

Giant impacts in the Saturnian system

関根康人（東京大学大学院新領域創成科学研究科）

玄田英典（東京大学大学院理学系研究科）

木星や土星の規則衛星は、惑星の赤道面上をほぼ円軌道で、惑星の自転と同方向に公転している。このような衛星系は、ガス惑星の形成最終段階において、原始太陽系星雲からのガスやダストの流入により形成される周惑星系円盤内で、氷と岩石を含む微衛星が衝突・合体をくり返し、形成されたと考えられている。実際、ガリレオ衛星は、木星に近い衛星ほど密度（すなわち岩石／氷比）が大きく、これは周惑星系円盤の温度が内側ほど高く、内側の微衛星ほど氷成分に枯渇していたことを示している。このように、その形成過程や現在の姿の類似点から、ガス惑星の衛星系は、しばしばミニチュア太陽系に例えられる。

しかしながら、木星系とは異なり、土星系はミニチュア太陽系という観点からみると非常に奇妙な衛星系であると言える。それは（１）土星系ではタイタンが唯一の巨大衛星であり、衛星系の質量の 95% 近くがタイタンに集中している点、（２）土星系の中型衛星の密度（岩石／氷）には非常に大きな幅があり、ほぼ 100% が氷成分からできていてティスや、50% 近くを岩石が占めるダイオーネやエンセラダスが、軌道距離とは無関係に、隣接している点である。このような衛星系の形成は、従来の太陽系形成論に基づく、単純な衛星形成モデルでは説明が困難であり、何かダイナミックかつ確率的な過程が土星系においては重要であったことを示唆している。

一方、近年のホットジュピターなどの系外惑星の発見に基づき、大きく修正された惑星系形成理論によると、円盤内ではガスと天体との相互作用で天体が円盤中心へ落下する惑星落下が起きていたと考えられる。このような“衛星落下”は、周ガス惑星円盤でも同様に起きていた可能性がある。特に、土星系ではタイタンより内側に存在していた巨大衛星が落下して失われたとすると、上記の（１）にあるタイタンだけが唯一の巨大衛星であるという理由を説明することができる。巨大衛星の落下が起きた場合、落下している巨大衛星が内側に存在していた衛星と衝突する巨大衝突が起きることが予想される。このような巨大衝突がおきると、地球一月系の形成や水星の形成で示唆されているように、衛星の氷マントルが吹き飛ばされ、岩石に富んだ衛星や、吹き飛んだ氷が集まった氷に富んだ衛星が形成されるかもしれない。

本研究では、周土星円盤内での衛星同士の巨大衝突が、上記の（２）にある中型衛星の密度の幅をもたらした可能性を、3次元流体数値シミュレーションを用いて検証した。その結果、脱出速度の 1.5 倍という現実的な衝突速度の場合でも、小さい衛星は破壊され、非常に幅を持った複数の衛星群が形成することがわかった。このように形成した衛星群の質量と岩石／氷比の分布は、現在の中型衛星のそれらとよく一致する。このことは、衛星落下と巨大衝突という、系外も含めた惑星系形成過程における主要プロセスが、土星系の特徴を形作る上でも本質的な役割を果たしていた可能性を示唆するものである。