

木賀温泉自然湧泉・宮城野第6号源泉の経年変化について

菊川城司*

Annual Fluctuation of Chemical Properties of Miyagino No.6 Hot Spring Well at Kiga, Hakone
by
Joji KIKUGAWA *

1. はじめに

木賀温泉は、箱根中央火口丘の東麓、早川の右岸に位置する(図1)。江戸時代には箱根七湯にも数えられ、箱根温泉の中でも古くからよく知られた温泉地のひとつである。

1811(文化8)年に書かれた「七湯の枝折(沢田秀三郎 訳註、1973)においては、上ノ湯として現在の宮城野第6号源泉(以下、宮城野第6号と略)が記されているほか、大滝湯(宮城野第3号源泉)、菖蒲湯(宮城野第5号源泉)、岩ノ湯(宮城野第8号源泉)等の自然湧泉が記載されている。これらの源泉は、いずれも箱根中央火口丘溶岩類の基底部から湧出している温泉である。

大山、久保寺(1993)は、神山東斜面の温泉を水頭により4つのグループに区分し、そのうち第2及び第3水頭が早川右岸において湧出したものが木賀湧泉群であると述べている。また、大山(1995)は、宮城野第6号の湧出量変化について、強羅(宮城野第118号源泉)や小涌谷(温泉村第133号源泉)と同様に、降水の影響を受け増減するが、降水に対する反応は早く現れるとし、湧出量の多いときに泉温が低下していると述べている。さらに、菊川(2003)によって、宮城野第6号の泉温は0.2/年の割合



図1 木賀温泉の位置
(四角で囲んだ部分は図2の範囲を示す。)

表1 宮城野第6号の温泉分析書(温地研報告, 1997から抜粋)

源泉名	木賀温泉		
台帳番号	宮城野第6号		
湧出形態	自然湧出		
現地試験日時	平成2年3月14日10時30分		
現地における試験成績			
泉温	39.9 °C		
湧出量	21. l/min		
知覚的試験	無色透明無味		
pH	7.4		
試験室における試験成績			
pH	7.37		
導電率	1203. μS/cm		
蒸発残留物	900.0 mg/kg		
成分総計	936. mg/kg		
試料1kg中の成分、分量及び組成			
陽イオン	mg/kg	meq/kg	meq%
ナトリウムイオン	0.047	0.007	0.05
カリウムイオン	199.	8.66	70.28
カルシウムイオン	15.5	0.396	3.22
マグネシウムイオン	9.70	0.798	6.48
カルシウムイオン	48.9	2.44	19.81
第一鉄イオン	0.212	0.011	0.09
アルミニウムイオン	0.002	0.000	0.00
マンガンイオン	0.225	0.008	0.07
陽イオン計	274.	12.3	100.00
陰イオン	mg/kg	meq/kg	meq%
フッ素イオン	0.092	0.005	0.04
塩素イオン	207.	5.84	47.60
硫酸イオン	150.	3.12	25.45
炭酸水素イオン	201.	3.29	26.80
硝酸イオン	0.00	0.00	0.00
リン酸水素イオン	0.321	0.007	0.05
メタケイ酸イオン	0.411	0.005	0.04
メタ矽酸イオン	0.106	0.002	0.02
陰イオン計	559.	12.3	100.00
遊離成分	mg/kg		
メタケイ酸	82.8		
メタ矽酸	6.84		
遊離二酸化炭素	13.5		
遊離成分計	103.		
微量成分	mg/kg		
銅イオン	0.00		
鉛イオン	0.00		
総ヒ素	0.098		
亜鉛イオン	0.00		
微量成分計	0.098		

* 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37巻, 45-50, 2005.

で、年々低下していることが明らかにされた。

このように、木賀温泉の泉温や湧出量についての知見はある程度まとめられているが、温泉中の化学成分について解析した事例はほとんど無い。ここでは、木賀温泉を代表する源泉として、当所で継続して調査を行っている宮城野第6号について、これまで行ってきた温泉中成分の化学分析結果をとりまとめると共に、成分、泉温及び湧出量の経年変化について考察する。

