

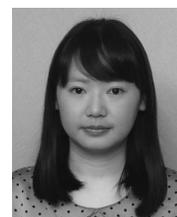
化学組成で探る 原始星円盤の形成過程

坂井 南 美

〈理化学研究所 〒351-0198 埼玉県和光市広沢 2-1〉
e-mail: nami.sakai@riken.jp



坂井



大屋

大 屋 瑠 子

〈東京大学 〒113-0033 東京都文京区本郷 7-3-1〉
e-mail: oya@taurus.phys.s.u-tokyo.ac.jp

太陽型原始星およびその周りの惑星系の形成過程の解明は、われわれの住む太陽系の起源を知るうえで非常に重要な手掛かりとなる。しかし、惑星系のもととなる原始星円盤が形成されるとき、周囲にはまだたくさんのガスや塵が残っており、それらに埋もれた初期の円盤を観測する難しさとなっていた。この問題に対して、われわれは、「化学組成が物理状態やその過去の履歴を反映する」という独自の視点から、円盤形成の物理過程を調べる取り組みを続けている。また、これまでの研究によって、太陽型原始星の母体となる分子雲コアには化学的多様性があることがわかっている。われわれは、この化学的多様性が原始星円盤へも伝播されていることを最近明らかにした。天体によって、そこで形成される円盤の化学組成が大きく異なるということは、形態としての太陽系の起源のみならず、物質としての起源にもかかわる非常に重要な問題である。本稿では、アルマ望遠鏡で明らかになった原始星円盤の化学的多様性を紹介するとともに、化学組成というツールを用いて描き出された新しい円盤形成の描像についても紹介する。

1. 星形成領域の化学的多様性

太陽のような恒星はいまも銀河系の中で活発に生まれている。星の形成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、星間物質から惑星系物質への物質進化の場でもある。したがって、「われわれが住む地球のこの素晴らしい環境が、宇宙の中でどのように生まれてきたのか」という根源的な問いに答えるために、われわれは、「構造」という観点のみならず物質という観点からもその進化を捉えることが必要である。過去30年の間、電波や赤外線観測は大きく進展し、

星間分子雲から星が形成されるまでの化学進化の法則性が明らかにされた。星間分子雲の化学組成は百万年程度の時間をかけて系統的に変化することが示され、星形成以前の星間分子雲の年齢の指標として広く用いられている。

一方、星形成以降の化学進化については、太陽系の物質的起源と直接つながる重要なテーマであるにもかかわらず、高感度・高分解能観測が必要のために立ち遅れてきた。実際、われわれが太陽型原始星形成の初期段階における分子雲コアの化学組成を調べる際にも、国内外の大口径ミリ波望遠鏡等を用いた数十から数百時間にわたる高感度

観測が必須であった。しかし、長時間観測の結果、驚くべき多様性が発見された。すなわち、ほぼ同じ進化段階にある原始星天体であるにもかかわらず、 HCOOCH_3 、 $\text{C}_2\text{H}_5\text{CN}$ などの飽和有機分子が豊富に存在する Hot Corino (ホットコリノ) 天体と、 HC_3N 、 C_4H 、 C_6H などの炭素鎖分子(不飽和有機分子)に恵まれる Warm Carbon Chain Chemistry (WCCC) 天体の、少なくとも2種類の天体があることがわかった。その原因については、星間分子雲の形成から星形成に至る時間の長短が提案され、また、原始星天体の置かれている物理的環境の効果も指摘されている¹⁾。この発見は、これまで一つと考えられてきた物質進化の道筋が、実は多様性をもっていることを示しており、太陽系の物質的起源の理解にもかかわる大きな問題を提起している。

そこで私たちは、それぞれの化学組成を示す原始星のごく近傍を観測することで、この多様性が原始星円盤へももち込まれるかどうかを調べた。そのような小さな領域にある分子の分布を、しかもCO分子のような一般的な分子でなく上記のように比較的“レア”な分子で調べることは、従来の電波望遠鏡観測ではほぼ不可能であった。しかし、アルマ望遠鏡の稼働によって、それが現実となり、以下に述べるような成果が次々と出てきた。その中には、これまでの星形成とそこでの化学進化の理解を大きく超える発見も少なくない。本稿ではそれらのハイライトを紹介する。

