

鉬化花崗岩特性 (I): 西南日本内帯のモリブデンとタングステン鉬床生成区

石原 舜 三¹

Shunso Ishihara (2002) Chemical characteristics of the mineralized granitoids (I) : Mo and W provinces of the Inner Zone of Southwest Japan. *Bull. Geol. Surv. Japan*, vol. 53(9/10), p. 657-672, 11 figs., 2 Appendixes.

Abstract: In order to know chemical parameters useful for mineral exploration including Mo, W and Sn, selected granitoids of 47 samples from the Mo province, W province and barren province were analyzed by polarized XRF spectrometer, XLAB 2000. The granitoids of the Mo province are least in Al_2O_3 and ASI, Ga, K_2O and Rb, compared with those of the W and barren provinces. Mafic trace elements such as V, Cr, Zn and Co are controlled by ferric/ferrous state of the granitoids. Trace amounts of Mo is high in the granitoids of the Mo province and least in the barren province. It is rather strange that W is high in both W and Mo provinces. Mo appears to be a useful indicator for molybdenum deposits, and both W and Sn could be useful parameter for mineral exploration of Sn-bearing tungsten deposits in rock geochemical exploration.

Compared with conventional wet-chemical analyses of the 1960s, low correlation coefficients (ρ) are obtained from MnO (0.83), P_2O_5 (0.85), Al_2O_3 (0.87) and Na_2O (0.88). Diversity from unity (m) is low on P_2O_5 (0.79) and MnO (0.83), but high on K_2O (1.15), implying that the Lawrence Smith's method gives consistently low values on K_2O contents relative to the XRF. Good correlations between the two methods are seen on CaO and SiO_2 , and also on trace amount of Sn with AA method.

Keywords: Late Cretaceous-Paleogene, mineralized granitoids, Mo province, W province, barren province, major elements, minor elements, polarized XRF

要 旨

花崗岩類の化学的性質と関連鉬床との成因的関係を追究する目的で、Mo鉬床生成区と Sn-W鉬床生成区、さらに不毛区から採取した47試料にていて偏光蛍光エックス線解析法で分析した。Mo鉬床生成区の花崗岩類は Al_2O_3 、アルミナ飽和指数(ASI)、Ga、 K_2O 、Rbで最も低い。苦鉄質成分ではV、Cr、Zn、Coは鉄の2価、3価の規制を受けて、その含有量が増加する。微量元素としてのMoはMo鉬床生成区で高く、不毛区で最低である。従って、これは同鉬床探査の岩石地化学探査の指示元素として使いうる。WはSn-W鉬床生成区で高く、以外にもMo鉬床生成区でも高い。微量元素のW、Snは、Sn-W鉬床生成区における鉬床探査指示元素として使いうる。

今回の分析試料は1969年代に湿式分析(ローレン・スミス法)したものであり、そのため両分析方法による比較を試みた。相関係数が低いものは、MnO (0.83)、 P_2O_5 (0.85)、 Al_2O_3 (0.87)、 Na_2O (0.88)で認められた。両分析法の一致線からの隔たりが大きいものは、 P_2O_5 (0.79)、MnO (0.83)、 K_2O (1.15)であり、湿式分析法のカリウムが低くでる。一方、CaO と SiO_2 さらには原子吸光法による微量Snについては、良い一貫性を示した。

1. まえがき

金属鉬床のうちモリブデン及びタングステン鉬床は同時代の花崗岩類に最も近く分布し、日本の鉬床例ではモリブデンの約98%、タングステンの約45%が花崗岩中に胚胎する。従って鉬床近傍の花崗岩類が鉬化作用と成因的に関係すると見なして良い。これに対してベースメタル鉬床や多金属型の鉬床は花崗岩岩体を離れて産出する傾向がある。

筆者はかつて主成分元素の分析から、モリブデン鉬床は $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{FeO}$ 比が高い酸化型の花崗岩類に、グライゼン型のスズ-タングステン鉬床は同比が低いチタン鉄鉬系花崗岩類と密接であると指摘し(Ishihara, 1971)、その後磁鉄鉬系列とチタン鉄鉬系列を提唱した(Ishihara, 1977)。また花崗岩中の微量のSnは鉬化関係花崗岩を指示するのみならず、Sr初生値と同様に花崗岩質マグマへの地殻物質の関与を示す指示元素となり得ることを提案した(石原・寺島, 1977)。

一方揮発性成分についてはグライゼン型のスズ-タングステン鉬床は高F・Li含有花崗岩に伴われることから、その活動度に関係してW-Snが濃集し、他方Clは一部のベースメタルを伴う花崗岩で濃集しており、塩化物としてのメタル

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

の濃集の可能性を示していることを明らかにした(石原・寺島, 1977, 寺島・石原, 1980). またUrabe (1985)はアルミナス花崗岩がZn, Pb鉱液を生じることを実験的に示した.

1960年代の筆者の研究(石原, 1971; Ishihara, 1971)における化学分析は伝統的な湿式分析法により, 専門分析者に依頼して行われた. 当時は微量成分の高精度分析法は限られており, 多くの成分については十分な吟味が行われなかった. この報告では1960年代に分析に供した試料を最新の分析機器で計測し, 分析精度の確認をすると共に, 新たにモリブデン鉱床生成区とタングステン鉱床生成区, および不毛区の3地帯から代表的な花崗岩類を取り上げてそれらの化学的性質を明らかにしようとするものである.

分析個数はモリブデン鉱床生成区から23個, 山陽-苗木タングステン鉱床生成区から17個, そして不毛の領家帯からは珪長質の三河地方の武節花崗岩から選んだ7個である. 分析はDr. B. W. Chappell設定による偏光蛍光X線分析器(XLAB2000)によりMacquarie 大学でおこなわれた. この分析方法では多数の二次ターゲットを用いて偏光法によりバックグラウンドを低下させることが出来るので, 微量成分の測定で特に効果的である. 分析方法はHeckel and Ryon(2002)に詳しい. 主成分はLiボレイトでペレット化したのち, 下記の3種類の二次ターゲットを用いて分析された.

Al ターゲット: Na, Mg

グラファイト ターゲット: Al, Si, P, S, Fe

Co ターゲット: K, Ca, Ti, Mn

微量成分は, 粉末法により次のターゲットを用いて測定された.

グラファイト ターゲット: S, Cl

Co ターゲット: V, Cr

Moターゲット: Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Ge, As, Br, Rb, Sr, Hf, Ta, W, Tl, Bi

Pd ターゲット: Y, Zr, Nb, Mo, Th, U

Al₂O₃ターゲット: Cd, In, Sn, Sb, Te, Cs, Ba, La, Ce

測定結果は製造者Spectro Analytical Instruments社(独)のソフトウェアによって補正された. 国際的な標準試料との比較によると測定結果は極めて良好である. 分析結果は付表1と2に示した.

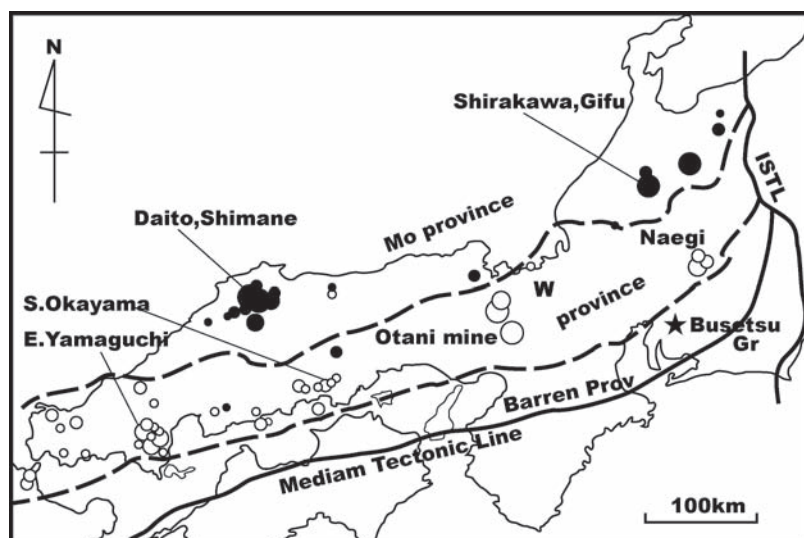
2. 分析試料の地質的背景

分析試料の産地を第1図に示した. モード鉱物組成と湿式法による分析値などについては, 石原(1971), Ishihara (1971), Ishihara and Terashima (1977)に示した. 分析試料は一般の新鮮な花崗岩類であり, かつて全岩分析に供したものと同一粉末試料である.

モリブデン生成区の岐阜県白川地域には北から庄川沿いに, 鳩ヶ谷・平瀬・御母衣岩体が露出する. 鳩ヶ谷岩体は基本的には黒雲母花崗岩であるが, 北部に苦鉄質包有物(enclave)が多産し, 中間組成の岩石も多い. 苦鉄質包有物から2個(付表1, nos. 1-2)それを包有する黒雲母花崗岩から3個(nos. 3-5)を選んだ. 平瀬岩体は優白花崗岩のみからなり(nos. 6-10), 苦鉄質包有物を含まない. 御母衣岩体はその南方にあり, 花崗閃緑岩(no. 11)のみからなる.

モリブデン鉱化作用は平瀬岩体南端で特に著しく, 平瀬鉱床として大規模に稼行され, 同西端の馬狩の白川水鉛鉱床は小規模に稼行された. 輝水鉛鉱-石英細脈や割目のなめつき状輝水鉛鉱は平瀬, 鳩ヶ谷岩体の各所に知られている(尾西ほか, 1973). 従って両岩体, 特に平瀬岩体は鉱化関連花崗岩であり, 御母衣花崗閃緑岩はこのような鉱徴を伴わず, 不毛花崗岩とみなしうる.

島根県大東地域の輝水鉛鉱鉱床はバソリス状の鳥取黒雲母花崗岩や横田花崗閃緑岩の粗粒岩体間に産出する細粒花崗岩類に胚胎する. 岩種は細粒苦鉄質包有物とそれを埋める優白花崗岩類からなる川井混成岩(nos. 13-18), 蓮華寺花崗岩(nos. 21-23), 両者間に分布する優白質花崗岩複合体(nos. 19-20)である. ここでもさまざまな組



第1図

Mo/W鉱床生成区(Ishihara, 1971)と分析試料の産地. 黒円: モリブデン鉱床, 白円: タングステン(ースズ)鉱床. 円のサイズは小さい方から生産金属量10トン以下, 10-100トン, 100-1000トン, 1000トン以上. ISTLは糸魚川静岡構造線.

Fig. 1

Mo metallogenic province vs W metallogenic province and the localities of the studied samples in the Inner Zone of Southwest Japan. Solid circle Mo deposits; open circle W deposits, with the size-grading from less than 10, 10-100, 100-1000, more than 1000 tons in metal (from Ishihara, 1971). ISTL, Itoigawa-Shizuoka Tectonic Line.

