

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 24 日現在

機関番号：12702

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2015

課題番号：24740358

研究課題名(和文) 太陽系初期の固体物質進化：彗星塵と小惑星物質の比較鉱物学

研究課題名(英文) Nebular and asteroidal processes recorded in primitive materials of the solar system.

研究代表者

小松 睦美 (Komatsu, Mutsumi)

総合研究大学院大学・学内共同利用施設等・助教

研究者番号：50609732

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、小惑星帯を故郷とする始原的コンドライト構成物質と太陽系外縁部を起源とする物質である彗星ダストとの比較研究により、太陽系星雲内での凝縮過程から微惑星形成後までの熱史について考察することを目的とした。

母天体の異なる試料(始原的コンドライト隕石CVコンドライト、COコンドライト、CRコンドライト隕石)について、鉱物学的・分光学的研究を行った。さらに始原コンドライト母天体上の様々な場所からの隕石の系統的な比較から、小惑星進化の熱史について考察をした。同様の手法を小惑星イトカワ粒子、ウィルト2彗星粒子に応用し、太陽系の固体物質試料の形成過程について比較考察を行った。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this study was to understand the formation conditions of planetary materials in the solar nebula and secondary alteration processes on the parent asteroids.

We have conducted the mineralogical and spectroscopic studies on primitive carbonaceous chondrites CV, CO and CR chondrites. Our systematic studies on CV chondrites shows the local heterogeneity of the degree of aqueous alteration and thermal metamorphism on CV chondrite parent body. In addition, we have applied the similar approach to the Hayabusa samples and Wild 2 comet particles and compared them to the mineralogy of primitive chondrites.

研究分野：宇宙化学、隕石学

キーワード：太陽系固体物質 小惑星

1. 研究開始当初の背景

電波天文学の進歩により、惑星形成領域における原始惑星系円盤の形成過程の観測が実現したことで、これまで別個に行われていた天文的観測と隕石・惑星物質の宇宙化学的分析が総合して考えられるようになってきた。

こうした中、2006年にNASAの探査機「スターダスト」が世界で初めて彗星(ビルト2彗星)ダストのサンプルリターンに成功した。彗星はこれまで、低温で形成されるダストと氷で成り立つと考えられていたが、予想に反し、Mgに富むカンラン石や難揮発性鉱物などの高温形成物を多く含むことが明らかになった。これらの鉱物は、小惑星帯を起源とする炭素質コンドライトと共通しており、物質循環モデルを実証する結果となった。

しかしながら、小惑星帯での固体惑星物質の起源及び経験した詳細な熱史及び構成物質同士の関連性については未だ不明な点が多い。このため、原始太陽系円盤での化学的性質に関するモデルに条件を与えるには至っていないのが現状である。

2. 研究の目的

本研究では、小惑星帯を故郷とする炭素質コンドライト構成物質と太陽系外縁部を起源とする物質である彗星ダストとの比較研究により両物質の形成過程をより具体化し明らかにすることで、太陽系星雲内での凝縮過程から微惑星形成後までの熱史について考察することを目的とする。

3. 研究の方法

母天体の異なる試料(始原的コンドライト隕石 CVコンドライト、COコンドライト、CRコンドライト隕石)について、鉱物学的・分光学的研究を行った。CVコンドライト隕石については、母天体の異なる場所を起源とすると考えられる複数の隕石の系統的な比較をすることで、母天体の熱史について考察を行った。

さらに、同様の手法を小惑星イトカワ粒子、ビルト2彗星粒子に応用し、太陽系の異なる場所からの試料の比較考察を行った。

4. 研究成果

上記の目的を明らかにするために行った具体的な研究成果は以下の通りである。

(1) アメリカNASAのStardust探査機の持ち帰った彗星ダスト粒子(C2067.2.112.1, C2067.2.113.1)について、詳細な電子顕微鏡分析を行った。その中の一つの粒子[C2067.2.112.1]中に含まれるolivineは、始原隕石中に見られるAOA(アメーバ状かんらん石集合体)に化学組成が類似していることを発見した。隕石中に含まれるAOAは星雲での凝縮過程により形成されたと考える古い物質である。彗星に含まれるAOA様粒子は、chromiteとの

