

VLBI を用いた最新の銀河系の構造解析について

倉持 一輝 (国立天文台)

Abstract

太陽系が位置する天の川銀河 (銀河系) は、宇宙を構成する基本要素の 1 つである銀河を知る為に重要なもので、今まで様々な観測、解析が行われてきた。特に、2000 年代から世界各国の超長基線干渉計 (VLBI) を用いる事で、銀河系の構造や動力学の解析が行われている。

本講演では、Reid et al. (2009)、Honma et al. (2012)、Reid et al. (2014) の 3 本を主にレビューしながら、現在の銀河系の構造解析の現状を述べていく。

また、これらの論文の今後の課題で述べられている内の 1 つである、天体の位置誤差の問題の解決の糸口となると思われる、“メーザー源を用いたビーム内位相補償”について、講演者は現在 VERA で研究を行っている。最後にこの研究についても発表したい。

1 Introduction

太陽系が位置する銀河系は、宇宙を構成する基本要素の 1 つである銀河を知る為に重要なものである。現在、銀河系は中心に棒状構造を有し、その周りを渦状腕が取り囲む棒渦巻銀河に分類されている。この構造は The Georgelin & Georgelin et al. (1976) で提唱されており、以降電波を用いた様々な観測、解析が行われてきた。

銀河系の解析には、動力学の解析と構造解析の 2 種類がある。これらの解析には、銀河系の回転運動やガス、星の三次元位置等が必要で、天体の正確な 3 次元上の位置及び運動 (視線速度) の測定が不可欠である。

天体の距離決定には、古くは測光距離 (The Georgelin & Georgelin et al. 1976) や運動学的距離 (Nakanishi et al. 2003) 等が用いられてきた。しかし、これらは銀河面上に多く分布するダストによる減光の影響や、銀河系が円運動をしているという仮定を置かなければならない等、問題点があった。そこで、現在では年周視差を用いた幾何学的距離を測定し、天体との距離としている。これは、年周視差を使う事で上記の様な事を考慮せず距離が決定出来る為である。年周視差は非常に小さい為、VLBI による高分解能の観測が必要となる。その為、2000 年代から世界各国の VLBI を用いたメーザー源の観測をする事で、銀河系の構造や動力学の解析が行わ

れている。

2 Observations and Model

Observations 渦状腕では星形成が活発であるとされている為、大質量星形成領域 (HMSFRs) に付随するメーザー源を対象天体としている。測定量としては、i) 天球面上の位置、ii) 年周視差、iii) ドップラーシフト、iv) 固有運動、の 4 つがある。これらの情報を元に、天体の 3 次元上の位置及び運動を決定して。また、表 1 からわかるように、銀河系の構造解析には天体数が重要な鍵となっている。

表 1: 各論文の天体数

論文	天体数
Reid et al. 2009	18 天体
Honma et al. 2012	52 天体
Reid et al. 2014	100 天体以上

Model 各論文では、回転曲線やパラメーター等に違いがある。表 2 に示す。

表 2: 各論文のモデル

	Reid et al. 2009	Honma et al. 2012	Reid et al. 2014
回転曲線	多項式モデル	べき乗モデル/多項式モデル	多項式モデル
追加で考慮されているパラメーター	メーザー源の平均固有運動	メーザー源の固有運動/太陽の回転方向の速度	メーザー源の平均固有運動/太陽の運動
解析方法	最小二乗法	Markov chain Monte Carlo method (MCMC 法)	
回転モデル	軸対象の円運動をするモデルに対して、摂動を加えたモデル		

3 Results

銀河回転パラメーター 銀河回転パラメーターは、銀河中心から太陽系までの距離 (R_0) 及び地球の回転速度 (Θ_0) があり、IAU では 8.5 kpc 及び 220 km/s を推奨値としている。表 3 に、各論文の結果を示す。表 3 を見ていただくとわかる様に、IAU の推奨値と

表 3: 各論文の銀河回転パラメーター

	Reid et al. 2009	Honma et al. 2012	Reid et al. 2014
R_0 (kpc)	8.4 ± 0.6	8.1 ± 0.5	8.3 ± 0.2
Θ_0 (km/s)	254 ± 16	238 ± 14	240 ± 8

は大きく異なる。特に、回転速度の変化は、ダークマターの質量に寄与してくると考えられている。Reid et al. (2014) では IAU の推奨値に比べ 20 km/s 増えている。これはダークマターの質量が 30% 増える事になる。

