

(5) 日本花崗岩類の Ra 含有量および岩漿進化 における U, Th の行動

九州大学理学部地質学教室

富田 達・桃井 齊・唐木田芳文

日本花崗岩類の Ra 含有量は貫入時代別に特徴的な変移を示す (桃井・古賀, 1956). 本論文では, 花崗岩類の Ra 含有量の根源および時代差変移の原因に関する我々の考察を述べて諸賢の御批判を仰ぐことにしたい.

I 日本花崗岩類の Ra 含有量変移

A 1 花崗岩体内の変移 岩相が塩基性から酸性になるにつれて Ra 含有量が増加すること¹⁾については, 既に一部の学者 (HIRSCH, 1927; RÜSSNER, 1933; LARSEN and KEEVIL, 1942) が指摘している. 日本の場合には新白亜紀・第三紀 (中新世) 花崗岩体にその例がある (第 1, 2 図). しかし領家期花崗岩類では, SiO₂ 約 65% 以上になると Ra が減少するという特異性が認められる (第 3 図).

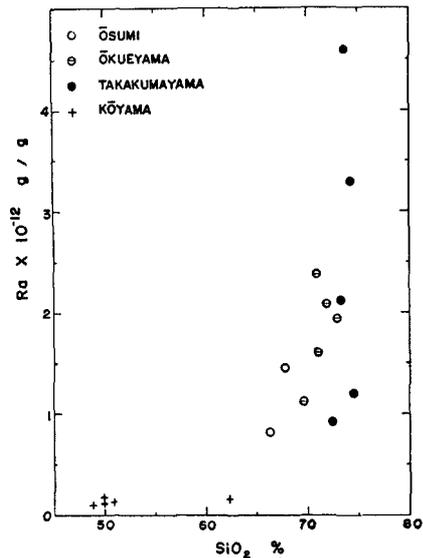
B 連続貫入の花崗岩類 北九州の新白亜紀花崗岩類の内, 鞍手・平尾・真崎・勝山岩体では, ここに記した貫入順に Ra 濃縮の程度が大きくなるが, 最後の 2 貫入岩体 (早良・佐賀) では小さい (第 2, 4 図). これに対して段戸地区 (愛知県) の領家期花崗岩類では, 貫入期が新しいものほど Ra 濃縮の程度が小さくなる傾向がある (第 3, 4 図).

C 最終貫入の両雲母花崗岩 領家期・新白亜紀ともに, その連続活動の最終貫入体は両雲母花崗岩によって構成される. この花崗

岩は, ジルコンが少なく, モナズ石が比較的多いという特徴を有する (富田・唐木田, 1954). このことと, その花崗岩の Ra 含有量が上述したように, 早期貫入の花崗岩類に比べて何れも低いということとをあわせて考えると興味深い.

D 日本花崗岩類の時代別平均 Ra 量 先カンブ紀・領家期・新白亜紀・第三紀中新世の花崗岩類だけについて, その平均 Ra 含有量を通観するのに, 時代が若いものほど多量である (第 1 表). 同様の事実を, SMEETH and WATSON (1918) は南印度の Archean 花

