

# 箱根カルデラ内流域の地下水流動系 —温泉資源量の解明を目指して—

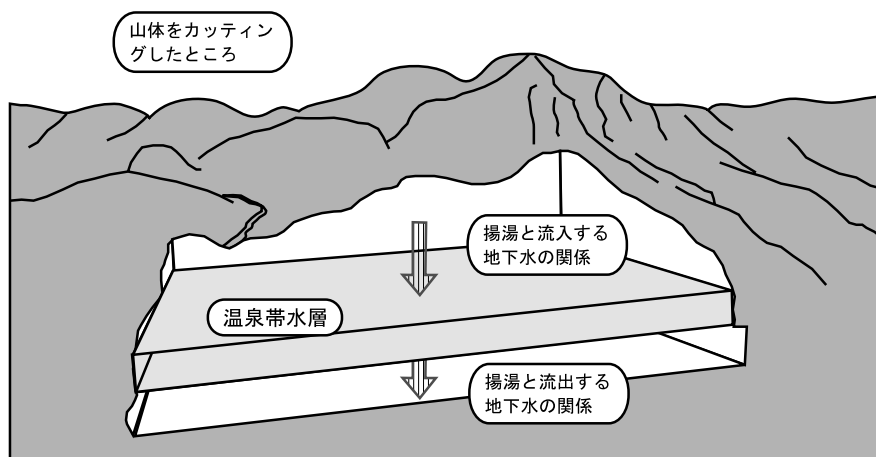
町田 功<sup>1)</sup>・板寺 一洋<sup>2)</sup>・萬年 一剛<sup>2)</sup>

## 1. はじめに

温泉は地域住民の保健休養および文化として重要であると共に、観光資源として地域産業の根幹を担っています。しかし、近年の温泉ブームの結果、温泉利用者数が増加しており、さらに「源泉かけ流し」など利用者の本物志向が強まっていることから、温泉に対する需要の増加による温泉資源の枯渇問題は全国的な広がりを見せています。環境省(2004)では、温泉枯渇問題について議論がなされていますが、その対策として、今後は温泉源に対する何らかの保護が必要であることが述べられています。温泉の持続的利用を図るためには、温泉の質に関する研究を行うと同時に、温泉の量を科学的に見積もることが大切です。この両者を把握することで、地域全体での揚湯可能量を算出することができ、その情報を基に法令を制定することができると考えられるためです。以下では水文学の視点から、温泉資源量の概念を述べたい

と思います。

従来の研究により、火山性温泉の主たる源となっているのは、地下水であることが知られています。雨が涵養されて地下水となり、それに熱や化学成分が加わることによって温泉が形成されます。そのため、温泉資源量は地下水の量と非常に密接に関わっています。話を単純にするため、温泉の量という面のみを考え、温泉帯水層を地下に存在する立方体で表現できると仮定しましょう(第1図)。図のように、温泉帯水層に出入りする地下水の量を求めることができれば、揚湯可能な温泉水の総量を算出することができます。これは温泉帯水層に流入してきた分だけを使っていれば(中の温泉水は減らないので)、持続的な利用が可能になる、という考え方が基になっています。そのためには地下水シミュレーション解析が有効ですが、シミュレーションを行うためには、研究流域の地層の透水性、水理水頭分布などが、ある程度定量的に明らかになっていなくてはなりません。水理水頭



