

1. 概要

・天体の三角視差を高精度に観測することで、銀河系の質量分布を力学的に明らかにしたい。これが筆者の研究の動機である。これは銀河系で支配的であると言われるダークマターの分布を詳細にする事であり、近年盛んである重力マイクロレンズ現象を用いた MACHO 探査などとも相補的な研究である。それ以外にも銀河系天体の三角視差を測り距離を明らかにする事は、例えば他の基本的な物理量(光度、速度、力学質量など)とも密接に関連し、極めて基本的かつ重要な研究であると言える。そこで私はこれまで三角視差を高精度に測る為、VERAを用いた **Outer Rotation Curve** プロジェクトを推進中であるので紹介する。

・2009/10/03 より三角視差法を用いた干渉計観測を行っており、具体的に 7 天体について観測・解析を行えている。

・今回は初期成果として IRAS 05168 という 1 天体の結果について報告する。年周視差=0.65±0.12mas(ミリ秒角)で、エラーは 18%である。これは過去の同様の研究結果(Oh et al., 2010)と矛盾しない結果である。今後としては、観測・解析を継続する事で精度を上げていく事を予定している。

・今回紹介できなかった残りのプロジェクト天体についても、今後随時報告していく。繰り返しになるが、銀河系天体の 3 次元運動・距離を明らかにする事で力学的質量を求める事は、他の物理量との関連もあり極めて重要な研究である。国際的にも SIM や GAIA と言った次世代の衛星計画が同様の科学目標を有しており、イニシアチブを取れるようプロジェクトを精力的に進めていかなければならない。

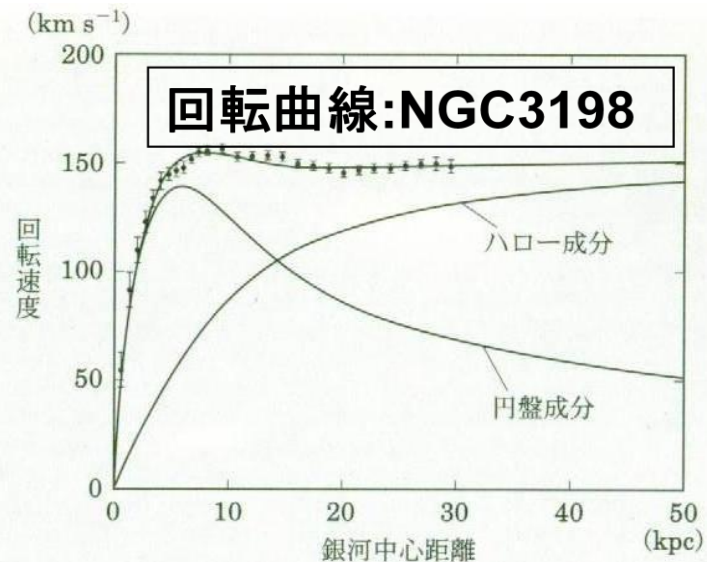
2. 紹介:回転曲線

質量を求める有用なツールである回転曲線を紹介する。これは(図.1)に示しているが、横軸に銀河中心からの距離、縦軸に天体の回転速度を示している。ここで例えば球対称な質量分布を仮定した場合、以下の式と組み合わせることで、ある距離までに含まれる銀河の総質量が求められる。

∵重力と遠心力の釣り合いより、

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

これまで回転曲線を用いた系外の渦巻き銀河の観測結果からは、上式から導かれるケプラー運動(速度が距離のマイナス 1/2 乗に比例する.)からの逸脱として、**平坦な回転曲線**があげられる。これは銀河中心距離に比例して質量が増加する事を示唆し、銀河の質量分布を考える上で多量のダークマター分布が必要である事を示唆してきている。



誤差棒付きの点—HIの観測で得られた

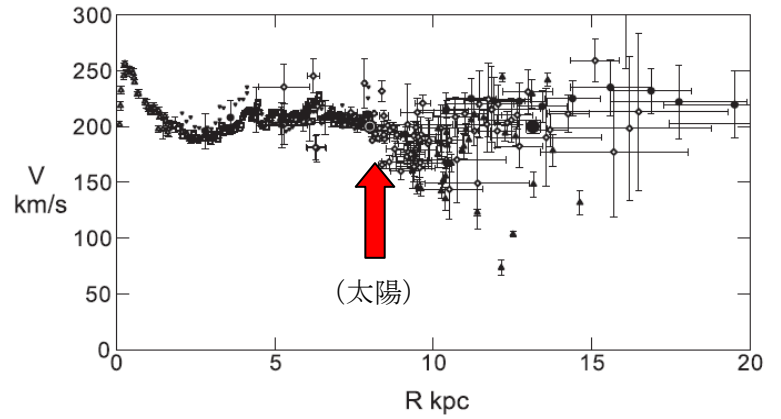
(図 1. 回転曲線.現代の天文学第 4 巻参照)

