

宇宙における負イオンの電波観測

(岡山大理) 川口 建太郎

Radio observations of negative ions in space

(Faculty of Science, Okayama University) Kentarou Kawaguchi

According to recent laboratory studies, the C_6H^- and C_4H^- anions have been identified in circumstellar envelope of IRC+10216. The high abundance ratio $[C_6H^-]/[C_6H] = 1/12$ compared with $[C_4H^-]/[C_4H] = 1/4200$ is explained by efficient production of larger molecular anions. The observed line shapes of C_6H^- and C_6H indicate that the distribution of C_6H^- is more present in the inner region than C_6H .

【序】野辺山4.5 m鏡による晩期型星IRC+10216の28-50 GHzでのスペクトル線サーベイ観測は1995年報告された(1)。そこで回転定数1376.864 MHzを持つ未知の $^1\Sigma$ 直線状分子による一連のスペクトル線が見出され、B1377と名づけられた。回転定数の大きさは C_6H , C_5N のものに似ていたので、その程度の大きさを持つ様々な分子が挙げられたが、適当な候補が見当たらなかった。数年後、青木はab initio計算により直線状分子 C_6H^- の回転定数を1377.14 MHzと予想し、未定線の回転定数と非常に近いことを見出した。青木はその結果をApJに投稿したが受理されなかった。当時、負イオン種はほとんど出されてなく、しかも通常の星間雲では陽イオンと比べて最も強く観測される HCO^+ がIRC+10216では非常に弱く(20 mK)出されてるので、それより C_6H^- が存在するとは考えられなかった。結局、青木の論文はChemical Physics Lettersに受理された(2)。

一方、1998年Tulej等は C_7^- の実スペクトルを測定しDiffuse Interstellar Bands (DIBs: 可視、赤外領域における未定の吸収線の波長と一致していることを報告した(3)。ただTulej等はDIBsの波長と比べてくつ々の天体の平均値を調べたことが問で、様々な天体でのDIBsの波長を意深く比較するとすぐにその仮説は間違ったものだった。しながら、その論文は多くの者の関心を負イオンに引き付けた意味では大きな役割を果たした。Millar等は2000年、晩期型星周辺での化学反応モデル計算を行い、負イオン C_n^- , C_nH^- ($7 \leq n \leq 23$)の存在量がかなり高くなるとの驚くべき結果を得た(4)。実際、 C_8H^- は C_8H の1/4にも達すると予想された。 $n < 6$ については計算されなかった。

電波望遠鏡での負イオンの調査は森澤等により、 CCH^- , NCO^- , NCS^- について行なわれた(5)。これらの分子がターゲットと選ばれたのは、実際に回転定数が報告されている(NCO^- , NCS^-)、非常に高精度理論計算が報告されていた(CCH^-)らであった。星間における負イオンが電子の付着によって生じるなら大きな分子ほど付着の確率が高くなるのは予想されたが、大きな分子の負イオンのスペクトルは実際に測定されてなかった。

2006年ついにMcCarthy等は実際に C_6H^- のミリ波、FTMW分光に成功しB1377が C_6H^- によることを証明した(6)。またTMC-1でも出も報告した。このは、初めて負イオンの宇宙での存在を確立した意味でbreak throughとなった。続いて C_4H^- , C_8H^- , C_2H^- , CN^- の実験での測定、IRC+10216での C_4H^- の出が続いた。

【 C_6H^- , C_4H^- の観測と存在量】

図1に野辺山45m鏡で観測された C_6H^- のスペクトルを示す。野辺山での観測データ7本とIRAM30m鏡でのデータ2本を時解することにより、温度 32 ± 3 K, カラム密度 $(6.1-8.0) \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$ を得た(7)。ここで、分子分布は $30'' \pm 3$ を仮定した。カラム密度の差は分子分布の差に対応する。陽イオン HCO^+ の量は C_6H^- の約25%なので、残りの正電荷は C^+ が担っていると思われるが、未出である。図2は他の周波数帯での C_6H のスペクトルで、 C_6H^- のスペクトルに比べて、上の切れ込みが深い。これは C_6H^- の方がより内側に分布していることを示す。

