

平成 21年 5月 16 日現在

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2006 — 2008

課題番号：18540243

研究課題名（和文） 星周塵候補物質における微粒子の形状による光学的性質への影響

研究課題名（英文） Shape effects of fine particles for candidate materials around circumstellar on infrared spectra.

研究代表者

小池 千代枝 (KOIKE CHIYOE)

大阪大学・理学研究科・招へい研究員

研究者番号：20097835

研究成果の概要：

不規則形状、楕円形、球形などの形状の forsterite の粒子を用意した。これらの forsterite の赤外スペクトルは、11、19、23、33 ミクロンバンドのスペクトルが大きく異なり、形状によりスペクトルが大幅に変化することを明らかにできた。49、69 ミクロンについては形状にはほとんど依存しなかった。観測と比較すると、未同定ないくつかのピークは球状の forsterite 粒子によるものと分かった。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	1,700,000	0	1,700,000
2007年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2008年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
総計	3,400,000	510,000	3,910,000

研究分野：天文学

科研費の分科・細目：赤外線天文学

キーワード：赤外線、観測、スペクトル、粒子、形状、ピーク位置、フォルステライト、結晶質シリケート、

## 1. 研究開始当初の背景

(1) 我々は、星周塵候補物質の光学的性質について組成による相違、温度効果などについて明らかにした。

(2) ISO などの観測結果については主要な点についての同定はできた。

(3) 未同定なピークや、ピークの強度比などが未解決な点として残った。

(4) Spitzer 望遠鏡によるデータもかなり発表され始め、室内実験のデータがさらに必要とされはじめた。

## 2. 研究の目的

(1) 形状効果については、理論的にはスペクトルの変化が大きくあることは分かっているが、室内実験ではほとんど進んでいない。(2) 星周塵としてよく知られているケイ酸塩鉱物のうちの forsterite  $Mg_2SiO_4$  について不規則形状、楕円体、球状の粒子の赤外測定をする。すなわち中間赤外と遠赤外について定量測定する。(3) いろいろな形状とスペクトルとの関係を明らかにする。他の鉱物についても調べる。(4) 観測と比較する。

## 3. 研究の方法

(1) forsterite についての形状効果を調べる。

いろいろな方法により形の異なる粒子を作成・入手する(手で搗り潰す、ボールミルにより微粒子の作成、商品化した微粒子、アモルファス微粒子の加熱)。

(2)形状は電子顕微鏡 SEM で確認。

(3)中間赤外・遠赤外のスペクトルを測定して形状効果を調べる。

#### 4. 研究成果

(1)いろいろな形状の forsterite の粒子を用意した。ボールミルにより形状を機械的に変化させた場合、すなわち角のとれた不規則形状の場合はピーク位置が短波長側にシフトして格子歪みすなわち少しアモルファスになった。加熱することにより格子歪みは回復しピーク位置についてはほとんど変化せずピークはかなり鋭くなった。

(2)噴霧方式で作成した粒子はカリフラワーみたいなポーラス状の凝集物になった。これらの赤外スペクトルは不規則形状の場合とかなり異なった。

(3)商業的に作成された微粒子は少し楕円的でほとんど同じくらいのサイズであり、スペクトルは非常に鋭くなった。

(4)球形のアモルファス粒子を段階的に加熱していくと、球形の粒子が主として存在していたのが、温度を上げるにつれ凝集が増加した。さらに1200 度に加熱すると不規則形状の粒子が増加してサイズも大きく成長した。これらの赤外スペクトルは各温度毎に変化した。球形の粒子の場合は、11、19、23、33 ミクロンのスペクトルが大きく異なった。形状によりスペクトルが大幅に変化することを明らかにできた。

(5)総合すると形状により赤外スペクトルはかなり大きく異なることを実験で明らかにした。さらに他の鉱物 enstatite, TiO<sub>2</sub> などの粒子でも形状効果により赤外スペクトルはかなり大きく異なることも明らかになった。

(6)観測と比較すると、これまで未同定ないくつかのピークは球状の forsterite 粒子によるものと分かった。また結晶化の不十分な enstatite 粒子が観測を説明できることが明らかにできた。

