

第2章 研究調査の30年

研究所のフィールドは地下環境に関係する地球科学全般と言ってもよい。それを分野別に分けると、温泉、地震、地下水、地質、分析化学となる。研究所の仕事はまず温泉、分析、地質の調査研究から始まったが、4年も経たない内に箱根の群発地震の発生で地震観測調査、高度成長に伴う地下水需要の増大で地下水調査を着手した。各分野はいずれも今日の問題に取り組んできた。例えば、温泉は絶え間ない開発と保護の相克というように古くて新しい問題、地下水は開発から汚染機構の解明、地震は箱根の火山活動による火山性地震から神奈川県西部（小田原）地震のような地球のプレート運動による構造性地震の観測と予知研究である。

本章では各分野の調査・研究の発端から今日に到る軌跡と成果を描いている。しかし、各分野は独立に存在するのではなく、相互に密接に結びついているので、内容に重複があっても厭わなかった。

第1節の温泉は大山正雄と石坂信之（飲泉）が担当した。第2節の地震は伊東 博と小鷹滋郎が担当した。第3節の地下水は長瀬和雄、横山尚秀、粟屋 徹（水質）が担当した。第4節の地質は杉山茂夫、小鷹滋郎、長瀬和雄が担当した。

第1節 温泉部門

はじめに

1980年（昭和55年）代頃から全国的に温泉ブームが起きている。しかし、日本の多くの温泉地の人々は、この温泉ブームの直前まで温泉地の衰退からの脱却を模索していた。その打開策を求めてヨーロッパの温泉地への研修旅行が盛んに行われた。若者は温泉場を年寄りの行く場所で、陰気くさいと見なして敬遠していたのである。今では多くの者が温泉地をかつぼしているので、温泉場の衰退を憂いていたのが嘘のようである。この温泉ブームが自然回帰への希求を意味するならば、私たち温泉研究者にとってこれほど嬉しいことはない。なぜなら、私たちはより人間的な仕事をしていると自負できるからである。

神奈川県では、温泉ブームが明治維新（1868年）以来、4回程起きている。最初は人々の国内における往来が自由になり、交通網が整備され始めた1900年代（明治中期）、第2回目が東海道本線の丹那隧道の完成する1934年（昭和9年）頃、第3回目が第二次大戦の荒廃から立ち直りを見せていた1950（昭和25）年代、第4回目が現在である。こうしてみると、温泉ブームには約30年周期があるように思える。

温泉地学研究所の設立はこの温泉ブームが契機になっている。1955（昭和30）年頃、温泉関係者は温泉の科学的な調査機関の設立を神奈川県に度々要請していた。箱根町と湯河原町には研究所の建設に必要な土地と温泉32ℓ/minを無償で提供するという動きもあった（新聞2・1・1）。研究所の設立がこれほど話題になったのは、乱開発によって衰退する温泉資源の保護と科学的に裏付けられた行政展開を必要としていたからである。当時、温泉審議会の審議件数は年間100～200件にも達し、温泉保護対策の行政の整備が迫られていた。湯河原と箱根湯本・塔ノ澤など古くから自然湧出していた温泉地では、周辺での温泉開発で急激に温泉が衰退し、温泉紛争が絶えなかった。その状況が『かながわ公衆衛生のあゆみ』（1982）に生々しく語られている。

小田原保健所に温泉課が設置されたのは1959（昭和34）年で、同年に温泉研究所の設立が神奈川県会で可決された。研究所は、当初、理化学室など17室（9,174㎡）と温泉療養所（12,210㎡）を備えた大規模な計画もあったが、新築された小田原保健所内に併設し、1961（昭和36）年10月にスタートした。なお、療養所の建設は後年に見送られた。研究所の設立目的は神奈川県の「重要な地下資源である温泉についてその開発、保護及び利用に学問的な検討を加え、大切な資源の有効利用を計ってゆく」ことである。温泉源の保護と開発という互いに矛盾する課題は、今日も続いている。そこで、本論は研究所設立から30年間における温泉の調査・研究をたどり、将来の基礎資料とするものである。

箱根か、湯河原か

今年は決る温泉研究所

県が今年度の事業計画として箱根か湯河原に建設を予定している。県立温泉研究所は、昨年十月から箱根、湯河原両町で誘致陳謝台戦を繰り広げたが、昨年十一月内山県知事の裁定により建設地が決定することになってしまったにもかかわらず、県の態度がどおらともいえないまま、越され、両町の関係者も今年々には建設地が決定するものと期待し、今年度にも持ち越された大きな課題となっている。

この温泉研究所は県内の温泉(箱根、湯河原)が年々枯渇の危機に傾いて来たため、地質、飛灰、岩石など科学的に究明して枯渇を防ぎ温泉の安全を図ろうと昨年八月の県議会で可決されたもので、研究所に伴う調査の設置計画も具体化している。温泉研究所と附属温泉施設は六万六千平方メートルの敷地に、鉄筋コンクリート二階建て九千七百七十四平方メートルが研究所、鉄筋コンクリート平屋建一万二千二百平方メートルが療養所となつて、研究所の設備は研究所がボイラ室、資料展示室、工学各種実験室、理化学室など十七室、療養所はレントゲン室、検査室、ベット四五を備えた病室、薬局、医局など二十七室が設けられている。

建設予算は研究所が八千五百七十五万円、療養所が五百五十万円、計一億三千六百二十五万円となっている。

このように施設は地元の人々にとって、開業、発展にも大いに期待されると、箱根、湯河原両町で誘致陳謝に乗り出したのだが、両町とも、建設に必要な土地と研究に使う一分割三十三坪の湯を無償で提供するといっており、県側でもどちらに決定するにも現地の調査をしてから、再

三に渡る候補地の環境、地理的な条件など調査を行っている。

箱根町であった二つの候補地は第一が須賀ヶ原(県立箱根養老院上)だが、第一候補地の須賀ヶ原は、湯河原、箱根温泉の中心地であり、両町の地質や温泉などの研究には特に便利である。箱根バイパス、白根林道などの完成によって、今後交通機関も大いに発展が予想される。第二は宮城野大東は、湯河原駅前町の有地を唯一の候補地にあけているが、交通の便が良く、土地の売買問題に支障は少なく、金財が一体になって誘致を歓迎している。また、今年度にも持ち越された点で、箱根と同じように陳情を受けて小田原県

形的に見ても箱根の中心地であり、箱根十五湯(宮の下、底倉、ウバ子など)が手近かで、研究する資料が豊富である。療養所建設についても現在、県立養老院と同じように環境も良く、結果の場所であるなどから推せん出来ると、小田原保健所を通じて県に陳情している。

また湯河原町では、國鉄湯河原駅前町の有地を唯一の候補地にあけているが、交通の便が良く、土地の売買問題に支障は少なく、金財が一体になって誘致を歓迎している。また、今年度にも持ち越された点で、箱根と同じように陳情を受けて小田原県

新聞 2・1・1 温泉研究所設置 (神静民報、1960年1月3日)

1 温泉資源の開発と調査・研究

1・1 湯河原温泉の調査 (1962年、昭和37年)

研究所が取り組んだ最初の仕事は、湯河原温泉の調査である。当時の湯河原は温泉の需要が急激に増大し、新しい源泉の開発、孔井の増掘や強力な揚湯ポンプの設置が盛んに行われている。こうした努力にもかかわらず、必要な湯量を確保する事は容易でなかった。総揚湯量は増加せず、温泉水位は低下の一途をたどっていた。調査は温泉涸渇問題の大きな原因となっている温泉水位の低下を防止し、出来ればその回復をはかることを目的として進められた。

