

別府-島原地溝下のプレートの沈み込み状態の怪 —そのマグマ性 N_2/Ar 比と $^3He/^4He$ 比の意味—

北 逸 郎¹⁾

1. はじめに

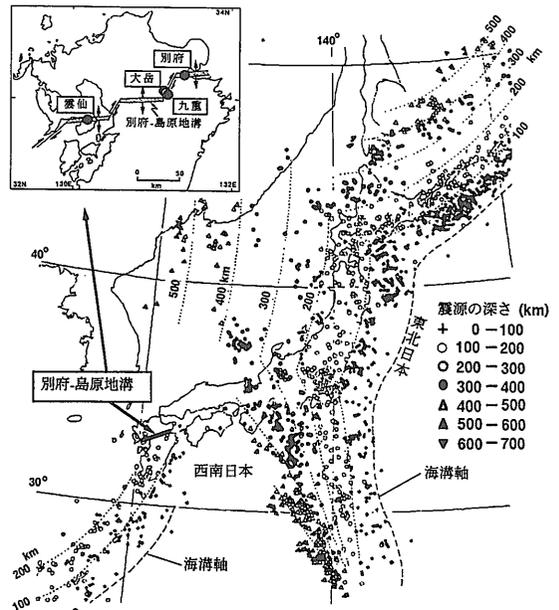
島弧周辺では海洋性堆積物がプレートの沈み込みとともに地球内部にもたらされていると考えられている。この堆積物起源物質が上部マントルを汚染し、その結果として発生するマグマ性流体には表層起源元素が観測されるはずである。従って、沈み込んでいるプレートの実証や表層起源物質のサブダクション過程に引き起こされている化学および同位体的進化の研究は、上部マントル物質やマグマ性流体の本質を明らかにする上で極めて重要である。日本列島周辺には2つの異なるプレートが異なる状態で沈み込んでいると考えられている。従って、この「地球内における物質移動や元素循環現象」の解明の場として、日本列島は興味深い島弧と言える。

今回、現在まで得られている東北日本と西南日本におけるマグマ性気体の化学組成および同位体比の一致・不一致と海洋性プレートの沈み込み状態の関係を紹介し、この観点から陸上深層科学掘削の意義について述べる。

2. 日本のどこが面白いのか？

日本列島下には太平洋プレートとフィリピン海プレートの二つのプレートが沈み込んでいる。第1図に日本列島周辺の深発地震の深度分布を示した。太平洋プレートは東北日本の火山フロントの真下まで確実に沈み込んでいる。一方、フィリピン海プレートは、まだ沈み込の初期の段階であり、西南日本の火山フロントの真下までプレートが沈み込んでいないと考えられている(例えば, Sugimura

and Uyeda, 1973; Notsu et al., 1990)。特に北九州地域にはほとんど深発地震が観測されていない。従って、北九州地域のマグマ性気体には海洋性堆積物起源元素の寄与が少なく、東北日本のマグマ性気体とは化学および同位体特性が大きく異なるはずである。北九州地域の別府-島原地溝内には、日本で有数の別府、九重、大岳、雲仙の火山地熱地帯が分布している(第1図)。この地溝は現在開きの場であり(第1図)(多田, 1985)、雲仙では普賢岳が噴火活動中である。従って、マグマ性気体とプレート物質や堆積物の関わりを知る上で、別府-島原地溝内の火山地熱系は興味深い対象と考えられる。



第1図 日本列島周辺の深発地震分布と別府-島原地溝 (金森, 1991, 宇津未発表図; 多田, 1985)

