

カイパーベルト領域における永年共鳴の移動

Sweeping Secular Resonances in the Kuiper Belt Region 2

長沢 真樹子[1], 井田 茂[2]

Makiko Nagasawa[1], Shigeru Ida[2]

[1] 東工大・理・地球惑星, [2] 東工大・地惑

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

我々は、原始太陽系星雲の散逸にともなう永年共鳴の移動が、カイパーベルト天体の軌道分布にどのような影響をもたらすかについて研究を行った。本研究から、離心率、軌道面傾斜角を上昇させる永年共鳴が星雲散逸にともなってカイパーベルト領域を通過することが確かめられた。また、軌道傾斜角を上昇させる永年共鳴は、離心率を上昇させる永年共鳴よりも強い効果を持つことがわかった。これは現在のカイパーベルトにおいて離心率よりも軌道傾斜角が大きい観測事実と合致している。軌道面傾斜角を観測される大きさに上昇させるために必要な星雲散逸のタイムスケールは数億年であることも判明した。

我々は、原始太陽系星雲の散逸にともなう永年共鳴の移動が、カイパーベルト天体の軌道分布にどのような影響をもたらすかについて研究を行った。

近年、観測機器の性能の向上に伴って、カイパーベルト領域では続々と新しい小天体が発見されている。現在、この領域では100個以上の小天体の軌道が確定されている。これらの小天体は太陽系進化の情報を残していると考えられている。このため、太陽系の形成過程や進化を調べる上でこれらの小天体を研究することが必要不可欠である。

カイパーベルト天体の分布は大きく2つの領域に分かれている。1つは海王星との3:2の平均運動共鳴の近辺であり、もう1つは軌道長半径が41AU以上の領域である。前者の領域に存在するカイパーベルト天体は離心率、軌道傾斜角(radian)、ともに0.2程度と非常に大きい値を持っている。一方、軌道長半径が41AU以上の天体は、軌道傾斜角は0.2程度の値を持つが、離心率は平均で0.1程度程度の小さな値しか持たない。この軌道要素の大きさと分布は現在の惑星系形状では説明がつけられないものであり、いくつかの研究がなされているものの、その起源はいまだ解明されていない。特に、大きな軌道面傾斜角の起源を説明できるモデルは提唱されていない。

本研究では、このカイパーベルト天体の軌道分布の起源として、原始太陽系星雲の散逸に伴う永年共鳴の移動に注目した。例えば18の永年共鳴は今の惑星配置では41AUの位置で生じる。一方、原始太陽系星雲の存在下では永年共鳴は41AUとはまったく異なった位置(~32AU)で生じる。いずれの場合でも、惑星の軌道長半径や質量、あるいは星雲の密度分布が変化しない限り永年共鳴の位置が移動することはない。しかし、星雲が散逸するときには、星雲密度の減少に伴い、32AUから41AUの広範囲にわたって永年共鳴の移動が起きることになる。いくつかの永年共鳴がカイパーベルト領域を通過することにより、カイパーベルト領域の微小天体の離心率、軌道傾斜角は大きく跳ね上げられることになる。今回我々は、永年共鳴がカイパーベルト領域をどのように移動するか、またどの程度小天体の離心率や軌道傾斜角を上昇させるかを、解析計算と数値計算の両方から研究した。

系としては、現在の軌道長半径と質量を持つ4つの木星型惑星と最小質量星雲モデルにテスト粒子を加えたものを考えた。また、現在の惑星系よりも30ほど惑星間隔が狭かった場合を想定した場合についても計算を行った。これは、Malhotra (1995)に述べられているような微惑星散乱による惑星の移動が起きた場合、移動前の惑星系における永年共鳴の移動の効果を調べるためである。木星の軌道のまわりでは、角運動量交換によって星雲にギャップが生じているものとする。ガス抵抗はカイパーベルト領域ではほとんど効かないので考えない。原始太陽系星雲は軌道長半径によらず一様に時間に対して指数関数的に減少するものとする。

研究の結果、いずれのモデルにおいても、離心率を上昇させる永年共鳴も軌道傾斜角を上昇させる永年共鳴のどちらもカイパーベルト領域通過することがわかった。また、星雲の散逸のタイムスケールを同じにとっても、軌道傾斜角を上昇させる永年共鳴は離心率を上昇させる永年共鳴よりも強く、軌道傾斜角の方が上昇しやすいことが判明した。これは軌道傾斜角を上昇させる永年共鳴が、離心率を移動させる永年共鳴よりもゆっくりと移動するためである。41AU以上の領域でカイパーベルト天体の軌道傾斜角と離心率とを観測と合うように上昇させるためには、太陽系外縁部で数億年程度の星雲散逸のタイムスケールが必要であることもわかった。惑星間隔が狭い場合の方が、必要とされるタイムスケールが長い。離心率が軌道面傾斜角よりも上昇しにくいという結果は、41AU以上の領域で観測されるカイパーベルト天体の離心率の平均値が軌道傾斜角のものよりも小さいことと一致している。さらに、離心率の上昇があまり大きくないため、Malhotra (1995)に述べられているような惑星移動に伴う平均運動共鳴の移動で、平均運動共鳴の位置に天体を掃き集めることが可能である。この効果は軌道傾斜角が大きい場合でも有効であり、惑星移動が起きたと考えれば、41AU以下でカイパーベルト天体が平均運動共鳴に集まっていることの説明もつけられる。

このように、本研究は、太陽系外縁部での惑星形成や星雲散逸の歴史を探る上で、重要な鍵となるものである。