筑波地方の花崗岩類の岩石化学

Petrochemistry of the granitic rocks in the Tsukuba area

高 橋 裕 平 (Yuhei Takahashi)*

荒 川 洋 二 (Yoji Arakawa)**

Spatial compositional variations are found among the granitic rocks of the Tsukuba area, 50 km northeast of Tokyo. Coarse-grained granite of the northernmost body shows I-type character, whereas southernmost two-mica granite of later stage shows S-type character, and others being the intermediate of the two. These spatial variations may be related to the different intrusive environments; a regional metamorphism of low-pressure and high-temperature type is closely associated with the granite intrusion in the southern part, but no effect of regional metamorphism was observed in the north.

1. ま え が き

筑波地方には西南日本内帯の花崗岩類の延長と考えられる花崗岩類が分布している。筑波地方の花崗岩類については既に地質学的ならびに鉱物学的研究(高橋, 1982a, b)がなされ, それらに基づいて西南日本との比較が行われている (Takahashi and Fujii, 1984)。さらに最近では同位体地質学的研究も行われている (荒川・高橋, 1987)。

筑波地方の花崗岩類の化学組成については柴田 (1944) や岡田ら (1954) により主成分組成の概略が明らかにされている。しかしながら, それらのデータだけでは, 筆者等の花崗岩類の区分に基づき化学組成の特徴を論じるには不十分であった。今回, 新たに筑波地方の花崗岩類について多数の化学分析値が得られ, その結果, 興味深い事実が得られたのでここに報告する。

なお, 今回の化学分析の多くは, 工業技術院特別研究「深部鉱物資源のポテンシャル評価に関する研究」の一部として行われたものである。本研究において地質調査所佐藤岱生氏には, 化学分析の便宜を計っていただいた。同所笹田政克氏からは, 筑波地方の地質の最新の情報を教えていただいた。筑波大学地球科学系藤井隆教授には, 小論の内容について議論していただき, かつ粗稿を読んでいただいた。ここに以

上の方々にお礼申し上げます。

2. 地 質 概 略

筑波地方の花崗岩類は粒度・組織・包有物の産状に基づき, 七つの岩体に区分できる (高橋, 1982a)。それは北側に分布するものより, 粗粒花崗岩体(CG), 細粒花崗閃緑岩体(FGd), 中粒花崗閃緑岩体(MGd), 加波山細粒花崗岩体(KB), 山尾細粒花崗岩体(YN), 斑状花崗閃緑岩体 (PGd), 両雲母花崗岩体 (TG) の七岩体である。これらの岩体名は必ずしも記載岩石学的名称と一致せず, 岩体内で主要なあるいは特徴的な岩質にちなみ付けられたものである。花崗岩類のほか, 筑波山頂にははんれい岩が斑状花崗閃緑岩体の捕獲岩として産する (高橋, 1980; 笹田ら, 1987)。そのほか粗粒花崗岩体中に小規模な細粒閃緑岩の貫入が認められる。筑波地方の地質概略図を第1図に示す。

これらの花崗岩類間の野外での関係は次のようである。細粒花崗閃緑岩体と中粒花崗閃緑岩体は粗粒花崗岩体を貫く。加波山細粒花崗岩体と山尾細粒花崗岩体は中粒花崗閃緑岩体を貫く。山尾細粒花崗岩体と両雲母花崗岩体は斑状花崗閃緑岩体に貫入している。ただし, これらの岩体の K-Ar 年代は 60 Ma 前後で, 岩体相互間で大きな差はない (河野ら, 1966; Shibata, 1968; 柴ら, 1979)。

筑波地方の花崗岩類の多くは花崗閃緑岩ないし花崗

* 工業技術院地質調査所
〒305 茨城県つくば市東1-1-3

** 筑波大学地球科学系
〒305 茨城県つくば市天王台1-1-1

(昭和63年2月17日受付
昭和63年3月28日受理)

第1図 地質概略図（高橋，1982aを簡略化）。

1, 岩屑; 2, 粗粒花崗岩体; 3, 細粒花崗閃緑岩体; 4, 中粒花崗閃緑岩体; 5, 加波山細粒花崗岩体; 6, 山尾細粒花崗岩体; 7, 斑状花崗閃緑岩体; 8, 両雲母花崗岩体; 9, はんれい岩; 10, 細粒閃緑岩; 11, 八溝古期堆積岩類; 12, 筑波変成岩類。

