

暗黒星雲コアにおけるcyclopropanylidene ($c\text{-C}_3\text{H}_2$) のオルトーパラ比
ORTHO-TO-PARA ABUNDANCE RATIO OF CYCLIC- C_3H_2 IN DARK CLOUD CORES

○森澤勇介^a・百瀬孝昌^a・笠井康子^b・川口健太郎^c
(^a京都大院理・^b通信総合研究所・^c岡山大理)

○YUSUKE MORISAWA^a, TAKAMASA MOMOSE^a
YASUKO KASAI^b, KENTAROU KAWAGUCHI^c

^aDivision of Chemistry, Graduate School of Science, Kyoto University

^bCommunications Research Laboratory

^cDepartment of Chemistry, Okayama University

We have observed four emission lines of $c\text{-C}_3\text{H}_2$ in the millimeter region with Nobeyama 45m radio telescope toward five cloud cores in TMC-1. From the observed intensities, the density of H_2 molecules and the fractional abundance of ortho(O) and para(P) of $c\text{-C}_3\text{H}_2$ were calculated using the LVG model. The O/P abundance ratio of $c\text{-C}_3\text{H}_2$ determined from the calculated abundance is found to be lower than 3 in all the observed cloud regions, although both the statistical ratio and the thermal equilibrium ratio at the dust temperature of 10K are predicted to be 3. The deviation of the O/P ratio of $c\text{-C}_3\text{H}_2$ from 3 indicates that the O/P ratio of the precursor molecule $c\text{-C}_3\text{H}_3^+$ is also different from its statistical ratio. Since the precursor molecule $c\text{-C}_3\text{H}_3^+$ is believed to be produced mainly by the reaction of $c\text{-C}_3\text{H}^+ + \text{H}_2$, the deviation may be a result of the lower O/P ratio of H_2 molecules than the statistical value in the observed regions. We will discuss details of the observed data and its analysis.

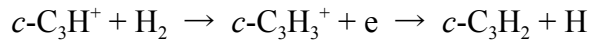
TMC-1 (Taurus Molecular cloud -1) は ridge 構造を持った cold、dark、quiescent な分子雲である。この分子雲では、多くの化学種が見つかっており、carbon chain や NH_3 などの分子を用いた化学進化の詳細な研究が行われてきた。その結果、イオウ、窒素、炭素を含む分子の化学進化の観点から、carbon chain や carbon ring がたくさん含まれる南東側は“化学的進化段階として若い段階 (Early stage 10^5yr)”にあり、 NH_3 や SO が多く含まれる北西側はさらなる進化段階 ($\sim 10^6\text{yr}$) に入っていると考えられるようになっている。[1]

このように、TMC-1 においては化学進化についての詳細な研究が行われてきた。しかし、それ以外の天体については、体系的な研究はほとんど行われていない。それは、分子の存在量が天体によって違うために、TMC-1 で用いられた carbon chain や NH_3 が、その化学進化を考察するための一般的指標にならないためである。もし、存在量が天体の種類にあまり左右されない分子の分光情報から化学進化についての知見が得られるならば、多くの天体についてのより体系的な研究ができると期待される。例えば、 $c\text{-C}_3\text{H}_2$ は、水素に対する存在比が多くの天体で約 $10^{-8} \sim 10^{-9}$ と報告されている。[2] この $c\text{-C}_3\text{H}_2$ の分光情報が使えるのであれば、多様な星雲の化学進化を知る手がかりとなるはずである。

$c\text{-C}_3\text{H}_2$ は二つの等価な水素原子を持つ扁平非対称コマ分子である (fig. 1)。分子内に核スピンを持つ原子が等価に二つ存在すると、分子はその原子の核スピンの対称性からオルトとパラという二つに分類される。孤立分子の異なる核スピン間の変換は非常に遅いため、オルト分子とパラ分子は別々の分子と考えることができる。したがって一般にオルトとパラの比 (O/P 比) はその分子が生成したときの情報を含んでいる。 $c\text{-C}_3\text{H}_2$ の場合オルトとパラの基底状態間のエネルギー差が小さい (約 2.3K) ため、固相 (3K) で生成された場合でも、高温の極限值を取る。したがって、 H_2CO 分子で行われてきた様な[3]、O/P 比の高温極限值からのずれから、その生成機構を判別する (気相反応か固相反応か) ことはできない。

