

地球化学の話

⑩

同位体地質学〔6〕

とくにU・Th・PbおよびRb・Srについて

倉 沢 一

火山岩の Sr 同位体

I. 火山岩の成因と同位体

火山岩(火成岩)の成因としては その源と考えられている玄武岩マグマと その分化物の成因論に問題の核心があり 長い間 岩石学の謎(enigma)とされ 古くかつ新しい課題である。

前者の玄武岩マグマは 従来 ソレイアイトとアルカリかんらん石玄武岩の2つの型が考えられている。近年 上記の2つのマグマ型に加えて その中間型に高アルミナ玄武岩が提起され 議論されている。ともかくこれらのマグマの独立性を認めるならば その成因を究明しなければならない。次に 後者の分化物についてであるが これが 玄武岩マグマの結晶分化作用によって生成されたという考え方と 異質物との混成作用あるいは地殻物質の再溶融によるという考え方がある。

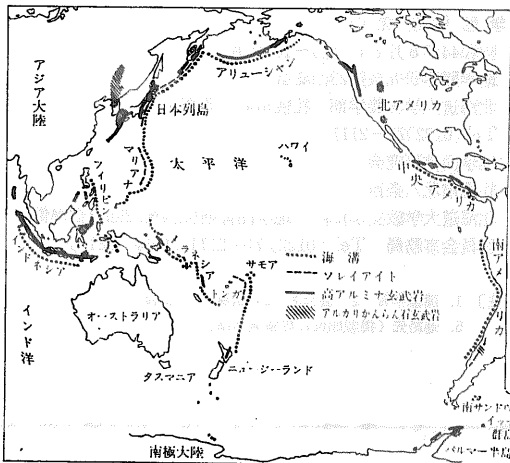
さらに カルクアルカリ岩系岩石が マントルで直接生成されるという研究もある。こうした議論に対して近年有力な武器となっているものの一つに 同位体岩石学があり ここ数年来急速な発展をみせている。同位体測定は もともと岩石の年令測定を目的としてはじめられたことは すでに述べた。

今までの火成岩成因論をはじめに説明するのが望ましいのであるが 他の文献にゆずる。日本においても すでにまわっている同位体岩石学は その着想 地質学的岩石学的背景から ある分野では 指導的役割を

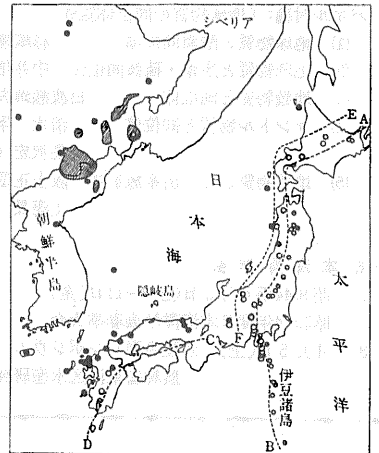
果たすことができると考えている。——という訳で 日本を含めた世界中の研究成果 状況を吟味し まとめてみることは 意義のあることであろう。参考までに 環太平洋地域の火山岩の岩系別分布と 日本および近傍地域のそれとを第1, 2図に示しておく。

火山岩中のSr 同位体を研究するに際して Rb Sr 含有量を知ることが必要である。いくつかの値を第3図にグラフで示した。玄武岩マグマがかんらん岩(peridotite)から生成されることは この図からも推定できるが 海洋地域の玄武岩(oceanic basalt)より 大陸地域のそれ(continental basalt)の方が Rb/Sr 比が高い傾向がある。先カンブリア紀の岩石やカコウ岩およびその造岩鉱物中の同比は著しく高いことがわかる。一般に 分化物である中性～酸性岩類に高い。玄武岩と一般に呼ばれる岩石にも 厳密にいえば 分化の進んだものがあり 玄武岩マグマのとらえ方においては注意する必要がある。

次に Srの成長についての基本的な見方の説明のためには 第4図のようなものがよく使われる。地球のモデルは隕石に求められている。図の隕石 Sr⁸⁷/Sr⁸⁶初生値は 0.698 (4.5×10⁹年)といわれており 現在の地球物質のもつ同比の値とを結んだ直線を まずSrの成長曲線(直線)と考える。大陸地殻の生成が2.5×10⁹年にはじまったとすると 一応 点線であらわされるような Srの成長がえられる。この図の右側に 海洋地域と大



← 第1図 環太平洋地域の火山岩の岩系別分布 (Kuno 1967)



→ 第2図 日本および近傍地域の火山岩の岩系別分布 (Kuno 1967)
小白丸:ソレイアイト 大白丸:高アルミナ玄武岩
黒丸:アルカリかんらん石玄武岩
斜線部:第三紀アルカリ玄武岩熔岩台地

陸地域の玄武岩 カコウ岩類および島根県隠岐島後の火山岩類を参考までに示した。 隠岐島後の 1~5の番号は玄武岩類である。 また現世の海水は0.7085とされている。

II. 火山岩の Sr 同位体

火山岩中の Sr 同位体の研究は ガスト (Gast, 1960) ファウレら (Faure & Hurley, 1963) マーシーら (Murthy & Stueber, 1963) やハミルトン (1963) らによってはじめられた。 その後 急速な発展によって 多数の研究結果が報告されている。

