

学位論文の要旨

氏名

藏原 昂平

学位論文題目

磁場ベクトルマップに基づいた銀河の大局磁場構造に関する観測的研究

本論文は、新しく磁場ベクトル情報の抽出手法「磁場ベクトル再構築法」を開発し、近傍銀河に適用することで銀河の各点で磁場ベクトルを決定し、銀河の大局的な磁場構造を、磁場ベクトルを基に調査したものである。特に、銀河磁場に特徴的な渦状腕に沿った磁場構造のモード数を新しく決定し、これらの新しい手法によって決定された磁場構造が先行研究と一致するかを検証し、その磁場構造の起源や銀河磁場に関する新しい知見についてまとめた。

第1章では、本研究の背景を説明するため、銀河磁場に関する一般的な知識について、特に、本論文のテーマである銀河の大局磁場の「構造」に焦点を当て記述した。銀河磁場の「構造」は系内(天の川銀河)か系外(天の川銀河以外)で調査の進み具合がとかなり、系内においては大局的な磁場のベクトルが隣り合う渦状腕で反転すること(大局的磁場の反転)が確認されている(Han 2006)が、系外銀河ではそのような反転が確認されていなかった。次に、この背景を基にした本研究の目的を述べ、最後に本論文のあらましを示した。

第2章では、本研究を遂行する具体的な手法について記述した。特に、系外銀河の幾何構造を決定し、Rotation Measure (RM)とシンクロトロン偏波面の情報を組み合わせることで磁場ベクトル情報を抽出する「磁場ベクトル再構築法」の説明を中心に記述している。この手法を使うためには観測データから偏波角の情報を抽出することが必要である。したがって、本研究では偏波の解析が必要であるため、基礎的な偏波の解析方法についても記述した。磁場の構造の情報だけでなく強度に関しても議論を行うため、磁場強度を算出する具体的な方法についても記述した。

第3章では、先述した「磁場ベクトル再構築法」を適用するデータについて記述した。本論文では3天体を研究対象銀河としたため、それぞれの天体名、天球面上での位置、距離、Morphological Type、Position Angle、Inclination、などの基礎的な情報を基本的情報としてまとめた。追加情報として、各天体の先行研究を整理し、銀河や磁場の構造に関するものを記述した。また、用いたデータは波長4.8GHz(Cバンド)、8.4GHz(Xバンド)帯の連続データである。研究対象の近傍銀河NGC6946, NGC3627については、干渉計と単一鏡のデータを組み合わせた解析済みのデータを協力者からいただいたが、NGC4254に関してはNRAO Science Data Archiveから干渉計のデータを取得し利用した。

第4章では、結果として磁場ベクトルマップを示した。磁場ベクトルマップは、本論文で世界的に新しく得られた結果である。磁場ベクトルマップを得る際には、前景のRMを評価する必要があるため、C・Xバンドの偏波マップから算出されるRMマップについては、その頻度分布をガウシアンでフィッティングし前景を評価した。本論文中には偏波マップ、RMマップ、RMヒストグラム、速度場マップ、磁場強度動径分布を示した。

第5章では、解析した3天体の大局的な磁場構造に関する定量的な評価を行なった。まず、系外銀河においても大局的磁場の反転があるかどうかの議論を行った。磁場ベクトルマップベースで螺旋に沿った磁場の構造があることが確認でき、かつ、Phase diagramから隣り合う螺旋に沿った構造で磁場ベクトルの向きが約180度異なることを示した。また、各銀河の各半径におけるAzimuth方向の磁場ベクトルの反転を数えることで大局磁場のモード数を推定した。推定した磁場モードは同じ銀河であっても半径によって変化しており、複数の磁場モード数が混在していることが確認され、これは磁場ベクトルに基づいていない先行研究ともよく一致している。また、銀河ダイナモモデルとの比較により銀河の幾何学的構造と関係があることを示唆した。本章最後には、磁場ベクトルを抽出する際に考える誤差について評価しまとめた。

第6章では、各章をまとめる形で本論文を総括した。本論文では、磁場ベクトルを基に系外銀河の大局的な磁場構造を調査し、系外銀河においても大局的磁場の反転があることを発見し、そのモード数は単調ではなく複数のモードが1つの銀河に混在しており、銀河の幾何学的構造との関係が示唆される結果を得られた。

Summary of Doctoral Dissertation

Title of Doctoral Dissertation:

An observational study of the galactic magnetic field structure based on magnetic field vector maps.

Name: KURAHARA Kohei

This thesis comprised discussions about the galactic magnetic field structure, using the magnetic field vector reconstruction method. We developed a new magnetic field vector information extraction method called "Magnetic Field Vector Reconstruction Method (MFVRM)", and applied it to some nearby galaxies. In particular, the number of modes of the magnetic field structure along galactic spiral arms was determined.

Chapter 1 is introduction. I explained the general knowledge about the galactic magnetic field, focusing on the "structure" of the magnetic field. Magnetic field strengths of the order of μG are observed in many spiral galaxies including the Milky Way, and it is known that reversals between spiral arms exist in the magnetic field of the Milky Way based on the observations of pulsars (Han 2006). However no such reversal has been confirmed in other galaxies. In this chapter, the purpose of this research based on this background was described, and finally the outline of this paper was described.

Chapter 2 described the specific method. This description focuses on the explanation of the MFVRM that determines the geometric structure of galaxies and extracts magnetic field vector ambiguity by combining Rotation Measure (RM) and synchrotron polarization plane. In order to use MFVRM, it is necessary to derive the polarization angle from the observation data. Therefore, we also described the basic polarization analysis method. We also discuss not only the structure of magnetic field but also strength, a specific method for calculating the magnetic field strength based on an assumption of energy equipartition with cosmic ray electrons described in Beck & Krause (2005) is also described.

Chapter 3 gave the information of data to which MFVRM is applied. In this paper, 3 sources are the target galaxies, so basic information is summarized. The data used is continuum in the wavelength 4.8 GHz and 8.4 GHz. For NGC6946 and NGC3627 of our study, the collaborators provided analyzed data that combined the data of the interferometer and the single dish. For the other objects, the data of interferometer from the NRAO Science Data Archive were used.

In Chapter 4, the magnetic field vector maps were shown as a result. The polarization maps, RM map without foreground, RM histogram, velocity field map, and magnetic field intensity radial distribution are also shown.

Chapter 5 is discussion session. We made a quantitative evaluation of the large-scale magnetic field structure of the 3 sources. First, we discussed whether there is a global magnetic field reversal in these galaxies. Next, we also estimated the number of modes of structure along galactic spiral arms by counting the reversals of the magnetic field vector in the azimuth direction at each radius. The estimated magnetic field modes vary depending on the radius even in the same galaxy, confirming a mixture of multiple magnetic field modes, which is in good agreement with previous studies not based on magnetic field vector. Finally, we evaluated and summarized the possible errors in MFVRM.

Chapter 6 summarized this paper. In this paper, we investigated the magnetic field structure of galaxies based on the magnetic field vector, and found that there is a large-scale magnetic field reversal in extragalactic galaxies, and the number of modes is not monotonous. The results suggest that the magnetic field structure is related to morphological type of the galaxy.