

湯の華の鉱物学的研究, その1

Mineralogical study of spa-sinters, Part I

上野 禎一 寺山 亜沙実 向野 美由紀

Teiichi UENO, Asami TERAYAMA, Miyuki MUKUNO,
福岡教育大学地学教室

秦 照美 岸本 典子

Terumi HATA and Noriko KISHIMOTO
福岡教育大学地学教室

(平成19年10月1日受理)

Abstract

Spa-sinters from the representative hot springs in Japan were mineralogically investigated. The spa-sinters are classified into four groups; sulfur-sinters, sulfosalt-sinters, calcic-sinters and siliceous-sinters.

The sulfur-sinters are almost composed of α -sulfur and have yellow to yellowish white colors. They are observed in Noboribetsu-spa (Hokkaido), Numagjiri-Nakanosawa-spa (Fukushima), Kusatsu-spa (Gunma), Manza-spa (Gunma), Shirahone-spa (Nagano), Shioe-spa (Kagawa), Unzen-spa (Nagasaki) and Kirishima-spa (Kagoshima).

The sulfosalt-sinters are composed of sulfosalt minerals such as gypsum ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), halotrichite ($\text{FeAl}_2(\text{SO}_4)_4 \cdot 22\text{H}_2\text{O}$), pickeringite ($\text{MgAl}_2(\text{SO}_4)_4 \cdot 22\text{H}_2\text{O}$), jarosite ($\text{KFe}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$), alunite ($\text{KAl}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$) and alunogen ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 17\text{H}_2\text{O}$), and have many colors as white, grey, brown, yellow and green. They are observed in Higashiyama-spa (Fukushima), Beppu-spa (Oita), Yufuin-spa (Oita), Kurokawa-spa (Kumamoto) and Tsuetate-spa (Kumamoto). The calcic-sinters are composed of carbonate minerals; calcite and aragonite, and have white to brown colors. They are observed in Kunimi-spa (Iwate), Nagashima-spa (Mie), Kibedani-spa (Shimane) and Nagayu-spa (Oita).

The siliceous-sinters are composed of quartz and cristobalite, and have almost white color. They are observed in Beppu-spa (Oita).

I. はじめに

我が国は世界でも有数の火山国であり、火山活動の影響で生じている数多くの温泉保養地を有している。特に九州は、阿蘇山、九重山、雲仙、霧島山、桜島といった世界でも有数の火山を有し、それら火山帯に伴う夥しい数の温泉を保有し、古来湯治場として人々の健康増進、慰安、懇親に役立ってきている。これらの温泉地帯には普通、温泉が地上に湧出する際、その溶存成分が空気による酸化又は CO_2 、 SO_2 、 H_2S 等の揮発性成分の逃散及び反応現象により不溶性沈殿物が生じ結晶化するが、これらを温泉に咲く華の様に見える事もあることから、一般に湯の華と呼ばれ、温泉地でサービスとして無料で配られたり、一般家庭で温泉気分を味わえる入浴剤として販売されているものも多い。

温泉水には、湯の華の成分が溶け込んでいる為、湯の華を調べることで温泉の主成分がある程度推測できる。温泉の効能等を考える場合には、湯の華の分析がかなり有効になると考えられる。本研究は、九州はじめ日本各地で採取された温泉の湯の華について、その全体組成、鉱物組合せ及び個々の鉱物の化学組成、さらに湯の華の成分と温泉の種類と効能との関係について調べた寺山以下4名の卒業研究をまとめたものである。

湯の華採取温泉一覧



図1

II. 湯の華の試料

研究室の調査旅行や各筆者の個人的な旅行等で現地の温泉場を訪ねた場合は、温泉浴槽の縁に析出しているもの、浴槽の底に沈殿しているもの、温泉の沸き出し口に結晶化しているもの等を実際に採取したものと、温泉宿で無料で配られているものやご当地温泉の湯の華として販売されているものを研究試料とした。その他、インターネットで日本各地の温泉を検索し、ホームページに掲載している温泉宿へ「卒論研究で湯の華を必要としている」旨の文書を送り、親切に送って頂いた湯の華も研究試料とした。

図1に試料を得た温泉の場所を表示し、表1に試料番号、温泉名、温泉の所在地、泉質、湯の華の分類名一覧を示す。今回の研究試料は、分類上、硫黄華、硫酸塩華、石灰華、珪華の4つに分けられたが、別府温泉では硫酸塩華、硫黄華、珪華と複数の湯の華が見られた。

表 1. 研究に使用した湯の華試料一覧

試料番号	温泉名	所在地	泉質	湯の華の分類
NOB-1 NOB-2	登別	北海道	硫黄泉, 硫化水素泉, 鉄泉, 明礬泉, 緑礬泉, 石膏泉	硫黄華
NUM-1	沼尻・中の沢	福島	酸性含鉄・Ca・Al・硫酸塩泉	硫黄華
KUS-1	草津	群馬	含硫黄高温強酸性泉	硫黄華
MAN-1	万座	群馬	酸性硫黄泉	硫黄華
SRH-1	白骨	長野	含硫黄・Ca・Mg・炭酸泉	硫黄華
SHO-1	塩江	香川	単純硫化水素泉	硫黄華
UNZ-1	雲仙	長崎	単純硫化水素泉	硫黄華
KIR-1	霧島	鹿児島	硫黄泉, 炭酸水素塩泉, 単純泉 Na・塩化物泉	硫黄華
HIG-1	会津東山	福島	含食塩・石膏泉	硫酸塩華
BEP-1 BEP-2 BEP-3 BEP-4	別府	大分	硫黄泉, 硫酸塩泉, 含鉄泉, 炭酸水素塩泉, 塩化物泉, 単純泉	珪華 硫酸塩華 硫黄華 硫酸塩華
YUF-1	湯布院	大分	単純泉, 硫黄泉, 硫酸塩泉, 塩化物泉,	硫酸塩華
KUR-1	黒川	熊本	硫黄泉, 硫酸塩泉, Na・Ca・塩化物泉	硫酸塩華
TSU-1	杖立	熊本	含食塩泉, 弱アルカリ泉, 硫黄泉, 塩化物泉	硫酸塩華
KUN-1	国見	岩手	硫黄・Na・炭酸水素泉	石灰華
NAG-1	長島	三重	炭酸水素塩泉 (アルカリ性単純泉)	石灰華
KIB-1	木部谷	島根	Ra・CO ₂ ・Na・塩化物炭酸水素塩泉	石灰華
NAG-1	長湯	大分	含炭酸・Fe・重炭酸泉	石灰華

