

南方島弧の古地熱系

井沢英二 (九州大学工学部)

浦島幸世 (鹿児島大学教養部)

九州大学の井沢です。このシンポジウムで活地熱系についての詳しい報告がありました。そのなかで田口さんは、現在活動している地熱系で金が沈殿している例を話されました。私達は、南方島弧にみられる古地熱系を広く浅く紹介することにします。

ここでは、地熱系を少し狭い意味に用いて高温熱水系に限定します。高温とは、 200°C を超える温度を考えます。活地熱系であれば、現在の技術水準で容易に地熱発電ができるような地熱系に相当するものです。こうした活地熱系の構成要素としては、①熱源、②熱の運び手としての水、③水の通路になる地下の割目あるいは透水性の良い地層を挙げることができます。従って古地熱系とは、かつて高温熱水系であったが熱源の冷却によって現在は熱水の活動を停止したものを指すことになります。これは、化石地熱系とも呼ばれています。

一方、浅熱水金鉱床と呼ばれる金鉱床を生成する場合は、高温地熱系であることが最近明らかになってきました^{1,2)}。このことから、浅熱水金鉱床の大部分は、古地熱系にほかならないといえます。浅熱水というのは、地下約1000 mより浅い所で上昇流動する熱水といった意味で使われる言葉です³⁾。

次に、南方島弧とは、九州から南へ連なる島々を指すことにします (Fig. 1)。台湾、フィリピン諸島、マレー諸島、スダダ列島、ニューギニア、ソロモン諸島、バヌアツ、フィジー、トンガ・ケルマディク、ニュージーランドなどで、主として太平洋西縁部の島弧です。地球上で最も活発な火山・地熱帯を含む地域で、火山活動の歴史は数百万年から一千万年以上さかのぼることができます。

活動を停止した火山は、やがて侵食されて山の形を失い、地下にかくれていた岩石が地表に露出するようになります。このとき火山の周囲に存在していた高温地熱系の位置は、熱水の作用で地下に広く変質岩が生成していることによって知ることができます。金の沈殿は、一般に地下数100 mの深さで起こるので、地下で生成した熱水変質岩が地表に露出するようになった古地熱系の地域で、金鉱床が発見される例が多いのです。南方島弧には、こうした古地熱系＝金鉱床が多数分布しています (Table 1)。

まず南九州の例からお話します。ここには霧島、桜島、開聞など、この数万年あるいは数千年の間活動を続けている活火山があります。活火山の深部には、高温のマグマが存在していて地熱系を作る熱源となります。それでは、火山の周囲にはいたるところに高温熱水系があるのかといえば、そうではなく、地熱系の要素の1つである水の通路（割目など）がうまく熱源の近く迄発達した所に限定されるわけです。そのため、地熱発電に適した熱水系を探すための様々な調査が

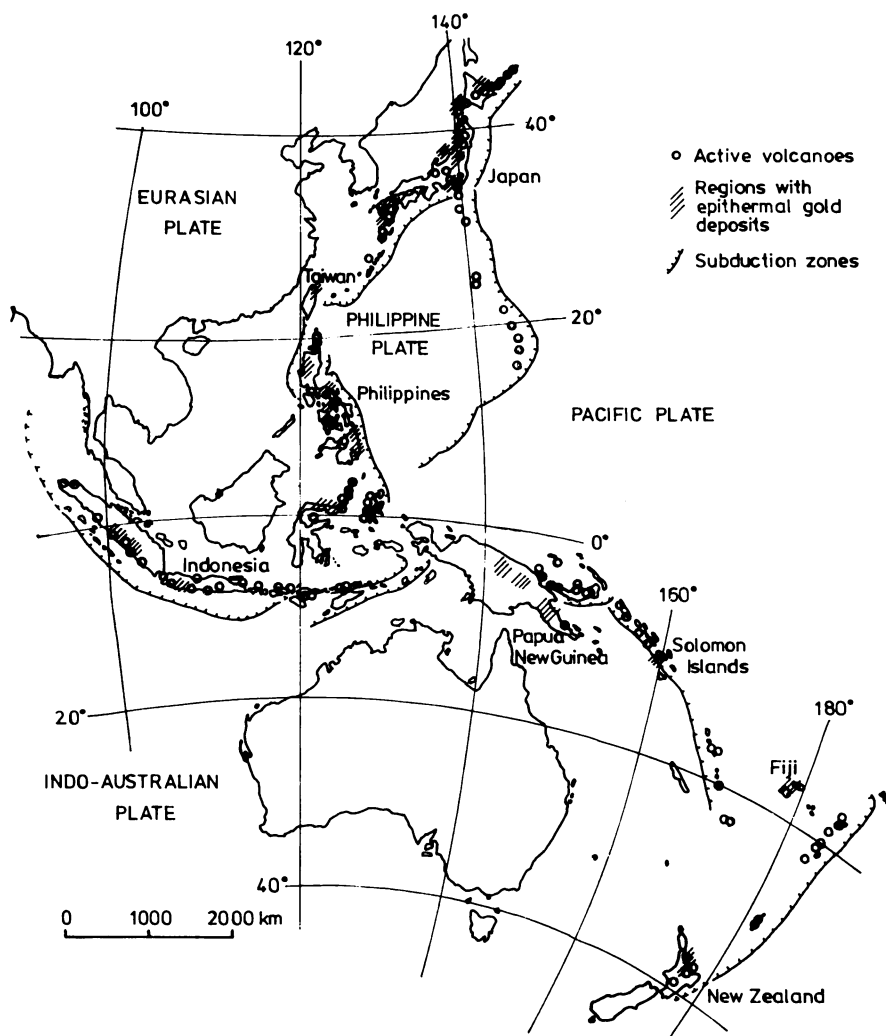


Fig. 1 Regions with active volcanoes and paleo-geothermal systems in the western Pacific rim.