第1図 温泉資源量の概念。

1) 産総研 地圏資源環境研究部門  
2) 神奈川県温泉地学研究所

キーワード: 地下水流動系, 温泉, 箱根

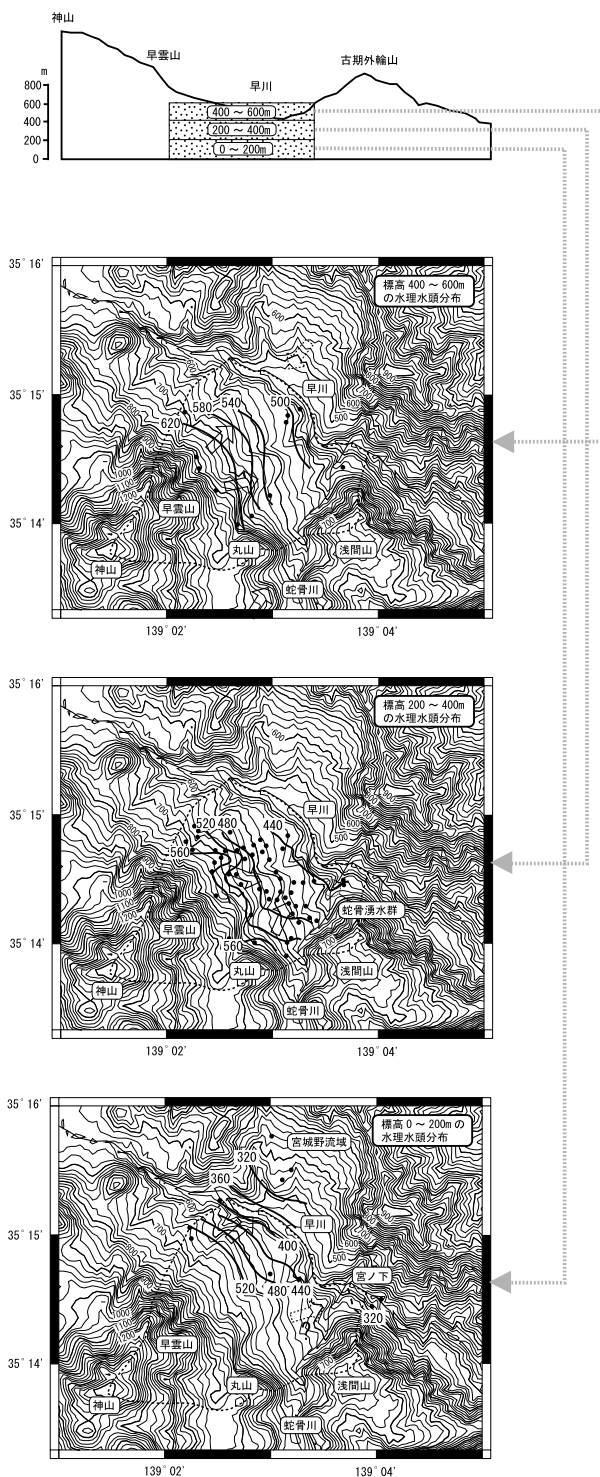


います。

この地域の地質について述べます(以下, Kuno, 1970; 萬年, 1999; 萬年ほか, 2006による). 火山の土台となっている地層のことを基盤といいます. 箱根の場合, 基盤は新第三紀の海底火山堆積物でその上面は, 早川の周辺においては標高200~400mに存在していることがわかっています. つまり, 早川の周辺では河岸にて, もしくは少し掘ったら基盤が出てくると考えてください. その一方で, 流域内の大部分では, 同じくらいの標高でも基盤ではなく, 火山礫凝灰岩, 凝灰角礫岩, 湖成堆積物などが見つかっています. これらはカルデラ充填堆積物と考えられています. カルデラ形成によって元々あった基盤に大きな穴があいて, その中にカルデラ充填堆積物が詰まっていると考えてください. そのため, 本流域内には潜在カルデラの存在が示唆されており, かなり深く掘っても基盤が出てきません. カルデラ充填堆積物は, シルト質の湖成堆積物はもとより, 火山礫凝灰岩, 凝灰角礫岩も基質が非常に細粒の粒子よりなり, 基本的には水を通しにくい緻密な構造をしています. ただし, 実際の地下地質は, 火山活動に起因する度重なる地震, カルデラ形成に起因する変動によって, 破壊されていると考えられます. このような条件では, 地層内に生じた小さな亀裂は互いに連絡し, この亀裂内を地下水が流動していると考えられます.

### 3. 解析データ

水理水頭分布を描くために, 主に神奈川県温泉地学研究所や小田原保健福祉事務所によって約40年間調査されてきた水位データを使用しました(神奈川県, 1966, 1969~1995, 1997, 1998). しかし, ある年の水理水頭分布を描くにはデータが少なく, 今回は井戸毎に測定されてきたデータの平均値を用いることにしました. 例えば, ある井戸で40年間に2回の水位測定が行われ, それぞれの測定水位が10mと20mであったとします. この場合, その井戸の水位を15mとする, ということです. 水位の変動範囲を確認した結果, 40m以上変化しているものは, 全体の1割未満であることがわかりました. 大きく変動している地点を解析から除くこと



第3図 水理水頭の水平断面.  
研究流域の標高幅400~600m, 200~400m, 0~200mに含まれる地下水の水理水頭分布. 図中の●は解析に用いたボーリング孔の位置.

