

## 太陽系外惑星

## Water world larger than Earth

## 地球より少し大きな「水の惑星」の発見

Geoffrey Marcy

Nature Vol. 462(853-854)/17 December 2009

地球のわずか2.7倍の大きさの惑星が発見され、地球に似た世界の探索が大きく前進した。この惑星の質量と大きさは、「水の惑星」ともよばれる「水を大量に含んだ仮説上のスーパーアース（巨大地球型惑星）」の理論的な予測値とほぼ一致している。

科学における重大な発見は、数十年間にわたる忍耐を続けていく中で、思いがけなく、偶然に起こることが多い。それまでの測定限界を間違いなく超える次世代装置を開発し、それによって限界をちょうど超えたとき、長く探し求めてきた科学のフロンティアが見つかるかといえば、実はそういうケースはまれなのだ。ハーバード・スミソニアン宇宙物理学センター（米国マサチューセッツ州ケンブリッジ）のDavid Charbonneauらは、このまれなケースの発見例を*Nature* 2009年12月17日号891ページに発表した<sup>1</sup>。彼らは、これまでで最も反論の余地のない証拠を携えて、我々の地球によく似た太陽系外惑星を発見した。

Charbonneauらは、シンプルで斬新な惑星探索方法を開発した。彼らは、アマチュア天文家が使うような直径40センチメートルの反射望遠鏡を8基使った。各望遠鏡には、星の近赤外域での明るさを測定する電荷結合素子（CCD）光検出器を備えつけた。例えば、明るさが約1時間にわたって低下し、その現象が数日、数週間にわたって時計のように繰り返す星が見つかったとしよう。すると、その星はおそらく、軌道を回る惑星がその前を通過し、その星の光の一部を一時的にさえぎるために暗くなったと考えられる。このとき、明るさの減少量は、そのまま、星の大きさに対する惑星の相対的な大きさを示すことになる。彼らが求めたのは、地球に近い大きさの惑星の検出だ。この目的のために、Charbonneauらは、地球に近い大きさの惑星でも親星の光の少なくとも1パーセントをさえぎることができると考えられる「半径の小さな星」を、地球近傍の星のリスト<sup>2</sup>から2000個選び出した。

Charbonneauらのチームは、小さく、かすかな恒星GJ 1214が、1.6日ごとに52分にわたって明るさが1.3パーセント減少し、それを繰り返すことを発見した。この唯一の納

得できる解釈は、惑星がこの恒星の周りを公転周期1.6日で行き、その惑星の半径はこの恒星の半径の約12パーセントであるということだ。恒星の半径の信頼できる見積もり（太陽半径の21パーセント）から、惑星の半径は地球の半径のわずか2.7倍と見積もられた。太陽以外の星の周りを回るこれほど小さな惑星が見つかったことは驚くべきことだ。ちなみに、地球に近い大きさの太陽系外惑星は、現在利用できる観測装置では、このほかに1個だけ報告されている。それはCoRoT-7bという惑星で、半径は地球の1.7倍だ。今回の新しい惑星は地球から約13パーセク離れており、GJ 1214bと名付けられた。重要なのは、今回の惑星は親星を重力で引っ張っていて、最大で12 m/秒の速さで動かしており、Charbonneauらの研究チームがそれを星の光の波長のずれ（ドップラー効果）の測定で検出したことだ。推測された惑星の質量は地球のわずか6.6倍で、その半径から密度を計算すると1.9 g/cm<sup>3</sup>になる。地球の平均密度はずっと高く5.5 g/cm<sup>3</sup>だ。水の密度は約1 g/cm<sup>3</sup>と低いので、新しい惑星の化学的な構成は、おそらく岩と水の混合物であり、水素とヘリウムからなる少量の大気をもっている可能性もある。

この惑星に、有機物に富んだ池や湖をもつのに適した固い表面が存在する可能性はあるのだろうか。天文学的事実から信頼性の高い推測が可能だ。惑星が形成される場所は、若い星の周りを回転する、塵とガスでできた原始惑星系円盤である。原始惑星系円盤は、水素とヘリウムガス、炭素、窒素、酸素の化合物、金属の鉄とニッケルの混合物で、これらの成分の比率はどの原始惑星系円盤でもおおむね同じである。このことは、太陽を含む私たちの銀河系のほとんどすべての星についていえる。鉄、ニッケル、ケイ酸塩、水で構成される固体の塵粒子は、互にくっつき合っ

きな微惑星に成長し、すべての惑星の基礎となるコア（中心核）を形成する。

固体成分の相対的な比率は、どの原始惑星系円盤でもあまり変わらない。これには2つの理由がある。第一に、星の固体物質を作っているのはおもに炭素、窒素、酸素、ケイ素、マグネシウム、鉄だが、どの星でもこれらの元素の存在度はほとんど同じであり、違っても2倍以内だからだ。第二に、一酸化炭素とケイ酸塩のギブズ自由エネルギーは負でその絶対値が大きいので、反応物（炭素とケイ素）の量が許すかぎり多くの酸素を封じ込める。それでも大量の酸素が残り、ギブズ自由エネルギーがもっと高い水の氷も形成される。こうして、ケイ酸塩と水は、鉄とニッケルの塵粒子とともに、原子惑星系円盤の低温領域における固体物質質量の大部分を占めるわけだ。