必要になります。

霧島の場合、地下の様子をボーリングによって調査した結果、火山の西側で約 400 m の深さに 200°C を超える高温熱水が活動していることがわかりました。西霧島地熱系の熱源としては、東側にある新燃岳その他の活火山の地下深部に存在するマグマが考えられます。地下の温度は、全体として東方に高く西へ向って低下している様子が認められます (Fig. 2)。新燃岳を中心にとると 8 km 以内に 200°C より高温の地域が分布しています。

西霧島の活地熱系のすぐ西側には、かつて高温であった古地熱系が認められます。牧園町にあ

Table 1 Epithermal gold deposits in the western Pacific rim.

Region	Island	Goldfield (Beginning of igneous activities)	Major deposit	Amount of gold produced	Remarks
Japan	Kyushu	Taio (12 Ma)	Taio*	35t	
		Hokusatsu (9 Ma)	Kushikino	54t	
			Yamagano*	28t	
			Okuchi*	19t	
			Hishikari	(120t)**	Opened in 1985
Taiwan		Nansatsu (8 Ma)	Kasuga	6t	Silicified rock
			Iwato	6t	"
			Akeshi*	5t	"
Taiwan	Taiwan	Chinkuashih (~5 Ma)	Chinkuashih	>50t	"
Philippines	Luzon	Baguio (15 Ma)	Acupan-Antamok	341t	
		Lepanto (-)	Lepanto	>39t	
Indonesia	Sumatra	Lebong (~5 Ma)	Donok*	34t	
			Tandai	-	Reopened in 1986
	Java	West Java (-)	Cikotok	-	
	Sulawesi	North Sulawesi (16 Ma)	Paleleh*	19t	Two mines
Papua New Guinea	New Guinea	Western Highlands (16 Ma)	Nena*	-	Silicified rock
			Pogera*	-	
Solomon	Guadalcanal	Morobe (13 Ma)	Wau	18t	+102t placer gold
Fiji	Viti Levu	Gold Ridge (~5 Ma)	Mavu*	(90t)**	Placer gold
	Vanua Levu	Tavua (7 Ma)	Vatukoula	128t	
New Zealand	North Island	Yanawai (-)	Mt. Kasi*	2t	Silicified rock
		Hauraki (16 Ma)	Waihi*	~160t	

* Unexplored deposits or ceased mines

** Assumed values

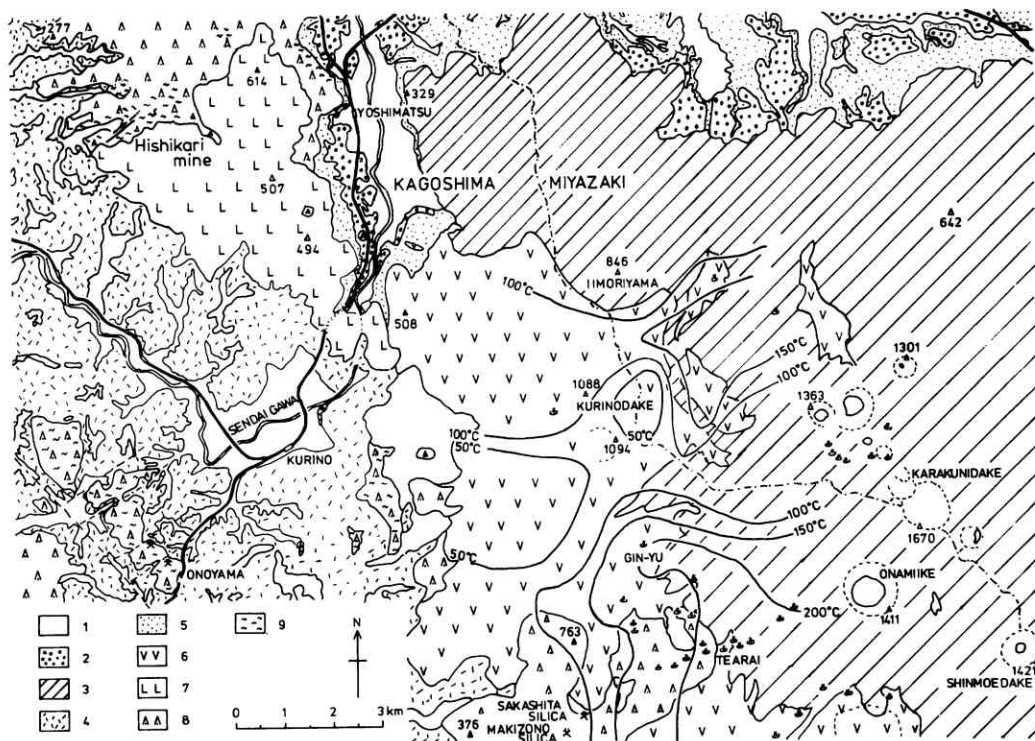


Fig. 2 Geologic map of the west Kirishima and Hishikari areas. Compiled from Sawamura and Matsui⁴⁾, MITI⁵⁾ and Ota and Sawamura⁶⁾. Isothermal contour lines at sea level in the west Kirishima geothermal area taken from Nakagawa et al.⁷⁾

1. Alluvium, 2. Terrace deposits, 3. Kirishima volcanics, 4. Pyroclastic flow deposits (mainly Aira pyroclastic flow), 5. Kakuto formation, 6. Kurino andesite, 7. Hishikari hornblende dacite, 8. pliocene-Pleistocene andesite (Kakuto andesite etc.), 9. Areas of hydrothermal alteration.

