

ガス抵抗を考慮したカイパーベルト天体の軌道進化

The effect of gas drag on the orbital evolution of Kuiper belt objects

小林 浩[1], 田中 秀和[1], 井田 茂[2]

Hiroshi Kobayashi[1], Hidekazu Tanaka[2], Shigeru Ida[3]

[1] 東工大・理・地球惑星, [2] 東工大・地惑

[1] Earth and Planetary Sci., Tokyo Inst. Tech., [2] Earth and Planetary Sci., Tokyo Inst. of Tech., [3] Dept. of Earth and Planetary Sci., Tokyo Inst. of Tech.

我々は軌道離心率や軌道傾斜角が大きい天体が原始太陽系星雲内でガス円盤から受ける抵抗力について調べ、その天体の軌道変化を解析的な標識を導出した。その解析解と Adachi et al. (1976)による軌道離心率と軌道傾斜角の小さい天体の軌道変化の解析解を補間し、新しくすべての軌道離心率や軌道傾斜角を持つ天体のガス抵抗による軌道変化の解析的な標識を求めた。この解析的な標識は、軌道積分によって求められた軌道変化のと良く一致する。この式を用い、カイパーベルト天体が恒星遭遇によって軌道離心率、軌道傾斜角を跳ね上げられた後、ガス円盤から抵抗力による軌道進化を計算し、現在観測されるカイパーベルト天体と非常に良く一致する結果が得られた。

太陽系の外縁部にはカイパーベルトと呼ばれる小天体の集まりが存在する。このカイパーベルト天体の軌道は、地球などの太陽系の内側にある惑星と大きく異なる。地球などの他の惑星は、現在、ほぼ円軌道で同一平面上を公転している。しかし、カイパーベルト天体はそうではない。つまり、その軌道離心率や軌道傾斜角は、他の惑星に比べてずっと大きい。カイパーベルト天体がこのような大きい軌道離心率や軌道傾斜角になった原因は未だ説明されていないが、主に以下の3つの説が提唱されている。(1)ガス円盤の散逸に伴い木星と土星の永年共鳴がカイパーベルトを通過し、永年共鳴の効果により天体の軌道離心率と軌道傾斜角が跳ね上げられる(Nagasawa & Ida 2000)。(2)過去にカイパーベルトには大きな惑星があり、その惑星により天体が乱され、軌道離心率と軌道傾斜角が上昇する。その後、その惑星は他の巨大惑星に系外に飛ばされる(Petit et al. 2001)。(3)過去に原始太陽系星雲が他の恒星と近接遭遇したことにより、太陽系の外縁部のカイパーベルトでは大きな影響を受け、天体の軌道離心率と軌道傾斜角は跳ね上げられた(Ida et al. 2000, Kobayashi & Ida 2001)。これらの説では現在のカイパーベルト天体の程度まで天体の軌道離心率と軌道傾斜角を跳ね上げることはできた。しかし、カイパーベルト天体の軌道離心率と軌道傾斜角の間には相関があることがわかった。軌道離心率と比べ軌道傾斜角は2倍程度大きいと言う関係を持った天体が多いことである。先に上げた3つの説では天体の軌道傾斜角が上がれば軌道離心率は同程度に跳ね上げられてしまうことがわかっている。軌道傾斜角だけ大きく跳ね上げる機構は難しいと考えられる。

ならば、一度、大きく跳ね上げてから抵抗力により減衰させればいいのだが、ガス円盤からのガス抵抗の効果は考えられてこなかった。なぜならば、Adachi et al. (1976)の結果からガス抵抗の効果を見積もるとガス抵抗の効果は小さく、効かないと見積もられるからである。しかし、Adachi et al. (1976)では軌道離心率や軌道傾斜角の小さい天体へのガス抵抗の効果を考えていて、軌道離心率や軌道傾斜角は非常に大きいカイパーベルト天体には結果は使えない。本研究では軌道離心率や軌道傾斜角の大きい天体へのガス抵抗力の効果を解析的に求め、Adachi et al. (1976)と比較をし軌道離心率や軌道傾斜角の大きい天体では、その効果が大きくなることを確かめた。そして、その結果を Adachi et al. (1976)の結果と補間し、どんな軌道離心率や軌道傾斜角においても有効なガス抵抗力による天体の軌道進化の式を導出した。

この式により見積もると、ガス抵抗力による軌道の変化は軌道離心率の方が軌道傾斜角よりも2倍ほど大きく。恒星遭遇説によって同程度まで軌道離心率や軌道傾斜角を跳ね上げられた天体の軌道を変化させた。ガス円盤の散逸時間を 10^7 年程度だと考えると、ガスが存在する間に軌道離心率や軌道傾斜角は減少され、観測されているカイパーベルト天体の軌道になり得るパラメーターがある事がわかった。恒星遭遇のパラメーターとガス散逸の時間をパラメーターとして考慮し、恒星遭遇により現在のカイパーベルト天体の軌道を実現するようなパラメーター空間の大きさについて検証する。