

秋田県玉川温泉地域の第四系とその ^{14}C 年代

角 清 愛* 高 島 勲*

Quaternary Deposits and Their ^{14}C -Ages in Tamagawa Hot Spring Area, Akita Prefecture, Japan

By

Kiyoshi SUMI & Isao TAKASHIMA

Abstract

Stratigraphy of Quaternary deposits in the Tamagawa hot spring area was clarified and their ^{14}C ages were determined. From those data the duration of geothermal activity is discussed.

The Quaternary deposits were classified into Sakebizawa Formation, Yakeyama volcanics, Shikayu Formation, landslide debris and alluvium in ascending order. The Sakebizawa Formation is a lacustrine deposit and intercalated with the older lavas and pyroclastic rocks of the Yakeyama volcanics. Younger ejecta of the Yakeyama volcanics, however, are subaerial deposits and are associated with welded pyroclastic flow deposits. The Shikayu Formation is lacustrine deposits in Tamagawa crater. It covers unconformably the Sakebizawa Formation and is assumed to be younger than the younger ejecta of the Yakeyama volcanics.

Fumarolic or hot spring activities are observed at the bottom of Tamagawa and Sakebizawa craters, and their surrounding area are suffered from intense alteration. "Hokutolite" (plumbian barite) is distributed on the low terrace younger than the Shikayu Formation and the bottom of present river where the hot water from a big hot fountain is flowing down.

The altered rocks are distributed not only in the fumarolic areas but also in a part of crater where geothermal manifestations are not observed now. Judging from the stratigraphical relations between the altered rocks and the Quaternary deposits, the alteration in Tamagawa crater is historically classified into a), pre-Shikayu alteration, b), the alteration of the same stage as the deposition of the Shikayu Formation and c), post-Shikayu alteration. The pre-Shikayu alteration might begin at the stage of the deposition of the Sakebizawa Formation. Because the alunite bearing altered rocks are found in the conglomerate of the Sakebizawa Formation as derived blocks.

^{14}C ages of the Sakebizawa Formation are older than 40,100, older than 33,000 and 26,900 years before present. And those of the Shikayu Formation are 5,330 and 2,260 years before present. The age of the conglomerate containing the alunite bearing rocks is older than 33,000 years before present.

Judging from the stratigraphy and ^{14}C ages of the Quaternary deposits, the geothermal activity of Tamagawa crater has been continued during 33,000 years at least. And the precipitation of "Hokutolite" had begun in the time younger than 2,260 years.

Referring the published data, it is assumed that the duration of geothermal activity in an area is rather commonly longer than 30,000 years. It is a remarkable fact, however, that the pouring of heavy metal bearing solution producing "Hokutolite" had begun in relatively younger time in spite of the long duration of geothermal activity.

* 応用地質部

1. 緒言


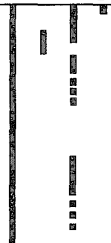
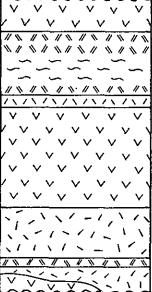
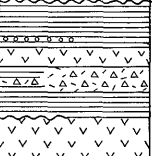


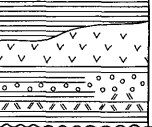
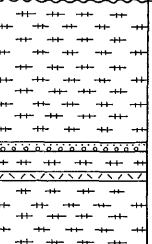

玉川温泉は塩酸性であること、いわゆる北投石(鉛重晶石)が現在沈積しつつあることなどの点から地球化学者・鉱床学者の注目を集めている所である。

筆者の一人角はかつて玉川温泉の調査を行なった際に、“北投石”の沈積はこの地域の地形発達史の上で非常に新しい時期に開始したものであることを明らかにした(河野ほか, 1957)。このような沈積開始時期およびこ

れに先だつ地熱活動の開始時期の年代を決定することは地熱活動進化の研究上意味のあることと思われる。

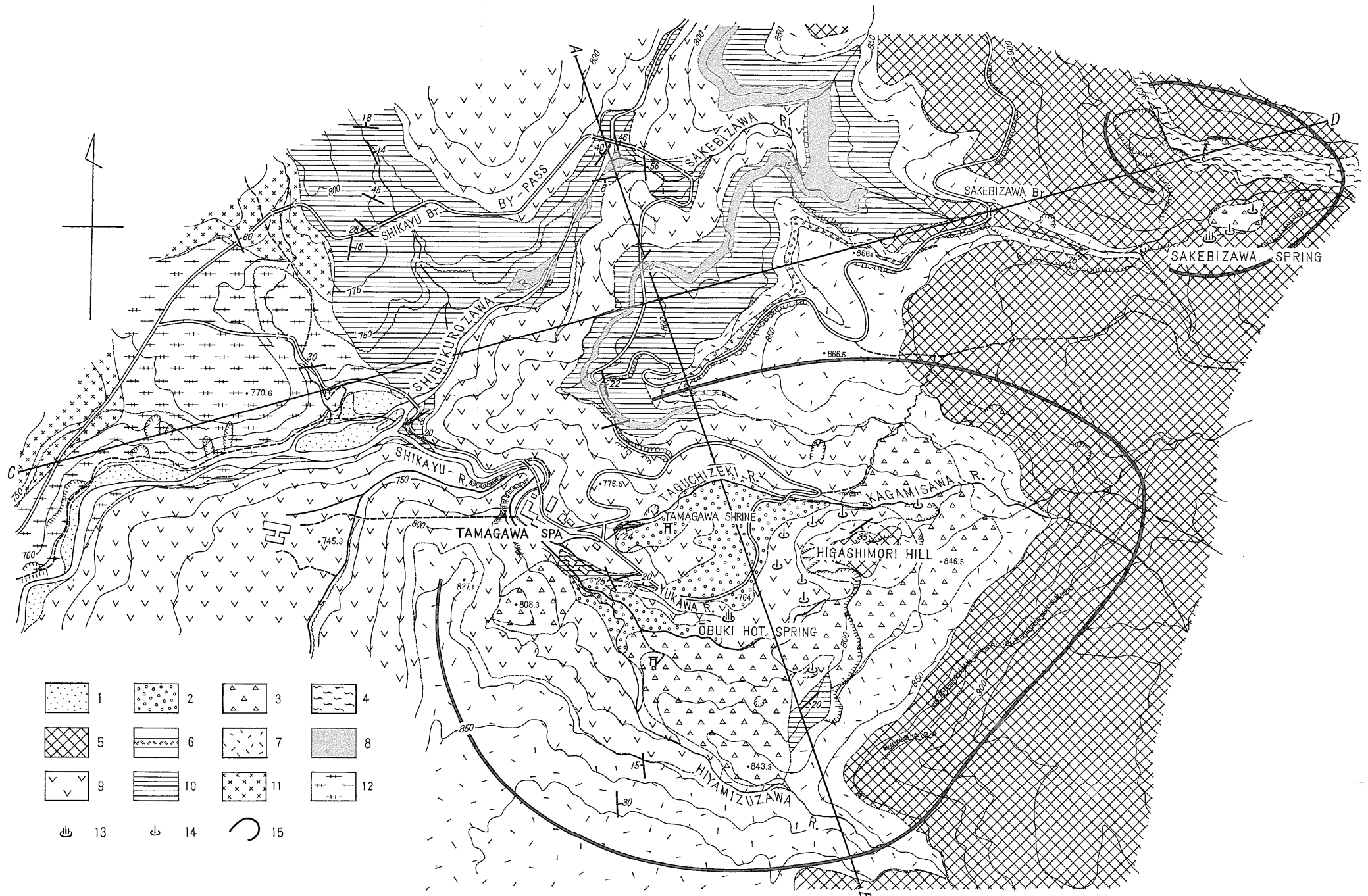
この観点から筆者らは玉川温泉周辺の第四紀堆積物の層序学的調査を行ない、ここから炭素試料を採集し、これを学習院大学木越邦彦教授に依頼して¹⁴C年代の測定を行なった。この結果“北投石”が比較的新期のものであるにもかかわらず、地熱活動は、これよりはるかに長い歴史を持っていることが明らかになったのでこれを報告する。

