

はじめに

中性水素原子から放出される波長約21cm(約1420.4MHz)の電波を水素21cm線と呼ぶ。中性水素原子は銀河系に多く存在しているため、水素21cm線を観測することで銀河系の概形や回転速度などを調べることができる。水素21cm線の観測には電波望遠鏡が使われる。しかし電波望遠鏡は高価なものが多く、我々高校生が扱うのは困難である。そこで安価かつ簡単に水素21cm線の観測環境を整えるために、プラスチック段ボールを用いて電波望遠鏡を製作した。

研究目的

自作電波望遠鏡を用いて水素21cm線の観測を行い、銀河系の構造を捉える。また、電波観測をより身近なものにし、一般の人々がより電波天文学の発展に寄与できるようにする。

観測準備

反射鏡の製作

プラスチック段ボールを用いて直径80cm、深さ16cmの放物面を作り、表面にアルミホイルを貼ってパラボラアンテナの反射鏡を製作した(図1)。接着にはグルーガンと両面テープを用いた。製作した反射鏡は三脚に固定した。



図1 製作した反射鏡

受信機器の準備

パソコンにソフトウェア無線機(RTL-SDR)と、アンプ(SAWbird+H1)を2個接続した。受信部分は同軸ケーブル(ECX 5D-2C)の先から5.25cm分の被覆を、カッターナイフで切り取って中の銅線をむき出しにし、折り曲げたものを使用した^[1](図2)。

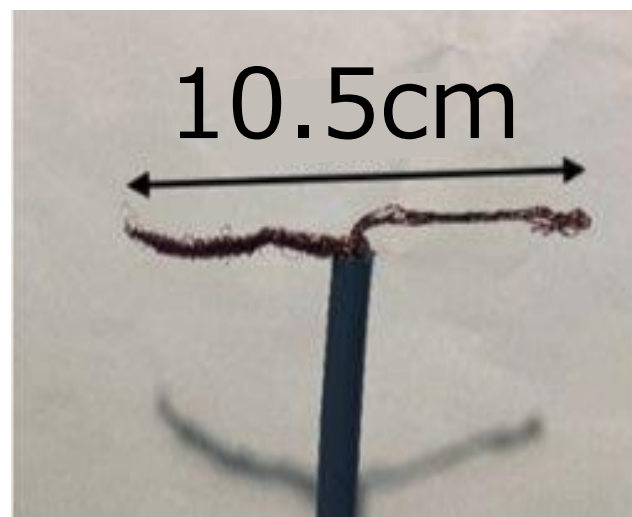


図2 受信部分

観測

観測方法

反射鏡と受信機器を接続し反射鏡を観測対象に向けた。今回は銀経30度、45度、60度、75度、90度それぞれに対し、銀緯0度、±10度、±20度、±30度の方向を対象として観測した。

観測結果

電波望遠鏡を向けたすべての方向で、水素21cm線を観測できた。観測データのベースラインは、使用した機器の特性により右肩上がりまたは左肩上がりとなったため、一次関数で近似して補正した。例として図3、図4に銀経75度、銀緯0度の結果を示す。中性水素ガスが多くあると相対電波強度が強くなるため、相対電波強度が強く山のようになっている部分は、水素ガスが多くある場所から届いた水素21cm線を示している。

