

WISHサイエンスミーティング 2010/03/10@三鷹

WISHによる 天の川銀河面アストロメトリ

馬場淳一
国立天文台 理論研究部

共同研究者

牧野淳一郎	(国立天文台)
斎藤貴之	(国立天文台/学振)
和田桂一	(鹿児島大)
藤井通子	(東大D3/学振)
天の川創成プロジェクト(MW Project)	

内 容

1. 円盤銀河シミュレーションの進展

- 渦状腕の正体に迫る
- ミ二天の川銀河モデル

2. WISH Astrometry計画

- なぜWISHでアストロメトリ?
- 必要な精度
- サーベイ計画

渦状腕の基本的疑問

- ◆ 剛体回転？ 差動回転？
 - ◆ 持続性は？
 - ◆ 本数は何で決まるか？
 - ◆ 正体は？ 実体？ 波？
- ...etc

M74 HST

“教科書的”な回答

* 恒星系円盤中の定在波(準定常密度波仮説)

-Lin & Shu 1964; Bertin & Lin 1996

-分散関係, 不安定振動モード, 剛体回転

-共鳴点での吸収/増幅

-Qバリアでの反射

定在波を維持

* 渦巻きポテンシャル中の衝撃波(銀河衝撃波仮説)

-Fujimoto 1968; Robert 1969

-星間ガスの圧縮→分裂→分子雲→星形成

提唱から, 40年以上になるものの
未だに仮説の域を出ていない

* 十分に現実的な渦巻き銀河の理論モデルの欠如

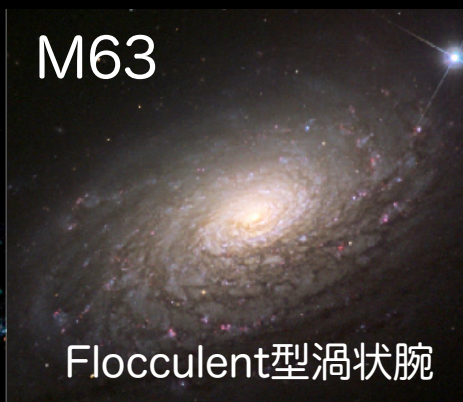
-線形近似($\sim 1\%$), 局所近似($i < 10^\circ$), 定常仮定

-cf. 実際の渦状腕: $> 10\%$, $i \sim 20^\circ$

* 大域的な恒星系円盤の位置/運動データの欠如

-cf. ヒッパルコス太陽近傍データ($< 100\text{pc}$)

円盤銀河シミュレーション の最近の進展



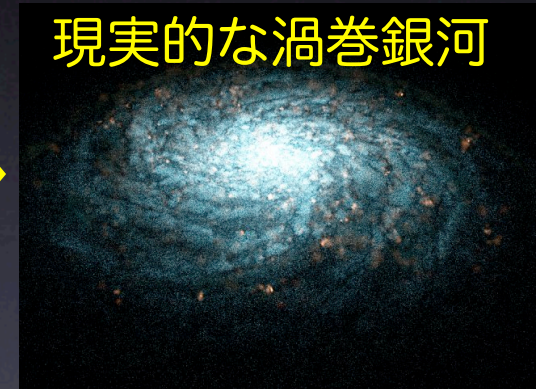
現実的数値モデル

コード **ASURA**の開発 (Saitoh et al. 2008)
数値計算法 N体+SPH法
計算環境 CfCA Cray XT-4 / Grape-7 分散並列計算

考慮する物理過程

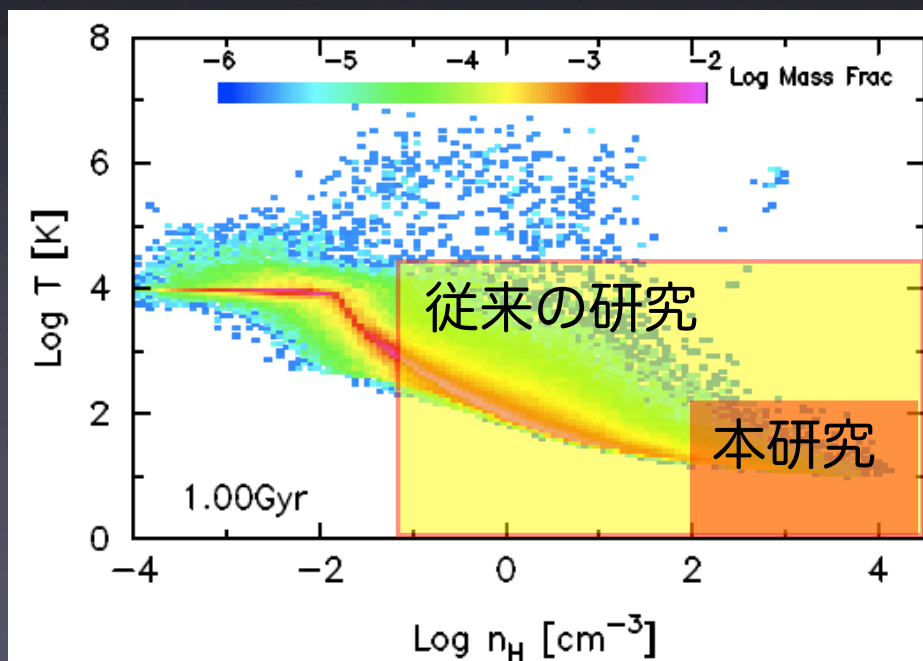
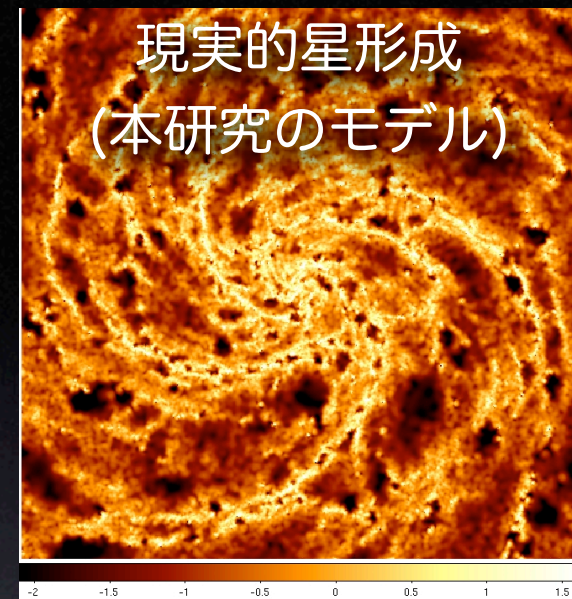
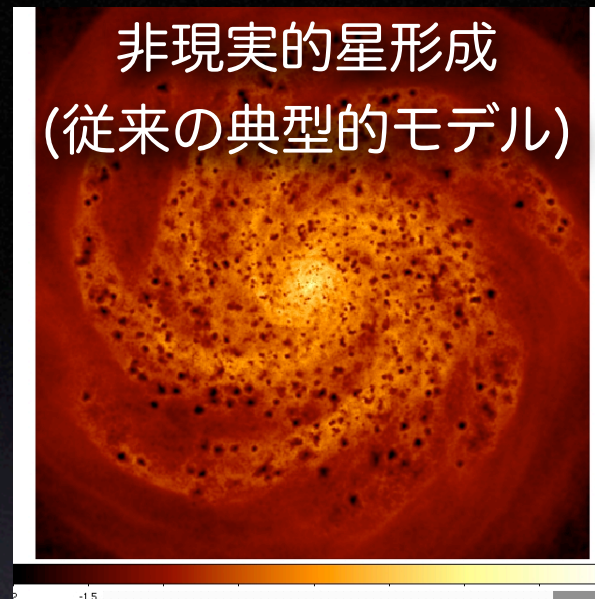
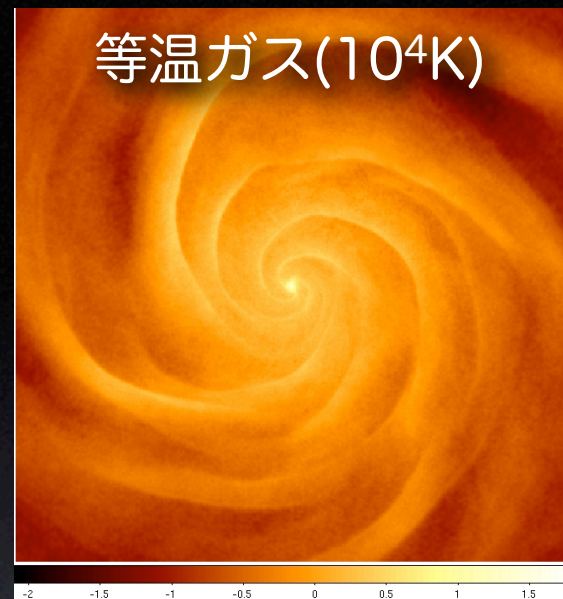
重力相互作用(星+ガス系)
ガスダイナミクス
星間ガスの熱過程
- 輻射冷却($20\text{K} < T < 10^8\text{K}$)
- 遠紫外線加熱(一様定常)
- 超新星加熱($T \sim 10^6\text{K}$)
物質交換(星 $\leftrightarrow$ 星間ガス)
- 星形成($T < 100\text{K}$, $n > 100\text{cm}^{-3}$)
- 超新星爆発によるガスの還元

