

Outer Rotation Curveプロジェクト

～現状と今後の展望～



(鹿児島島の桜島)

本日の発表内容

1. 概要
2. 研究背景の紹介
3. 研究方法
4. これまでの研究結果
5. 議論
6. 今後

2010/09/16: 第八回VERAユーザーズミーティング@三鷹
鹿児島大学 M2 坂井伸行



1. 概要

- ・銀河系の質量分布を明らかにするために進めている**Outer Rotation Curve**プロジェクトについて進捗と今後の展望を報告する。
- ・VERAで視差・固有運動が共に求められた銀河系外縁部天体：7天体
2009年度のプロジェクト観測実績：4天体、計4観測
2010年度(9/16時点)のプロジェクト観測実績：7天体、計14観測
となっている。
2011年度の予定：継続7天体+3天体+ α
となる予定である。
- ・VLBA, SIM, そしてGAIAなどとの国際競争が今後ますます激しくなる中で、効率よい回転曲線の構築(効率よい天体選別)などアイデアを絞り、かつ議論についても現段階から綿密に練っていく必要がある。



2. 紹介: Outer Rotation Curve Project

銀河系の質量分布と回転曲線

研究のゴール

- ・観測的に銀河系の質量分布を求める
- ・理論モデルとの比較を行う(非円運動の議論など)

研究の意義: 銀河系を認識する為の基本情報を求める

身体測定に例えば、

・半径(他の物理量と関連する)

- ・質量
- ・光度
- ・年齢
- ・形態



・身長

- ・体重
- ・活動
- ・年齢
- ・容態

- ・一般的に距離測定は困難な為、国際的にも最先端の研究であり(SIMやGAIAと言った次世代衛星計画)、極めて重要な研究である！





2. 紹介:Outer Rotation Curve Project

銀河系の質量分布と回転曲線

質量分布の求め方:回転曲線

1917年:スライファーが分光観測によって、M104が回転している事を発見

1970年代:分光観測が進み、銀河内の回転速度分布が詳細になってきた

球対称質量分布を仮定

遠心力=重力より、

$$M = \frac{rV^2}{G}, \quad M = \int 4\pi r^2 \rho(r) dr$$

より現実的な質量分布モデル

(バルジ部の面密度) $\Sigma \propto$

$$e^{-r^{1/4}}$$

(円盤部の面密度) $\Sigma \propto$

$$e^{-r}$$

(ダークハロー部の質量密度) $\rho \propto$

$$r^{-2}$$

(km s⁻¹)

200

回転曲線:NGC3198

回転速度

150

100

50

0

ハロー成分

円盤成分

0

10

20

30

40

50

銀河中心距離

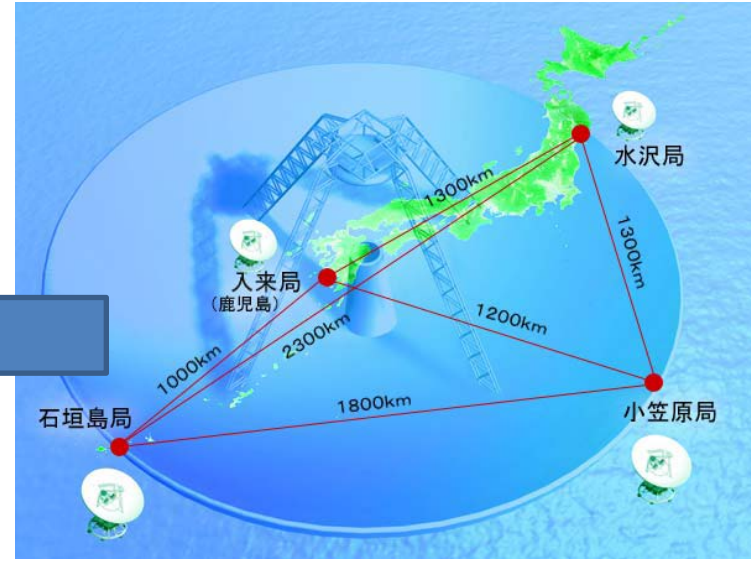
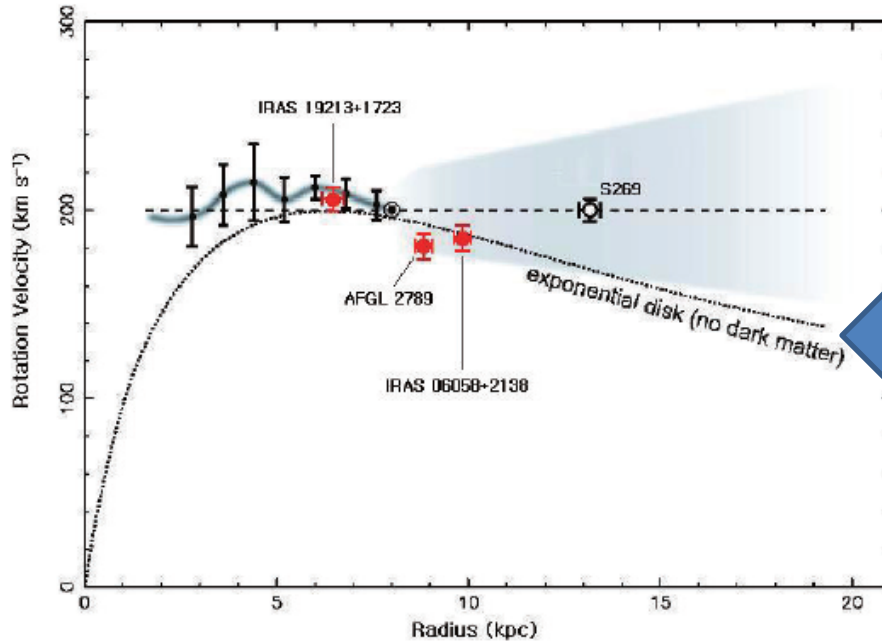
(kpc)

