

箱根温泉誌(I)

—箱根温泉総合調査報告—

箱根温泉調査班

大木靖衛、平野富雄、小鷹滋郎

粟屋 徹、大山正雄、杉山茂夫

神奈川県温泉地学研究所

Hakone Hot Springs, Past and Present (I)

by

Yasue OKI, Tomio HIRANO, Shigeo ODAKA

Toru AWAYA, Masao OYAMA and Shigeo SUGIYAMA

Hot Springs Research Institute of Kanagawa Prefecture

写真1 湯本温泉街と湯本駅（昭和56年撮影）



Abstract

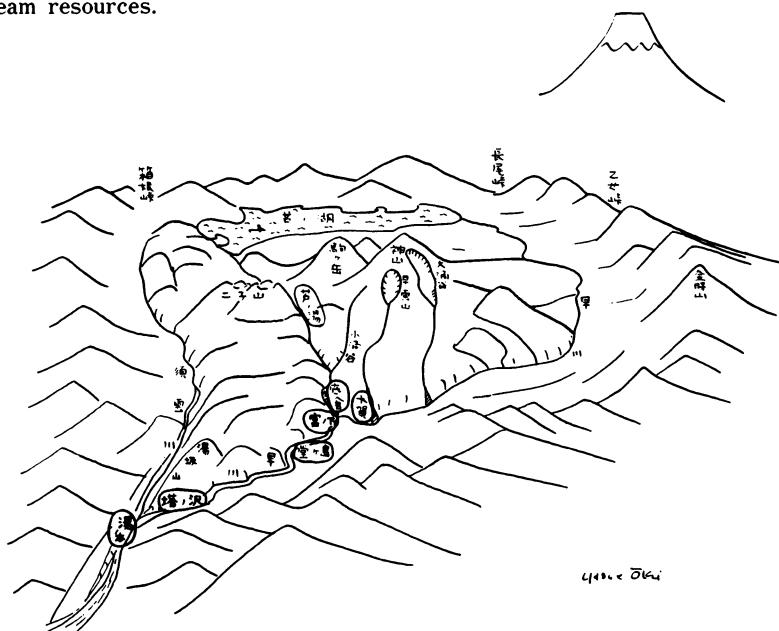
Since Priest Shaku Joteibo firstly discovered a hot spring at Yumoto, Hakone in 738 A.D., many other sites of hot springs have been found along Haya-kawa and Sukumo-gawa, two major deep drainages of the Hakone caldera. In the year of Genroku, Edo period, about 200 years ago, Hakone was known for the Seven Sites of Hot Springs. After the Meiji Restoration (1868), with advance of modernization of Japan, the demand of tourism has been growing up nationwide. By the technological development of drilling and pumping devices, number of registered wells and total discharge of thermal waters in these 50 years have been increased from 120 wells with discharge of 10,000m³/day (1930) to 384 wells with diacharge of 30,000m³/day (1980). The Seven Sites of the Hakone Hot Springs of the Genroku period are now tourned out to be the Nineteen Sites.

Development of the Hakone Hot Springs can be divided into the following five stages.

1. Stage of natural hot springs, 738–1928
2. Stage of natural discharge of artesian thermal wells, 1928–1933
3. Stage of centrifugal pumps, 1933–1949
4. Stage of air-lift pumps, 1949–1981
5. Stage of deep-well pumps, 1981 (?) –

Geological environment and history are briefly described for each site of hot springs.

As the multipurpose use of geothermal energy for space heating, green houses, warm swimming pools as well as hot spring baths is inevitable present trend in the period of energy saving, the general rule for geothermal steam wells is strongly required to overcome the mutual interference between the production wells. Careful regulation is needed for reasonable protection of the geothermal steam resources.



1.まとめ

1.1 箱根温泉はこの100年間、日本の近代化と共に急速な発展をとげました。交通機関の整備と温泉開発技術の進歩が箱根温泉の発展を支えてきました。通常のポンプでは地下から温泉を汲みあげることがとうてい出来ないような山の斜面でも温泉掘さくが可能となっています。新しい技術の出現によって大量の温泉利用が可能となった反面、有限な温泉資源を衰退させることなく利用するための新しい基準がなかったので、新技術は温泉水位の著しい低下、泉質・泉温の低下をまねき、古くからの既存源泉の枯渇を早めています。昭和55年4月これまでの揚湯量にもとづく取扱いに、ようやく温泉水位の変動に着目した取扱いを加えて**科学的温泉行政**が展開されるようになりました。箱根温泉開発の歴史は今後も一層科学的な温泉行政が進められることの重要性を強調しています。

1.2 温泉掘さくに成功するまでは温泉に多大な関心を払っていた人も、満足できる温泉が得られるといつの間にか温泉が湧出するのはごく当然の事と思うようになります。源泉は建物におおいにされ、雑然と放置されています。豊かな自然の恵みに対する感謝の気持は消失しています。温泉の湧出の観察を通して、深い自然の営みの神秘を感じとる魅力を復活させねばなりません。かつて、日本人はもっと温泉を飲用していました。今では温泉を飲むのは非衛生的だとする間違った考え方方が広がっています。砂糖の多量に含まれる清涼飲料水（いわゆるジュース類）より温泉（鉱泉）の飲用の方が健康によいことは多くの人々の指摘する通りです。ヒ素や水銀などの有毒成分を含む温泉水は温泉分析によって飲用から除外することは容易です。

それぞれの温泉場に**温泉広場**がつくられ、人々の集まる中心となり、**温泉場の歴史や自然探求の出発点**となることを期待します。

温泉は谷間に湧出します。そのことを昔から、箱根・伊豆地方では「富士の見えるところに温泉はない」という諺で表現しています。せまい谷間の温泉場にこそ温泉広場が必要である理由は容易に理解出来る事と思います。

1.3 昭和48年に発生し、世界経済に大ショックを与えた石油危機によって、地熱エネルギーの開発が注目されるようになりました。以来、エネルギー価格は年々上昇を続けています。**温泉熱**を浴用ばかりでなく、室内暖房、温室などに積極的に**多目的利用**する傾向は益々強くなっています。現在、箱根全山で利用されている温泉熱の一部を用いるだけで、箱根全山の宿泊施設の暖房を十分に行うことが出来る計算になっています。

中央火口丘神山・駒ヶ岳の東側斜面では、火山性水蒸気の利用がすでに30年余りにわたって行なわれています。より深いボーリング孔井（深さ1000～1500m）によって、蒸気の利用を拡大する事が期待されます。しかし、現在の箱根の蒸気井は温泉ボーリング孔井と同じ構造となっていて、高温高圧の火山性水蒸気の噴出を適切に調節することが出来ません。時には蒸気が暴噴して人工の噴気地帯が生じている例がすでにあります。自然環境の破かいばかりでなく、防災上にも危険です。

火山性水蒸気の噴出が期待される地域の大部分は県の温泉保護対策要綱で準保護地域に属しています。

源泉相互の距離が110～150mの現状で蒸気利用が進められると、温泉枯渇問題が再び発生するに違いありません。

蒸気井の安全な構造や蒸気利用の基準などについて温泉の多目的利用を含め、合理的なルールを早く用意することが必要です。

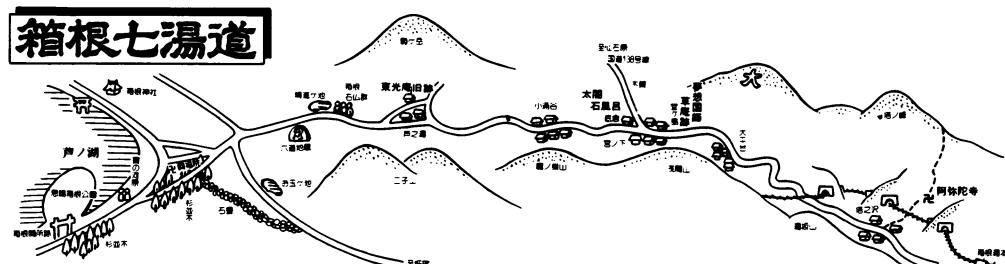
1.4 箱根で揚湯されている温泉の50%は利用されずに、唯捨てられています。運転の複雑なエアリフトポンプから、維持管理の容易な水中ポンプにおきかえ、各源泉には湯量の積算メーターを設置し、無駄な温泉利用を防止すれば温泉地下資源の保護ばかりでなく、電気料金の節約にもなります。温泉の統合問題と別にメーター方式による温泉適正利用の課題を検討してみることも大切です。

1.5 温泉の無駄の少ない利用によって、地下資源を保護するために地域の温泉を統合し、公共水道と同様な温泉供給システムが日本各地にすでに生れ、成功している例は少なくありません。

私たちの試算によれば、昭和55年の石油価格を用い石油ボイラーによって暖めた温水の単価は1m³当り427円(水代を含まず)となりました。一方、温泉の単価は源泉掘さく費の償却が終った場合で1m³当り137円、現在掘さく中の源泉では1m³当り200円程度になります。湯本・塔之沢で温泉統合が行なわれますと1m³当り300円程度になるものと推定されます。

温泉統合によって、無駄に捨てられる温泉が少くなり、地下の温泉資源は急速に回復するでしょう。そして、温泉の水位が上昇します。このとき、温泉統合に参加しない源泉所有者は、温泉水位の上昇によって揚湯装置の変更なしにより多量の温泉を採取することになり、大きな利益を受けることになります。地域の源泉所有者すべての参加なしでは温泉統合の成果をあげる事が出来ないというのが、これまでの経験者の率直な意見です。温泉統合を進める場合には強力な温泉行政施策が必要であるというのも一致した意見です。温泉統合の可否を検討するのにこの報告書が役立つことを期待します。

1.6 箱根町で使用されている上水は1日に約35,000m³と見積ることができます。この量は箱根温泉の全量の1日当り約30,000m³以上となっています。地表水が地下に滲透して、地熱で暖められたものが温泉として地表に出てくるのです。地下水を無制限に採取すると温泉の枯渇をまねきます。そのような例がすでに底倉地区に現れています。宿泊施設が近代化され、大型化すると水需要は更に増大するでしょう。地下水に対する資料の収集と温泉を枯渇させないような合理的管理が必要になっていきます。



2. はしがき

箱根全山から、1日当たり3万トンの温泉が湧出しています。その温泉量は九州の別府、小浜、静岡県の熱海、群馬県の草津、北海道の登別温泉などと共に第1級の湧出量をほこっています。箱根温泉の泉質は食塩泉（ナトリウム一塩化物泉）、石膏泉（カルシウム一硫酸塩泉）など全部で17種も識別されていて、温泉の博物館といったところです。これらの温泉は、美しくしかも複雑な構造の箱根三重式火山より湧出しています。中央火口丘駒ヶ岳の頂上からの富士山、相模湾、伊豆半島、駿河湾とめぐる雄大な眺め、外輪山、楯状火山、溶岩円頂丘、カルデラ湖である芦ノ湖などの変化に富む地形は私たちの心を強く引きつけます。箱根山は東海道の交通を支配する要塞でした。古くからの日本の歴史が箱根温泉の歴史の中に織りこまれています。こうして見ると箱根ほど自然や歴史に恵まれた温泉地は他にないと言えましょう。

明治維新によって、日本の近代化が急速に進みました。箱根温泉の発展も日本の近代化と歩調を合せて進みました。ことに第二次大戦後のめざましい日本経済の発展と共に箱根温泉の開発も急激でした。急激な発展は日本のいたるところにいろいろな歪をつくりました。箱根温泉の発展でも、同様に、解決しなければならない歪を残しています。

箱根温泉は確かに日本の代表的な温泉であることは間違ひありません。しかし、西欧の歴史ある温

写真2 箱根カルデラ（小田急電鉄提供）



泉場と比較すると温泉の合理的な利用、文化施設、温泉医療施設、環境の保護など多方面にわたって箱根温泉が誇れる状況はない事は認めざるを得ません。温泉は日本人の生活に深く根をはっています。箱根温泉を日本の代表的な温泉として誇れるような温泉地に育てる土台を私たちは築かなければなりません。箱根町は昭和52年から3年計画で箱根温泉の歴史、現況を正しく理解し、将来の目標を見出す基礎資料とするため、神奈川県温泉地学研究所に委託し、箱根温泉総合調査を行いました。

箱根温泉を調査の都合から、湯本地区、中央地区、山岳地区に区分しました。昭和52年度には湯本温泉、塔之沢温泉を調査しました。昭和53年度には大平台、宮ノ下、堂ヶ島、底倉、木賀、小涌谷、二ノ平、強羅、宮城野の各温泉を中央地区として調査しました。昭和54年度は姥子、湖尻、芦之湯、湯ノ花沢、仙石原、芦ノ湖、大涌谷、早雲山、(娟川)の温泉を山岳地区として調査しました。調査結果は各年度毎にすでに報告してあります。この報告書は、3年間の調査を多くの人々に理解して頂けるよう出来るだけかみくだき綴ったものです。

3. 謝 辞

箱根温泉総合調査の重要さを認められ、調査の機会を与えられました勝俣茂町長、信濃一男助役、調査の企画、進行にご尽力下さった加藤泰夫参事、勝俣利男企画課長、林雅氏、高村潔観光産業課長、一寸木富雄氏、勝俣誠公営事業課長、勝又一氏の皆さんに厚く感謝いたします。小田原保健所石井忠夫温泉課長、広田茂主査、久保寺公正主任技師、迫茂樹技師からは温泉に関する多くの資料を参照させて頂き、この報告書をまとめるに際して貴重な意見を寄せられましたので深く感謝いたします。箱根の古い写真資料を心よく提供して下さった嶋有義氏、七湯の枝折の写真撮影を許されたつたや旅館の沢田和氏、沢田秀三郎氏、仙石原および強羅温泉開発の歴史について教えて頂いた箱根温泉供給社内富士雄社長に厚くお礼申し上げます。

箱根火山の地震について平賀士郎研究部長から資料を頂き、天利俊照氏、菊川朋子嬢は資料の整理に協力して下さいました。

元東京大学地震研究所長水上武先生、埼玉大学工学部関陽太郎先生、東京大学物性研究所田村正平先生は箱根温泉に多年にわたり強い関心を寄せられ、この調査にもご指導賜りました。厚くお礼申し上げます。長年月にわたって箱根温泉の発展に尽力され、またこの調査の出発点を作られた前箱根町長亀井一郎氏に深く感謝の意を表します。この調査を進めるに際し、貴重な助言と励ましを頂き温泉行政の近代化に努力された県衛生部井上俊雄環境衛生課長に厚くお礼申し上げます。

4. 箱根温泉開発の歴史

箱根温泉の歴史を温泉場の増加に注目して、七湯の時代（江戸時代）、十四湯の時代（大正時代）、十九湯の時代（現在）というような時代区分をして考えることが出来ます。ここでは温泉の採取方法に着目して次のような時代区分をしてみました。

1. 自然湧泉の時代 天平10年～昭和3年（738～1928）
2. 自噴掘さく泉の時代 昭和3年～昭和8年（1928～1933）
3. 涡巻ポンプの時代 昭和8年～昭和24年（1933～1949）
4. エアー・リフト・ポンプの時代 昭和24年～昭和56年（1949～1981）
5. 水中ポンプの時代 昭和56年？～（1981？～）

この分類は第二次大戦後、温泉法が施行されてから今日にいたるまでの箱根温泉の開発状況を理解するのに好都合です。なお、箱根の各温泉場の歴史については、それぞれの温泉場のところで述べることにします。

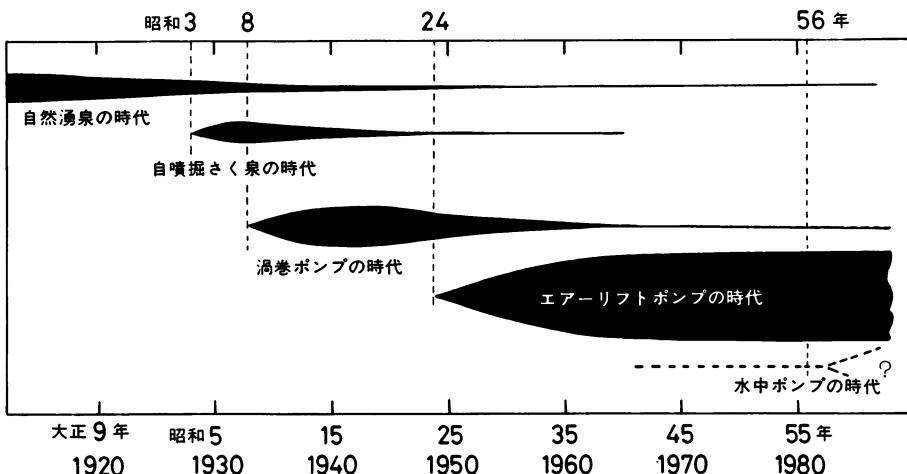


図1 温泉の採取方法による時代区分

4・1 自然湧泉の時代

奈良時代の末、天平10年（738）、釈淨定坊によって湯本温泉が発見されてから昭和3年湯本1号泉の掘抜井戸（深さ173m）が出現する直前までを自然湧泉の時代とします。一般に温泉は谷間に湧出します。谷底の湧出地点に適当な深さの浴槽を掘るとか、あるいは湧出口から浴槽まで、桶によって温泉を導いて利用していました。湧出口からガボガボと絶え間なく湧き出る温泉を眺めていると、温泉は使いきれない程、つまり無限に湧き出てくると感じてしまうものです。深い井戸を掘って温泉をくみ出そうなどということは必要ありません。この時代を「温泉の無限時代」と呼んでもよいでしょう。

明治維新によって日本の近代化が急速にはじまりました。都市から沢山の人々が容易に箱根温泉に来れるように道路や乗物が整備されました。明治から大正までの50年間の変化は、今から見ても大変

なめまぐるしさです。この間の事情は岩崎宗純（1979）「箱根七湯—歴史とその文化」に詳しく述べられています。ここでは交通網の整備状況を簡単に列挙しておきましょう。

明治6年（1873）福沢諭吉箱根道普請を強く勧奨。

明治13年（1880）小田原一湯本人力車道開削される。

明治20年（1887）東海道線國府津まで開通、湯本一宮ノ下有料人力車道開削

明治21年（1888）國府津一小田原一湯本を小田原馬車鉄道が結ぶ

明治25年（1892）湯本に箱根電燈発電所（水力発電所）完成

明治33年（1900）馬車鉄道が路面電車に改められ、小田原電気鉄道発足。電力は箱根電燈発電所より供給される。

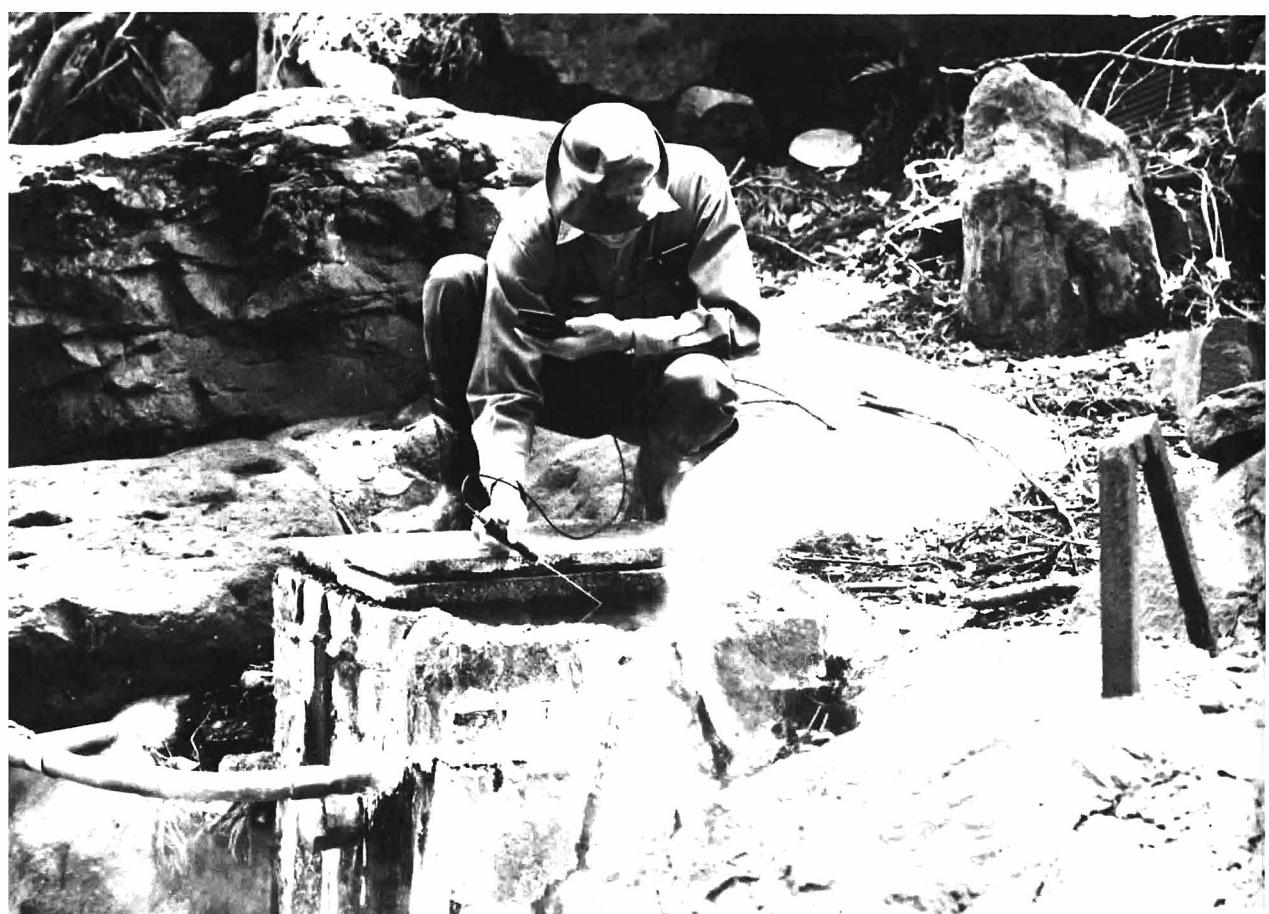
明治35年（1902）宮ノ下一芦之湯一箱根の人力車道完成

大正8年（1919）箱根登山鉄道湯本一強羅開通

大正9年（1920）国鉄熱海線國府津一小田原開通、この区間の路面電車廃止

大正10年（1921）強羅一早雲山ケーブルカー開通

写真3 蛇骨湧泉、温泉村68号泉（昭和54年撮影）



このように交通網の整備によって、箱根の開発が進みますと、江戸時代に7湯であった温泉場の数は14湯に増加しました。温泉宿の数も増し、施設は大型化しましたので、自然湧泉のままでは温泉が不足します。大正15年湯本1号泉がボーリング孔井試掘の許可を受けました。

明治20年当時の様子を箱根鉱泉誌（広瀬佐太郎、1888）はつぎのように書いています。「国府津に至って汽車を下り馬車或は腕車にて湯本に至り、湯本より塔ノ沢に至る。已に坂路にして温泉道の起始なり 塔ノ沢より宮ノ下に至る同じく坂路なりと雖新道已に開け路幅広くして勾配緩なり 能く馬車腕車を通す」この腕車とは人力車のことで、国府津より湯本まで一人挽で20銭、二人挽で40銭、乗合馬車は20銭でした。また、宮ノ下～塔ノ沢間の新道とは富士屋ホテル創始者の山口仙之助が私財を投入して完成させた人力車道です。

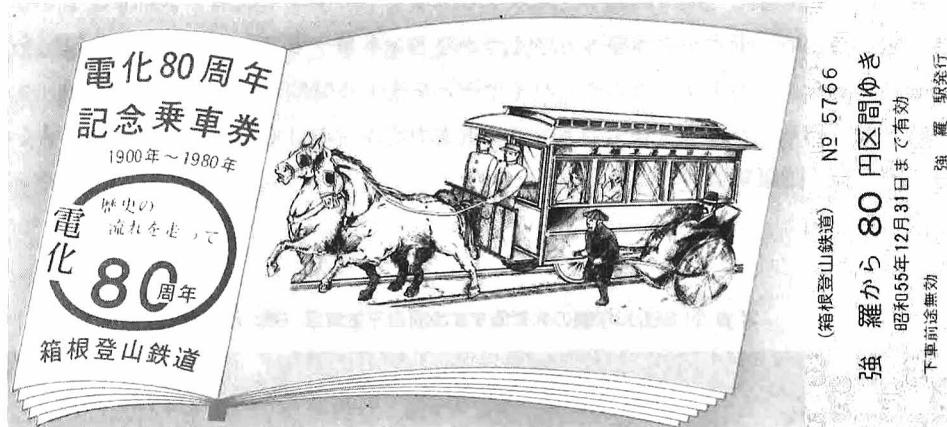


写真4 小田原馬車鉄道（箱根登山鉄道電化80周年記念乗車券）

蛇骨湧泉付近をトンネルで通る予定の箱根登山鉄道路線の敷設による温泉への影響を事前に調査した佐藤伝蔵は大正5年（1916）に箱根温泉調査報文をあらわしました。この報告書は温泉源の保護対策として高く評価されていますが、そればかりでなく当時の箱根温泉の湧出状況を記載した資料としても貴重なものです。

登山電車開通前後： 大正3年（1914）7月オーストリアがセルビアに宣戦してはじまる第一次世界大戦は、日本に好景気をもたらし、大正7年（1918）11月に終戦となりました。この好景気を背景にして、登山電車の敷設がすすみました。

大正12年（1923）9月の関東大地震で箱根温泉は大きな被害を受けました。そして、日本は昭和2年（1927）3月の金融恐慌へとすすんでいきます。この間の箱根温泉に関する科学的調査報告書は、さきにあげた佐藤伝蔵（1916）の報告書と塔之沢を調査した清野（1920）の報告書だけです。

小田原在住の小説家、川崎長太郎の作品一谷間一に丁度この頃の箱根温泉の様子が書きこまれていますので引用してみましょう。

「第一次世界大戦の好景気に見舞われ、箱根温泉も賑ったが、登山電車は開通していず、旧式な二

輪連結の電車が麓の湯本を終点としていた。汽車の方も、熱海線が小田原まできておらず…………。

(中 略)

登山電車の開通を見る前の強羅あたり、ただ大小の溶岩がゴロゴロころがり、間に立木や箱根笹の繁る傾斜面で、人家は殆どあるかなしに近かった…………。

旧東海道ぞいで、昔から旅館の並んでいた、湯本、塔之沢へんはもとより、上方の宮の下、底倉、小涌谷あたりも、戦成金輩が全国的にバッコするところとなってから、等しく繁昌した。勾配の急な狭苦しい土地へ、段々畳のように座敷をたて増したり、二階建を三階建に改築したり、又新しく店を開きする旅館も出ていた。

(中 略)

大正9年の秋、熱海線の一部が開通し、東京から汽車が小田原まで直通する模様となった。同時に、登山電車も営業を始め、湯本から強羅へ、いくつかのトンネルや十二分の一という急勾配を登り降り、ボギー車が往復した。人力車などようやくハイヤーと交代する時期が近づきつつあった。

登山電車を珍しがり、ひとしきり上方へ行く東京方面からの日帰り客もふえ、いち早く小ぢんまりした旅館が二軒、強羅駅の前へ出来た。…………。

写真5 明治30年頃の木賀温泉松坂屋寿平治旅館（嶋 有義氏提供）



(中 略)

登山電車が営業を開始する少し前から、世間の大戦景気は経済恐慌へ行き着く下り坂を辿りつつあった。没落する成金もぽつぽつ出てきた。

箱根の客脚もとみに落ち勾配、…………。

(中 略)

不景気のテンポは急で、正月の年越し客も前に半減し、一月から三月なか頃まで、箱根の温泉場はどこも火の消えたような有様となった。…………。〔「乾いた河」、川崎長太郎、中央公論社〕

このような状況の中で、箱根の諸温泉はただ世間の不景気に手をこまねいていたわけではありません。なるべく多くの人々が温泉を楽しめるように努力がはらわれていました。昭和5年（1930）に出版された新版日本温泉案内箱根十二湯（金星堂）には次のように述べられています。

「最近の傾向として甚だ喜ばしいことは、一時ブルジョア的であるという怨嗟の的となった箱根諸温泉も、かの関東大震災以後の不景気と、時勢の流れとに目覚めて宿泊料も安くするし、客の待遇も非常に改善されて、一般人が遊んでもそれほどの負担が感じられず、快く、至極のんびりと俗塵を離

写真6 大正12年震災前の宮ノ下（嶋 有義氏提供）



けられるようになったことは、何よりも愉快なことである。一時は、特殊な金権階級に独占された箱根も、かくして、一般民衆的な箱根『我れ等の箱根』が出現されつつある。

この当時の交通費は東京～小田原間が一円三十二銭（三等）、小田原～湯本間の電車が二十四銭でした。宿泊料は、湯本温泉の福住、小川がそれぞれ五～六円、大和館、和泉館は三円～五円ぐらいでした。

4・2 自噴掘さく泉の時代

自然湧泉は付近に源泉が掘られ、その水位が下げられるとすぐ影響を受けます。雨が降り河川の水位が変化すると自然湧泉の湧出量も変化します。より安定した温泉量を確保するために深い井戸によって温泉を得る方向へと変化しはじめたのが昭和初期です。

173m掘さくして、自噴温泉を得た湯本1号泉の出現した昭和3年から、昭和8年掘さく井に渦巻ポンプの吸湯管を挿入することになった湯本38号泉の出現前までを自噴掘さく泉の時代とします。もっとも自然湧泉が消失してしまったのではないので、その点間違わないで下さい。

昭和2年（1927）新宿一小田原間の小田急線が開通しました。昭和9年には丹那トンネルが開通し、小田原一熱海一沼津を結ぶ路線が東海道本線となりました。東京と箱根の交通の便が急激に良くなり

写真7 湯本温泉 昭和40年に自噴を停止したボーリング孔井（湯本第13号泉）は水位変化を追跡する観測井となっています（昭和56年撮影）。この井戸の水位観測結果等は図3、41にあります。



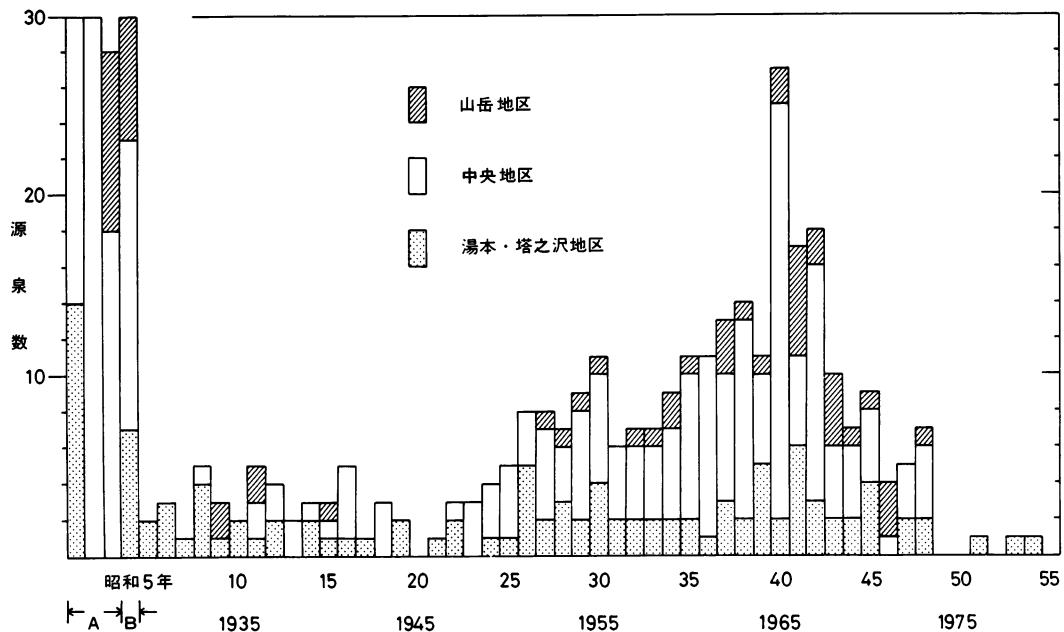


図2 箱根温泉の年度別温泉台帳登録数（昭和4年～昭和54年）

A：古来より湧出、B：規則施行前より存在

ました。無やみやたらに温泉源の開発が行なわれてはたまらないというので、大正の末から昭和の初めにかけて温泉の戸籍をはっきりさせるため温泉台帳の整理が行なわれました。昭和2年の整理結果では、古来からの温泉として88源泉が登録されました。大正5年頃の箱根全山の源泉数は50源泉程度と推定されています(大木1979)。10年余りで源泉の数が2倍になりました。宮ノ下、底倉地区の湧泉が開発され、台帳に記載されるようになったのが源泉数増加の主因でしょう。図2は昭和4年から54年まで温泉台帳に登録された源泉数のヒストグラムです。源泉数の増加は掘さくによって新しく生れた源泉孔井の数です。いづれにしても、交通網の発達が温泉の開発をうながしていることがわかります。

昭和4年箱根温泉協会が結成されました。この頃、全国の主要な温泉地に温泉協会がいっせいに結成されています。鉄道省が温泉地の発展のために温泉協会の結成を勧奨したと言われています(藤浪, 1938)。箱根温泉協会の目標の一つに既存源泉の保護が強く主張されています。当時、温泉は県警察部によって取り扱っていました。その行政のよりどころは「神奈川県温泉地区取締規則」によっていました。取締規則にも協会の会則にも明記されていませんが、源泉相互の距離を60間(110m)以上とする温泉掘さくの慣例が出来たのもこの時です。新源泉の掘さくがすむと、揚湯試験を行い、既存源泉への影響の有無が確かめられました。影響が出ると警察官立ち合いのもとで井戸の埋めもどしが命ぜられたそうです。取締規則の適用は昭和5年からでした。昭和4年に登録された源泉数が多いのは規則施行前のかけこみ登録と考えられます。昭和10年頃まで毎年のように湯本に新源泉が掘さくされ

神奈川県温泉地区取締規則

写真8 昭和4年の神奈川県温泉地区取締規則

と、原理的に水が汲み上げられません。水面が浅い場合は大変効率のよいポンプです。一つの井戸で動力式ポンプにより大量の温泉をくみ上げると、その井戸を中心に地下水位が低下します。すると近くの自然湧出している井戸の水位も低下し湧出量が少くなります。水位が湧出口の高さまで低下すると湧出の停止です。したがって、付近の源泉井は同様のポンプを据え付けて、温泉を汲み上げなければなりません。このようなわけで、短時間の内に渦巻ポンプが普及することになりました。渦巻ポンプを用いることによって、自然湧出していた温泉量の何倍もの温泉を利用することになりました。

昭和16年太平洋戦争に日本が突入し、昭和20年終戦となりました。この間の温泉掘さく数は少なくなっています。温泉は傷病兵の治療にも利用されました。

4・4 エアー・リフト・ポンプの時代

昭和25年頃から、わが国の経済が急速に回復しはじめました。多数の人々が旅行を楽しむようになったのです。その傾向は年を追って強まりました。観光の大衆化です。そして、箱根温泉の急速な開発が初めました。わが国では、長い間、温泉は医療に重点がおかれていました。ところが、観光の大衆化になると、温泉は観光資源として重要視されるようになったのです。

自然湧出量の何倍もの温泉を汲み上げる渦巻ポンプにも欠点がありました。温度の高い温泉には多量の溶存塩類が含まれています。塩類の化学作用でポンプが腐蝕します。温泉が地表に出て温度が低

ました。これらの掘さく井から温泉が自噴していました。掘さくしても自噴しない井戸は成功したと言わなかつたかも知れません。自噴している井戸では温泉の水位が湧出口より少しでも低くなると湧出が停止します。したがって、井戸相互の影響は大変鋭敏に現われました。湧出量の季節的変化も大きく現われたに違いありません。そこで温泉井戸の中に渦巻き式ポンプの吸水管を挿入することになりました。昭和8年、湯本38号泉にその許可がおりました。

4・3 渦巻ポンプの時代

渦巻ポンプ（ヒューガルセンター式ポンプ）が掘さく井に初めて使用許可になった昭和8年から、エアー・リフトポンプが箱根一帯で普及しはじめる前まで、つまり昭和24年までを渦巻ポンプの時代とします。

