

機関番号：12608
 研究種目：若手研究(B)
 研究期間：2009～2010年度
 課題番号：21740388
 研究課題名（和文）プレソーラー粒子の高精度同位体分析による重元素合成プロセスの解明
 研究課題名（英文）High precision isotope analyses of presolar grains for the study of stellar nucleosynthesis
 研究代表者
 横山 哲也 (YOKOYAMA, Tetsuya)
 東京工業大学大学院理工学研究科・准教授
 研究者番号：00467028

研究成果の概要(和文):複数の始原的隕石からプレソーラー粒子に富んだ耐酸性残渣を分離し、Os 同位体比の高精度測定を行なった。その結果、隕石中に s-および r-プロセスで合成された Os を保持する複数の異なる相が存在することが判明した。r-プロセスで合成された Os は比較的弱い酸によって抽出される一方、s-プロセスのキャリアは酸に対して非常に強い耐性を持つことが明らかとなった。また、母天体における水質変性は r-プロセスで合成された Os を保持する、ある種のプレソーラー粒子を選択的に破壊することが分かった。

研究成果の概要(英文): We have investigated Os isotope compositions in chondritic acid residues enriched in presolar grains. We found that bulk chondrites contain various types of presolar phases that are rich in either s-process-Os or r-process-Os. The r-process-enriched phases could be extracted from chondrites by a relatively mild acid condition, while s-process-enriched phases appeared to be highly acid resistant. We also found that some r-process-enriched phases were selectively destroyed via parent body aqueous alteration.

交付決定額

(金額単位:円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	2,100,000	630,000	2,730,000
2010年度	1,300,000	390,000	1,690,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：地球惑星科学・地球宇宙化学

キーワード：地球外物質化学、高精度同位体分析、始原的隕石、プレソーラー粒子

1. 研究開始当初の背景

物質を形成する基本構成要素である『元素』は主にビッグバンやそれ以降の恒星内における核融合、および超新星爆発によって合成された。従来、元素合成過程の研究は、理論計算および天文観測が中心であった。一方、物質科学的には、始原的隕石の化学分析から、隕石に記録されている元素合成の名残を解読する手法がとられてきた。これは天文観測

では不可能な高精度分析を可能とするが、個々の環境において合成された元素は、太陽系形成時の集積・蒸発・凝縮により均一化され、隕石全体は元素合成について積分化された情報しか保持していないという欠点があった。そこで均一化をまぬがれたプレソーラー粒子に注目が集まっていたが、重元素の高精度同位体分析は技術的困難さからほとんど研究が行なわれてこなかった。

2. 研究の目的

始原的隕石に残存しているプレソーラー粒子の重元素の存在度及び同位体組成を高精度で分析し、物質の基本構成要素である『元素』の生成過程を解明することを目的とする。特に、未だ不明な点も多い鉄以降の重元素の合成過程 (s-, r-, p-プロセス) に着目する。測定結果と理論的研究や天文観測とを結びつけることにより、銀河の化学進化や超新星爆発のダイナミクス、更には我々の太陽系を構成する物質の起源に関する新しい知見が得られることが期待される。

3. 研究の方法

(1) プレソーラー粒子を汚染無く扱うため、クリーンルームを整備する。

(2) 隕石からプレソーラー粒子を含む耐酸性残渣相を抽出し、鉱物学的記載を行う。

(3) プレソーラー粒子を鉱物種別に分離・抽出する方法を新たに開発する。

(4) 抽出した鉱物中の重元素存在度パターンを四重極型 ICP-MS を用いて測定する。

(5) 超高精度 Ru・Mo 同位体測定法の開発を行なう。

(6) 耐酸性残渣相の Os・Ru・Mo 同位体組成の測定を行なう。

(7) 得られた実測値を利用し、元素合成や銀河の化学進化に関するモデリングを行なう。

4. 研究成果

(1) 東京工業大学地球惑星科学専攻に新たに完成したクラス 100 のクリーンルームにおいてプレソーラー粒子を扱うための環境整備を行なった。微量元素の汚染度は整備前と比較し 1/10 以下に低下した。

(2) 始原的隕石である Tagish Lake と Allende について酢酸・硝酸・塩酸・フッ化水素酸による段階的酸処理を行い、残渣の鉱物学的記載を EPMA により行なった。その結果、塩酸処理でかんらん石が溶解することが分かり、プレソーラーケイ酸塩の一部はフッ化水素酸なしで溶解することが示唆された (永井友一郎: 2009 年度東京工業大学・地球惑星科学専攻卒業論文)。

