

松川地熱地帯の現世堆積物とその ^{14}C 年代

角 清 愛*

The Recent Deposits and Their ^{14}C -Ages in Matsukawa
Geothermal Area, Iwate Prefecture, Japan

By

Kiyoshi SUMI

Abstract

Stratigraphy of recent deposits in the Matsukawa geothermal area was clarified and their ^{14}C ages were determined.

The recent deposits were classified into Yuzaka Formation, Older Iwate volcanic rocks and alluvium in ascending order. The Yuzaka Formation is the accumulation of old swampy deposits, fluvial deposits and two layers of mud-flow deposits. These recent deposits cover hydrothermally altered volcanic rocks but are not altered themselves and are intercalated with limonite beds.

^{14}C ages of Yuzaka formation are younger than 4,850 and older than 2,690 years before present and those of alluvium are younger than 380 and older than zero year before present.

As a result it is concluded that the surface activity of Matsukawa geothermal system had been ceased before 4,850 years at least. After that mineral spring activity producing limonite bed has been continued.

So far as the published data are concerned, the duration of hydrothermal activity on the earth's surface in a certain field is tens of thousand years. From these facts, it can be pointed out that the data of Matsukawa give reasonable value on the age of hydrothermal system, which means that it has passed about 5,000 years since surface activity stopped and buried activity began.

1. 緒 言

松川地熱地帯は地表熱徴候が乏しいにもかかわらず、地下に優勢な熱水系が存在する典型的な潜頭性地熱地帯である(角, 1970)。しかし松川は当初から潜頭性であったのではなく、過去には活発な噴気性地熱地帯であったことが、地表に発達する広大な変質帯(Sumi, 1968)から明らかである。噴気性から潜頭性への変換はいつ起こったのか、その年代を決定するのがこの研究の目的である。この問題は単に熱水系の熱史研究の立場だけでなく、地熱利用面での地熱地帯の経済的評価の面からも明らかにされなければならない。

松川には変質を受けた岩層をおおう未変質の新期堆積層がある。従来この堆積層の性質は露頭不足のため明らかでなかったが、1970年道路新設によって、新露頭が生じ

たのでこれを機会に上記の研究を実施することにした。

今回はこの未変質の新期堆積層を層序学的に調査し、この中からその時代を代表する炭素試料を採集し、これを学習院大学木越邦彦教授に依頼して ^{14}C 年代の決定を行なった。

2. 地 質 概 況

松川地熱地帯周辺地域の地質については中村・角(1961)の報告がある。これによれば、この地域は海成中新統および鮮新世の玉川溶結凝灰岩を基盤とし、この上を第四紀火山岩類が広くおおっている。第四紀火山岩類の最下部は松川安山岩類でこの上に火山原形をとどめているいくつかの火山がのっている。松川地熱地帯付近の新しい火山は丸森火山と呼ばれ、この火山は直径約3 kmのカルデラを有する外輪山とその中の熔岩ドームとからなっている。もっとも新しい火山は松川の東方約6

* 応用地質部

kmの所にある岩手火山で、これは1719年に熔岩を流出した記録を持っている。

今回、あらためて調査した地域は、松川に沿う東西約4 kmの地域で、東部を除くほぼ全域が丸森火山のカルデラの中に入っている。

調査地域の地質は下位から松川安山岩類、丸森火山、湯坂層、古岩手火山、湿地堆積物および沖積層に分けられる。松川安山岩類は暗灰色の安山岩熔岩からなり、火山碎屑岩に乏しい。地域南西部の地熱地帯を中心に分布している。このため、カオリン化あるいは明ばん石化などの強い変質を蒙っている。丸森火山は、安山岩熔岩と火山碎屑岩との互層からなる外輪山と、安山岩熔岩から成る中央円頂丘とからなる。いずれも部分的にカオリン化モンモリロナイト化などの変質を受けている。

