

平成 30 年 5 月 30 日現在

機関番号：62616

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K17614

研究課題名(和文) 銀河間物質の発見に向けた偏波観測シミュレータの開発

研究課題名(英文) Development of Polarization Sky Simulator toward Discovering the Intergalactic Medium

研究代表者

赤堀 卓也 (Akahori, Takuya)

国立天文台・水沢VLBI観測所・特任研究員

研究者番号：70455913

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：この研究は将来計画Square Kilometre Array (SKA)に向けて様々な天体の偏波特性を明らかにし、将来の偏波解析のキーテクノロジーと考えられるファラデートモグラフィーの開発を行った。理論研究では銀河の偏波解消特性の定式化を試み、また、瞬発電波バースト(FRB)が銀河間磁場の研究のための理想的な系外偏波源となりうることを明らかにした。観測研究では銀河団や星雲を観測し、ファラデートモグラフィーを適用して視線上の成分の区別を果たした。開発では銀河磁場への適用法を明らかにし、またスパースモデリングを用いたトモグラフィーの銀河間磁場研究への有効性を検討した。

研究成果の概要(英文)：This research revealed polarization properties of various astronomical objects toward the Square Kilometre Array (SKA), and developed Faraday tomography which is thought to be a key technology for future radio polarimetry. We achieved formulation of depolarization in galaxies, and revealed that Fast Radio Bursts (FRBs) can be ideal extragalactic polarized sources for the study of the intergalactic magnetic field. We observed galaxy clusters and a local nebula. We applied Faraday tomography to the data, and achieved to distinguish some components along the lines-of-sight. We clarified how to apply Faraday tomography to the study of external galaxies, and showed the capability of sparse-modeling-based Faraday tomography for the study of the intergalactic magnetic field.

研究分野：天文学

キーワード：電波天文学 磁場 偏波 宇宙大規模構造 SKA計画

1. 研究開始当初の背景

現在の標準宇宙論は、宇宙大規模構造に磁化した銀河間物質が大量に付随すると予想しているが、その全貌は観測的には不明である。遠方のキューサーや電波銀河からのセンチ波の偏波は、この磁化した物質中を通過することでファラデー回転を経験する。ゆえにそれらの偏波のファラデー回転測定度(RM)を測定すれば、銀河間物質の存在を探ることができるのではないかと考えている。

センチ波では Square Kilometre Array (SKA) 計画の準備が進み、その豪州の試験機 ASKAP が全天偏波サーベイを実施する見通しであった。これらの将来のサーベイ観測からは、数百万という膨大な数の偏波源が検出される。これがあれば観測天体の中から理想的な天体だけを選別してもなお、統計的に有意に銀河間物質を発見できると予測している。

爆発的なデータの増加は、しかしながら、手作業での解析を困難にする。ゆえに解析の自動化(パイプライン)が世界的な課題であった。ここで問題となるのは、解析のパラメータをどのように定めるべきなのか、どのような思想で解析していくのかという判断基準である。私はセンチ波偏波の模擬観測シミュレータを開発することで、シミュレータを使って基準のアイデアを実証することが不可欠だと着想した。

2. 研究の目的

本研究は、膨大な観測データを自動的に処理する SKA の時代にむけて、その自動化のアイデアを実証するための観測シミュレータを開発することを目的とした。そしてシミュレータから得られる疑似観測データによって、偏波解消とファラデースペクトルの予想される特性を理解することを目的とした。

さらに、もし ASKAP の初期科学観測データを取得することができれば、ただちに解析し、銀河間物質のセンチ波での世界初の検出を試みることを目的とした。なおこの目的は ASKAP の計画が遅延しデータを取得できなかったため実現しなかった。

3. 研究の方法

本研究は3つの方法によって実施した。1つ目は、理論モデルを構築し、模擬観測実験によって銀河の偏波特性を明らかにすること。2つ目は偏波観測の提案を行い、実際に観測して、様々な天体の偏波特性を理解すること。そして3つ目は、パイプラインの終段にあり、比較的最近のテクニックである、ファラデートモグラフィーの性質を明らかにすることである。以上の計算や解析は、本事業にて調達したワークステーションにより実施することができた。

