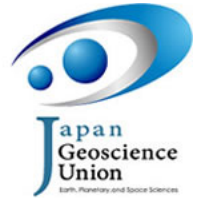


# Japan Geoscience Union Meeting 2011

(May 22-27 2011 at Makuhari, Chiba, Japan)

©2011. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.



PPS025-01

会場:101

時間:5月23日 14:15-14:30

## 銀河のダスト量決定機構

## Mechanism determining dust content in galaxies

井上 昭雄<sup>1\*</sup>

Akio Inoue<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 大阪産業大学

<sup>1</sup>Osaka Sangyo University

銀河におけるダストの起源は惑星科学の基盤を支える重要性を持つ。本講演では、銀河における星、星間媒質、金属（ヘリウムより重い元素）、ダストという4成分の物質循環を記述する「銀河の化学進化モデル」をもとに、銀河スケールのグローバルなダスト量決定機構について紹介する。

キーワード: 銀河, ダスト形成, ダスト成長, ダスト破壊

Keywords: galaxy, dust formation, dust growth, dust destruction

PPS025-02

会場:101

時間:5月23日 14:30-14:45

## 赤外線観測に基づく Wolf-Rayet 連星系周囲に形成されたダストの性質 Properties of Dust Formed around Wolf-Rayet Binary System based on Infrared Observations

左近 樹<sup>1\*</sup>, 尾中 敬<sup>1</sup>, 大澤 亮<sup>1</sup>, 浅野 健太郎<sup>1</sup>, 有松 亘<sup>1</sup>, 野沢 貴也<sup>1</sup>, 小笹 隆司<sup>2</sup>, 金田 英宏<sup>3</sup>, 藤吉 拓哉<sup>4</sup>  
Itsuki Sakon<sup>1\*</sup>, Takashi Onaka<sup>1</sup>, Ryou Ohsawa<sup>1</sup>, Kentaro Asano<sup>1</sup>, Ko Arimatsu<sup>1</sup>, takaya nozawa<sup>1</sup>, takashi kozasa<sup>2</sup>, Hidehiro Kaneda<sup>3</sup>, takuya fujiyoshi<sup>4</sup>

<sup>1</sup> 東京大学, <sup>2</sup> 北海道大学, <sup>3</sup> 名古屋大学, <sup>4</sup> 国立天文台

<sup>1</sup>University of Tokyo, <sup>2</sup>Hokkaido University, <sup>3</sup>Nagoya University, <sup>4</sup>National Astronomical Observatory

我々はすばる望遠鏡中間赤外線観測装置 COMICS を用いて、周期的なダスト形成を行う Wolf-Rayet 連星系 WR140 の継続観測を行ってきた。WR140 は最も近傍にある Wolf-Rayet 連星系の一つで、周期およそ 8 年で伴星が主星である Wolf-Rayet 星の近日点を通過し、その度ごとに多波長での光度曲線の変化を示すことが知られている (spectroscopic event)。特に赤外線で捉えられる変化は、ダスト形成活動に密接に関連すると考えられており、8m 級の望遠鏡による中間赤外線高空間分解能観測は、こうした星周ダスト形成の現場とその後の変質過程を理解するためにきわめて有用である。本講演では、2009 年の近日点通過後、すばる望遠鏡 COMICS を用いて複数回にわたって取得した中間赤外線撮像、分光データによって得られた、広がり行くダスト雲の性質について、それらの組成や質量の変化などを含めて議論する。

キーワード: 星周ダスト, シリケート, 炭素質ダスト, 中間赤外線観測, すばる望遠鏡

Keywords: circumstellar dust, silicate, carbonaceous dust, mid-infrared observation, subaru Telescope

PPS025-03

会場:101

時間:5月23日 14:45-15:00

## s-process 核種同位体比の温度・密度依存性と惑星物質との比較

### Estimation of s-process condition based on the isotopic composition of heavy elements

寺田 健太郎<sup>1\*</sup>, 岩本信之<sup>2</sup>, 吉田敬<sup>3</sup>

Kentaro Terada<sup>1\*</sup>, Nobuyuki Iwamoto<sup>2</sup>, Takashi Yoshida<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 広島大学, <sup>2</sup> 日本原子力研究開発機構, <sup>3</sup> 東京大学

<sup>1</sup>Hiroshima University, <sup>2</sup>Japan Atomic Energy Agency, <sup>3</sup>The University of Tokyo

一般に、天然に存在する鉄よりも重い元素の約半数は、太陽のような中小質量星の進化末期の AGB 星内 He 層で起こる遅い中性子捕獲反応（以下、s-process）で生成されたと考えられている。この s-process が起こっている領域の温度・中性子密度・中性子源として、比較的低温・低中性子密度環境でおこる  $^{13}\text{C}(\text{n}, \text{n})^{16}\text{O}$  反応の中性子を源とする s-process と、高温・高中性子密度環境でおこる  $^{22}\text{Ne}(\text{n}, \text{n})^{25}\text{Mg}$  反応の中性子を源とする s-process の 2 種類が提唱されている。我々は先行研究で、 $^{153}\text{Eu}/^{151}\text{Eu}$  比が s-process の環境変数（温度と中性子密度）に敏感であることに着目し、(1) 高感度・高分解能イオンマイクロプローブを用いたプレソーラー SiC の Eu 同位体分析、(2) 波長分解能の高いすばる望遠鏡高分散分光器 HDS を用いた s-process 元素に卓越した天体の Eu 同位体比の分光観測、行ってきた (Terada et al. NewAR 50, 2006)。

本研究では、他の s-process 核種の同位体比の温度-中性子密度依存性について報告する。さらに、過去に報告された AGB 星起源のプレソーラー SiC の文献値、及び s-process 核種 rich な隕石酸残渣の同位体比と比較する事で、s-process の環境変数の普遍性 / 多様性について議論する。

キーワード: 元素合成, 同位体, 隕石, AGB 星, s プロセス, 中性子捕獲反応

Keywords: Nuclear synthesis, Isotopic composition, meteorite, AGB star, s-process, Neutron capture process

PPS025-04

会場:101

時間:5月23日 15:00-15:15

## 星周コランダム形成の理解に向けたプレソーラー粒子形状の解析 Morphology of presolar corundum grains from unequilibrated ordinary chondrites

瀧川 晶<sup>1\*</sup>, 橋 省吾<sup>1</sup>, 永島 一秀<sup>2</sup>, 巻出 健太郎<sup>3</sup>, Gary R. Huss<sup>2</sup>, Alexander N. Krot<sup>2</sup>, 永原 裕子<sup>1</sup>, 小澤 一仁<sup>1</sup>  
Aki Takigawa<sup>1\*</sup>, Shogo Tachibana<sup>1</sup>, Kazuhide Nagashima<sup>2</sup>, Kentaro Makide<sup>3</sup>, Gary R. Huss<sup>2</sup>, Alexander N. Krot<sup>2</sup>, Hiroko Nagahara<sup>1</sup>, Kazuhito Ozawa<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 東京大学 地球惑星科学専攻, <sup>2</sup> ハワイ大マノア校地球物理学・惑星学研究所, <sup>3</sup> 学習院大学 大学院化学専攻

<sup>1</sup>Dept. Earth & Planet. Sci., Univ. Tokyo, <sup>2</sup>Univ. of Hawai'i at Manoa, <sup>3</sup>Dept. Chemistry, Gakushuin Univ.

Corundum ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) is one of the first refractory minerals that condense directly from gas of the solar composition. Presolar corundum grains, which have highly unusual oxygen isotopic compositions compared to solar-system materials, are condensates in outflows from oxygen-rich AGB stars and/or supernovae. It is therefore important to understand the formation conditions of corundum grains in order to understand the first stage of dust formation around evolved stars. The morphological and crystallographic features of presolar corundum grains should reflect the formation conditions and subsequent thermal history of the grains. In order to understand morphology and crystallographic orientation of presolar corundum grains, we first made detailed observations of morphology and crystallography of corundum grains from residues of unequilibrated ordinary chondrites using field-emission scanning electron microscopy (FE-SEM) and electron back-scattered diffraction (EBSD) and the oxygen isotopic compositions of the grains were then measured to identify the circumstellar condensates.

The acid-residues of ordinary chondrites, Semarkona (LL3.0), Bishunpur (LL3.1), and Roosevelt County (RC) 075 (LL3.2) were used for this study. Corundum candidate grains were found with cathodoluminescence imaging, and 198 corundum grains were confirmed by EDS equipped to a FE-SEM. For individual grains, secondary electron images were taken from four different directions and crystallographical information was obtained by EBSD. Oxygen isotopic compositions of 111 grains were measured with UH Cameca ims-1280 ion microprobe. The details of analytical technique are described in Makide et al. (2009). After the isotopic measurements, the presolar corundum grains were reexamined by FE-SEM and EBSD.

The 198 corundum grains discovered were classified into three types according to their morphology. Type A grains have smooth surfaces (73 grains), type B grains are irregularly shaped and have rough surfaces with 10-nm-sized fine structures without crystal faces (62 grains). Intermediate grains that cannot easily be classified into either type A or B are type C (73 grains). The 111 corundum grains, of which oxygen isotopic compositions were measured. Nine presolar corundum grains were found: seven grains have oxygen isotopic compositions with positive  $^{17}\text{O}$  excesses and small  $^{18}\text{O}$  depletions; two grains show  $^{17}\text{O}$  depletions. The presolar grains consist of 6 type B, 2 type A, and 1 type C grains.

