

アンドロメダ銀河に衝突した 矮小銀河の性質

桐原 崇亘^{*1} (D2)

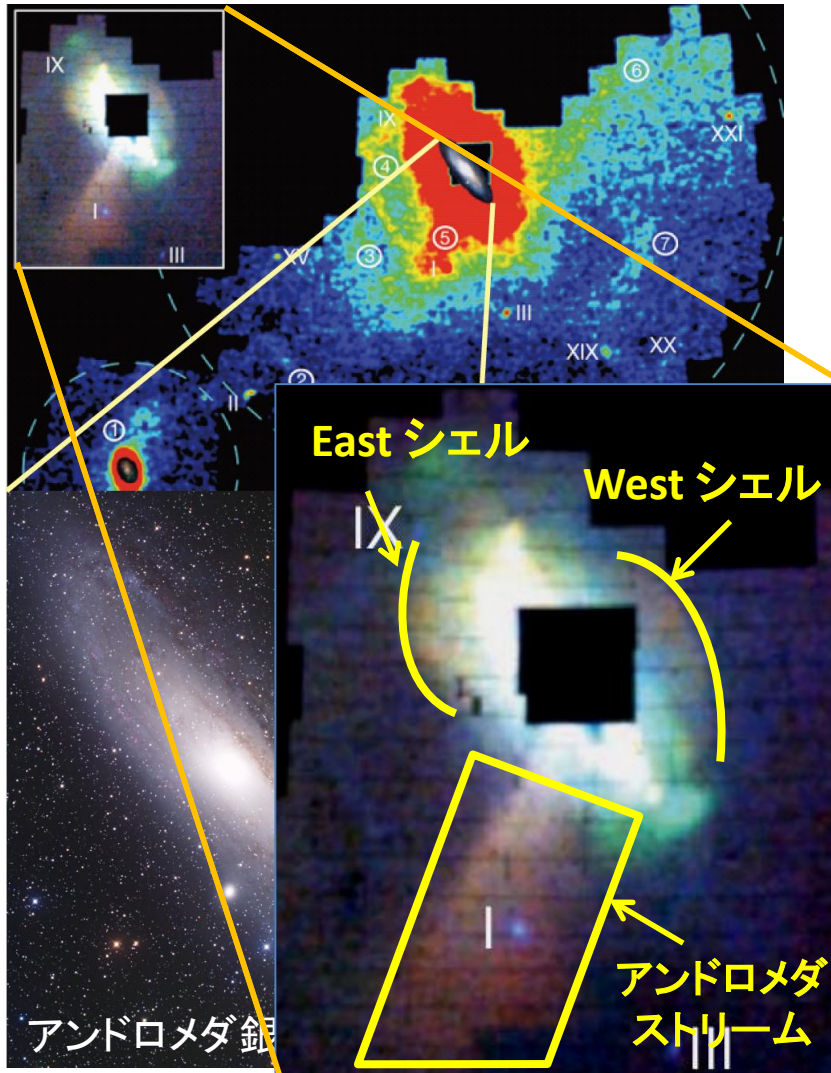
共同研究者：三木 洋平^{*1}, 森 正夫^{*1}, 川口 俊宏^{*2}

*1:筑波大学 *2:札幌医科大学

1. 背景
2. ストリーム非対称形状の紹介
3. 矮小円盤銀河モデルへの拡張
4. 数値シミュレーションの結果
5. まとめ・展望

1.1 背景

M31周辺の星密度



McConnachie et al. (2009)

- M31のハロー領域に巨大な構造
→ 銀河衝突の痕跡

(Ibata et al. 2001, McConnachie et al. 2009)

アンドロメダストリーム (GSS, $\sim 120\text{kpc}$)

東西のシェル状分布 ($\sim 30\text{kpc}$)

→ 約1Gyr前に衝突した矮小銀河の残骸
(N 体シミュレーションによる研究)

- この矮小銀河の質量やサイズ、衝突した軌道が調べられている。(球対称を仮定)

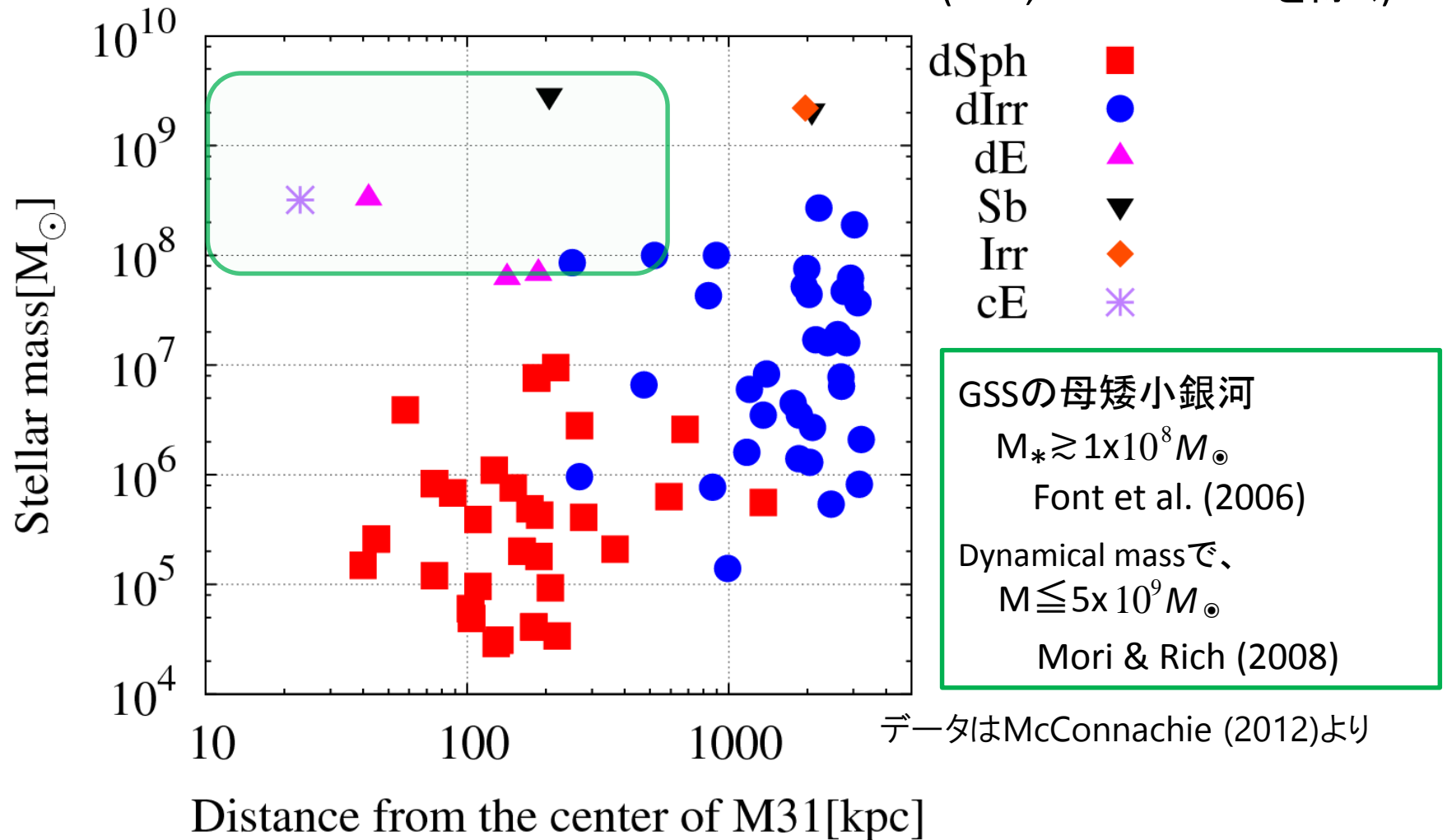
(Fardal et al. 2007, Mori & Rich 2008, Miki et al. 2014)

