

花崗岩類のS, I, Aタイプとリン含有量 —スロバキアと日本の場合—

石原 舜 三¹⁾

1. まえがき

リンは植物にとって3大栄養素の一つであり、堆積岩類やある種の苦鉄質岩やカーボナタイトに濃集したものから採掘し活用される(今井, 1951)。堆積岩類起源のリン濃集鉱物は大部分がリン酸石灰であり、リン灰土(phosphorite)と呼ばれている。火成岩起源のリン鉱物は同様にリンと石灰とからなるアパタイトである。この鉱物は超苦鉄質岩には大量に濃集することがあり、ロシアのコラ半島では採掘・加工されている(守山・石原, 2006)。ある種のカーボナタイトにも多量に含まれることがある。この場合のアパタイトにはREEが多く含まれ、オーストラリアのノランズボアではREEを目的として採掘の準備が進められている。また熱水性磁鉄鉱アパタイト鉱床としても産出し、インドではそのアパタイトが肥料用に採掘されている(石原・守山, 2008)。

一般の火成岩類ではリンはシリカと逆相関するために、シリカに富む花崗岩では非常に少ない。例えば日本の花崗岩類の平均値は $\text{SiO}_2=60\%$ で $\text{P}_2\text{O}_5=0.203\%$ 、 $\text{SiO}_2=70\%$ で $\text{P}_2\text{O}_5=0.112\%$ 、 $\text{SiO}_2=80\%$ で $\text{P}_2\text{O}_5=0.022\%$ (石原, 未公表資料)であるに過ぎない。その上、磁鉄鉱系列・チタン鉄鉱系列で P_2O_5 の明瞭な相違は見られなかった(Ishihara, 1971)。花崗岩類のリン(P_2O_5)は主成分の一つであるが、主にアパタイト $\{\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{F}, \text{Cl}, \text{OH})\}$ として少量含まれるに過ぎず、それは一般にはフッ素に富むフッ素アパタイト($\text{F} > \text{Cl} + \text{OH}$, fluorapatite)であり(Czamanske *et al.*, 1981)、ほかに塩素アパタイト($\text{Cl} > \text{F} + \text{OH}$, chlorapatite)、水酸アパタイト($\text{OH} > \text{F} + \text{Cl}$, hydroxyapatite)などがある。Sタイプ花崗岩ではリンはモナズ石($\text{Ce}, \text{La}, \text{Nd}$) (PO_4) としても含まれている。

大陸地域の花崗岩類ではSタイプがリンに富み、そ

れはアルミナ飽和指数(Alumina-Saturation-Index, ASI)とも関係し、花崗岩質マグマの固結最末期に結晶分化作用と共にアルミナ飽和度が上昇すると、リンはメルト中でやや増加しアルカリ長石にも含まれることが指摘されている(Bea *et al.*, 1992; Chappell, 1999; Broska *et al.*, 2004)。他方、Aタイプ花崗岩ではリンは非常に少量である。

スロバキアのバリスカン期の花崗岩類には、S, I, Aタイプが全て存在し、そのリン存在量、リン含有鉱物などが詳しく研究されている。これらを参照しながら日本の花崗岩類のリン含有量とアパタイトの偏在性について考察してみたい。

2. スロバキア花崗岩類の活動史

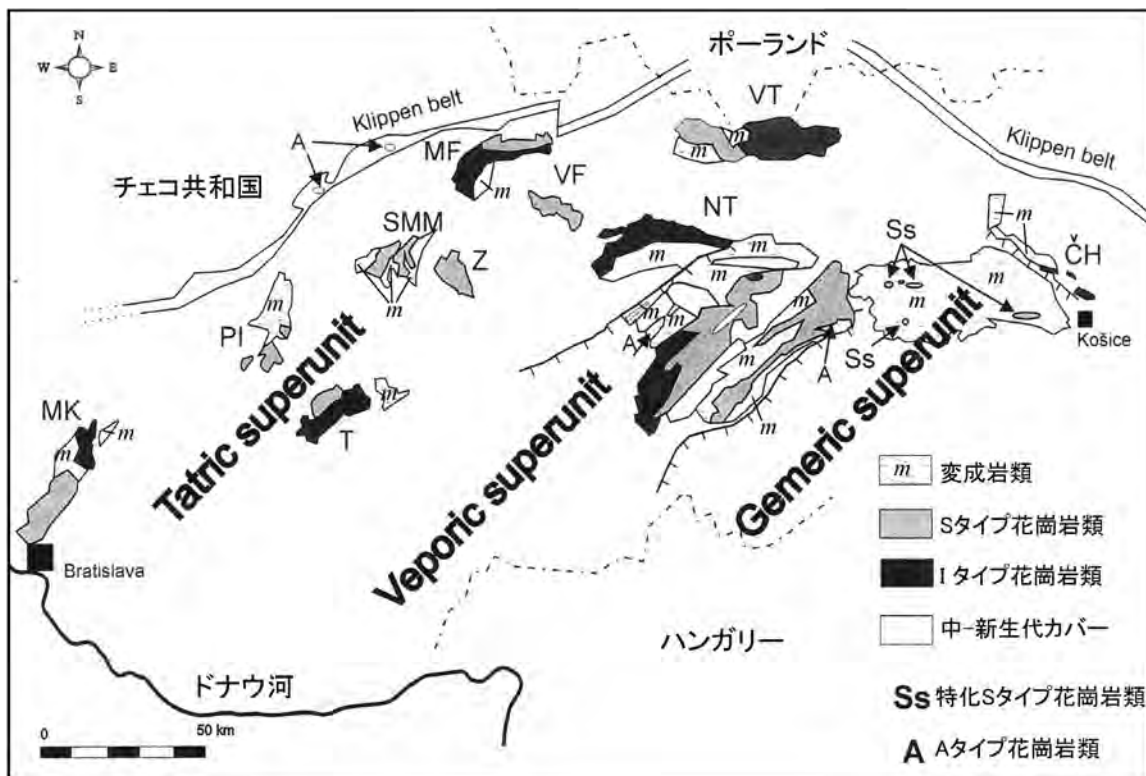
スロバキアはドナウ河の北側、カルパチア山地の西部に位置する。西カルパチア地塊はバリスカン期とアルプス期の地殻変動を受けた所として著名である。バリスカン期のマグマ活動は花崗岩体の貫入で主に示されており、それは3スーパーユニット(Tatric, Veporic, Gemeric)に分けられる(第1図)。前二者に主要な花崗岩体は分布する。

