

大質量星形成領域 Sgr B2(M)における HC₃N の同位体比の高精度決定

(東京理科大学^a, 日本大学^b, 上智大学^c, 群馬大学^d, 国立交通大学^e)

○小山貴裕^a・安部凜^a・宮崎彩音^a・荒木光典^a・高野秀路^b・
久世信彦^c・住吉吉英^d・築山光一^a・遠藤泰樹^e

Precise determination of the isotopic ratios of HC₃N in the massive star-forming region Sgr B2(M)

(Tokyo Univ. of Science^a, Nihon Univ.^b, Sophia Univ.^c, Gunma Univ.^d, National Chiao Tung Univ.^e)

Takahiro Oyama^a, Rin Abe^a, Ayane Miyazaki^a, Mitsunori Araki^a, Shuro Takano^b,
Nobuhiko Kuze^c, Yoshihiro Sumiyoshi^d, Koichi Tsukiyama^a, Yasuki Endo^e

Isotopic ratio is a critical parameter in understanding galactic chemical evolution. Especially, carbon isotopic ratios and isotopic fractionation of organic molecules reflect their formation mechanism. We observed the simplest cyanopolyynes HC₃N and its isotopomers in the massive star-forming region in the Galactic center region Sgr B2(M) with Nobeyama 45 m radio telescope. The column density and the rotational temperature of HC₃N were determined to be $1.6 \times 10^{15} \text{ cm}^{-2}$ and 163 K, respectively. The ratios of the column densities for the ¹³C isotopomers were derived to be [H¹³CCN]:[HC¹³CCN]:[HCC¹³CN] = 1:1.03(4):0.99(3), where the rotational temperature was fixed to that of HC₃N. The ratios are almost the same, suggesting no isotopic fractionation for the specific carbon atoms in HC₃N. Therefore, it is considered that the ¹³C isotope exchange reactions do not contribute to make difference among the column densities of the three ¹³C isotopomers in the relatively warm region of Sgr B2(M). In contrast, the reported ratios in TMC-1 and L1527 are 1:1.0(1):1.4(2) and 1:1.01(2):1.35(3), respectively, showing the higher abundances of HCC¹³CN. We also observed the transitions in the vibrational excited states of HC₃N. The rotational temperature of 362 K in the ν_4 , ν_5 , ν_6 and ν_7 excited states was obviously different from that of the vibrational ground state.

【序】星間空間での同位体比は、銀河における分子の生成過程を明らかにする上で強力な指標となる。特に星間分子の4割を占める炭素鎖分子の¹³C同位体比は、その炭素鎖の伸長過程を考える上でも大変興味深い。しかし、これら炭素鎖分子が多数報告されている我々の銀河の中心領域において、炭素鎖分子の¹³C同位体比の高精度な値はこれまで報告されておらず、炭素鎖分子の生成過程についても不明な点が多いため。そこで我々は、炭素鎖分子の生成過程の解明を目指して、比較的単純な炭素鎖分子であるHC₃Nを用いて、銀河中心領域での¹³C同位体種の高精度測定を行った。

【観測】国立天文台野辺山宇宙電波観測所45mミリ波望遠鏡を用いて、銀河中心領域にあるSgr B2(M) (17^h47^m20.3^s, -28°23′07.3″)に対して、2016年4月9-11日に波長3mm帯(87.5-91.5, 99.6-103.6 GHz)、5月23-24日に7mm帯(42.5-45.5 GHz)で観測を行った。3mm帯では両偏波同時受信のSIS受信機を、7mm帯では冷却HEMT受信機をそれぞれ使用した。電波分光計にはデジタル型のもの(SAM45)を用いた。望遠鏡の空間分解能に相当するビーム幅は、それ

それぞれ $18.^{\circ}2 \pm 0.1$ 、 $38.^{\circ}7 \pm 0.1$ であった。実質的なデータの積算時間は 3 mm 帯が約 4 時間、7 mm 帯が約 1 時間である。

【結果と考察】 図 1 に今回観測された $\text{HC}_3\text{N}(J=10-9)$ と、その ^{13}C 同位体種、 H^{13}CCCN 、 HC^{13}CCN 、 HCC^{13}CN のスペクトルを示す。これらのラインの帰属には、ケルン大学のデータベースを用いた¹。 HC_3N については、他にも $J=11-10$ のラインが観測された。これら二つのラインを用いて、回転ダイヤグラム法²から HC_3N の回転温度と柱密度が、163 K、 $1.6 \times 10^{15} \text{ cm}^{-2}$ と

