

# 湯河原温泉の酸素・水素同位体比

板寺一洋\*・菊川城司\*・代田 寧\*

Oxygen and hydrogen isotope ratio of hot spring waters in Yugawara spa.

by

Kazuhiro ITADERA\*, Joji KIKUGAWA\* and Yasushi DAITA\*

## 1. はじめに

湯河原温泉は神奈川県南部の湯河原町域に分布する温泉の総称である。その規模は、県内では箱根温泉に次いで大きく、平成19年度の源泉数は109で、神奈川県全体(629源泉)の約17%を占めている(神奈川県保健福祉部生活衛生課、2008)。

菊川・代田(2009)は、小田原保健福祉事務所が実施した温泉実態調査に合せて、湯河原地域に所在する93源泉について現地調査および採水分析を実施した。この採水分析は、現時点で採水が可能な源泉を悉皆的に対象としたものであり、過去の同様の調査と比較し、湯河原源泉の現状について評価する上で、また、湯河原温泉の成因を検討する上で、意義のある調査である。本報告では、菊川・代田(2009)の採水試料について、酸素・水素同位体分析を実施した結果の概要について述べる。

## 2. 試料および分析方法

図1に酸素・水素同位体比の分析を行った93源泉の位置を示す。湯河川原温泉については、海岸地区の温泉と、それ以外地区(広河原地区、温泉場地区、泉地区)の温泉とでは成因が異なると考えられており(大木ほか、1963)成分の特徴も異なっている(菊川・代田、2009)。このため、図1においては、海岸地区の源泉を白丸で、その他の地区の源泉を黒丸で示してある。

試料の酸素・水素同位体比は軽元素質量分析装置PRISM(現micromass社製)により測定した。同位体比測定のための前処理として、酸素同位体比については炭酸ガス、水素同位体比については水素ガスを試料水とともに封入し、所定の温度条件下(酸素については25℃、水素については40℃)で同位体平衡させた。標準試料としては当研究所で作成した蒸留水( $\delta^{18}\text{O} = -8.52\text{‰}$ 、 $\delta\text{D} = -54.1\text{‰}$ )を用いた。

質量分析による同位体比の測定精度は、酸素について

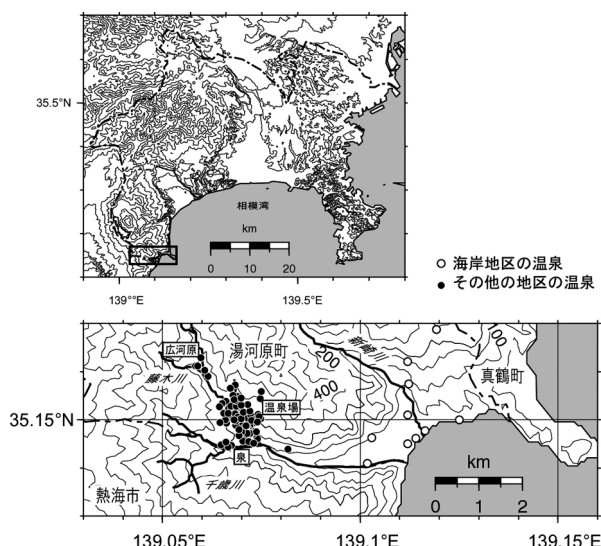


図1 調査地域と試料採取源泉の位置。白丸は海岸地区の源泉を、黒丸はその他の源泉の位置を示す。

$\pm 0.1\text{‰}$ 、水素について $\pm 1\text{‰}$ である。試料水の酸素・水素同位体比( $\delta$ 値 V-SMOW)は、これらの測定結果と、平衡温度下における同位体分別係数を用いて算出するため、最終的に計算される $\delta$ 値の精度は酸素が $\pm 0.1\text{‰}$ 、水素が $\pm 3\text{‰}$ 程度となる。

## 3. 結果および考察

### 3.1. 酸素同位体比と水素同位体比の関係

測定結果に基づき、酸素同位体比と水素同位体比の関係を示すデルタダイアグラムを作成した(図2)。図2において白丸で示した海岸地区の温泉は、酸素・水素同位体比の最も低い領域から原点(海水の同位体組成を示す)付近までの広い範囲にプロットされている。これらの源泉が海水と天水による同一の混合希釈系にあるかどうかを、図2のみから判断することは難しいが、原点付近にプロットされている源泉は、後述のとおり海岸線付近に分布しており、海岸地区の温泉が海水起源であると

