

化学進化から調べる星団形成

大橋聡史 (東京大学大学院 理学系研究科)

Abstract

分子雲コア (~ 0.1 pc, $10 M_{\odot}$) は乱流場が卓越し、安定平衡状態であることが知られている。分子雲コアがどのように不安定になり、どのように星形成を始めるのかは、星形成研究において最も重要な課題の一つである。そこで我々は化学進化と力学進化の両方の観点から分子雲コアの進化を調べた。特に、銀河系のほとんどの星は巨大分子雲の中で星団として誕生することが知られているので、太陽系から最も近い巨大分子雲である Orion A GMC で観測を行った。その結果、CCS, HC₃N 分子は分子雲コアの初期で豊富になり、N₂H⁺ や NH₃ は後期段階で豊富になることが明らかになった。つまりこれらの分子の柱密度比を計ることで分子雲コアの進化が判別できる。また、化学進化とコアの乱流の散逸には相関があることも、新たにわかった。乱流の散逸が分子雲コアを不安定にし、星形成を始める上で重要な役割であることを示している。

1 Introduction

地球近傍の暗黒星雲では分子雲コアの進化と化学進化の関係は明らかになりつつある。先駆的な研究として Suzuki et al. (1992) ではいくつかの暗黒星雲に位置する分子雲コアに対して CCS, HC₃N, NH₃ 分子輝線の観測を行った。その結果、原始星が付随している星形成コアでは NH₃ の柱密度が高い傾向にあり、原始星が付随していない星なしコアでは CCS や HC₃N の柱密度が高い様子を明らかにした。化学進化のモデルからも炭素鎖分子は分子雲コア形成の初期に豊富にあり、その後 N₂H⁺ や NH₃ などの N-bearing 分子が豊富になる結果が得られてる。これは、低密度な分子雲中では宇宙線などの高エネルギー線によって炭素原子が電離 (C⁺) していることが影響していると考えられている。分子雲コアが形成される高密度領域では、電離した炭素原子は互いに結合し炭素鎖分子を形成、イオン同士の反応速度は早いので化学進化の初期に形成されると考えられている。一方で N-bearing 分子は N₂ 分子から派生するので、中性分子の反応は遅くなる。また炭素鎖分子は低温領域ですぐにダストと結合し、depletion を起こすのに対し、N-bearing 分子は depletion しにくいという特徴もあり、低温高密度領域でもガス中に存在することができる。本研究では、このように暗黒星雲で示唆されている化学進化を示す分子が GMC でも化学進化の指標となるか調べることを目的である。

GMC は銀河系のほとんどの星の誕生現場であり、乱流が卓越し、暗黒星雲よりも温度が高いことが知られている。よって GMC での化学進化を確立することは星形成研究において非常に重要である。

2 Observations

オリオン座 A 分子雲は太陽系に最も近い GMC の一つで、距離は 412 pc である。この GMC はすでに CS($J = 1 - 0$) 分子輝線による広域マッピングが行われており、125 個のコアが同定されている (Tatematsu et al. 1993)。これらの分子雲コアに対し、野辺山 45m 電波望遠鏡を用いて CCS, HC₃N, N₂H⁺ の観測を行った。また、NH₃ 分子は Wilson et al. (1999) で導出された柱密度を参照し、化学進化を調べた。詳しい観測は Tatematsu et al. (2014) と Ohashi et al. (2014) に書かれている。

3 Results & Discussion

3.1 オリオン座 A 分子雲の化学進化

図 1 は $N(N_2H^+)/N(CCS)$ と温度の関係を示している。この図から、星ありコアでは N₂H⁺ が豊富で星なしコアでは CCS が豊富になっていることがわかる。つまり分子雲コアの形成直後では CCS などの炭

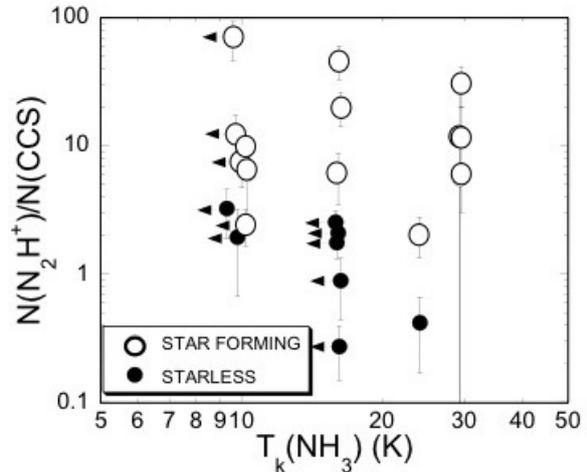
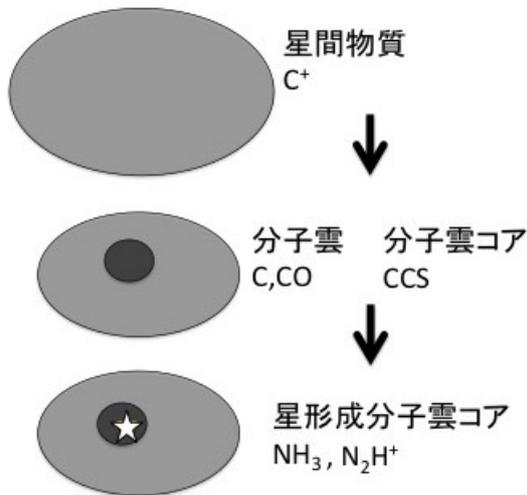
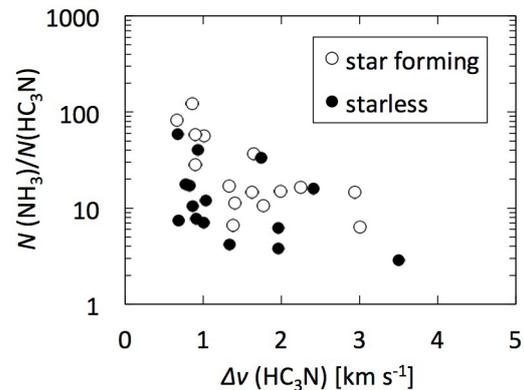


