

錦江湾(鹿児島湾)に流入する河川経由の物質移動量 (その2) 霧島火山地域から河川を経由して流下する 火山噴出物とくに温泉水由来の重金属の量

著者	坂元 隼雄, 鎌田 政明
雑誌名	鹿児島大学理学部紀要. 数学・物理学・化学
巻	8
ページ	99-109
別言語のタイトル	Amount of Materials Transported by River Waters into Kinko Bay (The Bay of Kagoshima) (Part 2) Quantities of heavy metals originated in volcanic products- especially hot spring waters transported by river waters from Kirishima volcanic region
URL	http://hdl.handle.net/10232/00010028

錦江湾 (鹿児島湾) に流入する河川経由の 物質移動量 (その 2)

霧島火山地域から河川を経由して流下する火山噴出物
とくに温泉水由来の重金属の量

坂元 隼雄*・鎌田 政明*

Amount of Materials Transported by River Waters into
Kinko Bay (The Bay of Kagoshima) (Part 2)

Quantities of heavy metals originated in volcanic products-especially
hot spring waters transported by river waters
from Kirishima volcanic region

Hayao SAKAMOTO, Masaakira KAMADA

1 緒 言

最近、環境中の微量重金属元素に関しては数多くの報告がある²²⁾⁻²⁴⁾。環境問題が深刻化複雑化してくるにつれ、バックグラウンドの評価はますます重要なものとなってきている。著者らは含有量のはかに移動量を含めた調査をおこなうことが必要であることを指摘し、錦江湾に流入する河川経由の物質の移動量の考察を始め、流量についてはすでに報告した⁷⁾。

ここでは霧島火山地域をひとつのフィールドとして選び、温泉等の火山噴出物に由来し、河川を経由して流下する銅、亜鉛、カドミウム、鉛などの重金属の負荷量を算定することを試みたので報告する。

2-1 温泉水河川水の採水点の選定

自然活動のうちの火山活動-温泉活動によるものがどの位の割合を占めているかを知る目的で霧島火山地域の温泉 (ボーリング孔等からの汚染の恐れが少なく、湧出量の測定可能なもの) をできるだけ広く調査した。

これと合わせて新川 (天降川)、川内川水系の支流河川水についても温泉の分布状況、流量測定可能な場所、人為的汚染が比較的少ない場所を選んで採水点とした。採水地点の略図を図 1, 2 に示す。図中の番号、符号は試料番号を示す。

2-2 試料の採取と分析方法

重金属の場合、採取した試水はポリエチレンびん (事前に 1 l 当り濃硝酸 10 ml を入れて水でみたして一昼夜以上放置し、十分水洗したもの) に入れて実験室に持ち帰って分析をおこな

* 鹿児島大学理学部化学教室 (Chemical Institute, Faculty of Science, Kagoshima University)

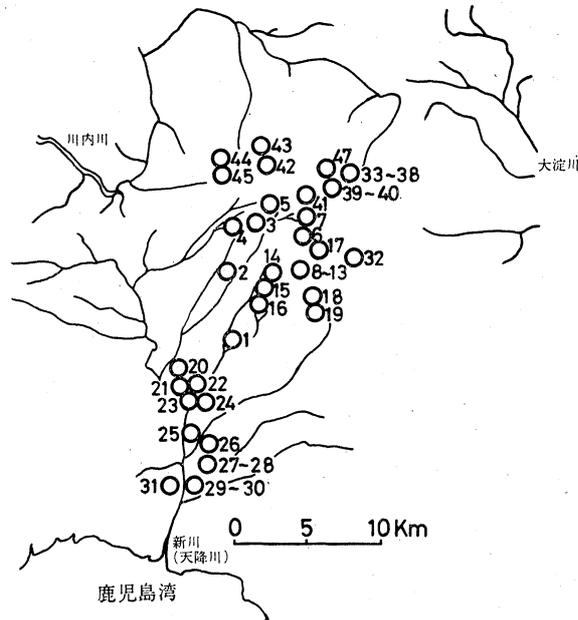


図 1 温泉水の採水点略図 (付記してある数字は試料の番号を示す)

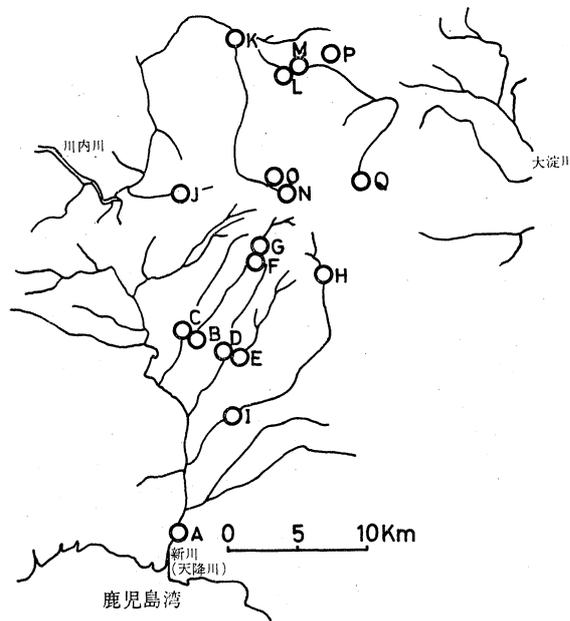


図 2 河川水の採水点略図 (付記してある記号は試料の符号を示す)

