

系外惑星を求めて

田村元秀

総合研究大学院大学助教授天文科学専攻 / 自然科学研究機構国立天文台助教授

太陽系の外で惑星の発見が続いている。その数は10年余で200個以上に上り、恒星に惑星が存在するのは珍しくないことが明らかにされた。次のステップは従来の間接観測に代わる直接観測で、さらには地球型惑星の発見も期待される。

2006年8月の「冥王星が惑星の仲間から外れる」というニュースは、予想を越える大きな社会的反響を引き起こした。惑星はそれほど一般の人々にも馴染み深い天体であるからだろう。その数は太陽系の中でこそ8個しかないが、すでに200個を超える数の惑星が太陽系の外で見ついていることをご存知だろうか。これらは「太陽系外惑星」あるいは「系外惑星」と呼ばれ、主に、惑星の存在が及ぼすさまざまな影響を間接的にとらえること（間接的系外惑星検出）によって、過去10年間に続々と発見されてきた。

惑星は生命をはぐくむための液体の水と酸素が存在しうる場であるため、系外惑星、とくに地球に似た惑星を探す試みは、地球外生命を求めるステップとして、一種の極限宇宙の探索に挑む研究テーマなのである。

系外惑星発見前夜

系外惑星を探す試みは決して新しい。20世紀初めから中葉にかけてアメリカのバンデカンブラが精力的な観測を行い、太陽に2番目に近いバーナード星に木星クラスの惑星が2個存在すると発表した。ところが、数十年にも及ぶこの観測結果は、別のグループによる観測で否定されてしまった。

1980年代に入って、惑星検出のための観測技術は著しく向上した。しかし、カナダのグループが、最新の手法と口径4mの望遠鏡を12年間用いた観測によっても系外惑星は見つからず、その検出には否定的な雰囲気が漂っていた。

その風向きを一挙に変えたのが、1995

年のスイスのメイヤーとケロツの発見だった。それは木星質量の半分の惑星が、ペガスス座51番星の周りをわずか4日の周期で公転しているという驚くべきものだった。木星は太陽の周りを12年かけて公転するので、そのあまりの差異に、当時は惑星と違うのではという意見もあった。しかし、他グループによる追観測でもすぐさま確認され、恒星を周回する系外惑星の最初の発見となった。

惑星探査の方法

現在の惑星検出は間接法が主流である。ここでは主要な2つを紹介する(図1)。惑星の公転運動によって、わずかながら恒星自体がふらつく。この速度変動を、恒星からの光のドップラー効果を利用して測定するのが「ドップラー法」である。メイヤーらが用いたのもこの手法であ

る。太陽系の木星および地球の公転による太陽の速度変動はそれぞれ毎秒13mおよび0.1mで、巨大惑星の検出でさえも数m / 秒の精度が必要である。最近では、1m / 秒を超える精度(人の歩く速さ!)により地球質量の10倍程度しかない惑星も5例発見されており、系外惑星の9割以上がこの方法で発見されている。

もう1つの検出法は、惑星が恒星の前面を通り過ぎること(トランジット)による明るさの微小変化を検出する「トランジット法」である。木星および地球のトランジットによる太陽の光度変化は、それぞれ約1%および0.01%しかない。これまでに14例が確認されている。観測者から見て惑星の軌道面が視線と一致する偶然が必要なため、一度に多数の星を観測する必要がある。

