

低質量な複数の衛星からなる衛星系の形成

Formation of Low-Mass Multiple Satellites

武田 隆顕[1], 井田 茂[1]

Takaaki Takeda[1], Shigeru Ida[2]

[1] 東工大・地惑

[1] Earth and Planetary Science, TITech, [2] Dept. of Earth and Planetary Sci., Tokyo Inst. of Tech.

太陽系内には様々な衛星系が存在する。一般的に、地球の月のように惑星に対する質量比が大きい場合には衛星はただ1つだけ存在し、逆に巨大ガス惑星の衛星のように、惑星に対する質量比が小さい場合には、複数の衛星が存在する。一部の例外を除き、衛星は惑星周りに形成された原始衛星系円盤から集積して形成されたと考えられている。しかし、どのような原始衛星系円盤から、どのようにして衛星系が形成されたのかという点については、まだ統一見解は得られていない。

我々は、原始衛星系円盤と、そこから集積する衛星系の性質の関係を明らかとすることを目的とし、初期にロッシュ半径内に分布した円盤の進化とそこから形成される衛星について研究を行った。これは、惑星近くに質量が集中した円盤の極限であり、特に地球の月は巨大衝突によって作られたこのような原始月円盤から形成されたと考えられている。我々は、月形成の際に考えられている円盤よりも、より軽い円盤に着目して研究を行った。

惑星近くに質量集中した円盤では、惑星の潮汐力のために、その場で円盤物質が集積して衛星が形成されることはない。そのために、衛星の形成には、拡散による円盤物質の動径方向への移動が必要になる。月の起源に関連した過去の研究により、ロッシュ半径内に分布した比較的重い円盤からは、必然的に衛星が1つだけ集積することが明らかとされている。これは、円盤の拡散により、ロッシュ半径の外に物質が供給され、そこで衛星が形成されるためである。ロッシュ半径の外で形成された月の種は、円盤から供給される物質を優先的に集積することが出来るために、そこで排他的に大きく成長する、結果として、ロッシュ半径のすぐ外に1つだけ大きな衛星が形成され、残った円盤は衛星との相互作用により中心惑星へと落下する。

この、ただ1つの衛星が形成するという結果は、原始月円盤のように重い円盤に特有のものである。今回我々は重力多体計算により、より軽い円盤からどのような衛星系が生じるのかを計算した。初期の円盤が軽い場合には、1つの衛星からなる衛星系ではなく、複数の衛星からなる衛星系が形成される。本研究では、複数の衛星が形成される場合についての数値計算結果を述べ、そこから半解析的な手法によって複数の衛星系が形成されるための条件を調べた。

先に述べたように、ロッシュ半径内に存在する円盤から衛星が形成される際には、円盤の拡散による、動径方向への物質の移動が重要である。円盤の拡散のしやすさは、円盤の面密度に正に依存し、円盤が重いほど速い拡散が起きる(Takeda and Ida 2001)。逆に、円盤が軽く、その面密度が小さい場合には円盤の拡散はゆっくりになる。一方、円盤の近くに衛星が存在すると、衛星と円盤の重力相互作用により、衛星と円盤粒子は互いに反発するかのように軌道進化をする。このために、ロッシュ半径の外で衛星がある程度の大きさまで成長をすると、重力相互作用による反発が円盤の拡散を上回り、衛星と円盤との間にギャップが形成され、衛星の成長はそこで停止する。つまり、ロッシュ半径内に存在する円盤から形成される衛星の質量には上限が存在することになる。N体計算の結果、形成される衛星質量は円盤質量のほぼ2乗に比例する結果が得られた。このようにして形成された衛星は、ロッシュ半径内に残っている円盤と反発して、より外側の軌道に移動し、その反作用で円盤物質は中心惑星へと落下する。このときに、もしも円盤物質が失われる前に、最初に形成された衛星が十分に外側に移動すれば、残された円盤物質から2つ目の衛星が形成されることになる。

最初に形成された衛星がどこまで外側に移動するかは、衛星質量と残っている円盤の質量の比によって決まる。衛星の質量が、円盤質量のほぼ2乗に比例しているために、衛星の質量と残っている円盤の質量比は、初期の円盤が軽いほど小さくなることになる。そのために、初期の円盤質量が軽い場合には、衛星は大きく外側に移動し、残った円盤から再び新たな衛星が形成される。初期にロッシュ半径内に存在する円盤の場合には、質量が中心天体のほぼ0.03倍以上の場合には2つ目の衛星は形成されず、それ以下の場合には、2つ以上の衛星が形成されることが分かった。

この結果は、過去の研究において原始月円盤からはただ1つの衛星(月)が形成されるという結果とも一致している。

また、我々の計算したパラメータ範囲では、このようにして形成された2つの衛星は、2:1の共鳴軌道に入るという結果が得られた。これは、1つ目の衛星が形成された時点で円盤と相互作用を起こす結果、2:1の軌道共鳴の位置までの円盤物質が集積し、そこに溜まった円盤物質が集積して第2の衛星を形成するためである。