った。

また採水直後に分析をおこなわない場合には器壁への吸着，沈殿生成による共沈を防ぐ目的で試水 1l 当り濃硝酸 (和光純薬 SSG) 5ml を加えて保存し分析をおこなった。

ただし硫化水素が含まれている温泉水試料は，試料採取後ただちに硝酸酸性にして保存してもかなりの割合の銅が，また鉛も一部硫化物として沈殿することが判明した¹⁷⁾。したがってこ

のような試料では、採取後ただちに冷却したのち抽出するか、硫化水素を追い出してのち、あるいは飽和臭素水等を用いて酸化して硫黄の存在形態を変えた後で硝酸を加えて保存し、できるだけ早く分析する必要がある。

本邦の温泉水中の重金属含有量については、すでに玉川温泉（一国¹¹）（中川¹³）、鳴子温泉（太秦ら²⁰）、草津温泉（一国²¹）、立山地獄谷温泉（野口ら¹⁴）、別府温泉（川上ら⁹）そのほかの報告例がある²¹）。著者ら¹⁷も上記の立山地獄谷温泉を除く代表的な酸性泉中の重金属含有量についてしらべたが、これらの含有量は銅 0.2 以下～15 $\mu\text{g/l}$ 、亜鉛 58～2,500 $\mu\text{g/l}$ 、カドミウム 0.1 以下～24 $\mu\text{g/l}$ 、鉛 0.1 以下～1,200 $\mu\text{g/l}$ であった。

したがって、その分析方法の正確さはとくに重要であり、さもないと地球化学的解釈が異なることもありうる。

今回著者らはジチゾンクロロホルム抽出分離法と原子吸光光度法を組み合わせた銅、亜鉛、カドミウム、鉛の分析法を詳細に検討し、温泉水及び河川水中の重金属元素の定量に用いた。

2-3 霧島火山地域から放出される重金属の算定方法

霧島火山地域から放出される物質量を求めるには、その物質の含有量と移動量を合わせて測定する必要がある。算定方法としては次の3つが考えられる⁴⁾⁶⁾。

方法 I 源泉ひとつひとつについて各成分の濃度を調べ、湧出量を測り、それを積算する方法、これはもつとも確実な方法であるが、莫大な時間と労力を必要とする。

方法 II 各温泉のある成分の平均含有量を求め、これらの値にこの流域に分布する温泉の総湧出量を乗じる方法。

方法 III この河川が内湾（鹿児島湾）に流入する直前の河口定点で、単位時間のその成分の通過量をしらべ、その量から温泉以外の供給源由来と考えられる量（気圏から、岩石圏から、また生物圏からの由来）を差し引いて求める方法。この方法によると霧島火山地域を例にとれば新川（天降川）水系、川内川水系、大淀川すべての水系についてしらべる必要があり、重金属の由来をいちいちチェックしなければならない。しかもそれが小さい割合をしめていることが条件である。この新川（天降川）水系には温泉水に由来する量が小さいことが分かった。しかし広義の火山噴出物によるものはかならずしもすくなくない。たとえばこの地域へ影響を及ぼしているものの一つに桜島火山南岳の活動があげられる。1955年活動を開始し、著者の一人鎌田の推定⁹)では、この20年間に約10⁸トンもの火山灰が放出されたと考えられている。桜島の火山灰中の重金属の含有量は銅 14.1 ppm、亜鉛 81.4 ppm、カドミウム 0.15 ppm、鉛 13.4 ppm（24 試料の幾何平均値）程度であり¹⁹）、風向その他から考えてもかなりの影響があると思われる。また生物圏から（直接の生物の影響だけでなく、高度の人間活動の影響もあると思われる。）とくに亜鉛は人間の高度の活動によりかなり環境中に放出されるからである。ここでは方法 II をこころみ、最初方法 III の目的で測定した河口付近での通過量のうち温泉由来のものがどの程度の寄与をしているかをしらべた。新川（天降川）水系にある温泉の湧出量としては 580 l/sec（1973年2月）の値を用いた。

3-1 温泉水中の重金属含有量

天然においては銅、亜鉛、カドミウム、鉛は黒鉱鉱床などの例でみられるように多くの場合硫化物と共生し、しばしば地球化学的に類似の挙動を示すことから、温泉水中のそれらの分布状態をすることはこれらの重金属の行動を明らかにするうえに重要である。