III. 実験方法

1. X線粉末回折

湯の華試料を自然乾燥させた後、鉄鉢、磁器乳鉢、メノウ乳鉢で順次グライディングし、150 mesh以下の粒度にしたものを、Mac Science社製の回転対陰極高出力X線粉末回折装置でCuK α 線を用いて、40kV-100mAの条件で分析を行い鉱物組合せを求めた。外部標準としてSiの結晶を用い、一部の鉱物については、最小二乗法にて格子定数を算出して、JCPDS Cardのデータと比較した。

2. EPMA (X線マイクロアナライザー) 分析

湯の華試料を自然乾燥させた後、丸本工業の冷間埋込樹脂No.105で固めて、カーボランダム(150~1000番)で研磨し、ダイヤモンドペースト(粒径3, 1 μ m)で仕上げたものを、反射顕微鏡で観察、スケッチ、写真撮影をした後、表面を炭素蒸着し、日本電子社の50A(WDX)及びJSM5200-JED2000(EDX)で個々の鉱物の化学組成を求め、反射電子像及び二次電子像を撮影した。分析条件は、以下の通りである。

(1) 50A (WDX)

加速電圧：25 kv 試料電流：20 nA 分光結晶：LiF, PET, RAP
STD：SiO₂, Al₂O₃, MgO, Fe₂O₃, TiO₂, NaAlSi₃O₈, KAlSi₃O₈, CaSiO₃
MnO, Cr₂O₃, CuFeS₂, ZnS, PbS

データ処理法：Bence Albee 法

(2) JSM5200-JED2000

加速電圧：15 kv 試料電流：1 nA

データ処理法：Auto ZAF 法

3. 蛍光X線分析

湯の華の試料5gを電子天秤で秤量し、磁性坩堝に入れて150~200°Cで30~50分加熱して、試料中の水分を除去した後、重量の変化を測定した。硫酸塩華と珪華については、水で溶かしたポリビニルアルコールを加え、圧力をかけて固めたものを分析試料とした(ブリケット法)。又、石灰華についてはガラスビードで固め、硫黄華については、密閉容器を用いて粉末状態のものをプレスして分析試料とした。このようにして作製した分析試料をリガク電機社製蛍光X線分析装置RIX2000で分析し、試料の全体化学組成を調べた。分析には、Rh管球を用い、50kV-50nAの条件で行った。

IV. 実験結果

1. 硫黄華

表2. 登別温泉産湯の華のX線粉末回折結果 (NOB-1)

1		2		3			
d(Å)	I	d(Å)	I	hkl	d(Å)	I	hkl
7.23	9				7.2	30	
5.771	11	5.76	14	113			
4.491	20				4.5	70	-111
4.360	12				4.3	50	102
4.079	13	4.06	12	220	4.0	50	-301
3.933	11	3.91	12	131			
3.869	100	3.85	100	222	3.83	70	-210
3.581	19	3.57	8	133	3.63	50	012
3.502	8				3.53	30	-103
3.457	26	3.44	40	026	3.46	50	-203
3.350	50	3.33	25	311	3.38	70	211
3.226	41	3.21	60	040			
3.122	21	3.11	25	313	3.14	50	-311
3.089	11	3.08	18	135	3.06	90	-303
2.983	42				2.96	90	-113
2.856	15	2.842	18	044	2.86	100	-213
2.715	12				2.72	50	302
2.629	11	2.621	14	137	2.63	30	-313
2.568	9	2.569	8	333	2.58	30	401
2.503	18	2.501	8	244	2.49	30	021
2.431	14	2.424	14	317	2.40	70	-502
2.378	8	2.375	4	422	2.37	70	-214
2.347	8				2.33	70	213
2.291	9	2.288	6	0210	2.31	70	-122
2.219	9				2.25	50	-222
2.117	10				2.12	50	204
1.9194	6	1.900	8	515			
1.9050	20				1.903	70	015
1.7840	10	1.781	12	266	1.792	50	601
1.7552	8	1.754	8	535			
1.7254	9	1.725	8	602	1.715	30	-520

1: 登別温泉産湯の華, Sample No. = NOB-1

2: α -sulfur, S, JCPDS Card No. = 8-2473: latiumite, $(Ca,K)_4(Si,Al)_5O_{11}(SO_4,CO_3)$, JCPDS Card No. = 8-174

表3. 登別温泉産湯の華の蛍光X線分析結果 (NOB-2)

成分名	X線強度(kcps)	分析結果(wt.%)	規格化前(wt.%)
MgO	0.0442	0.100	0.017
Al ₂ O ₃	4.0230	2.300	0.410
SiO ₂	12.9418	8.100	1.400
SO ₃	249.5028	87.000	15.000
K ₂ O	0.3507	0.220	0.038
CaO	0.6649	0.310	0.054
MnO	0.6322	0.170	0.029
Fe ₂ O ₃	7.8832	1.400	0.240
CuO	0.4871	0.031	0.005

(1) 登別温泉 (北海道)

江戸時代の安政5年に開湯したと言われ、硫黄泉、硫化水素泉、明礬泉、鉄泉、緑礬泉、石膏泉、放射能泉等北海道一、泉質が豊富な温泉とされている。今回、研究に使用した湯の華は、登別温泉町のとろん企画(有)で発売しているパック入り(10g)の天然入浴剤「登別の湯」と銘打たれたもの(NOB-1)と、登別温泉湯の華本舗で製造販売しているパック入り(5g)の霊泉湯の華登別温泉「温泉の素」と銘打たれたもの(NOB-2)の二種類で、共にやや黄色味をおびた灰色の粉末で、わずかに硫黄臭がするものである。

表2にNOB-1のX線粉末回折の結果を示す。ここでは、 α -硫黄のピークが顕著にみられ、当温泉の湯の華では一番多い構成鉱物であると思われる。 α -硫黄以外のピークは自動検索の結果、ラティウムイト(latiumite, $(Ca,K)_4(Si,Al)_5O_{11}(SO_4,CO_3)$)という硫酸塩鉱物のものと合致することが判明した。EPMAによる定性分析の結果によると、S, Si, Al, K, Feを検出した。NOB-2のX線粉末回折の結果は、NOB-1のものと同様である。表3にNOB-2の蛍光X線分析結果を示す。圧倒的に多いS成分は、 α -硫黄とラティウムイトに、又Si, Al, Ca, K成分はラティウムイトに起因すると思われる。Fe成分も少量含まれるが、これは樹脂で固めた試料を反射顕微鏡で観察した際に認められた黄鉄鉱に起因すると思われる。総じて、NOB-1, 2共、同質の湯の華で、構成鉱物は α -硫黄が圧倒的に多く、ついでラティウムイトと黄鉄鉱からなることが判明した。

