国立天文台天文シミュレーションプロジェクト 成果報告書

研究課題名:微惑星との重力散乱による原始惑星の動径方向の移動の解析

利用者氏名(所属機関):大谷亮仁(神戸大学)

利用カテゴリ:計算サーバー

現在、太陽系形成の標準モデルでは、微惑星の衝突合体で原始惑星が形成され、その後、原始惑星と残りの微惑星同士の重力散乱によって今の太陽系が形成されたと考えられている。この過程において、原始惑星は微惑星との重力散乱により、動径方向の内側(太陽に近づく方向)、あるいは外側(太陽から遠ざかる方向)に移動すると考えられている(以降は動径方向の移動を「migration」と呼ぶ)。

本研究では原始惑星と微惑星の重力散乱に焦点を当て、原始惑星のmigrationの速さについて考えた。特に先行研究であるKirsh et al.(2009)の結果と比較しながら、結果の詳しい解析を行った。

・migrationの速さの指標(解析方法)

1、migration rate (軌道長半径の時間変化)

Ida et al.(2000)における角運動量の時間変化から求めた微惑星の離心率を0と仮定した時のmigration rateを基準として、本研究では、得られたmigration rateが基準値の何倍かを調べた。特に重要なのは基準値が惑星の質量に依存しないということである。

2、one-scatter limit (原始惑星が微惑星との1会合周期以内に散乱領域の幅以上migrationするか)

離心率の大きい微惑星は原始惑星との相対速度が大きくなるため、散乱されにくくなる。従って、原始惑星が微惑星との1会合周期以内に散乱領域の幅以上migrationできなければ、原始惑星の散乱領域に離心率の大きい微惑星が多数存在し、migrationがあまり進まなくなる。

この2つの指標をもとに得られた計算結果の解析を行った。

・計算条件

右の図のように太陽、原始惑星(25AU)を1つずつ、微惑星を多数配置し、原始惑星の質量を地球質量の0.5～5倍の間で変化させた。(尚、微惑星の数と質量は上記のmigration rateの基準値が全て一致するように調整した)

また、微惑星は14.5～35.5AUの範囲に一様分布させ、離心率と軌道傾斜角はレイリー分布で与えた。($\sigma_e=2\sigma_i=10^{-2}$)

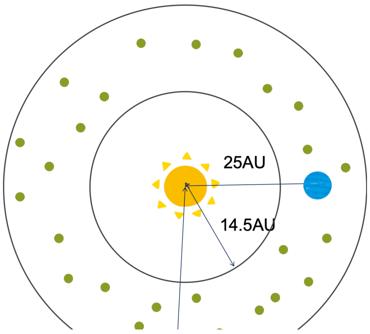

図 1　初期配置の様子

・計算結果

当初の予想では、migration rateの基準値は惑星質量に依存しないため、惑星の質量を変化させてもmigration rateは一定であると予想していた。しかし、結果は惑星質量が地球質量の1倍より大きいか小さいかでmigration rateは大きく変化した。

この原因は、惑星質量が大きくなると散乱領域が大きくなるため、前述したone-scatter limitを下回るからだ。逆に惑星質量が小さい場合、one-scatter limitを上回るため、migration rateが大きくなる。そして、途中でmigrationが止まる(休止する)ことがわかった。

原始惑星が休止する原因は、migrationが進むにつれ、外側の散乱領域に多くの微惑星が存在するからであると推測できる。この詳細に関しては今後詳しく研究を進めていきたいと考えている。

