

星形成領域の非円運動解析に基づく銀河系渦状腕構造の研究

山口大学大学院創成科学研究科基盤科学系専攻物理学コース1年 宮地優輔

共同研究者 坂井伸行 本間希樹 藤澤健太

研究目的

銀河系渦状腕構造の維持機構として考えられている「準定常密度波理論」及び「動的渦状腕理論」を、星形成領域の非円運動を解析することで検証する。Baba et al. (2017)において、Gaia DR1を用いたペルセウス腕に付随するセファイド変光星の非円運動解析が行われ、動的渦状腕理論で予測される系統的な非円運動が示唆された。

①渦状腕の巻き込みの困難

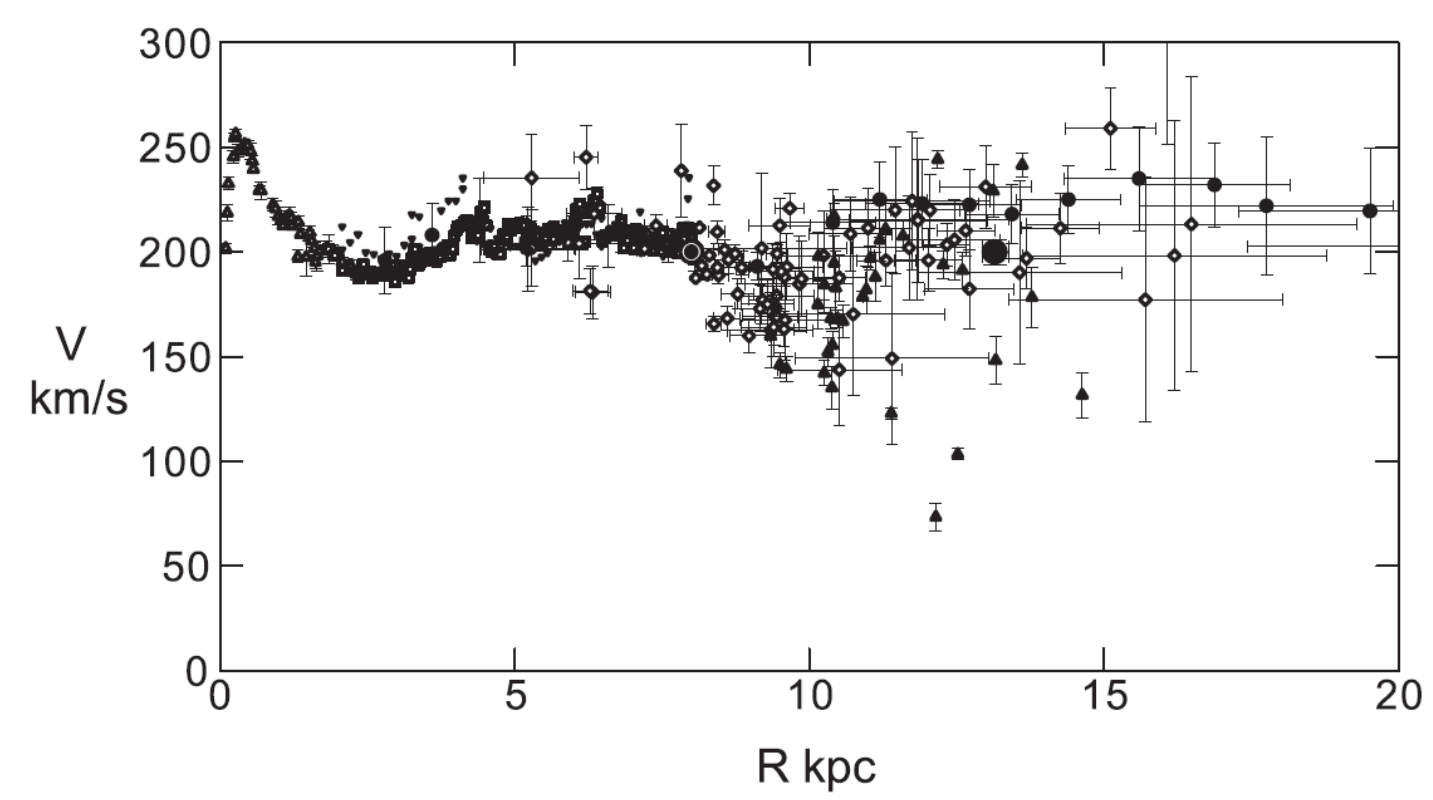


Fig 1. 銀河系回転曲線(Sofue et al. 2009)