成の苦鉄質包有物が礫岩状に産出する(石原, 1971の図版LXIなど参照)。これらと独立に分布する雑家砂鉄鉱床の源岩である石英斑れい岩(no. 12)を除き, 全体が狭義の鉱化関係花崗岩類と言える。

タングステン生成区では, 中部地方の苗木花崗岩体から5個(nos. 24-28)を選んだ。全て鉱化関係花崗岩と見なし得る。但しno. 28は主岩相を切る小岩脈であり, 参考値として扱うべきものである。

京都市西方の大谷鉱山岩株は黒雲母花崗閃緑岩であり, 灰重石-石英脈鉱床の母岩であるから, 鉱化関係花崗岩と見なしうる(nos. 29-31)。本岩体で最も分化している不規則岩脈状の両雲母花崗岩(no. 32)を参考値として示したが, これは若干の方解石化, 緑泥石化, 絹雲母化を受けている。

岡山県南部地域からは三吉タングステン鉱山を含む吉備地域の粗粒岩(nos. 33-34), 三吉鉱山の母岩である中粒岩(no. 35)及び岡山市内の万成花崗岩(no. 36)を選んだ。全てがタングステン鉱化地域のものであるが, 厳密にはNo. 35が最も直接的な鉱化関係花崗岩である。

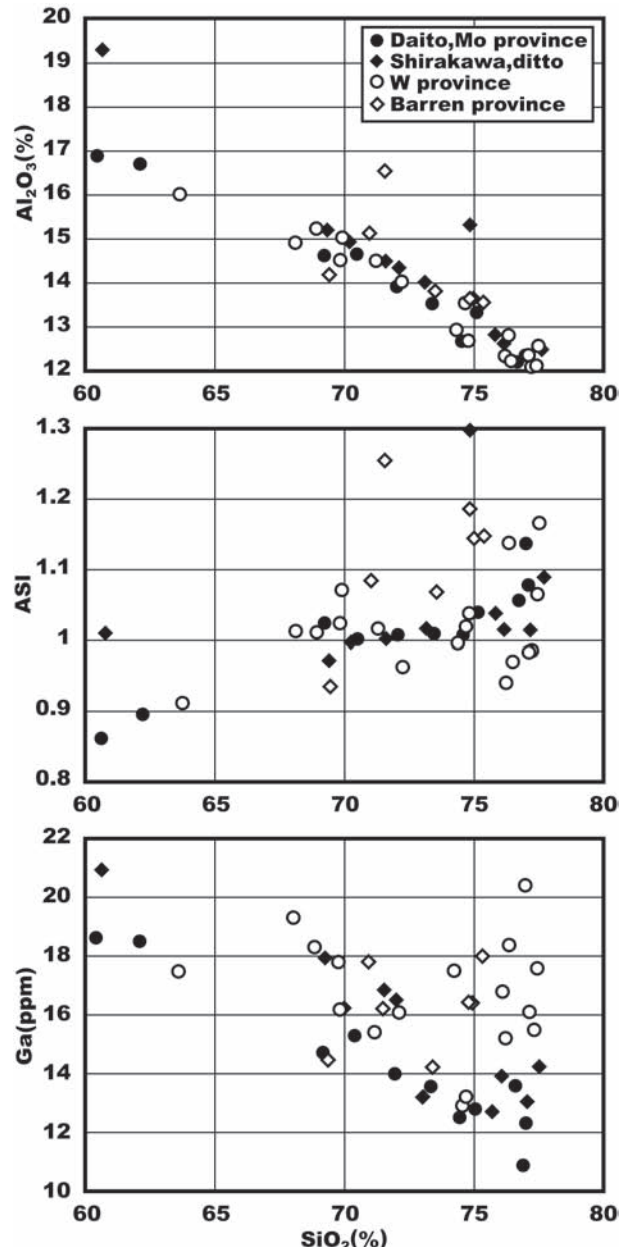
山口県東部には, 京都府の大谷-鐘打鉱床に匹敵する大規模なスカルン型鉱床がある。その南方の花崗閃緑岩-花崗岩体から2個(nos. 37-39), 更に藤ヶ谷鉱床スカルン鉱体下163mで試錐により発見された細粒両雲母花崗岩(no. 40)から1個を選んだ。これは潜在岩体の急冷頂部と思われる。

不毛区の花崗岩としては, 中部地方領家帯の岡崎地域に分布する両雲母花崗岩体から黒雲母花崗閃緑岩を1個(no. 41), 両雲母花崗岩を6個(nos. 42-47)を選んだ。この花崗岩は周辺の閃雲トナル岩-花崗閃緑岩類に貫入し, この地域で最末期の貫入岩相でありペグマタイトを伴うが, 熱水性金属鉱床は認められない。僅かに一部のペグマタイトで輝水鉛鉱が認められる(Ishihara *et al.*, 2002)。この花崗岩は石材(宇寿石など)として採掘されているために均質岩であるが, 厳密には黒雲母/白雲母比, 斜長石/カリ長石比を異にする不均質性が認められる。Nos. 46-47試料は桜形採石場におけるその様な縞状部分(N50°W-70°S)の一例である。

2. 長石構成成分

Al_2O_3 (第2図): 花崗岩類の大部分を占めるのは長石であり, その構成成分のうち, Al_2O_3 は SiO_2 と負の相関性を示す。三帯の中では不毛区の武節花崗岩が Al_2O_3 に最も富み, モリブデン生成区の大東地域とタングステン生成区の一部で最も少ない。この図で突出している3個は白川地域鳩ヶ谷岩体の苦鉄質包有物(no. 1)とマトリクスの黒雲母花崗岩(no. 4)および武節花崗岩の周辺相を構成する黒雲母花崗閃緑岩(no. 41)である。

ASI (Alumina Saturation Index): 以上の傾向をアル

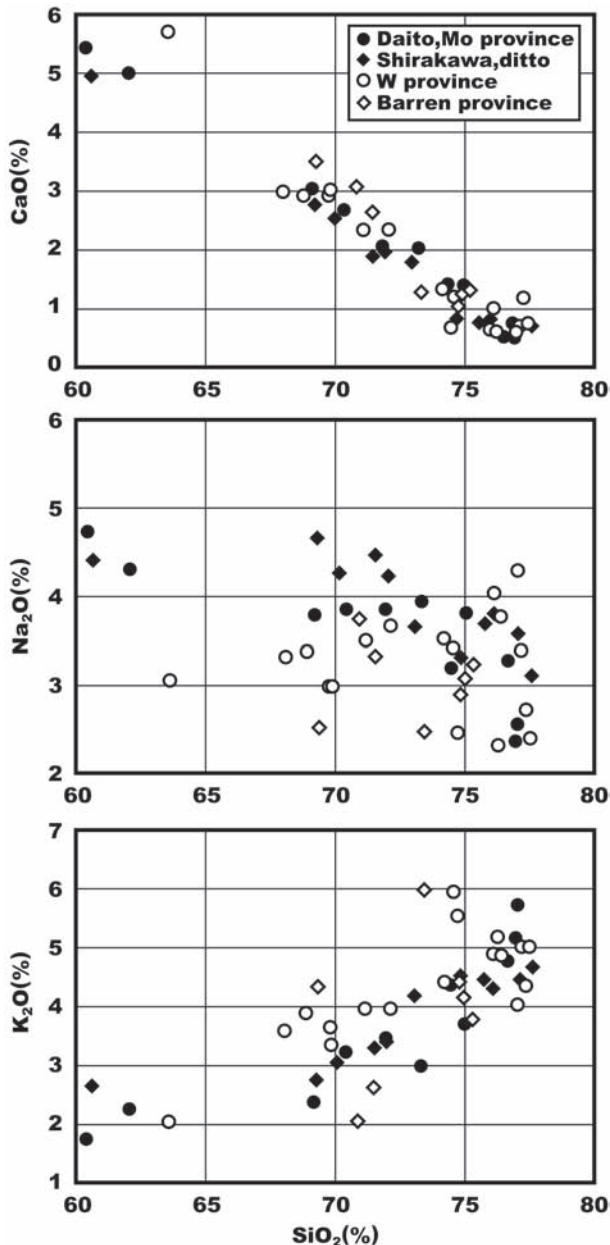


第2図 アルミナ, アルミナ飽和指数, ガリウムの含有量変化。

Fig. 2 Variation diagram for Al_2O_3 , ASI (alumina saturation index) and Ga.

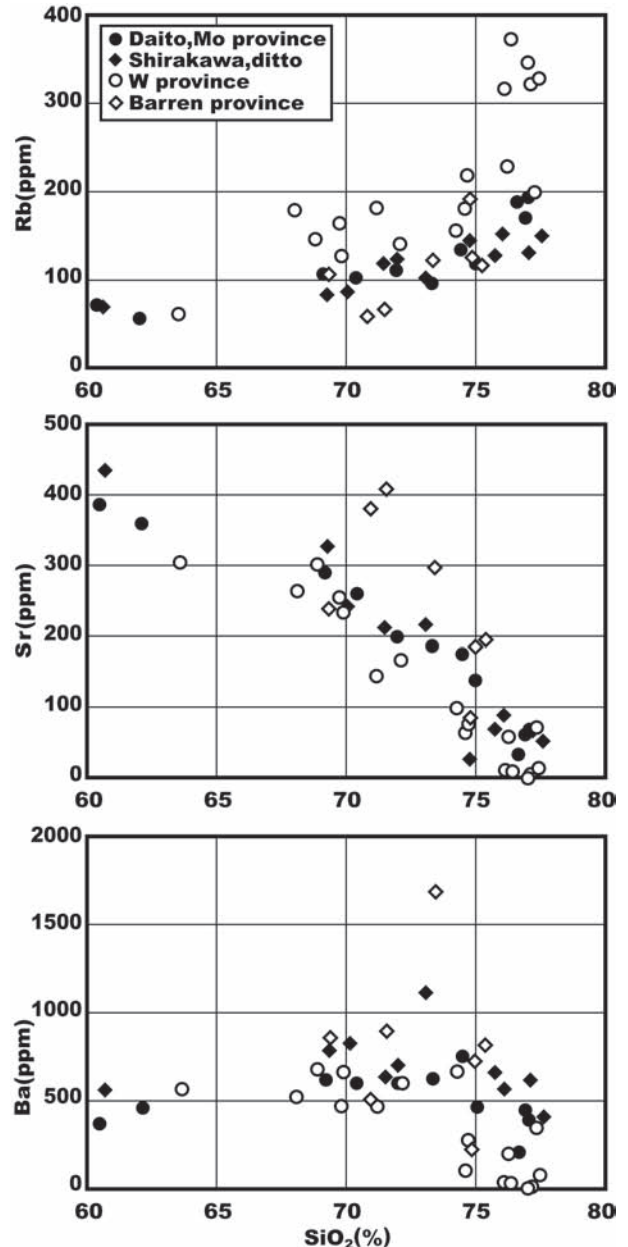
ミナ飽和指数, ASI ($Al_2O_3 / CaO + Na_2O + K_2O$, モル比)で見ると, ASIは SiO_2 の増加と共に増加し, SiO_2 68%前後, 花崗閃緑岩相で1を越えメタアルミナスからパーアルミナスの領域に入る(第2図)。 Al_2O_3 で見られた傾向はここでは更に明瞭で, 武節花崗岩は Al_2O_3 に最も富みパーアルミナスの領域にプロットされる。この指数はタングステン生成区の吉備-三吉地域で低い。

Ga: 微量成分のガリウム(Ga^{3+} 0.62A)はアルミニウム(Al^{3+} 0.51A)と類似してイオン半径がやや大きく, 分化相



第3図 カルシウム、ナトリウム、カリウムの含有量変化。

Fig. 3 Variation diagram for CaO, Na₂O and K₂O.