1) 秋田大学鉱山学部資源地学研究施設:
〒010 秋田市手形学園町1-1

キーワード: プレートサブダクション, マグマ性気体, N_2/Ar 比, $^3He/^4He$ 比, 深発地震分布, 玄武岩, スパイダグラム

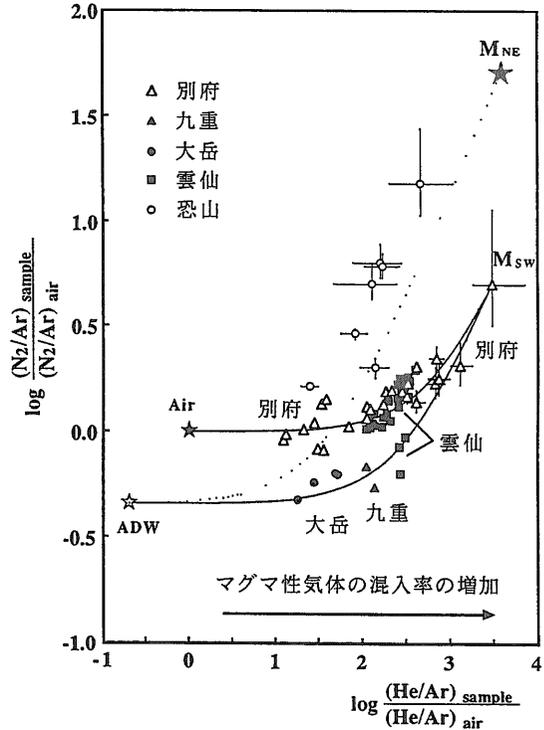
3. 海洋性堆積物起源元素の指針として、火山ガスの何に注目するか！

島弧の火山ガスとホットスポット地域の火山ガスの特徴を比較すると、島弧の火山ガスはホットスポット地域よりも N_2/Ar 比が極端に高いものが多いことが注目される。このことは海洋性堆積物が海洋性プレートとともに地球内部に沈み込み熱分解してマグマ性気体に付加された結果であろうと推測されている (Matsuo et al., 1978)。さらに、現在までに報告されている東北日本の火山ガスや地熱系ガスの N_2/Ar 比と He/Ar 比のプロットは、昭和神山の火山性流体から計算された極端に高い N_2/Ar 比 (4250) を持つマグマ性気体と水に溶存した空気との混合ラインに沿って分布することが報告されている (Kiyosu, 1986)。従って、プレートの沈み込みが明確な東北日本と初期段階にある西南日本のマグマ性気体間の N_2/Ar 比の差異を明らかにすることによって、プレートの沈み込みに伴う海洋性堆積物のマグマ性気体への寄与の存否を明らかにできる可能性がある。

4. 別府—島原地溝内のマグマ性気体の発見とその N_2/Ar 比

第2図は西南日本の別府—島原地溝内の火山地熱系から採取された気体試料の N_2/Ar 比および He/Ar 比の関係を示している (Kita et al., 1993b)。全気体試料が一つの共通した端成分気体 (MSW) と他の二つの端成分気体との2本の混合ラインによって説明できる。他の二つの端成分気体は、水に溶存した空気 (ADW) と空気そのもの (Air) である。特に、雲仙地域の異なる N_2/Ar 比をもつ温泉ガスや火山ガスさえも、この MSW を用いた二本の混合ラインで説明できる。

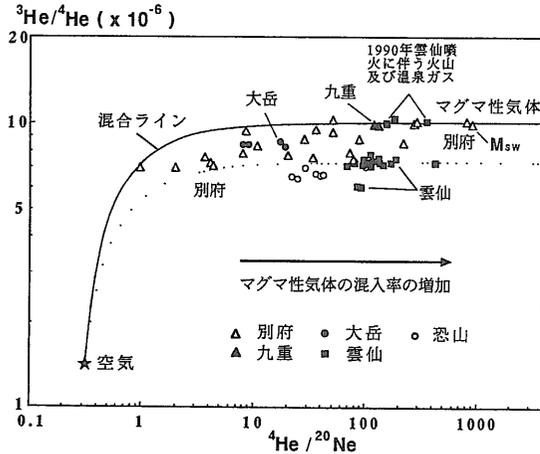
この共通の端成分気体 (MSW) 中に共存する He ガスの $^3He/^4He$ 比は 9.9×10^{-6} であり、日本列島のマグマ性 He の値とほぼ一致している (Nagao et al., 1981; Sano and Wakita, 1985)。また、その $^4He/^{20}Ne$ 比は日本列島の火山地熱系気体の最も高い領域に達する 893 の値を与えた。これに加えて、 $^{40}Ar/^{36}Ar$ 比は日本列島の火山地熱系気体で現在までのに知られていない最高値 407 を示し、最も空気に汚