この地方の基盤岩類は下部古生代の変成岩類で、その源岩は頁岩・砂岩質堆積岩類であり、角閃岩・変成流紋岩類を挟む。バリスカン期花崗岩類は次の5時期に細分化されている。

- (1) バリスカン早期(デボン紀) Sタイプ花崗岩類(正片麻岩)。
- (2) バリスカン中期(後期デボン紀-早期石炭紀) S/Iタイプ花崗岩類~優白質トナル岩。
- (3) バリスカン晩期(後期石炭紀) Iタイプトナル岩~花崗閃緑岩。
- (4) 後バリスカン期(ペルム紀) Aタイプ優白質花崗

キーワード: リン含有量, 花崗岩, Sタイプ, Iタイプ, Aタイプ, アパタイト, スロバキア, 日本

1) 産総研 特別顧問



第1図 スロバキアのバリスカン期花崗岩類の分布 (Broska et al., 2004).

岩、花崗斑岩、流紋岩類に加えてREE特化Sタイプ花崗岩類と花崗斑岩類

(5) 前アルプス期(早~中期三疊紀) 優白質花崗岩と流紋岩類.

2.1 バリスカン中期Sタイプ花崗岩類

以上のうち正片麻岩類を除く塊状花崗岩類について概観すると、バリスカン中期花崗岩類は主にモナズ石含有Sタイプ花崗岩類であり、Iタイプと較べてMg, Ca, Sr, Ba, Zr, REEなどに乏しい。このタイプの花崗岩類は一般にSiO₂ 70-75%, P₂O₅ 0.05-0.25%である(第2図A)。アルミナ飽和指数(ASI)は1.2~1.6と、Sタイプの下限である1.1を大きく超える。リン含有量はアルミナ飽和指数と正の相関性を示し(第3図A)、リンがカリ長石にも含まれていることを示す。

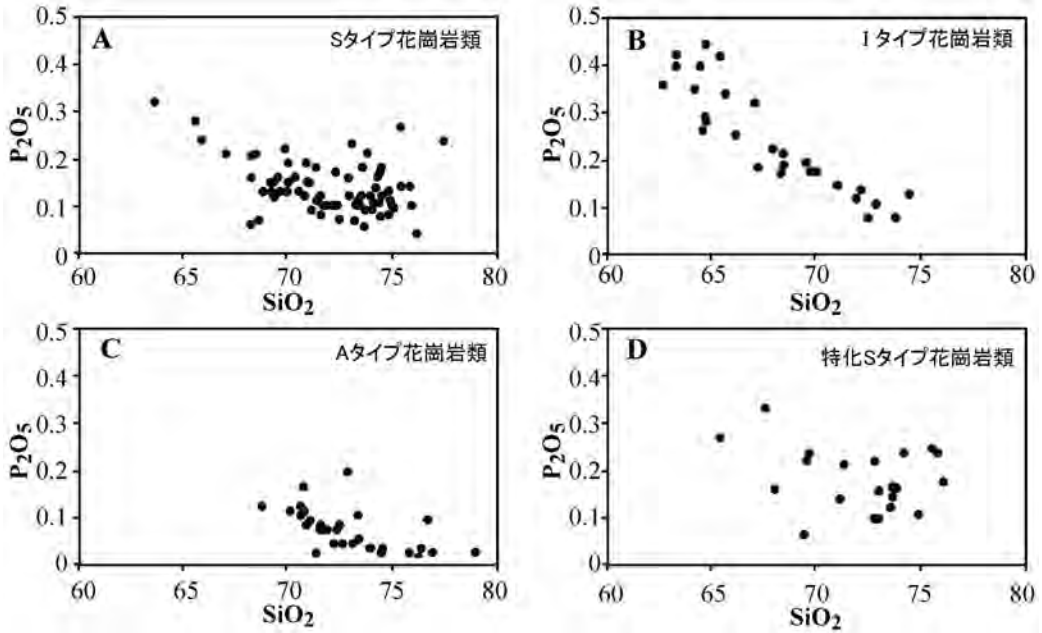
アクセサリ鉱物としてモナズ石(Ce)、チタン鉄鉱、アパタイト(所によっては煙色)、アルマンディン柘榴石、ゼノタイム(Y)が特徴的である。この花崗岩類の起源としては、上部地殻の黒雲母や白雲母を含む

