

平成 21年 6月 1日現在

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2006 -2008

課題番号：18540471

研究課題名（和文） 初期物質進化過程の実験的解明：コンドライトからエコンドライトへ

研究課題名（英文） Experimental study of material evolution at the early stage of solar system: from chondrite to achondrite

研究代表者

宮本 正道（MIYAMOTO MASAMICHI）

東京大学・大学院理学系研究科・教授

研究者番号 70107944

研究成果の概要： 太陽系形成初期には、コンドライトといわれる非常に始源的な物質がまず形成され、それらがいろいろな熱源により溶かされて、エコンドライトと呼ばれる溶けた形跡のある物質が形成される。これは太陽系最初期の物質進化である。これを実験室内で再現するため、顕微鏡下、真空状態で、1150度程度までの加熱溶融実験を行い、初期の物質進化が鉄を含む物質に密接に関係していることを明らかにした。

交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
平成18年度	2,900,000	0	2,900,000
平成19年度	500,000	150,000	650,000
平成20年度	400,000	120,000	520,000
年度			
年度			
総計	3,800,000	270,000	4,070,000

研究分野： 数物系科学

科研費の分科・細目： 岩石・鉱物・鉱床学

キーワード： 隕石、宇宙物質、コンドライト、エコンドライト、物質進化、原始惑星、部分溶融、メルト

1. 研究開始当初の背景

原始太陽系形成初期には、始原的物質であるコンドライトが形成され、その後これらが、様々な熱源により溶かされてエコンドライトが形成されると考えられている。さらに大規模溶融し、地球や火星などの大きな天体へと分化していく。一般的に、エコンドライトでも既に始原物質であるコンドライトが、か

なりの溶融を起こし分化を受けており、ごく初期の溶融による物質進化の形跡を残していない場合がほとんどである。しかし、近年、コンドライトとエコンドライトの中間的な性質を持つプリミティブ・エコンドライトと呼ばれるグループに属する隕石が、数多く発見され、分化過程の最初期段階の情報を残しているのではないかと考えられるようにな

った。これらのプリミティブ・エコンドライトの中には、金属鉄・硫化鉄(FeS)相、カンラン石・輝石などのマフィックな鉱物相、そして斜長石などのアルカリに富んだ鉱物相のそれぞれが、ミリメートルサイズのスケールで不均質に分布しているものが見つかっている。これは、母天体で起こった低温(約900-1100度)での部分溶融成分が非常に小規模に移動・濃集したことを示しており、隕石母天体の物質進化過程を考える上で非常に重要な意味を持つ。しかし、このようなメルト成分の小規模での移動や濃集が、実際に起こりうるのか、そして、どのような過程を経て進行するかは、具体的には明らかになっていない。そこで、このような過程を実験的に明らかにするために、本研究を行った。

2. 研究の目的

本研究の目的は、コンドライトの低温での小規模な初期部分溶融によって、どのような組織・組成のメルトが形成されるか実験的に再現・分析し、さらに、プリミティブ・エコンドライトに見られる組織・鉱物組成と比較することにより、原始惑星の最初期に起こった分化過程をシミュレートし、物質分化の最初期の素過程を解明することにある。コンドライトのチップを用いて、顕微鏡下で、加熱・溶融を行い、1000度付近での低温部分溶融メルトの形成に伴う、隕石の組織変化の様子をその場観察することが重要な研究である。また、状況に応じて、部分溶融試料をクエンチ、回収した後に、メルトおよび溶け残った鉱物相をエレクトロン・マイクロプローブ・アナライザや透過型電子顕微鏡で化学分析する。参考実験として、隕石を粉末にした試料に対して、通常のガス混合酸素分圧制御電気炉を用いて行い、顕微鏡下で隕石チップに対して実験したものと、結果にどのような差がでるかを観察も行う予定である。以上の結果を用いて、実際にプリミティブ・エコンドライトに見られる組織が、低温部分溶融メルトの形成および濃集・移動によってどのように形成されるかを議論する。さらに、この過程が大規模な溶融にどのように発展して行くかの過程も考察する。場合によっては、移動過程の計算機シミュレーションも試みる予定である。

3. 研究の方法

- (1) 始原的コンドライト約5ミリ、厚さ約1ミリのスライスに整形する。光学顕微鏡に組み込んだ微小領域加熱装置により、これらの隕石スライスの部分溶融実験を行う。
- (2) ガス混合により、ある程度酸素分圧が制御できるよう、市販品の改良を試みる。