誤差棒付きの点—HIの観測で得られた



2. 紹介:Outer Rotation Curve Project

VERAで銀河系の回転曲線を構築!

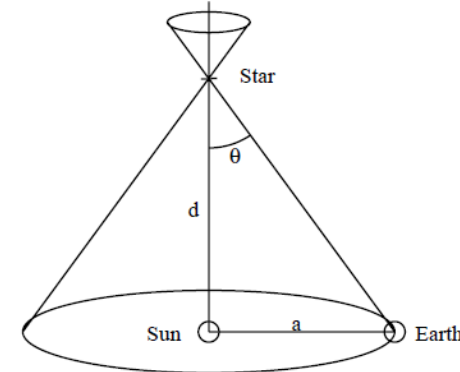


VERA観測アレイ, CREDIT:VERAのHP.

銀河系の回転曲線外縁部回転曲線からの距離

Honma et al., (縦軸)回転速度, $S(2010)$, (2009)より

- ・電波干渉計技術を用いた三角視差法で、銀河系内メーザー天体の位置と運動を求める。
- ・目標位置精度は 10μ 秒角、最大基線長約2,300km



10kpcの距離を、10%のエラーで測定する!

3. 方法:2008年度以降

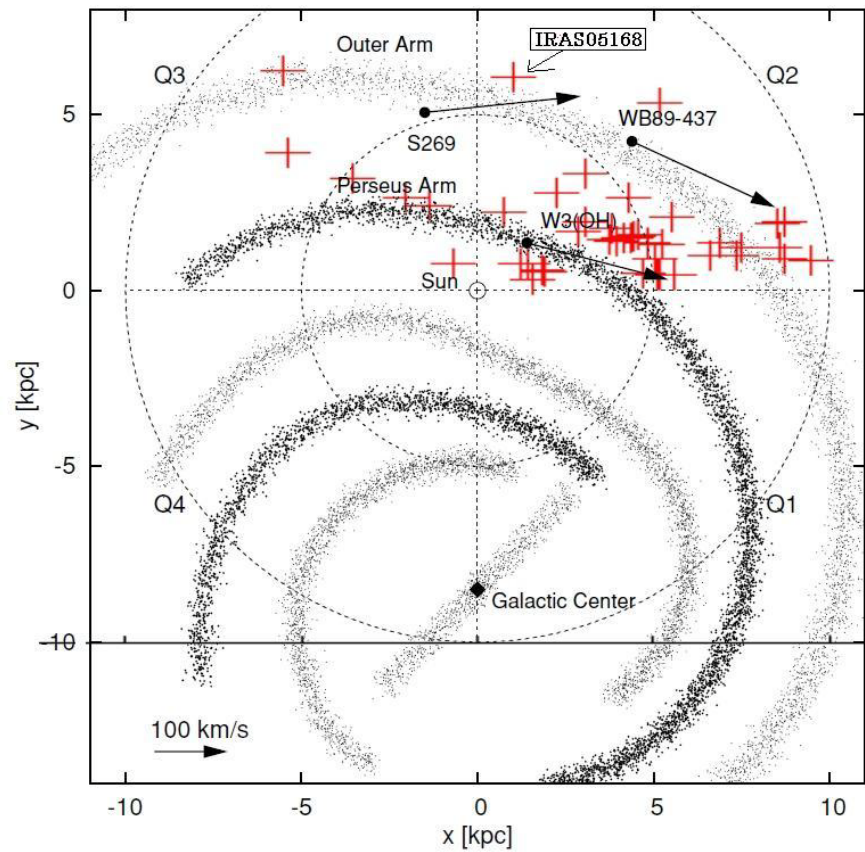
天体選別 → VLBI観測

Outer Rotation Source 50天体の選出方法

- ・水メーザーのカatalogを参照 (Archetriカatalog, Sunada et al., 2007)
- ・ $90^\circ < l < 240^\circ$, $|b| < 10^\circ$
- ・CO やNH3が同(近い?)速度で付随し、明るい($> 10\text{Jy}$)もの
- ・QSOが離角 2.2° 以内で、X-bandで > 0.1 .



・Georgelin & Georgelin, (1976)の銀河概観図に、運動学的距離を基にしてプロジェクト天体を赤の十字で重ねた。





4. 22GHz観測結果:年周視差と固有運動計測

| 観測天体名(IRAS) | 速度 分解能 | 観測開始時期 その他 |
|---------------------------------|-----------|-------------------|
| 04579+4703 (Pair:J0507+4645) | 0.42km/s | 2010/03/21～4epoch |
| 05168+3634(J0530+3723) | 0.42km/s | 2009/10/03～7epoch |
| 07024-1102(J0702-1015) | 0.42km/s | 2010/03/29～3epoch |
| 21379+5106(J2137+5101) | 0.42km/s | 2009/11/06～4epoch |
| 22480+6002(J2254+6209) | 0.42km/s | 2009/12/12～4epoch |
| 22555+6213(J2302+6405) | 0.42km/s | 2010/05/28～1epoch |
| 23385+6053(J2339+6010) | 0.42km/s | レーザー非検出で観測不可 |

(2009年度と2010年度の観測実績, 2010/09/16時点)

