

箱根湖尻付近の地下水

萩野喜作, 大木靖衛, 小鷹滋郎, 小沢 清

広田 茂, 河西正男

神奈川県温泉研究所*

(昭和46年2月12日受理)

Ground Water Streams of Kojiri, Hakone Caldera

by

Kisaku OGINO, Yasue ŌKI, Shigeo ODAKA, Kiyoshi OZAWA,

Shigeru HIROTA and Masao KASAI

Hot Spring Research Institute of Kanagawa Prefecture

Hakone, Kanagawa

(Abstract)

An electric prospecting was carried out in the north-eastern part of the Hakone caldera, where an abalanche flow came down from a central cone, "Kami-yama", and dammed up a caldera lake "Ashinoko". Many springs and artesian wells are located along the northern end of the abalanche deposit.

Three streams of ground water were recognized in the area. A stream of free ground water is passing through the abalanche deposit. The second stream flows through a talus deposit along the foot of caldera wall. The third stream is an underflow coming from the caldera lake.

Two drill holes were newly opened in the area. The average permeability coefficient measured in a well by pumping test was 2.0×10^{-2} cm/sec. The specific discharge of a well, 30 cm diameter and 80 m depth, was estimated at 1,000 m³/day. The total flow of the ground water system of the area is estimated at 15,000–20,000 m³/day.

*神奈川県箱根町湯本 〒250-03

神奈川県温泉研究所報告 第2巻, 第3号, 109–120, 1971

はしがき

神奈川県温泉研究所は昭和42年から箱根火山の地熱調査を続けている。将来、深い蒸気井を掘り利用する場合には多量の水を確保する必要がある。箱根火山には多量の水をたたえる芦の湖がありながら、その水利権が静岡県側にあるためその水を利用することが出来ない。箱根山では地熱開発の水は地下水に依存せざるを得ない。芦の湖畔南東部元箱根付近の地下水についてはすでに本調査の一つとして大木ら（1968）により報告され、箱根中央火口丘内の温泉成因の解明に役立てられている。今回は湖畔北部湖尻付近の地下水について報告する（図1）。

この湖尻付近の地下水系は、地形上から中央火口丘水系（Ⅰ）、外輪山水系（Ⅱ）、および芦の湖水系（Ⅲ）の三水系が予想されるが、調査地域中央部には湧泉・孔井が少なく、水系を容易に判別することが出来ない。そこで、主に電気探査により地下水面の深さを求め、付近の湧水および孔井の調査結果を加えて水頭分布図を描き、これら三つの水系を明確にすることが出来た。さらに、試錐調査および揚水試験にもとづき、採取可能な地下水量を推定した。