石英長石岩類の雲母脱水溶融が考えられる(Petrik, 2000)。マグマ発生の構造運動としては、370-350Maに生じた大陸地殻衝突運動の可能性が高い。

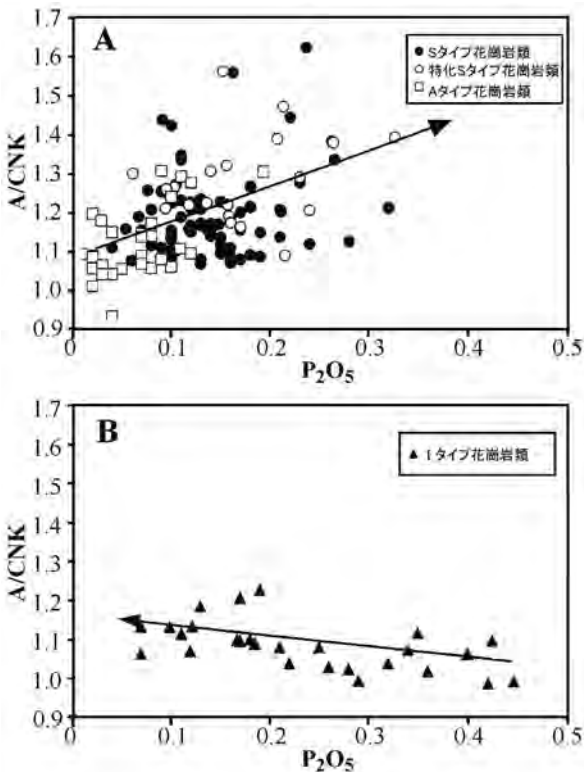
2.2 バリスカン中-後期のIタイプ花崗岩類

この時期のIタイプ花崗岩類は褐簾石を含む特徴がある。岩質は黒雲母(優白質)トナル岩ないし花崗閃緑岩、まれに黒雲母~白雲母黒雲母花崗岩である(第1図)。シリカ幅が広く、62-75% SiO₂、リンは0.07-0.47% P₂O₅である(第2図B)。アルミナ飽和度は比較的高く(ASI=1.0~1.2)、多くはパーアルミナスである。Sタイプと異なり、リン含有量はアルミナ飽和指数の増加と共に減少する(第3図B)。代表的なアクセサリ鉱物として、ジルコン・磁鉄鉱・褐簾石(Ce)・チタン石・緑簾石・一部に石灰質角閃石が記載されているから、白雲母黒雲母花崗岩やほかの一部を除き磁鉄鉱系に属するものと思われる。

一部には微粒の苦鉄質エンクレープが含まれ、下部からの苦鉄質マグマの供給があった可能性がある。



第2図 パリスカン期花崗岩類のタイプ別リン含有量 (Broska et al., 2004).



第3図 パリスカン期花崗岩類のリン含有量とアルミナ飽和指数 (Broska et al., 2004).

ジルコンとモナズ石のU-Pb年代からは、360-340Maと310-290Maの二つの時代が得られる。このIタイプ花崗岩類の起源は、衝突後に大陸地殻に底付けされた苦鉄質～中性マグマが下部からの熱の供給を受けて張力場で再溶融したものと考えられる (Broska et al., 2004)。

2.3 後造山期のAタイプ花崗岩類

メタ～パーアルミナス (ASI=0.9～1.5)の性質を持つAタイプ花崗岩類が上記花崗岩形成後に構造線沿いに小規模に発生した(第1図)。これは黒雲母優白質花崗岩・花崗斑岩・マイクロ花崗岩としてほぼ全域に貫入する。その時期はジルコンのU-Pb年代によると、ペルム紀早期～三疊紀早期の280～240Maを示す。

これら花崗岩類は多量のカリ長石およびhypersolubus～transsolubus組織を持つアルカリ長石を含む。Ca, P, V, Srに乏しく, K, Na, Zr, REEに富む。シリカが70-77% SiO₂に対して、リンは一般に0.12% P₂O₅以下で少ないといえる(第2図C)。リン含有量はアルミナ飽和指数と正の相関性を持つ(第3図A)。Fe/Mgが大きい黒雲母を有するので、主にチタン鉄鉱系に属する可能性が高い。ジルコンと褐簾石 (Ce) が、特

にノルム珪長鉱物が80%以上、アルカリ長石のみからなる花崗岩であるハイパーソルバス(hypersolbus)花崗岩や中間的なトランスソルバス(transsolbus)花崗岩で多く含まれる。一方、斜長石とカリ長石が共存して晶出したサブソルバス(subsolbus)花崗岩に属するAタイプ花崗岩ではゼノタイム(Y)・モナズ石(Ce)が特徴的である。

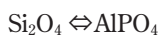
これらAタイプ花崗岩類は、主造山期後の走向断層沿いに張力場が得られた時期に、地殻中部の珪長質岩が溶融してF・H₂Oに富むマグマが発生・上昇し、伸長する小岩体として固結したものと考えられる。

2.4 特化Sタイプ

Gemic帯でかつてSpis-Gemerタイプと呼ばれた特殊な花崗岩類が小規模に分布し、現在ではSpecialized S type (Broska *et al.*, 2004)と呼ばれているので、ここでは特化Sタイプと訳しておく。そのジルコンのU-Pb年代やRb-Srの全岩年代は270-250Maを示す。そのSr初生値は>0.720と著しく高く、その起源物質が熟成した大陸地殻で、K, Rb, Bなどに富む珪長物質であったことをうかがわせる。

