

那珂川上流，五ヶ山地域の金探鉱跡周辺に認められる早良花崗岩の変質

柚原 雅樹*・祐徳 信武**

(平成16年11月30日受理)

**Alteration of the Sawara Granite around the gold prospects
in the Gokayama area, upper reach of the Naka River**

Masaki YUHARA* and Shinobu YUTOKU**

(Received November 30, 2004)

Abstract

There are two remains of gold prospects in the Gokayama area, upper reach of the Naka River. Two adits were identified at the Ono gold prospects in the Ono area, Nakagawa Town, Fukuoka Prefecture, and one adit at the Ogawachi gold prospects in the Ogawachi area, Higashifuri Village, Saga Prefecture. The fine-grained facies of the Sawara Granite, which is fine to medium-grained biotite granodiorite to granite, is exposed around the gold prospects. The alteration of granodiorite around these prospects is characterized by appearance of chlorite, illite and pyrite. These minerals are formed in two stages of geological events. Chlorite is formed in the first stage related to activity of the NW-SE fault. The most of illite, and pyrite are formed in next stage, which was hydrothermal process related formation of ore deposit. It is estimated that temperature condition of hydrothermal water was 230 - 280 °C by homogenization temperature of fluid inclusions in quartz. The change of chemical composition during hydrothermal process is characterized by decrease of Fe₂O₃*, MgO, CaO and Sr, and by increase of S. These changes are due to illitic alteration of chlorite and plagioclase, and appearance of pyrite.

Key words: gold prospects, hydrothermal activity, Sawara Granite, Gokayama area

*福岡大学理学部地球圏科学科, 〒814-0180 福岡市城南区七隈8-19-1

Department of Earth System Science, Faculty of Science, Fukuoka University, 8-19-1 Nanakuma, Jonan-ku, Fukuoka 814-0180, Japan

**基礎地盤コンサルタンツ株式会社, 〒135-0016 東京都江東区東陽3-22-6

Kiso-jiban Consultants Co.,Ltd., 3-22-6 Toyo, Koto-ku, Tokyo 135-0016, Japan

はじめに

福岡県那珂川上流の五ヶ山地域 (Fig.1) には、福岡県筑紫郡那珂川町五ヶ山大野地区 (那珂川町教育委員会, 1976) と佐賀県神埼郡東脊振村小川内地区 (東脊振村小川内, 1985) に、金山探鉱跡が残っている。それぞれ正式に名称が決まっていないため、本報告では前者を大野探鉱跡、後者を小川内探鉱跡と呼ぶ。資源・素材学会 (1989) は、九州地域における金鉱床について沿革、生産量、地質および鉱床についてまとめているが、両探鉱跡についての記述はなく、周辺地域では、成清池野鉱山 (宗像郡玄海町) と河東鉱山 (宗像市) が記載されているのみである。この他、遠賀郡岡垣町には、三吉野鉱山が知られている (上野ほか, 1990)。大野探鉱跡では終戦後まで (那珂川町教育委員会, 1976)、小川内探鉱跡では大正時代に採掘が行われたとされる (東脊振村小川内, 1985) が、鉱業主が記録されているだけで、金の採掘量など詳しいことは不明である。さらに、これらの金鉱床の地質学的特徴や成因についても全く明らかにされていない。成清池野鉱山、河東鉱山、三吉野鉱山は、いずれも関門層群中に胚胎しており、白亜紀花崗岩類中に胚胎する五ヶ山地域の探鉱跡とは、母岩が異なる。そのため、これらの鉱山とは異なる地質学的特徴を持つと考えられる。我々は、五ヶ山ダム建設に伴う、五ヶ山ダム関係文化財調査において、両探鉱跡周辺の地質について調査する機会を得た。両探鉱跡は、ダム建設により水没するため、その地質学的な情報を記録する必要がある。今報告では、両探鉱跡の現状と周辺の花崗岩の変質作用の特徴について報告する。

地質概説

五ヶ山地域には、白亜紀花崗岩類が分布する (Fig.1; 久保ほか, 1993)。白亜紀花崗岩類は糸島花崗閃緑岩、深江花崗岩、早良花崗岩、佐賀花崗岩に分類される (久保ほか, 1993)。那珂川上流部には、北西 - 南東方向の長さ約 8 km の断層が分布し、糸島花崗閃緑岩と早良花崗岩の境界となっているが、断層南側では両者の境界にずれを生じさせている。

糸島花崗閃緑岩は、那珂川最上流部に分布する粗～中粒の片状普通角閃石黒雲母トータル岩～石英閃緑岩で、花崗閃緑岩を伴う (唐木田ほか, 1994)。本花崗閃緑岩について、 $116 \pm 17\text{Ma}$ の Rb-Sr 全岩アイソクロン年代、 $93.4 \pm 0.5\text{Ma}$ の Rb-Sr 全岩 - 鉱物アイソクロン年代が報告されている (大和田ほか, 1999)。

深江花崗岩は、調査地域の西方に小規模に分布する細～中粒の黒雲母石英閃緑岩～花崗岩である (唐木田, 1985)。本岩は、糸島花崗閃緑岩に密接に伴った小岩体として産する (唐木田, 1985)。本花崗岩について、 $86.7 \pm 2.2\text{Ma}$ の Rb-Sr 全岩 - 鉱物アイソクロン年代が報告されている (大和田ほか, 1999)。

早良花崗岩は、那珂川流域に広く分布する。本花崗岩は糸島花崗閃緑岩に貫入し、粗粒岩相と細粒岩相に分けられる (唐木田ほか, 1994)。前者は、岩体の主部を構成しており、後者は主に岩体の周縁部に分布する。両者は、漸移的に移化したり、細粒岩相が岩脈として粗粒岩相を貫くことがある (唐木田ほか, 1994)。本調査地域では、細粒岩相は糸島花崗閃緑岩との境界部に分布しており、粗粒岩相を貫く産状も認められる。粗粒岩相は、粗粒斑状黒雲母花崗岩～花崗閃緑岩で、一般的に塊状であるが、弱い面構造が発達する場合もある。細粒岩相は、細粒～中粒塊状黒雲母花崗岩～花崗閃緑岩である。本花崗岩については、 $114 \pm 11\text{Ma}$ の Rb-Sr 全岩アイソクロン年代、 $105.2 \pm 2.3\text{Ma}$ の Rb-Sr 全岩 - 鉱物アイソクロン年代が報告されている (大和田ほか, 1999)。

佐賀花崗岩は、背振山山頂周辺に分布する細粒塊状の両雲母花崗岩～黒雲母花崗岩で、糸島花崗閃緑岩と早良花崗岩に貫入する (唐木田ほか, 1994)。本花崗岩について、 $87.9 \pm 18.2\text{Ma}$ の Rb-Sr 全岩アイソクロン年代、 $82.6 \pm 0.7\text{Ma}$ の Rb-Sr 全岩 - 鉱物アイソクロン年代が報告されている (大和田ほか, 1999)。

大野・小川内探鉱跡の状況と周辺の地質

大野探鉱跡には坑口が 2 つ残っている。そのうち、上流側の坑口 (A) 周辺には、鉱脈周辺の岩石が露出している (Fig.2a, b)。坑口 (A) は、幅約 1 m、高さ約 1 m でほぼ東方向に 10 m 以上の

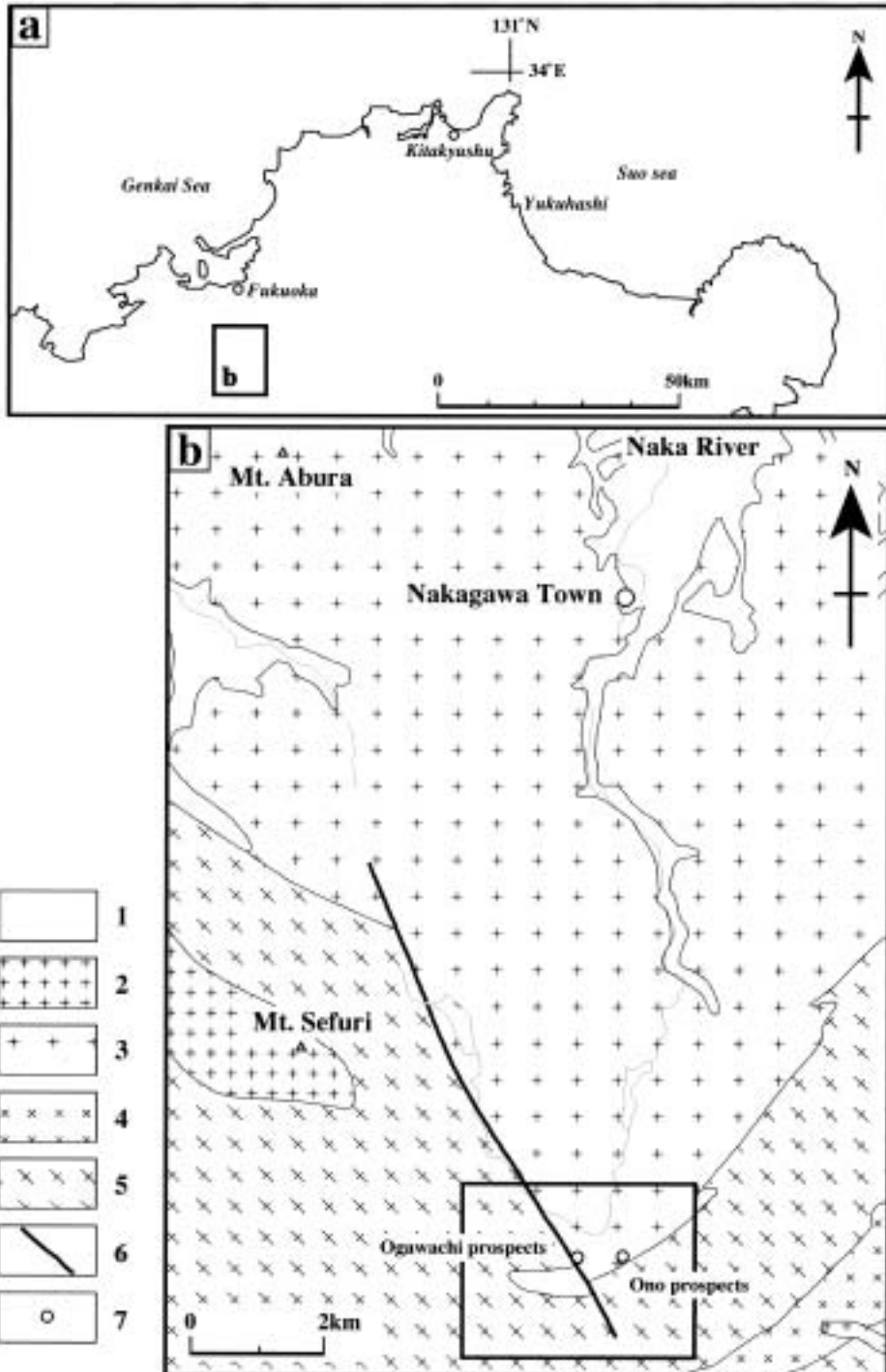


Fig.1 Geological map of the around area of Nakagawa Town, and location of the Gokayama area and the gold prospects.

The map is modified from 1/200,000 geological map "Fukuoka" (Kubo et al., 1993).

- 1: Quaternary system, 2: Saga Granite, 3: Sawara Granite, 4: Fukae Granite,
- 5: Itoshima Granodiorite, 6: fault, 7: gold prospects.