C_4H^- のスペクトルは以前のIRAMでの測定データの中で見出されたが、2007年再測定がなされ、温度23(2) K, カラム密度は表1のように得られた(8)。 C_4H は C_6H に比べて37倍が、対応する負イオンが1/10と少ないのは生成機構による。表1. C_nH ランカルとそのアニオンの電子親和力, IRC+10216における在量

	n=2	4	6	8	10
Electron affinity of C_nH	2.956	3.558	3.809	3.966	3.9 (eV)
Dipole moment of C_nH^-	3.4	5.9	8.2	10.4	12.7 (Debye)
Column density of C_nH	5000	2980	80	5.5	$(\times 10^{12} \text{ cm}^{-2})$
Column density of C_nH^-	<0.4	0.71	6.9	<2.7	$(\times 10^{12} \text{ cm}^{-2})$
Ratio[anion]/[neutral]	1/12500	1/4200	1/12	<1/2	

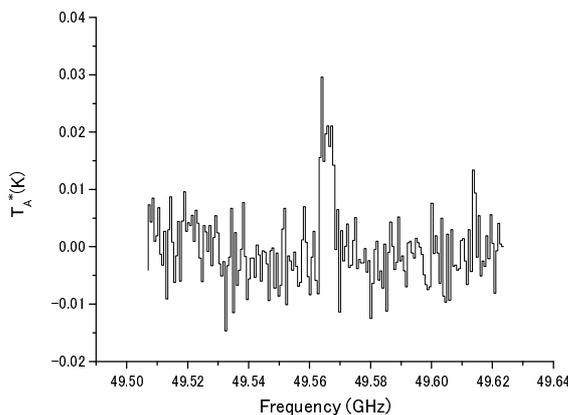


図1. IRC+10216の C_6H^- のスペクトル

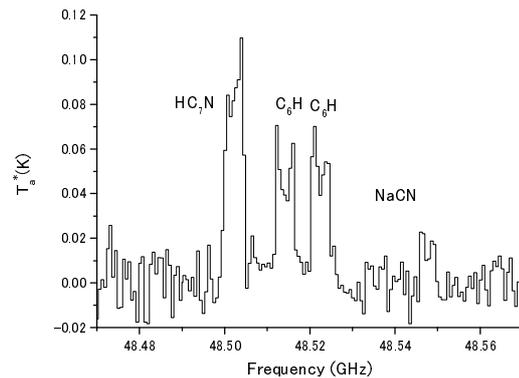


図2. IRC+10216の電波スペクトル

負イオンの生成機構として(i) C_nH への放射性電子付着、(ii) C_nH への電荷移動、(iii) HC_nX への解離性付着が考えられる。(i)では電磁波の放射で安定化しなければ autodetachment過程により電子は離れていくので、できるだけ振動モードが分子が負イオンになりやすい。(ii)は電子親和力が小さな分子から大きな分子に電子が移動する反応で、表1から C_6H^- の場合 C_4H^- からの移動が考えられるが、(i)と比べて寄与は小さいだろう。(iii)では HC_6Mg などと電子との反応が考えられるが、小さな $HCCMg$ も出されてないのでその在量は少ない。消滅過程として水素原子との反応が主であるとすれば、在量比 $[C_nH^-]/[C_nH]$ は電子の在量と水素原子の在量の比になると予想されている。実際、 C_6H^- の場合はその予想と合っている。

【謝辞】 C_6H^- の観測につき笠井博士、鍵博士に感謝します。

[1] Kawaguchi, et al. 1995, PASJ, 47, 853

[2] Aoki, K. 2000, Chem. Phys. Lett., 323, 55

[3] Tulej, M. et al. 1998, 506, L69

[4] Millar, T. J. et al. 2000, MNRAS, 316, 195

[5] Morisawa, Y. et al. 2005, PASJ, 57, 325

[6] McCarthy, M. C. et al. 2006, ApJ, 652, L141

[7] Kasai, Y., Kagi, E., and Kawaguchi, K. 2007, ApJL, in press.

[8] Cernicharo, J. et al. 2007, A&A, in press.