

CASE 1

原始星を取り巻く 大型有機分子のリングを発見

私達の住む太陽系の環境はどのようにして作られたのか。アルマ望遠鏡の登場により、その解明に向けた観測が最近大きく進み始めている。新しく星が誕生している現場で、惑星系が作られるメカニズムや、そこでの物質進化が詳しく見えるようになってきたからである。私達は、誕生したばかりの星(原始星)を取り巻いて、メタノールやギ酸メチルなどの有機分子のガスが、リング状に分布している様子を発見した。

太陽程度の質量をもつ恒星(低質量星)は、星間ガスが自己重力で収縮してできる。この過程で、原始星の周りには回転するガスの円盤(原始星円盤)が作られ、それを母体として惑星系ができると考えられている。その形成過程は、大きく分けて2つの方法で調べられてきた。1つは、太陽系内の惑星や隕石を直接調べる考古学的方法である。そしてもう1つは、別の若い恒星を調べること太陽系の昔の姿を間接的に類推する方法である。後者のアプローチでは、長年、宇宙の遠く離れたところ(約 10^{16} km)にある恒星について、惑星系程度の大きさ(100 天文単位^{※注})のものを解像することは非常に困難であった。しかし近年、チリに設置された大型電波干渉計(アルマ望遠鏡)の活躍により、原始星円盤が作られつつある様子が詳しく調べられるようになってきた。さらに、

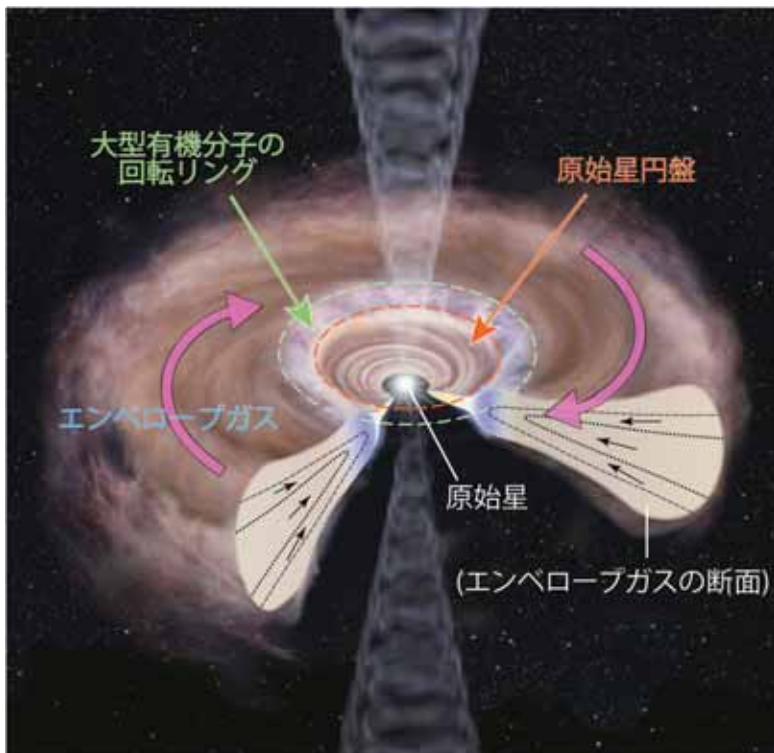
アルマ望遠鏡では様々な分子の分布を捉えられるという点で、原始星形成に伴う物質進化にも切り込むことができる。私達は、アルマ望遠鏡を使った高解像度観測により、原始星を取り巻くガスの物理的・化学的構造を調べた。

観測した天体は、へびつかい座にある低質量原始星 IRAS 16293-2422 A である。電波望遠鏡による観測では、分子の回転スペクトル輝線を見ることで、ガスの化学組成がわかるばかりでなく、ガスの運動も詳細に知ることができる。それは、ガスの運動によって、スペクトル線の周波数がドップラー効果を受けるためである。観測の結果、この原始星を取り巻くガスの構造は、回転する原始星円盤(半径 50 天文単位)と、その外側から落ち込んでくるエンベロープガスから成ることがわかった(図)。さらに、原始星から半径 50 天文単位の位置にメタノールやギ酸メチルといった飽和有機分子が集中的に分布している様子が捉えられた。この位置は、ちょうど原始星円盤とエンベロープガスの境界面にあたる。星間塵を含むガスが原始星円盤の端に落下・衝突する際に、星間塵に付着していた有機分子が蒸発したものとみられる。これまでこの天体は飽和有機分子を豊富に含むことが知られていたが、その分布と起源は不明であった。本研究は、星間空間で作られた有機分子が確かに原始星円盤までもたらされていることを、観測的に初めて明らかにした点で大きな注目を集めている。この成果は、惑星系の物質的な起源、ひいては生命を育むに至った地球環境の起源に迫る上で、重要な鍵になるであろう。

