

審査の結果の要旨

氏名 朝野 哲郎

本論文は、位置天文観測衛星 Gaia による天の川銀河(MW)の恒星の位置・速度データと、高質量分解能の N 体計算の結果を比較し、MW 円盤の構造とその成因について理論的観点から議論している。

本論文は 7 章からなる。第 1 章は序章であり、本論文の背景や研究動機などがまとめられている。MW は棒渦巻銀河だと考えられているが、太陽系がその円盤内にあるため、その全体像を俯瞰するのは難しい。一方で Gaia の観測データからは、恒星の詳細な位相空間分布が得られている。この分布に影響を与える要因としては、円盤内の棒状構造や渦状腕、周囲の銀河との相互作用などが考えられている。そこで本研究では、2 通りの高質量分解能の N 体計算結果を解析し、観測された位相空間分布がどの機構によって説明できるかを調査した。

第 2 章は、N 体計算モデルと Gaia データの説明である。N 体計算は、銀河相互作用の無い孤立系と、その結果に、いて座矮小銀河を想定した相互作用銀河を加えた系の 2 通りである。前者は先行研究の結果を用い、後者は本研究で新たに実施したものである。質量分解能が高いこと、弱い渦状腕のある円盤を初期条件として相互作用を加えたことなどが特長である。Gaia データは、視差の精度や後退速度の測定値の有無などを条件に、約 2600 万天体を抽出した。

第 3 章は、太陽近傍で観測されている位相空間分布のうちのヘラクレス流と呼ばれる構造について、孤立系 N 体計算の最終時刻の特定の地点と比較している。この地点での恒星の軌道を解析し、ヘラクレス流が棒状構造の高次の力学的共鳴で説明できることを示した。この結果は、棒状構造のパターン速度が遅い(40–45 km/s/kpc)ことを支持している。

第 4 章は上記の解析を発展させ、孤立系の計算結果の中でいつ・どの地点が太陽近傍の観測結果と近いのかを、網羅的かつ定量的に調査した。観測と計算の比較において、KLD (Kullback-Leibler divergence)を用いた評価に新規性がある。その結果、KLD が棒状構造のパターン速度の減少とともに減少する（計算結果が観測結果に近くなる）こと、KLD は銀河中心からの距離=8–8.5kpc、棒状構造の長軸からの角度=30deg 付近で小さくなる頻度が高いことがわかった。これは、観測された位相空間分布への棒状構造の影響が大きいことを示している。さらに、KLD の値は短時間で変動しており、恒星円盤内の個々の星の運動は定常でないことを示している。

第 5 章は、太陽系を含む局所腕での z 方向の運動（特に $z=0$ の平面について対称なブリージングモード）について議論している。孤立系での計算結果から、動的な腕では質量密度のピークの位置でブリージングモードが強くなり、その中でも圧縮運動は腕の形成時期に強いことがわかった。これを Gaia の観測データと比較し、局所腕が動的な渦状腕の成長段階にある可能性を提示している。

第 6 章では、相互作用系での N 体計算の結果から、外部摂動が銀河円盤の位相空間構造に与える影響を調べた。その結果、銀河円盤のベンディングモードが励起されるとともに、潮汐力によって渦状腕が形成されてブリージングモードが励起されることがわかった。また、ベンディングモードはブリージングモードよりも減衰速度が速いこともわかった。Gaia データで得られた **phase spiral** 構造との比較から、太陽近傍はベンディングモードからブリージングモードへと優勢モードが遷移している途中だという解釈を提唱している。

第 7 章では、本論文のまとめと将来の展望が述べられている。

MW の構造とその成因を明らかにすることは、MW だけでなく円盤銀河の形成と進化を考える上で基礎となる重要な研究である。本論文で議論されている MW の恒星円盤の内部・外部摂動に対する応答は、その中でも重要な素過程である。本研究は、Gaia の最新データと質量分解能の高い N 体計算の比較において、様々な位相空間構造という切り口で異なる要因の影響を詳細に調査したという点が新しく、学術的価値が高いと評価できる。

なお、本研究は藤井通子・馬場淳一・Jeroen Bedorf・Elena Sellentin・Simon Portegies Zwart・河田大介との共同研究であるが、論文提出者が主体となって行ったもので、論文提出者の寄与が十分であると判断する。

したがって、博士（理学）の学位を授与できると認める。