大分県温泉調査研究会報告

第 58 号

平成 19 年 7 月

目 次

大分市街地温泉の化学成分濃度変化	Ш	野	田實	夫	他2名	•••••	(1)
慢性心不全患者の血管内皮機能に対する温泉浴の 効果について	尾	Ш	純	_	他2名		(9)
別府浜脇地区の沖積層ボーリングコア解析 -堆積相と炭素14年代値	竹	村	恵	<u>-</u>	他4名		(11)
温泉から河川への有用金属元素の流出 - 未利用温泉資源量に関する基礎調査と研究	大	沢	信	=	他5名		(21)
温泉発見・開湯伝説から見た泉質と効能に関する 予察的研究	河	野		忠	••••••	•••••	(31)
運動浴を利用した生活習慣病予防の研究	畑		洋	<u> </u>			(41)
別府地域直下マントルの地球化学的特徴を探る	山	本	順	司	他3名	•••••	(47)
リチウム含有泉飲用によるメンタルヘルス改善効果と 作用機序の検討	寺	尾		岳	•••••	•••••	(57)
Sr、Nd、Pb同位体組成を用いた由布岳・鶴見岳における マグマ生成の解明 ·······	杉	本		健	他3名		(59)
九重連山の地球化学的研究	柴	田	知	之	••••••		(67)
塚頂暗気地帯における暗気活動の短周期時間変動特性	鍵	ılı	槓	巴	他り夕		(69)

1950年代中頃から始まった高度経済成長からバブル景気にいたる好景気時には、温泉利用の主要な形態は団体客による宴会享楽的なものでしたが、1990年代初めのバブル崩壊以来の景気衰退に伴い、温泉利用のあり方は大きく変化したように見えます。たとえば、近年行われたアンケート調査によると、温泉地の魅力の要因として、「自然環境」「温泉の質」「温泉情緒」などが高く評価されているのに対し、「遊興の場」としての評価はあまり高くないようです。このように温泉利用に関する日本人の意識は変化し、温泉志向は個人的で地道な方向へ向かいながらも、温泉ブームは持続しており、むしろ伸びているようにさえ思われます。当然のこととして温泉の需要は増大し、各地で新規の温泉開発が行われてきました。また、具体的な利用方法としては、心身の癒しや美容など古の湯治に通じるものが現れています。

このような最近の温泉利用は歓迎すべきものと思われますが、これらは、温泉現象のしくみや温泉水の諸特性に関する基礎知識、および、温泉水の処理に関する一般的技術に基づいてなされなければならないはずです。

数年前に発生したレジオネラ問題は、温泉に対する認識の浅さを露呈した例ですが、2007年6月19日には、東京渋谷の温泉施設で爆発事故が発生し、3名の方が亡くなるという悲劇となりました。爆発したのは、この地の深層温泉水に溶存しているメタンと推定されています。

近年の新規温泉開発は、非火山地域において、厚い堆積層を深く掘削して行われているものが少なくありません。そうして得られる温泉水にはメタンが随伴していることが多く、掘削時に引火炎上した事故が、2003年には宮崎平野で、2005年には関東平野(東京)と大分平野で、発生しました。この貴重な経験が一般化されていなかったことが、今回の悲劇を招いた原因の一つではないかと思われます。すなわち、温泉に関する知見の広報が強く望まれます。

大分県温泉調査研究会は、昭和24年の発足以来、温泉に関する科学的知識を蓄積・公開してきましたが、この意義の重要さが再認識されます。

本年もここに、平成18年度の活動を記した機関誌第58号を出版する運びとなりました。本号には11編の報告が掲載されています。研究課題は多岐にわたっておりますが、いずれも会員諸氏が自主的に選択した課題であり、医学・理学・人文科学との境界分野など、斬新な観点と手法による研究成果に接することができます。調査研究をご担当いただいた会員諸氏、ご支援いただいた関係行政機関並びに事務局の方々に深く感謝を捧げ、それぞれの研究の進展と本会の持続的発展を期待し、引き続いてのご協力をお願いいたします。

大分県温泉調査研究会

会 長 由 佐 悠 紀

大分市街地温泉の化学成分濃度変化

大分大学教育福祉科学部化学教室 川 野 田實夫・松 尾 あゆみ 渡 邉 加奈子

要旨

平成18年度は「揚湯開始後の温泉成分変化に関する研究」と題し、大分市街地の温泉で、ポンプを一定時間(12時間以上)停止した後、それを再起動させ、揚湯開始後の温泉成分濃度の観測を計画した。しかしながら源泉の利用実態などから半日以上ポンプを停止しての観測は困難で、目的を果たせたのは1源泉であった。そこで、新規に掘削された1源泉の経日変化を約1ヶ月間観測するとともに、過去10数年の間に複数回調査記録がある18の源泉について主要成分の分析を行い「成分濃度の変化」を視点において検討した。その結果、揚湯開始後の濃度と、新規掘削井の経日変化ともに、測定誤差を上回る濃度変動を観測した。また、今回18の源泉についての成分濃度の著しい変動は認められなかった。

1. はじめに

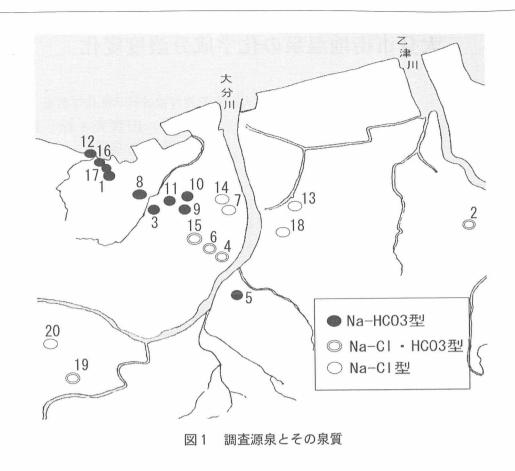
大分市の温泉は1967年頃から開発が始められ、大分市中心部から大分川流域で増え始め、1981年頃にピークに達した。その後も開発が進められ、近年では大野川流域にも広がりを見せ現在では220口を超える源泉があり、その多くが600mから800m程度の深さにある新生代第3期から第4期の地層に貯留された地下水を揚水しているといわれている。新生代の頃の大分平野は淡水湖の出現や海水面の上昇、火砕流の噴出など、激しい環境の変化が起きた。そのような環境の変化が温泉中の化学成分に影響を及ぼしており、近接した源泉でも泉質が異なる場合があったり、揚湯ポンプを一定時間停止した後、濃度の異なる熱水が観測されたりする。これらの現象は熱水だまりが複雑な機構を有していたり、不安定であることによるものかもしれない。このような温泉源の開発と保全のあり方を考えるために温泉水中の化学成分濃度の変動についてのデータの蓄積は有効であろう。

2. 調査源泉

図1に今回調査した源泉とその泉質を示している。図に附した源泉番号は別表1の分析表に対応するものである。この中で源泉No.19は玉光苑でポンプ揚湯開始後の成分濃度を観測した源泉、源泉No.20は仲宗根病院の源泉で、大分市大字小野鶴に位置し、2006年1月に掘削された自噴泉である。

3. 調查方法

この地域の源泉はほとんどエアーリフトポンプで汲み上げ、貯湯タンクに貯めたあとに浴槽に流しているので、源泉から直接採水するのは難しく、可能な限り源泉に近い蛇口から採水を行った。調査時にポンプが作動していなかったところではポンプを作動してから20分以内の採水となった。現地では 1ℓ のポリ瓶に採水し、泉温を測定した。測定項目は Na^+ 、 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Cl^- 、 HCO_3 である。硫酸イオンは微量であるので測定を行わなかった



4. 結果

分析結果を別表1と別表2に示す。

4-1 No.20 (仲宗根病院) 源泉の化学成分量の経日変化

この源泉は2006年1月に掘削されていた泉源で、2006年10月27日から本格的に自噴させ、当日1回目の採水を行い、それ以降10月31日、11月7日、11月14日、11月21日と5回採水を行った。図2に測定結果をグラフで示した。

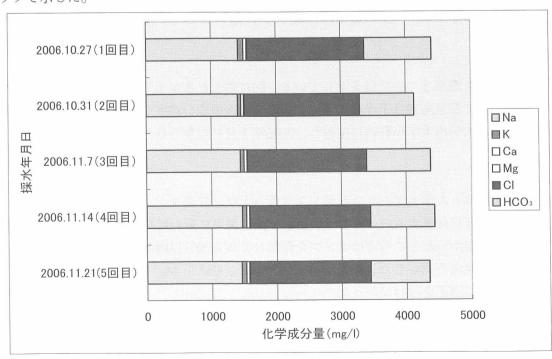


図 2 源泉No.20 (仲宗根病院) の化学成分濃度

測定項目の合計量について変動率を表1に示した。10月27日自噴再開日の値に比べて4日後は6.3% 溶存成分量が一旦低下し、3回目の測定ではほぼ1回目の値に回復し、その後の変化は測定誤差内で一定値になっていることが分かる。

2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	2010 7 8 7 至 9 日 久 10 9 久 到 午
1回目と2回目の変動率	-6.3%
2回目と3回目の変動率	5.7%
3回目と4回目の変動率	1.3%
4回目と5回目の変動率	-1.8%

表 1 源泉№20 (仲宗根病院) における化学成分量の日変化の変動率

4-2 No.19玉光苑源泉における化学成分経時変化

玉光苑の概要を表2に示す。湧出形態は自噴泉であるが利用していない時は湧出口に栓をして自噴を止めている。今回、所有者の好意により、自噴を12時間以上ストップさせた後、再自噴後の連続観測をさせていただくことができた。観測は2007年1月13日、13時57分に開始、2分おきに26分後まで12回、26分後からは3分おきに66分後まで5回合計18試料を採水、分析した。

所在地	大分市大字市459
掘削年	1978年 2 月
掘削深度	600 m
泉温	37. 9°C
湧出量	78リットル/分

表 2 玉光苑源泉の概要

図13は玉光苑源泉における2007. 1.13の経時変化の総量を時間ごとに示したものである。まず、2分から8分にかけて増加している事がわかる。その後8分から31分までの間は $4400 \,\mathrm{mg}/1$ から $4500 \,\mathrm{mg}/1$ の間で増減を繰り返している。31分から36分にかけて大幅に減少し、その後66分までの30分間は $4200 \,\mathrm{mg}/1$ 前後の値を示していることがわかる。総量の最大値は14分の4484. $6 \,\mathrm{mg}/1$ 、最小値は66分の4195. $1 \,\mathrm{mg}/1$ であった。また、この図より温泉は濃度の高いもの(8分から31分)と濃度の低いもの(36分から66分)の2種類に分けられる。

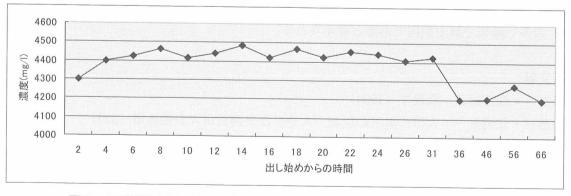


図3 玉光苑源泉における自噴再開後の成分濃度経時変化(2007. 1.13) (成分濃度: Na, K, Ca, Mg, Cl, HCO₃の合計量)

4-3 化学成分量の経年変化

温泉の化学成分量を表す場合、一般的には蒸発残留物で表す。しかしここでは、主要イオン成分 $(Na^+, K^+, Ca^{2+}, Mg^{2+}, Cl^-, HCO_s^-)$ の合計量を化学成分量の目安とした。

今回調査を行った源泉20ヶ所の分析値は、以前の分析値清水(1996)、本多(2000)の卒業論文の分析値と比較できた。No. 20(仲宗根病院)については2006年に源泉を新しく掘削し直したため、比較することができなかった。

経年変化を検討するにあたって本多(2000)は、上記主要 6 成分の合計量について、前回の測定値と今回のそれとで変動率(\triangle S)を求めている。それにならって今回調査を行った源泉の \triangle Sの分布を図 4 に示す。

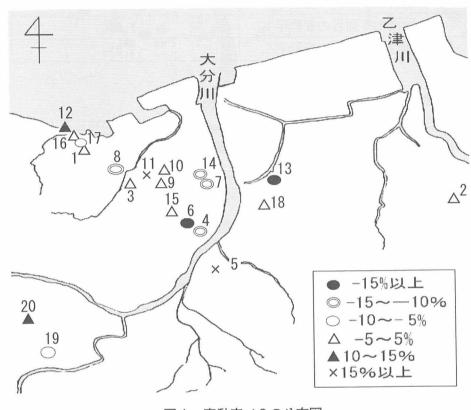


図4 変動率△Sの分布図

測定誤差等を考慮し、 \triangle Sが-5%~5%の源泉はほとんど変化がないものとみなした。化学成分量がほとんど変化のなかった源泉は8孔、減少していた源泉は8孔、増加していた源泉は3孔であった。地域的な関連性は特にないが、Na-Cl型、Na-Cl・HCO $_3$ 型の源泉では化学成分量は減少傾向であった。つまりCl⁻の多い源泉で減少傾向であると考えられる。

5. 参考文献

湯原浩三·瀬野錦蔵:温泉学(1964)

吉川恭三・北岡豪一:大分市温泉の現況 大分県温泉調査研究会報告第 32号

清水真紀:卒業論文集第32集:大分市の温泉の地球科学的研究~現況と経年変化~ (1997) 13-22

本多真美:卒業論文集第36集:大分市温泉の化学成分量経年変化とCa²⁺、Mg²⁺及び窒素の挙動に

ついて (2001) 65-74

大分県環境白書(2002~2006)

大分県温泉管理基本計画(概要版)(2002)

別表 1 大分市温泉の分析結果、泉温及び掘削深度

				27 -2 23 17	to a react some .						
No.	採水源泉	日付	泉温 (℃)	Na	К	Ca	Mg	Cl	HCO ₃	化 学成分量	掘削 深度 (m)
1	アスティオン学園通り	2006. 10. 10		314. 4	66. 5	4.8	1.6	101.6	841.8	1330.7	800.0
2	こがね湯	2006. 9.26	43. 1	498. 9	26. 2	2.8	0.2	505.0	441.6	1474.7	800.0
3	永富脳神経外科	2006. 10. 4		246. 5	44. 9	2. 2	1.0	18.7	688. 1	1001.4	700.0
4	仁医会病院	2006. 10. 3	43.1	620.6	51.6	9. 0	0.5	422. 7	838. 1	1942. 5	700.0
5	首藤洋治	2006. 9.25	37.0	512. 1	28. 0	4.0	1.0	101.6	1268.8	1915. 5	700.0
6	上野愛光保育園	2006. 12. 7		267. 4	70.7	55.8	19. 9	214.8	770.3	1398. 9	150.0
7	錦温泉	2006. 12. 7	49. 2	693. 8	92.6	7.6	4.1	738.7	477.7	2014.5	700.0
8	大和電業社	2006. 12. 13		243. 4	61.1	4.0	0.3	42.7	664. 3	1015.8	700.0
9	あたみ温泉	2006. 12. 13		392. 4	85. 9	2. 2	2. 2	148. 2	960.0	1590.9	700.0
10	パークインホテル	2006. 12. 13		209. 0	34.9	2. 1		18.8	595. 7	860.5	800.0
11	ホテルベルベ	2006. 12. 13		387.5	92.7	4.4	1.4	141.9	969.0	1596. 9	
12	新湊温泉	2006. 12. 19	42.3	168. 9	28. 4	0.6	0.5	20.7	558. 3	777.4	600.0
13	アサヒ温泉	2006. 12. 19	41.0	445.8	44.3	10.5	1.3	623. 8	223. 8	1349.5	700.0
14	大分泌尿器科病院	2006. 12. 7	43.4	842.5	98.7	6. 2	4.9	910.6	477.7	2340.6	700.0
15	本光寺	2006. 12. 7	40.4	387. 4	47. 2	2.8	17	196.5	651.9	1302.8	800.0
16	王子温泉	2006. 12. 19		260. 3	40.4	2.0	0.9	36.0	694.8	1034. 4	750.0
17	アスティオン王子	2006. 12. 19		453. 0	108.7	7. 3	1.6	206. 3	1034.5	1811.4	800.0
18	下郡温泉	2006. 12. 21	41.9	349. 9	47.5	27. 6	3. 7	512. 9	133. 6	1075. 2	500.0
19	玉光苑	2006. 12. 26		1108.3	47.9	69. 9	79. 9	955. 6	1935. 3	4196. 9	600.0
20	仲宗根病院	2006. 11. 21	49.9	1458. 2	70.9	45. 5	11.5	1860.3	906. 5	4352.9	800.0

(単位:mg/1)

別表 2 玉光苑源泉における経時変化

分	Na ⁺ (mg/1)	$\mathrm{K}^{\scriptscriptstyle +}(\mathrm{mg}/1)$	$\operatorname{Ca}^{2-}(\operatorname{mg}/1)$	$\mathrm{Mg}^{2+}(\mathrm{mg/l})$	Cl-(mg/1)	HCO ₃ (mg/1)	合計(mg/1)
2	1100.1	50. 4	63, 6	97.7	1043.8	1944.0	4299.6
4	1094.9	48.7	64.6	105.5	1147.6	1937. 3	4398.6
6	1103.5	49.5	69. 6	101.0	1152.6	1949. 5	4425.7
8	1104. 1	49. 5	69. 5	103. 2	1197.4	1940.9	4464.6
10	1107.9	50.0	69, 3	102.0	1159.8	1926.8	4415.8
12	1112.9	49. 3	68.7	104.0	1162.7	1943. 8	4441.4
14	1152	48.8	68, 9	102. 2	1171. 4	1941.3	4484. 6
16	1105. 4	48.8	66, 2	104. 3	1143. 3	1950. 1	4418. 1
18	1108.9	49.6	69, 1	104.9	1158. 2	1975. 4	4466. 1
20	1124. 4	50. 2	67.9	105. 1	1165. 1	1913. 6	4426. 3
22	1116.5	49. 1	69.8	103. 5	1169. 2	1947. 2	4455. 3
24	1126. 6	49.8	68.3	104.0	1150. 1	1941. 2	4440.0
26	1102.5	49. 4	71.4	103. 2	1138. 3	1940.7	4405. 5
31	1123.7	49.9	70.5	101.6	1147. 4	1929. 2	4422. 3
36	1058. 1	47.0	61. 0	89. 4	1024. 2	1922. 5	4202. 2
46	1059.9	46. 0	62. 1	82. 5	1045. 4	1908. 4	4204. 3
56	1077. 2	47.0	63. 5	97.7	1074. 1	1912. 7	4272. 2
66	1053. 9	46. 3	63. 5	82. 5	1029. 9	1919. 0	4195. 1

別表 3

玉光苑源泉 化学成分陽イオンの組成比

玉光苑源泉 化学成分陰イオンの組成比

分	Na(%)	K(%)	Ca(%)	Mg(%)	分	Cl(%)	HCO ₃ (%)
2	79. 3	2. 2	5. 3	13. 3	2	48.0	52.0
4	78.4	2.0	5. 3	14.3	4	50. 5	49. 5
6	78.6	2. 1	5. 7	13.6	6	50.5	49.5
8	78. 3	2. 1	5. 7	13. 9	8	51.5	48.5
10	78.6	2. 1	5. 7	13.6	10	50.9	49. 1
12	78. 4	2. 1	5. 5	13. 9	12	50. 7	49. 3
14	79. 3	2. 1	5. 4	13. 3	14	51.0	49.0
16	78. 5	2. 1	5. 4	14.0	16	50. 2	49.8
18	78. 2	2.1	5. 7	14.0	18	50. 2	49.8
20	78. 5	2. 1	5. 5	14.0	20	51. 2	48.8
22	78. 5	2. 1	5. 7	13.8	22	50.8	49. 2
24	78.7	2. 1	5. 5	13.8	24	50.5	49. 5
26	78.1	2. 1	5. 9	13. 9	26	50.3	49. 7
31	78.8	2. 1	5. 6	13. 5	31	50.6	49. 4
36	79.7	2. 1	5. 4	12.8	36	47.8	52. 2
46	80.6	2. 1	5. 4	11.9	46	48.5	51.5
56	80.6	2.0	5. 4	13. 5	56	49. 1	50. 9
66	79. 1	2. 1	5, 4	12.0	66	48.0	52. 0
							1

慢性心不全患者の血管内皮機能に対する 温泉浴の効果について

九州大学病院別府先進医療センター 慢性疾患治療部

尾山純一・工藤義弘

老化制御学部門 牧野直樹

要旨

慢性心不全患者を対象に温泉浴による血管反応について検討した。平均血圧、心拍数、心胸比、ADMA等に変化はなかったが、EFの改善、BNPの低下に加え、大動脈波伝達速度の低下が認められた。 温浴効果は心不全患者の血管反応改善に寄与する可能性が示唆された。

目的 慢性心不全に対する非薬物治療の一つとして運動療法は以前から知られているが、最近では温熱療法が慢性心不全患者の自他覚症状の改善、予後の改善等に有効であることが示唆されている。慢性心不全患者において末梢循環が悪化している事が報告されているが、温泉入浴により末梢血管反応が改善させられるか否かは明らかでは無い。本施設では、充実した温熱療法施設が備わっており、患者の治療に役立てることを目的としている。今回我々は当病院で行っている慢性心不全患者の血管反応に対する温泉浴効果について報告する。

方法 慢性心不全患者(拡張型心筋症: n = 5 及び虚血性心臓病: n = 10, NYHAⅡ~Ⅲ度)を対象に、2週間毎日(週5回)40度の温泉に10分以上温泉浴(半身浴)をしてもらい、従来報告の通り、心血行動態及び心胸比(CTR)、左室駆出率(EF)、脳性利尿ペプチド(BNP)に加え、動脈硬化の指標となる大動脈波伝達速度(baPWV)、血管内皮機能に関与する内因性一酸化窒素合成酵素阻害物質(ADMA)の変化について検討した。

結果 平均血圧、心拍数に変化はなかったが、EF、BNP、baPWVの改善が認められた。さらにCTR及び ADMAの改善を示唆する結果が認められた。

	温泉入浴前	温泉入浴後	統計
平均血圧(mmHg)	85. 94± 2. 47	84. 38± 2. 71	P = 0.515
心拍数(/min)	73. 40± 3. 77	75.87± 4.24	P=0.475
心胸比 (CTR:%)	55.77± 2.21	53.98± 1.78	P=0.10
左室駆出率(EF:%)	45. 47± 3. 92	56.09± 3.28	P < 0.01
脳性利尿ペプチド(BNP:pg/ml)	576. 43±176. 35	316. 38±82. 45	P < 0.05
大動脈波伝達速度(baPWV:m/s)	16.30± 0.97	15.49± 0.88	P < 0.01
内因性一酸化窒素合成酵素阻害物質	0.58± 0.03	0.55± 0.03	P = 0.07

考察 温泉浴療法は、血管反応を改善し心負荷を軽減する可能性が示唆された。今後、さらに症例数を 増やし結果を報告したいと考えている。

大分県別府浜脇地区の沖積層ボーリングコア解析 - 堆積相と炭素14年代値 -

独立行政法人土木研究所技術推進本部中 西利 典京都大学大学院理学研究科附属地球熱学研究施設 竹 村 恵 二•齋 藤 武 士 応用地質株式会社 松 山 尚 典

要旨

別府扇状地南東縁に広がる海岸平野に位置する浜脇地区でボーリング調査を実施した。海抜-17.7 mまでのコア試料は、扇状地性の河川流路~自然堤防帯および浅海底で形成された堆積物からなる。それらの堆積速度は、炭素14年代測定値によると河川堆積物で1.28mm/yr・浅海堆積物で3.79mm/yrである。また、これらの地層は、朝見川断層近傍の東別府駅前で掘削されたコア試料の海抜約-8 mまでの地層に対比される。両コアの7300年前頃の層準は共に河川成の堆積環境を示すために、約10m分の層厚の差異は朝見川断層の活動の影響が考えられる。

1. 調査地点

大分県別府市浜脇地区でボーリング調査を実施して20m長のBHMコア試料を得た。試料の回収率はほぼ100%であった。掘削地点は、北緯33度16分10.3秒・東経131度30分31.7秒(World Geodetic System 1984)・海抜+2.30mで、別府扇状地南東縁部に広がる沖積平野に位置しており、朝見川から約120m、海岸から約200mの距離にある(図1)。なお、この調査地点の約740m北西の旧別府市役所(図1)では、地下11.1~11.6mにおいて鬼界アカホヤ火山灰(町田・新井,2003)が確認されている(竹村,1994)。また、約200m南東の別府東駅前(図1)では、朝見川断層の完新世での活動を示唆する小断層がみられる(中西ほか,2006)。朝見川断層はA級の活動度を持つ可能性が指摘されている北落ちの正断層である(千田,1995)。



図1 別府浜脇 (BHM) ボーリング調査地点の位置。地図は国土地理院発行の2万5千分1地形図 「別府西部」を使用した。活断層の位置は千田ほか(2001)と岡田ほか(2001)による。

2. 堆積物の特徴と堆積環境

BHMコアは、シルト~中礫からなる沖積層である(図 2)。それらは岩質・堆積構造・含有物を基にして上位から堆積物①~④に区分される。以下に上位から順に堆積物の特徴とそれらから解釈した堆積 環境を記載する。

• 堆積物①:人工盛土(深度:0~3.38m)

礫質支持層と基質支持層からなる砂礫層から構成される(図2)。最大礫径は40mmで、基質は中粒砂~粗粒砂で構成される。地表直下に位置しており、レンガ片や貝殻片を含むために、人工盛土と考えられる。

• 堆積物②:蛇行河川流路~氾濫原堆積物(深度:3.38~8.50m)

最大層厚58cmの砂層と最大層厚20cmの砂質シルト層の繰り返しで構成される砂泥互層である(図2)。砂層は中粒砂~極粗粒砂からなり、上方細粒化するクロスラミナがみられる場合がある(図3A)。砂質シルト層には逆級化構造がみられる部分がある(図3B)。これらはそれぞれ蛇行河川流路と自然堤防帯の堆積物において頻繁に観察される堆積構造である(Miall, 1992;1996;伊勢屋, 1982;増田・伊勢屋, 1985)。また、砂層には中粒砂~極粗粒砂からなり、主に角閃石安山岩と輝石安山岩からなる最大礫径5cmの亜角~亜円礫が混じる場合がある。上部ほど基質支持層が多く、下位ほど礫質支持層が多い。また、上位ほど礫径が小さく円磨度がよいのに対して、下位ほど礫径が大きく円磨度が悪い。これらの砂礫層の支持様式・礫径・円磨度の変化は水理営力の上方減少を示唆する可能性がある

(Miall, 1992; 1996)_o

• 堆積物③: 浅海堆積物(深度: 8.50~15.43m)

厚さ15cm以下の砂泥互層から主に構成され、深度12.50~13.00mでは砂礫層を挟在する(図 2)。砂層は極細粒砂~極粗粒砂からなり、リズミカルなラミナやマッドドレイプ(図 3 C)、硫黄の析出(図 3 D)、二方向流を示すカレントリップル葉理がみられる場合がある。また、砂礫層には上方細粒化が、シルト~中粒砂層には巣穴が(図 3 E)みられる。以上の特徴から浅海堆積物と考えられる。

• 堆積物④:網状河川流路~氾濫原堆積物(深度:15.43~20.00m)

淘汰の悪い中粒砂~極粗粒砂層と砂質シルト層の互層から構成される(図 2)。砂層には角閃石安山岩や輝石安山岩からなる最大粒径11cmの亜角~亜円礫が混じる場合があり、上方細粒化することが多い(図 3 F)。砂層の層厚は最大で約40cmと②の砂層よりも若干薄く淘汰が悪いために、水深がより浅く流速の変化が頻繁な網状河川流路堆積物と考えられる(Miall, 1992;1996)。一方、シルト層には植物片を多く含む部分や藍鉄鉱、逆級化構造が(図 3 G)がみられるために、自然堤防帯の堆積物と考えられる(伊勢屋,1982;増田・伊勢屋,1985)。

