

千島列島の第四紀火山岩類に見る海洋物質の混入

石原舜三¹⁾

まえがき

千島列島は島諸部に見られる陸上火山(写真1)とその北西側に分布する多数の海底火山からなる, 世界で最も活発に活動する火山帯の一つである. 南東側に千島海溝と大太平洋, 北西側に千島海盆を従えて, 一見して最も“海洋地殻的”な島弧と思われる.

千島列島と言えば第一に第四紀火山およびそれに伴う硫黄鉱床を想起する. 他に第二次大戦前から稼行された金属鉱床がある. これらは新第三紀花崗岩類や火山岩類に伴われるペースメタル鉱脈鉱床が主体であるが, 多金属性の性格を持ち, 金・銀鉱物のほか錫石の産出も報告されていて興味深い.

我が国の新第三紀に見られる背弧側磁鉄鉱系花崗岩類の産出を, 私達は海嶺で変質酸化した玄武岩が高い $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{FeO}$ 比を沈み込みによって上部マントルに持込むからであろうと推察した. そして変質作用で変質岩に固定された海水の硫酸硫黄も同様に持ち込まれるために硫黄同位体比 ($\delta^{34}\text{S}_{\text{CDT}}$) についても, 従来の“マントル値” 0%より重い $\delta^{34}\text{S} = +4 \sim +5\%$ を生じるのであろうと考えた (Sasaki and Ishihara, 1979).

一方沈み込み運動によって海洋堆積物が上部マントルへ持込まれると, その化学的性質は違ったものとなる. 特に混入する有機炭素によって本来的な還元的雰囲気は維持できるかも知れないし, 熔融したマグマの組成も違ったものとなる. ここでは Sr 同位体比と Be 同位体からみた千島列島の火山岩類に対する海洋堆積物の混入の問題について考えてみたい.

千島列島の概要と大陸地殻

千島列島はロシアの研究者によって次の3帯に

分けられている(第1図).

- 1) 外帯(小千島, Lesser Kuril):
歯舞諸島と Vitaz 海嶺
- 2) 前縁火山帯(大千島, Greater Kuril):
“千島列島”
- 3) 背弧火山帯(Rear Kuril): 主に海底火山

外帯の火山活動は古第三紀に終了し, その直後から前縁火山帯で火山活動が勃発した. 従って外帯にはオフィオライト等の基盤岩類が主に露出し, 前縁火山帯は新生代後期の火山岩類, 堆積岩類, 一部で花崗岩などの深成岩類から構成される.

背弧火山帯はほとんどが海底火山としてみられ, 一部が小島として水面上に現れ, 一部が大きな島の半島部を形成するにすぎない. 露出する火山岩の多くは数百万年より若く, 太平洋側からオホーツク海へかけて活動の時代が若くなっている. 深発地震面は前縁火山帯で110-140 km, 背弧火山帯で160-190 kmの深度にある.