Morphology についてはよく分かっていない

- M31円盤上での星形成の誘発等への影響

1.2 M31周辺銀河の形態

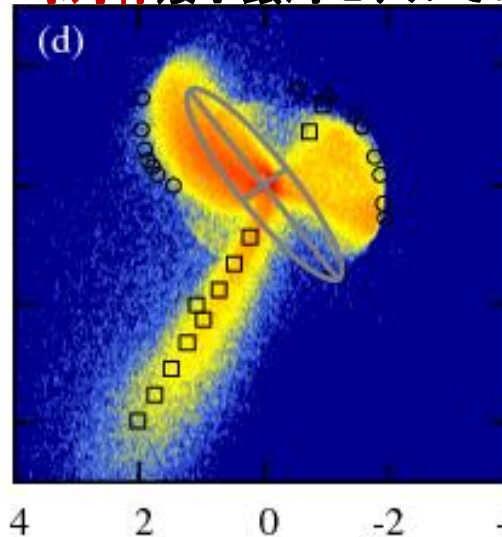
(MW, MW satelliteを除く)



- ・M31中心から数10kpcでは低質量dSphが主
- ・ $10^8 M_{\odot}$ 程度の銀河はdE, dIrrが主

2. アンドロメダストリーム(GSS)の非対称形状

球対称矮小銀河モデルでのシミュレーション結果例



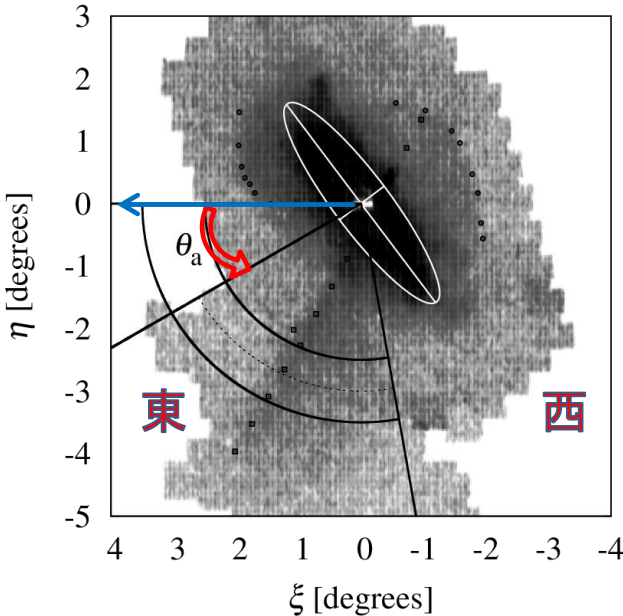
壊された矮小銀河の分布

Kirihara et al. (2014)

矮小銀河: Plummer model
約25万個で表現

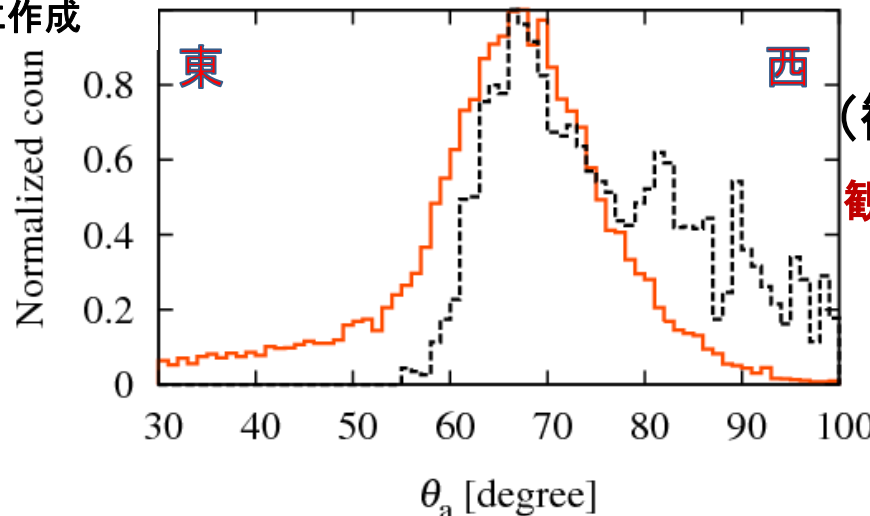
(軌道はFardal et al. (2007))

M31はfixed potentialを仮定
(DMH: NFW model,
Exponential disk,
Hernquist bulge)



M31周辺の観測 Irwin et al. (2005)
スターカウントマップを元に作成

M31中心からの方位角ごとのGSSのRGB星分布



(観測, シミュレーション)

観測では東側は密度変化が急
西側は密度変化が緩やか

青矢印 から南方向に取った方位角

2. アンドロメダストリーム(GSS)の非対称形状

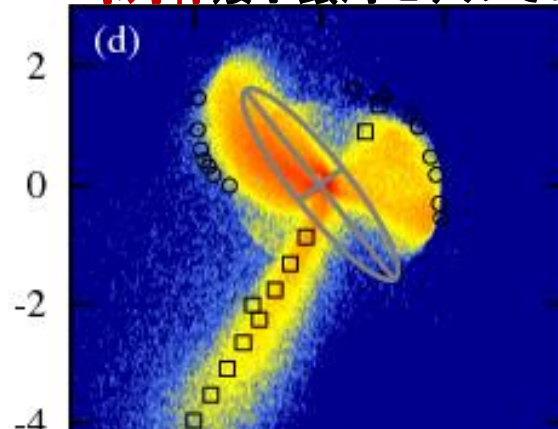
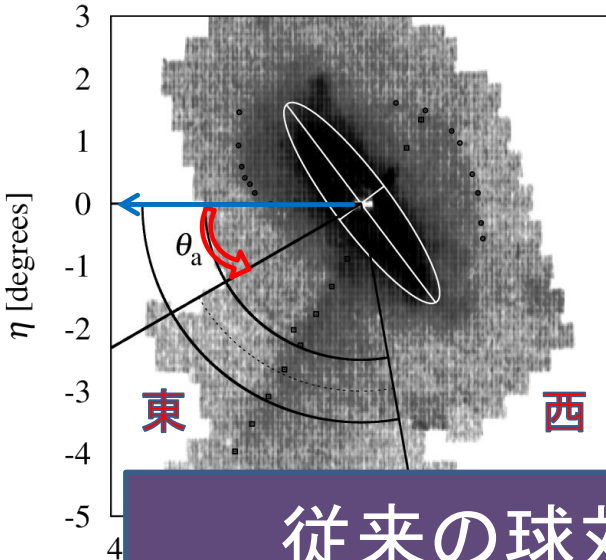
球対称矮小銀河モデルでのシミュレーション結果例

壊された矮小銀河の分布

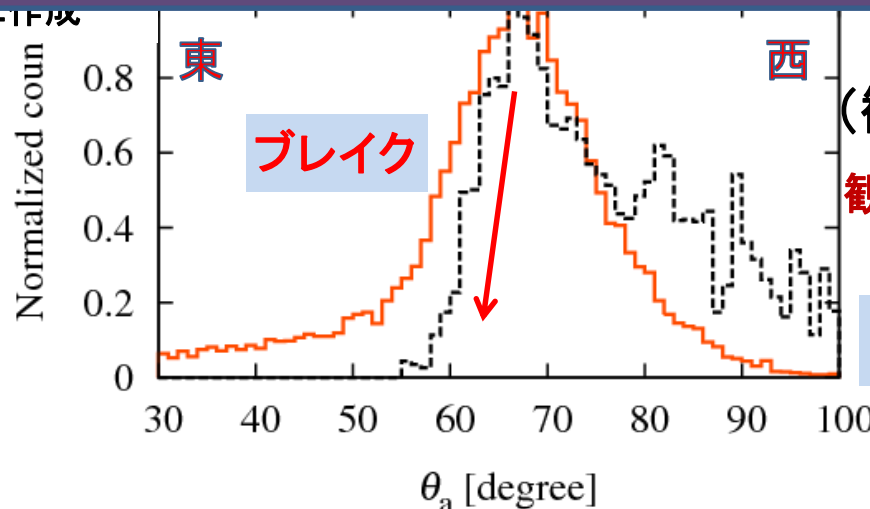
Kirihara et al. (2014)

