

## 巨大天体衝突によって形成された円盤の散逸

## Hydrodynamic Escape from Disks formed by Giant Impacts

# 玄田 英典[1], 阿部 豊[2]

# Hidenori Genda[1], Yutaka Abe[2]

[1] 東大・理・地惑, [2] 東大・理・地球惑星科学

[1] Dep. of Earth and Planetary Sci., Tokyo Univ., [2] Earth Planetary Sci., Univ. Tokyo

月の起源としてジャイアントインパクト説がある。衝突直後の円盤に着目すると、形成される円盤は、非常に高温である。このことから、円盤物質であるケイ酸塩はすくなくとも部分的に蒸発しており、蒸発したガスの凝縮による潜熱の解放によって円盤が等温的になることが期待される。このため、円盤物質は散逸する可能性がある。そこで、理想化された衝突直後の円盤に対して2次元の数値流体計算を行い、散逸のシミュレーションをおこなった。その結果、散逸のタイムスケールはおよそ数十日から100日程度であることがわかった。また、散逸によってロッシュ半径の外側にほとんど物質が存在しないコンパクトな円盤になることがわかった。

地球型惑星の形成は微惑星と呼ばれる質量  $10^{15}$ ~ $10^{18}$ kg (10-100km)の天体の衝突合体によって始まると考えられている。最近のN体シミュレーション(Kokubo and Ida, 1998)によると、微惑星の衝突合体によって、まず、火星サイズの天体( $\sim 10^{23}$ kg)が地球型惑星領域(0.5~2.0AU)にほぼ等間隔で数十個形成することがわかり、その後、火星サイズの天体は互いの重力による摂動によって離心率が上昇し軌道交差を起こす(Chambers, 1998)。つまり地球型惑星の形成後期には火星サイズの巨大天体衝突が複数回起きたと考えられるようになってきた。巨大天体衝突は、月の起源の1つとして知られている「ジャイアントインパクト説」と深く関連する現象として、いくつか研究されてきた(例えば、Cameron and Benz, 1991, Cameron, 1997)。過去のそれらの研究によると、巨大天体の斜め衝突によって、円盤が形成されることがわかっている。そして、その円盤から月が形成されると考えられている。また形成された円盤は主にマントル物質で構成されており、高温で部分的、もしくは大部分が蒸発している。そこで本研究では、巨大天体の斜め衝突によって普遍的に形成される円盤の進化に注目する。特に、円盤散逸のプロセスについて研究をする。

巨大天体衝突によって形成された円盤から、蒸発した気体が散逸するというのを研究することは重要であると考えられる。まず、円盤物質そのものが失われることを考えると、衛星(月)形成の有無、およびその形成プロセスに影響を与える。また、円盤の大部分が中心天体に落ちてくることを考えると円盤散逸は、中心天体、つまり地球型惑星本体にも影響を与える。例えば、円盤は主にケイ酸塩で形成されているため、地球型惑星のマントル(ケイ酸塩)/コア(鉄)比が衝突前の材料とは異なったものになる可能性がある。さらにこの散逸プロセスによって揮発度に関連した元素分別が起きれば、地球型惑星の現在の特徴に大きく影響を与えるはずである。

そこで、まずどのような円盤が散逸をするのかということについて研究をした。一般に、高温で等温的なガスは惑星の重力にバウンドされずに散逸する可能性があるということが惑星大気の散逸の研究から知られている。ハイドロダイナミックエスケープと呼ばれる散逸のモードで、例えば、金星から水が失われた原因であると考えられている。そこで衝突直後の円盤の特徴について考える。特徴は3つある。非常に高温(6000~8000K)であること。ケイ酸塩の部分蒸発状態であること。そして最後は、ケイ酸塩ガスの凝縮による潜熱の解放によって円盤が等温的になっているということである。したがって、惑星大気の散逸と同様に、円盤についても散逸が起こるはずである。惑星大気の散逸の研究で行われている静水圧平衡の破れの議論と同様の手法を用いて、円盤が散逸するかどうか検討した。その結果、Moon forming impactによって形成される代表的な円盤は、外側部分が静水圧平衡が破れており、その最も内側の半径(散逸臨界半径)はおおよそ中心天体の3倍半径程度になる事がわかった。衝突直後の円盤の形状にも依存するが、そのような円盤は全体の20~40%の質量が散逸するということがわかる。

次に、散逸のタイムスケールを求めるために、時間発展の方程式を用いて2次元数値流体計算を行った。その結果、散逸のタイムスケールはおおよそ100日程度であることがわかった。また、散逸によって広がっていく円盤は球対称に近い場合、1次元球対称に近似して、放射と対流による冷却を考慮したシミュレーションを行った。対流には、時間発展のWuchterl(1998)のモデルを用いて計算した。その結果、冷却は円盤の放射に対する吸収係数kに依存し、 $k=10$ [m<sup>2</sup>kg<sup>-1</sup>]の時、冷却のタイムスケールはおおよそ15年になることがわかった。半径1mmの凝縮物が円盤質量の4%存在するだけでこの吸収係数は達成される。したがって、広がっていく円盤の表面付近ではさらに円盤の吸収係数が大きくなると推察され、さらに冷却のタイムスケールは長くなる。散逸のタイムスケール100日と比較すると冷却のタイムスケールは長くなり、冷却によって散逸が抑制されることはなく、散逸すべき物質はただちに散逸してしまうことがわかった。