第4図 ルビジュウム、ストロンチウム、バリウムの含有量変化。

Fig. 4 Variation diagram for Rb, Sr and Ba.

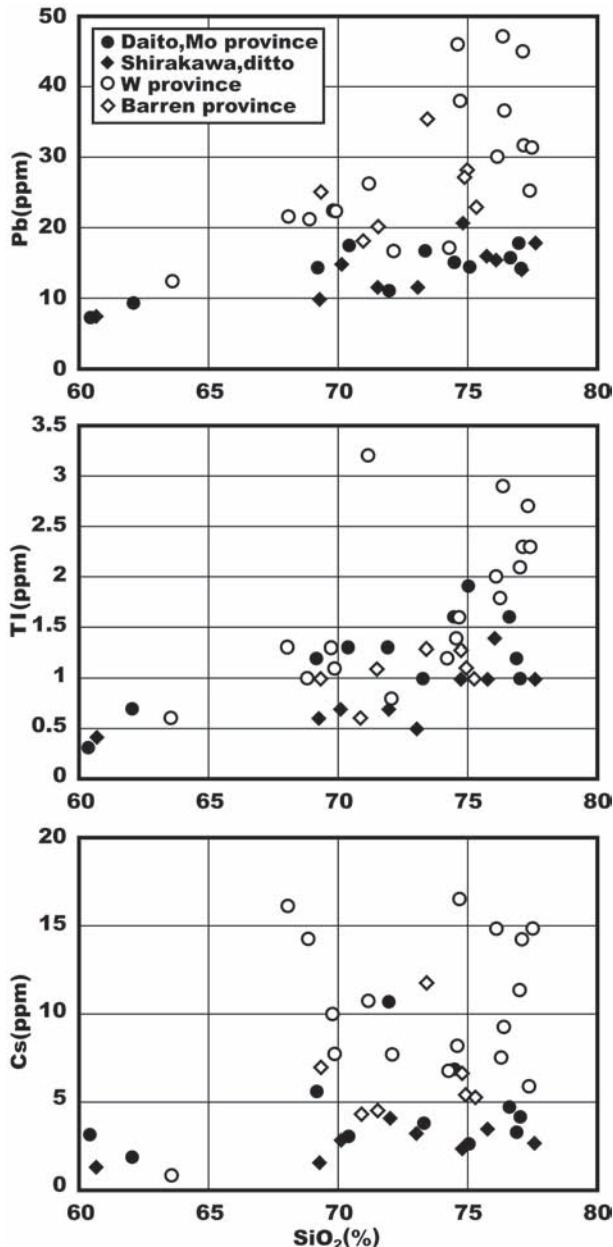
のAl含有鉱物に濃集する傾向がある。

Gaはモリブデン生成区で低く、武節花崗岩で中間的、タングステン生成区で一般に高く、特に苗木花崗岩が著しくGaに富む。その原因は結晶分化作用が極度に進んでいるため (Ishihara and Wu, 2001) と考えられる。

CaO, Na₂O, K₂O (第3図): CaOは武節花崗岩でやや高い。タングステン生成区も同様な傾向を示すが、高SiO₂岩類ではその傾向は顕著ではない。モリブデン生成区では大東地域が白川地域より少しCaOに富んでいる。Na₂Oは逆に武節花崗岩が最も低く、モリブデン生成区で最も高い。白川地域においてより詳細には花崗岩類は高・低の二組に分かれて、それぞれ成因的な意義を持つ (Ishihara and Wu,

2001)。タングステン生成区で最も高い岩石(no.28)は岩脈であり、例外的なものである。K₂Oはタングステン生成区で高く、モリブデン生成区の大東地域で低い。武節花崗岩は高低2群に分けられ、低いものが多い。

Rb, Sr, Ba (第4図): 長石の主成分を置換する微量成分では、Rb⁺(1.47A)はカリ長石、黒雲母のK⁺(1.31A)を置換するが、Kより大きいために後期晶出相に濃集する。タングステン生成区では全般的にRbに富み、高SiO₂岩で著しく濃集する。一方武節花崗岩は最もRbに乏しく、これがマグマ分化作用を経ていないことを示している。Sr²⁺(1.12A)は主に斜長石のCa²⁺(0.99A)を置換するため、SiO₂の減少と共に減少するが、武節花崗岩がSrに富み、次いでモリブデン



第5図 鉛,タリウム,セシウムの含有量変化。

Fig. 5 Variation diagram for Pb, Tl and Cs.

生成区,タングステン生成区の花崗岩類の順に減少する。 Ba^{2+} (1.34A)はカリ長石,黒雲母のKを置換し,一般には早期晶出相に入ると言われているが,実測結果は SiO_2 60%付近から73%へ若干増加し,その後は減少する(第4図下)。地帯別ではタングステン生成区の花崗岩類で低く,武節花崗岩で高い。

Pb, Tl, Cs(第5図): Pb^{2+} (1.20A)も K^{+} を置換してカリ長石と黒雲母に入る。タングステン生成区で最も多く,次いで武節花崗岩,モリブデン生成区が最も少ない(Ishihara and Terashima, 1977)。タリウム(Tl $^{+}$ 1.47 A)は K^{+} , Rb^{+} と挙動を共にすると考えられるが,タングステン生成区の高 SiO_2 岩類で含有量が高い。これら花崗岩はF, Liなどの揮発性

成分に富んでいる。セシウム(Cs^{+} 1.67A)も同様に K^{+} を置換する可能性があるが,イオン半径が大きすぎるために,一般には最末期のペグマタイトに揮発性成分と共に濃集する。セシウムもタングステン生成区の高 SiO_2 岩類に多く含まれ(第5図),揮発性成分による濃集の可能性を暗示する。

3. 苦鉄鉱物構成成分

Fe_2O_3 , TiO_2 , MgO (第6図):全鉄(Fe_2O_3)は SiO_2 と逆相関し,三帯の間で明瞭な相違が見られないが,モリブデン生成区のうち白川地域で低い。 MgO も同様であるが白川地域の花崗岩類がやや MgO に乏しい傾向がある。 TiO_2 は主にチタン鉄鉱・チタン石に含まれる。武節花崗岩でやや低く,タングステン生成区でも一般に少し低い。モリブデン生成区の大東地域で最も高いが,これはチタン鉄鉱とそれを取り囲む二次的なチタン石が多いことが主な原因と考えられる。

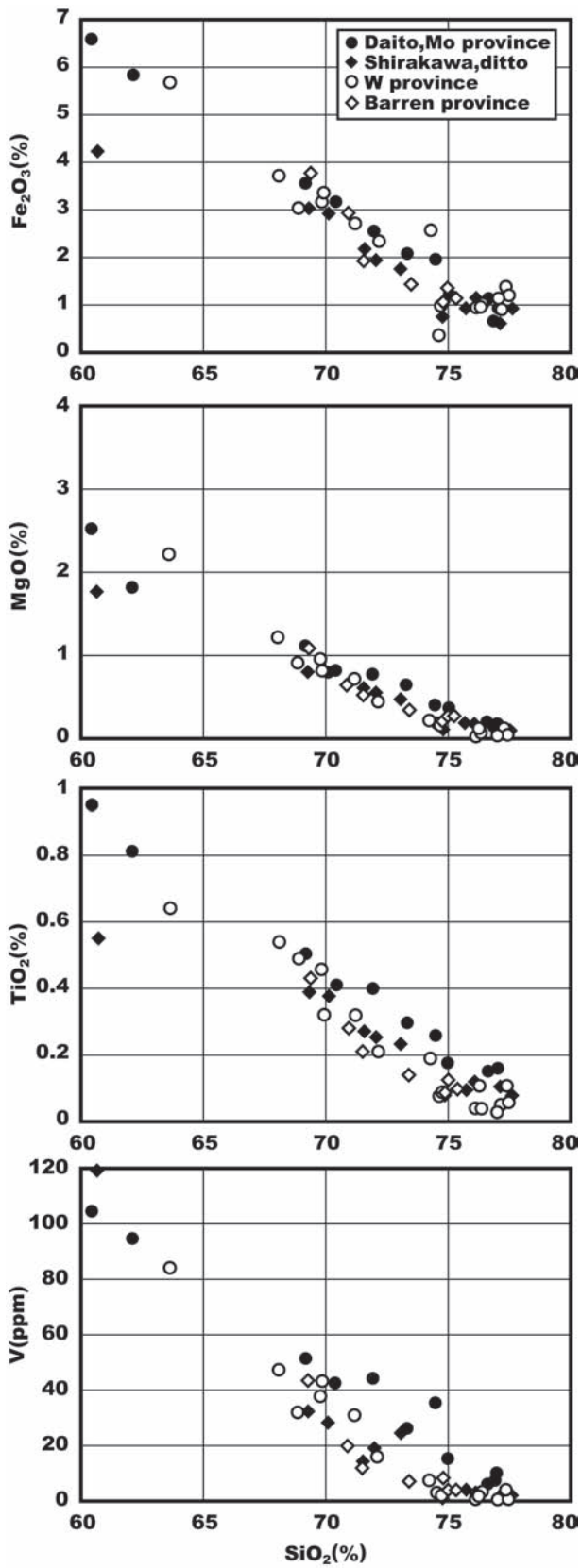
V, Cr(第6, 7図):微量成分ではバナジウムはマグマ中では恐らく V^{3+} (0.74A)として存在し,磁鉄鉱の Fe^{2+} (0.74A), Fe^{3+} (0.64A)を置換する。従って磁鉄鉱系に属するモリブデン生成区の大東地域で最も高く,チタン鉄鉱系に属する武節花崗岩とタングステン生成区で低い。白川地域の苦鉄質包有物はVに最も富んでいる。Crはマグマ中で多分 Cr^{3+} (0.63A)として存在し, Fe^{3+} を置換する。従って磁鉄鉱系花崗岩類に多く含まれるが,その含有量はかなり不規則である。

Cu, Zn, Co(第7図):銅には Cu^{+} (0.96A)と Cu^{2+} (0.72A)とがあり,酸化マグマでは Cu^{2+} として Fe^{2+} (0.74A)を置換するものと思われ,第8図においても磁鉄鉱系で高い。タングステン生成区でも散点的に高い値が見られるのは,黄銅鉱が比較的一般的に花崗岩類には含まれる(津末・石原, 1974; Ishihara *et al.*, 1983)ことに原因するものと思われる。

