

タイ国の温泉と地熱資源

河田清雄 (地質部)

まえがき

東南アジアでもインドネシアやフィリピンには活火山が多いので地熱開発が進められ一部ではすでに発電に利用されている。しかし火山国でもないタイ国にたくさんの温泉があり地熱開発が進められようとしていることを知る人は少ないだろう。筆者はタイ国のバンコクにあるエスキューブ(アジア太平洋地域 経済社会委員会)のCCOP(アジア沿海鉱物共同探査調整委員会)事務局に2年数ヶ月在勤した関係でタイ国の温泉や地熱地帯を見学する機会があった。

タイ国の温泉は北部のチェンマイ(Chiang Mai)を中心としてその周辺部に集中して発達する断層に沿って分布する。その温泉の数は40ヶ所以上といわれている。大部分の地域が北緯5°から20°の間にあるタイは年間を通じて最高気温が35°C以上にも達するため温泉入浴のために利用する習慣は殆んどない。したがって温泉はタイ北部の農村で一部の農民の入浴や玉子を茹でたり 筍の水煮に使われる程度でしかなかった。その理由は温泉のあるものは人里はなれた遠い所にあつたり温泉の多目的利用についての知識と経験に乏しかったからである。しかし最近の国際的な石油エネルギー危機に直面し石油の節約が急務となった現在タイ国でも地熱エネルギーの開発は国家的な課題としてとりあげられようとしている。

1977年の12月14日に“北部タイの地熱資源”についての第1回目の会議がチェンマイ大学の地質学教室で開かれた。この会議は電力公社(Electricity Generating Authority of Thailand EGAT) 鉱物資源局(Department of Mineral Resources of Thailand DMR) およびチェンマイ大学地質学教室(Department of Geological Science Chiang Mai University)の共催で開かれた。筆者は1978年12月19日にチェンマイ大学地質学教室で開かれた“北部タイの地熱資源”の第2回会合に出席し日本の地熱開発の現状についてコメントする機会をもった。

この機会にタイ国の地熱資源についてかんたんに紹介してみたいと思う。使用した文献はチェンマイ大学地質学教室 鉱物資源局および電力公社の担当者によって編集された“Geothermal Resources of Northern

Thailand”でその一部を要約したものである。

I 地熱開発の態勢

すでにまえがきで述べたように電力公社 鉱物資源局およびチェンマイ大学地質学教室の三者による地熱開発のための合同会議が2度にわたってもたれており地熱エネルギー開発の可能性とくに北部タイにおける地熱発電を目的とする調査態勢が備えられようとしている。

1. 電力公社(EGAT)の“Special Energy Division”では正式に“北部タイの地熱資源”の研究を発電のための開発プロジェクトとしてとり上げる。そのための予算を計上し1979年度より実行にうつす。
2. このプロジェクトの正式な承認と作業グループの責任分担と研究者の配置および関連した科学技術資料の整備をおこなう。
3. 地熱開発と評価については2段階でおこなう。