る坂下、牧園の珪石鉱床です。これは、地表に湧出した温泉から沈殿したシンターと呼ばれるもので、地下の温度が少なくとも 180°C 以上であったことを示しています。

火山岩の年令は、K-Ar 法やフィッシュトラック法で知ることができます。各地の火山岩の年代測定の結果、100 万年ほど前の火山活動の中心は、霧島火山の西側に隣接してあったことが分ってきました。例えば、吉松町の西方にあるデイサイトの山は、火山の地形はもうはっきりしませんが、100 万年以前に噴出したものです⁸⁾。このデイサイトの火山の西の麓に熱水変質を受けた岩石が分布しています (Fig. 2)。数年間の地質調査と物理探査の後にボーリングが行われ、1981 年冬に地下 200 m で高品位の金を含有した石英脈が発見されました⁹⁾。

菱刈鉱山として 1985 年から試験採掘が始まっていますが、鉱石 1 トン中に 100 g をこえる金が含有されているという世界でもまれにみる優良な鉱脈です。一般に 1 トン中に 10 g あれば立派な

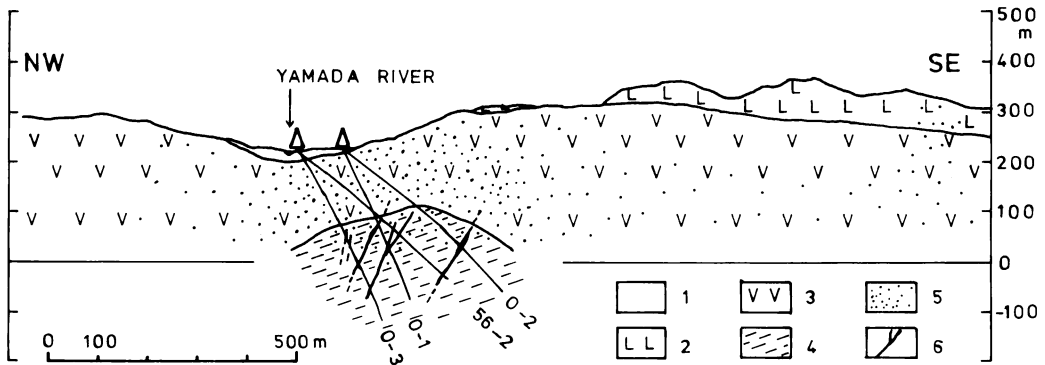


Fig. 3 Cross section of the Hishikari deposit. Drillhole data are from Kondo¹⁰⁾. 1. Alluvium, 2. Hishikari hornblende dacite, 3. Kakuto andesite, 4. Shimanto group, 5. Zone of hydrothermal alteration, 6. Veins.

金の鉱脈とされているのですから、菱刈の金の含有率がいかに高いかがお分かりいただけると思います。いくつかの仮定を含んだ計算ですが、金の量として 120 トン存在するだろうといわれています¹⁰⁾。これは過去、日本一の金山といわれた佐渡金山が、数百年にわたって採掘した 84 トンの金をはるかに上まわる量です。

菱刈鉱山で鉱石となる石英脈が生成したのは、今から 90～100 万年前¹¹⁾です。岩石の割目を通して流動した熱水から沈殿したものです。熱水の温度は、石英の中に微小な包有物として残された水を調べることによって、260～160℃であったと分ります¹²⁾。菱刈は古地熱系といっても、地質学的な時間では若い方に入ります。坑内では、鉱脈から湧出してくる 65℃のお湯を抜きながら採掘を進めていますが、これは過去の高温熱水の名残であるかもしれません。

菱刈鉱床の断面図 (Fig. 3) を見ると、地下の深い部分には基盤岩があります。今からおよそ 1 億年前の中生代の海底に堆積した砂や泥が固まった地層で、四万十層群と呼ばれています。上部の岩石は、2 百万年～百万年前に陸上で噴出した火山岩です。熱水の通った割目は、基盤岩から上位の火山岩へと連続しています。高品位の金が、これらの岩石の境界付近に産出することから、性質の異なる岩石の境界が金の沈殿に好条件の場となった可能性が考えられます。四万十層群の中の鉱脈の写真 (Fig. 4) とその近接写真 (Fig. 5) で、黒い筋が特に金の濃度の高い部分です。このような金に富む部分を反射顕微鏡でみますと明るく輝やく金粒が暗灰色の石英の中に点々と入っている様子が分かります (Fig. 6)。

菱刈から西方には、更に古い火山地熱系—金鉱床が分布し、串木野では 4 百万年前の地熱活動によって生成した金鉱床が知られています¹⁰⁾。また南九州で現在の火山活動に連続して行く最初の火山活動は、串木野とその西方や野間半島に始まるといえます。時代としては、約 9 百万年前のことです。