2. 不飽和有機分子に富む天体

2.1 L1527における遠心力バリアの同定

アルマ望遠鏡の初期運用(Cycle 0)で、われわれはまず、「WCCC天体」の代表であるおうし座分子雲の原始星L1527の観測を行った。この天体は、原始星の赤外線観測の様子から Class 0 と分類されている非常に若い天体で、周囲にはエンベロープと呼ばれるガスを大量にまとっている。一方、近年の観測によって、その最も原始星に近い

部分ではすでに円盤が形成されている可能性が示唆されていた²⁾。観測の結果、CCH分子やc- C_3H_2 分子など、この天体のエンベロープに非常に豊富に存在する不飽和有機分子が中心星から半径100 auまで入り込んでいることがわかった。しかし一方で、驚くことにその内側では急激にガス中からなくなっていた。さらに別の分子の分布を調べると、その半径付近でSO分子が気相中に集中して分布していることが示された(図1)。

南北方向にc- C_3H_2 やCCH分子ガスの速度を調べると、この半径は、落ち込んでくるガスが遠心力のために滞留し(遠心力バリア)、原始惑星系円盤に移り変わっていく半径に相当していることがわかった(図2)。また、SO分子ガスの速度を調べると、この分子が遠心力バリアの半径に相当する大きさの領域に局在していることも確かめられた。おそらく、落ち込むガスが円盤に突っ込むときに弱い衝撃波が生じ、それによって塵の表層に凍りついていたSO分子がガス中に放出されて観測されたと見られる。実際、多輝線観測からSO分子の温度を求めると60 K以上とエンベロープでの他の分子の温度(30 K)に比べて明らかに高い。L1527原始星の輝度から計算すると、半径100 auでは30 K程度までしか温まらないため、衝撃波

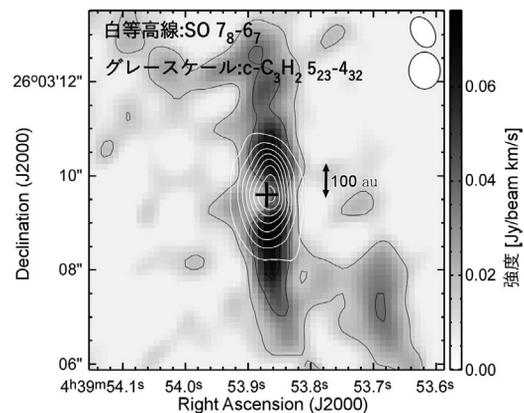


図1 Cycle 0観測で明らかになったL1527原始星におけるc- C_3H_2 分子とSO分子の分布。原始星円盤を真横から見ているため、“断面”のように見える。

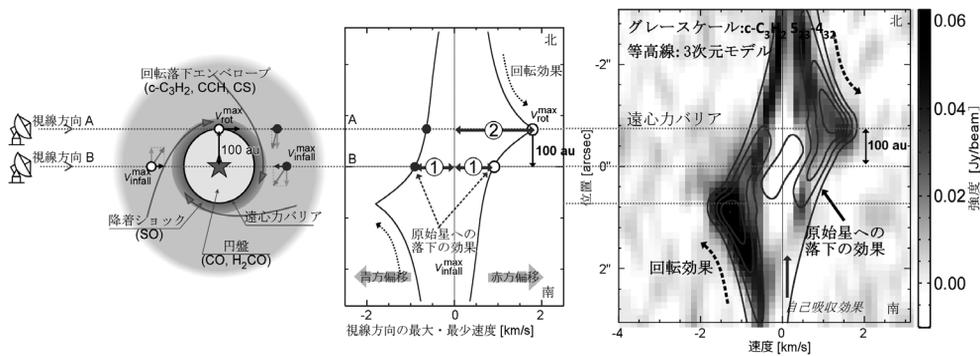


図2 (左) L1527原始星における遠心力バリアの模式図。(中) エネルギー保存則および角運動量保存則から計算された観測されるべき最大速度。(右) $c\text{-C}_3\text{H}_2$ 分子の位置速度図と中図と同様の仮定のもと計算された回転落下円盤の3次元モデル計算の結果。