によって、上記のような平均値を用いても解析結果に大きな差はでないと考えられます。また、研究流域の温泉ボーリングは取水部が広く、その平均長は240mとなっています。本研究では取水部の中央から地下水を採取していると仮定しています。

## 4. 結果と考察

### 4.1 水理水頭の水平分布

流域を標高幅毎に水平方向に切った場合の水理水頭分布を第3図に示します。水理水頭が高いということは水圧が高いという意味になりますから、第3図において地下水は、数値が高いところから低い所へ向かって流れやすいと考えてください。標高400～600mでの分布図では、水理水頭は早雲山および丸山側から早川側に向かって低くなり、早川の近傍では河床標高に近づいています。つまり、地下水が地表にあらわれ、早川に流れ込んでいるというわけです。実際、箱根町(1978)による調査結果では、本流域周辺で早川の流量が増加することが報告されていますが、この理由は地下水が河川に流出しているためと考えることができます。標高200～400mでの分布図では、早雲山および丸山側から早川、蛇骨川に向かって水理水頭値は低くなり、蛇骨川の近傍では河床の値に近い値となっています。このことから蛇骨湧水群は、地下水が地表に現れたものと考えられます。なお、比較的上流部の等値線(520と560m)はやや複雑な形状を示しており、水理水頭は一部東に低下している領域もあります。標高0～200mの分布図では、本研究流域から早川、そして北に隣接する流域(宮城野流域と仮称します)へ向かって急激に水理水頭が低下していることが確認されます。早川以北でも水理水頭が低下していることを考慮すると、この標高範囲の地下水は、早川を通り越して北東へ流動すると考えられます。一方、宮ノ下周辺においても水理水頭は320mとなっているため、深層地下水は宮ノ下方面へ流出している可能性もあります。また、浅層地下水は地形の傾斜方向に流動していると予想されることから、宮城野流域では、浅層地下水は南西向き、深層地下水は北東向きに流動していることが予想されます。深さによって地下水の流れの方向が180°変わる、というわけです。

### 4.2 水理水頭の鉛直分布

前節では、水理水頭の水平分布を示しましたが、本節では鉛直断面分布について述べたいと思います。第4図はA-A'～D-D'を縦に切ったときの水理水頭分布を示しています。この図では、測線から水平距離250m以内のボーリング孔が同一鉛直断面上にあると仮定しています。