今回著者らが霧島火山地域の温泉水について調査をおこなった結果を表3～4に、それらの

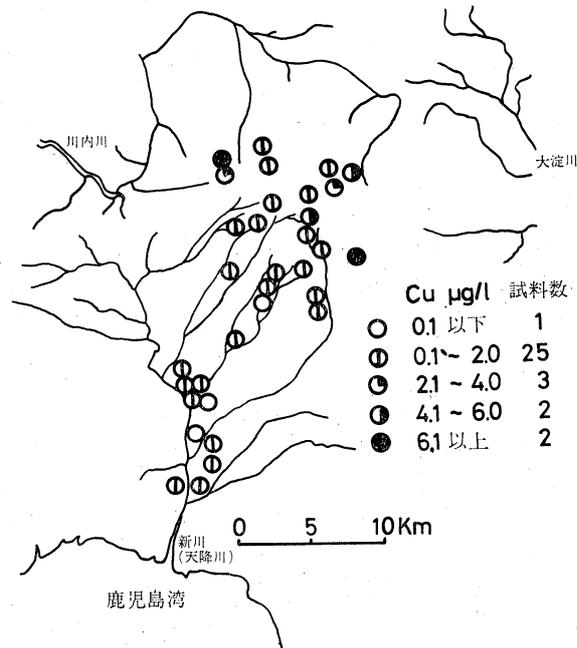


図 3 温泉水中の銅含有量分布図

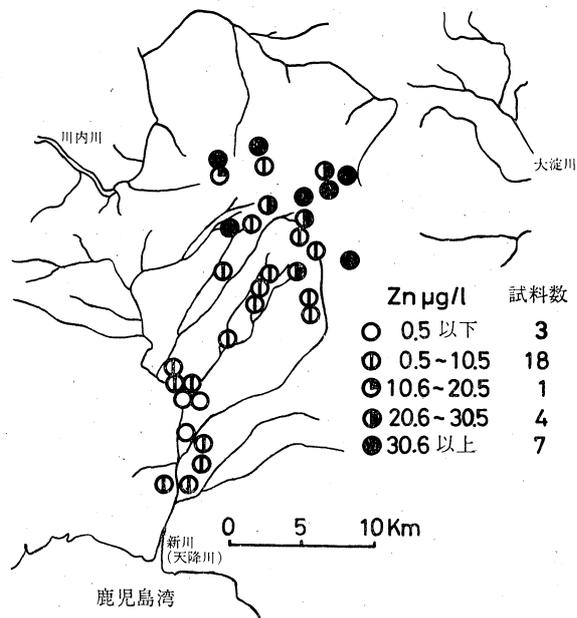


図 4 温泉水中の亜鉛含有量分布図

含有量の分布図を図 3~6 に示す。

同一地点における測定回数が多い場合は、それらの分析値の幾何平均値を計算し、その地点を代表する値とした。霧島火山地域の温泉水中の重金属含有量は銅 0.1 以下~12.4 $\mu\text{g/l}$, 亜鉛 0.3~193 $\mu\text{g/l}$, カドミウム 0.01₂~0.2 $\mu\text{g/l}$, 鉛 0.1 以下~1.2 $\mu\text{g/l}$, の値をえた。これらのう

