

SGC053-01

会場:304

時間:5月26日 08:30-08:45

海洋島玄武岩の化学組成に対するテクトニックな環境の影響：南太平洋プリュームの深部マントル起源の根拠

Effect of tectonic environment on chemical composition of OIBs in the Pacific: implication for a deep mantle origin

下田 玄^{1*}

Gen Shimoda^{1*}

¹ 産業技術総合研究所

¹ Geological Survey of Japan, AIST

The Pacific Ocean is known to contain numerous ocean islands, seamounts and several oceanic plateaus and rises those may have formed during the large-scale magmatic event in the South Pacific. Proposed origins for this magmatism can be divided into two categories. One is mantle plume from the Earth's deep interior that is governed by mantle dynamics and the plume sometimes referred to as "superplume". The other is upper mantle process that is controlled by lithospheric dynamics, such as surface lithospheric fractures, melt focusing under broad upwellings condition and small-scale sublithospheric convection. In either case, documenting the large-scale magmatic event over both space and time may provide clues into understanding material recycling throughout the silicate Earth.

The South Pacific region is referred to as a "superswell" or the "South Pacific Isotopic and Thermal Anomaly" (SOPITA) due to its unusually shallow ocean floor, evidence of active intraplate volcanism, and the occurrence of isotopically anomalous magmas. These geophysical and geochemical features are usually attributed to a plume activity or lithospheric dynamics. Although it is unclear whether the process that is now operate in the South Pacific has been active since the Cretaceous, distinct isotopic signatures of the Cretaceous seamounts can be traced back to the magmas of SOPIAT. It might follow that single process has been active since the Cretaceous.

The notable geochemical character of this magmatism is quadratic correlation between elemental ratios (La/Yb , Sr/Y , Nb/Zr , Ta/Zr and Th/Ta) of the seamounts/island and "relative age" that can be an index of the thickness of lithosphere beneath hot spots. As the thickness of oceanic lithosphere is a function of square root of its age, these correlations suggest importance of tectonic environment to determine the chemical composition of the magmas. In addition, these correlations suggest the genetic relationship between oceanic plateaus and island/seamount chain because the elemental ratios of oceanic plateaus are on the trends. Other important geochemical feature is that the elemental ratios of mid-ocean ridge basalts (MORBs) from the East Pacific Rise (EPR) are not on these trends. This observation suggests that source material of the EPR MORBs is different from that of the seamounts and islands. Since the source material of EPR MORBs can have a representative composition of upper mantle beneath the South Pacific, this difference could imply the material flow from the deep mantle. Therefore melting of mantle plume from the lower mantle, which melting condition depends on thickness of lithosphere, can be a plausible origin of the magmatism in the South Pacific.

キーワード: 太平洋, ホットスポット, 海洋島玄武岩, 同位体, スーパープリューム

Keywords: Pacific, hot spots, ocean islands, Pb-Nd-Sr isotopes, superplume

SGC053-02

会場:304

時間:5月26日 08:45-09:00

KとUのマントル内のバジェット K and U budget in the mantle

羽生 毅^{1*}

Takeshi Hanyu^{1*}

¹ 海洋研究開発機構地球内部ダイナミクス領域

¹IFREE, JAMSTEC

K, U and Th concentrations in bulk silicate Earth (BSE) are significant for isotope geochemistry, including noble gases and Pb isotopes, as well as for geothermal study as internal heat sources. While the concentration of U in BSE has been estimated from the chondritic value, K concentration of BSE is poorly constrained due to its volatility during formation of the Earth. Instead, K concentration in BSE has been calculated using U concentration in BSE multiplied by the canonical K/U ratio (13000) deduced from the relatively uniform K/U of crustal and mantle-derived rocks (e.g., O'Nions and Oxburgh, 1983). However, if subducted and dehydrated slab with low K/U occupied a considerable volume in the mantle, the presence of this "hidden" reservoir would result in a significant reduction in K/U, and hence in the total amount of K, in BSE compared to the previous estimates (Lassiter, 2004). This hypothesis has been debated (Arevalo et al., 2009). However, He-Ne-Ar isotope systematics of the HIMU reservoir, which was produced from subducted old oceanic crust, demonstrate that K/U of this reservoir should be much lower (3000) than the canonical K/U ratio (Hanyu et al., in submission), supporting Lassiter (2004)'s hypothesis.

