

電波再結合線を用いた銀河中心ローブの観測

窪瀬 雄三, 藤沢 健太, 名越 遥 (山口大学)

Abstract

天の川銀河の中心には銀河中心ローブ (GCL) と呼ばれる特異な構造が存在する。GCL は、過去の研究では銀河回転と同じ向きに運動速度を持つとされ、山口 32 m 電波望遠鏡によるこれまでの観測でも GCL の電波再結合線の視線速度はローブの東側で正、西側で負という、銀河回転と同じ向きであった。また、その速度は ± 10 km/s 程度であった。今回我々は、山口 32 m 電波望遠鏡では初めての観測となる銀緯 0.60° ($-0.87^\circ < \text{銀経} < 0^\circ$) と銀緯 0.65° ($-0.87^\circ < \text{銀経} < 0.33^\circ$) の領域の 4' 間隔の密なサンプリング間隔での電波再結合線観測に成功した。観測結果から、銀緯 0.60° と 0.65° の電波再結合線のローブの西側で正の視線速度を持っていることがわかり、銀緯 0.60° より北側では銀河回転とは一致しない運動をしている可能性があることが示唆された。したがって、GCL の形成モデルはこれまで議論されているようなモデルでは説明できない可能性がある。

1 背景

銀河中心ローブは、野辺山 45 m 電波望遠鏡による 10 GHz サーベイ観測により発見された [1]。GCL には、銀河回転と同じ向きに $-150 \sim +100$ km/s で回転する分子ガスが存在し [2]、GCL の東側では直線偏波が観測されている [3]。

これまで我々は、山口 32 m 電波望遠鏡を用いて GCL の電波再結合線観測をしてきた。過去の他の望遠鏡による観測では粗いサンプリング間隔での観測しかされていないが、山口 32 m 電波望遠鏡を用いた観測は、 $0.15^\circ < \text{銀緯} < 0.50^\circ$ の領域を銀経方向に 4'、銀緯方向に 3' の密なサンプリング間隔で H92 α 線スペクトルを観測している。この観測の結果、GCL のローブの東西で特徴が異なっていることが発見された。ローブの東側では、シンクロトロン放射領域が存在し、高エネルギー電子と磁場が存在しており、また、電波連続波放射が強い領域よりも西側に電波再結合線放射のピークが存在することがわかっている。ローブの西側では、電波連続波放射に沿うように電波再結合線放射が分布しており、特に銀緯 0.45° 付近でのアンテナ温度が目立って高く、電離ガスが多く分布していることが示唆されている。この東西で特徴が異なるということから、GCL 形成モデルとして東西独立モデルが指摘されている [4]。しかし、GCL の形成モデルはまだ明らかになっておらず、他にもスターバーストによるアウトフローに起因するスターバーストモデル [5]、銀河中心の磁場によって吹き上げられたガスジェットに起因するジェットモデルなどが議論されている。この形成モデルを明らかにするためには、GCL 全体の詳細な構造を明らかにしなければならない。そのため、山口 32 m 電波望遠鏡を用いてこれまでに観測されている領域のさらに高銀緯の領域について電波再結合線による観測を行った。

2 観測

観測の概要を Table 1 に示す。2011 年度の山口 32 m 電波望遠鏡の観測よりも高銀緯にあたる領域 ($-0.87^\circ < \text{銀経} < 0^\circ$ 、銀緯 0.60° と、 $-0.87^\circ < \text{銀経} < 0.33^\circ$ 、銀緯 0.65°) を銀経方向に 4' のサンプリング間隔で観測した。また、2011 年度の観測と比較するため、銀緯 0.50° ($-0.87^\circ < \text{銀経} < 0.33^\circ$) の領域を観測した。

3 結果

山口 32 m 電波望遠鏡を用いて銀緯 0.60° ($-0.87^\circ < \text{銀経} < 0^\circ$) と、銀緯 0.65° ($-0.87^\circ < \text{銀経} < 0.33^\circ$) の領域での H92 α 線スペクトルの検出に成功した。得られたスペクトルをガウシアンフィッティングし、アンテナ温度 [K] と視線速度 [km/s] の値をそれぞれ得た。過去の観測で得られている領域を含め、山口 32 m 電波望遠鏡で電波再結合線観測がされた $-1^\circ < \text{銀経} < 0.53^\circ$ 、 $0.15^\circ < \text{銀緯} < 0.65^\circ$ の領域で、アンテナ温度と視線速度の分布を縦軸を銀緯 [$^\circ$]、横軸を銀経 [$^\circ$] としてプロットしたものを Fig. 1 に示す。ただし、アンテナ温度が 2σ 以下の場合には電波再結合線未検出としてアンテナ温度と視線速度をプロットしていない。Fig. 1 のうち、今回の観測のデータを使用したのは銀緯 0.50° ($-0.87^\circ < \text{銀経} < 0.33^\circ$)、銀緯 0.60° ($-0.87^\circ < \text{銀経} < 0^\circ$)、銀緯 0.65° ($-0.87^\circ < \text{銀経} < 0.33^\circ$) である。銀緯