湯河原温泉は湯河原火山のカルデラ底の中央部を北西から南東に刻む藤木川沿いにある(写真2・1・1)。明治の中頃まで、藤木川の河床とその周辺から自然湧出する温泉が利用されていた。1904(明治37)年頃、伊豆長岡温泉を視察した室伏勝蔵(1860~1938)は、竹の弓とヒゴを利用した突き



写真 2・1・1 湯河原温泉場中央のこごめ橋と藤木川

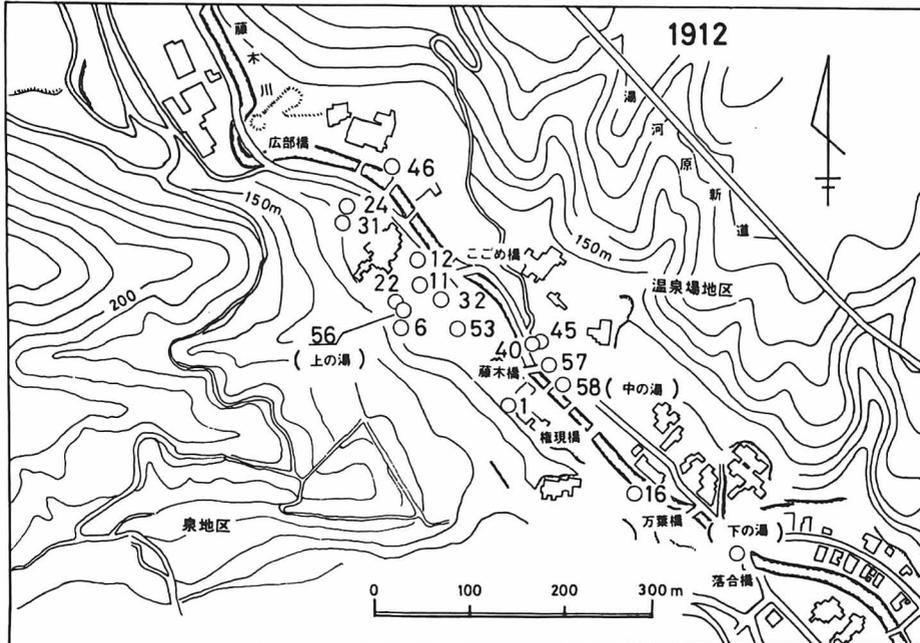


図 2・1・1 湯河原温泉の大正12年頃の源泉分布 (大山・大木、1974)、源泉は密集して掘さくされた

掘りの方法、一般に上総掘と呼ばれている掘削を試みた。掘抜井は自然湧泉に比べ、高温で、多量な温泉を湧出させることが出来たので、その後、掘削が盛んに行われた。小林儀一郎（1914）によれば、掘抜井の数が増すにつれて、また、井戸が隣接している（図2・1・1）こともあって、その頃からすでに湧出量や泉温に相互影響がはじめていた。1934（昭和9）年12月に丹那隧道が完成し、東海道本線が湯河原を通過するようになると、再び温泉開発が盛んに行れた。当時までの掘抜井戸の大部分は、まだ自噴に頼ることが出来たが、この乱掘で自噴量が減少し、ポンプ揚湯が余儀なくされた。ポンプは最初、タービン・ポンプが用いられていたが、温泉沈澱物（スケール）の付着が激しいためすぐにエアリフト・ポンプに変わった。エアリフト・ポンプはスケール除去が簡単で、水位の深い所からも揚湯することができた。

第二次大戦による荒廃も癒えはじめた1950（昭和25）年頃から、観光旅行は活発化した。湯河原温泉も活況を呈し、温泉開発が活発になった。当時の温泉量は増大したが、水位と温度が低下し、温泉の涸渇が顕著に現れていた。神奈川県温泉審議会委員の小林儀一郎博士は約30年前の調査をまじえながら、温泉の涸渇について警鐘を鳴らしていた。源泉所有者は1956（昭和31）年5月に県温泉審議会に嘆願書を提出し、温泉を科学的調査する研究機関の設置を求めた。このことは温泉研究所発足の契機にもなっている。湯河原町は温泉の需要増大に答えるため1956（昭和31）年に温泉供給事業を始め、温泉調査を1958（昭和33）年に通産省地質調査所に依頼するなどしていた。

この様に、湯河原温泉の明治以来の問題は、温泉の需要増大と涸渇であった。研究所が発足した当時はこの問題が最高点に達していたのである。

湯河原火山は箱根火山が出現する前に活動した円錐形の成層火山であったが、蒸気爆発と長い間の侵食で中央部を失いカルデラを形成している。温泉は藤木川に沿って、不動滝を中心とする温泉場地区、広河原地区、泉地区と温泉場から約3km東の海岸地区に区分できる。温泉場地区などの温泉の陰イオンの主成分は、 Cl^- （塩素イオン）と SO_4^{2-} （硫酸イオン）で、 HCO_3^- （炭酸水素イオン）がこれに次いでいる。主要陽イオンは Na^+ と Ca^+ である。温度の高い温泉は Cl^- に富み、温度の低いものは SO_4^{2-} に富んでいる。海岸地区の温泉は、溶存成分が30,000ppm以上もあり、著しく Cl^- に富んでいるが、海水の組成と似ていることから海水型として温泉場地区などの温泉と区分された（大木ら、1963）。

温泉はカルデラ底に露出する伊豆地方の基盤岩である湯ガ島層群の亀裂（割れ目）に胚胎している。温泉の動きは地下の割れ目に従うので、研究所の調査はこの地域の割れ目の分布様式を明らかにすることに主眼が置かれた。そのため泉質の分布様式や揚湯量の大小や温度検層から割れ目を推定した。荻野喜作研究員は研究所の設立にあたり、当時まだ川崎市溝の口にあった地質調査所で温泉調査について半年間の研修を受けることとなった。今日の国内留学である。その研修の一つに孔内の電気検層であったが、温泉研究所は地質調査所の温度検層方式に注水法を加えることによって温泉湧出箇所の位置と温度を明確にする方法を編み出した。同じ頃、箱根芦の湯の松坂屋の松坂 進氏は、松坂屋所有の源泉について独自に調査をしている間に注水の重要性を発見していた。その成果が大木靖衛らと