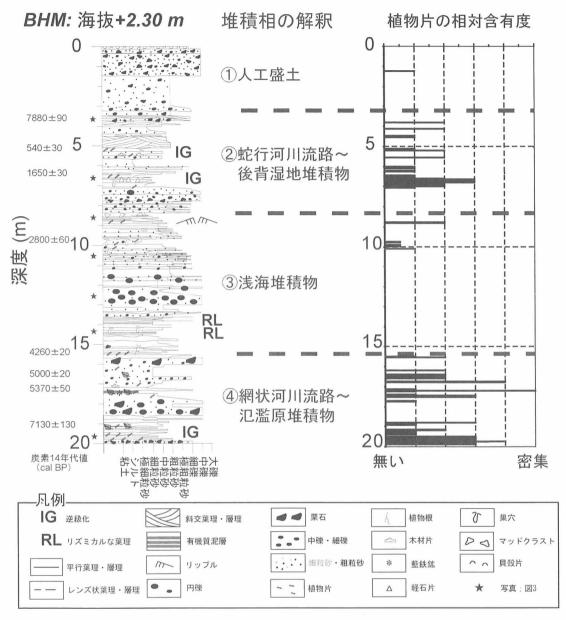


図2 別府浜脇(BHM)コアの柱状図と堆積相の解釈と植物片の相対含有度



A: BHM 3.40-3.90 m; クロスラミナと酸化がみられる中粒砂~細礫層



B: BHM 6.50-7.00 m; シルト〜細粒砂層へと逆級化する砂泥互層



C: BHM 8.50-9.00 m; マッドドレイプとリズミカルな葉理がみられる細粒砂層



D: BHM 10.30-10.80 m; 硫黄が析出して酸化した細粒砂~細礫層



E: BHM 14.00-14.50 m; 淘汰のよい中粒~粗粒砂によって充填された巣穴



F: BHM 18.00-18.50 m; 中礫~砂質シルトへの上方細粒化



G: BHM 19.30-19.80 m; 有機質泥層を挟在する逆級化する砂泥互層

) 上 ← 下 25 上 ← 下 50 cm

図3 別府浜脇 (BHM) コアの写真

3. 堆積年代

深度3.79~19.18mから得た8個の植物試料を用いてAMS炭素14年代測定実験をおこなった。試料の前処理はKitagawa et al. (1993)とNakanishi et al. (2004) に基づいて、名古屋大学大学院環境学研究科の北川浩之研究室でおこなった。測定実験は国立環境研究所(NIES-TERRA;Kume et al., 1997;Yoneda et al., 2004)で実施した。試料の年代値は、加速器で測定した δ^{13} C値で補正した 14 C/ 12 C同位体比を基にして算出した。その年代値をCalib 5.0.1(Stuiver&Reimer, 1993;Reimer et al., 2004)を使って暦年代値に較正した(表 1)。以下では、堆積物②~④の順で年代値を記述して、それらを基にして各堆積物の堆積速度を推定する(図 4)。

• 堆積物②

深度3.79~6.63mから540 \pm 30~7880 \pm 90cal yr BPの合計3個の年代値を得た。深度3.79mから得た木炭はそれ以深で得たいずれの年代値よりも古い年代値を示すために、古い試料が再堆積したものと考えられる。それ以外の年代値を基にすると堆積物②の堆積速度は1.28mm/yrとなる。

堆積物③

浅海堆積物のために植物片が僅かにしか含まれない(図2)。深度9.92~9.98mから2800 \pm 60cal yr BPの年代値を得た。この年代値は上下の層準から得た年代値と比較しても相違的に矛盾のない年代値を示すために、試料生成から堆積するまでの時間間隙は少ないと考えられる。この年代値と、堆積物③の直下に相当する深度15.45~15.50mの年代値を基にすると堆積物③の堆積速度は3.79m/yrとなる。

• 堆積物④

深度15.45~19.18mから4260 \pm 20~7130 \pm 130 \pm 130 \pm 130cal yr BPの合計 4 個の年代値を得た。これらの年代値は上位の層準から得た年代値ほど新しい年代値を示し、これらのうち 3 試料では保存状態のよい葉を得ることができたために、試料生成から堆積するまでの時間間隙は少ないと考えられる。上端と下端の年代値を基にすると堆積物④の堆積速度は1.28m/yrとなる。

以上のように浅海成の堆積物③は、河川成である堆積物②や④の三倍近い堆積速度を示す。これらの堆積速度の差異は、河川勾配がやや大きい扇状地デルタでは海水面下において堆積作用が卓越していることを反映していると考えられる(Nemec, 1990)。一方、調査地点の約200m南東方向で掘削されたHBPコアの海抜-8.4m以浅の河川成堆積物では、7300cal yr BPに堆積した鬼界アカホヤ火山灰(町田・新井, 2003)がみられる(中西ほか, 2006)。しかし、BHMコアの海抜-17.7mでは鬼界アカホヤ火山灰は確認されず、上述した年代値もそれを支持する。従って、両コアの間では7300cal yr BPの地形面に約10mの差異が推定できる。この相違は現在の地形面の落差である1.57mよりも優位に大きいために、朝見川断層による変形を被っている可能性が示唆される。なお、この場合HBPコアの掘削地点は朝見川断層の変形帯の中に位置しているために、1.4mm/yr分の上下変位速度は同断層の上下変位速度の最小値を示すと考えられる。

今後、HBPコアでもAMS炭素14年代測定実験をおこなって、両コアの堆積相の差異と地形面の経年変化を考察して、断層の活動時期や単位上下変位量について検討したい。

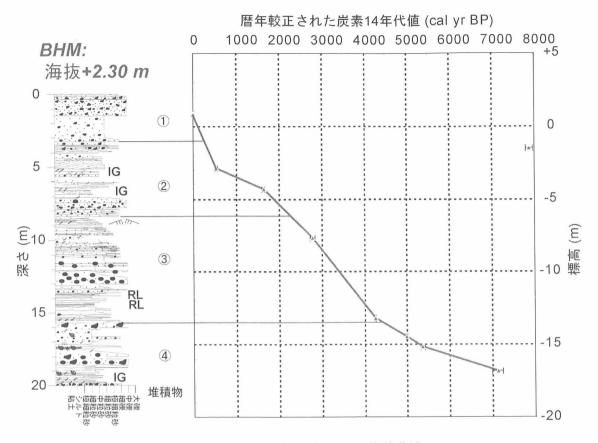


図4 別府浜脇(BHM)コアの堆積曲線

表 1 別府浜脇(BHM)コアから得た炭素14年代値

Depth in the BHM core	core	Elevation		Weight	S ¹³ C	Measured	Error	Conventional	Error	Calibrate	Calibrated 14C age (cal BP)	1 BP)	Error	
Medium Top	Bottom	Medium	Material	mgra		¹⁴ C age		¹⁴ C age		Calibrate	Calibrated by Calib.5.0.1	0.1		Sample code
(m)	(m)	(m)		(mg)	(%)	(yr BP)	(+/- yr)	(yr BP)	(+/- yr)	Oldest	Youngest	Mean	(+/- yr)	NIES- TERAA-
3.79		1.49	Charcoal	2.73	-27.2	7100	09	7070	90	7790	0262	7880	06	b060206a17
5.20	Y Y	2.90	Plant fragments	2.93	-25.4	550	90	550	30	510	260	540	30	b060206a18
6.62 6.6	6.60 6.63	3 -4.32	Plant fragments	2.71	-30.8	1900	50	1800	40	1620	1670	1650	30	b060206a21
9.6 56.6	9.92	8 -7.65	Plant fragments	1.79	-29.7	2740	90	2660	40	2740	2850	2800	09	b060206a22
15.48	45 15.50	0 -13.18	Plant fragments	3.13	-30.5	4030	50	3940	40	4250	4280	4260	20	b060206a23
16.76 16.75	75 16.76	5 -14.46	Leaves	2.66	-29.4	4550	50	4470	40	4970	5020	2000	20	b060206a24
17.44 17.42	17.45	5 -15.14	Leaves	2.62	-33.4	4870	09	4740	50	5320	5410	5370	50	b060206a27
19.16 19.14	19.18	3 -16.86	Leaves	3.00	-27.6	6260	50	6220	50	7000	7250	7130	130	b060206a28

謝辞

AMS炭素14年代測定試料作成にあたり、名古屋大学大学院環境学研究科の北川浩之先生にお世話になりました。現東京大学大学院新領域創成科学研究科の米田 穣博士と株式会社伯東の小林利行氏、環境研究センターの鈴木 亮氏には国立環境研究所でのAMS炭素14年代測定実験の際にお世話になりました。以上の方々に厚く御礼申し上げます。

文献

- 千田 昇・池田安隆・中田 高・岡田篤正・宇根 寛(2001): 2万5千分の1都市圏活断層図「別府」. 国土地理院.
- 千田 昇(1995):別府扇状地の形成時期と堀田-朝見川断層群の活動.地学雑誌,104(6),895-898.
- 伊勢屋ふじこ(1982): 茨城県, 桜川における逆グレーディングをした洪水堆積物の成因. 地理学評論, 55(9), 597-613.
- Kitagawa, H., Masuzawa, T., Nakamura, T. and Matsumoto, E. (1993) A batch preparation method for graphite targets with low background for AMS 14C measurements. Radiocarbon, 35, 295-300.
- Kume, H., Shibata, Y., Tanaka, A., Yoneda, M., Kumamoto, Y., Uehiro, T., Morita, M., (1997). The AMS facility at the National Institute for Environmental Studies (NIES), Japan. Nucl. Instr. and Meth.B, 123, 31-33,
- 町田 洋・新井房夫 (2003) : 新編火山灰アトラス[日本列島とその周辺], 東京大学出版会, 336pp.
- 増田富士雄・伊勢屋ふじこ(1985): "逆グレーディング構造": 自然堤防帯における氾濫原洪水堆積物の示相堆積構造. 堆積学研究会報特集号, 108-116.
- Miall, A.D. (1992): Alluvial deposits. In Walker R.G. and James, N.P., eds., Facies Models: Response to Sea Level Change, Geological Association of Canada, Waterloo, Ontario, 119-139.
- Miall, A.D. (1996): The geology of fluvial deposits: sedimentary facies, basin analysis and petroleum geology, Springer-Verlag Inc., Berlin, 582pp.
- Nakanishi, T., Takemura, K., Okada, A., Morino, M., Hayashida, A., Nakamura, M., Tazawa, Y., Ogino, K., Matsumoto, H., and Hirose, M. (2004) Identification of multiple faulting events of the Median Tectonic Line active fault system in the Tokushima Plain, Japan, based on close-interval radiocarbon dating, Nucl. Instr. and Meth.B, 223-224, 573-578.
- 中西利典・竹村恵二・松山尚典(2006)別府浜脇地区のボーリングコア解析-東別府駅前ボーリングコアの堆積相-,大分県温泉調査研究会報告,57,1-5.
- Nemec, W. (1990) Aspects of sediment movement on steep delta slopes. In Colella, A. and Prior, D. B., eds., Coarse-grained deltas: Special Publication of the International Association of Sedimentologists, 10, 29-73.
- 岡田篤正・池田安隆・中田 高・千田 昇・宇根 寛(2001): 2万5千分の1都市圏活断層図「大分」、 国土地理院、
- Reimer, P.J., Baillie, M.G.L., Bard, E., Bayliss, A., Beck, J.W., Bertrand, C.J.H., Blackwell, P.G., Buck, C.E., Burr, G.S., Cutler, K.B., Damon, P.E., Edwards, R.L., Fairbanks, R.G., Friedrich, M., Guilderson, T. P., Hogg, A.G., Hughen, K.A., Kromer, B., McCormac, F.G., Manning, S.W., Ramsey, C.B., Reimer, R.W., Remmele, S., Southon, J.R., Stuiver, M., Talamo, S., Taylor, F.W., van der Plicht, J. and Weyhenmeyer, C.E. (2004) IntCal04 Terrestrial radiocarbon age calibration, 26-0 ka BP. Radiocarbon, 46, 1029-1058.
- Stuiver, M. and Reimer, P.J. (1993) Extended 14C database and revised CALIB radiocarbon calibration program. Radiocarbon, 35, 215-230.

竹村恵二(1994):別府地域の地質. 「別府の自然」別府市自然環境学術調査報告書, 33-53.

Yoneda, M., Shibata, Y., Tanaka, A., Uehiro, T., Morita, M., Uchida, M., Kobayashi, T., Kobayashi, C., Suzuki, R., Miyamoto, K., Hancock, B., Dibden, C., Edmonds, J.S., (2004). AMS 14C measurement and preparative techniques at NIES-TERRA. Nucl. Instr. and Meth.B, 223-224, 116-123.

温泉から河川への有用金属元素の流出

- 未利用温泉資源量に関する基礎調査と研究-

京都大学大学院理学研究科附属地球熱学研究施設

大 沢 信 二

東邦大学理学部化学科

山 崎 一・高 松 信 樹

岡山理科大学オープンリサーチセンター

山 田 誠

秋田大学工学資源学部地球資源学科

網田和宏

東邦大学医学部化学教室

加藤尚之

要 旨

別府温泉を流れ下る5つの河川(朝見川、境川、春木川、平田川、新川)の全流域において、16種の溶存微量元素の化学分析を行った。Li/Cl比と主要溶存化学成分の総量値(TDS)の関係を温泉排水のトレーサとして河川に適用したところ、TDS $\geq 200\,\mathrm{mg}/\mathrm{L}$ の河川水は全て温泉水の範囲に入り、これらの河川水中のLiの全量が温泉排水に由来することが示された。さらに、TDS $\geq 200\,\mathrm{mg}/\mathrm{L}$ の河川水について、Liとその他の微量元素の濃度相関関係を検討し、高い正の相関($\mathrm{r}^2>0.9$)をもつCs,B,Ge,Rbもまた温泉排水由来であることを示した。Liを含むこれらの元素は有用金属として高額で取引されているものであり、別府市ではこのような"温泉資源"が利用されることなく温泉から河川へ流出している可能性がある。

1. はじめに

別府温泉が展開する鶴見火山東麓の扇状地には複数の二級河川が存在し、北から順に、新川、平田川、春木川、境川、朝見川と呼ばれている(図1)。いずれも扇状地河川であり、西から東へ向かって流下し、最終的に別府湾へ流入する。これらの河川は流域のほぼ全区間がコンクリートで三面張りにされており(九州横断道路より上流側と平田川の明礬温泉ー鉄輪地獄地帯の区間だけが三面張りになっていない。)、今では本来の扇状地河川の姿を呈していない。すなわち、扇状地河川、特にその上流域は地下水涵養の機能をもっているが、護岸工事後はその機能をほとんどなくしてしまったものと考えられる。コンクリート三面張りによる護岸工事の1つの目的には、扇状地の高地部まで居住地が広がったため、生活廃水をはじめとする様々な廃水の河川への流れ込みによる地下水の汚染を防ぐ意図があったと思われる。そうだとすると、結果として別府の河川はほとんどが巨大な排水路と化してしまい、廃水は河川水の一部となって下流や河口域にまで簡単に達することになったものと考えられる。

行政の資料によると、別府市では分流式と呼ばれる下水処理形態をとっており、家庭や工場、旅館等から排水される雨水と汚水を分けて処理している。雨水は下水道とは別に布設された雨水管を通り、河川等に放流されている。一方、家庭等からの排水は公道に布設した公共下水道(マンホール)を通して、下水処理場まで運搬され、処理されている。処理の対象となる汚水は、台所やトイレ、洗濯、浴室からの廃水である。温泉旅館等で使用された温泉水は処理の対象となるが、別府市環境保全条例第61条で

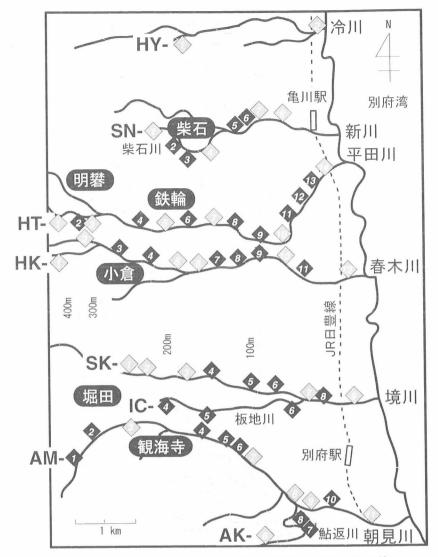


図1 別府温泉を流下する河川と河川水試料の採取位置 灰色で表した地点で採水した河川水について微量元素濃度測定を行った。 水温、pH主要溶存化学成分濃度は全ての採水地点で採取した河川水について行い、水温とpHの計測は全ての地点で実施した。

「温泉排水が規則で定める温度(摂氏45°C)をこえるときは、暗渠(地下に設けた水路)により排水しなければならない。」と定めているため、45°Cを超える温泉水は下水道に流すことはできない。このようなことから、沸騰泉のような高温の温泉から流出する余剰の温泉水は水路や河川にそのまま放流されていると推測される。その一方で、別府市の現在の下水道人口普及率は58.6%であり、残りの4割近くの排水は河川等の公共用水域に放流されているという現状がある。別府市の下水道整備区域図を見ると、住宅が密集する東部地域の下水道整備はかなり進んでいるが、高温源泉の分布する平田川、春木川、境川、朝見川上流域の整備はほとんど進んでおらず、新川沿いにある血の池地獄付近の整備も遅れていることを知ることができる。したがって、そのような下水道整備が十分でない地域では、余剰温泉水のみならず温度が45°C未満の温泉廃水であっても水路や河川に放流されている可能性が高い。

以上のような状況にあって本当に余剰の温泉排水が河川へ放流されたり、家庭等からの廃水に混じって河川へ排水されることがあれば(温泉廃水)、それも河川下流や河口域にまで達することは容易に想像がつく。川野・他(1994;1996)は別府温泉を流れ下る上記5つの河川について河川水の主要溶存化学成分の分析を行い、それが現実に起こっているらしいことを示した。また、溶存化学成分濃度と河川流量データを掛け合わせることで、河川を通して排出される温泉起源の化学成分量を見積っている。5

河川の合計排出量の中で最も多いのはNaとClであり、別府温泉ではNa-Cl型泉質の源泉が多いことと一致することを示唆した先駆的な研究であった。

使用・未使用に限らず温泉からの排水が河川へ流出しているとすれば、Na-CI型の温泉水によく含まれるLiなどの有用金属元素もまた河川へ流出している可能性がある。そこで、本研究では、別府温泉を流れ下る上記5河川について上流域から最下流部までの多地点で河川水を採取し、有用金属とされる溶存微量元素16種の化学分析を行い、温泉水の化学データ等と比較することで温泉由来の元素を特定し、さらに河川最下流部における河川流量観測値と掛け合わることでそれらの河川への流出量を算定することを目的として調査を行った。

本年度は目標の前半部である「河川水に流出している温泉由来の微量元素種の特定」までの結果を報告する。

2. 調査研究の方法とデータ

新川、平田川および境川の河川水を2003年8月31日に、春木川と朝見川の河川水を翌日の9月1日に採取した。その際採取できなかった新川、境川および朝見川の最上流の河川水を2004年6月14日に採取した。また、比較検討用の試料として、付近に顕著な地熱活動のない冷川(ひやかわ)の河川水を2003年8月31日と2004年6月14日に、鮎返川の水を2003年9月1日に、河川に直接流入している生活廃水を2004年12月12日に採取した。

河川水の採取地点は、原則、橋のある場所全てとし、河川の上流で橋がないところでは採水可能な所まで降りて採取した。以上の採水地点を図1の地図上に表した。採取した河川水の数は、支流の柴石川を含む新川の8、平田川14、春木川12、支流である板地川を含む境川の12、支流の鮎返川を含む朝見川の14と冷川2の計62であり、これらの全てについて主要溶存化学成分の分析を行った。そのうち微量元素分析を行ったのは図1に示した採水地点を灰色で表した29の河川水試料である。

河川水の採取はひも付きバケッを用いて行った。採水時には河川水の水温とpHの測定も行った。微量元素分析用の試料水は現地で $0.45\,\mu$ mメンブランフィルター(ADVANTEC製)でろ過後、超高純度硝酸(TAMAPURE製)を添加し、試料水のpHが約2になるように調整して持ち帰り、Rhを内標準としてICP-MSで分析した(加藤・他、1997)。分析した微量元素は、Li, B, V, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Ge, Rb, Sr, Mo, Cs, Ba, Wである(16種)。主要溶存化学成分の分析は原子吸光光度法とイオンクロマトグラフィーを併用して行った。

微量元素濃度の分析結果を、水温、pHおよび主要溶存化学成分濃度の総量値(TDS)とともに表1に示す。

3. データ解析結果および考察

3-1. 河川流下にともなう主要溶存化学成分濃度と水温の変化

河川の流下とともに河川水の主要溶存化学成分濃度の総量値(TDS)がどのように変化するかを図2に表した。図の横軸は採水地点の番号で、上流から下流まで左から右へ順番にならべてあり、縦軸がTDSであり、全ての河川で同じスケールで表してある。また、冷川の上流域と最下流部でのTDSレベルを、同図内に点線と破線で示した(点線が上流域:採水地点のHY-1、破線が最下流部:採水地点のHY-2)。

新川、平田川、春木川では、河川流下とともにTDS値は一方的に増加することを示しているが、境川と朝見川は支流(それぞれ板地川、鮎返川)の合流により、TDS値の一時的な低下が見られる。特に朝見川の場合は大きな低下であり、清浄な水の流入による一種の浄化作用であると言える。なお、境川の採水地点SK-2でTDSの正のピークが見られるのは、付近の排水口から電気伝導度の高い温かい水がか

表 1 河川水、生活廃水に溶存する微量元素の濃度と水温、pHおよび主要溶存化学成分濃度の総量値(TDS)

	採取地	水温	рН	TDS						微量	量成分♂	濃度	(μg/L=	ppb)						
河川名	点番号	(°C)	PIT	(mg/L)	Li	В	٧	Mn	Со	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	Rb	Sr	Мо	Cs	Ва	W
新川	1	16.1	7.5	76	2.3	7.9	11.0	0.2	0.02	0.6	0.1	0.7	0.03	n.d.	10.7	55.8	0.3	0.5	1.0	0.03
(SN)	4	25.7	7.4	193	63.0	136	5.2	36.7	0.2	0.9	0.7	8.6	0.5	0.5	24.6	97.6	0.3	4.5	16.9	0.03
	7	28.6	6.7	316	372	952	5.6	227	0.2	1.1	0.7	101	0.6	2.3	79.8	104	0.3	24.8	21.4	0.03
	8	30.1	6.6	350	453	1170	6.3	449	0.5	1.2	1.0	144	0.8	2.8	97.6	110	0.8	33.0	26.2	0.06
平田川	1	18.4	7.8	152	3.9	10.1	9.8	4.2	0.03	0.6	0.1	n.d.	0.09	n.d.	9.1	67.4	0.2	0.3	2.9	0.01
(HT)	3	24.2	7.8	179	5.6	13.9	9.4	11.9	0.04	0.8	0.3	0.6	0.2	0.1	11.1	92.2	0.3	1.0	7.3	0.03
	5	28.1	4.7	337	174	639	1.4	273	1.5	2.1	3.1	14.3	0.8	2.0	31.8	183	0.1	10.0	31.7	0.02
	7	30.5	6.8	597	1160	2910	6.2	34.8	0.1	2.0	1.7	12.8	1.0	6.8	154	236	1.6	75.5	38.9	2.1
	10	34.7	7.5	1080	2620	6130	12.0	103	0.2	2.1	3.1	24.6	1.4	14.1	318	323	3.5	168	53.6	5.0
	14	35.3	8.4	1050	2450	5360	12.8	61.9	0.2	2.2	2.8	16.7	1.4	12.2	280	310	3.2	146	52.7	4.8
春木川	1	19.5	7.3	159	5.6	14.5	4.0	0.1	0.04	1.4	0.3	0.8	0.1	0.3	10.9	129	0.2	0.4	6.0	n.d.
(HK)	2	26.4	7.6	332	16.5	40.7	11.5	28.8	0.09	1.5	0.4	0.9	0.2	0.4	21.1	188	0.4	0.9	7.9	0.03
	5	31.5	8.3	464	579	1340	17.9	13.4	0.09	2.2	0.8	3.9	0.5	3.6	81.0	236	1.9	34.0	17.0	1.8
	6	33.9	8.8	649	1380	2980	26.3	4.3	0.08	1.5	1.5	2.2	0.6	7.9	163	219	4.2	79.7	16.5	4.7
	10	31.9	9.1	639	1290	2890	27.3	3.9	0.09	1.6	1.8	4.9	0.5	7.0	160	212	4.0	79.5	17.7	4.5
	12	30.6	8.5	645	1340	3020	29.1	5.0	0.09	1.8	2.9	10.0	0.6	7.2	160	202	4.2	75.4	21.6	5.6
境川	1	22.4	7.9	198	20.4	78.4	18.9	0.4	0.05	1.3	0.7	1.0	0.2	0.1	10.0	66.1	1.7	0.5	6.4	0.08
(SK)	2	34.7	9.5	538	1170	2330	28.9	3.7	0.1	1.5	2.6	6.6	0.5	6.8	127	122	4.9	64.5	12.3	4.8
	3	31.3	9.3	424	777	1570	27.8	2.8	0.2	2.0	4.0	19.8	0.6	2.6	74.1	108	3.1	29.3	3 11.6	3.1
	7	31.2	9.2	365	361	787	34.1	2.3	0.1	1.5	2.3	5.8	0.3	1.6	42.1	154	2.5	17.3	3 11.2	1.3
	9	32.2	9.4	410	456	978	36.0	3.0	0.1	1.6	4.0	8.5	0.4	1.8	53.5	151	3.4	22.6	5 12.5	1.8
朝見川	11 3	25.2	8.1	283	68.1	236	35.2	17.7	0.07	1.1	0.5	1.3	0.2	0.2	15.8	146	1.9	1.8	7.2	0.08
(AM)	7	31.0	9.1	479	1040	1740	22.5	3.5	0.09	1.5	1.9	2.5	0.5	3.7	83.9	242	4.0	57.2	12.9	3.6
	8	31.7	9.2	480	1090	1790	22.5	5.6	0.09	1.5	1.4	2.3	0.4	3.8	91.3	243	4.7	58.7	7 13.1	3.7
	9	23.7	8.6	182	157	290	11.0	3.7	0.04	0.6	0.4	1.0	0.3	0.7	19.1	111	1.6	8.7	11.6	0.6
	11	27.1	8.9	279	251	449	10.4	0.3	0.03	0.7	0.4	1.5	0.2	1.3	32.1	109	2.6	19.9	9 8.6	1.1
冷川	1	17.6	7.5	66	0.4	6.2	3.2	1.1	0.03	0.4	0.4	0.8	0.1	n.d.	6.9	69.9	0.2	0.1	4	0.01
(HY)	2	19.7	7.5	152	1.9	24.2	9.3	13.7	0.07	0.6	0.5	1.1	0.2	n.d.	12.2	102	0.3	0.2	7.4	0.04
鮎返J (AK)	11 6	16.1	7.7	7 63	0.5	5.9	10.5	0.1	0.02	0.4	0.05	0.4	0.05	n.d.	. 7.5	43	0.2	0.1	2	0.04
生活房		14.0			8.5	34.0			0.08	1.4	33.6	104		0.1		56.8		0.3		0.4
	-2	13.9	7.5	5 155	7.6	33.0	5.67	8.2	0.1	1.6	17.9	94.2	0.3	0.08	3 7.4	51.6	0.9	0.2	10.4	0.1

[[]注] TDS:主要成分濃度総和, n.d.: 検出されず, 生活廃水は境川と春木川にはさまれる源泉の少ない地域の小河川から採取した. 試料採取日は本文中に記述.

