”Weighing the Galactic disk using phase-space spirals I. Tests on one-dimensional simulations”: A. Widmark et al. 2021 A&A

GAゼミ@210802津久井

[アブスト] 銀河の円盤を含めた重力ポテンシャル、質量分布を導出することは、銀河の形成史を解明するために、また、ダークマターの粒子の解明に非常に重要である。これまでの研究では、星の分布関数がstatic(静的)であるという仮定の下で質量が導出されてきたが、もはやこの仮定による系統誤差は統計的な誤差よりも大きいかもしれない。近年、Gaiaで、z-v_z (=w)位相空間に渦巻き状patternが発見された(裏面)。この位相空間上のpatternは(z方向の)重力ポテンシャル形状と強く関係していると考えられるため、渦巻き状patternから重力ポテンシャルを導出するという手法を提案し、それを1次元simulationによって検証した。(星の分布関数にstaticな仮定は置いていない！)

[ゴール] まずは、上記提案手法を1次元的なsimulationから検証する。最終的には、天の川銀河に適用することで、天の川銀河の重力ポテンシャルに制限をつける。

[オリジナリティ] 1 次元の場合に限って、解析的なモデルを定式化し、1次元simulationに適用することで、重力ポテンシャルの推定精度を検証した。

[ロジック]

1. 解析的なモデルを定式化した(裏面参考資料)。仮定1:z方向の運動のみを考える。仮定2: staticな重力ポテンシャル下を運動する星を考え、自己重力は考えない。

   $E_z = \Phi(z) + \frac{v_z^2}{2}$ を解くと、時間t=0である直線上にいた粒子(摂動を受けた状態)は、時間がたつとFig. 1 のようにspiral状に分布する。(式5, 9を参照、spiralの形状は摂動を受けてからの時間と、ポテンシャルの形状に依存する。Fig. 2)
2. 1次元的なsimulationを行った: ボルツマン分布を仮定して、staticな星分布関数を作り、その後、衛星銀河がdiskを横切るような力を与える。(Fig 4, 5)
3. 得られたsimulation結果に対して、1.の解析的モデルをfitし、重力ポテンシャルを推定した。円盤から400 pc-500pcのところで、数percentの精度で推定できた。 (Fig3)
4. Simulationでは対称的なspiralが生まれてしまう。(天の川銀河で見られているのはone-armed spiral) 一次元の場合だと自己重力が効きすぎてしまうから。

[コメント]

対称的な腕ができてしまう問題は面白い、3次元の場合で解決するのか、天の川で観測されている位相空間内の腕状パターンの起源のヒントがあるのではないか。

計算コストが大きすぎて、rangeを広げてfittingできないようなので、初期値に近いlocal minimamに落ち込んでいないか心配。また、1次元のanalytic modelを 1 次元のsimulationにfittingしているので、推定された質量がsimulationの正しい質量とa few percentで合うのは当然か。

(3次元に拡張した時に、この手法が使えるかどうかは示されていない。)

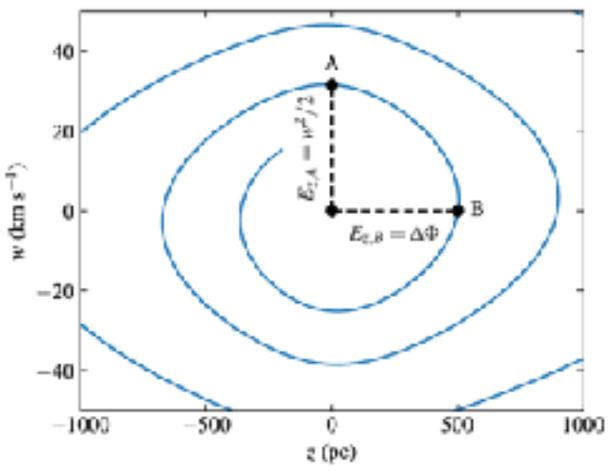


Fig1: 密度分布 $\rho_h = \{0, 0.06, 0.03, 0\}\ M_\odot \mathrm{pc}^{-3}$.
600Myr経った状態。初期のアングルは適当。

$$\rho(z) = \sum_{h=1}^{4} \rho_h \cosh^{-2}\left(\frac{z}{2^{h-1} \times 100\ \mathrm{pc}}\right).$$

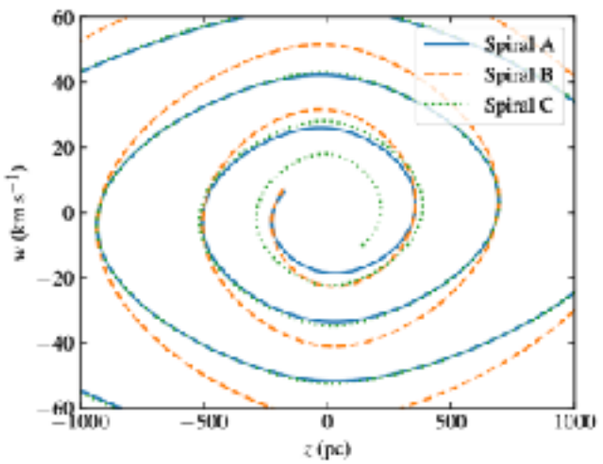
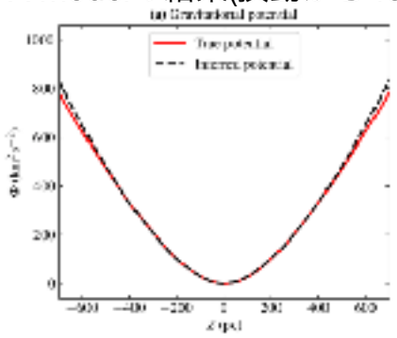


