

彗星および氷に富む天体における初期水質変成作用による無機物-有機物共進化

Evolution of inorganic and organic matters during the early stages of aqueous activity in a cometary body recorded in Antarctic micrometeorites

*野口 高明²、藪田 ひかる³、伊藤 正一⁴、光成 拓也、坂本 直哉⁵、大久保 彩¹、岡崎 隆司⁶、中村 智樹⁷、橘 省吾⁸、寺田 健太郎³、海老原 充⁹、今栄 直也¹⁰、木村 眞¹¹、永原 裕子¹

*Takaaki Noguchi², Hikaru Yabuta³, Shoichi Itoh⁴, Takuya Mitsunari, Naoya Sakamoto⁵, Aya Okubo¹, Ryuji Okazaki⁶, Tomoki Nakamura⁷, Shogo Tachibana⁸, Kentaro Terada³, Mitsuru Ebihara⁹, Naoya Imae¹⁰, Makoto Kimura¹¹, Hiroko Nagahara¹

1.東京大学大学院理学系研究科地球惑星科学専攻、2.九州大学基幹教育院、3.大阪大学宇宙地球科学専攻、4.京都大学理学研究科地球惑星科学専攻、5.北海道大学創成研究機構、6.九州大学理学研究院地球惑星科学専攻、7.東北大学理学研究科地学専攻、8.北海道大学大学院理学院自然史科学部門、9.首都大学都市教養学部、10.国立極地研究所南極隕石ラボラトリー、11.茨城大学理学部

1.Department of Earth and Planetary Science, Graduate School of Science, The University of Tokyo, 2.Faculty of Arts and Science, Kyushu University, 3.Department of Earth and Space Science, Osaka University, 4.Department of Earth and Planetary Science, Kyoto University, 5.Creative Research Institution, Hokkaido University, 6.Department of Earth and Planetary Sciences, Graduate School of Science, Kyushu University, 7.Department of Earth Science, Tohoku University, 8.Department of Natural History Sciences, Hokkaido University, 9.Urban Liberal Arts, Tokyo Metropolitan University, 10.Antarctic Meteorite Research Center, 11.College of Science, Ibaraki University

Introduction: The interactive evolution of inorganic and organic materials is one of the hot issues of planetary science with a special interest to the search of possibility of life in planetary systems. Micrometeorites (MMs) recovered from surface snow of the Antarctica are extremely primitive, which contains ultracarbonaceous and chondritic porous MMs (CP MMs), and we have made a systematic investigation of MMs by using SEM, TEM, XANES, and SIMS to get through understanding of the evolution and interaction of inorganic and organic materials in planetary environments.

Samples and methods: We collected ~400 MMs preserved in ~300 kg snow, and selected seven porous MMs, which were embedded in annealed Au sheet with a hydraulic press in the clean room and coated by Pt, from which ~100 nm-thick FIB sections were prepared without using organic epoxy resin. The FIB sections were processed with a low voltage argon ion milling machine to minimize the damage during FIB sample preparation. Carbon-, N-, and O-XANES spectra of the FIB sections were acquired using STXM, and then, TEM observation was performed. Isotope imaging was performed for the remainder of D10IB009 CP MM pressed into a Au sheet for isotopographs of $^1\text{H}^-$, $^2\text{H}^-$, $^{12}\text{C}^{14}\text{N}^-$, $^{12}\text{C}^{15}\text{N}^-$.

Results and discussion: The MMs show evidence for very early stages of aqueous activities for both inorganic and organic components, and we recognize three stages based on mineralogy and chemistry of organic and inorganic materials. Stage I is characterized by alteration only in organic materials, but inorganic materials do not show evidence for aqueous alteration. The inorganic materials are totally anhydrous including GEMS and enstatite whiskers/platelets, which are almost identical to those in anhydrous IDPs. Organic materials in two MMs at this stage have abundant high carboxyl functionality, and one of them contains nitrile and/or nitrogen heterocyclic groups with D and ^{15}N enrichments, which are thus highly pristine. However, other two CP MMs are poorer in organic materials and show high aromaticity, which are indistinguishable from those of hydrated carbonaceous chondrites. Stage II is characterized by alteration of inorganic matter. GEMS was changed into GEMS-like amorphous silicate by hydration and oxidation, and the GEMS-like amorphous silicate in Stage II has relatively homogenous compositions than GEMS in Stage I. Nano-phase Fe metal that was abundant in the stage I was depleted, and instead, Fe-rich phyllosilicate was found