表4. 沼尻・中の沢温泉産湯の華の蛍光 X 線分析結果 (NUM-1)

成分名	X線強度(kcps)	分析結果(wt.%)	規格化前(wt.%)
Al ₂ O ₃	0.0516	0.033	0.005
SiO ₂	0.1699	0.110	0.018
SO ₃	276.7492	100.000	16.000
CaO	0.0841	0.045	0.007
MnO	0.5479	0.160	0.025
Fe ₂ O ₃	0.2675	0.053	0.008
CuO	0.4700	0.033	0.005

(2) 沼尻・中の沢温泉 (福島県)

この温泉は、以前稼行されていた沼尻硫黄鉱山の近くにあり、日本一の湯の華採取種をもつことで有名である。温泉旅館で販売されていたティーパック入りのクリーム色を呈した粉末の湯の華で、強い硫黄臭を持つ。X線粉末回折の結果では、100% α -硫黄であるが、粉末の色が完全な黄色（硫黄色）でないことから、他の鉱物も含むと考えられる。EPMAによる定性分析では、S, Si, Alを検出し、又、[表4](#)に示すように蛍光X線分析結果では、SO₃成分以外に、MnO, SiO₂, Fe₂O₃, CaO, Al₂O₃, CuO成分を少量ではあるが含む。湯の華の袋に同封されていた福島県衛生公害研究所の温泉分析書によると、含有成分として、H, Na, K, Mg, Ca, Al, Mn, Fe, NH₄, Zn, Cl, H₂SO₄等が記載されており、泉質名は酸性・含鉄-Ca, Al-硫酸塩・塩化物泉とされている。おそらく硫黄の他に鉄を含んだ明礬等の硫酸塩鉱物が含まれていると考えられる。

表5. 草津温泉産湯の華の蛍光 X 線分析結果 (KUS-1)

成分名	X線強度(kcps)	分析結果(wt.%)	規格化前(wt.%)
SiO ₂	0.0901	0.056	0.009
SO ₃	296.9995	100.000	17.000
MnO	0.4756	0.130	0.022
Fe ₂ O ₃	0.2252	0.042	0.007
CuO	0.6116	0.039	0.006

(3) 草津温泉 (群馬県)

白根山 (2,176m) の東側山麓にあるこの温泉は、湯量 (毎分 37,000 l) において東日本一で東の横綱と呼ばれ、湯の華の量も豊富で湯畑は当温泉のシンボルとなっている。有馬, 下呂温泉と並び日本三大名湯の一つに数えられ、その高温の温泉はブルーグリーンの色をなし湯揉みで有名である。温泉旅館で販売されていた当温泉の湯の華は、黄色の粉末で強い硫黄臭を持つ。X線粉末回折の結果では、100% α -硫黄である。EPMAによる定性分析では、Sの他に微量のSi, Caを検出し、又、[表5](#)に示すように蛍光X線分析結果では、SO₃成分以外に、わずかにMnO, SiO₂, Fe₂O₃, CuO成分を含む。泉質は、硫黄を含んだ高温の強酸性泉 (PH=2) とされている。

(4) 万座温泉 (群馬県)

白根山の西側山麓、標高 1,800mの所にある温泉で酸性硫黄泉といわれ、湯の色は乳白色を呈している。上信越高原国立公園内の高山温泉郷で、湧出量は、540 l / 日と言われている。今回は、親切にもこの源泉から直接採取して送ってもらった湯の華を研究試料とした。粘土質で湿っていた為、空気中で自然乾燥させたところ、やや硫黄臭のある黄色味を帯びた灰色の粉末となった。X線粉末回折の結果では、ほとんどが α -硫黄のピークを示す。湯の華の色が黄色でなく灰色であることから100% α -硫黄ではないと思われるが、X線粉末図形は登別温泉のものと類似している為、ラテウムライトが含まれている可能性がある。

(5) 白骨温泉 (長野県)

浴槽の内側に石灰分の白い結晶が成長することから、昔は白船と書かれ「シラホネ温泉」と呼ばれていたが、中里介山の「大菩薩峠」(白骨の巻)の中で白骨と書かれたことから、一躍有名となり「白骨温泉」が通称となっている。泉質は含硫黄-Ca, Mg炭酸塩が湯船の縁に析出しているものと考えられる。今回の実験に使用したのは、温泉旅館から送って頂いた湯の華で薄い黄色の塊状のもので強い硫黄臭を持つ。湿っていたため自然乾燥させた後、実験に使用した。X線粉末回折の結果では、ほとんどが α -硫黄のピークであり、炭酸カルシウムのピークは見られない。粉末の色がやや黄色味が薄いので、他の鉱物が少し混じっていると考えられ、実際X線粉末図形に α -硫黄以外の弱いピークがみられたが、同定には至らなかった。

(6) 塩江温泉 (香川県)

この温泉は、約1,300年前に行基が発見し、弘法大師が修行をして万人に湯治を勧めたという歴史ある霊泉で、源泉には六角堂が建てられ、近づけば硫黄の臭いがするという。「讃岐の奥座敷」として長年地元の人々に親しまれて来ている。冷泉だが硫黄の含有濃度が高い単純硫化水素泉とされている。今回の実験に使用したのは、湯元の温泉旅館から送って頂いた湯の華で、自然乾燥をすると強い硫黄臭を放つ白茶色の粉末である。X線粉末回折の結果では、100% α -硫黄のピークであり、色からすると硫黄以外の鉱物が含まれていると考えられるが、X線粉末図形では、他の鉱物は検出できなかった。

(7) 雲仙温泉 (長崎県)

