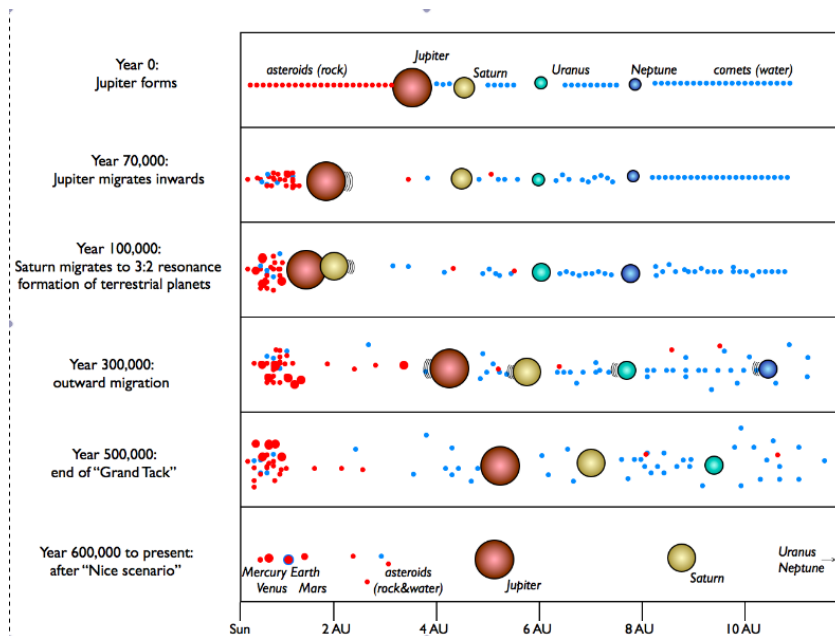


グランドタックモデル：新しい太陽系形成論

1970-80年代には、太陽系形成論の研究が大きく進んだ。当時の太陽系形成論は、星間雲が収縮して、原始太陽が形成され、それを取り巻いて原始太陽系星雲が存在したという前提で理論の構築がなされた。原始太陽系星雲は、太陽と同じ組成をもつガスでできており、温度が冷えるにつれて固体微粒子が形成され、それらが集積して惑星になった。原始太陽系星雲における質量分布は、現在の太陽系の惑星の質量を、円盤状に分布させたもので、生成した固体物質が集まって、地球型惑星ができ、木星型惑星の核を構成する微惑星ができたあと、原始太陽系星雲の水素やヘリウムが重力収縮して木星型惑星が現在の姿になったとされた。この考えにおける最大の問題が、木星型惑星を形成するまでに長い年月が必要とされることであった。

20世紀にはいって、フランスのコート・ダ・ジュール天文台の研究者たちが、木星型惑星は、現在よりもっと太陽に近い場所で形成され、その後現在の位置まで遠ざかったとする新しいモデルを提案した。このモデルはニースモデルと呼ばれている。ニースモデルでは、木星型惑星の外側への移動が数億年かかったとし、太陽系が形成されてから6億年後に起こった月面への大規模小惑星の多重衝突（後期重爆撃、late heavy bombardment, lunar cataclysm）が起こったとした。



図。グランドタックモデルによる原始太陽系の初期進化[3]。

2011年には、グランドタックモデル(Grand Tack model)と呼ばれる、新たな木星型惑星大移動説が提案された。この説によると、木星は3.5天文単位の位置で形成されたあと、現

在の火星軌道付近まで太陽に近づいた。土星も木星のあとを追うように太陽系内部にやってきたが、やがて移動の向きを変えて、現在の位置まで遠ざかったという。この説によると、地球型惑星の領域で誕生した固体天体は、太陽に向かってはじき飛ばされて失われた。運よく消滅を免れた固体天体が集積して、地球型惑星が形成された。一方、太陽系外部にあった水を含んだ微惑星の軌道も乱れて、内部太陽系にまで拡散したとされる。

