

鳥取温泉におけるボーリング・コアの組成 鉱物について*

渡 辺 晃 二**

要 旨

鳥取温泉の深度300mに及ぶ試錐のボーリング・コアを検討した結果、主成分鉱物として、石英、長石類（斜長石、加里長石、）と二次的生成鉱物としてモンモリロナイト、カオリナイト、イライト、緑泥石、黄鉄鉱などを認めた。このうち、イライトは堆積岩中に普遍的に存在し、更に緑泥石も全般的にしかも第三紀層で多量に認められている。モンモリロナイトは方解石と共に温泉による生成が考へられ、また、カオリナイトは表土層にのみ認める事ができる。

一方、加里長石、黄鉄鉱、緑泥石の産出状態、及びコアが示す粒度、酸化状態からして第四紀層の堆積環境が推定され、25mを境として下部は数回の陸化を含む浅い堆積層であるのに対し、上部は比較的深い、背後供給地から離れた海成層を示唆する。

目 次

要 旨	4. 第四紀層の堆積環境について
1. 緒 言	5. 温泉作用と二次生成鉱物
2. 実験方法	6. 結 語
3. 実験結果及び考察	

1. 緒 言

鳥取温泉の温度低下、揚水量の減少により新しい深所泉源を調査するための試錐が鳥取県衛生課の企画によって行なわれた。岡山大学温泉研究所では、その際地質調査並びにボーリング・コアの地質学的、岩石学的検討、水温、化学成分の変化などの一連の調査を行なったが、筆者はそのボーリング・コア（深度300m、採取試料120ヶ）を用いて、各深度における鉱物組成を調べた。鳥取温泉附近では、第四紀層が第三紀層を約50mの厚さで不

整合に覆っている。これら地質時代の異なる堆積層の粘土化の差異、温泉作用による変質、第四紀層における堆積環境の変化の推定などに実験考察の主眼点をおき、主としてX線粉末廻折法、示差熱分析法により検討を加えた。

2. 実験方法

(イ) X線粉末解析

1) 試料の調整

ボーリング・コアを風乾後細磨し、100メ

* 第15回日本温泉科学会（1962.8）に於て発表

** 岡山大学温泉研究所地質学部門助手

ツシュ以下のものを実験に供した。水篩法は粘土鉱物が選択的に多く採取されるので、定性の場合にのみ用い定量実験の場合はその使用を避けた。X線照射の際、Random powder法と強定位法では、殆んどピークの強度に変化をみいだせなかった。これは粘土鉱物の量が相対的に少なく、その粘土鉱物も結晶度の低い試料が多い事、また更に数種以上の鉱物が混入しているので、強定位法も効果がないものと思われる。従って実験は全部Random Orientation法を用いた。

2) X線装置, 使用条件

ガイガーフレックス (Geigerflex, D-3F 型理学電機製) を用い、X線粉末結晶解折法により、各含有鉱物の特定の廻折線を取りだし定量の対象とした。

実験条件

Target Cu, Filter Ni, 30Kvp, 15mA, Scale Factor 500, Multiplier 1, Time Const. 2, Slit $1^{\circ} \sim 1^{\circ} \sim 0.4\text{mm}$, Scanning Speed 1° , 1cm/min.

3) 定量法

粘土鉱物の増減をみるため、特に多量に含

まれる粘土鉱物のうち、緑泥石、イライトについては後述するような検量曲線によってこれらの量比を求めた。他の組成鉱物については、それぞれの廻折線の強度の比を仮にその相対的な量比として検討した。同定の基準とした各鉱物の面間隔は第1表に示す如くである。

また、粘土鉱物によっては異なる鉱物のピークが重複して判定しがたい場合があるため、問題となる試料については薬品処理、熱処理の後実験に供した。

a. モンモリロナイトの確認

実験試料には一般に緑泥石が多く含まれ、その一次底面反射が 14.7\AA に認められてモンモリロナイトの幅広い(001)面反射とまぎらわしい場合がある。モンモリロナイトはエチレングリコール処理により層格子間の距離に変化をきたすが、緑泥石ではその変化がない¹⁾。このような性質を利用して、特にモンモリロナイトの(001)面間隔の 15\AA から 17\AA えの変化によりその存在を確かめた。

b. イライト, 加水ハロイサイトの同定

イライトと加水ハロイサイトとは、共に一次底面反射が 10\AA 附近に認められる。しかし 120°C 加熱により、加水ハロイサイトの(001)面間隔は 10\AA から 7.3\AA に変化するが、イライトは全く変化しない²⁾。従って両者を区別するため、実験試料を恒温器中で 120°C 3時間加熱処理して、加水ハロイサイトの脱水による変化を調べた。

