

超微細な泡（ファインバブル）が 暮らしと企業を変える

慶應義塾大学理工学部教授

寺坂宏一氏に聞く

1メートルの1億分の1というナノレベルの超微細な「泡」をご存じだろうか。カキの養殖では早期に生育する、魚や野菜が大きく育つ、食品や生魚が傷まない、洗剤を使わずに農作物、機械器具、壁、高速道路等を洗浄できるといったさまざまな効果があり、活用が始まっている。医療の分野でも注目される研究が進んでいる。

将来的にはエネルギー分野でも画期的な高エネルギー物質ができる可能性があり、そうなること私たちの暮らしや産業界は大きく変わるかもしれない。この分野は日本が現状では世界をリードしているが、海外からは熱い視線が寄せられている。第二のガラパゴス化に陥らないためには世界的な視点に

立った日本のリードが求められている。

そこで今回は、ファインバブル研究のパイオニアとして、産業界と共同で研究・開発を行っている慶應義塾大学の寺坂宏一教授にファインバブルの可能性や課題等についてうかがった。

なお、「ファインバブル」には、小さいとはいつでも目に見える約1ミクロン以上のサイズの「マイクロバブル」と、約1ミクロン以下の目には見えない「ウルトラファインバブル」がある(①、②)。

小さな「泡」を 研究するようになった経緯

村山 最近マイクロバブル、ウルトラファインバブルなどの非常に小さな「泡」(ファインバブル)がさまざまな分野で利用されはじめています。寺坂先生はこの分野における草分け的な存在と聞いています。先生がこの小さな「泡」に興味をもち、研究対象にされるようになったのはどのような経緯からですか。



Interviewer
京都総合経済研究所
常務取締役 東京経済調査部長
村山 晴彦

寺坂 昔の話になりますが、慶應義塾大学の工

学部（現在の理工学部）応用化学科の創設に関わられた東京工業大学の先生が、後に教授になる数名の学生に、「君は電池」「君はセラミックス……」というように研究分野を割り振りました。そのなかの一人に割り振られたのが「泡」の研究でした。私はその初代教授から数えて3代目にあたります。初代と2代目の先生は通常サイズの「泡」を研究しました。私は先代の研究とは決別して新しい「極小さな泡」を研究するようになりました。博士号をとって4、5年ほどたった1990年頃のことです、私はまだ30代でした。当時は無謀だったかもしれませんが、今はそれでよかったですと思っています。その後のいろいろな方々と出会ったなかで研究が進み、今では私の研究室には学生が22人いて8割が「泡」の研究をしています。

村山 「泡」を研究している研究者は世の中に

はたくさんいらっしゃるのでか。

寺坂 原子力発電の分野には「泡」の専門家がたくさんいます。原子力発電では沸騰させた蒸気泡によってタービンを回すからです。流体力学の分野にも「泡」を研究している人がいます。化学の分野でも石鹸などを研究する人は「泡」の研究者です。ただし、私が研究しているような非常に小さな「泡」の研究者は限られています。**村山** 先生が通常サイズの泡ではなく、小さな「泡」を研究するようになったきっかけは何ですか。

寺坂 それは、小さな「泡」を研究している土木分野の教授との出会いからでした。その先生は広島地方で小さな「泡」を使ったカキの養殖に挑戦されていました。小さな「泡」で育ったカキは生育が早いという話を聞き、化学工学の分野でも使えないかと思って会いに行き、研究グループに加えていただきました。そこでその

マイクロバブルの性質と活用例

村山 まさに「泡」研究のパイオニアであったわけですね。小さな「泡」にはどんな性質があり、どんな分野で役立つのですか。

寺坂 私たちの周辺には「泡」がたくさんあります。ビール、炭酸飲料、海やプールで泳いでいても「泡」は身近にあります。ところが「泡」の大きさ（サイズ）についてはあまり気にしていません。われわれ「泡」の研究者も、当初はあまり気にしていませんでした。しかし、たとえば先ほどのカキの養殖のように、小さな「泡」を使うと成長が早くなるという事実が先に出てきました。なぜ成長が早くなるのか。おそらく、より多くの空気を呼吸できるからだと思えます。大きな「泡」はあまり海水に溶けず、すぐに浮上してしまいます。ところが、小さな「泡」はゆっくり浮上します。しかもより速く大量に海水に溶けるのでカキがたくさん空気を吸収できます。