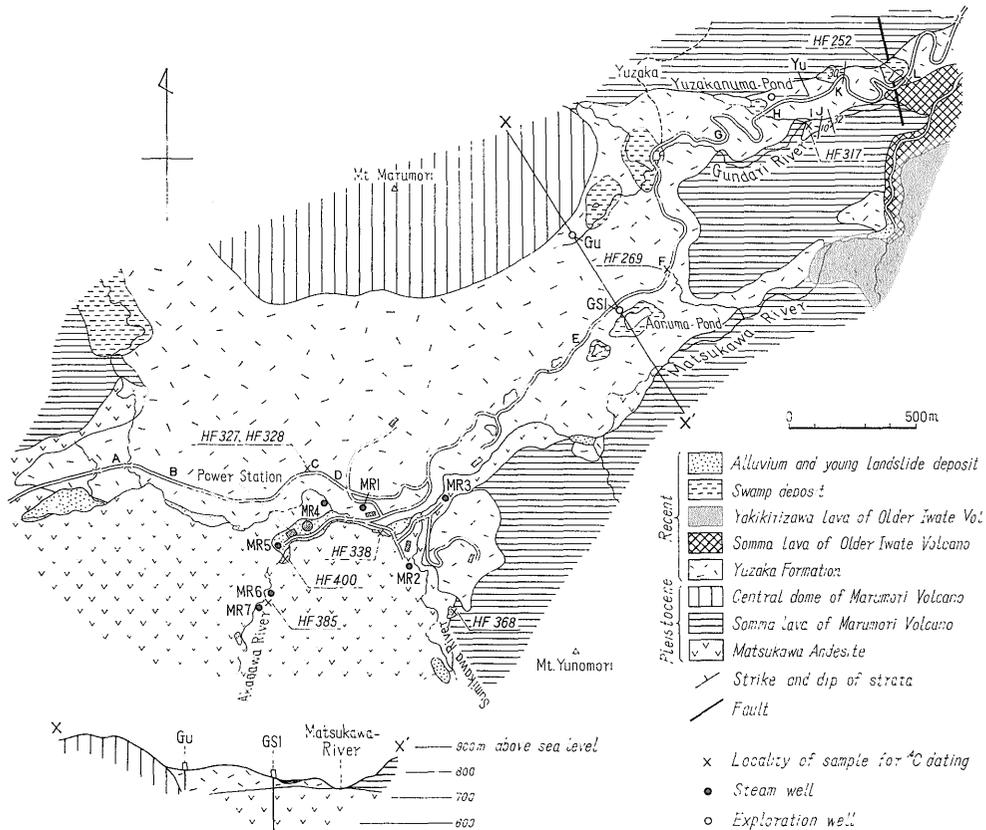
湯坂層は、中村・角(1961)によって“火山岩屑”として取扱われ、地形上泥流堆積物と推定されたものである。今回の新しい露頭による調査の結果、これは泥流堆積物を主とし、これに湿地成あるいは河成の堆積物を伴

うものであることが確認されたので、新たに湯坂層と呼ぶことにした。湯坂層は堆積性の変質粘土を多く含むけれども、現地性 (in-situ) の変質はうけておらず、下位の松川安山岩類や丸森火山の変質の後に堆積したものである。湯坂層は次節に述べるように少なくとも2枚の泥流堆積物と、湿地堆積物、河成堆積物、崖錐堆積物などの累層からできている。おもに丸森火山のカルデラの内部に堆積しているが、一部は松川あるいはグンダリ川に沿ってカルデラの外にも堆積している。

古岩手火山(河野・上村, 1964)は岩手火山西方の大地獄の周辺のカルデラ付近を活動の中心とする火山で、その外輪山の熔岩が調査地域東部に分布し、湯坂層をおおっている。またカルデラの内部から流下した焼切沢熔岩も一部に分布している。

