

平成30年 5月30日現在

機関番号：17401

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2014～2017

課題番号：26610048

研究課題名(和文)次世代電波望遠鏡のためのセンチ波・メートル波偏波スペクトル解析ソフトウェアの開発

研究課題名(英文) Development of software for polarization spectrum analysis for next-generation low-frequency radio telescope

研究代表者

高橋 慶太郎 (Takahashi, Keitaro)

熊本大学・大学院先端科学研究部(理)・准教授

研究者番号：80547547

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円

研究成果の概要(和文)：宇宙磁場の3次元構造や銀河間空間の磁場を探るための新しい電波天文学の手法であるファラデートモグラフィ法の研究とソフトウェアの開発を行った。オーストラリアの低周波電波望遠鏡であるASKAPやMWAにメンバーとして参加し、ソフトウェアの開発や性能のテスト、物理的な解釈などを進めた。特に、RM CLEANやQU-fitと呼ばれる、ファラデートモグラフィの標準的なアルゴリズムの性能テストを行い、どのような状況でこれらのアルゴリズムが有効に働くかをシミュレーションした。そしてこれらの手法の欠点を補うためにスパースモデリングなどの先進的なアルゴリズムを用いたソフトウェアの開発を行った。

研究成果の概要(英文)：We conducted research on the Faraday tomography method which is a new radio astronomy method for exploring the three dimensional structure of the astrophysical magnetic field and the magnetic field in the intergalactic space and developed software for polarization analysis. By participating in Australia's low frequency radio telescope ASKAP and MWA as a member, we promoted software development, performance testing, physical interpretation etc. In particular, we performed performance tests of Faraday tomography standard algorithms called RM CLEAN and QU - fit, and simulated in what situations these algorithms work effectively. In order to compensate for the disadvantages of these methods, we developed software using advanced algorithms such as sparse modeling.

研究分野：宇宙物理学

キーワード：宇宙磁場 電波天文学 スパースモデリング Square Kilometre Array

1. 研究開始当初の背景

銀河や銀河団など宇宙のあらゆる天体は固有の磁場を持っており、磁場は天体の活動性に重要な役割を果たしている。宇宙磁場を観測する方法として従来からファラデー回転法が使われてきたが、これは近年大きな進化を遂げつつある。それはセンチ波・メートル波の広帯域観測の技術が進歩してきたからである。特に2018年に建設が始まる次世代電波望遠鏡 Square Kilometer Array (SKA)は70MHz-10GHzという圧倒的な広帯域を持ち、感度も現在の望遠鏡の約100倍となる。またSKAのパスファインダーで2015年から科学観測が始まる Australian SKA Pathfinder (ASKAP)も700MHz-1.8GHzという従来の望遠鏡に比べて広い観測帯域を持つ。

従来のファラデー回転法ではいくつかの周波数で天体の偏波を観測し、回転度 (rotation measure)を計算することによって磁場の情報を得ていたが、ここで得られるのは観測者から天体までの磁場の積分値のみである。一方広帯域観測が可能になると偏波スペクトルのフーリエ変換から、観測者から天体までの磁場・偏波輝度分布が得られる。この手法をファラデーモグラフィと呼ぶが、これにより磁場だけでなく宇宙線電子、熱的電子など天体のダイナミクスを理解するのに極めて重要な物理量の3次元構造を明らかにすることができる。しかしフーリエ変換の性質上、分布の正確な再構成のためには広帯域の観測データが本質的に重要で、従来の望遠鏡では実現できなかった。ところがSKAやASKAPなどの登場によりトモグラフィが注目されるようになり、その実用的な解析アルゴリズムやソフトウェアに対する要望が高まっている。

2. 研究の目的

ファラデーモグラフィの効率的で正確なアルゴリズムを、マルコフ連鎖モンテカルロ法を応用して追及し、ASKAP用の解析ソフトウェアを開発する。観測データが得られ次第トモグラフィを実際に適用し、系外銀河の3次元構造、特に大域的な磁場の形状や乱流の統計的性質、宇宙線電子や熱的電子の分布の解明し、天体に付随しない宇宙論的磁場の検出も目指す。

3. 研究の方法

偏波スペクトルの逆フーリエ変換とマルコフ連鎖モンテカルロ法によるパラメータ推定を組み合わせ、高速で正確なファラデーモグラフィのソフトウェアを開発する。ASKAPの科学観測が始まる2015年中盤までに

ソフトウェアを完成させる。その際、ASKAPの中心機関であるシドニー大学のグループと緊密に連携し、模擬観測データによるベンチマークテストやパイプライン開発担当者からの情報を通してソフトウェアへのフィードバックを行う。また銀河系の観測データと乱流数値シミュレーションに基づく銀河モデルから系外銀河の磁場・偏波輝度分布を予測し、トモグラフィの結果から銀河の構造についてどのようなことがわかるかを検討する。科学観測開始後、データが得られ次第トモグラフィを実際に適用して銀河の3次元構造の再構成や天体に付随しない宇宙論的磁場の検出を試みる。

