

VERAによるOuter Rotation Curveプロジェクトの成果報告

坂井 伸行¹, 中西 裕之², 松尾 光洋², 小出 凖人², 手塚 大介², 倉山 智春³, VERA project member



¹国立天文台, ²鹿児島大学, ³帝京科学大学

Abstract

nobuyuki.sakai@nao.ac.jp

多くの円盤銀河で、回転速度測定(回転曲線)に基いた質量分布の研究が行われてきたが、天の川銀河は外から観測できない特殊な銀河の為、これまで質量分布を精度良く求める事が出来なかった。

我々は2007年より、VERAによる位置天文観測から精密距離測定を行う事で、天の川銀河の精密回転曲線を構築してきた。本ポスターでは、これまで得られた質量分布に関する研究成果に加え、同じ観測データを用いて行った派生的な研究結果についても紹介する(①Local armの構造; ②Galactic warp; ③渦状腕理論の検証)。

2022年までには500天体規模の観測を終え、質量分布と銀河形態の関連や、局所ダークマター密度が明らかになる。

背景：大量のダークマターの発見 & 天の川銀河の回転曲線

1914年: V.M.Slipherが円盤銀河の光学分光観測を行い、銀河の回転運動を検出。

1931年: Karl G.Janskyが宇宙電波を初めて観測し、星が光っていない領域まで広がっているガスが観測可能に。

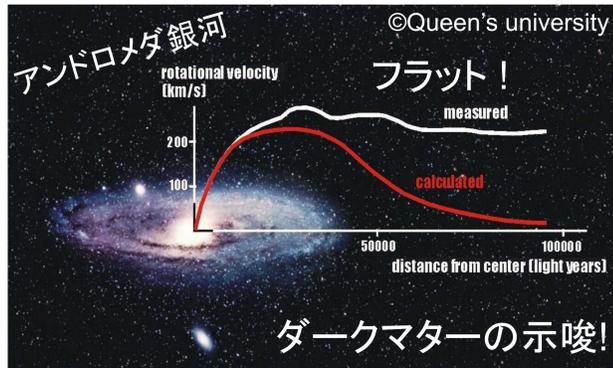
力学平衡(遠心力=重力)の仮定の下、円盤銀河の質量分布の研究が行われる。

$$M(R) = \frac{RV^2}{G} \propto RV^2, \quad R: \text{銀河中心からの距離}, \quad V: \text{回転速度}, \quad G: \text{重力定数}$$

1970年代: Vera C.Rubinらが、アンドロメダ銀河(お隣の銀河)の回転速度の一定性を指摘

---> **ダークマターの発見!**

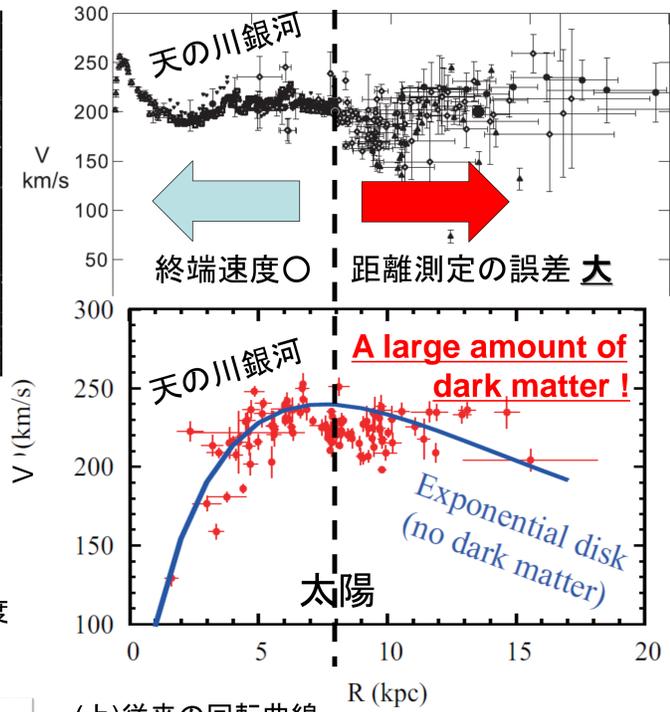
私たちが住んでいる天の川銀河の質量分布は? 我々が銀河の中に住んでいるので、個々の天体までの距離測定に大きな不定性があり、これまで精度良く質量分布の研究が行えなかった。



アンドロメダ銀河の、回転速度(V) vs 半径(R) **回転曲線と呼ばれる。**

赤線: 星の輝度が質量に比例していると仮定して得られたモデル(十分外側ではケプラー回転 = $V \propto R^{-1/2}$ に従う)。

白線: 実際の観測結果。星が無い領域でも回転速度が一定 -----> **大量のダークマターの示唆**



(上)従来の回転曲線

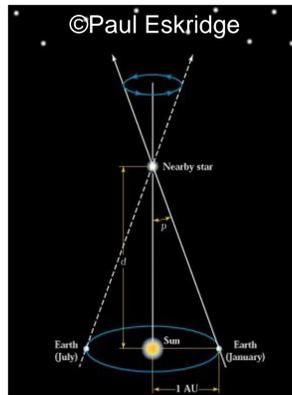
(下)VLBI位置天文観測から得られた回転曲線

研究目的 & 手法：VERAによる銀河系回転曲線の構築

天の川銀河の質量分布を求める為に、VERAによる高精度距離測定(位置天文観測)を、数百天体に対して行う。

回転速度の最大値は、銀河の形態(ハッブル分類)と関連していると言われており(e.g., Rubin et al. 1978)、VERAの観測結果を用い、天の川銀河の形態(3次元構造)と運動の関連も明らかにしていく。

