WISHサイエンスミーティング 2012/07/19-20@三鷹

WISHによる銀河面サーベイ

- <mark>渦状腕ダイナミクス</mark>と 星団形成進化過程 の<mark>解明</mark>-

東京工業大学・理学研究流動機構 (地球惑星科学専攻) 藤井通子 (Leiden University) 牧野淳一郎 (東京工業大学)

> シミュレーション with ASURA 計算機: NAOJ Cray XT-4 16コア並列 計算時間:~100時間 Baba et al. (2009), ApJ, 706, 471-481 Baba et al. (2010), PASJ, 62, 1413-1422 2indaijiiによる可視化 by 武田隆顕さん

概要:WISH銀河面サーベイ計画

◆観測計画: "散開星団"の多色測光サーベイ
 -J,H,Kの3バンドの銀河面全面測光観測→色等級図から距離・年齢評価.
 -観測領域: 0°<ℓ<360°, -1°<b<1°の720平方度
 5.10年後に同一視野(天体)の観測を行い国友運動を測定

- -5-10年後に同一視野(天体)の観測を行い固有運動を測定.
- ◆期待されるサイエンス:太陽近傍~3 kpcの散開星団カタログを用いた
 - (1) 散開星団を用いた渦状腕ダイナミクス (馬場)
 - -天の川銀河の渦状腕マップ
 - -"古"渦状腕構造の復元
 - (2) 星・星団形成進化過程 (藤井)
 - -YMC・EC観測による星団初期進化
 - -銀河円盤広域の星形成史
- ♦WISH衛星およびサーベイに対する要求:
 - -観測時間:初年時~25日,5年後 or 10年後~7日
 - -姿勢安定性(<0.01 mas/sec)
 - -短時間露光モード(<10 sec)

天の川銀河の構造

◆軸対称定常構造 (銀河系サイズ,質量,太陽系の位置 etc.)
◆非軸対称構造 (棒状構造,渦状腕構造)
-棒状構造:x1軌道群からなる定常構造
-渦状腕構造:恒星系円盤を伝播する定常波 (密度波)





ムービーの在り処

Baba et al. (2009) ムービー: Local Standard of Rest (LSR; 円運動する系)から見た低温ガス(茶色)と若い星団 (青)の運動の様子. http://milkyway-spiral.sakura.ne.jp/Baba+2009/LSRFrame/ SnapshotsColdGasYoungStars.gif

Fujii, Baba et al. (2011) ムービー: 恒星系円盤のスパイラルの時間変動性. http://home.strw.leidenuniv.nl/~fujii/figures/animation/animation_30M.mpg

Wada, Baba, & Saitoh (2011) ムービー: R=8.6kpcの回転系で見た恒星系渦状腕(左)と低温ガスと若い星(右)の運動. http://milkyway-spiral.sakura.ne.jp/WadaBabaSaitoh2011/Fig2-9.mov

"古"渦状腕構造の復元

5

現在のMWの渦状腕は過去(~100Myr<エピサイクル周期)に 遡ると分裂していた可能性.



図 1: 局所静止系 (LSR) に乗った回転系から見たペルセウスアームの進化の様子 (Myr BP は Myr Before Present の略). 水色丸は LSR (半径 500pc の円) を示す. 時刻 0 Myr BP が現在の天 の川 銀河の構造をよく再現する状態である. シミュレーションデータは Baba et al. (2010) [1] を利用.

天体の運動を年齢の分だけtrace backすると、その誕生位置(=古渦状腕) に関する情報が得られるかも (要シミュレーション)

パターン速度測定の直接法

Dias & Lepine (2005) Naoz & Shaviv (2007)



Fig. 4.—Birthplaces of the clusters with ages in the range 9–15 Myr (average 11.6 Myr) in the Galactic plane, obtained by direct rotation with a flat rotation curve with a velocity of 210 km s⁻¹. The dashed lines were fitted to a younger sample, not shown, with ages in the range 5–8 Myr (average 6.2 Myr); the solid lines are the same arms of the dashed line, rotated by 8° around the Galactic center. This angle is the best fit to the sample displayed. Different symbols have been used to indicate clusters belonging to each arm, or those more than 0.5 kpc from any arm (*small triangles*).

年齢~10Myrの散開星団の軌道をtracebackし誕生場所を特定することで、~ 10Myr前の渦状腕の位置を割り出す。 →渦状腕のパターン速度を直接的に測定

-サンプル数が非常に少なく不定性が大きい. -渦状腕の一部分しか見ていない.

渦状腕ダイナミクス理論

渦状腕は~κ/2 (~50-100Myr)に数kpcスケール の構造が合体分裂する構造 (Baba+2009; Fujii, Baba+2011; Wada, Baba+2011, Baba+)



観測ターゲット

欲しい情報:

-大局スケール(~5kpc)に渡る天体の力学情報(位置,速度)と年齢. 実際の観測:

(1) 個々の星:

-年周視差測定が困難(精度的に困難.絶対視差の基準の問題)

-固有運動測定可能.

-セファイドなど一部の星を除き年齢決定が困難.

(2) 分子雲:

-距離測定 (運動学的距離) の誤差が~kpc (Baba+2009).

-固有運動測定が困難.

-年齡測定不能.

(3) 散開星団:

-CM図を用いて距離,年齢を推定可能.

-固有運動測定.

-メンバー星で平均するので精度が1/√Nで高くなる.