井戸から水をくみ上げるには普通渦巻ポンプを使います。このポンプは井戸内の水面が10mより低下する

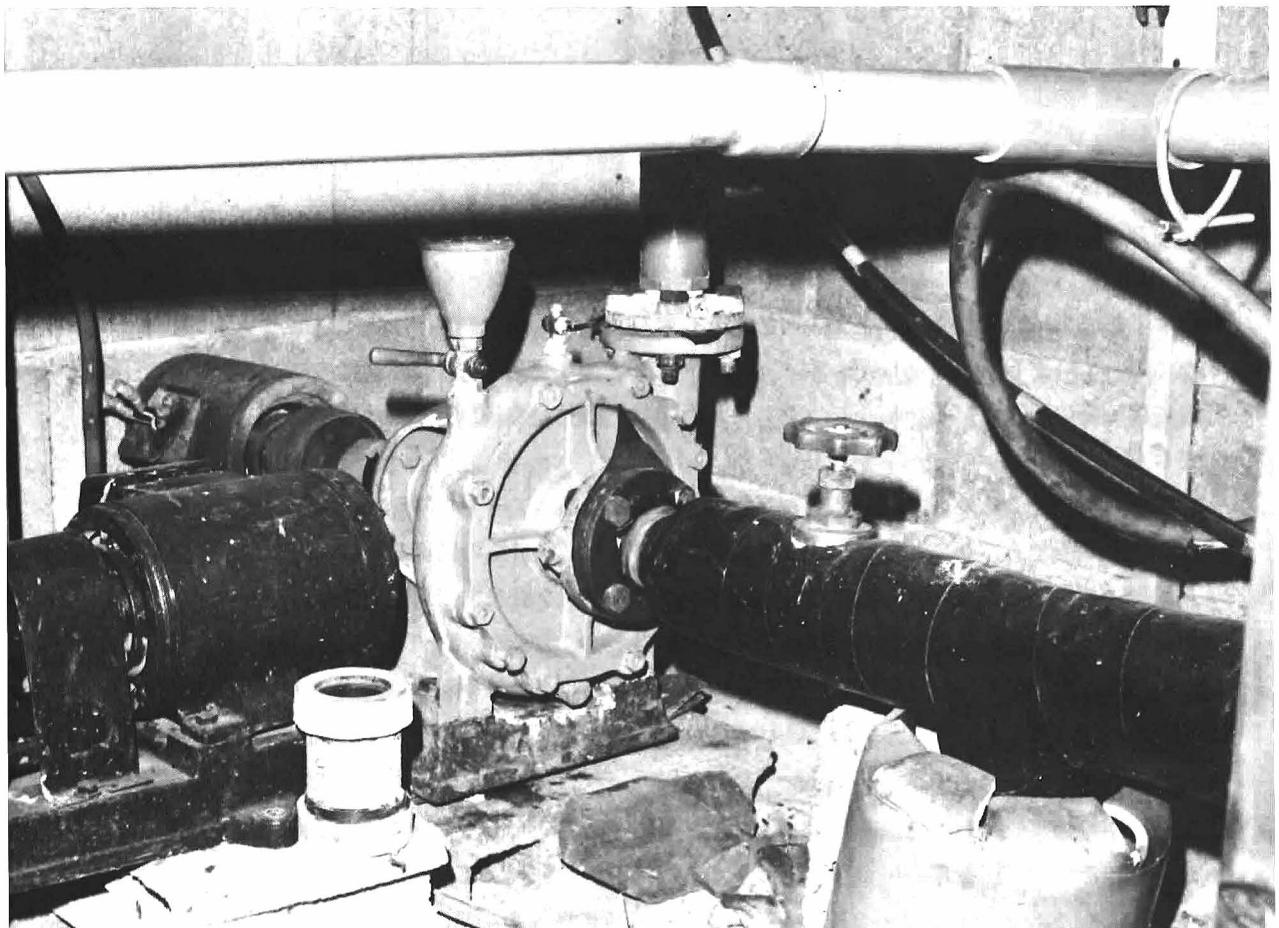


写真9 湯本12号泉の渦巻ポンプ（昭和56年撮影）

下し、空気と接し、水が蒸発するなどの変化によって、渦巻ポンプの羽根やパイプに沈殿物が付着し、ポンプの能力が低下します。ポンプの修理に手間がかかります。もっと大きな渦巻ポンプの泣きどころは、井戸内の水位が10m以上低下すると、もはや水を吸い上げる能力がなくなることです。各源泉が揚湯を続けて、1年2年…と経過するに応じて、地域全体の水位が次第に低下します。地表から水面までの深さが増すに従って揚湯量が低下しますから、渦巻ポンプの位置を地下に掘り下げていかなくてはなりません。5mも穴を掘ってポンプの位置を下げるのが限度です。水位の低下があっても、その水面を追いかけることが出来るポンプとしてエアー・リフトポンプが登場して來たのです。

エアー・リフト・ポンプの原理はビールやサイダーの泡が瓶から噴出するのと同じ原理です。水中に多量の空気を圧入すると、水中に無数の泡が生じ单位体積あたりの重さが水よりも軽くなるので、地下の水は空気と水の混合体として地表にとり出すことが出来るわけです。

実際には深さ数百mの孔井内に直径2cm程の空気用鉄管を水面下100mから200m差しこみます。地表に置いた高圧コンプレッサーから空気を圧入しますと挿入した空気用鉄管の深さの気水混合流となって、温泉が噴出します。火山の大爆発で噴出する火碎流も同じ原理でマグマが泡となって地表に噴出します。

孔井内には鉄管があるだけですから、温泉沈殿物が付着すれば鉄管を引き上げて、沈殿物をゴリゴリと削り取り再び孔井内に鉄管をもどしておくださいから源泉管理は容易です。エアー・リフト・

ポンプの偉力は孔井内水位が10mより深くなてもいっこうにかまわないことです。このポンプによれば、孔井内水位が深くなる山の斜面でも、どんどん温泉井を掘さく出来ることです。温泉が自然湧出する谷底には、昭和4年に決められた源泉相互の距離110mの間隔では新源泉掘さく可能な地点はなくなっていました。しかし、エアー・リフト・ポンプの出現によって源泉間の距離さえ規定以上を保てば源泉の開発が可能となったのです。おかげで、箱根も湯河原も大温泉地に発展することが出来ました。

私たちが注意しなければならないことは、すごく便利なエアー・リフト・ポンプの優れた性能こそが大きな短所であったことです。この装置の普及によって、自然の供給量をはるかにオーバーした温泉揚湯が行なわれてしまい、都会に近い温泉地では、深刻な温泉枯渇問題が生れてきたのです。渦巻ポンプの使用のみに制限されていたとすると、孔内水位は地表から10mより低下することにはならなかったのです。渦巻ポンプの性能が採取量の限度を規定してくれるからです。

昭和23年に施行された温泉法は、いわば温泉無限論的感覚で組み立てられていました。新源泉の出現で付近の既存源泉の湧出量が著しく低下しない限り、有意な影響と見なさないことからも明りょうです。地中の温泉をポンプで汲み出すことによって生じる水位低下は1日に畳の目程の小さな量です。しかし、それが1年2年……と積み重ねられると、10年もすれば無視出来ない程の影響になっている

写真10 湯本25号泉のエアー・リフトポンプ用堅型コンプレッサー、エアー・リフトポンプの初期に用いられました（昭和56年撮影）。



ことを「温泉法」で止めることは困難であったわけです。いわば温泉の「産業革命」をもたらしたエー・リフト・ポンプ使用に対し、「温泉法」だけでの対処はザルで水を汲むたぐいでありました。

再び図2を眺めて下さい。昭和26年から47年頃まで、温泉の台帳登録数は年毎に増加しています。昭和40年、中央地区の強羅、二ノ平付近で掘さく中の源泉がつぎつぎに完成しました。昭和43年から新規掘さく数は低下しはじめ、昭和49、50年には登録数0でした。昭和48年から50年にかけての第一次石油危機と時を同じくしています。その後、現在に至るも、源泉数は余り増加しなくなりました。温泉を掘りたくても、現在施行されているルール内では、経済的に掘さく可能な場所がなくなってしまったのが主な理由です。

温泉に関する行政について注目してみましょう。昭和23年、温泉法が施行されました。法律の目的には「温泉を保護し、温泉を浴用・飲用に供し公共の福祉に寄与すること」と述べられています。昔は内務省および県警察部が温泉行政を所管していました。新憲法になって、温泉法が生れ、厚生省および県衛生部が温泉行政を担当するようになりました。昭和38年、湯本・塔之沢地区の源泉相互の干渉が著しく、自噴泉が次々に枯渇したので、その対策として温泉制限強化地域の規制が行なわれました。そのとき、休止源泉の復活は認めない、揚湯量の増加は認めない、制限地域内の新規掘さくは源泉相互の距離を150m以上とするなどの制限が加えられました。

昭和42年、県温泉審議会は県温泉保護対策要綱を決め、県下の温泉地を温泉保護地域、温泉準保護地域、一般地域に区分しました。当時、わが国で最も進んでいた静岡県の温泉保護条例が手本となっていました。保護地域では新規掘さくを認めない、湧出量が低下した場合は、過去数回の温泉実態調査の平均揚湯量以内で、しかも付近既存源泉に影響を与えない範囲の回復を認める。準保護地域では源泉相互の距離110m以上、掘さく深度は周囲の温泉を参考にして定める。揚湯量は揚湯試験によって、既存源泉への影響の有無を調べるといった内容でした。

これらの施策で温泉枯渇問題が解決されたかというと残念ながらそうはなりませんでした。その詳しい状況は各温泉場の記載にゆずりましょう。

この要綱では保護地域の温泉に対する制限が厳しく行なわれましたが、保護地域をとりまくように分布している準保護地域に対し、むしろ温泉資源の開発が出来る地域と解釈して、対策要綱にふれない限り源泉の開発が進められました。昭和42年以降も毎年新源泉が生れていますが、その出現率はかなり低下しています。

温泉保護対策要綱は昭和45年、47年、48年と保護地域を拡大させる方向に改正が加えられました。図3は保護対策施行後も湯本温泉の衰退が進んでいることを明確に示しています。

昭和55年4月、これまでの保護対策の欠点に十分な検討を加えて新しい温泉保護対策要綱が生まれました。反省の主要点は次のような事項です。

- 1). 温泉保護地域の源泉は実際的に何も保護を受けていなかった。それらにはむしろ昭和38年の温泉制限地域という表現がピッタリと当てはまっていて、制限と言う厳しい耳ざわりな言葉を保護という

柔かい言葉におきかえているに過ぎない。

2). 保護地域の外側にある準保護地域で揚湯量の大きな新源泉を次々に認めたことが、古くからの源泉の枯渇を招いていた。制限は準保護地域の温泉にこそむけられなければならない。制限の基準は、温泉を貯留している地層の水理学的性質と、掘さく許可の基準との組み合せによって科学的に決めるこ。

3). 每年実施されている温泉湧出量調査で、例えば毎分 1ℓ の湧出量の低下が認められても、その源泉の実績を保存するために、動力装置の強化、源泉の増掘などを行い、各源泉が実績保存の競走をしている。温泉量に每分数 ℓ 程の低下があっても、利用上に不便はないはずである。無駄な投資をさけるべきだ。

4). 温泉の影響調査方法は慣例を重んじて昭和初期の自噴泉の調査のときの方法をかたくなに守っていた。地下の温泉資源の状況は井戸内で測定される水位の変化を無視しては全く判断出来ない。水位に基礎をおく温泉の調査にきりかえるべきである。

新らしい要綱では県下の地域を温泉の特別保護地域、保護地域、準保護地域および一般地域に分けています。特別保護地域および保護地域の温泉量は昭和53年までの実態調査の量を基にして計算し、各源泉の一定量としてその数値を凍結し、その数値を行政的にも保護しようという、ほんとの意味の温泉

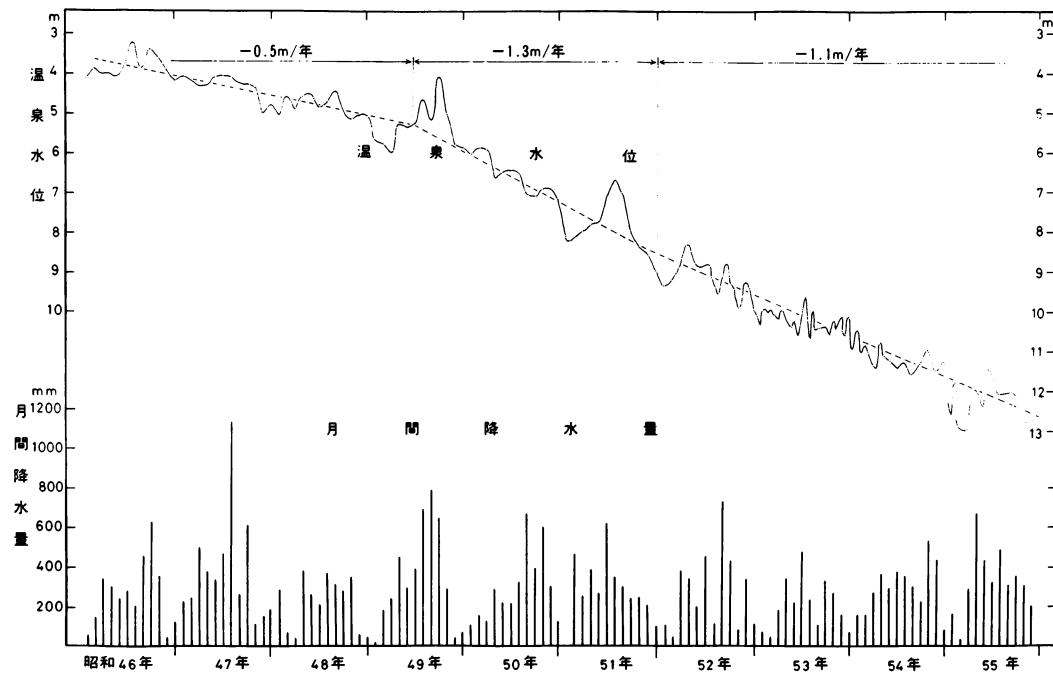


図3 湯本「きよ水源泉」(湯本13号泉)の水位低下

保護を行うことになりました。準保護地域では源泉相互の水平距離を150m以上とすることにしました。箱根では新源泉の採取量は最高70ℓ/min、湯河原では最高60ℓ/minと決め、最高限度量という概念を持ちこみました。エアー・リフト・ポンプが出現してやっと31年目にして、この技術革新に対処出来るルールが生れたのです。

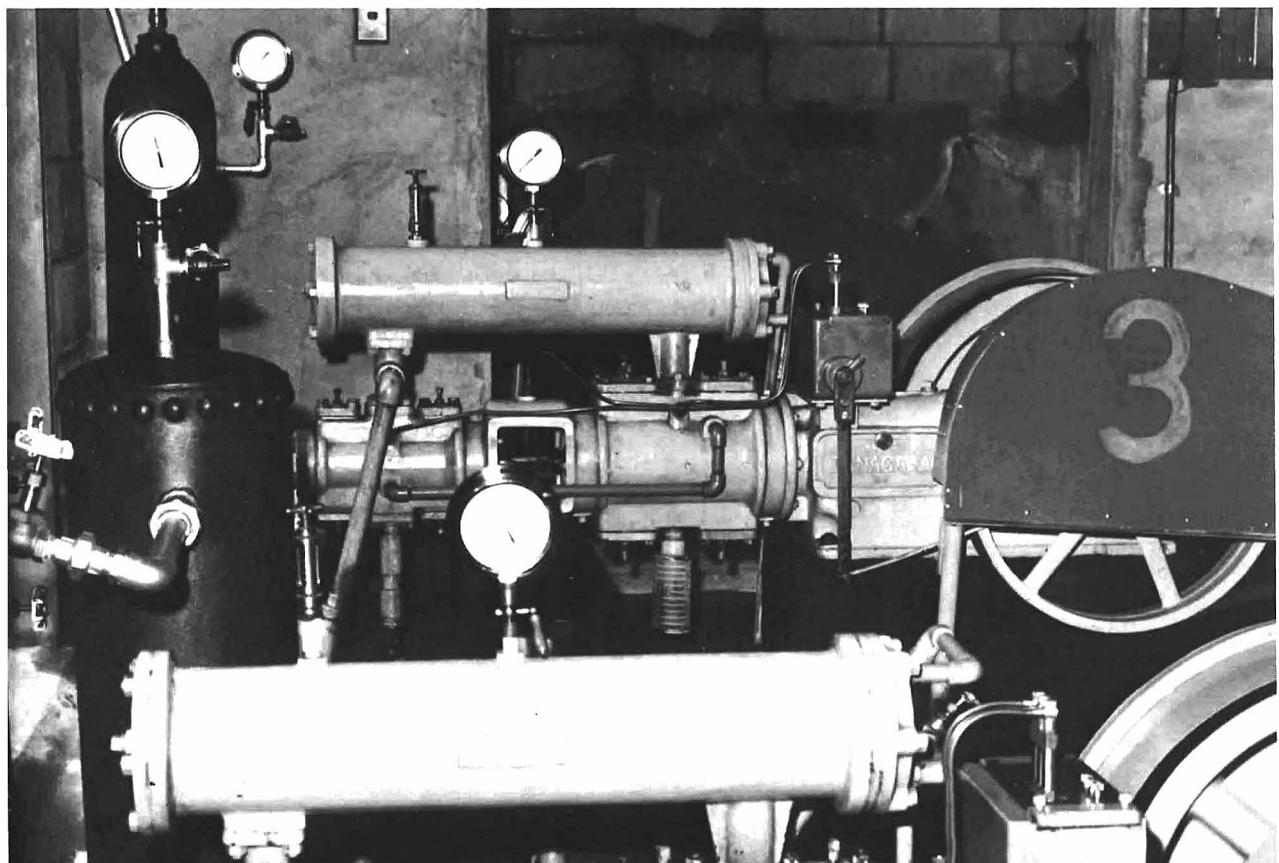
4・5 水中ポンプの時代

昭和55年以後の時代を水中ポンプの時代と表現するのがよいかどうかわかりません。昭和48年に発生した石油危機を契機に、日本ばかりでなく、世界中の経済活動が大きく変化しはじめました。省エネルギー、省資源、安定経済成長などと表現される事が温泉にもすでに発生してきています。

エアー・リフト・ポンプは揚水ポンプとして余り効率の良いポンプではありません。水面が深くてもより効率よく揚水出来る水中ポンプがあります。ポンプの羽根とモーターが共に孔井内の水中に設置されていて、水を地表に押し上げる仕掛けです。水温が80℃以上になると電気の絶縁物が急に高価になり、温泉に利用出来る水中ポンプの開発がおくれていました。県内の多くの温泉孔井の口径は10cmです。直径10cmの井戸に入る小型の水中ポンプも普及していません。

しかし、今後、電気料金は増え高くなります。効率の悪いポンプは省エネルギーの立場から改める

写真11 湯本湘南温泉のエアーリフトポンプ用横型コンプレッサー（昭和46年撮影）



べきでしょう。温泉沈澱物の付着の少ない井戸でしたら水中ポンプの設置は大変魅力です。温泉利用のない時、揚水ポンプを停止させておき、必要な時ポンプを稼動させる操作は、エアー・リフト・ポンプではやっかいですが、水中ポンプでは大変簡単です。つまり効率よく温泉を揚湯するには水中ポンプがよいことになります。

すでに述べましたエアー・リフト・ポンプの例でもわかるように、新らしい技術を普及させるためには、その及ぼす影響について科学的な検討を加え、利用するときのルールを決めておかなければなりません。昭和55年に根本的な改革が行なわれた県温泉保護対策要綱をこれから変化する社会情勢に合せて更に改正して行く必要があります。

昭和41年に宮城野地区で初めて水中ポンプが試験的に認められました。この地域は地質的に多量の温泉が湧出しない地域であったため、水中ポンプによるひどい影響は出ていません。しかし、水中ポンプはエアー・リフト・ポンプ以上に効率が良いので、現状では箱根全山で利用するには大変危険です。このポンプを利用するためのルールがまだないからです。

5. 箱根温泉の湧出量と泉質

5・1 湧出量

箱根温泉の湧出量はおよそ $18,000\ell/\text{min}$ （約2万6千 m^3/day ）です。各温泉地ごとの源泉数、温泉量、放熱量、平均温度などをまとめて表1に示しました。この他に火山性水蒸気を用いて地下水などを加熱する温泉造成がおこなわれています。温泉造成量は約 $6,000\ell/\text{min}$ （8千6百 m^3/day ）です（表2）。造成温泉を含めた神奈川県全体の温泉量はおよそ $40,000\ell/\text{min}$ （5万7千 m^3/day ）ですから、箱根ではその6割強の温泉が利用されています。湯河原温泉の湧出量は $7,503\ell/\text{min}$ （1万8百 m^3/day ）で箱根につき、横浜、川崎両市で 25°C 以下のいわゆる冷鉱泉がおよそ $5,500\ell/\text{min}$ （8千 m^3/day ）利用されています。

伊豆の熱海・伊豆山温泉の温泉湧出量は $19,400\ell/\text{min}$ （2万8千 m^3/day ）、伊東温泉は $29,500\ell/\text{min}$ （4万2千 m^3/day ）です。湧出量に温度を加味した温泉放熱量で比較すると、箱根火山の温泉は、伊豆・箱根地域の横綱です（図4）。

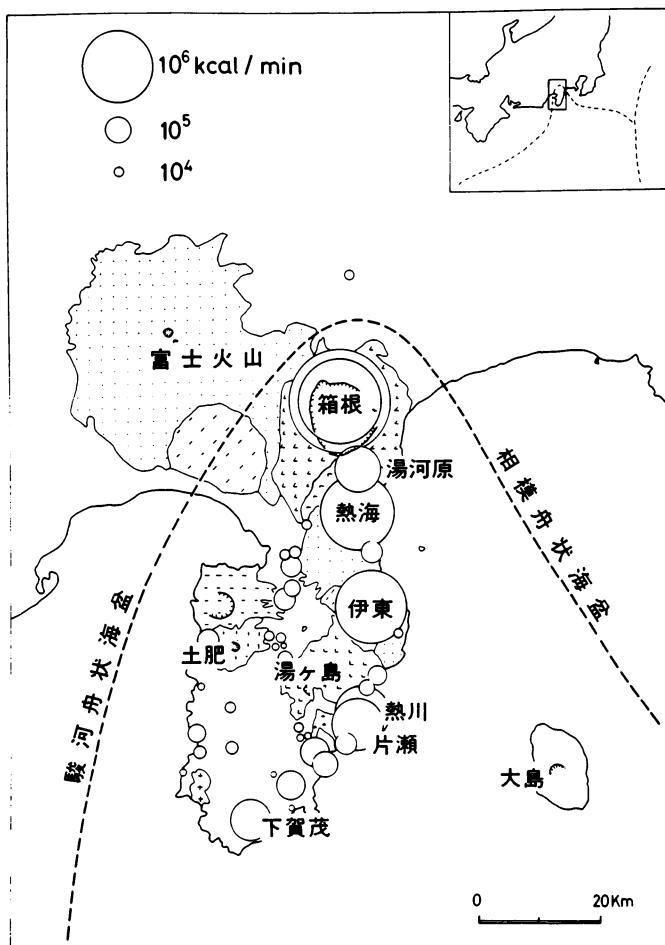


図4 箱根・伊豆の温泉分布
と放熱量（大木・平野
1972）

表1 箱根温泉

地名	項目	年 度	昭和33年	昭和37年	昭和38年	昭和40年	昭和41年	昭和43年
湯 本	総 源 泉 数	45	51		57		66	
	計 量 源 泉 数	36	42		46		54	
	休 止 源 泉 数	9	10		11		10	
	総 温 泉 量 (ℓ/min)	3563	3972		4326		4543	
	1源泉当たりの温泉量 (ℓ/min)	99	95		94		84	
	総 热 量 ($\times 10^3 \text{Kcal}/\text{min}$)	193.0	214.3		230.7		241.4	
塔 之 沢	平 均 温 度 (°C)	54.2	53.9		53.3		53.1	
	総 源 泉 数	19	19		20		21	
	計 量 源 泉 数	8	7		8		7	
	休 止 源 泉 数	11	12		12		12	
	総 温 泉 量 (ℓ/min)	795	708		729		678	
	1源泉当たりの温泉量 (ℓ/min)	99	101		91		97	
大 平 台	総 热 量 ($\times 10^3 \text{Kcal}/\text{min}$)	44.3	39.8		40.5		36.9	
	平 均 温 度 (°C)	55.8	56.2		55.5		54.4	
	総 源 泉 数						4	
	計 量 源 泉 数						4	
	総 温 泉 量 (ℓ/min)						438	
	1源泉当たりの温泉量 (ℓ/min)						110	
堂 ケ 島	総 热 量 ($\times 10^3 \text{Kcal}/\text{min}$)						25.4	
	平 均 温 度 (°C)						58.0	
	総 源 泉 数	6		8			8	
	計 量 源 泉 数	5		7			8	
	休 止 源 泉 数	0		0			0	
	総 温 泉 量 (ℓ/min)	402		598			688	
宮 ノ 下	1源泉当たりの温泉量 (ℓ/min)	80		85			86	
	総 热 量 ($\times 10^3 \text{Kcal}/\text{min}$)	25.9		36.0			45.1	
	平 均 温 度 (°C)	64.4		60.2			65.5	
	総 源 泉 数	24		26			27	
	計 量 源 泉 数	13		21			23	
	休 止 源 泉 数	2		2			3	
底 倉	総 温 泉 量 (ℓ/min)	1123		2303			2685	
	1源泉当たりの温泉量 (ℓ/min)	86		110			117	
	総 热 量 ($\times 10^3 \text{Kcal}/\text{min}$)	79.0		137.6			156.6	
	平 均 温 度 (°C)	70.3		59.7			58.3	
	総 源 泉 数	51		51			51	
	計 量 源 泉 数	6		34			35	
小 涌 谷	休 止 源 泉 数	0		0			0	
	総 温 泉 量 (ℓ/min)	370		1428			1782	
	1源泉当たりの温泉量 (ℓ/min)	62		42			51	
	総 热 量 ($\times 10^3 \text{Kcal}/\text{min}$)	25.2		77.0			89.4	
	平 均 温 度 (°C)	68.2		53.9			50.2	
	総 源 泉 数	24		37			42	
	計 量 源 泉 数	11		24			27	
	休 止 源 泉 数	3		4			5	
	蒸 气 泉 数	4		6			6	
	総 温 泉 量 (ℓ/min)	668		1480			2676	
	1源泉当たりの温泉量 (ℓ/min)	61		62			99	
	総 热 量 ($\times 10^3 \text{Kcal}/\text{min}$)	51.6		96.8			150.6	
	平 均 温 度 (°C)	77.3		65.4			56.3	

統 計 表

昭和44年	昭和45年	昭和46年	昭和47年	昭和48年	昭和49年	昭和50年	昭和51年	昭和52年	昭和53年	昭和54年
70	71	72	73	75	75	77	78	79	80	81
56	59	61	56	60	61	64	63	62	63	65
12	12	11	11	10	11	11	11	11	11	11
4528	4554	4865	4657	4663	5100	4737	4986	4702	4745	4643
81	77	80	83	78	84	74	79	76	75	71
242.0	244.0	252.1	238.8	249.2	267.1	251.0	257.3	251.5	253.2	247.9
53.4	53.6	51.8	51.3	53.4	52.4	53.0	51.6	53.5	53.4	53.4
21	21	22	23	23	23	24	24	24	24	24
8	8	9	10	10	11	12	10	12	11	12
12	12	12	12	13	12	12	12	12	12	12
732	704	742	857	743	860	900	866	931	840	934
92	88	82	86	74	78	75	87	78	76	78
38.5	38.4	39.4	45.9	40.1	46.0	46.9	44.6	48.6	44.2	48.0
52.6	54.5	53.1	53.5	53.9	53.5	52.2	51.5	52.2	52.6	51.4
5	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
5	5	6	5	5	5	6	6	6	6	6
485	456	475	432	418	409	443	463	427	468	462
97	91	79	86	84	82	74	77	71	78	77
27.0	25.6	27.0	24.9	23.9	24.2	26.1	26.1	25.1	27.7	27.3
55.7	56.2	56.9	57.5	57.2	59.1	58.9	56.4	58.9	59.1	59.2
8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
7	7	7	7	7	7	6	6	6	6	7
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
562	494	516	622	603	623	561	580	501	473	594
80	71	74	89	86	89	94	97	84	79	85
33.5	33.6	34.0	41.1	40.7	42.2	38.0	38.9	34.3	32.3	40.8
59.6	68.0	65.9	66.1	67.4	67.8	67.8	67.1	68.5	68.3	68.7
27	27	30	30	30	30	30	30	30	30	30
23	23	24	24	23	25	25	24	25	24	24
3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
3003	2683	2633	2425	2213	2563	2360	2227	2324	2007	2208
131	117	110	101	96	103	94	93	93	84	92
202.2	186.7	187.6	177.0	160.1	188.8	171.4	160.1	163.3	140.2	151.8
67.3	69.6	71.3	73.0	72.3	73.7	72.6	71.9	70.3	69.9	68.8
51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51
36	27	28	32	32	35	35	35	32	33	28
0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0
1751	1215	1384	802	742	1192	965	915	904	771	871
49	45	49	25	23	34	28	26	28	23	31
106.4	83.7	86.3	67.4	61.6	74.3	66.9	65.0	62.6	55.2	54.5
60.7	68.9	62.4	84.0	83.0	62.3	69.3	71.1	69.3	71.6	62.6
50	53	57	59	60	60	61	61	61	60	60
33	33	38	36	33	33	31	27	28	27	22
8	9	10	12	12	12	12	12	11	11	10
6	6	7	8	9	9	9	9	9	9	9
3474	2926	3639	3490	3088	3637	3662	2731	3565	2770	1673
105	89	96	97	94	110	118	101	127	103	76
178.8	176.5	208.1	201.3	181.8	192.6	190.1	149.9	167.8	154.6	118.8
51.5	60.3	57.2	57.7	58.9	53.0	51.9	54.9	47.1	55.8	71.0

表1 箱根温泉

地名	項目	年 度	昭和33年	昭和37年	昭和38年	昭和40年	昭和41年	昭和43年
木賀	総源泉数	16		16			21	
	計量源泉数	6		12			17	
	休止源泉数	3		3			3	
	総温泉量(ℓ/min)	347		611			972	
	1源泉当たりの温泉量(ℓ/min)	58		51			57	
	総熱量($\times 10^3$ Kcal/min)	18.0		26.3			48.1	
強羅	平均温度(℃)	51.9		43.0			49.5	
	総源泉数	6		16			29	
	計量源泉数	5		15			25	
	休止源泉数	1		1			1	
	総温泉量(ℓ/min)	421		1030			1919	
	1源泉当たりの温泉量(ℓ/min)	84		69			77	
二ノ平	総熱量($\times 10^3$ Kcal/min)	19.8		51.0			125.1	
	平均温度(℃)	47.1		49.5			65.2	
	総源泉数	3		6			11	
	計量源泉数	3		6			11	
	総温泉量(ℓ/min)	329		406			802	
	1源泉当たりの温泉量(ℓ/min)	110		68			73	
宮城野	総熱量($\times 10^3$ Kcal/min)	19.6		24.0			48.2	
	平均温度(℃)	59.5		59.0			60.1	
	総源泉数						1	
	計量源泉数						1	
	総温泉量(ℓ/min)						65	
	1源泉当たりの温泉量(ℓ/min)						65	
芦之湯 湯ノ花沢 芦ノ湖	総熱量($\times 10^3$ Kcal/min)						4.6	
	平均温度(℃)						70.0	
	総源泉数	14		19			22	
	計量源泉数	0		6			5	
	休止源泉数	3		4			7	
	蒸気源泉数	1		3			2	
仙石原子尻 姥湖大涌谷 早雲山	総温泉量(ℓ/min)	—		1049			591	
	1源泉当たりの温泉量(ℓ/min)			175			118	
	総熱量($\times 10^3$ Kcal/min)			40.0			28.5	
	平均温度(℃)			38.1			48.3	
	総源泉数	3		3			6	
	計量源泉数	1		2			5	
箱根全山	休止源泉数	0		0			1	
	蒸気源泉数	0		0			0	
	総温泉量(ℓ/min)	44		1028			3701	
	1源泉当たりの温泉量(ℓ/min)	44		514			740	
	総熱量($\times 10^3$ Kcal/min)	2.2		46.8			172.1	
	平均温度(℃)	49.5		45.5			46.5	

総源泉数=計量源泉数+休止源泉数+蒸気源泉数+未計量源泉数

統計表(つづき)

昭和44年	昭和45年	昭和46年	昭和47年	昭和48年	昭和49年	昭和50年	昭和51年	昭和52年	昭和53年	昭和54年
22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22
17	15	15	16	17	16	16	16	15	15	15
4	4	4	4	5	5	5	5	5	5	5
902	711	686	834	823	862	831	863	786	783	835
53	47	46	52	48	54	52	54	52	52	56
43.3	32.4	31.7	39.1	39.8	39.4	41.6	38.3	39.3	39.7	40.5
48.0	45.6	46.3	46.9	48.3	45.7	50.1	44.4	50.0	50.8	48.5
39	42	43	42	46	46	46	46	46	46	46
34	34	36	37	41	38	36	33	35	35	28
1	2	3	3	3	3	5	5	5	5	5
2510	2696	2826	2864	3093	2969	2693	2370	2258	2509	2157
74	79	79	77	75	78	75	72	65	72	77
171.6	179.2	190.8	191.8	212.5	199.6	178.3	155.5	146.3	168.4	143.6
68.4	66.5	67.5	67.0	68.7	67.2	66.2	65.6	64.8	67.1	66.6
13	13	14	14	14	14	14	14	14	14	14
13	13	13	14	14	11	11	10	10	8	10
1042	992	1053	1069	1035	911	893	783	804	630	751
80	76	81	76	74	83	81	78	80	79	75
67.4	62.6	67.0	66.8	64.8	55.2	56.3	51.4	52.1	40.7	50.5
64.7	63.2	63.6	62.5	62.6	60.6	63.0	65.6	64.8	64.5	67.2
2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3
2	2	1	2	2	2	3	3	3	3	3
114	109	62	108	103	173	234	244	237	236	239
57	55	62	54	52	87	78	81	79	79	80
7.6	7.3	4.2	7.1	6.8	11.7	16.3	13.3	16.3	16.2	16.5
66.4	67.0	68.0	65.7	66.2	67.5	69.5	54.5	68.6	68.7	69.1
25	25	27	27	21	21	21	21	21	21	21
6	4	4	7	8	8	8	6	6	7	6
9	9	10	10	4	4	4	4	4	4	4
2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3
1197	413	449	1259	1077	1410	1384	1594	2288	1355	1661
200	103	112	180	135	176	173	266	381	194	277
47.6	26.5	28.0	48.9	44.7	53.5	53.5	59.8	76.8	54.0	57.0
39.8	64.2	62.4	38.8	41.5	37.9	38.7	37.5	33.6	39.8	34.3
14	15	17	17	18	18	18	18	18	18	18
11	8	10	11	11	10	10	10	11	7	10
3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
0	0	1	1	2	2	2	2	2	2	2
2515	711	901	2837	905	2225	1272	856	1569	706	1446
229	89	90	258	82	223	127	86	143	101	145
114.6	38.8	47.0	134.8	47.0	109.0	61.7	40.4	80.8	37.0	74.8
45.6	54.5	52.2	47.5	51.9	49.0	48.5	47.2	51.5	52.4	51.8
347	356	371	374	376	377	381	382	383	383	384
251	238	252	257	263	262	263	249	251	245	236
53	55	57	59	54	55	57	57	55	55	54
8	8	11	12	14	14	14	14	14	14	14
22792	18664	20231	22256	19506	22934	20935	19478	21296	18293	18474
91	78	80	87	74	88	80	78	85	75	78
1280.3	1135.3	1203.3	1284.7	1172.8	1303.6	1198.0	1100.6	1164.7	1063.3	1072.1
56.2	60.8	59.5	57.7	60.1	56.8	57.2	56.5	54.7	58.1	58.0

(昭和55年3月現在 小田原保健所資料)

5・2 泉 質

江戸時代の文化8年（1811）に書かれた七湯の枝折（沢田秀三郎訳註、1973）には、温泉を口に含んだときの味の違いが次のようにしるされています。湯本——気味なし、塔之沢——辰砂湯、気味かろし、宮ノ下——しほはゆし、などとかれ温泉地ごとに効能も書きこまれています（表3）。当時から、箱根七湯はこのようにそれぞれの質の違いが理解されていました。

