

# ついに見えた星誕生の現場： 低質量原始星候補への動的降着

大橋 永芳

〈Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics〉

e-mail: nohashi@cfa.harvard.edu

星形成とは、一言でいえばその材料となる分子ガスが重力中心へと自由落下すること、即ち動的降着することである。長い間、ヴェールに包まれていた動的降着が、近年のミリ波干渉計の高感度化により、いよいよ直接観測できるようになってきた。ここでは、我々が進めている野辺山ミリ波干渉計を用いた動的降着の観測を紹介する。

## 1. HL タウリでの動的降着の検出

「これはエミッションで、これはサイド・ローブですね。」こんなことをぶつぶつ言いながら、林正彦氏と筆者は野辺山宇宙電波観測所のワークステーションの前で、HL タウリの<sup>13</sup>CO(1-0)輝線のデータ解析に熱中していた。野辺山ミリ波干渉計を使った、念願の観測である。HL タウリはおうし座分子雲中の超有名なTタウリ型星(可視光で見えるようになったばかりの若い星)で、その周囲には惑星系を形成すると予想される、100天文単位(以下AU)スケールの原始惑星系円盤が存在する。我々はその原始惑星系円盤周囲の速度場を詳しく調べる目的で、野辺山ミリ波干渉計の観測提案を出し続けていた。しかし、我々が観測提案を書いていた時点では、アメリカにあるオーエンズヴァレー観測所(OVRO)のミリ波干渉計によって、HL タウリの観測は既に行われており、論文が2つも出ていた<sup>1), 2)</sup>。そんなこともあってなかなか我々の提案は認められなかったが、それがやっと認められ観測に至ったのだった。

「サージエント達のみつけた円盤状の構造は見えるけれども、彼女達の言う回転運動ははっきりしないね。」我々は解析が終わったばかりのデータを見ながら、もう議論を始めていた。「HL タウリに

付随する光ジェットの色分布は、どんな風だったかな？」そう言い残して林氏は図書室の方へ論文を取りに歩いていった。筆者はその間にコーヒーでも入れようかと、準備をしていた。その時である。図書室の方からけたたましい足音と共に、林氏が帰ってきた。「大橋君、大変だよ！」何が大変なのと聞き返すまもなく、林氏はすごい勢いで話し出した。

これがHL タウリで動的質量降着を検出した日の出来事である。動的質量降着とは、星が形成される際に星の材料となる分子ガスが星の核へと自由落下することである。つまり、星形成の根幹を成す現象なのである。太陽程度の質量を持つ若い星の周囲での質量降着の直接検出はこれが世界で初めである。この結果はこの後すぐにアストロフィジカルジャーナルに投稿され、まもなく出版された<sup>3)</sup>。この結果に大変気をよくした我々は、低質量原始星候補天体でも同様な質量降着運動を検出できないものかと、すぐに考え出した。これから紹介する話は、この低質量原始星候補天体の周囲で質量降着の検出を試みた結果である。

## 2. 低質量原始星候補天体は 本当に原始星か？

星は、分子雲コアと呼ばれる高密度分子ガス雲

の中で形成される。この高密度分子ガス雲中の分子ガスが、星の材料となる分子ガスだ。星形成の理論によれば、分子雲コア中で重力収縮が始まるとまもなく、その中心に静水圧平衡な核が形成される。その後は、その核の重力により分子雲コア中の分子ガスが核へと自由落下……動的降着……して星が形成されていく。このダイナミックに形成されつつある星は、まだ一人前の星（主系列星）にはなっていないという意味で、原始星と呼ばれる。原始星の中心では主系列星に見られる核融合はまだ始まっておらず、分子ガスが動的降着する時に解放される、重力エネルギーにより光っている。この原始星を観測的に検証することは星形成の研究の中で決定的な意味を持つので、これまで多くの研究者が試みてきている。大質量星周囲では分子雲コアの動的質量降着が検出された例があるが、これらの大質量星は電離水素原子（HII）領域を伴っており、そのことから中心星は既に水素原子を電離する強い紫外線を放射できる主系列に達しているものと考えられる。一方、太陽程度の低質量星に関してはそもそもその候補天体すらわからないという時代が長らく続いた。