陸上の古期岩類の分布からわかるように, 千島列

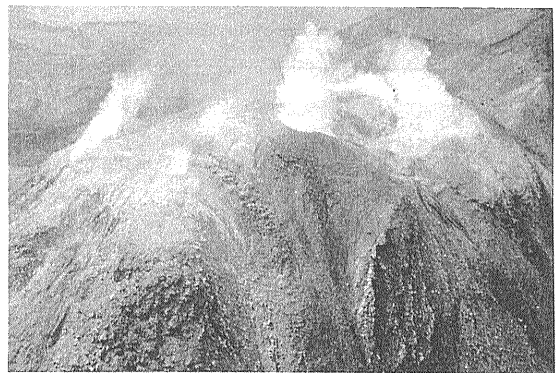
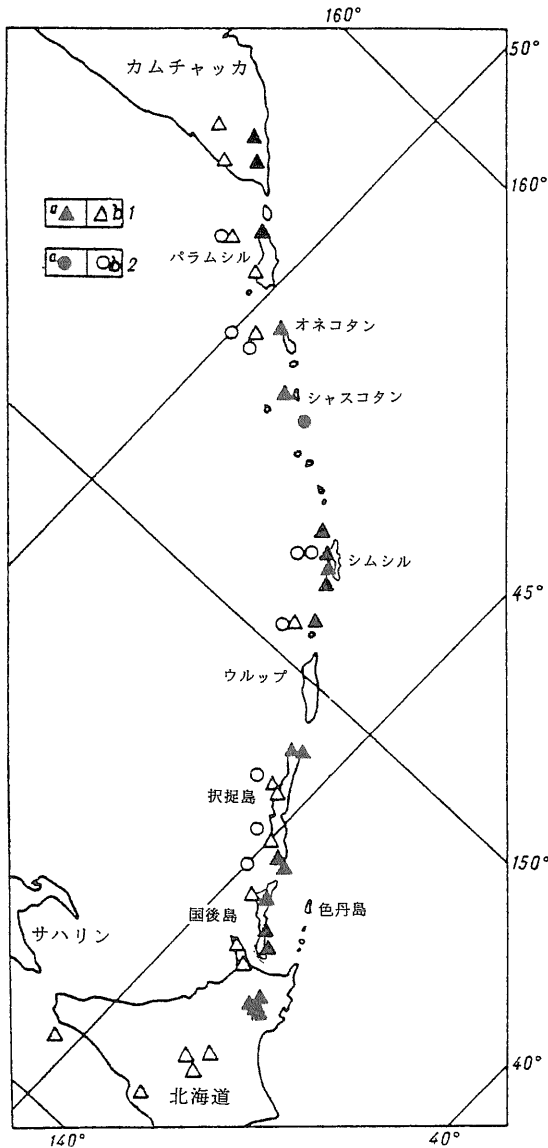


写真1 択捉島の火山前線に聳えるグズルジャビ火山(991 m). 自然硫黄, Re 硫化物が産出. G.S. Steiberg 提供.

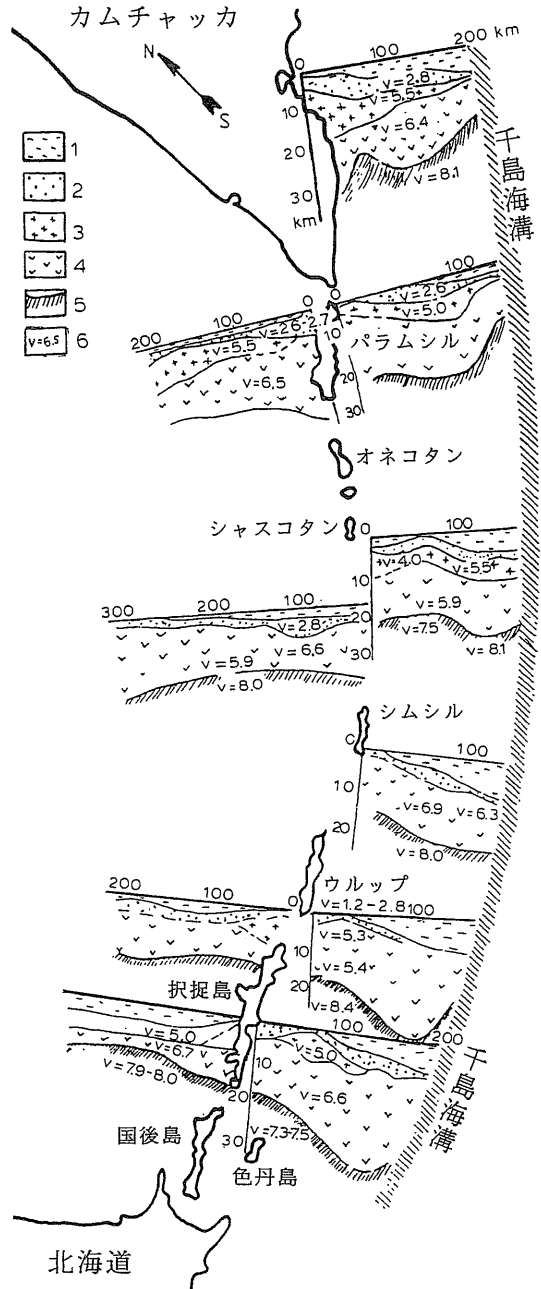
1) 北海道大学理学部地球惑星物質科学教室:
〒060 札幌市北区北10条西8丁目