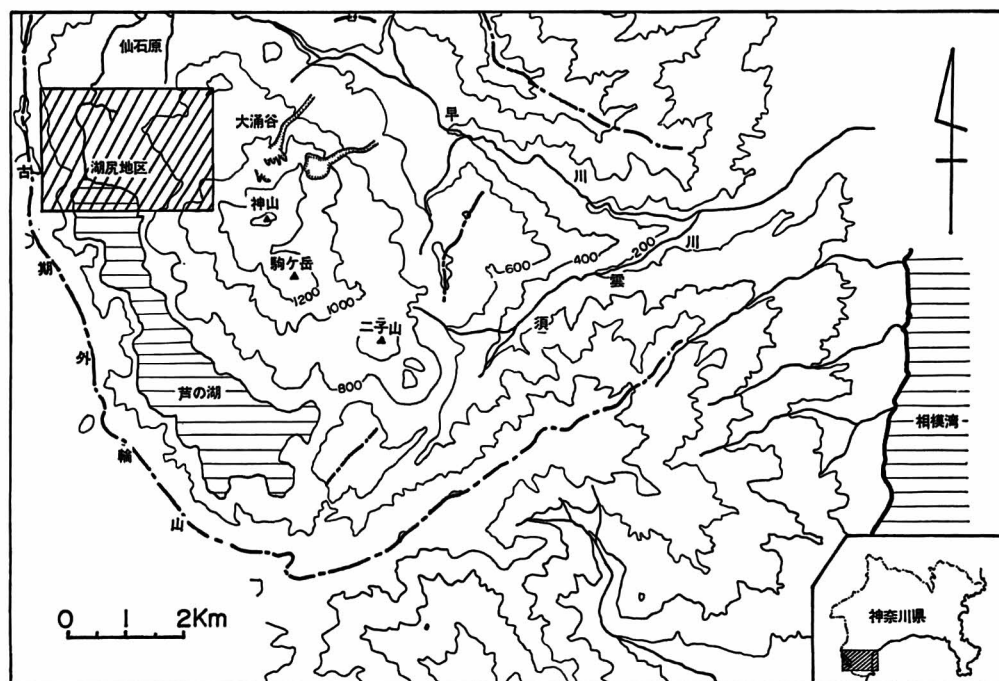


図1 調査地域図

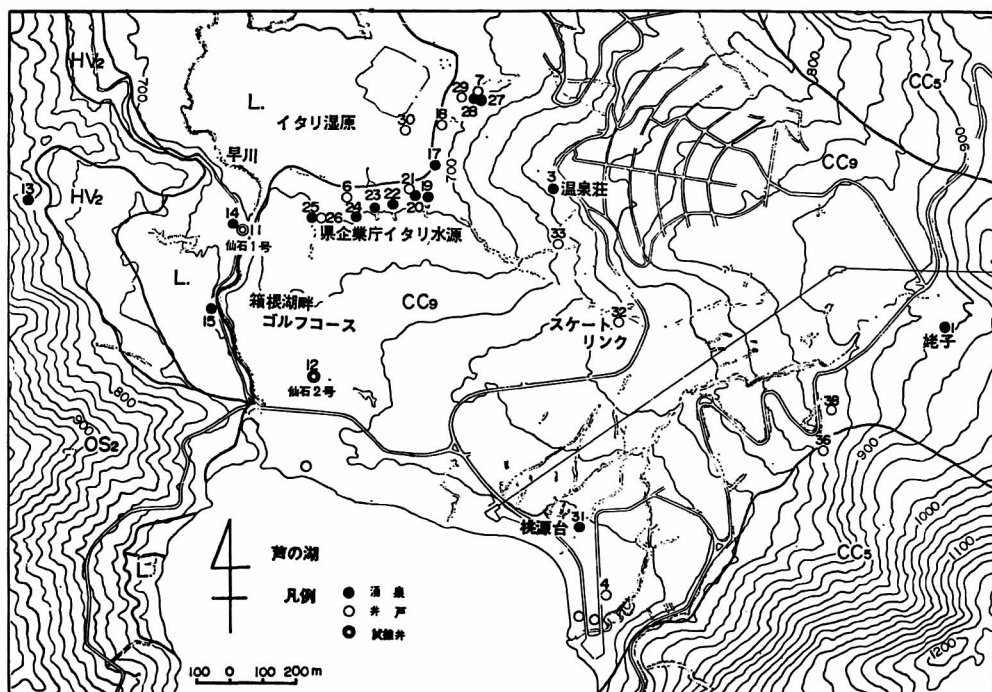


図2 地質および湧泉・井戸の分布

(久野久 1952による) L: 湖沼堆積物, HV₂: 玄武岩火山礫および火山灰
CC₉: 山崩堆積物, CC₅: 神山熔岩, OS₂: 古期外輪山熔岩

地 質

調査地域は芦の湖北部にある神山北西部山腹とそれに続く緩傾斜の地域である。

この地域の地質は、久野久（1952）によれば、神山活動の末期にその北西中腹大涌谷付近に起ったガス爆発により山体の一部が崩壊し、山崩れとなって転落してできたものである。山崩堆積物は古期外輪山で形成されるカルデラ壁まで達し、これにより早川を堰き止め現在の芦の湖が出来た。緩斜面中央部にあるスケートリンク付近などでその山崩堆積物を見ることが出来る（図2）。

芦の湖から流出する早川は、山崩れ前の地形を想像すれば以前はもっと神山寄りにあったと考えられるが、山崩活動のために位置を変え現在の外輪山寄りに落着いたものであろう。早川の源から500m程下った右岸はちょうど山崩堆積物の末端部にあたる。ここに小高い丘陵部分があって、この頂上付近に厚さ2～3mの礫層が見られる。礫層はこの部分以外には認められないが、山崩れ後湖水がこの緩斜面上に溢流し蛇行した形跡であろう。

湧泉および井戸の分布

図2に示されるように湧泉は山崩堆積物の末端周縁部、特に緩斜面北縁のいわゆる仙石原高原の

イタリ湿原に接する部分には多数の湧泉が認められ、一部は県企業庁の水源となっている。この他、中央部神山寄りの温泉荘付近の国道下（No. 3）、桃源台付近の林の中（No. 31）、外輪山山腹（No. 13）および（No. 14, No. 15）にも湧泉が認められる。

井戸はイタリ湿原縁部および芦の湖周辺（No. 4 など）に掘られていて、自噴もしくは水位が浅い。山崩堆積物緩斜面中心部には、図2に示されたNo. 33, No. 32の他には水井戸がほとんどない。この2本の井戸は水位が深いので水中ポンプで揚水している。

地下水系調査

この付近の地下水の様子を明らかにするためにまず20点の電気探査を行なった。探査地点および測線方向は図3の通りである。測定は地調型電探装置により行ない電極配置はWennerの4極法を用いた。電気探査柱状図を図4—a～bに掲げる。これらの柱状図で地下水頭の位置は良く検出されたが、電探では山崩堆積物とその下部の境界はそれ程明確に求まらなかった。電気探査柱状図にもとづいて図3のA—A' および B—B' に沿った地下断面図を描くと図5および図6のようになる。いずれの断面でも地下水は山崩堆積物中を神山方面から流れていることが示されている。

