

# 地下水としての温泉保全入門

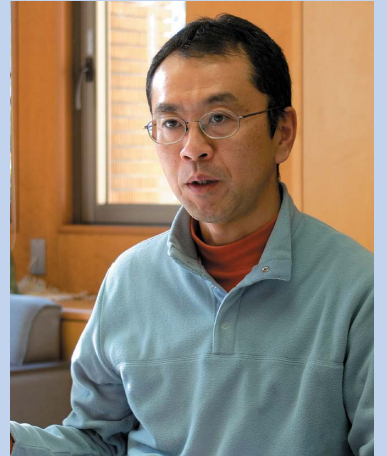


板寺 一洋

いたでら かずひろ  
神奈川県温泉地学研究所 主任研究員

菊川 城司

きくがわ じょうじ  
神奈川県温泉地学研究所 主任研究員



## 温泉とは何か？

地下水としての温泉保全について話す前に、箱根や湯河原を例に挙げて、温泉の仕組みについて説明します。

温泉とは、地下に浸透した雨水などが、ゆつくりと地下の深い所を循環して、熱や成分を獲得したものです。これには数年から数十年かかります。水がどのように与えられるか、熱の源が何かによつて、温泉は分類されています。

温泉は「火山性温泉」（第四紀（二百万年以後）の火山活動で形成される温泉）と、「非火山性温泉」に分かれます。非火山性温泉は、「深層地下水型」と「化石海水型」に分類されます。

火山性温泉は、地下にあるマグマ溜まりから火山性のガスが上がつてきて、近くの地下水に火山の恵みで熱や成分が与えられます。温泉のもとになる「水」は9割以上が雨です。箱根、湯河原は火山性温泉です。

丹沢山地の中川温泉は、非火山性温泉の一例です。昔マグマだったものが固まった「高温岩体」と呼ばれるものがまだ地下に残っていて、その余熱で温度が上がります。箱根のように80度にはなりません、40度くらいにはなります。

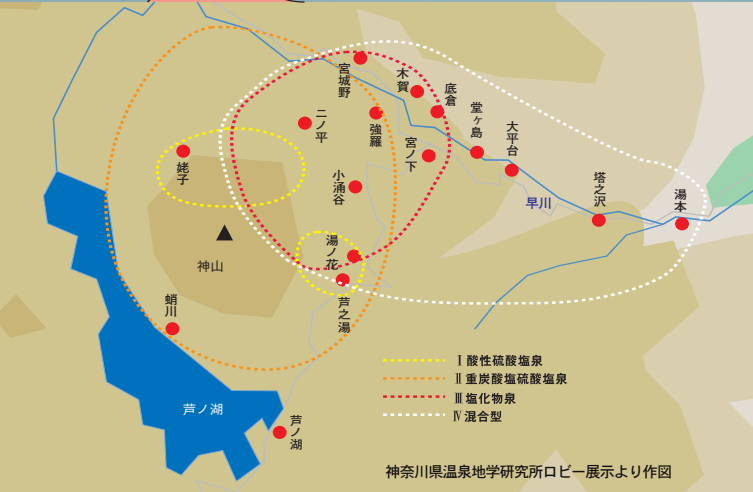
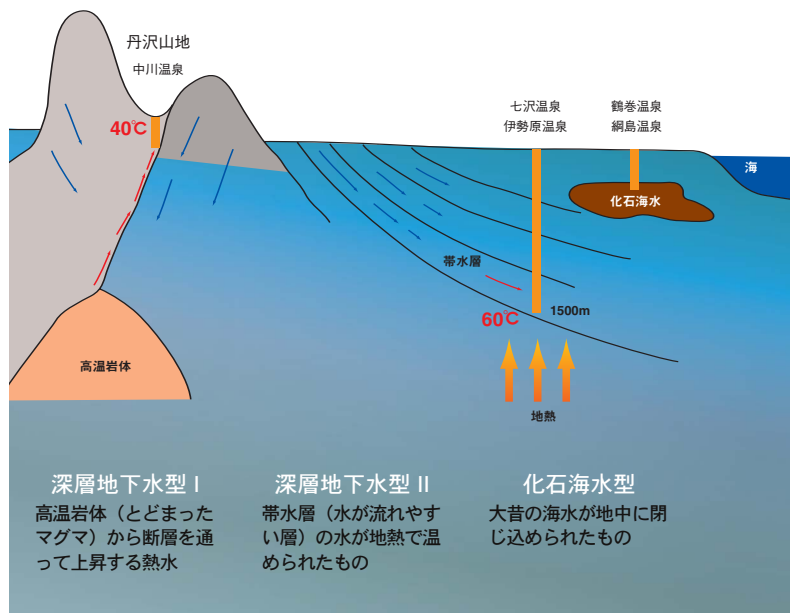
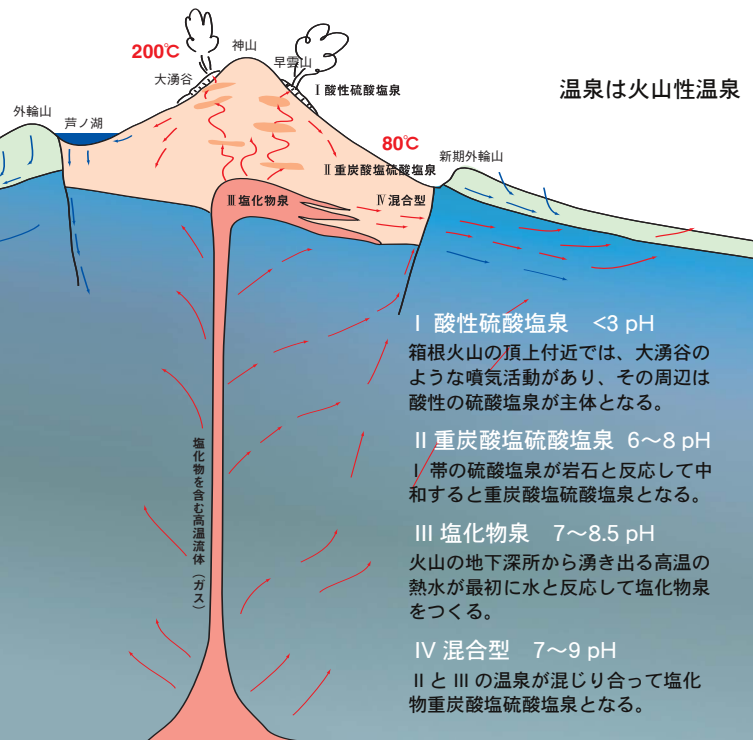
また「高温岩体」がなくても、地中は温度が地下に行くにしたがい、地熱で100mあたり2〜3度上がるので、1500m程掘れば60度になる計算です。ちなみに、最近増えている大深度温泉というのは、この部類に入ります。