第1段階として

- a. 北部タイの地熱資源図を作成する。
- b. 全ての温泉に専門家を派遣し化学分析のための温泉水を採取する。

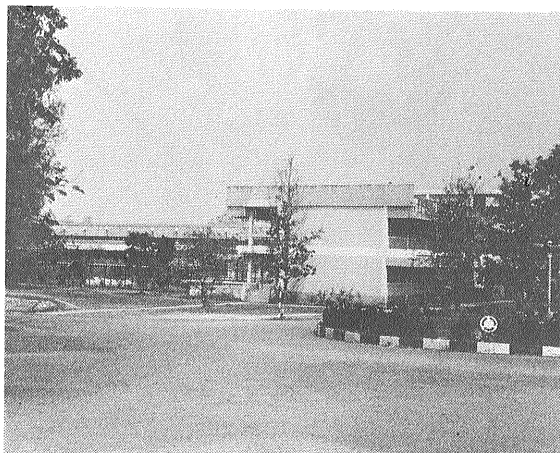


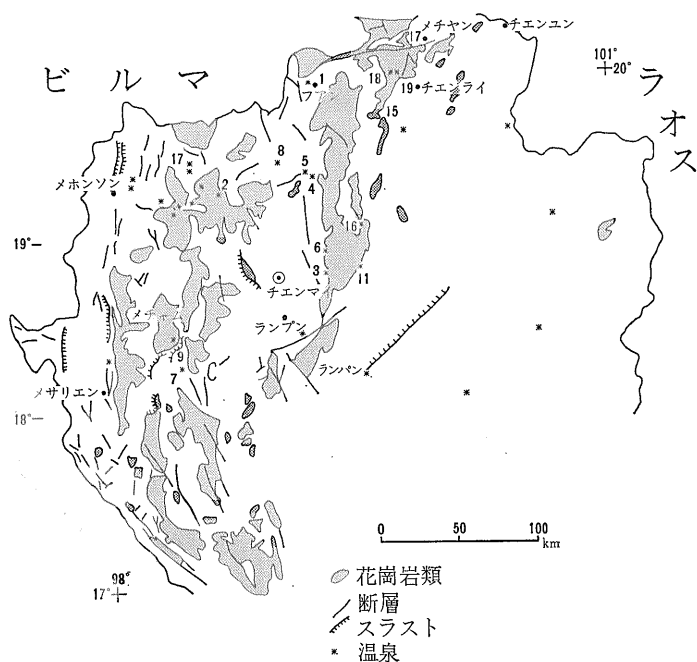
写真1 北部タイの地熱開発会議が開かれたチェンマイ大学地質学教室

第1表 タイ北部の主要な温泉(70°C以上)一覽表

番号	名称・地域	地表温度(C)	地下推定温度			備考
			(NK)	(NKC)	(SiO ₂)	
10	ファン・ファン	100	134	160	183	30カ所以上から湧出 15~45秒間かくて自噴 噴泉15~30cm 開析された段丘面より噴出
20	ババアエ・チェンマイ北西	100	154	169	200	7カ所中で4カ所は自噴 30秒間かくて高さ2m 山間の小溪谷より噴出 溪谷沿いに黒雲母片麻岩が露出
30	パホム・ボンノ・チェンマイ	99	217	191	178	小溪谷沿いに1km内に約20カ所の温泉 母岩は古生層の砂岩 頁岩 安山岩質凝灰岩
40	バンボン・プラオ・チェンマイ北方	72	—	150	142	メヌード河のはんらん原より噴出
50	バンノンクロ・チェンマイ北方	72	—	—	—	5カ所の温泉がプラオ盆地の端の沖積平野より噴出
60	ボンクム・チェンマイ	85	176	156	159	山間の小溪谷の米作田より湧出 周辺の地質は節理の発達した古生層の変成した珪岩
70	テイパアノム・メチャム	98	117	148	171	15カ所以上の温泉が メチャム河の開析段丘より湧出 周辺は黒雲母片麻岩の転石多し
80	バンピンコン・ファン南方	70	70	—	—	
90	ボンムエンホン・メチャム	75	158	—	160	メチャム河沿いに発達する石灰岩の割れ目より噴出
100	ナムメモン・ランパン	82	210	—	164	ナムメモンの段丘堆積物と 小溪谷地域に湧出 母岩は三疊紀の花崗斑岩
110	ボンサク・チェンマイ	85	138	—	155	メナムパイのはんらん原または段丘より湧出 母岩は 古生層の砂岩 頁岩 チャート
120	ボンパア・チェンマイ北西	90	144	—	160	小さな丘のふもとで 30×30mの地域内に5カ所のプール型温泉 母岩は節理の発達した古生層
13*	SP螢石鉱山・メサリエン	80	—	—	152	
14*	バンホアイ・メホンソン	80	—	—	—	
150	バンボンプーフエン・チェンライ	72	120	—	128	3カ所のプール型温泉が 山間の小溪谷より湧出 母岩との関係は不明
160	バンソプボン・チェンライ	99	277	—	135	ナムメラオ河のはんらん原でプール型温泉が5カ所 花崗岩と安山岩の転石あり
170	バンボンナムロン・チェンライ	100	160	165	173	ナムメチャム溪谷に10カ所以上の温泉 母岩は三疊紀の花崗斑岩
180	バンボンヤンパー・チェンライ	85	138	—	150	ナムメコック河の支流の上流部にあり プール型が3カ所 母岩は花崗斑岩
190	バンソプボンナムロン・チェンライ	76	138	—	165	ナムメコック河の支流ファイボンナムロンの上流で 大型のプール1つと多数の湧出 母岩は花崗斑岩
20*	メチョク	85	—	—	139	
21*	バンファイボン	80	—	—	—	

