

講演要旨(第145回)*

特集 大規模深部地熱調査

研究計画立案の経緯

陶山 淳治

昭和48年度より地熱資源の分布状態を全国的に把握する目的で全国地熱基礎調査が始められた。本調査は予算的制約等もあり、スポット的な情報収集調査の域を出ることができなかった。一方、実態的には、本調査は開発のための事前調査としての色彩が強くならざるをえなかった。したがって、当時の調査・開発は露頭依存型のものとなり、当時地熱開発のターゲットが1,000m以浅を主とするという一般の認識と相俟って、益々この様な傾向を強めることとなった。ところで、当時のアメリカにおける地熱資源の探査・開発は1,500-3,000mを対象に進められており、探査も構造主導型で行われつつあった。そのため、1975年に東京で行われた日・米両地質調査所員による資源評価に対するパネル・ディスカッションにおいても、日本において行われてきた露頭依存型の資源評価とアメリカの構造主導型の資源評価とが考え方の上で対照的となった。

一方、地熱熱水系の実態を解明し、探査及び資源評価、生産挙動の予測に役立てることの必要性を吾々も痛感しており、昭和48年度より“地熱熱水系に関する研究”という標題のもとに、そのための研究を始めていた。

ところで、熱源によってどのようなメカニズムで天水が加熱されるか、また、加熱された天水はどの程度の深度から上昇してくるかなどの問題を含め、地熱系全体を理解するためには、地下構造及び地下における熱及び流体の輸送形態について本格的な総合調査を必要とすると考えた。このような観点に立って、南八幡平地域に分布する多数の地熱徴候と本地域全体の地熱系の関連を明らかにするための研究計画が立案され、その1部が“広域熱構造調査法の研究”として依託研究で実施されている。しかしながら、当時の計画は1,500-3,000mの深部貯留層を対象とするものではなかった。

深部貯留層の探査のためには、地下構造主導型の探査

を基礎とする必要がある、このような研究を進めるためには新たな観点に立って研究対象地域の選択を行う必要がある。そのための検討が昭和52年初頭より始められた。

深部貯留層が期待できるためには、(イ)豊富な熱源が期待できる、(ロ)適度な地下水の供給が期待できる、(ハ)大規模貯留構造が期待できるという3つの条件を満足する必要があると考えた。これらの条件は既存の関連するデータからの判断に頼らざるをえないので、これらの条件に加え、構造性地熱地域は多分上部構造として従来の露頭型地熱地域をいくつか包含する広域的な地熱地域の下部構造として存在するであろうとする考えを入れ、さらに、既存データの豊富さも考慮に入れ、次に述べる6地域を研究対象地域として選定した。北海道の後志・いぶり、北海道の渡島、岩手・秋田両県にまたがる仙岩、秋田・宮城両県にまたがる栗駒、大分・熊本両県にまたがる豊肥及び鹿児島県の霧島・薩南の6地域がそれである。豊肥地域はこれら6地域のなかから資源エネルギー庁によって選ばれたものである。なお、本調査において3,000m調査井に加えて4,000m調査井1本が計画されているが、これは貯留層下部でのエネルギー輸送形態を明らかにする目的のものである。本調査は予算の関連上依託費となり、電源開発株式会社が受託者として事業の施行に当たっているが、今回、資源エネルギー庁の御好意によりデータの使用が許可されたものであることを付して深謝する次第である。

(地質調査所次長)

豊肥地域の地質層序について

玉生 志郎

〔目的〕

豊肥地熱地域の地質層序を地表地質調査データ、500m(10本)1,500m(4本)ボーリング・コアのデータต่างๆから検討するとともに、その時代区分をフィッション・トラック年代値、K-Ar年代値より明らかにさせる。これらのデータを基礎にして当地域の構造発達史を、特に地熱熱源と密接な関連をもつ火成活動史に注目して明ら

* 昭和56年2月4日本所において開催の研究発表会

かにさせる。

〔地質概説〕

当地域は先第三系基盤構造上からは内帯・外帯両帯の地質的要素が共存する長崎三角地域(RICHTHOFEN, 1903)に位置している。当地域の基盤岩中には山口県の末武川構造線に代表されるような NE-SW方向の構造線が続いていて三郡変成帯と領家変成帯の境をなしていると考えられる。これらの先第三系基盤岩類は緑色変朽安山岩で特徴づけられる鯛生層群・宇佐層群, 広域かつ大量の輝石安山岩溶岩で特徴づけられる豊肥火山岩類そして最も新しい火山体を形成する九重火山岩類などによって広く被われている。従来の研究では主に岩相上の特徴から鯛生層群・宇佐層群を中新統下部に, 玖珠層群を中・上部に, そして鮮新統はほとんど欠如して, 豊肥火山岩類, 大分層群などを更新統に各々時代対比している。今回の検討結果では地質層序に関して次のような新知見を得た。