それから、昔の海の水が閉じこめられている「化石海水」を汲み上げている温泉もあります。

次に泉質ですが、火山性温泉は、火山性蒸気と雨水の混合具合で泉質が違います。ほぼ同じ地区で、火山起源の成分と地下水流動の状況が同じならば、温泉も同じです。どちらかが異なれば泉質も温度も違います。ですから、火山性温泉は本当にバラエティーに富んでいます。

化石海水型でしたら、ナトリウム・塩化物泉、つまりほとんどが食塩泉です。

よく茶色の湯がありますが、これは昔の植物由来の腐植質が溶けているもので、フミン酸が主です。この場合はナトリウム・炭酸水素塩泉、重曹泉ですね。平野部はだいたいこんなもので、火山性温泉に比べると検討がつけ易いのです。私たちは、温泉法に基づいて温泉分析をして、温泉分析書をつくらします。環境省の基準で、泉質に応じて記す項目は決まっています。これらの効能は、正直いって断



### 箱根『七湯の枝折』

江戸時代、1811年（文化8）に文窓、弄花という2人の人物が『七湯の枝折』という箱根温泉の案内本を出版し、各温泉の性質と効能を述べている。

- 湯元 冷湯、気味なし 脚気、すぢけ、骨痛、痔疾、瘡毒、タムシ、など
- 塔之沢 温湯、辰砂湯、気味かろし 中風、脚気、筋痛、冷症、頭痛、打身、など
- 堂ヶ島 (性質の記載なし) 痰痛、脚気、痔、頭痛、めまひ、すぢけ、など
- 宮ノ下 温湯、気味しほはゆし (塩けが多い) 頭痛、腰痛、脚気、しつり、中風、疝気、など
- 底倉 熱湯、気味至而鹹し 痔疾、淋病、疝気、中風、打身、帯下、など
- 木賀 温湯、気味鹹し、又酸みあり (上湯) 気血不順、気虚、胸騒ぎ、すぢけ、など
- 芦之湯 冷湯、気味酸し (達磨湯) 眼丹、ただれ目、濕眼、つき目、熱、ムシ菌、など