私から、「君は化学工学の専門家だから化学の世界で小さな「泡」を研究してはどうか」と言われ、本格的に研究するようになりました。全く未知の分野で、何をやってもし新しいことばかりで、非常に面白かったので、分からないことだらけの中のスタートでした。

このマイクロバブルを使って私たちが初期の頃に取り組んだのは、酸化鉄が混じった赤い水（赤水）の排水処理でした。水中にある「泡」

ファインバブル

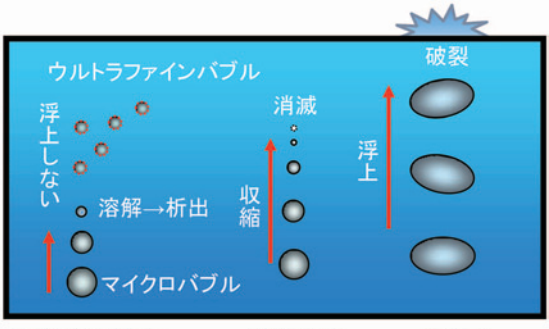
マイクロバブル

直径：発生時 約1~100 μm
運動：非常にゆっくり浮上
観察：目視可

ウルトラファインバブル

直径：約1 μm以下（100-200 nmに分布のピークを持つ場合が多い）
運動：ブラウン運動が主、浮力は粘性力に比べて小さい
観察：目視不可（可視光波長よりサイズが小さいため）

① ファインバブルはサイズの差で2種類に分かれる



ウルトラファインバブル マイクロバブル ミリバブル

② 「泡」の大きさとその動き

はわずかですがマイナスの電荷をもっています。一方、酸化鉄の微粒子はプラスの電荷をもって、そのため、両者が出会うと「泡」の表面に酸化鉄を吸着できるのです。しかも、非常に小さな「泡」で、ゆっくりと上昇しますので途中で剥がれることなく水面まで上昇してくれます。どのくらいのスPEEDで「泡」を上昇させるかは技術的に調節が難しいのですが、原理は簡単です。

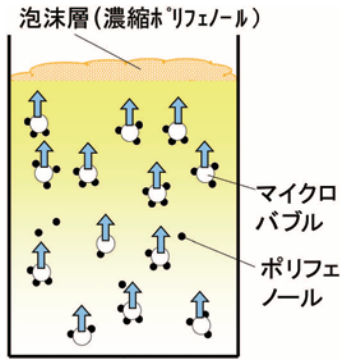
水が半分で済むという節水効果もあるそうです(4)。また、工業分野でも機械部品等の洗浄に利用されています(5)。

マヨネーズの酸化を防止し、ヘルシー効果もあるマイクロバブル

村山 マイクロバブルが商品化されている例もあるそうですね。

寺坂 キューピーの「シェフスタイル マヨネーズ」はその一例です(6)。当初、私たちの研究室ではマヨネーズの中に窒素のマイクロバブルを入れることによって口当たりの良いマヨネーズをキューピーと共同で開発しようとしたところ、口当たりが良くなるだけでなく、カロリーの摂取量が少なくなる効果もあることに気づき

ました。よくファミリーレストランなどでメニューにカロリーが表示してありますが、女性はカロリーを気にしますよね。「泡」が入っている分だけマヨネーズの量が少なくなるからです。メーカーは原料コストが下がるので、双方にとってハッピーということになるわけです。それから、窒素のマイクロバブルを使うので耐久性を長くすることもわかりました。マヨネーズが傷むのは空気中の酸素に触れて酸化するからです。酸化を防ぐためには空気中の酸素とできるだけ触れないようにすればいいわけです。窒素のマイクロバブルが入ったマヨネーズの中には窒素の「泡」がマヨネーズ全体に行きわたっています。このため、ふたを開けた際に酸素が入ってきても、酸素は窒素の入ったマイクロバブルに取り込まれてしまうのでマヨネーズの酸化を防いでくれます。なぜ、酸素が窒素バブルの中に取り込まれるかというと、酸素は酸素の濃度が高いところから低いところへ移動するといふ、いわゆるエントロピーの法則に従って、酸素0%の状態にある窒素バブルの中へ移動するからです。

