

大分県野矢地熱地域の地質調査所試錐地点 における金鉱化作用

森下祐一*

MORISHITA Yuichi (1995) Gold mineralization at the GSJ drill hole in the Noya geothermal area, northeastern Kyushu, Japan, *Bull. Geol. Surv. Japan*, vol. 46 (9), p. 449-456, 2figs., 4tables.

Abstract: This paper reports the occurrence of gold mineralization in a GSJ borehole which was drilled in the Noya geothermal area, located in the ENE-WSW trending Beppu-Shimabara graben, northeastern Kyushu, Japan. Many hot springs and fumaroles as well as zones of hydrothermal alteration are present in the graben. Gold-bearing quartz veins and silicified rocks were present in drill core samples. The host rock is mainly composed of andesitic lapilli tuff which has been altered to propylite.

A vein sample and adularia-bearing silicified rocks contain about 1 ppm of gold, a few hundred ppm of As, a few ppm of Sb and a few hundred ppb of Hg. The average Ag/Au ratio is about 3 in the vein and the silicified rocks. These geochemical features of the southernmost Noya gold mineralization are different to those found in other mineralized zones in the Noya geothermal area.

要 旨

野矢金鉱脈(鉱化作用)は大分県玖珠郡九重町野矢の地熱地域で見いだされた浅熱水性鉱脈型金鉱床(鉱徴)である。かつて地質調査所が野矢において実施した地熱調査試錐において、この野矢金鉱化作用が捕捉されていたことが明らかになった。この試錐コアや周辺の地質を検討し、野矢金鉱化作用の及ぶ範囲や珪化岩で特徴づけられる産状についての知見を得た。

珪化岩の鉱物組成は、含有量の順に石英、アデュラリア、黄鉄鉱であり、その中に石英脈が胚胎する。珪化岩及び脈中の金濃度は 1 ppm 内外であり、Ag/Au 比は約 3 である。砒素、アンチモン、水銀濃度は比較的高く、野矢金鉱化作用の南縁における特徴を示す。

1. はじめに

九州の中央部を東北東-西南西方向に切る別府-島原地溝帯のうち、東部の別府-九重地溝の周縁部には主に鮮新世の火山岩が分布しており、その中に馬上、鯛生、星野等の金鉱床が胚胎している(Fig.1)。これらの鉱床では合計で 50 トン規模の金を産出している。別府-九重地溝内は第四紀の火山岩が分布しているが、地熱地域(豊肥地熱地域)として知られ、大岳及び八丁原地熱発電所が稼働しているほか、多くの温泉が分布している。別府湾の西南西に位置する野矢(大分県玖珠郡九重町)においても地熱兆候があり、1952年に地質調査所(地熱調査班, 1955)が、1976~77年には日本地熱資源開発促進センター(1977)が地熱調査用試錐を行っている。

森下・竹野(1989, 1993)は野外調査のほか、後者の試錐を詳細に検討し、野矢地熱地域において更新世(脈中のア

* 鉱物資源部

Keywords: Noya geothermal area, Kyushu, gold mineralization

デュラリアに対する K-Ar 法で 0.37 ± 0.01 Ma) に生成した金鉱脈を見いだした。鉱脈は潜頭性の石英一方解石—アデュラリア脈で、鉱脈の構成鉱物や胚胎母岩の変質は我が国でよく知られる浅熱水性鉱脈型金鉱床と同様の特徴をもつ。この報告を契機として、金属鉱業事業団は九州中部地域における広域地質構造調査の一環として、野矢地区における調査を 1989 年に開始し、1994 年からは精密地質構造調査に移行した。

本研究では、地質調査所による 1952 年の試錐においても金鉱脈の一端を把握していたことを明らかにする。

2. 地質調査所試錐

2.1 地質概要

野矢地熱地域は、主として第四紀の火山岩からなるが、別府、大岳、八丁原地熱地帯で見られる 10 万年以降の新しい火山は、本地域には存在しない (Fig.1)。この地域の地質は、地熱調査班 (1955)、宮久 (1971, 1972)、豊肥地熱地域地質図編集グループ (1982)、星住ほか (1988) により調べられている。