- (3) 予備実験を繰り返し、加熱装置の調整および最適化を行う。温度の設定や装置の調整に困難が伴うため、予備実験が多くなると思われる。実験の温度範囲は約900-1200度。
- (4) 極少量の溶融が起こる温度で加熱中のサンプルの変化の様子を光学顕微鏡で観察する。金属鉄・硫化鉄などの低融点メルトとシリケートの低融点メルトが、どのような組織的形態をとるかを観察する。
- (5) 極少量の溶融が起こる温度から、温度をほんの少しだけ変えることにより、形態的变化と成分的变化の両方について詳細に追跡する。
- (6) その後、数十度程度きざみの温度上昇の昇温実験を行う。この昇温過程において、メルト成分がどのように増えていくか、また、金属鉄・硫化鉄などの低融点メルトとシリケートの低融点メルトが、どのような組織で形成されていくかを観察する。そして、それが2次元的にどのように周囲から分離・濃集していくか、または、しないか、を明らかにする。

4. 研究成果

光学顕微鏡下で、部分溶融実験を行うための顕微鏡用真空加熱装置を本経費で購入した。いろいろな条件下で実験可能なように機器の最適化を行った。白金の試料用容器の劣化は比較的少なかった。

H6コンドライト隕石(Asuka881571)のチップを用いて、1150度まで、真空条件下で加熱・溶融実験を行った。その結果、約1000度で、まず硫化鉄(FeS)が周りの物質と反応し、徐々に部分溶融することが分かった。

このような溶融実験では試料を細かく粉末化し、高温で十分に焼結するなど、反応の進展を促進する方策をとるのが一般的であるが、本研究は、試料そのままの形でどのように反応するかが重要であるため、実際の試料をそのままの形態で利用した。チップ試料を用いた場合は、粉末試料を用いた通常の溶融実験と比較して反応の進み具合が遅いことが考えられたが、予想に反して反応が早く進んだ。これは、実際の試料では大きな結晶の周りでも、十分に粒子サイズの小さな物質が存在し、それらと反応が進んだためと考えられる。さらに、隕石の形成過程の最終段階で晶出する結晶には粒子サイズの小さいものも多く含まれ、また、ガラス質の物質が形成されやすいため、これらが反応を促進したと解釈できる。

一定温度をある程度保つことで反応が進み、FeSが周りの物質と徐々に反応していく。

ごく少量の溶液でも結晶表面を浸すことで反応が進んでいくと思われる。このように、まず FeS から反応が進んで行くことは、プリミティブ・エコンドライトに見られるような鉄分布の偏りと調和的な結果である。つまり、点在かつ偏在する FeS が、まず溶融反応をし、その周りに生成された微量の溶液を介して選択的に反応が進行していくと考えられる。また、FeS の周囲に形成される溶液は、当然のことながら、溶融温度の低いもので、液相に濃集しやすいものである。この結果も、プリミティブ・エコンドライトに見られるような化学成分分布と調和的である。今回得られた以上の結果は、初期の物質進化の研究に重要な示唆を与えるものであり、実際の隕石で観察される結果を説明するものである。

今回の実験結果のように、1000 より少し下の温度から、反応が進行するのは、普通コンドライト隕石の熱変成から予想されている温度とも調和的である。

反応が進むにつれ、FeS の形態は徐々に変化し、丸みを帯びていくように見える。

また、実験による白金の劣化については、短時間の加熱ならば、以前に言われていたようには、それほど劣化が起こらないようであるが、今後数多くの実験を重ねることによって、実験条件を決定する必要があると考えられる。しかしながら、真空条件下でも初期の物質進化について重要な示唆を与える結果が得られた。

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 18 件)

Miyamoto M., Mikouchi T., and Jones R. H. Cooling rates of porphyritic olivine chondrules in the Semarkona (LL3.00) ordinary chondrite: A model for diffusional equilibration of olivine during fractional crystallization. *Meteoritics and Planetary Science*. 査読有, 44, 521-530, 2009.

Miyamoto M., Koizumi E., and Mikouchi T. Cooling rates of Y980459 and DAG476 shergottites on the basis of Fe-Mg zoning of olivine. *Lunar and Planetary Science XL*, 査読無, 1143.pdf (CD-ROM), 2009.