沖積層は現在の河川に沿う、低い段丘堆積物および河床堆積物を含む。おもによく淘汰を受けた礫・砂および粘土からなる。一部には褐鉄鉱層もある。

調査地域の地質図を第1図に示す。



第1図 調査地域地質図
Geologic map of surveyed area

3. 湯坂層

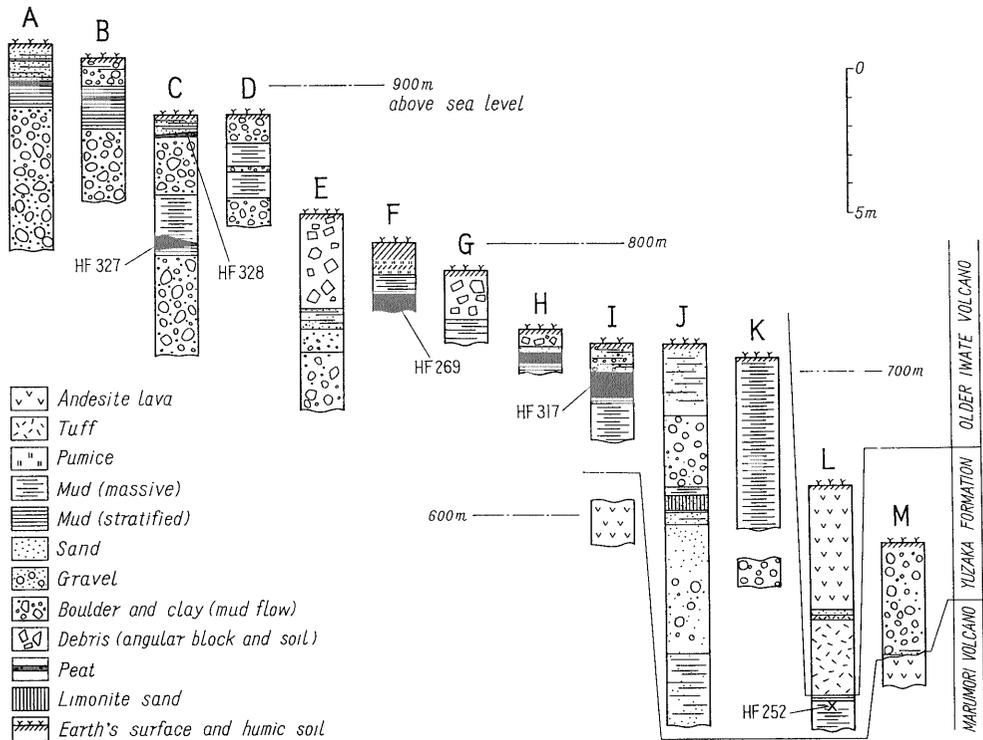
本層は丸森火山のカルデラの内部に堆積した、泥流堆積物、河成堆積物、湿地堆積物、崖錐等の総称である。湯坂層の厚さについてはグンダリ川上流の Gu 井では 75.6m 掘削してもこれを貫くことができなかった (日本重化工資料)。これが湯坂層の厚さについて得られた最大値である。そのほか湯坂沼の近くの Yu 井で 51.7m、青沼の近くの GS1 井で 34m、発電所の近くの MR 1 井で 45m などの値が得られている。今回新しい露頭が得られたとはいえ、観察できる厚さはせいぜい 20m 程度であるから、全体の上半部しかみていないことになるかも知れない。

みられる限りでは湯坂層は下部泥流、中部泥流および上部岩屑に大きく 3 大別される。下部泥流と中部泥流とは岩相的によく似ており露頭で区別することは困難であるが、絶対年代の測定によれば、前者は約 4,900 yrs. B. P., 後者は約 3,000 yrs. B. P. のものである。両者の累重関係は発電所北方 (第 1 図の C 地点) で観察される。一般に下部に大小様々の安山岩塊とこれを埋める粘土からなり淘汰をまったく受けていない泥流堆積物があり、こ

の上に粘土層がのりこの中に草炭が伴われることが多い。この上には淘汰を受け、円礫も伴う砂礫層がのる。この 3 者は整合的に重なるのであるが、粘土層の分布が局部的であるのに、砂礫層はより広く分布する傾向がある。これは泥流が堆積した後、まず堆積物の表面の凹所に沼沢地ないし湿地帯を生じ、これらが埋積された後、川の氾らん原になるという経過をたどったためと思われる。上部岩屑は大小の岩塊 (径 2~3 m、ときに 10m に達することがある) を主とし、岩塊の間は土壌で充填されたり、空洞のまま残されたりしている。成因上不明の点が多いが一種の崖錐堆積物かも知れない。

湯坂層の構造はカルデラの内部ではほとんど水平である。しかし湯坂沼から芭蕉沼にかけてのカルデラ外の場所では西に 30° 内外の傾斜をもつことがある。また芭蕉沼のわきでは走向 N15°W の断層によって切られている。これらの変形が堆積時のものかあるいは後の構造変形によるものかは明らかでない。