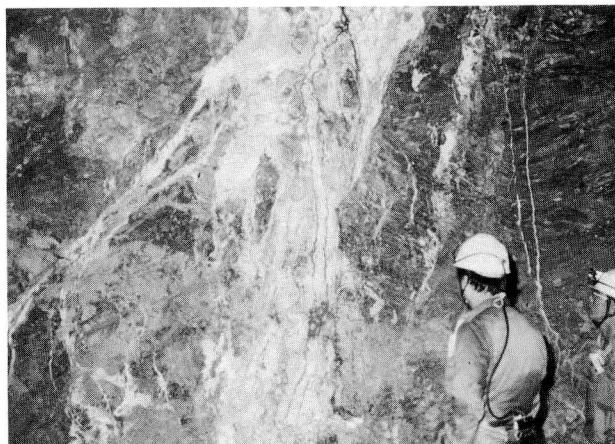


Fig. 4 High grade gold-quartz vein in shale and sandstone of the Shimanto group, Hosen 1 vein, 85 mL (W1B Cross cut E30), Hishikari mine.



Fig. 5 Close-up of the high grade gold-quartz vein in Fig. 4.
Black stringers are rich in gold.

九州から南へ目を転じて、台湾に行きます。位置図 (Fig. 7) を示しますが、台北の北東方、キールン港の東にキールン山があり、そのすぐ南に金瓜石鉱山があります。地質図 (Fig. 7) でみると、中新世という若い地質時代の石炭層を夾有する堆積岩が分布しています。この地域の断層に沿ってデイサイトの貫入と噴出が起こり、金を含有する珪化岩が伴われています。地下に貫入した岩石も現在では侵食の結果地表に露出していると解釈されています。デイサイトの貫入と噴出、熱水による鉱化作用の年代は、2 百万年前後またはそれよりも新しい¹³⁾とされていますが、

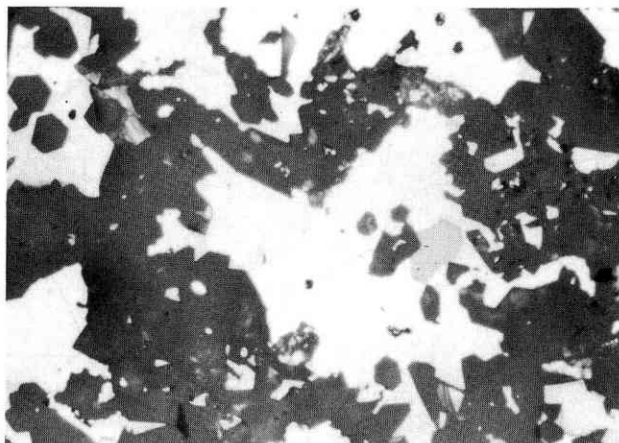


Fig. 6 Photomicrograph of polished section of the high grade ore from the Hishikari mine (E3-1-162.08 m). The bright white mineral is mainly electrum with small amount of chalcopyrite and pyrite. Naumannite is a little darker. Sphalerite is grey. Quartz is dark grey. The field is 520 μm across.

年代測定の報告はありません。断層沿いに珪化した岩石が金鉱床となっている点では、枕崎市付近の岩戸鉱山、春日鉱山などと類似しています。

次にフィリピン例を示します。活地熱系についてみますと、マニラ南西方60 kmのところにタール火山をはじめとする活火山があります。安山岩からなるマキリング火山の近くにマクバン地熱発電所があり、熱源と関連のある火山と考えられるのは数十万年前に噴出した流紋岩のブラロ山です。その西の麓の地下600~1500 mの深さから200°Cをこえる温度の熱水を汲み上げて、33万kwの発電を行なっています。今のところ、付近に金鉱床は知られていません。

一方、マニラ北方250 kmのバギオ地域には、活火山はなく、火山の形も残っていないのですが、200万年より若い時代に火山活動があったと考えられ、地下には温泉や、高温の蒸気が存在しています。ここのアクパンとアンタモクの鉱床は、全体が一大地熱系であったとみなすことができます (Fig. 8)。アクパンには、デイサイトの小岩体や角礫岩体があり、火山の中心の1つがバートクプラグと呼ばれるものです。直径1 kmの円筒状の形をしたこの岩体は、地下深部のマグマから、ガスが爆発的に放出されたときにつくられた火道を種々の岩石の破片や岩粉が満たしたものです。このバートクプラグとその周囲の割目に、石英、菱マンガン鉱（炭酸マンガン）硬石膏（硫酸カルシウム）などが金を伴って沈殿しています。まわりの岩石は熱水によって広く変質しています。プラグから2 kmの範囲がアクパン鉱山として、その北方の鉱脈をアンタモク鉱山として、4×10 kmの範囲から合せてこれまでに341トンの金を産出し、現在も盛んに採掘が

