

星間分子観測のいくつかのトピックス：炭素鎖分子、活動的な銀河

高野 秀路（日本大学工学部 総合教育 物理学教室）

1. はじめに

宇宙空間には所々にガスと塵が多い場所があり（水素分子数 $>10^4$ 個/cm³）、暗黒星雲や分子雲などと呼ばれる。そのような場所では、元々原子であったガスから、分子が生成される。さらに、ガスが重力収縮して星が形成される。これまでに、主に電波望遠鏡を用いた回転スペクトルの観測によって、銀河系内で300種以上の分子（星間分子）が発見されている[1]。地上でも見られるH₂, CO, CO₂, H₂O, NH₃などに加えて、ラジカルやイオンが多いのが特徴である。

それらの分子は、宇宙空間という極限的な環境（極低温 ~10 K、極低圧、数十万年にも及ぶタイムスケール）での反応の研究に用いられている。その結果、地球上での反応とは異なる（宇宙的規模で）より一般的な物質の振る舞いが、明らかになってきた。さらに、これらの分子は天体物理現象の解明に必須なプローブとして、欠かせない存在となっている。今回、化学反応経路探索に関連して、2つほどこれまでの研究を紹介させていただきたい。

2. 炭素鎖からなる分子の生成機構

炭素が鎖状に連なった分子は、星間分子の約40%を占めており、星形成が起こっていない若い暗黒星雲で多い傾向がある[2]。最も知られているのは、HC₃N, HC₅N, HC₇N, …と伸びていく直線状の一連のシリーズで、シアノポリインと呼ばれる。我々は、低温の星間空間で見られる同位体分別を利用して、¹³C同位体種をトレースすることで、これらの生成機構を調べてきた。その結果、HC₃Nの生成には、C₂H₂（アセチレン）+ CNの気相反応が有力であると結論した[3]。その考えの外挿としてHC₅Nは、C₄H₂（ジアセチレン）+ CNの気相反応で生成すると推測したが、同位体分別の結果とは必ずしも整合せず、炭化水素イオン(C₅H₃⁺, etc)と窒素原子の反応が重要であると考えられている[4]。このように、反応は我々が推測するよりも多様と思われ、化学反応経路探索で網羅的に検討ができれば、飛躍的に進歩する可能性がある。

3. 活動的な銀河での分子組成

銀河の中には、我々の天の川銀河よりも活動的で、明るいものが珍しくない。活動性の源としては主に2つあり、1つ目は、重い星が多数形成する爆発的星形成現象(Starburst: SB)であり、紫外線を多く放射している。2つ目は、中心の大質量ブラックホールにガスが降着することで、重力エネルギーを解放する活動的銀河中心核(Active Galactic Nucleus: AGN)であり、高温なためX線も観測される。

両者の間には、分子組成に一部差がみられ、我々も研究を進めている[5]。その1つに、CH₃CCH（メチルアセチレン）がある。この分子は、SBで明確に観測されるが、AGNでは全く観測されない[6]。そのメカニズムは良くわかっていない。この状況を紹介し、化学反応経路探索が活用できる可能性を検討する。

[1] データベース CDMS <https://cdms.astro.uni-koeln.de/classic/molecules>

[2] Suzuki et al., *Astrophys. J.*, 392, 551-570 (1992)

[3] Takano et al., *Astron. & Astrophys.*, 329, 1156-1169 (1998)

[4] Taniguchi et al., *Astrophys. J.*, 817, id. 147 (2016)

[5] Nakajima et al., *Astrophys. J.*, accepted (arXiv:2307.02320)

[6] Aladro et al., *Astron. & Astrophys.*, 549, id. A39 (2013)