

原始惑星系円盤の直接観測



若 者

深 川 美 里*

Direct Observations of Protoplanetary Disks

Key Words : Astronomy, Extrasolar Planets

「我々からすれば、オタクなんですよ。」あるマスコミの人から言われた台詞である。たぶん、なぜそれほど熱心に自分の研究、しかも些細なことについて語るのか理解できない、と言われたような気がする。ただ、彼は、それこそ研究者のあるべき姿である、とも言った。狭い視野で興味のままに物事を掘り下げる、それで良いと。ある程度は、同意する。しかし多くの人がしたがる質問、「実際、それは何の役に立つのですか」に答えたいし、研究に対する意欲を支えるものの一つとして、自分の中に構築しておきたいと思ってしまう。残念ながら、かどうかは分からないが、私はおそらく、用意周到に考えておかない限り、すぐさま答えるのが難しい研究分野にいる。

太陽のまわりを地球が回っているように、宇宙に存在する他の星々にも惑星が付随する。それらを太陽系外惑星と呼び、2010年4月現在で440個以上もの系外惑星が発見されている。ほとんどは木星のように重い惑星だが、最近地球質量に迫る惑星も見つかり始めている。現在、天文学でもっとも重要なテーマを挙げよと言われれば、系外惑星の研究は上位3位ぐらいに入るようだ。私はその中で、星の誕生にともなって惑星がどのように形成されるのを知するために、若い星を取り囲む原始惑星系円盤を

観測している。

星はガスと塵（固体微粒子）の雲の中で生まれる。周囲から物質が降り積もって星が成長していくが、このとき、もともとの雲は角運動量を持っているため直接星に落ちることができず、星を囲む円盤状の構造を形成する（図1）。円盤は星へ質量を供給する役割を持つとともに、惑星の材料となる。ただし、実際に円盤内でどのように惑星が誕生するのかは、分かっていない。理論はまだ何の問題もなく惑星を作ることができていないし、理論を検証するための観測データは足りていない。理論研究について言えば、木星のような巨大惑星の形成に関しては、大きく2つの対立理論がある。ひとつは、円盤の中で塵がゆっくり集まって微惑星と呼ばれるキロメートルサイズの塊を形成し、それらの合体成長によって原始惑星が誕生するという説、もう一つは、重くて冷たい円盤において重力不安定性により一気に惑星ができるというものである。前者のコア集積仮説は、京都大学グループの林モデルに基づいている。ただし80年代当時は太陽系の形成を論じたものであったのに対し、現在、研究の主流は汎惑星形成論を構築するところにある。背景には、見つかっている系外惑星が、その軌道や質量の点で太陽系の惑星とは非常に異なるという観測事実がある。これは一つには、惑星を検出するための技術の制約によって、星から遠い惑星、あるいは近くても軽い惑星は見つけにくいという事情があることに注意が必要である。しかしともかくも、宇宙における惑星の多様な描像を得た上で、太陽系や地球が普遍的な存在なのか、



* Misato FUKAGAWA

1977年5月生
 東京大学・理学系研究科・天文学専攻
 (2005年)
 現在、大阪大学大学院理学研究科 宇宙
 地球科学専攻 助教 理学博士 天文学
 TEL : 06-6850-5502
 FAX : 06-6850-5480
 E-mail : misato@ess.sci.osaka-u.ac.jp



図1 原始惑星系円盤から惑星系へ。

あるいは奇跡なのかを理解しようという意識で研究が進められている。

さて、惑星形成の本当のところを理解するには、観測で実在のシステムの性質を調べることが必須である。理論計算では、初期条件、つまり円盤の密度や温度分布などに基づいて結果が導かれる。しかしそれら基本的な物理量ですら、まだ明らかにできていない。円盤も惑星同様、まぶしい星の(天文学的には)すぐ近くに位置する暗い構造であるため、星と円盤を分離することが難しいのである。仕方がないので、理論研究者は今の太陽系の惑星をすりつぶして物質を分布させたモデルを初期条件として用いてきた。しかし観測技術は確実に向上し、近年は円盤の詳細な構造が直接見えるようになってきている。図2は私たちのグループがとらえた円盤の例である。ハワイ島マウナケア山(標高4200メートル)の山頂にある、口径8メートルのすばる望遠鏡を使っている。円盤の直接観測に必要なのは、まず高い空間分解能である。光は波の性質をもつため星は検出器上で点にならず空間的に広がってしまうが(回折限界)、望遠鏡の口径が大きいほど像のサイズは小さくなり分解能が上がる。加えて、キーになる技術が補償光学である。天体からの光は地球大気を通過する際に大気揺らぎの影響を受けるため像がぼやけてしまう。そこで補償光学装置を用いて揺らぎをリアルタイムで補正すれば、回折限界に近い像を得ることができ、星の光が円盤を隠してしまうことを避けられる。さらに、皆既日食のように、まぶしい星を装置内に置いたマスクで隠して、周囲の淡い構造を観測するためのコロナグラフも用いている。

