

地熱とカコウ岩

笹田政克 (地殻熱部)

1. はじめに

近年地熱開発がすすむにつれ 開発の対象として基盤を構成しているカコウ岩質岩類も注目されるようになってきている。たとえばアメリカのロス・アラモス科学研究所 (LASL) では 乾燥した高温カコウ岩体から地熱エネルギーを回収する研究に取り組んでおり 人工の地熱坑井システムの開発を着々とすすめている。またイギリスでは 近年 Cornwall のカコウ岩地域の地熱異常に注目している (GARNISH, 1976)。

日本においては 温泉と地質との関連でカコウ岩質岩類をはじめとりあげたのは小林儀一郎氏 (1939) でその後中村久由氏 (1962) の研究および 新潟県と山陰の温泉をカコウ岩質岩類との関連でとらえた杉山隆二氏 (1963 1965 1972) の研究がある。現在日本では地熱開発の主な対象が火山帯中で主として第三紀層からなる貯溜層構造をもつ地域となっていることもあってカコウ岩質岩類はあまり注目されていないが 後述するように新しい火山の基盤を構成している中生代の岩石を

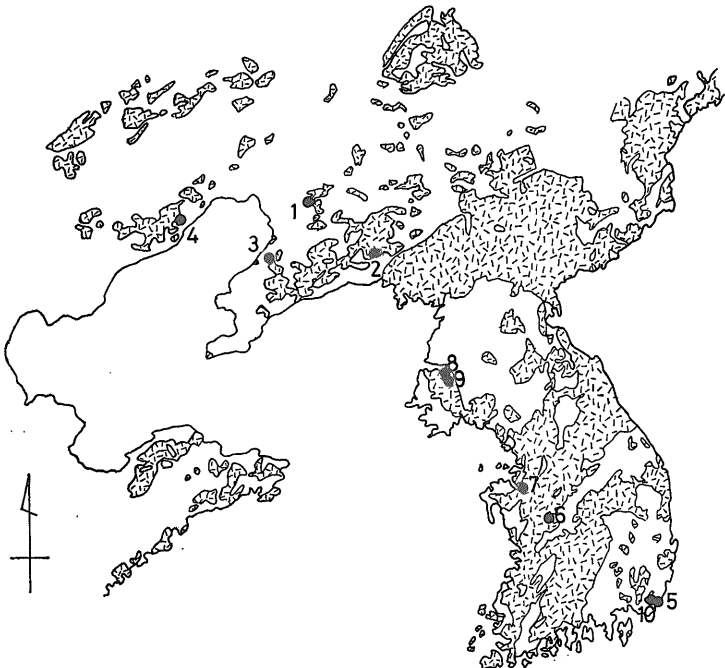
堆積岩類とカコウ岩質岩類に分けた場合 カコウ岩質岩類中に温泉が多く分布する傾向が認められることもあり今後地熱開発がより深部に向かうことを考えると このようなカコウ岩質岩類のもつ特性にも目を向けていく必要があるように思われる。

本文ではカコウ岩質岩類と温泉との関係を精力的に研究された杉山隆二氏の一連の研究の概要をはじめに紹介し 次いで近年注目されているイギリスのヘルシニア造山に伴うカコウ岩質岩類の地熱に関する研究を紹介し最後に日本のカコウ岩質岩類中の温泉の概要とその成因を考察するにあたっての問題点を述べることにする。

2. 中国・朝鮮・日本のカコウ岩と温泉

杉山隆二氏は中国・朝鮮の第四紀火山岩類の分布がみられないカコウ岩地域の各地で温泉が湧出しているのを見て温泉とカコウ岩との関係についての着想を得られたようである (杉山 1963)。国内のことのみに目を奪われていると 新しい火山が多いためなかなかそのような発想は生まれぬ。彼によると 中国の五竜背・湯崗子・興城の各温泉は中生代末の千山カコウ岩に関連しまた朝鮮半島の朱乙・金剛山・東萊の各温泉は 同じく中生代末の金剛山カコウ岩・仏国寺カコウ岩に関連しているという (杉山 1972)。中国・朝鮮の温泉については最近の研究を見る機会が少ないので (朴 1968 a b ;本島 1973 1974) 古い資料もまじっているが カコウ岩地域の温泉について第1表および第1図にまとめておいた。なおこれらの温泉の成因については まだ十分な検討はなされていないようである。

さて杉山隆二氏は 同じ観点から日本の温泉とカコウ岩質岩類との関係を考察している (杉山 1963 1965 1972)。彼が主に調査した新潟県下および山陰地方においては 温泉に関連するカコウ岩質岩類に時代およ



