この構造区の前カンブリア紀の変成岩類は、インドシナ半島の Kontum 地塊とは分離しているもので Shan-Thai 地塊と呼ばれている。本構造区は、全体として断層による地塊の上昇によって特徴づけられる。

中央北部構造区は、タイの中央部を巾広く南北に連なる地域を占め、北方の Chiang Rai から Uttaradit をとおり Chanthaburi 付近まで連なる。この構造区を構成する岩石は、古生代中期から中生代初期にかけてのカルク-アルカリ岩系の火山岩類と大陸周縁相の堆積岩類からなる。本構造区は、強い褶曲構造と衝上断層によって特徴づけられる。この構造的特徴は、古生代末から中生代にかけての東方地塊の西方へのもぐりこみによって生じたと考えられている。すなわち、このもぐりこみのさい Shan-Thai 地塊の東縁にそって塩基性火山岩の噴出が活発におこり、これらの火山岩類と東方地塊からの砕屑物が Shan-Thai 地塊東方域の堆積盆に供給され、厚い堆積岩層を形成した。この堆積岩層は、その後の造山運動により著しい褶曲、断層構造が生じており、一部には新生代の玄武岩の貫入が認められる。San Kampaeng 地域は、本構造区の北部西縁部に位置している。

東部構造区は、タイ北東部の Khorat 高原地帯で代表される。本構造区の岩石は、三疊紀後期から白亜紀にかけての蒸発岩を伴う厚い赤色岩層からなり、大陸棚における陸成堆積物とみられる。本構造区の褶曲構造は比較的弱い。

4-2 地質層序

調査地域を構成する岩石は、下位から石炭紀の Mae Tha 層、二疊紀中期の Ratoburi 層群



0 100km

LEGEND

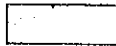
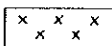
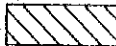
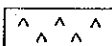
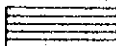
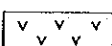

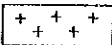

- | | | | |
|---|---|--|----------------------------|
|  | Cenozoic Sedimentary Rocks |  | Cenozoic Basalt |
|  | Mesozoic Sedimentary Rocks |  | Triassic Granite |
|  | Palaeozoic Sedimentary Rocks |  | Pre-Triassic Volcanic Rock |
|  | Pre-Cambrian Gneiss Metamorphic Basements |  | Carboniferous Granite |
| | |  | Fault |

Fig. II.1.1-2 General geology of northern Thailand

Geological Unit		Stratigraphic Column	Thickness (m)	Description	
Quaternary				Alluvial, terrace deposit	
Triassic				Porphyritic granite batholith	
Permian	Ratburi Group	Kiu Lom Formation	6,500 ⁺		Tuff. tuff breccia and basalt
					Tuff breccia and tuff with thin shales
					Basalt and tuff breccia
					Tuff and tuff breccia
					Basalt and tuff breccia
					Basalt and tuff
					Limestone with black shale
					Basalt and tuff
					Sandstone, chert tuffaceous siltstone, chert, shale, sandstone
					Carbonaceous shale and limestone
Carboniferous			1,600 ⁺	White massive sandstone with quartz veinlets	

Fig. II.1.1-3 Geological column of project area

中の Kiu Lom 層, 三疊紀の花崗岩類および第四紀の沖積層からなる (Fig. 11, 1.1-3)。

4-2-1 Mac Tha 層

本層は, 調査地域の西部山地および東部山地に分布する。主として密質, 堅硬な白色塊状の中粒砂岩からなり, 東部では黒色頁岩薄層を挟有する。本層中には石英細脈が発達する。鏡下では, 石英を主とし少量の絹雲母化した長石を伴う粒径 0.1~1.0 mm の垂角ないし円形状の砂粒からなり, まれに 1.0 mm 以上の砂粒を含む。粒間を埋める基質は, 再結晶した石英を主とし, 絹雲母と粘土鉱物からなる。また褐鉄鉱—石英細脈が発達しているほか, 白雲母, 黒雲母, シルコンおよびチタン石が認められる。

本層は, 調査地域の基盤をなすものであるが, 上位の Kiu Lom 層とは断層関係にあり直接の層位関係は不明である。タイ側のデータにもとづいて不整合と推定した。本層の層厚は, 上限および下限が明らかでないが 1,600 m 以上とみられる。

4-2-2 Kiu Lom 層

本層は, 両側を Mac Tha 層に挟まれた形で調査地域の中央部を占めて, ほぼ NNW—SSE 方向に広い範囲に分布する。本層は, その岩相から下部の堆積岩類, 中部の石灰岩と火山岩類および上部の火山岩類に 3 区分される。

(1) Kiu Lom 層下部

Kiu Lom 層下部は, 下位から上位に向って石灰岩・頁岩互層, 砂岩層, シルト岩・砂岩・チャート互層, チャート層, シルト岩・砂岩互層および砂岩層に区分される。

石灰岩・頁岩互層は, 灰白~灰黒色石灰岩と黒色頁岩を主体とし, 灰色の砂岩を伴う。その主要な分布は, Ban On Luai の東方で, 地熱調査井 GTE-2 でも確認されている。本互層の石灰岩は, 有孔虫化石 *Neoschwagerina*, *Sumatrina* 等を産し (Table. 11.1.1-1), 時代は二疊紀中期と考えられる。本互層は, Kiu Lom 層の最下位層であるが, その下限は認められず, 石炭紀の Mac Tha 層との関係は不明である。層厚は 600 m 以上である。

砂岩層は, Wat Pong Hom 北西方の丘陵地に露出する白色中粒砂岩である。塊状をなし, 層理面は明らかでない。鏡下では, 綫化の悪い垂角形状の細粒ないし粗粒の石英, カリ長石および斜長石の砂粒からなり, 基質は絹雲母, 粘土鉱物からなる。少量の円磨度の良い黒雲母, 白雲母, シルコン, 白チタン石, 電気石および珪岩などの粒子が認められる。本砂岩層の厚さは, 約 60 m である。

シルト岩・砂岩・チャート互層は, 西部の Ban Pong Hom から Huai Ang 川にかけての地域と, 東部の Nam Mae On から Nam Mae Lai にかけて分布する。本互層は, シルト

岩を主体とし、砂岩、チャートを挟有する地層である。シルト岩は、層理の発達した暗灰色の岩石で、熱水変質により白色を呈する。鏡下では、粒径0.03~0.1mmのやや角ばった石英および斜長石が主要構成鉱物である。片状構造と2方向のへき開構造が観察され、一般に褐鉄鉱による汚染が進んでいる。変質を受けた同岩は白色軟質となり、鏡下では微晶質または隠微晶質の石英と絹雲母、カオリン、アナターゼおよび明ばん石などが認められる。砂岩は暗灰色を呈し、鏡下では綫化の進んだ垂角~亜円形状の石英、カリ長石および斜長石の微細な粒子からなり、絹雲母や粘土鉱物からなる基質で固められている。また少量のチタン石、白雲母、ジルコンおよび珪岩などの粒子も認められる。チャートは白~乳白色を呈し、シルト岩層中に1.0~3.0cm前後の薄層をなす。本互層の層厚は、約200m前後である。

チャート層は、Ban Pong HomからHuai Ang川の東側にかけて分布する。本層は大部分チャートからなるが、下部ではシルト岩を、上部では砂岩とシルト岩の薄層を挟有する。チャートは、白色ないし乳白色の樹脂状光沢のち密質の岩石で、しばしば細片状に破碎されている。鏡下では、微晶質ないし隠微晶質の石英、玉ずい、オパールなどがモザイク状に分布しており、絹雲母や褐鉄鉱のほか微細な不透明鉱物が認められる。また球状あるいは針状の玉ずい質石英で置換された殻が観察されるが、これはおそらく放散虫化石が石英によって置換されたものと考えられる。本層の層厚は、約200mである。

シルト岩・砂岩互層は、Ban Pong HomからHuai Ang川入口付近に分布する。本互層は、シルト岩を主体とし、砂岩を挟有する。シルト岩は、粘土化作用をうけて灰白色ないし乳白色を呈し、風化していることが多い。鏡下では良く淘汰された石英の多い泥質岩で、微細粒の石英、絹雲母、粘土鉱物および褐鉄鉱などからなる。シルト岩中に挟まれる砂岩は、厚さ約1.0m前後の互層をなし、灰白色堅硬な岩石である。本互層の層厚は、約150mである。

砂岩層は、Ban Pong Hom 東方からBan Pong Nok 東方にかけて分布する。本層は、塊状で堅硬な白色中粒砂岩からなる。層厚は、約150mである。

(2) Kiu Lom 層中部

本層は、下位の玄武岩溶岩・同質凝灰岩と、上位の石灰岩・頁岩に区分される。

玄武岩溶岩・同質凝灰岩は、Ban Mae Khuha 付近とその南北延長方向に分布する。玄武岩溶岩は、同質凝灰岩中に5~10mの薄層をなして介在するもので、暗緑色~濃緑色、多孔質塊状の岩石である。鏡下では斑状構造を示し、1.0mm前後のソーシュライト化した斜長石と0.5mm前後のオパサイト化した輝石の斑晶が、細粒の同質石基中に認められる。変質鉱物としては、緑泥石、緑れん石およびパンペリー石などが認められる。玄武岩質凝灰岩は、淡緑色ないし濃緑色の岩石で、部分的に火山礫凝灰岩および凝灰角礫岩となるこ

とがある。玄武岩質凝灰岩は、最上部で黒色頁岩に漸移し、層理面の発達が見られる。玄武岩溶岩・同質凝灰岩の層厚は、約 540 m である。

上位の石灰岩・頁岩は、調査地域のほぼ中央部の NS 方向に S 字状に突出した小山地列にそって分布する。石灰岩は黒色または灰色を呈し、上盤と下盤に 10～20 m 前後の黒色千枚岩質頁岩を伴う。石灰岩は塊状をなすことが多いが、薄い黒色頁岩層を介在することもある。本岩は再結晶化した石灰岩で、保存の良くないフズリナ、サンゴ、こけ虫および藻類を多数含む。時代を決定できる化石は少ないが、*Schubertella* sp., *Kahleria* の存在から二疊紀中期の可能性が強い (Table II. 1. 1-1)。頁岩は石灰岩と接する部分では石灰質、凝灰岩と接する部分では凝灰質となり、いずれも千枚岩様を呈し剥離性に富む。鏡下では、前者は砂粒ないしシルト粒の石英および方解石からなり、粒間をうめて緑泥石、絹雲母および暗褐色の石灰質物質が認められる。後者は片状構造を示す石英および雲母を主体とし、斜長石、チタン石および褐鉄鉱などの微細粒が基質をなしている。石灰岩・頁岩層の層厚は、約 250 m である。

(3) Kiu Lom 層上部

本層は、玄武岩質溶岩、凝灰岩、火山礫凝灰岩および凝灰角礫岩で、一部に凝灰質砂岩チャート、シルト岩の薄層を挟有する。本層は、調査地域の中央部を占めて広く分布する地層であるが、従来はその構造が明らかではなかった。本調査では上記の岩相区分によって詳細に地層の追跡調査を行った結果、本層の地質構造は Kiu Lom 層中部・下部とほぼ一致することが明らかとなった。玄武岩溶岩は、厚さ数 m から 20 m くらいで、比較的連続性のある地層である。本岩は、濃緑色ないし暗緑色を呈し多孔質塊状の岩石である。鏡下では、斑状構造を示すことが多いが、まれに集斑状または自破砕構造を示す。斑晶は、単斜輝石および斜長石からなり、斜長石はしばしばソーシャイト化している。石基はオフィチック構造を示す斜長石と単斜輝石からなり、変質作用により緑泥石、緑れん石、沸石、パンベリー石などが生じている。

本岩の K-Ar 法による年代測定の結果は、 389 ± 19 m.y., 206 ± 10 m.y., 190 ± 10 m.y., 119 ± 14 m.y. と非常にばらついた値を示す (Table II. 1. 1-2)。これは本岩の噴出時期の環境および噴出後の変質作用により、年代測定結果に差異を生じたためと考えられる。とくに海底玄武岩の場合、 ^{40}Ar が急冷と水圧のため過剰 Ar を生じやすく K-Ar 年代を古くすることが知られている。また反対に変質作用は Ar 損失と K 付加により、K-Ar 年代を若くするといわれている。本岩の生成環境は、頁岩、砂岩、石灰岩などと互層していることから大部分は浅海性と考えられるが、一部は陸上で噴出したとみられる。また本岩は、変質作用をうけパンベリー石、緑泥石などを生じている。一方、化石のデータからは、Kiu Lom 層の時代は二疊紀中期と考えられ、K-Ar 法による年代測定結

Table II.1.1-1 Identification of fossils

Sample Number	T - 099	E - 051	E - 055	W - 011	W - 015
Rock Name	Limestone	Limestone Breccia	Limestone	Limestone breccia	Limestone
Locality	X = 29,670 E Y = 77,280 N	X = 25,310 E Y = 76,940 N	X = 25,510 E Y = 77,630 N	X = 25,930 Y = 80,780	X = 25,720 E Y = 79,680 N
Age	Middle Permian	Carboniferous	No Determined	No Determined	Middle ? Permian
Fossils	Fusulinid: Neoschwagerina Sumatrina Parafusulina ? Chusenella ? Crinoid Stem: Algae:	Fusulinid: Profusulinella ?? Coral flakes Bryozoa Algae ?	Crinoid Stem	Algae ?	Fusulinid: Schubertella Sp ? Kahlerina Crinoid stem Endothyrida Algae
Remark	Neoschwagerina and Sumatrina indicate that the strata is middle Permian in age. Most of fusulinid are deformed and partly broken.	This strata is not exactly determined in age, because Fusulinids are rare and imperfect. They are assumed as Profusulinella of middle Carboniferous age for their size and shell structure. However, it is doubtful in age because an axial plane is not detectable.	This rock is highly recrystallized. Geological age is impossible to determine because of only crinoid stems.	Rock facies is resemble to E-051. No age-determinable fossils are detected and no fossils in colitic limestone pebble are recognized.	Schubertella is found in early - middle Permian formation and Kahlerina is observed in middle Permian formation. It shows most possibility that the strata is middle Permian in age.