\* 神奈川県温泉地学研究所 〒250-0031 神奈川県小田原市入生田 586

報告, 神奈川県温泉地学研究所報告, 第42巻, 63-66, 2010

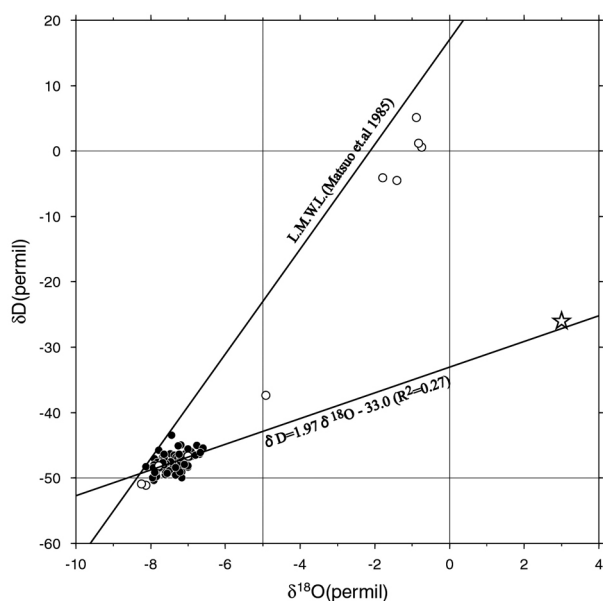


図2 酸素・水素同位体比の関係を示すデルタダイアグラム。白丸は海岸地区の源泉を、黒丸はその他の源泉を示す。星印は Matsuo et. al. (1987) による箱根地域における高温高濃度の火山性熱水の同位体組成を示す。

した大木ほか(1963)の考え方と整合的である。

図2に示した星印は、Matsuo et. al. (1985) による、箱根地域における高温高塩分濃度の火山性熱水 (HTDS) の同位体組成 ( $\delta^{18}\text{O}=+3\text{‰}$ 、 $\delta\text{D}=-26\text{‰}$ ) を示す。図2に示した2本の直線のうち一本は、Matsuo et. al. (1985) が定義した箱根地域の天水線 (L.M.W.L、 $\delta\text{D}=8\delta^{18}\text{O} + 17$ ) である。

もう一本の直線は、湯河原温泉のうち海岸地区を除く源泉の酸素同位体比、水素同位体比の関係を最小二乗法で近似した直線 ( $\delta\text{D}=1.97\delta^{18}\text{O} - 33.0$ ) であり、相関係数は高くない ( $R^2=0.27$ ) もの、その延長は箱根地域における火山性熱水 (HTDS) の近くを通る。このことは、海岸地区の温泉を除く湯河原温泉は、高温高塩分濃度の火山性熱水と浅層地下水の混合によって形成されているとした従来の考え方 (大木ほか、1963 や平野ほか、1976) を支持する。そして、湯河原温泉の形成に関わる火山性熱水の酸素・水素同位体組成は、箱根における火山性熱水 (HTDS) のそれと同じであることが推察される。

また、上述の二本の直線の交点の同位体組成は  $\delta^{18}\text{O}=-8.29\text{‰}$ 、 $\delta\text{D}=-49.3\text{‰}$  であり、Matsuo et. al. (1985) が箱根の代表的な地下水 (天水) の同位体比とした RGL ( $\delta^{18}\text{O}=-8.5\text{‰}$ 、 $\delta\text{D}=-51\text{‰}$ ) と比較すると、酸素・水素同位体比とも大きくなっている。このことは、湯河原地域と

箱根地域とで、緯度効果や内陸効果などによって、火山性熱水と混合希釈系にある天水の同位体比に差異があることを示していると考えられる。

### 3.2. 地理的分布の状況

湯河原温泉の酸素同位体比および水素同位体比の地理的分布の状況を示した図3によれば、海岸地区の温泉のうち、海岸線付近に分布する源泉において酸素・水素同位体比とも著しく高い値となっている。菊川・代田 (2009) によれば、これらの源泉の成分総計は極めて高い。図2において、同源泉群では同位体組成が原点付近にプロットされていることと合わせて、それらが高温の火山性熱水ではなく海水起源であるとする従来の考え方を支持する結果と言える。