In this presentation, I discuss the impact of subducted oceanic crust on the K and U(+Th) budget in the mantle. Since the subducted oceanic crust is enriched in U, but not in K by dehydration, the preservation of the subducted oceanic crust in the mantle, that is HIMU reservoir, affects the K and U budget in the silicate Earth. Mass balance calculations of K and U were conducted, assuming four major reservoirs, continental crust, depleted mantle reservoir, primitive mantle reservoir and subducted oceanic crust, after Lassiter (2004). The differences between the model presented here and that presented by Lassiter (2004) are twofold. (1) We assume variable U concentrations in the subducted oceanic crust, from U-poor dehydrated N-MORB (0.05 ppm) to U-rich bulk crust observed in natural eclogite (0.12 ppm). (2) We assume some depletion in U and K for primitive mantle reservoir, because it is not necessarily unmodified BSE, but may be moderately depleted due to it making a small contribution to the formation of continental crust (Class and Goldstein, 2005).

The estimated K/U of BSE is modified from canonical value of 13000 down to 8000-10000 by taking the presence of subducted slab into consideration, irrespective of the values chosen for the compositions of the abovementioned reservoirs, if all the oceanic crust ever subducted has accumulated, occupying 6-9 % of the mantle. In this case, K concentration in BSE is also lower than the previous estimate of 250 ppm. The fraction of primitive mantle reservoir in the silicate mantle is also estimated from the mass balance calculations. It is highly dependent on the concentration of U in the subducted crust. In particular, if U concentration in the subducted oceanic crust is relatively low (0.05 ppm), the primitive mantle reservoir should occupy at least 30% in the mantle to balance the K and U budget in the silicate Earth. This suggests that considerable amount of primitive mantle reservoir has been unmixed and isolated in the convecting mantle.

References -

Arevalo et al., *Earth Planet. Sci. Lett.* 278, 361-369 (2009).

Class and Goldstein, *Nature*. 436, 1107-1112 (2005).

Lassiter, *Geochem. Geophys. Geosyst.* 5, doi: 10.1029/2004GC000711 (2004).

O'Nions and Oxburgh, *Nature*, 306, 429-431 (1983).

キーワード: カリウム, ウラン, マントル, スラブ

Keywords: potassium, uranium, mantle, subducted slab

SGC053-03

会場:304

時間:5月26日 09:00-09:15

ウダチナヤキンバーライトの希ガス分析 Noble gases in olivines in Udachnaya kimberlite, Siberia

北村 文彦^{1*}, 角野 浩史¹, 松藤 京介¹, 長尾 敬介¹, 兼岡 一郎², Vladimir S. Kamenetsky³, Maya B. Kamenetsky³
Fumihiko Kitamura^{1*}, Hirochika Sumino¹, Kyosuke Matsufuji¹, Keisuke Nagao¹, Ichiro Kaneoka², Vladimir S. Kamenetsky³,
Maya B. Kamenetsky³

¹ 東大院理地殻化学, ² 東大地震研, ³ オーストラリア・タスマニア大学

¹GCRC, Grad. School Sci., Univ. Tokyo, ²ERI, Univ. Tokyo, ³University of Tasmania, Australia

キンバーライトは主にカンラン石と雲母からなる超塩基性の火山岩であり、ダイヤモンドの母岩として知られている。キンバーライトマグマの起源はダイヤモンドが形成される地下 150 km (e.g., Dawson, 1980; Haggerty, 1994) 以深のマンテルと考えられているが、まだ十分に制約されていない (e.g., Price et al., 2000; Chalapathi Rao et al., 2004; Smith, 1983)。

