

平成 22 年 3 月 31 日現在

研究種目：若手研究 (B)

研究期間：2008～2009

課題番号：20740312

研究課題名 (和文) 隕石年代組織学による極初期太陽系の物質化学的進化の解明

研究課題名 (英文) Implication of material evolution in the first million years in early solar system from chronological petrology in meteorite.

研究代表者

伊藤 正一 (ITO SHOICHI)

北海道大学・大学院理学研究院・助教

研究者番号：60397023

研究成果の概要 (和文)：本研究の全体構想は、始原的な炭素質コンドライト隕石に含まれる極初期太陽系約 4.6 億年前のわずか数百万年間に形成した物質（難揮発性包有物、コンドリュール）に対して、岩石学的組織、同位体組織学を複合した新しい年代組織学を適応し、形成過程の解明のため、隕石年代組織学を展開することである。20 年度に開発に成功した高精度年代測定法を、より系統的に自動化して分析を行うため、同位体自動分析システムの開発を行い、標準試料及び隕石試料に適応し、検証した。その結果、0.1%程度の分析精度で ^{26}Mg の過剰を評価する事ができる分析法の開発に成功した。この分析法を、岩石組織の異なる様々な難揮発性包有物に適応し、短寿命核種 ^{26}Al から壊変して生成した $^{26}\text{Mg}/^{24}\text{Mg}$ 初生比の変動を 0.1%の精度で詳細に評価した。結果、酸素同位体組成の異なる各結晶のもつ ^{26}Mg の過剰から得られたアイソクロンから、複数回の溶融により、年代系がリセットされたことを、同位体組織学、岩石学的組織を融合し、評価する事に成功した。

研究成果の概要 (英文)：In this study, the chronological study combined with petrology and isotopology were applied to the first solid material (refractory inclusions and chondrules) from primitive chondrite in the solar system which formed at first several million years on the 4.6 billion years ago. High precision Mg isotope measurements have been performed to determine the individual minerals of radiogenic ^{26}Mg in coarse-grained Ca-Al-rich inclusions (CAIs) by secondary ion mass spectrometry. Minerals in each CAI show individual mineral isochrones of ^{26}Al - ^{26}Mg with respect to each own oxygen isotopic composition of minerals. This indicates that the chronological resetting event by multiple heating in the solar nebula are estimated by ^{26}Al - ^{26}Mg system.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008 年度	1,800,000	540,000	2,340,000
2009 年度	1,600,000	480,000	2,080,000
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

1. 研究開始当初の背景

我々太陽系最古の岩石である Ca-Al に富む包有物 (CAIs) の酸素同位体と Al-Mg 同位体組成は、我々太陽系の起源を解明するための特有な痕跡を残している。一つの CAI における酸素同位体組成分布は、いくつもの値に分布し、この非平衡な分布は、複数回溶融イベントにより獲得されていることを強く示唆する証拠が局所同位体分析の高分解能及び高精度化に伴い、次々と世界各地の研究所で報告され始めた。しかし、その個々の溶融イベントにおける年代学的制約は、分析精度の制約により、局所同位体分析による手法では、十分ではなかった。CAI を構成する各鉱物の岩石学的組織学による評価を行い、マイクロメータスケールでの時間分解能 10 万年の精度により、複数回溶融を評価する年代学を展開する重要性が認識され始めた。

2. 研究の目的

始原的な炭素質コンドライト隕石には、極初期太陽系約 4.6 億年前のわずか数百万年間に形成した太陽系最古の天体として知られている難揮発性包有物、コンドリュールが存在する。これら物質に記憶されている極初期太陽系における物質進化の歴史を、岩石学的組織、同位体組織学を複合した新しい学問領域となる隕石年代組織学を適応し、形成過程及び形成期間間隔を解明することが、本研究の目的である。隕石年代組織学を展開するためには、これら包有物を構成する結晶に記録された鉱物組成、化学組成、同位体組成を数ミクロン単位で評価し、短寿命核種 ^{26}Al を用いた高精度相対年代測定法を適応することで、10 ミクロンスケールの空間分解能及び時間分解能約 10 万年の制約を与えなければならない。なぜなら、数ミクロンから数ミリメートルのスケールで構成された結晶には、形成した時期や環境の記録がそれぞれの結晶ごとに異なっており、数ミクロンスケールで詳細に評価しなければ、環境推定や年代測定ができないためである。これら結晶固化年代を詳細に比較し、形成期間及び形成間隔を決定することで、極初期太陽系における数百万年間の物質進化に時間軸を高精度に与え、物質進化モデルを構築することを目指した。