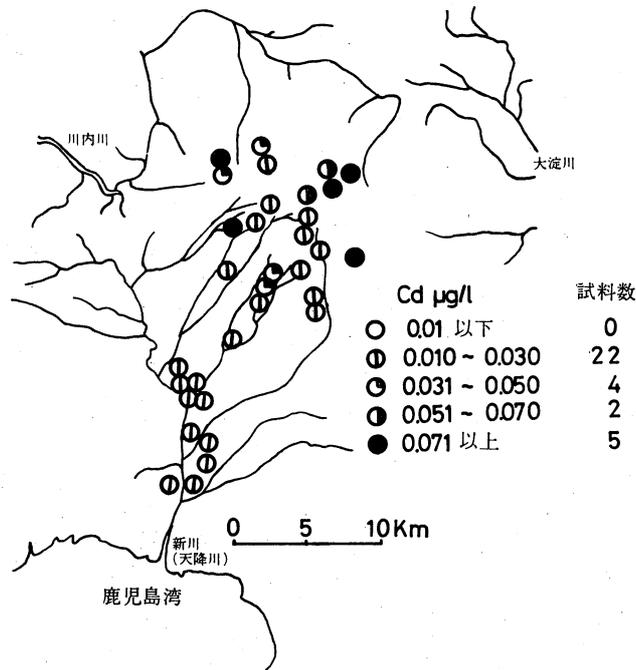


図 5 温泉水中のカドミウム含有量分布図

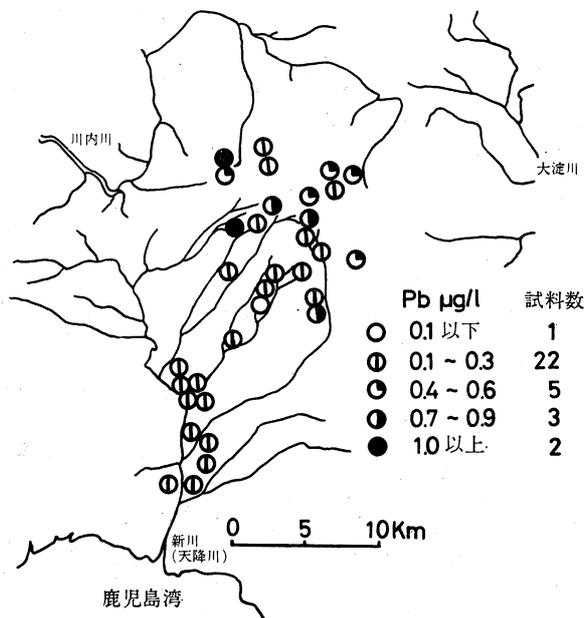


図 6 温泉水中の鉛含有量分布図

ち含有量の大きいものは酸性泉であるが、その値は前報¹⁷⁾でのべた全国各地の酸性泉の値にくらべ含有量が小さい。銀湯の亜鉛、カドミウム、鉛などは濃度としては大きいが湧出量はきわめて小さく、負荷量としては小さい。これとは逆に濃度としては定量限界ぎりぎりでも湧出量が極めて大きい場合、定量値のわずかの誤差も負荷量の計算に大きく影響してくる。このよう

な場合には濃縮倍率を変えてできるだけ正確に定量をおこなうことが必要である。

太秦ら²⁰⁾による鳴子温泉の研究によると、微量重金属成分は例外なく低 pH 泉に多く見いだされている。この理由として強酸性の温泉による地表近くでの岩石からの溶解がかなり影響するとされている。

3-2 霧島火山地域から新川（天降川）水系に供給される重金属の負荷量

新川（天降川）流域には数多くの温泉が湧出している¹⁰⁻¹²⁾。この地域でとくに最近温泉の開発、利用がすすみ、湧出量が、あるいは揚湯量が急激に増加し自然の状態が変る可能性がある。霧島火山地域の湧出量（汲上量、造成量を含む）が1964年頃は1日3万トン程度であったものが、1972年には6万トンを越える所まで達している。こうした温泉の過度な開発は局部的な環境問題を引き起こすこともありうる。霧島火山地域の河川、温泉、火山ガス等については以前から著者ら³⁻⁷⁾¹⁵⁾¹⁶⁾¹⁸⁾によってくわしく調査がおこなわれており、1973年以後は成分の含有量だけでなく湧出量の測定を含めた調査をおこなって来た。その結果を表3～5に示す。

これらの調査から得られたデータをもとにして霧島火山地域から放出される火山噴出物、ここでは温泉水による負荷量を求めた。表1にその結果を示す。各成分とも温泉由来の負荷量は

表1 霧島火山地域から新川水系の河川経由で鹿児島湾に供給される Cu, Zn, Cd, Pb などの重金属の量

元 素	新川（天降川）河口通過量 (mg/sec)	温泉由来の量 (mg/sec)	その割合 (%)
Cu	10	0.20	2.0
Zn	110	2.3	2.1
Cd	0.6 ₂	0.01 ₂	1.9
Pb	6.9	0.09 ₃	1.4

霧島火山地域から放出される負荷量の1.4～2.1%程度で、ハロゲン元素についての割合が20～50%である⁵⁾のにくらべるとあきらかに小さい。これはこれらの重金属元素が温泉水としてまとまっているもの以外から供給されることを意味する。それらの中には既にのべた火山噴出物としての火山灰由来のものほか変質地帯などから供給されるもの、温泉が湧出後地表を流れるときの溶脱、まとまって湧出していないで地表にしみだしている温泉等が考えられるが、この問題についてはさらに詳しくしらべる必要がある。

3-3 霧島火山地域から川内川支流水系に供給される重金属の負荷量

えびの露天風呂、白鳥温泉、栗野岳温泉に源を発するものは最終的には川内川支流に入る。この水系は鹿児島湾とは関係がない。この地域では現在のところ温泉の積極的な開発はえびのみにみられる他はほとんどおこなわれておらず、自然状態をとどめていると言っても過言ではない。これらの中で湧出量のかかなり大きいものとしては、えびの露天風呂200～300 l/min、栗野岳温泉80～100 l/minなどである。この地域からの総湧出量は約1,200 l/minと推定される。この川内川支流の上流に採水点を選び、各成分の含有量と流量を合わせて測定し、霧島火山地域から川内川支流に供給される負荷量に対する温泉由来の割合を求めた。その結果を表2に示す。各成分の中で亜鉛を除いては新川（天降川）に供給される割合より少し大きい。しかし亜鉛については明らかに1ケタ大きい。このことは霧島火山地域の中でも、とくに pH の低いものが存在しており、しかもそのような酸性泉の中には亜鉛がとくに他の重金属にくらべて多量に含