希ガスは化学的に不活性である、地球内部の存在度が小さいため同位体比の変動が大きい、特にヘリウムは拡散が速い、アルゴン以外は大気中の存在度が小さいため超高感度の検出が可能であるといった特徴を持つことから、マンテルにおける物質移動のトレーサーとして用いられている。また、地球の各成分はそれぞれ特徴的な希ガス同位体比を持ち、大きく MORB 源マンテル、ブルーム源マンテル (下部マンテルあるいはコア - マンテル境界)、大気/海水、地殻の四成分に分けられる。これらの特徴から、希ガスの同位体比分析によって試料の起源を制約できる可能性がある。Sumino et al. (2006) はロシア・シベリア地方のウダチナヤキンバーライトパイプ産の試料に含まれるカンラン石斑晶を分析し、ブルーム由来の成分を含むことを明らかにした。本研究では同パイプで採取されたより多数の試料を分析することで、ウダチナヤキンバーライトマグマの希ガス組成についてさらなる検証を行った。

希ガス分析では試料中の様々な成分を分離することが重要になる。キンバーライト中にはマグマ由来の成分だけでなく、マグマが上昇する過程で周囲から取り込んだ成分や、ウランやトリウム、カリウムなど内部の放射性元素が壊変して生じた成分も含まれる。そのため、こうした二次的な成分の影響が少ないと考えられるカンラン石斑晶を取り出して分析した。また、斑晶中の流体包有物中には周囲の結晶格子に比べてマグマ起源の希ガスが濃集しているため、この部分から選択的に希ガスを抽出できる破砕法を、結晶に含まれる希ガスを全て抽出する加熱法と組み合わせ用いた。その際、先行研究で問題になった装置内部に吸着した大気成分の影響を軽減するため、新たに設計・製作したクラッシャーを使用した。なお、クラッシャーの差異による希ガス同位体比の変化を検証することも本研究の目的の一つである。

新型クラッシャーを用いて先行研究と同一の試料から鉱物分離したカンラン石を分析したところ、放射壊変起源の ⁴He や核反応起源の ²¹Ne がより多く抽出された。これらは結晶格子中により多く含まれると考えられるため、新型クラッシャーは従来型と比べて破砕効率が高く、その結果結晶格子から抽出される成分の寄与が大きくなっている可能性がある。しかし、加熱法を含めたトータルの結果を比較すると、今回分析したカンラン石の方が放射壊変起源や核反応起源成分に富んでいるという結果が得られた。従って結果の違いは試料そのものに起因している可能性もあり、同一のキンバーライトに由来する試料であっても個々の斑晶によって同位体組成が異なることを示唆している。

一方、新たに分析したキンバーライト試料中のカンラン石は先行研究と異なった結果を示した。ヘリウムとアルゴンの同位体比は破砕が進むにつれて放射壊変起源成分の寄与が増加するという先行研究に類似した傾向を示し、その内マグマ起源のヘリウムは大陸下マンテル的な値を示した。しかし、ネオンの同位体比は核反応起源 ²¹Ne の影響が大きく、三同位体プロット上で通常のマンテル物質が示す傾向から外れている。これは、大気成分と、MORB 源より核反応起源成分の乏しいマンテル成分という二成分の混合で説明できる先行研究 (Sumino et al., 2006) の結果とは明らかに異なっている。今回分析に用いた斑晶はサイズがやや大きく、またウダチナヤキンバーライト中で晶出した斑晶オリビンは粒径が 200 ミクロンである (Kamenetsky et al., 2008) ことから、捕獲結晶ないし捕獲結晶をコアに持つ斑晶が多く含まれている可能性がある。これらの包有物中に、マンテル由来の希ガス成分に比べて相対的に核反応起源の成分が多く含まれていたことが、今回の結果につながったのではないかと考えられる。ウダチナヤキンバーライトの噴出は三億五千年前 (Maas et al., 2005) であり、この様に古い試料では斑晶中の包有物の組成により、破砕法を用いても噴出後に蓄積した放射壊変起源成分の寄与が顕著になりうるということが本研究で明らかになった。

SGC053-04

会場:304

時間:5月26日 09:15-09:30

母天体プロセスがコンドライト中のプレソーラー粒子存在度に与える影響 Evaluation of parent body processes on presolar components in chondrites

横山 哲也¹, Alexander Conel^{2*}, Walker Richard³
Tetsuya Yokoyama¹, Conel Alexander^{2*}, Richard Walker³