3. 研究の方法

短寿命核種 ^{26}Al を用いた高精度相対年代測定法の開発を行った。使用した装置は、北海道大学設置の二次イオン質量分析計 (Cameca ims-1270 SIMS) である。磁場を高分解能に安定させるため、核磁気共鳴を用いた NMR コントロールにより、10 ミクロンスケールの空間分解能及び時間分解能約 10 万年の高精度分析を安定して行えることを評価する

事に成功した。また、真空予備室に現行 2 個までの試料を保持できるシステムを 15 個連続排気可能な真空チャンバーを作成した。これにより、数多くの隕石試料を系統的に標準試料から測定することを目指した。

4. 研究成果

開発目標は、一度に 15 個の試料を真空排気できるマルチサンプルチャンバーの試作、高精度同位体測定マルチコレクションシステムの自動化、及び、磁場安定化の NMR 測定技術を開発することで、より高精度に安定した系統的分析法の開発を行うことである。開発目標実現となる高精度年代測定の精度向上のため、数十個の試料を数十時間超高真空下に保持できるマルチサンプルチャンバーの試作、複数同位体を同時検出可能なマルチコレクションシステムの改良、同位体顕微鏡マグネット部の NMR 測定技術の性能評価、同位体自動測定ソフトウェア評価を行った。難揮発性包有物を構成するマイクロメータスケールの鉱物に対して、空間分解能 5-10 ミクロン、時間分解能約 10 万年の半減期 7.2 万年の短寿命核種 ^{26}Al をもちいた年代測

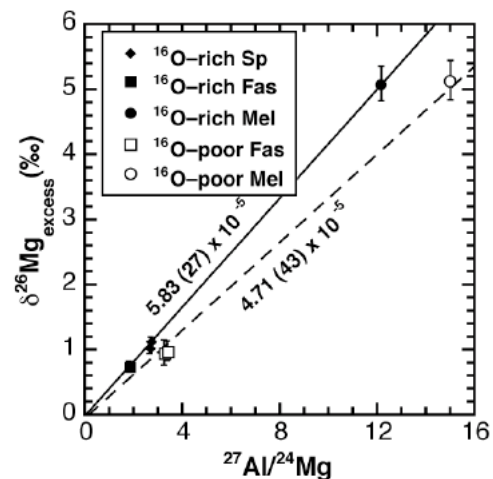


図 1 酸素同位体組成の異なる各結晶毎の年代アイソクロン図。黒色が ^{16}O -rich, 白色が $^{17,18}\text{O}$ -rich に対応する。2本の傾きの異なるアイソクロンから年代差約 20 万年の加熱溶融イベントが示唆される。

定法を開発することに成功した。以上より、開発した年代測定技術をコンドライト隕石中の複数の難揮発性包有物に適応し、年代組織学を展開した (図 1)。酸素同位体組成の異なる領域について年代測定法を適応した結果を図 1 に示す。図 1 に示したアイソクロン図の傾きの違いから約 20 万年の年代差を意味する。その結果、複

数回の酸素同位体変動を伴う加熱イベントが、極初期太陽系、数十万年間に繰り返し起きていることを強く示唆する結果が得られ、複数回加熱イベントの年代差を推定することに成功した。これら成果を国際誌5件、国内及び国際会議20件の発表を行った。安定してより数多くの試料を系統的に分析するため、複数試料を長時間真空排気し同時に分析することができるマルチサンプルチェンジャーシステムを試作した。さらに、より高速に数多くの高精度同位体分析を行うために、複数局所同位体分析を自動化するためのソフトウェアの導入および評価を行い、複数同位体同時検出のためのマルチコレクションシステムにおける検出器アンプ部の改良、磁場安定化のための核磁気共鳴システムの導入およびその分析システムの評価を行った。その結果、標準試料を用いて10時間継続して0.1‰の精度で測定できる分析法を評価することに成功した。その結果、マルチコレクターのアンプ部と思われるバックグラウンドレベルの変動をより最小にするための工夫、及び分析法の開発が長時間分析において必要であると評価できた。