c. 緑泥石, カオリナイトの同定

緑泥石の(002)面反射はカオリナイトの(001)面反射に重複する。従って緑泥石の認められる試料については1:1塩酸によって

第 1 表

	鉱物名	面間隔d(A)	指数
粘土 鉱物	モンモリロナイト	15~16	(001)
	イライト	10	(001)
	加水ハロイサイト	10	(001)
	カオリナイト	7	(001)
	緑泥石	7	(002)
造岩 鉱物	石英	4.27	(100)
	斜長石	3.18~3.22	(040)
	加里長石	3.24~3.27	(002) (040)
	方解石	3.03	(104)
	黄鉄鉱	1.63	(311)

1時間湯浴上で加熱処理し、その残査についてX線粉末解析を行なった。緑泥石は塩酸により溶解、ゲル状に変化し、X線廻折線は消滅するので、この性質を利用してカオリナイトと区別した¹⁾。

(ロ) 緑泥石及びイライトの相対量測定

緑泥石及びイライトは殆んど全試料に認められるので、この両鉱物を特に多く含有する深度79~80mのコアを標準として、その他の試料について相対的含有量を求めた。即ちX線的に緑泥石、イライトを全く含まないと認められる花崗岩の粉末を前記の試料と各種の割合で混合して、第1図の如き検量線を作製し、他の試料に対してのおおよその量比とした。尚、特に花崗岩の粉末を用いたのは、実験試料中の粘土鉱物以外の組成鉱物が花崗岩の組成鉱物に類似していることによるものである。この結果、緑泥石、イライトはともに100メッシュ以下の粉末では、含有量の低下でバックグラウンドと廻折線の見わけのつかぬ状態になる以外は、大体検量出来るものと判断した。尚、ピークの面積によって考えた

場合でも、高さのみの比較の場合と殆んど変わらないので、ピークの高さの比をとり相対的な比率とした。

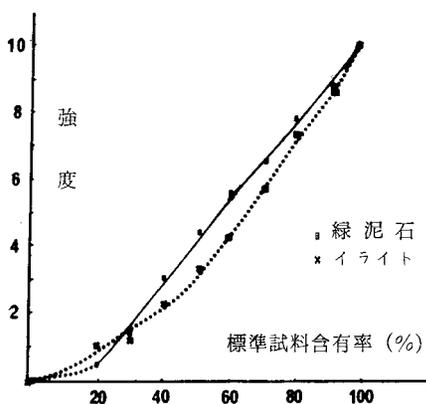
(ハ) 示差熱分析

X線廻折に用いた試料のうち、粘土鉱物の多いものについて示差熱分析を行なった。石英、斜長石の多いものについては、水簸後実験に供した。X線粉末解析によりモンモリロナイトを認めた試料については、ピペリジン処理²⁾により新しく発生する発熱ピークでその存在を再確認した。ボーリング・コア中には一般に数種の鉱物が存在し、しかも粘土鉱物の量が少ないので示差熱分析の結果はあまり明確でない。しかし黄鉄鉱については、X線廻折では明確に認め得ない試料でも、黄鉄鉱の400~500°Cにおける酸化による発熱ピークによってその存在を確かめられた。尚、有機物や炭質物などを含み、200~400°Cの間に幅広い発熱ピークを示す試料については、湯浴上に於て過酸化水素で2時間処理して分解した後に実験に供した。

3. 実験結果及び考察

a) モンモリロナイト

第四紀層中の深度37~54mの間に集中的に認められる。特に多いのは37~41mの間で、シルト、細粒砂岩等中に存在している。X線粉末廻折像では、全般的に底面反射が幅広く散乱しており、結晶度が低い事を示している。第三紀層中では深度203mの凝灰角礫岩にのみ若干のモンモリロナイトを認めるが、他の試料では確認できない。第四紀層中でモンモリロナイトが認められる箇所は、温泉湧水箇所(孔底温度42.5°C)に一致しており、また加里長石の濃集する箇所とほぼ一致



第1図 検量曲線

する。即ち、25~54mには、第三紀層では認められない加里長石が含まれている。一般に小鴨花崗岩⁵⁾をはじめとして鳥取県内の温泉の近傍の花崗岩は、加里長石の新鮮なものに比べて斜長石が著しく変質しモンモリロナイト化している場合が多い。37~54mの間にはこの種の花崗岩の礫、或いはそれより生じたアルコーズ砂岩が存在しており、従って第四紀層のモンモリロナイトは花崗岩の斜長石の変質