次にそれらの中から代表的なものを解説 紹介し えられた結論や考え方をとりあげてみよう。

シェルゴード (Skaergaard) 貫入岩体

結晶分化作用の生成物として有名なこの貫入岩体は 50 m.y. (百万年) 前に生成された。 この岩体の研究の興味の一つは 地殻物質の混成作用の有無を同位体岩石学的にとらえることにある。 測定結果を第 1 表に示す。 貫入岩体の大部分は結晶分化作用の生成物であり 初生マグマ(塩基性岩類)の Sr⁸⁷/Sr⁸⁶ 平均値は 0.7065 Sr 含有量は約 260ppm である。 これに対して 晩期の分化物であるグラノファイヤーは表に示したような高い値 つまり 0.710 以上をもっており おそらく先カンブリア紀片麻岩の混成作用をあらわすと考えられる。 この結論はテイラーら (Taylor & Epstein, 1963) による O¹⁸/O¹⁶ の研究からも支持されている。 この混成作用というものも 単なる基盤岩類 たとえば Leiwisian 統の変成岩との混成作用のみでは説明できない。 つまり 放射性源 Sr⁸⁷ の高い濃集は 周囲の岩石中の部分的あるいは特定の鉱物の選択的再溶融 いいかえれば Rb に富む相の優先的吸着 (マグマへの) などが考えられている

第 1 表 シェルゴード貫入岩体の Sr⁸⁷/Sr⁸⁶ 初生値

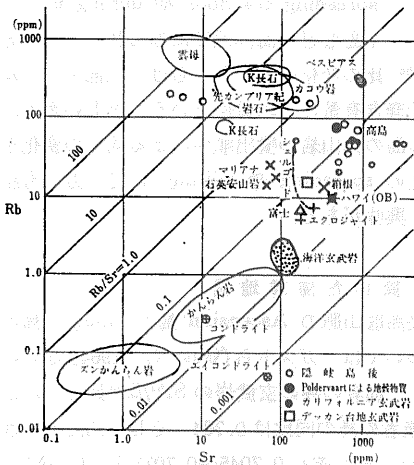
岩 型	分析数	海拔(m)	Sr ⁸⁸ /Sr ⁸⁶	Sr ⁸⁷ /Sr ⁸⁶ _a	Sr ⁸⁷ /Sr ⁸⁶ _{corr. b}
Marginal gabbros	6	—	0.1191	0.7076	0.7063
<i>Layered series</i>					
Ferrogabbros	6	1924—2450	0.1187	0.7084	0.7065
Hortonolite ferrogabbro	4	1800	0.1196	0.7075	0.7079
Middle gabbro	2	1180	0.1198	0.7075	0.7084
Hypersthene olivine gabbro	5	280—825	0.1191	0.7054	0.7044
		110	0.1206	0.7028	0.7063
Average layered series	—	—	0.1195	0.7069	0.7066
<i>Upper border group</i>					
Melanogranophyres	3	—	0.1191	0.7089	0.7071
Transitional granophyres 2	—	—	0.1192	0.7110	0.7104
<i>Tinden granophyre sill</i>					
Altered acid granophyre 3	—	—	0.1203	0.7281	0.7303
Fresh acid granophyre 2	—	—	0.1200	0.7135	0.7141
Melanocratic acid granophyre	1	—	0.1200	0.7094	0.7094

- a. 測定値
- b. Sr⁸⁸/Sr⁸⁶=0.1194 標準で化した値 50m.y.の成長曲線で求めた初生値

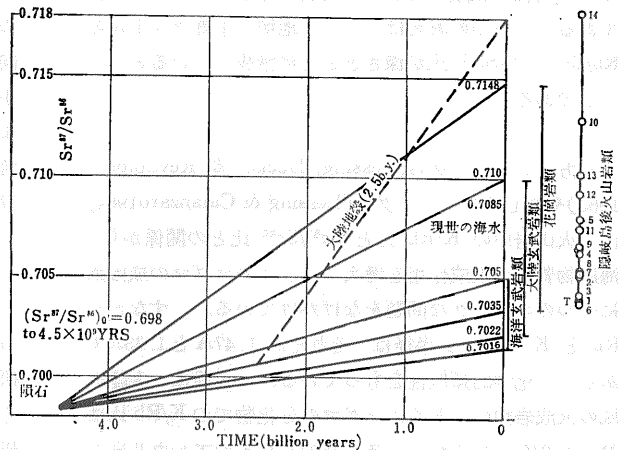
(Hamilton, 1963).

ハワイ地域の火山岩類

この地域の火山岩類の岩石学的 あるいは年令測定による活動順序の研究は 海洋地域のものとしてもっとも進んでいるものの一つである (McDougall, 1964; 地質ニュース, No.164, p.52, 1968). ハワイの Sr 同位体研究は ファウレら (Faure & Hurley, 1963) レッシングら (Lessing & Catanzaro, 1964) パウエルら (Powell Faure & Hurley, 1965) ヘッジ (Hedge, 1966) などによって行なわれている。 測定結果を第 2, 3 表に示す。 測定値のバラツキはきわめて小さく アルカリ岩系玄武



第 3 図 岩石中のルビジウムとストロンチウムの関係



第 4 図 ストロンチウムの成長曲線

第2表 ハワイの火山岩の Sr 同位体組成

岩石名	産地	Sr ⁸⁷ /Sr ⁸⁶
Olivine basalt	Kilauea, 1894, Hawaii	0.7036a
Olivine basalt	Kilauea, Hawaii	0.7043a
Basalt glass	Kilauea, 1921, Hawaii	0.7043a
Basalt	Maui	0.7017a
Trachyte	Hualalai, Hawaii	0.7059
Trachyte	Hualalai, Hawaii	0.7072
Trachyte	Hualalai, Hawaii	0.7054
Trachyte glass	Hualalai, Hawaii	0.7052
Hawaiite	Mauna Kea, Hawaii	0.7048
Hawaiite	Mauna Kea, Hawaii	0.7043
Hawaiite	Mauna Kea, Hawaii	0.7046
Ankaramite	Halaeakala, Hawaii	0.7033
Nepheline basalt	Honolulu, Oahu	0.7044
Mugearite	Kohala, Hawaii	0.7052
Linosait	Kohala, Hawaii	0.7052
Basalt flow	Kapoha, Hawaii, 1960	0.7046
Basalt cinder	Iki Kilauea, Hawaii, 1959	0.7056
Tuff	Diamond Head, Oahu	0.7038

a Faure and Hurley (1963) その他は Lessing and Cantanzaro (1964)