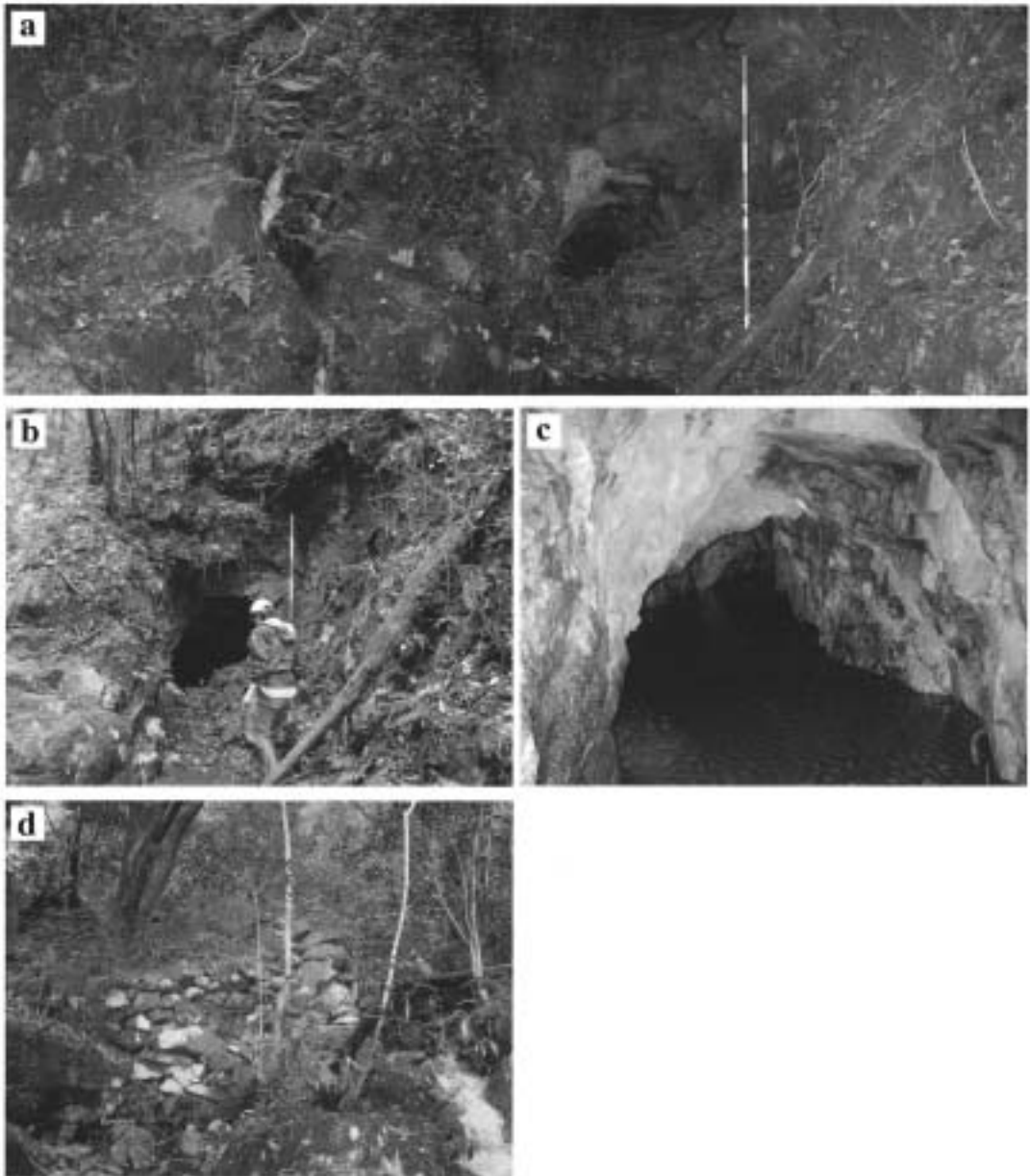


Fig.2 Photographs of the Ono gold prospects.
a: whole view of adit (A) of Ono gold prospects, b: magnification of adit (A),
c: inside of adit (A), d: stone wall.

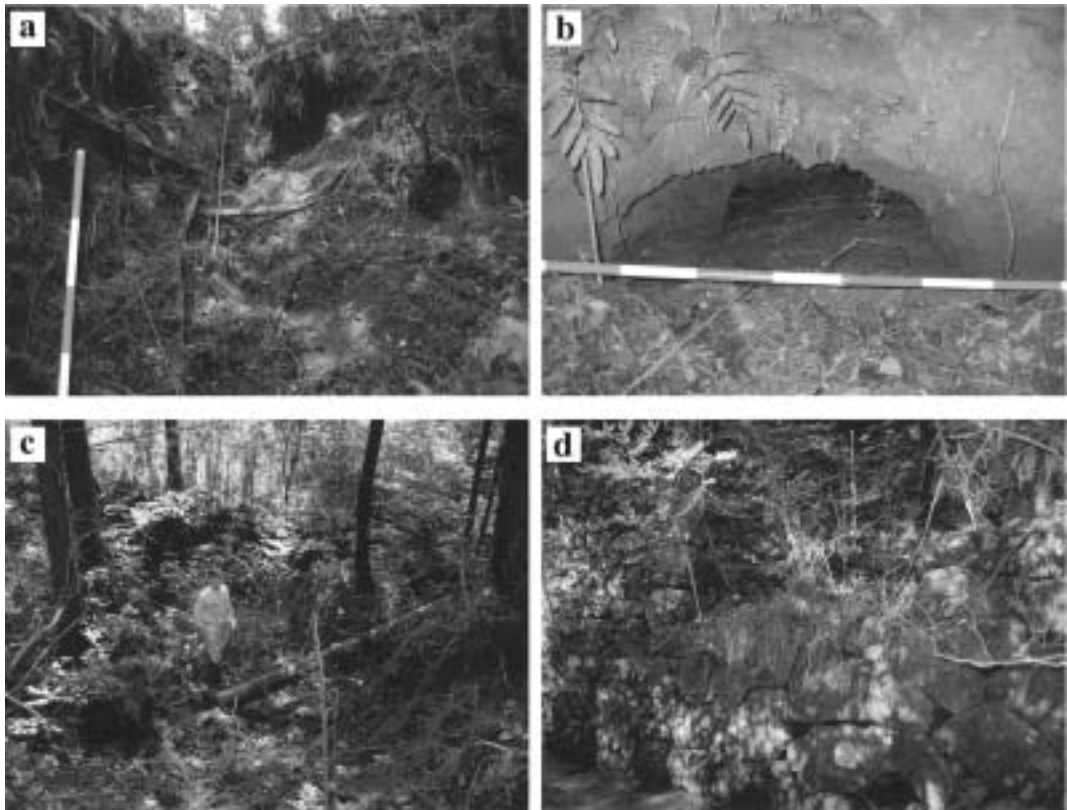


Fig.3 Photographs of the Ono gold prospects.

a: whole view of adit (B), b: inside of adit (B), c, d: stone wall near the adit (B).

奥行きがあるが、内部に水がたまっており、奥部を観察することはできない (Fig.2c)。さらに、坑口の上流には、石垣が残っているが (Fig.2d)、これは採掘時に整備されたものである。坑口の下流約20mには、ここから採掘されたと考えられるズリが放置されている。また、坑口 (A) の南方40mに位置する坑口 (B) は、林道のすぐ下側にあり、周囲は土壌に覆われている (Fig.3a)。坑口 (B) の幅は約1.6m、高さは約0.3m以上で、北北東方向に数 m は確認できるが、内部は多量の土砂で埋まっている (Fig.3b)。この坑口の下方には、採掘時に整備された石垣が残っている (Figs.3c, d)。

大野探鉱跡の上流側の坑口 (A) 周辺には、中粒の黒雲母花崗閃緑岩が露出している (Fig.4)。この岩石は、暗緑色を呈し (Fig.5d)、後述のよ

うに変質が進んでいる。そのため、本報告では変質花崗閃緑岩と呼ぶ。本岩は、幅7.5~9.0mの変質帯を伴っており (Fig.4)、変質帯では白色化している (Figs.5a~c)。そこで、これを白色変質花崗閃緑岩と呼ぶ。白色変質花崗閃緑岩と変質花崗閃緑岩は漸移関係にある。変質帯は、東西方向に連続していると考えられ、坑口はその南端部に、変質帯ののびの方向に掘られている (Fig.4)。通常の金鉱床で見られるような珪化帯や石英脈は認められない。それらの部分は採掘によって失われたと考えられる。また、花崗閃緑岩中には断裂が発達しており、南 - 北走向で高角なもの、西北西 - 東南東走向で高角なもの、北東 - 南西走向で傾斜20°前後の低角なものに分けられる (Fig.6)。これらの断裂は、2~5 cm間隔で発達し、数 mm以下のガウジを伴う場合と、開口している場合が

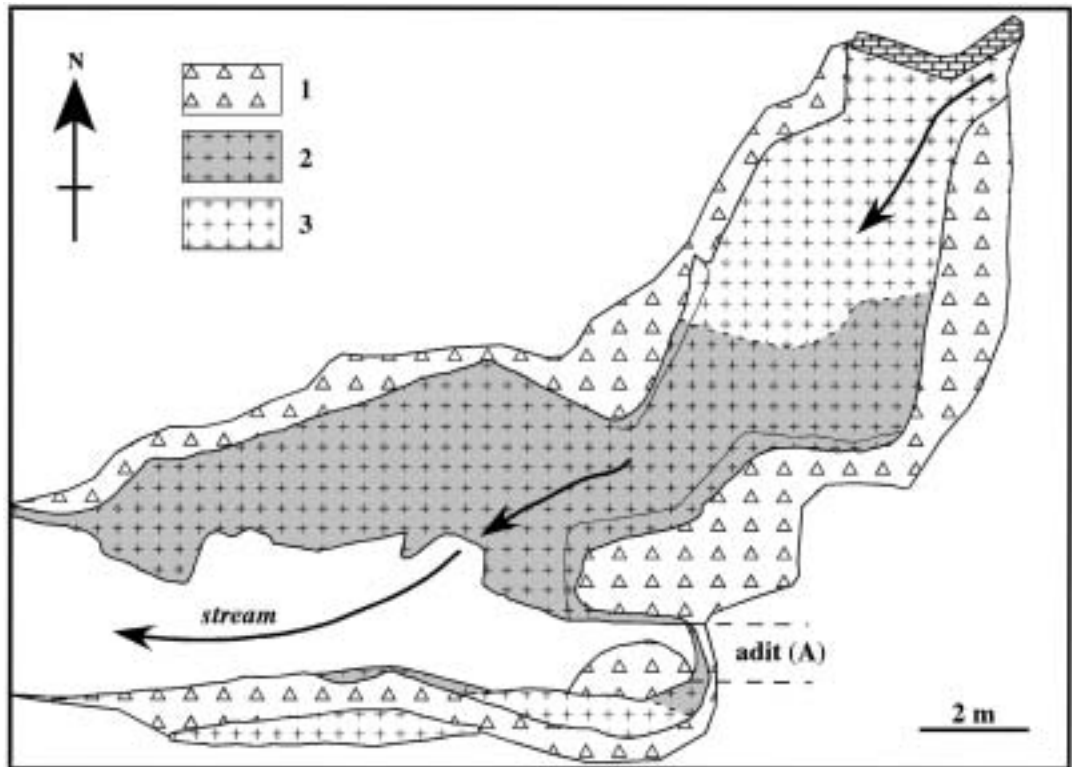


Fig.4 Geological map of the around the adit (A) of the Ono gold prospects.
1: talus deposit, 2: white-altered granodiorite, 3: altered granodiorite.

ある。これらの断裂の隔離量は、測定できなかった。また、開口した断裂に沿って、岩石が赤褐色化している場合もある (Figs.5a, b)。

小川内探鉱跡では坑口が残っているが、周囲は土壌に覆われており、岩石の露出は少ない (Figs. 7a, b)。最近、樹木の伐採に伴って、周辺に新たに岩石が露出したが、これらはカタクレサイトからなり (Figs.8a, c)、多くの場合、変質により白色化している (Figs.8b, d)。坑口は幅約0.8m、高さ約1mで、西北西方向に奥行き30m程度あったとされるが、現在は多量の土砂とゴミで埋まっている (Fig.7d)。この坑口と小さな沢を挟んだ反対側の斜面にはズリが盛られている。地形から判断するとズリの厚さは2～3mであると推定されるが、竹および杉林となっており、土壌に覆われている (Fig.7c)。さらに、坑口から東北東に150mほど離れた大野川のほとりには、鉱石を粉砕した水車跡の石垣が残っているが、水

路は土壌に覆われ、最上部の石がわずかに出ているのみである (Fig.7e)。

試料

大野探鉱跡および小川内探鉱跡周辺の早良花崗岩から試料採取を行った (Appendix 1)。さらに、最も岩石の露出が広い大野探鉱跡の坑口 (A) 周辺では、試料採取密度を高くした (Appendix 2)。坑口 (A) の下流のズリからは、本探鉱跡から採掘されたと考えられる石英 (Fig.9) も採取した。また、小川内探鉱跡の坑口周辺の早良花崗岩からも試料を採取した (Appendix 3)。

採取試料の薄片作成にあたり、変質や変形のためもろくなっている試料は、ストルアス社製エポフィックス冷間埋込樹脂およびパルス・ペトロ・プロダクツ社製ペトロボキシ154を用いて固化した。