4. 研究成果

(1)シミュレータ開発とモデル研究 (論文⑧⑩ならびに投稿中論文)

背景偏波源の視線には結構な頻度(50%程度)で銀河が横たわり、背景偏波源の偏波特性を歪めているという研究がある。この影響は大規模構造の寄与を探る際に不定性となるため、そのような視線の偏波源は用いないことが望まれる。そこで銀河のモデルを構築し、具体的に特性を調べた。研究成果は共著論文2件として投稿中である。研究では、自身の天の川銀河モデルを系外銀河にも適用できるように、モデルに盛り込まれていない銀河のハロー成分について共同研究者と議論を進めた。介在銀河の研究で世界をリードする Jamie Farnes 氏をオランダから1週間招聘し、モデル化について集中的な議論を行った。結果、先行研究に基づいた追加の成分を盛り込むことを達成した。さらに、空間分解能を下回る範囲で発生する偏波解消をどのようにモデル化できるかについて研究を進め、いくつかの評価法・近似式を見出すことができた。結果、現実的なモデル化の方法論を構築することができたと考えている。

次にキューサーや電波銀河などの背景偏波源の精細なモデル化を想定していたが、研究計画の提案後(2014年)ごろから瞬発電波バースト(FRB)が急速に議論の盛り上がりを見せ、銀河系外からの新しいメッセンジャーとして注目を集めた。そこで本研究の目的と直接関係があること、そして緊急性が高いことから、FRBの研究に転進した。研究成果は論文1件として出版された。FRBからは分散測定(DM)と回転測定度(RM)が検出されているので、本研究で構築しているシミュレータを使って、DMとRMがどのように振る舞うかを調べた。結果、DMとRMを使った古典的な平均磁場の推定方法(=RM/DM)は、宇宙論的な文脈で適切ではないことを明らかにした。そしてFRBの赤方偏移が分からなくても、DMを使いおおよそ推定できる新しい補正式を明らかにする重要な成果を得た(図1)。この結果は、FRBが本研究の位置付ける「偏波源」となり得ることを明らかにしたことには大きな意義があり、その後のFRBの偏波の観測で不可欠な論文として引用されるに至っている。

さらに、FRB観測とSZ効果観測と組み合わせることで銀河団外縁部分のプラズマの密度や温度分布を調べることができることを示し、その理論予測を得ることも達成した。研究成果は共著論文1件として出版された。

(2)様々な天体の偏波特性の観測 (論文⑦⑪⑮⑯)

ASKAP-POSSUMプロジェクト内の初期科学運用に関する観測提案を行った。残念ながら提案した銀局方向(理想的な観測領域)は優先

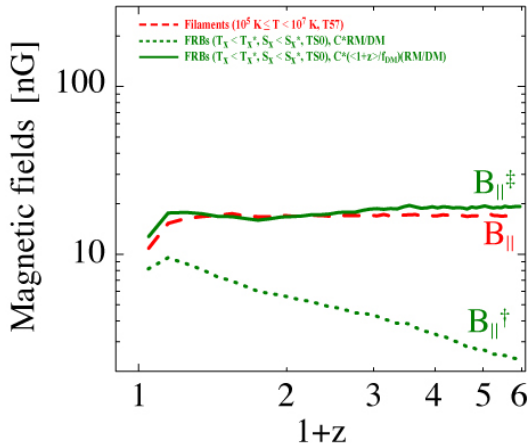


図1：赤方偏移の関数として、宇宙大規模構造磁場の標準二乗偏差の入力値(赤破線)、FRBのRMとDMから従来の推定法で求めた推定値(緑点線)、そして私が提唱した補正式での推定値(緑実線)。従来の推定法は見誤ることが分かる。論文⑧を一部改変。

目標には選ばれず、かつプロジェクトの遅延のために初期科学運用のデータを研究期間中に得ることは叶わなかった。しかし、観測戦略検討チームに招待され、相乗り観測などの可能性の検討を行うことができた。銀局方向の重要性は観測メンバーのよく知るところであるので、引き続き観測の実施を求めている状況である。