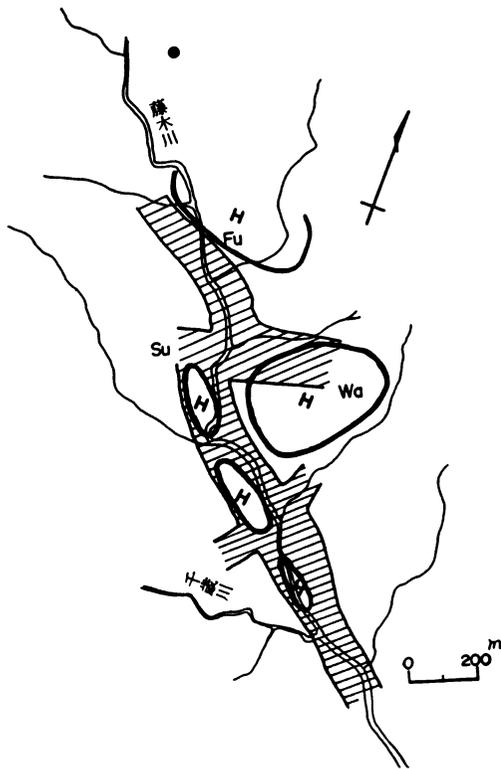


図2・1・2 湯河原温泉の亀裂分布概念図（大木ら、1963）
 斜線の部分が亀裂帯、H：温泉活動の中心地、Fu：不動滝、
 Su：末広橋、Wa：若草山

1・2 丹沢山地周辺の温泉調査（1963～1970年）

湯河原温泉の調査に多くの成果を上げると、1963（昭和38）年度から温泉の調査地域は丹沢山地に移った。丹沢山地は神奈川県北西部に位置し、蛭ヶ岳（1,673m）を最高峰とする標高1,000mを越える60座の山並からなり、神奈川県の屋根とも言われている（写真2・1・2）。その面積は県土の5分の1に及び広大な地域を占めているが、急峻な斜面と深い谷が縦横に走っているため目立った産業もなかった。神奈川県はこの地域を産業開発よりもむしろすぐれた自然の保護を図り、県民の休養の場、自然探求の場として利用することにした。そこで、丹沢山地の38,800haを1960（昭和35）年に県立丹沢大山自然公園に指定し、1962（昭和37）年にはこれを国定公園に昇格させるための基礎資料とする総合学術調査を終えていた（坂本ら、1963）。

丹沢山地は中新世（約2,500万年前）の海底火山の活動によって堆積した厚さ1万m以上のグリーンタフ（緑色凝灰岩）とその中央部に貫入したマグマが、冷却固結した石英閃緑岩から出来ている。緑色凝灰岩は伊豆半島の基盤をなす湯ガ島層群と同時代、同質の地層であり、丹沢層群とよばれている。坂本峻雄を調査団長とする総合学術調査に加わった大木靖衛は、丹沢山地の石英閃緑岩や変成岩の節理にそって白色脆弱な沸石（主として、ローモンタイト）の細脈が広く形成されていることに注

松坂 進の共著で『温泉孔井の検層（1963）』としてまとめられた。なお、注水法については、「6 温泉の調査と研究法の開発」に記した。

温泉を胚胎する割れ目の経路については温泉孔井に薬品を投入し、それを追跡して確かめた。最も大規模な割れ目は藤木川に沿って走り、末広橋と藤木橋付近においてこれに交差する小規模な割れ目のあることが明らかになった（図2・1・2）。この割れ目の上流で地上から冷水を注入し、温泉の増量と水面の回復を計る可能性が考察された。しかし、未解決の問題も多く、今後の調査に期待をかけて最初の調査事業は終わった。なお、この一年間で温泉調査方法の基礎が確立した。研究所の設立で招聘された東京教育大学地質学教室出の新進気鋭の大木靖衛博士は、新しい研究は新しい手法でとばかり次々に新しいアイデアで測定器を作製し、研究を進展させた。

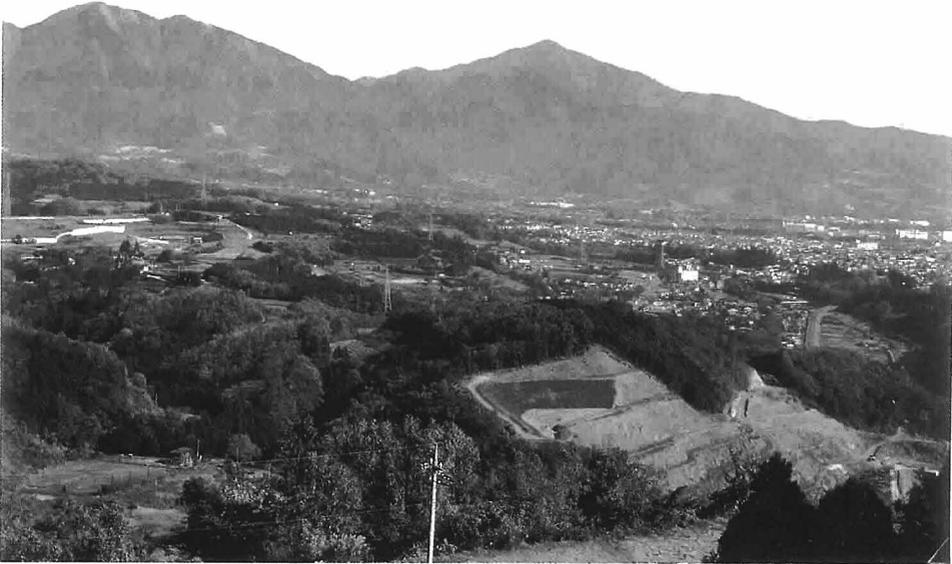


写真 2・1・2 丹沢山地（1991年11月）、右から大山(1,252m)と丹沢山（1,567m）、手前に秦野盆地

目した。ローモンタイトは低変成度の変成岩中の沸石相を代表する鉱物の一つとして産するが、また、地熱地帯では激しい熱水活動の産物としても知られている沸石である。丹沢山地の大規模なローモンタイト脈群はかつて山地全体にわたって熱水作用があったことを示唆していた。当時、西丹沢には武田信玄の隠し湯として知られていた中川温泉があり、温度26.6～32.9℃の温泉を湧出していた。これら温泉のpH（9.6～10.5）は高く、日本で最もアルカリ性の高い温泉として有名であった。丹沢の地熱、温泉、沸石等の研究は温泉の成因の問題にもつながると共に観光開発の基礎資料に役立つとして2年計画の調査がスタートした。

1・2・1 中川温泉

中川温泉が丹沢山地の大規模な温泉活動のなごりであるならば、深く掘削することによって40～50℃の温泉が得られるかどうかを明らかにし、中川温泉の熱源の規模（深さ、温度）を知る手がかりが期待された。そこで、1963（昭和38）年に中川温泉とその北6kmに位置する東沢の“県の山の家”の近くの地点で深度50m、1964（昭和39）年に箒沢で深度60mのテスト・ボーリングが行われた（写真2・1・3）。ボーリングの深度は比較的浅かったが、研究所の所員が初めてボーリング・マシンを運転し、ロットをかつぎ、泥水を溶かして掘削した。毎朝、掘削の開始前に水位と前日までに掘削した孔底の温度を測定して地温勾配を求めた。



写真2・1・3 温泉研究所による中川温泉地での温泉試掘工事（1963年）

この調査を注意深く見守っていた地元民が1964（昭和39）年に新規掘削の申請を出し、深度320mで大量の温泉を自噴させることに成功した。温泉は、温度39.6℃、自噴量270 l/min、pH10.3でアルカリ性の高い単純温泉である。温泉研究所の熱源調査と新たな試掘井の成功によって、中川温泉は温泉掘削ブームを迎えようとしていた。当時の中川温泉には古くからの自噴泉もあったが、渦巻ポンプやエアリフト・ポンプで揚湯したりし、温泉涸渇の問題が起きてきた（写真2・1・4、5）。