岩で、共通のマフィック鉱物は黒雲母である。角閃石と白雲母の有無で岩体毎の特徴がある。粗粒花崗岩体にはしばしば角閃石が含まれる。斑状花崗閃緑岩体のトータル岩質の岩相にも角閃石が含まれることがある。一方、加波山細粒花崗岩体と両雲母花崗岩体には白雲母がごく普通に含まれる。さらに、斑状花崗閃緑岩体の花崗岩質の岩相にも白雲母が含まれることがある。これらの白雲母を含む岩体にはザクロ石がまれに含まれる。そのほか、両雲母花崗岩体の一部には珪線石や紅柱石が含まれる。

3. 全岩化学組成

筑波地方の花崗岩類66個をカナダの Technical Service 社及び Chemex 社へ依頼して化学分析を行った。このうちのいくつかについては、筑波大学分析センターのプラズマ発光分光分析装置を用いて定量し、分析値の信頼度を検討した。

本地域の花崗岩類の代表的な化学分析値を第1表に示した。参考のためにはんれい岩の値も示してある。岩質が多様な斑状花崗閃緑岩体については、トータル岩

第1表 代表的な化学分析値

	CG-1	CG-2	PGd	Mgd	KB	YN	PGd-1	PGd-2	TG	GB
no.	TK-4	TK-3	TK-35	TK-11	TK-20	TK-27	TK-41	TK-42	TK-51	TK-65
SiO ₂	71.90	75.35	71.40	72.51	73.03	70.80	64.58	70.89	71.89	45.80
TiO ₂	0.38	0.13	0.37	0.37	0.31	0.43	0.88	0.47	0.35	0.21
Al ₂ O ₃	14.81	13.23	14.60	14.68	14.39	14.75	16.45	14.52	14.73	16.95
Fe ₂ O ₃ *	3.02	1.41	2.73	2.62	2.61	3.07	5.32	3.29	2.57	10.37
MnO	0.06	0.03	0.06	0.06	0.06	0.14	0.09	0.09	0.06	0.17
MgO	0.38	0.13	0.53	0.57	0.45	0.60	1.58	0.77	0.69	14.78
CaO	2.55	1.89	2.43	2.20	2.28	2.26	3.74	2.41	2.13	16.63
Na ₂ O	3.46	3.26	3.52	3.28	3.46	3.33	3.25	3.36	3.41	0.68
K ₂ O	3.68	3.70	3.31	3.90	3.18	3.74	3.38	3.54	3.84	0.20
P ₂ O ₅	0.06	0.03	0.13	0.10	0.10	0.14	0.24	0.14	0.14	0.02
LOI	0.19	0.66	0.45	0.26	0.21	0.54	0.22	0.43	0.41	0.46
Total	100.49	99.82	99.53	100.55	100.08	99.80	99.73	99.91	100.22	100.27

GB: はんれい岩, その他の略号は第2図と同じ。CGのうち, 1は角閃石を含むもの, 2は角閃石を含まないもの, PGdのうち1はトナール岩, 2は花崗閃緑岩。
Fe₂O₃*は全鉄をFe₂O₃として計算したもの。

と花崗閃緑岩の両者を示してある。これから明らかにように筑波地方の花崗岩類のSiO₂量は, トナール岩を除き70-75%の間に大部分が入り, 変化幅が狭い。そのため, ハーカー図では詳しい議論が出来ない。一方, 筑波地方の花崗岩類は前述のように角閃石や白雲母の有無が記載岩石学的に重要である。そのため, Al₂O₃やCaOが岩体間の特徴にとって重要な指標となる。そこでChappell and White (1974)に始まるI-タイプ及びS-タイプ花崗岩類の研究を進展させ化学組成の特徴をまとめたTakahashi *et al.* (1980)を参照して筑波地方の花崗岩類の特徴を述べる。

まず, ACF図(第2図)でみてみよう。同図ではA=Al₂O₃-Na₂O-K₂O, C=CaO, F=FeO*+MgO(全鉄をFeOとして)をモル比で示してあり, 破線はTakahashi *et al.* (1980)による世界のI-タイプ及びS-タイプの境界である。第2図において筑波地方の花崗岩類は何れもI-タイプの領域にプロットされる。しかしながら, 斑状花崗閃緑岩体と両雲母花崗岩体はI-Sタイプの境界付近にプロットされ, S-タイプ花崗岩類に近くなる。

ACF図をもっと詳しく検討するために, C成分の値(C/ACF)を第3図に示した。この図から粗粒花崗岩体は, C/ACF値が0.3以上と高いことがわかる。このことは, この岩体にしばしば角閃石(フェロホルンブレンド; 高橋, 1982b)が含まれるという記載岩石学的性質ともよく調和した事実である。一方, 白雲母をごく普通を含む両雲母花崗岩体は0.23-0.27ともっとも低い。世界の例(Takahashi *et al.*, 1980)と比較すると, 粗粒花崗岩体はI-タイプ, 残りの六岩体はI及びS-タ

