

自転する天体への巨大衝突に伴う角運動量輸送と自転軸傾斜角の変動

黒崎健二

2021年12月20日

1 研究背景

惑星形成過程の最終段階において、成長した原始惑星同士が合体成長すること期待される。巨大衝突を経験することで惑星の固体コアは成長していく。さらに衝突に伴って惑星は角運動量を得ることが知られている。巨大衝突が発生することにより惑星は大きな角運動量を得ることができるので、それが惑星の自転の起源となることが考えられる。太陽系内の惑星について注目すると、多くの惑星は固有の自転周期と自転軸傾斜角度を持っている。惑星が円盤内において小さな天体の集積を通して形成した場合は、惑星の自転軸は公転面と垂直になることが期待される。これは惑星の自転角運動量と比べて惑星の公転の角運動量が大きいためであり、惑星が微惑星集積のみで獲得角運動量が決まるのならば自転軸傾斜は生まれない。しかし、太陽系内の天体の自転軸傾斜角には多様性があることがわかっている。その中でも、巨大氷惑星の天王星と海王星は対称的な軌道傾斜角を持っている。海王星の軌道傾斜角は 24° である一方、天王星の軌道傾斜角は 98° とほぼ横倒しになっている。これだけの大きな軌道傾斜角は巨大衝突以外で作ることは困難であり、天王星が巨大衝突を受けた重要な痕跡となりうる。その一方で、形成したときに惑星が自転していた場合に衝突した場合にどれだけの自転軸傾斜角を生み出せるかはまだよくわかっていない。本講演では初期に自転していた天体に対する衝突計算を行い、その自転軸の変動量を数値計算により確かめた。そして、巨大衝突に伴う自転軸の傾斜角度の変動を議論し、天体衝突減少に伴う質量損失と角運動量輸送の関係についての議論を行った。

2 計算手法

本研究に用いる数値計算手法は Standard Smoothed Hydrodynamics 法である (e.g. Monaghan 1992). 使用した状態方程式は、水素ヘリウム大気は, Saumon et al. (1992), 固体コアとなる氷成分には SESAME water を用いた。ターゲット天体の自転周期は 12 時間を仮定した。これは、現在の天王星が持つ自転角運動量と同じだけ与えた場合に対応している。インパクター天体は 1 地球質量の氷成分の天体とした。

衝突におけるインパクトパラメータは Figure 1 の左図に対応する。衝突速度を脱出速度で固定し、衝突パラメータを Y 軸方向と Z 軸方向それぞれに変更させた。衝突前にもともと傾いていた場合は θ_0 としてパラメータを整理した。これにより、インパクターの自転が無視できる場合には、 Y 軸のインパクトパラメータ b_y 、 Z 軸のインパクトパラメータ b_z 、衝突前の自転角変動量 θ_0 の 3 つにまとめることができる。

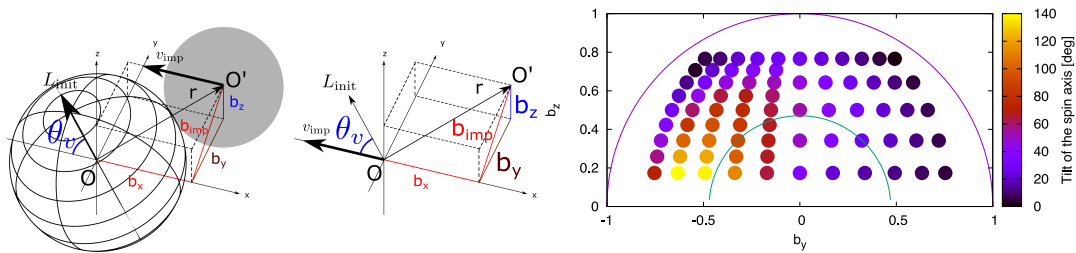


図1 衝突パラメータの定義（左図）と衝突後の自転軸傾斜角度（右図）.

3 計算の結果

衝突における計算の結果をまとめる. Figure 1 の右図は衝突パラメータを変えた場合に対して, 衝突後の角運動量変動を示したものを表す. 横軸は b_y を示し, このインパクトパラメータは自転速度を加速もしくは減速させる作用を持つ. その一方, b_z はターゲット天体の自転速度に影響を与えず, 衝突前の自転軸と独立な方向の角運動量を与える成分となっている. 計算の結果, これらの成分はほぼ角運動量保存をベースとした議論によって与える角運動量を議論できることが明らかになった. また, 衝突にともなう大気流出が角運動量を奪う効果をもっているため, 合体にともなう生じる自転軸の変動は大気の流出と一緒に議論されるべきであることも明らかとなった.

4 まとめ

本研究では自転天体に対する斜め衝突での角運動量変化について詳細な解析をおこなった. その中でも, 天王星を研究対象としてその自転軸傾斜角が巨大衝突によってどのように形成されるかを検討した.

- 斜め衝突に伴う自転軸傾斜の変動は質量損失および角運動量損失に伴って発生する.
- 天体が自転している場合でも衝突後の質量損失と角運動量損失をターゲットおよびインパクトで個別に分けて傾向を調べると, 衝突パラメータのみでその傾向を理解できる
- 天体の自転軸が衝突前から傾いていても, 傾いていない場合の質量損失と角運動量損失の傾向を用いることで, 解析的に衝突後の天体もつ角運動量を推定することができる