

WISH による銀河系内アストロメトリの可能性

国立天文台

理論研究部/天文シミュレーションプロジェクト (CfCA)

牧野淳一郎

共同研究者: 馬場淳一、三好真、斎藤貴之、和田桂一 (国立天文台)、朝木義晴 (宇宙研)



概要

- 赤外広域サーベイ衛星と赤外アストロメトリ衛星で、必要なスペックはほぼ同じ。
- WISH の仕様は、(当初の大型)JASMINE の仕様に極めて近い。
- (当初の大型)JASMINE の目標だった、銀河面サーベイをやりませんか？

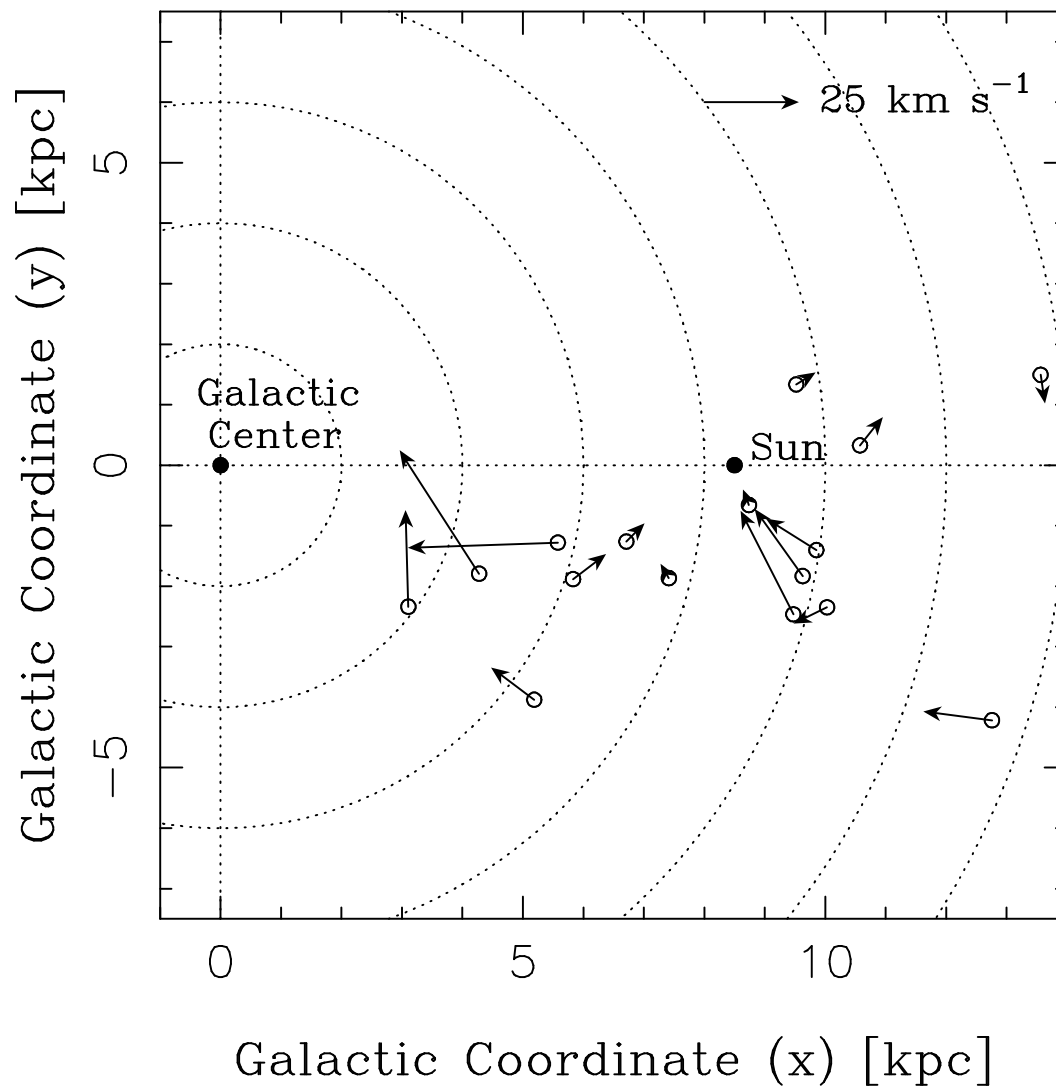
発表構成

- 銀河系内アストロメトリの現状 (VLBA, VERA)
- スパイラル構造の理論モデル
- JASMINE 計画の変遷
- WISH でアストロメトリなんかできるの？
- HST でのアストロメトリの現状
- WISH でどうやるの？
- まとめ