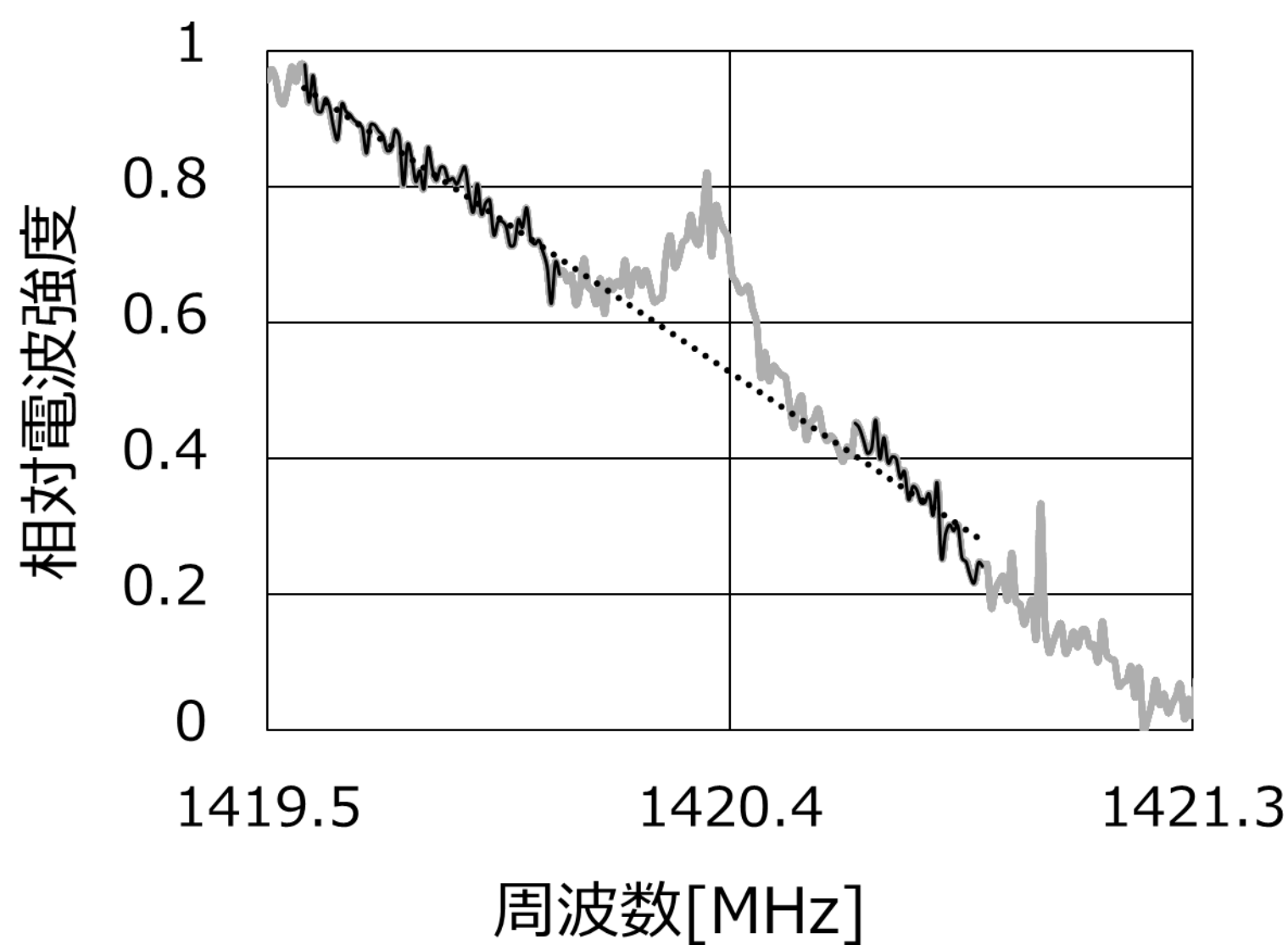


図3 観測結果

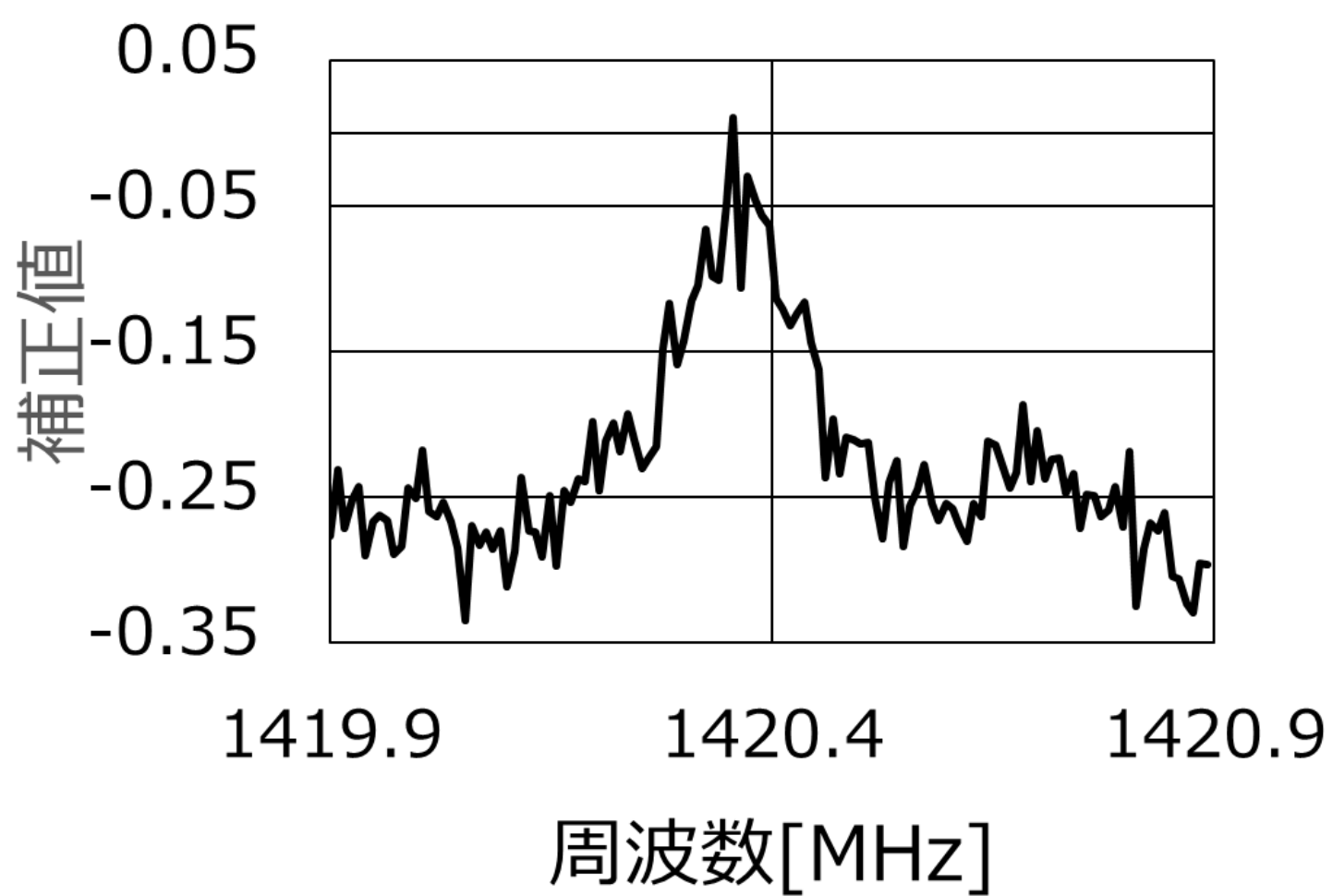


図4 補正後

観測データの解析

速度計算

観測データから補正後の電波強度が強くなっている部分の周波数を読み取り、ドップラー効果から地球と中性水素ガス雲の相対速度を求めた。速度の基準を銀河にするため、地球の自転と公転をPython^[2]を用いて補正した。

水素ガス雲の位置の特定

中性水素ガス雲の位置を求めるために、先行研究^[3]の銀河系の平面モデル(図5)を参考にして、銀河系を立体的に捉えるモデル(図6)を考案した。銀河面から離れた場所にある中性水素ガス雲は、銀河面にある中性水素ガス雲と同じように回転していると仮定してモデルを考えた。