この花崗岩類は岩質的には黒雲母-白雲母または白雲母優白質花崗岩と花崗斑岩からなる。これらはシリカ67-76% SiO₂ (第2図D), Rb, Sn, Fに富み、リン含有量は0.35% P₂O₅にも達する。ASIは1.2を超え、平均1.6で高い。標式地のSpis-Gemer岩体では揮発性成分に富み、グライゼン化・アルバイト化が進み、一部にはトパズ含有花崗岩が存在する。アクセサリー鉱物として電気石(schorl~foitite)・アルマンディン・トパズ・ジルコン・アパタイト、まれにモナズ石・ゼノタイム・錫石・鉄マンガン重石・Nb-Ta鉱物などが産出する。すなわち、これは非常に結晶分化が進んだ鉱化花崗岩であり、マレー半島の錫鉱化花崗岩地帯では(石原, 2009), ミャンマーのヘルミンギ優白質花崗岩体と同様なものと考えられる。

花崗岩質マグマの晶出最末期のマグマ分化相ではアルミナの増加によってリンの溶解度が上昇する。従って一部のアルミナ過飽和メルトは多くのリンを含む。そこではリンは次のようなBerlinite (AlPO₄)置換で存在するものと考えられている(B. Chappell, 私信)。



この時期のリンは、晶出時にはアルカリ長石、一部斜長石に含まれており、長石中の含有量は最高0.3% P₂O₅に達する。アパタイトと較べてアルカリ長石の存在量は100倍以上に大きいから、分化が進んだSタイプはリン含有量が大きくなる。

3. 日本の深成岩類のリン含有量

日本の深成岩類は大陸地域と異なり、斑れい岩や石英閃緑岩-花崗閃緑岩類を多く含むIタイプを主とし、Sタイプは非常に少ない。リン-シリカ図については個々の地域報告で示したように(Ishihara, 2002; Ishihara and Chappell, 2007, 2008a, b), 両成分間の負の相関性が著しく、かつ大局的には地域ごとの差は少ない。

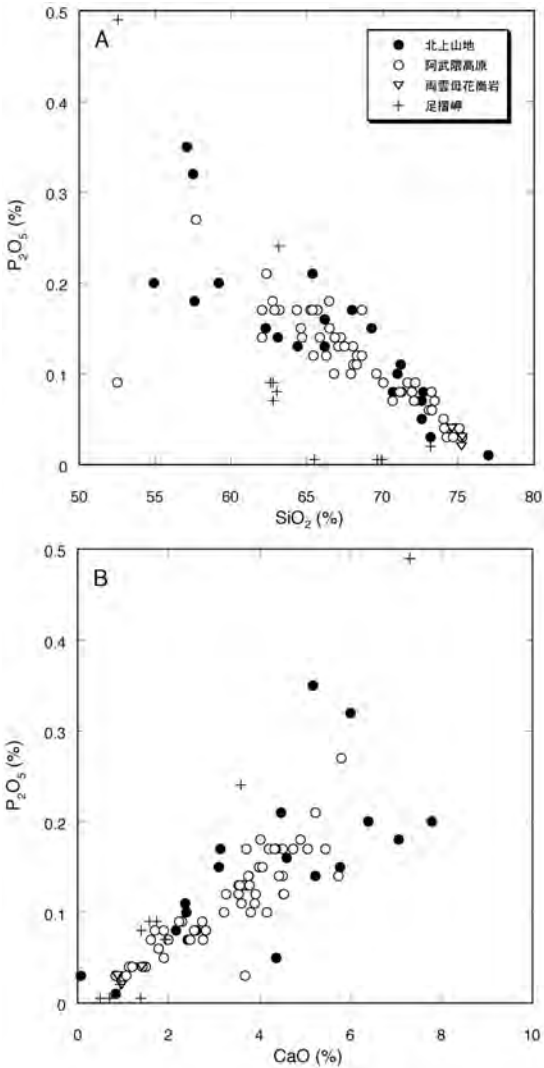
ペグマタイトや熱水性鉱床のアパタイトは付近の花崗岩類のリンの地域的な濃集に手がかりを与える可能性がある。伊藤・櫻井(1947)および櫻井欽一博士還暦記念事業会(1973)によると、アパタイトの産地としてペグマタイトでは岩手県上宮守・福島県南山形・茨城県山ノ尾、気成鉱床として岐阜県遠ヶ根鉱山(W)・京都府鐘打鉱山(W)・鹿児島県宮之浦鉱山(W)、同様に高温生成の接触交代鉱床として、福井県内外海鉱山(W, Cu)・山口県喜和田鉱山(W)・玖珂鉱山(W, Cu)にアパタイトが記載されている。また新第三紀のグリーンタフ帯では、栃木県足尾鉱山(Cu)のアパタイトは晶洞に自形、扁平な晶癖で産し見事である。荒川鉱山(Cu)からもアパタイトは産出する。

