

鉍化花崗岩特性(II): 兵庫県中西部地域の多金属鉍化域

石原 舜三¹

Shunso Ishihara (2002) Chemical characteristics of the mineralized granitoids (II) : Polymetallic province of the west-central Hyogo Prefecture, Japan. *Bull. Geol. Surv. Japan*, vol. 53, p. 673- 688. 12 figs. 2 tables.

Abstract: In the west-central Hyogo Prefecture, there occur the late Cretaceous volcanic and plutonic rocks of intermediate to felsic compositions. Small vein, replacement and disseminated-type deposits with copper, arsenic and iron are associated with the granitoids. The granitoids are found to be composed of magnetite-series including the Yazu-Kanzaki plutonic complex and the Hikihara Granite, and ilmenite-series consisting of the Mochigase Granite and Wadayama Granite. Fourteen major components and 31 minor components were analyzed by polarized XRF.

The ore deposits are associated with the magnetite-series granitoids having particularly high magnetite contents. Petrochemical contrasts are seen between the magnetite-series and ilmenite-series granitoids. Within the magnetite series, the mineralized granitoids may be higher in bulk Cu contents than the barren granitoids. Copper contents of granitoids could be an indicator to copper mineralization, because CuS phase (intermediate solid solution, iss) is stable in a magmatic temperature. An average Cu content of the Yazu-Kanzaki granitoids is 4 ppm, while main copper producing area with similar volcano-plutonic history such as North Chile is averaged as 62 ppm (Ishihara et al., 1984), indicating a poor potentiality of copper in the west-central Hyogo Prefecture. The magnetite-series granitoids are too low in SiO₂ and Al₂O₃ contents to be qualified as Pb-Zn mineralized granitoids.

Keywords: Late Cretaceous, granitoids, magnetite series, ilmenite series, copper deposits, petrochemistry

要 旨

兵庫県中西部地域の白亜紀後期の火山深成岩帯には、小規模な銅・鉄・砒素鉍床が知られている。関連する花崗岩類は小規模に露出し、鉍化能力を持つ産状を示す。花崗岩類38個について主成分14、微量成分31について偏光蛍光X線分析し、花崗岩類の鉍化能力について評価した。

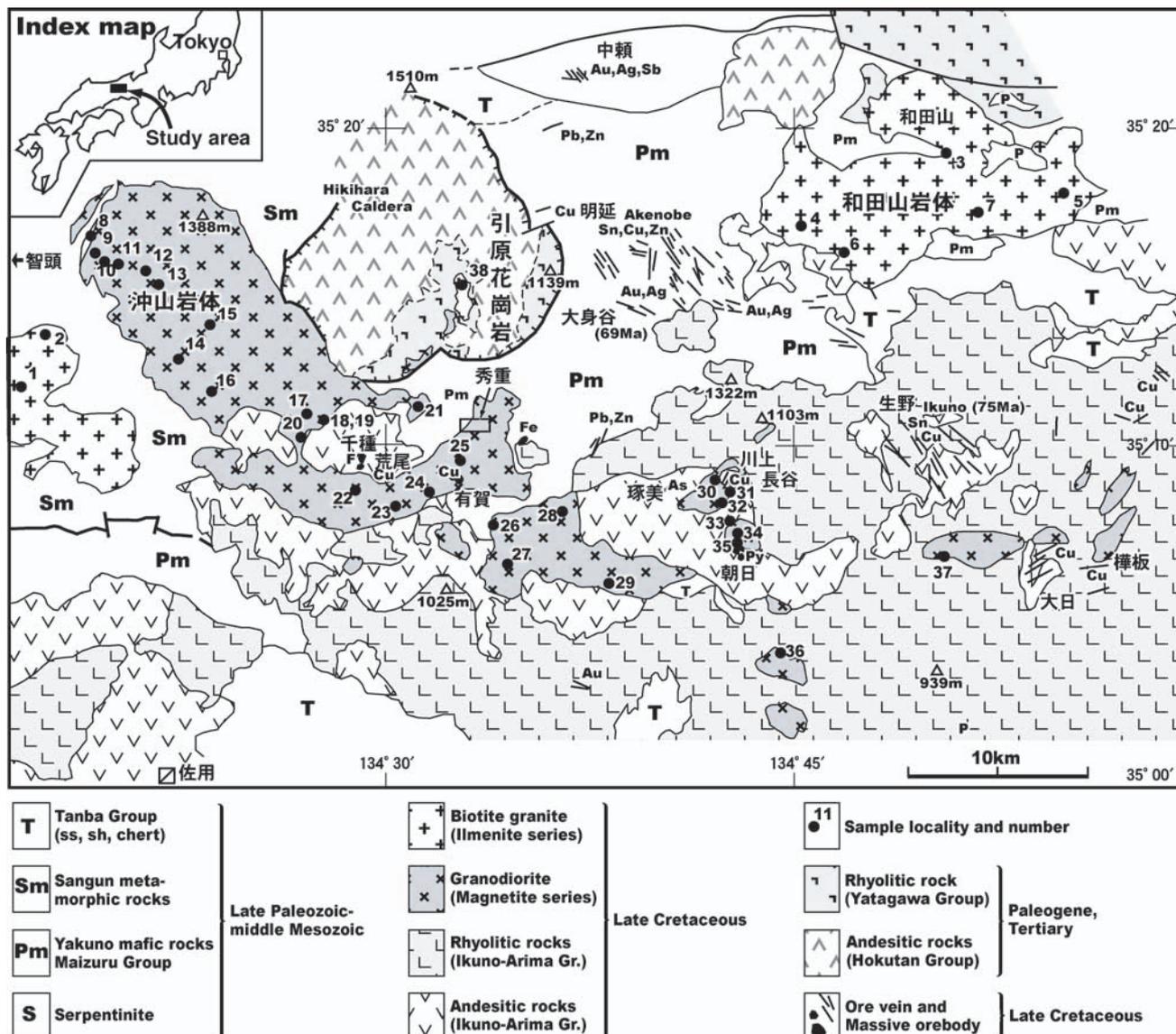
花崗岩類は磁鉄鉍系(八頭-神崎花崗岩類, 引原花崗岩)とチタン鉄鉍系(用瀬花崗岩, 和田山花崗岩)に分けられる。Cu, Fe, Asなどの鉍床を伴う磁鉄鉍系花崗岩類は帯磁率測定から、特に値が高い磁鉄鉍を多く含む花崗岩類に関係している。岩石化学的性質は磁鉄鉍系とチタン鉄鉍系で異なる性質を示し、磁鉄鉍系では鉍化花崗岩がCuでやや高い傾向がある。CuS鉍物は花崗岩マグマで安定相を作るために花崗岩中の銅含有量は銅鉍化能力を指示する可能性があるが、当地域の含有量(平均4 ppm)はチリ(同62 ppm)や北上山地(同37 ppm)と比べて極めて低く、銅鉍化能力の適格性が高いとは言えない。Pb-Zn鉍化に関しても、その低い珪長質度とアルミナ飽和度から不適格な花崗岩類と言える。

1. まえがき

兵庫県中部地域には、世界的に著名な多金属鉍脈が西北西-南東南方向に分布しており、生野と明延鉍山として稼行された(第1図)。その他にも多数の小鉍床が知られており、三好ほか(1988)はそのうちの旭出、大日、新井を多金属型と分類した。これらの多金属鉍化帯の南西方には、鳥取県八頭郡下から兵庫県宍粟郡下にかけて西北西-南東南方向に白亜紀後期花崗岩類が分布しており、それに付随して多数の鉍床が見られる。この地域はかつての三菱金属鉍業(株)が探鉍し、有賀旧坑はポーフィリー型と考えられた(三枝, 1972 私信)。この地域の鉍床の主体は鉍脈型であり、マグマ起源熱水性鉍床と考えられる。関係花崗岩類は潜在するか小規模に露出するに過ぎないので、鉍床潜在の評価へむけて、花崗岩類の解析価値は充分にあるものと考えられる。

また西南日本内帯の花崗岩類の主要構造は岩体の伸長方向や断層などで示される東北東-西南西の方向であるのに対し、この鉍化地帯では西北西-南東南方向に鉍脈や花崗岩類が配列しており、その構造的位置を異にしている。この花崗岩類は磁鉄鉍系に属し、多数の鉍床を伴う点で鉍

¹産業技術総合研究所(Geological Survey of Japan, AIST, Higashi 1-1-1, Tsukuba 305-8567, Japan)



第1図 兵庫県中西部地域の地質と鉱床概略図 (Ishihara, 1984を修正). 数字は分析試料の採取地点番号. 第1表参照.

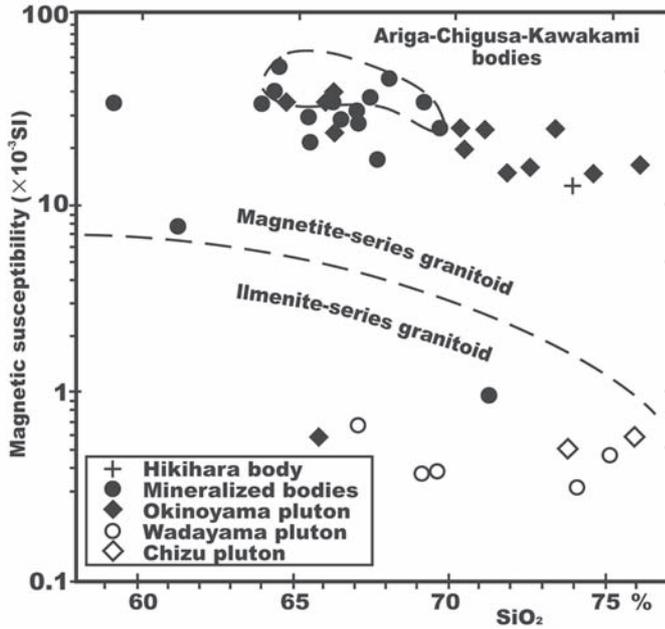
Fig. 1 Geological outline of the central Hyogo Prefecture (modified from Ishihara, 1984). Numerals are sample localities of Appendices 1 and 2.

化能力がある火成岩体と見なすことが出来るが, 岩石学的な研究はこれまで皆無に等しい.

今回, 西南日本内帯の花崗岩類に伴う鉱化能力を評価する目的で, この地域を研究対象に選び, これら岩石の主成分および微量成分を測定し, その岩石化学的検討を行ったので, ここに報告する. 結果は付表1と2に示した. なおこれまでの研究 (Ishihara, 1977, 1984; 石原・寺島, 1977) から, 重要なベースメタル鉱床は磁鉄鉱系花崗岩類に関係し, 銅は石英閃緑岩~花崗閃緑岩, 鉛・亜鉛鉱床は珪長質岩に伴われることを前提としている. 分析はMacquarie大学に依頼して偏光蛍光X線分析法で実施した. 分析方法については前報 (石原, 2002) を参照されたい. なお, この研究の一部には日本鉱業協会助成金を使用した.

2. 地質鉱床の概要

この地域は, 基盤構造的には, 三郡変成岩類, 舞鶴帯および丹波帯により構成される (第1図). 三郡変成岩類は北部地域に分布し, 舞鶴帯はその南方に東北東-西南西方向に分布する. 舞鶴帯はペルム紀中-後期の舞鶴層群, 夜久野火成岩類と三畳系から構成される. 舞鶴帯の北限には蛇紋岩の大規模岩体 (関谷岩体) がある. 丹波層群はペルム紀-ジュラ紀の付加体であり, 南部では白亜紀後期の珪長質-中性火山岩類の貫入を受け, 覆われる. これら火山岩類は生野地域を模式地とする生野層群として一括され, 安山岩質ないし流紋岩質の火砕岩類, 溶岩類に, 若干の堆積岩類を伴うものである. 生野層群の年代資料は全て全岩K-Ar法で得られており, $78.9 \pm 2.9 \sim 57.7 \pm 1.8$ Maである (通



第2図

兵庫県中西部地域花崗岩類の帯磁率変化。磁鉄鉱系/チタン鉄鉱系の境界線はそれぞれの平均値(石原未公表資料)に基づく曲線が $SI\ 3 \times 10^{-3}$ と $SiO_2\ 70\%$ を通る線 (Ishihara *et al.*, 1995)。

Fig. 2

Magnetic susceptibility of the late Cretaceous granitoids in the central Hyogo prefecture. The boundary between the magnetite series and ilmenite series taken from Ishihara *et al.* (1995).