第 1 図 第三紀花崗岩類の Ra と SiO₂ との関係

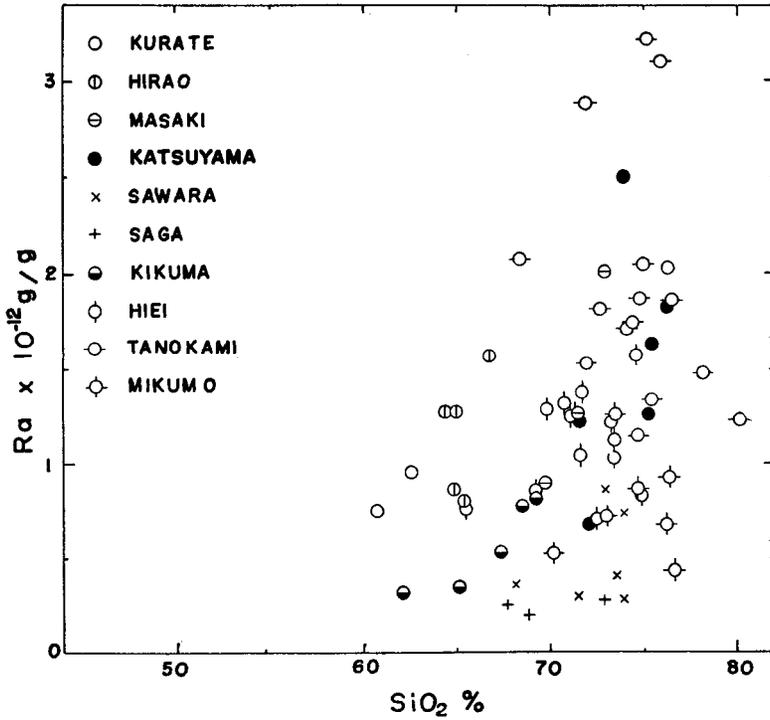


1) 多くの地球化学者が言っている, 地殻構成要素としての酸性岩と塩基性岩における Ra 濃縮差とは違う.

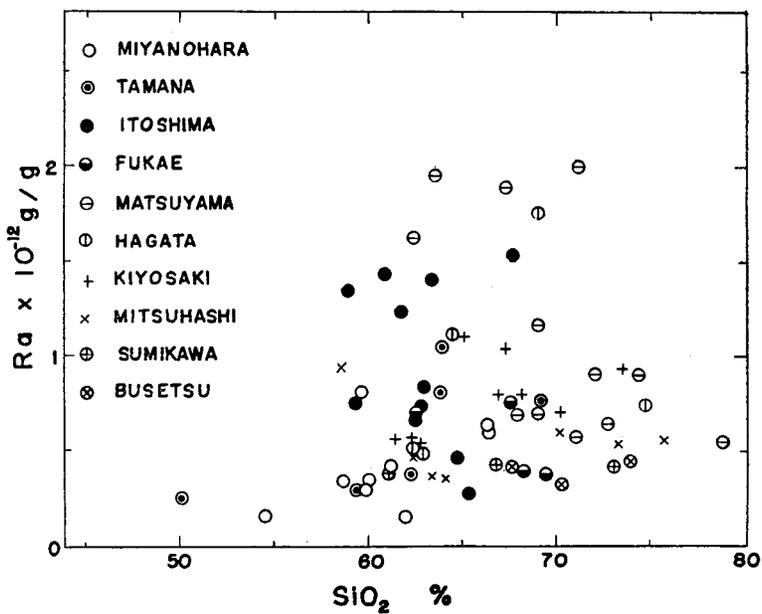
崗岩類について、また WESTERVELD (19 している。

54) もインドネシアの深成岩類について報告 これらの事実は RANKAMA (1946) の指

第2図 白亜紀花崗岩類のRaとSiO₂との関係



第3図 領家期花崗岩類のRaとSiO₂との関係



概に一致する；但し彼のデータは、たとえば きに過ぎるし、また中には検討を要するも
第三紀花崗岩類に関するものはその数が少な の²⁾ も含まれているのであるが、そのような

第 1 表 西南日本花崗岩類の Ra 含有量

花 崗 岩 体	n ⁽¹⁾	Ra×10 ⁻¹² g/g		SiO ₂ %		地 質 時 代
		m ⁽¹⁾	σ ⁽¹⁾	m	σ	
隠岐島後	4	0.46	0.20	73.8	5.1	先カンブ紀
肥後宮ノ原	8	0.41	0.22	61.3	3.7	領家期
〃 玉名	6	0.57	0.31	61.6	5.8	〃
北九州糸島	11	0.97	0.41	62.8	2.3	〃
〃 深江	4	0.55	0.18	67.0	2.6	〃
高繩松山	12	1.33	0.74	70.1	4.0	〃
〃 波方	5	0.85	0.56	64.0	10.2	〃
段戸 ⁽²⁾ 清崎	9	0.80	0.21	67.2	3.8	〃
〃 三都橋	7	0.56	0.27	66.8	5.9	〃
〃 澄川	3	0.42	0.01	67.2	4.8	〃
〃 武節	3	0.40	0.05	70.8	2.5	〃
北九州鞍手	2	0.85	0.10	61.5	1.0	新白亜紀
〃 平尾	5	1.15	0.29	65.0	0.8	〃
〃 真崎	4	1.23	0.52	70.7	1.9	〃
〃 勝山	6	1.51	0.57	74.4	1.8	〃
〃 早良	6	0.49	0.23	72.4	1.7	〃
〃 佐賀	3	0.24	0.03	69.6	2.4	〃
高繩菊間	4	0.53	0.27	66.1	3.2	〃
近畿 ⁽³⁾ 比叡	14	1.25	0.28	72.8	2.2	白亜紀
〃 田ノ上	13	2.04	0.62	74.1	2.3	〃
〃 三雲	11	0.86	0.29	73.9	3.6	〃
南九州大隅	2	1.14	0.32	67.0	0.7	第三紀 (中新世)
〃 大崩	5	1.83	0.44	71.3	1.2	〃
〃 高隈	5	2.42	1.37	73.4	0.8	〃
西南日本各地	4	0.46	0.20	73.8	5.1	先カンブ紀
の時代別平均	68	0.77	0.50	65.9	5.9	領家期
	68	1.18	0.67	71.4	4.0	白亜紀
	12	1.96	1.06	70.7	2.6	第三紀
全 平 均	152	1.04	0.72	68.6	5.8	