質と考える事が妥当と思われる。一方、泉質から検討した場合、第四紀層中での成分濃度は第三紀層中のものに比べて極めて低いので、必ずしもモンモリロナイトの生成に有利ではない。以上の諸事実から考えると、モンモリロナイト化作用は温泉に関連はあるものの、原岩の鉱物組成に著しく影響される事を示しており、鳥取温泉でのモンモリロナイトも花崗岩起源の斜長石の温泉水による変質

第2表 X線粉末回折

Silt (37.5m)				Tuffaceous Shale (79.5m)			
2 (Cukα)	d (Å)	I	Idt	2 (Cukα)	d (Å)	I	Idt
5.8	15.2	1	M	6	14.7	1	Ch
8.7	10.16	1	I	8.8	9.03	2	I
				12.3	7.196	4	Ch
				13.7	6.463	1	Pl
14.9	5.945	1	K·F	17.5	5.068	1	Ch
				18.7	4.745	1	Pl
19.7	4.506	1	I, M	19.6	4.529	1	I
20.8	4.270	3	(^Q K·F)	20.8	4.270	5	Q
21.9	4.058	1	(^{K·F} Pl)	21.9	4.058	1	Q
				23.4	3.802	1	Pl
24.1	3.708	1	Pl	24.1	3.708	2	Pl
				25.0	3.562	2	Ch
26.6	3.351	10	Q	26.6	3.351	10	Q
27.3	3.267	1	K·F				
27.8	3.209	3	Pl	27.8	3.209	5	Pl
				30.3	2.950	1	Pl
34.7	2.585	1	I	34.8	2.580	1	I
36.5	2.462	1	Q	36.4	2.468	2	Q
39.4	2.287	1	Q	39.4	2.287	1	Q

M : Montmorillonite
K·F : K·Feldspar

I : Illite
Ch : Chlorite

Pl : Plagioclase
Q : Quartz

が大半を占める事が考えられる。

(第2表, 第2, 3図参照)

b) イライト

堆積層では10m附近の軽石層を除き殆んどあらゆる試料に含有されている。量的にあまり増減がないのが特徴であるが、第三紀層中のイライトはX線粉末廻折像が非常に鮮明であり、第四紀層中のものはかなり不鮮明で結晶度の差異が認められる。イライトは火山岩中には全く存在せず、温泉湧水部に於てもなんら変化のみられないのは、イライトが通常堆積性の粘土鉱物であるという事実と一致する。

c) 加水ハロイサイト

実験試料中に明瞭な加水ハロイサイト並びにハロイサイトの廻折線を示すものは認め得なかった。また、イライトが含有された試料については、加熱処理によって加水ハロイサイトの存在を確かめたが確認出来ず、両者の混在は考えられない。

d) カオリナイト

カオリナイトの(001)は緑泥石の(002)に重複するため、7A附近に廻折線の認められた試料については塩酸処理を行なった。その結果殆んど試料は緑泥石のみが認められ、カオリナイトを含むものは一例にしかすぎなかった。その試料は地表に近い1.0~2.8mのものであって、含有量は極めて少ない。楯岡良介は鳥取砂丘におけるカオリナイトの成因について、イライトの degradation, 固定加里の溶脱, 更に脱水作用という変質を考えて論じている⁶⁾。この鳥取温泉の表土層の場合には非常に有機物に富んでいるので、その腐蝕分解のため酸性になった地下水が長石類の