言できません。「温泉の何が効くんですか？」と問われれば、「温熱効果がある」、「身体が浮く」、「成分がなんらかの影響を与えるのでは」、「転地効果でリラクセスする」程度までは答えられます。しかし、「○○がこれだけ入っているから、○○に効く」等とは、我々では答えられません。そこらは、温泉療養を専門にしている人に質問してください。

### 温泉の性格は熱と地下水の収支で決まる

温泉も地下水であると考え、その集水域が決まります。箱根は一つの集水域で閉じていますから、箱根だけを考えるならば、平野との関係は考えなくてもいいのです。湯河原も閉じた集水域として考えます。

温泉が枯渇しているかどうかはある井戸の水位と温度が一定なのか、それとも下がっていくのかを計測する方法があります。

温泉は雨水と火山性蒸気が混じり合っていてきてるので、雨量が減れば湧出量も減りますし、雨水からくる地下水の流れが一系統ではなく複数系統あれば、その系統間のやりとりを考えねばならない。それは、場所により異なるので、特定するのはなかなか難しいです。

この系統を、簡単にいえば「水脈」という言葉で表現しますが、水脈といっても地下に川の流れるようなものがあるわけではありません。スポンジのようなものを、地下水がゆつくりと動いている姿をイメージしたらよいでしょう。箱根、湯河原で、どこにどういう水脈があるかは、なかなかはっきりとわからないのが現状です。なぜかというと、例えば、深い所には熱くて成分も濃い水があり、浅い所ほど雨水に近い薄くて温度の低い水があると考えてみてください。その水が層になって重なっているのです。どこかで温泉を過剰に汲むと、その部分の湯が無くなるため、上から冷たい水が入ってきて易くなり、結果的に湯の温度が下がるかもしれません。しかし、もしお湯と水との間に互いにやりとりがなければ、お湯を汲んでも湯の温度が下がらずに、単に湯量が減るだけです。また、上の冷たい水もやがては温泉になると考えもなくなってしまうかもしれない。つまり、いろいろなパターンが考えられるということです。

したがって、現状としておまかな状況はお話できますが、現在はある場所のある源泉がどのようなパターンに相当するのかを、見極めようと調査している段階です。

要は、水収支バランスと、下からの火山蒸気の供給のバランスが、どのような連鎖で関係しているかが問題になるわけですが、それはピンポイントではなかなかわかりません。

### 量の変動といつても

温泉の湧出量は水収支と関係していますから、降雨量の影響が出やすい温泉と、すぐには出ない温泉があります。例えば、自然に湧いている温泉（湧泉）の中には大雨が降ると3日後に湧水量が増える場所があります。逆に、降雨にほとんど左右されない温泉もあり、個々の個性があります。箱根では、姥子温泉はこうした影響が出やすい温泉です。通常汲み上げているような掘削井戸では、目に見えるような大きな影響は出てこないですね。

ただし、年単位で長期的に見ると、汲み上げ量や収支のバランスが崩れ、だんだん量が減ってきているという源泉もあります。さらに収支以外にも、例えば火山活動が活発になったりすると温度が上がる可能性があります。

### 研究所は何をしているか

当研究所は1961年（昭和36）

に、神奈川県によって設立されました。当初は温泉研究所と呼ばれていましたが、後に地震や地下水汚染も研究範囲に含め、今は温泉地学研究所と名乗っています。地質構造の解明、温泉保護の対策、地下水の保全、地震活動の監視という4部門から成っています。

温泉は、昭和30年代により深く、より多くお湯を汲み上げることができるようになり、全国的に温泉の乱開発が起きました。ボーリング技術が発達し、汲み上げポンプの性能が良くなってきたからです。この2つの技術性能の向上が、過剰掘削に拍車をかけ、問題化していきました。

箱根、湯河原など県内の既存温泉にも影響が出て、このままでは枯渇してしまうかもしれないという危機感がありました。そこで、温泉の保全を目的に、当研究所がつけられたのです。

温泉研究所ができるまでは、温泉にかかわることは保健所が担当しており、箱根の湯量が減ってきたということはわかっていました。「それは多分掘りすぎたから」程度のことはわかっていたのでしたが、本格的に温泉保護のための研究を始めたのは1961年（昭和36）以降です。自治体レベルでの取り組みとしては全国でも非常に早かったと思います。