共存が確認され、隕石中のAOAとの比較から、凝縮後の2次的な加熱を経験した可能性が示唆された。

(2) 西アフリカで発見された新隕石 NWA1152について、AOAに着目した岩石学的記載を行った。AOAの特徴を手掛かりとし、始原隕石の母天体の変成過程について考察を行った。その結果、NWA1152は熱変成を殆ど経験しておらず、炭素質コンドライト種の中でも始原的隕石であることが明らかになった。AOA中に含まれる鉱物の化学的特徴と平衡凝縮モデルと合わせると、AOAは以下の二つのトレンドを保存することを示した。すなわち、ほぼ全ての種類に含まれるAOAは、約1250-1150Kの温度で星雲より凝縮、小惑星を形成後、水質変成、続いてある種の小惑星では熱変成が生じた、と考えられる。

(3) これまで発見された隕石の内、最も始原的隕石の一つとして知られるY-81020隕石(炭素質C03.0コンドライト)と、母天体が異なり異なる熱履歴を持つ隕石Bali、Y-86009、Efremovka、Y-86871(CVコンドライト)、NWA1152(CR/CVコンドライト)、彗星粒子[C2067.2.112.1]の比較を行った。

化学的・組織的特徴からのアプローチとして、特に、それぞれの物質に含まれるAOAにふくまれるolivineの化学組成に着目した。その結果、隕石ごとに微量元素であるMn、Cr量に違いがあることがわかった。平衡凝縮モデル計算を加味した結果、それぞれの母天体が異なる温度領域から凝縮した鉱物情報を保存していることが示唆された。このことは、隕石母天体である小惑星が、形成時の太陽系での位置により、それぞれ異なる温度域から凝縮した物質を取り込んだことを意味している。

(4) 本研究で用いたCVコンドライト隕石について、UV-NIR範囲での拡散反射スペクトルを測定した。その結果、Allende隕石は、他の隕石に比べ、olivineに起因するFeO吸収が明確に表れることがわかった。olivine中のFeO量は、母天体上での熱変成との相関が見られることから、母天体での熱変成が小惑星の反射スペクトルに影響を与えることを示した。

(5) CVコンドライト隕石は、全岩の酸素同位体組成に幅広い値を持ち、母天体に於いて様々な程度の2次変成が生じていたことが示唆されている。しかしながら、これまでの研究では、Allende隕石という1種の隕石の研究が多くされているのみで、それ以外のCVコンドライト隕石の特徴、すなわちCVコンドライト隕石母天体の状況については不明な点が多い。本研究では、Allende隕石を含めた、複数の南極産CVコンドライト隕石の鉱物学

的特徴から、2 次的な水質変成及び熱変成の度合いを比較し、合計 7 個の隕石について、その 2 次変成履歴に関する系統的分類を行った。さらに、それぞれの隕石について拡散反射スペクトル分析を行った。特に、紫外・可視・近赤外領域の拡散反射スペクトルでは、南極産隕石に地球風化の影響が見られ、スペクトルの解釈に考慮が必要であることが示された。

- (6) 小惑星イトカワの試料について、新たに配分された粒子 RA-QD-0094 についての初期記載を行った。本粒子について、詳細な電子顕微鏡分析を行い、平衡コンドライトの中でも熱変成度の低い隕石に類似しており、特に LL4-5 コンドライト隕石に類似していることを示した。また、本粒子のショックステージを見積もった結果、S2(weak shock)であることが示され、本粒子は熱変成度が比較的 low、天体衝突の影響が少ない場所を起源とすることが明らかになった。

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 5 件)

Komatsu M., Fagan T.J., Mikouchi T., Petaev M. I., and Zolensky M.E. 2015. LIME silicates in amoeboid olivine aggregates in carbonaceous chondrites: Indicator of nebular and asteroidal processes. 2015, *Meteoritics & Planetary Science*, 50. Issue 7, pp. 1271-1294.

DOI: 10.1111/maps.12460

Mikouchi T., Komatsu M., Hagiya K., Ohsumi K., Zolensky M. E., Hoffman V., Martinez J., Hochleitner R., Kaliwoda M., Terada Y., Yagi N., Takata M., Satake W., Aoyagi Y., Takenouchi A., Karouji Y., Uesugi M., and Yada T. Mineralogy and crystallography of some Itokawa particles returned by the Hayabusa asteroidal sample return mission. 2014. *Earth, Planets and Space*, 66, article id.82.

