

学 位 論 文 題 名

# NH<sub>3</sub> lines observation of the Orion filament region with the Hokkaido University 11-m radio telescope

(北大11m 電波望遠鏡によるオリオンフィラメント領域のNH<sub>3</sub> 輝線観測)

## 学位論文内容の要旨

### 1 背景

星の形成はその周囲に大きな影響を与え、惑星系の形成さらには銀河そのものの進化に大きな影響を与える。低質量星は近年の理論的、観測的技術の向上によって比較的良くその形成過程がわかってきた。一方で、大質量星は(1) 磁場や乱流などの複雑な効果が大きい。(2) クラスターで形成される。(3) 生存時間が短く絶対数が少ない。(4) 比較的我々から離れたところに存在している。などの理由から低質量星と比較すると理論的にも観測的にも詳細に研究するのが困難である。しかしその形成、進化過程において重元素が合成され、大質量星からの紫外光によって周りのガスが電離されるなど低質量星と比べると周囲に与える影響が大きいと考えられ、銀河進化そのものにも大きな影響を与える。大質量星の形成進化過程および、その周囲への影響を調べる事は星形成の普遍的な描像を与えるとともに銀河の形成、進化の解明にもつながる。

また、星が形成される過程ではその母体である分子雲の質量や温度や密度などの物理状態がそこから形成される星の質量や温度を決定している可能性が考えられる。大質量星が生まれている巨大分子雲の性質を知ることによってそこから生まれる大質量星の形成過程を知る手がかりを得る事ができる。また、大質量星形成の結果としてこれらの分子雲に与えている影響を調べる事によってその源である大質量星の性質を知ることにも出来ると考えられる。分子雲の多くは細長いフィラメント状の形状をしており、星はそのフィラメントに沿った分布をしていることから、この形状が星形成に何らかの役割を果たしていると考えられる。

### 2 観測領域と観測装置

我々は代表的な大質量星形成領域と知られ、我々から最も近い大質量星形成領域の一つであるオリオン分子雲を北海道大学11m電波望遠鏡を用いて観測した。オリオン領域は480 pcの位置にあり、銀河面の下15°に横たわる巨大分子雲である。この分子雲の北方には1.2°(7 pc)程度の長さのフィラメント構造が存在しており(f-shape構造)、このフィラメント中には今現在最も活発に大質量星が形成されているオリオンKL領域が存在する。また、KL領域の北方には低、中質量星の形成が知られており、質量の異なる星形成を研究するのには適した対象である。

11-m 電波望遠鏡(図1)は22GHz帯の観測を行うための改修を行った。この周波数帯にはアンモニア反転遷移( $J, K$ )=(1,1), (2,2), (3,3), (4,4)の輝線周波数が含まれる。それらの周波数は非常に近いため同時に観測でき、強度比から導出する物理量を精度良く求める事が出来る。11-m 電波望遠鏡のビームサイズは5'であり分子雲を大きなスケールで観測するのに適している。

### 3 結果と解析

我々は2005年11月から2006年6月にかけて、及び2006年11月から2006年12月にかけて観測を行った。観測点は以下の5つのカタログを用いた。(1) Cesaroni コア (Cesaroni et al. 1994) (2) 暗黒星雲カタログ (Dobashi et al. 2005) (3) アンモニアコアカタログ (Jijina et al. 1999) (4) IRAS カタログ (5) CS コア

アカタログ (Tatematsu et al. 1993) 観測した点のうち 14 点で  $\text{NH}_3$  ( $J, K$ )=(1,1) の輝線を観測できそのうち 4 点は我々が始めて検出に成功した。14 点のうち 12 点では (2,2) の輝線を、さらにオリオン領域周辺の 3 点では ( $J, K$ )=(1,1), (2,2), (3,3) の 3 本の輝線を検出した。また、オリオン K L 領域でのみ、( $J, K$ )=(4,4) の輝線を検出する事ができた。図 1 (右) は観測輝線の例 (position 3) である。それらの輝線から視線速度、光学的厚み、線幅、輝線強度を求め、異なる遷移の強度比などからその観測点の回転温度 (励起温度)、柱密度を導出した。また、回転温度から運動温度の見積もりも行った。

