

全国地熱基礎調査について

～地質学・地球化学関係調査～

角 清 愛

1. はじめに

全国地熱基礎調査は 昭和48年4月にスタートした。以来 約1年半が経過したのであるが この間に昭和48年度には 駒が岳北部(北海道) 栗駒北部(秋田県) 吾妻北部(山形県) 伊豆南部(静岡県)および薩南(鹿児島県)の計5地域を調査し 現在昭和49年度には15地域を調査中である。昭和50年度には残りの10地域の調査を行なって 昭和51年3月には予定の計30か所の調査を完了する予定である。

このプロジェクトの趣旨および内容の概要については小林(1973)に述べられているので ここには繰返さない。本文は調査内容の細部について 昭和48年度の調査結果を織りまぜながら報告し プロジェクトの趣旨について一層のご理解をお願いしようとするものである。

本文を草するにあたり 本プロジェクトに関してご協力ご指導をいただいた方がた すなわち計画段階における工業技術院当局 日本地熱調査会 実施段階における地質調査所の関係者 関係の道 県 市町村当局 関連企業その他の各位に厚くお礼を申し上げる。

2. 地熱の地質学・地球化学的調査

地熱を地質学あるいは地球化学的手法で探査あるいは評価しようとする場合 その調査項目は非常に多岐にわたることが考えられる。しかしながら各調査の項目それぞれが 調査の目標に対してどの程度有効かとなると いろいろと意見が分かれるし また実際に未解決の問題が多いのである。

地熱資源は元来 熱という眼にみえない状態量であり 現実にはわれわれは熱の媒体者である熱水・蒸気・高温岩体を探査することになるので 地質学者・地球化学者はこれらの対象の中に潜む 自己の専門領域に属するパラメーターの抽出に努力しなければならない。この点は眼にみえる“もの”を主とした従来の地下資源の探査と異なるところで またそのような地下資源探査と関連しながら発達して来た地質学・地球化学の学問体系も その故に地熱に関して未発達分野をかかえていることも否めない事実である。

1970年にイタリアのピサで開催された国連の「地熱資源の開発と利用に関するシンポジウム」で地質学および地球化学の地熱探査・評価への貢献度について それぞ

れ J. McNITT および D. E. WHITE が総括講演を行なったのであるが その内容をみると地質学と地球化学とが非常に接近していることに気づくのである。すなわち上記両氏がレビューした論文に たがいの重複が多いのである。このことは 地質学が元素などの化学的資源探査とともに発達して来たその生立ちと関連があるのであろう。岩石学とか鉱物学などの分野がそのよい例で これらは地質学・地球化学いずれの分野と決めることがむずかしいのである。一定の手法のない地質学は地熱には余り貢献しないだろうし しても McNITT の言を借用するならば “……細かな討論のための単なる基礎として序章的に扱われるに過ぎない” であろう。ともあれ 地熱分野においては 対象が対象であるだけに地質学・地球化学は 地球物理学に比較して若干立おくれの感がある。地質調査所もその例外でないので 全国地熱基礎調査においては 地質学・地球化学分野のうちの一部の可能な項目を選んで 実施することになったのである。

とり上げられた調査項目は変質帯調査 空中赤外線調査および地化学調査の3つであり 補足的に地質調査も行なうこととなった。項目の選定にあたっては (a) 従来実施されたことのない調査であって その実施によって プロジェクト本来の目的である日本の地熱資源の探査・評価に貢献することおよび (b) 大量の情報入手によって その中から新探査技術の新たな芽(シーズ)が生れる可能性があることの2点が重視された。(a) と (b) とは国立研究機関にとっては調査研究という車の両輪のようなもので 換言すれば (a) は過去のプロジェクトの中の (b) で (b) は将来のプロジェクトの (a) でなければならぬ。

このようにして過去の特別研究あるいは経常研究を通じて シーズの出来上っていた上記3項目の調査を開始することになったが 費用の関係もあって全地域にすべてを適用することができなかった。たとえば昭和48年度の地域別調査項目は次のようである。

	駒が岳北部	栗駒北部	吾妻北部	伊豆南部	薩南
変質帯調査	○	○	○	○	○
地質調査		○			
空中赤外線調査					○
地化学調査	○	○		○	○

3. 調査の実施態勢

地質調査所におけるプロジェクト研究はすべて横割りのプロジェクトチームが結成されて遂行されるのであるが、本調査は大きいプロジェクトである関係上、とくに横にひろがっている。たとえば昭和48年度の地質学・地球化学関係だけで20名の研究者によってチームが結成された。すなわち変質帯調査関係で坂本亨（地質部）山田宮三・高島勲（以上応用地質部）富樫幸雄（鉱床部）前田憲二郎（技術部）五十嵐昭明（北海道支所）谷口政碩（東北出張所）神谷雅晴（中国出張所）の各技官および西村進助教授（京都大学 地質調査所併任）地質調査で大沢稔技官（地質部）空中赤外線調査で長谷紘和・西村嘉四郎（いずれも応用地質部）の各技官地化学調査で菅野敏夫（応用地質部）比留川貴・安藤直行・川野昌樹・阿部喜久男・永井茂（いずれも技術部）阿部智彦（東北出張所）の各技官であった。

実際の調査にあたっては、人手の関係上民間の調査企業に委託して行なった。委託は請負契約によって行なわれたのであるが、本プロジェクトのような研究的要素のある調査は、どのように努力してもソフトウェア的業務が入り、これの経費の算定は非常にむずかしいので、結果的に企業に過重な負担がかかりやすいものである。今回のプロジェクトもこれら企業の献身的努力もあって順調に進行しつつあるのであるが、今後、研究者と調査者との意志伝達手段であるところの仕様書を研究し、一段と洗練されたものにしてゆく必要がある。昭和48年度のこれら企業は日本重化学工業(株) 同和鉱業(株) 大手開発(株) 三井金属エンジニアリング(株)（以上変質帯調査）日鉄鉱コンサルタント(株)（変質帯調査および地化学調査）中日本航空(株)（空中赤外線調査）およびセンチリーリサーチセンタ(株)（地化学調査）であった。以上のほかC-14年代測定に関し、学習院大学木越邦彦教授にご協力をお願いした。

以下各調査項目について、主として昭和48年度の調査結果を主にしながら、その内容を紹介してゆきたい。

4. 変質帯調査

4.1. 目的

地熱地帯では地熱流体の特殊な化学作用によって、岩石が変質し、また有毒ガスの影響で植物が枯死し、白色の裸地をなしていることが多い。このような変質帯が地熱の探査の有力な示徴となることは当然考えられるところであり、昭和20年代の地熱調査のまとめの記述（地質調査所 1957）の中でも「別府・雲仙・霧島・湯之野およびえびのなどの精査の結果、これらの地熱地に共通な特性の一つとして、蒸気露頭のある一面には必ず広い

焼けを生じており、その焼けは珪酸質白土、すなわち筆者のいう「粗珪石」からなっている」と述べている。

そして実際に後生掛（中村・安藤 1954a）霧島（地熱調査班 1955a）雲仙（地熱調査班 1955b）などの調査で変質帯分布図が作られたのである。

しかしながら、地熱蒸気の噴出には消長があるので、蒸気の噴出が衰えてくると、たちまち蘚苔類、ついで低木、最後には高木類が繁茂して、変質帯は被覆されてしまう。植生の定着期間は、深部の熱源の残存期間に比べれば、はるかに短かいものと考えられるから、植生の下にかくされた古い変質帯の範囲調査こそが、深部熱源調査にとって重要な事柄である。この問題が初めて提起されたのは、岩手県松川地熱地帯であり、そこは自然の熱徴候は30～50℃の小規模の温泉のみであったにもかかわらず、優秀な地熱発電地となったことは周知の事である。1952年の村当局による温泉探査井から蒸気が噴出することは誰も想像しなかったことであり、昭和20年代の調査対象にはもちろん入れられていなかった。1957年の日本鉱産誌でも、付録程度に述べられているにすぎない。また注目すべきことは、鉱産誌の中でも変質帯としては「焼け」程度のものとされており、また予察調査報告（安藤・渡辺 1957）をみても、変質帯は比較的狭いものとみられている。しかし、植生を除いてマッピングすると、変質帯は意外と広く、わが国でも第1級の規模のものであることがわかったのである。そして当初、地熱の探査指針として、それほど重視されていなかった古い（植生下の）変質帯分布が見直されることとなり、また実際、変質帯の中心部に近づくにつれ、ますます良質の蒸気が産出することがわかって来た。とくに1970年に、赤川西方山地の明ばん石帯の中心に向けて行なわれた斜掘りのMIR 7号生産井の成功（中島・中村 1970）などは記憶に生々しい所である。

現在松川では、急峻な地形にさえぎられて、開発は一時中断の形となっているが、変質帯は西方に広く広がっており、今後の拡張が期待される。片桐（1969）は、20,000 kW を開発した地区の面積 0.35 km² と強変質帯の面積 2.1 km² との比から松川の推定埋蔵量を120,000 kW と計算した。

ところでこのように古い時代の変質帯も潜頭性地熱鉱床の探査対象となるとなれば、どれ位古いものまでが探査の対象となるかを決めねばならない。たとえばIwao（1962）によって研究された伊豆の宇久須鉱山のような大きい変質帯は対象となるかどうかが問題となる。宇久須の珪石鉱床は第四紀に形成されたいというだけで、はっきりした生成年代はわかっていない。いずれにしても宇久須は熱徴候がまったくないので、探査対象

とはならないけれども 各地の変質帯の生成年代に関するデータが多く集まれば これらのデータから逆に変質帯の評価ができるはずである。

地熱地帯の変質帯にも新旧のパラエティがあることはすでに霧島(地熱調査班 1955 a のうちの沢村の調査)や大岳(中村・安藤 1954 b)で注目されていたのであるが 上に述べたような松川の開発例 絶対年代測定法の開発などがあって 再びこの問題が注目されることとなったのである。

