

温泉からみた金鉱床 -鹿児島県北薩金銀鉱床区の例-

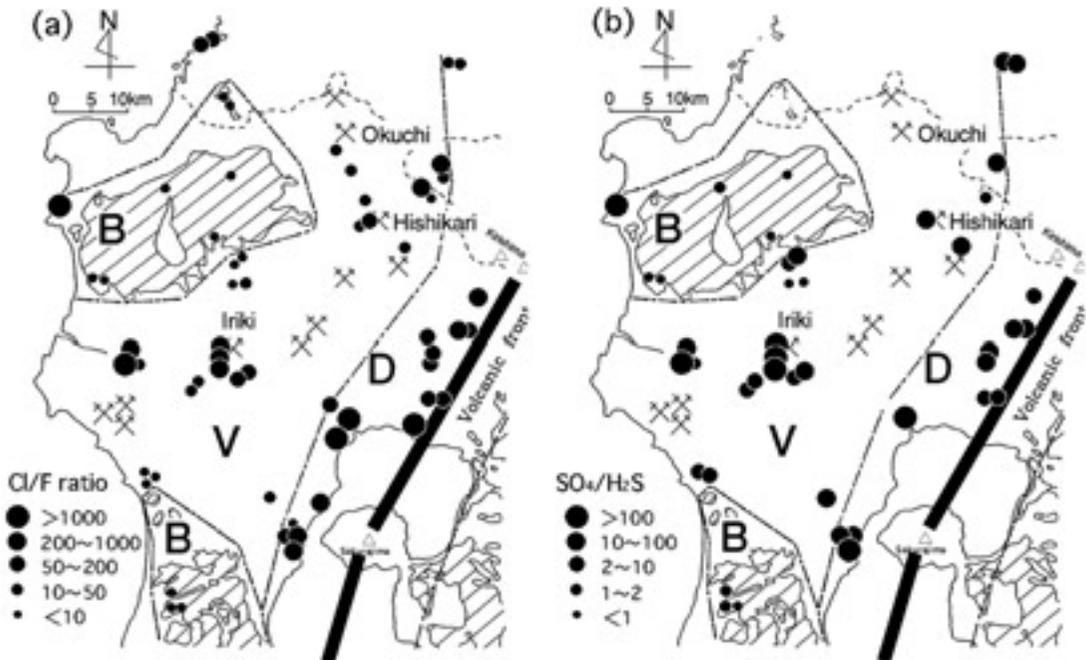
田口幸洋¹⁾

1. はじめに

鹿児島県北薩地域は日本有数の産金地帯ですが、この地域には多くの温泉が分布していることは、意外と知られていないのではないかと思います。そのうちのいくつかは、現在も金鉱床から湧出しています。また、現在温泉の湧出は認められませんが、王ノ山鉱床の直上の地表にはシンターが残っており、かつては中性の深部熱水が地表まで達していたことを示唆している所もあります。なお、現在本地域東端に位置する霧島火山では、200℃を越す中性の深部熱水を取り出し、地熱発電も行

われています。これらの、過去および現在の熱水系は、東進する火成活動で生成されたと考えられており(Izawa and Urashima, 1983)、本地域は、現在の地熱系と金鉱床をつくった熱水系を比較検討するには都合のよいフィールドです。

ここでは、本地域および周辺に産する温泉の主要化学組成を検討し、金鉱床に伴う温泉の特徴や、温泉からみた金鉱床の生成場などについて述べたいと思います。ここで紹介することは、金鉱床地域に分布する多くの温泉を用いて金鉱床の有望地域を絞り込み、探査に利用できないかということからはじまった成果の一部です。



第1図 a: 北薩地域の温泉のCl/F比分布, b: 同SO₄/H₂S比分布.

1) 福岡大学

キーワード: 温泉, 金鉱床, 地化学, 北薩, 鹿児島

第1表 北薩地域の代表的な温泉の化学組成.