The observed presolar/solar corundum ratio of 8% is higher than that of 1% reported by Makide et al. (2009). This difference could be attributed to the difference in size of grains analyzed. The size of grains measured in our study is about 1 micron on average, but only larger grains (1-5 micron) were measured by Makide et al. (2009). Because larger grains have a higher possibility of survival during thermal events in the early solar system, these observations may imply that circumstellar corundum grains are dominantly  $<1$  micron in size. Hoefner (2008) showed that corundum dust grown to  $\sim 1$  micron could be easily ejected by mass-loss winds due to radiation pressure, indicating that further growth could be suppressed by rapid cooling, which may support our observation.

Choi et al. (1998) argued that presolar grains have irregular surfaces or are aggregates of smaller grains. This is consistent with the dominance of type B presolar corundum grains in this study. We obtained 10 EBSD patterns for different spots on the type B presolar grain. The EBSD patterns of all spots were the same, which are also the same as that taken prior to isotopic analysis, suggesting that the grain is not an aggregate of small grains but is a single alpha-corundum crystal. The present results may suggest common formation of fluffy and fine-structured corundum grains around various evolved stars.

キーワード: プレソーラー粒子, 星周ダスト, 晩期型星, 酸素同位体

Keywords: presolar grain, circumstellar dust, evolved star, oxygen isotope

PPS025-05

会場:101

時間:5月23日 15:15-15:30

## 星周ダストシェルにおけるスピネル凝縮カイネティクス Kinetics of spinel formation under circumstellar conditions

原田 真理子<sup>1\*</sup>, 瀧川 晶<sup>2</sup>, 橘 省吾<sup>2</sup>, 永原 裕子<sup>2</sup>, 小澤 一仁<sup>2</sup>

Mariko Harada<sup>1\*</sup>, Aki Takigawa<sup>2</sup>, Shogo Tachibana<sup>2</sup>, Hiroko Nagahara<sup>2</sup>, Kazuhito Ozawa<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 東京大学理学部地球惑星物理学科, <sup>2</sup> 東京大学理学系研究科地球惑星科学専攻

<sup>1</sup>Earth and Planetary Physics, Univ. Tokyo, <sup>2</sup>Earth and Planet. Sci., Univ. of Tokyo

Spinel ( $\text{MgAl}_2\text{O}_4$ ) is one of the most abundant presolar oxides found in primitive chondrites with highly unusual oxygen isotopic compositions compared to solar-system materials. Presolar corundum and spinel grains are considered to be condensates in outflows from oxygen-rich AGB stars and/or supernovae. It has been reported that Mg/Al ratios of some presolar spinel grains are lower than the stoichiometric ratio (Choi B.-G. et al., 1998). Spinel can form through the reaction between pre-existing corundum and Mg gas, and the non-stoichiometry of presolar spinel and the presence of presolar corundum may imply that corundum and Mg gas did not react completely. In order to discuss the origin of presolar spinel and evolution of refractory materials in circumstellar environments, it is important to understand the kinetics of spinel formation under low-pressure circumstellar conditions. In this study, we conducted spinel formation experiments through a reaction between corundum and Mg+O gas ( $\text{Al}_2\text{O}_3(\text{s}) + \text{Mg}(\text{g}) + \text{O}(\text{g}) = \text{MgAl}_2\text{O}_4(\text{s})$  in vacuum.

An MgO pellet as a gas source of Mg and O was put in the bottom of an alumina crucible. The alumina tube was set in a vacuum chamber and evacuated to  $\sim 10^{-3}$ - $10^{-4}$  Pa, and then heated at desired temperatures (1640, 1590, and  $\sim 1450$  degree Celsius) for desired durations (6-695 h). The wall of the alumina tube was almost isothermal at 1640 and 1590 degree Celsius, and a small temperature gradient existed at 1450 degree Celsius, where it was 1470 and 1420 degree Celsius at the bottom and top of the tube, respectively. The inner wall surfaces and the cross sections of reacted alumina tubes were observed with FE-SEM, and their chemical compositions were determined by EDS and EPMA. Thicknesses of the reacted layer were measured at different heights from the bottom.

A spinel layer was formed on the inner wall of the alumina tube under all the experimental conditions. The thickness of the layer was largest at the bottom, and became smaller with increasing the distance from the bottom. The thickness of the spinel layer increases linearly with time. The Mg/Al compositional profile of the spinel layer showed that the layer was depleted in Mg, and the typical ratio of Mg and Al was Mg:Al = 0.72:2.18, 0.61:2.26 and 0.59:2.27 at 1450, 1590, and 1640 degree Celsius for O=4, respectively.

The linear increase of the thickness of the spinel layer with time suggests that the spinel formation rate is controlled by the surface chemical reaction, i.e., the reaction rate can be expressed by the Hertz-Knudsen equation. In order to obtain the condensation coefficient for spinel formation, we developed a model for steady-state diffusion of Mg gas inside the alumina tube under the molecular flow conditions. We fitted the growth rates of the spinel layer with the model, and obtained the spinel reaction coefficient of  $\sim 0.02$  and supersaturation ratio (S) of  $\sim 5$  at 1450, 1590, 1640 degree Celsius. Therefore, we conclude that only  $\sim 2$  percent of colliding Mg gas can react to form spinel in the reaction of  $\text{Al}_2\text{O}_3(\text{s}) + \text{Mg}(\text{g}) + \text{O}(\text{g}) = \text{MgAl}_2\text{O}_4(\text{s})$  at a low super saturation ratio ( $S \sim 5$ ).

The obtained condensation coefficient was applied to spinel formation in an expanding mass-loss wind around a cool-low-mass evolved star with gas of the solar composition. The mass-loss velocity where spinel grains form may be much lower than the terminal velocity of the wind ( $\sim 10$  km/s) and vary with time. The reaction efficiency between corundum and Mg+O gas changes with the wind velocity: corundum grains (1 micron) react almost completely with gas to form spinel in the case of wind velocity of 0.01 km/s, while little reaction occurs in the case of faster wind (1 km/s). Spinel formation under kinetic conditions in mass-loss winds with various velocities therefore may result in the variation of circumstellar oxides, which is consistent with the presence of both presolar spinel and corundum in the solar system materials.

PPS025-06

会場:101

時間:5月23日 15:30-15:45

## COガスを反応物としたSiOダストの形成過程 SiO dust formation from CO gas as a reactant

熊本 明仁<sup>1\*</sup>, 宮下 徹也<sup>1</sup>, 齋藤 嘉夫<sup>1</sup>, 埴内 千尋<sup>1</sup>

Akihito Kumamoto<sup>1\*</sup>, Tetsuya Miyashita<sup>1</sup>, Yoshio Saito<sup>1</sup>, Chihiro Kaito<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 立命館大学

<sup>1</sup>Ritsumeikan University

Circumstellar dust of silicates and other oxides finding in carbon rich star ( $C/O > 1$ ) suggests the possibility that the stellar atmosphere underwent an oxygen rich ( $C/O < 1$ ) environment of previous mass loss rate phase. This is based on the thermal stability of CO molecule. When this ratio is larger than unity, all oxygen will be trapped in the very stable CO molecule.

Since CO is one of the most abundant molecule in the dust-forming region, we considered that the reaction pathway of using CO molecule as a reactant for oxidation of silicon. Silicon oxides are the main components of silicate dust and precursor substances.

Our laboratory experiments of grain formation in a CO gas atmosphere show that amorphous SiO grains can be directly produced from silicon oxidation. SiO smoke produced by the evaporation of a fragment of Si (10 mg) from the tungsten boat at a gas pressure of 10 kPa of CO.

The color of the collected grains was yellow brown and their electron diffraction pattern showed a halo. No existence of tungsten in the produced SiO grain was detected by energy dispersive x-ray spectroscopy. The mid-IR feature of the SiO grain embedded in KBr pellet is similar to that of beta-cristobalite, i.e., the grain may be composed of microcrystallites of Si and beta-cristobalite. Moreover, the residue of evaporation was examined by transmission electron microscopy and turned out the beta-SiC which has cubic structure of high temperature phase. Graphite layer was formed to be parallel to the surface of {111} SiC planes.

Demonstration of formation of circumstellar oxide dust on oxidative or reductive condition requires the introduction of gas species other than oxygen controlled partial pressure.

キーワード: 一酸化炭素, 一酸化ケイ素, 星周塵, グレインフォーメーション, 透過型電子顕微鏡法, 赤外分光分析法

Keywords: carbon monoxide, silicon monoxide, circumstellar dust, grain formation, transmission electron microscopy, infrared-spectroscopic analysis

PPS025-07

会場:101

時間:5月23日 15:45-16:00

## 超高過飽和ガスから生成するダスト類似物の均質核形成と接合成長

## Homogeneous nucleation and coalescence growth of dust analogs in supersaturated vapor

木村 勇気<sup>1\*</sup>, 田中 今日子<sup>2</sup>, 三浦 均<sup>1</sup>, 塚本 勝男<sup>1</sup>

Yuki Kimura<sup>1\*</sup>, Kyoko Tanaka<sup>2</sup>, Hitoshi Miura<sup>1</sup>, Katsuo Tsukamoto<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 東北大学, <sup>2</sup> 北海道大学

<sup>1</sup>Tohoku University, <sup>2</sup>Hokkaido University

To investigate the homogeneous nucleation and growth process of nanoparticles in vapor phase, interferometric observation was attempted for the first time to the gas evaporation method, which has been a commonly accepted physical production method of nanoparticles. Using the gas evaporation method, fine particles with the size of several nm to ~1 micron are directly produced from the gas phase and recognized nanoparticles have a crystalline habit similar with the bulk crystal even in such tiny particles. When an evaporant is initiated in an inert gas, the evaporated vapor subsequently cools and condenses in the gas atmosphere, i.e., solid grains are obtained via homogeneous nucleation from the vapor phase. Therefore it can be assumed that nucleation occurs far from the equilibrium state, but it is not obvious how far condensation takes place. However, there is no report concerning nucleation and limited study in view of crystal growth for smoke experiment, although significant numbers of smoke experiments have been performed so far. Although there has been reports concerning homogeneous and heterogeneous nucleation from solution phases [1], there has been few reports concerning homogeneous nucleation from a vapor phase in recent years. Homogeneous nucleation rates of droplets were measured as a function of temperature and supersaturation using ethanol and nonane [2, 3]. The nucleation rates were different in several orders of magnitude from the classical nucleation theory.