商産業省, 1988)。その後, 同時期の花崗岩類の貫入が生じ, 鉱床が生成した。第三紀には北部地域に火山と堆積作用があって, 北丹層群が生じた。

2.1 花崗岩類

当地域の花崗岩類は白亜紀後期の年代を持ち, チタン鉄鉱系と磁鉄鉱系の2系列に分けられる。前者は鳥取県東部の智頭花崗閃緑岩と用瀬花崗岩, 兵庫県和田山付近の和田山岩体として見られる(第1図)。そのK-Ar黒雲母年代は智頭花崗閃緑岩で $78.2 \pm 2.6\text{Ma}$ (柴田, 1979), 用瀬花崗岩で $80.9 \pm 2.9\text{Ma}$ (柴田, 1979)であるのに対し, 磁鉄鉱系では沖山岩体(no. 9, 付表1)で $68.3 \pm 2.9\text{Ma}$, 有賀の花崗閃緑岩(no. 25, 付表1)で $66.3 \pm 2.2\text{Ma}$ (柴田, 1979)であり, 磁鉄鉱系がチタン鉄鉱系より約1000万年程度若い。

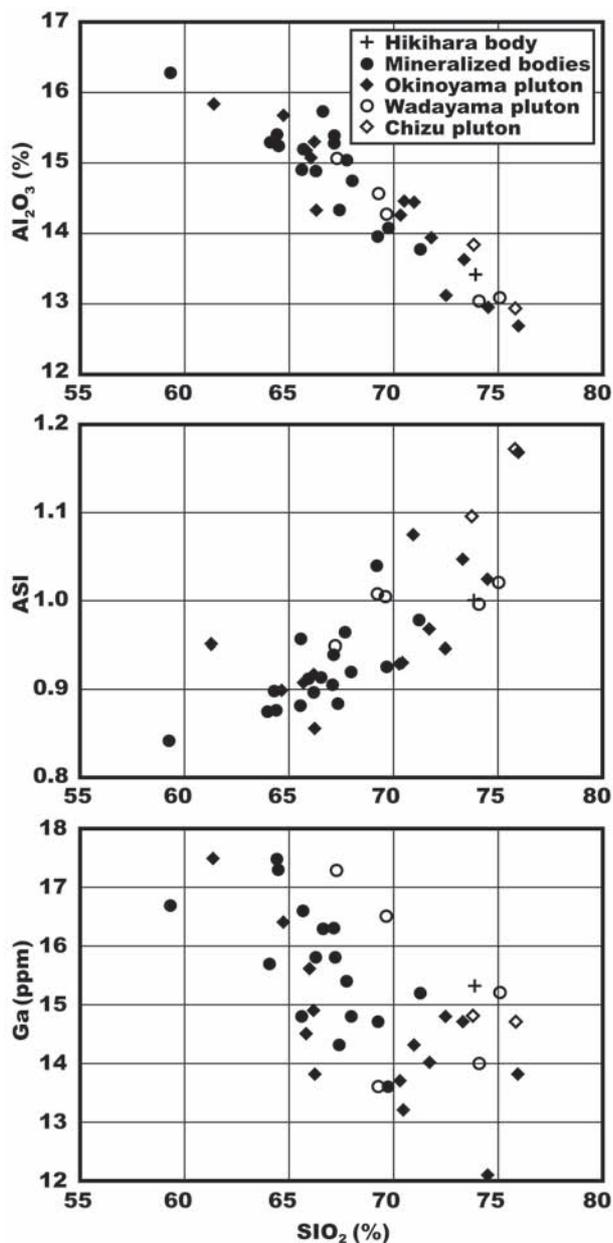
チタン鉄鉱系花崗岩類のうち智頭花崗閃緑岩は標式地では中-粗粒の角閃石黒雲母花崗閃緑岩であり, その帯磁率は $\sim 3.5 \times 10^{-3}\text{SI}$ であるから少量の磁鉄鉱を含み, 厳密にはチタン鉄鉱系~中間系列に属する。用瀬花崗岩は標式地では細-中粒黒雲母花崗岩であり, その帯磁率は一般に $0.3 \sim 0.5 \times 10^{-3}\text{SI}$ であり, チタン鉄鉱系に属する。今回の研究試料は智頭岩体東部の黒雲母花崗岩相から採取した。和田山岩体は細-中粒角閃石含有黒雲母花崗閃緑岩~黒雲母花崗岩の組成を持ち, その帯磁率は一般に $0.9 \times 10^{-3}\text{SI}$ 以下, 磁鉄鉱を欠くか少量含みチタン鉄鉱系または中間系列に属する。

一方, 磁鉄鉱系花崗岩類は鳥取県八頭郡下から兵庫県宍粟郡・神崎郡にかけて主要岩体が分布するので, ここではこれを八頭一神崎花崗岩類と呼ぶことにする。これらは細-中粒角閃石黒雲母石英閃緑岩~花崗閃緑岩の組成を

持ち, 黒雲母花崗岩は少量である。一部には微文象組織や斑状組織が認められる(付表1参照)。その帯磁率は一般には $52.6 \sim 14.7 \times 10^{-3}\text{SI}$ と高い値を示すが, 2個ほど低い値を示すものがある(付表1のNo. 2花崗閃緑岩= $0.56 \times 10^{-3}\text{SI}$, No.26花崗岩= $0.97 \times 10^{-3}\text{SI}$, 第2図)。前者は顕微鏡観察から変質作用による磁鉄鉱の赤鉄鉱化によって帯磁率が低下したものであり, 後者は赤褐色の黒雲母のY=Z色から壁岩からの還元剤の混入によって部分的にチタン鉄鉱系化したものと考えられる。鉱化岩体である有賀一千種岩体(平均 $35.0 \times 10^{-3}\text{SI}$), 川上岩体(平均 $41.9 \times 10^{-3}\text{SI}$)では帯磁率が高い傾向があり, 磁鉄鉱含有量と鉱化作用との関連が示唆される。

中央北部の引原ダム周辺には陥没構造に伴って花崗岩類が分布する。ここでは引原花崗岩と呼称するが, 主岩相は細粒斑状黒雲母花崗岩であり, 一部に文象組織が認められる。その帯磁率は一般に $10 \sim 14 \times 10^{-3}\text{SI}$ であり, 磁鉄鉱系に属する。この花崗岩は桃色をおび, 灰色の八頭一神崎花崗岩類(磁鉄鉱系)とは外見を異にし, 時代的にも若いものと考えられる。

当地域の鉱床は主に鉱脈鉱床であり, 一部で塊状, ポーフイリー型鉱床が認められる。鉱床は一般には共存しないSn, WとCu, Pb, Znとが大量に産出する多金属型あるいはゼノサーマル型と, Fe, Cuなどの単一金属型あるいは深成型に2分しうる。前者の典型例が明延および生野鉱床であり, 明延鉱床ではSn-W鉱脈がCu-Zn鉱脈より後期である点の特異である(佐藤ほか, 1977; 石原ほか, 1981)。その関係火成岩は厳密には不明であるが, 鉱脈中の氷長石は生野鉱床で $70.5 \pm 2.1 \sim 63.0 \pm 1.9\text{Ma}$, 大身谷鉱床で $62.7 \pm 3.1 \sim 62.5 \pm 3.1\text{Ma}$ であり, 時代的に近傍の花崗岩類に一致することから共に一連の火成活動の産物と

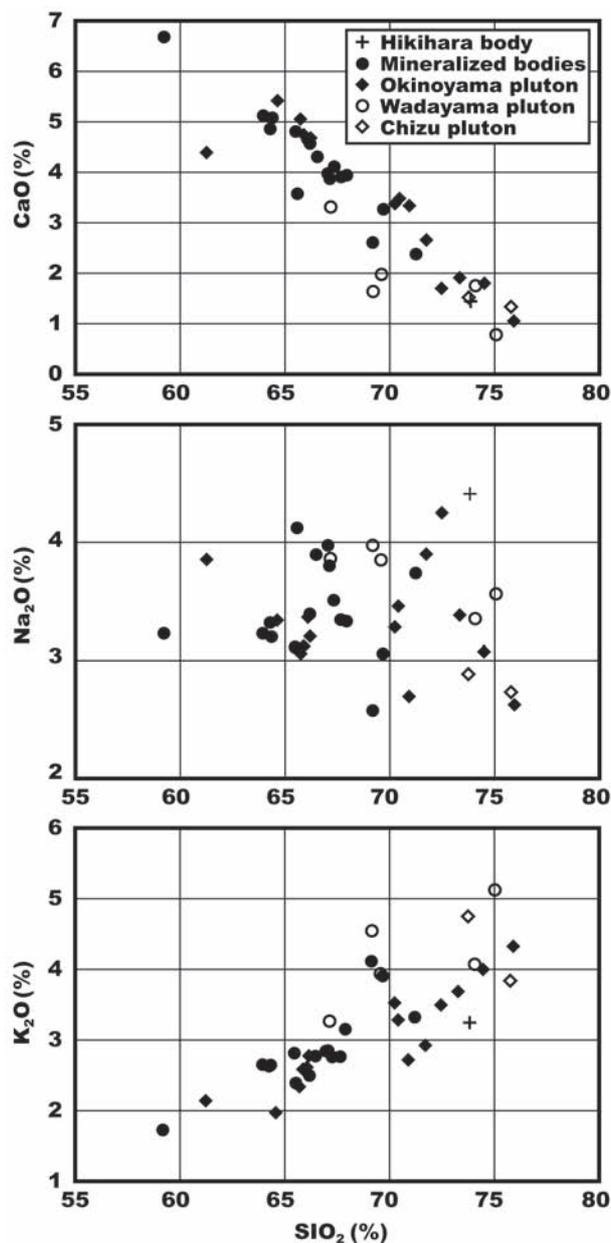


第3図 アルミナ, アルミナ飽和指数, ガリウムの含有量変化. 不等記号付きは半値とした. 第3-13図について同様.

Fig. 3 Variation diagrams for Al_2O_3 , ASI (alumina saturation index) and Ga.

見られるが, 潜在花崗岩体は発見されていない. 実際には玄武岩から珪長岩に至る岩脈類が多数見られるのみで, Ishihara (1984)は多金属型は深成型よりも浅所で生成したものと考えた.

