

学 位 論 文 の 要 旨

氏 名	村瀬 建
学位論文題目	Properties on column density structure of molecular clouds based on probability density function of the column density and star-forming activities (柱密度確率頻度分布関数と星形成活動に基づいた分子雲の柱密度構造の特徴)

本論文は、野辺山45m宇宙電波望遠鏡を用いて取得された分子輝線データから、大質量星形成領域が周辺分子雲に与える影響範囲と、柱密度ヒストグラムを用いた分子雲の統計的性質について論じたものである。本論文は全5章で構成される。

第1章は、本研究の研究対象となる星間物質に関するこれまでの研究を概観した。特に、観測的研究からの知見に焦点を当てた。ここでは、温度と密度が異なる星間物質の層構造から始め、水素分子の形成経路、相転移についてまとめた。次に、分子ガス雲の特徴とこれまでに行われた統計的調査によって明らかにされた分子雲の性質についてまとめた。加えて、大質量星の性質と、大質量星が周囲の環境に与える影響を説明した。最後にこの背景を基にした本研究の動機となった疑問をまとめ、本論文の構成を記した。

第2章では、野辺山45m宇宙電波望遠鏡 (NRO45) を用いたアンモニア分子輝線観測に基づいた分子雲の温度分布について論じた。太陽の8倍以上の質量を持つ恒星は大質量星と呼ばれ、膨張するHII領域、強力なアウトフロー、強い恒星風、強い紫外線放射などを通じて周囲の星間物質に影響を与えることが知られている。その結果、次に形成される星の特性が異なる可能性が示唆されている。そこで、分子雲のガス温度分布に着目し、星形成活動が周囲の分子ガスに与える影響範囲を調査した。本研究では、異なる星形成段階にあるW33 Main, W33 A, W33 A1, W33 Main1を含む天域に対してアンモニア分子輝線を用いたマッピング観測を実施した。解析から得た回転温度の空間分布を調べたところ、観測領域の大部分では15 K程度の温度が得られたが、コンパクトHII領域が付随しているW33 Main 周辺では20 K以上の温度を示し、周辺の分子ガスと比べて加熱されていることが示された。その影響範囲は1.25 pc程度であることがわかった。

第3章では、柱密度ヒストグラムを用いた分子雲の密度階層構造について論じた。柱密度ヒストグラムは柱密度確率密度分布 (Column density probability distribution function: N-PDF) と呼ばれている。分子雲の物理的特性を調査する手法として観測、理論の両方で用いられている。これまで、N-PDF は低密度範囲での対数正規分布と、高密度範囲でのべき乗則分布の2つの成分で構成されると認識され、対数正規分布は乱流、べき乗則は自己重力が支配的な領域が形成すると解釈されてきた。しかし、高密度領域での対数正規分布からの過剰成分をどのような関数形として当てはめるかは、依然慎重に検討する必要がある。本研究では、複数の対数正規分布の組み合わせで N-PDF を解釈できる可能性を見出した。はくちょう座X領域の一酸化炭素輝線マッピングデータ (Nobeyama 45-m Cygnus X CO survey) に対して構造解析を実施し、取得した分子雲に対して N-PDF 解析を行なった。その結果、解析を行なった分子雲の全てにおいて1つ、または2つの対数正規分布の組み合わせだけで N-PDF をよく再現できることがわかった。また、N-PDF と分子雲内部での星形成活動との間の関係は薄いことがわかった。

第4章では、第3章で用いた解析手法を天の川銀河面の分子雲に拡張し、天の川銀河の環境と分子雲の物理特性について調査した結果をまとめた。FUGIN (FOREST Unbiased Galactic plane Imaging survey with Nobeyama 45m telescope) サーベイデータから抽出した96個の分子雲に対して N-PDF 解析を行った。その結果、最大で3つの対数正規分布の組み合わせで全てのN-PDFを再現できることがわかった。また、最も低密度で得られる対数正規分布の平均密度は大きな変動を示さなかった。本章では、N-PDFのフィッティングから得たパラメータを用いて、分子雲の性質に関する統計調査をまとめる。

本論文のまとめを第5章に記した。

Summary of Doctoral Dissertation

Title of Doctoral Dissertation: Properties on column density structure of molecular clouds based on probability density function of the column density and star-forming activities

Name: Murase Takeru

This PhD thesis is about the effect of massive star-forming regions on the surrounding molecular clouds and the statistical properties of the molecular clouds based on column density histograms. In this study, we used the Nobeyama 45-m radio telescope. This thesis consists of five chapters.

Chapter 1 reviews previous studies of the interstellar medium. In particular, we focused on knowledge from observational studies. First, we summarized the layer structure of the interstellar medium with different temperatures and densities, the formation pathways of molecular hydrogen, and the phase transition mechanisms that form the layer structure. Next, we reviewed the characteristics of molecular gas clouds and summarized the properties of molecular clouds revealed by the previous statistical studies. Then, the properties of massive stars and their impact on the surrounding environment are described. And finally, we summarize the questions that motivated this study based on this background and describe the structure of this paper.

Chapter 2 is about the temperature distribution of molecular clouds. Massive stars affect the surrounding interstellar medium through expanding HII regions, strong outflows, strong stellar winds, and intense ultraviolet radiation. In addition, this feedback from high-mass stars influences subsequent star formation. Therefore, we focused on the gas temperature distribution in molecular clouds to investigate how much star formation activity affects the surrounding molecular gas. We performed mapping observations in ammonia emission lines toward the W33 massive star-forming region. Consequently, the molecular gas surrounding the HII region located at W33 Main exhibited a higher temperature (> 20 K) than the rest of the observed area. The size of the influence area was estimated at approximately 1.25 pc.

In Chapter 3, we discussed the hierarchical density structure of molecular clouds based on column density histograms. The column density histogram is called the column density probability distribution function (N-PDF). Previous studies have shown that N-PDFs of many quiescent clouds are log-normal, whereas those of active star-forming clouds consist of two components: a log-normal and a pronounced power-law tail in the high-density range. However, careful consideration is required for what function form to fit the excess components in the high-density range. In this study, we considered the N-PDF using multi-log-normal distributions. We identified molecular clouds from the Nobeyama 45-m Cygnus X CO survey and conducted N-PDF analysis on the obtained molecular clouds. As a result, we found that the N-PDF could be well-fitted with one or two log-normal distributions. We also found that the N-PDF shape was less correlated with the star-forming activity.

In Chapter 4, we extended the analytical methods used in Chapter 3 to the molecular clouds in the Milky Way mid-plane. We performed N-PDF analysis on 96 molecular clouds decomposed from the FUGIN (FOREST Unbiased Galactic plane Imaging survey with Nobeyama 45m telescope) survey data. Consequently, we found that all N-PDFs can be fitted using a combination of up to three log-normal distributions. In addition, the mean column density of the lowest density log-normal distribution was independent of the galaxy environment. In this chapter, we summarize the statistical investigation of the properties of molecular clouds using the parameters obtained from the N-PDF fitting.

In Chapter 5, we summarized this thesis.