Table 1 観測の概要

望遠鏡	山口 32 m 電波望遠鏡 (ビームサイズ 4.2')
観測日時	2012 年 8 月 7-11, 15-19, 22-31 日, 9 月 1 日
観測領域	銀緯 0.50° , $-0.87^\circ < \text{銀経} < 0.33^\circ$ 銀緯 0.60° , $-0.87^\circ < \text{銀経} < 0^\circ$ 銀緯 0.65° , $-0.87^\circ < \text{銀経} < 0.33^\circ$ OFF 点 (銀経 0.5° , 銀緯 2.0°)
サンプリング間隔	銀経方向に 4'
観測周波数	8309.38 MHz (H92 α)
周波数帯域	32 MHz (8293.0-8325.0 MHz)
観測方法	ポジションスイッチング 1 点につき ON 点 1 分間, 移動 20 秒, OFF 点 1 分間, 移動 20 秒を 45 回 (計 2 時間)
積分時間	1 点につき 45 分
円偏波	右旋回, 左旋回
検出感度 (2σ)	8 mK
速度分解能	1.12 km/s

0.45° より南側のデータは、既に過去の観測で得られたデータを用いている。

アンテナ温度の分布を見ると、銀緯 0.50° より南側では、銀経 -0.6° と 0° 付近でアンテナ温度が周囲に比べて高くなっていった。今回観測した銀緯 0.60° 、 0.65° でも、アンテナ温度の分布は銀経 -0.7° と 0° 付近で周囲より高くなっていったため、過去の観測と同様な結果が得られた。しかし、視線速度の分布は銀緯 0.50° より南側では東側で正の値、西側で負の値であったが、銀緯 0.60° 、 0.65° の観測では西側でも正の視線速度を持つ結果が得られた。

4 考察

山口 32 m 電波望遠鏡で新しく観測された領域である銀緯 0.60° ($-0.87^\circ < \text{銀経} < 0^\circ$) と銀緯 0.65° ($-0.87^\circ < \text{銀経} < 0.33^\circ$) について考察する。過去の観測ではアンテナ温度は、銀緯 0.50° より南側では、銀経 -0.6° 付近と 0° 付近に強度のピークが存在していた。Fig. 2 は、銀緯 0.60° と 0.65° のアンテナ温度を各銀経ごとに平均したものを示している。この平均したアンテナ温度の分布でも、銀経 -0.7° 、 0° 付近でアンテナ温度が他の銀経よりも高くなっていることがわかる。このことより、GCL の電波再結合線のローブが銀緯 0.65° までは続いていることが考えられた。視線速度の分布は過去の観測と異なっていた。銀緯 0.50° より南側では、GCL の東側で正の視線速度を持ち、西側では負の視線速度を持つという銀河回転と同じ向きに速度を持っていた。Fig. 3 に各銀経ごとの平均の視線速度の分布を示す。Fig. 3 (左) が今回観測した銀緯 0.60° と 0.65° だけの視線速度を平均したものであり、Fig. 3 (右) が過去に山口 32 m 電波望遠鏡で観測された銀緯 0.15° から 0.50° の視線速度を平均したものである。(右) を見ると、東から西へ速度の勾配が見られるのに対して、(左) を見ると速度勾配はなく、西側でも正の視線速度を持っている。ここで、過去の研究で議論されてきた GCL 形成モデルは、どの銀緯においても運動の向きは東側で正、西側で負の銀河回転と同じ速度構造を持つ必要があるが、今回観測した領域ではこの条件には当てはまらず、銀河回転とは一致しない運動をしている可能性が考えられる。これより、GCL はこれまでに議論されてきたようなモデルでは説明できない可能性を示唆する。

5 まとめと今後

山口 32 m 電波望遠鏡で GCL の銀緯 0.60° ($-0.83^\circ < \text{銀経} < 0^\circ$) と銀緯 0.65° ($-0.83^\circ < \text{銀経} < 0.33^\circ$) の領域の電波再結合線観測を初めて行い、再結合線のローブが銀緯 0.60° と 0.65° でも存在することを確認した。今回観測した領域では視線速度の分布が過去の観測結果と異なっていることを確認し、GCL はこれまでに議論されてきたようなモデルでは説明できない可能性を示唆した。今後は、今回よりもさらに高銀緯の領域でも密な観測を行い、GCL 全体の速度