1965（昭和40）年度には温泉資源の保護と合理的な温泉利用の対策の基礎資料を得るため、深さ150mと500mのテスト・ボーリングを行い、先の熱源調査を発展させ、水理学的調査も行った。中川温泉の地温勾配は、深さ50mまでは12.6℃/100mであったが、深くなるにしたがい小さくなる傾向を示している。熱エネルギーは丹沢山地の中央部に露出している石英閃緑岩体に依存し、その熱源は冷却の一途をたどっていると推定される。泉質は溶存物質を余り含まず、その主要成分はNaClでないので、箱根や湯河原の温泉のようにマグマ起源の熱水が熱エネルギーの主要な供給源とは考えられなかった。温泉は割れ目を通して湧出しているが、その熱エネルギーは地表からの循環水（地下水）に地下深部からの熱伝導によって与えられたものである。現在、中川温泉の地熱活動の範囲はせまく、長さ1,000m、幅500m程度（図2・1・3）で、運び出されている温泉の熱エネルギーは約200kcal/secと推定された（大木ら、1967）。

水理調査では、どの源泉を揚水しても源泉相互間に影響することが明らかになった。古くから源泉



写真 2・1・4 昔の中川温泉。1950年代後半（昭和30年代）にはまだ田畑があった

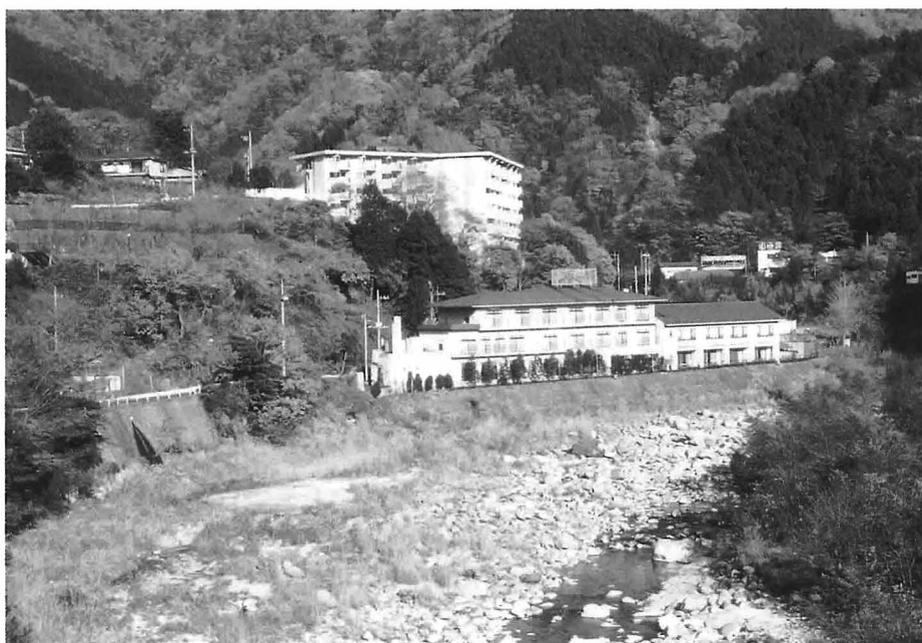


写真 2・1・5 今の中川温泉（1991年11月）。旅館施設の大規模化と温泉付きマンションの建設へと変化

の密集している地域では毎分100ℓの揚水継続にも危険があることも指摘された(荻野ら、1967)。これらの調査結果をもとに、1965(昭和40)年に特別保護地域が設定され、この地域ではエアリフト・ポンプの利用を認めないことになった。その後、テスト・ボーリングの孔井は、深度500m井が中川荘の源泉(温度25.5℃、揚湯量51ℓ/min)として活用され、深度150m井が観測井として利用されている。

中川温泉の調査で得られたもう一つの大きな成果は、アルカリ性の高い丹沢の地下水の成因の解明である。高pHの泉質の起源については、丹沢山地の深層地下水と母岩の亀裂中に晶出しているカルシウム沸石との反応が予想された。しかし、カルシウムを含む熱水性造岩鉱物と地下水との平衡関係

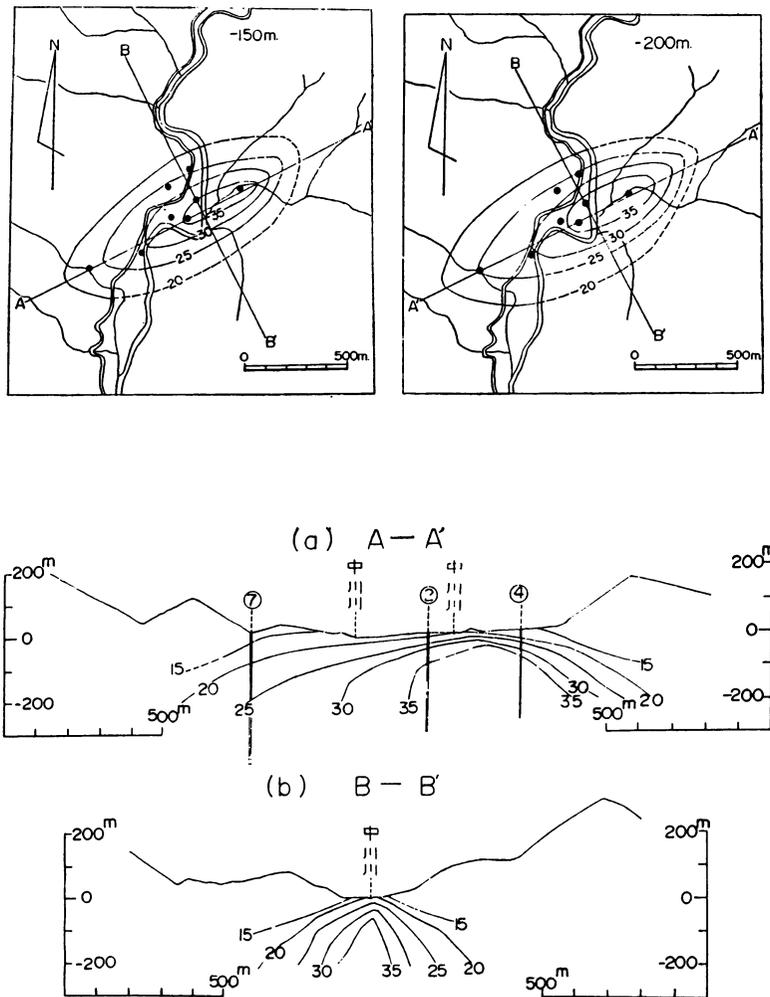


図 2・1・3 中川温泉地の地下温度分布(大木ら、1967)



写真 2・1・6 七沢病院、源泉（厚木第1号）は中央の人物の場所（1991年11月）

勢原と探し、厚木市郊外の七沢に決った。1964（昭和39）年に、温泉研究所は温泉法に該当する温泉が七沢で得られるかどうかについて調査するよう命令を受けたのである。

丹沢山地の東縁部には南北に連なって鶴巻、伊勢原、七沢、広沢寺、飯山、別所の各温泉・鉱泉が古くから知られている。1963（昭和38）年の既存源泉の調査によって、これら地下水の多くは20℃程度であり、丹沢山地特有の高アルカリ性を示しているが温泉の規定を満たしていなかった（大木ら、1964）。一つの望みとして、高 pH の泉水はメタ珪酸の含有量が大きい傾向を持つので、メタ珪酸が50mg/kg以上に達する可能性があった。

七沢の温泉調査は研究所員による深度150mのボーリングによって試みられた。ここでも pH9.8の高アルカリ水が5ℓ/min程自噴した。温度勾配は3.3℃/100mで、西丹沢より低いことがわかった。1965（昭和40）年に、リハビリテーション施設で用いるための本格的な孔井の掘削が始まった。孔井は506mまで掘削され、温度22.1℃、pH9.6、メタ珪酸65.0mg/kgの温泉が70ℓ/min自噴して工事を終了した（写真2・1・6）。1966（昭和41）年に七沢リハビリテーション・センターが開設された。さらに、1973（昭和48）年には七沢総合リハビリテーション・センターが開設され、七沢地区の発展をむかえた。