第2図 別府—島原地溝から得られた火山地熱系気体の N_2/Ar 比と He/Ar 比の関係 (Kita et al., 1993b)。MSW：西南日本のマグマ性気体，MNE：東北日本のマグマ性気体 (Kiyosu, 1986)

染されていない。さらに、共存する CO_2 の炭素同位体比 ($\delta^{13}C$ 値, PDB) も、マグマ性の値 -6.3% を与えている。従って、この MSW が、別府—島原地溝の汚染のないマグマ性気体であると判断される。第2図中の MNE は東北日本のマグマ性気体を示す (Kiyosu, 1986)。恐山の気体試料は MNE と ADW との混合ラインに沿って分布し、MNE の存在を支持する。さらに、MSW の He/Ar 比は MNE の値とほぼ同一であり、マグマ性気体の He/Ar 比がどこでもほぼ類似した値 (1~6) を示すことと矛盾しない (Mazor, 1977)。

第3図に別府—島原地溝から得られた気体試料の $^3He/^4He$ 比と $^4He/^{20}Ne$ 比の関係を示した。 ^{20}Ne はマグマ性気体中にはほとんど含まれず、試料中の $^4He/^{20}Ne$ 比が大きければ大きいほどマグマ性 He の混入率が高いことを示す。従って、MSW の $^4He/^{20}Ne$ 比は全試料中で最も高く、典型的なマグマ性気体であることと矛盾しない。また、MSW を含む別府の試料は空気に近い値からマグマ性気体

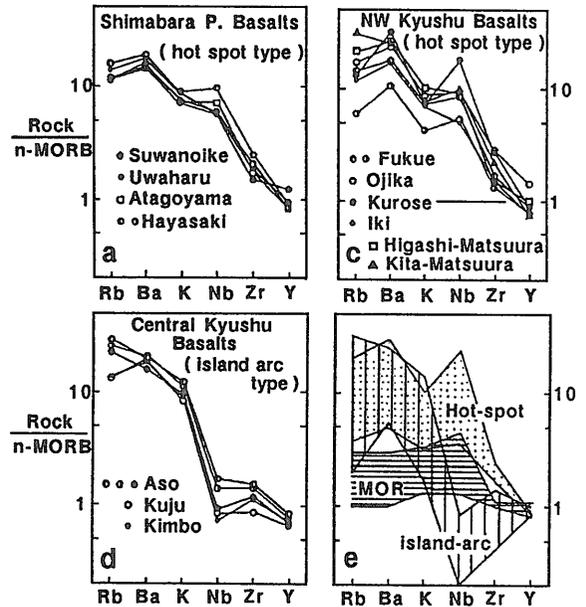


第3図 別府—島原地溝の火山地熱系気体の $^3He/^4He$ 比と $^4He/^{20}Ne$ 比の関係 (Kita et al., 1993b).

そのものまでの広い範囲に分布しており、雲仙、九重、大岳の順にマグマ性気体の含有率が高い。このマグマ性気体と空気の混合関係は、 N_2/Ar 比と He/Ar 比のプロット(第2図)から得られる各地域のマグマ性気体の含有率の関係とよく一致している。従って、別府—島原地溝内の火山地熱系の N_2/Ar 比と He/Ar 比の関係は、空気起源気体とマグマ性気体の混合関係を示していると判断される。さらに、西南日本と同様に、東北日本や北海道地域においても殆どの火山地熱系の気体試料が、共通した東北日本のマグマ性気体(MNE)とADWおよびAirとの2本の混合ラインによって説明できる(北ほか, 1993)。これらの結果は、別府—島原地溝内のマグマ性気体(MSW)が東北日本のMNEに比べて N_2/Ar 比が一桁低い事を示し、西南日本のマグマ性気体には東北日本よりも海洋性堆積物の寄与が少ない事を示している。

5. 北九州地域にプレートが沈み込んでいる可能性はないのか?

