

多波長ラインサーベイによる星形成から惑星系形成に至る化学進化の解明

Exploring Chemical Evolution from Star Forming Cores to Protoplanetary Disks by Multi-Wavelength Line Survey

山本 智 (YAMAMOTO SATOSHI)
東京大学・大学院理学系研究科・教授



研究の概要

星と惑星系は星間ガスが重力収縮して誕生する。それは宇宙における最も基本的な構造形成過程であるとともに、星間空間から惑星系への物質進化過程でもある。その過程を最先端電波望遠鏡を駆使した分子スペクトル線サーベイ観測で明らかにする。異なる進化段階にある原始星の化学組成を詳細かつ系統的に調べることで、天文学の立場から太陽系の物質の起源に迫る。

研 究 分 野：天文学

科研費の分科・細目：天文学

キ ー ワ ー ド：電波天文学

1. 研究開始当初の背景

星と惑星系が作られる仕組みを理解することは、天文学の中心的課題の一つである。それは構造形成の過程でもあると同時に、星間空間から惑星系への物質進化の過程でもある。その詳細な理解は、地球および生命の起源ともつながる点で重要な意義がある。

これまで、星間分子雲から星形成直前までの化学進化については活発な研究が行われてきた。一方、その先の星形成から惑星系形成に至る過程については、同様な研究は著しく遅れていた。しかし、この 10 年くらいの間に、星形成領域の化学組成の驚くべき姿が明らかになってきた。フランスのグループによるギ酸メチルなどの飽和有機分子の検出、我々のグループによる長い炭素鎖分子の検出などである。これらの結果から、物理的には同じに見える星形成領域であっても、化学組成が大きく違い得ることが示された。多様性が普遍的にあるのか、そしてそれが惑星系形成に向かってどのように進化していくかについて、大きな関心が集まりつつある。

2. 研究の目的

上記の背景を踏まえ、本研究では、様々な進化段階にある低質量原始星について、スペクトル線サーベイ観測（ラインサーベイ）を行い、この問題の解決を目指す。ある周波数範囲をくまなくスペクトル測定することにより、個々の原始星の化学組成の特徴を先入

観なく把握することができる。このような観測をいろいろな進化段階にある原始星で行うことで、化学進化の道筋を調べる。

図 1 は本研究の位置付けを模式的に表したものである。現在の太陽系を調べてその儀源を探る惑星化学からのアプローチと、これまでの天文観測からのアプローチを結びつける役割を担っている。

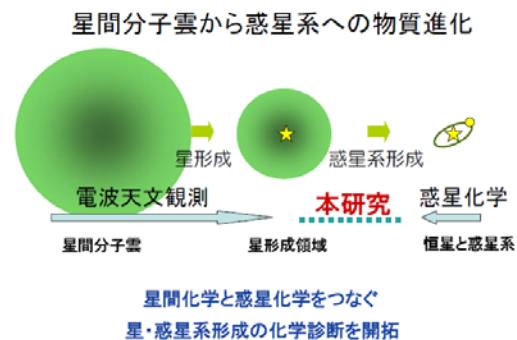


図 1 本研究の位置付けの模式図

3. 研究の方法

本研究では、ミリ波、サブミリ波、テラヘルツ波の各領域で、ラインサーベイ観測を行う。ミリ波では様々な有機分子のスペクトル線の検出を、サブミリ波では簡単な分子の高励起輝線の検出を、テラヘルツ帯では基本的分子のスペクトル線の検出を狙う。そこから、化学組成の多様性と、それを支配する基本分子の振舞いの関係を総合的に明らかにする。

ミリ波帯の観測には国立天文台野辺山 45 m 電波望遠鏡を、サブミリ波帯、テラヘルツ波帯での観測にはチリ・アタカマ砂漠（標高 4800 m）に設置されている国立天文台 ASTE 望遠鏡を用いる。本研究で 70 GHz 帯の受信機、および、テラヘルツ帯（0.9-1.5 THz）の受信機を新たに製作して、観測に用いる。これによりミリ波の観測領域を拡大するとともに、テラヘルツ帯観測を可能にする。テラヘルツ帯受信機のためのヘテロダイナ素子には、本研究室で製作した超伝導 Hot Electron Bolometer (HEB) ミクサを用いる。

4. これまでの成果

これまでに低質量原始星 L1527 のラインサーベイを野辺山 45 m 電波望遠鏡で、R CrA IRS7B および Serpens SMM4 のラインサーベイを ASTE 望遠鏡を用いて行った。その他にも低質量原始星に付随する衝撃波領域（L1157 B1 および BHR71）のラインサーベイも行った。

