

箱根中央火口丘地域における降水の酸素・水素同位体比について

板寺一洋*

Oxygen and hydrogen isotopic ratios of rainfall in Hakone central cone area

by

Kazuhiro ITADERA*

1. はじめに

地下水の起源や涵養域を推定するために、水の酸素・水素同位体比をトレーサーとして活用する手法が広く試みられている。この手法を適用するための基礎情報として、地下水の涵養源である降水の酸素・水素同位体比が、調査対象とする地域においてどのような時間変動・空間分布を示すかを把握することが重要となる。

箱根地域の降水については、Matsuo *et al.* (1985)が大涌谷において1971(昭和46)年5月から1972(昭和47)年5月までの毎月の降雨について、酸素・水素同位体比の経時変化を調査したほか、箱根中央火口丘南西斜面を中心とした6地点における降水の水素同位体比から、高度効果について調査を行っている。

温泉地学研究所では、2001(平成13)年度から、神奈川県企業庁水道局箱根営業所(以下、「箱根営業所」とする)からの受託研究「箱根地区水源地下水動態調査」に着手した。この調査は、水の酸素・水素同位体比などの指標

にもとづき、箱根営業所が水道水源として管轄している湧水の涵養域や、それに関する地下水の流動経路などを明らかにしようとするものであり、基礎情報として雨水の酸素・水素同位体比についての調査を行っている。

本稿では、この調査において、2001(平成13)年6月から12月まで箱根中央火口丘地域における降水を採取し、同位体分析を行った結果を報告する。降水現象は季節的な変動が大きいいため、降水の同位体比に関する平均的な傾向を今回の結果のみから求めることは難しいが、調査期間は梅雨や台風、秋雨など年間の主な降雨期を含んでいるので、傾向の概略を把握することはできると考えられる。

2. 降水の採取方法と採取地点

降水の採取には、簡易雨量計(有)吉野計器製作所製SY-SR-11)を用いた。同位体分析のための降水試料を貯めることができるように、雨量計の漏斗部分をポリ容器

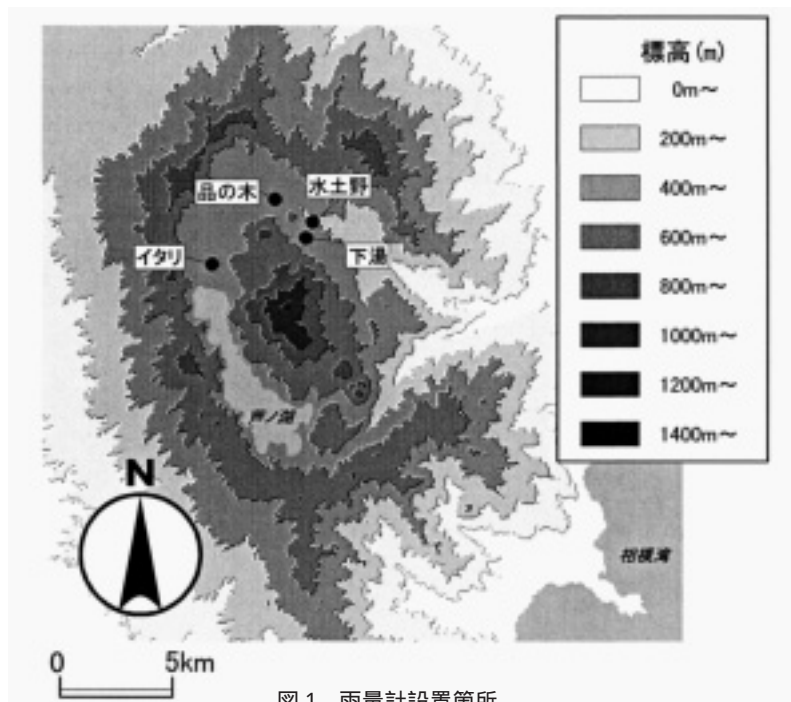


図1 雨量計設置箇所

* 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34巻, 9 - 12, 2002.

