

動的降着を示す HLTau の ガス円盤

若い星 HLTau をとりまく半径 1400 AU のガス円盤が、降着運動をしていることが、野辺山ミリ波干渉計による観測で明らかになった。1 km/s という落下速度から考えて降着は動的であり、このガス円盤は、原始星時代の動的降着するエンベロープの名残であると考えられる。ガス円盤の質量降着率は $10^{-5} M_{\odot}/\text{yr}$ 程度であり、より内側に存在する原始惑星系円盤での質量降着率より大きい。すなわち降着は非定常であり、HLTau の降着円盤系はいずれ何らかの不安定性を起こすに違いない。

1. 原始星とはなんだろうか？

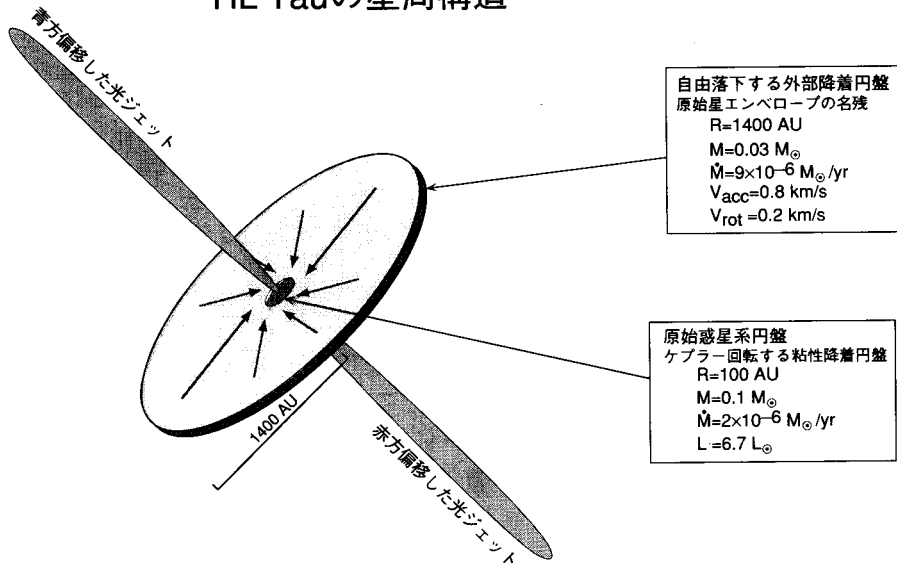
「原始銀河ってなに？」と質問すると、人により違った答えが返ってくる。比較的共通している答は、重元素量が 0 で爆発的星形成を起こしている

るガス塊だ、というものである。ただし観測をする人は、皆自分の発見したものを原始銀河“候補天体”と呼んでいるようだ。

20 年前の原始星は同じような状況にあった。すなわち「原始星ってなに？」と質問すれば、「動的質量降着をしている若い星だ」というような比較的漠然とした答が返ってきたことだろう。1970 年代後半の論文を読むと、「私の観測こそ動的降着の証拠であって、この天体こそ真の原始星だ」という論文がいくつかある。それらの観測が原始星の証拠ではないことは、すぐに判明した。

原始星とはなんだろうか？ 実は、まだ確固たる定義（についてのコンセンサス）があるわけではない。IRAS のデータに基づいて、統計的に原始星の存在を指摘した Beichman¹⁾は、「光度の半分以上を、エンベロープからの動的降着によって放出している若い星」を原始星の定義とした。私も、これはいい定義だと思った。今でもいい定義である。ところが実は、主たる質量降着を終えたと考えられる TTauri 型星でも、1 割程度の星が降着によって総放射光度の半分以上を出していることが分かってきた。もっとも、これは動的降着では

HL Tau の星周構造



なく、粘性降着円盤によるものと考えられるが、このことが気がかりだったので、私たちは原始星“候補天体”を、「分子雲に埋もれて可視光では見えない若い星」と呼んでみた。これはあまり評判が良くない。名古屋大学の佐藤修二さんが、「そんなこと言っただて、へびつかい座分子雲には可視光で見えん TTauri 型星があるんやで」とおっしゃっていたのをよく覚えている。同じく名古屋大学の福井康雄さんは、「原始星＝双極分子流天体」という考えを提唱された。これは良い考えである。ただし、やっぱり 1 割程度の TTauri 型星には双極分子流が付随している。

考えてみれば、こんな定義の問題はどうでも良いことだ。「年取った原始星で可視光で見えるようになったものは、若い TTauri 型星として観測できる」と言ってしまえば良い。皆（あるいは私だけ）が、原始星と TTauri 型星とが排他的でなければいけないと勝手に思っていただけだ。重要なのは、それぞれの進化段階での物理現象の解明であり、また、進化を物理的に理解することである。

2. HLTau のガス円盤での動的降着の検出

HLTau は、遠赤外線からサブミリ波・ミリ波帯にかけて、おうし座で最も明るい TTauri 型星である。星の周囲には、大きさが 100 AU 程度の原始惑星系円盤があり、さらにその外側には直径 4000 AU のガス円盤が取り巻いていることが、今までの観測から分かっていた。

この、外側のガス円盤は、カルテクのサージェントら^{2,3)}が発見したものだが、彼女たちはこのガス円盤がケプラー回転を示すという結果を出していた。ところが、私たちが野辺山ミリ波干渉計を用いて観測してみると、ガス円盤内の主たる運動は、中心の星および原始惑星系円盤の系への降着であることが判明した⁴⁾。

