

鹿児島県菱刈金鉱床の氷長石—石英脈とその年代

実松健造¹⁾

1. はじめに

かつての日本には、多数の金銀鉱山や銅・鉛・亜鉛等の鉱山がありましたが、現在操業している金属鉱山は鹿児島県伊佐市にある菱刈金銀鉱山のみと言えます。菱刈鉱山の鉱石の平均金品位は世界でもトップクラスであり、発見当初からボナンザ(高品位)鉱床として有名です。金品位が高い鉱石を一時的に採掘することは他の金鉱山でも可能ですが、出鉱開始の1985年から安定して長年にわたって高品位鉱石を生産できる金鉱山は世界的にもまれです。現在も住友金属鉱山株式会社によって金鉱石の採掘が行われています。

菱刈鉱床は、浅熱水性鉱脈型金銀鉱床と分類されます。鉱脈のほとんど(90%以上)は石英から構成されるため、石英脈と呼ばれます。石英の他には氷長石やスメクタイト等の粘土が少量含まれます。この石英脈は、母岩である堆積岩(頁岩・砂岩)や安山岩中に生じた割れ目の中に熱水が浸入し、溶解度の低下によってSiO₂等が沈殿することによって形成されました(石英だけでなく、非晶質シリカも初生的にたくさん沈殿したと考えられるので、SiO₂と表現しています)。この時、金や銀を含む他の元素も沈殿するため、含金銀石英脈が形成されます。

地質調査総合センターは、2016年2月24日に菱刈鉱山において、住友金属鉱山株式会社および住鉱資源開発株式会社との意見交換会を行いました(写真1)。本稿では、その時の筆者の発表内容の一部を用いて、菱刈鉱床の含金銀石英脈がどのような時間スケールで形成されたかについて説明したいと思います。石英の放射年代測定は不可能ですが、菱刈鉱床では氷長石(KAISi₃O₈)が様々な石英脈中に金と一緒に産出するため、これを用いたK-Ar年代測定またはAr-Ar(⁴⁰Ar/³⁹Ar)年代測定による年代値が報告されています(例えば、Izawa *et al.*, 1993; Sekine *et al.*, 2002; Sanematsu *et al.*, 2005, 2006)。母岩中に割れ目が生じてから、熱水中のSiO₂等が沈殿して割れ目の大部分を充填するのが地質学的に短時間であったとすると、この氷長石—石英脈の年代値は、構造的に割れ目が形成された時期お