以上のように鉱床産アパタイトはタングステンや銅鉱床に産出例が多い。アパタイトとこれら鉱化作用との関係はこれまでに研究事例がなく、今後の研究課題である。

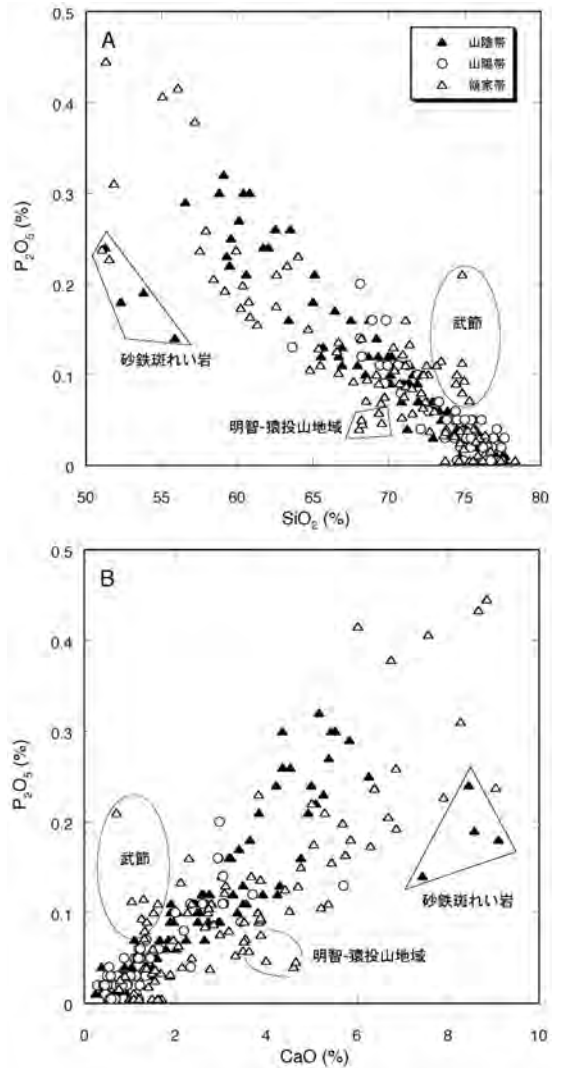
3.1 東北日本の白亜紀深成岩類

北上山地と阿武隈高原花崗岩類を斑れい岩類も含めて第4図に示した。前者は磁鉄鉱系を主体とし、後者はチタン鉄鉱系を主体とするが、両者はほぼ同じ領域にプロットされる。これには新第三紀の足摺岬深成岩類も示したが、これについては後述する。

阿武隈高原花崗岩類の一部には、阿武隈変成岩類の変成度が高い西部地域で小規模にややパーアルミナスな白雲母黒雲母花崗岩が分布する(Ishihara and Chappell, 2008aの試料番号68A14, 34, 35)。そのリン



第4図 北上山地と阿武隈高原花崗岩類および足摺岬岩体のリン含有量. 北上山地は Ishihara and Murakami (2004) に掲載の分析値のみ使用. 阿武隈高原は Ishihara and Chappell (2008a). 足摺岬岩体は石原・村上 (2006) ほかの同一分析方法 (XRF) による分析値のみ使用.



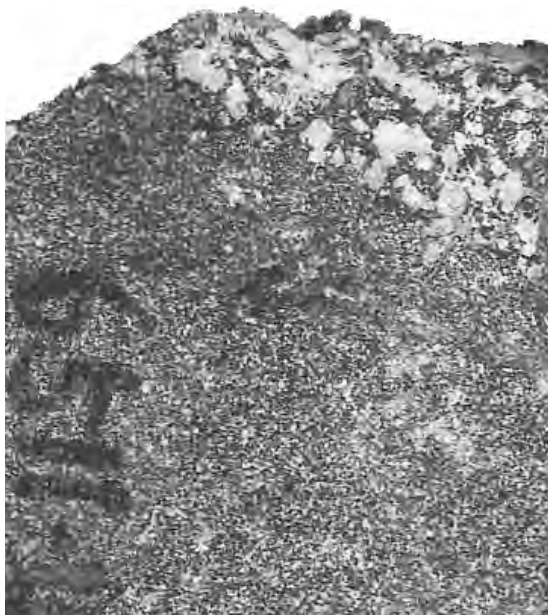
第5図 西南日本内帯の白亜紀-古第三紀花崗岩類のリン含有量. 出典は Ishihara (2002), Ishihara and Wu (2001), Ishihara and Chappell (2007, 2008b). SiO_2 57-62% でリンにやや乏しい領家帯の岩石は下山-三橋, 新城岩体からのもの.

含有量は黒雲母花崗岩のそれと較べて特に高くはなく(第4図), 中部地方の武節花崗岩とはその源岩を異にする可能性が高い.

3.2 西南日本内帯の花崗岩類

一方, 花崗岩類の露出規模としては最大の西南日本内帯の深成岩体では, 若干の地域差が認められ

る. 斑れい岩類については, 中部地方領家帯の南部から北方へ, 下山-三橋, 新城, 足助, 稲武の岩体順に, Fe/Mg比が高くなる変化が認められる (Ishihara and Chappell, 2007). リン含有量もほぼこの順に多くなる. より深所起源の苦鉄質マグマがMgに富み, 大陸地殻最下部のような比較的浅所でFeに富むマグマが得られると考えると, リンは後者と共に挙動する



第6図 出雲地方、赤目砂鉄源岩の細粒閃雲石英斑れい岩とそれに貫入する粗粒花崗閃緑岩(旧三成町雑家)、スケール等倍。

可能性が高いであろう。

更に明瞭な傾向は山陰地方の島根県東部地域の斑れい岩類がリンに著しく乏しい性質を持つ点である(第5図)。これらの風化物は出雲地方の赤目砂鉄の源鉱石として長年利用された。雑家・桂ヶ谷などの主要な斑れい岩系の砂鉄原岩がリンに乏しい点は砂鉄原料として良質であることを示し、この性質が磁鉄鉱が多いことと相まって、出雲地方の砂鉄産業を隆盛にしたことが考えられる。

この斑れい岩類はより後期の花崗岩類に取り巻かれ、しばしば混交現象を示す。この現象は旧大東町川井や大東鉱山の折坂谷斜坑で最も明らかに認められた(石原, 1971, 図版X, XI)。最も苦鉄質な部分は単斜輝石-角閃石斑れい岩であり(第6図)、少量の石英を含む。一般に、微量鉱物としてのチタン石に富んでいる。混交時に周囲の花崗岩質岩石から珪長物質・揮発性成分などの供給を受けたものと思われる。