低質量原始星は、分子雲コアに深く埋もれており、また光度が比較的小さいことから、可視光では観測されず赤外線で検出されると予想されていた。1983年に赤外天文衛星（IRAS）が打ち上げられると、低質量星形成領域である、おうし座分子雲などで分子雲コアに付随する赤外線源が発見された。これらの赤外線源の内、いくつかは可視光で対応する天体が観測されないことや、赤外波長域の色がTタウリ型星よりも赤い（Tタウリ型星よりも深く埋もれている）ことから、Tタウリ型星よりもさらに若い天体、いわゆる「原始星」ではないかと考えられるようになった。低質量原始星候補の発見である<sup>4)</sup>。

この発見後、多くの研究者が様々な角度から研究を行い、これらの候補天体は原始星であると信じられてきた。例えば、これらの候補天体は赤外

線からサブミリ波の波長域に見られる大きなエネルギー超過を示すが、これを説明するには中心星の周囲に質量降着円盤を考える必要がある<sup>5)</sup>。また、いくつかの候補天体では、赤方偏移した吸収線が検出されており、これも質量降着する冷たいガスが存在することの間接的証拠となっている<sup>6)</sup>。しかしながら、確固たる直接的証拠、即ち、質量降着運動が直接検出された例はこれまでまだない。HLタウリでミリ波干渉計を用いて動的質量降着が検出できたということは、同様の観測を原始星候補天体についても行えば質量降着運動が検出できることを意味する。そこで、我々はおうし座分子雲中の低質量原始星候補天体に関して、野辺山ミリ波干渉計を用いた、質量降着運動の探査を開始した。あらためて言うまでもないことであるが、この探査は単に質量降着運動を検出するということにはとどまらず、さらに、その質量降着領域の形状、回転運動の有無、質量降着率の推定など、原始星の研究の本質に迫る情報、さらには惑星系の基と考えられる原始惑星系円盤形成の手がかりをも与えてくれる。ここでは我々の結果の中から、L1551-IRS5<sup>7)</sup>とIRAS 04368+2557<sup>8)</sup>について結果を紹介する。なお、ここでは結果のエッセンスのみを紹介するのが精いっぱいなので、さらに詳しく知りたい方は、本論文を参照していただきたい。

### 3. L1551-IRS5

L1551-IRS5は双極分子流<sup>9)</sup>と0.1パーセクスケール（20,000 AU）の大きなガス円盤を持つ、典型的な原始星候補のひとつである。このガス円盤のパイオニア的観測は、野辺山45 m鏡を用いて行われた<sup>10)</sup>。その後、OVROのミリ波干渉計を用いたC<sup>18</sup>O(1-0)輝線の観測が行われ、半径700AU程の分子流と直交するガス円盤が検出された<sup>11)</sup>。しかし、速度分解能も感度も不十分だったため、その速度構造を詳しく調べるには至らなかった。一方、ダスト連続波を用いた観測からは、このガス円盤の内側にはさらにコンパクトな円盤（半径100 AU

程度)が存在することがわかっている<sup>12, 13)</sup>。このガス円盤を我々は野辺山ミリ波干渉計を用いて<sup>13</sup>CO(1-0)輝線で観測したのである。

図1(表紙左図)は得られた積分強度図(等高線)を、波長2.2ミクロンの赤外線観測により得られた反射星雲のイメージ<sup>13)</sup>の上に重ねたものである。中心星の回りにコンパクトな構造(サイズ1200×670AU)が検出されていることが、お分かりいただけるだろう。それに加えて、南北に大きく伸びる構造も検出されているが、これは分子流を取り囲むシェルの一部と考えられる。コンパクトな<sup>13</sup>COガス分布は、北西(右上)から南東(左下)にかけて僅かながら伸びた構造を示している。この伸びた構造はOVRO干渉計で既に検出された、分子流にはほぼ直交する構造である。このことから、コンパクトな構造はL1551-IRS5に付随するガス円盤だと言って良いであろう。このガス円盤が空間的に薄いと仮定すると、見かけのサイズから円盤は天球面に対して55度傾いていることになる(天球面に円盤が直交する場合が90度)。ここで重要なのは、2.2ミクロンの反射星雲が円盤の南西方向に広がっていることである。このことから円盤の南西側が中心星に対して遠方側に位置し、逆に北東側が手前に位置するように傾いていることがわかる。この傾きの方向は、以下の議論で大変重要な役割を果たす。