第3表 ハワイの同一岩石中のSr同位体組成を別個に分析した例

岩石名	産地	Sr ⁸⁷ /Sr ⁸⁶ corr.※ A ^b	B ^c	AとB の差
Quartz diabase	A ¹ Pabolo Quarry,	0.7047	—	—
	B ² Honolulu Oahu	0.7041	—	—
Trachyte	Pun Anahulu, Hawaii	0.7048	0.7043	0.0005
	Tholeiite	1881 Flow Mauna Loa, Hawaii	0.7048	0.7041
Hawaiite	S. Popo Gulch Mauna Kea, Hawaii	0.7040	0.7043	0.0003
	Ankaramite	Popo Gulch, Mauna Kea	0.7044	—
Alkali olivine basalt	Keauhou Beach, Hawaii	0.7036	0.7040	0.0004
	Nepheline basalt	Honolulu Volcanic Series, Oahu	0.7023	0.7031
Melilite nepheline basalt		Moiliili Quarry Honolulu Oahu	0.7030	0.7030
	Average		0.7040	0.7038

※Normalized to 0.1194

¹Main quartz diabase

²Narrow 1/2 in. vein of more acid diabase

³Analyst E. I. Hamilton, Oxford (1965)

⁴Analyst J.L. Powell, M.I.T. (1963)

岩類とソレイアイトとの Sr⁸⁷/Sr⁸⁶ 比はそれぞれ 0.7023 ~ 0.704 0.704~0.705 といえる。第3表は測定者によって どの程度の測定誤差が生ずるかを示してあるがよく一致している。つまり 実際に用いられる有効桁数は 0.703あるいは0.704のように 小数点以下3桁であろう。このことは他の測定についても同様である。

ハワイの場合 ソレイアイトはアルカリかんらん石玄武岩より Sr⁸⁷/Sr⁸⁶比が高い傾向がみられる。両岩系の岩石は それらの発生する位置のマントル物質の化学組成がちがっているのであって 混成作用や結晶分化作用のちがいが あるいは それらの効果のためとしては 説明しにくいとされている。しかし 実際のところ アルカリ玄武岩マグマとソレイアイトマグマとの間の この Sr 同位体組成のちがいの説明はむずかしく 未解決である。一つの考えは ハワイ地域の上部マントルの Rb/Sr, Sr⁸⁷/Sr⁸⁶ 比が深さとともに減少しているということである。

一方 レッシングら(Lessing, Decker & Reynolds, 1963)や同じくレッシングら(Lessing & Catanzaro 1964)は 火山岩中の K/Rb 比と Sr⁸⁷/Sr⁸⁶ 比との関係から 海底物質との混成作用を考え ハワイのマグマの成因論に一つのユニークな問題をなげかけている。すなわち Rb と K のイオン半径は それぞれ 1.47Å と 1.33Å であって 化学的類似性をもっている。一般に 大陸地域の火成岩類の とくにマグマの分化物での K/Rb 比は およそ 240 であるが 海洋地域のハワイのアルカリ岩系

の中の低K岩石と ソレイアイトの同比は 512 である。これに対して ハワイのアルカリ岩系の高K岩石の同比は 260 と低い。このことは 結晶分化作用のみでは 高K岩石の成因を考えることに矛盾が生ずるといえる。そこで この高K岩石は Rb に富む物質 たえば 海底の泥質堆積物の同化作用によって生成されたと考えている。また 512 という K/Rb 比は 海洋地域の上部マントル組成をあらわしているという。

マントル(mantle)-地殻(crust) 分化が 海洋地域ではほとんど行なわれていないにしても 最近の研究にみられるように spreading sea floor や drifting islands の研究と ハワイ島などの海洋地域にみられる 水平方向の Sr⁸⁷/Sr⁸⁶ 比の変化の事実とからは 上部マントル中の放射性元素含有量の不均質性ということもいえる。また 一つの島の火山岩の噴出順序による同比の変化を含めて 上述の spreading や drifting の考え方にも結びつけられ 興味がある。

ハワイを除いた海洋地域

大西洋中央海底山脈の Ascension 島と Gough 島の Sr同位体については ガストラ(Gast ら, 1964)などの研究がある。前者の島の玄武岩の Sr⁸⁷/Sr⁸⁶比は およそ 0.7025 後者の島の同比は 0.704 そして両島の中性岩(粗面岩)は それぞれ 0.7045~0.7073 と 0.7050~

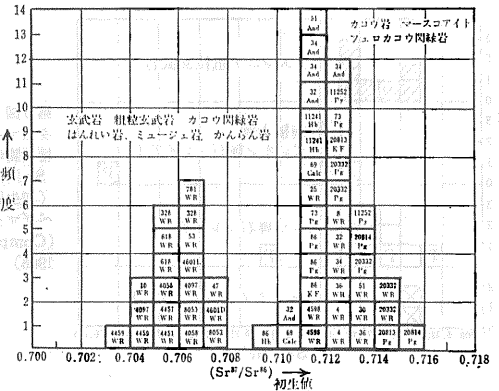
0.7094である。彼らのえた結論によると 前者の玄武岩は 後者のそれより Sr に関して less radiogenic であること また両島の粗面岩は玄武岩より radiogenic な Sr をもっている。粗面岩の成因に関しては この地域の基盤岩類との混成作用をにおわせているが 明確な結論を出していない。

