

スイング増幅によるエピサイクル運動の位相同期

道越秀吾 (京都女子大学)

利用カテゴリ 利用カテゴリ XC-B ・ GRAPE

スイング増幅は、渦状構造が速度剪断によって巻きつくときに、自己重力の影響により、その振幅が増幅される現象である (Goldreich and Lynden-Bell 1965, Julian and Toomre 1966, Toomre 1981). 非定常で腕の数が多い渦状腕構造の形成は、スイング増幅によって説明される可能性がある。また、土星の環の自己重力ウェイク構造の形成にも関係している可能性が指摘されている (Salo 1995).

これまで理論モデルと数値シミュレーションを用いて、スイング増幅の物理過程について調べてきた (Michikoshi and Kokubo 2014, 2016, 2018). Toomre (1981) は、渦状腕構造の振幅の時間発展を、振動数が時間変化する振動子としてモデル化することによって、スイング増幅について調べた。Michikoshi and Kokubo (2016) では、これを拡張したモデルを用いて運動を解析した結果、スイング増幅が発生している時、星のエピサイクル振動の位相が同期することを導いた。しかし、この位相同期現象はシミュレーションによっては確かめられていなかった。

そこで、本研究では、このエピサイクル振動の同期現象を無衝突局所 N 体シミュレーションによって調べた。これは円盤内の一部の領域を取り出して剪断を考慮した周期境界条件を課してシミュレーションを行う手法である (e.g. Toomre and Kalnajs 1991, Michikoshi and Kokubo 2014).

星の軌道は、ガイディングセンター運動とエピサイクル運動に分離される。図 1 は 2 軌道回転周期経過時の粒子分布とガイディングセンター分布、位相分布である。重力不安定指標である Q が 1.4 程度と小さいため、計算開始後速やかに自己重力によるトレーリング構造が形成される。図 1a は確かにトレーリング構造が形成されていることが伺える。一方で、ガイディングセンター分布の分布は、顕著な構造が生じていない (図 2b)。ところが、エピサイクル振動の位相には顕著な非一様性が生じた (図 2c)。渦状腕構造が形成されるとき、ガイディングセンターの分布は一様に保たれる一方で、エピサイクル位相に顕著な構造が形成されることがわかった。これは、位相同期によって渦状腕構造が構成されることを示している。

さらに、この現象の物理的意味を理解するために、剪断を考慮した時間空間相関関数を用いて、渦状腕の形成・破壊過程を調べた (図 2)。この関数は、異なる空間点、異なる時間との間の密度場の相関関数であり、さらに剪断によって生じる平均的な流れを補正した関数である。高密度領域の周囲の領域の平均的な時間発展を描く手法である。この結果、解析的研究では取り入れられていない、3 体相互作用的な描像からスイング増幅のメカニズムが理解できることがわかった。

本研究成果は、現在、論文投稿を行い査読中である。

参考文献

- [1] Toomre, A. 1981, Structure and Evolution of Normal Galaxies (Cambridge: Cambridge Univ. Press), 111

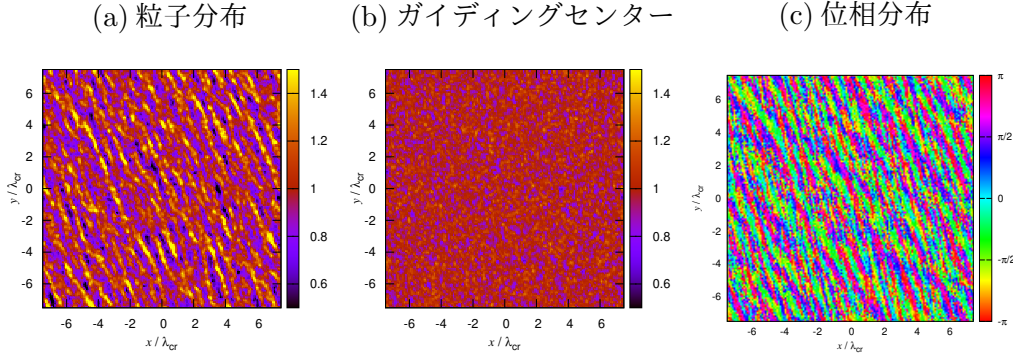


図 1: 計算開始から 2 軌道回転周期経過時の (a) 粒子分布と (b) ガイディングセンター分布 (c) 位相分布. 局所回転系で銀河の一部を取り出し粒子分布であり, x 軸負の方向に銀河中心があり, y 軸正の方向が公転方向である.

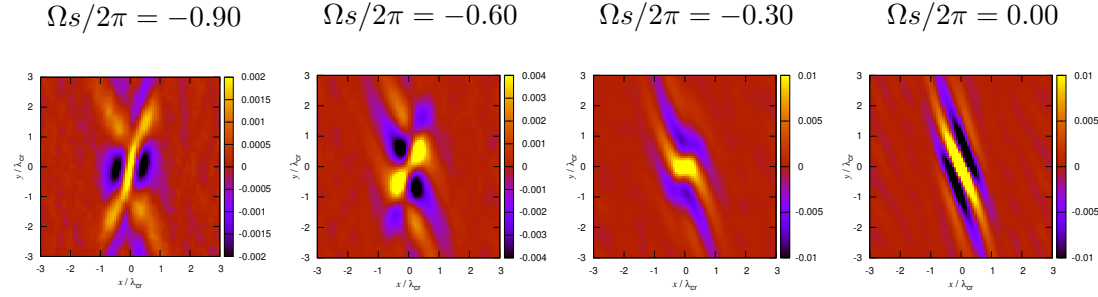


図 2: 剪断を考慮した時間空間相関によってスパイラルが形成されていくまでの描像.

- [2] Goldreich, P. & Lynden-Bell, D. 1965, MNRAS, 130, 125
- [3] Julian, W. H. & Toomre, A. 1966, ApJ, 146, 810
- [4] Michikoshi, S. & Kokubo, E. 2014, ApJ, 787, 174
- [5] Michikoshi, S. & Kokubo, E. 2016a, ApJ, 821, 35
- [6] Michikoshi, S. & Kokubo, E. 2016b, ApJ, 823, 121
- [7] Michikoshi, S. & Kokubo, E. 2018, MNRAS, 481, 185
- [8] Toomre, A. & Kalnajs, A. J. 1991, 341