湯坂層の主要露頭の地質柱状図を第 2 図に示す。このうち測年用試料を採取した露頭の地質状況については次節に述べることにする。



第 2 図 湯坂層地質柱状図
Geologic columnar section of Yuzaka Formation

4. 測年用炭素試料の採取

測年用試料としては湯坂層から5コ、沖積層その他の新しい堆積物から4コ、計9コを選んだ。これらの試料の採取地点およびその地質の状態を述べる。

4.1 湯坂層からの試料

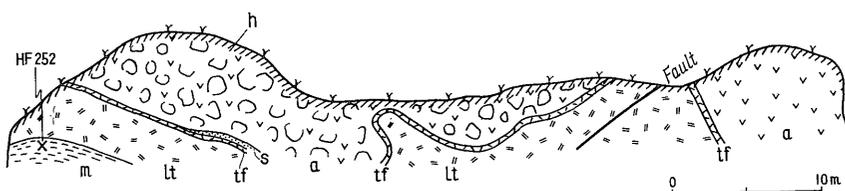
HF 252 の炭化木試料：地域北東端の芭蕉沼のほとりの県道の崖(第1図のL地点)で採取した。ここは下位から粘土層・火山礫凝灰岩・赤紫色凝灰岩・安山岩熔岩の順に重なっている(第3図)。粘土層は湯坂層に、その他は古岩手火山に属する。粘土層は青色ないし灰色で、位置関係からもこの下位に泥流堆積物(M地点で丸森火山の安山岩の熔岩を直接おおうもの)がくることはほぼたしかなので、泥流堆積物上面の凹地を埋めた湿地堆積物であろう。HF 252はこの粘土層の中の埋れ木である。火山礫凝灰岩は黄色火山礫(径2~4cm)からなり、淘汰は不良で層理はない。火砕流堆積物かも知れない。まれに円磨礫を含むがこれは外来のものであろう。黄色の色調は安山岩質のものが粘土化したためである。赤紫色凝灰岩は厚さ数cmでよく追跡される。この上面に水で淘汰されたりすい砂層を伴うことがある。安山岩熔岩は自破砕熔岩であるが、部分的には節理の発達も見られる。

HF 317の草炭試料：グンドリ川の中流、湯坂沼から流下する沢との合流点(第1図のI地点)で採取した。

ここでは下位に変質安山岩(多分丸森火山の外輪山熔岩)があり、上位に湯坂層の一部とみられる堆積物がある。両者の関係は直接はみられないが、位置関係からみて上下関係にあることは間違いない。堆積物は下位から粘土層、草炭、砂礫層の順に重なっている。HF 317の試料はこの草炭層から採取された。粘土層はこの北方の県道のK地点で泥流上にのる粘土層と同じものであることはほぼ間違いないので、この泥流堆積物の表面にできた凹地の堆積物とみられる。砂礫層はよく淘汰され、かつ円磨礫が多く、河床の堆積物とみられる。この露頭のすぐ東方の露頭(地点J)ではこの砂礫層が13mの厚さで発達し、この中に褐鉄鉱層が挟有されている。

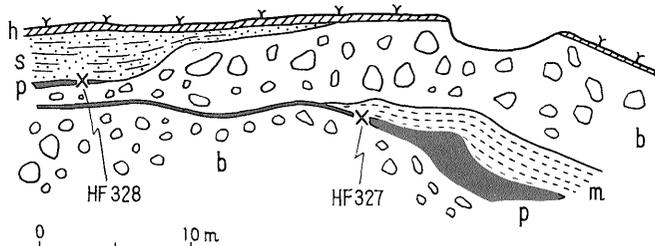
HF 269の草炭試料：青沼北方の県道わき(第1図F点)で採取された。ここは地形的に、泥流堆積物の凹所に生じた沼地あととみられる所であり、かつ余り侵食を受けていないようである。したがって、みられる堆積物の厚さはわずか2mにすぎないが、これはこの地点周辺では湯坂層のもっとも新しい時期を代表するとみられる所である。堆積物は下から草炭(HF 269の試料はここから採取された)・白色粘土・黄色軽石層・腐食土の順に堆積している。黄色軽石層は淘汰を受けており降下堆積物であろう。腐食土の中にも薄い軽石層がはさまれる。これらの軽石層は古岩手火山のものかも知れない。