図2(表紙右図)はこのガス円盤の速度構造を疑似カラー表示したものである。円盤の北東側から南西側に向けて、速度が変化しているのがはっきりとわかる。円盤の短軸方向に沿った明らかな速度勾配である。この速度勾配の方向は光ジェット<sup>15)</sup>の方向にはほぼ平行する。このガス円盤の中心速度は単一鏡の観測から秒速約6.2kmとわかっているので、円盤の南西側が青方偏移、つまり我々に近づくように運動しており、一方、北東側は赤方偏移、つまり我々から遠ざかるように運動している。ここで先ほどの円盤の傾きの様子を思い出して欲しい。円盤の南西側、つまり遠方側が我々に近づいていて、逆に北東側、つまり手前側が

我々から遠ざかるように運動していることになる。既にピンときた読者もおられるだろう。即ち、上記の運動が円盤面に沿った運動だとすれば、それは円盤面に沿った中心星方向への質量降着運動を意味する。同様の結果は野辺山ミリ波干渉計による<sup>13</sup>CO<sup>+</sup>(1-0)輝線の観測からも得られている<sup>16)</sup>。

この円盤の運動をもっと詳しく調べるために、円盤の短軸方向に切った位置-速度図を見てみることにしよう(図3)。既に、図2でも示されているように、低速の赤方偏移成分(6.5-7.5km/s)は円盤の北東側に広がっており、逆に低速の青方偏移成分(5-6km/s)は円盤の南西側に広がっている様子がわかる。それに加えて、もうひとつ重要な特徴が見られる。つまり、高速の青方偏移成分(<5km/s)と高速の赤方偏移成分(≥7.5km/s)は中心星の近くのみで検出されている。この2番目の特徴は我々の降着運動のシナリオと大変よく合う。なぜならば、質量降着運動は中心に近づくほど加速されるからである。実際、図3に曲線で示したように、この円盤の全体の速度場は、円盤の傾きを55度、中心星に質量を0.5太陽質量(以下M<sub>☉</sub>)と仮定したときの円盤面に沿った自由落下運動でうまく説明できる。

さて、読者の中には上記の運動が分子流ではないかと不審に思っておられる方もいるのではないだろうか。それも無理はない。なぜならば、L1551-IRS5に付随する双極分子流の内、青方偏移した成分は円盤の南西側に位置し、一方、分子流の赤方偏移成分は北東に位置しているの、上記の速度場は双極分子流としても説明できなくはないからである。しかし、我々の観測した<sup>13</sup>COガスは本当に分子流をトレースしているであろうか?ここでもう一度積分強度図をよく見て欲しい。我々の検出したコンパクトな<sup>13</sup>COガスの分布は、分子流の方向には伸びておらず、分子流に直交する構造を示している。このことから我々の観測した<sup>13</sup>COガスの大半は分子流ではなく、円盤に付随するガスであると考えるのが自然である。さらに、図3で示