矮小銀河: Plummer model
約25万個で表現
(軌道はFardal et al. (2007))

M31はfixed potentialを仮定
(DMH: NFW model,
Exponential disk,



従来の球対称モデルでは説明できていない
→母矮小銀河は球状の銀河ではなく円盤銀河か？



(観測, シミュレーション)

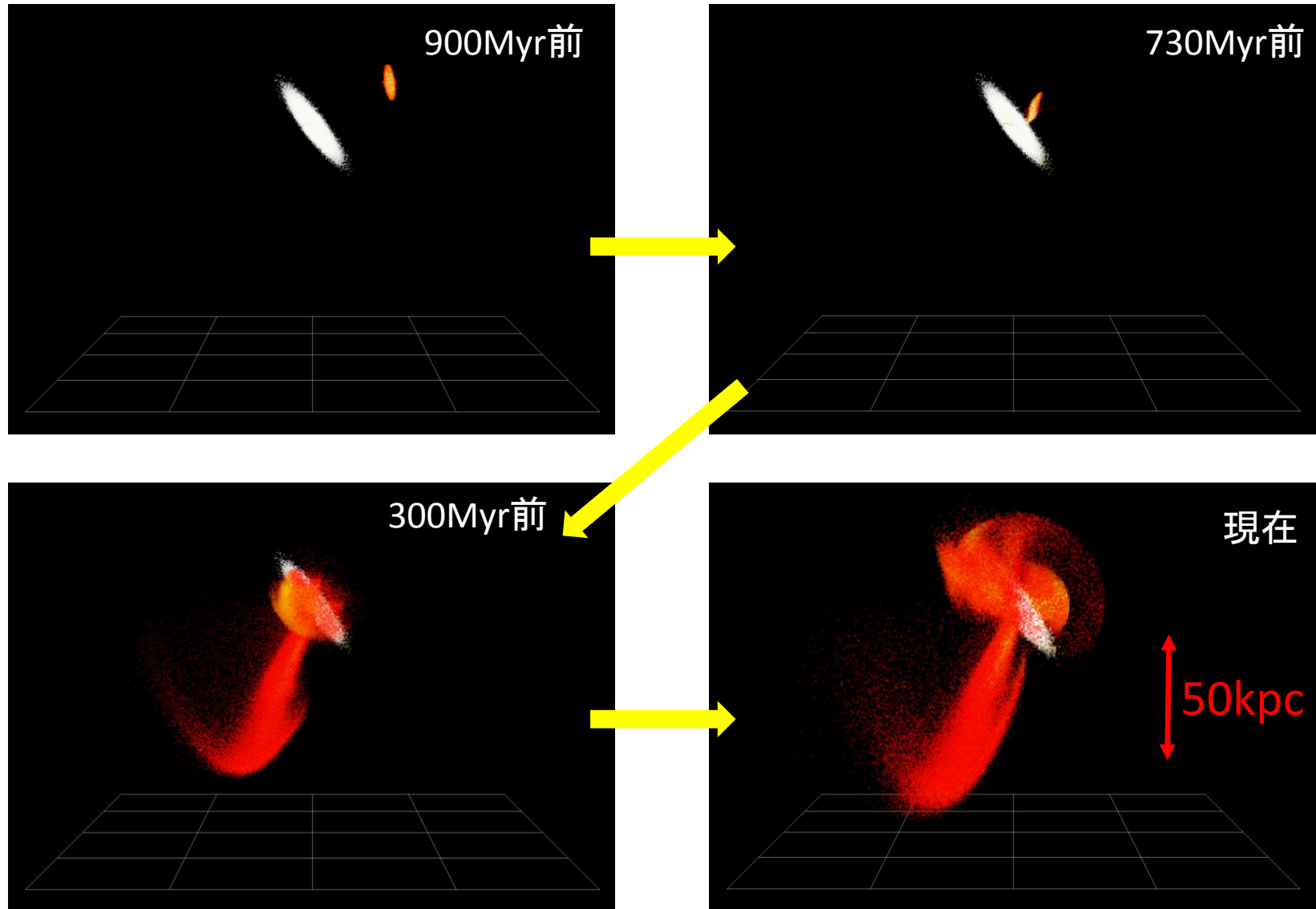
観測では東側は密度変化が急
西側は密度変化が緩やか

東側のブレイクを作る

青矢印 から南方向に取った方位角

白: M31 disk
赤: 矮小銀河

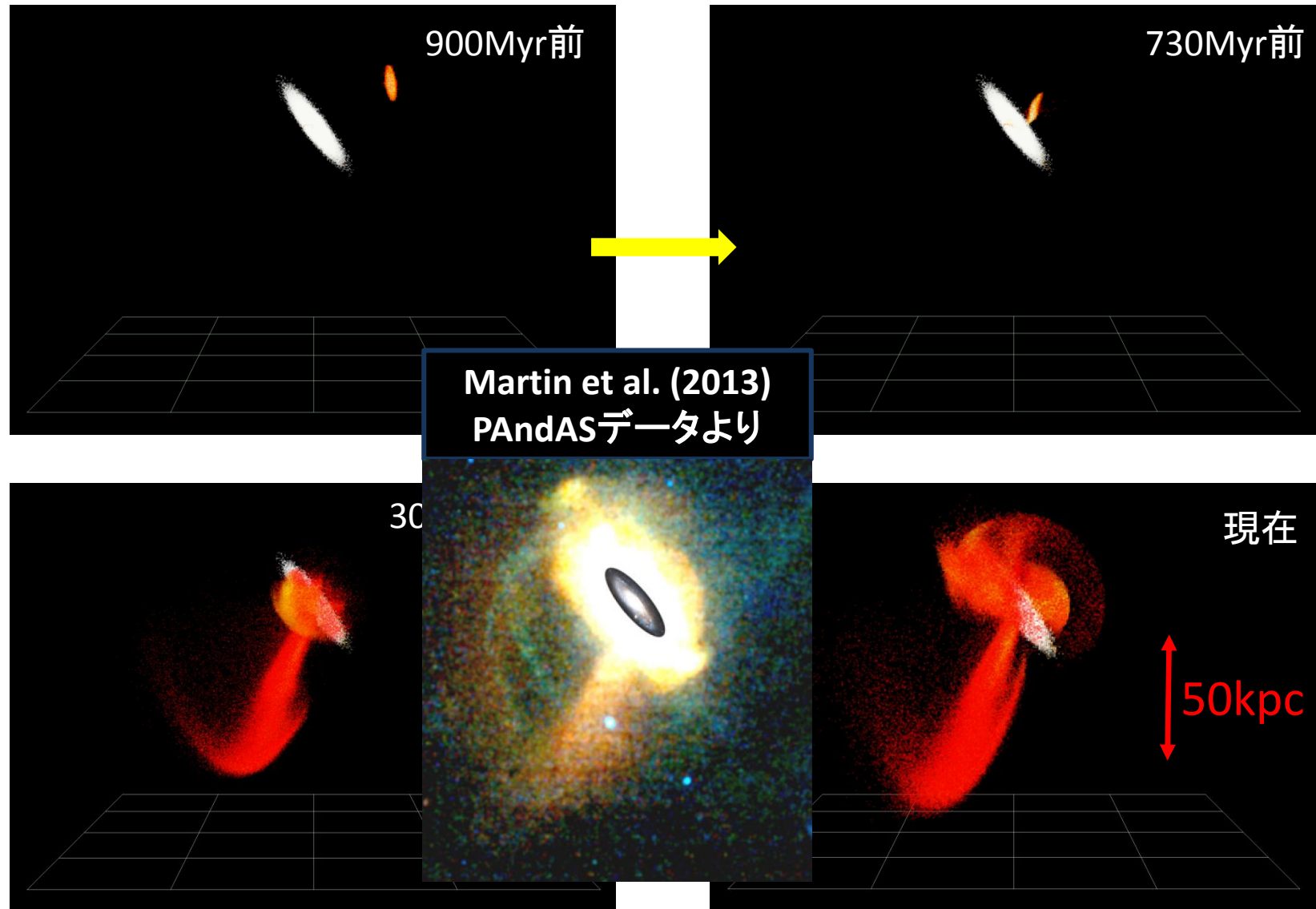
3.1 時間発展の様子



S2PLOT

白: M31 disk
赤: 矮小銀河

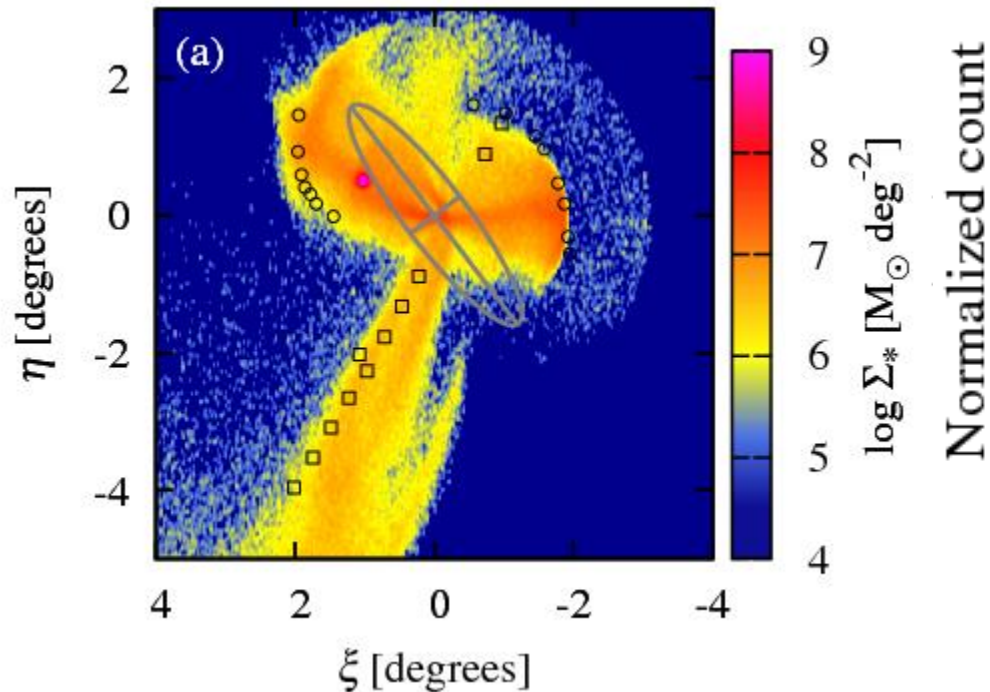
3.1 時間発展の様子