果と一致しない。したがって本岩の K-Ar 年代は、噴出時の堆積環境および三疊紀末の花崗岩の貫入による変質などにより、正しい値を示していないとみられる。

玄武岩質凝灰岩、火山礫凝灰岩および凝灰角礫岩は、数 m ないし数 10 m の層厚で互層をなし、比較的良く水平方向に連続する。鏡下では、凝灰岩は粒径 0.8 ~ 2.5 mm 程度の玄武岩岩片、ガラスおよび輝石、斜長石などの結晶片とこれらを埋める細粒の緑泥石、石英、斜長石、緑れん石、パンペリー石、絹雲母および沸石などからなる。火山礫凝灰岩と凝灰角礫岩は、完晶質からガラス質までの各種の玄武岩の礫と、それを埋める同質の凝灰質基質からなる。

凝灰質砂岩は、Ban On Klang 付近に分布し、暗緑色を呈し 2 ~ 5 cm の厚さで細粒部と粗粒部が互層している。鏡下では玄武岩質砕屑岩からもたらされたとみられる粗粒石質ワックと細粒長石質ワックの互層からなる。粒子はいずれも角状ないし歪角状で、粘土鉱物、絹雲母および褐鉄鉱などが認められる。

チャートは、Ban Mai Takhian 付近に分布し、暗灰色で密質堅硬で層理の明瞭な岩石である。本岩は、凝灰岩との境界部では暗緑色を呈し粗粒となる。

凝灰質砂岩、チャートおよびシルト岩は、いずれもその層厚が数 10 m 以下で玄武岩質凝灰岩中に薄層として存在する。

Kiu Lom 層上部の厚さは、6,500 m 以上と推定される。

4-2-3 花崗岩類

花崗岩類は、調査地域の北東部 Ban Huai Kao 東方に分布している。本岩は、長石の斑晶の大きい斑状の黒雲母花崗岩である。鏡下では、粗粒の半自形結晶を主体とし、粒径 4 mm 以上の自形の石英、アルバイト双晶を示す半自形の灰曹長石、半自形のパーサイトおよび多色性を示す黒雲母からなる。副成分鉱物としてジルコン、アバタイト、チタン石および磁鉄鉱などが認められる。

本岩の K-Ar 法による年代測定結果は、 $212 \pm 10 \text{ m.y.}$ であり、その貫入時期は三疊紀末に相当する (Table. II.1.1-2)。

Table II.1.1-2 K-Ar age determination of igneous rocks

Sample Number	Rock Name	Locality	Mineral	Age (m.y.)	Ar ⁴⁰ Rad SCC/gm × 10 ⁻⁵	Ar ⁴⁰ Rad%	K %
W-006	Basaltic Welded tuff	Wat Don Kaeo	Whole Rock	119 ± 14	0.024	12.7	0.05
					0.024	20.8	0.05
W-009	Pyroxene Basalt	Wat Nong Hoi	Whole Rock	389 ± 19	0.067	42.3	0.04
					0.068	36.9	0.04
W-017	Pyroxene Basalt (Altered)	Huai Hat	Whole Rock	206 ± 10	0.836	89.7	0.99
					0.852	91.2	1.00
T-103	Biotite Granite	Ban Huai Kaeo	Biotite	212 ± 10	2.84	81.2	3.27
					2.90	86.6	3.31
T-107	Pyroxene Basalt	Ban Mae Koha	Whole Rock	190 ± 10	0.751	88.4	0.96
					0.751	90.1	0.97

The constants for the age calculations are: $\lambda_{\beta} = 4.96 \times 10^{-10} \text{yr}^{-1}$,
 $\lambda = 0.581 \times 10^{-10} \text{yr}^{-1}$, $^{40}\text{K} = 1.167 \times 10^{-4}$ atom per atom of natural potassium.

4-2-4 沖積層

調査地域の中央部から南方にかけての Nam Mae On 川流域と、北西部の Ban Pong Hom 付近の沢沿いには沖積層が発達し、水田地帯を形成している。これらの沖積層は、周辺の岩石から供給された砕屑物からなり、その層厚は大部分が 10 m 以下と考えられる。

4-3 地質構造

4-3-1 地質構造の特徴

調査地域は、構造区分上からみて中央北部構造区の西縁部に位置している (Fig II.1.1-2)。本構造区は、古生代中期から中生代初期にかけて噴出したカルク-アルカリ岩系の火山岩類と大陸周縁相の堆積岩類からなり、強い褶曲構造と衝上断層によって特徴づけられる。本地域の岩層も、断層および褶曲によって著しい転位を示す。また Chiang Mai 盆地は、北部タイ内陸部の新生代堆積盆であり、特徴的な半円孤状の断裂系や地震の震源の集中から造構運動が活発な地帯と考えられる。San Kampaeng 地域は、この Chiang Mai 盆地の東方に隣接しており、活構造の影響がおよんでいるとみられる。

本地域は、地形的にみて西部山地、中央低地および東部山地からなる。西部山地は、Doi Luang から Doi Sam Ngok にかけての、海拔 500 m から 650 m 前後の山地である。中央低地は、南流する Nam Mae On 川と北流する Huai Ang 川の流域に発達する、海拔 350 ~ 450 m 程度の低平地である。数 km の巾をもち、その西部に、石灰岩からなる小丘あるいは山地列が分布する。東部山地は、海拔 500 ~ 850 m 程度で、西部山地よりも広く高い山地である。このような地形区分は、以下にのべる地質構造的特徴とよく調和していると考えられる。

本地域は主要な断層によって、構造的に Doi Luang 隆起帯、Ban Pong Hom 沈降帯および Mae Tha 隆起帯に区分される。これらの構造帯を境しているのは、Huai Pong 断層と Huai Mae Koen 断層であり、いずれも NNW-SSE 性の正断層である。

Doi Luang 隆起帯は、地形的にみてほぼ西部山地に対応する。本隆起帯は、石炭系の Mae Tha 層の塊状砂岩からなり、NW-SE 性、EW 性および NS 性の断層、NW-SE 性の褶曲構造が発達している。

Ban Pong Hom 沈降帯は、中央低地に対応する。本沈降帯は、その西部は二疊系の Kiu Lom 層中・下部の堆積岩類(砂岩、頁岩、石灰岩、チャートなど)によって、東部は Kiu Lom 層上部の玄武岩溶岩、同質火砕岩によって占められている。断層は、NNE-SSW 性、NNW-SSE 性および NW-SE 性が卓越している。本沈降帯には断層とほぼ同方向の褶曲構造が発達するが、あまり著しいものではなく、全体としてみれば東側に向って上位層が順次出現する同斜構造とみることができる。しかし地層の傾斜は、全般的に $50 \sim 80^\circ$ とかなり急傾斜である。

Mae Tha 隆起帯は、地形的にほぼ東部山地に一致する。本隆起帯は、Mae Tha 層の砂岩、Kiu Lom 層下部の頁岩および Mae Tha 層に貫入する花崗岩類によって構成される。NNW-SSE 性の断層が卓越するが、それらによって切られる NE-SW 性あるいは EW 性の断層も認められる。また NS 性ないし NW-SE 性の褶曲構造が発達している。このように、Doi Luang 隆起帯と Mae Tha 隆起帯は、その構成岩相および構造的特徴からみて、非常に良く類似している。

4-3-2 断裂系

本地域には、NNW-SSE 性、NNE-SSW 性、NW-SE 性、NE-SW 性 および EW 性の様々な方向性をもつ断層が発達している。このうち NNW-SSE 性の断層が、地質構造上とくに重要であり、前述した Huai Pong 断層と Huai Mae Koen 断層もそのうちの 1 つである。Ban Pong Nok から Huai Ang 川上流にかけての地域に認められる 3 本の NW-SE 性の断層は、Huai Pong 断層に伴って形成された派生断層と考えられる。Huai Pong 断層、Huai Mae Koen 断層はじめ本地域の断層は、実際の断層面はほとんど観察されないが、地表におけるのびがほぼ直線的であることからかなり高角であり、かつ正断層と推察される。

本地域は、Huai Pong 断層および Huai Mae Koen 断層により、Doi Luang 隆起帯、Ban Pong Hom 沈降帯、Mae Tha 隆起帯に 3 区分される。それぞれの構造帯内に発達する NW-SE 性、NE-SW 性および EW 性の諸断層は、その構造帯内に分布し、Huai Pong 断層あるいは Huai Mae Koen 断層を切って外側にまでのびていない。

本地域には以上述べた断層のほかにも、いくつかの構造的断裂系が認められる。構造的断

裂系の1つに、石英脈に充てんされた節理がある。この石英脈の走向はEW性のものが卓越するがNNW-SSE性のものも認められる。EW性の節理は褶曲軸にはほぼ直交しているものが大部分で、褶曲に伴う引張り性の割れ目と考えられる。

また地層によって断裂、割れ目の性質が異なることが認められる。すなわち、Mae Tha層の石英質砂岩およびKiu Lom層上部の玄武岩質溶岩、火砕岩は、比較的均質塊状で割れ目に乏しい。これに対してKiu Lom層中・下部の堆積岩類は、互層をなし上下方向に不均質で、大形の節理の発達は乏しいが、比較的細片化する割れ目に富む。とくにぜい性なチャートはしばしば細礫状に破砕しており、またシルト岩も風化、変質をうけやすく白色軟質化して割れ目に富む場合が多い。

4-3-3 褶曲構造

本地域は全般に褶曲構造がよく発達するが、構造帯によって褶曲構造の程度、様式が異なる。Doi Luang隆起帯およびMae Tha隆起帯では、一般に密な褶曲構造が特徴的で、約400mないし1kmの波長で背斜、向斜をくりかえしている。また褶曲軸はほぼ水平で、NW-SEないしNNW-SSE性を示す。地層面の傾斜は40~60°前後で比較的ゆるい褶曲を示す。

これに対して、Ban Pong Hom沈降帯では、褶曲作用はあまり著しくなく、50~80°の東傾斜の同斜構造が特徴的である。本沈降帯内の西部および中央部で認められる褶曲構造は、水平~緩傾斜でNNE-SSW性の軸を示す。

4-4 変質帯

4-4-1 X線分析結果と変質分帯

地熱徴候地を中心とする約2km²の地域について変質帯調査を行い、採取した103個の試料についてX線分析を行った(Table.11.1-3)。

検出された粘土鉱物としては、ハロイサイト、モンモリロナイト、サポナイト、セリサイト、緑泥石、カオリンおよびアルナイトなどがあげられ、粘土鉱物以外に石こう、ジャロサイト、黄鉄鉱なども存在する。

造岩鉱物としては、石英、方解石、斜長石、カリ長石、角閃石、鋭錐石、スティルブノメンなどが認められる。

一方、顕微鏡観察の結果から岩石中には石英、緑泥石およびセリサイトが多量に存在しているため、X線分析で検出されたこれらの鉱物が原岩に由来するものか、変質作用によるものか区別しがたい。

このため、本地域の変質分帯を行うにあたって、セリサイトと緑泥石を除外した粘土鉱物

Table II.1.1-3 X-ray diffraction data of altered rocks

No	Sample Number	Constituent Mineral																				
		Quartz	Calcite	Plagioclase	K-feldspar	Halloysite	Montmorillonite	Saponite	Sericite	Chlorite	Kaolinite	Alunite	Gypsum	Jarosite	Marcasite	Pyrite	Goethite	Gibbsite	Rutile	Anatase	Hornblende?	Stilpnomelane?
1	T-056	⊙		⊙	•		⊙		△			•			△						△	
2	T-057	⊙	△	⊙	•		△		△			△			△						△	
3	T-058	⊙		⊙	•		⊙		△			△			△						△	
4	T-059	⊙		⊙	•		⊙		△			△			△						△	
5	T-060	⊙		⊙	•		⊙		△			△			△						△	
6	T-061	⊙		⊙	•		⊙		△			△			⊙						△	
7	T-062	⊙		⊙	•		⊙		•			△	•		△						•	
8	T-063	△		⊙	•		⊙		△			△			⊙						△	
9	T-064	⊙	⊙	⊙	•		⊙		△			•			△						△	
10	T-065	⊙		⊙	•		⊙		△			•			△						•	
11	T-066	⊙		⊙	•		⊙		⊙			•			⊙						△	
12	T-067	⊙		⊙	•		⊙		△			•			△						△	
13	T-068	△		⊙	•		△		△			△	•		⊙						△	
14	T-069	⊙		△			⊙					△	△		△						•	
15	T-070	△	⊙	⊙	△		⊙		⊙						⊙						△	
16	T-071	⊙		⊙			△		•	△		•			△						△	
17	T-072	⊙		⊙	•		△	•	△			•			△						△	
18	T-073	⊙		⊙	•		⊙	•	△			△			△						△	
19	T-074	⊙		△	•		⊙	⊙	△			•			△						△	
20	T-075	•	⊙	△			⊙	⊙	△			•			△						•	
21	T-076	⊙		⊙	•		⊙	⊙	△			△			△						△	
22	T-077	⊙							△			•										
23	T-078	⊙		△			⊙		•			△	•		△						•	
24	T-079	⊙		△			⊙								⊙							
25	T-081	⊙							△			△									•	
26	T-087	⊙							⊙			△									•	
27	T-091	⊙							⊙	△	⊙										•	
28	T-097	⊙	•	⊙	⊙					⊙								⊙				⊙
29	T-104	⊙							△		⊙										•	
30	E-002	⊙							△		△											
31	E-003	⊙							△		△						△					
32	E-010	⊙							⊙		⊙										△	
33	E-011	⊙			⊙				△		△											
34	E-014	⊙							⊙		⊙										•	
35	W-004	⊙							⊙		△											
36	W-021	△		⊙			⊙				△						△					
37	W-022	⊙		⊙			⊙				△											
38	W-024	⊙							⊙		⊙						△					
39	W-025	⊙							⊙		⊙						•				•	
40	W-026	⊙							⊙		⊙						△					