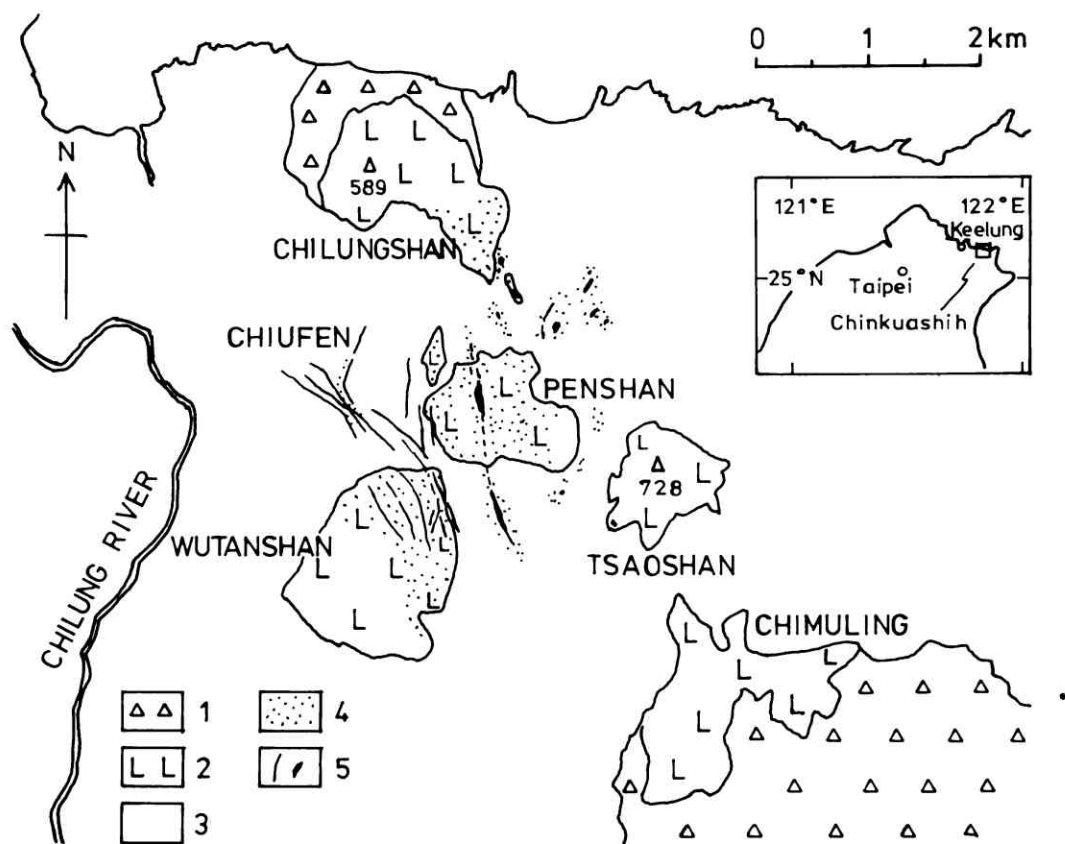


Fig.7 Geologic sketch map of the Chinkuashih mining area. Compiled from Wang^{13,14)} and Tan et al.¹⁵⁾

1. Pyroclastic rocks, 2. Hornblende dacite (intrusive and effusive), 3. Miocene sediments (including coal bearing formations), 4. Area of hydrothermal alteration, 5. Silicified zone and vein.

続けられています。浅熱水金鉱床としては、世界でも最大級のものです。

インドネシアにも活火山帯に隣接して古地熱系—金鉱床があります。特にスマトラ島では、レボストリークを中心に1930年代には多くの鉱山が採掘を行なっていました。串木野や菱刈などと類似した鉱脈型の鉱床です。その中のレボタンダイが、最近再開発されたと伝えられています。

南半球に行きますと、パプアニューギニアのワウ鉱床があります。3百万年前頃に生成した鉱床¹⁷⁾とされていますが、熱帯特有の激しい風化、侵食、地這りなどのため鉱床上部の形態は分りにくくなっています。デイサイト斑岩の貫入、火山性ガスの爆発的放出が金の鉱化作用と密接な関連を示しています。削剥された鉱脈に含まれていた金は、砂金の鉱床を作り、90トンにのぼる金が採取されています。もとの鉱床は、現在の地表部で酸化帯となり赤褐色を呈し、その下の黒色の部分が金鉱石として採掘されています。黒色の原因は二酸化マンガがあるためで、もとは

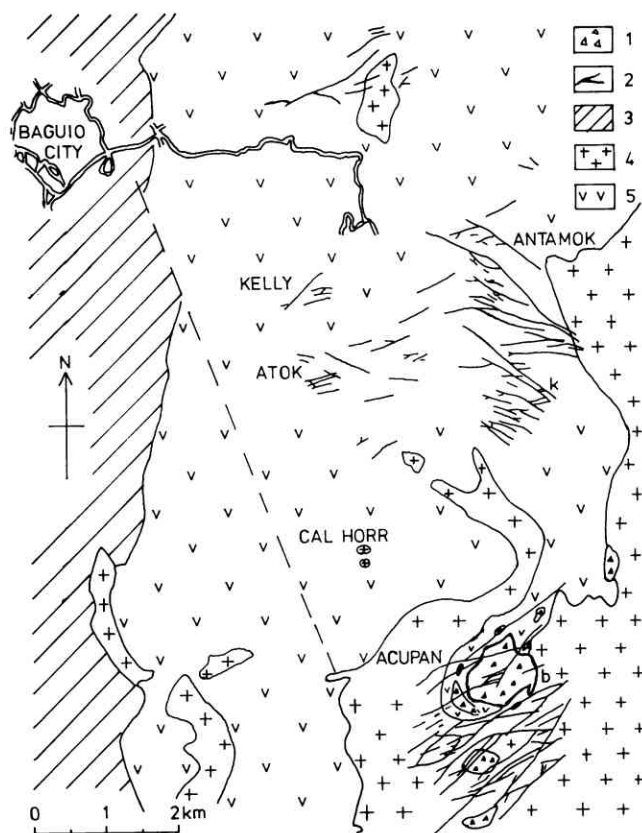


Fig.8 Simplified geologic map of Baguio district. Simplified from de Guzman¹⁶⁾.