①鯛生層群・宇佐層群は大部分鮮新統となる。旧期黒色安山岩として瀬戸内火山岩類に対比されていたものも大部分は鯛生層群と一連の火山噴出物と思われる。

②玖珠層群・豊肥火山岩類はいずれも更新統で, 玖珠層群の上半部と豊肥火山岩類の下半部は指交関係にあると思われる。

③鯛生層群・宇佐層群・玖珠層群はいずれも従来では層群扱いとなっていたのが, 形成年代, 層厚, 岩相上より層扱いでよいのではないかと思われる。

〔火成活動史〕

当地域の新生代火成活動を古い順から以下の通り3つに区分することができる。

①鯛生層 (角閃石両輝石安山岩) → 玖珠層下部 (黒雲母角閃石デイサイト~流紋岩) この火成活動は緑色変質作用, 金銀鉱床胚胎, 花崗岩貫入などを伴っている。

②豊肥火山岩類 (かんらん石角閃石両輝石安山岩) → 豊後火山岩類 (黒雲母輝石角閃石デイサイト~流紋岩) この火成活動に伴う溶岩は東西方向のいくつかの割れ目に沿って噴出し, メサ, ビュートと呼ばれる明瞭な溶岩平坦面を形成している。

③九重火山岩類 (輝石角閃石安山岩) この火成活動は最も新しく現在明瞭な火山帯を形成している。これらの火山は大山, 三瓶山, 青野山よりなる大山火山帯の西南方延長部と考えられる。

以上の火成活動は岩相上, 輝石安山岩を主体とするものと角閃石安山岩を主体とするものとの2つに区分できる。その岩石学的な特徴は以下の通りである。

①輝石安山岩型 (鯛生層と豊肥火山岩類)

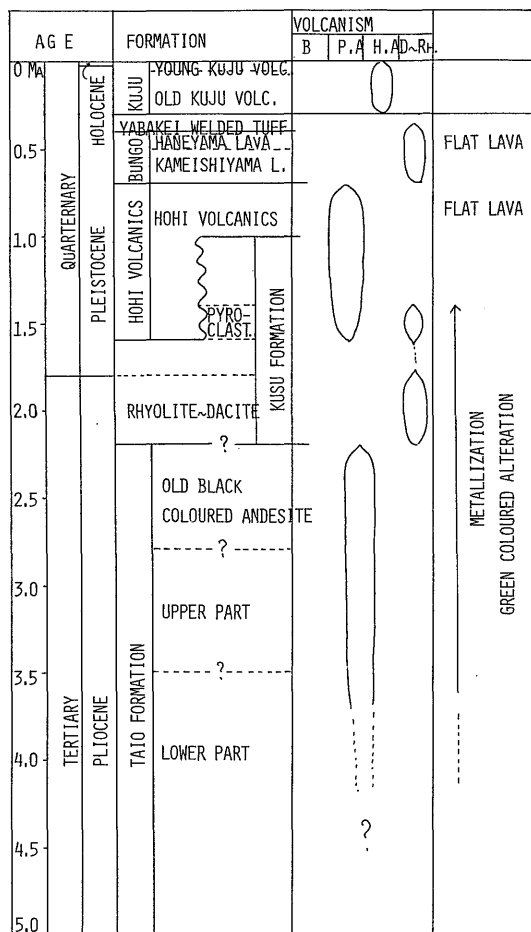
安山岩の斑晶として輝石が最も多く他に角閃石, かん

らん石, 黒雲母等が含まれることがある。SiO₂ は57-60 wt%程度である。

②角閃石安山岩型 (九重火山岩類)

安山岩の斑晶として角閃石が最も多く他に輝石, 黒雲母等が含まれることがある。SiO₂ は55-62%程度である。

上記の2つの安山岩を比較した場合, 角閃石の斑晶量が大きく異なっている。これは SiO₂ 成分がほぼ同程度であることより結晶分化の程度の違いによるものではなく, マグマが水に飽和していたか否かに起因するものと考えられる。いわば角閃石安山岩は輝石安山岩に比べて水に飽和したマグマから供給されたと考えられる (EGGLER and BURNHAM, 1973)。輝石安山岩は水に飽和していないマグマが, 南北引張応力場のもとで地殻下部よりかなり急速に上昇してきたものと思われる。一方角閃石安山岩は輝石安山岩に比べて水に飽和したマグマが, 一部発泡しながら自己の浮力で徐々に上昇してきた



と思われる。九重火山活動は最も若い火山活動である上に、火山体下部に浅所貫入マグマが期待できるので、地熱熱源として最も有望である。次いで有望視される豊肥火山岩類・豊後火山岩類をもたらした火山活動は、岩石学上の検討では必ずしも深成作用を伴わなくても噴出しようである。但しこれだけで地熱熱源としての可能性を否定するわけにはいかない。今後より多面的な研究が必要であろう。

文 献

- EGGLER, D. H. and BURNHAM, C. W. (1973) Crystallization and fractionation trends in the system andesite-H₂O-CO₂ at pressure to 10 kbar. *Geol. Soc. Am. Bull.*, vol.84, p.2517-2532.
(地殻熱部)

豊肥地域の造構環境

村岡洋文・鎌田浩毅・長谷紘和

第四紀の西南日本内帯にあって、中部九州の火山地域は異例の伸張テクトニクス場として注目されてきた。1979年12月20日に鳩山村で受信された Landsat 画像を解析し、松山-伊万里構造線、大分-熊本構造線、小倉-田川構造線の南方延長(日田-阿蘇線)を反映するリニアメントと共に、この3者に囲まれた地域が特に密なE-W性リニアメントで特徴づけられることを示した。この範囲は古第三紀以前の基盤岩類の露出がほとんど欠落し、周囲の基盤岩露出域に比較して全域が例外なしに10 mgal 以上の負のブーグ異常を示す。従って、基盤の陥没とこれを埋める新第三紀以降の厚い火山噴出物から成る1つの構造区とみなせる。我々はこの構造区を豊肥陥没帯と呼びたい。