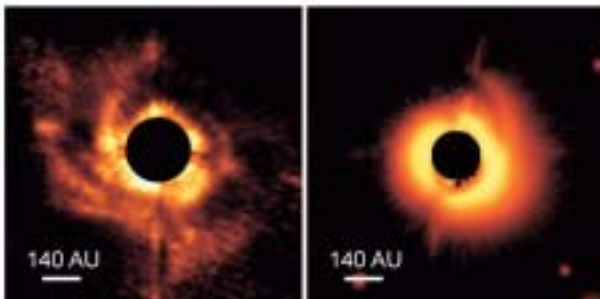


図2 原始惑星系円盤の近赤外線画像。(1 AU = 太陽と地球の距離)

観測の結果は、たいがいそうなのだが、予想外だった。原始惑星系円盤といえば、星近傍から外側へ向って一様に広がっているというイメージが一般的

であった。過去の観測は円盤を空間的に分解できず、全体からの赤外線放射量を測定していたが、一様な円盤はこれをおおまかに再現していた。もっとも単純なモデルからスタートするのは当然のことであるが、観測で直接調べることの重要性を示してみせた結果だと言える。その結果の解釈だが、例えば渦状の円盤は、先に述べた2つの対立する惑星形成論のどちらか一方を強力に支持するというよりは、重めの円盤で渦状腕が形成されるが一気に惑星形成には至らず、ただし密度の高い腕の部分で塵の集積が加速されるのではないかという、中間的なシナリオを示唆するものであった。昨年秋、私たちはさらに性能が向上した補償光学装置とコロナグラフを用いて、この円盤の像を得ている。より星の近くまで2倍の空間分解能で撮影した結果、塵が存在しない円環状のギャップ領域や、さらに内側の渦状腕が見えてきた。現在、構造と惑星の存在との関連を、理論家とともに検討しているところである。また、円盤の構造は、星や円盤の質量、他の重力源(星)の存在などに依存し、時間(進化)というひとつの変数だけで記述されるものではない。初期条件にバリエーションがあれば、結果としての系外惑星系も多様になることが想像できる。円盤を空間的に直接分解した観測はまだ数えるほどしかないが、今後も最新の観測装置を用いてその数を増やし、惑星誕生の様子を明らかにするという課題に取り組んでいきたい。

この分野にいる大多数の研究者の頭にあるのは、行く行くは系外における生命現象を理解したいということだろう。宇宙において生命は普遍的なのか、また、生命はどこでどのように誕生したのか、という疑問を解決する手がかりが得られるはずだからだ。この問題へのアプローチの仕方はたくさんある。生命は化学反応によって誕生し維持されているから、例えば最初の生命を再現する試みは実験室科学として成り立っている。系外惑星系分野で特筆すべきは、形成後の惑星の大気中にどのような分子が存在するのか、少数についてはあるが、調べられ始めていることである。今のところ、太陽系や地球は生命にとってちょうど快適な場所に位置しており、地球は少数派だろうという考えがあるが、将来的には他の惑星に生命現象の証拠が見つかるかもしれない。

自らの起源を知りたいという欲求は、普遍的であ

る。それはおそらく真実だろう。しかし、私にとって今の研究は、星が生まれる様子を見てみたいという、ただの好奇心から始まったことである。だから白状すると、この普遍的とされる欲求に対して自分がどの程度の実感を持っているのか、自信がなかった。一方で、普遍的な立場からの質問として、このような学問が役に立つのか、というのがある。ここで「役に立つ」とは、ほとんどの場合、経済活動と深く結びついた日常生活の中での恩恵という意味である。役には立ちません、というのがまずは誠実な答えではなかろうか。ただ、しばしば言われるように、美しい画像や様々な謎を解明していく様子が報道され、目にした人が一瞬でも日常とは別の空間スケールへ思いをめぐらすことができる、それは無意味なことではないだろう。また、天文観測のための技術が社会で応用されることもあるそうだ。それでも納得してもらえないならば、文化であるという言い方をすることもできるかもしれない。これは先の、起源を知るといふ動機と結びつく。実際、両者の関連を認識する出来事があったので、若干独りよがり聞こえたら申し訳ないが、最後にそれを書いてお

こうと思う。

人は有限の命を持っているが、例えば病気などで半ば突然に死を強く意識させられることが、それなりの数の人に起こる。先日、その只中にいる知人の話を聞いた。いわく、系外惑星に興味を持ち、雑誌などで知るうちに、自分の生をそれまでとは違った視点から俯瞰できるようになったそうだ。地球上の人間圏の中で自分を見るのではなく、宇宙から地球を観るのである。そして印象的だったのは、宇宙の中の生命という認識は、生きやすさの大きな助けになる、という言葉だ。SFや哲学論争に終わらず科学として真面目に研究されているという事実があるから、安心して投げかけられるのだろう。もちろんそこには、純粋に新たな知識を得たことの喜びが相乗効果として効いていることも承知の上で、それでも、生きやすくなるという言葉は、重くはないだろうか。個々人の生命観や人生観に影響を与える確かに根源的なテーマであり、これに対して科学的、つまり定量的な検討によって知を得ていくことの意義の一端を、今さらながら感じたような気がした。

