

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 10 日現在

機関番号：17701

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2014～2015

課題番号：26800104

研究課題名(和文)螺旋運動する中性水素原子ガスおよび銀河磁場の観測的研究

研究課題名(英文)Observational Study of Helically Moving HI Gas and the Galactic Magnetic Field

研究代表者

中西 裕之(Nakanishi, Hiroyuki)

鹿児島大学・理工学域理学系・准教授

研究者番号：90419846

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：銀河ダイナモによる銀河系磁場の増幅機構を検証するため、オーストラリアParkes 64m望遠鏡で得られた南半球全天HIサーベイデータを用いて螺旋運動HIガス雲を探索し、それらが磁気浮上ループで説明できること、その発生頻度が銀河ダイナモ仮説による予想と同程度であることがわかった。また臼田宇宙空間観測所64m電波望遠鏡のHI観測システムを整備し、螺旋運動HIガス雲の高速度分解能観測を行った。

研究成果の概要(英文)：We searched for helically moving HI clouds using Galactic All Sky Survey data obtained with Parkes 64m telescope in Australia in order to examine if the Galactic magnetic field is amplified with Galactic dynamo process. As a result, we found that they can be explained as magnetically floating loops and the emerging rate is comparable to a predicted value by the Galactic dynamo hypothesis. We developed an HI observation system for JAXA Usuda 64-m telescope to conduct high-velocity resolution observation for a helically moving HI cloud.

研究分野：電波天文学

キーワード：銀河系 宇宙磁場 中性水素原子ガス 電波天文学

### 1. 研究開始当初の背景

銀河系の円盤部には渦状腕に沿った平均  $2\mu\text{G}$  の磁場が存在し、強度は銀河系中心ほど大きく、磁場の方向は渦状腕と渦状腕間に入れ替わるなどの性質が知られている (Han et al. 2006等)。しかし、銀河系磁場がどのように生まれ、現在の強度にまで増幅したのかについては現在でも未解決の問題である。

銀河磁場の起源として有力な候補は「銀河ダイナモ仮説」である。古くから知られている - ダイナモ機構 (Parker 1971) によると、まず動径方向の磁場  $B_r$  が銀河の差動回転により回転方向 ( ) に引き延ばされ、 $B_r$  が生成される (効果)。磁力線がハローへ浮上し、コリオリ力によってひねられ、動径方向の磁場  $B_r$  が生成 (効果)。これにより動径方向磁場  $B_r$  が増幅される。また近年は、MRI-Parker ダイナモと呼ばれる機構が知られており、差動回転に伴う磁気回転不安定 (MRI: Magneto Rotational Instability) によって磁場が増幅され、Parker不安定による磁気浮上ループによって磁場が散逸するという過程が提案されている (Balbus & Hawley 1991, Machida et al. 2013)。

### 2. 研究の目的

銀河ダイナモによる銀河磁場の増幅機構を検証することが本研究の目的である。

上記の銀河ダイナモ仮説のいずれのモデルもParker不安定による磁気浮上ループが生成されることが予想されており、銀河磁場が銀河ダイナモ仮説によって増幅していることを検証する上で、磁気浮上ループの存在は重要な証拠と言える。

銀河系に存在する磁気浮上ループは名古屋大学なんてん望遠鏡によるサーベイで分子ガスをトレーサーとして銀河中心付近で見つかり (Fukui et al. 2006)、磁気流体シミュレーション (Machida et al. 2009) によればさらに多数の磁気浮上ループが存在することが予想される。これを、より希薄なガスのトレーサーであるHIガス輝線を用いて観測的かつ定量的に調べることによって銀河ダイナモ仮説を検証する。

### 3. 研究の方法

(1) 本研究課題では、前述の磁気浮上ループを中性水素原子 (HI) ガスをトレーサーとして調査する。オーストラリア Parkes 64m電波望遠鏡で得られたHIガスの全天サーベイデータ GASS (Galactic All Sky Survey) を用いて螺旋運動HIガス雲の探査を行う。螺旋運動はチャンネルマップのムービーから探す。磁

力線に沿った加速を伴う螺旋運動があれば、図1に示すようにチャンネルマップを「尺取り虫」が這うように停止 (図1(i))、移動 (図1(ii) (iii))、停止 (図1(iv)) を繰り返す。これはチューブ状の星間雲が螺旋運動し、その速度の視線成分だけを見たものだと考えると説明出来る。

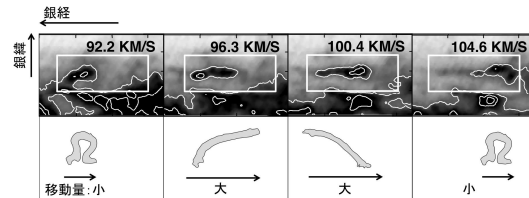


図1: 螺旋運動HIガス雲のチャンネルマップ上の動き (尺取り虫運動)。左から順に(i), (ii), (iii), (iv)。

(2) JAXA 臼田宇宙空間観測所の64m電波望遠鏡を用いて、HI観測システムの整備を行い、候補天体を高い速度分解能で追観測する。磁気浮上ループの向きが視線方向と近いものについては、視線上のループの回転速度成分が小さくなるため、尺取り虫運動の検出が難しい。これは速度分解能を高くすることによって改善できる。長さが短いコンパクトなHIガス雲は視線方向と重なったループと考えられ、このようなループの螺旋運動も検出が可能となる。