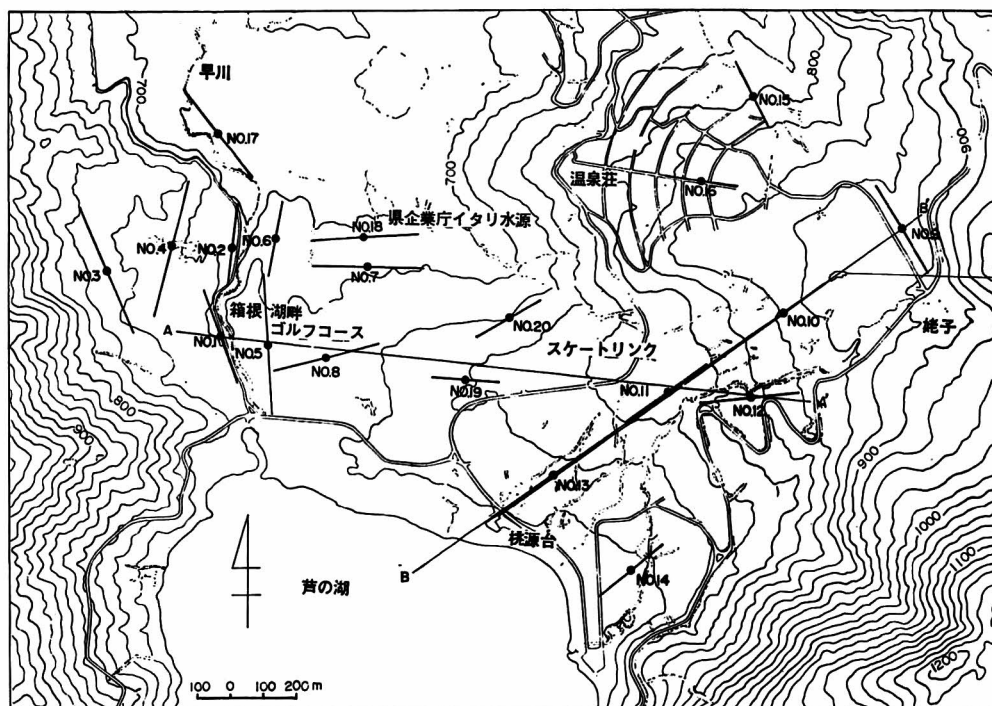


図3 電気探査地点および測線方向
A—A', B—B'に沿って図5・6の断面を描いた

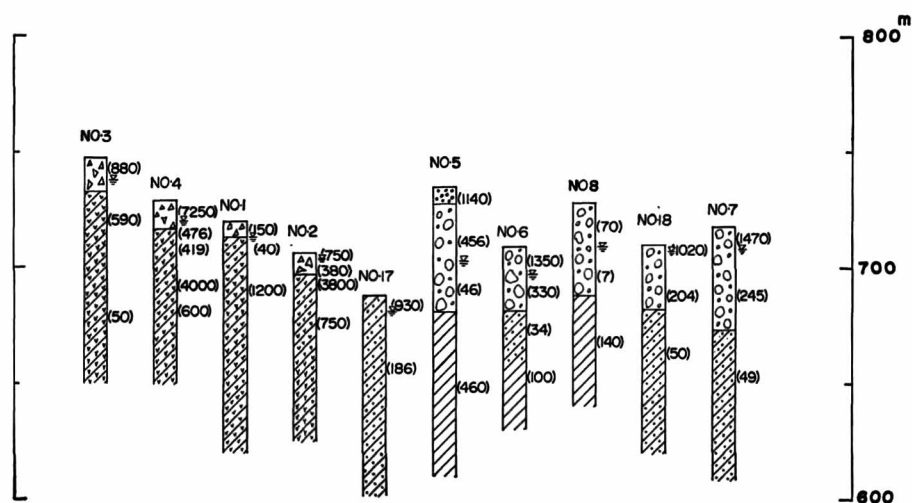


図4-a 電気探査柱状図

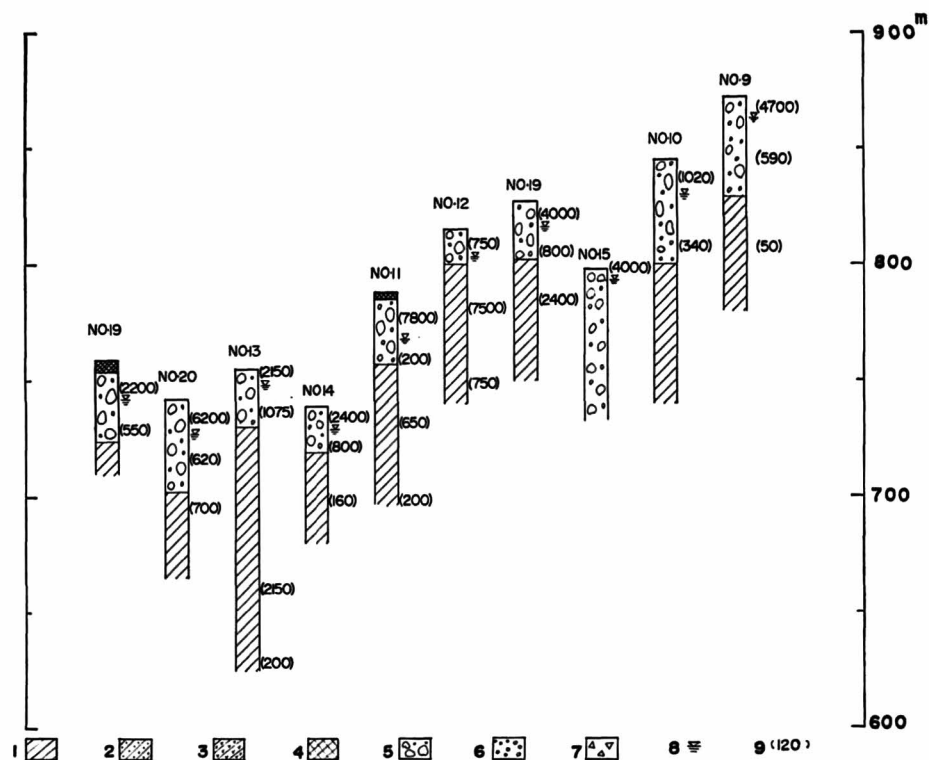


図4-b 電気探査柱状図

