

山形県真室川荒所「水溶性天然ガス」

中の炭素原子の奇数のものが優勢であることが明らかになった。これら堆積岩中の炭化水素は石油生成の一つの段階を示すと考える。また原油や堆積岩にポルフィリンがあること、石油中に Ni V が濃縮されていることなどからポルフィリン起源とする研究、前述の C^{13}/C^{12} による石油の進化に関する研究などがある。

石油に伴う地下水については、水溶性天然ガス付随水の研究と同様に石油および貯溜層、母層と密接な関係がある。また石油の採油法の一つである油層に地下水を導入する水攻法では、地下水の動向を調べるため Tr などの放射性元素をトレーサーとした探査研究が行なわれている。石油鉱床の探査は地質調査、物理探査による石油を胚胎する地質構造の探査および試錐調査と共にガス (CH_4 , C_2H_6 , C_3H_8 , CO_2)、微生物の平面的、立体的分布から、また堆積岩の各種有機物の分布から石油の貯溜層、母層探査の可能性について研究が行なわれている。

石炭は植物が原物質であることは疑う余地がない。石炭は石油と異なり移動、逸散がないため生成場所は明らかであるが、組成、構造が複雑で、その生成過程は未解決の問題が多い。石炭は陸生植物が堆積し、生化学的作用と動力的作用によって石炭化作用が行なわれ、炭化度の度合によって褐炭、歴青炭、無煙炭となるという説と、各種の石炭は原物質がもともと異なっていたとする説があるが、今日では前者の説に傾いている。石炭に関する地球化学的研究は、組成、構造、有機物、鉱物質を対象とした石炭化作用に関する研究がおもなものである。

石炭の探査は、主として地質調査と物理探査が行なわれ、地化学探査はほとんどなされていない。特殊な場合として炭田ガスによる地化学探査の可能性が考えられる。

石炭の採掘には、地下水の存在が採炭能率を大きく左右する。また場合によっては出水などの事故を起こす。

この地下水の動向を調べるのに坑内水の地球化学的研究が行なわれている。坑内水の pH, Cl, SO_4 , NH_4 , Ca, HCO_3 などの時間的变化は、天水、化石水の進入判定に有効である。坑内保安の面で地下水の地球化学的管理は重要と考えられる。

今後の研究

天然の有機物を対象とした有機地球化学、同位元素地球化学、微生物応用地球化学の研究による資料の収集によって炭化水素生成過程研究の前進が望まれる。

また世界的規模で考えた場合には油母頁岩も燃料資源として重要と考えられ、この研究が必要と考えられる。

応用地質と地球化学

地下水と地球化学

地下水は大別して雨水が地下に浸透した地層上層部の地下水、深層部の水成岩が生成された環境（海水、汽水、淡水）下で堆積当時包蔵した地下水（化石水）および地球内部から流出する地下水（岩しょう水）とがある。ここで述べる地下水は岩しょう水を除外する。

地表水は地下に浸透し、再び地表に出て一部は大気にもどり、大部分は海に入るが、終局には大気にもどるという一連の循環が考えられる。この場合、溶存物質は海中に残るので、海水の起源を地球化学的に考える上で大きな因子となる。また、地表水は大気と平衡にあるので大気ガスを溶存しており、そのうちの酸素は接触する堆積物や岩石を酸化する。このほか、地下水中には岩石からの物質の溶出、イオン交換による物質代謝が行なわれる。

地表水の流動に伴う水質の変化は、増加する成分として溶存 N_2 、アルカリ度、Na などがあり、減少する成分として溶存 O_2 、 SO_4 、Ca などがある。地下水の流動を調べるのに Ar, He、放射性元素 (Tr など) を利用した研究が行なわれている。

深層水は地表水の浸透によって大気の影響を受ける水系（開いた系）と地表水の影響がなく、大気としゃだん

第 1 表

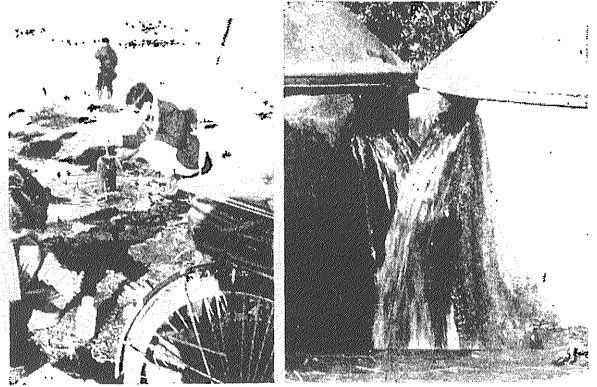
地質時代	絶対年代 ×10 ⁶ 年	地 域	化学反応または水質型
沖積世	-0.01	Azov Sea 堆積	K, Ca, Mg 減
洪積世	-1		Na 不定
鮮新世	-11	新潟市域 瓜房	Ca増 Na-Ca-Cl-HCO ₃ 型
中新世	-25	静岡府群	Ca増 Ca-Cl型
漸新世	-40	春採層 白水層群	Ca増 Ca-Cl型
始新世	-60		
晩新世	-70		
白亜紀	-70±2	西シベリア 低地帯	Ca増 Ca-Cl型