coexisting with GEMS-like amorphous silicate. Stage III is defined by the appearance of Mg-rich phyllosilicate and Mg-Fe carbonate, which indicates reactions among Fe-rich phyllosilicate in Stage II, Mg-rich olivine and pyroxene, and organic materials and/or C-bearing ice.

The MMs are porous and "freeze-dry" processes took place during and after aqueous alteration, where liquid water was sublimated. The temperature of the reaction would be kept at near zero degree C. Possible parent bodies would be comets or icy asteroids. If further aqueous alteration took place, magnetite would be formed, which is often observed as framboidal aggregates and plaquettes in IDPs. The aqueous alteration in comets and porous icy bodies differ from that in chondrite parent bodies in that it took place locally and heterogeneously. On the other hand, aqueous alteration in chondrite parent bodies took place more homogeneously due to pervasive liquid water distribution in more compact bodies.

キーワード：彗星、水質変成、無機物-有機物

Keywords: comet, aqueous alteration, inorganic-organic matter

カンラン石存在下におけるアルデヒド・アンモニアからのアミノ酸合成

Amino acid synthesis from aldehydes and ammonia in the presence of olivine

*古賀 俊貴¹、奈良岡 浩¹*Toshiki Koga¹, Hiroshi Naraoka¹

1.九州大学大学院理学研究院地球惑星科学部門

1.Department of Earth and Planetary Sciences Kyushu University

【序論】

太陽系において始原的な化学組成をもつ炭素質コンドライトには多種の地球外起源のアミノ酸が含まれている。地球生命の構成物質が地球外物質中から発見されたことから、アミノ酸は隕石有機物の中でも最も研究がなされてきた1つである。特に、炭素質隕石の水質変成度がアミノ酸の分布（例えば、 α -アミノイソ酪酸や β -アラニン）や不斉炭素をもつイソバリンのL体鏡像異性体過剰率（Lee）と相関があることが注目されている。それらは水質変成がアミノ酸生成に影響を与えることを示唆しているが、その詳細な生成機構は解明されていない。本研究では隕石母天体環境を模したアミノ酸合成実験を行い、その分布やLeeを分析して隕石アミノ酸の生成機構を解明することを目的とした。

【実験】

アンモニア/ホルムアルデヒド/アセトアルデヒドまたはケトン（100/10/1 モル比）を含む水溶液（300 μ L）をカンラン石粉末に加えて、 N_2 置換したガラスアンプル中で60°C、6~28日間加熱した（カンラン石を加えない系も実施）。反応物質の熱水抽出液を分割して、一方を6M 塩酸で加水分解した。加水分解と未加水分解画分それぞれを陽イオン交換樹脂で精製後、トリフルオロアセチル/イソプロピルエステル誘導体化を行い、ガスクロマトグラフ質量分析計で分析した。標準試料の保持時間とマスペクトルを用いてアミノ酸を同定・定量した。

【結果と考察】

炭素数5までの計16種類のアミノ酸が同定され、それらの中では炭素数2のグリシンが最も多く存在した（出発物質の炭素量に対して最大約3500 ppm）。その他には主にセリン、イソセリン、アラニン、 β -アラニン、 β -(アミノメチル)コハク酸、 β -アミノ酪酸、ホモセリン、アスパラギン酸、グルタミン酸が存在した（それぞれ最大約600, 250, 240, 240, 160, 110, 60, 60, 50 ppm）。カンラン石の存在しない加水分解画分では比較的少量のグリシン、セリン、イソセリン、アラニン、 β -アラニン、 β -アミノ酪酸（それぞれ最大約840, 30, 110, 80, 90, 90 ppm）が検出されたのに対して、カンラン石存在下の加水分解画分においては、これらほとんどのアミノ酸濃度が著しく増加した（それぞれ最大約3500, 600, 250, 240, 240, 110 ppm）。加水分解後にアミノ酸濃度が増加する特徴は隕石アミノ酸と一致している。