4. 研究成果

宇宙磁場の3次元構造や銀河間空間の磁場を探るための新しい電波天文学の手法であるファラデーモグラフィ法の研究とソフトウェアの開発を行った。オーストラリアの低周波電波望遠鏡であるASKAPやMWAなどのプロジェクトにメンバーとして参加し、ソフトウェアの開発や性能のテスト、物理的な解釈などを進めた。

まず、ファラデーモグラフィの中でも基本的な手法であるQU-fit法の性能を調べるべく、視線上に2つの電波源がある場合を想定し、ファラデー深度や幅をパラメータとして様々なパラメータセットに対して観測データをシミュレーションし、QU-fit法を適用した。そしてどのような場合にQU-fit法が正しい答えを出すのか、どのような場合にうまくいかないのかを調べた。特に、電波源の数についてはファラデー空間上で接近していなくても上手くいかないことがあることがわかった。

さらにQU-fit法よりも先進的なスパースモデリングを用いたファラデーモグラフィのアルゴリズムを開発し、基礎的な性能を調べた。まず、pythonによりスパースモデリングでファラデーモグラフィを行うコードを実装した。そしてファラデースペクトルのモデルを用意し、そこから作った模擬観測データにコードを適用することによってその性能を調べ、どのような制約項が良いのか、どのようなファラデースペクトルであればよく再現できるのかを調べた。

また、次世代電波望遠鏡SKAの試験機であるMWAやASKAPのメンバーとして宇宙磁場に関する国際的な共同研究の議論を進めた。特に、銀河間磁場を探るためにはどのような周波数帯で観測するのが最適なのかを、シミュレーションにより見積もった。そしてASKAPの偏波サーベイプログラムであるPOSSUMのためのデータ解析パイプラインの開発に貢献した。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

(雑誌論文)(計 20 件)

1. “Cosmic Magnetism in Centimeter and Meter Wavelength Radio Astronomy”
Takuya Akahori, Hiroyuki Nakanishi, Yoshiaki Sofue, Yutaka Fujita, Kiyotomo Ichiki, Shinsuke Ideguchi, Osamu Kameya, Takahiro Kudoh, Yuki Kudoh, Mami Machida, Yoshimitsu Miyashita, Hiroshi Ohno, Takeaki Ozawa, Keitaro Takahashi, Motokazu Takizawa, Dai G. Yamazaki, PASJ 70 (2018) 2、査読有
10.1093/pasj/psx123
2. “The variance of dispersion measure of high-redshift transient objects as a probe of ionized bubble size during reionization”
Shintaro Yoshiura and Keitaro Takahashi, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society 473 (2017) 1570-1575、査読有
10.1093/mnras/stx2462
3. “Constraining the Contribution of Galaxies and Active Galactic Nuclei to Cosmic Reionization”
Shintaro Yoshiura, Kenji Hasegawa, Kiyotomo Ichiki, Hiroyuki Tashiro, Hayato Shimabukuro and Keitaro Takahashi, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society 471 (2017) 3713-3726、査読有
10.1093/mnras/stx1754
4. “Study of Vertical Magnetic Field in Face-on Galaxies using Faraday Tomography”
Shinsuke Ideguchi, Yuichi Tashiro, Takuya Akahori, Keitaro Takahashi, Dongsu Ryu, Astrophys. J. 843 (2017) 146、査読有
10.3847/1538-4357/aa79a1
5. “Constraining the EoR model parameters with the 21cm bispectrum”
Hayato Shimabukuro, Shintaro Yoshiura, Keitaro Takahashi, Shuichiro Yokoyama, Kiyotomo Ichiki, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society 468 (2017) 1542-1550、査読有
10.1093/mnras/stx530
6. “Multitracer technique for galaxy bispectrum - An application to constraints on non-local primordial non-Gaussianities -”
Daisuke Yamauchi, Shuichiro Yokoyama and Keitaro Takahashi, Phys. Rev. D 95 (2017) 063530、査読有