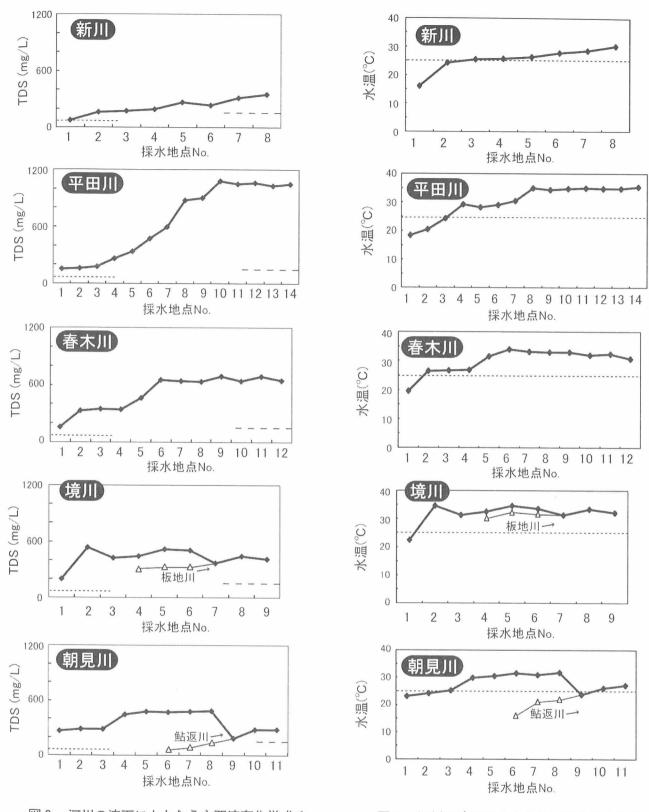


図 2 河川の流下にともなう主要溶存化学成分 濃度の総量値(TDS)の変化

点線は冷川の上流域(採水地点のHY-1)のTDSレベルを、破線は冷川最下流部(採水地点のHY-2)のTDSレベルを表す。

図3 河川の流下にともなう河川水温の変化 点線は温泉を定義する最低温度である25℃を示す。

なりの量流入していたためである。この排水は定常的なものではなかったので、図に現れたTDSのその ピークは一時的なものであるとするのが妥当であろう。

より特筆すべきことは、最上流域を除き、どの河川でも河川水のTDS値が一般の河川と同じTDSレベルを示す冷川のそれを大きく上回っていることである。特に平田川の下流域のTDS値は1000mg/Lを超えており、とても河川水とは思えるような濃度レベルではない。少なくとも平田川、春木川、境川は河川最下流部の河床に段差を設けてあり、採水はすべてそれより上流で行ったので海水の浸入は考えられず、このような高いTDS値を与えることができるのは温泉からの排水であると直感することができる。

河川の流下にともなう河川水温の変化を図3に表した。図の横軸は、図2と同じく採水地点の番号で、 上流から下流まで左から右へ順番にならべてあり、縦軸が水温であり、全ての河川で同じスケールで表 してある。

河川流下にともなう河川水温の変化は、河川水の主要溶存化学成分濃度の総量値(TDS)に見られた変化とほとんど同じである。このことは、河川水のTDS値を上げているものは温度も高いことを示唆しており、河川水に高いTDS値を与えるものを温泉排水と直感したことがもっともらしいことを示している。図中には温泉の定義となる 25° Cのレベルを点線で示してあるが、どの河川も中流域においてすでにこのレベルを超えており、別府の河川は"湯の川"といっても過言ではないかもしれない。

本項での考察から、別府温泉を流れ下る河川には温泉の排水が流れ込んでいるとするのはまず妥当で、川野・他(1994;1996)が行った指摘と同じ結果となった。川野らの調査は1994年に行われているので、本研究の調査を行った2003年まで少なくとも10年間は温泉排水の河川への流出は続いていたものと考えられる。

3-2. 河川水のLi/Cl比

前項の考察結果「別府温泉を流れ下る河川には温泉の排水が流れ込んでいる」は、河川水の溶存化学成分がすべて温泉排水由来であるということの必要十分条件ではない。その訳は、河川には湧水などの浅い地下水も流入しているため、土壌などから溶出しうる元素(例えばMn)を河川水中に認めたからと言って、それを温泉排水由来と即断できないからである。つまり、何らかの十分条件に相当するデータを与える必要がある。

温泉水には普通の分析にかかるほどLiが含まれている場合が多く、Liは温泉排水のトレーサになりうる可能性がある。そこで、既存の別府の温泉水49試料のLiの分析値(新エネルギー・産業技術総合開発機構,1990:中村,1996)

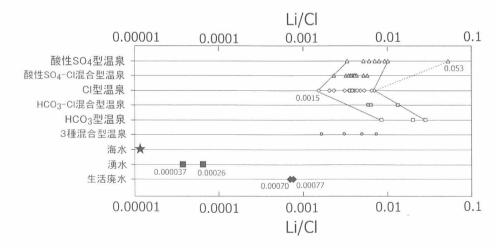


図4 温泉水、海水、湧水、生活廃水のLi/Cl比 湧水は冷川の上流の河川水(採水点のHY-1)と鮎返川上流の河川 水(採水点のAK-6)であり、いずれもTDS値は100mg/L未満。

た。Li/Cl比は酸性 SO_4 型と HCO_3 型の温泉水がCl型の温泉水(食塩泉にほぼ対応)よりやや高い傾向が認められるものの、温泉水のLi/Cl比は $0.0015\sim0.053$ と比較的広い範囲の値を示すことが判った。Li/Cl比が優れたトレーサになるためには、第一に、その値がほぼ一定であることが望ましかったが、残念ながら実データを用いた検討の結果からLi/Cl比は温泉排水の完全無欠なトレーサとはなりえないことが判明した。

しかしながら、同図に示すように、温泉水のLi/Cl比は、湧水(冷川の上流の河川水:採水点のHY-1、未満の水)や海水のそれより1桁以上の高い値を示すため、場合によっては実用に耐えるトレーサとなることも期待できる。そこで、温泉水、湧水、生活廃水、海水ならびに河川水のLi/Cl比と主要溶存化学成分濃度の総量値(TDS)を比較してみた。結果は図5に示すとおりで、温泉水と湧水は明瞭に区別でき、上流域の河川水(図中の番号をふっているプロット)以外の河川水(TDS値 $\geq 200 \, \mathrm{mg/L}$)はのきなみ温泉水が取るTDS値-Li/Cl比の範囲内にプロットされ、TDS値200 $\, \mathrm{mg/L}$ 以上を示す河川水中のLiは温泉水に由来すると見て差し支えないことが分った。また、新川、春木川、境川ではかなりの上流域(それぞれ採取地点のSN-1、HK-2、SK-2)で河川水は温泉排水の強い影響を受けていることも判った。

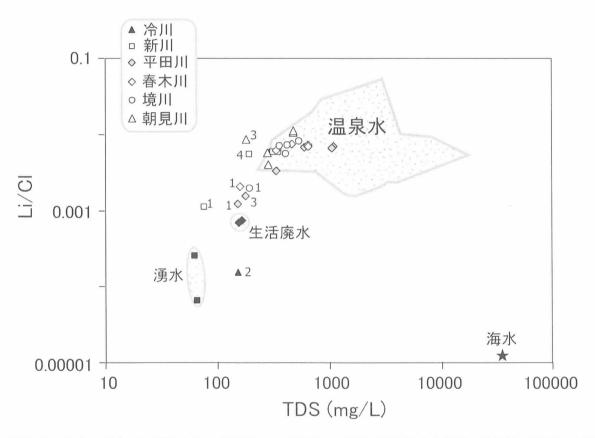


図5 温泉水、海水、湧水、生活廃水および河川水のLi/Cl比と主要溶存化学成分濃度の総量値(TDS)の関係図 湧水は図4と同様に冷川の上流の河川水(採水点のHY-1)と鮎返川上流の河川水(採水点のAK-6)。 プロットに付した番号は採水地点番号。

なお、生活廃水は温泉水の混入のなさそうなものを極力採取したつもりであったが、それでも相当に温泉廃水を含んでいることも示している。さらに、本調査で採取した河川水には海水の混入はないとする判断(前項)が正しいことも、図5より知ることができる(河川水のプロットは★印で表した海水の方へ引きずられる様子が微塵も見られない)。

3-3. 河川水のLi濃度とその他の微量元素濃度との関係

Li以外の微量元素: B, V, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Ge, Rb, Sr, Mo, Cs, Ba, Wについても、前項で行った解析方法を取れば、それぞれの元素について温泉排水由来であるかどうか見きわめる検討を行うことが可能である。しかし残念ながら上記元素のほとんどにおいて解析にたえる温泉水の分析データがないため、同様な方法がとれない(正確に言うと、Bは温泉分析書を利用して行うことが可能である)。そこで、河川水のLi以外の微量元素については、温泉排水由来であることが確かめられたLiの濃度との相関関係を見ることで、温泉排水由来かどうかを判定することにした。

表 2 TDS値-Li/CI比図上で温泉水のTDS値-Li/CI比の範囲内に プロットされた河川水のLi濃度とその他の微量元素の濃度 の相関関係

の作成以外			
元素		ax[Li濃度(ppb)]+b)	r ²
	a	b	
Cs	0.06130	-2.41802	0.9819
В	2.2238	-39.0948	0.9762
Ge	0.00514	0.01924	0.9499
Rb	0.11029	9.43293	0.9424
W	0.00228	0.49763	0.7042
Sr	0.07224	122.146	0.5877
Ga	0.00035	0.29458	0.5780
Ва	0.01365	8.69717	0.5117
Мо	0.00124	1.56910	0.3394
Ni	0.00033	1.28199	0.2758
Cu	0.00066	1.33722	0.1664
Co	-0.00010	0.28969	0.0448
Mn	-0.02804	89.9513	0.0282
V	0.00183	16.7441	0.0156
Zn	-0.00635	25.8830	0.0152

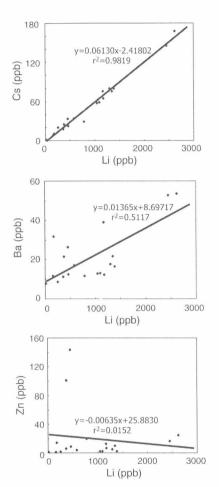


図 6 TDS値-Li/CI比図上で温泉 水のTDS値-Li/CI比の範囲 内にプロットされた河川水 のLi濃度とその他の微量元 素の濃度の相関関係図の代 表 3 例

Li濃度を横軸に、Li以外の微量元素の濃度を縦軸に取ったグラフに、前項の検討で温泉水のTDS値-Li/Cl比の範囲内にプロットされた河川水の全データをプロットし、1次の直線回帰を行った。その結果を表 2 に示す。表中では相関係数 r^2 値が高い元素から順番に表示し、そのうち最も r^2 値の高い元素と低い元素、および中間の順位の元素の相関図を例として図 6 に示した。 r^2 値が0.9を超える、Li濃度と高い正の相関をもつ元素はCs、B,Ge,Rbであり、これらはLiと同様に温泉排水由来であるといえる。W,Sr,Ga,Baは r^2 値が0.5以上あり、相当に温泉排水由来の部分も含んでいると思われるが、相関関係からだけの検討で言い切るのは危険であるため、本研究では温泉排水由来と断定はしないでおくことにする。これらの元素の温泉水中の含有量を多数の温泉水試料について分析し、前項で行った解析を行うことで判断できるものと考える。

相関係数 r^2 値が低いMn (r^2 値=0.0282) は、温泉排水以外のものに由来すると見た方が妥当であることを示している。このことは、前項の冒頭で述べた、「別府温泉を流れ下る河川には温泉の排水が流れ込んでいることが河川水の溶存化学成分のすべてが温泉排水由来であるということの必要十分条件ではない」という意味を理解する助けとなろう。

4. おわりに

別府温泉を流れ下る5つの河川(朝見川、境川、春木川、平田川、新川)について上流域から最下流部までの多地点で河川水を採取し、主要溶存化学成分と有用金属とされる溶存微量元素16種(Li, B, V, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Ge, Rb, Sr, Mo, Cs, Ba, W)の化学分析を行い、温泉水の化学データ等と比較することで温泉由来の元素を特定する調査を行った。その結果、以下のことがらが明らかとなった。(1)境川と朝見川では支流の合流によって主要溶存化学成分濃度の総量値(TDS)の一時的な低下が見られるものの、おおむね河川の流下とともにTDS値は一方的に増加する傾向にあった。そして、最上流域を除き、どの河川でも河川水のTDS値が一般の河川のそれを大きく上回っており、特に平田川の下流域のTDS値は1000mg/Lを超えていた。

- | (2)河川流下にともなう河川水温の変化は、河川水の主要溶存化学成分濃度の総量値(TDS)に見られた変化とほとんど同じであり、河川水のTDS値を上げているものは温度も高いことを示唆し、その実態が温泉排水であることを示した。また、どの河川においても中流域ですでに温泉の定義である25℃のレベルを超えており、別府の河川は"湯の川"といっても過言ではない状態にあることが判った。
 - (3)温泉水、湧水、生活廃水、海水ならびに河川水のLi/Cl比と主要溶存化学成分濃度の総量値(TDS)を比較したところ、TDS値-Li/Cl比図上で温泉水、湧水、海水は明瞭に区別でき、上流域の河川水以外の河川水(TDS値≥200mg/L)はのきなみ温泉水が取るTDS値-Li/Cl比の範囲内あることが判った。このことから、TDS値200mg/L以上を示す河川水中のLiはその全量が温泉水に由来することが示された。
 - (4)TDS値-Li/Cl比図上で温泉水のTDS値-Li/Cl比の範囲内にプロットされた河川水について、温泉排水由来の微量元素であることが判明したLiの濃度とその他の微量元素(B, V, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Ge, Rb, Sr, Mo, Cs, Ba, W) の濃度について相関関係を検討したところ、相関係数 r²値が0.9を超える微量元素はB, Cs, Ge, Rbであり、これらも温泉排水由来であると結論された。

本研究の最終目標である「温泉由来微量元素の河川への流出量の算出」の報告は次回行う予定であるが、仮に、本調査で得た河川最下流部での微量元素濃度と翌年の同じ季節(2004年9月)に同採水点で実施した流量観測のデータを用いて温泉由来微量元素の河川への流出量を試算してみたところ(濃度×流量)、Li,B,Cs,Ge,Rbのそれぞれについて93,200,5,0.5,11kg/日という値が得られた。これを単純に365倍して1年間の値としてみるとそれぞれ34,74,2,0.2,4ton/年となり、例えばLiについて2005年の取引価格26,000円/kgで計算するとおよそ9億円にもなる。河川流量のみならず河川水中の微量元素濃度も時間変動している可能性があるので、少なくとも四季を通した観測・調査のデータにもとづいて概算する必要があるが、有用な温泉資源の一部を知らず知らずのうちに未利用のまま河川へ流しさっているようである。

引用文献

加藤尚之,高松信樹,今橋正征,相川嘉正 (1997) ICP-MS法による温鉱泉水および岩石中の微量元素の定量. 温泉科学,47,45-55.

川野田実夫,小石哲史,金子敦,志賀史光 (1994) 別府市の水系と水質. 「別府市の自然 別府市自然環境学術調査報告書」,85-102,別府市自然環境学術調査団,大分.

- 川野田実夫(1994) 別府湾周辺の水系と水質.「地域総合研究論文集 別府湾沿岸地域-自然・社会・教育-」, 29-38, 大分大学教育学部, 大分.
- 中村美穂(1996)別府最北部の熱水流動過程の推定. 平成8年度東邦大学理学部化学科特別問題研究報告書,28p.
- 新エネルギー・産業技術総合開発機構(1990)平成元年度全国地熱資源総合調査(第3次)広域熱水流動系調査 鶴見岳地域流体地化学調査 報告書. 90-91.

温泉発見・開湯伝説から見た泉質と効能に関する予察的研究

日本文理大学 河 野 忠

要 旨

大分県をはじめとして、日本各地には様々な温泉発見・開湯伝説が伝えられている。これらの伝説は、人物、動物、神仏などに分類することができる。これまでの研究で、これらの開湯伝説と泉質には何らかの関係があると考えられたので、手始めに開湯伝説の収集作業を行ったところ、288の温泉で見出すことができた。得られたデータを概観すると、特定の人物や動物と泉質にはある程度関係があるように思われる。

今年度は予察的な考察にとどまったが、開湯伝説を人物や動物に分類して解析することによって、 これまで全く考えられたことの無かった伝説と泉質に何らかの因果関係が見いだせる可能性を指摘す ることができた。

1. はじめに

大分には温泉がたくさんあり、その泉源数は日本一といわれている。そのうちボーリングによって新たに見出した温泉も多いが、自然に湧出している天然温泉も数多く知られている。そこには、動物が発見した温泉や、歴史上の人物にまつわる温泉も存在している。日本各地にも様々な発見伝説に由来する温泉が存在する。

河野(2002)は弘法大師伝説のある温泉水を悉皆調査したが、これまでの研究の中で、怪我や傷に効能のある温泉は動物が発見した伝説が多く、眼病や皮膚病は弘法大師などの歴史上の人物である場合が多いことに気付いた。

そこで、本研究はこれらの発見伝説と泉質、効能には関係が認められると仮定し、泉質効能との因果 関係を明らかにすることを目的とする。

本年度は日本全国の開湯伝説を総合的に把握するため、日本鉱泉誌や各地の伝説・伝承に関する文献調査を中心に、おおよその傾向を把握することに努めた。その結果から発見伝説を類似点のあるものにグループ化し、温泉の泉質、効能の一覧表を作成した。次年度以降数年かけて、グループ化した温泉毎に泉質と効能との関係を明らかにする研究を実施する。

2. 温泉発見・開湯伝説の分類

黒川(1997)は、発見伝説を「鳥獣」、「高僧・修験者」、「神仏のお告げや示現」の3種類に分類して、それぞれいくつかの温泉を例示している。温泉の持つ性質を暗示するような考察をしているものの、発見伝説と泉質とを結びつける考察までには至っていない。

(1) 動物発見による温泉

白鷺や鶴、猿をはじめとした温泉発見伝説は多い。その多くが、傷ついた動物が入っているのを村人が見つけるという話である。

(2) 歴史上の人物にまつわる温泉

歴史上の人物にまつわる伝説で、湧水は圧倒的に弘法大師伝説の水「弘法水」が多い(河野, 2002)。 これは温泉でも同様で、日本各地に弘法温泉の伝説が存在している。

開湯伝説ではなく、湯治や湯浴みに行ったとされる温泉は数多く存在する。武田信玄がよく通った石

和温泉、日本三古湯とされる有馬、道後、白浜温泉には数多くの歴史上の人物が登場する。

(3) 記紀に登場する温泉

古事記、日本書紀に登場する温泉はその場所が特定しにくいものの、いくつか存在している。日本書紀には、舒明天皇が有馬温泉と伊予の温湯宮に行幸したことが記されている。

古事記には允恭天皇の皇太子であった木梨軽太子を伊予の湯に配流した、という記述がある。続日本紀や万葉集をはじめとした歴史書の中には温泉の記述が多数見られ、上代から温泉に関心が持たれていたことが伺える。

(4) 風土記に登場する温泉

風土記は700年代に成立した日本で最古の地誌書であるが、この中に温泉の記述が多数みられる。風土記は基本的に日本全国を対象として、当時の国司達にその作成を命じられたものであるが、現在5つが完本として知られている以外は、逸文として少数の風土記が残されているに過ぎない。完本が数多く残っていれば、各地の温泉の歴史もより詳しく知ることが出来たと考えられる。

現存する風土記にみられる温泉の記述は、出雲の国風土記と肥前国風土記が2、豊後風土記3、伊豆国風土記逸文と伊予国風土記逸文に1つある。出雲国風土記に記述された温泉は、神の湯と呼ばれた玉造温泉、薬湯と呼ばれた湯村温泉、河辺の温泉(湯ノ川温泉?)、海潮温泉である。豊後風土記には、赤湯の泉(血の池地獄)、玖倍理湯の井と酒水(海老毛温泉)が記述されている。肥前国風土記には、武雄温泉と雲仙温泉、柄崎温泉が登場する。播磨国風土記には湯川温泉が簡単に述べられているが、他に塩井の記述が3つある。塩井を沸かして皮膚病に効能のある温泉として利用することは日本各地で行われていることから、播磨国風土記に記述された塩井も同様に利用されていた可能性がある。

摂津国風土記逸文には有馬温泉の記述がある。伊豆国風土記逸文には箱根元湯、伊予国風土記逸文に は道後温泉と別府温泉の記述がみられる。

(5) 大分の温泉

柴石温泉は醍醐天皇が敦仁親王時代に湯治し、後冷泉天皇も親仁親王時代に湯治したと伝えられている。また、景行天皇が熊蘇を西征のみぎり湯浴みされたという話しも伝わっている。

永石温泉には次のような開湯伝説が伝わっている。弘法大師が西国巡錫の際に日照り続きのこの地を訪れ、一杯の水を所望したところ老婆が水を恵んでくれた。その老婆に感謝し、空に投石をすると、落ちた場所より湯水が湧き出したことから「投石の湯」と呼ばれ、後に永石温泉と呼ばれるようになった。

3. 泉質による伝説との関係との予察

開湯伝説には様々なパターンがあるが、主に動物の場合は傷を癒しに温泉を利用していたところを里人が見つけたという伝説となっている。このような場合、酸性泉では傷に染みることから、恐らく単純泉を利用してのではないかと考えることが出来る。また、狸は清潔感がないので、皮膚病になりやすいといわれている。従って、狸が発見伝説となっている場合は、皮膚病に効能のある硫酸塩泉や塩湯ではなかいかと考えることも出来る。

人物の場合では、弘法大師開湯伝説が圧倒的に多く、しかもその効能は眼病や皮膚病等が多い傾向が 認められる。

以上のように考えると温泉の発見伝説、開湯伝説は、そのパターンによって泉質と密接に関係してくるのではないかと推察できる。

今後の課題として、動物の行動パターンから怪我のし易い部位の特定をすることや、動物の分布を調べ温泉伝説が一致するかどうか、一致しない場合は特殊な事情を考慮する必要がある。また、動物の病気に罹りやすい部位を特定し、発見伝説と一致するかどうか、等がある。

今年度はあまりにも膨大なデータ整理に時間を取られたため、その一覧を示すにとどめる。次年度以

降、人物別および動物などの条件に分けて解析することとする。また、温泉によっては場所が不明なもの、すでに涸渇しているものなどがあるが、その伝説と湯の存在は確実であったことから一覧表には掲載している。また、平成18年前後の市町村合併により、所在地の表示が新旧混在しているが、ご容赦願いたい。

4. 参考文献

荒木博之編(1987): 『日本伝説体系 第十三巻 北九州』みずうみ書房, pp. 399.

石上 堅(1964):『水の伝説』雪華社.

井上香都羅(1988): 『別府温泉入門案内』別府の温泉を考える会, pp. 210.

植垣節也校注·訳(1997):『風土記』小学館, pp. 629.

小田富士雄編(1995): 『風土記の考古学④ 豊後風土記の巻』同成社, pp. 299.

大分県温泉調査研究会(2006):『大分県鉱泉誌 第1集』大分県, pp. 618.

大分県温泉調査研究会(2006):『大分県鉱泉誌 第2集』大分県, pp. 1156.

大分県立歴史博物館編(1999): 『湯浴み~湯の歴史と文化~』大分県立歴史博物館, pp. 111.

大分県教育会編(1931): 『大分県郷土伝説及び民謡』大分県教育会, pp. 308.

大分県総務部総務課編(1986):『大分県史 民俗編』大分県, pp. 560.

大分合同新聞社(1974):『大分の伝説 上・下巻』大分合同新聞社.

日本温泉科学会編『温泉科学の最前線』ナカニシャ出版所収,206-231.

郷土史蹟傳説研究会編(1932):『増補 豊後傳説集』郷土史蹟傳説研究会, pp. 119.

蔵田延男(1951): 日本の井戸とその歴史. 地学雑誌, Vol. 60, No. 682, 183-190.

黒川達爾(1997): 『いで湯の国・鹿児島県-かごしま文庫41-』春苑堂出版, pp. 228.

厚生省大臣官房国立公園部編(1954):『日本鉱泉誌』青山書院, pp. 785.

河野 忠(2002): 『弘法水の水文科学的研究』立正大学学位論文, pp. 135.

佐藤四信(1980): 『おおいた文庫①豊後風土記』アドバンス大分, pp. 267.

島津光夫(2001): 『新潟温泉風土記』野島出版, pp. 140.

白倉卓夫編著(1997):『草津温泉-草津白根火山・気象・微生物・歴史・医学-』草津町温泉研究会, pp. 148.

| 高村弘毅(1998): オーストラリアの先住民アボリジニが愛用した霊泉"ミネラル冷泉"について. 立正大学文学部論叢, No. 108, 89-99.

竹国友康(2004):『韓国温泉物語』岩波書店, pp. 253.

田中熊雄ほか(1986): 『九州・沖縄地方の水と木の民俗』明玄書房, pp. 224.

恒松 栖(2000): 『西暦2000年 別府風土記』クリエイツ, pp. 197.

内務省衛生局編(1886):『日本鑛泉誌 上巻』衛生局, pp. 482.

内務省衛生局編(1886):『日本鑛泉誌 中巻』衛生局, pp. 466.

中村 昭(1997): 『温泉百話』青弓社, pp. 338.

日本温泉科学会編(2004):『温泉科学の最前線』ナカニシャ出版, pp. 236.

日本温泉科学会編(2006):『温泉科学の新展開』ナカニシヤ出版, pp. 234.

日本温泉科学会編(2005):『温泉学入門-温泉への誘い-』コロナ社, pp. 128.

日本地下水学会編(1994): 『名水を科学する』技法堂出版, pp. 299.

日本地下水学会編(1999): 『続名水を科学する』技法堂出版, pp. 246.

八岩まどか(1993): 『温泉と日本人』青弓社, pp. 197.

平野富雄(1994):『箱根二十湯-やさしい温泉入門-』かなしんブックス,pp259.

平野富雄(1998): 『水の風景』オールプランナー, pp. 239.

平松 洋 (2005): 『いぼとり神様・仏様』羽衣出版, pp. 191.

淵 敏博編(2003):『べっぷ八湯と地獄 湧く湧く百科』地域文化出版, pp. 77.

堀藤吉郎(1956): 『別府の傳説と情話』別府民間伝承研究会, pp. 197.

柳田国男(1930): 『日本の傳説』三国書房, pp270.

柳田国男(1940): 『伝説』岩波新書, pp180.

柳田国男監修(1971): 『日本伝説名彙』日本放送出版協会, pp523.

吉野 裕訳(1969):『風土記』東洋文庫145, 401p.

和歌森太郎編著(1973): 『弘法大師空海』雄渾社, pp361.