された水系（閉じた系）とに分けて考えることが重要である。開いた水系では大気の変質作用によって初めはおもに酸化作用を受け 次いで おもにバクテリアなどの作用によって還元状態となり 炭酸塩類 NH₄ H₂S などの増加が見られる。閉じた水系では長く地層中にとじこめられているため続成作用を受け 物質の代謝が顕著で 時に Mg SO₄ K が減少し Ca は数千年の間は減少するが以後は増加し 最終的には Ca-Cl 型の水質となる。地下水の変質を地質時代に対応させると第1表のようになる。

地下水のあり方 環境 物質代謝など水質を支配する要因を調べることは地下水の地球化学として最も重要なことである。地下水のあり方（開いた系 閉じた系）と地下水の水質との関係を調べることはまた水溶性ガス 鉍床 炭鉱坑内水などの地球化学的調査を行なう場合の考え方の基本となる。

温泉と地球化学

一般に温泉とは地下水が地熱の作用で暖められた後に地上に現われたものと考えられる。どんな水が どのように暖められ どんな場所で周囲の岩石とどんな相互反応をしながら出てくるか。主としてこの3つの要因の組み合わせによって 温泉の性格は限りなく変化する。わが国では その温泉に最も特長な化学成分に注目し



茨城県北茨城市高井園道わきに湧出する地下水

大井川下流の自噴井 簡易水道水源として利用中

て 雨水に最も近い単純泉 食塩泉 石こう泉 イオウ泉 酸性泉 放射能泉などと温泉を分類している。

温泉の地球化学は上の3つの要因を化学的に量的に正確にはあくすることを第一の目的としている。温泉を形作っている機構を科学的にはっきりさせて始めて 泉源をかれさせることなしに最大限に温泉を利用することが可能になるといえよう。

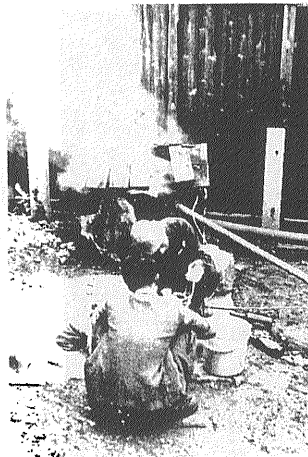
一方 最近の温泉の地球化学の焦点となっているのは 温泉水中にどの位直接岩しょうに由来する水が含まれているかという問題で 最近の同位元素測定技術の進歩はこの面でも有力な手がかりを我々に与えてくれている。たとえば 火山の噴気孔などから噴出する水蒸気は酸素水素の重い同位元素を比較的多く含んでいるが その割に温泉水は重い同位元素を含んでいないことなどから 普通 温泉水の半分以上は地表から地下に浸入していった水であることがわかってきた。炭素やイオウの同位元素の測定 その他の最近の地球化学的研究によって 温泉を生成する地下の機構が次第に判明しつつある。