第1表 玉川温泉地域の地質総括表
Stratigraphic Summary of Tamagawa Hot Spring Area

Age	Formation	Rock facies and thickness	¹⁴ C Age (yrs. B. P.)	Remarks A B C D
Recent	Alluvium, Shikayu F.		2,260	
	Younger Yakeyama Volcanics	 5m ± 200m ±	5,330	
Pleistocene	Sakebizawa Formation and Older Yakeyama Volcanics		26,900	
		 250m ±		
				
Pliocene	Tamagawa Welded Tuff	 180m ±	> 33,000 > 40,100	

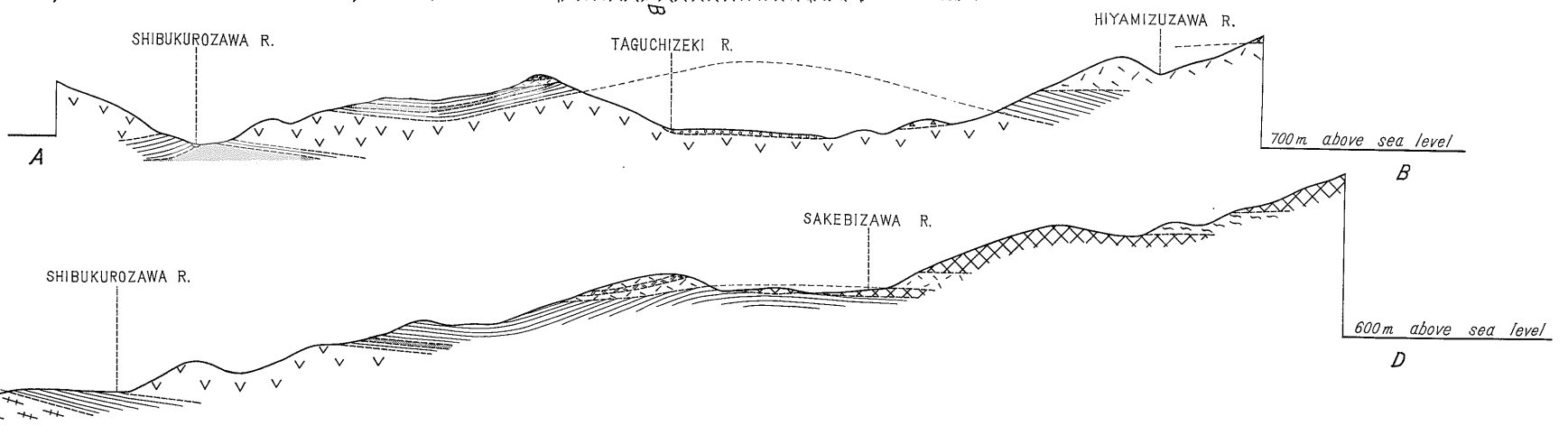
A : Activity of Yakeyama volcano
B : Lacustrine environment

C : Activity of Tamagawa hot spring
D : Deposition of "Hokutolite"



- | | | | |
|----|----|----|----|
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| 5 | 6 | 7 | 8 |
| 9 | 10 | 11 | 12 |
| 13 | 14 | 15 | |

0 500m



第1図 玉川温泉地域地質図
Geologic Map of Tamagawa Hot Spring Area

1: 沖積層, 2: 底層, 3: 地り岩層, 4: 安山岩火砕流, 5, 8および9: 安山岩熔岩, 6: 軽石凝灰岩, 7: 火山碎屑物 (4~9は焼山火山噴出物), 10: 叫沢層, 11: 珪長質安山岩, 12: 石英安山岩熔結凝灰岩 (11~12は玉川熔結凝灰岩), 13: 温泉, 14: 噴氣孔, 15: 火口

2. 地 質

2.1 概 説

玉川温泉地域の地質については従来椎川 (1955), 河野ほか (1957), 大沢・角 (1957), 近藤 (1963) などの研究があり, これらによって, この地域には鮮新世の玉川熔結凝灰岩, 第四紀の焼山火山噴出物および湖成堆積物の存在が知られていた。しかし露頭状況が不良のためこれら相互の関係はよくわかっていなかった。

今回の筆者らの調査は新道路の開通後間もない時点で行なわれたので, これらの層序関係を明らかにすることができた。この結果この地域の地質は下位から玉川熔結凝灰岩, 叫沢層, 焼山火山噴出物, 鹿湯層, 地汙り岩屑および沖積層に分けられた (第1表参照)。

玉川熔結凝灰岩は本地域の第四系の基盤をなし, 石英安山岩熔結凝灰岩および安山岩熔岩からなる。この熔結凝灰岩はこの地域のみならず, ひろく八幡平火山群の基盤として分布している。本岩が中新統上部をおおう関係がみられることからみて, その時代は鮮新世と考えられる。

叫沢層は玉川熔結凝灰岩を不整合におおい, おもに泥岩と礫岩とからなる。本層は岩相変化, 層厚変化が著しく, スランプ構造, 岩屑状の礫岩の存在などからみて, せまい湖盆の堆積物とみられる。叫沢層の中には3枚の焼山火山の熔岩が挟在しており, かつこの熔岩が水中熔岩の岩相を示すことからみて, 叫沢層は焼山火山初期に生じた湖盆に堆積したものであろう。

焼山火山噴出物は安山岩の熔岩, 熔結凝灰岩および火山砕屑岩からなる。その下部は上述のように水中に堆積したものであるが, 上部は熔結凝灰岩の存在からもわかるように, その当時はすでに叫沢層を堆積させた湖盆は消滅しており, 陸上に堆積したものである。

鹿湯層は玉川温泉のある直径約1kmの玉川火口^{注1)}の中に堆積し, 泥岩, 礫岩, 草炭などからなっている。岩相あるいは硫黄鉱物の存在からみて, 本層は玉川火口が湯沼であった時代の堆積物であろう。

調査地域の地質図を第1図に示す。

2.2 玉川熔結凝灰岩^{注2)}

本岩は調査地域の最下位の岩層で地域西部の渋黒沢北

注1) 玉川温泉および叫沢の噴気地帯はそれぞれ楕円形の凹地の中にある。この凹地をそれぞれ玉川火口あるいは叫沢火口と呼ぶこととする。

注2) 本岩は椎川 (1955) が渋黒熔結凝灰岩層として, あるいは大沢・角 (1957) が田沢酸性火山岩類として記載しているものである。しかし本地域を包含するさらに広い地域の本岩について河野・青木 (1959) は玉川熔結凝灰岩の名称を用いているので本文ではこの名称を用いることとする。

岸に露出する。下位の石英安山岩熔結凝灰岩は少なくとも100m, 上位の安山岩熔岩は少なくとも80mの厚さをもっている。

本岩はおもに下位の石英安山岩熔結凝灰岩と上位の安山岩熔岩とからなりこれに少量の凝灰岩および砕屑岩を伴う。凝灰岩は鹿湯川入口から玉川バイパスに上る坂道で, 石英安山岩熔結凝灰岩に挟まれており, これは礫岩質のもので細円礫, 頁岩礫などを含んでいる。砕屑岩は玉川バイパスの安山岩熔岩の基底で見られる。ここの露頭では石英安山岩熔結凝灰岩の上に礫岩が, さらにその上に安山岩熔岩がのっている。礫岩の最下部はよく円磨された礫を含み上部は角ばった礫を含み, 最上位は安山岩熔岩基底の自破砕部と見分けがつかなくなる。礫はほとんど安山岩であり, 石英安山岩熔結凝灰岩から由来したのものとしては, 基質に含まれる石英粒だけである。このことからこの礫岩は安山岩熔岩と一連のもので, 安山岩熔岩の活動時には部分的には水中の環境があったことを示している。一方礫岩と下位の石英安山岩熔結凝灰岩とは不調和の関係にある。すなわち走向 $\text{N } 80^{\circ}\text{E}$, 傾斜 10°N の葉理面を持つ熔結凝灰岩の上にこれと斜交する走向 $\text{N } 20^{\circ}\text{W}$, 傾斜 66°W の面で礫岩が堆積している。この面は平滑ではあるが, ずれの証拠はなく, 一つの浸食面であろう。