豊肥陥没帯の第四紀テクトニクスを明らかにするために、九重火山北麓の玖珠層群分布域において、層序、構造、小断層等を調査した。層序的には、従来、宇佐層群とされた引治地域の緑色凝灰岩類(松本ら, 1973)が玖珠層群下部の町田溶岩より上位層であることを明らかにした。また、玖珠層群中部の中村軽石流堆積物の追跡により、玖珠層群上部層と下部層の分布を明確にし、生竜溶岩は中村軽石流堆積物と同層準でなく、より下位に位置することを示した。

N-S伸張テクトニクスの履歴の代表例として、玖珠層群中に発達するE-W性正断層を中村、奥双石、猪牟田等の地域で調査した。方向と落差を測定した正断層164本

の存在頻度は、落差の増大に伴って指数関数的に減少する。このうち、122本については計16カ所の測線で、併せて断層間隔を測定し、小断層解析の拡張を試みた。例えば、平均的正断層は落差8.78 cmで、 σ_3 (最小圧縮主応力)方向1.57mにつき1本存在することがわかる。 σ_1 はほぼ垂直で断层面角は平均39°だから、正断層の活動による地層の水平的伸張は σ_3 方向1mにつき約2cmであったことになる。これを南北約30kmの豊肥陥没帯に適用すると、600mの伸張を意味する。ただし、連続露頭内の小断層のみに基づくこの値は最小の見積もりに過ぎない。さらに、 σ_3 方向1m当たりの積算落差 w (断層仕事量の指標)、 σ_3 方向1m当たりの断層数 n (断層密度の指標)、断層1本当たりの落差 s (断層規模の指標)、断层面角 2θ (ductilityの指標)などを16測線ごとに算出して相関をみると、次のような関係が導かれる。 w 対 n 、 w 対 s 、 w 対 2θ には比較的明瞭な正相関がある。 2θ 対 n 、 2θ 対 s にはわずかに正相関が認められるが、 n 対 s には相関が認められない。つまり、ある場所の断層仕事量は断層密度と断層規模の関数であるが、両者が同時に寄与するとは限らない。そして、断層仕事量は ductility の大きい場所で大きい傾向がある。この他、N落ち断層とS落ち断層の積算落差を比べると、16測線中12測線までがN落ち断層の卓越を示す。また、正断層系から導かれる σ_2 の応力軌跡が、空中写真判読によるリニアメントや豊肥火山岩類の feeder dyke と平行的であることを示した。N-S伸張テクトニクスは少なくとも、豊肥火山岩類の噴出時期まで持続していたと考えられる。

E-W短縮テクトニクス(猪牟田褶曲時相)の履歴として、猪牟田褶曲帯(村岡ら, 1980)を概観し、褶曲帯付近の豊肥火山岩溶岩の自然残留磁気方位が全て正帯磁であること、褶曲帯内のものの方位の分散が小円ガードルに近いことを示した。E-W性正断層は褶曲帯のN-S性逆断層に切れ、褶曲による回転を示す。従って、猪牟田褶曲時相は前述のN-S伸張テクトニクスの時代より後期である。大分市東方(首藤, 1953)や姫島(笠間・藤田, 1955)にも下部更新統が成すN-S性褶曲帯があり、これらも猪牟田褶曲帯と同時期の産物であろう。これら褶曲が、猪牟田地域でプレューヌ正磁期初期と思われる豊肥火山岩類を巻き込み、姫島地域で32-34万年前の黒曜岩(KANEOKA and SUZUKI, 1970)に被覆されることから、猪牟田褶曲時相は70万年前から32万年前までに限定される。豊肥陥没帯はその後再びN-S伸張テクトニクスに支配されているらしい。

豊肥陥没帯の造構史を断層型で表わせば、正断層型→逆断層型→正断層型となり、垂直応力に対して水平応力

が全て小さいか、大きいかのどちらかであった。これは、豊肥陥没帯が大局的にはポアソン比の大きい軟らかい岩石で満たされているためであろう。猪牟田褶曲時相における短縮変形が、特定のN-S性帯域に集中する理由は、中国地方の中・古生界に発達するNE-SW性断層系が西部で次第にN-S性に転じ、その延長が豊肥陥没帯の基盤岩中で左逆移動センスの再動をしたためかもしれない。

(地殻熱部・同・新エネルギー総合開発機構)