深成型は八頭一神崎花崗岩類の周辺に見られ, この花崗岩類に成因的に関係して生成したものと考えられる. 有賀東方の直4 kmの深河谷では深成型鉱床の典型例であるMo鉱徴地もみられ, そのカリ長石年代(66.4 ± 3.3 Ma)は有賀の花崗閃緑岩の黒雲母年代(66.3 ± 2.2 Ma)にも近く, 成因的な関連性を暗示する. 深成型鉱床は八頭一神



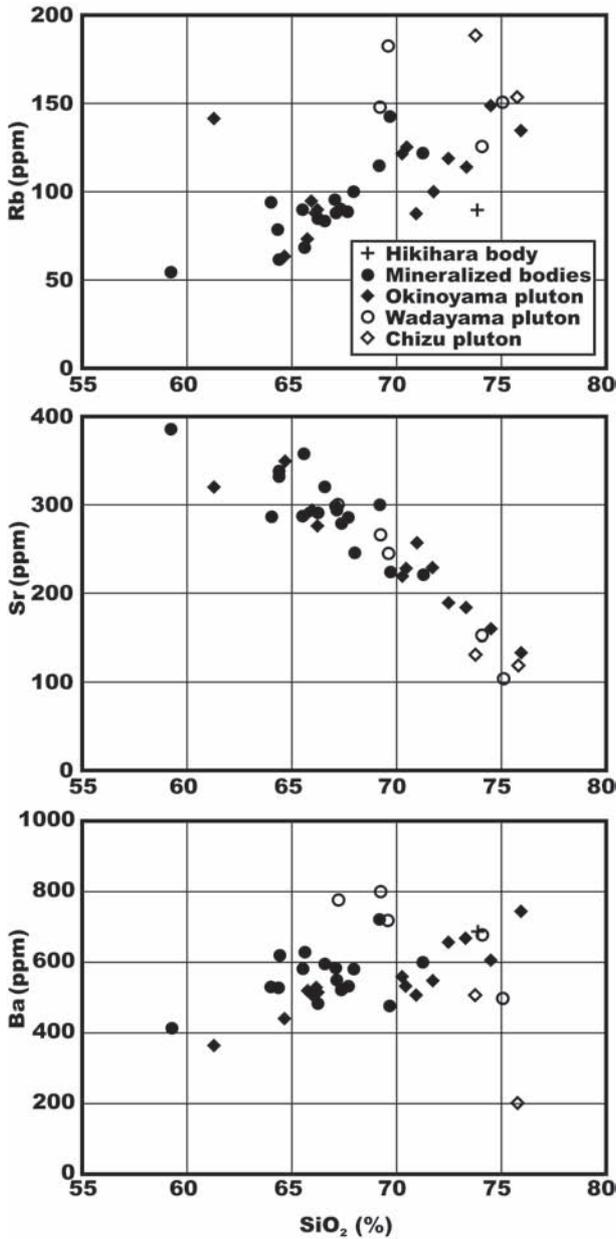
第4図 カルシウム, ナトリウム, カリウムの含有量変化.

Fig. 4 Variation diagrams for CaO, Na_2O and K_2O .

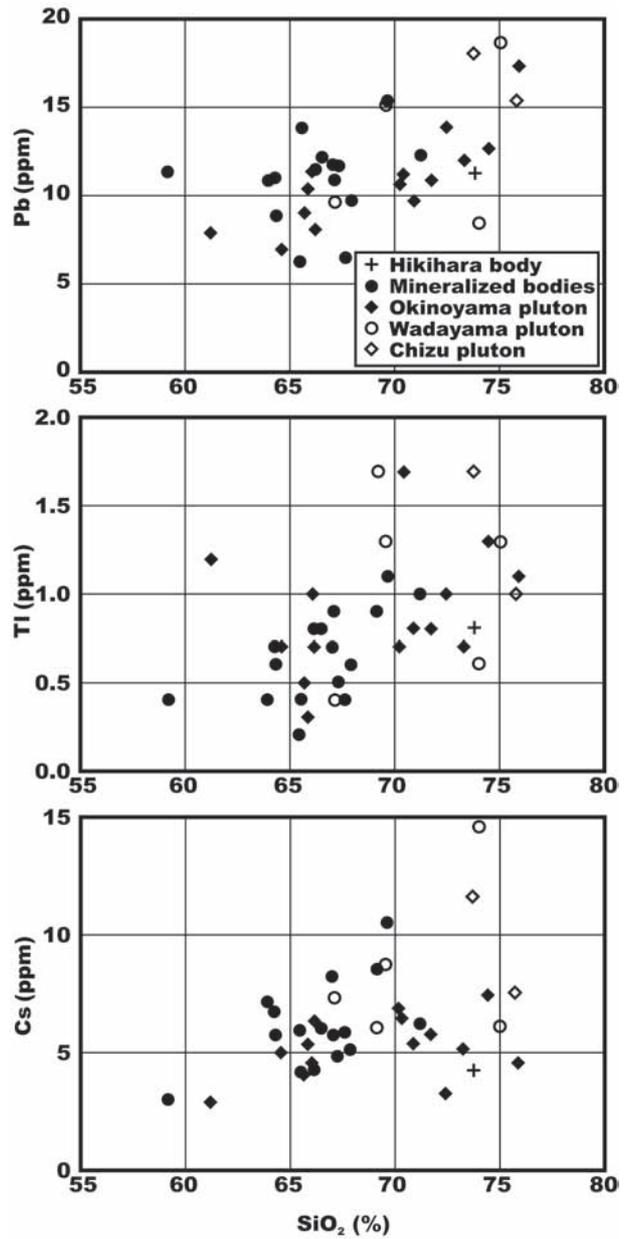
崎花崗岩類の露出規模が大きい西部よりも小岩体が点在する東部に多く分布する(第1図). これらを狭義の不毛花崗岩(沖山岩体)と鉱化花崗岩(千種-有賀岩体・川上岩体など)に分けてここでは考察する. 深成型鉱床は日本鉱産誌I-bの鉱山別の表および通産省(1988)によると西から東へ次のようである.

2.2 深成型鉱床の概要

千種町荒尾から波賀町にかけて千種, 荒尾, すまのや旧坑などが存在する.



第5図 ルビジウム,ストロンチウム,バリウムの含有量変化。
Fig. 5 Variation diagrams for Rb, Sr and Ba.



第6図 鉛,タリウム,セシウムの含有量変化。
Fig. 6 Variation diagrams for Pb, Tl and Cs.

千種鉱床(千種町岩野辺)は生野層群の下部層を母岩とする走向N80°E,傾斜45-75°の幅1m,走向延長100mの塊状鉱体で,磁鉄鉱・黄銅鉱・黄鉄鉱を主とし,少量の閃亜鉛鉱・方鉛鉱を伴う。灰鉄輝石・緑簾石などのスカルン鉱物を脈石鉱物とする点が特異である。

荒尾鉱床(波賀町 荒尾)は生野層群中部累層および花崗閃緑岩中の走向N40°-50°E,傾斜75°-85°W,幅0.2-1.3mの鉱脈鉱床であるが,母岩の一部にはCu 0.2-0.6%の鉱染状鉱体や節理に沿った網状鉱体がある。鉱石鉱物は黄銅鉱・黄鉄鉱・斑銅鉱,露頭品位はCu 0.6%, Zn 1.6%, Fe 8.95%である。脈石鉱物は主に緑簾石と石英である。これらの鉱床に関する花崗岩類の分析結果はNos. 22, 23

(第1図)である。

荒尾の東方,波賀町上野には有賀鉱山があつて(第1図),ここでも鉱染網状鉱体が見られる。鉱床は花崗閃緑岩中の鉱染・塊状鉱床で2鉱体あり,その規模はいずれも直径18~23m,短径12~15m,垂直延長30~40mで鉱量は5万トン規模,大部分は採掘済みである。塊状のものは,鉱染状・節理面沿いの細脈状,または長径1m,幅0.3~1.0mのレンズ状の各種鉱体からなる。これらの2鉱体は走向N80°E及びN10°Wの2方向の裂かの交差構造に支配されている。鉱石鉱物は黄銅鉱・磁硫鉄鉱・輝水鉛鉱,主な脈石鉱物は石英・絹雲母である。第一次世界大戦時に久原鉱業が稼行し,1941~43年には100トン,1951~57年には650トン(Cu

4.82%)を出鉱したと言われている(通産省, 1988)。

有賀の北東方には秀重(波賀町 水谷)旧坑がある。これは走向70-75°E, 傾斜80-85°N, 走向延長40m, 脈幅0.8-0.9mの鉱脈型鉱床で, 構成鉱物は黄銅鉱・黄鉄鉱・磁硫鉄鉱・硫砒鉄鉱・閃亜鉛鉱・石英である。これらの鉱床に関係する分析試料はNos. 24-25である。

大河内町犬見川沿いには多数の興味深い鉱床が知られている。中でも最上流部の川上付近の花崗閃緑岩体北西部に位置する琢美鉱床は江戸末期に銅山として開発され, 明治末期に盛大に稼行された。大正初期から砒素を対象として採掘されたと言う。

琢美鉱床は生野層群中部累層の斑状安山岩・同質火砕岩とこれを貫く花崗閃緑岩体との境界面に賦存し, その鉱脈の走向はN40°-60°E, 傾斜は70°-80°NW, 脈幅は数cmから1.5mである。硫化鉱物は絹雲母を主とする粘土質の鉱脈中に塊状または散点状に存在する。構成鉱物は硫砒鉄鉱・黄銅鉱・黄鉄鉱を主とし, 閃亜鉛鉱・方鉛鉱を伴う。脈石鉱物は主に絹雲母・石英である。稼行当時の鉱石品位はAs 15-20%, Cu 1-2%であった。

川上, 長谷鉱床は共に川上岩体の北東周縁部に胚胎する。川上鉱床は1号坑系(N30°E)と正和坑系(N-S)の2系統がある。傾斜はいずれもN75°-85°E, 脈幅は0.1-0.2m, 鉱脈の富鉱部は上記の2系統の割れ目の交差部付近に存在するが連続性に乏しい。N-S系の鉱脈では, 鉱脈の上・下盤に沿って断層が発達し, 鉱脈の膨縮が著しい。鉱脈周辺では緑泥石化帯・絹雲母化帯が認められ, 特に富鉱部では絹雲母化帯が発達する。鉱石鉱物は黄銅鉱・黄鉄鉱・閃亜鉛鉱・輝水鉛鉱・灰重石であり, 脈石鉱物は石英・絹雲母・緑泥石・方解石である。

長谷鉱床は花崗閃緑岩体周縁部の数条の平行脈であり, 一般走向はN30°-50°E, 傾斜は70°-80°NW, 脈幅は0.5mである。品位はCu 1-2%, 構成鉱物は黄鉄鉱・黄銅鉱・閃亜鉛鉱・石英・方解石・電気石である。以上の鉱床に関係する川上岩体の分析値は Nos. 30-32(付表1)である。

朝日鉱床は川上岩体南方の独立花崗閃緑岩体周縁部の生野層群中部累層の斑状安山岩・同質火砕岩層中に存在するが, その賦存位置は, 大山鉱山と同様に花崗閃緑岩体との接触部である。鉱脈には断層面に沿うものと, 節理面に沿うものとがあり, 稼行の対象となっているのは前者であり, 日之出脈と宝脈の2条が稼行されたが, いずれも走向N30°-50°E, 傾斜70°-80°Sの断層面に沿って存在し, 走向方向に30-45m, 傾斜方向に15m程度, 脈幅0.5-2.0mのレンズ状鉱体が断続的に存在すると推定される。黄鉄鉱, 黄銅鉱に少量の閃亜鉛鉱・方鉛鉱を伴い, 品位はS 15-30%, Cu 0.13%, Ag 284g/t, 稼行対象は硫化鉱と銀であった。節理面に沿うものは, 鉱染状を呈し, 幅0.1m以下, 小規模であった。

生野鉱床南東方の大日, 樺坂鉱床も近傍に花崗閃緑岩体が存在するが, 三好ほか(1988)はこれらを多金属型に含

めている。

大日鉱床は多可郡加美町豊部にあって, 生野層群の流紋岩質多結晶溶結凝灰岩層中に存在する8条の鉱脈よりなる。このうち主脈は3条であり, その走向はN60°E, 傾斜50°-70°N, 脈幅0.2-0.3m(最大1.5m)である。品位はAg 150g/t, Cu 5%(最高15%), Zn 8%, 構成鉱物は黄銅鉱・閃亜鉛鉱・磁硫鉄鉱・銀鉱物・石英・緑泥石である。

