

水分子の移動とその速度制御のための分子膜の開発

師 井 義 清

九州大学大学院 理学研究院化学部門

【目的・背景】

「液体の蒸発速度に及ぼす単分子膜の効果」に関する研究は、古くは1800年代に遡る。水の有効利用は強く望まれながらも、大量の水が蒸発によって失われている。そこで、1950年代の初頭、蒸発速度を抑える研究が砂漠保有国で活発になり、単分子膜を用いて水の損失を60%も抑えることに成功した。しかしながら、水面上の単分子膜は風によって容易に流され、失われるので、この研究は以後衰退していった。これまでの研究の対象は専ら水であり、貯水池の水の蒸発を抑える研究が主であったが、それ以降果物の保湿、最近では稲作への利用(水の蒸発を抑え、水田の温度低下を防ぐ)まで非常に広範囲に渡る研究が進行中である。

水分子は我々の身近に固体・液体・気体の3形態で多量に存在し、生命体の維持、環境の維持・浄化等に果たしている役割は計り知れない。その重要性は空気と全く同様でありながら、日本では身近にあまりに多量に存在し而も安価に手に入るため、改めて水の浄化、換言すれば水分子の分離・移動・精製についてミクロな分子レベルで詳細に検討されていない。分子膜を介しての水分子の透過はマクロサイズのイオン交換膜による水の透過を更に一步深めた研究である。水分子の分子膜透過の速度制御が可能となれば広範囲の分野で応用され且つ実用化の研究に大きく寄与できるものと確信し、この研究を提案し、実験を開始した。幸いにも、コスメトロジー研究振興財団より研究助成金を頂き、本研究を更に発展させることが出来た。

【結果・考察】

1) 装置の精度

水分子の蒸発速度(移動速度)の研究にとって、速度測定装置の開発は最も重要な課題である。気体/水溶液界面を介しての物質移動速度の測定は、液体からの水分子の蒸発速度を測定することにより可能となる。以前の研究では、液面上に乾燥剤を置き、乾燥剤の重量変化を測定する方法を用いたが、本研究では蒸発速度を重量変化として直接求めた。その結果、同一の実験条件下では、重量の時間変化が同じ直線に乗るまでに再現性のあるデータを得ることが可能となった。

2) 純粋液体の蒸発速度の測定と蒸発の活性化エネルギー

熱天秤内に流す乾燥空気の流速を変えて水の蒸発速度を測定し、安定な蒸発速度が得られる流速を決定した。その結果、流速が遅い場合、蒸発速度は流速に顕著に影響されるが、ある流速以上になると、蒸発速度は殆ど影響を受けなくなる。それは、温度に殆ど無関係であった。これは、ある流速以上になると試料皿の水面上に形成される水蒸気の停滞層が蒸発皿の側を流れる空気により充分にかき乱された結果である。それ故、実験は流速の影響が少なくなる速い流速を用い

た。次に蒸発速度に及ぼす温度変化を調べ、蒸発の活性化エネルギーを求めた。その結果、活性化エネルギーは温度と共に減少したが、蒸発のエンタルピー変化よりも大きかった。更に、この結果を正しく解釈出来るように、蒸発速度に関する理論式を新しく展開した。

3) 炭化弗素系活性剤の吸着膜

本研究では、吸着分子膜に酸素の透過が可能な炭化弗素系膜も用いた。その際、分子膜が形成され易くなるためには、パッキングパラメーターが 1 に近い物質が望ましい。そこで、本研究では炭化弗素鎖長の異なる N-(1,1-dihydroperfluoroalkyl)-N,N,N-trimethylammonium Chloride (C_n-TAC) を新規に合成し、その水溶液中での物性を検討することから開始した。炭素数 10 の C₁₀-TAC では、広い分子占有面積でも高い表面圧力を持ち、狭い分子占有面積まで容易に圧縮されることが分かった。分子占有面積が 0.35nm² まで圧縮できるので、水分子の蒸発を抑える点でかなりの効果が期待されたが、水の蒸発速度は純水の値と何ら変わらなかった。他の水溶性界面活性剤についても同様の結果となった。

次に、水の蒸発の理解を更に深める目的で、液体状態の n-alkanols の蒸発速度の測定並びにその温度効果を検討し、蒸発の活性化エネルギーに及ぼす疎水基と親水基の効果を調べた。その結果、親水基となるメタノール基の効果は温度の上昇と共に減少するが、メチレン基の効果は温度の上昇と共に増大し、且つアルキル鎖が伸びると共に温度効果は減少していった。

4) 空気 / 水界面の不溶性単分子膜を介しての水の蒸発速度

水面上に展開された 1-ヘプタデカノールの不溶性単分子膜は、水の蒸発速度を顕著に減少させ、単分子膜の効果が明らかとなった。不溶性単分子膜は吸着膜と異なり、実際に空気 / 水界面に存在することより水の蒸発の活性化エネルギーも純水の活性化エネルギーの 1.25 倍に増大することが明らかとなった。今後は、炭化水素系の 1-アルカノールのアルキル鎖の炭素数を変え、水に溶解性の物質から不溶性の物質に渡って幅広く検討し、吸着膜と不溶性単分子膜の相違を水の蒸発速度の観点から明らかにしていく。