○ 第1図に地点 No. をプロット

* 未調査地域 NK: Na K NKC: Na K Ca SiO₂: SiO₂ 化学地質温度計による



第1図 北部タイの温泉分布図(タイ国電力会社の資料から編集) ポイント No. は第1表に対応

c. 地下のリザーバーの温度を化学地質温度計 (Chemical Geothermometer) を使って Na K または SiO₂ で推定する。

d. 熱水系の地質学的 水理学的性質の研究をおこなう。

第2段階としては 上述の調査結果にもとづいて これに適合する資料を求め 地熱資源の有望な個所を選定する。 有望な個所が選定されれば その周辺で地質学的 水理学的 地球化学的調査や物理探査などをおこなう。

以上の調査を段階的におこなっていく。

野外調査は主として鉱物資源局とチェンマイ大学地質学教室の地質物理探査および地化学の専門家が担

当する。

II 北部タイの地熱資源について

北部タイの温泉分布を第1図に示し 主要な温泉の性質や温度を第1表に示した。

北部タイの温泉の予察的調査によると 大部分の温泉は花崗岩に関係しており ごく僅かの温泉が古生層起源の変成岩や火山岩類の中から湧出している。したがって第1図では花崗岩類の分布のみにとどめた。

花崗岩類は貫入時期により石炭紀から第三紀にわたる時代の幅が認められる。

貯溜岩層としての花崗岩

この地域の花崗岩類は水理地質学的な性質としては共通性があり 熱水系における温泉水の収容と貯蔵および生産に重要な役割を果している。それぞれ時代の異なる花崗岩類も水理地質学的には単一のものとして取扱った。北部タイの花崗岩についてかんたんに紹介する。

1. 石炭紀花崗岩

灰白または黄褐色で黒雲母の小斑晶をもつ細粒～中粒花崗岩である。葉理構造がよく発達しており 黒雲母の鱗片状配列がみられる。石英 微斜長石 ソーダ質斜長石からなり 黒雲母と白雲母を含有する。

2. 三疊紀～ジュラ紀花崗岩

灰色で中粒～粗粒の斑状花崗岩である。斑晶は正長石または正長石パーサイトで大型なものは長径4cm以上に達する。主として 石英 斜長石および正長石からなり 黒雲母または角閃石を含有する。ペグマタイトはまれで 個々のストック状岩体の頂部に分布する。

3. 白亜紀～第三紀花崗岩

明るい灰色で 粗粒である。大型正長石の斑晶をもつ。一般に大きなストックまたは伸長したパソリスとして産する。

地質環境

北部タイの現在の地質構造要素は 強度を異にする幾つかの造山運動の結果もたらされたものであり とくに造山運動後の断裂運動が強く支配している。断裂運動はごく最近まで活動をつづけており 第三紀後の断層活動は上部第三紀や暁新世の段丘に影響を与えていることが報告されている。