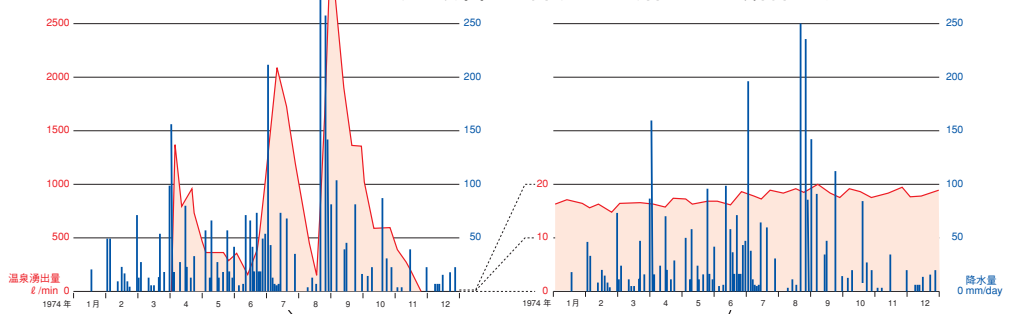
### モニタリング

温泉地学研究所の主要な活動の一つに、モニタリングがあります。定点観測をして経年変化を調べ、問題が起きればさらに調査します。定点観測地点は箱根で8ヶ所設けています。

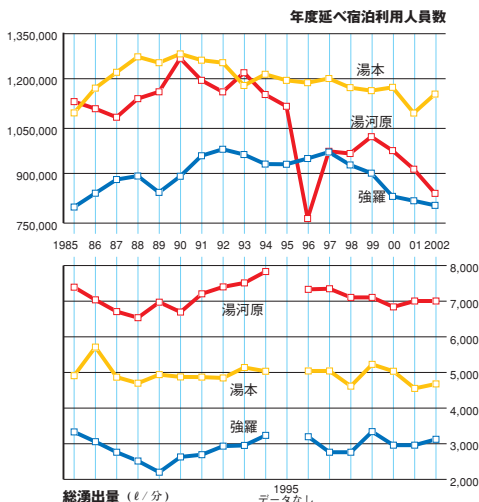
また、日常の観測とは別に、スポットで調査する場合があります。箱根では群発地震が起きることがありますが、それに伴い温泉の温度が上がることがあります。地震火山活動とのかわりを調べるために、温泉データを集めるのです。最近では2001年に温度上昇が認められました。

このような観測業務とは別に、県民からの相談を受けることもあります。例えば、温泉宿のご主人から「いままで透明だったけど、何か沈殿物ができるようになった。何か沈殿物ができるようになった。泉質が変わったのか？」とか「今まで無臭だったのに、臭いがする」「量が減ってきたけど、隣で何かやっているのでは」等といったことです。沈殿物があるという相談ですが、これは場合によっては温泉からではなく、清掃や管理が不十分で、藻などの有機物が発生するケースも考えられます。湯量が減る場合、我々がまず疑うのは井戸のメンテナンスがされ