2. 宮城野第6号の泉質について

宮城野第6号の泉質は、平成2年5月7日付けで発行された温泉分析書によれば、泉温39.9、成分総計936mg/kgの単純温泉である(温泉地学研究所、1997)。成

分の当量比をみると、陽イオンでは、ナトリウムイオンが約70%を占め、次いでカルシウムイオン、マグネシウムイオン、カリウムイオンの順となっており、これら4つで陽イオン全体の99.5%以上を占めている。陰イオンでは、塩化物イオンが約48%を占め、炭酸水素イオン、硫酸イオンと併せて3つのイオンで陰イオン全体の99.8%以上となっている(表1)。

周辺の自然湧泉についても、過去の温泉分析結果によれば、大半の源泉が陽イオンではナトリウムイオン、陰イオンでは塩化物イオンが主体の単純温泉であるが、一部の源泉で成分総計が1000mg/kgを超えて塩類泉となっている(表2)。宮城野第6号とその周辺源泉の位置と泉質を図2に示した。

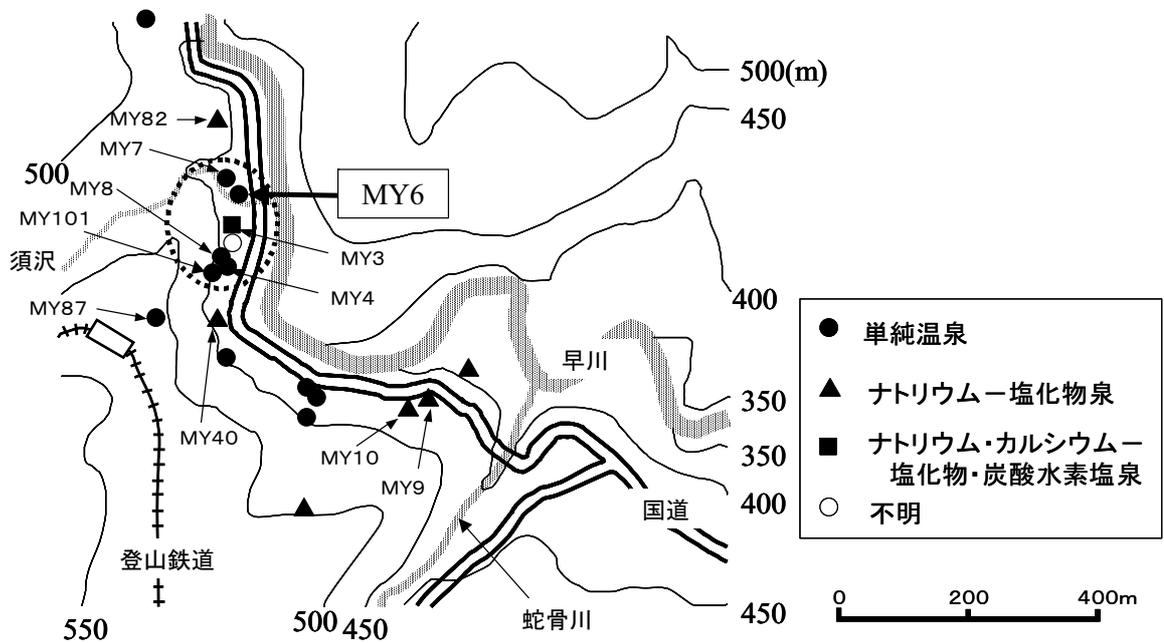


図2 木賀温泉の泉質分布
(図中の点線で囲んだ部分は木賀自然湧泉群、MYは宮城野の略、後ろの数字は源泉番号を示す。)

表2 宮城野第6号をはじめとする木賀自然湧泉群の泉質(温地研報告, 1997 掲載データから作成)

源泉番号	泉温 ℃	量 l/min	pH	成分総計 mg/kg	陽イオン ^{※1}				合計	陰イオン ^{※1}			遊離成分 (mg/kg)		泉質	分析年	
					合計	Na	K	Mg		Ca	合計	Cl	SO4	HCO3			H2SiO3
宮城野第6号	39.9	21	7.4	936	274	199	15.5	9.70	48.9	559	207	150	201	83.2	6.95	単純温泉	平成2年
宮城野第3号	45.8	30	6.9	1402	387	247	24.3	22.7	90.9	798	381	153	264	189	4.80	ナトリウム・カルシウム・塩化物・炭酸水素塩泉	昭和42年
宮城野第4号	38.2	16	7.1	798	192	105	12.1	15.0	59.0	434	124	134	176	156	2.85	単純温泉	昭和42年
宮城野第7号	36.2	5	7.4	663	181	129	11.1	6.52	34.2	386	116	108	161	81.2	4.49	単純温泉	平成2年
宮城野第8号	40.0	18	7.0	964	246	149	15.1	16.0	65.6	532	192	139	200	164	3.50	単純温泉	昭和42年
宮城野第101号	37.3	4	7.2	968	251	150	15.5	17.2	67.5	541	201	142	197	167	3.54	単純温泉	昭和42年