地熱と地球化学

近年 地下資源の高度利用という観点から 地熱エネルギーの利用開発が叫ばれ イタリア ニュージール



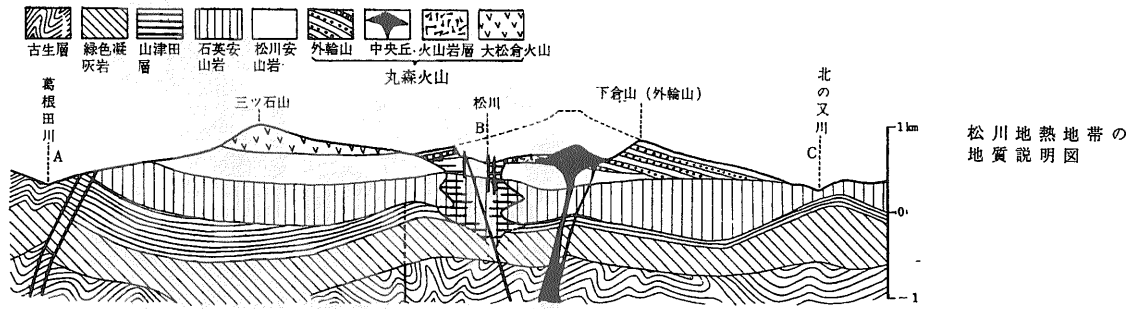
長野県小県郡渋沢 探油ボーリング井から湧出する炭酸泉



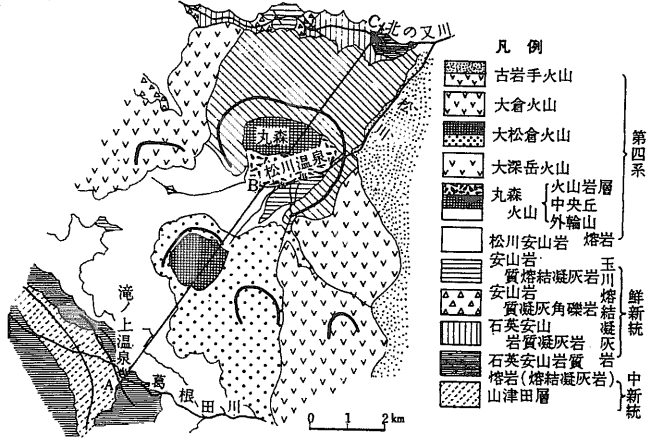
兵庫県有馬温泉 ガス成分の現場分析



兵庫県有馬温泉 試料採取



ド アイランド アメリカなどで盛んに行なわれている地熱発電の開発研究が取り上げられてきた。ごく最近では 岩手県の松川 大分県の大岳などで発電所の建設が始まり 地熱エネルギーによって電力が得られるのも目の前の段階にある。地熱では 熱源と熱水の起源は別々に考えられている。



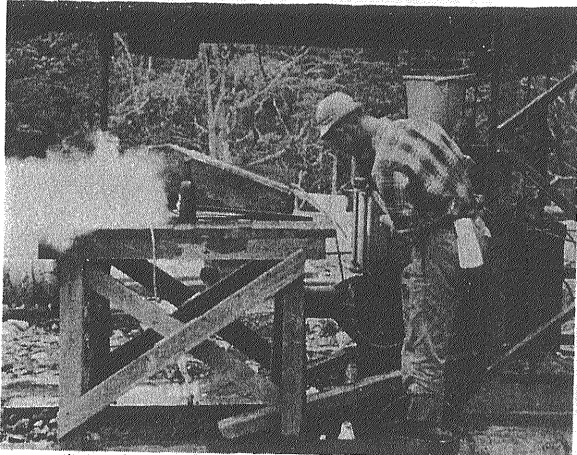
松川地熱地帯の地質説明図

地熱地帯から放出される熱量から考えて 熱源は岩しょうまたは地質年代的にごく最近固結した火成岩に求められる。その他に U Th などの放射性元素の崩壊熱 脱ガラス作用による放熱などが考えられる。熱水の起源については その大部分が地下水(天水起源の)であろうと想像されており 岩しょう水の混合の有無およびその割合が議論の対象となっている。岩しょう水の問題の解明には 地球化学的研究 とくに安定同位元素と短寿命の放射性同位元素の研究などが有力な手段となっている。熱水の大部分を占めるであろう地下水を取り上げても その流路 量 存在状態 組成など基本的に解明すべき問題が多い。それはまた 地熱を開発する際の経済的開発設計(地球化学的地下管理) 地熱の寿命などに関連した根本的な問題でもある。これらの問題の解決には一般地質学 水理地質学 地球物理学などと並んで地球化学の果たす役割りは大きい。このように地熱開発

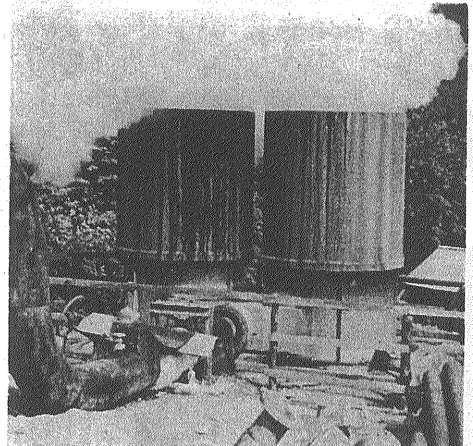
に対する地球化学的研究の重要性は大きいが その研究史は短く まだ基礎資料集積の段階にある。

ニュージーランドのワイラケイ(Wairakei) イタリア アイランド カリフォルニアのゲーサーズ (Geysers) など世界の著名な地熱地帯では すでに多くの地球化学的データが出されており その解析によってかなりの成果が得られている。

たとえば 水素(H^2 H^3) 炭素(C^{13} C^{14}) 酸素(O^{17} O^{18}) アルゴン(Ar^{40} Ar^{36})などの同位体の測定結果から ワイラケイの熱水は天水起源であり 地下水としての年令は約50年であることが判明した。また熱水中の



