

論文内容の要旨

論文題目

The Spiral Structure of the Milky Way Galaxy Traced by VLBI Astrometry of Massive Star-forming Regions (大質量星形成領域の VLBI 位置天文観測による銀河系渦状腕構造の研究)

氏名 佐藤真弓

我々の太陽系の属する銀河である銀河系（天の川銀河）は渦巻銀河であることが知られている。渦巻銀河の渦状腕は星形成が活発な領域で、高温の若い大質量星が周囲のガスを電離して出来る HII 領域によって渦状腕の形を辿ることができる。半世紀以上にわたって銀河系渦状腕について数多くの研究がなされてきたが、我々自身が円盤内に位置するため、銀河系の3次元構造を明らかにするのは非常に困難であり、渦状腕の基本構造（腕の本数、ピッチ角など）についても、いまだに研究者間の見解が一致していない。銀河系の渦状腕構造の解明が困難である最大の要因は、渦状腕を描く HII 領域までの正確な距離が求まっていないことである。可視光波長での測光学による距離計測は、銀河系円盤方向には円盤中の星間ダストによって遮られ、数 kpc 以内でしか用いることができない。一方、電波観測で広く用いられる運動学的距離は、銀河回転の円運動モデルから天体の速度がずれた際に非常に大きな距離誤差につながる問題点がある。銀河系の真の構造を解明するためには、仮定を含まず直接的な、かつ、正確な距離計測が肝要である。

本研究の目的は、VLBI（超長基線電波干渉法）の高い位置天文学精度を用いて、HII 領域に付随する星形成領域にある強い電波源（メーザー天体）の年周視差を直接計測し、HII 領域によって形作られる銀河系の渦状腕構造を明らかにすることである。年周視差（距離）計測と同時に天球面上の天体の絶対位置と絶対運動が求まるため、視線速度と合わせて、天体の3次元位置と3次元運動という完全な情報が得られ、銀河系渦状腕の構造と運動を調べることができる。本研究では、日本の VERA 望遠鏡と米国の VLBA 望遠鏡を用いて、大質量星形成領域5天体（NGC 281、G14.33-0.64、W51 Main/South、OH 43.8-0.1、G45.07+0.13）に付随する 22 GHz 水メーザー源の年周視差計測に成功した。検出した年周視差はそれぞれ、NGC 281 が 0.355 ± 0.030 mas（距離 2.82 ± 0.24 kpc）、G14.33-0.64 が 0.893 ± 0.101 mas（距離 1.12 ± 0.13 kpc）、W51 Main/South が 0.185 ± 0.010 mas（距離 $5.41^{+0.31}_{-0.28}$ kpc）、OH 43.8-0.1 が 0.166 ± 0.007 mas（距離 $6.02^{+0.27}_{-0.24}$ kpc）、G45.07+0.13 が 0.168 ± 0.010 mas（距離 $5.95^{+0.38}_{-0.33}$ kpc）である。

年周視差計測において、W51 Main/South、OH 43.8-0.1 や G45.07+0.13 のように赤緯が $+10^\circ$ 前後の天体については、アンテナ仰角約 30° 以下の位置誤差の大きいデータを使わないことによって、位置計測の精度が最大で 4 倍程度向上することが実験によってわかった。

NGC 281 は銀河面から約 300 pc 離れた星形成領域で、円盤中の複数の超新星爆発によって生じたスーパーバブルの中で誘発的星形成が起きたと見られる興味深い天体である。本研究で計測した距離 2.82 ± 0.24 kpc より、この天体はペルセウス腕の far-side に位置すると考えられる。NGC 281 内に検出したすべてのメーザーが系統的に銀河面から更に遠ざかる運動を示しており、銀河面に対して垂直方向の速度成分は約 20 km s^{-1} である。これは、NGC 281 が円盤内の爆発起源であることを示唆する最も直接的な証拠である。スーパーバブルの膨張速度は銀河面に平行ならびに垂直方向ともにそれぞれ約 20 km s^{-1} と見積もられ、そこから得られるタイムスケールはともに約 20 Myr で一致している。NGC 281 の水メーザー年周視差計測で求めた距離と運動から、NGC 281 スーパーバブルの立体構造は銀河面に対して平行方向に扁平で約 650 pc の直径を持つと見られ、バブルの膨張が円盤中の磁場によって円盤方向に拘束されている可能性が考えられる。