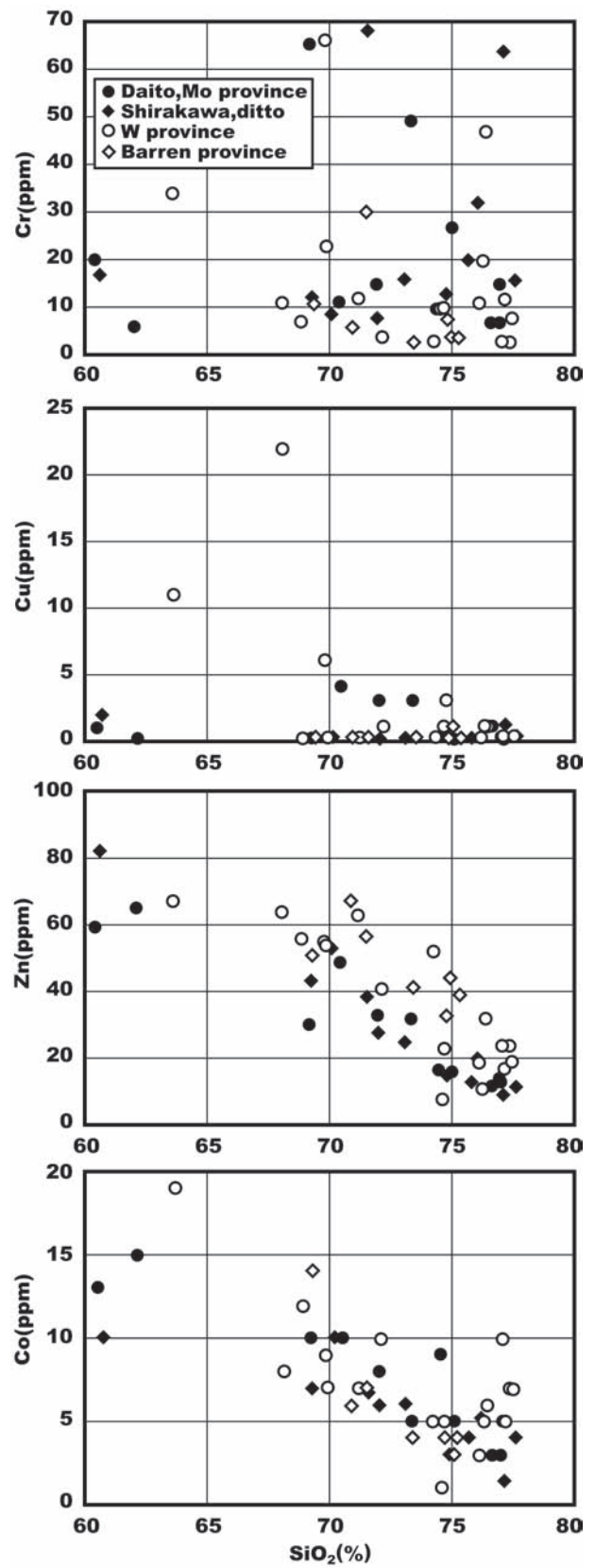
Zn^{2+} (0.74A)は Fe^{2+} (0.74A)を置換し,苦鉄珪酸塩鉱物に入る。磁鉄鉱系のモリブデン生成区の花崗岩類で低い。チタン鉄鉱系では武節花崗岩がタングステン生成区の岩石よりもやや高い。コバルトは Co^{2+} (0.72A)および Co^{3+} (0.63A)として存在し,還元性マグマでは Co^{2+} として Fe^{2+} を置換するため,磁鉄鉱系花崗岩で少なく,白川地域の苦鉄質包有物で特に少ない。

P_2O_5 , Zr, Hf(第8図):燐はアパタイトの主成分元素であり,アパタイトはCaOが多い岩石に含まれるために SiO_2 と負の相関性を示す。また燐はモナズ石の主成分でもあり,モナズ石は両雲母花崗岩には常に含まれるから武節花崗岩でその含有量が高い(第9図)。タングステン生成区の一部の岩石で高いが,これにはモナズ石が含まれている可能性がある。その一つ(no. 32)は大谷鉱山岩株の小岩脈である。

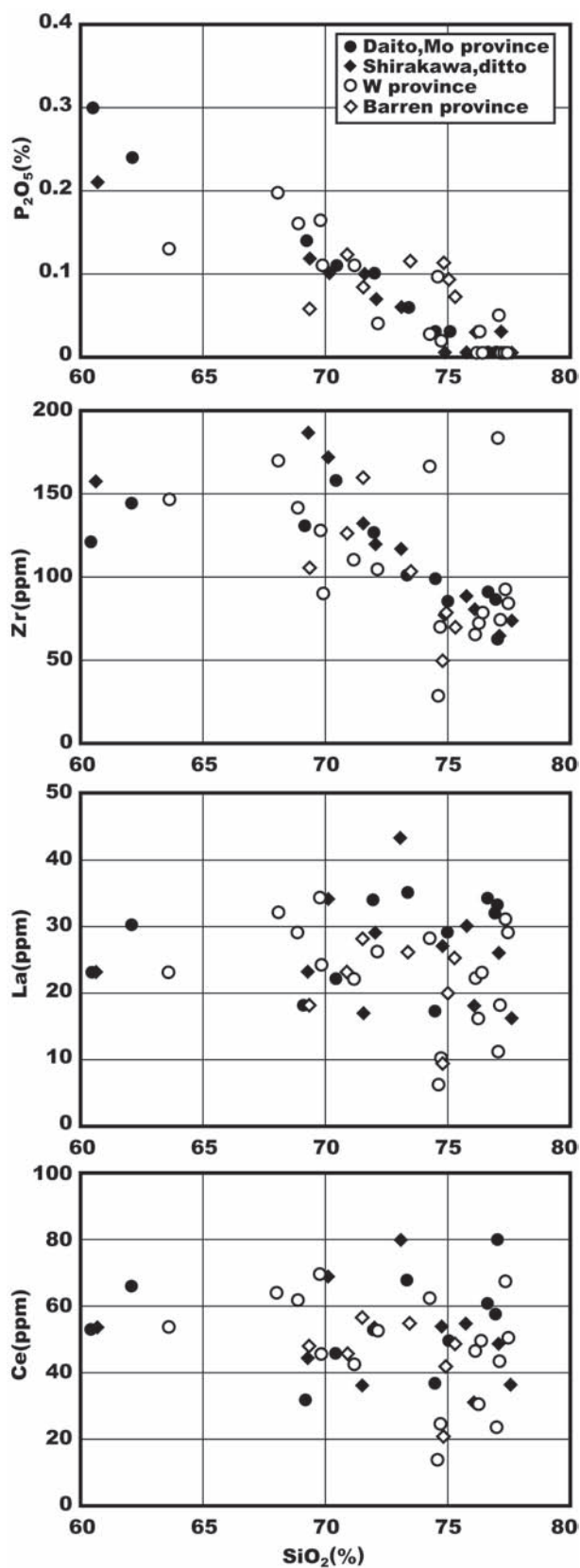
ジルコニウム(Zr^{4+} 0.79A)はジルコン(ZrSiO_4)として晶出



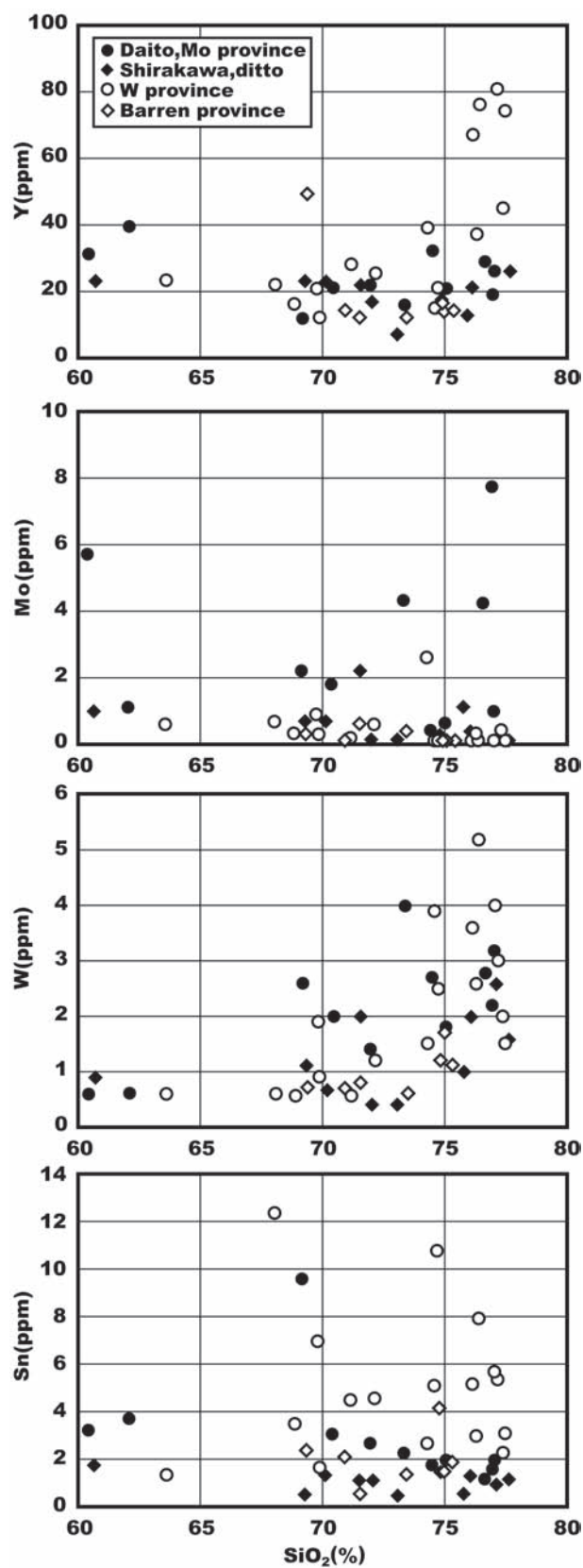
第6図 鉄, マグネシウム, チタン, バナジウムの含有量変化.
Fig. 6 Variation diagram for Fe_2O_3 , MgO , TiO_2 and V.



第7図 クロム, 銅, 亜鉛, コバルトの含有量変化.
Fig. 7 Variation diagram for Cr, Cu, Zn and Co.



第8図 燐,ジルコニウム,ランタン,セリウムの含有量変化.
Fig. 8 Variation diagram for P₂O₅, Zr, La and Ce.



第9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. 9 Variation diagram for Y, Mo, W and Sn.