による加熱の可能性が高い。一方で原始惑星系円盤は、角運動量を何らかの機構で抜き去られた物質が遠心力バリアの内側に入り込んで形成されると考えられるが、円盤内は上記で示したように30 K程度と低温、そして $10^7\text{--}10^8\text{ cm}^{-3}$ と高密度なのでほとんどの分子がせいぜい数百年のうちに星間塵に凍りついてしまう。CCH分子や $c\text{-C}_3\text{H}_2$ 分子などの分子は、反応性が高く蒸発温度も高い。遠心力バリアの内側では検出されなかったのはこのためと考えられる。不飽和有機分子のほとんどは、星間塵へと凍りついた状態で遠心力バリアの内側へとゆっくりと運ばれていくのだろう。そのメカニズムについては5章で述べる。

この結果^{3),4)}は、化学組成が原始惑星系円盤の形成に伴って劇的に変化することを示したばかりでなく、その化学変化を利用して円盤形成の物理過程を調べる新しい方法論を開拓した点で大きな意義がある。これまで、エンベロープにあるガスはスムーズに内側の円盤へと運ばれていくと思われてきたが、遠心力バリアでその動きがいったん止められている可能性が出てきた。このことは、円盤形成の物理過程を考えるうえでも非常に重要な結果である。COなどの基本的分子は存在量が多く、化学的にも反応性が低いので、星間塵に凍りつかない限りどこにでも大量に存在する。そのため、これらの基本的分子は一般にスペクトル線

も強く、これまで原始星近傍のガスの質量や運動の外観などを調べるのに主に用いられてきた。しかしながら、「どこにでもある分子」なだけに、上記のような物理的環境の変化を鋭敏には反映しない。今回、存在量は少ないが化学的に特徴のある分子を観測に用いたことで、遠心力バリアを初めて同定することができた。

2.2 他の天体

L1527での遠心力バリア同定を受けて、当然気になるのが他の天体でどうなっているのかということである。

われわれはまず、同じくCycle 0で観測していたL1527と似た化学組成をもつClass 0天体IRAS 15398–3359において、同様の現象が起きていないかどうか調べた⁵⁾。おおかみ座に位置するこの天体は、太陽系からの距離がおうし座と近いため、容易に遠心力バリアを同定できるものと思っていた。しかし観測してみると、CCH分子で原始星方向に分布の“穴”が見えかけたものの、速度解析でこれが遠心力バリアであることをはっきりと証明できなかった。“穴”のサイズが30 au以下と見積もられ、遠心力バリア半径はL1527よりも非常に小さいと考えられる。また、IRAS15398–3359もL1527と同様エッジオンに近い天体であったにもかかわらず、線幅は全値幅にしても1 km/s程度しかなかった。4 km/s近くあったL1527と比

較すると、これがいかに細いかわかる。このことは、エンベロープガスの角運動量がそもそも小さい可能性を意味しており、そのために遠心力バリアの大きさも小さくなってしまったものと見られる。ただ、CCH分子の分布で“穴”のようなものが確認されたことは、遠心力バリア存在の可能性を強く示唆しており、今後の高分解能観測の結果が楽しみである。

われわれは、L1527と似た化学組成の天体をもう1天体観測した。TMC-1Aという、少し進化の進んだClass I原始星天体で、ケプラー回転する円盤の存在が示唆されていた⁶⁾。観測の結果、エンベロープガスの量はすでに少なくなっているものの、その遠心力バリアを同定することに成功した⁷⁾。L1527の場合と同様、遠心力バリア付近でその化学組成が大きく変化しており、エンベロープにはCCHなどの炭素鎖分子やCS分子、バリア付近ではSO分子が同様に分布していた。