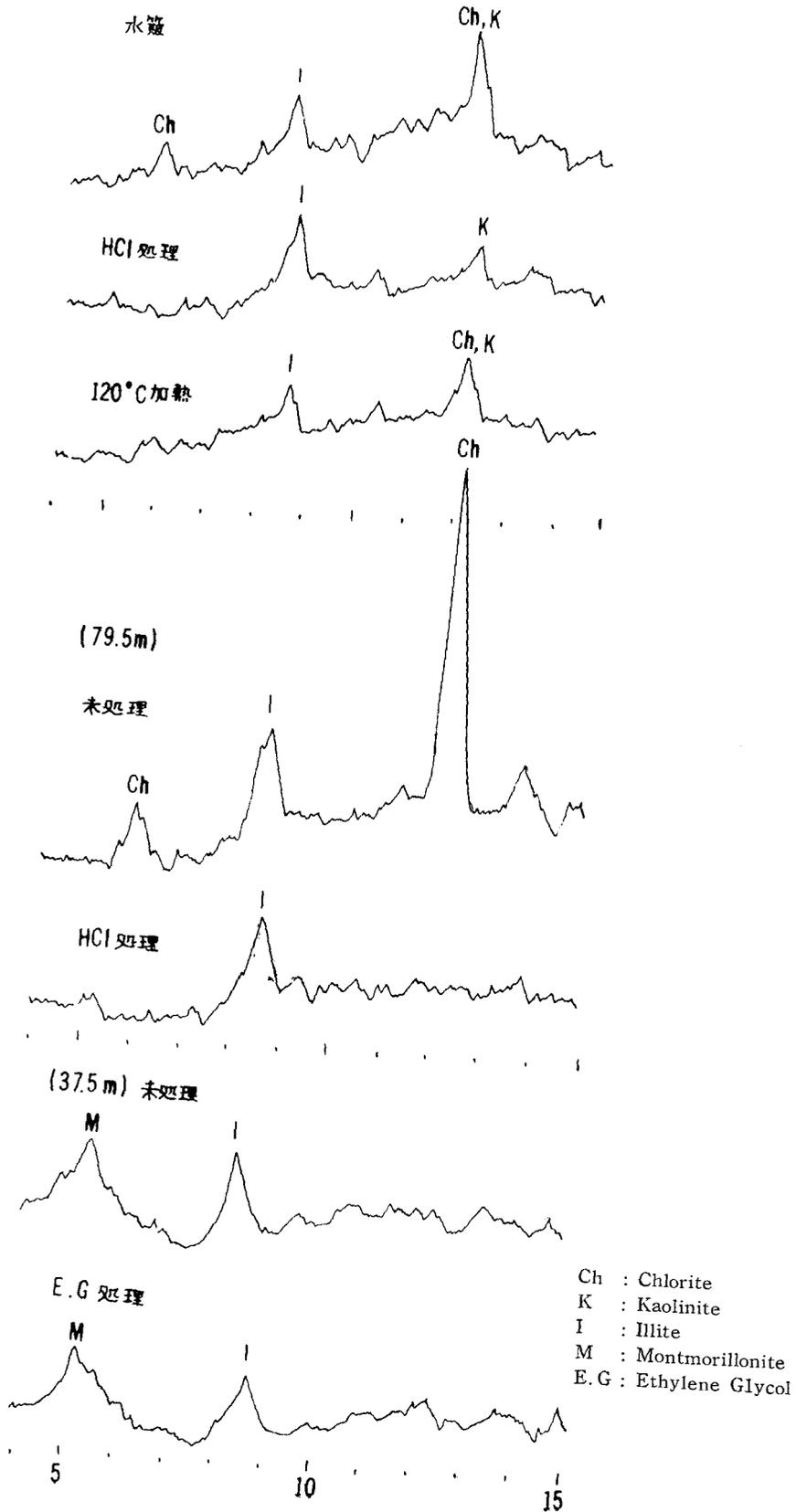
塩基の溶脱をうながし、カオリナイトの生成を導いたものと思われる。その結果、カオリナイトは表土層にのみ認められ、中性~アルカリ性の温泉水を湧出する湧出部や深層では存在しないのであろう。(第2,3図参照)

e) 緑泥石

粘土鉱物のうちで量的に一番多く認められる。特に第三紀の地層では飛躍的に増加の傾向を示し、第三紀と第四紀の地層を明瞭に区分している。この緑泥石はいずれもX線廻折線では二次、四次の底面反射が強く、鉄分の含有量のかかなり多い種類に属するものと思われる⁷⁾。第三紀層中に認められる火山岩のうち玄武岩や安山岩の熔岩も著しい緑泥石化が認められるが、この火山岩熔岩類を夾有している凝灰角礫岩、凝灰岩、凝灰質頁岩の方がむしろ緑泥石の含有量が多い傾向にある。これは第三紀層がかなり広域な変質を受けている事を示し、単に火山岩熔岩の流出、進入の際の自己変質作用のみの現象とはみなせぬ事を示している。

この変質作用が鳥取温泉のボーリング・コアのみでなく、他の地域⁸⁾でも認められる事から、緑泥石の生成も現在の温泉作用によるものとは考えられない。しかし、緑泥石が一般にアルカリ性~中性で安定である事より、現在の温泉水がその存在を妨げていない事は考えられる。第四紀層では既述の如く一般に緑泥石の含有量は少ないが、同じく第四紀層中でみられる一つの現象は試料が酸化状態を呈し酸化鉄の存在する箇所が二ヶ所ある事である。(27m, 38m) この箇所では、興味ある事に、緑泥石を全く欠いている。現在の温泉水の泉質(pH7~8)からして緑泥石を破壊