太陽近傍でのダークマター質量密度も推定出来るので、近年素粒子分野で行われているダークマター直接検出実験(e.g. XMASS実験)の際には、検出率の見積もりに貢献できる。また、ダークマターの物理パラメータ(e.g. 衝突断面積)の推定の際には、質量密度を高精度決定する事で、パラメータ空間を絞った上での推定が可能になる。



年周視差の原理

地球の公転運動を利用して、銀河系の天体を1年間に渡って観測。

天体が天球面(空)の上を楕円運動し、楕円の長軸半径が年周視差。

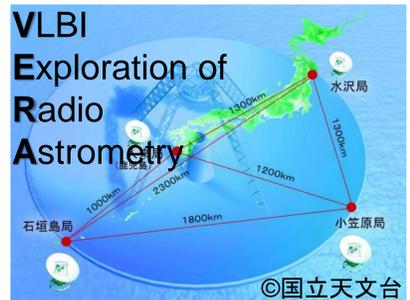
$$D = \frac{1 \text{ AU}}{\pi}$$

D: 天体までの距離

π : 年周視差

AU: 地球-太陽間距離

銀河系天体までの距離は遠いので、年周視差は大半の天体でミリ秒角を下回る。銀河系で距離測定を行うには、視力6万(1ミリ秒角に相当)程度の観測装置が必要。

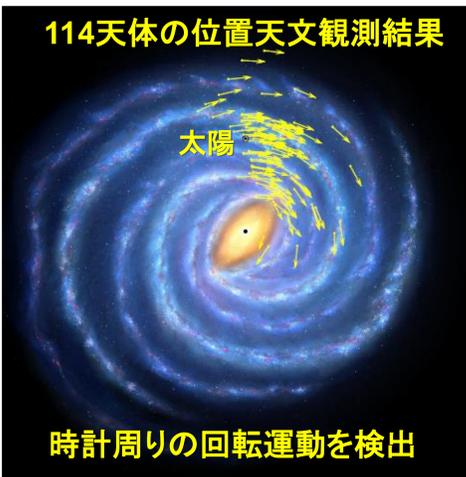


VERA望遠鏡 視力5万の

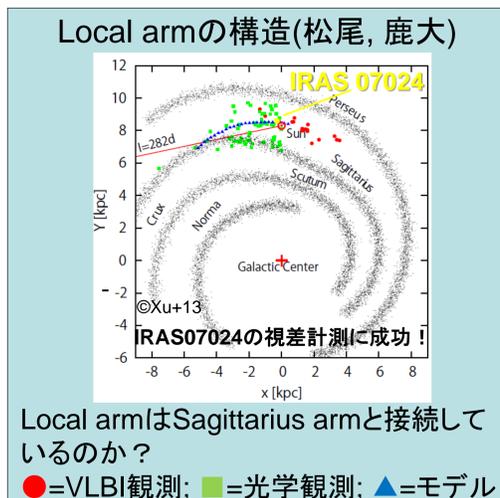
結果 & 考察 & 今後

天の川銀河位置天文観測の現状

位置天文観測結果から、他の様々な研究議論も可能に!



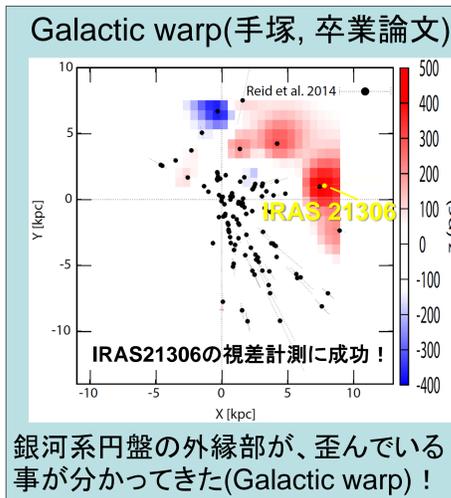
114天体の位置天文観測の結果を、天の川銀河の想像図に重ねている。矢印は天体の運動ベクトルを表し、整然と銀河回転している様子が見て取れる。得られた位置天文観測の結果を用い、回転曲線を作成した(“背景”の右下図を参照)。



Local armはSagittarius armと接続しているのか? ●=VLBI観測; ■=光学観測; ▲=モデル

Cloud-cloud collisionによる誘発的星形成の観測的示唆!

小出さん(鹿児島大)のポスター発表を参照



銀河系円盤の外縁部が、歪んでいる事が分かってきた(Galactic warp)!

2014年にはVERAや米国のVLBAの結果をまとめた論文が出版された(Reid et al. 2014)。その結果、アンドロメダ銀河などと同様に、天の川銀河においても、回転速度がR=15 kpc=約4万9千光年までは一定で、ダークマター無しモデルでは説明できない事が分かった。

VERAは2022年までに500天体規模の観測を終え、質量分布と銀河形態との関連、太陽近傍のダークマター質量密度、更には銀河系構造を明らかにする。