・IRAS 05168について、今回は現状報告を行います！

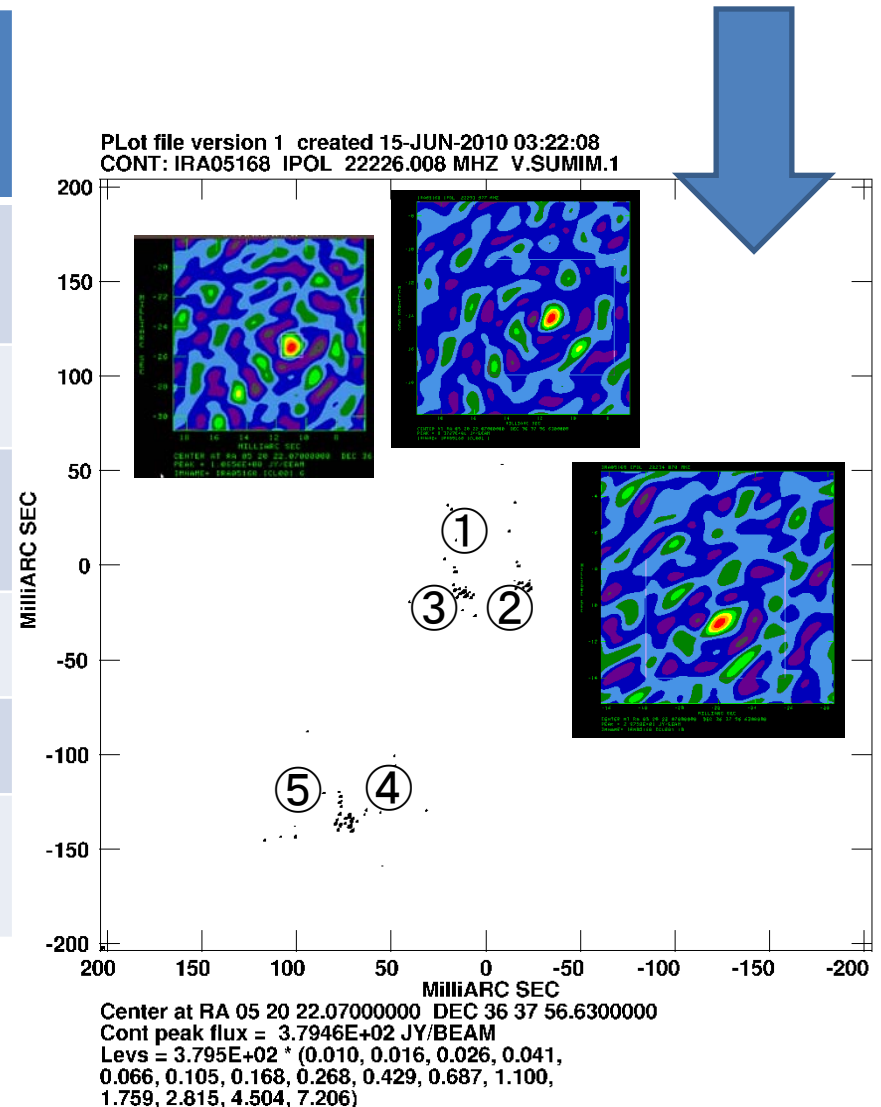


4. 観測結果:IRAS05168+3634

・2010/03/21観測時のメーザースポットの分布.マップサイズは、400mas * 400mas

| Spot epoch | 1 (検出 or 非検出) | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---------------|---------------------|---|---|---|---|
| 2009 10/03 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 10/30 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 2010 01/25 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 03/21 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 05/22 | ○ | ○ | × | ○ | ○ |
| 08/22 | ○ | ○ | × | ○ | ○ |

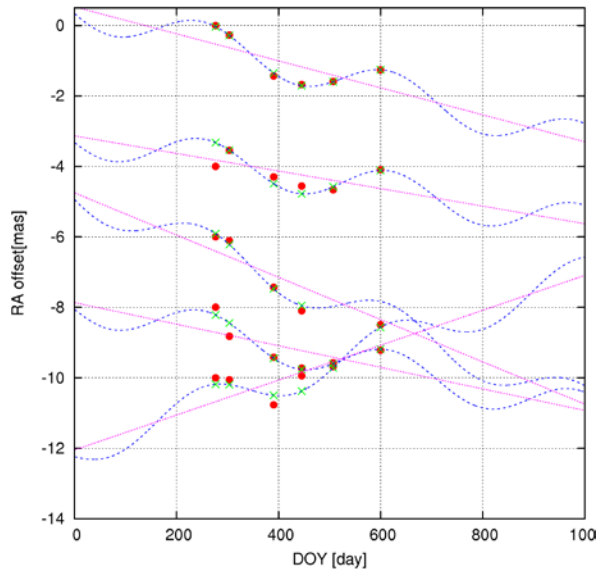
- ・ダイナミックレンジ≒8~19
- ・ビームサイズ≒1.1 × 0.7 mas





4. 結果

IRAS 05168+3634の年周視差 & 固有運動



$\Delta\alpha\cos\delta$ へのフィッティング

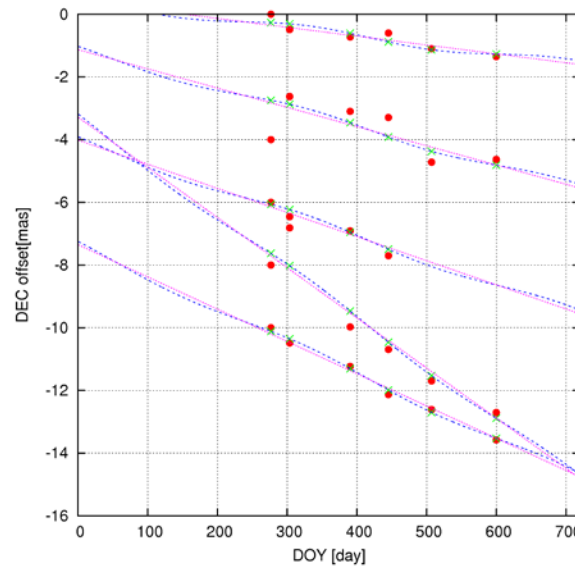
(6観測10カ月の結果)

