

れた。毎年の調査結果は温泉審議会等に報告し、温泉資源保護行政の推進に役立てることとした。

4 箱根火山噴気地帯の放熱量

4・1 噴気地帯の放熱量調査

中央火口丘神山の山腹には、大涌谷、早雲山、硫黄山の噴気地帯がある。噴気地帯の自然放熱量調査は、国立防災科学技術センター（現在の防災科学技術研究所）が1963（昭和38）年～1965（昭和40）年に温泉地回り調査の一環として行っていた。温泉研究所も箱根火山の全放熱量の試算を契機にして噴気地域の調査を始めた。1970（昭和45）年から、大山らは1 m深度の温度を測定して噴気地帯の地温分布を作成し、放熱量を求めた。大涌谷での調査は、1975（昭和50）年から大涌谷―神山登山道にまで拡大した噴気活動の調査（広田ら、1977）を経て、1980（昭和55）年から小田原土木事務所による大涌谷地回り調査の一環として継続している。1953（昭和28）年に地回りを起こした早雲山噴気地帯での熱量調査は1970（昭和45）年と1980（昭和50）年に行った（写真2・1・19）。馬蹄形の底に分布する早雲山噴気地帯では、オーバーハンクしている崖に近づく、落石が起きるのではないかと冷や冷やしながら調査が行われた。硫黄山での調査は1972（昭和47）年に、次いで、1979（昭和54）年に廃熱の有効利用研究の一環として工業試験所と共同で行った。



写真2・1・19 箱根早雲山噴気地帯調査（1980年）、1953（昭和28）年の温泉地回り発生付近



写真 2・1・20 箱根大涌谷噴気地帯と温泉造成塔（火山性蒸気と地下水などの混合装置）

各噴気地帯とその周辺では、火山性蒸気に冷地下水を混入して温泉を造成している。造成温泉は箱根の総温泉量 $26.8\text{m}^3/\text{min}$ の22.4% ($6.0\text{m}^3/\text{min}$)を占め、主に温泉の湧出しなかった強羅、仙石原、湖尻の地域に供給されている。

温泉造成は、当初、噴気（地熱）地帯への散水して集水する方法が行われていたが、1960（昭和35）年頃から蒸気井の噴出熱量を利用するようになった（写真2・1・20）。散水法は地盤を温泉余土（粘土）化して地じりを促進するため、大木靖衛所長の指導によって1975（昭和50）年以降行われなくなった。蒸気井は多量で、安定した蒸気を得るために次第に深度を増し、深度200～1,000mまで掘削されるようになった。この結果、温度が 150°C 、噴出速度が $200\text{m}/\text{sec}$ を越す蒸気が轟音をたてて噴出する蒸気井も現れた。優秀な蒸気井は一本で温泉井20～30本に相当する熱量をもたらしている。しかし、このような蒸気井の熱量を測定する場合、噴出速度を測定するステンレス製のピトー管をも曲げてしまう風圧があるので、調査は腕力と十分な注意を必要としている。また、金属音を発し、調査が終わって2日くらいは聴力がおかしくなることもあった（写真2・1・21、22）。

噴気地帯での放熱量は自然噴気と蒸気井からの調査から $1.4\sim 1.9\times 10^7\text{cal}/\text{sec}$ と見積もられた。

4・2 蒸気井掘削等の取扱要領



写真 2・1・21 火山性蒸気エネルギー測定 (湯の花沢)、温度140.2℃、熱量760kcal/sec (1989年10月)



写真 2・1・22 火山性蒸気採取 (1989年10月)

箱根における蒸気井は温泉掘削の延長上にあり、構造は温泉井と同じになっているため、高温高圧の火山性水蒸気の噴出を制御できず様々な事故を起こすこととなった。例えば、小涌谷では、蒸気井がコンクリート等で固定をしていなかったため、密閉圧を測定しようとしてバルブを閉めたところケーシングパイプが飛び出したりした。湯の花沢や姥子では、蒸気井のケーシングが酸性の地下水に侵されて暴噴し、周辺の植生を枯らしたりして環境破壊をもたらした。また、孔壁から漏れた蒸気は周辺の亀裂を通して地表に噴出するようになり、周辺に噴気地帯を作ったりもした（写真2・1・23）。噴気地帯では、一般に浅い所に酸性の地下水が存在し、孔壁保護管を腐食し、暴噴や地下水の侵入による孔内の冷却が生じやすい。

蒸気井は莫大な熱量を噴出するが、蒸気噴出が制御できなくなると自然環境の破壊ばかりでなく、防災上にも危険な存在物になる。そこで、火山性蒸気を利用するためのルールがつけられた。これが、1987（昭和62）年10月1日から施行された『蒸気井掘削等の取扱要領』である。

主な内容は：

1：これまでの要綱は蒸気噴出地域（箱根大涌谷、早雲山、硫黄山）の蒸気利用についての規定しかないが、取扱い要領では地熱微候地域と蒸気・温泉混在地域の2区域を指定した。蒸気・温泉混在地域については温泉同様の距離制限、蒸気量の制限をもうけた。

2：蒸気の暴噴を防ぐために、蒸気井は孔内にセメントを圧入してセメントで孔壁を補強し、さらに



写真2・1・23 箱根湯の花沢、蒸気井の蒸気漏れで周辺噴気地化し、自然環境破壊（1980年）

浅い酸性地下水から井孔を守るために周辺にグラウトを行う事を定めた。これまでの温泉の井孔構造と異なる蒸気井構造にすることである。

3：蒸気井については蒸気噴出の寿命や井孔構造上、増掘が難しいため、温泉では認めていない代替え掘削を認めることにした。また、複数の既存蒸気井の廃止、休止を条件にこれらに代える蒸気井（統合蒸気井）の掘削を認めることとした。

4：蒸気噴出による付近の植生、建物等にたいする安全対策を細部にわたり明確に整備した。

5：蒸気量を年1回以上測定、蒸気利用の状況と利用水源の状況等の記録を整備し、必要に応じて保健所長に報告させることとした。

代替え掘削の第1号が姥子に位置する元箱根第24号蒸気井（深度200m）から出された。本蒸気井は1989（昭和元）年10月29日に急に噴出を停止した。水位が上昇していることから、蒸気の噴出停止の原因は孔内への浅層地下水の流入によるものと考えられた。

