研究短報文

花こう岩における Sr 同位体比の初生値についての一考察

A consideration on the initial strontium isotopic composition in granites

加々美 寛 雄 (Hiroo Kagami)*

Abstract: It has been generally received that the granites having relatively high initial strontium composition (initial $\text{Sr}^{87}/\text{Sr}^{86}$) were formed either by remelting of sialic crustal rocks or by contamination of crystal materials in magmas of mantle-type materials origin. However, it seems to be necessary to reexamine such an idea.

In the present paper the writer proposes a model for deriving granites having high initial strontium composition, without the participation of sialic crystal materials. In this model it is conceived that magmas generated from the upper mantle materials with low Rb/Sr and low $\text{Sr}^{87}/\text{Sr}^{86}$ values are brought to a halt there or nearby deep place for such a long time as 10^7 yrs. or longer, and then are invaded into the crust and are differentiated into various granites. It is hoped that the validity of the above conception may be examined by further studies.

1. は じ め に

この数年間に、火成岩の Rb-Sr 同位体比のデータが急速にふえ、これが、単なる年代測定に使われるだけでなく、火成岩の成因の研究にも注目されるようになった (牛来, 1963; Faure-Hurley, 1963 等). 従来より、その成因について、多々議論されてきた花こう岩に、まず焦点があわされ、世界各地から多数のデータが出されている。

Sr 同位体比により成因を論ずるのには、ある花こう岩が、あるもとの物質から分化した時の $\text{Sr}^{87}/\text{Sr}^{86}$ の値、即ち初生値が使われる。この初生値は、種々の方法で求められてきたが、この中でも特に、全岩試料から得られる値が最も重要なことがわかってきた。

第 1 図には、次の 3 条件にあう世界各地の花こう岩のデータがプロットされている。

- ① 全岩試料を使い、アイソクロン法** により初生値 ($\text{Sr}^{87}/\text{Sr}^{86}$)₀、年代を求めてある。
- ② Rb, Sr の量、あるいは Rb/Sr の値が求めてある。
- ③ 測定試料の出典を明記してある。

引用したデータは、文献の項の * 印をしたものからである。 $\lambda_{\text{Rb}} = 1.47 \times 10^{-11} \text{y}^{-1}$ を

* 東京教育大学理学部地質学鉱物学教室

(昭和 44 年 4 月 21 日受理)

** $\text{Sr}^{87}/\text{Sr}^{86}$, $\text{Rb}^{87}/\text{Sr}^{86}$ を座標軸としたグラフに、各試料から得られた値 (測定値) をプロットし、これらの点を結ぶ直線により、初生値、年代を求める方法。

第1図 全岩アイソクロンから得られた花こう岩の $\text{Sr}^{87}/\text{Sr}^{86}$ 初生値の分布

第2図 根源物質から花こう岩マグマ母体の発生と分化の模式図 (1)

使い求めてある年代は、 $1.39 \times 10^{-11} \text{y}^{-1}$ で計算しなおした。

第1図で、0.705 前後の低い初生値を示す花こう岩は、玄武岩マグマの根源物質（上部マントル物質）における Sr の進化帯に入ることから、これらの花こう岩の成因については、玄武岩質物質あるいはその根源物質から分化したものという考えがなされている。

初生値が 0.720 の近く、あるいはそれ以上の高い値を示す花こう岩の成因については、地殻構成物質の部分ようゆう、あるいは全ようゆうという解釈がなされている。また、0.710 前後の初生値を持つ花こう岩については、玄武岩質物質あるいは、その根源物質から分化したマグマが、地殻構成物質を混合して形成されたという解釈がなされている。第1図に引用した論文を見ると、初生値のやや高いもの、かなり高いものについては、上記のような説明がすべてなされており、初生値について何の疑問も持たず、機械的な解釈がなされているにすぎない。