検出されたアミノ酸分布（ α -アミノイソ酪酸やイソバリンの未検出など）からは隕石アミノ酸生成で提案されているストレッカー反応とは異なる反応経路が示唆される。その生成機構として、ホルミルアニオンがアルデヒドとアンモニアから生成されるイミニウムカチオンに対して求核攻撃し、その後酸化を経ることで α -アミノ酸を生成する経路が考えられる。より炭素数の多いアミノ酸（ $> C_3$ ）はアルドール反応によって生成するアルデヒドを出発物質と考えると、検出された α -、 β -アミノ酸生成を網羅的に説明することができる。

カンラン石存在下におけるアルデヒド・アンモニアからのアミノ酸生成の生成機構をより詳細に解明するためには更なる研究が必要である。

キーワード：アミノ酸、炭素質コンドライト、水質変成過程、カンラン石、アルドール反応

Keywords: amino acids, carbonaceous chondrite, aqueous alteration process, olivine, aldol reaction

降着衝撃波による氷ダスト表面吸着分子の昇華：脱離エネルギーが分布を持つ場合

Thermal desorption of molecules from grain surface by accretion shocks: the effect of distribution of desorption energy

*三浦 均¹、山本 哲生²、野村 英子³、中本 泰史³、田中 今日子²、田中 秀和²、長沢 真樹子⁴

*Hitoshi Miura¹, Tetsuo Yamamoto², Hideko Nomura³, Taishi Nakamoto³, Kyoko K. Tanaka², Hidekazu Tanaka², Makiko Nagasawa⁴

1.名古屋市立大学大学院システム自然科学研究科、2.北海道大学低温科学研究所、3.東京工業大学理工学研究科、4.久留米大学医学部

1.Graduate School of Natural Sciences, Nagoya City University, 2.Institute of Low Temperature Science, Hokkaido University, 3.Graduate School of Science and Engineering, Tokyo Institute of Technology, 4.School of Medicine, Kurume University

Gravitational collapse of a molecular cloud is a transient process to form protostars and protoplanetary disks. The in-falling envelope onto the Keplerian disk often induces accretion shocks at their boundary. Recent ALMA observations suggested sublimation of various molecules, such as SO, from the icy grain surfaces (host grains) at the shocked region [1,2]. The sublimation would considerably affect the chemical environment of the nebula. The shock conditions for the sublimation were calculated numerically in a few papers [3-5]. However, these results were negative for the sublimation of molecules because the shock condition speculated from the ALMA observations is insufficient to sublime SO molecules from the host grains [4,5].

The numerical models assumed that the desorption energy of a certain molecular species is a single (average) value. However, temperature-programmed desorption (TPD) experiments indicated that the desorption energy is not well represented by a single value because of the heterogeneity of the host grain surfaces [e.g., 6]. If the desorption energy has a deviation from its average value, the sublimation from adsorption sites having smaller desorption energies may occur even by weaker shock heating. In this study, we revisit the desorption fraction when the distribution of the desorption energy is taken into consideration.

Let $f(E_d)$ be the distribution of the desorption energy, E_d , of a certain species. The fraction of molecules that have the desorption energies in a range from E_d to $E_d + dE_d$ is given by $f(E_d)dE_d$. The desorption fraction $\langle P_d \rangle$ is calculated by integrating a product of $P_d(E_d)$ and $f(E_d)$ over E_d , where $P_d(E_d)$ is the desorption probability of molecules as a function of E_d . In order to obtain $P_d(E_d)$, we numerically calculate the thermal history of host grains based on the one-dimensional plane-parallel shock-wave heating model [e.g., 7]. In addition, we assume that $f(E_d)$ is the normal (Gaussian) distribution with the mean E_{d0} and the standard deviation ΔE_d . We investigate the dependence of on ΔE_d for various shock conditions.