本地域周辺の層序は Fig.2 に示す通り、下から水分安山岩、川西安山岩、田代岩屑堆積物、阿蘇 4 火砕流堆積物の順である。水分安山岩は次に述べる川西安山岩に覆われるため、鮮新世と考えられている (星住ほか, 1988)。川西安山岩は、K-Ar 法で、 1.6 ± 0.3 Ma (須藤, 1985 a)、 1.4 ± 0.2 Ma (須藤, 1985 b)、 1.4 ± 0.3 Ma (高島, 1980) の年代値が報告されている。

田代岩屑堆積物の年代を直接求めることはできないが、時山安山岩 ($0.7-0.8$ Ma) の上位で、野稲岳火山 ($0.4-0.5$ Ma) の下位にあたる (星住ほか, 1988)。この推定は、野稲岳火山の東方で田代岩屑堆積物が奥江礫層に覆われることによる。しかし、野矢地域における田代岩屑堆積物の年代が、これと異なる可能性は残されている (星住英夫, 私信)。阿蘇 4 火砕流堆積物は、7 万年前の活動により生じた (町田ほか, 1985)。

2.2 試錐概要

地質調査所は、1952 年に野矢地域において地熱調査試錐を実施した。試錐地点は、地温の高いことと穿孔工事の都合を勘案して、Fig.2 に示す地点に決められた (地熱調査班, 1955)。

地質調査所試錐は垂直に 132.5 m 掘削した。地表から深度 8 m までは表土で、深度 8-15 m に阿蘇-4 火砕流堆積物、15-132.5 m (孔底) まで (わずかに角礫を挟む) 角閃石安山岩である (地熱調査班, 1955)。この角閃石安山岩は田代岩屑堆積物に対比されるものと考えられる。

本岩は熱水変質しており、ところにより斜長石や角閃石が消失して石英、黄鉄鉱、方解石を生じている。深度 18-23 m に珪化及び硫化が認められ、深度 84 m 以深では石英脈の細脈が入るようになり、深度 90-110.6 m では珪化岩となっている (地熱調査班, 1955)。

検層温度は深度 40-50 m 付近まで上昇し、そこから孔底までは昇温率は極めて小さい。孔内最高温度は 104°C である。深度 44.5 m には大きな逸水層が認められる。

2.3 試料

分析に供したコア試料は地質調査所試錐により得られたものである (Table 1)。試料 52413 A 1 はほぼ垂直にコアを切る緩傾斜の灰白色石英脈 (幅 2 cm) であり、これに接する母岩 (52413 A 2) はプロピライト化した灰緑色火山礫凝灰岩 (礫径 3-30 mm) が弱珪化したものである。52413 B は灰白色珪化火山礫凝灰岩 (礫径 10-20 mm) である。52413 C は帯黄緑灰色珪化火山礫凝灰岩 (礫径 2-30 mm) である。

これらのコア試料は現地取得したものだが、既に深度表示が失われていた。地熱調査班 (1955) の試錐柱状図によると深度 84 m から孔底の 132.5 m までは石英脈や珪化岩を貫いているが、深度 18-23 m においても珪化及び硫化が認められる。したがって、コア試料はこの何れかの珪化帯からのものであると考えられる。

Table.1 Mineral assemblages of ore-related rocks in the Noya area

Sample No.	Rock type	Quartz	Adularia (K-feldspar)	Pyrite	Smectite	Chlorite	Gypsum	Anhydrite
52412	Scale		+	+			+++	+++
52413A1	Vein	+++			++			
52413A2	Silicified lapilli tuff	+++	++	+	+	+		
52413B	Silicified lapilli tuff	+++	++	++				
52413C	Silicified lapilli tuff	+++	++	+				
52414	Silicified rock	+++	++	+				

Mineral compositions were determined by XRD. +++, Intensity (I) > 80%; ++, 80% > I > 15%; +, 15% > I.