年周視差= 0.54 ± 0.05 mas

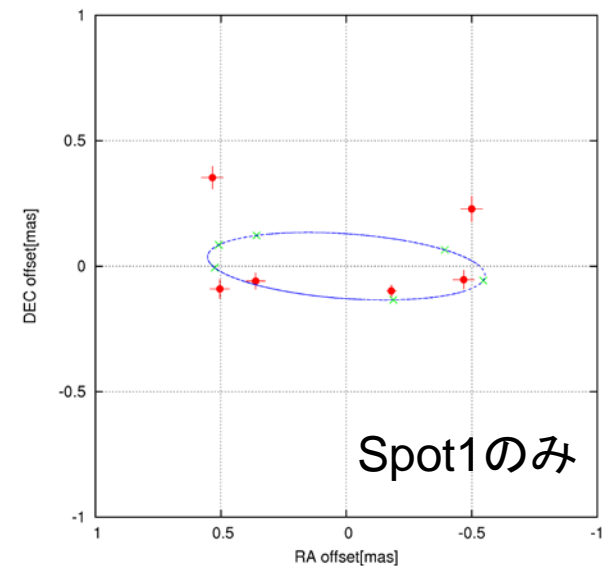
距離= $1.85^{+0.18}_{-0.15}$ kpc

$(\mu_{R.A.\cos\delta}, \mu_{Decl.})=(-0.7\pm 0.7, -2.4\pm 1.0)$ [mas/yr]

$\sigma_{\alpha\cos\delta}=0.25$ mas, $\sigma_{\delta}=0.51$ mas



$\Delta\delta$ へのフィッティング



視差楕円へのフィッティング

回転速度に直すと、
 (視線速度 V_{lsr} のエラーは、 ± 5 km/s
 を仮定した.)