VLBI による銀河系円盤観測

- 2006 年に Science に (Xu et al, Science 311, 54)
- 2008 年 11 月に VLBA を使った論文がバースト的にでた。
- VERA の成果も。

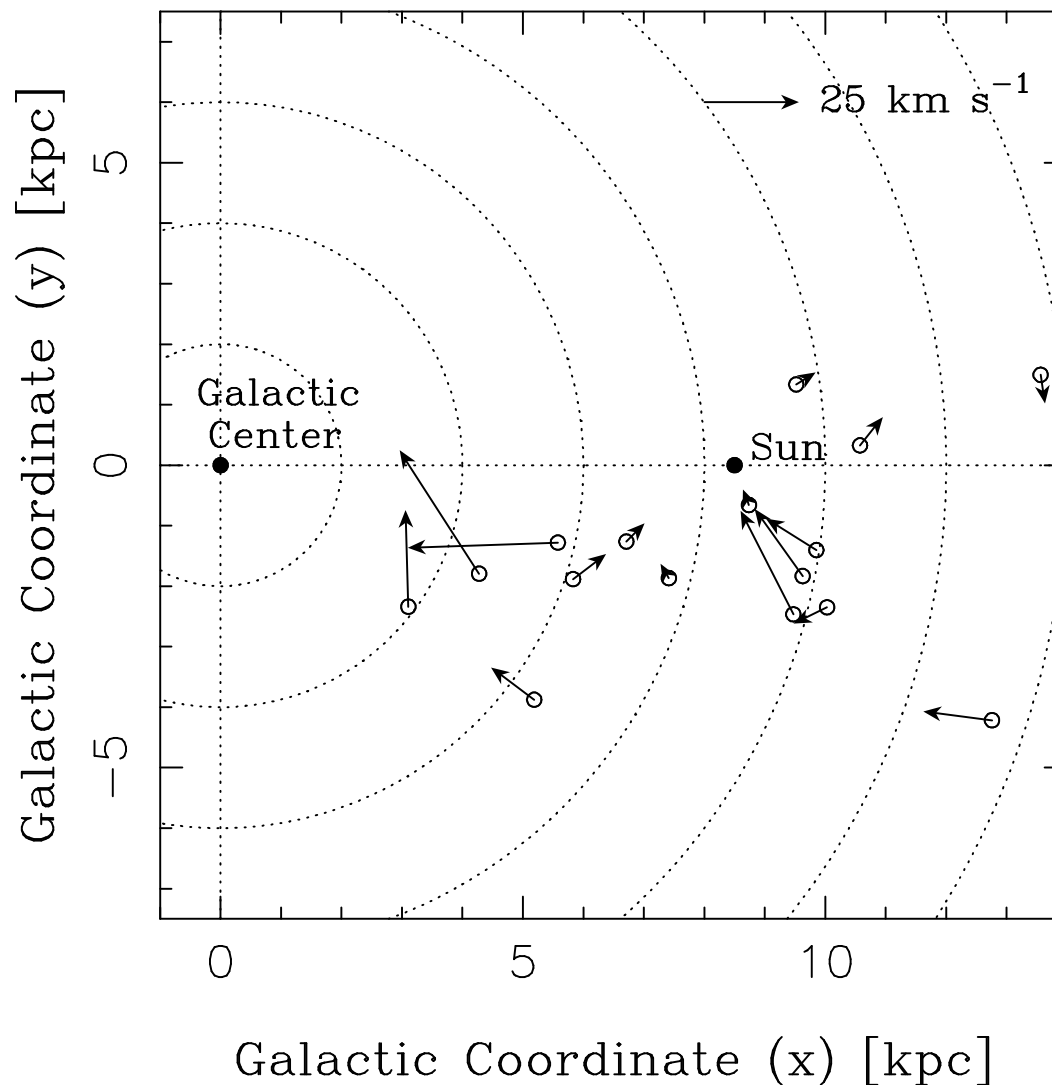
これらを全部まとめてみたのが図。(朝木さん作成)