現実的な渦巻銀河



低温高密度ガスまで分解
(Saitoh et al. 2008)

= 高い物理分解能



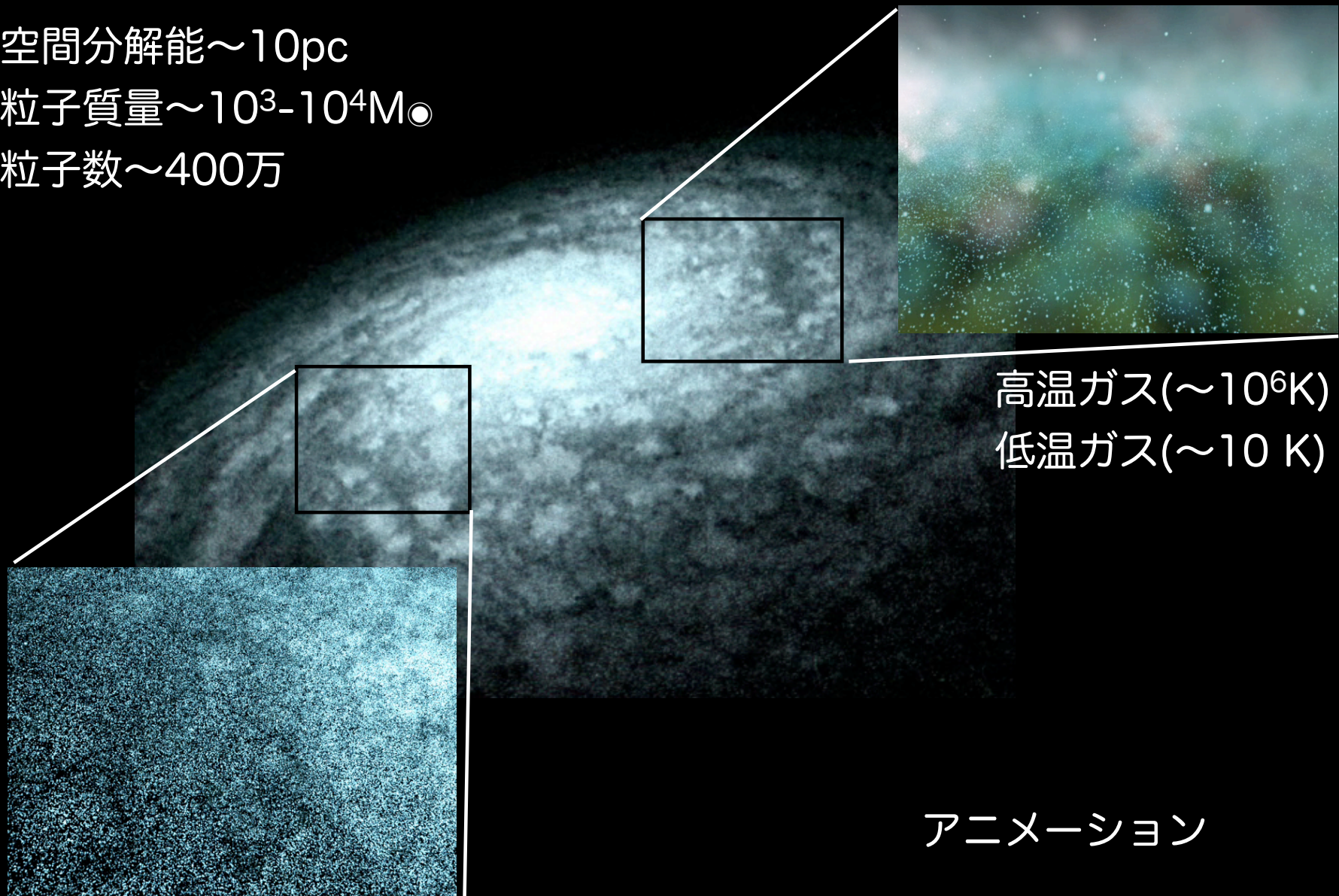
同じコード(ASURA)
同じ銀河モデル
同じ空間/質量分解能
だが、構造は全く異なる

可視化 by 武田隆顕@イメージングサイエンス

空間分解能 $\sim 10\text{pc}$

粒子質量 $\sim 10^3\text{-}10^4 M_\odot$

粒子数 $\sim 400\text{万}$



恒星系渦状腕の変動性

Baba et al. in prep.

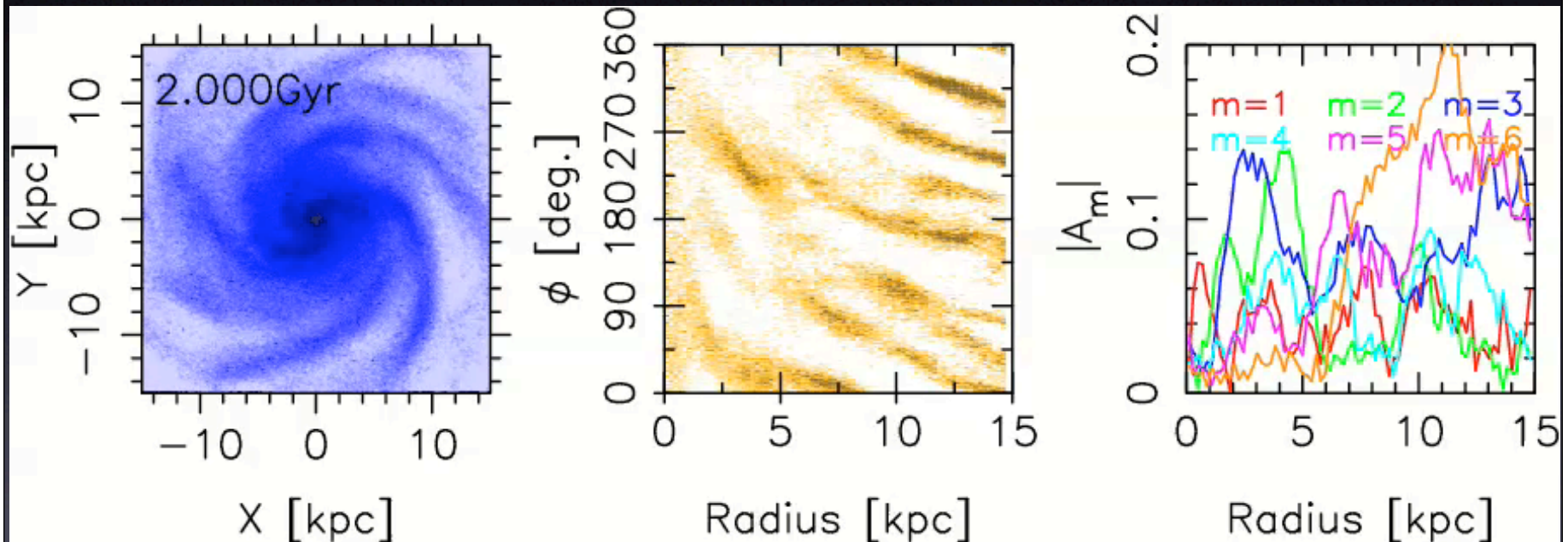
恒星系円盤

密度コントラスト

極座標表示

腕の本数

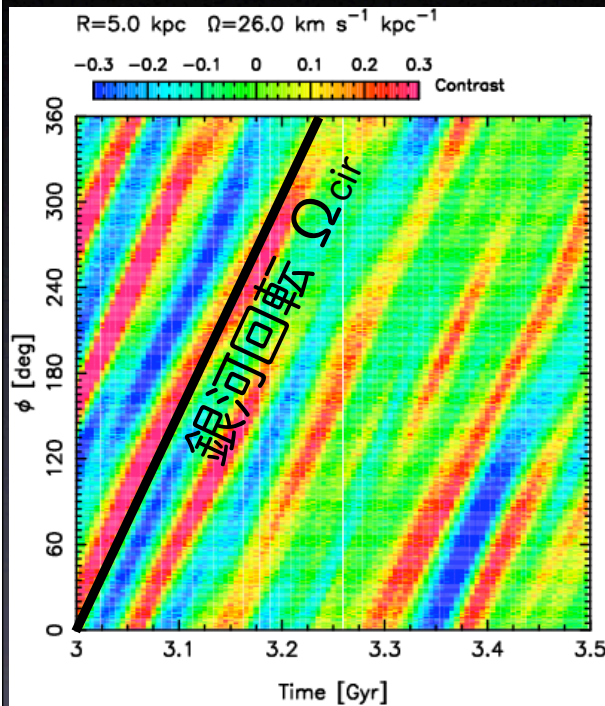
(フーリエ解析)