白波瀬ら (1969) は、初生値についてやや詳しく考察した。それによると、全岩試料を使いアイソクロン法により得られた初生値と年代は、測定に用いた試料が、ある母体から分化した時の値を示すものであるが、それらの値は、その母体が、他の根源物質から初生的に派生した時の値を示すとは限らない。彼らの考えを模式的に示した (第2図)。これは、全岩試料によるアイソクロン法で得られた初生値 ($\text{Sr}^{87}/\text{Sr}^{86}$)₀₂, 年代 t_2 が、測定試料を分化した母体が他のある根源物質から派生した時の初生値 ($\text{Sr}^{87}/\text{Sr}^{86}$)₀₁, 年代 t_1 とこととなる場合を示している。場合によっては、($\text{Sr}^{87}/\text{Sr}^{86}$)₀₁ = ($\text{Sr}^{87}/\text{Sr}^{86}$)₀₂, $t_1 = t_2$ である可能性があるが、今迄の論文では、無意識のうちに、それらが一致しているという考えにたっている。

筆者は、白波瀬ら (1969) の考えをより発展させ、初生値の高い花こう岩でも、地殻物質からの発生、あるいは地殻物質との混合を考えなくても説明できる可能性があることに気づいた。その考えを以下に記す。

2. データの選定

筆者は、測定された試料が、第2図のような関係になるということを仮定して、考えを進めてみた。それには、ある地域の測定された花こう岩質物質を分化した母体が、ある根源物質から初生的に派生した時、及びその後分化する迄の Rb/Sr の値がわからなければならない。これを求めることはきわめてむずかしい。と言うのは、現在測定される各々の全岩試料の Rb/Sr 値は、母体からの分化後の値であるからである。根源物質から派生して分化する迄の間の、この正確な値を求めようとするならば、あらゆる岩相について Rb/Sr の値を測定し、しかも、それらの体積比を正確に求めた上で計算せねばならない。実際には、この方法によってその正確な値を求めることは極めて困難であるが、筆者は、第1図に使ったデータを用い、次の方法に従って、これとほぼ等しいであろう値を求めた。その方法は、測定された Rb/Sr の平均値が、根源物質からの派生時の Rb/Sr 値とほぼ等しいということを前提としている。と言うのは、 Rb^{87} から崩壊によって生ずる Sr^{87} の量は極めて少ないので、Rb/Sr 値の時間的変化は無視できると考えられるからである。下記に示したデータはすべて機械的に除き、その他のデータを平均して求めた。

- ① 年代測定の精度を上げるため、特にアルカリに富む岩相からの試料を使ったと明記してあるもの。

第3図 花こう岩の初生値 $(\text{Sr}^{87}/\text{Sr}^{86})_{02}$ —Rb/Sr 値関係図

② 論文中, 明らかにアプライト脈, ベグマタイト脈, 岩脈からの試料を使ったとしてあるもの。

③ アイソクロンの上で, 他の試料からとびはなれたところにプロットされるもの。

以上の試料は, ある地域の花こう岩体全体としての Rb/Sr の平均値を求める上に, えいきょうが大きすぎて, 適当でない判断したので除いたわけである。このようにして得られた Rb/Sr 値を t_1 — t_2^* 間の値として使った。この Rb/Sr 値を横軸に, 初生値 $(\text{Sr}^{87}/\text{Sr}^{86})_{02}$ を縦軸にとり, 各値をプロットしたものを第3図に示した。この図によると, Rb/Sr の値が大きいほど初生値 $(\text{Sr}^{87}/\text{Sr}^{86})_{02}$ は大きくなっているという一般的傾向がある。これをより明確に示すために, 第1図中のデータを任意に選び, $\text{Sr}^{87}/\text{Sr}^{86}$ の現在値** と初生値 $(\text{Sr}^{87}/\text{Sr}^{86})_{02}$ を結んでみる(第4図)。この両点を結ぶ線の傾斜が, 以上の考えでは, t_1 — t_2 間の Rb/Sr 値の大小と関係している。