表2 蒸気泉による造成温泉の状況

昭和54年4月

会社名	利用蒸気泉数	利用源泉数	利用水源数と水量	造成温泉量	供給量	利用施設数
箱根温泉供給(株)	13	—	池1 (イタリー水源), 水井戸6 4500m³/day (2800ℓ/min)	5600m³/day (3890ℓ/min) (3390ℓ/min)	4880m³/day	210
箱根登山鉄道(株)	29	—	沢水1 (湯の花水源) 800m³/day (560ℓ/min)	800m³/day (560ℓ/min) (1060ℓ/min)	1520m³/day	71
仙石高原開発(株)	2	2	水井戸2 1150m³/day (800ℓ/min)	530m³/day (370ℓ/min) (740ℓ/min)	1070m³/day	41
箱根町公営事業課	1	3	湧水1 (阿字ヶ池), 水井戸2 620m³/day (430ℓ/min)	620m³/day (430ℓ/min) (680ℓ/min)	980m³/day	21
合 計	45	5	池1, 沢水1, 湧水1, 水井戸10 6570m³/day (4560ℓ/min)	7550m³/day (5250ℓ/min) (5870ℓ/min)	8450m³/day	343

その他に湯の花ホテル70ℓ/min, 小涌園640ℓ/min 造成している。造成量の総計5960ℓ/min

表3 昔の箱根温泉（七湯の枝折、日本鉱泉誌）

温 泉	七 湯 の 枝 折 (文化8年, 1811)		日 本 鉱 泉 誌 (明治19年, 1886)		
	感 觉	効 能	温度* (℃)	溶存成分量(mg/kg)	泉 質
湯 本	冷湯, 気味なし	脚氣, すぢけ, 骨痛, 痤疾, 瘡毒, 田むし, など	37.8		単純泉
塔 之 沢	温湯, 辰砂湯, 気味かろし	中風, 脚氣, 筋痛, 冷症, 頭痛, 打身, など	40.5~45.0	502.6~572.2	塩類泉
堂 ケ 島		痰痛, 脚氣, 痿, 頭痛, めまひ, すぢけ, など	47.8~55.6		単純泉
宮 ノ 下	温湯, 味氣しほ はゆし	頭痛, 腰痛, 脚氣, しつり, 中風, 疝氣, など	45.6~60.0	1008.6~2056.8	塩類泉
底 倉	熱湯, 気味至而 鹹し	痔疾, 淋病, 疣氣, 中風, 打身, 带下, など	62.8~75.6	1829.1~1922.5	塩類泉
木 賀	温湯, 気味鹹し 又酸みあり	上湯, 大滝, 茅蒲湯, 岩湯に分けて記述。 (上湯), 気血不順, 気虚, むなさわぎ すぢけ, など	37.8~46.7	814.5~1392.0	塩類泉
芦 之 湯 (達磨湯)	冷湯, 気味酸し	眼丹, ただれ目, 濡眼, つき目, 热, むし歯, など	36.7~41.7		硫黄泉
姥 子	明礬湯	眼病	45.0	646.0	塩類泉

* 温度は華氏 (°F) を摂氏 (℃) 温度になおして示した。

明治19年（1886）に発行された日本鉱泉誌（全三巻、内務省衛生局）では、温泉を化学成分によって単純泉、酸性泉、炭酸泉、塩類泉、硫黄泉、それに泉未詳に分類しました。湯本——単純泉、塔之沢——塩類泉などと分類されています（表3）。溶存成分量が大むね500mg/kg以下の温泉を単純泉、それ以上を塩類泉としました。日本ではこの泉質名はそれ以降長いあいだ用いられました。

泉質分類法は、その後も糸余曲折をたどっています。温泉の医治效能の研究に貢献した、高安慎一は、昭和5年（1930）に、単純温泉、単純炭酸泉、アルカリ泉、鉄泉、硫黄泉、土類泉、食塩泉、苦味泉、単純冷泉の9種に分類しました。この分類は化学分析値を基準とし、それに古来から行なわれている五官感覚を加味しています（高安、1930）。泉質名はこの高安の分類法で統一されていたわけではありません。昭和18年（1943）頃は、温泉を大まかに単純温泉、アルカリ泉、食塩泉、苦味泉、緑ばん泉、明ばん泉、硫黄泉、酸性泉の9種にわけ、さらに副成分を加味してこまかく分類していました。この分類法は日本薬学会協定法（大正10年制定）の分類方式を多年にわたり改訂したものです（日本

表4 温 泉 の 定 義

1. 温度（源泉から採取されるときの温度） 摂氏25度以上
2. 物質（下記に掲げるもののうち、いずれかひとつ）

物 質 名	含有量(1kg中)
溶存物質（ガス性のものを除く）	mg以上
遊離二酸化炭素 (CO_2) (遊離炭素)	総量 1,000 250
リチウムイオン (Li^+)	1
ストロンチウムイオン (Sr^{2+})	10
バリウムイオン (Ba^{2+})	5
総鉄イオン ($\text{Fe}^{2+} + \text{Fe}^{3+}$)	10
マンガン(II)イオン (Mn^{2+}) (第一マンガンイオン)	10
水素イオン (H^+)	1
臭素イオン (Br^-)	5
ヨウ素イオン (I^-)	1
フッ素イオン (F^-)	2
ヒ酸水素イオン (HAsO_4^{2-}) (ヒドロヒ酸イオン)	1.3
メタ亜ヒ酸イオン (HAsO_2^-)	1
総硫黄(S) [$\text{HS}^- + \text{S}_2\text{O}_3^{2-} + \text{H}_2\text{S}$ に対応するもの]	1
メタホウ酸 (HBO_2)	5
メタケイ酸 (H_2SiO_3)	50
炭酸水素ナトリウム (NaHCO_3) (重炭酸そだ)	340
ラ. ドン (Rn)	20×10^{-10} キュ リー単位以上 (5.5マッペ 単位以上)
ラヂウム塩 (Raとして)	1×10^{-8} mg以上

温泉協会学術部委員会、1943）。これは、後の療養泉の分類法にひきつがれ、改められています。

温泉法（昭和23年施行）により、温泉は「地中からゆう出する温水、鉱水及び水蒸気その他のガス（炭化水素を主成分とする天然ガスを除く）で、別表に掲げる温度又は物質を有するものをいう」と定義されました（表4）。この法では、いわゆる鉱泉と

表5 療養泉の定義

1. 温度（源泉から採取されるときの温度） 摂氏25度以上
2. 物質（下記に掲げるもののうち、いずれかひとつ）

物 質 名	含有量(1kg中)
溶存物質（ガス性のものを除く）	mg以上 総量 1,000
遊離二酸化炭素 (CO_2)	1,000
銅イオン (Cu^{2+})	1
総鉄イオン ($\text{Fe}^{2+} + \text{Fe}^{3+}$)	20
アルミニウムイオン (Al^{3+})	100
水素イオン (H^+)	1
ヨウ素イオン (I^-)	10
総ヒ素 (Asとして)	0.7
総硫黄(S) [$\text{HS}^- + \text{S}_2\text{O}_3^{2-} + \text{H}_2\text{S}$ に対応するもの]	2
ラ. ド. ン (Rn)	30×10^{-10} キュ リー単位以上 (8.25マッペ 単位以上)

表6 泉質別適応症

泉 質		適 応 症		禁 忌 症・摘 要
旧 泉 質 名	新 泉 質 名	浴 用	飲 用	
単 純 温 泉	単純温泉 アルカリ性単純温泉	リウマチ性疾患 運動器障害 神経まひ 神經症 病後回復期 疲労回復		
炭 酸 泉	二酸化炭素泉	心臓弁膜症 心筋障害 高血圧症 末梢循環障害 神經症 リウマチ性疾患 創傷 陰萎症 卵巣機能不全症 更年期障害	慢性消化器疾患 慢性便秘 清涼飲料	△禁忌症 下痢患者または下痢をおこしやすい患者の飲用
重炭酸土類泉	カルシウム(・マグネシウム)一炭酸水素塩泉	リウマチ性疾患	痛風および尿酸素質 慢性消化器疾患 アレルギー性疾患	
重 曹 泉	ナトリウム一炭酸水素塩泉	創傷および火傷 皮膚搔痒症および角化症 リウマチ性疾患	慢性消化器疾患 慢性肝・胆道疾患 糖尿病 痛風および尿酸素質 肥満症 慢性尿路疾患 じんましん	△吸入療法禁忌症 呼吸器結核 ○吸入療法適応症 慢性気管支炎 咽喉炎
食 塩 泉	ナトリウム一塩化物泉	リウマチ性疾患 運動器障害 創傷 慢性湿疹および角化症 虚弱児童 女性性器慢性炎症 卵巣機能不全症 子宮発育不全症および月経障害 更年期障害	慢性消化器疾患 慢性便秘	○吸入療法適応症 慢性気管支炎 咽喉炎 ○灌注療法適応症 女性性器慢性炎症 下腿潰瘍
含重曹食塩泉	ナトリウム一塩化物・炭酸水素塩泉	重曹泉および食塩泉に準ずる		
芒 硝 泉	ナトリウム一硫酸塩泉	リウマチ性疾患 動脈硬化症 高血圧症 創傷	慢性肝・胆道疾患 慢性便秘 肥満症 糖尿病 痛風および尿酸素質 動脈硬化症 高血圧症 女性ホルモン代謝不全症	△禁忌症 下痢患者または下痢をおこしやすい患者の飲用
含食塩芒硝泉	ナトリウム一硫酸塩・塩化物泉	食塩泉 芒硝泉に準ずる		
石 青 泉	カルシウム一硫酸塩泉	リウマチ性疾患 痛風および尿酸素質 創傷 高血圧症 動脈硬化症	慢性便秘 慢性肝・胆道疾患 じんましん 肥満症	
正 苦 味 泉	マグネシウム一硫酸塩泉	リウマチ性疾患	慢性便秘 慢性肝・胆道疾患 動脈硬化症 高血圧症 肥満症 じんましん 女性ホルモン代謝不全症	

禁 忌 症 一 覧

(温泉の適正利用をはかるため、現代の温泉医学)
(にあわせ、昭和42年12月7日改正されたもの)

泉 質		適 応 症		禁 忌 症・摘 要
旧 泉 質 名	新 泉 質 名	浴 用	飲 用	
鉄 泉	鉄(II)一炭酸水素塩泉	⑤炭酸鉄泉 リウマチ性疾患 慢性湿疹および苔癬 卵巣機能不全症 子宮発育不全症 月経障害	低色素性貧血 病後回復期	△飲用の直後には茶、コーヒーなどを飲まない
	鉄(II)一硫酸塩泉	⑤錠ばん泉 慢性湿疹および苔癬 リウマチ性疾患		
酸 性 泉	単純酸性泉	真菌症(水虫) 慢性膿皮症 慢性湿疹 苔癬 リウマチ性疾患 トリコモナス膣炎 糖尿病 体質改善(変調) 難治性潰瘍	慢性消化器疾患(ただし、適宜希釈して服用のこと)	○時間湯はとくに変調効果がある △禁忌症 皮膚や粘膜の過敏な患者の浴用
酸性明ばん 錠ばん泉	酸性アルミニウム・鉄(II)一硫酸塩泉	酸性泉に準ずる	低色素性貧血	△鉄含量の少ないものは貧血に効果がない △禁忌症 皮膚や粘膜の過敏な患者の浴用
明ばん泉	アルミニウム一硫酸塩泉	酸性明ばん錠ばん泉に準ずる		○膣洗適応症 膣炎
酸性明ばん泉	酸性アルミニウム一硫酸塩泉	酸性明ばん錠ばん泉に準ずる		
硫 黃 泉	硫黄泉	⑤硫黄泉 リウマチ性疾患 慢性中毒症(水銀・鉛・砒素など) 糖尿病 皮膚搔痒症 角化症(硫化水素泉を除く) 慢性湿疹及び苔癬 脂漏性疾患(にきびなど) 凍瘡(しもやけ) 慢性膿皮症 運動障害(とともに神経まひ) 創傷 女性器慢性炎症 月経異常(とともに無月経、過少月経) ある種の不妊症(卵管通過障害のないものなど)	⑤硫黄泉 糖尿病 慢性中毒症 リウマチ性疾患 痛風および尿酸素質 慢性便秘 運動障害(とともに神経まひ) 慢性気管支炎	△禁忌症 皮膚、粘膜の過敏な患者、ことに光線過敏症の患者の浴用 下痢患者または下痢をおこしやすい患者の飲用 ○吸入療法適応症 慢性気管支炎 咽喉炎 ○灌洗注療法適応症 女性性器慢性炎症 月経異常 ある種の不妊症
	硫黄泉(硫化水素型)	⑤硫化水素泉 高血圧症 動脈硬化症 末梢循環障害 その他は硫黄泉に準ずる	⑤硫化水素泉 硫黄泉に準ずる	△禁忌症(硫化水素泉) (浴用) 高齢者の皮膚乾燥症
放 射 能 泉	放射能泉	リウマチ性疾患 痛風および尿酸素質 動脈硬化症 高血圧症 慢性肝・胆道疾患 外傷後遺症	痛風および尿酸素質 リウマチ性疾患 慢性消化器疾患 慢性肝・胆道疾患 糖尿病	○吸入療法適応症 痛風および尿酸素質 リウマチ性疾患 慢性気管支炎

温泉の区別はなく、表4の基準に合致すればすべて温泉として取扱います。昭和26年(1951)に厚生省衛生検査指針の一つとして鉱泉分析法指針が定められました。この指針では治療のために供しうる温泉を療養泉とし、その規定を明確にして療養泉の分類法を定めました(表5)。したがって、法で云う温泉でも療養泉の規定を満たさないために療養泉の泉質名のないものもあります。

昭和26年(1951)から昭和53年(1978)の間は、温泉の泉質(療養泉の泉質名のこと)は食塩泉、石膏泉、芒硝泉、重曹泉など塩類の名称が用いられました。療養泉には、泉質ごとに期待される医療効能(いわゆる適応症)が付記されています(表6)。昭和54年(1979)からは鉱泉分析法指針が改訂されました。これを機に、療養泉は溶存する主成分イオン名により、泉質名がつけられるようになりました。たとえば食塩泉はナトリウム—塩化物泉、石膏泉はカルシウム—硫酸塩泉などと呼ぶようになりました。

療養泉の基準で、箱根火山の温泉を分類すると17種類の泉質に分けられます(大木、平野、1970)。表7に、各温泉地ごとの泉質名をまとめて示しました。ふもとの湯本、塔之沢から中央火口丘の噴気地帯の温泉まで、泉質は多様にわかっています。この泉質の多様性は箱根火山の温泉の自慢の一つと云えましょう。

表7 箱根温泉の泉質表(療養泉分類法による)

	温泉地	療養泉の泉質名	旧泉質名	温度(℃)
基盤岩類中の温泉	湯本	単純温泉・アルカリ性単純温泉	単純温泉	35 ~ 73
		ナトリウム—塩化物泉	弱食塩泉	39 ~ 70
		ナトリウム・カルシウム—塩化物・硫酸塩泉	含石膏弱食塩泉	53 ~ 60
		ナトリウム—塩化物・硫酸塩泉	含芒硝弱食塩泉	49
		ナトリウム・カルシウム—塩化物泉	含塩化土類弱食塩泉	54 ~ 58
	塔之沢	単純温泉・アルカリ性単純温泉	単純温泉	40 ~ 64
		アルカリ性単純温泉	単純温泉	52 ~ 56
		ナトリウム—塩化物泉	弱食塩泉	52 ~ 61
	大平台	ナトリウム—塩化物・硫酸塩泉	含芒硝弱食塩泉	58
		単純温泉	単純温泉	31 ~ 77
		ナトリウム—塩化物泉	弱食塩泉	48 ~ 76
	堂ヶ島	ナトリウム—塩化物・硫酸塩泉	含芒硝弱食塩泉	58
		単純温泉	単純温泉	68
		ナトリウム—塩化物泉	弱食塩泉	55 ~ 61
	宮城野	ナトリウム—塩化物・硫酸塩泉	含石膏弱食塩泉	29 ~ 50
		アルカリ性単純温泉	単純温泉	75 ~ 90
中央火口丘周辺の温泉	宮ノ下	ナトリウム—塩化物泉	弱食塩泉	27
		単純温泉	単純温泉	62 ~ 97
	底倉	ナトリウム—塩化物泉	弱食塩泉	

温泉地	療養泉の泉質名	旧泉質名	温度(℃)
中 央 火 口 丘 周 辺 の 温 泉	小涌谷 単純温泉・アルカリ性単純温泉 ナトリウム—塩化物泉 ナトリウム—塩化物・硫酸塩・炭酸水素塩泉	単純温泉 弱食塩泉 含芒硝重曹弱食塩泉	47 ~ 75 82 ~ 90 46
	二ノ平 単純温泉・アルカリ性単純温泉 ナトリウム—塩化物泉 ナトリウム・カルシウム—塩化物泉 ナトリウム—塩化物・硫酸塩泉 ナトリウム—塩化物・炭酸水素塩泉 ナトリウム—硫酸塩泉	単純温泉 弱食塩泉 含塩化土類弱食塩泉 含芒硝弱食塩泉 含重曹弱食塩泉 芒硝泉	48 ~ 74 74 ~ 92 53 64 66 51
	強羅 単純温泉・アルカリ性単純温泉 ナトリウム—塩化物泉 ナトリウム・カルシウム—塩化物泉 ナトリウム・カルシウム—塩化物・硫酸塩泉 (ナトリウム・カルシウム—塩化物・硫酸塩泉) カルシウム—硫酸塩泉 ナトリウム—硫酸塩泉	単純温泉 弱食塩泉 含塩化土類弱食塩泉 含土石青弱食塩泉 石青泉 芒硝泉	35 ~ 55 74 ~ 95 59 ~ 66 71 ~ 74 62 32 64 ~ 77
	木賀 単純温泉・アルカリ性単純温泉 ナトリウム—塩化物泉 ナトリウム・カルシウム—塩化物・炭酸水素塩泉 ナトリウム・カルシウム—塩化物泉	単純温泉 弱食塩泉 含土類弱食塩泉 含塩化土類弱食塩泉	38 ~ 47 46 ~ 91 46 62
	仙石原 カルシウム—硫酸塩泉 単純硫黄泉(硫化水素型)	石青泉 単純硫化水素泉	74 58
	姥子 単純温泉 カルシウム—硫酸塩泉 ナトリウム—硫酸塩泉	単純温泉 石青泉 芒硝泉	40 ~ 47 55 ~ 78 70
	湖尻 カルシウム—硫酸塩泉 カルシウム・ナトリウム—炭酸水素塩・硫酸塩泉	石青泉 含芒硝重炭酸土類泉	63 47 ~ 58
	芦ノ湖 単純温泉 単純硫黄泉(硫化水素型)	単純温泉 単純硫化水素泉	64 75
	芦之湯 単純温泉 単純硫黄泉(硫化水素型) 含硫黄—カルシウム—硫酸塩泉(硫化水素型) カルシウム—硫酸塩泉 ナトリウム—硫酸塩泉	単純温泉 単純硫化水素泉 含石青硫化水素泉 石青泉 芒硝泉	27 35 ~ 39 42 72 ~ 77 66
	湯ノ花沢 単純硫黄泉(硫化水素型) 酸性—含硫黄—アルミニウム・鉄(II)—硫酸塩泉(硫化水素型) 酸性—含硫黄—アルミニウム—硫酸塩泉(硫化水素型)	単純硫化水素泉 含硫化水素酸性泉 含硫化水素酸性泉 一明ばん緑ばん泉	35 35 77
大涌谷	カルシウム—硫酸塩泉	石青泉	44 ~ 77
	含硫黄—カルシウム—硫酸塩泉(硫化水素型) カルシウム・ナトリウム—炭酸水素塩・塩化物泉	含石青硫化水素泉 含食塩重炭酸土類泉	70 53
早雲山	カルシウム—硫酸塩泉	石青泉	57

*各源泉、利用施設等の温泉分析書にもとづいて作成したもので、現況の温度と若干の相違があります。

6. 箱根温泉の湧出機構

6・1 地質構造

箱根火山はいわば箱根温泉のボイラーです。温泉の湧出機構を探るためにはボイラーの構造を知らないことはなりません。箱根火山の地質構造は久野久（1950, 1951, 1952）によってくわしく調べられています。久野は、昭和37年以後に掘さくされた深い温泉ボーリング孔から私たちが頂いてきたコア（岩石資料）をもとに、いっそう正確な箱根火山の構造を明らかにしました（Kuno, Oki, Ogino, Hirota, 1970）。

図5, 6は箱根火山の地質図とその断面図です。箱根は古期外輪山、新期外輪山および中央火口丘群からなる三重式火山です。箱根はかつて、富士山のような円錐形をした火山体でした。大量の溶岩や火山灰を噴出したあとで、山体の中央部が鍋状に陥没しました。その直径は6～8kmであったと思われます。火山体の上部につくられる大型鍋状へこみをカルデラと呼びます。箱根カルデラの地質構造は温泉がどの位の深さで得られるのかを知るために大変重要な課題です。

図6の地質断面図を用いて、円錐形火山体の中央部がどれ程陥没したか推定されました。現在のカルデラ壁から1～1.5kmの地点では陥没量はほとんどゼロ、つまりカルデラの直径は侵蝕作用によって2～3km拡大されていたのです。カルデラ壁から2～3km内側では600～1200mの陥没量です。カルデラ中央部である神山の直下はきっと陥没量が大きくなっているでしょうが、くわしくはわかりません。大きく見ると箱根カルデラは浅いロート状に落ちこんでいて、地下深部のマグマ溜りはキューポラ（煙突）状と想像されています。

現在も盛大に噴気活動を続けている神山や駒ヶ岳を除くと、温泉は火山体の土台である古い時代の早川凝灰角礫岩層や、湯ヶ島層の中の割れ目に胚胎されていて、箱根火山体の中ではありません。火山体は溶岩流や火山灰層の何枚もの積み重なりによってつくられています。火山体は全体から見るとスponジのように穴ボコだらけで、その穴ボコを雨水が地下水となって流れ、山麓・谷底に湧き出るのです。火山体はしばしばキノコの傘にたとえられています。箱根火山も同様で、キノコの柄に当る神山直下の火道に沿って高温の火山性蒸気が上昇し、その周辺に地熱地帯を形成していますが、四方に大きな広がりをなす古期および新期外輪山の火山体中には温泉がありません。温泉は火山体の下にある基盤岩類中に形成されているのです。

6・2 地中温度構造

深い温泉ボーリング孔の温度測定をもとにして、箱根火山の地中温度分布が明らかになっています。図7は、海拔0mの位置で見た地中温度分布図です（大木、平野1970）。活発な噴気活動を続けている神山を中心に、ほぼ同心円状の温度分布をしています。今から3000年以前、神山火道を上昇して来たマグマは大涌谷付近で大水蒸気爆発を行い直径1kmの爆裂火口を作りました。その中心部にマグマが頭を出して冠ヶ岳の溶岩尖塔となりました。大涌谷や早雲山で強い噴気活動が見られるのはこのためで

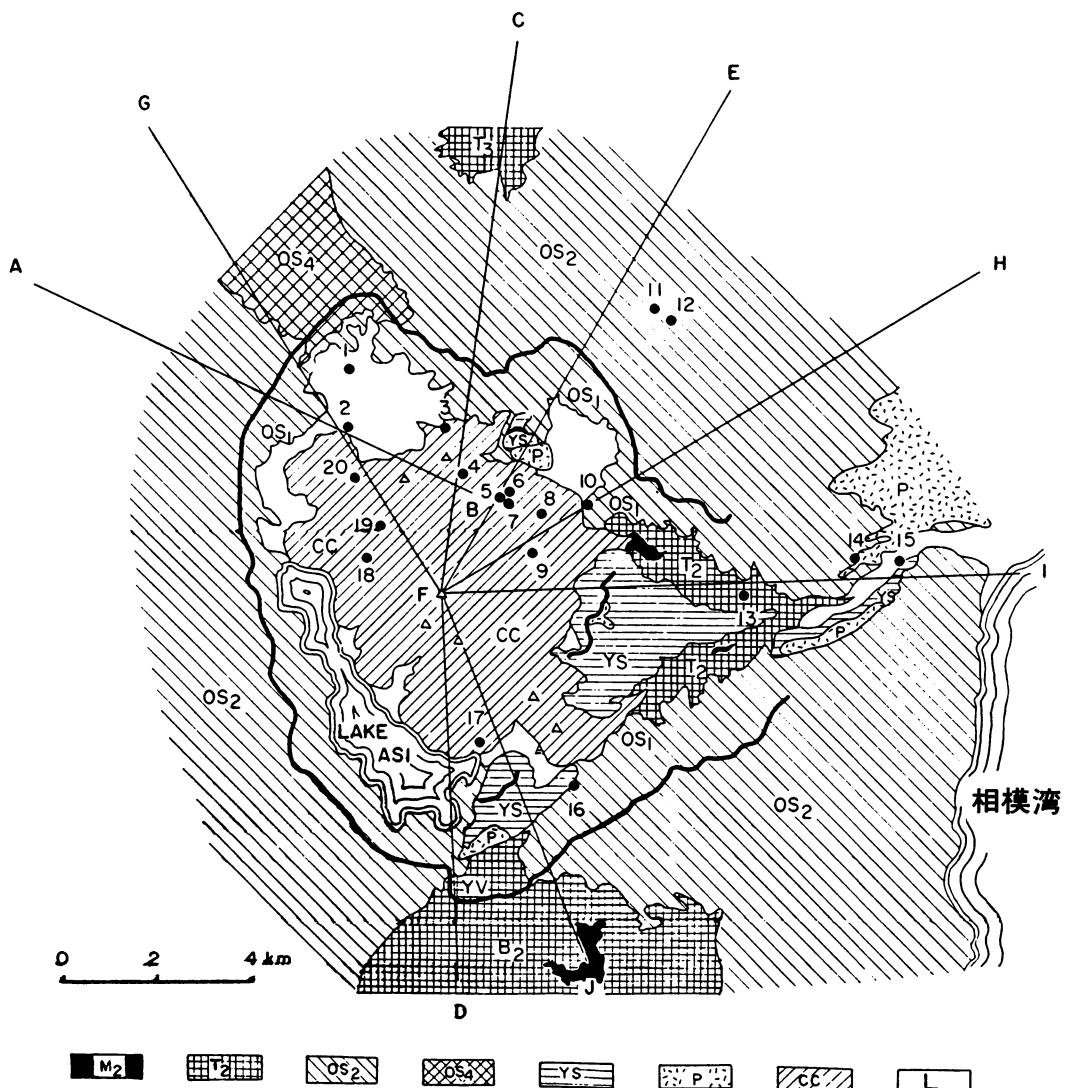


図5 箱根火山地質図 (Kuno et al. 1970)

M₂ : 湯ヶ島層群, T₂ : 早川凝灰角礫岩, B₂ : 天昭山玄武岩類, T V : 湯河原火山噴出物, O S₂ : 古期外輪山溶岩類, O S₄ : 金時山溶岩, Y S : 新期外輪山溶岩, P : 軽石流堆積物, C C : 中央火口丘噴出物, L : 湖成層および崖錐

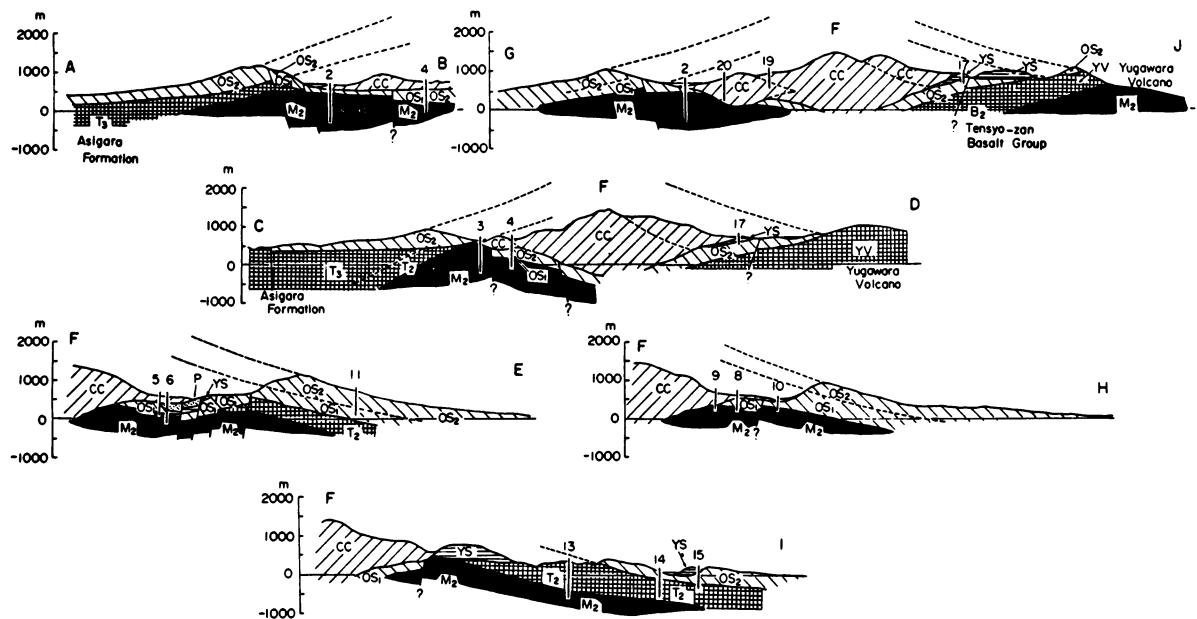


図6 箱根火山地質断面図 (Kuno et al. 1970)

す。箱根温泉の熱源が箱根火山の火山活動によっていることをこの地中温度分布図は明りょうに示しています。

楕円型をした箱根カルデラの構造と地中温度分布図の等温線の形はよく調和しています。詳しく見ると、等温線の間かくは西側でせまく、東側で広がっています。火道からの熱伝導だけで地温分布がつくられていると、完全な同心円状になるはずです。地下で西から東への温泉水の流れがあるために東西非対称の温度分布になっているのです。

図8は箱根の東西地質断面とその温度断面図です。地下で温泉が西から東に流れることによって、東西非対称な温度分布となっていることがわかります。箱根火山では温泉が主として中央火口丘神山の東山麓と早川の渓谷に沿って分布しています。断面図に示しましたように、カルデラ内の深い地下水（温泉）の水頭分布は、西側で芦ノ湖、東側で早川の谷によって決められています。水頭分布は、「西高東低」となっているので、西から東への流れが生ずるのです。

温度分布図で、二子山と駒ヶ岳の間に、芦ノ湖から小涌谷に向う低温の谷があります。この低温の谷は新期外輪山のカルデラ壁とも一致しています。芦ノ湖方面からカルデラ壁にそう断層に沿って深い地下水の流れがあると思われます。

6・3 温泉の分布

温泉は深い谷間にわき出します。芦之湯を除く湯本、塔之沢、堂ヶ島、宮ノ下、木賀、底倉のいわゆる箱根七湯は早川の谷間に湧く自然湧泉でした。地下深所から湧き出す温泉は、上におおいかぶさ

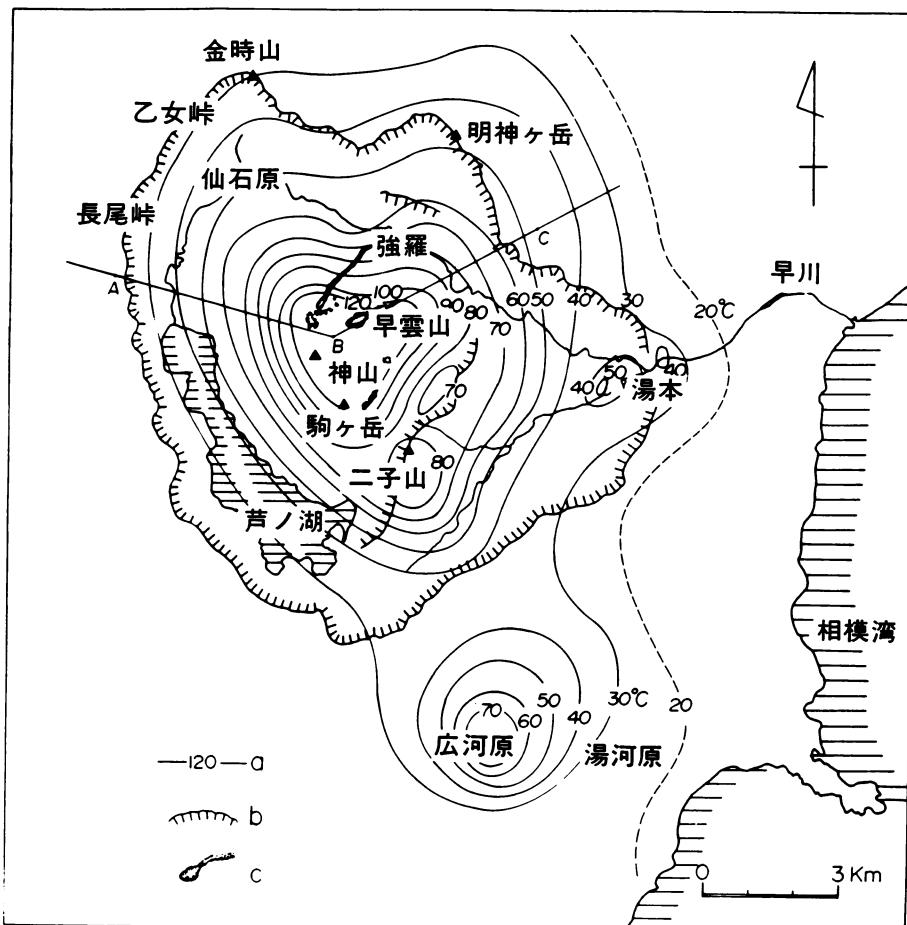


図7 箱根火山地中温度分布図（海拔標高0m）(Oki and Hirano 1970)
a：等温線，b：カルデラ壁，c：噴気地帯，

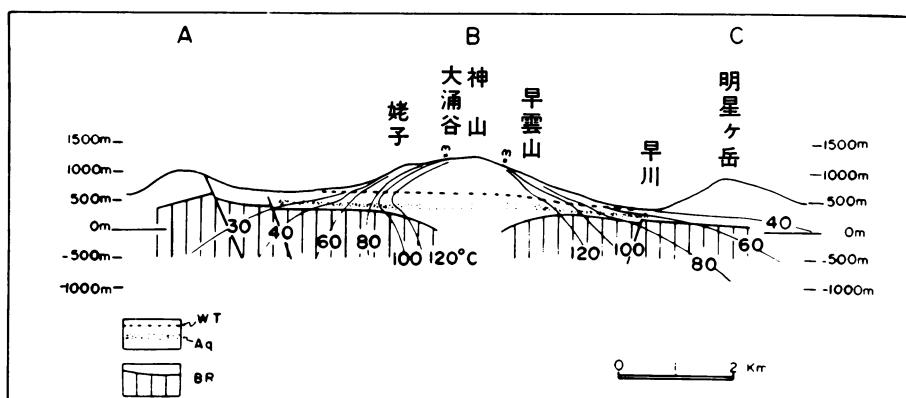


図8 箱根火山の東西地質断面と地中温度構造 (Oki and Hirano 1970)
WT：主要温泉帶水層の被压水頭面，Aq：主要温泉帶水層，BR：基盤岩類

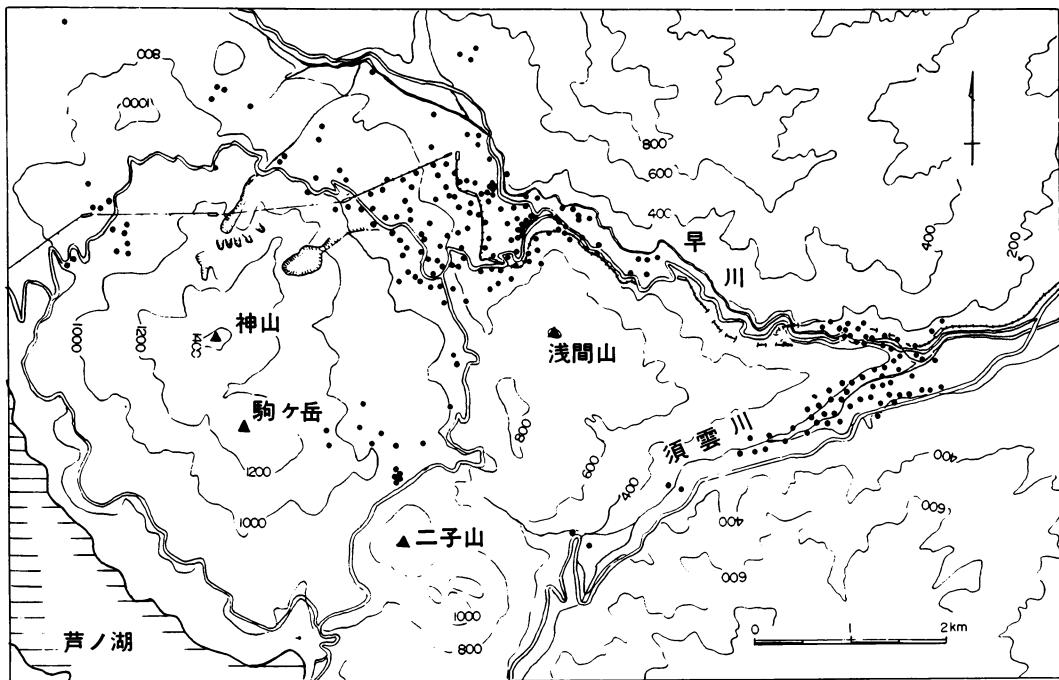


図9 箱根火山の源泉分布図

る地層が開析されてのぞかれた谷間に自然に湧き出します。

「富士の見える所に温泉はない」と箱根・伊豆地方では云いつたえられ、温泉掘さくの指針となっていました。深い谷底からは富士山は見えないとして、温泉が谷間に湧き出す原理をたくみに云いあらわしています。