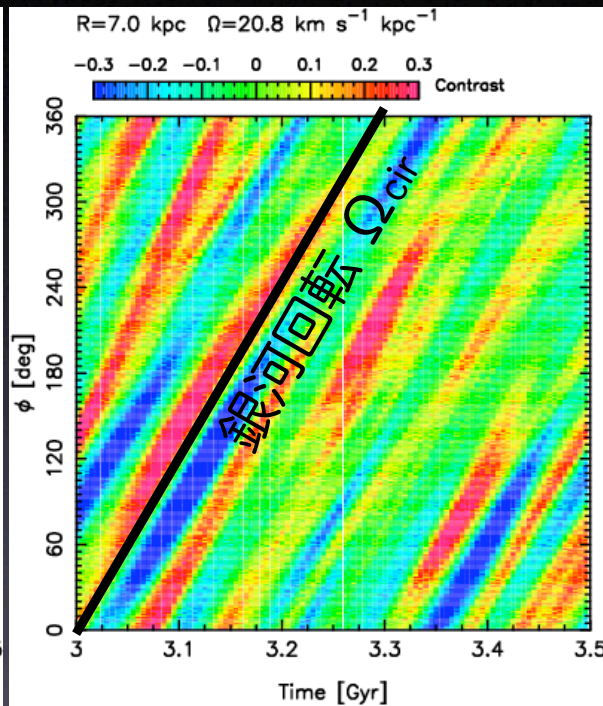
銀河回転周期(～数100Myr)で形成, 破壊を繰り返す
ダイナミクスな構造

パターン速度

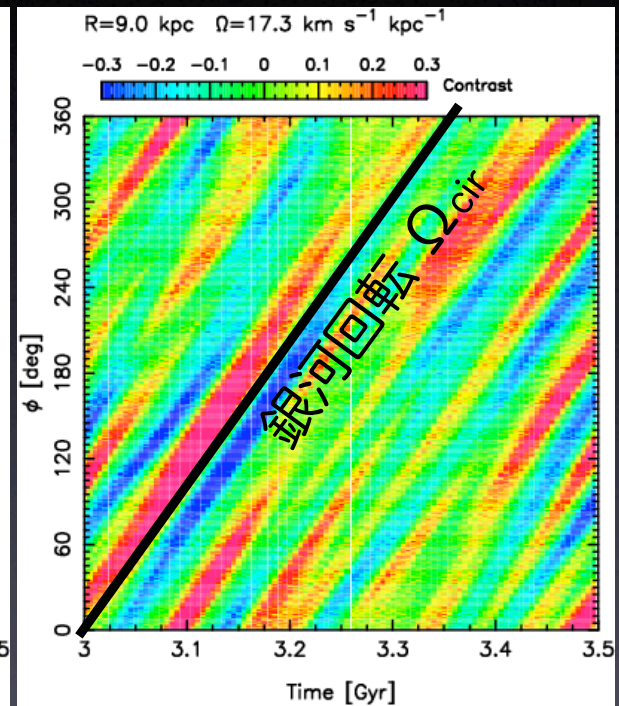
R=5kpc



R=7kpc



R=9kpc



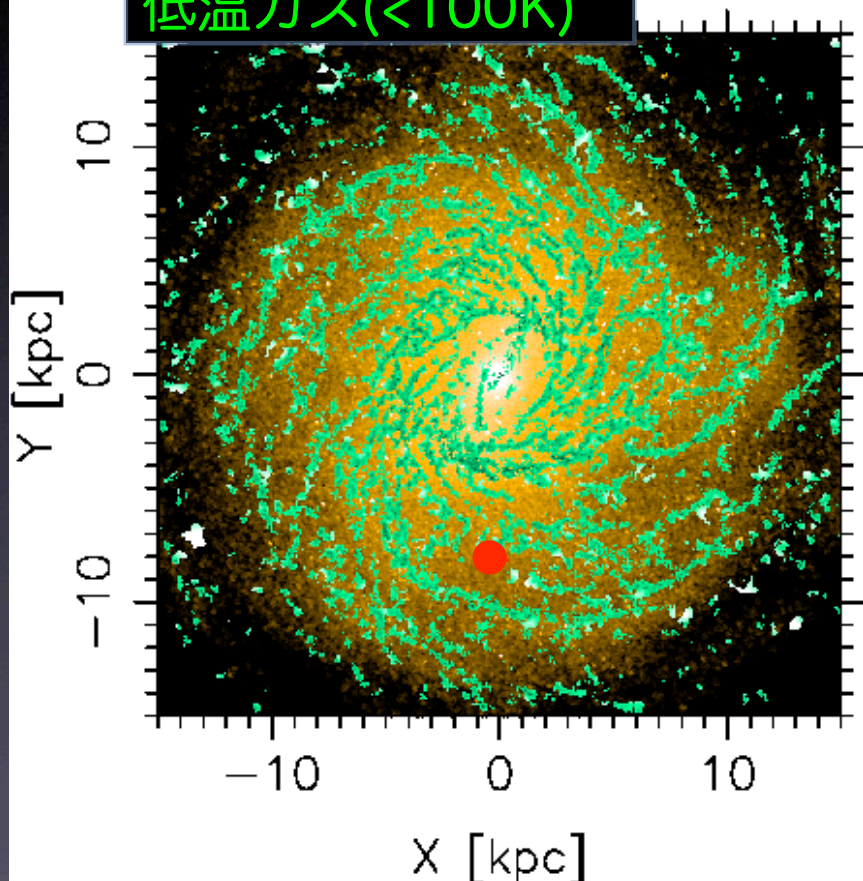
各半径での銀河回転に乗った差動回転

Baba et al. in prep.

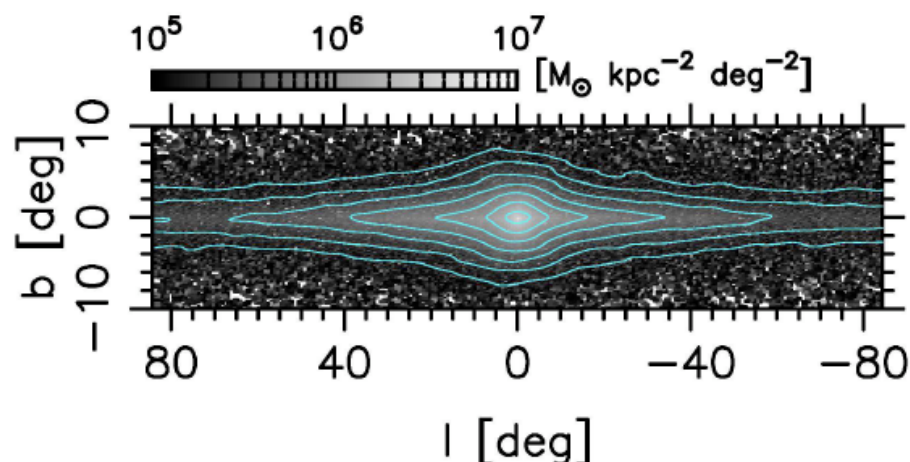
“三二”天の川モデル

恒星系円盤

低温ガス(<100K)