第1図 中国東北部・朝鮮のカコウ岩と温泉の分布。 図中の番号は第1表の番号に対応する。 カコウ岩の分布は中華人民共和国地質図 (中国科学院 1976) および Mineral distribution map of Asia and the Far East (UNITED NATIONS, 1963) による。

第1表 中国・朝鮮のカコウ岩地域の温泉

	温泉名	地 質	泉温	泉 質	文 献
1	湯崗子	カコウ岩 (中生代末の千山カコウ岩) 綺状鉄鉱	70℃	アルカリ性	(1) (2)
2	五龍背	中生代末の千山カコウ岩	63℃	弱アルカリ性	(1) (2)
3	熊岳城	片麻岩 片麻状カコウ岩 カコウ岩 玢岩 黒雲母安山岩	60℃	単純泉	(1)
4	興 城	震旦系 中生代末の千山カコウ岩 玢岩類	67℃	アルカリ性	(1) (2)
5	海雲台	第三紀以前の火成岩類 (主として半深成岩)	54℃	アルカリ土単純食塩泉	(3)
6	儒 城	カコウ岩類 脈岩および沢川系	49℃	PH8.3	(3) (4)
7	温 陽	カコウ岩類	50℃	単純泉	(3)
8	安 岳	片麻岩 黒雲母カコウ岩	75℃	単純食塩泉	(3)
9	信 川	片麻岩 古生層 カコウ岩	58℃	アルカリ~弱アルカリ性	(3)
10	東 萊	中生代末のカコウ岩	66℃	PH8.0	(2) (4)

文献 (1): 満州温泉号 (1939) (2): 杉山隆二 (1972) (3): 朝鮮総督府 (1925) (4): 朴 奎昌 (1968a)
番号は第1図の番号に対応

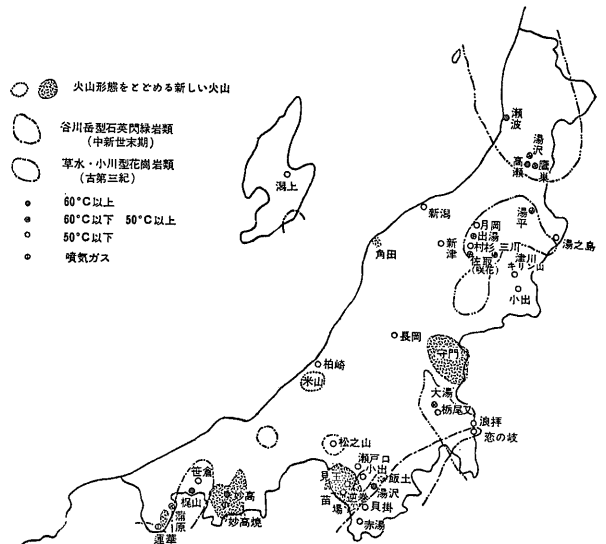
び岩質を異にする二つのタイプのものがある(第2 3図)。一つは古第三紀の優白質ペグマタイト質カコウ岩で 新潟県の草水・小川型カコウ岩および山陰の小鴨カコウ岩がこれにあたり もう一つは新第三紀の石英閃緑岩類で新潟県の谷川岳型のものと同山陰の鉛山石英閃緑岩がこれに相当する。熱的にみた場合 これらの岩体は岩石生成時の余熱は保存していないが これら第三紀のカコウ岩体の場合 まだ地下深所において地熱部と連絡している可能性があると考えられている(杉山 1972)。一方地質構造の面からは 杉山隆二氏 (1972) はカコウ岩質岩類に伴う温泉の地質構造規制に次の三つの条件が必要であることを提案した。その第1は 第三紀カコウ岩質岩類のカルミネーション(ドームあるいは背斜)で温泉はその近くに賦存する。第2はカルミネーションの下流側における粘土層あるいは粘土化帯で これにより貯溜構造がつくられる。そして第3はこの粘土による堰止め構造の上流側に必要な深部まで続く破碎帯あるいは割れ目の多い岩脈の存在で これにより深部から熱水が供給される。