表 1 温泉発見伝説と登場人物・動物・その他

			が 一 加がらららばはいこ 立つのへの	至77777 C 0 7 1 1 1 1		
	温泉名	県	所在地	人物	動物	その他
1	水無海浜温泉	1	北海道亀田郡椴法華村恵山岬		タコ	
2	鹿部温泉	1	北海道茅部郡鹿部町		鹿	
	薬師湯	2	青森県上北郡七戸町安渡宇曾利山	弘法大師		河童
	新湯	2	青森県上北郡七戸町安渡宇曾利山	弘法大師		
	冷湯	2	青森県上北郡七戸町安渡宇曾利山	弘法大師		
	湯段温泉	2	青森県中津軽郡岩木町湯段	弘法大師		
	浅虫温泉	2	青森県青森市浅虫	慈覚大師	鹿	
-	酸ヶ湯温泉	2	青森県青森市荒川南		鹿	
	债 倉温泉	2	青森県十和田市奥瀬字猿倉		猿	
	大鰐温泉	2	青森県南津軽郡大鰐町	円智上人	猪•牛	
	薬研温泉	2	青森県下北郡大畑町薬研	慈覚大師・豊臣の落ち武者		
	温湯温泉	2	青森県黒石市温湯鶴泉		在鳥	
		3	岩手県九戸郡	弘法大師	12.7	
	鉛温泉	3	岩手県花巻市鉛	Series Cont.	猿	
	鶯宿温泉	3	岩手県岩手郡雫石町鴬宿		鶯	
	台温泉	3	岩手県花巻市	坂上田村麻呂	,50	
	大沢温泉	3	岩手県花巻市	坂上田村麻呂		
_	志戸平温泉	3	岩手県花巻市	坂上田村麻呂		
	夏油温泉	3	岩手県北上市和賀町	慈覚大師	猿	
-	藤七温泉	3	岩手県八幡平市	坂上田村麻呂	132	
-	湯の原温泉	4	宮城県宮城郡松島町松島湯の原温泉	弘法大師・慈覚大師		
_	作並温泉	4	宮城県仙台市青葉区作並	行基・源頼朝	鷹	
_	峨峨温泉	4	宮城県柴田郡川崎町前川峨峨	1] 至"你积钒	鹿	
-	駒の湯温泉	4	宮城県栗原郡栗駒町沼倉耕英東			
_	中山平温泉				馬蛇蛇	
	小原温泉	4	宮城県大崎市鳴子温泉 宮城県白石市小原字湯元	告味什么弟	出上	
-		4		常陸坊海尊	rt A	
	鶴の湯温泉	5	秋田県仙北郡田沢湖町田沢先達沢		在鳥	
	大滝温泉	5	秋田県大館市		隺鳥	
_	男鹿温泉	5	秋田県男鹿市北浦湯本	坂上田村麻呂	relet	
	鷹の湯温泉	5	秋田県雄勝郡雄勝町秋の宮字殿上	行基	鷹	able for a first
	赤湯温泉	6	山形県南陽市赤湯	弘法大師・源義家		草刈八幡
-	吾妻温泉	6	山形県米沢市大平温泉の吾妻温泉	弘法大師		
	温海温泉	6	山形県西田川郡温海町	弘法大師・役行者	在鳥	
	蔵王高湯温泉	6	山形県山形市蔵王高湯温泉	吉備多賀由		
	瀬見温泉	6	山形県最上郡最上町	弁慶		
	赤倉温泉	6	山形県最上郡最上町	慈覚大師		
	肘折温泉	6	山形県最上郡大蔵村	僧侶		
	湯田川温泉	6	山形県鶴岡市		白鷺	
-	湯野浜温泉	6	山形県鶴岡市		亀	
	飯豊温泉	6	山形県西置賜郡小国町	マタギ		
	鶴脛温泉	6	山形県上山市上山温泉		在鳥	
	上山温泉	6	山形県上山市	月秀	崔島	
	湯ノ沢温泉	6	山形県米沢市上		猿	
44	白布高湯温泉	6	山形県米沢市南原		鷹	
45	白布温泉	6	山形県米沢市大字関		鷹	
46	小野川温泉	6	山形県米沢市小野川町	小野小町		薬師如来
47	繋温泉	6	山形県盛岡市繋字湯の館	源義家		
48	台沢温泉	6	山形県西置賜郡飯豊町椿		蛙	

	温泉名	県	所在地	人物	動物	その他
49	さわの湯鉱泉	7	福島県いわき市平字高月磐城高校前	弘法大師	10.000	
50	熱塩温泉	7	福島県耶麻郡熱塩加納村熱塩温泉	弘法大師		
51	熱塩温泉	7	福島県耶麻郡熱塩加納村熱塩	源翁和尚		
52	大塩温泉	7	福島県大沼郡金山町	弘法大師		
53	東山温泉	7	福島県会津若松市東山町東山温泉	行基		
54	湯本温泉	7	福島県いわき市常磐湯本町	日本武尊	在鳥	
55	萱手の湯	7	福島県いわき市泉町黒須野		鶴	
56	鹿の湯	7	福島県いわき市赤井村塩田の塩沢		鹿	
57	鹿の湯	7	福島県いわき市平豊間字内の草		鹿	
58	飯坂温泉	7	福島県福島市飯坂温泉	日本武尊	,20	
59	芦/牧温泉	7	福島県会津若松市	行基・弘法大師		
60	土湯温泉	7	福島県福島市土湯温泉町字上ノ町	聖徳太子・秦野川勝		
61	母畑温泉	7	福島県石川郡石川町母畑温泉	源義家	馬	
62	猫啼温泉	7	福島県石川郡石川町猫啼温泉	100.75.75	猫	
63	早戸温泉	7	福島県大沼郡三島町		鶴	
64	岳温泉	7	福島県二本松市	坂上田村麻呂	比均	
65	磐梯熱海温泉	7	福島県郡山市熱海町	萩姫		不動明王
66	経文石の鉱泉	8	茨城県東茨城郡御前山村伊勢畑	弘法大師		小到"归土.
67	弘法水温泉	8	茨城県日立市留町	弘法大師		
68	空海踏み止めの水	-	茨城県笠間市大渕金澤ぶんぶくの湯	The state of the s		
69	湯宮	8		弘法大師		
		9	栃木県黒磯市湯宮温泉神社	弘法大師		
70	塩原温泉	9	栃木県那須郡塩原町	弘法大師		
71	那須温泉	9	栃木県那須郡那須町	TT for 1 1	鹿	弁天様
72	湯本温泉	9	栃木県那須郡那須町	円智上人		
73	日光湯元温泉	9	栃木県日光市湯元	勝道上人		
74	湯西川温泉	9	栃木県日光市湯西川	平家の落人		
75	消えた温泉	10	群馬県勢多郡富士見村原之郷庚申川	弘法大師		
76	薬師の湯	10	群馬県勢多郡富士見村原之郷字原西	弘法大師		
77	川場温泉	10	群馬県利根郡川場村湯原	弘法大師		
78	法師温泉	10	群馬県利根郡新治村法師温泉	弘法大師		
79	湯宿温泉	10	群馬県利根郡新治村湯宿	弘法大師		
80	鳩の湯温泉	10	群馬県吾妻郡吾妻町本宿		九鳥	
81	沢渡温泉	10	群馬県吾妻郡中之条町	源頼朝	鶏	
82	四万温泉	10	群馬県吾妻郡中之条町	坂上田村麻呂·碓氷貞光		
83	鹿沢温泉	10	群馬県吾妻郡嬬恋村	清和天皇の第四王子	鹿	
84	霧積温泉	10	群馬県碓氷郡松井田町		犬	
85	草津温泉	10	群馬県吾妻郡草津町	行基•源頼朝		
86	川端温泉	10	群馬県	弘法大師		
87	宝川温泉	10	群馬県利根郡みなかみ町藤原	日本武尊	鷹	
88	やぶ塚温泉	10	群馬県太田市	新田義貞·行基		
89	花敷温泉	10	群馬県吾妻郡六合村入山	源頼朝		
90	川原湯温泉	10	群馬県吾妻郡長野原町川原湯	源頼朝		
91	猿ヶ京温泉	10	群馬県利根郡みなかみ町	上杉謙信	猿	
92	赤城温泉	10	群馬県前橋市苗ヶ島町	国定忠治		
93	老神温泉	10	群馬県沼田市利根町老神		蛇	
94	鳩の湯温泉	10	群馬県吾妻郡東吾妻町本宿		九鳥	
95	梨木温泉	10	群馬県桐生市	坂上田村麻呂	Sign	
96	鳩の湯温泉	11	埼玉県秩父市荒川日野	W1714 13/11/11	鳩	
	A STATE OF S				Sing	

	温泉名	県	所在地	人物	動物	その他
98	姥子温泉	14	神奈川県足柄下郡箱根町強羅	坂田金時(金太郎)		箱根権現
99	湯河原温泉	14	神奈川県足柄下郡湯河原町	行基	狸	
100	箱根湯本	14	神奈川県足柄下郡箱根町	浄定坊		大国主命
101	塔ノ沢温泉	14	神奈川県足柄下郡箱根町	神誓上人		
102	堂ヶ島温泉	14	神奈川県賀茂郡西伊豆町仁科	夢想国師		
103	Construction and the property of the construction of the construct	15	新潟県中魚沼郡中里村田沢字瀬戸口	弘法大師		
104		15	新潟県南魚沼郡大和町大字大崎	弘法大師		
	燕温泉	15	新潟県中頸城郡妙高村関山	弘法大師		
106		15	新潟県妙高市関温泉	弘法大師		
107	五頭温泉	15	新潟県阿賀野市村杉温泉	弘法大師		
	出湯温泉	15	新潟県北浦原郡笹神村	弘法大師		
	清津峡温泉	15	新潟県十日町市清津峡湯元温泉	弘法大師		
110		15	新潟県岩船郡関川村鷹の巣	321277 (11)	鷹	
111	松之山温泉	15	新潟県東頸城郡松之山町湯本		鷹	
112	弥彦温泉	15	新潟県西蒲原郡弥彦村	源義家	(410)	
	蓮華温泉	15	新潟県糸魚川市本町	上杉謙信		
114		15	新潟県南魚沼郡湯沢町三俣	上杉謙信・白雲禅師		
	村杉温泉	15	新潟県新潟県阿賀野市大室	-17 MULT 17 Z LTM		薬師如来
	湯沢温泉	15	新潟県南魚沼郡湯沢町湯沢垂水の湯		熊	不叫外小
117	鷹瀬の湯	15	新潟県岩船郡関川村高瀬温泉		鷹	
118		15	新潟県西蒲原郡弥彦村観音寺	源頼義	, E	
119	12 (A)	15	新潟県新潟市西蒲区西中	(小·林只子X	雁	
120	西谷鉱泉	15	新潟県長岡市西谷		動物	
121	緒立温泉	15	新潟県新潟市黒鳥	皮膚病の娘	到79	
122	湯桧曽温泉	15	新潟県利根郡水上町湯檜曽	阿部孫八郎貞次	-	
123		15	新潟県五泉市大沢刈羽鉱泉	門叩乔八郎貝仏	台	
123	7,533,544,55	15	新潟県十日町市西田尻辛	21分十分正	亀	
125		_	富山県富山市栗山	弘法大師		
126		16	富山県婦負郡山田村	弘法大師	X-t-	
		16		亚安莱 1 十分美压	猿	
127		16	富山県南砺市利賀村大牧	平家落人・木曾義仲	鳩	
	生地温泉	16	富山県黒部市生地	上杉謙信	./. 日本	
	和倉温泉	17	石川県七尾市和倉町	71.1.1.67	白鷺	
	ねぶた温泉	17	石川県輪島市大野町	弘法大師		
-	山代温泉	17	石川県加賀市	行基		
	山中温泉	17	石川県加賀市	行基		
_	深谷温泉	17	石川県金沢市深谷町	行基		
	粟津温泉	17	石川県小松市	泰澄大師		
	中宮温泉	17	石川県石川郡吉野谷村	泰澄大師	鳩	
_	片山津温泉	17	石川県加賀市	泰澄大師·前田利明		
137	2.5.5.5.5.5.5.5.5.5.5.5.5.5.5.5.5.5.5.5	17	石川県金沢市湯涌町	泰澄大師	白鷺	
	辰口温泉	17	石川県能美郡辰口町辰口			薬師如来
	鹿井之湯	18	福井県		鹿	
140	鸛ノ湯	18	福井県大野市		雚鳥	
141	鳩ヶ湯温泉	18	福井県大野市上打波		九鳥	
142	弘法の湯	19	山梨県甲府市湯村温泉	弘法大師		
143	吉池温泉	19	山梨県富士吉田市吉池温泉	弘法大師		
144	鷲の湯	19	山梨県甲府市湯村町鷲の湯温泉		院	
145	鬼の湯	19	山梨県甲府市湯村町			鬼
146	西山の湯	19	山梨県南巨摩郡早川町奈良田	孝謙天皇		

	温泉名	県	所在地	人物	動物	その他
147	湯村温泉	19	山梨県甲府市湯村	弘法大師·武田信玄	鷹	
148	下部温泉	19	山梨県南巨摩郡身延町下部	日蓮上人		
	増富温泉	19	山梨県北杜市須玉町比志	武田信玄		
_	川浦温泉	19	山梨県山梨市三富川浦	武田信玄		
151	岩下温泉	19	山梨県山梨市上岩下	2 12 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2		成務天皇
	塩山温泉	19	山梨県塩山市上於曽	向嶽寺の僧侶		
	海の口温泉	20	長野県南佐久郡南牧村海の口温泉	弘法大師		
	鉱泉	20	長野県小諸市氷	弘法大師		
155	野沢温泉	20	長野県下高井郡野沢温泉村	行基	能	
156	別所温泉	20	長野県上田市別所温泉	日本武尊・慈覚大師・真田幸村		
157	葛温泉	20	長野県北安曇郡八坂村南鷹狩山	葛を採りに行った人		
158	皇泉	20	長野県飯田市川路初澤の湯	ある人物		
	渋温泉	20	長野県下高井郡山 / 内町	行基		
160	鹿塩温泉	20	長野県下伊那郡大鹿村	弘法大師	鹿	
161	鹿教湯温泉	20	長野県上田市鹿教湯温泉		鹿	
162	熊ノ湯温泉	20	長野県下高井郡山/内町志賀高原	佐久間象山	熊	
163		20	長野県下高井郡山ノ内町志賀高原	佐久間象山		
164	崖ノ湯温泉	20	長野県松本市		猿	
165	五色温泉	20	長野県上高井郡高山村五色温泉	役行者		
	中坊温泉	20	長野県南安曇郡穂高町	坂上田村麻呂		
167		20	長野県小県郡青木村田沢温泉	坂田金時		
168	蓼科温泉	20	長野県茅野市蓼科温泉	武田信玄·坂上田村麻呂		
169	大塩温泉	20	長野県小県郡丸子町大塩温泉	武田信玄		
170	仙仁温泉	20	長野県須坂市仁礼	上杉謙信		
171	山田温泉	20	長野県上高井郡高山村	福島正則		
172	千古温泉	20	長野県上田市真田町長	霧隠才蔵		
173	中ノ湯温泉	20	長野県南安曇郡安曇村上高地	塚原卜伝		
_	湯田中温泉	20	長野県下高井郡山ノ内町	行基・智由		
175		20	長野県		鳥	
176	角間温泉	20	長野県上田市真田町長	蓮如	-	
177	塩壺温泉	20	長野県軽井沢町中軽井沢塩壷	源頼朝		
178		20	長野県小県郡丸子町霊泉寺温泉	平朝臣維茂		
179	中房温泉	20	長野県安曇野市	坂上田村麻呂		
	平湯温泉	21	岐阜県高山市奥飛騨温泉郷	武田信玄	猿	
181	下呂温泉	21	岐阜県下呂市森		白鷺	
182	独鈷の湯	22	静岡県高田郡修善寺町修善寺温泉	弘法大師		
183		22	静岡県熱海市伊豆山	弘法大師·役行者		
184	土肥の湯	22	静岡県田方郡戸田村	隣仙大和尚		
185	V V STORY DEC	22	静岡県田方郡天城湯ヶ島町瀬古の滝	源頼朝		
186	嵯峨沢温泉	22	静岡県田方郡天城湯ヶ島町	ある人物		
187		22	静岡県加茂郡南伊豆町下賀茂		鳶	
188		22	静岡県熱海市走湯山走湯権現	木花香初木姫		
189		22	静岡県熱海市	万巻上人		
190		22	静岡県熱海市大湯日本たばこ前	平左衛門		
191		22	静岡県熱海市下町古屋旅館	法斎		
192	1975 Lanca Manager	22	静岡県伊東市松原		猪	
193	100 P 21 W 2 W	22	静岡県下田市蓮台寺	行基		
194		22	静岡県伊東市伊東温泉		猪	
195		22	静岡県賀茂郡河津町谷津	行基		

	温泉名	県	所在地	人物	動物	その他
196	吉奈温泉	22	静岡県伊豆市吉奈	行基		N. San
197	三谷温泉	23	愛知県蒲郡市三谷町	行基		
198	清 郡温泉	23	愛知県蒲郡市	行基		
199	行基の湯	23	愛知県豊川市形原温泉	行基		
	赤引温泉	23	愛知県南設楽郡鳳来町大野字中楠	弘法大師		
	弘法温泉	24	三重県度会郡玉城町弘法温泉	弘法大師		
-	大師湯	24	三重県多気郡勢和村丹生3997神宮寺	弘法大師		
203	湯ノ山温泉	24	三重県三重郡菰野町湯の山	180 (Alba) - 184 (Alba) - 414 (Alba)	鹿	
	甲南温泉	25	滋賀県甲賀郡甲南町深川	弘法大師		
	雄琴温泉	25	滋賀県大津市雄琴	最澄		
	木津温泉	26	京都府京丹後市網野町木津	行基		
	湯の花温泉	26	京都府亀岡市湯の花温泉			鬼
	有馬温泉	28	兵庫県神戸市北区有馬温泉	行基		70
	鹿の子温泉	28	兵庫県神戸市北区長尾町宅原	7 3 3 3 3	鹿	
210	うわなりの湯	28	兵庫県神戸市北区湯山谷の池	女性	,,,,,	
	鸛の湯	28	兵庫県豊岡市城崎町城崎温泉	XII	花 鳥	
	城崎温泉	28	兵庫県豊岡市城崎町城崎温泉	慈覚大師・道智	花 鳥	
	湯村温泉	28	兵庫県美方郡新温泉町湯	慈覚大師	12.7	
	籠坊温泉	28	兵庫県篠山市後川新田	平家落人		
	弘法の湯	30	和歌山県東牟婁郡古座町姫R42沿い	弘法大師		
	大師の湯	30	和歌山県東牟婁郡古座川町月野瀬	弘法大師		
	龍神温泉	30	和歌山県田辺市龍神村西	役行者·弘法大師		
-	鶴の湯温泉	30	和歌山県日高郡南部川村		在烏	
	椿温泉	30	和歌山県西牟婁郡白浜町椿		白鷺	
220		31	鳥取県東伯郡関金町関金温泉	弘法大師·行基		
221	湯原温泉	31	鳥取県八頭郡若桜町湯原	性空上人		
_	鷺の湯	31	鳥取県気高郡気高町勝見浜村温泉	江工工八	白鷺	
	鶯ノ湯	31	鳥取県気高郡気高町		鶯	
224		31	鳥取県東伯郡三朝町	役行者	狼	
	岩井温泉	31	鳥取県岩美郡岩美町岩井	藤原冬久	1110	
	弘法鉱泉風呂	32	島根県大田市久手町	弘法大師		
_	神の湯	32	島根県八東郡玉湯町玉造温泉	为不大即		少彦名命
	鷺の湯	32	島根県安来市古川町鷺の湯		白鷺	少尽石叫
		32	島根県鹿足郡津和野町湯谷			
	温泉津温泉	32	島根県大田市温泉津町		狸	
	有福温泉	32	島根県江津市有福温泉町	法道上人	7王	
232		32	局限県江洋甲有福温泉町 岡山県苫田郡鏡野町奥津	藤原審爾		
233			岡山県吉田郡蜆野町奥拝 岡山県真庭市湯原温泉	歴史 佐空上人	蛇	
234		32	岡山県県庭印傷原価泉 岡山県美作市湯郷	国仁		
	湯船渓温泉	32		32.751	白鷺	
	場別 場の湯	34		弘法大師	r4 Xm	
	- 3 V	34	広島県佐伯郡佐伯町津田岩倉温泉		白狐	
237	Taken King, Physical Processors Co.	34	広島県広島市佐伯区湯来町多田		白鷺	
238		35	山口県山口市湯田温泉	加力自己	狐	
239		35	山口県徳山市湯野	神功皇后	X-1:	
240		35	山口県長門市俵山湯町		猿	13· - 1- 1- 11 11 1/1·
241	35.5 1 1755 5.7	35	山口県長門市深川湯本	*7年174		住吉大明神
242		35	山口県豊浦郡豊浦町大字川棚湯町	怡雲和尚		
243		36	徳島県海部郡日和佐町奥河内	弘法大師		
244	大師湯	36	徳島県美馬郡貞光町長瀬	弘法大師		

	温泉名	県	所在地	人物	動物	その他
245	弘法の湯	37	香川県坂出市常盤町2-1-20瀬戸内荘	弘法大師		
246	塩江温泉	37	香川県高松市塩江町塩江温泉	行基		
247	美霞洞温泉	38	香川県仲多度郡琴南町川東	平賀源内		
248	鷹の子温泉	38	愛媛県松山市鷹子町鷹の子温泉	弘法大師		
249	道後温泉	38	愛媛県松山市道後温泉		白鷺	大国主命
250	弘法の滝	39	高知県安芸郡東洋町野根2246明徳寺	弘法大師		
251	桑田山温泉	39	高知県須崎市桑田山乙1122	弘法大師		
252	廿日市温泉	40	福岡県筑紫野市二日市	大伴旅人		
253	原鶴温泉	40	福岡県朝倉郡杷木町大字志波		在鳥	
254	熊の川温泉	41	佐賀県佐賀郡富士町上熊川字湯の原	弘法大師		
255	古湯温泉	41	佐賀県佐賀郡富士町古湯	徐福		
256	武雄温泉	41	佐賀県武雄市武雄町	行基	白鷺	
257	嬉野温泉	41	佐賀県嬉野市嬉野町大字下宿		在鳥	
258	波佐見温泉	42	長崎県東彼杵郡波佐見町志折郷	弘法大師		
259	田の浦温泉	42	長崎県平戸市田の浦	弘法大師		
260	下田温泉	42	長崎県天草郡天草町下田北		白鷺	
261	杖立温泉	43	熊本県阿蘇郡小国町杖立温泉	弘法大師·神功皇后		
262	大師湯	43	熊本県阿蘇郡南小国町満願寺	弘法大師		
263	地蔵の湯	43	熊本県阿蘇郡小国町小国黒川	細川藩家臣本田時十郎		
264	山鹿温泉	43	熊本県山鹿市山鹿		鹿	
265	栃木温泉	43	熊本県阿蘇郡南阿蘇村河陽		猪	
266	湯の鶴温泉	43	熊本県水俣市湯出		在鳥	
267	菊池温泉	43	熊本県菊池市隈府		1000	育包
268	浜脇温泉	44	大分県別府市浜脇1丁目	用明天皇		1,10
269	三日月温泉	44	大分県別府市浜脇	用明天皇		
270	二条泉	44	大分県別府市北浜	関白二条義実		
271	血の池地獄	44	大分県別府市野田	17411-314322		豊後風土記
272	玖倍理湯の井	44	大分県別府市			豊後風土記
273	海老毛温泉	44	大分県大分郡挾間町赤野字海老毛			豊後風土記
274	鉄輪温泉	44	大分県別府市御幸	一遍上人		五汉八八二
	柴石温泉	44	大分県別府市野田字柴石	醍醐天皇•後冷泉天皇		
	永石温泉	44	大分県別府市南町	弘法大師		
277	壁湯温泉	44	大分県玖珠郡九重町	仙女・空也上人	鹿	
	宝泉寺温泉	44	大分県玖珠郡九重町	空也上人	7.1.1	
279		44	大分県直入郡直入町		蟹	
	川底温泉	44	大分県玖珠郡九重町菅原	菅原道真	<u>н</u>	
	寒の地獄	44	大分県玖珠郡九重町飯田高原	TIME X	猿	
	臭い水	44	大分県直入郡久住町朽網	景行天皇	180	
	六ヶ迫温泉	44	大分県臼杵市藤河内	がロバエ	白鷺	
284	御夢想湯温泉	44	大分県大分郡湯布院町川南	弘法大師	口馬	
	塚野鉱泉	44	大分県大分市廻栖野	弘法大師		
	湯平温泉	44	大分県由布市湯平町	17/ Club	猿	
	妙見温泉	46	鹿児島県霧島市隼人町嘉例川	坂本龍馬	没	
	日当山温泉	46	鹿児島県霧島市隼人町姫城	西郷隆盛		

運動浴を利用した生活習慣病予防の研究

畑 病 院 畑 洋 一

要 旨

高度経済成長の中で、高齢化と共に、糖尿病、高血圧、高脂血症、冠動脈疾患、脳血管障害などを代表とする生活習慣病が増加し、その対策が話題になってきている。別府市に於いては、平成12年4月に別府ONSEN地療法研究会が発足し、附随して翌年からは「温泉と運動フォーラム」および「ヘルシーメニュー研究会」が開催された。その中で生活習慣病予防の一環としてスマート教室が開催され好評であった。その後も、予防医学に重点が向けられている。今回、運動浴およびサウナ浴を利用した生活習慣病予防の健康教室を開催したので報告する。

対象および方法

当施設で募集したイキイキ元気教室に参加した、生活習慣病を持つが、自立した健康成人6名を対象とした。男性は1名で年齢48才、女性5名、平均年齢69.0才であった。

胸写、心電図、腹囲測定、超音波による腹部脂肪厚、採血、筋力テスト、グラビコーダ等の測定を行い、健康教室を開始した。教室が始まる前には、血圧、脈拍測定および問診による健康チェックを毎回行った。脱水予防に水分摂取には気をつけた。教室は週に1回実施し、床運動(ストレッチング)および水中運動(運動浴、サウナ他)に分けて行った。床運動から初め、約30分間のストレッチングで身体をほぐした後に、水中運動を行った。水中運動は運動浴とサウナ浴に分けて実施し、運動浴では水中歩行や屈伸運動などを行い、低温サウナでは手足の屈伸運動などを実施、蒸気サウナでは呼吸に合わせた運動を行った。水中運動は、運動浴やサウナ浴を組み合わせて約30分行った。12回の健康教室を1クールとし、2クール行った後その前後での検討を行った。

結果

体重で1kg以上の変化を有意としたとき、4名が減少し、2名は変化なし、平均で減少傾向を示した (表1)。血圧は5%以上の変化を有意としたとき、収縮期血圧は2名で低下し、4名は不変、また拡張期血圧は3名で低下し、3名で不変であり、血圧も低下傾向を示した (表1)。5%を有意な変化としたとき、BMIは2名で減少、4名で不変で、平均でもやや減少しており、体脂肪率では4名は減少し、2名が不変、平均でも減少を示した (表1)。筋肉率は3名が増加し、3名が不変、平均では増大し、水分率は3名が増加し3名が不変で、平均では増加した (表1)。筋肉量は、上肢筋肉量および下肢筋肉量共に教室後に増加傾向を示したが、症例により変動が大であった (表1)。

次に症例を提示する。症例 1 は72才女性で高脂血症、腰痛で治療を置けている。腰痛の改善および運動習慣をつける目的で参加した。 7 月に参加した時からの結果を表 $2 \sim 4$ 、および図 $1 \sim 4$ に示す。

表 1 健康教室前後における項目別変化を、各症例別に示す

	T	T							
			TM, 女 74歳	SG, 女 60歳	KT, 女 71歳	TN, 女 68歳	TK, 女 72歳	YM, 男 48歳	平 均
体 重	Ē	前	61	59. 85	53. 3	54. 55	48. 4	75. 3	58. 73
14 里	後		61.9	56. 25	50. 5	53. 2	46.8	76. 1	57.46
	最高	前	152	123	142	183	122	161	147
血圧	取同	後	163	120	122	145	116	157	137
1111 / L.	最低	前	81	77	80	107	75	111	89
	取囚	後	79	75	74	90	74	102	82
脈拍	Ē	ń	82	80	80	86	77	64	78
בונ אועי	â	发	82	74	84	85	60	79	77
基礎代謝量	Ì	ń	1186	1224	1025	1130	922	1689	1196
全版[Ê	发	1203	1173	1022	1117	1108	1675	1216
в м і	育	ίj	27. 4	25. 7	26. 2	22.9	23	28. 2	25. 6
D WI I	後		27. 6	24	26. 5	22. 4	22. 1	26.3	24.8
体脂肪率	前		35. 2	30. 4	34. 1	28.7	41	26.5	32. 7
平 旭 加 平	後		34. 3	27.4	34. 1	26.8	15. 7	19.1	26. 2
筋肉率	育	ij	28. 6	29. 2	25. 1	30.3	26. 3	34.9	29. 1
加内车	色		27. 4	28, 8	27.3	30. 9	38. 4	41.2	32. 3
水分率	育	前	47.5	51	48.2	52. 2	43. 2	53.8	49. 3
小 刀 平	後	发	48. 1	53. 1	48. 2	53. 6	61.7	59. 3	54.0
骨 率	育	ίj	12.5	12.6	11.1	13. 3	14.1	15. 3	13. 2
F F	後	发	11.7	12.3	12	13. 4	16.8	18.4	14. 1
	左	前	0.81	0.72	0.63	0.72	1.2	1.41	0.92
上肢筋量	/T.	後	0.78	0.67	0.67	0.73	0.83	1.99	0.95
工 水 別 里	右	前	0.78	0.67	0.66	0.75	1. 27	1, 49	0.83
	11	後	0.81	0.69	0.67	0.76	0.85	1.53	0.89
	左	前	3. 99	4.14	2. 91	3. 76	0.91	5. 96	3. 61
下肢筋量	/I.	後	4.08	3. 89	3. 18	3, 93	4.03	6. 23	4. 22
1 71× 71/1 里		前	4. 17	4. 29	2.78	3. 7	0.91	6. 42	3. 71
	右	後	4.3	4. 12	3. 15	3. 79	4. 33	6. 49	4. 36