写真1 菱刈鉱山坑内見学時の集合写真(内田利弘氏提供)。後ろに見える石英脈は友泉6脈(海拔+110m)。

よび氷長石と一緒に金が沈殿した時期を示すこととなります。年代値と石英脈の構造から、当時の鉱床周辺地域の応力場を知ることが可能です。

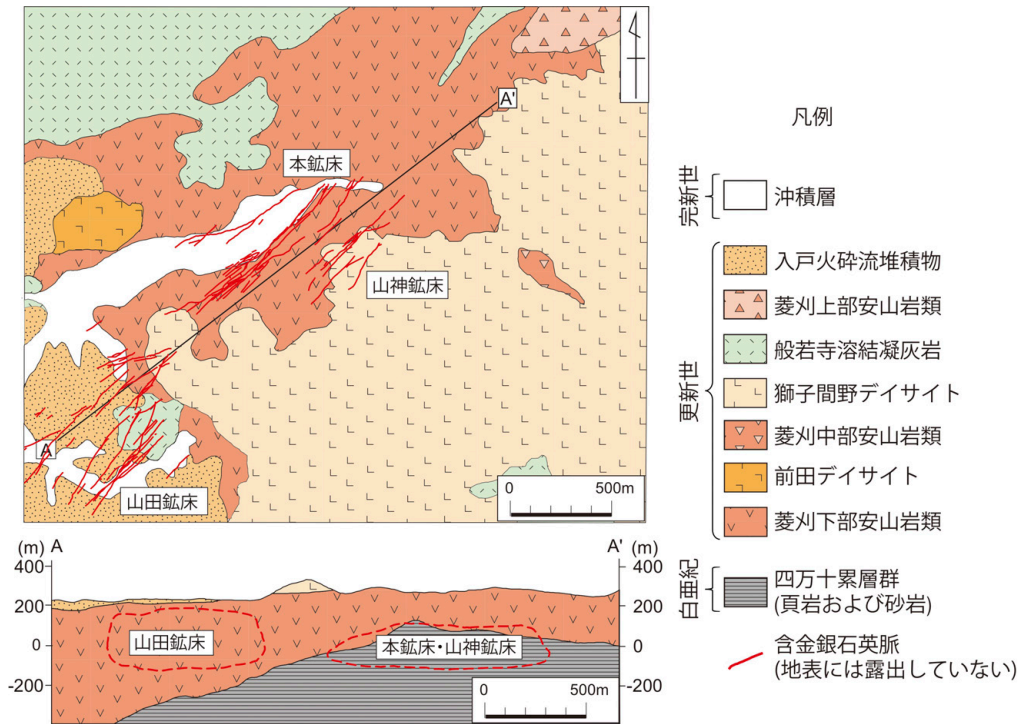
2. 菱刈鉱山の発見の経緯と特徴

菱刈鉱床の高品位石英脈は、1981年2月の金属鉱業事業団(現在のJOGMEC)のボーリング(55MAHT-5)によって発見されました。菱刈鉱床の周辺では、基盤岩である白亜紀の四万十累層群を第四紀の火山岩類が不整合に覆っています(第1図)。鉱床発見当時、それまでは浅熱水性金鉱床は一般に火山岩中に胚胎されるものと考えられており、深部の四万十累層群までボーリングを進める必要がないのではという意見もあったそうです。結果として、この時、四万十累層群まで掘り進めたところ、着脈幅15cm、金品位290g/t、銀品位167g/tの高品位含金石英脈が確認され(中山, 2004; 浦島, 2004)、関係者を驚かせました。

更なるボーリングに続き、石英脈の状況を詳しく把握するために、1982年からは探鉱坑道を掘り進め(坑口は海拔+265m)、1985年7月13日には海拔+100mで菱泉脈群に着脈しました(阿部ほか, 1986)。この日から同年

1) 産総研 地質調査総合センター 地圏資源環境研究部門

キーワード: 菱刈, 金銀鉱床, 熱水, 割れ目, 石英脈, 氷長石, 年代, 鹿児島県



第1図 菱刈鉱床周辺の地質平面図および断面図 (NEDO, 1991; Ibaraki and Suzuki, 1993 を一部改変). 平面図上に石英脈 (住友金属鉱山株式会社, 2016) を投影して示している.

12月末日までの探鉱出鉱実績は、鉱石量 19,200 t、平均金品位 129 g/t、平均銀品位 171 g/t、すなわち産金量は約 2,500 kg であり (阿部ほか, 1986)、この実績からも世界的な高品位金鉱床であることが分かります。その後、出鉱する鉱石の平均金品位は徐々に下がったものの、現在でも十分に高品位です。2015 年は平均金品位 37 g/t で出鉱量 20.4 万 t、すなわち 7.5 t の金が生産されました (住友金属鉱山株式会社, 2016)。これまでの産金量は 224 t (2016 年 3 月時点) に達するのに加え、2015 年末の時点で可採金量が約 170 t とされており (住友金属鉱山株式会社, 2016)、まだ膨大な量の金が採掘可能な状態で鉱山内に眠っていることになります。

最初に発見された鉱床は本鉱床と呼ばれ、その後、1988 年には本鉱床の南西部から山田鉱床が発見されました (第 1 図)。ちなみに、菱刈鉱床の探鉱の歴史は江戸時代の 1750 年代の、周辺の山田金山の試掘までさかのぼります (岡田, 2004)。当時から探鉱され、断続的に小規模に採掘されたと言われてはいますが、現在採掘されている主要な石英脈は地表までは達していません (岡田, 2004)。そのため、我々が知る菱刈鉱床の発見は 1981 年ということになります。

菱刈鉱山で採掘・破碎された後の粗鉱は、自動選別機 (オアソーター) による選別および人間による手選別により、

鉱石とそれ以外の廃石 (ズリ) に分けられます。鉱石は加治木港で船積みされ、愛媛県の東予工場に運ばれます。東予工場では、海外からの銅鉱石を製錬する際の融剤 (珪石) として菱刈鉱山の金鉱石が使用されます。電気銅を製造する過程で出てくる金や銀などが、別工程で回収されます。

