



宇宙で最初の光学活性アミノ酸の生成経路解明

研究成果のポイント

- ・ 極低温（ -261°C ）の固体表面で、光学異性体を持つ分子の生成に初めて成功。
- ・ 宇宙で最初の光学活性アミノ酸は、暗黒星雲で生成する重水素化グリシンであることを示唆。
- ・ 科学の最大の謎の一つである分子のホモキラリティの謎を解明するカギとなる。

研究成果の概要

分子の中には、その組成は同じでも立体的に重ねることができない鏡像関係にある異性体（＝光学異性体）が存在するものがあります。北海道大学低温科学研究所では、宇宙で最初の光学異性体を持つアミノ酸が、暗黒星雲に存在する極低温（ -261°C ）の微粒子上で生成されうることを実験で確かめました。この発見は、生命を構成するアミノ酸や糖がなぜ片方の光学異性体のみで構成されるのか、という根源的な疑問に答える重要な鍵となります。

論文発表の概要

研究論文名：Chiral glycine formation on cold interstellar grains by quantum tunneling hydrogen-deuterium substitution reactions

（量子トンネル水素—重水素置換反応による極低温星間塵表面でのキラルグリシン生成）

著者：大場 康弘，渡部 直樹，香内 晃（北海道大学），長村 吉洋（神奈川工科大学）

公表雑誌：Chemical Physics Letters (Elsevier)

公表日：オランダ時間 2015年6月8日（月）（オンライン公開）

研究成果の概要

（背景）

分子の中には、同じ組成でありながら、立体的な構造の違いによって、右手・左手の関係のように鏡で映したような配置になり、互いに重ね合わせることができない異性体が存在するものがあります（図1）。これらを光学活性分子と呼びます。我々生命を構成するアミノ酸や糖もその一つですが、それらは生体内には片方の構造しか存在しません。これはホモキラリティと呼ばれています。地球上におけるホモキラリティの起源に関しては、これまでに様々な仮説が提唱されてきましたがいまだ解明されておらず、生命の起源における最大の謎の一つとなっています。さらにホモキラリティの起源だけでなく、いつ、どこで、どのようにして最初の光学活性分子が誕生したのかもわかっていません

でした。これまでの研究では、光学活性分子の生成には少なくとも -173°C 以上の環境が必要であると考えられてきたため、極低温 (-263°C) の暗黒星雲では、その生成は難しいとされていました。本研究では、アミノ酸のなかで最も単純な構造で、かつ暗黒星雲で生成されると考えられているグリシンに着目し、それが極低温で重水素原子と反応して光学活性なグリシンに変化するプロセスを検証しました。重水素を含まないグリシン ($\text{NH}_2\text{CH}_2\text{COOH}$) は光学活性ではありませんが、炭素に結合する水素の一つが重水素に置換されると、互いに立体的に重ね合わせることができない光学活性グリシン ($\text{NH}_2\text{CHD}\text{COOH}$) に変化します。

(研究手法)

低温科学研究所では、極低温の暗黒星雲環境を再現できる実験装置を開発し、その装置内におかれた金属基板上 (-261°C) でグリシンと重水素原子を反応させました。反応生成物を高分解能の質量分析計で分析し、どのような分子が生成されたかを明らかにしました (図2)。

(研究成果)

グリシンと重水素原子との反応によって、グリシンのメチレン基 (CH_2) の水素が重水素に置換され、光学活性グリシンが生成しました。この反応は高い活性化エネルギーを持つため、極低温の暗黒星雲では通常起こりえません。しかし、粒子の波動性に起因する量子トンネル効果[※]によって、 -261°C という極低温でも反応が進行することがわかりました。このようなきわめて始原的な環境で生成した光学活性グリシンは、宇宙で最初にできた光学活性分子の可能性があります。本結果は、太陽系生成に至るまでの宇宙の長い歴史の中で、かなり早い時期にホモキラリティが発現しても不思議ではないことを示しました。

(今後への期待)