樺坂鉱床は加美町観音寺にあって, 生野層群下部累層の流紋岩質多結晶凝灰岩中に主脈1条と脈勢の弱い数条の平行脈からなる。主脈は, 走向E-W, 傾斜60°-80°N, 走向延長1400m, 幅0.2-0.5m, 品位, Ag 400g/t, Cu 2-3%, Pb 1%, Zn 15%。構成鉱物は黄銅鉱・閃亜鉛鉱・方鉛鉱・磁硫鉄鉱・石英である。

以上のように当地域の磁鉄鉱系花崗岩類に関係すると思われる深成型鉱床は銅・砒素・鉄に富み, 鉛・亜鉛・モリブデンなどに乏しいと言える。

3. 花崗岩類の化学的特性

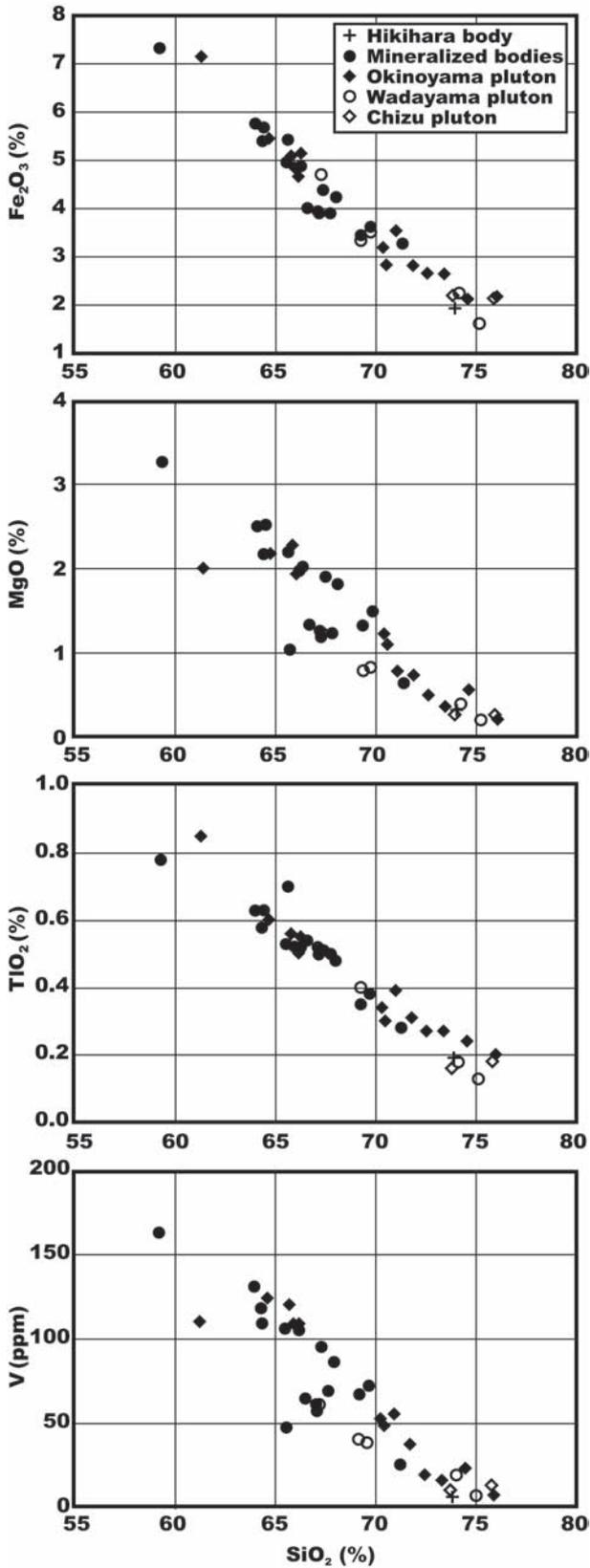
分析に供した花崗岩類はチタン鉄鉱系からなる用瀬花崗岩2個, 和田山花崗岩5個, 磁鉄鉱系からなる八頭・神崎花崗岩類のうち, 露出規模が大きい西部の沖山岩体から14個, 東部の小規模な鉱化花崗岩体から16個である。引原花崗岩は1個である。分析試料の産地と岩石名を付表1に, 分析結果を付表2に示した。また分析結果をハーカー図として第3-11図に示した。

用瀬花崗岩は黒雲母花崗岩である。軽微な緑泥石化, 絹雲母化, 方解石化を受けるに過ぎず, 比較的新鮮である。和田山花崗岩は一部に角閃石黒雲母花崗閃緑岩に伴う黒雲母花崗岩からなり, 全般的に弱い絹雲母化, 緑泥石化, 緑簾石化を受けている。特に変質が著しいNo.4試料(付表1)はハーカー図上でASI, K₂O, Zn, Pbに富み, CaO, N₂O, Gaに乏しいので, 斜長石の分解と絹雲母化, 弱いPb-Zn鉱化作用の影響が考えられる。

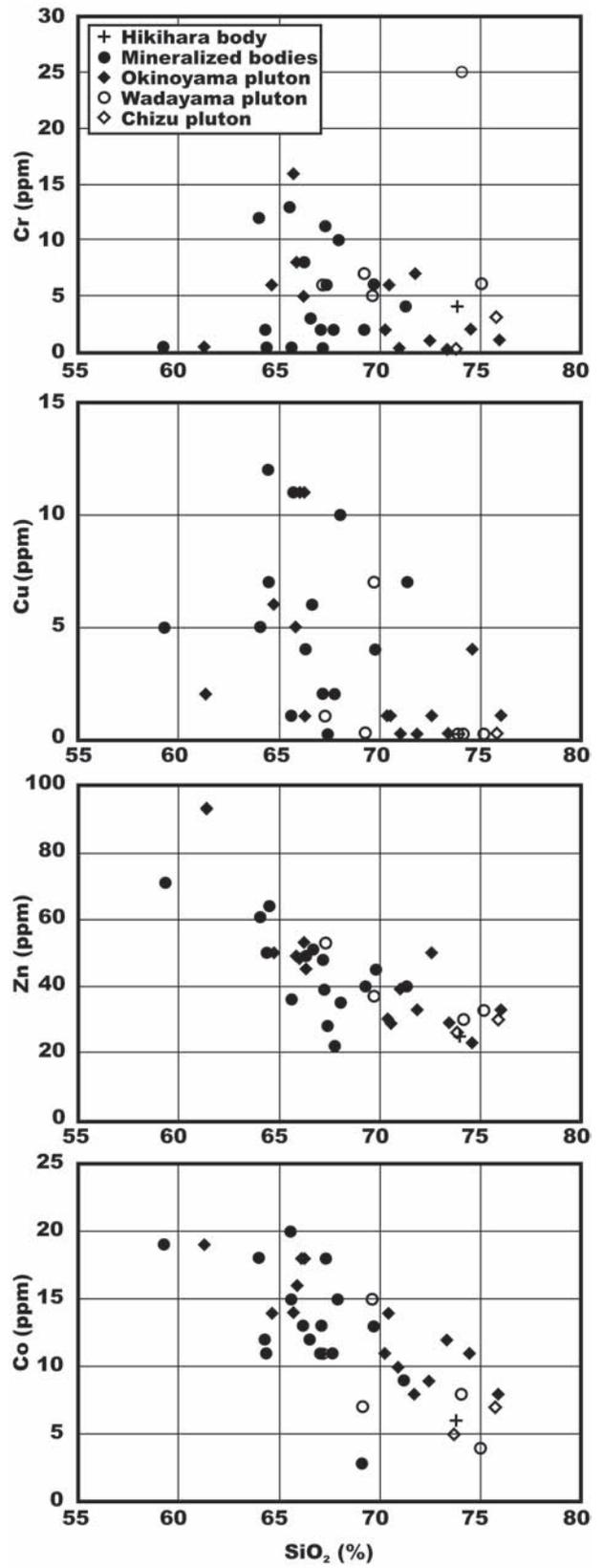
磁鉄鉱系花崗岩類のうち, 沖山岩体は閃緑岩～花崗岩質, 平均して花崗閃緑岩である。閃緑岩は苦鉄質包有物として産出するが(no. 18, 付表1), これは著しい変質を受けており, 斜長石と苦鉄鉱物が分解してASIが上昇し, CaO, MgO, Cr, V, Cuなどが減少している。鉱化花崗岩類は西から千種・有賀, 川上などの岩体に分けられるが, 主体はトナル岩・花崗閃緑岩であり, 狭義の花崗岩は非常に少ない。全般的に多少とも熱水変質作用を受けており, 特に川上岩体のNo.30試料(付表1)は熱水変質によって斜長石が分解してASIが上昇し, Cu (911 ppm), Pb (92 ppm), Mo (80 ppm), W (10 ppm)などの鉱化成分に富んでいる。

3.1 長石構成成分

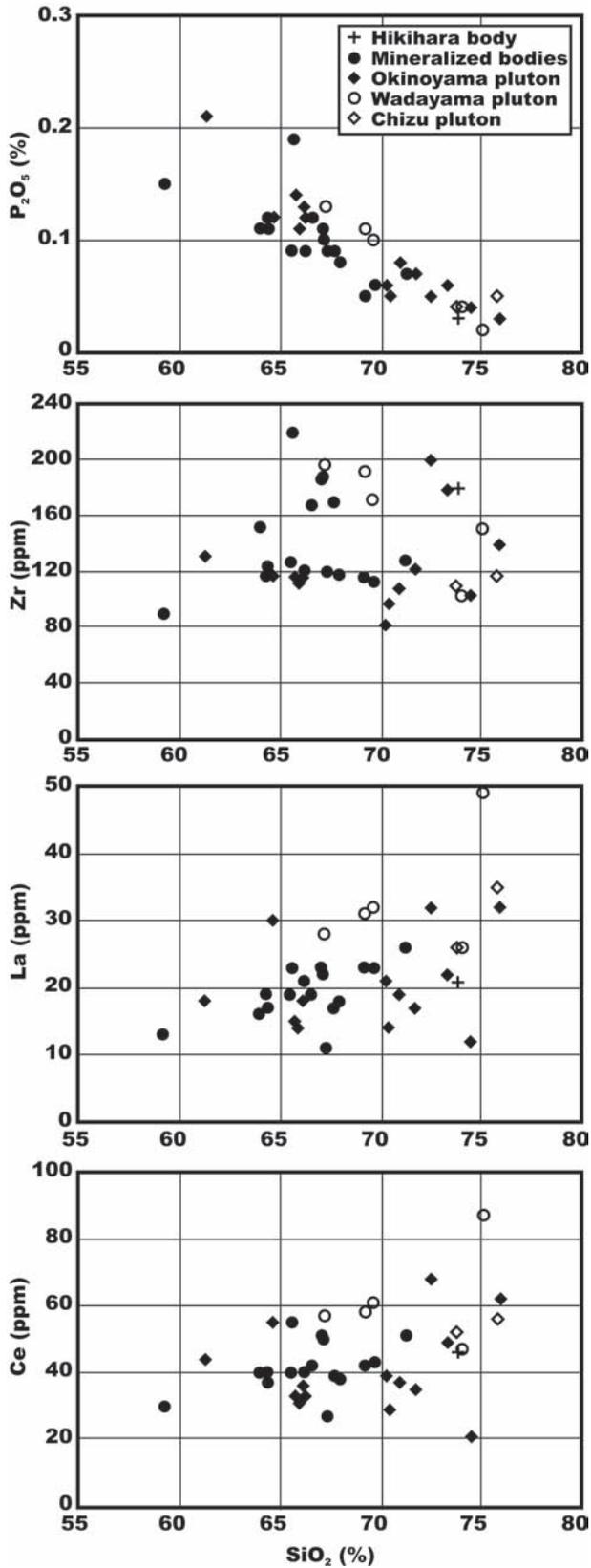
各花崗岩類はハーカー図においてAl₂O₃では顕著な差は認められないが, アルミナ飽和指数(ASI)においては用ヶ