4・3 箱根温泉蒸気井管理協議会

蒸気井取扱要領は蒸気の自主管理も目的としている。蒸気井取扱要領の説明や蒸気量測定の講習会が1987（昭和62）年3月23日から1988（昭和63）年2月18日の間に5回開催された。この内、4回が小田原保健所で、1回が箱根小涌園の蒸気井を利用しての蒸気量測定実技研修会である。この時に初めて蒸気井所有の6関係者が一堂に会する機会となった。説明会の過程で蒸気井所有者の協議会が話題となった。箱根温泉蒸気井管理協議会は小田原保健所の川上伍良温泉課長の熱心な努力もあって1988（昭和63）年4月21日に発足した。会長には箱根温泉供給株式会社の辻内和七郎氏が選ばれた。事務局は小田原保健所温泉課に置かれた。

5 温泉地における地下水採取と建設工事

5・1 水井戸掘さくに関する衛生部長通知

火山体は、一般に山腹で水をえるのが困難であるが、山麓には地下水が豊富に湧出している。箱根ではこれらの湧水が飲用・雑用として古くから利用されている。

1957（昭和32）年頃まで、箱根での飲用・雑用水は湧水を主としていた。湧出量の多い湧水は古くからの施設によってすでに利用されているので、新しい施設は水源として、井戸を掘さくして動力で地下水を揚水しなければならなかった。

温泉の掘さくと利用については温泉法によって規定されている。しかし、箱根や湯河原でも温泉以外の地下水利用については何の制約もなく、自由に開発する事ができる。このため、温泉地で掘さくされる水井戸が温泉に影響を与えるのではないかと危惧された。小田原保健所長は、1958（昭和33）

年1月22日付で衛生部長に「箱根、湯河原地区の如き明らかに地下に泉源の存在が思料される地帯で、動力を使用して地下水を採取する目的で井孔を掘さくする場合の取扱上温泉保護と地区住民の使用水による生活上の問題について疑義を生じたので指示を賜りたい。——」という内容の『温泉地に於ける井孔掘さくについて』（33小保第190号）の照会を行った。同年10月22日に衛生部長は回答を出している。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さくを行おうとする者は必ず保健所へ届け出ること。……本工事（井水掘さく）により既存温泉の湧出量、温度または成分に著しい影響を及ぼす場合に当たっては、温泉法第11条の規定により土地の掘さくを制限する」ので関係者に周知することを通知している。しかし、その後、上記の通知は適用すべき対策を立てることもなく、有名無実の状態となっている。

5・2 地下水利用の実態調査（1981～1984年）

温泉の涸渇化現象は温泉の過剰採取が直接の原因であるが、温泉の涵養源である浅層地下水の利用も関係していると考えられる。そこで、井上俊雄環境衛生課長の時に温泉地における地下水利用の実態調査が計画され、1981（昭和56）年から4年間で湯河原、箱根、中川、鶴巻の各温泉地において水井戸、湧水、河川水などの水文環境調査が行われた。この調査は温泉地学研究所、県衛生部環境衛生課、



写真2・1・24 湯河原地下水調査班（湯河原町役場にて、1982年3月）温泉地学研究所（大山、平野、粟屋）、小田原保健所温泉課（浜野課長、広田、久保寺、迫）、県衛生部環境衛生課（窪田副技幹、杉村）、湯河原町役場温泉課（井上課長、高橋）、衛生課（土屋）

小田原、足柄上、秦野の各保健所、湯河原町、箱根町、山北町、秦野市の各役所が共同して行った。

5・2・1 湯河原地域（1981年）

温泉を除く水源の利用状況はまず、自治会の組織を通してアンケート調査を行い、次いで役場職員とチームを組んで現場を回った（写真2・1・24）。調査した水源は、水井戸が224箇所、湧水源が49箇所、河川水源が7箇所の計280箇所である。調査項目は水源の構造、温度、水量等である。この他に河川流量（写真2・1・25）と降水量の調査を加えた。アンケート調査は7月中に、現地調査は8月から2月にかけて行われた。現地調査に行くと、たいてい水自慢の話聞かされ、1日の調査が終わる頃には飲んだ水でお腹がガボガボしていた。

湯河原カルデラ内での水源は藤木川と千歳川合流点（落合橋）の上流と下流とに分けることができる。落合橋より上流は谷が深くなり、河床に基盤岩が露出している。このため、狭い谷間の僅かな平地に立錐する温泉旅館等は飲用水、雑用水に裏山や1～2 km離れた地点の湧水や沢水を利用している。落合橋より下流は沖積地となることもあって、水源のほとんどが水井戸である。

温泉場の旅館は裏に迫る山腹の湧水を大瓶に貯めたり（写真2・1・26）、横穴隧道を10数m掘さくして集水している。湧水量は20～40 l/min程度である。湧水の温度は17～21℃あり、カルデラ周辺の湧水よりも2～3℃高い。湯河原の温泉は明治の末頃まで落合橋付近で自然湧出していたが、温泉



写真2・1・25 湯河原藤木川の流量調査（1981年9月）



写真 2・1・26 山腹の湧水を貯める瓶（1981年 8 月）、湯河原温泉場

採取量の増加で水位が60m以上も低下している。しかし、地温は他の地域に比べて高いため湧水温度も高いものと思われる。

下流の平地は、1960（昭和35）年代初めまで多くが畑と水田であったが、現在はほぼ全域が都市化している。水井戸はかつての集落に集中している。深度は2～10mである。

以上から、温泉場とその上流域での浅層地下水利用は、湧水と沢水であるので温泉に与える影響が小さいといえる。しかし、温泉場周辺の山腹では、近年別荘等の宅地開発が盛んに行われている。こうした都市化による自然環境の変化が水循環系にどのような影響を与えるかは今後の問題となった。

5・2・2 箱根地域（1982～1983年）

箱根は地域が広く、水源が多いので調査を期間を2年に分けた。調査方法は規模の大きな施設を対象にアンケートで利用水源をリストアップした。調査水源は、湧水と沢水の104箇所と水井戸の164箇所の合計268箇所である（写真2・1・27、28）。現地調査は前年と同様に2～3班に分かれて調査地に向かった。調査には県衛生部環境衛生課の吉沢三郎主査も参加し、戸塚から箱根に来るには朝5時に起きたという。