本研究で求めた G14.33-0.64 の距離 1.12 ± 0.13 kpc から、いて座腕までの距離は運動学的距離の 2-3 kpc より近く、約 1 kpc の距離であると考えられる。したがって、Taylor & Cordes (1993) の銀河系渦状腕モデルにおける銀河系中心方向へのいて座腕の非軸対称な凹みは、運動学的距離の誤差によるものである可能性が高い。また、W51 はいて座腕の tangent point (接点) 付近、すなわち太陽-W51-銀河系中心が直角をなす位置に近いと視線速度から示唆されるので、本研究で計測した W51 の距離から幾何学的に、銀河系中心までの距離を $R_0 = 8.3 \pm 0.46$ (statistical) ± 1.0 (systematic) kpc と見積もった。

我々は、VERA と VLBA による最新の結果を合わせて、本研究で計測した 5 天体を含む 31 の星形成領域の年周視差・固有運動から、各天体の位置と銀河系回転に対する特異運動を求めた (図 1)。本研究のいて座腕 4 天体においては、G45.07+0.13 と W51 Main/South は特異運動が小さく円軌道と見られるのに対し、OH 43.8-0.1 と G45.07+0.13 は大きな特異運動を持っている。渦状腕全体の運動を見たとき、ペルセウス腕といて座腕の天体は銀河系回転に対して平均 $\bar{V}_{\text{src}} \approx -20 \text{ km s}^{-1}$ と大きな特異運動を持っている。一方、オリオン腕と外縁部腕は特異運動が小さく、銀河系回転モデルで用いた円運動と一致している。また、回転曲線 (図 2 上) に対する直線フィッティングにより、LSR における銀河系回転速度は、 $\Theta_0 \approx 230 \text{ km s}^{-1}$ と求めた。

我々はまた、3 つの銀河系渦状腕 (いて座腕、ペルセウス腕、オリオン腕) のピッチ角 i をフィッティングにより求めた (図 2 下)。得られた結果は、いて座腕が $i = 14^\circ 3 \pm 3^\circ 2$ 、ペルセウス腕が $i = 14^\circ 2 \pm 5^\circ 7$ 、オリオン腕が $i = 27^\circ 8 \pm 6^\circ 5$ 、いて座腕-オリオン腕が $i = 26^\circ 3 \pm 1^\circ 7$ である。いて座腕とペルセウス腕のピッチ角は銀河系の 4 本腕モデル (Vallée 1995) とよく一致している。オリオン腕はおそらく、いて座腕から W51 や G45.07+0.13 の位置付近で分岐していると考えられる。あるいは、他の可能性として、いて座腕-オリオン腕とした領域はオリオン腕に属し、いて座腕が内側の渦状腕 (たて・みなみじゅうじ腕) からより大きなピッチ角 $i = 36^\circ 4 \pm 10^\circ 3$ で分岐していることも考えられる。今後さらに銀河系内縁部の年周視差計測天体数を増やすことで、渦状腕の分岐点が正確に求まると期待される。