リハビリテーションの孔井はその後自噴量が減少し、1971（昭和46）年にポンプ揚水に切り替えた。1972（昭和47）年の揚水量は10ℓ/min、温度は20.2℃、pH9.4である（荻野ら、1973）。

1・2・3 神の川流域と大山地域の温泉

丹沢西部の中川温泉の北部に位置する津久井町神の川流域と丹沢東部の伊勢原市大山地域での温泉調査が衛生部の依頼により1968（昭和43）年と1969（昭和44）年に行われた。これらの調査には、埼玉大学の関陽太郎教授とその学生、東京大学地震研究所の松田時彦氏が参加した。また、埼玉大学地質学教室出身の小鷹滋郎研究員が1968（昭和43）年に入所していた。埼玉大学ファミリーが大挙して押し寄せてきた感であった。

神の川流域の調査は1968（昭和43）年3月末から同年12月中旬に実施され、実人員21名、延べ人員600名の大きかりなものとなった。調査はまず地形図と空中写真で地質学盤のわれ目パターンを解析し、次いで地表地質調査に入った。約2,000万年前に第三紀層に貫入した高温の溶融体の石英閃緑岩が余熱をもって地下深くしそんでおり、温泉があれば割れ目に沿っているにちがいないと考えたからである。調査では、石英閃緑岩の貫入後に割れ目が発生し、その割れ目に沿ってが高温の溶融体の安山岩が貫入していることがわかった。したがって、温泉可能な地点としてなるべく大きな安山岩の部分が想定された。ボーリング工事は研究所の所員が行った。場所は長者舎と日陰沢橋の2地点である。深度は約90mである。両孔井は僅かであるが自噴した。水質はpH10で、中川、七沢と同様に高アリカリであるが、温度が13~14℃と低く、他の成分も温泉法の規定を満たす温泉とはならなかった。

地温勾配が2.7℃/100mであるので、本地域で25℃以上の温泉を得るには深度600mよりも深く掘さくする必要があると考えられた。

大山地域の調査は1969（昭和44）年3月から同年12月末まででの間に行われた。大山地域は石英閃緑岩体よりはるかに離れているので、温度の高い温泉を得ることが困難であろうと考えられていた。しかし、温泉の熱源としては、石英閃緑岩体以外の有力なものが発見できるかも知れないとの期待もあった。調査はまず地表地質構造調査、破碎面、岩石の変成作用の検討などを行い、次いでボーリングが行われた。ボーリング地点としては、地表の地質調査によって本地域で最も深部の地層が地表に現れ、しかも亀裂が多いとみなされた幸橋の近くが選ばれた。

ボーリング工事は利根工事株式会社が請け負った。深度は180mである。孔内水位は地表下5m付近を前後していたが、深さ129mを過ぎると自噴した。自噴量は40ℓ/min、温度は17.8℃であった。自噴泉の静水位は地表より11mの高さまで上昇した。水質はpH10.5で炭酸物質が少なく、いわゆるアルカリ非重炭酸塩型の泉質に属し、他の丹沢周辺と同様な鉱泉である。本孔井も温泉法の規定を満たす温泉とはならなかった。孔底温度による地温勾配は3.1m/100mであるので、神の川流域の場合と同様に25℃以上の温泉を得るには深度600mよりも深く掘さくする必要があるとの結論となった。

1・2・4 鶴巻と湯の沢温泉

大山山麓の南端に位置する鶴巻温泉は1889（明治22）年に塩分の多い井戸水を浴用に利用したのが発端といわれ、1927（昭和2）年の小田急線の開通で急速に発展した。温泉は丹沢層群の上部を占め

る大沢凝灰岩の割れ目から湧出している。泉質は溶存物質の多いカルシウム塩化物泉とその派生的なもので、化石海水型温泉として他の丹沢山地の鉱泉と区別されている。丹沢山地の温泉調査が行われていた当時、1961（昭和36）年に掘削された深度605mの第13号から温度35.7℃の温泉が揚湯され、掘削中の第17号（ゆたか1号）井が深さ150mで32℃に達する温泉を75ℓ/minも自噴して注目を浴びた。第13、17号の地温勾配は約2℃/100mである。これらの水温は予期される水温よりも10℃以上も高い。地下から上昇してくる熱水は、東丹沢の他の温泉、鉱泉が地下1～2kmとするならば、それよりも深い地下2～3kmであろうと想定した。

第17号は1966（昭和41）年に深さ500mまで掘削され、pH9.4、温度40.5℃の温泉が450ℓ/minも自噴した。溶存成分は9,318mg/kgの塩化カルシウム泉である（大木ら、1967、平野ら、1967）。排出した温泉が周辺の水田に流入して稲を枯らす塩害を起こす騒ぎもあった。

鶴巻の17源泉は全て半径280m以内に集中して開発されていることから、神奈川県温泉保護対策要綱が定められた1967（昭和42）年に、鶴巻の一部が温泉準保護地域に指定された。これにより、新規の源泉掘削は既存源泉から150m以内で認められなくなった。

1970（昭和45）年に、鶴巻から約11km東に位置する丹沢山地南端部の松田町寄（やどろぎ）で深度700mの孔井が丹沢層群中に掘削された。本孔井から鶴巻温泉と化学組成の類似した24.3℃の化石海水型温泉が湧出した（写真2・1・7）。



写真2・1・7 松田町寄（やどろぎ）の源泉（深度700m）、化石海水型温泉（1974年6月）

松田町寄と鶴巻の温泉を海水起源とするならば、海水に比べて SO_4^{2-} の比率が、前者は著しく高く(1,139ppm)、後者は低い(240ppm)。この SO_4^{2-} 溶存量の相違は、海水を含む地層の鉱物組成との長い間の反応によるものと推定された(平野ら、1976)。

1・3 箱根温泉の調査(1968~1970年)

1・3・1 箱根群発地震と温泉の異常高温

箱根の東側に位置する強羅地域の開発は明治の末から始まっていたが、地下数10mの地点の流れの早い浅層地下水に阻まれて温泉開発が困難であった。強羅において温泉井の掘さくが成功したのは戦後の1952(昭和27)年である。第1号は元温泉審議会委員鈴木二六氏所有の宮城野第24号(後に第115号と変更)である。温泉井は、深度308m、温度53℃、揚湯量180ℓ/minである。それ以来、当地域の温泉開発は急速に進み、現在、46源泉、2,160ℓ/minに達している(写真2・1・8)。

1967(昭和42)年5月23日に強羅の一部の温泉温度が急に上昇し、翠光館源泉(宮城野第50号)の地上配管が破損する騒ぎが起きた。宮城野第50号泉の温度は通常64℃であったのが、5月27日に75℃、6月5日には89℃に達した。これが箱根温泉の異常高温発見の発端である。強羅地域に温泉が見い出されてから約15年を経過していたが、今までこのような異常現象は見られなかったので、箱根火山の