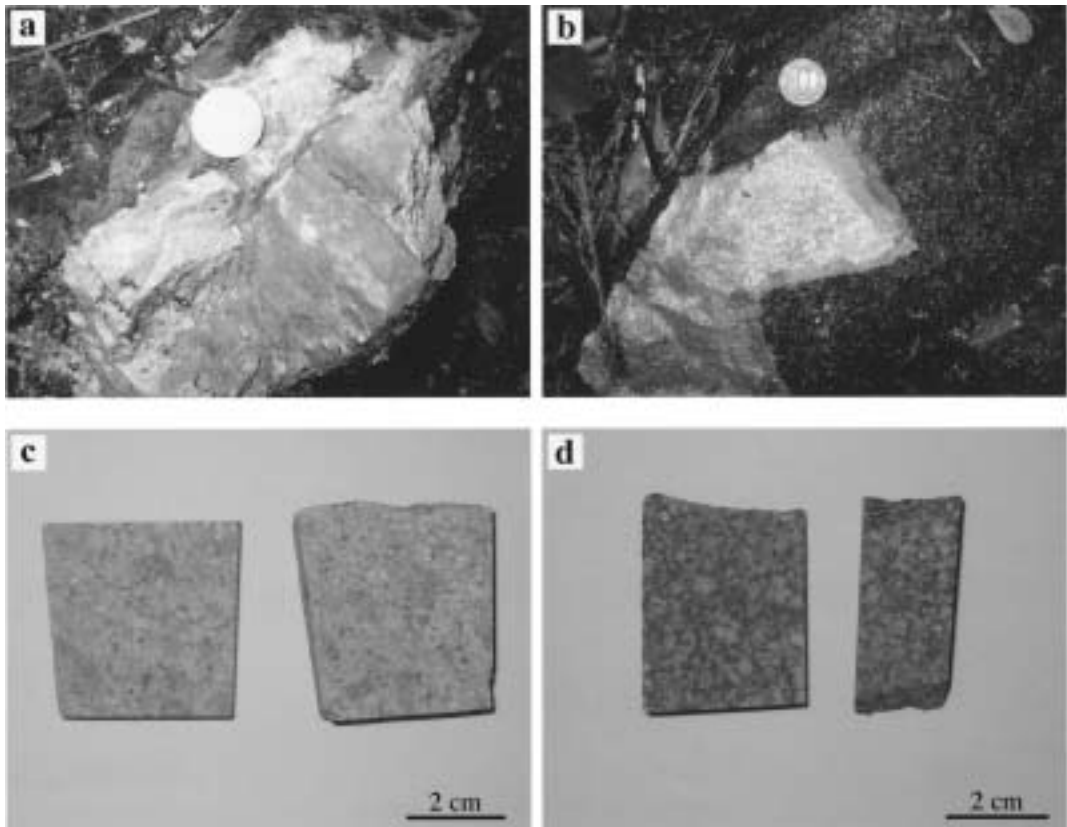


Fig.5 Photographs of the Sawara Granite from the Ono gold prospects.
a, b: rocks in the white-altered zone (GDS10and11), c: slabs of GDS10,
d: slabs of GDS21.

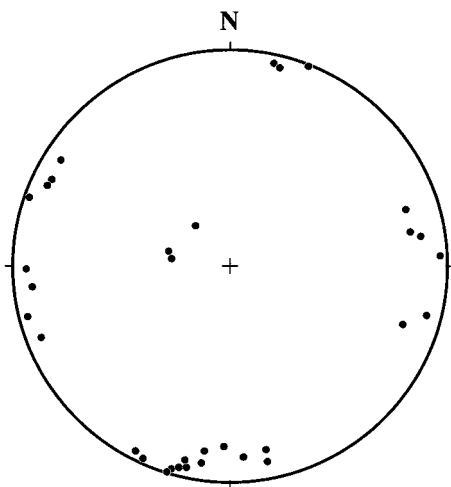


Fig.6 Attitudes of fractures.
Equal area and lower hemisphere
projection.

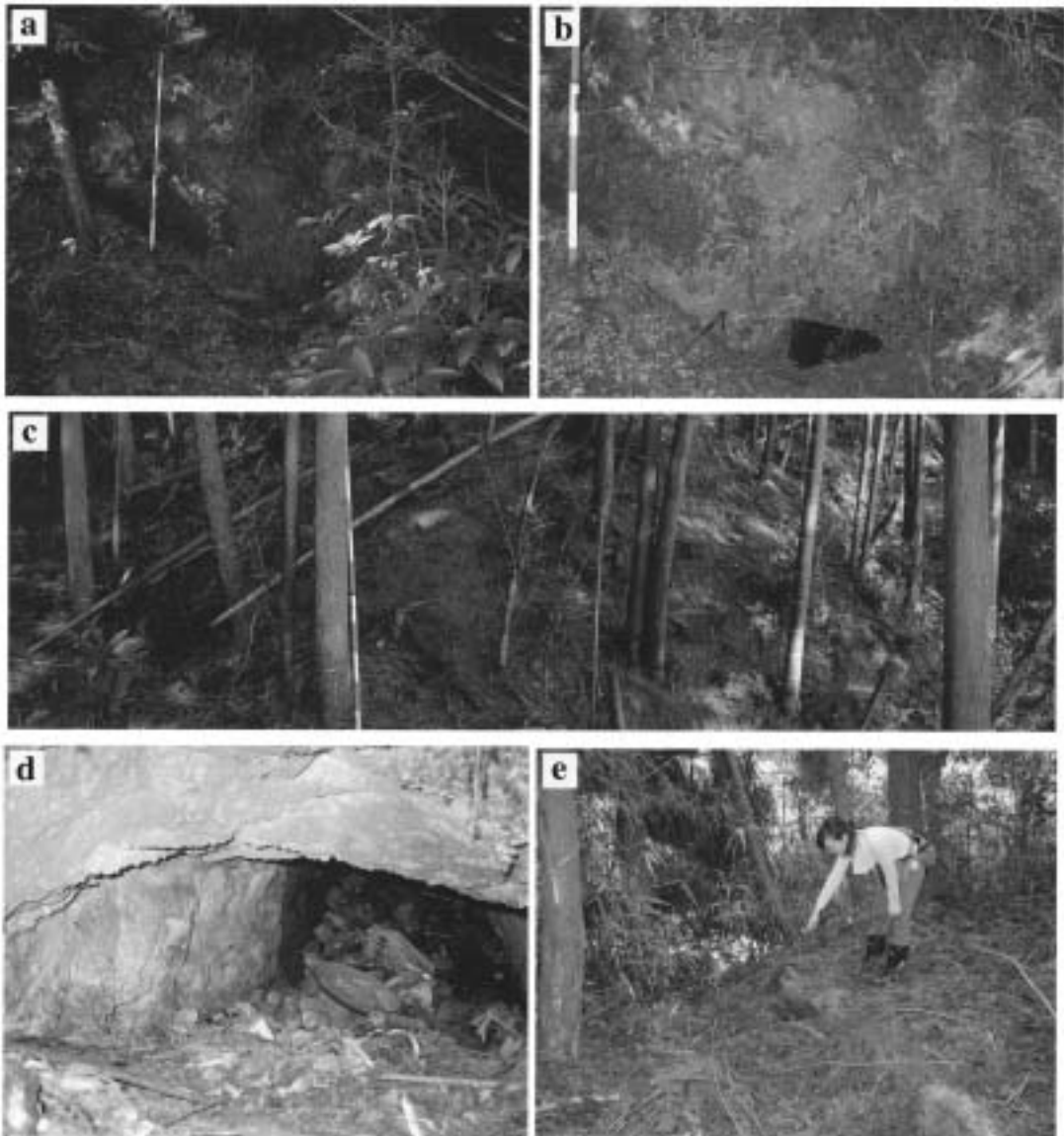


Fig.7 Photographs of the Ogawachi gold prospects.
a: whole view of gold prospects, b: magnification of adit, c: waste,
d: inside of adit, e: stone wall.

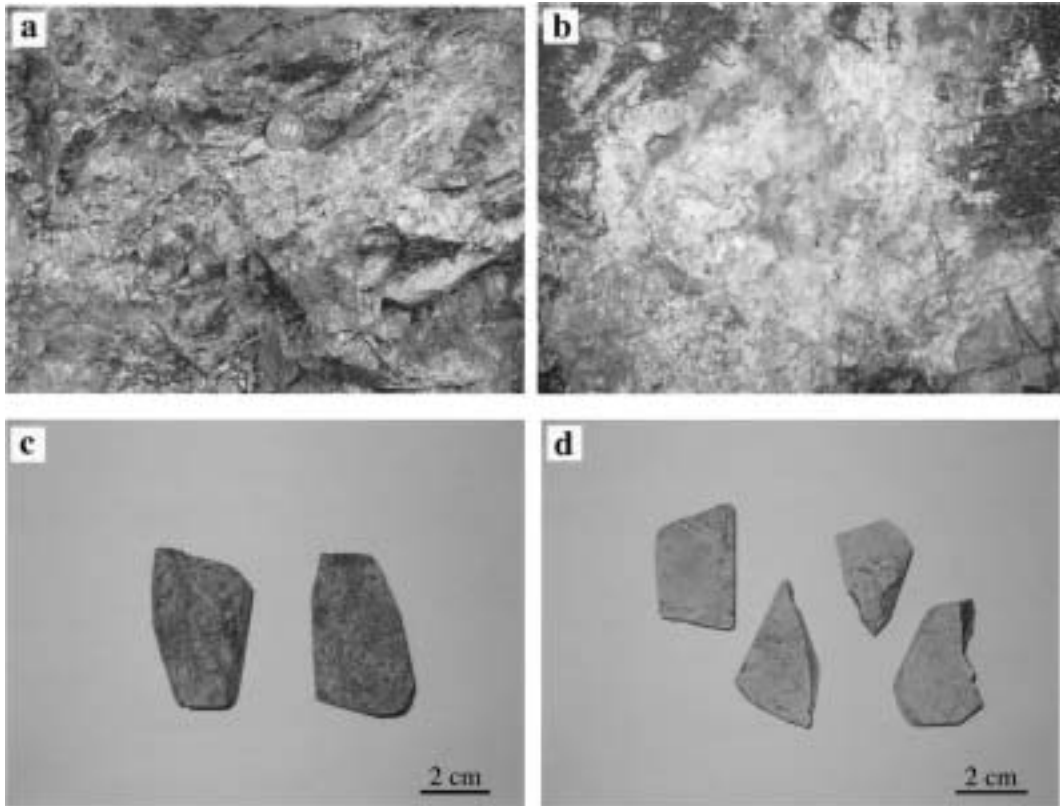


Fig.8 Photographs of the Sawara Granite around the Ogawachi gold prospects.
 a: cataclasite around the adit, b: rock in the white-altered zone (GDS26),
 c: slabs of GDS26, d: slabs of GDS28.

岩石記載

探鉱跡周辺の早良花崗岩は、唐木田ほか(1994)の細粒岩相にあたり、多くの場合変質が進み暗緑色を呈する (Fig.5d)。今回採取した試料のうち、比較的新鮮な岩石は、細粒～中粒、塊状～片状の黒雲母花崗閃緑岩で、鏡下ではシリイット組織を示し (Fig.10a)、主に斜長石、石英、カリ長石、黒雲母からなり、副成分鉱物としてジルコン、モナズ石、燐灰石、不透明鉱物を伴う。斜長石 (最大 5 mm) は、自形～他形で、斜長石、石英、黒雲母を包有する。累帯構造を示す斜長石も認められる。斜長石の一部はイライト化している。斜長石とカリ長石の境界部にはミルメカイトが認められる場合がある。石英 (最大 2 mm) は

他形で、斜長石、黒雲母、不透明鉱物を包有し、波動消光を示す。石英の一部は動的再結晶し、不規則な境界を示し波動消光の著しい細粒結晶となっている (Fig.10b)。カリ長石 (最大 6 mm) は、半自形～他形で、斜長石、石英、黒雲母、不透明鉱物を包有する。黒雲母 (最大 2.5 mm) は、暗褐色、自形～他形で、一部緑泥石化している。石英の再結晶化が認められる領域の周辺では、黒雲母がイライトと不透明鉱物の集合体に交代されている場合がある。斜長石、石英、カリ長石には、イライト脈を伴う断裂が認められる場合がある (Fig.10c)。