1. Dacite and volcanic plug (Quaternary), 2. Vein system,
3. Upper Miocene-Pliocene sediments, 4. Granodiorite and quartz diorite (Agno batholith of middle Miocene), 5. Paleocene-Miocene sediments and volcanics.

マンガン方解石や菱マンガン鉱などの炭酸塩鉱物であったものです。

フィジーにも大きな金鉱床があります。アルカリ岩の火山でカルデラの西の縁に生成したバトコウラ鉱床です¹⁸⁾。金に大量のテルルを伴った特異な鉱脈で、4百万年より若い地熱系と考えられています。フィジー第2の島、バヌア・レブにも、マウント・カシと呼ばれる鉱床があります¹⁹⁾。角閃石安山岩の活動と関連のある鉱床で、岩戸や金瓜石と類似した珪化岩に金を含んだ型式のものです (Fig.9)。写真 (Fig.10) は、露天採掘の跡で北方を見たところです。北方4 kmにある角閃石安山岩の火道を示す火山岩頸が見えています。

ニュージーランド北島には、盛んな地熱活動があるタウポ火山帯で、金が沈殿しつつある温泉

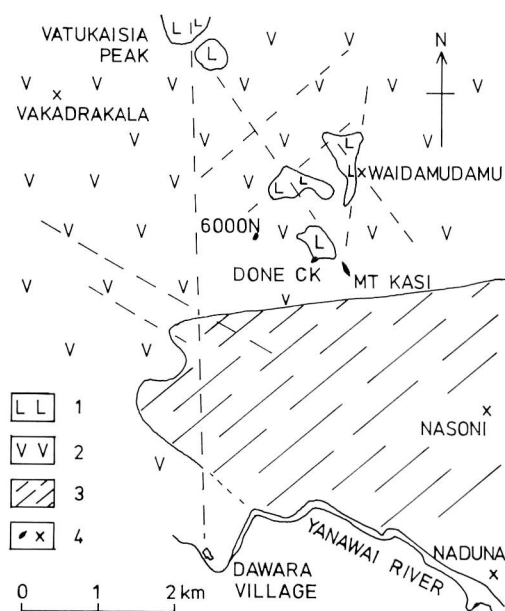


Fig. 9 Geologic sketch map of the Mt. Kasi area. After Turner¹⁹⁾. 1. Hornblende andesite (intrusive: Pliocene), 2. Yanawai volcanics (Mio-Pliocene), 3. Nakayaga formation (upper Miocene), 4. Silicified zone and vein.

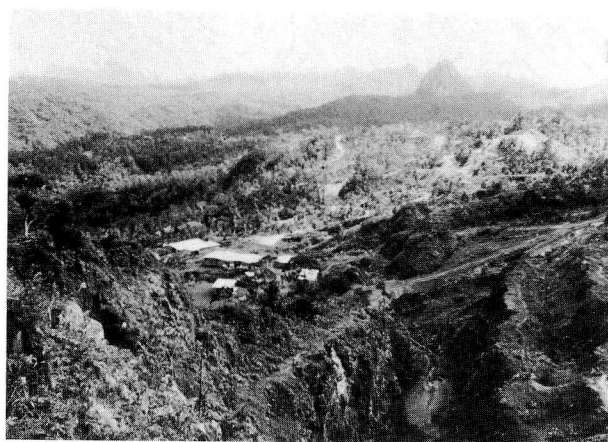


Fig. 10 Mt. Kasi open cut and Vatukaisia peak (volcanic plug). Looking north.

が知られています。それより古い火山帯が北西方のコロマンデル半島にあり、古地熱系—金鉱床が多数分布しています。東西30 km、南北100 kmと、大ロ—枕崎位の距離があり、地質条件も九州とよく似ています。基盤岩は、グレイワッケと呼ばれる中生代の堆積岩で、四万十層群とそっくりの砂岩・頁岩の互層からなるものです。安山岩を主とする火山活動が8百万年前から盛んになり、その後、流紋岩が多くなり、火山活動の中心も東側に移動しているようです。最大の金

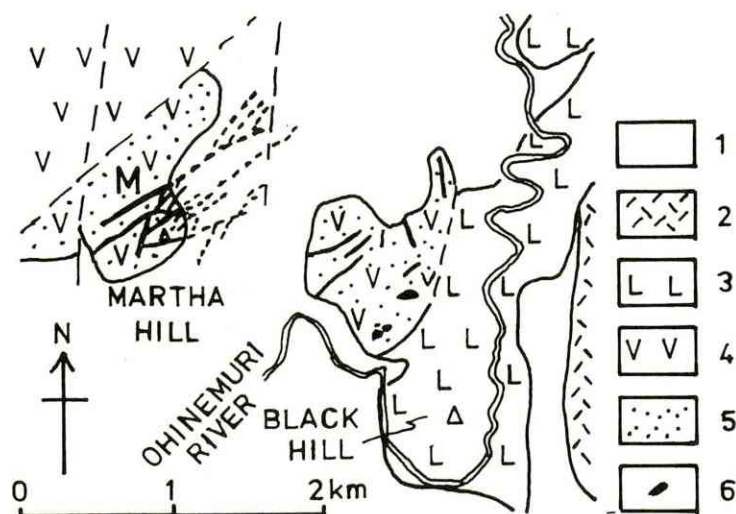


Fig. 11 Geologic sketch map of the Martha Hill area, Waihi. Modified from Brathwaite et al.²⁰⁾

1. Ignimbrite, 2. Rhyolite, 3. Hornblende dacite, 4. Andesite,
5. Area of hydrothermal alteration, 6. Chalcedonic silica.
- M: Martha vein.