表 2 症例 1: TK 72才、女性

健康教室前後の体重、血圧、脈拍変化を各月平均で示す

			2006年 7月	8月	9月	10月	11月	12月	2007年 1月	2月
	前		48.6	48. 2	47.4	47. 25	47.65	46. 65	46. 7	46. 95
体重	後		48. 85	47.85	47.3	47.2	47.35	46. 5	46. 6	46. 75
	前	(最高)	135	110	125	98	116	109	104	116
do 11.		(最低)	77	68	75	65	76	72	60	74
血圧	1.41	(最高)	123	112	126	100	109	108	94	104
	後	(最低)	70	64	76	65	67	69	63	67
nc +/-	前		72	74	65	68	76	68	80	60
脈拍	後		76	68	63	77	75	73	73	70

表 3 症例 1: TK 72才、女性

体組成の変動(%)

	前(2006/7)	4ヶ月後	9ヶ月後
基礎代謝量(kcal/日)	922	1023	1108
вми	23	22. 3	22. 1
体脂肪率	41	26. 5	15. 7
筋肉率	26. 3	32. 4	38. 4
水分率	43. 2	53.8	61.7
曾 率	14.1	14.1	16.8

表 4 症例 1: TK 72才、女性

上肢・下肢における筋肉量(kg)の変動

		前(2006/7)	4ヶ月後	9ヶ月後
L, n-t-	左	1. 20	0.71	0.83
上肢	右	1. 27	0.76	0.85
T-01-	左	0. 91	3, 53	4.03
下肢	右	0. 91	3. 73	4. 33

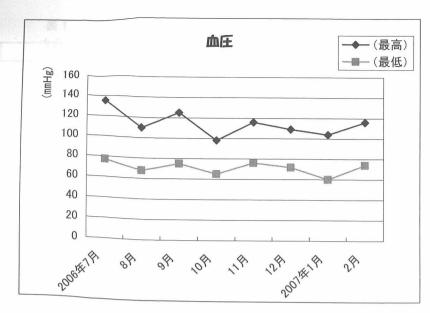


図1 症例1の各月平均で見た血圧変動

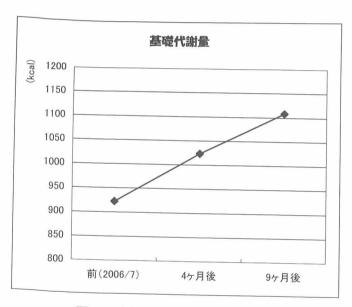


図2 症例1の基礎代謝量の変化

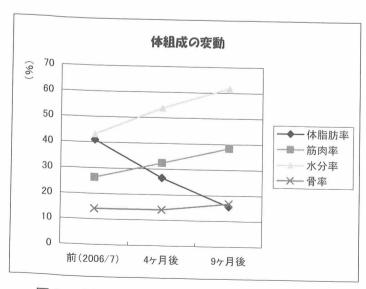


図 3 症例 1 での各クール終了毎の体組成の変化

考案

イキイキ元気教室において温泉を利用した健康教室を行った。対象には生活習慣病の治療を行っているもの又は通院暦の有るものを対象とした。今回の教室において、超音波による腹部脂肪厚の測定や、筋肉量測定も行った。健康教室は週一回行っており、教室の無いときも在宅でできる運動指導を行う事により、運動習慣が自然な形で取り組めるよう指導した。健康教室は1クール12回で行い、各クールごとにチェックし、2クール後に比較検討を行った。体重や血圧は減少あるいは改善傾向を示し、今までの検討と同様の反応と思われた。体脂肪率は減少傾向を示し、筋肉率は増加を示し、筋力の上昇に働いたと思われた。上肢および下肢筋量は左右とも筋量増加の傾向であったが測定誤差も考えられ、症例を重ねて検討すべきと思われた。

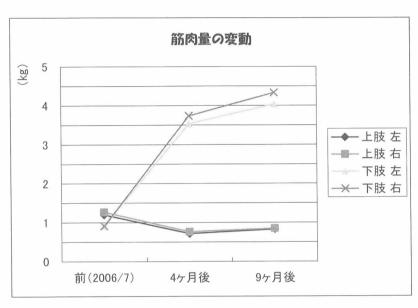


図4 症例1の各クール終了毎の筋肉量の変化

別府地域直下マントルの地球化学的特徴を探る

京都大学大学院理学研究科附属地球熱学研究施設

山本順司・西村光史杉本 健・竹村恵二

要旨

九州には二つの火山列が存在する。一つは火山フロントとして認識されているマグマ活動によるもので、もう一つは雲仙火山や金峰山で代表される成因不詳のマグマ活動によるものである。その二つの火山列は大分県、特に別府-由布地域で交点を結び、大分県の驚異的な地熱活動の本質を見難くさせる主因となっていた。そこで我々はその二つの火山列を構成する代表的な溶岩の希ガス同位体組成からそのマグマ供給機構の究明に挑んだ。

島孤地殻の直下に位置するマントルは、次々と発生および浸入するマグマによって大規模な動的同位体分別を被っている可能性が考えられる。この特徴を利用すればそれぞれの火山が島弧的か否か明瞭に区別できるかもしれない。希ガス同位体測定の結果、九州火山の火山岩斑晶は海洋域の最上部マントルを代表する中央海嶺玄武岩のマグマ源に比べ、軽い希ガス核種ほど相対的に少ない濃度を持つことが分かった。また、同位体比に関しては中央海嶺玄武岩に比べて低い 3 He/ 4 He と 4 OAr/ 6 OArが見られた。元素組成に関する異常は、繰り返し通過するマグマによって九州火山のマグマ生成場が拡散の速い核種に選択的に枯渇していることを示唆するものと考えられる。また若干低い 3 He/ 4 He も同様の過程で説明される。しかし、低い 4 OAr/ 6 OArはそのような同位体分別過程によって作られることは考え難い。低い 4 OAr/ 6 OArをもたらすもっともらしい現象は大気成分の混入であるが、 4 He/ 6 OArに正の相関が見られ、その特徴は地表大気の混入では説明できないことから九州火山の溶岩は日本直下に沈み込んだ海洋プレート由来成分の影響を受けているものと推察される。

以上のことから、九州火山のマグマ生成場はマグマの連続的な浸入を受けるとともに沈み込んだ海洋プレート由来成分の影響も受けているものと推察される。このような描像には島弧直下マントル (マントルウェッジ) の普遍的な姿と重なり合うものがある。つまり九州火山のマグマ供給機構はプレート収斂域の普遍的な現象と考えられよう。

緒言

日本のような島弧域の火山のマグマ供給機構は海洋プレートの沈み込みに関連するものと一般的に考えられている。しかし、九州には南北方向に配列する火山フロントとは別に東西方向の火山列が知られており、そのマグマ供給機構が盛んに議論されてきた。例えば雲仙火山では、火山フロントからの距離や火山岩の微量元素組成などからハワイのような海洋島玄武岩的なマグマ源が寄与している可能性が示唆されている(Nakada and Kamata, 1991; Sugimoto et al., 2005)。もしこの仮設が真実であるならば、東アジアに広く分布する新生代火山の形成機構を再検討する必要が出てくるであろう。

古くから、地球の化学的進化を追う指標として同位体比が用いられている。特に希ガス同位体比は地球内部の化学的進化や大気の発生機構に関する議論において重要な役割を担ってきた。例えば、地球内部からもたらされた物質に関しては次のような特徴が報告されている。海洋域のマントル最上部から由来した中央海嶺玄武岩の希ガス同位体組成は世界中で一様な値を示すが、海洋プレートの沈み込み域に産するマントル起源物質の希ガス同位体組成は沈み込んだ海洋プレート成分の影響を反映している。また、ハワイのようなプレートの動きと直接関係しない地球深部由来のマグマは地球生成初期の希ガス同

位体組成を比較的良く保持している。それゆえ、大分県のように特異な地熱地帯の熱源となっているマグマの供給源を探るにはこのように地球内部の様々な端成分を識別できる希ガス同位体組成を用いることが極めて有用であろう。

そこで本研究では九州で特異な火山列を構成する様々な第四紀火山に見られる斑晶鉱物の希ガス同位体組成からそのマグマ供給機構を探ることにした。測定試料として用いた斑晶鉱物はカンラン石と輝石である。これらの鉱物は分別晶出過程の最初期に現れ、希ガスを保持することができ、かつ親核種の濃度が低い。また、マグマとそれらの鉱物間の希ガスの分配係数はどの希ガス元素においても似た値を持っているため(Heber et al., 2007;Baxter et al., 2007)、分別晶出時の希ガス元素比の分別は起こり難い。そのためこれらの鉱物は初生マグマの希ガス元素比を最も良く反映している斑晶として有用である。

特に本研究では数多くの希ガス核種の中で'Heと²¹Ne*、⁴⁰Ar*の相対比に注目する(核種の右肩にある*は混入した大気成分を補正したことを意味する)。これらの核種は全て親核種の放射壊変や核壊変によって二次的に生成されるため、安定した岩体内におけるその比はある一定値に収束する。それゆえその収束値と測定値のずれは動的な同位体分別過程の程度を表す指標として有効に機能するであろう。

試料と測定法

測定試料は九州に見られる様々な火山の火山岩斑晶(カンラン石および輝石)である(Fig.1; Table 1)。霧島火山群(韓国岳と新燃岳、御鉢、高千穂岳)は火山フロントを構成する火山の代表として採取しており、別府島原地溝の代表としては熊本市の金峰山と雲仙の愛宕山で火山岩を採取した。その他の阿蘇米塚や立野溶岩、由布岳、鬼箕玄武岩は両者の火山列の交点付近に位置する火山である。鬼箕玄武岩からは三つの火山岩を採取したがonn01とonn03は同じ溶岩から採取した試料である。

火山岩斑晶の精選過程を簡単に記す。まず採取した火山岩をハンマーで粗く砕き、破砕物を篩で0.25-0.8mmの大きさに揃え、磁気分離器や重液、手選によって斑晶を選り分けた。精選した斑晶は純水やエ

Table 1. Sample descriptions.

No.	Volcano	Sampling site	Eruption age	Reference	Sample	Mineral	Weight (g)
1	Oninomi-lava	cliff	10 ka	Ohta et al., 1992	onn01	olivine	1.088
					onn02	olivine	1.105
					onn03	pyroxene	1.520
2	Yufu-dale	steep gradient	< 6.3 ka	Hoshizumi et al., 1988	yf11	olivine	1.348
	V 2				yf11	срх	0.844
3	Komezuka	lava cave	< 2.7 ka	Kobayashi et al., 1999	kmz01	olivine	0.560
	_				kmz01	срх	1.133
4	Tateno-lava	cliff	25-73 ka	Kobayashi et al., 1999	ttn01	срх	0.903
5	Kinpo-san	cliff	0.54 Ma	Toshida et al., 2006	kp01	olivine	0.354
6	Atago-yama	quarry	1.1 Ma	Nakada and Kamata, 1988	atg01	olivine	1.305
7	Karakuni-dake	mud slide	18-15 ka	Imura and Kobayashi, 2001	kkd01	орх	0.858
8	Shinmoe-dake	steep gradient	15-6.3 ka	Imura and Kobayashi, 2001	smd01	opx	0.826
					kkd01	срх	1.064
9	Ohachi	cliff	1923 A.D.	Imura and Kobayashi, 2001	ohc01	орх	1.001
					ohc01	срх	0.885
10	Takachiho-dake	cliff	6.3 ka	Imura and Kobayashi, 2001	tkc01	орх	1.022
					tkc01	срх	0.996

タノール、アセトンで超音波洗浄し、質量を測った後超高真空対応鉱物破砕器に封入し、表面に吸着した大気成分を取り除くため超高真空および150-200℃の環境に10時間以上曝した。斑晶内の希ガスの抽出には火山岩が噴出してから二次的に生成される放射起源核種や宇宙線起源核種が影響し難い真空破砕法を採用した。希ガス同位体組成の測定には2つの機関の希ガス同位体測定器を用いた。鬼箕玄武岩1試料(onn01)は東京大学地震研究所の希ガス用質量分析装置(VG-5400)により分析し、他の試料は東京大学海洋研究所のヘリウム用質量分析装置と四重極質量分析装置により分析した。

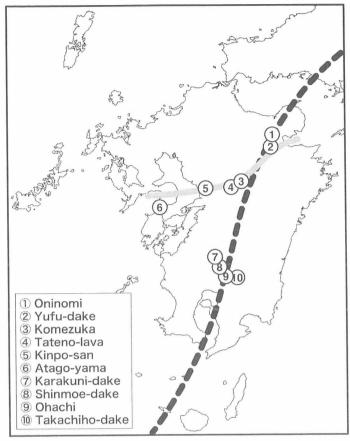


Fig. 1. Schematic map showing sampling points and the location of Kyushu Island, Japan. The broken line shows a volcanic front. The solid line shows the Beppu-Shimabara rift valley.

結果

測定結果はTable 2 にまとめた。九州火山のマグマ源の特徴を探る上で最も有効な方途は海洋域のリソスフェアマントルを代表する中央海嶺玄武岩(MORB)との比較であろう。本研究の測定結果の中で

Sample	Mineral	Weight (g)	³He	(10-15)	⁴ He	(10-9)	36 Ar	(10-11)	40 A	r (10 ⁻⁸)	3He/1	He (Ra)	⁴⁰ A	r/36 Ar	⁴ He	e∕¹0Ar*
onn01	olivine	1.088	15.8	± 2.3	1.60	± 0.14	6.78	± 0.40	3.65	± 0.22	6.74	\pm 0.85	538.0	± 2.1	0.097	± 0.010
onn02	olivine	1.105	1309.0	± 3.2	175.879	± 0.071	19.36	± 0.89	33.9	± 1.1	6.959	± 0.040	1749	± 100	0.625	± 0.052
onn03	pyroxene	1.520	382.1	± 1.7	56.314	± 0.030	41.21	± 0.39	32.19	± 0.22	6.968	± 0.046	781.0	± 9.1	0.281	± 0.006
yf11	olivine	1.348	165.6	± 1.6	20.879	± 0.013	5.07	± 0.21	3.214	± 0.052	7.231	± 0.097	634	± 29	1.22	± 0.12
yf11	CDX	0.844		*			8.46	± 0.23	2.866	± 0.020			338.7	± 9.3		
ttn01	CDX	0.903		*			5.69	± 0.23	2.003	± 0.021		•	352	± 15		
kmz01	olivine	0.560	31.03	± 0.74	4.185	± 0.013	5.96	± 0.33	2.485	± 0.022	6.98	± 0.24	417	± 23	0.58	± 0.12
kmz01	CDX	1.133					4.18	± 0.17	1.517	± 0.007		*	363	± 15		*
atg01	olivine	1.305	12.10	± 0.46	1.790	± 0.008	17.43	± 0.26	6.726	± 0.053	6.21	± 0.28	385.9	± 6.5	0.114	± 0.008
kp01	olivine	0.354					8.63	± 0.60	4.908	± 0.044		*	569	± 40		•
smd01	ODX	0.826	6.25	± 0.33	1.126	± 0.005	20.61	± 0.35	6.837	± 0.055	5.23	± 0.31	331.7	± 6.2	0.151	± 0.026
kkd01	XQO	0.858	3.35	± 0.31	0.549	± 0.005	15.71	± 0.27	4.844	± 0.027		*	308.3	\pm 5.5	0.27	± 0.12
kkd01	CDX	1.064	7.25	± 0.32	0.967	± 0.005	4.70	± 0.22	1.667	± 0.035	7.06	± 0.36	354	± 18	0.35	± 0.11
ohc01	xqo	1.001					9.73	± 0.21	3.007	± 0.015			309.0	± 6.9		
ohc01	CDX	0.885		*		*	5.02	± 0.40	1.905	± 0.008			379	± 30		*
tkc01	opx	1.022	4.46	± 0.17	1.395	± 0.005	85.4	± 1.3	25.00	± 0.30	3.01	± 0.14	292.8	± 5.6		
tkc01	срх	0.996	4.84	± 0.38	0.667	± 0.006	6.94	± 0.26	2.241	± 0.021		*	323	± 13	0.35	± 0.16

N.B., Unit for abundance is cm³STP/g. All tabulated data were corrected for blanks. *: not measured. *40Ar* is *40Ar corrected for atmospheric contamination. Neon isotopic composition (*20Ne content. *20Ne/22Ne) of onn01 are 2.16 (± 0.22) ×10⁻¹¹, 9.96 ± 0.35 and 0.0340 ± 0.0037, respectively.

中央海嶺玄武岩と明瞭に異なる同位体比は低い³He/¹Heと⁴⁰Ar/⁵⁶Arである(Fig. 2)。測定された³He/¹Heは 3-7 Ra(Raは大気のヘリウム同位体比の意)で、中央海嶺玄武岩の 8 ± 1 Raよりわずかだが確実に低い。⁴⁰Ar/⁵⁶Arも中央海嶺玄武岩の最高40000にも及ぶ値に比べるとはるかに低い。元素比で注目すべきは中央海嶺玄武岩に比べて著しく低い⁴He/¹⁰Ar*(0.1)や⁴He/²¹Ne*(1.6×10 °)である。中央海嶺玄武岩の典型的な値がそれぞれ $1\sim5$ と 2.2×10 7 であることを考えると、測定値はヘリウムが中央海嶺玄武岩に

比べて一桁程少ないことを示している。この他、鬼箕玄武岩一試料(onn01)から抽出したネオン・クリプトン・キセノン同位体比に関しては、²¹Ne/²²Neのみ大気の値と有意な違いが見られた。onn02はonn01やonn03とは異なる溶岩流から採取した試料である。同じ火山を構成する溶岩流であっても時代により同位体組成は異なるようである。

中央海嶺玄武岩との比較という観点からでは、別府島原地溝を代表する愛宕山と火山フロントを構成する新燃岳・韓国岳の間に明瞭な違いは見られなかった。

考察

九州火山の⁴He/⁴⁰Ar^{*}や⁴He/²¹Ne^{*}は中央海 嶺玄武岩のマグマ源(MORB source)と 著しく異なる(Fig. 3)。⁴Heや²¹Ne、⁴⁰Ar は親核種の放射壊変または核壊変によっ

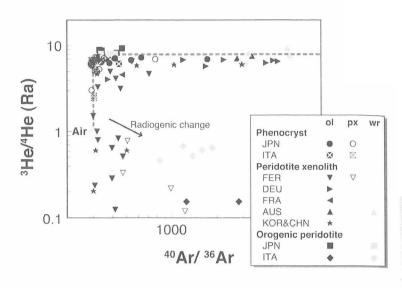


Fig. 2. ³He/⁴He versus ⁴⁰Ar/³⁶Ar diagram of phenocrysts from quaternary volcanoes in Kyushu island, Japan (JPN) with data obtained by crushing mantle-derived materials. Data sources are as follows: phenocrysts from Italy (ITA) (Marty et al., 1994); peridotite xenoliths from Far Eastern Russia (FER) (Yamamoto et al., 2004), Germany (DEU) and France (FRA) (Gautheron et al., 2005), Australia (AUS) (Matsumoto et al., 2000), and Korea (KOR) and China (CHN) (Kim et al., 2005); orogenic peridotites from Japan (JPN) (Matsumoto et al., 2001), and Italy (ITA) (Matsumoto et al., 2005).

て生成される核種であるため、長い安定期を持つ地殻やマントル中の⁴He/ポAr*や⁴He/ピNe*はある一定値に収束する。例えば、UやTh起源の⁴HeとK起源の⁴Ar*の比(⁴He/ポAr*) はモル比で1から5程度の値に収

東する (Fig. 4)。 同様に He/PNe*もモル比 で2.2×10⁷程度の値に収束する(Yatsevich and Honda, 1997; Leya and Wieler, 1999) それゆえ予想される収束値より低い*He/**Ar* や4He/21Ne*は九州火山のマグマ源で比較的 最近生じた動的な事変を示唆するものであ る。特に、Fig.3から分かるようにヘリウ ムの選択的な枯渇が示唆される。マグマ源、 つまりマントルを構成する鉱物からヘリウ ムを優先的に取り去る過程として古くから 提唱されているのはヘリウムのマグマへの 優先的散逸過程である(Matsuda and Marty, 1995; Burnard et al., 1998)。 ヘリウムは 化学的に不活性な希ガスの一種であり、さ らにヘリウムは質量数が最も小さいためあ らゆる物質中で大きな拡散係数を持つ。マ ントル中にマグマが浸入した場合、そのよ うな粒間メルトに対する希ガスの溶解度は 極めて高いことが知られており(例えば、 Baxter et al., 2007)、その中でも拡散係数 の大きいヘリウムが優先的に取り去られや

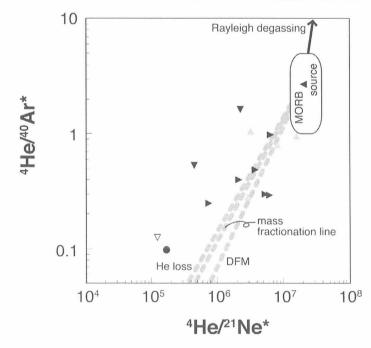


Fig. 3. ⁴He/⁴⁰Ar* versus ⁴He/²¹Ne* diagram of the phenocrystic olivine of a sample onn01 with data obtained by crushing mantle-derived materials, where * indicates corrected for atmospheric contamination. Data sources are the same as those for Fig. 2. DFM labeled by a broken line stands for diffusive noble gas fractionation during melting as will hereinafter be described in detail. Rayleigh degassing are calculated using the extended ionic porosity model (Nuccio and Paonita, 2000).

すい。実際にこのような過程がマグマ源の希ガス同位体組成に影響していることを示すモデルも提唱されている(Burnard, 2004)。そこで我々はこのようなモデルによって九州の火山岩の希ガス同位体組成が説明できうるのか定量的な計算を試みた。

岩体にマグマがある間隔(21)毎に浸入した場合、岩体内の希ガス元素の濃度は時間とともに減少していく。岩体内に均質に分布していたある希ガス元素の初生濃度をCi、岩体内のある場所・ある時間における濃度をCとするとその濃度分布はFig. 5のように表せる。次に岩脈の間隔を10cm、1100°Cの状態を想定して t Heと ti He/ to Ar * の時間変化を計算した結果がFig. 6 である。 t He/ to Ar * を一桁下

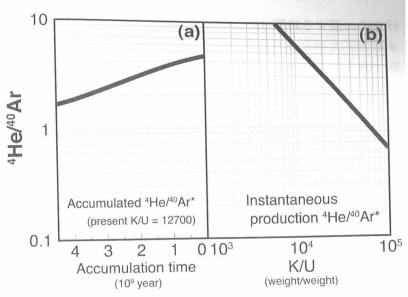


Fig. 4. (a) Accumulated production ratio of radiogenic He and Ar in a noble gas source region with K/U of 12700 and Th/U of 3.1 in weight. ⁴He/⁴⁰Ar* decreases with increasing accumulation time due to differences in the decay constants between U and ⁴⁰K. MORB has a K/U and Th/U of 12700 (Jochum et al., 1983) and 3.1 (Staudacher et al., 1989), respectively. (b) Instantaneous production ratio of radiogenic He and Ar in an original mantle source with various K/U and uniform Th/U of 3.1.

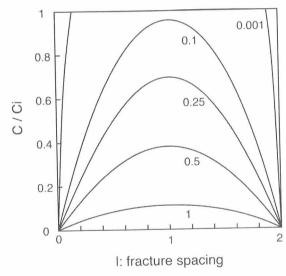


Fig. 5. The predicted diffusion profiles of noble gases in a mantle region based on a model of diffusive noble gas fractionation during melting. Initially, noble gases are homogeneously distributed through the mantle. Fast diffusion paths for the noble gases (such as fractures or melt channels) are emplaced a distance (1) apart. Noble gases diffuse from the solid into fast diffusion channels (melt) during a time t, after which the noble gases are instantaneously removed from the system. Diffusion profiles are calculated using an equation, which will be published in other journal. The numbers next to the profiles represent Fo value (= D \times t/l²), where D, t and l are diffusion coefficient, time and fracture spacing, respectively. Ci and C are initial concentration of noble gases concentration at time t, respectively.

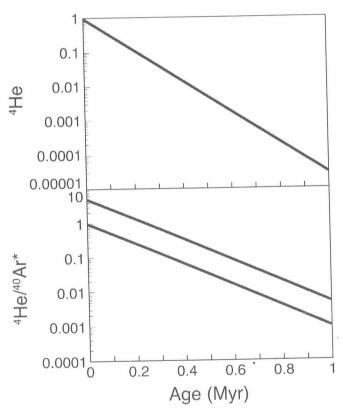


Fig. 6. The averaged relative ^4He content and $^4\text{He}/^{40}\text{Ar*}$ as a function of t calculated by the diffusive noble gas fractionation model using $D_{^4\text{He}} = 1.33 \times 10^{-15} \, \text{m}^2\text{/s}$ in olivine at 1100°C (Trull and Kurz, 1993), $D_{^4\text{He}}/D_{^40\text{Ar}} = 3.16$ and fracture spacing of $0.1 \, \text{m}$.

げるのに要する時間は33万年ほどであり、一つの火山の平均的な寿命が数十万年ほどであることを勘案すると、九州火山の低い 4 He/ 40 Ar * が一つの火山の一連のマグマ活動中に起こる拡散同位体分別過程で説明できることが分かる。同様に、Fig. 3 に見られる左下がりの傾向もこのような同位体分別過程で説明できることが分かる。

ここまでは元素間の分別に着目してきたが、中央海嶺玄武岩と九州火山の同位体比の違いも同様の過程で説明可能か検討してみる。Fig. 7 は地球深部起源物質の 3 He/ 4 Heと 4 He/ 4 Ar*をまとめた図である。この中で九州火山は全て中央海嶺玄武岩のマグマ源より左下に分布する。拡散同位体分別過程(Fig. 7 中の破線)によると 4 He/ 4 Ar*が3から0. 1になる間に 3 He/ 4 Heは8Raから4Ra程度にまで下がることが分かり、九州火山の低い 4 He/ 4 OAr*や 3 He/ 4 Heの多くは拡散同位体分別過程で十分に説明可能な値であることが分かる。しかし、いくつかの九州火山はFig. 7中で拡散同位体分別過程を示す破線より右側に分布している。もし中央海嶺玄武岩のマグマ源と九州火山の希がス組成の違いが同位体分別過程に因るとするならば、

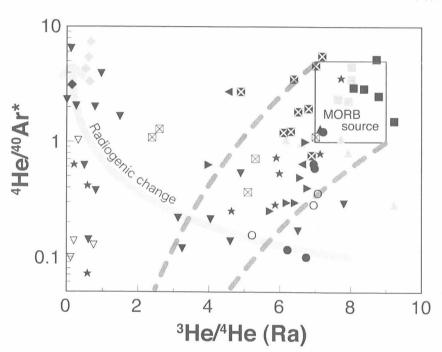


Fig. 7. ³He/⁴He versus ⁴He/⁴⁰Ar* diagram of phenocrysts from quaternary volcanoes in Kyushu island, Japan with data obtained by crushing mantle-derived materials. Data sources are the same as those for Fig. 2. A solid arrow shows radiogenic change of an original mantle source with ³He/⁴He like MORB (8Ra), low ⁴He/⁴⁰Ar* (0.1) and K/U of 12700 in weight. Broken lines show the diffusive noble gas fractionation during melting in two mantle sources with ³He/⁴He of 7Ra and 9Ra, and ⁴He/⁴⁰Ar* of 5 and 1, respectively.