3. 考 察

第3図の結果を, 第5図に従い考察する。この図において, t_1 は花こう岩質物質の母体がある根源物質から派生した時の年代を示し, t_2 は, その母体が分化し, 現在みられるような花こう岩質物質を形成した年代を示す。花こう岩質物質の二つの母体が, ある根源物質から同時に派生したとすると, 最初はほぼ同じ $(\text{Sr}^{87}/\text{Sr}^{86})_{01}$ 値を持っているが, その後分化し, 個々の花こう岩質物質を形成する迄の時間 (t_1 — t_2) が同じでも, それらの母体の持つ Rb/Sr の値の違いにより, 分化時における初生値が異なる [a $(\text{Sr}^{87}/\text{Sr}^{86})_{02}$, b $(\text{Sr}^{87}/\text{Sr}^{86})_{02}$] ことを, 第5図は示している。即ち, 母体の Rb/Sr の値が大きければ, t_1 から t_2 迄の Sr 進化線の傾斜が大きくなり, より高い $(\text{Sr}^{87}/\text{Sr}^{86})_{02}$ を持つようになる。又, 母体の Rb/Sr の値が同じでも, 一々の花こう岩質物質に分化する迄の時間の長短によって, 初生値 $(\text{Sr}^{87}/\text{Sr}^{86})_{02}$ の大小が生じることもありうる。

* t_1 , t_2 は, 第2図の記号と同じいみのもの。

** 上記3点に当るデータを除いた平均値。

第4図

● 初生値 ○ 現在値
 両点を結ぶ線は Sr の進化線

筆者の考えは、花こう岩質物質の母体が $\text{Sr}^{87}/\text{Sr}^{86}$ の低い値を持つ根源物質から派生しても、それら母体が一々花こう岩質物質に分化するまでの時間がある程度長く、そしてそれら母体の持つ Rb/Sr の値が高ければ、より高い初生値 $(\text{Sr}^{87}/\text{Sr}^{86})_{02}$ を持つ花こう岩ができるだろうということである。

第3図に示した 0m. y. の線上付近にプロットされる花こう岩は、その母体がある根源物質から派生して分化する迄の時間が極めて短いと解釈される。図に示された点のかなりのものが 20-40m. y. を示す線の範囲に入るという事は、上述の筆者の考えからすれば、花こう岩質の母体が低い $\text{Sr}^{87}/\text{Sr}^{86}$ 値を持つ根源物質から派生し、20-40m. y. 後に分化したと説明される。又、一部のもは、100m. y. を示す線上にのっているのが注目される。

以上述べたのは、花こう岩中の Sr 初生値についての一つの説明であるが、従来一般になされてきた“高い初生値には地殻構成物質が関与している”という考えを上述べた

第5図 根源物質から花こう岩 マグマ母体の発生と分化の模式図 (2)
各記号は第2図のものと一致する。

一解釈をふくめて、今後、地質学的、地球物理学的、地球化学的研究から、十分に検討する必要がある。

謝 辞

この論文を書くにあたって、牛来正夫博士（東京教育大学）の御指導を終始いただいた。心から感謝する。白波瀬輝氏・平野英雄氏（地質調査所）には、有益なる御討論をいただいた。又、飯泉滋氏をはじめ、東京教育大学岩石大学院の諸兄には、さまざまな御助言をいただいた。ここに感謝の意を表する。

引 用 文 献

- Allsopp, H.L. and Kolbe, P. (1965)* Isotopic age determinations on the Cape granite and intruded Malmesbury sediments, Cape peninsula, South Africa, *Geochim. Cosmochim. Acta*, **29**, 1115~1130.
- Armstrong, R.L. and Hills, A. (1967)*, Rb-Sr and K-Ar geochronologic studies of mantled gneiss domes, Albion range, Southern Idaho, USA., *Earth Plan. Sci. Lett.*, **3**, 114~124.
- Brooks, C. and Compston, W. (1965)*, The age and initial $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ of the Heemskirk granite, Western Tasmania, *Jour. Geophys. Res.*, **70**, 6249~6262.
- Burchart, J. (1968)*, Rb-Sr isochron ages of the crystalline core of the

