

微小重力環境を利用した星の“かけら”の再現実験

～未同定赤外バンドの解明に道～

ポイント

- ・観測ロケットを用いて、晩期型巨星で酸化アルミニウム微粒子が作られる過程の再現に成功。
- ・天体の赤外線スペクトルに見られる未同定バンドと同様の鋭いバンドの取得に初めて成功。
- ・宇宙における物質進化の理解のカギとなる、多くの未同定赤外バンドの解明に道を拓く成果。

概要

北海道大学低温科学研究所の木村勇氣准教授は、宇宙航空研究開発機構（JAXA）、東京大学、千葉工業大学と共同で、観測ロケットを用いた微小重力実験を実施して、地上実験とデータ解析を進めた結果、晩期型巨星^{*1}で酸化アルミニウム^{*2}の微粒子が作られる過程の再現に成功し、未同定赤外バンド^{*3}と同様の赤外バンドを得ることに成功しました。

すばる望遠鏡などによる天体観測で得られる赤外線スペクトルには、宇宙に存在する鉱物微粒子の情報が含まれています。そのため、赤外線スペクトルは138億年の宇宙の歴史の中で物質がどのように進化してきたのかということを理解するための強力なツールです。情報を読み解くために、現在は地球上の鉱物や実験の赤外線スペクトルが参考にされていますが、これらのスペクトルは天体観測によるスペクトルと完全には一致せず、その起源物質を明確には決められていません。

この問題に決着をつけるため、晩期型巨星の周りで生成すると考えられている代表的な微粒子である酸化アルミニウムを再現合成し、その赤外線スペクトルを取得しました。その結果、理論的には予言されていたものの、実験的には再現できていなかった鋭い赤外バンドの取得に成功しました。これは、天文学に新たな手法を提起し、多くの未同定赤外バンドの解明に道を拓く成果です。

なお、本研究成果は、英国時間2018年9月19日（水）公開のNature Communications誌に掲載されました。

【背景】

赤外線スペクトルは鉱物の指紋に例えられます。ダストと呼ばれる鉱物微粒子が吸収する赤外線の波長位置や吸収の強さは、その種類や温度、形、大きさに応じて敏感に変化するためです。そのため、赤外線スペクトルが得られれば、そこに存在している微粒子を特定することができます。

赤外線スペクトルを測定する天体観測では、どのような種類のダストが、宇宙空間のどこで、どれだけの量、どのように生成しているのかを把握し、宇宙における物質循環、ひいては我々の住む太陽系の起源を明らかにしようとしています。しかし、得られる赤外線スペクトルの特徴は、既知の鉱物や実験合成物のスペクトルとは合致せず、赤外線スペクトルの特徴を有効活用できていませんでした。

例えば、宇宙で微粒子が生成する場である晩期型巨星の赤外線スペクトルを測定すると、その波長の中で13 μ m付近に0.5～1.1 μ mの幅を持った特徴的なバンドが見られます。この起源物質として、高融点で、かつ豊富に存在する元素からなる鉱物の酸化アルミニウムが提案されています。しかし、実験から得られる酸化アルミニウムの13 μ mバンドは5 μ mを超える広い幅を示すため、確証が得られていませんでした。

【研究手法】

JAXA の観測ロケット（図 1）を用いて得られる約 8 分間の微小重力環境下で、酸化アルミニウムのガスを発生させ、冷却の過程で微粒子が生成する様子を赤外線スペクトルで測定しました。地上実験では重力による対流が生じてしまいますが、観測ロケットを用いることで、重力がほとんどない環境で対流を抑えた、より天体に近い条件で実験が行えます。実験室用に開発した「浮遊ダスト赤外線スペクトルその場測定装置」を小型化して搭載することで、宇宙ダストと同様にガスから生成する酸化アルミニウム微粒子の赤外線スペクトルを測定しました（図 2）。

【研究成果】

酸化アルミニウムの微粒子が形成する際の間中赤外領域のスペクトルを測定した結果、未同定赤外バンドと同様の 0.5 μm 程度の狭い幅を持つ 13 μm バンドの取得に成功しました（図 3）。また、13 μm バンドの出現に先立って、液滴由来の特徴が表れたことから、酸化アルミニウム微粒子はガスから直接形成するのではなく、液滴を経由する二段階の生成過程（核生成過程）を経ることがわかりました。微小重力環境を利用することで、宇宙ダストの生成過程を再現することができ、かつ、天体観測のデータと直接比較できる赤外線スペクトルを取得できることが明確になりました。

【今後への期待】

本成果は、物質進化のスタート地点である晩期型巨星でどのように宇宙ダストが生まれるのか、という根源的な問いの解明につながります。今後、他の鉱物に対して同様の実験を行うことで、宇宙ダストの生成・成長過程を同定し、物質進化のストーリーを記述できるようになることが期待されます。すなわち、宇宙ダストの形成を伴う様々な天体現象の観測データと組み合わせて、恒星風（恒星表面から吹き出すガスの流れ）の化学組成や密度、温度環境など、様々な物理・化学パラメータを決定できるようになり、当該分野に革新的な寄与を与えることが可能になります。