サーベイ観測以外の個別の観測については、JVLAで1件、ATCAで1件、私が提案した観測プロポーザルが採択された。観測し、いずれも論文を出版するに至った。JVLAでは電波レリックの観測を実施し、さらにファラデートモグラフィを適用して、視線上の複数の成分を初めて判別することに成功した。ATCAでは、残念ながら検出に至らなかったが、その天体では初めて、他の天体とも比べても厳しい上限値をつけることができた(図2)。

共同提案した観測プロポーザルでは、ATCAで1件採択され、論文2件の出版に至った。それはW50と呼ばれる星雲のマッピング観測である。ファラデートモグラフィを駆使し、観測されたRMから、この天体に付随する成分とそうではないと考えられる成分とに分離を果たした。また、特に東側の領域では、X線観測によってリング構造が指摘されていたが、偏波角の詳細な解析やファラデートモグラフィによって、リングではなく、ヘリカル構造ではないかという新しい示唆を得ることができた。これは東側の領域がマイクロクエーサーSS433のジェットで作られているという指摘とも関連し、インパクトのある成果となった。

(3)ファラデートモグラフィの研究 (論文⑬ならびに投稿中論文)

銀河磁場のファラデートモグラフィの特性について準解析的なモデルを使って調べ、

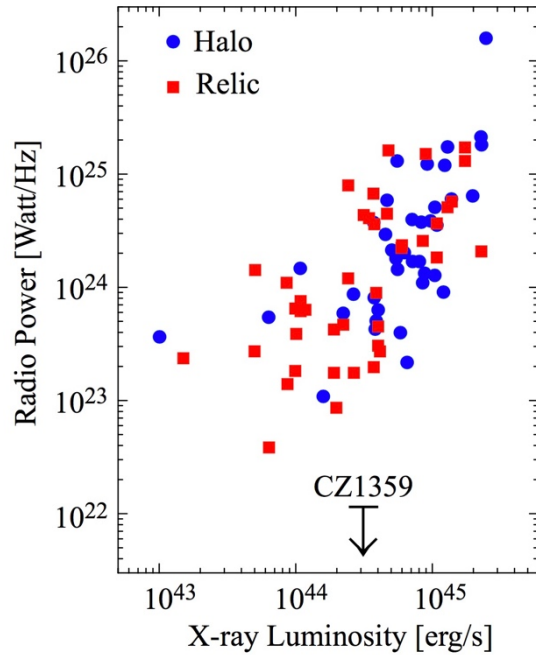


図2：衝突銀河団CIZA J1358.9-4750の電波放射の上限値と他の電波ハロー・レリックとの比較。論文⑮より。

共著論文1件を出版した。この研究では、まずファラデースペクトルに大局的に整った磁場と局所的に乱流の磁場の両方が寄与することを確認した。そしてその乱流の典型的サイズよりも十分大きい領域を空間分解せずにまとめて解析することで、乱流磁場に起因するファラデースペクトルのランダムさを軽減し、大局磁場の特徴を引き出せることを明らかにした。これは、将来に銀河磁場を観測する際に、どのようなビームサイズあるいはイメージのピクセルサイズを考えるべきなのかの指針となる成果である。

ファラデートモグラフィにスパースモデリングの技法を取り入れる新しい試みも行った。結果としてスパースモデリングはファラデートモグラフィに有効に働くことが分かり、研究成果は日本天文学会にて発表した。関連する2本の共著論文を準備中である。

最後に、本事業の成果を含めた宇宙磁場に関するレビュー論文1件を出版した。

5. 主な発表論文等 (研究代表者には下線)

[雑誌論文](計16件)

- ① H. Sakemi, M. Machida, T. Akahori, H. Nakanishi, H. Akamatsu, K. Kurahara, J. Farnes, Magnetic Field Analysis of the Bow and Terminal Shock of the SS433 Jet, PASJ(査読有), accepted, 03/2018, DOI:10.1093/pasj/psy003
- ② T. Akahori, Y. Kato, K. Nakazawa, T. Ozawa, L. Gu, M. Takizawa, Y. Fujita, H. Nakanishi, N. Okabe, K. Makishima, ATCA 16