する。一般に珪長質岩に多いと言われているが、Zr-SiO₂図ではSiO₂ 65%をピークとする山型の分布を示す。HfはZrと似ているためにZrを置換し、火成岩ではほぼ一定のZr/Hf比を持つ。飛び抜けて高い1個(15ppm)はアプライト岩脈(no. 28)である。ジルコンには数%以上の希土類元素、U、Th、Hf、P₂O₅などを含む変種が認められており、苗木石、山口石などの産地名で呼ばれている。

La, Ce, Y (第8,9 図): 希土類元素は電価とイオン半径が大きいために、角閃石を除き一般の造岩鉱物には入らず、アクセサリ鉱物に含まれる。鉱物とメルト間の分配係数が1より大きいものはアパタイト、チタン石であり、特に軽希土類元素に富むものは褐簾石、重希土類元素を取り込みやすいものはジルコン、柘榴石、ゼノタイムである(小笠原, 1989)。

希土類元素ではランタン(La³⁺, 1.14Å)とセリウム(Ce³⁺, 1.07Å; Ce⁴⁺, 0.94Å)が測定可能であったが、両元素ともにタングステン生成区の高SiO₂岩類で低い傾向がある。P₂O₅との相関性は必ずしも明瞭ではない。一方、重希土類元素と同様な分布を示すと思われるY³⁺(0.92Å)はタングステン生成区の分化相、特に苗木花崗岩で著しく高く、この花崗岩特有の変種ジルコンに含まれているものと考えられる。

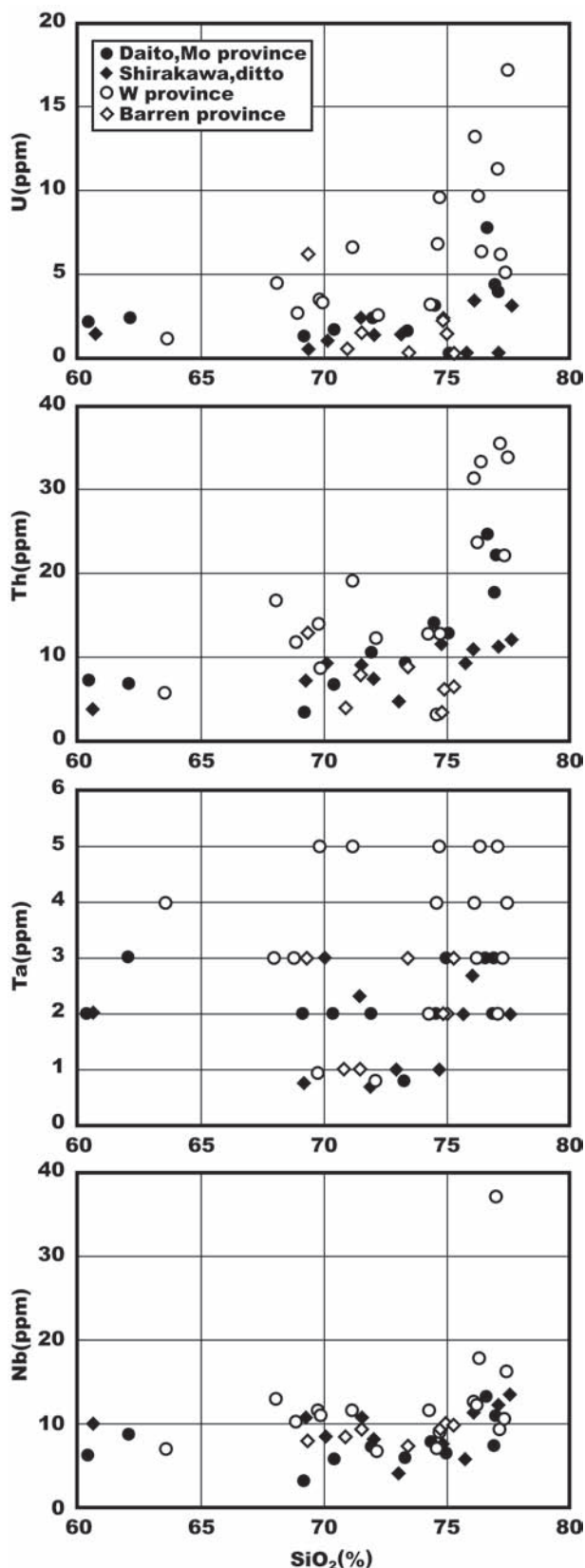
4. その他の親石元素

その他の親石元素、W⁶⁺(0.62Å)、Nb⁵⁺(0.69Å)、Ta⁵⁺(0.68Å)、Mo⁴⁺(0.70Å)、Mo⁶⁺(0.62Å)、Sn⁴⁺(0.71Å)、Sn²⁺(0.93Å)、U⁴⁺(0.97Å)、U⁶⁺(0.73Å)、Th⁴⁺(1.02Å)などはイオン半径が大きく、電価が高く一般の造岩鉱物には入らず、残漿に濃集する。

Mo, W, Sn (第9図): モリブデンは4価と6価が存在するが、還元のマグマではMo⁴⁺として存在し、これはTi⁴⁺(0.68Å)、Fe³⁺(0.67Å)を置換し易く、従ってチタン石、チタン鉄鉱、黒雲母などに入る。一方酸化的マグマではMo⁶⁺(0.62Å)は同様な苦鉄鉱物に一部は分配されるが、残りは残漿に濃集し、鉱床を形成する。今回の実測値によるとMo含有量は一般に2 ppm以下と低い、それ以上の高い値は白川地域と大東地域の高SiO₂岩に見られる。

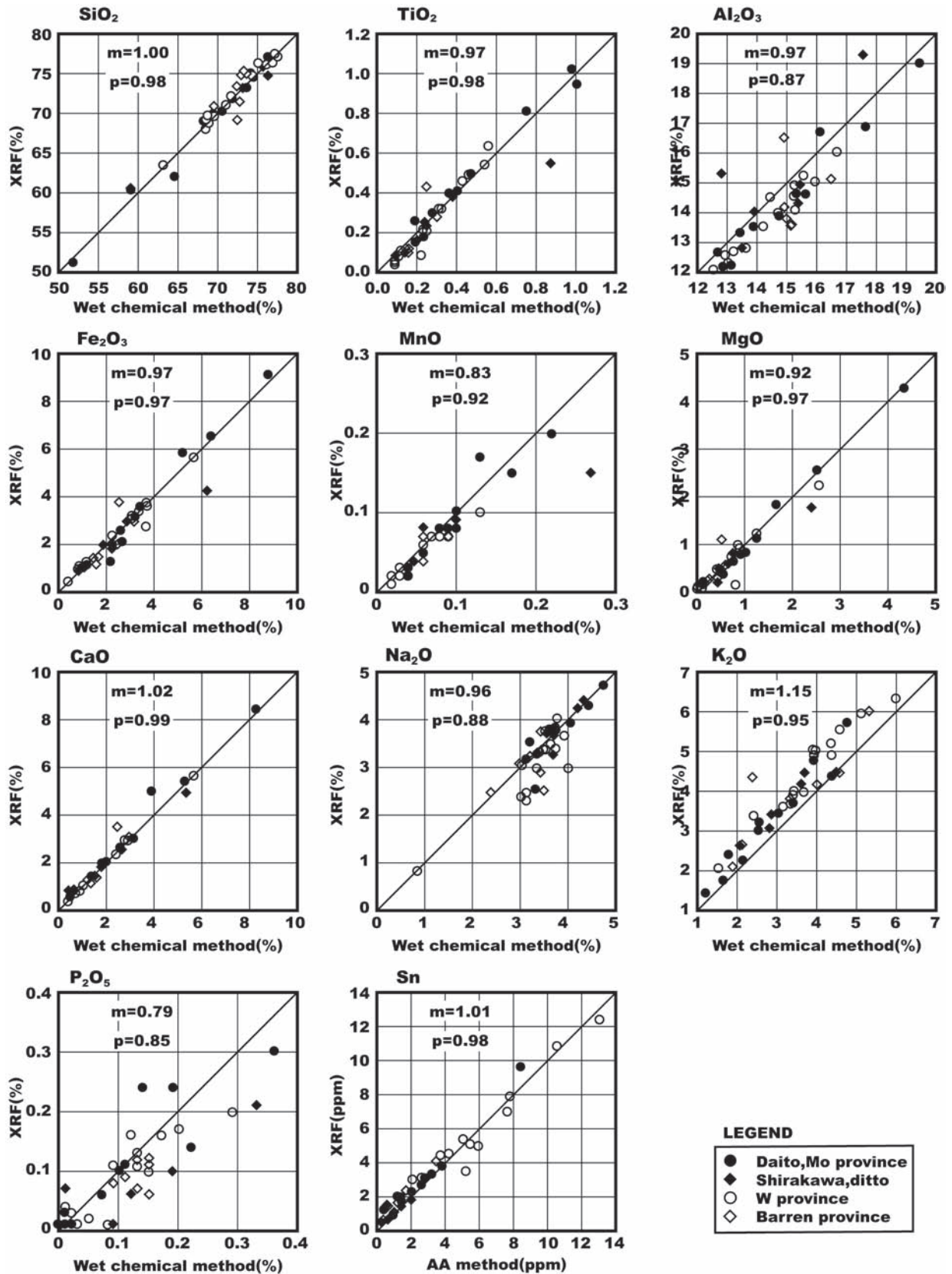
平瀬岩体の330 ppm (no.10)はずり場から得られた坑内のアプライト質花崗岩であり、肉眼的に輝水鉛鉱が認められるものである。この花崗岩は平瀬岩体では例外的に少量の白雲母を含み(0.2%, 石原, 1971)、一般の黒雲母花崗岩マグマが固結末期の水蒸気圧の上昇により白雲母を伴うに至ったものと考えられる。このようなアプライト質岩では大東地域でも輝水鉛鉱が肉眼的に認められている(石原, 1971, 図版 XI-2)。

大東地域の川井混成岩は礫状苦鉄質包有物と珪長質相の混合岩で、重要な鉱床の母岩であるが、最も高い値(32 ppm, no.17)はマトリックスに相当する珪長質岩(SiO₂



第10図 ウラン、トリウム、ニオブ、タンタルの含有量変化。

Fig. 10 Variation diagram for U, Th, Nb and Ta.



第11図 XRFと湿式分析値の比較図. XRFの分析値は付表1, 2. 湿式分析値は石原 (1971), Ishihara (1971), Ishihara and Terashima (1977). Snはアルゴン-水素フレイム原子吸光法分析. 図には大谷鉱山のグライゼン変質岩1個(XRF K₂O 6.35%)が含まれている. ρ は両分析値の相関係数, m は最小二乗法で求めた各図プロットの傾き.

Fig. 11 Comparative diagrams of old wet chemical analyses in 1960s and modern XRF analyses. ρ , correlation co-efficient; m , mean deviation from unity.