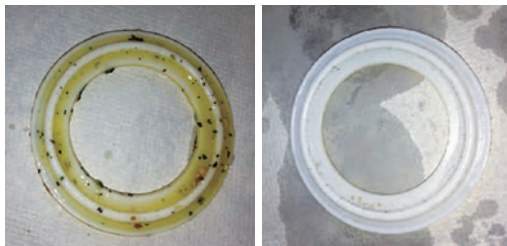


3 マイクロバブルがポリフェノールを吸着し、ゆっくりと浮上(イメージ)。ガスは空気または窒素

高知工業高等専門学校が生姜の汚れを落とす際に使い、高い洗浄効果を挙げていると聞いています。捨てる



4 マイクロバブルによる生姜の洗浄(写真提供・お問い合わせ先: 高知工業高等専門学校秦隆志准教授)



5 マイクロバブルによるバケツの洗浄(左: 洗浄前、右: 洗浄後)(写真提供・お問い合わせ先: 関西オートメ機器株式会社)

キューピー シェフスタイルマヨネーズ

賞味期間 3ヵ月

ふっくらとして口どけがよく、なめらかな食感が特長のマヨネーズです。薄味でもコクがあり、さまざまな素材の味を引き立てます。

●15276
850g/10袋
380x248xh179mm
JAN: 4901577152764



6 マイクロバブルの商品化の例

また、この「泡」には発泡スチロール容器が持つような断熱性もあります。たとえばパンにマヨネーズを塗



寺坂 宏一 (てらさか こういち)

慶應義塾大学理工学部応用化学科教授。1984年慶應義塾大学工学部応用化学科卒業。1986年同大学大学院工学研究科修士課程修了。1986年旭硝子株式会社勤務。1991年慶應義塾大学大学院理工学研究科博士課程修了、工学博士。1991年鐘淵化学工業株式会社勤務。1992年慶應義塾大学助手、1995年専任講師、2000年助教授、2007年准教授を経て2008年より現職。ファインバブル(マイクロバブルおよびウルトラファインバブル)に関する現象および機能性の解明とその応用技術ならびに研究開発さらに国際標準化を行っている。ファインバブル学会連合理事長。ファインバブル産業会理事。

はその存在を認めない人もいます。理論的には存在したいからです。私も最初は否定的な立場をとっていました。しかし、実際につくることができ、測定する方法が見つかった以上は存在を認めざるを得ません。「まだ理論が現実を追いついていない」と今は解釈しています。

村山 「泡」の発生装置の値段はどのくらいですか。

寺坂 そうです。わたくしたちがこのようにウルトラファインバブルを研究できるようになったのは、ここまで小さな「泡」を研究できる技術が育ったからです。突破口になった技術開発は二つあります。一つは、非常に小さな「泡」を安定的に作ることでできる装置の開発です。小さな「泡」が有益であるということが分かったので、どんどんそのサイズを小さくする技術が発達しました。もう一つは、そうした小さな「泡」を計測する装置の開発です。肉眼に代わって確かに計れる計測器が必要であったからです。この二つがなければ大学の研究者は研究に参入できませんでした。

ってトーストにかけると、マヨネーズはパンの表面から溶けて流れてしまいましたが、「泡」がもつ断熱効果によってマヨネーズは溶けづらく、表面がこんがりと焦げます。このためファミリールレストランなどのメニューとして活用されています。