4.2. 変質帯調査の内容

前節に述べたような趣旨にもとづいて 筆者および共同研究者は玉川(角・高島 1972) 松川(角 1971)その他の地域(角 1972)を調査研究した結果 調査法についての一定に見通しを得たので “地熱変質帯調査法”の一試案を作製した(角ほか 1974)。この内容について簡単に説明してみよう。

この調査の内容は

- ①予察
- ②変質帯分布調査
- ③変質帯の層序学的調査
- ④微化石分析
- ⑤絶対年代測定
- ⑥X線分析
- ⑦化学分析
- ⑧放熱量計算

の8項目に分けることができ これをフローシートに示すと第1図のようになる。

①は文献の調査および空中写真観察である。空中写真観察は露岩の分布 変質地域に多い地すべりの分布

③の調査のための第四紀層分布の3項目が作業の中心である。②は地表地質調査によって変質帯の水平方向のひろがりを知り 変質体の形状・体積を求めるものである。③は主として地層累重の法則 すなわち上位の地層は下位の地層より新しいという原理によって 変質帯と地層(おもに第四紀層)との相対的な新旧関係を決めるものである。この調査は通常の層序学的手法で行われるもので 地表地質調査が唯一の手段である。

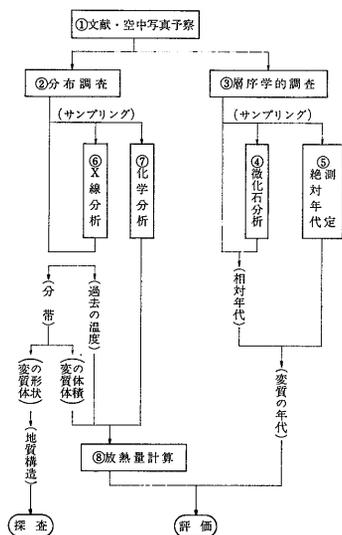
④は③の調査において 変質帯との層序関係のわかった地層の中に含まれる微化石を分析して その棲息環境を知り 日本の第四紀における標準的な気候変動および海水準変動との関係から 互いに離れた地域の時代的対比を行なうものである。この目的のため おもに花粉ときに珪藻が用いられる。③・④は相対的な年代を求めるのであるが これに絶対的な年代目盛をつける作業がおもに同位体組成分析によって⑤で行われる。絶対年代の測定法は数多く開発されているが 地熱調査に応用し得る方法は比較的限られており 放射性炭素法とフィッシュトラック法の2つが最も適しているので 全国地熱基礎調査ではこれら2法を採用した。

⑥では変質帯の各部分から採取した試料をX線分析する。分析結果は鉱物の種名として表わされ 種名およびそれらの組合せは地質学的温度計として地質時代に到達した最高温度を指示することになるし 一方鉱物種名の分布図を作成すれば ②によって得られた変質帯をいくつかの亜帯に分帯することができ 全体として変質帯の形状をより正しく認識できるようになる。⑦では変質帯の各部から得られた変質岩の化学組成と比重を分析・測定するもので この結果に② ⑦から得られる変質帯の体積・過去の温度を加えて 元素の総溶脱量・過去の総放熱量を計算する(⑧)。

最終的には変質帯の形状・年令および過去の総放熱量が求められる。変質帯の形状のうちのとくに卓越した伸長方向は地熱流体の流動方向(割れ目)を示しており 探査の方向を決めるのに役立つ。変質帯の年令は地下熱源の熱の残存度を示す指標となるし 過去の放熱量は地熱地帯の規模のオーダーを示すもので ともに地熱地域評価のための有力な基礎データとなるのである。これらの調査が 48年度調査の5地域でどのように行われたかを以下 順を追って述べることにしたい。

4.3. 駒が岳北部地域変質帯調査(地質調査所 1974 a)

駒が岳北部地域は30地域の中の東北・北海道地域のうちで 海岸に比較的近接した地熱地帯である関係から 地熱微候のある濁川盆地(約2×3 km)周辺の地熱変質



第1図 変質帯調査のフローシート(角ほか 1974)

第1表 駒ヶ岳北部地域の変質岩のX線分析による鉱物一覧表(地質調査所 1974a)

試料番号	産出地点番号	産出地点区分	産物													注
			Montmorillonite	Sericite	Mixed layer of sericite-muscovite	Kaolin	Alunite	Quartz	α-Cristobalite	Amorphous silica	Pyrite	Sulphur	Zeolite	Plagioclase		
1	NG73101602-1	駿の河原西部	⊙					△	△	○						81
2	NG73101602-2		△					△	△							81
3	NG73101603-1		△					⊙								81
4	NG73101603-2		△					○								81
5	NG73101604		△						○	△	△					81
6	NG73092902-1	駿の河原中央部	△					○	△	△	△				81	
7	NG73092902-2		△						⊙						81	
8	NG73092905		△						⊙						81	
9	NG73101807-1		○						○	△					81	
10	NG73101807-2		○						○	△					81	
11	NG73101809-1		○						○	△	△				81	
12	NG73101809-2		○						○	△	△				81	
13	NG73100601		△						△						81	
14	NG73100603-1		△						△						81	
15	NG73100603-2		△						△						81	
16	NG73100607-1		○						○						81	
17	NG73100607-2		○						○						81	
18	NG73100607-3	△						△						89		
19	NG73100608	△						△						81		
20	NG73101914K	駿の河原東端部の奥の沢	△					○	⊙					81		
21	NG73101917K		△						△					m.Tf		
22	NG73101916K		△						△					81		
23	NG73100408-1		△						△					m.Tf		
24	NG73100408-2		△						△					m.Tf		
25	NG731019A02		△						△					m.Tf		
26	NG731019A01		△						△					m.Tf		
27	NG731016A02		△						△					c.Tf		
28	NG73100403		△						△					m.Tf		
29	NG731019A03		△						△					81		
30	NG731016A03	△						△					m.Se			
31	NG73101901-1	濁川本流の通船間渡橋	△					△	△	○				f.Tf		
32	NG73101901-2		△					△	△					f.Tf		
33	NG73101902		△						△					f.Tf		
34	NG73101903		△						△					81		
35	NG73101506	△						△					m.Tf			
								△					c.Tf			

試料番号	産出地点番号	産出地点区分	産物													注				
			Montmorillonite	Sericite	Mixed layer of sericite-muscovite	Kaolin	Alunite	Quartz	α-Cristobalite	Amorphous-silica	Pyrite	Sulphur	Zeolite	Plagioclase						
36	NG73101904	濁川本流濁川中の川合洗山の東方300m位	○													c.Tf				
37	NG73101803K		○						△							m.Tf				
38	NG73101801K		⊙						△							m.Tf				
39	NG73101704K		○						△							m.Tf				
40	NG73101505		○						△							f.Tf				
41	NG73101504-1		37-40の地点から三号橋までの間の沢	○							⊙					f.Se				
42	NG73101504-2			○								△				c.Tf				
43	NG73101206			○												f.Tf				
44	NG73101205			○												c.Tf				
45	NG73101204			○												c.Tf				
46	NG73101901K	△													m.Tf					
47	NG73101501-1	△													c.Tf					
48	NG73101501-2	△													c.Tf					
49	NG73101501-3	△													81					
50	NG73101104	2号橋-3号橋の間牧場西		○												c.Tf				
51	NG73101701K		○												f.Se					
52	NG731012A01		△												m.Tf					
53	NG731012A02		△												T.b					
54	NG73100502K		△												T.b					
55	NG731006A01		○												89					
56	NG73102229K		△												89					
57	NG731017A02	化学1								○	⊙				81					
58	NG73101606		化学2	△							⊙					81				
59	NG73101606			化学3	○											81				
60	NG73101805K				化学4	○							△				c.Tf			
61	NG73101905					化学5												c.Tf		
62	NG73101812						化学6								○	○			c.Tf	
63	NG73101703							石灰華												81
64	NG73101802								精鉄鉱											

81 シルト岩 Tf 凝灰岩 f 細粒状
Sh 頁岩 T.b 凝灰角礫岩 m 中粒状
Se 砂岩 c 粗粒状 ⊙ 多
○ 中
△ 少

帯を調査し これと周辺の第四系あるいは噴火湾沿岸の海成第四系との層序学的関係を明らかにすることに主力を注いだ。第四系は下位から森川層 坊主山層 40m 海岸段丘堆積物 20m 海岸段丘堆積物 石倉層 77.1m 湖沼堆積物 河岸段丘堆積物 5m 海岸段丘堆積物 駒ヶ岳火山噴出物および現河床堆積物に区分される。C-14法による絶対年代は森川層28, 980年(1950年からの年数 以下同じ) 坊主山層11, 340年 石倉層11, 670年 駒ヶ岳火山噴出物3, 250年および2, 160年であった。変質帯は濁川盆地北東部に分布し NW-S E方向とNE-SW方向とが組合わさった形で分布している。分布地域全体の面積は約0.7km²である。変質帯の中心部はα-クリストバライト 不定形シリカを主とし一部明ばん石を伴う珪化帯で 周辺部はモンモリロナイトを主とし カオリンを伴う粘土化帯から成っている(第1表)。変質帯の母岩は第三系であり 坊主山層以後の第四系にはおよんでいない。坊主山層は 濁川カルデラの噴出物である石倉層(軽石流堆積物 佐藤 1968)の下位であるが C-14年代からすれば ほぼ同時期のものである。

すなわち 濁川の地熱活動の最盛期は カルデラ生成以前の更新世後期にあったことになる。一方濁川盆地の内部には褐鉄鉱 石灰華 イオウなどの沈澱物あるいは昇華物が分布している。これらの沈澱物あるいは昇華物は 濁川盆地生成後の形成によるもので 上記の主変質帯の生成よりずっと後期のものである。生成の上限を決めるデータとしては 褐鉄鉱層について3, 250年 石灰華について260年などの値が得られた。

イオウについては昇華イオウ丘(生成温度約100℃以上 五十嵐昭明技官談話による)が多く分布しておりカルデラ生成以後 近年まで過熱蒸気の噴気孔が現存したことになる。注目すべきことはこれらイオウ丘の一部に人間の使用したとみられる材木が埋没していることでこれが正しいとすれば 濁川盆地の開拓の開始である明治29年(1896年 山口 1931による)以降に過熱蒸気の露頭が存在したことになる。つまり 現在 噴気温度が16~38℃の噴気孔もごく最近まで高温であったことになる。