(7)球状の forsterite 粒子が存在することによりダストの生成メカニズムがガスから形成される可能性が示唆される。

(8)不規則形状の粒子については加熱あるいは衝撃により生成される可能性が示唆される。すなわちこれまでよりダストの生成メカニズムに一歩踏み入れることが可能となった。

#### 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 27 件)

査読あり

1)Keisuke MURATA, Hiroki CHIHARA, Chiyo  
KOIKE, Takaaki NOGUCHI, Takashi

TAKAKURA,Yuta IMAI, Akira TSUCHIYAMA:  
"Crystallization Experiments on Amorphous  
Magnesium Silicate. II. Effect of Stacking Faults  
on Infrared Spectra of Enstatite". The  
Astrophysical Journal, accepted

2)A. Tamanai, H. Mutschke, J. Blum, Th. Posch,  
C. Koike, J.W.Ferguson: Morphological effects  
on IR band profiles; Experimental spectroscopic  
analysis with application to observed spectra of  
oxygen-rich AGB stars. A&A, accepted

3)Keisuke MURATA, Hiroki CHIHARA, Chiyo  
KOIKE, Takashi TAKAKURA, Yuta IMAI, Akira  
TSUCHIYAMA: Crystallization  
Experiments on Amorphous Magnesium Silicate.  
I Estimation of The Activation Energy of  
Enstatite Crystallization. Astrophysical  
Journal 697 (2009) 836-842.

4)Keisuke MURATA, Takashi TAKAKURA,  
Hiroki CHIHARA, Chiyo  
KOIKE, Akira  
TSUCHIYAMA: Mg/Fe Fractionation in  
Circumstellar Silicate Dust Involved in  
Crystallization. The Astrophysical Journal,  
696, 1612-1615,2009

5)H. Chihara, C. Koike, and A. Tsuchiyama  
:Compositional dependence of infrared  
absorption spectra of crystalline silicates III :  
Melilite solid solution. *Astronomy and  
Astrophysics*, 464, 229-234 (2007)

6)Keisuke MURATA, Hiroki CHIHARA, Akira  
TSUCHIYAMA, Chiyo  
KOIKE, Takashi  
TAKAKURA, Takaaki NOGUCHI, Tomoki  
NAKAMURA : Crystallization Experiments on  
Amorphous Silicates with Chondritic  
Composition: Quantitative Formulation of the  
Crystallization. *Astrophysical Journal*, 668, 285  
-293, 2007

7) C. Koike, H. Mutschke, H. Suto, T. Naoi, H. Chihara, Th. Henning etc:

Temperature effects on the mid- and far-infrared spectra of olivine particles. *Astronomy and Astrophysics*, 449, 583-596, 2006.

8) H. Sogawa, C. Koike, H. Chihara, H. Suto, etc: Infrared reflection spectra of forsterite crystal. *Astronomy and Astrophysics*, 451, 357-361, 2006

9) K. Koike, M. Nakagawa, C. Koike, H. Chihara, M. Okada, etc: Properties of simulated cosmic matters after gamma-ray and neutron irradiation. *Planetary and Space Science*, 54, 325-330, 2006

10) H. Suto, H. Sogawa, T. Tachibana, C. Koike, H. Karoji,: Low Temperature Single Crystal Reflection Spectra of Forsterite. *Monthly Notice of Royal Astronomical Society*, 370, 1599-1606, 2006

11) 茅原弘毅、小池千代枝、周藤浩士、寒川尚人、土山明. 実験室で行う赤外線天文学 — 結晶質シリケートの赤外線分光測定 —, *遊星人*, Vol.15, No.2, 44-51, 2006.

12) 周藤浩士、小池千代枝、茅原弘毅、寒川尚人、橘省吾. 宇宙塵にみられる結晶質シリケート *天文月報*, Vol.99, No.12, 682-693, 2006.

