

報道関係者各位

国立大学法人 筑波大学
国立大学法人 東京大学大学院理学系研究科

彗星にはなぜ重い窒素が多いのか？
～なぞを解く鍵は太陽が生まれる前にあった～

研究成果のポイント

1. 太陽系物質と分子雲における窒素同位体の存在比異常が引き起こされる機構を、数値計算により、初めて明らかにしました。
2. 窒素同位体の存在比を利用して、太陽系を含め、恒星と惑星系が生まれる際の物質進化の理解がさらに進むことが期待されます。

国立大学法人筑波大学 計算科学研究センター 古家健次助教、国立大学法人東京大学大学院理学系研究科 相川祐理教授は、宇宙空間における窒素同位体の存在比異常が引き起こされる仕組みを、数値計算によって初めて解明しました。

隕石や彗星などの太陽系物質と、恒星と惑星形成の舞台である星間分子雲に含まれる分子には、窒素同位体の存在比異常が存在します。これら物質中の窒素同位体存在比は、太陽系の物質的起源について重要な情報を持つと考えられています。しかし、どのような機構で窒素同位体存在比の異常が引き起こされるかについては、これまでわかっていませんでした。

今回、数値計算によって窒素同位体の存在比異常が引き起こされる機構が明らかになったことで、今後、窒素同位体の存在比を利用して、太陽系を含め、恒星と惑星系が生まれる際の物質進化の理解がさらに進むことが期待されます。

本研究の成果は、2018年5月20日(英国時間)付「The Astrophysical Journal」誌で先行公開されました。

本研究はJSPS科研費 17K14245、16H00931の助成を受けたものです。

研究の背景

窒素は、宇宙において5番目に豊富に存在する元素であり、私たち生命にとって不可欠な元素です。通常の窒素は質量数が14ですが、太陽系の質量の大部分を占める太陽には質量数15の窒素(窒素15)がおおよそ1/440の割合で含まれています。したがって太陽系全体でも、元素としての窒素15と窒素14の存在比は1/440です。しかし、隕石や彗星など、太陽系形成時の情報を保持すると考えられる固体物質(太陽系始原物質)では、窒素15と窒素14の存在比は1/440よりも高いことが知られています。その一方で、近年、星間分子

雲における窒素同位体の観測も進められています。星間分子雲は、極めて低温(およそ -263°C)なガス塊であり(分子雲の中には星間塵^{注1}と呼ばれる固体微粒子も含まれます)、その中で新しい恒星や惑星系が生まれます。私たちが住む太陽系も、およそ 46 億年前に、分子雲の中で生まれたと考えられています。観測によって、分子雲ガスに含まれる窒素 15 と窒素 14 の存在比は、分子雲全体の元素存在比よりも低いことがわかってきました(表 1)。このような太陽系始原物質と分子雲に見られる窒素同位体の存在比の異常は、太陽系の物質的起源について重要な情報を持つと考えられています。しかし、どのような機構で窒素同位体存在比の異常が引き起こされるかについては、これまでわかっていませんでした。

研究内容と成果

希薄な星間ガスから分子雲が形成する過程において、窒素同位体を含む化学反応ネットワークモデル^{注2}の数値計算を行いました。その結果、紫外線に対する窒素分子(N_2)の自己遮蔽効果^{注3}と星間塵の表面でのアンモニア(NH_3)氷の生成により、分子雲の段階では、ガスは窒素 15 が少なく、氷を含む固体は窒素 15 が多くなることがわかりました(図1)。この状態は恒星の近くで氷の昇華が起こるまで保持されるため、元素存在比と比較して、分子雲ガスでは窒素 15 が少ないこと、および惑星系の材料となりうる固体物質では窒素 15 が多いことが同時に説明できることとなります。

今後の展開

本研究により、星・惑星系形成領域に含まれる物質の窒素同位体の存在比異常を引き起こす機構が明らかになりました。今後、窒素同位体の存在比を利用して、太陽系を含め恒星と惑星系が生まれる際の物質進化の理解がさらに進むことが期待されます。

参考図

表1 太陽系始原物質と分子雲における窒素同位体存在比の比較

	$^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ 存在比
隕石・彗星 (太陽系原始物質)	元素存在比よりも高い(^{15}N が多い)
星間分子雲 (ガス塊)	元素存在比よりも低い(^{15}N が少ない)