L1527と同じおうし座にあるL1489においては、SO分子が原始星の周りにリング状に分布していることが報告されている⁸⁾。L1527と似た化学組成をもっているかどうかは不明ではあるが、観測されたSOの分布は遠心力バリアをトレースしているのではないかと推察される。

以上のことから、原始星エンベロープにおける遠心力バリアの存在およびそこでの化学変化は、L1527特有のものではなく、より一般的に起こりうる現象であると考えられる。

一般に、数千auの大きさのエンベロープでは、おそらく磁場とのカップリングのために、エンベロープの収縮に伴って角運動量が抜き取られていく現象が見られている。しかしながら、遠心力バリアが存在し、なおかつ観測的には数百auの大きさから遠心力バリアまではエンベロープの角運動量が保存しているように見えることは、少なくとも数百auの範囲内においては磁場とのカップリングの影響が小さいことを示唆しているように思われる。したがってこれは、MHD計算などの

理論シミュレーション研究にも有用な結果であると考えられる。

3. 飽和有機分子に富む天体

ここまで、炭素鎖分子に恵まれたWCCC天体についてのみ述べてきた。しかし、遠心力バリアはそもそも、エネルギー保存と角運動量保存という非常に基本的な物理法則によって決定される半径のことである。したがって、化学組成が異なるからといってその存在の有無とはあまり関係ないだろう。そこでわれわれは、もう一つの化学組成のタイプ、飽和有機分子に富む「ホットコリノ天体」を調べた。調べたのはその代表格のIRAS16293-2422Aである⁹⁾。

この天体では、L1527と異なり、エンベロープガスに炭素鎖分子はあまり含まれていない。そこで、観測された分子輝線の中から、エンベロープガスをトレースする分子を探した。その結果、図3に示すように、OCS分子のスペクトル線の速度構造がL1527で炭素鎖分子を用いて観測された炭素鎖分子やCSのスペクトル線の速度構造とそっくりであることがわかった。すなわち、OCSは回転落下するエンベロープのみに存在し、速度構造から遠心力バリアと同定された場所より内側ではその存在量が少なくなっていた。一方で、この天体の特徴でもある飽和有機分子は、そのスペクトル線の速度構造の解析から、遠心力バリア付近でリング状に分布していることがわかった。遠心力バリアで発生する衝撃波でこれらの分子が星間塵表面から蒸発し、気相中に増えたと考えられる。そもそも飽和有機分子の代表であるCH₃OHなどは、星間塵の上でCO分子が水素化されて生成される。したがって、星間塵の氷層が蒸発すれば、こういった分子が気相中に増えるのは自然と言えよう。実際、H₂CSの観測結果から観測ビームサイズ平均での温度を計算すると、エンベロープでは70-110 Kであるのに対し、遠心力バリア付近では110-140 Kとやや高い傾向にあった。

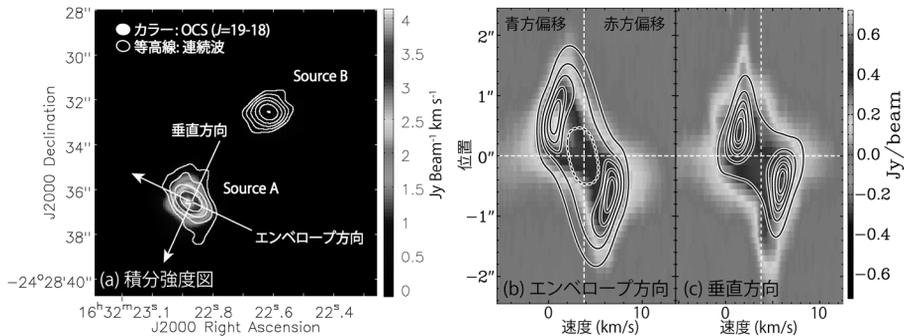


図3 (左) IRAS16293 – 2422におけるOCS分子の分布。(右) 左図矢印で示すエンベロープの方向に沿った位置速度図 (a) とその垂直方向の位置速度図 (b)。L1527に用いた3次元モデル計算の結果が重ねてあり、よく一致しているのがわかる。