豊肥地域の地熱変質

高島 勲・金原啓司・角 清愛

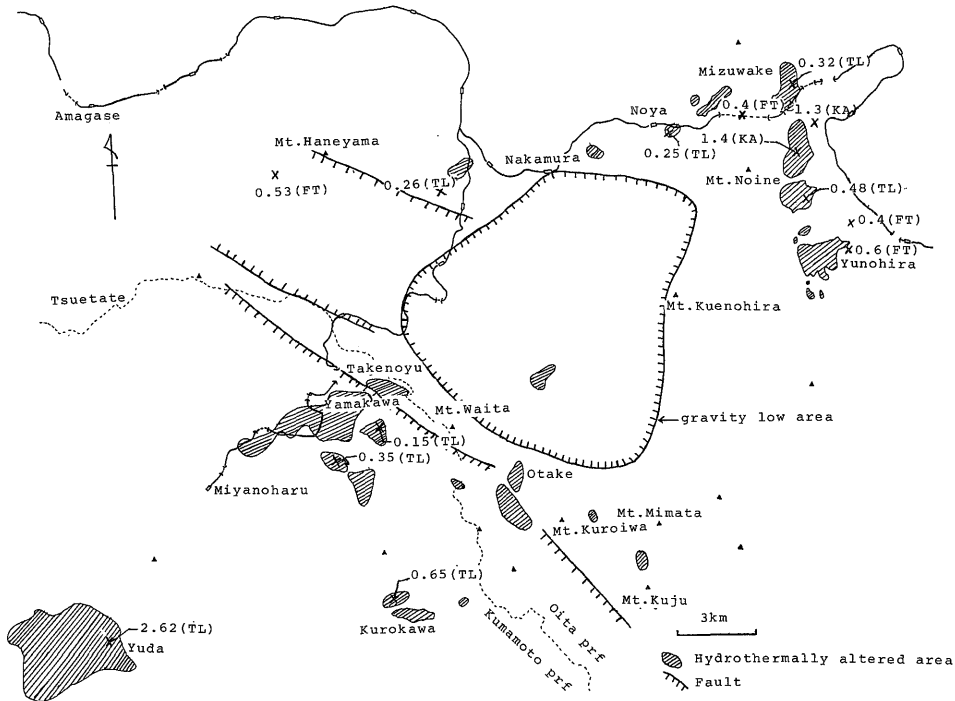
熱水変質帯は、そこに熱水の活動があったことを示す証拠であり、その地域の長期間にわたる活動を総合的に解釈する上で重要な要素となる。

豊肥地域には、多くの熱水変質帯があり、その大部分について、分布範囲、変質鉱物等の報告がある。それによれば、涌蓋山を中心とした半径15 kmの中には水分・湯平、野矢・中村、岳の湯・山川、大岳、黒川、湯田の

各変質帯が認められる(第1図)。この分布は九酔溪を中心とした低重力域の分布と非常に調和的であり、この低重力域の形成と地熱活動との間に密接な関係があったことが推定される。この点について検討し、第1図に示されたK-Ar(KA)、フィッシュ・トラック(FT)、熱発光(TL)による火山岩、変質岩の年代との対比から、古いものから新しいものへと次のような活動史が考えられた。

- ① 鯛生層群の変質と関連するもの一湯田
- ② 野稻岳、崩平山の活動に伴う南北性の活動一水分・湯田
- ③ 万年山?の活動に伴う北東-南西にのびる変質帯一野矢・中村
- ④ 涌蓋山、久住山の活動に伴う変質帯一岳の湯、大岳

変質鉱物の面からも、第三紀の形成とみられる①と第四紀前期の生成の②とに高温生成鉱物のパイロフィライトが見られること、③の変質に伴う変質では、緑泥石が見られるなど、形成の場の違いに応じた差が認められる。なお、④の一部の山川周辺の変質帯に伴う30-50°Cの温度は塩素イオンが少なく硫酸イオンに富む蒸気分離



第1図 熱水変質帯の分布及び関連火山・変質岩の年代
KA, FT の年代は火山岩, TL の年代は変質岩 (変質年代) を
示し, 単位は百万年。

型の温泉であることから、その地下に蒸気卓越型地熱の存在も考えられる。

これまで述べた熱水変質とは別の地熱変質として、深部に大規模な熱源を持つような地熱地域では、主として伝導による温度上昇を反映した広域的な変質が生じている可能性がある。この点について検討するため、一見未変質の岩石から水ヒにより粘土分を集め、その鉱物を同定した。その結果、ハロイサイトとモンモリロナイトが検出され、かつその分布に規則性があることが認められた。この中で最も強い変質とみられる結晶度の良いモンモリロナイトの分布は、熱水変質地域とほぼ一致し、中村周辺、岳の湯・山川、黒川などに広く見られる。しかし、現在最も優勢な地熱地域と考えられる大岳周辺では、その分布は限られている。

今後ボーリングにより地下の状況が明らかになるに待って広域的な地熱構造、局所的な熱水変質及び広域地熱変質の相互の関係がより明確になるものと思われる。

(地殻熱部・同・同)

豊肥地域における地化学調査の結果について

茂野 博(地殻熱部)

豊肥地熱地域涌蓋山周辺の地熱モデルに関する地質学的・地球化学的問題点

角 清愛

涌蓋山を囲んで黒川、岳の湯及び大岳・八丁原の3地熱地帯が、互いに8、6及び6kmの距離をもって三角形に分布している。三角形の内部には顕著な地表地熱徴候はないけれども、地下深部では互いに連続しているのではないかという命題の地質学的及び地球化学的問題点について考察してみた。豊肥地域の域熱調査研究の目的の一つは、面積1,200km²、深さ3.5kmの陥没地の内部の面積170km²、高さ1.5kmの隆起地塊に伴う大規模深部地熱貯留層の検証である。この構造の大きさのディメンションは日本の6つの大規模地熱地域の平均値である。涌蓋山周辺はこの様な構造的隆起の一つで、その面積は約60km²であり、野矢・伽藍岳の隆起と共に豊肥ベースン(面積1,450km²)の中の3大隆起地塊(面積合計169km²)をなしている。したがって今回の涌蓋山周辺の大規模深部地熱の検証は日本の今後の地熱開発の将来を占う大きなポイントの一つである。良い条件がそらえば