本研究は、Y. Oya *et al.*, *Astrophysical Journal* 824, 88 (2016) に掲載された。

(2016年6月20日プレスリリース)

※注：1 天文単位は地球と太陽の間の平均距離 (1.5×10^8 km) を表す。



原始星を取り巻くガスの構造。原始星を中心に、扁平な原始星円盤とエンベロープガスが回転している。原始星円盤とエンベロープガスの境目に、飽和有機分子のガスがリング状に分布している。

CASE 2

新しい氷の姿
〜秩序と無秩序のはざままで

およそ人類が手にとることのできる物質の中で、氷ほど豊かな多形を持つものはない。現在まで、実に17種類以上もの異なる「氷」が発見されており、冷凍庫でできる普通の氷は、そのうちの1種類に過ぎないのである。そして、それら多形の一つ一つに数多くの未解決問題が残されている。今回私たちは、低温高圧下で存在する15番目の氷の結晶構造を再検討し、水中の水素が部分的に秩序配列した構造を持つことを突き止めた。この部分秩序構造は、他の種類の氷でも見つかる可能性があり、今後氷の性質を理解する鍵になるかもしれない。

水は0℃以下で氷になる*。しかし、これが常識として通用するのは、1気圧の世界においてのみである。圧力を上げると徐々に氷の融点は下がるが、0.21 GPa (大気圧のおよそ2000倍)より圧力が高くなると逆に上昇に転じる。今から100年以上も前、この事実を発見したG. タンマン (Gustav Tammann) は、融点の折れ曲がり異なる構造を持つ氷の出現によるものと捉え、氷II相および氷III相を発表した。以降、到達可能な温度・圧力領域の拡大、原子配列を精密に捉える測定技術の発展と足並みを揃えるように、新たな氷が発見され続け、現在では17種類以上もの氷の多形が知られるようになった。

なぜ、氷はこれほど多くの多形を持つことができるのだろうか。その答えの一つを氷の持つ水素結合の性質に求めることができる。氷の中のある一つの水分子から見ると、隣の水分子と4本の水素結合を持ち、そのうち2つが中心の酸素に配位し、もう2つが隣の酸素に配位している。一つの水分子だけに注目しても、 $C_2 = 6$ 通りの水素配置が

存在し、水分子の数とともにその配置の数は爆発的に増大する。この水素配置の自由度が、多形の多さに貢献しているのである。

ところで、これまで見つけて来た全ての氷の相は、水素配置の仕方がランダムな「無秩序相」に対して、たった一つの特定の配置を持つ「秩序相」が、1対1で対応すると信じられてきた。しかし、今回私たちが対象とした氷XV相は、複数の実験や理論計算の結果が、それぞれ異なる秩序構造を示唆するという混沌とした状態にあったのである。

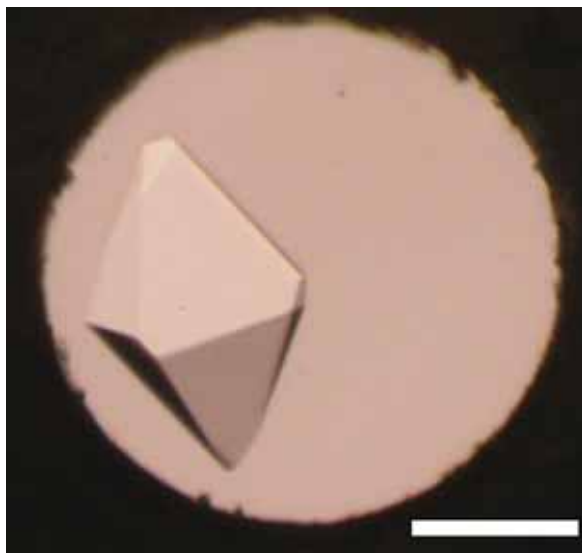
この問題に決着をつけるには、水素配置に敏感な中性子回折実験を氷XV相に対して行えばよい。しかし、言うは易し、中性子回折を行うのに必要な大容量の試料に対して温度や圧力を精密に制御するのは容易ではない。そこで私たちは、専用の温度圧力制御装置を一から製作することにした。およそ3年の年月を要して2013年に装置が完成すると、さっそく大強度陽子加速器施設J-PARC (茨城県東海村)で氷XV相の中性子回折実験を行った。その結果、どれか1種類の水素配置が特に有利というわけではなく、数種類の異なる水素配置が混合した「部分秩序状態」にあることを初めて明らかにした。この部分秩序状態は、氷XV相に関する過去の報告の矛盾点を解決するだけでなく、これまで1対1と考えられてきた無秩序相—秩序相の関係が、1つの無秩序相に対して、多くの秩序相が存在しうることを示すもので、氷の性質の理解に新たな視点を与えるものである。