温泉の湧出量と降水量の関係は、地域特性で違いがある



箱根・湯河原の温泉湧出量と年間宿泊人数の推移  
年間宿泊人数（上）と温泉総湧出量（下）の推移を示したもの。現在のところ、大きな変動もなく落ち着いている。

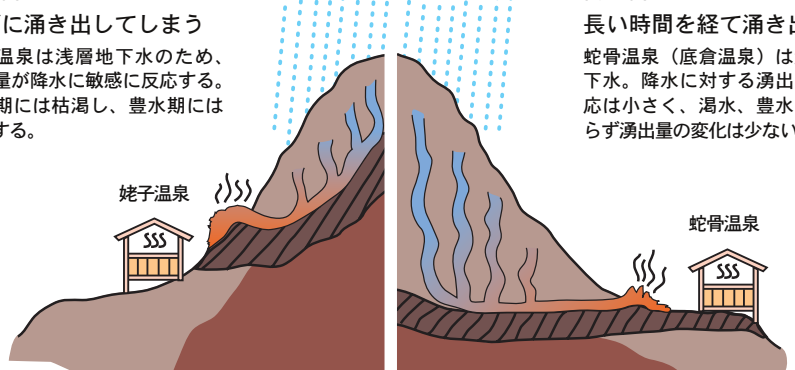


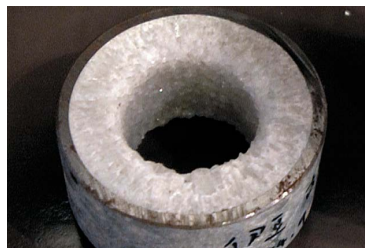
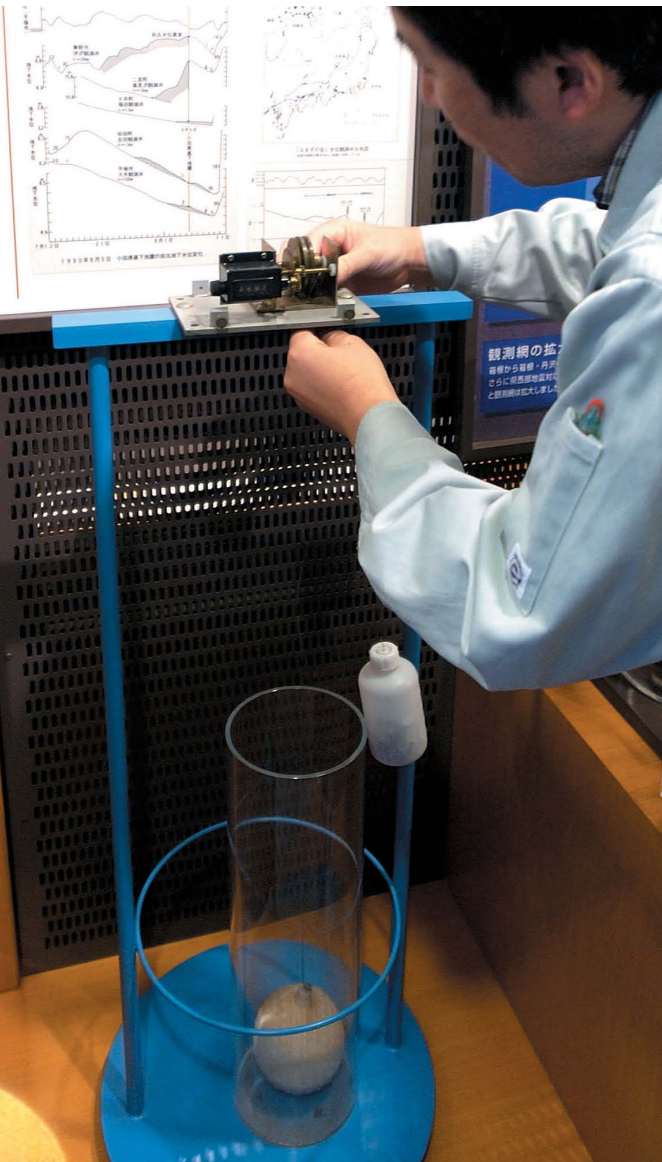
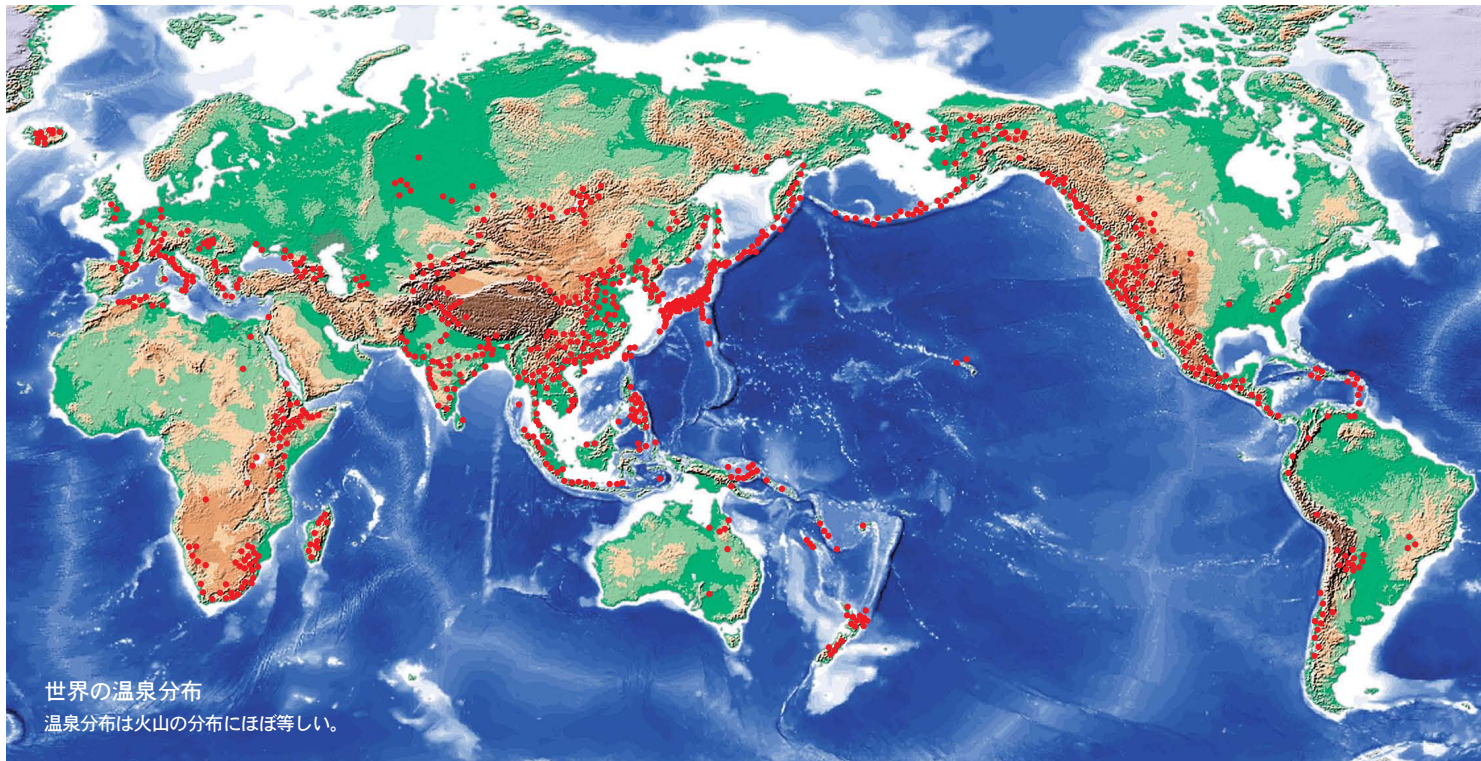
### 雨が降ったら