¹ 東京工業大学地球惑星科学専攻, ² カーネギー研究所, ³ メリーランド大学
¹Tokyo Institute of Technology, ²Carnegie Institution, DTM, ³University of Maryland

Chondrites and differentiated meteorites at the bulk meteorite scale commonly show small but resolvable mass-independent isotopic deviations from the terrestrial values in refractory elements (e.g., Cr, Ti, Mo, Ru, Ba, Sm). At least some of these anomalies are nucleosynthetic in origin, and have been interpreted to reflect incomplete mixing of isotopically diverse presolar materials in the protosolar nebula, although uniform, terrestrial isotopic compositions in bulk chondrites have been reported for some elements (e.g. Sr, Os). Processes that occur on parent bodies such as thermal metamorphism and aqueous alteration can also potentially affect the isotopic compositions of bulk chondrites. Isotopic investigation of acid residues from primitive chondrites may shed light on this problem. The residues are rich in a variety of isotopically anomalous presolar grains which can control the isotopic composition of bulk chondrites. In this study, we analyzed Os isotope compositions in acid residues from four CMs (MET 01070, ALH 83100, Murchison, QUE 97990) and three CRs (GRO 95577, EET 92042, GRA 95229).

All the CM/CR-residues are characterized by positive epsilon-Os (eOs) values that are resolvable from the solar (= terrestrial) component, suggesting the enrichment of Os isotopes produced by the s-process. There are significant variations in eOs values across CM-residues. The magnitude of the positive Os isotope anomalies in the residue of the ALH 83100 (CM1/2) (e188Os = +3.10) is nearly twice as large as those present in residues from Murchison (CM2) (e188Os = +1.66). The residue of MET 01070 (CM1) has eOs values (e188Os = +2.31) larger than those of Murchison, whereas that from QUE 97990 (CM2.6) has the smallest deviation in eOs values from zero among all CM chondrites (e188Os = +0.95). Variations in the magnitude of the eOs values are also observed in residues from CR chondrites, where the residue from GRO 95577 (CR1) showed the largest positive Os isotope anomalies (e188Os +2.64). We propose that the observed isotopic variation was caused by the destruction of presolar phases via progressive aqueous alteration on the CM/CR parent bodies, rather than any nebular processes creating heterogeneous distributions of presolar grains that predate the planetesimal formation. Some petrologic observations of CM chondrites point to the occurrence of aqueous alteration prior to parent body accretion. However, destruction of presolar phases during preaccretionary alteration would result in the modification of Os isotopic compositions at the bulk meteorite scale, which is evidently not the case. The enrichment of s-process Os isotopes in the residues from highly altered CM/CR chondrites implies that aqueous alteration on the parent body preferentially destroyed the r-process-Os carrier(s) and modified it into an acid leachable phase in the chondrite matrices, while acid resistant s-process-rich grains (SiC, graphite) survived. This process, however, did not disturb the Os isotopic composition at bulk meteorite scale. Even though bulk chondrites are isotopically homogeneous in Os, our new results suggest that parent body aqueous/metamorphic processes have acted on the distribution of Os among presolar phases. This suggests that isotopic anomalies reported for some other elements that have been interpreted as reflecting nebular heterogeneities, may partly or wholly be the result of parent body processing. Presolar phases that are enriched in certain nucleosynthetic components could release these components upon destruction of the hosting phases. If the element is more highly soluble than Os, fluid transport could lead to the formation of isotopically modified bulk samples whose isotopic compositions are not representative of the whole parent body. Thus, isotopic heterogeneities among bulk chondrites should not automatically be interpreted as evidence for nebular heterogeneity.