構造などを議論して、GCL の形成モデルを明らかにしたい。

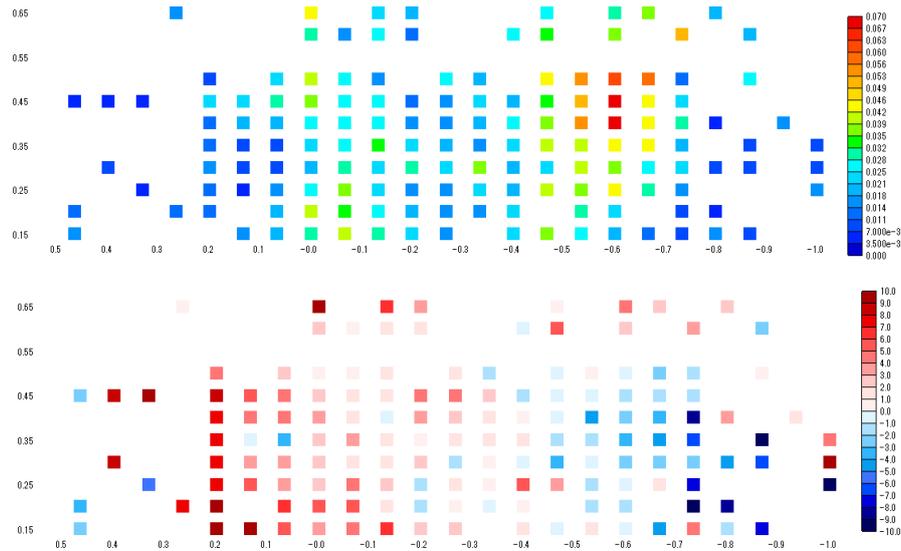


Fig. 1 電波再結合線のアンテナ温度、視線速度のそれぞれの分布を縦軸に銀緯 $[\circ]$ 、横軸に銀経 $[\circ]$ として表したプロット図。範囲は $-1^\circ < \text{銀経} < 0.53^\circ$ 、 $0.15^\circ < \text{銀緯} < 0.65^\circ$ である。今回の観測で新たに追加された領域は銀緯 0.50° ($-0.83^\circ < \text{銀経} < 0.33^\circ$)、銀緯 0.60° ($-0.83^\circ < \text{銀経} < 0^\circ$)、銀緯 0.65° ($-0.83^\circ < \text{銀経} < 0.33^\circ$) である。銀緯 0.45° より南側は既に過去の観測で得られたデータを用いている。ところどころ点のない場所は、電波再結合線が未検出 (アンテナ温度 2σ 以下) もしくは観測されていない場所である。(上) : アンテナ温度 [K] の分布 (最大 0.07 K、最小 0 K) を示す。(下) : 視線速度 [km/s] の分布 (最大 10 km/s、最小 -10 km/s) を示す。

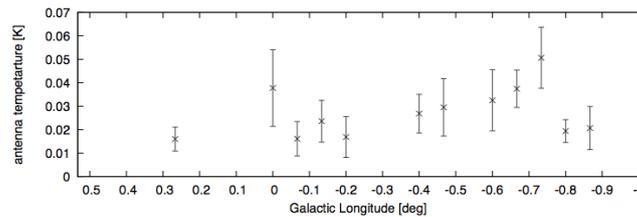


Fig. 2 銀緯 0.60° と 0.65° のアンテナ温度を各銀経で平均したグラフ。縦軸はアンテナ温度 [K]、横軸は銀経 $[\circ]$ を示す。

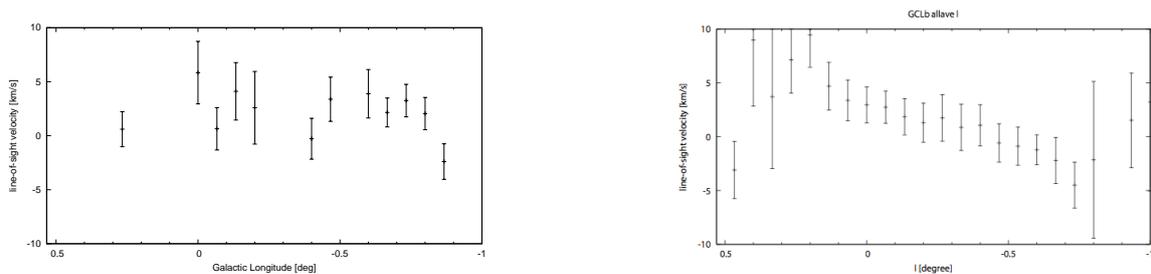


Fig. 3 視線速度の各銀経ごとの平均のグラフ。縦軸は視線速度 [km/s]、横軸は銀経 $[\circ]$ を示す。(左) : 今回観測した銀緯 0.60° と 0.65° の視線速度の分布を各銀経で平均したものを示す。(右) : 2011 年度に観測された銀経 0.15° から 0.50° までの視線速度の分布を各銀経で平均したもの [4] を示す。

参考文献

- [1] Sofue & Handa 1984 Nature, 310, 568
- [2] Sofue 1996 ApJ, 459, L69
- [3] Tsuboi et al. 1986 AJ, 92, 818T
- [4] 名越 2011, 山口大学修士論文
- [5] Veilleux et al. 2005 ARA&A, 43, 769