(15m) 第2圖 X線粉末回折曲線



するような事は考えられず、もし破壊するとしても強酸性の温泉水か地下水の影響を考えねばならない。結局この部分は陸化による地表風化、或いは非常に浅い堆積環境にあって酸化状態にあったものと推定する事が妥当であろう。以上のような緑泥石の賦存状態を考えると、第四紀層中での緑泥石の生成は殆んど考えられず、むしろ二次的に既存の緑泥石が周辺部より運搬、堆積されたものと考えられる。(第4, 5図参照)

f) 石英

石英は堆積岩のコアには全般にわたり存在している。一般に他の含有鉱物に比べ結晶も大きく、肉眼で容易に認められる場合が多い。砂質部分では特にその含有量を増し、粘土鉱物とは負の相関を示して増減している。即ち、石英に富む部分では粘土化の母材たる長石類が相対的に少なくなり、その結果粘土鉱物も減少の傾向をみせている。長石との関連を考えると、石英・長石類の共に少ない部分では粘土の含有量が多く、長石類の濃集箇所、及び長石類が多少減少しても石英の多い部分では、粘土量が減少すると同時に粘土化の程度も微弱となっている。これらの傾向は第三紀層に於て特に著しい。

g) 長石類

長石類は深度によって含有量が著しく変化し、粘土鉱物に対しては石英と共に負の相関を示している。第三紀層の深度 100m 附近では特にその含有量が多く、その結果緑泥石をはじめ粘土鉱物が非常に少ない。加里長石は 26m~54.65m の間に於てのみ認められ、不整合上の局所的な濃集である事が判明した。

この加里長石の母体は周辺の花崗岩であっ

て、かなり粗粒のアルコーズ砂岩とみなしうる試料もある。第四紀層は 25m 附近に認められる礫岩を境にして、下部は礫が多く粗粒であり、一方上部は灰色砂質粘土を主体とし粒度も均一でかつ微粒である。これらの点からみて第四紀層の堆積状態が 25m を境にして上下に区分出来るが、長石類も 25m 以深では上部に比べて多く含まれている。

h) 方解石

方解石はその産状からみて二種類に分けられる。即ち、現在の温泉作用に結びつけられるものと、第三紀層のプロピライト化に関連するものがある。第三紀層の緑色凝灰岩、基性火山岩類には細脈状の方解石がしばしば認められる。この産状をみると、原岩が非常に変質し緑泥石化している場合が多く、プロピライト化の際の生成物と考えられる。第四紀層中では方解石が頁岩、凝灰質頁岩などを切って産する事はない。一方温泉湧出部では、かなり顕著な量の方解石が礫の表面などに附着して産する。特に 210m 附近の湧出部ではその傾向が著しく、その他に 250m、第四

第3表 X線粉末回折

Calcite (216m)			
2θ (CuKα)	d(Å)	I	Idt
29.4	3.038	10	Ca
36.1	2.488	3	Ca
39.5	2.281	6	Ca
43.3	2.090	6	Ca
47.2	1.926	4	Ca
47.6	1.910	7	Ca
48.7	1.877	5	Ca