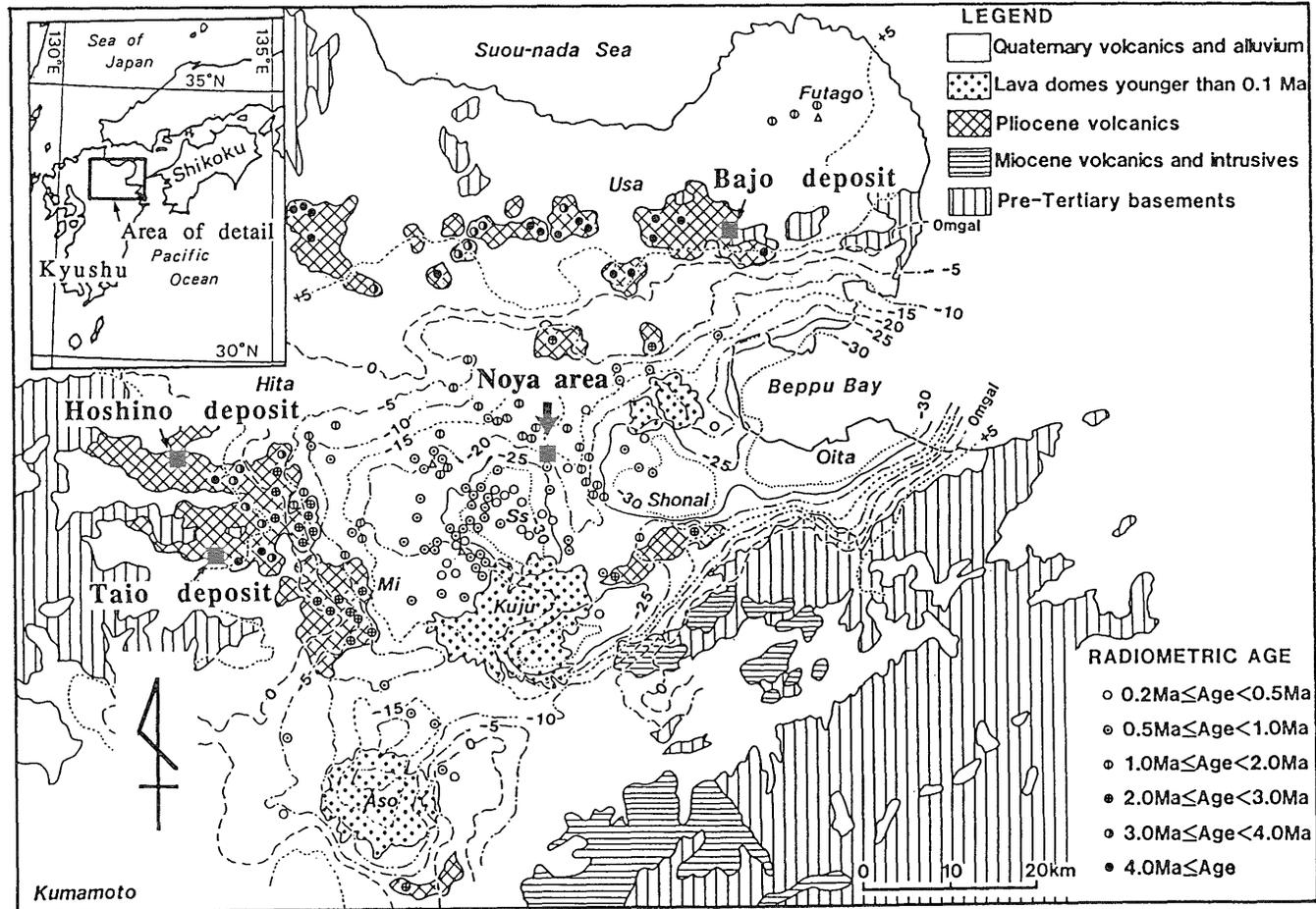


Fig. 1 Generalized geologic map superimposed on Bouguer anomaly map (after KAMATA, 1989) showing the location of the Noya geothermal area and major gold deposits. Bouguer anomaly contours are in milligals. Mi, MiyanoHaru; Ss, Shishimuta