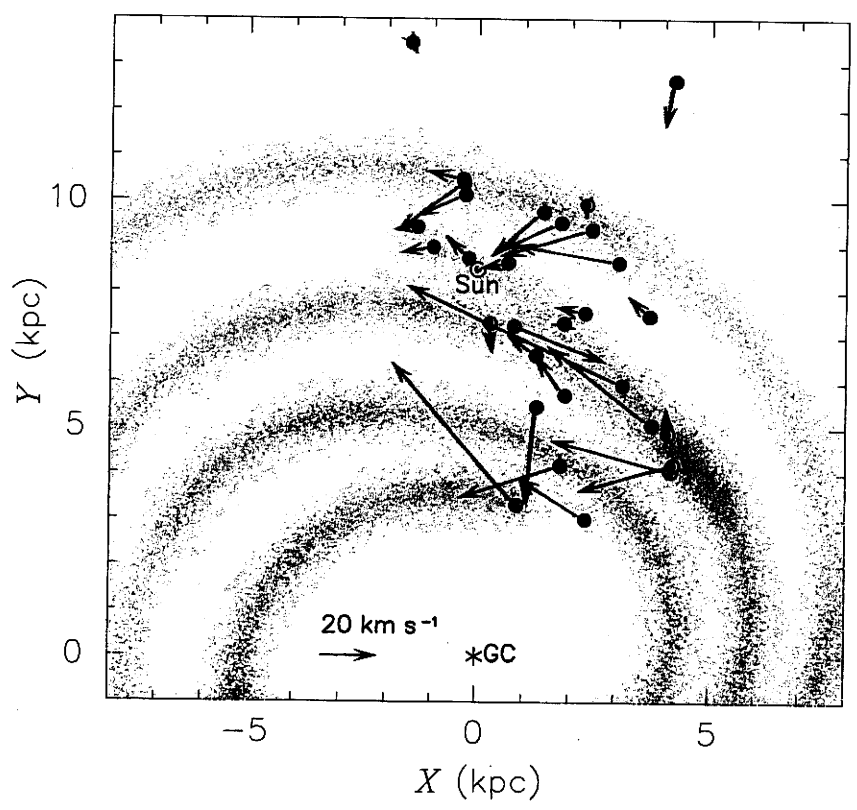
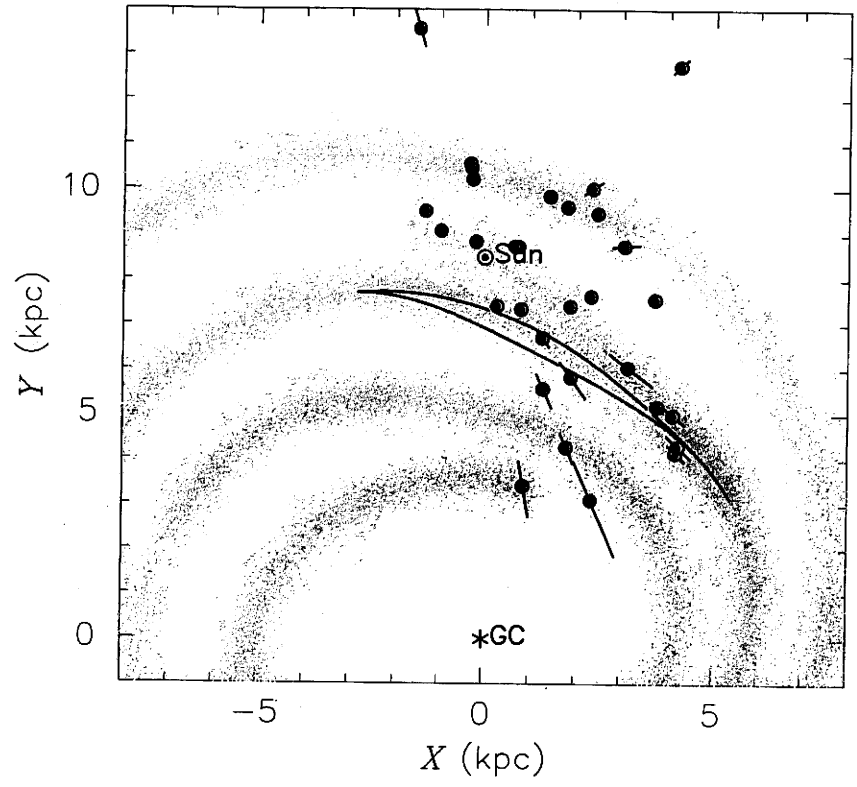


図1 (上) VERA と VLBA で計測された年周視差にもとづく 31 の星形成領域の銀河系内の位置分布。本研究の 5 天体は赤丸で示されている。(下) 銀河系回転モデルに対する各天体の特異運動。