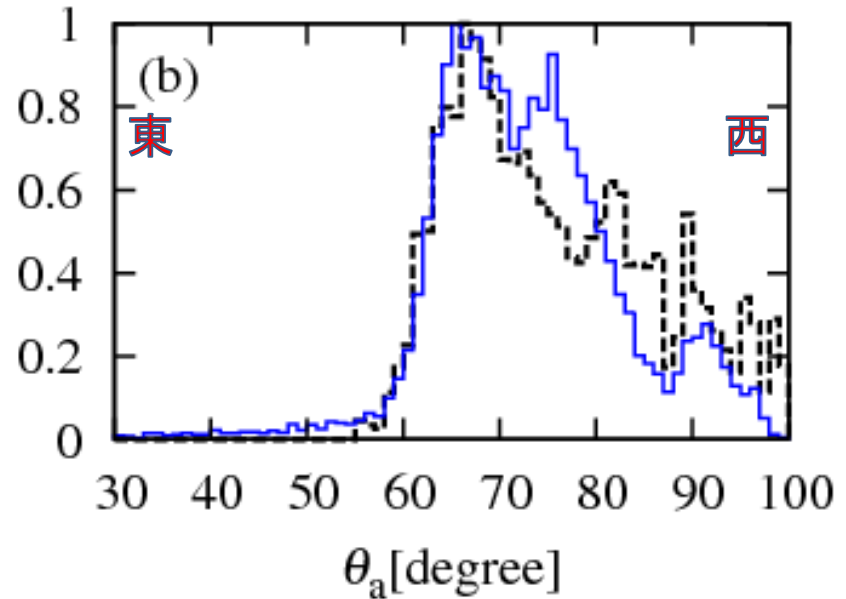
S2PLOT

3.2 矮小円盤銀河モデルの計算結果例

Thick disk モデルの一例



GSSの方位角分布



(**シミュレーション**, 観測)

東側は密度変化が急で、西側は密度変化が
緩やかな**非対称性**が見られている

ブレイクの再現に成功

3.3 今回の数値実験のパラメータ

- ・ M31はfixed potential

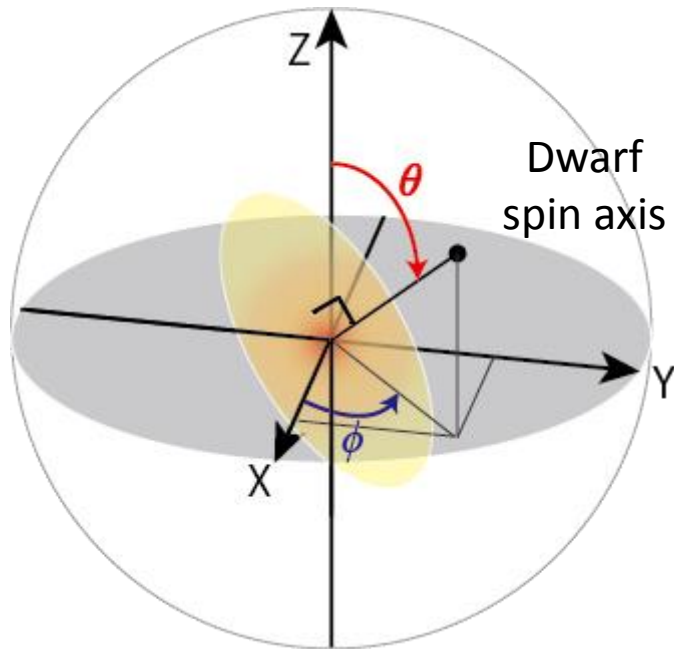
Hernquist bulge, Exponential disk, DMHaloはNFW model を仮定

- ・ 調査したパラメータ空間

円盤のScale height (thin-thick-hot)

円盤の回転速度 (9 model of thick disk)

それぞれのモデルに対し, 矮小銀河円盤の
回転軸を初期に θ, ϕ だけ傾ける (合計 約2000model)



モデル:

ダークマター $4 \times 10^9 M_{\odot}$

円盤 $7 \times 10^8 M_{\odot}$

バルジ $3 \times 10^8 M_{\odot}$

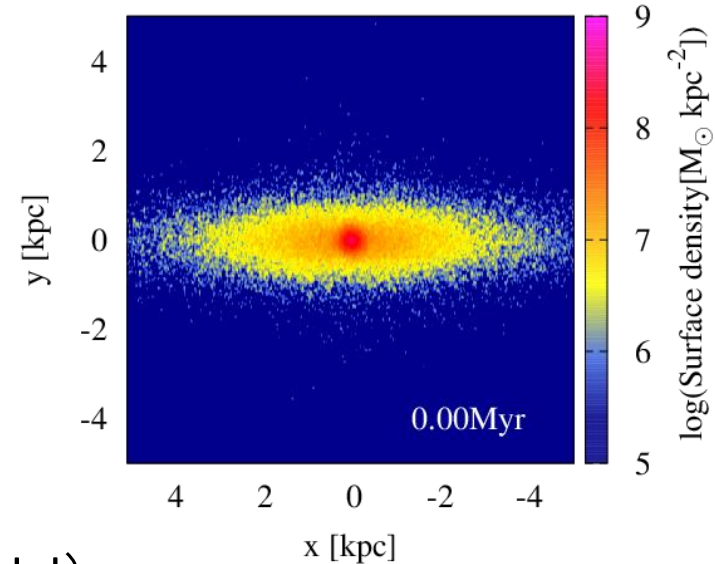
約20万體 (うち星粒子約5万體)

Kuijken & Dubinski 1995, Widrow et al. 2003 を使用

orbitはFardal et al. (2007)を採用

重力計算部分: Tree法 ($\theta=0.6$)

計算機: T2K-Tsukuba, HA-PACS, COMA



Zd : 円盤のscale height (軸比)

薄い Zd=0.13kpc (0.08)



Zd=0.52kpc (0.30)

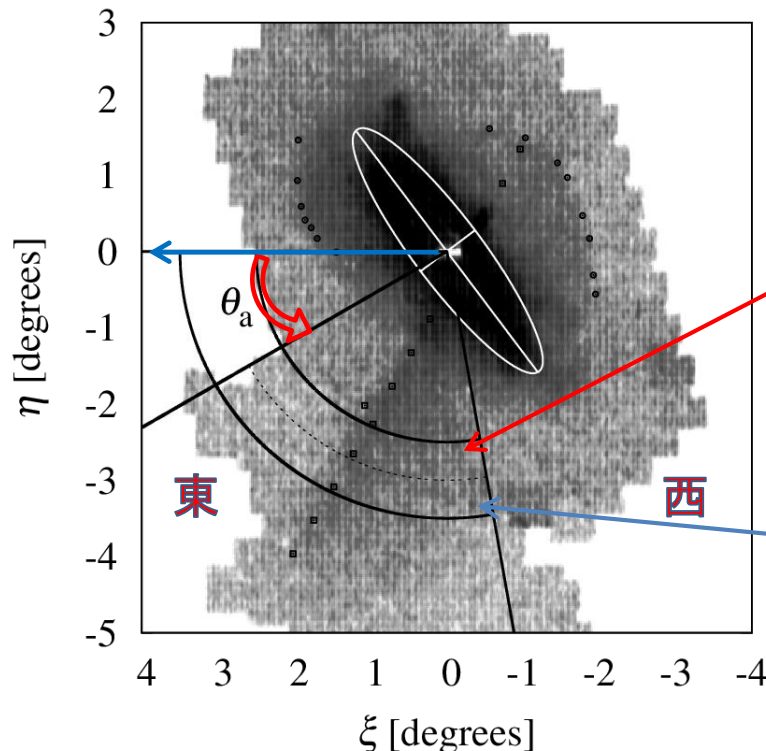
厚い Zd=1.11kpc (0.65)

(scale length = 1.11kpc)

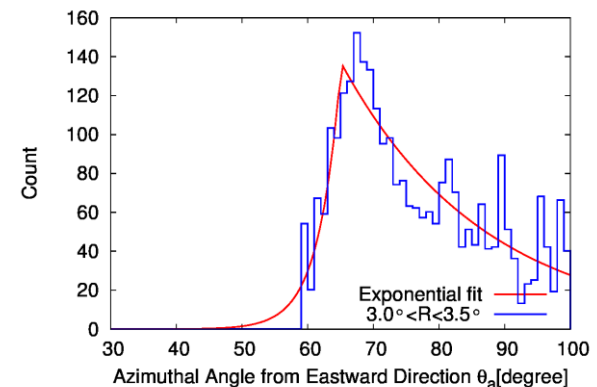
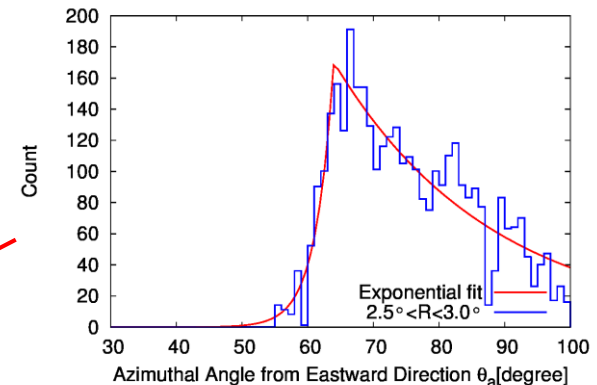
4.1 定量的解析の方法

観測データとシミュレーション結果との間で、

- 東西のシェルの形状が合う
- GSSの方向が合う(次項)
- GSSのブレイク幅が合う(次々項)