箱根温泉は谷間の湧泉の利用から、エアーリフトポンプの利用の時代に移りかわってきました。ボーリング技術の進歩とエアーリフトポンプの利用で、山の斜面に掘られた、孔内水位の深い孔井から温泉が揚湯されています。戦後の温泉掘さくは、湯本地区では湯坂山を中心に、また中央地区は主に神山の東麓に多数おこなわれました。しかし、これらの孔井も大きくみれば、須雲川や早川に沿って分布しています(図9)。

6・4 泉質の分帶

箱根温泉を療養泉の基準で分けると17種類の泉質に分けられました(表7)。かず多くの泉質をもつ箱根は、さしづめ温泉のデパートです。温泉の成因を考えるのに、こまかに療養泉の分類は適當とは云えません。おおくの商品を売るデパートは、食料品をまとめて地階に、婦人服は2階にと、わかりやすく分類しています。

温泉の主要成分は、カリウムイオン(K^+)、ナトリウムイオン(Na^+)、カルシウムイオン(Ca^{2+})、マグネシウムイオン(Mg^{2+})、塩素イオン(Cl^-)、硫酸イオン(SO_4^{2-})、炭酸水素イオン(重炭酸イオン)

表8 箱根温泉の泉質分帯基準

泉 質 名	分 帶	pH	陰イオン比
酸性硫酸塩泉	第I帶	<3	$\text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^-$, (CO_2 , HCO_3^-)
重炭酸塩硫酸塩泉	第II帶	6-8	SO_4^{2-} , $\text{HCO}_3^- > \text{Cl}^-$
塩化物泉	第III帶	7-8.5	$\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-}$, HCO_3^-
塩化物重炭酸塩硫酸塩泉(混合型)	第IV帶	7-9	Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^-

(大木, 平野 1970)

HCO_3^-), それに溶存ケイ酸(H_2SiO_3)です。このうち, 塩素イオン(Cl^-), 硫酸イオン(SO_4^{2-}), 炭酸水素イオン(重炭酸イオン HCO_3^-)の主成分陰イオンの量比によって泉質を分けると, さまざまな箱根の温泉は4帯に分帯できました。分帯の基準は表8に示した通りです。この基準で泉質(表9)を分けると, 図10のように温泉の分布に規則性が見い出されました。図10を箱根温泉の泉質分帯図と呼んでいます(大木, 平野 1970)。

箱根温泉を地下一階, 地上四階建のデパートにたとえれば, 四階は酸性硫酸塩泉, 三階は重炭酸塩硫酸塩泉, 二階は塩化物泉そして一階と地階が塩化物重炭酸塩硫酸塩泉(混合型)になるでしょう。たとえは完全ではありませんが大涌谷や早雲地獄などの高所は第I帶の酸性硫酸塩泉で, 以下第II帶の重炭酸塩硫酸塩泉, 第III帶の塩化物泉の順で宮ノ下, 木賀, 堂ヶ島や塔之沢, 湯本などに第IV帶の塩

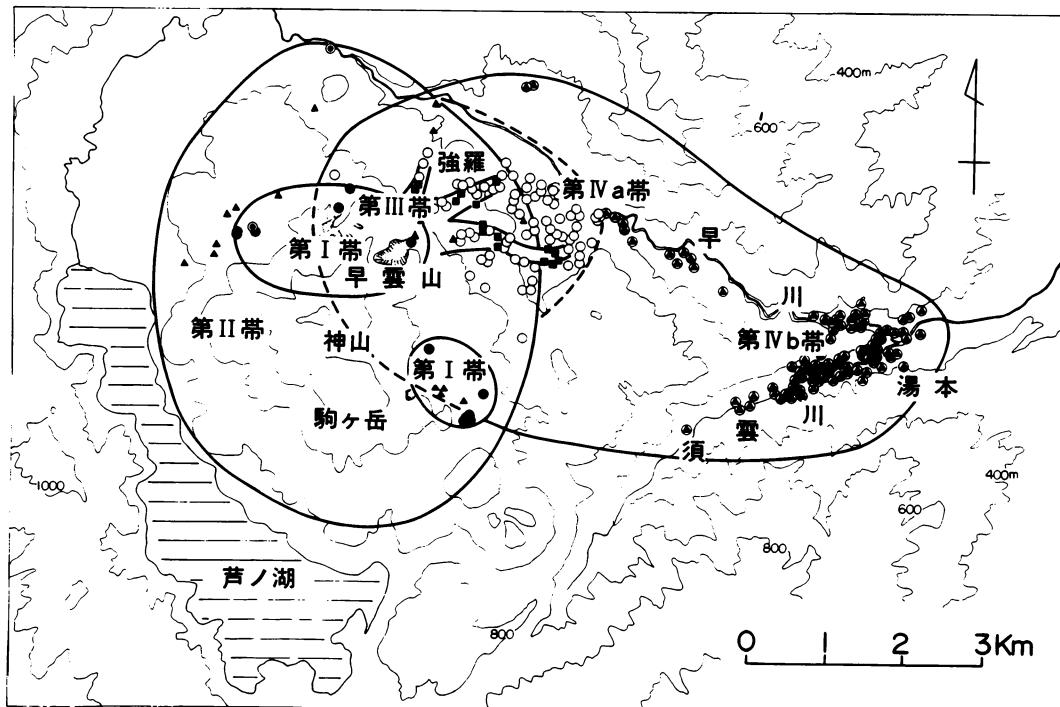


図10 箱根温泉の泉質分帯図 (OKi and Hirano 1970)

表9 箱根温泉の化学組成

分 帯	I	II	III	IV		
				IVa	IVb-H	IVb-C
泉 質	酸性硫酸塩泉	重炭酸塩硫酸塩泉	塩化物泉	塩化物重炭酸塩硫酸塩泉	塩化物重炭酸塩硫酸塩泉	塩化物重炭酸塩硫酸塩泉
泉 温 (℃)	49.7	57.5	91.5	65.5	56.0	59.5
pH	2.9	8.1	7.7	8.4	8.0	8.2
蒸発残留物(ppm)	1076.	1269.	4940.	1851.	1201.	4041.
H ⁺	ppm 1.18	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
Li ⁺	0.0	0.068	2.43	0.27	0.042	0.31
Na ⁺	42.7	88.5	1490	441.	348.	924.
K ⁺	8.90	12.1	154	39.8	3.40	15.3
Ca ²⁺	87.4	140.	114	106.	53.9	408.
Mg ²⁺	24.3	84.9	0.0	16.8	0.0	0.
Fe ²⁺	0.099	0.56	0.105	0.257	0.00	0.16
Al ³⁺	22.6	0.22	0.12	0.05	0.03	
Mn ²⁺	n.d.	0.0	0.007	0.44	0.00	
Cl ⁻	7.15	19.8	2568.	617.	549.	1716
HSO ₄ ⁻	52.4					
SO ₄ ²⁻	526.	381.	81.5	226.	85.1	575
HCO ₃ ⁻	0.	590.	29.7	287.	36.7	29.0
CO ₃ ²⁻		1.72		2.11	0.26	0.14
BO ₂ ⁻		0.34	3.58	2.34	0.70	3.31
HSiO ₃ ⁻		5.87	4.09	13.9	1.74	1.56
H ₂ SiO ₃	301.	238.	411.	282.	67.2	49.7
HBO ₂		5.79	122.	16.1	20.6	35.5
CO ₂		14.2	2.19	2.75		
溶存物質総量	1074.	1583.	4983.	2054.	1167.	3759.
Li/Na		0.00077	0.0006	0.0006	0.00012	0.00034
K/Na	0.21	0.14	0.10	0.09	0.01	0.017
B/Cl		0.076	0.012	0.007	0.01	0.006
SO ₄ /Cl	80.8	19.2	0.032	0.366	0.155	0.335
温泉孔井深度	自然湧出	525m	506m	351m	650m	550m

(分析者, 平野富雄, 田嶋綾子, 栗屋 徹)

湧出地 中央火口丘周辺の温泉

- I. 神奈川県足柄下郡箱根町元箱根字姥子156番地
- II. 神奈川県足柄下郡箱根町元箱根字旧札場159の2
- III. 神奈川県足柄下郡箱根町強羅字強羅1300の146
- IVa. 神奈川県足柄下郡箱根町強羅字強羅1300の69

基盤岩類中の温泉

- IVb-H. 神奈川県足柄下郡箱根町湯本茶屋字片倉210の1
- IVb-C. 神奈川県足柄下郡箱根町湯本字上町582の3

化物重炭酸塩硫酸塩泉（混合型）が分布しています。

泉質分帶図（図10）にも、地中温度分布で見い出された東西の非対称性が現われています。塩化物泉（第Ⅲ帶）と塩化物重炭酸塩硫酸塩泉（混合型）（第Ⅳ帶）はカルデラの東側だけに分布し、西側にはありません。

第Ⅰ帶 酸性硫酸塩泉

大涌谷や早雲地獄、硫黄山の噴気地帯の浅層地下水は酸性（pH 2～3）で、硫酸イオン（ SO_4^{2-} ）が多く、塩素イオン（ Cl^- ）は少ないので特徴です。姥子温泉の湧泉は酸性硫酸塩泉の代表的なものです。この温泉は浅層地下水ですから降水によって湧出量が変化します。大涌谷などの造成泉も酸性硫酸塩泉としてよいでしょう。噴気地帯では火山性水蒸気から放出される硫化水素の酸化によって、硫酸が生成します。地表で生成した硫酸は降水起源の地下水に入り岩石を溶かしながら流動し、あたためられて温泉になります。

第Ⅱ帶 重炭酸塩硫酸塩泉

重炭酸塩硫酸塩泉は神山、駒ヶ岳の中央火口丘をとりまいて分布しています。中央火口丘基底部の帶水層に胚胎されているこの温泉は、深さ300～700mの孔井から揚湯されています。pH 6～8の中性で、炭酸水素イオン（重炭酸イオン HCO_3^- ）と硫酸イオン（ SO_4^{2-} ）が多く塩素イオン（ Cl^- ）が少ないのが特徴で、中央火口丘の西側の低温地帯にまで分布しています。深い孔井から揚湯されていますが、温度は比較的低く、火山性水蒸気やガスは直接混入しているとは思えません。この温泉を特徴づける炭酸水素イオン（重炭酸イオン HCO_3^- ）の起源は火山噴出物中にとりこまれた植物の分解によっていると考えられています（大木、平野 1970）。大涌谷、姥子、湖尻地区に掘られた温泉によって、噴気地帯の酸性硫酸塩泉が地中を流動している間に岩石と反応して中和され、しだいに中性の重炭酸塩硫酸塩泉にうつる変化が連続的にとらえられています（平野ら 1971）。

第Ⅲ帶 塩化物泉

この温泉は、温度が90°C以上で総溶存成分量は4～4.5g/kgに達し中性で、その85%を塩化ナトリウム（食塩、 NaCl ）、10%を珪酸（ H_2SiO_3 ）がしめています。早雲地獄の地下数百mから強羅、小涌谷一底倉にかけて3本の塩化物泉の流れがあります。この塩化物泉は火道を上昇してくる高温高圧の火山性水蒸気が、中央火口丘基底部の帶水層を東に流れる第Ⅱ帶の温泉に混入して生成されます。したがって、この塩化物泉はカルデラの西側には分布していません。高温高圧の火山性水蒸気には塩化ナトリウム（食塩、 NaCl ）が数%とけこんでいるのです（White, 1957）。塩化物泉の流れは、箱根温泉の異常高温現象のさい見い出されました（大木ら、1968）。第Ⅲ帶の塩化物泉は、典型的な火山性温泉と考えられています（大木、平野 1975）。

第IV帶 塩化物重炭酸塩硫酸塩泉（混合型）

二ノ平、底倉、宮ノ下、堂ヶ島などカルデラの東側の温泉は高温の塩化物泉をのぞけばすべて塩化物重炭酸塩硫酸塩泉に属します。第Ⅱ帶の重炭酸塩硫酸塩泉と第Ⅲ帶の塩化物泉の混じった泉質で、単に混合型とも呼んでいます。温度が高いものほど塩素イオンが多く、第Ⅲ帶の塩化物泉に近いのは当然です（図11）。この混合型温泉も中央火口丘の西側には分布していません。

6・5 塩化物泉と箱根火山の地震

泉質分帯の基準にした主要陰イオンのうち、硫酸イオン (SO_4^{2-}) は火山ガスの硫化水素 (H_2S) により、また炭酸水素イオン（重炭酸イオン、 HCO_3^- ）は火山噴出物中にはさまれた植物によって供給されています。

塩素イオン (Cl^-) は海岸に近い伊豆の熱海温泉や伊東温泉なら海水の塩化ナトリウム（食塩、 NaCl ）がもとではないかと想像できます。海岸から15kmもはなれた箱根火山のいただき近くに塩化ナトリウム（食塩、 NaCl ）の4g/kgも溶けた温泉が湧出するのです。北海道の登別温泉も噴気地帯の温泉は酸性ですが、地下深所の温泉は中性で高温のナトリウム—塩化物泉（食塩泉）です（石川、1965）。アメリカのザ・ガイザーズ、イエローストーンや、ニュージーランドのワイラケイなど世界の有力な地熱地帯の熱水を調べた D.E. ホワイトは、それらが中性のナトリウム—塩化物泉（食塩泉）であることを見いだし「火山性温泉の成因は、ナトリウム—塩化物泉の起源をあきらかにすることだ」と指摘しました（White, 1957）。その頃、多くの地球化学者は高温の火山ガスに含まれる塩化水素 (HCl) が岩石と反応して、火山性のナトリウム—塩化物泉が生成すると考えていました。火山性温泉の成因説は、このホワイトの指摘によって一大変革をとげました。オランダー（Olander et al, 1950）は、水が臨界温度（374°C）、臨界圧（221気圧）より少し高い温度、圧力条件で塩化ナトリウム（食塩、 NaCl ）を重量比で数%含むことができることを明らかにしました。この実験結果をもとに、ホワイトは火山の深所から上昇する高温高圧の水蒸気は塩化ナトリウム（食塩、 NaCl ）をガスとして含んでいるに違いないと考えたのです。その後、スリラヤンら（Sourirajan and Kennedy, 1962）の行なった水—塩化ナトリウム（食塩、 NaCl ）系の高温高圧実験によって、ホワイトの考えは物理化学的にも可能であることが実証されました。

日本でもようやく火山性のナトリウム—塩化物泉の成因に関心がむけられた昭和42年（1967）5月に箱根温泉の異常高温現象がおきました。箱根における高温の塩化物泉の流れは、この調査であ

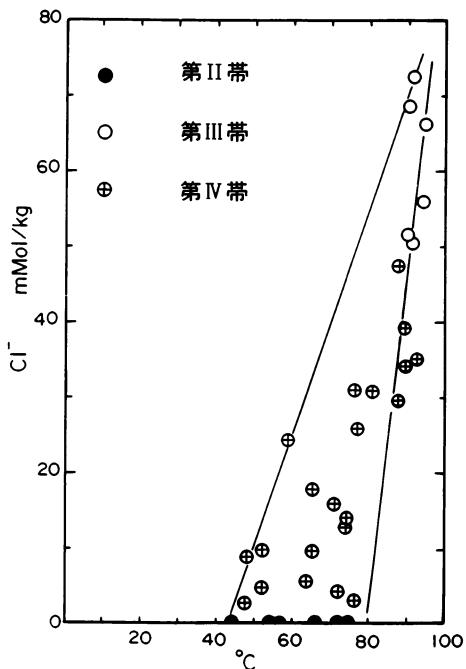


図11 箱根温泉の温度— Cl^- の関係
(Oki and Hirano 1970)

きらかになりました（大木ら，1968）。カルデラ西側の温泉には、この異常高温はあらわれませんでした。早雲地獄の地下から小涌谷をへて蛇骨にむかうナトリウム—塩化物泉の流れの末端では、以前は77°Cだった湧泉の温度が約2年半たった昭和44年（1969）12月に97°Cになりました（図12）（広田ら，

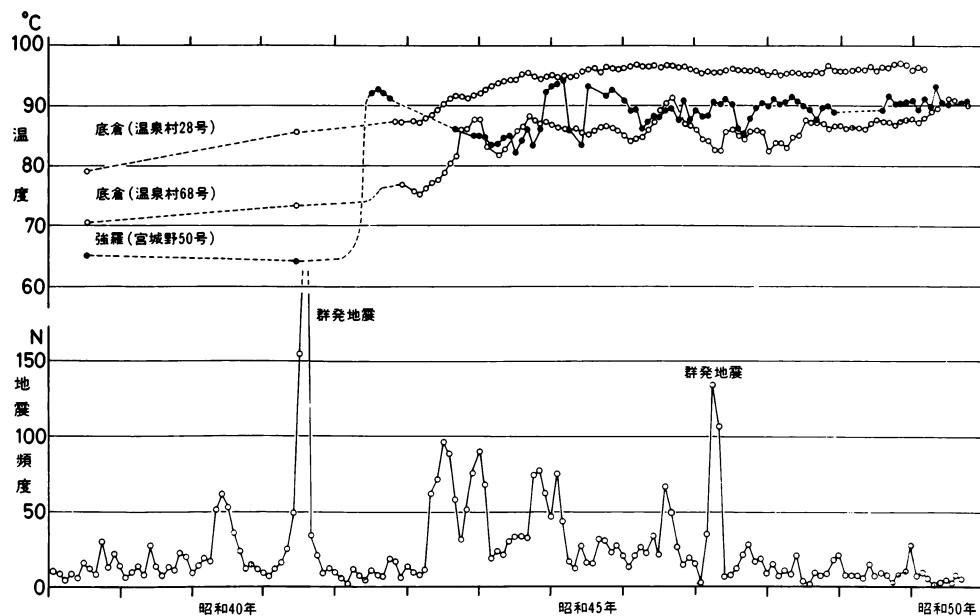


図12 蛇骨湧泉の異常温度上昇（広田ら 1976）

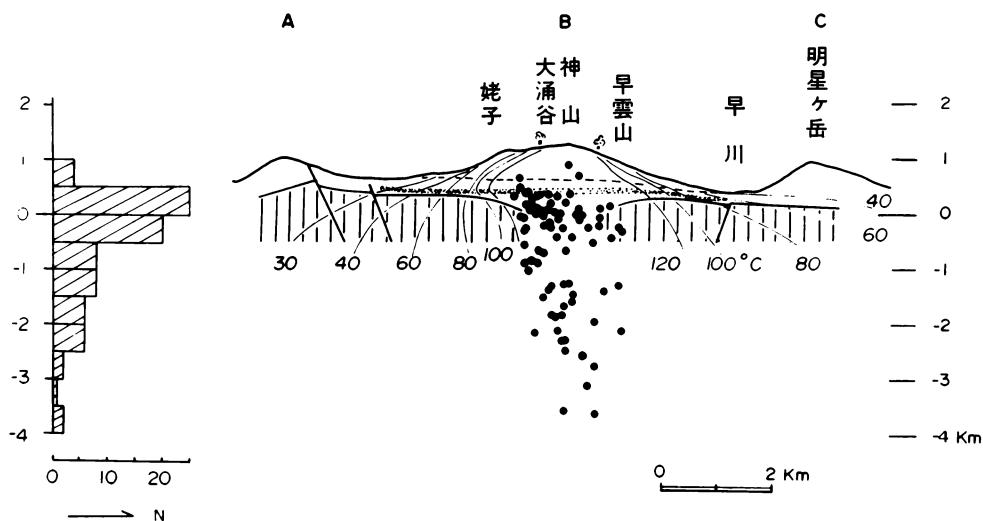


図13 箱根火山 地震の深度別頻度分布図（平賀ら 1972）



写真12 神山の爆裂火口にそびえる溶岩尖塔冠ヶ岳（昭和53年撮影）

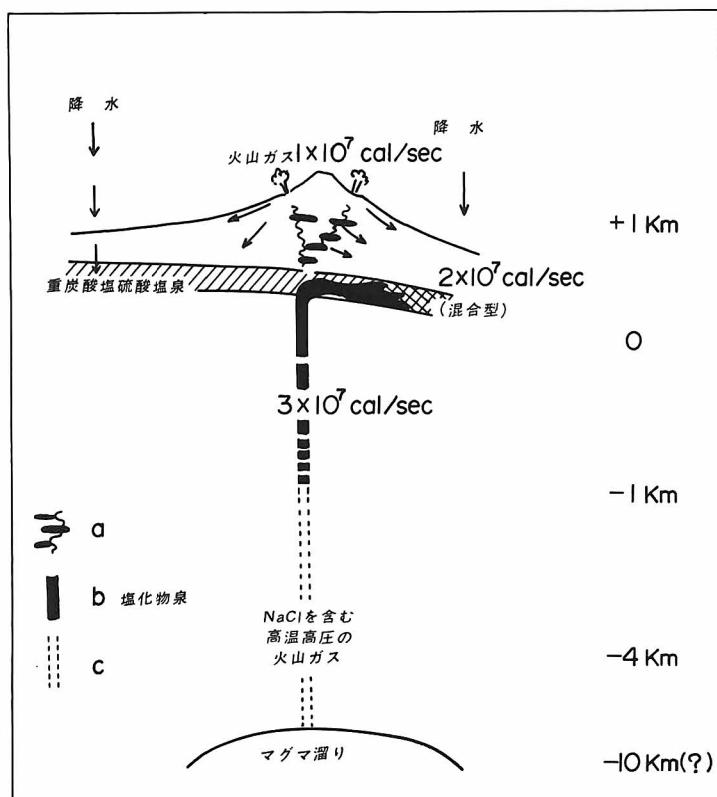


図14 箱根温泉の成因モデル (大木・平野1970)

a : 火山ガスの気化
→液化のくりかえし
過程, b : 高温の塩
化物泉, c : 食塩を
含む高温高圧の火山
ガス

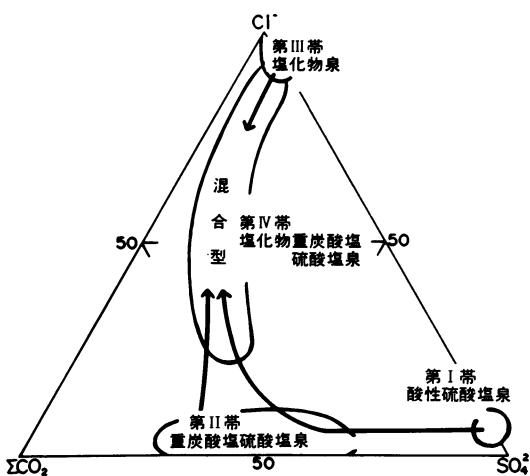


図15 箱根温泉の成分変化経路図
(Oki and Hirano 1970)

平野1970, Oki and Hirano 1970)。異常高温現象と箱根火山の群発地震とが関連づけて考えられました。

6・6 箱根温泉の成因

箱根カルデラの底部にひろがる透水性の良い地層や芦ノ湖面と早川の渓谷の標高で規定された熱水系、東西非対称の地中温度分布、泉質分帯などを基に、温泉の成因モデルが描かれました(図14、大木、平野、1970)。

箱根火山の地下深部に潜むマグマの深さや大きさは、あきらかではありません。箱根の火山性地震は深さ5kmより深い所ではおこりません。おそらくマグマ溜りの上限は地下5kmぐらいではないかと想像されています(Oki and Hirano, 1974)。神山の地下にある火道にそって、マグマ溜りから塩化ナトリウム(食塩, NaCl)や珪酸をとかしこんだ高温高圧の水蒸気が上昇しています。これが箱根の塩化物泉の起源です。硫化水素(H₂S)や炭酸ガス(CO₂)も含まれているでしょう。火山性水蒸気は上昇するにつれて、そこの温度圧力条件で熱水になったり蒸気になったりをくり返します。深さ海拔0m付近の水蒸気は380°C, 230気圧くらいでしょう。この条件では蒸気にとける塩化ナトリウム(食塩, NaCl)の飽和濃度は1~2%(Wt)です。さらに上昇をつづけた火山性水蒸気はついに中央火口丘基底部を西から東に流れる透水性のよい帶水層に混入します。水蒸気はさらに火道を上昇します。火山性水蒸気の混入した基底部の帶水層の温度圧力は、おそらく370°C, 200気圧程度で水の臨界点以下になり、蒸気にとけていた塩化ナトリウム(食塩, NaCl)は、液相に残ります。高温の塩化物泉がこうして生成します。塩化物泉は早川の渓谷にもけて流れていきますので、カルデラの西側には湧出しないのです。塩化物泉が流れていく間に重炭酸塩硫酸塩泉や上方から浸透する地下水と混合し塩化物重炭酸塩硫酸塩

1976)。温度の上昇した温泉は、ナトリウムイオン(Na⁺)、塩素イオン(Cl⁻)や溶存珪酸(H₂SiO₃)が増加していました(平野ら、1968)。

異常高温現象のおきる前年の昭和41年(1966)6~7月に神山を中心に火山性の群発地震がおきました(水上、1967)。昭和41年の地震は、昭和34~35年(1960~61)の群発地震と比較すると震源の深さが浅く、大涌谷~早雲地獄の狭い範囲に集中しています。昭和41年以降は地震の震源は浅くそれらの分布も大涌谷~早雲地獄の範囲にあります。図13は平賀ら(1972)による箱根火山地震の深度別頻度分布図です。標高-1km~+0.5kmの範囲に地震が多く、この深さあたりで熱水が沸とうしているのではないかと推定されています(大木

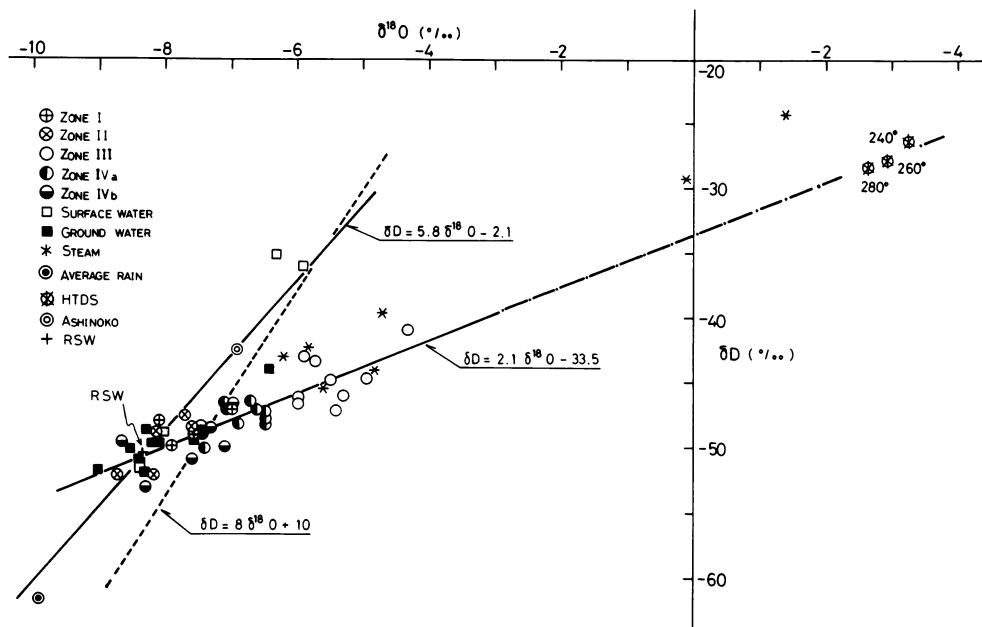


図16 箱根温泉の水素、酸素の安定同位体比 (Matsuo et al 1979)

泉（混合型）の温泉が生成します。図15は分帶をおこなった四つの泉質の変化経路です。水分子を構成する酸素（O）、水素（H）の安定同位体比 ($\delta^{18}\text{O}$, δD) の測定によっても、箱根温泉の泉質分帶のたしからしさが調べられています（図16 Matsuo et al, 1979）。

基底部の帶水層の上面から神山のいただきにむけて上昇する火山性水蒸気は次第に温度がさがり、より低温低圧での沸騰、凝縮を何回もくり返し、揮発性の大きい硫化水素 (H_2S) や炭酸ガス (CO_2) は火山ガス中に濃集し、さいごに噴気地帯で噴出します。この噴気ガスの放出する硫化水素 (H_2S) が酸化され酸性硫酸塩泉を生ずるのです。まさに火山は天然のボイラーに直結した分留塔にたとえることができます。

7. 箱根火山の放熱量

箱根火山の熱エネルギーは温泉、自然噴気、蒸気井、熱伝導のかたちで放熱されています。これらの熱エネルギーのうち利用されているものは温泉と火山性水蒸気です。温泉や火山性水蒸気は主に浴用として利用されています。暖房に使用している施設もありますが、その割合はわずかです。

現在のように「省エネルギー」の時代になると、地熱エネルギーの多目的な有効利用を考えられます。浴用としての温泉は地熱エネルギー利用形態の一つです。そこで箱根火山から放出される熱エネルギーを検討してみました。

7・1 噴気地帯からの放熱量

箱根火山には大涌谷、早雲山、硫黄山の噴気地帯があります。そのほか、姥子、小涌谷には蒸気井があります。かつては、小涌谷でも自然噴気がみられましたが、蒸気井、温泉の開発が進むにつれて衰え、現在では自然噴気はみられません。

これらの噴気地帯には蒸気井が掘られ、そこから噴出する火山性水蒸気の大部分が温泉造成に、一部分が暖房に利用されています。暖房として利用されている熱量の資料はありません。

噴気地帯からは蒸気井、自然噴気、熱伝導、温泉によって放熱がおこなわれています。

写真13 火山性水蒸気の放熱量測定（早雲地獄にて昭和55年10月撮影）



表10 箱根噴気地帯の放熱量 (単位: 1×10^6 cal/sec, 0°C基準)

	大涌谷	姥子	早雲山	硫黄山	計
蒸気井	2.27	—	0.39	1.17	3.83
	温泉造成	4.53	0.40	0.61	7.85
自然噴気	0.91	n.d.	0.20	1.44	2.55
	熱伝導	0.03	n.d.	n.d.	0.53
温泉	1.02	—	—	—	1.02
計	8.76	0.40	1.20	5.42	15.78

(湯原1968, 大山ら1971, 1973, 小鷹ら1979)

大涌谷, 早雲山の放熱量の推定は湯原(1968)によっておこなわれています。硫黄山の放熱量は大山ら(1971, 1973)の資料があります。また、大涌谷噴気地帯の一部については大山ら(1971), 小鷹ら(1979)の資料があります。これらの資料を基礎に最近の状況を考慮して噴気地帯の放熱量を推定しますと表10, 図17のようになります。なお表10, 図17の「温泉」は、温泉台帳に記載されていない自然湧泉で、湧出位置が変化する温泉です。図17によると、噴気地帯からの総放熱量は 15.8×10^6 cal/sec (948×10^3 kcal/min)です。1×10⁶ cal/secの放熱量は、熱効率100%として温泉造成に

用いると、1分間に15°C, 1,333ℓの水を60°Cに加熱することができます。1,333ℓ/minは、箱根の源泉1本当りの平均揚湯量が約70ℓ/minですから、源泉19本分に相当します。 15.8×10^6 cal/secは、源泉300本分に相当します。総放熱量のうち蒸気井からの放熱量が72%を占めます。また、温泉造成には総放熱量の49.7%の熱量が利用されています。

49.7%の熱量(7.9×10^6 cal/sec)を利用して造成される80°Cの温泉, 5,960ℓ/min (8,580m³/day)は、箱根全山で利用される温泉量26,800ℓ/min (38,600m³/day)の22.2%を占めています。温泉利用に占める造成温泉の割合は大きいものです。

7・2 箱根火山の放熱量

噴気地帯の放熱量に温泉湧出による放熱量を加えると箱根火山の放熱量が求められます。表11, 図18に箱根火山の放熱量を示します。それによると箱根火山の放熱量は 33.3×10^6 cal/secとなり、温泉の湧出によるものが52.6%, 噴気地帯からのものが47.4%を占めます。図18の噴気地帯で「自然」としたものは、図17の自然噴気、温泉、熱伝導としたものの合計です。

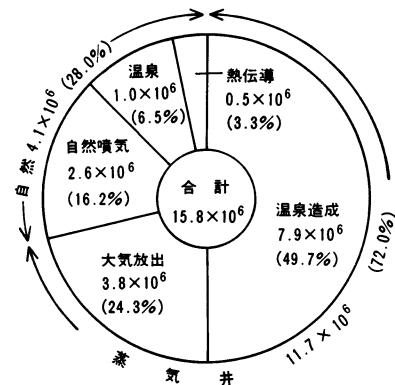
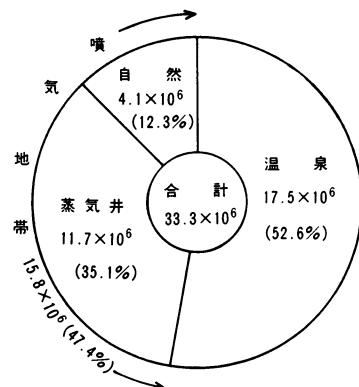
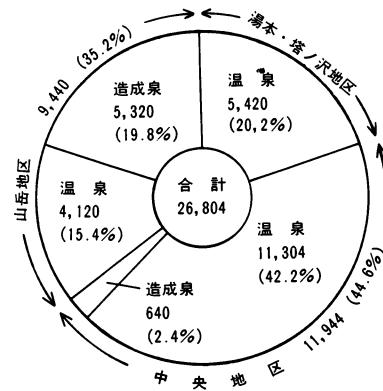
図17 箱根噴気地帯の放熱量
(単位 cal/sec)

表11 箱根火山の放熱量

温噴	泉	$(20,840\ell/\text{min} = 30,010\text{m}^3/\text{day})$	$17.5 \times 10^6 \text{ cal/sec}$
気地帶		(造成泉 $5,960\ell/\text{min} = 8,580\text{m}^3/\text{day}$ を含む)	$15.8 \times 10^6 \text{ cal/sec}$
計			$33.3 \times 10^6 \text{ cal/sec}$

図18 箱根全山の放燃量
(単位 cal/sec)図19 箱根全山の地区別温泉・造成泉
湧出量 (単位 ℓ/min)

参考までに箱根火山の温泉と造成泉の産出量を地区別（湯本・塔之沢地区、中央地区、山岳地区）に図19に示しました。

7・3 温泉の余剰熱エネルギーの有効利用

温泉や蒸気の一部分は暖房として利用されています。しかし暖房としての利用状況の全貌はまだ把握されていません。

温泉を浴用として利用する場合、一般にはかなりの高温で浴槽に入れ、水でうすめて42~43℃にして入浴しています。温泉の熱エネルギーや貴重な水資源がむだに浪費されることになります。そこで浴用に使用されている温泉の余剰熱エネルギーを暖房に利用する場合を考えてみました。

箱根全山の温泉と造成温泉の総計は $26,800\ell/\text{min} = 1.6 \times 10^6 \ell/\text{hour}$

箱根温泉の平均温度は 63.3°C ですから、温泉が 50°C で浴槽に到着すればよいと仮定すると、余剰熱エネルギーは $(63.3 - 50.0) \times 1.6 \times 10^6 = 21.28 \times 10^6 \text{ kcal/hour}$ となります。

箱根で、8畳の部屋の暖房に必要な熱量は市販石油ストーブを参考にしますと $3.24 \times 10^3 \text{ kcal/hour}$ となります。

従って温泉の余剰熱エネルギーで暖房できる8畳の部屋数は $(21.28 \times 10^6) / (3.24 \times 10^3) = 6.57 \times 10^3$ 部屋になります。6,570部屋は箱根の全宿泊施設の部屋数にほぼ相当します。