※1 陽イオン、陰イオンの上段の欄は濃度(mg/kg)、下段の欄はミリバル%を示す。メタケイ酸及びメタホウ酸はすべて電離していないものとして示した。

3. 宮城野第6号の泉温及び湧出量の経年変化について
 当所では、1968(昭和43)年以降、箱根の温泉保護と火山活動監視の目的で、箱根温泉に定点を設け、定期的に泉温や湧出量の観測調査を実施している。宮城野第6号については、1990(平成2)年に、同調査の定点として加えられ、以降、泉温や湧出量の観測を行っている。また、観測定点とする以前の1986(昭和61)年7月から1987(昭和62)年12月にかけても、泉温の調査が行われた。

1986(昭和61)年7月から2005(平成17)年7月までの宮城野第6号の泉温と箱根町小涌谷(箱根町消防本部)における月別降水量を図3に、湧出量と箱根町小涌谷(箱根町消防本部)における月別降水量を図4に示した。先に述べたように、2003(平成15)年3月までの泉温の経年変化については、菊川(2003)で報告され、0.2/年の割合で、年々低下していることが明らかにされている。今回の結果から、2003(平成15)年以降も、泉温は年間0.2の割合で低下し続けていることがわかった。湧出量については、降雨の影響によるデータのばらつきが大きいので、最小二乗法による直線回帰計算では、 $y = -0.0005x + 27.5488$ ($R^2 = 0.0841$) となり、泉温のように明確な相関は認められないものの、長期的には年間約0.2リットル/分の割合で湧出量が低下している可能性が示唆された(式中のxは1960年1月1日を1としたときの経過日数)。

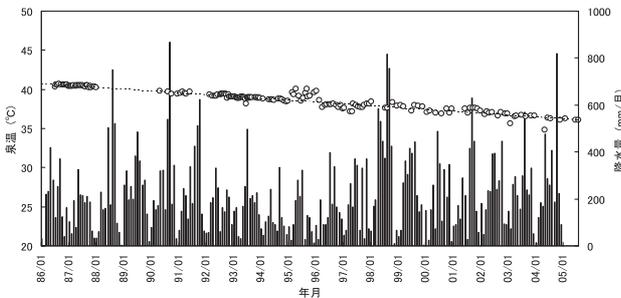


図3 宮城野第6号の泉温(○印)と箱根町小涌谷の月別降水量(棒グラフ)の経年変化(図中の直線は回帰直線を示す。)

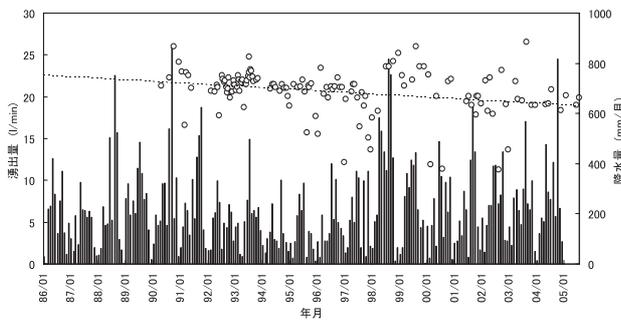


図4 宮城野第6号の湧出量(○印)と箱根町小涌谷の月別降水量(棒グラフ)の経年変化(図中の直線は回帰直線を示す。)

4. 宮城野第6号の溶存成分の経年変化について
 温泉の溶存成分の分析は、1986(昭和61)年7月から1987(昭和62)年12月の間、1991(平成3)年3月から1993(平成5)年12月の間、及び2001(平成13)年6月以降の3つの期間に採水、分析を実施している。

1986(昭和62)年7月から2005(平成17)年7月までの、溶存成分総計の経年変化を図5に示した。温泉の泉質の決定方法は、鉱泉分析法指針で定められており、泉温が25以上の温泉の泉質は、溶存成分の総計が1000mg/kg以上の場合には塩類泉、1000mg/kg未満の場合には単純温泉となる。宮城野第6号の場合、1986(昭和62)年頃の溶存成分総計は、ばらつきはあるものの、多くの採水日で1000mg/kgを超え、泉質は塩類泉となっているが、以後、