Exponential関数で各距離の成分を
フィッティング



4.2 GSSの方向とブレイク幅の両方が合う領域

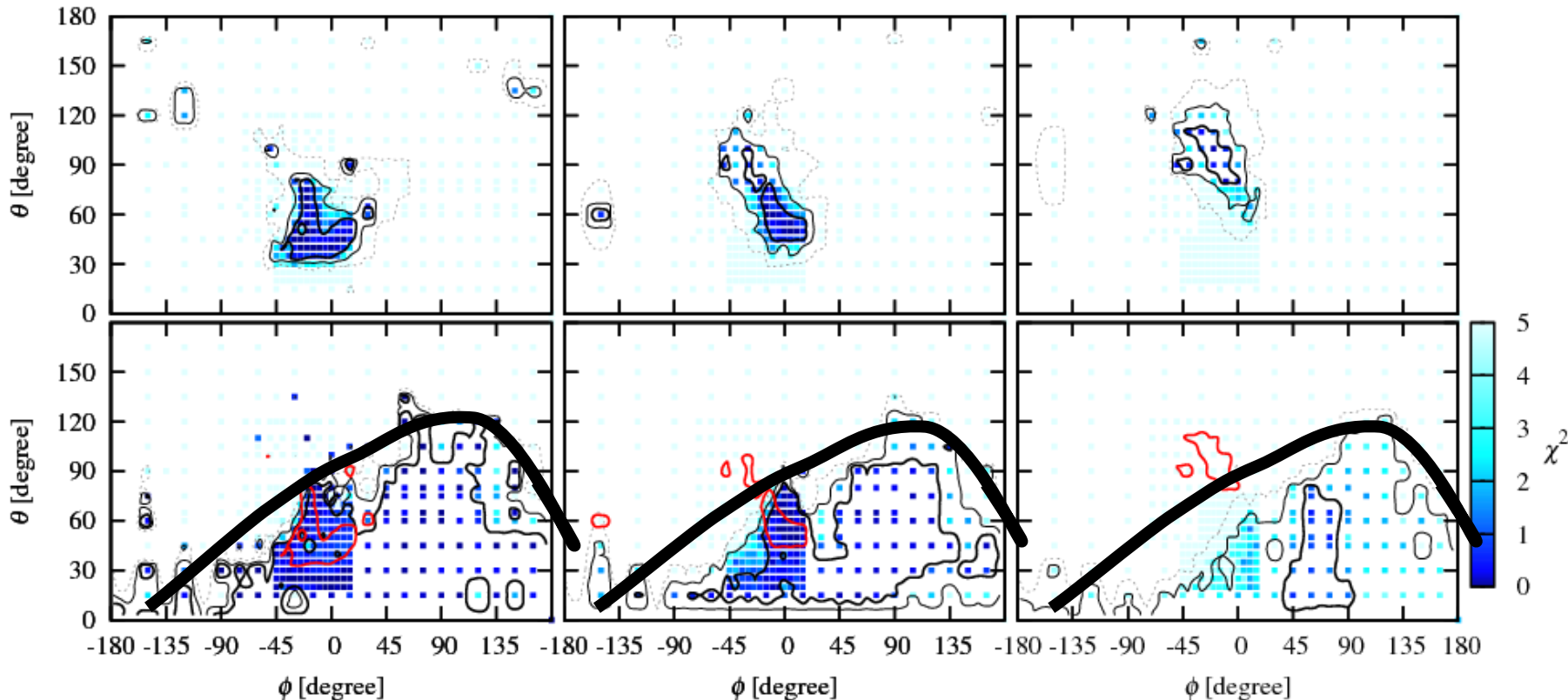
thin disk

thick disk

hot disk

GSSの方向

東側(ブレイク)の幅

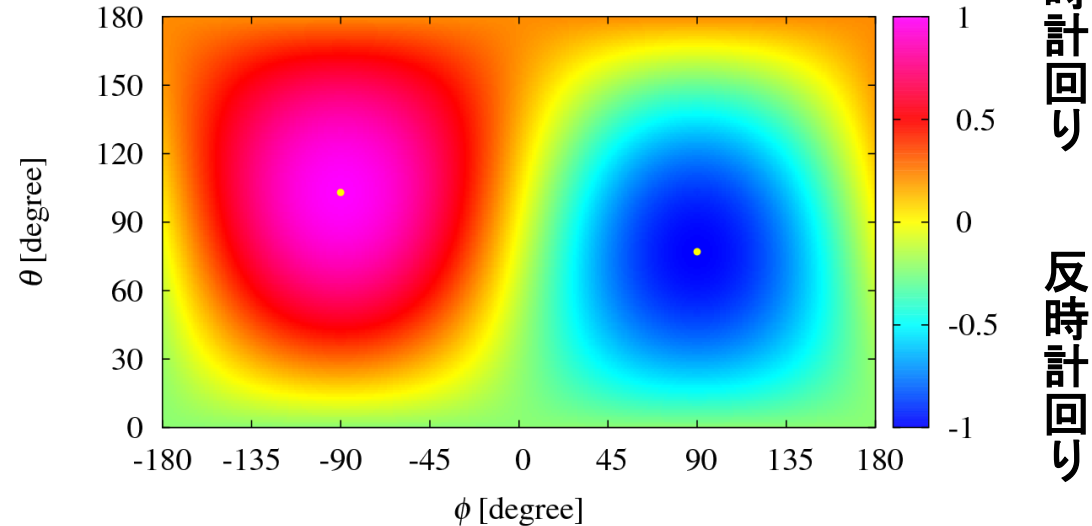
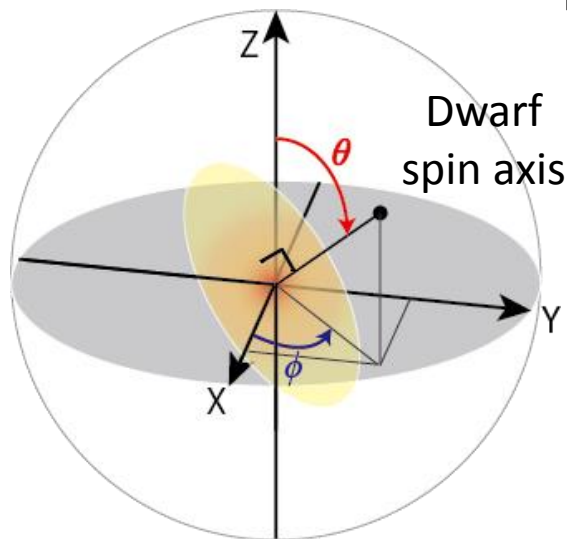


線: 1, 2, and 3 σ confidence level

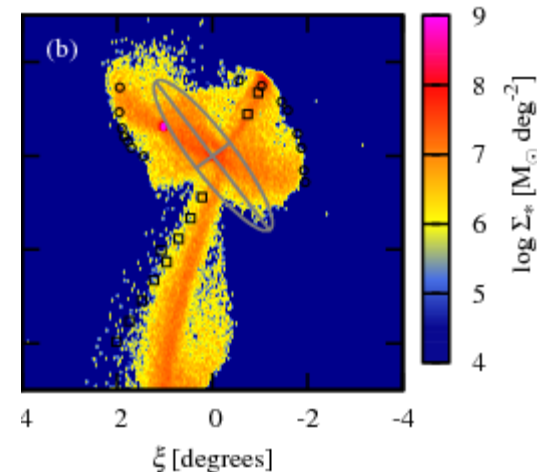
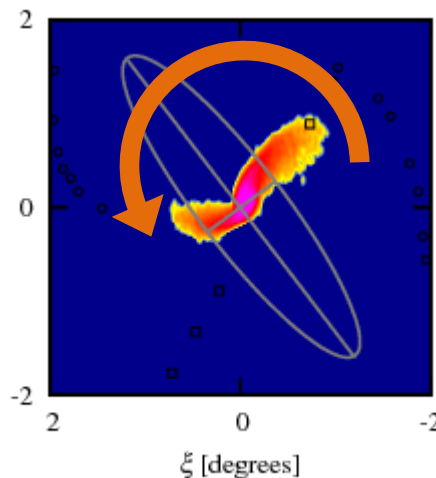
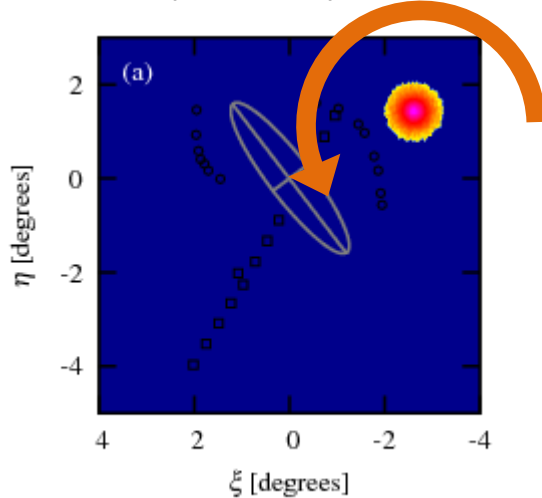
- ① GSSの方向は, 観測を再現するパラメータ領域を厳しく制限
- ② よく再現する領域がシフトする原因は回転速度の大きさ
- ③ GSSの方向とブレイク幅の両方を説明できる領域が存在
- ④ ブレイク幅は, 円盤の厚さにかかわらず特徴的な振舞い