図 2: 左:太陽近傍の散開星団の空間分布 [33]. マークの違いが年齢の違いを表す. 破線はそれぞ れ Perseus アーム領域, Carina-Sagittarius アーム領域を表す. 右:太陽近傍の散開星団の個数密 度 [33]. 横軸は太陽系からの距離. 現行サンプルの不完全さに起因する距離 > 0.85 kpc での急激 な面密度の減少が見られる. 9





WISH銀河面サーベイ計画

銀河面全面 (0°<ℓ <360°, -1°<b<1°の720平方度)
(1) J,H,Kの3バンド測光サーベイ (初年度, ~21日)
J-(J-K)色等級図 → 年齢・距離
J-(J-K)-(J-K)図 → メンバー同定 (Bonatto & Bica 2007)
(2) Kバンド単色測光観測 (5-10年後, ~7日)
初年度と同一視野(天体)の単色測光観測 → 固有運動測定

星団の距離・年齢評価 (CM図)

J-(J-K)図を用いた距離・年齢推定:

◆距離推定:ZAMSフィット

-M~0.4M_●の折れ曲がりの検出が重要 (Majaess et al. 2011)

→ ΔM~0.05精度 → Δd/d ~ 0.46 (Δm+ΔM) ~ 5-10%精度 ◆年齢推定:TOフィット

-d~2-3kpcではTOが10sec露光では測光不能 (サチる).

→ 短時間露光モード or デフォーカス撮像モードが必要.







図 8: 天の川銀河シミュレーションデータ [1] を用いて調べた年齢が 150Myr より若い星団 (星粒 子)に対して様々な距離測定誤差の場合に期待される渦状腕構造の様子を示してある。同心円は太 陽系からの距離 d = 1.0, 2.5, 5.0 kpc の領域を表す。d = 1.0 kpc は現行のコンプリートサンプル [33]に相当する領域。左:真の渦状腕構造の様子。中央:視線方向に $\Delta d/d = 5\%$ のランダム誤差 (分散)のある場合 (WISH による測光学的視差法に相当)。右:視線方向に $\Delta d = 1$ kpc のランダム 誤差 (分散)のある場合 (運動学的距離法に相当)。

固有運動測定

散開星団の非円運動(銀河回転からのずれ)を検出する.

非円運動速度~10 km/s → μ=0.4 mas/yr @ d=5 kpc

な光子の数

5年間ミッション→天球面上を 2 mas 移動 10年間ミッション→天球面上を 4 mas 移動





図 7: K バンドの見かけ等級 (AB) に対する光子数 (実線). ただし、口径 D = 1.5 m、バンド幅 $\Delta \lambda = 0.6 \mu$ m とした、水平の破線は、それぞれアストロメトリ精度 $\Delta \theta = 0.1$ mas、 $\Delta \theta = 0.5$ mas、 1.0 mas を達成するのに必要な光子数 (式 1) を表す.

15

 $N_{\rm phot} \approx 8 \times 10^4 \left(\frac{\lambda}{2.2 \ \mu {\rm m}}\right)^2 \left(\frac{D}{1.5 \ {\rm m}}\right)^{-2} \left(\frac{\Delta \theta}{1 \ {\rm mas}}\right)^{-2}$ *検出器の1 ピクセルの full well キャパシティを 105 electrons とすると,最短時間露光時間の 10 秒で K <

△
θの位置決定精度を達成するのに必要

13 mag (AB) の星は飽和してしまい測光できない. *10回ディザリングで100sec露光とするとK<16 mag (AB) で1mas精度を達成できる.

> 13 mag (AB) < K < 16 mag (AB) の 範囲のメンバー星に対して固有運動測 定が可能.

(1mas精度, 10秒露光, 10回ディザリング)



年周視差(楕円)+固有運動(直線) = らせん



JASMINEウェブページ: http://www.jasmine-galaxy.org/intro/astrometry-j.html

"古"渦状腕構造の復元

現在のMWの渦状腕は過去(~100Myr<エピサイクル周期)に 遡ると分裂していた可能性.



図 1: 局所静止系 (LSR) に乗った回転系から見たペルセウスアームの進化の様子 (Myr BP は Myr Before Present の略). 水色丸は LSR (半径 500pc の円) を示す. 時刻 0 Myr BP が現在の天 の川 銀河の構造をよく再現する状態である. シミュレーションデータは Baba et al. (2010) [1] を利用.

-WISHの多色測光観測で散開星団の年齢・距離・速度(固有運動)を測定. -散開星団の運動を年齢の分だけtrace backすると、その誕生位置(=古渦 状腕)に関する情報が得られるかも (要シミュレーション)

17

まとめ:WISH銀河面サーベイ

- ◆観測計画:"散開星団"の多色測光観測
 - -J,H,Kの3バンドの銀河面全面測光観測 → 散開星団の距離・年齢推定.
 - -観測領域:0°<ℓ<360°, -1°<b<1°の720平方度~2800 WISH FoV
 - -5-10年後に同一視野(天体)の観測を行い固有運動を測定. -視線速度(R~30000)の地上観測も必要.
- ◆期待されるサイエンス:太陽近傍 d~3 kpcの散開星団完全サンプル
 - (1) 散開星団を用いた渦状腕ダイナミクス (馬場)
 - -天の川銀河の渦状腕マップ

-"古"渦状腕構造の復元 ←理論側から可能性とそのために必要な精度を評価

- (2) 星団形成進化過程・天の川銀河の星形成史 (藤井)
 - -YMC・EC観測による星団初期進化
 - -銀河系円盤広域の星形成史

♦WISHへの要求:

- -観測領域:銀河面全面(0°<ℓ<360°, -1°<b<1°の720平方度)
- -観測計画:~25 日(J,H,K).5年後に同一視野の単色測光
- -姿勢安定性: 0.01 mas/sec
- -明るい星の測光:短時間露光モード_i (<10 sec) or デフォーカス観測