キーワード: コンドライト, プレソーラー粒子, 水質変成, オスミウム同位体
Keywords: chondrite, presolar grain, aqueous alteration, osmium isotope

SGC053-05

会場:304

時間:5月26日 09:30-09:45

X線CT装置を用いた非破壊観測による石英中の水銀包有物のフラクタル分布 Fractal distribution of mercury inclusions in quartz by in situ X-ray computed tomography (CT) system

柴田 智郎^{1*}, 丸岡 照幸², 越後 拓也³
Tomo Shibata^{1*}, Teruyuki Maruoka², Takuya Echigo³

¹道総研 地質研究所, ²筑波大学大学院 生命環境科学研究科, ³(独)国際農林水産業研究センター

¹Geological Survey of Hokkaido, HRO, ²Univ. Tsukuba, ³JIRCAS

【研究背景と目的】 分析機器や観測機器の発達により、多量のデータが得られるようになった。得られたデータを数理・統計学的手法を用いて解析すると対象となる物質の状態や起源を理解するのに役立つ。近年、医療分野で発達したX線CTスキャン技術が地球惑星科学においても有用であることが認められつつあり、その技術を用いた研究が行われるようになった(例えば、Tsuchiyama et al, 2009)。本研究では、X線CT装置を用いて石英中の水銀包有物の分布を測定し、分布状態の数値化を試みた。さらに、数理・統計解析を行うことで、包有物とその宿主鉱物との関係を調べた。

【研究試料と実験方法】 研究試料として、カリフォルニア州 San Benito 産の石英結晶(約2 cm × 5 cm × 5 cm)を用いた。San Benito 産石英は肉眼でも観察可能な直径1-2 mmの水銀の包有物を含む。本試料は宿主鉱物と包有物の密度差が大きいためX線CT分析には最適である。マイクロフォーカスX線CT装置((株)島津製作所製SMX-225CT)を用いて、試料を回転させながら透過X線写真を撮影したのち、合計260枚の写真を再構成してCT像を得た。CT像から包有物の分布状態を数値化し、フラクタル解析を行った。

【結果と考察】 ボックスカウント法から計算したフラクタル次元(D)は1.76であることから、包有物は線状から面状に広がっている(例えば、D=1ならば線、D=2ならば平面)。フラクタル構造の非一様性を評価するために、次元を一般化し、特異性指数を求めた。得られた特異性指数の値は幅をもつため、フラクタルを生み出す状況は一様ではない。包有物間の自乗平均と総数の相関を調べると、包有物がランダムウォークによるものである。このランダムウォークは構造に束縛されないことから、水銀含有流体は、石英中のフラクタル構造に入り込んだものではなく、石英生成中、もしくは、石英中に既に存在しているフラクタル構造をもたない隙間に包有されたものと推測できる。以上の結果から、X線CTスキャン技術を岩石試料に適用することによって、従来の薄片観察からは得られない情報が非破壊で得られ、さらに、数理・統計学的手法を用いることによって定量的な評価が可能になった。

(参考文献)

Tsuchiyama et al., Meteoritics and Planetary Science, 44, 1203-1224, 2009.

キーワード: フラクタル, ランダムウォーク, 数理統計解析, X線CT装置, 水銀包有物, 非破壊観測

Keywords: fractal, random walk, mathematical and statistical analysis, X-ray computed tomography system, mercury inclusions, in situ observation

SGC053-06

会場:304

時間:5月26日 09:45-10:00

カシテライトのスズ同位体分析法開発とその考古学的応用 Development of tin isotopic analysis for cassiterite and its archaeological application

山崎 絵里香^{1*}, 中井 俊一²

Erika Yamazaki^{1*}, Shun'ichi Nakai²

¹ 東京工業大学大学院, ² 東京大学地震研究所

¹Tokyo Institute of Technology, ²ERI, Tokyo University

[研究背景] 青銅器は銅 (Cu)・スズ (Sn)・鉛 (Pb) の合金であり、鉄器が普及する以前にもっとも広く使用されていた金属器である。青銅器の考古化学的研究における主要なトピックスとしては、製作年代決定や原料の産地推定が挙げられる。産地推定に関しては、地域ごとに大きな変動を示す Pb 同位体組成が利用されている (e.g. Brill and Wampler, 1965)。ところが、Pb 同位体による産地推定には、異なる地域の原材料が混合された場合、青銅器の Pb 同位体組成は原料の同位体組成とは一致しないという問題点が指摘されている。さらに、青銅器の中にはリサイクルを経験した物もあると考えられるが、リサイクルの際にも原料の混合が起こり得る。つまり、Pb 同位体は原料の産地推定の有用なトレーサーであるが、すべての試料に適用するには問題があるといえる。