表1 雨量計設置箇所の標高、降雨の収集期間と降雨量および酸素・水素同位体比の分析結果

地点名 (標高)	期間	6/4	6/20	6/28	8/1	8/24	9/12	9/27	10/5	10/31	11/26	荷重平均 及び 計雨量
		~ 6/20	~ 6/28	~ 8/1	~ 8/24	~ 9/12	~ 9/27	~ 10/5	~ 10/31	~ 11/26	~ 12/20	
水土野 (551.8m)	$\delta^{18}\text{O}$ (‰)	-10.18	-10.46	-6.22	-8.37	-8.18	-6.68	-9.14	-8.79	-8.62	-8.36	-8.66
	δD (‰)	-73.4	-75.1	-39.6	-58.2	-58.5	-30.0	-59.1	-54.3	-52.8	-40.2	-57.2
	期間雨量 (mm)	263.1	14.9	59.1	>400	>400	50*	225.6	400.3	188.3	89.2	2090.5
品の木 (630.5m)	$\delta^{18}\text{O}$ (‰)	-10.55	-9.83	-6.57	-7.99	-8.48	-6.95	-9.08	-8.95	-8.68	-8.37	-8.72
	δD (‰)	-73.1	-74.9	-41.7	-63.1	-60.2	-34.6	-58.3	-50.6	-51.1	-41.6	-57.7
	期間雨量 (mm)	266.2	13.6	70.5	>400	>400	50*	207.7	380.9	186.5	87.8	2063.2
イタリ (684.1m)	$\delta^{18}\text{O}$ (‰)	-10.53	-12.26	-6.77	-8.39	-7.74	-7.03	-9.01	-8.70	-8.60	-7.94	-8.58
	δD (‰)	-72.7	-93.5	-42.0	-62.2	-54.3	-36.3	-57.8	-55.4	-51.7	-35.1	-56.7
	期間雨量 (mm)	284.1	10.6	103.8	330.2	>400	50*	196.5	416.0	185.6	91.5	2068.3
下湯 (699.0m)	$\delta^{18}\text{O}$ (‰)	-10.62	-11.36	-6.54	-8.54	-8.25	-6.94	-9.22	-9.14	-8.93	-8.46	-8.86
	δD (‰)	-77.5	-85.1	-41.3	-65.0	-58.0	-34.1	-62.3	-53.9	-52.4	-40.8	-59.2
	期間雨量 (mm)	238.2	12.9	61.6	>400	>400	50*	216.5	397.3	175.2	81.1	2032.8

*: 秤量機器不具合のため測定できず

(容量約4リットル)とチューブ(外径約10mm)で接続した。雨量計の漏斗の受口面積は100cm²であり、約400mmまでの降水を貯めることができる。チューブは一般水道配管用の^{オー}リングを通してポリ容器の内フタと接続し隙間からの漏れなどを防いだ。また、強雨時に雨水がスムーズに容器内に入るよう、内フタに息抜きのための穴(直径3mm)を空け、そこから雨などが入らないように、トタン用の釘を挿し込んでおいた。なお、蒸発防止のための処置は特に行っていない。

この雨量計を、箱根営業所の管轄する水道施設所在地のうち、水土野、品の木、イタリ、下湯の4ヶ所に設置した(図1)。これらのうち水土野、品の木の2地点は中央火口丘の東~北斜面末端部に位置している。下湯は水土野水源と同じ斜面の中~下部に、イタリは中央火口丘の西斜面の末端に、それぞれ位置している。4地点の標高を表1に示した。

試料の回収は原則として月1回行った。降水の貯まったポリ容器を研究所に持ち帰り、重量測定により降水量を算出したのち、ろ過によりゴミなどを除いた試料水50mlを同位体分析用に保存した。

3. 酸素・水素同位体比の測定

酸素同位体比測定のための試料の前処理は自動平衡装置ISOPREP 18(VG現micromass社製)を用いて行った。この装置では、容量約15mlの容器に試料水3mlと炭酸ガスを封入したのち振とうし、炭酸ガスと試料水を同位体平衡させる。平衡温度は25℃、平衡時間は4時間である。