論文情報

論文名	Sounding-rocket microgravity experiments on alumina dust（観測ロケットを用いたアルミナダストの微小重力実験）
著者名	石塚紳之介 ¹ 、木村勇氣 ¹ 、左近 樹 ² 、木村 宏 ³ 、山崎智也 ¹ 、竹内伸介 ⁴ 、稲富裕光 ⁴ （ ¹ 北海道大学、 ² 東京大学、 ³ 千葉工業大学、 ⁴ 宇宙航空研究開発機構）
雑誌名	Nature Communications
DOI	10.1038/s41467-018-06359-y
公表日	英国時間 2018 年 9 月 19 日（水）（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 准教授 木村勇氣（きむらゆうき）

T E L 011-706-7666 F A X 011-706-7666 メール ykimura@lowtem.hokudai.ac.jp

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

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 kouhou@jimuhokudai.ac.jp

【参考図】



図 1. 実験で用いた観測ロケット S-520 30 号機。内之浦宇宙空間観測所から 2015 年 9 月 11 日に打ち上げた。その後 3 年にわたり、地上実験や、航空機を用いた微小重力実験による再現実験やデータ解析を行った。

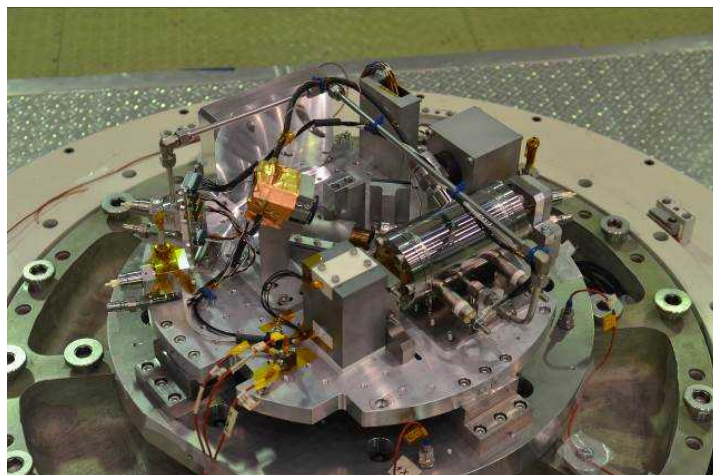


図 2. 観測ロケット S-520 30 号機に搭載した「浮遊ダスト赤外スペクトルその場測定装置」。従来は、地上で宇宙ダストの候補物質を媒質（臭化カリウム）に埋め込んで赤外線スペクトルを測定していたために、埋め込みによる微粒子の凝集や表面構造の変化などの影響を受けていた。直接スペクトルを測定できるこのような装置を用いた測定は、世界初の試み。

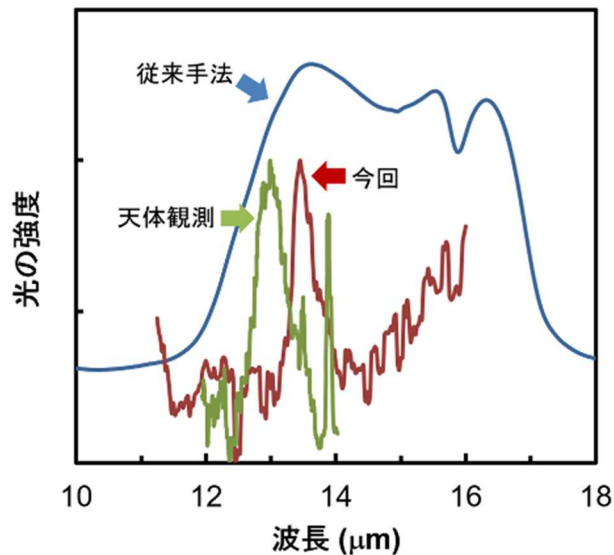


図 3. 今回の実験で得られた赤外線スペクトル（赤）と、従来手法（青）、天体観測のスペクトル（緑）との比較。13 μm バンドの幅が、従来手法に比べて非常に狭く、天体観測のバンド幅に類似していることがわかる。赤線と緑線の波長位置の左右のずれは、微粒子の形や表面状態、温度などの違いによる。

【用語解説】

- *1 晩期型巨星 … 太陽のような恒星の末期で、自身の質量をガスとして宇宙空間に放出している天体。宇宙ダスト（星のかげら）は、このガスから作られる。
- *2 酸化アルミニウム … 酸化物を作る天体の周辺で、最初に現れる波長 13 μm （マイクロメートル。1 ミリメートルの千分の一の長さ）の光の起源物質であると考えられている。
- *3 バンド … 波長ごとに光の強度を測定したときに見られる、強度の異なる特徴的な波長領域。赤外線の波長領域に見られるバンドを赤外バンドと呼び、強度変化の原因がわかっていないバンドを未同定バンドと呼ぶ。