雲仙はかつて「温泉」と記され、701年行基により雲仙一帯を温泉山と称された。その後790年に弘法大師が温泉山登山を行い霊地として誉め讃へ、全国的な温泉へと知られていった。雲仙岳の南南西の山懐に雲仙温泉があり、西側の橘湾に面した海岸部に小浜温泉がある。雲仙温泉の泉質は、酸性硫化水素泉、含硫化水素酸性明礬泉、緑礬泉等と言われているが、一般的には硫黄泉と呼ばれている。小浜温泉は、これに対してナトリウム・塩化物泉(食塩泉)と呼ばれ、泉質が異なる。今回の実験で使用したのは、雲仙温泉にある雲仙地獄の噴気孔で採集した黄色味を帯びた噴気結晶質の小塊である。X線粉末回折の結果では、ほとんどが α -硫黄のピークであり、色からすると硫黄以外の鉱物が含まれていると考えられるが、X線粉末図形では他の鉱物は検出できなかった。EPMAによる定性分析では、S, Fe, Si, Al, Na等を検出しているため、硫黄以外の鉱物としては、石英(SiO_2)、長石($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$)、褐鉄鉱($\text{FeO} \cdot \text{OH}$)等が考えられる。

表6. 霧島温泉産湯の華の蛍光X線分析結果(KIR-1)

成分名	X線強度(kcps)	分析結果(wt.%)	規格化前(wt.%)
Al_2O_3	0.0477	0.035	0.005
SiO_2	0.0861	0.065	0.009
SO_3	211.7398	82.000	12.000
CaO	30.6713	17.000	2.400
MnO	0.5622	0.240	0.034
CuO	0.5529	0.056	0.008

(8) 霧島温泉 (鹿児島県)

複合火山帯の霧島火山群にある11種の温泉群の一つである霧島温泉郷は、泉質が硫黄泉、炭酸水素塩泉、ナトリウム塩化物泉、単純泉の4種類があるとされている。今回の実験に使用したのは、霧島温泉郷から得た湯の華で、鹿児島県始良郡牧園町高千穂にある(有)ソルト商事の販売品である。黄色い粉末で強い硫黄臭をもつ。X線粉末回折の結果では、 α -硫黄の強いピークの他に方解石のピークも示すことが判った。表6に蛍光X線分析結果を示すが、これによると SO_3 成分が82%で、他にCaO成分が17%とかなり含まれ、MnO, SiO_2 , Al_2O_3 , CuO成分が微量含まれていることが判明した。CaO成分は、X線粉末法で検出された方解石に起因すると考えられる。今回調べた湯の華は、硫黄泉と炭酸水素塩泉の混じったものと考えられる。

2. 硫酸塩華

表 7. 会津東山温泉産湯の華の X 線回折結果 (HIG-1)

1		2		
d(Å)	I	d(Å)	I	hkl
7.68	49	7.590	77	020
4.304	57	4.279	100	-121
3.824	32	3.795	13	040, 031
3.182	2	3.168	4	-112
3.076	100	3.061	55	-141
2.873	38	2.875	42	121
2.791	7	2.789	8	-211
2.670	26	2.683	31	022
2.600	9	2.595	3	150, -202
2.502	9	2.499	8	200
2.458	3	2.451	5	-222
2.407	5	2.404	2	141
2.222	15	2.215	9	-152
2.144	2	2.087	11	240
2.078	27	2.079	8	-123
1.9950	9	1.9893	2	170
1.9020	20	1.8973	9	062
1.8835	9	1.8781	8	-143
1.8660	9	1.8656	2	-312
1.8145	18	1.8098	8	-262
1.8011	22	1.8000	4	-321
1.7853	16	1.7708	6	-181

1 : 会津東山温泉産湯の華, Sample No. = HIG-1

2 : gypsum, CaSO₄ · 2H₂O, JCPDS Card No. = 36-0432

(1) 会津東山温泉 (福島県)

この温泉は会津若松の奥座敷温泉で、今から約 1,300 年前、名僧行基により発見されたと言われ、奥羽三楽郷の一つに数えられる歴史ある温泉郷で、土方歳三、横山大観、竹下夢二、与謝野晶子、野口英世、筆者等が度々訪れたという。泉質は、含食塩・石膏泉（カルシウム・ナトリウム硫酸物・塩化物泉）とされ、湯温 50~60°C、湯量毎分 2,000 l とされている。

実験に用いたのは、この温泉のある旅館の浴槽に付着していた灰白色の湯の華で、[表 7](#)に X 線粉末回折の結果を示す。強いピークの順番が多少入れ替わっているが、石膏 (gypsum, CaSO₄ · 2H₂O) のピークと良く合致している。この旅館の源泉は石膏泉だと思われる。

表 8. 別府温泉産湯の華の X 線粉末回折結果 (BEP-2)

1		2		
d(Å)	hkl	d(Å)	hkl	hkl
7.91	5	7.92	15	220
6.046	14	6.100	20	040
4.924	30	4.970	50	-301
4.780	61	4.810	100	201
4.657	10	4.630	30	-321
4.586	13			
4.384	12			
4.291	57	4.300	100	-401
4.158	24	4.150	50	-241
4.105	34	4.100	50	141
3.966	17	3.980	20	510
3.768	32	3.780	30	241
3.491	100	3.500	100	450
3.440	10	3.400	25	421
3.271	11	3.270	25	161
3.162	10	3.180	20	-611
3.040	15	3.060	10	-112
2.964	14	2.970	20	-271
2.884	18	2.882	30	-132
2.828	10	2.834	15	-641
2.776	12	2.766	15	380
2.711	6	2.710	15	611
2.674	21	2.680	25	-342
2.605	17	2.605	25	-152
2.554	15	2.556	30	-741
2.512	7	2.512	10	-661
2.462	6	2.458	15	-452
2.394	9	2.389	15	-831
2.297	6	2.289	20	-491
2.233	4	2.232	10	-732
2.189	5	2.191	10	522
2.009	12	2.012	15	-762
1.9521	5	1.962	5	-961
1.8729	20	1.873	50	-1051
1.8301	8	1.844	10	-782
1.8179	8	1.822	10	-713
1.7788	6	1.782	5	-733

1 : 別府温泉産湯の華, Sample No. = BEP-2
 2 : halotrichite, $\text{FeAl}_2(\text{SO}_4)_4 \cdot 22\text{H}_2\text{O}$, JCPDS Card No. = 26-1425

表 9. 別府温泉血の池地獄産湯の華の X 線粉末回折結果 (BEP-4)