この暖房費を、灯油の発熱量 $8,750 \text{ kcal}/\ell$ 、単価を $80 \text{ 円}/\ell$ として灯油使用量、金額に換算しますと、

灯油使用量 $=(21.28 \times 10^6) / 8,750 = 2,432\ell/\text{hour}$, 金額 $=2,432 \times 80 = 194,560\text{円}/\text{hour}$ となります。

1日24時間暖房するとしますと、1日当りの灯油使用量 58,368ℓ (200ℓ入りドラム缶290本), 金額は4,669,440円になります。

余剰熱エネルギーは年間を通して常時利用できる利点があります。

以上の計算は箱根全山の温泉を一括して取扱ったものです。源泉と宿泊施設の分布状態の関係から、このまま暖房の実用化はできませんが、温泉の余剰熱エネルギーを有効利用するためには検討に値すると思われます。

7・4 蒸気井について

大涌谷、姥子、早雲山、小涌谷、湯ノ花沢には蒸気井が掘られています。これらの蒸気井は温泉造成や暖房の目的のほかに、地すべり防止対策の蒸気抜きのためにも掘られていました(大涌谷、早雲山)。

過去に掘られていた地すべり防止対策の蒸気井は、セメンテーションやケーシングプログラムが充分ではありませんでした。井戸構造がこのままでは、地すべり防止に役立つよりも、むしろ地表近くの地層の粘土化を促進すると考えられ、昭和49年度以後の蒸気井掘さくはみあわされています。

温泉造成のための蒸気井については、水蒸気を制御できなくなり、暴噴事故を起した井戸や、井戸

写真14 湯ノ花沢町営蒸気井の蒸気量調査（昭和46年撮影）





写真15 温泉造成槽（元箱根27号一湯ノ花沢町営蒸気井、昭和48年2月撮影）

周辺に噴気地帯を作っている井戸もあります。これらの現象は地表の植物を枯死させるだけでなく、人工的に新たな変質粘土帯を地表付近に作っていることになります。

箱根において過去に掘られた蒸気井の構造をみると、普通の温泉井戸とあまり違いがありません。蒸気井の保守・管理に大切な密閉圧も測れません。噴気地帯では、一般に浅い所に酸性の地下水が存在し、孔壁保護管を腐蝕し暴噴を起す原因の一つになっています。

工事の安全対策、環境保全のためには、グラウトによる井戸周辺の地盤強化、ケーシングプログラム、セメンテーション等蒸気井にあった方法を検討していく必要があります。

8. 温泉単価

8・1 温水の単価

ボイラーや釜で灯油を使用し加熱した温水と温泉の単価を比較するために、まず温水の原価計算を行ないました。話を簡単にするため、 15°C 1 ton の水を 50°C の温水に加熱するに要する灯油の金額を計算します。灯油の有効熱量は眞の熱量を $8750\text{kcal}/\ell$ (竹村ら, 1979), ボイラー又は釜の効率を75% とすると $6,560\text{kcal}/\ell$ です。 1kcal は 1kg の水を 1°C 上昇させる熱量ですから、灯油使用量は次のようにになります。(但し、温水・温泉とも 1m^3 を 1ton とします)

$$(50-15)^{\circ}\text{C} \times 1,000\ell \div 6,560\text{kcal}/\ell = 5.335\ell$$

温水の原価 (y) は灯油の単価 (x) が決まれば、次の式で計算出来ます。

$$y (\text{円}/\text{t}) = 5.335 \times x (\text{円}/\ell)$$

図20は温水の単価をグラフに示したものです。これは水の価格やボイラー、釜の経費を含んでいないので、実際は、この単価より高くなるでしょう。昭和55年12月現在の灯油の価格を $80\text{円}/\ell$ とすると、温水の単価は最低でも $427\text{円}/\text{ton}$ になります。

8・2 温泉の単価

温泉の原価の計算は、標準源泉（温度 65°C 揚湯量 $70\ell/\text{min}$ 、深度 500m 、稼動率90%、動力装置 11kw 空気圧縮機等）を仮定し、その合計を年間の温泉量で割る方法をとりました。

その経費の詳細は表12に記載されており、標準源泉による温泉の原価は $198\text{円}/\text{ton}$ となります。又古い源泉で、井戸の減価償却が終了しているものはさらに安く $137\text{円}/\text{ton}$ となります。このように温泉は温水と較べると非常に安いといえます。

箱根の各源泉の温泉単価を計算するために、標準源泉で原価計算を行なった項目のうち、原価に大きく効いている項目を変化させます。そうすると個々の源泉の単価を計算することができる、以下項目別に温泉単価の計算式とグラフを示しました。

(1)孔井の深度に対する温泉単価 (円/t), 図21

温泉の単価 y (円/t), 深度 x_1 (m) として他の経費を一定（以後同様）とすると

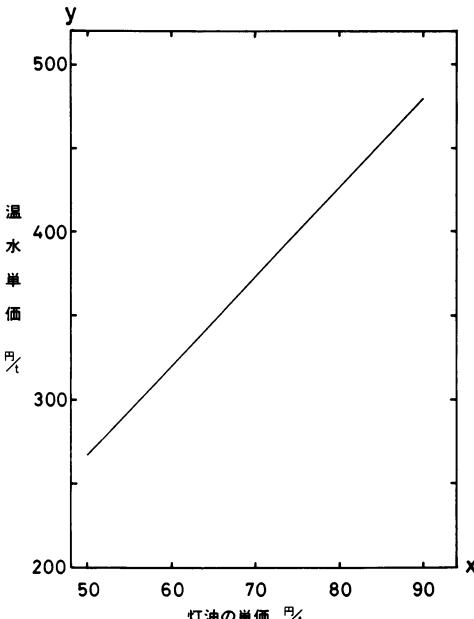


図20 灯油の価格に対する温水の単価

表12 標準源泉の経費と単価

項目	金額(円/年)	計算基礎
孔井の減価償却費	2,000,000	深度500m, 掘さく単価40,000円/m 工事費 40,000円×500m = 20,000,000円 償却期間を10年として 20,000,000 ÷ 10年 = 2,000,000円/年
孔井以外の減価償却費	400,000	エアーコンプレッサー 2,500,000円+配管 1,000,000円+貯湯槽500,000円 = 4,000,000円 償却期間を10年として 4,000,000 ÷ 10年 = 400,000円/年
事業費	1,530,000	電力使用料コンプレッサー 11kw×24H×30日×0.9(稼動率) = 7128kWh, 804円(基本料金) × 11kw + 11.16円/kWh × 7128 = 88,392円/月, 88,392 × 12月 ÷ 1,060,000円/年 タービンポンプ 0.75kw×24H×30日×0.9 = 541kWh, 804円 × 0.75kw × 11.16円 × 541 = 6,640円/月, 6640 × 12月 ÷ 80,000円/ 年 オイル代 250円/ℓ × 30日 × 12月 = 90,000円/年 修繕費 200,000円/年, 保安用品, 雑費 100,000円/年
管理費	1,820,000	人件費, 1人当りの賃金 3,000,000円/年, 1人で2源泉管理出来るとして, 3,000,000 × 0.5人 = 1,500,000円/年 会合, 交際, 接待, 旅費, 通信, 印刷, 新聞, 雑誌, 消耗品費 100,000円/年 水道, 光熱費 3,000円/月 × 12月 = 40,000円/年 借地, 借家料 —— 租税, 公課 2,100,000(鉱泉地の基本価格) × 0.35(温泉地指數) × 1.25(湧出量指數) × 0.014(税率) ÷ 130,000円/年 雑費 50,000円/年
固定資産除却損	100,000	ポンプ室他
支払利息	700,000	年利 7%, 10,000,000円借り入れたとして
経費合計	6,550,000	

1年間の温泉量 70ℓ/min × 60M × 24H × 365日 × 0.9 ÷ 1000ℓ = 33113t/年 (但し, 1000ℓを1tとする)

標準源泉Bから揚湯された温泉の原価(単価円/t) 6,550,000円/年 ÷ 33113t/年 = 198円/t

孔井の減価償却済の源泉Aから揚湯された温泉の原価(単価円/t) 4,550,000円/年 ÷ 33113t/年 = 137円/t

$$y = 0.121x_1 + 137$$

深度100m増加する毎に約12円/t高くなります。図21のAは孔井の減価償却済の源泉, Bは標準源泉です。

(2)電動機の出力に対する温泉単価(円/t), 図22

電動機の出力を x_2 (kw) とすると

$$y = 2.912x_2 + \begin{cases} 105 & \dots\dots\dots A \\ 166 & \dots\dots\dots B \end{cases}$$

1 kw 増す毎に約 3 円/t 高くなります。

(3)人件費に対する温泉単価(円/t), 図23

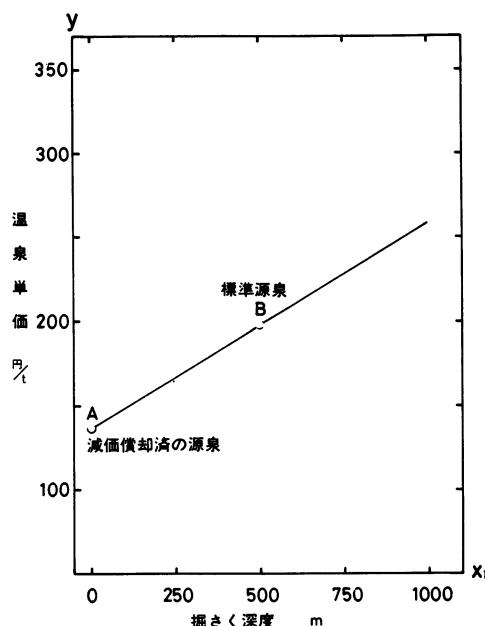


図21 孔井の深度に対する温泉単価

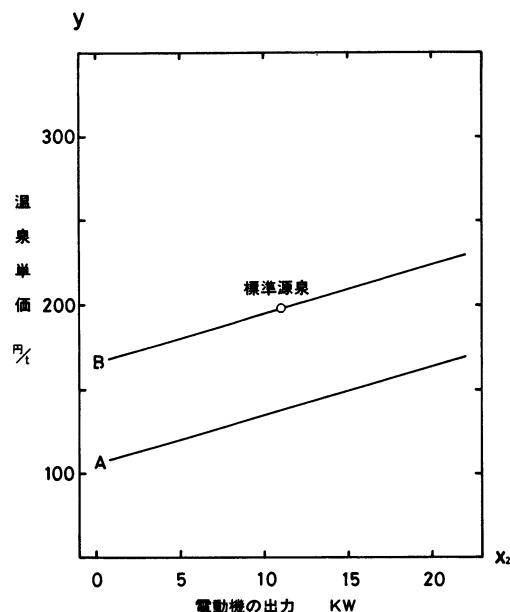


図22 電動機の出力に対する温泉単価

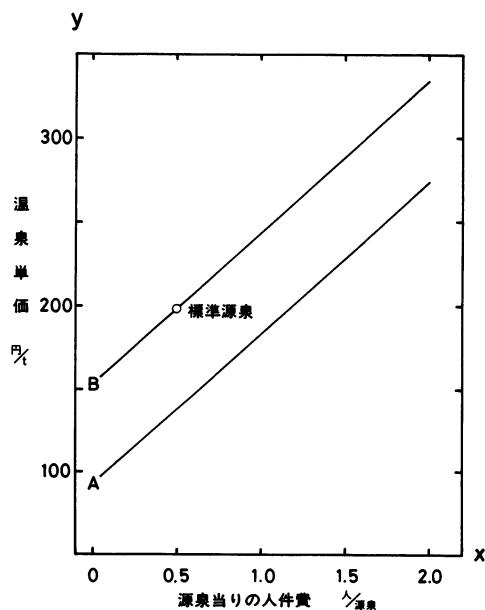


図23 人件費に対する温泉単価

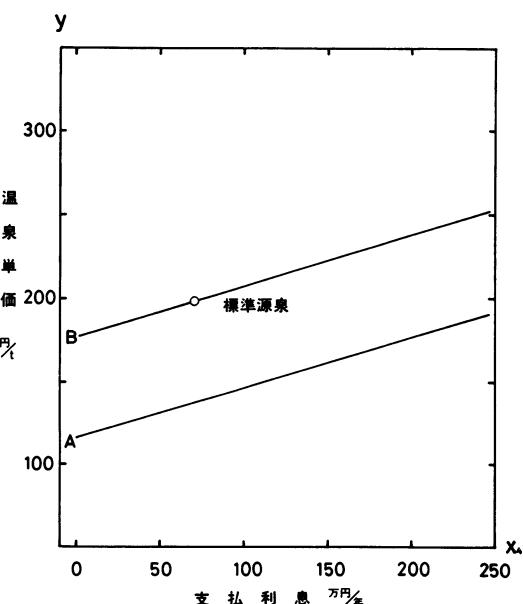


図24 支払い利息に対する温泉単価

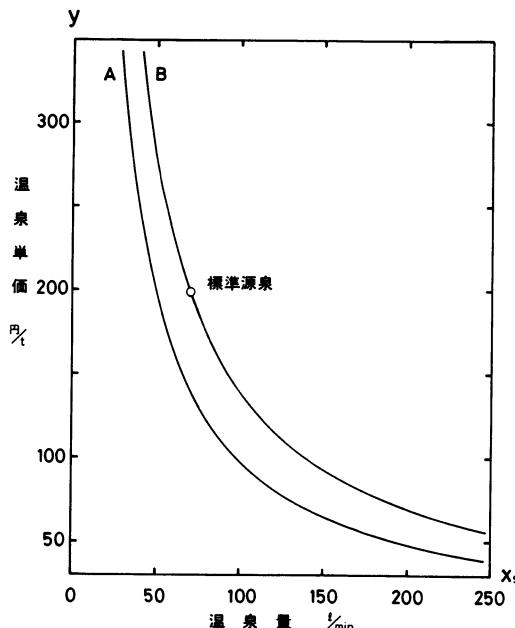


図25 温泉量に対する温泉単価

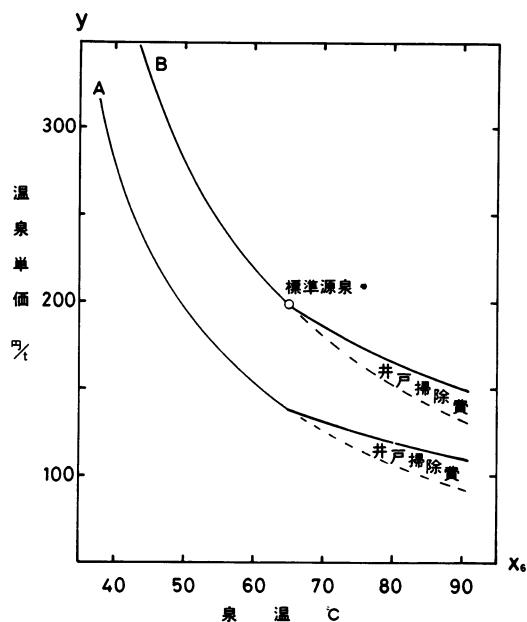


図26 温度に対する温泉単価

人件費を x_3 (人) とすると

$$y = 90.6 x_3 + \begin{cases} 92 & \dots \dots \dots \text{A} \\ 153 & \dots \dots \dots \text{B} \end{cases}$$

人件費1人分増す毎に約90円/t高くなるので人件費のかからない源泉の温泉単価はかなり安くなります。

(4)支払利息に対する温泉単価(円/t), 図24

支払利息を x_4 (万円) とすると

$$y = 0.302 x_4 + \begin{cases} 116 & \dots \dots \dots \text{A} \\ 177 & \dots \dots \dots \text{B} \end{cases}$$

支払利息10万円増す毎に約3円/t高くなります。

(5) 温泉量に対する温泉単価(円/t). 図25

温度(65°C)及び他の経費が一定であれば、温泉量 x_5 (ℓ/min)と原価は反比例します。

$$x_5 y = \begin{cases} 9169 & \dots \dots \dots \text{A} \\ 13847 & \dots \dots \dots \text{B} \end{cases}$$

温泉量が2倍になれば原価は半分になるので、温泉量の多い少ないは原価にかなり影響を与えます。

(6) 温度に対する温泉単価(円/t), 図26

温度の高い温泉はうめ水をして温度を下げます。又温度の低い温泉は加熱して温度を上げます。こ

こでは温泉量 ($70\ell/\text{min}$) がうめ水によりどれくらい増加するかを計算し、温度に対する温泉単価を算出することにしました。

ある源泉の温度 x ℃、温泉量 $70\ell/\text{min}$ とし、うめ水の温度を 15°C 、量を $V\ell/\text{min}$ として 65°C にうめると、温泉は $(70+V)\ell/\text{min}$ になります。

それを式にすると、

$$70(x_6 - 65) = V(65 - 15)$$

$$V = (1.4 x_6 - 91) \ell/\text{min}$$

65℃換算の温泉量（実際は温泉とうめ水を混合した量）は $(70+V)\ell/\text{min}$ ですから上の式の V を代入すると

$$(70+V) = (1.4x_6 - 21)$$

65°C換算の温泉量が計算できると(5)の計算式より $x_{65^{\circ}\text{C}}$ による単価(y)は、計算できます。

計算式は次式になります。

次に温泉が高温になるとスケールが付着するので井戸掃除に経費がかかります。その費用と温度による井戸掃除の回数を次のように仮定します。

1回の井戸掃除費 50,000円/回

65°C	回数	0 回/年	70°C	〃	4 回/年
80°C	〃	9 回/年	90°C	〃	12回/年

以上から井戸掃除費 y' (円/t) と温度 x_6 の関係式を作成すると

$$y' = 1.9(x_6 - 65)^{0.7} / 0.0143 \times 70, \quad x_6 > 65$$

となり原価に加算されます。

(7) (1)～(6)までをまとめた計算式

$$y = (0.121x_1 + 2.912x_2 + 90.6x_3 + 0.302x_4 + 39) / [0.0143x_5 + 0.02x_5(x_6 - 65)]$$

y : 温泉単価 (円/t) x_1 : 深度 (m)

x_2 ：電動機出力 (kw) x_3 ：人件費 (人)

x_4 : 支払利息 (万円) x_5 : 温泉量 (ℓ/min)

x_6 : 温度 (°C)

$x_6 > 65^\circ\text{C}$ の場合

$$y' = 1.9(x_6 - 65)^{0.7} / 0.0143x_5$$

となり温泉単価 γ に γ' を加算します。

この式による計算例を表13に示しました。

表13 温泉単価(円/t)の計算例

源泉の条件						計算値 円/t (y , y')
深度m(x_1)	電動機kw(x_2)	人件費人(x_3)	利息万円(x_4)	揚湯量ℓ/min(x_5)	温度℃(x_6)	
800	11.0	0.5	100	60	55.0	355
0	3.7	0.5	0	100	50.0	95
500	7.5	0.5	0.5	50	85.0	$y \times 182 + y' \times 22 = 204$

8・3 温泉料金の現状

実際に温泉を供給している会社、組合、公共団体等の温泉の料金を調査してみると、箱根・湯河原では100~200円/tが一番多いようです。図27は1源泉当たりの熱量・温泉量と料金との関係を示した

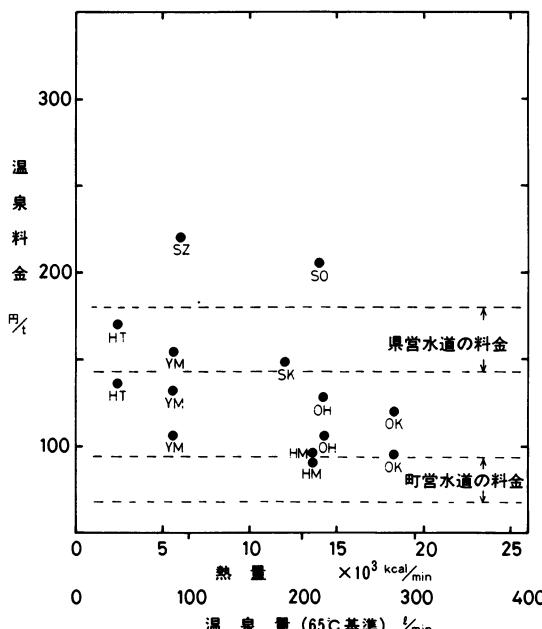


図27 箱根・湯河原の温泉料金の現況 (1源泉当たりの熱量・温泉量との関係、料金は昭和54年4月現在、水道料金は500~1,500t/月使用した場合)

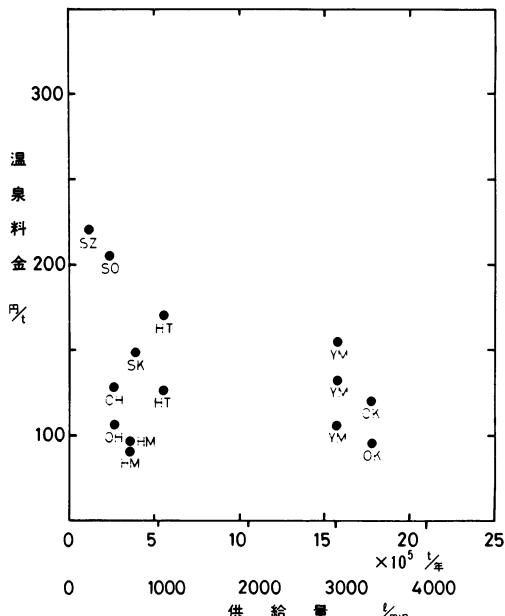


図28 箱根・湯河原の温泉料金の現況 (供給量との関係)

ものです。図28は配湯量(供給量)と料金との関係を示したもので、これを見ると1源泉当たりの温泉量が多く、配湯規模が大きい施設の料金が安いといえます。参考に県営水道と町営水道の料金を記入しました。県営水道の料金は温泉料金とほぼ同じです。

図29と図30は神奈川県以外で集中管理が実施されている温泉の料金と1源泉当たりの熱量・温泉量及

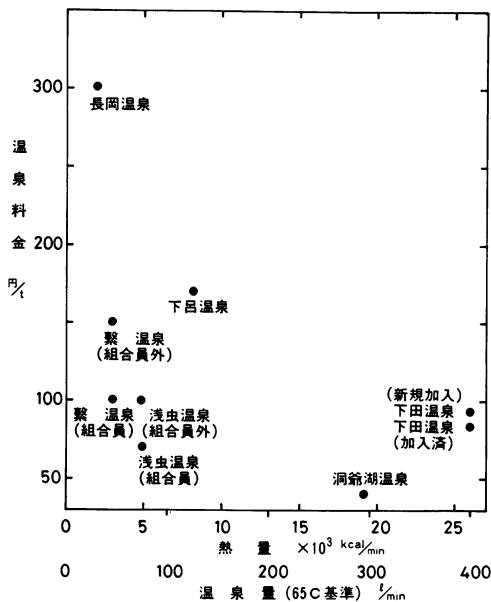


図29 集中管理がおこなわれている温泉地の温泉料金
(1源泉当り)の熱量・温泉量との関係、料金は昭和54年4月在現)

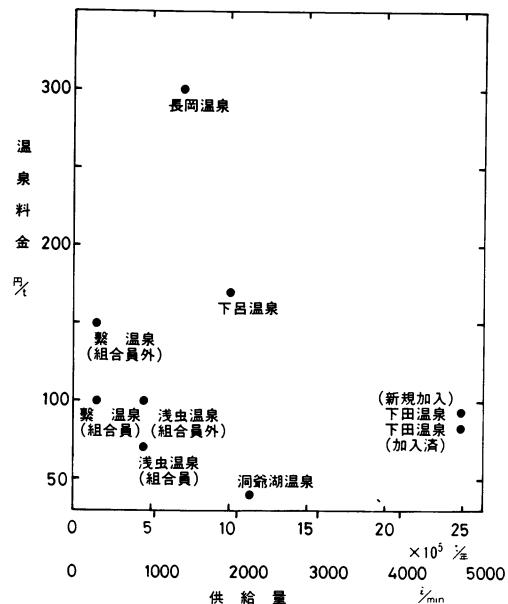


図30 集中管理がおこなわれている温泉地の温泉料金

び配湯量の関係を示したもので、それらは長岡温泉を除けば箱根・湯河原より多少安いことがわかります。また1源泉当りの温泉量が多く、配湯規模の大きい温泉は料金が安くなる傾向がみられます。

温泉の原価計算から考えて、現在、温泉供給を業としている施設は非常に優良な源泉（蒸気泉も含む）を利用しているに違いありません。箱根でこれから新規に源泉を掘さくし、温泉供給を行う場合現行の神奈川県温泉保護対策要綱による規制や立地条件の悪さから予想して温泉の原価は標準源泉の原価（198円/t）より高くなると考えられます。

8・4 温泉単価の低廉化の課題

温泉の原価を低くする方法として集中管理方式による温泉管理や温泉利用の効率化を図ることが考えられます。しかし、優良源泉所有者の参加と同意が得られない場合は、最初の設備に多額の費用がかかるため温泉の原価はかえって高くなることも予想されます。

現在、経済負担の少ない方法で原価を下げるには、各源泉の年間総揚湯量を決め各源泉所有者が需要の多い時は多量に汲み上げ、需要のない時は動力装置を停止する等、必要に応じて温泉を汲み上げる「地下タンク方式」が良いと思います。それに伴ない、今後、揚湯効率が良く維持・管理費のあまりかからない水中ポンプの可否が論議されなければなりません。

9・箱根カルデラの地下水

火山は雨水を吸収し、地下水として貯え、長い時間をかけて流出させる巨大な貯水体といわれています（山本1958, 1971）。箱根カルデラには豊富な水をたたえた芦ノ湖や、多くの湧泉、そして日本でも有数の温泉が存在し、水量は豊かです。

箱根温泉の湧出機構によって、私たちは地下水から温泉への形成過程を明らかにしました。浅層地下水は温泉のかん養源ですから、多量の地下水採取による温泉への影響が心配されています。

現在、温泉源を保護するために温泉法が施行され、温泉審議会を通じて温泉の利用に様々な制約が課せられています。これに基づき小田原保健所は温泉の湧出および利用状況を調査しています。しかし、箱根では温泉以外の地下水についてはなんの規約もなく、自由に開発し、利用されています。このため、地下水の利用状況はほとんど把握されていません。

箱根カルデラの地下水については、今までに大木ら（1968, 1969）、平野ら（1969, 1971）、荻野ら（1971）の研究および箱根町の調査があります。

ここでは箱根カルデラの湧水や水井戸の資料を検討し、地下水利用の実態を明らかにすることを試みました。

写真16 千条の滝（昭和56年撮影）



9·1 湯 水

箱根カルデラ内には大小無数の湧水が存在し、その内、116か所の利用状況が把握されています(図31)。

湧出量の多い湧水は玉簾の滝、白糸の滝、千条の滝、水土野など早川、須雲川、蛇骨川の渓谷や沢ばかりでなく温泉荘の西端、金時山や明神ヶ岳南麓等の地形の変換点に沿って分布しています。

利用されている湧水の中で標高が最も高いのは、中央火口丘では大涌谷(1000m)，外輪山では金時山南斜面(860m)の湧水です。大涌谷の湧水は箱根温泉供給株式会社が温泉造成に取水しています。湧出量は1日平均2800m³です。金時山南斜面の湧水は富士屋ホテルゴルフ場が飲用やゴルフ場の散水に使用しています。

湧水は水道水源としての利用が最も多く、次いで、温泉造成、養魚場、旅館、一般家庭の順です。養魚場と一般家庭は湧水を湧出地点で利用しています。水道は配水池に、温泉造成用は造成地の噴気地帯までポンプで送水しています。旅館は主に自然流下で送水しています。

湧水利用の旅館は概して規模が大きく、戦前から続いている旅館にかぎられます。湧水は宿泊施設より

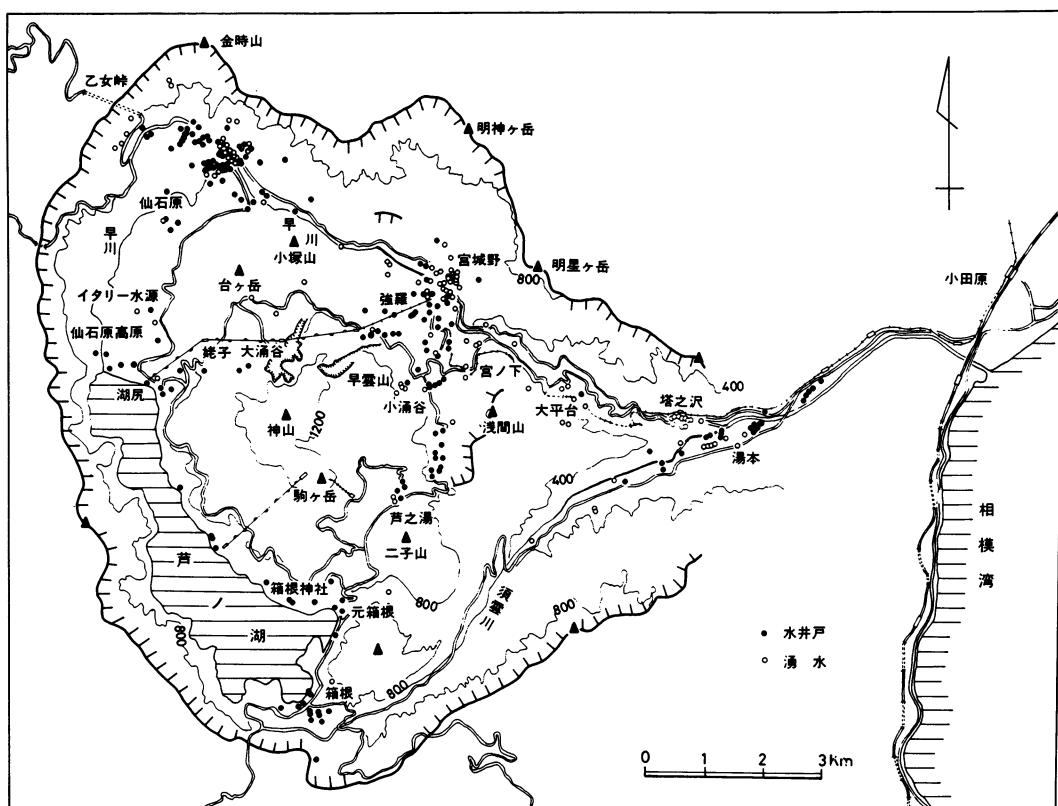


図31 箱根カルデラの利用湧水と水井戸分布

も標高の高い山腹の湧出量の多い湧水源が開発されており、今でも用水の一切を賄なっています。水源と旅館との間は一般に離れています。送水距離は数百メートルから1キロメートルに及んでいてほとんどが自然流下です。

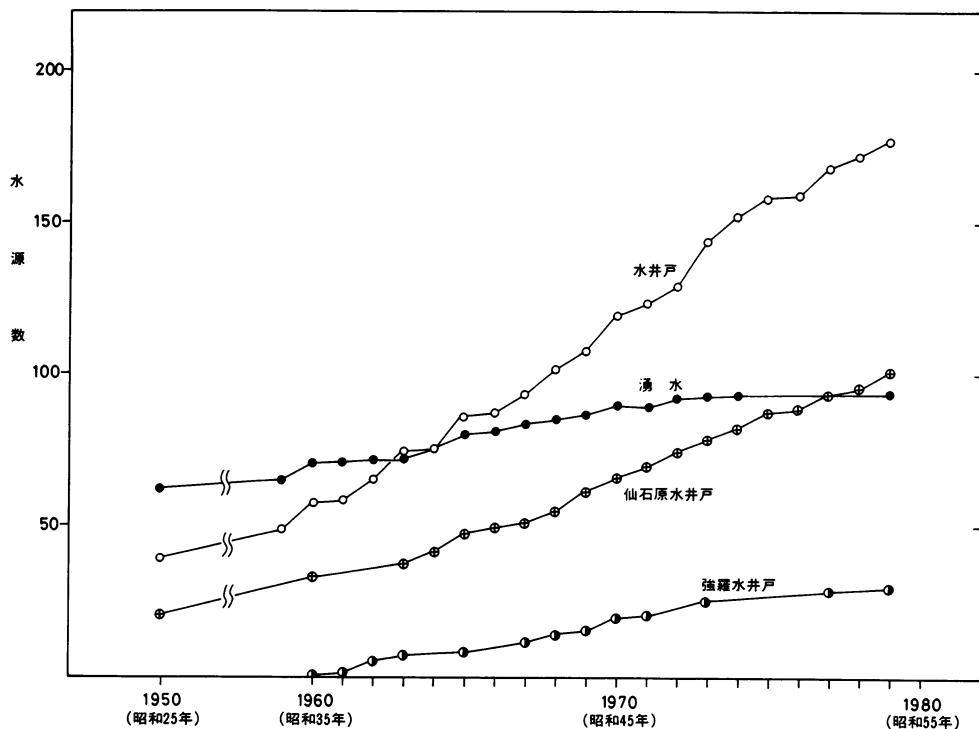


図32 箱根カルデラの湧水利用と水井戸掘さくの経年変化

9・2 水井戸

水井戸は中央火口丘と外輪山の山体と山麓に少なくとも213眼以上存在します（図31）。ほとんどの水井戸は県企業庁と町営上水道網が設置されている地域に分布しています。図32は水井戸掘さくと湧水利用の経年変化です。昭和35年（1960）頃までは水井戸よりも湧水が多く利用されています。井戸の掘さくは現在の上水道網がほぼ完成した昭和35年以降から盛んに行なわれています。井戸数は1年間に約7眼の割合で増加しています。

井戸掘さくの主な理由は飲用や雑用等に使用する水の経費を安くするためです。飲料水を全て水井戸で賄なっている施設は数十に及んでいます。規模の大きい旅館、保養所、飲食店等の営業関連施設の多くは井戸や湧水を利用しています。多くの企業では水井戸の掘さく等の費用は2~3年間の水道料金にすぎず、以後は安い維持管理費で水が利用できるので、井戸の開発が盛んになっています。

営業用関連施設の水井戸は115眼です。掘さく深度は平均70mです。家庭用井戸は深さが10m前後と浅く、地表近くの地下水が利用されています。

観光地としての開発が進むにつれて浅い地下水の枯渇が少しづつ現われています。安定した地下水を得るには深い井戸が必要です。しかし、深井戸の掘さく、揚水装置と維持管理は高い費用となるため、個人所有の深井戸は少なくなっています。

中央火口丘にある井戸のなかで、現在最も標高の高い場所に掘さくされた水井戸は造成温泉に利用されている神山の北西斜面の井戸です。この井戸は深度が38.5m の浅井戸(静水位5.3m)ですが、水中ポンプで650m³/日揚水されています。なお、この井戸の近くに温泉孔井で標高の最も高い(973m)仙石原11号泉があり、その孔井の深度は690m、静水面の深度は地表から169mです。温度53.2°Cの温泉がエアーリフト・ポンプで79ℓ/min揚湯されています。

外輪山の山腹では仙石原卯の花分壌地の水井戸が最も高い位置(770m)です。井水は卯の花分壌地の飲用に利用されています。

9・3 仙石原の地下水

仙石原は湖尻から品の木に至る箱根で最も広い平坦面を形成しています。仙石原一帯はかつて仙石原湖と呼ばれる湖でしたが、早川の下刻が進み、仙石原湖の排水が進みました。同時に、土砂の流入や箱根と富士の火山活動によって次第に湿原への道をたどってきました。

仙石原湖を埋めた湖沼堆積物(第4層)の上には3100年前に発生した神山山崩堆積物(第3層)が分布しています。更に、その上にスコリア(第2層)、ついでローム層(第1層)がおおっています(久野1952、大木1975、1976、袴田1975、1976、小鷹ら1977)。

仙石原北端と金時山南麓とが接する地域には湧水と水井戸が箱根で最も密に存在しています。この付近は湧水の豊かな所で、古くから村落(旧仙石原村)が形成されていました。

外輪山の崖錐に胚胎する地下水は良質です。しかし、仙石原湿原の浅い地下水は飲用に適さないものが多く、池などに利用されています。

国道138号線をさかいで、外輪山側の4本の水井戸の深さは平均48mですが、湿原側に掘さくされた13本の井戸の深さは平均70mです。湖沼堆積物(第4層)の厚さは仙石原中学校付近で40m(はこね1972)、その上の堆積物(1~3層)は数mですから、多くの井戸は湖沼堆積物の下の地下水をくみ上げていることになります。