(1) n 測定数, m 平均値, σ 標準偏差

(2) 中井敏夫 (1942)

(3) 浅山哲二 (1954)

2) たとえば 'Rapakivi granite' のすべてを岩漿源花崗岩として取扱っているが、この花崗岩類の成因については議論が多く、BACKLUND (1933) の花崗岩化成因説に対して、CHAYES (1948) はそのあるものは交代性花崗岩であるらしいが、あるものは岩漿性花崗岩であると論じている。

不備があるにはあるが、我々の研究結果やその他の実例が RANKAMA の指摘と一致することは、彼の説が大局的見地においては極めて注目すべきものであると考えてよいであろう。しかして、このことは花崗岩漿成因論の

討議にも関係の深い問題であって、なお後段において検討してみたい。

II 花崗岩中の放射能分布に関する従来の研究

花崗岩中の Ra 含有量の変移は、Ra がいかなる鉱物または部分に存在するかということに左右されるものと思われる。この点についての従来の研究結果を簡単に紹介する。

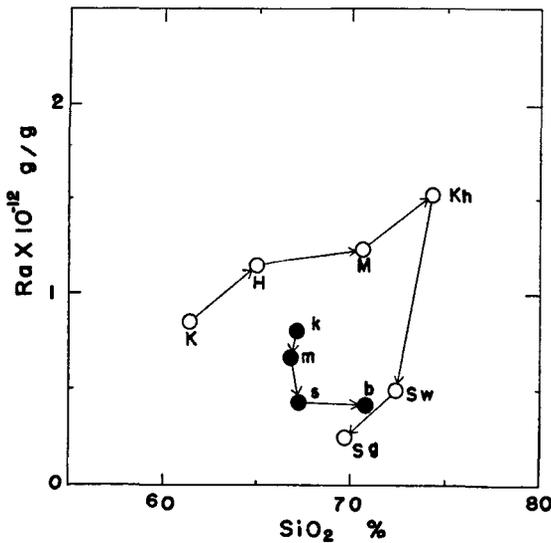
A 一つの花崗岩体内の放射能分布

放射能が一つの花崗岩体の周辺部に濃縮することは LARSEN and KEEVIL (1947), INGHAM and KEEVIL (1951), 初田 (1956), 尹・初田 (1956), 西村・初田 (1956) 等によって報告された; 時には中心部の 6 倍に達することがある。その一例を第 2 表に示す。

B 造岩鉱物の結晶構造内に固定する放射性元素 (酸に容易に溶けないもの)

花崗岩に含まれる放射性元素または放射能の、その構成鉱物への配分に関しては、まず PIGGOT and MERWIN

第 4 図 連続貫入の花崗岩類における平均 Ra 含有量の変化



- 北九州新白亜紀花崗岩類
K: 鞍手, H: 平尾, M: 真崎, Kh: 勝山, Sw: 早良, Sg: 佐賀
- 段戸地区領家花崗岩類
k: 清崎, m: 三都橋, s: 澄川, b: 武節
含モナズ石両雲母花崗岩: Sw, Sg, b
矢印は貫入の順序を示す

第 2 表 Canada の花崗岩体中の放射能分布 (INGHAM-KEEVIL, 1951)

岩 体 名	放 射 能 周 辺 部 / 中 心 部	
Bourlamaque granodiorite	6	
Elzevir batholith	gray granite	3.5
	syenite	3
	white granite	1.7
Chedder granite	quartz diorite	1.8
	diorite-gabbro	none
	aplitic granite	none
		2.8