表紙にある 4 枚の絵の中で、左上の図は野辺山ミリ波干渉計で観測した¹³CO ($J=1-0$) のガス円

盤（コントア）と、HLTau から出ている [SII] 輝線のジェット⁵⁾（赤色）を示している。ジェットの北東（左上）側は約 200 km/s 青方偏移しており、南西（右下）側は約 200 km/s 赤方偏移している。つまり、左上に伸びるジェットは私たちに近い側で、右下に伸びるジェットは私たちから遠い側にある。したがって、ジェットに対して垂直に存在しているガス円盤については、左上側が私たちから遠い側で、右下側が私たちに近い側であることが分かる。

表紙の絵で右上、左下、右下は、それぞれ、約 1 km/s 青方偏移した速度、システミック速度、約 1 km/s 赤方偏移した速度での¹³CO で見たガス円盤像である。円盤の左上側つまり私たちから遠い側では青方偏移し、また右下の私たちに近い側では赤方偏移しており、さらにシステミック速度では星の位置を中心に、円盤の長軸に沿って¹³CO の放射が伸びているのが分かる。すなわち、このガス円盤は中心に向かって収縮している。

ガス円盤内の速度場を詳しく解析してみると、円盤には 0.2 km/s 程度の回転運動も見られる。しかし、この回転速度は収縮速度に比べて小さい。また、観測された円盤の収縮速度は、HLTau（質量 0.55 M_☉）の重力下での半径 1000 AU における自由落下速度にほぼ等しい。つまり、HLTau のガス円盤は、ケプラー回転する降着円盤ではなく、中心に向かって動的収縮をする円盤なのである。

このことは、HLTau のガス円盤が、原始星時代の動的収縮するエンベロープの名残であることを示している。あるいは、Beichman の定義にしたがえば、HLTau は「光で見える」原始星であると言っても過言ではない。HLTau の異常にフラットなエネルギースペクトル、高い光度、ジェットおよび双極分子流の存在、吸収線が全く見られないほどの強いベアリングなど、すべての特徴はこの星がまだ主たる降着を行っている原始星であることを意味している。ついに星形成時の動的降着が、直接検出されたのである。ただし、HLTau が可視

光で見えていることは、そのエンベロープの大部分が消失していることを意味する。この意味では、HLTau を原始星から TTauri 型星への遷移期にある星と考えるのが良いだろう。非常に若い TTauri 型星の時期に、動的降着が続いている遷移期があることは、実は原始惑星系円盤の形成過程を解析する過程で、すでに私たちが予想していたことである⁹⁾。

HLTau のガス円盤の半径は 1400 AU、質量は $0.03 M_{\odot}$ 程度である。この値と、円盤上での降着速度 1 km/s から、ガス円盤の質量降着率が $9 \times 10^{-6} M_{\odot}/\text{yr}$ 程度と見積もられる。この質量降着率から、HLTau の年齢は 10^5 yr 程度と推定できる。これは、星形成直前の分子雲コアの自由落下時間と同程度である。これまで HLTau の年齢は 10^6 yr ほどと見積もられていた。この星は大きな減光を受けており、しかも光球起源の吸収線が見られないため、その年齢を推定するのは困難だったが、今回の観測から HLTau が極めて若い TTauri 型星だと判明した。

ガス円盤の質量降着率を、HLTau がその全光度を降着で生成していると仮定したときの質量降着率と比べてみると面白い。HLTau は、赤外超過で測られる降着（原始惑星系）円盤の総光度が $6.7 L_{\odot}$ もある。これを星表面への降着だとすれば、質量降着率は $1.6 \times 10^{-6} M_{\odot}/\text{yr}$ となり、上記の外部円盤での降着率に比べて有意に小さい。このこ

とは、外部ガス円盤と内部の原始惑星系円盤からなる降着円盤の全系が、非定常であることを示している。さらに面白いことに、HLTau の光球近傍（中心星と境界領域）から放射される総光度は $0.9 L_{\odot}$ しかない。低速回転星周囲の定常降着円盤ならば、境界領域からの総放射光度は、円盤からの総放射光度に等しいはずであろう。以上のことから、HLTau では星の半径の数倍の場所に、降着物質が蓄積されつつあるのではないかと考えられる。蓄積された物質は、いずれ不安定性を起こして中心星へと落下するであろう。近いうち（1 万年程度）に、HLTau は FUOri 型の爆発を起こすはずである。

林 正彦（東大理）

参 考 文 献

- 1) Beichman, C. A., Myers, P. C., Emerson, J. P., Harris, S., Mathieu, R., Benson, P. J., & Jennings, R. E. 1986, *Astrophys. J.*, **307**, 337.
- 2) Sargent, A. I., & Beckwith, S. V. W. 1987, *Astrophys. J.*, **323**, 294.
- 3) Sargent, A. I., & Beckwith, S. V. W. 1991, *Astrophys. J.*, **382**, L31.
- 4) Hayashi, M., Ohashi, N. & Miyama, S. M. 1993, *Astrophys. J.*, in press.
- 5) Mundt, R., Ray, T. P., & Büke, 1988 *Astrophys. J.*, **333**, L69.
- 6) Ohashi, N., Kawabe, R., Hayashi, M., & Ishiguro, M. 1991, *Astron. J.*, **102**, 2054.

☆

☆

☆

☆