表2 霧島火山地域から河川経由で川内川支流水系に供給される Cu, Zn, Cd, Pb などの重金属の量

元 素	川内川支流通過量 (mg/sec)	温泉由来の量 (mg/sec)	その割合 (%)
Cu	1.3	0.06 ₈	5.2
Zn	2.9	1.1	38
Cd	0.05 ₇	0.002	3.5
Pb	0.3 ₂	0.007	2.2

まれていることと関係があるようである。下流に流下し、負荷量全体に対するこのような特異な温泉の影響の割合が小さくなるにつれて新川(天降川)のような結果がでたものと思われる。秋田県玉川温泉のような酸性泉を渋黒川上流の河川とみなすと、すべての成分のほとんど100%が温泉水に由来しているが流下につれてその割合は次第に低下してくることが分かった。(著者ら、未発表)

4 ま と め

以上、霧島火山地域から湧出する温泉及び河川の流量の測定をおこない、合わせて重金属成分の分析をおこなうことにより、河川を経由して放出される火山噴出物としての温泉水由来の銅、亜鉛、カドミウム、鉛など負荷量に関する基礎資料がえられた。

霧島火山地域の新川水系を経由して鹿児島湾に流入している重金属（銅、亜鉛、カドミウム、鉛）の量のうち、この水系の流域の温泉水に由来するものは予想外に少なく2%程度である。しかし火山噴出物（広義）に由来するものとなるときらに大きい割合を占めていることが考えられる。地熱地帯に並遍的な変質帯の表面から、岩石の表面から、あるいは活動中の桜島火山に由来するものなどは十分に可能性がある。このほか人間の活動に由来するものも流域の開発とともにいくらか増大するであろう。もちろん流域の上流小河川、とくに酸性泉の湧出地域では当然のことながら大きい割合を占めているはずである。その例は鹿児島湾に流入する河川ではないが川内川上流の小河川にこの傾向がみられる。この流域にはとくにこれらの重金属含有量の大きな酸性泉が広く分布しているからである。

終りにのぞみ本研究の一部は著者の一人、坂元が文部省内地研究員として東京工業大学留学中に遂行した。御指導御教示を賜った桂 敬教授、小沢竹二郎助教授に深謝する。

採水、流量の測定には知念哲雄理学士の熱心な協力をえた。なお関連研究に従事し、多くの助言をいただいた本学教養部大西富雄教授、理学部米原範伸助教授に感謝する。

表3 霧島火山地域の温泉

試料 番号	試料名	採水年月日	泉温°C	pH	流量 l/min	Cu μg/l	Zn μg/l
1	横瀬部落湯	'73. Jun. 1	56.0	6.4	120	0.3	1.4
2	関平温泉 (町浴場)	" " "	48.0	7.0	28	0.3	2.0
3	金湯	" " "	73.0	6.7	6.0	0.2	2.0
4	銀湯	" " "	57.0	2.6	5	1.8	193
5	湯之池 (流出口)	" " 8	33.5	2.4	702	0.5	28.0
6	山之城	" " "	93.8	5.4	—	0.7	3.0
7	鳥地獄	" " "	56.5	2.6	71	5.4	23.4
8	明礬温泉 (高千穂館)	'72. Aug. 19	58.7	3.2	—	<0.1	49
9	" (")	'73. Jun. 2	62.0	3.1	2350	0.4	25.6
10	" (")	" " "	58.7	3.2		0.5	24.6
11	" (")	" " "	65.0	3.2		0.4	25.6
12	" (")	" Jul. 7	62.8	3.2		0.2	15.4
13	" (")	" Oct. 26	63.0	3.2	—	0.2	23.0
14	林田温泉源泉	" Jul. 7	63.5	3.1	—	0.2	6.6
15	丸尾温泉 (蔵前荘吉氏)	" " "	70.0	6.6	—	0.1	8.4
16	" (塩湯)	" Jun. 2	51.0	7.1	8.9	<0.1	2.2
17	新湯温泉	" " 7	82.8	4.4	(174)	0.2	7.0
18	湯之野 (地獄)	" " "	73.6	5.1	—	1.1	6.0
19	" (霧島町有源泉)	" " "	46.5	5.6	—	0.3	2.6
20	新川溪谷 塩浸牧園町管温泉センター	'74. Apr. 27	51.2	6.5	—	0.2	0.5
21	" ラムネ温泉第一号泉	'73. Jul. 7	34.6	6.2	—	0.4	1.4
22	" 権現湯	'74. Apr. 27	51.0	6.4	—	0.5	4.5
23	" 安楽温泉 (安ズミ武)	'73. Jul. 7	52.0	6.6	—	0.1	0.4
24	和気湯源泉	'74. Apr. 27	55.5	6.5	—	<0.1	0.3
25	松永小学校跡	" " "	48.8	7.4	—	<0.1	0.3
26	あかね温泉 (タンク出口)	" " "	49.3	8.4	—	0.4	0.8
27	隼人温泉 (原口氏)	'73. Jul. 7	57.5	7.5	—	0.1	1.0
28	" (")	'74. Apr. 27	55.0	7.6	—	<0.1	0.5
29	" (吉田湯)	'73. Jul. 7	41.0	7.6	—	0.2	0.3
30	" (")	'74. Apr. 27	54.0	7.7	—	<0.1	3.3
31	" (西郷どん湯)	'73. Jul. 7	50.5	8.2	—	0.2	8.6
32	新燃岳火口湖	" Aug. 20	26.0	2.8	—	29.1	55.0

