

宇宙電波観測による低質量星形成領域 L1527 における
炭素鎖分子 HC₃N の ¹³C 同位体存在量比の精密観測

○荒木光典¹, 高野秀路², 坂井南美³, 山本智⁴, 小山貴裕¹, 久世信彦⁵, 築山光一¹

¹東京理科大学、²日本大学、³理化学研究所、⁴東京大学、⁵上智大学

The precise observations of the ¹³C isotopic abundance ratios of carbon chain molecule HC₃N in the low-mass star forming region L1527 by radio observations

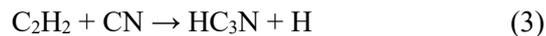
Mitsunori Araki¹, Shuro Takano², Nami Sakai³, Satoshi Yamamoto⁴, Takahiro Oyama¹, Nobuhiko Kuze⁵, and Koichi Tsukiyama¹

¹Tokyo University of Science, ²Nihon University, ³The Institute of Physical and Chemical Research (RIKEN), ⁴The University of Tokyo, ⁵Sophia University

We observed the three ¹³C isotopic species of HC₃N in a warm carbon-chain chemistry (WCCC) region, the low-mass star-forming region L1527, with the high signal-to-noise ratios using Green Bank 100 m telescope and Nobeyama 45 m telescope to explore the production scheme of HC₃N. The spectral lines of the $J = 5-4$, $9-8$, $10-9$, and $12-11$ transitions in the 44–109 GHz region were measured to determine isotopic abundance ratios. The abundance of the normal species HCCCN was determined from the line intensities of the weak hyperfine components of the $J = 5-4$ transition. The isotopic abundance ratios were precisely determined to be $1.00 : 1.01 \pm 0.03 : 1.35 \pm 0.04 : 86.4 \pm 2.2$ for $[H^{13}CCCN] : [HC^{13}CCN] : [HCC^{13}CN] : [HCCCN]$. It was found that the abundance of $H^{13}CCCN$ is equal to that of $HC^{13}CCN$, and it was suggested that HC₃N is mainly formed by the reaction scheme *via* C₂H₂ and C₂H₂⁺ in L1527.

【序】不飽和炭素鎖分子は、黒鉛とダイヤモンドに次ぐ炭素の第三の形態であるといわれ、その歴史はフラーレンより古い。これらは、暗黒星雲でこれまで多く発見されてきたが、より進化が進み原始性が誕生した星形成領域でも発見されてきている。その代表例が、低質量星形成領域 L1527 である[1]。

不飽和炭素鎖分子の代表種であるシアノポリインの生成機構として、C₂H₂ あるいは C₂H₂⁺ から HC₃N が生成する“二炭素成長機構”が、暗黒星雲では受け入れられている。



特に、暗黒星雲 TMC-1 では HC₃N について ¹³C 同位体種の測定からこの機構が明らかになっている[2]。しかし、星形成領域での機構は明らかではなく、それを探るためには、¹³C 同位体存在量比の精度の高い観測が必要である。そこで、我々は、最も短いシアノポリインである HC₃N の同位体存在量比を精密に導出した。そして、その生成機構を推定した。

【観測】42–44 GHz 帯の $J = 5-4$ 回転遷移は、100 m グリーンバンクの望遠鏡を用いて観測を行なった。2015 年 2 シーズンにわたり、延べ 43 時間の観測を行ない、各 ¹³C 同位体種におい

て、 $S/N = 33\text{--}44$ が達成できた (図 1 上)。また、分子雲内の励起温度 (分子の回転温度) を決定するために、より高い回転遷移 $J = 10\text{--}9$ と $9\text{--}8$ の測定を、野辺山 45m 電波望遠鏡を用いて行った。

【結果と考察】 HCC^{13}CN について、回転遷移 $J = 5\text{--}4$ 、 $9\text{--}8$ 、 $10\text{--}9$ の電波強度 (T_{MB}) を合わせて解析し、励起温度を 12.1 K と求めた。柱密度 (存在量) の導出には、この励起温度をすべての同位体種に適用した。