石英安山岩熔結凝灰岩はわずかに桃色を帯びた灰色で, やや多孔質で, その中に厚さ1~5mm程度の緻密なレンズを含む。しかしふつうの露頭ではこのような熔結構造は余り顕著でない。石英・長石の斑晶が著しく多いので風化面では崩れて細かい岩片となる。大きな露頭ではおおまかな柱状節理がみられる。鏡下で観察すると, 斑晶として石英・斜長石・普通輝石・紫蘇輝石および鉄鉱があり, 石英・斜長石の大きさは約3mmに達し, 著しく多量である。石基は熔結構造が著しい。全般に弱い変質を受けており, 石基の隙間, 斑晶紫蘇輝石の周りなどには褐色粘土鉱物が生じ, また石基のガラスが再結晶して生じた玉髓質石英が多くみられる。

安山岩熔岩は暗灰色で流理構造が著しく, やや多孔質である。自破砕熔岩をなすこともあり, またおおまかな柱状節理をもつ熔岩のこともある。やや緻密で形の不規則なオートリスをしばしば含む。斜長石の斑晶は著しく多い。鏡下で観察すると, 斑晶として斜長石・普通輝石および紫蘇輝石があり, 非常にまれに石英およびかんらん石がある。かんらん石斑晶は単斜輝石の反応縁をもち, さらにこの単斜輝石の周囲には単斜輝石の反応縁がある。斜長石の大きさは最大約3mmに達する。石基は微弱な変質を受けているため構成鉱物ははっきりしない

が、珪酸鉱物・褐色雲母を含む晶洞、径約 0.05 mm の球かに富む。

2.3 叫沢層^{注3)}

本層は玉川熔結凝灰岩を不整合におおう湖成堆積層で、叫沢および鹿湯橋付近に標式的に発達する。厚さは、これに挟在する焼山火山岩類も含めて 250m 程度に達するものと思われる。

本層は主として灰色泥岩からなり、これに白色泥岩、砂岩、礫岩などを伴う。叫沢を中心とする東部地区では層理が比較的明瞭で安定した堆積環境を示すけれども、鹿湯橋付近の西部地区では、単層の厚さの急激な変化、スランプ構造、層間褶曲、岩屑状の淘汰不良の礫岩の存在など不安定な堆積環境を示している。鹿湯橋付近は叫沢層が玉川熔結凝灰岩をおおう不整合面の直上部でありかつ、叫沢層の堆積盆地の周縁部であるために、このような異常堆積層が生じたものであろう。地層の分布状態も異常で、一部では地層のアバットも考えられる。

本層とこれに挟まれる焼山火山噴出物との関係は、後に述べるように後者が水中熔岩の岩相を呈することもあり、たがいに一連整合と考えてよい。叫沢中流(第2図のG地点)では中位の熔岩とこれをおおう叫沢層との間に浸食面がみられる(Plate I-2)。ここでは板状節理のある部分が、直接泥岩におおわれているので、浸食があったことは疑いない。これは中位の熔岩が比較的厚いために湖盆が埋積されて一部水面上に現われたことに関連があるかも知れない。とすると叫沢層を堆積させた湖盆は単なるせき止めによるものというより、焼山火山生成初期の沈降運動によるものと考えた方がよさそうである。

叫沢層の地質柱状図を第2図に示す。

2.4 焼山火山古期噴出物^{注4)}

本噴出物は叫沢層中に挟在する噴出物をいい、焼山火山生成初期にこの地域が湖盆であったころ噴出堆積したものである。

この噴出物はおもに安山岩熔岩で、一部には凝灰角礫岩、軽石凝灰岩などもある。厚さは鹿湯川で最も厚く約 120m に達する。

注3) 本層は椎川(1955)の叫沢頁岩層、玉川頁岩・凝灰岩・角礫凝灰岩および凝灰質頁岩・凝灰岩、河野ほか(1957)の前焼山火山噴出物、ならびに近藤(1963)の玉川層および叫沢頁岩層を包含するものである。これらの地層相互の関係はこれまでよくわからなかったため、地質時代も鮮新世あるいは更新世とされていた。しかし今回の調査によってこれらは焼山火山生成初期にこの地域に生じた湖盆の堆積物であることがわかったので、これらを一括して叫沢層と呼ぶことにした。

注4) この噴出物は椎川(1955)の旧期熔岩の一部、中期熔岩の全部、河野ほか(1957)の鹿湯川熔岩などにあたる。

安山岩熔岩は、叫沢層中部に挟在する1枚の厚い熔岩と、これのやや下位およびやや上位にそれぞれ1枚の薄い熔岩、計3枚存在する。

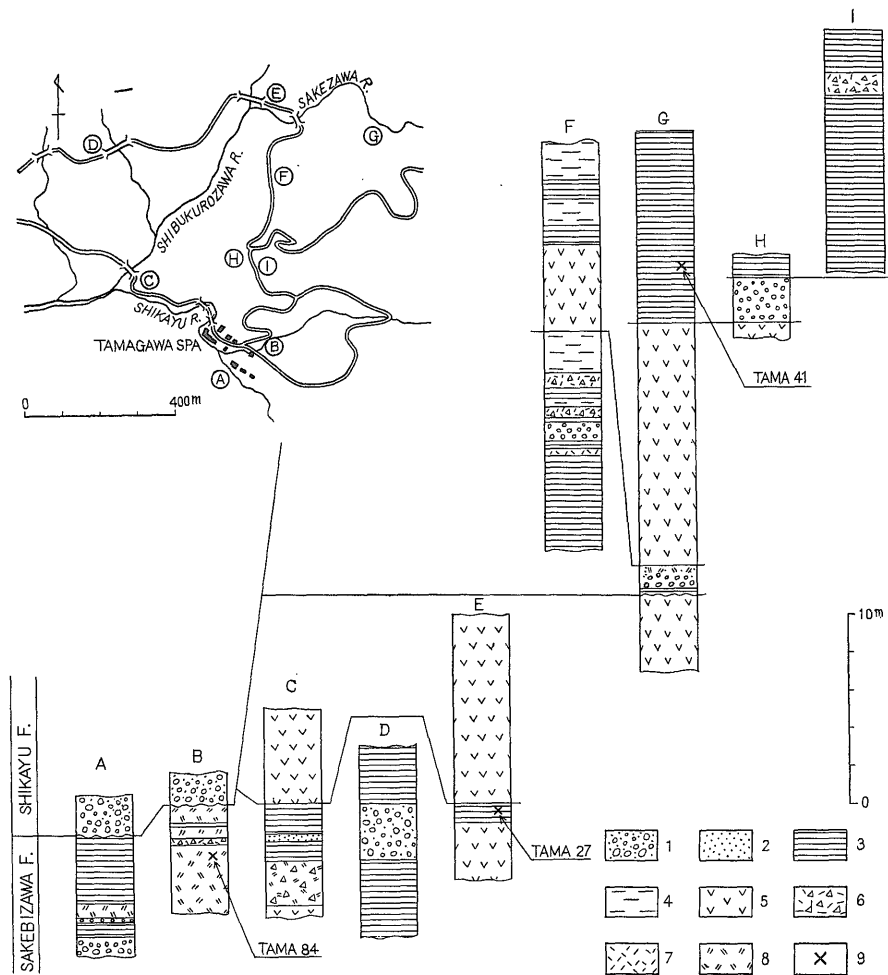
叫沢層中部の厚い熔岩は地域北部の叫沢付近では厚さは30m程度であるが南部では次第に厚くなり、鹿湯川付近では約120mの厚さをもっている。しかしこの熔岩の上位あるいは下位の熔岩はいずれも薄いもので厚さは20mを超えない。

これらの熔岩は叫沢層を堆積させた湖盆中に堆積したらしい。叫沢中流(第2図のG地点)でみられる自破砕熔岩中の岩塊(最大径65cmに達する)は、顕著な急冷縁およびこれに垂直なわれ目を持っており(Plate I-3)、水中自破砕熔岩(久野, 1968)と考えられる。基質には黄色の安山岩質軽石が含まれるが、これは下位の叫沢層中のものを取りこんで来たものであろう。また叫沢下流(第2図のE地点)では下位の熔岩の表面が自破砕熔岩となり岩塊の表面に黄色のパラゴナイト様皮膜を生じているのが特徴的である(Plate I-2)。またここでは岩塊の中に叫沢層のシルト岩が不規則に入りこんでいるが、これは熔岩の運動に伴って未固結の叫沢層が熔岩中にとりこまれたものであろう。