また 海洋地域の研究として 大西洋中央海底山脈と東太平洋海嶺について 立本ら (Tatsumoto ら 1965) は次のように述べている。海洋地域のソレイアイトの Sr^{87}/Sr^{86} 比は 他の玄武岩より低く 0.7016~0.7027 である。この値は 大西洋の St. Helena や Ascension 島の同比と類似しているが とくに東太平洋のものはさらに低い値をもっている。ともかく 海洋地域の平均値は およそ 0.702 である。ヘッジら (Hedge ら 1963) などが与えた 地球誕生時の $Sr^{87}/Sr^{86}=0.6984$ という値によって推定される 現在のマントルの同比に対して これらの岩石の Rb/Sr 比 (0.004~0.012 平均 0.011) は低すぎる。これはマグマ発生源の関連する物質の中の 過去における何らかの分化現象をあらわすものであろう。

ここで考えられたのが 前述のマントル—地殻分化説である。すなわち いわゆるソレイアイトは すでに大部分の放射性元素が地殻生成時に移動してしまった basic residual layer (マントル) で生成されたと考えられる。つまり 隕石モデルで考えられるマントルの K U Th などの元素の含有量は このソレイアイトのそれとはちがっていることになる。そのため 大陸地域 (地殻の存在に着目して) と海洋地域の玄武岩の性質成因を論ずる場合には このモデルを念頭におかなければならない。したがって 海洋地域の玄武岩のもつ属性は 上部マントルの化学組成を考えるための重要な資料を与えてくれる。前述のハワイの例でも 一つの考え方が示されている。

北西スコットランドの Skye 島

スコットランド北西部の Skye 島には 基盤の先カンブリア紀の Lewisian 系堆積岩や片麻岩を貫く火成岩体がある。活動はまず玄武岩質熔岩の噴出 ついで組成の異なる超塩基性岩および酸性岩の貫入があった。およそ 50m.y. である。この地域の玄武岩類と超塩基性岩類の Sr^{87}/Sr^{86} 初生値の平均は 0.7058 であるが これに対してカウ岩類は 0.7124 であり しかも岩体ごとに値がちがっている。したがって この岩石は 玄武岩より高い Rb/Sr 比をもった親物質から生成されたと考えられる。もし 各岩体が同じ親物質から生成されたとすると 親物質の不均質性をあらわすことになる。塩基



第5図 Skye 島の火成岩類中の同位体組成 (Moorbath ら 1965)

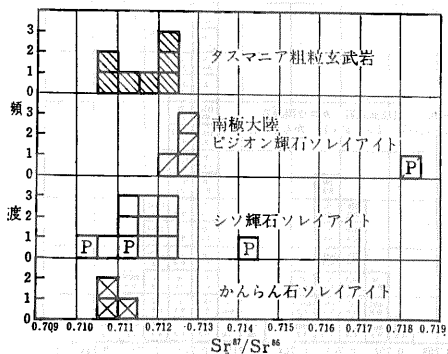
性マグマの熱によって 基盤の片麻岩が部分熔融してカウ岩マグマが生成されたという考えがなり立つ (Moorbath & Bell, 1965)。各グループの Sr^{87}/Sr^{86} 初生値を第5図に示す。

タスマニア (Tasmania) 粗粒玄武岩類と南極 そして南アフリカと南アメリカ地域

タスマニア粗粒玄武岩類の同位体研究は ハイヤーら (Heir, Compston & Mc Dougall, 1965) によってなされた。この岩体は 二疊紀~三疊紀の堆積岩中に 2,000 フィートの厚さにおよぶ岩床や岩脈として侵入した。その時代は K-Ar 法によって およそ 165m.y. といわれ ジュラ紀の上部と中部との境界にあたる。その岩体の岩石は 輝石に富む粗粒玄武岩からグラノファイヤーにまたがっており 分別晶出作用で生成されたという。それらが 分化系列であることは 化学的均質性などからもうらづけされている。その急冷 (chilled) 粗粒玄武岩は ソレイアイト質である。

岩石中の K-U, K-Th の関係は 正の相関を示している。急冷部の K/Rb 比は およそ 200 であり グラノファイヤーではいくらか低くなっている。この値は 前出の海洋地域のハワイのソレイアイトや 低K岩石の 512 はもちろん 他地域のものより低い。強いていうならばハワイの高K岩石に似ている。岩体の Sr^{87}/Sr^{86} 比の平均値は 0.7115 である。これらの性質は 地殻物質の性質に似ているところが多いが 彼らは このソレイアイト質マグマはタスマニア地域の下の方の unusual な成分をもったマントルからもたらされたものと考えた。ちなみに オーストラリア地域の地殻の厚さは 35~40km といわれている。

この研究は さらにコンプストンら (Compston Mc Dougall & Heir, 1968) によって発展した。彼らは



第6図
タスマニアと南極大陸の岩石のSr同位体組成(初生値) Pはペグマタイト(Comptonら1968)

南極 南アフリカ 南アメリカ タスマニア地域を研究した。その結果を第6図と第4表に示す。その議論の内容はおよそ3項目に分けられる。

その第一は南極とタスマニアの玄武岩類の関係である。南極の粗粒玄武岩には紫蘇輝石ソレイアイトピジオン輝石ソレイアイトおよびかんらん石ソレイアイトがありそれぞれの急冷部のSr⁸⁷/Sr⁸⁶初生値は0.712、0.713および0.711である。各岩体の分化物の同比はペグマタイト相を除いて多少変動する程度である。ペグマタイト相は酸性岩との混成作用をあらわしより高い値となっているのであろう。これら3者の年代はK-Ar法およびRb-Sr法によっておよそ151m.y.前後とされている。