3. Cornwall のカコウ岩と地熱

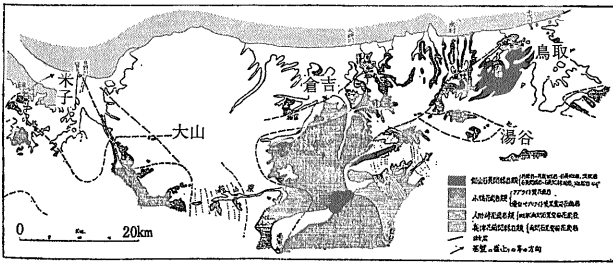
イギリスでは Cornwall 地方のヘルシニア造山帯のカコウ岩体が 近年有数の地熱地域として注目を集めている(GARNISH, 1976)。本地域においては地表では Dartmoor 岩体等 6つの岩株状岩体が古生層を貫いているが これらは重力探査の結果から下部ではひとつながりのものになっていると考えられており (Borr et al., 1958) Cornish batholith と呼ばれている(第4図)。このうち Land End および Carnmenellis の両岩体およびそれらの周辺地域では カコウ岩質岩類中で 38~40℃/km その母岩

中で 40~50℃/km といったかなり高い地温勾配が存在している。またカコウ岩質岩類中の熱流量は0.5~3.5 HFU (1.0~1.5HFU と 2.0~2.5HFU のところにピークをもつ)で 母岩のスレート地域では 0.5~4.5HFU (1.5~2.0HFU のところにピークをもつ)となっている (TAMMEMAGI and WHEILDON, 1974)。大陸地域の熱流量は 熱的でき事がその地域で最後におきた時期とよく相関しているといわれており (POLYAK and SMIRNOV, 1968) 本地域のような ヘルシニア造山地域では 1.24±0.24 HFU の熱流量が期待される。しかし本地域の上記の観測値はこの期待値をかなり上まわっている。

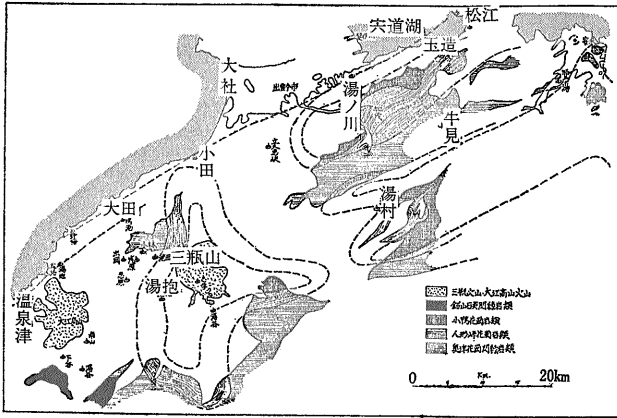
本地域の過剰な熱流量のうちその一部はカコウ岩質岩類中の放射性元素の存在により説明できるが それだけ



第2図 新潟県の温泉とカコウ岩の分布(杉山 1963)



鳥取県下の基盤花崗岩類の構造と温泉との関係



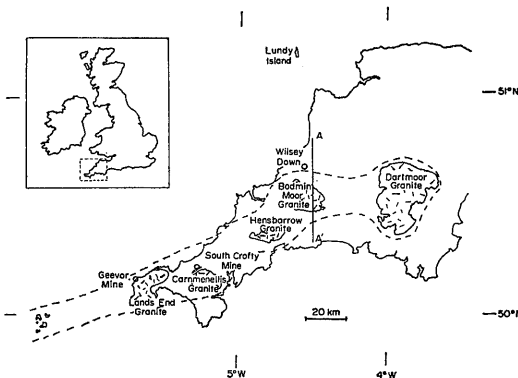
島根県下の基盤花崗岩類の構造と温泉との関係

第3図 山陰の温泉とカコウ岩の分布(杉山 1963)

では十分でない。熱流量と岩石の発熱量の間には次の式で表わされる関係があるといわれている (BIRCH et al., 1968; ROY et al., 1968; LACHENBRUCH, 1968; JAEGER, 1970; CERMAK and JESSOP, 1970).

$$q = q^* + A \cdot D$$

ここで q は地表で観測される熱流量 q^* は通常深所に由来すると考えられている熱流量 A は発熱量で岩石中の放射性元素濃度に関係し D はその放射性元素を含む岩

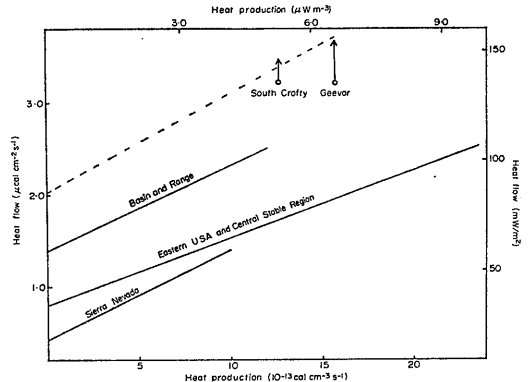


第4図 Cornish batholith (TAMMEMAGI and WHEELDON, 1974) 破線の範囲は 地下で各岩体が連続していると推定されるところ。白丸は熱流量測定地点。