査読無し

1) 小池千代枝、今井悠太、茅原弘毅、村田敬介、周藤浩士、寒川尚人: 赤外線吸収におけるフォルステライト微粒子の形状および光子歪みの影響, Grain Formation Workshop #26, 2008. p5-11

2) 今井悠太、小池千代枝、茅原弘毅、村田敬介、周藤浩士、土山明: 赤外吸収スペクトルに対するシリケート微粒子の形状及び結晶格子歪みの影響. Grain Formation Workshop #26, 2008. p12-17

3) Hiroki Chihara, Keisuke Murata, Takashi

Takakura, & Chiyoe koike: Preliminary report on the infrared spectroscopy of amorphous silicates. Grain Formation Workshop #26, 2008. p18-22

4) 村田敬介、茅原弘毅、高倉崇、小池千代枝、土山明: MgO-SiO<sub>2</sub> 系の非晶質シリケートの結晶化実験 Crystallization Experiments on amorphous Silicate in the MgO-SiO<sub>2</sub> System. Grain Formation Workshop #26, 2008. p 23-30

5) 今井悠太、小池千代枝、茅原弘毅、村田敬介、周藤浩士、青木大空、土山明: 赤外吸収スペクトルに対するシリケート微粒子の形状及び結晶格子歪みの影響. 特定領域研究「系外惑星」ダスト班 第四回研究会報告 2008、p25-30.

6) 小池千代枝、今井悠太、茅原弘毅、村田敬介、周藤浩士、寒川尚人: 赤外線吸収におけるフォルステライト微粒子の形状および格子歪みの影響. 特定領域研究「系外惑星」ダスト班 第四回研究会報告 2008、p31-36.

7) A. Morlok, C. Koike, N. Tomioka, K. Tomeoka: Mid-Infrared Spectroscopy of Experimentally Shocked Murchison CM2 Samples: Comparison with Astronomical Observations of Circumstellar dust. *Lunar and Planetary Science XXXVIII*, 2007, 1023-1024.

8) H. Suto, H. Sogawa, S. Tachibana, C. Koike, A. Tsuchiyama, H. Chihara, H. Karoji, H. Ando, K. Noguchi: Temperature Dependence of Forsterite features. Grain Formation Workshop XXV, 135 - 140, 2007.

9) C. Koike, H. Suto, H. Chihara, T. Naoi, H. Okuda, and S. Ohara: Shape and Temperature effects on the infrared spectra of forsterite particles. Grain Formation Workshop XXV, 259 - 264, 2007.

10) Hiroki Chihara, Chiyoe Koike:

Far-infrared diagnostic features of olivine solid solution with composition close to the Mg-end member. Grain Formation Workshop XXV, 265 - 269, 2007.

11) 小池千代枝、周藤浩士、茅原弘毅、寒川尚人、土山明、直井隆浩: enstatite微粒子の遠赤外でのスペクトル変化——温度効果および形状効果——. 特定領域研究「系外惑星」ダスト班 第三回研究会報告 2007、19-23.

12) 茅原弘毅、小池千代枝 : 分光実験からみた星周ダストの物理化学状態. 特定領域研究「系外惑星」ダスト班 第三回研究会報告 2007、24-26.

13) 小池千代枝、周藤浩士、直井隆浩、茅原弘毅、寒川尚人、土山明、奥田治之、福井武久、大原智: オリヴィン微粒子の中間・遠赤外スペクトル変化—形状効果および温度効果—. 特定領域研究「系外惑星」ダスト班 第二回研究会収録 (2006) pp15-20.

14) 茅原弘毅、小池千代枝: Olivine の遠赤外吸収スペクトルにおける化学組成に関する依存性. 特定領域研究「系外惑星」ダスト班 第二回研究会 収録 (2006) pp21-24.

15) 村田敬介、茅原弘毅、小池千代枝、土山明、本田充彦: CI コンドライト組成を持つアモルファスシリケートの結晶化実験とその赤外スペクトルの解析. 特定領域研究「系外惑星」ダスト班 第二回研究会 収録 (2006) pp99-105.