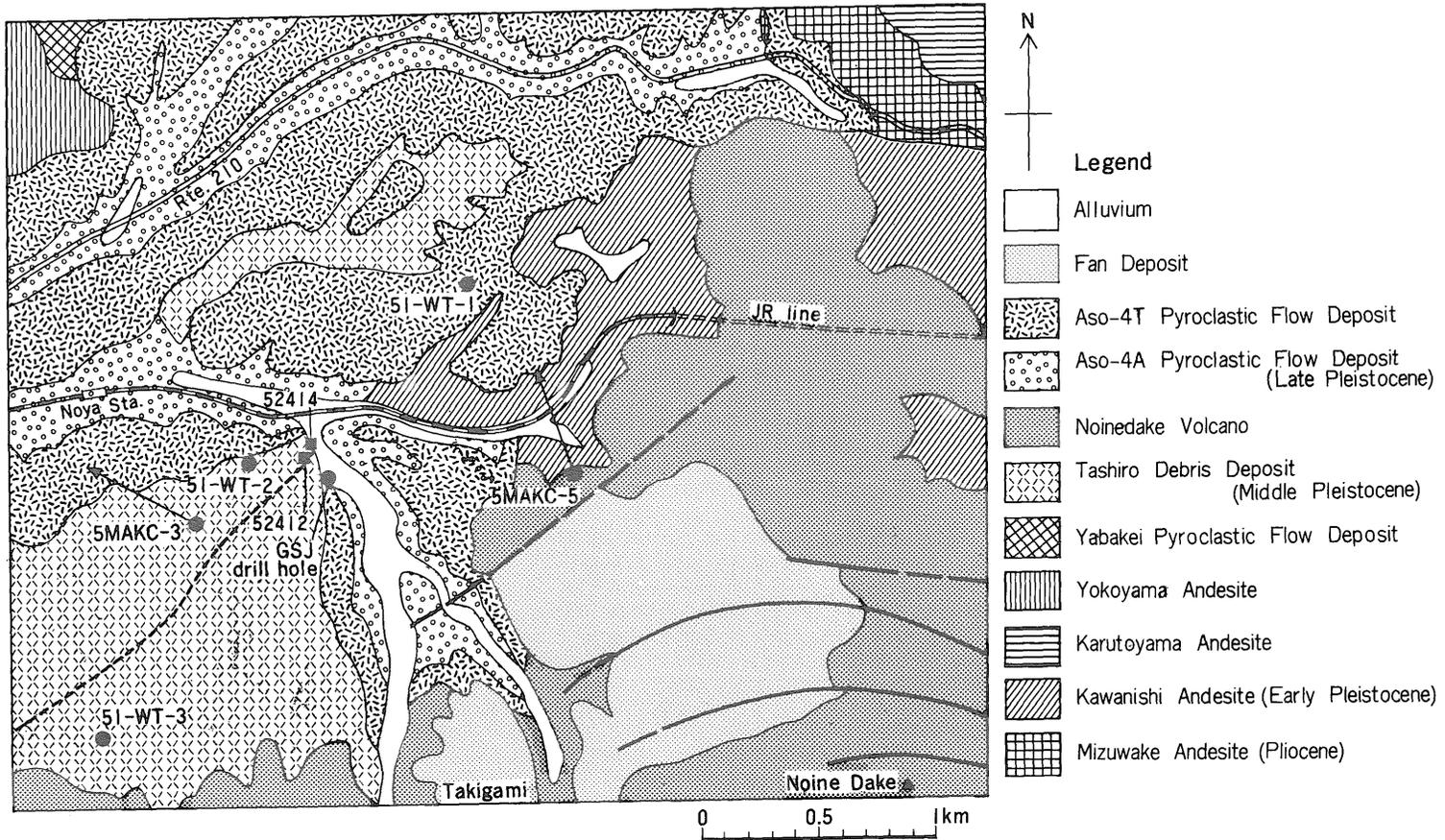


Fig. 2 Geologic and location map of the Noya area.
 Solid circles, locations of the drill holes; solid squares, outcrops; solid and long-dashed lines, faults;
 short-dashed line, lineament.
 The geologic map is after HOSHIZUMI et al. (1988).

Fig.2に示す通り, この試錐の西方約300 mには51-WT-2号試錐があり, 珪化岩が捕捉されている(森下・竹野, 1993). 地表では52414において帯黄灰白色珪化岩の露頭がある. また, その近傍には蒸気を伴う熱水の噴出があり, 導水管外側に付着した帯褐灰白色のスケールを52412として分析に供した.

2.4 X線分析

地質調査所試錐コア及び近傍の野外試料を粉末X線回折で調べた(Table 1). 試錐コア試料のうち灰白色脈はスメクタイトを含む石英脈で, 他の鉱物は検出限界以下であった. 珪化岩は石英を主体とし, アデュラリア(カリ長石)を多量に含むほか黄鉄鉱を普遍的に含むが, 原岩の斜長石は失われている. プロピライト化により生じた緑泥石のピークが検出された試料もある. 地表露頭の珪化岩もコア試料のものと同様の鉱物組み合わせをもつ. 一方, 熱水の供給を受けながら蒸発環境にある配管の外側に付着したスケールは, 石膏と硬石膏を主体としてアデュラ

リアと黄鉄鉱を含む.

2.5 化学分析

化学分析はChemex Labs Ltd. (Canada)に依頼し, Au, Ag, As, Sb, Hgの5元素について行った. 分析元素(表示単位), 分析法及び検出限界をTable 2に示す.