花崗岩類では微量のモナズ石・柘榴石を含む白雲母黒雲母花崗岩(通称武節花崗岩)がリンに富んでおり、例えば岡崎地域の場合に、シリカ71.4~75.3% (SiO_2)の花崗岩類でリン0.07~0.21% (P_2O_5)を含んでいる。この花崗岩は(第7図A)、その産状、酸素同

位体比(Ishihara and Matsuhisa, 2002)などから、日本で最もSタイプに近いものである。すなわち、日本でもスロバキアやラクラン褶曲帯と同様に、Sタイプがリンに富んでいるといえる。

白雲母黒雲母花崗岩は山口県東部、佐賀県杉山、熊本県北部にも産出するが、杉山地域ではリン0.03~0.08% P_2O_5 (平均0.06% P_2O_5)、その他地域でも同様に低く、これら地域の花崗岩は武節花崗岩とは異なり、Sタイプの性格が弱いものと考えられる。

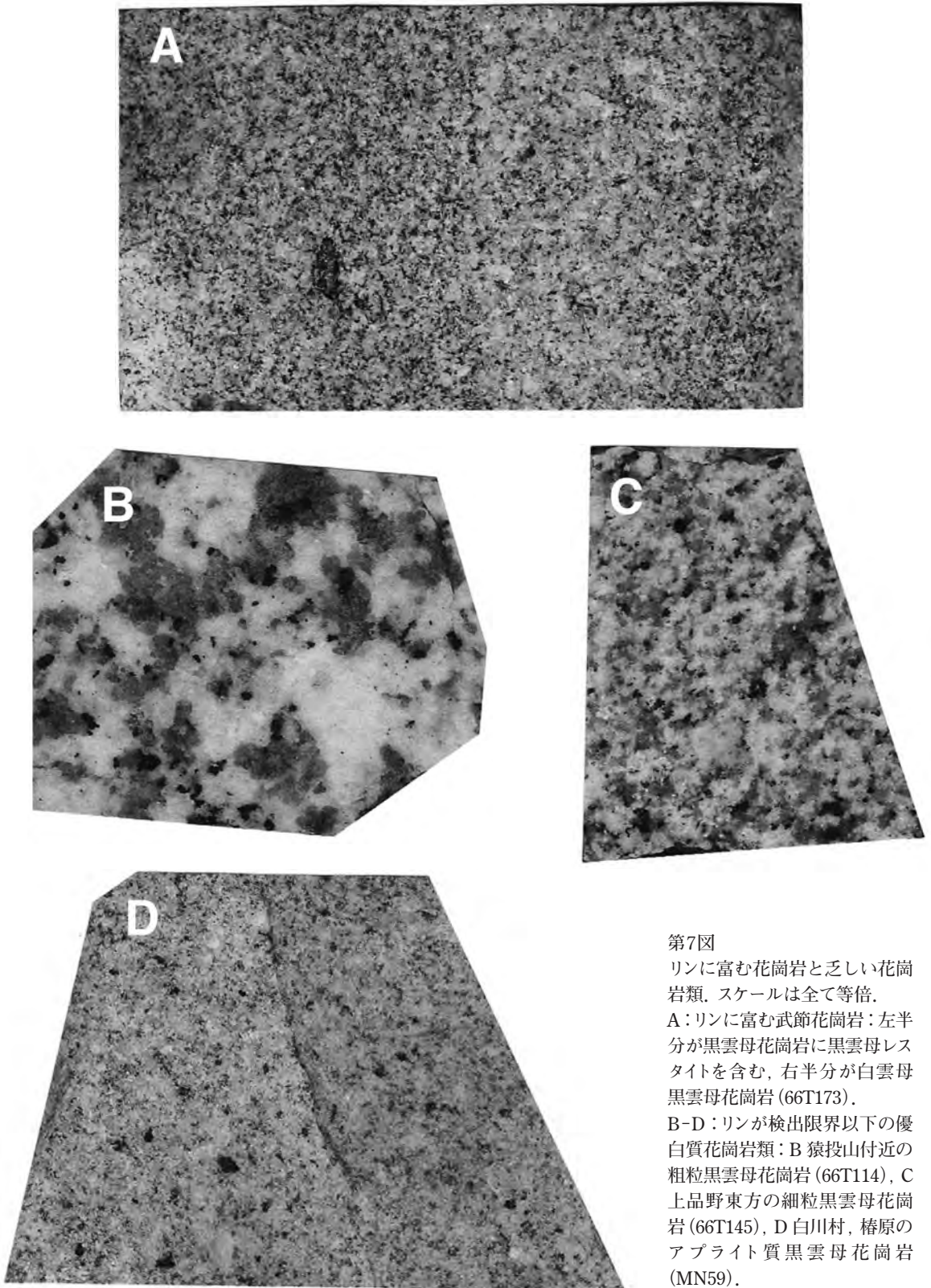
一方、含有量が少ないものは中部地方領家帯北部、猿投山-明智地域のチタン鉄鉱系優白黒雲母花崗岩類(第7図B, C)、山陽帯の苗木、田上、倉敷地方のチタン鉄鉱系優白花崗岩類、岐阜県白川地域(第7図D)や島根県東部の磁鉄鉱系優白質花崗岩類などである。これらは一般にリン0.01% P_2O_5 以下、シリカ73-76% SiO_2 である。これら花崗岩類はIタイプであるが、磁鉄鉱系とチタン鉄鉱系の双方を含む。また粒度も様々であるが(第7図)、苦鉄鉱物が少なく優白質であるという共通性がある。