菱刈鉱山では、後述するように第四紀の若い石英脈群を採掘しているため、鉱山内からは現在も約 65 ~ 80℃ の温泉水が湧き出ています。温泉水はポンプで汲み上げられて、パイプラインを通過して地元の湯之尾温泉に供給されています (写真 2)。鉱床が形成された当時は、熱水はより高温 (210℃ 前後) で金を多く含んでいましたが、現在湧き出ている温泉水中の金濃度は 0.6 ± 0.4 ppt と低く (Hayashi *et al.*, 1997)、金鉱床を作る熱水でないことが分かります。

3. 九州の火山活動と金鉱床の形成時期

九州は菱刈鉱床以外にも多数の浅熱水性金鉱床 (串木野、鯛生^{たいお}など) が存在し、そのほとんどが北九州地域の豊肥地溝および南九州の鹿児島地溝と平行に分布しています (渡辺, 2004)。これらの地域では、火山フロントは東側 (海溝側) に移動してきたことが火山岩の年代測定から分かっています (Izawa and Watanabe, 2001)。このこと



写真2 菱刈鉱山周辺の風景。水田が広がっている。手前に見えるパイプラインを通して鉱山から汲み上げられた温泉水が運ばれる。

は、ユーラシアプレートの下に沈み込むフィリピン海プレートの角度が急になったことを示唆しています。火山フロントは東側に移動してきているため、九州の現在の火山フロントの西側に金鉱床が発見されています。火山岩および金と同時期に晶出したと考えられる鉱物(氷長石、イライト、ミョウバン石)をK-Ar法により年代測定した結果、火山活動の開始時期から約50万年後に周辺に金鉱床が形成されたことが分かっています(Izawa and Watanabe, 2001)。

菱刈鉱床に着目すると、周辺には第四紀の火山岩(溶岩・凝灰岩)が分布しています(第1図)。その中で、獅子間の野デイサイトからは1.0～0.7 Ma(Izawa et al., 1990)、鉱床の母岩の一部である菱刈下部安山岩からは1.8～0.8 Ma(Izawa et al., 1990; NEDO, 1991; 通商産業省資源エネルギー庁, 1996)のK-Ar年代がそれぞれ求められています。菱刈鉱床の石英脈の年代は、氷長石のK-ArおよびAr-Ar年代測定により1.2～0.64 Maであることが分かっています(Izawa et al., 1993; Sekine et al., 2002; Sanematsu et al., 2005, 2006)。菱刈鉱床においても、火山活動の始まり(1.8 Ma頃)から、およそ50万年後に菱刈鉱床の含金石英脈が形成し始めたということが言えます。このように、火山活動と浅熱水性金鉱床の関係が時間・空間的に分かってくると、同様の金鉱床を探鉱する際に非常に役立ちます。

4. 菱刈鉱床の石英脈の特徴とその年代

菱刈鉱床の含金石英脈の大部分は走向がN50°Eで

あり、70°～90°北傾斜しています(阿部ほか, 1986; Izawa et al., 1990)。脈幅は0.4～4 mが一般的です(Izawa et al., 1990; Sekine et al., 2002)。鉱石鉱物として、エレクトラム(Au, Ag)、ナウマン鉱(Ag₂Se)、硫セレン銀鉱(Ag₄SeS)、濃紅銀鉱(Ag₃SbS₃)等が確認されます(Izawa et al., 1990, 2001)。脈石鉱物は大部分が石英で、氷長石やスメクタイトを含むことが多いです。

石英脈は縞状構造を示し、エレクトラム、銀鉱物、硫化物に富んだ縞(バンド)は銀黒バンドと呼ばれ、菱刈鉱床の高品位鉱石にしばしば見られる特徴です(写真3)。一方で、銀黒は見られずとも、粘土に富んでいて脆いバンドが高品位であることもあります。芳泉1脈という縞状石英脈は左右対称な構造を示しており、このような銀黒バンドや粘土バンドが見られ、かつ年代測定可能な氷長石が産出します(Izawa et al., 2001)。Sanematsu et al. (2006)は、芳泉1脈(海拔+62.5 mおよび-20 m)の氷長石のAr-Ar年代を測定し、各バンドがどのようなタイミングで形成されたのかを調べました(写真4)。その結果、各バンドは30,000年～110,000年の間隔で形成されており、芳泉1脈全体で、少なくとも260,000年かかったことが分かります(写真4)。その他のいくつかの氷長石-石英脈において、母岩際の最も古い年代と脈中央付近の最も新しいと思われる年代の差を計算したところ、誤差は多少大きいです。7,000 ± 16,000年ないし320,000 ± 30,000年でした(Sanematsu et al., 2005)。つまり、菱刈鉱床の縞状石英脈を構成する氷長石を含んだ各バンドは数万年の間隔で断続的に形成され、一つの石英脈が形成し終わるまでの時間は32万年以下というオーダーであったということが分かります。