(1) Au, Ag

Au, Agの分析値をTable 3に示す. 試錐コア及び露頭から採取した珪化岩のAu濃度は0.07-0.53 ppmであり, Ag濃度は0.3-1.6 ppmである. 石英脈のAu濃度は1.3 ppmであり, Ag濃度は3.0 ppmである. 温泉沈澱物ではAu, Agとも検出限界以下であった.

(2) As, Sb, Hg

金鉱化作用関連微量元素の分析値をTable 3に示す. 試錐コア(石英脈・珪化岩)と露頭珪化岩について, As濃度は120-400 ppm, Sb濃度は2.4-14.4 ppm, Hg濃度は70-520 ppbの範囲にあった. 温泉沈澱物はこれらの元素に関しても比較的低い値をとる(Table 3).

Table 2 Analytical methods

Element	Method	Detection limit	Upper limit
Au (ppb)	Fuse 10 g sample, N.A.A.	1	10,000
Ag (ppm)	HNO ₃ -aqua-regia digestion, A.A.S.	0.1	100
As (ppm)	HNO ₃ -aqua-regia digestion, A.A.S.	1	10,000
Sb (ppm)	HCl-KClO ₃ extraction, A.A.S.	0.2	1,000
Hg (ppb)	HNO ₃ -HCl digestion, A.A.S.-flameless	10	100,000

Table 3 Selected trace element concentrations (in ppm except Au and Hg in ppb) in ore-related rocks in Noya area.