1		2			3			4		
d(Å)	hkl	d(Å)	hkl	hkl	d(Å)	hkl	hkl	d(Å)	hkl	hkl
7.37	7							7.35	21	100
6.05	7							6.01	8	001
5.83	5	5.93	45	101	5.76	9	003	5.79	2	-130
		5.72	25	003						
5.19	16	5.09	70	102	4.99	20	102			
4.52	10							4.489	100	0-41
4.371	17							4.390	80	-131
4.251	10							4.275	8	150
4.111	100							3.969	80	1-31
3.698	9	3.65	40	110				3.675	45	200
3.618	14	3.55	4	104	3.51	32	104	3.601	12	0-61
3.383	10							3.361	19	170
3.266	7							3.298	4	-2-11
3.183	9									
3.148	40							3.155	4	-231
3.116	72	3.11	75	201				3.102	14	-2-31
3.003	15	3.08	100	113	3.01	85	105	3.022	35	180
		3.02	6	105				3.001	30	002
		2.965	15	202						
2.898	17	2.861	30	006	2.90	17	006	2.914	13	-102
								2.842	15	032
2.729	13							2.744	9	0-42
2.594	9							2.627	15	2-51
2.572	23							2.556	3	-271
2.536	20	2.542	30	204				2.539	4	132
2.510	32				2.48	20	204	2.499	20	1100
								2.488	25	062
2.402	5							2.402	2	-281
2.356	20	2.368	4	211				2.358	6	-290
2.311	35	2.302	12	212	2.29	73	107	2.320	8	-2-42
		2.287	40	107	2.26	28	211			
2.221	4				2.21	8	212			
2.036	4				2.04	6	108	2.034	6	-302
1.9918	26	1.977	10	303				2.024	4	-3-12
1.9498	11	1.937	10	207	1.90	100	303	2.014	6	1-121

1 : 別府温泉産湯の華, Sample No. = BEP-4
 2 : jarosite, $\text{KFe}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$, JCPDS Card No. = 22-827
 3 : alunite, $\text{KAl}_3(\text{SO}_4)_3(\text{OH})_6$, JCPDS Card No. = 4-865
 4 : alunogen, $\text{Al}_3(\text{SO}_4)_3 \cdot 17\text{H}_2\text{O}$, JCPDS Card No. = 26-1010

(2) 別府温泉 (大分県)

日本一の湧出量と源泉数 (約 3,000 本) を誇る大温泉郷で、西の横綱と呼ばれており、別府温泉をはじめ、浜脇、観海寺、堀田、明礬、鉄輪、柴石、亀山温泉を含めて、「別府八湯」と言われている。それぞれ泉質が異なり、硫黄泉、硫酸塩泉、塩化物泉、単純泉、含鉄泉、炭酸水素塩泉等があり、世界中にある 11 種類の泉質の内、放射能泉を除く 10 種類の泉質があると言われている。因みに、世界の温泉湧出量を誇っているのは、アメリカのイエローストーン国立公園である。1,000 年以上より昔に、噴気、熱泥、熱湯等が噴出していたことが「豊後風土記」に記され、現在、地獄めぐりとして別府温泉郷の名物となっている。地獄とは、鬼石坊主、山、海、白池、竜巻、かまど、鬼山、血の池の八地獄である。

今回、研究に使用した湯の華は、現地で観光客に無料で配られていた、やや黄色みを帯びた灰白色の多孔質の小塊と血の池地獄で採集した地獄沼の泥である。前者は、白色、灰色、黄色と三つの部分が混じり合っているため、それぞれ分離し、試料名を、BEP1、BEP2、BEP3 とした。X線粉末回折の結果、BEP1 はクリストバライトの強いピークを示したので、珪華の項目で詳しく述べることにする。BEP3 は、 α -硫黄の強いピークを示したので、これは硫黄華であると判断した。BEP2 の X線粉末回折結果を [表 8] に示す。ハロートライト (halotrichite, $\text{FeAl}_2(\text{SO}_4)_4 \cdot 22\text{H}_2\text{O}$) のピークと良く一致しているが、この鉱物は、鉄の入った明礬である。EPMA による定性分析の結果によると、S, Al, K, Fe, Na を検出した。血の池地獄の試料は、赤色の池 (78 °C) の底にたまっていた粘土であるが、この試料

をBEP4とし、そのX線粉末回折結果を[表9]に示す。明礬(alunite, $\text{KAl}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$)、ジャロサイト(jarosite, $\text{KFe}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$)、アルノーゲン(alunogen, $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 17\text{H}_2\text{O}$)等のピークが検出された。jarositeとはaluniteのAlをFeで置換した鉱物であるが、最近火星でも見つかった鉱物で、火星でも温泉作用が存在した可能性が示唆されている。又、alunogenとは、アルミニウムの多い明礬である。赤い色は、赤鉄鉱(hematite, Fe_2O_3)に起因すると思われるが、尚、色の原因については検討を要する。

表 10. 湯布院温泉産湯の華の X 線分析結果 (YUF-1)

成分名	X線強度(kcps)	分析結果(wt.%)	規格化前(wt.%)
Na ₂ O	0.0959	0.180	0.100
MgO	1.1221	0.780	0.450
Al ₂ O ₃	137.7377	25.000	15.000
SiO ₂	2.5978	0.630	0.370
SO ₃	547.7654	64.000	37.000
K ₂ O	3.7772	0.650	0.380
CaO	1.3734	0.180	0.100
Fe ₂ O ₃	151.3465	7.900	4.600
TiO ₂	0.1940	0.089	0.052
CuO	0.7581	0.018	0.010

(3) 湯布院温泉 (大分県)

豊後富士の名で知られる由布岳 (1,584 m) の山麓に広がる全国有数の湯量 (毎分 39,000 ℓ) を誇る人気温泉である。儒学者である毛利空桑が、フナの鱗が金色に輝くところを見て名付けたとされる「金鱗湖」の湖面から立ち上がる湯煙は、由布岳と共にこの温泉のシンボルとなっている。泉質は単純温泉だが、硫黄泉、塩化物泉もある。今回、研究に使用した試料は、湯布院温泉のある旅館の湯船に付着していた湯の華で、粉末にすると薄い茶褐色を呈していた。EPMAによる定性分析の結果によると、S, Si, Al, Ca, Feを検出した。[表10]に蛍光X線分析の結果を示すが、主成分はSO₃とAl₂O₃で次いでFe₂O₃が多く、MgO, SiO₂, K₂O, CaO, Na₂O, TiO₂成分もわずかだが含まれていた。X線粉末回折の結果では、アルノーゲン(alunogen, $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 17\text{H}_2\text{O}$)と明礬(alunite, $\text{KAl}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$)のピークと良く一致していることが判明した。この温泉旅館の湯の華は、硫酸塩華であると考えられる。