得られた輝線の視線速度からこのフィラメント領域は  $9.0 \times 10^{-14} \text{ s}^{-1}$  の角速度で回転している事が示唆され、線幅は K L 領域周辺で約  $3.0 \text{ km s}^{-1}$  それ以外の領域では  $1.0 \text{ km s}^{-1}$  という値を得た。また、( $J, K$ )=(1,1), (2,2) の輝線の比から導出した回転温度はオリオン K L 周辺領域で約 27 K、それ以外の領域では 15 K 程度となりさらに高励起の遷移が検出出来た点でより高温の成分 (80 K, 98 K) の存在も確認された。積分強度の比から導出した柱密度は K L 周辺で  $2.5 - 4.0 \times 10^{13} \text{ cm}^{-2}$ 、それ以外の領域で  $2.0 \times 10^{13} \text{ cm}^{-2}$  となった。温度と線幅の間には正の相関が見られた。

また、今回の観測で得たデータと 100-m 望遠鏡のデータを比較し、11-m 望遠鏡のビームの中の構造を考察した。その結果、オリオン K L 周辺ではアンモニアの存在領域が比較的コンパクトに集まっており ( $\Phi = 0.1 - 0.2$ )、(1,1) 輝線に対する (2,2) 輝線の割合は大きい事がわかった。それ以外の領域ではアンモニア存在領域は比較的ビームを埋めており ( $\Phi = 0.3 - 0.5$ ) かつ、オリオン K L と比較すると (1,1) 輝線に対する (2,2) 輝線の割合が小さい事がわかった。

オリオン K L 領域では温度、線幅ともにそれ以外のオリオン領域と比べると突出して大きな結果が得られ、比較のために用いた牡牛座領域の値とも明らかな相違が見られた。さらに、他のデータを用いた結果からオリオン K L 領域周辺の YSO の割合が大きく、それ以外の領域と比較すると活発に星が形成されている事が示唆された。また、赤化量の大きな点がオリオン K L 周辺に存在しており、それらの点とは我々が求めた柱密度の大きな点と一致した。フィラメント領域とそれ以外の領域における質量関数 (IMF) を比較すると、低質量星側はフィラメント構造と関係なく一致したが、大質量星側の質量関数はフィラメント領域とそれ以外ではその傾きが異なっており、フィラメント構造が大質量星の形成に何らかの役割を果たしている可能性が示唆された。

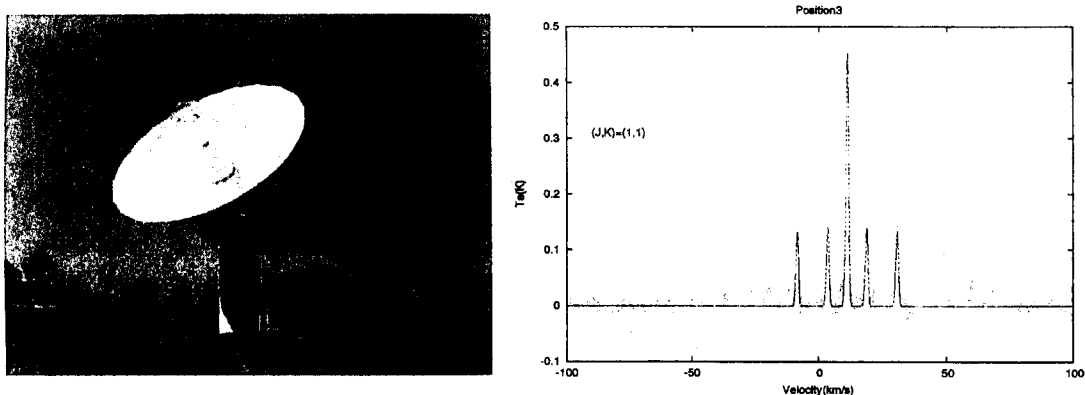


図 1: 左 : 北大 11 m 電波望遠鏡、右 : Position 3(05<sup>h</sup>35<sup>m</sup>24.33<sup>s</sup>, -05°11′00.30″, B1950) 観測スペクトル