In preliminary experiment, Tungsten oxide was evaporated by electrical heating of a tungsten wire in a mixture gas of Ar and O<sub>2</sub>. WO<sub>3</sub> nanoparticles were formed via homogeneous nucleation and growth during a gas cools following a thermal convection produced by the evaporation source. The degree of supersaturation for nucleation was extremely high,  $6.6 \times 10^6$ , which was determined from the interferogram. Surface free energy of WO<sub>3</sub> at 1100 K was calculated based on the classical nucleation theory and was  $1.38 \times 10^3$  erg cm<sup>-2</sup>, which is within the reported values. Homogeneously condensed WO<sub>3</sub> nuclei initially maintain their temperature for ~5 ms and then cool down with a rate of  $\sim 5 \times 10^4$  K/s. A part of the difference between actual formation rate of produced nanoparticles, which were determined based on a transmission electron microscope, and calculated values based on the semi-phenomenological nucleation theory [4] were well explained if we adopt the idea of coalescence growth.

[1] X. Y. Liu, K. Tsukamoto, M. Sorai, *Langmuir*, 16 (2000) 5499.

[2] J. L. Schmitt, G. W. Adams, R. A. Zalabsky, *J. Chem. Phys.* 77 (1982) 2089.

[3] G. W. Adams, J. L. Schmitt, R. A. Zalabsky, *J. Chem. Phys.* 81 (1984) 5074.

[4] K. K. Tanaka, Katsuyuki Kawamura, Hidekazu Tanaka, and Kiyoshi Nakazawa, *J. Chem. Phys.* 122 (2005) 184514.

キーワード: 核形成, 結晶成長, ナノ粒子, ダスト, 干渉計, その場観察

Keywords: nucleation, crystal growth, nanoparticle, dust, interferometer, in-situ observation

PPS025-08

会場:101

時間:5月23日 16:00-16:15

## 気相からの凝縮過程における均質核生成の分子動力学シミュレーション Molecular dynamics simulation of nucleation from vapor

田中 今日子<sup>1\*</sup>, 田中 秀和<sup>1</sup>, 山本 哲生<sup>1</sup>, 河村 雄行<sup>2</sup>

Kyoko Tanaka<sup>1\*</sup>, Hidekazu Tanaka<sup>1</sup>, Tetsuo Yamamoto<sup>1</sup>, Katsuyuki KAWAMURA<sup>2</sup>

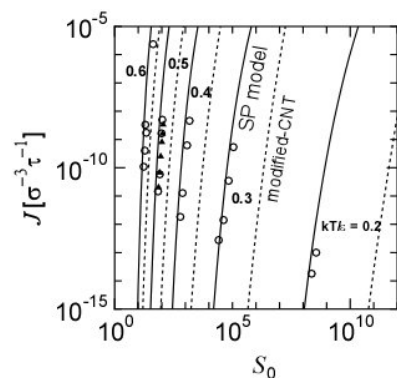
<sup>1</sup> 北海道大学低温科学研究所, <sup>2</sup> 東京工業大学大学院理工学研究科

<sup>1</sup>ILTS, Hokkaido Univ., <sup>2</sup>Tokyo Institute of Technology

気相からの凝縮に伴う均質核生成の記述において、古典的核生成理論はさまざまな分野で用いられているが、これから得られる核生成率は多くの場合実験値と比較すると桁で合わないことが知られている。実験値を良く再現するものとして半現象論的モデルが1990年代に提唱された[1]が、その適用の可能範囲は明らかではない。本研究ではレナードジョーンズ型分子(Arを想定)に対し気相からの均質核生成過程の分子動力学シミュレーションを行い、核生成理論の検証を行った。我々の以前の研究[2]ではガスから液相に凝縮する温度領域(80-120K)に対し計算結果が古典的理論よりも半現象論モデルで良く再現されることを示した。本研究では固体に凝縮する低温領域(24-72K)における1万-10万粒子の分子動力学シミュレーションを行った。その結果、凝縮核はまず液相として形成し50Kよりも低温の場合にはその後凝縮核の成長に伴い結晶化する様子が得られた。得られた核生成率はすべての計算において半現象論的モデルと高い精度で一致していることを表す(図参照)。我々の結果はレナードジョーンズ型分子系において半現象論的モデルが広い温度、過飽和度範囲に対して非常に有効であることを示す。

[1] A. Dillmann, G. E. A. Meier, J. Chem. Phys., 94, 3872 (1991)

[2] K. K. Tanaka, K. Kawamura, H. Tanaka, K. Nakazawa, J. Chem. Phys. 122, 184514 (2005)



キーワード: 核生成, 凝縮, 分子動力学シミュレーション

Keywords: nucleation, condensation, MD simulation

PPS025-09

会場:101

時間:5月23日 16:30-16:45

## 星間塵表面反応による化学進化および重水素濃集

## Grain-surface reactions: chemical evolution and deuterium fractionation in molecular clouds

渡部 直樹<sup>1\*</sup>, 日高宏<sup>1</sup>, 大場康弘<sup>1</sup>, 羽馬哲也<sup>1</sup>, 香内晃<sup>1</sup>, 千貝健<sup>1</sup>, 木村勇氣<sup>2</sup>

Naoki Watanabe<sup>1\*</sup>, Hiroshi Hidaka<sup>1</sup>, Yasuhiro Oba<sup>1</sup>, Tetsuya Hama<sup>1</sup>, Akira Kouchi<sup>1</sup>, Takeshi Chigai<sup>1</sup>, Yuki Kimura<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 北大低温研, <sup>2</sup> 東北大・理

<sup>1</sup>Inst. Low Temp. Sci., Hokkaido Univ., <sup>2</sup>Tohoku Univ.

Surface processes on interstellar icy grains play an important role in chemical evolution in molecular clouds. Until now, there have been many experimental works which report the synthesis of many molecules by energetic processes, such as UV, electron and ion bombardments, in interstellar ice analogues. Even formation of amino acid was observed after such energetic processes in ices. However, in dense core of molecular cloud where the radiation field is very weak, since the energetic processes are relatively suppressed, nonenergetic processes like neutral-neutral surface reactions become important. In this context, our group has performed a series of experiments regarding surface reactions of cold H(D)-atoms and OH radical with molecules to produce H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>CO, and CH<sub>3</sub>OH. We have also tackled an important issue, deuterium fractionation of molecules in molecular clouds and demonstrated for the first time that tunneling surface reaction on interstellar ice is the key for the deuterium enrichment of some organic molecules. In the presentation, we will review our series of works described above and talk briefly about the very recent experiment for H-atom diffusion on the ice surface.

PPS025-10

会場:101

時間:5月23日 16:45-17:00

## 水素および重水素原子の氷表面拡散と水素分子生成

## Diffusion of hydrogen and deuterium atoms and molecular hydrogen production on amorphous solid water

羽馬 哲也<sup>1\*</sup>, 渡部 直樹<sup>1</sup>, 木村 勇気<sup>2</sup>, 香内 晃<sup>1</sup>, 千貝 健<sup>1</sup>, Valerio Pirronello<sup>3</sup>

Tetsuya Hama<sup>1\*</sup>, Naoki Watanabe<sup>1</sup>, Yuki Kimura<sup>2</sup>, Akira Kouchi<sup>1</sup>, Takeshi Chigai<sup>1</sup>, Valerio Pirronello<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 北海道大学低温科学研究所, <sup>2</sup> 東北大学理学部理学研究科, <sup>3</sup> カターニア大

<sup>1</sup>Inst. Low Temp. Sci., Hokkaido Univ., <sup>2</sup>Tohoku Univ., <sup>3</sup>Universita' di Catania

In interstellar dense clouds where a radiation field is very weak, nonenergetic reactions of hydrogen atoms on dust grains, including quantum tunneling reactions, play an important role in chemical evolution. For example, it has been widely accepted that molecular hydrogen which is the most abundant molecules in the Universe is formed by recombination of H-atoms on the dust surface. Successive reactions of H- and D-atoms with carbon monoxide are also key molecular steps in the synthesis of many organic molecules observed in the ice mantles, such as formaldehyde and methanol.

These reactions proceed through the sequence of elementary processes of H-atoms, i.e., adsorption, diffusion, and encounter with another adsorbed species. Therefore, to understand formation of not only molecular hydrogen but also complex molecules, above-mentioned physical and chemical properties of H- and D-atoms on cold surfaces should be clarified.

In this talk, we report a spectroscopic approach for the behavior of H-atoms on the surface of amorphous solid water (ASW) using photo-stimulated desorption and resonance enhanced multiphoton ionization methods.

The diffusion rate of H-atoms was directly measured after H atom deposition on ASW at 8 K. In addition, we measured the ortho/para nuclear spin ratio (OPR) of nascent molecular hydrogen formed via recombination, and observed the spin conversion of molecular hydrogen adsorbed on ASW.