すぐに湧き出してしまう  
姥子温泉は浅層地下水のため、湧出量が降水に敏感に反応する。湯水期には枯渇し、豊水期には急増する。

### 雨が降ってから

長い時間を経て湧き出す  
蛇骨温泉（底倉温泉）は深層地下水。降水に対する湧出量の反応は小さく、湯水、豊水に関わらず湧出量の変化は少ない。





上：温泉井戸の管内に付着したり、沈殿した湯垢（スケール）。

左：神奈川県「ナマズの会」が定期的に温泉の水位を計測している器具。相対的な水位の上下動を測定するため、基準を任意に設定できる。

ているかどうかです。長く使っていると、井戸の管内に湯垢（スケール）が付着したり、ポンプの能力が落ちてきます。スケールの除去し、それでも戻らなければ、湯量が経年的に減っているのかを調べます。井戸毎に源泉の温度、量のデータは集めていますので、それらを並べて判断します。

### 温泉保全の考え方

現在箱根、湯河原の湧出量は落ちています。高高度成長期には、温泉の開発はさらに進み、枯渇化が深刻になりました。

そこで神奈川県では、1967年（昭和42）に「温泉保護対策要

綱」をつくり、新たな掘削の禁止や、汲み上げ量の上限を定めました。これに効果があつて、湧出量低下に歯止めがかかりました。

この対策要綱では、まず保護地域を定めました。「特別温泉保護地域」「温泉保護地域」「温泉準保護地域」の3つにランク分けし、箱根は大部分が温泉準保護地域と

神武景気 1955 岩戸景気 1959~1961 いざなぎ景気 1966~1970 オイルショック 1973 1978- バブル景気 バブル不況

**上昇景気の時代**

**温泉ブームの時代**

江戸の箱根七湯時代から明治の中ごろまでは、源泉数が30程度。箱根温泉の開発気運は、電車時代の開幕や丹那トンネル開通などの「交通の発達」および「景気の上昇時代」に訪れた。数度の温泉開発ブームを経て、現在では360余りの源泉がある。



ラウン

「... 腐蝕の生じた部分...」

1960 昭和 35 年

1980 昭和 55 年

2000 平成 12 年



**回転式・コア掘**  
深さ500mまでが限界であった衝撃式に変わり、回転式が登場してきたのが昭和40年代。掘り出されたコアにより、箱根の地質構造が明らかになり、温泉の科学や成因モデルに影響を与える。



**回転式・トリコンビット掘**  
岩盤を砕きながら掘削するトリコンビットは掘削時間を大幅に短縮した。湯本温泉では1944年ごろから掘削が盛んになってきたが、温泉水位の低下は著しく、1965年、自噴していた温泉が停止した。その後も毎年0.8mづつ水位が低下している。