CCDを備えた口径1m以下の小型望遠

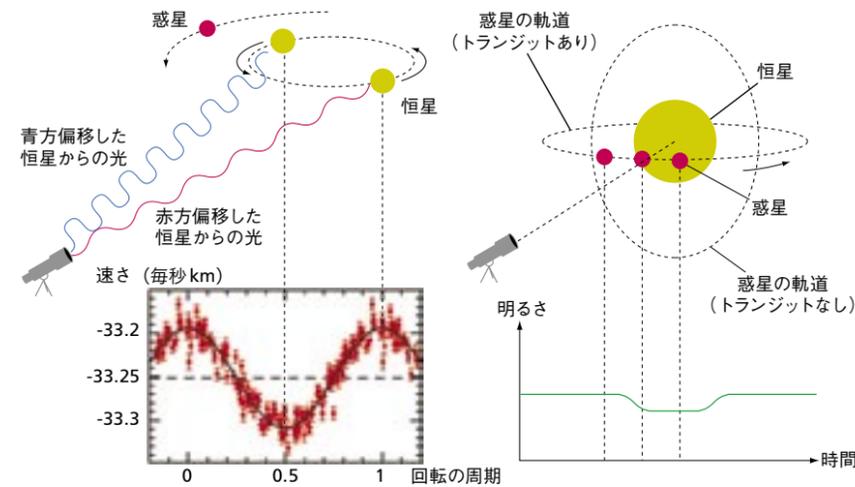


図1 系外惑星の間接的検出法
ドップラー法(左)とトランジット法(右)。

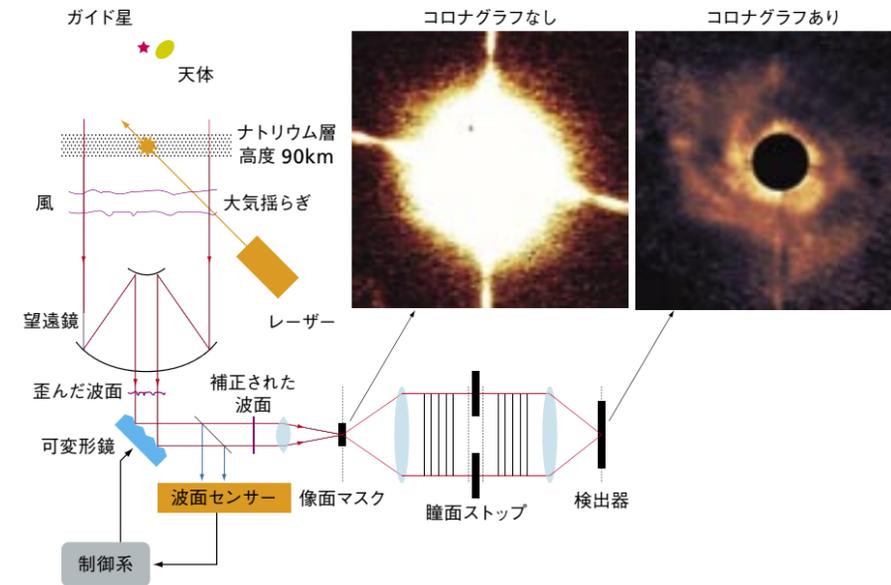


図2 補償光学とコロナグラフによる高コントラスト観測の原理

鏡によっても惑星検出が可能のため、トランジット法は教育機関やアマチュアがトライするには最適の方法である。ただし、地上からは地球の大気揺らぎのため、木星型巨大惑星の検出が限界である。

一方、大気揺らぎのない宇宙空間では、トランジット法によって木星型だけでなく地球型の小さい惑星の光度変化をとらえることもできる。2009年打ち上げ予定のケプラー衛星(米国)では数百個の地球型惑星を検出できるかもしれない。

系外惑星の性質

数千個の恒星の探査の結果、太陽に似た恒星の周りで惑星が見つかる頻度は10%程度であることがわかった。今後の観測精度向上により、まだ発見されていない恒星の周りにも惑星が検出される可能性があるため、これは下限値である。そのことを考えれば、恒星に惑星が存在することは、それほど珍しい現象ではないと言ってよいだろう。

惑星の重さとしては、最初は木星質量程度のものが数多く発見されたが、最近では最小で地球質量の6倍程度のもまで見つっている。しかし、地球型と呼ばれるほど軽い天体は未発見である。

系外惑星は主星を公転しているが、その軌道は太陽系の惑星とは大きく異なる。

系外惑星は、軌道が0.02~6天文単位^{*1}、公転周期にして約1日から15年の範囲に分布している(周期の長いほうは観測継続期間によって制限されている)。

0.1天文単位以内の巨大惑星は「ホット・ジュピター」と呼ばれ、周期3日前後のものが多い。主星に近いため、その表面温度は1000°Cを超える。また、太陽系の惑星はほぼ円軌道で太陽を公転するが、系外惑星の軌道の離心率は著しく多様で、0から0.9程度までの広い範囲に分布している。このように、系外惑星は太陽系とは大きく異なる性質をもっており、その原因はまだよく理解されていない。

直接観測に向けて

間接法は惑星からの光を直接検出するわけではないため、どうしても不定性が残る。系外惑星探査の次の重要なステップは直接観測である。

直接撮像観測のためには、①暗い惑星を検出するための高感度、②主星と惑星を見分けるための高解像度、③惑星の近くにある恒星からの明るい光の影響を抑えるための高コントラスト、の3つを同時に実現しなければならない。なかでも最大の問題はコントラストである。惑星からの光は可視光および近赤外波長では恒星からの光の反射が主で、明るさの比

は約100億倍にも達する。中間赤外より長波長では惑星自体の熱放射のため両者の明るさの比は多少緩和されるが、それでも約1000万倍となる。

地上観測の最大の障壁は地球大気の揺らぎが起こすかげろうである。現在、すばる望遠鏡などの口径8~10m級の地上大望遠鏡では、大気揺らぎを時々刻々と補正する補償光学や、明るい恒星を隠すコロナグラフなどを用いて、年齢の若い巨大惑星の検出などが試みられている(図2)。

太陽系の木星のような年齢46億年という成熟した巨大惑星や、現在は間接法でさえも検出ができていない地球型惑星は、次世代の超大型地上望遠鏡でも観測が難しい。そこで、コントラストの向上に焦点を当てた新しいスペースミッション(TPF-CやTPF-I / Darwin / JTPF)が計画されていて2020年ごろの打ち上げを目指している。太陽近傍の恒星を探索し、第2の地球を発見し、生命の指標となりうる地球に似た大気存在をスペクトルで確認するのがその使命である。

21世紀の最も重要かつ夢のある科学テーマとして、ぜひ多くの若い学生の皆さんがこの問題にチャレンジされることを期待している。

*1 天文単位
1天文単位は地球~太陽間の平均距離。



田村元秀(たむら・もとひで)
専門は赤外線天文学、系外惑星探査、宇宙磁場などの偏光観測。すばる望遠鏡用コロナグラフの開発のほか、南アフリカにあるIRSF1.4m望遠鏡の赤外線3色カメラの開発や各種偏光器の開発にも携わりながら、多数の望遠鏡を用いて観測的研究を進めてきた。現在は、すばる望遠鏡用次期コロナグラフの開発、地球型系外惑星ミッションなどを推進している。