Efficient molecular hydrogen formation was observed on ASW during the H-atom deposition on ASW at 8-15 K, while some fractions of H-atoms were successfully detected even after H-atom deposition at 8 K. These results show the presence of at least two types of potential sites on ASW. The analysis of attenuation curve of H-atoms at 8 K provides the two different activation energies of H-atom surface diffusion with about 20 meV and >50 meV. Quantitatively similar results were obtained in the case of deuterium atom, suggesting that the thermal hopping mechanism better explains the diffusion rather than tunneling diffusion, because a large isotope effect should be observed if it is tunneling.

The nuclear spin temperature, which is defined by OPR of hydrogen molecules, of nascent hydrogen molecules formed from H-atoms on ASW at 8 K is very close to that of adsorbed molecular hydrogen directly from the gas phase. However, when we left the hydrogen molecules on ASW, it was found to decrease on ASW by the spin conversion.

キーワード: 水素原子, 重水素原子, 水素分子, アモルファス氷, 表面拡散

Keywords: hydrogen atom, deuterium atom, molecular hydrogen, amorphous solid water, surface diffusion

PPS025-11

会場:101

時間:5月23日 17:00-17:15

## 高密度分子雲内部におけるラジカル - 分子表面反応による二酸化炭素生成 CO<sub>2</sub> formation through radical-molecule reactions on a solid surface inside dense molecular clouds.

大場 康弘<sup>1\*</sup>, 渡部 直樹<sup>1</sup>, 香内 晃<sup>1</sup>, 羽馬 哲也<sup>1</sup>, ピロネロ バレリオ<sup>2</sup>  
Yasuhiro Oba<sup>1\*</sup>, Naoki Watanabe<sup>1</sup>, Akira Kouchi<sup>1</sup>, Tetsuya Hama<sup>1</sup>, Valerio Pirronello<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 北海道大学低温科学研究所, <sup>2</sup> カターニア大学

<sup>1</sup>ILTS, Hokkaido Univ., <sup>2</sup>Universita di Catania

Solid CO<sub>2</sub> is ubiquitously distributed in icy grain mantles in molecular clouds. Since gas phase reactions cannot explain the observed abundance of CO<sub>2</sub> in those environments and CO is also abundant in the ice, CO<sub>2</sub> is considered to form on the surface of icy grains. It has been experimentally demonstrated that CO<sub>2</sub> is formed in interstellar ice analogues processed by UV, ions, or electrons. Recent astronomical observations found solid CO<sub>2</sub> in dense molecular clouds, where the UV field is weak, implying that there should be additional routes to the formation of CO<sub>2</sub> besides UV photolysis. We performed the experiment on surface reactions of CO with cold OH radicals to investigate a possible CO<sub>2</sub> formation route in dense molecular clouds.

OH radicals were produced by dissociating H<sub>2</sub>O molecules in microwave-induced plasma and cooled to 100 K before reaction. CO and OH radicals were continuously codeposited onto an Al substrate at 10-40 K. Reaction products were monitored in-situ by FTIR. We found that the formation of CO<sub>2</sub> occurred at all temperatures investigated. Up to 10 % of CO was converted into CO<sub>2</sub> under the present experimental conditions. We propose that surface reactions of CO with non-energetic OH radicals are potential pathways to the formation of CO<sub>2</sub> in dense molecular clouds.

キーワード: 星間分子雲, 化学進化, 二酸化炭素, ラジカル - 分子反応

Keywords: interstellar molecular clouds, chemical evolution, carbon dioxide, radical-molecule reactions

PPS025-12

会場:101

時間:5月23日 17:15-17:30

## 近赤外線水素分子輝線比から探る原始惑星系円盤内ダスト進化

## Probing dust evolution in protoplanetary disks by near-infrared line ratios of molecular hydrogen emission

野村 英子<sup>1\*</sup>, 高木 悠平<sup>2</sup>, 伊藤 洋一<sup>2</sup>, 杉谷 光司<sup>3</sup>, 渡辺 誠<sup>4</sup>, Jeffrey S. Bary<sup>5</sup>, David A. Weintraub<sup>6</sup>, 相川 裕理<sup>2</sup>, 辻本 匡弘<sup>7</sup>, 中川 義次<sup>2</sup>, Tom J. Millar<sup>8</sup>

Hideko Nomura<sup>1\*</sup>, Yuhei Takagi<sup>2</sup>, Yoichi Itoh<sup>2</sup>, Koji Sugitani<sup>3</sup>, Makoto Watanabe<sup>4</sup>, Jeffrey S. Bary<sup>5</sup>, David A. Weintraub<sup>6</sup>, Yuri Aikawa<sup>2</sup>, Masahiro Tsujimoto<sup>7</sup>, Yoshitsugu Nakagawa<sup>2</sup>, Tom J. Millar<sup>8</sup>

<sup>1</sup> 京都大学大学院理学研究科, <sup>2</sup> 神戸大学大学院理学研究科, <sup>3</sup> 名古屋市立大, <sup>4</sup> 国立天文台ハワイ観測所, <sup>5</sup> Colgate University, <sup>6</sup> Vanderbilt University, <sup>7</sup> 宇宙科学研究所, <sup>8</sup> Queen's University Belfast

<sup>1</sup> Kyoto University, <sup>2</sup> Kobe University, <sup>3</sup> Nagoya City University, <sup>4</sup> NAOJ, <sup>5</sup> Colgate University, <sup>6</sup> Vanderbilt University, <sup>7</sup> JAXA/ISAS, <sup>8</sup> Queen's University Belfast

近年の観測技術の向上により、原始惑星系円盤からの水素分子輝線の検出が可能になってきた。ここで近赤外線水素分子輝線は天体の物理状態を探るプローブとして役立つことが知られており、これまでに様々な天体で観測されてきた。

本研究では、すばる望遠鏡 IRCS+AO188 により、原始惑星系円盤からの近赤外線水素分子輝線比 2-1 S(1)/1-0 S(1) の観測を行った。AO188 を用いた非常に高空間分解能の観測を行った結果、2-1 S(1)/1-0 S(1) < 0.14 の上限を与えることができた。さらに、円盤内の動径方向の移動も考慮したダスト合体成長・沈殿計算および円盤温度・密度構造の計算を行い、円盤からの水素分子輝線をモデル計算した。ここで円盤からの水素分子輝線比は円盤表層部のガス温度を反映するため、輝線比は、紫外線に起因するダスト上の光電加熱を通じて円盤表層部の(サイズの小さい)ダスト/ガス比に制限を与える。我々の計算結果と観測結果を比較したところ、円盤表層部のダスト/ガス比が分子雲中の値の0.1倍よりも大きいことが示された。ダスト合体成長計算の結果では、円盤表層部においてガス降着と共にダストが外縁部より供給されれば、このようなダスト/ガス比を取ることが可能である。またこの場合、円盤赤道面付近で局所的にダスト密度が上昇し、微惑星が形成されやすい状態となることが示された。

キーワード: ダスト進化, 原始惑星系円盤

Keywords: dust evolution, protoplanetary disks

PPS025-13

会場:101

時間:5月23日 17:30-17:45

## 形成期の原始惑星系円盤内の物質混合

## Material mixing in a protoplanetary disk formed by the collapse of a molecular cloud core

安達俊貴<sup>1</sup>, 福井 隆<sup>1</sup>, 倉本 圭<sup>1\*</sup>

Toshitaka Adachi<sup>1</sup>, Takashi Fukui<sup>1</sup>, Kiyoshi Kuramoto<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 北大・理

<sup>1</sup> Hokkaido University

太陽系最古の年代を示す CAI を含め、これまでに調べられたほとんどの太陽系固体物質中の元素同位体組成は、一部の同位体分別を受けやすい揮発性元素を除いてほぼ一定であることが知られている。このことは、初期の原始惑星系円盤内において同位体組成が均質化されていたことを示す。しかしながら、プレソーラー粒子や短寿命放射性核種の痕跡の存在から、原始惑星系円盤の母体となる分子雲コア内では同位体組成は不均質だったと考えられている。従って、原始惑星系円盤内で均質化を引き起こす物質混合が起き、引き続き現在の太陽系天体を構成する物質の形成が起きたと考えられる。また、短周期彗星の彗星塵の分析や、周星円盤の赤外観測の結果から、原始惑星系円盤内の低温領域に存在するダストに、結晶質ケイ酸塩がかなりの割合で含まれていることが分かっている。これら結晶質ケイ酸塩は、太陽近傍の高温領域で形成され、円盤全体にわたって輸送されたことが強く示唆される。そのような円盤動径方向の混合は、原始惑星系円盤初期に起きた同位体組成の均質化と同じ機構によってもたらされた可能性がある。

本研究では、形成期の原始惑星系円盤における物質混合過程について、分子雲コアからのガス供給と乱流混合を考慮した1次元軸対称円盤モデルを用いて解析した。特に原始惑星系円盤への流入年代と、最高到達温度に応じてガスを区別し、それぞれを独立した成分とみなして乱流による濃度拡散を計算した。流入年代による区別は、分子雲コア内でのガスの存在位置の違いに対応し、したがってその混合について調べることで、円盤内での同位体組成の均質化を表現できる。

主な結果を以下に示す。まず、同位体組成は乱流粘性が大きいほど早く均質化され、粘性パラメータ  $10^{-2}$  の場合の均質化時間スケールは百万年程度である。一方結晶質ケイ酸塩の存在度は、分子雲コアの角運動量が大きいほど小さくなる。これは分子雲コアの角運動量が大きいほど、中心星から離れた領域にガスが流入し、高温環境を経験し結晶化するケイ酸塩の質量比が小さくなるためである。分子雲コアの観測ならびに単独性の形成と整合的な角運動量の範囲を与えた場合、円盤ダストの結晶化度が1-30%となった。