利用水源である湧水や水井戸は、一般に湧出量や揚水量が容易に測定できる状態になっていない。このため、採取量は、実測できたのが60%、開発時の資料によるものが20%、残りの20%が手がかり



写真 2・1・27 箱根宮城野の湧水調査 (1983年 9月)、湧出量1,760 ℓ/min 小田原保健所迫茂樹氏



写真 2・1・28 箱根強羅の水井戸調査 (1983年 8月)、深度90mの揚水井 (280 ℓ/min)

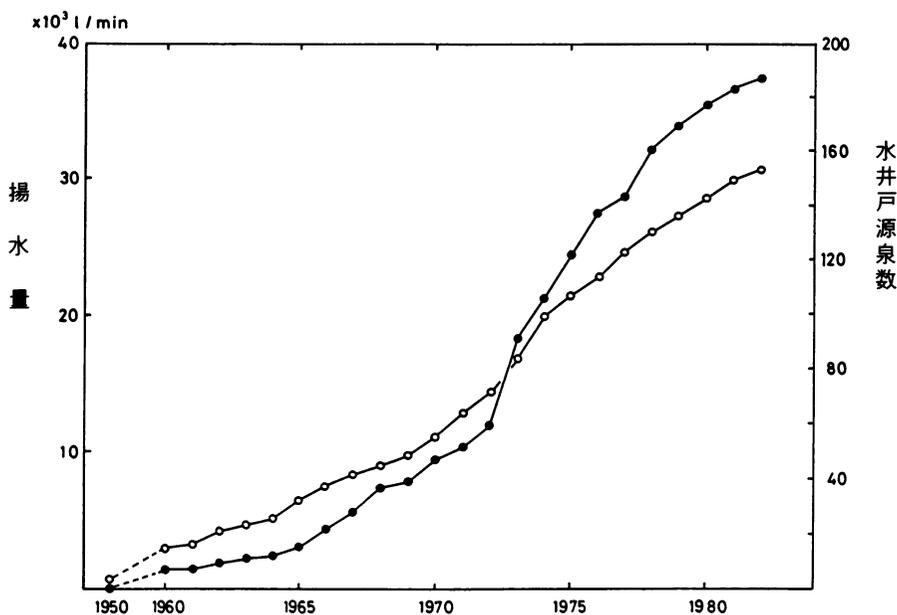


図2・1・29 箱根の水井戸の開発状況 (大山ら、1990)
白丸：井戸数、黒丸：揚水量

の得られない状態にある。水源所有者の多くが採取量を把握していないことに驚かされた。温泉でも確保するまでは多大な努力と経費を費やすが、いったん手に入ると関心が急激に冷めていくようである。考えてみると、このことは他でもよくあることである。

図2・1・28は水井戸の開発状況である。井戸の開発は、1960（昭和30）年前半まで4眼/年であったが、1960（昭和35）年後半から増加し、1975（昭和50）年の頃には10眼/年の状況である。また、揚水能力は1970（昭和45）年頃から大きくなっている。井戸1眼あたりの揚水量は、1960年代までが約140 l/min、1980（昭和55）年が240 l/minと1.7倍である。水井戸の可能揚水量は39,500 l/min（5.7万 m^3 /日）である。この量は湧水を水源とする水道使用量14,200 l/min（2.0万 m^3 /日）の約3倍、温泉量18,000 l/min（2.6万 m^3 /日）の2.2倍である。地下水利用量の増大は、観光施設や保養施設の増大と大規模化による水源確保、および、水使用料を安くするためである。多量な地下水を使用しているある施設では、水井戸の掘さくなどに2,000万円かかっても2～3年の水道料金で償却できると計算している。

温泉場の水井戸には、温度に関して温泉法の温泉（25℃以上）に近い20.0～24.9℃ものが20眼、明らかに該当しているものが5眼あった。温度が25℃以上の井戸は、深度が100～180mである。揚水温度が付近の湧水よりも4℃以上高い場合、井戸孔底のほとんどは温泉水面に達している。しかし、掘さく者が水井戸とすると、掘さくにはなんの規制もないことに問題がある。深さを増せば当然、温泉が採取されることになる。また、水井戸は一般に、複数の滞水層から採取している。温泉を採取して



写真 2・1・29 鶴巻温泉地の地下水調査 (1984年 8月) 深度60mの自噴井 (19.8℃)

も、上部の冷地下水との混合によって揚水温度が25℃以下になる場合がある。地下水は温泉の重要な涵養源でもあるので、水井戸の掘さくには申請、孔内温度の報告、あるいは掘さく禁止地域の設定などの措置が必要である。

5・2・3 鶴巻、中川地域 (1984年)

鶴巻と中川は地域が狭いので、鶴巻を7月に、中川を8月に調査した。

鶴巻は、温泉場を取巻く小高い丘に位置する農家が水井戸を利用している。井戸は9眼である。この内、7眼が深度3～10mで、2眼が深度60mの自噴井である(写真2・1・29)。総湧出量は30ℓ/min程度で、温泉採取量400ℓ/minの7%に過ぎないことから、温泉源への影響は少ないであろう。当地域の地下水は塩分濃度が高いので、今後、使用量が減少することはあっても増加しないものと考えられる。

中川は水井戸の使用量は少なく、周辺の山地からの湧水を主要な水源としていた。

5・3 温泉排水の調査

温泉研究所の発足当初、栗原忠夫所長ら (1963) は保健所試験室の和田裕氏らの協力をえて温泉浴槽中の汚染についての調査を行った。温泉浴槽中はpHと塩素量にほとんど変化を認められないが、入用者数の多い時に濁度と一般細菌数が高い値を示すことを報告している。

箱根カルデラ内では、湧出あるいは揚湯されている温泉の大部分が浴用等に使用された後、早川に

流れ込んでいる。箱根町企画課は、1970（昭和45）年5月に閣議決定された『生活環境に係わる環境基準』の河川の水質区分で、A基準を守り、加えて快適な自然環境を維持する必要から『箱根の河川水にあたる温泉排水の影響調査事業』を計画した。研究所は箱根町の依頼を受け、温泉および温泉排水と河川の水質との関係について調査した。調査は平野富雄主任研究員が責任者となり、まず降水量、河川の流量、水使用量を調査し、次いで、採水と分析を行った。河川流量の調査は、早川とその合流河川の須雲川や蛇骨川等で行われた。流量は流れと直角にロープを張り、1～2m間隔での水深と流速から計算した。こう書くと簡単であるが、川の中は足場が悪く、水深の深い場所や下流との落差10～20mの堰堤上での測定はかなり勇気が必要とした。

