

## レーザーによる人工降雨・人工降雪の核生成

(豊田理研) ○吉原 経太郎

【序】 光による分子の凝集の現象については 1867 年チンダルによる報告以来長い歴史がある。最近ではレーザーによるアルカリ金属の生成、ベンゼンの液滴生成、エアロゾル形成などが報告されている[1-4]。生成機構は光源、対象分子などによって、種々の異なる光化学反応が提案されている。空気中の水分子を光によって凝集できれば、光による人工降雨・降雪を行う可能性が生まれる。人工降雨・人工降雪の実験と実地応用は 1946 年から Langmuir らのグループによって本格的に行われた[5,6]。以来、彼らの提案による、ヨウ化銀、食塩、ドライアイスなどを核として空中に散布する方法が引き続き行われている。本研究では紫外レーザーによる空気中の水を凝集させて核を発生させる新しい手法について報告する。空気の成分そのものを光化学的に核とする方法なので環境負荷の小さい新たな手法となる可能性がある。

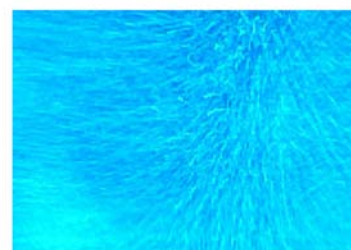
【実験】 大気圏をシミュレートするため簡単な反応セルを製作した。直径 15cm 高さ 15cm の石英管を温度可変のパネル上に設置し、セル内に水盤を置いた（海を想定）。石英管の上部を底の平らな深皿で覆いその中に寒剤（氷・水またはドライアイス・エタノール）で満たした（上層大気や寒気団を想定）。石英管の一部には無水合成石英板を用い 193nm の光に対して透明になるようにした。光源としては ArF レーザーを集光しないで用いた（出力 150-250mJ パルス幅 10ns）。典型的には 50-200 発のレーザーパルスを 5 - 20Hz の繰り返しで照射した。光で生じる細かい霧や氷粒の発生は目で観測できる。よりよい記録を行うため、アルゴンイオンレーザー（488nm）の連続光をシリンドリカルレンズと凸レンズで約 5cm 幅のシート状にして用いた。生成物質の Mie 散乱を家庭用デジタルカメラ（Panasonic FX5）の動画モードで観測した。

【結果と考察】 ArF レーザーをセルに導き光散乱の変化を観測した。セルの上部を 0° C (0 - 3° C 程度) にした場合、不規則なパターンをした霧と考えられる光散乱が生じた。図の上部はこの散乱光で、表面は滑らかに見える（約 3cmx2.5cm の領域を示している）。霧はセル上部の冷たい部分から発生し下へ向かって降りて消える。この現象はレーザー照射中から不規則に現われ、レーザー光照射を止めても発生が止まることなく、照射後少なくとも 10 分以上断続的に続く。

セルの上部をドライアイスで冷却すると、粒状の物体による強い散乱が認められた（図下部）。セルの上面の実測値は -60° C であるが強い対流で大量のエネルギーが供給



ice temp.jpg



dryice temp.jpg

されるので上面から 1-2cm の位置では零度より少し低い程度である。この場合散乱光はレーザー光が当たっているすべての場所でコンスタントに発生した。この場合もレーザー照射終了後も粒子の成長は続く。粒子は激しく動き、場合によって渦状になる。これらは氷の粒つまり雪であると考えられる。講演では上記の実験を動画によって示す予定である。

**【討論】** 水分子の凝集機構は確定していない。いくつかの可能性が考えられる。(1) 193nmの光は酸素に吸収されて(この波長では吸収強度は弱い)、酸素を解離し、 $O(^3P)$ が生ずる。これは酸素分子と反応してオゾンを生ずる。さらにオゾンは 193nmに強い吸収帯を持っているので光で解離し、酸素原子 $O(^1D)$ を生じる[7,8]。これは水と反応してOHラジカルが出来る。これと水との反応で $HO_2$ ラジカル、自己反応で $H_2O_2$ も出来る。これらの過程で生じるOH, $OH_2$ , $H_2O_2$ は水との親和性が高い。ことに $H_2O_2$ 過酸化水素は安定分子であり核形成に重要であると考えられる。(2) 他の反応機構として水の直接光解離によってOHラジカルを生じることも考えられる[9]。この場合の後続反応は上の反応経路の後半と一致する。(3) 水イオンが2光子イオン化によって生じ[10]、この大きな分散力によって水滴核となることも考えられるが、現在のところその可能性は低い。

ここで報告する現象を人工降雨・降雪に具体的に応用するには遥かな道のりがあるものと考えられる。古典的な実験でよく知られているように、雲核が出来ても雨粒にまで成長するには実際の気流や水分量などがそれに適していなければならない。最近では雲の情報などを考慮した上で、雲核生成物質を撒くことによって成功率が上がっている。本研究では光を用いるが、その波長、強度などを最適化する必要がある。ここでは新しい水分子の凝集現象について主に報告する。

**【謝辞】** ArF レーザーと Ar イオンレーザーを使用させてくださった豊田工業大学生嶋明学長、斎藤和也助教授、および討論していただいた首都大学東京梶井克純教授、京都大学川崎昌博教授、大阪市立大学中島信昭教授に感謝する。

- 【文献】**
- 1) Tam, A., Moe, G., and Happer, W. *Phys. Rev. Lett.*, 35, 1630 (1975).
  - 2) Iwamoto, K., Presser, N., and Ross, J. *J. Chem. Phys.*, 68, 663 (1978).
  - 3) Ernst, K. and Hoffman, J. *J. Chem. Phys. Lett.*, 68, 40 (1979).
  - 4) Nakashima, N. and Yoshihara, K. *Bull. Chem. Soc. Jpn.*, 55, 2783 (1982).
  - 5) Vonnegut, B. *J. Appl. Phys.* 18, 593 (1947).
  - 6) Langmuir, I. *Trans. NY Acad. Sci.* 14, 40 (1951).
  - 7) Okabe, H. "Photochemistry of Small Molecules," John Wiley & Sons, New York (1978).
  - 8) Jacob, D. J. "Introduction to Atmospheric Chemistry". Princeton University Press, Princeton, NJ (1999).
  - 9) Plusquellic, D. F., Votava, O., Nesbitt, D. J. *J. Chem. Phys.*, 107, 6123 (1997).
  - 10) Vrakking, M. J. J., Lee, Y. T., Gilbert, R. D., & Child, M. S. *J. Chem. Phys.*, 98, 1902 (1993).