このようなパラメータの範囲内で、太陽系を説明できる円盤質量 ( $> 0.01$  太陽質量)、同位体組成の均質性、結晶質ケイ酸塩の存在度を同時に満たすことのできる解が得られた。円盤質量と結晶化度の相関の傾向は、T-tauri 型星の周星円盤の観測結果と整合的である。同位体組成均質化の達成年代からは、太陽系最古の物質形成年代がガス流入完了後であり、コア収縮開始からおよそ百万年の時期であることが示唆される。

キーワード: 原始惑星系円盤, 分子雲コア, 物質混合, 始原的隕石, 同位体異常, 結晶化度

Keywords: protoplanetary disk, molecular cloud core, material mixing, primitive meteorite, isotopic anomaly, crystallinity

PPS025-14

会場:101

時間:5月23日 17:45-18:00

## GEMS 平均組成の非晶質ケイ酸塩の還元雰囲気における加熱実験

## Heating experiments on the reductive condition of amorphous silicates with the mean composition of GEMS

松野 淳也<sup>1\*</sup>, 土山 明<sup>1</sup>, 野口 遼<sup>1</sup>, 三宅 亮<sup>2</sup>, 下林 典正<sup>2</sup>, 市川 聡<sup>3</sup>, 相馬 伸洋<sup>2</sup>

Junya Matsuno<sup>1\*</sup>, Akira Tsuchiyama<sup>1</sup>, Ryo Noguchi<sup>1</sup>, Akira Miyake<sup>2</sup>, Norimasa Shimobayashi<sup>2</sup>, Satoshi Ichikawa<sup>3</sup>, Nobuhiro Souma<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 大阪大学大学院理学研究科宇宙地球科学専攻, <sup>2</sup> 京都大学大学院理学研究科地球惑星科学専攻, <sup>3</sup> 大阪大学ナノサイエンス教育研究センター

<sup>1</sup>Earth and Space Sci., Osaka Univ., <sup>2</sup>Earth and Planetary Sci., Kyoto Univ., <sup>3</sup>Nano Science Design, Osaka Univ.

GEMS (glass with embedded metal and sulfides) are spherical objects of  $< 500$  nm in diameter and characteristically included in anhydrous IDPs (Interplanetary Dust Particles), which are considered to be of the cometary origin. They have nanometer-sized (10-50 nm) Fe-Ni metals and sulfides embedded in the matrices of amorphous silicate. In spite of several propositions for the origin of GEMS [e.g. 1, 2], non of them were widely accepted. Infrared astronomical observations strongly suggest that interstellar silicates are almost amorphous [3]. If the amorphous interstellar silicates were brought into the early solar nebula and heated, the reduction of the silicates might occur. It is proposed that metallic Fe in GEMS are reduction products of FeO-bearing amorphous silicates with carbonaceous materials based on reduction experiments of thin amorphous olivine foils in a reducing atmosphere [4]. However, detailed discussion of metal formation process in the glass was not made. In this experiment, in order to study possible GEMS origin by reduction of interstellar silicates, we synthesized amorphous silicates with the mean composition of GEMS and performed heating experiments under reducing atmosphere.

The amorphous silicates as the starting material of the reduction experiments were prepared by quenching the melt of the mean composition of GEMS in a simple MgO-FeO-SiO<sub>2</sub> system (MgO = 28 wt.%, FeO = 22 wt.%, and SiO<sub>2</sub> = 50 wt.%). The quenched glass was cut and shaped for cubes of about 2 mm on a side. The starting materials were heated at 923 K and 973 K for 3 hours, and at 1023 K for 1-48 hours at one-atmosphere in a gas mixing furnace using a H<sub>2</sub>-CO<sub>2</sub> gas mixture. The oxygen fugacity in this reduction experiment was -1.5 log unit above the IQF (Iron-Quartz-Fayalite) buffer ( $f_{O_2} \sim 10^{-23}$  atm).

The X-ray diffraction (XRD) analysis shows that clino-pyroxene was crystallized in the heated samples. Many cracks (typically  $\sim 10\mu\text{m}$  in length and  $\sim 1\mu\text{m}$  in width) were observed both on the surfaces and cross sections, and metallic Fe grains of a few microns in size were recognized nearby cracks under a field emission-scanning electron microscope (FE-SEM) observations. Metal grains present in the cracks have euhedral shapes. Magnetite or maghemite grains of 50-100 nm in size were also observed inside of the sample under FE-SEM and a transmission electron microscope (TEM). For the TEM observation an ultra-thin sections was made by focused ion beam (FIB).

These results suggests that cracks were formed by volume change of the pyroxene crystallization and metallic Fe grains were formed on the surface or along the cracks by reaction with the reducing gas. The crystallization of the metallic grains and the magnetite or maghemite nano-particles shows that reduction did not occur inside of the glass but only near the glass-gas interface.

If metallic iron grains were formed by the reduction of FeO-bearing amorphous silicates for GEMS, metallic nano-grains can be formed only around the interface. In contrast, TEM observation for natural GEMS shows that metal grains are uniformly embedded in amorphous silicates. So, the present study suggests that metal grains in GEMS is not reduction products.

[1] Bradley J.P. and Dai Z. R. (2004) ApJ. 617, 650.

[2] Keller L.P. and Messenger S. (2008) LPS XXXIX, Abstract #2347.

[3] Kemper F. et al. (2004) ApJ, 609, 826.

[4] Davoisne C. et al. (2006) A&A, 448, L1

キーワード: 非晶質ケイ酸塩, GEMS, 還元実験

Keywords: amorphous silicate, GEMS, reduction experiment

PPS025-15

会場:101

時間:5月23日 18:00-18:15

## LLコンドライト中に含まれるアルカリ元素に富む岩片 Alkali-rich Fragments in LL-chondritic Breccias

横山 立憲<sup>1\*</sup>, 三澤 啓司<sup>2</sup>, 岡野 修<sup>3</sup>

Tatsunori Yokoyama<sup>1\*</sup>, Keiji Misawa<sup>2</sup>, Osamu Okano<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 総合研究大学院大学, <sup>2</sup> 国立極地研究所, <sup>3</sup> 岡山大学

<sup>1</sup>The Graduate University for Advanced St., <sup>2</sup>National Institute of Polar Reserch, <sup>3</sup>Okayama University

Alkaline elements, Na, K, Rb, and Cs, are classified as moderately volatile elements, and large fractionations are expected as a result of evaporation/condensation processes.

K-rich igneous fragments were identified in brecciated LL-chondrites, Kraehenberg (LL5) [1], Bhola (LL3-6) [2], and Yamato (Y)-74442 (LL4) [3,4], and show characteristic fractionation patterns (e.g., Na~0.5 x CI, K~12 x CI, Rb~45 x CI, and Cs~70 x CI [5]). In order to understand fractionation processes of moderately volatile elements as well as origin of alkali-rich fragments in chondritic breccias, we have undertaken mineralogical and petrological studies on K-rich fragments in Kraehenberg, Bhola, and Y-74442. Rb-Sr isotopic studies on the K-rich fragments in Bhola and Y-74442 are in progress.

Kraehenberg, Bhola, and Y-74442 consist of mineral fragments, K-rich fragments, impact-melt clasts, and chondrules. Kraehenberg and Bhola contain large K-rich fragments (1-2 cm in size). Small K-rich fragments (1-2 mm in size) are heterogeneously distributed in Bhola and Y-74442. These K-rich fragments show quenched textures and are composed largely of olivine (50-100 μm in size) and groundmass of brown glasses which are highly enriched in alkaline elements. The boundaries between K-rich fragments and their hosts are sharp, and no reaction relation is observed along the boundaries. Dendritic Ca-pyroxene and chromite (~1 μm in size) along with troilite (~10 μm in size) are commonly observed in the groundmass of K-rich glasses. Tiny Fe-Ni metal grains are identified together with troilite in K-rich glasses.

Chemical compositions of olivine in the K-rich fragments fall within the compositional range of equilibrated LL-chondrites (Fa26-32 [6]). Data points of groundmass glasses of the K-rich fragments are overlapped when plotted on a ternary diagram of Na+K+Al-oxides, Ca+Mg+Fe-oxides, and SiO<sub>2</sub>. These K-rich fragments are almost identical to their host matrix in major element compositions except Na and K.

Although grain sizes of olivine are somewhat different, textures and constituent phases of the K-rich fragments in Kraehenberg, Bhola, and Y-74442 are indistinguishable.

Abundances of Rb in the whole-rock (WR) samples of Bhola and Y-74442 [7] (50-100 mg in weight) are three to ten times of chondrites, suggesting that K-rich fragments are heterogeneously distributed.

Similarities in textures, chemical compositions, and fractionation patterns of K-rich fragments in LL chondritic breccias suggest that they might be formed from identical precursor materials with related processes.

Alkaline elements are also classified as large ion lithophiles and are partitioned into residual phases during crystallization. The K-rich fragments in Kraehenberg and Bhola possess flat REE patterns, which are different from the GRA 06128/06129 meteorites (alkali-rich early planetary objects showing LREE/HREE fractionations [8]). Geochemistry (i.e., solid/liquid fractionation process) could not be responsible for the enrichments of heavier alkalis in the Kraehenberg, Bhola, and Y-74442 fragments. Taking into account the lack of K isotopic fractionation [9] and the old formation ages of ~4.56 Ga [1,10], an alkali-rich component of the K-rich fragments could have formed during the early stages of solar system evolution.