## 4 結論

我々は 22 GHz 帯観測のために改修をした北海道大学 11-m 電波望遠鏡を用いてオリオンフィラメント領域の観測を行った。比較的大きなビームの特性を生かし、今までに観測されていた領域よりも広い領域を観測し、今までに観測されていない 4 点で始めてアンモニアの検出に成功した。また、導出出来るすべての点で物理量を計算した。その結果、温度や線幅、柱密度などがオリオン K L 領域で突出しており、それ以外のオリオン領域ではほぼ一様であることが確認された。また、先行研究によるタウラス領域の結果と比べても有意に大きい事がわかった。他のデータを用いた考察からもオリオン K L 領域はそれ以外の領域よりも活発に星が形成されている事がわかり、フィラメント領域が生まれる星に何らかの役割を果たす可能性が示唆された。

## 参考文献

- [1] Cesaroni, R. & Wilson, T.L. 1994, ApJ, 281, 209
- [2] Dobashi, K., Uehara, H., Kandori, R., Sakurai, T., Kaiden, M., Umemoto, T., Sato, F. 2005, PASJ, 57, 417
- [3] Jijina, J., Myers, P.C., & Fred C. Adams 1999, ApJS, 125, 161
- [4] Tatematsu, K., Umemoto, T., Kameya, O., Hirano, N., Hasegawa, T., Hayashi, M. et al. 1993, ApJ, 404, 643

# 学位論文審査の要旨

主 査 助 教 授 羽 部 朝 男

副 査 教 授 藤 本 正 行

副 査 教 授 渡 部 重 十

副 査 教 授 石 川 健 三

副 査 教 授 中 井 直 正 (筑波大学大学院数理

物質科学研究所)

## 学 位 論 文 題 名

### NH<sub>3</sub> lines observation of the Orion filament region with the Hokkaido University 11-m radio telescope

(北大11m 電波望遠鏡によるオリオンフィラメント領域のNH<sub>3</sub> 輝線観測)

宇宙空間で希薄なガスから星が誕生する星形成過程の解明は天文学の大きなテーマである。特に太陽質量程度の小質量星の形成過程の研究は最近進んでいるが、太陽の 10 倍程度以上の質量を持つ大質量星の形成過程はまだよくわかっておらず、その解明のためには星形成の母体である分子雲(密度の高いガスのかたまり)の性質をよく調べる必要がある。

本申請者は北海道大学 11m 電波望遠鏡の建設の初期の段階から参加し、特に望遠鏡焦点において電波を受信するホーンや低雑音で高利得を実現する冷却増幅部という受信観測システムの心臓部の開発製作を行い、天体からの微弱な電波を高感度で検出する装置の実現に貢献した。またそれを用いて近傍にある大質量星形成領域であるオリオン分子雲の物理状態を極めて高い精度で決定した。

星形成の母体である分子雲にはいろいろな分子が存在している。その中でもアンモニアは 23 GHz 付近の狭い周波数帯域内に多くのスペクトル線が存在するため、物理量を正確に測定するには有用な分子である。本申請者はその特徴を活かして、大質量星形成領域であるオリオン分子雲のアンモニア輝線 4 本の同時観測を今までにない広い領域で実施し、輝線強度比から輝線の光学的厚み、分子ガスの回転温度(励起温度)、運動温度、柱密度、オルソ・パラ比などを極めて正確に求めた。その結果および既存の他のデータとの比較から、当該分子雲の中心付近である KL 領域と呼ばれる場所では分子雲がコンパクトでガス密度が非常に高く、またそこでは大質量星がたくさん存在することを示した。また KL 領域から離れた場所では密度の低い分子ガスが広く拡散して分布しており且つ大質量星が少ないことを示した。一方、太陽質量の数倍程度以下の小質量星の密度分布は 2 つの領域で同程度 であることも示された。以上の結果は大質量星が誕生するのに必要な分子ガスの物理条件 を求めた価値ある内容であり、高感度受信システムの開発と合わせ、博士(理学)の学位 に十分値する内容であり高く評価される。

よって審査員一同は、著者が北海道大学博士(理学)の学位を授与される資格あるものと認める。