

海王星移動機構の解明に向けて

～ 制限 4 体問題による海王星移動方向の決定 ～

高橋啓介 (名大 環境)

現在までの太陽系形成論において、海王星を現在の場所で造るには現在の太陽年齢よりも時間がかかってしまうという問題がある。また、最近の観測によって海王星以遠の小天体の分布が海王星と 3:2 の平均運動共鳴の位置に集中していることが確認された。これら理論上の問題と観測事実を説明する為に、海王星が形成段階において 3:2 共鳴に微惑星を捕えながら外側に移動したというシナリオが考えられているが、海王星がどのようにして外側に移動したかについては明らかになっていない。

過去に原始海王星 (以下海王星) の移動問題を扱った Ida et al. (2000) では微惑星との重力相互作用による移動を考え、海王星は close encounter zone の微惑星分布密度が高い方向に移動することが分かった。しかし、close encounter zone の微惑星分布がどのようにして決まるかについては明らかになっておらず、海王星が内側と外側のどちらに移動するかは分かっていない。

本研究では、当時存在していた他の原始惑星の影響を考慮することによって海王星の移動方向を決定できると考え、太陽、海王星、微惑星に加えて他の原始惑星の存在を考慮した数値計算を行った。今回行った数値計算は、原始惑星の影響を clear に見るために、原始惑星として木星だけを想定し、微惑星同士の重力相互作用も無視した制限 4 体問題である。木星を現在の位置に固定し、海王星の軌道要素を $a = 12.0(\text{AU}), e = 0.0, i = 0.0$ として微惑星の運動を調べ、図 1 に示される以下の結果を得た。

今回の惑星の配置では、木星の影響は海王星より内側の領域のみに現れ、自らの近傍の微惑星を海王星と encounter できる領域まで送り込む効果と、海王星との相互作用によって離心率の高くなった微惑星を海王星と encounter 出来ない領域まで散乱する効果が存在する。しかし、木星によって送り込まれた微惑星は海王星と数度の interaction を経験した後に再び木星によって散乱される。この場合、海王星が微惑星から net で受け取る角運動量はほぼ 0 となる。つまり、木星によって送り込まれてくる微惑星は、海王星の移動方向に殆んど影響を及ぼさない。しかし、海王星周囲に存在した微惑星が海王星との interaction によって離心率が高くなり、木星に散乱される場合は海王星は net で角運動量を受け取る。これは、微惑星が木星によって散乱を受ける領域は、微惑星の角運動量が最も低くなる領域の近傍であることから理解できる。つまり、木星の存在は、海王星に角運動量を与えた微惑星のみを海王星近傍から除去する。このため、海王星は外側に動くことが分かる。

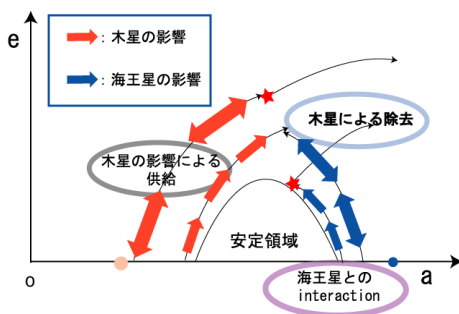


図 1: 微惑星の流れの模式図

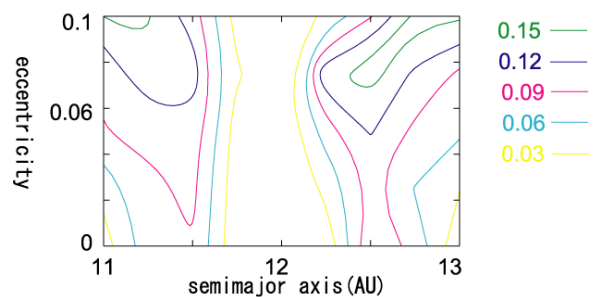


図 2: 海王星近傍から、1 万年間で木星によって除去される微惑星の割合

図 2 は、 10^4 年で海王星近傍から木星によって除去された微惑星の割合を示した図である。この結果から、簡単に海王星の移動速度を見積もってみると、約 $0.02\text{AU}/10^4\text{year}$ という値が得られた。かなり大雑把な見積もりであるので値の解釈は困難であるが、より詳しい解析を行うことで、海王星の位置による速度変化などを求めることができるだろう。