

# 原始惑星系円盤における微惑星の形成過程の研究

## – 非軸対称擾乱がダスト集積に及ぼす影響 –

愛知教育大学教育学研究科 理科教育専攻 加藤 大明

惑星は、原始星の周囲に形成される原始惑星系円盤において、km サイズの微惑星の合体成長の結果として形成される。惑星の素となる微惑星は、円盤進化の初期段階に存在するマイクロサイズのダストから形成されると信じられているが、大きさが9桁、質量にすると40桁ものギャップがあるその成長過程には、ダスト落下問題などの理論的な問題点が存在する (e.g., Adachi et al. 1976; Brauer et al. 2008)。

それらの問題点を解決する物理メカニズムの1つとして注目されているのが、ストリーミング不安定性である (Youdin & Goodman 2005)。ストリーミング不安定性とは、円盤中をケプラー回転するダストとサブケプラー回転するガスとの間の速度差に起因する不安定性で、線形段階でダストの集積を促進し、非線形段階でダストクランプを形成する。しかし、従来調べられてきた円盤の子午面内のストリーミング不安定性は小さなダストに対しては成長率が小さいため、微惑星形成への寄与は小さいと考えられてきた (e.g., Bai & Stone 2010)。

ところが、最近のダスト-ガス円盤の2次元シミュレーションによると、円盤の $r-\phi$ 平面内でもストリーミング不安定性の関与を示唆するダストの集積が見られ、円盤の垂直方向に波が伝搬しない状況においてもダストクランプが形成されることが指摘されている (Schreiber & Klahr 2018)。 $r-\phi$ 平面内で励起される非軸対称モードの成長率は、子午面内で励起される軸対称モードの成長率よりも大きい可能性があることも指摘されており、微惑星形成を加速させる観点から非軸対称モードの振る舞いに注目が集まっている。しかし、これまでに非軸対称性を考慮したストリーミング不安定性の線形解析は行われておらず、非軸対称擾乱がストリーミング不安定性に及ぼす影響については分かっていない。

そこで、本研究では円盤の非軸対称性も許容する、より一般的な条件の下で初めてストリーミング不安定性の線形解析を行った。その結果、ストリーミング不安定性の成長率は非軸対称性を考慮することで、軸対称に限定された従来の場合より大きくなることを明らかにした。特に、円盤進化の初期段階においては、非軸対称モードの成長率が軸対称モードに比べて1桁以上大きいため、若い原始惑星系円盤における微惑星形成を加速させる可能性がある。非軸対称ストリーミング不安定性の存在は先行研究により示唆されていたが、若い原始惑星系円盤での成長の可能性を指摘したのは本研究が初めてである。

近年、ALMA 望遠鏡などの観測で、若い円盤にギャップ構造が相次いで発見されている (e.g., ALMA Partnership et al. 2015)。ギャップ形成の原因として惑星の存在が議論されているが (e.g., Varniere et al. 2004; Fedele et al. 2018)、円盤の年齢内に惑星を形成することはそもそも困難であると考えられてきた。しかし、本研究で得られた結果に基づくと、非軸対称モードを考慮することで、円盤の年齢内にストリーミング不安定性で惑星を形成することが十分可能であることがわかった。これは、非軸対称ストリーミング不安定性が惑星形成過程において重要であることを支持する結果である。今後は、その重要性を理論的側面からより強固なものにするために、非軸対称ストリーミング不安定性と円盤進化をカップルさせた大局的なシミュレーション研究が必要である。

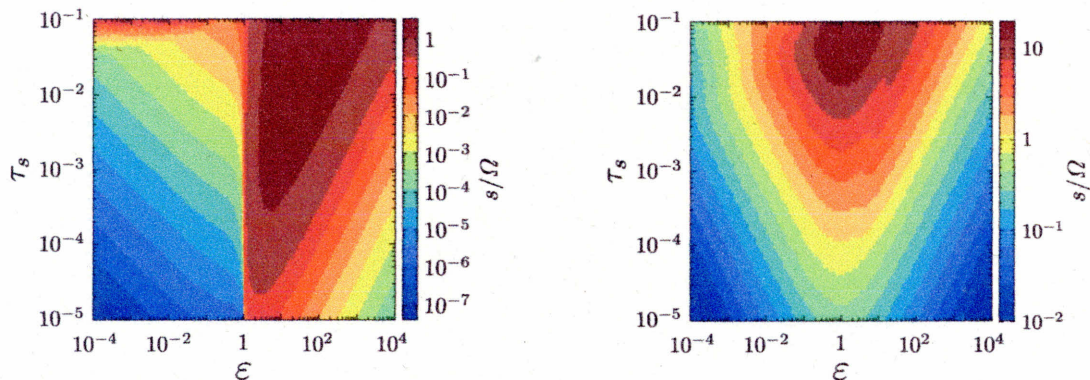


図1 軸対称モード(左)と非軸対称モード(右)の最大成長率 $s$ の、ダスト対ガス比 $\epsilon$ とダストサイズ $\tau_s$ 依存性