地域	基盤岩地域 (B)		やや古い火山岩地域 (V)		火山性地溝地域 (D)	
	川内	宮之城	栗野	砂石	妙見	霧島
地名	川内	宮之城	栗野	砂石	妙見	霧島
泉源	マル善	紫尾	こすもす	広田源泉	石原荘	さつま荘
温度 (°C)	55.4	50.5	58.6	60.1	50.4	98.7
pH	9.2	9.1	8.4	8.4	6.5	8.7
Li ⁺	0.05	0.16	0.02	0.16	0.49	3.95
Na ⁺	75.6	97.8	131	128	147	519
K ⁺	0.96	0.93	1.27	2.25	29.7	76.7
NH ⁴⁺	8.3	9.5	0.9	2.2	8.3	25.4
Mg ²⁺	0.15	0.25	0.61	0.2	67.9	0.4
Ca ²⁺	2.7	3.5	5	8.6	102	10
Cl ⁻	21.2	22.7	65	240	132	873
F ⁻	1.5	3.4	1.5	1.5	0.5	1.8
HCO ³⁻	129	155	140	61	925	159
SO ₄ ²⁻	35	45	98	15	96.2	85
B	0.18	0.65	2	0.21	3.86	26.9
SiO ₂	64.2	56.2	73	86.2	148	420
free CO ₂	0	0	0	0	481	
H ₂ S	8.5	12.2	0.5	0.5	0.9	4.6
SO ₄ /H ₂ S	1.5	1.3	67.2	11.1	32.1	<6.5

2. 温泉の分布と特徴

今回検討した温泉は、主に鹿児島県の北部 (50×80km)、いわゆる主として北薩地域に分布する温泉で、約60箇所より採取したものです。これらは第1図に示すように、金鉱床を含む地域はもちろん、周辺の基盤岩が露出している地域のものまで含まれています。なお、温泉の分布地域をここでは便宜的に、金鉱床を胚胎する鮮新世から更新世初期のやや古い火山岩が主として分布している地域 (V)、現在の琉球系の活火山が配列する火山性地溝 (鹿児島地溝) 地域 (D)、そして北薩地域の基盤をなす四万十層群が主として露出している基盤岩地域 (B) と、3つの地域に分けて特徴を検討します。

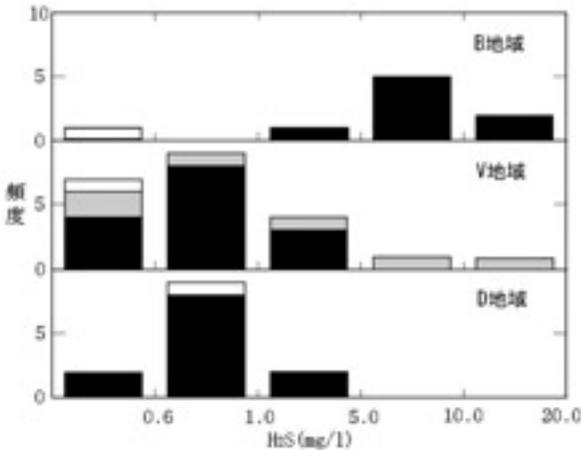
2.1 各地域の温泉水の化学的特徴

今回採取した温泉水の代表的な分析値を第1表に示しています。基盤岩地域 (B) より湧出する温泉は、火山岩が露出している他2地域に比べて一般的に全溶存成分が少なく、NaHCO₃を主とするCl濃度の低い (数十mg/l) 温泉で、pHは9を越す弱アルカリ性を示します。Cl濃度が低いわりにF濃

度が相対的に大きいため、基盤岩が分布する地域の温泉は、第1図aに示すようにCl/F比が極めて小さくなる傾向があります。これは中新世に基盤岩に貫入した花崗岩の影響というより、四万十累層群に花崗岩と同様にFが多いこと (500-900ppm, Nedachi *et al.*, 1984) に起因していると考えられます。さらに、基盤岩地域より湧出する温泉は、四万十累層群が有機物に富むことを反映し、火山岩が分布する地域 (VおよびD地域) に比べ還元的で、H₂Sに富んでいます (第2図)。そのため、SO₄/H₂S比は基盤岩地域より産する温泉では小さく (1-2)、還元硫黄種 (H₂S) に富んでいることを示しています (第1図b)。一方、火山岩が分布する地域 (VおよびD) に産する温泉は、上に述べた基盤岩に産する温泉水とは対照的な特徴を有しています。すなわち、全溶存成分が一般的により多く、pHは中性で、Cl濃度は比較的高く (数百mg/l程度)、硫黄種は酸化種のSO₄に富んでいるということです。

