

2022年12月28日

個々のマイクロバブルが従うサイズ変化の法則を解明

— 目に見えない気泡であるナノバブルの安定性解明に期待 —

九州工業大学大学院情報工学研究院の植松祐輝准教授、九州大学大学院理学研究院木村康之教授らの共同研究グループは、数十マイクロメートルの気泡が多く分散した水において個々のバブルが従うサイズの時間変化の法則を解明しました。今回の発見は、産業利用されているマイクロバブル^{*1}水の気泡サイズ制御法の改善、基礎科学の未解決問題とされているナノバブル^{*2}の安定性解明の端緒となります。将来的には、例えば、洗剤を使わなくとも汚れを落とすことができる洗浄水の開発や、野菜の収量や魚介類の養殖生存率を増加させるための農漁業用水の開発など多方面の産業の発展に寄与するものと考えています。

ポイント

- ① 数十マイクロメートルの気泡が多数、分散した水において個々の気泡のサイズの時間変化を予測する法則を解明した。
- ② 気泡半径の平均値や分布関数のみを測定する従来の手法ではなく、顕微鏡による直接観察と画像解析を用いることで、1000個程度の気泡の半径変化を個別に計測した。
- ③ 飽和結晶溶液において結晶粒子が多数あるときに見られるオストワルト熟成^{*3}と呼ばれる現象が気泡分散系でも成立することを示した。

近年、技術の進歩により、小さな気泡を多数、水中に分散させることができるようになりました。これらは、マイクロバブル水と呼ばれ、様々な産業の現場で利用されています。例えば、魚介類の養殖や半導体機器の洗浄水として利用されています。我々の身の回りでも、炭酸水やお風呂のジャクジーなどで、気泡が水中に多く分散した状態というものは身近な現象です。水中の気泡は密度が小さいので、上昇していき水面で消滅することが殆どですが、ガラス表面などで長時間留まることもあります。小さい気泡は非常にゆっくりと上昇し、気泡の半径も収縮したり膨張したりします。

水中の気泡のサイエンスにおける大きな謎として、マイクロバブルよりもさらに小さなナノバブルがなぜ長時間安定に存在するのかという問題があります。普通、小さいバブルは直ぐに収縮してしまうため、このナノバブルは、当初、存在しないと考えられていました。しかし、近年、ナノスケールの微粒子検出技術が発達し、どうやらナノバブルを生成して数週間から数ヶ月程度、水中に安定に存在していることが実験的に確かになってきています。しかし、今の所、このナノバブルの存在を説明する理論はありません。

そこで本研究は、ナノバブルよりも大きく顕微鏡で観察可能なマイクロバブルを対象として、マイクロバブルの半径がどのように時間変化しているかを実験的に解明することを目的にしました。マイクロバブルが多数分散したマイクロバブル水を顕微鏡で観察して、1000個ほどのマイクロバブルを1分ごと

に画像撮影をします。その画像を計算機で解析することにより、それぞれの気泡の半径の時間変化を 90 分にわたり取得しました。

解析の結果、ある時刻での気泡の半径には膨張と収縮の両方の変化があり、その境界は、およそ全体の平均半径で決まり、平均半径よりも大きな気泡は膨張を、平均半径よりも小さな気泡は収縮していくことが分かりました。これは、飽和結晶溶液中で大小の結晶粒子が多数ある場合に起きるオストワルト熟成と同様の現象です。さらに、より詳細にある半径の気泡がどのような半径速度^{*4}を持つか調べたところ、水中のマイクロバブルの挙動は、気泡内のガス分子が小さな気泡から大きな気泡へ拡散していく拡散律速^{*5}型オストワルト熟成であり、定量的に予測、説明できることが分かりました（図 1）。