第2表 栗駒北部地域変質帯一覧表

変質帯の名称	大きさ(km)	分布の伸長方向	変質の型
大湯	0.4×1.6	NEE	脈状・均質粘土化型
小安・女滝 (女滝)	0.2×3.0 0.6×1.4	NW NE	脈状・均質珪化型 均質粘土化型
川原毛・泥湯 (川原毛北 泥湯)	0.7~1.0×3.0 0.5×1.0 0.2×0.8	NW NE NE	珪石型 均質粘土化型 均質粘土化型 脈状粘土化型
蓬来・山葵	0.2~1.0×2.0	NNE	均質粘土化型 均質珪化型 珪石型
秋の宮	1.0×1.5	EW	均質粘土化型
湯の又	0.3×0.5	NNE	均質粘土化型
赤湯又沢	0.5~0.9×2.5	NW	均質・脈状粘土化型
石神山	0.5~0.8	NW	均質粘土化型 珪石型
とち湯	0.1×0.2	NE	均質粘土化型
おとり	0.2×0.6	NE	均質粘土化型

(地質調査所 1974b)

4.4. 栗駒北部地域変質帯調査(地質調査所 1974b)

この地域はいわゆる小安・大湯地熱地帯から川原毛泥湯地熱地帯を経て 秋の宮地熱地帯にいたる東西約13 km 南北約7 kmの非常に広い地域で 地熱徴候の分布の程度もわが国でも第1級のものである。 今回の調査の結果合計10の変質帯が認められた(第2表)。 変質帯の大きさは最大の川原毛は3×1 km に達し 10変質帯の総面積は約8.2 km²におよび わが国の第1級のものであることがわかる。 変質帯の形状としてはNW—S E またはNE—SWの直交する2方向が卓越しており

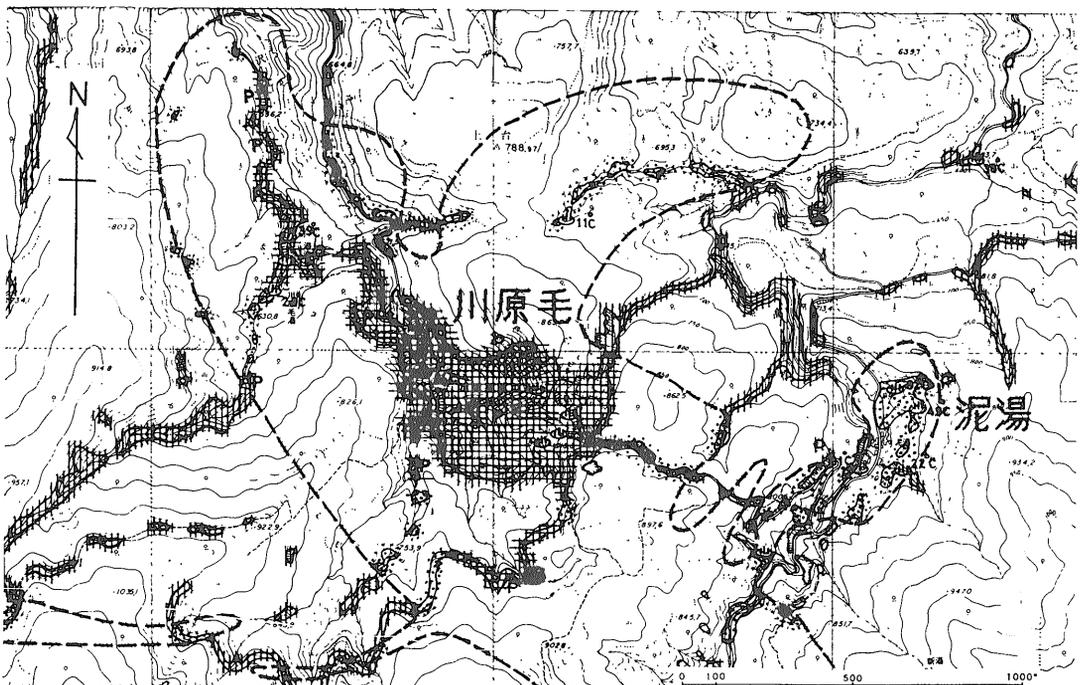
上昇熱水液が この方向をとっていることを物語っている(第2図)。

第四系は小安礫岩層 兜山石英安山岩類 高松岳火山岩類および崩積層から成る。 フィッシュントラック法による年代測定(京都大学西村進助教による)によって兜山石英安山岩類 340,000年および320,000年 高松岳火山岩類 200,000年の値が得られた。 以上の第四系のほかに 温泉噴気地帯には小規模の湖成堆積物が分布している。 そのうち 石神山および秋の宮のものは湯沼の堆積物とみられ その年代は地熱活動の時代そのものを示すのであるが これについて それぞれ7,350年および2,220年の値が得られた。

変質帯は小安および川原毛の両変質帯は珪化帯および粘土化帯から成り 他は粘土化帯から成る。 珪化帯は川原毛のものは酸性の環境を反映して 残留珪酸を主とした多孔質珪化帯となっているが アルカリ性環境の小安地域は脈状珪化帯をなし 両者の間に著しい対照をみせている。 X線分析の結果は 第3表の通りである。

4.5. 吾妻北部地域変質帯調査(地質調査所 1974c)

山形・福島両県の県境にある吾妻火山の北側で 姥湯(水温60℃)を中心として滑川・五色などの温泉がある。 この地域の変質帯は非常に広いもので その東方の蟹が沢地区では 板谷カオリン鉱山として経済的に採掘されているほどである(富樫・藤井 1972)。 現在の地表温



第2図 栗駒北部地域 川原毛・泥湯付近変質帯分布図(地質調査所 1974b)

第3表 栗駒北部地域の変質岩のX線分析による鉱物一覧表（地質調査所 1974b）

No.	サンプル	採取地	M	K	S	V	Ch	L	m	St	Y	Q	F	Cc	G	ma	Py	T	α	β	A
KN-X-1	7309 2903	川原毛				①						③	①								
2	7309 2908					①						⑤									
3	7309 3003					⑤	②	⑦				④									
4	7309 3001											④	④								
5	7309 2901-3											②	⑥					①	①		
6	7310 0106											④									⑦
7	7310 0107					⑤						④									⑤
8	7310 3001	f										④									
9	7310 3002	m	①		①	③						④	④								
10	7311 0601	p				②	③					④	②	①							
11	4809 2903	蓬来高松	f			⑩						①					①		④		
12	7311 2904	p				③						①							④		
13	7310 1103	red													③						
14	7310 1102	marc										①					④				
15	7310 0929	limo														⑤					
16	7309 2603	秋の宮				⑧						④							④		
17	7309 2601					⑤						④	⑨				①				
18	7309 2505					④	③	①?				④	⑧				①				
19	7309 2606					⑤	③					④					①				
20	7309 2303					⑦	②					④									
21	7309 2604-3					⑦						③					②		③		
22	7309 2402					⑦						①	①				⑦		⑤		
23	7309 2202	red										①			③						
24	7309 2406-3											②								②	
25	7309 2506	白沈										④						②	④		
26	7310 3003	大湯	f.			⑦						④					①				
27	7310 1717					③		②	⑩			④	⑥								
28	7310 1719							③				④	⑥								
29	7310 1601					④						④	③								
30	7310 1602					⑤						④									
31	7310 1724					⑤			⑨			④									
32	7310 1722					②	④					④	⑧	②			①				
33	7310 1609					③?		①?				④	⑩								
34	7310 1608	m	①					③				④	⑧	①				①			
35	7310 1612	p	④					⑦				④	⑧								
36	7310 1828	小安				⑤	①	⑥				④						①			
37	7310 0803					④	⑨					④						①			
38	7310 0805					⑤		⑧				④						①			
39	7310 0806							⑩				④	⑩								
40	7310 0807					③						③	⑥						①		
41	7310 0809	滝向				④						④	⑤								
42	7310 0808-1										⑦	④	⑥								
43	7310 0808-3					①					⑧	④	⑩								
44	7310 0801	桂沢										④	④								
45	7310 1604	蝸牛	limo									④			②						

f	………強変質	
m	………中変質	③………数字は同定されたピーク数
p	………原岩～弱変質	
red	………赤土	
marc	………白鉄鉱	
limo	………褐鉄鉱	

M	……montmorillonite	L	……laumontite	G	……goethite
K	……kaolin	m	……mordenite	ma	……marcasite
		S	……stilbite	Py	……pyrite
		Y	……yugawaralite	T	……tridymite
S	……sericite	Q	……quartz	α	……α-cristobalite
V	……vermiculite	F	……feldspar	β	……β-cristobalite
Ch	……chlorite	Cc	……calcite	A	……alunite

度はそれほど高くはないけれども 広大な変質帯の存在からみて 松川と同様な潜頭性地熱鉱床の存在も考えられる所であるので この点 変質帯の古さを明らかにすることが主目的の一つとなった。このため この地域よりももっと古い生成の可能性のある西方約7km の西吾妻硫黄鉱山付近もあわせて調査することとなった。後者の地域における熱徴候の最大のもは白布高湯温泉の61.7℃である。

この地域の第四系は最下に石英安山岩溶結凝灰岩（フィッシュントラック法による年代測定は現在実施中である）があり 上位に吾妻火山噴出物がのり 吾妻火山噴出物は 中位の層準に湖沼堆積物を伴う泥流堆積物（C-14年代は25,000年ないし29,000年）をばさんでおり これによって上下に2大分される。