Ca : Calcite

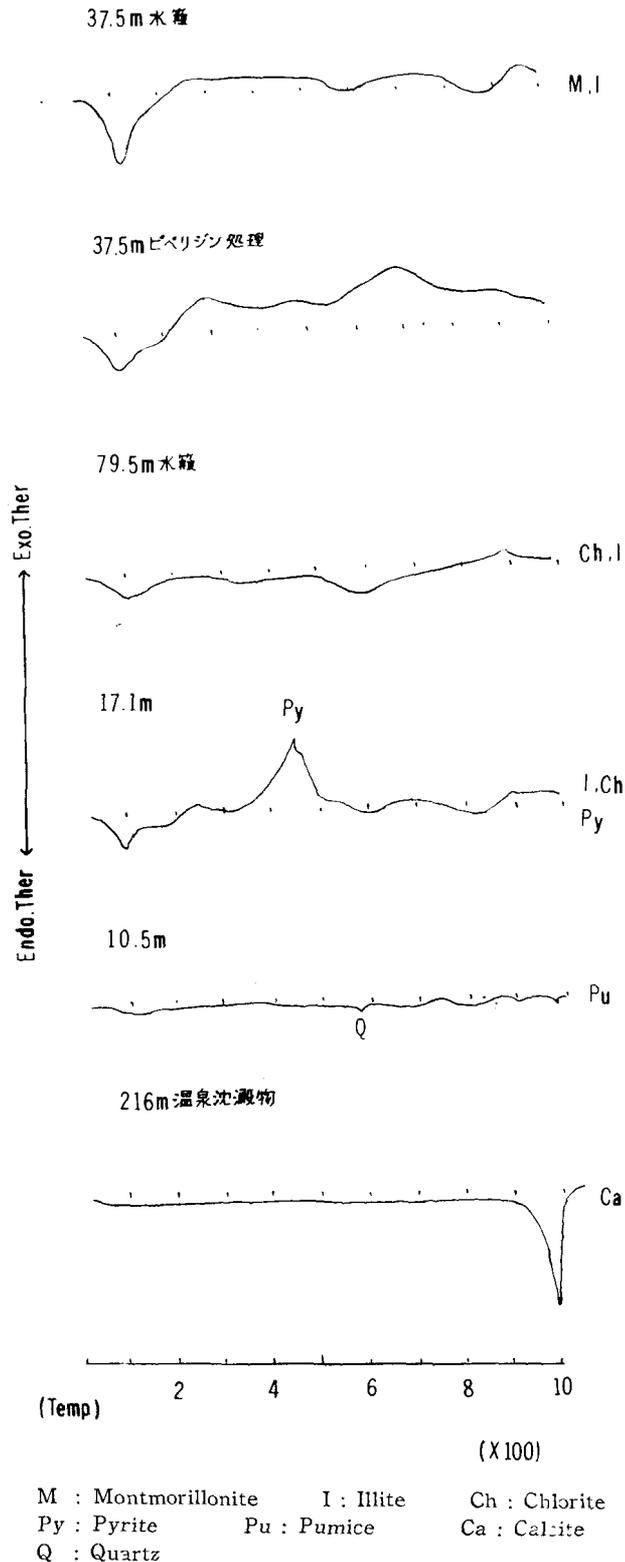
紀層では不整合面上及び41m附近などに同じ産状で見られる。(第3表, 第2図参照)

i) 黄鉄鉱

方解石と同様に, 黄色細脈状に産するものと, 肉眼でははっきり認め得ないが黒色粉状に産する二種のものに分けられる。前者は第三紀層にのみごく微量に存在する。X線では微量で判定しにくい, 示差熱分析により400~500°Cの酸化による発熱反応によってその存在を確かめられた。これは第三紀層のプロピライト化による一連の変質作用の産物の一つとみなせる。後者は主として第四紀層上部に含有され, 有機物に硫黄分の起源を求めうるものであって成因的には前者と切り離して考えられる。この粉状の黄鉄鉱も示差熱分析によるのみ確定しうるもので, 頁岩, 砂質頁岩, シルトなどに含まれている(第3, 4図参照)

j) その他の鉱物

ごく微量に含まれるものとして, 緑泥石化の著しい試料には緑簾石が顕微鏡観察によって確認出来る場合がある。その他, 褐鉄鉱, 加水雲母, 黒雲母, 角閃石なども若干認められる。沸石の存在も可能