(3) 螺旋運動HIガス雲を磁気流体シミュレーションと比較し、銀河ダイナモの検証を行う。そのため螺旋運動HIループの存在数から磁気浮上ループの発生頻度を調べ、磁気流体シミュレーションで予想される頻度と比較し妥当性を検証する。また、それぞれの螺旋運動HIループの詳細な物理パラメータを調べ、磁気浮上ループとして妥当か検証する。

### 4. 研究成果

(1) HIガス全天サーベイデータ GASS を用いて、螺旋運動する HI ガス雲を速度構造に着目して抽出する作業を行った。銀河系  $255^\circ$  から  $285^\circ$ 、銀経  $-10^\circ$  から  $+10^\circ$  の範囲で数え上げたところ、銀河中心距離 8-20kpc の範囲で約 40 個の候補天体が見つかり、一平方 kpc あたり 0.7 個程度であると見積もられた。このループ発生頻度は角回転速度に比例すると考えられ、銀河系の回転曲線がほぼ一定であると考えると銀河中心距離に反比例して減少すると予想される。磁気流体シミュレーション (Machida et al. 2009) によると銀河中心距離 2kpc 内で磁気浮上ループの数は

1 平方 kpc あたり約 30 個程度であり、銀河系中心距離 8-20kpc では一平方 kpc あたり 1-4 個となるため、観測と同程度であることが分かった。

(2) 上記で見つかった螺旋運動HIガス雲のうち、銀経280°に見られる顕著なHIループについて物理的パラメータを詳細に調べた。まずHIループは太陽系から13kpc、銀河系中心から15kpcの距離にあり、視線に対し垂直方向に0.8kpcの広がりを持つことがわかった。その根元が銀河系回転に従っていると考えると視線方向には1.8kpcの奥行きがあり、ループの全長は2kpcであることがわかった。また質量は $2 \times 10^3$ 太陽質量であり、銀河系中心で観測された分子ガスループに比べると、HIガスでは比較的質量が小さいループがトレースできた。ガス密度と典型的なHI温度から見積もられるガス圧は、この領域の典型的な磁気圧と同程度であり、磁気によって浮上したループであると考えて矛盾しないことがわかった。さらにチャンネルマップで見られた尺取り虫運動を再現するため、長さ2kpc、太さ60pcの円柱の表面に沿ってガスが運動しているという簡単なモデルを考えたところ、オーストラリア・コンパクト・アレイで得られた螺旋運動HIガスのマップからHIガスの形状は上記のモデルで良く再現され、位置-速度図を比較すると螺旋運動もよく説明できることが分かった。

(3) 宇宙科学研究所臼田宇宙空間観測所64m電波望遠鏡を使ったHI観測システムの整備を行った。まずはON-OFF観測のために、信号発生器を GPIB で制御して 5 秒ごとに局部発振周波数を変化させるシステム(周波数スイッチ)を開発し、臼田64m鏡で初めて実装した。データ解析システムがないため、高速度分解能によるスペクトルが取得できるよう高速フーリエ変換ソフトの改良を行い、周波数スイッチによるON-OFF差し引き、地球回転によるドップラー補正を行う簡易解析ソフトを自ら開発した。電波強度較正のためにノイズソースの

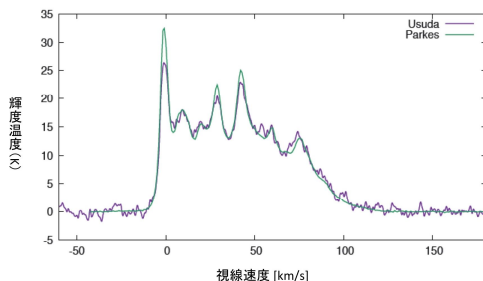


図 2：臼田宇宙空間観測所 64m 望遠鏡で得られた螺旋運動 HI ガス雲のスペクトル。

等価温度を測定した。これにより、長さが短いコンパクトな螺旋運動HIガス雲の候補を高速度分解能で観測することができた(図2)。また科学運用に必要な、アンテナ駆動パラメータやシステム雑音温度、ビームパターン、アンテナ能率など、望遠鏡の性能評価を行った。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計9件)

Nakanishi Hiroyuki & Sofue Yoshiaki, Publications of the Astronomical Society of Japan, 査読有, Vol.68, 2016, 5

DOI: 10.1093/pasj/psv108

Ozawa Takeaki, Nakanishi Hiroyuki, Akahori Takuya, Anraku Kenta, Takizawa Motokazu, Takahashi Kumi.