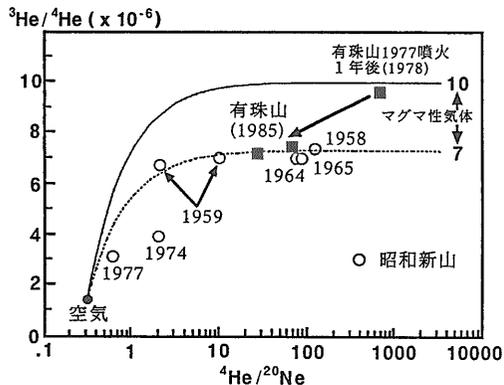
第4図に九州地域に分布する玄武岩のスパイダークラムのパターンを示した。九重を除く雲仙や北九州の玄武岩はホットスポット型に属し、東北日本や中央九州地域のようなサブダクション型のものとは異なっている(中田・鎌田, 1988)。西南日本の火山岩のストロンチウムの同位体比($^{87}Sr/^{86}Sr$)の分



第4図 九州地域の玄武岩のスパイダークラム(中田・鎌田, 1988).

布も東北日本のようなプレートが沈み込んでいる地域のものとは明らかに異なる(Notsu et al., 1990)。さらに、九重を含む別府—島原地溝内の地熱系気体は、一つの共通なマグマ性気体(MSW)によって説明できる(第2図)。これらの事は、フィリピン海プレートが火山フロントの真下にまで到達していないことと矛盾しない。

しかしながら、九重地域には負のニオブ(Nb)異常を持つサブダクション型の玄武岩が報告されている(第4図)。また、別府地域には高い $^3He/^4He$ 比、 10×10^{-6} をもつHeが放出されている(第3図)。この値は東北日本地域の秋田駒ヶ岳や有珠山からの値と同一であり、日本列島のマグマ性Heの上限値に一致している。さらに、現在の噴火に伴って雲仙普賢岳やその周辺の温泉から同様な高い $^3He/^4He$ 比をもつHeガスが放出されている(第3図)。これら両火山の噴火の前後で、より低い同位体比を持つHe ($6 \sim 7 \times 10^{-6}$) が放出されている(第3図と第5図)。これらの低同位体比をもつHeの放出現象は、マグマ性Heが地殻内の上昇過程で放射起源 4He によって汚染された結果である(Kita et al., 1993a)。地下深部にあるマグマ性Heは両火山地域で日本列島の上限値にほぼ等しく、東北日本および西南日本



第5図 有珠山と昭和新山から得られた火山ガスの $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比と $^4\text{He}/^{20}\text{Ne}$ 比の関係(Nagao et al. (1980)のデータの図化(Kita et al., (1993a)).

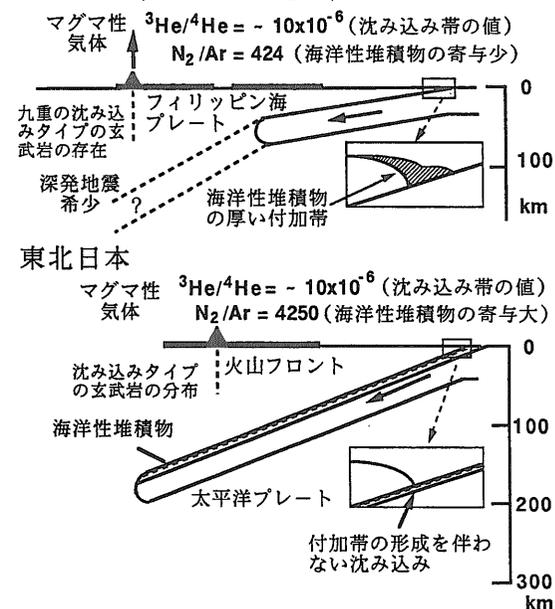
に差異が見られない(第3図と第5図). また, 日本島弧に報告されている He 同位体比の上限値は, ホットスポット地域の火山や海嶺からの He の $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比(約 $1.1 \times 10^{-5} \sim 5 \times 10^{-5}$)より明らかに低い. 従って, 日本島弧全域の上部マントルの He は, 沈み込んだプレートにより汚染されているものと考えられる. これらのデータは, 雲仙や別府地域にも過去にプレートが関与していたか, 現在も関与している可能性を暗示している.