涌蓋山周辺で90万kWe・100年の地熱資源量が期待されることになる。

さて合計82本の80m深地温調査結果によれば、前述の黒川、岳の湯及び大岳・八丁原の3地熱地帯は、互いに独立した温度構造をもっており、これらに囲まれる内部地域の80m深地温は15℃以下と低温で、互いの連続性は全く認められない。500m深地温では、50℃以上をとれば黒川と大岳・八丁原は連続するが、岳の湯とは完全に隔離され、かつ25℃以下の部分もある。つまり、500m深程度の温度構造は地表熱徴候分布と大差ないのである。

地質学的及び地球化学的調査の中で、涌蓋隆起に関連する可能性のある結果を、2つとりあげてみたい。それは緑泥石帯の形状と地熱水の化学組成分布である。

緑泥石帯の形状をみるために、構造試錐の緑泥石出現の最高海拔高度を求めてみた。それによると緑泥石帯の上限の形状はNW-SE方向に伸張した台形を示している。これのNE-SW方向の断面をとると、台形の上底、下底及び厚さはそれぞれ3.0、6.0及び1.0kmである。平坦な上底の地表からの深さは平均0.5kmである。重力異常分布から推定される涌蓋隆起は幅約8kmであり、緑泥石帯によって、示される古高温部は、それにほぼ調和的である。ただし中心が北東へ約1.5kmずれていることが注目される。この緑泥石帯が深所、高温部の一つの現われだとすれば、大岳・八丁原及び岳の湯は一連の大規模のものであり、黒川はこれから派生した小規模のものと考えることが出来る。

地熱水の化学組成分布では、データ量は必ずしも十分とはいえないが涌蓋隆起を中心に内側から外側へ向ってSO₄²⁻型、Cl⁻型、HCO₃⁻型の帯状分布及びこれから北方宝仙寺方向へのCl⁻型の分布の派生がみられ、中心部の涌蓋隆起地下における蒸気卓越型地熱の賦存の可能性を示している。涌蓋隆起のほぼ中心部で掘削された1,500m孔の深部から発見されたパイロフィライト、小国鉱山、寺尾野、山川等の酸性変質帯は注目する必要がある。これらの場所の浅所の地温は、現在は一般に低く、熱水対流系のrecharge地域と考えられるが、近い過去にはここはたしかに蒸気卓越型地熱地帯であったのである。それがたとえば間氷期に伴う乾燥期の水位低下と関係があるという可能性は？、またそれが現在の多雨期にマスクされているという可能性は？高温食塩泉の対流によって生成されたとみられる上述の台形緑泥石帯の熱史的意味づけは、硫酸酸性泉によって生成した酸性変質帯の成因ともからんで、豊肥地熱地域の実態解明の一つの重要なポイントといえよう。

(地殻熱部)

涌蓋山周辺地域における地温構造

川村 政和

昭和53・54年度に九州中部の豊肥地域で行われた大規模深部地熱調査のうち熱関係の内容を第1表に示してあるが、いずれも涌蓋山を中心として半径約10 kmの範囲を対象として実施された。

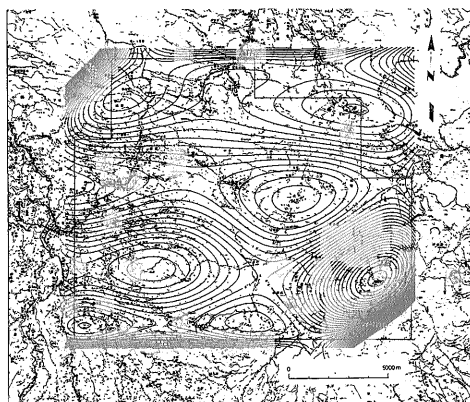
(熱映像調査)

撮影は対象範囲 (15 km×17.5 km) を7コースに分けて、1979年2月8日未明、海拔10,800 feet (対地高度約2,000m)の高度から行われた。得られた熱映像において地熱微候のみられた8地区について幾何的歪補正を実施し、その正確な位置及び拡がり捕捉した。また、熱映像調査を単なる地熱微候地探査だけではなく、広域調査法として利用する観点から、広域地熱構造を把握するための実験的解析を試みた。即ち、熱映像調査によりその全体的な熱構造を把握する上で最大の障害となっている植生の影響をとり除いた地表面温度分布の傾向を知り、地熱構造の推定を行った。その方法はまず、調査地内全域にわたって分布している道路について熱映像から1558点の表面温度(T)を測定し、更にそれぞれの地形図上の位置(X, Y, Z)を確認した上で表面温度の標高補正を施した。この道路表面温度分布を全域的なものにするため2元6次多項式近似による地表面温度傾向面解析(第1図)を実施した。なお、測点のサンプリングは、明らかに地熱異常を示す部分をさけて行った。この結果によると、高温域は調査地域のほぼ中心部にあたる大岳・八丁原周辺にあり、それが涌蓋山を経て西方にのび岳の湯・岐の湯から奴留湯方面へ連なっているが、一部は菅原・宝泉寺方面の北方へはり出している。また、南西方向へは、大谷山付近から西方へのび、黒川・田の原温泉をへ

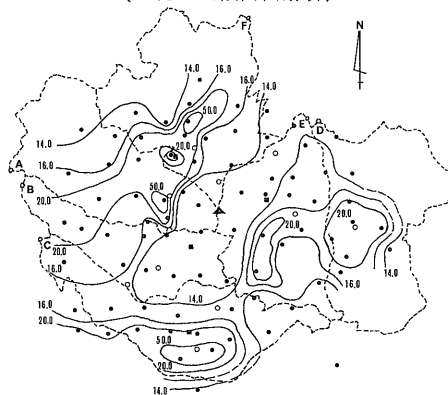
て満願寺方面へ連なっている。以上により、調査対象地域の広域にわたる地熱構造が明らかとなった。また、この分布は熱流量調査で明らかにされた地温分布ともよく一致している。