一方、海岸地区の温泉としたもののうち、新崎川近辺に分布する4か所の源泉は、海岸線付近の源泉に比べて酸素・水素同位体比が非常に低い。中には、その他の地区の源泉よりも同位体比の低いものも見られ、それらは海水の影響をほとんど受けていないと推察される。これらの温泉の成因については、菊川・代田 (2009) によっても指摘されているように、別途検討する必要がある。

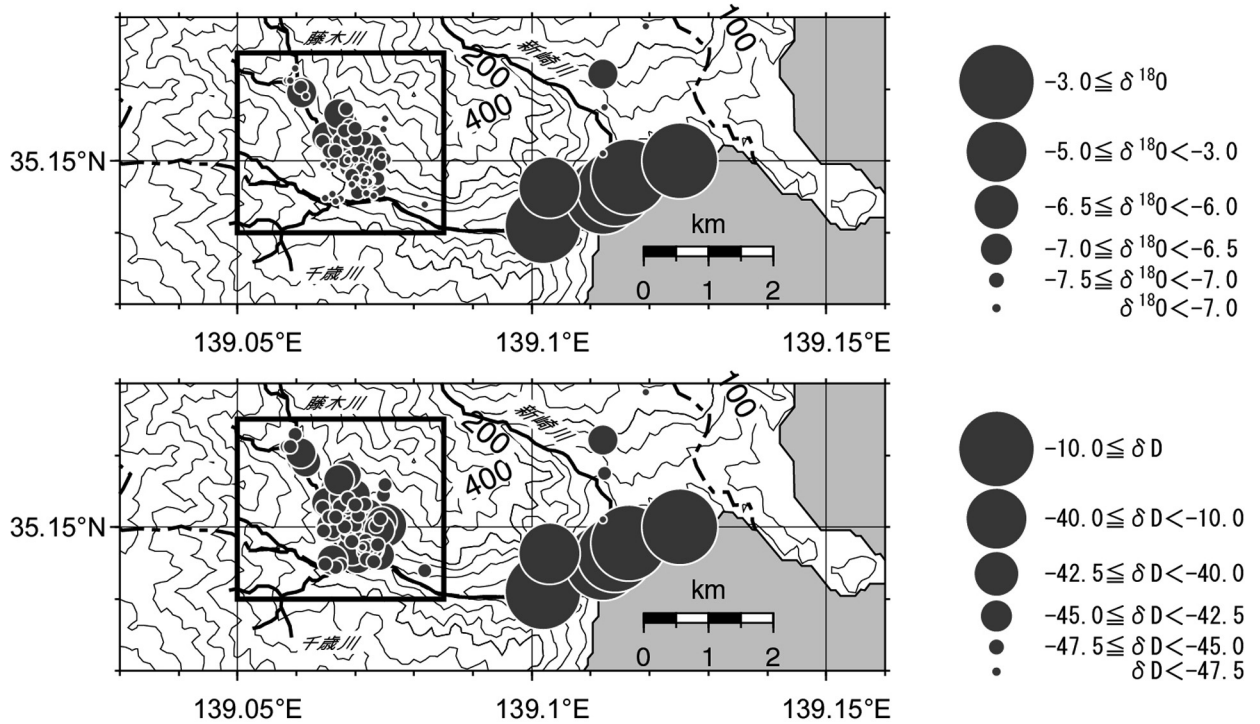
図4に、その他の地区の源泉の酸素同位体比および水素同位体比の地理的分布状況を拡大して示した。特に酸素同位体比について、不動の滝付近の源泉で高く、藤木川の下流方向に分布する源泉ほど低くなる傾向が認められる。こうした傾向は、大木ほか (1963) が塩化物イオン濃度について、また、菊川・代田 (2009) が泉温や成分総計について報告している傾向と同様のものであり、これらの温泉が、高温高濃度の火山性熱水と浅層地下水の混合により形成されているという考え方とも整合する。

なお、水素同位体比については、その地理的分布の傾向は不明瞭であるが、これは、水素同位体比の測定精度が酸素同位体比のそれよりも劣っていることが影響しているものと考えられる。

### 4. まとめ

菊川・代田 (2009) による採水試料を用いて、湯河原温泉の酸素・水素同位体分析を実施した。その結果は以下の通りであった。

海岸地区の温泉のうち、海岸線付近に分布するものは、著しく高い酸素・水素同位体比を示した。その同位体組成は、デルタダイアグラム上の原点付近にプロットされ、それらが海水起源とする従来の考え方を支持する結果が得られた。これと対照的に、新崎川付近に分布する源泉