早川水系の上流から下流にかけての調査から、温泉排水のBODは4.7ppmが最高であった。温泉そのものに河川の水質基準にふれる環境汚染物質はそれほど多くないから、温泉利用施設や家庭などの厨房や浄化槽からの排水が主として環境汚染を引き起こしている。

温泉排水のBODの大部分は石鹼の使用量で決まる。ホテルや旅館などによる石鹼使用量は1日に48～95kg（BODとして120～240kg）である。この数値によると、温泉排水（43,700m³/日）の平均BODは2.7～5.5ppmとなる。これは1日24時間の平均値であるが、時間帯によって変化している。小田原保健所の福原健一らによれば、BODは午後5～7時頃に81.2ppmになった例を報告している（箱根町、1969）。

以上から、河川の水質を汚染する物質は人間の経済、社会活動による排出物である。入浴の際に使う石鹼水は分離して処理し、温泉や浴槽排水に混入しないよう施設を工夫するように提案した。

5・4 箱根カルデラの水収支調査

温泉排水の調査の際に、芦ノ湖から深良隧道を通して静岡県側に流出する水量、湯本で早川から分流する荻窪用水量、6箇所の発電所の取水によるバイパス流量等が把握され、箱根カルデラ（集水面積108.4km²）の水収支が計算された。早川水系（集水面積81km²）から箱根カルデラ外への流出量は、風祭（かざまつり）観測点の資料（神奈川県、1967～1973）から 51.2×10^4 m³である。この量は平均降水量を3,000mm/年とすると77%に相当する。また、早川の流出に占める温泉排水量は温泉量約27,500m³/日と温泉のうすめ水16,200m³/日とで8.5%、温泉排水に飲用・雑用水等を含めたすべての排水の割合が14.3～17.3%であった。

箱根カルデラの水収支調査は箱根町の依頼により、1976～8年と1985～7年にも行った。

横山尚秀ら（1978）は1976～8年での調査で、箱根カルデラは雨水の多くを表面流出せず、地中に深く浸透し、地下水となってゆっくりと河川に流出する火山体特有の貯水機能をもっていることを明らかにした。1985～7年の調査（大山、1987）は芦ノ湖周辺公共下水道の処理水および発電所が河川に与える影響の基礎資料とするものである。河川流量と水温の測定から、早川では仙石原処分場上流と水土野に、須雲川では畑宿上流と湯本の玉簾ノ滝付近で多量で安定した地下水の湧出があることを

明らかにした。これらの多量な湧水が早川流量の重要な安定供給源であり、流況を特徴づけている。

5・5 温泉場における工事

最近の温泉ブームにも刺激され、温泉地で大規模なホテルや保養所の改築やマンションの新築工事が盛んに行われている。大規模建設では地下を深く掘り下げる。それに伴い地下水を排水するので温泉源への影響が心配される。

1986（昭和61）年2月、箱根湯本の第9号泉（総湯）を管理・利用している和泉館の下田昌男氏より小田原保健所に「水位が極端に低下し、揚湯が不可能になった。近くの建築現場で水を汲み上げておりこれが原因と思われる」との連絡が入った。総湯は箱根で最も古い歴史をもち、かつて自然湧出していたが、現在、直径2 m、深度5 mの竖穴から渦巻ポンプで揚湯している。通常この源泉の揚湯量は650 l/min（38～41℃）で、浅層地下水の寄与の多い源泉である。調べてみると、総湯から85 m離れた地点で保養所の建築工事が行われ、地下7 mまで切り下げられていた。多量な水が総湯の方向の地層から湧出しており、それをポンプで排出していた。排水量は4,000 l/minと見積もられている（写真2・1・30）。早速、県衛生部と小田原保健所は温泉法第十一条の『〔温泉ゆう出目的以外の土地掘さくの制限〕の温泉をゆう出させる目的以外の目的で土地を掘さくしたため温泉の湧出量、温度又は成分に著しい影響を及ぼす場合において公益上必要があると認めるときは、都道府県知事は、土地

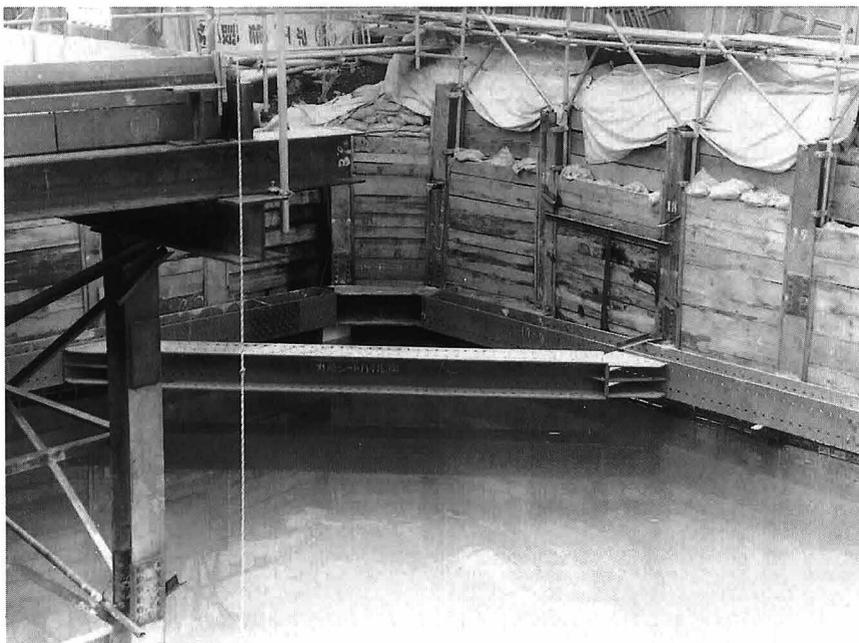


写真2・1・30 箱根湯本の建設工事現場（1986年4月25日）、排水で箱根温泉発祥の総湯源泉涸渇

を掘さくした者に対してその影響を阻止するに必要な措置を命ずることができる』を適用した。建築工事は1年程中断し、当初の計画を大きく変更して完成した。

湯本での事件が起きる3年前の1983（昭和58）年3月16日に、古くから鶴巻温泉で営業をしている陣屋旅館の宮崎カズエ氏が温泉地学研究所に来られた。問い合わせは次のような内容である。同氏所有の源泉（秦野第12号）の揚水時の動水位は地表下20～24mにあったのが、1982年5月に急に3mも低下し、1983年1～3月に27.6～27.8mになっている。この水位低下は、隣接する土地でのマンション建設が1982（昭和57）年5月から開始していることに関係ありそうである。また、マンション建設が次々に予定されているので、さらに水位が低下するのではないかと心配していた。