これらの固体物質は、土星や海王星などの大きな惑星の基本構成要素になるし、今回の惑星のようなもっと小さな惑星においても基本構成要素かもしれない<sup>1</sup>。しかし、今回の惑星の密度は  $1.9 \text{ g/cm}^3$  であり、各成分の相対量に制限を課す。惑星の密度をこれほど低く保つには大量の水を含んでいる必要がある。もしも新しい惑星が鉄とケイ酸塩のみでできていたら、その密度は地球の密度と同じくらいだっただろう。しかし、新惑星はその質量の約50%におよぶ大量の水を含んでいるに違いない。

一方、大気中の水素とヘリウムガスの量については予測がつかない。低密度である水素とヘリウムを惑星が含んでいれば、全体の密度は低くなる。それをコアの中の鉄の量を増やすことによって相殺し、全体の密度を測定値の  $1.9 \text{ g/cm}^3$  にすることは可能だ。しかし、惑星ができる環境を考えれば、ほとんどが鉄と水素やヘリウムでできていて水がほとんどない、という惑星は生まれそうにない。鉄、岩、水素、ヘリウムを含むいかなる惑星も、同様に大量の水を含んでいるはずだ。だから、今回の新しい惑星は鉄やニッケルでできたコアとケイ酸塩のマンテルをもち、惑星質量の50パーセント近くを占める水がそれを取り囲んでいると考えられるのだ（図1）。こうした惑星はおそらく、異常に深い海をもっており、親星からの加熱によって平衡表面温度は  $190^\circ\text{C}$  程度と考えると、海は液体になっているだろう。サウナのような水蒸気でできた大気をもっている可能性はあり、この大気は紫外線照射によるゆっくりとした光分解と流出で失われていく。水素あるいはヘリウムでできた薄い上層大気が存在する可能性も考えられる。

そうすると、人間中心的な見方からは重大な疑問が生じる。質量の50パーセントが水である惑星を、本当に私たち地球の親類とよべるのだろうか。土星や海王星と同じように、岩でできたコアが、大量の水とガスを重力によって捕まえてこ

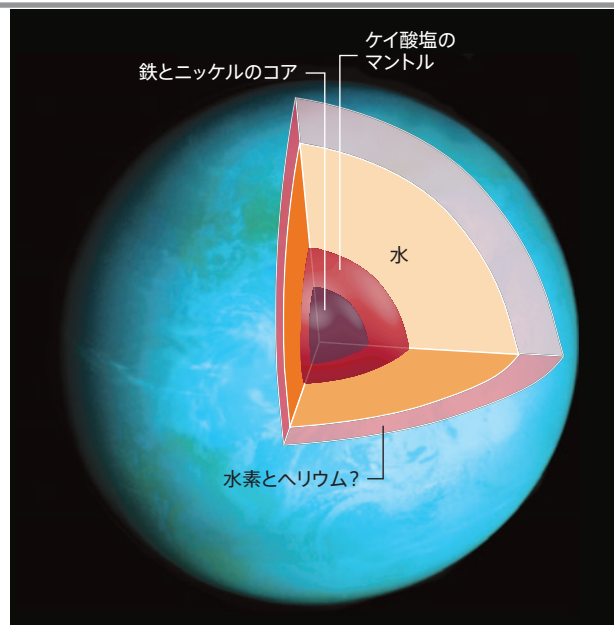


図1 水を大量に含んだスーパーアース? 新しく見つかった太陽系外惑星 GJ 1214b は、おそらく、鉄とニッケルでできたコア、ケイ酸塩の岩でできたマンテルの周囲に、莫大な量の水を含んでいるだろう。また、水素とヘリウムの薄い大気をもっているかもしれない。このスーパーアースの半径は地球の2.7倍しかなく、距離も地球から13パーセク（1パーセクは3.26光年）しか離れていない。地球によく似た惑星の発見がさらに近づいた。

の惑星はできたのではないのか。地球が含んでいる水は、その質量のわずか0.06パーセントにすぎない。水素とヘリウムガスはほとんどなく、地球は乾燥した環境の中で生まれたのだ。今回の新しい惑星は、その大きさという点では地球に近いが、近親者ではないかもしれない。

とはいえ、Charbonneau のチームは、地球に似た惑星の発見が、将来、十分に可能であることを印象づけた<sup>1</sup>。彼らの取り組みは始まったばかりであり、もっと小さく、岩の多い惑星が今後見つかるだろう。一方、地球に似た惑星が、親星に近い軌道を回るために親星が重力によって揺れる現象が、精密なドップラー測定によって検出されるかもしれない。最も有望なのは、米航空宇宙局（NASA）の宇宙望遠鏡「ケプラー」だ。ケプラーは2009年に打ち上げられ、10万個の星を監視している。ケプラーは星の明るさの1万分の1の変化を検出でき、本当に地球程度の大きさの惑星を容易に発見できる。そしていつの日か、NASAの宇宙干渉計計画（SIM）のような大きな宇宙干渉計と巨大なカメラが打ち上げられ、地球から近い、岩でできた惑星の地形、海洋、大気を見だし、撮影し、分光器で分析できるだろう。約2400年前、古代ギリシアの哲学者、アリストテレス、エピクロス、デモクリトスらは「この宇宙に地球のような場所はほかにはない」と考えた。この説が正しいかどうか、答えはこうした新技術によって得られるはずだ。（新庄直樹 訳）

Geoffrey Marcy, カリフォルニア大学バークレー校天文学科（米国）。

1. Charbonneau, D. *Nature* **462**, 891–894 (2009).

2. Lépine, S. *Astron. J.* **130**, 1680–1692 (2005).