この比較的高い³He/⁴Heは何 に因るものであろうか。考え られる原因としては二つ挙げ られる。一つ目は同位体分別 過程の出発点として想定した 値(中央海嶺玄武岩のマグマ 源の典型的な値)が間違って いる可能性である。例えば九 州火山のマグマ源が中央海嶺 玄武岩のマグマ源より若干低 い⁴He/⁴⁰Ar^{*}や若干高い³He/⁴He を持つのならば本研究で見ら れた九州火山の測定値は拡散 同位体分別過程で説明可能と なる。しかしそのような特異 なマグマ源を積極的に支持す る証拠を我々は持っていない。 二つ目は同位体分別過程が完 全な動的過程ではない可能性 である。ここまでは同位体分 別過程を拡散過程のみに基づ

いて考えてきたが平衡分配による元素分別も検討すべきであるかもしれない。例えば、マグマ源へ浸入したメルトがその場で長期間滞留した場合、マグマ源を構成する鉱物とメルト間は同位体的に均質(同位体平衡)になるが、元素比はそれぞれの元素の分配係数の比としてメルトと鉱物間で違いが現れる可能性がある。しかし、メルトとカンラン石や輝石間のHeとArの分配係数は良く似ているとの報告があり(Heber et al., 2007;Baxter et al., 2007)、そのためマグマ源の部分溶融やメルト浸入時における完全な平衡分配過程では 1 He/ 10 Ar*や 3 He/ 1 Heの変動は起こりえない。では不完全な平衡状態なら何が起こるであろうか。動きやすいヘリウムは比較的平衡分配過程に近付きやすいため、傾向としては 3 He/ 1 Heの変動が若干小さい拡散同位体分別過程を想定すれば良いであろう。つまり中央海嶺玄武岩のマグマ源の値から拡散同位体分別過程を想定した線(Fig. 7 中の破線)より高い 3 He/ 1 Heを持つ測定値を説明することができる。このような不完全平衡同位体分別過程は九州火山のマグマ源に浸入したマグマの規模や滞

留時間に依存するものであろう。

Fig. 7中にはマントル由来の岩石に関する従来のデータで著しく低い 3 He/ 4 He(<~ 1 Ra)と高い 4 He/ 40 Ar * (>~0. 1)が少なからず見られる。そのような値は本研究で提唱した拡散同位体分別過程では説明不可能である。しかし、拡散同位体分別過程を経たマグマ源(4 He/ 40 Ar * =0. 1,8 Ra)に放射起源 40 He/ 40 Ar * =0. 1,8 Ra)に放射起源 40 He/ 40 Ar * =0. 1,8 Ra)に放射起源 40 He と 40 Ar の影響を組み込むとFig. 7中では "Radiogenic change" の線として描くことができ、Fig. 7中のほとんど全ての値が同位体分別+放射起源核種の付加で説明できることが分かる。放射起源核種の付加はマグマ源に親核種となるUやKが存在する限り必ず起こる現象である。特にマグマの浸入により初生的に存在していた希がスを多く失ったマグマ源はそのような年代効果を受けやすい状態にある。例えば、 4 He/ 40 Ar 40 が3から0.1まで低下したマグマ源はその間に初生的なヘリウムを99.4%失ったことになり(Fig. 6)、初生的に 1×10^{-8} ccSTP/gあった 40 He 濃度は100 でcSTP/gまで減少したことになる。この 40 He 濃度はUを100 ppm持つマグマ源ならばわずか2600年で生成される放射起源 40 He 濃度に匹敵する。それゆえ、過去にマグマの連続的な浸入を許したマグマ源ならば 3 He/ 4 Heが著しく減少している可能性が十分考えられよう。実際に低い 3 He/ 4 Heが極東ロシアや中国東北部、韓半島といった古い沈み込み帯域に産するマントル捕獲岩から特徴的に報告されているのもこの考えに調和的である。

以上のことから、九州火山で見られた低い 3 He/ 4 Heや 4 He/ 4 OAr * 、 4 He/ 2 Ne * はマグマ源で起こったマグマの出現もしくは浸入に伴う拡散同位体分別に因るものであると推定される。ただし、この過程では中央海嶺玄武岩と比べて著しく低い 4 OAr/ 36 Arは説明できない。低い 4 OAr/ 36 Arをもたらす過程として最も良く議論されている説は大気成分(4 OAr/ 36 Ar=295.5)の混入である。この大気成分が現在の地表大気であるか沈み込んだ海洋プレート由来であるか区別することは一般的に困難であるが、Fig. 8 から 3 He/ 36 Ar

が⁴He/⁴⁰Ar*同様に拡散同位体分別の傾向 を持つことが分かる。これは³He/³6Arの 変動が地表大気由来の36Arの付加による ものではなくマグマ源で生じた同位体分 別に因ることを示すものである。要する に九州の火山岩の低い40Ar/36Arは沈み込 んだ海洋プレートに起因した特徴(マン トルウェッジへの36Arの付加)であると 考えられる。そして拡散同位体分別の検 証から九州火山のマグマ源は過去にマグ マの浸入を被っていることが分かってお り、これらのことから浮かび上がる九州 火山のマグマ源の描像はマントルウェッ ジで想定されているマグマ生成機構と重 なり合う。それゆえ九州火山は、特に成 因が不詳であった別府島原地溝の火山に おいてもそのマグマ源としてハワイのよ うなホットスポット的な特異な起源物質 を想定する必要は排除されよう。

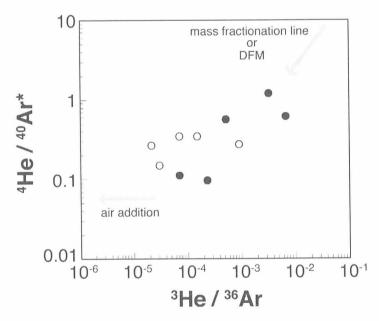


Fig. 8. ${}^{3}\text{He}/{}^{36}\text{Ar}$ versus ${}^{4}\text{He}/{}^{40}\text{Ar}^{*}$ diagram of phenocrysts from quaternary volcanoes in Kyushu island, Japan. This positive trend can be interpreted as mass fractionation or the diffusive noble gas fractionation during melting. That is, most of ${}^{36}\text{Ar}$ in the present samples is not derived from atmospheric contamination after eruption.

結論

我々は九州において数百万年以内に噴出した溶岩の希ガス同位体組成から大分県域のマグマ供給機構の究明に挑んだ。その結果、海洋域の最上部マントルを代表する中央海嶺玄武岩のマグマ源より著しく

低い 4 He/ 40 Ar* 40 Ar 40 Ar/ 36 Arとわずかに低い 3 He/ 4 Heが見られた。これまでに報告されているマントル起源の鉱物や火山岩斑晶の値を勘案すると相対的に低い 4 He組成はマグマ源における同位体分別過程に因るものと推察される。またわずかに低い 3 He/ 4 Heも不完全な動的同位体分別過程によって説明できることが分かった。このような過程はマグマ源におけるマグマの連続的な浸入を示唆するものであり、また、低い 40 Ar/ 36 Arは沈み込んだ海洋プレートの影響を示唆するものと考えられるため、九州火山の溶岩はマントルウェッジで普遍的に起こっているマグマ供給機構によってもたらされたものと推察される。

謝辞

東京大学地震研究所の兼岡一郎名誉教授、中井俊一准教授、三浦弥生助教、東京大学海洋研究所の佐野有司教授、高畑直人助教、清田馨博士には希ガス同位体測定において様々な便宜を図って戴きました。京都大学地球熱学研究施設の石橋秀巳博士、東京大学地殻化学実験施設の平野直人博士には試料採取に協力戴きました。ここに深く感謝の意を表します。

引用文献

- Baxter E.F., Asimow P.D. and Farley K.A. (2007) Grain boundary partitioning of Ar and He. Geochim. *Cosmochim. Acta* 71, 434-451.
- Burnard P.G. (2004) Diffusive fractionation of noble gases and helium isotopes during mantle melting. Earth *Planet. Sci. Lett.* 220, 287-295.
- Burnard P.G., Farley K.A. and Turner G. (1998) Multiple fluid pulses in a Samoan harzburgite. *Chem. Geol.* 147, 99-114.
- Gautheron C., Moreira M. and Allegre C. (2005) He, Ne and Ar composition of the European lithospheric mantle. *Chem. Geol.* 217, 97-112.
- Heber V.S., Brooker R.A., Kelley S.P. and Wood B.J. (2007) Crystal-melt partitioning of noble gases (helium, neon, argon, krypton, and xenon) for olivine and clinopyroxene. *Geochim. Cosmochim. Acta* 71, 1041-1061.
- Hoshizumi H., Ono K., Mimura K. and Noda T. (1988) Geology of the Beppu district. Quadrangle series of Geological Survey of Japan Fukuoka (14) 75, pp. 137. GSJ, Ibaraki.
- Imura R. and Kobayashi T. (2001) Geological map of Kirishima volcano. AIST-GSJ, Geological map of volcanoes, no. 11.
- Jochum K.P., Hofmann A.W., Ito E., Seufert H.M. and White W.M. (1983) K, U and Th in mid-ocean ridge basalt glasses and heat production, K/U and K/Rb in the mantle. *Nature* 306, 431-436.
- Kim K.H., Nagao K., Tanaka T., Sumino H., Nakamura T., Okuno M., Lock J.B., Youn J.S. and Song J. (2005) He-Ar and Nd-Sr isotopic compositions of ultramafic xenoliths and host alkali basalts from the Korean peninsula. *Geochem. J.* 39, 341-356.
- Kobayashi T., Tameike T. and Uto K. (1999) Aso central volcanic cones. In Catalog of Quaternary volcanoes in Japan.
- Leya I. and Wieler R. (1999) Nucleogenic production of Ne isotopes in Earth1s crust and upper mantle induced by alpha particles from the decay of U and Th. *J. Geophys. Res.* 104, 15439-15450.
- Marty B., Trull T., Lussiez P. and Tanguy J.C. (1994) He, Ar, O, Sr and Nd isotope constraints on the origin and evolution of Mount Etna magmatism. *Earth Planet. Sci. Lett.* 126, 23-39.
- Matsuda J. and Marty B. (1995) The 40 Ar/ 36 Ar ratio of the undepleted mantle; a reevaluation. *Geophys. Res. Lett.* 22, 1937–1940.

- Matsumoto T., Honda M., McDougall I., O Reilly S.Y., Norman M. and Yaxley G. (2000) Noble gases in pyroxenites and metasomatised peridotites from the Newer Volcanics, southeastern Australia: implications for mantle metasomatism. *Chem. Geol.* 168, 49-73.
- Matsumoto T., Chen Y. and Matsuda J. (2001) Concomitant occurrence of primordial and recycled noble gases in the Earth's mantle. Earth Planet. *Sci. Lett.* 185, 35-47.
- Matsumoto T., Morishita T., Matsuda J., Fujioka T., Takebe M., Yamamoto K. and Arai S. (2005) Noble gases in the Finero phlogopite-peridotites, western Italian Alps. Earth Planet. *Sci. Lett.* 238, 130-145.
- Nakada S. and Kamata H. (1988) Petrogenetical relationship of basalts and andesites in southern part of the Shimabara peninsula, Kyushu, Japan. Bull. *Volcanol. Soc. Japan* 33, 273-289.
- Nakada S. and Kamata H. (1991) Temporal change in chemistry of magma source under Central Kyushu, Southwest Japan: progressive contamination of mantle wedge. *Bull. Volcanol.* 53, 182-194.
- Nuccio P.M. and Paonita A. (2000) Investigation of the noble gas solubility in H2O-CO2 bearing silicate liquids at moderate pressure II: the extended ionic porosity (EIP) model. *Earth Planet. Sci. Lett.* 183, 499-512.
- Ohta T., Hasenaka T., Ban M. and Sasaki M. (1992) Characteristic geology and petrology of non-arc type volcanism at Oninomi monogenetic volcano, Yufu-Tsurumi graben. *Bull. Volcanol. Soc. Japan* 37, 119-131.
- Staudacher T., Sarda P., Richardson S.H., All re C.J., Sagna I., and Dmitriev L.V. (1989) Noble gases in basalt glasses from a Mid-Atlantic Ridge topographic high at 14'N:geodynamic consequences. *Earth Planet. Sci. Lett.* 96, 119-133.
- Sugimoto T., Ishibashi H., Wakamatsu S. and Yanagi T. (2005) Petrologic evolution of Pre-Unzen and Unzen magma chambers beneath the Shimabara Peninsula, Kyushu, Japan: evidence from petrography and bulk rock chemistry. *Geochem. J.* 39, 241-256.
- Toshida K., Uto K. and Matsumoto A. (2006) K-Ar dating of Kimpo volcano, Northern Ryukyu arc. Bull. *Volcanol. Soc. Japan* 51, 31-40.
- Trull T.W. and Kurz M.D. (1993) Experimental measurements of ³He and ⁴He mobility in olivine and clinopyroxene at magmatic temperatures. *Geochim. Cosmochim. Acta* 57, 1313-1324.
- Yamamoto J., Kaneoka I., Nakai S., Kagi H., Prikhod'ko V.S. and Arai S. (2004) Evidence for subduction –related components in the subcontinental mantle from low ${}^{3}\text{He}/{}^{4}\text{He}$ and ${}^{40}\text{Ar}/{}^{36}\text{Ar}$ ratio in mantle xenoliths from Far Eastern Russia. *Chem. Geol.* 207, 237–259.
- Yatsevich I. and Honda M. (1997) Production of nucleogenic neon in the Earth from natural radiogenic decay. *J. Geophys. Res.* 102, B5, 10291-10298.

リチウム含有泉飲用によるメンタルヘルス改善効果と 作用機序の検討

大分大学医学部 脳·神経機能統御講座 精神神経医学 寺 尾 岳

要 旨

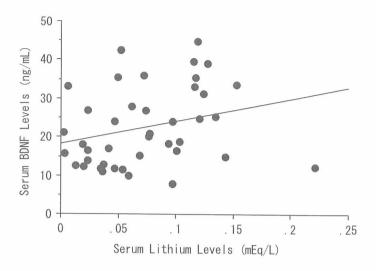
背景:リチウムは原子番号3番の原子であり、自然界には一価の陽イオンとして存在し、ナトリウムなどと同じアルカリ金属に属する。精神科の薬物療法において、このリチウムの果たす役割は大きく、1949年にその抗躁作用がオーストラリアのケイド博士によって発見されて依頼、50年あまりもの間、躁うつ病の第一選択薬としての位置づけを確保している。最近では、認知症に対する予防効果も報告され始めており、多彩な効果が期待されている。本邦においては、リーマスという商品名で精神医療の現場に広く浸透している。さて、温泉ないし冷泉の中には微量ながらリチウムを含むものが存在するため、このリチウム含有泉を飲用することで精神面にも効果が得られること(メンタルヘルス改善効果)が期待でき、これを科学的に検証することが今回の研究の目的である。

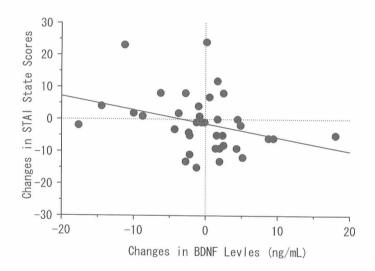
対象と方法:リチウム含有泉として、大分市郊外の塚野鉱泉(リチウム濃度:6.1mg/L)と臼杵市郊外の六ヶ迫鉱泉(リチウム濃度:15.7mg/L)を選択し、隣接した旅館(それぞれ福喜屋旅館と俵山旅館)と湯治客43名へ協力を依頼して研究を行った。これらの湯治客の飲泉目的は、主として胃腸病などの身体疾患の予防ないし治療であったが、今回の研究では飲泉前後の精神状態の変化と血中リチウム濃度および脳由来の神経栄養因子(Brain-derived Neurotrophic Factor:BDNF)濃度などの変化を測定した。なお、本研究は大分大学医学部倫理委員会の承認を得ており、被験者に文書による説明を行い、書面にて同意を得た。

結果:飲泉後に、緊張と不安、抑うつ気分、怒りと敵意、倦怠感、混乱が有意に改善した。血中リチウム濃度も有意に上昇し、血中BDNF濃度と有意な正の相関を示した。さらに、BDNFの変化は不安の変化と有意な負の相関を示した。

考察:今回の研究は対照群を設定しておらず、盲検試験ではないという方法上の限界があり、結果の解釈には慎重にならざるをえない。その上で、今回の所見から、飲泉により一部の精神症状が改善する可能性、その作用機序として飲泉による血中リチウム濃度の増加に従いBDNFも増加する可能性、さらにBDNFの増加が精神症状の改善を少なくとも一部はもたらす可能性が示唆される。

謝辞:大分県産業科学技術センターの斎藤氏、福喜屋旅館の渡辺氏、俵山旅館の斎藤氏、大分県薬剤師 会検査センターの岸本氏らの御協力に深謝する。 図 リチウム含有泉飲用後の血中リチウム濃度と血中BDNF濃度の関係(上図)及び 血中BDNF濃度とSTAIで測定した状態不安得点の関係(下図)





上図では、リチウム含有泉飲用後には、血中リチウム濃度が上昇し、その値が高いほど、 血中BDNF(脳由来の神経栄養因子)の濃度も高いことが示されている。下図では、 血中BDNF濃度が高くなるほど不安の程度も低くなることが示されている。

Sr, Nd, Pb同位体組成を用いた由布岳・鶴見岳における マグマ生成の解明

京都大学大学院理学研究科付属地球熱学研究施設

杉本 健・柴田知之 芳川雅子・竹村恵二

要旨

由布岳・鶴見岳火山岩類は、東北日本弧火山岩類よりも高いLREE/HREE比を示すとともに、Sr/Y vs. *5Sr/***Sr図上で、アダカイト・島弧火山岩の境界をまたぐことから、スラブ融解がマグマ生成に関与した可能性が高い。両火山岩類はSr-Nd-Pb同位体組成図上で、南海トラフの陸源堆積物および四国海盆玄武岩の混合線上に乗る。モデル計算の結果得たスラブメルト組成は、本火山岩類のアダカイト質試料の組成を再現する。

1. はじめに

大分県別府市と湯布院市にまたがる由布岳・鶴見岳は、第四紀の活火山群であり、両火山群の周辺に見られる地熱温泉活動は本火山群深部の高温岩体と密接に関わっていると考えられる。平成17年度に実施した研究課題「全岩微量元素組成を用いた由布岳・鶴見岳におけるマグマ生成の解明(杉本ほか、2006)」では、本火山岩類について、東北日本弧の第四紀火山でみられるような、典型的な沈み込み帯の火山とは異なる地球化学的特長をとらえた。この原因として、沈み込むフィリピン海プレートの部分溶融液が本地域のマグマ発生に関与した可能性を挙げることができた。起源マグマについての議論をさらに進めるためには、結晶分化作用などの地表近くのマグマプロセスの影響を受けにくいと考えられる、同位体組成データを揃えていく必要があると考えられる。このために、本研究では由布岳・鶴見岳の地表溶岩試料について、Sr, Nd, Pb同位体組成分析を行った。

2. 分析試料および分析方法

分析試料は、杉本ほか(2006)で岩石記載および全岩化学分析を行った25試料の中から、由布岳・鶴見岳よりそれぞれ2試料の、合計4試料を選んだ。分析点は図1に示した(図1の試料番号に下線のあるもの)。以上の試料について、Sr, Nd, Pb同位体組成を測定した。分析は全て京都大学理学研究科附属地球熱学研究施設の表面電離型質量分析装置(Finnigan' MAT262)で、Yoshikawa and Nakamura (1993), Shibata and Yoshikawa (2004), Yoshikawa et al.(2004)の方法で行った。

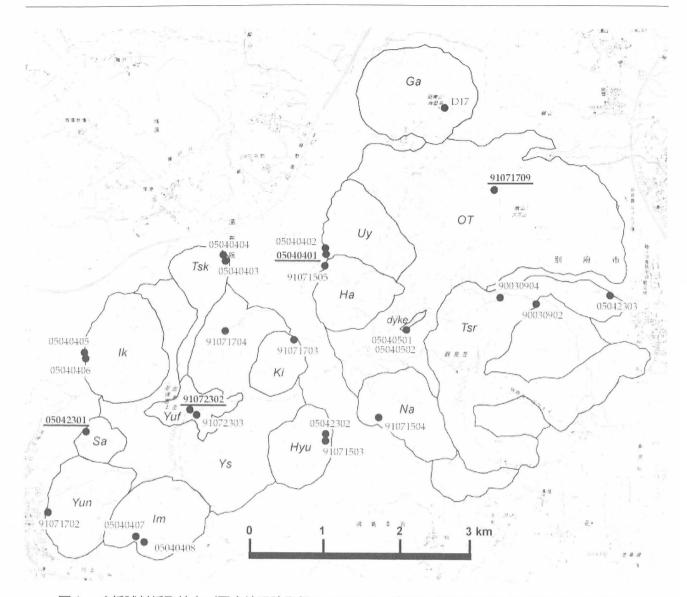


図1 分析試料採取地点(国土地理院発行25,000分の1地形図「別府西部」「日出生台」を使用)

3. 分析結果と考察

由布岳・鶴見岳火山岩類について得られたSr, Nd, Pb同位体比は以下の通りであった。 87 Sr/ 86 Sr=0.7040-0.7049, 143 Nd/ 144 Nd=0.5128-0.5126, 206 Pb/ 204 Pb=18.2-18.3, 207 Pb/ 204 Pb=15.5-15.6, 208 Pb/ 204 Pb=38.2-38.5 (図2, 4, 5)。このうち試料 1点(91072302)は最も高いSr/Yと最も低い 87 Sr/ 86 Srを持ち(図2)、Defant and Drummond(1990, 1993)が提示したアダカイトの組成領域内に含まれる。同時に、上記の試料は他の元素についてもアダカイトの特長を示す(SiO $_2$ =59.72 wt.%,Al $_2$ O $_3$ =16.65 wt.%,MgO=3.30 wt.%,Yb=1.55 ppm)。

由布岳・鶴見岳火山岩類の微量元素組成の特長は、杉本ほか(2006)で示した通り、 N-MORB規格 化図上で、すべての試料についてPb, Srの正異常およびNbの負異常を伴うarc signatureが認められることから、由布岳・鶴見岳火山マグマは一般的な沈み込み帯におけるマグマ生成プロセスを経て噴出したと考えることができる。しかし、LREE/HREE元素比について、典型的な沈み込み帯と考えられている東北日本弧の珪長質火山岩(SiO $_2$ =60-65 wt.%)の平均値(La/Yb=3.8 ± 0.6)と比較して、La/Yb=8.5 ± 1.3と高く、通常の沈み込み帯とは異なるマグマ起源を示唆する。図 2 において、本地域の火山岩類全体の組成トレンドの端に、アダカイトに区分される試料がプロットされる事実より、アダカイ

トマグマが由布岳・鶴見岳火山岩類の有力な起源マグマの一つと考えることができる。アダカイトは沈み込むプレートが石榴石を残相として部分融解して生じると考えられている(例えば、Defant and Drummond, 1990; Sajona et al., 1993)。図3において、由布岳・鶴見岳火山岩類は大山火山岩類および瀬戸内高Mg安山岩と同様のSr, Nd同位体組成を示す。大山火山岩類および瀬戸内高Mg安山岩は、ともに沈み込む海洋地殻と堆積物の部分融解で生じた第四紀のアダカイトと考えられている(Shimoda et al., 1998; Tatsumi and Hanyu, 2003; Kimura et al., 2005)。

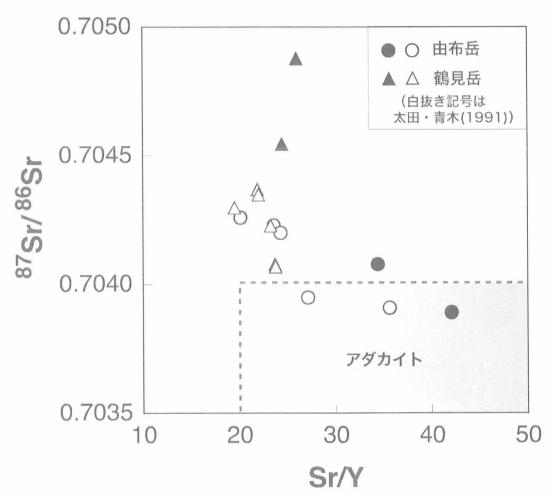


図 2 Sr/Y vs. 87Sr/86Sr図。アダカイトの領域はDefant and Drummond (1990, 1993)による

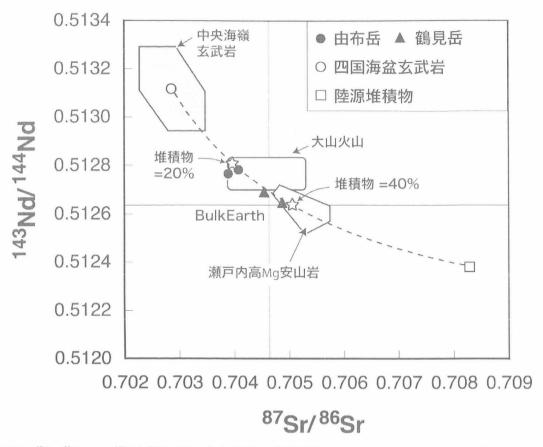


図 3 ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr vs. ¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd図。中央海嶺玄武岩はKobayashi and Nakamura (2003) より

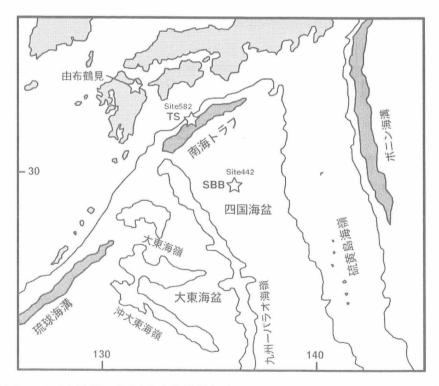


図 4 モデル計算に使用する海洋地殻(SBB; Hicky-Vargas, 1991, 1998) および堆積物(TS; Shimoda et al., 1998)試料の位置

我々はモデル計算に基づき、このアダカイト生成モデルが由布岳・鶴見岳火山岩にも適用可能かを検討した。このために四国海盆玄武岩(図4中のSBB)と南海トラフ陸源堆積物(図4中のTS)を由布岳・鶴見岳火山下に沈み込むフィリピン海プレートを構成する海洋地殻および堆積物に、それぞれ仮定した。

図3には四国海盆玄武岩と南海トラフ陸源堆積物の組成と、両者の混合線が示されている。両者の部分融解および混合モデル計算に必要な微量元素組成および分配係数は、Tatsumi and Hanyu(2003)に示された値を用いた。モデル計算の結果、四国海盆玄武岩および南海トラフ陸源堆積物の部分融解で生じるスラブメルトのうち、南海トラフ堆積物メルトの占める割合が20-40%の場合、由布岳・鶴見岳火山岩類のSr, Nd同位体組成を再現できることが分かった。図5には、由布岳・鶴見岳火山岩類のPb同位体組成を示す。上記の結果と同様に、四国海盆玄武岩と南海トラフ陸源堆積物の混合線上に由布岳・鶴見岳火山岩類がプロットされており、スラブ融解モデルで本火山岩類のマグマ組成を実現できることが示唆される。

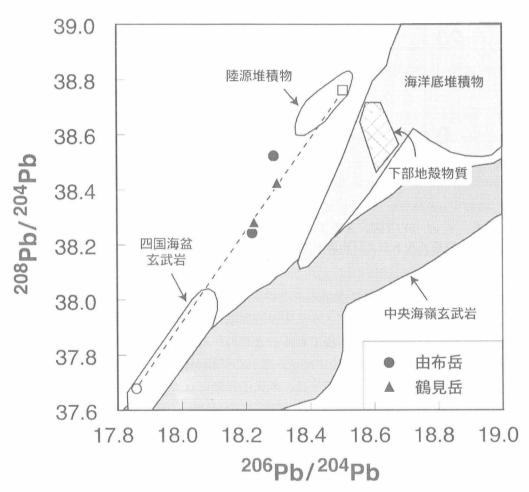


図 5 ²⁰⁶Pb/²⁰⁴Pb vs. ²⁰⁸Pb/²⁰⁴Pb図。中央海嶺玄武岩はKobayashi and Nakamura(2003)、海洋底 堆積物はWhite et al.(1985)、Ben Othman et al.(1989)、Hauff et al.(2003)より