恒星系円盤の輝度分布



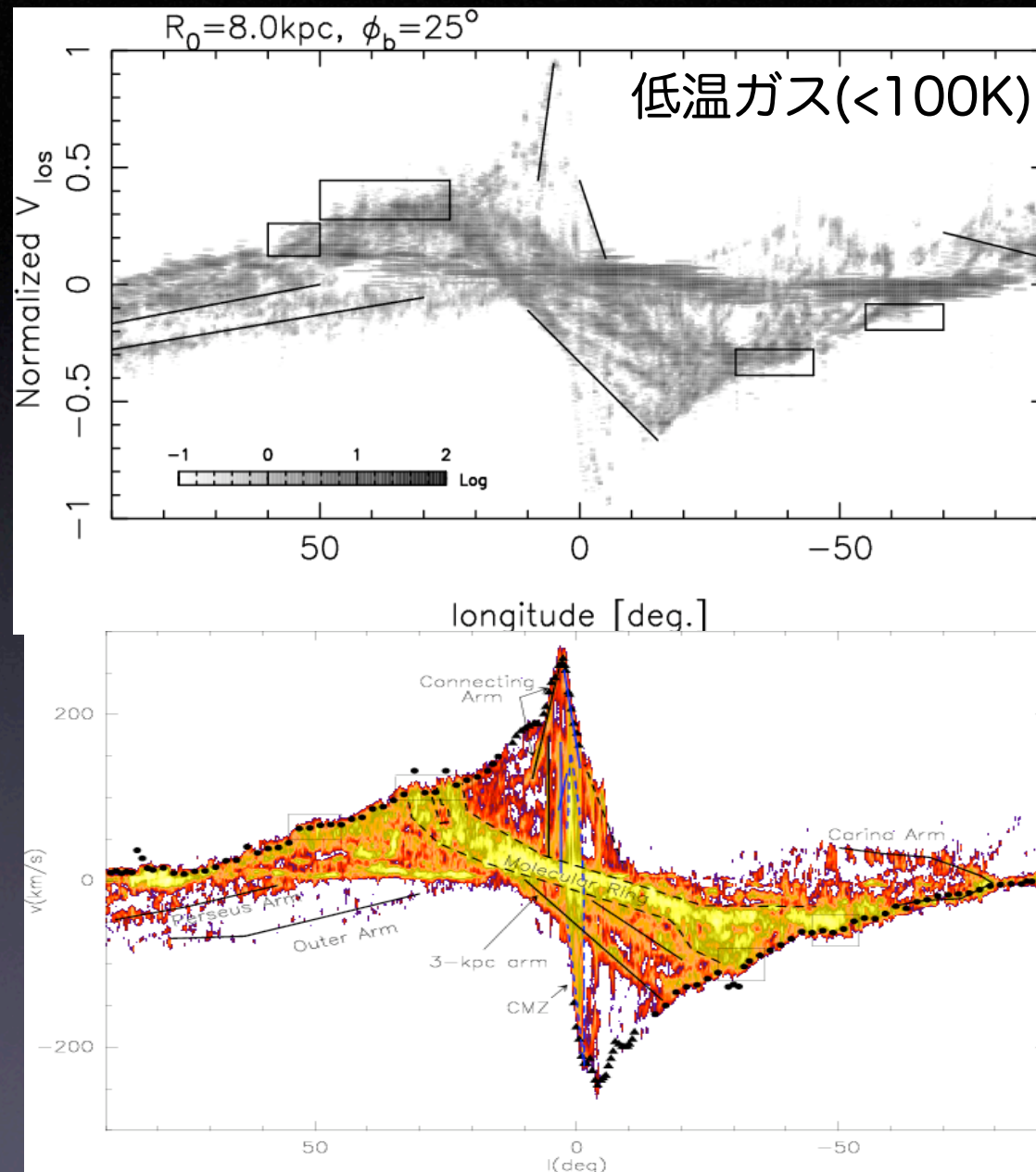
観測



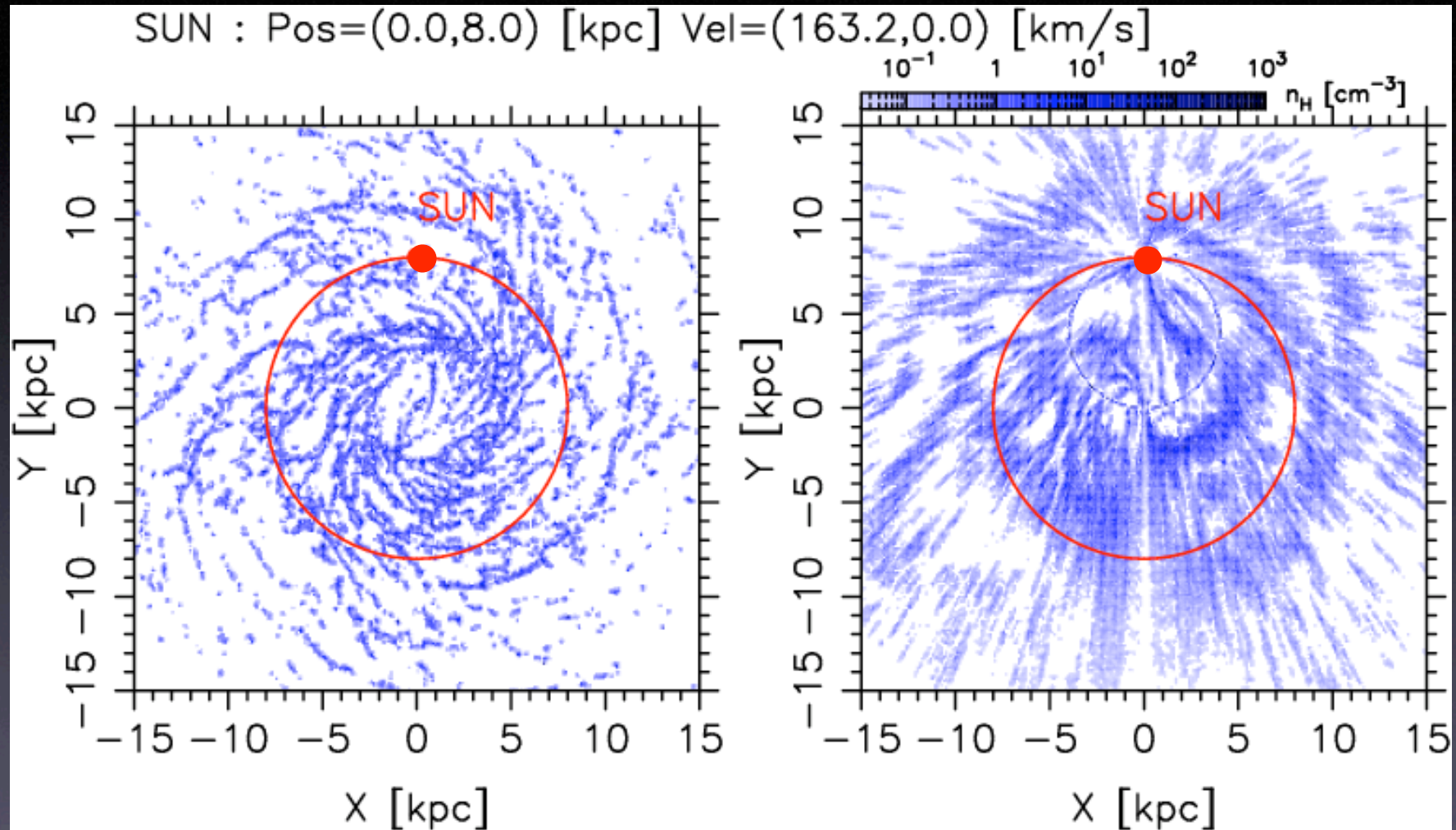
Baba, Saitoh, & Wada, in prep.