仙石原では井戸の掘さくが早くから行なわれていました。昭和35年(1960)頃には既に30本以上掘さくされており、カルデラ内の総水井戸数の50%を占めていました。

仙石原の開発が進み、別荘や保養所が多くなるに従い水井戸も増えています。井戸の増加率は箱根で最も高く、年間平均4本です。松月堂の水井戸は昭和49年(1974)に80m掘さくされた時水位は地上6mに達し、1150m³/日の自噴量を記録しました。しかし、その勢いもしだいに衰え、現在はポンプでくみ上げています。

9・4 強羅地区の地下水

強羅は早雲山噴気地帯（地熱地帯）の山麓に位置しています。地形は山体の30°の急傾斜が不連続となる箱根登山早雲山駅から箱根登山ケーブルに沿って10°の緩斜面をなし扇状に広がっています。扇端部は早川の侵食で再び23°の急斜面になっています（図33）。

この地域の表層は厚さ1~2mの富士の火山灰層で覆われ、その下に神山溶岩類が存在します（久野、1952）。

強羅に温泉が掘削されたのは昭和24年（1949）以降のことです。温泉掘削は戦前から幾度も試みられましたが、地表から数10mのところの流れが速い地下水のため、下部の温泉帶水層に達することができませんでした。昭和27年に深さ300m付近の温泉帶水層への掘削（環翠樓源泉、宮城野村台帳24号泉）が成功してから、今日までに数10本の温泉井が完成しています。

この地区で豊富な地下水の存在は知られていましたが、水井戸の歴史は温泉井と同様に浅く、掘削されたのは昭和35年（1960）以降です（図32）。水井戸は年平均1.5本の割合で掘さくされています（図32）。現在（昭和55年）確認している井戸は25本です。

強羅の水道は大正11年（1922）に箱根登山鉄道強羅水道が引かれ、昭和32年（1957）3月から企業庁箱根上水道が引き継いで、供給しています。

しかし、今日、中規模以上の10数施設は飲用等を全て水井戸で賄い、多量の地下水をくみ上げています。温泉のかん養源としての浅層地下水の利用は温泉への影響が心配されます。

当地区の水井戸で標高が最も高いのは742mの早雲閣の水井戸です。湧水は早雲山噴気地帯の中にもみられます。噴気地帯の最上端は標高1160mですが、沸騰している泥地獄（mud pot）が存在するのは1050m、湧水は980m付近で数か所から約60m³/日流出しています。水温は噴気地帯の地温に等しく40~80°Cです。この湧水は箱根登山鉄道温泉事業部が利用しています。

図33は早雲山山頂から箱根登山ケーブルに沿った浅層地下水と深層の温泉の水頭断面です。

地下水の帶水層は3層に分けることができます。各水面は地形面に沿っています。

第1帶水層地下水は地下数mを流下しながら諸所で湧出しています。緩斜面の末端にあたる強羅駅付近には幾つもの湧泉がみられます。その湧水の1つは企業庁上水道が引かれるまで強羅4区の向山水道組合水源として利用されていました。

第2帶水層地下水は地下30m付近に水面をもっています。早川に面した崖下の湧水はこの帶水層が露出したものでしょう。

第3帶水層の水面は地下60mに位置し、強羅駅付近で温泉の第4帶水層の水面と一致しています。

第4帶水層は温泉です。強羅の高温のナトリウム一塩化物泉（弱食塩泉）は早雲山噴気地帯の地下から流下する3つの流れの一つです（大木ら1968）。これは後でのべる強羅第1温泉帶水層に相当し、地下水位は早雲山駅付近で200mの深さですが、次第に浅くなり、早川右岸に現われます。これが木賀温泉の湧泉です。温泉井の孔底は早川に向うに従い標高が低くなっていますが、早雲山駅から公園下駅まで

は温度の高い(70~90°C)ナトリウム一塩化物泉(弱食塩泉)が、公園下駅から早川にかけては温度の低い(21~38°C)単純温泉(混合型)が揚湯されています。泉温と泉質の変化する公園下駅付近は第3帶水層地下水と温泉の水面が一致する地点です。従って、この単純温泉はナトリウム一塩化物泉(弱食塩泉)に地下水が混合したものとみなせます。

昭和42年(1967)5月23日から早雲山東斜面におきた異常高温によってナトリウム一塩化物泉の温度は一せいに上昇しました(大木ら1973, 平野ら1973)。しかし、単純温泉は温度の影響をほとんどうけていません。むしろ、泉温は低下しています。単純温泉は昭和33年(1958)から昭和54年(1979)の21年間に平均4°C低下しました。これは温泉の開発で温泉水面の低下が進み、地下水の流入が増加しているためと思われます。

大木ら(1968)は温度検層等によって深さ200~250m間に厚さ45~10mの温泉帶水層と強羅付近での深さ350~400m間に位置する厚さ10mの温泉帶水層を区別して、上部を強羅第1温泉帶水層、下部を強羅第2温泉帶水層と呼んでいます。

強羅第1温泉帶水層は神山熔岩類の基底部とその下位にある神山泥流堆積物の境界付近に胚胎しています。強羅第2温泉帶水層は外輪山熔岩類と基盤をなす早川凝灰角礫岩層の境界部に胚胎し

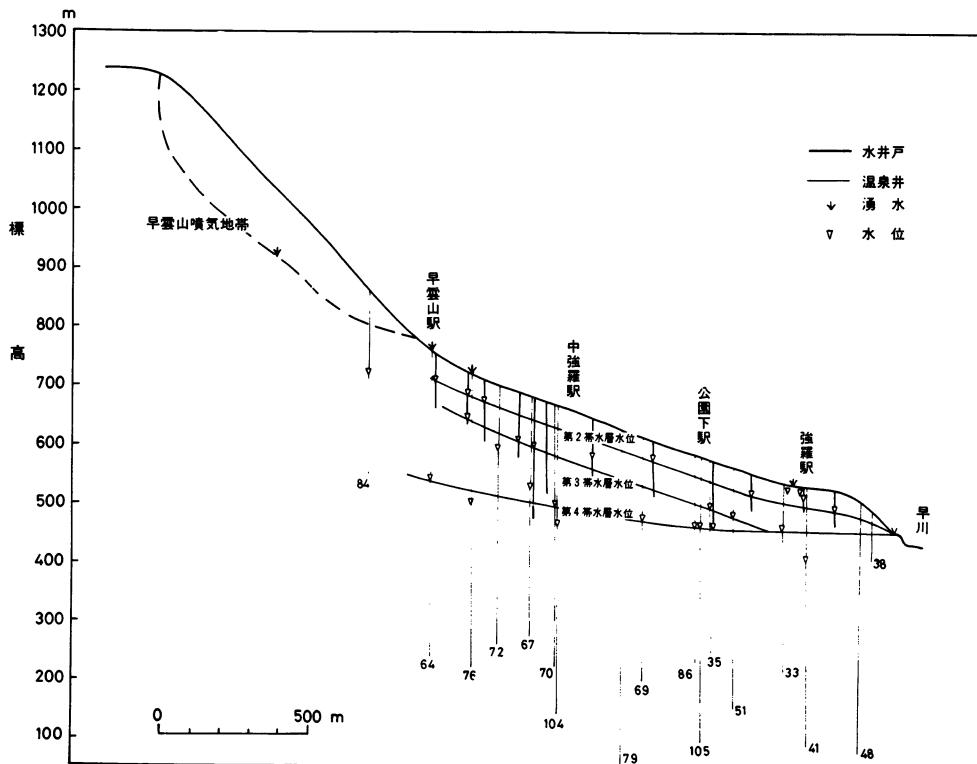


図33 強羅地域の地下水と温泉の水位

ていると推定しています。

早川右岸の木賀の湧泉群は強羅第1温泉帶水層が露出したものです。湯原ら(1966)は揚水試験の結果から透水係数 $K = (0.07 \sim 2.51) \times 10^{-4} \text{ cm/sec}$ としています。大木ら(1968)は昭和41年(1966)の箱根の群発地震と1年後の異常高温との関係から、元箱根で得られた最大の透水係数 $K = 6.7 \times 10^{-2} \text{ cm/sec}$ を採用しています。

水井戸の平均深度は100mですが、深さが200mに及ぶものもあります。深さが増せば当然水温も上がります。しかし、温泉井として申請しないで、自由に井戸を掘削し、地下水を採取しています。温泉を保護するためには、温泉井に対して制約を加えるばかりでなく、水井戸についてもなんらかの処置が必要になっています。

強羅地域の35本の温泉井から揚湯されている温泉量は3600m³/日です。一方、地下水は11本の水井戸で温泉量にほぼ等しい3300m³/日を揚水しています。

中央地区全体の温泉量は16000m³/日です。地下水量は水井戸が7500m³/日、湧水が3500m³/日で、地下水使用量は合計11,000m³/日と推定されます。水道使用量は10,400m³/日です。中央地区全体では水道量に等しい量の地下水が利用されています。なお、水道の水源は中央地区周辺に存在しているので、中央地区で採取、利用されている地下水(温泉+湧水+水井戸+水道)は37,400m³/日です。

9・5 芦ノ湖周辺の地下水

芦ノ湖周辺で水井戸と利用湧水は湖尻から箱根神社を経て、畠引山までの地域に分布しています。西側の古期外輪山にある地下水は利用されていません。

湖尻付近の地下水については荻野ら(1971)が3つの水系を明らかにしています(図34)。

第Ⅰの水系は大涌谷方面からの地下水です。この地下水は更に、姥子から芦ノ湖に向う流れ(1-a)と温泉荘を経て仙石原に向う流れ(1-b)に分けることができます。

大涌谷から湖尻に至る扇状の斜面は3100年前の蒸気爆発で発生した山崩れでできました。芦ノ湖は古期外輪山まで達したこの山崩堆積物が水流をせき止めて生まれたのです(久野1952、大木ら1975)。

大涌谷からの浅い地下水は大涌谷噴気地帯の酸性硫酸塩泉から派生し、炭酸物質の供給を十分受けていない中性硫酸塩型です。しかし、孔井が深くなるにつれて地下水は炭酸物質含量(炭酸水素イオン又は重炭酸イオン)を増し、重炭酸塩硫酸塩型に移行します(平野ら1971)。浅い地下水の水面は山崩堆積物の中に位置しています(図35)。

第Ⅱの水系は古期外輪山からの水温が低く、硫酸イオンの少ない重炭酸塩型の地下水です。第Ⅲの水系は芦ノ湖からの伏流水です。

この3つの水系によって仙石原に流出する水量は15,000~20,000m³/日と推定されています。

仙石原高原に接する温泉荘の斜面の末端部には多数の湧水が分布しています。その近くに箱根で最も湧出量の多いイタリ水源があります。湧出量は降水の影響で3,000~8,000m³/日と季節的変化を

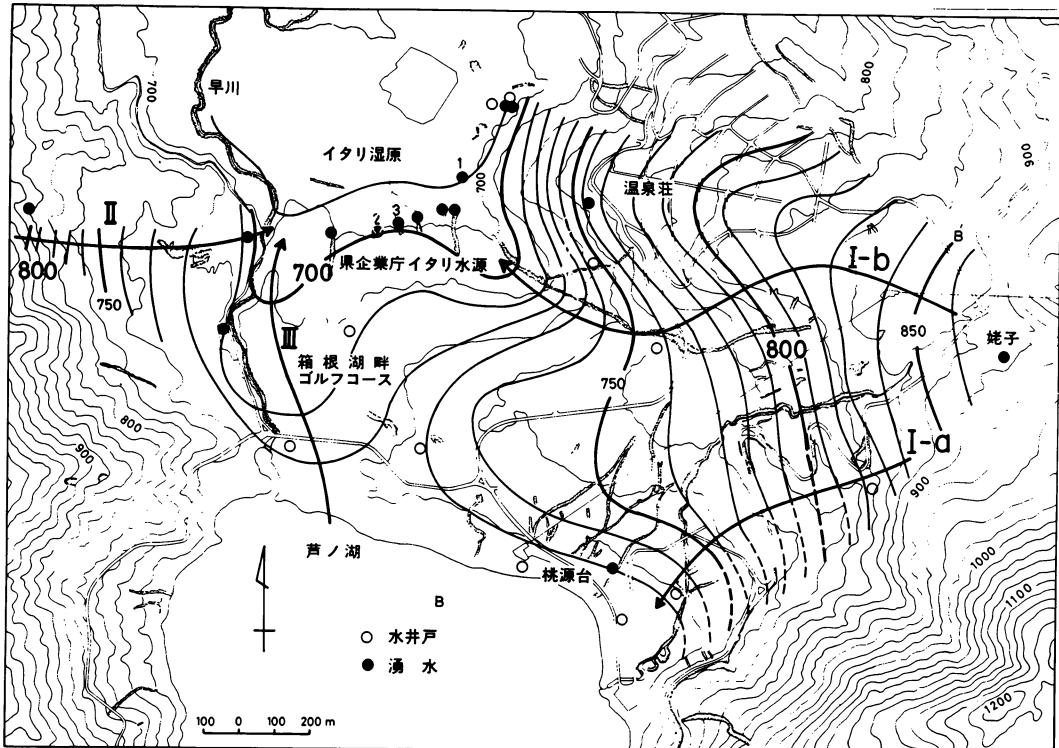


図34 湖尻付近の地下水 (荻野ら1971)

します(図36)。

湧水は企業庁の水道(2,200~4,200m³/日)および、温泉供給会社の造成温泉用に使用されています。渴水期になると湧出量が減少するため、温泉供給会社は平均深度75mの4本の水井戸と、8mの掘抜井戸をフル操業して1500m³/日を揚水しています。

仙石原高原の地下水は公営水道、造成温泉や湖畔ゴルフ場で平均5,000m³/日使用されています。

姥子から湖尻に向う斜面の水井戸からは2,000m³/日が揚水され、飲用に供されています。以上から湖尻周辺の地下水使用量は1日平均7,000m³です。

湖尻広場駐車場から箱根神社にかけては公営水道の空白地域です。

中央火口丘神山・駒ヶ岳が迫っている湖畔沿いに、箱根園、龍宮殿、箱根プリンスホテルや山のホテル等が並んでいます。各施設は水井戸で飲料水等を貯めています。これ等の施設の井水使用量は1,700m³/日です。

箱根神社から畠引山の地域には町営水道の水井戸4本、湧水が1水源あります。家庭用は3本、営業関係は11本です。人口と営業施設の多い割りには民間の水井戸数が箱根でも少ない地域にあたります。これは簡易水道がすでに大正11年(1922)に設置され、大きな宿泊施設が少ないことに関係しているかも知れません。

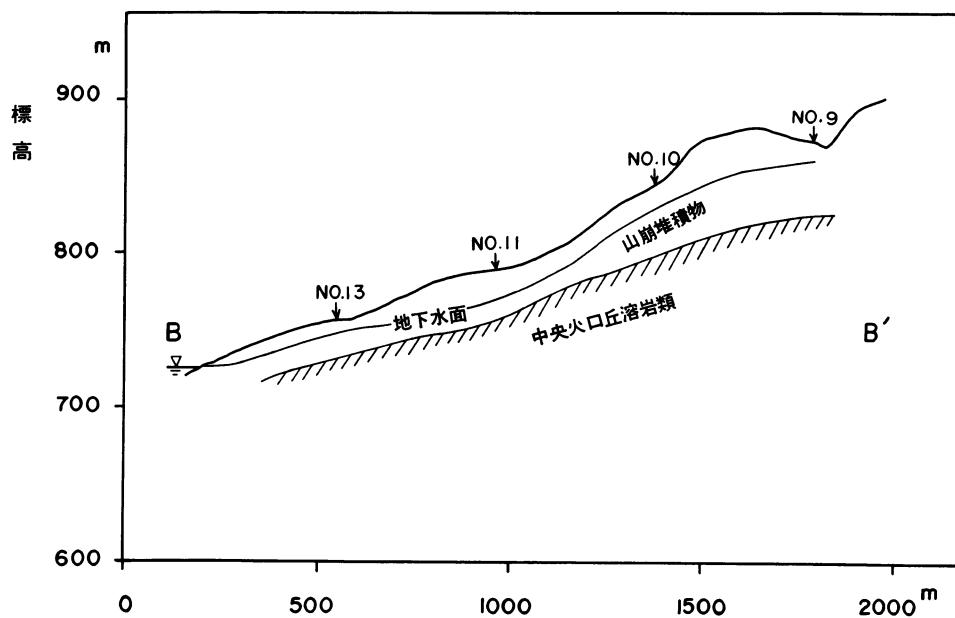


図35 湖尻付近の水頭断面（荻野ら1971）

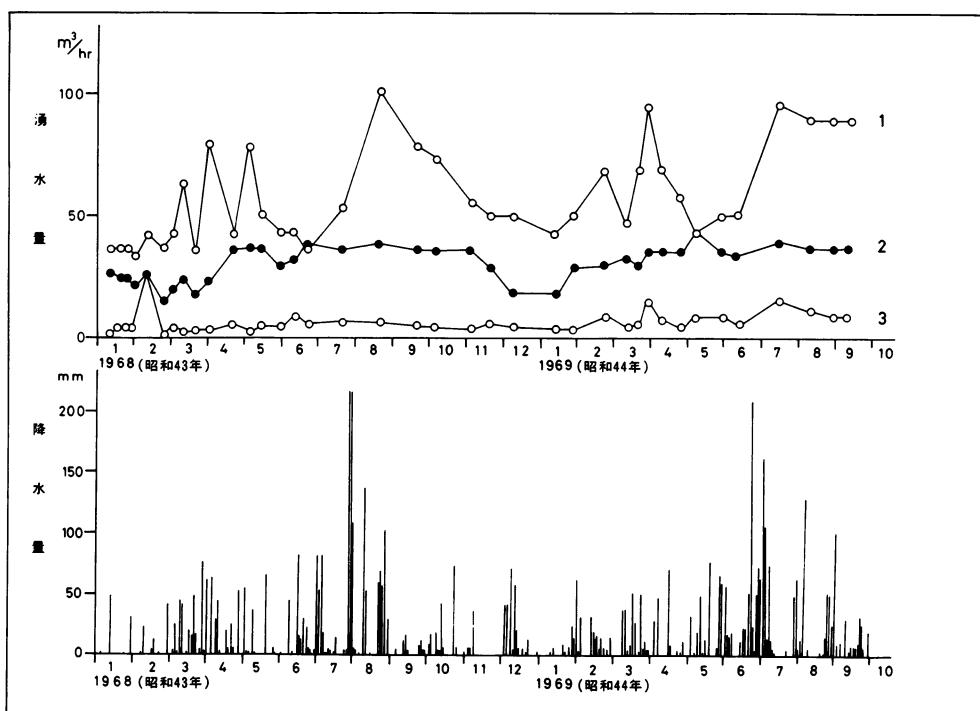


図36 イタリ水源の湧出量と降水量（荻野ら1971）

表14 箱根大芝の地質層序・透水係数

層序	深 度 m	透水係数 cm / sec
第2期	新期外輪山熔岩	5.7×10^{-2}
 42	
	元箱根火山砂礫層	$(1 \sim 6.7) \times 10^{-2}$
 94	
	凝灰質シルト層	$(0.1 \sim 1) \times 10^{-4}$
 101	
第1期	軽石流堆積物	
 170	
古期外輪山熔岩	新期外輪山熔岩	
 ?	

* 大木ら(1968)の表1の地層名を本表のように改正する。

表15 箱根カルデラの水源

地 区	水井戸	湧水	合計
湯本・塔之沢地区	20	14	34
中央地区	強羅など	54	33
	宮城野	10	23
山岳地区	仙石原根 元箱根	95 25 9	40 5 1 135 30 10
合 計		213 65%	116 35% 329 100%

表16 箱根の水道使用量

施設名	給水人口(人)	給水量(m³/日)
県営水道	8,287	10,058
町営水道	8,912	8,647
簡易水道	1,100	810
旅館・保養所		15,000
合 計		34,515

大木ら（1968）による大芝での試掘と揚水試験によれば、地温勾配は非常に小さく、孔底197mの地温は15.6°Cです。透水性のよい帶水層が深度94mの間の新期外輪山溶岩と元箱根火山砂礫層に4枚認められます。帶水層の平均透水係数は $3.2 \times 10^{-2} \text{ cm/sec}$ です（表14）。

箱根神社から畠引山までの地域の地下水使用量は町営水道を加えると6,500m³/日です。このうち、芦ノ湖漁業協同組合養魚場の深度100mの水井戸は870m³/日くみ上げています。従って、芦ノ湖周辺の地下水使用量は15,200m³/日です。

9・6まとめ

箱根カルデラで開発・利用されている地下水は温泉以外に、湧水が116水源、水井戸213水源の合計329水源（表15）で、温泉数とほぼ同じです。

水源は仙石原が最も密に分布しており、全体の41%を占めています。仙石原には有望な温泉はありませんが、湧水の豊富な所であり、水井戸の開発も早くから行なわれていました。地下水利用は公営水道が最も多く、18,700m³/日です（表16）。次いで、旅館、保養所の15,000m³/日、造成温泉の9,100m³/日、養魚場、一般家庭が続きます。旅館、保養所の使用量は中央地区と山岳地区の中で、概算できる水源の総計です。多くの施設は井戸に関する資料を残しておらず、使用量さえも把握していません。地下水に対する関心は温泉の場合と同じです。水源が見つかるまでは大きな関心を寄せていても十分な水量が保障されると関心が薄れています。従って、箱根カルデラの地下水使用量は今回算定できなかった残り3分の1の水源および湯本、塔之沢地区を加えるならば更に増加します。

旅館、保養所等の水源開発は昭和35年（1960）頃を境に、前後の2期に分けることができます。前期（1期）は湧水の開発・利用、後期（2期）は水井戸の掘削です。

湧水は湧出している場所に細工をし、自然流下で宿泊施設まで送水しています。従って、ほとんどの湧水は施設より標高の高い地点に開発されています。湧水は経済的ですが、自然の条件に制約されるために、次の様な欠点を持っています。

- 1) 湧出量は、降水量が直接的にして短期的に作用し、乾期（冬期）に減少あるいは枯渇します。
- 2) 豪雨や台風によって湧出地が崩壊し、取水装置の破損、あるいは土砂による送水管の目づまりが起きたります。また、土砂で水が濁ったりします。
- 3) 湧出地点と宿泊施設が一般的に離れており、送水が数100mから1kmに及んでいます。
- 4) 湧水地周辺の開発が進むにつれ、人工的汚染や湧出量の減少が生じています。
- 5) 利用できる湧水源は有限です。

湧水の利用は一般に、箱根でも長い歴史を持ち、規模の大きな旅館（例えば、奈良屋、富士屋ホテル、仙郷樓、俵石閣等）に限られ、水井戸は歴史の浅い（1960年以降）旅館、保養所に集中しています。

水井戸の開発は湧水源が利用しつくされ、新たな湧水の見つからない地域で進められました。水井戸は湧水の欠点を補い、また次の利点を持っています。

- 1) 季節変化に作用されることなく、年間を通じ一定量の揚水が可能です。
- 2) 豪雨や台風で水が濁ったりすることはありません。
- 3) 宿泊施設の近くに水源を持つことができます。
- 4) 開発による影響が現われるのは湧水に比べ遅く、小さいです。
- 5) 水源は必要に応じ、数多く設けることが可能です。
- 6) ある一定以上の水利用の場合、掘削費を入れても水道料金に比べ安くなります。

要するに水井戸は湧水に比べ、自然条件の制約が大変小さいことです。特に、利用を促進している理由としては経済性があげられます。

水井戸の大部分は公営水道の整備された昭和35年(1960)以降に増加し、それらの多くは水道網内に存在しています。

しかし、水井戸利用には次の問題があります。

- 1) 水収支を無視した過剰揚水が行なわれている可能性があります。
- 2) 温泉のかん養源である地下水の採取は温泉枯渇の要因となります。

温泉井の掘削と利用には温泉法にもとづき様々な制約を加えて温泉の保護がはかられています。

温泉地の水井戸掘削に関しては、神奈川県衛生部長通知が昭和33年(1958)に出されています。それによると、『飲用水、雑用水を得るために……温泉地において井水の掘削を行なおうとする者は必ず保健所へ届出すること。………本工事（井水掘削）により既存温泉の湧出量、温度又は成分に著しい影響を及ぼす場合にあたっては、温泉法第11条の規定により土地の掘削を制限する。（昭和33年10月22日33環第2700号小田原保健所長宛 神奈川県衛生部長通知）』。

しかし、上記の通知は有名無実となっており、なんの機能も作用していません。このため、水井戸の数や地下水採取量に関してここで述べた以上のこととは不明です。

温泉地の水井戸の中に、孔底が温泉の水面より深くなっている井戸がかなり存在し、25℃を越す温水をくみ上げているところもあります。

箱根では飲用、雑用水のほとんどが地下水に依存しています。また、温泉は地下水でかん養されています。従って、地下水利用の把握が大変必要と考えられます。

10 箱根十九湯

箱根温泉の開発が進み江戸時代に七湯と数えていた温泉場は十九湯にもなりました。どのような基準で数えるかによって、温泉場の数は変化します。激しい噴気活動のある大涌谷、早雲山などを宿泊施設がないという理由で今まで温泉場から除外していました。宿泊施設がない温泉場の例は幾つもあります。したがって、温泉活動のある地区は温泉場の数に加えるべきでしょう。

温泉湧出地点から送湯管によって温泉を導いている宿泊施設は無数です。仙石原、湖尻、芦ノ湖畔にある宿泊施設を温泉地から除くと、日本各地でこれまで温泉場として数えていたものの中の幾つも温泉場から除外しなければなりません。名称のために送湯管の長さに基準を要することにもなります。ここでは、むしろ通常の取扱いに従って、引湯している宿泊施設も温泉場の数に加えます。

このような考えにもとづくと箱根には湯本・塔之沢・大平台・堂ヶ島・宮ノ下・底倉・木賀・小涌谷・二ノ平・強羅・宮城野・芦之湯・湯ノ花沢・早雲山・大涌谷・姥子・仙石原・湖尻・芦ノ湖、合計19の温泉場があります。

これらの各温泉場について交通、歴史、現況、泉質、湧出機構などを述べることにします。

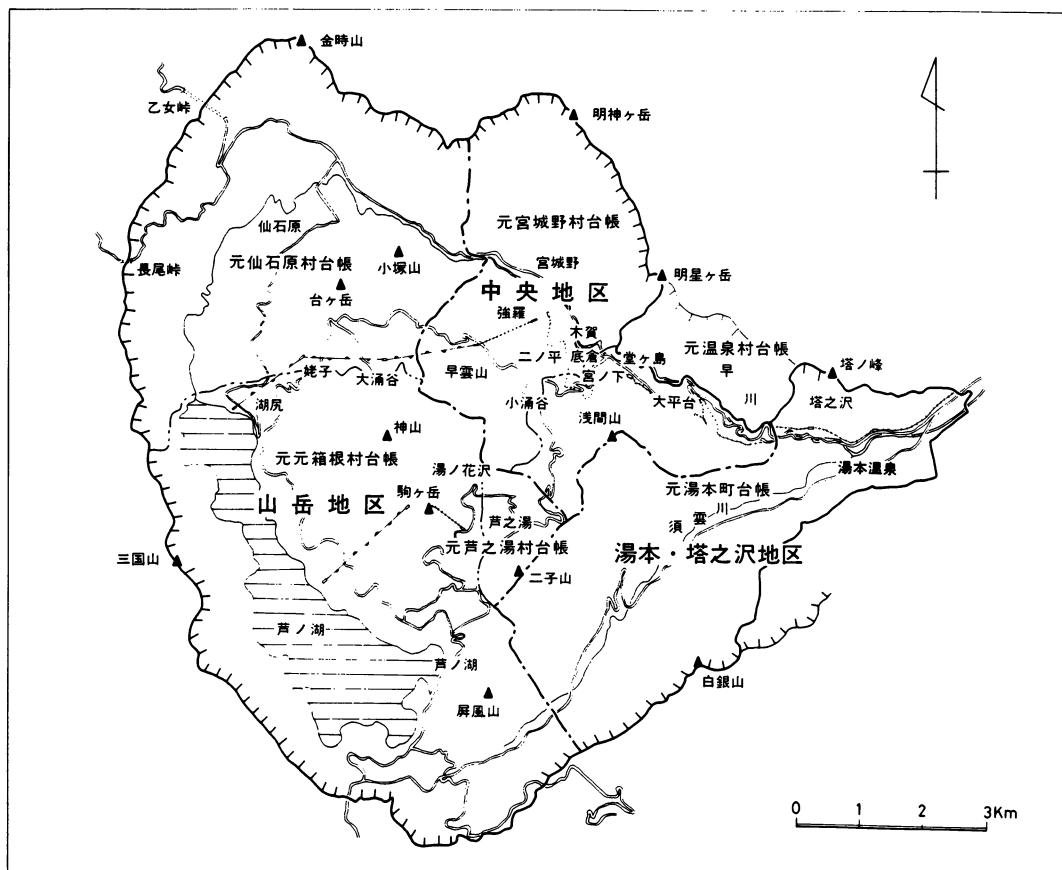


図37 箱根19湯

10・1 湯本温泉および塔之沢温泉

湯本温泉： 箱根湯本は国鉄小田原駅から西に約7km、早川と須雲川の合流点付近を中心とした温泉地です。早川と須雲川は古期外輪山と古期カルデラを満たした楯状火山溶岩類の境界に沿って流れ、侵蝕の進んだ谷底には基盤岩である早川凝灰角礫岩層が露出しています。温泉は谷底の早川凝灰角礫岩類やその下位にある湯ヶ島層群の割れ目から湧出しています。

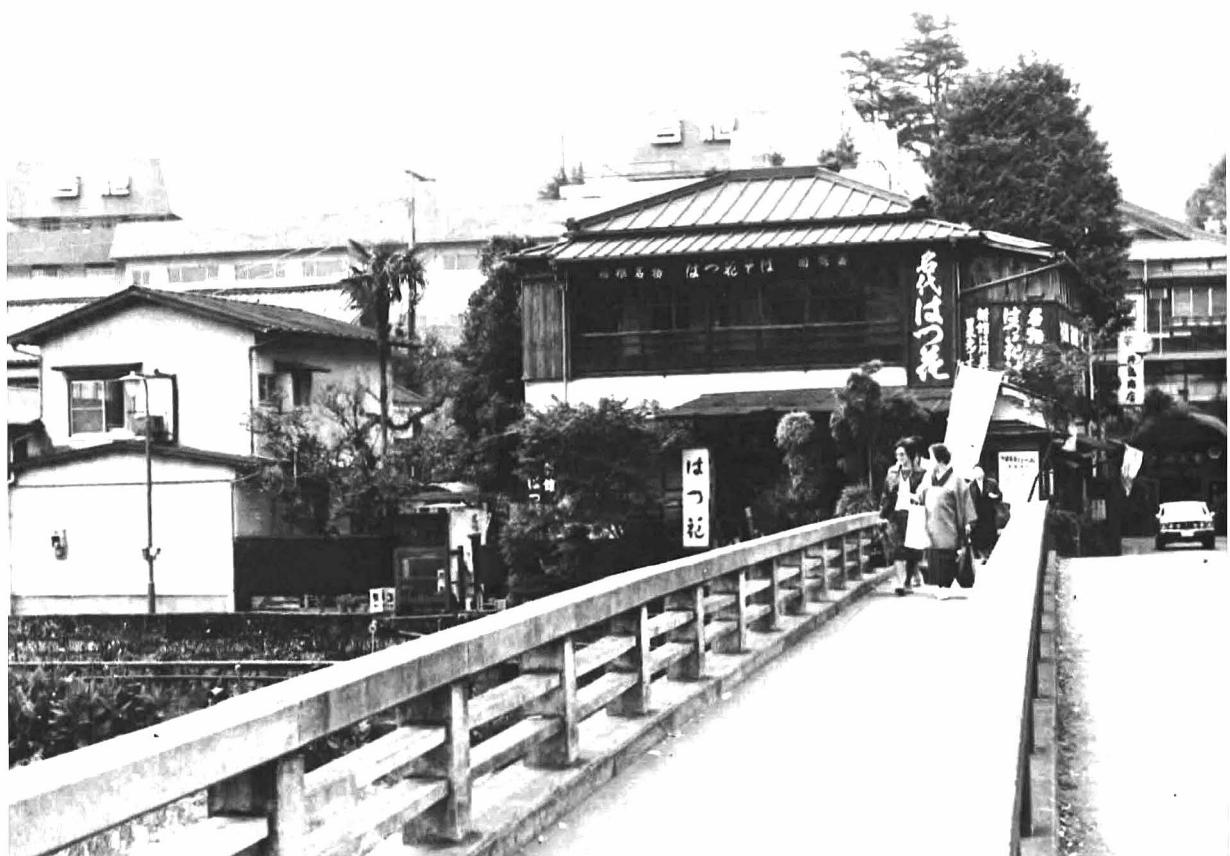
湯本は、まぎれもなく箱根の玄関口にあたっています。東京副都心の新宿からは、小田急線が乗り入れており、簡便に温泉地に着くことができます。

泉質は、主として単純温泉、アルカリ性単純温泉、ナトリウム一塩化物泉(弱食塩泉)、ナトリウム・カルシウム一塩化物・硫酸塩泉(含石膏弱食塩泉)で、ナトリウム一塩化物・硫酸塩泉(含芒硝弱食塩泉)、ナトリウム・カルシウム一塩化物泉(含塩化土類弱食塩泉)なども湧出しています。源泉数81、温度23.4~77.3°C、温泉量4643ℓ/min、効能 リウマチ性疾患、運動器障害、神経まひ、疲労回復、慢性湿疹など。液性は中性ないし弱アルカリ性で、一般に肌にやさしく、入浴後もさわやかです。

旅館・ホテルは58軒、寮・保養所は15軒です。

北条早雲の子、氏綱建立の早雲寺は湯本駅からあるいて約10分、旧道ぞいにたてられています。本堂裏の枯山水庭園は北条幻庵の作と云われます。須雲川ぞいの玉簾の滝もここでの見どころです。

写真17 湯本温泉湯本橋付近（昭和55年撮影）



塔之沢温泉：湯本駅から国道1号を宮ノ下方面にむかえば約1kmで塔之沢温泉です。早川にかかる旭橋から右岸を渓谷ぞいにのぼり函嶺洞門をぬけると前方に旅館がたち並んでいます。国道に面して並ぶ純和風の建物は、そのままこの温泉場の歴史と情緒を感じさせます。函嶺洞門の対岸には県立箱根観光会館がたてられています。登山鉄道の塔ノ沢駅から歩いて20分ほどで塔ノ峯の山腹にたつ阿弥陀寺につきます。浄土宗の古刹でいざり勝五郎と初花の伝説ともむすびつきがあります。塔之沢では古期外輪山と新期外輪山の山すそがきびすを接し、その接点を早川の谷がきざんで基盤岩類が露出しています。基盤岩類のき裂から古くから温泉が湧出していましたが、今ではボーリングされた孔井から、湯本温泉と同じ基盤岩類中の温泉が揚湯されています。泉質は単純温泉、あるいはアルカリ性単純温泉です。源泉数24、温度38.1~63.1℃、温泉量934ℓ/min、効能、リウマチ性疾患、運動器障害、神経まひ、神経症、疲労回復など。

歴 史

湯本温泉の発見：湯本温泉は天平10年(738)に釈淨定坊が発見したと伝えられています。七湯の枝折(沢田秀三郎釈注、1973)に収録されている「湯もとの記(北村季吟筆)」によると、温泉発見のい

写真18 塔之沢温泉玉の緒橋付近(昭和56年撮影)



きさつは次の通りです。

「（前略）聖武帝の天平八年に疱瘡のえやみ有て上下此わざわひにかかりけるにおほやけより泰澄に勅して十一面觀音の法を修せしめ玉へるに 五畿の内ハ既に其わざハひをまぬかるゝといへども猶人こゝろつくしの方と戸さゝぬ関の東には彼えやみ止ず行ハれしに 泰澄の神足 淨定 眠行者を西の国 淨定を吾妻の方にわかち遺して祓おさめしむるに 世の中のさハがしか止みぬ 天平十年に淨定此所に御社を立て白山權現を勧請し 十一面を効て又十一面の修法を行ひしに、此山のいはね忽に裂て温泉湧出 長く諸人の幾薬とハなりぬ……（後略）」

この「湯もとの記」は元禄2年（1689）に書かれています。「湯もとの記」に書かれた温泉湧出のいきさつは、「弘法大師の発見した温泉」などと同じ高僧貴人による発見伝説と考えるのが良いと思います。湯本温泉は、日本の歴史の暁鐘期、大化の革新も一段落して古事記や風土記の編纂がなされた頃から人々に利用されている古くからの温泉です。