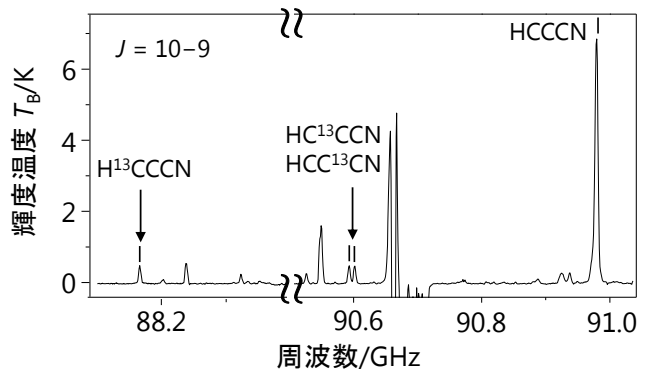


図 1. 観測された HC_3N のライン。

求まった。ここで双極子モーメントは報告されている実験値、3.73172 D に固定した³。三つの ^{13}C 同位体種が観測されたのは、 $J=10-9$ 遷移だけだったことから、回転温度を HC_3N の値に固定することで柱密度をそれぞれ算出した。そこから炭素同位体比の下限値は $^{12}\text{C}/^{13}\text{C} = 19$ 、各同位体種の存在比は $[\text{H}^{13}\text{CCCN}]:[\text{HC}^{13}\text{CCN}]:[\text{HCC}^{13}\text{CN}] = 1:1.03(4):0.99(3)$ と求まり、全ての炭素でほぼ同じであることが明らかになった。星が形成していない低温(10 K)の暗黒星雲 TMC-1 や低質量星形成領域 L1527 では、この比は $1:1.0(1):1.4(2)$ および $1:1.01(2):1.35(3)$ と報告されており、窒素原子と隣り合った炭素原子について ^{13}C の同位体差がある^{4,5}。しかし、Sgr B2(M) ではそのような傾向は見られなかった。これは Sgr B2(M) が TMC-1 や L1527 より高温であり、発熱過程である同位体交換反応による寄与が小さいためだと考えられる。

HC_3N の ν_4 、 ν_6 、 ν_7 、 $3\nu_7$ (or ν_5)、 $4\nu_7$ (or $\nu_5 + \nu_7$) 振動励起状態についても $J=10-9$ 、 $11-10$ のラインが観測された。図 2 にその回転ダイヤグラムを示す。ここから振動励起状態の回転温度は 362 K と算出された。この値は上で求めた振動基底状態の値、163 K よりかなり大きい。実際、振動励起状態の値が全て直線に乗るのに対して、振動基底状態は明らかに異なる値を示している。このことは振動励起がより高温な領域で起こっている可能性を示している。 HC_3N の振動励起は分子雲中にある星形成で温められた領域(ホットコア)からの赤外放射によってのみ起こると考えられており⁶、振動励起状態はこの周りに局在化している。

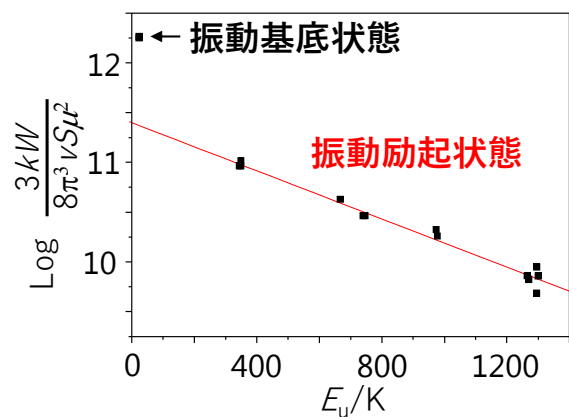


図 2. 振動励起状態の回転ダイヤグラム。基底状態のプロットは二点の差が小さいので重なって見える。

[1] <https://www.astro.uni-koeln.de/cdms>.

[2] B. E. Turner, *ApJS* **76**, 617 (1991).

[3] R. L. DeLeon and J. S. Muentzer, *J. Chem. Phys.* **82**, 1702 (1985).

[4] S. Takano, A. Masuda, Y. Hirahara, H. Suzuki, M. Ohishi, S. Ishikawa, N. Kaifu, Y. Kasai, K. Kawaguchi, and T. L. Wilson, *Astron. Astrophys.* **329**, 1156 (1998).

[5] M. Araki, S. Takano, N. Sakai, S. Yamamoto, T. Oyama, N. Kuze, and K. Tsukiyama, *ApJ* **833**, 291 (2016).

[6] P. D. Vicente, J. M. Pintado, R. Neri, and P. Colom, *Astron. Astrophys.* **361**, 1058 (2000).