2.2 金鉱床により産する温泉の化学的特徴

金鉱床は鮮新世から更新世初期のやや古い火山岩地域 (V) に分布しており、菱刈、入来、大口の各鉱山から温泉が湧出しています。それらの温泉水



第2図 北薩地域の温泉のH₂S含有量の地域別ヒストグラム。灰色部：ボーリングで四万十累層群が確認されている温泉，白抜き部：海水起源と考えられる高塩濃度の温泉。

第2表 北薩地域の金鉱床より湧出する温泉の化学組成。

地域	やや古い火山岩地域 (V)		
	入来	菱刈	大口
地名	入来	菱刈	大口
泉源	諏訪温泉	AW-19	下牛尾
温度 (°C)	46.2	66.7	34.8
pH	6.6	7.1	2.9
Li ⁺	3.03	3.62	0.62
Na ⁺	1024	596	237
K ⁺	59.9	28.6	22.9
Mg ²⁺	32.6	13.8	29.2
Ca ²⁺	124	71.8	475
Cl ⁻	1284	446	48.5
F ⁻	1.8	0.64	
HCO ³⁻	755	1232	0
SO ₄ ²⁻	356	89	2250
B	13.4	21.2	4
SiO ₂	71.8	119	80
free CO ₂	362	371	0
H ₂ S	0.74	0.61	

の化学組成を第2表に示しています。金鉱床より産する温泉は、pHは中性で、周辺の火山岩から産する温泉に比べCl濃度が高い傾向にあります。すなわち、菱刈や入来鉱床の周辺の温泉は、Cl濃度は約200mg/l程度ですが、菱刈鉱床では約450mg/l、入来鉱床では約1,300mg/lとはるかに高い値を示しています。また、鉱床より産する温泉はfree CO₂にも富んでいます。すなわち、鉱床から湧出する温泉は、揮発性成分に富む温泉であるといえます。なお、大口鉱山の温泉の分析値も示していますが、これは本来の温泉水の化学組成ではなく、坑内で酸化および希釈を受けていると考えられもので、pHが低く、SO₄濃度も高く、ここでは直接比較ができません。

3. 金鉱床はどこに

以上の金鉱床およびその周辺地域に産する温泉の化学的特徴から、金鉱床の生成場についていくつかの重要な情報が得られます。一つは基盤岩の四万十累層群が金鉱化作用時に果たす役割についてです。基盤岩から湧出する温泉が還元硫黄種に富むことは、四万十累層群中では金を運ぶ鉱液の酸化が起こりにくいことを意味しています。金は浅熱水性環境の中性領域ではAu (HS)₂⁻として運

ばれ、沸騰により効率的に沈殿濃集が行われます。この時、基盤岩が地下浅所まで盛り上がる地塁状の構造があれば、金を運ぶ鉱液は四万十累層群の中を酸化的な水に邪魔されることなく上昇し、すなわち熱水は酸化を免れ地下浅所まで達することができます。そして、浅所で沸騰が起きれば、金の濃度の高い鉱液からの大濃集が起きることが考えられます。もし、このような盛り上がりがない場合は(ほとんどの金鉱床はそうですが)、鉱液は地下で火山岩の中を循環する比較的酸化的な硫黄種に富む水と混合沈殿を起こし、鉱液中の金の濃度がある程度減少したものが上昇し、それが沸騰を起こすこととなります。すなわち、基盤の四万十累層群は、金を運ぶ還元性の保護容器として重要な役割を果たすことが考えられます。これは、四万十累層群の基盤の盛り上がり金鉱床の探査で重要な指針となることを地化学的に支持しています。