層の厚さを表わしている。本地域の場合 第5図に示されているように q^* の値がかなり高くなっている。 q^* の値について TAMMEMAGI and WHEELDON (1974) は 本地域には温泉があり またカコウ岩質岩類中にはかなりのクラックが存在することから その一部は深所からの熱水によるのではないかと考えた。しかし深所からの熱水によるにせよ その熱源を説明しなければならない。現在のところ熱源としては ① 対流水の基底での発熱を伴うカオリン化作用 ② カコウ岩の深部における放射性元素の増加(カコウ岩の表層部は風化によりウラン・トリウムが枯渇している可能性がある) ③ 上部マントルに存在するであろうこの地域に第三紀に再活動したマグマの残りの3つの可能性が考えられている。

4. 日本のカコウ岩と地熱

以上 中国・朝鮮・日本・イギリスに例をとってカコウ岩質岩類と地熱との関係についてみてきたが 日本の場合についてはもう少し検討を加えてみたい。日本のカコウ岩質岩類は大きく4つの時期のものに分けられる(第6図)。そのうち一番古い時期のものは 300~400 m.y. の年代値をもつカコウ岩質岩類で これは黒瀬川等の構造帯に分布する。次は 160~180 m.y. およびその前後の年代を示すもので 船津カコウ岩等の飛驒山地のカコウ岩質岩類がこれに相当する。日本で一番広い分布をもつものが次の白亜紀から古第三紀の年代(50~130 m.y.)を示すカコウ岩質岩類で 西南日本内帯および東北日本の北上・阿武隈・足尾の各帯に分布する。そして一番若いカコウ岩質岩類は中新世(10~25 m.y.)のもので これは西南日本外帯およびグリーンタフ地域



第5図 Cornwall のカコウ岩地域の熱流量と発熱量の関係 (TAMMEMAGI and WHEELDON, 1974). 矢印は有限の大きさの batholith に対する補正。

第2表 カコウ岩中のカリウム・トリウム・ウラン含量と発熱速度

地 域	時 代	K ₂ O (%)	Th (ppm)	U (ppm)	発熱速度 (10 ⁻⁶ cal/g·yr)	文献
西南日本外帯	中新世	3.67	14.5	4.3	7.0	(1)
グリーンタフ地域	"	2.72	8.3	2.0	3.8	(1)
山陰帯	後期白亜紀~古第三紀	3.95	17.4	4.1	7.5	(1)
山陽帯	"	3.84	13.0	3.3	6.0	(1)
中部地方	"	3.62	14.9	3.1	6.2	(1)
阿武隈高原	"	3.10	9.5	2.3	4.3	(1)
北上山地	前期白亜紀	2.48	7.7	2.2	3.8	(1)
飛騨山地	三疊紀~ジュラ紀	2.86	9.2	2.6	4.5	(1)
カコウ岩(世界の平均値)		4.57	18.5	4.75	8.18	(2)
玄武岩(")		1.01	2.7	0.60	1.21	(2)
カンラン岩(")		0.0076	0.05	0.015	0.02	(2)

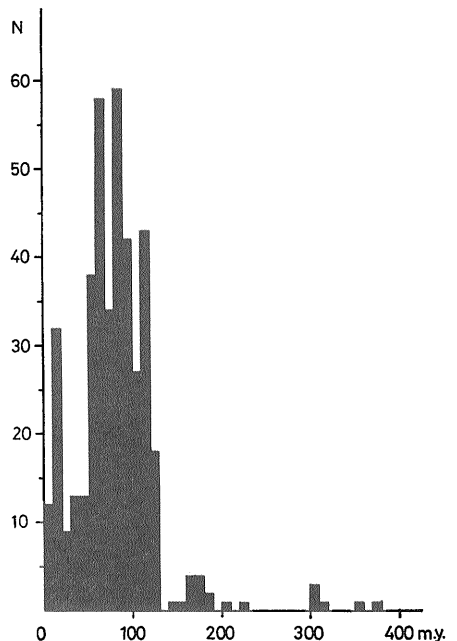
(1):分析値は KANAYA and ISHIHARA (1975) による。 発熱速度は Roy et al. (1968) の換算表を用いて求めた。
 (2): KAPPELMEYER and HAENEL (1974) による。

