



Fine-grained rims surrounding chondrules in the Tagish Lake carbonaceous chondrite: Verification of their formation through parent-body processes

Takayama, Akiko

(Degree)

博士 (理学)

(Date of Degree)

2012-09-25

(Date of Publication)

2013-04-02

(Resource Type)

doctoral thesis

(Report Number)

甲5644

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/D1005644>

※ 当コンテンツは神戸大学の学術成果です。無断複製・不正使用等を禁じます。著作権法で認められている範囲内で、適切にご利用ください。



(別紙様式3)

論文内容の要旨

氏名 高山 亜紀子

専攻 地球惑星科学

論文題目 (外国語の場合は、その和訳を併記すること。)

Fine-grained rims surrounding chondrules in the Tagish Lake carbonaceous chondrite:
Verification of their formation through parent-body processes

(Tagish Lake 炭素質隕石のコンドリュールを取り囲む細粒リム:母天体上のプロセスによる形成の検証)

指導教員 留岡 和重

ABSTRACT

Chapter 1: Introduction. Planetary materials are products formed through the evolution process of the solar system, thus they have information about the formation history of it. However, on the differentiated bodies such as planets, elements in materials have been equilibrated and their original characteristics have been overprinted. Thus we focus on un-equilibrated materials from smaller bodies (asteroids): meteorites, interplanetary dust particles (IDPs) and micrometeorites (MMs). Hydration of minerals is thought to have occurred on the primitive planetesimals, thus hydrous planetary materials are important key to uncover the early processes of the solar system. Nearly half of IDPs and MMs are hydrous, although hydrous meteorites are significantly low in abundance. Tagish Lake carbonaceous chondrite is thought to be the first sample from D type asteroids, which are representative hydrous asteroids. This meteorite consists of two major lithologies: carbonate-poor and carbonate-rich. One of the remarkable characteristics of this meteorite is the general presence of fine-grained chondrule rims. Fine-grained rims are commonly observed in other meteorites such as CM, CV and ordinary chondrites, although the formation mechanism of the rims has been controversial. Most commonly recognized model is that rims were formed by accretion of the dusts in the early solar nebula (e.g. Metzler et al., 1992). Another model is that rims were formed by a series of parent body processes (e.g. Tomeoka and Tanimura, 2000). Regarding the fine-grained rims in Tagish Lake, completely different formation processes have been proposed for each of the two lithologies. Nakamura et al. (2003) proposed that the rims in the carbonate-rich lithology were formed on the parent body (or bodies); though Greshake et al. (2005) proposed that the rims in the carbonate-poor

lithology were formed by accretion of dusts in the nebula. Nakamura et al. (2003) stated that there is a possibility that the origin of the rim in the carbonate-rich lithology have a link to the carbonate-poor lithology. However, no study on the carbonate-poor lithology which considers that possibility has been done.

In this paper, I present the results of detailed petrographic and mineralogical investigation of the carbonate-poor lithology of the Tagish Lake meteorite. My goal in this study is to find any evidence indicating the processes and conditions of rim formation, to determine which of the above or other models of rim formation most consistently explains the mineralogical and petrographic characteristics of the rims and other components, and to elucidate the formation history of the Tagish Lake carbonate-poor lithology.

Chapter 2: Samples and methods. Two polished thin sections of Tagish Lake were studied using scanning electron microscope (SEM) and electron probe microanalyser (EPMA). For calculating the modal abundances of the coarse components, pseudomorphs and minerals, they were colored on BSE images and pixels of them were counted on Adobe Photoshop Software.

Chapter 3: Results. The carbonate-poor lithology of the Tagish Lake carbonaceous chondrite consists of a dominant matrix (84.1 vol.%) and 87 chondrules (11.1 vol.%), 2 Ca-Al-rich inclusions (CAIs) (0.4 vol.%), and 14 forsterite aggregates (2.1 vol.%). Matrix contains abundant pores and exhibit an uneven surface. The matrix mainly consists of fine-grained phyllosilicates with minor amount of Fe-Mg carbonate, magnetite, forsteritic olivine, Ca carbonate, and Fe-(Ni) sulfides.