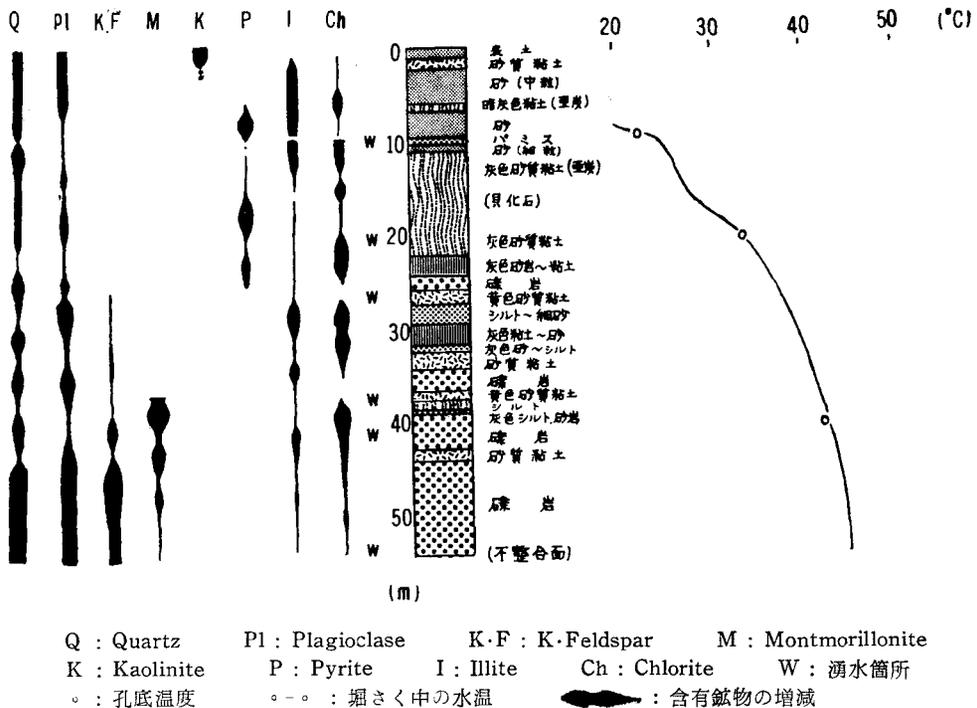
第3図 示差熱分析曲線

性があるので検討したが、少なくともこのボーリング・コアでははっきり確認出来なかった。

4. 第四紀層の堆積環境について

第四紀層の堆積環境については各鉱物に対する検討の際に多少触れたが、更にボーリング・コアの粒度などを参考にしてまとめてみる。第4図で判るように第四紀層では25m附近の礫岩を境にして、堆積環境の差異が認められる。25mより下部では礫岩が多く、その間に挟まれる細砂、砂質粘土層も花崗岩の風化産物を主とし、礫岩或いはそのマトリックスの組成と殆んど差異がない。モンモリロナイトが存在するのはこの間の地層である。この地層は浅水性でしかも背後供給地に比較的近い堆積環境を示している。緑泥石の増減からみても、54mの不整合を最初として37m、

26mの礫岩層の下部に不整合があり、この3回の陸化の現象が推察される。この部分は緑泥石が存在せぬばかりでなく、赤色酸化鉄を含み酸化状態を呈している、この浅い、しかも度々陸化した堆積環境に対し、その上部層が指示する堆積環境はかなり異っている。14~25mでは貝化石を含有する灰色砂質粘土~灰色粘土が緻密な岩相を呈して存在し、しかもかなりの厚さの間で岩相にあまり変化が見られない。これらの事実は、25m以下の堆積状態から一変して、海成層のかなり深い堆積環境を示している。その上部、14~3mでは貝化石の含有はなくなり、それに変わって亜炭の含有がめだってくる。砂岩の粒度も次第に中粒に移行し、14~25mの堆積に比べて浅水性の堆積状態を示している。しかし25m以下とは異なり花崗岩の風化産物は認められず、



第4図 第四紀堆積層の組成鉱物

背後供給地からかなり離れた静かな堆積状態を暗示している。なお、25m以上の地層には黒色粉状の黄鉄鉱の混入が認められている。

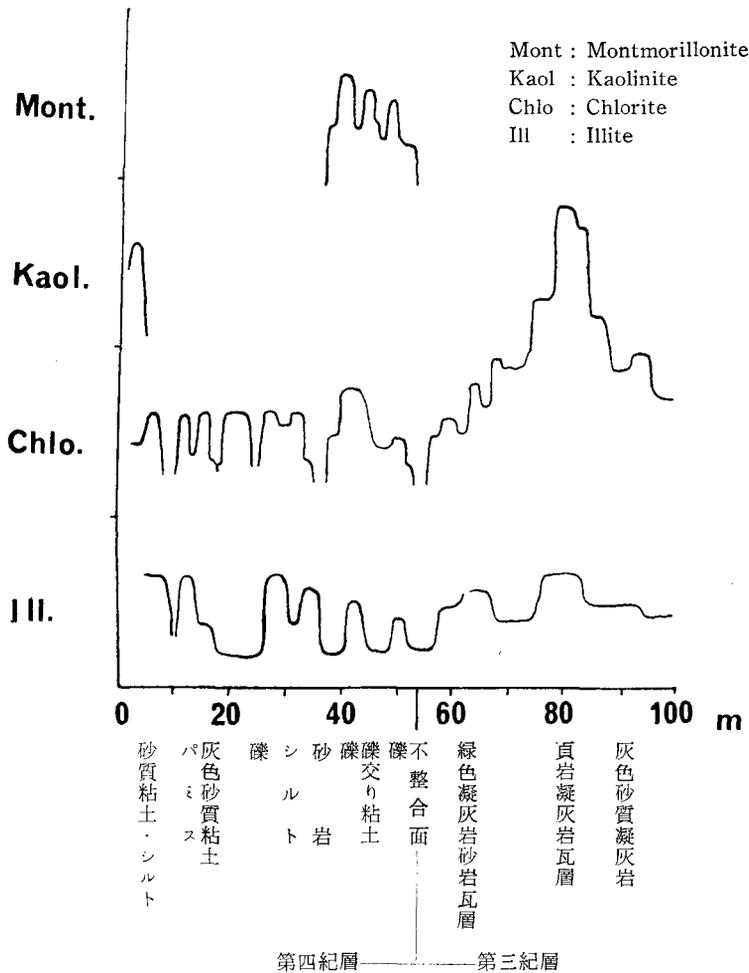
(第4図参照)