水素同位体比測定のための試料の前処理は自動平衡装置MULTIPREP(micromass社製)を用いて行った。この装置では容量約1mlの容器に試料水200μlと水素ガス、

白金触媒(Hokko Beads)を封入し、水素ガスと試料水を同位体平衡させる。平衡温度は40℃、平衡時間は90分である。

上記の前処理を経て、試料水と同位体平衡に達した炭酸ガスまたは水素ガスを順次軽元素質量分析装置PRISM(VG現micromass社製)に導入し、酸素同位体比または水素同位体比を測定した。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により、試料水の酸素・水素同位体比(値V-SMOW)を算出した。

測定のための標準試料として研究所で作成した蒸留水($^{18}\text{O} = -8.52\text{‰}$ 、 $\text{D} = -54.1\text{‰}$)を用いた。また、水素同位体比の測定には超高純度の水素ガス($\text{D} = -$

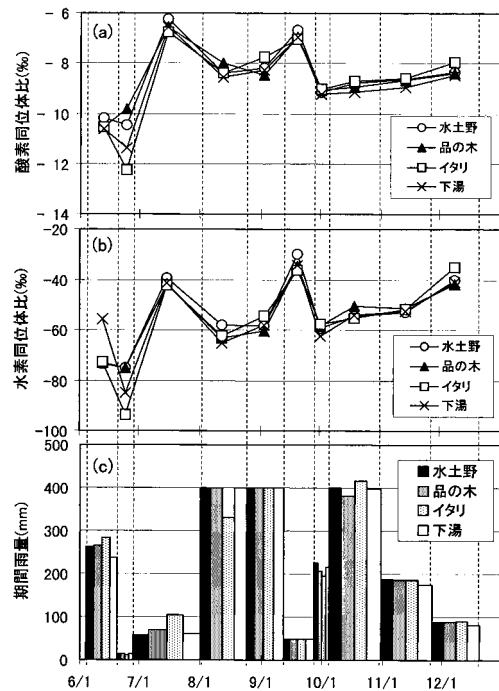


図2 降水の(a)酸素同位体比、(b)水素同位体比および、(c)期間雨量の推移(縦の破線は、試料の回収日を示す)

60 5‰)を参照ガスとして用い、分析精度の向上に努めた。

4. 降水の酸素・水素同位体比

雨量計設置箇所の標高、降雨の収集期間と降雨量および酸素・水素同位体比の分析結果を表1に示した。このうち2001(平成13)年8月1日～8月24日と同年8月24日～9月12日の2期間については、回収までの間に台風等ともない400mmを超える大雨が降ったため、全量回収ができなかった。また9月12日～27日の期間については、秤量機器の不具合のため正確な雨量の測定ができず、50mm程度であると記録するにとどまった。

4.1. 降水の酸素・水素同位体比の経時変化

降水の酸素・水素同位体比の経時変化の状況を図2に示す。図2によれば、雨水の酸素同位体比と水素同位体比は各地点とも時期によって大きく変動していること、および、各々のパターンが似通っていることがわかる。

今回の結果にもとづき、雨水の酸素同位体比を横軸に、水素同位体比を縦軸にとったダイアグラムを作成した(図3)。図3に示した2本の直線は、地球規模で天水(雨水起源の水)の酸素・水素同位体比が示す傾向線(天水線: $D = \delta^{18}O + 10$)と、Matsuo *et al.* (1985)が箱根カルデラ地域の降水(平均値)や大半の地下水の酸素・水素同位体比が示す傾向線として報告している直線(箱根の天水線: $D = \delta^{18}O + 17$)である。今回対象とした降水の酸素・水素同位体比は、これら2本の直線に沿うようにプロットされていることがわかる。季節的な推移についてみると6月から9月にかけては天水線側、9月中旬以降は箱根の天水線側に沿った傾向を示している。