変質作用は蟹が沢 西吾妻鉱山両地域とも泥流堆積物の堆積前に終了したようでカオリン 明ばん石 パイロフィライトなどからなる広大な変質帯を未変質の泥流堆積物が不整合におおっている。しかし一部では 泥流流出後も変質が続いたらしく 西吾妻鉱山地区の愛の沢では 18,470年の湖沼堆積物が変質をこうむっている。また泥流堆積後には鉄泉の活動があり 各所に褐鉄鉱層が生成している。その1つ蟹が沢のものである褐鉄鉱層の直上に整合に重なるシルト岩の年代が11,650年を示した。姥湯温泉では現在も硫黄褐鉄鉱を沈積しつつある。要するに25,000年ないし29,000年頃以前のある時期に それまで噴気性地熱地帯であったものが 潜頭性地熱地帯に変わり 現在に至っているとみることが出来る。

第4表 吾妻北部地域の変質岩のX線分析による鉱物一覧表

採取地	試料番号	鉱物組成																			
		Kf	Pl	Px	Q	Op	Cr	Tr	A	P	K	D	N	M	S	Ch	Py	Dp	Gt	Gy	Cc
天元台	AN730920-18	◎			◎						×?			△	○	×?					
"	" -19	△			◎						×?			×	○	×?					
"	AN730921-03	△			◎									◎	△	×?					
"	" -04	○	○		◎									△	△						
"	" -05	○	○		◎						×?			△	△						
旧西吾妻鉱山・愛の沢	AN730922-08	○			○		○	○			△					×?					
"	" -09	△			○		△	△			◎										
"	" -15-1		○	△	◎		○	△			×								△		
"	" -15-2				◎		○	△	△										△		
"	" -15-3				◎	○	○	○											△		
"	" -15-4				○	○	◎	△											△	×	
"	AN730923-09				○		○	△	△					◎							
"	" -10				○		◎	△	△												
旧西吾妻鉱山・火の沢	AN731027-06				◎	○	◎	△	×												
"	" -07		×?		○		◎	△						△							
新高湯温泉々源	AN730923-57	△			◎									△	×	○	△				
大平温泉々源	AN730927-20		○		◎										×	△	△				
"	" -27	△			◎						×?			◎	×	×?	△				
旧滑川鉱山第1鉱体	AN731012-11				◎																
"	" -12				◎											×?	○				
"	" -13				◎					◎											
"	" -14	△	△		◎									◎							
同 第2鉱体	AN731011-15				×?		○														◎
"	" -16		◎	△																	
"	" -17		◎	○	△																
"	" -B	△			○		◎														△
"	" -C	△			×		◎														△
姥 湯	AN731016-06	○	△		◎																
"	" -09				◎				○												
"	" -10				◎				○												
"	" -36		○		◎						×?			○		×?	×				
"	AN731017-06				◎				○	○											
"	" -12				◎				○	○											
"	" -13				◎				○	○											
"	" -15				◎				○	○											
"	" -16				◎				◎	◎											
"	" -00				◎				◎	◎											△
"	" -23				◎						△										×
"	" -27		○		◎						×					×					
"	AN731025-09				◎				○	○											△
"	" -10				◎				○	○											
入道沢	AN731016-61				◎					×											
赤滝沢	AN731017-56		○		◎											△					
旧赤滝山	AN731019-12		×		×		○	○						◎							×
潜滝沢	" -58				△					◎											
蟹ヶ沢	AN731020-14				◎																
"	" -71				◎		○							◎							×
生ヶ沢	AN731021-69				◎							◎	○								△
板谷山第1鉱体	AN731029-06	△			◎									◎							
"	" -15				△									◎							×
蟹ヶ沢	AN731030-10				◎						○	△									○
"	" -13	×			◎																○
"	AN731031-06				◎					○				◎							

おおよその量比：◎非常に多い ○多い △少ない ×非常に少ない ×? 存在の可能性はあるが未確認

鉱物の略号：Kf カリ長石 Pl 斜長石 Px 輝石 Q 石英 Op オパール Cr α-クリストバライト Tr α-トリディマイト
 A 明ばん石 P バイロフィライト K カオリナイト D デイッカイト N ナクライト M モンモロロナイト
 S セリサイト Ch 緑泥石 Py 黄鉄鉱 Dp ダイアスポア Gt 針鉄鉱 Gy 石膏 Cc 方解石

変質岩のX線分析結果は第4表の通りである。変質鉱物の組成は原岩の性質にも影響されており先第三系の花崗閃緑岩や第三系の酸性凝灰質岩を原岩とする場合は石英・セリサイト・カオリナイトの組合せが一般的で吾妻火山噴出物を原岩とする場合は石英・明ばん石・カオリナイト(またはパイロフィライト)の組合せがみられる(富樫・山田 1975)。

本地域の変質帯はほぼ東西方向に広大な分布を示すのであるがこれは変質帯の北部のみで南部は吾妻火山の噴出物に不整合におおわれてその全ぼうは明らかでない。南方約4kmには有史以後の活動記録のある一切経の噴気地があるのでその地域まで変質帯が連続している可能性がある。

4.6. 伊豆南部地域変質帯調査(地質調査所 1975d)

この地域に変質帯が多数分布することは以前から知られており(沢村ほか 1970)一方下賀茂・峯・河津などの90℃以上の高温泉も存在するのであるがこの両者の関係はよくわかっていない。変質帯には金鉱脈を伴うことがありこれらは蓮台寺鉱山・繩地鉱山などの名で古くから稼行されており金の鉱化作用と変質帯とが密接な関係にあることは疑う余地はないが温泉との関係となると蓮台寺鉱山の坑内の鉱脈から約50℃の温泉の湧出がみられるのみでほかの変質帯ではこれといった熱徴候は見当たらないのである。さりとて第四紀の火山が分布しているわけでもないので熱源を第三紀の火成活動に求めようとする考えもでてくる。その代表的な考えが杉山(1972)である。伊豆の場合は“第三系”といってもその上部に関する限り時代を指示する確実なデータは何もないのでありしたがって金の鉱化作用を第三紀と断定することもできないのである。このような観点から変質帯生成の年代決定にいくらかでも貢献するようなデータを得ることが目的の一つとなった。

調査の結果第5表のような25の変質帯が識別された。その面積は蓮台寺鉱山付近や繩地鉱山付近の大きいもので0.7km²程度小さいものは0.1km²程度のもので通算総面積は約3.5km²となった。これらの変質帯のうち地熱を伴うものは南伊豆のD 蓮台寺のA B-3および河津のCの4か所である。南伊豆のDでは500m試錐の深度260mの所から52℃・60ℓ/minの揚湯が可能といわれる。蓮台寺のAは600mの試錐から65℃ 250ℓ/min 産出している。蓮台寺のB-3は前述の旧蓮台寺鉱山の坑内温泉で現在約50℃の温泉を約900ℓ/min揚湯している。河津のCの場合はその変質帯の伸びの方向の延長部に谷津の沸とう泉群が分布している。

第5表 伊豆南部地域における変質帯一覧表

地区名	変質帯記号	面積(km ²)	X線分析による鉱成構物									
			Q	Cr	Sr	K	Py	M	Pt	F	Ca	
南伊豆	A	0.036										
	B	0.232	◎		○	○		○			○	○
	C	0.055	◎		○	○					○	○
	D	0.16	◎		○						○	○
	E	0.044	○								○	○
	F	0.294	◎		○			○			○	○
	G	0.068	◎		○						○	○
蓮台寺	A	0.055	◎	○		○				○		
	B-1	0.061	◎		○					○		○
	B-2	0.04										
	B-3	0.708	◎		◎					○	○	
	B-3の北	0.017	○		○						○	○
B-4	0.019	◎		○					○	○		
河津	A	0.004	○		○							
	B	0.003	○		○							
	C	0.521	◎		○	○					○	
	D	0.032										
	E	0.014										
	E'	0.016										
	F	0.004										
	G	0.742	○									○
	H	0.023	○		○							○
	I	0.011	○									○
	J											
K	0.32	◎		○		○						
計		3.479										

Q:石英 Cr:αクリストバライト Sr:セリサイト K:カオリン Py:パイロフィライト F:長石 Ca:方解石 2重丸は多量を示す(地質調査所 1974d)

調査地には第四系の分布はきわめてまれであるのでそれと変質帯との前後関係を定めることはむずかしいのであるが河津筏場の西方天川の温泉地すべり堆積物のC-14年代値として2,390年および2,140年の値を得たにとどまった。いわゆる第三系の時代に関してはとりあえず当地域で最も新期の白浜西方の高根山石英安山岩のフィッシュトラック年代を測定する予定である。

X線分析の結果は第6表の通りで石英・セリサイトおよび長石を主成分とするもので深部の変質を示唆している。比較的浅所の生成を示すようなα-クリストバライトやモンモリロナイトは南伊豆のB F 蓮台寺のAにみられるだけである。

伊豆南部地区の下賀茂 峯 河津などの地熱地帯はいずれもアルカリ性の食塩泉で特徴づけられ溶脱による白色変質帯は生じにくいからその地区に顕著な変質帯が分布しないことは十分理解できるのであるが食塩泉型の地熱地帯に随伴する硫酸塩泉型の地熱の探索と相まって本地区の変質帯はなお研究の余地を残しているものといえよう。

第6表 伊豆南部地域の変質岩のX線分析による鉱物一覧表(地質調査所 1974d)

試料番号	鉱物組成										
	Q	F	Pl	α -Cri	Cal	Ser	Kaoline	Mont	Py	Dias	Pyrophy
73N 0702	◎	○				•					
" 0802							◎				
" 0803	◎	•				○					
" 0805	◎	○				•					
" 0806	◎	•				•					
" 0901	◎	○				•					
" 0902	◎	•				•					
" 0903	◎	•				•					
" 1101	◎					•					
" 1102	◎					○					
" 1103	◎			•		○					
" 1104	◎	○				•					
" 1301	◎	○				•					
" 1401	◎	•				•					
" 1402	◎	•				•					
" 1403	◎					•		○*			
" 1404	◎	•				•					
" 1405	◎			•		○					
" 1406	◎					•		○			
" 1601	◎					○			•		
" 1602	○		•			•			○		
" 1603	◎		○			•?					
" 1604	◎					○					
" 1704	◎	○				•		•?	○		
" 1706	○	○				•					
" 1801	○	•				○					
" 1802	◎					•			○		
" 1951	•			•		•			○		
" 1952			•	○		•			○		
" 2001	◎			•		•			◎	○	
" 2051				○		•					
" 2052	◎					•					
" 2101	◎					•				•?	
" 2102	◎					○					
" 2103	◎					○					
" 2104	◎		•			•					
" 2201	◎					•					
" 2202	◎					○					
" 2203	◎					○					