キーワード: 千島列島, 第四紀火山岩, カムチャッカ, アルカリ比, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比, ^{10}Be , 深海底堆積物



第1図 千島列島のSr同位体の測定がある火山。1 陸上火山 a 前縁火山帯, b 背弧火山帯, 2 海底火山 a 前縁火山帯, b 背弧火山帯 (Volynets et al., 1990)。

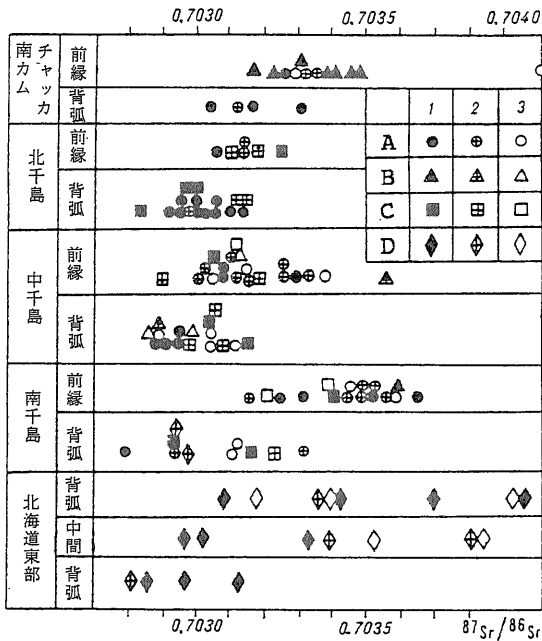
島では北海道側とカムチャッカ半島側の東西両端部で大陸地殻が厚いことが予想される。地震波断面によると、事実大陸地殻の全体の厚さは南西端と北東端で30 km 以上と厚い。南千島では大陸地殻は外帯で厚く、内側へ薄くなり、著しい非対称性を示し(第2図)、この点も陸上に見られる地質と一致する。若干の花崗岩・変成岩層が択捉島、シャスコタン、パラムシル島下で見られる。その中味については後述する。



第2図 千島列島の地殻断面。Zhuravlev et al. (1987) 原図。1 海水, 2 堆積物, 3 “花崗岩-変成岩”層, 4 “玄武岩層, 5 モホ面, 6 v (kms^{-1})p。

$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 同位体比

現在の海水の $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 同位体比は0.7080であることが知られており、海水と平衡にある自生深海底堆積物も同様な値を持っている。一方上部マントル



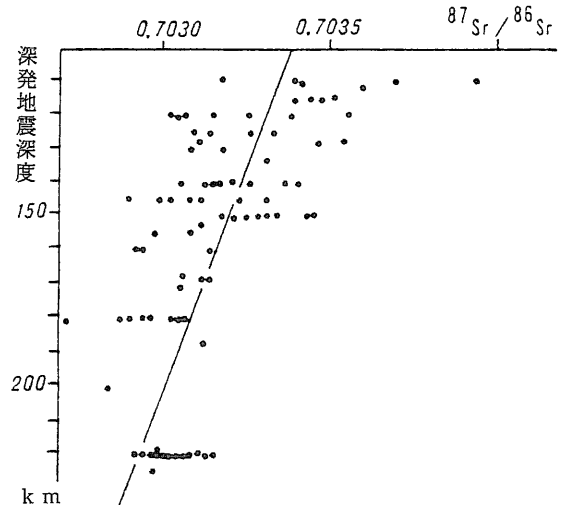
第3図 千島列島第四紀火山岩類の $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 同位体比。(Volynets et al., 1990).