Table II.1.1-3 X-ray diffraction data of altered rocks

No	Sample Number	Constituent Mineral																						
		Quartz	Calcite	Plagioclase	K-feldspar		Halloysite	Montmorillonite	Saponite	Sericite	Chlorite	Kaolinite	Alunite	Gypsum	Jarosite	Marcasite	Pyrite	Goethite	Gibbsite		Rutile	Anatase	Hornblende?	Stilpnomelane?
41	W-027	⊙							○		○											•		
42	W-028	⊙									△							○					△	
43	W-029	⊙								△	△							○						
44	W-030	⊙								△	△							△					△	
45	W-031	⊙					○			•								△				△		
46	W-032	⊙					○											○				○		
47	W-033	⊙					△			•								○				△		
48	W-034	⊙					△			△								○				△		
49	W-035	⊙					△			△								△				•		
50	W-036	⊙					○			○								•				△		
51	T-003							⊙															•	
52	T-004	•	⊙					△		•		•					•							△
53	T-007	⊙										⊙										•		
54	T-009	⊙	○				△		•	•	•						•					•		
55	T-010	⊙	△	•					•	•	•		△										•	
56	T-011	⊙	△				○		•	•	•	•	•				△						•	
57	T-012	⊙	△				○		•	•	•	•	•				△						•	
58	T-013	⊙	△				○		•	•	•	•	•				△						•	
59	T-014	⊙	△				⊙		•	•	•	•	•				△						•	
60	T-015	⊙	○				△		•	•	•	•	•				○					•		
61	T-016	⊙	○				△		•	•	•	•	•				△					•		
62	T-017	⊙	△				△		•	•	•	•	•				△					•		
63	T-018	⊙	○				△		•	•	•	•	•				○					•		
64	T-019	⊙	△				△		•	•	•	•	△				△					•		
65	T-020	⊙	○	△			△		•	•	•	•	△				△					•		
66	T-021	⊙					△		•	•	•	•	△				•						•	
67	T-022	⊙	△						•	•	•	•					△						•	
68	T-023	⊙					△		•	•	•	•	•				△					•		
69	T-024	⊙	△				△					•	•				•						•	
70	T-025	⊙	△				△					•	•				△						•	
71	T-026	⊙	△				△				•	•	•				△						•	
72	T-027	⊙	△				△		•	•	•	•	△				△						•	
73	T-028	⊙	△				△		•	•	•	•	△				△						•	
74	T-029	⊙	△				○		•	•	•	•	•				•					•		
75	T-030	⊙	△				○		•	•	•	•	△				△					•		
76	T-031	⊙	△				△		•	•	•	•	△				△					•		
77	T-032	⊙	△				△		•	•	•	•	△				△					•		
78	T-033	⊙	△				△		•	•	•	•	△				△					•		
79	T-034	⊙	○				⊙			△		•	•				△					•		
80	T-035	○	⊙	•			⊙			•							△					•		

Table II.1.1-3 X-ray diffraction data of altered rocks

No	Sample Number	Constituent Mineral																						
		Quartz	Calcite	Plagioclase	K-feldspar	Pyroxene (Augite)	Biotite	Montmorillonite	Saponite	Sericite	Chlorite	Kaolinite	Alunite	Gypsum	Jarosite	Marcasite	Pyrite	Sphene	Gibbsite	Pumpellyite ?	Rutile	Anatase	Hornblende ?	Stilpnomelane ?
81	T-036	⊙		⊙	•			⊙		•				△			△						•	
82	T-037	⊙		⊙	•			○		•				△			△						•	
83	T-038	⊙		⊙	•			○					•		○		○						•	
84	T-039	⊙		⊙	•			○		•			△	△			△							△
85	T-040	⊙	⊙	○	•			△		△			•				△						•	
86	T-041	○		⊙	•			△		△			△				△						△	
87	T-042	⊙		⊙	•			⊙		△			△	•			△						△	
88	T-043	⊙		⊙	•			⊙		△			•				△						△	
89	T-044	○		⊙	•			△		•			•	△			○	△					△	
90	T-045	⊙		⊙	•			○		△			•				△						△	
91	T-046	⊙	△	⊙	•			△		△			△				△						△	
92	T-047	⊙		⊙	•			○		△			△				△						△	
93	T-048	⊙	○	⊙	•			○		△			△				△						△	
94	T-049	⊙		⊙	•			⊙		△			•				△						△	
95	T-050	⊙		⊙	•			⊙		•			△				△						△	
96	T-051	⊙		○				⊙						△										
97	T-052	⊙		⊙	•			△		△			△	•			○						△	
98	T-053	⊙		⊙	•			○		△			△				△						△	
99	T-054	△		⊙	•			△		△			△				△						△	
100	T-055	⊙		⊙	•			⊙		△							△							
101	T-001	•				⊙				⊙							•	△		△			•	
102	T-080	△		⊙		○				△														
103	W-019	•		⊙		○	•			△			•											

- ⊙ Abundant
- ⦿ Much
- Common
- △ Few
- Very rare

の組みあわせにもとづいて、次のように区分した

(1) アルナイト帯

構成鉱物：アルナイト，サポナイト

(2) カオリン帯

構成鉱物：カオリン（セリサイト）

(3) カオリン・モンモリロナイト帯

構成鉱物：カオリン，モンモリロナイト（セリサイト，緑泥石も含むことがある）

(4) モンモリロナイト帯

構成鉱物：モンモリロナイト，サポナイト（セリサイト，緑泥石も含むことがある）

(5) ハロイサイト帯

構成鉱物：ハロイサイト（セリサイトも含むことがある）

アルナイトは，地熱調査井GTE-2の南方約30mの1地点でのみ認められ，他の変質鉱物としてはサポナイトが存在する。したがってアルナイト帯の分布範囲やのびの方向は不明であるが，南方に広がる可能性がある。

カオリン帯は，GTE-2付近とその東方地域にかけてほぼEW方向に分布する。このほかBan Pong Hom 北方や西方の山麓道路ぞいにも認められる。

カオリン・モンモリロナイト帯は，GTE-2の北西方約80mの温泉湧出地付近と東方約400m付近に認められ，カオリン帯の北側に接してほぼEW方向に細長く分布している。

モンモリロナイト帯は，Huai Mac Khuha川にそった主要な温泉湧出地付近に認められ，中約200mでほぼEW方向に分布する。

ハロイサイト帯は，Wat Pong Hom 付近とBan Pong Hom 南東約400m付近に認められる。分布ののびの方向は，EWないしNW-SE性である。

4-4-2 変質分帯の解釈

一般に，地熱地域の変質鉱物の組みあわせは，主として熱水の化学組成と温度によって規制されると考えられる。

また変質鉱物の安定生成領域は，熱水のpHによっても異なるがFig 11・1.1-3のような温度依存性を示す。

pH	変質鉱物名	温 度 [°C]					
		50	100	150	200	250	300
< 7	クリストバル石 石英	-----					
< 5 酸性	明ばん石 ハロイサイト カオリナイト パイロフィライト	-----					
> 5 < 7 弱酸性 ~ 中性	モンモリロナイト 混合層 セリサイト 緑泥石 緑れん石	-----					
> 7 アルカ リ性	束沸石 輝沸石 濁沸石 ワイラケイ沸石 斜ブチロル沸石 モルデン沸石	-----					

Fig 1.1-3 変質鉱物の安定生成温度領域の概要

このような変質鉱物の温度依存性から判断すると、本地域の変質作用をもたらした熱水は 200 °C 程度からそれ以下の中性ないし酸性の熱水であった可能性が強い。

変質帯は、アルナイト帯ーカオリン帯ーカオリン・モンモリロナイト帯ーモンモリロナイト帯ーハロイサイト帯の順に累帯配列を示す。これは熱水の液性が、アルナイト帯からハロイサイト帯に向うにしたがい、高温→低温に、かつ酸性→中性に変化したためと考えられる。

すなわち、変質帯はEW方向ののびを示し、GTE-2の南を中心として北へ向って高温型から低温型に変化している。また現在の温泉湧出地は、すべてアルナイト帯からモンモリロナイト帯に含まれており、これらの変質帯が現在の地熱活動と密接な関係にあることを示している。また今回の調査で確認されたアルナイト帯は、地熱活動による変質作用の中心がGTE-2の南方にあることを示唆するものとして注目される。

一方、Ban Pong Hom 付近に分布するカオリン帯は、地熱徴候地域の変質帯と独立して分布しているように見える。このカオリン帯は、地熱徴候地付近の地熱活動とは異なる通路、あるいは時代の異なる地熱活動によって形成された可能性があることを示す。

5 要 約

調査地域の主要ルートについて、10,000分の1地形図を用いて地質調査および変質帯調査を実施した。調査時に採取した岩石試料は、それぞれの目的に応じて顕微鏡観察、化石鑑

定、年代決定およびX線回折分析を行った。この結果にもとづいて、地質図、地質断面図ならびに変質分帯図を作成した。

地質調査の結果、以下の事柄が明らかになった。

調査地域の地質は、下位から石炭紀のMae Tha 層、二疊紀中期のKiu Lom 層、三疊紀の花崗岩類および沖積層からなる。Mae Tha 層は、西部および東部山地に分布し、白色塊状の中粒砂岩からなり、東部では黒色頁岩薄層を挟有する。層厚は、1,600m以上に達する。Kiu Lom 層は、中央低地と東部山地に分布し、下位のMae Tha 層とは断層で接するが、不整合関係にあるものと推定される。本層は、その岩相から下部、中部、上部に3分される。下部は、石灰岩・頁岩互層、砂岩層、シルト岩・砂岩・チャート互層、チャート層、シルト岩・砂岩互層および砂岩層に区分され、層厚は1,360m以上に達する。中部は、下位の玄武岩溶岩・同質凝灰岩と上位の石灰岩・頁岩からなり、層厚は約800mである。上部は、玄武岩質溶岩、火山礫凝灰岩および凝灰角礫岩で代表され、一部に凝灰質砂岩、チャート、シルト岩の薄層を挟有し、その層厚は6,500m以上と非常に厚い。花崗岩類は、調査地域の北東部に分布し、長石の斑晶の大きい斑状の黒雲母花崗岩である。沖積層は、調査地域の主要河川ぞいに発達し、その層厚は10m以下と薄い。

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）に3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性およびNS性の断層とNW-SE性の褶曲構造が発達している。Ban Pong Hom 沈降帯は二疊系のKiu Lom 層の海成堆積岩類および玄武岩類からなる。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認められるが、全体としては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る。北東部で、三疊紀の花崗岩類の貫入が認められる。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。

変質帯は、現在の地熱徴候地周辺に分布し、ほぼEW性ないしNW-SE性の累帯構造を示す。粘土鉱物にもとづいて、アルナイト帯（南側）、カオリン帯、カオリン・モンモリロナイト帯、モンモリロナイト帯およびハロイサイト帯（北側）に分帯される。この変質帯をもたらした熱水活動は、南側ほど高温かつ酸性で、北側に向うにしたがい低温で中性であったと推測される。

地質的にみれば、地熱貯溜層を規制する最も重要な因子は地層中の割れ目である、と考えられる。すなわち開口性の割れ目の分布によって、地熱貯溜層の形や地熱流体の量が枠づけられると考えられる。

今回の地質調査の結果，地下における割れ目として断層に伴う破碎帯と割れ目に富む岩層が重要であることが明らかとなった。断層としては，地熱徴候地南方の Huai Pong 断層およびそれから派生する NW-SE 性断層が，地熱貯溜層と関連していると推測される。割れ目に富む岩層は，造構運動のさいに破碎されやすい物性の岩石をさし，本地域ではチャート，シルト岩がそれに相当する。深部からの地熱流体の上昇は，主として断層に伴われる破碎帯にそって行われ，地熱流体の貯溜は断層およびチャート，シルト岩に伴われ割れ目が主役をなしていると考えられる。

変質帯の存在は，過去における地熱流体の活動を示す。調査地域全体からみると，変質帯と地熱徴候の分布はほぼ一致するが，より詳細にみると変質帯の分布がより広くかつその中心が地熱徴候地に比べて南方にずれている。これは地表付近における熱水活動の中心が，時代とともに北方に移動したためとみられる。

II-1-2 重力探査

1 まえがき

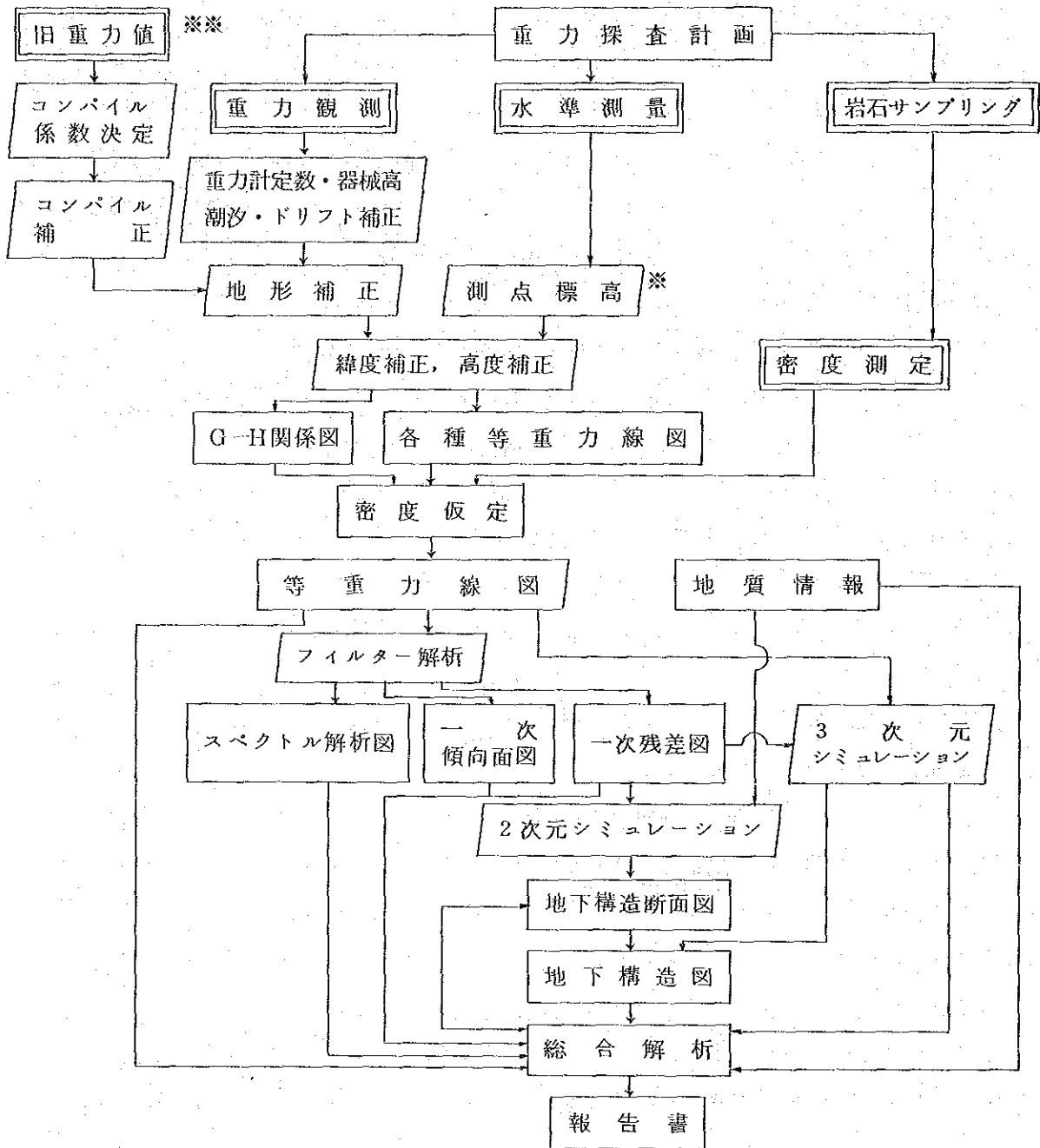
重力探査は，地下の密度分布の不均一さによって生じる重力異常を測定検出することにより地下構造を推定する探査である。