(i) Fig 1; 銀河は差動回転している。結果、時間とともに内側が外側に比べて先行し、きつく巻き取られてしまう

(ii) $R=10$ kpc, $V=220$ km s⁻¹と仮定すると、 $t=10^{10}$ 年でピッチ角 $i \approx 0.3^\circ$ になると計算されている(シリーズ現代の天文学5)。銀河系のピッチ角は $i = 6.9^\circ \sim 19.8^\circ$ (Reid et al. 2014)であり矛盾。これを巻き込みの困難と呼ぶ。

解決策として2つの理論が提唱

- ・準定常密度波理論(Lin & Shu 1964)
- ・動的渦状腕理論 (Sellwood & Carlberg 1984)

②渦状腕力学理論

(i) 準定常密度波理論(SDW)

渦状腕は星やガスの銀河回転とは独立したパターン(密度波)として存在しており、パターンが銀河円盤中を剛体回転(i.e., ≈ 1 Gyr; Lin & Shu 1964)しているため、巻き込みの困難が回避される。また共回転半径の内側では、パターンとガスの密度が高い所のためにオフセットが生じる。

(ii) 動的渦状腕理論(DYN)

渦状腕は差動回転をしているが、 ~ 100 Myrの短い期間で繰り返し形成される一時的な腕である(Sellwood & Carlberg 1984)。また渦状腕の両側からポテンシャルの底にガスが落ち込むので、ガスの渦状腕と星の渦状腕の間にオフセットが生じない(Baba et al. 2015)。

④先行研究 (Baba et al. 2017)

Table 1. 用いた天体及び天体選出カタログ

Catalog	Crossmatched catalog	Sources (number)	Vaetical position (kpc)	Distance limitations (kpc)
Gaia DR1(TGAS catalog)	Mel'nik et al. (2015)	Cepheids (191)	$ z_{e,max} < 0.5$	$ d_{per} < 1.5$

Table 2. ペルセウス腕のパラメータ(Reid et al. 2014)

Arm Parameter	Value	Definition
β_{ref} (deg)	14.2	Reference azimuth
R_{ref} (kpc)	9.9 ± 0.1	Reference galactocentric radius
ψ (deg)	9.4 ± 1.4	Pitch angle

Table 3. セファイドと渦状腕力学モデルの比較結果

	Cepheids (number)	SDW ($R_{cr} = 8$ kpc)	DYN ($t = 2.62$ Gyr)
$U_{pec} - d_{per}$ Corr.	0.14 ± 0.02 (77)	0.21 ± 0.07	0.14 ± 0.03
$V_{pec} - d_{per}$ Corr.	0.40 ± 0.03 (77)	-0.34 ± 0.03	0.15 ± 0.03
		Trailing side ($0.2 < d_{per} < 1.5$ kpc)	
$\langle U_{pec} \rangle$ (km s ⁻¹)	6.1 ± 1.0 (47)	-7.0 ± 0.5	4.6 ± 0.8
$\langle V_{pec} \rangle$ (km s ⁻¹)	-6.3 ± 2.0 (47)	-8.5 ± 0.4	-3.8 ± 0.8
		Leading side ($-1.5 < d_{per} < -0.2$ kpc)	
$\langle U_{pec} \rangle$ (km s ⁻¹)	0.49 ± 1.2 (16)	-10.4 ± 2.9	-3.0 ± 1.4
$\langle V_{pec} \rangle$ (km s ⁻¹)	-13.4 ± 2.0 (16)	-1.7 ± 1.1	-11.9 ± 0.9

- (i) 以下の理由よりセファイドを選択し、非円運動速度をFig 3にプロット
- ①距離が正確に既知である
 - ②年齢が20 – 300 Myrと若く速度分散が小さいので系統的な運動が見つけやすい
 - ③年齢の幅より渦状腕の存在期間と近いので、腕の状態を反映していると期待

- (ii) 結果 (Table 3 & Fig 3(※ U_{pec} の定義が③と逆))
- セファイドとDYNでは $\langle U_{pec} \rangle, \langle V_{pec} \rangle$ の相関係数が正であるので、どちらかといえばDYNの方が観測結果に近い。もしDYNが示唆されるならば、 $\langle U_{pec} \rangle$ の値の傾向よりペルセウス腕は減衰期にあるかもしれない。