各バンドが形成されたのは地質学的には短時間で、年代値の誤差内に収まると考えています。なぜなら、氷長石と一緒に産出する石英の組織が、割れ目が生じて熱水が浸入してきたときに、SiO₂が急激に沈殿した様子を示すことが多いからです。母岩中に割れ目が生じたのと、氷長石を含むバンドが形成されたのがほぼ同時であったと仮定すると、氷長石の年代は割れ目が形成された時の年代を示すこととなります。

石英脈を形成する割れ目は広域応力場の影響を受けます。南九州地域では、後期中新世から前期鮮新世にかけて、前弧域の応力場が圧縮から引張へと変わりました(Yamaji, 2003)。また、対馬を固定点としたGPSによる観測結果から、最近の南九州の鹿児島県付近の水平変位は南東方向に動いていることが分かっています(西村ほか, 1999)。菱刈鉱床で石英脈に充填されている割れ目は裂罅(垂直方

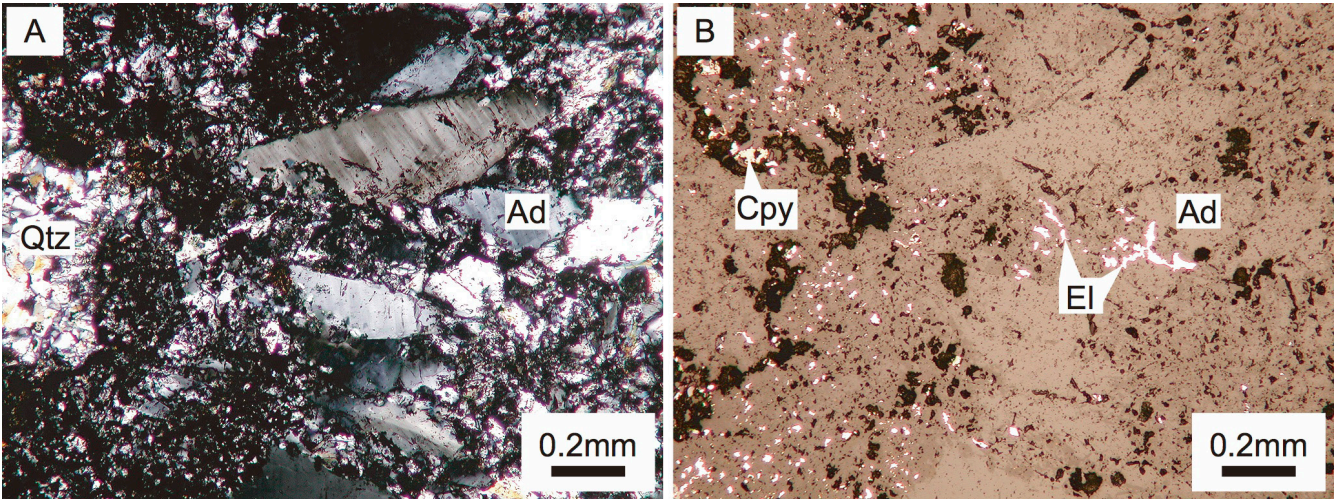


写真3 芳泉1脈(海拔+62.5 m)に見られる高品位バンドの(A)偏光顕微鏡(直交ニコル)写真および(B)反射顕微鏡写真(Sanematsu *et al.*, 2006 を一部改変). Ad, 氷長石; Qtz, 石英; El, エレクトラム; Cpy, 黄銅鉱.

