大質量星形成領域 Sgr B2(M)での HOCO ラジカルの探査

（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]）
〇安部凜[a]，宮﨑彩音[a]，小山貴裕[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]

A search for the HOCO radical 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])
Rin Abe[1], Ayane Miyazaki[1], Takahiro Oyama[1], Mitsunori Araki[1], Shuro Takano[2], Nobuhiko Kuze[3], Yoshihiro Sumiyoshi[4], Koichi Tsukiyama[1], Yasuki Endo[5]

Long lasting challenges to detect the simplest amino acid glycine (H_2NCH_2COOH) in interstellar medium has not been successful. As a preliminary step toward search of glycine, the detection of its precursors have received attention. It is considered that glycine is produced by the reaction of the HOCO radical and the aminomethyl radical (CH_2NH_2) on interstellar grain surface. In the present study, we carried out the observations of HOCO in the massive star-forming region Sgr B2(M). Although HOCO could not be detected, the upper limit of the column density was derived to be 9.0×10^{12} cm^{-2}.

【序】グリシンは最も単純なアミノ酸であり、それを星間空間で検出することは生命の起源に迫ることに繋がる。しかし、グリシンは双極子モーメントと回転定数が小さいため、電波を用いた星間空間での直接観測は難しい。近年、グリシン検出の前段階として、グリシンの様々な前駆体の探査が注目を集めている。そこで我々は星間塵表面でのグリシンの生成過程の一つである HOCO ラジカルとアミノメチルラジカル(CH_2NH_2)の反応に着目した [1]。

$$\mathrm{HOCO} + \mathrm{CH_2NH_2} \rightarrow \mathrm{H_2NCH_2COOH} \quad (1)$$

CH_2NH_2 は、星間塵表面でのシアン化水素への 3 段階水素付加反応によって、HOCO ラジカルはヒドロキシルラジカル(OH)と一酸化炭素(CO)の反応や、ギ酸(HCOOH)の光分解で生じると考えられる [1]。

$$\mathrm{OH} + \mathrm{CO} \rightarrow \mathrm{HOCO} \quad (2)$$

$$\mathrm{HCOOH} \xrightarrow{h\nu} \mathrm{HOCO} + \mathrm{H} \quad (3)$$

しかし、CH_2NH_2 については実験室での純回転遷移の観測報告がなく、星間空間からのシグナルの同定はできない。一方、我々は近年、HOCO ラジカルについて実験室での回転遷移の観測を行い、超微細構造定数を含めた分子定数を高精度で決定した [2]。これにより、遷移周波数の高精度な予想が可能である。そこで本研究では、星間空間での HOCO ラジカルの検出を目指して観測を行った。

HOCO ラジカルは二つの構造異性体、*trans* 体(安定状態)及び *cis* 体(準安定状態)を持つ。また、双極子モーメント μ_a はそれぞれ 2.6 D 及び 1.3 D で、*trans* 体の方が大きい値を持つことから、本観測では *trans* 体の *a*-type 遷移を観測対象に選んだ。

【観測】国立天文台野辺山宇宙電波観測所の 45 m 電波望遠鏡を用いて、大質量星形成領域 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 に観測結果(実線)を示す。今回、HOCO の N = 2_{02}-1_{01}、4_{04}-3_{03} の観測を試みたが、この領域で明らかなピークは検出できなかった。HOCO の電子基底状態は ^{2}A′であり、回転遷移は不対電子と水素の核スピン(I=1/2)による微細、超微細構造を持つ。しかし、Sgr B2(M)では分子雲内の運動により一般的に線幅が太くなるので、核スピンによる分裂は観測されないと考えられる。

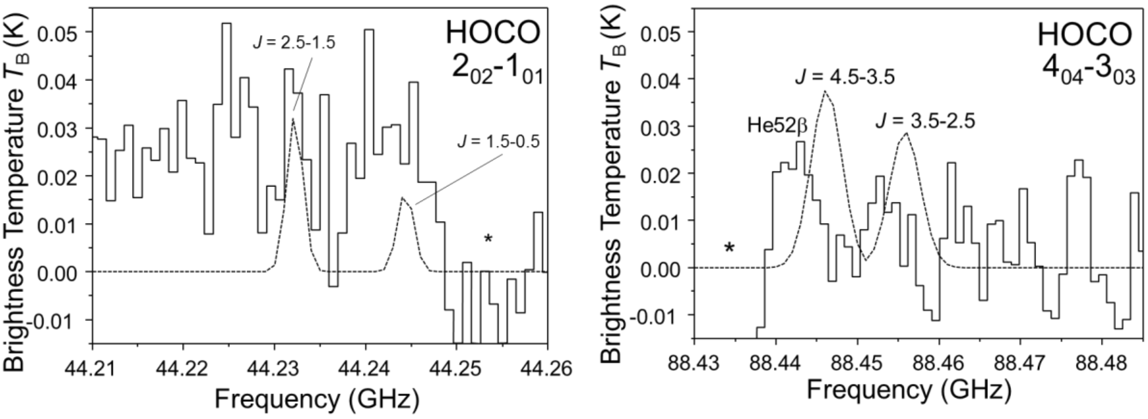

図 1. HOCO の予測される強度(破線)と実測のスペクトル(実線)
左が 44 GHz 帯、右が 88 GHz 帯、He52βはヘリウムの再結合線である

ノイズの二乗平均平方根(Root Mean Square, RMS)は、44 GHz 帯と 88 GHz 帯でそれぞれ 23.8、5.2 mK となった。そこで、88 GHz 領域での RMS から回転ダイアグラム法 [3] を用いて HOCO ラジカルの柱密度の上限値を 9.0×10^{12} cm^{-2} と算出した。その際、回転温度はμ_a が近い $HOCO^+$の Sgr B2 での報告値、12.3 K に固定し [3]、さらにピークの検出には最低でも S/N=3 を必要とすると仮定した。この柱密度から予想されるラインの強度を図 1 に破線で示す。(1)式の反応がグリシン生成の主な経路と仮定した場合、HOCO ラジカルはグリシンと同程度、星間空間に存在すると予想される [1]。これより Sgr B2(M)でのグリシンの柱密度の上限値も~1×10^{13} cm^{-2} 程度と推測される。表 1 にこれまでに報告されている星間空間でのグリシンの柱密度の上限値を示す。今回求まった値は、これらより 1、2 桁小さい。

表 1 主な既報のグリシンの柱密度の上限値 [5-8]

Objects	Upper limits (cm^{-2})
Sgr B2(N)	2.2×10^{13}
L1544	1.4×10^{15}
Sgr B2(N-LMH)	4.2×10^{14}
Sgr B2(LMH)	3.7×10^{14}
Sgr B2(OH)	7.0×10^{13}

Ref: [1] D. E. Woon *et al.*, *ApJ*. **571**, L177 (2002). [2] T. Oyama *et al.*, *J. Chem. Phys.* **134**, 174303 (2011). [3] B. E. Turner *et al.*, *ApJS.* **76**, 617 (1991). [4] A. Belloche *et al., A&A* **482**, 179 (2008). [5] P. A. Jones *et al., MNRAS*. **374**, 579 (2007). [6] Y. J. Kuan *et al., ApJS.* **593**, 848 (2003). [7] M. R. Canningham *et al., MNRAS.* **376**, 1201 (2007). [8] R. D. Brown *et al.*, *MNRAS*. **186**, 5 (1979).