1 : 中央火口丘熔岩類, 2 : 湖沼堆積物, 3 : 古期外輪山熔岩, 4 : ローム質, 5 : 山崩堆積物
6 : 礫層, 7 : 崖錐堆積物, 8 : 地下水位, 9 : 地層比抵抗, Ω-m

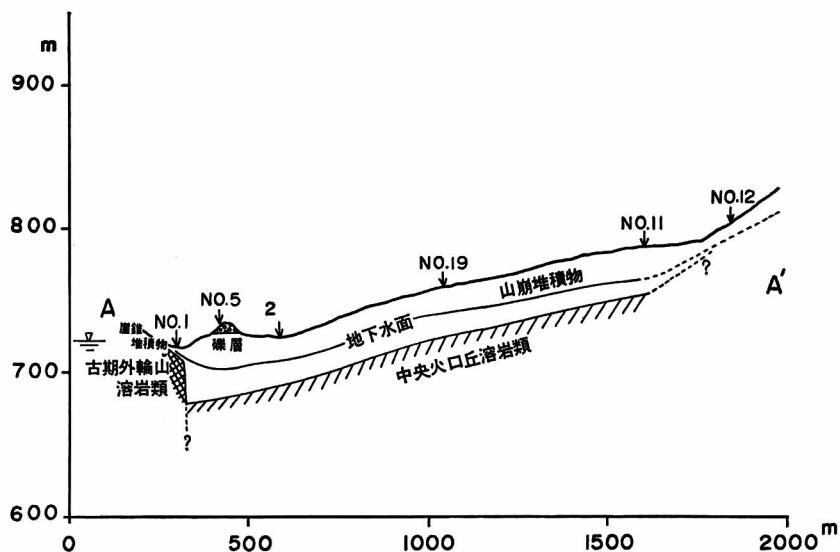


図5 湖尻付近の水利地質学的断面図(図3のA-A'断面)

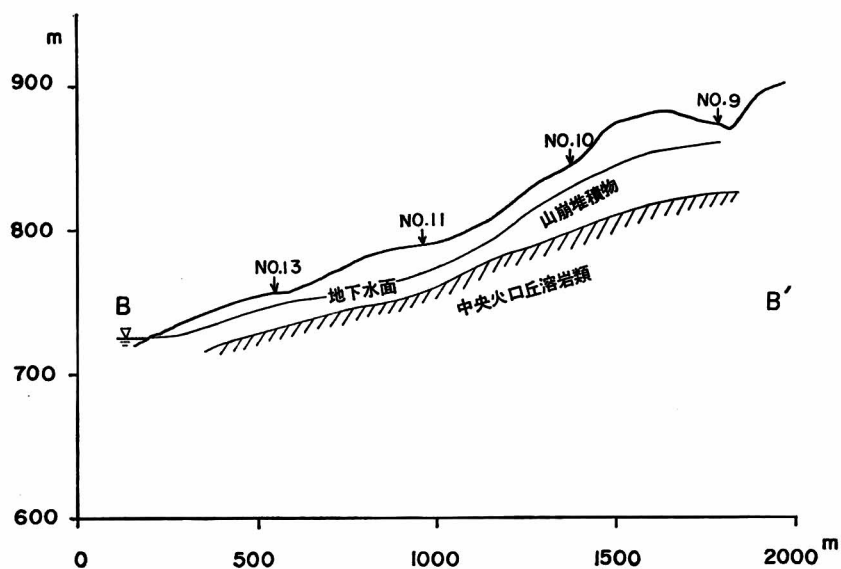


図6 湖尻付近の水利地質学的断面図(図3のB-B'断面)

