

(シカゴ大学化学教室、天体物理教室、フェルミ研究所) 岡 武史

物理化学は、量子力学と統計熱力学に基づく、かなり成熟した科学分野であり、基礎的な研究はある程度尽くされたと言えると思います。従って僕たちの興味がより未開発な境界領域——簡単な分子では天文学、複雑な分子では生物学と応用工学——に向かうのは自然の成り行きです。このような考えから、僕は 1975 年以来一貫して H_3^+ の天体物理化学の研究に専念してきました。

水素分子に陽子が付加した H_3^+ は、等価な三つの陽子（正三角形）と二つの電子からなる、最も簡単な多原子分子です。その基礎的な性質のため、1911 年 J.J.Thomson による発見以来、幾つかの分野（質量分析、イオン反応論、電子再結合、各種のプラズマ実験、量子化学）で主導的な役割を果たしてきました。 H_3^+ は水素プラズマのなかで、 $\text{H}_2 + \text{H}_2^+ \rightarrow \text{H}_3^+ + \text{H}$ の反応により、最も多量に存在するイオンなので、宇宙線で満ちた星間空間で多量に発生するであろうことは、早くから予言されていました。1968 年に Townes 達が星間アンモニアと水を発見すると、堰を切ったように多種の分子が見つかり、その生成機構が謎となりました。Klemperer 達は 1973 年、極低温で進行する反応として、 H_3^+ を発生源とするイオン分子反応を提案しました。水素分子の陽子親和度低いため、 H_3^+ が酸として働き、 $\text{H}_3^+ + \text{X} \rightarrow \text{H}_2 + \text{HX}^+$ で出来た陽子付加イオン HX^+ が水素と連鎖反応を起こす（例えば $\text{HO}^+ \rightarrow \text{H}_2\text{O}^+ \rightarrow \text{H}_3\text{O}^+$ ）という推論です。分子の生成は、星の生成に不可欠なので、 H_3^+ が最も重要な未発見の分子であることが認識されました。

H_3^+ を星間空間に見つけるためには実験室の赤外スペクトルが必要です。1975 年の時点では、分子イオンの赤外スペクトルは全く未知の分野だったので、時間がかかりましたが、1980 年に何とか見つかりました[1]。早速星間空間での探索を始めたのですが[2]、1980 年の天体赤外分光観測は未発達で、 H_3^+ の弱い吸収線を見つけるには程遠いものでした。1989 年に木星に H_3^+ の発光スペクトルが見つかりました。これは H_2 のスペクトルを観測していたグループが偶然に H_3^+ の倍音を見つけたもので、基礎音の発光ははるかに強く観測されました[3]。そのあと五年くらいは、木星、土星、天王星等の惑星の H_3^+ の観測に懸かりきりでした。1980 年代の終わりくらいから、アレー検出器が使われるようになって、赤外分光の感度と信頼性が飛躍的に向上しました。

星間 H_3^+ は 1996 年に分子雲に深く埋もれた、若い二つの星の方向に見つかりました[4]。永い年月でしたが、一旦見付かると至る所で見えます。特にモデル計算で予言されていた密度の高い分子雲 ($\sim 10^4 \text{ cm}^{-3}$) よりも、薄い雲 ($\sim 10^2 \text{ cm}^{-3}$) のほうに多量に存在することが見つかったのは、大変な驚きでした[5]。星間物質の大半はこれらの雲に存在しますから、 H_3^+ が宇宙で最も大量に存在する分子イオンであることが確立されました。今世紀に入ると、8m, 10m 級の大型反射望遠鏡に高分解赤外分光器が設置され、比較的くらい星の観測ができるようになり、観測の範囲が一気に広がりました。2002 年スバル望遠鏡により、準安定回転状態にある H_3^+ が検出され[6]、それを使って、銀河中心近くにある高温、低密度の莫大な量の雲が発見されました[7]。

このような発展の物理化学的基礎について、話したいと思います。

[1] T. Oka, Observation of the infrared spectrum of H_3^+ , Phys. Rev. Lett., 45, 531 (1980)

[2] T. Oka, A search for interstellar H_3^+ , Phil. Trans. R. Soc. Lond. A 303, 543 (1981)

[3] T. Oka & T. R. Geballe, Observations of the fundamental band of H_3^+ in Jupiter, ApJ 351, L53 (1990)

[4] T. R. Geballe & T. Oka, Detection of H_3^+ in interstellar space, Nature, 384, 334 (1996)

[5] B. J. McCall et al., Detection of H_3^+ in the diffuse interstellar medium....., Science, 279, 1910 (1998)

[6] M. Goto et al., Absorption line survey of H_3^+ toward the Galactic center...., PASJ, 54, 951 (2002)

[7] T. Oka et al., Hot and diffuse clouds near the Galactic center..., ApJ (2005), in press Astro-ph/0507464