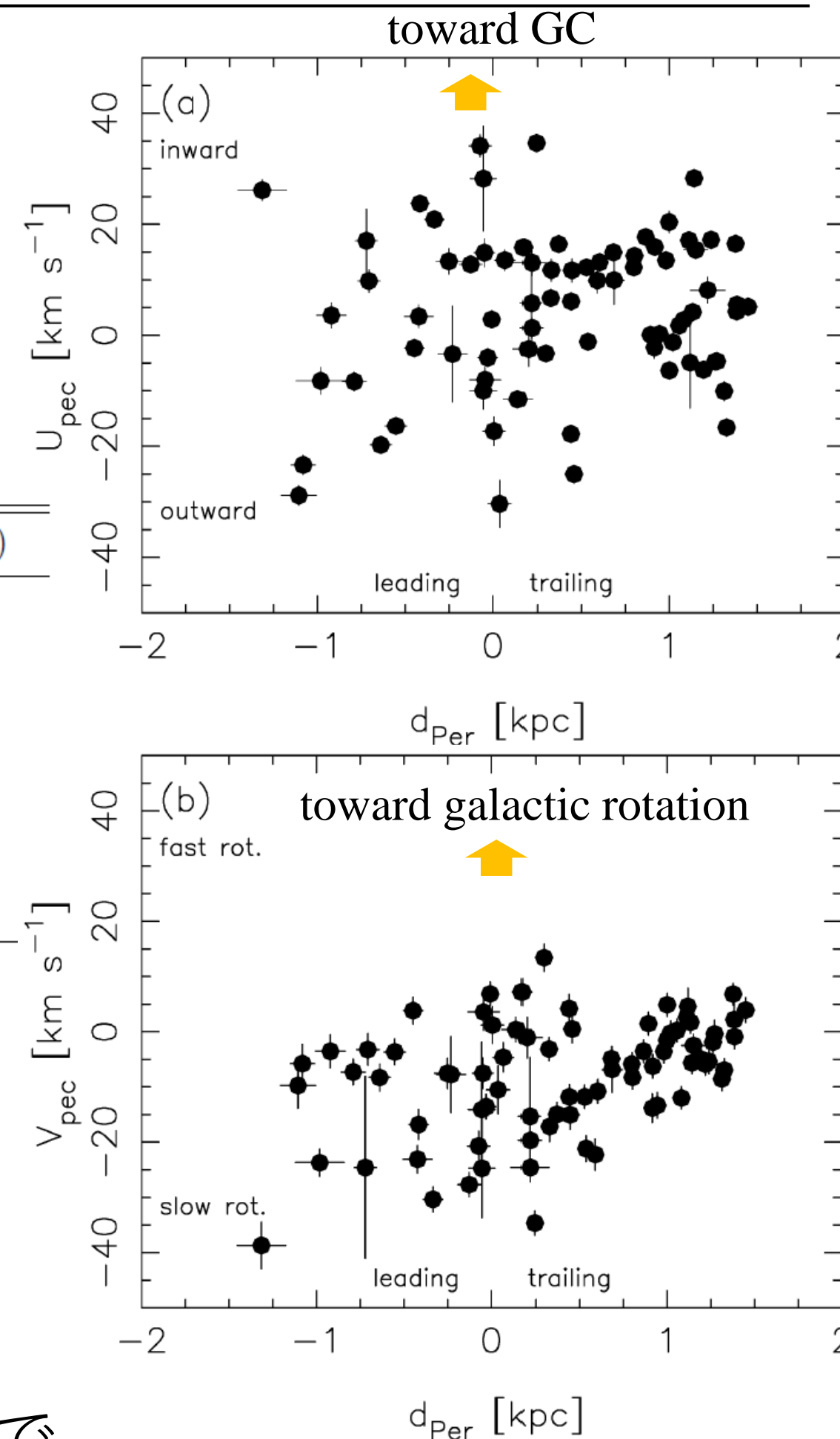


Fig 3. セファイドのペルセウス腕からの距離 d_{per} に対する (a)非円運動速度 U_{pec} と (b)非円運動速度 V_{pec}

③動的渦状腕理論 (DYN)の検証法

○Baba et al. (2013)