(熱流量調査)

80m深地温調査孔は、総計82孔を全域にわたり約1,500m間隔で設けた。測定は5mごとにサーミスタセンサのついた測温ケーブルを孔内に一昼夜放置して行った。この結果から、20m深・50m深及び80m深の地温分布を描いた。浅部では菅原・山川上流・黒川・湯坪・吉武の5カ所に別れていた高温部が、深部になるにつれて拡大し80m深(第2図)では菅原・岳の湯・山川上流・奴留湯と長者原・吉武・大岳・八丁原・黒川・田の原の2系統にまとまる傾向をみせている。また、北東部の九酔溪から涌蓋山をへて南平に至る部分は著しい低温傾向を示していることが注目される。



第1図 熱映像調査による地表面温度分布図
(2元6次傾向面解析)



○ : 500m孔 ■ : 1500m孔 ▲ : 涌蓋山
第2図 80m深地温分布図(単位℃)

第1表 調査内容

調査項目	内 容	備 考
熱映像調査	7コース 約250 km ²	
熱流量調査	80m級 82孔	内 160m. 1孔
	500m級 10孔	
構造試錐	1,500m級 4孔	1,500m, 1,020m 1,170m, 1,400m

各孔の70-80m深の温度勾配を用いて熱流量分布図(第3図)を得たが、全体的な傾向は80m深地温分布に一致している。また、各孔の標高差による影響をとり除いた80m深地温偏差分布(第4図)においても涌蓋山南西部の低温傾向がきわだっていることが知られた。このことは同地域における500m深地温調査や構造試錐等によっても確認され、1,000m深付近まで冷地下水が浸入していると推定される(第5図)。

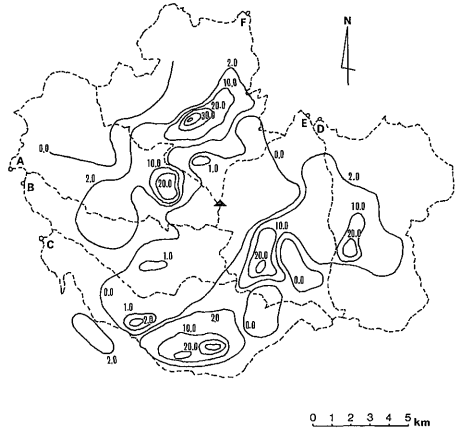
以上の結果をもとにして、全域を6地域(A-F)に分けてそれぞれの比較を行った。地域割は杖立川と玖珠川の本・支流における集水域によっており、この内田の原川と鳴子川の流域以外は涌蓋山に集水域を有している。この結果、浅層地温分布でみられた5カ所の高温部はB流域を除いたそれぞれの流域に所属していることが知られた。また、500m深地温調査や構造試錐の結果(第2表)では、90℃以上を示した孔がA・C・Fの3流域に属している。各流域についての概略を第3表に示しているが、熱伝導による熱流量値が高いのはA・D・F流域であるが、温泉による放熱量はC・F流域が多い。総合的な放熱量はC・D・F流域が多いことが知られる。

以上の結果をまとめると、各流域の熱量を放出する形としてはD流域が高温岩体型であるのに対し、C・F流域は温泉湧出型であり、また、A・E流域はそれらの中間型にあると推定される。B流域については地熱活動が乏しくrecharge areaとしての役割を果していると思われる。

(地殻熱部)

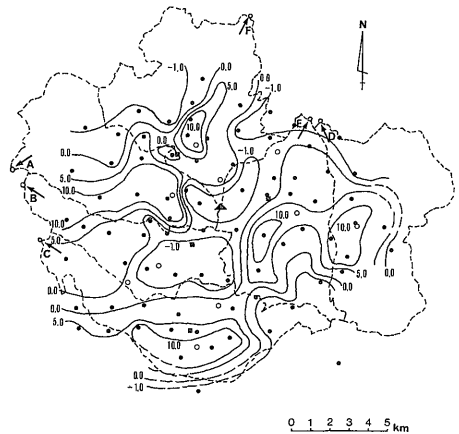
第2表 試錐孔の温度

No.	流域	深度 m	孔底温度 ℃	最高温度(深さ) ℃(m)
I	A	1,500	85.2	
II	F	1,400	194.9	204.9 (840)
III	E	1,170	65.3	
IV	C	1,020	95.1	
1	B	500	31.0	
2	B	500	23.0	
3	C	500	55.9	
4	F	500	185.3	
5	E	500	80.3	
7	E	500	18.5	20.6 (50)
8	C	500	85.6	111.9 (180)
9	A	500	191.3	
10	F	500	25.1	
11	D	500	63.6	74.2 (420)



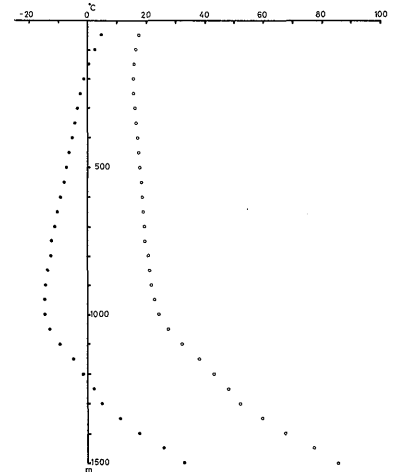
▲: 涌蓋山

第3図 熱流量分布図(70-80m深)(単位 HFU)