72.0%)で得られた。大東地域の $\text{SiO}_2 > 60\%$ 岩石の平均値は $\text{Mo} 5.5 \text{ ppm}$ ($n=11$)であり、タングステン生成区や不毛区より明らかに高く、Mo鉱化作用との関連が示唆される。従ってMo含有量が花崗岩地域の一次分散元素を利用したMo鉱床探査の指示元素となりうる事が明らかである。

タングステンは一般の造岩鉱物には入ることが出来ず、フッ化物などとして残漿に濃集する。第9図では、タングステン生成区の高 SiO_2 岩で高いが、モリブデン生成区の花崗岩類でも高く、全体として SiO_2 の増加と比例的である。従って、W含有量はWとMo両鉱床の探査の指示元素として使う可能性が考えられる。武節花崗岩は白雲母を含むが高い値を示さない。

スズは還元的マグマでは Sn^{2+} (0.93A)として存在し、これは主要な造岩鉱物には入る所がなく、従って揮発性成分と共に残漿に濃集し、スズ石として晶出する。一方酸化的マグマでは Sn^{4+} (0.71A)として存在するために Ti^{4+} や Fe^{3+} を置換してチタン石、磁鉄鉱、黒雲母などに含まれて晶出し、残漿に濃集せず、鉱床を形成しない。チタン石のTiを完全に置換したものがマレー石(CaSnSiO_5)である。第9図によるとSnはモリブデン生成区の白川地域で最も低く、次いで武節花崗岩、タングステン生成区の花崗岩類で最も高い。西南日本内帯のタングステン鉱床は多少ともスズ石を含んでおり、微量のSn含有量はこれら鉱床探査の指示元素となりうるものと考えられる。

U, Th (第10図): ウラン(U^{4+} 0.97A, U^{6+} 0.73A)はトリウム(Th^{4+} 1.02A)と共に花崗岩中では一般の造岩鉱物に入らず、高 SiO_2 岩に濃集する(第10図)。タングステン生成区の岩石で最も高く、次いでモリブデン生成区の岩石であり、武節花崗岩で最も低い。両元素共にジルコン、モナズ石などの微量鉱物に含まれ、全岩値が高い場合には微量鉱物の周辺に著しい放射性ハロが認められ、それら鉱物中のU, Th含有量が高いことを示している(石原ほか, 1969)。

Nb, Ta (第10図): Nb^{5+} (0.69A)と Ta^{5+} (0.68A)は共に W^{6+} (0.62A)と挙動を共にする可能性が大きい。Taはタングステン生成区の高 SiO_2 岩石で高く、その他の生成区で低い。Nbは苗木花崗岩中の小岩脈(37.3 ppm, no.28)を除き10 ppm前後、タングステン生成区で少し高い傾向がある。両成分、特にTaはW鉱床探査の指示元素となりうる可能性がある。

5. 既存の湿式分析結果との比較

今回の分析試料は1960年当時に湿式分析法で主成分を測定したものである。当時は主成分分析値を得るだけでも大変であったが、現在では機器分析により主成分と微量成分が併せて簡単に得られる。そこで、昔のデータを引用する場合に、かつての湿式分析との比較をしておくことは意味があるものと考えられ、第11図に今回の結果を示す。なお湿式分析値の原典は石原(1971), Ishihara(1971)に掲載しており、その分析は湿式分析のベテランによりなされ、方法

は例えば技術部化学課(1978)に掲載されているものと同一である。

第11図には2つの分析結果の相関係数(ρ)を示すと共に、プロットの傾きを示す(m)を最小二乗法で求めた。まず相関係数が低く全体にバラックものは、低いものから MnO (0.83), P_2O_5 (0.85), Al_2O_3 (0.87), Na_2O (0.88)であり、その他の成分は0.92以上で高い。

一方、両分析結果の1からのずれは最大が P_2O_5 (0.79)であり、湿式法が平均して高く出ている。当時の分析方法は滴定法であり、 P_2O_5 0.4%以下の少量成分に対しては方法として限界であったものと思われる。次いで MnO (0.83)も17%高めに出ているが、特に高い1個(no.1, RS88)を除くと全体としてはやや高い程度である。その他湿式法でやや高めに出る成分は MgO (0.92), Al_2O_3 (0.97), Fe_2O_3 (0.97), TiO_2 (0.97)である。 Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 は水酸化物を作り、 Al_2O_3 沈殿物から Fe_2O_3 , TiO_2 沈殿物を差し引き決定されるため、これらの間で違いが生じることがある。そのような例は付表1のNo. 1試料であり、湿式法の Al_2O_3 が1.75%低い、 Fe_2O_3 は1.98%, TiO_2 は0.32%と高い。

湿式法で低い成分の最大は K_2O ($m=1.15$)であり、平均して15%低く出ている。当時のアルカリ分析はローレンスミス法で行われており、アルカリ総量を塩化物として沈澱させ、 K_2O 沈殿物を差し引いた残りを Na_2O とするためにアルカリ総量では変化しない説明もなされていた。筆者の結果にはそのような例も見られるが、全体としては Na_2O も少なめで($m=0.96$)、 K_2O のみではなくアルカリが低めに出ていると言える。一致性が高いものは CaO , SiO_2 であり、さらに寺島(1975)の原子吸光法で分析したスズである(第11図)。

7. まとめ

西南日本内帯のモリブデン生成区、タングステン生成区の過去の研究試料から代表的な鉱化花崗岩類を選び、最新の偏光XRFにより分析し、不毛区(領家帯)の両雲母花崗岩との比較を試みた。

主として長石を構成する Al_2O_3 , Ga, K_2O , Rbなどはモリブデン生成区で最も低い。不毛区の花崗岩類はパーアルミナスな花崗岩である。V, Cr, Zn, Coなどの苦鉄質成分に伴われる微量成分は $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{FeO}$ 比による規制を受ける。

鉱化作用を直接指示するMo, W, Snでは、Moはモリブデン生成区で高いことが多く、不毛区で最も低く、Mo鉱床地化学探査の指示元素として使いうる。一方Wはタングステン生成区とモリブデン生成区の双方で高いものが見られ、微量のWはW鉱床のみならず、Mo鉱床の指示元素と成りうるものと考えられる。Snはタングステン生成区の花崗岩類で高く、含Sn-W鉱床探査の指示元素として使える可能性がある。

1960年代の湿式分析値と今回の蛍光X線分析値との比較において、ばらつく成分は MnO , P_2O_5 , Al_2O_3 , Na_2O であ

る。湿式法は P_2O_5 , MnO , MgO で高めにでる傾向があり、逆に K_2O で15%程度低くでる傾向が認められた、

文 献

- Heckel, J. and Ryon, R. W. (2002) Polarized beam X-ray fluorescence analysis. In R. Van Grieken and A. A. Markowicz edited, Handbook of X-Ray Spectrometry, 2nd ed. 603-630, Marcel Dekker, Inc.
- 今井秀喜・金紋栄・藤木良規(1972)京都府大谷および鐘打鉱山地域の地質構造と鉱化作用. 鉱山地質, **22**, 371-382.
- 石原舜三(1971)日本の主要なモリブデン鉱床と関係する花崗岩質岩類. 地質調査所報告, no. 239, 178 p.
- Ishihara, S. (1971) Modal and chemical compositions of the granitic rocks related to the major molybdenum and tungsten deposits in the Inner Zone of Southwest Japan. *Jour. Geol. Soc. Japan*, **77**, 441-452.
- Ishihara, S. (1977) The magnetite-series and ilmenite-series granitic rocks. *Mining Geol.* **27**, 293-305.
- 石原舜三・寺島滋(1977a)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(1977b)日本の花崗岩類のSn含有量と白亜紀花崗岩活動におけるその意義. 地質雑, **83**, 657-664.
- Ishihara, S. and Wu, C. Y. (2001) Genesis of late Cretaceous-Paleogene granitoids with contrasting chemical trends in the Chubu District, central Japan. *Bull. Geol. Surv. Japan*, **52**, 471-491.
- Ishihara, S. and Kono, M. (2000) Origin of enclaves and sulfur in the Inada Granite, Tsukuba District, central Japan. *Bull. Geol. Surv. Japan*, **51**, 251-258.
- 石原舜三・関根節郎・望月常一・大場きみじ(1969)花崗岩類中のウランおよびトリウム量とその地質学的意義. 地質調査報告 no. 232, 179-220.
- Ishihara, S., Kanisawa, S. and Terashima, S. (1983) Sulfur and sulfides in the Cretaceous magnetite-series granitoids of the Kitakami Mountains, Japan. *Jour. Japan. Assoc. Min. Pet. Econ. Geol.*, **78**, 1-10.
- Ishihara, S., H. J. Stein and Tanaka, R. (2002) Re-Os age of molybdenite from the Busetsu two-mica granite, central Japan. *Bull. Geol. Surv. Japan*, **53**, 479-482.
- 長原正治(1969)京都府大谷鉱山の地質鉱床. 水曜会誌, no. 16, 697-700.
- 小笠原正継(1989)レアアースの地球化学. 鉱山地質, **39**, 166-176.
- 尾西明生・松木正義・小林直樹(1973)平瀬鉱山およびその周辺の地質鉱床. 鉱山地質, **23**, 119-136.
- 寺島 滋(1975)アルゴン-水素フレイム原子吸光法によるケイ酸塩中の微量スズの定量. 分析化学, **24**, 319-321.
- 津末昭生・石原舜三(1974)西南日本内帯における花崗岩質岩石中の酸化鉱物. 鉱山地質, **24**, 13-30.
- 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3月29日;受理:2002年7月18日)

付表1 西南日本内帯のMo鉱床生成区の花崗岩類の分析値. (1)

Appendix 1 Chemical compositions of late Cretaceous-Paleogene granitoids from the Mo province (analyzed by B. W. Chappell, Macquarie University).

	Shirakawa Area										
	Hatogaya Pluton					Hirase Stock					Mihoro Pluton
	1 67RS88	2 73MN60	3 67RS87	4 67RS91	5 73MN64	6 67RS115	7 66RS08	8 66RS09	9 67RS76	10 66RS02	11 67RS69
SiO ₂	60.63	69.28	73.08	74.82	77.62	71.57	72.00	75.76	76.11	77.11	70.10
TiO ₂	0.55	0.39	0.23	0.08	0.08	0.27	0.25	0.10	0.12	0.11	0.38
Al ₂ O ₃	19.27	15.20	14.04	15.32	12.46	14.49	14.33	12.81	12.67	12.13	14.94
Fe ₂ O ₃	4.24	3.02	1.79	0.79	0.98	2.19	1.96	0.98	1.19	0.66	2.95
MnO	0.15	0.09	0.03	0.03	0.04	0.09	0.08	0.04	0.05	0.04	0.09
MgO	1.77	0.81	0.48	0.11	0.11	0.60	0.56	0.19	0.18	0.14	0.80
CaO	4.93	2.76	1.80	0.84	0.72	1.90	1.97	0.79	0.84	0.73	2.54
Na ₂ O	4.43	4.67	3.68	3.29	3.09	4.48	4.25	3.72	3.81	3.57	4.29
K ₂ O	2.64	2.76	4.20	4.52	4.71	3.33	3.42	4.47	4.36	4.49	3.07
P ₂ O ₅	0.21	0.12	0.06	<0.01	<0.01	0.10	0.07	<0.01	0.03	0.03	0.10
S	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.04	<0.01
H ₂ O ⁺	1.14	0.63	0.54	0.14	0.00	0.65	0.68	0.53	0.44	0.55	0.76
H ₂ O ⁻	0.38	0.01	0.18	0.16	0.00	0.10	0.34	0.36	0.06	0.09	0.22
CO ₂	0.03	0.29	0.01	0.03	0.01	0.23	0.05	0.34	0.05	0.40	0.02
SUM	100.36	100.03	100.12	100.13	99.81	100.00	99.95	100.09	99.91	100.07	100.25
Trace elements (ppm)											
Rb	68	83	103	145	151	120.00	123	129	152.00	131.00	87
Cs	1.3	1.5	3.2	2.3	2.6	n.d.	4.0	3.4	n.d.	n.d.	2.8
Sr	435	328	218	28	54	211	203	71	91	63	245
Ba	549	775	1104	262	401	625	688	648	559	605	814
Zr	158	187	117	77	74	132	121	88	81	65	172
Hf	5	6	3	5	4	4	3	4	4	3	5
Nb	10.3	10.8	4.3	7.6	13.6	10.8	8.3	5.9	11.6	12.3	8.6
Ta	2	< 1.5	1	1	2	2	< 1.4	2	3	3	3
Y	23	23	7	18	26	22	17	13	21	19	23
La	23	23	43	27	16	17	29	30	18	26	34
Ce	54	45	80	54	37	37	54	55	32	50	69
V	119	32	24	< 1.5	2	14	19	4	2.9	2	28
Cr	17	12	16	13	16	68	8	20	32	64	9
Co	10	7	6	3	4	7	6	4	5	<3	10
Ni	< 0.9	2	< 0.6	0	1	3.9	< 0.6	< 0.5	1	4	<0.7
Cu	2	< 0.4	< 0.3	< 0.3	< 0.3	< 0.4	< 0.3	< 0.3	< 0.4	1.0	<0.4
Zn	82	43	25	15	12	38.9	28	13	20.1	9.8	53
Pb	7	10	12	21	18	11	11	16	16	14	14.8
Ga	20.9	17.9	13.2	13.2	14.2	16.8	16.5	12.7	13.9	13.0	16.2
Ge	1.9	1.3	1.5	1.4	1.8	1.4	1.7	1.2	2.1	1.4	1.4
As	< 0.3	< 0.3	< 0.3	< 0.4	< 0.4	0.3	0.4	< 0.4	< 0.4	< 0.4	<0.4
Se	0.2	0.1	0.2	0.1	0.2	0.3	< 0.1	0.2	0.2	0.3	<0.1
Mo	1.0	0.7	< 0.2	0.3	< 0.2	2.2	< 0.2	1.1	0.4	330	0.7
W	0.9	1.1	< 0.8	2.5	1.6	2.0	< 0.8	1.0	2.0	2.6	0.7
Sn	1.8	0.5	0.5	1.5	1.2	1.1	1.1	0.6	1.3	1	1.4
Cd	< 0.2	0.3	< 0.2	0.4	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2	0.3	< 0.2	<0.2
Sb	< 0.5	< 0.5	< 0.5	0.4	< 0.5	< 0.5	< 0.5	< 0.5	< 0.5	0.4	<0.5
Tl	0.4	0.6	0.5	1.0	1.0	1.1	0.7	1.0	1.4	1.0	0.7
Bi	< 0.3	0.5	0.3	< 0.3	0.3	< 0.3	< 0.3	< 0.3	0.3	< 0.2	<0.3
Th	3.8	7.2	4.7	11.7	12.2	8.9	7.4	9.4	10.9	11.3	9.4
U	1.5	0.6	1.4	2.4	3.1	2.4	1.4	< 0.5	3.4	< 0.5	1.0
ASI	1.01	0.97	1.01	1.30	1.09	1	1.00	1.03	1.01	1.01	1.00
Rb/Sr	0.2	0.3	0.5	5.2	2.8	0.6	0.6	1.8	1.7	2.1	0.4
Sr/Y	18.9	14.2	31.1	1.6	2.1	9.6	11.9	5.5	4.3	3.3	10.7