Onodera Sachiko, Tsuda Yuya, Sofue Yoshiaki, Publications of the Astronomical Society of Japan, 査読有, Vol.67, 2015, 110

DOI: 10.1093/pasj/psv082

Burns Ross A., Nagayama Takumi, Handa Toshihiro, Omodaka Toshihiro, Nakagawa Akiharu, Nakanishi Hiroyuki, Hayashi Masahiko, Shizugam Makoto, Publications of The Korean Astronomical Society, 査読有, Vol.30, 2015, 121

DOI:10.5303/PKAS.2015.30.2.121

Sakai Nobuyuki, Nakanishi Hiroyuki, Matsuo Mitsuhiro, Koide Nagito, Tezuka Daisuke, Kurayama Tomoharu, Shibata Katsunori M., Ueno Yuji, Honma Mareki, Publications of the Astronomical Society of Japan, 査読有, Vol.67, 2015, 69

DOI: 10.1093/pasj/psv049

Nakanishi Hiroyuki, Sakai Nobuyuki, Kurayama Tomoharu, Matsuo Mitsuhiro, Imai Hiroshi, Burns Ross A., Ozawa Takeaki, Honma Mareki, Shibata Katsunori M., Kawaguchi Noriyuki, Publications of the Astronomical Society of Japan, 査読有, Vol.67, 2015, 68

DOI: 10.1093/pasj/psv012

Yoshiura Shintaro, Shimabukuro Hayato, Takahashi Keitaro, Momose Rieko, Nakanishi Hiroyuki, Imai Hiroshi, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society 査読有, Vol.451, 2015, 266-274

DOI: 10.1093/mnras/stv855

Chibueze James O., Sakanoue Hirofumi, Nagayama Takumi, Omodaka Toshihiro,

Handa Toshihiro, Kamezaki Tatsuya, Burns Ross A., Kobayashi Hideyuki, Nakanishi Hiroyuki, Honma Mareki, Ueno Yuji, Kurayama Tomoharu, Matsuo Mitsuhiro, Sakai Nobuyuki  
Publications of the Astronomical Society of Japan, 査読有, Vol.66, 2014, 10410

DOI: 10.1093/pasj/psv106

Burns Ross A., Nagayama Takumi, Handa Toshihiro, Omodaka Toshihiro, Nakagawa Akiharu, Nakanishi Hiroyuki, Hayashi Masahiko, Shizugami Makoto, Astrophysical Journal, 査読有, Vol. 797, 2014, 39

DOI: 10.1088/0004-637X/797/1/39

Tanaka Ayako, Nakanishi Hiroyuki, Kuno Nario, Hirota Akihiko

Publications of the Astronomical Society of Japan, 査読有, Vol.66, 2014, 6623

DOI: 10.1093/pasj/psv039

#### [学会発表](計9件)

中西裕之他, " Helically moving HI cloud found in the outer Galactic disk ", 日本天文学会春季年会, H28年3月15日, 首都大学東京(東京都八王子市)

中西裕之, " 可視・電波観測で探る銀河・銀河系の構造 ", 第6回インターネット望遠鏡プロジェクトシンポジウム, H28年2月20日, 慶應義塾大学(神奈川県横浜市)

中西裕之他, " Galaxy Evolution with SKA ", ALPACA Workshop, H27年12月03日, 国立天文台(東京都三鷹市)

中西裕之他, " Helically moving HI cloud ", SKA サイエンス会議 宇宙磁場2015, H27年9月18日, 鹿児島大学(鹿児島県鹿児島市)

中西裕之他, " 螺旋運動するHIガス雲の観測的研究 ", 第18回九州地区宇宙物理学合同セミナー, H27年12月03日, 九州地区国立大学九重共同研修所(大分県玖珠郡九重町)

中西裕之他, " Molecular fraction of gaseous disks of nearby spiral galaxies ", Nagoya Workshop on the Interstellar Hydrogen, H27年3月27日, Nadya Park(愛知県名古屋市)

中西裕之他, " 臼田宇宙空間観測所 64m電波望遠鏡による中性水素原子ガス21cm

線の観測 ", 日本天文学会秋期年会, H26年9月11日, 山形大学(山形県山形市)

中西裕之他, " SKA時代に向けた45m鏡への期待 ", 野辺山ユーズミーティング, H26年7月23日, 国立天文台野辺山宇宙電波観測所(長野県南佐久郡南牧村)

中西裕之他, " ROACHボードによるFOREST用バックエンドの開発 ", 野辺山ユーズミーティング, H26年7月23日, 国立天文台野辺山宇宙電波観測所(長野県南佐久郡南牧村)

[その他]

ホームページ

<http://milkyway.sci.kagoshima-u.ac.jp/~hnakanis/>

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

中西裕之 (NAKANISHI, Hiroyuki)  
鹿児島大学学術研究院理工学域理学系・准教授

研究者番号: 90419846