References: [1] Kempe W. and Mueller O. (1969) Meteorite Res., pp. 418. [2] Noonan A.F. et al. (1978) Geol. Survey Open File Report 78?701, 311. [3] Yanai K. et al. (1978) Mem. Natl. Inst. Polar Res. Spec. Issue 8, 110. [4] Ikeda Y. and Takeda H. (1979) Mem. Natl. Inst. Polar Res. Spec. Issue 15, 123. [5] Wlotzka F. et al. (1983) Geochim. Cosmochim. Acta 47, 743. [6] Dodd R.T. (1981) Meteorites pp. 368, Cambridge Univ. Press. [7] Okano O. et al. (1990) Geochim. Cosmochim. Acta 54, 3509. [8] Day J. M. D. et al. (2009) Nature 457, 179. [9] Humayun M. and Clayton R.N. (1995) Geochim. Cosmochim. Acta 59, 2131. [10] Nishiya N. et al. (1995) Okayama Univ. Earth Sci. Rep. 2, 91.

キーワード: 角礫岩コンドライト, アルカリ元素

Keywords: chondrite, breccia, alkali elements

PPS025-16

会場:101

時間:5月23日 18:15-18:30

## 原始惑星系円盤条件でのマグネシウムケイ酸塩凝縮実験

## Condensation experiments of magnesium silicates under protoplanetary disk conditions

橘 省吾<sup>1\*</sup>, 片岡 香織<sup>1</sup>, 瀧川 晶<sup>1</sup>, 永原 裕子<sup>1</sup>, 小澤 一仁<sup>1</sup>

Shogo Tachibana<sup>1\*</sup>, Kaori Kataoka<sup>1</sup>, Aki Takigawa<sup>1</sup>, Hiroko Nagahara<sup>1</sup>, Kazuhito Ozawa<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 東京大学理学系研究科地球惑星科学専攻

<sup>1</sup>Dept. Earth Planet. Sci., Univ. Tokyo

Magnesium silicates are one of the most abundant materials condensing in the system of solar abundance. Condensation from vapor is the fundamental process for formation of Mg-silicates, and there have been many experimental studies to simulate Mg-silicate formation. However, quantitative discussion on condensation kinetics, especially on the condensation coefficient that reflect the efficiency of condensation of gas species colliding with the surface of condensate, has not yet been made due to experimental difficulties.

In this study, we conducted condensation experiments of magnesium silicates at low pressures in the H<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O atmosphere to simulate condensation of magnesium silicates under controlled conditions of pressure, temperature, and gas chemistry close to protoplanetary disk conditions and to discuss condensation kinetics of magnesium silicates quantitatively.

Several important findings were made in this study:

(1) Crystalline forsterite condensed on the substrate of forsterite under controlled conditions (1340 K; total pressure of 1 Pa; Si/H<sub>2</sub>O/H ratios of ~0.07/~70/1 relative to the solar ratios; supersaturation ratio of ~7), which are much more similar to protoplanetary disk conditions and better controlled than those in previous studies.

(2) The condensation coefficient of forsterite under the above condition was estimated to be <0.2 (or possibly <0.01).

(3) Forsterite (possibly olivine) condensed on the surface of metallic iron under the same condition, but not on molybdenum and corundum. Metallic iron also condensed on the substrate of forsterite with a similar supersaturation ratio.

(4) The evaporation rate of forsterite was suppressed under H<sub>2</sub>O-rich conditions.

These findings, for instance, suggest that forsterite and metallic iron can nucleate and grow mutually in protoplanetary disks but with different efficiencies, and they will make huge contribution to discussion on dust evolution and chemical fractionation in protoplanetary disks and on physical properties (especially thermal structure) of disks as fundamental kinetic data for condensation of magnesium silicates.

キーワード: 原始惑星系円盤, ダスト, 凝縮, ケイ酸塩, 速度論, 不均質核形成

Keywords: protoplanetary disk, dust, condensation, silicate, kinetics, heterogeneous nucleation

PPS025-P01

会場:コンベンションホール

時間:5月23日 10:30-13:00

## 斜長石とかんらん石の相対強度と地球型惑星内部のレオロジー層構造 Strength contrast between plagioclase and olivine and rheological structure of the terrestrial planets

東 真太郎<sup>1\*</sup>, 片山 郁夫<sup>1</sup>

Shintaro Azuma<sup>1\*</sup>, Ikuo Katayama<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 広島大学理学研究科地球惑星システム学専攻

<sup>1</sup> Hiroshima University

大陸リソスフェアの強度断面は地震の発生領域や地殻とマントルのカップリングを支配しており、地球内部のダイナミクスを理解する上で重要な鍵になると考えられる (Burgmann and Dresen, 2008)。地球内部のレオロジー構造は、温度・圧力などの物理量に加え、地殻、マントルの化学組成による層構造に依存し、結果として強いレオロジーの層形成につながる。これまでの変形実験により脆性・延性遷移が推定されており、深さにより岩石レオロジー、変形メカニズムが異なることが報告されている。これまで地殻・マントル強度断面に関する先行研究では、主に2つの仮説が立てられている。1つは、上部地殻と最上部マントルが脆性領域、下部地殻が塑性変形領域である、ジャムのサンドイッチ説である (e.g., Chen and Molnar, 1983)。もう1つの仮説は、マントルが弱く塑性変形領域であり、地殻の脆性破壊領域の下は塑性変形領域が続くというクレームブリュレ説である (Jackson, 2002; Burov and Watts, 2006)。上述した2つの強度モデルは摩擦則とそれぞれの鉱物の流動則を用いて、地球内部の温度・圧力条件に外挿することによって求められている。本研究では、地殻・マントル境界でのレオロジー変化を流動則の外挿によるのではなく、高压変形実験により検証し、斜長石とカンラン石の強度を直接決定する実験を行う。実験条件は圧力 1 GPa、温度 400-800 °C の条件で斜長石とオリビンの出発物質を同時にアルミナピストンに挟み、相対的な強度を決定する。実験後の変形微細組織から、斜長石とオリビンはどちらも格子選択配向を示し、転位密度からも斜長石とオリビンは転位クリープに対応する塑性変形をしていることが確認された。実験結果としては、400 °C においてオリビンは斜長石より強度が低いが、一方で 800 °C においては、オリビンより斜長石の方が柔らかくなった。これまで斜長石はオリビンより柔らかいと考えられてきた (Brace and Kohlstedt, 1980)、そして、それは power-law タイプの流動則による外挿からも示されている。しかし、私たちの実験結果から比較的低温側ではオリビンが斜長石より柔らかくなりえることがわかった。 (Azuma et al., 2010)。ケイ酸塩鉱物のような比較的強い結合を持つ鉱物においては、低温でパイレスメカニズムが支配的になることが知られている (Tsenn and Carter, 1987)。変形メカニズムマップによると、低温でオリビンの変形メカニズムがこのパイレスメカニズムに支配されていると考えられる。それゆえ、斜長石とオリビンの強度比は低温で逆転した可能性が高い。いくつかの天然の観察でも斜長石とオリビンの強度比が逆転していることを示すものがある。その1つとしてオマーンのオフィオライトにおけるオリビンマトリックス中で斜長石がブーディン構造をしているものが挙げられる。これは、ある条件で斜長石がオリビンより強度が高くなることを示唆している。この観察結果は私たちの実験結果と調和的である。結果として、斜長石とオリビンの強度比は温度に依存することが示された。そして、地球のモホ面に対応する温度圧力条件では斜長石よりオリビンの方が強度が低い、もしくは、ほとんど強度に差がないという結果が得られた。この結果から、地球の大陸リソスフェアの地殻・マントルのレオロジー層構造のモデルとして適切であるのは「クレームブリュレモデル」であることが考えられる。

今後の計画として、地球だけでなく金星のような地球型惑星の強度断面を考察するために、私たちはドライの条件で実験を行おうと考えている。金星は質量、密度、体積、そして太陽からの距離などから地球と似た惑星だと考えられている (Taylor and McLennan, 2008)。しかしながら、近年の観測から金星は地球とはかなり異なる地形を持ち、さらにプレートテクトニクスが働いていない可能性が高いことがわかっている。先行研究として、金星リソスフェアの挙動はドライなダイアベースの室内変形実験から、金星の温度圧力条件に外挿することで推察されてきた (e.g. Mackwell et al. 1998)。私たちは外挿によるのではなく、ドライな条件で斜長石とオリビンの相対強度を2相系の変形実験より直接明らかにし、その結果と金星のような惑星と地球との違いを強度断面の観点から報告する予定である。

キーワード: 強度断面, 地球型惑星, レオロジー, かんらん石, 斜長石

Keywords: strength profile, terrestrial planet, rheology, olivine, plagioclase

PPS025-P02

会場:コンベンションホール

時間:5月23日 10:30-13:00

## マーチソン隕石中のヒボナイト包有物の SEM-EDS 観察：初期太陽系における同位体混合過程の解明に向けて Petrographic observations of hibonite-bearing inclusions from Murchison using SEM-EDS.