鉱床は、ワイヒで主に19世紀の終りから1930年代にかけて採掘され、160 tの金を産出したと推定されます (Fig. 11)。現在、再開発の準備が進められています。

以上、西太平洋の島弧を中心に第三紀後半から第四紀の火山に伴う古地熱系をみてきました。これら金鉱床を生成した古地熱系の共通点を挙げてみます。①現在の火山活動に連続する火成活動の開始時期は、1500万年～1600万年より新しい。②金鉱床に関連した火成岩は、カルクアルカリ岩系列のデイサイトあるいは角閃石安山岩である場合が多く一部にアルカリ岩系列の活動も認められる。いずれも磁鉄鉱系のもです。③鉱床は、火山の活動中心から8 km以内にあり、その多くは4 km以内にある。④鉱床型式としては、石英・氷長石脈（しばしばマンガン鉱物を伴う）と珪化岩型の二種が認められます。

地域による差異としては、①基盤岩が堆積岩の場合（九州、台湾、ニュージーランド）と海洋性地殻から成る場合（フィジー）、②ポーフィリ・銅鉱床が密接に存在する場合（フィリピン、パプアニューギニア）と認められない場合（九州）がある。今後、更に比較を行うことによって南方島弧の古地熱系の性質が明らかになると期待されます。

文 献

- 1) Henley, R. W. and Ellis, A. J.: Geothermal systems ancient and modern: A geochemical review. *Earth Science Reviews* **19**, 1-50, 1983.
- 2) 井沢英二: 浅成金銀鉱床の変質帯と粘土鉱物—地熱系モデルによる検討—. 日本の金銀鉱石, 第3集, 日本鉱業会, 133-154, 1985.
- 3) Lindgren, W.: *Mineral Deposits*, 4th ed. 930p., McGraw-Hill, 1933.
- 4) 沢村孝之助, 松井和典: 5 万分の1 地質図幅説明書, 霧島山, 58 p., 1957.
- 5) 通商産業省: 昭和53年度広域調査報告書, 北薩・串木野地域, 92 p., 1979.
- 6) 太田良平・沢村孝之助: えびの・吉松地区地震震源域付近の地質. 防災科学技術総合研究報告 No. 26, 21-33, 1971.
- 7) 中川進, 栗山隆, 阪口圭一: 西霧島地域の地熱系モデル. 日本地熱学会誌 **7**, 329-343, 1985.
- 8) 西沢徳雄, 茨城謙三: 菱刈鉱山の探査. 日本の金銀鉱石, 第3集, 日本鉱業会, 1-17, 1985.
- 9) 通商産業省: 昭和56年度広域調査報告書, 北薩・串木野地域, 81 p., 1982.
- 10) 近藤皓二: 菱刈鉱山の探鉱開発について. 鉱山地質 **36**, 1-9, 1986
- 11) 浦島幸世, 池田富男: 鹿児島県金銀鉱床の生成時期. 昭和60年度三鉱学会講演要旨集 **19**, 1985.
- 12) Izawa, E. and Urashima, Y.: Gold-silver deposits in southern Kyushu, Japan. *Proc. MMIJ/AusIMM Joint Symposium*, JA, 97-111, 1983.
- 13) Wang, Y.: Geology of the Chinkuashih and Chiufen districts, Taipeihsien, Taiwan. *Acta Geologica Taiwanica* No. 5, 47-64, 1953.
- 14) Wang, Y.: Wall rock alteration of late Cenozoic mineral deposits in Taiwan: geologic settings and field relations. *Proc. Geol. Soc. China* No. 16, 145-160, 1973.
- 15) Tan, L. P. and Yu, F. S.: Heavy-mineral reconnaissance for gold and copper deposits of the Chinkuashih area, Taiwan. *Acta Geologica Taiwanica* No. 12, 41-57, 1968.
- 16) de Guzman, M. T.: An update study on the geology of the Balatoc plug and GW orebodies of Acupan mine, Benguet Corporation. Unpublished report, 11p., 1985.
- 17) Sillitoe, R. H., Baker, E. M. and Brook, W. A.: Gold deposits and hydrothermal eruption breccias associated with a maar volcano at Wau, Papua New Guinea. *Econ. Geol.* **79**, 638-655, 1984.
- 18) Colley, H.: *Mineral Deposits of Fiji (Metallic Deposits)*. Fiji Mineral Resources Division, Memoir No. 1, 123 p., 1976.
- 19) Turner, S.: Fluid inclusion, alteration and ore mineral studies of an epithermal vein system: Mount Kasi, Vanua Levu, Fiji. *Proc. of Symposium 5: Volcanism, hydrother-*

mal systems and related mineralization, International Volcanological Congress, Hamilton, 87–96, 1986.

- 20) Brathwaite, R. L., McKay, D. F. and Henderson, S.: The Martha Hill gold-silver deposit, Waihi. Proc. of Symposium 5: Volcanism, hydrothermal systems and related mineralization, International Volcanological Congress, Hamilton, 19–23, 1986.