電探から推定された地下水頭、井戸の測水資料および湧水の位置などから地下水頭分布図を描いた(図7)。この図から湖尻付近の三つの水系の様子を知ることが出来る。

第一の水系は中央火口丘からの水系(1)で、この地域の主要な水系である。さらにこれを(

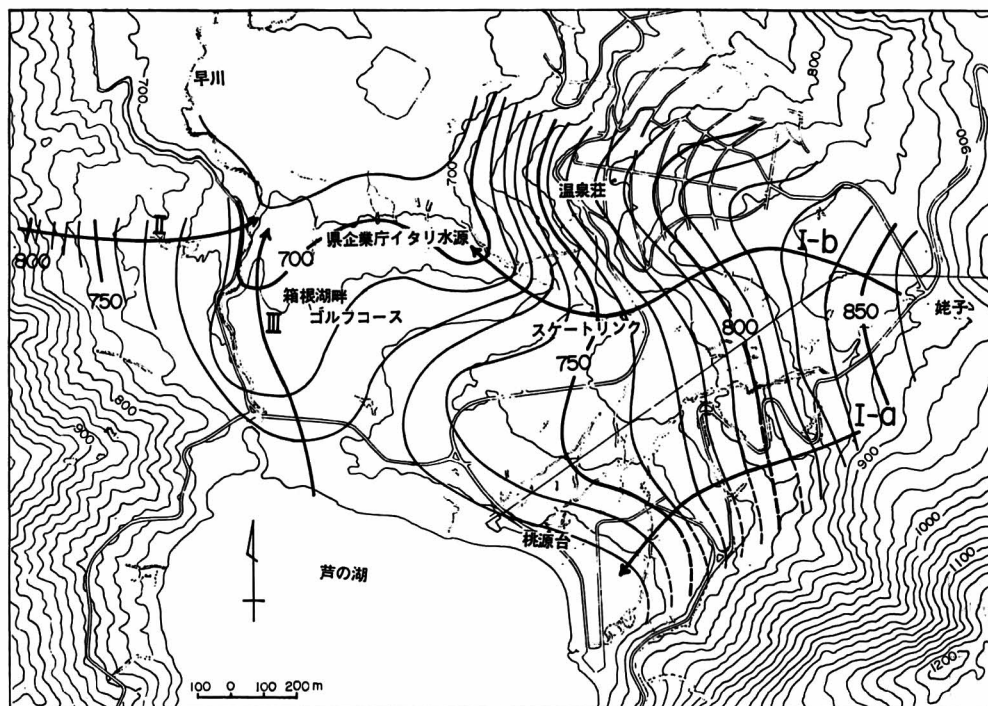


図7 湖尻付近の地下水頭分布図

一a), (I—b)の二つに区別する。すなわち, (I—a)は姥子から湖尻, 桃源台方面に流れて芦の湖に注ぐ地下水である。(I—b)は温泉荘を経て仙石原方面に向う地下水である。(I—b)の一部は山崩堆積物緩斜面の中央まで達して仙石原方面に向きを変えているらしい。

第二の水系は西側外輪山からの水系(II)である。急傾斜をなしている地下水系で, その流量は少ないらしい。

第三の水系は芦の湖の伏流水(III)である。この水系は早川に沿って仙石原方面に流下している。伏流水の幅は狭く, 西側外輪山壁と東側中央火口丘からの水系(I)に押されて300~400mの幅である。

山崩堆積物北縁の湧水

すでに述べたごとく, 山崩堆積物緩斜面北縁のイタリ湿原に接する付近には 多数の自然湧泉と井戸が存在する(図2)。これらの内で水質分析の行なわれた自然湧泉を選び出し, その温度・溶存物質総量を東から西に向う湧泉順に整理した結果を表1にまとめた。温度・溶存物質総量共, 東から西に向って順次低下する傾向が明らかに認められる。このことは, 東側中央火口丘水系(I)から由来する溶存物質が多く温度も高い地下水が, 溶存物質が少なく温度も低い西側外輪山水系(II)

と芦の湖水系（Ⅲ）によって稀釈されていることを物語る。

水系（Ⅰ）と水系（Ⅲ）との相互関係は、これら湧泉の年間湧水量変化にも良く表われている。すなわち、図8に県企業庁水源井群の年間湧水量変化と降水量との対比をしめす。水系（Ⅰ）に含まれる中央火口丘寄りのNo. 17, No. 19, No. 20などは降水量に敏感に影響されやすい自由地下水で、

表1 湧泉の温度および溶存物質総量（平野ら1971より）

番号	所在地又は名称	採水日	温度 ℃	溶存物質総量 ppm
17	企業庁1号水源	1969. 9. 10	21.5	488
19	企業庁3号水源	1969. 9. 10	17.2	266
20	企業庁4号水源	1969. 9. 10	15.9	192
22	企業庁5号水源	1969. 9. 10	16.1	194
23	企業庁6号水源	1969. 9. 10	16.2	209
24	企業庁7号水源	1969. 9. 10	13.2	149
25	企業庁8号水源	1969. 9. 10	13.6	146
14	箱根湖畔ゴルフコース下	1969. 9. 9	13.4	136