4.3 円盤の初期回転軸の向きとブレイク幅との関係

観測系での, 矮小銀河円盤の初期回転方向
視線方向と, 円盤の角運動量方向との内積



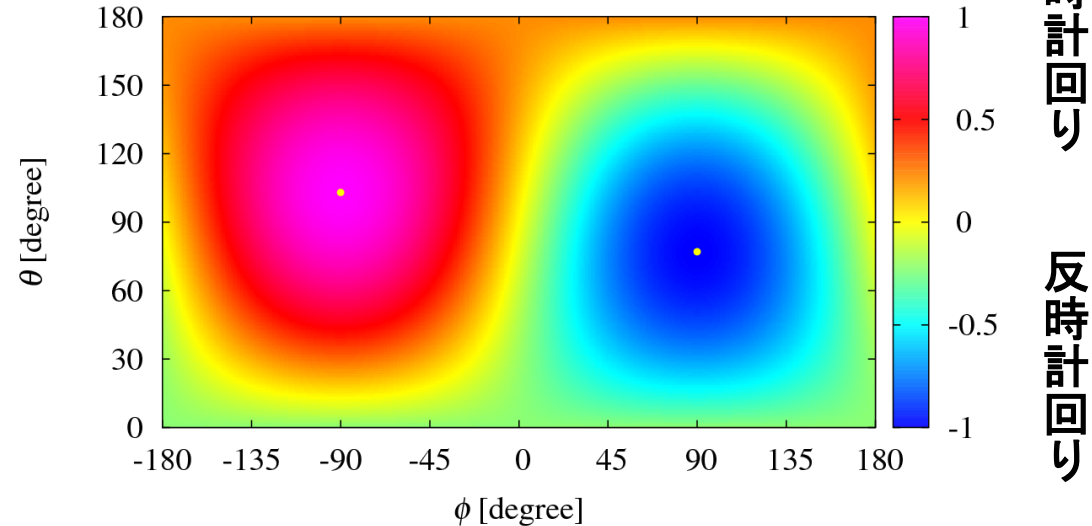
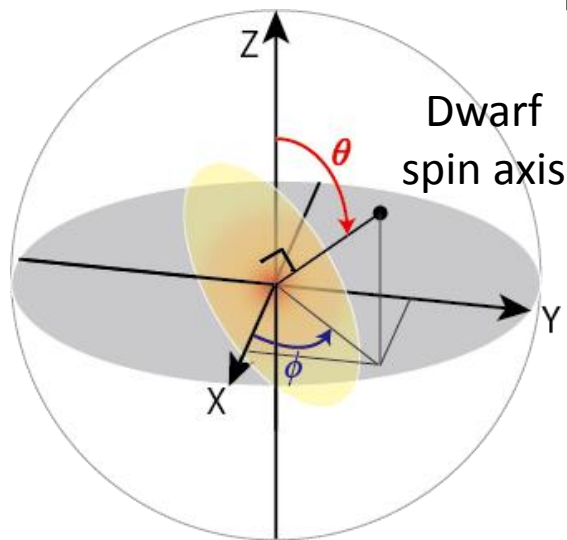
反時計回り(face-on)の場合



