

宇宙の氷微粒子における原始有機分子合成のレシピが明らかに

～宇宙における分子の進化解明に大きな前進～

ポイント

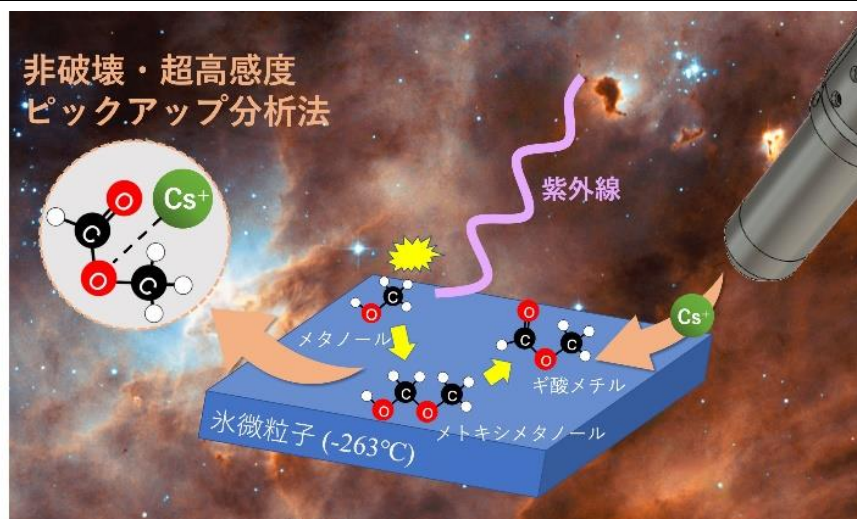
- ・ 超高真空・極低温の擬似的な宇宙環境下で氷表面に存在する微量の有機分子の分析に成功。
- ・ 宇宙のさまざまな環境で観測されている原始的な有機分子ギ酸メチルの材料と合成の手順を解明。
- ・ 宇宙における有機分子生成の全容解明への道筋になることが期待。

概要

北海道大学低温科学研究所の渡部直樹教授，日高 宏助教，同大学院理学院博士後期課程の石橋篤季氏らの研究グループは，新たに開発した極低温氷表面の非破壊・超高感度分析装置を用い，星や惑星誕生以前の宇宙空間に浮遊する極低温の氷微粒子上で生じる，原始的な有機分子合成の様子を詳細に観測することに成功しました。

極低温の宇宙空間には生命の起源にも繋がる多くの有機分子が見つっていますが，それらがどのような材料でどのような過程を経て合成されたのか，その詳細はわかっていませんでした。研究グループはこれまでの研究から，有機分子合成には氷微粒子表面の化学反応が鍵を握ることを突き止めていましたが，今回の研究では，宇宙の様々な場所で観測されており，より複雑な有機分子の前駆体と考えられている代表的な原始的有機分子ギ酸メチル(HCOOCH_3)について，氷表面で生成される際の材料物質と合成の順序を世界に先駆けて明らかにしました。本研究の手法を用いることによって，今後，宇宙の極端環境下におけるより多くの有機分子合成のレシピが明らかになり，宇宙における分子進化の全容に迫ることが期待されます。

なお，本研究成果は，2021年10月29日（金）公開の *Astrophysical Journal Letters* 誌に掲載されました。



新たに開発した，非破壊・超高感度分析装置による氷表面分析のイメージ図。本手法を用いることで，宇宙に浮遊する極低温氷微粒子上での原始有機分子（ギ酸メチル）合成のレシピが明らかになった。背景は実際の暗黒星雲の写真。

【背景】

生物を形作る有機分子は地球にしか存在しない特有のものでしょうか？惑星や恒星は、ガスと氷微粒子からなる暗黒星雲^{*1}と呼ばれる冷たい宇宙空間（-263°C程度）で長い間かけて形成します。近年、その暗黒星雲にはすでに多種多様な有機分子が大量に存在することがわかってきました。つまり、そこで生成した有機分子は、その後誕生する惑星や生命の起源物質と考えることができます。

では、こうした有機分子はいったいどのようにして合成されたのでしょうか？それを知ることは、地球上の複雑な有機分子へと繋がる、宇宙における分子進化（簡単な原子や分子が複雑化していく過程）の初期の歴史を紐解くことであり、人類の根源的な疑問の一つに答えることでもあります。宇宙の真空・極低温の環境では通常の化学反応は起こりにくいため、有機分子が生成するには地上にはない特殊な化学反応が必要になります。最近の本研究グループらの研究成果から、宇宙空間に浮かぶ0.0001mm程度の氷微粒子こそが有機物を初めて生成する宇宙の工場としての役割を担っていることがわかってきました。しかし、真空・極低温下の氷表面で合成される有機分子は非常に微量のため、その合成の詳細を実験で調べることは技術的に非常に困難で、これまで実現していませんでした。そのため、宇宙に観測されている有機分子合成のレシピは全くの謎でした。

【研究手法】

真空中の極低温氷表面に存在する原子や分子などを、従来の手法よりおよそ100～1,000倍の高感度で分析できるセシウムイオンピックアップ装置を開発しました。この装置では、氷表面にエネルギーの低いセシウムイオン（Cs⁺）を照射し、セシウムイオンが表面に存在する原子や分子を破壊することなく捕獲した後、質量分析器に運び込むことで表面に存在する分子の種類や量を分析することができます。これにより、これまでブラックボックスであった、氷表面で微量な有機分子が生成される際の材料物質や合成に至る反応の順序がつぶさにわかるようになりました。

