

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¹、日本大学²、上智大学³、群馬大学⁴、国立交通大学⁵)

○小山 貴裕¹、安部 凜¹、宮崎 彩音¹、荒木 光典¹、高野 秀路²、
久世 信彦³、住吉 吉英⁴、築山 光一¹、遠藤 泰樹⁵

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

(Tokyo Univ. of Science,¹ Nihon Univ.,² Sophia Univ.,³

Gunma Univ.,⁴ National Chiao Tung Univ.⁵)

○Takahiro Oyama,¹ Rin Abe,¹ Ayane Miyazaki,¹ Mitsunori Araki,¹ Shuro Takano,²
Nobuhiko Kuze,³ Yoshihiro Sumiyoshi,⁴ Koichi Tsukiyama,¹ Yasuki Endo⁵

【序】星間空間での元素同位体比の研究は、銀河の化学進化 (GCE) を明らかにする上で強力な武器となる。特に星間分子の四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。そこでは我々は、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。観測領域は、銀河中心領域に位置する大質量星形成領域 SgrB2(M)とした。さらに今回、振動励起状態での純回転遷移が多数観測されたことから、HC₃N の振動基底と励起状態についての回転温度の違いが明らかになった。また、銀河中心でほとんど観測報告が無い HC₃¹⁵N が観測され、¹⁴N/¹⁵N 比についての知見が得られた。

【観測】国立天文台野辺山宇宙電波観測所の 45 m ミリ波望遠鏡を用いて、Sgr B2(M) (17^h47^m20.3^s, -28°23'07.3") に対して、2016年4月9～11日に3 mm 帯 (87.5–91.5, 99.6–103.6 GHz)、5月23～24日に7 mm 帯 (42.5–45.5 GHz) で観測を行った。分光計にはデジタル型の電波分光計 (SAM45) を、受信機には3 mm 帯で両偏波同時受信の SIS 素子を用いたものを、7 mm 帯で冷却 HEMT アンプを用いたものをそれぞれ使用した。ビーム幅は、それぞれ18."2 ± 0.1、38."7 ± 0.1であった。実質的な積算時間 (総 ON 点時間) 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 HC₃N ($J=10-9$) と、その三つの ¹³C 同位体種、H¹³CCCN、HC¹³CCN、HCC¹³CN 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。HC₃N については、他にも $J=11-10$ のラ

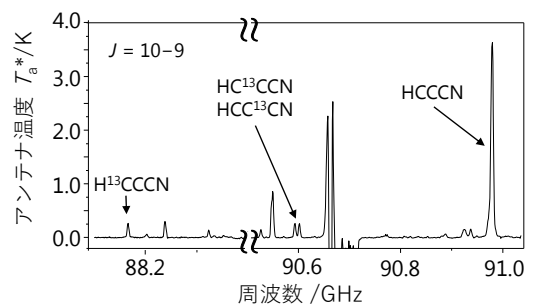


図1. 観測された HC₃N のライン。

インが観測された。これら二つのラインを用いて、回転ダイアグラム法²から HC₃N の回転温度と柱密度が、163 K、 $1.6 \times 10^{15} \text{ cm}^{-2}$ と求まった。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 ¹³C 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 HC₃N 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は $^{12}\text{C}/^{13}\text{C} = 20$ 、各同位体種の存在比は $[\text{H}^{13}\text{CCCN}]:[\text{HC}^{13}\text{CCN}]:[\text{HCC}^{13}\text{CN}] = 1:1.04(4):1.01(4)$ 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。おうし座暗黒星雲 TMC-1 などの Starless dark cloud では窒素原子と隣り合った炭素原子について ¹³C の同位体濃縮が起こることが報告されているが⁴、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 (運動温度約 10 K) より高温であり、発熱過程である同位体交換反応が起こりにくいためだと考えられる。

HC₃N 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 にその回転ダイアグラムを示す。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状態が異なる物理環境にあることを意味している。HC₃N 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⁵、振動励起状態はこの周りに局在化していると思われる。

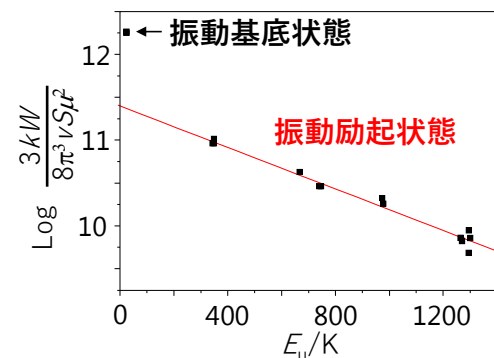


図 2. 振動励起状態の回転ダイアグラム。基底状態のプロットは二点の差が小さいので重なって見える。

最後に ¹⁵N 同位体種についても柱密度求め、同位体比を算出した。図 3 に今回観測された HC₃¹⁵N の $J=10-9$ 遷移を示す。星間空間でのこのラインの観測は今回が初である。回転温度を 163 K に固定することで、柱密度は $1.6 \times 10^{13} \text{ cm}^{-2}$ と算出された。これより銀河中心領域での窒素同位体比が $^{14}\text{N}/^{15}\text{N} \approx 99$ と見積もられた。この比は、¹⁴N および ¹⁵N 原子の生成過程の違いを反映したものであり、銀河中心からの距離に比例して大きくなることが知られている^{6,7}。しかし、銀河中心近傍での値は、まだ不明瞭な点が多い。これは、¹⁵N 同位体種の正確な観測データがこの領域で少ないためだと考えられる。今回の観測結果は、¹⁴N/¹⁵N に対する HC₃N のトレーサーとして有用性を示すものであり、今後この同位体種について更なる観測が必要だと思われる。

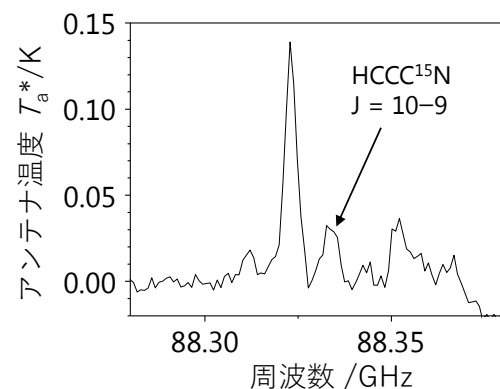


図 3. 観測された HC₃¹⁵N のライン。

References: [1] <https://www.astro.uni-koeln.de/cdms>. [2] B. E. Turner, *ApJS* **76**, 617 (1991). [3] R. L. DeLeon *et al.*, *J. Chem. Phys.* **82**, 1702 (1985). [4] S. Takano *et al.*, *Astron. Astrophys.* **329**, 1156 (1998). [5] P. D. Vicente *et al.*, *Astron. Astrophys.* **361**, 1058 (2000). [6] G. Dahmen *et al.*, *Astron. Astrophys.* **295**, 197 (1995). [7] G. R. Adande *et al.*, *ApJ* **744**, 194 (2012).