No. 2 (MN60): 椿原ダム。馬狩谷入口より南方へ600m. No. 5 (MN64): 飯島トンネル内, 南口より200m.

西南日本内帯のモリブデンとタングステン鉱床生成区 (石原)

付表1 西南日本内帯のMo鉱床生成区の花崗岩類の分析値. (2)

Appendix 1 Chemical compositions of late Cretaceous-Paleogene granitoids from the Mo province (analyzed by B. W. Chappell, Macquarie University).

	Daito Area											
	Kawai Igneous Complex							Leucogr Complex		Rengeji Granites		
	12 6511120	13 641213	14 60F11	15 60DT545	16 60Fb61	17 60F28	18 60F27	19 650605	20 650604	21 60Fb67	22 60F17	23 73HY01
SiO ₂	51.28	60.40	62.07	69.18	70.40	71.95	74.50	76.66	77.05	73.33	75.05	76.94
TiO ₂	1.02	0.95	0.81	0.50	0.41	0.40	0.26	0.15	0.16	0.30	0.18	0.16
Al ₂ O ₃	19.00	16.89	16.71	14.64	14.65	13.90	12.66	12.21	12.23	13.55	13.33	12.35
Fe ₂ O ₃	9.16	6.55	5.86	3.59	3.19	2.58	1.99	1.15	0.95	2.09	1.26	0.73
MnO	0.15	0.20	0.17	0.08	0.08	0.08	0.05	0.03	0.03	0.10	0.02	0.02
MgO	4.28	2.53	1.82	1.12	0.82	0.78	0.41	0.19	0.18	0.64	0.37	0.13
CaO	8.46	5.43	5.00	3.02	2.64	2.05	1.42	0.55	0.53	2.03	1.41	0.76
Na ₂ O	3.55	4.75	4.33	3.80	3.87	3.87	3.20	3.29	2.56	3.96	3.82	2.38
K ₂ O	1.42	1.75	2.25	2.40	3.23	3.46	4.40	4.81	5.74	3.02	3.72	5.18
P ₂ O ₅	0.24	0.30	0.24	0.14	0.11	0.10	0.03	< 0.01	< 0.01	0.06	0.03	< 0.01
S	0.08	0.02	0.01	0.02	0.01	0.02	0.04	0.03	< 0.01	0.01	< 0.01	0.04
H ₂ O ⁺	1.02	0.19	0.73	1.39	0.40	0.54	0.59	0.28	0.09	0.45	0.23	0.26
H ₂ O ⁻	0.76	0.20	0.18	0.12	0.10	0.17	0.20	0.32	0.38	0.12	0.46	0.54
CO ₂	0.20	0.17	0.09	0.07	0.13	0.11	0.14	0.24	0.01	0.31	0.05	0.34
SUM	100.62	100.32	100.25	100.06	100.04	100.01	99.90	99.91	99.90	99.97	99.93	99.82
Trace elements (ppm)												
Rb	51	71	55	105	102	111	135	189	194	96	120	171
Cs	3.2	3.1	1.8	5.5	3	10.7	6.8	4.6	4.1	3.7	2.5	3.2
Sr	565	387	361	291	260	203	177	35	71	190	141	64
Ba	290	358	451	606	590	595	741	198	384	616	460	421
Zr	79	122	145	131	158	127	99	91	63	101	85	87
Hf	3	4	6	5	5	5	6	5	3	5	4	4
Nb	5.1	6.6	9.1	3.5	6.0	7.5	7.8	13.3	11.1	6.2	6.7	7.5
Ta	< 3.2	2	3	2	2	2	2	3	2	< 1.6	3	3
Y	20	31	39	12	21	22	32	29	26	16	21	19
La	12	23	30	18	22	34	17	34	33	35	29	32
Ce	34	53	66	32	46	53	37	61	80	68	50	58
V	224	104	94	51	42	44	35	6	10	26	15	7
Cr	14	20	6	65	11	15	10	7	15	49	27	7
Co	21	13	15	10	10	8	9	3	5	5	5	3
Ni	5	2	< 0.9	1	1	2	< 0.6	1	0	1	1	0
Cu	25	1	< 0.5	< 0.4	4	3	< 0.4	1	0	3	0	< 0.4
Zn	81	59	65	30	49	33	17	12	13	32	16	14
Pb	6	7	9	14	17	11	15	16	14	17	15	18
Ga	19.5	18.6	18.5	14.7	15.3	14.0	12.5	13.6	12.3	13.6	12.8	10.9
Ge	1.7	2.1	2.0	1.7	1.4	1.6	1.3	1.9	1.6	1.5	1.4	1.6
As	1.9	< 0.3	0.5	< 0.4	1.0	1.0	< 0.4	< 0.4	< 0.4	1.2	< 0.4	< 0.4
Se	< 0.1	< 0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3	0.1	0.1	0.1	0.4	< 0.1
Mo	0.5	5.7	1.1	2.2	1.8	31.8	0.4	4.2	1.0	4.3	0.6	7.7
W	< 1.5	< 1.2	< 1.2	2.6	2.0	1.4	2.7	2.8	3.2	4.0	1.8	2.2
Sn	0.9	3.3	3.8	9.6	3.1	2.7	1.8	1.2	2.0	2.3	2.0	1.6
Cd	0.3	0.4	0.3	0.2	0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2	0.3	0.4	< 0.2
Sb	< 0.5	< 0.5	< 0.5	< 0.5	0.6	0.9	< 0.5	< 0.5	< 0.5	0.9	0.8	< 0.5
Tl	0.6	0.3	0.7	1.2	1.3	1.3	1.6	1.6	1.0	1.0	1.9	1.2
Bi	< 0.4	< 0.3	< 0.3	0.7	0.5	< 0.3	0.6	0.5	0.3	0.3	0.5	< 0.3
Th	2.5	7.2	6.8	3.5	6.7	10.6	14.1	24.6	22.3	9.4	12.9	17.8
U	1.9	2.1	2.4	1.2	1.7	2.4	3.1	7.7	4.0	1.6	< 0.5	4.4
ASI	0.93	0.86	0.90	1.02	1.00	1.01	1.00	1.05	1.07	1.01	1.04	1.13
Rb/Sr	0.10	0.2	0.2	0.4	0.4	0.5	0.8	5.4	2.7	0.5	0.9	2.7
Sr/Y	28.3	12.5	9.3	24.3	12.4	9.2	0.8	1.2	2.7	11.9	6.7	3.4

付表2 西南日本内帯のW鉍床生成区の花崗岩類と領家帯武節花崗岩の分析値. (1)

Appendix 2 Chemical compositions of late Cretaceous-Paleogene granitoids from the W province
(analyzed by B. W. Chappell, Macquarie University).