Kurihara T., Mikouchi T., Saruwatari K., Kameda J., and Miyamoto M. Fe-Ni metal and magnetite nano-particles in "brown" color olivines from martian meteorites. *Lunar and Planetary Science XL*, 査読無, 1049.pdf (CD-ROM), 2009.

Miyamoto M., Koizumi E., and Mikouchi T. A wide range of the cooling rate of type II

porphyritic olivine chondrules in Semarkona (LL3.0). *Lunar and Planetary Science XXXIX*, 査読無, 1587.pdf (CD-ROM), 2008.

Mikouchi T. and Miyamoto M. Mineralogy and pyroxene cooling rate of unique achondritic meteorite GRA06129. *Lunar and Planetary Science XXXIX*, 査読無, 2297.pdf (CD-ROM), 2008.

Mikouchi T., Kurihara T., and Miyamoto M. Petrology and mineralogy of RBT04262: Implications for stratigraphy of the Iherzolitic shergottite igneous block. *Lunar and Planetary Science XXXIX*, 査読無, 2403.pdf (CD-ROM), 2008.

Yamamoto A., Arai T., Takeda H., and Miyamoto M. Spectroscopy of nearside highland in relation to Apollo 16 rock samples. *Lunar and Planetary Science XXXVIII*, 査読無, 1590.pdf (CD-ROM), 2007.

Makishima J., McKay G., Le L., Miyamoto M., and Mikouchi T. Oxidation state of nakhlites as inferred from Fe-Ti oxide equilibria and augite/melt Europium partitioning. *Lunar and Planetary Science XXXVIII*, 査読無, 1834.pdf (CD-ROM), 2007.

Komatsu M., Mikouchi T., Krot A. N., and Miyamoto M. Amoeboid olivine aggregates in the CV carbonaceous chondrite Yamato-86751. *Lunar and Planetary Science XXXVIII*, 査読無, 1834.pdf (CD-ROM), 2007.

Miyamoto M., Koizumi E., and Mikouchi T. Calculation of the cooling rate for olivine by consideration of Fe-Mg diffusion and olivine crystal growth: Verification by Martian and lunar meteorite composition. *Proc. 39th ISAS Lunar and Planetary Symp.* 査読無, 5-8, 2006.

Komatsu M., Krot A. N., Fagan T., Miyamoto M., Mikouchi T., and Keil K. Amoeboid olivine aggregates in Yamato-86009 CV chondrite: Evidence for in situ aqueous alteration. *Meteoritics and Planetary Science*, 査読無, 41, A99, 2006

Makishima J., McKay G., Le L., Miyamoto M., and Mikouchi T. Aluminum effect on the calibration of the Eu oxybarometer for nakhlite Antarctic Meteorites XXX, 査読無, 52-53, 2006.

[学会発表](計 11 件)

Miyamoto M., Mikouchi T., and Jones R. H. A model to calculate the cooling rate by Fe-Mg diffusional calculation during olivine crystal growth. 71st meeting of the Meteoritical Society, 2008 年 7 月 28 日-8 月 1 日、松江市、島根県.

Miyamoto M., Mikouchi T., and Jones R. H. The cooling rate of chondrules in Semarkona (LL 3.00) ordinary chondrite as inferred from Fe-Mg zoning of olivine. 41st ISAS Lunar Planetary Symposium, 2008 年 8 月 7 日, JAXA 宇宙科学研究本部

Miyamoto M., Arai T., Komatsu M., Yamamoto A., and Mikouchi T. Examination of the curve-fitting method for diffuse reflectance spectra in the UV-Visible-Near infrared wavelength region. 40th ISAS Lunar Planetary Symposium 2007 年 7 月 26 日, JAXA 宇宙科学研究本部

Komatsu M., Mikouchi T., Miyamoto M., and Krot A. N. Secondary alteration of Y-86751 – Relation to other CV chondrites – 40th ISAS Lunar Planetary Symposium 2007 年 7 月 26 日, JAXA 宇宙科学研究本部

Arai T., Hawke B. R., Giguere T. A., Miyamoto M., Misawa K., and Kojima H. Antarctic lunar meteorites from cryptomaria of the Moon. 40th ISAS Lunar Planetary Symposium 2007 年 7 月 26 日, JAXA 宇宙科学研究本部

6 . 研究組織

(1) 研究代表者

宮本 正道 (MIYAMOTO MASAMICHI)
東京大学・大学院理学系研究科・教授
研究者番号：7 0 1 0 7 9 4 4

(2) 研究分担者

(3) 連携研究者