左表：神奈川県温泉地学研究所口ビーの展示を作図したもの。

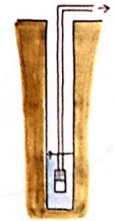
上：コア掘りの先端、人造ダイアのビットが回転して、土でも岩盤でもすべて円柱状（写真中の手前）にして掘り出す。ある程度掘り進むとコア（中身）を取り出すために、先端部分を地上まで引き上げなければならぬ。そのピストン運動をなくして大幅に能率を上げたのが、3つのビットで岩盤を砕くトリコンビットだ。（写真下）粉砕物は、水と一緒に引き出されるが、その泥水が、温泉水脈の細孔を目詰まりさせてしまうこともある。

圧縮した空気を送り込み、泡と一緒に温泉を汲み上げるエアリフト方式は昭和20年代から使われ始めた。能力が高く、構造が簡単なのが特徴。温泉の利用量が増大し、水位の低下が激しくなる。



**エアリフトポンプ**

移動が簡単な水中ポンプの開発が進み、低下する温泉水位に対応している。耐圧性の向上がさらに深所からの汲み上げを可能にした。



**水中ポンプ**

**温泉法(衛生行政)**

**温泉法の制定**  
温泉審議会という第三者機関が審議するという以外、基本的には取締規則の基準と同様の内容であった。

**県による要綱行政の時代**

**温泉保護対策要綱の策定**  
温泉保護のため温泉保護地域などを定め、新規掘削の制限と影響調査の方法などが盛り込まれた。

**温泉保護対策要綱の改定**  
温泉保護地域の拡大と保護規制の強化をはかり、温泉汲み上げ量の制限を設けるなど大幅な改定が行われた。

**飲泉の許可**  
飲泉の許可基準が設けられ、温泉利用の新たな展開が始まる。

環境庁の所管となる



**温泉法とは**

1948年(昭和23)に制定。温泉法で、温泉とは「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」とされている。別表は、以下のとおり

- 1 温度(温泉源から採取されるとき温度とする)摂氏25度以上
- 2 物質(次に掲げるもののうち、いづれかー)

物質名	含有量(1kg中)
溶解物質(ガス性のものを除く)総量	1000mg以上
遊離炭酸	250 mg以上
リチウムイオン	1 mg以上
ストロンチウムイオン	10 mg以上
バリウムイオン	5 mg以上
フェロ又はフェリイオン	10 mg以上
第1 マンガンイオン	10 mg以上
水素イオン	1 mg以上
臭素イオン	5 mg以上
沃素イオン	1 mg以上
ふつ素イオン	2 mg以上
ヒドロヒ酸イオン	1.3 mg以上
メタ亜硫酸	1 mg以上
総硫黄	1 mg以上
メタほう酸	5 mg以上
メタけい酸	50 mg以上
重炭酸ソーダ	340 mg以上
ラドン	20(100億分の1キュリー単位)以上
ラチウム塩	1億分の1mg以上

つまり、「温度が25度以上」か、上に挙げた物質のどれか1つを基準量以上充たしていれば、法律上は温泉となる。このあまりにも幅の広い温泉の定義が、温泉法の評判がよくない理由の一つとなっている。

また、温泉の成分等の表示については、温泉法第14条で「温泉を公共の浴用又は飲用に供する者は、施設内で見やすい場所に、環境省令で定めるところにより、温泉の成分、禁忌症及び入浴又は飲用上の注意を掲示しなければならない」とされており、その掲示項目は、温泉法施行規則第6条で以下のとおり定められている。

- 1 源泉名
- 2 温泉の泉質
- 3 源泉及び温泉を公共の浴用又は飲用に供する場所における温泉の温度
- 4 温泉の成分
- 5 温泉の成分の分析年月日
- 6 登録分析機関の名称及び登録番号
- 7 温泉に水を加えて公共の浴用に供する場合は、その旨及びその理由
- 8 温泉を加温して公共の浴用に供する場合は、その旨及びその理由
- 9 温泉を循環させて公共の浴用に供する場合は、その旨(ろ過を実施している場合は、その旨を含む。)及びその理由
- 10 温泉に入浴剤(着色し、着香し、又は入浴の効果を高める目的で加える物質をいう。ただし、入浴する者が容易に判別することができるものを除く。)を加え、又は温泉を消毒して公共の浴用に供する場合は、当該入浴剤の名称又は消毒の方法及びその理由
- 11 浴用又は飲用の禁忌症
- 12 浴用又は飲用の方法及び注意

この内、1から6及び11、12が従来の掲示項目、7から10は2005年2月に改正され追加されたものだ。改正された背景には、2004年に各地で問題になった温泉偽装問題や、循環ろ過式入浴施設で起きたレジオネラ肺炎感染の頻発がある。