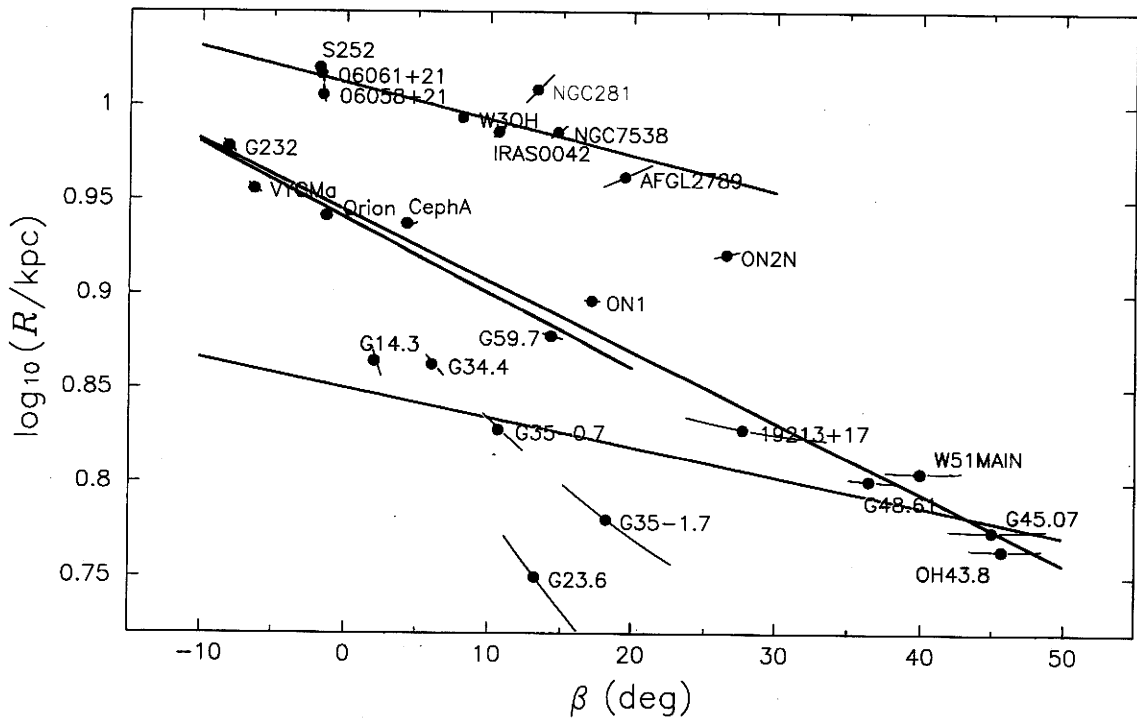
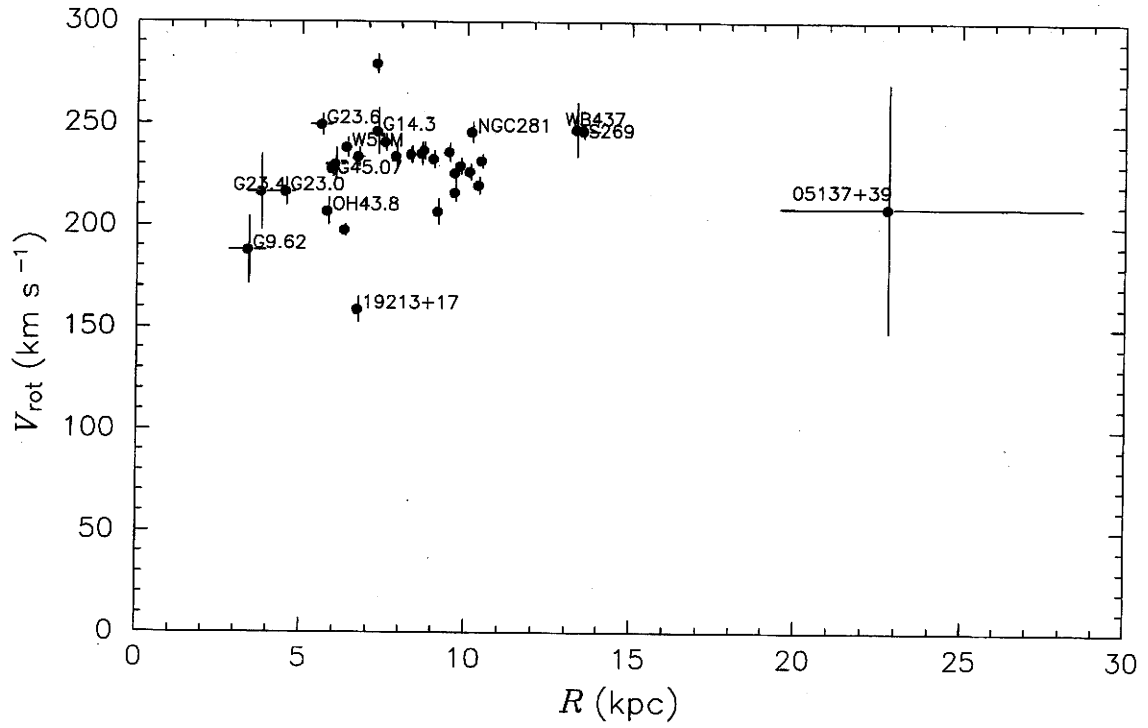


図2 (上) 銀河系中心からの距離 R に対する各天体の回転速度。 $R_0 = 8.4$ kpc を仮定した。(下) 渦状腕ごとのピッチ角フィッティング。直線の傾きがピッチ角に対応している。