比屋根 肇<sup>1\*</sup>, 佐々木翔吾<sup>1</sup>

Hajime Hiyagon<sup>1\*</sup>, Shogo Sasaki<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 東京大学大学院理学系研究科

<sup>1</sup> The University of Tokyo

原始太陽系星雲からの凝縮過程において、ヒボナイトは最も初期に凝縮する鉱物のひとつである。したがって、ヒボナイトを含む難揮発性包有物は、太陽系形成の最初期の情報を持っている可能性がある。マーチソン隕石 (CM2) から見つかったヒボナイトを含む包有物は、形態学的に、SHIB (スピネル - ヒボナイト包有物)、PLAC (ヒボナイト板状結晶)、BAG (ヒボナイト青色凝集物) などに分類され (Ireland, 1988)、それぞれの形態に対応した著しい同位体的特徴を持つことが報告されている (Ireland, 1988; Liu et al, 2009)。すなわち、PLAC および BAG は、カルシウムやチタン、あるいはマグネシウム ( $\delta^{25}\text{Mg}$ ) に大きな同位体異常を示す一方、 $^{26}\text{Al}/^{27}\text{Al}$  比は低いか負の値を示す。これに対し、SHIB は、 $^{26}\text{Al}/^{27}\text{Al}$  比はほぼカノニカル値を示す一方、カルシウム、チタンなどに同位体異常は見られない。これらの特徴は、初期太陽系における異なる同位体組成をもつリザーブの存在と、それらの混合・同位体均一化の過程を反映していると考えられる。

本研究では、初期太陽系における同位体混合と均一化の過程をさらに詳しく調べるため、マーチソン隕石 (CM2) からヒボナイトを含む包有物を取り出した。約 10 グラムのマーチソン隕石を凍結融解法 (フリーズソー) により粉碎した。ハンドマグネットにより磁性粒子を除去したのち、ヨウ化メチレン (比重 3.3) を用いて重液分離した。回収された重いフラクションの中から、実体顕微鏡のもとでヒボナイト (青色～淡青色に見える) を含むと思われる粒子をハンドピックで選び出した。SEM-EDS により予備的な観察をおこなったのち、それら数十個の粒子を円形 (25mm 径) のスライドガラスの上に樹脂で固定し、まず光学顕微鏡により観察した。その後、それらの粒子を同時に研磨し、SEM-EDS により詳細な観察・分析をおこなった。粒子の内訳は、SHIB 21、PLAC 3、BAG 2、SHIB あるいは BAG 3、未分類 2 であり、他にスピネルに富む難揮発性包有物やスピネルの単一結晶が数個ある。本発表では、それら粒子の岩石組織的特徴についての観察結果を、先行研究の例と比較しながら詳しく紹介する。これらのヒボナイト粒子に対しては、近々 Al-Mg 同位体分析などをおこなう予定である。

References: Ireland T. R. (1988), *Geochim. Cosmochim. Acta* 52, 2827-2839. Liu et al. (2009), *Geochim. Cosmochim. Acta* 73, 5051-5079.

キーワード: ヒボナイト, 難揮発性包有物, 同位体異常, アルミ - マグネシウム年代, マーチソン隕石

Keywords: hibonite, refractory inclusion, isotopic anomaly, Al-Mg chronology, Murchison meteorite

PPS025-P03

会場:コンベンションホール

時間:5月23日 10:30-13:00

## 非晶質ケイ酸塩の加熱結晶化に伴う赤外吸収スペクトルの進化 Evolution of infrared spectra in crystallization by heating of amorphous magnesium silicates

今井 悠太<sup>1\*</sup>, 小池 千代枝<sup>1</sup>, 茅原 弘毅<sup>1</sup>, 中牟田 義博<sup>2</sup>, 土山 明<sup>1</sup>  
Yuta Imai<sup>1\*</sup>, Chiyoeko Koike<sup>1</sup>, Chihara Hiroki<sup>1</sup>, Yoshihiro Nakamura<sup>2</sup>, Akira Tsuchiyama<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 阪大・理・宇宙地球, <sup>2</sup> 九大・博

<sup>1</sup>Earth and Space Sci., Osaka Univ., <sup>2</sup>Kyushu University Museum, Kyushu Univ.

星周におけるダストの性質は、赤外線天文観測とダスト候補物質の室内実験結果の比較から推定される。それにより、晩期星や若い星の星周領域では結晶質及び非晶質シリケートの存在が確認されており、その主要な鉱物としては、Mgに富むオリビン ( $(\text{Mg}, \text{Fe})_2\text{SiO}_4$ ) やパイロキシン ( $(\text{Mg}, \text{Fe})\text{SiO}_3$ ) が考えられている (e.g., Waelkens et al. 1996; Waters et al. 1996)。これらの結晶質シリケートの形成プロセスとして非晶質シリケートの結晶化という過程を考えることができる。例えば、若い星の周りの結晶質シリケートは、観測結果からほぼ完全に非晶質であるとされている星間空間の非晶質シリケート (Kemper et al. 2004) が、原始惑星系円盤に取り込まれ、円盤内で何らかの加熱プロセスを受けることにより結晶化するということが考えられる。また晩期星の星周の結晶質シリケートもまた、星の質量放出によりガスから凝縮した非晶質物質が加熱を経ることで結晶化したものであると考えることができる。

このような星周の結晶質シリケートダストがどのような物理化学環境で形成されたのか、またどのようなプロセスを経て結晶化したのかを調べ、星周の物理化学的環境を推定するためには、室内実験によって非晶質シリケートの結晶化プロセスを調べることが重要である。また、近年 T-Tauri 型星の赤外天文観測の結果を詳細に解析することにより、星周におけるシリケートの非晶質と結晶質の量比や鉱物種の空間的な分布について、10  $\mu\text{m}$  および 20  $\mu\text{m}$  近傍での赤外吸収スペクトルの違いをもとにした議論が行われるようになってきている (e.g. Olofsson et al., 2010)。このような星周のシリケートダストの性質について厳密に議論するために、これまで行われてきた非晶質物質、結晶質物質それぞれの赤外吸収特性についてだけでなく、その中間段階である非晶質からの結晶化過程における赤外吸収スペクトルの特徴について、詳細に調べる必要がある。

本研究では、マグネシウムシリケートの非晶質からの結晶化過程において結晶化の進行度合いとその赤外吸収スペクトルフィーチャーの変化について詳細に調べた。出発物質としては高周波誘導熱プラズマ法 (日清エンジニアリング) を用いて作成したフォルステライト組成 ( $\text{Mg}/\text{Si} = 2/1$ ) 及び、エンスタタイト組成 ( $\text{Mg}/\text{Si} = 1/1$ ) の非晶質シリケートを用いた。これらの出発物質を空気雰囲気において様々な温度・時間条件で加熱することで結晶化させ、その結晶化過程における結晶性を粉末 X 線回折及び赤外分光測定から推定した。また、各結晶化段階における赤外吸収スペクトルフィーチャーの変化について波長域ごとに結晶化進行の度合いとの関係を調べた。その結果、フォルステライト組成物質の赤外吸収スペクトルの 10  $\mu\text{m}$  近傍のフィーチャーと 20  $\mu\text{m}$  近傍のフィーチャーでは、加熱結晶化に伴って 20  $\mu\text{m}$  近傍のフィーチャーのほうが、非晶質から結晶質のピークへ早く変化した。一方で、エンスタタイト組成物質の赤外スペクトルには、加熱結晶化過程において同様の傾向は見られなかった。得られた結果を用いて、T-Tauri 型星の赤外天文観測の結果を解釈し、星周における非晶質からの結晶の形成について議論する。

キーワード: 赤外吸収スペクトル, ダスト, 結晶化実験, 非晶質シリケート

Keywords: infrared, dust, crystallization, amorphous silicate

PPS025-P04

会場:コンベンションホール

時間:5月23日 10:30-13:00

## エアロジェル中の衝突トラック形状と入射粒子密度の関係: Wild 2 彗星塵の密度推定

### Density Estimation from Impact Track Morphology in Silica Aerogel: Application to Dusts of Comet 81P/Wild 2

新居見 励<sup>1</sup>, 門野 敏彦<sup>2\*</sup>, 土山 明<sup>1</sup>, 長谷川 直<sup>3</sup>, 田端誠<sup>3</sup>, 町井 渚<sup>4</sup>, 中村 昭子<sup>4</sup>, 渡辺隆行<sup>5</sup>, 八木下 将史<sup>5</sup>, 奥平 恭子<sup>6</sup>  
Rei Niimi<sup>1</sup>, Toshihiko Kadono<sup>2\*</sup>, Akira Tsuchiyama<sup>1</sup>, Sunao Hasegawa<sup>3</sup>, Makoto Tabata<sup>3</sup>, Nagisa Machii<sup>4</sup>, Akiko Nakamura<sup>4</sup>,  
Takayuki Watanabe<sup>5</sup>, Masashi Yagishita<sup>5</sup>, Kyoko Okudaira<sup>6</sup>

<sup>1</sup> 大阪大学理学研究科, <sup>2</sup> 大阪大学レーザーエネルギー学研究センター, <sup>3</sup> 宇宙航空研究開発機構, <sup>4</sup> 神戸大学大学院理学研究科地球惑星科学専攻, <sup>5</sup> 東工大総合理工学, <sup>6</sup> 公立大学法人 会津大学

<sup>1</sup>Osaka University, <sup>2</sup>Institute of Laser Engineering, <sup>3</sup>Japan Aerospace Exploration Agency, <sup>4</sup>Kobe University, <sup>5</sup>Tokyo Institute of Technology, <sup>6</sup>The University of Aizu