宮崎氏は秦野市にも相談した。秦野市建設課は業者に、鶴巻地区は温泉準保護地区なので、温泉源を保護するために工事着工前に基礎資料を収集するよう要請した。次いで、マンション建築に際して秦野市長と業者は次のような覚書をかかわした。内容は、

- 1) 業者が観測井を掘さく（写真2・1・31）すること。
- 2) 建築工事が終わるまで観測井の水位、および、周辺温泉の湧出量、温度、成分を測定すること。
- 3) その結果を毎月図表化して秦野市と秦野保健所に提出すること。
- 4) 工事によって影響が現れれば工事を中断するものである。

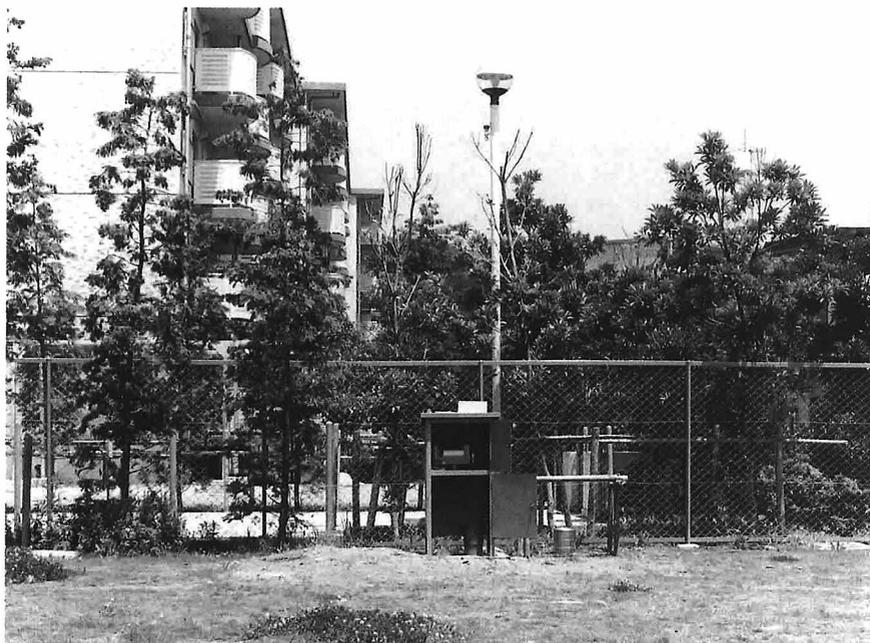


写真2・1・31 鶴巻温泉地の深度50m観測井と雨量計（1984年8月）、マンション建設業者による温泉への影響調査

この覚書の内容は、その後の鶴巻における大規模建築工事に際しての基準となり、適用されている。大温泉地である箱根・湯河原にも温泉保護に対する積極的な姿勢が期待される場所である。

秦野市の方式は温泉地の大規模建設にたいする温泉保護対策のモデルとしてもっと重要視されて良いであろう。

6 温泉の調査と研究方法の開発

温泉採取は温泉需要の増大とともに自然湧泉から掘さく井へと変化してきた。温泉の調査は井孔内の状況の把握と影響の有無、および水収支が問題となった。温泉の調査は調査方法の開発と改良の歴史でもある。

6・1 温泉孔内の検層法

温泉孔内の検層は源泉の最適な利用と管理に必要なことである。孔内の地層状況、温泉の湧出位置、温度を把握することにより、採取する温泉の温度、ケーシングの場所と水止め位置を決めることが出来るからである。孔内検層は温泉孔井の掘さくした時（健康）に行っておけば、後になって湧出量が減少したり、泉温が低下した場合（不健康）でも、健康時と比較することにより不健康の原因を推定することが可能となる。このことは改修工事が大変経済的であるばかりでなく、試行錯誤的な修理による失敗を防ぐことにもなる。

1961（昭和36）年に温泉研究所が設立された当時は、温泉孔井の検層法はまだ確立されていなかった。いくつかの失敗に工夫を重ねて、測定装置の改良や測定法の開発で孔内状況の把握を飛躍的に発展させた。

6・1・1 温度検層

温泉孔井の検層は、従来地下水の調査で一般的に行われている比抵抗を中心とした、いわゆる電気検層を援用していた。この検層法は地層の比抵抗値から滞水層を判断するもので、堆積岩（礫層、砂礫層等）には有効であるが、箱根、湯河原のように温泉の胚胎している岩盤の亀裂を対象にする場合には温泉湧出位置の決め手にならない。そこで、注水による温度測定が考え出された。

孔内温度は、まず自然の状態、次いで、冷水（水道水等）を孔井に注入しながら測定する。注入水の目的は孔内を冷却することによって温泉脈の位置を明らかにすることである。孔内を流下する冷却水は温泉脈に到達すると割れ目（温泉脈）に沿って周囲の地層中に流れ込むので、孔内温度は割れ目を過ぎると急激に上昇し、注水前の温度に到達する。割れ目付近の温度の急激な変化と、注水前と注水中の温度測定の結果を比較することにより、温泉湧出の位置、規模、温度が容易に判断できる。