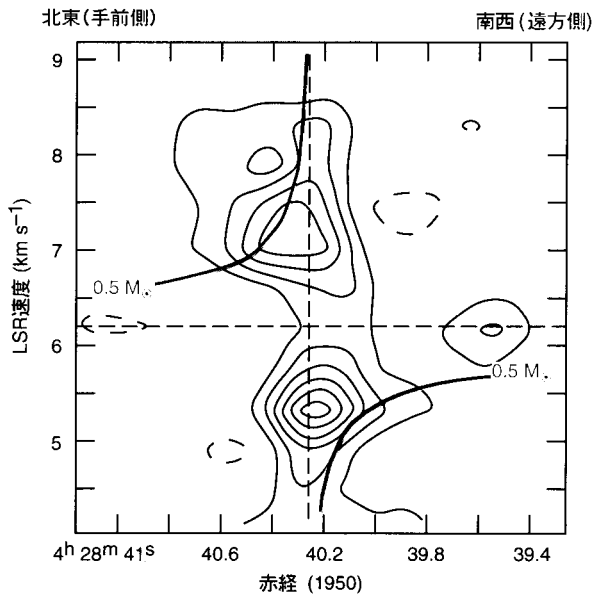


図3 L1551-IRS5の $^{13}\text{CO}$ 円盤構造の短軸方向(北東-南西方向)に沿って切った位置-速度図。中心星の位置と中心速度を縦・横の破線で示した。また、中心星の質量が $0.5 M_{\odot}$ の場合の自由落下運動から計算される速度場を、太い曲線で示した。

した速度場は通常分子流が示す速度場とは全く逆である。つまり、分子流は中心星から離れるほど速度が大きくなるような、加速度運動を示す<sup>17)</sup>のに対して、図3で見られる速度場は中心星に近づくほど加速されている。この運動は通常の分子流の運動よりも、むしろ中心星の重力による、自由落下運動として自然に説明できる。以上のことから、今回検出した速度構造は分子流に起因するものではなく、円盤面に沿った質量降着運動であると、我々は結論した。

検出された運動が質量降着運動だとすれば、その結果を用いて円盤内の質量降着率を見積もることができる[質量降着率=(円盤の質量) $\times$ (降着速度)/(円盤の半径)]。円盤の質量は $^{13}\text{CO}$ の積分強度から $^{13}\text{CO}$ の光学的厚みを考慮して $0.04\text{--}0.08 M_{\odot}$ 程度と見積もられる。一方、半径600 AUでの降着速度は円盤の傾き55度を仮定して、秒速約1 km

と見積もられる。以上の値から半径600 AUでの質量降着率は約 $1\text{--}3 \times 10^{-5} M_{\odot}/\text{yr}$ となる。これに対して、L1551-IRS5の全光度から見積もられる、中心星への質量降着率は約 $7 \times 10^{-6} M_{\odot}/\text{yr}$ である。これを先に求めた外側の質量降着率と比較すると、わずかながら中心星への降着率の方が小さいことが示唆される。もし、この差が有意だとすると、L1551-IRS5への質量降着もHLタウリの場合<sup>3, 18)</sup>と同様に円盤の外側で大きな質量降着を示す、非正常な降着なのかもしれない。

#### 4. IRAS 04368+2557(L1527)

さて、次にIRAS 04368+2557(以下I04368)の観測結果を紹介しよう。この赤外線源はマイヤース達のグループによって観測されたL1527と呼ばれる高密度分子ガス雲<sup>19)</sup>に深く埋もれた天体である。この天体の場合、あまりに深く埋もれているので近赤外の波長2ミクロンによる観測でさえ、中心星を直接とらえることができない<sup>20)</sup>。そのため、一部の天文学者の間では、この天体は最も初期の進化段階に位置する原始星だと解釈されている。I04368は他の原始星候補天体と同様、分子流を伴っている。この分子流は中心星に対して東西方向にきれいに伸びているが、東西両側で赤方偏移・青方偏移した分子流成分が検出されおり、そのことから分子流の軸は天球面にほぼ水平であると考えられる<sup>21)</sup>。それゆえ、仮に円盤が付随していたとすると、我々はその円盤をほぼ真横から観測する(円盤が天球面にほぼ直交する)と予想される。我々はI04368を野辺山ミリ波干渉計を用いて $^{13}\text{CO}(1\text{--}0)$ と $\text{C}^{18}\text{O}(1\text{--}0)$ 輝線で観測した。ここでは、 $\text{C}^{18}\text{O}$ 輝線の結果を中心に紹介する。

図4に結果をまとめた。左上(a)に示した $\text{C}^{18}\text{O}$ 輝線の積分強度図を見ると、南北方向(北が上)に伸びた構造が検出されていることが、一目瞭然にわかる。この南北に伸びる構造は $^{12}\text{CO}$ 分子流<sup>21)</sup>の