変質花崗閃緑岩は細粒～中粒、塊状～斑状の黒雲母花崗閃緑岩～花崗岩で、鏡下ではシリイット組織を呈し (Fig.11a)、主に斜長石、石英、カリ

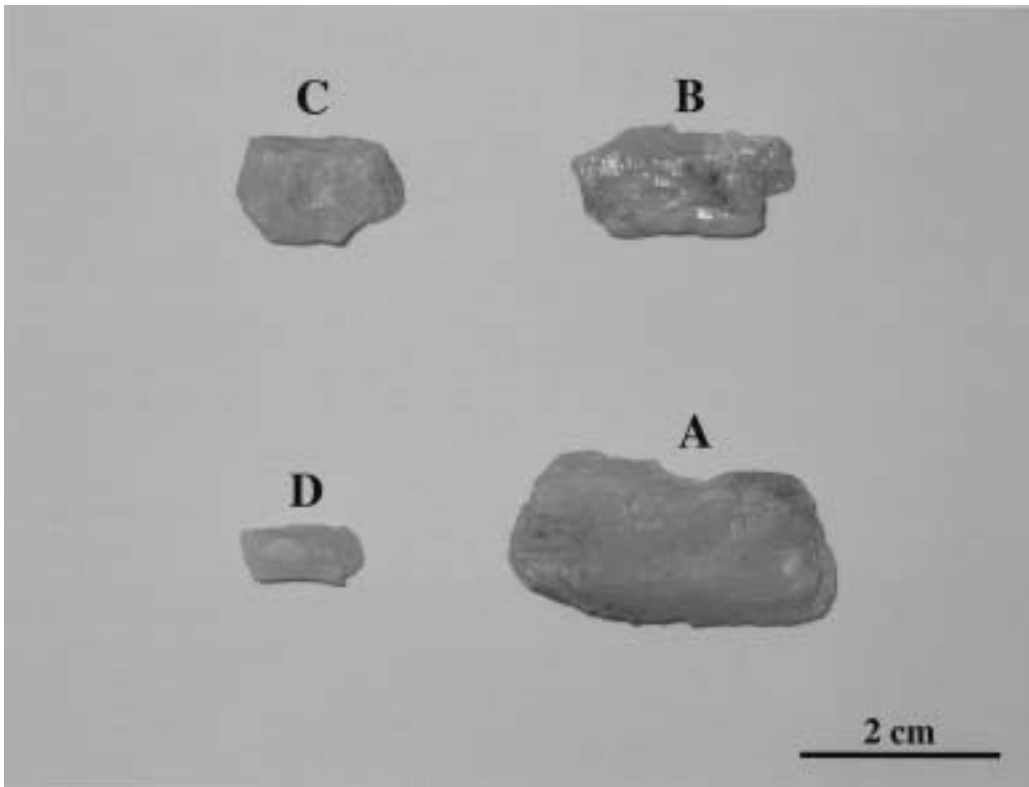


Fig.9 Photograph of quartz.

長石，緑泥石からなり，副成分鉱物としてジルコン，モナズ石，燐灰石，黄鉄鉱，不透明鉱物を伴う．斜長石（最大5 mm）は，自形～他形で，累帯構造を示し，斜長石，石英，緑泥石，不透明鉱物を包有する．斜長石の多くは，イライトが内部に多量に生成している．さらに，内部に変質によって生成したと考えられる方解石を含む斜長石も認められる．斜長石とカリ長石の境界部にはミルメカイトが認められる場合がある．石英（最大2.5 mm）は他形で，他鉱物間を充填する．多くの場合動的再結晶し，1 mm以下になっている．いずれも，著しい波動消光を示す．カリ長石（最大5 mm）は，半自形～他形で，斜長石，石英，緑泥石，燐灰石，不透明鉱物を包有する．緑泥石は黒雲母を交代して生成したと考えられ，青緑色で，細粒な不透明鉱物と集合体を形成している．その集合体の外形はもとの黒雲母の外形に相当し，1.2mm以下である．緑泥石の一部は，イライト

に交代されている．黄鉄鉱は自形～半自形で，1.5mm以下である．斜長石，石英，カリ長石の結晶内や複数の結晶にまたがるイライト脈を伴う断裂が認められる．この断裂の頻度は，新鮮な岩石よりも高い．

白色変質花崗閃緑岩（Fig.11b）の原岩は周囲に分布する細粒～中粒，塊状～斑状黒雲母花崗閃緑岩であると考えられる．本岩では，斜長石の大部分はイライト化している．緑泥石の大部分もイライトに交代されている．緑泥石を交代しているイライトは，斜長石中のものよりも結晶度が高い．これに対して，カリ長石はほとんど変質していない．石英は，動的再結晶しているものが多い．変質花崗閃緑岩同様，斜長石，石英，カリ長石の結晶内や複数の結晶にまたがるイライト脈を伴う断裂が認められるが，断裂の頻度はさらに高い．

岩石の鉱物組成

採取した早良花崗岩39試料 (Appendixes 1~3) について、福岡大学理学部に設置されている X 線回折装置 (理学電機製 X 線回折装置 Geigerflex) を用いて、構成鉱物の同定を行った。Cu 管球 (Ni フィルター) を用い、印加電圧と電流はそれぞれ 30 kV, 10mA, 走査速度は 2 °/min, スリットは 1 ° - 0.15mm - 1 ° である。走査範囲は 2 から 40 ° とした。構成鉱物の同定結果を各鉱物の石英指数 (林・山崎, 1979) として Table 1 に示す。石英指数とは、試料中の各鉱物

の最強ピーク強度の標準石英の最強ピーク強度に対する百分率であり、試料の鉱物組成比を半定量的に示している。

X 線回折によって同定した早良花崗岩の構成鉱物は、石英、長石、黒雲母、緑泥石、黄鉄鉱、イライトであった (Table 1)。このうち、石英、長石、黒雲母は新鮮な岩石の主成分鉱物であるため、明らかな変質鉱物は、イライト、緑泥石、黄鉄鉱である。

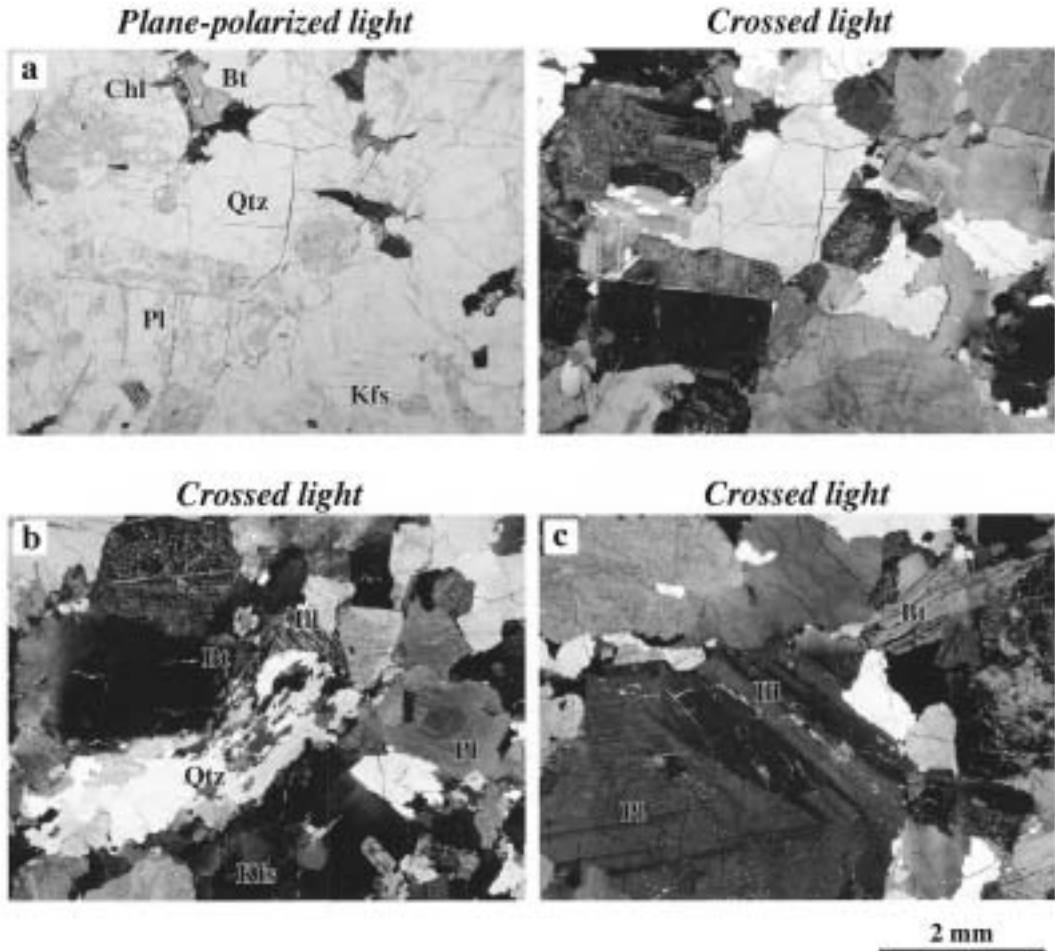


Fig.10 Photomicrographs of the Sawara Granite from the Gokayama area.
 a: fresh granodiorite, b: recrystallization quartz, c: illite vein in plagioclase.
 Bt: biotite, Pl: plagioclase, Kfs: K-feldspar, Qtz: quartz, Chl: chlorite, Ill: illite,
 Py: pyrite.

岩石の化学組成

X線回折を行った試料のうち、37試料について、岩石試料に含まれる主成分および微量元素の測定を行った。測定には福岡大学理学部に設置の理学電機工業社製蛍光X線分析装置 ZSX100e を使用し、試料調整および測定方法は、柚原・田口 (2003a, b), 柚原ほか (2004) に従った。分析結果を Table 2 および 3 に示す。

変質花崗閃緑岩の SiO_2 含有量は 66.3 ~ 74.3wt% で (Table 2), 新鮮な花崗閃緑岩もこの範囲に入る。また、白色変質花崗閃緑岩の SiO_2 含有量は

65.5 ~ 75.3wt% であり (Table 3), 変質花崗閃緑岩の変化範囲に重複する。岩石の化学組成の変化を SiO_2 -酸化物図 (Fig.12) でみると、変質花崗閃緑岩の TiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3^* , MgO , CaO , Na_2O は、 SiO_2 の増加とともに減少する。これに対し、 K_2O は SiO_2 の増加とともに増加する。白色変質花崗閃緑岩では、 TiO_2 , Al_2O_3 , Na_2O , K_2O は、変質花崗閃緑岩の変化トレンドに重複するが、 K_2O のばらつきが大きい。 Fe_2O_3^* , MgO , CaO は、変質花崗閃緑岩よりも低い傾向があり、 Fe_2O_3^* , CaO はばらつきも大きい。 Na_2O は若干高い傾向にある。微量元素では (Fig.13), SiO_2

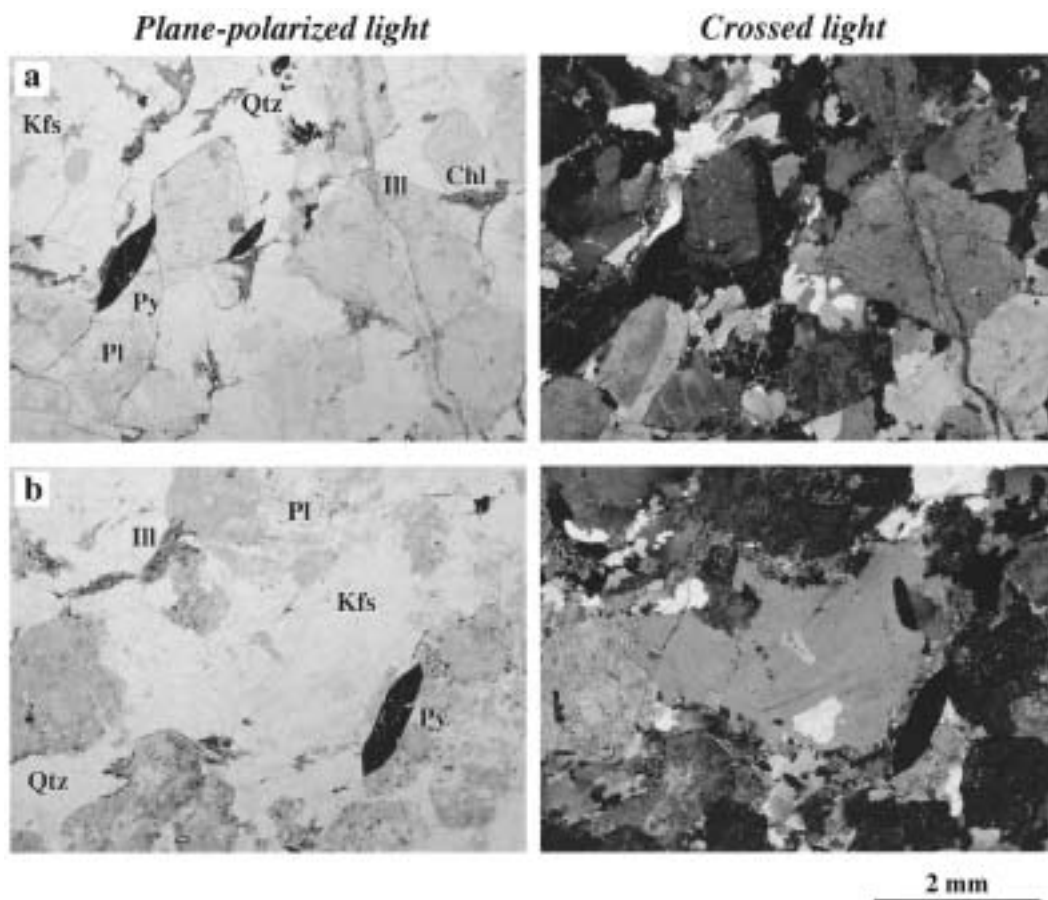


Fig.11 Photomicrographs of the Sawara Granite from the Ono gold prospects.
a: altered granodiorite, b: white-altered granodiorite.
Bt: biotite, Pl: plagioclase, Kfs: K-feldspar, Qtz: quartz, Ill: illite, Py: pyrite.