そこで、Sn 同位体による青銅器のリサイクル検証が提案された (Budd et al., 1995a)。これは Sn が揮発性元素であり、また全元素中最多となる 10 もの同位体が存在し、質量数範囲が広く、青銅器製作過程での蒸発によって観測可能な同位体分別が起こると予想されるためである。青銅器の主成分、Cu と Pb にも同位体分別が起こると考えられるが、Cu には有意な同位体分別が検出されていない (Mathur et al., 2009)。また Pb 同位体に関しては、同位体分別は起こり得るが、地域ごとの同位体組成変動に比べて無視できると結論付けられている (Barnes et al., 1978; Budd et al., 1995b)。Sn 同位体を用いた青銅器のリサイクル検証によって、限定的ではあるが原材料の混合された可能性を評価できる。すなわち、Pb に加え Sn を用いることでより適切な産地推定が可能になると考えられる。

青銅器の Sn 同位体分析は Gale (1997) によって行われた。試料にはいずれも有意な差が無いためリサイクルを受けた可能性は低いと示唆されているが、製作過程での Sn 同位体分別が実験的に十分検証されていないため、他の青銅器で同位体分別が検出される可能性はある。実際、中国から出土した青銅器の予察分析では、Sn 同位体比の変動が確認された (Nakai, unpublished)。

しかしながら、Sn 同位体を用いてリサイクル検証を行うためには、原料となるスズ石 (cassiterite) がもつ Sn 同位体組成が地域によらず均一であるという前提が必要になる。近年、Haustein et al. (2010) により cassiterite のまとまった Sn 同位体データが報告され、過去最大となる有意な同位体組成変動 (約 0.6 ‰) が観測された。

[目的] 天然の Sn 同位体組成変動が確認されたものの、cassiterite の分析例は未だ少なく、前処理を含め分析法は統一されていない。正確な分析値を得るために、まずは信頼性の高い分析手法を確立する必要がある。そこで本研究では、cassiterite の Sn 同位体分析手法を確立し、事例研究として日本国内の cassiterite を中心に Sn 同位体分析を試みた。試料は産業技術総合研究所の石原博士よりご提供いただいた。

[実験] まず cassiterite をステンレス製乳鉢で砕き、メノウ乳鉢を用いてパウダーを作成した。続いて岩石パウダー約 1 mg をテフロンバイアルに測り取り、ヨウ化水素酸を 0.3 ml 滴下した (Caley, 1932)。バイアルはテフロンボムに入れ 100°C で一晩加熱した。加熱後、ヨウ化水素酸をホットプレートで 80°C に加熱して乾燥させた。乾固したサンプルに対し濃塩酸を 0.6 ml 加えて溶解させ、上澄み液を回収した。以上の作業を繰り返した上で溶け残りが見られる場合には、フッ化水素酸および過塩素酸を滴下し加熱することで分解を行った。最終的に得られた分解溶液は抽出クロマトグラフィーを利用して Sn を他元素から分離し (Yi et al., 1995)、回収された溶液は微量のフッ化水素酸を含む 2% 硝酸溶液で希釈した。同位体分析には MC-ICP-MS (Micromass, Isoprobe) を用い、外部補正元素としてアンチモン (Sb) を試料溶液に加えて測定を行った。また、standard-sample bracketing 法により cassiterite の同位体比を評価した。

[結果] 分析の結果、本研究で用いた cassiterite 試料にも有意な Sn 同位体組成変動が観測された。日本国内の cassiterite には単位質量あたり最大 0.16 ‰ の変動が確認され、いずれの試料も質量に依存した同位体分別を受けていることが分かった。予察分析で確認された青銅器の Sn 同位体比変動は約 0.7 ‰ であることから、今回の結果は Sn 同位体によるリサイクル検証の可能性を示唆する。

キーワード: スズ, 安定同位体, カシテライト, ICP-MS, 考古学

Keywords: tin, stable isotope, cassiterite, ICP-MS, archaeology