Let us introduce the numerical results of when molecules adsorbed on 0.1 micron-sized host grains with $E_{d0} = 2000$ K meet the accretion shock with the pre-shock gas number density of 10^8 cm^{-3} and the shock velocity of 1 km/s. When the desorption energy has no deviation ($\Delta E_d = 0$ K), we obtain $\langle P_d \rangle = 1.7 \times 10^{-9}$. $\langle P_d \rangle$ increases with the increase of ΔE_d : $= 1.7 \times 10^{-8}$, 1.7×10^{-5} , and 1.5×10^{-2} for $\Delta E_d = 100$, 200, and 400 K, respectively. The deviation of the desorption energy increases the desorption fraction of molecules by orders of magnitudes. This result suggests that molecules adsorbed on the host grains in molecular clouds can desorb more easily than that expected before.

References: [1] N. Sakai et al. (2014), Nature 507, 78. [2] H.-W. Yen et al. (2014), ApJ 793, 1. [3] D. A. Neufeld and D. J. Hollenbach (1994), ApJ 428, 170. [4] T. Aota et al. (2015), ApJ 799, 141. [5] H. Miura et al. (2015), Japan Geoscience Union Meeting 2015, abstract PPS24-11. [6] T. Hama and N. Watanabe, 2013, Chem. Rev. 113, 8783. [7] H. Miura et al. (2010), ApJ 719, 642.

キーワード：降着衝撃波、氷ダスト、衝撃波加熱、吸着分子、昇華

Keywords: Accretion shock, Icy grain, Shock heating, Adsorbed molecules, Sublimation

アルマによるTW Hya周りの原始惑星系円盤中のCOガス観測

ALMA observations of CO gas depletion in the protoplanetary disk around TW Hya

*野村 英子¹、塚越 崇²、川邊 良平³、石本 大貴^{4,1}、奥住 聡¹、武藤 恭之⁵、金川 和弘⁶、井田 茂⁷、キャサリン ウォルシュ⁸、トム ミラー⁹、バイ シューニン¹⁰

*Hideko Nomura¹, Takashi Tsukagoshi², Ryohei Kawabe³, Daiki Ishimoto^{4,1}, Satoshi Okuzumi¹, Takayuki Muto⁵, Kazuhiro Kanagawa⁶, Shigeru Ida⁷, Catherine Walsh⁸, Tom J Millar⁹, Bai Xue-Ning¹⁰

1.東京工業大学大学院理工学研究科地球惑星科学専攻、2.茨城大学理学部、3.国立天文台、4.京都大学大学院理学研究科宇宙物理学教室、5.工学院大学基礎・教養教育部門、6.シュチェチン大学、7.東京工業大学地球生命研究所、8.ライデン大学、9.クィーンズ大学ベルファスト、10.ハーバード・スミソニアン天体物理学センター

1.Department of Earth and Planetary Sciences, Tokyo Institute of Technology, 2.College of Science, Ibaraki University, 3.National Astronomical Observatory of Japan, 4.Department of Astronomy, Graduate School of Science, Kyoto University, 5.Division of Liberal Arts, Kogakuin University, 6.University of Szczecin, 7.Earth-Life Science Institute, Tokyo Institute of Technology, 8.Leiden Observatory, Leiden University, 9.Astrophysics Research Centre, School of Mathematics and Physics, Queen's University Belfast, 10.Institute for Theory and Computation, Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics

近年の赤外線・電波観測技術の向上により、原始惑星系円盤の観測的研究が急激に進展している。特に大型ミリ波サブミリ波望遠鏡アルマによる高空間分解能・高感度観測は、円盤内の惑星形成領域の物理・化学構造を明らかにすると期待される。

本講演では、アルマによるTW Hyaまわりの原始惑星系円盤中の¹³C0と¹⁸O分子輝線観測の結果を報告する。¹³C0よりガス温度を求め、¹⁸Oよりガスの柱密度分布を求めた結果、COガスがCOスノーラインの内側でも非常に少ないことが明らかになった。H₂ガスとCOガスの比が星間雲と同程度と仮定すると、ガス・ダスト比は1~0.1程度になり、星間雲の典型的なガス・ダスト比100に比べると2-3桁もガスが減少していることになる。解釈としては、実際にH₂ガスがダストに比べて減少しているか、あるいはCOガスのみ減少しているかの2通りが考えられるが、ハーシェル宇宙望遠鏡によるTW Hyaまわりの円盤からのHD分子輝線観測の結果によると、H₂ガスは十分に存在すると思われる。従って、H₂ガスが減少しているわけではなく、COガスが減少していると考えられる。COスノーラインの内側でもCOガスが減少している原因としては、COがダスト表面反応により、有機分子など、より大きく蒸発しにくい分子になり、ダスト表面に留まっている可能性がある。

