

HCOOCH₃ の振動励起状態の帰属から探る オリオン分子雲(KL)における振動回転分布

(岡山大学大学院・自然*富山大学大学院・理工**, 国立天文台***) ○藤森 隆彰*, 川口 建太郎*, 小林 かおり**, 佐々木 睦**, 柿本 優**, 高野 秀路***

【序】オリオン分子雲は地球から約 1500 光年離れたところにある最も近い大質量の星形成領域である。その中でもオリオンKLには大量の高密度ガスが存在していることから、その内部には大質量の原始星が存在していると考えられている。塵の集積と集積した厚い雲の中で個々のガス分子の相互作用で複雑な化学物質の合成が行われていると考えられている。オリオン KL にはアミノ酸に含まれるNH₂基とCOOH基を持つ分子が多数見付かっているのでアミノ酸の探査が多くの研究者により行われてきた。今回高感度で広い周波数領域を一度に観測できる受信機が導入されたので、β-アラニンの探査を行い、その過程で多くの未同定線が検出された。本研究ではそれらの帰属の中で内部回転を持つため数多くの遷移をもつギ酸メチル HCOOCH₃ について報告する。HCOOCH₃ の $v_t=0$ (基底状態) 123 本を我々は帰属した。 $v_t=1$ (ねじれ振動第一励起状態) は小林等¹⁾によって検出されている。今回の周波数帯では小林等が見つけた遷移も含めて 6₂₅-5₁₄ など 21 本の検出を確認している。 $v_t=2$ については前田ら²⁾によって実験室分光が行われ、120~370 GHz の解析により 80 GHz 帯の遷移周波数の予測がなされた。誤差は 0.01~50 MHz と与えられている。本研究ではオリオン KL における $v_t=2$ における A 状態と E 状態のスペクトルの測定について強度の観点から詳細な検討を行った。

【観測】2008年2月に、野辺山宇宙電波観測所45m 鏡を用いて、93~109 GHz の観測を行った。観測に用いた受信機は新しい導波管型 2SB ミキサで、一度に 2 GHz の領域を音響光学型の分光計を 8 台(バンド幅 各 250MHz)用いることで測ることができた。今まで使われていた 100 GHz 帯の SIS ミキサの大気込み雑音温度が 300 K 程度なのに対して今回は 200 K 以下で観測を行うことができ、従来に比べて 3 倍広い周波数領域を一回の測定で観測できたので、観測効率が著しく向上した。

【結果・考察】HCOOCH₃ におけるそれぞれ $v_t=0, 1, 2$ の回転スペクトルの発光強度を以下の式を用いて解析を行った。

$$\log \frac{3kW}{8\pi^3\nu S\mu^2 g_l g_k} = \log \frac{N}{Q_{\text{rot}}} - \frac{E_u}{k} \frac{\log e}{T_{\text{rot}}} \quad (1)$$

$$Q_{\text{rot}} = \sum_{\text{all } E_i} g_J g_k g_l \exp(-E_i/kT_{\text{rot}}) \quad (2)$$

ここで W : 積分強度[K], ν : 周波数[MHz], S : line strength, μ : 永久双極子モーメント [Debye], N : カラム密度[cm^{-2}], E_u : 上の状態のエネルギー[cm^{-1}]であり、 Q_{rot} は分配関数で A 対称種では $g_l = 2, g_k = 1$, E 対称種では $g_l = 1, g_k = 2$ で、 T_{rot} : 回転温度である。(1)式から横軸 E_u/k 、縦軸 (1)式の左辺で線形フィットを行うことで N と T_{rot} を求める。基底状態の遷移では、Turner³⁾, Chang 等⁴⁾が Orion KL においてそれぞれ 70~115 GHz, 139~150 GHz の観測により回転温度を(1)式

より求めている。Turner は 21.7(+7.0, -4.3) K と 61.4(+9.0, -6.9) K の成分を見出している。一方 Chang et al.は 21.8 (+7.3, -4.4) K の成分のみを見出している。Turner の 2 種類の成分には A, E 対称種が混在していると考えられている。 $v_t=1$ では Orion-KL 方向で、小林等によって 44 ± 10 K の成分のみ報告されている。 $v_t=2$ の A 状態については、 $8_{17}-7_{16}$ 遷移など 7 本を今回検出した。 $8_{17}-7_{16}$ 遷移のスペクトルを図 1 に示す。前田等の測定結果(110~380 GHz)から得られた分子定数を用いて line strength S の計算を行い、(1)式を用いて A 対称種に対するボルツマンプロットを行った。結果を図 2 に示す。その傾きから回転温度を見積もると 11 ± 3 K となった。これは $v_t=1$ の回転温度より低いが $v_t=0$ の誤差範囲内で一致している。一方、E 対称種のスペクトルについては計算から予想される周波数 に誤差範囲 <6 MHz 内で一致する $9_{19}-8_{18}$ 遷移など 6 本のスペクトル線を帰属できた。ただし強度が問題であるので実験室における強度測定を行う予定である。計算、実験、観測における強度を矛盾なく説明することで星形成領域の物理状態を解明していく。

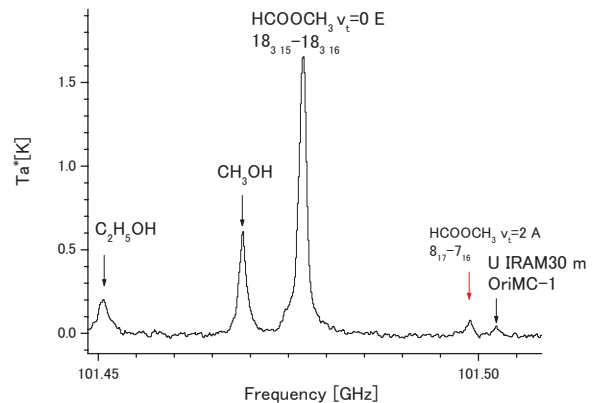


図1 HCOOCH₃ $v_t=2$ のスペクトル

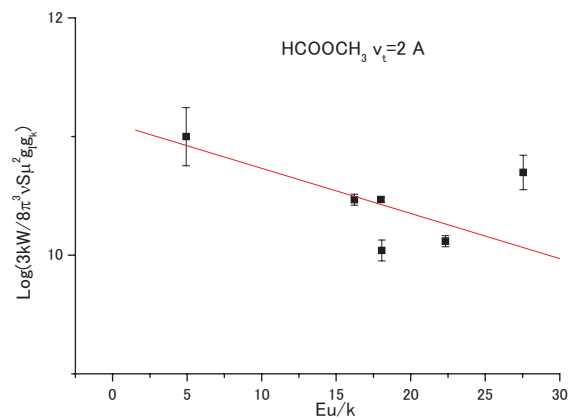


図2 HCOOCH₃ $v_t=2$ Aのボルツマンプロット

¹⁾ K. Kobayashi et al. APJ, 657, L17(2007).

²⁾ A. Maeda et al. JMS, 251, L293(2008).

³⁾ Turner APJ supplement, 76, L617(1991).

⁴⁾ Chang et al. APJ, 551, L333(2001).