Sample No.	Rock type	Au	Ag	As	Sb	Hg
52412	Scale	<1	<0.1	11	0.4	70
52413A1	Vein	1270	3.0	120	5.6	140
52413A2	Silicified lapilli tuff	67	0.3	190	2.4	70
52413B	Silicified lapilli tuff	108	0.4	240	6.0	300
52413C	Silicified lapilli tuff	528	1.6	380	4.0	80
52414	Silicified rock	203	0.7	400	14.4	520

3. 考 察

野矢地熱地域における金鉱化作用(金鉱脈)は、鉱床生成モデルの地熱地域への適用により51-WT-1と51-WT-2(Fig.2)において見いだされた(森下・竹野, 1989, 1993)。野矢地域周辺では、鉱化年代と同時代の火山活動がいくつか認められる。51-WT-1の南東約3kmにある野稻岳(Fig.2)では、新鮮な輝石角閃石安山岩溶岩のK-Ar年代として 0.42 ± 0.09 Maが得られている(宇都・須藤, 1985)。野稻岳の南西方には、崩平山溶岩(0.34 ± 0.08 Ma, 0.36 ± 0.04 Ma)や、鹿伏岳溶岩(0.27 ± 0.11 Ma, 0.32 ± 0.05 Ma, 0.33 ± 0.02 Ma)など、野稻岳溶岩より若干若い火山岩類が分布する(鎌田, 1985)。

野矢において金鉱化作用をもたらした熱水系は、これら一連の火山活動の一つとしてマグマが上昇し、裂カ系形成と熱水系への熱の供給が行なわれたものと考えられた(森下・竹野, 1993)。

51-WT-1は標高670mの野矢台地から垂直に700m掘削した。野矢台地は標高650-680mの平坦面を持ち、東-西系及び北東-南西系の沢で刻まれている。51-WT-2は51-WT-1の南西へ台地を降り、JR久大本線を越えた野矢温泉の近く(標高580m)で垂直に700m掘削された(Fig.2)。

両試錐における鉱脈の産状は異なり、51-WT-1は方解石を主体として石英、アデュラリアを含む脈が深度約135-215mの範囲に出現し、 $0.1-20$ ppmの金を含有する(森下・竹野, 1993)。51-WT-1の東方約200mの地点では、その後金属鉱業事業団により実施された試錐により、幅4cmの脈で最高約450ppmの金濃度が確認された(通商産業省資源エネルギー庁, 1993)。一方、51-WT-2では石英を主体としてアデュラリア、方解石を含む珪化岩が深度約23-102mの範囲に分布し、その中に脈が走っている。金濃度は珪化岩中で1ppm弱、脈中で1-4ppmである(森下・竹野, 1993)。

51-WT-1では熱水の沸騰により鉱脈が生成したと考えられ、生成温度も51-WT-2より高いなど、鉱化作用のメカニズムが異なっていたと考えられている(森下・竹野, 1993)。ppmオーダーの金濃度をもつ鉱化帯(脈または珪化岩)は、51-WT-1では164-214m(標高506-456m)、51-WT-2では29-61m(標高551-519m)の範囲で確認された(森下・竹野, 1993)。

森下・竹野(1989)の報告を契機として、金属鉱業事業団は九州中部地域における広域地質構造調査の一環として、野矢地区における調査を1989年に開始し、平成2年

度に1本、平成4年度に10本、平成5年度に5本の計16本の試錐を行った(通商産業省資源エネルギー庁, 1991, 1992, 1993, 1994)。

野矢地域は東西系の一般走向をもつ引治鉱床の東方延長にあり、南-北ないし北西-南東方向の野稻断層(Takenaka and Furuya, 1991)の北方延長にも当たる。周辺では北東-南西方向のリニアメントが観察され(Fig.2)、岩石地化学探査では東北東-西南西方向にAu, Ag, As, Sb, Hgの異常帯が延びている(通商産業省資源エネルギー庁, 1990)。