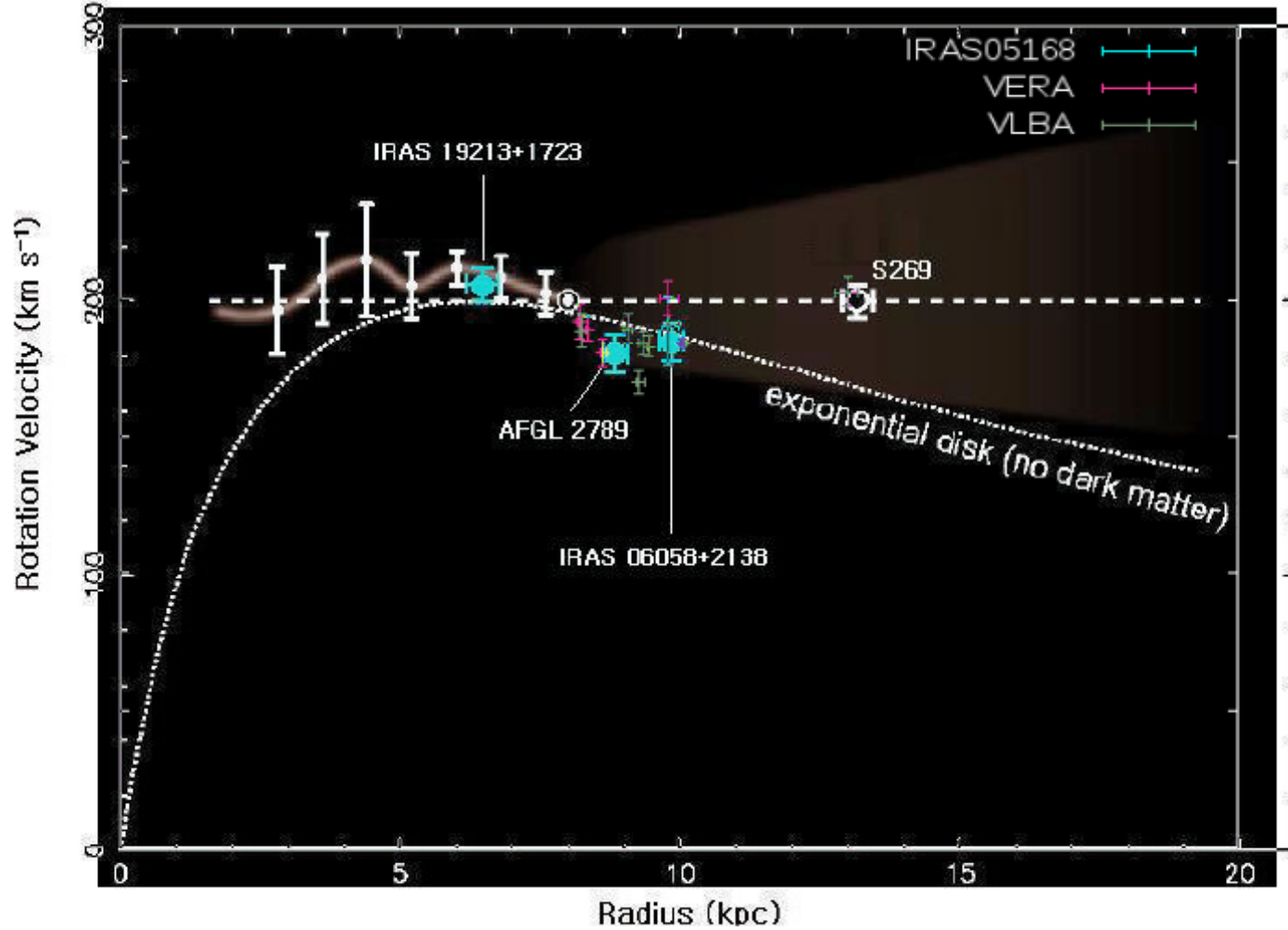


回転速度= 191^{+11}_{-14} km / s



5. 議論：銀河系の回転曲線

VLBAによる外縁部回転曲線、銀河系外縁部回転曲線