変位は一般に垂直的な運動であり かなりの規模もっている。例えばファン (Fang) の堆積盆地のブロックは西方の大断層に沿って2kmの垂直ずれが認められる。

北部タイの構造配列は第2図に示し 現在の震央として1975年から1977年までのものを表現した。これらの震源は北緯17°～26°と東経94°～103°の間にプロットされ 断層や北部タイの地形と密接な関係を示している。これらの地域は地震の多発地帯であり 浅発性または中発性地震の発生地域である。地震帯はビルマ地域ではN-S傾向で 主要な左ずれ断層に並行している。

全ての地震はマグニチュード3.8～6.5であるが タイ側のブロックは北方のビルマとの国境地帯を除いては地震は殆んどない。しかし 北部タイのビルマとの国境地帯では突発的な地震がおこり 震源の最大の深さは30kmである。しかし マグニチュード3以下の地震はしばしばチェンマイの地震観測所で記録されている。地震の発生はそれ程明瞭ではないが NNE方向の線上に沿って発生しているようである。これらの地震発生地



写真2 ファン (Fang) の温泉
この地域は自然公園に指定され ピクニックに訪れる人も多い

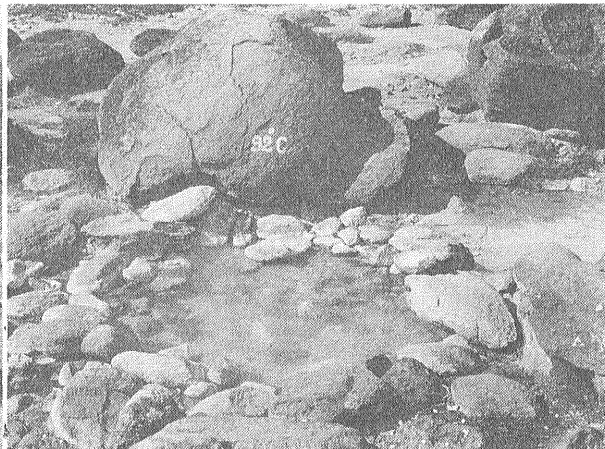
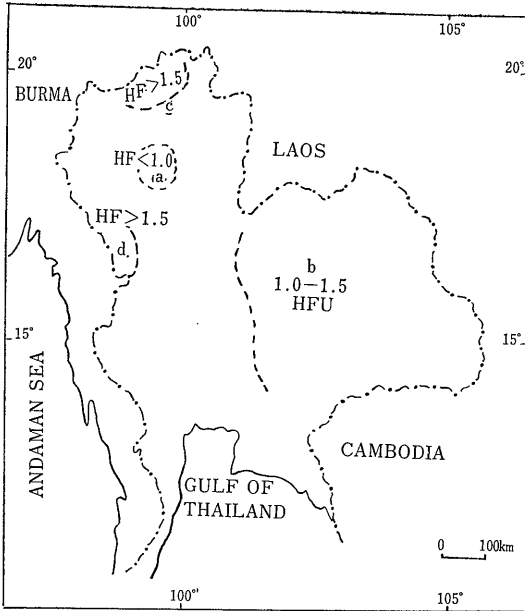
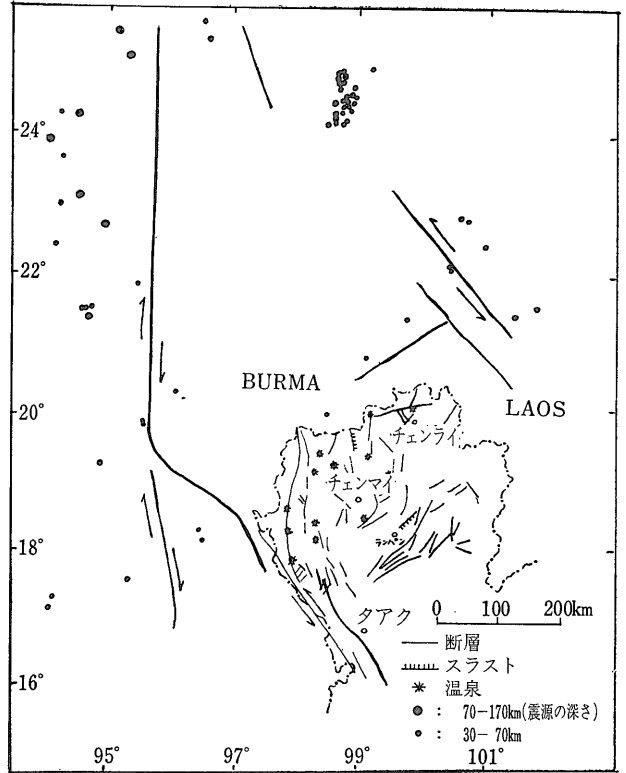