(今後の展開)

本研究計画で実施した同位体顕微鏡による高精度年代測定のための自動分析システムは、世界最先端レベルである約0.1‰の局所同位体分析を自動で系統的に分析できるものである。より数多くの様々な包有物を構成する各鉱物の同位体組成および年代測定を継続し、太陽系で起きていたプロセスを我々宇宙137億年の歴史において、一般化できることなのかどうかを明らかにしていきたい。

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) Fujimoto K., Itoh S., Ebata S. and Yurimoto H. Non-chondritic oxygen isotopic component of metals in a noble-gas-rich chondrite-vestige of stellar wind from the protosun? *Geochemical Journal*, 査読有, 43, (2009), e11-e15.
- (2) Itoh S., Simon S. B., Grossman L. and Yurimoto H. Al-Mg isochron study combined with oxygen isotope analysis of the Allende type B CAI, *Golfball. Meteorit. Planet. Sci.*, 査読無, 44, (2009) A98
- (3) Itoh S. and Yurimoto H. Exchange

Frequency of Oxygen Isotope Reservoirs in The Early Solar System, *American Institute of Physics conference proceedings* 査読有, 1016, (2008), 394-399

- (4) Itoh S., Makide K., Yurimoto H. Calculation of radiogenic Mg of CAI minerals under high precision isotope measurement by SIMS, *Applied Surface Science*, 査読有, 255, (2008) 1476-1478
- (5) Sakamoto N., Itoh S., Yurimoto H. Discovery of $^{17,18}\text{O}$ -rich material from meteorite by direct-imaging method using stigmatic-SIMS and 2D ion detector. *Applied Surface Science*, 査読有, 255, (2008) 1458-1460

[学会発表] (計20件)

- (1) Greenwood, J. P., Itoh, S., Sakamoto, N., Taylor, L. A., Warren, P. H. and Yurimoto, H. Water in Apollo rock samples and the D/H of lunar apatite. 41st Lunar and Planetary Science Conference 2010年3月1日～5日 Houston, TX, USA
- (2) Wakaki, S., Itoh, S., Tanaka, T. and Yurimoto, H. Petrology, rare earth element composition and oxygen isotopic composition of a compound CAI-chondrule inclusion from Allende. 41st Lunar and Planetary Science Conference 2010年3月1日～5日 Houston, TX, USA
- (3) 伊藤正一 太陽系酸素同位体分別 ハビタブルプラネットの原材料—初期太陽系の鉱物・水・有機物 2010年2月24日 東京大学 本郷
- (4) Yurimoto, H. and Itoh, S. Implanted solar wind oxygen about 4.6 billion years ago. 5th International Workshop on High-Resolution Depth Profiling, HRDP-5 2009年11月15日-19日 京都
- (5) 伊藤正一, スティーブン サイモン, ローレンス グロスマン, 塚本 尚義 Allende 隕石中の Golfball Type B CAI の酸素同位体組成と Al-Mg アイソクロン 日本地球化学会年会 2009年9月15日-17日 広島大学
- (6) 伊藤正一, サイモン スティーヴン, グロス マン ローレンス, 塚本 尚義 Allende 隕石中の Golfball Type B CAI の酸素同位体組成と Al-Mg アイソクロン 日本鉱物科学会 2009 年会 2009 年9月8日-9日 北海道大学
- (7) 若木 重行, 伊藤正一, 田中 剛, 塚本 尚義 CAI-chondrule 複合物質の岩石学と