起源の玄武岩は0.7022であるから、海底堆積物が沈み込み運動で上部マントルに持込まれると、発生するマグマのSr同位体は海底堆積物の混合比率に応じて高くなる可能性がある。

Volynets et al. (1990)は第1図に示す千島列島の前縁火山群、背弧火山群から試料を採集して全岩、同源の包有物、造岩鉱物別の $^{86}\text{Sr}/^{87}\text{Sr}$ 比を測定した。その結果、同比は0.70271~0.70351の値を示した。これは伊豆、ニューブリテン、アリュージョンなどの海洋地殻の島弧火山岩類と共通の値である。分析試料には玄武岩から流紋岩までであるが、同比には岩質による変化はなく、また溶岩全岩、斑晶鉱物、同源の包有物の間にも差は認められていない。

Sr同位体比は火山ごとに固有の値を示し、その値は地域的に変化する。最も顕著な変化は島弧を横切って認められ(第3図)、例えば中千島では平均値で前縁火山帯で0.70316、背弧火山帯で0.70298、カムチャッカでは0.70338(前縁)~0.70315(背弧)である。

Sr同位体比は千島列島の走向方向に関しても若干の変化を示し、前縁火山岩類が特に中央部で低く、カムチャッカ半島、北海道の両端でやや高い。



第4図 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 同位体比と深発地震面との関係。直線は $y = -0.371H + 376.4$ で求められた。但し $y = (^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} - 0.7) \times 10^5$ 。Hは震源深度(Volynets et al., 1990)。

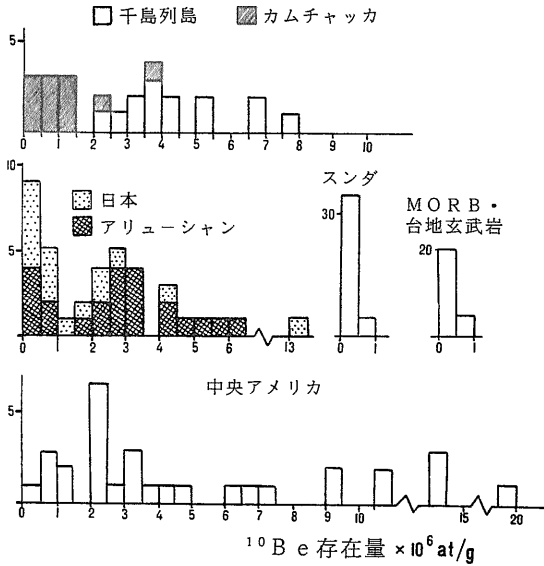
しかし背弧火山岩類は低い値で比較的一定している(第3図)。

研究された33の火山についてはそれぞれの直下の深発地震面の深度が分かっており、 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 同位体比と深度とのプロットによると、両者の間には負の相関性が認められる(第4図)。

千島列島のSr同位体比は既報分を含めて0.70271~0.70407の低い値を示し、これは伊豆、マリアナ、ビスマルク、フィジーなどと同様な値であって、火山活動は海洋地殻的な島弧環境で生じたものと思われる。地震波速度から予想される“花崗岩・変成岩”層も古い時代の大陸物質ではなく、新生代の珪長質物質である可能性が高い。

一方、オホーツク海南端部には千島海盆があり、この拡大とマグマ発生との関係も考えられるが、海盆では玄武岩マグマが上昇しているのに対して、南千島諸島の火山では玄武岩から流紋デイサイトに至るマグマが噴出しており、両者に直接的関係はなさそうである。

結局Sr同位体比の変化は千島海溝からの沈み込み帯に関係しているものと思われる。その場合の有力な解釈の一つとして、沈み込む海洋地殻から上部マントルにもたらされる流体の量と質の相違に基づく発生マグマの組成、発生時間などの違いが考えられる。前縁火山帯では沈み込み海洋地殻の脱水によ