すなわち岩石の分布状況，基盤の深度や起伏，貫入岩体の位置や大きさ，断層や破碎帯等の構造線の存在を知る方法であり，地域全体にわたる概略の地質構造を知る上で効果的である。

地熱探査では地熱流体の地下における存在を規制する断層や基盤のかん没構造などの地下構造，直接的に地熱資源の存在と結びつくと思われる貯溜層や深部貫入岩体異常の検出が期待される。

地熱地帯における重力異常のパターンは貯溜層のタイプによって異なると考えられ，イタリアの Larderello や Monte Amiata では，主要蒸気生産ゾーンは重力異常の急勾配部に位置している。

今回の重力探査において，重力観測から報告書作成までの工程を Fig II.1.2-1 に示す。



測定作業
 計算
 作図・解析

※ EGAT
 ※※ DMR } 実施

Fig II.1.2-1 重力探査のフローチャート

2 現地調査

2-1 重力計

調査に用いた重力計は、La Coste & Romberg 社製G-283およびG-366である。
(Fig II.1.2-2)。

Table II.1.2-1 重力計の仕様

名称形式	La Coste & Romberg, INC. Model G Geodetic Gravity Meter	
№	283	366
観測範囲	0~7,386.54 mgal	0~7,404.56 mgal
恒温槽温度	5 1.7°C	4 9.0°C
Reading Line	2.80	2.90
購入年月	1971年9月(オーバーホール1981年6月)	1974年9月
本体寸法	14×15×20 (cm)	17×15×22 (cm)
本体重量	8.6 kg	9.1 kg

これらの重力計は読取り目盛が0から7,000 まであり、0 mgal から約7,400 mgal までの重力値を測定することができる。測定精度は± 0.01 mgal と高精度であり、またドリフト率も1 mgal / 1ヶ月以下ときわめて小さいので1日1回の閉塞で十分である。

下記の重力計定数表は、これら重力計の読取り値を重力値に換算するための定数表の一部である。

Table II.1.2-2 重力計定数表

Counter Reading	Value in milligal	Factor for interval
2,700	2,847.21	1.05550
2,800	2,952.76	1.05559
2,900	3,058.32	1.05568
3,000	3,163.89	1.05578
3,100	3,269.46	1.05587

2-2 重力基点

重力計のドリフトを補正するために、閉塞観測が必要である。このための閉塞基点№1000

を EGAT Camp から西方約 100 m 離れた診療所宿舎入口のコンクリート床上に設定した。

重力基準値は調査地周辺に存在せず、また DMR が Chiang Mai 付近を含めて実施した重力調査時の重力基点もすでに存在しない。このため今回の調査結果（重力値）を他の調査結果（重力結果）と直接結合することはできない。

重力基準値は緯度補正を実施するさいに利用するが、このため閉塞基点 $h = 1000$ の標準重力値 $S.V. 1000 = 978,497.981 \text{ mgal}$ を仮に重力基準値として設定した。

将来重力基準値が設定された場合、上記標準重力値との差を全測点の重力値に補正することによって、重力値およびブーゲー異常値を隣接データと統合できる。

2-3 測点

調査地域は、地熱徴候地を中心として設定された面積約 50 km^2 の狭い範囲である。地域全体にわたる地質構造を明らかにし、また熱源の賦存を規制する構造を捕捉するためには、細かい配点密度にする一方できるだけ広い範囲を調査することが望ましい。本調査地域の平野部において、タイ側により重力探査が実施されていたが、配点計画時にはその測定個所が不明であったこと、および調査面積が狭かったことから、一応独立した配点計画を立案し実行した。

調査地域中央部にはタイ側により測線伐開が行われていたので、できるだけこれを利用し、その個所では、水準測量の作業能率を考慮して道路を利用し、全体として $400 \sim 600 \text{ m}$ の間隔となるように測点した。

測定位置の決定は $1/10,000$ の地形図によったが、道路状況がかなり違っていたので、伐開測線を基準とし、道路沿いの測点は間縄とポケットコンパスによる測量によって道路の形状および測点位置の決定を行った。

2-4 水準測量

水準測量は EGAT 水準測量班によって全測点につき実施された。標高の基準は EGAT Camp 内に設定された基準点 BMCS-18 における 3924.18 m を用いた。

水準測量は、すでに伐開測線の一部について水準測量が終了していたので、測量終了地点から分岐する形で実施した。各路線はほとんどが開放路線となるので、スタッフを2度移動する方法で2度読みを実施した。

2-5 岩石試料の採取

重力値の地形補正および解析のために、調査地域に分布する岩石試料を採取し、密度を測定した。

岩石試料は地表露頭から65個および試錐岩芯から19個の計84個を採取した。採取した試料は、日本へ持ちかえり、密度測定を実施した。

3 解析方法

3-1 重力値の補正

重力観測値には、時間・位置・標高・相対地形等の多くの不均一な要素が影響している。それらの要素を補正して同一条件のもとでの重力値とするために、潮汐・器高・ドリフト緯度・地形・フリーエア・ブーゲーなどの各補正を施した。これらの補正計算はFACOM M160-AD型電子計算機で行った。

以下に主な補正とデータ処理方法について述べる。

3-1-1 潮汐補正

潮汐補正は、月・太陽の位置変化が重力観測に及ぼす影響を取り除くための補正で、時間および測点の緯度によって変化する。各測定値にこの補正を行うことにより、ドリフト補正を単純な閉塞誤差とみなすことができるので、観測精度を向上させることができる。

月と太陽の時間と位置の関係は、日本国海上保安庁発行の天測略歴から求め、次式により計算を行った。

$$\Delta g = \frac{3}{2} GM \frac{a}{r^3} \left\{ 3 \left(\sin^2 \delta - \frac{1}{3} \right) \left(\sin^2 \varphi - \frac{1}{3} \right) + \sin 2\delta \cdot \sin 2\varphi \cdot \cos \theta + \cos^2 \delta \cdot \cos^2 \varphi \cdot \cos 2\theta \right\}$$

G：万有引力定数 ($6.67 \times 10^{-11} \text{ m}^2/\text{kg} \cdot \text{sec}^2$)

M：天体の質量 (月； $7.348 \times 10^{22} \text{ kg}$, 太陽； $1.9891 \times 10^{30} \text{ kg}$)

a：地球の中心から測点までの距離

$$= 6,378.388 (0.99832 + 1.6835 \times 10^{-3} \cos 2\varphi - 3.5 \times 10^{-6} \cos 4\varphi) + \text{測点標高 (km)}$$

r：地球の中心から天体までの距離

$$\text{(月； } 384,405 \text{ km, 太陽； } 1.496 \times 10^8 \text{ km)}$$

φ ：観測点の緯度

δ ：天体の赤緯 (赤道から南北に測った角度)

θ ：天体の時角 (天体の子午面と測点の子午面との間の角度)

3-1-2 ドリフト補正

重力値既知の測点から出発して未知の測点の重力値を測定し、再び既知の点にもどった時、その重力測定値に潮汐補正と器械高補正を施しても、もとの重力値にならないのが普通であ

る。この測定値の差をドリフトという。

La Coste 重力計は温度および気圧に関する変化はきわめて少ないが、スプリング固定系の経年変化に伴ってドリフト現象を生ずる。

ドリフト補正は、経過時間に比例するものとして各閉塞ごとに補正を行った。ドリフトの最大は、1982年12月7日の0.074 mgal/dayであった。

3-1-3 地形補正

地形補正は、測点の周囲の地形が重力計に及ぼす影響を除去するための補正である。地形図を一定の格子間隔で区分けして、その中心点の標高を読み取り、測点との相対的な起伏を一定の形状に近似させる。それらの補正区画に影響される重力値を合計したものが地形補正值となる。

地形の影響は、測点に近いほど大きく、離れるに従って小さくなるので、測点に近い範囲では高い精度の地形補正を行い、遠い範囲では粗い補正を行った。

調査地域は山地にかこまれた平坦地であり、また山地との比高が少ないので、この地域に適した補正範囲を設計した。1測点についての地形補正計算領域の概念、補正の範囲および格子間隔は次のとおりである。

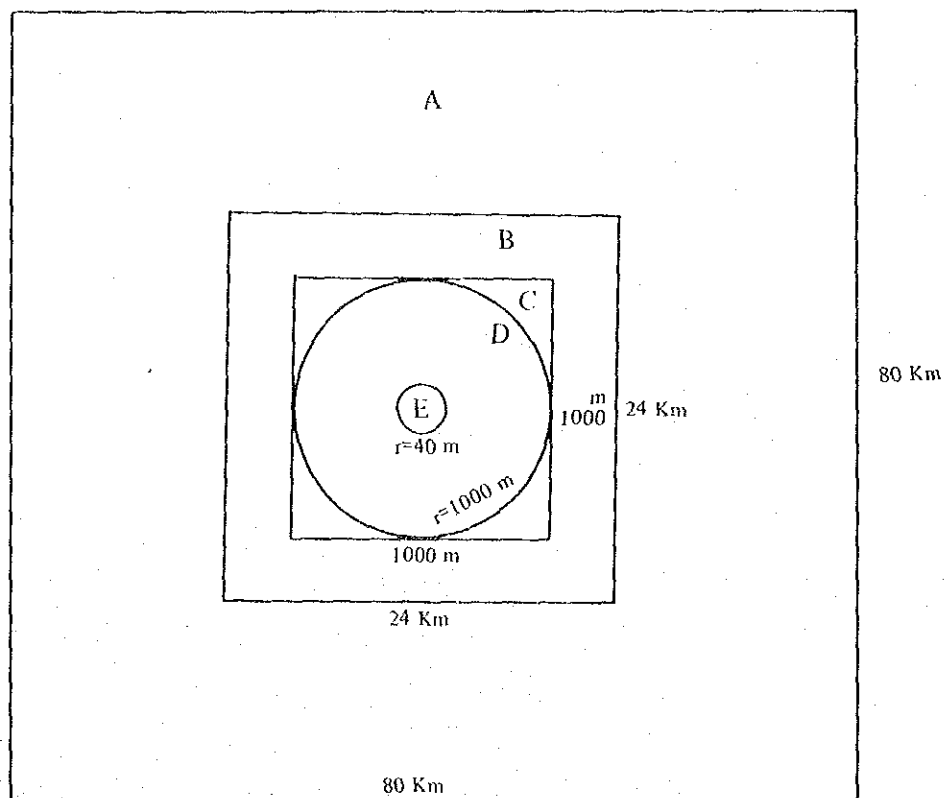


Fig II.1.2-2 地形補正計算の領域

Table II.1.2-3 地形補正の概要

名称	領域	補正方法	1測点についての補正範囲	地形メッシュデータの格子間隔	地形図
遠方	A	同心円柱近似	80km(東西)×80km(南北)	2,000m(東西)×2,000m(南北)	1/50,000
中間	B	"	24km(東西)×24km(南北)	500m(東西)×500m(南北)	1/50,000
近傍(1)	C	五面体近似	近傍(2)とそれに外接する格子範囲	} 別図参照	1/50,000
近傍(2)	D	同心円柱読取	測点より半径1,000m		1/10,000
周辺	E	断面近似	測点より半径40m	_____	スケッチ 1/500

遠方および中間の地形補正のもととなるデータは、全測点の補正に必要な範囲を定め、地形図に格子間隔 (Table II.1.2-3) ごとに格子線を引き、その交点の地形高度を地形図から読取ることにより、地形メッシュデータを作成した。実用した1/50,000地形図と全測点に関する補正範囲との関係を Fig II.1.2-3 に示す。

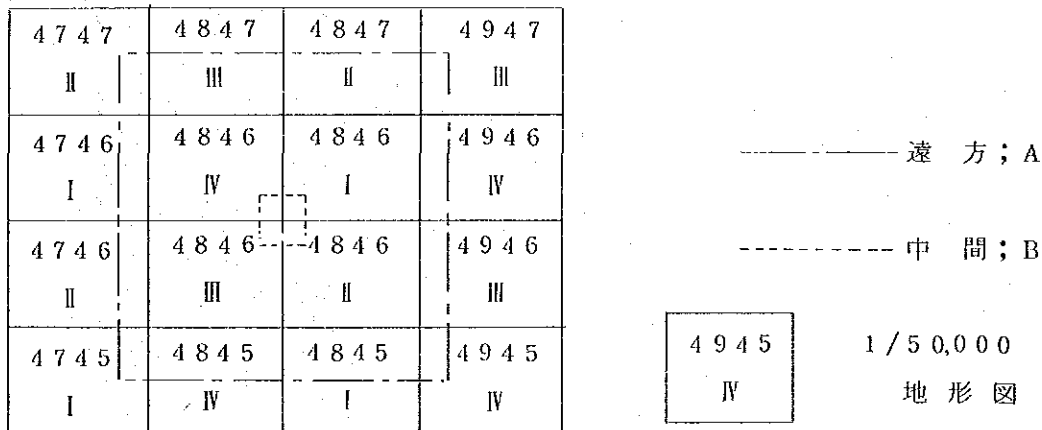
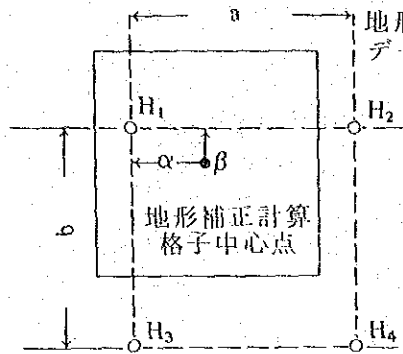