図 1: 左：分子雲の星形成に伴う化学進化の概念図。右：Orion A cloud における CCS と N_2H^+ の柱密度比-回転温度図。白黒は星形成の有無を表し、星形成コアが星なしコアより高い柱密度比を示している。(Tatematsu & Ohashi et al. 2014)

素鎖分子が卓越し、進化が進むにつれて N_2H^+ などの分子が増えることを示している。

図 2 は $N(NH_3)/N(HC_3N)$ の柱密度比と線幅の関係を示している。この図からもわかるように HC_3N は星なしコアで豊富になり、 NH_3 は星ありコアで豊富になっている。以上のことから、巨大分子雲でも炭素鎖分子は化学進化の若い段階で豊富になり、N-bearing 分子は後期段階で豊富になることが示唆される。



3.2 コアの物理進化と化学進化の関係

上のセクションでは、柱密度比が星ありと星なしコアの判別が可能になったことを示した。しかしながら、これは原始星が形成されたことによる radiation や heating によって化学組成が変化している影響も考えられる。そこでコアの化学進化と物理進化の関係を調べた。Nakano (1998) では臨界半径を式 (1) で定義し、臨界半径に対しコアの半径が小さくなることでコアは非平衡状態となり重力不安定で星が形成されることを示した。

$$R_{cr} = \frac{4GM_{core}}{15\pi C_{eff}^2} \quad (1)$$

図 2: Orion A cloud における HC_3N と N_2H^+ の柱密度比-線幅関係。星ありコアでは NH_3 の柱密度が高く、星なしコアでは HC_3N の柱密度が高い。また全体的に線幅が広くなると比が減少していく傾向が見られる。

$$C_{eff} = \left(\frac{\Delta V_{tot}^2}{8 \ln 2} \right)^{1/2} \quad (2)$$

ここで C_{eff} は乱流を考慮した実効的音速である。コアの質量が一定だと考えると、コアは乱流が散逸することによって非平衡状態へとなり星形成を起こす

と考えられる。

Tatematsu, K., Ohashi, S., Umemoto, T., et al. 2014, PASJ, 66, 16

Wilson, T. L., Mauersberger, R., Gensheimer, P. D., Muders, D., & Bieging, J. H. 1999, ApJ, 525, 343

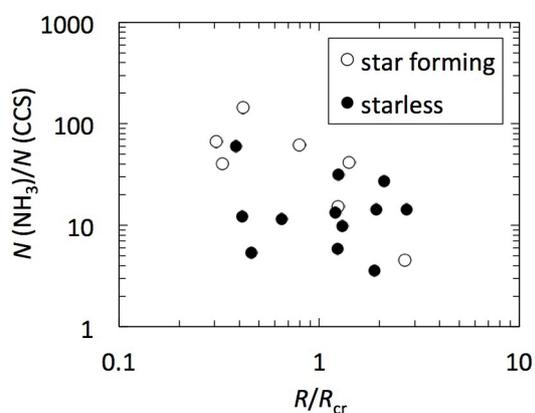


図 3: 化学進化を示す NH_3/CCS 柱密度比—半径/臨界半径の関係

図 3 は化学進化を示す NH_3/CCS 柱密度比と物理進化を示す半径/臨界半径 (R/R_{cr}) の関係を示す。この図から、 R/R_{cr} が減少するにつれて、 NH_3/CCS が増加している様子を示している。これは、コアのダイナミカルな進化（乱流の散逸）に従って、化学組成も進化している様子を示す。

Acknowledgement

基礎物理学研究所 (研究会番号: YITP-W-15-04) 及び国立天文台、野辺山宇宙電波・太陽電波観測所からのご支援に感謝いたします。

Reference

Nakano, T. 1998, ApJ, 494, 587

Ohashi, S., Tatematsu, K., Choi, M., et al. 2014, PASJ, 66, 119

Suzuki, H., Yamamoto, S., Ohishi, M., et al. 1992, ApJ, 392, 551

Tatematsu, K., Umemoto, T., Kameya, O., et al. 1993, ApJ, 404, 643