本研究は、K. Komatsu *et al.*, *Scientific Reports*, **6**, 28920 (2016) に掲載された。

(2016年7月4日プレスリリース)

*セルシウス温度が氷の状態変化から定義された経緯を考えると、「水が氷になる温度が0℃である」と言いたくなる。現在では、セルシウス温度は絶対温度(ケルビン)から逆定義されている。

0.9 GPa, 室温にて晶出する氷VI相の光学顕微鏡写真。氷VI相は室温で水を加圧することで得られる最初の高圧相で、圧力による状態変化を象徴する相である。氷XV相はこの氷VI相の秩序相に対応する。白線のスケールは0.1mmを示す。



CASE 3

祖先が食べていたコメの話

瑞穂の国とも呼ばれる日本に住む人々にとって、食の多様化が進んだとは言っても、コメは切っても切れない関係にある。では、私たちの祖先はどのようなコメを食べていたのだろうか？我々は遺跡から出土するコメの遺物である「炭化米」のDNAを分析し、古代に利用されていたイネの亜種を調べた。その結果、古代の日本および朝鮮半島の人々の、現在とは異なる多様なイネの利用が明らかとなった。

アジア栽培イネ (*Oryza sativa*) はジャポニカとインディカに大別され、日本人が現在食べているコメはもっぱら前者であり、後者は南アジア、東南アジア地域を中心に広く食べられていることはご存知であろう。それでは、稲作がもたらされた時から今まで、我々の祖先はジャポニカ米のみを食べてきたのだろうか。

遺物のDNAは長い年月の間に分解、断片化し、微量のため分析には困難が伴う。さらに炭化米は稲穂ではなくコメ粒が別れた状態で出土するものがほとんどであるが、各コメ粒が遺伝的に同一とは限らないため一粒ずつ分析する必要がある。我々は独自に作製した現生イネの遺伝的多様性を網羅するレファレンスデータからDNAマーカーを選定し、日本と朝鮮半島の7遺跡から出土した炭化米、計500粒以上を分析した。その結果、900-2,800年前の4遺跡の計26サンプルから目的のDNA配列を得ることに成功した。解析の結果、日本の弥生時代および中世の炭化米からはジャポニカ米に加えてインディカ米のDNA型が検出された。さらに朝鮮半島では2,800年前の1粒の炭化米はジャポニカ米であったが、2,000年前の他の遺跡からはインディカ米のみが複数検出された。この結果は驚きであった。現在の日本、朝鮮半島

や中国北部といった地域においてはもっぱらジャポニカ米が生産・消費されているからである。しかし複数の試料、複数のDNAマーカーから結果は支持され、我々は確信を得た。古い文書の研究から日本の中世でのインディカ米の利用が議論されていたが、今回、DNAによる直接的な証拠からそれが示され、さらに弥生時代にまで遡ることが明らかとなった。今回見つかったインディカ米はその地で栽培されていたのか、外から持ち込まれたのかはわからない。一般的にインディカ米は低温地域での栽培には適していないと言われてもいる。しかし遺伝的多様性が低いジャポニカ米と比べ、インディカ米は大きな多様性、すなわち多様な環境へ適応するための素地を有しており、古代東アジア北部に生活した我々の祖先が、変動する気候環境に対し、この多様性を利用し栽培していたのかもしれない。

この炭化米DNA分析の成功により、現在も議論が続いているジャポニカとインディカの起源、栽培化過程における両者の関係性といった謎について直接的に観るための道筋がつけられた。また、現代における作物の多様性の減少は、環境変化への適応力や病害抵抗性を著しく弱める側面から、大きな問題とされているが、栽培イネにおける多様性の大きな低下が古代から現代にかけて東アジアで起きてきたことが示された。

本研究成果は、M. Kumagai *et al.*, *Mol. Biol. Evol.* 33 (10) 2496-2505 (2016), (IF 13.6)に掲載された。詳細はEurekAlert!プレスリ

リース(「AAAS ancient rice DNA」で検索)を参照されたい。

(2016年7月26日)

現生アジア栽培イネと炭化米(左:インディカ米, 中央:900年前の遺跡から出土した炭化米, 右:ジャポニカ米)