質疑応答

円城寺守（座長 筑波大学地球科学系）：どうもありがとうございました。

ただいまのは、太平洋の西縁から南西縁にわたっての非常に巾広いお話でした。何かご質疑、ご討論がございましたらお願いします。

木村政昭：いまお話のあった地域に黒鉱鉱床はございませんか。お聞きしたいことは、黒鉱鉱床の存在するバックアークベイスンにも金鉱床は生成するのか、それともマグマフロントに生成するのかということです。

井沢：黒鉱との関係と共にポーフイリ銅と金との関係も問題だと思います。簡単に言ってしまうと、黒鉱は海底火山に伴った熱水系、ポーフイリ銅や金は陸上の火山に伴ってできた熱水系という差があるでしょう。したがって、分布が分れてしまう。しかし、北海道支笏湖東部のように黒鉱と金鉱床が同一場所でみられることもある。これは生成の時代が違って、はじめ海域で黒鉱ができて、その後に陸化して金鉱床ができています。

木村：そうしますと黒鉱はバックアークベイスンにできて、金は火山フロントにできた。そのようにいえるでしょうか。つまり、応力場としては、黒鉱鉱床はテンシルな場、金鉱床は圧縮場ということになるのでしょうか。

井沢：そのように見える例が多いと思います。しかし、必ずしも応力場と鉱床の種類が対応しているわけではないでしょう。ポーフイリ銅と金に関連していたと言いましたが、その場合は圧縮場で生成することになるでしょう。一方、金はニュージーランドのタウポ火山帯のようにテンシルな場でも鉱床を作る可能性があります。バックアークベイスン、火山フロントの差としては、塩水（海水）が熱水として循環すれば銅・亜鉛のような非金属鉱床を作り、陸上の淡水がまわれば金鉱床を作るといったことはあるでしょう。

林正雄：金鉱床は、1500万年以降の新しい火山に伴われるということですが、古い火山に伴われるのではないということなのか、あっても削られてしまうからでしょうか。

井沢：少くとも南方島弧にはそのように若い鉱床しかないということです。古い鉱床は侵食によって削られてなくなることもあります。しかし、この地域の新しい火山活動が1500万年前に始まったということもいえそうです。

林：現在活動中の新しい地熱系でも、金鉱床を生成するものとそうでないものの区別ができるでしょうか。

井沢：中性高温熱水なら金を運んで来ると考えられ、その意味では地熱発電ができるような優勢な地熱系なら、金鉱床を作る可能性があると考えられます。

林：たとえば、霧島ですとあまりシンターは見られませんが、それでも金鉱床は生成しますか。

井沢：霧島に似た安山岩地域の金鉱床は、枕崎付近にあり、串木野もそのような例かもしれません。霧島でも可能性はあります。これから金鉱床ができるところでしょう。

田口幸洋：今の問題に関連して、霧島のように安山岩の層状火山は、熱水が地下から上ってきてもなかなか地表に達しない。シンターを沈殿するような出口がなく、途中からわきに流れる。これに対し、流紋岩の火山では熱水が地上へそのまま出てシンターを作り易いといったことがあるのではないのでしょうか。

井沢：地下の熱水の流動に対して、火山地形の影響は大きいと思います。

円城寺：だんだん話が核心に入ってきたのですが、このあと総合討論をひかえておりますので、このへんで質疑を終わりたいと思います。よろしいでしょうか。

Paleo-geothermal Systems in Island-arc Settings of the Western Pacific Rim

Eiji IZAWA*
and
Yukitoshi URASHIMA**

*Department of Mining, Faculty of Engineering,
Kyushu University, Fukuoka 812.

**College of Liberal Arts, Kagoshima University,
Kagoshima 890.

Abstract

An active high temperature geothermal system consists typically of a magmatic heat source, water to transport the heat, and fractures or permeable zones where the water flows. When the heat source cools down and the geothermal system becomes inactive, we call this a paleo-geothermal system or fossil geothermal system.

Gold is often transported by ascending waters in the high temperature geothermal system related with volcanic activities. The upper level of the system, at a depth of around 400 m or less, is a favorable site of gold deposition. Therefore, epithermal gold deposits and their environments correspond to the paleogeothermal systems, of which high level portions are often eroded away.

There are many active- and paleo-geothermal systems in island-arc settings of the western Pacific rim and adjacent regions. Representative gold deposits are: Taio, Kushikino, Hishikari and Iwato in Kyushu, Japan; Chinkuashih in Taiwan; Acupan-Antamok in the Philippines; Lebong Donok and Lebong Tandai in Sumatra, Indonesia; Wau in Papua New Guinea; Mavu in the Solomon Islands; Vatukoula and Mt. Kasi in Fiji; and Waihi in New Zealand.

These late Cenozoic epithermal gold regions have several characteristics. (1) Volcanic activities started less than 15-16 million years ago and continued to the late Quaternary. (2) Igneous rocks related to the gold mineralization are predominantly dacite or hornblende andesite of the calc-alkalic series. Volcanic rocks of the alkalic series, however, host some of the gold deposits. (3) The site of the gold deposits are restricted to within 8 km (usually 4 km) of the center of volcanic activity. (4) Two types of gold deposits are recognized, the quartz-adularia veins usually with Mn-carbonates, and those in massive silicified rocks.

Basements consist of a thick sedimentary sequence in the case of Kyushu, Japan and New Zealand; and probably of oceanic crust in the case of Fiji. Porphyry copper

deposits occur intimately with gold deposits in the Philippines and Papua New Guinea but not in Kyushu.