

小惑星の高速自転変形の数値計算と リュウグウなどのコマ型の形成条件について

○杉浦圭祐¹, 渡邊誠一郎², 小林浩³, 玄田英典¹, 兵頭龍樹⁴, 犬塚修一郎³

¹東京工業大学 地球生命研究所

²名古屋大学大学院 環境学研究科

³名古屋大学大学院 理学研究科

⁴宇宙科学研究所 太陽系科学研究系

JAXA の探査機はやぶさ 2 が訪れた小惑星リュウグウはラブルパイル天体であり、「コマ型」と呼ばれるそろばんの珠のような特徴的な形をしていた (Watanabe et al. 2019). つまり、自転軸から垂直に小惑星を見ると低緯度から中緯度にかけて斜面が直線になるようなダイヤモンド型をしている。コマ型小惑星の多くが自転周期 3 時間程度の高速自転をしていることから、YORP 効果による自転加速の結果としてコマ型に変形したと考えられている。しかしながらコマ型に変形するための定量的な条件や変形過程は明らかになっていない。そのため、コマ型形成の条件を明らかにすることで、そのような小惑星の物性や内部構造などに制限を与えられると期待される。

我々は自転加速及び高速自転による変形過程及びコマ型の形成条件を明らかにするために、粉体の動力学を扱える Smoothed Particle Hydrodynamics 法 (Sugiura et al. 2018) によるラブルパイル小惑星の自転変形の数値シミュレーションを行った。小惑星リュウグウ程度である半径 500 m, 密度 1.19 g/cm³ の球を自転させる。初期の自転速度は変形しない程度の遅さとし (Holsapple 2001), 10 万秒間で 0.5 時間自転周期が早くなるような加速をさせて YORP 効果を模擬する。全体の 1% の質量放出が起きた後は加速をやめ、変形が終わるまで計算する。

図 1 は小惑星が最も勢いよく変形している時刻での断面を表す。変形は軸対象に起きているため、一部の断面のみを示す。図 1a より摩擦角が 40° の時は変形の色が見えないほど遅く、準静的に変形していることがわかる。一方図 1b より摩擦角が 60° の時は動的に変形し、なおかつ内部深くまで変形が起きていることがわかる。さらに図 1c より摩擦角が 80° まで高いと表面のみが動き、表面地滑りが起きていることがわかる。

図 2 は変形後の小惑星の断面を表す。図 2a, b より準静的・動的を問わず内部変形が起きた場合については、低緯度域と中緯度域の表面傾斜角の差が大きいような潰れた形状になることがわかる。一方図 2c より、摩擦角が大きく表面地滑りが起きた場合には、表面傾斜角が一定で直線的な表面が形成され、軸対象なコマ型ができることがわかった。

一方、自転加速がより遅い場合や初期形状が球ではない場合で、前者は摩擦角が 70° 以上、後者は摩擦角が 50° 以上の場合に、非軸対象な地滑りが起き、局所的に直線的な表面ができることがわかった。そのため現実には局所的な地滑りが何回か起きることで軸対象なコマ型に進化する可能性がある。

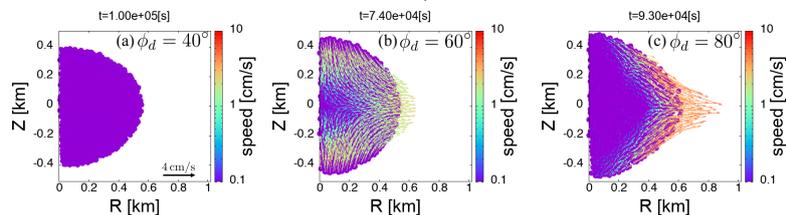


図 1: 高速自転による変形をしている最中の小惑星の断面。矢印とその色はこの断面中での速度を表す。それぞれの図の上に示す時刻は数値計算開始からの経過時間を表す。(a), (b), (c)はそれぞれ摩擦角が 40°, 60°, 80° の計算結果を表す。

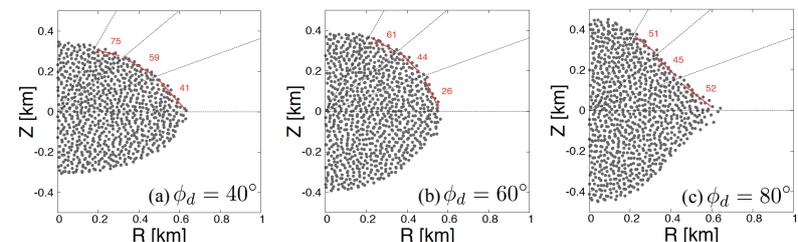


図 2: 高速自転変形後の小惑星の断面。数値計算開始後 4 万秒での断面を表す。赤い直線はそれぞれ北緯 0° -20°, 20-40°, 40-60° の表面を直線でフィットしたもので、そばの数字は表面傾斜角 [°], つまり自転軸と表面のなす角を表す。