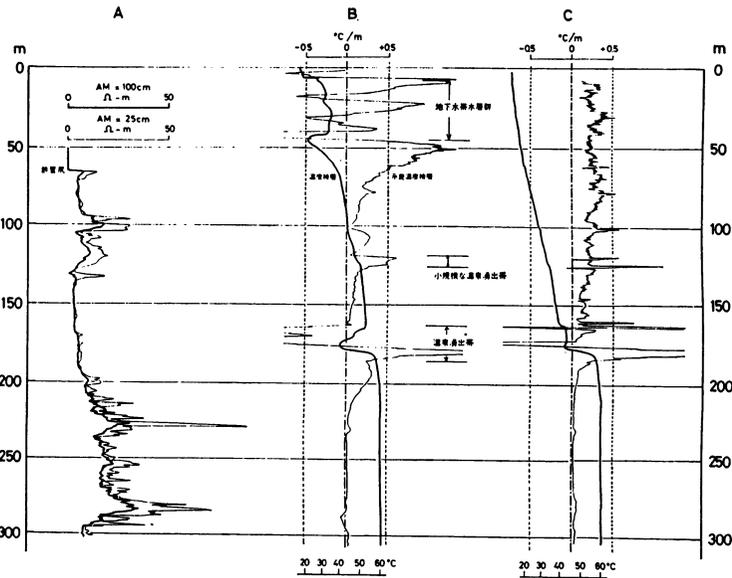


図2・1・30 注水法による温度検層 (平野ら、1976)、温泉の湧出位置と温度調査

6・1・2 示差温度検層

孔内の温泉脈の検出は前述した温度検層でも可能であるが、微弱あるいは温度変化の小さい温泉脈や温度のあまり高くない孔井での温泉脈の検出は、通常の温度測定だけでは多くの場合困難である。そこで考え出されたのが示差温度検層法である (大木ら、1966)。

示差温度検層法とは孔内の一定間隔にある温度差を各深度で測定することである。実際には、1 m 間に固定された2個のサーミスター感熱部をケーブルの先端に吊るして孔内を降下させながら2点間の温度差を自記録させる。示差温度検層では、普通の温度検層に比べて微細な温度変化も顕著に現すことができる (図2・1・29)。

現在行われている温泉孔井の検層は、最初に自然の状態、あるいは揚湯を停止してから数日後の孔井の温度、示差温度を測定し、次に、孔井に冷水を一昼夜注入した後に注水中の温度、示差温度を測定する。温泉の湧出位置は注水前と注水中の結果を比較することにより決定し、更に、比抵抗検層の結果との対比をもって孔内状況を判断している (写真2・1・32)。

6・1・3 検層法開発の苦心

孔内温度を連続的に測定するために感熱部にサーミスター温度計が使用された。ケーブルの先端にサーミスター温度計を取り付けて孔内を降下させ、電気信号に変換して地上で温度を測定するのであるが、サーミスターとケーブルを接合する部分の防水加工が一番困難な問題であった。感熱部は周囲の温度変化に対する時間遅れを少なくするために、ガラス保護管に密封されたサーミスターを用いた。温泉孔井によっては100℃以上、水圧数10kg/cm²の高温高压となっている。この場合、感熱部に水が進



写真 2・1・32 電気検層調査 (1991年 7月)、井孔内の状況と温度分布測定

入し、測定が不能になることがある。その修理のため、検層に日時を費やし、時には徹夜のこともあった。多くの実験の結果、接合部をアラルダイト (接着剤) や耐熱性でしかも自己融着性のゴムテープで被覆する方法に帰着した。

蒸気井の場合、上述の防水加工では熱に耐えないので、熱電対とケーブルを一連のものとしてテフロンで被覆してしまう加工方法が現在採用されている。

6・2 水位測定装置の開発

6・2・1 揚湯孔井の水位測定

箱根、湯河原では、温泉孔井の揚湯装置のほとんどがエア・リフトポンプである。エア・リフトポンプは孔井内に揚湯管とエア管、地上にコンプレッサーを設置しているので高温で温泉スケールが付着しやすく、また、水位の深い孔井に適している。しかし、この装置の場合、揚湯中は孔井内に水位測定装置を挿入することができない。コンプレッサーとエア管の間に設置されているレシバータンクの圧力は水面下にあるエア管の長さに対応する水圧を示している。ポンプが稼働している間の孔内水位は、レシバータンクの圧力から間接的に読み取ることができる。大木靖衛研究員らは、圧力変換器をレシバータンクに接続し、圧力を電気信号に変えて自記記録させる装置を開発した。この方法は水位 (圧力) の急激な変化も追跡することを可能にした (写真 2・1・33)。



写真 2・1・33 揚湯試験による圧力（水圧）変化測定（1972年）、圧力計と記録計



写真 2・1・34 エアー管（内径13mm）内での温泉水位測定（右から小田原保健所の滝本浩と石井義明氏）

6・2・2 観測孔井の水位測定

温泉孔井の水位は地表面からの深度が200mを越すこともあるので、麻紐やステンレス線の先端に長さ30cm程の筒（多くが竹を利用）を孔井内に垂らし、水面に接触した時の手ごたえやポーンという音で測定していた。この方法は手軽であるが、井戸の掃除や修理でエア管と揚湯管を引き抜いた時しか測定できない欠点がある。そこで、エア管（一般に直径13mm）の中からでも水位が測定できる装置を開発した。ケーブルは直径1mmのステンレス線をテフロンで被覆し、その先端に電極を取り付けたものである。水位は滑車の回転計から1cmまで読み取れるようにしてある。この水位計は温泉井の水位測定を容易にし、水位の定期観測や影響調査にも活用されている（写真2・1・34）。

7 温泉研究の特集

神奈川県温泉の研究は研究所の活動によって急速に進歩した。研究成果はそれぞれ報告書として発表した。研究成果の集大成にも努めてきた。これらの集大成は普及資料としても大きく役立っている。

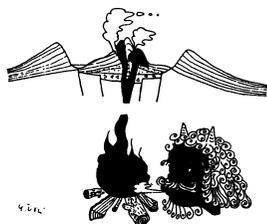
『箱根火山』（1971）：日本火山学会は1971（昭和46）年、箱根湯の花ホテルで開催する日本火山学会を記念して、それまでに行われてきた箱根火山の地質、地形の研究成果とあわせて温泉、地震を『箱根火山』として編集し、箱根町から出版した。本書は高度な内容を専門家以外にもわかりやすく記述されているとともに箱根火山の教科書ともなっている。