The chondrules consist of extremely Fe-poor olivine (Fo) and pyroxene (En). Most forsterite phenocrysts show little evidence of alteration, whereas most enstatite

phenocrysts were partly or totally replaced by Mg-rich phyllosilicates. Mesostases were completely replaced by Mg-rich phyllosilicates. Opaque nodules, which are common in chondrules in other chondrites, are absent. Most chondrules consist of irregularly shaped cores composed of forsterite and enstatite and phyllosilicate-rich outer zones (POZs) which surround the cores. In the cores and in the POZs, characteristic round objects are commonly observed. They consist largely of phyllosilicates, and their chemical compositions are significantly richer in Cr_2O_3 than any other phyllosilicates consisting of materials in the carbonate-poor lithology of Tagish Lake. The enrichment of Cr in these round objects is most consistent with their origin from Fe metal. That is, these round objects are pseudomorphs of opaque nodules, which were replaced by phyllosilicates during aqueous alteration. Most chondrules are fully or partly surrounded by fine-grained phyllosilicate-rich rims which exhibit much smoother surface compared with the matrix. The rims mainly consist of fine-grained phyllosilicates with minor amount of Fe-Mg carbonate, Fe-(Ni) sulfides, forsteritic olivine, and magnetite. Ca carbonate, which is commonly observed in matrix, is absent in the rims. In many cases, characteristic fractures run radially from the core/POZ interfaces and penetrate both POZs and rims, and always terminate at the rim/matrix interfaces.

Both of the two CAIs contain large amount of secondary minerals such as Ca carbonate, Mg-Ca carbonate, and phyllosilicates. One of them preserve the initial materials, Fe-poor spinel, as the second most abundant mineral, whereas the other only contains spinel as small relict grains. These two CAIs are also completely surrounded by fine-grained rims which are identical to those surround the chondrules in texture, mineralogy and chemical compositions. The radial fractures which start from the core/rim boundary and terminate at the rim/matrix boundary are also common in the

rims of CAIs.

Forsterite aggregates consist almost solely of small forsterite grains and have highly irregular shape compared with chondrules. They are compact aggregates of forsterite grains. The interspaces of forsterite grains are pores. In rare cases, small grains of magnetite or spinel fill these interspaces. All of the forsterite aggregates are surrounded by fine-grained rims which are identical to those surround the chondrules and CAIs in texture, mineralogy and chemical compositions. The radial fractures which start from the core/rim boundary and terminate at the rim/matrix boundary are also common in the rims of forsterite aggregates.

We found 55 matrix clasts which lack coarse components (chondrules, CAIs and forsterite aggregates). They consist of materials texturally and mineralogically identical to the fine-grained rims surrounding coarse components. They are commonly round in shape and basically smaller than those coarse components. We also found a large clast which contains three chondrules and three forsterite aggregates. The matrix of this large clast is identical to the matrix clasts described above. Chondrules in this clast have identical texture, mineralogy and chemical compositions to those of the chondrules in the host matrix; they consist of irregularly shaped cores and POZs. However, they have no fine-grained rims. Similarly, forsterite aggregates in the clast lack rims. The matrix of the clast exhibits fractures that run radially from the surfaces of the chondrules and forsterite aggregates and interconnect them. Most of the fractures terminate at the boundary between the clast and the host matrix.

Chapter 4: Discussions. The common occurrence of the pseudomorphs of opaque nodules in both chondrule cores and POZs suggests that the POZs are altered zones which were formed by the replacement of opaque nodules, mesostasis and enstatite

preferentially from the peripheries of chondrules due to the introduction of fluids from outside. The altered zones and the rims are compositionally and texturally similar, although they exhibit some differences in secondary minerals. In comparison, the rims and the host matrix show more significant differences in bulk chemical composition, texture, and mineralogy. The observations suggest that the chondrules and the rims experienced aqueous alteration simultaneously, whereas the rims and the matrix experienced aqueous alteration under distinct conditions. I also found a clast that contains multiple coarse-grained components embedded in a matrix and numerous smaller matrix clasts. The coarse-grained components in the clast have no rims, and the matrices of the clasts are mineralogically identical to the rims.