キーワード：原始惑星系円盤、CO分子輝線、有機分子生成

Keywords: protoplanetary disks, CO line emission, formation of organic molecules

原始惑星系円盤の化学反応計算と、赤外線分光観測によるスノーライン・C/O比分布の検出可能性
How to measure snowlines and C/O ratio distributions in protoplanetary disks using
infrared spectroscopic observations

*野津 翔太¹、野村 英子²、石本 大貴^{1,2}、本田 充彦³

*Shota Notsu¹, Hideko Nomura², Daiki Ishimoto^{1,2}, Mitsuhiro Honda³

1.京都大学 大学院理学研究科 物理学・宇宙物理学専攻 宇宙物理学教室、2.東京工業大学 大学院理工学研究科 地球惑星科学専攻、3.久留米大学 医学部 物理学教室

1.Department of Astronomy, Graduate School of Science, Kyoto University, 2.Department of Earth and Planetary Science, Tokyo Institute of Technology, 3.Department of Physics, School of Medicine, Kurume University

原始惑星系円盤(以下、"円盤")は、比較的単純な分子種(e.g., H₂O, CO, CO₂, HCN)から複雑な有機物(COMs)まで様々な分子種を含む。最近ではSpitzer宇宙望遠鏡や、地上の大型望遠鏡(e.g., VLT, Keck)による赤外線分光観測などで、比較的単純な分子種の様々な輝線が検出され始めている (e.g., Pontoppidan et al. 2010a&b, Mandell et al. 2012)。

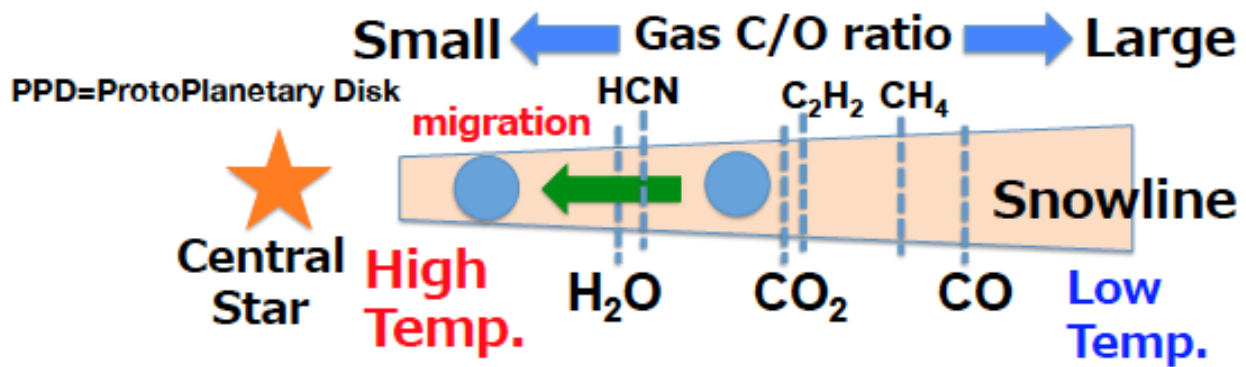
円盤はほぼケプラー速度で回転しているため、円盤から放射される輝線はドップラーシフトを受け広がっている。この輝線のプロファイル形状の解析から、輝線放射領域の中心星からの距離の情報が得られる。これまで我々は、円盤の化学反応ネットワーク計算と放射輸送計算の手法を用いて、H₂O輝線プロファイルの観測から円盤内のH₂O分布、特にH₂Oスノーラインを同定する可能性を調べてきた。その結果、アインシュタインA係数が小さく、励起温度が高いH₂O輝線を用いた高分散分光観測を実施する事で、H₂Oスノーラインの位置を同定できる可能性が示されている(Notsu et al. 2016a, ApJ submitted & 2016b in prep.)。