(3) 岩石試料を水中でレーザーサンプリングする新しい分析法の開発に着手した。ガラス質および鉄標準試料に対してレーザー照射を行い、照射による元素分別および同位

体分別を起こさない条件を確立した。本法を普通隕石の金属相に適用し、鉄同位体組成の測定を行なうことでその有用性を確認した。しかしサブミクロンサイズであるプレソーラー粒子に適用するにはレーザー照射条件の更なる検討が必要であることが判明した (岡林識起: 2010 年度東京工業大学・地球惑星科学専攻修士論文)。

(4) 上に示したとおり、レーザー照射によるプレソーラー粒子単体の分離は困難であったため、(2)で行なった段階的酸処理のリーチング液の微量元素濃度測定を行なった。その結果、アルカリ土類金属である Ba は比較的弱い酸条件で多く溶出するが、アルカリ金属 (Rb) や希土類元素は酸に対する耐性が高い鉱物に多く含まれることが明らかとなった (伊藤伸朗: 2010 年度東京工業大学・地球惑星科学専攻修士論文)。また、耐酸性残渣の白金族元素濃度分析も行なった。その結果、濃度パターンはほぼコンドライト的であり、濃度の絶対値には残渣のホスト隕石の岩石学タイプと強い相関があることが分かった (Yokoyama et al. 2010, 2011)。

(5) ThermoFisher 社の表面電離型質量分析計 TRITON を使い、Ru および Mo 同位体測定法の開発を行なった。負イオン TIMS 法を適用し、三酸化物での測定を行なった。Ru および Mo 標準物質の繰り返し測定を行ない、 $^{100}\text{Ru}/^{101}\text{Ru}$ で $\pm 0.5\epsilon(2\sigma)$ 、 $^{96}\text{Mo}/^{98}\text{Mo}$ で $\pm 0.3\epsilon(2\sigma)$ の再現性をそれぞれ達成し、目的にかなう分析法の立ち上げに成功した。しかし隕石から抽出した耐酸性残渣中の Ru および Mo 濃度は著しく低く、TIMS で高精度測定を行なうために必要な量に満たなかった。隕石の総量に限りがあったため、以降の分析は比較的存在度が高く分析感度もよい Os を中心に行なった。

(6a) 隕石の耐酸性残渣および上澄み液の高精度 Os 同位体分析を行なった。その結果、隕石中に s-および r-プロセスで合成された Os を保持する複数の異なる相が存在することが判明した (図 1)。r-プロセスで合成された Os は比較的弱い酸によって抽出される一方、s-プロセスのキャリアは酸に対して非常に強い耐性を持つことが明らかとなった。この研究成果は国際誌 EPSL に掲載された (Yokoyama et al. 2010)。

(6b) 本研究を進める過程で、隕石母天体における熱変成や水質変性が隕石中のプレソーラー粒子存在度に大きく影響することが分かってきた。熱変成の影響についてはいくつかの報告例があるが、水質変性の影響はこれまでほとんど研究されていなかった。そこ

で同一グループに属し、水質変性度の異なる隕石 (CM2.0, CM2.1, CM2.5, CM2.6 および CR1, CR2) から耐酸性残渣を抽出し、Os 同位体を高精度で測定した。その結果、水質変性は r-プロセスで合成された Os を保持する、ある種のプレソーラー粒子を選択的に破壊することが分かった (図2)。この成果は国際誌 EPSL に掲載された (Yokoyama et al. 2011)。

(7) (6b)の結果は、隕石の持つプレソーラー粒子存在度や全岩同位体組成が必ずしも母天体形成領域のプレソーラー粒子存在度や同位体組成を反映するわけではないことを示唆している。すなわち、元素合成や銀河の化学進化に関するモデリングを行なう上で、母天体プロセス、あるいはそれ以前に原始太陽系内で生じた種々の物理化学プロセスがプレソーラー粒子に与える影響を解明する必要が生じてきた。本研究の期間を越えた長期的な取り組みが今後必要となるといえよう。