HF 327 および HF 328 の草炭試料：発電所北方の道



第3図 古岩手火山が湯坂層をおおう関係(L地点)

Stratigraphic relation between Older Iwate Volcanic Rocks and Yuzaka Formation in Locality L.
 m: mud (Yuzaka Formation); lt: lapilli tuff, tf: tuff, s: sand, a: andesite (Older Iwate Volcano);
 h: humes; cross: carbon sample for age-dating



第4図 湯坂層の新旧の泥流の関係(C地点)

Stratigraphic relation between older and younger mud flow deposits in Locality C.
 b: boulder and clay (mud flow deposits); p: peat; m: mud; s: sand; h: humes; cross:
 carbon samples fore age-dating

第 1 表 松川地熱地帯の現世堆積物の ^{14}C 年代
 ^{14}C Ages of recent deposits in Matsukawa geothermal area

Sample No.	Code No.	Sample	Formation	Age, B. P. (years before 1950)
HF 317	GaK-3251	Peat	Yuzaka Formation	4,850±150
HF 327	GaK-3253	Peat	Ditto	4,640±120
HF 252	GaK-3259	Wood	Ditto	3,190±100
HF 269	GaK-3252	Peat	Ditto	2,980±110
HF 328	GaK-3254	Peat	Ditto	2,690±100
HF 400	GaK-3258	Wood	Alluvium (older)	380±140
HF 368	GaK-3256	Wood	Ditto (Limonite bed)	0± 90
HF 338	GaK-3255	Wood	Ditto (younger)	0± 90
HF 385	GaK-3257	Wood	Landslide deposit	0± 80

測定は学習院大学木越邦彦教授。

 ^{14}C の半減期として 5570年 (Libby の値) を用い、誤差は β 線計数の際の標準偏差から算出している。

Locality は第 1 図に記入してある。

路の切割(第 1 図の C 地点)で採取した。この切割は第 4 図のように、2 枚の泥流堆積物と、これに挟まれる粘土層および最上部の砂礫層とからなる。泥流堆積物は最大径 2 m に達する大小様々の安山岩塊とこれを埋める粘土からなり、淘汰はまったくうけていない。泥流の間に挟まれる粘土層は、下部の炭質物に富む部分と上部の白色粘土層からなる。炭質物に富む粘土層は部分的に草炭層となっており、HF 327 の草炭試料はここから採取された。多分この粘土・草炭層は下部の泥流堆積後、その上面の凹部に生じた沼沢地の堆積物であろう。上部の泥流の直上に薄い草炭層があり、これも同様に泥流堆積物の凹地にたまった沼沢地堆積物であろう。HF 328 の草炭層試料はここから採取された。この上に整合的によく淘汰されて成層した砂礫層がのる。これは多分河成の堆積物とみられる。

4.2 沖積層その他新期堆積物からの試料

HF 400 の埋れ木の試料：赤川下流の MR 5 号井わきの赤川南東岸に露出する新しい礫層の下部から採取した。この礫層は少なくとも 1.5 m の厚さがあり、低い段丘状地形を呈しており、赤川の古い河床堆積物とみられる。礫層はよく淘汰され、成層しており、間に砂や粘土の薄層を挟んでいる。

HF 368 の埋れ木試料：澄川下流の東岸の台地に褐鉄鉱層がある。褐鉄鉱層は笹の葉を主とする木の葉を交代したものであるが一部木片もある。HF 368 もその一つで一部は褐鉄鉱に交代されているが、未交代のまま残っている部分があり、これを試料とした。ここでは地質の断面はみられない。

HF 338 の埋れ木試料：MR 2 井の北方の松川本流の南岸に褐鉄鉱で膠結された礫層がある。河床から約 1 m

の高さにあり、非常に新しい河床礫とみなされる。HF 338 の試料はここから採取された。

HF 385 の埋れ木試料：MR 6 井と MR 7 井との中間の赤川東岸に大きな地すべり地帯がある。試料を採取した露頭では、変質した松川安山岩をおおって 3 枚の地すべり堆積物がある。これらは、間に腐食土層を挟んでいるので 3 枚と識別することが可能である。3 枚の堆積物の厚さは下からそれぞれ、1.5 m、1.3 m および 0.5 m 以上である。HF 385 の試料は最下位の堆積物中の埋れ木である。