また図5には、九州弧における下部地殻物質(Shibata and Kobayashi, unpublished)も示されているが、Pb同位体組成は由布岳・鶴見岳火山岩類のトレンドとは明瞭に異なっている。下部地殻物質のPb含有量は第四紀火山岩類と比較して高いことから、本火山岩類の生成に下部地殻物質の同化作用の影響は無視できると考えられる。

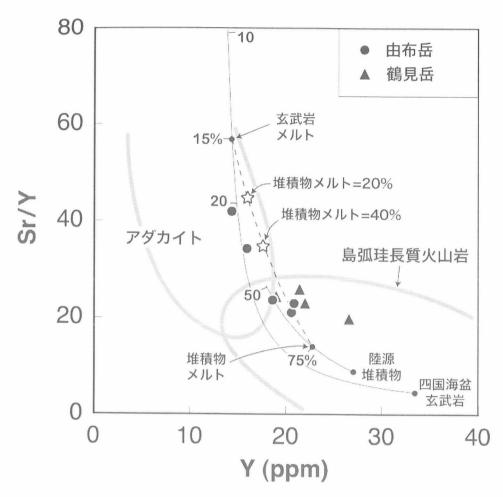


図 6 Y vs. Sr/Y図。スラブメルトの端成分は、四国海盆玄武岩の15%部分 融解メルトおよび南海トラフ陸源堆積物の75%部分融解メルトである。

図 6 には、モデル計算で得られたスラブメルトのSr, Y組成を星印で示す。 図 3 でSr, Nd同位体組成について計算した場合と同様に、スラブメルト中の陸源堆積物の割合が20-40%でDefant and Drummond (1993)が定義したアダカイトマグマを再現できることがわかった。しかし、図 6 には由布岳・鶴見岳火山岩類のうち、島孤珪長質火山岩の領域にプロットされる試料が存在し、これらの組成は沈み込むプレートの部分融解では実現できない。ゆえに我々は、本火山岩類には少なくとも 2 つの起源マグマが関与していると考える。 1 つは高LREE/HREE比,低 87 Sr/ 86 Sr, 高 143 Nd/ 144 Nd,高 206 Pb/ 204 Pbをもつアダカイトマグマであり、もう 1 つは低LREE/HREE比,高 87 Sr/ 86 Sr,低 143 Nd/ 144 Nd,低 206 Pb/ 204 Pbをもつ島弧型マグマを考えることができるが、こちらについてはさらなる議論が必要である。

フィリピン海プレートの部分融解は西南日本のいくつかの火山で議論されている(Morris, 1995; Kimura et al., 2005;柴田ほか,2006)。由布岳・鶴見岳火山岩類のSr, Nd, Pb同位体組成の検討より、 沈み込むフィリピン海プレートの部分融解を起こしている領域が、北部九州下まで広がっていることが わかった。

4. まとめ

用することはできず、スラブ融解によるマグマ生成が関与した可能性が高い。由布岳・鶴見岳火山岩類はSr-Nd-Pb同位体組成図上で、南海トラフの陸源堆積物および四国海盆玄武岩の混合線上に乗る。両者の部分融解メルトの混合計算の結果得たフィリピン海プレートのスラブメルト組成は、本火山岩類のアダカイト質試料の組成を再現する。

引用文献

- Ben Othman, D., White, W. M. and J. Patchett (1989) The geochemistry of marine sediments, island arc magma genesis, and crust-mantle recycling, Earth and Planetary Science Letters, 94, 1-21.
- Defant, M. J. and Drummond, M. S. (1990) Derivation of some modern arc magmas by melting of young subducted lithosphere. Nature, 347, 662-665.
- Defant, M.J. and Drummond, M.S. (1993) Mount St. Helens: Potential example of the partial melting of the subducted lithosphere in a volcanic arc. Geology, 21, 547-550.
- Hauff, F., K. Hoernle and A. Schmidt (2003) Sr-Nd-Pb composition of Mesozoic Pacific oceanic crust (site 1149 and 801, ODP Leg 185): Implications for alteration of ocean crust and the input into the Izu -Bonin-Mariana subduction system. Geochemistry Geophysics Geosystems, 4, 8913, doi:10.1029/2002GC000421.
- Hickey-Vargas, R. (1991) Isotope characteristics of submarine lavas from the Philippine Sea: implications for the origin of arc and basin magmas of the Philippine tectonic plate. Earth and Planetary Science Letters, 107, 290-304.
- Hickey-Vargas, R. (1998) Origin of the Indian Ocean-type isotopic signature in basalts from Philippine Sea plate spreading centers: An assessment of local versus large-scale processes. Journal of Geophysical Research, 103, 20963-20979.
- Kimura, J., Tateno, M. and Osaka, I. (2005) Geology and geochemistry of Karasugasen lava dome, Daisen -Hiruzen volcano group, southwest Japan. The island Arc, 14, 115-136.
- Morris, P. A. (1995) Slab melting as an explanation of Quaternary volcanism and aseismicity in southwest Japan. Geology, 23, 395-398.
- Sajona, F.G., Maury, R.C., Bellon, H., Cotten, J., Defant, M.J. and Pubellier, M. (1993) Initiation of subduction and the generation of slab melts in western and eastern Mindanao Philippines. Geology, 21, 1007-1010.
- Shibata, T. and Yoshikawa, M. (2004) Precise isotopic determination of trace amounts of Nd in magnesium-rich samples, Journal of the Mass Spectrometry Society of Japan, 52, 317-324.
- Shimoda, G., Tatsumi, Y., Nohda, S., Ishizaka, K. and Jahn, B.M. (1998) Setouchi high-Mg andesites revisited: geochemical evidence for melting of subducting sediments. Earth and Planetary Science Letters, 160, 479-492.
- 柴田知之(2005)両子山火山の地球化学的研究. 大分県温泉調査研究会報告, 56, 29-31.
- 杉本健、柴田知之、芳川雅子、竹村恵二 (2006) 全岩微量元素組成を用いた由布岳・鶴見岳におけるマグマ生成の解明. 大分県温泉調査研究会報告, 57, 33-39.
- Tatsumi, Y. and Hanyu, T. (2003) Geochemical modeling of dehydration and partial melting of subducting lithosphere: Toward a comprehensive understanding of high-Mg andesite formation in the Setouch volcanic belt, SW Japan. Geochemistry Geophysics Geosystems, 4, 1081, doi: 10.1029/2003GC000530.
- Yoshikawa, M. and Nakamura, E. (1993) Precise isotope determination of trace amounts of Sr in Magnesium-

- rich samples. Journal of Mineralogy, Petrology and Economic Geology, 88, 548-561.
- Yoshikawa, M., Shibata, T., and Tatsumi, Y. (2001) The Sr, Nd and Pb isotopic ratios of GSJ standard rocks. Annual Report of Institute for Geothermal Sciences, Graduate School of Science, Kyoto University, FY2000, 30.
- White, W.M., B. Dupre and P. Vidal (1985) Isotope and trace element geochemistry of sediments from the Barbados Ridge-Demerara Plain region, Atlantic Ocean, Geochimica et cosmochimica acta, 49, 1875–1886.

九重連山の地球化学的研究

京都大学大学院理学研究科附属地球熱学研究施設 柴田知之

要旨

沈み込むフィリピン海プレートの部分溶融を起源とするアダカイト質マグマの分布域を明らかにするため、九重連山の地球科学的研究を行った。我々は既に、大分県の第四紀火山である姫島、両子山、由布・鶴見からアダカイト質マグマを報告してきた。今回、文献調査から、九重連山でも由布・鶴見と類似したアダカイト質マグマの分布が確認された。

1. はじめに

九重連山は大分県西部の熊本県との県境付近に分布する、いくつもの溶岩ドームが連なった、第四紀 火山群である。またその活動時期は東から西に古くなっている(鎌田・池邊、1999)。近年、大分県に 分布する姫島、両子山、由布・鶴見の第四紀火山から、アダカイト質マグマが相次いで発見された。大 分県直下に沈み込むフィリピン海プレートの沈み込み角度は、他の沈みこみ帯に比べ著しく急である。 そのため、スラブの沈み込みに伴う温度・圧力変化の履歴が他の沈み込み帯と大きく異なり、それがマ グマの発生条件や、さらにはマグマの特徴に何らかの変化をもたらしている可能性があり、沈み込み帯 のマグマ起源に対し新たな知見をもたらす可能性が高い。西南日本に沈み込むフィリピン海プレートの

部分溶融によって生じたアダカイト質マグマは、中部地方から九州地方にかけて広く報告されている。今回は、アダカイト質マグマの分布域を明確にするため、九重連山の地球化学的特徴を検討した。

2. 結果と考察

図1に、九重連山および姫島、両子山、由布・鶴見のSr/Y v.s. Y図を示した。九重連山のデータは、由布・鶴見と同じくアダカイトと一般的沈み込み帯マグマの両者の領域にプロットされる。この由布・鶴見の特徴を、微量元素および同位体組成を用いてSugimoto et al. (2006) は、スラブの部分溶融液とスラブ由来流体の付加を受けたマントルの部分溶融液の混合で説明した。九重連山に関しては、今のところ微量元素および同位体組成のデータが不十分であり詳細な検討はできない。しかしながら、Sr/Y v.s. Y図において由布・鶴見とよく似た特徴を示すことから、九重連山直下でもフィリピン海プレートは部分溶融している可能性が極めて高い。九州の阿蘇、霧島、姶良、阿多などの

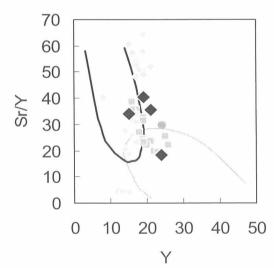


図 1. Y vs. Sr/Y 比変化図。黒ダイヤモンドが九重連山(Kita et al. (2001)、灰色ダイヤモンドは姫島 (伊藤, 1990)、灰色円は両子山灰色四角は由布・鶴見。太実線の領域はアダカイト、細い実線の領域は一般的沈み込み帯マグマの示す領域 (Defant and Drummond, 1990)。

第四紀火山には、文献データからは高いSr/Y比を持つものは認められない。したがって、フィリピン海プレートの部分溶融を起源とするアダカイト質マグマの分布西南端は九重連山であることが強く示唆される。

3. まとめ

- 1) 九重連山のSr/Y v.s. Y図ぶおける特徴から、当地域のマグマ起源にアダカイト質マグマが寄与した可能性が示唆された。
- 2) フィリピン海プレートの部分溶融を起源とするアダカイト質マグマの分布西南端は九重連山である ことが強く示唆された。

参考文献

伊藤順一(1990), 姫島火山群の岩石学, 岩鉱, 85, 541-558.

- Defant and Drummond (1990), Derivation of some modern arc magmas by melting of youung subducted lithosphere, *Nature*, 347, 662-665.
- Kita, Yamamoto, Asakawa, Nakagawa, Taguchi and Hasegawa (2001) Contemporaneous ascent of withinplate type and island-arc type magmas in the Beppu-Shimabara graben system, Kyushu island, Japan; J. Volcanol. Geotherm. Res., 111, 99-109
- 鎌田浩毅・池邊浩司(1999),九重火山,高橋・小林編「九州の火山」,築地書館,33-48.
- Sugimoto, Shibata, Yoshikawa and Takemura (2006) Sr-Nd-Pb isotopic and major and trace element compositions of the Yufu-Tsurumi volcanic rocks: implications for the magma genesis of the Yufu-Tsurumi volcanoes, northeast Kyushu, Japan, J. Min. Petrol. Sci., 101, 270-275.

塚原噴気地帯における噴気活動の短周期時間変動特性

京都大学理学研究科地球熱学研究施設火山研究センター

鍵 山 恒 臣·寺 田 暁 彦 吉 川 慎

要旨

塚原噴気地帯中央部の湯だまりにおいて発生している噴湯現象をビデオ撮影し、その時間変動特性を検討した。その結果、比較的穏やかに噴湯を行っている部分では、0.6Hzから0.3Hz程度の特性をもつことがわかった。また、活発に噴湯を行っている部分では、多数の噴湯がランダムに噴湯しているのではなく、交互に規則的に噴湯していること、そのスペクトルは0.8Hz程度と穏やかな部分に比べるとやや高周波成分が富む時間特性を持つことが明らかとなった。今後、同様の調査を繰り返し、活動の推移と時間特性との関係を検討していく予定である。

1. はじめに

噴気活動を観察すると、息づいていることをしばしば見かける。この短周期の時間変動の時間特性は噴気孔の構造や噴気活動の活動度によることが考えられる。塚原地熱地域は、伽藍岳の西側に開いた爆裂火口内に位置し、噴気活動が点在している。特に中央部には湯だまりがあり、その中では活発な噴湯現象が起きている。本研究は、この噴湯現象がどのような時間特性を持つかを検討した。

2. 観測の概要

泥火山は、図1中央部の丸印で示す位置にあり、2007年3月22日に西側の縁からビデオ撮影を行った。図2は撮影した映像の一例である。矢印で示す噴湯について時間変動特性を検討した。泥火山内部には噴気による湯気が立ち込め視界が不明瞭であったため、撮影は15分程度行い、その中から視界が比較的明瞭な29秒程度を使用した。解析は、撮影したDVテープからMPEGファイルを作成し、さらに1/30秒間隔の連続ビットマップファイルを作成した後、以下に示すような検討を行った。

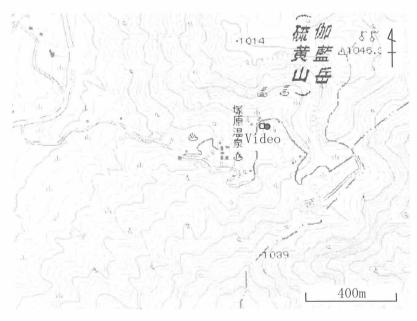


図1 塚原噴気地帯の位置

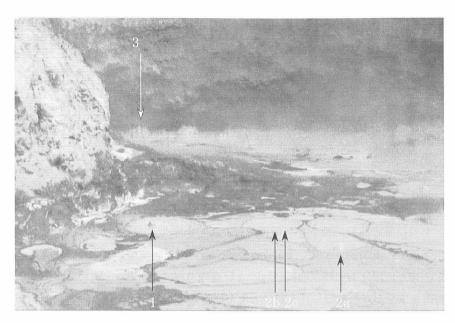


図2 湯たまり内に見られる噴湯の位置。矢印の噴湯について解析した。

3. 噴湯No.1の解析

No.1の噴湯の時間特性を検討するために、図3に示す3本の水平線分を設定し、それぞれの線分上の輝度を870コマのビットマップファイルについて調べた。図4は、一番下の水平線分上における輝度の

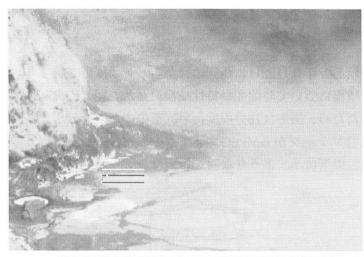


図3 No.1の噴湯を対象として設定した水平線 分の位置

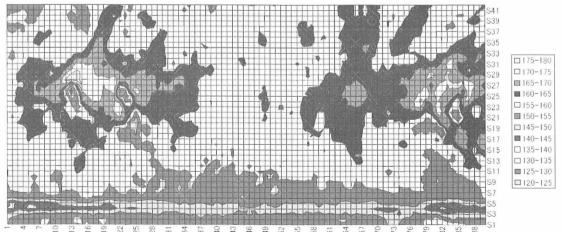


図 4 下の水平線分上における輝度の時間空間分布。縦軸は水平線分(下が線分左側)、 横軸は時間(101コマ~190コマ)である。

時間空間分布である。図を見ると、S 25付近に高輝度が出現している。これは、噴湯で映像が白っぽくなることに対応している。その中に113コマ、123コマ、185コマ付近に低輝度の領域が見える。これは、噴湯によって暗色の泥が吹き上がることに対応している。123コマ前後の時間における線分上の輝度分布を調べると、図5 に示すように、123コマでは矢印の部分が低輝度となっているが、その直前の120コマと直後の126コマでは、高輝度となっている。これは、噴湯の部分でまず水面が白く盛り上がった後に暗黒色の泥が噴出し、その後白っぽい水面の盛り上がりが再び生じることに対応している。 図6 に他の時間帯についても、輝度の時間空間分布を示す。図4 に示す時間空間分布と同様に、S 25付近にお

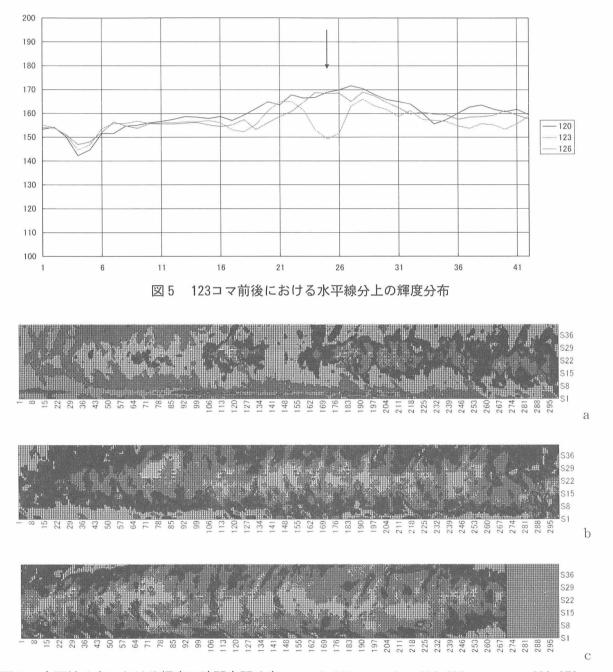
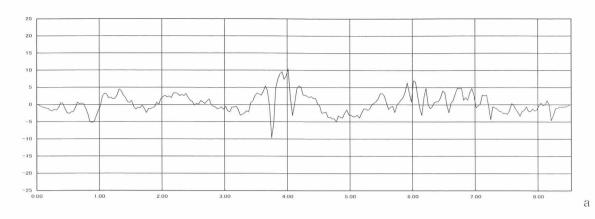


図 6 水平線分上における輝度の時間空間分布。a:1-300コマ、b:301-600コマ、c:601-870コマ

いて、間欠的に高輝度の領域が現れていることがわかる。図 5 を見ると、 噴湯は S 25を中心に噴出していると思われるので、水平座標22から27までの6 ピクセルにおける平均輝度の時間変化を求め、噴湯現象の時間変動として解析を試みる。図 7 a は、1 コマから256コマまでの平均輝度の時間変化を示している。 $1 \sim 2$ 秒程度の周期で輝度が変化しているように見える。また、3.8 秒および4.1 秒程度におい



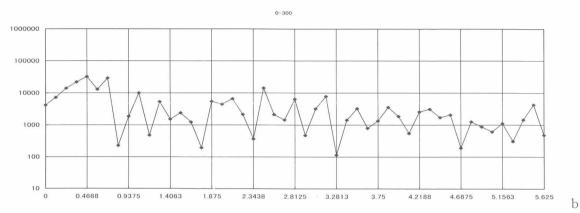
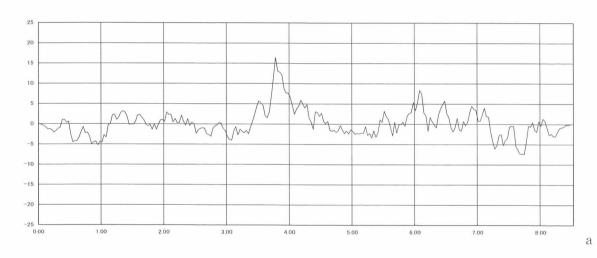


図7 a:平均輝度の時間変化および、b:パワースペクトル



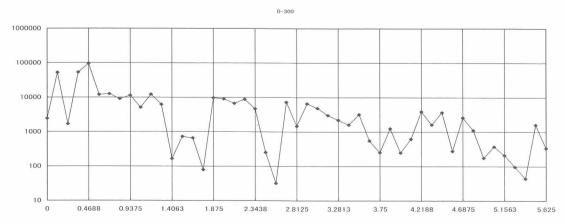


図8 a:泥の噴出部を避けて計算した平均輝度の時間変化とb:スペクトル

b

て急激な輝度の低下が見られるが、これは、暗黒色の泥が噴出したことによる輝度の低下である。 この時系列データから求めたパワースペクトルは、図 7b に示すようになる。0.47Hzにピークが見られるほか、1 Hz付近にもピークが見られる。しかし、泥が噴出すことによる輝度の急激な低下は、スペクトルの算出において、より短周期側に誤った結果を示すと思われる。こうした理由から、中心部をさけて水平座標29から31までの 3 ピクセルにおける平均輝度を計算し、その時系列データに対して再解析を行った。図 8a は、1 コマから256コマまでの輝度の時間変化である。図 7a に見られたような輝度の急激な低下は見られなくなっている。0.47Hzにピークが出ている結果には変わりはなかった。図 9 および図10は、301コマおよび601コマからの256コマの輝度の時間変化とスペクトルを示している。

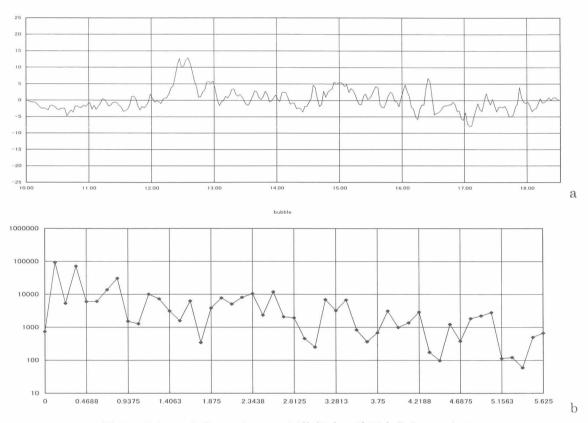


図9 301コマからの256コマに平均輝度の時間変化とスペクトル

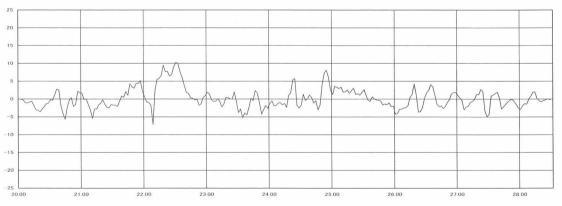


図10a 601コマからの256コマの平均輝度の時間変化

a

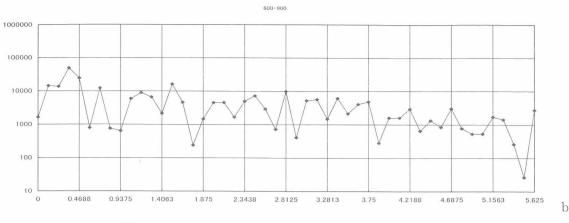


図10 b 601コマからの256コマの平均輝度のスペクトル

平均輝度の時間変化を見ると、図 9a、図10 a ともに 2 秒ないし 3 秒程度の周期で変化しているように見える。図 9b および図10 b に示すスペクトルは、ともに0.35Hzにピークが見られる。

4. 噴湯No.2の時間特性の解析

No. 2の噴湯を対象として、図11に示す 3本の水平線分を設定した。このうち、下の線分は、図 2 に示す噴湯No. 2 a、上の線分はNo. 2 b およびNo. 2 c の噴湯を対称にしている。下の線分上における輝度の時

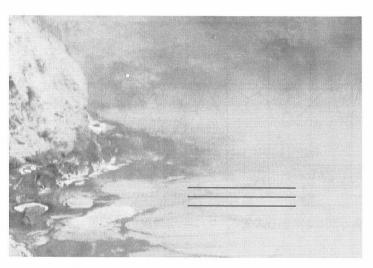


図11 噴湯No.2を対象にした水平線分

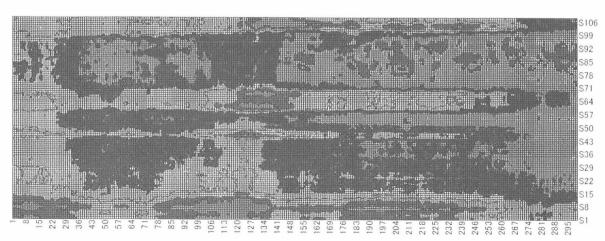


図12 下の線分上における輝度の時間空間分布。 a:1-300コマ

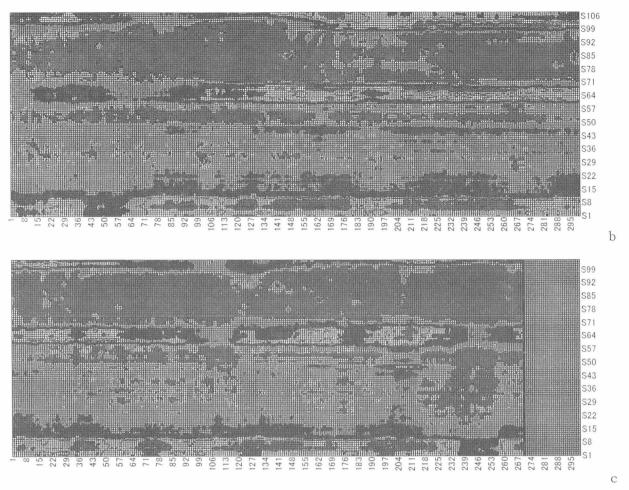
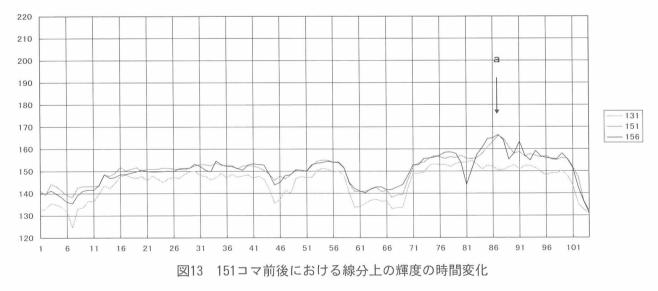


図12 下の線分上における輝度の時間空間分布。、b:301-600コマ、c:601-870コマ

間空間分布を図12a,b,cに示す。S86付近に輝度の高い部分が見られる。この部分の詳細な輝度分布を見るために、図13に151コマ前後における線分上の輝度プロファイルを示す。図の矢印の部分に噴湯



による高輝度が生じていることがわかる。図14は、151コマ目の映像である。やや不鮮明であるが、白く噴湯が確認できる。以下の解析では86から91ピクセルにおける平均輝度を時系列データとして使用する。図15は、1コマから256コマまでの時間変化とスペクトルを示す。0.25Hz、0.6Hzにピークが見られる。しかし、このデータの前半は、全体に湯気がかかっており、噴湯による高輝度がうまく捕らえら



図14 151コマ目の映像。No. 2a の部分に白く噴湯が確認できる。

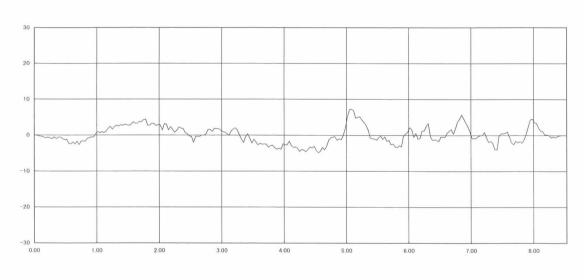
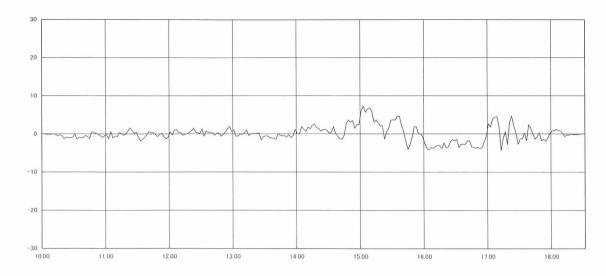