この南極とタスマニアの岩石はその活動時期と同位体組成などから明らかな類似性がみとめられた。すなわち前にのべたようにタスマニアの岩石の初生値は0.7115であり南極のそれとよい一致を示している。この高い値は両地域(大陸)の玄武岩質マグマが地殻中で発生したと考えることも一応は可能であるが一方たとえば海洋地域のソレイアイトに近い性質のマグマに10~30%の平均地殻物質が加えられれば説明がつくようにも見える。しかしタスマニア粗粒玄武岩の低いK/Rb比からはその説明に難点がある。南極とタスマニアの粗粒玄武岩の共通点から両地域のマグマが上部マントルで発生したとするとそのマントル組成はunusual geochemistryをもっていると考えられる。

その第二は南アフリカのカルー粗粒玄武岩類と南アメリカのSerra Geralのソレイアイトについてである。前者はおよそ150m.y. 後者は120m.y.の年齢がえられている。両者のSr⁸⁷/Sr⁸⁶初生値の平均値はそれぞれ0.7057である。この値はいわゆる海洋地域と大陸地域の玄武岩類の中間の値を示している。

第4表 中生代のタスマニア 南極 カルー 南米および第三紀タスマニアの玄武岩質岩石中のSr⁸⁷/Sr⁸⁶初生値

岩石名	Initial Sr ⁸⁷ /Sr ⁸⁶
Mesozoic	
Tasmanian dolerites	0.7115
Antarctic dolerites	0.711—0.713
Karoo dolerites	0.7057
Serra Geral basalts	0.7057
Tertiary	
Tasmanian basalts	0.703—0.708

その第三はタスマニアの第三紀玄武岩類についてである。これらは中新世中部~鮮新世にわたって噴出したものでソレイアイト質玄武岩から霞石バサナイトにまたがった成分変化をもっている。これらのSr⁸⁷/Sr⁸⁶初生値は大部分のものがおよそ0.703である。一つの例外としてソレイアイトの試料はおよそ0.708という高い値をもっているがこれは混成作用によるものであろう。

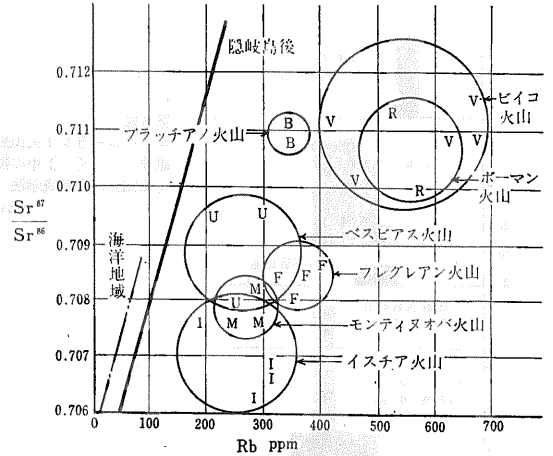
以上のことから一方ではタスマニアと南極の玄武岩質岩石の間に他方ではカルーとSerra Geralの玄武岩質岩石との間にそれぞれ類似点がみとめられ互いに異なった岩石区を構成していることが知られた。すなわち両岩石区において2つの大陸が中生代において互いに近接していたと考えられいわゆる大陸移動説を支持する例証となっている。

ところで南アフリカのLebombo-Nuanetsi火成岩岩石区には南Lebomboの火山岩とグラノファイヤーNuanetsi噴出岩Nuanetsi貫入岩体のグループがそれぞれ202m.y. 206m.y. 177m.y.に生成されている。Rb⁸⁷/Sr⁸⁶-Sr⁸⁷/Sr⁸⁶図からこれらのグループのSr⁸⁷/Sr⁸⁶初生値を求めるとそれぞれ0.7042 0.7081 0.7085である。これらの測定値から酸性火山岩類はそれらの噴出の少し前により塩基性の岩体から生成されたこと;酸性マグマの同位体組成などの均質性からは不均質な古い地殻物質の部分溶融で生成したものではなくマントルから発生されたといえること;それぞれの初生値のちがいは上部マントルの不均質性酸性マグマの大きな岩体の深所での混成作用あるいは噴出時のある期間に深所に酸性マグマが存在したこと;そして塩基性岩類の同位体組成の変動が上部地殻物質からの放射性源Srによる混成作用の程度によって引きおこされたことなどの幾つかの結論がえられている(Manton, 1968)。

イタリア西部の K に富む火山岩類

当地域の強アルカリ火山岩類の成因は アルカリ岩の成因の一つとして興味がある。 もともと これらの火山岩類は 玄武岩マグマと calcaceous sediments との同化作用によって生成されたとするリットマン(Rittmann, 1962) の研究で注目された。 岩石は ざくろ石玄武岩から カリ粗面岩まで変化している。 これらの岩石の Sr^{87}/Sr^{86} 初生値は 0.706~0.711の幅をもっている。 この値は 現在の海水(約0.7085) や carbonatites(平均0.703)などより高い。

この結果から考えられることは 玄武岩マグマよりはるかに高い Rb/Sr比をもった地殻の酸性岩類が 地下深所まで沈降し 再溶融して生成されたマグマと 玄武岩マグマとの混成作用をあらわしているということである(Hurley ら 1966)。 つまり unusual なマントルからもたらされたというよりは 上述の玄武岩マグマと酸性マグマとの いろいろな割合での混成作用によってこれらの火山岩類が生成された。 しかも この地域の火山毎に Sr^{87}/Sr^{86} 比が ある一定の範囲内にまとまっていること さらに 同地域内においては 南方から北方へと同化作用の程度が高くなっていることが認められた。 この関係は第7図にあらわれている。 これらの現象は 大陸地域やその周縁部に普遍的なことと思われる。