降水の酸素・水素同位体比がダイアグラム上で示す傾向線は、降水の源である水蒸気発生時の環境により異

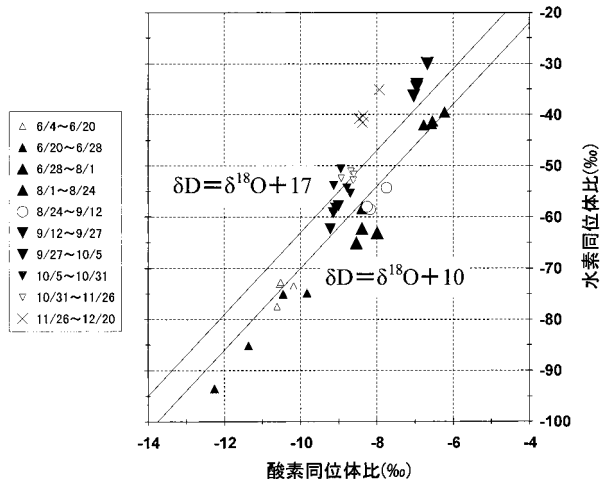


図3 降水の酸素同位体比と水素同位体比の関係

なることが知られている(たとえば早稲田・中井、1983)。今回の結果は、この地域に降水をもたらす水蒸気団源が、9月中旬を境として異なっていたことを反映していると考えられる。

4.2. 降雨量と同位体比の関係

降水の酸素・水素同位体比には、降雨量が多いほど同位体比が小さくなる傾向(雨量効果)があるといわれている(Danssgard, 1964)。今回の結果について降雨量と同位体比の関係(図4)をみると、明瞭な相関関係は認められないように見える。

図4にプロットしたデータのうち、2001(平成13)年6月20日～6月28日については、梅雨期または梅雨末期の大雨を想定して早めに容器の交換を行ったため回収期間が短かった上、実際には大雨が降らなかったため期間降雨量が少なくなっている。その他の期間については、台風や低気圧ともなう降水、秋雨前線による降水など、期間中の降雨の大部分はほぼ一つの原因によりもたらされていたことから、この期間と、その前の期間(2001(平成13)年6月4日～6月20日)を梅雨期の1時期と見るのが適当であると考えられる。図4において、両期間の降水の酸素・水素同位体比の雨量荷重平均値は印でプロットされ、降雨量が多いほど同位体比が小さい傾向を

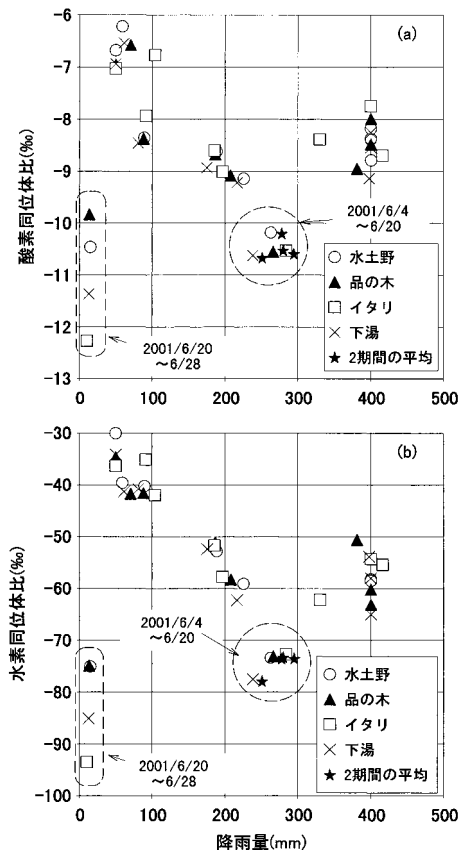


図4 降雨量と降水の(a)酸素同位体比、(b)水素同位体比の関係

見出すことができる。

4.3. 高度と同位体比の関係

表1に示した分析結果について、地点ごとの酸素・水素同位体比の降水量荷重平均値を算出し、地点標高との関係(図5)について検討した。その結果、中央火口丘北～東斜面に位置する3地点については、酸素同位体比、水素同位体比とも標高が高くなるほど小さくなる傾向(高度効果)が見出された。その割合は標高100mにつき酸素同位体比で0.2%程度、水素同位体比で1%程度であった。前者は、板寺(1999)が酒匂川水系の河川水の酸素同位体比から推定した高度効果の割合と、後者は Matsuo *et al.*(1985)が、箱根中央火口丘南西斜面の標高の異なる4地点において採取した降水の水素同位体比から見積もった割合と、それぞれ同程度である。