軸の方向（東西）とほぼ直交し、しかも中心星の位置に対してほぼ対称に伸びている。また、伸びた構造の東側と西側は中心星の方向にわずかに窪んでいて、北と南の端の方で広がっている、いわゆる“フレア”した構造も示している。この伸びた構造を中心星を取りまく円盤と解釈することに異論のある読者はいないだろう。ただし、円盤といっても、空間的に薄い“レコード”のような円盤ではないようである。先にも述べたように、分子流の方向から、この円盤構造は天球面にほぼ垂直に分布していると考えられる。にもかかわらず、円盤構造が短軸方向にも分解されていることから、

この円盤構造は空間的に厚みを持った円盤である。最近のシミュレーションによると、星形成の過程で中心星の周囲に円盤のような形をしたエンベロープが形成される<sup>22)</sup>。I04368の周囲に見られる円盤構造も、この円盤のような形をしたエンベロープなのだろう。この意味で、この円盤構造は円盤状エンベロープと呼ぶのがふさわしいだろう。

右上(b)のパネルではこの円盤状エンベロープを<sup>13</sup>CO輝線で観測された分子流シェルと比較した。この分子流シェルは、先に示した<sup>12</sup>CO分子流の周囲を取りまくシェルで、分子流の最も外側の「皮」の部分と考えられる。この図から円盤状エンベロ

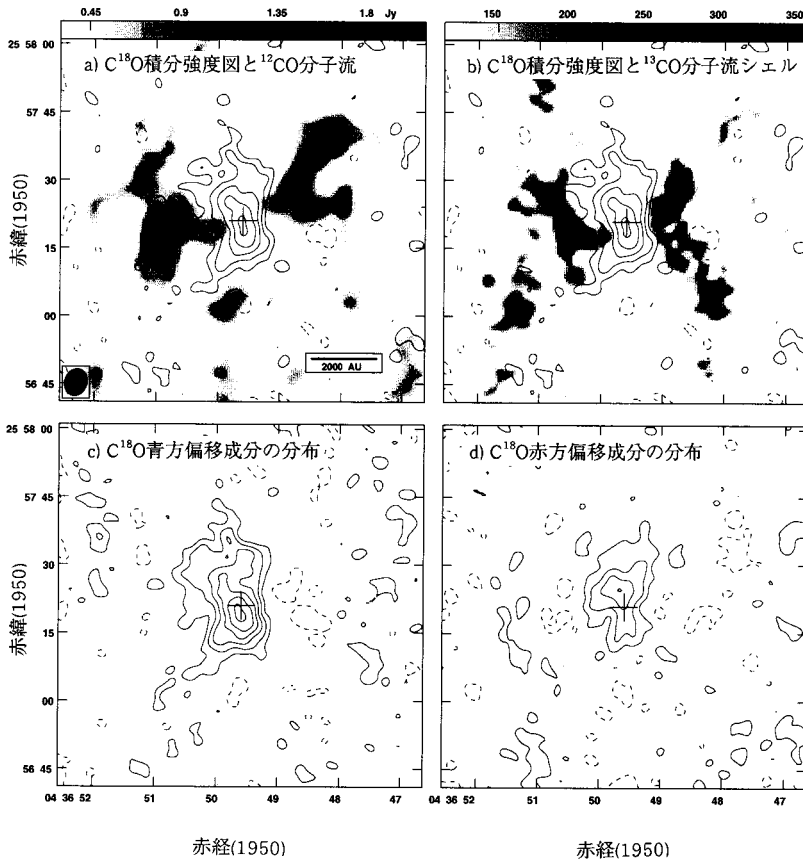


図4 IRAS 04368+2557の観測結果。それぞれのパネルでは中心星の位置を十字で示した。(a)  $C^{18}O$  (1-0)の積分強度図に $^{12}CO$ 分子流（グレースケール）の分布を重ねた図。(b)  $C^{18}O$ の積分強度図に $^{13}CO$ 分子流シェル（グレースケール）を重ねた図。(c)  $C^{18}O$ の青方偏移成分のみの積分強度図。(d)  $C^{18}O$ の赤方偏移成分のみの積分強度図。