第7図 イタリア西部火山岩のSr 同位体組成 (Hurley ら 1966)

素の含有量は わずかな差を示している。 すなわち ignimbrites は流紋岩熔岩より Rb K Sr がいくらか多く また 軽石質岩石は ignimbrites より Rb K U Thが少なく Srに富む。 玄武岩-安山岩の Rb/K U/K Th/K Th/U比は 流紋岩質岩石のそれらより変動が大きい。 また上述の三疊紀-ジュラ紀の堆積岩類の Sr同位体組成は 安山岩質および流紋岩質岩石の組成と非常によく似ている。 これらの測定値は 玄武岩または安山岩質初生マグマと地殻物質との混成作用によってこれらの酸性岩類が生成されたことをあらわしている。 この物質としては 前出の中生代堆積岩類があげられる。 玄武岩類は その主化学成分から ソレイアイト~高アルミナ玄武岩といえる。 これらの Sr^{87}/Sr^{86} 比の平均値は 0.7043であって 海洋地域の値より いくらか高い値といえよう。 大陸~造山帯に一般的である。 火山岩類の Sr^{87}/Sr^{86} 比の頻度分布を 第8図に示す。 流紋岩質岩石(熔岩を除く)が いくらか高い値をもっている。 また第9図には 酸性岩の流紋岩質熔岩と ignimbrites について示してある。

- 酸性マグマの成因については
- ① 地殻下部の岩石の部分溶融
 - ② 適当な Sr 同位体組成をもつ地殻上部の岩石の部分溶融
 - ③ 1と2の組み合わせ
 - ④ 玄武岩質および安山岩質マグマの分別晶出作用

の4点について エバートらは検討している。 玄武岩(0.7043)と酸性岩(0.7045~0.7067)とのギャップはこれらの岩石が<20m.y.という若い年代に活動していることから考えて closed system での分化作用によって後者が生成されるとは考えられないことをあらわしてい

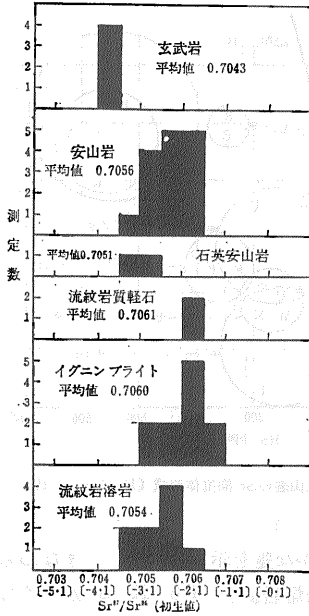
ニュージーランドの火山岩類

ニュージーランド北島の Taupo 火山帯と近傍地域には 洪積世~現世の玄武岩質 安山岩質と大量の噴出物である流紋岩質の それぞれの火山岩が分布する。 流紋岩質岩石には 熔岩 ignimbrites と軽石堆積物などがある。

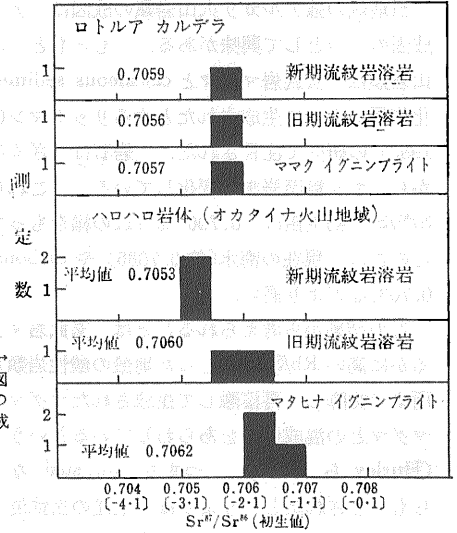
エバートら(Ewart & Stipp, 1968) は これらの火山噴出物と それらの火山帯の東西にみられる 三疊紀-ジュラ紀の主地向斜(eugeosynclinal)と 副地向斜(mio-geosynclinal) の硬砂岩や珪質粘土岩(argillite)などの堆積岩の Rb Sr K U Thの微量元素とSr 同位体を測定した。 その結果を次に記そう。

流紋岩質噴出物中の Rb Sr K U Th 含有量は それぞれ108ppm 125ppm 2.69% 2.5ppm 11.3ppmであって 平均カウウ岩のそれぞれと比較すると この流紋岩質マグマは 強い結晶分化の過程を経ていないと考えられる。 玄武岩-安山岩-石英安山岩-流紋岩の成分変化を通じて 元素含有量は連続的に変化している。

玄武岩を除いた火山岩類の Sr^{87}/Sr^{86} 初生値は ほとんど変動しない(0.7046~0.7067)。 玄武岩の同値は 実験誤差の範囲内で均質(0.7041~0.7044)で 他の火山岩類より低い。 流紋岩質岩石の噴出形式によって 元



第8図
ニュージーランド火山岩の Sr 同位体組成 [] 中の数字は Hedge (1966) による表示法 (Ewart ら 1968)



第9図
ニュージーランドの酸性火山岩の Sr 同位体組成 (Ewart ら 1968)