我々のシミュレーション
(Baba et al.
in prep)

観測データ
(CO観測)



円運動仮定の限界

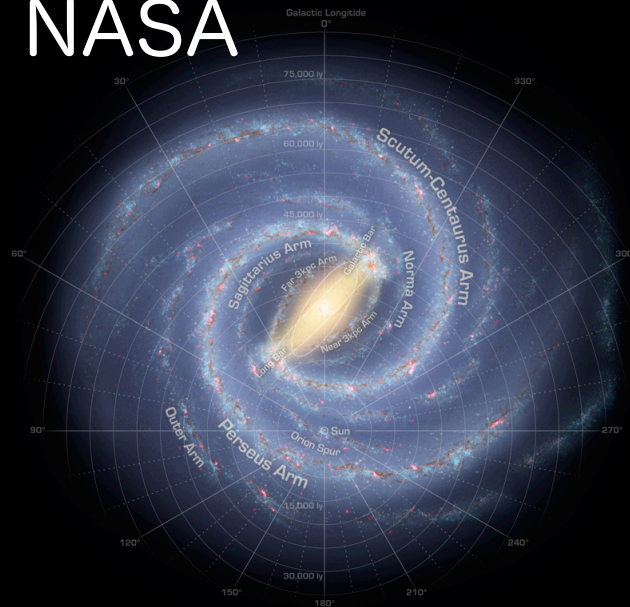


運動学的距離の誤差は $\sim$ kpc ! (Baba et al. 2009 ApJ)

WISH Astrometry計画

-恒星系渦状腕を観る-

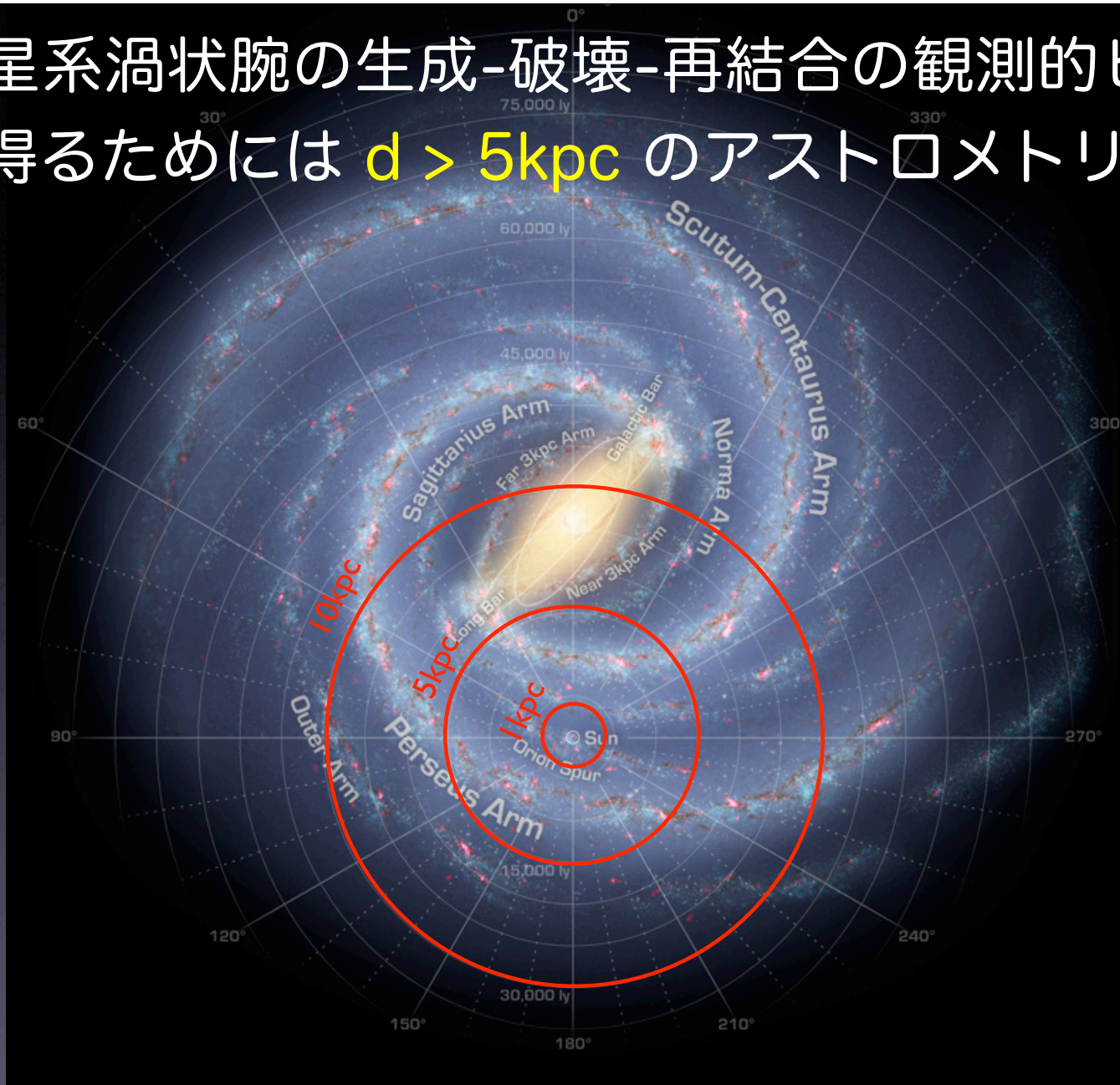
NASA



4D2U



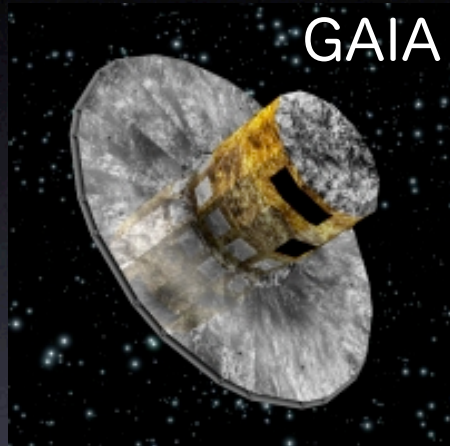
恒星系渦状腕の生成-破壊-再結合の観測的ヒント
を得るためには $d > 5\text{kpc}$ のアストロメトリ



http://www.nasa.gov/images/content/236084main_MilkyWay-full-annotated.jpg

次世代アストロメトリ計画

ESA



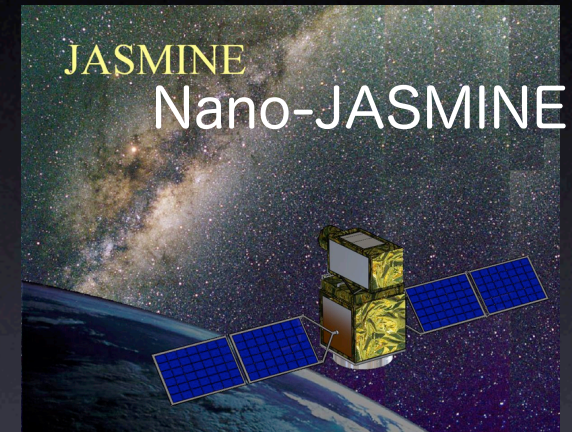
2012年-2017年
10 μas @ $V = 15$
可視光 $V < 20$ mag
全天サーベイ

NASA



未定
4 μas @ $V = 20$
可視光 $V < 20$ mag
全天サーベイ

NAOJ



2011年8月打ち上げ決定
mas精度(～太陽近傍)
zバンド
太陽近傍 or バルジ

可視光なので銀河面には不向き

渦状腕に届かない

必要な位置精度

観測したい距離：

$d > 5 \text{ kpc}$ ← 大局的渦状腕が入る

対応する視差：

$$p["] = 1/d [\text{pc}] < 0".0002 = 0.2 \text{ mas}$$

バイアスの影響の少ない視差誤差：

$$\Delta p < 10\% \times p < 0.02 \text{ mas} = 20 \mu\text{as}$$

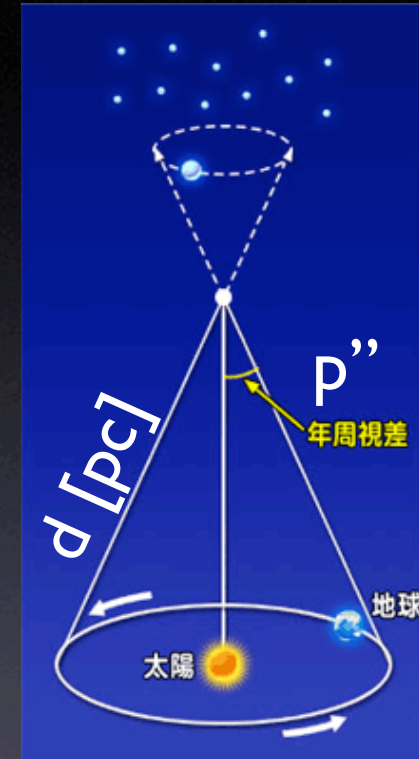
ref. Lutz & Kulker (1973)