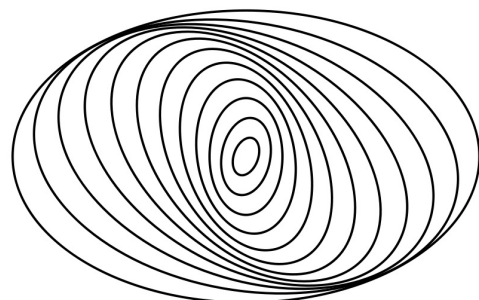
VLBI による銀河系円盤観測

- やたら円運動からのずれが大きい (典型的に 30km/s 程度)
- 傾向としては銀河中心向き、回転と逆向き
- ある程度空間相関あり? (データ点少ないが、、、)

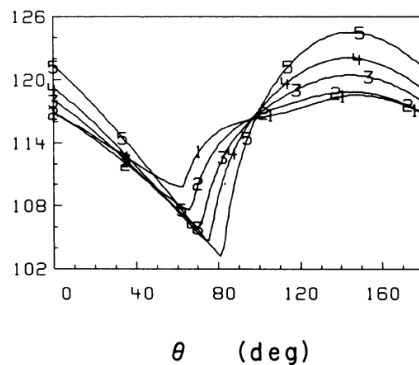
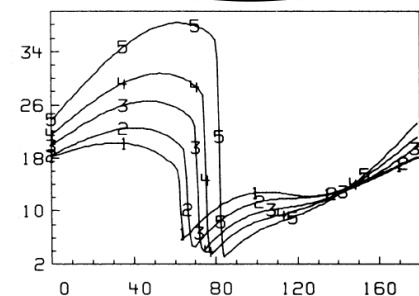
伝統的な渦巻モデル (Lin-Shu 密度波理論) は大丈夫か?



密度波理論って？



- スパイラル構造は実体ではなくて、中立安定な線形モード。
- ガスは星が作るポテンシャルの底を通る時に衝撃波を作る。そこで圧縮されて星形成する。
- 結構極端なポテンシャルを仮定しても 10km/s 以上円運動からずらすのは簡単ではない。
- アームにそって、特異速度は殆ど変化しないはず。

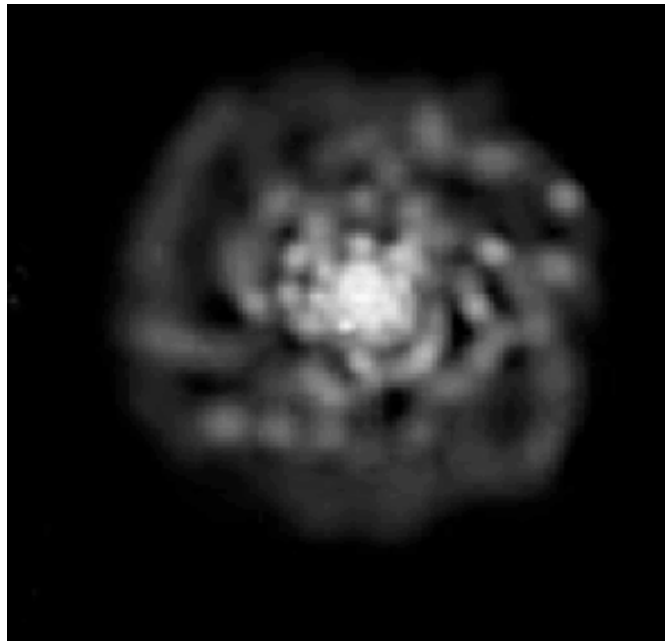


というわけで、なんか違うのでは？という気がする。

スパイラル構造のシミュレーション

最近のシミュレーションの例:

Governato et al. 2007



SPH 粒子質量 $> 10^5 M_{\odot}$
重力ソフトニング 325pc
 3×10^4 K 以下で星形成

本当はもっと低温、高密度ガスを解きたい
けど、計算進まなくなる、、、

星形成領域なんかない
巨大分子雲もない

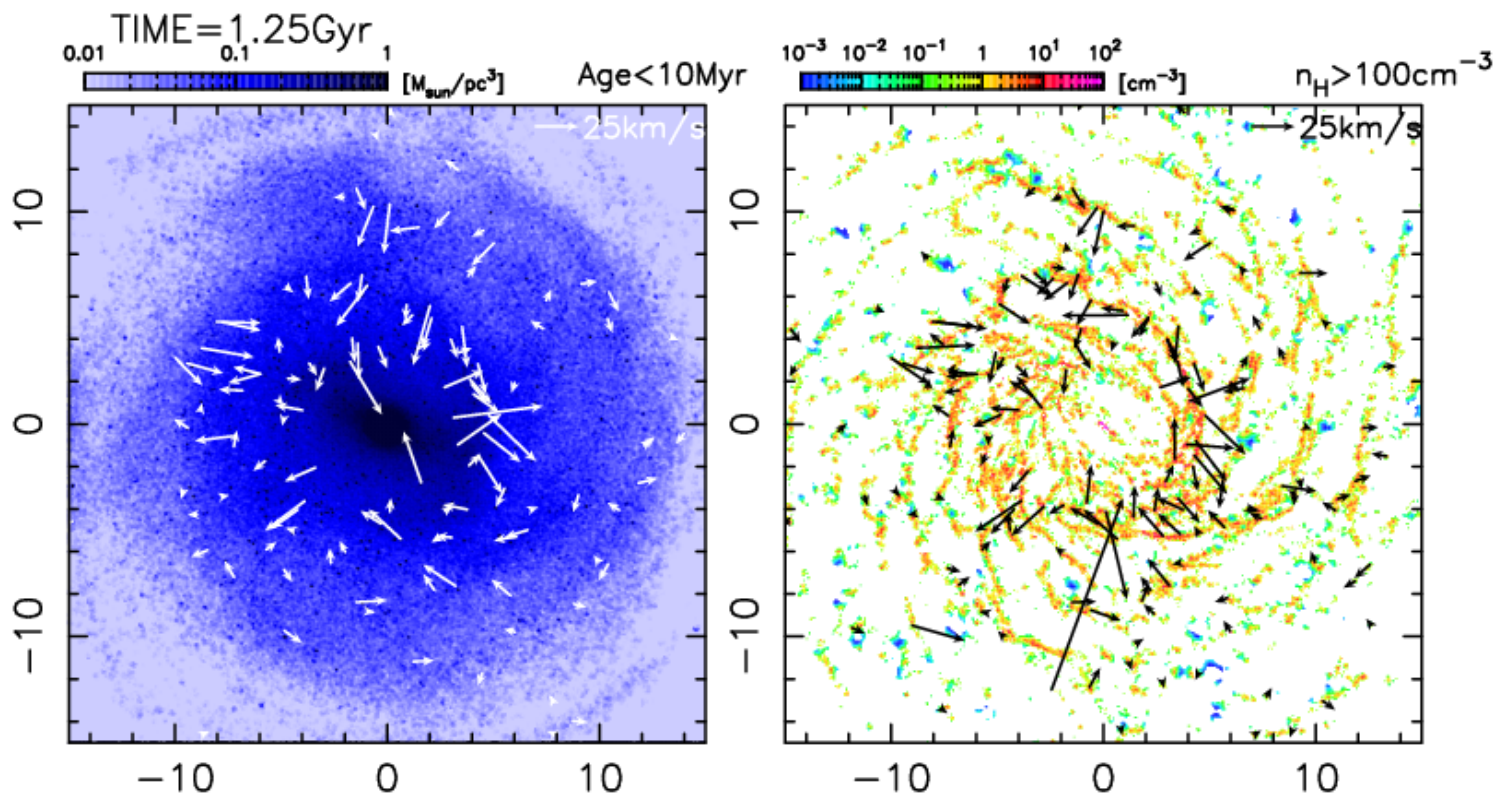
スパイラルアーム: 心眼で見るとある?

我々の(馬場さんの)シミュレーション

- 高密度・低温なガスまで力任せに解く
- 大粒子数、短い時間刻みが必須
- 高速な並列コード (ASURA、斎藤講演)+高速な計算機 (GRAPE, Cray XT4)
- 10pc ソフトニング (\leftarrow 500pc)
- 10k まで冷却解く (\leftarrow 10^4 K)
- 3000 太陽質量 (\leftarrow $10^5 M_{\odot}$)

結果

外場ダークハロー中での星+ガス円盤の進化 (アニメーション 1 2 3)