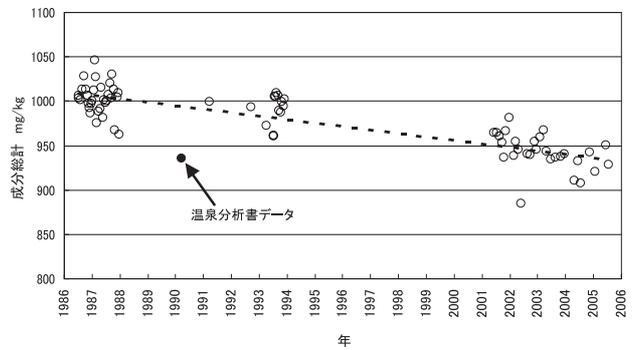


図5 宮城野第6号の成分総計の経年変化(図中の直線は回帰直線を示す。)

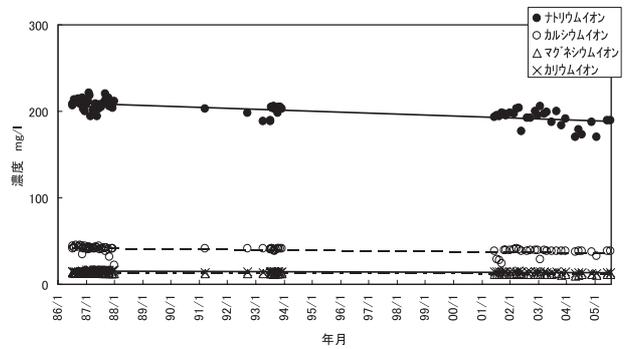


図6 宮城野第6号の陽イオン濃度の経年変化(図中の直線は回帰直線を示す。)

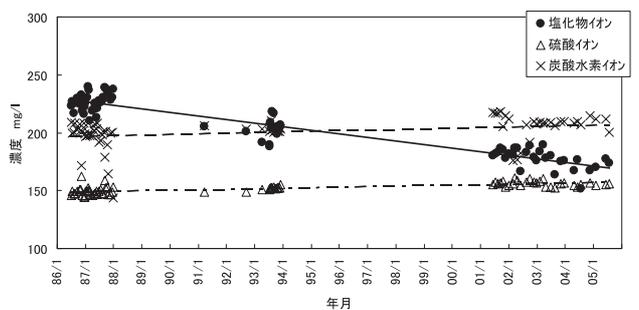


図7 宮城野第6号の陰イオン濃度の経年変化(図中の直線は回帰直線を示す。)

徐々に減少し、2001(平成13)年以降は1000mg/kgに満たなくなっている。直線回帰計算結果
 $(y = -0.0108x + 1351.2, R^2 = 0.7112)$ 、式中のxは1960年1月1日を1としたときの経過日数)によれば、溶存成分総計は、一年間に3.9mg/kgの割合で減少している。先に述べたように、1990(平成2)年発行の温泉分析書によれば、当時の泉質は単純温泉であるが、図5の回帰直線から計算すると、成分総計は995mg/kgとなる。このことから、温泉分析の採水当日の成分総量(936mg/kg)は、当時としては比較的低濃度の時期であった可能性が推察された。

次に、成分濃度ごとに経年変化をみると、陽イオンではナトリウムイオン、陰イオンでは塩化物イオンが大きく減少する傾向が認められた(図6、7)。ナトリウムイオン以外の陽イオン(カリウムイオン、マグネシウムイオン、カルシウムイオン)についても、僅かではあるが減少傾向が認められた。一方、硫酸イオン及び炭酸水素イオンは、僅かに増加傾向が認められた。また、メタホウ酸は減少傾向が認められたが、メタケイ酸については、横ばい傾向であった(図8、9)。

5. 周辺源泉の泉温の経年変化

宮城野第6号をはじめとする木賀自然湧泉群及び宮城野第87号源泉の泉温の経年変化を図10に示した。また、宮城野第6号と上記以外の周辺源泉の泉温の経年変化を

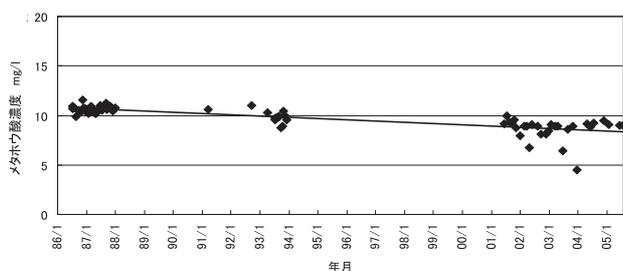


図8 宮城野第6号のメタホウ酸濃度の経年変化(図中の直線は回帰直線を示す。)