ープと分子流シェルが見事に反相関している様子がわかる。円盤の東西の窪んだ部分にちょうど分子流シェルが位置している。また、分子流シェルの開口角が大変大きいことも興味深い。この見事な反相関から、分子流が東西方向に吹き出したときに、エンベロープの東西部分を吹き飛ばした光景が想像される。円盤状エンベロープの東西の窪みは、分子流によりガスが吹き飛ばされたことによるのかもしれない。

さて、次にこの円盤状エンベロープの速度構造を見てみよう。図4の下のパネルに青方偏移した成分(c)と赤方偏移した成分(d)の分布を並べた。この2つのパネルを見ると、速度が青方偏移から赤方偏移へと移るにつれて、 $C^{18}O$  ガス分布のピークの位置が南から北へと移動する様子がわかる。ここで気の早い読者は、「円盤状エンベロープが回転している！」と結論を出してしまうかもしれない。確かに、この速度勾配は円盤の回転と解釈できる。しかしながら、2つのパネルをよく見ると、もう一つ重要な事実が気がつく。つまり、青方偏移した成分でも赤方偏移した成分でも、中心星を挟んで南北に伸びる構造が見られる。もし、上記の速度勾配が純粋な回転運動だとすると、青方偏移したガスは中心星の南側のみで検出され、逆に、赤方偏移した成分は中心星の北側のみで検出されるはずである。このことから、この速度構造を説明するためには、円盤構造の回転に加えて円盤面に沿った運動、例えば中心方向への質量降着、を考える必要があることがわかる。

この速度構造を理解するために、簡単な円盤のモデルを用いることにしよう。ここでは、角運動量を保存しながら回転しつつ動的に降着する、半径2000 AUの円盤を考える。また、観測者は円盤を真横から観測しているとする。角運動量を保存しつつ回転する場合は、ケプラー回転とは違って、その回転速度は中心星の質量には依らず、外側の回転速度と回転半径で決まる。ここでは角運動量を保存する場合に見られる、半径に反比例して回

転速度が増加する場合を仮定する。一方、動的降着は自由落下運動なので、その速度は中心星の質量に依る。ここでは中心星の質量を $0.1 M_{\odot}$ とし、半径2000 AUでの回転速度を秒速0.05 kmとする。このモデルを用いて、円盤の長軸方向に沿った位置-速度図を計算し、それを観測と比較した。その結果を図5に示した。一番上のパネルが観測から得られた位置-速度図で、中央のパネルがモデルから得られた図である。モデルから予想される位置-速度図と観測から得られたそれがよく一致している様子がわかる。それに対して、一番下に示した(ケプラー)回転運動のみを持つ円盤の場合は、観測結果とは合わない。同様に、降着運動のみでも観測を説明することはできない。以上のことから、この円盤状エンベロープの運動を説明するためには、回転と降着運動の両方が存在することが本質的であると言える。

今回のモデルでは中心星の質量を $0.1 M_{\odot}$ とし、半径2000 AUでの回転速度を0.05 km/sとした。この中心星の質量から計算される動的降着速度は、半径2000 AUで約0.3 km/sである。中心星の質量をもっと重たく( $0.3 M_{\odot}$ )したり、回転速度をもっと大きく(0.2 km/s)したりすると、観測と合わなくなってしまう。上記の2つのパラメータは観測を説明するのに適した値である。半径2000 AUでの回転速度と降着速度を比べると、明らかに降着速度の方が大きい。このことは正にこの円盤状エンベロープが回転で支えられた円盤ではなく、動的に降着する円盤であることを示している。

ここでは円盤面に沿った運動として、中心に向かう降着運動を考えたが、逆に外側へ向かって広がっていく運動でも説明できるのだろうか？確かに、この円盤状エンベロープは天球面に対してほぼ垂直に分布しているので、円盤面に沿った内向きの運動(降着運動)と外向きに広がっていく運動は同一の視線方向上に観測され、それらを区別することはできない。しかしながら、上記のような回転速度で回転しつつ外側へ向かって広がるよう