上: 図3 酸素同位体比(上)および水素同位体比(下)の地理的分布。プロットの大小は同位体比の高低を示す。太枠は図4に示した範囲を示す。

右: 図4 海岸地区を除く地区における酸素同位体比(上)および水素同位体比(下)の地理的分布。

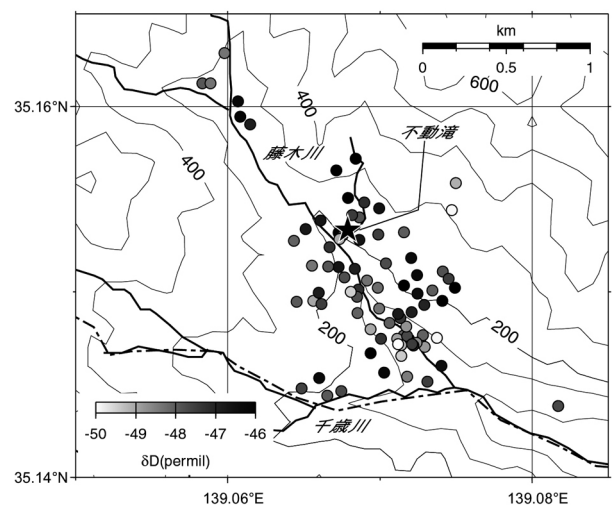
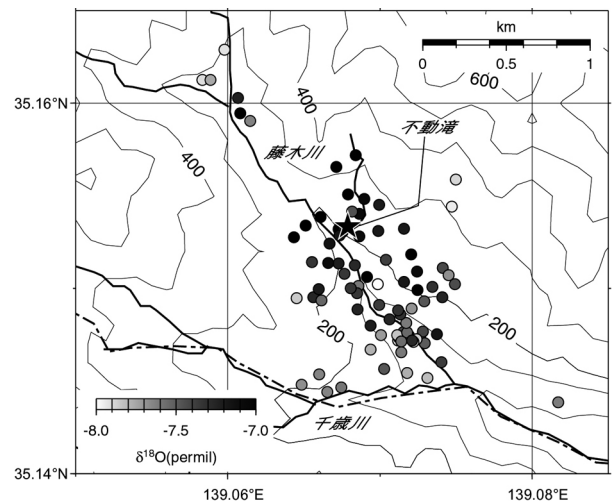
の同位体比は低く、海水の影響をほとんど受けていないものと推察される。

湯河原温泉地区以外の温泉の酸素同位体比と水素同位体比の関係および、それらの地理的分布の状況は、湯河原温泉が高温高塩分濃度の火山性熱水と浅層地下水の混合によって形成されているとした従来の考え方を支持している。また、その火山性熱水の酸素・水素同位体組成は、箱根の火山性熱水(HTDS)と同じであることが推察される。

湯河原温泉を対象とした酸素・水素同位体比の体系的な分析調査は、今回が初めてである。今後、同域の温泉成因モデルを確立し、有効な温泉保護対策に資するためには、溶存成分濃度や泉温、およびそれらの経年変化の状況などと併せて検討を進めていく必要がある。

#### 謝辞

本研究で対象とした試料採取にあたっては、小田原保健所福祉事務所の横山洋司温泉課長はじめとする課員の皆様に、多大なご協力をいただきました。また、源泉所有者の方々には源泉の調査を快く許可いただきました。



ここに記して感謝の意を表します。

#### 参考文献

- 平野富雄、大山正雄、粟屋徹、大木靖衛（1976）湯河原温泉の地下水位低下と温泉の冷地下水化、神奈川温泉研報告、7-2、53-68.
- 神奈川県保健福祉部生活衛生課（2008）平成19年度温泉利用状況報告書．
- 菊川城司・代田寧（2009）湯河原温泉の現状～平成21（2009）年の一斉調査結果から～、温地研報告、41、63-68.
- Matsuo.S, Kusakabe.M, Niwano.M, Hirano.T, Oki. Y (1985) Origin of thermal waters from Hakone geothermal system, Japan, Geothermal Journal, 19, 27-44.
- 大木靖衛、荻野喜作、長塚綾子、広田茂、小椋藤幸、高橋惣一、杉本光夫（1963）湯河原温泉調査報告、神奈川温泉研報告、1-1、1-40.