L1527 は炭素鎖分子の存在量が異常に多い原始星である。この天体のスペクトルを 82-115 GHz の範囲で取得した。その一例を図 2 に示す。これまで典型的と考えられてきた低質量原始星 IRAS 16293-2422 のスペクトル（Caux et al. 2011）と比べて、明らかにパターンが異なっている。L1527 では、炭素鎖分子とその関連分子のスペクトルが卓越している。この 2 つの天体は物理的には同じ進化段階にあるが、化学組成では大きく異なることがはっきりとわかった。

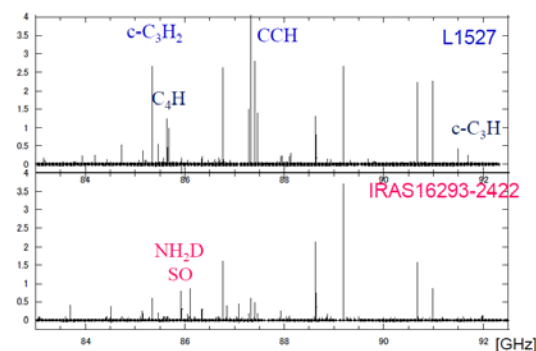


図 2 L1527 と IRAS16293-2422 の比較。後者は Caux et al. (2011) を引用。

R CrA IRS7B と Serpens SMM4 はともに IRAS 16293-2422 のように飽和有機分子に恵まれる原始星だと考えられてきた。しかし ASTE 望遠鏡を用いたラインサーベイ観測で、Serpens SMM4 は確かに類似していることがわかったが、R CrA IRS7B は大きく異なる化学組成を持つことがわかった。このように、本研究によって原始星の化学組成の多様性の存在が確立された。

さらに、フランスの PdBI ミリ波干渉計を用いて L1527 原始星を高解像度で観測したところ、炭素鎖分子は原始星に付随しているも

の、原始星から 500 天文単位のごく近傍では減少している様子が捉えられた。これは原始星進化とともに炭素鎖分子が気相からなくなっている兆候とも見られ、化学進化の一端を捉えたと考えている。

このような観測研究と併行して、70 GHz 帯の受信機を製作し、野辺山 45 m 望遠鏡に搭載した。また、テラヘルツ帯 HEB ミクサ受信機についても大きな進展があった。計画当初、受信機雑音温度として 1000 K を切ることを目標としていたが、超伝導薄膜の改良などを通して、0.8 THz で 370 K、1.5 THz で 490 K という世界最高性能を達成した。この受信機を ASTE 望遠鏡に搭載し、平成 23 年 10 月に天体からの信号の受信に成功した（図 3）。

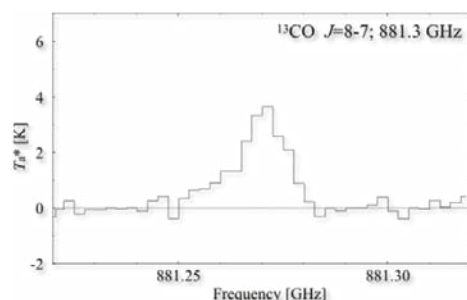


図 3 製作した受信機でオリオン座分子雲で検出した一酸化炭素分子のスペクトル

5. 今後の計画

計画は順調に進行しており、今後は、やや進化した原始星に、その多様性がどう伝播していくかに焦点を当てる。これまでの研究で、炭素鎖分子に恵まれる原始星の進化形と思われる天体を発見しており、今後、その化学組成と原始星近傍の分布を調べる予定である。これらの観測には、部分運用を始めた ALMA 望遠鏡も活用していきたい。

さらに THz 帯の観測については、装置開発から科学運用の段階になっており、平成 24 年度、平成 25 年度に ASTE 望遠鏡での観測運用を予定している。THz 帯でしか見ることのできない分子の観測を通して、原始星の化学進化の研究を支える。

6. これまでの発表論文等（受賞等も含む）

- (1) “An Unbiased Spectral Line Survey toward R CrA IRS7B in the 345 GHz Window with ASTE”, Y. Watanabe, N. Sakai, J.E. Lindberg, J.K. Jorgensen, S.E. Bisschop, and S. Yamamoto, *Astrophys. J.* 745, 126 (23 p) (2012).
- (2) ”Distribution of Carbon-Chain Molecules in L1527”, N. Sakai, T. Sakai, T. Hirota, and S. Yamamoto, *Astrophys. J.*, 722, 1633-1643 (2010).

7. ホームページ等

<http://www.resceu.s.u-tokyo.ac.jp/~submm/>