6. 日本島弧での陸上深層科学掘削の意義

北九州地域の別府—島原地溝周辺で観測された地球物理学, 地球化学および岩石学からの諸データを矛盾無く説明するためには, 次の事柄が解明されねばならない. 1) 海洋性堆積物がマグマ性流体に大きく関与しない沈み込み状態の存在と, 2) プレートが地震を伴わず沈み込んでいる可能性.

西南日本ではフィリピン海プレート上の海洋性堆積物が, 沈み込み時に削り取られて巨大な付加帯(厚さ12 kmにも達するプリズムの形成)が発達している. 一方, 東北日本では, 太平洋プレート上の堆積物が付加帯を形成せず(削り取られず)沈み込んでいる(第6図)(Iwasaki et al., 1989, 1990). 従って, マグマ性 N_2/Ar 比における西南日本と東北日本の差異(MSW < MNE)は, たとえ両プレートが火山フロント下に沈み込んでいたとしても, フィリピン海プレート上の堆積物が沈み込み時に削り取

西南日本 (別府-島原地溝)



第6図 東北日本と西南日本のプレートの沈み込み状態とマグマ性気体の N_2/Ar 比と $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比のまとめ.

られている事によって説明できる.

別府—島原地溝や北九州地域での深層科学掘削で得られる岩石試料や流体試料から, プレート物質や海洋性堆積物起源物質の有無の確認を行なうことは, 諸分野の矛盾する観測結果(第6図)の共通解を見出す上で有意義なものと考えられる. さらに, プレートが明らかに沈み込んでいる東北日本地域での深層掘削との比較研究は, 現在沈み込みつつあるプレートの確認, サブダクション物質の進化, 地球内の元素循環と同位体分布の研究に画期的かつ不可欠な情報を与えるものと期待される.

文 献

- Iwasaki, T., Shiobara, H., Nishizawa, A., Kanazawa, T., Suyehiro, K., Hirata, N., Urabe, T., and Shimamura, H. (1989): A detailed subduction structure in the Kurile trench deduced from ocean bottom seismographic refraction studies: *Tectonophysics*, **165**, 315-336.
- Iwasaki, T., and eight others (1990): Crustal and upper mantle structure in the Ryukyu Island Arc deduced from deep seismic sounding: *Geophysical Journal International*, **102**, 631-651.
- 金森博雄 (1991): 地震の物理, 地球科学選書, 岩波, p. 84.
- Kita, I., Nagao, K., Taguchi, S., Nitta, K. and Hasegawa, H. (1993a): Emission of magmatic He with different $^3\text{He}/^4\text{He}$ ra-