塔之沢温泉の発見：天保12年（1841）に編纂を終えた新編相模國風土記稿によると、塔之沢温泉は慶長10年（1605）とか寛永7年（1630）に掘られたとか、あるいはすでに文明の頃（1469～1486）には温泉があったとか、いろいろの説があってどれが本当かわからないと次のように書いています。

「（前略）当初の温泉初て闢けし年歴、其説区々にして何れを是なりと知がたし、村内阿弥陀寺開山弾誓、慶長中秋山道伯と（元湯弥五兵衛の祖）謀りて、起立せしと云（塔峯に傳ふる元和二年二世念光の手帖に、慶長十年九月、光明仏為病者、順流山谷下、以杖突岩出温湯而興道伯）、又寛永七年小川知頼（湯戸一ノ湯沢右衛門の祖）熊野權現の靈夢を得、石川了江（湯戸石川屋助右衛門の祖）と謀り、温湯を闢きしと、村内淨福院藏、塔ノ沢由来記に見ゆ、又保善院傳統記（院は土肥宮上村にあり）に據ば、文明の頃はや此温泉ありし由見ゆ（後略）」

この記述で「温湯を闢きし」に着目すると、塔之沢温泉の開発は、次のように書きなおすことが出来るでしょう。すなわち、このあたりには、もともと岩石の割れ目から温泉が湧き出ていましたが、チョロチョロ出るだけで冷えてしまい温度は比較的低かったです。そこで、江戸時代のごく初期（1605～1630年）に湧出地付近が整備され、比較的温度の高い温泉が利用出来るようになったのです。

七湯の枝折における湯本、塔之沢温泉：文化8年（1811）に文窓、弄化によってあらわされた「七湯の

写真19 箱根七湯の枝折に描かれた湯本総湯の図



枝折」(沢田秀三郎訳注、1973)に、湯本温泉は「冷湯にして氣味なし」と記されています。塔之沢温泉は「温湯」です。「新編相模国風土記稿」でも湯本は「味淡して氣味薄く白湯の如し」と書かれています塔之沢と湯本とは、温泉に微妙な差が感じられたようです。湯本の湯宿は福住、小川の外は小宿といふよしとただし書きが付されています。塔之沢は元湯、一ノ湯、田村、藤屋の4軒すべて内湯を用いていました。

いました。

明治時代初期の湯本、塔之沢温泉： 明治19年(1886)に発行された日本鉱泉誌には温泉地の泉質、その化学分析結果、温度、位置景況、浴客数などが記載されています。

湯本 泉質 単純温泉 温度100度(37.8℃) 位置景況 (前略) 泉は城山の麓岩石の間より涌出する 湯戸二あり 浴室を設けて源泉を引く 之を福住の湯 小川の湯と称す 層楼川に臨み結構頗る壮麗なり 每戸湯槽各二を置く 別に一浴室を設け之を総湯と云う (後略)

浴客 明治十四年より十六年に至る平均一ヶ年凡二万千六百人

塔ノ沢——福住の湯、元湯、関口の湯、藤屋の湯、月の田村の湯、一の湯、乗湯、早野の湯、玉の湯(古ヘ玉緒滝の湯と云う)

泉質 塩類泉

福住湯 (分析表あり、省略) 固形分合計 0.5722g 温度 111度 (43.9℃)

元湯 (分析表あり、省略) 固形分合計 0.5726g 温度 同上

関口の湯 (分析表あり、省略) 固形分合計 0.5026g 温度 109度 (42.8℃)

藤屋の湯 温度 113度 (45.0℃)

月ノ田村の湯、一の湯、乗湯、早野の湯 温度共に未詳

玉の湯 温度 105度 (40.5℃)

○浴客 明治十四年より十六年に至る平均一ヶ年凡 一万八千六百七十七人

これらの溶存成分量は、現在の組合裏源泉(第50号泉)の成分量の約2倍です(平野ら、1976)。

湯本温泉は自然湧出する総湯(惣湯)だけでまかなわれていました。塔之沢にはすでに9源泉が開発されていました。

昭和2年温泉台帳の整理： 昭和2年頃初めて整理された温泉台帳——旧湯本町温泉台帳では、台帳整理がおこなわれる以前からあった源泉を「古来より存在す」、「規則施行前より存在す」と2通りに分けて記載しています。湯本温泉の「古来より存在す」る温泉は4源泉となっています。現在の第4、7、8、9号泉です。七湯の枝折にも書かれている総湯は第9号泉に相当しています。第4、7、8号泉は横穴湧出泉ですが、この内第8号泉は今では源泉の場所も不明です。日本鉱泉誌(1886)や佐藤伝蔵の報告書(1916)には、総湯(第9号泉)しか記されておりません。たぶん総湯付近には古くから温泉の滲み出しがありましたが、当時は総湯以外は源泉の形になっていたのでしょう。佐藤の調査以後、温泉の滲み出し口を目がけて横穴が掘られ源泉として整備されたものが第4、7、8号泉に

なったと考えられます。昭和5年(1930)当時のこれら3源泉の湧出量は $194\ell/\text{min}$ です。湯本温泉には「規則施行前より存在す」と記された源泉はありません。

塔之沢温泉で「古来より存在す」と書かれた源泉は10源泉です（第5,22,27,28,30,31,32,33,34,35号泉）。それに第24号泉が「規則施行前より存在す」と記されています。この頃は明治初期の9源泉から2源泉ふえて11源泉になりました。今ではこれら11源泉はすべて枯渇し、休止源泉になりました。

温泉の試掘や利用など、各種の許認可事項が温泉台帳に記載されはじめるのは、湯本の第3号泉の試掘許可からで、大正14年(1925)12月18日のことです。

昭和5年頃の温泉利用状況： 昭和5年(1930)までに、さらに9源泉増えました(図2)。昭和5年(1930)当時の源泉は、湯場や塔之沢を中心にして、すべて早川と須雲川の河岸にそって分布していました(図38)。昭和7年(1932)当時の、湯本、塔之沢地区の源泉数は26井で、その総温泉量は $1630\ell/\text{min}$ と算出できます。1源泉あたりの平均温泉量は $63\ell/\text{min}$ となります。

新たな源泉が出現するたびに、その程度に差はあるものの、多かれ少なかれ既存源泉の湧出量は影響を受けたに違いありません。温泉台帳が整備された頃の湯本や塔之沢温泉における源泉の利用法は大よそ次の3通りでした。一部で渦巻ポンプは利用されていましたが、その初期には直接孔井に吸引管を挿入することはませんでした。

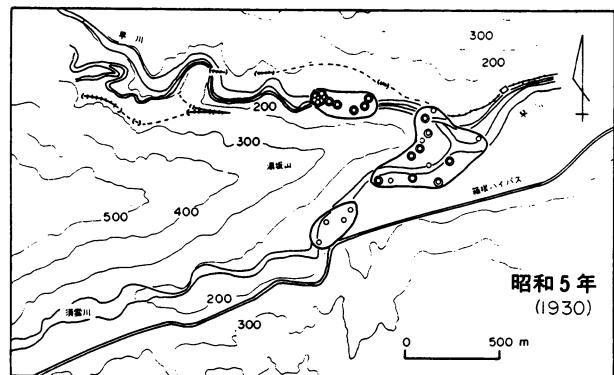


図38 湯本・塔之沢温泉の源泉地域の変遷
(昭和5年), (大山ら, 1973)

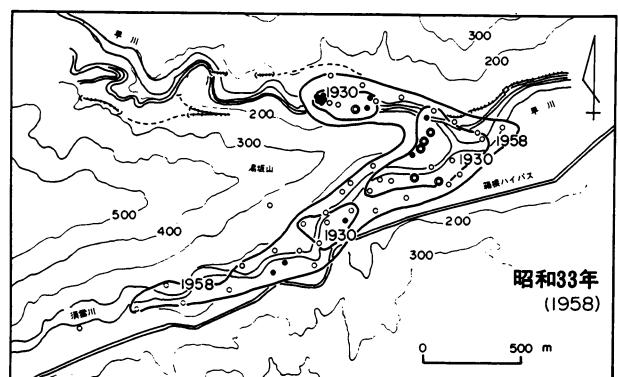


図39 湯本・塔之沢温泉の源泉地域の変遷
(昭和33年), (大山ら, 1973)

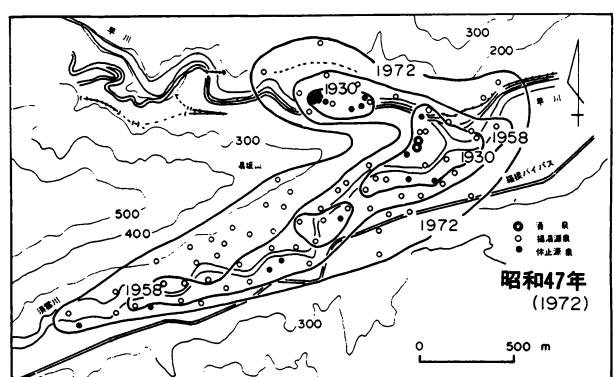


図40 湯本・塔之沢温泉の源泉地域の変遷
(昭和47年), (大山ら, 1973)

(Ⅰ) 温泉の湧出箇所を浴槽にする——第27号泉(現在休止源泉)は「湧出源泉に直接溜槽を設け之を浴槽代用とす」と書かれています。温泉の湧出箇所がそのまま浴槽になっていました。その大きさは横7尺8寸(2.36m), 縦4尺2寸(1.27m), 深さ3尺3寸(1.0m)でした。

(Ⅱ) 温泉を一旦留槽にためて利用箇所に引湯する——湧出場所から「源泉に直接木製溜槽を設けこれを木樋で引湯」していた第34, 35号泉、「鉄管で引湯」していた第4, 28, 30, 31, 32, 33号泉などがあります。これらは引湯に地形の高低差を利用し、動力は用いていませんでした。

(Ⅲ) 引湯に動力をを利用する——湧出する温泉を貯湯槽にため、それを渦巻ポンプで高所に揚げて自然流下で使用場所に引湯する方法は、昭和4年(1929)に使用許可となった第29号泉で行なわれました。

総湯(第9号泉)は古くからの湧出形態を今もとどめていますが、昭和5年当時から、いったん渦巻ポンプで高所に汲みあげて、自然流下で各使用場所に引湯していました。この方法は今でもひきつづき行なわれています。

湧出する温泉を一たん貯湯槽にため、渦巻ポンプで高所にあげて利用する方法は、この地域で温泉に動力を用いる原形でした。これは木樋や鉄管を用いて温泉の留槽から引湯する方法の発展として、しごく当然のことでしょう。ひとたび温泉に動力が使用されはじめれば、渦巻ポンプの吸引管を温泉孔井に直接挿入して温泉を揚湯しだすのは当然のなりゆきでした。

昭和8年渦巻ポンプによる孔井からの直接揚湯： 第1号泉は大正15年(1926)に掘さく許可になり、昭和3年(1928)に掘りあがりました。この源泉は掘さく当初自噴しましたが、しだいに自噴量は減少しました。台帳には次のように記載されています。「昭和6年(1931)検査施行に際し、自噴力僅少なるために $\frac{1}{2}$ 動力を装置し揚湯使用し居たる……」。また、昭和5年(1930)に掘さく許可を受け、昭和8年(1933)に使用許可となった第38号泉の場合は「……湯量は昭和8年6月21日使用出願に対する調査施行の結果を記入せるものなり但し自噴力なく前記使用方法——2吋鉄管を孔口に直接挿入し、これに吸揚唧筒を装置し、かつ1馬力以内の電動機1台を以て揚湯使用する——を以て揚湯せるものなり」と記されています。

渦巻ポンプにより直接孔井から温泉を揚湯する方法は、温泉孔井の自噴量の減少につれて昭和6年(1931)に無届で使用されだし、昭和8年(1933)に始めて許可になりました。湯本・塔之沢温泉は、こうして自然湧泉の時代から新たな動力泉の時代に移りました。

昭和14年、エアーリフトポンプのはしり： 温泉の水位が低下し、渦巻ポンプが使えなくなれば、次の揚湯手段はエアーリフトポンプの導入です。この装置は地下水位が深くても温泉を揚湯することができるので、水位が深くなる山の斜面にも孔井を掘ることが可能になります。

すでに昭和10年(1935)頃から湯河原温泉では、エアーリフトポンプが使用されはじめました。温泉沈積物が付着して揚湯装置をつまらせる湯河原温泉では、装置が簡単で井戸掃除が楽なエアーリフトポンプの使用は必然性があったのかもしれません。

湯本・塔之沢地域ではじめてエアーリフトポンプが使われるのは、第25号泉で昭和14年(1939)のことです。第25号泉は昭和8年(1933)に試掘許可となり、昭和10年(1935)6月に使用許可になりました。当初は孔井に2吋の鉄管を30尺(9.1m)挿入し、1馬力(0.75kw)の渦巻ポンプで揚湯していました。渦巻ポンプからエアーリフトポンプへの変更はごく簡単に「昭和14年3月12日付願既許可1馬力動力唧筒を2馬力エーコンプレッサーに変更使用の件許可」と記されています。この装置による昭和16年(1941)の揚湯量は毎分7斗($126\ell/\text{min}$)です。自然湧出泉の湧出量は1源泉あたり $50\ell/\text{min}$ ほどでした。昭和7年(1932)当時の平均温泉量は $63\ell/\text{min}$ ですから、エアーリフトポンプの使用は湯量を確保するいみでは有利だったのでしょう。しかし、戦前はこの地域におけるエアーリフトポンプの使用はまれで、その普及は温泉法施行(昭和23年)以後のことでした。

昭和23年、温泉法施行と温泉審議会： 昭和23年(1948)に温泉法が施行され、温泉行政は温泉審議会の答申にもとづいて展開されるようになりました。第一回の温泉審議会は昭和24年(1949)6月に開催されました。この審議会に提出された議案は17件で、湯本温泉の掘さく申請1、増くつ申請2、塔之沢温泉の掘さく申請2件が含まれています。神奈川県の温泉審議会は昭和55年(1980)12月18日で第196回を数えています。

昭和23年当時でも、この地域の一部の源泉は直接ポンプで揚湯せず、自噴する温泉を一たん貯湯槽にためてポンプで分湯していました。早川や須雲川ぞいの温泉の多くは主に渦巻ポンプで揚湯していましたが、それらもポンプの運転を止めれば孔口からなめるように温泉は自噴したのです。

湯本・塔之沢地区における温泉争奪戦は塔之沢温泉の第50号泉の掘さくによって開始されました。第50号泉は昭和24年(1949)に深さ300mの井孔が完成しました。温泉の揚湯試験は1.5kw電動機使用単筒空気圧縮機を用いるエアーリフトポンプで行なわれ、 $180\ell/\text{min}$ 揚湯されました。しかし、この試験中にこの孔井から400m離れた所に掘られていた湯本温泉の深さ227mの源泉(第45号泉)の自噴が停止してしまいました。第45号泉は、いつもは47℃の温泉が $27\ell/\text{min}$ 自噴していました。周囲の源泉を調べてみると、さらに4箇所の源泉の湧出量も低下していることが判りました。それぞれの源泉所有者は激しく対立して、温泉関係者はその解決に大変苦労したと云われています。自噴泉は水位が孔口よりもたったの1mmさがっても、自噴は停ってしまいます。新たな孔井にエアーリフトポンプが設置され、地下水位を大きく下げて揚湯したので、その影響が自噴泉に敏感にあらわれたのです。

結局、第50号泉にはエアーリフトポンプは許可されず、昭和26年(1951)4月に、0.75kw電動機使用の渦巻ポンプを設置して使用が許可されました。昭和26年10月25日の調査では、59.℃、 $180\ell/\text{min}$ の温泉が揚湯されており、孔井完成時にエアーリフトポンプで揚湯された量と違いがありませんでした。第50号泉の揚湯の影響が現われた各源泉にも、渦巻ポンプが設置され和解が成立しました。この出来事を契機にして、この地域の自噴泉の湧出量はしだいに減少しましたので、各源泉所有者は孔井に揚湯装置を設けて新しい事態に対応しました。しかし、この新しい事態に対するルールづくりがなされたわけではありませんでした。孔井に揚湯装置をもうけず、自噴量が減少するままにしておけば、

いつしか自噴も停止して、休止源泉となってしまいました。第13号泉はその代表的な例と云えましょう（図41 平野ら, 1974）。

昭和26年（1951）に一旦は0.75kw一渦巻ポンプが設置された第50号泉も、7年後の昭和33年（1958）には2.2kw電動機使用横型単筒5×5空気圧縮機を用いるエアーリフトポンプに変更されました。この装置許可時のエアー管の長さは36mでしたら、今では44mに延長されています。

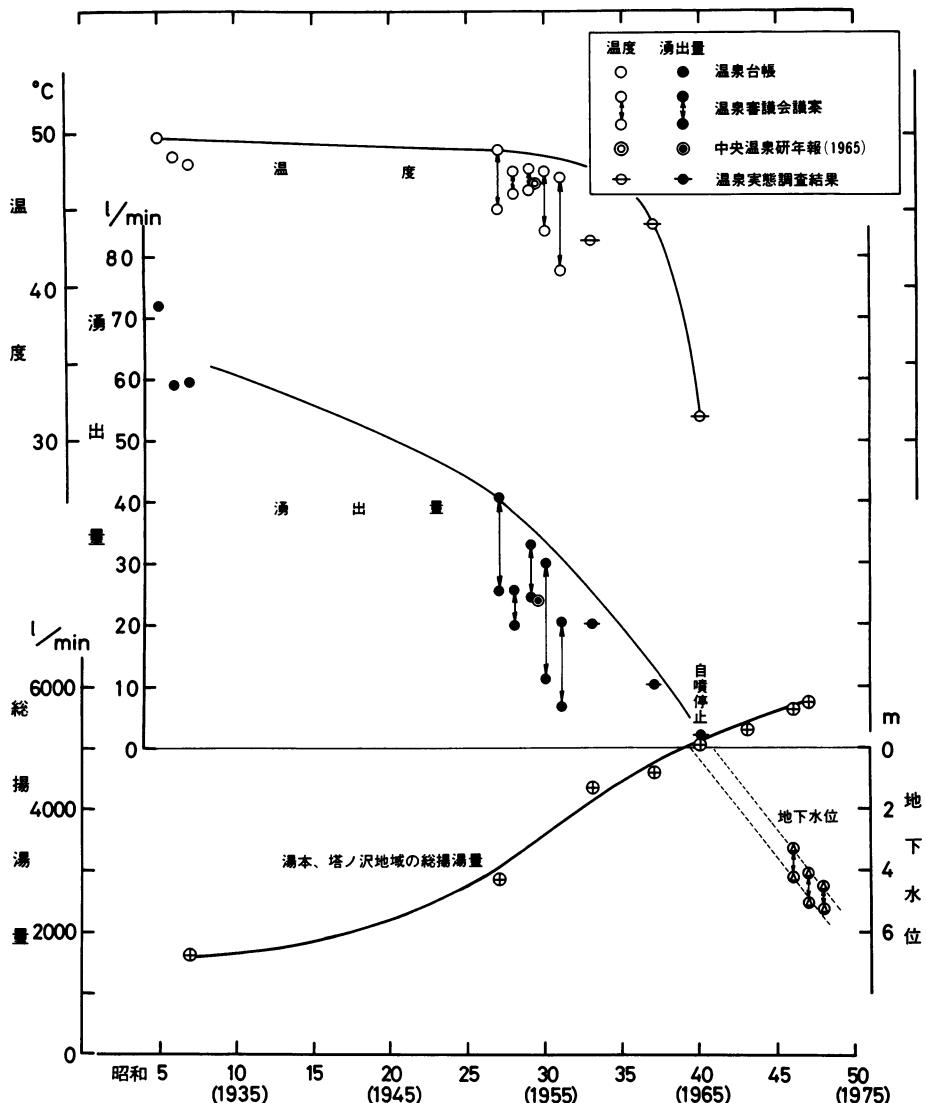


図41 きよ水源泉(湯本13号泉)の掘さくから枯渇までの経過
(平野ら 1974)

昭和25年以降の温泉掘さく——源泉数の増加——：湯本・塔之沢地区では、大太平洋戦争中にはほとんどおこなわれなかった温泉掘さくが、昭和25年（1950）頃から始まり、しだいに活発になっていきます（図2）。この地域の総源泉数は昭和33年（1958）には64源泉に増加しています。この頃まで、これらの源泉は依然として、早川や須雲川ぞいの河岸近くに掘られていました（図39）。昭和40年（1965）に77源泉、昭和47年（1972）に96源泉（図40）、昭和52年（1977）に103源泉となり、現在（昭和55年（1980）3月）は105源泉に増えました。昭和33年（1958）以降、年平均2源泉の割合で増加したことになります。なかでも、昭和40年（1965）～昭和43年（1968）の間は、年間3源泉以上も増えて、この時期は特に温泉開発が活発でした。戦後の湯本・塔之沢地区における温泉開発の特徴は、それが一時的な掘さくブームに終ったわけではなく、年々1～3源泉づつ増えつづけてきたことです。

現況

箱根温泉の温度や湧出量などは、主として小田原保健所温泉課の温泉実態調査などによって調べられています。昭和55年（1980）までに発表された資料によれば、湯本、塔之沢温泉の現況は以下の通りです。

源泉数：昭和55年（1980）3月現在、旧湯本町温泉台帳番号は第1号から第119号までです。この内

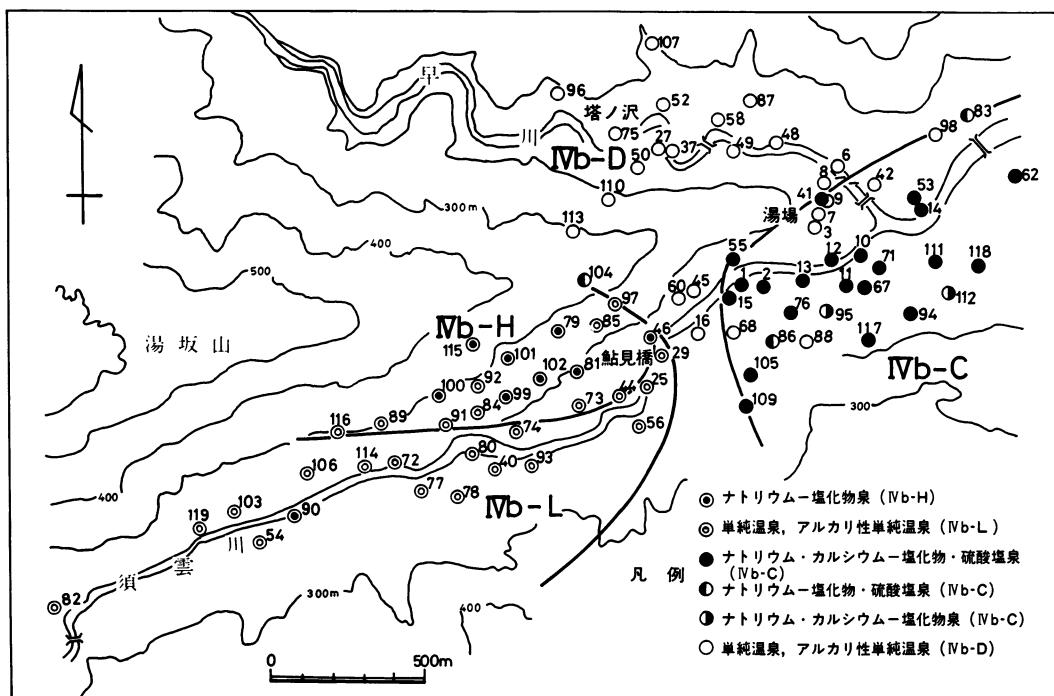


図42 湯本・塔之沢源泉分布図

欠番が14あって、実際の源泉数は105井です(図42)。

休止源泉： 神奈川県温泉保護対策要綱で、「休止源泉とは、温泉法施行後において5年以上温泉の採取を行なわなかったもの及びゆう出をみなかつた源泉をいう。ただし、係争期間を除く。」と休止源泉を解釈することになっています。この内「ただし、係争期間を除く」の項は昭和55年4月1日から改正された要綱に新たに加えされました。

実態調査によると、湯本、塔之沢地区の休止源泉は23源泉です。休止源泉の多くは自然湧泉です。新しい温泉井が次から次へ掘さくされると、古くから利用されていた湯場の湧泉や初期に掘られた浅い孔井の温泉は次第に枯渇しました。

孔井深度： 休止源泉をのぞく孔井深度を、温泉台帳番号順に描きました(図43)。一般に、古くからある源泉ほど孔井は浅く、新しく掘さくされた源泉ほど深い傾向が現われています。最も深く掘られた孔井は第108号泉(標高428m)と第119号泉(標高237m)で900mです。ついで第96号泉(標高188m)の845m、第102号泉(標高131m)、第113号泉(標高320m)の800mとなっています。海拔0mを基準にとると、海面下669mに達する第112号泉が最も深く、ついで第119号泉の663m、第96号泉の657m、第102号泉の581m、第109号泉の541m、第98号泉の523mの順になっています。

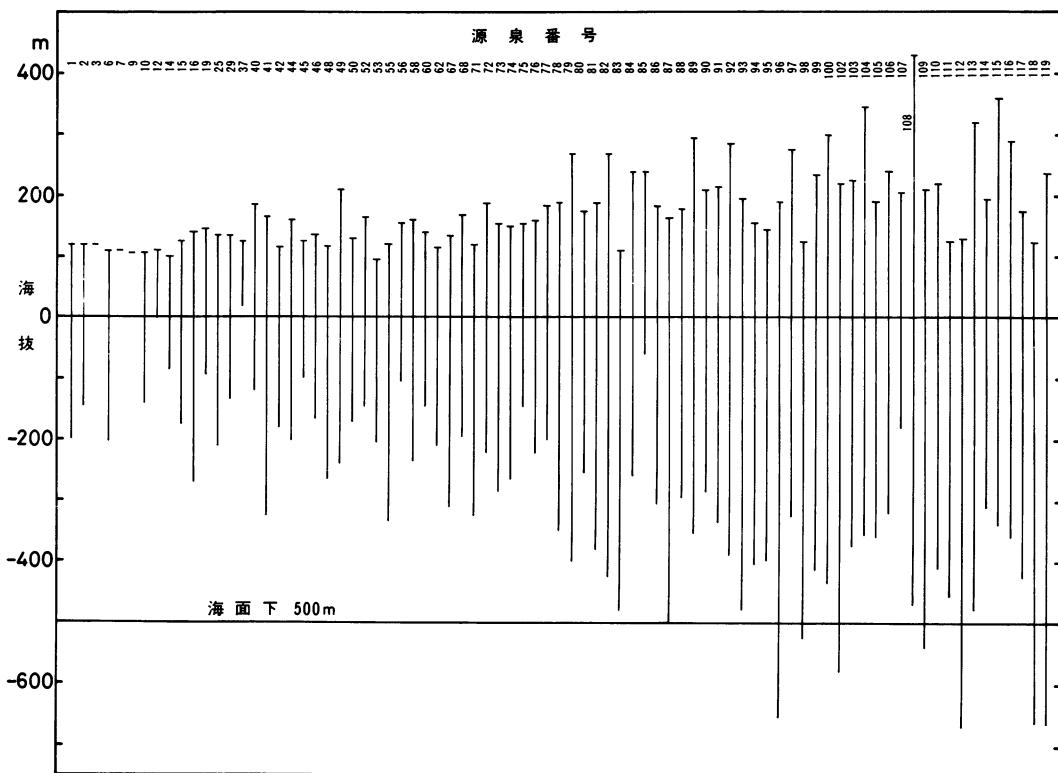


図43 源泉番号順に並べた孔井深度の比較

神奈川県温泉保護対策要綱では、既存源泉の増くつや新規掘さくは次のように取扱われていました。温泉保護地域の新規掘さくは認められず、既存源泉の増くつは付近既存源泉の口径、深度を勘案のうえ認めることになっていました。温泉準保護地域での新規掘さくは、原則として付近既存源泉の口径、深度以内とし、標高差を勘案することになっていました。しかし、たとえばこの地域で掘さく深度が最も深い第112号泉(海面下669m、湯本字仲町、温泉準保護地域)のように、付近既存源泉(第94号泉—海面下407m)の深度をはるかに越えて掘られた孔井も出来ています。

自然湧泉：湯坂山に幅約70~100cm、高さ約150cm、奥行57~99mの横穴を掘り、岩盤のき裂を通して自然に湧き出してくる温泉を集めて利用するものを横穴湧出泉(又は横穴湧泉)と呼んでいます。湯本温泉の湯場にかけては4源泉あった横穴湧泉の内、第3号泉と第7号泉が現在も湧出をつづけています。この地区には井口3.1m×2.3m、深さ約6mの大きな堅穴をほり、その中に湧き出してくる温泉を渦巻ポンプで揚湯している源泉があり、これを堅穴湧泉(第9号泉、総湯)とよんでいます。渦巻ポンプが使用されているので、自然湧泉に分類しない場合もありますが、湧出形態からみて湧泉とするのがよいでしょう。第3号泉(福住湧泉、横穴湧泉)の湧出温度と湧出量の経年変化を図44に示します。

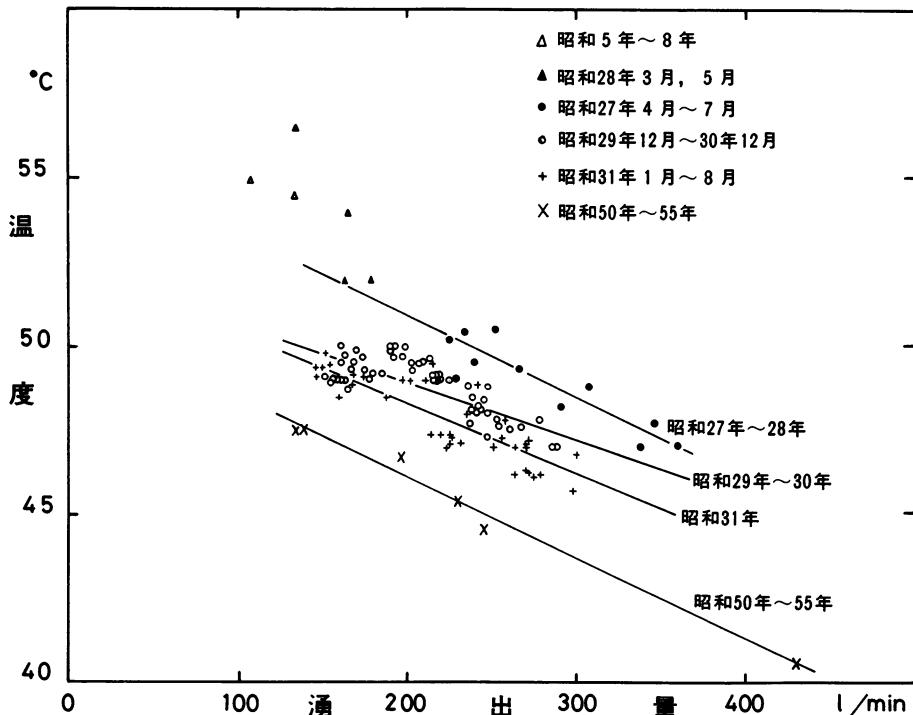


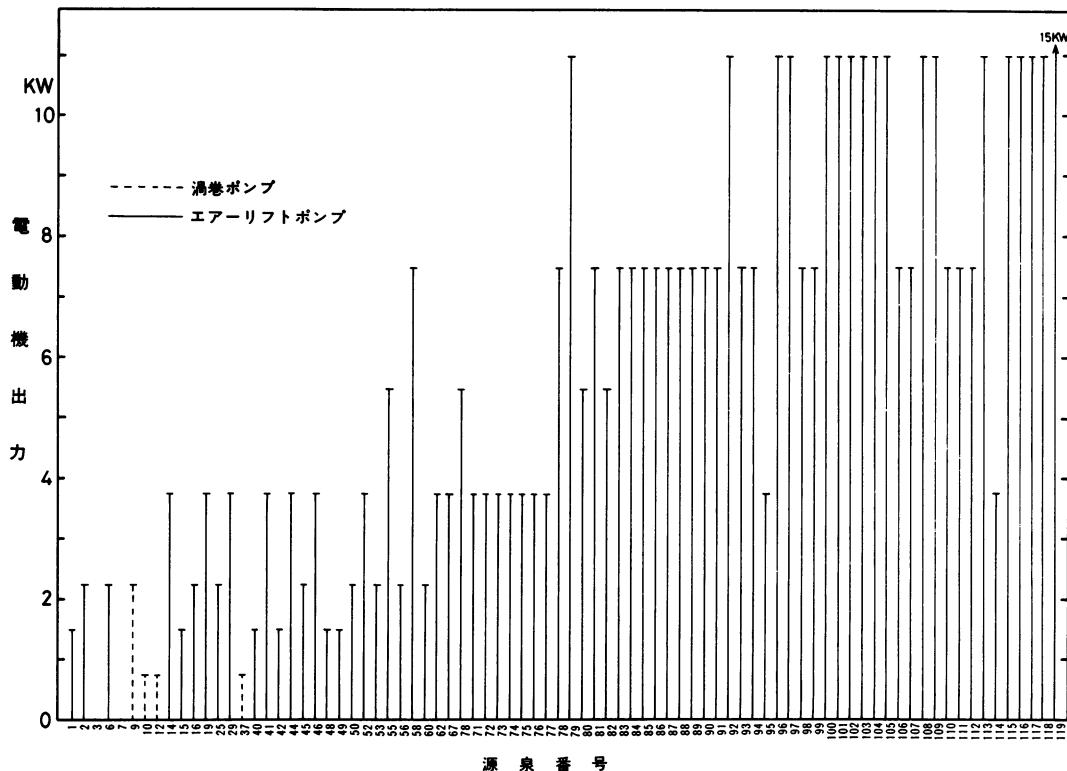
図44 福住湧泉(湯本3号泉)の温度と湧出量(平野ら 1980)

掘さく自噴泉： ボーリングマシンにより口径十数cmの孔井を掘さくすると、温泉が自噴したもの掘さく自噴泉とよびます。昭和27年(1952)当時の記録によると、湯本温泉にはすくなくとも4本の自噴泉がありました。それらは須雲川や早川に沿って分布し、温度は42~52°C、16~40ℓ/min自噴していました。当時の須雲川ぞいの源泉は、たとえ動力装置が設置されていても、それを稼動させなければ、それらの大部分の源泉は自噴しました。現在はかっての掘さく自噴泉にも渦巻ポンプが設置されたり、またあるものは自噴が止まって休止源泉となり、本地域にはもはや掘さく自噴泉は存在しません。

動力泉： 本地域の温泉は湯場地区の自然湧出泉を除けば、渦巻ポンプまたはエアーリフトポンプにより揚湯されています。現在渦巻ポンプにより揚湯されている源泉は須雲川ぞいの第10号泉、第12号泉と早川ぞいの第37号泉の3源泉になりました。

エアーリフトポンプには1.5kwの電動機を用いる小型の豊型空気圧縮機から、15kw電動機を用いる横型空気圧縮機まで使われています。電動機はこの他に2.2kw、3.7kw、5.5kw、7.5kw、11kwが使用されており、エアーリフトポンプは大よそ7段階に分けられます。掘さく年度の新しい源泉ほど強力な揚湯装置を設置している傾向があります(図45)。

温度： 昭和54年度(1979年)の源泉調査によれば、この地域の温泉の最高温度は第112号泉の77.3°Cで、最低温度は第74号泉の23.4°Cです。第74号泉は、昭和33年の調査時には43.5°Cの温泉が毎分102



ℓ 揚湯されていましたが、今では温泉法の規定温度(25℃以上)以下に温度が低下しています。

湧出量・揚湯量：採取する温泉量の最低は第108号泉の $12\ell/\text{min}$ (36.0℃)，ついで第96号泉の $20\ell/\text{min}$ (41.1℃)で、これらはエアーリフトポンプで揚湯されています。採取している温泉量の最高は第9号泉の $432\ell/\text{min}$ (39.9℃)で、これは豊穴湧泉です。

動力泉では、渦巻ポンプで揚湯している第37号泉が最高で $251\ell/\text{min}$ (63.1℃)です。エアーリフトポンプを用いた源泉では、第46号泉の $220\ell/\text{min}$ (60.5℃)が最も多く、ついで第29号泉 ($208\ell/\text{min}$, 49.7℃), 第50号泉 ($164\ell/\text{min}$, 43.6℃)の順になっています。源泉の完成が比較的あたらしい第112号泉の揚湯量は $146\ell/\text{min}$ (77.3℃)で、第50号泉に次ぐ量となっています。