2. 紹介:VERA

先ほどの回転曲線の議論を銀河系で行う場合、観測上の制約で全体が精度よく求められていない。一つの原因は、天体までの距離の不定性があり、特に太陽より外側領域の回転曲線はエラーが大きい(図.2 参照)。

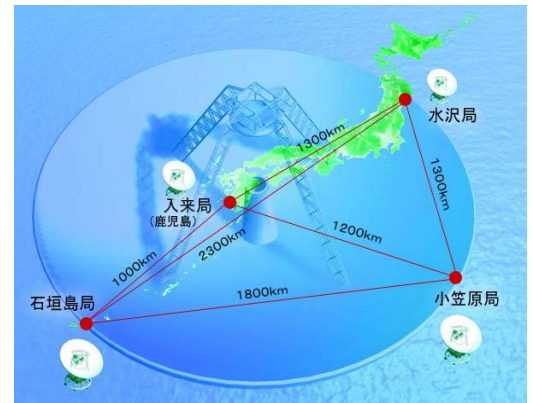
ここで VERA プロジェクトの紹介を行う。これは銀河系内天体の位置と運動を明らかにする位置天文プロジェクトである。特筆すべきは干渉計を構成する事で、目標位置精度 10 マイクロ秒角を掲げている。これは 10kpc の距離を 10%のエラーで測れる事を意味し、銀河系の回転曲線を構築する上で極めて有効なプロジェクトである(図.3 参照)。

そこで私は、銀河系の回転曲線を VERA で構築し、銀河系の質量分布を明らかにすると言う、Outer Rotation Curve プロジェクトを行っている。



(図 2. Sofue, et al., 2009 より銀河系回転曲線)

(図 3. VERA アレイ. VERA の HP より)



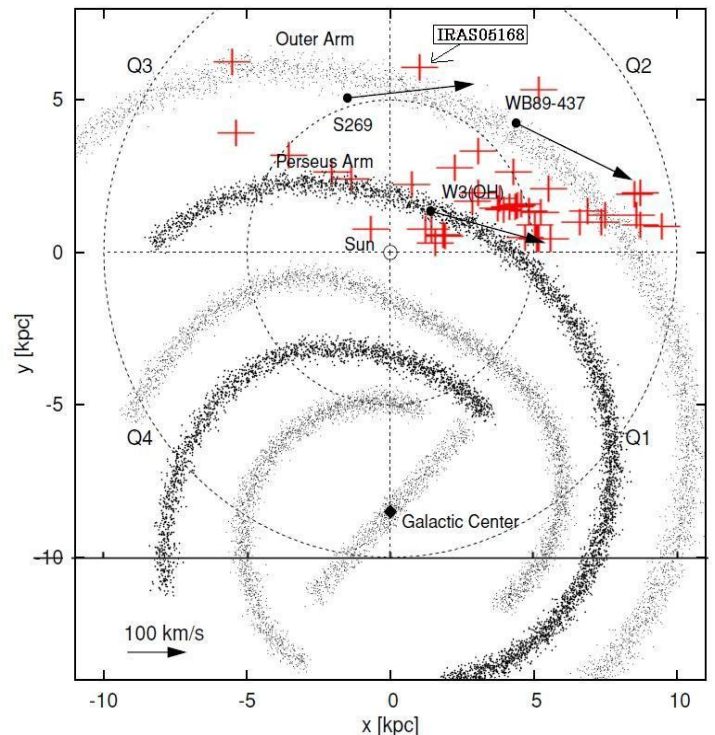
3. 観測方法:天体選別→VLBI 観測

VERA で観測を行う天体は、水メーザーを放射している天体で、観測周波数は、22.235080GHz に相当する。よって天体選別は水メーザーカタログを参照し (Sunada et al., 2007 など)、かつ銀河座標の第二・第三象限に位置し、銀緯が $\pm 10^\circ$ 以内であることなどを選別条件に加えた。それらを運動学的距離と言う別の方法で得られた距離に基づき銀河図上に重ねたのが、(図.4)である。赤の十字がプロジェクト天体である。