構成鉱物の酸素同位体組成 日本鉱物科学会 2009 年会 2009 年 9 月 8 日-9 日 北海道大学

- (8) Itoh S., Simon S. B., Grossman L. and Yurimoto H. Al-Mg isochron study combined with oxygen isotope analysis of the Allende type B CAI, Golfball. 72nd Annual Meeting of the Meteoritical Society 2009 年 7 月 13 日-18 日 Nancy, France
- (9) Wakaki, S., Itoh, S., Tanaka, T. and Yurimoto, H. Oxygen isotopic compositions of a compound CAI in Allende. 19th Annual V. M. Goldschmidt Conference 2009 年 6 月 21 日-26 日 Davos, Switzerland
- (10) Tasai, Y, Fagan, T. J., Itoh, S., and Yurimoto, H. Multi-stage igneous evolution of anorthite in three type B CAIs. 19th Annual V. M. Goldschmidt Conference 2009 年 6 月 21 日-26 日 Davos, Switzerland
- (11) 片山 樹里, 伊藤正一, 坂本尚義 Vigarano 隕石中粗粒 Fluffy Type A CAI におけるメリライト累帯構造の研究 日本地球惑星科学連合 2009 年大会 2009 年 5 月 16 日-21 日 北海道大学
- (12) 片岡翔, Fagan Timothy, 伊藤正一, 坂本尚義 Implications of occurrences of silica for the origin and metamorphism of enstatite chondrites. 日本地球惑星科学連合 2009 年大会 2009 年 5 月 16 日-21 日 北海道大学
- (13) 若木重行, 伊藤正一, 田中剛, 坂本尚義 Allende 隕石に含まれる複合 CAI の岩石学と酸素同位体組成 日本地球惑星科学連合 2009 年大会 2009 年 5 月 16 日-21 日 北海道大学
- (14) Greenwood, J. P., Itoh, S., Sakamoto, N. and Yurimoto, H. Hydrogen isotope measurements of gypsum and jarosite in martian meteorite Roberts Massif 04262: antarctic and houstonian weathering. 40th Lunar and Planetary Science Conference 2009 年 3 月 23 日-27 日 Houston, TX, USA
- (15) Itoh S. EXCHANGE FREQUENCY OF OXYGEN ISOTOPE RESERVOIRS IN THE EARLY SOLAR SYSTEM 第 11 回日米先端科学シンポジウム 2008 年 12 月 5 日-7 日 米国科学アカデミー・ベックマンセンター
- (16) 伊藤正一, 坂本尚義 初期太陽系における酸素同位体リザーバー変動のタイミング 日本地球化学会第 55 回年会 2008 年 9 月 17 日-19 日 東京大学
- (17) 坂本尚義, 藤本久美子, 江端新吾, 伊藤正一 太陽大気元素存在度は太陽系元素

存在度と等しいか? 日本地球化学会第 55 回年会 2008 年 9 月 17 日-19 日 東京大学

- (18) Choi, B.-G., Itoh, S., Yurimoto, H., Rubin, A. E., Wasson, J. T. and Grossman, J. N. Oxygen-isotopic composition of magnetite in the DOM 03238 C03.1 chondrite. 71st Annual Meeting of the Meteoritical Society 2008 年 7 月 28 日-8 月 1 日 松江
- (19) 藤本久美子, 伊藤正一, 坂本尚義 CR2 コンドライト NWA801 における Fe-Ni メタルの酸素同位体組成 日本地球惑星科学連合 2008 年大会 2008 年 5 月 25 日-30 日 東京幕張メッセ
- (20) 伊藤正一, 坂本尚義 初期太陽系における活発な酸素同位体リザーバー変動 日本地球惑星科学連合 2008 年大会 2008 年 5 月 25 日-30 日 東京幕張メッセ

[図書] (計 2 件)

- (1) 伊藤 正一, 太陽系起源論のルネサンス, 月刊化学, 査読無, 65, (2010), 67-68.
- (2) 伊藤正一、坂本尚義 東京大学出版 同位体顕微鏡-ケイ酸塩プレソラー粒子の発見 惑星地質学(2008) 査読有, 58-60

[その他]

ホームページ等

<http://vigarano.ep.sci.hokudai.ac.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

伊藤 正一 (ITOH SHOICHI)

北海道大学大学院理学研究院・助教

研究者番号: 60397023

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携者

なし