菱刈鉱床の本鉱床鉱脈群は、基盤の四万十累層群の中ないしは、基盤の上位の火山岩類との境界部に発達しています。菱刈鉱床における金の高品位及び大濃集にはこのような基盤の盛り上がり関係していることが考えられます。

また、金鉱床に伴う温泉水中のClやfree CO₂が多いことは、次のように理解されます。菱刈鉱床においては、10 Ω・m以下の低比抵抗ゾーンが地下

8km以深にまで伸び、さらに $1 \Omega \cdot m$ 以下(部分的に溶けているマグマに対応するような値)の異常に低い比抵抗ゾーンが報告されています(川崎ほか, 1986)。菱刈や入来の鉱床の生成が1Maより若いことを考えると、鉱床をつくっている割れ目は地下深部の現在も比較的高温部にまで達し、温泉水中の高い濃度のClやfree CO₂は、そこから供給されている可能性があります。菱刈や入来の温泉に伴うガスの同位体の研究はこのようなアイデアを支持しています(Taguchi *et al.*, 1992)。

このようなことから、温泉を伴うような比較的若い金鉱床の探査に温泉を用いる場合のいくつかの指針が考えられます。ここで、火山岩中の金鉱床(火山岩タイプ)と盛り上がった基盤岩が関与している金鉱床(菱刈タイプ)に区分します。火山岩タイプでは基盤岩の寄与は考えられないので、基本的には周辺の温泉に比べ、Clやfree CO₂濃度の高い温泉の近傍が有望地域になると考えられます。このような地域で海岸に近い場合には、海水起源のClの評価が問題となります。一方、菱刈タイプの場合には火山岩タイプの条件の他に、基盤岩の存在を示唆する化学成分を加味して判断することになります。金属鉱業事業団が北薩地域で調査を行ったなかでは、入来が前者の、えびの市真幸が後者の温泉の特徴を有する地域に相当します。入来ではそれなりの高品位部が把握されましたし、真幸では基盤岩の存在が確認されました。

また、金鉱床から産する温泉は揮発成分に富んでいるので、これに由来するガス成分(CO₂, ラドン, 水銀など)を利用し、鉱脈の伸びや広がり

を推定することができます。かつて著者らが菱刈鉱床でおこなった際には、現在開発している鉱体のほとんどは、開発初期に地表からその分布広がりには押さえることができました(Izawa *et al.*, 1990)。

温泉の効能は、何も人間にだけでなく、金鉱床をはじめ種々の資源のできかた、探査開発にも有効な場合があります。温泉に入る時に、少しばかり金のことも考えてもらえれば、温泉はまた一段と違った味わいが出てきます。

文 献

- Izawa, E., Urashima, Y., Ibaraki, K., Suzuki, R., Yokoyama, T., Kawasaki, K. Koga, A. and Taguchi, S. (1990) : The Hishikari gold deposit: high-grade epithermal veins in Quaternary volcanics of southern Kyushu Japan. *Jour. Geochem. Exploration*, 36, 1-56.
- Izawa, E. and Urashima, Y. (1983) : Gold-silver deposits in southern Kyushu, Japan. *Mining Metall. Inst. Japan-Australasian Inst. Mining Metallurgy Joint Symposium*, Sendai, Japan, Session Proc. 97-111.
- 川崎 潔・岡田和也・窪田 亮(1986) : 菱刈鉱山における物理探査. *山地質*, 36, 131-147.
- Taguchi, S., Inamori, H., Koga, A., Kita, I. and Nagao, K. (1992) : Magmatic contributions to the hot springs in the Hokusatsu gold metallogenic province, Kyushu, Japan. *Report, Geological Survey of Japan, Magmatic Contributions to Hydrothermal Systems and the Behavior of Volatiles in Magma*, 279, 176-178.
- Nedachi, M., Kanisawa, S. and Yamamoto, M. (1984) : Chlorine and Fluorine Contents of the Neogene Granitic Rocks in Kyushu, Japan, *Mining Geology*, 34, 437-446.

TAGUCHI Sachihiko (2004) : Hot springs and epithermal gold deposits in the Hokusatsu area, Kagoshima, Japan.

< 受付 : 2004年5月31日 >