

# 惑星環におけるプロペラ構造の形成

道越秀吾 (同志社大学)\*, 小久保英一郎 (国立天文台)

惑星環の中に埋まった小衛星は、重力によって周囲の環粒子を散乱し、キーラー空隙やエンケ空隙のような空隙を形成しようとする [1]。逆に、環の粒子には粘性拡散の効果があるため空隙を埋めようとする。衛星が十分に大きければ、粘性で空隙を埋める効果よりも散乱で空隙を開ける効果の方が効くため、一周にわたる完全な空隙を形成する。一方で、衛星が小さい場合は、部分空隙となる。この空隙は、回転方向に向きのそろった2つの対称なしずくのような模様からなり、その形からプロペラと呼ばれる。粘性流体モデルによって、このような構造の形成は予想されていたが、実際にカッシーニ探査機で発見された [2, 3]。

A 環の光学的厚さはおよそ 0.3 から 0.5 程度である。一方、B 環では 1 より大きい。このような高密度な環では、重力不安定による自己重力ウェイク構造が形成されることが知られている [4]。自己重力ウェイク構造は、環に埋まった小衛星のまわりの構造を変える可能性がある。そこで、密度の高い環でのプロペラ構造形成の数値シミュレーションを行い、高密度の環におけるプロペラ形成条件を調べた。

図 1 は、高密度の場合と低密度の場合のシミュレーション結果のスナップショットである [5]。低密度モデルの場合、プロペラ構造がはっきりと確認できる。小衛星から見て下流領域の密度が著しく減少している。一方、高密度モデルにおいては、自己重力ウェイク構造がみられるが、プロペラ構造が見られない。

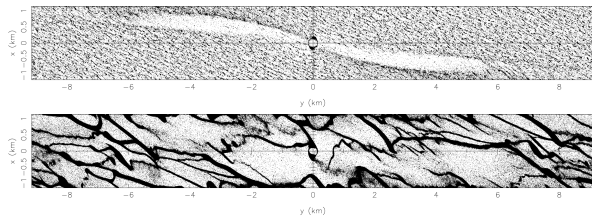


図 1: 低面密度モデルの場合と高密度モデルの場合の数値シミュレーションのスナップショット。

この数値計算の結果は、プロペラ形成は、環の面密度に依存していることを示唆している。自己重力によってできる塊の典型的な質量は、 $\Sigma\lambda^2$  程度である。ここで、 $\Sigma$  は面密度、 $\lambda$  は重力不安定波長である。この塊の質量が衛星の質量よりも大きければ、自己重力ウェイク構造は、衛星からの重力の影響をほとんどうけないと言える。この条件より、プロペラが形成されるための臨界的な小衛星の大きさがあることが分かり、衛星の大きさがこれよりも大きい

ときに、プロペラが形成される。この臨界値は周囲の環の面密度に依存する。

この条件を確かめるために、衛星の大きさや周囲の面密度を変えながら様々なパラメータでシミュレーションを行った。図 2 に示すように、この条件を満たすときに確かなにはっきりとしたプロペラが形成される。もし条件を満たさない場合は、ある程度は周囲に影響を与える場合があるが、自己重力ウェイク構造によって、プロペラが壊れてしまう。

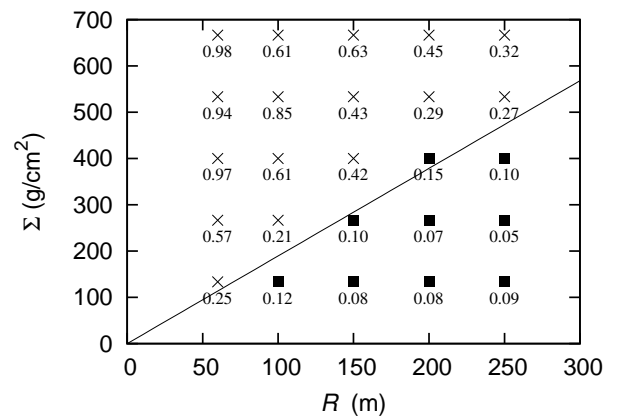


図 2: プロペラ形成条件を小衛星の半径  $R$  と周囲の面密度  $\Sigma$  で示した。四角で示した場合は、はっきりとしたプロペラが形成された場合で、バツ印は形成されなかった場合である。直線は、理論的にみつめた形成条件である。各記号は、プロペラが形成される領域の面密度の減衰率であり、数字が小さいほどはっきりとしたプロペラが見えることに対応する。

## 参考文献

- [1] Lissauer, J. J., Shu, F. H., & Cuzzi, J. N. 1981, *Nature*, 292, 707
- [2] Spahn, F., & Sremčević, M. 2000, *Astronomy and Astrophysics*, 358, 368
- [3] Tiscareno, M. S., Burns, J. A., Hedman, M. M., et al. 2006, *Nature*, 440, 648
- [4] Salo, H. 1995, *Icarus*, 117, 287
- [5] Michikoshi, S., & Kokubo, E. 2011, *ApJ*, 732, L23

\*論文発表時は国立天文台所属