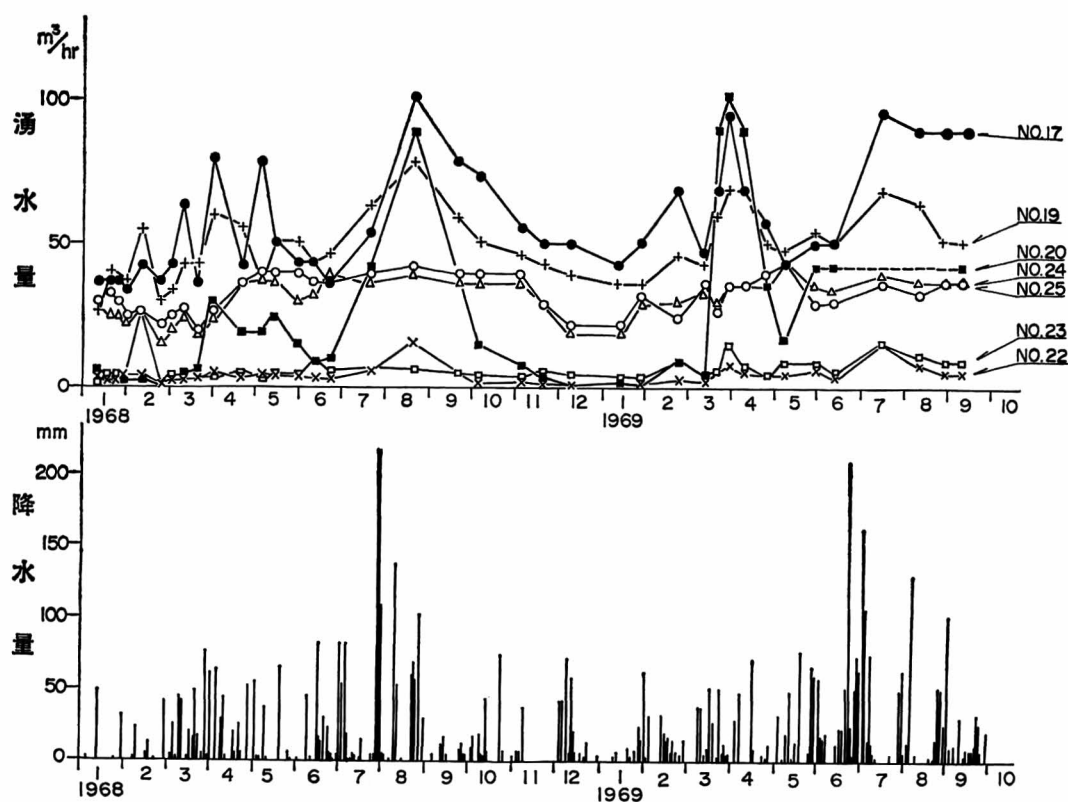


図8 企業庁水源井群の湧水量と降水量の関係
(No. 17は企業庁2号水源の湧水量を含む)

降水期・渇水期の湧出量差が大きい。これらに比べて、水系(Ⅲ)の支配の大きいNo. 22, No. 23, No. 24, No. 25などはその湧出量差が少ない。水系(Ⅲ)はその涵養源が芦の湖であるため、年間流量変化がほとんどないはずである。水系(Ⅱ)に含まれるものについては水量記録がないが、地下水を供給する後背の涵養地から考察して、降水期・渇水期の湧出量差が大きいと思われる。

試錐調査

図2に記入した2地点で試錐を行なった。仙石1号井の試錐位置を決めた理由は、この地点の地質調査の他に、外輪山系の良質の水を採取することとその水量を調査するためであった。仙石2号井の目的は、この付近に水井戸がないので実際に掘さくして地下水頭や山崩堆積物の厚さをたしかめ採取量を調査することにあつた。

仙石1号井(標高702m)の掘さくは昭和45年1月22日から2月19日までに行ない、その結果は図9の通りである。地質柱状図によれば9.6~10.4mの間に粘土化作用を受けた地層が認められ、10.4~14.4mの間は泥質を含む礫層である。これより下部に灰青色の硬質岩層が続くことから、14.4mまでが山崩堆積物であると判断される。この間の孔内水位は1.6~2.0mで、この地点での浅層自由地下水の水頭をしめしている。14.4~26mまでは熔岩相で、これを貫き26.5~27.5mに達して多量