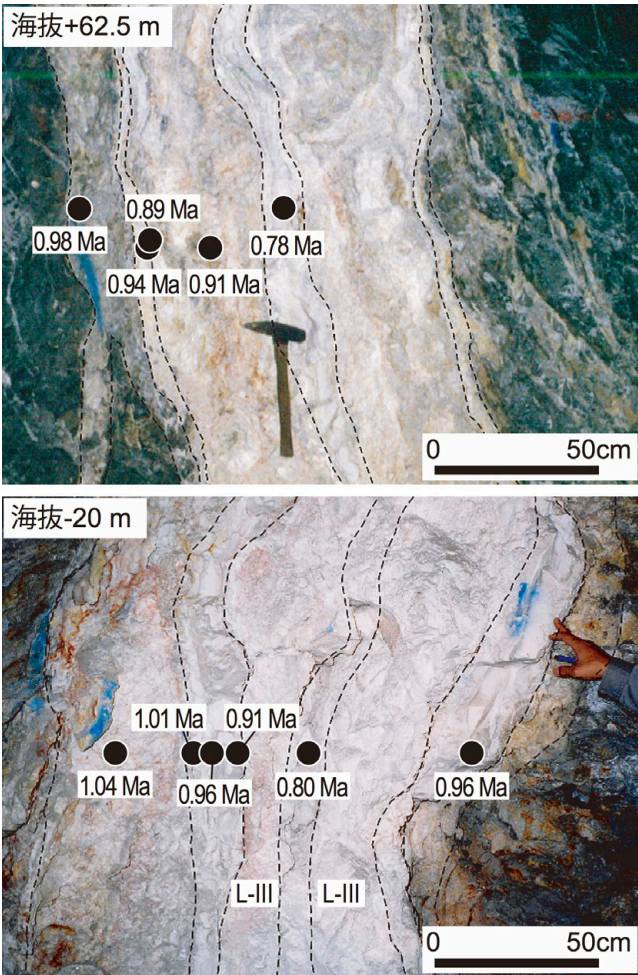


写真4 芳泉1脈の構造と Ar-Ar 年代値 (Sanematsu *et al.*, 2006 を一部改変). ほぼ左右対称の構造をしており, 断続的に割れ目が生じ, 盤際から石英脈が成長したことが分かる. 年代測定用の試料採取値を黒丸で示してある.

向の変位がない割れ目)が多く, このような引張応力場で生じた第四紀の割れ目に熱水が浸入して石英脈を形成したと考えられます.

引張応力場で形成された浅熱水性鉱脈型金鉱床は, 九州にもいくつか見られます. 例えば, 産金量 56 t の鹿児島県串木野鉱床や産金量 36 t の大分県鯛生鉱床は, それぞれ日本で 4 番目, 5 番目に大きい金鉱床です(渡辺, 2004). 金を含んだ熱水と, 金を沈殿させるための十分なスペース(割れ目)があれば, 金鉱床が形成されそうなのが想像できます. しかし, なぜ菱刈鉱床が他の鉱脈型金鉱床よりも金に富んでいるのかについては, 未だに謎が多いです. 熱水中で SiO_2 と金のナノ粒子が物理的に(溶けた状態ではなく)運搬され, 金が凝集したという考え方もあります(例えば, Saunders *et al.*, 2016). また, 菱刈鉱床の特徴の一つとして, 基盤岩である白亜紀の四万十累層群が盛り上がったところに存在しているということが挙げられます(Morishita and Nakano, 2008). それ自体では金に富む理由にはなりません, 例えば, Hosono and Nakano (2004) は鉱石, 火山岩, 堆積岩の Pb や Sr 同位体を分析し, 四万十累層群とさらにその下位の下部地殻との間にある地殻流体が, 獅子間野デイサイトが貫入した際のマグマ水と混ざって金に富む鉱化流体を形成したというモデルを作りました. このような深部(約 30 km)まではとてもボーリングはできませんし, 金鉱床ができた直接の証拠を見つけることは大変難しいです. 色々な手法を組み合わせ, 金に富む鉱床がどうやってできたのかを科学的に調べるという意味で, 菱刈鉱床は研究者にとっても魅力的な場所です.

