

ファインバブルの基礎とその応用について

米子工業高等専門学校 水室 昭三

E-mail: himuro@yonago-k.ac.jp

1 はじめに

観賞魚の水槽中に発生している気泡は、水中を急速に上昇して空気との界面で破裂して消える。ところが、気泡を小さくし100 μm 以下の大きさにすると、水中の気泡は水中で縮小していき、ついには破裂して消滅してしまうという現象を見出した¹⁾。水中の気泡が小さくなればなるほど、気泡界面の水の表面張力の影響で気泡内の圧力は高まるので、破裂して消滅する現象を圧壊と呼ぶが、このような小さな気泡に関する研究は、20年ほど前までほとんど行われていなかった。Cliftらの気泡に関する報告でも、最小気泡系は300 μm 程度であった²⁾。

この微細気泡のことを我々はマイクロバブルと呼び、それを応用した技術を世界初の技術として発展させてきた。その後、ナノサイズの気泡が登場し、これはナノバブルと呼ばれた。しかしながら、マイクロバブルも収縮してナノサイズになって圧壊するので、このような気泡のことをファインバブルと命名することにした。特に、発生時がナノサイズの気泡をウルトラファインバブルと呼ぶことにしたが、このような超微細気泡の研究はあまり進んでいないので、ここではファインバブルの基礎とその応用について紹介する。

2 ファインバブルの発生方法と気泡計測の方法

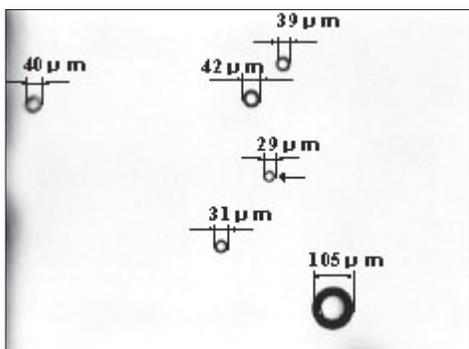
従来から曝気槽などに用いられているのは主に散気管であるが、散気管の細孔を小さくしても気体が水中に出てくるときは大きく成長しており、ファインバブルのように小さくはならない。ファインバブルを作る方法はこれまでいくつか報告されてきているが、代表的なものは、衝撃波による方法、キャビテーションによる方法、空気を加圧して水に溶解しそれを減圧して発生させる加圧溶解法、せん断による方法などがある。

これらファインバブルの計測方法であるが、数十 μm から数 μm までの気泡の大きさは顕微鏡で観察できる。水中におけるファインバブルの挙動を顕微鏡で直接撮影することは極めて難しいので、小さいセルの中にいくつかのファインバブルを封じ込め、キーエンス製 VW-6000 マイクロスコープとオリンパス製 CH30LF100 光学顕微鏡を組み合わせたもので撮影した結果を図1に示す。

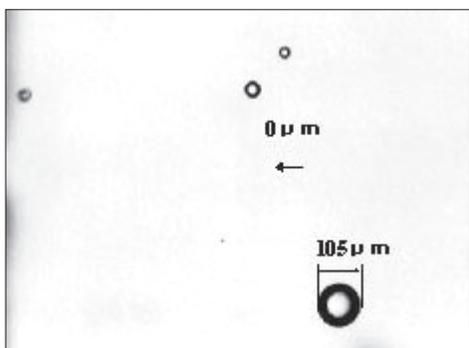
25℃の蒸留水中のファインバブルの撮影結果で、撮影開始から185秒までを撮影したものである。

図中0秒で29 μm と31 μm のマイクロバブルは、185秒後には顕微鏡で捕らえることはできなかった。一方、0秒で105 μm のマイクロバブルは、185秒たっても大きさは変化しなかった³⁾。

ウルトラファインバブルの大きさの計測には、レーザー回析による粒度分布法や動的光散乱法があるが、特にレーザー散乱を利用してウルトラファインバブルのブラウン運動に着目し、その速度から大きさを計測する方法⁴⁾が最近注目されている。



(A) 0秒



(B) 185秒後

図1 顕微鏡で観察した25℃の蒸留水中のマイクロバブルの経時変化

3 ファインバブルによる水の性質

ファインバブルで水をバブリングすると、水の性質が変化することがわかってきた。ただし、水の性質の変化はファインバブル発生方法に依存するので、気をつける必要がある。ここで使用したファインバブル発生装置は、H型ファインバブル発生装置で、水と空気の吸入部の前方が円錐状に内径が小さくなる構造で、この円錐状のテーパ管の傾斜側周面部分に水を取り込む導入口と、テーパ管の先端部分から気体を取り込む細管の気体導入口を備え、テーパ管内部にテーパ管の内径が大きくなる後方に向けて流速を生じさせている。さらに、この装置はテーパ管内部に発生した負圧領域で気液混合してテーパ管の下流側にそれを排出し、テーパ管の下流側の正圧領域の水の圧力を利用して超微細気泡を生成することを特徴とするファインバブル発生装置である⁵⁾。