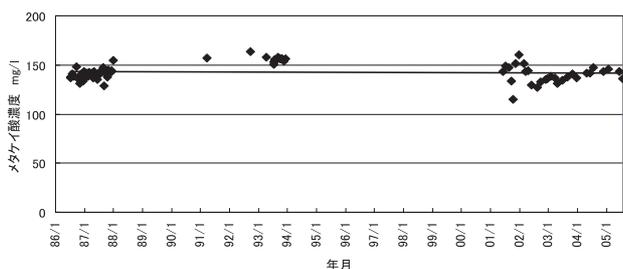


図9 宮城野第6号のメタケイ酸濃度の経年変化(図中の直線は回帰直線を示す。)

図11に示した。使用したデータは、小田原保健所が毎年(近年は3年に2回)実施している温泉実態調査のものである。

宮城野第6号の他、宮城野第7号、第8号及び第101号源泉は、いずれも泉温は40前後で、経年変化も同じような変化を示しており、年々泉温が低下する傾向が認められた。これらの源泉は、「箱根七湯の枝折」で木賀温泉として記載されている場所に湧出する自然湧泉である。

宮城野第87号源泉は、泉温が45前後であるが、経年変化は宮城野第6号などと同様に、徐々に低下する傾向が認められた。この源泉は、宮城野第6号の南西側、海拔標高520mに掘削された源泉で、地形的には海拔標高430mの木賀自然湧泉群のちょうど上部に該当する。主要成分の当量比を自然湧泉群と比較すると、陽イオンはほぼ同比率であるが、陰イオンでは塩化物イオンの比率が低くなっている(表3)。

図11に示した宮城野第6号以外の源泉は、これらとは異なった経年変化を示している。

宮城野第9号、10号源泉は共に宮城野第6号の南東約300mに位置し、第9号は掘削自噴泉、第10号は自然湧泉である。両源泉の泉温の経年変化は類似しており、2000(平成12)年頃までは上昇し、その後、低下している。主要成分の当量比をみると、宮城野第9号源泉は宮城野第6号と似ているが、宮城野第10号源泉はナトリウムイオン及び塩化物イオンの当量比が低く、マグネシウムイ

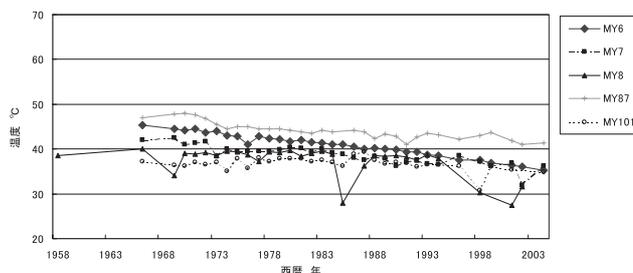


図10 木賀自然湧泉群及び宮城野第87号源泉の泉温の経年変化(小田原保健所実態調査のデータによる。凡例のMYは宮城野の略、数字は源泉番号を示す。)

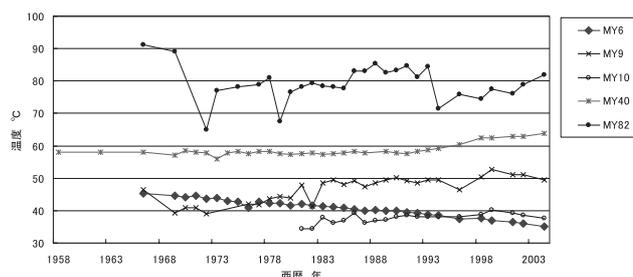


図11 宮城野第6号と周辺源泉の泉温の経年変化(小田原保健所実態調査のデータによる。凡例のMYは宮城野の略、数字は源泉番号を示す。)