DYNにおける星の非円運動のシミュレーションを行う

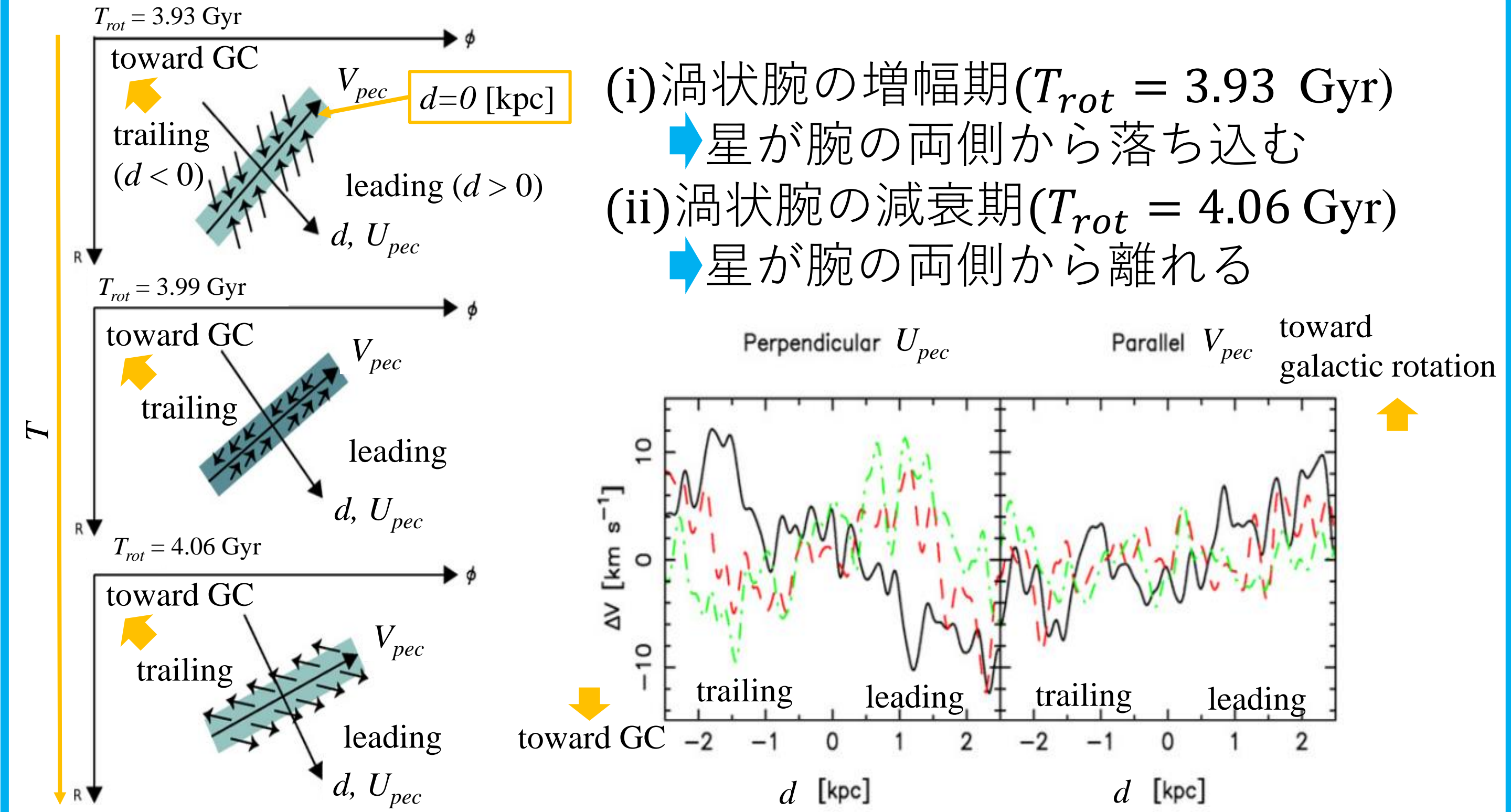


Fig 2. (左)非定常渦状腕に対する星の速度場の模式図。灰色の領域は渦状腕を表す。(右)渦状腕からの距離 d に対する星の非円運動の時間経過。 U_{pec} :銀河中心方向を負とする非円運動速度。 V_{pec} :銀河回転方向を正とする非円運動速度。 $T_{rot} = 3.93$ (黒線), 3.99 (赤破線), 4.06 Gyr(緑点・破線)。

○観測による検証法

観測により渦状腕に付随する星及びガスの非円運動速度を求め、腕からの距離に対して非円運動速度をプロットする。もしFig 2で示した非円運動速度の変化の傾向を確認することができれば、DYNの検証材料の一つになる。

⑥今後の展望

今後はGaia DR1を用いて、星の非円運動速度の解析と、渦状腕理論との比較を行いたい。また2018年4月に公開されるGaia DR2では、1.5億個の星の位置天文データが $30 \mu\text{as}$ ($G = 15$)の精度で得られる(D. Katz et al. 2017)ので、さらに精度良く非円運動速度の決定が可能になることを期待する。