イブの中間的なC/ACF値を示す。

つぎにAl₂O₃/(Na₂O+K₂O+CaO)モル比で検討してみる(第4図)。この値は, 粗粒花崗岩体で1.05以下だが, 加波山細粒花崗岩体及び両雲母花崗岩体は1.12を越え, 特に両雲母花崗岩体では1.18に達するものがある。他の岩体は1.05-1.12の範囲に概ね収まる。これも世界の例(Takahashi *et al.*, 1980)と比較してみると, 粗粒花崗岩体はI-タイプ, 加波山細粒花崗岩体及び両雲母花崗岩体はS-タイプ花崗岩類に近くなる。

以上の様な各岩体の特徴は, ノルムコランダム量(第5図)をみると一層明瞭となる。粗粒花崗岩体はノルムコランダムが1.0%以下だが, 両雲母花崗岩体では2.0%以上のものがある。他の岩体は1.0ないし2.0%の範囲で, その中加波山細粒花崗岩体と斑状花崗閃緑岩体の中には1.7%以上の値を示すものがある。

4. 議 論

以上, 筑波地方の花崗岩類を全岩化学組成の特徴から検討してみた。それらをまとめると, 本地域の花崗岩類は全体としてI-タイプの花崗岩類だが, その中でも岩体毎にいくらかの差異がある。この中, 粗粒花崗岩体が最も典型的なI-タイプの性格を持つ。一方, 両雲母花崗岩体はS-タイプ花崗岩類の性格に近くなり, 次いで加波山細粒花崗岩体と斑状花崗閃緑岩体がS-タイプに近い。残る四岩体はこれらの典型的なI-タイプの性格を有するものと, Sタイプに近い性格を有する岩体の中間的な性格を持つ。このような特徴を貫入順序と地域的差異もわかるように第6図にまとめた。各

第2図 ACF図。

A=Al₂O₃-Na₂O-K₂O, C=CaO, F=FeO*+MgO (モル比)。図中の破線の左側 (I) はI-タイプ, 右側 (S) はS-タイプ花崗岩類の領域 (Takahashi *et al.*, 1980)。

CG, 粗粒花崗岩体; FGd, 細粒花崗閃緑岩体; MGd, 中粒花崗閃緑岩体; KB, 加波山細粒花崗岩体; YN, 山尾細粒花崗岩体; PGd, 斑状花崗閃緑岩体; TG, 両雲母花崗岩体。

第3図 C/ACF (第2図のC成分の比)。
縦軸は試料数, 略号は第2図と同じ。

第4図 $Al_2O_3/(Na_2O+K_2O+CaO)$ (モル比)。
縦軸は試料数, 略号は第2図と同じ。

岩体の略号の横にはC/ACF (%) (上段)とノルムコランダム (%) (下段)の値を付してある。

貫入順序という観点に立つと、貫入の後のものはほとんどC/ACF値が小さくノルムコランダム量が大きくなり、S-タイプの花崗岩類の性格に近くなるとみなせる。特に北側の粗粒花崗岩体、中粒花崗閃緑岩体、細粒花崗閃緑岩体、加波山細粒花崗岩体の間では明瞭である。一方、オーストラリアのNew England Bath-

olithでは、貫入の初期のものはS-タイプであるのに後のものはI-タイプであり(Chappell, 1978)、筑波地方とは異なっている。筑波地方では貫入の前後関係といっても時間間隙がほとんど無く連続していたと考えられる。岩体区分のスケールがオーストラリアの例と違う等比較し得る様な対象ではないのかもしれない。むしろ、筑波地方では貫入順序の変化よりも地域性による変化の方が効果が大いなのかもしれない。

第5図 ノルムコランダム。

縦軸は試料数、略号は第2図と同じ。

そこで地域性に注目すると、花崗岩類の差異はもっと明らかになる。北に位置する粗粒花崗岩体は典型的なI-タイプでC/ACF値が30以上と大きく、ノルムコランダム量は1%以下と小さいのに対して、南の両雲母花崗岩体はC/ACF値が30以下と小さく、ノルムコ