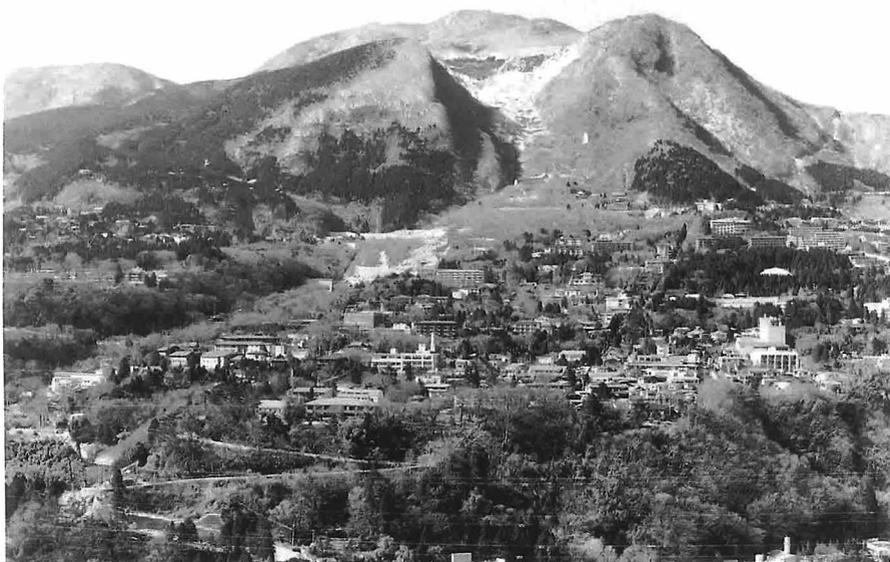


写真2・1・8 箱根早雲山噴気地帯と強羅温泉地(1991年3月)

噴火や群発地震の前兆ではないかと危惧された。温泉研究所は小田原保健所温泉課の協力を得て、中央火口丘周辺に分布する源泉の温度を短期間に精力的に測定した。温度が異常に上昇した温泉は強羅と小涌谷の源泉に限られ、それらの溶存成分（主に食塩（NaCl）成分と珪酸）も増加していた。津田文吾知事は詳細な調査を指示すると共に、東京大学地震研究所長水上武教授に火山性地震の調査を依頼した。地震研究所の集中観測によって、箱根の火山活動は安定しており、火山噴火の前兆の地震も発生していないことが明らかになった。箱根には度々群発地震が起きている。1959（昭和34）年9月～1960（昭和35）年4月の群発地震はM4の地震も発生させていた。異常高温が発生する1年前の1966（昭和41）年6～7月にも有感を伴う群発地震が起きていた。この時の群発地震は1959～1960年の群発地震と比較して震源が浅くなり、中央火口丘神山の下部の標高0mを中心とした-1,000m～500mの範囲に集中していた（水上、1967）。これらのことから、箱根の温泉と地震とが密接な関係があることが考えられ、後に箱根温泉の成因モデルへと発展した。

1・3・2 箱根火山の地質構造

箱根温泉の湧出機構を探るには、先ず温泉の入れ物である箱根火山の構造を知らなければならない。箱根火山の地質構造は、東京大学理学部教授の久野 久（1950、1951、1952）によって詳しく調べられていた。箱根火山は湯ヶ島層群や早川凝灰角礫岩層を基盤とし、古期・新期外輪山と、カルデラの中央を北西－南東に走る金時－幕山構造線に沿って合計8個の中央火口丘から成っている。中央火口丘は、神山だけが今も噴気活動を行っている成層火山で、他が溶岩円頂丘である。箱根温泉の多くは、中央火口丘の東端の早川沿いと新期外輪山の南端の須雲川沿いで湧出している。このため温泉は、富士山の見えるところがないと昔から言われていた。久野によると、これに箱根・伊豆地域では湯ヶ島層群に達すると温泉が出るということになった。

温泉研究所は発足当初から箱根、湯河原において温泉掘削の工事現場を巡回し、ボーリングコア（岩石資料）の採取に努めていた。久野は大木らとともに温泉研究所の集めた1962年以後の深い温泉ボーリング孔のコアを基にして、より正確な箱根火山の構造を明らかにした。それが図2・1・5の箱根火山の地質図と地質断面図である（Kuno et al. 1970）。

箱根火山の溶岩類は巨視的にみるとスポンジのように隙間だらけなので、多量の雨水を吸収し、地下水として蓄え、ゆっくりと湧出する貯水体である。一方、基盤岩は堅くて緻密なので不透水層の役割をしている。大木靖衛は、基盤岩が西から東に向かって穏やかに傾き、そして、基盤を覆う中央火口丘溶岩類の基底部に著しく透水性のよい岩相が主要な温泉滞水層になっていることを明らかにした。この深度まで達すると温泉が採取される。温泉水位は必ず芦ノ湖の水面723mより低く、東側の早川河床（350～450m）より高く、全体的に東に傾いていることがわかった。したがって、中央火口丘溶岩類の基底部付近の温泉は西から東に流動していると推定された。

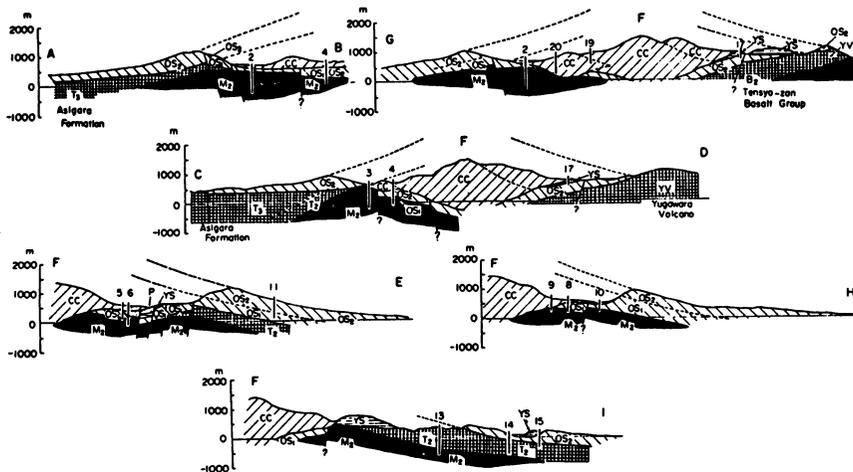
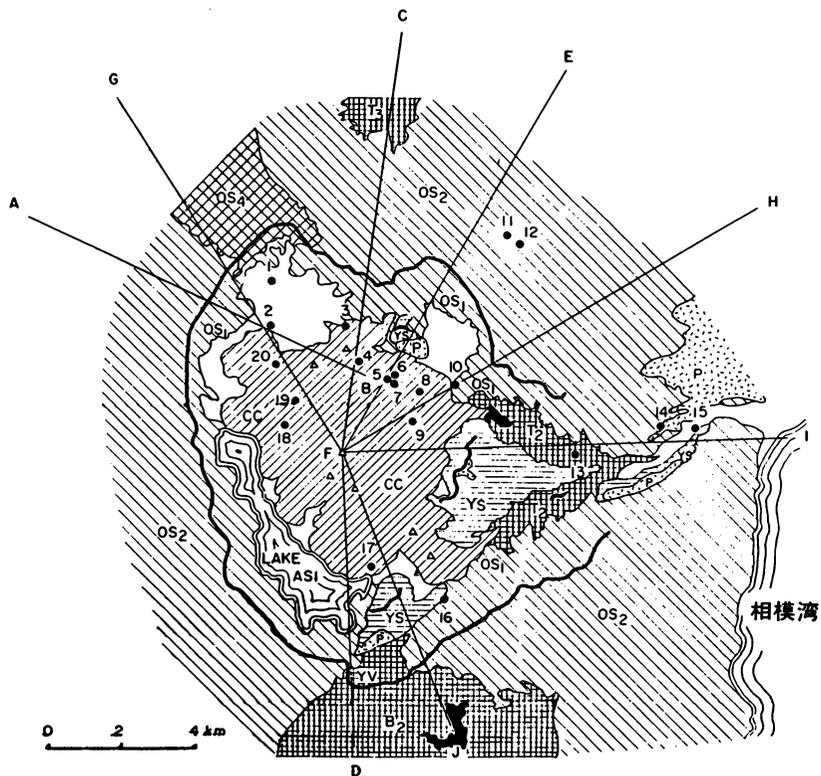