# 箱根温泉の開発史

世界恐慌  
1930

太平洋戦争  
1941~1945

## 人力車などの時代

### 車道開削

1880 湯本 - 小田原  
 1881 湯本 - 塔ノ沢  
 1887 塔ノ沢 - 宮之下  
 1904 宮之下 - 戸之湯 - 箱根町  
 1912 宮之下 - 仙石原 - 御殿場  
 1932 箱根峠 - 熱海  
 1935 元箱根 - 湖尻 - 大湧谷 - 小湧谷

## 馬車の時代

### 馬車鉄道開通

1888 国府津 - 湯本

## 電車バスの時代

### 電車開通

1900 国府津 - 湯本

### 登山電車開通

1919 湯本 - 強羅

### 小田急開通

1927 新宿 - 小田原

### 丹那トンネル開通

1934 東海道新線  
 交通が便利になり  
 温泉開発が進む

富士箱根が国立公園に指定される  
1936

## 社会状況

1880 明治 13 年

1900 明治 33 年

1920 大正 9 年

1940 昭和 15 年

## 掘削技術



自然湧泉は、100~200 年以上前に発見されたものが各地にあり、長い間、枯渇することもなく利用されてきた。

### 自然湧泉の発見

### 手掘り掘削



手掘りの掘削は主に横穴で、奥行きが数 m から数十 m。それ以上の掘削は困難だった。

### 衝撃式掘削

1923 年、木質で「上総掘り」による掘削により、深さ 150m から温泉が大量に湧き出た。この開発の成功がきっかけとなり、箱根全体に機械掘削が広がる。



### 機械による掘削

## 汲み上げ技術

手掘りによって掘削した温泉は自噴したが、機械によって数 10m 以上も掘られた温泉は、ポンプによる汲み上げが必要となった。ポンプによる汲み上げは周囲の温泉の水位低下を招き、さらに深く温泉を掘り、より強力なポンプを使うという悪循環が、温泉の枯渇を一層進めることとなった。

### 自然湧泉・掘削自噴泉

機械による温泉の掘削によって、温泉は深さを持ち、ポンプによる汲み上げが必要となった。しかし、その汲み上げが温泉水位の低下を招き、周辺の温泉の量にまで影響を及ぼすようになる。渦巻きポンプは温泉水位が低下していくと、徐々に汲み上げ量が下がり、水位の深さが 10m を超えると汲み上げることができなくなった。また、温泉の温度や化学成分によって腐食や固形物の付着といった欠点がある。



### 渦巻きポンプ

## 文部省・全国温泉調査

## 内務省による温泉調査の時代

## 警察による取締行政

## 温泉行政

温泉の開発と利用に関する規則は、1930 年の警察による取締規則にはじまり、温泉法制定後は衛生行政が引き継ぐ。1967 年に神奈川県川根の要綱が制定され、1980 年に抜本改正された。温泉開発の技術発達が進み、依然として温泉の潤滑化が進行している。

内務省の所管となる

### 温泉地区取締規則(県)

新規に温泉が掘れるのは、既存の温泉から 110m 以上離すなどの距離制限と、影響を与えぬことが定められた。掘削した温泉を埋め戻すなど厳しい処置もあったが、取締に一貫性がなかったといわれ、温泉に関する係争が度々起きた。

厚生省の所管となる

2ヶ月前に測った湯と、今測った

理屈です。

地下水の揚水量を決めると同じ

きです。これは平野にある工場が

った上で、使う温泉量を決めるべ

きです。これは平野にある工場が

った上で、使う温泉量を決めるべ

きです。これは平野にある工場が

った上で、使う温泉量を決めるべ

きです。これは平野にある工場が

きです。これは平野にある工場が

きです。これは平野にある工場が

きです。これは平野にある工場が

きです。これは平野にある工場が

きです。これは平野にある工場が

きです。これは平野にある工場が

きです。これは平野にある工場が

きです。これは平野にある工場が

きです。これは平野にある工場が

立ちたいと思います。

地下水の流動は、原因がわから

ないことが多く、まだまだ調べね

ばならないことがたくさんありま

す。根気よくモニタリングするこ

とで、温泉の健全な資源利用に役

立ちたいと思います。

現在の制度では、10年に1回程

度の成分検査で、単純温泉か塩類

泉かに区分されます。その間に変

動があっても、10年間はそのまま

です。つまり、温泉というものは

量も質も地下水の水収支により常

に変動しているものですが、実状は

それに対応していないのです。

湯は、似ているけれどまったく同

じ成分ではありません。雨水の涵

養状況が温泉の濃度とかかわるの