親分子 HCCCN は、電波強度が強く光学的に厚いため、自己吸収が起こり、真の柱密度を求めにくい。しかし、この分子の場合、最も強度の強いライン (図 1 下中) は、核四極子相互作用による超微細構造 $F = 6\text{--}5$ 、 $5\text{--}4$ 、 $4\text{--}3$ のブレンドラインで、その両側に強度がその $1/73$ である $F = 4\text{--}4$ と $5\text{--}5$ のラインが存在する。今回、それらを観測することができた (図 1 下左右)。それらは光学的に薄いため、親分子の柱密度を正確に求めることができた。得られた柱密度は、各 ^{13}C 同位体と親分子の間の比の導出を可能にした。

その結果、同位体存在量比を

$$[\text{H}^{13}\text{CCCN}] : [\text{HC}^{13}\text{CCN}] : [\text{HCC}^{13}\text{CN}] : [\text{HCCCN}] = \\ 1.00 : 1.01 \pm 0.03 : 1.35 \pm 0.04 : 86.4 \pm 2.2$$

と決定できた。もし、存在量比が、 HC_3N と $^{13}\text{C}^+$ による同位体交換反応で決められていたとすると、

$$[\text{H}^{13}\text{CCCN}] < [\text{HC}^{13}\text{CCN}] < [\text{HCC}^{13}\text{CN}]$$

となるはずであるが、それは今回の結果とは異なる。よって、これら同位体存在量比は、同位体交換反応によるものではない。 H^{13}CCCN と HC^{13}CCN の存在量が等しいことから、低質量星形成領域 L1527 でも、 HC_3N は二炭素成長機構 (反応(1)~(3)) によって生成していることが示唆される。

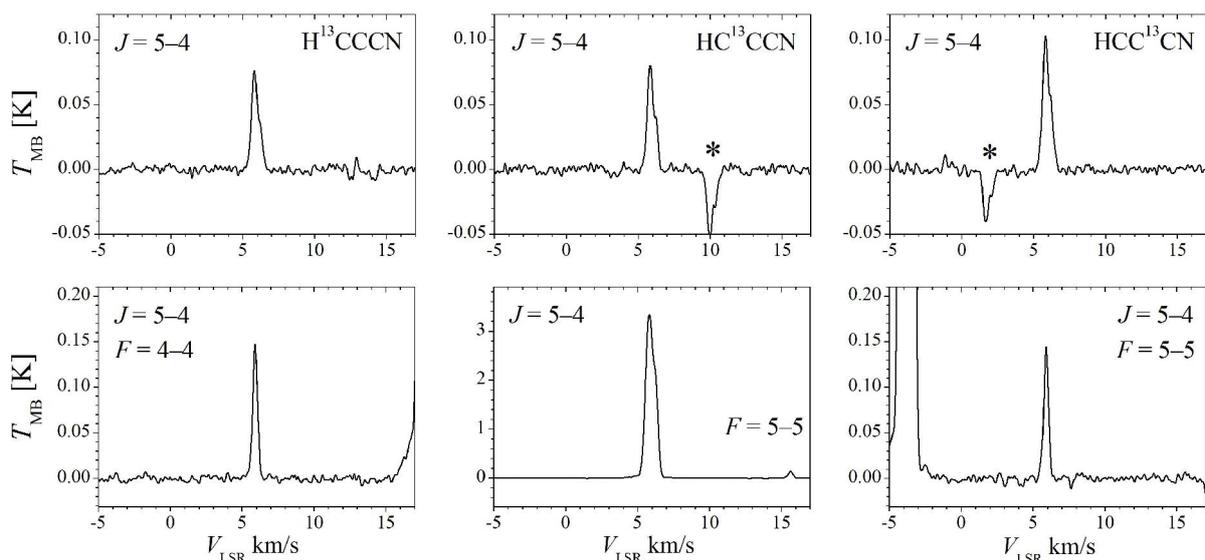


図 1、 HC_3N の各 ^{13}C 同位体の $J = 5\text{--}4$ 回転遷移におけるライン強度 (横軸は視線速度)

参考文献

- [1] Sakai, N., Sakai, T., Hirota, T., & Yamamoto, S. 2008, *ApJ*, 672, 371.
- [2] Takano, S., Masuda, A., Hirahara, Y., et al. 1998, *A&A*, 329, 1156.