回転曲線への制限 図 3 に最新の結果を示す。Reid et al. (2009) では一部分がフラットになる事しかわからなかったが、Reid et al. (2014) では銀河中心から 5~16 kpc の間がフラットになる、という所までわかっている。

渦状腕の構造 具体的には、ピッチ角の計測が行われている。Reid et al. (2009) では 3 本であったのが、Reid et al. (2014) では 5 本まで増えている。表 2 及び図 2 に最新の結果を示す。

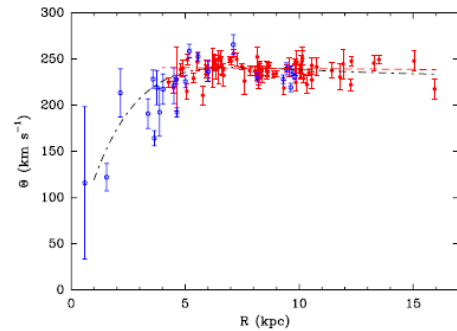


図 1: 回転曲線 (Reid et al. 2014)

表 4: 最新のピッチ角の計測結果

腕の名前	ピッチ角 ($^{\circ}$)
Perseus arm	9.4 ± 1.4
Local arm	12.8 ± 2.7
Outer arm	13.8 ± 3.3
Scutum arm	19.8 ± 2.6
Sagittarius arm	6.9 ± 1.6

4 Future work

今後、銀河系の構造解析を進めていく上で、a) 天体数の増加、b) 個々の天体の位置精度の向上、の 2 つは重要な課題となっている。特に、国立天文台が所有する VERA は世界各国が有する VLBI の中でも位置天文学において秀でており、銀河系の構造解析を今後進めていく上で、VERA を用いてメーザー源の解析を行う事で重要で (b) の問題を解決できるのではないかと考えた。天体の信号が地球に届く際、大気によって信号に揺らぎが起こる。この揺らぎが

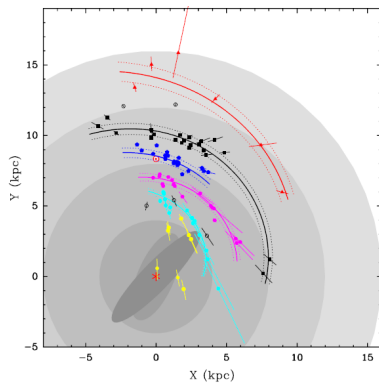


図 2: ピッチ角 (Reid et al. 2014)

天体の位置精度に悪影響を与えており、出来るだけ精度よく取り除く事が重要となる。VERA では、2 ビームを用いて片方でメーザー源、もう片方で大気の揺らぎを取り除く為の位相参照天体を観測する事で、大気の揺らぎを取り除いている。しかし、メーザー源と位相参照天体の距離 (離角) が数度程度で、約数十 μ as の位置誤差が出ていた (Honma et al. 2008)。そこで講演者は、”メーザー源を用いたビーム内位相補償”により、現在この問題に対して取り組んでいる (図??)。”メーザー源を用いたビーム内位相補償”というのは、i) メーザー源自身で大気の揺らぎを取り除く、ii) メーザー源から数分以内に存在する、絶対位置の分かっている天体との離角を計測する事で、メーザー源の位置を求める、というもので、これにより位置誤差は約 1/60 程度まで抑える事が出来る。

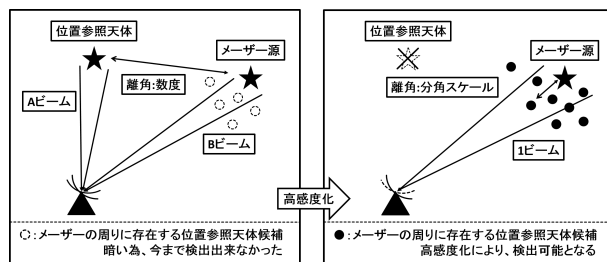


図 3: 従来の相対 VLBI とビーム内位相補償の違い

Acknowledgement

基礎物理学研究所 (研究会番号: YITP-W-15-04)
及び国立天文台からのご支援に感謝いたします。

Reference

Mareki Honma, Yoshiaki Tamura, Mark. J. Reid 2008, PASJ

M. J. Reid, K. M. Menten, & A. Brunthaler 2009, APJ

Mareki Honma, Takumi Nagayama, & Kazuma Ando 2012, PASJ

M. J. Reid, K. M. Menten, & A. Brunthaler 2014, APJ