- cm Observation of CIZA J1358.9-4750: Implication of Merger Stage and Constraint on Non-Thermal Properties, PASJ(査読有), accepted, 3/2018, <http://arxiv.org/abs/1611.06647>
- ③ T. Akahori, H. Nakanishi, Y. Sofue, Y. Fujita, K. Ichiki, S. Ideguchi, O. Kameya, T. Kudoh, Y. Kudoh, M. Machida, Y. Miyashita, H. Ohno, T. Ozawa, K. Takahashi, M. Takizawa, D. G. Yamazaki, Cosmic Magnetism in Centimeter and Meter Wavelength Radio Astronomy, PASJ(査読有) invited review, 70, R2, 44pp, 01/2018, DOI:10.1093/pasj/psx123
- ④ S. Ideguchi, Y. Tashiro, T. Akahori, T. Takahashi, D. Ryu, Study of Vertical Magnetic Field in Face-on Galaxies using Faraday Tomography, ApJ(査読有), 843, 146, 12pp., 07/2017, DOI:10.3847/1538-4357/aa79a1
- ⑤ H. Akamatsu, Y. Fujita, T. Akahori, Y. Ishisaki, K. Hayashida, A. Hoshino, F. Mernier, K. Yoshikawa, K. Sato, J. S. Kaastra, Properties of the cosmological filament between two clusters: detection of a large-scale accretion shock by Suzaku, A&A(査読有), 606, 1, 8pp, 09/2017, DOI:10.1051/0004-6361/201730497
- ⑥ J. Farnes, B. M. Gaensler, C. Purcell, X. H. Sun, M. Haverkorn, E. Lenc, S. P. O’ Sullivan, T. Akahori, Interacting Large-Scale Magnetic Fields and Ionised Gas in the W50/SS433 System, MNRAS(査読有), 467, 4777, 35pp, 02/2017, DOI:10.1093/mnras/stx338
- ⑦ Y. Fujita, T. Akahori, K. Umetsu, C. L. Sarazin, K.-W. Wong, 2017, Probing WHIM around Galaxy Clusters with Fast Radio Bursts and the Sunyaev-Zel’dovich effect, ApJL(査読有), 834, 13, 4pp, 01/2017, DOI:10.3847/1538-4357/834/1/1
- ⑧ T. Kitayama, S. Ueda, S. Takakuwa, T. Tsutsumi, E. Komatsu, T. Akahori, D. Iono, T. Izumi, R. Kawabe, K. Kohno, H. Matsuo, N. Ota, Y. Suto, M. Takizawa, K. Yoshikawa, The Sunyaev-Zel’dovich Effect at Five Arc-seconds: RX J1347.5-1145 Imaged by ALMA, PASJ(査読有), 68, 88, 19pp, 10/2016, DOI:10.1093/pasj/psw082
- ⑨ T. Akahori, D. Ryu, B. M. Gaensler, Fast Radio Bursts as Probes of Magnetic Fields in Filaments of Galaxies, ApJ(査読有), 824, 105, 8pp, 06/2016, DOI:10.3847/0004-637X/824/2/105
- ⑩ T. Ozawa, H. Nakanishi, T. Akahori, K. Anraku, M. Takizawa, I. Takahashi, S. Onodera, Y. Tsuda, and Y. Sofue, JVLA S and X-band Polarimetry of the Merging Cluster Abell 2256, PASJ(査読有), 67, 110, 13pp, 12/2015, DOI:10.1093/pasj/psv082