に分布する。

これらの各時期のものが マグマから岩体が形成される冷却時の余熱をもっているかどうかがまず問題となるが 一番若い中新世のカコウ岩質岩類でも まず無理と考えられる。 たとえば 福富孝治氏(1960)は可能な最大限の大きさのマグマ溜を想定して冷却に要する時間を計算で求めているが それによるとマグマ貫入後 260 万年程度までのものが温泉の熱源として可能であるという結果が得られている。 早川・馬場両氏 (1967) の計算でもたとえば半径 3km のマグマ溜は約10万年で冷却してしまうことがわかっており 現在露出しているカコウ岩体の場合 固結時の余熱を地熱として利用するのは全く絶望的であるといえる。 このことは すなわち日本のカコウ岩地域の温泉の熱源が カコウ岩質岩類そのものもっていた固結時の余熱ではないことを示している。 またこれらの計算結果は 温泉の熱源として可能なマグマ溜は 鮮新世~第四紀にかけて形成されたものであることを同時に示している。

カコウ岩質岩類の場合 もう一つの熱源として放射性元素がある。 日本のカコウ岩質岩類中のカリウム・トリウム・ウランといった放射性元素は 近年γスペクトロメトリー法により数多くの測定がなされている(KANAYA and ISHIHARA, 1975)。 カコウ岩質岩類を時代および地域別に分け その中に含まれるカリウム・トリウム・ウラン含有量の平均値 (KANAYA and ISHIHARA, 1975) とその値から計算される発熱量および代表的な岩石のそれらの値の世界の平均値を第2表にかかげてある。 第2表から西南日本外帯および山陰帯のカコウ岩質岩類が 他の地域のものに比べ高い発熱量をもっていることがわか

る。 しかし日本のカコウ岩地域では熱流量の測定がほとんど行われていないので これら放射性元素からの熱の寄与がどの程度あるかということを見積ることができず 前述の比較的高い発熱量をもつカコウ岩地域の温泉の問題も十分に検討できる状態になっていない。 放射性元素による発熱量と温泉との関係については 今後の熱流量の測定に待つところが大きいといえる。 しかし全般的に見た場合には 放射性元素による発熱量と熱流量との間には 世界各地でほぼバランスがとれており



第6図 日本のカコウ岩質岩類の K-Ar 年代(野沢 保 原図)

また極端な放射性元素の濃集もまれであることから 放射性元素による発熱量は温泉の熱源のバックグラウンドにはなっても 高温の温泉の成因には直接関係しないだろうと考えられている(早川・馬場 1967)。

それでは日本のカコウ岩質岩類中の温泉についてはその成因をどのように考えればよいのだろうか。まず日本温泉・鉱泉一覧(角 1975 a)から母岩をカコウ岩質岩類とする温泉をひろってみることにする。湧出母岩がカコウ岩質岩類となっている温泉は全国で324ヶ所ある。そのうち泉温が42°C以上あるものを選び出しその分布をみると(第7図) 中生代のカコウ岩質岩類(古第三紀のものも含む 以下同じ)中の温泉の主な分布地域は 東北日本の背梁から日本海側にかけての地域・北アルプス地域・山陰地域となっており いずれの地域にも鮮新世～第四紀の火山岩類が分布している。なお有馬・道後等の2-3の温泉については その周囲に新しい火山岩類の分布がみられない。このうち有馬温泉については 地球化学的研究から成因が検討され500～600°Cでカコウ岩質岩類と平衡にあった水あるいは地層水という2つの可能性が考えられている(松葉谷ほか 1974)。次に新第三紀カコウ岩質岩類中の温泉についてみると 長野県から山梨県にかけての地域に比較的高温のものが分布しており(第7図) これまた新しい火山の分布地域と重複している。これらのことから日本のカコウ岩質岩類中の温泉のほとんどのものは その熱源を鮮新世から第四紀の火山に依存しているとみてよい

だろう。白亜紀から古第三紀にかけて侵入したカコウ岩質岩類でも 山陰のものには温泉が賦存し 北上や阿武隈のものにはほとんどみられないというのは 鮮新世～第四紀の火成活動がその地域に重複しているかどうかの違いによるものと考えられる。

5. カコウ岩の優位性

はじめに述べたように 新しい火山の基盤岩類の中でカコウ岩質岩類をとり上げた場合 カコウ岩質岩類の方が堆積岩類よりも高温の温泉を多く賦存するという傾向が認められるので このことについて次に考えてみたい。