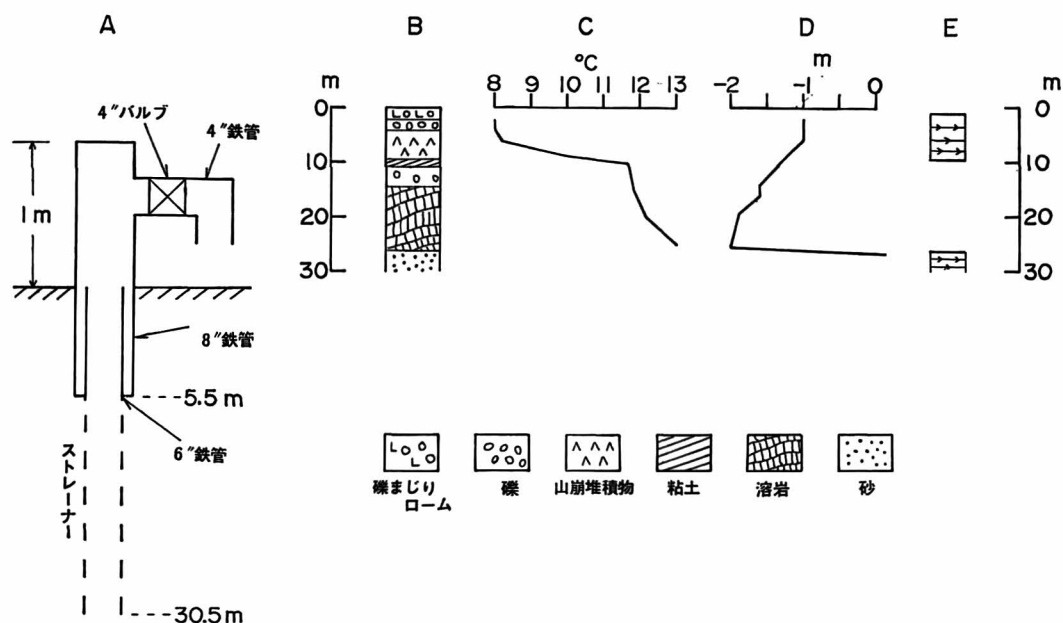


図9 仙石1号井の地質柱状図と孔内状況

A: 孔井構造図, B: 地質柱状図, C: 孔底温度図
D: 孔内水位変化図, E: 帯水層位置図

(600~800 l/min) の湧出が始まった。この湧水は予想されなかったもので、表部の自由地下水とは水系を異にする被圧地下水であり、平野ら(1971)の水質分析の結果によれば、自由地下水と比較して炭酸物質および二価の鉄分を多く含む。

仙石2号井(標高728m)の掘さくは昭和45年2月12日から3月29日までに行ない、その結果は図10の通りである。地質柱状図によれば粘土化作用を受けた地層は19.6~20.6mの間に認められ、山崩堆積物は29mまで認められる。電気探査から推定された山崩堆積物の厚さ35m(図5)は深過ぎた見積りであった。山崩堆積物の下部では、少なくとも3枚ないし4枚の熔岩流を貫いている。これら熔岩流のある位置は検層の高比抵抗位置とよく対比される。各熔岩流の間は割れ目の多い岩相か崖堆積物であって、検層の低比抵抗値部分に相当する。これらの区間のほとんどは、孔内温度検層の結果から透水性の良い部分と判断された。ことに、56~62mから採取されたコアの両端には赤褐色の付着物が認められ、鉄分を含んだ水が流動した形跡がある。深度84mから泥質層が

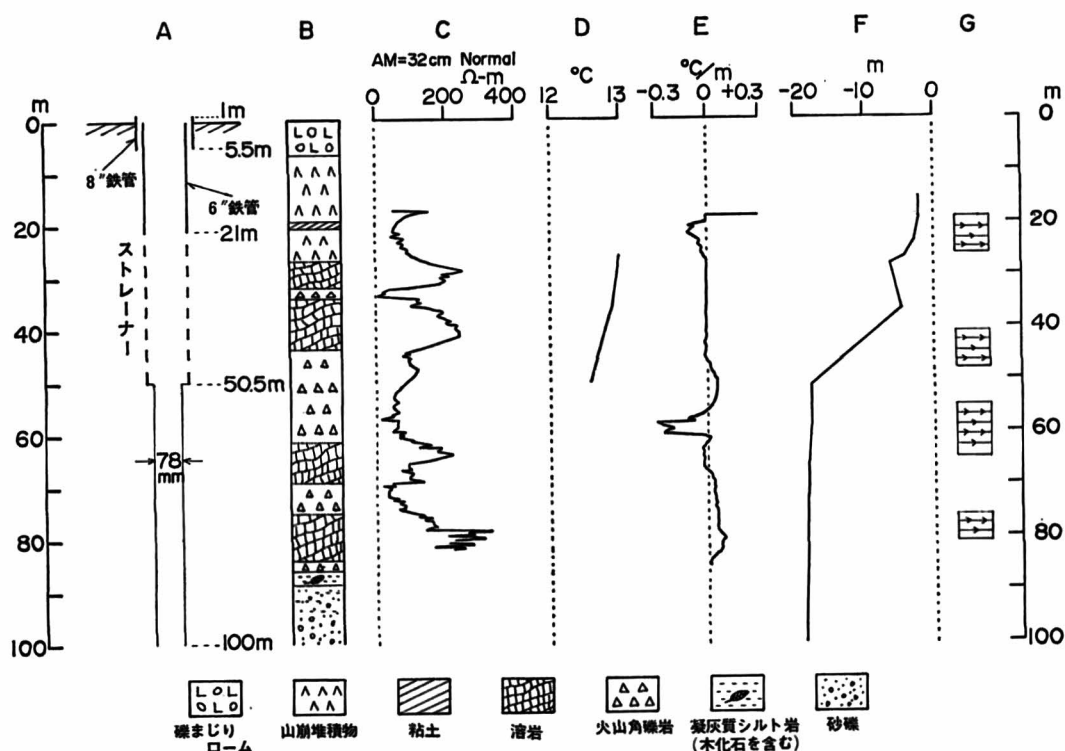


図10 仙石2号井の地質柱状図と孔内状況

A: 孔井構造図, B: 地質柱状図, C: 比抵抗検層図, D: 孔内温度図

E: 示差温度検層図, F: 孔内水位変化図, G: 帯水層位置

続き、掘さく孔底に達しても下部の地層に達しなかった。この部分は古芦の湖堆積物と考えられ、上部から採取された泥岩コアにはラミナを有し木片を挟在しているものもある。

仙石2号井の水位は地表から17.8mで電気探査の解析結果18mと良く一致した値であったが、これはかならずしも表部の山崩堆積物中の自由水位を表わしていない。仙石2号井は多くの帯水層を貫いているので、この水位は各帯水層の総合水位を表わしている。しかしながら、深部の帯水層でもその涵養源は近くの芦の湖であると想像されるので、各帯水層間の水頭差はほとんどないものと考えられる。このことについては平野ら(1971)の水質分析の結果によっても支持される。すなわち、仙石2号井から採取された水には炭酸物質が多く含まれ、深部の帯水層の地下水も含まれていることが明らかである。