回折限界のPSFの中心位置の決定誤差：

$$\sigma \sim (\lambda/D)(1/\sqrt{N_{\text{phot}}})$$

必要な光子数：

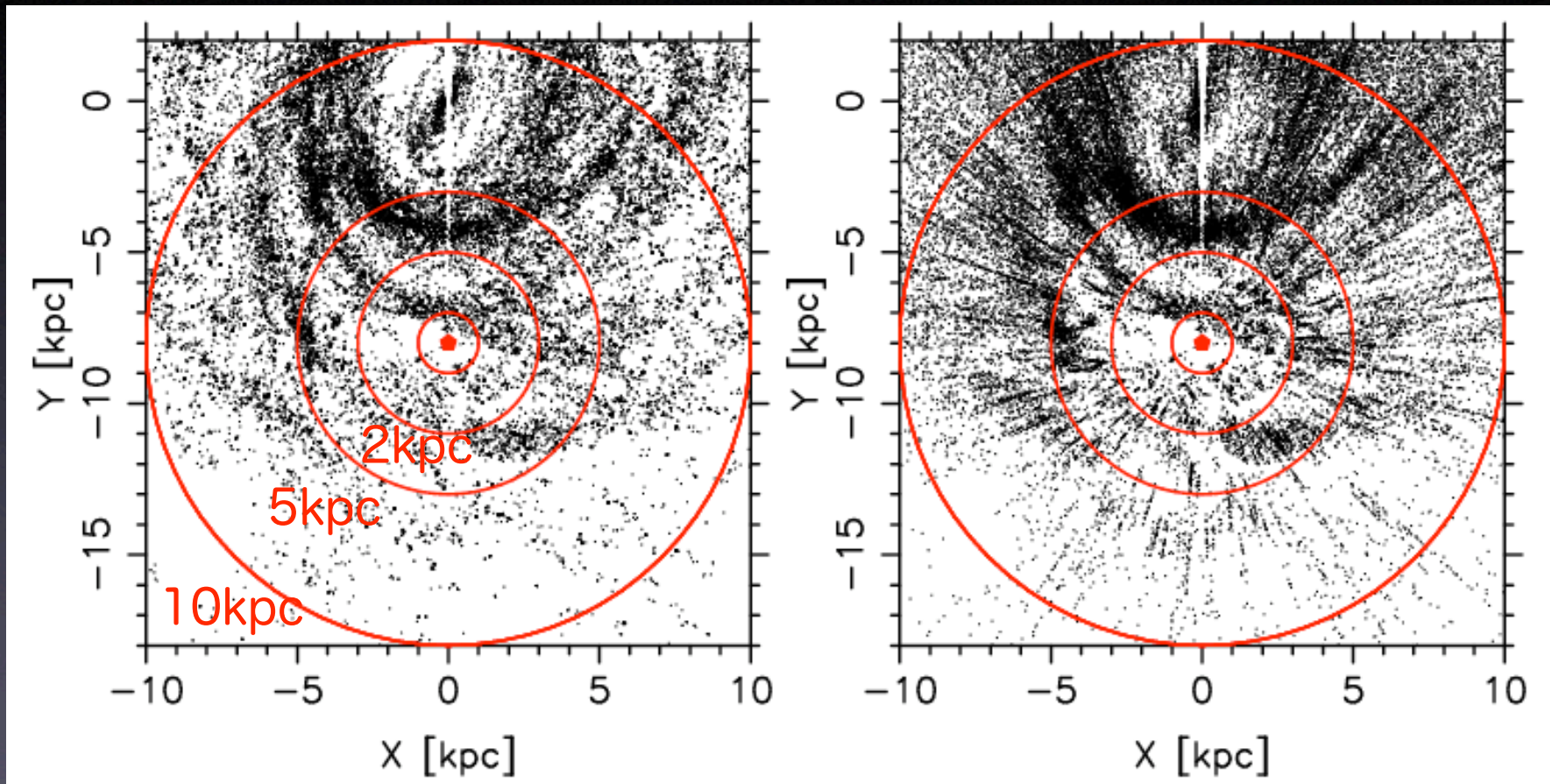
$$N_{\text{phot}} \sim 10^8 (\lambda/2.2 \mu\text{m})^2 (D/1.5\text{m})^{-2} (\sigma/20 \mu\text{as})^{-2}$$



恒星系渦状腕は観えるか？

実際の分布

$20\mu\text{as}$ 精度観測



$\Delta p \sim 20\mu\text{as}$ で恒星系渦状腕が観える

サーベイ方法

視差測定方法：

- 1 視野内の基準星(変光星)からの相対視差

観測視野：

- 領域： $b < |2^\circ|$, $-180^\circ < \ell < +180^\circ$

- $4^\circ \times 360^\circ \sim 1500$ 平方度 = WISHの ~ 6000 視野

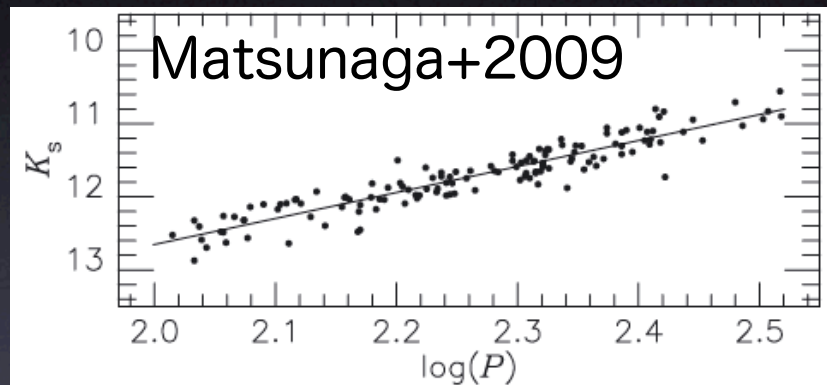
観測時間：

- 短時間積分(~ 10 sec)
- ディザリング ~ 10 回／1 視野
- 1年に4回以上の同一天体の位置計測
- 観測時間 ~ 6000 視野 $\times 10$ 回 $\times 4$ 回 $\times 10$ sec ~ 30 日

周期光度関係から変光星が $\Delta d/d \sim 10\%$ で決定

ミラ型PL関係

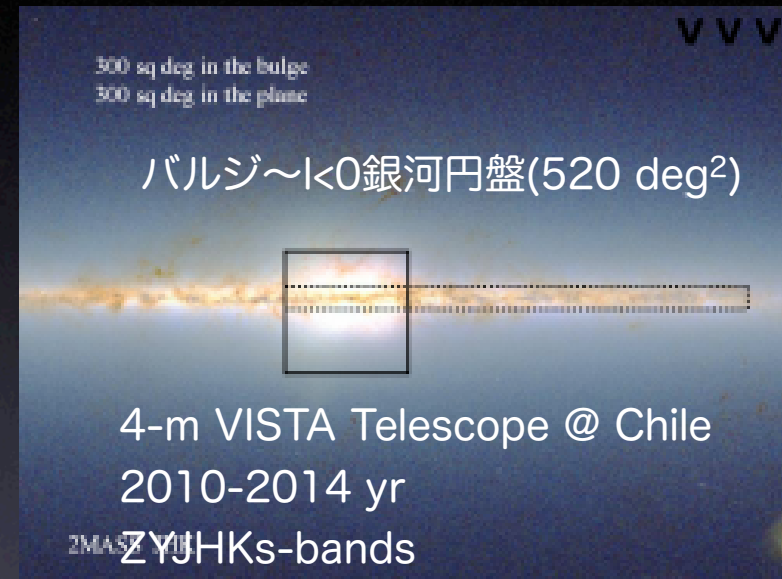
Bulge 20x30 arcmin²
JHKs-bands (IRSF/SIRIUS)



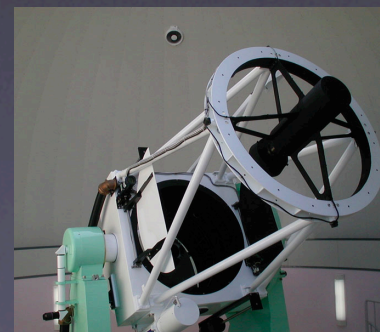
$$M_{K_s} = -3.555(\log P - 2.3) - 6.883,$$
$$\sigma = 0.17 \text{ mag}$$

$$\Delta d/d = 0.46 (\Delta m - \Delta M) \sim 8\%$$

VVV Survey @ ESA



ミラ型サーベイ@鹿大



1m光赤外望遠鏡
257変光星
JHKK'