試料番号	鉱物組成										
	Q	F	Pl	α -Cri	Cal	Ser	Kaoline	Mont	Py	Dias	Pyrophy
73N2301	◎	○									
" 2302	◎			•?				◎	•		
" 2303	◎							◎			
" 2304	◎							◎			
" 2351	◎					•					
" 2352	◎	•				•					
" 2353	◎		•			•					
" 2354	◎					•					
" 2355	◎					○					
" 2356	◎					○					
" 2401		○									
" 2402	◎	○									
73N2902	◎									•?	○
" 2903	◎					○					
" 2907	◎									•?	○
" 2908	◎					○					
" 2910	◎					○					
" 3003	◎					○					
73N2251	◎					○					
" 2501	◎					○					
" 2503	◎					○					
" 2504	◎					○					
" 2901			○								
" 2906	◎					○				○	○
" 2911	◎					○				•	○
" 3001	◎			○							
" 3002	◎					○					
73D0206	◎	○				•					
" 0205	◎	•						◎			
" 0203	○	○				•?		•			

◎…多 ○…中 •…少

※(No 1403)はモンモリロナイト・セリサイト不規則混合層鉱物

Q : 石英 α -Cri : クリスタバライト Pyrophy : バイロフィライト
 F : 長石 Ser : 絹雲母
 Pl : 斜長石 Kaoline : カオリン鉱物
 Cal : 方解石 Mont : モンモリロナイト
 Py : 黄鉄鉱 Dias : ダイアスポア

4.7. 薩南地域変質帯調査(地質調査所 1974e)

この地域は九州における4大カルデラの1つである阿多カルデラの内側にある。カルデラの中はカルデラ陥没後の火山噴出物で埋められているのでこの中の変質帯を作った地熱活動はカルデラ陥没時期より古くなることはあり得ない。阿多カルデラは24,500年前の噴出による阿多火砕流直後に生成したと考えられているのでいずれにしてもこの地域の変質帯は比較的新しいものといえる。この「24,500年以降」という時間帯を今回の調査によってさらにどれ位縮められるかが調査の一つのポイントであった。

調査の結果 変質帯の母岩はいずれもカルデラ後の

中央円頂丘の溶岩であることがわかったのでこれらの溶岩5コについてフィッシュトラック年代測定を実施中である。一方 変質帯の上位は未変質の池田火砕流によって不整合におおわれることが多いのでおもな変質時期は池田火砕流(その年代は4,640年)以前といえる。池田火砕流以後の変質帯はたとえあっても非常に小規模のものである。山川粘土および大山粘土鉱床付近 鰻池周辺 松が窪・池底 鷲尾岳西南方 竹山南部などは池田火砕流以前に完全に変質が完了している。山川粘土鉱床地域では変質帯の上に腐蝕土を介して二次

シラス〔鹿兒島湾北部の始良カルデラから噴出した入戸火砕流（16,350年頃）の二次堆積したもの〕がおおっているが この腐蝕土層のC-14年代は8,280年であるので 変質はこれよりも古いことになる。鰻池周辺の変質帯の上には変質礫を含む湖成層がのっているが これのC-14年代は1,190年であった。

指宿粘土鉱床や指宿市の宮～南迫田の噴気帯では池田火砕流にも若干の変質を与えているし 権現 南迫田および鰻池の噴気帯ではさらに若い開開岳スコリアにもわずかな変質を与えている。

変質帯は大きく分けて指宿西方 松が窪・池底 鰻池周辺 鷲尾岳周辺および伏目周辺の5地域に分けられる。指宿西方は指宿市街地の西方の丘陵地にNW—SE方向に延長約3km 幅0.5～1kmの規模で発達するもので 権現 指宿粘土 上玉利 南迫田などの噴気帯を伴っている。松が窪・池底変質帯は 池田湖と鰻池の中間にある松が窪および池底の両火口の所に分布するもので やりNW—SE方向の伸びをもっており 延長方向約2km 幅は0.5～1kmのものである。鰻池変質帯は鰻池の湖岸に沿ってみられるもので 分布範囲は湖岸から0.1～0.6kmの奥行で発達している。池の東側には噴気地帯が存在する。鷲尾岳周辺の変質帯は鰻池西方の池田湖との中間山地に分布するもので この地域では最も広い面積を占めており おおよそ2.5×1.5kmのひろがりがある。前述の鰻池変質帯とは隣接しており 実際につながっているものようである。伏目周辺の変質帯は山川港の西方の台地に存在すると予想されるものであるが この地区は開開岳のスコリア層が厚く堆積しているので 実際は大山駅近傍と竹山周辺とに小規模の露出がみられるだけで 変質帯の全容はわかっていない。

変質帯はいずれも中心部にクリストパライト帯があり それから周辺に向かってカオリン帯およびモンモリロナイト帯があり未変質帯へ移行する。構成鉱物は第7表の通りである。

4.8. 5地域の変質帯調査結果の中間的まとめ

以上 昭和48年度の駒が岳北部 栗駒北部 吾妻北部 伊豆南部および薩南の5地域の変質帯調査結果の概略を述べた。データはまだ完全に出つくしたわけではないが今の段階で 当初の目標がどの程度達成されたかをふりかえってみる。

まず第1に5地域いずれにも顕著な変質帯が発達しており 変質帯の中心部または周辺には熱徴候が分布している。面積的にみると 駒が岳北部約0.7km² 栗駒

北部約8.2km² 吾妻北部約13km² 以上 伊豆南部約3.5km² 薩南約7.2km² の変質帯が存在している。従来のデータ（角 1970）によると 松川の4.6km²・鬼首の2.6km² 霧島の2.0km²を除けば ほとんど1km²以下のものであり これに比べて今回の結果は大体において1けた大きい面積を示している。

次に変質帯がいずれも顕著な方向性をもつパターンを示していること これは明らかに地熱流体の通路となった割れ目の方向を示しているのであろう。地熱徴候地周辺の変質帯のみをプロットして 結果的には地熱徴候分布図と同じ意味しかもたなかった従来の変質帯分布図から質的に1歩前進したと評価できよう。

変質帯の生成年代からみると 今のところ駒が岳北部で11,000年以前 吾妻北部で25,000年ないし29,000年以前 薩南で25,000年以降 8,000年以前などの古い変質作用（噴気活動）の存在が明らかになった。これらのデータはこれまでの玉川（角・高島 1972）や岳の湯（高島 1974）のデータと比較しても興味ある所で 現在の地熱活動を最終氷期の活動の延長としてとらえる考えが益々強まって来るように思える。今後フィッシュトラックの測年結果がでて来次第 この問題はずっと正確さを増して来るであろう。

変質帯の構成鉱物を見ると 中心部に石英・ α -クリストパライトなどを主とする珪酸鉱物が集中し 周辺部に向かってカオリン・モンモリロナイトの粘土鉱物が帯状に配列している。珪酸鉱物帯には明ばん石 まれにパイロフィライトが伴われる。高温生成鉱物として地質学的温度計に利用されるパイロフィライトは栗駒北部 吾妻北部 伊豆南部および薩南で検出された。伊豆南部の場合はその生成が第三紀の疑いがあるので問題としても 他の3地域は明らかに第四紀の地熱活動の産物である。このような産状のパイロフィライトは世界でも松川で最初に報告され（Sumi, 1968） 続いて大岳でも記載され（林・山崎 1969）たが その後の報告はなく日本の地熱地帯の特徴的な事柄として注目されているのであるが 今回の調査結果からみると 日本ではむしろふつうの現象のように思えるのである。いずれにしてもパイロフィライトは高温生成物であるので 今後の日本の地熱探査の有効な指標の一つとなりそうである。

5. 空中赤外線調査

航空機を利用して地熱地帯の熱赤外線映像をとり これを地熱の探査に利用する手法については 地質調査所において近年 主として群馬県の草津万座地域で実施してきた（Hase, 1974）。元来空中熱赤外線調査は水面の温度分布などの検知には最も効果があり 熱汚染調査

第7表 薩南地域 X 線分析結果一覧表 (地質調査所 1974e)

採取試料 №	採取地点 №	加水ハロイサイト	ハロイサイト	長石	石英	モンモリロナイト	カオリナイト	アルナイト	クリストバライト	トリデイマイト	パイサイト	採取試料 №	採取地点 №	加水ハロイサイト	ハロイサイト	長石	石英	モンモリロナイト	カオリナイト	アルナイト	クリストバライト	トリデイマイト	パイサイト	ゲーサイト
ST7311 0701	2			•	○◎				○			ST7311 1804	44			◎○		○						•
# 0702	#			○		○			○	•		# 1807	47					○	○	•	○	○		
# 0905	16	○	○	•		◎						# 1402	54			○		◎	○					
# 0906	#			○		◎						# 1502	57			•	•	○	◎					
# 0907	#			•	•	◎			○			# 1503	#					○	◎		○			
# 1002	18			•				○	○	◎	○	# 1505	59					◎	○					○
# 1003	#							○	○	◎	○	# 1506	#					◎	○					
# 1004	19							○	◎	○		# 1601	65						○	○	◎			
# 1005	20							○	○	◎	○	# 1604	67						○	○	◎			
# 1006	20 ~21							○	○	◎	○	# 1605	68						○	○	◎			
# 1007	21			•				○	○	◎		# 1606	#						○	○	◎			
# 1009	23								○			# 1607	#						○	◎				
# 1010	24							○	◎	○		# 1701	75						◎	◎				
# 1011	26	◎		•				•				# 1702	#						◎	◎				
# 1101	27			•		○		•	○	○		# 1705	76			•			○	◎				
# 1108	30				○		○	○	○			# 1901	90			•	○	◎		•				
# 1104	#				○			◎	○			# 1902	#			○	○	◎	○	○	○	•		
# 1206	36			○		○	○	○	◎			# 1903	#			•	•	◎		•	•			
# 1208	38			○		○	○	◎	○			# 2001	92			○		○	○	○				
# 1209	39			○			○	◎	○			# 2002	95					◎	○	○				
# 1210	40			•	•	○	◎					# 2201	100			•		○	◎	○				
# 1802	43					○	○	○				# 2202	#			•		◎	○					
# 1808	#				○		○	○	○			# 2208	#			•		◎	○					○
ST7311 2204	101						○	◎				ST7311 2803	144			○		○	○	◎	○			
# 2205	#			•		◎	○					# 3001	161			•		◎	•					
# 2207	101 102			•		◎	•					# 3002	#			○		◎						
# 2209	102			•		◎	•	○				ST7312 0201	#					◎						
# 2304	#					○	○	○				# 0204	#			•		◎						
# 2407	115			○		◎						# 0205	#					○	○	◎	○			
# 2701	124					◎	○	◎				# 0401	185			•	○	◎						
# 2702	125					○	◎					# 0701	214					○		◎	○			
# 2704	128					◎	•					# 0703	221						◎	○				
# 2706	132			○		◎	•					# 0704	224						◎	○				
# 2707	134			•		◎	◎	○				# 0901	241					○	○	◎				