観測データから求めた速度を用いて中性水素ガス雲の太陽からの距離を求めた。

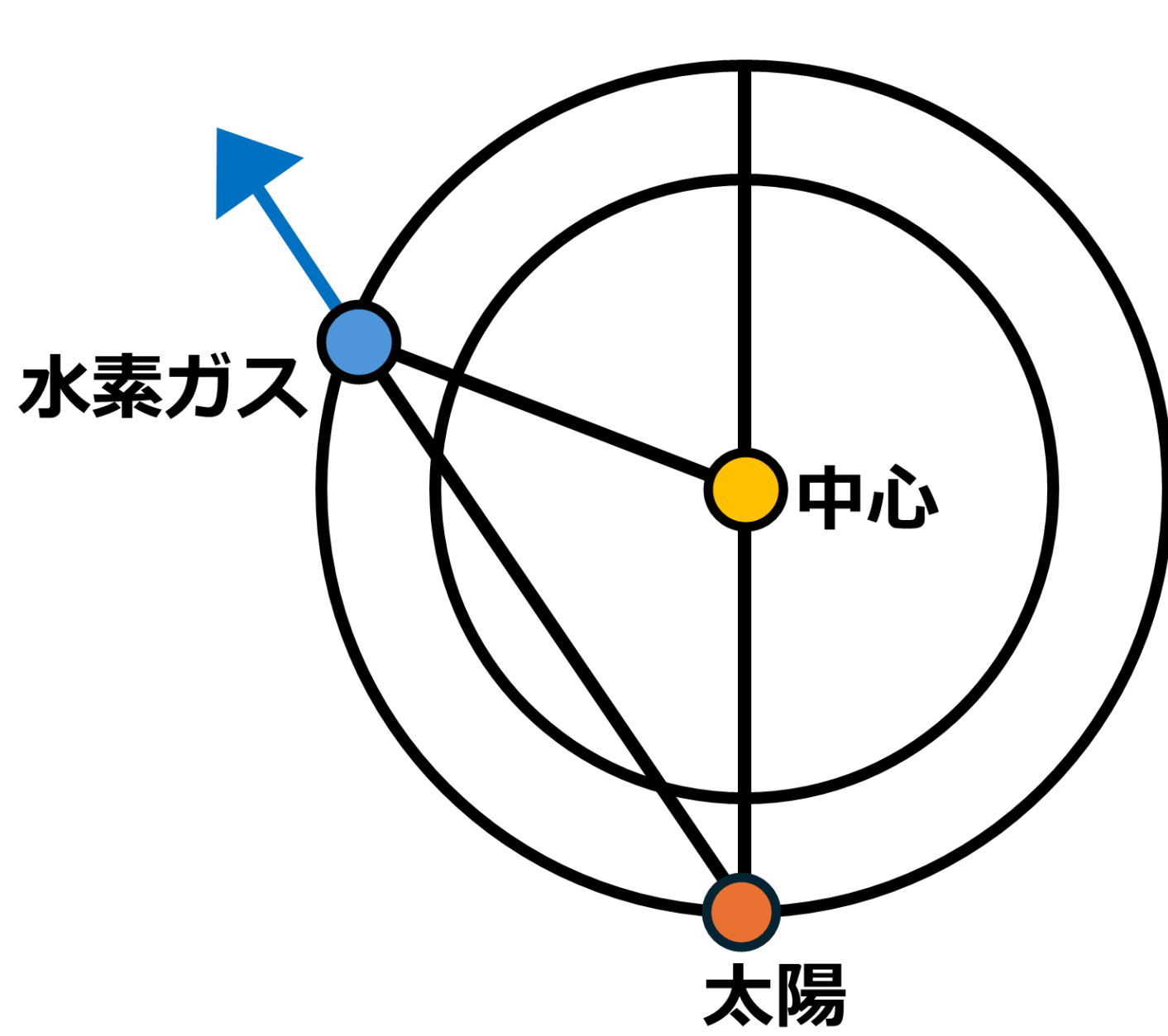


図5 参考したモデル^[3]

