

氏 名 村 川 幸 史

学位（専攻分野） 博士(理学)

学 位 記 番 号 総研大甲第292号

学位授与の日付 平成9年9月30日

学位授与の要件 数物科学研究科 天文科学専攻

学位規則第4条第1項該当

学 位 論 文 題 目 Infrared studies on water ice distribution
in the Taurus dark cloud

論 文 審 査 委 員 主 査 教 授 中野 武宣
教 授 海部 宣男
助 教 授 小林 行泰
助 教 授 林 正彦
助 教 授 舞原 俊憲 (京都大学)

論文内容の要旨

In this paper, I will discuss the distribution of solid water in the molecular cloud, based on the spectroscopic observations toward the Taurus dark cloud.

In the interstellar space, dust surface works as catalysis of molecular formation and thus plays important role in the chemical evolution of the cloud. The solid water, or water ice, is the most abundant and ubiquitous ice component. Therefore water ice is a useful indicator of the chemical and physical condition in the interstellar space, since it is sensitive to the temperature, the density, and the ultraviolet radiation field. Recent observations in the millimeter wavelengths have resolved the detailed structures within the molecular clouds. Thus I attempted to identify the relationship between the water ice and small scale structures in the cloud.

Near infrared spectroscopy is used to study water ice that has a characteristic absorption band near $3.1 \mu\text{m}$ caused by O-H stretching mode. Usually the absorption band can be seen toward the background stars shining from behind the molecular cloud. Whittet et al. started such an measurement of stars in the direction of the Taurus molecular cloud complex, a nearby and prototype of the galactic molecular cloud of 10 pc scale.

I concentrated on a smaller region of 3 pc scale, Heiles Cloud 2 in the Taurus region. The star formation activity in Heiles Cloud 2 is moderate : only low mass stars are being formed and there are no OB stars which would produce destructive UV radiation. One can assume that the water ice in this region is controlled by the density of the molecular cloud and the external ultraviolet photon. 62 sources were detected by using PASP2 spectrometer covering 1.3 to $4.2 \mu\text{m}$ simultaneously, mounted on the 2.3 m Wyoming telescope and 1.5 m Mt. Lemmon telescope.

In order to estimate two parameters that characterize the molecular cloud, visual extinction A_V and water ice opacity τ_{ICE} , spectral type and continuum level of each object are determined. Spectral type of 53 out of 62 objects are derived from spectral energy distribution by standard method. Data for 2 stars are from the literature. The determination of continuum level relies on template stars with the same spectral type. Thus A_V and τ_{ICE} are systematically estimated for 55 objects.

The correlation between A_V and τ_{ICE} shows that absorption of water ice is detected above A_V of 2~5 magnitude and τ_{ICE} increases proportionally with A_V .

Scatters in the data are real, not caused by the observational errors nor the data reduction procedure. This result is consistent with trend in the larger scale. Whittet et al. derived similar A_V vs. τ_{ICE} correlation although with a sample of 17 field stars, and their result showed threshold of $A_V=3.3$ magnitude above which the water ice absorption is detected.

Comparison of the spatial distribution of 62 infrared sources with respect to the gas distribution is made. The denser part of the molecular gas is represented in the $C^{18}O$ distribution, while the outer, less dense regions are delineated in the ^{13}CO data. Recent millimeter observations by Sunada et al. revealed 4 dense clumps in Heiles Cloud 2. They show filamentary, elongated, or flattened shapes in 1 pc scale. Water ice detection is strongly correlated with the radio data: 6 sources of τ_{ICE} larger than 0.3 are associated with the dense $C^{18}O$ clumps. Outside of the $C^{18}O$ or ^{13}CO detection area, the water ice is not seen.

Simple geometrical structure of the dense clump is modeled to explain the A_V threshold. Density of dust in the ellipsoidal clump is assumed to decrease with square of the distance from the clump center. The result shows that A_V threshold varies from 2 to 5 magnitudes and τ_{ICE} increases with increasing A_V when the ratio of major to minor axis of the clump is changed. The variation in the threshold is due to the different contribution of the water-containing, inner portion of the clump along the line of sight. When the elongation is larger, the overall opacity increases while the contribution of the interior is smaller, and thus the threshold of water ice detection becomes larger.

This study implies that water ice detection level could differentiate the geometry of individual clumps in the molecular cloud without resolving the true spatial structure.

論文の審査結果の要旨

分子雲中の若い星や背景星の赤外線スペクトルには、 H_2O 、 CO 、 CH_3OH と言った比較的簡単な分子に伴う吸収バンドが観測される。これは分子雲中あるいは若い星の星周構造中の氷において、ダストを取り巻くように「氷」のマントルが成長しており、その主な成分がこれらの分子、とりわけ H_2O であることを示している。中でも暗黒星雲の背景にある星に対する赤外線吸収スペクトルの観測は、若い星の周りで変成を受けていない暗黒星雲中の氷マントルの性質や分布を調べる上で重要である。本申請者は、おうし座にある分子雲(=暗黒星雲) Heiles Cloud 2を通して見える62個の背景星に対して、多波長(波長範囲 $1.3\sim 4.2\mu\text{m}$)同時の低分散分光観測を行った結果、52個の天体に対し従来より系統的かつ高精度で、 $3.08\mu\text{m}$ における水の氷(water ice)の吸収量(τ_{ice})と分子雲中のダストによる減光量(A_V)とを決定した。さらに、これらの物理量に基づき、以下のような議論を行った。

(1) 分子雲 Heiles Cloud 2における水の氷の空間分布(すなわち、水の氷のマップ)を描き出し、これを最近のミリ波観測による分子輝線の高解像度マップと比較した。前者のようなマップは、氷のフィーチャーと背景星固有のスペクトルを同時に決定することのできる特殊な分光器(PASP2)を用いることによって、観測の難しい $3\sim 4\mu\text{m}$ 帯の分光観測を効率よく行い、多数の天体を観測することで、初めて可能になった。この比較の結果、氷は分子雲のフィラメント・クランプと呼ばれる高密度領域でより深い吸収として検出され、外側に向かうほど弱くなり、分子雲から離れた場所では全く検出されないという氷と分子輝線の分布の相関が見事に明らかにされた。

(2) 精度良く決定された氷の吸収量と減光量の相関を詳細に調べた結果、氷が検出されるための最低限の減光量 $A_V(\text{threshold})$ が有意に分散した値を取ることに着目し、これが分子雲内の幾何学的構造に起因するものと示唆し、分子雲の幾何学的構造の簡単なモデル化を行い、観測結果を説明することが出来た。このモデルは分子雲の視線方向についての大きさも予測している。

(3) 限られた分解能ではあるが、得られたスペクトルの氷のプロファイルを相互比較した結果、背景星のプロファイルには2例を除いて大きな差が見られないこと、および、同じ領域にある若い星は、背景星と異なるプロファイルを持つ可能性を示した。

(4) 星間減光についても、この分子雲における近赤外線波長域における減光則が、一般の星間空間における減光則とはかなり異なっているという重要な可能性を示唆した。本申請者の以上の成果は、分子雲中におけるダストと分子雲自体に関して、他の方法では得ることの難しい、貴重でかつ、質・量ともに優れたデータを提供し、これら分野における重要な貢献をしたものと評価される。本研究において申請者は、主に、観測・データ解析・議論の部分を中心となって進めた。

以上を勘案して本審査委員会は、本論分が博士(理学)の学位を受けるにふさわしいものと判定した。