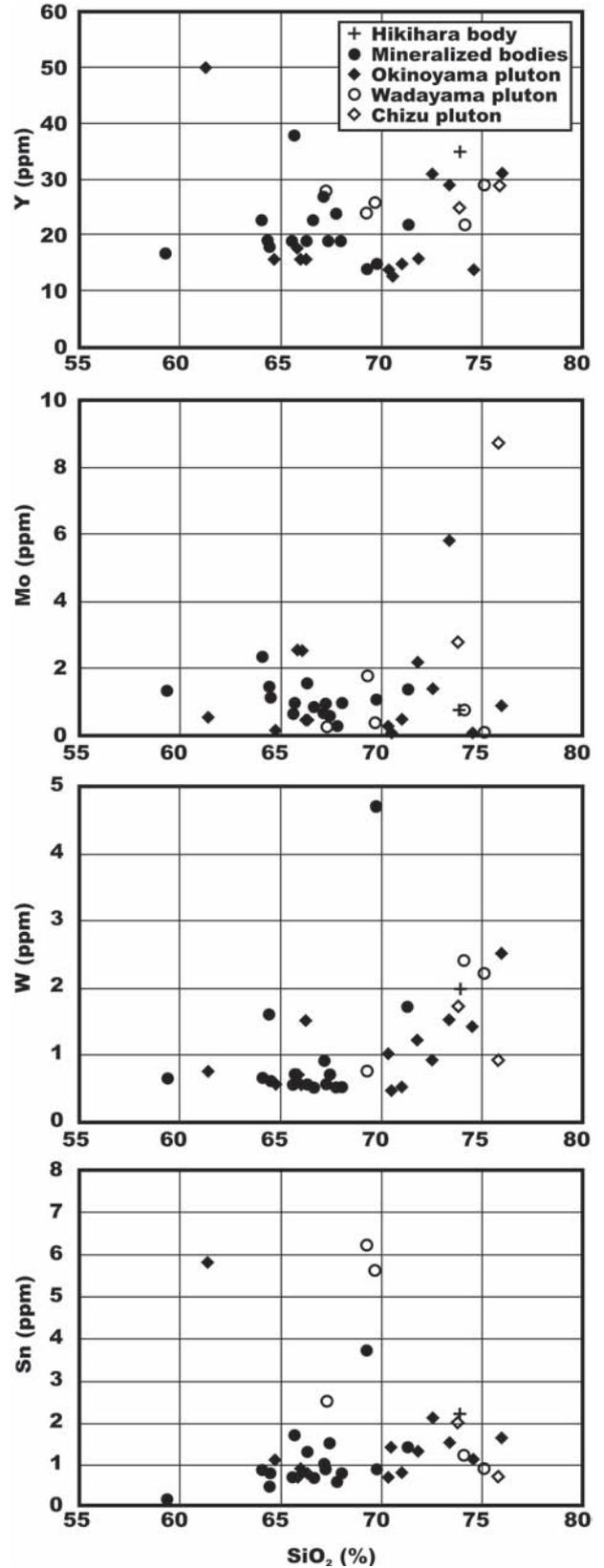
第7図 鉄, マグネシウム, チタン, バナジウムの含有量変化.
Fig. 7 Variation diagrams for Fe_2O_3 , MgO , TiO_2 and V .



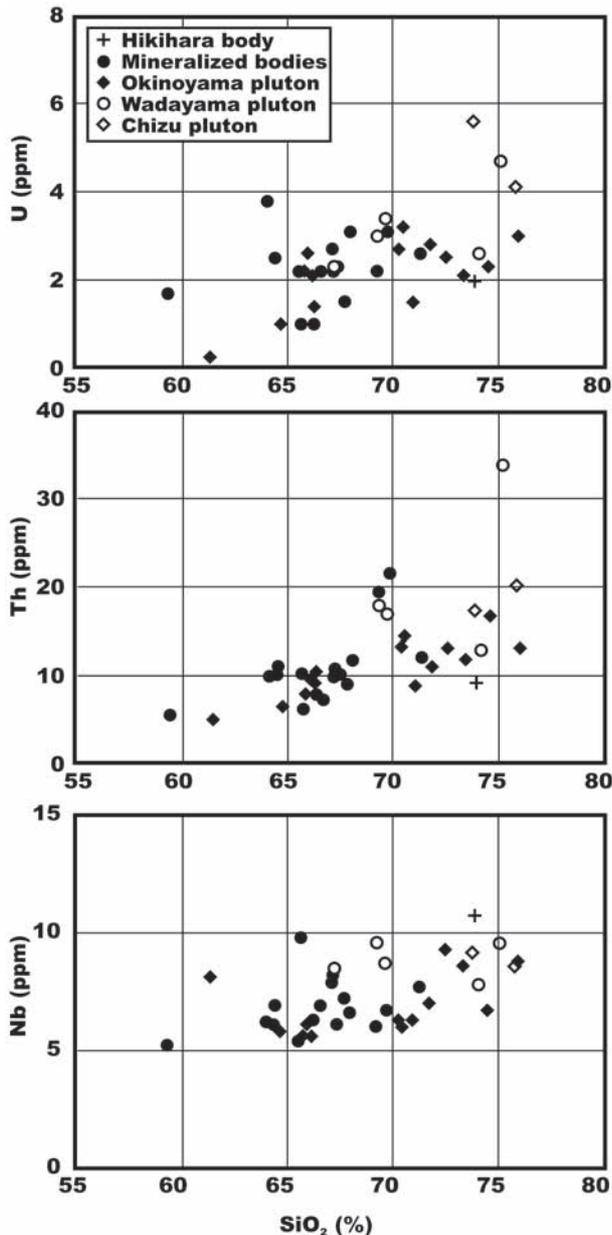
第8図 クロム, 銅, 亜鉛, コバルトの含有量変化.
Fig. 8 Variation diagrams for Cr , Cu , Zn and Co .



第9図 リン,ジルコニウム,ランタン,セリウムの含有量変化.
Fig. 9 Variation diagram for P₂O₅, Zr, La and Ce



第10図 イットリウム,モリブデン,タングステン,スズの含有量変化.
Fig. 10 Variation diagram for Y, Mo, W and Sn.



第11図 ウラン、トリウムとニオブの含有量変化。
Fig. 11 Variation diagram for U, Th and Nb.

瀬花崗岩類と沖山花崗岩体の一部が高い(第3図)。Alと相関するGaは和田山岩体と引原岩体で高い。Urabe (1985) はアルミナス花崗岩と鉛・亜鉛鉱化作用との関係を指摘しているが、当地の鉱化花崗岩類はASI=0.9前後で、アルミナに乏しいものに属する。

CaOは沖山花崗岩類でやや高く、和田山花崗岩類で低い傾向がある。Na₂Oは不規則な分布を示すが、引原花崗岩が高く、和田山花崗岩も高いものに属する(第4図)。K₂Oは和田山花崗岩で高く、引原花崗岩で低い。従って引原花崗岩のK₂O/Na₂O比は著しく低い(0.74)。和田山花崗岩はアルカリに富んでいると言える。一方、沖山岩体は、SiO₂上のCaOとK₂O+Na₂Oの交線でも求められるアルカリ/ライム指

数を、変質が著しいNo.18(TO212)を除き求めると65%が得られ、カルシックと言える。

引原花崗岩はK₂OのみでなくRbにも乏しい(90ppm)。Sr・Baは用瀬花崗岩でやや低い(第5図)。Pbは全体的にSiO₂と正の相関をする。磁鉄鉱系花崗岩類では鉱化花崗岩類が沖山岩体の花崗岩類よりもPbに富む傾向がある。TlとCsについては明瞭な規則性が認められない(第6図)。

3.2 苦鉄鉱物構成成分

全鉄(Fe₂O₃)については各岩体に大きな差はなく、MgOでは和田山岩体がやや低い。TiO₂も和田山岩体と引原岩体で低い傾向がある(第7図)。Vはチタン鉄鉱系花崗岩類と磁鉄鉱系の引原花崗岩でやや低い。Crは和田山岩体の高い2個を除き、明瞭な傾向は認められない(第8図)。

Cuはチタン鉄鉱系花崗岩類で少なく、磁鉄鉱系花崗岩類で高いものが多いが、最高12 ppmである。沖山岩体と鉱化花崗岩類との間に特に有意の差は認められない(第8図)。変質岩(no. 30, 第1図)では911 ppm Cuが得られた。この試料はMo (80 ppm)が高いほか、W(10 ppm)とPb(92 ppm)にもやや富んでおり、鉱化変質作用を受けたことが明らかである。Znはチタン鉄鉱系花崗岩類で少し高い傾向がある。逆にCoはチタン鉄鉱系花崗岩類で概して低い。

P₂O₅はチタン鉄鉱系花崗岩類でやや高い傾向がある(第9図)。ZrとHfについては明瞭な規則性が認められない。LaとCeは共にチタン鉄鉱系花崗岩類で高い傾向がある(第9図)。Yについては、沖山岩体南東部で高いものが多い(29-50 ppm, Nos. 17-20)、鉱化花崗岩類で概して低いものが多い(第10図)。

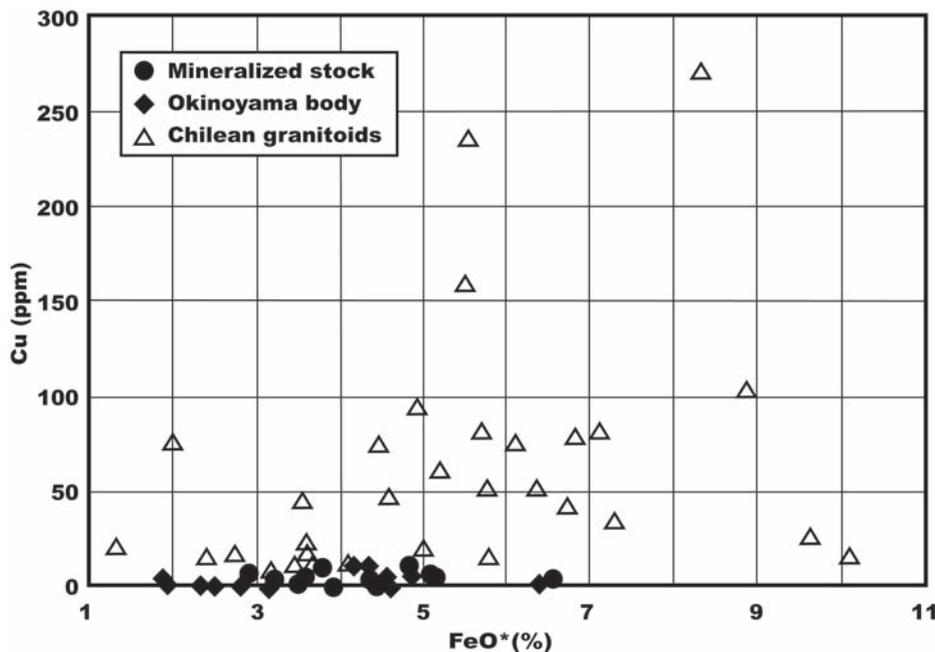
3.3 その他の親石元素

Mo、WおよびSnには散点的に高い値がみられる。WとSnはチタン鉄鉱系で高い傾向がある(第10図)。U、ThとNbについても同様な傾向が読みとれる(第11図)。

4. チリ北部との比較

エル・エニエンテ鉱山以北のチリ北部は西南日本内帯と同様な中-新生代の火山深成岩帯であり、世界有数の産銅地帯である。ここではジュラ紀の玄武岩質安山岩活動に始まり花崗岩活動が火山岩類を伴って中新世まで続いている。岩質は磁鉄鉱系に属する石英閃緑岩～花崗閃緑岩質であり、附随する鉱化作用はポーフイリー型、マント型、鉱脈型などで代表され、鉱種としてはCu、Fe、Au-Agなどである(Ishihara *et al.*, 1984)。

兵庫県中部地域も白亜紀後期の火山深成岩地域であり、八頭-神崎花崗岩類はチリと同様に典型的なIタイプ磁鉄鉱系である。岩体の露出規模もチリの白亜紀の花崗岩類と良く似ており、岩体浅部が露出し地表露頭の岩石が多少とも変質している点も両地域には共通項である。千種・有賀



第12図
八頭一神崎花崗岩類とチリの花崗岩類の全鉄と銅含有量の比較.

