

OH⁺, H₂O⁺, H₃O⁺ で探る分子ガスの電離度

渡邊祥正(日本大学), 江草芙実, 左近樹, 本原顕太郎(東京大学),
金子紘之, 中西康一郎, 馬場淳一(国立天文台),
竹内努, 田村陽一(名古屋大学), 稲見華恵(広島大学)

概要 分子雲内部は完全に中性状態ではなく宇宙線により微小に電離している。その結果、イオン分子反応によって様々な星間分子が形成されるのみならず、電離したガスと磁場の相互作用により星形成に影響を及ぼすことが知られている。そのため、この分子雲における電離度は、これらを理解するうえで重要なパラメータである。この電離度を測定する方法としては、OH⁺、H₂O⁺、H₃O⁺などの酸素を含むイオン分子の組成を利用した方法がある。そこで、SPICAのSAFARIによるOH⁺、H₂O⁺、H₃O⁺の分光観測から、近傍銀河における分子雲の電離度を調べることを検討している。SAFARIの観測波長帯にはこれらのイオン分子の回転遷移が数多くあり、多輝線観測による励起解析から正確に分子の存在量を推定することができる。観測ターゲットは主にスターバースト銀河や活動銀河核として、SPICAの観測感度とこれまでの観測例を比較した結果、近傍銀河でのサーベイ観測が可能である。

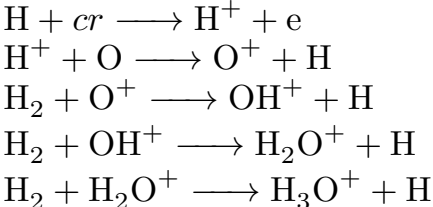
背景

分子雲は紫外光が透過しない内部であっても宇宙線により弱く電離している。その結果、分子ガスは周囲の磁場と相互作用するため、磁場が星形成過程に多大な影響をあたえることが知られている。また、宇宙線強度の高い領域では、宇宙線により分子雲が加熱された結果、形成される恒星の初期質量関数が通常の分子雲と異なることが示唆されている。そのため、宇宙線による分子ガスの電離度を理解することは、星形成研究において極めて重要である。さらに、気相中の分子生成反応はイオン中性反応が主な反応であり、星間化学の観点からも分子雲の電離度の理解は必要である。

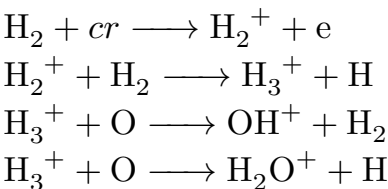
電離度の測定方法

OH⁺、H₂O⁺、H₃O⁺の存在量と化学反応モデルを用いて分子ガスの電離度を推定できる。酸素原子(O)のイオン化エネルギーは13.618 eVで水素よりも若干高いため、これらのイオン分子は主に宇宙線によって電離した水素や水素分子によって形成される。

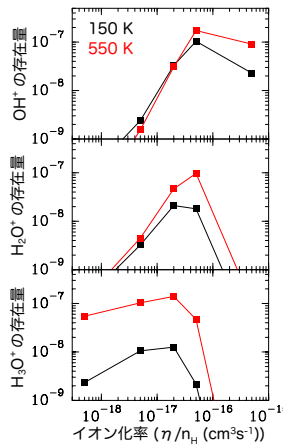
Hの電離から始まる場合の反応



H₂の電離から始まる場合の反応

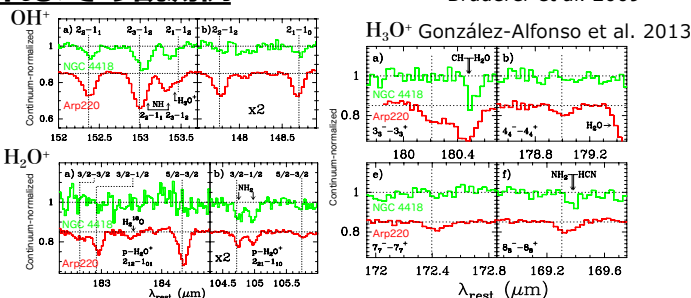


イオン化率と分子の存在量のモデル計算例



Chemical model: Bruderer et al. 2009

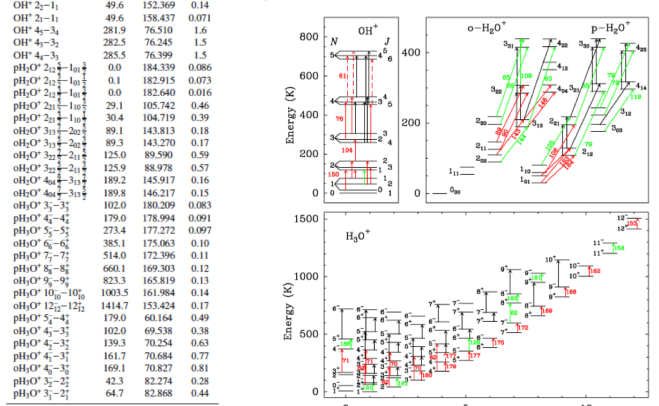
これまでの観測例



Herschel/PACSを用いてNGC 4418やArp220の中心核で吸収線として検出されている。これらの天体のイオン化率は $\sim 10^{-13} \text{ s}^{-1}$ と太陽近傍の値より3-4桁高いと推定されている。

SPICAでのターゲットライン

SPICAではSAFARI (34-230 μm)を用いて60-190 μm のHerschel PACSと同様のラインが観測可能である。



González-Alfonso et al. 2013

SPICA/SAFARIでの検出可能性

中心核からの連続光を背景として吸収線を観測するため、SAFARI (high-R mode)による点源に対する1時間の観測感度は $\sim 19 \text{ mJy}$ (5σ)

各分子の吸収線強度 (Arp 220の場合)

- OH⁺ (2_2-1_1 : 152.369 μm) の吸収線 $\rightarrow 12 \text{ Jy}$ (背景連続光: $\sim 80 \text{ Jy}$)
- H₂O⁺ ($2_{12} 3/2-1_{01} 1/2$: 182.915 μm) $\rightarrow 7 \text{ Jy}$ (背景連続光: $\sim 70 \text{ Jy}$)
- H₃O⁺ (7_7-7_7 : 172.396 μm) $\rightarrow 3 \text{ Jy}$ (背景連続光: $\sim 75 \text{ Jy}$)

Arp220の場合、十分なS/Nで検出可能であり、さらにArp220より2桁弱いH₃O⁺もS/N ~ 10 で検出可能。

一方、速度分解能($\sim 150 \text{ km s}^{-1}$)のため速度構造の議論は難しい

SPICAでのサイエンス

近傍銀河の中心核のサーベイ観測

分子ガスの電離度がcosmic-ray dominant regionを持つStarburstやULIRGとAGNで異なるか検証する。

- AGNのXDRの影響はALMAでの他の分子トレーサの観測と化学反応モデルを使い切り分けられる可能性?
- 中心核領域の電離度の違いが他の分子組成に与える影響の検証

銀河円盤や銀河系内での観測は難しい

銀河円盤や系内での同様の観測は星形成研究や中心核との比較に関連して重要である。しかし、そのためには現状のSAFARIのスペック(R ~ 2000 @180 μm)より1桁高い波長分解能(R > 20000)が必要である。