まとめ

* MW projectによる円盤銀河Simulationの進展

- 渦状腕はtransient, recurrentな構造(Baba+ in prep.)
- ミ二天の川銀河モデルの計算に成功(Baba+2009; Baba+in prep.)
- 2010年度, 天の川銀河の大規模計算へ
- 今後, 渦状腕構造の研究も面白い！(はず)

* WISHアストロメトリ計画

- 目標：恒星系渦状腕を観る(位置/速度情報の取得)
- 精度： $d > 5 \text{ kpc} \rightarrow \Delta p < 20 \mu\text{as}$, $N_{\text{phot}} > 10^8$
- 観測時間： $\sim 10 \text{ sec}$ 積分, 4回/yr, $\sim 30 \text{ 日(?)}$
- 波長：Kバンド(?)
- 方法：変光星を基準星とした相対視差測定

WISH Visibility

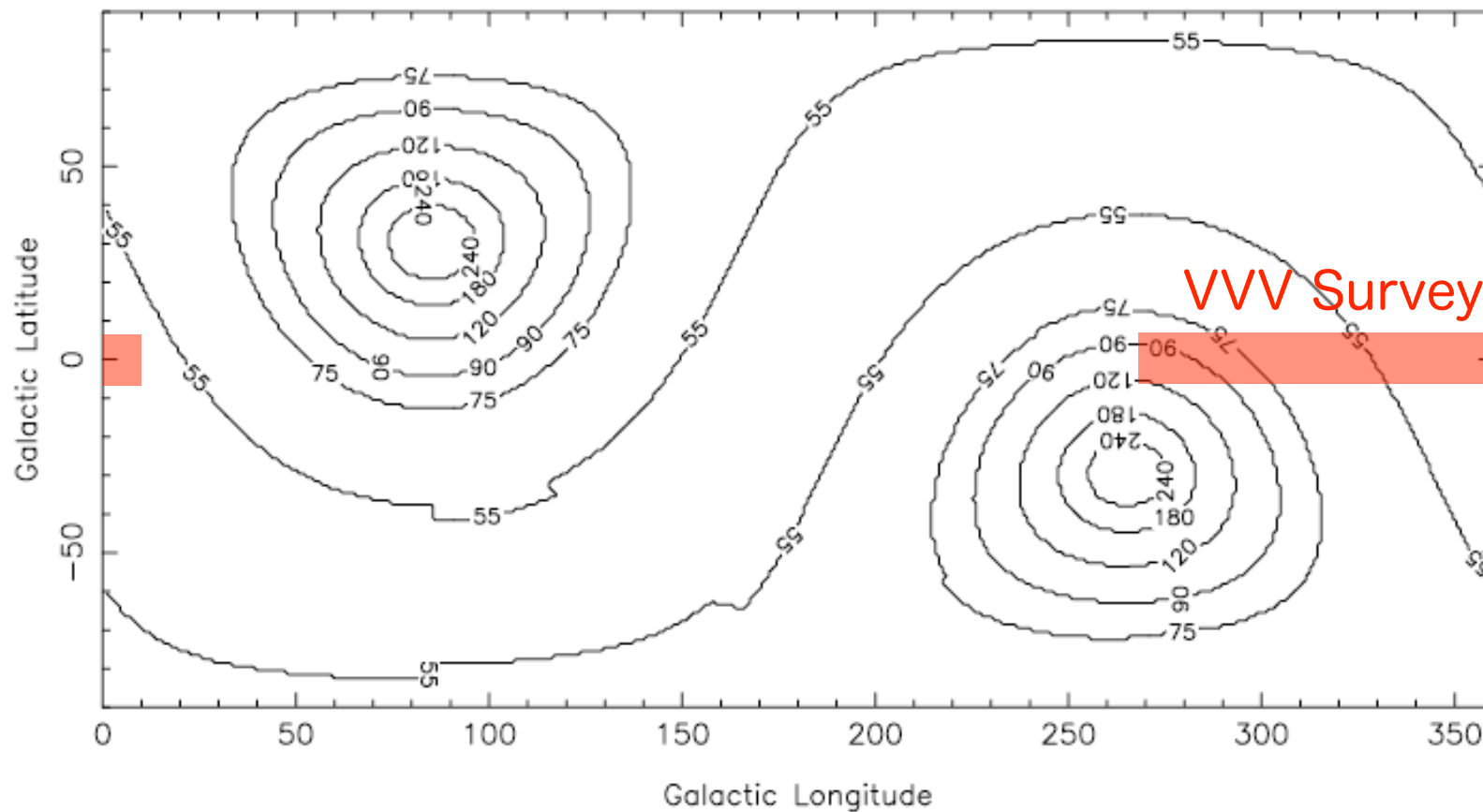
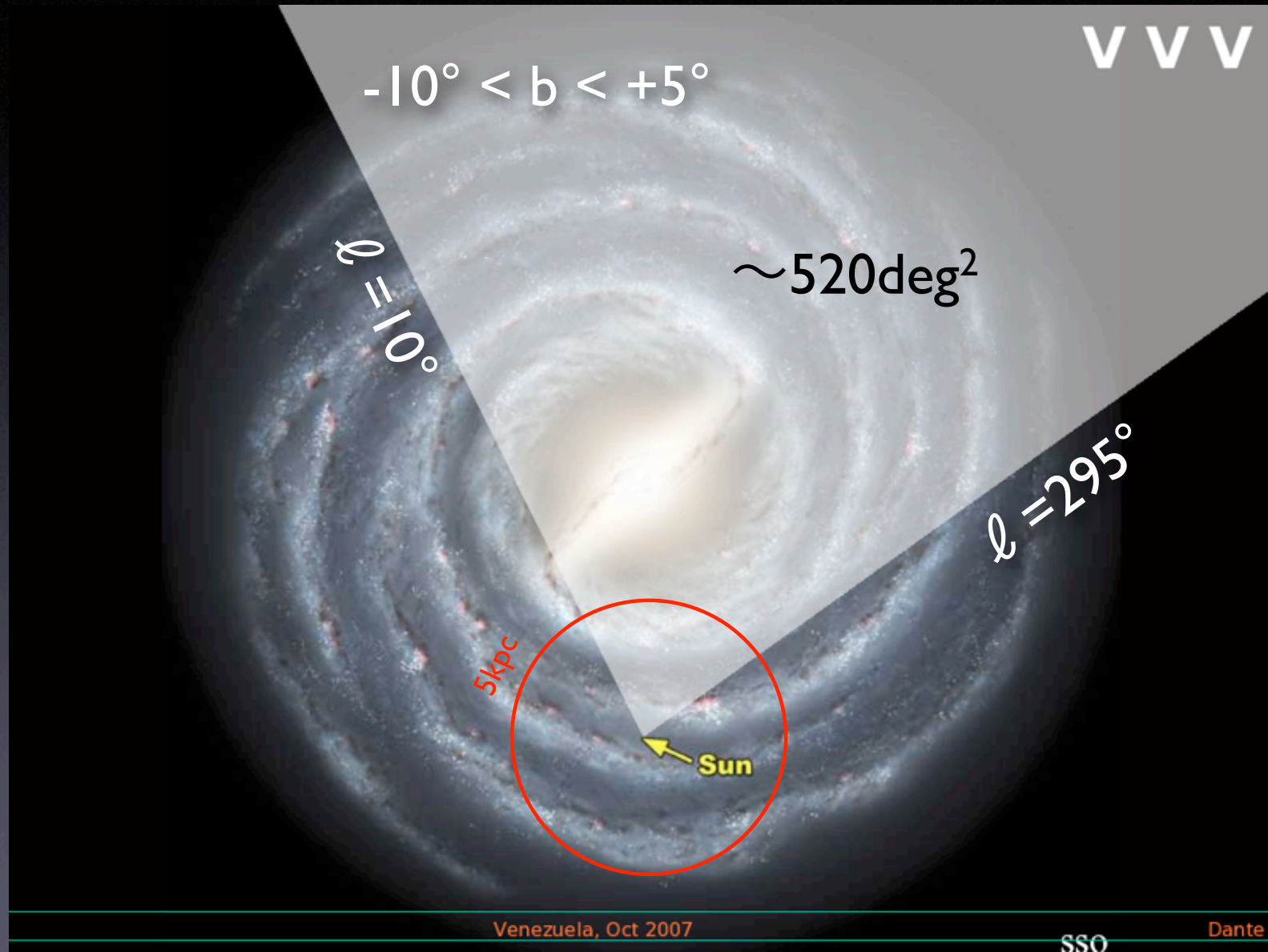