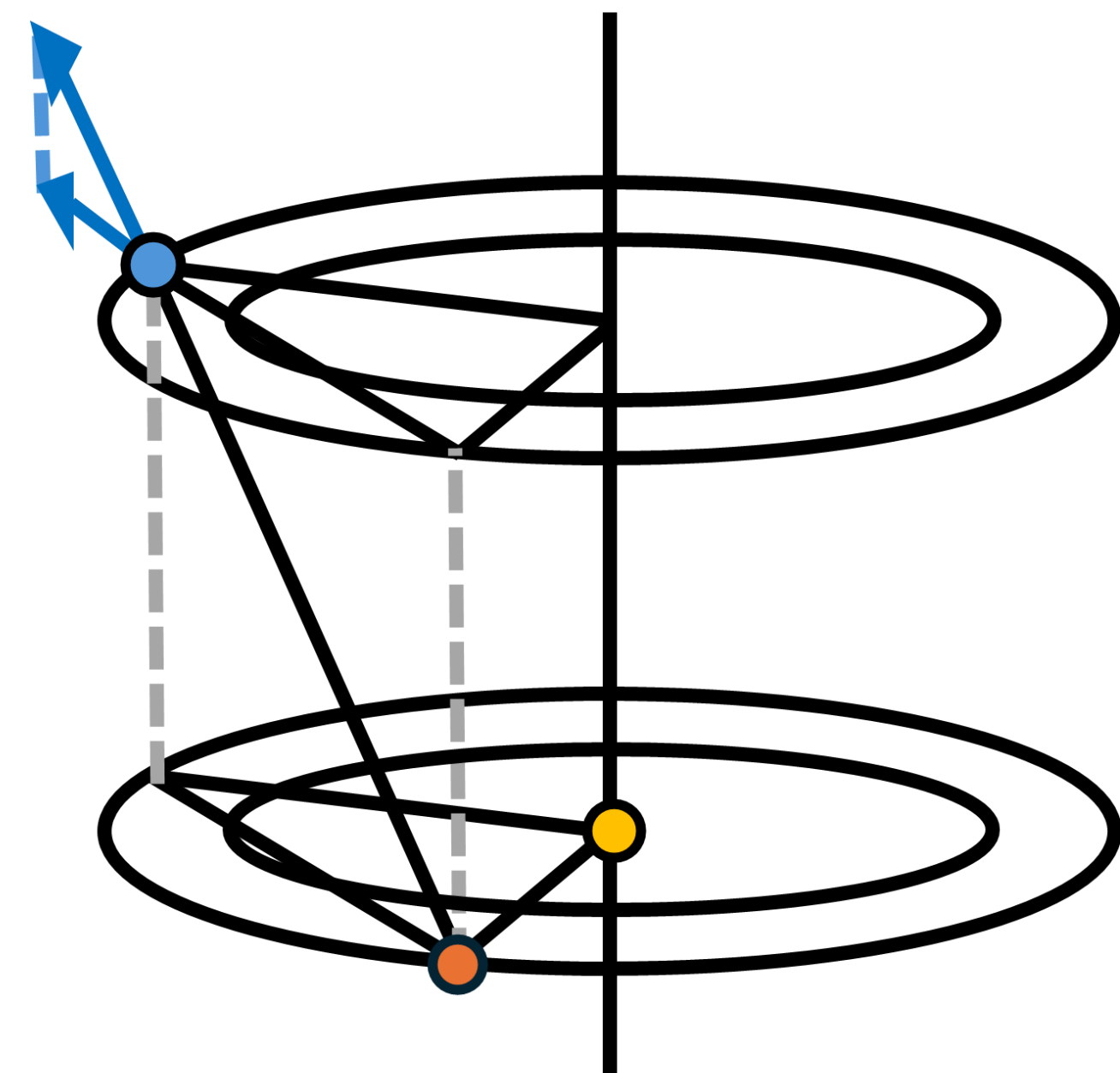


図6 考案したモデル

中性水素ガス雲までの距離は以下の式を用いて求めた。銀河中心から太陽までの距離を R_0 [kpc]、銀河中心から中性水素ガス雲までの距離を R [kpc]、太陽から中性水素ガス雲までの距離を r [kpc]、太陽の回転速度を V_0 [km/s]、中性水素ガス雲と局所静止基準の相対速度 V [km/s]をとし、銀経を l [rad]、銀緯を b [rad]とした。

$$R = \frac{R_0 V_0 \sin l}{V_0 \sin l + V \cos b} \quad (1)$$

$$r = \sqrt{R^2 - R_0 \sin l + R_0 \cos l} \quad (2)$$

銀河系の腕の概形

中性水素ガス雲位置を太陽を原点として、太陽から銀経度0度方向(x)と太陽から銀経90度方向(y)、銀河面に垂直な方向(z)に軸を取り、それぞれ下の式から図7、8、9に表した。図中では、中性水素ガス雲の位置を点で示している。