4. 観測結果:IRAS 05168+3634

図 5 にこれまでのプロジェクト全体の観測状況を示している。この中で比較的観測・解析の進捗が良い IRAS 05168 という天体について、今回は結果を紹介する。

銀河概観図では、Outer arm に位置する(ただし運動学的距離)天体で、Wang, et al., (2009)の CO マップ上では、分子コアと水メーザーの分布が一致した。



(図 4. Georgelin & Georgelin, 1976 の銀河系概観図上に、プロジェクト天体 50 天体を重ねた。)

観測天体名(IRAS)	観測回数(回)	観測開始時期 or その他
04579+4703	2	2010/03/21～
05168+3634	6	2009/10/03～
07024-1102	2	2010/03/29～
21379+5106	4	2009/11/06～
22480+6002	4	2009/12/12～
22555+6213	1	2010/05/28～
23385+6053	3	レーザー非検出で観測不可

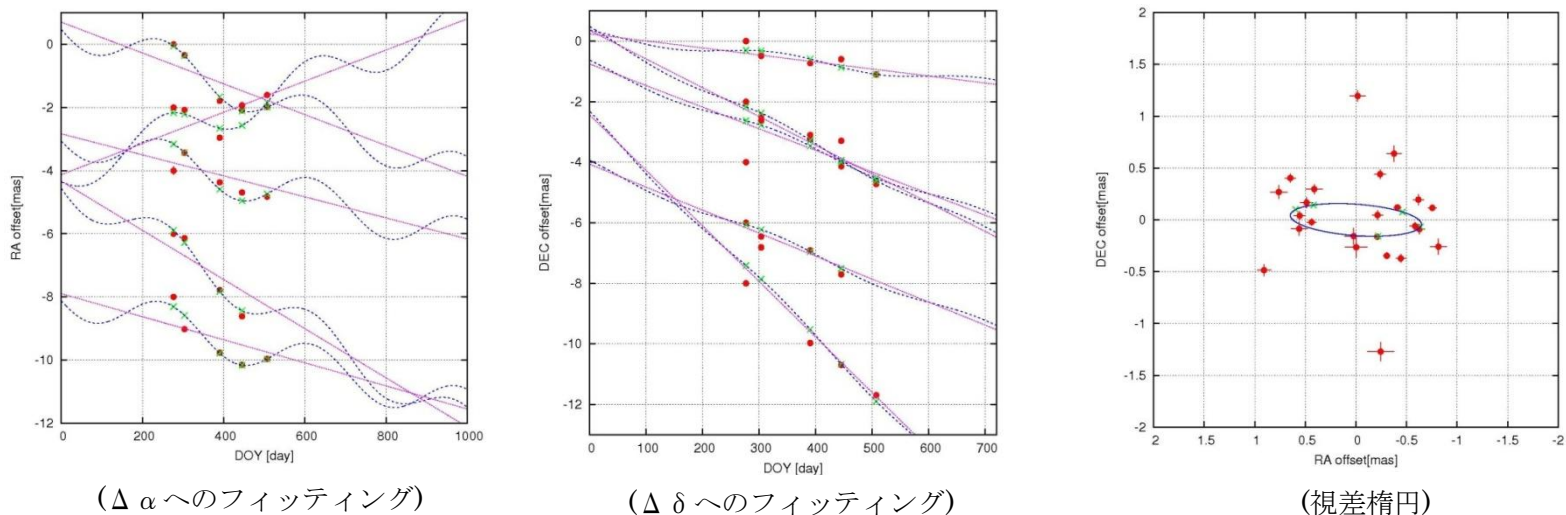
(2010/8/21 時点)

(図 5. Outer Rotation プロジェクトの観測状況)

4. 観測結果:年周視差と固有運動のフィッティング

IRAS 05168 の 8 カ月 5 観測のデータに対し、年周視差と固有運動のフィッティングを行った(下に並べた図 6 参照)。

視差楕円の縦軸のエラーが大きい事に対しては、これまで VERA のデータで赤緯方向のエラーが大きい事が何度か示唆されてきている(Honma et al., 2007 など)。赤緯方向のエラーの主要因は大気の高みの違いによるエラーだと考えられるので、今後データを何らかの形で補正しなければいけないが、補正前の結果を使い回転速度を求めると、 $190^{+9}_{-14} [km/s]$ と得ることに成功した。