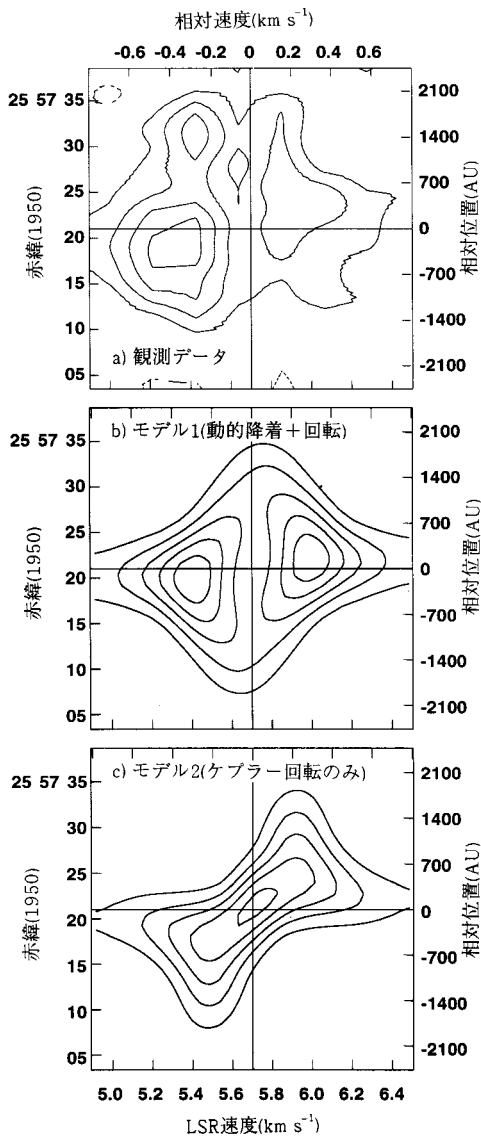


図5 IRAS 04368+2557のC<sup>18</sup>O円盤構造の長軸(南北)方向に沿って切った位置速度図。上が北側。左側の軸には位置の絶対値を、右側の軸には中心星の位置に対する相対位置を示した。また、下の軸には速度の絶対値を、上の軸には中心速度に対する相対速度を示した。(a)観測から得られた位置-速度図。(b)回転しつつ動的降着する円盤モデルから予想される位置-速度図。(c)ケプラー回転する円盤モデルから予想される位置-速度図。

な円盤は、物理的に考えにくい。仮に、中心星の近くからガスが吹き出して、それが回転しつつ広がる円盤を形成したとしよう。その場合、円盤の回転運動は中心星の回転運動、つまり角運動量で決まる。理論的には中心の原始星の回転速度はせいぜい140 km/sである<sup>23)</sup>。この速度から角運動量保存則を用いて、半径2000 AUでの回転速度を計算すると、それはたった0.001 km/sにしかならない。これは上記の考察から予想される回転速度よりも1桁以上小さい。このような理由から、この円盤状エンベロープの運動を説明するには中心へ向かう降着運動の方がより自然であると考えられる。

もし、我々のモデルが正しいとすると、ゆっくりと回転しつつ動的降着するエンベロープの中心には、回転で支えられる円盤、いわゆる粘性円盤(原始惑星系円盤)が形成される<sup>18)</sup>。つまり、回転速度は半径に反比例して増加するのに対して、降着速度は半径の平方根に反比例して増加するため、中心星の近傍では回転速度が卓越することになり、その結果、回転で支えられるようになるのである。その半径を見積もると約100 AUとなり、I04368のエネルギースペクトルから予想されるコンパクトな円盤の半径とよく合う。この100 AUというサイズは、原始惑星系円盤の典型的なサイズとほぼ等しい。一方、半径2000 AUでの質量降着率は約 $10^{-6} M_{\odot}/\text{yr}$ となり、中心星の質量と光度から予想される中心星への質量降着率と矛盾しない。

## 5. これからが本番

野辺山ミリ波干渉計の高感度観測を通じて、低質量原始星候補周囲に動的降着するガス成分について直接検出することができるようになってきた。星誕生の現場を直接見るできるようになった、と言っていいだろう。これまでの結果によれば、その降着エンベロープはゆっくりと回転する円盤状の形をしているようだ。惑星系の基と考えられる原始惑星系円盤は、このようなゆっくりと回転する円盤状エンベロープから形成されるようである。し

