

系外地球型惑星の存在確率

Probability of extrasolar terrestrial planets

井田 茂[1]

Shigeru Ida[1]

[1] 東工大・地惑

[1] Dept. of Earth and Planetary Sci., Tokyo Inst. of Tech.

<http://www.geo.titech.ac.jp/lab/ida/ida/main.html>

太陽系外の惑星（系外惑星）の研究の最近の進展を紹介し、今後の発展として、生命居住可能な海をもつ系外地球型惑星の可能性をどう考えるかを議論する。1995 年以来、約 120 個の系外惑星が発見された。これは、惑星が公転することによる中心星の微妙なふれを、中心星のスペクトルの吸収線のドップラー偏移を使って検出したものである。間接的ではあるが、数々の検証をのりこえて、観測されたスペクトル線のドップラー偏移は惑星が公転することを示すことが証明された。観測精度の問題で、比較的軌道半径が短く、質量の大きな木星型惑星しか検出できていないが、検出確率は太陽程度の質量の孤立星では約 5% で検出という確率になる。まだ確認はできていないが、惑星と疑わしきデータも含めると、観測対象の星のうち 10% 以上に木星クラスの巨大ガス惑星が存在していると推定されている。つまり、惑星系は銀河で普遍的な存在であることがわかってきた。

一方で、観測された系外惑星系の力学的特徴は、太陽系とは大きく異なるものが多く、大きな多様性を示している。中心星から 0.05AU（AU は太陽と地球の距離で天文単位と呼ばれる）という至近距離の軌道上を数日という短時間で公転する木星大の巨大ガス惑星（ホット・ジュピター）や、大きく楕円に歪んだ軌道を持つ巨大ガス惑星（エキセントリック・プラネット）などである。

惑星系は原始惑星系円盤と呼ばれるガス円盤から生まれたと考えられており、星形成領域（おうし座分子雲やオリオン座分子雲など）の電波観測により、そのような原始惑星系円盤は、生まれたばかりの星には普遍的に存在していることがわかっていて、円盤の質量分布もだいたいわかってきている。つまり、惑星形成の初期条件についても、惑星形成の終状態の系外惑星も観測データが揃ってきているのである。これらをつなぐのは惑星形成理論である。120 個という系外惑星のデータがあると、どのような惑星系がどれくらいの確率であるのかというような、統計的な議論も可能になり、理論モデルとの比較検証ができるようになる。

これまでの惑星形成理論は、太陽系を説明するためのものであり（なぜなら、われわれは最近まで、惑星系としては太陽系しか知らなかった）、発見された多様な系外惑星を統一的に説明できるほどの一般性を持つには至っていない。しかし、惑星形成の初期状態と終状態の観測結果と比較しながらキャリアレーションをしていくことによって、惑星形成の統一的理論（汎惑星形成理論）の確立へと向かっていくことが期待される。現在の観測技術では、中心星を大きな速度でふらつかせることができる、木星のような巨大ガス惑星しか検出できていないので、理論と観測が比較できるのは、そのような巨大ガス惑星の軌道配置や質量の分布である。しかし、それがかなりの精度で理論と観測で合うようになったならば、地球型惑星の存在の理論的予測もかなり信頼できるものとなる。

このような立場のもと、われわれはモンテ・カルロ計算で、系外惑星の軌道・質量分布を理論的に予測する試みを行なった。初期条件である、原始惑星系円盤の質量分布は観測を参考にして作り、惑星成長のモデル計算を行なった。惑星成長のモデルは、微惑星から原始惑星への衝突合体の重力 N 体シミュレーション、および原始惑星に円盤ガスが流入して巨大ガス惑星へと進化するプロセスのシミュレーションなど最新の成果のもとで作った。その結果は、系外惑星系での地球型惑星の形成確率は非常に高く、太陽質量程度の孤立した主系列星の半分近くは地球型惑星（小型の岩石惑星）を持つことを示す。地球型惑星での生命誕生のひとつの条件は、水の液体の海を持つことであろう。海が存在するためには、惑星質量が大気を保持できる範囲にあること、中心星からの距離が適当で、水が液体の状態にある温度範囲に入ることが必要となる。筆者らの計算結果は、太陽質量程度の孤立した主系列星の 10% 以上が、これらの条件を満たす「生命居住可能惑星」を持つことを示す。まだまだ、汎惑星形成理論の確立への道半ばで、上記の結果には不定性が大きいですが、太陽系外の生命居住可能惑星が多数存在することを期待させるには十分であろう。

現時点では他の惑星系の地球型惑星の検出は難しいが、衛星望遠鏡による系外地球型惑星の存在確認、さらには直接検出による海が存在、バイオマーカーの検出も検討されている。