

分化した原始惑星とコンドリュールの形成：惑星中心核の形成年代からの示唆

1980年代の惑星形成論によると、原始太陽系星雲で固体微粒子が形成され、それらが集まって微惑星ができたと言われる。最初にできた微惑星は直径10 km程度の大きさであり、それらが衝突を繰り返して、成長したものが原始惑星へと進化した。こうしたシナリオによると、始源的な隕石が太陽系の初期物質であり、熱変成を受けた隕石や分化した隕石さらに現在の惑星は、太陽系の形成の後期に作られたものとされた。さらに、始源的な隕石には、直径1ミリ未満のコンドリュールと呼ばれる粒子が無数に含まれており、原始太陽系星雲のダストからコンドリュールが形成され、さらにそれらが集まって微惑星が形成されたと考えられていた。問題は、始源的な隕石に大量に含まれているコンドリュールがどのようにして形成されたのか？これは太陽系形成論における大きな謎とされてきた。

マサチューセッツ工科大学のB. C. ジョンソンらの研究グループ[1]は、太陽系の初期に分化した原始惑星が形成され、こうした原始惑星における大規模衝突によって融解したしずくが飛び散り、冷えてできたものがコンドリュールであるとするモデルを提示し、コンピュータシミュレーションを行っている。この研究によれば、コンドリュールは、惑星を作った材料物質ではなく、すでにできあがった原始惑星において二次的に形成された物質であることになる。それらが集まってできたコンドライトももはや惑星を作った材料物質ではないことになる。これは1980年代の惑星形成論を大きく書き換えるシナリオである。

こうした新しい考えがどのようにして生まれたのか。それは、原始太陽系で起こった出来事に時間目盛を入れる研究が大きく発展したことによる。地球の歴史で起こった出来事に時間目盛を入れるには、岩石に含まれているジルコンという鉱物を対象に、放射性のウランとその娘核種である鉛の同位体比を測定する方法で得られる。これまでに測定された固体物質で、太陽系最古の年代を示すものは、炭素質コンドライトであるアエンデ隕石で発見されたCAIと呼ばれる粒子である。最近では、同じCV3コンドライトであるNWA2364隕石中のCAIで、45億6820万年前という年代が得られており[2]、これが原始太陽系における年代の基準（アンカー）とされている。

さらに、放射性元素で半減期の短い消滅核種を用いた年代測定法が開発された結果、原始太陽系星雲における出来事が時間分解能を上げて議論できるようになった。 ^{182}Hf はその一つであり、半減期890万年で ^{182}W に壊変する。ハフニウム(Hf)は親石元素であるのに対し、タングステン(W)は親鉄元素であることから、これらの元素の分別は、原始惑星内部において金属鉄とケイ酸塩が分離する過程で生じる。したがって、これらの同位体を用いた年代測定を行えば、原始惑星や隕石母天体における金属鉄とケイ酸塩の分離した年代を推定できるのだ。

こうした研究における大きな問題に、隕石母天体が破壊されたあと、隕石が宇宙空間を漂っている間に中性子の照射を受けて ^{182}W が二次的に形成されることが指摘されていた。こうした宇宙線照射の影響は、一方では隕石母天体の破壊時期の推定に有効とされ、宇宙線照射年代の研究に使われているが、 ^{182}Hf - ^{182}W 同位体比を用いた年代測定においては、大きな誤差の要因となっていた。最近、ドイツの研究グループ[3]は、 ^{182}W の測定に加えて、宇宙線の照射による影響を受けているプラチナ (^{196}Pt) の同位体比を同時に測定することで、逆に宇宙線照射の影響を評価し、その影響を除去することに成功した。その結果は、驚くべきことに、太陽系でもっとも古い固体物質である炭素質コンドライト中の CAI の形成から 60 万年から 100 万年ぐらいの間に分化した鉄隕石の母天体が形成されていたことが推定された。

鉄隕石のいくつかのグループについて、こうした測定を行ったところ、硫黄を多く含むグループの方が早い段階で金属鉄とケイ酸塩の分離が進行したという結果が得られた。これは Fe-FeS 系の融解実験において、硫黄を含むと系の融解温度が低下することと符合している。すなわち、融点の低い物質でできている原始惑星ほど、早い段階で金属鉄とケイ酸塩の分離が進行したというわけである。

こうした原始惑星の中心核形成の時期と、普通コンドライトに普遍的に含まれているコンドリュールの形成年代を比較すると、後者の年代値は CAI の形成から 200 万年ぐらい経過した時期を示しており、原始惑星上でコンドリュールが形成されたというシナリオが描かれるというわけだ。私たちは、コンドリュールが太陽系初期に形成された固体粒子であるという古い概念にもはや執着すべきではないのかもしれない。

[1] Johnson, B. C. et al. (2015) *Nature*, 517, 339-341.

[2] Bouvier, A. and M. Wadhwa (2010) *Nature Geoscience* (online)

[3] Kruijer, T. S. et al. (2014) *Science*, 344, 1150-1154.