$$(x, y, z) = (r \cos l, r \sin l, r \tan b) \quad (3)$$

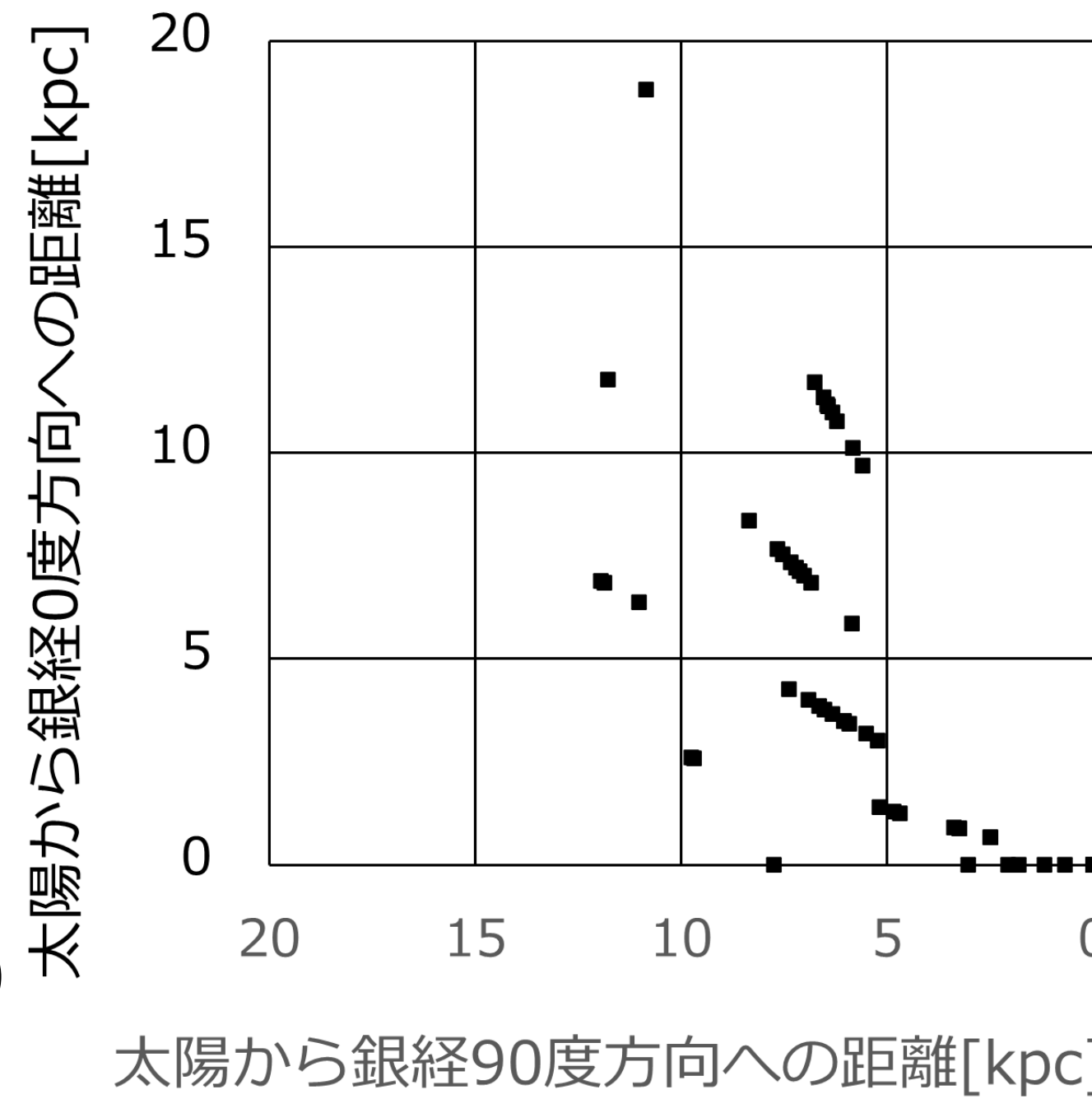


図7 解析結果

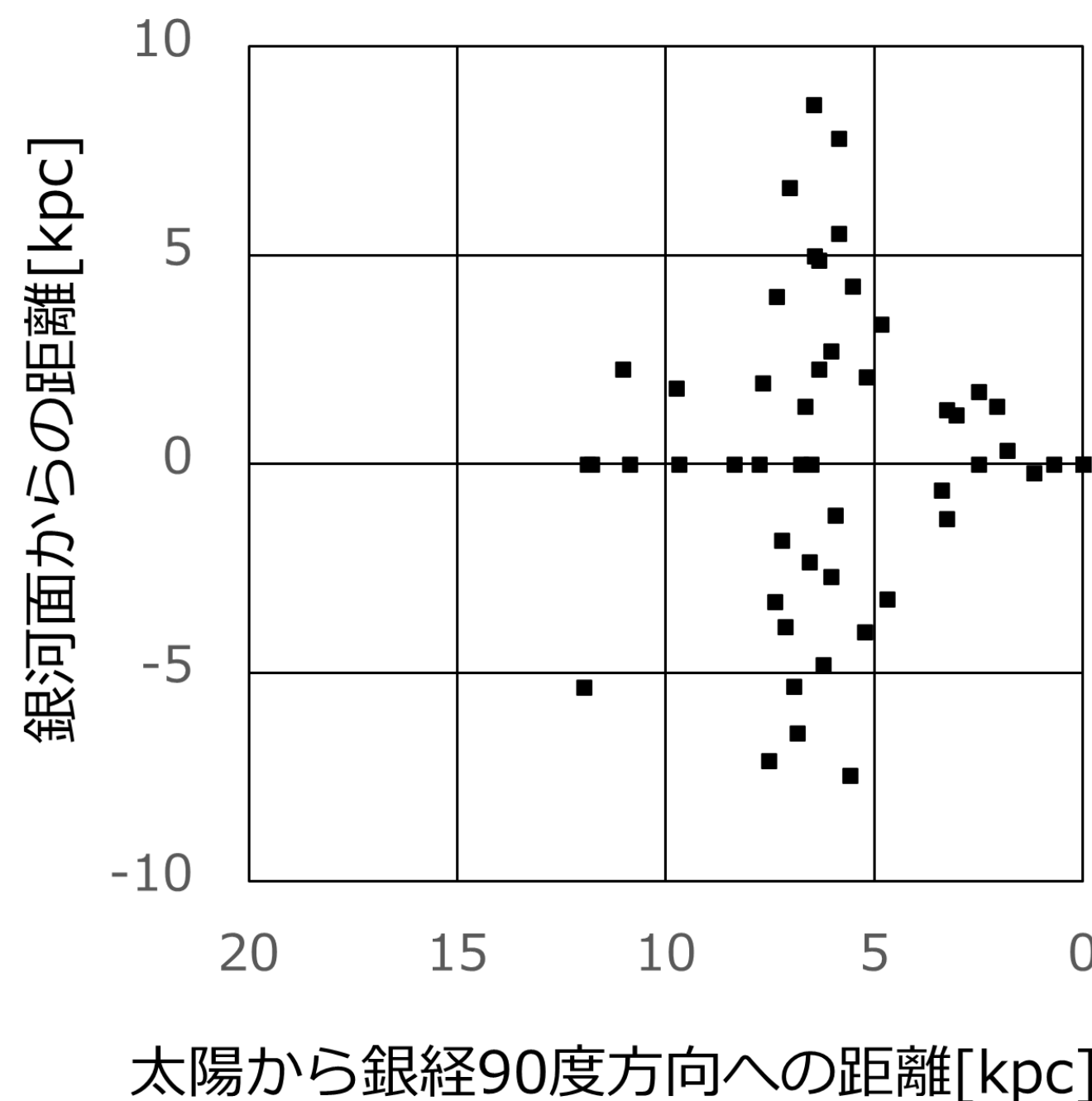


図8 解析結果

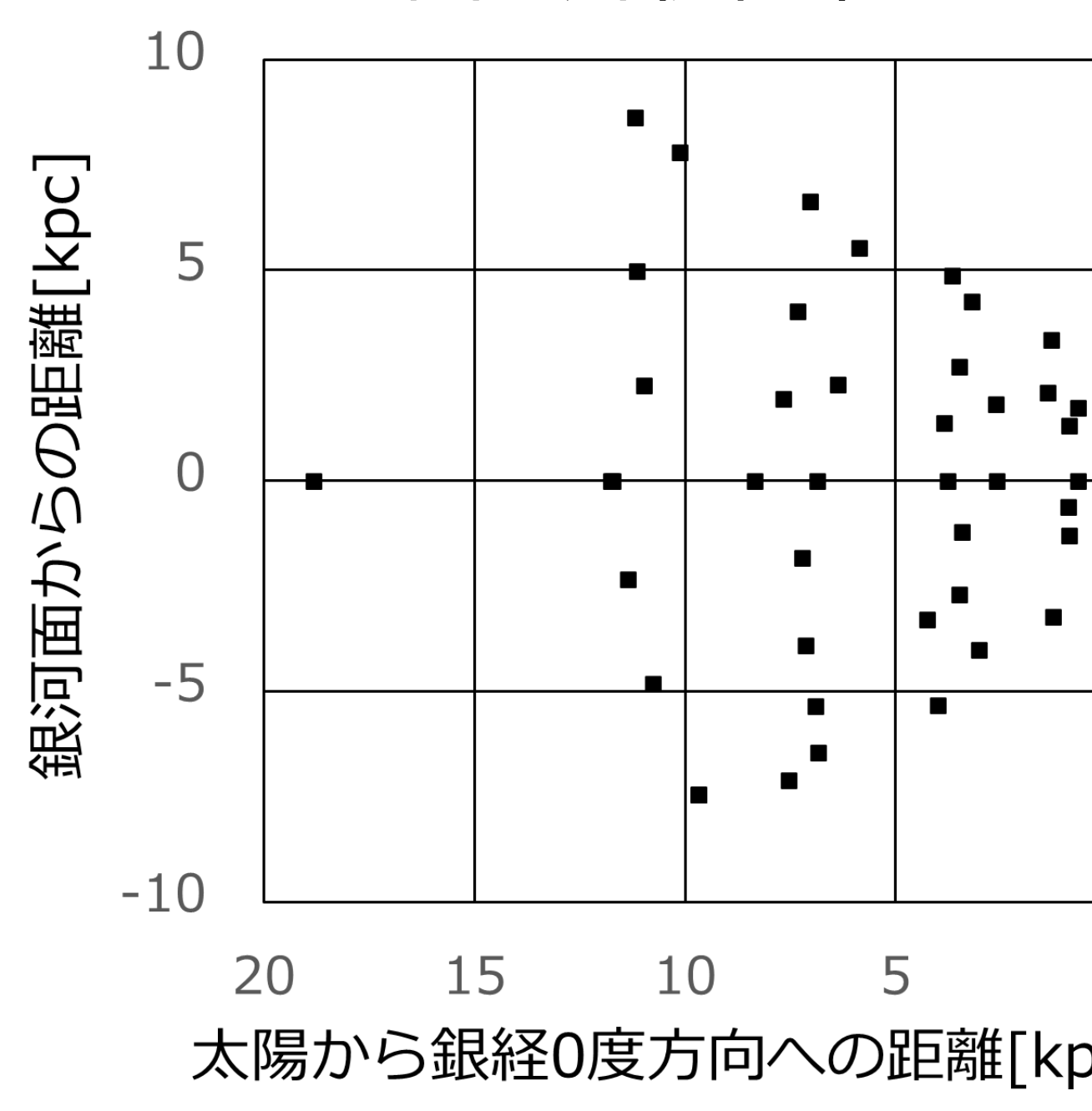


図9 解析結果

考察

図7からペルセウス腕、いて腕、オリオン腕の3本の腕の一部を捉えることができたと考えられる。また、たて・ケンタウロス腕やじょうぎ・白鳥腕にある中性水素ガス雲も確認できたと考えられる。

図7と図8より、銀河面から離れた位置にも中性水素ガス雲があり、腕から銀河面に対して上下に、ほぼ線対称に分布していることが読み取れる。このことから、銀河系では銀河面から離れた位置にも渦状腕が広がっている可能性があることが考えられる。

結論

製作した電波望遠鏡を用いて水素21cm線を観測することができた。また、立体的な銀河系のモデルを考えることで、銀河系の腕について立体的な広がりを考察することができた。

謝辞

本研究は(一財)生産開発科学研究所の教育助成により行われました。またSKAOの浅山信一郎博士にご助言をいただきましたこと陳謝致します。

参考文献

- [1] 谷敷怜空, 天文月報, 117(5), 315-319, 2024
- [2] 西村淳 (2020) “astropyを使ってドップラートラッキングをする”
<https://giita.com/nishimuraatsushi/items/9c8885daaf710b036f43>. (2024年11月18日閲覧)
- [3] 横尾武夫, 宇宙を解く現代天文学演習, 149-153