(1932) が Ra について、白色鋳物中よりも有色鋳物中に多く含まれることを明らかにした。最近の慎重精密な分析結果によると、放射性元素は一般に主として副成分鋳物（ジルコン・チタナイト・燐灰石等）に含まれており、U だけについても合計して50%以上に達することが分った（第3表）。

C 造岩鋳物の表面・割目に存在する放射能（酸に容易に溶けるもの）

HURLEY (1950, 1954), PICCIOTTO (1950), TILTON et al. (1955) 等は鋳物粒の被膜となっていたり割目等に存在する放射性物質による放射能が花崗岩の全放射能の約30%を占めることを明らかにした。これらの放射能はいずれも酸に易溶の放射性物質による；TILTON et al. (1955) によれば、Th 物質はU 物質よりも溶け易いという（第4表）。

III 花崗岩類の Ra 量変移に関する考察

A Ra 量が時代と共に増すことについて

(1) 古い時代の花崗岩に Ra が少ないこと

このことは、一般には、古い時代の花崗岩体は著しく侵蝕されて、Ra 含有量の低い中心部が露出していると説明されている。この説明が支持されるためには、侵蝕の速度・様式が各時代を通じて一定でなければならない。しかし侵蝕結果を実地に見ると、その速度や様式には地域差があり、且つ不規則であったと判断せざるを得ない；たとえば先カンブ紀花崗岩体でも、その頂部だけの小露出もあるし、また周縁部が周囲岩類に密接したままで残っている場合も多い。要するに、侵蝕結果の複雑さにもかゝらず、花崗岩の放射能と地質時代との間にはある規則性がみとめられるという事実は、各時代の花崗岩漿自身の

第 3 表 U および放射能の造岩鋳物への配分

著 者	TILTON et. al (1955)	PICCIOTTO (1950)	LARSEN, KEEVIL & HARRISON (1952)
岩 石 ・ 産 地	Pre-C. granite Haliburton, Ont.	Hercynian granite Lac Blanc	Cret. quartzdiorite South California
放 射 能	U	α	α
石 英	0.7%	0.5%	4.4 %
正 長 石	—	15	—
パ ー サ イ ト	2.6	—	—
斜 長 石	1.0	3.5	16.3
黒 雲 母	} 4.0*	8.5	8.0
角 閃 石		—	11.6
黒 色 鋳 物	2.5	10	0.07
ジ ル コ ン	25.6	} 32.7	8.8
燐 灰 石	0.5		12.4
チ タ ナ イ ト	29.2	} 11	11.6
その他の副成分鋳物	—		} 26.7**
割 目 ・ 間 隙 等	34.0	18	

* 原著では分析していない。他鋳物の値の残余をこれに当てた

** Allanite, monazite を痕跡として含む

第 4 表 酸処理による放射能の移動

岩 石	放射能* 酸処理/未処理	著 者
Palisade diabase	51 %	HURLEY (1950)
Logan Sill diabase	29	do.
Creighton granite	5	do.
Sudbury granite	34	do.
Granite, Adam's Tunnel, Colo.	18	do.
Hercynian granite, LacBlanc	18	PICCIOTTO (1950)
Pre-C. gr., Haliburton, Ont.	41**	TILTON et al. (1955)

* α 測定による全放射能比

** U, Th は夫々34,42%

本質に因るのではないかと考えられるのであって、この問題については更に次項において検討する。

(2) 新しい時代の花崗岩ほど Ra が多いということ

このことを RANKAMA (1946) は次のように説明している; すなわち、既存花崗岩類の partial remelting によって生じた新花崗岩質溶液の "continuous self-repeating granitization" によって、「親花崗岩元素類」("granitophile elements") は花崗岩活動があるたびに次第に地殻上部に向かって運ばれる; その結果、時代の新しい花崗岩ほどそれら諸元素 (Raを含む) に富んでいると。

さて既に述べたように、花崗岩中の鉱物粒の間や割目などには酸に易溶の放射性物質が存在するのであるが、その物質は低温生成物であることはその産状から見て疑問の余地がない。従って、RANKAMAの論ずるが如き既存花崗岩類の partial remelting が行われることを許容するならば、それら低温生成の放射性物質は、そのさいに当然容易に溶け去るはずであり、しかして新生花崗岩質溶液の中に濃縮するであろう。