表 11. 黒川温泉産湯の華の X 線粉末回折結果 (KUR-1)

1		2		hkl
d(Å)	I	d(Å)	I	
6.00	7	5.93	45	101
5.80	5	5.72	25	003
5.15	22	5.09	70	102
4.28	3			
3.675	10	3.650	40	110
3.125	60	3.110	75	201
3.097	100	3.080	100	113
2.984	7	2.965	15	202
2.882	17	2.861	30	006
2.559	19	2.542	30	204
2.301	36	2.302	12	212
		2.287	40	107
1.984	34	1.977	45	303
1.945	7	1.937	10	207
1.918	5	1.909	8	009
1.830	31	1.825	45	109
1.783	6	1.776	6	208
1.743	3	1.738	6	223
1.719	5	1.717	6	0010
1.698	2	1.690	2	119
1.628	2	1.621	6	314
1.601	4	1.595	6	218
1.577	3	1.572	4	401
1.566	4	1.560	6	0011
1.558	5	1.552	6	402
1.543	15	1.536	20	226
1.515	18	1.507	20	2010

1: 黒川温泉産湯の華, Sample No. = KUR-1

2: jarosite, $\text{KFe}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$, JCPDS Card No. = 22-827

(4) 黒川温泉 (熊本県)

九住山 (1,787 m) の西山麓, 南小国町の標高 700m程の筑後川の支流, 田の原川沿いにある昔からの湯治場だが, 最近の温泉ブームで全国的に有名になり, 大学生等の若い人で溢れ, 年間 100 万人もの観光客が訪れる, 全国有数の湯量を誇る人気温泉である。泉質は硫黄泉及びナトリウム・カルシウム塩化物泉硫酸塩泉である。今回, 研究に使用した試料は, 温泉街で温泉噴気が出ている所に生じていた白色, 黄色, 緑色を帯びた粘土が固まったものである。EPMAによる定性分析の結果によると, Fe, Ca, Na, K, S, Si, Alを検出した。[表11]に示す X 線粉末回折の結果では, ジャロサイト (jarosite, $\text{KFe}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$) のピークと良く一致していることが判明した。この鉱物は, 温泉地帯にしばしば生じている粘土鉱物で, カリウム, 鉄を含む硫酸塩鉱物である。この温泉の湯の華は, 硫酸塩華であると考えられる。

(5) 杖立温泉 (熊本県)

阿蘇郡小国町にあるこの温泉は, 1,800 年の歴史を誇る。神功皇后が, 新羅に出陣し, 凱旋の後, 筑紫の地で応神天皇を出産, その時ここ杖立の岸壁で霊泉を汲み産湯としたことが始まりとされている。その後 1,200 年程前 (平安時代の初め), 旅の途中でこの地を訪れた弘法大師が持っていた竹の杖を立ててみたところ, 節々から枝や葉が生えてきたのが, この名の由来とされている。又, 杖をついてやって来る病人や老人も帰る頃には杖を忘れるとも言われている。泉質は弱食塩泉, 弱アルカリ泉, 硫黄泉, 塩化物泉といろいろある。今回, 研究に使用した試料は, 杖立温泉の某温泉の湯船から採集した湯の華で灰白色を呈していた。EPMAによる定性分析の結果によると, Ca, S, Feを検出した。X 線粉末回折の結果, 結晶質が悪く, 低角度のピークがほとんど現れていないが, 中~高角度に比較的シャープな

ピークがみられ、石膏(gypsum, $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) のピークと良く一致していることが判明した。EPM Aの結果と総合して、鉄が少々入った石膏がこの温泉の湯の華であると考えられる。

表 12. 国見温泉産湯の華の X 線粉末回折結果 (KUN - 1)

1		2		hkl
d(Å)	I	d(Å)	I	
3.442	13			
3.391	54	3.396	100	111
3.314	9			
3.271	35	3.273	52	021
3.019	6			
2.872	1	2.871	4	002
2.725	11	2.730	9	121
2.698	17	2.700	46	012
2.478	35	2.481	33	200
2.406	14	2.409	14	031
2.371	20	2.372	38	112
2.339	48	2.341	31	130
		2.328	6	022
2.188	15	2.188	11	211
2.105	42	2.106	23	220
1.975	100	1.977	65	221
1.879	54	1.882	32	041
		1.877	25	202
1.815	24	1.814	23	132
1.758	5	1.759	4	141
1.742	15	1.742	25	113
1.726	17	1.728	15	231
1.697	2	1.698	3	222
1.617	4			
1.557	9	1.557	4	311
1.534	3	1.535	2	051
1.4977	9	1.4990	4	241
1.4746	5	1.4750	3	321
1.4659	11	1.4660	5	151

1 : 国見温泉産湯の華, Sample No. = KUN-1

2 : aragonite, CaCO_3 , JCPDS Card No. = 5-453

3. 石灰華

(1) 国見温泉 (岩手県)

岩手郡雫石町にあるこの温泉は、秋田駒ヶ岳 (1,637 m) の南山麓にある国見峠 (標高 860 m) に位置し、元々は南部藩の湯治場であったが、昨今の温泉ブームによりエメラルドグリーン (抹茶色) の温泉ということで、全国的に有名になっているみちのくの名湯である。泉質は、硫黄・ナトリウム・炭酸水素泉で源泉は、pH=7.1 の弱アルカリ性で、温度は 54.5°C と言われている。

試料に用いたのは、この温泉のある旅館から頂いた湯の華で、白色の塊であった。EPMAによる定性分析の結果によると、Caを検出した。[表12](#)にX線粉末回折の結果を示すが、霏石 (aragonite, CaCO_3) のピークと良く合致している。この湯の華は、炭酸カルシウムの結晶なので、源泉は炭酸泉だと思われる。源泉は無色透明だが、成分中に藻 (植物) の一種が含まれており、太陽光線が当たると光合成が始まりエメラルドグリーン色に変化するとされている。

表 13. 長島温泉産湯の華の X 線粉末回折結果 (NAG-1)

1		2		hkl
d(Å)	I	d(Å)	I	
4.096	7			
3.941	8			
3.893	12	3.86	12	012
3.827	8			
3.112	8			
3.061	100	3.035	100	104
2.841	5	2.845	3	006
2.666	12			
2.512	12	2.495	14	110
2.459	6			
2.299	28	2.285	18	113
2.271	7			
2.104	17	2.095	18	202
2.001	6			
1.940	4	1.927	5	024
1.921	17	1.913	17	018
1.882	20	1.875	17	116
1.788	3			
1.631	4	1.626	4	211
1.609	8	1.604	8	122
1.598	50	1.587	2	1010
1.527	57	1.525	5	214
1.521	50	1.518	4	208
		1.510	3	119
		1.473	2	125
1.443	55	1.440	5	300
1.424	48	1.422	3	0012