Fig II.1.2-3 地形図と地形補正範囲

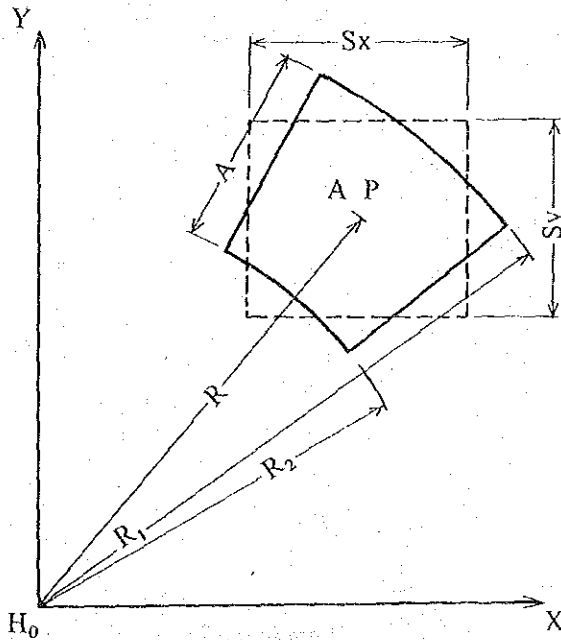
地形メッシュデータは測点位置と無関係に作成するので、各測点を原点とする地形補正計算用格子とは位置がずれている。地形補正に必要な計算用格子中心の標高は次式に従い、地形メッシュデータから計算格子中心までの距離の重みを用いて計算する。



$$\bar{H} = H_1 + (H_2 - H_1) \frac{\alpha}{a} + (H_3 - H_1) \frac{\beta}{b} + (H_1 + H_4 - H_2 - H_3) \frac{\alpha \cdot \beta}{a \cdot b}$$

Fig 11.1.2-4 格子点の標高

次に、これらの地形補正計算区画を同面積の同心円柱に置き換え、次式にもとづいて、地形補正計算を行った。



$$dg = \frac{2 G \rho A^2 (R_2 - R_1 + \sqrt{R_1^2 + H^2} - \sqrt{R_2^2 + H^2})}{(R_2^2 - R_1^2)}$$

ただし、 dg : 地形補正值

G : 重力常数

$$(6.670 \times 10^{-8} \text{ dyne} \cdot \text{cm}^2 / \text{g}^2)$$

ρ : 密度

A^2 : 補正区画の面積

H : 補正区画の平均高度と測点との高度差 $\bar{H} - H_0$

$$A = \sqrt{S_x \cdot S_y}$$

$$R_1 = R - A/2$$

$$R_2 = R + A/2$$

Fig 11.1.2-5 地形補正計算

近傍(1)の補正は、測点より半径 1,000mの円と、この円が接する中間領域とで構成する五面体領域についての五面体近似法 (Fig 11.1.2-6) により行った。このさい測点および地形メッシュの格子点標高を利用した。

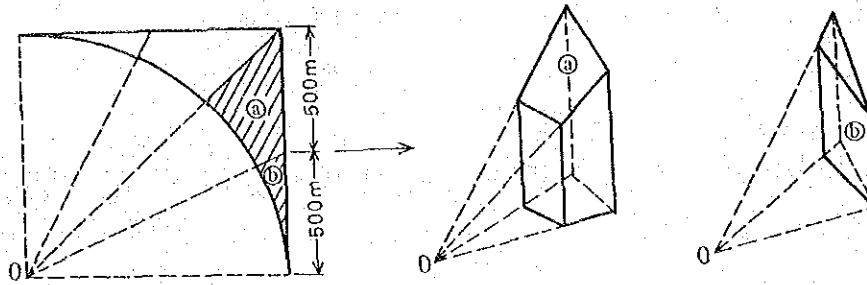
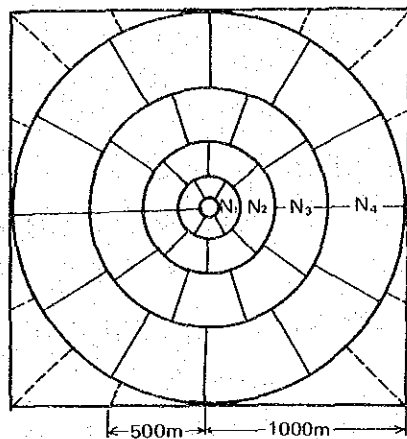


Fig II.1.2 - 6 五面体近似法

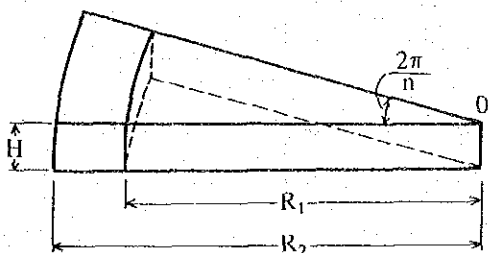
近傍(2)の補正は、測点より40mから1,000mの領域を同心円柱に区切り (Fig II.1.2 - 7), 区切られた区画の平均高度を1/10,000地形図上で読取って, Hammerの近似式 (Fig II.1.2 - 8)を用いて行った。



	補正範囲 (中心からの距離:m) ($R_1 \sim R_2$)	同心円内の 区画数 (n)
N_1	40 ~ 150	6
N_2	150 ~ 340	8
N_3	340 ~ 620	10
N_4	620 ~ 1,000	12
(計)		(36)

Fig II.1.2 - 7 近傍(2)の地形補正

$$g = \frac{2\pi G \rho}{n} (R_2 - R_1 + \sqrt{R_1^2 + H^2} - \sqrt{R_2^2 + H^2})$$

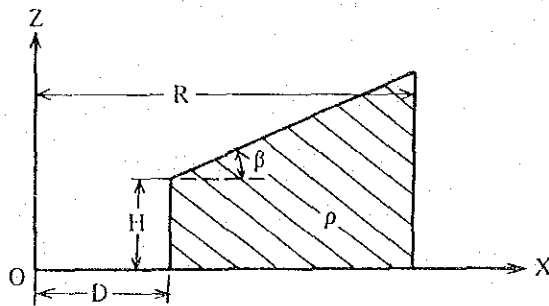


- g : 地形補正值
- G : 重力定数
- ρ : 密度
- R_1 : 円筒内径までの距離
- R_2 : 円筒外径までの距離
- H : 補正区画と測点との高度差
- n : 補正区画の等分数

Fig II.1.2 - 8 Hammerの近似式

周辺に関する補正は、測点より40mまでの地形の起伏を測点から2方向の断面スケッチし、次式にもとづいて計算した (Fig 11.1.2-9)。

$$\Delta g = 2G\rho \int_0^R \left\{ \tan^{-1} \sqrt{\frac{R^2 - X^2}{R^2 + H_0^2}} - \tan^{-1} \sqrt{\frac{R^2 - X^2}{R^2 + (X \tan \beta + H - H_0 - D \tan \beta)^2}} \right\} dX$$



- Δg : 地形補正值
- G : 重力定数
- ρ : 密度
- D : 測点より崖までの距離
- H : 崖の高さ
- β : 崖の傾斜角
- R : 補正範囲
- H_0 : 重力計の重錘の高さ (0.15m)

Fig 11.1.2-9 周辺補正

3-1-4 高度補正

この補正には、高度差に伴う重力値の補正であるフリーエア補正と、地下の岩石の密度が影響するブーゲー補正が含まれる。

フリーエア補正值 (Δg_1) は地球表面における平均的な重力鉛直勾配を用いて次式であらわされる。

$$\Delta g_1 = g_0 \left\{ 1 - \frac{R^2}{(R+H)^2} \right\} = \frac{2g_0 HR + g_0 H^2}{(R+H)^2} \approx \frac{2g_0}{R} H \approx 0.3086 H \text{ mgal}$$

ここで g_0 : 平均海水面重力値

R : 地球の平均半径

H : 測点標高 (m)

ブーゲー補正值 (Δg_2) は、厚さ H 、密度 ρ の無限に広い水平板が、地表とジオイドにはさまれているものとして次式により計算される。

$$\Delta g_2 = -2\pi G\rho H \approx -0.0419 \rho \times H \text{ mgal}$$

ただし、 G : 重力定数
ρ : 密度
H : 測点標高 (m)

フリーエア補正值およびブーゲー補正值は共に測点標高Hの関数であり、まとめて高度補正值とよび次式で計算する。

$$4g_1 + 4g_2 = (0.3086 - 0.0419\rho)H \quad \text{mgal}$$

3-1-5 緯度補正

地球が回転楕円体であることおよび自転による遠心力のため、地表での重力値は赤道付近で最小、両極で最大となる。緯度補正は、観測重力値から標準重力値 (S.V) を差し引くことによって求められる。標準重力値は次にしめす標準重力の国際式 (1930年) であらわされる。

$$S.V. = 978,049 (1 + 0.0052884 \sin^2 \varphi - 0.0000059 \sin^2 2\varphi) \quad \text{mgal}$$

ここで、 φ : 各測点の緯度

3-2 岩石試料の密度測定

岩石試料の密度測定は、自然乾燥状態と湿潤状態について実施した。

自然乾燥状態の密度 (ρ₁) は次式によって求めた。

$$\rho_1 = W_0 / (W_0 - W_s)$$

ここで W₀ : 空気中重量

W_s : 水中重量

また湿潤状態の密度 (ρ₂) は次式によって求めた。

$$\rho_2 = W_0 / (W_0 - W_s)$$

W_s : 試料を48時間以上水に浸したのち水中重量

W₀ : 水中重量を測定した後、約1時間放置し試料表面の水分をふきとった空気中重量

3-3 編集作業

タイ側機関 (DMR) によりすでに重力探査が行われているが、今回の重力探査をまとめるにあたり、タイ側データの編集作業 (コンパイル) も行った。

タイ側データにおいて重力基点および測点位置が不明であった。そこでタイ側のデータの測点位置図上の測点間をつなぐことによって、今回測定した道路状況と形状がほぼ一致する

個所を見出し、測点位置を判定した。

またタイ側データの潮汐補正は、半日ごとの閉塞によって直線的に補正しているので、最大 0.1 mgal 程度の誤差が含まれる可能性がある。

タイ側の重力探査において測点の標高は水準測量によってもとめている。しかし水準基準点異なるため、タイ側の重力探査と今回の重力探査において測点位置が同一と考えられる地点でも両者の標高値がくいちがっている。

これらの問題を考慮して、ほぼ同一地点と考えられる測点データの対比からコンパイル係数を求め、タイ側データを補正しコンパイルを行った。両データの対比およびコンパイル係数の計算結果を Fig Ⅱ.1.2-10 および Table Ⅱ.1.2-4 に示す。Table Ⅱ.1.2-4 における※印は平均値より標準偏差 σ_{n-1} 以上に離れているものである。これは測定位置の大きな相違からくるものと判断されるので、コンパイル係数はこの値を除いたものの平均値を採用した。したがってコンパイル係数は、

水準測量値に対し $\bar{X} = -10.689 \text{ m}$,

重力値に対し $\bar{Y} = 976,397.880 \text{ mgal}$ となる。

タイ側データにこのコンパイル係数を加重することにより、タイ側データを今回の重力探査データにとりいれた。

重力図を作成する段階で等重力線が著しくゆがむ個所の測点については、いくつかの誤差の累積によるものと判断して除去した。タイ側データのうち、今回の測点にちかいものおよび調査地域からはずれる測点についてはコンパイルから除去した。最終的なコンパイル点数は 87 点である。

3-4 補正密度の設定

補正密度は解析結果に大きな影響を及ぼすので、きわめて重要である。本調査では次の 3 種類の方法により平均密度を求め、その結果から補正密度を設定した。

3-4-1 岩石試料の密度測定にもとづく方法

測定結果を Table Ⅱ.1.2-5 および Fig Ⅱ.1.2-11(a) に示す。

全試料の密度は $1.96 \sim 3.05 \text{ g/cm}^3$ と広範囲にわたるが、岩種別平均密度を平均した値は 2.65 g/cm^3 である。

