

## H<sub>2</sub>O ice を用いた ULIRG 内部における星形成活動の探索

道井 亮介 (東京大学大学院理学系研究科)

### Abstract

本講演では、3.0  $\mu\text{m}$  H<sub>2</sub>O ice 吸収を用いた Ultraluminous Infrared Galaxy (ULIRG;  $L_{\text{IR}} > 10^{12} L_{\text{sun}}$ ) の観測について紹介する。ULIRG は銀河・星形成史において重要な役割を果たすが、大量のダストに覆われているためその内部状態を把握することが比較的難しい。従来行われていた SiO<sub>x</sub> (シリケート) の吸収や多環式芳香族炭化水素 (PAH) からの放射を用いた観測 (Spoon et al. 2006) などは星形成の母体となる低温ガス・ダスト分布の研究には不向きである。そこで 3.0  $\mu\text{m}$  に存在する H<sub>2</sub>O ice の吸収を用いると、以下の点で有利である。まず H<sub>2</sub>O ice の昇華温度はシリケートに比べ低く、低温環境を良く反映するという大きな利点がある。また吸収を観測するため、H<sub>2</sub>O ice の幾何的分布に制限がかけられることができる。さらに H<sub>2</sub>O ice の 3.0  $\mu\text{m}$  の吸収は H<sub>2</sub>O ice の持つ吸収の中で最も強い吸収を示し、従って遠方でも観測に有利である。現在これを感度よく観測できる赤外線望遠鏡は、赤外線天文衛星「あかり」の近・中間赤外線カメラ (IRC) のみである。そのため、H<sub>2</sub>O ice の観測には「あかり」を用いた観測が最適である。IRC のスペクトルから H<sub>2</sub>O ice の光学厚みが評価できるが、今後はサンプル数を拡大するとともに、H<sub>2</sub>O ice の吸収のみをより正確に抽出評価することが必要である。

## 1 イントロダクション

一般に赤外線光度は星形成率を良く反映すると考えられている。従って、この赤外線光度が太陽光度の  $10^{12}$  倍を超す銀河、すなわち ULIRG は、銀河・星形成史を理解する上で極めて重要な役割を果たす。しかし ULIRG は大量のダストに覆われており、赤外線以外の波長域では内部を見通すことが難しい。そのため、星形成の母体である低温ガスやダストがどのように分布しているかを知るためには、赤外線を用いた観測が不可欠である。

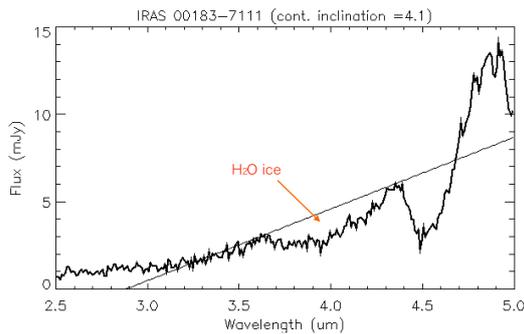
ガス・ダスト分布を議論する際には、その指標となる物質は低温かつ吸収として観測されることが重要である。それは放射では放射体さえあれば観測されるのに対し、吸収では低温の吸収体が高温光源の前景に存在することで観測されるため、被観測体の幾何構造を強く反映していると考えられるからである。赤外線を用いた ULIRG の観測例としては、シリケートの吸収や PAH の放射を用いた観測が挙げられる (Spoon et al. 2006)。ところがシリケートはその昇華温度の高さ ( $\sim 1500$  K) から低温環境に対して敏感であるとは言えず、また PAH は放射として観測され ULIRG 内部の幾何構造を良く反映している