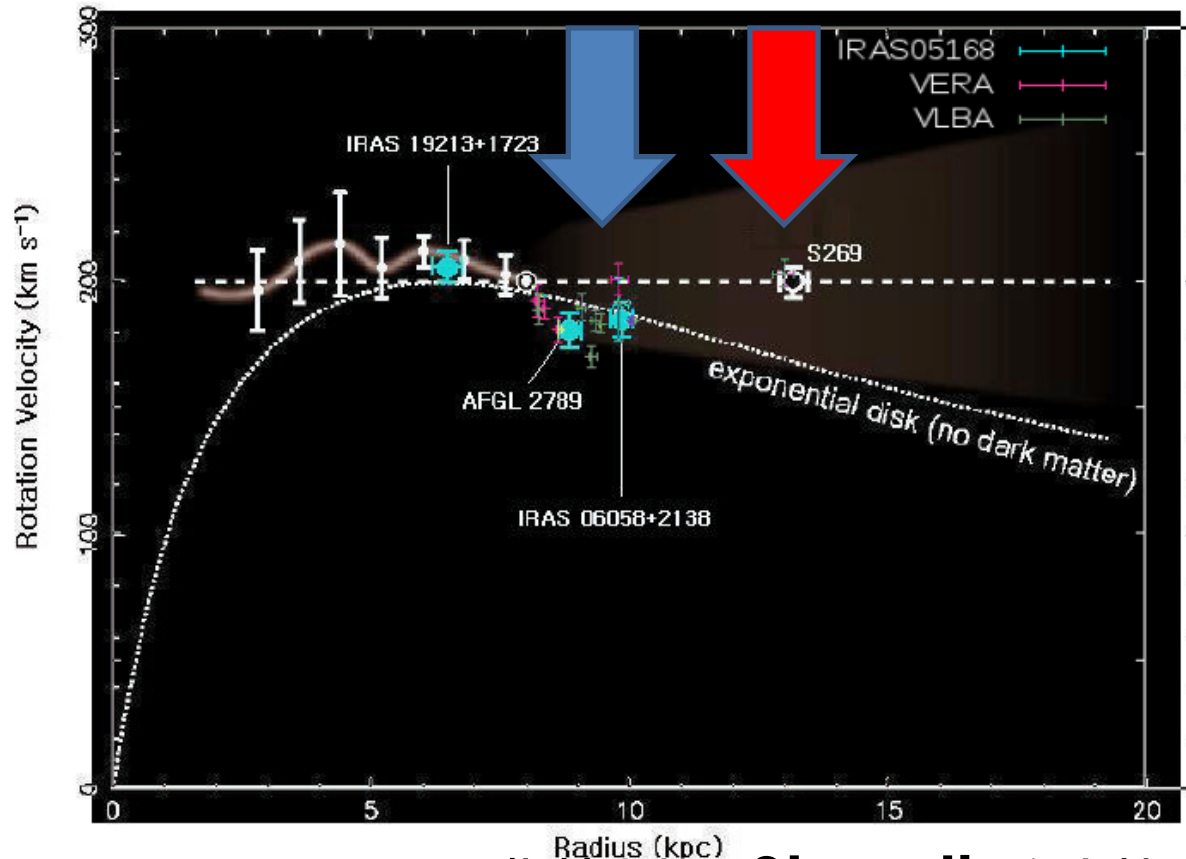
クハロ一部



5. 議論：銀河系の回転曲線

VERA(8天体)+VLBA(7天体)による外縁部回転曲線.