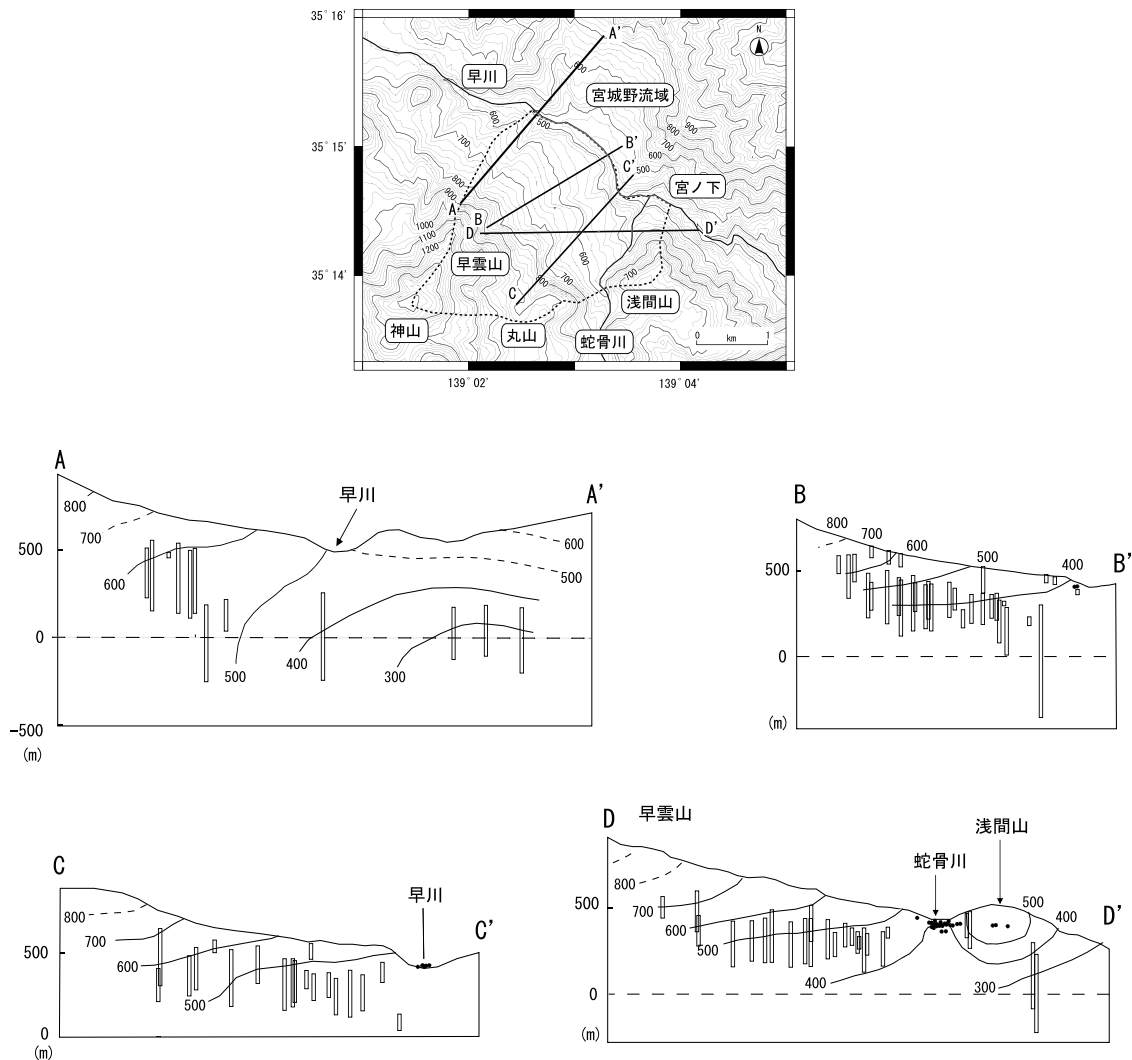
A-A'は、早川を横切る北東方向の測線です。水理水頭は宮城野流域(A'側)の地下に向かって低くなります。早川付近では基盤とされている第三系の上面が標高200～400mにありますから(第2章)、地下水は表層から入り、基盤の中を通過して、さらに地中深く移動していくと考えられます。よって、地質学的に基盤とされていた新第三紀の地層は、この地区の地下水流動にとっては基盤とはみなせない可能性もできました。B-B'およびC-C'は早雲地獄および丸山から北東へ向う測線です。水理水頭は深くなるほど低くなり、コンターは水平に近い領域もあります。このような領域では、地下水は深層へ流動しやすいと考えられます。

A-A', B-B', C-C'の水理水頭分布および平面分布(第3図)を考慮すると、流域内で涵養された地下水は、概して下方へ移動しつつ北東方面に向かって流動していると考えられます。そして比較的浅層の地下水には早川や蛇骨川に流出するものがあり、深層の地下水の中には、早川を超えて、より北東に流動するものが認められます。

D-D'は早雲地獄から浅間山方向への測線です。この断面においては、早雲山方面および浅間山方面の両方から蛇骨川に向かって水理水頭が低下していることが確認されます。蛇骨川では最も水圧が低くなっている、ということですから、これは地下水が蛇骨川で流出しているために生じる現象と考えることができます。また、浅間山では水理水頭が蛇骨川周辺よりも高くなっています。そのため、蛇骨川から浅間山に向かって地下水は移動することができません。浅層の地下水流動に対して浅間山は“壁”の役割を果たしていることがわかります。