- ⑪ Y. Kato, K. Nakazawa, L. Gu, T. Akahori, M. Takizawa, Y. Fujita, K. Makishima, Discovery of a nearby early-phase major cluster merger CIZA J1358.9-4750, PASJ(査読有), 67, 71, 8pp, 08/2015, DOI:10.1093/pasj/psv029
- ⑫ M. Johnston-Hollitt, F. Govoni, R. Beck, S. Dehghan, L. Pratley, T. Akahori, G. Heald, I. Agudo, A. Bonafede, E. Carretti, T. Clarke, S. Colafrancesco, T.A. Ensslin, L. Feretti, B. Gaensler, M. Haverkorn, S.A. Mao, N. Oppermann, L. Rudnick, A. Scaife, D. Schnitzeler, J. Stil, A.R. Taylor, and V. Vacca, Using the Rotation Measure Grid to Reveal the Mysteries of the Magnetized Universe, aska.conf(査読有), 92, 18pp, 05/2015, 10.22323/1.215.0092
- ⑬ A. R. Taylor, I. Agudo, T. Akahori, R. Beck, B. M. Gaensler, G. H. Heald, M. Johnston-Hollitt, M. Langer, L. Rudnick, D. Ryu, A. Scaife, D. Schleicher, J. M. Stil, SKA Deep Field and Cosmic Magnetism, aska.conf(査読有), 113, 9pp, 05/2015, DOI:10.22323/1.215.0113
- ⑭ M. Haverkorn, T. Akahori, E. Carretti, K. Ferriere, P. Frick, B. Gaensler, G. Heald, M. Johnston-Hollitt, D. Jones, T. Landecker, S. A. Mao, A. Noutsos, N. Oppermann, W. Reich, T. Robishaw, A. Scaife, D. Schnitzeler, R. Stepanov, X. Sun, R. Taylor, for the SKA Cosmic Magnetism Working Group, Measuring Magnetism in the Milky Way with the Square Kilometre Array, aska.conf(査読有), 096, 19pp, 05/2015, DOI:10.22323/1.215.0096
- ⑮ B. M. Gaensler, I. Agudo, T. Akahori, J. Banfield, R. Beck, E. Carretti, J. Farnes, M. Haverkorn, G. Heald, D. Jones, T. Landecker, S. A. Mao, R. Norris, S. O’ Sullivan, L. Rudnick, D. Schnitzeler, N. Seymour, X. Sun, Broadband Polarimetry with the Square Kilometre Array: A Unique Astrophysical Probe, aska.conf(査読有), 103, 13pp, 05/2015, DOI:10.22323/1.215.0103
- ⑯ A. Bonafede, F. Vazza, M. Brüggen, T. Akahori, E. Carretti, S. Colafrancesco, L. Feretti, C. Ferrari, G. Giovannini, F. Govoni, M. Johnston-Hollitt, M. Murgia, L. Rudnick, A. Scaife, V. Vacca, Unravelling the Origin of Large-Scale Magnetic Fields in Galaxy Clusters, aska.conf(査読有), 095, 9pp, 05/2015, DOI:10.22323/1.215.0095