10.1103/PhysRevD.95.063530

7. “Anisotropies in the gravitational wave background as a probe of the cosmic string network”
Sachiko Kuroyanagi, Keitaro Takahashi, Naoyuki Yonemaru, Hiroki Kumamoto, Phys. Rev. D 95 (2017) 043531、査読有
10.1103/PhysRevD.95.043531
8. “Studying topological structure of 21-cm line fluctuations with 3D Minkowski functionals before reionization”
Shintaro Yoshiura, Hayato Shimabukuro, Keitaro Takahashi, Takahiko Matsubara, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society 465 (2017) 394、査読有
10.1093/mnras/stw2701
9. “Cosmology with the Square Kilometre Array by SKA-Japan”
Yamauchi, Daisuke; Ichiki, Kiyotomo; Kohri, Kazunori; Namikawa, Toshiya; Oyama, Yoshihiko; Sekiguchi, Toyokazu; Shimabukuro, Hayato; Takahashi, Keitaro; Takahashi, Tomo; Yokoyama, Shuichiro; Yoshikawa, Kohji, PASJ 68 (2016) 2、査読有
10.1093/pasj/psw098
10. “Gravitational waves from a SMBH binary in M87”
Naoyuki Yonemaru, Hiroki Kumamoto, Sachiko Kuroyanagi, Keitaro Takahashi and Joseph Silk, PASJ 68 (2016) 106、査読有
10.1093/pasj/psw100
11. “Rapid Merger of Binary Primordial Black Holes”
K. Hayasaki, K. Takahashi, Y. Sendouda and S. Nagataki, PASJ 68 (2016) 66、査読有
10.1093/pasj/psw065
12. “Expected constraints on models of the epoch of reionization with the variance and skewness in redshifted 21cm-line fluctuations”
Kenji Kubota, Shintaro Yoshiura, Hayato Shimabukuro and Keitaro Takahashi, PASJ 68 (2016) 61、査読有
10.1093/pasj/psw059
13. “Probing primordial non-Gaussianity consistency relation with galaxy surveys”
Daisuke Yamauchi and Keitaro Takahashi, Phys. Rev. D 93 (2016) 123506、査読有
10.1103/PhysRevD.93.123506

14. "Performance test of RM CLEAN and its evaluation with chi-square value"
Yoshimitsu Miyashita, Shinsuke Ideguchi and Keitaro Takahashi,
PASJ 68 (2016) 44、査読有
10.1093/pasj/psw039

15. "Using rotation measure grids to detect cosmological magnetic fields -- a Bayesian approach"
V. Vacca, N. Oppermann, T. Ensslin, J. Jasche, M. Selig, M. Greiner, H. Junkewitz, M. Reinecke, M. Brueggen, E. Carretti, L. Feretti, C. Ferrari, C. A. Hales, C. Horellou, S. Ideguchi, M. Johnston-Hollitt, R. F. Pizzo, H. Roettgering, T. W. Shimwell and K. Takahashi,
Astron. & Astrophys. 591 (2016) A13、査読有
10.1051/0004-6361/201527291

16. "21cm-line bispectrum as method to probe Cosmic Dawn and Epoch of Reionization"
Hayato Shimabukuro, Shintaro Yoshiura, Keitaro Takahashi, Shuichiro Yokoyama and Kiyotomo Ichiki,
Monthly Notices of the Royal Astronomical Society 458 (2016) 3003-3011、査読有
10.1093/mnras/stw482

17. "X-raying extended emission and rapid decay of short gamma-ray bursts"
Yasuaki Kagawa, Daisuke Yonetoku, Tatsuya Sawano, Asuka Toyonago, Takashi Nakamura and Keitaro Takahashi,
Kazumi Kashiyama and Kunihito Ioka,
Astrophys. J. 811 (2015) 4、査読有
10.1088/0004-637X/811/1/4

18. "Sensitivity for 21cm Bispectrum from Epoch of Reionization"
Shintaro Yoshiura, Hayato Shimabukuro, Keitaro Takahashi, Rieko Momose, Hiroyuki Nakanishi and Hiroshi Imai,
Monthly Notices of the Royal Astronomical Society 451 (2015) 266-274、査読有
10.1093/mnras/stv855

19. "Studying 21cm power spectrum with one-point statistics"
Hayato Shimabukuro, Shintaro Yoshiura, Keitaro Takahashi, Shuichiro Yokoyama and Kiyotomo Ichiki,
Monthly Notices of the Royal Astronomical Society 451 (2015) 467-474、査読有
10.1093/mnras/stv965

20. "Magnetic Field Spectrum at

Cosmological Recombination Revisited"
Shohei Saga, Kiyotomo Ichiki, Keitaro Takahashi and Naoshi Sugiyama,
Phys. Rev. D 91 (2015) 123510、査読有
10.1103/PhysRevD.91.123510

〔学会発表〕(計 5 件)

1. Keitaro Takahashi、"Scientific activities in the Japanese consortium"、MWA Project Meeting(イタリア・パドヴァ)、2017年

2. 高橋慶太郎、"中性水素 21cm 線で探る初代天体と宇宙再電離"、日本物理学会シンポジウム(宇都宮大学)、2017年

3. 高橋慶太郎、"次世代電波望遠鏡 SKA によるパルサー研究の将来"、中性子星の観測と理論~研究活性化ワークショップ 2017(国立天文台)、2017年

4. Keitaro Takahashi、"Pulsars and gravitational waves measured with the SKA"、Australia-Japan School on Low Frequency Astrometry in the SKA era(鹿児島大学)、2016年

5. Keitaro Takahashi、"Cosmology with Square Kilometre Array and synergies with CMB"、Fourteenth Marcel Grossmann Meeting(イタリア・ローマ)、2015年

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

取得状況(計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

高橋 慶太郎 (Takahashi Keitaro)
熊本大学・大学院先端科学研究部・准教授
研究者番号：80547547

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3) 連携研究者

()

研究者番号：

(4) 研究協力者

()