図 2・1・5 箱根火山の地質図と地質断面図 (Kuno et al. 1970)

M₂: 湯ヶ島層群、T₂: 早川凝灰角礫岩、B₂: 天昭山玄武岩類、TV: 湯河原火山噴出物、OS₂: 古期外輪山溶岩類、OS₄: 金時山溶岩、YS: 新期外輪山溶岩、P: 軽石流堆積物、CC: 中央火口丘噴出物、L: 湖成層と崖錐

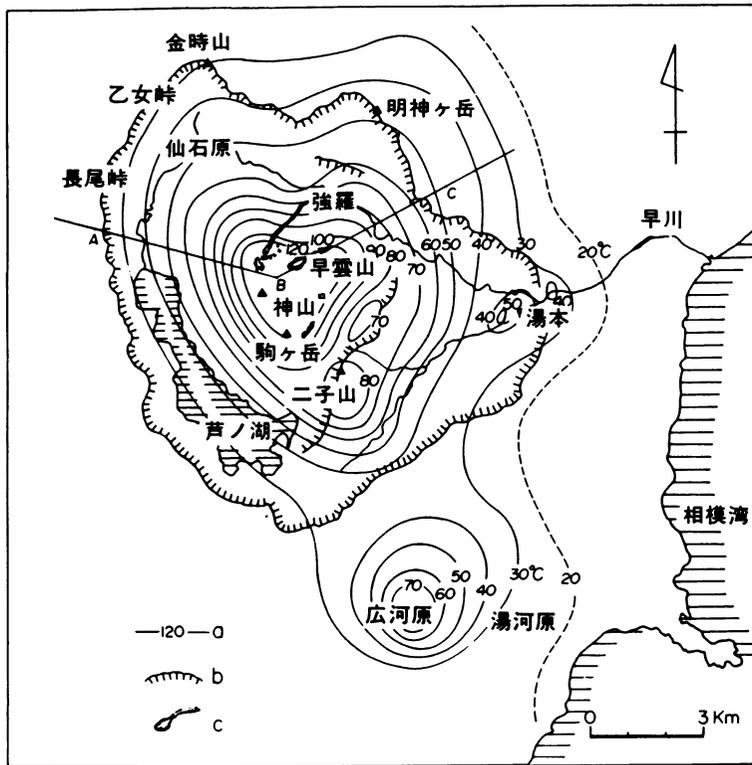


図 2・1・6 箱根火山の地温分布図 (海拔標高 0 m) (Oki and Hirano, 1970)

a: 等温線、b: カルデラ壁、c: 噴気地帯

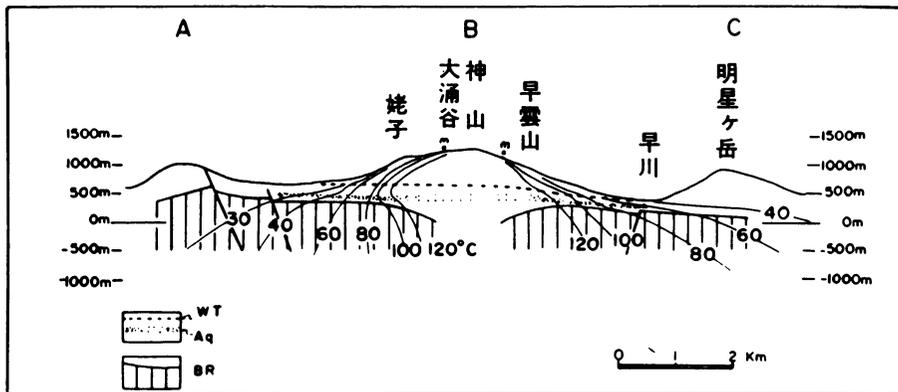


図 2・1・7 箱根火山の東西地質断面と地中温度構造 (Oki and Hirano, 1970)

WT: 主要温泉滞水層の被圧水頭面、Ag: 主要温泉滞水層、BR: 基盤岩類

1・3・3 箱根火山の地温分布

温泉探査の一つに地中温度分布の把握がある。温泉研究所はボーリングコアの採取とあわせて孔内温度測定を行った。これらの温度資料から作成したのが、世界で最初の活火山地中温度分布図ともいえる図2・1・6と図2・1・7の箱根火山地中温度分布である（Oki and Hirano, 1970）。

箱根火山の標高0 mにおける温度分布は、現在盛んに噴気活動を続けている神山を中心に同心円上の広がりを示している。中心部の温度は直接測定できないが300℃と推定される。図2・1・6で注目されることは、等温線の間隔が西側で狭く、東側で広がっていて、東西が非対称を示していることである。この非対称は、箱根火山の火道を上昇してきた熱水が西から流動してきた深層地下水に混入して東に流動していることを示唆している。また、地中温度分布には中央火口丘駒ヶ岳と新期外輪山鷹ノ巣山との間に低温の谷がある。この低温帯の谷壁は新期外輪山を生じた時のカルデラ壁（弧状断層）である。地下水は弧状断層に沿って元箱根方面から芦の湯を経て小涌谷に向かって流れていることを示唆している。1967（昭和42）年8～11月に行った元箱根でのボーリング調査はこの低温地下水の流動を支持している（大木ら、1968）。地中温度分布の作成は単に地中の温度状況を明らかにしたのみならず、深層地下水（温泉）の流動形態を浮かび上がらせる成果をあげた。

1・3・4 箱根温泉の泉質分帯

研究所の重要な業務の一つに、一般の人から依頼される温泉の泉質分析がある。研究所の設立当時は温泉掘削のラッシュ時でもあって、多数の分析が行われた。多数の試料の分析作業に興味加わり、平野富雄研究員らは研究所で寝袋にくるまって夜を過ごすことも度々あった（写真2・1・9）。泉質分析結果を整理し、解析すると、箱根では溶存主成分の陰イオンである Cl^- （塩素イオン）、 SO_4^{2-} （硫酸イオン）、 HCO_3^- （重碳酸イオン）の比率によって、酸性硫酸塩泉、重碳酸塩硫酸塩泉、塩化物泉、塩化物重碳酸塩硫酸塩泉（略して混合泉）の4泉質群に集約出来ることがわかった。この泉質群は地理的分布ともよく一致していた。図2・1・8の泉質分帯図は地中温度分布図とほぼ同時期に出来上がった。

第Ⅰ帯は酸性硫酸泉である。火山性蒸気の噴出する中央火口丘神山に分布する大涌谷、早雲山、硫黄山の各噴気地帯（地熱地帯）およびその周辺に浅層地下水として存在する温泉である。この温泉はpH 2～3を呈し、硫酸イオンの多いのが特徴である。硫酸イオンの供給源は、火山ガスの主成分の硫化水素が地表近くで酸化されて生成されたものである。

