

中央海嶺からの硫黄、フッ素、塩素、臭素のフラックスの見積もり Estimation of S, F, Cl and Br fluxes at Mid Ocean Ridges

鹿兒島 涉悟^{1*}, 高畑 直人¹, 鄭 進永¹, 天川 裕史², 熊谷 英憲³, 佐野 有司¹

KAGOSHIMA, Takanori^{1*}, TAKAHATA, Naoto¹, Jinyoung Jung¹, AMAKAWA, Hiroshi², KUMAGAI, Hidenori³, SANO, Yuji¹

¹ 東京大学大気海洋研究所, ² 国立台湾大学地質科学研究所, ³ 独立行政法人海洋研究開発機構

¹ Atmosphere and Ocean Research Institute, The University of Tokyo, ² National Taiwan University, Department of Geosciences,

³ Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

地球表層の揮発性元素の大部分は、固体地球内部からの脱ガスによって蓄積してきたことが知られている。その一つである希ガスは、脱ガスの様式に制約を与えるためのトレーサーとして利用されてきた。大気中のアルゴンの同位体組成から脱ガス史に関する推定が行われ、地球形成初期(40億年以上前)における固体地球内部からのカタストロフィックな脱ガスによって現在の地球の大気が形成されたというモデルが示された [1, 2]。また、マントル起源が自明である希ガスのヘリウム3 (³He) との比較によって炭素や窒素の中央海嶺や島弧からのフラックスが求められ、大気形成史に制約条件を与えた [3, 4]。

しかし、反応性が高いため多様な化学形で地球表層に存在する硫黄・ハロゲンに関しては、大気形成史に関する知見が十分に示されていない。加えて、中央海嶺におけるハロゲンのフラックスは、CO₂ との濃度比とそのフラックスから間接的に計算されてきたが [5]、CO₂ のフラックス自体 ³He との比較で求められたものである。よって、これらの元素を ³He と直接比較した方が良い。本研究では、中央海嶺玄武岩 (MORB) と背弧海盆玄武岩 (BABB) に含まれる硫黄、ハロゲン、³He の濃度を分析し、硫黄・ハロゲンのマントルからのフラックスを ³He と比較することによって見積もった。

【分析】

MORB と BABB のフレッシュなガラス部分を約 1 g 選び、それをステンレス製のクラッシャーに入れ、水酸化ナトリウム水溶液 (1-4 mol/L) を 1-2 cm³ 滴下した。そして、クラッシャーを液体窒素 (77K) に浸けて水溶液を凍結させてから上下に振り、ステンレス球を玄武岩ガラスと凍った溶液に衝突させることでそれらを破碎した。これにより、玄武岩ガラスの気泡に含まれていた硫黄、フッ素、塩素、臭素を含む反応性の高い元素を、衝撃で部分的に融解したアルカリ溶液中へと抽出した。一方、同時に気泡から抽出した不活性なヘリウムのガスを真空ラインに導入し精製してから、希ガス用の質量分析計 (VG5400) へと導入してヘリウム4 (⁴He) の強度とヘリウムの同位体比 (³He/⁴He) を測定した。また、溶液中に含まれる硫黄、フッ素、塩素、臭素の濃度をイオンクロマトグラフィ (Dionex-320) で測定した。

【結果と考察】

玄武岩ガラスの気泡中の ³He、硫黄、フッ素、塩素、臭素の濃度はそれぞれ、(4-31) × 10⁻¹⁵ mol/g, (20-430) × 10⁻⁹ mol/g, (60-5000) × 10⁻⁹ mol/g, (160-450) × 10⁻⁹ mol/g, (5-1300) × 10⁻⁹ mol/g であった。実験で扱ったサンプルが典型的な MORB との仮定のもと、硫黄、フッ素、塩素、臭素の中央海嶺からのグローバルフラックスを、各元素の ³He との濃度比と ³He のグローバルフラックス ((527 ± 102) mol/yr [6]) から見積もった。その値は、MORB と BABB 全体の揮発性元素が放出されるとした場合、それぞれ (1-26) × 10¹⁰ mol/yr, (2-120) × 10¹¹ mol/yr, (2-120) × 10¹⁰ mol/yr, (4-230) × 10¹⁰ mol/yr となる。さらに、我々は得られた硫黄、フッ素、塩素の中央海嶺からのフラックスを、それらの島弧からのフラックスや沈み込み帯においてリサイクルする速度、そして地殻に付加する速度と比較し、現在の地球表層存在度を満たすのに必要な集積時間を見積もった。結果は、硫黄が 92 Myr 以上、フッ素が 11 kyr 以上、塩素が 1.0 Gyr 以上となり、これらは地球年齢 (4.55 Gyr) よりも短くなり得ることが分かった。これは、硫黄やハロゲンの反応性がアルゴンよりも高いため、異なるプロセスで地球表層に蓄積した可能性を示す。

【参考文献】

[1] Ozima M. (1975) *Geochim. Cosmochim. Acta*, 39, 1127-1134. [2] Graham D. W. (2002) *Rev. Min. Geochem.*, 47, 247-317. [3] Marty B. and Jambon A. (1987) *Earth Planet. Sci. Lett.*, 83, 16-26. [4] Sano Y. et al. (2001) *Chem. Geol.*, 171, 263-271. [5] Fischer T. P. (2008) *Geochem. J.*, 42, 21-38 [6] Bianchi et al. (2010) *Earth Planet. Sci. Lett.*, 297, 379-386

キーワード: 大気形成, 硫黄, ハロゲン, ヘリウム, グローバルフラックス, 中央海嶺玄武岩

Keywords: atmospheric formation, sulfur, halogen, helium, global flux, mid ocean ridge basalt