揚水試験

仙石1号井は自噴井であるので揚水試験を行わず、その温度・量を調査した。昭和45年2月26日の調査結果によれば、温度13°Cで毎分湧出量は820ℓ(1,170.8m³/day)であった。

仙石2号井は自噴していないので昭和45年3月28日に揚水テストを行なった。その結果は次の通りである。

揚水量	Q :	8×10 ⁻³	m ³ /sec
静水位	h :	18.66	m
動水位	H :	20.62	m
影響圏	R :	600	m
井戸半径	r :	0.075	m
帯水層々厚	M :	29	m

揚水による水位降下は揚水開始後一時間で安定し平衡状態となった。平衡式を用いて透水係数 $K=2.0 \times 10^{-2}$ cm/sec, 透水量係数 $T=0.0058$ m²/sec を得た。この値は透水性の良い4帯水層の平均値である。示差温度検層とボーリングの記録によると熔岩流間の帯水層で55~65mがもっとも透水性が良いので、この部分の透水係数は上記の値より大きくなるであろう。

あとがき

電気探査を主とした調査結果から湖尻周辺の浅層地下水に三つの水系があることが明らかにされた。水系(I)と水系(III)は平野ら(1971)の水質分析結果では区別が難しく水質的には中央火口丘起源のものとされるが、その産状的な分類では二つの水系に分けることが出来る。これに反し、水系(II)は水温が低く硫酸イオンの少い地下水で、明らかに外輪山系として区別される。

水系(I)と水系(III)の山崩堆積物中からは、企業庁の自然湧水記録(3,000~8,000m³/day)から少くとも平均5,000m³/dayの湧出が行なわれていることが推定される。水系(II)からの湧出

についての記録はないが、目測によれば平均 $1,000 \text{ m}^3/\text{day}$ に満たないものと思われる。仙石原にはこの他、深層被圧水からの湧出および採取が行なわれているので、それらを総合すると、全体では $15,000 \sim 20,000 \text{ m}^3/\text{day}$ の流出が予想される。

仙石1号井、仙石2号井の試錐結果から、山崩堆積物の厚さおよびその中の水頭資料を得ることが出来、さらにその下部の地質から深部にある被圧水の機構を示唆する成果が得られた。しかしながら、これらの孔井が深部の被圧帯水層まで達したために、揚水試験で直接に山崩堆積物中の水を採取することにはならなかった。仙石2号井の揚水試験の結果から、このあたりで口径30 cm、深さ80 mの揚水井を掘った場合、1 mの水位降下で日量 $1,000 \text{ m}^3$ の採取量が期待される。

謝 辞

この調査にあたっては箱根温泉供給株式会社の助力に負う所が多かった。特に、那珂幸蔵氏・田口勝稔氏には現地での調査に御苦勞をおかけした。神奈川県企業庁水道局箱根事務所下河春吉所長、新谷靖利技師からは貴重な湧水記録を快よく提供していただき、本報告の推論に大変役立てることが出来た。神奈川県衛生部 清水利貞環境衛生課長、岩田義徳主任技師（現在小田原保健所温泉課長）、温泉研究所久保田博管理課長、平賀士郎研究科長らには調査の計画および推進に御配慮をいただいた。温泉研究所 平野富雄技師からは水系の分類にあたって貴重な助言をいただき、横山尚秀技師には揚水試験の解析に協力していただいた。岩田義幸氏には図の製作に助力していただいた。上記の方々に深く感謝申し上げる。

なお、この調査は神奈川県衛生部箱根温泉蒸気調査研究費によって行なわれた。関係者の皆様に厚く御礼申し上げる。

参考文献

- 平野富雄、大木靖衛（1971）、箱根カルデラの地下水、神奈川温研報告、Vol. 2, No. 3, 89—108.
- 神奈川県農政部、横浜地方気象台共編（1968, 1969）、神奈川県気象月報、第210号～第230号.
- KUNO, H. (1950—'51), Geology of Hakone Volcano and adjacent areas, Part I & II, Jour. Fac. Sic. Univ. Tokyo, Sec. II, Vol. 7, Parts 3—5, 257—279, Parts 6—10, 351—402.
- 久野久（1952）、7万5千分の一地質図幅「熱海」ならびに説明書、地質調査所.
- 大木靖衛、荻野喜作、大口健志、広田茂、平野富雄、守矢正則（1968）、箱根火山元箱根におけるボーリング調査とその温泉地質学的意義、神奈川温研報告、No. 6, 21—34.
- 大木靖衛、荻野喜作、広田茂、小鷹滋郎、小沢清、平賀士郎、河西正男、平野富雄、田嶋鏖子、岩田義徳（1969）、箱根姥子温泉調査報告、神奈川温研報告、No. 8, 1—21.
- 酒井軍治郎（1967）、応用地下水学、朝倉書店.
- 志村馨（1965）、電気探査法、昭晃堂.
- 山本莊毅（1962）、揚水試験と井戸管理、昭晃堂.