村山 いくつもの効能があるんですね。

寺坂 マイクロバブルは農業分野でも使われています。たとえば薬効成分を入れた「泡」をイクラの卵のような粒状の薬剤にし、肥料や農薬として利用しています。普通の肥料や農薬とどこが違うかというと、中に入れるマイクログバブルの量を調節することによって薬剤の放出速度を遅くすることができ、効果をゆっくり発揮させられます。肥料や農薬を直接散布しても、雨が多く降れば成分が溶け出してしまいます。このため何度も散布しなくてはなりません。ところが「泡」の分量を調節することによって1年

に1〜2回散布すれば済みます。肥料や農薬を無駄に使わなくていいという効果だけでなく、農業に携わる人々の作業負担を大きく軽減してくれる効果もあります。

マイクログバブルよりも小さい ウルトラファインバブル

村山 マイクログバブルよりも小さい「泡」があるということですが、それはどのようなものですか。

寺坂 ウルトラファインバブルと言われているもので、ファイン (fine) は「微細な」という意味です。以前はナノバブルと呼ばれていました。マイクログバブルは、小さいとは言っても目に見えます。じつとみると白い牛乳の粒のように見えます。ところがウルトラファインバブルは目に見えません。ですから物理学者のなかにはその存在を認めない人もいます。理論的には存在したいからです。私も最初

村山 どうやってその存在を確認するのですか。

寺坂 いろいろな方法がありますが、一番わかりやすいのは非常に波長の短いレーザー光線を照射して確かめる方法です。何もなければ光線はまっすぐ進みます。ウルトラファインバブルがあれば散乱や反射するので、その散乱の状態を確認することによって存在を確認できます。

村山 ウルトラファインバブルの大きさはどのくらいですか。

寺坂 1ミクロン(μm)以下のものを言います。1ミクロンは1メートルの100万分の1ですから、もう一つ下の単位を図るナノという単位になります(1ナノメートルは1ミクロンの千分の1)。

村山 本当に小さい「泡」ですね。よくこれほど小さな「泡」ができましたね。

寺坂 そうです。わたくしたちがこのようにウルトラファインバブルを研究できるようになったのは、ここまで小さな「泡」を研究できる技術が育ったからです。突破口になった技術開発は二つあります。一つは、非常に小さな「泡」を安定的に作ることでできる装置の開発です。小さな「泡」が有益であるということが分かった

寺坂 品質や用途によって差があり、マイクロバブル発生器は安いものは約20万円、高いものは100万円くらいです。ウルトラファインバブルの発生器は約300〜400万円です。技術開発が進んでいるので性能は向上し、価格は低下しつつあります。

ウルトラファインバブルの活用事例

村山 ウルトラファインバブルはどのような分野で利用されているのですか。
寺坂 私が関わっているのは高速道路の橋脚の外壁に付いた塩



橋脚

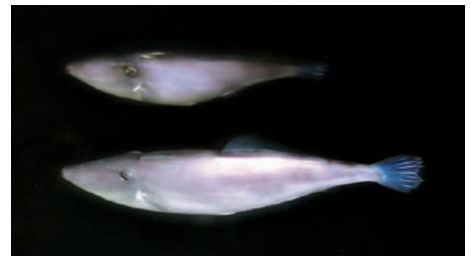


高速道路の外壁

⑦ウルトラファインバブルによる高速道路の橋脚外壁の洗浄 (写真提供: NEXCO西日本)

外壁に付いた塩などの汚れを洗い取る研究です。ウルトラファインバブルは物と物の隙間に簡単に入り込むことができるので、洗剤を使わなくても汚れを洗浄できます。西日本の高速道路のサービスエリアのトイレの8割はウルトラファインバブルによって清掃されています(⑦)。食器から

落とす研究も行われています。食器にこびりついた飯粒などの洗剤を使わない洗浄が期待されています。
農業分野でも、たとえば植物工場などで、葉物野菜やトマトなどの栽培で効果が出始めています。ウルトラファインバブルで養殖した魚は普通の水の中で養殖した魚より大きく育つという事例も紹介されています(⑧)。また、窒素を入れたウルトラファインバブルによって魚の鮮度を長く保つことができます(⑨)。先ほどのマヨネーズの例と同様、窒素の入った小さな「泡」が魚に浸み込んだ酸素を取り除き、酸化を防ぐ効果があるのです。このような効果は、ウルトラファインバブルがあまりにも小さく、水中に浮かんだまま水面に浮上しないという特性があるからです。マイクロバブルは、時間がかかりますが、一定の時間がたてば水面に浮上し、それがメリットとなっています。これに対し、ウルトラファインバブルはあまりに小さいため浮力がありません。このため