5. 温泉作用と二次的生成鉱物

鳥取温泉は、地下水の混入を受けている第四紀層での湧出部は別として、第三紀層では深度を増してもその成分濃度に殆んど変化はない。泉質はpH7~8の含芒硝食塩泉で、著しい粘土化を与へる性質のものではない。

10.5mに軽石層があり、泉水の成分濃度、温

度は低下しているものの湧水しておりこの地点の岩石の変質に興味ももたれた。しかし、この非常に変質を受け易い軽石でさえも粘土化せず、石英の含有を認めるのみである。強いて温泉作用と結びつけられる粘土は、既述の如く25~54m間のモンモリロナイトのみである。このモンモリロナイトは量的には多くないが、鳥取温泉以外で見られる温泉による花崗岩の著しいモンモリロナイト化などからして、温泉による生成の可能性は十分に考えられる。その他、温泉湧水部で明らかに温泉



第5図 堆積層における粘土鉱物の相対量変化

作用による生成物と認められるのは、礫岩の表面に附着する方解石のみである。第三紀層にみられる著しい緑泥石化は、緑泥石、方解石、黄鉄鉱という鉱物組成からして、東北地方の“グリーン・タフ”地域などでみられると同様に、プロピライト変質による広域な変成作用の産物と推察され、現在の温泉作用とは一応切り離して考えられる。

6. 結 語

鳥取温泉のボーリング・コアについて鉱物的に分析検討の結果、次の如き結果を得た。

- ① 堆積性粘土のイライト、及び熱水性粘土の緑泥石は第三紀、第四紀の地層に普遍的に存在している。緑泥石は第三紀層に於てその含有量が著しく増加する。

② モンモリロナイトは第四紀層の下部にのみ濃集し、カオリナイトは表土層にのみ存在する。モンモリロナイトは温泉作用により生成したと推定しうる。

③ 温泉沈澱物として方解石を認めた。

④ 第四紀層は25mを境として組成鉱物、粒度に差異が認められ、堆積環境の相異を示している。即ち下部は数回の陸化を含む浅い堆積層であるのに対し、上部は比較的深い、しかも背後供給地から離れた堆積環境を推定させる。

終りに本研究を御指導された杉山隆二教授、佐藤元昭助教授に厚く感謝の意を表す。また試料採取に際しては、鳥取県衛生課の御好意を受けた。銘記して深謝する次第である。

文 献

- 1) Grim, R. E ; *Clay Mineralogy.*, (1953)
- 2) 須藤俊男 ; 粘土鉱物., (1953)
- 3) R. C. Mackenzie ; *The Differential Thermal Investigation of Clays.*, (1957)
- 4) 阪上正信, 杉原健 ; 鳥取市内温泉の試錐による調査研究, 水温及び化学成分について, 岡大温研報, 29, 38 (1961)
- 5) 杉山隆二 ; 山陰の温泉の地質 (その2), 温泉工学会誌, 2, 1 (1964)
- 6) 楯岡良介 ; 鳥取砂丘土壌の粘土鉱物について, 粘土科学の進歩., (1), 234 (1959)
- 7) G. Brown ; *The X-ray Identification and Crystal Structures of Clay Minerals* (1961)
- 8) 杉山隆二 ; 鳥取温泉の地質, 鳥取県温泉調査報告., (IV), 1 (1962)

Mineral Composition of Boring Core at Tottori Hot Spring

by

Kōji WATANABE

Institute for Thermal Spring Research, Okayama University

Abstract

The boring cores of Tottori Hot Spring, Tottori city were investigated by means of X-ray powder method and differential thermal analysis. Near this district, the Quarternary sediments are perceived until at a depth of 54 meters, and they show some striking differences from the Tertiary sediments which lies under-neath the former.

In the Quarternary sediments, small amounts of chlorite coexist with illite. Kaolinite is found only in the top soil, and montmorillonite is present just above the unconformity with the Tertiary sediments. The clays from the Tertiary sediments contain abundant amounts of chlorite that exhibits regional propylitization.

The amounts of the rock forming minerals, quartz and feldspars, in these sediments regularly decrease with increasing amounts of clay minerals.

The pH of the thermal water at the pit bottom ranges from 7 to 8, and the maximum water temperature, 57.2°C, is observed. The secondary minerals, montmorillonite and calcite, are thought to be the alteration products by the thermal water.