◎…多量 ○…中量 ◯…少量 •…微量

ST73111009 には 多量の非晶質珪酸が含まれる

などには大きな威力を発揮する。また陸上でもエチオピアの地溝帯におけるような未開で平坦で乾燥して砂漠ないし草原のような地域の地熱探査では非常に良好な結果を取っている。しかしわが国のように地形急峻で湿潤で植生が厚くかつ人間活動の盛んな地域では映像の解読に多くの障害を伴う。地質調査所での研究(長谷 1971 長谷・西村 1973)の結果地熱異常以外に映像に濃淡の生じる原因として次の6つが著しいことがわかった(もちろん人間活動に伴うものは除いてある)。

- ① 植生のちがいによる植生表面の放射率 結露度のちがい
- ② 地形の向き・傾斜などのちがいによる太陽エネルギーの差別照射
- ③ 谷底・凹地への夜間冷却された大気の滞留
- ④ 岩質による含水率の差
- ⑤ 標高差による気温変化
- ⑥ 逆転層の存在

陸上でも湖沼・河川等の陸水面の存在下においては海水面調査と同様に大きい効果がありとくに河川中の地熱徴候の探知に有効でもちろん海岸湧泉の探知にもこの方法はすぐれている。

これらの研究結果から一定の調査基準を作成し(長谷 1974) 全国地熱基礎調査30地域のうちからいくつかの地域について実施することとなり昭和48年度は薩南地域が選ばれた。

以下にこの調査の概要（地質調査所 1974e）について述べることにする。

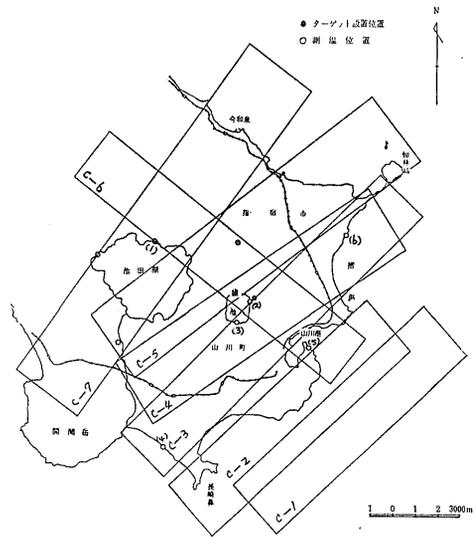
調査は まず昭和48年6月18—21日の現地の予察から始められ 撮像飛行コース 地上標点設置場所 撮像と同時の現地測温か所の選定などが行なわれた。撮像飛行は10月16日の日の出前に中日本航空機によって行なわれ 同時に地上標点の設置および現地測温作業も行なわれた。この撮像調査によって映像表示された高温体が地熱異常によるかどうかの確認調査は昭和49年2月25日～3月2日に行なわれた。

撮像作業は 10月16日午前5時50分から48分間行なわれた。飛行高度は1,100 m 機種はセスナ207 機上搭載機器は走査装置 THP-1 改造機 (AGA 社) および放射温度計 PRT-5 (BARNES 社) であった。

撮像コースは地域をNE—SW方に6コース これと直交する方向に1コース 計7コースで 面積はのべ約300 km² である (第3図)。

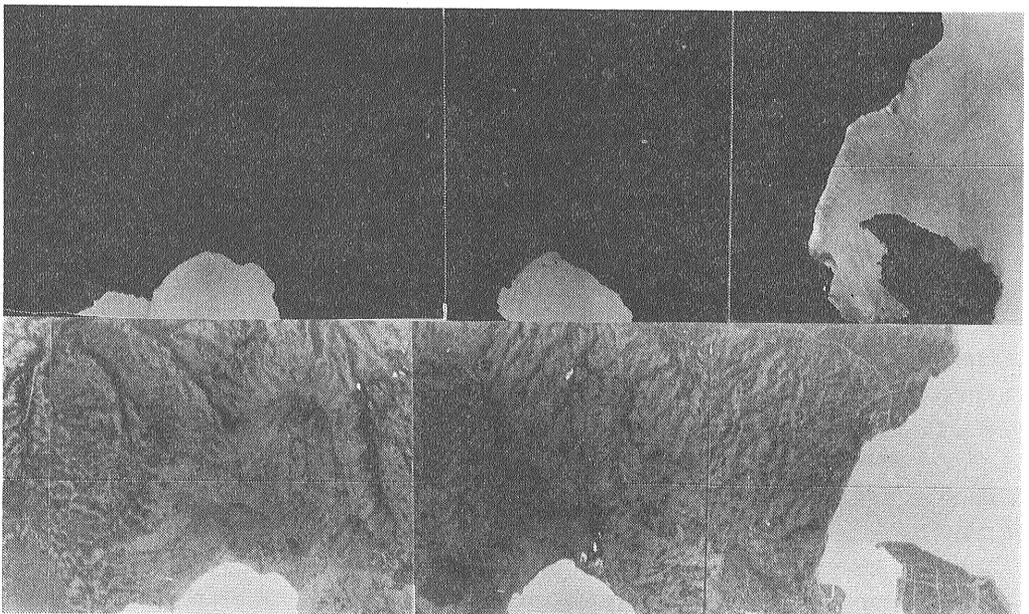
撮像時の信号はまず磁気テープに記録され これをゆがみ補正 減衰補正 信号レベル補正などの諸補正を行ない映像表示を行なうのであるが 今回は判読の行ない易い水温 (21.5℃) および地温 (13.5℃) の2つの温度レベルがそれぞれ中間濃度になるように映像表示を行なった。これらの映像の1例を第4図に示す。

映像に現われたスポット状の高温部に注目して 明らかに人工的なもの (工場など市街地にみられるもの) を



第3図 薩南地域空中赤外線調査撮像コース図 (地質調査所 1974e)

除いて地熱異常の可能性のある高温スポットをプロットした。温泉のように河川を流下するものは高温上流部を湧泉源と想定してプロットし、現地確認調査のベースマップを作成した。この結果プロットされたおもな地熱異常地は合計17か所に達し、これを現地調査を行なって、これらがすべて地熱異常地であることを確認した。当地域は古くから温泉地として著名な所であり、空中赤外線調査によって未知の異常地を発見することはもともと可能性の少ない所であるが、それにもかかわらず弥次



第4図 薩南地域空中熱赤外映像：コース6 (地質調査所 1974e)

が湯東方 鰻池北方および南迫田北西の沢の中の構造性崩壊地形中にみられる 少なくとも3か所の地熱異常地は 地元でも限定された人々しか知られていないもので映像の助けなしに現場に到達することは非常に困難な場所であった。

6. 地 化 学 調 査

6.1. 調 査 の 目 的

地熱の調査の最も初期に 地熱地域およびその周辺地域の陸水・ガスの化学分析を行ない これを探索・評価に利用することは今日世界的な常識であり 前述のWHITE (1970) はこのような地球化学的手法の各項目についてその評価を行なっている。一方探索面からだけでなく地熱流体の化学的性質は利用面 たえば材料問題・環境問題にも大いに関係があるのであって 調査の初期にはぜひ明らかにしておかねばならない。

今回全国地熱基礎調査の実施にあたり 未調査地熱地帯を中心とする本格的地化学調査は 上述の点からも必ず実施すべき項目に該当するのであるが 現実にはいくつかの問題点があるので 本格的調査は次の機会をまつこととし 今回はそれへの準備段階としてデータ収集調査を実施することとなったのである。

わが国の地熱地帯における地化学調査は 昭和20年代以降 大学を中心とする研究的調査を除けば 主として地質調査所が実施して来ており 近年は地熱の探索・開発を行なう企業者が独自で実施するようになって来ている。しかしこれらは決して十分なものとはいいたいが。

一方わが国には「温泉」という療養・厚生資源がありこれについては温泉法(昭和23年7月)があってこれに基づいて温泉分析法の標準化がなされ 衛生検査指針VI 鉱泉分析法(厚生省 1957)によって全国的な分析が実施され ぼう大なデータが出されている。しかしこの温泉サイドの分析調査の問題点は 温泉行政およびこれに伴う調査研究が 昭和24年以降各都道府県に委譲され 国立の中央研究機関がないことである。このため調査研究も各自治体毎に進捗度に遅速があり とくに出版面ではなほだしく すべてのデータがまったく未出版の県もあるのである。戦前 東京衛生試験所などが温泉分析を所管していた当時は 全国のデータの編集が行なわれ さらにこれを利用した統計学的研究(西村 1955 UZUMASA 1965)なども生まれたのである。

さらに地質調査所においては工業用の地下水資源や天然ガス鉱床に伴う水の地球化学的研究を 永年続けて来ている。これらの陸水とくに地下の水の研究には互に共通面が多いし まして地熱と温泉との関係となると

これは利用方法の相違だけで対象はまったく同一のものである。各々の利用サイドの問題点を整理して 最も効果的な地熱の地化学調査法を確立するため 研究グループを作ることは現下の急務といえるのである。