の増加とともに変質花崗閃緑岩の Ba, Rb は増加し, Ga, Nb, Sr, V, Zn, Zr は減少する. Co, Pb はほぼ一定で, Cu, Y はばらつきが大きく明瞭なトレンドを示さない. 白色変質花崗閃緑岩の Ga, Rb, V は, 変質花崗閃緑岩の変化トレンドと重複するが, Co, Pb, Zn はばらつきが大きく明瞭なトレンドは示さない. S もばらつき明瞭なトレンドを示さないが, 含有量が変質花崗閃緑岩よりも高く最大9500ppm に達する (Table 3). しかし, 小川内探鉱跡の坑口周辺の岩石は, S をほとんど含んでいない (Table 3). 他の元素は変質花崗閃緑岩のトレンドとは異なり, SiO₂の増加とともに, Sr は減少し, Ba, Cu, Nb, Y, Zr は一定である. さらに, Cu と Sr は変質花崗閃緑岩よりも含有量が低い.

流体包有物の均質化温度

福岡大学理学部の加熱 - 冷却台 (USGS Gas-flow 型) を用いて, 石英 (B ~ D) 中に包有される流体包有物 (Fig.14) の均質化温度を測定した.

石英に包有される流体包有物の多くは, 液相と気相が存在する二相流体包有物であり (Figs.14b, d, f), 液相のみの一相流体包有物も認められる. これらの流体包有物は, 石英の成長線に平行に配列する場合 (Fig.14a) と, 割れ目に沿って存在する場合 (Figs.14a, e), 成長線に斜交して配列する場合 (Fig.14c) がある. 成長線と平行に配列するものは, 初成流体包有物であると考えられる. その他の流体包有物は, その配列が結晶の途中で途絶えていることから, 擬二次流体包有物であると考えられる. 今回測定を行った流体包有物は, 初成流体包有物と擬二次流体包有物である. 初成流体包有物は, 鉱物が結晶成長しているときに流体が捕獲されることで形成されるもので, 擬二次流体包有物は, 鉱物の結晶成長途中で生じた鉱物中の割れ目の中に形成されるものである (Roedder, 1967). したがって, これらの流体包有物は石英の成長途中で包有されたものであると考えられる.

石英中の流体包有物の均質化温度は, 石英 B で161 ~ 259 , 石英 C で224 ~ 306 , 石英 D で226 ~ 301 であった (Fig.15).

Table 1 Quartz index of minerals in the Sawara Granite from the Gokayama area.

Sample No.	Quartz	Illite	Chlorite	Pyrite	Biotite	Feldspar
GDS01	27.0	1.0		0.6		20.0
GDS02	39.0			1.9	1.0	39.0
GDS03	24.6			0.6	1.0	33.8
GDS04	33.3	0.5				24.0
GDS05	24.7		0.4			30.0
GDS06	31.4		1.7			17.3
GDS07	21.6		4.4	0.5		44.6
GDS08	27.5		3.9			14.2
GDS09	26.7		4.1			26.9
GDS10	32.0	0.5				17.2
GDS11	29.6	0.5				15.5
GDS12	26.8	0.7	0.4			24.3
GDS13	33.6					26.0
GDS14	25.4				1.7	17.7
GDS15	30.0	0.5	0.6			34.7
GDS16	27.5	0.5	4.5	1.0		28.4
GDS17	30.0	0.5	1.2			24.1
GDS18	34.0		1.2			18.7
GDS19	26.4	0.4	4.4			21.3
GDS20	21.5	0.5	3.2			34.0
GDS21	16.7		1.6	0.5		20.2
GDS22	26.3		1.2	0.4		28.7
GDS23	24.5					14.3
GDS24	27.5		0.6			17.7
GDS25	28.0				5.0	21.3
GDS26	17.8		0.5			11.0
GDS27	31.0					18.0
GDS28	10.0		0.5			23.0
GDS29	23.2		0.2			17.5
GDS30	31.1		1.0			18.2
GDS33	28.3				4.4	23.3
GDS34	29.3				0.9	19.0
GDS35	29.5		1.0		0.3	16.1
GDS36	29.4		0.5			26.1
GDS37	25.4					12.5
GDS38	27.4	0.2	0.3	0.3		24.5
GDS40	26.0	0.4	2.5			12.2
GDS60	32.4		0.8		1.9	26.2
GDS61a	26.6		1.6		1.3	18.2

考 察

1. 探鉱跡周辺の変質作用

X 線回折により, 探鉱跡周辺の早良花崗岩の変質は, 緑泥石, イライト, 黄鉄鉱の出現で特徴づけられることがわかった. しかしながら, X 線回折の結果と鏡下観察の結果は必ずしも一致しない. これは, 分析試料の不均質性や, X 線回折に用いた試料の量が少なすぎたことなどによると考えられる. そこで, X 線回折と鏡下観察の結果を統合して, 大野探鉱跡坑口 (A) 周辺の各変質鉱物の分布を検討した (Figs.16 ~ 18). ただし, これらの図には, 鉱物の出現の有無は示され

Table 2 Whole-rock chemical compositions of fresh to altered granodiorite of the Sawara Granite from the Gokayama area.

Sample No.	GDS21	GDS09	GDS17	GDS20	GDS25**	GDS40	GDS16	GDS19	GDS08
SiO ₂ (wt%)	66.29	67.64	67.67	68.11	69.27	69.47	69.52	69.63	69.90
TiO ₂	0.57	0.55	0.69	0.56	0.32	0.39	0.47	0.47	0.41
Al ₂ O ₃	16.28	16.64	16.35	15.93	15.60	15.03	15.42	15.61	15.68
Fe ₂ O ₃ *	3.69	3.13	3.21	2.73	2.40	3.04	2.07	2.49	2.98
MnO	0.08	0.06	0.08	0.06	0.04	0.06	0.06	0.06	0.06
MgO	1.11	0.95	0.95	0.81	0.56	0.95	0.61	0.74	1.01
CaO	2.74	2.33	2.33	2.58	2.55	0.95	1.92	2.14	0.93
Na ₂ O	4.44	4.30	4.25	4.30	3.99	3.56	3.65	3.92	3.97
K ₂ O	2.23	2.45	2.46	2.38	3.70	4.36	4.07	3.15	2.98
P ₂ O ₅	0.16	0.16	0.18	0.16	0.09	0.11	0.12	0.14	0.10
L.O.I.	2.01	1.49	2.12	1.81	0.73	1.71	1.93	2.28	1.93
Total	99.60	99.70	100.29	99.43	99.25	99.63	99.84	100.63	99.95
Ba(ppm)	508	503	291	543	1064	818	563	573	507
Co	36	39	46	43	56	39	37	36	40
Cr	6	6	6	7	5	9	5	6	11
Cu	34	5	7	38	13	<4	17	28	13
Ga	21	21	23	21	19	18	20	20	20
Nb	16	13	23	17	10	10	13	9	5
Ni	5	6	6	4	6	5	6	6	7
Pb	16	16	16	18	18	18	20	15	13
Rb	67	69	81	66	98	140	113	93	100
S	36	4	251	132	63	n.d.	573	172	n.d.
Sr	436	412	339	385	396	364	343	366	361
Th	7	9	11	8	9	7	10	8	10
V	41	41	41	37	23	47	35	38	40
Y	15	10	20	21	11	8	17	10	8
Zn	90	92	89	78	63	55	51	63	84
Zr	227	193	212	212	164	144	165	173	121

Sample No.	GDS07	GDS06	GDS61a	GDS33**	GDS35	GDS60**	GDS34
SiO ₂ (wt%)	70.10	70.18	70.96	71.58	71.87	72.00	74.25
TiO ₂	0.48	0.43	0.28	0.33	0.26	0.26	0.08
Al ₂ O ₃	15.27	15.45	15.13	15.01	14.45	14.39	13.87
Fe ₂ O ₃ *	2.50	2.21	1.77	1.98	1.81	1.91	0.72
MnO	0.05	0.04	0.03	0.04	0.03	0.04	0.01
MgO	0.83	0.68	0.31	0.48	0.46	0.45	0.26
CaO	0.48	0.84	2.12	2.32	0.91	1.97	1.38
Na ₂ O	4.42	4.03	3.67	3.93	3.82	3.65	2.77
K ₂ O	3.87	4.23	4.10	2.86	4.29	3.86	5.59
P ₂ O ₅	0.12	0.13	0.08	0.09	0.07	0.07	0.00
L.O.I.	1.60	1.50	1.16	0.72	1.29	0.93	0.50
Total	99.72	99.72	99.61	99.34	99.26	99.53	99.43
Ba(ppm)	940	664	1179	601	804	838	1640
Co	46	37	54	68	38	54	51
Cr	6	7	4	6	7	6	<4
Cu	<4	6	20	14	4	<4	<4
Ga	17	18	18	19	17	17	12
Nb	12	12	9	10	7	11	<5
Ni	6	6	4	4	8	<4	7
Pb	15	16	18	15	17	17	22
Rb	113	121	89	87	119	93	83
S	<3	76	35	12	3	18	4
Sr	333	355	374	338	337	336	283
Th	6	9	9	7	5	6	5
V	32	30	19	21	29	17	9
Y	12	15	9	9	16	9	<6
Zn	70	62	52	57	44	54	16
Zr	178	158	152	184	117	135	11

*: total iron as Fe₂O₃, L.O.I.: loss on ignition, n.d.: not detected, **: fresh sample.

Table 3 Whole-rock chemical compositions of white-altered granodiorite of the Sawara Granite from the Gokayama area.

Sample No.	GDS28	GDS22	GDS14	GDS26	GDS13	GDS03	GDS18	GDS23	GDS11	GDS30	GDS15
SiO ₂ (wt%)	65.45	69.76	70.76	70.92	71.33	71.44	71.46	71.64	71.80	72.07	72.14
TiO ₂	0.26	0.52	0.55	0.37	0.35	0.56	0.28	0.34	0.38	0.28	0.35
Al ₂ O ₃	19.46	16.78	16.45	14.72	14.79	15.67	14.71	14.79	15.31	14.00	14.65
Fe ₂ O ₃ *	1.68	0.96	0.99	2.45	2.01	0.85	1.73	1.46	0.85	1.99	1.36
MnO	0.01	0.01	0.01	0.02	0.09	0.00	0.04	0.05	0.05	0.04	0.04
MgO	0.34	0.25	0.24	0.52	0.25	0.16	0.48	0.17	0.15	0.58	0.20
CaO	0.60	2.27	0.42	0.42	0.53	0.24	1.56	1.21	1.58	1.24	1.09
Na ₂ O	7.98	4.25	3.93	3.20	3.68	5.10	3.59	3.71	3.27	4.14	3.33
K ₂ O	1.62	2.91	3.98	5.01	4.49	3.43	4.38	4.38	4.69	3.41	4.83
P ₂ O ₅	0.02	0.14	0.14	0.07	0.09	0.03	0.07	0.09	0.10	0.08	0.09
L.O.I.	1.80	1.59	1.96	1.96	2.28	1.75	1.19	1.79	1.34	1.28	1.77
Total	99.22	99.44	99.43	99.66	99.89	99.23	99.49	99.63	99.52	99.11	99.85
Ba(ppm)	417	691	547	876	590	532	702	969	856	701	838
Co	14	46	35	22	35	60	42	35	41	40	43
Cr	6	6	6	5	8	7	4	6	6	5	4
Cu	4	12	79	11	<4	13	4	6	4	15	4
Ga	24	22	22	19	18	19	17	18	19	16	18
Nb	7	13	13	11	10	14	9	10	12	8	12
Ni	10	7	8	6	5	6	5	7	6	5	4
Pb	7	16	22	14	18	13	21	18	21	15	23
Rb	58	92	134	177	137	126	117	117	123	110	128
S	<3	2837	5273	<3	1470	4756	397	1036	1744	5	1249
Sr	255	398	267	226	295	249	324	310	293	316	303
Th	5	6	8	9	5	10	6	6	8	6	6
V	23	39	40	24	28	31	19	25	28	25	26
Y	6	11	9	14	13	11	12	13	11	8	13
Zn	53	38	41	87	37	26	45	48	36	62	40
Zr	131	184	213	212	147	239	118	151	158	138	133