本研究では、宇宙のあちこちで見つかっており、より複雑な有機分子合成の鍵となる原始的な有機分子、ギ酸メチルに着目しました。宇宙環境を再現することができる実験装置内（図1）に、擬似的な宇宙の氷微粒子（-263°C）を作製し、その表面に、多くの有機分子の種になると思われているメタノールをごく微量吸着させました。宇宙にも存在する紫外線を照射し、氷表面に生成した多種多様な原材料物質とそれらがギ酸メチルに変化する様子を開発した手法で分析しました。

【研究成果】

ギ酸メチル（HCOOCH₃）は、メタノールと水分子が紫外線で分解して生成した反応性の高いCH₃O、CH₂OH及びOHラジカルを材料とし、それらが決まった順序で反応することで合成されることがわかりました。また、合成の最終段階ではギ酸メチルに水素原子が2つ余分に付いたメトキシメタノール（CH₃OCH₂OH）という有機分子を経由することが初めて実証されました（図2）。特に重要なことは氷中の水分子を由来とするOHラジカルがないと、メトキシメタノールの合成が有効に生じなくなり、ギ酸メチルの合成もほとんど起こらなくなります。この合成のレシピはこれまでに提案されていないもので、特に氷の存在が重要であることを示す画期的なものです。また、実験結果は、宇宙の星が形成しつつある領域でのギ酸メチルとメトキシメタノールの観測量とよく整合が取れており、その有意性が天文観測からも担保されました。

【今後への期待】

宇宙で代表的な原始的有機分子の一つであるギ酸メチルの合成には、これまで多くの化学プロセスが提案されていましたが、本研究により初めて確度の高い合成のレシピが明らかになりました。同時に、合成における氷微粒子の重要性が再認識されました。開発した技術を用いることで、これから他の宇宙由来の有機分子の合成プロセスが次々と明らかになることが期待されます。人類の根源的な疑問である生命の起源に迫るための大きなツールを得たことになります。

【謝辞】

本研究は、科学研究費補助金（特別推進研究「星間塵表面における分子進化の解明：素過程からのアプローチ」課題番号：17H06087）の支援により遂行されました。ここに感謝申し上げます。

論文情報

論文名 Efficient formation pathway of methyl formate: the role of OH radicals on ice dust (氷微粒子表面におけるギ酸メチルの効率的な生成過程：OH ラジカルの役割)
著者名 石橋篤季^{1,2}, 日高 宏¹, 大場康弘¹, 香内 晃¹, 渡部直樹¹ (北海道大学低温科学研究所, 北海道大学大学院理学院)
雑誌名 Astrophysical Journal Letters (天文学の専門誌)
DOI 10.3847/2041-8213/ac3005
公表日 2021年10月29日(金)(オンライン公開)

お問い合わせ先

北海道大学低温科学研究所 教授 渡部直樹 (わたなべなおき)

T E L 011-706-5501 F A X 011-706-7142 メール watanabe@lowtem.hokudai.ac.jp

U R L <http://www.lowtem.hokudai.ac.jp/astro/index.html>

配信元

北海道大学総務企画部広報課 (〒060-0808 札幌市北区北8条西5丁目)

T E L 011-706-2610 F A X 011-706-2092 メール jp-press@general.hokudai.ac.jp

【参考図】

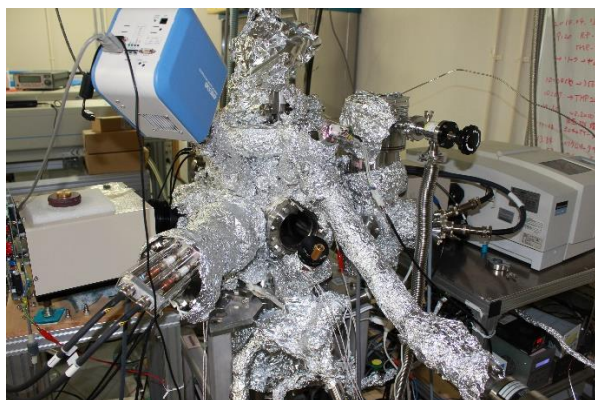


図 1. 研究に用いたセシウムイオンピックアップ実験装置。装置内は宇宙環境に近い超高真空中に保たれ、 -263°C に冷却された氷が設置されている。超高真空を実現するためには、装置全体をアルミホイルで包み、一度、 100°C 程度に加熱する必要がある。これにより、装置内壁に付着している実験の邪魔をする不純物のガスが蒸発して装置外に排気される。

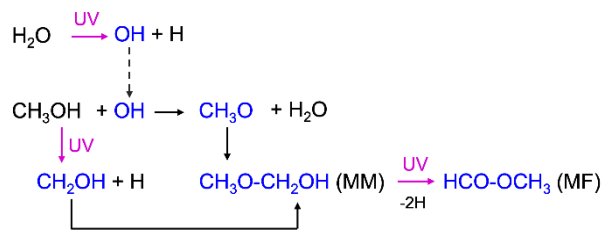


図2. 本研究で明らかになったギ酸メチル (MF) 合成のレシピ。最上部 H₂O から OH を生成する部分と右下のメトキシメタノール (MM) を経由する部分が合成のポイントとなる。

【用語解説】

*1 暗黒星雲 … 星や惑星の母胎で、周辺にまだ星が出来ていないので熱源が無く極低温になる。そこに存在する氷微粒子は有機分子より早い段階で形成し、様々な有機分子の母胎となっている。