現在 蓄積されたデータ数は温泉サイドのものが最も多い。しかもこれのデータ処理はもっぱら療養効果の判定の面から行なわれているので これを探索・熱利用・環境の面から再処理する必要がある。

以上のような現状にかんがみ 今回の全国地熱基礎調査においては 全国的データ収集とこれのデータ処理こそが 次の新しい段階への飛躍のための緊要な仕事と判断されたのである。

6.2. 調 査 の 内 容

本調査の手順はまず①文献調査によって 調査地域の既出版文献をしらべ概況をつかみ 続いて②地方自治体(都道府県)の未公表資料収集を行なう。これは前節にのべた温泉行政に基づくデータで 昭和24年の温泉法施行以後の依頼分析の結果である。次に公表・未公表の両データをあわせて ③データ一覧表を作成する。一方これらの分析試料について ④サンプリング位置図を 県・保健所・役場・既存文献等の調査によって作成する。以上の作業の後 最後に⑤データ処理を行なうことと定められた。

データ処理のプログラムは上にも述べたように 全国的な研究者のコンセンサスに基づくものではないが 地質調査所での暫定措置を定め これによって作成することとした。これは上にもたびたび引用した WHITE (1970) の処理法であって WHITE が提唱している地熱評価のための パラメーター つまり SiO_2 Na/K $\text{Ca/HCO}_3 + \text{CO}_2$ Mg/Ca Na/Ca $\text{Cl/HCO}_3 + \text{CO}_2$ および Cl/F の7 パラメーターの抽出が1つ いま1つは従来水質表示に最も広く用いられている $\text{Cl} : \text{SO}_4 : \text{HCO}_3 + \text{CO}_2$ の比 $\text{Na} + \text{K} : \text{Ca} : \text{Mg}$ の比 $\text{Cl} + \text{SO}_4 : \text{HCO}_3 + \text{CO}_2$ の比および $\text{Na} + \text{K} : \text{Ca} + \text{Mg}$ の比を算出してこれを三角図表および菱形図表に現わす作業 この2つである。温泉のデータは療養泉分類に適用するように分析結果の表示に独特の手法(厚生省 1957)が適用されている。その最も著しいものは 地熱関係の調査では SiO_2 と表示されるものが 温泉分析表では SiO_2 SiO HSiO_3 および H_2SiO_3 の4種の化合物のうちのいずれか あるいはいくつかの組合せで表示されるようなシステムである。これら 温泉データの入力値はすべて地熱方式の出力値を得るようにプログラムを組んだのである。このような例を以下に示す。

第8表 駒ヶ岳北部地域水質分析試料一覧表(地質調査所 1974a)

№	産地	温泉名	源泉名	採水年月日	文献№	文献のデータ№	備考
NGC 1	北海道茅部郡森町字濁川231	濁川温泉	滝の湯	1955.11.14	(1)	399	d=70m Q=200ℓ/分 F ○
NGC 2	北海道茅部郡森町字濁川196	濁川温泉	五色の湯	1955.11.14	"	405	d=80m Q=13ℓ/分 F ○
NGC 3	北海道茅部郡森町字濁川75	濁川温泉	第一温泉旅館	1955.11.14	"	400	d=70m Q=300ℓ/分 F ○
NGC 4	北海道山越郡八雲町字鉛川618	鉛川温泉		1958.5.16	"	534	Q=10ℓ/分 ×
NGC 5	北海道山越郡八雲町浜松146			1960.5.	"	652	d=350m Q=95ℓ/分 F ×
NGC 6	北海道山越郡八雲町字犬主16の2			1961.10.11	"	36-1462	d=29m Q=100ℓ/分 F ×
NGC 7	北海道茅部郡森町字濁川91の2	濁川温泉	(皆口正次郎)	1962.11.21	"	37-3856	d=100m Q=220ℓ/分 F ×
NGC 8	北海道茅部郡森町字濁川196	濁川温泉	(中谷正作)	1964.1.14	"	38-3315	d=80m Q=10ℓ/分 F ○
NGC 9	北海道茅部郡森町字濁川231の3	濁川温泉	(中谷佐一)	1964.1.14	"	38-3316	d=77m Q=370ℓ/分 F ○
NGC10	北海道山越郡八雲町字犬主78	銀婚湯	銀婚湯	1964.7.8	"	39-1654	d=70m Q=36ℓ/分 F ×
NGC11	北海道茅部郡森町字濁川85の2	濁川温泉	体阿弥 A	1965.9.30	"	40-2143	d=0m Q=10ℓ/分 F ○
NGC12	北海道茅部郡森町字濁川85の2	濁川温泉	体阿弥 C	1965.9.30	"	40-2144	d=0m Q=10ℓ/分 F ○
NGC13	北海道茅部郡森町字濁川238	濁川温泉	(山本源太郎)	1965.9.30	"	40-2145	d=73m Q=80ℓ/分 F ○
NGC14	北海道茅部郡森町字濁川49	濁川温泉	(中田チヨ)	1965.9.30	"	40-2146	d=5m Q=6ℓ/分 F ○
NGC15	北海道茅部郡森町字濁川110の4	濁川温泉	(中谷佐一)	1965.9.30	"	40-2147	d=55m Q=34ℓ/分 F ○

成分名	入力値	出力値
燐酸	PO ₄ , HPO ₄ , H ₂ PO ₄ , H ₃ PO ₄	H ₃ PO ₄
亜ヒ酸	As ₂ O ₃ , HAsO ₂ , H ₂ AsO ₃	HAsO ₂
硫化水素	S, HS, H ₂ S	H ₂ S
ケイ酸	SiO ₂ , SiO ₃ , HSiO ₃ , H ₂ SiO ₃	SiO ₂
ホウ酸	BO ₂ , HBO ₂	HBO ₂

6.3. 調査の結果(地質調査所 1974 a b d e)

前節に述べた方法にしたがって 昭和48年度は駒ヶ岳北部 栗駒北部 伊豆南部および薩南の4地域についてそれぞれ 79 41 79 および 138こ 計 437このデータを処理し この結果を

第9表 駒ヶ岳北部地域水質分析一覧表(地質調査所 1974 a)

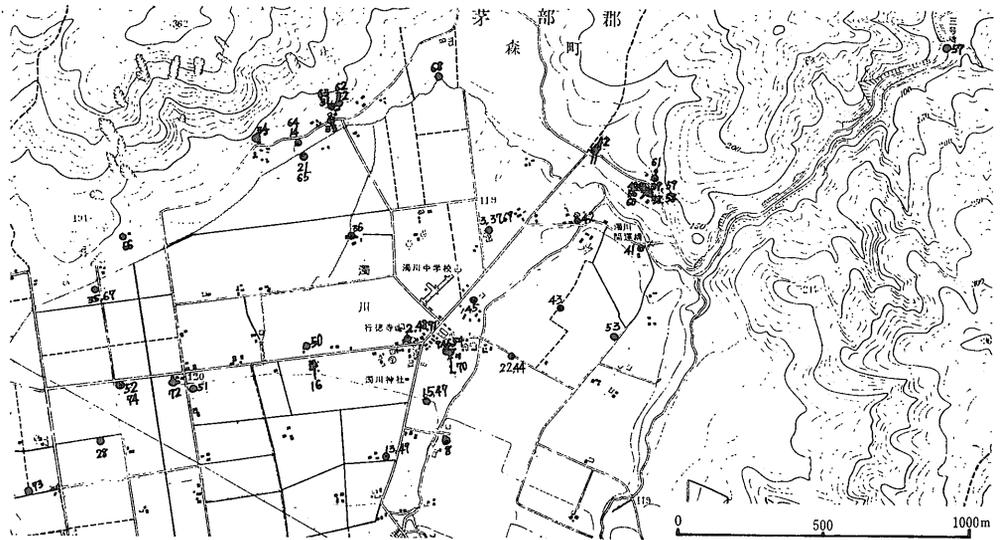
NO	NGC 6	NGC 7	NGC 8
TEMP	96.0	64.0	58.0
TSM	6728.0	2636.0	1324.0
PH(FU)	8.00	6.90	6.60
PH(LB)	-	-	-
K(MG/KG) (MVAL/KG)	120.000	3.070	61.800
NA	2050.000	89.175	770.000
NH4	-	-	-
CA	113.300	5.654	108.600
MG	40.400	3.325	43.200
CH	0.840	0.030	0.430
WH	-	-	0.015
ZN	-	-	0.007
CU	0.050	0.002	0.044
PB	-	-	0.001
AL	3.860	0.429	0.014
CL	2201.000	62.090	0.000
BR	-	-	0.000
I	-	-	0.045
F	1.050	0.055	0.007
S04	1176.000	24.484	0.080
S203	-	-	0.899
HC03	887.500	14.546	101.200
CO3	5.030	0.168	2.107
SI02(MG/KG) (MMOL/KG)	211.019	3.513	1050.000
HBO2	272.145	6.210	17.210
HAS02	-	-	949.200
CO2	-	-	15.557
H2S	0.500	0.015	1.473
NA/K	29.051	21.188	88.470
CA/HCO3+CO3	0.389	0.315	13.400
MG/CA	0.588	0.656	0.306
NA/CA	15.773	6.181	0.258
CL/HCO3+CO3	4.269	1.560	0.507
CL/F	1123.357	3641.852	0.129
CL*100/CL+S04+HC03+CO3	61.402	59.711	475.615
S04*100/CL+S04+HC03+CO3	24.213	2.001	10.184
(HC03+CO3)*100/CL+S04+HC03+CO3	14.385	38.288	10.713
(NA+K)*100/NA+K+CA+MG	91.130	79.628	79.103
CA*100/NA+K+CA+MG	3.585	12.302	33.762
MG*100/NA+K+CA+MG	3.284	8.070	52.647
(CL+S04)*100/CL+S04+HC03+CO3	85.615	61.712	13.591
(HC03+CO3)*100/CL+S04+HC03+CO3	14.385	38.288	20.897
(NA+K)*100/NA+K+CA+MG	91.130	79.628	79.103
(CA+MG)*100/NA+K+CA+MG	8.870	20.373	33.762
			66.238