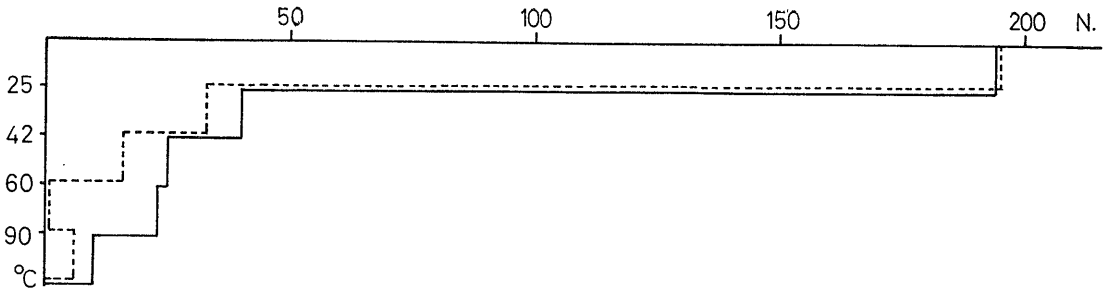
日本温泉・鉱泉一覧(角 1975 a)にもとづいて 60°C以上の温泉を湧出母岩別にまとめると第8図のようになる。ここで地熱地域において基盤岩類と呼ばれる中生層および中生代のカコウ岩質岩類に注目してみると カコウ岩質岩類の方が堆積岩類を主とする中生層よりも数多くの温泉を賦存していることがわかる。両者を母岩とする温泉・鉱泉を さらに泉温別にみると25°C以下の鉱泉数は両者ほぼ同数であるが 25°C以上の温泉はどのランクでもカコウ岩質岩類の方が多くなっている(第9図)。

中生層と中生代のカコウ岩質岩類は 分布面積をみれば前者の方が圧倒的に広いので 温泉数の差が両者の分布面積の差によるものでないことは明らかである。前述したようにカコウ岩質岩類中の温泉の熱源は 鮮新世～第四紀の火山に求められるので 中生層と中生代のカコウ岩質岩類の温泉数の差が これらと鮮新世～第四紀火山岩類との分布の密接性によるものかどうか 鮮新世～第四紀の火山岩類の基盤構成について 200万分の1日本地質図(地質調査所 1971)をもとにして調べてみると 第10図に示したような結果が得られた。ここで新しい火山の基盤岩類の割合は 地質図上で上記火山岩類と接触する頻度をもって表現してある。第10図からいま問題にしている中生層と中生代カコウ岩質岩類についてみると 前者の方が新しい火山の基盤を構成している頻度が高いという結果が読みとれ 新しい火山の基盤構成の点からカコウ岩質岩類中により温泉が多いということは説明がつかない。

高温の温泉の熱源を新しい火山の地下に存在しているマグマ溜あるいはその固結したものに求める場合 その熱の輸送手段としては熱伝導と熱水あるいは蒸気といった媒体によるものが考えられる。そこで次にいま問題にしている岩石の熱伝導率についてみると 地熱地域の先新第三系の堆積岩類は6～8cal/cm・sec・°C 同深成岩類は4～6cal/cm・sec・°Cとなっている(平沢 1977)。熱伝導率のちがいがカコウ岩質岩類中に温泉の多いこと



第7図 カコウ岩質岩類を母岩とする温泉(42°C以上のもの) 黒丸は中生代カコウ岩質岩類中の温泉 白丸は新第三紀カコウ岩質岩類中の温泉 温泉の位置 泉温 母岩の地質は角(1975 a)



第9図 中生代カコウ岩質岩類および中生層を母岩とする温泉の泉温別ヒストグラム 実線：中生代カコウ岩質岩類 破線：中生層

の要因にはならないといえる。

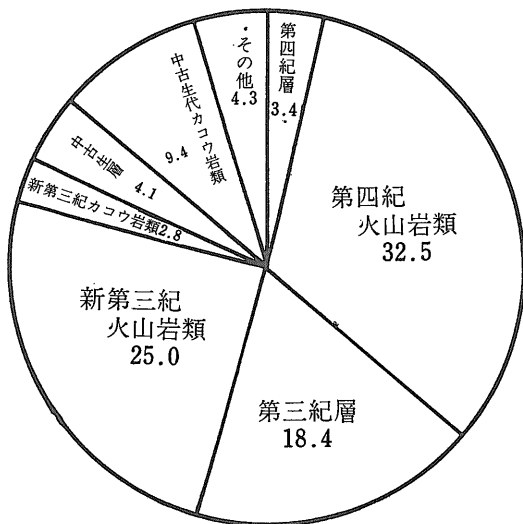
それではカコウ岩質岩類の場合 特異な構造規制を考えなくてはならないのだろうか。熱の輸送については前述の Cornwall でも考察されているように深部にまで続いている熱水系による熱の輸送の方が熱伝導によるものよりは効率がよい。そこでいま問題にしているような孔隙率の低い岩石が深部にいたる熱水系をつくるのに必要な断層・破碎帯・節理といった断層系の問題を予察的に検討してみた。温泉が断層系に関係しているということはカコウ岩質岩類に限ることではないので いま問題にしている中生層と中生代カコウ岩質岩類の断層系の密度を次の方法で比較してみることにする。最近 LANDSAT の衛星写真の解析がすすんでおり リニアメントを記載した地図が作られている (HOSHINO et al., 1976)。そこでリニアメントの密度が断層系の密度とよい相関をもっていると仮定して HOSHINO et al. (1976) および200万分の1日本地質図(地質調査所 1971)をもとに中国地方で解析した結果 リニアメントの密度(こ