ランダム量は2%以上のものもあり、大きい。これら二岩体の中間に位置する五岩体は、斑状花崗閃緑岩体の一試料にC/ACF値が40になるものがあるが、これを除くと、粗粒花崗岩体と両雲母花崗岩体との二岩体の中間的な性格を持っている。つまり、北側は典型的なI-タイプの岩体だが、南側ではS-タイプ花崗岩類に近くなる。本地域南側の筑波変成岩類は、珪線石や紅柱石で特徴づけられる高温低圧型の変成岩類である。その変成作用の成因には、花崗岩類(斑状花崗閃緑岩体)の貫入によるという考えもある(柴, 1979)が、もっと広域的な熱変成作用の場であったという考えもある(宇野, 1961)。花崗岩類の貫入によるとする場合でも、斑状花崗閃緑岩体は変成岩類と調和的な構造を有したり、変成作用が比較的広範囲に及んでいることなどから、本地域の大きな熱構造が決定してから引続いて花崗岩類が貫入したと考えられる。そのような広域的な熱変成作用の場が花崗岩類の貫入時にあったため、南側では花崗岩類は周囲の岩石(砂質及び泥質岩)の影響を受けやすかったであろう。一方、北側には八溝古期堆積岩類からなる非変成中古生界が分布している。それらは花崗岩類に非調和に貫入され接触変成作用を受けているのにすぎない。このような南北間の貫入の場の違い(広域的熱変成作用の程度の違い)が花崗岩質マグマと被貫入岩類との関わりの程度の差をもたらし、そのため、花崗岩類の化学組成上の地域的差異が生じたと考えられる。

5. ま と め

筑波地方の花崗岩類を全岩化学組成をもとにI-タイプ及びS-タイプの分類で特徴づけた。筑波地方の花崗岩類は巨視的にはI-タイプ花崗岩類であるが、個々の岩体では若干の差異がある。地域的には南側のもののほど、貫入順序では後のもののほどS-タイプ花崗岩類の性格に近くなる。南北の地域差の原因として、広域変成作用の場であったかそうでなかったかという貫入の場の違いで説明できるであろう。ただし、このような花崗岩質マグマと被貫入岩類との関わりを定量的に議論するには、同位体地質学的に明らかにする必要がある。周囲の堆積岩類や変成岩類をも含めた同位体地質学的な結果については稿を改めて議論する予定である。

第6図 化学的性質と地質学的位置関係のまとめ。

略号(第2図と同じ)の右側の上段はC/ACF(%), 下段はノルムコランダム(%).

引用文献

- 荒川祥二, 高橋裕平(1987), 筑波地域の花崗岩類のSr同位体比, 昭和62年度三鉱学会講演要旨集, 93.
- Chappell, B.W. (1978), Granitoids from the Moonbi district, New England batholith, Eastern Australia. *J. Geol. Soc. Australia*, 25, 267-283.
- Chappell, B.W. and White, A.J.R. (1974), Two contrasting granite types. *Pacific Geol.*, 8, 173-174.
- 河野義礼, 植田良夫(1966), 本邦産火成岩のK-A dating (IV)—東北日本の花崗岩類—, 岩鉱, 56, 41-55.
- 岡田 茂, 下田信夫, 柴田秀賢(1954), 筑波地方花崗岩類の岩石化学的研究, 東教大地鉱研報, 3号, 197-203.
- 笹田政克, 服部 仁, 金谷 弘, 豊 遙秋, 坂巻幸雄(1987), 筑波山斑れい岩と周辺の花崗岩類との関係についての新知見—霞ヶ浦用水筑波1号トンネルの地質から—, 地調月報, 38, 217-220.
- 柴 正敏(1979), 茨城県, 筑波変成岩類の層序と変成分帯, 岩鉱, 74, 339-349.

- 柴 正敏, 植田良夫, 大貫 仁(1979), 茨城県筑波地方, 変成岩類のK-Ar年令, 岩鉱, 74, 122-125.
- 柴田秀賢(1944), 筑波山附近の深成岩類の関係, 東京文理大研報, 1号, 69-86.
- Shibata, K. (1968), K-Ar age determinations on granitic and metamorphic rocks in Japan. *Rep. Geol. Surv. Japan*, no. 227, pp. 73.
- 高橋裕平(1980), 茨城県筑波山のガプロ類とカコウ岩類との関係について, 地質雑, 86, 481-483.
- 高橋裕平(1982a), 筑波地方のカコウ質岩類の地質, 地質雑, 88, 177-184.
- 高橋裕平(1982b), 筑波地方の花崗岩類の造岩鉱物, 岩鉱, 77, 278-283.
- Takahashi, Y. and Fujii, T. (1984), Felsic Plutonism in the Tsukuba district. *Ann. Rep. Inst. Geosci., Univ. Tsukuba*, no. 10, 132-133.
- Takahashi, M., Aramaki, S. and Ishihara, S. (1980), Magnetite-series/Ilmenite-series vs. I-type/S-type granitoids. *Mining Geol. Spec. Issue*, no. 8, 13-28.
- 宇野達二郎(1961), 茨城県筑波地方の変成岩, 地質雑, 67, 228-236.