3.3 日本のAタイプ花崗岩

Aタイプ花崗岩は大陸内リフトなどの非造山帯(anorogenic)環境に特徴的に現れる花崗岩類に対して提案された。代表例はアフリカ大陸西部のナイジェリアの白亜紀錫花崗岩体である。岩質はややアルカリ岩的で K_2O に富み、 $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ 比、 $\text{Fe}/\text{Fe}+\text{Mg}$ 比が高く、 CaO と Al_2O_3 に乏しい(Loiselle and Wones, 1979)。その後、このAは“Alkaline, Anhydrous”のAとも混同された。Aタイプ花崗岩には単純に適用できる指数がなく、その判定に議論が付きまとう。

1979年に筆者は提唱者の一人である故D. Wones教授を中部地方花崗岩帯に案内したが、同氏の印象では苗木花崗岩がAタイプに最も近いと話しておられた。その後、山口大学の故村上允英教授らによって足摺岬花崗岩類は水の分圧が低くドライなAタイプ性格が指摘された(村上ほか, 1983)。今岡ほか(1991)は更にガリウム含有量、すなわち Ga/Al がAタイプの性格を最もよく表すとし、足摺岬岩体に適用し、そのAタイプの性格を再確認した。

スロバキアのAタイプ花崗岩はリンに乏しく、一般には0.1% P_2O_5 以下である(第2図)。一方足摺岬岩体では、斑れい岩は0.24~0.49% P_2O_5 と高いが、主



第7図

リンに富む花崗岩と乏しい花崗岩類。スケールは全て等倍。

A: リンに富む武節花崗岩: 左半分が黒雲母花崗岩に黒雲母レスタイトを含む, 右半分が白雲母黒雲母花崗岩 (66T173)。

B-D: リンが検出限界以下の優白質花崗岩類: B 猿投山付近の粗粒黒雲母花崗岩 (66T114), C 上品野東方の細粒黒雲母花崗岩 (66T145), D 白川村, 椿原のアップライト質黒雲母花崗岩 (MN59)。



写真1 苦鉄質マグマと花崗岩質マグマの混交が著しい中新世の足摺岬岩体。

要岩相である閃長岩類は4個が0.07～0.09% P_2O_5 、3個が0.01% P_2O_5 以下と非常に少ない(石原・村上, 2006, 第1表参照)。従ってリン存在量から見る限りAタイプに適合するが、付加体である四万十層群に貫入する大局的な地質環境は、ナイジェリアのAタイプと大きく異なっている。足摺岬岩体のSr初生値は0.7035と極めて低く(石原・村上, 2006)、かつ斑れい岩マグマと密接に上昇・貫入している(写真1)。恐らく圧縮応力の休止期にホットスポット的環境が生じ、付加体より下位の苦鉄質岩類においてマグマは発生したものと考えられる。

Hong *et al.* (1996)は、本来の非造山型のリフト帯に沿う産状のもの<AAサブタイプ>と、中国東岸の火山-深成岩帯に産出するものを<PAサブタイプ>とに2分した。前者は斑れい岩類とシリカに不飽和の閃長岩をしばしば伴うタイプである。足摺岬岩体はこれに相当するので、中新世の頃リフト割れ目が発達していたのかもしれない。後者は福建-浙江省火成岩帯の最末期に見られるもので、造山運動に伴うカルクアルカリ岩系マグマ活動後に、オフィオライト接合線沿いにアルカリ岩質マグマとして貫入したものである。

4. 結論

大陸的環境下のスロバキアと島弧環境下の日本列島と、異なる環境下で生成した花崗岩類のリン存在量について総括を試みた。前者ではSタイプが花崗岩類の大部分を占め、ついでIタイプとAタイプである。一方、日本列島ではIタイプが殆どであり、恐らく10%以下のSタイプ、1%以下のAタイプから構成される。

リン含有量は一般にシリカ含有量と反比例し、カルシウム含有量と比例的である。シリカ含有量が70%以上の花崗岩質岩類に注目すると、スロバキアでリン含有量はS, I, Aの順に低下する。最も高いSタイプ花崗岩類(>70% SiO_2)は0.07～0.23%含み、そのリンは一般にアパタイト・モナズ石、および結晶分化が進んだマグマではアルカリ長石に含まれる。その理由は、アルミナ過飽和のSタイプ マグマでは、Berlinite ($AlPO_4$)置換により、リンが残メルトに濃集するためである。

我が国で最もSタイプの武節白雲母黒雲母花崗岩はリンに富んでおり、それはアパタイトとモナズ石に含まれている。アルカリ長石のリン異常はまだ知られていない。しかし阿武隈帯やほかの白雲母黒雲母花

崗岩類は特にリン異常値を示さない。その原因は、これら花崗岩類のアルミナ飽和度が高くなかったことに起因すると考えられる。

一方、リンに乏しい(<0.01% P_2O_5)花崗岩類はIタイプ-磁鉄鉱系またはチタン鉄鉱系で、苦鉄鉱物(黒雲母)に乏しい優白質花崗岩類で観察される。例えば中部領家帯の最北部、苗木-田上、岡山-倉敷、山口県東部に続くタングステン鉱化地帯、岐阜県白川地域や島根県東部のモリブデン鉱化地帯に分布するものである。これら花崗岩類は苦鉄鉱物のみならず、アパタイトにも乏しい可能性が高い。