ここで円盤内では凝結温度の違いにより、分子種ごとにスノーラインの位置は異なると考えられる。その為、円盤ガス・ダスト中のC/O比は、中心星からの距離に応じて変化すると考えられる。例えばH₂Oスノーラインの外側では、多くの酸素がH₂Oの形でダスト表面に凍結する一方、炭素の多くはCOなどの形で円盤ガス中に留まるので、ガス中でC/O比が大きくなる。また、近年系外惑星大気のC/O比が測定され始めているが(e.g., Madhusudhan et al. 2014)、円盤と惑星大気のC/O比を比較する事で、惑星形成理論に制限を加えられる事が示唆されている(e.g., Oberg et al. 2011)。

そこで我々は、これまでの化学反応計算を発展させ、円盤ガス・ダスト中のC/O比や、比較的単純かつ主要な分子種(e.g., H₂O, CO, CO₂, HCN) の組成分布を調べている。同時に放射輸送計算も進め、C/O比などを同定するのに適した輝線の調査を進めている。その結果、同じ分子種のアインシュタインA係数(放射係数)や励起温度が異なる輝線を使う事で、円盤内の異なる領域のC/O比に制限を加えられる事が分かってきた。例えばHCNの場合、3μm帯の輝線では円盤外側、14μm帯の輝線では円盤内側の構造に迫る事が可能である。これは14μm帯の輝線の方が3μm帯の輝線と比べ、ダストの吸収係数が小さく励起温度が低いため、円盤内側のHCNガスが豊富な領域を追う事が出来るからである。本発表ではまずT-Tauri円盤の場合の解析結果を中心に報告し、将来の近-中間赤外線の分光観測 (e.g., TMT/MICHI, SPICA) との関係についても議論する。また時間の許す範囲で、Herbig Ae星の場合の解析結果の報告と議論も行う。

キーワード：スノーライン、原始惑星系円盤、化学反応計算、C/O比、赤外線分光観測、惑星形成

Keywords: snowline, protoplanetary disk, chemical reactions, C/O ratio, infrared spectroscopic observation, planet formation



There are radial dependences of Gas & Dust
C/O ratio in Protoplanetary disks.

e.g., Pontoppidan et al. 2014

鉄基板上でのFT型触媒反応実験における反応効率の温度依存性

Temperature dependence of reaction efficiency in the Fischer-Tropsch-type catalytic reaction on an iron substrate

*木村 勇気¹、佐藤 理佳子¹、土山 明²、永原 裕子³、羽馬 哲也¹、日高 宏¹、渡部 直樹¹、香内 晃¹

*Yuki Kimura¹, Rikako Sato¹, Akira Tsuchiyama², Hiroko Nagahara³, Tetsuya Hama¹, Hiroshi Hidaka¹, Naoki Watanabe¹, Akira Kouchi¹

1.北海道大学低温科学研究所、2.京都大学、3.東京大学

1.Institute of Low Temperature Science, Hokkaido University, 2.Kyoto University, 3.University of Tokyo

Fischer-Tropsch type catalytic reaction has been believed to be one of simplest and most fundamental formation processes of organic molecules, which dominantly occurred on the surface of cosmic dust particles, such as iron, magnetite, amorphous iron silicate and graphite, in the period from the late stage of molecular cloud to the solar nebula. Experimental approaches to find the environment, where catalytic reaction was progressed efficiently, have been attempted in laboratories [1-5]. In the experimental studies, organic molecules ranging from methane (CH_4), ethane (C_2H_6), benzene (C_6H_6) and toluene (C_7H_8), to more complex species such as acetone ($\text{C}_3\text{H}_6\text{O}$), methyl amine (CH_3NH_2), acetonitrile (CH_3CN) and N-methyl methylene imine (H_3CNCH_2) have been produced at temperature above 573 K and relatively high pressure (10^5 Pa). In case of actual environment in the early nebula environment, the temperature and pressure should be below 500 K and under 10^2 Pa, respectively. It is not obvious that the results of the reaction experiments are able to extrapolate to the actual early nebula environment. Therefore, we newly developed an experimental system to test the catalytic chemical reactions in the lower temperature (100-800 K) and pressure (10^{-3} - 10^0 Pa) using an iron substrate. Our experimental system has a temperature-controlled substrate, a Fourier transform infrared spectrometer (FT-IR), and two quadrupole mass spectrometers (Q-MSs). Although FT-IR is able to measure the vibration modes of adsorbed and produced molecules on the surface, we have not been used it during the first experiment at higher temperature. We found a strong signal of mass 20 in the Q-MSs spectra in a continuous gas flow of a mixture gas of D_2 and CO. The intensity of the signal decreases as temperature decrease from 800 to 400 K and becomes weaker than the detection limit below 300 K. The mass 20 corresponds to D_2O and CD_4 , which are first products in the Fischer-Tropsch type reaction. In our presentation, the detail results using iron substrate will be presented as a function of temperature.