Cometary dust particles of Wild2 have been successfully collected and returned in Stardust Mission [Brownlee et al. (2006) Science 314, 1711-1726]. Hypervelocity capture (6.1 km/s) of those particles mandated various degrees of heating, fragmentation and evaporation of the projectiles during their capture process in silica aerogel [Zolensky et al. (2006) Science 314, 1735-1739]. Nevertheless, an impact track formed by each particle can be an indicator of its original properties [Horz et al. (2006) Science 314, 1716-1719]. Particle size dependence of track properties has been studied in several papers [Burchell et al. (2009) Planet. Space. Sci. 57, 58-70; Horz et al. (2009) Meteor. Planet. Sci. 44, 1243-1264] and impact tracks in Stardust aerogel formed by several sized soda lime glass beads of different sizes were used for calibration of Wild2 dust size distribution [Burchell et al. (2008) Meteor. Planet. Sci. 43, 23-40]. In the work of Iida et al. [(2010) Meteor. Planet. Sci. 45, 1302-1319], three-dimensional structures of Stardust impact tracks were analyzed and Wild2 dust density was estimated based on their track formation model. However, density dependence of track properties has not been investigated precisely yet. Therefore, we carried out impact experiments into silica aerogel (20 mg/cc) using projectiles of several densities in order to clarify the relation between projectile properties (size and density) and track morphology. The experiments were carried out with a two-stage light-gas gun at ISAS, JAXA. The projectiles we used were bubble glass (0.5 g/cc) polystyrene (1.06 g/cc), sintered silica (~1.3 g/cc), soda lime glass (2.5 g/cc), alumina (3.9 g/cc), and copper (8.9 g/cc). All the projectiles except for sintered silica were spherical in shape. Size of these impactors ranged from ~0.03 to ~0.1 mm in diameter and they were fired into 20 mg/cc silica aerogel at ~6 km/s to simulate the capture of Wild2 dust. All the individual impact tracks were observed with an optical microscope. The results show that track length (Lt) depends on projectile size and density while maximum track width (Dm) mainly depends only on projectile size. Therefore, aspect ratio (Lt/Dm) does not change with projectile size, but only with projectile density. This means that when we estimate projectile properties from a track shape, Lt/Dm is a good indicator of projectile density. This can be applicable for Stardust impact tracks; densities of Wild2 dust particles are estimated by examining the relation between projectile density and aspect ratio of a track in Stardust aerogels.

PPS025-P05

会場:コンベンションホール

時間:5月23日 10:30-13:00

## 微惑星弧状衝撃波：コンドリュール形成の加熱メカニズム II Planetesimal Bow Shocks: A Heating Mechanism for Chondrule Formation II

中島 静<sup>1</sup>, 中本 泰史<sup>1\*</sup>

Shizuka Nakajima<sup>1</sup>, Taishi Nakamoto<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 東京工業大学

<sup>1</sup>Tokyo Institute of Technology

We simulated the bow shock excited around the planetesimal moving with supersonic velocity relative to the nebula gas, and examined whether dust grains are heated enough to melt and become chondrules.

Chondrules are millimeter sized spherical silicate particles that constitute up to 80% of chondrite in volume. Although they must have experienced heating and then melting to account for their spherical shapes and their textures, the heating source remains to be solved. Some kind of heating events must have happened in their formation age, about 4.56 billion years ago, because the temperature of the nebula gas was a few hundred kelvins at that time, which is too low to melt dust grains.

The shock wave heating model is the one of the ideas for the heating mechanism, which explains the observational constraints for chondrule formation properly. However, no reliable sources of shocks are still confirmed.

In this study, we focused on the planetesimal bow shock as the source of the shock. The idea of the bow shock excited by the supersonic planetesimal with respect to the nebula gas is offered by Hood (1998) and Weidenschilling et al. (1998) and the only numerical study so far for the planetesimal bow shock is conducted by Ciesla et al. (2004). They simulated the bow shocks in two-dimensional Cartesian coordinate system, regarding the planetesimal as a cylinder, and calculated the thermal history of a dust grain in one dimensional shock model by using the shock properties given by their simulation.

In order to analyze quantitatively the possibility of the planetesimal bow shock for chondrule formation, we conducted hydrodynamic simulations in axisymmetric spherical coordinate system, regarding a planetesimal as a sphere, and calculated the thermal history of a dust grain along its trajectory with various impact parameters. The flow around the supersonic planetesimal was simulated by using the ZEUS-2D code (Stones & Norman 1992) with various velocities, densities and planetesimal sizes.

As a result, we restricted the possible chondrule formation region in the gas density - gas relative velocity parameter space. In addition, we found the possible impact parameter range in which dust grains could melt. By using these results, we estimated the total amount of chondrules that could be made by planetesimal bow shocks. About one earth mass of dust grains could be heated to melting point by bow shocks under the scenario that supersonic planetesimals with high eccentricity was excited by Jovian resonances (Marzari & Weidenschilling 2002). We concluded that the planetesimal bow shocks are still possible chondrule formation site.

キーワード: 微惑星, 衝撃波, コンドリュール

Keywords: planetesimal, shock wave, chondrule

PPS025-P06

会場:コンベンションホール

時間:5月23日 10:30-13:00

## 乳酸水溶液の円偏光紫外線照射実験：光安定性、ラセミ化、不斉分解 UV-CPL irradiation experiment of lactic acid: photostability, racemization, and asymmetric decomposition

蔡 承亨<sup>1\*</sup>, 藪田ひかる<sup>1</sup>, 阿達正浩<sup>2</sup>, 全炳俊<sup>2</sup>, 加藤政博<sup>2</sup>

Shoko Sai<sup>1\*</sup>, Hikaru Yabuta<sup>1</sup>, Masahiro Adachi<sup>2</sup>, Heishun Zen<sup>2</sup>, Masahiro Katoh<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 大阪大学, <sup>2</sup> 分子科学研究所 (極端紫外光研究施設)

<sup>1</sup>Osaka University, <sup>2</sup>UVSOR

序論: Cronin and Pizzarello (1997) によって炭素質コンドライト中にL型アミノ酸の過剰が検出されて以来、宇宙に不斉の起源を求める研究が発展している。特に、星形成領域における円偏光の発見 (Bailey, 1998; Fukue, 2010) に伴い、アミノ酸またはアミノ酸前駆物質の円偏光照射実験によるエナンチオマー過剰の検出が盛んに行われてきた (Takano et al. 2007; Takahashi et al. 2009)。しかし、円偏光による不斉の発現機構やその物理化学、またアミノ酸以外の宇宙有機物の不斉発現可能性については、あまり研究が行われていない。近年、炭素質隕石中に乳酸のL型過剰 (3-12%) が検出された (Pizzarello, 2010)。そこで本研究では、乳酸の不斉の原因に関連付けるための基礎研究として、乳酸水溶液の円偏光紫外線照射実験を行った。

実験: D/L 比が 1:1 の DL 乳酸水溶液 0.02 mM、D-乳酸水溶液 0.01 mM、L-乳酸水溶液 0.01 mM を調製した。各試料を 4 ml ずつ石英セルに加え、円偏光紫外線照射実験を行った。光源には、分子科学研究所、極端紫外光研究施設 (UVSOR) BL5U の自由電子レーザーから発生する左・右円偏光を用いた。波長 215nm、10 - 200mWh のエネルギーで照射を行った。実験後、照射試料水溶液の 100  $\mu$ l を高速液体クロマトグラフィー (HPLC) /UV 検出器 (254 nm) で測定した。乳酸の光学異性体を分割するために、D-ペニシラミンを ODS シリカに化学結合させたキラル配位子交換型 HPLC 用カラム (SUMICHIRAL, OA-5000) を用いた。溶離液には硫酸銅水溶液 1 mM を用いた。クロマトグラムにおける試料ピークの保持時間およびピーク面積を、標準物質と比較することによって、同定・定量を行った。

結果と考察: いずれの試料についても、照射エネルギーが高くなるにつれて乳酸の濃度は指数関数的に減少し、乳酸の光分解が進行していることが示唆された。100 mW 照射後の乳酸濃度は出発濃度の 1% を下回り、ほとんど消失していた。左・右円偏光で濃度の減少傾向は見られなかった。また、D-乳酸にそれぞれ左・右円偏光を照射すると、L-乳酸が生じ、照射エネルギーが高くなるにつれて D/L 比が 1:1 に近づくことが見出された。L-乳酸の照射についても同様にその逆の結果が見られた。この現象は、照射する円偏光の左右に関係なく見られたことから、紫外線によって乳酸分子が脱プロトン化され、立体構造が失われた状態に再びプロトンが結合する、ラセミ化が進んでいると考えられる。ラセミ化は DL 乳酸でも起こっているはずである。以上をまとめると、乳酸は、円偏光照射により光分解、不斉分解、ラセミ化が同時に進み、最終的にあるエナンチオマー過剰率に収束すると考えられる。本研究では、DL 乳酸の円偏光照射後、D/L 比にわずかな変化を見出すことができた。このエナンチオマー過剰率が有意な値であるか誤差であるかを判別するのは、現段階では難しかった。もし有意な値であれば、円偏光は乳酸においても最初の微小な不斉を誘発するきっかけとなった可能性が考えられ、アミノ酸に関する先行研究 (Flores et al. 1977) と調和的な結果といえる。

### 参考文献:

- Cronin J. R. and Pizzarello S. 1997. *Science* 275, 951-955.
- Takano et al. 2007. *Earth Planet. Sci. Lett.* 254, 106-114.
- Takahashi et al. 2009. *Int. J. Mol. Sci.* 10, 3044-3064.
- Pizzarello S. 2010. *Geochim. Cosmochim. Acta* 74, 6206-6217.
- Bailey J. et al. 1998. *Science* 281, 672-674.
- Fukue T. et al. 2010. *Orig. Life Evol. Biosph.* 40, 335-346.
- Flores et al. 1977. *JACS* 99:11, 3622-3625.

キーワード: ホモキラリティー, 円偏光, 乳酸, 光安定性, ラセミ化, 不斉分解

Keywords: homochirality, circular polarized light, lactic acid, photostability, racemization, asymmetric decomposition