以上から、ホットコリノ天体では個々の場所をトレースする分子種はWCCC天体と異なるものの、遠心力バリアを含む物理的構造はどちらも非常に似た状況にあることが確認された。すなわち、化学組成がどうあれ、遠心力バリアは存在していること、そこで何らかの化学変化が起こっていることがわかった。

4. 原始星円盤の化学的多様性

L1527での遠心力バリアの同定とそこでの化学変化の発見を紹介した関係で話が少しそれてしまったが、2章と3章で述べた観測結果によって、われわれは非常に重要な知見を得た。それは、「将来惑星系が誕生するであろう原始星円盤/原始惑星系円盤に化学的多様性が伝播されている」ということである。原始星からの距離が、数十auから数百auという、まさに「惑星系サイズ」にあたる場所で、ガスの化学組成はWCCC天体とホットコリノ天体では全く異なっていた。円盤の赤道面で再度それらの分子が星間塵へ凍りついたとしても、星間塵上の氷の化学組成は大きく異なることになるだろう。したがって、これらの天体では、異なる化学組成のガス/塵を初期条件としてそれぞれ円盤での化学進化が進んでいくことになる。このことは、惑星系ができたとき、その化学組成が異なる可能性があることを意味する。し

たがって、アルマ望遠鏡で数十auから数百auの分解能で分子組成を観測したことは非常に大きな意義をもつ。

最近、われわれは、L483というAquila RiftにあるClass 0原始星天体の観測をアルマ望遠鏡で行った。この天体は、以前の単一口径望遠鏡での観測から判断して、L1527と似た化学組成をもつと考えていた。しかし、アルマ望遠鏡で観測してみると、エンベロープには炭素鎖分子が豊富にあるにもかかわらず、原始星近傍でHCOOCH₃などの飽和有機分子が検出されたのである¹⁰⁾。それらのスペクトル線は強度が弱く、速度解析などでその存在位置を確認することは難しかったが、原始星方向のコンパクトな領域に分布していることがわかった。したがって、それらの飽和有機分子はおそらく遠心力バリアおよびそれより内側の円盤内に存在しているものと見られる。1章で述べたように、星間分子雲の形成から星形成に至る時間の長短が化学的多様性の起源であるとする、中間的な天体があっても不思議ではなく、L483はそのような天体の一つなのであろう。今後、さらに多くの天体で少なくとも数十auから数百auの分解能でその化学組成を調べることで、どの程度の数の天体がWCCC天体・ホットコリノ天体であり、どの程度の数の天体が中間的であるのか明らかにしていきたい。これはすなわち、将来できるだけ

う惑星系の化学的多様性を統計的に探る足掛かりとなるだろう。

5. 遠心力バリアの重要性

5.1 円盤形成における“個性”の重要性

図4にこれまでに我々が同定した遠心力バリアの大きさなどのパラメータをまとめる。こうしてみると、遠心力バリアの大きさにはかなりばらつきがある。一般に、原始星から遠くにあったガスのほうがもち込む角運動量が多いため、進化が進むと円盤は成長していく。その観点から考えると、Class I天体におけるほうがClass 0天体よりも遠心力バリアの大きさは大きいはずである。しかしながら図4を見る限りそのような傾向は見えない。もちろん、観測した天体の数が6天体だけであり、そのような議論をするには不十分であることは否めない。しかし、遠心力バリアの大きさが持ち込まれる比角運動量の2乗に比例することを考えると、もともと雲がもっていた、そして原始星へともち込まれる角運動量の微妙な違いが、大きな個性として遠心力バリアの大きさに現れていると考えるのが自然ではないかと思う。将来完成するだろう惑星系円盤の大きさにバリエーションが生じる可能性をも示唆しているようで、今後の研究の展開が非常に楽しみである。