References

- [1] H. G. M. Hill, J. A. Nuth, *Astrobiology*, 3 (2003) 291.
- [2] J. A. Nuth, N. M. Johnson, S. Manning, *The Astrophysical Journal*, 673 (2008) L225.
- [3] N. M. Johnson, M. McCarthy, J. A. Nuth III, *45th Lunar and Planetary Science Conference*, (2014) 2702.
- [4] J. A. Nuth, Y. Kimura, C. Lucas, F. Ferguson, N. M. Johnson, *The Astrophysical Journal Letters*, 710 (2010) 98.
- [5] Y. Kimura, J. A. Nuth, N. M. Johnson, K. D. Farmer, K. P. Roberts, S. R. Hussaini, *Nanoscience and Nanotechnology Letters*, 3 (2011) 4.

キーワード：触媒反応、有機分子、実験

Keywords: catalytic reaction, organic molecule, experiment

宇宙電波観測による低質量星形成領域L1527における炭素鎖分子HC₃Nの¹³C同位体比の精密決定
 The precise determination of the ¹³C isotopic ratios for carbon chain molecule HC₃N in the low-mass star forming region L1527 by radio observations

*荒木 光典¹、高野 秀路²、坂井 南美³、山本 智⁴、小山 貴裕¹、久世 信彦⁵、築山 光一¹

*Mitsunori Araki¹, SHURO TAKANO², NAMI SAKAI³, SATOSHI YAMAMOTO⁴, TAKAHIRO OYAMA¹, NOBUHIKO KUZE⁵, KOICHI TSUKIYAMA¹

1.東京理科大学、2.日本大学、3.理化学研究所、4.東京大学、5.上智大学

1.Infrared Free Electron Laser Research Center, Tokyo University of Science, 2.Nihon University, 3.The Institute of Physical and Chemical Research (RIKEN), 4.The University of Tokyo, 5.Sophia University

直線炭素鎖分子は、これまで暗黒星雲で観測されてきた。近年では、class 0の進化段階にある低質量星形成領域L1527でも観測されている[1]。我々は、直線炭素鎖分子の生成機構を調査するため、基本的な直線炭素鎖分子であるHC₃Nの¹³C同位体の観測を、グリーンバンク100 m望遠鏡と野辺山45 m望遠鏡を用いて行った。44-109 GHz帯の回転遷移を用い、同位体比を[H¹³CCCN] : [HC¹³CCN] : [HCC¹³CN] : [HCCCN] = 1.00 : 1.01 ± 0.03 : 1.35 ± 0.04 : 86.4 ± 2.2 (括弧内1σ誤差)と精密に決定できた。また、窒素の同位体¹⁵Nについては、同位体比 [HCC¹³CN]/[HCCC¹⁵N] = 5.26 ± 0.24 と [HCCCN]/[HCCC¹⁵N] = 338 ± 15を得ることができた。H¹³CCCNとHC¹³CCNの存在量が等しいことから、L1527では、HC₃Nは二つの等価な炭素を持つC₂H₂とC₂H₂⁺から生成することがわかった。この結果は、これまで同位体比が観測された暗黒星雲TMC-1と同じであった[2]。よって、HC₃Nのこの生成機構は分子雲進化における暗黒星雲からclass 0の段階まで普遍的に成り立つことが明らかになった。