Honma et al., (2003), Oh et al., (2010), IRAS 05168(初期成果), そして、Reid et al., (2009)より



・上の結果は、Sofue et al., (2009)で指摘された**9kpc-dip**を支持する？

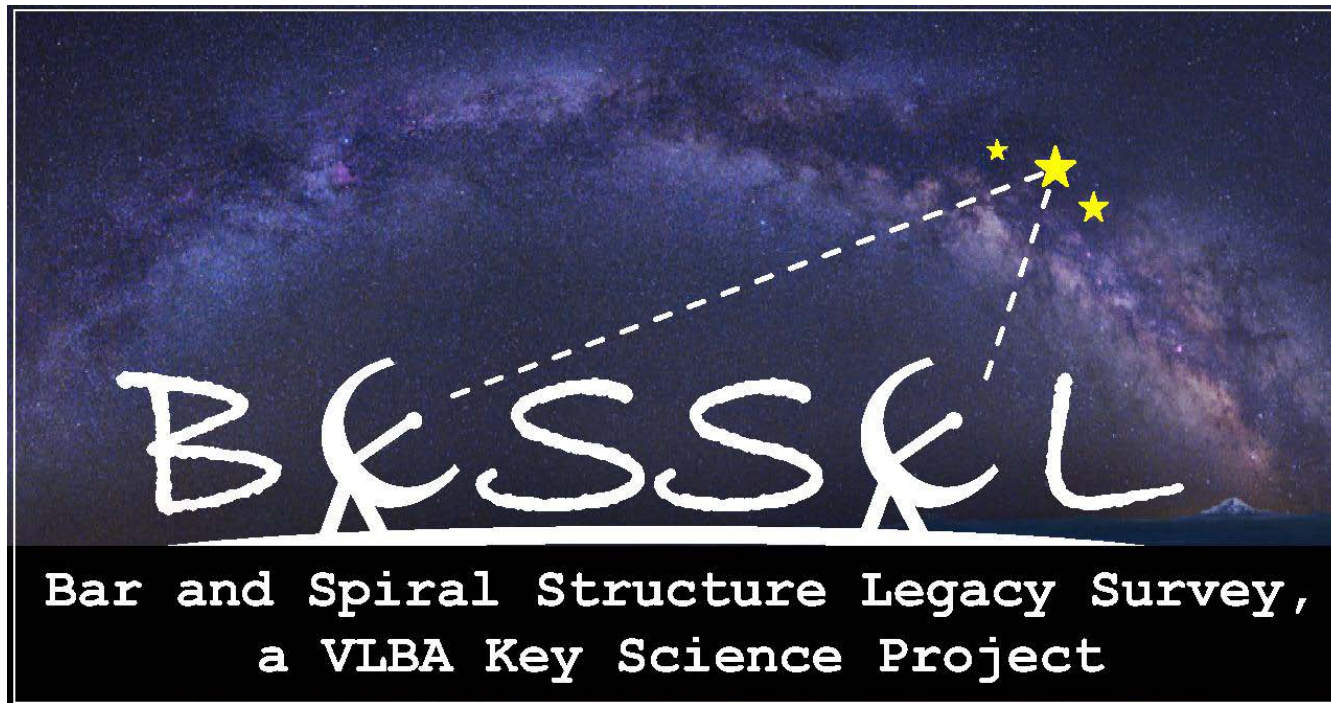
・同様に、S269(Honma, et al., 2007)で言われた、

約13kpcでの平坦な回転曲線を支持する!!

∴(WB89-437, Hachisuka et al., 2009)