Fig. 12
Copper vs. FeO* diagram of the magnetite-series granitoids of the Yazu-Kanzaki granitoids and North-central Chile. The Chilean data from Ishihara *et al.* (1984). FeO*, total Fe as FeO.

や川上岩体 (no. 30, 付表1) には、既述のように鉱染状黄銅鉱化作用が知られている。そこで両地域の比較を微量元素成分のCuについて試みる(第12図)。

銅はCu⁺ (0.96A)とCu²⁺ (0.72A)とがあり、酸化的花崗岩ではCu²⁺としてFe²⁺を置換するものと思われ、磁鉄鉱系で高い傾向が見られることもある(石原2002)。花崗岩類には黄銅鉱が比較的一般的に含まれるが(石原ほか, 1983)、これは銅が実験的に知られている黄銅鉱・斑銅鉱などの高温相である中間固溶相 (intermediate solid solution, iss) として花崗岩中に存在していた結果と考えられる。すなわちCuはマグマ中に硫化物相として安定であり、従って花崗岩中のCu含有量は原マグマの含有量を表している可能性が高い。またCuは黒雲母などの苦鉄質鉱物の変質部分に極度に濃集することがある(Banks, 1982)。CuはSと親近性を持ち、Sの溶解度はFe含有量と相関するから、第12図にはFeO*とCuとの関係を示した。

八頭一神崎磁鉄鉱系花崗岩類のCu含有量は12 ppm以下であり、包有物と銅鉱化岩を除く平均値は4.4 ppm (n=28)である。この値はチリの花崗岩類(9~272 ppm, 平均62 ppm, n=31, Ishihara *et al.*, 1984)のみならず、北上山地の花崗岩類(9~272 ppm, 平均37 ppm, n=53, Ishihara *et al.*, 1983)と比較しても極めて低い。両地域の分析試料は地表で得られる“新鮮な”岩石であるから、この事実は八頭一神崎花崗岩類がチリ北部の岩石と比べて本質的にCuに乏しかったことを意味している。両地域に見られる鉱床中の銅量の圧倒的な差はこのようなマグマの基本的性質に基づいているのであろう。

Zn²⁺(0.74A)もFe²⁺(0.74A)を置換し、苦鉄珪酸塩鉱物に入る。Pb²⁺(1.20A)はK⁺(1.30A)を置換してカリ長石と黒雲母に入る。閃亜鉛鉱と方鉛鉱などの硫化鉱物相はマグマ期

には安定せず、従って“新鮮な”花崗岩類のPbとZn含有量から鉱化関連花崗岩類を評価することは難しい。熱水変質期には両元素は濃集し、本研究でも川上岩体 (no. 30: Pb 92 ppm, 付表1)、和田山岩体 (no. 4, Zn 205 ppm, Pb 94 ppm, 付表1) などが見られる。

5. 結 語

兵庫県中部地域の火山深成岩帯に産する花崗岩類のうち特に磁鉄鉱系花崗岩類について、ベースメタル鉱化能力の観点から岩石化学的に評価した。当地域の磁鉄鉱系花崗岩類は西北西-東南東方向の弱線沿いに貫入し、火山岩類を伴うと共に一部でグラノフィアと斑岩相を呈し、深成岩の浅成部が現在露出していると考えられ、基本的な鉱化条件を満たしている。

鉱化関連花崗岩類は他の磁鉄鉱系花崗岩類より高い帯磁率、すなわち高い磁鉄鉱含有量を持つ傾向を示し、ベースメタル鉱化作用と酸素フュガシティとの関連が示唆される。花崗岩マグマに高温相として存在しうる黄銅鉱含有量をCu含有量から推察すると、当地域の花崗岩類は12 ppmに達するに過ぎず、チリ北部や北上山地と比較して一桁以上低い値を示す。この意味では有賀などの鉱染状鉱床が知られているものの、銅鉱化作用の適格性が高いとは言えない。

東アジア全体を含めた広域的な見地から、西南日本内帯は鉛・亜鉛鉱床生成区 (Ishihara, 1984) の可能性があるが、八頭一神崎花崗岩類は苦鉄質な岩質、アルミナ飽和度の2点から鉛・亜鉛鉱化作用に不適格と言える。

文 献

- Banks, N. G. (1982) Sulfur and copper in magma and rocks: Ray porphyry copper deposit, Pinal County, Arizona. *In Advances in Geology of the Porphyry Copper Deposits, Southwestern North America* (S. . Tittley ed.) Univ. Ariz. Press, 227-257.
- Ishihara, S. (1977) The magnetite-series and ilmenite-series granitic rocks. *Mining Geol.*, v. 27, 293-305.
- Ishihara, S. (1984) Granitoid series and Mo/W-Sn mineralization in East Asia. *Rept. Geol. Surv. Japan*, no. 263, 173-208.
- 石原舜三 (2002) 鉱化花崗岩特性(I): 西南日本内帯のモリブデンとタングステン生成区. *地質調研報*, **53**, 657-672.
- 石原舜三・寺島滋(1977) ベースメタル・スズ鉱床探査指針としての花崗岩類中の塩素・フッ素含有量. *鉱山地質*, **27**, 191-199.
- 石原舜三・寺島滋・月村勝宏(1981) 明延鉱床の関する若干の問題について. *鉱山地質*, **31**, 147-156.
- Ishihara, S., Ulriksen, C. E., Sato, K., Terashima, S., Sato, T. and Endo, Y. (1984) Plutonic rocks of North-central Chile. *Bull. Geol. Surv. Japan*, **35**, 503-536.
- Ishihara, S., Tanaka, R., Nakagawa, M. and Goto, Y. (1995) Magnetic susceptibility of late Cenozoic volcanic rocks of east-central Hokkaido and the Kuril; islands. *In Mineral Resources of the NE Pacific Rim.* (S. Ishihara & G.K. Czamanske ed.) *Resource Geol. Spec. Issue*, no.18, 217-228.
- 三好正・中村威・日下部実(1988) 近畿地方の鉱脈鉱床における硫黄同位体組成. *鉱山地質*, **38**, 323-334.
- 佐藤憲隆・浅田一郎・重松真一(1977) 明延鉱山の地質構造および鉱床について. *鉱山地質*, **27**, 245-262.
- 柴田賢(1979) 東中国における花崗岩類のK-Ar年代. *地質学論集*, no. 17, 69-72.
- 通商産業省(1988) 昭和62年度広域地質構造調査報告書. 播但地域, 178 p.
- Urabe, T. (1985) Aluminous granite as a source magma of hydrothermal ore deposits: An experimental study. *Econ. Geol.*, **80**, 148-157.

(受付:2002年5月22日;受理:2002年7月18日)

付表1 分析試料の採集場所と岩石名

Appendix 1 Locality and rock types of the analyzed samples

試料番号	岩体	場所と岩石名
1, TO206	用瀬花崗岩	鳥取県八頭郡智頭町山木. 黒雲母花崗岩
2, TO207	用瀬花崗岩	鳥取県八頭郡智頭町右手峠. 同上
3, TO227	和田山花崗岩	兵庫県朝来郡和田山町牧田. 閃雲花崗閃緑岩: 角閃石の黒雲母化, 斜長石の絹雲母化, 弱い緑簾石化.
4, TO225	和田山花崗岩	兵庫県養父郡養父町建屋中央. 黒雲母花崗閃緑岩-花崗岩: 緑泥石化, 絹雲母化, 弱い緑簾石化.
5, 82632	和田山花崗岩	兵庫県朝来郡山東町一品. 同上: 弱い絹雲母化, 緑泥石化.
6, TO226	和田山花崗岩	兵庫県養父郡養父町八代峠. 斑状優白花崗岩: 方解石化, 絹雲母化.
7, 82633	和田山花崗岩	兵庫県朝来郡山東町迫間北方500m. 同上: 緑簾石化, 緑泥石化, 絹雲母化.
8, TO200	沖山花崗閃緑岩体	鳥取県八頭郡智頭町倉谷. 閃雲花崗閃緑岩: 斜長石の絹雲母化. 黒雲母の弱い緑泥石化, チタン石化.
9, TO201	沖山花崗閃緑岩体	鳥取県八頭郡智頭町倉谷 発電所. 閃雲花崗閃緑岩, 新鮮.
10, TO202	沖山花崗閃緑岩体	鳥取県八頭郡智頭町倉谷 発電所南東方3km. 同上, 斑状, 弱い絹雲母化.
11, TO203	沖山花崗閃緑岩体	鳥取県八頭郡智頭町倉谷 発電所南東方4.5km. 閃雲花崗閃緑岩, 非常に弱い絹雲母化, 緑泥石化.
12, TO204	沖山花崗閃緑岩体	鳥取県八頭郡智頭町倉谷 発電所南東方7km. 黒雲母花崗岩, 絹雲母化と弱い緑泥石化.
13, TO205	沖山花崗閃緑岩体	鳥取県八頭郡智頭町沖山(1319m) 北方1.2km. 絹雲母化, 弱いチタン石化, 方解石化.
14, TO208	沖山花崗閃緑岩体	岡山県英田郡西栗倉村新田. 閃雲花崗閃緑岩, 絹雲母化と緑泥石化.
15, TO209	沖山花崗閃緑岩体	岡山県英田郡西栗倉村永晶山. (角閃石)黒雲母花崗閃緑岩-花崗岩, 絹雲母化, 緑泥石化, 方解石化.
16, TO210	沖山花崗閃緑岩体	兵庫県宍粟郡千種町鍋谷溪谷奥. 閃雲花崗閃緑岩, 絹雲母化, 弱い緑泥石化.
17, TO211	沖山花崗閃緑岩体	兵庫県宍粟郡千種町鍋谷溪谷西方1km. 緑簾石グラノフィア, 強い緑泥石化と方解石化.
18, TO212	沖山花崗閃緑岩体	兵庫県宍粟郡千種町川井. 閃雲石英閃緑岩包有物. 強い緑泥石化.
19, TO213	沖山花崗閃緑岩体	兵庫県宍粟郡千種町川井. TO212の母岩. 花崗斑岩, 強い緑泥石化.
20, TO214	沖山花崗閃緑岩体	兵庫県宍粟郡千種町板馬見溪谷入口. 花崗斑岩, 強い緑泥石化.
21, TO218	沖山花崗閃緑岩体	兵庫県宍粟郡波賀町原, 道の駅. 閃雲花崗閃緑岩, 強い方解石化, 絹雲母化, 緑泥石化. 赤鉄鉱化で帯磁率が低下.
22, TO215	鉍化千種-有賀岩体	兵庫県宍粟郡千種町荒尾. 閃雲花崗閃緑岩, ごく軽微な緑泥石化, 絹雲母化, 方解石化.
23, TO216	鉍化千種-有賀岩体	兵庫県宍粟郡波賀町齊木, 前地西方. 角閃石花崗閃緑岩, アクチノ閃石化, 緑泥石化, チタン石化.
24, TO217	鉍化千種-有賀岩体	兵庫県宍粟郡波賀町齊木, 中村. 閃雲花崗閃緑岩, ほぼ新鮮.
25, TO219	鉍化千種-有賀岩体	兵庫県宍粟郡波賀町上野, 有賀. 角閃石含有黒雲母花崗岩, 弱い絹雲母化.
26, TO220	鉍化花崗岩類	兵庫県宍粟郡波賀町小野溝野. 黒雲母斑状花崗岩. 弱い緑泥石化. 黒雲母の色からチタン鉄鉍系. それ故に低い帯磁率.
27, TO221	鉍化花崗岩類	兵庫県宍粟郡一宮町安積. 閃雲石英閃緑斑岩, 緑泥石化.
28, TO223	鉍化花崗岩類	兵庫県宍粟郡一宮町西深. 閃雲石英閃緑岩. 軽微な変質.
29, TO222	鉍化花崗岩類	兵庫県宍粟郡一宮町本谷. 角閃石花崗閃緑岩斑岩, 絹雲母化と緑泥石化.
30, TO231	鉍化川上岩体	兵庫県神崎郡大河内町川上北西方700m. 変質花崗斑岩, 著しい緑泥石化とチタン石化.
31, TO232	鉍化川上岩体	兵庫県神崎郡大河内町川上部落. 閃雲花崗閃緑岩, 軽微な変質.
32, TO233	鉍化川上岩体	兵庫県神崎郡大河内町川上南部. 閃雲花崗閃緑岩, 著しいアクチノ閃石化と軽微な緑泥石化.
33, TO234	鉍化花崗岩類	兵庫県神崎郡大河内町長谷ダム上流部. 閃雲花崗閃緑岩, アクチノ閃石化とチタン石化.
34, TO230	鉍化花崗岩類	兵庫県神崎郡大河内町長谷ダム深山トンネル. 緑簾石角閃石花崗閃緑岩質グラノフィア, 緑泥石化, 弱い絹雲母化.
35, TO229	鉍化花崗岩類	兵庫県神崎郡大河内町長谷ダム下. 同上.
36, TO235	鉍化花崗岩類	兵庫県神崎郡大河内町寺前. 花崗閃緑岩質グラノフィア斑岩, 著しい緑簾石化と緑泥石化.
37, TO236	鉍化花崗岩類	兵庫県神崎郡神崎町大畑. 閃雲花崗閃緑岩質グラノフィア斑岩, 緑泥石化.
38, 82749A	引原花崗岩	兵庫県宍粟郡波賀町石亀. 緑簾石グラノフィア, 著しい緑簾石と緑泥石化.