る。そこで 前述の堆積岩類と流紋岩質岩石とのSr同位体組成の類似性が 注目されるのである。

ところで 安山岩の Sr^{87}/Sr^{86} 比は 平均値が 0.7056 である。もし玄武岩(0.7043 $Sr=300ppm$)と酸性岩(0.7060 $Sr=150ppm$)とが1:1で混合すると 0.7049 となる。実際の安山岩の同比は0.7056であるから 混合比は1:6となる。前出の堆積岩の同位体組成から この安山岩の生成のためには 玄武岩マグマの2倍以上の堆積岩物質が必要となる。いずれにせよ 安山岩類の成因の結論としては 玄武岩マグマの分別晶出作用あるいはマントルからの直接の生成物とすることは不可能と考えられる。また 火山岩類と 中生代堆積岩類とのSr同位体組成の差が小さいので エバートらの結論が正しいかどうかは おおいに疑問の余地がある。

アメリカ大陸の火山岩類

アメリカ大陸の火山岩類については 多くの研究があり とくにマックバーニラ(McBirneyら 1966)やピーターマンら(Peterman ら 1967)の酸性岩類の研究が注目される。前者によると 中央アメリカに2種類の第四紀酸性火山岩が分布する。その一つは ガテマラの玄武岩に伴う流紋岩質黒曜岩で 数 km^3 の噴出量をもち もう一つは ホンジュラスからニカラグアにかけての大火砕岩質堆積物(火砕流)で 数千 km^3 におよんでいる。これらの O Sr 同位体組成から 後者は基盤岩の部分溶融によって生成されたと考えられている。ピーターマンらの研究においては 火山岩類の中で とくに酸性

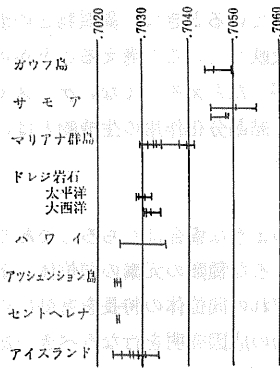
岩類の成因を論ずる場合 その基盤の堆積岩類に注意すべきことを述べている。

これらの研究に加えて プスカー (Pushkar, 1968) は 伊豆マリアナ弧 中央アメリカおよびカリブ海の島弧の Sr^{87}/Sr^{86} 比を求め その平均値として 0.704 という値を提出し 大きな変化のないことを強調している。以上の議論は カルクアルカリ岩系火山岩 とりわけ安山岩 火砕流の生成機構と成因についての重要な示唆となろう。ここで 海洋地域の火山岩のSr同位体組成を第10図に また 各種火山岩中の組成を第11図に まとめて示しておく。

最近 ヘッジ (Hedge 1966) は 研究者相互の測定誤差をなくするための目的として “deviation from a standard” を提案している。その尺度の表示法は [M. I.T. Eimer and Amend reagent $SrCO_3$] を用いて $(Sr^{87}/Sr^{86}unknown - Sr^{87}/Sr^{86}standard) \times 1,000$ の式から数値を求める方法で行なわれる(第8, 9図参照)。

超塩基性岩類の Sr 同位体

超塩基性岩類の研究は ロウ(Roe 1964)やスチューバーら(Stueber & Murthy 1966)などが代表的なものである。とくに 後者は 造山帯の貫入岩体や玄武岩あるいはキンバレイ岩中の包有物 (inclusion) などについて測定を行なっている。それによると 造山帯の超塩基性貫入岩の Sr^{87}/Sr^{86} 比は0.7063~0.7290の広い範囲にわたっている。また Rb/Sr 比は0.012~0.165である。一般には0.05より低い値である。玄武岩やキンバレイ岩中の包有物の Sr^{87}/Sr^{86} 比は 0.7036~0.7083で玄武岩のそれと大きなちがいはない。Rb/Sr比は0.010



第10図
海洋地域火山岩の Sr
同位体組成
(GAST 1967)

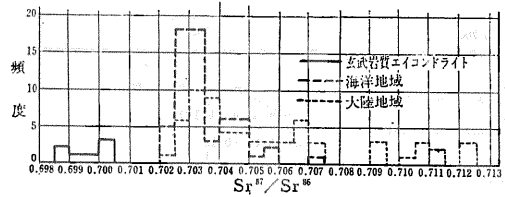
～0.161である。

造山帯の超塩基性岩類の Sr^{87}/Sr^{86} 比は 次のような進化の過程を経ていと説明されている。すなわち 約45億年前に地球の核が生成し 現在の大陸地域の下のマントルが部分的に熔融する。そして 約10億年の間に アルカリ元素や放射性元素は 上部マントルに濃集した。この間上部マントルは Rb/Sr比が高く Sr^{87}/Sr^{86} は急激に始源値(0.698)から 現在の造山帯の超塩基性貫入岩の値に近い値をもつようになった。ついで 約35億前に 原始大陸地殻の生成がはじまり Rb やアルカリ元素が地殻に濃集した。残留物質として モホ直下に 造山帯の超塩基性貫入岩体としてみられるような層が生成した。この層は Rb/Sr 比が低く その後の Sr^{87}/Sr^{86} 比の増加はほとんどなかった。海洋地域においては マントルの熔融や分化がほとんど行なわれていないので 同比の増加はほとんどみられない。

以上のことから 造山帯の超塩基性岩や玄武岩熔岩中の包有物は アルカリ元素や Rb Sr 含有量が少ないことも考えあわせて 玄武岩マグマ生成の源物質としてのみとめられないといえる。玄武岩マグマの発生源としては キンバレイ岩中のざくろ石かんらん岩が妥当であると結論している。また 上述の Sr^{87}/Sr^{86} 比などの大きなバラツキは、はたして一般的な事実であるかどうか疑問である。むしろ そのバラツキは別の意味をもっているものと思われる。

日本の火山岩

日本の火山岩のSr同位体組成については ファウレラ (Faure & Hurley 1963) ヘッジ (Hedge 1966) 倉沢 (1968) などにみられる。また未印刷の資料としては ヘッジらの測定値があるが 図に示すに止める。日本の火山岩のSr同位体組成を第12図に示した。東北日本のものは未印刷の資料である。東北日本の火山岩