B 連続活動の場合に Ra が後期貫入花崗岩に濃縮されることについて

この場合は早期貫入花崗岩の partial remelting が行われると考える地質学的根拠は薄弱である。しかし、既固結の早期貫入花崗岩体中の易溶放射性物質が後期貫入岩漿の中に溶け込む可能性は考えられる; すなわち、北九州新白亜紀花崗岩類の例が示すところでは、早期貫入花崗岩が捕獲岩として後期貫入花崗岩中にしばしば存在する。

C 最終貫入花崗岩類に Ra が減量していることについて

このことは恐らく放射性副成分鉱物の性質・量比の変移に因るのであろう。

(1) モナズ石を比較的多量に含む花崗岩類
北九州の新白亜紀、段戸地区の領家期に見られる連続花崗岩活動においては、その晩期にはジルコンは正常型に近い種類であるとともに、その量が著しく減少するのに対してモナズ石が著しく増量する (富田, 1956b; 富田・唐木田・桃井, 1957)。一般にモナズ石はジルコンよりもはるかに多量の Th を含む (第5表); 従って、既述の Ra 含有量が減少していることは、放射性副成分鉱物の性質及

第 5 表 ジルコンおよびモナズ石の U, Th 含有量

鉱 物	U %	Th %	Th/U
ジ ル コ ン	0~0.9	0~2	0.1~ 8
モ ナ ズ 石	0~0.9	2~20	12 ~1300

1. 参考文献: K DOELTER (1918, pp. 546-555), HOLMES (1931), DANA (1951, pp. 693-694), HURLEY-FAIRBAIRN (1953), LARSEN-PHAIR (1954), TILTON et al. (1955)
2. 分析試料は副成分・ペグマタイト・鈹床など各種の産状の標本
3. ジルコン中, 変種ジルコンと称せられているものは除外

び量比が早期と晩期とで変移したことの反映であると解せられる。

(2) 岩漿輪廻末期における U, Th の行動
花崗岩期・ペグマタイト期・熱水溶液期などの時期ごとに U, Th の行動が異なることについては RANKAMA and SAHAMA (1950, pp. 571-572, 633-636) が入門的に解説したし, LARSEN and PHAIR (1954, pp. 88-89) は更にやゝ詳しく論じている。この現象に関する研究は花崗岩漿の本質を知る上に極めて重要であり, また甚だ興味が深いものであるから, 現在までに我々の知り得たことをこゝに取まとめておく。

(a) 正規花崗岩漿相 この漿相の続く間では特殊な U 鈹物・Th 鈹物が晶出するほどには岩漿が U, Th に飽和していない; すなわち, 岩漿中の U^{4+} , Th^{4+} の大部分は通常の構成鈹物の中に固定される。特にジルコン・燐灰石・チタナイト等に入り込む量が多い; ジルコンでは Zr^{4+} を置換し, 燐灰石・チタナイトでは Ca^{2+} を置換して結晶構造の形成に参与している。これらの放射性副成分鈹物の中で, ジルコンについて判明したところでは, 岩漿中に U, Th が濃縮するにつれて, ジルコン構造内に固定される U, Th の量は

増加する (しかし, その量にも限度があると推定している)。要するに, この正規花崗岩漿相における U, Th の行動は互に同調的, あるいは平行的であるといえる。

(b) ペグマタイト・アプライト岩漿相
正規花崗岩漿相に比べると多水の相である。この相での U, Th 行動には次記の 2 主要特徴が認められる: (b-1) 一部分の U, Th は Ti, Cb, Ta などと好んで行動をともにする (columbates や tantalates は放射性); (b-2) 一部分の U, Th は個々の U 鈹物 (uraninite), Th 鈹物 (thorianite, thorite) として点点と晶出する。この特徴はジルコンにも現われており, 含水ジルコンにおいては稀土類元素が入り込むのに伴って少量の U, Th が行動を共にしている (いわゆる変種ジルコンの晶出: 富田, 1956a, pp. 38~39)。しかし多くのジルコンは U, Th の Zr 置換の減少した正常型またはこれに近い種類である。

この岩漿相に関して注意すべきことは, その産状についてである。ペグマタイト・アプライトといえば普通には花崗岩体を貫く岩脈を念頭におく人が多いのであるが, 花崗岩をよく調べると, 顕微鏡的規模の微細脈としてのペグマタイト相やアプライト相が発達して