25℃の蒸留水のpHは、この装置を用いてバ

ブリングすることにより低下するが、酸性に傾いたわけではない。水分子の解離度が大きくなったのである。一般に、水の表面張力は水銀などの液体金属を除けば、多くの液体に比べて異常に大きい。この現象は、分子間引力に基づいている。水の場合、分子量は小さいが、水分子同士の水素結合により、表面分子の内部への力が大きくなり、表面張力が大きくなっている。図2にバブリングした時間に対する25℃の蒸留水の表面張力をプロットした。蒸留水をバブリングすることで表面張力は低下したが、これはファインバブルによって水分子の水素結合が切断されたことを示している。このことによって水分子の解離が進み、pHの低下が生じたと思われる。このファインバブルによる水の物理化学的性質の変化は、たいへん興味深い。

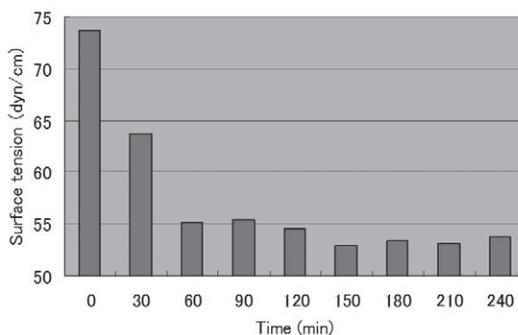


図2 ファインバブルによる水の表面張力の変化

4 ファインバブルが植物へ及ぼす影響

イチゴに対するファインバブルの効果を調べた。試験規模はファインバブル群も対照群もビニールハウスで34×6mとした。試験期間は10月4日～4月1日で、イチゴの品種はエミリーを用いた。ハウス栽培の定植イチゴ(約1,000株)に対して、ファインバブル水を灌水(1回/4～5日)した。灌水には、地下水を使用した。ファインバブルによる地下水の溶存酸素は、2mg/dm³程度であったが、ファインバブルにより酸素は飽和し、pHは5.7から4.1に低下した。

ファインバブル群と対照群におけるイチゴの収穫比較を、単位面積当たりの積算収穫比較を行っ

表1 ファインバブルで育てたナスとトマトの93日間の総収穫量

	ナス	トマト
ファインバブル	28 kg	7.8 kg
対照	23 kg	6.3 kg

た。単位面積当たりの積算収穫が、ファインバブル群が28.0 kg/m²で、対照群が25.3 kg/m²となったことから⁶⁾、ファインバブルを灌水している方が、対照群に比べて11%向上している結果が得られた。

ナスとトマトについては、5月19日から8月20日まで、同じビニールハウス内での栽培を実施した。ナスはファインバブル群と対照群6本ずつ、トマトはファインバブル群と対照群3本ずつとした。ナスとトマトの93日間での総収穫量を表1に示すが、ナスについてはファインバブル群が28 kgに対し対照群が23 kgであった⁷⁾。93日目の根を掘り起こしてみたが、ファインバブル群の方がかなり大きく育っていたことがわかった(図3)。



図3 ファインバブルで育てたナスの根(右)と通常のナスの根(左)

一方、トマトであるが、93日間での総収穫量はファインバブル群が7.8 kgに対し対照群が6.3 kgであった。トマトについても根の大きさに著しい差が見られ、ファインバブルの効果が示された。

さらにキュウリへのファインバブルの効果を調べた。10月1日からの収穫量を図4に示すが、

1ヶ月間でほぼ2倍の収穫をファインバブルがもたらした。なお、キュウリ1本あたりの平均重量はファインバブルが149 g、対照が143 gであった。

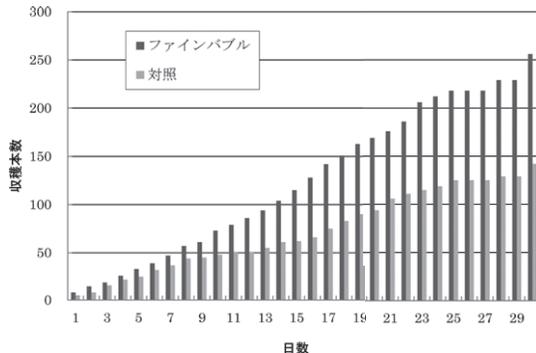


図4 ファインバブルによるキュウリの収穫量

5 ファインバブルが酵母とエビに及ぼす影響

酵母の増殖に対するファインバブルの効果を、嫌氣的条件下および好氣的条件下で検討した。その結果、嫌氣的条件下でも好氣的条件下でも、ファインバブルで処理した蒸留水を用いた酵母が2倍程度の増殖を示し、ファインバブルの酵母に対する生物活性作用があることがわかった⁸⁾。