## 5. まとめ

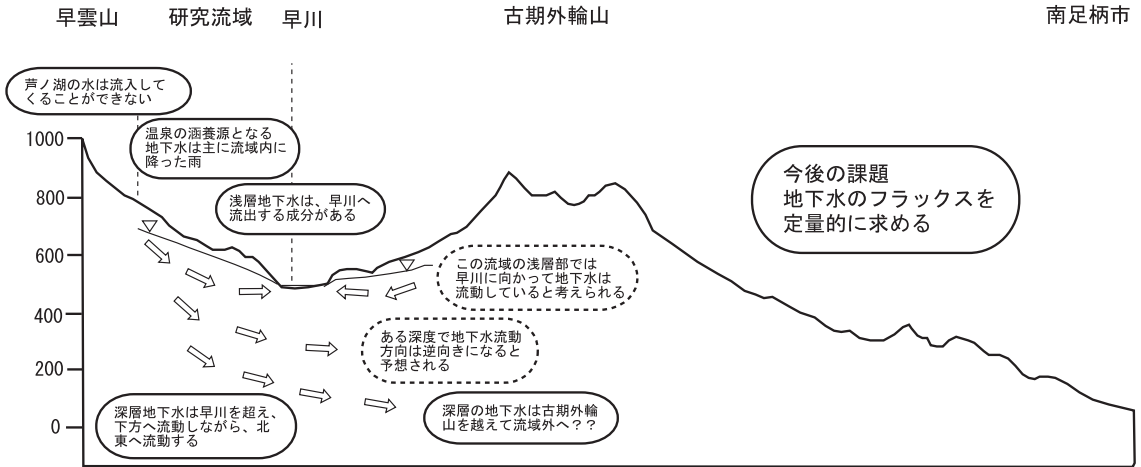
C-C'断面の水理水頭分布にて示されたように、カルデラ内で涵養された地下水は、少なくとも深度数



第4図 水理水頭の鉛直断面。  
各測線から250m以内に位置するボーリング孔を抽出。断面図内の四角はボーリング孔内の取水部、●は湧水である。

100mまでは、カルデラ外に流出することはできません。山の地下では水理水頭が高いので、地下水の流動をブロックするためです。このような現象はToth (1963)の理論通りであると言えます。このことより類推すると浅間山よりも遥かに高い山体を有する神山も、地下水の分水界となっていると思われます。つまり、神山を挟んで西側の芦ノ湖と、東側の強羅の地下水とは関係が無く、『強羅周辺で温泉を大量にくみ上げて、芦ノ湖から水が来るから大丈夫』とは考えにくいということです。

今までの結果をまとめると、第5図のようになります。山体の尾根部が浅層地下水の流動を妨げるわけですから、強羅地区の温泉水の涵養源のほとんどは、第2図で示した流域内に降る雨であるという可能性が高まりました。このことは、強羅地区の温泉の温度や成分は、強羅の地下で加わったことを意味しています。今後、研究を進めることにより、どれくらいの熱や成分が地下深部からもたらされているのか、といったことも解明されるかもしれません。一方、地下水の出口となるのは、浅層地下水については河川であり、



第5図 箱根強羅地区周辺における地下水流動の概念図。

深層地下水については不明です。箱根火山全体の形状を加味すると、おそらく古期外輪山の外側に向かって流動していると推測されます。このような流域から出て行ってしまう地下水の量については、今後の研究によってある程度、推定可能になると考えられます。以上のように、私たちは水文学的な調査をおこなうことにより、持続可能な温泉の採取量を求める研究をおこなっています。

#### 参考文献

- 箱根町 (1978) : 箱根カルデラの水収支調査報告。箱根町企業課、38p.
- 神奈川県 (1966, 1969～1995, 1997, 1998) : 温泉実態調査報告書。
- 環境省 (2004) : 温泉の保護と利用に関する課題について-温泉の保

護と利用に関する懇親会 中間報告。16p.

Kuno, H., Oki, Y., Ogino, K. and Hirota, S. (1970) : Structure of Hakone Caldera as Revealed by Drilling. *Bull. Volcanol.*, 34, 713～725.

萬年一剛 (1999) : 箱根・下湯場地域で掘削された2本の温泉井のボーリング地質と温泉。神奈川県温泉研究所報告, 31, 1～15.

萬年一剛・小林 淳・奥野 充・笠間友博・山下浩之・袴田和夫・中村俊夫 (2006) : 「箱根火山の噴火史～最近の知見に基づく再検討」月刊地球, 28, 355～362.

Toth, J. (1963) : A theoretical analysis of groundwater flow in small drainage basins in central Alberta. *J. Geophys. Res.*, 68, 4795～4812.

MACHIDA Isao, ITADERA Kazuhiro and MANNEN Kazutaka (2006) : Groundwater flow system in the basin in Hakone Caldera — toward assessing hot springs reserves —

<受付：2006年9月22日>