表4 霧島火山地域の温泉

試料 番号	試料名	採水年月日	泉温°C	pH	流量 l/min	Cu μg/l	Zn μg/l
33	えびの露天風呂	'72. Aug. 19	41.3	2.0	—	9.9	70
34	" "	'73. Jun. 2	39.5	2.2	300	5.9	60
35	" "	" Jul. 6	41.0	2.2	530	5.4	49
36	" "	" Aug. 19	40.5	2.1	—	4.5	70
37	" "	" Oct. 26	39.7	2.1	270	4.7	85
38	" "	'74. " 31	40.6	2.1	250	5.8	120
39	えびの碓黄山下	'73. " 26	49.2	1.9	30	3.9	85
40	" "	'74. " 31	55.3	1.9	25	3.7	180
41	えびの韓国荘源泉 No.3	'73. Jul. 7	54.8	2.3	140	0.6	57.0
42	国民宿舎白鳥ホテル	" Jun. 2	76.0	3.9	—	0.6	5.6
43	白鳥温泉	" " "	81.5	2.8	29	1.2	37.6
44	栗野岳 竹の湯	" " 1	65.6	2.2	30	4.8	101
45	" "	" Jul. 13	65.0	2.4	50	12.4	40.0
46	" 前の湯	" Jun. 1	55.0	3.0	50	2.1	17.6
47	えびの不動池	" Aug. 19	22.5	4.2	—	0.8	25.0

水の重金属含有量と負荷量

Cd μg/l	Pb μg/l	Cu 負荷量 μg/sec	Zn 負荷量 μg/sec	Cd 負荷量 μg/sec	Pb 負荷量 μg/sec	Cl ⁻ mg/l	SO ₄ ²⁻ mg/l
0.01 ₈	0.1	0.6 ₀	2.8	0.04	0.2 ₀	183	—
0.01 ₄	0.2	0.1 ₄	0.9 ₃	0.01	0.09 ₃	5.8	—
0.01 ₄	0.1	0.02	0.2	<0.01	0.01	2.8	—
0.20	1.2	0.1 ₅	16	0.02	0.10	2.1	—
0.02 ₀	0.8	5.9	328	0.23	9.4	0.2	—
0.02 ₀	0.1	—	—	—	—	2.4	—
0.02 ₀	0.9	6.4	28	0.02	1.1	2.3	—
<0.1	<2	—	—	—	—	32.8	136
0.01 ₄	0.1	16.8	991	0.59	3.9	39.2	189
0.01 ₈	0.1					37.4	—
0.01 ₄	0.1					41.4	—
0.02 ₃	0.1	11.0	847	1.2 ₇	5.5	39.0	—
0.02 ₀	0.1	—	—	—	—	35.0	190
0.04 ₀	0.1	—	—	—	—	39.3	—
0.03 ₄	0.2	—	—	—	—	49.4	—
0.01 ₈	<0.1	<0.02	0.3 ₃	0.00 ₃	<0.01	6.0	—
0.01 ₈	0.3	(0.5 ₈)	(20.3)	(0.05)	(0.8 ₇)	2.8	—
0.02 ₆	0.3	—	—	—	—	1.9	—
0.02 ₆	0.8	—	—	—	—	1.7	—
0.02 ₀	0.1	—	—	—	—	164	—
0.02 ₀	0.1	—	—	—	—	138	—
0.01 ₂	0.1	—	—	—	—	145	—
0.02 ₀	0.2	—	—	—	—	138	—
0.01 ₂	0.2	—	—	—	—	176	—
0.02 ₄	0.1	—	—	—	—	126	—
0.02 ₄	0.2	—	—	—	—	93.3	—
0.01 ₂	0.1	—	—	—	—	86.5	—
0.01 ₆	0.1	—	—	—	—	94.0	—
0.02 ₀	0.1	—	—	—	—	54.5	—
0.01 ₆	0.1	—	—	—	—	87.6	—
0.02 ₃	0.1	—	—	—	—	124	—
0.14	0.4	—	—	—	—	3.1	312