そこで、ファインバブルの生物活性作用を明らかにするために、酵母の菌懸濁液に、滅菌水またはバブリング時間を変えたファインバブル処理水を添加したときの生菌数の変化を調べた。その結果を図5に示すが、滅菌水を添加したコントロールと、30分間または60分間ファインバブル処理した水を添加した直後に、生菌数には変化は見られなかった。しかし、各ファインバブル処理水を添加して90分後の生菌数は、コントロールより30分間ファインバブル処理した水を添加したものは1.3倍、60分間ファインバブル処理した水を添加したものは1.8倍に、コロニー数が増加していた。微生物懸濁液の中には基本的に菌体成分となるような栄養素は含まれていないが、バブリング時間に依存して生菌数は増加するこの実験結果より、ファインバブル処理水には酵母の増殖や生存に対する生理活性作用があり、培地上で酵母が活発に増殖したと考えられる。

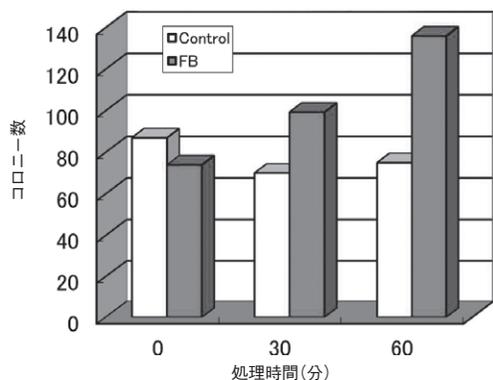


図5 酵母増殖に対するファインバブル (FB) の処理時間依存性

また、クルマエビの中間育成にファインバブル技術を適用した。体長が約 12 mm の稚エビ約 25 万匹を 11.7 m × 7.5 m の大きさの水槽において、体長が約 30 mm 以上になるまで、約 3 週間飼育を行った。これまでの実績では中間育成後の稚エビの生存率が 70% 程度で、30% 近くが死滅していたが、ファインバブルによって 99.7% までに上昇した。

6 結言

ファインバブルには、微生物から植物や動物に対する活性効果があることを見出してきた。植物へのファインバブルの影響は大きく、空気だけのファインバブルでナスやイチゴなどの収穫増を図れることがわかった。特に、ファインバブルによって、植物の根が顕著に大きくなることがわかった。

さらに、ファインバブルは、酵母とエビの生物活性化作用を示したが、水質・底質の改善、ならびに底泥中の微生物から底生生物・魚類、藻場にいる水生生物の活動・生育を促し、水域生態系の蘇生と同時に、水生生物資源の再生・増殖を実現できるであろうと思われる。もちろん工業・農業・水産業・医療など多くの分野で研究が活発に進められ、すでに実用化に至っている。

ここではファインバブルの学術的な一面とその応用のごく一部分を紹介したに過ぎない。現在、どちらかというファインバブル技術に関して応

用が先行し、その物理化学的、あるいは生理学的機構が明らかになっていないことが多い。ファインバブルの圧壊により発生する衝撃波、ラジカルの生成、表面電荷、生理活性効果、大きな溶解性等の特性をどのように利用するかが、ファインバブルの応用技術開発の最大のポイントである。

参考文献

- 1) 氷室昭三(2007)「マイクロバブルを用いた新しい洗浄方法」『混相流研究の進展 2』 39-45。
- 2) R. Clift, J. R. Grace and M. E. Weber (1978) 『Bubbles, Drops and Particles』 Academic Press.
- 3) 氷室昭三(2007)「マイクロバブルの物理化学特性」『化学工学』 71(3), 165-169。
- 4) 入江文子(2011)「レーザ散乱を利用したブラウン運動計測によるナノバブル測定」『第3回ナノバブル・マイクロバブル技術講習会資料』 69-72。
- 5) 氷室昭三, 石橋和生, 特許公開 2005-270935 号。
- 6) 氷室昭三(2009)「荒尾地域再生への取り組み」『高等専門学校の教育と研究』 14(3), 107-112。
- 7) 氷室昭三(2016)「ファインバブルの生物学的応用」『混相流』 30(1), 10-18。
- 8) 氷室昭三・出口智昭・高松竜二(2009)「微生物に及ぼすマイクロバブルの効果」『混相流研究の進展 4』 95-102。