[学会発表] (計 27 件)

1) 村田敬介、茅原弘毅、小池千代枝、今井悠太、土山明: “非晶質シリケートから結晶化させたエンスタタイトの赤外線スペクトル”. 日本天文学会 2009 年春季年会, P38b, 大阪府立大学, Mar. 26, 2009

2) 今井悠太、小池千代枝、茅原弘毅、村田敬介、土山明: 赤外吸収におけるフォルステライト微粒子の形状および凝集の影響. 日本天文学会

2009 年春季年会, P38b, 大阪府立大学, Mar. 27, 2009

3) 村田敬介、茅原弘毅、小池千代枝、今井悠太、土山明: “非晶質シリケートから結晶化させたエンスタタイトの遠赤外ピークの挙動”. 日本惑星科学会 2008 年秋季講演会, P103, 九州大学, Nov. 1, 2008

4) 今井悠太、小池千代枝、茅原弘毅、村田敬介、土山明、野口高明: “赤外吸収におけるフォルステライト微粒子の形状効果”. 日本惑星科学会 2008 年秋季講演会, 319, 九州大学, Nov. 3, 2008

5) Chiyoeko Koike, Yuta Imai, Hiroki Chihara, Keisuke Murata, Hiroshi Suto, Akira Tsuchiyama: Shape effects of forsterite particles on infrared spectra in mid- and far-infrared and compare with observation. Cosmic Dust - Near & Far 2008, VII 13, Heidelberg, Germany, Sept. 8-12, 2008

6) Keisuke MURATA, Hiroki CHIHARA, Chiyoeko KOIKE, Yuta IMAI, Akira TSUCHIYAMA: “Experimental Study on Crystallization of Amorphous Magnesium Silicates”. Cosmic Dust - Near & Far 2008, VII18, Heidelberg, Sept. 8-12, 2008

7) Keisuke MURATA, Hiroki CHIHARA, Chiyoeko KOIKE, Yuta IMAI, Akira TSUCHIYAMA: “Crystallization Experiments on Amorphous Magnesium Silicates”. AOGS 2008 5th Annual General Meeting, Busan, June 19, 2008

8) Yuta IMAI, Chiyoeko KOIKE, Hiroki CHIHARA, Keisuke MURATA, Hiroshi SUTO, Tomoaki AOKI, Akira TSUCHIYAMA: “Shape and Lattice Distortion Effects on Infrared Spectra of Olivine Particles”. AOGS 2008 5th Annual General Meeting, Busan, June 19, 2008

9) Ryo NOGUCHI, Keisuke MURATA, Akira TSUCHIYAMA, Hiroshi ISOBE, Hiroki

CHIHARA, Tomoki NAKAMURA, Takaaki NOGUCHI: Hydrothermal Experiments of Synthetic Amorphous Silicates with CI Chondritic Composition in the Systems with and without FeO. 71st Annual Meeting of the Meteoritical Society, Shimane, July 29, 2008

10) N. Tomioka, A. Morlok, C. Koike, M. Grady, Oxidation of synthetic and meteoritic Fe-rich olivine by heating in air. 71st Annual Meeting of the Meteoritical Society, Shimane, July 29, 2008

11) 今井悠太, 土山明, 小池千代枝, 茅原弘毅, 村田敬介: “星間ダストアナログとしての非晶質ケイ酸塩超微粒子の作成” 日本地球惑星科学連合 2008 年大会, P137-P003, 幕張メッセ, May 29, 2008

12) 村田敬介, 茅原弘毅, 小池千代枝, 今井悠太, 土山明, 高倉崇: “マグネシウムシリケートの結晶化実験”: 日本地球惑星科学連合 2008 年大会, P137-019, 幕張メッセ, May 30, 2008

13) 高倉崇, 村田敬介, 茅原弘毅, 小池千代枝, 土山明: “珪酸塩の結晶化過程における結晶-非結晶間の元素分配”. 日本地球惑星科学連合 2008 年大会, P137-021, 幕張メッセ, May 30, 2008

14) 高倉崇, 村田敬介, 茅原弘毅, 小池千代枝, 土山明: “非晶質シリケートの加熱結晶化に伴う非晶質-結晶質間のFe-Mg分配”. 日本天文学会 2008 年春季年会, P34a, 国立オリンピック記念青少年総合センター, Mar. 26 2008

15) 今井悠太, 小池千代枝, 茅原弘毅, 村田敬介, 土山明: “オリビン微粒子の赤外吸収スペクトルにおける粒子形状及び格子歪みの影響”. 日本天文学会 2008 年春季年会, P35a, 国立オリンピック記念青少年総合センター, Mar. 26 2008