第Ⅱ帯は重碳酸塩硫酸塩泉である。この温泉は中央火口丘を取り巻くように分布し、深度300～700 mの孔井から揚湯されている。温度は50～70℃である。泉質を特徴づけている重碳酸は堆積物中に取り込まれている植物の分解によって供給されていると考えられた。この温泉は中央火口丘の基底部付近に形成されている深層地下水とみなされている。

第Ⅲ帯は塩化物泉である。高温のナトリウム塩化物泉が早雲山硫気地帯の地下数100 mから出発し、3本の流れとなって東の早川溪谷方面に流下している。湧出時の地表での温度は90℃以上、pHは7



写真 2・1・9 野外で分析中の平野富雄氏

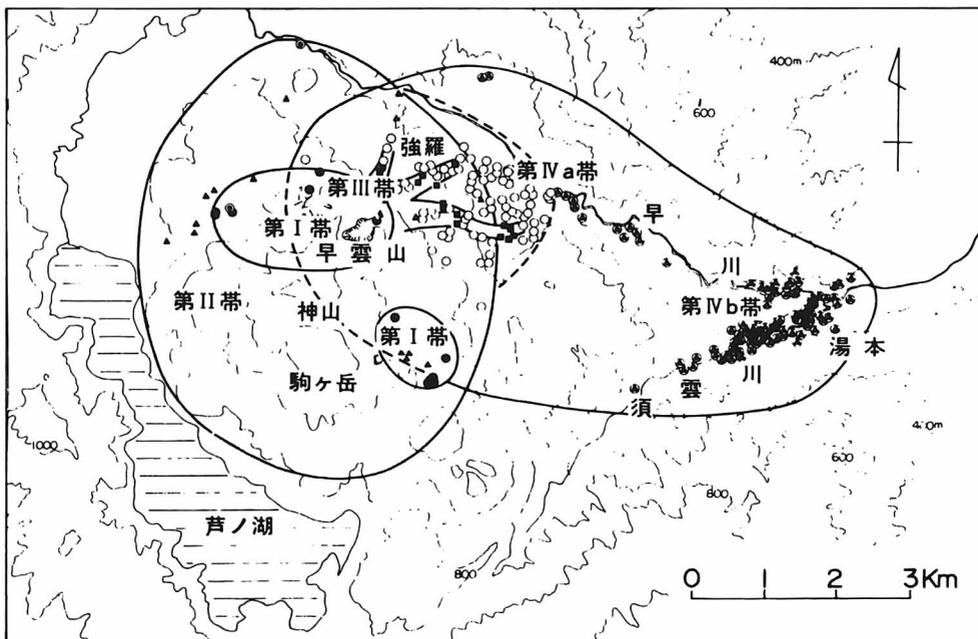


図 2・1・8 箱根温泉の泉質分布 (Oki and Hirano, 1970)、箱根温泉の泉質は4帯に分類できる

～8.5、溶存成分は85%が塩化ナトリウム（食塩、NaCl）、10%が珪酸である。この温泉は典型的な火山性の温泉である（大木・平野、1975）。

第Ⅳ帯は塩化物重碳酸塩硫酸塩泉である。この温泉は第Ⅱ帯の深層地下水に第Ⅲ帯の塩化物がいろいろな割合で混合した化学成分をもつもので、単に混合泉とも呼んでいる。この内、早川・須雲川沿いで湧出する基盤岩の温泉が第Ⅳ b 帯に分類される。

この泉質の分帯図で重要なことは、第Ⅲ帯と第Ⅳ帯が神山の東側にあつて、西側になくことである。これは泉質帯に見られる東西の非対称性であり、箱根温泉の成因を考える上で重要なことである。

1・3・5 箱根温泉の成因

箱根温泉の湧出機構を確立するために是非とも必要とする材料の地質構造、地中温度分布、泉質分布がこれで揃った。これに箱根火山の地震を加えて考察する必要がある。大木・平野らは最後の仕上げに取り掛かった。出来上がったのが図2・1・9である。一つ一つの自然現象は際限りのない複雑さと問題をもっているが、それらを含めるメカニズムの概略はきわめて単純な場合がある。箱根温泉の成因モデルはそのよい例であり、一目で諸現象を理解することができる。箱根温泉の泉質の分帯とその形成機構は次のようになる。

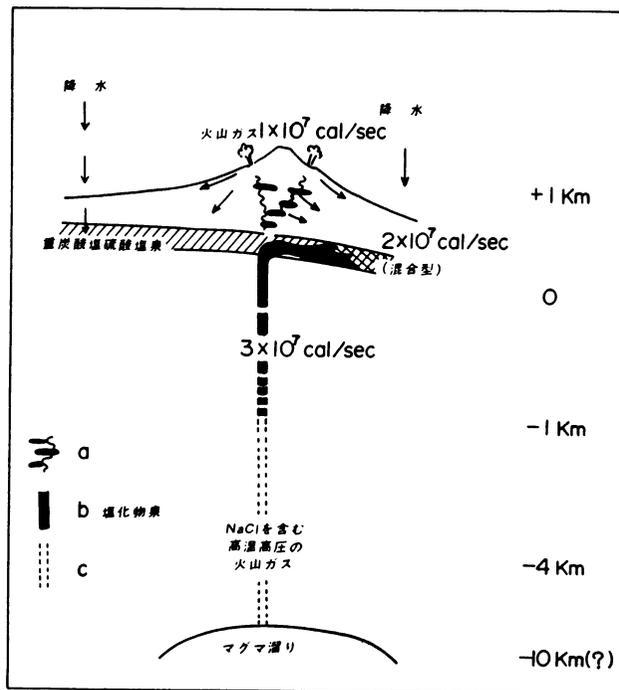


図2・1・9 箱根温泉成因モデル (Oki and Hirano, 1970)

a: 火山ガスの気化 液化の繰り返し過程、b: 高温の塩化物泉、c: 食塩を含む高温高压の火山ガス



写真 2・1・10 講演中の大木靖衛氏

箱根火山の熱源となっている地下深部のマグマ溜まりの規模や深さはまだ明らかになっていない。箱根火山の地震観測によれば、深さ 5 km より深い部分に火山性地震が発生していないことから、マグマ溜まりの上端は深さ 4～5 km 以下と考えられている。マグマから分離して神山の火道を通って上昇する高温高圧の水蒸気には、食塩や珪酸をガス相として含んでいる (White, 1957; Sourirajan and Kennedy, 1962)。この水蒸気が中央火口丘の基底部付近を西から東に流れる深層地下水 (第Ⅱ帯の重碳酸塩硫酸塩泉) に混入して高温の塩化物泉をつくっている。このため、カルデラの東側だけに塩化物泉 (第Ⅲ帯) が湧出し、塩化物泉を混入している混合泉 (第Ⅳ帯) が分布することになる。比重の重い食塩は高温高圧ならばガス相として存在できるが、上昇によって圧力が低下すると液相 (温泉) にとどまってしまう。比重の軽い硫化水素はさらに上昇し、大涌谷や早雲山の噴気地帯で火山ガスとなって噴出し、第Ⅰ帯の酸性硫酸泉を形成する。

大木・平野による箱根温泉の成因モデルは、後に火山性温泉の模式ともなった。大木靖衛所長 (写真 2・1・10) はさらに箱根の温泉や火山性蒸気の利用の問題等に取り組み、箱根温泉の発展に貢献したことにより、1978 (昭和53) 年に箱根町褒賞を授賞した。

2 温泉保護対策調査 (1967年～現在)