岩種別にみた場合、ばらつきの多いものはチャート、頁岩、凝灰岩であり、砂岩、花崗岩、石英脈のばらつきは少ない。

高密度の分布を示すものは、Kiu Lom 層上部の玄武岩質凝灰岩、凝灰岩、火山礫凝灰岩等であり、石灰岩がこれについている。チャートは全般に密度が小さい。

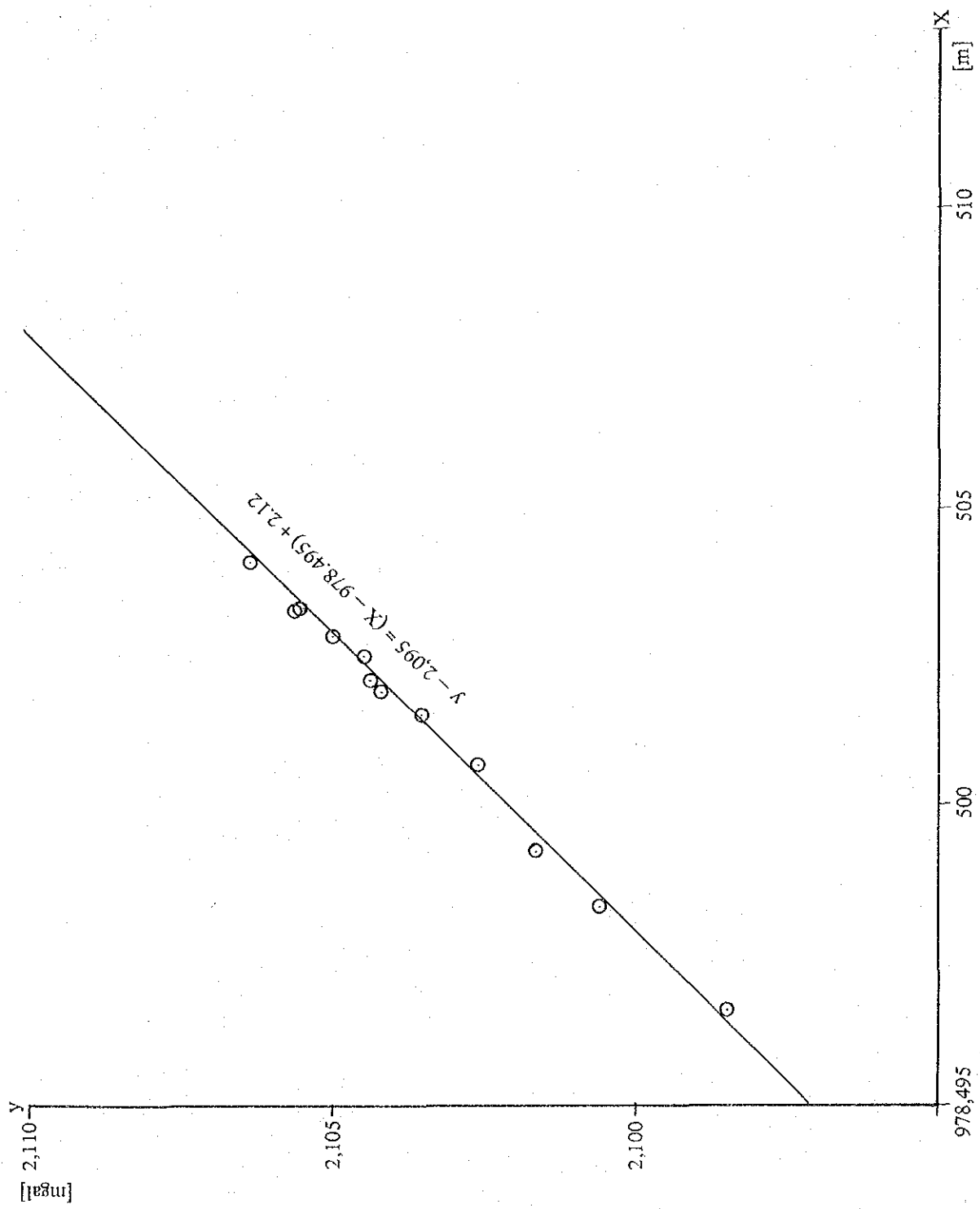


Fig. II.1.2-10 Gravity Compile Relation

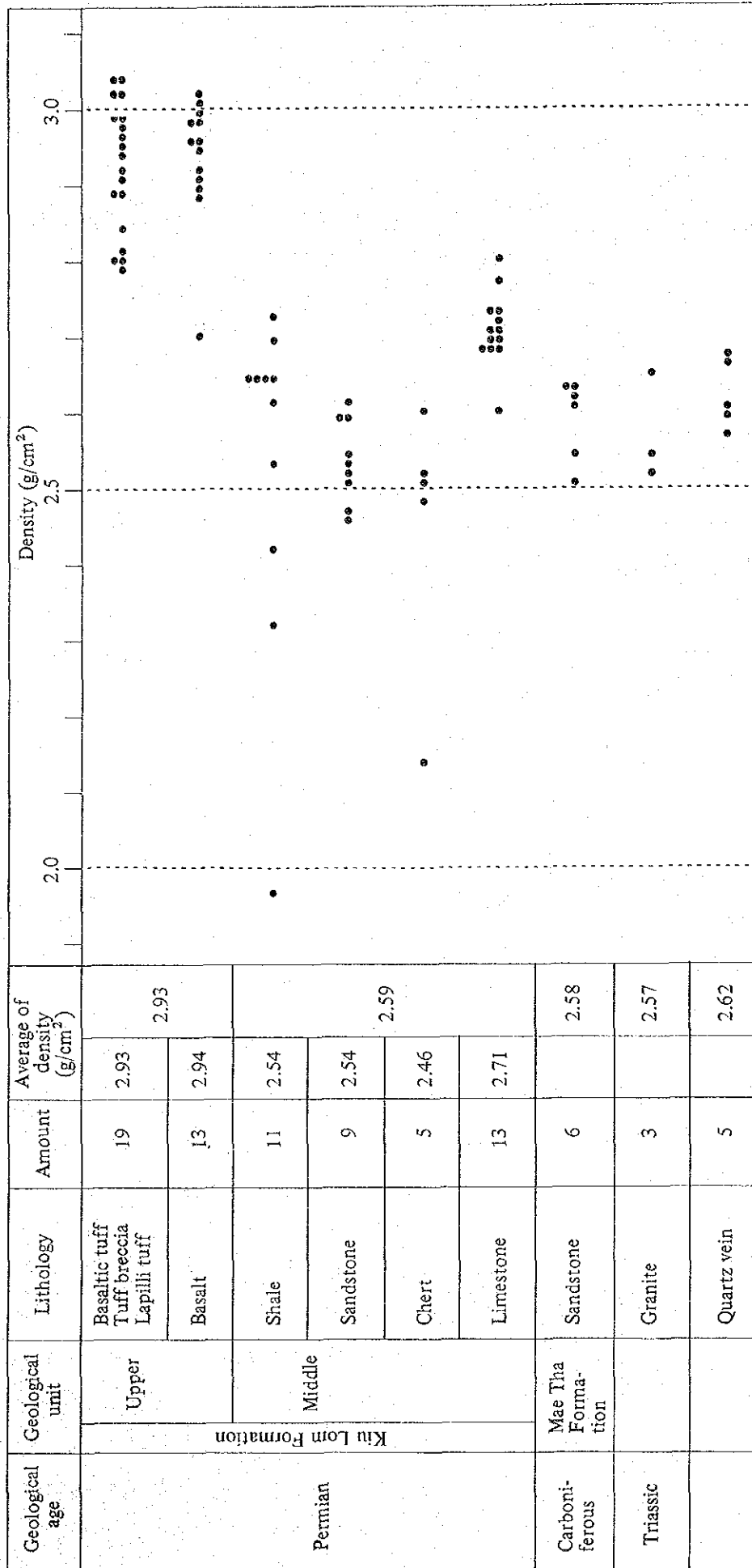


Fig. II.1.2-11(a) Distribution of rock densities

Table II.1.2.4 Calculation of compile coefficient

No.	New sounding point		Old sounding point				Difference of altitude 1 - 3 (m)	Difference of gravity value 2 - 4 (mgal)
	1 Altitude (m)	2 Gravity value (mgal)	No.	3 Altitude (m)	4 Gravity value (mgal)			
27	390.119	978,499.210	A 35	400.895	2,101.162	-10.776	976,398.048*	
54	360.633	501.877	A 22	370.649	2,104.151	-10.016	397.626	
80	364.650	504.088	B 59	375.628	2,106.334	-10.978	397.754	
86	379.185	502.404	R 16	389.810	2,104.427	-10.625	397.977	
103	383.516	500.653	B 12	394.533	2,102.583	-11.017	398.070*	
105	375.092	502.804	B 17	385.758	2,104.983	-10.666	397.821	
108	383.700	498.399	B 26	396.692	2,100.444	-12.992*	397.955	
109	383.900	501.503	H 2	394.400	2,103.506	-10.500	397.997	
113	385.946	502.048	B 73	396.496	2,104.359	-10.550	397.689*	
118	374.764	503.212	B 64	385.531	2,105.598	-10.767	397.614*	
120	361.397	503.255	B 56	372.290	2,105.477	-10.893	397.778	
124	370.784	498.294	A 6	380.181	2,100.602	- 9.398*	397.692*	
140	416.003	496.558	A 49	426.556	2,098.484	-10.553	398.074*	
221	383.037	502.463	O 1	393.962	2,104.434	-10.925	398.029	
Average of difference altitude and difference of gravity value:							$\bar{x}_0 = -10.761$	$\bar{x}_0 = 976,397.873$
Standard deviation:							$\sigma_{n-1} = 0.7712$	$\sigma_{n-1} = 0.1637$
Average without data of * mark:							$\bar{x} = -10.689$	$\bar{x} = 976,397.880$

Table H.1.2-5 Measurement result of rock density

Rock	No.	Weight in wet state		
		Weight in air (g)	Weight in water (g)	Density (g/cm ³)
Basalt	20	1469.9	971.9	2.95
"	21	1769.9	1171.6	2.96
"	22	417.4	279.2	3.02
"	23	795.6	503.2	2.72
"	24	1418.1	927.2	2.89
"	25	723.4	472.2	2.88
"	26	1072.5	715.7	3.01
"	27	1280.4	839.0	2.90
"	28	1645.6	1095.2	2.99
"	29	873.6	573.4	2.91
"	30	847.1	563.9	2.99
"	81	1069.3	707.6	2.96
"	82	1181.7	787.5	3.00
Tuff	1	1558.5	1003.8	2.81
"	2	1201.9	770.9	2.79
"	3	1092.6	702.8	2.80
"	4	1109.1	734.4	2.96
Basaltic tuff	5	1268.0	829.6	2.89
Tuff	6	675.8	454.3	3.05
"	7	1199.6	771.2	2.80
"	8	1790.3	1202.7	3.05
"	9	1997.1	1326.0	2.98
"	10	1032.4	682.4	2.95
"	11	840.4	562.6	3.03
"		322.1	194.0	2.51
Tuff breccia	12	1033.7	679.2	2.92
"	13	1020.3	667.5	2.89
"	14	1204.0	781.2	2.85
"	15	1493.6	979.8	2.91
"	16	902.7	600.5	2.99
"	17	1191.5	798.0	3.03
"	18	1544.5	1028.1	2.99
"	19	598.3	396.8	2.97
Limestone	52	394.5	250.0	2.73
"	53	690.8	435.5	2.71
"	54	1648.0	1034.9	2.69
"	55	1783.2	1136.8	2.76
"	56	741.1	465.1	2.69
"	57	461.3	290.0	2.69
"	58	524.5	330.0	2.70
Silicified limestone	83	1267.5	782.7	2.61
Limestone	59	1060.6	667.5	2.70
"	60	1024.1	648.1	2.72
"	61	1255.0	792.1	2.71
"	62	498.5	319.8	2.79
"	63	903.5	572.2	2.73
Chert	47	305.2	164.2	2.16
"	48	1175.3	707.8	2.51
"	49	1105.2	666.1	2.52
"	50	998.6	598.3	2.49
"	51	545.7	338.3	2.63

Rock	No.	Weight in wet state		
		Weight in air (g)	Weight in water (g)	Density (g/cm ³)
Calcareous shale	31	451.6	281.6	2.66
Black shale	32	451.6	281.6	2.66
Shale	33	1373.7	807.9	2.43
Calcareous shale (fresh)	34	743.5	468.5	2.70
" (weathered)	35	1406.2	852.9	2.54
Shale	36	602.2	375.7	2.66
Black shale	79	736.1	455.1	2.62
Shale	84	672.9	385.5	2.34
"	37	691.8	438.0	2.73
"	38	1307.9	816.9	2.66
Weathered shale	39	388.4	190.3	1.96
Sandstone	40	696.0	427.7	2.59
"	41	641.8	396.3	2.61
"	42	655.2	394.6	2.51
"	64	528.5	321.0	2.55
"	65	237.3	145.6	2.59
"	66	367.5	226.5	2.61
"	67	1312.3	807.1	2.60
"	43	567.3	337.2	2.47
"	68	1436.7	886.6	2.61
"	78	1198.9	727.0	2.54
"		848.2	523.3	2.61
"	80	1094.5	659.6	2.52
"	44	1162.9	694.4	2.48
"	45	1265.3	777.2	2.59
"	46	1156.3	698.5	2.53
"	69	825.3	496.6	2.51
Granite	70	233.3	145.2	2.65
"	71	1574.5	954.5	2.54
"	72	1075.9	649.8	2.52
Quartz vein	73	696.0	427.7	2.59
"	74	1330.9	812.5	2.67
"	75	1024.0	629.7	2.60
"	76	968.0	592.0	2.57
"	77	1161.1	724.8	2.66

以上の結果から調査地域の岩石の密度は、次のように区分できる。

高密度	Kiu Lom 層上部	$\left\{ \begin{array}{l} \text{玄武岩質凝灰岩} \\ \text{凝灰角礫岩} \\ \text{火山礫凝灰岩} \end{array} \right.$	2.93 g/cm ³	
			玄武岩	2.94 g/cm ³
中密度			Kiu Lom 層中～下部	石灰岩
		Mae Tha 層	砂岩	2.58 g/cm ³
	その他	花崗岩	2.57 g/cm ³	
		石英脈	2.62 g/cm ³	
低密度	Kiu Lom 層中～下部	頁岩	2.56 g/cm ³	
		砂岩	2.54 g/cm ³	
		チャート	2.46 g/cm ³	

したがって岩石試料の密度測定にもとづく本地域の補正密度は、2.5～2.9 g/cm³ が適当と考えられる。

3-4-2 G-H関係図にもとづく方法

これは地下構造が均一の場合、測点標高と地形補正済および緯度補正済重力値とは1次の相関関係がある〔 $\Delta G = (0.3086 - 0.0419\rho) \times \Delta H$ 〕ことから補正密度を求める方法である。ただし補正済重力値は、地下構造が均一でないことによる異常値も含んでいるので、大規模構造の影響を除くため3次傾向面を求め、この残差値についてG-H関係を求めた。

Fig II. 1.2-11(b)にG-H関係図を示す。G-H関係図における直線の勾配から本地域の平均的密度は $\rho = 2.614 \text{ g/cm}^3$ と計算される。