16) 高倉崇, 村田敬介, 茅原弘毅, 小池千代枝, 土山明: “鉄を含んだ太陽系組成をした非晶質シリケートの加熱結晶化実験: オリビン-非晶

質シリケート間のFe/Mg分配” 日本惑星科学会 2007 年秋季講演会, P41, 高知大学, Sept. 25-26, 2007

17) 今井悠太, 小池千代枝, 茅原弘毅, 村田敬介, 土山明: “ボールミル粉碎によるシリケートサブミクロン粒子の作成とその赤外吸収特性”

日本惑星科学会 2007 年秋季講演会, P45, 高知大学, Sept. 25-26, 2007

18) 村田敬介, 茅原弘毅, 高倉崇, 小池千代枝, 土山明: “シリケートの異方的な結晶化が赤外線吸収スペクトルに与える影響” 日本惑星科学会 2007 年秋季講演会, P04, 高知大学, Sept. 25-26, 2007

19) 直井隆浩, 周藤浩士, 小池千代枝, 茅原弘毅, 寒川尚人, 村田敬介, 森脇太郎: エンスタット結晶の低温での赤外線分光測定. 日本天文学会 2007 年春季年会, 東海大学, 2007.3.29

20) Keisuke MURATA, Hiroki CHIHARA, Takashi TAKAKURA, Chiyoe KOIKE, Akira TSUCHIYAMA: Crystallization-induced peak shifts of IR spectra of olivine. Kobe International School of Planetary Science 2006, Kobe University, Hyogo, Japan, 2006.12

21) 小池千代枝, 周藤浩士, 茅原弘毅, 土山明, 奥田治之: 輝石微粒子の遠赤外スペクトルの温度効果. 日本天文学会 2006 年秋季年会 (九州国際大学・北九州市) 2006. 9.

22) 茅原弘毅, 小池千代枝: 鉄を僅かに含んだフォルステライト結晶の遠赤外吸収ピークにおける化学組成と温度に関する依存性. 日本天文学会 2006 年秋季年会 (九州国際大学・北九州市) 2006. 9.

23) 村田敬介, 高倉崇, 茅原弘毅, 小池千代枝, 土山明: オリビン 11.2  $\mu$ m ピークは正しい Mg/Fe 比を示すか?. 日本天文学会 2006 年秋季年会 (九州国際大学・北九州市) 2006. 9.

24) Keisuke Murata, Takashi Takakura, Hiroki Chihara, Chiyoe Koike, Akira

Tsuchiyama: Crystallization experiments of amorphous silicates with the CI chondritic composition. Why galaxies care about AGB stars, University of Vienna, Austria. 2006.8

25) Hiroki Chihara, Chiyoeko Koike:

Far-infrared diagnostic features of forsterite crystal. Why Galaxies Care About AGB Stars (University Campus, Vienna, Austria). 2006.8

26) Keisuke Murata, Takashi Takakura, Hiroki Chihara, Chiyoeko Koike, Akira Tsuchiyama: Crystallization experiment of amorphous silicates with the CI chondritic composition (O23-10). 19th general meeting of the international mineralogical association, International conference center Kobe, Japan. 2006.7

27) 茅原弘毅、小池千代枝: フォルステライトに近い組成をもつオリビンの遠赤外線吸収スペクトルの挙動. 日本地球惑星科学連合 2006 年大会 (宇宙惑星における固体物質の形成と進化). 幕張メッセ国際会議場 (千葉). 2006. 5.

寒川 尚人 (SOUGAWA HISATO)  
大阪産大・講師  
村田 敬介 (MURATA KEISUKE)  
大阪大学・理学研究科・博士課程  
今井 悠太 (IMAI YUTA)  
大阪大学・理学研究科・修士課程

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

小池 千代枝 (KOIKE CHIYOE)  
大阪大学・理学研究科・招へい研究員  
研究者番号: 20097835

### (2) 研究分担者

茅原 弘毅 (CHIHARA HIROKI)  
大阪大学・理学研究科・特任研究員  
研究者番号: 70379296  
周藤 浩士 (SUTO HIROSHI)  
国立天文台・助教  
研究者番号: 50300710

### (3) 研究協力者

Andreas Morlok  
神戸大学・理学研究科  
CRPD/CNRS, France  
玉内 朱美 (TAMANAI AKEMI)  
Jena University, Germany