	Naegi Pluton					Otani Mine Stock			
	24 N213	25 N211	26 N508	27 N175A	28 N175B	29 118	30 125	31 129	32 131
SiO ₂	76.13	77.17	77.38	77.48	77.06	68.06	69.79	68.86	74.61
TiO ₂	0.04	0.05	0.11	0.06	0.03	0.54	0.46	0.49	0.08
Al ₂ O ₃	12.34	12.09	12.11	12.55	12.35	14.94	14.54	15.26	13.55
Fe ₂ O ₃	0.98	0.96	1.43	1.23	1.17	3.74	3.20	3.07	0.41
MnO	0.03	0.02	0.03	0.02	0.02	0.08	0.07	0.06	0.01
MgO	0.03	0.05	0.13	0.04	0.04	1.22	0.97	0.92	0.19
CaO	0.66	0.71	1.20	0.77	0.62	2.97	2.94	2.93	0.69
Na ₂ O	4.05	3.39	2.72	2.39	4.3	3.33	2.99	3.38	3.41
K ₂ O	4.92	5.04	4.39	5.05	4.06	3.61	3.67	3.91	5.97
P ₂ O ₅	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.05	0.20	0.16	0.16	0.10
S	0.02	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.11	0.05	0.01	0.02
H ₂ O ⁺	0.19	0.27	*0.44	0.22	*0.42	0.84	0.71	0.47	0.36
H ₂ O ⁻	0.54	0.22	n.d.	0.08	n.d.	0.24	0.38	0.54	0.30
CO ₂	0.00	0.00	n. d.	0.06	n. d.	0.08	0.05	0.00	0.18
SUM	99.93	99.96	99.51	99.95	100.12	99.95	99.98	99.05	99.87
Trace elements (ppm)									
Rb	316	321	200	329	347	179	165	147	182
Cs	14.8	14.2	5.8	14.8	11.3	16.1	9.9	14.2	8.1
Sr	13	6	74	15	2	265	255	303	66
Ba	30	5	334	67	1	509	472	665	98
Zr	66	75	92	84	183	170	128	142	29
Hf	7	6	6	6	15	5	4	4	2
Nb	12.8	9.7	10.8	16.4	37.3	13.2	11.8	10.5	7.3
Ta	4	2	3	4	5	3	< 1.9	3	4
Y	67	81	45	74	180	22	21	16	15
La	22	18	31	29	11	32	34	29	6
Ce	47	44	68	51	24	64	70	62	14
V	< 1	1	4	< 1	< 1	47	38	32	3
Cr	11	12	3	8	3	11	66	7	10
Co	3	5	7	7	10	8	9	12	< 2.0
Ni	1	< 0.7	< 0.7	< 0.7	< 0.8	1	2	< 0.8	1
Cu	< 0.4	< 0.4	< 0.4	< 0.4	< 0.5	22	6	< 0.4	1
Zn	19	17	24	19	24	64	55	56	8
Pb	30	32	25	31	45	22	22	21	46
Ga	16.8	16.1	15.5	17.6	20.4	19.3	17.8	18.3	12.9
Ge	2.0	1.7	1.6	2.0	2.2	2.1	1.6	1.8	2.1
As	1.2	0.3	< 0.5	0.9	2.1	6.2	< 0.5	0.8	< 0.6
Se	0.2	0.3	0.4	0.2	< 0.2	0.3	0.3	< 0.1	< 0.1
Mo	< 0.2	< 0.2	0.4	< 0.2	< 0.2	0.7	0.9	0.3	< 0.2
W	3.6	3.0	2.0	1.5	4.0	< 1.2	1.9	< 1.1	3.9
Sn	5.2	5.4	2.3	3.1	5.7	12.4	7.0	3.5	5.1
Cd	< 0.2	< 0.2	0.5	< 0.2	< 0.2	< 0.2	0.5	0.3	0.2
Sb	< 0.5	< 0.5	< 0.5	0.5	< 0.5	< 0.5	< 0.5	< 0.5	< 0.5
Tl	2.0	2.3	2.7	2.3	2.1	1.3	1.3	1.0	1.4
Bi	< 0.3	< 0.3	0.9	0.5	< 0.3	0.6	0.5	0.9	0.4
Th	31.3	35.5	22.1	33.8	73.0	16.9	14.0	11.8	3.2
U	13.2	6.2	5.1	17.2	11.3	4.5	3.5	2.7	6.8
ASI	0.94	0.98	1.06	1.16	0.98	1.01	1.02	1.01	1.02
Rb/Sr	24.3	53.5	2.7	21.9	173.5	0.7	0.7	0.5	2.8
Sr/Y	0.2	0.1	1.6	0.2	0.0	12.1	12.1	18.9	4.4

西南日本内帯のモリブデンとタングステン鉱床生成区 (石原)

付表2 西南日本内帯のW鉱床生成区の花崗岩類と領家帯武節花崗岩の分析値. (2)
Appendix 2 Chemical compositions of late Cretaceous-Paleogene granitoids from the W province
(analyzed by B. W. Chappell, Macquarie University).

	Southern Okayama				Eastern Yamaguchi Area			
	33	34	35	36	37	38	39	40
	104	105	157	MAN1	51	53	52	79
SiO ₂	63.59	72.14	76.4	74.27	71.18	69.86	76.28	74.72
TiO ₂	0.64	0.21	0.04	0.19	0.32	0.32	0.11	0.09
Al ₂ O ₃	16.04	14.03	12.22	12.93	14.52	15.05	12.81	12.69
Fe ₂ O ₃	5.68	2.37	1.07	2.61	2.74	3.39	1.00	1.02
MnO	0.10	0.06	0.03	0.06	0.07	0.07	0.02	0.03
MgO	2.22	0.46	0.09	0.23	0.73	0.82	0.13	0.17
CaO	5.70	2.34	0.62	1.34	2.33	3.04	1.01	1.22
Na ₂ O	3.06	3.68	3.78	3.51	3.51	2.99	2.32	2.46
K ₂ O	2.05	3.99	4.91	4.43	3.98	3.37	5.21	5.56
P ₂ O ₅	0.13	0.04	<0.01	0.03	0.11	0.11	0.03	0.02
S	<0.01	0.01	<0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02
H ₂ O ⁺	0.71	0.21	0.5	0.40	0.44	0.81	0.17	0.56
H ₂ O ⁻	0.32	0.4	0.28	0.01	0.28	0.18	0.38	0.46
CO ₂	0.03	0.03	0.01	0.01	0.10	0.04	0.44	0.91
SUM	100.24	99.98	99.95	100.02	100.32	100.06	99.92	99.92
Trace elements (ppm)								
Rb	61	141	373	157	182	127	229	219
Cs	< 1.5	7.7	9.2	6.7	10.7	7.7	7.5	16.5
Sr	304	167	11	102	147	238	59	76
Ba	553	591	27	655	463	654	190	273
Zr	147	104	78	166	110	91	72	71
Hf	6	4	7	6	5	5	5	4
Nb	7.0	6.8	18.0	11.8	11.8	11.0	12.3	9.2
Ta	4	< 1.6	5	2	5	5	3	5
Y	23	25	76	39	28	12	37	21
La	23	26	23	28	22	24	16	10
Ce	54	53	50	63	43	46	31	25
V	84	16	3	7	31	43	2	2
Cr	34	4	47	3	12	23	20	10
Co	19	10	6	5	7	7	5	5
Ni	6	< 0.7	2	< 0.7	< 0.7	2	0	< 0.6
Cu	11	1	1	< 0.4	< 0.4	< 0.4	1	3
Zn	67	41	32	52	63	54	11	23
Pb	12	17	37	17	26	22	47	38
Ga	18	16.1	18.4	17.5	15.4	16.2	15.2	13.2
Ge	2.0	1.6	2.0	1.5	1.0	1.8	1.4	1.9
As	1.0	0.5	4.5	1.4	< 0.5	0.3	< 0.6	< 0.6
Se	< 0.1	< 0.1	< 0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	< 0.1
Mo	1.0	0.6	< 0.2	2.6	0.2	0.3	0.3	< 0.2
W	< 1.2	1.2	5.2	1.5	< 1.1	0.9	2.6	2.5
Sn	1.0	4.6	7.9	2.7	4.5	1.7	3.0	10.8
Cd	1.0	< 0.2	0.6	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2
Sb	< 0.5	< 0.5	< 0.5	< 0.5	< 0.5	< 0.5	< 0.5	< 0.5
Tl	1.0	0.8	2.9	1.2	3.2	1.1	1.8	1.6
Bi	< 0.3	< 0.3	1.5	0.3	< 0.3	< 0.3	< 0.3	0.4
Th	6.0	12.3	33.3	12.8	19.2	8.7	23.7	12.8
U	1.0	2.6	6.4	3.2	6.6	3.4	9.7	9.6
ASI	0.91	0.96	0.97	1.00	1.01	1.07	1.13	1.03
Rb/Sr	0.2	0.8	33.9	1.5	1.2	0.5	3.9	2.9
Sr/Y	13.2	6.7	0.2	2.6	5.3	19.8	1.6	3.6

No. 36 岡山市矢坂東町保井堂谷3140浮田石材産の万成石.

付表2 西南日本内帯のW鉍床生成区の花崗岩類と領家帯武節花崗岩の分析値. (3)
Appendix 2 Chemical compositions of late Cretaceous-Paleogene granitoids from the W province
(analyzed by B. W. Chappell, Macquarie University).

	Busetsu Pluton, Okazaki Area						
	41 TO76	42 TO81	43 T133	44 T135	45 T136	46 T173A	47 T173B
SiO ₂	71.52	74.97	74.83	70.92	75.31	69.35	73.44
TiO ₂	0.21	0.12	0.09	0.28	0.10	0.43	0.14
Al ₂ O ₃	16.53	13.61	13.63	15.14	13.56	14.19	13.81
Fe ₂ O ₃	1.96	1.37	1.09	2.94	1.18	3.78	1.46
MnO	0.03	0.04	0.05	0.07	0.04	0.07	0.03
MgO	0.54	0.26	0.22	0.64	0.27	1.08	0.35
CaO	2.66	1.26	1.05	3.09	1.33	3.49	1.30
Na ₂ O	3.33	3.10	2.91	3.76	3.24	2.52	2.48
K ₂ O	2.65	4.17	4.46	2.06	3.81	4.35	6.01
P ₂ O ₅	0.08	0.09	0.11	0.12	0.07	0.06	0.12
S	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01
H ₂ O ⁺	0.49	0.57	0.49	0.74	0.63	0.46	0.14
H ₂ O ⁻	0.14	0.32	0.20	0.30	0.34	0.26	0.50
CO ₂	0.03	0.01	0.81	0.01	0.00	0.03	0.02
SUM	100.17	99.90	99.94	100.06	99.87	100.07	99.80
Trace elements (ppm)							
Rb	67	124	192	58	117	106	123
Cs	4.5	5.3	6.6	4.3	5.2	6.9	11.7
Sr	408	188	87	381	197	239	298
Ba	882	718	214	502	806	853	1679
Zr	160	79	50	127	70	105	103
Hf	5	4	3	4	3	5	4
Nb	9.7	10.1	9.6	8.7	10.0	8.2	7.4
Ta	1	2	2	1	3	3	3
Y	12	14	17	14	14	49	12
La	28	20	9	23	25	18	26
Ce	57	42	21	46	49	48	55
V	12	4	8	20	4	43	7
Cr	30	4	8	6	4	11	3
Co	7	3	4	6	4	14	4
Ni	3	1	1	< 0.7	1	< 0.8	< 0.6
Cu	< 0.4	1	< 0.3	< 0.4	< 0.4	< 0.4	< 0.4
Zn	57	44	33	67	39	51	41
Pb	20	28	27	18	23	25	35
Ga	16.2	16.4	16.4	17.8	18	14.5	14.2
Ge	1.0	1.4	1.9	1.7	1.5	1.5	1.0
As	< 0.4	0.5	< 0.5	< 0.4	< 0.4	< 0.5	< 0.6
Se	0.2	< 0.1	0.2	0.2	0.2	< 0.1	0.2
Mo	0.6	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2	0.3	0.4
W	0.8	1.7	1.2	0.7	1.1	0.7	0.6
Sn	0.6	1.6	4.1	2.1	1.9	2.4	1.4
Cd	0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2	0.4	0.4	0.5
Sb	< 0.5	< 0.5	< 0.5	< 0.5	0.7	< 0.5	0.9
Tl	1.1	1.1	1.3	0.6	1.0	1.0	1.3
Bi	0.4	0.4	0.4	< 0.3	0.3	< 0.3	< 0.3
Th	8.0	6.2	3.4	3.9	6.6	12.9	8.8
U	1.5	1.4	2.3	0.5	< 0.5	6.2	< 0.5
ASI	1.25	1.14	1.18	1.08	1.14	0.93	1.07
Rb/Sr	0.2	0.7	2.2	0.2	0.6	0.4	0.4
Sr/Y	34.0	13.4	5.1	27.2	14.1	4.9	24.8