総温泉量と温度：昭和33年 (1958)の温泉量は44源泉で、 $4358\ell/\text{min}$ でした。放熱量は $237.3 \times 10^3 \text{ kcal}/\text{min}$ (0℃基準)で、1源泉当たりの平均温泉量は $99\ell/\text{min}$ 、平均温度は54.4℃です。昭和54年 (1979年)の温泉量は77源泉で $5577\ell/\text{min}$ 、放熱量は $295.9 \times 10^3 \text{ kcal}/\text{min}$ (0℃基準)で、1源泉当たりの平均温泉量は $72\ell/\text{min}$ 、平均温度は53.1℃です。昭和36年頃から湯坂山の温泉掘さくがはじめられ、高温の塩化ナトリウム成分(NaCl)に富む温泉(IVb-H群)が採取されたにもかかわらず、温泉の平均温度は低下しています。

湧出機構

この地域の温泉は基盤岩類の割れ目から湧出しています。泉質分帯では木賀や堂ヶ島、宮ノ下の温泉と同じ塩化物重炭酸塩硫酸塩泉(第IV带、混合型)に分けていますが、基盤岩類中の温泉として第IV b 帯に分け、中央火口丘周辺の温泉と区別しています。中央火口丘の混合型温泉(第IV a 帯)と比べ、基盤岩類中の温泉は全般に温度が低く、pHは8~9でやや高めです。溶存成分量は少ないものが多く、K/Na比、Li/Na比やマグネシウムイオン(Mg^{2+})の含有量が低いのが特徴です。この地域の泉質の分布にも規則性が見られます(図42)。須雲川にかかる鮎見橋から湯坂山にかけて、この地域では温度が高く、塩化ナトリウム成分(食塩、NaCl)に富むナトリウム一塩化物泉(弱食塩泉、IV b - H群)が分布しています。下茶屋、仲町、旭町にかけて、この地域では溶存成分量が多く、ナトリウムイオン(Na^+)、カルシウムイオン(Ca^{2+})、塩素イオン(Cl^-)、それに硫酸イオン(SO_4^{2-})に富むナトリウム・カルシウム一塩化物・硫酸塩泉(含石膏弱食塩泉) (IV b - C群)などが分布しています。須雲川ぞいの温度低下の著しい温泉は、湯坂山の食塩成分に富む温泉が浅層地下水で希釈された泉質(IVb-L群)を示しています。湯場から塔之沢に分布する温泉は、化学成分比は下茶屋などの温泉と同じですが、浅層の地下水で希釈されていて化学成分量は減少(IVb-D群)しています。

小鷹ら(1972)は、この地域の地中温度構造を調べ、湯坂山の地下深部の割れ目から、高温の温泉が上昇し、鮎見橋から湯坂山にかけての高温部をつくっていることを見出しました(図46, 47)。

地中温度の高い所に塩化ナトリウム(食塩、NaCl)成分に富む温泉が分布しています。地域全体から見ると、等温線は西高東低で(図46)、湯坂山地下の深部から割れ目系に沿って上昇している塩化

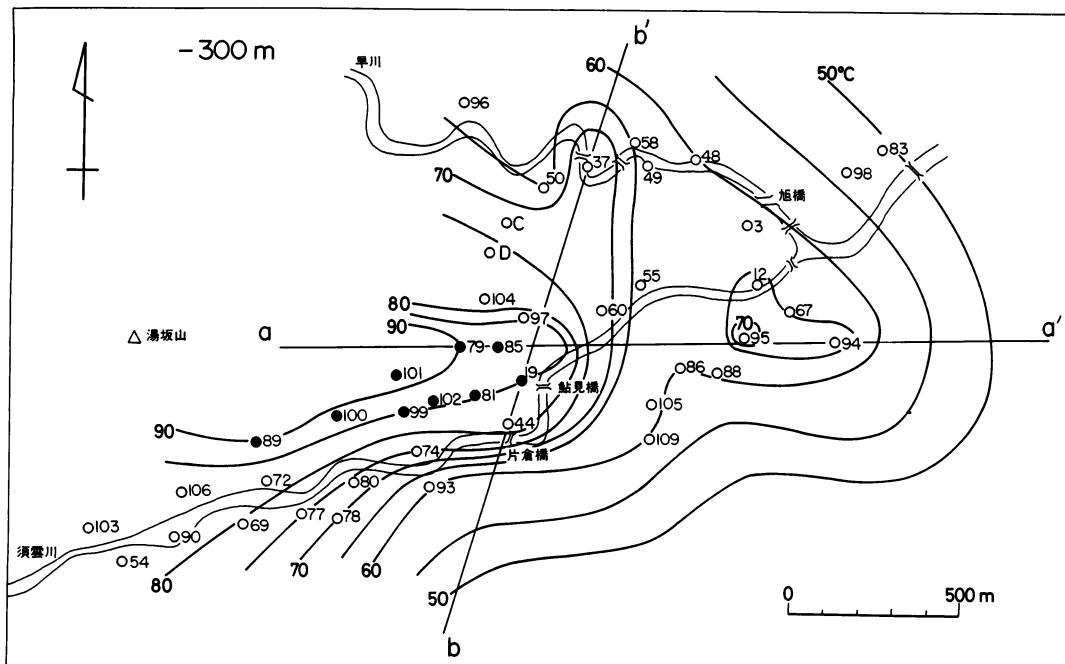


図46 湯本・塔之沢温泉地中温度分布図（小鷹ら 1972）

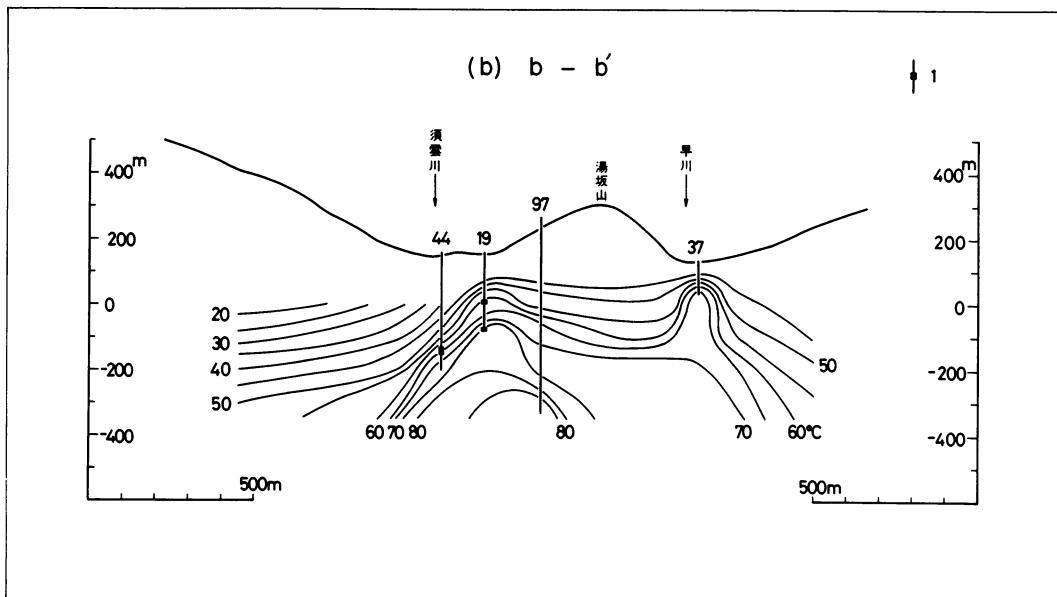


図47 湯本・塔之沢温泉地中温度断面図（小鷹ら 1972）

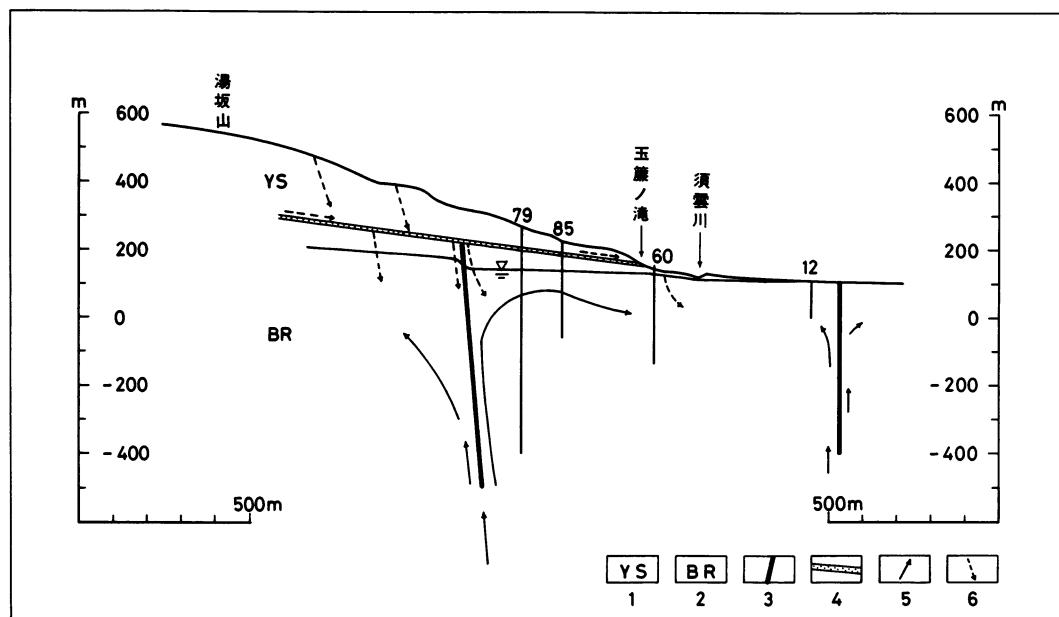


図48 湯本・塔之沢温泉湧出機構モデル（小鷹ら 1972）
1：新期外輪山溶岩、2：基盤岩類、3：断層、4：礫層（帶水層），
5：高温の温泉、6：地下水

ナトリウム成分に富む温泉は、新期外輪山溶岩の下にある礫層や河川から地下水の供給を受けながら東に流動し、温泉としての量を増やしていると考えられています（図48、小鷹ら、1972）。

10・2 大平台温泉

大平台温泉は、新期外輪山の浅間山の東麓にあり旧早川峡谷をうずめて湯本付近まで流下した神山泥流(CC₂)よりなる段丘状の平坦面の上に位置しています(久野, 1972)。塔之沢温泉と宮ノ下温泉のほぼ中間に位置し、国鉄小田原駅から約10km、箱根登山電車の大平台駅で下車します。温泉旅館は比較的小規模です。

この温泉場は昭和24~27年(1949~1952)にかけて行なわれた宮ノ下からの引湯によって生まれました。その後に大平台地区内に掘られた源泉からも温泉が採取されています。この付近は早川の谷が深く、「箱根八里」で歌われる千仞の谷はこのことかと思われます。今ではこの谷ぞいに数本の温泉孔井があります。その泉質は湯本、塔之沢地域と同じ基盤岩類中の温泉に属し、アルカリ性単純温泉、ナトリウム一塩化物泉(弱食塩泉)、ナトリウム一塩化物・硫酸塩泉(含芒硝弱食塩泉)です。源泉数6、温度50.5~63.2°C、温泉量462ℓ/min 効能、リウマチ性疾患、運動器障害、神経まひ、疲労回復、慢性湿疹など。

宮ノ下方面からの引湯は「姫の湯」共同浴場でも使われています。その泉質はナトリウム一塩化物泉(弱食塩泉)、温度68.2°C(大平台集湯タンク)、温泉量988ℓ/min、効能 リウマチ性疾患、運動器障害、創傷、慢性湿疹、更年期障害など。「姫の湯」と云う呼び名は、古くから大平台に湧出している「姫の水」湧水にちなんでつけられました。この湧水は天正18年(1590)、豊臣秀吉の小田原攻めのさい、中将姫の化粧水に使われたと云い伝えられています。

写真20 大平台温泉 (昭和54年撮影)



歴 史

「塔ノ沢より嶮岨を登る事一里半山にそひ岨をつたひて平らか成所に出る爰を大平台といふ人家凡二三十軒もありて酒ひさく家蕎のばす宿などありて万不自由ならず」これは七湯の枝折（文化8年、1811）に書かれた、当時の大平台のもようです。大平台の人々は昔から薪を売り炭をやいて生計をたてており、昭和25～26年（1950～51）頃までは箱根物産の挽物玩具や盆類の製造業もさかんでした（大平台温泉開発誌、1976）。

大平台組合温泉の掘さく： 大平台にはもともと自然湧出する温泉がなかったので、この集落の人々は大正時代以前から、なんとか温泉がでないものかと考えていました。昭和5年頃（1930）、現在の菱山荘付近に、初めて温泉試掘がなされたことがあります。つめたい水が出ただけで失敗に終りました。その後いくたびか温泉試掘がなされました。いずれも失敗し、「大平台には温泉は出ない」とあきらめる人が多かったと云うことです。この地区内ではじめて温泉採取に成功するのは、昭和38年（1963）のことです。このことについては、後ほどべましょう。

さて、昭和23年（1948）の初秋のことです。「大平台にも温泉がほしい」と云うここの人達の願いは「部落共有の温泉を掘ろう」と云う話に発展しました。大平台温泉開発誌（安藤正平、1976）に、これらの経過は詳しくのべられています。まず、大平台温泉組合が結成され、温泉掘さく地が大平台から2.3kmはなれた宮ノ下字蛇骨419番の6（現町制による）にきました。温泉掘さく申請は温泉法施行後まもない昭和24年（1949）3月に出され、温泉審議会をへて同年7月23日に試掘許可になりました。9月30日に掘さくが開始され、30日後の10月30日に深度が68mに達したところで温泉が噴きあげました。

温度は76°C、湧出量は1分間に約3石4斗（ $612\ell /min$ ）でした。その後、小田原保健所による約半年間の調査がつづけられ、昭和25年（1950）5月1日に、エアー管長9m（30尺）を挿入した1馬力（0.75kw）電動機使用空気圧縮機による揚湯が許可されました。当時の揚湯量は1分間に 432ℓ （2石4斗1分）でした。

大平台への引湯工事： 蛇骨から大平台まで約2.3kmの距離があります。温泉を登山電車の軌道に沿って大平台まで引湯する工事は昭和26年（1951）2月1日に着

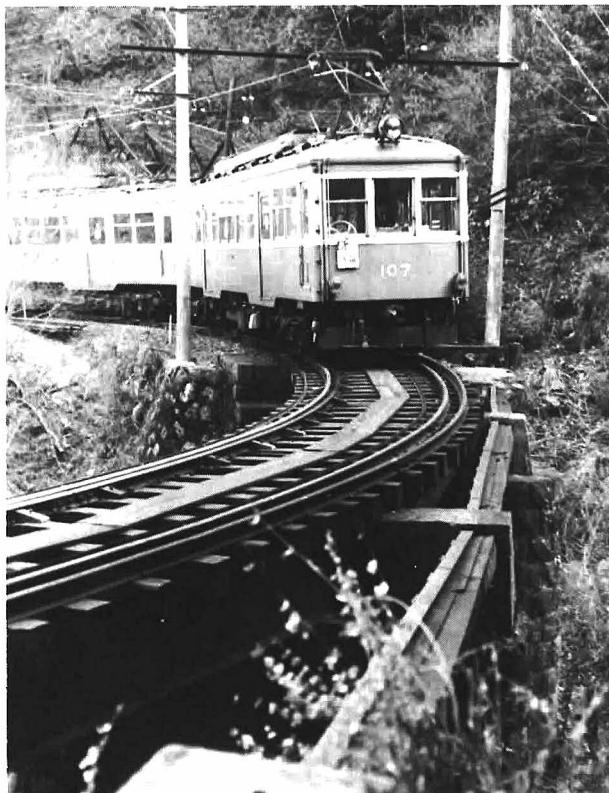


写真21 大平台に温泉を送る線路わきの送湯管
(昭和56年撮影)

手されました。工事は同年6月20日に完成し、あくる21日に送湯しました。温泉使用は昭和26年（1951）12月21日付で許可になりました。

大平台温泉の誕生：こうした組合員の努力で新たに大平台温泉が誕生しました。大平台への温泉送湯開始と前後して、県職員保養所大平荘が完成し、昭和26年（1951）7月5日に開所式がおこなわれました。これは大平台に建てられた引湯利用の保養所の第1号でした。その後、引湯を利用する施設が増すにつれて、小涌谷地区の温泉も大平台への送湯に加わりました。大平台温泉の旅館は28で、比較的こじんまりしたものが多く家庭的な雰囲気が喜ばれています。寮・保養所は14で総収容人員は約520人です。

大平台地区内の温泉掘さく：大平台地区内における本格的な温泉掘さくは、昭和37年（1962）にまず早川の川床で開始されました。この掘さくは、翌38年（1963）に深さ700mで温泉採取に成功しました。エアー管を302.5m挿入し、7.5kw電動機を用いた空気圧縮機による許可揚湯量は59℃の温泉を154.3ℓ/minでした（昭和39年（1964）4月23日）。この温泉掘さくの成功をかわきりに、昭和42年（1967）までにさらに5孔井が温泉掘さくに成功しました（図49）。昭和55年3月現在では、さらに1孔井が掘さくを終了していました。揚湯による周囲の既存源泉への影響が調べられ、この孔井は昭和55年（1980）7月11日付で使用許可になり、温泉村第134号泉として温泉台帳に登録されました。なお、塔之沢温泉にほど近い出山のえん提付近でも、現在温泉試掘がおこなわれています。

現況

大平台温泉の現況を、温泉組合の引湯の状況と、この地区内に掘さくされた温泉孔井の状況とに分けて述べます。

大平台組合温泉：宿泊施設の収容人員と温泉使用量は図50の通りです。組合温泉を利用した施設の使用量は比較的少ないのが特徴です。量にかぎりがある温泉を多くの組合員で分けあった結果だと考

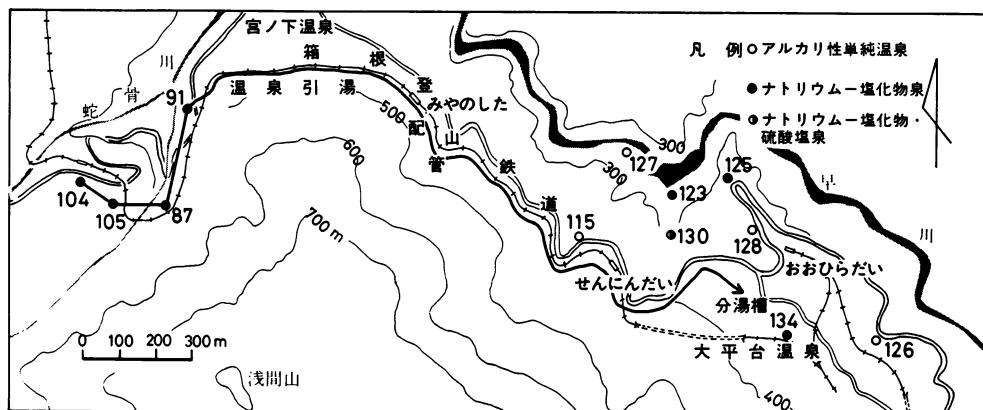


図49 大平台温泉の源泉分布図

えられます。これは温泉の有効利用がはかられていると見ることができます。このことは地区内の掘さく泉を利用した施設の温泉使用量と比較すると良く判ります。引湯利用の施設では収容人員1人当たりの温泉使用量は $0.3\sim0.5\ell/\text{min}$ ですが、地区内の温泉を用いた施設では収容人員1人当たりの使用量は $1.2\sim3\ell/\text{min}$ です。

当初、引湯は蛇骨に掘られた組合源泉(温泉村第91号泉)だけではじまりました。今では小涌谷地区の第87号泉、第104号泉、第105号泉、それに昭和55年(1980)からは宮ノ下地区の第115号泉が引湯に加わりました(図49)。混合泉の泉質はナトリウム—塩化物泉(弱食塩泉)です。温泉組合の温泉使用量は約 $980\ell/\text{min}$ になりました。

大平台地区の掘さく泉の現況： 大平台地区には7源泉が掘さくされ、基盤岩類中の温泉が揚湯されています。掘さく深度は $680\sim850\text{m}$ で、この地区的源泉は比較的深く掘られています。海拔 0m で比較すると、第130号泉の海面下 548m が最も深く、次いで第127号泉の海面下 535m の順になります。

昭和42年7月に掘さく終了した第130号泉の揚湯による影響調査が昭和43年に実施されました。第130号泉から約120mの距離にあった第123号泉に揚湯の影響が大きく出ました。初めは $80\ell/\text{min}$ で揚湯試験をした第130号泉の揚湯量は最後に $20\ell/\text{min}$ で使用許可となりました。大平台付近の基盤岩類には温泉の流動する割れ目が乏しく、その後に掘さくされた孔井でも、揚湯による既存源泉への影響が強く現れています。大平台地区の温泉水位の低下は年間 $1\sim5\text{m}$ で、箱根で最も水位低下の大きい所となっています。

昭和54年度(1979)の調査時は6源泉で $462\ell/\text{min}$ の温泉が揚湯されています(表1)。この地区的温泉は昭和41年(1966)から実態調査がおこなわれています。当初、1源泉あたりの平均揚湯量は $110\ell/\text{min}$ です。

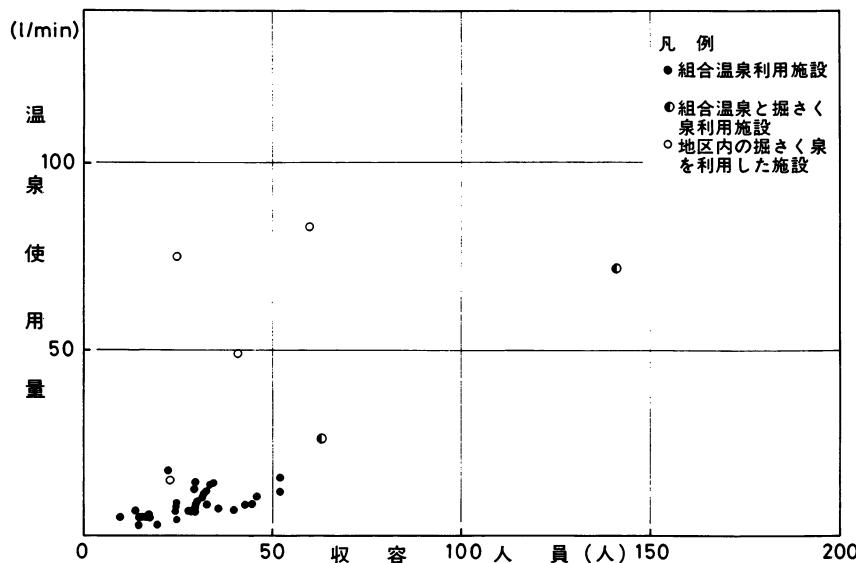


図50
大平台温泉における
温泉利用状況

minでした（表1）。年々1源泉あたりの平均揚湯量は減少しつづけて、昭和54年(1979)は77ℓ/minになりました。この間に、第123号泉は減少した揚湯量を回復する為に動力装置のエアーパイプが55mも延ばされました、希望どおりに湯量は回復しませんでした。

孔内の状況

大平台地区の温泉孔井は新期外輪山の崖錐を貫ぬいて、箱根火山の基盤の早川凝灰角礫岩層に掘さくされています。この地区で最も新しい134号泉（深さ815m）の孔内検層によれば、温泉の割れ目は大まかに2つありました。上部の割れ目は地表から290~387mにあり、その温度は44~50°C、下部の割れ目は635~675mで温度は73°Cです。上部と下部の割れ目の温泉の温度が著しく違うので、水止めをどこで行うかは大変重要です。第134号泉は、はじめ上部と下部の両方の割れ目の温泉を採取しました。温度40°Cの温泉が揚がりました。440mで水止めをして上部の割れ目の温泉を止めて、下部の割れ目の温泉を揚げると59.8°Cになりました。しかし揚湯量は113ℓ/minから87ℓ/minに減少しました。揚湯による水位低下は前者が29m、後者が82mでした。泉質も著しく異なっています（表17）。大平台地区では、下部の割れ目の温泉を揚湯するように孔井が仕上げられています。下部の割れ目の温泉は湯本、

表17 温泉村134号泉(大平台)の泉質分析表
(分析値 ppm)

	1	2
採水日	昭和53年5月27日	昭和53年7月21日
掘さく深度(m)	815.	815.
揚湯量(ℓ/min)	113.	87.
温度(°C)	40.0	59.8
pH	9.3	8.6
蒸発残留物(ppm)	280.7	1109.
K ⁺	0.67	3.27
Na ⁺	61.1	332.
Ca ²⁺	2.53	61.6
Mg ²⁺	0.25	0.07
Cl ⁻	50.7	480.
SO ₄ ²⁻	0.62	141.7
HCO ₃ ⁻	49.3	35.9
CO ₃ ²⁻	7.51	0.84
OH ⁻	0.34	
HSiO ₃ ⁻	32.9	
H ₂ SiO ₃	82.8	76.3
備考	アルカリ性単純温泉 〔上部、下部両方〕 の割れ目の温泉 を揚湯したとき	ナトリウム一塩化物泉 〔下部の割れ目の 温泉だけを揚湯 したとき〕

分析者 平野 富雄

塔之沢地区と同じ基盤岩類中の温泉です（平野ら、1972）。孔井の透水量係数は 3.35×10^{-5} ~ $5.75 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{sec}$ で小さく、一般に揚湯により水位は大きく低下します（小鷹ら、1972）。昭和38年(1963)~昭和42年(1967)の間に掘られた6源泉の泉質変化を追跡してみると、泉質にほとんど変化を生じない孔井（第123、126、127、128、130号泉）と、徐々に溶存成分量が減少し、Cl/SO₄比が小さくなつて冷地下水型に移っている孔井（第125号泉）とがありました。泉質変化のない孔井の水位低下は1~5m/年で、泉質変化のある孔井に比べ著しいことも判明しています。

10・3 堂ヶ島温泉

堂ヶ島温泉は小田原駅から箱根方面行きバスで宮ノ下駅前(30分)、または箱根登山鉄道で宮ノ下駅(40分)に下車し、旅館大和屋ホテルへはロープウェーに、対星館へはケーブルカーに乗り込みます。眼下に早川の深い渓谷を見ながら谷底へと下ります。堂ヶ島にたたずむと、さながら人界を離れた深山幽谷の地にいる思いがします。

泉質 単純温泉、ナトリウム一塩化物泉（弱食塩泉）およびナトリウム一塩化物・硫酸塩泉（含芒硝弱食塩泉）、源泉数 8、温度 56.1～80.7°C、温泉量 594ℓ/min、効能 リウマチ性疾患、創傷、更年期障害、動脈硬化症など。

歴史

堂ヶ島温泉は夢想国師（1275—1351）が開いたと伝えられ、草庵跡が今も残っています。臨済宗の黄金時代を築いた国師は後醍醐天皇や足利尊氏にも篤信をうけ、仏教史上のみならず政治、文化史上にも幾多の成果と大きな影響を残しました。国師は世俗的多忙と名声を逃れるためにしばしば山中にこもり、修業したそうです。禪僧である国師が水墨画に描かれそうなこの地に寓居したのもうなづけます。

堂ヶ島の由来は定かではありませんが、『早川に三方を遡り其さま少しく島のかたちをなせり』（七湯の枝折）との光景によるものでしょう。

写真22 明治末頃の堂ヶ島温泉（嶋 有義氏提供）



江戸後期、堂ヶ島には『大滝小滝穴の湯杯とてさまざまの名湯あり、大滝ハ少しあつく小滝ハさほどにもなし就中穴の湯といふハ……岩穴にて其間より温泉涌出るなり』(前掲)と書かれた温泉があり皮膚病、脚気、中風、痔、喘息、打撲症、痛風、等に効能があると伝えられ、湯宿は奈良屋、大和屋、近江屋、丸屋、江戸屋の五軒が営なまれていました。

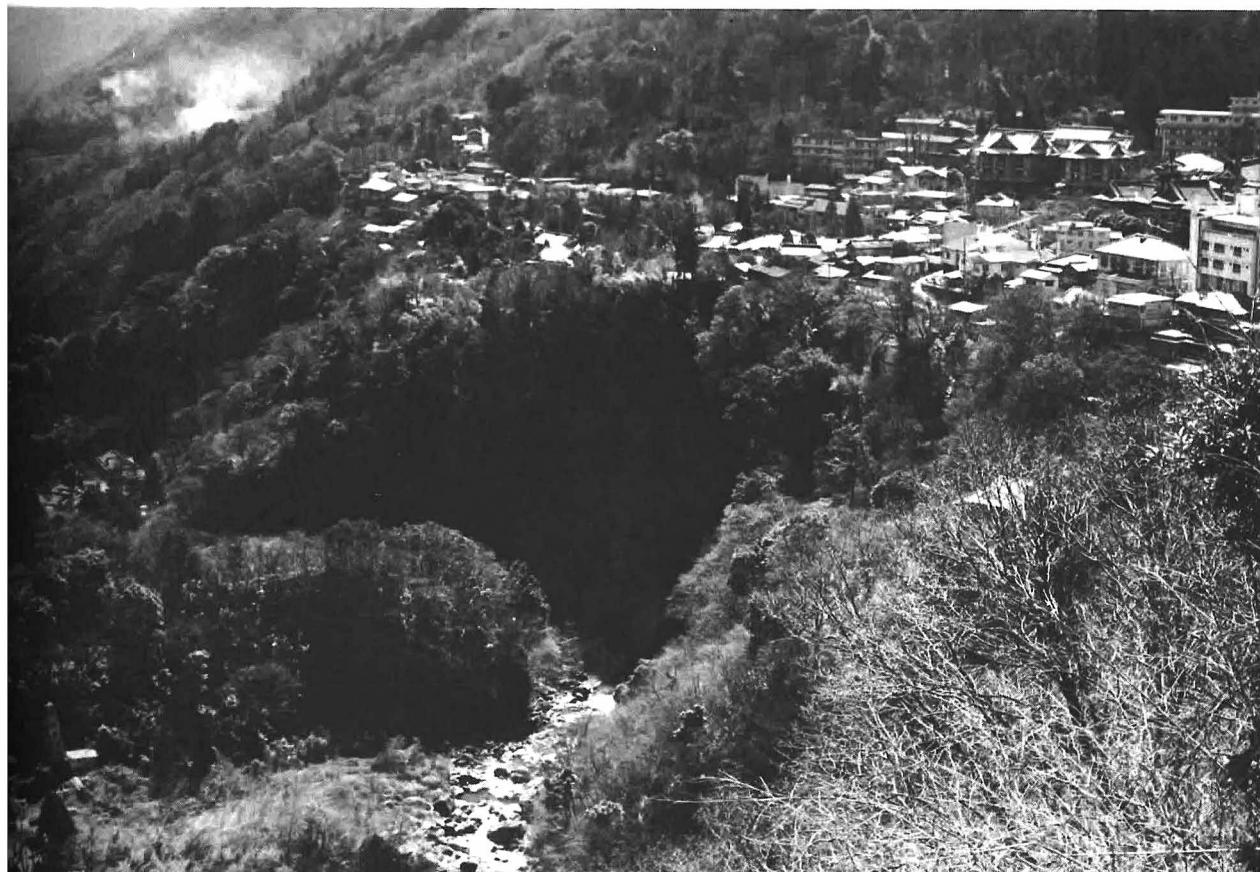
古くから行なわれている日本の湯治に「打たせ湯」があります。湯治の効能を促進するために湯滝に打たれる方法です。大滝、小滝の湯は打たせ湯として利用していました。

明治時代になると大滝、小滝の名はなく、かわりに神仙湯、夢想湯がみられます。(箱根鉱泉誌、1888)。これは江戸後期から温泉に病気治療と共に各地の名所旧蹟を訪ね、入湯を楽しむ目的も加わってきたことに関係しているかも知れません。

明治元年(1868)幕府方遊撃隊は官軍側についた小田原藩と戦火を交えて敗れ、箱根宿を経て熱海から海上に脱出しました。一方、七湯筋に逃げた一団は追いつめられ、堂ヶ島で戦死しました。この戦で湯本茶屋村、箱根宿は大半が焼失し、湯本村、畠宿、七湯筋の村々も大きな被害をうけました(岩崎、1979)。

世の中が落ち着きを取り戻した明治15年頃の堂ヶ島の湯客は年間1万人、湯宿が近江屋、大和屋、江戸

写真23 早川渓谷に沿う宮ノ下温泉(写真右側上部)と堂ヶ島温泉(写真左側中央部)。
写真左側下部に県観側井掘さく中の試錐櫓がみえる(昭和47年撮影)



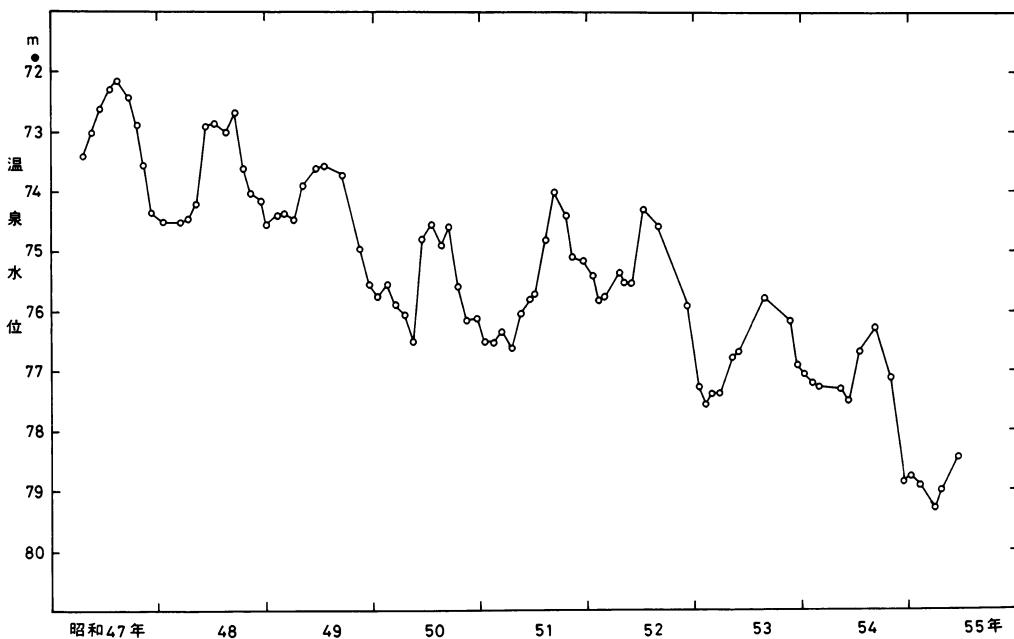


図51 県観測井(川久保発電所付近)水位の経年変化(小鷹 1980)

屋の3軒と平松甚四郎の別荘が1軒です。現在(昭和54年、1979)は大和屋ホテルと対星館の2軒が年間3万6千人の湯客を迎えています。堂ヶ島に下る険しい道も今ではケーブルカー(昭和5年竣工)やロープウェイで簡単に往来できます。

源泉は古来より存在する3湧泉と、昭和27年(1952)から昭和39年(1964)にかけて掘削した深度364~800mの4本の動力揚湯泉です。湧出量は湧泉が $151\ell/\text{min}$ 、揚湯泉が $443\ell/\text{min}$ です(表1)。湧泉と温泉村98、112、113号泉は底倉や宮ノ下の温泉と同じ、中央火口丘溶岩類の基底部に胚胎する弱食塩泉ですが、温泉村102号泉は基盤岩類中の割れ目に胚胎する温泉です。

この付近には箱根の基盤である湯ヶ島層群(グリーンタフ)が露出しており、地質学的にも興味をそそります。源泉はすべて早川の右岸に分布し、左岸には存在しません。昭和46年(1971)に県温泉地学研究所は左岸で深度300mの地質調査の試掘を行ないました。その結果、左岸の箱根外輪山側には中央火口丘型の温泉ではなく、基盤岩類の温泉が存在していることがわかりました。この井戸は現在観測井となっています(小鷹ら、1972)。

図51は県観測井の水位変化です。水位は季節的変化をしながら、年々低下しています。水位低下は基盤岩類中の温泉の過剰揚湯が直接に作用していますが、中央火口丘周辺の温泉の枯渇(水位低下)も間接的に影響しているものと思われます(小鷹ら、1980)。

温泉源を保護し、温泉を有效地に利用するには温泉の水收支を考慮することが増々必要になっていきます。(以下次号)