

太陽系初期における彗星と惑星の衝突+ α

○樋口有理可¹、小久保英一郎²、伊藤孝士²

1 東京工業大学 2 国立天文台

太陽系初期、微惑星円盤内で惑星がある程度成長すると、残りの微惑星はその惑星の重力によって軌道が大きく変化し、一部はオールト雲と呼ばれる構造を形成すると考えられている。このオールト雲の起源を研究する過程で、惑星に散乱されるのではなく衝突する微惑星の割合なども副産物として得られるわけであるが、本発表はこの副産物、つまりオールト雲が形成される裏側で微惑星が惑星に衝突する過程についてのものである。

微惑星は惑星に衝突するのか、太陽系外に放出されるのか、オールト雲彗星候補となるのか、この微惑星運命の確率のパラメタ依存を数値計算で求めた。計算モデルは円制限 3 体問題(太陽+惑星+無質量微惑星)、計算コードは 4 次のエルミート積分法を用いた。パラメタは惑星の軌道長半径、質量、微惑星の軌道要素である。こうして得られた数値計算結果を用いて、微惑星の 1 ケプラー周期後の運命の確率を再現する簡単な式を導出した。

$$P_{\text{col}}^{\text{fit}} \approx 7 \times 10^{-7} e^{-2} a_p^{-1} \left(\frac{m_p}{m_j} \right)^{4/3} \sin^{-1} i$$
$$P_{\text{esc}}^{\text{fit}} \approx 4 \times 10^{-6} \left(\frac{a}{a_p} \right)^3 (1-e) \left(\frac{m_p}{m_j} \right)^2 \sin^{-1} i$$
$$P_{\text{can}}^{\text{fit}} \approx 1.2 \times 10^{-5} \left(\frac{a_{\text{can}}}{a_p} \right)^{-1} \left(\frac{a}{a_p} \right)^5 (1-e)^2 \left(\frac{m_p}{m_j} \right)^2 \sin^{-1} i$$

ここで、 a_{can} とはオールト雲彗星候補とみなす軌道長半径の下限である。

得られた結果からいくつかのことが言える。オールト雲形成に関しては、 $a_{\text{can}} \sim 10^3 \text{AU}$ とすると、大体 $P_{\text{can}}/P_{\text{esc}} \sim 0.1$ 程度となり、つまり候補の 10 倍は星間空間へと失ってしまうのだから、オールト雲形成効率は非常に低いと言える。各運命の確率を比較しやすくするために、確率を単位時間に直して面密度の重みを考慮して微惑星円盤全域で積分し、期待値 K に直して衝突と脱出の比をあらわすと次の式になる。

$$K_{\text{col}} / K_{\text{esc}} \approx 0.7 e^{-1} (1-e) a_p^{-1} m_p^{-\frac{2}{3}}$$

この式に 4 大惑星の各質量と軌道長半径を代入すると、 $K_{\text{col}}/K_{\text{esc}}$ の値は、天王星 > 土星 > 海王星 > 木星の順になるが、どの惑星でも値はほとんど同じく、離心率が 0.4-0.9 では $K_{\text{col}}/K_{\text{esc}} \sim 0.1$ となることが分かる。現在、4 大惑星領域には小天体が存在している。ケンタウルス族や散乱円盤天体と呼ばれるもの、また未分類の天体もある。これらの天体の惑星への衝突が 1 回観測されたとき、裏では 10 個の天体が太陽系外へ出ていったと予想できる。