第11図 火山岩のSr同位体組成 (Gast 1967)

は いわば UMP の A zone にあたる。これによると Sr^{87}/Sr^{86} 比は 東北日本 traverse と中・西日本のそれとでは 逆の関係になっている。すなわち 前者では アルカリ岩系において同比が低く 後者と全く対象的である。ソレイイト質岩系の岩手山火山岩からアルカリ岩系火山岩で構成される渡島大島へと Sr^{87}/Sr^{86} 比が小さくなっている。しかも 岩手山の火山岩の Rb/Sr 比に 0.006 という非常に低い値が示されている。中・西日本の場合 伊豆・箱根地域から隠岐島後 唐津の高島にかけては Sr^{87}/Sr^{86} および Rb/Sr 比が共に大きくなっている。

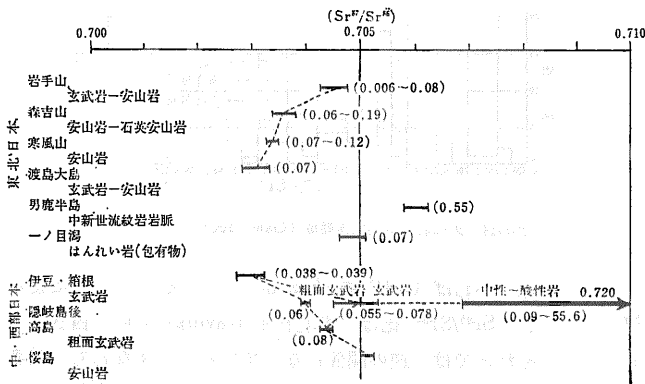
いわば フォッサ・マグナを境にして 東日本と西日本列島との間には このような著しい特徴があらわれている。この事実は 度々述べているように 分化物と呼ばれる 中性～酸性火山岩類の同位体組成にも反映している。すなわち 隠岐島後の場合 分化物の Sr^{87}/Sr^{86} 比はおよそ 0.707～0.720 であって 玄武岩類の 0.704～0.705より著しく高い値を示す。別の項で論ずることになっているが Pb 同位体でえられた結論と同じ説明がこの事実についてなされている。つまり これら分化物の高い値は 玄武岩 (正確にはアルカリかんらん石玄武岩) マグマと基盤の古い酸性岩類との混成作用をあらわしていると考えられている (倉沢 1968)。それも先カンブリア紀の岩石との混成作用による可能性が大きいことが Pb 同位体研究からうらづけられている。

以上のことから 西日本は大陸周縁部の要素が考えられること 一方 東日本は ある意味で海洋地域の属性を反映していることが考えられる。

III. ま と め

以上 かいつままで説明してきたが ここでSr同位体組成の研究からえられた結論と 問題点を記しておこう。

- (1) 海洋地域と大陸地域とでは Sr^{87}/Sr^{86} 比および Rb/Sr比において 明らかなちがいがみられる。大陸地域の火山岩は 海洋地域のそれより radiogenic であり またその値の変動が大きい。



第12図 日本の火山岩の Sr 同位体組成 () 中は Rb/Sr 比

- (2) 海洋 大陸両地域の玄武岩の Sr 同位体組成は 上部マントルの不均質性をあらわしている。また マントル分化をうらづけている。
- (3) 酸性火山岩や火砕流において その噴出量が大きい場合は 地殻物質の混成作用あるいは部分熔融 また少ない場合は 玄武岩マグマの結晶分化作用によって生成されたといえる。
- (4) 大陸地域あるいはその周縁部では 分化物と呼ばれる中性～酸性マグマの生成に 地殻物質の混成作用が大きく関与している。
- (5) 混成作用の場合 その同化される物質の同位体組成が大きく異なれば 生成物に明らかな影響があらわれる。したがって 組成が類似したものと混成作用 あるいはそのものの熔融によって分化物が生成されたときには その現象をとらえることは不可能である。

(6) つまり 分化物の同位体組成が大きく変動しているときは 異質物との混成作用を反映していると考えることが可能であるが たとえそうでないケースでも 簡単に結晶分化作用の生成物とはいえない。

(7) そのような場合はもちろんであるが いろいろな種類の元素の同位体によって それぞれの同位体の特長を有効に用いて 対象物の成因究明を行なうべきである。たとえば ここにのべてきたような Sr 同位体と同時に U—Th—Pb 系列 Pb 同位体による検討などもあわせて行なうことが望ましい。

(8) Sr 同位体組成から 日本列島を横断するフォッサ・マグナを境にして 東・西日本列島の地質構造 マントル組成などのちがいがみとめられる。すなわち 東日本と対症的に西日本は 大陸周縁部の属性が反映されている。

(9) 玄武岩マグマの同位体組成は そのマグマの発生するマントル物質の組成を 必ずしも反映していないというような疑問点など 同位体の挙動についての物理化学的解明は未開拓である。地質現象の解明と同時に この分野の研究が望まれる。

(10) 同位体岩石学 地質学分野の研究のためには その目的と 対象物(試料)の地質学的 岩石学的背景位置づけの把握が重要である。

(筆者は 地球化学課)

・大阪出張所移転のおしらせ

大阪出張所は去る3月15日下記へ移転しました

新住所 大阪市東区法円坂町6-25

大阪合同庁舎第2号館別館5階

地質調査所大阪出張所

郵便番号540 Tel. (06) 941-5377 (代表)

交通

大阪駅(東梅田) 天王寺行「谷町4丁目」下車徒歩約2分
地下鉄2号線