The results suggest that the chondrules, other coarse-grained components, and their rims (generically referred to as chondrules/rims) and the clasts originated from a common precursor region in the meteorite parent body that was different from the location where the host meteorite was finally lithified. That is, the chondrules/rims are actually clasts produced by brecciation and later transported and incorporated into the present host matrix. The rims are, therefore, remnants of matrix material that formerly filled interspaces between the chondrules and other coarse-grained components. This model is essentially consistent with those previously proposed for the carbonate-rich lithology of Tagish Lake and the hydrated chondrules/rims in the Vigarano and Mokoia CV3 chondrites.

氏名	高山亜紀子		
論文 題目	Fine-grained rims surrounding chondrules in the Tagish Lake carbonaceous chondrite: Verification of their formation through parent-body processes (Tagish Lake 炭素質隕石のコンドリュールを取り囲む細粒リム: 母天体上のプロセスによる形成の検証)		
審査 委員	区分	職名	氏名
	主査	教授	留岡和重
	副査	教授	兵頭政幸
	副査	助教	瀬戸雄介

要旨

炭素質コンドライトは化学的に太陽系で最も始原的な物質だと考えられており、初期太陽系の物質進化を知る上で重要な試料である。炭素質コンドライトは、主にコンドリュールとそれを覆うリム、そしてそれらの間を埋めるマトリックスからなる。リムの成因に関しては、原始太陽系星雲中で塵粒子の集積によって形成されたという説 (e.g., Metzler et al., 1992; Cuzzi et al., 2005) と、隕石母天体中のプロセスによって形成されたという説 (e.g., Tomeoka and Tanimura, 2000; Trigo-Rodriguez, 2006) の間で、過去 20 年の間論争が続いている。本研究は、Tagish Lake 炭素質コンドライトのコンドリュール・リムの成因、そしてこの隕石の形成プロセスを明らかにすることを目的としている。

第1章では、序論として Tagish Lake 隕石に関するこれまでの研究の概要と本研究の目的が述べられている。Tagish Lake 隕石は 2000 年にカナダ北西部に落下した隕石であり、既存のどのグループにも属さない特異な炭素質コンドライトである。この隕石は主に carbonate-rich と carbonate-poor の二種類の岩相からなる。この隕石の特筆すべき特徴は、大部分のコンドリュールが厚い (100 μm 以上に及ぶ) リムに覆われていることである。この隕石のリムについては、carbonate-rich と carbonate-poor のそれぞれの岩相において全く異なる形成モデルが提出されている。Nakamura et al. (2002) は carbonate-rich 岩相を調べ、リムは隕石母天体内の角礫岩化プロセスで形成されたことを示唆している。一方、Greshake et al. (2005) は carbonate-poor 岩相を調べ、リムは原始星雲の集積によって形成された結論している。

本研究では、走査型電子顕微鏡および電子線プローブマイクロアナライザーを用いて、Tagish Lake 隕石の carbonate-poor 岩相中のコンドリュール、それを覆うリム、およびマトリックスの詳細な観察・分析を行った。目的は、(1) これまで提出されているリム形成モデルを検証し、この隕石の鉱物学的特徴と最も整合的なモデルを構築すること、(2) この隕石の carbonate-poor 岩相の形成過程を明らかにすることである。

第2章では、隕石試料、観察・分析手法について述べている。

第3章では、Tagish Lake 隕石の carbonate-poor 岩相試料の観察・分析結果を述べている。試料中のコンドリュールの大部分は、不透明ノジュール (Fe-(Ni)金属・硫化物からなる球状の塊り) を交代して形成された含水層状ケイ酸塩からなる仮像を多数含んでいることがわかった。また、ほとんどのコンドリュールは、その周縁部にエンスタタイトおよび不透明ノジュールを交代して形成された主に層状ケイ酸塩からなる帯状の変成ゾーンを持つことがわかった。過去にはこのような仮像および変成ゾーンの存在は報告されていない。