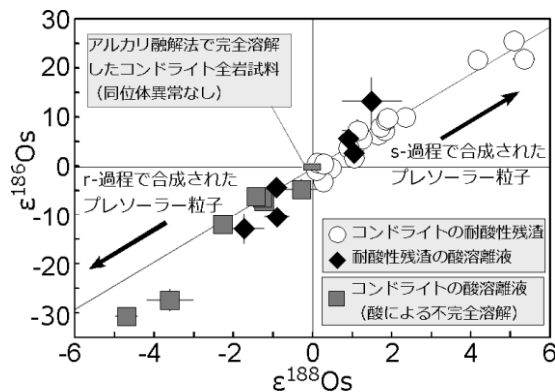


図1 コンドライト耐酸性残渣のOs同位体組成

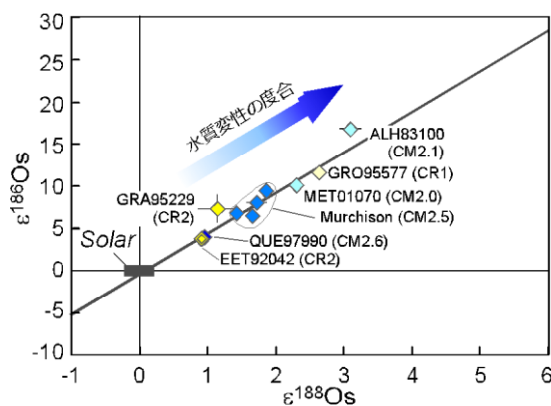


図2 CM・CRコンドライト耐酸性残渣のOs同位体組成

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計5件)

① Yokoyama, T., Alexander, C.M.O'D. and Walker, R.J. Assessment of nebular versus parent body processes on presolar components present in chondrites: Evidence from osmium isotopes. Earth Planet. Sci. Lett. in press, 2011 (査読有)

② Kuritani, T., Yokoyama, T., Kitagawa, H., Kobayashi, K., Nakamura, E., Geochemical evolution of historical lavas from Askja Volcano, Iceland: Implications for mechanisms and timescales of magmatic differentiation. Geochim. Cosmochim. Acta 75, 570-587, 2011 (査読有)

③ Chekol, T.A., Kobayashi, K., Yokoyama, T., Sakaguchi, C. and Nakamura, E. Timescales of magma differentiation from basalt to andesite beneath Hekla Volcano, Iceland: Constraints from U-series disequilibria in lavas from the last quarter-millennium flows. Geochim. Cosmochim. Acta 75, 256-283, 2011 (査読有)

④ Yokoyama, T., Alexander, C.M.O'D. and Walker, R.J. Osmium isotope anomalies in chondrites: Results for acid residues and related leachates. Earth Planet. Sci. Lett. 291, 48-59, 2010 (査読有)

⑤ Qin, L., Alexander, C.M.O'D., Carlson, R.W., Horan, M.F. and Yokoyama, T. Contributors to chromium isotope variation of meteorites. Geochim. Cosmochim. Acta 74 1122-1145, 2010 (査読有)

[学会発表] (計23件)

① Yokoyama, T., Alexander, C.M.O'D., Walker, R.J. Evaluation of parent body processes on presolar components in chondrites: Osmium isotopes in acid residues from CM and CR chondrites. 42nd Lunar Planet. Sci. Conf. 2011/3/12 The Woodlands, USA

② 横山哲也, Alexander, C.M.O'D., Walker, R.J. コンドライトの耐酸性残渣のOs同位体異常と母天体プロセス 2010年度質量分析学

会同位体比部会 2010/11/19 別府

③ 横山哲也, Alexander, C.M.O'D., Walker, R.J. エンスタタイトコンドライトの耐酸性残渣における Os 同位体異常 日本地球惑星連合 2010 年大会 2010/5/27 幕張メッセ

④ Yokoyama, T., Alexander, C.M.O'D., and Walker, R.J. Osmium isotope anomalies in acid residues from enstatite chondrites. 41st Lunar Planet. Sci. Conf. 2010/3/1 The Woodlands, USA

⑤ 横山哲也, Alexander, C.M.O'D., and Walker, R.J. 始原的隕石の耐酸性残渣における Os 同位体異常 2009 年度日本地球化学会年会 2009/9/15 広島大学

(他 18 件)

[その他]

ホームページ等

<http://www.geo.titech.ac.jp/lab/yokoyama/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

横山 哲也 (YOKOYAMA, Tetsuya)

東京工業大学大学院理工学研究科・准教授

研究者番号：00467028

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし