

# 宇宙の塵の化学：原子から分子・星・惑星系へ

HAMA Tetsuya

羽馬 哲也

北海道大学低温科学研究所 助教

KOUCHI Akira

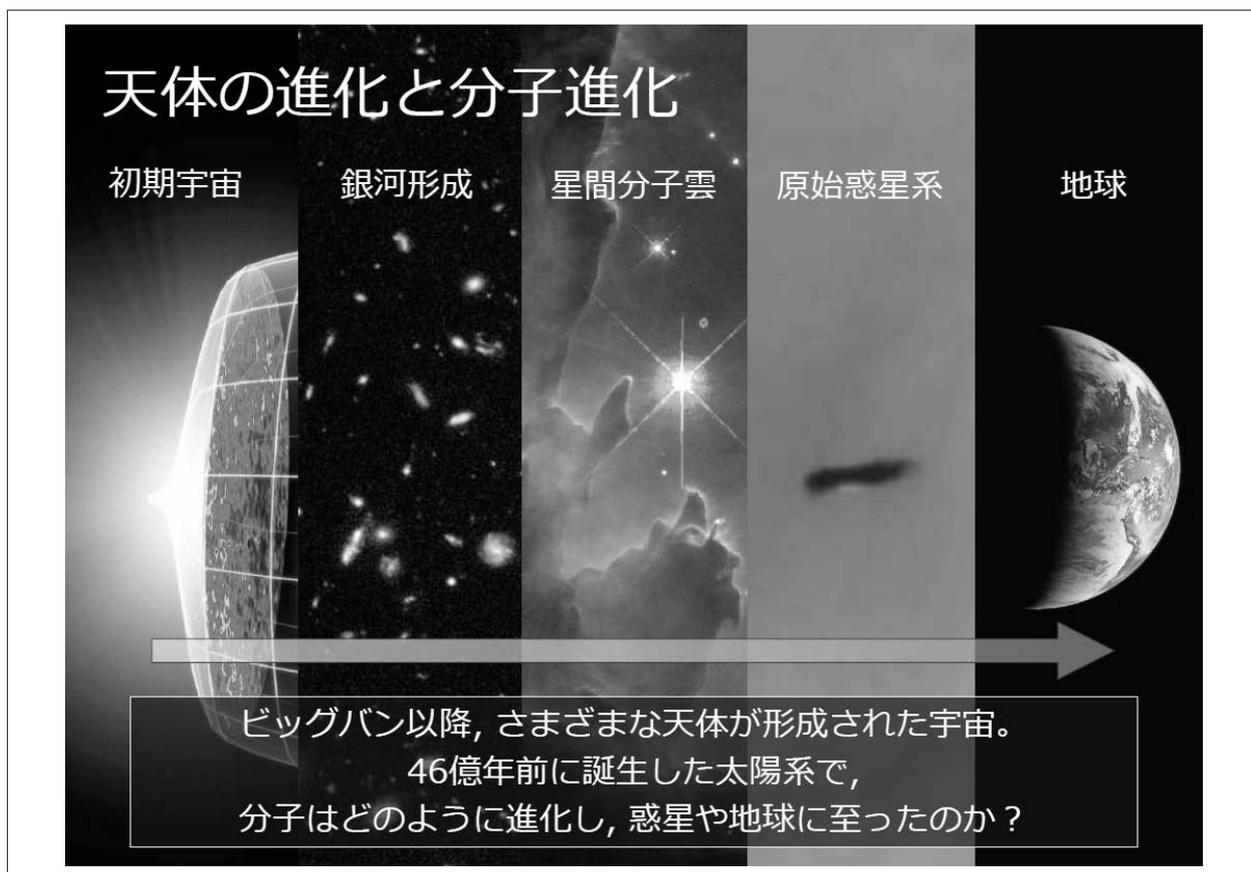
香内 晃

北海道大学低温科学研究所 教授

WATANABE Naoki

渡部 直樹

北海道大学低温科学研究所 教授



口絵 21 ページ参照

「天文学」という言葉を見聞きしただけでは、化学とどのような関係があるのかを想像することは難しいかもしれない。しかし、星間空間<sup>\*1</sup>には、水素分子 ( $H_2$ ) をはじめ、一酸化炭素 ( $CO$ )、水 ( $H_2O$ )、二酸化炭素 ( $CO_2$ )、アンモニア ( $NH_3$ )、メタノール ( $CH_3OH$ ) など、およそ 200 種類にも及ぶ分子やイオンが存在することが明らかにされており、より複雑な分子の存在も示唆されている。「星間空間には、なぜこれほど多種多様な分子が存在するのか？これらはどのような化学反応によって生成したのか？」を理解することは、宇宙における物質の進化や星形成の解明の手がかりとなる。そのため現在、天文学と化学とのあいだで盛んに共同研究が進められている。ここでは星形成の場となる「星間分子雲」の化学について紹介する (図 1)。

恒星から放出された原子は、軽いもの ( $H, C, N, O$ ) はそのまま原子のガスとして、重いもの ( $Mg, Si$  など) は

凝集して鉱物 ( $Mg_2SiO_4$ ) の星間塵<sup>\*2</sup>として、星間空間を漂っている。これらのガスや星間塵が集まり、比較的高密度になった領域 ( $H_2$  の数密度にして  $10^4 \sim 10^5$  個  $cm^{-3}$ ) を星間分子雲という。星間分子雲は非常に低温な環境であるため ( $-263^\circ C, 10 K$ )、化学反応は起こりにくいと考えられていた。しかし近年、星間塵の表面反応が注目されている。10 K では、 $H, C, N, O$  といった軽い原子も星間塵に吸着する。そのため星間塵は良い反応場となり、触媒のような役割を果たす。星間塵を覆うアモルファス<sup>\*3</sup>  $H_2O$  氷や固相の有機分子は、この表面反応によって生成されたものである。この星間塵が、彗星や惑星など太陽系を構成する材料物質になったと考えられている (図 2~4)。

このように、宇宙でどのようにして原子が分子に、そして分子が星や惑星系に進化するのかを知るには、化学的視点で考えることが極めて重要となる。



図1 オリオン座の馬頭星雲 (Credit and copyright : N. A. Sharp/NOAO/AURA/NSF.) : 馬の頭のように見えることから名づけられた代表的な星間分子雲の一つ。馬頭星雲が黒く見える理由は、多量の星間塵が背後の星からの光を遮っているためである。この星間分子雲がさらに重力で収縮することで星や惑星系が誕生する。太陽系はそのようにして形成された惑星系のひとつである。

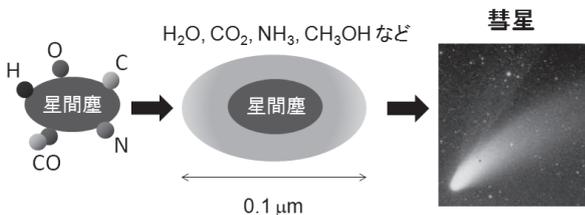
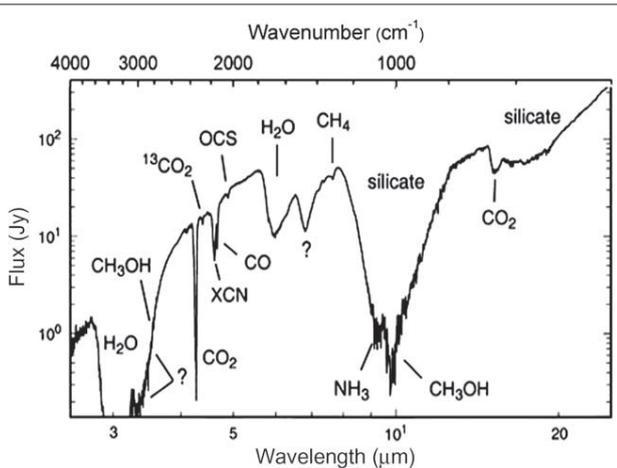


図2 星間分子雲の赤外スペクトル (上図) と星間塵の化学進化 (下図)。星間分子雲の赤外スペクトルは、星間塵の化学組成を反映している。スペクトルから、星間塵はケイ酸塩鉱物 (シリケート,  $Mg_2SiO_4$ ) を核とし、アモルファス  $H_2O$  氷をはじめ、多様な分子で覆われていることがわかる。これらの生成には、星間塵に吸着した原子や分子の化学反応や光反応が重要となる。星間塵の化学組成は、彗星の化学組成と似ているため、彗星は星間塵が凝集してできたものだと考えられている。Reprinted from Progress in Surface Science, 83, Watanabe and Kouchi, Ice surface reactions: A key to chemical evolution in space, 439-489, Copyright (2008), with permission from Elsevier.

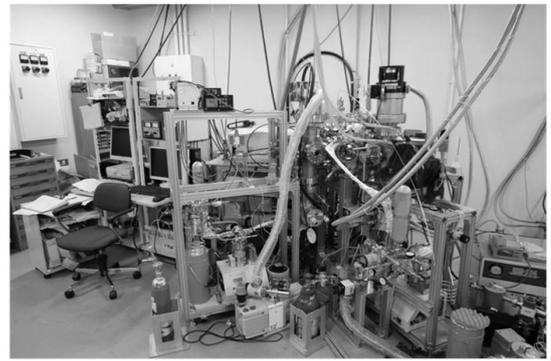


図3 実験装置：星間塵の表面反応を模擬するために、超高真空装置の中に  $-263\text{ }^\circ\text{C}$  まで冷却できる金属基板が設置されている (図4も参照)。

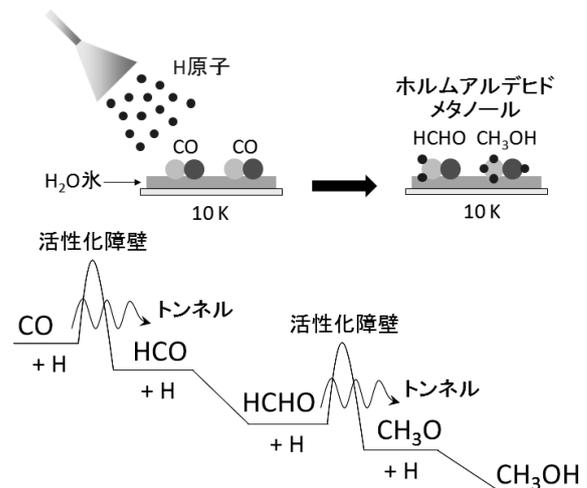


図4 星間塵表面における  $HCHO$  (ホルムアルデヒド) と  $CH_3OH$  (メタノール) の生成：実験装置内の基板に  $H_2O$  と  $CO$  の氷を作製し、 $H$  原子を照射すると、ホルムアルデヒドとメタノールが生成する。この反応には、中間体の  $HCO$  と  $CH_3O$  の生成に大きな活性化障壁があり、低温では進まないと考えられてきた。しかし、 $H$  原子が量子トンネル効果により活性化障壁を透過することで、効率良く反応が進むことがわかった。

参考文献

- i) 渡部直樹, 香内 晃, 白木隆裕, 長岡明宏, 日高 宏, 日本惑星科学会誌 2004, 13, 226.
- ii) T. Hama, N. Watanabe, *Chemical Reviews* 2013, 113, 8783.

用語解説

- \*1 星間空間：星と星との間の宇宙空間。星間塵とガスからなる。
- \*2 星間塵：星間空間に存在する微粒子。
- \*3 アモルファス：結晶構造をもたないこと。非晶質ともいう。

[連絡先] 060-0819 北海道札幌市北区北19条西8丁目 (勤務先)