生命を構成するアミノ酸や糖がなぜ片方の光学異性体のみで構成されるのかはいまだに謎です。しかし、光学活性な分子がきわめて始原的な暗黒星雲内で生成可能であることが初めて示され、ホモキラリティ発現の時期に関する知見を得ることができました。今後は光学活性グリシンが分子のホモキラリティ発現にどのような影響を及ぼすのか、実験的に解明されることが期待されます。

お問い合わせ先

所属・職・氏名：北海道大学低温科学研究所 助教 大場 康弘 (おおば やすひろ)

教授 渡部 直樹 (わたなべ なおき)

TEL : 011-706-5475 FAX : 011-706-7142

E-mail : oba@lowtem.hokudai.ac.jp (大場), watanabe@lowtem.hokudai.ac.jp (渡部)

ホームページ : <http://www.lowtem.hokudai.ac.jp/astro/>

[用語解説]

※ 量子トンネル効果

物質を粒子として扱う古典力学では、化学反応が進むためには反応物が活性化障壁 (化学反応を起こすために必要なエネルギー) を乗り越えるエネルギーが必要となる。しかし、水素原子、重水素原子など質量の小さい粒子は波動性が顕著であるため、エネルギーがなくても活性化障壁を透過して化学反応が進む。このことを量子トンネル効果という。



図1. 右手・左手構造のように立体的に重ねることができない, 光学活性分子の分子構造 (図は光学活性なグリシン重水素置換体 $\text{NH}_2\text{CHDCOOH}$)。

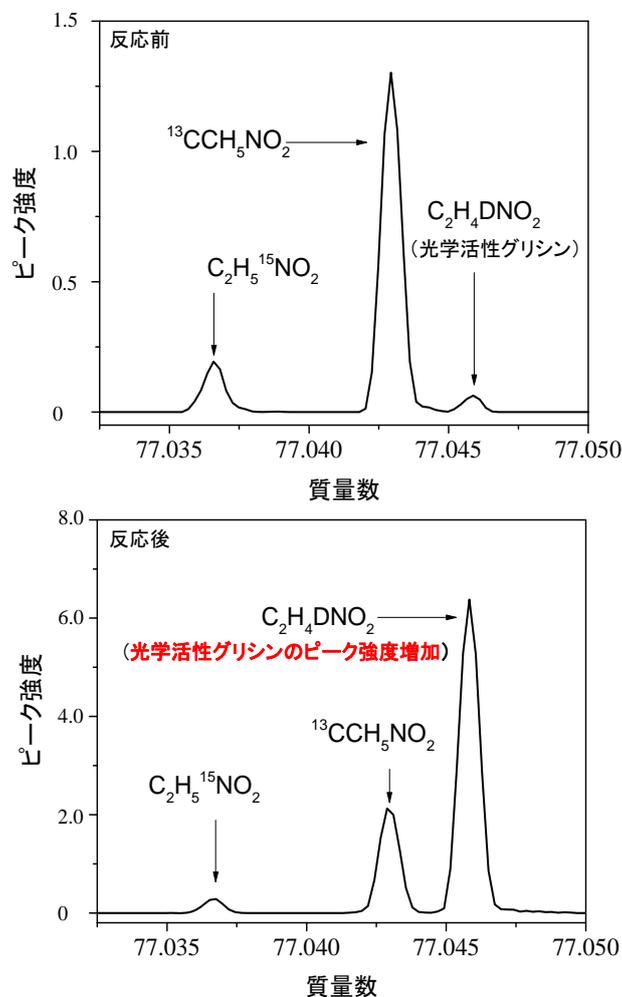


図2. 高分解能質量分析計によるサンプル分析結果。上図：重水素原子との反応前, 下図：重水素原子との反応後

光学活性グリシン $\text{NH}_2\text{CHDCOOH}$ ($=\text{C}_2\text{H}_4\text{DNO}_2$) の相対ピーク強度が, 重水素原子との反応後に増加した。これは, 重水素原子との反応で光学活性グリシンが生成したことを示している。 $^{13}\text{CCH}_5\text{NO}_2$, $\text{C}_2\text{H}_5^{15}\text{NO}_2$ はそれぞれ, 炭素の一つが同位体の ^{13}C に置換したグリシン, 窒素が同位体の ^{15}N に置換したグリシンを意味する。これらは光学活性ではない。