氏名 高山亜紀子

調べたほとんど全てのコンドリュール、難揮発性包有物 (CAI)、フォルステライト集合体 (Fo 集合体) は、層状ケイ酸塩を主とするリム (厚さ 5-160 μm) に覆われている (以下これらをコンドリュールリムと総称する)。多くのリムには、内側の変成ゾーンから放射状に伸びる割れが存在する。変成ゾーンとリムは、炭酸塩、マグネタイト、Fe-(Ni)硫化物などの水質変成によって二次的に形成される鉱物の存在度に違いを示すが、化学組成・組織は似ており、また両者の境界は不明瞭であることが多い。これらのことは、変成ゾーンとリムは、割れができる以前に同時に水質変成を受けたことを示唆する。

一方、リムとその周りを囲むマトリックスは、幾つかの明瞭な違いを示す。リムはマトリックスに比べ、バルク組成が Fe に富んでおり空隙が少ない。また、リムは Fe-Mg carbonate を多く含み Ca carbonate は含まないのに対し、マトリックスは両 carbonate を含む。これらのことは、リムとマトリックスは異なる条件下で水質変成を受けたことを示唆する。

その他に、三つのコンドリュールおよび三つの Fo 集合体を含む大きなクラスト (径 450 μm) が一つ、そして無数の小さなマトリックスの破片 (マトリックス・クラスト) が存在することがわかった。大きなクラスト内のコンドリュール、Fo 集合体はリムを持たず、直接マトリックスに埋まっている。このクラストおよび小さなマトリックス・クラストは、化学組成的・鉱物学的にリムと同一であることがわかった。

第4章では、以上の結果をもとに、Tagish Lake 隕石のリムの成因、carbonate-poor 岩相の形成過程の議論を行っている。コンドリュールリムおよびクラストは、隕石母天体のこの隕石が最終的に固結した場所とは異なる場所で共通の前駆岩相を形成していたと解釈される。すなわち、コンドリュールリムは、その前駆領域において水質変成を受けた後、角礫岩化によって形成されたクラストであり、それらのクラストはその後隕石母天体中を移動し、最終的に現在のホスト・マトリックスに取り込まれたと考えられる。このモデルでは、リムはその前駆岩相においてコンドリュールの間に存在していたマトリックスであったことになる。

上記の解釈が正しいとすると、carbonate-poor 岩相のコンドリュールリムおよびクラストは、carbonate-rich 岩相とも鉱物学的特徴が異なることから、それらの前駆岩相は carbonate-rich, carbonate-poor 両岩相とも異なっていたことを意味する。すなわち、本研究結果は、Tagish Lake 母天体には carbonate-rich, carbonate-poor 岩相とも異なる第3の岩相が存在していたことを示唆しており、このことは、この母天体には水質変成の条件が異なる幾つもの領域が存在していたことを示唆する。

本研究で得られたリム形成モデルは、以前 Vigarano, Mokoia CV3 隕石の層状ケイ酸塩に富むリム (Tomeoka and Tanimura, 2000; Tomeoka and Ohnishi, 2010)、および Tagish Lake 隕石の carbonate-rich 岩相のリム (Nakamura et al., 2003) に関して提出されたモデルとも基本的に整合的である。これらのことは、本研究が提出した隕石母天体におけるコンドリュールリムの形成プロセスは、他の多くのコンドライトでも起こっている可能性があることを示唆している。

以上のように、本論文提出者は、Tagish Lake 隕石の carbonate-poor 岩相の広範かつ緻密な観察・分析に基づいて、コンドリュールリムが隕石母天体内における角礫岩化によって形成されたことを明らかにした。そして、コンドリュールリムとクラストが形成された後、母天体中を移動し、現在ある隕石のホスト・マトリックスに取り込まれたというモデルを提出した。

これらの成果は、コンドライト隕石の起源・進化の根本的な問題に関して新しい重要な知見を与えるものであり、今後関連する研究に重要な影響を及ぼす可能性は大きいと評価できる。よって、学位申請者の高山亜紀子氏は博士 (理学) の学位を得る資格があると認める。