Figure 12: 1年間の観測可能日数 – 銀河座標の場合

WISHサーベイプラン資料 (2010/02/17)

VVV Survey (2010-2014)



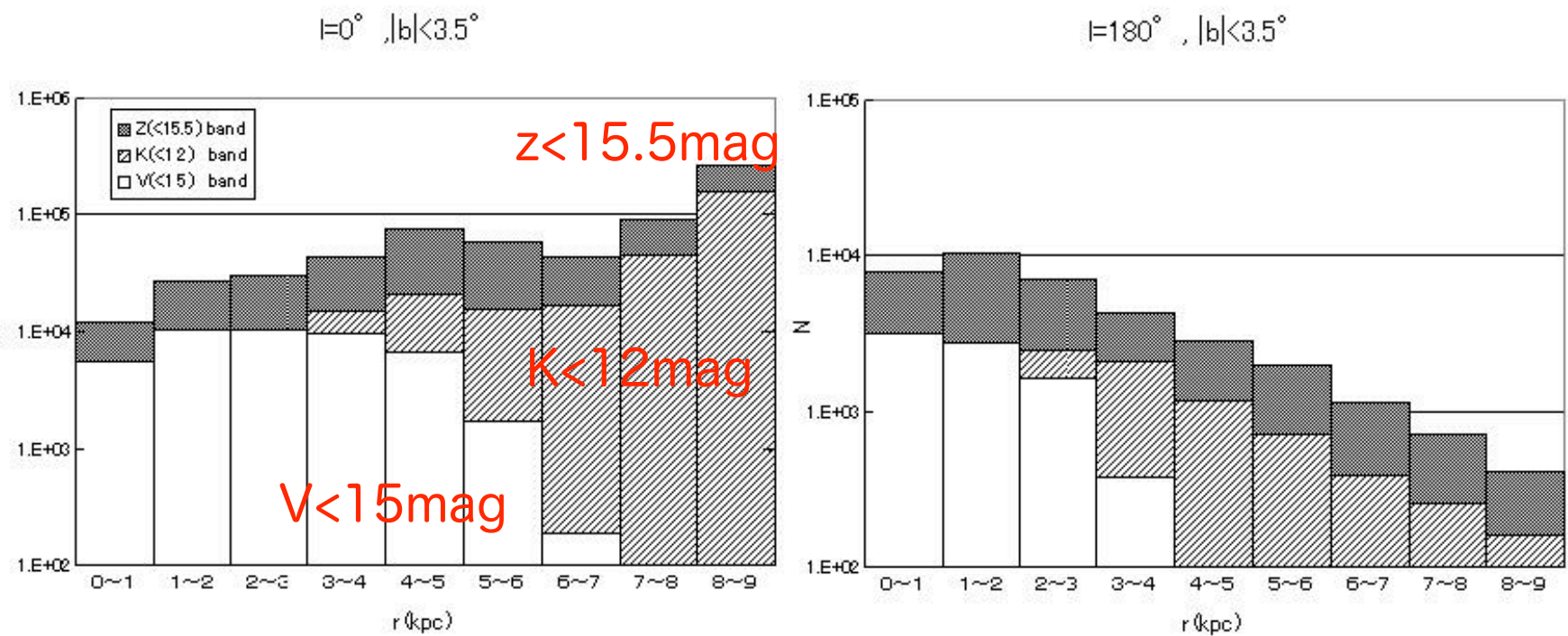


図 4.1: 期待される星の個数を距離の関数で示したもの。右: 銀河中心方向、左: anticenter 方向。銀経方向の視野の幅は、 1°

参考文献

* 主な引用論文

Saitoh et al. 2008, PASJ, 60, 667

Baba et al. 2009, ApJ, 706, 471

Baba, Saitoh, & Wada, in prep. “Interpretation of the l-v Features”

Baba, Saitoh, & Wada, in prep. “Origin of Spiral Arms”

Matsunaga et al. 2009, MNRAS,

* 牧野講演 @ WISH Science Workshop 2009

http://www.wishmission.org/files/20090408/wishsciws2009_program.html

* WISHサーベイプラン資料(2010/02/17)

http://www.wishmission.org/jp/20100310/wish_survey_plan20100217.pdf

* JASMINE計画第1回検討報告書 (2003年7月)

<http://www.jasmine-galaxy.org/pub/report.pdf>

* SIM Book 2009 Chap.4

<http://planetquest.jpl.nasa.gov/SIM/keyPubPapers/simBook2009/>

* VISTA (Visible and Infrared Survey Telescope for Astronomy)

<http://www.vista.ac.uk/>

* VVV (VISTA Variables in the Via Lactea)

<http://vvvsurvey.org/>

技術的課題

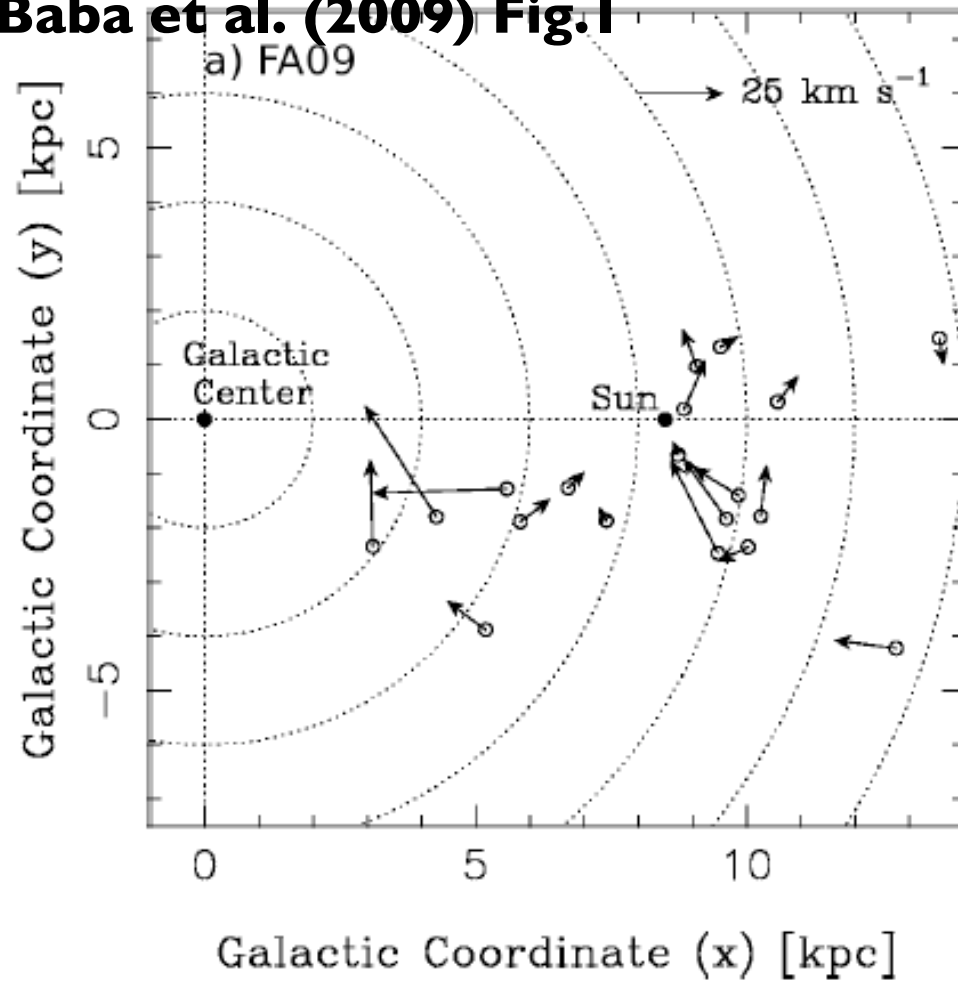
検出器のピクセルサイズの誤差

望遠鏡やフィルタの振動や機械的ガタ

データリダクション法 (e.g. Girard et al. 2004)

Confusion Limitによる限界等級

Baba et al. (2009) Fig.1



~20-30km/s

(銀河回転の~10%)

に達する非円運動成分

