

巨大衝突仮説シミュレーション再訪

和田桂一（鹿児島大学大学院理工学研究科）

2005年頃、月形成について一般に信じられている「巨大衝突仮説」の拠り所の一つとなっていたのが、A. Cameron、R. CanupらによるSPH法を用いた一連の数値実験であった。筆者は、国立天文台在籍当時、これらの仕事を小久保英一郎氏らに紹介され、その精度の低さから結果があまり信用できないという印象を持った。特に問題だと思ったのは、周地球円盤物質を表すSPH粒子が高々100-1000個程度しかなく、有効空間分解能が円盤の半径程度しかないことであった。そのため、衝突後形成される円盤の長時間進化を追うことはできず、再集積する月質量の見積りも正しいかどうかわからない、と考えた。

そこで、筆者の専門分野である、銀河の星間ガスのダイナミクスを解く高精度の3次元Euler-Mesh数値流体コードを用いて、巨大衝突仮説の再検証を小久保氏、牧野淳一郎氏と始めた。われわれは比較的解析的に簡単な形の状態方程式を用いて、パラメータの結果への影響を見るという戦略をとった。銀河用のコードの変更も最小限で済むという利点もあった。周地球円盤領域の格子点数は2000万点以上を用いた。

原始地球に質量が1/5程度の原始惑星が「かすめるように」衝突することで、月質量の2倍程度の厚い周地球円盤がロッシュ半径内に形成されることが分かった。衝突直後のデブリ進化は過去のSPH計算とあまり変わらない。しかし、その円盤の質量、角運動量と、月集積過程のN体実験結果(Kokubo et al. 2001)を用いて予想される月質量は数日のタイムスケールで急激に減少し、このモデルでは現在の月を形成することは極めて困難であることが判明した。この場合の状態方程式は、巨大衝突によって形成されるデブリがほとんど気体となっている場合に相当する。一方、円盤内で圧力がほとんど効かないという状態方程式の場合は、予想される月質量は、衝突後少なくとも10日程度のタイムスケールで現在の月質量程度に留まる。この場合は、衝突する原始惑星が部分的にしか蒸発せず、大部分が液体、または固体のままであるということに相当する。

つまり、月ができるかどうかは**状態方程式に強く依存する**、ということがわかったわけである(Wada, Kokubo, Makino 2006)。巨大衝突スケールでの相転移を含んだ、現実的な状態方程式が分からない限りこれ以上の計算に意味はあまりないだろう、と、この論文を最後に巨大衝突仮説の研究からは撤退した。

その後、2010年頃からMeshコードを用いた新しいシミュレーションのpreliminaryな結果が欧米のグループによっていくつか出てきている。それらの計算では「現実的な」状態方程式と言われるANEOSが用いられているが、結果はWKM06で示した二つの極端の状態方程式の中間的なものであり、現在の月質量を説明できるようなデブリ円盤を長時間維持できるかどうかははっきりしていない。今後、衝突実験結果を反映させた状態方程式による高精度計算による新たな検証が必要であろう。日本の研究グループに期待したい。

数値流体業界は日進月歩で、他の分野では様々な試みがなされている。その一例として銀河形成分野で最近話題の、“moving mesh”を用いたAREPO (Springel 2011)を紹介した。

References

- Kokubo et al. (2000) Icarus 148, 419
Springel, V. (2010) MNRAS 401, 791
Wada, K., Kokubo, E., Makino, J. (2006) ApJ 638, 1180