熔岩はいずれも普通輝石紫蘇輝石安山岩で、熔岩の厚さが薄い部分では非常にガラス質で、灰黒色ないし黒色を呈し、熔岩が厚い部分では結晶質で灰色を呈する。結晶質のものを鏡下で観察すると斑晶として斜長石・普通輝石・紫蘇輝石および鉄鉱があり、紫蘇輝石は単斜輝石の反応縁を有する。石基はおもに斜長石・単斜輝石・斜方輝石および鉄鉱からなり、斜方輝石は単斜輝石の反応縁を有する。金雲母・クリストパライト・トリジマイトなどを含む晶洞がみられる。

凝灰角礫岩は厚さ5~6mで、岩塊は安山岩質のもので、基地には黄色軽石を含むことがある。軽石凝灰岩は玉川温泉の宿舎付近から鹿湯川入口にかけてみられる(第2図のA, BおよびC地点)。灰色塊状のものと碎屑物(砂粒)を含み、わずかに淘汰を受けた混成凝灰岩的なものがある。

叫沢層の礫岩中から温泉変質を受けた礫が発見された。一つは第2図のA地点(第4図b参照)で、この最下部の礫岩中の変質岩礫(TAMA 207)はX線回折結果によれば、明ばん石を多量に含み、これにクリストパライト、石英およびハロイサイトを含み。もう一つの地点は第2図のB地点(第4図a参照)で、この軽石凝灰岩中に挟在する礫岩中に変質岩礫が含まれる。この礫(TAMA 87)は強く珪化しており、X線回折結果によるとおもにクリストパライトからなり、少量のハロイサイ



第2図 叫沢層地質柱状図

Geologic Columnar Section of the Sakebizawa Formation

- 1: 礫岩, 2: 砂岩, 3: 泥岩, 4: 白色粘土, 5: 安山岩熔岩, 6: 凝灰角礫岩,
7: 凝灰岩, 8: 軽石凝灰岩, 9: 絶対年代測定用試料採取位置

トを伴っている。

これらの礫はハロイサイトを含むところから、風化作用の影響も考えられるが、明ばん石の存在や珪化作用は風化では説明できず、温泉あるいは噴気作用の証拠となり得る。

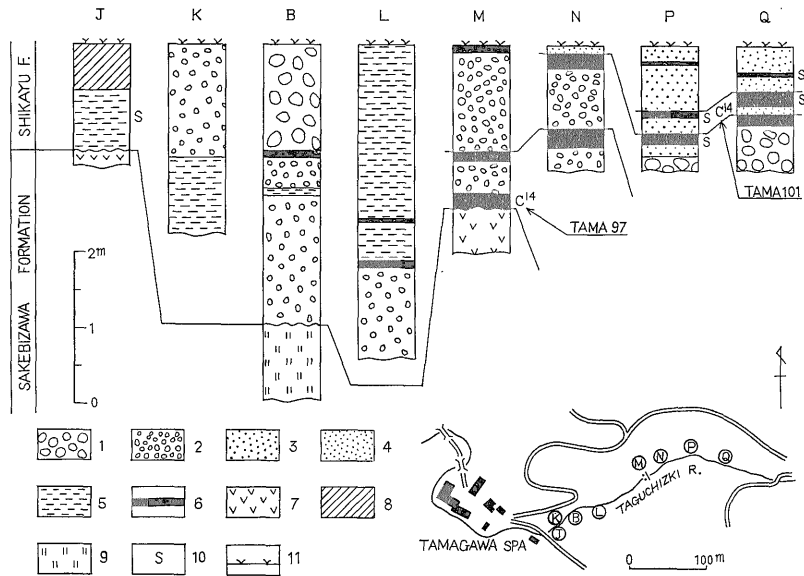
2.5 焼山火山新期噴出物

本噴出物は叫沢層をおおい地域東部に分布し、火山碎屑岩と安山岩熔岩の互層からなる。

最下位の安山岩熔岩は叫沢橋付近に小範囲に露出するにすぎない。この熔岩と叫沢層との層序関係はよくわからないが、岩石学的性質が上位の熔岩と似ているので、ここに述べる新期の噴出物に含めた。

この上位に比較的厚い火山碎屑岩層がのる。これは安山岩質の凝灰角礫岩、火山礫凝灰岩、細粒凝灰岩などからなる。しばしば成層状態が観察されるので降下堆積物であろう。風化して紫色あるいは赤褐色等の入りまじった雑色を呈する。比較的下位の層準に1枚の軽石凝灰岩が挟まれる。粘土化(X線回折結果によればハロイサイト化)が著しいが、塊状で軽石流堆積物とみられる。この火山碎屑物が叫沢層を不整合におおう関係は玉川温泉北方の自動車道路においてみることのできる (Plate II-1)。

この火山碎屑物層をおおって厚い安山岩熔岩があり、その厚い所では厚さ100mに達する。模式的な露出は玉



第3図 鹿湯層地質柱状図

Geologic Columnar Section of the Shikayu Formation

- 1:大礫, 2:中礫, 3:細礫, 4:砂, 5:泥, 6:草炭, 7:安山岩熔岩, 8:風化土, 9:軽石凝灰岩, 10:沈殿硫黄, 11:現在の地表

川火口東方の大きな崖であり、ここにみごとな柱状節理をみせて露出している注5)。

この安山岩熔岩は、玉川火口東方の大崖、東森、叫沢橋上流、叫沢火口南壁および同北壁（火砕流の上位）などいずれの場所でも橄欖石普通輝石紫蘇輝石安山岩で、かつ共通の岩石学的特徴を具えている。斑晶鉱物は斜長石・紫蘇輝石・普通輝石・橄欖石および鉄鋳で、ほかにかなり多量の石英外来結晶を含む。橄欖石は斜方輝石の反応縁を持つ。石基は斜長石・単斜輝石・斜方輝石・燐灰石および鉄鋳からなり、晶洞鉱物として、石英（あるいはクリストパライト、あるいはトリジマイト）・アルカリ長石・パーガサイト・金雲母などがある。晶洞の付近ではパーガサイトが紫蘇輝石の周りに成長して一種の反応縁を形づくっている。このようにこの安山岩は橄欖石斑晶を含むとはいえ、紫蘇輝石質岩系に属するもので、成分的にもかなり珪長質の安山岩である。

叫沢上流で安山岩熔岩の間に安山岩火砕流堆積物がみられる。これは淘汰不良の岩滓凝灰岩からなり、岩滓の径は30cmに達し、一部では熔結している。叫沢火口の北側の崖で厚さ約25mにわたって火砕流の断面をみることができる。ここでは最下位に3.5m厚の降下堆積物が

注5) 河野ほか (1957) によって笹の台熔岩と名づけられたもの。

あり、この上位に4枚の火砕流堆積物がのっている。厚さは下位からそれぞれ2.5m, 5m, 3.5mおよび8.5m以上である。これらの中には風化帯、腐食土あるいは火山砂層が介在し、それぞれが独立した flow unit であることを示している。最上位の火砕流が最も厚く、この下部に近い部分が厚さ約90cmにわたって熔結している (Plate II-2)。また2番目に厚い下から2枚目の火砕流も基底部の岩滓がわずかに熔結している。この熔結現象は、焼山火山新期噴出物の時代には湖盆がすでに消滅していた証拠となるものである。

なおこの火砕流の下位には黄鉄鋳を含む変質粘土があり、ここでは火砕流はまったく変質していないので火砕流以前に変質が起こったことは明らかである。

火砕流を作る岩石は普通輝石紫蘇輝石安山岩で、斑晶は斜長石・紫蘇輝石・普通輝石および鉄鋳で、石基は完全にガラス質で発泡が著しい。ただし熔結した部分の石基は発泡不良でその代り Eutaxitic texture が顕著である。焼山新期の熔岩と岩石学的に異なる点としては橄欖石斑晶と石英外来結晶とがみられないことがあげられる。

2.6 鹿湯層注6)