年周視差=0.65±0.12 mas

距離= $1.54^{+0.35}_{-0.24} kpc$



回転速度= $190^{+9}_{-14} km/s$

($\mu_{R.A.}, \mu_{Decl.}$)=(-1.2±0.7, -3.0±1.0)[mas/yr]

(図 6. 年周視差・固有運動のフィッティングの結果)

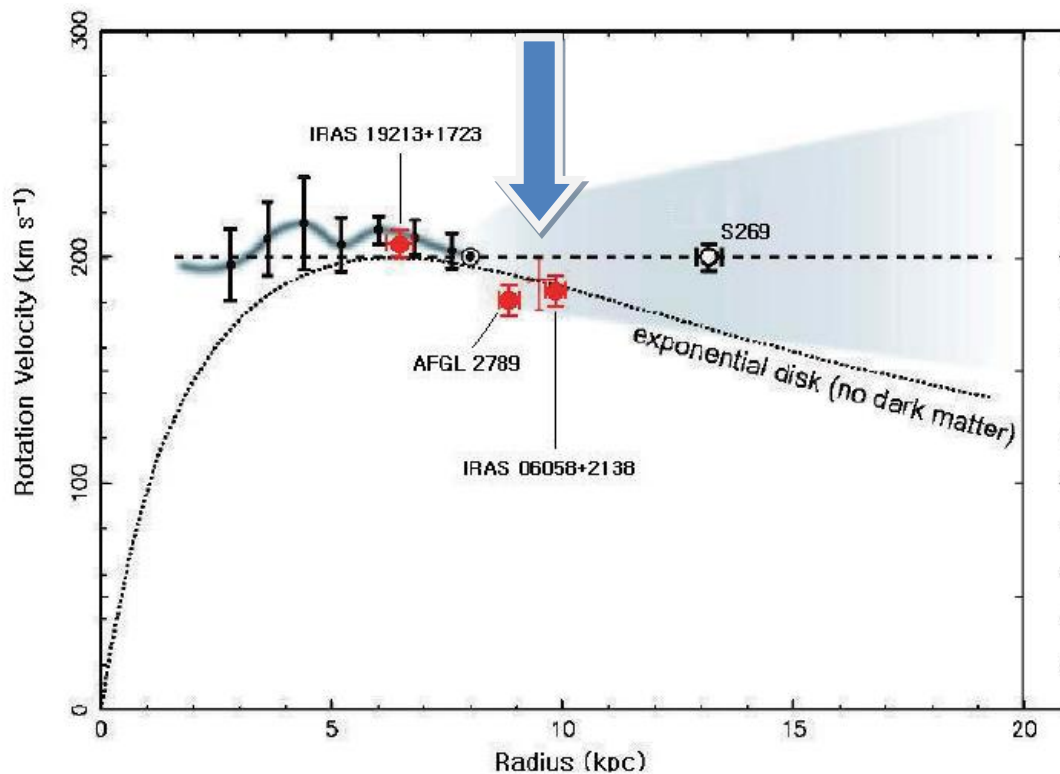
5. 議論と今後:銀河系外縁部回転曲線

今回 VERA で得られた IRAS 05168 の初期成果と、同様に VERA の結果である Oh, et al., (2010) の結果を以下に示す(図 7 参照)。今回の IRAS 05168 の結果は Oh et al., (2010)の結果に対し連続的であり、エラーは大きいと同様の結果を示している。今後は更に観測・解析を継続する事でエラーを小さくしていく。

更には他のプロジェクト天体についても随時結果を報告する事で、銀河系外縁部回転曲線の構築、その先の質量分布の議論に繋げて行きたい。議論の一例としては、

- i) 回転曲線と銀河の局所的な構造との議論
- ii) 果たしてどこまで銀河系回転曲線は平坦なのか?
- iii) 非円運動の議論

と言った事が考えられ、プロジェクト最終段階としては、観測的にも理論的にも大きな飛躍が期待される。



(図 7. Oh et al., 2010 の回転曲線に、IRAS 05168 の結果を重ねた)