3-4-3 各種補正密度による等重力線図と地形図等高線との相関にもとづく方法

地形補正ならびにブーゲー補正を行った重力図は、地下構造が地形と無関係の場合は地形コンターとは無相関になる。補正密度が適正值よりも小さすぎる場合は重力コンターは地形コンターに近似し、大きすぎる場合は地形図との相関度が負となる。この相関性についての検討結果をTable II. 1.2-6に示す。この表から $\rho = 2.6 \text{ g/cm}^3$ が最も適切な補正密度とみなせる。

DENSITY = 2.614 g/cm³

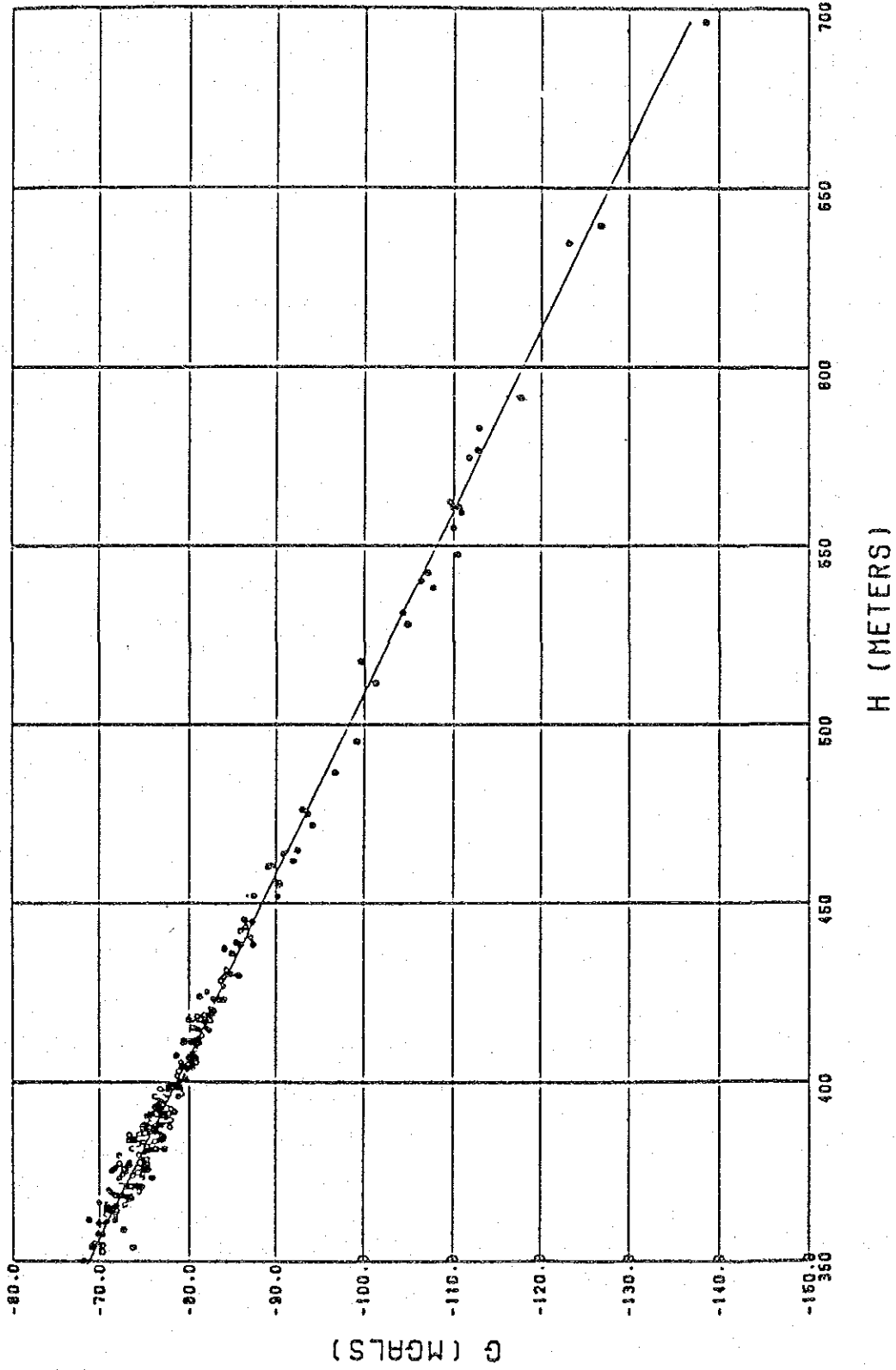


Fig. II.1.2-11 (b) G-H relation

Table II.1.2-6 重力図と地形図の相関性

	(g/cm^3) $\rho=2.4$	$\rho=2.5$	$\rho=2.6$	$\rho=2.67$	$\rho=2.8$
重力図と地形図の正の相関する個所数	11	10	8	7	5
重力図と地形図の負の相関する個所数	4	6	9	10	14

以上の3種の検討結果から、補正密度を $\rho=2.6 g/cm^3$ と設定した。

3-5 等重力線図の作成

等重力線図の作成は、以下の手順のとおりである。

まず測定データおよびコンパイル点の各点について、項3-1で述べた方法により補正済重力値を計算する。ついで全調査地域について $150m \times 150m$ のメッシュ格子を設定する。格子点から一定距離内にある8点以上の測点データにつき、距離の逆自乗加重による平均値を求め、それを格子点重力値とする。格子点重力値の等しい値を結び等重力線図を作成する。

3-6 フィルター処理

等重力線図には種々の要素による波長が含まれているので、目的とする地下構造を抽出するために下記のフィルター処理を行った。

3-6-1 3次傾向面解析

3次傾向面解析は、重力異常図 ($\rho=2.6 g/cm^3$) の格子重力値をもとに、最小自乗法によって3次多項式で表現される近似曲面を数学的処理によって求める方法である。得られた結果は調査地域周辺まで含めた大規模な構造や、深部の構造による重力異常を示すと考えられる。このフィルター処理は次項の残差図を得るための手法でもある。

解析結果を、PLII.1.2-2 (GRAVITY TREND) に示す。

3-6-2 3次残差図

重力異常図の格子重力値から3次傾向面重力を差引いて作成したものが、3次残差図である。格子重力 $G(X, Y)$ 、3次傾向面重力 $Z(X, Y)$ と3次残差重力との関係を次に示す。

$$3 \text{ 次残差重力} = G(X, Y) - Z(X, Y)$$

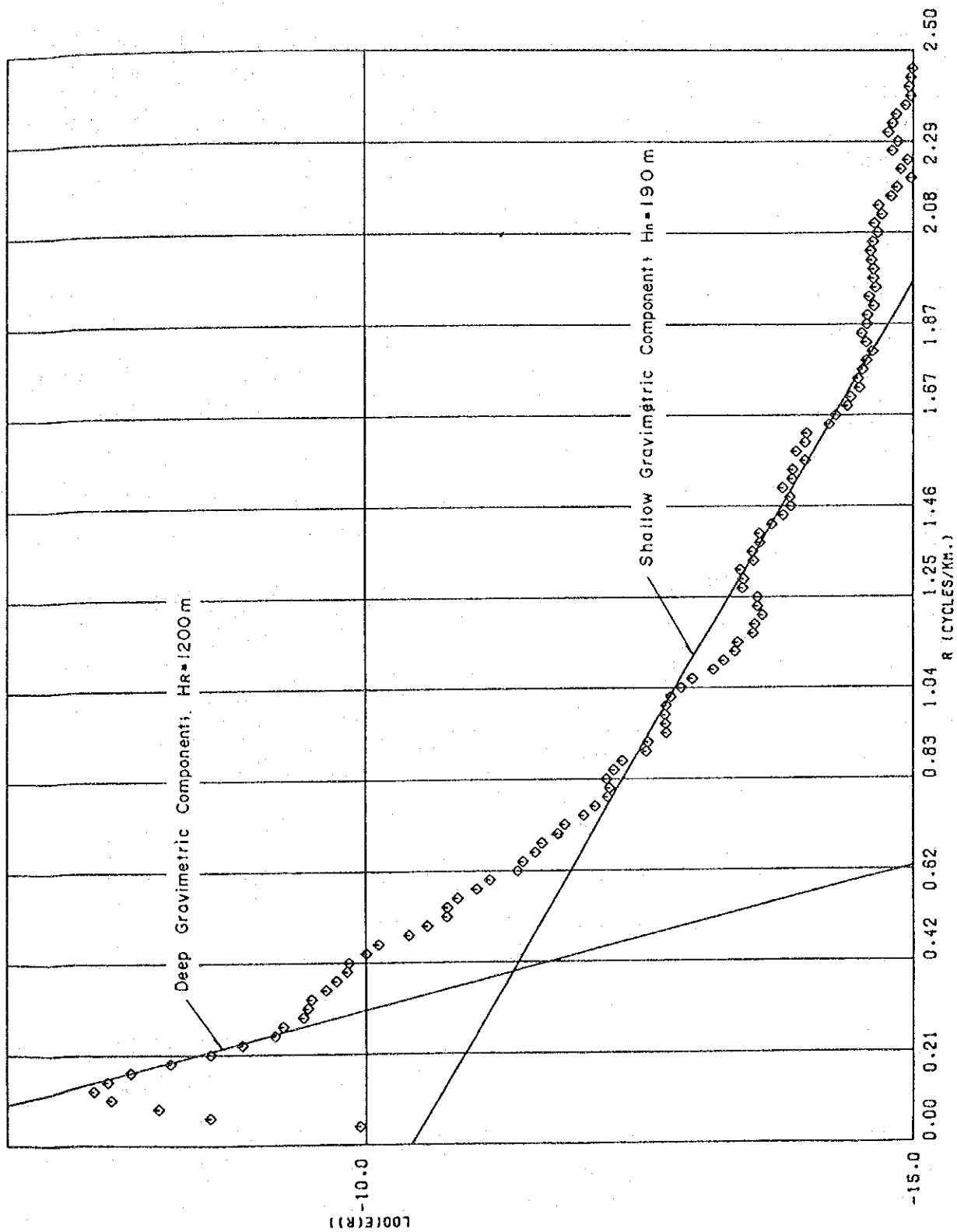


Fig. II.1.2-12 Spectro analysis

3-6-3 スペクトル解析

スペクトル解析はポテンシャル論にもとづき波長解析を行うことによって、その主要構造の深度を求めるものである。重力および磁気はポテンシャルで表現されるものであり、波長解析法をそのまま適応することができる。この方法によってスペクトル解析図 (Fig II. 1.2-12), 深部成分解析図 (平均深度 1,200m) (PL II.1.2-4) 浅部成分解析図 (平均深度 190m) (PL II. 1.2-5) を作成した。

3-7 断面解析

重力異常に対応する地下構造を推定するために、1次残差値を用いた断面解析を行った。密度構造モデルによる重力値の算出には、Taiwan 等の方法を採用した。

Fig II.1.2-13 に示す密度 ρ の多角形 (紙面に垂直無限) によって受ける 0 点 (地表上の任意の点) での重力値の垂直成分 g_v は次式で与えられる。

$$g_v = 2\rho G \sum_{i=1}^n \int_{z_i}^{z_{i+1}} \int_{-\infty}^x \frac{z}{x^2 + z^2} dx \cdot dz$$

ただし、 ρ : 密度, G : 重力定数

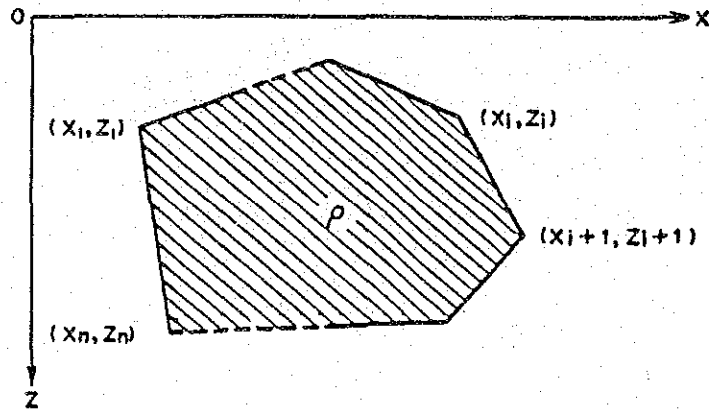


Fig II.1.2-13 断面解析

断面解析は PL II.1.2-1 に示す A-A', B-B', C-C' の 3 本の断面について行った。

4 解析結果

4-1 解析図

3 項の解析にもとづき次の図面を作成した。

PL II.1.2-1 等重力線図 ($\rho = 2.6 \text{ g/cm}^3$)

PL II.1.2-2 3 次傾向面図

PL II.1.2-3	3次残差図
PL II.1.2-4	深部成分解析図(1,200m)
PL II.1.2-5	浅部成分解析図(190m)
PL II.1.2-6	断面解析図 A-A'
PL II.1.2-7	断面解析図 B-B'
PL II.1.2-8	断面解析図 C-C'
PL II.1.2-9	地下構造平面図

4-1-1 等重力線図($\rho=2.6\text{ g/cm}^3$)(PL II.1.2-1)

等値線の最大は -2.25 mgal 、最低は -12.25 mgal である。

等値線の配列は、大局的にみてNS性を示す。特に調査地の東端部、中央部および西端部の3地域で、NS性の等値線が密に配列している。これらの地域には、Huai Mae Koen 断層、Huai Mae Khu 断層、Ban Mae Khu Ha断層、Huai Pong 断層等の断層が地質調査で推定されている。

Ban Mae Khu Ha付近からBan On Klang付近にかけての帯は東端部と中央部にみられる等値線の密なゾーンに挟まれた地域で等値線は粗く、重力変化の少ない高重力域となっている。この地域はKiu Lom 層上部に属する玄武岩、玄武岩質凝灰岩、凝灰角礫岩、火山礫凝灰岩等が分布するが、これらの地層の中での密度変化は少ないことが考えられる。

中央部にみられる等値線の密な配列は、南北に長く連続している。ここでは上述のHuai Mae Khu Ha 断層が位置している。この断層の西側に分布するKiu Lom 層中部の石灰岩は、密な等値線群の西端に位置し、石灰岩層の走向と等値線の傾向とはほぼ一致している。