本層は玉川火口内の堆積物で火口中央部に分布する。

本層は浸食をあまり受けていないので、全域にわたる岩相はわからないが人工的に掘さくされた田口堰の岸でその断面をみる事ができる。この地質柱状図を第3図に示す。

本層は礫層、粘土層、草炭層などからなり、凹地が沼あるいは湿地の状態であった時代の堆積物であろう。礫層は淘汰が悪く、礫の円磨度も低いので、当時の地辻りによって生じたものかも知れない。いくつかの層準に湯華(沈殿硫黄)の薄層が挟在し、当時ここを温泉水が流れていたことを示している。田口堰の上流(第3図のQ地点の上流20m)では厚さ50cm以上の硫黄の鉱層が本層中に挟在している。この鉱層はPlate II-3に示すように全体がレンズ状を呈し、下位層とは斜交、上位層とは整合的な関係を示す。鉱層の下半部は灰色を帯びた細粒の硫黄で、その最上部には黄鉄鉱の微粒がある。上半部は黄色の比較的粗粒の硫黄が堆積し、かつクロスラミナをもっている。またこの上半部にはクラックが多くこの中に昇華硫黄が晶出している。このことは当時ここが湯沼の中の噴気孔であり、クロスラミナのある部分は沸とうによる水のじょう乱帯にあったのであろう。その後湯沼の水位が下がった時に昇華硫黄が晶出したものと考えられる。

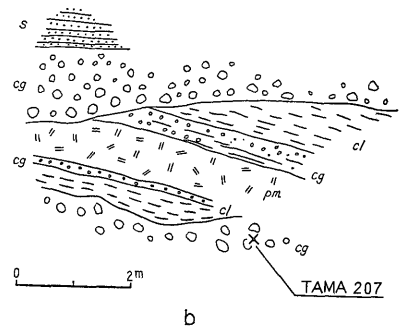
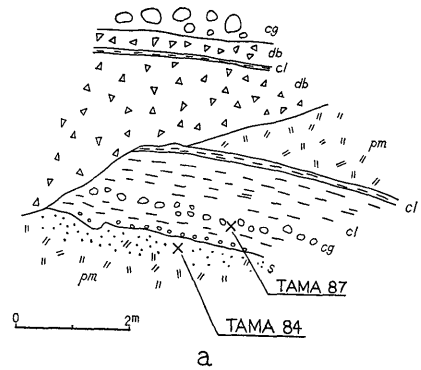
田口堰の中流(第3図のM地点)では本層が変質した焼山古期の安山岩熔岩をおおい、かつ自らは全く変質を受けていないので、鹿湯層堆積以前に地熱活動があったことは明らかである。この下位の変質安山岩はX線回折によれば石英およびカオリンからなる。

鹿湯層と焼山火山新期噴出物との関係については、直接の関係がみられないのでわからない。しかし新期噴出物の少なくとも下部は玉川火口内への“たれ下がり”がないので玉川火口以前の堆積物とみられる。しかし上部の厚い安山岩熔岩が火口内へ“たれ下がって”いるかどうかはよくわからない。この問題は火口内の東森の丘の上に分布する新期噴出物が、もともとこの堆積物なのか、あるいは地辻りによってここへ移動して来たものかによって判断されるのであるが、現在はそこのいずれであるかわからない。しかし鹿湯層からなる玉川薬師の丘の上には、未変質の雑色を呈する安山岩凝灰角礫岩が分布しているので、焼山火山の活動が鹿湯層以後まで続いていたことは明らかである。

鹿湯層が叫沢層を不整合におおう関係は第3図M地点のほか第2図AおよびB地点で模式的にみる事ができる。この露頭のスケッチを第4図に示す。

2.7 地辻り岩屑

注6) 新称



第4図 叫沢層とこれを不整合におおう鹿湯層との関係

Unconformable Relations between Saikibizawa (lower) and Shikayu (upper) Formations

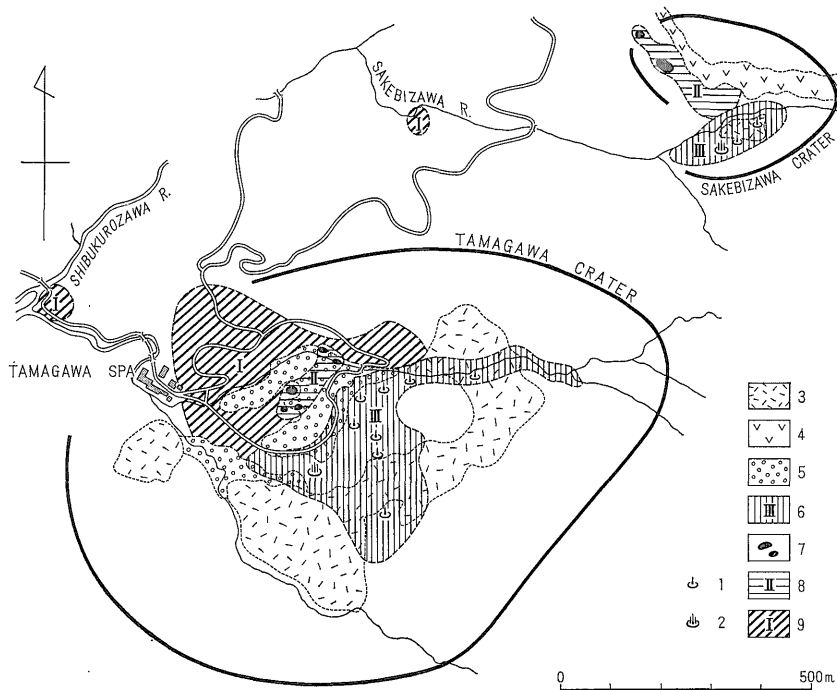
a : 田口堰下流(第2および3図のⓐ地点), b : 冷水沢下流(第2図のⓑ地点), cg : 礫岩, db : 岩屑, pm : 凝灰岩, cl : 粘土, S : 砂, TAMA 84 : 年代測定用木片, TAMA 87 および TAMA 207 : 変質岩礫

玉川温泉および叫沢の火口の崖下には明瞭な地辻り地形を保っている地辻り岩屑が分布する。大部分は樹木におおわれて、岩相はわからない。しかし大噴沸とう泉の東側では大小さまざまな安山岩塊からなり、まったく淘汰はうけていない。ここではみずからも強い変質を受けている。

2.8 沖積層および“北投石”層

沖積層は渋黒川の河床を埋めて分布し、砂および礫からなる。

このほか玉川火口内の2カ所に分布する。一つは大噴沸とう泉の北東方の旧各務沢を埋めたものであり、もう一つは大沸沸とう泉と玉川温泉の宿舎との間の道路、および駐車場となっている平坦地の堆積物である。これらの場所には現在水は流れていないが、これは後に述べるように、歴史時代における流路変更工事によるものである。岩相は露頭状況が悪いため不明で、厚さもさほど厚



第5図 玉川温泉地域変質帯分布図
Distribution of Altered Rocks

1: 噴気, 2: 温泉, 3: 地とり岩層, 4: 焼山火山火砕流, 5: 鹿湯層, 6: 鹿湯層堆積以後の変質帯, 7: 沈殿硫黄鉱層, 8: 鹿湯層堆積当時の変質帯, 9: 鹿湯層堆積前の変質帯

くないので、地質図では省略してある。

玉川火口内の沖積面は“北投石”の沈積面として重要である。“北投石”の分布については、佐藤・南(1927), 南(1954), 河野ほか(1957)などの報告によって、ほぼ明らかにされており、これによれば、“北投石”はこの沖積面の、大噴沸とう泉の下流にあたる部分に限られている。

3. 変質帯の分布

玉川および叫沢の火口内には噴気による変質帯がひろく分布する。この変質帯は酸性溶液によって陽イオンが溶脱し、珪酸分が残留して生じたもので白～灰色を呈する。構成鉱物はクリストパライト・トリジマイト・石英などの珪酸鉱物が最も多く、これに少量の明ばん石・カオリンなどが含まれる。また場所によっては多量の無定形の珪酸も含まれていると考えられる。