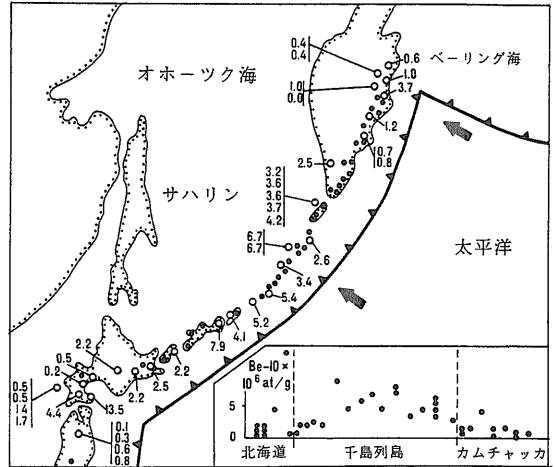
第5図 世界の主要な島弧における¹⁰Be濃度(Tsvetkov and Volynets, 1990原図)。

る流体が最も多く供給され、かつその組成は海水に最も近いであろう。従ってマグマのSr同位体も海水による同比の影響を受けるだろう。背弧側では海水の影響は前縁側より少ないものと思われる。

¹⁰B 同位体存在量

上部マントルのマグマ起源物質への海洋物質の影響は、海底堆積物が沈み込むことによって著しく増大する。その様な影響を調べる方法として¹⁰Bがある(Tera et al., 1986)。ベリリウム(質量数9)には質量数7, 8, 10の同位体があるが、¹⁰B(半減期、約150万年)は高層大気中の酸素や窒素に宇宙線が当たって核破砕反応により生成する。それが大気から海洋は供給され、最終的には深海底堆積物中に蓄積される。海水中の含有量は10万分の1と低いから、海水を媒体として¹⁰Bを運ぶことは困難である。その短い半減期からみて¹⁰Bは150万年より若い海底堆積物に濃集しており、従ってこれによって若い島弧火山岩が沈み込みを通じて深海底堆積物の影響を受けたか否かを判断する指示元素として有効に使用できる。

Tera et al. (1986)によると、海嶺玄武岩(MORB)や台地玄武岩は¹⁰Bの存在量は 1×10^6 at/g(グラム当りの原子数)以下であるのに対し、千



第6図 千島列島付近の¹⁰Beの地理的分布(Tsvetkov and Volynets, 1990原図)。

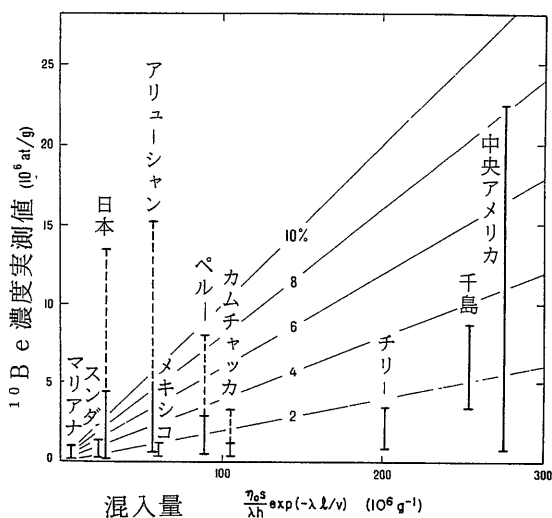
島、日本、アリューシャン、中央アメリカなどの島弧火山岩類では10~20倍の濃度を持っている(第5図)。

千島弧についてより具体的には、千島列島の中央部で高く、 $5-7 \times 10^6$ at/gに達し、カムチャッカ半島や北海道周辺に向けて低下する(第6図)。前縁火山帯と背弧火山帯との間で明瞭な差は認められない。北海道では道東で南千島と同様な値を示し、道南から東北日本にかけては 1×10^6 at/g以下の値に、高い値が2個ほど散在する。この様な濃度差はどうして生ずるのであろうか。

¹⁰Beは短命であるから沈み込む途中で減少することが考えられる。千島とカムチャッカ半島の場合に、海溝から発生の場合までの距離に沈み込み速度を勘案すると、それぞれ2.1と2.4 Maの時間的経過があるから、もともと堆積物が同じ濃度を伴っていたとしても、カムチャッカ火山岩類の値は千島より15%低い値になるはずである。