とは言えないため、上記の条件を満たさない。従って低温ガスやダストの幾何的分布をよく知るためには、これらとは別の観測手段が必要である。

そこで挙げられるのが、H<sub>2</sub>O ice の伸縮運動に対応する 3.0  $\mu\text{m}$  の吸収を用いた観測である。H<sub>2</sub>O ice の昇華温度は  $\sim 100$  K であるから、その有無や存在量は ULIRG 内部における低温環境を非常に良く反映していると考えられる。また吸収の観測であるから、その幾何構造を推定するには適切である。さらにこの 3.0  $\mu\text{m}$  の吸収は、H<sub>2</sub>O ice が持つ振動モードや格子モードといった種々の吸収モードの中でも最も強い吸収を示す。従って遠方に存在する銀河の観測にも有利である。以上の点から、ULIRG における系統的な H<sub>2</sub>O ice の 3.0  $\mu\text{m}$  吸収観測は、ULIRG 内部構造を探索するために非常に適した方法と言える。

## 2 方法

ULIRG 内部の低温環境をトレースする指標として、3.0  $\mu\text{m}$  H<sub>2</sub>O ice の吸収を用いる。観測対象となる ULIRG は数十個存在し、その各々について H<sub>2</sub>O ice の吸収の有無及びその光学厚みを評価することを

図 1: IRAS 00183-7111 での H<sub>2</sub>O ice の吸収

考える。フラックスの連続光成分を  $F_{bg}$  とし、観測値を  $F_{obs}$  とする。背景光フラックス  $F_{bg}$  が吸収体からの放射に比べ十分強いとすると、光学厚み  $\tau$  は  $F_{bg}$  と  $F_{obs}$  を用いて次のように表せる。

$$\tau = -\ln \left( 1 - \int d\lambda (F_{bg} - F_{obs}) / F_{bg} \right) \quad (1)$$

この光学厚みを種々の ULIRG に対して求め、比較評価を行う。

### 3 観測方法

H<sub>2</sub>O ice の 3.0  $\mu\text{m}$  の吸収を見るため、赤外線天文衛星「あかり」を用いた。「あかり」に搭載された IRC のうち、波長 2–5  $\mu\text{m}$  の領域をカバーしている近赤外線カメラ (NIR) のチャンネルを用いて ULIRG を観測した。

図 1 は ULIRG の一つである IRAS 00183-7111 の例である。観測波長で示しているため、静止波長で 3.0  $\mu\text{m}$  にある H<sub>2</sub>O ice の伸縮モードの吸収は、およそ 4.0  $\mu\text{m}$  にシフトしている。連続光の内挿は、H<sub>2</sub>O ice の吸収の両端で線形近似することで行った。式 (1) を用いると、IRAS 00183-7111 では  $\tau_{3.0} = 0.55$  となる。

### 4 今後の展開

系統的に H<sub>2</sub>O ice の吸収を見るため、サンプル数を大きく拡大していく必要がある。それにより、内部

構造をより統計的に考察することが可能となる。さらに、他の観測例と組み合わせることで、サンプル数の拡大は ULIRG の構造や活動のより包括的な理解にもつながる。例えば、PAH 放射は星形成活動の結果を反映していると考えられている。従って星形成の「原料」をトレースしている H<sub>2</sub>O ice の吸収観測と組み合わせることで、星形成を包括的に捉えることができる。また § 1 で述べたような放射と吸収観測の差異を生かせば、ULIRG における星形成活動を幾何的かつ時間的に、そして系統的に捉えることができるようになる。

そのためには、H<sub>2</sub>O ice の光学厚みのより詳細な見積もりが不可欠である。例えば 3.0  $\mu\text{m}$  の H<sub>2</sub>O ice の吸収より長波長側には、3.3  $\mu\text{m}$  や 3.4  $\mu\text{m}$  に PAH の放射や炭素性の吸収が見えることがほとんどである。これを正しく評価することは、2つの意味で H<sub>2</sub>O ice の吸収の正確な評価に関わり、極めて重要である。すなわち、H<sub>2</sub>O ice の吸収との重なりの評価と連続成分の評価が  $F_{obs}$  と  $F_{bg}$  の値に直結するため、 $\tau$  の値が影響を受けるのである。

しかしながら、この評価を正しく行うことができれば、感度の良い「あかり」を用いた H<sub>2</sub>O ice の観測は ULIRG 内部環境の考察に非常に有効な手段となると考えられる。

### Reference

Spoon, H. W. W. et al., 2006, ApJ, 638, 759