中央火口丘西斜面に位置しているイタリ水源における降水の酸素・水素同位体比は、他の3点の示す高度効果の傾向から外れており、中央火口丘地域における降水の同位体比の空間分布が、単に高度効果だけに支配されているのではないことを示唆する結果となっている。

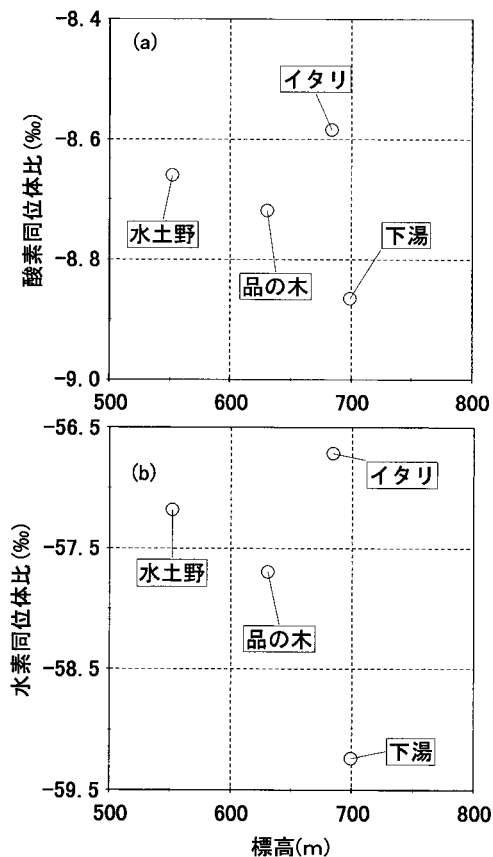


図5 標高と降水の(a)酸素同位体比、(b)水素同位体比の関係

5. まとめ

2001(平成13)年6月から12月まで箱根中央火口丘地域における降水を採取し、同位体分析を行った結果は次のとおりであった。

- (1) ダイヤグラム上で、雨水の酸素・水素同位体比は6月から9月にかけては天水線側、9月中旬以降は箱根の天水線側に沿った傾向を示していた。
- (2) 降水の酸素・水素同位体比には、降雨量が多いほど同位体比が小さくなる傾向(雨量効果)が認められた。
- (3) 降水の酸素・水素同位体比の降水量荷重平均値と地点標高との関係を調べたところ、中央火口丘北～東斜面に位置する3地点について、酸素同位体比、水素同位体比とも標高が高くなるほど小さくなる傾向(高度効果)が見出された。その割合は標高100mにつき酸素同位体比で0.2%程度、水素同位体比で1%程度であった。

本調査は平成14年度も継続しているため、複数年にわたる調査結果をもとに、降水の酸素・水素同位体比が示す平均的な傾向を明らかにし、この地域の地下水の流動解析に活用したいと考えている。

謝辞

本調査を進めるにあたり神奈川県企業庁水道局箱根営業所の加藤善作所長(当時)、栗原董光工務部長(当時)、須藤洋工務課長、松下憲治副技幹には、雨量計の設置および降水試料の回収に便宜を図っていただきました。記して感謝いたします。本調査は温泉地学研究所受託研究費の一部を用いた。

参考文献

- Danssgard, W. (1964) Stable isotopes in precipitation, *Tellus*, 16, 436-468.
- 板寺一洋 (1999) 酸素同位体比を指標とした地下水涵養源推定の試み 酒匂川右岸地域の自噴地下水を例として, *温地研報告*, 31(1), 53-56.
- Matsuo, S., Kusakabe M., Niwano M., Hirano T., Oki Y. (1985) Origin of thermal waters from Hakone geothermal system, Japan, *Geochemical Journal*, 19, 27-44.
- 早稲田周, 中井信之 (1983) 中部日本・東北日本における天然水の同位体組成, *地球化学*, 17, 83-91.