Sample No.	GDS05	GDS10	GDS38	GDS29	GDS37	GDS24	GDS12	GDS01	GDS02	GDS04
SiO ₂ (wt%)	72.27	72.36	72.87	72.91	73.08	73.60	73.85	73.86	74.46	75.27
TiO ₂	0.34	0.29	0.38	0.33	0.28	0.27	0.29	0.40	0.27	0.33
Al ₂ O ₃	14.62	14.76	15.05	14.38	15.04	14.61	14.10	14.10	13.40	13.98
Fe ₂ O ₃ *	1.15	1.02	0.92	2.15	0.62	0.46	0.65	1.21	1.37	0.44
MnO	0.03	0.06	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00
MgO	0.15	0.16	0.17	0.48	0.16	0.09	0.12	0.15	0.14	0.11
CaO	1.33	0.99	0.47	0.59	0.39	1.00	0.28	0.13	0.08	0.11
Na ₂ O	3.59	3.28	3.78	4.94	3.05	3.80	4.02	4.21	3.65	5.03
K ₂ O	4.13	5.08	4.42	2.16	5.45	4.42	4.61	3.89	4.89	3.14
P ₂ O ₅	0.09	0.07	0.04	0.07	0.06	0.06	0.05	0.07	0.01	0.04
L.O.I.	1.41	1.44	1.46	1.69	1.33	1.17	1.28	1.72	1.30	1.17
Total	99.11	99.51	99.57	99.72	99.47	99.49	99.26	99.75	99.58	99.62
Ba(ppm)	692	778	509	510	1079	782	682	598	749	398
Co	44	42	48	25	33	41	45	31	42	82
Cr	<4	6	9	6	4	5	<4	7	5	4
Cu	<4	<4	10	5	<4	<4	6	13	4	10
Ga	18	18	19	19	17	17	15	15	12	15
Nb	10	9	9	10	7	8	9	11	9	9
Ni	6	5	7	9	5	6	9	7	7	6
Pb	19	18	17	10	34	19	17	11	19	13
Rb	106	132	145	83	147	116	133	119	126	92
S	495	3826	5395	n.d.	143	1251	3913	8170	9505	46
Sr	308	292	287	201	269	326	248	92	169	122
Th	6	6	7	7	4	5	7	6	6	5
V	26	25	29	23	24	19	19	28	16	17
Y	12	11	8	11	6	10	9	12	11	13
Zn	42	27	21	79	8	29	19	25	7	12
Zr	150	114	111	178	135	109	146	187	138	135

*: total iron as Fe₂O₃, L.O.I.: loss on ignition, n.d.: not detected.

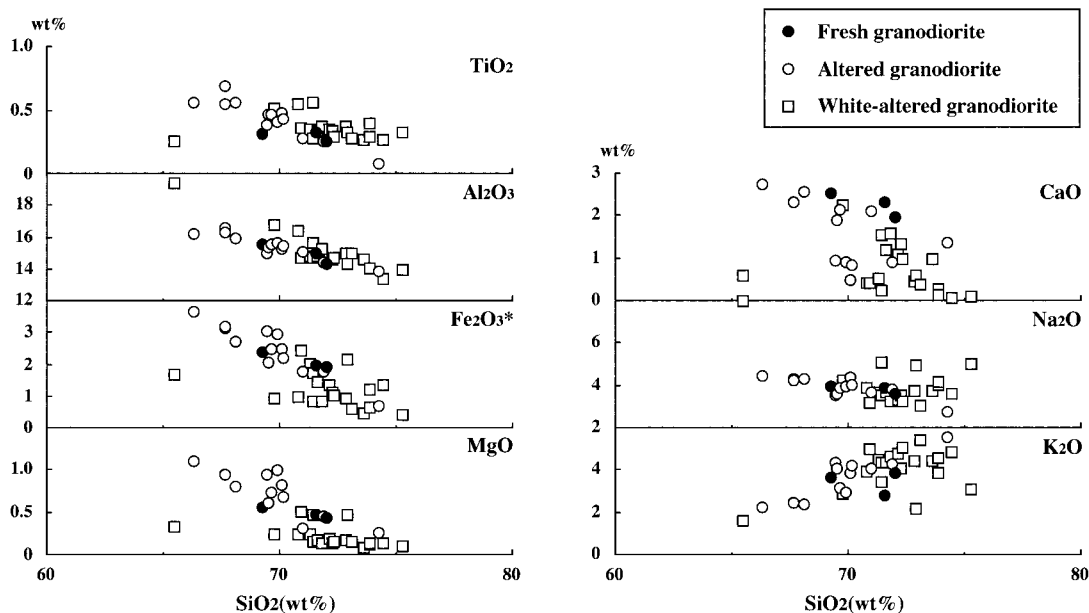


Fig.12 SiO₂-oxides diagrams of the Sawara Granite around gold prospects.
Fe₂O₃* is total iron as Fe₂O₃.

ているが、その石英指数は反映されていない。緑泥石はほぼ全域にわたって出現する (Fig.16) が、白色変質帯では緑泥石の量はかなり減少し、緑泥石を欠く岩石も多く存在する。イライトもほぼ全域にわたって出現する (Fig.17) が、変質花崗閃緑岩と白色変質花崗閃緑岩では産状が異なる。すなわち、前者では斜長石の一部を交代したり、少量の脈鉱物として出現するが、後者では緑泥石と斜長石の大部分を交代し、さらに脈鉱物としても出現する。そのため、イライトの量も後者の方が多い。黄鉄鉱もほぼ全域にわたって出現する (Fig.18)。したがって、黒雲母の緑泥石化の後に、坑口すなわち鉱脈周辺の白色変質帯における緑泥石および斜長石のイライト化が起こったと考えられる。変質花崗閃緑岩や白色変質花崗閃緑岩には、石英の動的再結晶が認められるため (Fig.11)、これらの岩石は明らかに変形作用を被っている。今回検討した試料は、本地域に発達する北西-南東方向の断層 (Fig.1) の近くに位置しているため、この断層の運動に関連した変形作用によって、石英の動的再結晶が起こったと考えられる。さら

に、この変形作用に伴って、黒雲母の緑泥石化も起こったと考えられる。断層運動およびそれに関連した変形作用については、本地域を含めたより広い範囲の断裂系の構造地質学的検討が必要であろう。この変形作用の後に、緑泥石 (と多くの斜長石) のイライト化とイライト脈の形成が、金鉱床を形成した熱水活動にともなって起こったと考えられる。黄鉄鉱は、探鉱跡近傍において出現していることから、この熱水活動によって生成したと考えられる。イライトや黄鉄鉱を生成する熱水変質作用は、Meyer and Hemley (1967) による分類では、セリサイト変質作用にあたる。また、歌田 (1977) による分類では、中性帯のイライト帯に相当する。吉村 (2001) によると、中性変質帯において、イライトと黄鉄鉱を生成する温度条件は200 以上である。直接金鉱床から採取したわけではないが、ズリから採取した石英に包有される流体包有物の均質化温度は、161~306 であり、大部分は230~280 に集中する (Fig.15)。したがって、熱水の温度は230~280 程度であったと考えられる。これは周囲の白色変質花崗閃緑

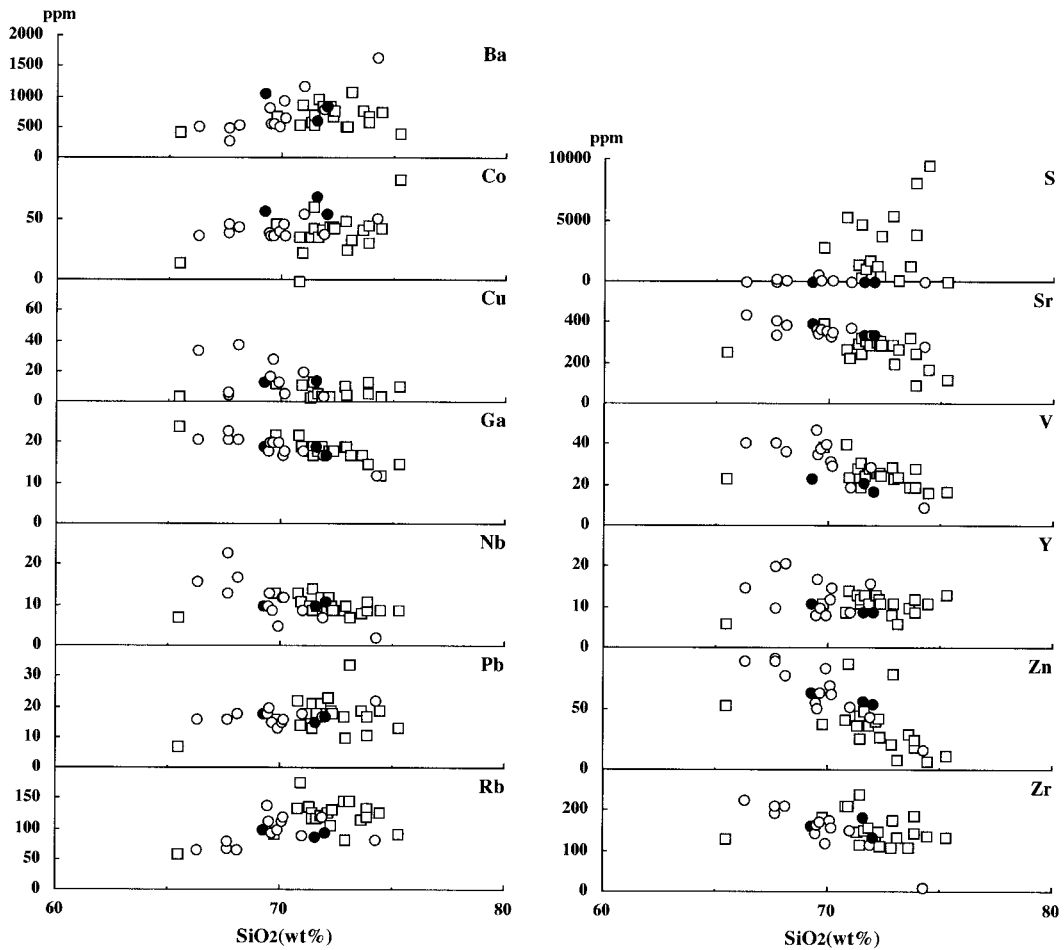


Fig.13 SiO₂-trace element diagrams of the Sawara Granite around gold prospects. Symbols are the same as those in Figure 12.