兵庫県中西部地域の多金属鉱化域 (石原)

付表2 鳥取-兵庫県中西部地域の花崗岩類の化学分析値 (1).

Appendix 2 Chemical compositions of the late Cretaceous granitoids in the Tottori-Hyogo Prefecture.

	Mochigase Granite		Wadayama Granite					Okinoyama pluton			
	1 TO206	2 TO207	3 TO227	4 TO225	5 82632	6 TO226	7 82633	8 TO200	9 TO201	10 TO202	11 TO203
SiO ₂ (%)	73.78	75.81	67.20	69.22	69.61	74.08	75.08	64.65	66.23	70.28	70.45
TiO ₂	0.16	0.18	0.50	0.40	0.38	0.18	0.13	0.60	0.55	0.34	0.30
Al ₂ O ₃	13.85	12.94	15.06	14.56	14.28	13.04	13.09	15.68	14.33	14.26	14.46
Fe ₂ O ₃	2.15	2.09	4.67	3.27	3.47	2.19	1.57	5.40	5.10	3.13	2.77
MnO	0.05	0.06	0.09	0.07	0.05	0.05	0.02	0.10	0.09	0.06	0.06
MgO	0.26	0.24	1.23	0.79	0.83	0.38	0.19	2.18	2.01	1.22	1.10
CaO	1.53	1.34	3.32	1.65	1.99	1.76	0.79	5.45	4.68	3.40	3.48
Na ₂ O	2.86	2.71	3.86	3.97	3.85	3.34	3.55	3.33	3.19	3.27	3.45
K ₂ O	4.75	3.83	3.26	4.55	3.94	4.07	5.12	1.96	2.78	3.52	3.28
P ₂ O ₅	0.04	0.05	0.13	0.11	0.1	0.04	0.02	0.12	0.12	0.06	0.05
S	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.01	<0.01	<0.01	0.01	0.01	<0.01	0.01
H ₂ O ⁺	0.43	0.61	0.83	1.16	1.23	0.80	0.38	0.72	0.91	0.49	0.42
H ₂ O ⁻	0.01	0.05	0.01	0.03	0.05	0.05	0.01	0.01	0.04	0.03	0.14
CO ₂	0.08	0.12	0.01	0.24	0.27	0.01	0.01	0.01	0.16	0.01	0.04
SUM	99.95	100.03	100.17	100.02	100.06	99.99	99.96	100.22	100.21	100.07	100.01
Trace elements (ppm)											
Rb	189	154	89	148	183	126	151	64	90	122	125
Cs	11.7	7.6	7.4	6.1	8.8	14.7	6.2	5.0	6.4	6.9	6.5
Sr	129	116	301	266	245	150	102	351	277	220	226
Ba	505	199	776	801	719	679	497	438	512	556	532
Zr	109	116	196	191	171	102	150	116	119	81	96
Hf	4	5	6	6	5	4	6	3	5	3	4
Nb	9.2	8.6	8.5	9.6	8.7	7.8	9.6	5.8	6.3	6.3	6.0
Ta	2	2	2	3	< 2.1	1	3	3	4	1	2
Y	25	29	28	24	26	22	29	16	16	14	13
La	26	35	28	31	32	26	49	30	18	21	14
Ce	52	56	57	58	61	47	87	55	33	39	29
V	10	13	61	40	38	19	7	124	109	52	48
Cr	< 0.6	3	6	7	5	25	6	6	5	2	6
Co	5	7	11	7	15	8	4	14	18	11	14
Ni	< 0.6	< 0.7	< 0.9	< 0.8	< 0.8	< 0.7	< 0.6	2	< 0.8	0	1
Cu	< 0.4	< 0.4	1	< 0.5	7	< 0.4	< 0.4	6	1	1	1
Zn	26	30	53	205	37	30	33	50	45	30	29
Pb	18	15	10	94	15	8	19	7	8	11	11
Ga	14.8	14.7	17.3	13.6	16.5	14.0	15.2	16.4	13.8	13.7	13.2
Ge	1.4	1.6	1.5	1.2	1.6	1.1	1.2	1.4	1.6	1.4	1.5
As	< 0.4	< 0.4	0.4	< 0.9	1.5	1.9	0.3	0.6	0.4	< 0.3	< 0.3
Se	0.2	< 0.1	< 0.1	0.2	0.3	< 0.1	0.1	0.2	0.2	0.1	0.3
Mo	2.8	8.7	0.3	1.8	0.4	0.8	< 0.2	0.2	0.5	0.3	< 0.2
W	1.7	0.9	< 1.1	< 1.5	75.6	2.4	2.2	< 1.1	< 1.1	1.0	< 0.9
Sn	2.0	0.7	2.5	6.2	5.6	1.2	0.9	1.1	0.8	0.7	1.4
Cd	< 0.2	< 0.2	0.2	2.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2	0.2	0.3	< 0.2	0.5
Sb	< 0.5	< 0.5	< 0.5	0.9	< 0.5	0.5	< 0.5	< 0.5	< 0.5	< 0.5	0.5
Tl	1.7	1.0	0.4	1.7	1.3	0.6	1.3	0.7	0.7	0.7	1.7
Bi	3.7	1.6	< 0.3	< 0.4	2.7	< 0.3	< 0.3	< 0.3	< 0.3	< 0.3	0.7
Th	17.4	20.3	10.5	18.0	17.0	13.0	33.9	6.5	10.5	13.3	14.5
U	5.6	4.1	2.3	3.0	3.4	2.6	4.7	1.0	1.4	2.7	3.2
ASI	1.10	1.17	0.95	1.01	1.01	1.00	1.02	0.90	0.86	0.93	0.93
Rb/Sr	1.5	1.3	0.3	0.6	0.8	0.8	1.5	0.2	0.3	0.6	0.6
Sr/Y	5.2	4.0	10.8	11.1	9.4	6.8	3.5	4.0	5.6	8.7	17.4
Kai	0.49	0.56	0.66	0.36	0.38	0.32	0.47	34.1	24.6	24.5	19.6

Fe₂O₃ = Total Fe as Fe₂O₃. Kai = magnetic susceptibility, ×10⁻³ SI unit

付表2 鳥取-兵庫県中西部地域の花崗岩類の化学分析値 (2).

Appendix 2 Chemical compositions of the late Cretaceous granitoids in the Tottori-Hyogo Prefecture.

	Okinoyama pluton (continued)										Mineral.
	12 TO204	13 TO205	14 TO208	15 TO209	16 TO210	17 TO211	18 TO212	19 TO213	20 TO214	21 TO218	
SiO ₂ (%)	74.51	70.95	65.93	71.75	66.14	72.49	61.30	75.96	73.34	65.75	66.22
TiO ₂	0.24	0.39	0.52	0.31	0.50	0.27	0.85	0.20	0.27	0.56	0.52
Al ₂ O ₃	12.96	14.44	15.07	13.94	15.30	13.12	15.83	12.69	13.63	15.18	14.88
Fe ₂ O ₃	2.07	3.48	4.81	2.76	4.61	2.60	7.10	2.12	2.58	5.05	4.82
MnO	0.04	0.08	0.09	0.07	0.09	0.07	0.12	0.03	0.04	0.09	0.10
MgO	0.54	0.78	1.93	0.73	2.00	0.49	2.01	0.19	0.35	2.28	2.02
CaO	1.81	3.35	4.75	2.67	4.62	1.71	4.41	1.05	1.92	5.07	4.60
Na ₂ O	3.06	2.68	3.11	3.89	3.35	4.25	3.85	2.61	3.37	3.05	3.38
K ₂ O	4.00	2.71	2.58	2.92	2.62	3.49	2.14	4.31	3.68	2.33	2.50
P ₂ O ₅	0.04	0.08	0.11	0.07	0.13	0.05	0.21	0.03	0.06	0.14	0.09
S	<0.01	<0.01	0.01	<0.01	<0.01	0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.01	<0.01
H ₂ O ⁺	0.64	0.72	0.97	0.77	0.75	1.10	2.29	0.61	0.72	0.99	0.95
H ₂ O ⁻	0.04	0.06	0.06	0.04	0.04	0.04	0.19	0.06	0.04	0.01	0.02
CO ₂	0.02	0.36	0.22	0.10	0.10	0.32	0.06	0.10	0.01	0.01	0.07
SUM	99.97	100.08	100.16	100.02	100.25	100.01	100.36	99.96	100.01	100.52	100.17
Trace elements (ppm)											
Rb	149	88	95	100	88	119	142	135	114	74	85
Cs	7.5	5.4	5.4	5.8	4.6	3.3	2.9	4.6	5.2	4.1	4.3
Sr	157	257	295	228	291	187	322	130	182	290	292
Ba	604	506	508	546	529	657	362	744	668	518	482
Zr	102	107	111	121	115	199	130	138	178	115	120
Hf	4	3	3	4	4	6	5	5	5	4	3
Nb	6.7	6.3	6.1	7	5.6	9.3	8.1	8.8	8.6	5.6	6.3
Ta	3	2	<2.3	2	<2.3	3	2	1	2	2	<1.9
Y	14	15	16	16	16	31	50	31	29	18	19
La	12	19	14	17	18	32	18	32	22	15	21
Ce	21	37	31	35	36	68	44	62	49	33	40
V	23	55	109	37	109	19	110	7	16	120	105
Cr	2	<0.7	8	7	8	1	<1.0	1	<0.6	16	8
Co	11	10	16	8	18	9	19	8	12	14	13
Ni	1	<0.7	2	<0.7	2	<0.7	<1.1	<0.6	<0.6	2	1
Cu	4	<0.4	11	<0.4	11	1	2	1	<0.4	5	4
Zn	23	39	48	33	53	50	93	33	29	49	49
Pb	13	10	10	11	11	14	8	17	12	9	11
Ga	12.1	14.3	15.6	14.0	14.9	14.8	17.5	13.8	14.7	14.5	15.8
Ge	1.5	1.7	1.6	1.4	1.3	1.5	2.1	1.2	1.3	1.4	1.6
As	<0.4	0.6	1.6	0.4	<0.4	0.5	0.5	0.4	0.5	<0.3	3
Se	0.3	<0.1	<0.1	<0.1	0.2	0.2	<0.1	<0.1	<0.1	0.2	0.1
Mo	<0.2	0.5	2.6	2.2	0.5	1.4	0.6	0.9	5.8	2.6	1.6
W	1.4	<1.0	<1.1	1.2	1.5	0.9	<1.5	2.5	1.5	0.7	<1.1
Sn	1.1	0.8	0.9	1.3	0.8	2.1	5.8	1.6	1.5	0.7	1.3
Cd	<0.2	<0.2	0.2	0.2	0.3	<0.2	0.5	<0.2	<0.2	<0.2	0.3
Sb	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	0.3	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
Tl	1.3	0.8	0.3	0.8	1.0	1.0	1.2	1.1	0.7	0.5	0.8
Bi	0.6	0.4	<0.3	<0.3	0.5	<0.3	<0.3	<0.3	0.3	<0.3	0.5
Th	16.8	8.9	9.6	11.1	9.2	13.2	5.0	13.2	11.9	7.9	7.9
U	2.3	1.5	2.6	2.8	2.1	2.5	<0.5	3.0	2.1	2.2	1
ASI	1.02	1.08	0.91	0.97	0.91	0.95	0.95	1.17	1.05	0.91	0.89
Rb/Sr	1.0	0.3	0.3	0.4	0.3	0.6	0.4	1.0	0.6	0.3	0.3
Sr/Y	11.2	17.1	18.4	14.3	18.2	6.0	4.4	4.2	6.3	16.1	11.4
Kai	14.8	23.6	33.8	14.6	38.9	15.2	7.5	16.2	25.8	0.56	34