5.2 見えてきた遠心力バリアの役割

最後に、ごく最近の観測結果を紹介したい。これまで述べてきたように、原始星へと落ち込んできたガスは遠心力バリア付近で滞留しており、さらに弱いながらも衝撃波が発生し、その温度が上昇していると考えられる。劇的な化学組成の変化はその描像を支持する。それでは、ガスはどのようにしてその内側に入り込み、円盤となっていくのだろうか？ 原始星から半径数百auの領域で、磁場などによる角運動量放出のメカニズムがあまり働いていないとしたら、どのようにして角運動量を放出しているのだろうか？ その詳細を知るため、われわれは最近、L1527原始星を0.18秒角(24 au)もの非常に高い分解能で観測した¹²⁾。

その結果、原始星の周りを回転しながら落下するエンベロープガスの垂直構造が原始星からの距離でどのように変化するかが初めて捉えられた。エンベロープガスの厚みは、その最内部で一度薄くなるものの、遠心力バリアの手前で厚く膨れていることがわかった(図5左)。外側から落下してきたガスが遠心力バリア手前で滞留・衝突し、その衝撃によって円盤と垂直方向にガスが膨れ出ているものと考えられる。遠心力バリアでのSO分子の温度を高分解能で調べたところ、190 Kと、エンベロープガスの温度(30 K)よりはるかに高

エネルギー保存則
角運動量保存則

$$\frac{m}{2}(V_{rot}^2 + V_{infall}^2) = \frac{GMm}{r}$$

$$mrV_{rot} = L$$

$$V_{observed} = V_{rot} \frac{x}{r} + V_{infall} \frac{y}{r}$$

$$\left(V_{rot} = \left(\frac{L}{m} \right) \frac{1}{r}, V_{infall} = \sqrt{\frac{2GM}{r} - V_{rot}^2} \right)$$

すべての運動エネルギーが回転運動に用いられている場所が遠心力バリア

$$r_{CB} = \frac{j^2}{2GM} \quad v_{rot}^{max} = \frac{2GM}{j}$$

遠心力バリアの半径とそこでの回転速度から原始星の質量Mと比角運動量j(L/m)が決まる

$$\left(\begin{array}{l} \text{参考; 遠心力半径と遠心力バリアの関係} \\ r_{CR}(F_{gravity}=F_{centrifugal}) = \frac{j^2}{GM} = 2 r_{CB} \end{array} \right)$$

	L1527	IRAS 15398	IRAS 16293	TMC-1A	L483	B335 ¹¹⁾
進化段階	Class 0/I	Class 0/I	Class 0	Class 1	Class 0	Class 0
化学組成	WCCC	WCCC	ホットコリノ	WCCC	WCCC (+ホットコリノ)	ホットコリノ (+WCCC)
エンベロープの傾斜角i (エッジオンが90°)	85°	70°	~60°	~70°	~40°	~90°?
原始星質量 M [M _J]	0.18	~0.02?	0.75	0.25	0.3	>0.13
遠心力バリア半径 r _{CB} [au]	100	~30?	50	50	50	<10
比角運動量 j [10 ⁻⁴ km/s pc]	8.7	<1.6	13	7.2	7.9	—