- a 水質分析試料一覧表
- b 水質分析一覧表
- c 水質分析試料採取地分布図および
- d 水質組成図

にまとめた。この様式を駒ヶ岳北部を例にして示すとそれぞれ第8表 第9表 第5図および第6図の通りである。

7. おわりに

以上 全国地熱基礎調査第2グループ(地質学・地化学関係)の調査の目的・内容について 主に昭和48年度の調査結果を中心に紹介した。現段階で痛感されることは 一部に分析等でデータの取得の終了していない所もあるが それよりも 数多くのデータの処理・消化に不備がめだつことである。今回の調査のような1地域単年度の調査の場合とはかくデータの採取段階が中心となり処理段階



第5図 駒が岳北部地域水質分析試料採取地分布図(地質調査所 1974 a)

がおろそかになりがちで 本調査もその例外でないわけである。

データ処理法については短期的および長期的なさまざまなプログラムが作られねばならず われわれもいくつかのものを開発中である。最近では珪酸溶脱量からの放熱量計算法を作製したし(高島・角 1974) 空中赤外線調査では画像解析の技術を研究中であり地化学調査では本文に述べたデータ処理プログラムの追加・改定を行ないつつある。

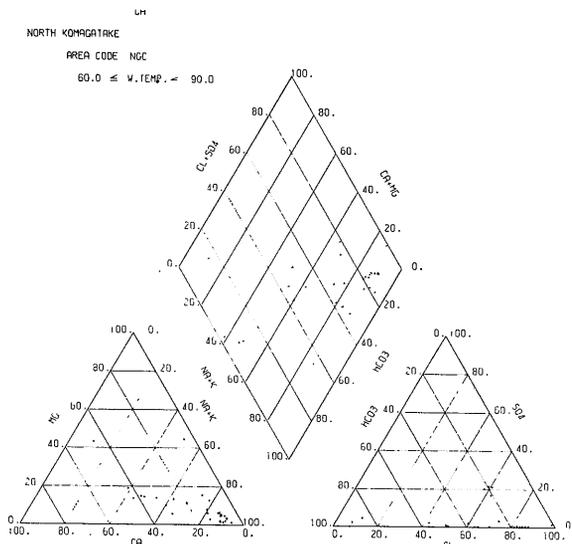
このような作業を通じて 本調査がわが国の地熱開発のための名実共に“基礎”となるデータを生むべく鋭意

努力中である。筆をおくにあたり 関係各位から引続き御指導御援助をいただくよう重ねてお願いする次第である。

(筆者は 応用地質部環境地質課長)

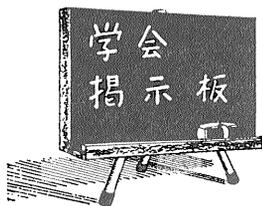
引用文献

安藤武・渡辺和衛(1957):岩手県松川温泉地熱調査報告. 地質調月 vol.8, p.579—582.
 地熱調査班(1955 a):鹿児島県霧島地熱地帯調査報告. 地質調月 vol.6, p.579—604.
 地熱調査班(1955 b):長崎県雲仙地熱地帯調査報告. 地質調月 vol.6, p.605—626.
 地質調査所(1957):日本鉱産誌 VI-a 水および地熱 207p.
 地質調査所(1974 a):全国地熱基礎調査報告書 no.1, 駒が岳北部 192p.
 地質調査所(1974 b):同上 no.2 栗駒北部 104p.
 地質調査所(1974 c):同上 no.3 吾妻北部 99p.
 地質調査所(1974 d):同上 no.4 伊豆南部 112p.
 地質調査所(1974 e):同上 no.5 薩南 203p.
 林正雄・山崎達雄(1969):九重火山群大岳地熱帯調査1号井および2号井の層序と熱水変質. 岩鉱 vol.62 p.289—298.
 長谷紘和(1971):赤外線の地学への応用について. 地質ニュース nos.198 200 204.
 長谷紘和・西村嘉四郎(1973):草津-万座地域地熱異常地域の熱赤外映像撮影結果. 写真測量 vol.12 no.3.
 長谷紘和(1974):写真地質・空中熱映像調査. 地熱調査ハンドブック 日本地熱調査会. p.185—200.
 HASE, H. (1974): Geologic Remote Sensing of the Kusatsu-Manza Geothermal Area, Central Japan. Geol. Surv. Japan, Rpt., no.252, p.1—56.
 IWAJO, S. (1962): Silica and Alunite Deposits of the Ugusu



第6図 駒が岳北部地域水質組成図(地質調査所 1974 a)
(水温60℃以上90℃未満)

- Mine; a Geochemical Consideration on an Extinct Geothermal Area in Japan. Jap. Jour. Geol. Geogr., vol. 33, p. 131—144.
- 片桐邦雄 (1969): 松川地熱包蔵量について. 地熱 no. 22, p. 13—16.
- 小林勇 (1973): 地質調査所における地熱に関する調査研究. 地熱 vol. 10, no. 2, p. 19—23.
- 厚生省 (1957): 衛生検査指針VI 鉱泉分析法指針 (改訂) 123 p. 協同医書出版社.
- McNITT, J. (1970): The Geologic Environment of Geothermal Fields as a Guide to Exploration. U. N. Symp. Development and Utilization of Geothermal Resources.
- 中島洋二・中村昭一 (1970): 松川7号井の掘さくについて. 地熱 no. 25, p. 11—21.
- 中村久由・安藤武 (1954a): 秋田県後所掛地熱地帯調査報告. 地質調月 vol. 5, p. 443—448.
- 中村久由・安藤武 (1954b): 大分県大岳地熱地帯調査報告. 地質調月 vol. 5, p. 15—22.
- 西村雅吉 (1955): 温泉の主成分についての二 三の統計的考察. 日化 vol. 76, p. 349—353.
- 杉山隆二 (1972): 伊豆の地質岩石についての問題点. 伊豆半島 東海大学出版会 p. 1—11.
- 佐藤博之 (1968): 西南北海道濁川カルデラとその噴出物について (要旨) 地質雑 vol. 74, no. 2, p. 104.
- 沢村孝之助・角清愛・小野晃司・盛谷智之 (1970): 下田地域の地質. 地域地質研究報告 地質調査所.
- SUMI, K. (1968): Hydrothermal Rock Alteration of the Matsukawa Geothermal Area, Northeast Japan. Geol. Surv. Japan, Rept. no. 225, p. 1—42.
- 角清愛 (1970): 松川地熱地帯の変質帯. 地質ニュース no. 189, p. 16—24.
- 角清愛 (1971): 松川地熱地帯の現世堆積物とその¹⁴C年代. 地質調月 vol. 22, p. 607—614.
- 角清愛・高島勲 (1972): 秋田県玉川温泉地域の第四系とその¹⁴C年代. 地質調月 vol. 23, p. 157—168.
- 角清愛 (1972): 熱史の化石としてみた地熱地帯の熱水変質. 地熱 no. 34, p. 24—39.
- 角清愛・高島勲・徳永重元 (1974): 変質帯調査. 地熱調査ハンドブック 日本地熱調査会 p. 163—183.
- 高島勲 (1974): 熊本県の湯地域の地質構造および地熱活動の年代について. 地質調月 vol. 25, p. 257—262.
- 高島勲・角清愛 (1974): 地熱変質帯の化学成分溶脱量を利用した放熱量の推定. 地熱 vol. 11 no. 3 p. 41—48.
- 富樫幸雄・山田菅三 (1975): 吾妻北部地域 (山形県) の地熱変質帯調査 (要旨). 地質調月報 vol. 26, no. 1.
- 富樫幸雄・藤井紀之 (1972): 山形県板谷カオリン鉱床の研究——第1報 第2鉱体の地質と変質作用——. 地質調月 vol. 23, p. 595—612.
- UZUMASA, Y. (1965): Chemical Investigations of Hot Springs in Japan. 189 p. Tsukiji Shokan Co.
- WHITE, D. E. (1970): Geochemistry Applied to the Discovery, Evaluation and Exploitation of Geothermal Energy Resources. U. N. Symp. Development and Utilization of Geothermal Resources.
- 山口弥一郎 (1931): 濁川盆地の開拓景. 地学雑 no. 513, p. 625—634.



電話 (03) 292—6161

・日本化学会

1. 昭和50年4月2日 (水) 12:30PM
2. 日本化学会第28回通常総会
3. 日本化学会講堂
4. 日本化学会
5. 東京都千代田区神田駿河台1—5 ☎101 日本化学会

3. 国立科学博物館 (東京都台東区上野公園 ☎ 110)
4. 日本鉱物学会
5. 福岡市東区箱崎 九州大学理学部地質学教室 広渡文利 ☎ 812 電話 (092) 641—1101

・理工学における同位元素研究発表会

1. 昭和50年6月18日 (水) ~ 20日 (金)
2. 第12回理工学における同位元素研究発表会 (発表申込締切 2月28日)
3. 機械振興会館 (東京・芝公園3—5—8)
4. 東京都文京区本駒込2—28—45 日本アイソトープ協会内 理工学における同位元素研究発表会運営委員会 ☎ 113 電話 (03) 946—7111 (代)

・日本地質学会

1. 昭和50年4月2日 (水) ~ 4日 (金)
2. 日本地質学会第82年総会並びに学術大会
3. 京都大学
4. 日本地質学会
5. 京都市左京区 京都大学理学部地質学教室内第82年総会準備委員会 電話 (075) 751—2111 内4151

・地学団体研究会

1. 昭和50年8月1日 (金) ~ 3日 (日)
2. 地学団体研究会第29総会
3. 群馬大学教養部
4. 前橋市 群馬大学教養部内地団研前橋支部総会準備委員会 ☎ 371 電話 (0272) 32—1611

・日本鉱物学会

1. 昭和50年6月10日 (火) ~ 12日 (木) 13日 (金) 巡検
2. 日本鉱物学会昭和50年度年会

[注] 1. 開催年月 2. 会合名 3. 会場 4. 主催者
5. 連絡先 (掲載順位は原稿到着順)