Ban Nong Boyen付近からBan Pong Nok付近にかけての帯は、中央部と西端部にみられる等値線の密なゾーンに挟まれた地帯で、等値線は粗く、重力変化の少ない低重力域となっている。この地域はKiu Lom 層中～下部の頁岩、チャート、および砂岩が分布している。地熱徴候地はこの大きなNS性の低重力域中にあるが、徴候地の北側の等値線は、WNW-ESE性を示す。

この地域の西側は、Huai Pong 断層によって、Mae Tha 層の砂岩と接しているが、この断層付近から西方へ重力値が増加し、やや密な等値線の配列がみられる。

4-1-2 3次傾向面図(PL II.1.2-2)

等値線の最大値は -2.0 mgal 、最低値は -11.5 mgal である。3次傾向面の重力分布は等

重力線図の重力分布を大局的に表現している。

調査地域東部の Ban On Klang 付近を最高重力地域として、Ban Nong Hoi 方面に北方へ張り出す高重力帯がある。西部では Huai Pong 川付近を中心とした NS 性の長軸を示す低重力帯が特徴的である。この高および低重力帯の中間域、および東端域と北西端域には、南北方向に等重力線が密に配列している。西部の低重力帯は等重力線図 ($\rho=2.6 \text{ g/cm}^3$) に比べると、その位置がより西側に分布している。この理由として、この低重力帯の東側に比べ西側の等重力線の傾度が緩いことから数値処理上、低重力帯が西側に分布するように表現されたものと考えられる。

4-1-3 3次残差図 (PL II.1.2-3)

等値線の最高値は +2.0 mgal、最低値は -2.0 mgal である。重力分布はおよそ径 3 Km 程度の規模のユニットに分けられる。

高重力異常は、Ban Mae Khu Ha 断層以東の玄武岩類が分布する地域において、Huai Mae Khu Ha 付近の NW-SE 性の異常、EGAT Camp 付近から南方および Ban Mae Pa Khang 付近に NS 性の異常が存在する。

Huai Pong 断層の北方延長部の Ban Kat Khi Lek 付近および Mae Tha 層の砂岩が分布する Doi Luang 東側には NW-SE 性の高重力異常が存在する。

低重力異常は、Ban Mae Ku Ha 付近、その北西延長部の Ban Pang Riap Rua 付近および Huai Ang 川付近に存在するほか、Wat Hua Fai 付近にも分布している。

4-1-4 深部成分解析図 (平均深度 1200m) (PL II.1.2-4)

等値線の最高値は 7.0 mgal、最低値は -6.75 mgal である。本図は 3 次傾向面図と 3 次残差図が示すものの中間的な深度の構造の影響をつよくうけていると考えられる。

高重力異常の領域は、3 次傾向面図および 3 次残差図とほとんど同じである。東側の高重力異常と低重力異常領域との間に密に配列する等値線の弓状の形状は、石灰岩の分布とほぼ一致している。

低重力異常領域は 3 次残差図のそれよりも西側に分布し、その中心は Kiu Lom 層が分布する Wat Pon Hong から Ban Pon Nok 付近および Huai Ang 川付近の Huai Pong 断層を中心とする地域にある。

4-1-5 深部成分解析図 (平均深度 190m) (PL II.1.2-5)

重力異常の最高は 0.4 mgal、最低は -0.9 mgal とその変化はきわめて小さい。また重力異常の形状や分布と地層との対応がはっきりせず、地下浅部の密度的ノイズを示すものと考え

られる。

4-1-6 断面解析図 (PL-II.1.2-6,7,8)

各断面は、等重力線断面、フィルター断面、地下構造断面、地質構造断面を含む。

等重力線断面図は、補正密度 $\rho=2.6 \text{ g/cm}^3$ の等重力線 (ブーゲー異常) 断面に、2次元シミュレーション結果をプロットした。

フィルター断面図は、3次残差、スペクトル解析 (深部成分) の結果を表現した。

地下構造解析断面図は、シミュレーションの結果得られた構造モデルを表現した。

地質構造断面図は、上記の解析結果に地表地質情報を加味し、地質構造を推定した。

シミュレーションの結果得られた密度構造は、各断面に共通して高密度岩体 ($\rho=2.80 \text{ g/cm}^3$)、低密度岩体 ($\rho=2.50 \text{ g/cm}^3, 2.60 \text{ g/cm}^3$)、および中密度岩体 ($\rho=2.7 \text{ g/cm}^3$) に区分される。

断面中央から東側の高重力異常は高密度岩体 ($\rho=2.80 \text{ g/cm}^3$) によって説明され、これは断面の東西両側の低密度岩体 ($\rho=2.60 \text{ g/cm}^3$) とほぼ垂直的に接する形状が示される。

各重力断面の西端部で重力値が増加しているが、断面計算を行うには、情報が不足しているため、密度モデルは $\rho=2.60 \text{ g/cm}^3$ で一様に設定した。

断面西部の低重力異常は低密度岩体 ($\rho=2.60 \text{ g/cm}^3$ および $\rho=2.49 \text{ g/cm}^3$) の存在によって説明される。断面中央部の重力勾配の急斜部は、その勾配によって解析された中密度岩体 ($\rho=2.70 \sim 2.64 \text{ g/cm}^3$) の形状が各断面で異なる。A-A'断面とB-B'断面では、重力勾配が緩いことから中密度岩体容積が大きいものに対して、C-C'断面では最も重力勾配が急で中密度岩体の容積が小さいと解析される。

密度岩体と地層との対応は次のように考えられる。

Table II.1.2-7 密度岩体と地層との対応

断面 密度岩体	A-A'	B-B'	C-C'
$\rho=2.8$	Kiu Lom 層上部	Kiu Lom 層上部	Kiu Lom 層上部
$\rho=2.7$	Kiu Lom 層中～下部		
$\rho=2.66$		Kiu Lom 層中～下部	
$\rho=2.6$ (東側)			Kiu Lom 層下部 (砂岩)
$\rho=2.6$ (西側)	Kiu Lom 層中～下部	Kiu Lom 層中～下部	Kiu Lom 層中～下部
	Mae Tha 層 (砂岩)	Mae Tha 層 (砂岩)	Mae Tha 層 (砂岩)

断面 密度岩体	A - A'	B - B'	C - C'
$\rho = 2.49$	Kiu Lom 層下部 (チャート)	Kiu Lom 層下部 (チャート)	
$\rho = 2.64$			Kiu Lom 層下部 (チャート)

重力断面図は、まず地質断面と密度測定結果から初期モデルを作り、シミュレーション計算をくりかえし行い、密度モデルの形状および密度を変化させて最適値を求めたものである。最終的な重力断面は、地質断面と調和的である。

4-2 重力分布と地下構造 (PL II.1.2-9)

本地域の地下構造は、重力分布からみて大規模な断層、あるいは構造線を境界として、次の〔I〕、〔II〕、〔III〕および〔IV〕の4ブロックに分けられる。

〔I〕ブロック；Huai Mae Koen 断層の東部地域

〔II〕ブロック；Huai Mae Koen 断層からKiu Lom 層中部の石灰岩層までの地域

〔III〕ブロック；石灰岩層からHuai Pong断層までの地域

〔IV〕ブロック；Huai Pong 断層およびDoi Luang 断層の西部地域

〔I〕ブロックには、Kiu Lom 層の頁岩とMae Tha 層の砂岩が広く分布する。

本地域の西側に分布する玄武岩類との密度的差異によって、本ブロックは低重力域として表現されている。Huai Mae Koen 断層付近にみられる等重力線の密な配列は、この断層がNS性の密度境界になっていると解釈される。断面解析の結果から、Huai Mae Koen 断層はほぼ垂直であると考えられる。

〔II〕ブロックは、Kiu Lom 層上部の玄武岩類が分布している。等重力線の間隔がゆるいことから、玄武岩類の中での密度変化は小さいと考えられる。また断面解析の結果から、本層の層厚が厚いと推定される。本岩の密度は平均 $\rho = 2.93 \text{ g/cm}^3$ と地域内で最も大きく、NS方向に広く分布する高重力域を形成している。

本地域内にはHuai Wai 断層、Huai Mae Khu Ha断層やこれと斜交する断層が存在するが、Huai Mae Khu Ha断層の南部を除き、これらの断層の影響は重力分布に表れていない。

〔III〕ブロックとの密度的境界は、中央から南部ではHuai Mae Khu Ha断層であり、中央から北部はHuai Mae Khu Ha断層に斜交する断層である。この斜交する断層は、地熱調査井GTE-3 付近からBan Pan Rua 付近へNW-SE方向にのびている。Huai Mae Khu Ha

断層は垂直状であり、その斜交する断層は東へ傾斜することが断面解析から推定される。
〔Ⅲ〕ブロックは、〔Ⅱ〕ブロックの西側に位置し Doi Luang 断層付近まで分布し、低重力域で特徴づけられる。〔Ⅲ〕ブロックは、さらに Ban Mae Khu 断層および Huai Pong 断層によって、東から西に〔Ⅲ-1〕、〔Ⅲ-2〕および〔Ⅲ-3〕に細分される。〔Ⅲ-1〕地域では〔Ⅱ〕ブロックと同じく玄武岩類が地表に分布するが、重力分布は西に向かって小さくなる。断面解析の結果、〔Ⅲ-1〕地域の密度は $\rho = 2.66 \sim 2.70 \text{ g/cm}^3$ と東側の〔Ⅱ〕ブロックの $\rho = 2.80 \text{ g/cm}^3$ より小さい値となっている。

Ban Mae Khu Ha 断層の西側の〔Ⅲ-2〕地域に砂岩、頁岩、チャート等の堆積岩類が分布する。これらの岩石は調査地域で最も低密度であり、〔Ⅱ〕ブロックおよび〔Ⅳ〕に分布する地層との密度差から低重力異常が表現されている。

3次残差図によるとこの〔Ⅲ〕ブロックの低重力帯中にさらに低重力域が表現されており、この付近にWNW-ESE性の断層が考えられる。この低重力域は、GTE-2付近から〔Ⅲ-1〕地域の玄武岩類の分布地域までの約 $1.5 \text{ Km} \times 2 \text{ Km}$ の範囲である。

〔Ⅲ-3〕地域は、Huai Ang 川上流の地域で Huai Pong 断層と Doi Luang 断層にはさまれた地域である。この地域では Huai Pong 断層よりも、Doi Luang 断層がより明瞭な密度境界をなしている。〔Ⅲ-3〕地域には、Mae Tha 層の砂岩が分布する。

〔Ⅳ〕ブロックは、北部で Huai Pong 断層および南部で Doi Luang 断層により〔Ⅲ〕ブロックと接している。

〔Ⅳ〕ブロックの Mae Tha 層の砂岩は Kiu Lom 層の堆積岩類よりも密度が若干大きいため、〔Ⅲ〕ブロックに対して高重力域を形成すると考えられる。南部の Doi Luang 断層は、密度境界をなし、その西側の〔Ⅳ〕ブロックは〔Ⅲ-3〕ブロックに対して高重力域となっている。この理由としてステップ状の断層構造の存在がこの付近に考えられる。

5 要 約

(1) 重力探査は EGAT および DMR カウンターパートの協力、ならびに Khon Khaen 大学学生の実習参加を得て実施された。水準測量は、EGAT 班によって全点実施された。

今回の重力探査の測点数は、全部で 230 点である。またすでに行われていたタイ側の重力探査データ 87 点についてコンパイル作業を行った。密度測定を実施した岩石試料は 84 個である。

(2) 測定値に潮汐補正、ドリフト補正を施し、さらに地形補正、高度補正等の補正を行い、重力異常値を計算した。この重力異常値にもとづいて、等重力線図を作成した。

測点位置は、ポケットコンパスによる測量と、EGAT が実施した測線を利用して決定した。

- (3) 重力図作成のための補正密度は、岩石試料の密度測定結果、G-H関係図および数種類の密度補正による重力図と地形図との対比によって求め、 $\rho=2.6 \text{ g/cm}^3$ が最適と判断された。
- (4) 等重力線図 ($\rho=2.6 \text{ g/cm}^3$) について各種のフィルター処理を行い、3本の断面について断面解析を実施した。
- (5) 等重力線図 ($\rho=2.6 \text{ g/cm}^3$) の傾向はNS, NW-SEおよびNE-SW性が卓越し、地質調査の結果明らかとなった断層や地層の走向とよく一致している。
- (6) 解析の結果、以下に述べる事項が明らかとなった。
- ① 密度測定結果および重力分布から、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 層中～下部の砂岩、頁岩、チャート等の堆積岩類は低密度岩体であり、低重力異常に対応する。
 - ② 本地域は、地下構造図 (PL. II.1.2-9) に示すように、密度分布的に次の4ブロックに分けられる。
 - [I] ブロック; Huai Mae Koen 断層の東部地域
 - [II] ブロック; Huai Mae Koen 断層から Kiu Lom 層中部の石灰岩層までの地域
 - [III] ブロック; 石灰岩層から Huai Pong 断層付近までの地域
 - [IV] ブロック; Huai Pong 断層および Doi Luang 断層の西部地域
 - ③ [I] ブロックと [II] ブロックを区分する密度境界は Huai Mae Koen 断層に一致し NS 性で、垂直であると考えられる。
 - ④ [II] ブロックに分布する玄武岩類の層厚は、断面解析の結果 2 Km以上とかなり厚いことが推定された。
 - ⑤ [III] ブロックでは、Ban Mae Khu Ha断層によって東側の玄武岩類の分布地域と西側の堆積岩類の分布地域に分けられる。この Ban Mae Khu Ha断層を中心に3次残差による低重力異常が見い出されている。
 - ⑥ [IV] ブロックは、Mae Tha 層の砂岩が分布するが、[III-3]ブロックとの重力分布の対比により [III] ブロックとの境界付近にステップ状の断層構造の存在が考えられる。
- (7) 地熱徴候地を含む [III] ブロックは低重力域であり、この中に3次残差の低重力域が存在する。[III] ブロックは、Ban Mae Khu Ha断層を境に堆積岩類と玄武岩類が分布する。地熱徴候地付近に分布するチャート層は、東傾斜で低重力域の中心方向にもぐり込んでいる。またこの低重力域はその東側の石灰岩層の分布になかば阻まれる形態を示し、この周辺には多くの断層が推定されている。この低重力域付近は造構運動のさい、多数の割れ目や破砕が集中的に形成されたと解釈される。