図15 平均輝度の時間変化とパワースペクトル

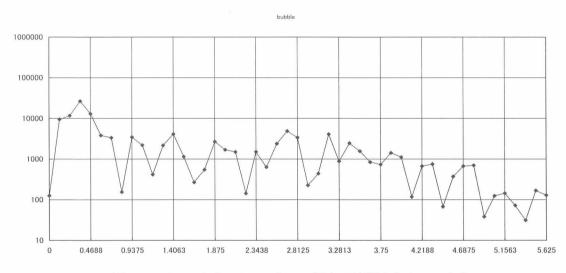
れていないおそれがある。図16は、301コマから556コマまでの輝度の時間変化とスペクトル、図17は601コマから856コマまでの輝度の時間変化とスペクトルを示す。それぞれ、0.35Hz、0.46Hzにピークが見られる。

2

b

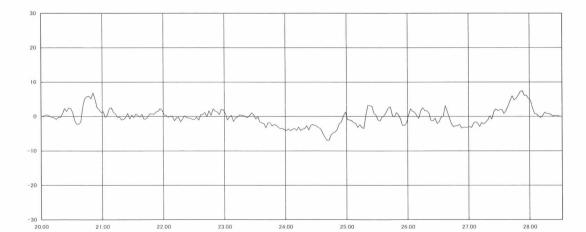


a



b

図16 301コマから556コマまでの輝度の時間変化とスペクトル



a

図17a 601コマから856コマまでの輝度の時間変化

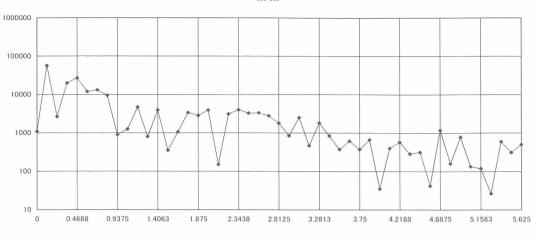


図17b 601コマから856コマまでの輝度のスペクトル

b

噴湯No.2b、2c は上の線分によって捉えられている。図18に上の線分における輝度の時間空間分析 の一部を示す。S29およびS43付近に噴湯に伴う輝度の変化パターンが見えている。図19は、140コニ 前後における輝度のプロファイルを示している。図にb、cの矢印で示すように、噴湯に伴う高輝度た 生じていることがわかる。以下の解析では、bの噴湯について27から32ピクセルまでの平均輝度、c6 噴湯について36から41ピクセルまでの平均輝度を使用する。図20a,bは、b噴湯について1コマから

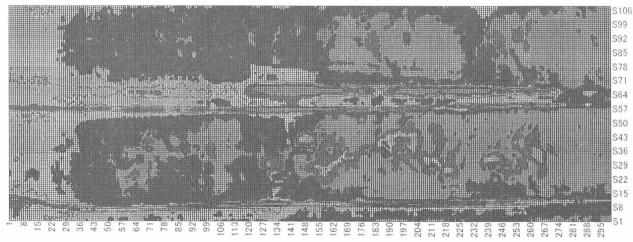


図18 上の線分における輝度の時間空間分布。1コマから300コマまでを示す。

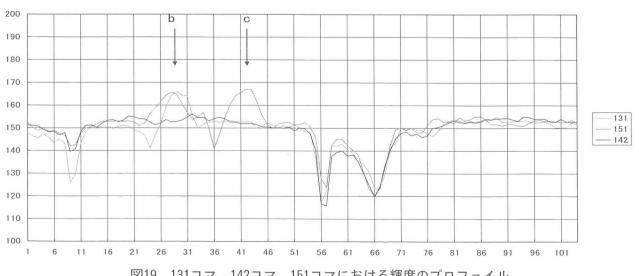


図19 131コマ、142コマ、151コマにおける輝度のプロファイル

a

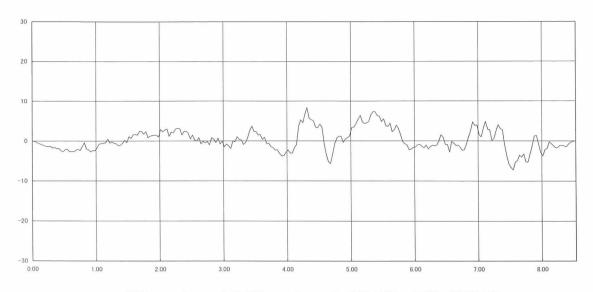


図20 a 1コマから256コマまでの b 噴湯付近の輝度の時間変化

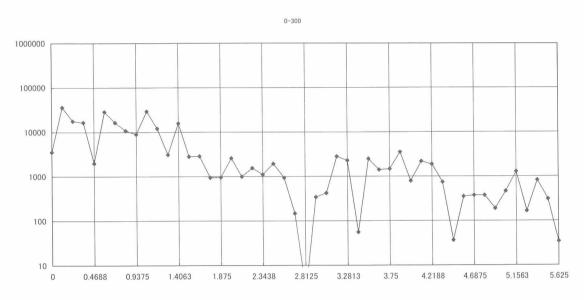


図20b 1コマから256コマまでの輝度の時間変化によるb噴湯のスペクトル

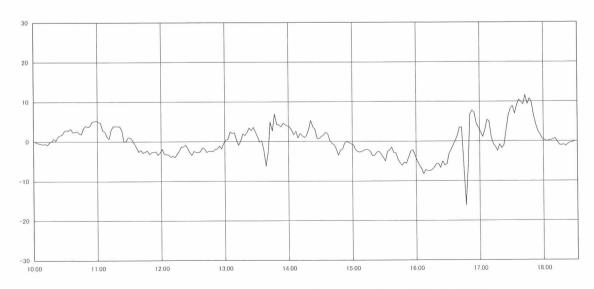


図21 a 301コマから556コマまでの b 噴湯の輝度の時間変化

a

b

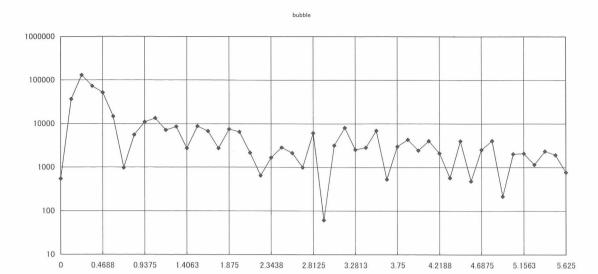
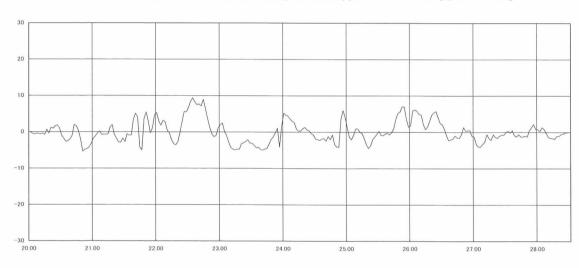


図21b 301コマから556コマまでのb噴湯の輝度のスペクトル

256コマまでの平均輝度の時間変化とパワースペクトルを示す。0.58Hz、1.1Hzにピークが見られる。図21、および図22 は、b 噴湯の301コマから556コマ、601コマから856コマまでの輝度の時間変化およびパワースペクトルである。それぞれ、0.25Hz、0.46Hz付近にピークが現れている。



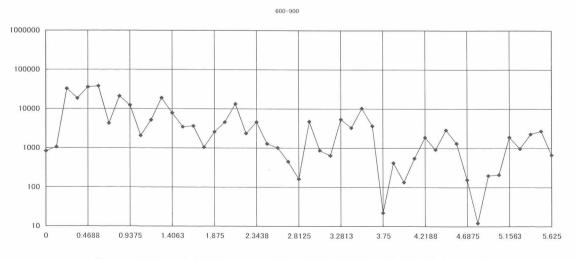


図22 601コマから856コマまでのb噴湯の輝度の時間変化とスペクトル

a

b

b

a

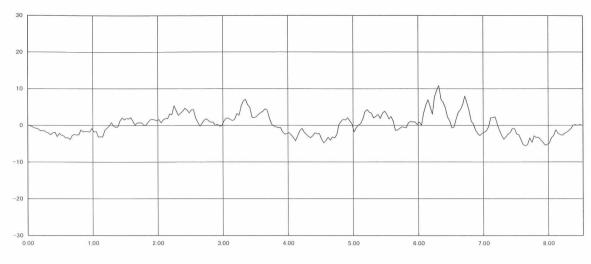


図23 a 1コマから256コマまでの c 噴湯付近の輝度の時間変化

図23 a、 b は、噴湯 c 付近の輝度の時間変化とスペクトルを示している。0. 25Hzと0. 58Hzにピークが見られるが、前半の部分は湯気が覆っているので、低周波になっている恐れがある。図24は、301コマから556コマの輝度の時間変化とそのスペクトルである。この時間帯は、湯気の影響が比較的少なく、輝度の時間変化もよく現れている。0. 58Hzにピークが出ている。図25は、601コマから856コマの輝度時間変化とスペクトルを示す。0. 8Hzにピークが出ている。

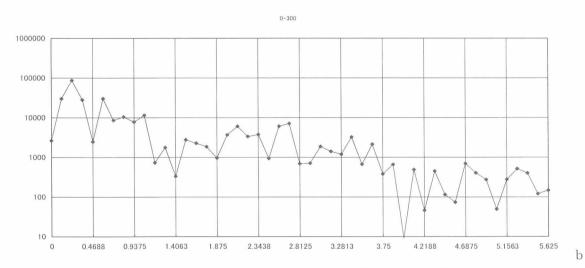


図23b 1コマから256コマまでの輝度の時間変化による c 噴湯のスペクトル

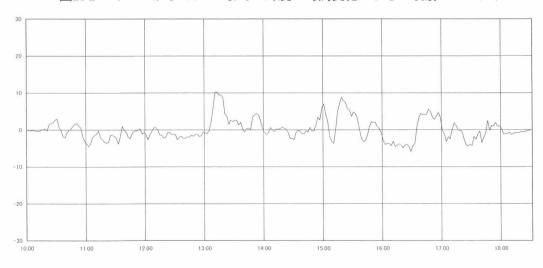
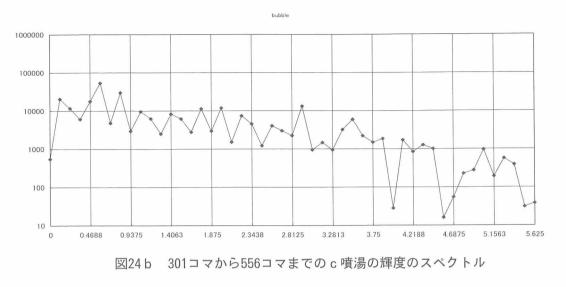


図24 a 301コマから556コマまでの c 噴湯の輝度の時間変化

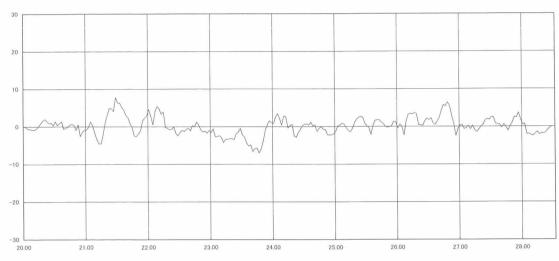
a



b

a

b



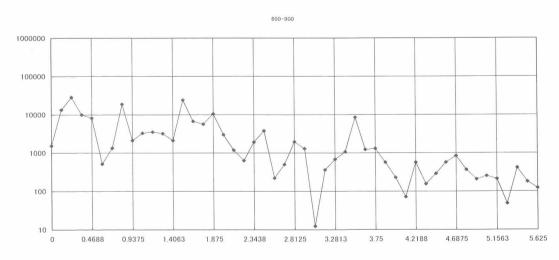


図25 601コマから856コマまでの c 噴湯の輝度の時間変化とスペクトル

5. 噴湯3の解析

噴湯3は、噴湯1の奥にある活発な噴湯である。多くの噴湯が近接しているため、輝度の時間空間分布図において相互の関係を整理しつつ解析を行った。図26に示す3本の水平線分のうち、中央の線分上の輝度を検討した。中央の線分は、湯溜まりの水面の高さとほぼ一致している。図27は、1コマから90

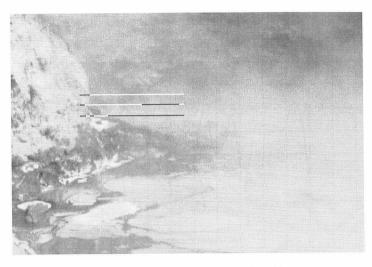
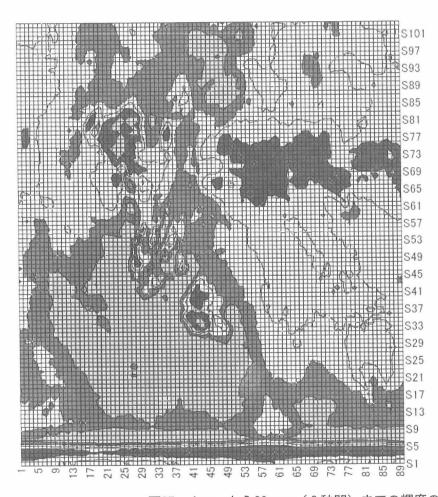


図26 噴湯3を解析する水平線分



■ 132-140 □ 124-132 □ 116-124 ■ 108-116

□ 100-108

図27 1コマから90コマ(3秒間)までの輝度の時間空間分布

コマ(3秒間)の輝度の時間空間分布を示している。図の表示は、縦軸が水平線分、横軸が時間である。全体の分布を見ると、S77付近の噴湯が25コマ付近で発生し、次にS49付近の噴湯が25コマ付近で発生、S37付近の噴湯が41コマに付近で噴湯が発生していることがわかる。図28に26, 29, 42コマめの線分上の輝度を示す。77付近、47付近と37付近に噴湯が出ていることがわかる。これらを便宜上100.3 a、100.3 b、100.3 c と呼ぶ。さらに長いスパンで時間空間分布を見ると、図291に示すように、噴湯 103 a と噴湯 103 c と呼ぶ。さらに長いスパンで時間空間分布を見ると、図105 に、噴湯 106 にであることがわかる。107 ではぼ規則的に発生していることがわかる。109 であることがわかる。109 であることがわかる。109 であることがわかる。 噴湯 109 は非常

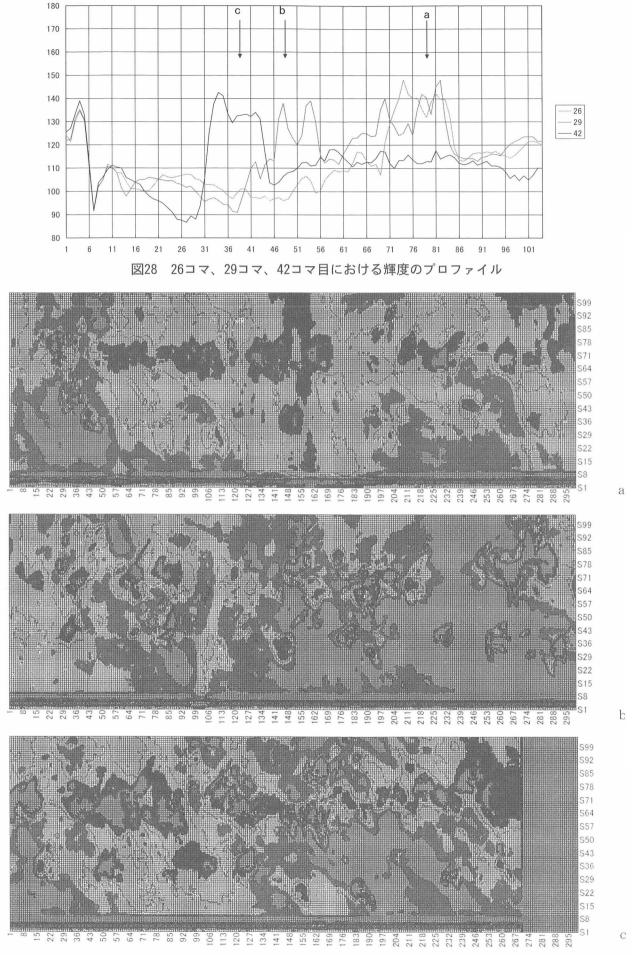


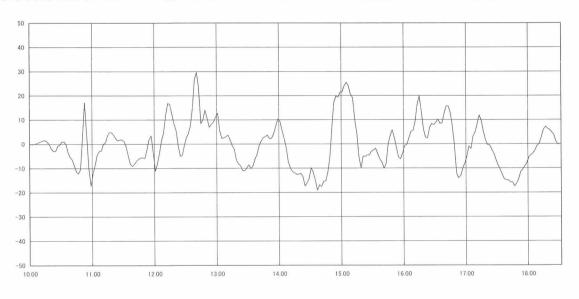
図29 水平線分上における輝度の時間空間分布。 a:1-300コマ、b:301-600コマ、c:601-870コマ

b

に活発で、他の噴湯に比べて頻繁にランダムに噴出するような印象を受けるが、実際には多数の噴湯が交互に規則的に噴出していることがわかる。また、極端に短周期成分に富むものではないこともわかる。この領域は、噴湯が活発なため湯気に隠されることが多く、スペクトルを正確に求めることが困難であったが、図 $30\,a$ 、b に301 コマから556 コマまでの画像から求めた噴湯 3a における輝度の時間変化とスペクトルを示す。解析する時間帯全体にわたって輝度の変動がよく捉えられている。スペクトルは、0.8 Hzにピークが見られた。

6. まとめ

塚原噴気地帯中央部にある湯だまりにおいて発生している噴湯現象をビデオ撮影し、その時間変動特



hubble 1000000 100000 10000 1000 100 10 0.4688 0.9375 1.4063 1.875 2.3438 2.8125 3.2813 4.6875 5.625

図30 301コマから556コマまでの 3a 噴湯の輝度の時間変化とスペクトル

性を検討した。その結果、比較的穏やかに噴湯を行っている部分では、0.6Hzから0.3Hz程度の特性をもつことがわかった。また、活発に噴湯を行っている部分では、多数の噴湯がランダムに噴湯しているのではなく、交互に規則的に噴湯していること、そのスペクトルは0.8Hz程度と穏やかな部分に比べるとやや高周波成分が富む時間特性を持つことが明らかとなった。阿蘇中岳の湯だまりでは噴湯現象の時間特性が、火山性微動の振幅とよい相関をもって変化することが明らかにされており、塚原噴気地帯においても、噴気活動の消長によって時間特性が変化する可能性がある。今後、同様の調査を繰り返し行っていく予定である。

謝辞

本調査を行うにあたり、塚原温泉の関係者には調査にご協力いただいた。謝意を表します。

大分県温泉調査研究会会則

- 第1条 この会は大分県温泉調査研究会(以下「会」という。)という。
- 第2条 会の事務所は大分県企画振興部景観自然室内に置き、調査研究の必要に応じては出張所を設けることができる。
- 第3条 会は大分県内における温泉の科学的調査研究をして公共の福祉の増進に寄与することを目的と する。
- 第4条 会は前条の目的を達成するために下記の事業を行う。
 - (1) 温泉脈及び温泉孔の分布状況調査
 - (2) 噴気に関する研究調査
 - (3) 温泉に対する影響圏の調査
 - (4) 化学分析による温泉調査
 - (5) 療養的価値よりみたる温泉の調査
 - (6) 温泉に関する図書及び機関紙の発行
 - (7) その他会の目的達成に必要な事業
- 第5条 会は下記の構成員をもって組織する。

学識経験者

県及び温泉所在地市町村の代表

関係行政庁の吏員

第6条 会の役員は下記のとおりとし、総会によって選任する。

会 長 1 名

副会長 2 名

常務理事 1 名

理 事 若干名

監事2名

- 2 役員の任期は2年とする。ただし、役員に欠員を生じた場合の補欠役員の任期は前任者の残任期間とする。
- 第7条 会長は会務を総理し、会議の議長となる。
- 2 会長に事故のあるときは副会長が、会長及び副会長に事故があるときは常務理事がその職務を代理する。
- 3 常務理事は会長を補佐して会の常務に従事する。ただし、会の出納事務は常務理事が処理するものとする。
- 4 理事は会務に従事する。
- 5 監事は会計及び会務を監査する。

第8条 会に顧問を置くことができる。

- (1) 顧問は役員会の承認を得て会長が委嘱する。この場合、総会に報告しなければならない。
- (2) 顧問は会の事業について会長の諮問に応ずるものとする。

第9条 役員は名誉職とする。ただし、常時会務に従事しておる者及び職員はこの限りでない。 第10条 会に下記の職員を置く。

- (1) 書 記 若干名
- (2) 書記は会長が任命又は委嘱する。
- (3) 書記は上司の指揮を受け庶務に従事する。

第11条 会議は総会及び役員会とする。

第12条 総会は会長が招集する。

- 2 総会は通常総会及び臨時総会とし、通常総会は毎年4月、臨時総会は会長が必要と認めたとき、又は会員の5分の1の請求があったときに招集する。
- 3 総会の招集は開会の5日前までに会員に届くように会議に付議する事項、日時及び場所を通知しなければならない。

第13条 総会において下記の事項を議決する。

- (1) 会則の変更
- (2) 役員の選出
- (3) 予算及び事業計画
- (4) 解散
- (5) その他重要事項

第14条 総会は会員の過半数が出席しなければ議事を開き議決することはできない。

- 2 議事は出席会員の過半数で決し、可否同数のときは議長の決するところによる。
- 3 議事に関しては議事録を調整し、会長の指名した2名以上の者がこれに署名しなければならない。 第15条 下記の事項について会長は専決することができる。
 - (1) 総会の議決事項であっても軽易な事項
 - (2) 臨時急を要する事項
 - (3) 会員の入会・退会
- 2 下記の事項については総会に報告し、承認を得なければならない。
- (1) 前項の専決事項
- (2) 前年度の事業及び決算

第16条 役員会は会長が招集する。

- 2 役員会は総会に付議する事項、顧問の推薦、その他会長が必要と認める事項を審議する。
- 第17条 第14条第1項及び第2項の規定は役員会に準用する。
- 第18条 会は議事遂行上必要がある場合は、専門委員会を設けることができる。
- 2 前項の委員会に関する事項は総会できめる。

第19条 会の経費は負担金及び補助金、委託料、寄附金等その他の収入をもってこれにあてる。 第20条 会の会計年度は毎年4月1日から始まり翌年3月31日に終わる。

2 年度における余剰金は翌年度に繰越すことができる。

附則

前条の規定にかかわらず、昭和24年度の会計年度は6月1日から始めるものとする。

附則

- この会則の改正は、昭和46年4月1日から適用する。
- この会則の改正は、昭和48年4月1日から適用する。
- この会則の改正は、平成2年4月1日から適用する。
- この会則の改正は、平成7年5月1日から適用する。
- この会則の改正は、平成9年4月1日から適用する。
- この会則の改正は、平成16年4月1日から適用する。
- この会則の改正は、平成18年4月1日から適用する。

大分県温泉調査研究会会員名簿(順不同)

(平成19年7月9日現在)

所 属 · 職 名		氏	名			考
京都大学 名誉教授	由	佐	悠	紀	会	長
九州大学 名誉教授	矢	永	尚	士	副	会 長
大分県企画振興部 景観自然室長	野	H	啓	司	副	会 長
大分県企画振興部 景観自然室 参事	渡	辺	政	治	常利	务理事
大分大学教育福祉科学部 教授	Щ	野	田賃	『 夫	理	事
国立病院機構別府医療センターリウマチ科 部長	安	H	Œ	之	理	事
九州大学 名誉教授	古	賀	昭召	人		
九州大学 名誉教授	延	永		IE.		
大分大学 名誉教授	志	賀	史	光		
元大分大学	大	野	保	治		
大分総合検診センター 会長	辻		秀	男		
九州大学生体防御医学研究所気候内科 教授	牧	野	直	樹		
岡山理科大学理学部基礎理学科 教授	北	尚	豪			
京都大学火山研究センター 教授	Ш	中	良	和		
日本文理大学建設都市工学科 教授	河	野		忠		
大分大学工学部 研究員	大	上	和	敏		
京都大学地球熱学研究施設 教授	竹	村	恵	$\stackrel{-}{\longrightarrow}$	理	事
京都大学地球熱学研究施設 助教授	大	沢	信	$\stackrel{-}{\rightarrow}$	理	事
京都大学地球熱学研究施設 助手	Ш	本	順頁	司		
京都大学地球熱学研究施設 助手	柴	田	知	之		
京都大学地球熱学研究施設研究機関 研究員	杉	本		健		
秋田大学工学資源学部地球資源学科	網	田	和	宏		
京都大学地球熱学研究施設 教務補佐員	芳	H	雅	子		
京都大学大学院理学研究科附属地球熱学研究施設 火山研究センター	宇泽	丰木		充		
京都大学大学院理学研究科附属地球熱学研究施設 火山研究センター	鍵	Ш	恒	臣		
北海道大学大学院理学研究院附属地震火山研究観測センター	長	谷	英	彰		
九州大学病院別府先進医療センター循環呼吸老年病内科 助手	尾	Ш	純	-		
別府ONSEN地療法研究会(畑病院)	畑		洋			
別府ONSEN地療法研究会(畑病院)	畑		知			
株式会社エスビーシーテクノ九州技術グループ チーフ・マネージャー	植	木	和	宏		
大分県薬剤師会検査センター水質計量課 課長代理	炭	本	悟	朗		
㈱住化分析センター大分事業所	板	井	清	美		

所 属 ・ 職 名		氏	名		備	考
大分大学医学部精神神経医学 教授	寺	尾		岳		
大分大学医学部 医員	塩	月	_	平		
別府大学文学部文化財学科 准教授	中	Ш	昭	則		
大 分 市 長	釘	宮		磐	理	事
別 府 市 長	浜	H		博	理	事
中津市長	新	貝	IE.	勝		
日 田 市 長	大	石	昭	忠	理	事
臼 杵 市 長	後	藤	或	利		
竹 田 市 長	牧		剛	尓	理	事
杵 築 市 長	八	坂	恭	介		
宇 佐 市 長	時	枝	īĒ.	昭		
由 布 市 長	首	藤	奉	文	理	事
国 東 市 長	野	\mathbb{H}	侃	生.		
九 重 町 長	坂	本	和	昭	理	事
玖 珠 町 長	小	林	公	明		
別府市ONSENツーリズム局 局長	吉	本	博	行		
別府市ONSENツーリズム局温泉振興室 室長	浜	П	善	友	監	事
別府市ONSENツーリズム局温泉振興室 主査	土	井		弘		
大分県別府県民保健福祉センター 所長	安	達	玉	良	監	事
大分県別府県民保健福祉センター 次長	真	部	健	_		
大分県衛生環境研究センター 所長	梅	田	和	秀	理	事
大分県衛生環境研究センター化学担当 専門研究員	Ш	下	秀	門		
大分県衛生環境研究センター微生物担当 専門研究員			祐	_		
大分県衛生環境研究センター化学担当 主幹研究員	溝	腰	利	男		
大分県産業科学技術センター地域資源担当 主任研究員	齊	藤	雅	樹		

(会員数 57名)

書記

所	属	· 職	名	氏	名	備考
大分県企画振興部	景観自然室	自然交流班	室長補佐	森	さつき	
	//		副主幹	大 野	英 樹	

(2名)

大分県温泉調査研究会報告 第58号

平成19年7月 印刷 平成19年7月 発行

発 行 者 大 分 県 温 泉 調 査 研 究 会 〒870-8501 大分市大手町 3 丁目 1 番 1 号 大分県企画振興部

景観自然室(事務局)

電 話 097-506-2122 FAX 097-506-1730

印刷者 〒870-0022 大分市大手町2丁目3番4号 有限会社 舞鶴孔版

電 話 097-532-4231