5. ^{14}C 年代の測定

前節に述べた 9 コの炭質物の ^{14}C 年代を第 1 表に示す。

6. 結果の解釈

上にも述べたように湯坂層の岩相からみて、湯坂層堆積当時、泥流の堆積→沼沢地の出現・埋積→河床における堆積というサイクルが少なくとも 2 回くりかえされている。下部のサイクルにおける沼沢地堆積物の年代は 4,850 ± 150 yrs. B.P., 4,640 ± 120 yrs. B.P. および 3,190 yrs. B.P. であり、上部のサイクルにおける沼沢地堆積物の年代は 2,980 ± 110 yrs. B.P. および 2,690 ± 100 yrs. B.P. である。よって、湯坂層の泥流は約 4,900 年前頃と約 3,000 年前頃の少なくとも 2 回、流出・堆積したものとみなされる。

古岩手火山の外輪山熔岩が 3,190 yrs. B.P. の年代の泥層をおおっているため、古岩手火山の外輪山の一部、後カルデラ噴出物および岩手火山(狭義の)は 3,190 年より新しい時代に生成したことになる。

MR 5号井わきの河岸段丘の礫層の基底の木材の年代は 380 ± 140 yrs. B.P. であるから、赤川の河床は少なくともその頃までに現在の高さにまで削られていたことになる。

MR 7号井わきの少なくとも3回の地すべりによって生じた地すべり堆積物のうち、初回のもの年代は 0 ± 80 yrs. B.P. である。したがって長くても80年前(明治24年)から現在までの間に3回の地すべりが起こったことになる。

澄川の河岸段丘の上には褐鉄鉱層の沈殿がみられるが、この中に埋没した木材の年代は 0 ± 90 yrs. B.P. である。また松川本流のT7井の下方の河床にも褐鉄鉱で膠結された河床礫がある。この中の木材の年代は 0 ± 90 yrs. B.P. である。すなわち褐鉄鉱層の生成は少なくとも90年前、おそらく現在まで続いていると思われる。

以上を要約すれば少なくとも4,900年より新しくない時代に松川地熱地帯の噴気活動は消滅し、変質帯が侵食され(あるいは一部沈降して)舟型の盆状地形ができた。その後泥流堆積物、湿地堆積物、河成堆積物などの累層(湯坂層)によってこの盆地は埋められた。これが約3,000年前である。この途中あるいはそれ以後のある時期に古岩手火山の熔岩が、地域の東部に達した。湯坂層は堆積後、松川、赤川および澄川によって侵食され、少なくとも380年前頃には現在の高さにまで侵食された。この河谷はその後も河床の堆積物、地すべり堆積物による埋積、侵食が反復され現在に至っている。少なくとも90年前までおそらく現在まで褐鉄鉱層の沈殿が続いた。

さて松川地熱地帯の変質帯はENE-WSW方向に幅1~1.5kmで7kmにわたって続き、面積は4.6km²にもおよび、わが国でも最大級の変質帯である。しかし、現在の地表熱徴候はこの変質帯に見合うにはあまりにも微弱である。したがって松川地熱地帯は初期には噴気性地熱地帯であり、後に何らかの原因で潜頭性地熱地帯に変化したといえる。

湯坂層の年代が約4,900 yrs. B.P. より新しくないことは、松川地熱地帯が潜頭性地熱地帯と化して後、少なくとも4,900年は経過していることになる。湯坂層は噴気による変質はまったくうけていないのであるが、その中には褐鉄鉱層が含まれており、そして同様な褐鉄鉱層が河岸段丘などの現在の堆積物(¹⁴C年代は 0 ± 90 yrs. B.P.)にも含まれる。したがって湯坂層の時期にはすでに現在に近い状態となっていたのであろう。