島根県東部のマグマ混交型の斑れい岩類はそのシリカ含有量に対してリンに乏しい。この岩石の風化物から得られる砂鉄は赤目砂鉄と呼ばれ、歴史時代には最も重要な製鉄原料として大規模に採掘された。その原因は磁鉄鉱に富むのみならずリンに乏しく、かつそれが風化作用で除去され易いチタン石として含まれる、砂鉄源岩として最適の条件を保有していたことであろう点も指摘しておきたい。

謝辞: 花崗岩とリンについて有益な助言を賜ったB.W. Chappell博士に感謝する。

文 献

- Bea, F., Fershtater, G. and Corretge, L.G. (1992): The geochemistry of phosphorus in granite and the effect of aluminum. *Lithos*, v.29, 43-56.
- Broska, I., Williams, C. T., Uher, P., Konecny, P. and Leichmann, J. (2004): The geochemistry of phosphorus in different granite suites of the Western Carpathians, Slovakia: the role of apatite and P-bearing feldspar. *Chemical Geol.*, v.205, 1-15.
- Chappell, B. W. (1999): Aluminium saturation in I- and S-type granites and the characterization of fractionated haplogranites. *Lithos* v.46, 535-551.
- Czamanske, G.K., Ishihara, S. and Atkin, S. A. (1981): Chemistry of rock-forming minerals of the Cretaceous-Paleogene batholith in southwestern Japan and implications for magma genesis. *Jour. Geophys. Res.*, v.86, 10431-10469.
- Hong, D., Wang, S., Han, B. and Jin, M. (1996): Post-orogenic alkaline granites from China and comparisons with anorogenic alkaline granites elsewhere. *Jour. SE Asian Earth Sci.*, v.13, 13-27.
- 今井秀喜(1951): 燐鉱 日本鉱産誌 BII 主として化学工業原料・肥料原料となる鉱石。XVI 燐鉱, p.145-171.
- 今岡照喜・中島和夫・村上允英(1991): 高知県足摺岬Aタイプ花崗岩中のガリウム。岩鉱, v.86, 354-363.
- 石原舜三(1971): 日本の主要モリブデン鉱床および関連する花崗質岩類。地質調査所報告, no.239, 178p.
- Ishihara, S. (1971): Modal and chemical composition of the granitic rocks related to the major molybdenum and tungsten deposits in the Inner Zone of Southwest Japan. *Jour. Geol. Soc. Japan*, v.77, 441-452.
- Ishihara, S. (2002): Chemical characteristics of the mineralized granitoids (I): Mo and W provinces of the Inner Zone of Southwest Japan. *Bull. Geol. Surv. Japan*, v.53, 657-672.
- 石原舜三(2009): マレー半島地域における花崗岩系列、花崗岩タイプと重希土類元素の濃集。資源地質, v.59, 29-42.
- Ishihara, S. and Chappell, B. W. (2007): Chemical compositions of the late Cretaceous Ryoke granitoids of the Chubu District, central Japan - Revisited. *Bull. Geol. Surv. Japan*, v.58, nos. 9/10, 323-350.
- Ishihara, S. and Chappell, B. W. (2008a): Chemical compositions of the late Cretaceous granitoids across the central part of the Abukuma Highland, Japan - Revisited. *Beull. Geol. Surv. Japan*, v.59, 151-170.
- Ishihara, S. and Chappell, B. W. (2008b): Chemical compositions of the Paleogene granitoids of eastern Shimane Prefecture, Sanin District, Southwest Japan. *Bull. Geol. Surv. Japan*, v.59 (5/6), 225-254.
- Ishihara, S. and Matsuhiya, Y. (2002): Oxygen isotopic constraints on the geneses of the Cretaceous-Paleogene granitoids in the Inner Zone of Southwest Japan. *Bull. Geol. Surv. Japan*, v.53, no.4, 421-438.
- 石原舜三・守山 武(2008): 東インドクラトン、シンブーム地域の鉱化特性。資源地質, v.58, 27-36.
- Ishihara, S. and Murakami, H. (2004): Granitoid types related to Cretaceous plutonic Au-quartz vein and Cu-Fe skarn deposits, Kitakami Mountains, Japan. *Resource Geol.*, v.54, 281-298.
- 石原舜三・村上浩康(2006): 西南日本花崗岩類のレアアース特性: 足摺岬の新第三紀深成岩類と山陽帯の後期白亜紀花崗岩類。地質調査研究報告, 57, 89-103.
- 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*, v.52, 471-491.
- 伊藤貞一・櫻井欽一(1947): 日本鉱物誌, 上巻, [第3版], 中文館書店, 568p.
- Loiselle, M. C. and Wones, D. R. (1979): Characteristics and origin of anorogenic granites. *Abst. with Program, Geol. Soc. America*, v.11, 468.
- 守山 武・石原舜三(2006): ロシア北西部、コラ半島のアルカリ深成岩類と希土類鉱物資源。資源地質, v.56, 205-211.
- 村上允英・蟹沢聡史・石川賢一(1983): 高知県足摺岬産第三紀火成岩類の高フッ素含有量。岩鉱, v.78, 497-504.
- Petrik, I. (2000): Multiple sources of the Western Carpathian Variscan granitoids: a review of Rb/Sr and Sm/Nd data. *Geol. Carpath.* v.51, 145-158.
- 櫻井欽一博士還暦記念事業会(1973): 櫻井鉱物標本, 177p.
- Ishihara Shunso (2009): P_2O_5 contents vs. S, I, A-type granites in Slovakia and Japan.

< 受付: 2009年6月18日 >