

アンチバブル Antibubble・アンチドーム Antidome の 空気薄膜について

2008年1月

1 緒 言

界面活性剤を水に少量溶かして液滴をつくと興味深い挙動が観察される¹⁾。本稿では市販の台所用洗剤を用いて、水中で球殻状の空気薄膜を纏った液滴（以後 Antibubble²⁾ とよぶ[図 1]）と水面直下で半球殻状の空気薄膜を纏った液滴（以後 Antidome とよぶ[図 2]）の形成、崩壊、長時間維持法および分割法に関する実験について報告する。



図 1 Bubble (左) と Antibubble (右)



図 2 Dome (左) と Antidome (右)

2 実 験

- ① 【Antibubble をつくる】 水 100mL に洗剤 5 滴の割合で溶かした洗剤溶液をストロー（内径 3mm）に含ませ、水面の上 5mm 位から溶液に落下させる。
- ② 【Antidome をつくる】 ①の洗剤溶液をストローに含ませ、溶液表面に置くように乗せる。
- ③ 【Antidome を鉛直加振する】 ①の洗剤溶液を入れた容器を加振装置（EMIC 製 VIBRATION GENERATOR MODEL513-B）に固定し、Antidome をつくと同時に鉛直加振する。加振の振幅は 4mm、振動数は 1Hz～10Hz、波形は矩形波で実験をする。
- ④ 【Antidome を揺さ振る】 Antidome をつくり、直後にストローで Antidome 付近の溶液を水平方向に揺さ振り続ける。揺さ振りの幅は 20mm 程度、振動数は 2～3Hz、ストロー（外径 4mm）の水中に入れる部分は 10mm 程度とする。

- ⑤【Antibubble と Antidome を分割する】 Antidome をつくり、ストローを動かして Antidome 周辺の溶液を揺さ振り、水面に対して垂直に立てたストローで揺れ動いている Antidome を切る。また、水中に Antibubble をつくりストローを動かして Antibubble 周辺の溶液を揺さ振り、揺れ動いている Antibubble をストローで切る。

(注) いずれの実験においても高速度カメラ (Kodak Motion Corder Analyzer Model SR-Ultra, 1000fps) またはデジタルカメラ (RICOH Caplio R1, 30fps) で現象を撮影した。

3 結 果

- ①【Antibubble をつくる】 ストロー中の洗剤溶液は球形の液滴となって溶液に入るが溶液と混ざらない。液滴の周囲には暗い縁が形成される。表面には虹のような色が観察される。液滴の半径は約 6mm である。液滴は暗い縁に囲まれたまま溶液中をしばらく下降した後、下降を止めゆっくりと上昇し水面の真下にしばらく停留した後崩壊する[写真 1]。形成から崩壊までの時間は十数秒～1 分程度である。周囲の暗い縁の一部が壊れ暗い縁が反対側へ収縮するように崩壊が起こり、崩壊後には大小の気泡が観察される。崩壊時間は 0.016 秒～0.026 秒である。

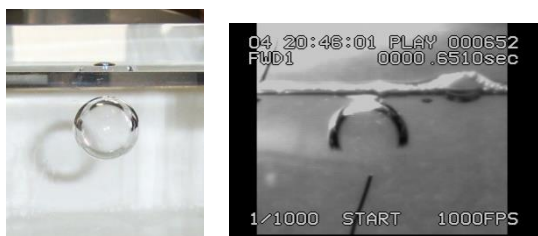


写真 1 Antibubble (左) と崩壊の様子 (右)

- ②【Antidome をつくる】 上方が水平円形で、下方が球面状の半球形をした液滴が水面直下に形成される。上方の面は平らで周囲の水面と同じ高さになっている。半球形の周囲には暗い縁が形成される。液滴と溶液の間には隙間があり、この隙間は大気と繋がっている。上面の半径は約 10mm、半球の高さは約 4mm である。Antidome は 2 秒以内に崩壊する[写真 2]。半球状の液滴周囲に見られる暗い縁の一方が薄くなった後消え、さらに他方に向かって消えていった。暗い縁が存在した部分には大小の気泡が観察された。崩壊時間は約 0.03～0.04 秒である。

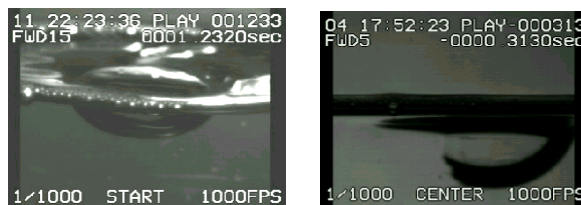


写真 2 Antidome (左) と崩壊の様子 (右)