[1] Sakai, N., Sakai, T., Hirota, T., & Yamamoto, S. 2008, ApJ, 672, 371

[2] Takano, S., Masuda, A., Hirahara, Y., et al. 1998, A&A, 329, 1156

キーワード：電波、炭素鎖分子、同位体

Keywords: radio, carbon chain molecule, isotopic ratio

低温光化学反応による分子雲での有機物形成・進化

Formation and evolution of molecular cloud organic matter: Thermal and photo-irradiation effects

Piani Laurette¹、*橘 省吾¹、羽馬 哲也²、菅原 いよ¹、大場 康弘²、田中 秀和²、木村 勇氣²、三宅 亮³、松野 淳也³、土山 明³、塚本 尚義¹、香内 晃²

Laurette Piani¹、*Shogo Tachibana¹、Tetsuya Hama²、Iyo Sugawara¹、Yasuhiro Oba²、Hidekazu Tanaka²、Yuki Kimura²、Akira Miyake³、Junya Matsuno³、Akira Tsuchiyama³、Hisayoshi Yurimoto¹、Akira Kouchi²

1.北海道大学大学院理学研究院自然史科学専攻地球惑星システム科学分野、2.北海道大学低温科学研究所、3.京都大学大学院理学研究科地球惑星科学専攻地質学鉱物学教室

1.Department of Natural History Sciences, Hokkaido University, 2.Institute of Low Temperature Science, Hokkaido University, 3.Department of Geology and Mineralogy, Graduate School of Science, Kyoto University

Simulation experiments on UV-photochemistry of molecular cloud ice have shown that complex organic matter remains as a residue after warming up to room temperatures [e.g. Greenberg, 2002]. These compounds could be the precursors of a part of the organic matter found in comets and meteorites, but it is not clear how the organic-bearing ice formed in the ISM may have evolved through temperature increase and irradiations by UV-photons and cosmic rays until their incorporation into Solar System bodies.

We developed an experimental apparatus called PICACHU, an acronym for Photochemistry in Interstellar Cloud for Astro-Chronicle in Hokkaido University [Piani et al., 2014] in order to simulate the formation and evolution of ice and organic residues through UV irradiation and heating. Typical ISM gases (a mixture of H₂O, CO, NH₃, and CH₃OH) were deposited onto the substrate cooled down to ~12 K and simultaneously irradiated by UV photons under high vacuum. Gases, desorbed from the ice during heating and post-irradiation, were monitored by a quadrupole mass spectrometer (QMS). In-situ observation of the deposited ice during warm-up and/or irradiation was also made with an optical microscope. A part of the organic residues formed by warming-up was re-irradiated with UV photons at room temperature. The residual organic materials were examined with a laser microscope, an atomic force microscope, a field-emission secondary electron microscope and transmission electron microscopes. Viscoelastic measurements were performed with a nano-indentation technique.

During the warming-up of the UV-photoprocessed ice (H₂O:NH₃:CH₃OH = 2:1:1, 5:1:1, 10:1:1 and, 2:1:0), we observed the deformation of ice film and the formation of bubbles at ~ 65 -140 K, which was not observed for non-irradiated ice. The formation of bubbles was associated with outbursts of gases mostly composed of hydrogen. The formation of bubbles indicates that the ice at low temperature behaves like a supercooled liquid.

The organic residue irradiated by UV-photon (~ 10¹⁴ photons cm⁻² s⁻¹) at room temperature for 3-10 days, which corresponds to ≤10⁴-year irradiation in diffuse clouds, showed a significant morphological change from the residues with no room-temperature UV irradiation. The porosity and roughness of the residue increased and discrete and round nanoparticles were observed that may be similar to some nanoglobules found in meteorites. Viscoelastic properties were also changed by the room-temperature UV-irradiation, indicating that organic-coating on inorganic dust could play as efficient glue on dust aggregation but, at the same time, could also enhance the aggregate brittleness.

キーワード：分子雲、有機物、光化学反応

Keywords: molecular cloud, organic matter, photochemical reaction