『七湯の枝折』（1973）：箱根底倉のしにせ旅館「つたや」に家宝として保存されている文窓、弄花（1811）の『なな湯の枝折』は、文化文政期の箱根温泉を知ることのできる唯一の文献であり、江戸期箱根七湯の案内書中の白眉とも言えるものである。しかし、その文体が変体がなで書かれているために、現代のわれわれに容易に判読できないので、箱根町文化財保存会会長の沢田秀三郎氏に注釈していただき、1973～4（昭和48～49）年にかけて温泉研究所報告（Vol.4～6）に三回にわたって掲載した。文中の美しい絵の写真撮影は研究所職員が受け持った。本書は1973（昭和48）年に1冊本で箱根町から出版された。

『箱根温泉誌』（1981）：箱根には年間2,000万の観光客が訪れている。箱根の温泉場は江戸時代の七湯から十九湯と開発された。箱根町は1977（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、将来の目標を見いだす基礎資料とするため温泉地学研究所に委託し、箱根温泉総合調査を行った。総合調査は前半で全体の状況、後半で十九温泉地を歴史、現況に分けて温泉地学研究所報告書に二回にわたって記載し、1981（昭和56）年に1冊本（187ページ）で箱根町から出版された（図2・1・30）。

『神奈川県温泉誌』（1983）：1948（昭和23）年に温泉法の施行にともない温泉審議会が各都道府県に設定された。審議会は学識経験者、業者代表、行政で構成され、温泉の保護、利用の適正等を審議

箱根温泉誌



箱 根 町

神奈川県温泉誌



神奈川県温泉地学研究所

図 2・1・31 箱根温泉誌 (大木ら、1981)

図 2・1・32 温泉審議会第200回記念号 (大木ら、1983)

している。審議会は1949 (昭和24) 年6月に第1回を開催して以来、年2～4回と回を重ね、1982 (昭和57) 年2月に第200回となった。温泉審議会200回を記念して『神奈川県温泉誌』(1983 (昭和58) 年) 年を編集した。研究員のほとんどは研究所が設立した1961 (昭和36) 年以降に入所しているのもので、それ以前のエピソードなどに関する事柄は1953～1961年まで小田原保健所で温泉を担当していた荻野喜作研究員の記憶とメモに頼ることができた。本書は、第1章が神奈川県温泉地の歴史や現況、第2章が温泉行政、第3章がエピソード、第4章が資料からなっている (図2・1・31)。

8 温泉の飲用に関する検討

日本の温泉利用は、ほとんどが浴用である。神奈川県では温泉の飲用をまだ公的に認めていない。しかし、ヨーロッパの温泉利用は飲泉を抜きには語れない。現在の日本では、「温泉＝浴用」といった感があるが、わが国でも飲泉は古くから行われていたことは多くの記録で読み取れる。

最古の記録は持統天皇の時代 (686～696年) に日本書紀に醴泉 (こざけのいずみ) を試飲させて多くの病者を治療したことが記録されている (木暮 (1986) 温泉、54巻、18-21)。このほか、各地に伝わる「不老長寿の水」、「養老の水」、「酒水」などは日常使う水と区別して、(効能など) 何らかの期待をもって飲用する慣習があった。

温泉の飲用については、従来の温泉利用基準（1975（昭和50）年7月12日付け環境庁自然保護局長通知）を改正した環境庁自然保護局長通知（1986（昭和61）年7月14日付け、温泉利用基準の一部改正）を運用することになっている。改正前の温泉利用基準には、温泉水の1日当りの飲用許容量が規定されていたが、衛生上の基準がなかった。このため、各自治体では、水道法の基準を準用して許可を与えていた（1985（昭和60年）12月末において全国36か所の自治体）。環境庁は温泉利用における衛生上の基準を定めるため、各自治体の飲用の実態調査と細菌検査などの基礎的な研究を行い、この調査研究結果を基にして専門家（温泉利用各種標準検討会公衆衛生学的標準分科会）による検討を行い、前述の温泉利用基準の改正を行った。内容は、主として1. 温泉中の一般細菌、大腸菌群、過マンガン酸カリウム消費量の基準値の設定、2. 施設の衛生管理の強化、3. 一般細菌などの試験法の制定、の3点である。

行政的にはこの通知を基にして、各自治体で飲泉利用を進めても問題はないはずであるが、神奈川県衛生部長は、各保健所長、温泉地学研究所長等あてに、「……本通知に基づく利用（飲用）許可についての細目は検討の上、別途通知」する旨を通知した。

県衛生部環境衛生課は、「温泉の飲用許可に関する検討会」を1986（昭和61）年10月3日付けで設置した。温泉地学研究所は小田原保健所とともにこの検討会に加わった。検討内容は、①源泉施設や貯湯槽、温泉利用施設についての衛生上の問題、②飲泉施設や方法についての留意事項と施設管理等、③温泉の検査と事故時の対応、などである。

現在の温泉関連施設の衛生環境は、飲泉するほどの良好なものではないということが最も懸念されていた。具体的には、廃油のたれ流しやごみの散乱による源泉地周囲の不衛生、雨水や昆虫の源泉への混入、エアー・コンプレッサーの整備不良等に基づく温泉へのオイルの混入、入浴施設と飲泉施設の混在による衛生上の危惧などである。

1987（昭和62）年6月に温泉飲用許可基準案ができ、1989（平成元）年3月に温泉の飲用に関する検討会報告書が出された。その後、この検討会報告書を土台として、新たに設置された温泉事務検討会（1990（平成2）年9月1日設置）において、さらに細部にわたって検討がされ、1990（平成2）年度末には最終的な基準が作成された。環境衛生課は、この「温泉飲用利用基準（仮称）」を、1991（平成3）年4月に実施することとし、温泉の飲用に関する検討を終了させた。

9 最近の温泉開発が提起している問題

5～6年前から続いている温泉の人気は市町村など地方自治体や経済人にも刺激を与え、それぞれに、地域の活性化や投資の対象として温泉開発に駆り立てている。新たな温泉開発はすでに記したように既存温泉地ではもはや不可能なので、温泉開発について細かい規定を設けていない、いわゆる未開発地域（一般地域）にあたる火山山麓地域（写真2・1・35）や非火山地域で行われている（写真