岩の変質鉱物の組み合わせから得られた温度条件と矛盾しない。以上のことから、熱水上昇の中心であった金鉱脈（採掘され現在は確認できない）部は、230～280 程度で、その周囲の白色変質帯は200 以上で生成したと考えられる。このとき通過した熱水は、さらに外側の変質花崗閃緑岩中にも達し、イライトの細脈を形成したと考えられる。

同様な熱水変質作用は、小川内探鉱跡においても起こったと考えられる。ここでの原岩は北西-南東方向の断層周辺に分布するカタクレーサイト (Fig.8a) である。

大野探鉱跡における白色変質帯の方向ならびに坑口 (A) の方向は東西方向であり、周辺に発達する断層の中の西北西-東南東走向で高角なグループの方向とほぼ一致する。したがって、熱水はこの方向の断層に沿って上昇したと考えられる。小川内探鉱跡は北西-南東方向の断層付近に位置する (Fig.1) が、坑口の方向は西北西方向で、断層の方向とは斜交する。小川内探鉱跡周辺の白色変質帯の方向は確認できていないが、坑口の方向と平行だと仮定すると、大野探鉱跡の白色変質帯の方向と一致する。したがって、両探鉱跡の熱水活動は、西北西-東南東方向の断層に沿ったもの

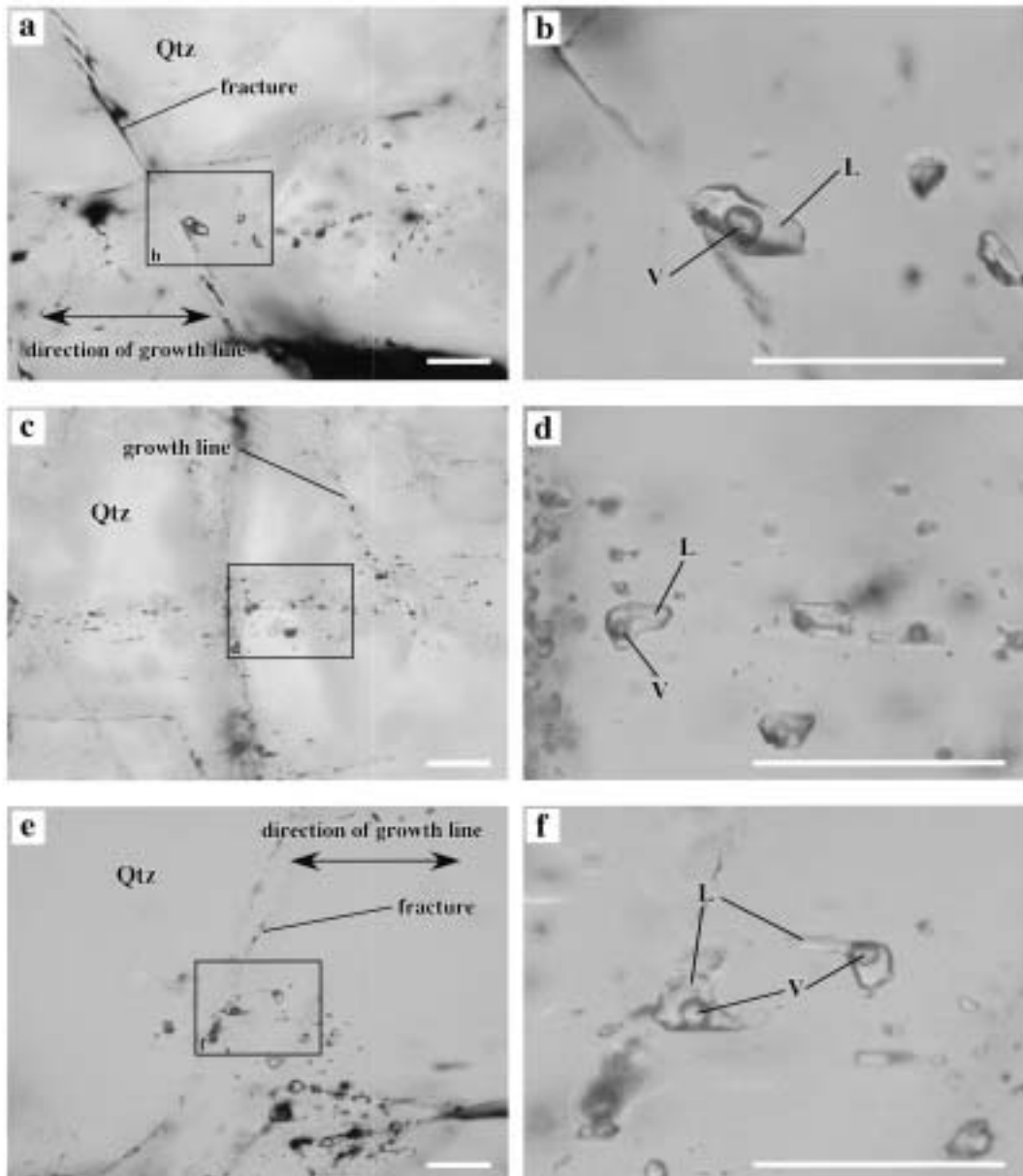


Fig.14 Occurrence of fluid inclusions in quartz.
 a, b: fluid inclusions in quartz B, c, d: fluid inclusions in quartz C,
 e, f: fluid inclusions in quartz D.
 Qtz: quartz, L: liquid, V: vapor.
 Scale bars indicate 0.1mm.

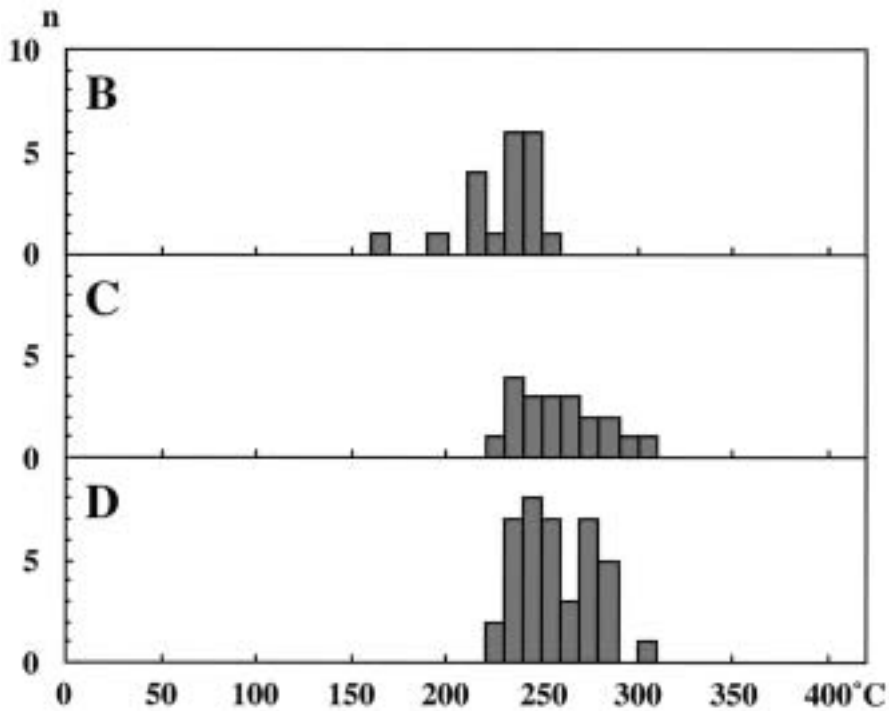


Fig.15 Histogram of homogenization temperature of fluid inclusions in quartz.

であると考えられる。

2. 熱水変質作用に伴う化学組成の変化

熱水変質作用を被った白色変質花崗閃緑岩は、変質花崗閃緑岩に比べ、 Fe_2O_3^* 、 MgO 、 CaO 、 Sr に乏しく、 S に富む傾向がある (Figs.12, 13)。そこで、これらのうち変化の著しい Fe_2O_3^* 、 CaO 、 S の含有量の変化を、大野探鉱跡の坑口 (A) 周辺で検討した (Figs.19~21)。 Fe_2O_3^* は、変質花崗閃緑岩では大部分が2.0wt%以上であるのに対し、白色変質花崗閃緑岩では大部分が1.5 wt%以下である (Fig.19)。変質花崗閃緑岩の CaO 含有量は、北側では1.5wt%以上であるが、南側では0.5 wt%以下から2.0wt%以上まで変化に富む (Fig.20)。これに対し、白色変質花崗閃緑岩では多くが1.5wt%以下である。変質花崗閃緑岩の S 含有量は大部分が500ppm以下であるのに対し、白色変質花崗閃緑岩では1000ppm以上

が大部分を占める (Fig.21)。 Fe_2O_3^* の含有量の増加傾向は緑泥石に出現 (Fig.16) とその量に、 CaO 含有量の減少傾向はイライトの出現 (Fig.17) とその量に、 S 含有量の増加傾向は黄鉄鉱の出現 (Fig.18) とその量に調和的である。したがって、鉄、マグネシウムに富む緑泥石の鉄、マグネシウムに乏しいイライトによる交代により、鉄、マグネシウムが溶脱し、カルシウムに富む斜長石のカルシウムに乏しいイライトによる交代により、カルシウム (およびこれと挙動が同じ Sr) が溶脱したと考えられる。さらに、 S に富む黄鉄鉱の出現によって、 S の付加が起こったと考えられる。また、白色変質花崗閃緑岩のうち、変質花崗閃緑岩よりも Na_2O に富む岩石は K_2O に乏しい傾向がある (Fig.12) ことから、熱水との反応によるカリ長石の曹長石化も起こった可能性が高い。

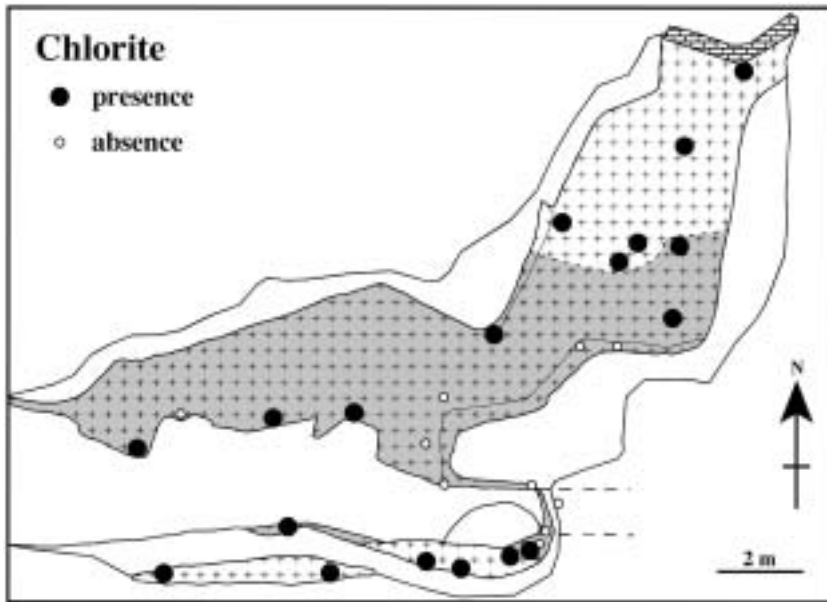


Fig.16 Distribution of chlorite in the Sawara Granite around the adit (A) of the Ono gold prospects.

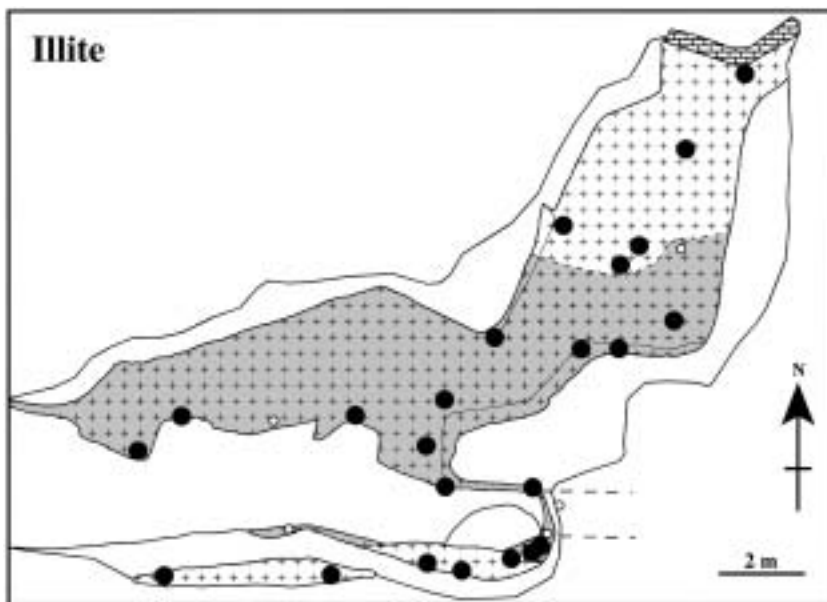


Fig.17 Distribution of illite in the Sawara Granite around the adit (A) of the Ono gold prospects. Symbols are the same as those in Figure 16.

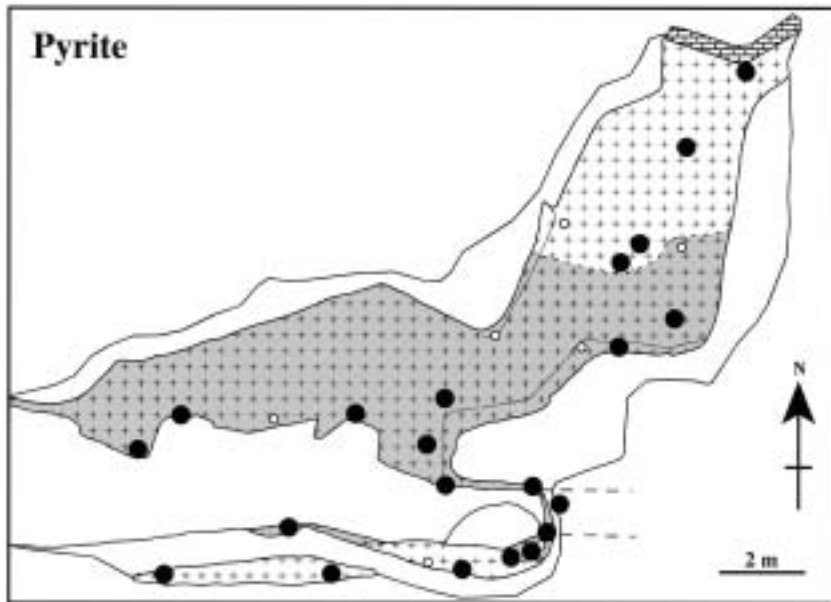


Fig.18 Distribution of pyrite in the Sawara Granite around the adit (A) of the Ono gold prospects. Symbols are the same as those in Figure 16.