こでは 2km×2km のグリッド中のリニアメントの数の平均値)は中生層で 0.23 中生代のカコウ岩質岩類で 0.16という値をもつことがわかった。

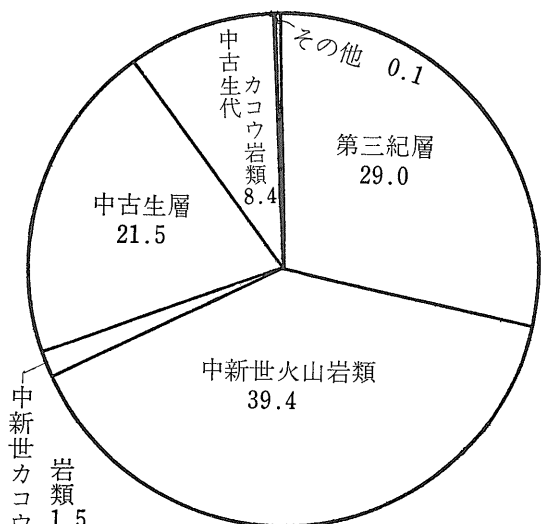
この予察の結果からは カコウ岩質岩類中に断層系の密度が高く それがカコウ岩質岩類中に多くの温泉の賦存する要因であるという推定はできない。しかし 堆積岩類に比べてカコウ岩質岩類中に温泉の多い問題は いずれにしても地質構造規制に帰着するのではないかと考えられているので 今後杉山隆二氏が提案した前述の三つの条件を含めて地質構造規制の問題をさらに検討していく必要があると思われる。

6. おわりに

以上のことをまとめると 日本の場合 中生代のカコウ岩質岩類は中生層に比べて高温の温泉を多く賦存しており またカコウ岩質岩類中の温泉の主な分布地域は 新しい火山の分布地域と重複しているといえる。カコウ岩質岩類中に賦存する温泉の成因を 熱源の点か



第8図 60°C 以上の温泉の母岩



第10図 鮮新世～第四紀火山の基盤岩類

らみた場合 その多くは鮮新世～第四紀の火山に求めるのが妥当と考えられる。また貯留岩としてみた場合のカコウ岩質岩類の方が中古生層に比べて多くの高温の温泉を賦存する理由については 本文で述べたような予察的な研究ではよく説明されておらず 今後問題が残されている。今後 日本の場合認められた基盤岩類中のカコウ岩質岩類の優位性が 世界の他の地域でも成り立つかどうかの検討をふまえて カコウ岩質岩類の構造規制の問題をさらに検討していく必要があるだろう。また本文ではあまりとりあげなかったが カコウ岩を過去に存在した熱源としてとらえて マグマ溜周辺の環境の変遷を明らかにしていくことも地熱利用の基礎的な問題として今後の研究課題の一つであると思われる。

地殻熱資源課角清愛課長には 本文を書くようにすすめられ多くの助言をいただいた。地震地質課加藤碩一技官には構造規制の問題について 地殻熱資源課長谷紘和技官にはリアメント図の見方について 物理探査部金谷弘技官および地殻熱資源課玉生志郎技官には放射性元素の問題についてそれぞれ有益な助言をいただいた。地質部野沢保技官および地殻熱探査課松林修技官には 資料および文献を提供していただいた。以上の方々には厚くお礼申し上げます。

参 考 文 献

F. BIRCH, R. F. ROY and E. R. DECKER (1968) : Heat flow and thermal history in New York and New England, in: *Studies of Appalachian Geology: Northern and Maritime*, eds. E-AN ZEN, W. S. WHITE, J. B. HADDLEY and J. B. THOMPSON Jr. John Wiley & Sons, Inc., New York.

M. H. P. BOTT, A. A. DAY and D. MASSON-SMITH (1958) : The geological interpretation of gravity and magnetic surveys in Devon and Cornwall. *Phil. Trans. R. Soc.*, vol. 251A, p. 161—191.

V. CERMAK and A. M. JESSOP (1971) : Heat flow and heat generation and crustal temperature in the Kapuskasing area of the Canadian Shield. *Tectonophysics*, vol. 11, p. 287—303.