○: 500m孔 ■: 1500m孔 ▲: 涌蓋山

第4図 80m深地温偏差分布図(単位 °C)



第5図 孔内地温分布とその偏差分布図

第3表 流域別総括表

流域	単位	A	B	C	D	E	F	全域
面積	$\times 10^{10} \text{ cm}^2$	45.2	29.2	44.2	51.5	45.3	55.0	270.4
対象面積	$\times 10^{10} \text{ cm}^2$	33.9	29.2	43.0	27.6	44.4	41.9	220.0
温泉地	箇所	5 岳ノ湯・岐ノ湯・山川・奴留湯・小国欽山	1 寺尾野	3 黒川・田の原・小田	3 笠ノ口・湯沢・寒ノ獄	7 湯坪・大岳筋湯・八丁原・牧ノ戸	5 壁湯・生竜宝泉寺・川底・串野	24
噴気地	箇所	2 岳ノ湯・岐ノ湯	0 —	0 —	1 硫黄山	3 大岳・小松河原	0 —	6
調査孔 80m	孔	11	12	14	9	15	14	75
“ 500m	孔	1	2	2	1	2	2	10
“ 1,500m	孔	0	(1,500) 1	(1,020) 1	0	(1,170) 1	(1,400) 1	4
伝導異常放熱量	kcal/sec	722	-49	740	823	713	983	3,932
伝導熱流量	HFU	3.2	0.9	2.9	4.0	2.7	3.4	2.9
温泉総湧出量 ¹⁾	l/min	1,870	26	3,850	1,200	2,930	6,540	16,416
温泉異常放熱量	kcal/sec	715	12	3,100	108	1,410	3,500	8,845
その他 ²⁾					7,200			
総異常放熱量	kcal/sec	1,437	-37	3,840	(8,131) 931	2,123	4,483	12,777
単位面積当り異常放熱量	$\times 10^{-6} \text{ cal/sec} \cdot \text{cm}^2$	4.2	-0.1	8.9	(29.5) 3.4	4.8	10.7	5.8
単位面積当り放熱量	$\times 10^{-6} \text{ cal/sec} \cdot \text{cm}^2$	5.3	0.9	10.0	(30.5) 4.4	5.8	11.8	6.9
温泉/伝導異常放熱量比		0.99	-0.24	4.2	0.13	2.0	3.6	2.3
平均 80m 深地温	°C	23.2	16.2	27.5	24.1	16.1	20.7	21.1
調査孔最高温度								
80 m	°C	65.7	27.4	91.0	46.9	29.0	71.9	91.0
500 m	°C	191.3	31.0	111.9	74.2	80.3	185.3	191.3
1,500 m	°C	—	85.2	90.1	—	65.3	204.9	204.9

1) 水文地化学調査等から得られた概略値
 2) 九重硫黄山の噴気地域からの放熱量、江原・湯原・米田 (火山, 1979)

物理探査データと地熱活動の関係

花岡尚之

総合的な物理探査が九州の豊肥地熱地域で実施された。調査項目は次のとおりである。即ち空中磁気探査、重力探査、地震探査屈折法と反射法、電気探査のマッピングとサウンディング、自然電位法、及び電磁法探査。

豊肥地熱地域は、基盤岩類が露出し、あるいは浅所にあると想定される正のブーゲー異常に囲まれた沈降帯にある。この沈降帯はさらに3つの構造盆地、九重、庄内、及び直入に細分される。これらの構造盆地を分ける重力の尾根は分水嶺と良い相関がある。重力図と水系図(地形図)を詳しく観察すると、重力構造が地形と整合する

ように発達し続けていることがわかる。

顕著な空中磁気異常の大部分は重力の尾根あるいは地形的高まりに沿っている。このことはマグマの活動が、構造的上昇運動と本来的関係があることを示唆する。また磁気異常のうち振幅が小さく低周波数の成分は、上に述べた広域な沈降帯を埋める火山砕せつ岩類と反映しているように考えられる。

正のブーゲー異常、強い磁氣的示徴(熱源の可能性)、及び分水嶺が空間的に一致していることから、この地域の熱水系は地形が急で、比較的浅所に不透水性基盤があるところに賦存するといえる。このため、熱水系の解析には流体ポテンシャルが無視できない因子となる。比抵抗法による伝導度分布、及び地温異常はこの仮説を支持する。

(地殻熱部)

豊肥地域地震モニタリングシステム

伊藤久男・馬場健三

豊肥地域に環境モニタリングのための地震観測システムが建設されつつある。地質調査所はシステムの設計にあたり技術指導を行ってきた。The Geysers など代表的な地熱発電所における地震観測の例を紹介しながら、地震モニタリングの目的と地質調査所の役割を考える。それをふまえて、豊肥地域地震モニタリングシステムの設計概念と概要を述べ、今後の課題を考える。

地熱発電所における地震観測の本来の目的は環境監視であるが、地質調査所は研究機関としての性格上環境監視について直接の責任を負うことはできない。しかし地震観測により地熱リザーバーの性質を知る、地熱地域に固有な地震の特徴を知るなど研究的課題も多い。具体的には欠測なく連続観測し、震源・マグニチュード等を正確に決定したうえで、発震機構、スペクトル解析等の研究を行う必要がある。