その他のばらつきの原因についてTsvetkov et al. (1990)は次の諸点を挙げている。

- (1) カムチャッカ半島は陸上に近いため¹⁰Beに富む深海底堆積物が¹⁰Beに乏しい陸上碎屑物で薄められている可能性(例、DSSP 試錐コア192)がある。
- (2) ¹⁰Beは短命であるため深海底堆積物の最上部10-100 mに濃集している。この上層部がカムチャッカ沖では付加帯化し、千島沖では沈み込んでいる可能性がある。



第7図 世界の主要な島弧における¹⁰Beに基づく海底堆積物の混入率(細い斜線)。¹⁰Be濃度の破線部分は最大値(Tera et al., 1986)。

(3) その他、千島沖ではカムチャッカ半島沖より多くの堆積物が沈み込んでいる可能性。カムチャッカ半島の溶岩が10 Maより古い¹⁰Beに乏しい大陸地殻物質を同化した可能性、などが考えられる。

Tera et al. (1986)はマグマ活動に対する深海底堆積物の混入率を¹⁰Beの測定値から次のように算定する式を提案した。

$$n = (fn_0S/\lambda h) \exp(-\lambda l/v)$$

ここで、

n : 溶岩中の¹⁰Be濃度(at/g : グラム当りの原子数),

n₀ : 太平洋の深海底堆積物の¹⁰Be平均値 5 × 10⁹ at/g,

S : 海溝近くの太平洋プレート表面の堆積速度 cm/yr, 千島20 m/Ma, カムチャッカ22 m/Ma,

λ : ¹⁰Beの壊変定数 4.62 × 10⁻⁷ yr⁻¹,

h : 堆積物の厚さ, 千島300 m, カムチャッカ400 m,

l : 火山地帯までの距離, 千島230 km, カムチャッカ345 km,

f : 溶岩中の堆積物フラクション,

v : 速度, 9.5 m/年.

得られた結果を第7図で示す。千島列島では最大4パーセントの、カムチャッカ半島では2パーセント以下の深海底堆積物の寄与度が得られた。すなわち大きな量ではないが、島弧火山岩類への深海底堆積物の貢献がある。

むすび

千島列島は海洋環境下の島弧であり、古い大陸地殻に乏しいので、マントル起源マグマが発生時の性質を維持している可能性が高い。第四紀火山岩類をストロンチウムとベリリウム同位体の性質から考察すると、千島列島の火山は深海底物質やそれに由来する流体を沈み込みプロセスで取り込みながら発生したものと思われる。今後は、特に珪酸塩メルトと親和性が乏しい成分については、この様な視点からそのマグマの成因を考察する必要がある。

文 献

- Sasaki, A. and Ishihara, S. (1979): Sulfur isotopic composition of the magnetite-series and ilmenite-series granitoids in Japan. *Contrib. Mineral. Petrol.*, **68**, 107-115.
- Tera, F., Brown, L., Morris, J. and Sacks, I. S. (1986): Sediments incorporation in island-arc magmas: Inferences from ¹⁰Be. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **50**, 535-550.
- Volynets, O. N., Avdeiko, G. P., Vinogradov, V. I. and Grigor'ev, V. S. (1990): Sr isotopic zonation in Quaternary lavas of the Kuril Islands Arc. *Geol. Pacific Ocean*, **6**, 36-56.
- Zhuravlev, D. Z., Tsvetkov, A. A., Zhuravlev, A. Z., Gladkov, N. G. and Chernyshev, I. V. (1987): ¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd and ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr ratios in recent magmatic rocks of the Kuril Island Arc. *Chem. Geol.*, **66**, 227-243.

ISHIHARA Shunso (1994): Incorporation of pelagic sediments in island-arc magmas: An example of Quaternary volcanic rocks in the Kuril Islands.

〈受付：1994年4月13日〉