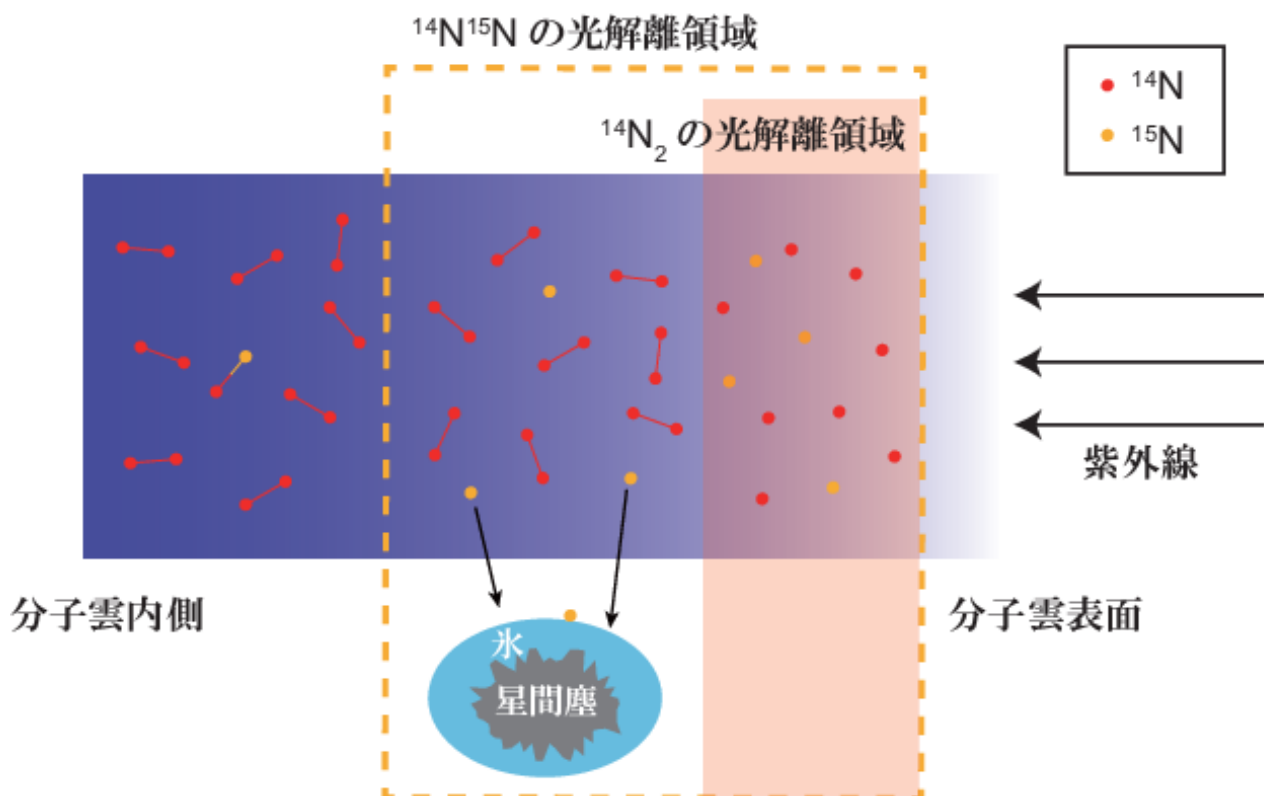


図1. 分子雲において窒素同位体の存在比異常を引き起こす機構。分子雲のガス中において、窒素は主に窒素原子あるいは窒素分子として存在しています。星間紫外線に照らされている分子雲の表面では、 $^{14}\text{N}_2$ とその同位体である $^{14}\text{N}^{15}\text{N}$ のどちらも効率的な光解離のため、安定に存在することができません。分子雲のある程度内部では、 $^{14}\text{N}_2$ は自己遮蔽効果により、光解離の効率が落ちます。その一方で、存在量の少ない $^{14}\text{N}^{15}\text{N}$ は自己遮蔽効果が効きづらく、効率的に光解離します。そのような領域では、窒素原子が星間塵表面反応により氷に取り込まれることで、ガスは窒素 15 に乏しく、氷は窒素 15 に富むようになります。希薄な星間ガスから分子雲ができる際には、ガスは必ずこのような領域を通過するため、同位体の存在比の異常は分子雲全体に及びます。

用語解説

注1. 星間塵

分子雲には星間塵と呼ばれる小さな(典型的なサイズは $0.1\ \mu\text{m}$ 程度以下)砂粒や煤のような固体微粒子が含まれます。星間塵の表面では、ガスから原子や分子が吸着し、吸着した原子、分子同士の化学反応によって、水やアンモニアなどさまざまな分子からなる氷が作られます。星間塵表面での化学反応は、分子雲における重要な分子生成メカニズムであると考えられています。また、こうして作られた氷は、やがて惑星の材料物質となる可能性があります。

注2. 反応ネットワークモデル

分子雲の中の分子ガスや氷は、化学反応や、分子の星間塵表面への吸着や昇華といったさまざまな物理的・化学的な素過程により、作られたり壊されたりします。これらの素過程を反応速度式という方程式に書き表し、方程式を解くことにより、分子雲環境下でどのような分子がどの程度存在するかを理論的に予測することができます。

注3. 窒素分子の自己遮蔽効果

窒素分子は特定の波長の紫外線を吸収すると、2 個の窒素原子に分かれます(光解離)。分子雲の表面から紫外線が入ってくるとき、窒素分子を解離する波長の紫外線は、分子雲の表面付近に存在する窒素分子に吸収されることで弱くなります。これにより、分子雲内部では、窒素分子が解離しにくくなります。これを自己遮蔽効果と呼びます。

掲載論文

【題名】 Depletion of heavy nitrogen in the cold gas of star-forming regions
(星形成領域の冷たいガス中における重い窒素の枯渇)

【著者名】 古家 健次(筑波大学計算科学研究センター)、相川 祐理(東京大学大学院理学系研究科)

【掲載誌】 The Astrophysical Journal
doi.org/10.3847/1538-4357/aab768

問合わせ先

古家 健次 (ふるや けんじ)
筑波大学 計算科学研究センター 助教