変質帯の中には前節にも述べたように、現在すでに変質作用が停止しているものと、現在も継続中のものがある。このため変質帯を鹿湯層堆積以前のもの、鹿湯層

堆積時のものおよび鹿湯層堆積以後のものに3大別することができる。それらの分布を第5図に示す。

鹿湯層堆積以前に変質作用があったことは前述のように田口堰中流(第3図のM地点)で変質した焼山熔岩を未変質の鹿湯層がおおう関係から確認される。この時期の変質は玉川火口の北壁を中心に分布している。変質岩は新期のものより比較的緻密で、しばしば石英やカオリンを含むのが特徴である。田口堰上流の北側の大崖の上方、海拔約805mの所に昇華硫黄を含む粘土質の変質帯があり過去の噴気孔の存在が想定される。この水準がほぼ当時の地表面と考えられ、現在は高度差にして50~60m侵食されているとみられる。鹿湯川入口、叫沢中流にも小規模の古い変質帯が分布するが、これらもこの時期のものに含めた。この時期の変質帯には熱徴候は現在まったくみられない。

鹿湯層堆積時期の変質帯は、沈殿硫黄の鉱層を伴うことが特徴である。玉川火口底の中央やや西寄り5カ所に硫黄鉱層がある。その一つは明らかに鹿湯層の中に挟在している(Plate II-3)。また他の鉱層も未変質の火山灰

に不整合におおわれているので、現在の変質帯でないことはたしかである。この変質帯では30~50°Cの異常地温を示すことがあり、また一般に硫化水素ガスの弱い噴出がある。

叫沢火口の北西部にも噴気活動がおとろえてわずかに硫化水素ガスの噴出だけがみられる地域がある。この変質帯には沈殿硫黄もあり、また前述のように焼山火山の未変質の火砕流堆積物におおわれるので、玉川火口の鹿湯層堆積時期の変質帯に対比されるかも知れない。

鹿湯層堆積後の変質帯は玉川火口東部および叫沢火口南部の現在活発な噴気のある地帯の変質帯で、変質鉱物としてはトリジマイト・クリストバライトなどの珪酸鉱物が一般的である。

4. 測年用炭素試料の採取

測年用炭素試料として叫沢層から3コ、鹿湯層から2コ、計5コを採取した。これらの試料の採取地点およびその地質の状態について述べる。

TAMA 27 の炭化木試料：叫沢下流（第2図E地点、北緯39°57'59"、東経140°43'54"）の叫沢層の黒色泥岩中の炭化木。1969年6月18日採取。

TAMA 41 の木片試料：叫沢中流（第2図のG地点、北緯39°57'54"、東経140°44'3"）の叫沢層の黒色泥岩中の木片。泥岩は焼山熔岩の上に堆積し、炭質物に非常に富み、部分によっては草炭に近い所もある。木片も多量に含まれる。1969年6月19日採取。

TAMA 84 の炭化木試料：田口堰下流（第3図のB地点、北緯39°57'35"、東経140°43'46"）の叫沢層の軽石凝灰岩中の炭化木。ここの露頭は第4図aの通りで下位から軽石凝灰岩・含礫粘土・軽石凝灰岩の順に重なっている。下位の軽石凝灰岩は上位の軽石凝灰岩と異なり、砂粒に富む混成凝灰岩である。とくに上位の含礫粘土層に接する部分は砂あるいは細礫に富む。しかし層理を示

すほどの淘汰は受けていない。炭化木試料はこの上部の砂礫粒に富む部分に埋没していたものである。1969年6月22日採取。

TAMA 97 の草炭：田口堰中流（第3図M地点、北緯39°57'36"、東経140°43'50"）の鹿湯層基底の草炭層。下盤粘土を挟んで変質した焼山熔岩をおおっている。1969年6月22日採取。

TAMA 101 の草炭：田口堰上流（第3図P地点、北緯39°57'37"、東経140°43'53"）の鹿湯層上部の草炭層。この草炭層の中には同生的な沈殿硫黄の薄層がはさまれる。1969年6月22日採取。

5. 放射性炭素 ^{14}C による年代測定

採取した5コの炭質物を学習院大学理学部化学教室の木越邦彦教授に依頼した炭素の放射性同位体 ^{14}C を用いて年代測定を行なった。

まず叫沢層下部の1コ（標本番号 TAMA 27）を除く4コを測定限界約30,000年の方法による測定を依頼した。この結果、最古期の叫沢層下部からの試料（標本番号 TAMA 84）は測定限界を超える年代を示したので、残る他の1コ（TAMA 27）をあらためて測定限界約45,000年の方法で測定するよう依頼した（ただし結果としては叫沢層下部の年代はこの方法の測定限界をも超えることがわかった）。

測定結果を第2表に示す。

6. 歴史時代における流路工事記録および北投石の放射能減衰速度からみた北投石の沈殿時期

前にも述べたように、“北投石”は大噴沸とう泉からの温泉水の河道に沿って分布している。中でも最も古い時代の生成と考えられるのは田口堰下流から駐車場にかけてのいわゆる“第1産地”と呼ばれる地点である。ここはもっとも多量の北投石の沈殿がみられ、層の厚さは

第2表 玉川温泉地域の第四紀堆積物の ^{14}C 年代
 ^{14}C Ages of Quaternary Deposits in Tamagawa Hot Spring Area

Sample No.	Code No.	Sample	Formation	Age(years before 1950)
TAMA 27	GaK-2653	Wood	Sakebizawa Formation	>40, 100
TAMA 41	GaK-2477	Wood	Ditto	26, 900 +2, 700 -1, 900
TAMA 84	GaK-2478	Wood	Ditto	>33, 000
TAMA 97	GaK-2479	Peat	Shikayu Formation	5, 330±130
TAMA 101	GaK-2480	Peat	Ditto	2, 260±110

(測定 学習院大学 木越邦彦教授)

年代の算出には ^{14}C の半減期として5570年を用いてある。

誤差は β 線計数の統計誤差から算出したもの。

TAMA 21 および TAMA 84 の年代は β 線計数値が 2σ (σ は標準偏差) より小さいため、 3σ の放射能があるとした時の下限の値。

10 cm に達するものがあったといわれる (佐藤・南, 1927)。しかし現在、ここは大噴沸とう泉からの温泉水は流れておらず、放射能も弱く、沈殿は停止している。

この場所を大噴沸とう泉水が流れていた時代について、三浦 (1964) は1841年 (天保12年) から12年間にわたって秋田藩の田口幸右衛門が行なった湯川の掘り下げ工事のため、流路が変わったことによると考えている。この工事での掘り下げ量は3 mに及んだといわれ、しかも1931年には田中館秀三の指導のもとにさらに湯川が掘り下げられている (三浦, 1964) ので、この掘り下げ量は大たい駐車場の旧沖積面の高さと匹敵するから、1841年当時、第1産地で大噴沸とう泉水が流れており、そこで北投石が沈殿しつつあったことは十分考えられる。

北投石の放射能は生成後40~50年で急激に弱くなるといわれている (南, 1954)。したがって第1産地が100年以上生成を停止していれば現在そこでの放射能が弱いことは説明がつく。また南 (1954) はこの放射能の減衰速度を利用して、“北投石”の成長速度を8~10 yrs./mmと推算している。この速度を応用すれば第1産地の最大厚さ10 cm (佐藤・南, 1927) の北投石は800~1,000年かかって生成したことになる。

このような工事記録および鉱物学的研究結果からみると、“北投石”の沈殿は少なくとも1841年をさかのぼる800~1,000年より以前から始まっていることになる。一方鹿湯層の上部から2,260 yrs. B.P.の年代が得られ、鹿湯層を堆積させた湯沼時代が終わって湯川の時代に入ったのは約2,000年前である。したがって北投石の沈殿が始まったのはこの1,000~2,000年前と考えてよいであろう。

7. 測年結果からみた地熱活動の時代

玉川温泉地域の地熱活動の痕跡である熱水変質作用の時期は前節に述べたように鹿湯層以前、鹿湯層堆積時および鹿湯層以後と大きく3つに別けられる。

“鹿湯層以前”の変質は鹿湯層の基底の年代が5,330 yrs. B.P.で、その下位の変質した焼山火山の安山岩の年代は26,900 yrs. B.P.よりやや古いのであるから、変質の時代はこの2つの年代の間に起こったことになる。

この変質よりさらに古い時代にも変質があったかどうかについては叫沢層の >33,000 yrs. B.P.の年代の層準から明ばん石を含む変質岩礫が発見されているので、叫沢層堆積の初期あるいはそれ以前の時期にも噴気作用があったことが明らかになっている。よって玉川温泉の活動と焼山火山の活動とはほぼ時を同じくして始まったと考えるよいであろう。