水の重金属含有量と負荷量

Cd μg/l	Pb μg/l	Cu 負荷量 μg/sec	Zn 負荷量 μg/sec	Cd 負荷量 μg/sec	Pb 負荷量 μg/sec	Cl ⁻ mg/l	SO ₄ ²⁻ mg/l
0.2	<2	—	—	—	—	281	861
0.13	0.4	29.5	300	0.65	2.0	174	1072
0.07 ₆	0.5	47.7	433	0.67	4.4	167	893
0.10	0.2	—	—	—	—	181	1060
0.08 ₀	0.5	21.2	383	0.36	2.3	204	1104
0.11	0.4	24.2	500	0.46	1.7	250	1133
0.13	0.3	2.0	43	0.07	0.2	268	1715
0.12	0.3	1.5	75	0.05	0.1 ₃	386	2132
0.06 ₇	0.5	1.4	133	0.16	1.2	152	—
0.01 ₆	0.1	—	—	—	—	1.9	—
0.04 ₆	0.1	0.5 ₈	18	0.02	0.05	2.1	—
0.16	1.1	2.4	51	0.08	0.5 ₅	1.9	1627
0.07 ₃	1.0	10.3	33	0.06	0.8 ₃	2.0	959
0.03 ₆	0.5	1.8	15	0.03	0.4 ₂	3.0	—
0.05 ₄	0.4	—	—	—	—	0.2	—

表5 霧島火山地域河川水

試料 符号	河 川 名	採取年月日	水温 °C	pH	流 量 m ³ /sec	Cu μg/l
A	新川 (隼人)	'73. May. 31	19.0	7.3	17.2	0.6
B	石坂川 (祝橋)	" " "	17.8	7.1	0.70	2.0
C	三体川 (瀬戸口橋下)	" " "	17.9	6.9	0.19	0.8
D	小谷川 (横瀬橋)	" Jun. 1	16.8	6.9	0.32	0.4
E	中津川 (板小屋)	" " "	18.5	7.2	1.3	0.5
F	石坂川 (手洗橋)	" " "	19.8	7.2	0.17	0.2
G	湯之池川 (手洗)	" " "	35.5	2.9	0.01 ₇	19.0
H	霧島川 (新燃橋)	" " 7	14.4	7.1	0.78	1.6
I	" (杵田橋)	" Jul. "	21.0	7.6	1.8 ₅	1.0
J	湯谷川 (湯谷橋上)	" " "	18.9	6.5	0.01 ₄	0.5
K	長江川 (有島橋)	" " "	22.2	7.0	0.95	0.8 ₁
L	白鳥川支流	" " "	24.0	7.0	0.08 ₉	0.9 ₁
M	出水川支流 No.2	" " "	21.2	7.1	0.30	0.7 ₃
N	えびの橋 南側	" " "	33.5	2.5	0.02 ₇	1.7 ₇
O	えびの川支流 (野海堂橋)	" " "	18.8	6.7	0.04 ₄	2.1 ₀
P	小林 いこいの家湧水	" " 6	17.5	7.0	—	0.02
Q	七折の滝 (上泉橋)	" " "	20.5	3.4	0.04 ₄	1.5 ₆