このグランドタックモデルによると、木星が太陽に近づいたことで、現在の火星領域や小惑星領域で固体天体の数が著しく減少したことになる。すなわち、火星のサイズが小さいことや、小惑星帯の小惑星の総質量が小さいことが説明できるという[1]。

一方、木星型惑星の大移動によって、固体天体の軌道は乱れ、太陽に近い場所にあったものと、外部太陽系にあったものの混合が起こった。現在の小惑星帯に多様な化学組成の小惑星が分布していることに対する、一つの説明を与えた[4]。

さらに、地球の水の量もこうした微惑星混合の結果で決まったとされる。地球の表面は、7割が海で、3割は陸地が露出している。このことによって、地球の表面の環境が多様化し、それが生命の起源と進化に重要な役割を果たしたことが考えられている。グランドタックモデルでは、こうした地球の特異性も木星型惑星の大移動と関係しているというわけだ[2]。

さらに、系外惑星探査の研究によると、スーパーアースやホットジュピターが多数発見されており、私たちの住む太陽系は宇宙のなかで、極めて例外的な惑星系であることが明らかにされつつある。系外惑星と太陽系を比較すると、なぜ水星より内側に惑星が存在しないのか、地球型惑星の質量はなぜ小さいのかといった、今日の太陽系の基本的な姿が異常に見えてくる。グランドタックモデルでは、木星大移動によって、将来スーパーアースやホットジュピターになる原始惑星やその材料となる微惑星が太陽へと押されて、消滅したことになる[3]。すなわち、木星は内部太陽系の破壊者だったのだ。

このように、新たな太陽系形成論は、従来とはまったく異なる前提で、現在の太陽系の姿を理解しようとしている。ただ、ニュースモデルにしてもグランドタックモデルにしても、アイデアやシミュレーションが先行しており、それらで本当に太陽系の起源が理解されるのか、懐疑的な研究者も多い。主な批判は、木星型惑星の大移動を引き起こすメカニズムと、大移動が起こった時期が不確定なことである。

CB コンドライトの形成年代が、木星が内部太陽系へと接近した時期を示すとすると、それ以前に誕生した多くの微惑星は、この時点で一掃され、消滅を免れたわずかな固体天体

が今日まで残っていることになる。また、多くの小惑星や地球型惑星は、木星が現在の位置にもどってから、周辺にあった微惑星を集めて成長したのかもしれない。

南極やサハラ砂漠などで隕石探査が活発化し、大量の地球外物質が収集されている。隕石母天体の復元と、その原始太陽系星雲の進化における位置づけは、1980年代から現在まで、その重要性は変わっていない。しかし、太陽系形成論のフレームワークは、系外惑星探査の進展によって、状況は変化している。

普通コンドライトは、木星のグランド・タックのあとに形成された微惑星の名残りである一方、分化した隕石は、木星のグランド・タック以前に形成されたものがある可能性がある。そういう意味では、ユレイライト、アカプルコアイト-ロドラナイトのような始原的エコンドライトや、NWA011、NWA7325、NWA6683などの例外的な分化した隕石(ungrouped achondrites)の系統的な研究によって、グランドタックモデルを検証する実証的なデータが得られるようになるかもしれない。

- [1] Batygin, K., and G. Laughlin (2015) Jupiter's decisive role in the inner Solar System's early evolution. PNAS, 112 (14), 4214-4217.
- [2] O'Brien, D. P. et al. (2014) Water delivery and giant impacts in the Grand Tack scenario. Icarus, 239, 74-84.
- [3] Walsh, K. J. et al. (2011) A low mass for Mars from Jupiter's early gas-driven migration. Nature, 475, 206-209.
- [4] Walsh, K. J. et al. (2012) Populating the asteroid belt from two parent source regions due to the migration of giant planets—"The Grand Tack". Meteoritics & Planetary Sciences, 47, 1941-1947.