写真3 自噴する温泉 (ファン)
周辺の転石は花崗岩で 92°C と温度が示されている



第2図 地殻熱流量分布略図
 a : ホンホイ頁岩 (ランパン三畳系)
 b : コーラット堆積盆地 (ジュラ系)
 c : ファン堆積盆地 (第三系)
 d : メソウド堆積盆地 (第三系)



第3図 地震の発生地点と深度
 S. SERTANIVANIT (1978 から)

域を“応力場”として識別してみると タイ北部の温泉の成因について有力な手がかりが得られそうである。

1900年から1970年までの震源を研究した結果 震源の深さはビルマの東部に向かって増加しており 最も深い地震はビルマ平原の下で発生しており 東経 95°~96° の線に沿っている。

“最大圧縮応力”は水平方向ではなく むしろほとんど垂直方向であり “伸長応力軸”の傾斜は震源の深さ

と共に大きくなり 72~105km 程度の中間的な深さでのひずみの開放は スラスト型と正断層型との両様式で起こる。北部タイの国境地帯の“応力場”における断裂は 地下深部まで達している。

このような深さの多数の割れ目は 北部タイの多数の温泉に関係していることが分かった。

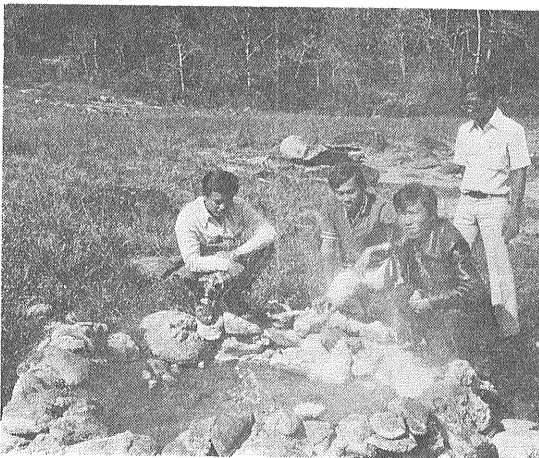


写真4 ファン堆積盆地の温泉と調査を担当する鉱物資源局 (DMR) の人達



写真5 サンカンベン (San Kampaeng) の温泉で温度を測る鉱物資源局の調査員 サンカンベンは チェンマイから最も近く車で約30分まで到達する

III 仮説モデル

北部タイの地熱系の仮説モデルについて考察するまえに 2, 3の注目すべき点について述べてみよう。

1. 貯溜層としての可能性の高い岩石と これに関係する岩石の大部分は花崗岩で それぞれ貫入時期を異にしている。
2. この地域の大部分の温泉は自噴しているが 熱源の直上部のものではないと思われる。熱水系の一般的な地下での流れの方向は垂直であるが 中には水平方向のものがある。水平方向を示すものでは 地下での熱水の動きは ローカルな地下水の流系にしたがっている。この結果 熱水はローカルな地下水と混合することになり このタイプの温泉水の化学組成から計算された 地下での推定温度は相対的に低い値を示すことになる。また 沖積層から直接に自噴しているものについては これらの堆積物が温泉水に地球化学的に何等かの影響を与えているかどうかまだよく分かっていない。とくに Na の濃集について問題があり 地下温度の推定に誤差を生ずるおそれがある。
3. 第三紀後または新生代後期に再活動した断層や割れ目は明らかに熱水系に対して影響を与えている。断層や割れ目は温泉の自噴の通路となり 熱せられた岩石が地表近くまで上昇するための役割をも果している。さらに大量の熱は周辺の岩石に加えられ その結果 岩石の運動は断層地帯に沿っておこなわれることになる。断層や割れ目は温泉水の貯溜や自噴などについて重要な役割を果している。