岩手県松川地熱 蒸気の凝縮水の採取



岩手県松川地熱 蒸気と熱水の分離装置

Na と K の量比 溶存 SiO_2 量から 熱源までの距離が推定されたなどの例がある。最近では 岩しょう水の化学組成 地下水の地球化学的変化 火山性ガスの地下水に及ぼす影響などに関する研究も盛んに行なわれてきており 一方 地上に噴出してくる蒸気+熱水の化学組成およびその経時変化などの基礎的資料が集積されつつある。これらの研究の成果および基礎資料から 地熱地帯の熱と水の地下における存在模型を地球化学的な見地から作り上げようとしているわけである。この模型は地質学的資料 地球物理学的資料などによって修正され 真の姿に近づけられるべきものである。

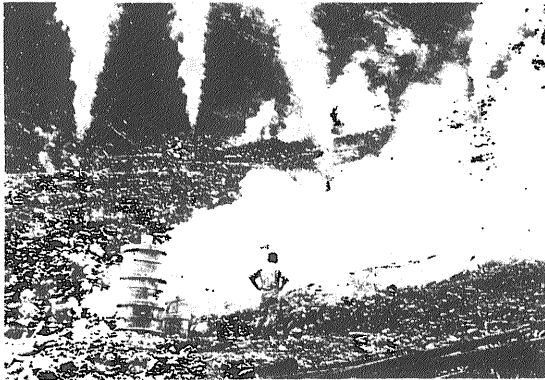
地すべりと地球化学

わが国は火山国であり それに伴う温泉地が全国に多数散在していることはよく知られている。しかし その温泉または噴気によって硬い岩石が粘土化され その粘土が原因となって山腹の地層がすべり落ち しばしば大災害をひき起こすことは一般にあまり知られていない。このように温泉観光地といわゆる火山性地すべりの危険地とは背中合せに存在しているのである。地すべりにはこの他に “第三紀層地すべり” “破碎帯地すべり” と呼ばれる型があり これらの3つの型の地すべりを合

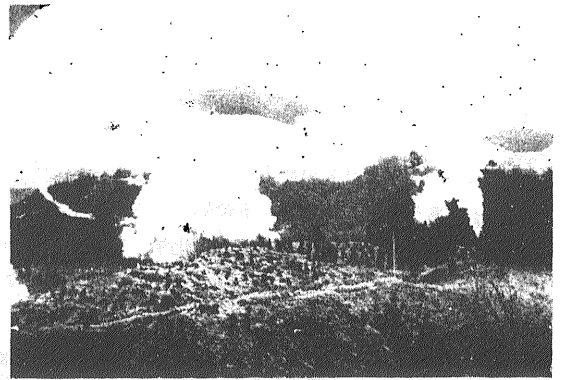
わせると日本国中いたる所に地すべり危険地帯が存在することになる。地すべりの災害防止対策は古くからいろいろと行なわれているが 最近では地すべりの発生機構を解明し 科学的に裏付けられた対策を立てるべく 総合的な調査研究が活発に行なわれている。上記のいずれの型の地すべりでも その原因となるのは地形と水と粘土である。ここに粘土の成因に関する地球化学的研究の重要性があり 粘土の物性に関する研究の必要性が生ずるのである。

温泉または噴気が岩石に作用して粘土が生成する場合どのような粘土鉱物の組み合わせになるかは 温泉または噴気の温度 化学組成 pH 移動速度 作用を受ける岩石の化学組成 反応する場の圧力などによって決まる。

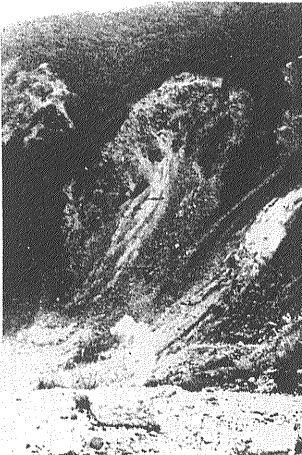
したがって逆に 野外で観察される粘土鉱物の組み合わせは反応時のその場の物理的 化学的条件を鋭敏に反映していると考えられる。どんな条件の時にどんな粘土鉱物が生成するかは 合成実験の結果および実際に粘土を生成しつつある天然の現場における各種の測定 観察結果などから類推される。粘土鉱物はこのように多くの因子によって多岐多様に変化するので その変化の有様を 定量的に体系化する努力がいまなお多くの鉱物学者 地球化学者によってなされている。



箱根大涌谷の噴気



大分県大岳地熱地帯



箱根大涌谷の“火山性地すべり”



佐賀県伊万里市付近の“第三紀層地すべり”（露出した崖は北松浦玄武岩類の累積）