Fe₂O₃ = Total Fe as Fe₂O₃. Kai = magnetic susceptibility, ×10⁻³ SI unit

兵庫県中西部地域の多金属鉱化域 (石原)

付表2 鳥取-兵庫県中西部地域の花崗岩類の化学分析値 (3).

Appendix 2 Chemical compositions of the late Cretaceous granitoids in the Tottori-Hyogo Prefecture.

	granitoids(Chigusa-Arigo)			Mineralized ganitoids				Mineral. grds(Kawakami)		
	23 TO216	24 TO217	25 TO219	26 TO220	27 TO221	28 TO223	29 TO222	30 TO231	31 TO232	32 TO233
SiO ₂ (%)	67.34	67.95	69.70	71.26	59.25	63.99	65.52	69.21	64.40	64.32
TiO ₂	0.51	0.48	0.38	0.28	0.78	0.63	0.53	0.35	0.63	0.58
Al ₂ O ₃	14.33	14.75	14.07	13.78	16.28	15.29	14.90	13.95	15.23	15.40
Fe ₂ O ₃	4.34	4.20	3.56	3.21	7.28	5.72	4.92	3.39	5.64	5.35
MnO	0.09	0.07	0.08	0.06	0.13	0.10	0.07	0.03	0.10	0.10
MgO	1.91	1.82	1.48	0.63	3.28	2.51	2.20	1.32	2.53	2.18
CaO	4.12	3.95	3.29	2.40	6.72	5.14	4.83	2.62	5.11	4.88
Na ₂ O	3.50	3.32	3.04	3.73	3.22	3.22	3.10	2.56	3.19	3.31
K ₂ O	2.76	3.15	3.91	3.32	1.73	2.65	2.82	4.11	2.65	2.63
P ₂ O ₅	0.09	0.08	0.06	0.07	0.15	0.11	0.09	0.05	0.11	0.12
S	<0.01	<0.01	<0.01	0.17	0.02	0.01	<0.01	0.07	<0.01	0.02
H ₂ O ⁺	1.01	0.52	0.46	0.79	1.62	0.72	1.07	1.93	0.80	0.90
H ₂ O ⁻	0.02	0.04	0.04	0.08	0.03	0.16	0.02	0.17	0.04	n.d.
CO ₂	0.15	0.01	0.02	0.04	0.09	0.02	0.14	0.08	0.03	n.d.
SUM	100.17	100.34	100.09	99.82	100.58	100.27	100.21	99.84	100.46	99.79
Trace elements (ppm)										
Rb	90	101	143	122	55	95	90	115	62	79
Cs	4.9	5.2	10.6	6.3	3.0	7.2	6.0	8.6	5.8	6.8
Sr	279	245	224	220	388	288	289	302	341	333
Ba	522	583	476	601	412	529	581	721	619	527
Zr	119	117	112	127	89	151	126	115	123	116
Hf	3	3	5	5	3	5	3	< 6.9	4	4
Nb	6.1	6.6	6.7	7.7	5.2	6.2	5.4	6	6.9	6.1
Ta	3	3	3	3	2	2	2	< 13	2	< 2.3
Y	19	19	15	22	17	23	19	14	18	19
La	11	18	23	26	13	16	19	23	17	19
Ce	27	38	43	51	30	40	40	42	37	40
V	95	86	72	25	163	131	106	67	109	118
Cr	6	10	6	4	< 1.0	12	13	2	< 0.9	2
Co	18	15	13	9	19	18	20	< 5.7	11	12
Ni	1	< 0.8	1	< 0.8	< 1.0	1	1	1	< 0.8	< 0.8
Cu	< 0.4	10	4	7	5	5	1	911	7	12
Zn	28	35	45	40	71	61	36	40	64	50
Pb	12	10	15	12	11	11	6	92	9	11
Ga	14.3	14.8	13.6	15.2	16.7	15.7	14.8	14.7	17.3	17.5
Ge	1.6	1.6	1.4	1.7	1.5	1.7	1.3	1.5	1.7	1.4
As	2.8	2.1	2.6	< 0.4	< 0.4	1.6	0.7	1.5	1.5	1.7
Se	< 0.1	< 0.1	< 0.1	0.2	< 0.1	0.2	< 0.1	0.3	0.2	0.1
Mo	0.6	1	1.1	1.4	1.4	2.4	0.7	79.7	1.2	1.5
W	0.7	< 1.0	4.7	1.7	< 1.3	< 1.3	< 1.1	10.3	< 1.2	1.6
Sn	1.5	0.8	0.9	1.4	< 0.4	0.9	0.7	3.7	0.8	0.5
Cd	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2	0.2	< 0.2	0.3	0.2	0.3
Sb	< 0.5	< 0.5	< 0.5	< 0.5	< 0.5	< 0.5	< 0.5	0.8	< 0.5	< 0.5
Tl	0.5	0.6	1.1	1.0	0.4	0.4	< 0.4	0.9	0.6	0.7
Bi	< 0.3	< 0.3	0.4	0.6	< 0.3	< 0.3	< 0.3	< 0.4	0.4	0.4
Th	10.1	11.8	21.6	12.1	5.5	10.0	10.3	19.5	11.1	10.2
U	2.3	3.1	3.1	2.6	1.7	3.8	2.2	2.2	2.5	2.5
ASI	0.88	0.92	0.93	0.98	0.84	0.87	0.88	1.04	0.88	0.90
Rb/Sr	0.3	0.4	0.6	0.6	0.1	0.3	0.3	0.4	0.2	0.2
Sr/Y	14.7	12.9	14.9	10.0	22.8	12.5	15.2	21.6	18.9	17.5
Kai	36.2	44.8	25	0.97	34.7	33.4	29	34.2	52.6	39

Fe₂O₃ = Total Fe as Fe₂O₃. Kai = magnetic susceptibility, ×10⁻³ SI unit

付表2 鳥取-兵庫県中西部地域の花崗岩類の化学分析値 (4).

Appendix 2 Chemical compositions of the late Cretaceous granitoids in the Tottori-Hyogo Prefecture.

	Mineralized granitoids					Hikihara Granite
	33 TO234	34 TO230	35 TO229	36 TO235	37 TO236	38 82749A
SiO ₂ (%)	66.55	67.07	67.13	65.60	67.68	73.87
TiO ₂	0.54	0.52	0.50	0.70	0.50	0.19
Al ₂ O ₃	15.73	15.27	15.39	15.20	15.04	13.43
Fe ₂ O ₃	3.96	3.90	3.86	5.38	3.86	1.92
MnO	0.07	0.07	0.07	0.12	0.05	0.05
MgO	1.34	1.26	1.19	1.04	1.23	0.32
CaO	4.32	4.00	3.89	3.60	3.93	1.46
Na ₂ O	3.89	3.97	3.80	4.12	3.33	4.41
K ₂ O	2.77	2.85	2.84	2.39	2.76	3.24
P ₂ O ₅	0.12	0.11	0.10	0.19	0.09	0.03
S	< 0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
H ₂ O ⁺	0.52	0.93	1.14	1.76	1.49	0.68
H ₂ O ⁻	n.d.	0.10	0.05	0.12	0.12	0.05
CO ₂	n.d.	0.04	0.14	0.01	0.02	0.29
SUM	99.81	100.09	100.10	100.23	100.10	99.94
Trace elements (ppm)						
Rb	84	96	88	69	89	90
Cs	6.1	8.3	5.8	4.2	5.9	4.3
Sr	322	299	296	360	287	170
Ba	596	585	548	628	532	685
Zr	167	186	187	219	169	179
Hf	5	6	6	7	5	6
Nb	6.9	7.9	8.2	9.8	7.2	10.8
Ta	< 2.0	2	3	< 2.3	2	3
Y	23	27	27	38	24	35
La	19	23	22	23	17	21
Ce	42	51	50	55	39	46
V	64	61	57	47	69	6
Cr	3	2	< 0.8	< 0.8	2	4
Co	12	11	13	15	11	6
Ni	< 0.8	< 0.8	< 0.8	< 0.9	< 0.8	< 0.6
Cu	6	2	2	11	2	< 0.4
Zn	51	48	39	123	22	25
Pb	12	12	11	14	6	11
Ga	16.3	16.3	15.8	16.6	15.4	15.3
Ge	1.4	1.6	1.5	1.3	1.4	1.6
As	1.2	2.1	1.4	2.0	1.4	0.7
Se	0.2	0.2	< 0.1	< 0.1	< 0.1	0.1
Mo	0.9	0.7	1.0	1.0	0.3	0.8
W	0.5	0.9	< 1.1	< 1.4	0.5	2.0
Sn	0.7	1.0	0.9	1.7	0.6	2.2
Cd	0.3	< 0.2	< 0.2	0.2	< 0.2	< 0.2
Sb	< 0.5	0.3	0.3	< 0.5	< 0.5	< 0.5
Tl	0.8	0.7	0.9	0.4	0.4	0.8
Bi	< 0.3	0.3	0.3	< 0.3	< 0.3	< 0.3
Th	7.3	9.9	10.8	6.2	9.1	9.2
U	2.2	2.7	2.2	1.0	1.5	2.0
ASI	0.91	0.90	0.94	0.96	9.60	1.00
Rb/Sr	0.3	0.3	0.3	0.2	0.3	0.5
Sr/Y	14.0	11.1	11.0	9.5	12.0	4.9
Kai	27.8	30.6	27.8	21.2	17.2	12.5

Fe₂O₃ = Total Fe as Fe₂O₃, Kai = magnetic susceptibility, ×10⁻³ SI unit