大部分の温泉は深部での循環によるものであって 地域的には“天水”が地下にしみ込み岩石の割れ目または空隙を通して下降し 適当な深さに到達する。熱せられた水は花崗岩体の割れ目や断層を通して上昇してくる。もし 北部タイの地温勾配が平均 $40^{\circ}\sim 50^{\circ}\text{C}/\text{km}$ とすれば 180°C として地球化学温度計によって推定計算された温度となるには深さ3~3.5kmではなくてはならない。すでに述べたように新しい時代の断層は2kmの垂直ずれを生じさせている。

地温勾配だけをみても 地熱貯溜層は比較的に浅いと考えられる。もしも 熱源が下部にあるマグマからくるならば 両者を加味して考えれば 熱水はより浅い所で生じることになり 将来の

開発にとってより有利である。

このようなモデルを提案した場合 水理地質学的な性格を考慮する必要がある。北部タイの場合は花崗岩類が貯溜層と熱源の両者の役割を果している。

花崗岩は一般に結晶質であるために空隙が少なく 透水性も低い。水の循環は地域化され 主に断層や割れ目の中に閉じ込められることになる。

大量の熱水は貯溜層の中にたくわえられ 多数のさまざまな規模の割れ目や断層によって規制されることになる。蓄積された熱は透水性の低い結晶質の岩石では比較的早くさめるといわれている。循環水と直接に接している岩石の地表部で占める面積はそれ程広くはない。結晶質の深成岩体中の断層や割れ目は一般的に深くなるにつれて 拡がったり せばまったりするが その数は少なくなってゆく。このような諸点からみれば 北部タイの“地熱系”は限定された貯溜層により特徴づけられているが 相対的には浅いと考えられる。

ファン (Fang) 地熱地帯では熱水系を涵養する天水の量は 1日当り・ $1\text{km}^2 \cdot 364,000$ ガロン= $1,650,000$ l/day・ km^2 (メートル法換算) と見積られており この量は ファンの地熱地帯をまかなう量としては充分である。

あ と が き

タイ国からは地熱開発を担当する専門家3名が国連開発計画 (UNDP) の研修生として去る5月下旬から約2週間日本に滞在し 地質調査所を訪問すると共に 八幡平地熱地域を訪れ 岩手県の松川および葛根田の地熱発電の現場を見学した。また 1976年には 日本の上田誠也氏を団長とする地質調査所の松林技官らの地殻熱流量測定チームがタイを訪れ 陸上の地殻熱流量を測定したが さらに1978年には 同じく日本のチームが再度タイを訪れ シャム湾の海底における地殻熱流量を測定した。

これを契機として タイ国内にもようやく地熱開発の機運がたかまりつつある。地熱開発の最終的な目標は発電であるが その他には農業用その他の多目的利用も検討されている。温水を利用してのきのこの栽培をはじめ魚の乾燥 養魚や養殖などが今後の課題として考慮され 農村地帯の地域開発にもつながる問題としてクローズアップされつつあり わが国の協力も期待されている。

なお タイ国の地熱研修生を八幡平地熱地域に案内した地殻熱部の松林技官から種々の助言を頂いた。厚く御礼申し上げます。