謝辞：住友金属鉱山株式会社菱刈鉱山の高橋昭仁鉱山長、大和 裕探査課長、瀬戸隆之副探査課長、菅 琢磨氏、並びに住友金属資源開発株式会社の岡田和也社長、千葉昭彦氏、佐藤直樹氏には、鉱山見学および意見交換会でお世話になりました。改めてお礼申し上げます。

文 献

- 阿部一郎・鈴木英雄・磯上篤生・後藤寿幸(1986) 菱刈鉱山の地質と探鉱開発. 鉱山地質, **36**, 117-130.
- Hayashi, S., Nakao, S., Yokoyama, T. and Izawa, E. (1997) Concentration of gold in the current thermal water from the Hishikari gold deposit in Kyushu, Japan. *Resource Geology*, **47**, 231-233.
- Hosono, T. and Nakano, T. (2004) Pb-Sr isotopic evidence for contribution of deep crustal fluid to the Hishikari epithermal gold deposit, southwestern Japan. *Earth and Planetary Science Letters*, **222**, 61-69.
- Ibaraki, K. and Suzuki, R. (1993) Gold-silver quartz-adularia veins of the Main, Yamada and Sanjin Deposits, Hishikari Gold Mine; A comparative study of their geology and ore deposits. *Resource Geology Special Issue*, **14**, 1-11.
- Izawa, E. and Watanabe, K. (2001) Overview of epithermal gold mineralization in Kyushu, Japan. Society of Economic Geologists Guidebook Series, **34**, 11-15.
- 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. *Journal of Geochemical Exploration*, **36**, 1-56.
- Izawa, E., Kurihara, M. and Itaya, T. (1993) K-Ar ages and the initial Ar isotopic ratio of adularia-quartz veins from the Hishikari gold deposit, Japan. *Resource Geology Special Issue*, **14**, 63-69.
- Izawa, E., Etoh, J., Honda, M., Motomura, Y. and Sekine, R. (2001) Hishikari gold mineralization: a case study of the Hosen No.1 vein hosted by basement Shimanto sedimentary rocks, southern Kyushu, Japan. Society of Economic Geologists Guidebook Series, **34**, 21-30.
- Morishita, Y. and Nakano, T. (2008) Role of basement in epithermal deposits: the Kushikino and Hishikari gold deposits, southwestern Japan. *Ore Geology Reviews*, **34**, 597-609.
- 中山 建(2004) 北薩・串木野地域広域・精密調査の概要. 地質ニュース, no. 599, 11-19.
- NEDO (新エネルギー・産業技術総合開発機構) (1991) 地熱開発促進調査報告書, 菱刈地域. 新エネルギー・産業技術総合開発機構, 川崎, 982p.
- 西村 宗・安藤雅孝・宮崎真一(1999) 南海トラフ沿いのプレート間 カップリングと九州南部の南東向き運動について. 地震 第2輯, **51**, 443-456.
- 岡田和也(2004) 菱刈鉱山の開発および現況. 地質ニュース, no. 601, 16-27.
- Sanematsu, K., Duncan, R., Imai, A. and Watanabe, K. (2005) Geochronological constraints using $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating on the mineralization of the Hishikari epithermal gold deposit, Japan. *Resource Geology*, **55**, 249-266.
- Sanematsu, K., Watanabe, K., Duncan, R. A. and Izawa, E. (2006) The history of vein formation determined by $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating of adularia in the Hosen-1 vein at the Hishikari epithermal gold deposit, Japan. *Economic Geology*, **101**, 685-698.
- Saunders, J.A., Mathur, R., Kamenov, G.D., Shimizu, T. and Brueske, M.E. (2016) New isotopic evidence bearing on bonanza (Au-Ag) epithermal ore-forming processes. *Mineralium Deposita*, **51**, 1-11.
- Sekine, R., Izawa, E. and Watanabe, K. (2002) Timing of fracture formation of mineralization at the Hishikari deposit, southern Kyushu, Japan. *Resource Geology*, **52**, 395-404.
- 住友金属鉱山株式会社(2016) 菱刈鉱山パンフレット. 住友金属鉱山株式会社, 東京, 10p.
- 通商産業省資源エネルギー庁(1996) 平成7年度広域地質構造調査報告書 北薩・串木野地域. 通商産業省資源エネルギー庁, 東京, 153p.
- 浦島幸世(2004) 回想-北薩・串木野地域広域調査. 地質ニュース, no. 601, 1-2.
- 渡辺 寧(2004) 生きている九州- 浅熱水性金鉱床生成区の変遷. 地質ニュース, no. 599, 31-39.
- Yamaji, A. (2003) Slab rollback suggested by latest Miocene to Pliocene forearc stress and migration of volcanic front in southern Kyushu, northern Ryukyu Arc. *Tectonophysics*, **364**, 9-24.
- SANEMATSU Kenzo (2017) Adularia-quartz veins and their ages of the Hishikari gold deposit in Kagoshima Prefecture.

(受付:2016年12月22日)