図4 (左) 遠心力バリアの半径とそこでの回転速度の関係、(右) 観測した6天体の特徴および求められた物理パラメータのまとめ。

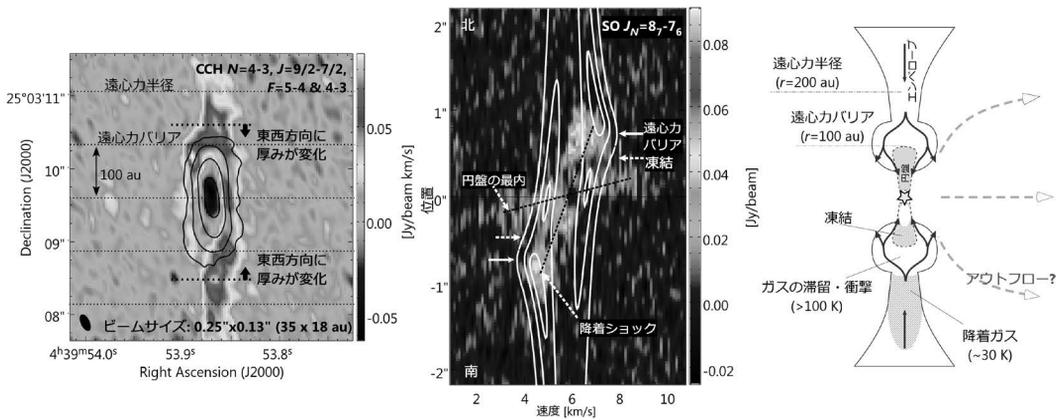


図5 (左) Cycle 2観測で明らかになったL1527原始星におけるCCH分子の分布. 0.9 mm連続波の分布がコントアで重ねてある. (中) SO分子の位置速度図にエンベロープをよく再現する3次元モデル計算の結果が重ねてある. 遠心力バリアの位置での速度がエンベロープでの最大速度から落ちていることがわかる. (右) ガスの様子を模式的に表した図.

い温度になっていた. 原始星からの距離100 auの位置でこれほどまでに高い温度にガスを暖めることは, 原始星からの輻射だけでは難しい. したがって, この結果もやはり, 遠心力バリアで衝撃が起きていることを支持する. ちなみに, 赤道面に沿ってCCH分子を含むガスの速度構造を調べると, Cycle 0観測のときと同様遠心力バリアの場所より外側のみが存在し, その速度も同じ半径でのケプラー速度の $\sqrt{2}$ 倍であることが確認された. やはり, バリアの内側に入るためには回転エネルギーと角運動量をどこかに放出しなければならないことが改めて認識された.

そこで, 遠心力バリア付近でのSO分子の回転速度を調べてみた. すると驚くことに, エンベロープガスの回転速度より明らかに低い速度となっていた(図5中). SO分子は, 衝撃波によって気相中に増えているものと考えられる. 回転落下エンベロープモデルの線は炭素鎖分子の位置速度図をきれいにフィットしていることから, SOの結果は衝撃波を経験したガスの回転速度が落ちているということを意味している. 衝突によってガスは昇温し, 回転エネルギーの一部を消費し, 角運動量もそこでどこかへ失われていたのでは

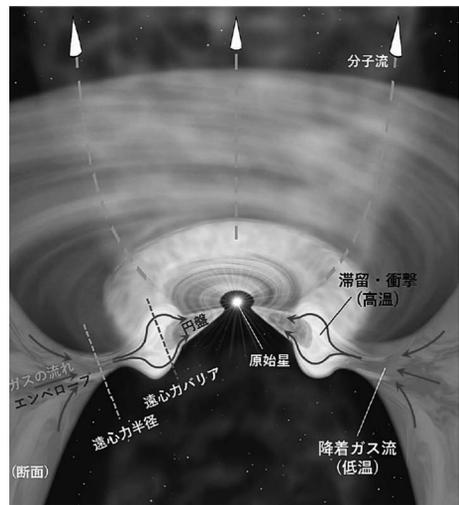


図6 L1527原始星における, 遠心力バリア付近で起きている現象のイメージ.

る. そのメカニズムとして当然考えるべきは, 円盤垂直方向への角運動量の放出である. ここで, 観測されたエンベロープの厚みの変化が大事になってくる. 厚みが遠心力バリアの位置で膨れているということは, 衝撃によって少なくとも一部のガスが円盤垂直方向の動きを得たともいえる. そうであるならば, 円盤垂直方向への動きを得た一部のガスが角運動量を持ち去ってくれるのでは