よって松川では噴気時代に続く鉱泉時代が少なくとも5,000年にわたって持続していると結論される。

7. 熱水活動の持続に関する他地域の研究との比較

カムチャッカの Geysir Valley : AVERIEV (196) は Geysir Valley において、古い温泉沈殿物が第2河岸段丘の高さにあることをみいだした。この段丘の時代は氷期の終り(約10,000年前)にあたっている。彼はイエローストンおよびアイスランドの同様なデータもあわせ考えると、熱水系の生成は大体10,000~20,000年前であり、このことから熱水系の生成には氷期の終りが関係まると考えている。すなわち氷期には天水の地下への浸透がむずかしいので、その頃の熱水系は今とはかなりちがった姿であったと考えるわけである。また彼は熱水系の生成した後における泉温の変化について次のように考えている。温泉沈殿物の“Geysirite”は100~370°C以外(温度では沈殿しないこと、および現在の地下温度が約250°Cであることから考えると、10,000年の間の温度変化は150°を超えることはなく、したがって100年あたり1°温度変化は、現在の温度の0.6~1.5%を超えないわけで、変化はかなりおそいものであると考察している。

アメリカのイエローストン国立公園 : Boyd (1961) はイエローストン地域における過去の温泉活動の証拠を3つあげている。1つは温泉変質を受けた Jackson flow (鮮新世) とそれをおおう未変質の Yellowstone tuff (鮮新世中期) との関係 (Madison Canyon), 第2つは Yellowstone tuff をおおい、かつ氷河堆積物におおわれるトラバーチン (Mammoth Hot springs), 第3つは温泉変質を受けた氷河堆積物とそれをおおう新鮮な新しい氷河堆積物との関係 (Lower Geysir Basin) である。Lower Geysir Basin における新しい氷河 (early Pinedale 氷期の時代は 20,000 ~ 25,000 yrs. B.P. である (MUFFLER et al., 1971)。

山形県板谷カオリン鉱床 : この鉱床は吾妻火山の安山岩熔岩および火山砕屑岩を交代して生じた東西100m、南北50mのカオリン鉱床である。鉱床の原岩に含まれる炭化木片の¹⁴C年代は $30,600 \pm 2,200$ yrs. B.P. である(富樫, 1969)。この場所には現在地熱徴候とみられるものはまったくないけれども、西方約3kmの姥湯温泉の変質帯はこの変質帯と一連とみられる(中村久由技官の談話による)。

岩手県松尾硫黄鉱床 : この鉱床は松川地熱地帯の北方7kmの所に位置し、茶臼岳火山の噴出物中に存在する。鉱床の胚胎するのは茶臼岳火山の旧期熔岩であり、一方鉱床は未変質の新时期熔岩におおわれる(河野・村, 1954) ので、新时期熔岩以前に鉱化作用(変質作用)があったことは明らかである。加藤ほか(1934, 193) は鉱

床に含まれる植物化石から鉱化作用の時期を更新世後期と考えている。また硫黄鉱床の周辺には新しい褐鉄鉱床が多数分布し、その一部は明らかに現在沈殿しつつある (小出, 1953)。

熱水系が生成し、発展し、消滅するまでにどの程度の時間が経過するかの問題を研究するのに、古い時代の熱水系の痕跡 (変質帯・温泉沈殿物) を用いる場合、痕跡によって代表される熱水活動が現在の活動と時間的に連続しているかどうかの問題になる。しかしここでは両者の分布に共通性があれば連続するとの仮定をおくことにする (この場合両者の位置の偶然的な一致による過大な年代がでる可能性に留意しなければならない)。

この立場で上述の各地のデータを比較してみよう。まず①広大な変質帯があるにもかかわらず、現在地表熱徴候のまったくみられない“消滅した地熱地帯 (extinct geothermal area, Iwao, 1962)”の年代としては、板谷の30,000年以後、イエローストンの Madison Canyon における中期中新世、松尾の更新世後期などのデータがある。次に②地下に高温熱水系があるにもかかわらず、地表熱徴候が弱い潜頭性地熱地帯 (buried geothermal area) の年代のデータとしては松川の5,000年以前があげられる。最後に③現在地表でも噴気あるいは高温泉のみられる活地熱地帯 (active geothermal area) の年代としてはイエローストンの Mammoth Hot Spring の鮮新世中期以降、ある氷期以前、イエローストンの Lower Geysir Basin の20,000年以前の第四紀、カムチャッカの10,000年などのデータがある。