オン及び炭酸水素イオンの当量比が高い(表3)。

宮城野第40号源泉は、掘削深度213mの揚湯泉で、泉温は60前後であり、年々泉温が上昇する傾向が認められる。また、宮城野第82号源泉は、掘削深度797mの揚湯泉で、泉温は80前後と高温で、泉温の経年変化は変動が大きいものの、ほぼ横ばいの傾向であった。宮城野第40号源泉、宮城野第82号源泉共に、主要成分の当量比は、宮城野第6号に対してナトリウムイオン及び塩化物イオンの当量比が高い源泉である(表3)。

大山、久保寺(1993)によると、宮城野第82号源泉は、箱根火山の基盤岩の割れ目に胚胎された温泉であり、宮城野第6号をはじめとする木賀自然湧泉群とは温泉帯水層が異なる。宮城野第9号、第10号及び第40号源泉についても、泉温の経年変化や温泉の成分比からみて、木賀自然湧泉群とは異なる温泉帯水層の温泉であると思われる。

層が異なる。宮城野第9号、第10号及び第40号源泉についても、泉温の経年変化や温泉の成分比からみて、木賀自然湧泉群とは異なる温泉帯水層の温泉であると思われる。

6. 考察

宮城野第6号は、泉温及び湧出量は1960年代から低下傾向が認められ、現在でも継続して低下を続けている。また、温泉の成分についても、1980年代後半からのデータしか得られていないが、減少する傾向が継続している。

図12に、宮城野第6号の主要成分比についてトリリニアダイアグラムを示した。プロットされた点は、成分分

表3 宮城野第6号とその周辺源泉の主要成分の比較(宮城野第82号以外は温地研報告, 1997掲載データから作成)

源泉番号	掘削深度	泉温 °C	量 l/min	pH	成分総計 mg/kg	陽イオン ^{※1}				陰イオン ^{※1}			分析年		
						合計	Na	K	Mg	Ca	合計	Cl		SO ₄	HCO ₃
宮城野第6号	自然湧出	39.9	21	7.4	936	274	199	15.5	9.70	48.9	559	207	150	201	平成2年
							70.3	3.22	6.48	19.8		47.6	25.5	26.8	
宮城野第9号	133m (自噴)	48.6	30	7.4	699	169	124	12.4	11.5	20.7	346	143	69.1	133	平成4年
							69.9	4.11	12.3	13.3		52.6	18.8	28.4	
宮城野第10号	自然湧出	38.0	16	7.5	543	114	67.2	7.69	13.8	24.6	269	64	80	123	平成4年
							53.1	3.57	20.6	22.4		32.7	30.3	36.6	
宮城野第40号	213m	61.0	18	8.4	1032	302	256	19.7	2.63	23.2	522	319	61.7	138	平成8年
							85.2	3.84	1.69	8.90		70.0	9.96	17.6	
宮城野第82号	797m	77.6	4	8.5	1252	407	351	9.46	0.5	46.0	684	510	66	104	平成11年
							85.5	1.34	0.2	12.9		81.1	7.7	9.6	
宮城野第87号	500m	43.5	5	8.2	715	155	109	10.8	6.70	27.5	325	79.6	105	140	平成5年
							68.1	3.96	7.91	19.7		33.1	32.2	33.6	

※1 陽イオン、陰イオンの上段の欄は濃度(mg/kg)、下段の欄はミリバル%を示す。

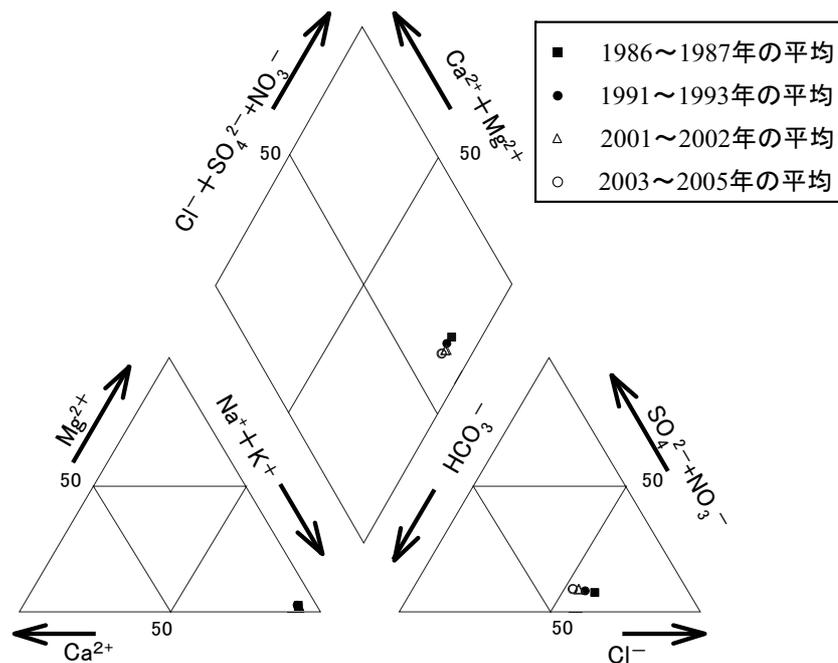


図12 宮城野第6号のトリリニアダイアグラム(当量%)