- Tatra mountains, Poland, *Amer. Jour. Sci.*, **266**, 895~907.
- Fairbairn, H.W., Hurley, P.M. and Pinson, W.H. (1964)*, Initial $\text{Sr}^{87}/\text{Sr}^{86}$ and possible sources of granitic rocks in Southern British Columbia, *Jour. Geophys. Res.*, **69**, 4889~4893.
- , Moorbath, S., Ramo, A.O., Pinson, W.H. and Hurley, P.M. (1967)*, Rb-Sr age of granitic rocks of Southeastern Massachusetts and the age of the Lower Cambrian at Hoppin Hills, *Earth Plan. Sci. Lett.*, **2**, 321~328.
- Faure, G. and Hurley, P.M. (1963), The isotopic composition of strontium in oceanic and continental basalts: Application to the origin of igneous rocks, *Jour. Petrol.*, **4**, 31~50.
- 牛来 正夫 (1963), Sr 同位元素と花崗岩の成因, *地質雑*, **69**, 241~242.
- Hedge, C.E., Peterman, Z.E. and Braddock, W.A. (1967)*, Age of the major Precambrian regional metamorphism in the Northern Front range, Colorado. *Bull. Geol. Soc. Amer.*, **78**, 551~558.
- Hills, A. and Gast, P.W. (1964)*, Age of pyroxene-hornblende granitic gneiss of the Eastern Adirondacks by the Rb-Sr whole rock method, *Bull. Geol. Soc. Amer.*, **75**, 759~766.
- , Gast, P.W., Houston, R.S. and Swainbank, I.G. (1968)*, Precambrian geochronology of the Medicine Bow mountains, Southeastern Wyoming, *Bull. Geol. Soc. Amer.*, **79**, 1757~1784.
- Krogh, T.E. and Hurley, P.M. (1968)*, Strontium isotope variation and whole-rock isochron studies, Grenville province of Ontario, *Jour. Geophys. Res.*, **73**, 7101~7125.
- Leggo, P.J., Compston, W. and Leake, B.E. (1966)*, The geochronology of the Connemara granites and its bearing on the antiquity of the Dalradian Series, *Q. J. Geol. Soc. London*, **122**, 91~118.
- Long, L.E. (1964)*, Rb-Sr chronology of the Carn Chuiineag intrusion, Ross-shire, Scotland, *Jour. Geophys. Res.*, **69**, 1589~1597.
- Manton, W.I. (1968)*, The origin of associated basic and acid rocks in the Lebombo-Nuanetsi igneous province, Southern Africa, as implied by Sr isotopes, *Jour. Petrol.*, **9**, 23~39.
- McDougall, I. and Leggo, P.J. (1965)*, Isotopic age determinations on granitic rocks from Tasmania, *Jour. Geol. Soc. Aust.*, **12**, 295~332.
- Moorbath, S. and Bell, J.D. (1965)*, Strontium isotope abundance studies and Rb-Sr age determinations on Tertiary igneous rocks from the Isle of Skye North-West Scotland, *Jour. Petrol.*, **6**, 37~66.
- Pidgeon, R.T. and Compston, W. (1965)*, The age and origin of the Cooma granite and its associated metamorphic zones, New South Wales, *Jour. Petrol.*, **6**, 193~222.
- (1967)*, A Rb-Sr geochronological study of the Willyama complex, Broken Hill, Australia, *Jour. Petrol.*, **8**, 283~324.
- Posadas, V.G. and Kalliokoski, J. (1967)*, Rb-Sr ages of the Encrucijada granite intrusive in the Imataca complex, Venezuela, *Earth Plan. Sci. Lett.*, **2**, 210~214.
- Richards, J.R. (1966)*, Some Rb-Sr measurements on granites near Mount Isa, Aust. Institute Min. Metall., **218**, 19~23.

白波瀬輝夫・加々美寛雄・飯泉 滋 (1969), 花崗岩の成因と Sr·Pb 同位体, 地質学論集 5号, 69-78.

White, A.J.R., Compston, C. and Kleeman, A.W. (1967)*, The Palmer granite—A study of a granite within a regional metamorphic environment, Jour. Petrol., 8, 29-50.