かし、まだ結論を出すのは早い。たった2天体ではないか！これからが本番である。干渉計を用いて降着運動が検出できるようになった今、この研究を徹底的に押し進め、原始星候補を真に理解することが大変重要であろう。そのために我々は今もなお、原始星候補の観測を続行中である。次にここに記事を書くときには、より統計的に意味のあるデータを用いて、原始星候補の真の姿をお伝えできるよう奮闘中である。

ここで紹介した結果は、林 正彦(国立天文台)、Paul Ho(スミソニアン天文台)、百瀬宗武(総研大)、平野尚美(一橋大)、田村元秀(国立天文台)(以上敬称略)との共同研究です。観測にあたっては、野辺山宇宙電波観測所のスタッフの方々に大変お世話になりました。また、この原稿の執筆の際には編集委員の林 左絵子氏より様々なアドバイスを受けました。ここにお礼を述べたいと思います。

### 参考文献

- 1) Sargent, A.I., Beckwith, S.V.W., 1987, ApJ 323, 294
- 2) Sargent, A.I., Beckwith, S.V.W., 1991, ApJ 382, L31
- 3) Hayashi, M., Ohashi, N., Miyama, S.M., 1993, ApJ 418, L71
- 4) Beichman, C.A., et al., 1986, ApJ 307, 337
- 5) 例えば Adams, F.C., Lada, C.J., Shu F.H., 1987, ApJ 312, 788
- 6) 例えば Zhou, S., Evans, N.J., II, Kömpe, C., Walmsley, C.M., 1993, ApJ 404, 232
- 7) Ohashi, N., Hayashi, M., Ho, P.T.P., Momose, M., Hirano, N., 1996, ApJ 466, 957
- 8) Ohashi, N., Hayashi, M., Ho, P.T.P., Momose, M., 1997, ApJ in press
- 9) Snell, R.L., Loren, R.B., Plambeck, R. L., 1980, ApJ 239, L17
- 10) Kaifu, N., et al, 1984, A&A 134, 7
- 11) Sargent, A.I., Beckwith, S., Keene, J., Masson, C., 1988, ApJ 333, 936
- 12) Keene, J., Masson, C.R., 1990, ApJ 355, 635
- 13) Lay, O.P., Carlstrom, J.E., Hills, R.E., Phillips, T.G., 1994, ApJ 434, L75
- 14) Hodapp, K.-W., 1994, ApJS 94, 615
- 15) Stocke, J.T., et al., 1988, ApJS 68, 229
- 16) Saito, M., Kawabe, R., Kitamura, Y., 1996, ApJ in press
- 17) Moriarty-Schieven, G.H., Snell, R.L., 1988, ApJ 332, 364
- 18) Lin, D.N.C., Hayashi, M., Bell, K.R., Ohashi, N., 1994, ApJ 435, 821
- 19) Benson, P.J., Myers, P.C., 1989, ApJS 71, 89
- 20) Tamura, M., Gatley, I., Waller, W., Werner, M.W., 1991, ApJ 374, L25
- 21) Tamura, M., Ohashi, N., Hirano, N., Itoh, Y., Moriarty-Schieven, G. H., 1996, AJ in press
- 22) 例えば Nakamura, F., Hanawa, T., Nakano, T., 1995, ApJ 444, 770
- 23) Shu, F.H., Adams, F.C., Lizano, S., 1987, ARA&A 25, 23

### Dynamical Infall around Low-Mass Protostar Candidates

Nagayoshi OHASHI

*Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics,  
Mail Stop 78, 60 Garden St., Cambridge, MA02138,  
USA*

Abstract: Dynamical infall is an essential phenomenon in star formation. Although dynamical infall has been veiled for a long time because of its small velocity and size, recent high sensitivity interferometers are enabling us to observe dynamical infall directly. We report here our recent observations of dynamical infall around low-mass, i.e., solar-type protostar candidates with the Nobeyama Millimeter Array.