しかしながら、 $c\text{-C}_3\text{H}_2$ の O/P 比はいくつかの分子雲のなかで、高温の極限值よりも小さいこと

が観測されている。Takakuwa[4]らはこの観測結果が $c\text{-C}_3\text{H}_2$ の生成過程におけるスピン保存則を考慮することで説明しようと提案した。この核スピンの保存則は、理論だけでなく実験においても検証が進められている。[5][6]その結果、ラジカルやイオンの反応において反応物の核スピンの分布が、生成物の核スピンの分布、低温では特に回転状態の分布に影響を与える事がわかっている。よって、観測されている $c\text{-C}_3\text{H}_2$ の O/P 比が高温の極限值からずれているという事実は、生成過程の中で核スピンの保存則の影響を受けた後、そのまままだ平衡に達していない事を示している。 $c\text{-C}_3\text{H}_2$ は宇宙空間では以下の反応によって生成されていると考えられている



ゆえに、 $c\text{-C}_3\text{H}_2$ の O/P 比はその星雲の中の H_2 の O/P 比の情報を含んでいると考えられる。すなわち、 $c\text{-C}_3\text{H}_2$ の O/P 比の観測から、 H_2 の O/P 比の情報を得ることができ、そこから、観測している星雲の進化について考察できると期待される。

今回、TMC-1 の 5 つの核において、 $c\text{-C}_3\text{H}_2$ のオルト 2 本、パラ 2 本のミリ波の遷移を観測した。これらの観測結果を、LVG モデルを用いて解析することにより、それぞれの核の H_2 の密度、 $c\text{-C}_3\text{H}_2$ の存在比、 $c\text{-C}_3\text{H}_2$ の O/P 比を算出した。講演では、その結果から得られる TMC-1 の各々の cloud core についての進化の違いを、これまでの別の分子の観測から得られている結果と比較議論する。

- [1] Hirahara Y., Suzuki H., Yamamoto S., Kawaguchi K., Kaifu N., Ohishi M., Takano S., Isikawa S., Masuda A., *Astron. Astrophys. J.* **394**, 539 (1992).
- [2] Cox P., Walmsley C.M., Güsten R., *Astron. Astrophys.* **209**, 382 (1989).
- [3] Dickens J.E., Irvine W.M., *Astrophys. J.* **518**, 733 (1999).
- [4] Takakuwa S., Kawaguchi K., Mikami H., Saito M., *Publ. Astron. Soc. Japan* **532**, 251 (2001).
- [5] Uy D., Cordonnier M., Oka T., *Phys. Rev. Lett.* **78**, 3844 (1997).
- [6] Fushitani M., Momose T., *J. Chem. Phys.* **116**, 10739 (2002).
- [7] Vrtilik J.M., Gottlieb C.A., Thaddeus P., *Astrophys. J.* **314**, 716 (1987).

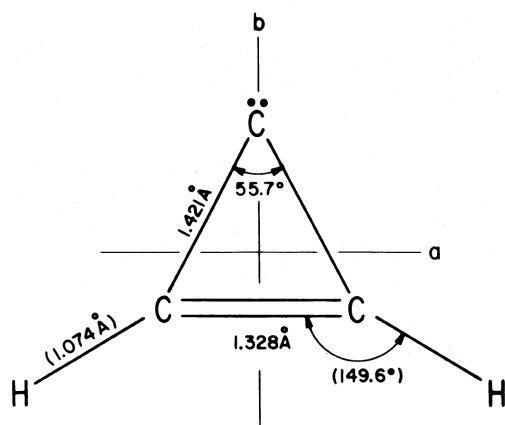


fig. 1 $c\text{-C}_3\text{H}_2$ の分子構造 (ref. [7]の FIG. 1 より)