なかろうか。そう仮定すると、残されたガスの角運動量が減少することはうまく説明される。少なくとも、円盤垂直方向以外に逃げ道はないことを考えると、このメカニズムが有効に働いていてもおかしくない。わかりやすいように全体像のイメージを図6に示す。これまで、観測を通して星・円盤形成を調べる場合、円盤の半径方向の速度構造に主に着目してきた。しかし、本研究で見えてきたのは、円盤垂直方向の構造と動きの重要性である。目からうろこがとれるというのはこのことかもしれない。

6. さいごに

われわれは、Cycle 0の観測でアルマ望遠鏡の威力と可能性を初めて実感した。これまで他の望遠鏡で見てきた、明らかにしてきた現象の延長上にあるものを想像して観測提案書を書き、これまでの研究の延長ともいえる成果を期待して観測を行った。しかし、想像していたものをはるかに凌駕する結果が得られたからである。すなわち、化学的多様性の原始星円盤への伝播を調べようとして、期せずして遠心力バリアとそこでの劇的な化学変化を発見した。そしてその驚きを、Cycle 2の高分解能観測で再び体験した。Cycle 0観測では全くわからなかった円盤垂直方向の構造がこれほどまでに見えるようになった結果、エンベロープから円盤ができる際に円盤垂直方向の厚みが急激に変化しているという、予想外の現象に出くわしたのである。実はそのようなことを若干期待してはいたのだが、あまり強く主張するのははばかられ、観測提案書にもその可能性について少ししか触れなかった。しかし、このような「予想を超えた発見」こそがアルマ望遠鏡を作った意味ではないかと思う。今後、本気を出したアルマ望遠鏡によって、どのような新しい世界が見えるのだろうか、そしてここに記したような驚きがまだまだたくさん体験できるのではないかと、思うと、非常に楽しみである。

参考文献

- 1) e.g. Sakai N., Yamamoto S., 2013, ChRv 113, 8981
- 2) e.g. Tobin J. J., Hartmann L., Chiang H-F., et al., 2012, Nature 492, 83
- 3) Sakai N., Sakai T., Hirota T., et al., 2014, Nature 507, 78
- 4) Sakai N., Oya Y., Sakai T., et al., 2014, ApJ 791, L38
- 5) Oya Y., Sakai N., Sakai T., et al., 2014, ApJ 795, 152
- 6) e.g. Ohashi N., Hayashi M., Ho P. T. P., et al., 1997, ApJ 488, 317
- 7) Sakai N., Oya Y., López-Sepulcre A., et al., 2016, ApJ 820, L34
- 8) Yen H-W., Takakuwa S., Ohashi N., et al., 2014, ApJ 793, 1
- 9) Oya Y., Sakai N., López-Sepulcre A., et al., 2016, ApJ 824, 88
- 10) Oya Y., Sakai N., Watanabe Y., et al., 2017, ApJ 837, 174
- 11) Imai M., Sakai N., Oya Y., et al., 2016, ApJ 830, L37
- 12) Sakai N., Oya Y., Higuchi A., et al., 2017, MNRAS 467, L76

Protostellar Disk Formation Traced by Chemistry

Nami SAKAI¹ and Yoko OYA²

¹ RIKEN, 2-1 Hirosawa, Wako, Saitama 351-0198, Japan

² The University of Tokyo, 7-3-1 Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo 113-0033, Japan

Abstract: In formation of low-mass stars, a Keplerian disk is formed around a newly born protostar from an infalling envelope. Then, it evolves to a protoplanetary disk and eventually to a planetary system. The formation process of the protostellar disk is a hot topic in star-formation studies. We have extensively been exploring it from a chemical point of view by molecular line observations in the radio-wavelength. Chemical approaches tell us not only rich information on physical processes of the star and planet formation but also on chemical evolution along it. Such a chemical study is of fundamental importance in understanding an origin of the Solar system, and eventually an origin of life on the Earth. In this article, we introduce our ALMA studies revealing chemical diversities of protostellar envelope/disk systems around embedded protostars as well as their chemical evolution. We also demonstrate ‘power of chemistry’ in exploring the disk formation as well as the chemical evolution toward disks.