いる例が決して少なくない；とくに底盤の周縁部や岩株のような小岩体にその例が多い。このような産状を示すペグマタイト・アプライト岩漿相は成因上は正規花崗岩漿相とは区別されるべきであって、放射性鉱物に関する諸研究を行う場合にもその成因的考察を必要とする所以である。

(c) 両雲母花崗岩漿相 既述の通り、ジルコンは正常型に近い種類で少量であり、比較的多量のモナズ石を有する³⁾。この特徴は明らかに正規花崗岩漿相とは異なり U と Th とが別行動をとる岩漿相である。

この岩漿相に関して問題なのは、前項に述べたペグマタイト・アプライト岩漿相との関係である。この関係についてはまだ確実なことを述べ得ないのであるが、次に述べる事実は多少示唆的であろう：(c-1) 両雲母花崗岩漿相は、領家期や北九州新白亜紀の連続貫入の場合には最終貫入である；(c-2) ペグマタイト・アプライト岩脈は各貫入岩体に伴っているが、とくに U, Th 鉱物によって特徴付けられているペグマタイト・アプライト岩漿相は両雲母花崗岩漿相よりも先貫入である；(c-3) 中国地方新白亜紀花崗岩体には両雲母花崗岩漿相が伴わないが、熱水溶液相に U が濃縮している傾向が認められる。

これらの事実から、暫定的に次の提案を記しておきたい：(i) 両雲母花崗岩漿相はペグマタイト岩漿相よりも多水系であって、熱水溶液相に近付いた岩漿相である。(ii) Th の

大部分は岩漿相の間に晶出してしまいが、U は熱水溶液と一諸に他の場所に移動してしまう。従って残溜岩漿（いまの場合には両雲母花崗岩漿）には U が乏しくなる。この考えによると、両雲母花崗岩に Ra が少量となっていることが理解されるであろう⁴⁾。

(3) 熱水溶液源ウラン鉱床のウランの根源について

前項に述べたところが不変唯一の法則ならば、それから推論されるところでは、鳥取県小鴨鉱山に示されているようなウラン産例は、岩漿輪廻終末期を代表する熱水溶液相におけるウラン濃縮を示すものと解するのが妥当であろう。しかし、その可能性の外に更に他の可能性のあることを提唱して、今後の研究に資したいと思う。それは次記の可能性である：現に見る含ウラン鉱脈の本源は含ウラン性ではなくて、通常の無ウラン熱水溶液である；その無ウラン熱水溶液が、酸による易溶ウラン（構成鉱物の被膜や割目などの放射性物質に含まれる）を比較的多量に含む花崗岩体を貫き通る過程において、易溶ウランを溶かして二次的に含ウラン熱水溶液に変じた；このような熱水溶液に溶けるウランは U^{4+} でなく U^{6+} に酸化しているであろう；従ってこの現象は一般に酸化条件下（例へば地殻の浅処）であって、その二次的含ウラン熱水溶液から含ウラン鉱物が晶出するためには、溶液系が再び還元条件（sulphide を主とする金属鉱脈に見られる条件）に恵まれるこ

3) 両雲母花崗岩から分離したジルコンを検鏡すると、そのジルコン結晶内にモナズ石粒（丸味を帯びた小粒）が若干個づつ包有されているのを見る；モナズ石がジルコンよりも先晶出であることを知る。

4) ここで指摘しておきたいことは、両雲母花崗岩漿相や熱水溶液相のような多水系を代表する $SiO_2\%$ を正規花崗岩漿相のそれと相関するものとは考えないこと、換言すれば $SiO_2\%$ を常に不変的に岩漿進化の基準としないことである。

とが必要であると考えられる。

上述の可能性が含蓄する重要性は、ウラン源が uraninite または pitchblende のような高品位鉱床ではなくて、単なる花崗岩中の易溶性含ウラン物質であるという点に存し、このことはウラン探鉱上かなり複雑な問題を提供するものと思考される。

IV 花崗岩漿の成因研究について

地質時代の若い花崗岩ほど、その Ra 含有量が多いという事実を説明するために、さきに RANKAMA (1946) の既存花崗岩類の partial remelting 説を許容した場合の論述を行った。しかし、言うまでもなく、その説は花崗岩漿成因問題として十分に検討されねばならない。