地質調査所 (1971) : 日本地質図 第4版 1:2,000,000.

朝鮮総督府 (1925) : 朝鮮地質調査要報 vol. 3 p. 1—169.

中国地質科学院主編 (1976) : 中華人民共和國地質図 1:4,000,000 地図出版社 北京.

T. FUKUTOMI (1960) : On the possibility of volcanic hot springs of meteoric and magmatic origin and their probable life span. *J. Fac. Sci. Hokkaido Univ. Japan, Ser. VII*, vol. 1, no. 4, p. 223—266.

J. D. GARNISH (1976) : Geothermal energy: The case for research in the United Kingdom. *Energy Paper No. 9*. London: Her Majesty's Stationary Office.

早川正巳・馬場健三 (1967) : 地熱発電—地熱とその発電利用一. 地下の科学シリーズ 12 220p. ラティス 東京.

平沢 清 (1977) : 地熱地帯の構造試錐コアの物性測定結果に

ついて. 第4回地熱研究発表会予稿集 p. 23—24.

K. HOSHINO, H. HASE and Y. KINUGASA (1976) : Structural features of Kinki, Chugoku and Shikoku, Japan, analysed with LANDSAT/ERTS imagery.

J. C. JAEGER (1970) : Heat flow and radioactivity in Australia. *Earth Planet. Sci. Lett.*, vol. 8, p. 285—292.

H. KANAYA, and S. ISHIHARA (1975) : Uranium, thorium and potassium contents of Japanese granitic rocks: a summary up to 1972, in: *The natural radiation environment II*, vol. II, eds. J. A. S. ADAMS, W. M. LOWDER and T. F. GESELL, p. 517—533. U. S. Energy Research and Development Admin., U.S.A.

O. KAPPELMEYER and R. HAENEL (1974) : *Geothermics with special reference to application*. Gebrüder Borntraeger. Berlin.

小林儀一郎 (1939) : 本邦温泉の地質学的分類並に温泉湧出と地質構造線の関係に就て. *地学雑誌* vol. 52 p. 460—464 vol. 52 p. 126—129 p. 269—278 p. 430—438.

A. H. LACHENBRUCH (1968) : Preliminary geothermal model of the Sierra Nevada. *J. Geophys. Res.*, vol. 73, p. 6977—6989.

満州温泉号 (1939) : 満州大陸科学院地質調査所報告 no. 95 p. 1—78.

松葉谷治・酒井 均・鶴巻道二 (1974) : 有馬地域の温泉・鉱泉の水素・酸素の同位体について. *岡大温研報* no. 43 p. 15—28.

本島公司 (1973) : 中国の温泉と地熱資源. *地熱* vol. 10 p. 3—4.

本島公司 (1974) : 中国の温泉分布と地質構造. *地熱* vol. 11 p. 3—6.

朴 奎昌 (1968 a) : 韓国の温泉の化学的研究(第1報). *温泉科学* vol. 19 p. 26—34.

朴 奎昌 (1968 b) : 韓国の温泉の化学的研究(第2報)—ヒ素およびアンチモンの放射化分析—. *温泉科学* vol. 19 p. 35—39.

B. G. POLYAK and YA. B. SMIRNOV (1968) : Relationship between terrestrial heat flows and the tectonics of continents. *Geotectonics*, p. 205—213.

R. F. ROY, D. D. BLACKWELL and F. BIRCH (1968) : Heat generation of plutonic rocks and continental heat flow provinces. *Earth Planet. Sci. Lett.*, vol. 5, p. 1—12.

杉山隆二 (1963) : 山陰の温泉の地質. *温泉誌* vol. 1 no. 1 p. 42—47 vol. 2 no. 1 p. 32—43 vol. 2 no. 2 p. 21—30 vol. 3 no. 1 p. 30—39.

杉山隆二 (1965) : 山陰の温泉の地質構造規制について—山陰の温泉はどんな地質のところにあるか—. *岡大温研報* no. 35 p. 1—6.

杉山隆二 (1972) : 地熱と温泉. *地熱* vol. 9 p. 56—59.

角 清愛 (1975 a) : 日本温泉・鉱泉一覧. 134p. 地質調査所.

角 清愛 (1975 b) : 日本温泉分布図 第2版 地質調査所.

H. Y. TAMMERMAGI and J. WHEIDON (1974) : Terrestrial heat flow and heat generation in southwest England. *Geophys. J. Roy. astr. Soc.*, vol. 38, p. 83—94.

UNITED NATIONS (1963) : Mineral distribution map of Asia and the Far East, 1:5,000,000.