[学会発表](計23件)

- ① 赤堀卓也, SKAによる突発天体, SKAJP パルサー・突発天体研究会(国内学会・招待講演), 鹿嶋, Jan 5-7, 2018

- ② 赤堀卓也, SKA 計画について, SKA 技術開発, ワークショップ(国内学会), 鹿児島, Dec 18, 2017
- ③ 赤堀卓也, 高速電波バーストの UHF 全帯域観測で探る宇宙磁場, 重力波&電磁波サーベイ&突発天体研究会(国内学会・招待講演), 山口, Mar 23-24, 2017
- ④ 赤堀卓也, 加藤佑一, 中澤知洋, 小澤武揚, Gu Lyli, 滝沢元和, 藤田裕, 中西裕之, 岡部信広, 牧島一夫, 衝突銀河団 CIZA J1358.9-4750 領域の広がった電波放射の探査, 日本天文学会(国内学会), 福岡, Mar 15-18, 2017
- ⑤ 赤堀卓也, UHF 全帯域で探る宇宙磁場・パルサー・突発現象・星間物質, 宇宙電波懇談会シンポジウム(国内学会・招待講演), 東京, Feb 22-23, 2017
- ⑥ 赤堀卓也, Exploring the Diffuse Ionized Gas in Our Galaxy by means of Long Wavelength Radio Observation, 第六回 DTA シンポジウム(国内学会・招待講演), 東京, Nov 24-25, 2016
- ⑦ T. Akahori, The Cosmic Web: A new discovery space in the SKA generation, SKA 2016: Science for the SKA generation(国際学会), Goa, India, Nov 7-11, 2016
- ⑧ T. Akahori, How many rotation measure grids do we need to probe the intergalactic magnetic field?, SPARCS 2016(国際学会), Goa, India, Nov 3-5, 2016
- ⑨ 赤堀卓也, 宇宙磁場・星間現象・パルサー・突発天体が集合する意義～汎用大型観測装置 SKA の UHF 帯コメンサルサーベイ～, 日本 SKA 合同サイエンス会議「銀河系内現象から大規模構造へ」(国内学会), 山形, Oct 27-29, 2016
- ⑩ T. Akahori, Recent SKA-Related Activities in Japan, Asia-Pacific Radio Science Conference (国際学会・招待講演), Seoul, Korea, Aug 21-25, 2016
- ⑪ T. Akahori, Probing the IGM, Boutique & Experiments 2016: Radio (国際学会・招待講演), Pasadena, USA, July 21-23, 2016
- ⑫ 赤堀卓也, MWA による宇宙磁場研究, MWA-Japan キックオフミーティング(国内学会), 名古屋, Jul 5, 2016
- ⑬ T. Akahori, The SKA Project, AU-JP Workshop on Low Frequency Astrometry (国際学会・招待講演), Kagoshima, Japan, Mar 28-31, 2016
- ⑭ 赤堀卓也, SKA で探る宇宙, 高エネルギー宇宙物理学懇談会シンポジウム(国内学会・招待講演), 東京, Mar 23-25, 2016
- ⑮ 赤堀卓也, D. Ryu, B. M. Gaensler, SKA 時代の FRB を用いた銀河間物質の探査, 日本天文学会(国内学会), 東京, Mar 14-17, 2016
- ⑯ 赤堀卓也, センチ波偏波観測と数値実験から探る宇宙のプラズマ, 宇宙電波懇談会シンポジウム(国内学会・招待講演), 東京, Mar 9-10, 2016
- ⑰ 赤堀卓也, センチ波偏波観測のサイエンスと将来計画, 偏波・偏光研究会(国内学会・招待講演), 茨城, Jan 28, 2016
- ⑱ 赤堀卓也, FRB で探る銀河間物質, 日本 SKA サイエンス会議「宇宙磁場」2015(第4回)(国内学会), 鹿児島, Sep 17-19, 2015
- ⑲ 赤堀卓也, SKA で探るミッシングバリオン銀河間磁場, 日本天文学会(国内学会), 神戸, Sep 9-11, 2015
- ⑳ T. Akahori, Proving RM due to the IGM with SKA, Origin, Evolution, and Signature of Cosmological Magnetic Fields(国際学会), Stockholm, Sweden, June 22-26, 2015
- ㉑ T. Akahori, J. S. Farnes, S. P. O' Sullivan, X. H. Sun, B. M. Gaensler, K. Takahashi, Simulated Faraday Properties of Depolarizing Intervening Galaxies, EMU/POSSUM/GALFACTS Workshop 2014(国際学会), Sydney, Australia, Dec 1-5, 2014
- ㉒ 赤堀卓也, 衝突銀河団 CIZA J1358.9-4750 の ATCA 観測, 日本 SKA サイエンス会議「宇宙磁場」2014(第3回)(国内学会), 東京, Nov 13-14, 2014
- ㉓ 赤堀卓也, 銀河研究の新技术: 偏波解消, 日本 SKA サイエンス会議「宇宙磁場」2014(第3回)(国内学会), 東京, Nov 13-14, 2014

[図書](計0件)

[産業財産権]

○出願状況(計0件)

○取得状況(計0件)

[その他]

なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

赤堀 卓也 (Akahori, Takuya)
国立天文台・水沢 VLBI 観測所・特任研究員
研究者番号: 70455913

以上