花崗岩漿の成因としては、次の2つの可能性が考えられる：(A) 玄武岩質岩漿の分別結晶作用の結果として生じた最終残液である (BOWEN's theory); (B) 既存花崗岩類の partial remelting によって最初に生ずる溶液である。この2つの可能性のいずれを選択するかについては地質学者の間に意見の相異がある；BOWEN (1954) は (B) の可能性をみとめながらも、(A) の考えを保持しているのに対して、多くの学者は (A) の場合 (岩

漿分化岩体や或る火山の場合など) をみとめながらも、造山帯における底盤花崗岩体を形成する場合の花崗岩漿は (B) であろうとしている (HATCH et al., 1952, p. 378; TYRRELL, 1953, p. 43; GILLULY et al., 1955, p. 463)。

さて、花崗岩漿の成因が上記2可能性のいずれであろうと、その化学成分は、主成分に関する限りにおいては、ほとんど全く一致しているのであって、従ってまた岩漿源花崗岩に関する限りにおいては、主成分鉱物の検査だけでは認め得可き差異はほとんど無いと推知される。このような事情にある場合、花崗岩の中に成因論に資すべき証拠を求めんと欲するならば、化学成分上や鉱物成分上の主成分のみを対象としないで、他の成分 (微量成分や副成分鉱物) をも調べるという研究方法をとることが望ましい。我我はこの見地に立って、我我の研究を進めて行きたいと思っている。ちなみに、ここに述べた研究方針は火山岩類についてもあてはまると考えてをり、routine explanation や arm-chair interpretation に低回せずに更に多くの事実や証拠を蓄積する方向の研究が将来のために必要であると信じている。

引用文献

- ASAYAMA, T. (1954) The radium content and the chemical composition of granitic rocks in Japan, especially in the Tanakami-Mikumo and the Hiei regions, Shiga and Kyoto Prefectures. Mem. Fac. Ind. Arts, Kyoto Techn. Univ., E3, 25-54.
- BACKLUND, H. G. (1938) The problems of the Rapakivi granites. Jour. Geol., 46, 339-396.
- BOWEN, N. L. (1954) Experiment as an aid to the understanding of the natural world. Proc. Acad. Natur. Sci. Phila., vol CVI, 1-12.
- CHAYES, F. (1948) A petrographic criterion for the possible replacement origin of rocks. Am. Jour. Sci., 246, 413-415.
- "DANA's System of Mineralogy," (1951) 7th Ed. (New York), vol. II, 1124 pp.