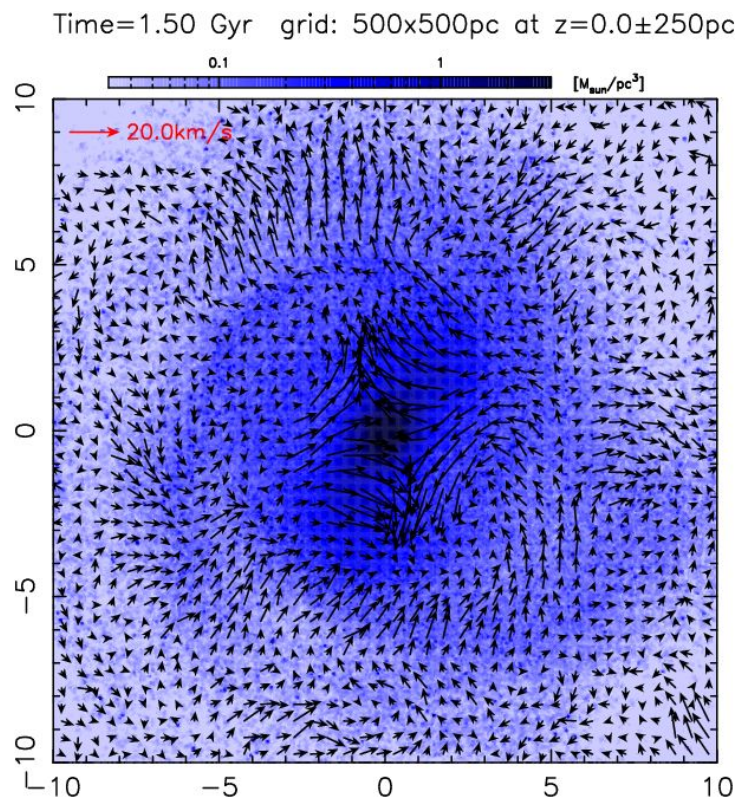


左:星の密度、若い星の非円運動 右: 低温ガスの密度、非円運動

観測で見えたような大きな非円運動がでる

古い星の運動は？

- 500pc ボックス内の星の平均速度 (平均の円運動を除いたもの)
- アームが実体、自己重力的:
 - 古い星も円運動からずれた速度をもつ
 - 数 kpc 程度の空間相関あり
- 星の距離と運動を直接測定しないと、我々の銀河系のスパイラル構造はわからない



銀河面内の星のアstrometryでできそうなこと

- 「渦巻銀河は何故渦巻か」という銀河天文学の基本問題の解明
- 空間分解された銀河の星形成史の再構築
- バルジ、バーの構造、力学の解明
- 中心ブラックホールへのガス供給メカニズムの理解

精度 (距離) の希望:

- シミュレーションとの比較が重要
- パララックスで 10kpc ($10\mu\text{as}$) いけば嬉しいけど、 5kpc ($20\mu\text{as}$) でも素晴らしい

JASMINE 計画の変遷

- 2000?~ 2005 大型計画
 - 大角度測定、1.5m (1.8m) ミラー、銀河面サーベイ
- ~ 2008 中型計画
 - フレーム連結、60cm ミラー、バルジサーベイ
 - $T + 10$ 年打ち上げ
- 2008 ~ 小型計画
 - フレーム連結、30cm ミラー、 0.9 度 \times 3 度
 - いわゆる「小型科学衛星」
 - $T + 5$ 年打ち上げ