鹿湯層堆積時の地熱活動の証拠である硫黄鉱層の年代

については2,260 yrs. B.P.が得られている。この年代が得られた地層は鹿湯層の中でも最上部に近い層準にあるので、この頃で鹿湯層の堆積は終わり、鹿湯層以後の変質作用の時代に入ったであろう。そのある時期から“北投石”の沈殿が始まった。この時期は前章にも述べたように1,000~2,000年前であったと考えられる。

以上3つの時期の地熱活動が時間的に連続しているものかどうかは明らかでない。しかし第5図でみられるように、3者いずれも一つの玉川火口内に互いに集合して分布しているのであるから、時間的にほぼ一連のものと考えてよさそうである。もし一連とすると玉川温泉の地熱活動は33,000年以上にわたって続いていることになる。

33,000年以上あるいは5,330年以上の年代を示す明ばん石の存在、2,260年の年代を示す硫黄鉱層の存在などから、硫化水素、硫酸などで特徴づけられる地熱活動が長期間にわたって続いたことは明らかである。

硫酸酸性で特徴づけられる地熱活動がこのように比較的長い期間にわたって続いているにもかかわらず、“北投石”を沈殿するような重金属を含む塩酸酸性の温泉水の流出は比較的新しい時期に始まったものであることは注目すべき事実である。ただ初期の噴気の中に活火山地帯でよくみられるような塩素などのハロゲンガスも含まれていたかどうかはわからない。この問題については今後の変質帯の地球化学的研究にまつことにしたい。

8. 他地域との比較

筆者の1人角はすでに松川地熱地帯の現世堆積物の¹⁴C年代を測定し、地熱活動の長さについて論じた (角, 1971)。松川では地下約1,000 m付近には250~300°Cの高温蒸気槽が存在するにもかかわらず、地表では1 m深地温の最高温度が20°Cにすぎない。¹⁴C測定結果によれば、この状態は少なくとも5,000年の間持続されていることがわかった。またカムチャツカ、イエローストン、板谷などの資料から、熱水系の持続期間としては20,000~30,000年の数値があることを述べた。

日本の地熱変質帯の中で地熱徴候が比較的顕著でない所として、松川のほかに、大分県野矢地熱地帯 (地熱調査班, 1955 a)、大分県大岳地熱地帯の一部ひぜん湯・筋湯地区 (中村・安藤, 1954)、鹿児島県霧島地熱地帯内之野地区 (地熱調査班, 1955 b)、同丸尾地区 (地熱調査班, 1955 b) などがある。

中村・安藤 (1954) によれば、大岳地熱地帯のひぜん湯・筋湯地区では変質帯の中に温泉 (温度57.3°C, 60.0°C, 81.0°Cなど) の湧出はあるが、噴気の露頭はない。そ

してこの変質帯は未変質の火山灰層におおわれている。最近この場所で下位の変質岩は明ばん石を含むもので(YAMASAKI et al, in press), 上位の火山灰層は飯田軽石流であることがわかった(山崎達雄・松本徂夫・林正雄の口述による)。そして飯田軽石流の年代は $>32,300$ yrs. B.P.である(松本ほか, 1970)。したがって大岳地熱地帯には32,300年以前にも地熱活動があったことになる。

玉川温泉地域でも33,000年以上にわたる地熱活動の持続が立証された。したがって一つの地熱地帯で30,000年を超える地熱活動の持続はかなり一般的なことのように思われる。

9. 結 言

(1) 玉川温泉地域の第四系は下位から叫沢層, 焼山火山噴出物, 鹿湯層, 地入り岩屑および沖積層に分けられる。叫沢層および鹿湯層は湖成層で, それぞれ調査地域全域および玉川火口内に存在した湖盆の堆積物である。

焼山火山噴出物は少なくともその下部は叫沢層と指交関係にあり, 水中に堆積したものである。しかしその上部は熔結した火砕流を挟むので明らかに陸上の堆積物とみられる。鹿湯層は大部分の焼山噴出物よりは新しいとみられる。ただし, 噴出物の一部は明らかに鹿湯層をおおっている。

(2) 地熱活動は現在, 焼山火山の西麓斜面に生じた玉川および叫沢の両火口の底でみられる。しかし, 火口付近で現在地熱活動のない所でも過去の地熱活動によって生成した変質帯がある。

変質帯と層序との関係から, 玉川火口の変質作用はa鹿湯層以前, b鹿湯層堆積時およびc鹿湯層堆積以後の3つに区分される。また叫沢層の中に, 明ばん石を含む変質岩礫が存在するので, 叫沢層堆積当時, 地熱活動はすでに始まっていたとみられる。温泉沈殿物のいわゆる北投石(鉛重晶石)の分布は鹿湯層より新しい沖積面に限られる。北投石層の厚さ, 残存放射能強度, 土木工事の古記録などから北投石の沈殿開始は1,000年よりは古いと考えられる。

(3) 叫沢層および鹿湯層から採取した5コの木片あるいは草炭の¹⁴C年代を測定した。叫沢層下部の年代は $>40,000$, または $>33,000$ yrs. B.P. 叫沢層上部の年代は26,900 yrs. B.P.である。鹿湯層の基地および上部の年代はそれぞれ5,330年および3,260年である。叫沢層の変質岩の礫を含む礫岩の年代は上記の $>33,000$ yrs. B.P.である。

(4) 上記のデータから判断すると, 玉川温泉地域では33,000年以上にわたって地熱活動が続いたことになる。

他の地熱地帯のデータを考え合わせても一つの地熱地帯で, 地熱活動が30,000年以上にわたって持続することはかなり一般的のことのように思われる。

北投石の沈殿は1,000~2,000年前の間に始まったと考えられる。地熱活動が比較的古い時期に始まっているのにもかかわらず, このような重金属を含む温泉水の活動が比較的新しい時期に始まっていることは興味ある事実である。

10. 謝 辞

この研究を進めるにあたり, 本地域で地熱開発を実施中の三菱金属鉱業株式会社から地形図貸与そのほか多くの調査上の便宜をはかっていただいた。天然記念物北投石関係の資料蒐集については文化庁吉川需調査官および品田穰技官から御援助いただいた。本文中の大岳地熱地帯の変質に関しては, 1971年10月地質学会巡検旅行の折に九州大学山崎達雄教授, 林正雄氏および長崎大学松本徂夫氏から御教示いただいた。報文の内容については, 地質調査所地質部談話会および日本火山学会1971年秋季大会の参会者から貴重な討論をいただいた。

以上の各位に対し厚く御礼申上げる。

引用文献

- 地熱調査班(1955a): 大分県野矢地熱地帯調査報告, 地質調査所月報, vol. 6, p. 551-560
 地熱調査班(1955b): 鹿児島県霧島地熱地帯調査報告, 地質調査所月報, vol. 6, p. 579-604
 河野義礼・早川正己・佐野俊一・角清愛(1957): 秋田県玉川温泉地質調査および放射能探査報告, 地質調査所月報, vol. 10, no. 3, p. 7-20
 河野義礼・青木謙一郎(1959): 八幡平およびその周縁火山群の岩石, 火山, ser. 2, vol. 4, no. 2, p. 61-76
 近藤忠三(1963): 玉川温泉の地質について, 温泉科学, vol. 14, p. 38-50
 久野久(1968): 水中自破砕熔岩, 火山, ser. 2, vol. 13, p. 123-130
 松本徂夫・他2名(1970): 九重火山飯田軽石流の¹⁴C年代—日本の第四紀層の¹⁴C年代(56), 地球科学, vol. 24, p. 190-191
 南英一(1954): 玉川温泉の北投石について, 鉱物雑, vol. 2, p. 1-23
 三浦彦次郎(1964): 玉川温泉水(玉川毒水)の処理について, 温泉工学会誌, vol. 2, no. 2,

- p. 69-76
- 中村久由・安藤 武 (1954) : 大分県大岳地熱地帯調査報告——特に変質帯と噴気・温泉との関係について——, 地質調査所月報, vol. 5, p. 15-22
- 大沢 穠・角 清愛 (1957) : 5万分の1地質図幅「森吉山」および同説明書, 地質調査所
- 佐藤伝蔵・南 英一 (1927) : 渋黒温泉北投石, 天然記念物調査報告, 地質鉱物の部, 第2輯, p. 41-70, 内務省
- 椎川 誠 (1955) : 秋田県玉川温泉周辺の地質, 秋田大学学芸部研究紀要, 自然科学, no. 5, p. 92-114
- 角 清愛 (1971) : 松川地熱地帯の現世堆積物とその¹⁴C年代, 地質調査所月報, vol. 22, no. 11, p. 15-22
- YAMASAKI, T., MATSUMOTO, M. & HAYASHI, M. (in press): *The Geology and Hydrothermal Alterations of Otake Geothermal Area, Kujyu volcano Group, Kyushu, Japan*. U. N. Symp. Development Utilization Geothermal Resources, Pisa, Proc.