- DOELTER, C. (1918) "Handbuch der Mineralchemie," Bd. III, (Dresden), 965 pp.
- FAUL, H. (1954) "Nuclear Geology," a symposium on nuclear phenomena in the earth science, (New York), 414 pp.
- GILLULY, J., A. C. WATERS, and A. O. WOODFORD (1955) "Principles of Geology" (San Francisco), 631 pp.
- HATCH, F. H., A. K. WELLS, and M. K. WELLS (1952) "The Petrology of the Igneous Rocks," (London), 469 pp.
- 初田甚一郎 (1956) 岩体中における放射能分布 (要旨). 地質学雑誌, **62**, 377.
- HIRSCH, H. (1927) Radioaktivität der Intrusivgesteine des Aarmassivs. Schweiz. min. u. pet. Mitt., **7**, 98-114.
- HOLMES, A. (1931) Radioactivity and geological time, in the "Physics of the Earth," IV. Nat. Research Council (U. S.), Bull. **80**, 124-459.
- HURLEY, P. M. (1950) Distribution of radioactivity in granites and possible relation to helium age measurement. Bull. Geol. Soc. Am., **61**, 1-8.
- HURLEY, P. M., and H. W. FAIRBAIRN (1953) Radiation damage in zircon: A possible age method. Bull. Geol. Soc. Am., **64**, 659-674.
- HURLEY, P. M. (1954) The helium age method and the distribution and migration of helium in rocks, in the "Nuclear Geology," 301-328.
- 尹一・初田甚一郎 (1956) ベグマタイトおよびその附近における放射能分布 (要旨). 地質学雑誌, **62**, 377.
- INGHAM, W. N., and N. B. KEEVIL (1951) Radioactivity of the Bourlamague, Elzevir, and Chedder batholiths, Canada. Bull. Geol. Soc. Am., **62**, 131-148.
- LARSEN, E. S., Jr., and N. B. KEEVIL (1942) The distribution of helium and radioactivity in rocks, III: Radioactivity and petrology of some California intrusives. Am. Jour. Sci., **240**, 204-215.
- LARSEN, E. S., Jr., and N. B. KEEVIL (1947) Radioactivity of the rocks of the batholith of Southern California. Bull. Geol. Soc. Am., **58**, 483-493.
- LARSEN, E. S., Jr., N. B. KEEVIL, and H. C. HARRISON (1952) Method for determining the age of igneous rocks using the accessory minerals. Bull. Geol. Soc. Am., **63**, 1045-1052.
- LARSEN, E. S., Jr., and G. PHAIR (1954) The distribution of uranium and thorium in igneous rocks, in the "Nuclear Geology," 75-88.
- 桃井齊・古賀昭人 (1956) 花崗岩類の Ra 含有量 (要旨). 地質学雑誌, **62**, 383.
- 中井敏夫 (1942) 本邦産岩石の Ra 含有量 (3) 段戸花崗閃緑岩類. 日化, **63**, 1100-1108.
- 西村進・初田甚一郎 (1956) 接触変成帯における放射能分布 (要旨). 地質学雑誌, **62**, 377.
- PICCIOTTO, E. E. (1950) Distribution de la radioactivité dans un granite. Compt. Rend., **230**, 2282. [Ref. RANKAMA (1954), p. 107.]
- PIGGOT, C. S., and H. E. MERWIN (1932) Radium in rocks: IV Location and association of radium in igneous rocks. Amer. Jour. Sci.; **23**, 49-56.
- RANKAMA, K. (1946) On the geochemical differentiation in the earth's crust. Bull. Comm. géol. Finland, **137**, 1-21.
- RANKAMA, K., and Th. G. SAHAMA (1952) "Geochemistry," (Chicago), 912 pp.
- RANKAMA, K. (1954) "Isotope Geology," (London), 535 pp.
- RÖSSNER, H. (1933) Ueber den Radiumgehalt der Gesteine des Gleinalpenkerns.

- Schweiz. min. u. petr. Mitt., **44**, 494-504.
- SMEETH, W. F., and H. E. WATSON (1918) The radioactivity of Archean rocks from the Mysore State, South India. *Phil. Mag.* (6), **35**, 206-209.
- TILTON, G. R., C. PATTERSON, H. BROWN, M. INGRAM, R. HAYDEN, D. HESS, and E. S. LARSEN, Jr. (1955) Isotopic composition and distribution of lead, uranium, and thorium in an Precambrian granite. *Bull. Geol. Soc. Am.*, **66**, 1131-1148.
- 富田達・唐木田芳文 (1954) モナズ石を相当多量に含む花崗岩類の発見. 西日本支部会報, 15号, 11.
- 富田達 (1956 a) ジルコンの放射能効果. 地球科学, 第26・27号, 36-51.
- 富田達 (1959 b) 白亜紀花崗岩に関する2・3の問題. 総合研究「日本の後期中世界の研究」連絡紙, 第3号, 116-123; 地質学雑誌, **62**, 359.
- 富田達・唐木田芳文・桃井斉 (1957) 北九州新白亜紀花崗岩類の進化とジルコン. 岡大温研報, **19**, 27-32.
- TYRRELL, G. W. (1953) "The Earth and Its Mysteries," (London), 278 pp.
- WESTERVELD, J. (1954) Radioactivity and chemistry of some Indonesian eruptive rocks. *Verhandel. Koninklijke Nederlandse Akad. van Wetenschappen, Afd. Naturkunde, Erste Reeks, Deel xx, No. 4*, 1-505. [参考: 抄録; 地質学雑誌, **62**, 285-286.]

質 疑 応 答

- 斉藤 (東大) silica content は一つの岩体をとつてどうなるか. 逆にRa content から basic とか時代を出すことができないか. Th, Uと陰陽イオンの差から考えてもこの結果は面白い. (Uはanionicになる)
- 早瀬 (京大) 時代と Ra content との関係については時期尙早でないだろうか. hydrothermal と fine grained mineral と両方の影響を考えねばならない.
- 岩生 (東大) 50% silica のものは何か.
- 桃井 Tertiary のものは gabbro, 領家では granodiorite, diorite 又は inclusion である. それぞれ1つの岩体である. very contact のものは sampling していない.