一方、先に述べたように51-WT-1と51-WT-2における鉱化様式が異なることから、川に沿うJR久大本線(Fig.2)の下に東-西系の断層が潜在していて51-WT-1試錐が実施された台地と、51-WT-2を含むその南側の地域とが分断されている可能性が考えられる。金属鉱業事業団も5MAKC-5(Fig.2)と野矢台地で実施した試錐を比較して、火山礫凝灰岩層の出現深度に200-250mの標高差があることから、断層の潜在を推定している(通商産業省資源エネルギー庁, 1994)。

金属鉱業事業団が広域地質構造調査で行った16本の試錐のうち14本は、この推定断層の北側地区(野矢台地内外)で実施されており、南側地区では2本しか掘削されていない。南側地区の2本は5MAKC-3と5MAKC-5で(Fig.2)、5MAKC-3号試錐は51-WT-2の南西約400m地点において方位磁北 306° 、傾斜 -20° で600m、5MAKC-5号試錐は方位磁北 346° 、傾斜 -35° で600m掘削された(通商産業省資源エネルギー庁, 1994)。5MAKC-3において方解石、沸石細脈が見られたものの、両試錐において金鉱脈は捕捉されなかった。このため、地質調査所試錐により得られたデータは推定断層南側における鉱化作用についての知見を提供する意義がある。

地質調査所試錐及び露頭の珪化岩は石英を主体としてアデュラリアを含むものであり、51-WT-2と同様の産状を示す。また、Ag/Au比は脈が2.4、珪化岩が3.5であり、金鉱化作用関連微量元素(As, Sb, Hg)濃度も比較的高いなど、51-WT-2に似た性質を示す(Table 4)。

51-WT-2試錐コアは角閃石安山岩で、全般にわたり緑色変質をしているほか、コアの採取され始めた23m以深102mまで珪化作用を受けている。深度29-61mの範囲でppmオーダーの金が分析されている(森下・竹野, 1993)が、この鉱化帯を同じ標高で比べると地質調査所試錐では深度11-43mに相当する。この深度は2.3で述べた深度18-23mの珪化帯に対応するが、地表露頭の珪化岩にも金の濃集が認められるので、特定深度に限定されず、地表に至るある程度の広がりをもっていること

Table 4 Selected trace element concentrations (in ppm except Hg in ppb) in drill core samples from the Noya area

Samples	Number of samples	Au (ppm)	Ag (ppm)	As (ppm)	Sb (ppm)	Hg (ppb)	Ag/Au
51-WT-1							
Host rock	6	0.07	0.2	38	0.6	17	
Vein	22	2.75	2.2	5	0	6	0.8
Vein (total)*	44	3.50					
51-WT-2							
Vein (total)	15	1.53	7.5	412 **	21.6 **	804 **	4.9
Vein (gray)	9	1.10	7.6	634	33.3	1229	6.9
Vein (white)	6	2.17	7.4	12 ***	0.5 ***	40 ***	3.4
Silicified rock	20	0.24	0.4	137	2.4	137	1.7
GSJ drill							
Vein	1	1.27	3.0	120	5.6	140	2.4
Silicified rock	3	0.23	0.8	270	4.1	150	3.5

* Samples analyzed only for gold are involved, ** Number of analysis = 14, *** Number of analysis = 5.
Data for drill cores 51-WT-1 and 51-WT-2 are taken from Morishita and Takeno (1993).