以上のデータに関するかぎりでは熱水活動の持続期間でもっとも大きい値は20,000年であり、消滅して以来のもっとも小さい値は30,000年である。松川の今回得られた潜頭性地熱活動が5,000年以上という値はここにのべた熱水系の持続期間からみて妥当な値といえることができる。

8. 結 言

- 1) 松川地熱地帯における現世堆積物は下位から上位へ湯坂層、古岩手火山およびその他の新期堆積物 (沖積層・湿地堆積層・地すべり堆積物など) からなる。
- 2) 湯坂層は丸森火山のカルデラの内部に広く分布し、泥流堆積物・湿地堆積物・河成堆積物・崖錐などの累層からなる。泥流堆積物は少なくとも2枚ある。
- 3) 湯坂層から5コ、新期堆積物から4コ、計9コの炭質物を採取し、その ^{14}C 年代を測定した。
- 4) 湯坂層から得られた年代は 4,850 yrs. B.P. より新しく 2,690 yrs. B.P. より古い。古岩手火山の少なくとも

一部は3,190 yrs. B.P. より新しい。新期堆積物から得られた年代は 380 yrs. B.P. より新しく 0 yrs. B.P. より古い。

5) 湯坂層および新期堆積物は熱水変質を受けた火山岩類 (松川安山岩類および丸森火山) をおおい、みずからは変質を受けていない。またそれぞれの中には褐鉄鉱層が挟有される。

6) 測年データから松川の地熱系の地表活動は少なくとも5,000年前には消滅し、それ以後、潜頭性地熱地帯となり、地表では鉱泉活動が続いていると結論される。

7) 以上のデータを世界各地のデータと比較・討論した。

9. 謝 辞

サンプル採取上の便宜、ボーリングに関するデータを与えられた日本重化工機、 ^{14}C 年代の測定を引受けて下さった学習院大学木越邦彦教授、本稿について有益な助言を与えられた中村久由技官、地質部・応用地質部の各位に厚く御礼申上げる。

文 献

- AVERIEV, V. V. (1967): Hydrothermal Process in Volcanic Areas and Its Relations to Magmatic Activity. *Bull. Volc.*, vol. 30, p. 51~62.
- BOYD, F. R. (1961): Welded Tuffs and Flows in the Rhyolite Plateau of Yellowstone National Park, Wyoming. *Geol. Soc. Amer., Bull.*, vol. 72, p. 387~426.
- IWAO, S. (1962): Silica and Alunite Deposits of the Ugsu Mine; a Geochemical Consideration on an Extinct Geothermal Area in Japan. *Jap. Jour. Geol. Geogr.*, vol. 33, p. 131~144.
- KATO, T., WATANABE, T. & NAKAMOTO, A. (1934): On the Sulphur Deposits Associated with Iron Sulphide Ore, Found in the Quaternary Formation of Japan. *Jap. Jour. Geol. Geogr.*, vol. 11, p. 287~324.
- 加藤武夫・他2名 (1935): 本邦新生代層中に発達する硫化鉄鉱を随伴する硫黄鉱床とくに北海道幌別鉱山および岩手県松尾鉱山の鉱床について、火山, vol. 2, p. 107~122
- 河野義礼・上村不二雄 (1954): 松尾・八幡平硫黄・硫化鉄鉱床地帯地質調査報告, 地質調

- 報, no. 158
- 河野義礼・上村不二雄 (1964) : 5万分の1地質図幅「八幡平」, および同説明書, 地質調査所
- 小出 博 (1953) : 褐鉄鉱, 地球科学, no. 13, p. 12~18
- MUFFLER, L. J. P., WHITE, D. E. & TRUESDELL, A. H. (1971): Hydrothermal Explosion Craters in Yellonostone National Park. *Geol. Soc. Amer., Bull.*, vol. 82, p. 723~740.
- 中村久由・角 清愛 (1961) : 岩手県松川地熱地帯の温泉地質学的研究, 地質調月報, vol. 12, no. 2, p. 1~12
- SUMI, K. (1968): Hydrothermal Rock Alteration of the Matsukawa Geothermal Area, Northeast Japan. *Geol. Survey 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
- 富樫幸雄 (1969) : 山形県板谷カオリン 鉱床産炭化木片の ^{14}C 年代, 鉱山地質, vol. 19, p. 172~175