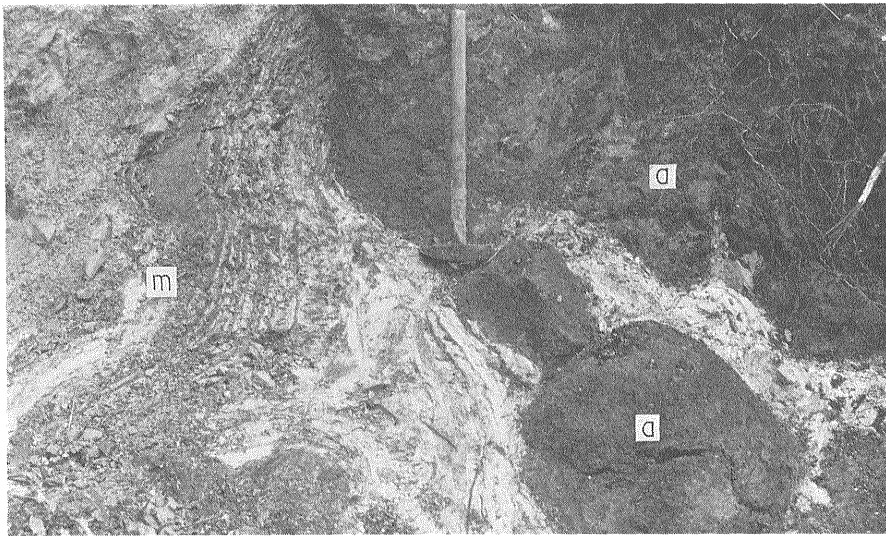
Plate 1

1. 叫沢層の泥岩 (m) の堆積中に流入した焼山火山熔岩 (a). 叫沢下流 (第2図のE地点). 熔岩に接する部分の泥岩は攪乱をうけ, 熔岩自体はパラゴナイト化が著しい.
2. 焼山火山の厚い熔岩 (a) の浸食面上に堆積した叫沢層の泥岩 (m) および自破砕熔岩 (bl) 叫沢中流 (第2図のG地点).
3. 叫沢層中の水中自破砕熔岩. 叫沢中流 (第2図のG地点).

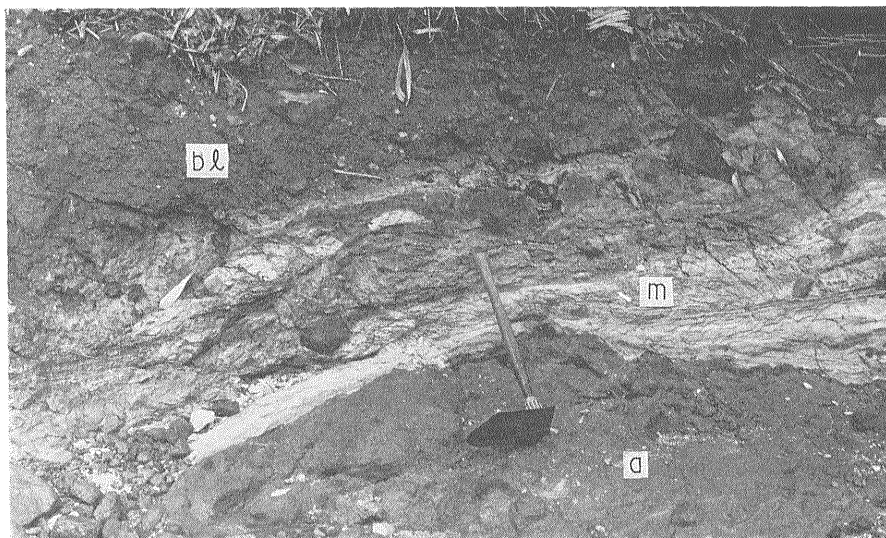
Plate 2

1. 叫沢層の混成凝灰岩 (tf) および泥岩 (cl) を不整合におおう焼山火山新期の凝灰角礫岩 (tb) (第2図のI地点の東50mの県道).
2. 焼山火山新期の熔結した火砕流堆積物. 叫沢火口の北壁.
3. 鹿湯層の砂礫層 (sd. cg) 中の硫黄鉱層. 硫黄鉱層の下部 (S₁) は泥状の沈殿硫黄からなり, 上部 (S₂) は砂状の沈殿硫黄からなりクロスマリナがみられる. 田口堰上流 (第3図のQ地点の東20m).

1.



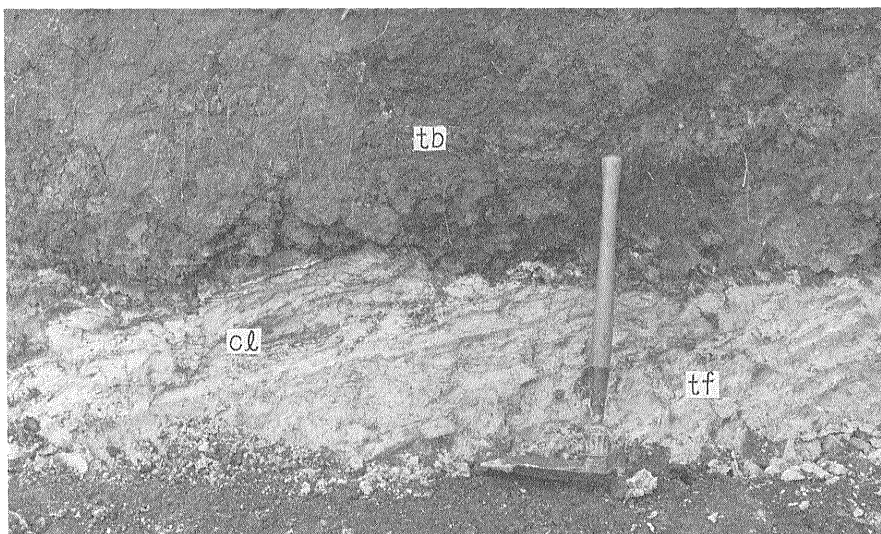
2.



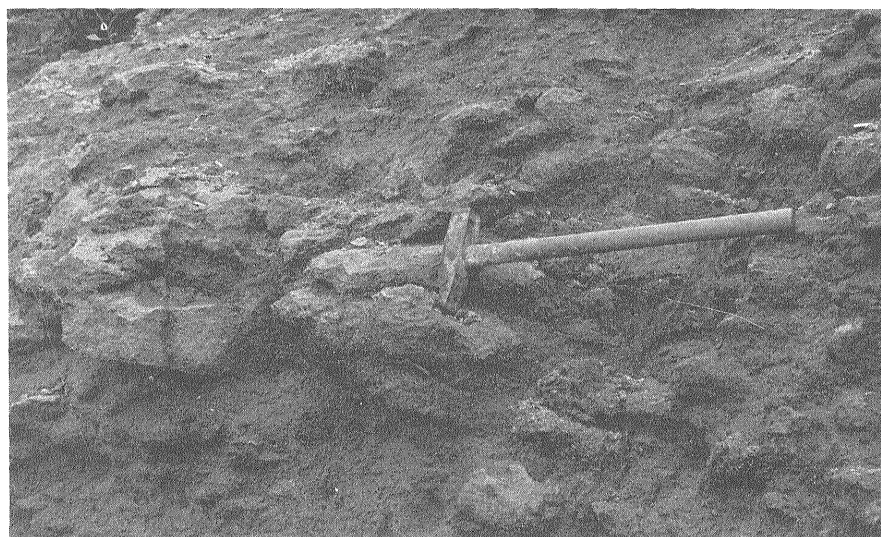
3.



1.



2.



3.

