

CB コンドライトから制約される原始太陽系星雲の進化:木星型惑星の移動時期

現在の太陽系では、火星と木星のあいだに数多くの小惑星が存在している。小惑星帯に含まれる小惑星は、多様な化学組成のものがああり、原始太陽系において、太陽に近い還元的环境で形成された小惑星と、外部太陽系で形成された小惑星の混合が起こったことが示唆されている。

原始太陽系における微惑星の混合を促したメカニズムとして注目されている説に、グランド・タックモデル(木星・土星大移動説)というものがある[1]。この説では、木星型惑星は誕生したときからずっと現在の位置にあったわけではなく、初期には太陽系の内部へと移動し、その後外部へと遠ざかったとされる。ブラウン大学の B.C.ジョンソンらの研究グループは、太陽系形成過程のシミュレーションを行って、木星型惑星の移動を考慮したモデルを研究した[2]。彼らのモデルによると、初期状態で原始木星は地球の 15 倍の質量だったとし、その形成場所を 3.5 天文単位とした。その 200 万年後、400 万年後、600 万年後に現在の質量になったとし、グランド・タックモデルにしたがって、形成から最初の 10 万年間は内部太陽系に移動して、1.5 天文単位の位置にまで来たあと、50 万年かけて現在の 5.2 天文単位の位置に遠ざかったと仮定した。こうした木星の移動によって、太陽系の小天体の軌道は乱され、大規模な天体衝突が頻発したというわけである。

ジョンソンらは、こうした激しい小惑星衝突によって、すでに形成されていた分化した小天体が衝突し、鉄ニッケル合金の融解やケイ酸塩の融解が起こって、コンドリュールが形成されたと考えた。激しい天体衝突によってできたコンドリュールとしては、鉄に富んだ炭素質コンドライトである CB コンドライトで、その形成時期が研究されていた。CB コンドライトのコンドリュールは、太陽系の固体物質でもっとも若い年代を示すカルシウム-アルミニウム包有物 (CAI) の形成から 500 万年後であると推定されている[3]。すなわち、CB コンドライトは、隕石母天体としては最も初期に形成されたものである。また、CB コンドライトは、FeNi 合金でできたコンドリュールや微細なケイ酸塩鉱物からなるコンドリュールで構成されており、これらは、すでに内部分化して FeNi 合金からなる中心核とケイ酸塩質のマントルからなる微惑星が存在していて、それらが高速度で衝突して形成された蒸気プルームで、液体状態から凝縮して形成されたと考えられている。問題は、太陽系形成の初期に、高速度で微惑星を衝突させるメカニズムが何かということである。

ジョンソンらは、CB コンドライトの形成が、グランド・タックモデルの木星がもっとも内部太陽系に移動した時期の出来事であると考え、木星型惑星の移動を考慮した太陽系形成の計算機シミュレーションを行った。モデルの計算結果では、木星が内部太陽系に移動した時期に、微惑星の衝突速度が一時的に大きくなったことが示された。この出来事が、CB コンドライトの形成と関係しているというわけである。

このモデルが妥当だとすると、木星型惑星の形成時期と、グランド・タック説が主張する木星の太陽系内部への移動の時期が CB コンドライトの形成時期と一致していることになり、その時期が CAI の形成から 500 万年後ということになる。

[1]Walsh, K. J. et al. (2011) A low mass for Mars from Jupiter's early gas-driven migration. *Nature*, 475, 206-209.

[2] Johnson, B. C. et al. (2016) Timing of the formation and migration of giant planets asconstrained by CB chondrites. *Science Advances*, 09 Dec. 2016:

DOI:10.1126/sciadv.1601658.

[3] Krot, A.N. et al. (2005) Young chondrules in CB chondrites from a giant impact in the early Solar System. *Nature*, 436, 989-992.