DOI: 10.1186/1880-5981-66-82

Zolensky + 18 coauthors (Komatsu M. as 9th), 2014, Mineralogy and petrography of C asteroid regolith: the Sutter's Mill CM meteorite. *Meteoritics & Planetary Science*, 49. 1997-2016.

DOI: 10.1111/maps.12386

Poppova + 33 coauthors (Komatsu M. as 32th), 2013, Chelyabinsk airburst and damage assessment. *Science*, Vol.342, 1069-1073

DOI: 10.1126/science.1242642

荒井朋子, 春日敏測, 大塚勝仁, 中村智樹, 中藤亜衣子, 中村良介, 伊藤孝士,

渡部潤一, 小林正規, 川勝康弘, 中村圭子, 小松睦美, 千秋博紀, 和田浩二, 亀田真吾, 大野宗佑, 石橋高, 石丸亮, 中宮賢樹 (2012) 月惑星探査の来たる 10 年: 第二段階のまとめ」小惑星 Phaethon 探査提案, 遊星人(日本惑星科学会誌), vol.21, No.3, 239-246.

[学会発表](計 14 件)

Petrology of Amoeboid Olivine Aggregates in Antarctic CR Chondrites: Comparison with Other Carbonaceous Chondrites, 47th Lunar and Planetary Science Conference, Woodlands, USA, 2016.

Raman Spectroscopy and Petrology of Antarctic CR Chondrites: Comparison with Other Carbonaceous Chondrites. 38th Symposium of Antarctic Meteorites, Tokyo, Japan, 2015.

炭素質コンドライト隕石の変成の特徴: はやぶさ 2 データの「始原性」の評価に向けて, 日本惑星科学会 2015 年度秋季講演会, 東京, 2015.

Petrology of Two Itokawa Particles: Comparison with Equilibrated LL Chondrites, 46th Lunar and Planetary Science Conference, Woodlands, USA, 2015.

Alteration sequence of CV3 chondrites: matrix textures and Raman spectroscopy. 37th Symposium of Antarctic Meteorites, Tokyo, Japan, 2014.

Petrography and TEM study of two Itokawa particles. Hayabusa 2014: 2nd Symposium of Solar System Materials, Kanagawa, Japan, 2014.

CV コンドライト隕石の水質変成と熱変成, 日本惑星科学会 2014 年度秋季講演会, 仙台, 2014.

TEM study of LIME silicates in Y-81020 primitive chondrites. 45th Lunar and Planetary Science Conference, Woodlands, USA, 2014.

LIME(y) silicates in primitive chondrites: records of nebular and parent body processes. 36th Symposium of Antarctic Meteorites, 2013.

CV コンドライト及び CR コンドライトの水質変成について, 日本惑星科学会 2013 年度秋季講演会, 沖縄, 2013.

LIME Olivine and Pyroxene: Multi-Stage Thermal Histories of AOAs, Goldschmidt Conference, Italy, 2013.

Manganese-rich olivine in AOAs: Implications for formation and alteration conditions. 44th Lunar and Planetary Science Conference, Woodlands, USA, 2013.

LIME Olivine からみる amoeboid olivine

aggregatesの熱変成履歴，日本地球惑星
連合同大会，千葉，2013.
Mineralogy of STARDUST track 112
particle: Relation to amoeboid olivine
aggregates. 43rd Lunar and Planetary
Science Conference, Woodlands, USA,
2012.

研究者番号：

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕
出願状況(計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

取得状況(計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等

「流れ星の科学-彗星ダストから太陽系
の誕生を探る-」小松睦美，(2013年7月)
読売×教育×Waseda オンライン「オピニオン」

[http://www.yomiuri.co.jp/adv/wol/opinio
n/science_130729.html](http://www.yomiuri.co.jp/adv/wol/opinion/science_130729.html)

「宇宙への扉」小松睦美，(2013年9月)
月刊経団連9月号 p52-53.

[https://www.keidanren.or.jp/journal/mon
thly/taikenki/201309.pdf](https://www.keidanren.or.jp/journal/monthly/taikenki/201309.pdf)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

小松 睦美 (KOMATSU, Mutsumi)
総合研究大学院大学・学融合推進センタ
ー・助教
研究者番号：50609732

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3) 連携研究者

()