6. 今後：国際競争



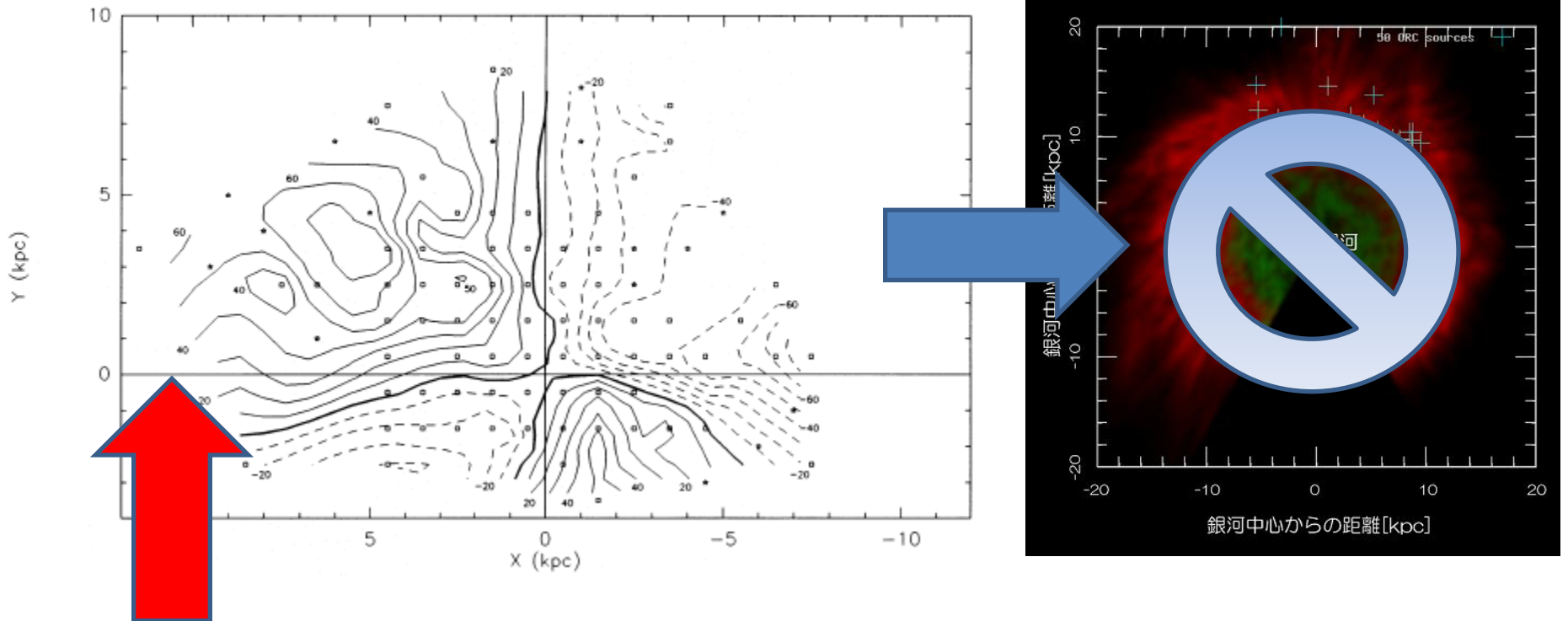
- ・2010~2015年の間に、400を超える大質量星形成領域の精密位置天文を行う、VLBAのレガシーサーベイ!
- ・基本的な情報である**Rotation Curve**については勿論明記!!



6. 今後：回転曲線の応用案

1. 非円運動の議論

Nakanishi, et al., (2003 & 2006)のISM図の改訂



・Brand & Blitz (1993)で示された、測光学的距離と分子雲の視線速度を基にした銀河系の速度場.

・改訂速度場に、ガス密度(HI, CO)を重ねて、渦巻き腕や、連続の式(質量保存)の議論へ繋がられないか.



おしまい

- Thank you for your listening!
- With the many more parallaxes and proper motions expected in the next few years from **VERA** and VLBA telescopes, we should be able to make considerable progress in refining the **rotation curve of the Milky Way.**

(Reid et al., (2009)の語順を変えた)

REFERENCES

- 現代の天文学4巻, 5巻, 16巻
- 銀河系と銀河宇宙、岡村定矩
- NGC3198--http://www.google.co.jp/imglanding?q=NGC3198&imgurl=http://www.spiegelteam.de/CCD-Aufnahmen/ngc3198.jpg&imgrefurl=http://www.spiegelteam.de/ngc3198.htm&h=802&w=1200&sz=305&tbnid=4q2rO2nqADYhSM:&tbnh=100&tbnw=150&prev=/images%3Fq%3DNGC3198&hl=ja&usg=__59zLx4x_Lmt_MlqKAsYepYZ6p5k=&sa=X&ei=Z_9pTJTDAof8uAOk8pn-Aw&ved=0CB0Q9QEwAA&start=0#tbnid=wG-YTjIintH10M&start=2

.Brand & Blitz, 1993

- Honma et al., 1997, 2003
- Sofue et al., 1999, 2009
- Reid, et al., 2009
- Wikipedia
- 体重計<http://eshop.central.co.jp/measurement/shape/hk50030.html>
- VERAのHP: <http://veraserver.mtk.nao.ac.jp>
- 宇宙科学, 蜂巢泉
- BESSELのページ:<http://www.mpifr-bonn.mpg.de/staff/abrunthaler/BeSSeL/index.shtml>