1 : 長島温泉産湯の華, Sample No. = NAG-1

2 : calcite, CaCO₃, JCPDS Card No. = 5-586

(2) 長島温泉 (三重県)

桑名市にあるこの温泉は、木曾川と長良川に挟まれた独特の地形に位置し、1963年、天然ガス探査中に湧出したと言われている。泉質は、炭酸水素塩泉（アルカリ性単純泉）で、源泉の温度は60℃、湧出量は1日1万トンとされている。

実験に用いたのは、この温泉のある旅館の湯船に付着していた湯の華で、茶白色の塊であった。表13にX線粉末回折の結果を示すが、方解石（calcite, CaCO₃）のピークと良く合致している。この湯の華は、炭酸カルシウムの結晶なので、源泉は炭酸泉だと思われる。

(3) 木部谷温泉 (島根県)

津和野から東へ約20 km、鹿足郡柿木村にある温泉で、中国縦貫道六日市ICより約15分の位置にある。炭酸ガスの圧力で25分間隔で約5分間、地上1.8 m程吹き上げる間欠泉が源泉になっている茶褐色の温泉である。源泉は、ラジウムを含む無色透明の含CO₂-Na-塩化物炭酸水素塩泉（25℃, pH=6.2）であるが、鉄分を多く含む為、空気に触れると程なくして独特の茶褐色に変化する。湧出量は毎分200ℓとされている源泉地のあたり一面に黄土色の湯の華がこびりついているが、旅館の好意でその湯の華を送ってもらい実験に用いた。

X線粉末回折の結果は、方解石（calcite, CaCO₃）のピークと完全に一致した。この温泉の湯の華は、鉄を若干含んだ方解石なので、源泉は炭酸泉だと思われる。

(4) 長湯温泉 (大分県)

久住山系の東の麓、海拔450m程の直入町の丘陵地に湧く、湧出量、CO₂含有量、温度共日本一の炭酸泉の温泉である。「飲んで効き、長湯して効く、胃腸心臓に血の薬」と言われ、湯治場としての歴史

は古く、与謝野晶子、田山花袋も訪れたと言う。約 40 °C の炭酸泉と約 45 °C の炭酸土類泉の 2 種類がある。直入町は、平成元年に炭酸泉による温泉治療先進国であるドイツのバートクロチンゲン市とバートナハイム市と友好親善関係を結び、温泉を通じて相互交流を深めている。実験に用いた試料は、長湯温泉の某旅館の湯船に付着していた板状の茶白色の湯の華である。EPMAによる定性分析の結果によると、Ca, Fe, Si, Al, Ti等を検出した。X線粉末回折の結果は、霏石 (aragonite, CaCO_3) のピークと良く合致している。泉質は含炭酸・鉄・重炭酸土類ということであるが、生じている湯の華は、炭酸カルシウムの結晶である霏石で、その量は極めて多く、鍾乳洞の小規模なリムプールの形態をなしており、粒径 0.5 mm程のリムパール状球状結晶も生じている。

表 14. 別府温泉珪華の X 線粉末回折結果 (BEP-1)

1		2			3		
d(Å)	I	d(Å)	I	hkl	d(Å)	I	hkl
4.072	100	4.05	100	101			
3.875	21				3.85	100	222
3.466	7	3.52	4	110	3.44	40	026
3.350	5				3.33	25	311
3.234	13				3.21	60	040
3.141	9	3.135	11	111			
2.855	13	2.841	13	102			
2.491	17	2.485	20	200			
2.119	4	2.118	5	211	2.112	10	319
1.9352	3	1.929	5	113			
1.9046	3				1.900	86	515
1.8740	4	1.870	7	212			
1.6981	4	1.690	3	203			
1.6156	3	1.612	5	301			
1.5327	3	1.533	3	311			

1 : 別府温泉産珪華, Sample No. = BEP-1

2 : cristobalite, JCPDS Card No. = 11-695

3 : α -sulfur, S, JCPDS Card No. = 8-247

4. 珪華

(1) 別府温泉 (大分県)

別府温泉については、3. 硫酸塩華の (2) で詳しく説明した。当温泉で観光客へ無料で配られていた湯の華を調べたところ、白色を呈している部分から、EPMAによる定性分析の結果では、SとFeを検出した。表14にこの白色の湯の華、BEP-1のX線粉末回折の結果を示すが、クリストバライト (cristobalite, SiO_2) と α -硫黄のピークを示している。従ってこの湯の華は、硫黄と鉄を含む珪華と考えられる。

V. 温泉の効能と湯の華について

一日の仕事を終えてたっぷりとお湯につかれば、健康な人でも肉体的・精神的疲労から解放されてリフレッシュした気分になり、湯上がりに晩酌でもすれば最高の気分になれる。まず湯に入ることにより「浮力」が働き、全身の筋肉の緊張が一気にとれ、「水圧」により、血行が良くなりマッサージ効果が出てくる。温めの湯は、副交感神経を刺激しリラックス効果を生み精神を落ち着かせてくれ、逆に熱めの湯は、交換神経を刺激して心と体を目覚めさせるとされている。温泉の場合は、温泉成分による医療効果と日常の繁雑な生活から逃れての大きな解放効果が加わる。温泉地は一般には、山間部・海岸部に存在する為、山間部にあっては付近を散策することにより、森林から出ているフィトンチッドを胸一杯に吸い込み、森林浴という大きな効果も得られ、海岸部にあっては心地よい潮風に吹かれ、身も心も毎日の過酷なストレスから解放される大きな効果をもたらしてくれる、所謂「湯治」というもので、湯の成分が肉体を、温泉を取り巻く環境の良さが心を幸福へと導いてくれる。最近、ボーリング技術の発展に伴い都市部に深い温泉井戸が掘られ、温泉に行く時間的・経済的に余裕の無い都会人の為に、美容と健康と称して各種の

スパ施設が多く建設されて来たが、本来の温泉は都会を大きく離れた大自然の中において初めて保養の意味をなすものであるから考えものである。実際、最近東京の渋谷にあるスパ施設で、温泉水中に含まれるメタンガスの分離処理に失敗した為に爆発事故を起こし、尊い人命が失われるという痛ましい結果となっている。