アストロメトリ衛星の性能決定要因

位置測定精度 \propto PSF サイズ \times (フォトン数) $^{-1/2}$
 \propto (ミラー直径) $^{-2}$

必要な位置精度 \propto (太陽からの距離) $^{-1}$
(視野、限界等級が同じなら) というわけで、

必要な口径 \propto (太陽からの距離) $^{1/2}$ (サーベイ面積/時間) $^{1/4}$

- 距離を固定するとサーベイ面積は口径の4乗で減る
- 口径、サーベイ面積同じ時、限界距離は観測時間の平方根でしか落ちない

距離の目標を少し落とせば必要な観測時間は2乗で減る

アストロメトリ衛星の性能決定要因

位置測定精度 \propto PSF サイズ \times (フォトン数) $^{-1/2}$
 \propto (ミラー直径) $^{-2}$

必要な位置精度 \propto (太陽からの距離) $^{-1}$
(視野、限界等級が同じなら) というわけで、

必要な口径 \propto (太陽からの距離) $^{-1/2}$ (サーベイ面積/時間) $^{1/4}$

- 距離を固定するとサーベイ面積は口径の4乗で減る
- 口径、サーベイ面積同じ時、限界距離は観測時間の平方根でしか落ちない

距離の目標を少し落とせば必要な観測時間は2乗で減る

なので、ちょっとでよいので時間使いませんか？

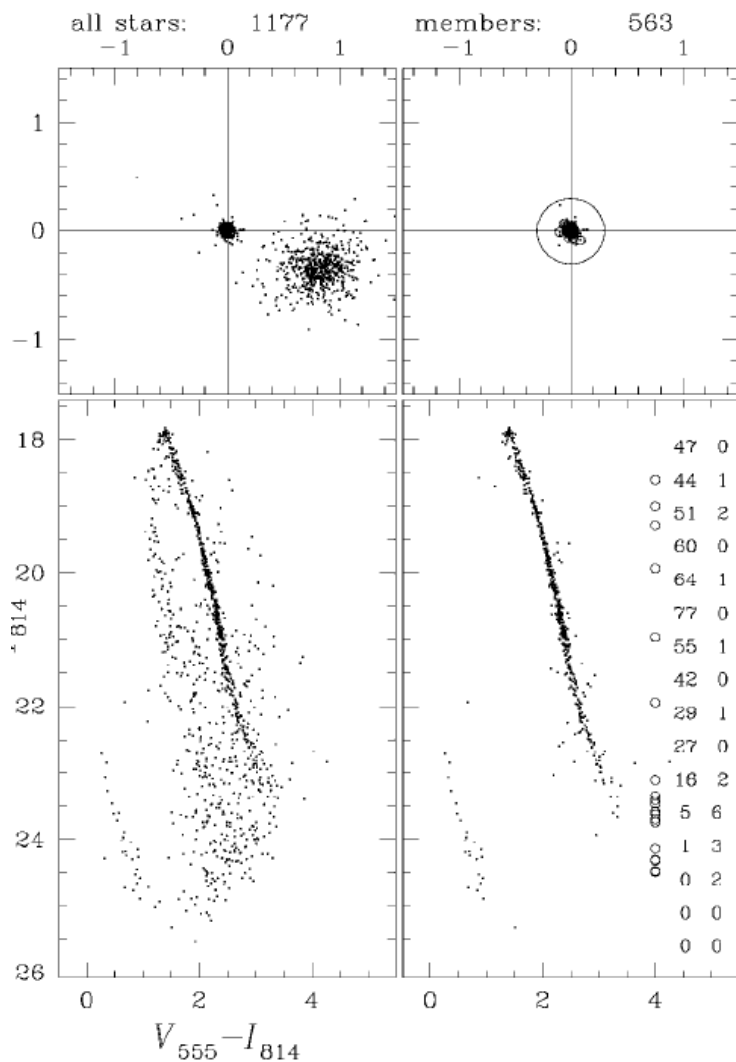
WISH でアストロメトリなんかできるの？

基本的スペックの JASMINE (中型) との比較

	JASMINE	WISH
望遠鏡口径	80cm	1.5m
視野	0.98 ° × 0.98 °	30' × 30' (?)
ピクセルサイズ	0.2''	0.15''

- 口径 2 倍
- 視野サイズ 1/2
- 口径が大きいほうが性能に効く

理論はともかく、、、 HSTでは？



HST でのアストロメトリ (Bedin et al 2001, ApJ 560, L75)

- 5年ベースライン
- 上:固有運動 (WF ピクセル単位 = 50mas)
- 下:CMD

1フレームでの位置精度: 1/50 ピクセル

システムティックエラー 1/500 ピクセル = 0.1mas (Anderson and King 2000)

但し、これは全くアストロメトリ用にとったのではないフレームを使って固有運動求める場合。

HST と比べて WISH は？

- 良いところ
 - L2 なら PSF その他ずっと安定？
 - はるかに高視野
- 悪いところ
 - 口径小さい
 - ピクセルサイズ大きい

JASMINE グループの検討を信じるなら、視野内のアストロメトリで $10\mu\text{as}$ は可能なはず。

絶対位置 (3角視差の絶対値) の決定？

中型 JASMINE 計画で検討していた方法 (フレーム連結) は大変そうなので、もうちょっと手抜きな方法の検討が必要

- そもそも距離の相対関係しか決めない
- それ以前に固有運動だけを見る
- 銀河面内で遠くの星をレファレンスにして、近くだけ距離求める

といった方法も考えられる。スパイラル構造の研究には 10% (10kpc で 1kpc) も誤差があっては どうせ厳しい。

まとめ

- WISH のスペックは JASMINE の元々のターゲットである銀河面アストロメトリに適したものの。
- 銀河面のアストロメトリ的研究は、理論シミュレーションとの比較も可能で色々面白い。
- HST でのアストロメトリの現状から見ると、結構できなくもなさそう。
- 但し、なにができるか、できることから何がわかるかは検討すべきことが一杯