米国 The Geysers 地域においては USGS により本格的な地震観測が行われている。環境モニタリングとともに、自然に起こる地震と、地熱発電(生産と還元)によって誘起された地震との性質の違いを研究することが USGS の観測の目標である。震源決定などに加えて、発震機構、スペクトル解析の研究が行われているが、現在までのところ特に明らかな特徴は報告されていない。

九州豊肥地域では、九州電力㈱により1972年以来大岳・八丁原地熱発電所周辺での地震観測が行われている。また1979年、1980年の2回にわたり、それぞれ1カ月間の臨時観測が通産省によって行われた。この地域ではM \geq 3以上の大きな地震はほとんど発生しないが、多数の極微小地震が狭い地域に群発的に発生する。また阿蘇北部カルデラ、1975年大分県中部地震の余震と思われる地震も観測される。数日間に集中して発生する群発型の地震が多いので、長期的な観測が必要である。

システムの設計にあたり、人員が十分に確保されないことも考えて、メンテナンスの楽なこと、欠測を少なくする、S/Nを向上させるとともに高品質の地震データ集録を行うことに特に留意した。地震計設置点については、伝送路の制約、地質条件などを総合的に検討した結果決定した。4点の観測点のうち、2カ所については地中型地震計を設置しS/N向上を図った。波形データは公社回線によりセンター局にテレメタリングされる。地震波形はトリガー方式によりアナログ・デジタル二種

類の方式により記録される。アナログ記録はルーチン的解析に使用する。デジタル記録は、波形解析等のオフライン計算機による研究的な処理に有用であろう。連続記録も行いトリガミス等の事故に対処する。システム全体の制御とデジタルデータ集録のためにオンラインコンピュータを利用する。

現在各観測点からセンター局へのテレメタリングが準備中であり、各観測点においてモニター連続記録をとっている。地震計は概ね正常に作動している。テレメタリング完成後の保守・点検あるいはルーチン的なデータ解析体制が決定されていない。早急に検討する必要がある。

現段階では4観測点のみであるが、一点でも故障すると震源の決定が困難になる。また震源の正確な決定にも観測点を増設する必要がある。3,000mボーリング位置決定が行われたこの機会に観測点の増設が望まれる。

(地殻熱部・同)

物探・物理検層データからみた豊肥地熱地域の地下構造・熱構造

小川克郎

豊肥地域の500-1,500m級坑井の温度検層データによると、本地域浅部(1,500m以浅)は全体的に透水性の大きい構造であることが解る。この場合、地下の熱水流動の形態は、熱供給による浮力と地形の起状による水頭圧の変化との力関係で決められる。例えば地形高所に位置するDW-1孔(1,500m)では地下1,000mまでは下降流が卓越し温度上昇が全く見られない。一方、これより下位では急激な温度上昇が認められ、更に深部の高温領域の存在を示している。一次元の流動方程式を用いた簡単なシュミレーションによれば、下降流の流速は50-70cm/年程度であり、かなり大きい透水係数を地層がもつことを示している。

この例でも明らかなように、本地域では浅部の温度それ自体よりも温度のパターンに注目して深部熱構造を評価することが大切である。

このような、浅部から深部に至る水・熱水の循環系の存在する地域では、熱水系の流動を“物理的”に考察することが地熱資源の評価に特に重要であることを強調したい。

(地殻熱部)

北部タイの地熱地域

河田清雄・高島 勲

北部タイには噴とう泉を含む40以上の温泉があるがほとんど利用されずに放置されている。タイ政府は、この地熱の開発のため、電力公社、鉱物資源局、チェンマイ大学によるプロジェクトチームを作り、温泉のカタログ作りとサンカンペン、ファン、メチャン、メチャム、パバエの主要5カ所の基礎調査を行った。この調査により地熱の実態がかなり明らかにされたが、そのうちの主なものを次に示す。

- 1) 温泉は花崗岩と密接な関係を持っており湧出地は花崗岩と基盤岩の接触部、断層上などに分布する。
- 2) 温泉の主要成分は Na, CO₃, Si の多い (各100-300 mg/l) 弱アルカリ性 (pH 7.9-9.1) 単純泉で TDS が500-1,000 mg/l 程度と非常に少ない。特に Cl が数10 mg/lと一般の地熱熱水より1桁以上低いことが注目される。この泉質は、花崗岩中に人工的な熱水系を形成している高温岩体実験で得られた熱水とよく似ている。

また、北部タイの温泉全体がほぼ似た泉質を持っているのも大きな特徴である。

- 3) シリカ, Na-K-Ca を利用した推定地下温度は160-200°C程度である (泉温98°C以上)。
- 4) 水素, 酸素の同位体分析では、ファンは $\delta^{18}\text{O}$ のシフトが見られるが (約2%), パバエでは少ない。
- 5) 温泉からの放熱量は1 (メチャン) -7 MW (サンカンペン-熱出力) だが、蒸気と伝導による関与を加えればこの2倍程度になるものと思われる。
- 6) 温泉湧出地でのボーリングは1本も無いが、ファンの南の油田井では最高133°C/km (120-200m間, 200mの坑底温度35°C) という地温勾配が得られている。

タイ北部の地熱は、ヒマラヤ褶曲帯の後背地にあり、日本などの火山関連のものとは異なっている。このような地域の地熱の熱源、貯留構造等は非常に興味のあるテーマであり、昭和55年度から4年計画で、タイ-日本の協同研究が進められている。

(地質部・地殻熱部)