文 献

- 1) 一国雅己, 日化, **80**, 720 (1959).
- 2) 一国雅己, 日化, **80**, 1128 (1959).
- 3) 鎌田政明, 大西富雄, 坂元隼雄: 天然水中の亜鉛およびカドミウムの分布, 地球化学討論会講演要旨集, 172-175 (1970).
- 4) 鎌田政明, 坂元隼雄, 岩田治郎, 大西富雄: 火山活動が環境におよぼす影響 (2), 霧島火山地域から河川を經由して流下する火山噴出物の量 1) 銅, 亜鉛などの重金属, 日本火山学会春季大会講演要旨, 火山, 第2集, **18**, 111 (1973).
- 5) 鎌田政明, 若松 操, 米原範伸, 小坪妙子: 火山活動が環境におよぼす影響 (3) 霧島火山地域から河川を經由して流下する火山噴出物の量 2) ハロゲン元素, 日本火山学会春季大会, 火山, 第2集, **18**, 112 (1973).
- 6) 鎌田政明, 坂元隼雄: 霧島火山地域から河川を經由して流下する火山噴出物の量 (続) 同火山地域の温泉水の亜鉛, 銅, 鉛, カドミウム等の含有量, 日本温泉科学会講演要旨, 温泉科学, **24**, No.2, 102 (1973).
- 7) 鎌田政明: 錦江湾 (鹿児島湾) に流入する河川經由の物質移動量 (その1), 鹿児島大学理学部紀要 (数学・物理・化学), **6**, 21-28 (1973).
- 8) 鎌田政明, 坂元隼雄: 火山活動による環境への物質の放出 (続) 火山灰の放出にともなう重金属の放出量, 日本化学会九州・中国四国支部講演予稿集, 41 (1974).
- 9) 川上弘泰, 古賀昭人, 野崎秀俊, 日化, **77**, 1327 (1956).
- 10) 鹿児島地学調査研究会: 鹿児島県の温泉 (その1) (1963).
- 11) 鹿児島温泉研究会: 鹿児島県の温泉 (その2) (1964).
- 12) 鹿児島温泉研究会: 鹿児島県の温泉 (その3) (1965).
- 13) 中川良三, 日化誌, 514 (1973).
- 14) 野口喜三雄, 西井戸敏夫, 日化, **90**, 781 (1969).
- 15) 大西富雄: 南九州河川水中の重金属に関する研究, 鹿児島大学理科報告, **14**, 21-34 (1965).
- 16) 大西富雄, 坂元隼雄, 鎌田政明: 九州地方河川水中のカドミウムの分布, 地球化学討論会講演要旨集, 74 (1969).
- 17) 小沢竹二郎, 坂元隼雄, 鎌田政明: 温泉水とくに酸性泉中の亜鉛, 銅, 鉛, カドミウム等の定量, 日本温泉科学会講演要旨, 温泉科学, **24**, No.2, 101-102 (1973).
- 18) 坂元隼雄, 大西富雄, 鎌田政明, 鹿児島汚染調査グループ: 鹿児島湾に流入する河川の亜鉛および銅負荷量とその推移, 日本化学会九州・中国四国支部講演予稿集, 75 (1973).
- 19) 坂元隼雄, 鎌田政明: 火山活動による環境への物質の放出—火山灰の微量重金属成分, 第11回化学関連

中の重金属含有量と負荷量

Zn μg/l	Cd μg/l	Pb μg/l	Cu 負荷量 mg/sec	Zn 負荷量 mg/sec	Cd 負荷量 mg/sec	Pb 負荷量 mg/sec	Cl ⁻ mg/l
6.4	0.03 ₆	0.4	10.3	110	0.6 ₂	6.9	4.9
18.6	0.02 ₆	1.2	1.4	13.0	0.02	0.8 ₄	2.0
7.8	0.02 ₀	0.6	0.1 ₅	1.5	0.00 ₄	0.1 ₁	2.2
7.6	0.01 ₄	0.1	0.1 ₃	2.4	0.00 ₅	0.03	2.2
3.0	0.01 ₄	0.3	0.6 ₅	3.9	0.02	0.3 ₉	6.8
2.0	0.01 ₆	0.2	0.03	0.3 ₄	0.00 ₃	0.03	3.8
241	0.23	1.4	0.3 ₂	4.1	0.00 ₄	0.02	2.1
4.8	0.01 ₈	0.4	1.2	3.7	0.00 ₁	0.3 ₁	—
5.6	0.1 ₆	(29.8)	1.8 ₅	10.4	0.03	(55.1)	7.2
7.4	0.02 ₀	0.1	0.01	0.1 ₀	0.00 ₀	0.00 ₁	6.8
1.2	0.01 ₂	0.2 ₄	0.7 ₇	1.1	0.01	0.2 ₃	8.0
0.6	0.01 ₆	0.2 ₄	0.08	0.05	0.00 ₁	0.02	10.6
0.8	0.01 ₂	0.2 ₀	0.2 ₂	0.2 ₄	0.00 ₄	0.06	5.5
18.4	0.02 ₀	(8.0 ₄)	0.05	0.5 ₀	0.04	(14.2)	74.5
3.4	0.02 ₄	0.2 ₀	0.09	0.1 ₅	0.00 ₁	0.00 ₁	9.7
1.4	0.01 ₂	0.1 ₃	—	—	—	—	5.4
18.8	0.03 ₆	0.1 ₄	0.07	0.8 ₃	0.00 ₂	0.00 ₆	45.0

() は異常値として統計からは省いた

支部合同九州大会講演予稿集, 26 (1974).

- 20) 太秦康光, 赤岩英夫, 日化, **81**, 567 (1960).
- 21) 太秦康光, 赤岩英夫, 日化, **82**, 834 (1961).
- 22) 山県 登, 分析化学, **20**, 515 (1971).
- 23) 山本勇麓, 熊丸尚宏, 林 康久, 菅家 淳, 分析化学, **20**, 347 (1971).
- 24) 山本勇麓, 熊丸尚宏, 林 康久, 菅家 淳, 分析機器, **9**, No.10, 681 (1971).