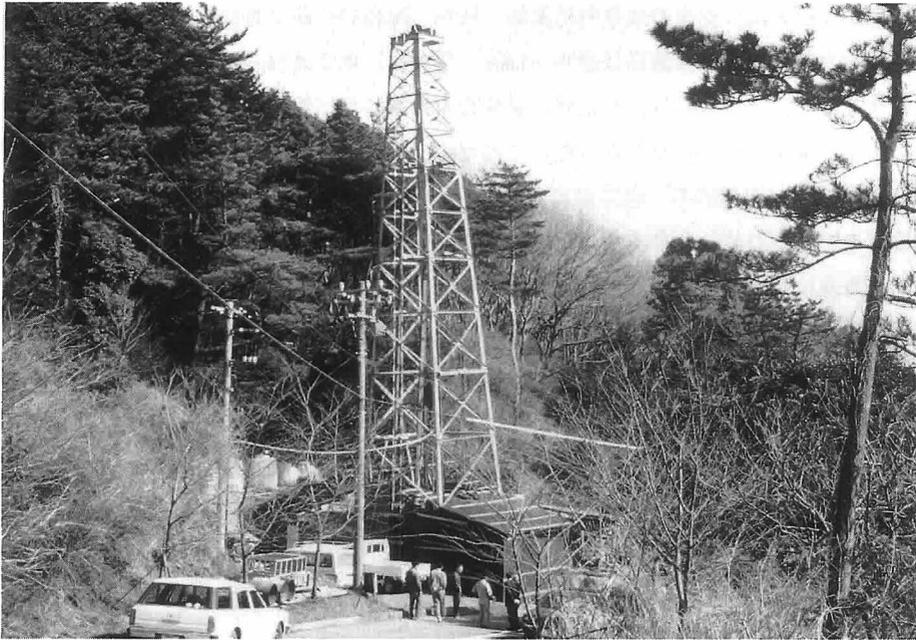


写真 2・1・35 箱根火山南麓の掘さく現場（1990年3月）、掘さく深度1,000mの予定

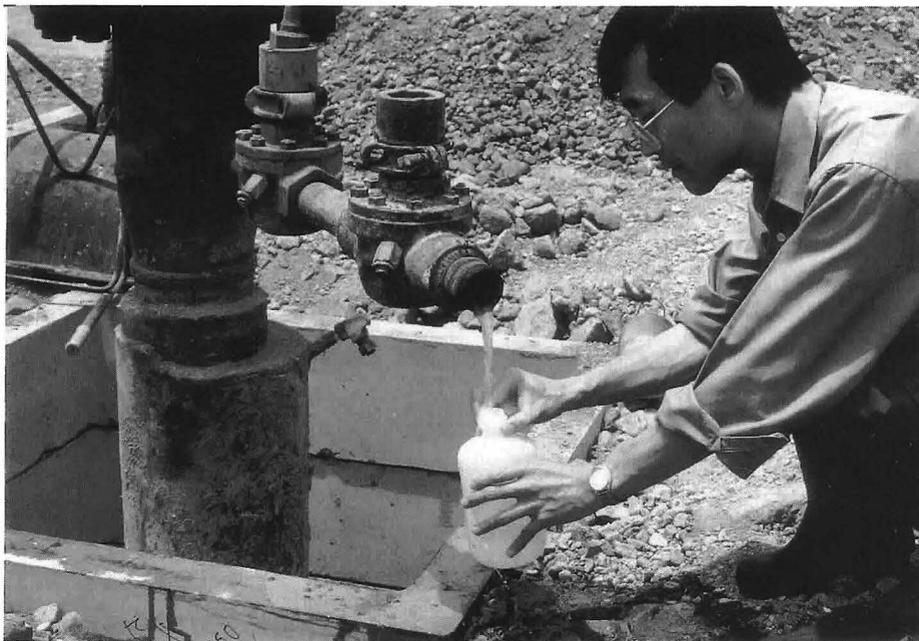


写真 2・1・36 三浦半島観音崎の深度1,000mの自噴（19.7℃）井（1991年7月）

2・1・36)。

一般地域は火山の熱源から遠く離れているので、温泉開発は深部の熱水に眼が向けられた。1980(昭和55)年代後半からの温泉審議会の案件には1,000m以上の掘削申請が急増している。例えば、非火山地域の三浦半島での申請深度はついに2,000mに達している。大深度の場合、掘削の費用は深度1m当たり約10万円と言われているから、1,000mで億の単位である。このような費用をかけても温泉は付加価値を生むので経済的に成り立つ状況にある。深度は温泉地でも次第に深くなっており、深部熱水の開発が始まっている。こうした最近の温泉開発は新しい問題を提起している。それらは次の二つに大きく分ける事が出来る。

1：温泉採取はこれまでの500m以浅から1,000m級の深部熱水の時代に入っている。この深部熱水がいかなる物理的、化学的特徴をもち、その採取が浅層の温泉にいかなる影響を与えるのかということである。そこで、研究所は深部熱水について調査研究を1991(平成3)年から行うことになった。

2：一般地域での温泉開発は上記したように細かい規定を設けていない。このことは、一般地域では無制限に温泉を採取してもよいとの印象を与え、混乱を招いている。天然資源で無限に利用できるものは無いのであるから、一定の枠組みを決めておく必要がある。一定の枠組みとは水収支と公共の利益を損なわないことである。

ここで、水収支とは水位低下や泉質変化等による温泉「源」の涸渇にならない適正な採取量である。温泉資源は有限であり、温泉が生まれるまでには複雑なプロセスと長大な時間をかけている。今日抱えている温泉涸渇の問題は、すべて温泉の水収支や形成機構を考慮しないで、当初湧出した豊富な量が基準となって温泉採取量を認めたことに起因している。

公共の利益を損なわないとは自然環境の破壊や塩水化等をもたらしさないようにすることである。海岸に近い所での温泉採取によって井孔内の水面を海水面下まで下げてしまうことは、海水を引き込む危険がある。地下水はいったん塩水化すると、採取を止めても回復が大変困難であることが多くの例で示されている。火山性蒸気利用の問題が地上の環境破壊を内包しているなら、塩水化は温泉源および地下環境の破壊である。温泉地には温泉保護地域、特別保護地域になるにしたがい、温泉採取に細かく厳しい規則を設けている。これは特別保護地域ほど湧出機構や経年的変化等の特徴が把握されているからである。一般地域は未開発地域であり、温泉についての情報がほとんど無いと言ってもよい。このことが細かい規定を設けられない理由である。したがって、一般地域ほど様々な角度から検討して採取量と採取方法を判断しなければならず、研究所への期待が高まっているといえる。