- ③【Antidome を鉛直加振する】 振動数が 1Hz の矩形波で加振しても、崩壊までの時間は自然な崩壊時間 (2 秒以下) であるが、2Hz～10Hz では 10 倍～100 倍の時間崩壊しない。振動数を上げていくと Antidome は、激しく揺れ形を歪めるが崩壊しない[写真 3]。ふたつの Antidome が接近して合体する現象も観察される。波形を正弦波にして 2Hz で加振したところ、矩形波の場合と異なり自然な崩壊時間 (2 秒以下) で崩壊した。



写真3 鉛直加振された Antidome

- ④【Antidome を揺さ振る】ストローで洗剤溶液を揺さ振ると、Antidome は自然な崩壊時間である 2 秒をはるかに超えて分のオーダーまで崩壊しない。溶液の揺れによって形が歪んでも、また器壁に接触しても崩壊しない。また、周囲の暗い縁の一部が狭くなったり、水に被われたりしても崩壊しない[写真 4]。

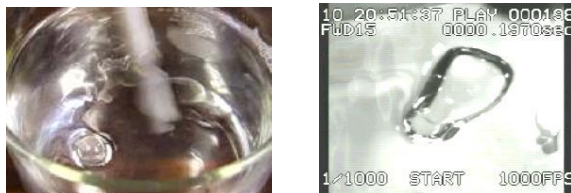


写真4 溶液を揺さ振っているときの Antidome

- ⑤【Antibubble と Antidome を分割する】 ストローで溶液を揺さ振りながら Antibubble に近づけ、素早く切断すると Antibubble は崩壊せずに 2 個の Antibubble に分裂する。分裂後の Antibubble をさらに切断して分裂させることもできる。溶液を揺さないようにストローをゆっくり動かし Antibubble に接触させるとすぐ崩壊する。また、Antidome も同様に 2 個に分裂させることができる[写真 5]。

Antidome が崩壊しないように溶液を揺さ振りながらストローを近づけ素早く Antidome を切断すると、Antidome は分裂し、揺さ振りを続けることで長時間維持することができる。

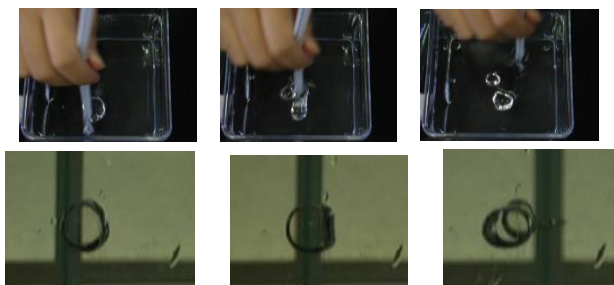


写真5 Antidome (上) と Antibubble (下) の分割

4 考 察

液滴がストローから水面に落ちるとき、液滴表面に付着した空気がそのまま液滴を包み込んで水中に没すると Antibubble が形成されるが、液滴が水面に到達したとき、その速度が小さいと液滴は水中に没することが出来ず、付着した空気層上に乗って Antidome が形成される。空気薄膜の存在は Antibubble の浮上、表面の虹色、周囲の暗い縁から予想される。Antibubble100 個を崩壊させて気泡を捕集し、その体積から空気薄膜の膜厚を見積もったところ約 $5\mu\text{m}$ であった。空気薄膜が存在できる理由は、薄膜を形成する界面が引き伸ばされると界面に配列した界面活性剤の面積密度が減少して界面張力が増大し膜厚をもとに戻す力が働くこと、界面活性剤の添加により溶液の粘性が増大して界面付近の空気が動きにくくなっている

こと、空気薄膜では境界層が接近しており空気が動きにくい状態にあることだと考えられる^{3),4)}。加振や揺さ振りによって空気薄膜の変形が速いと薄膜を形成している空気の粘性が大きくなり、空気の流動性がさらに減少し、薄膜の長時間維持や分裂が可能になると考えられる。

5 おわりに

本実験ではシンプルな系とシンプルな操作によって水中の空気薄膜が加振によって安定性が大きくなるという興味深い現象を見出すことができた。なお、本実験は埼玉県立浦和東高等学校総合科学研究部が実施し日本学生科学賞（2005,2007）に報告したものである^{5),6)}。本稿はその報告をまとめたものである。

参考文献

- 1) J.Walker, *Scientific American* 1978, 238,151.
- 2) S.Dorblo, H.Caps and N.Vandewalle, *New Journal of Physics* 2003, 5, 161.
- 3) Y.Couder, E.Fort, C.H.Gautier and A.Boudaoud, *PHYSICAL REVIEW LETTERS* 2005, 94,177801.
- 4) Y.Amarouchene, G.Cristobal and H.Kelly, *PHYSICAL REVIEW LETTERS* 2001, 87,206104.
- 5) 第 49 回日本学生科学賞作品集 CD-ROM 版,読売新聞社,2006,化学編
- 6) 第 50 回日本学生科学賞作品集 CD-ROM 版,読売新聞社,2007,物理編