析を行った期間を4つに分類したそれぞれの平均値を表している。陽イオンについては、各成分の比率はほとんど変化していない。しかし、陰イオンでは塩化物イオンの比率が年を追うごとに低下しており、塩化物イオン比率の低下に伴って、硫酸イオン及び炭酸水素イオンの比率が共に上昇している。

木賀温泉は、Oki and Hirano(1970)による箱根の泉質の分帯では、第1帯の末端付近にあたる。第1帯の温泉は、高温のナトリウム・塩化物泉であり、宮城野第6号など自然湧泉群は、これと雨水を主体とした低温の地下水との混合により生成していると考えられる。

泉温、湧出量の低下や塩化物イオン減少の原因は、ナトリウムイオンや塩化物イオンの供給源である第1帯の温泉の減少や、第1帯への温泉成分の供給源(箱根火山の地下から供給される高温熱水)自体の衰退の可能性も考えられる。また、温泉が生成し湧出するまでの過程で混合している雨水を主体とした低温の地下水の混合割合の増加が原因となっている可能性もある。

宮城野第6号と同様の泉温の経年的な低下は、木賀自然湧泉群、及び地形的にその上部に当たり主要成分の比率も類似している宮城野第87号源泉で認められた。これに対し、陰イオン中塩化物イオンの比率が70%を超える宮城野第40号源泉や宮城野第82号源泉では、泉温の低下は認められなかった。宮城野第40号源泉は、自然湧泉群などと同様に第1帯が塩化ナトリウムの供給源である。宮城野第82号源泉は基盤岩中の温泉であるが、やはり第1帯が温泉成分の供給源である。

このように、同じ第1帯が供給源となる源泉でも泉温の経年変化が異なる。このことは、木賀自然湧泉群の泉温や成分濃度の低下の原因として、地下深部からの高温熱水の衰退よりも、混合している雨水を主体とした低温の地下水の混合割合の増加が影響している可能性を示唆している。

7. おわりに

今回の報告では、木賀温泉の中で古くから知られる自然湧泉群とその上部の源泉に経年的な枯渇化傾向が認められたが、その他の源泉には枯渇化傾向は認められなかった。箱根温泉の第1帯に分類される温泉自体の経年変化については、今後、底倉温泉や強羅温泉など他の地域の第1帯に分類される源泉について詳細な調査を行う必要がある。

謝辞

本報告をとりまとめるにあたり、次の方々にお世話になった。源泉所有者の方には、快く採水を許可していただいた。箱根消防署及び小田原保健所温泉課には、データをご提供いただいた。元温泉地学研究所専門研究員である大山正雄氏には、木賀温泉の貴重な試料及びデータをご提供いただき、有益なご指導とご助言をいただいた。以上の方々に、深く感謝いたします。

参考文献

- 神奈川県温泉地学研究所(1997) 温泉分析書, 温地研報告, 28(2)(資料集), 資7-資261.
- 菊川城司(2003) 箱根火山における温泉の温度・湧出量・水位の観測結果 1990(平成2)~2002(平成14)年, 温地研報告, 35, 79-90.
- Oki, Y. and Hirano, T. (1970) The Geothermal System of Hakone Volcano, Geothermic(1970)-special issue 2, U. N. Symposium on the development and utilization of geothermal resources, Pisa 1970. Vol 2, Part 2, 1157-1166.
- 大山正雄、久保寺公正(1993) 箱根カルデラ東部の温泉水位の特性, 温地研報告, 24(2), 49-60.
- 大山正雄(1995) 箱根火山の温泉の水位・湧出量・温度の観測 1993(平成5)年, 温地研報告, 26, 11-20.
- 沢田秀三郎訳註(1974) 箱根七湯の枝折(その2), 温地研報告, 5(2), 82-110.