が考えられる。地質調査所試錐や珪化岩露頭は 51-WT-2 と共に推定断層の南側の 300-400 m の範囲に分布しており、いずれも珪化岩で特徴づけられる鉱化様式をもっていることが明らかになった。

4. ま と め

野矢金鉱化作用は大分県玖珠郡九重町野矢において森下・竹野(1989,1993)により見いだされ、その後金属鉱業事業団によりさまざまな調査が行われている。この浅熱水性鉱脈型金鉱床(鉱徴)の南部は断層で切られていると推定されているが、この断層の北側と南側では鉱化形式が異なっていると考えられた。推定断層の南側地域におけるデータは少ないが、1952年に地質調査所が地熱調査試錐を行っており(地熱調査班, 1955), その試錐コアや周辺の地質を検討したところ、野矢金鉱化作用の及ぶ範囲や珪化岩で特徴づけられる産状についての知見が得られた。

珪化岩の鉱物組成は、含有量の順に石英、アデュラリア、黄鉄鉱であり、その中に石英脈が胚胎する。珪化岩及び脈中の金濃度は 1 ppm 内外であり、Ag/Au 比は約 3 である。砒素、アンチモン、水銀濃度は比較的高く、51-WT-2 号試錐における含有量の範囲内にあり、野矢金鉱化作用の南縁における特徴を示す。

謝辞 本研究を進めるにあたり、石原舜三博士(北海道大学)に助言を頂きました。厚くお礼申し上げます。

文 献

- 地熱調査班 (1955) 大分県野矢地熱地帯調査報告。地調月報, vol. 6, p. 551-560.
- 豊肥地熱地域地質図編集グループ (1982) : 10 万分の 1 豊肥地熱地域地質図。地質調査所。
- 星住英夫・小野晃司・三村弘二・野田徹郎 (1988) 別府地域の地質。地域地質研究報告 (5 万分の 1 地質図幅), 地質調査所, 131p.
- 鎌田浩毅 (1985) 九州中北部における火山活動の推移と地質構造。地調報告, no. 264, p. 33-64.
- Kamata, H. (1989); Volcanic and structural history of the Hohi volcanic zone, central Kyushu, Japan. *Bull. Volcanol.*, vol. 51, p. 315-332.
- 町田 洋・新井房夫・百瀬 貢 (1985) 阿蘇 4 火山灰一分布の広域性と後期更新世示標層としての意義。火山, 2 集, vol. 30, p. 49-70.
- 宮久三千年 (1971) 20 万分の 1 大分県地質図。大分県。
- (1972) 大分県の地質。新版 20 万分の 1 大分県地質図説明書。大分県, 140p.
- 森下祐一・竹野直人 (1989) 大分県野矢地熱地域における金鉱化作用。鉱山地質, vol. 39, p. 68.
- (1993) 大分県野矢地熱地域における金鉱化作用。資源地質, vol. 43, p.

- 173-186.
- 日本地熱資源開発促進センター(1977) 昭和51年度地熱開発精密調査報告書, no. 5, 涵蓋. 200p.
- 須藤 茂(1985 a) 豊肥地熱地域の火山岩のK-Ar年代と古地磁気. 地調月報, vol. 36, p. 119-136.
- (1985 b) 豊肥地熱地域の火山岩のK-Ar年代と古地磁気-その2-. 地調報告, no. 264, p. 87-112.
- 高島 勲(1980) 地熱開発調査変質帯報告「湯の平」. 地熱開発基礎調査報告書, no. 22, 湯の平, 通商産業省, p. 1-19.
- Takenaka, T. and Furuya, S. (1991) Geochemical model of the Takigami geothermal system, northeast Kyushu, Japan. *Geochem. J.*, vol. 25, p. 267-281.
- 通商産業省資源エネルギー庁(1990) 平成元年度広域地質構造調査報告書, 九州中部地域. 286p.
- (1991) 平成2年度広域地質構造調査報告書, 九州中部地域. 293p.
- (1992) 平成3年度広域地質構造調査報告書, 九州中部地域. 226p.
- (1993) 平成4年度広域地質構造調査報告書, 九州中部地域. 153p.
- (1994) 平成5年度広域地質構造調査報告書, 九州中部地域. 189p.
- 宇都浩三・須藤 茂(1985) 豊肥地熱地域の火山岩のK-Ar年代. 地調報告, no. 264, p. 67-83.

(受付: 1995年7月10日; 受理: 1995年8月29日)