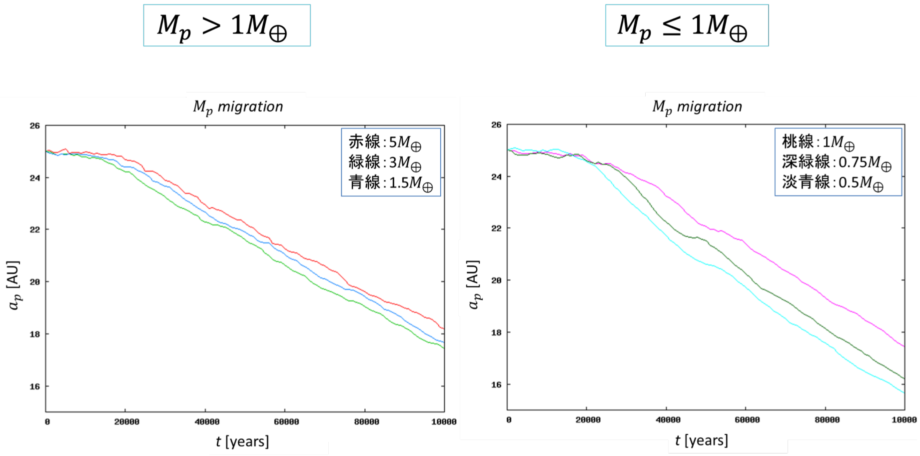

図 2　原始惑星の migration

縦軸が起動長半径、横軸が時間を表しており、傾きが migration rate に相当する。
また、右側の図の 50000 年あたりで傾きが一瞬ゼロになっているように見える部分が、migration が止まったとみなしている部分である。

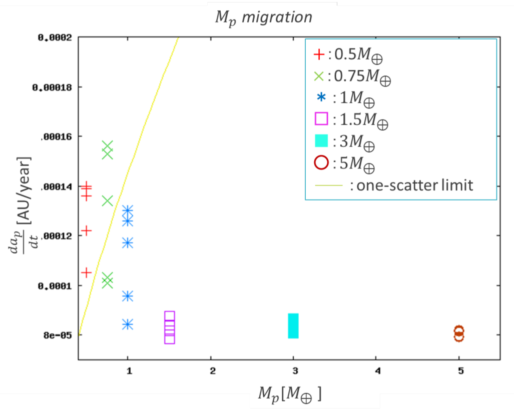

図 3　惑星質量と migration rate の関係

縦軸が migration rate、横軸が惑星質量を表している。また、実線が one-scatter limit を表しており、この実線を超える(あるいはギリギリ超えない)場合、migration rate が大きくなった。

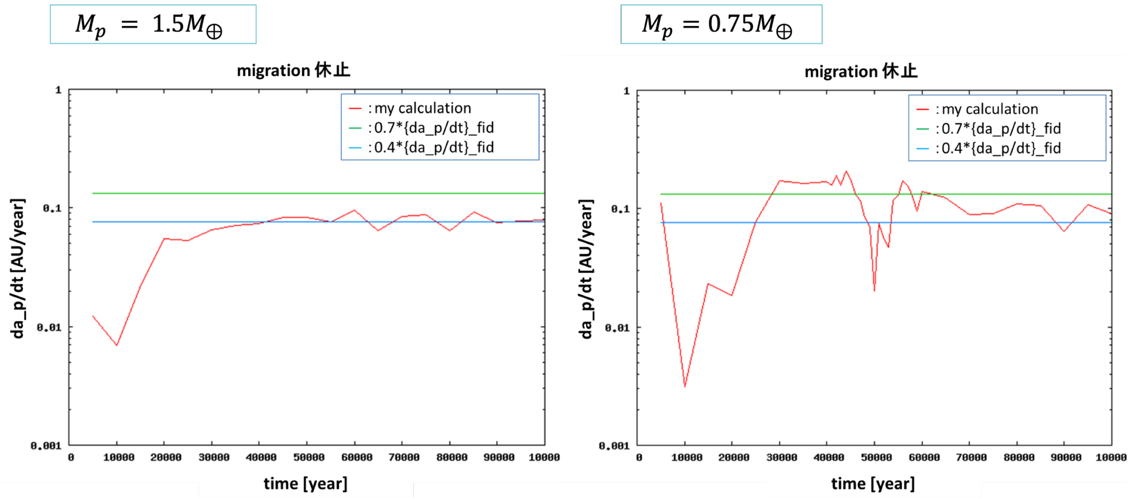

図 4　migration の休止に関して

縦軸が migration rate、横軸が時間を表す。惑星質量が大きい場合(左の図)、一定の migration rate を示し、惑星質量が小さい場合(右の図)、migration rate は 3〜5 万年あたりで大きくなり、途中で急激に減少した後、再び migration rate が大きくなる。