- tios from the Unzen volcanic area, Japan. *Geochem. Jour.*, **27**, 251-259.
- Kita, I., Nitta, K., Nagao, K., Taguchi, S. and Koga, A. (1993b): Difference in N_2/Ar ratio of magmatic gases from northeast and southwest Japan: New evidence for different states of plate subduction, *Geology*, **21**, 391-394.
- 北 逸郎・荒屋敷龍一・長谷川英尚・滝沢英夫・田口幸洋・長尾敬介・上田 晃(1993): 島弧の深部ガス特性—火山性気体と非火山性気体との比較研究, 1993年度日本地球化学会年会講演要旨集, 36-37.
- Kiyosu, Y. (1986): Variations in N_2/Ar and He/Ar ratios of gases from some volcanic areas in northeastern Japan: *Geochem. Jour.*, **19**, 275-281.
- Matsuo, S., Suzuki, M., and Mizutani, Y. (1978): Nitrogen to argon ratio in volcanic gases, in Alexander, E.C.Jr., and Ozima, M., eds., *Terrestrial rare gases*: Tokyo, Japan Science Society Press, p. 17-25.
- Mazor, E. (1977): Geothermal tracing with atmospheric and radiogenic noble gases: *Geothermics*, **5**, 21-36.
- Nagao, K., Takaoka, N., Matsuo, S., Mizutani, Y., and Matsubayashi, O. (1980): Change in rare gas composition of the fumarolic gases from the Showa-shinzan volcano: *Geochem. Jour.*, **14**, 139-143.
- Nagao, K., Takaoka, N., and Matsubayashi, O. (1981): Rare gas isotopic compositions in natural gases of Japan: *Earth Planet. Sci. Lett.*, **53**, 175-188.
- 中田節也・鎌田浩毅(1988): 島原半島南部に分布する玄武岩・安山岩類の成因関係, 火山, 第33巻, 273-289.
- Notsu, K., Arakawa, Y., and Kobayashi, T. (1990): Strontium isotopic characteristics of arc volcanic rocks at the initial stage of subduction in western, Japan: *Jour. Volc. Geotherm. Res.*, **40**, 181-196.
- Sano, Y., and Wakita, H. (1985): Geographical distribution of the $^3He/^4He$ ratios in Japan: Implications for arc tectonics and incipient magmatism: *Jour. Geophys. Res.*, **90**, 8729-8741.
- Sugimura, A., and Uyeda, S. (1973): *Island arcs-Japan and its environs*: Amsterdam, Elsevier, 247 p.
- 多田 堯(1985)沖繩トラフの拡大と九州地方の地殻変動(2), 地震, **38**, 1-12.
-
- KITA Itsuro (1995): Implication of magmatic N_2/Ar and $^3He/^4He$ ratios in strange state of plate subduction beneath the Beppu-Shimabara graben, Kyushu, Japan.

〈受付: 1994年11月18日〉

九州地域地質センター閉所のお知らせ

当所の九州地域地質センター(福岡市)は、1995年4月1日付の地質調査所組織の一部改正により、閉所いたしました。

同センターは、1946年7月に設置された地下資源調査所(地質調査所の前身)福岡出張所に始まります。福岡出張所は、第2次大戦中に熊本県山鹿市に疎開していた地下資源調査所の組織を引き継いでいました。その後、1948年5月に地下資源調査所が「地質調査所」に改称して発足したのに伴い、その福岡出張所として設置され、1949年9月に福岡支所、1952年8月に福岡駐在員事務所、1967年4月に九州出張所、1988年10月に九州地域地質センターと改称して調査研究業務を継続してきました。

同センターでは、九州地方に特徴的な地質や地下資源などの研究を精力的に実施してきました。とりわけ戦後間もない頃の炭田開発調査やその後のウラン(核燃料資源)調査、鉄鋼原料(未利用鉄資源)調査、天然ガス開発調査、ダム開発調査などは特筆すべき調査研究であります。このほか、鉱物資源の研究として含銅

硫化鉄鉱床や珪砂鉱床、粘土鉱床(セラミック原料資源)などの研究を行い、最近では火山地質や火山岩の調査研究を実施し、5万分の1地質図幅の調査研究にも協力してきました。

これらの調査研究の成果や研究過程で得られた地質・鉱床などの情報を基にして相談業務や技術指導にも対応し、通商産業局や地方自治体などの行政機関の資源政策や地域開発に寄与してきました。

同センターのこの度の閉所にあたり、戦後から約50年間の長きにわたって多くの方々よりお寄せいただいた御支援に対し、誌面を借りて厚くお礼申し上げます。次第です。

なお、同センターの所掌業務は、本所及び大阪地域地質センターにおいて継続いたします。

本所地質相談所: TEL. 0298-54-3540

大阪地域地質センター*: TEL. 06-941-5377

*旧称: 近畿・中部地域地質センター(1995年4月1日名称変更)