温泉の分類として以前は重曹泉・石膏泉・芒硝泉等の旧泉質名が使用されていたが、昭和54年以降は温泉水に含まれる化学成分をそのまま示す新泉質名に変わった。以下に主な泉質と湯の華と効能についてまとめて示す。

1. 硫黄泉

温泉水1 kg中に総硫黄2 mg以上含有する温泉である。今回調べた範囲では、北海道の登別、福島県の沼尻・中の沢、群馬県の草津、万座、長野県の白骨、香川県の塩江、長崎県の雲仙、鹿児島県の霧島温泉が、硫黄泉に該当し、湯の華はほとんど α -硫黄である。独特な硫化水素ガスの強い刺激臭を伴う泉質であり、多くは白骨温泉の様にお湯は白濁している。効能は慢性皮膚病、神経痛、高血圧症、リウマチ、慢性胃腸炎、慢性婦人病、運動器障害、肝臓疾患、糖尿病、湿疹、打ち身、挫き、筋肉痛、関節痛、五十肩、動脈硬化症と数多い。硫黄泉は血管を拡張し、皮膚を軟化し皮脂分を溶解する為、全身に染み渡り万病に効くとされているが、反面、皮膚の弱い人や乾燥肌の人は益々肌が乾燥する為、過度の入浴は注意を要する。

2. 硫酸塩泉

温泉水1 kg中の含有成分が1,000 mg以上あり、陰イオンの主成分が硫酸イオンの温泉である。動脈硬化の予防になると言われている硫酸イオンを含む硫酸塩としては、明礬(alunite, $\text{KAl}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$)、鉄明礬(halotrichite, $\text{FeAl}_2(\text{SO}_4)_4 \cdot 22\text{H}_2\text{O}$)、苦土明礬(pickeringite, $\text{MgAl}_2(\text{SO}_4)_4 \cdot 22\text{H}_2\text{O}$)、アルノーゲン(alunogen, $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$)、ジャロサイト(jarosite, $\text{KF}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$)の明礬系鉱物と石膏(gypsum, $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)がある。石膏を含む石膏泉は鎮静効果があり、外傷や関節炎に良く、軽い苦みがある明礬泉は脳卒中の予防や後遺症に良いとされている。石膏を湯の華にもつのは、福島県の会津東山温泉と熊本県の杖立温泉である。明礬を湯の華にもつのは、大分県の別府温泉、湯布院温泉、熊本県の黒川温泉である。

石膏泉の効能は、リウマチ性疾患、神経痛、運動器障害、慢性皮膚病、創傷、慢性婦人病、動脈硬化症、高血圧症、痛風及び高尿酸血症等である。明礬泉の効能は、動脈硬化症、高血圧症、神経痛、関節痛、筋肉痛、創傷、やけど、慢性皮膚病、慢性消化器病、慢性婦人病等である。

3. 二酸化炭素泉及び炭酸水素泉

温泉水1 kg中に遊離炭素1,000 mg以上含むものを二酸化炭素泉、炭酸水素イオン1,000 mg以上含むものを炭酸水素泉という。前者は二酸化炭素が溶け込んでいるので、小さな泡が体につくのが特徴で、冷泉(低温)の場合が多いが保温効果がある。後者は重曹を多く含み、入浴後に清涼感があるのが特徴で肌を柔らかくし滑らかにする効果があり美人の湯とされている。

岩手県の国見温泉の源泉は硫黄・ナトリウム・炭酸水素泉でpH=7.1弱アルカリ性でエメラルドグリーン色を呈していることで有名である。又、大分県の長湯温泉は泉質が炭酸泉及び炭酸土類泉である。この両温泉の湯の華は霰石(aragonite, CaCO_3)である。三重県の長島温泉も炭酸水素塩泉であるが、ここの湯の華は同じ炭酸塩鉱物でも霰石と同質異像の関係にある方解石(calcite, CaCO_3)ある。島根県の本部谷温泉は炭酸ガスの圧力で吹き上がる間歇泉があり、Ca含有量日本一を誇る温泉として有名である。泉質は含 CO_2 -Na-塩化物炭酸水素塩泉で茶褐色の湯の華が大量に生じているが、これは方解石(calcite, CaCO_3)ある。

これらの泉質の効能は慢性関節炎、リウマチ、神経痛、打ち身、筋肉痛、五十肩、高血圧症、糖尿病、慢性消化器病、胆嚢症、慢性皮膚病、アトピー性皮膚炎、痔疾等である。

4. 珪酸泉

これは従来の温泉区分には無い泉質であるが、大分県の別府温泉の湯の華に大量のクリストバライト

(cristobalite, SiO_2) が晶出しているものがある為、泉質として珪酸泉を加える事とする。効能は判らないが、硫黄と明礬類と共生しているので硫黄泉と硫酸塩泉の場合と共通のものであると考えられる。

謝辞

本研究を遂行するにあたり、福岡教育大学藏源一郎教授並びに鈴木清一教授には高出力回転対陰極X線粉末回折装置並びにエネルギー分散型EPMAの使用に関して大変便宜を図って頂いた。又、蛍光X線分析に関しては、棟上俊二準教授に又検鏡試料及びEPMA分析試料の作製に関しては、福岡教育大学高須岩夫文部科学技官に大変お世話になった。記して感謝の意を表したい。

各地の温泉の歴史・効能等については、インターネットで公表されている資料を引用させて頂いた事を合わせて感謝致します。又、親切にも学生の卒論研究の為に貴重な湯の華を提供して頂いた全国各地の温泉旅館の方々に深く御礼申し上げます。

引用文献

おとなの温泉旅行術：松田忠徳著 PHP新書 2003年

温泉法則：石川理夫著 集英社新書 2003年

温泉の指針：服部安蔵著 広川書店 1959年

温泉法：<http://www.houko.com/00/01/S23/125htm>

温泉の効果、禁忌症と適応症：

<http://www.pref.ibaraki.jp/bukyoku/hoken/yakumu/onsen/kounou.htm>

学会発表

寺山亜紗実・棟上俊二・上野禎一（2000）：湯の華の鉱物学的研究I.

日本地質学会西日本支部会 第140回例会，於 山口大学

上野禎一・牛島美希・岸本典子・秦照美（2006）：湯の華の鉱物学的研究II.

日本地質学会西日本支部会 第152回例会，於 佐賀大学