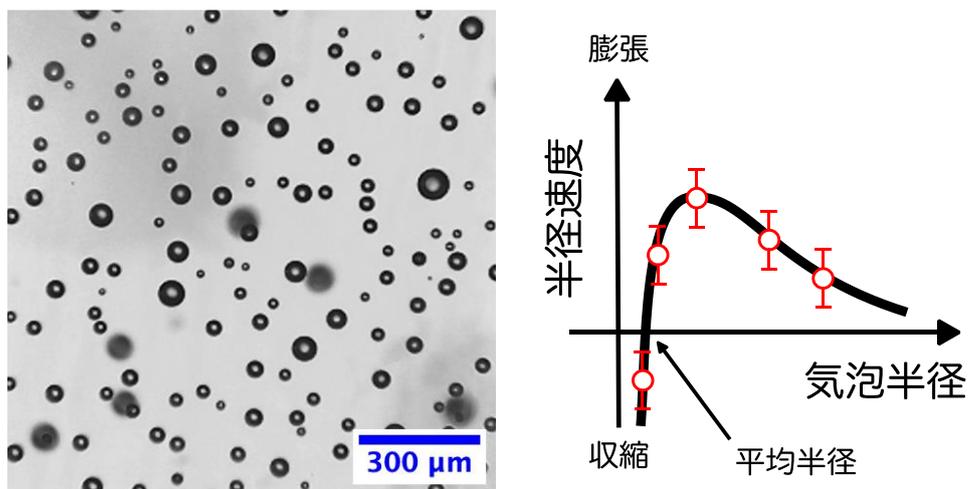


図 1. (左) 顕微鏡観察したマイクロバブルが多数分散した水
(右) バブルの半径速度の半径依存性を示した模式図
実線は拡散律速型オストワルト熟成の理論式を示している

今回の発見は、気泡を多数、分散させた系に特有の現象です。応用上、マイクロバブルは水中に多数分散させた状態で利用することが多いですが、これまでの気泡半径の時間変化についての研究の多くは単一気泡のみを考えたものでした。そのため、多数の気泡を同時に扱う本研究の視点は、新しいものです。この発見が、ナノバブルの存在を理論的に説明する足掛かりになることが期待されます。またマイクロバブル水を産業利用する場で、気泡サイズの制御に関する技術革新に寄与するものと考えられます。

なお、この研究成果は、米国物理協会雑誌「The Journal of Chemical Physics (論文誌)」(日本時間 2022 年 12 月 28 日) に掲載されます。

*1 マイクロバブル：直径 1 マイクロメートルから 100 マイクロメートルの気泡。ファインバブルとも呼ぶ。(1 マイクロメートル=1000 分の 1 ミリ)

*2 ナノバブル：直径 1 マイクロメートルよりも小さい気泡。ウルトラファインバブルとも呼ぶ。

*3 オストワルト熟成：飽和結晶溶液中で結晶粒子が多数ある時に小さい粒子がより小さくなっていき、大きい粒子がより大きくなっていく現象。水中の油滴や合金系などでも同様の現象が見られる。

*4 半径速度：気泡の半径が変化していく速度。膨張していくときに正となり、収縮するときに負となる。

*5 拡散律速：拡散が動力学の中で最も遅く、拡散がボトルネックとなって動力学の速度が遅くなっていること。

論文の詳細情報

タイトル： Ostwald ripening of aqueous microbubble solutions

著者名： Sota Inoue, Yasuyuki Kimura, and Yuki Uematsu

雑誌： The Journal of Chemical Physics

DOI： 10.1063/5.0128696

※ 本研究は 科学技術振興機構（JST）戦略的創造研究推進事業さきがけ「複雑な流動・輸送現象の解明・予測・制御に向けた新しい流体科学（研究総括：後藤晋）」における研究課題「マイクロ・ナノ界面系でのイオン流体科学の創出（研究代表者：植松祐輝、JPMJPR2102）」、JSPS 科研費 18KK0151、20K14430、クリタ水・環境科学振興財団 21E006、九州大学 QR プログラム R3-01302 の助成を受けたものです。

【報道に関するお問い合わせ】

九州工業大学広報課

電話：093-884-3008 Mail：pr-kouhou[at]jimu.kyutech.ac.jp

九州大学広報室

電話：092-802-2130 Mail：koho[at]jimu.kyushu-u.ac.jp

科学技術振興機構広報課

電話：03-5214-8404 Mail：jstkoho[at]jst.go.jp

【研究内容に関するお問い合わせ】

九州工業大学大学院情報工学研究院 准教授 植松 祐輝

電話：0948-29-7616 Mail：uematsu[at]phys.kyutech.ac.jp

九州大学大学院理学研究院 教授 木村 康之

電話：092-802-4093 Mail：kimura[at]phys.kyushu-u.ac.jp

【JST 事業に関するお問い合わせ】

科学技術振興機構戦略研究推進部グリーンイノベーショングループ

嶋林 ゆう子

電話：03-3512-3526 Mail：presto[at]jst.go.jp