

# 星間塵上でのメタノールの重水素濃集過程 - CO 固体への H, D 原子同時照射実験

## Formation process of deuterated methanol from carbon monoxide on interstellar grains

# 長岡 明宏[1]; 渡部 直樹[2]; 香内 晃[3]

# Akihiro Nagaoka[1]; Naoki Watanabe[2]; Akira Kouchi[3]

[1] 北大・低温研; [2] 北大・低温研; [3] 北大・低温研

[1] Inst. Low Temp. Sci., Hokkaido Univ.; [2] Inst. of Low Temp. Sci., Hokkaido Univ.; [3] Inst. Low Temp. Sci., Hokkaido Univ

### 1. 研究の背景

最近の電波観測によって、星間分子雲中のホルムアルデヒド(H<sub>2</sub>CO)やメタノール(CH<sub>3</sub>OH)等の分子に高度な重水素濃集が認められている。例えば原始星 IRAS16293 の気相における H<sub>2</sub>CO および CH<sub>3</sub>OH とその重水素置換分子 (H<sub>2</sub>CO-d, CH<sub>3</sub>OH-d)の存在比は、H<sub>2</sub>CO-d/H<sub>2</sub>CO ~ 0.2, CH<sub>3</sub>OH-d/CH<sub>3</sub>OH ~ 0.4 であり[1, 2], H 原子および D 原子の宇宙存在比(D 原子/H 原子 ~ 1 × 10<sup>-5</sup>)より 10<sup>3</sup> - 10<sup>4</sup> 倍も大きい。

この重水素異常濃集は、次のような気相および星間塵表面反応によって生じると考えられている。まず進化段階初期に 10<sup>-5</sup> であった D 原子/H 原子比が、気相でのイオン・分子反応によって 10<sup>4</sup> - 10<sup>5</sup> 年後には 10<sup>-1</sup> 程度にまで上昇する[3, 4]。その後、星間塵表面に吸着した CO 分子へ H および D 原子が逐次付加することにより H<sub>2</sub>CO-d や CH<sub>3</sub>OH-d が生成される(D が濃集する)[5, 6]。しかし、我々の最近の実験結果から CO に D が付加する速度は H の付加速度の 1/5 程度と遅く、CO 分子への H および D 原子逐次付加反応では D の濃集は起こりにくいと考えられる[7]。そこで我々は、CH<sub>3</sub>OH 生成後の H-D 置換反応によって CH<sub>3</sub>OH に D が濃集するという新たなモデルを提案し、この反応が実際に進むことを示した[8]。しかし、実際の星間塵上では CO を出発物質とする分子進化が起きており、前述の逐次付加反応が D の濃集に与える寄与を実験的に調べる必要がある。そこで本研究では CO 固体に H および D 原子を同時に照射し、CH<sub>3</sub>OH における D の濃集過程として“逐次付加反応”および“CH<sub>3</sub>OH 生成後の H-D 置換反応”のどちらが支配的か実験的に調べた。

### 2. 実験

超高真空槽内(10<sup>-10</sup> Torr)に設置した Al 鏡面基板を、進化段階初期の分子雲コアの温度(10 K)まで冷却し、そこに試料として 10 分子層相当の純粋な CO 固体を作成する。続いて H<sub>2</sub> および D<sub>2</sub> の混合ガスをマイクロ波放電し、H および D 原子を生成する。原子のフラックス比は四重極型質量分析計で測定し、本実験では D 原子/H 原子比 ~ 0.1 となるように H<sub>2</sub> と D<sub>2</sub> を混合した。生成した原子は分子雲内の原子の温度(30 K)まで冷却した後、試料へ照射した。原子照射後の試料の化学組成の変化を FT-IR を用いてその場観測した。

### 3. 結果・議論

純 CO 固体に H および D 原子を同時照射した結果、H<sub>2</sub>CO およびその D 体(HDCO, D<sub>2</sub>CO)、さらに CH<sub>3</sub>OH とその D 体(CH<sub>2</sub>DOH, CHD<sub>2</sub>OH, CD<sub>3</sub>OH)が生成された。D 原子/H 原子比が 0.1 のとき、CH<sub>3</sub>OH の D 体は CO やラジカル分子への H および D 原子の逐次付加よりも、我々の提案する次の“CH<sub>3</sub>OH 生成後の H-D 置換反応”によって主に生成されることが明らかになった; CH<sub>3</sub>OH CH<sub>2</sub>DOH CHD<sub>2</sub>OH CD<sub>3</sub>OH。

星間塵表面反応による CH<sub>3</sub>OH 生成後の H-D 置換反応が重水素濃集過程として有効かどうか議論する。観測されている CH<sub>3</sub>OH-d の総量と CH<sub>3</sub>OH の比: CH<sub>3</sub>OH-d/CH<sub>3</sub>OH ~ 0.4 は本実験の照射時間 100 分で再現された。照射時間 100 分における H および D 原子の総照射量は、分子雲(10 K)の気相における H および D 原子の数密度をそれぞれ 1, 0.1 cm<sup>-3</sup> と仮定すると 1.5 × 10<sup>16</sup> 年間での総照射量に対応する。したがって、冷たい分子雲コアのタイムスケール内で、CH<sub>3</sub>OH 生成後の H-D 置換反応が CH<sub>3</sub>OH における D の濃集経路として有効であることが本実験によって確認された。H<sub>2</sub>CO における重水素濃集に関しては本セッションの日高の講演で詳しく述べる。

### 参考文献

- [1] van Dishoeck, E.F. et al. 1995, *Astrophys. J.*, 447, 760
- [2] Ceccarelli, C. et al. 2001, *Astron. Astrophys.*, 372, 998
- [3] Roberts, H. et al. 2003, *Astrophys. J.*, 591, L41
- [4] Aikawa, Y. et al. 2005, *Astrophys. J.*, 620, 330
- [5] Tielens, A.G.G.M. 1983, *Astron. Astrophys.*, 119, 177
- [6] Charnley, S. B. et al. 1997, *Astrophys. J.*, 482, L203
- [7] 日高宏 他 2004, 地球惑星科学合同大会, P058-007
- [8] 長岡明宏 他 2004, 地球惑星科学合同大会, P058-006