ブレイクの再現には, M31中心の東を反時計回りの成分の通過が重要

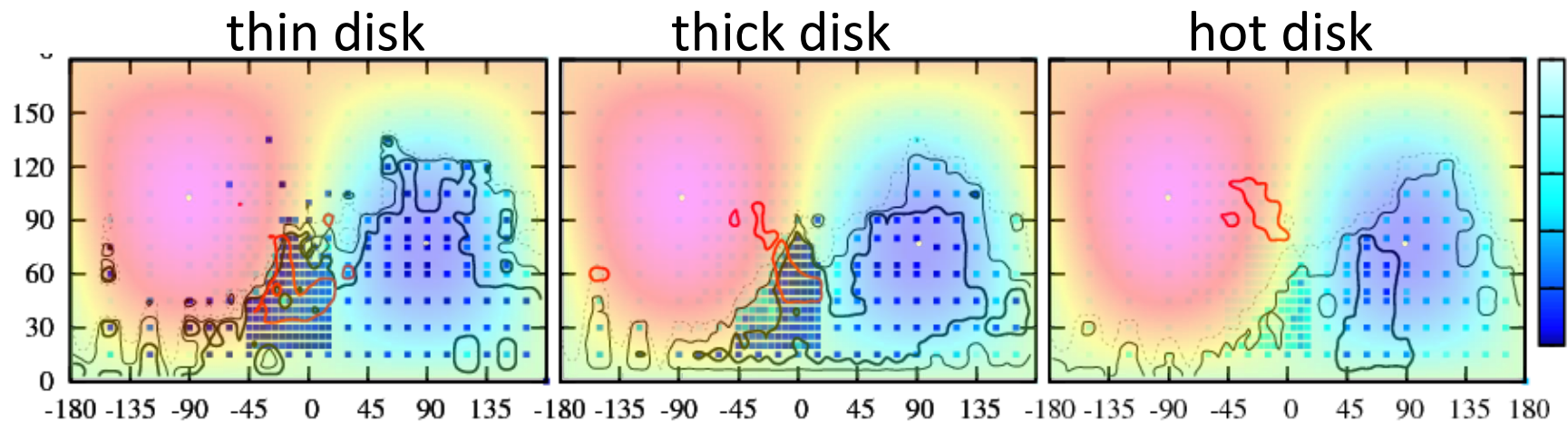
4.4 円盤の初期回転軸の向きとブレイク幅との関係

観測系での, 矮小銀河円盤の初期回転方向
視線方向と, 円盤の角運動量方向との内積



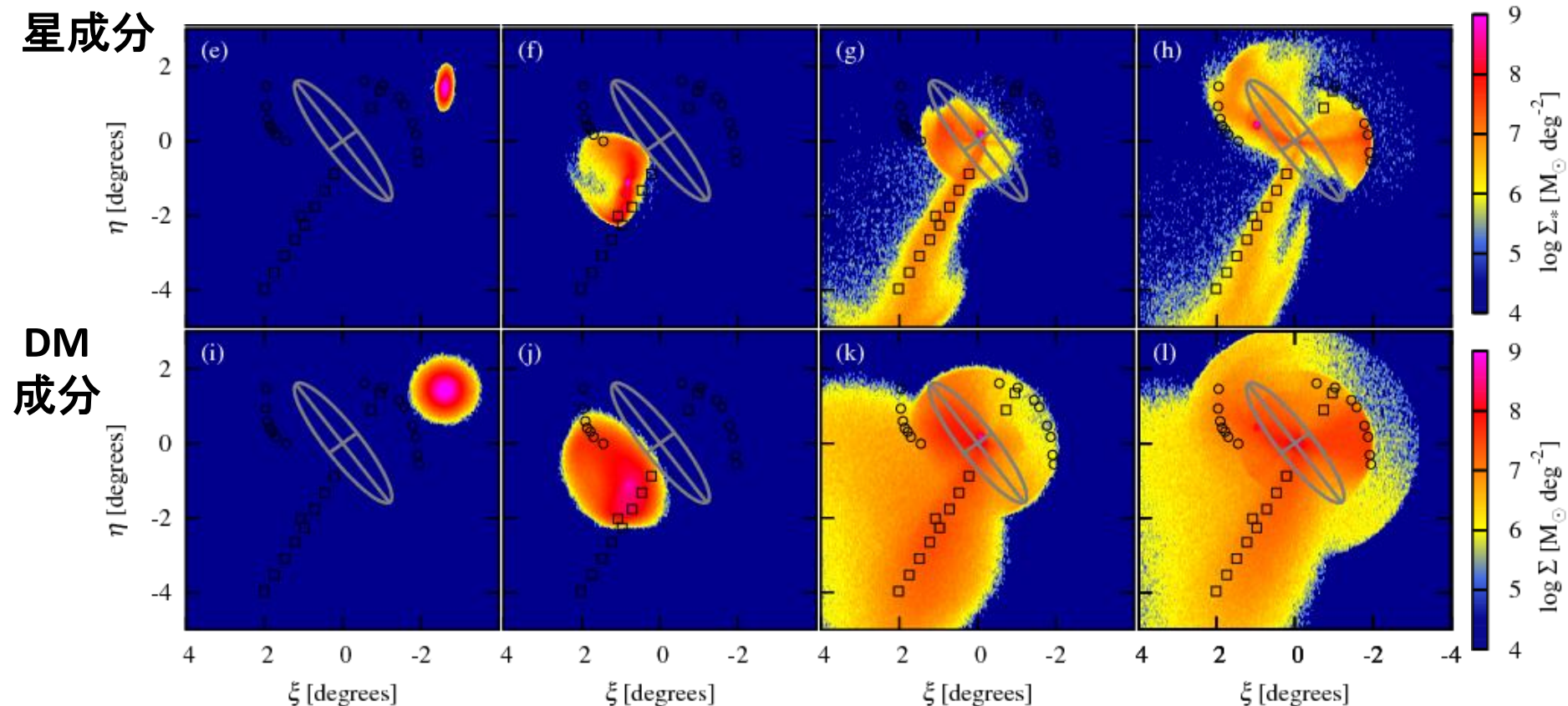
時計回り

反時計回り



※円盤の厚さにかかわらずブレイク構造を再現 → **回転が重要**

4.5 矮小銀河に付随するダークマター成分の時間進化



ダークマター成分は星成分に対して広範囲に広がる
西側のシェルのところで、両者の位相が揃う

5. まとめ

- アンドロメダストリームの非対称構造に対して、矮小円盤銀河とM31との衝突をN体シミュレーションを用いて調べた
- 広領域のパラメータサーベイにより、観測で見られる非対称な空間構造(ブレイク)を説明可能なパラメータを確認
→円盤を持つような銀河との衝突が起こった可能性を示唆
- アンドロメダストリームの起源が円盤銀河(gas rich)であると・・・
 - gas rich mergerによる星形成の誘発の可能性
 - 衝撃波加熱によるM31中心付近の高温ガスの説明
 - M31 diskのリング構造との関係
 - M31周辺の不思議なHIガス分布等について有力な制限を付けられる可能性がある

Diffuse X-ray emission (M31 center)

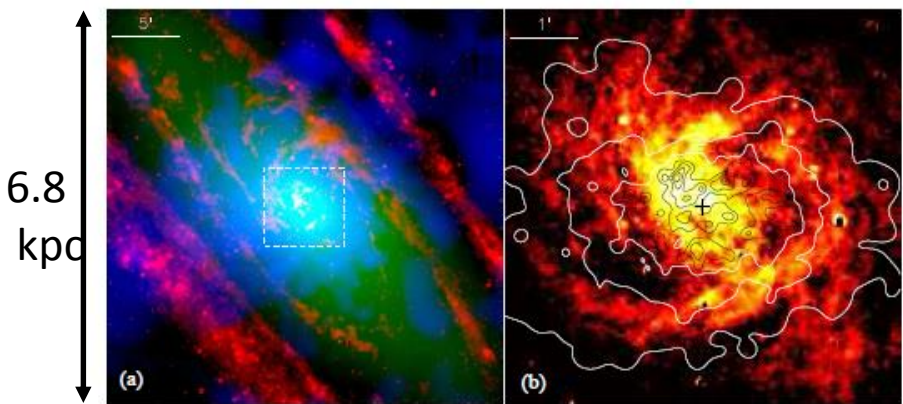
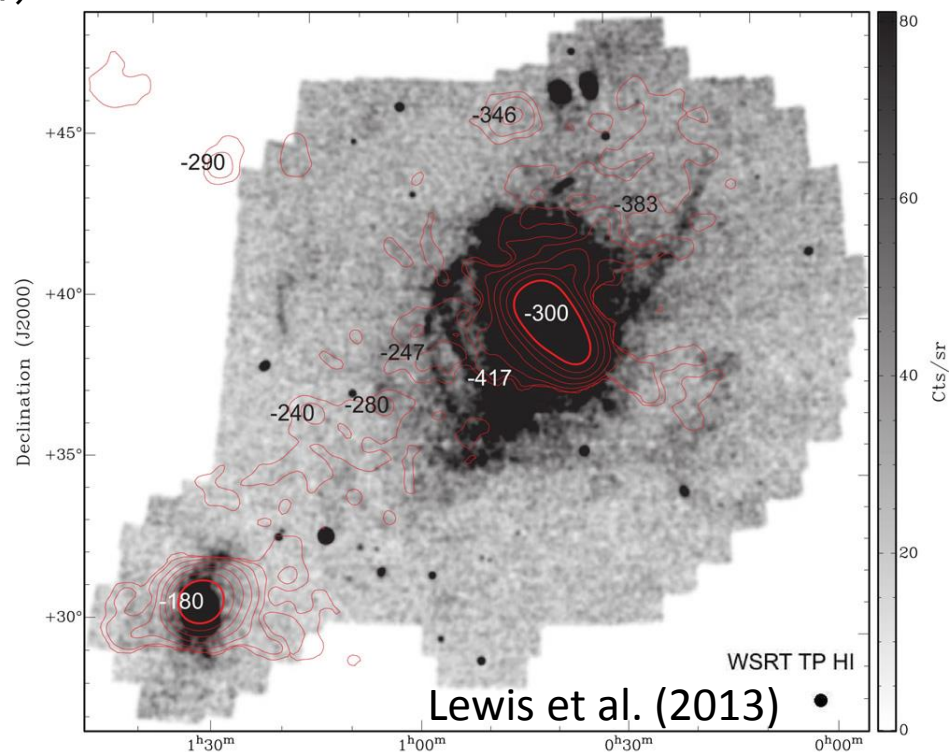


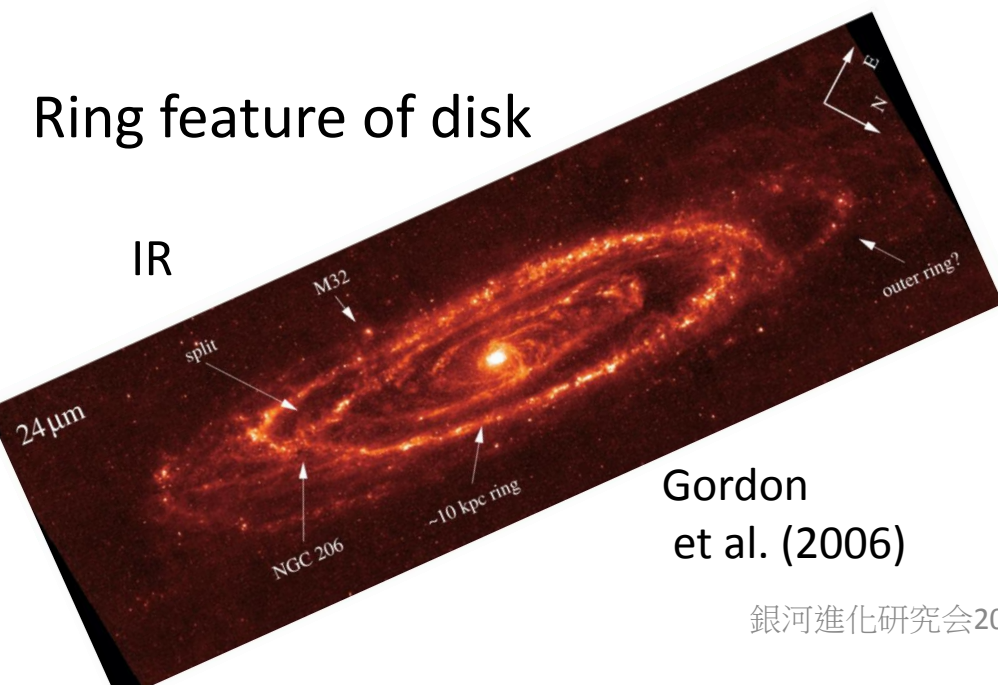
Fig. 1.— (a) Tri-color image of the central 30' by 30' (6.8 kpc by 6.8 kpc) of M31. Red: Spitzer/MIPS 24 μ m emission; Green: 2MASS K-band emission; Blue: Chandra/ACIS 0.5-2 keV emission of diffuse hot gas (LW07). The dashed box outlines the central 6' by 6', a region further shown in (b) and Fig 6. (b) Smoothed intensity contours of the 0.5-2 keV diffuse emission overlaid on the H α emission. The contours are at 5, 10, 19, 27, 35, 45, and 55×10^{-3} cts s $^{-1}$ arcmin $^{-2}$. The plus sign marks the M31 center.

Li et al. (2009)

HI distribution



Ring feature of disk



Gordon
et al. (2006)

UV (GALEX)