Fig2: 異なる密度分布での渦巻きの形状

$\rho_{h,A} = \{0, 0.05, 0.02, 0.02\}\ M_\odot \mathrm{pc}^{-3}$.
$\rho_{h,B} = \{0, 0.075, 0.03, 0.03\}\ M_\odot \mathrm{pc}^{-3}$.
$\rho_{h,C} = \{0.1, 0, 0.02, 0.02\}\ M_\odot \mathrm{pc}^{-3}$

Simulation A modelの結果(摂動から400Myr後の状態, その他はFig, 6,7,8参照)。



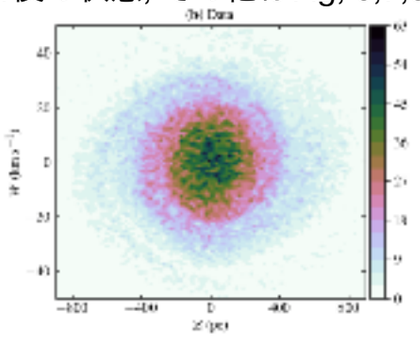
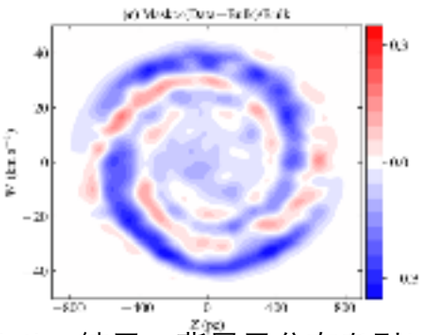


Fig3:推定された重力場と本当の重力場 Fig4:simulation結果



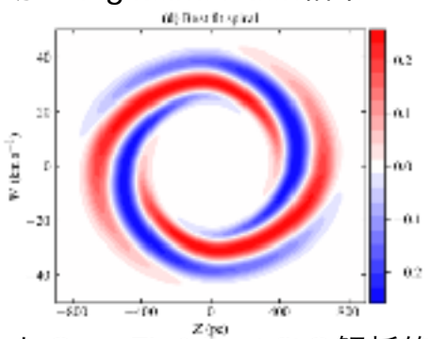
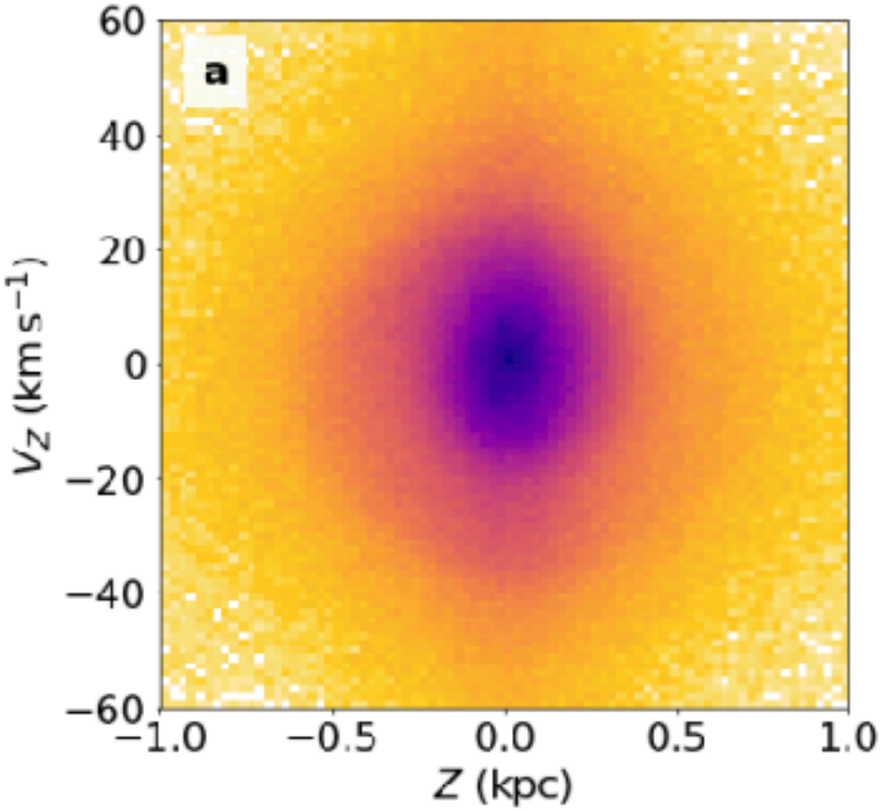


Fig5:simulation結果、背景星分布を引いたもの。 Fig6:best fitの解析的モデル

天の川銀河で見られる位相空間z-v_z平面の
渦巻きパターン。（Antoja et al. 2018 Nature）



←色は
星の密度