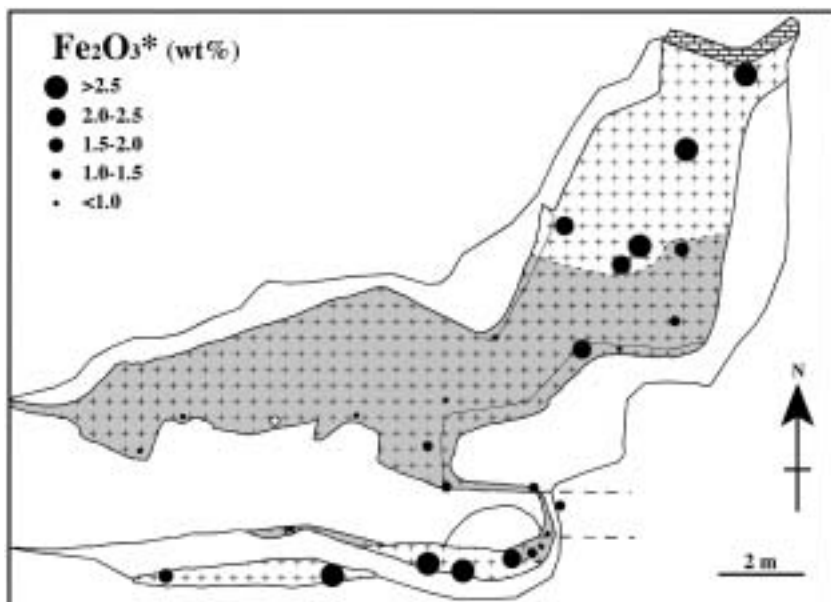


Fig.19 Distribution of Fe₂O₃* contents of the Sawara Granite around the adit (A) of the Ono gold prospects.

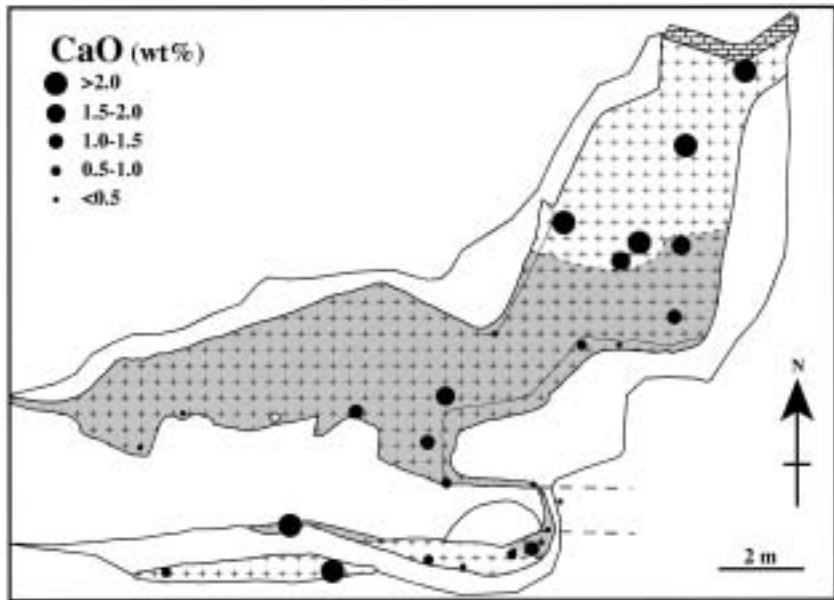


Fig.20 Distribution of CaO contents of the Sawara Granite around the adit (A) of the Ono gold prospects.

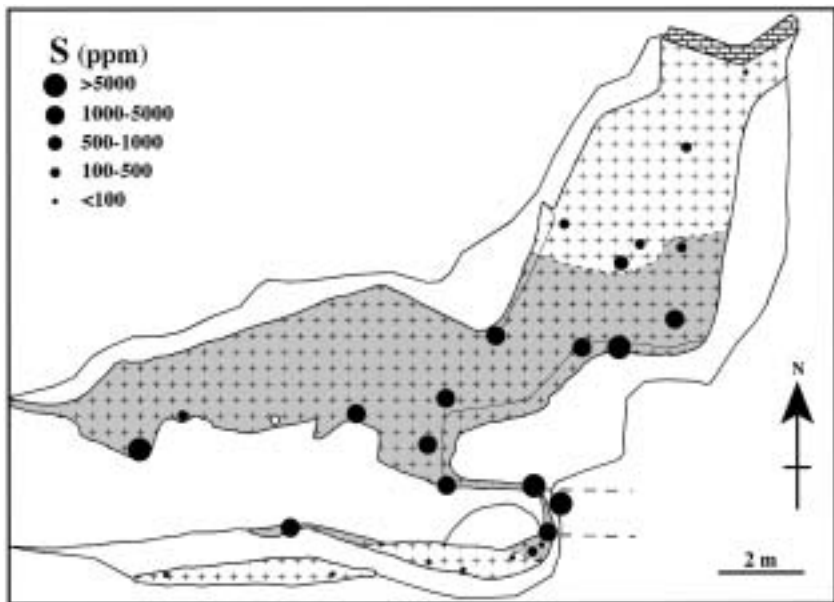


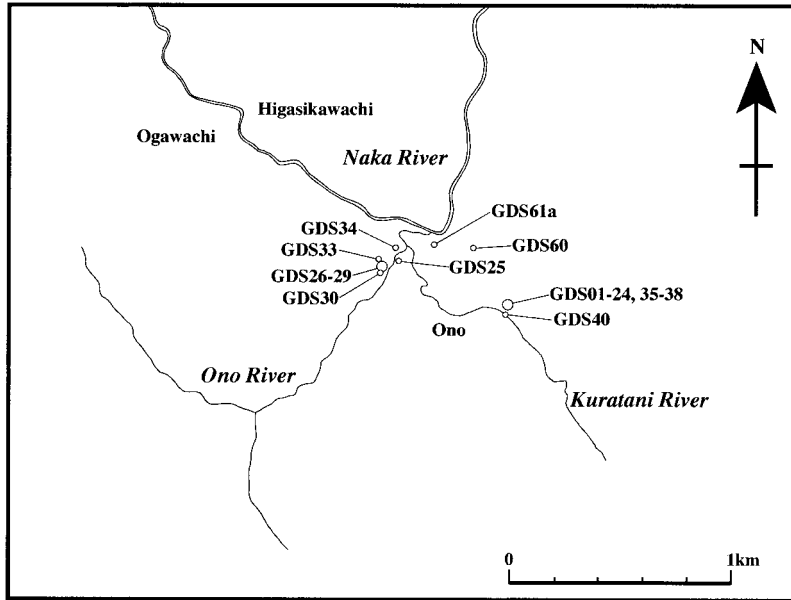
Fig.21 Distribution of S contents of the Sawara Granite around the adit (A) of the Ono gold prospects.

謝 辞

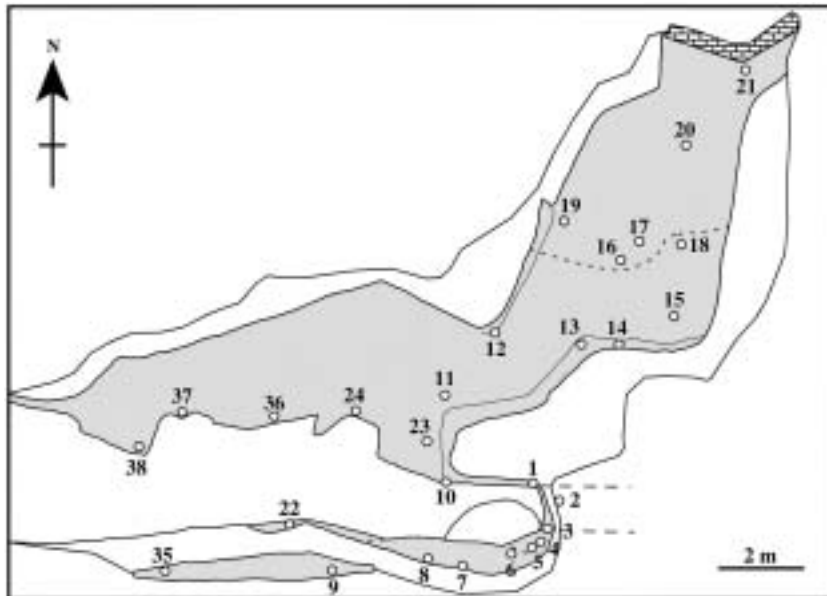
福岡県五ヶ山ダム建設事務所ならびに福岡県教育庁総務部文化財保護課大規模遺跡対策・災害復旧班の伊崎俊秋氏には、現地調査の機会を与えていただいた。さらに地元である福岡県筑紫郡那珂川町大野の築地蔵次氏、佐賀県神埼郡東脊振村小川内の武廣邦敏氏には現地調査に同行していただいた。佐賀大学文化教育学部の川野良信助教授には粗稿を読んでいただき、有益な討論をいただいた。匿名の査読者には、本論文を査読をしていただき、有益な助言をいただいた。以上の方々から感謝いたします。

引用文献

- 林 正雄・山崎達雄, 1979, 全岩 X 線粉末データの 1 表示法 (要旨). 日本地質学会西日本支部会報, no.69, 16.
- 東脊振村小川内, 1985, 小川内誌. 佐賀県神埼郡東脊振村小川内, 213p.
- 唐木田芳文, 1985, 北九州花崗岩の地質学的分類. 日本応用地質学会西日本支部会報, no.6, 2-12.
- 唐木田芳文・富田宰臣・下山正一・千々和一豊, 1994, 福岡地域の地質. 地域地質研究報告書 (5万分の1地質図幅), 地質調査所, 192p.
- 久保和也・松浦浩久・尾崎正紀・牧本 博・星住 英夫・鎌田耕太郎・広島俊男・中島和敏, 1993, 20万分の1地質図 福岡. 地質調査所.
- Meyer, C. and Hemley, J., J., 1967, Wall rock alteration. In *Barnes, H., L. (ed) Geochemistry of hydrothermal ore deposits.* Holt, Rinehart and Winston, Inc., 166-235.
- 那珂川町教育委員会, 1976, 郷土誌 那珂川. 福岡県筑紫郡那珂川町, 403p.
- 大和田正明・亀井淳志・山本耕次・小山内康人・加々美寛雄, 1999, 中・北部九州, 白亜紀花崗岩類の時空分布と起源. 地質学論集, no.53, 349-363.
- Roedder, E., 1967, Fluid inclusions as samples of ore fluids. In *Barnes, H., L. (ed) Geochemistry of hydrothermal ore deposits.* Holt, Rinehart and Winston, Inc., 515-574.
- 資源・素材学会, 1989, 日本金山誌, 第一編 九州. 144 p.
- 上野禎一・島田允堯・山邊孝之・中園仁彰・白山信一郎, 1990, 福岡県河東鉱山の含金銀鉛亜鉛脈と鉱物共生. 鉱山地質, 40, 175-182.
- 歌田 実, 1977, 鉱床母岩の変質作用. 立見辰雄編, 現代鉱床学の基礎. 東京大学出版会, 145-159.
- 吉村尚久, 2001, 粘土鉱物と変質作用. 地学団体研究会, 293p.
- 柚原雅樹・古川直道・田口幸洋, 2004, 粉末ペレット法による珪酸塩・炭酸塩岩石の微量元素の蛍光 X 線分析. 福岡大学理学集報, 34, 43-49.
- 柚原雅樹・田口幸洋, 2003a, 蛍光 X 線分析装置 ZSX100e による, 珪酸塩岩石の主成分および微量元素の定量分析. 福岡大学理学集報, 33, 25-34.
- 柚原雅樹・田口幸洋, 2003b, ガラスビード法による珪酸塩岩石の Co および S の蛍光 X 線分析. 福岡大学理学集報, 33, 77-81.



Appendix 1. Sample localities of the Sawara Granite.



Appendix 2. Sample points of the Sawara Granite around the adit (A) of the Ono gold prospects.



Appendix 3. Sample points of the Sawara Granite around the Ogawachi gold prospects.