⑧ウルトラファインバブルによるウマヅラハギの養殖 (上・未使用、下・使用) (写真提供・お問い合わせ先: 株式会社ナノクス)



⑨ウルトラファインバブルによる養殖ハマチの24時間後の切り身(上・未使用、下・使用) (写真提供・お問い合わせ先: 株式会社ナノクス)

寺坂 ガスの種類によって違った効果が得られる場合と、効果が変わらない場合があります。たとえば壁を洗浄する場合は、入れるガスが空気でも窒素でも効果はほとんど変わりません。他方、殺菌効果を狙うのであれば、空気ではなく殺菌効果のあるオゾンガスを水中に入れます。オゾンには殺菌効果がありますが、オゾンの泡が大きければ、すぐに水中から浮上して消えてしまいます。ウルトラファインバブルにオゾンを入れると水中に広く行き渡るので高い殺菌効果をあげることができます。
それから、さきほどマヨネーズに窒素を入れると酸化を防ぐことができるという話をしましたが、ウルトラファインバブルに酸素を入れると、釣りあげた魚を生きの良い状態のまま運ぶことができます。植物でも同じで、根から酸素を呼吸する必要がありますからちょうどいいレベルで酸素を吸収すると鮮度を保つことができます。ただし、酸素をたくさん吸収させすぎると活性酸素の問題がでてきます。

水の中に長い間とどまっているので、そこに空気、酸素、窒素などを入れることによって、マイクロバブルにはない効果が期待できるわけです。

村山 ウルトラファインバブルに入れる気体の種類を変えると効果も異なってくるということですか。

無限の可能性を秘めた ウルトラファインバブル

村山 マイクロバブルやウルトラファインバブルによって新鮮な魚や野菜が食べられるようになるというのは消費者にとってありがたいことですね。

寺坂 その通りですが、私の専門は化学工学ですから、最終的には「ファインバブル」を利用した化学反応、たとえば石油プラントとか化学工場で使えるような物質をつくりだすことを最終目標と考えています。どうということかという、たとえば今は原油からガソリン、軽油、灯油、重油などを取り出し、残りは燃料として使えないので道路のアスファルトにしています。しかし、重油をもっと燃焼しやすい燃料に変えることができるかどうかだと思います。電力料金はずっと安くなり、産業界全体に大きな恩恵が及ぶはずです。現在、液体は水、ウルトラファインバブルは空気が主流ですが、水の代わりは重油などの他の液体でも可能です。ウルトラファインバブルの中に入れるものも気体でなく、液体や固形物質も可能です。気体の種類もメタンやプロパンなどたくさんあります。そうなる、と既存の物質とは全く違う「化学反応」が起き、新しい物質を作ることができます。それが私が「ファインバブル」に期待したいものなのです。

とはいえ難しい問題が一つあります。それは化学反応が伴う物質にはさまざまな法的規制があるということです。新しい燃料や化学薬品が生まれる可能性はありますが、事故につなが

れば社会的な影響も大きく、消防法や危険物取扱法などのいろいろな規制を考慮に入れなくてはなりません。医療も同じで、実用化されるまでには相当程度の時間が必要です。しかし、大きな可能性を秘めていることは間違いありません。液体の種類は限りなくあり、気体も数限りなくあります。残念ながら、現在の私たちだけでは手に余ります。この記事を読まれた方や企業で、イマジネーションを働かせて「こんな分野で有効利用してみたい」という案があれば、我々の活動に参加していただきたいと思っています。

学術の受け皿と 企業の受け皿を準備

村山 そうした研究や技術の産業への応用に着手したいと希望している人や企業が相談できるような「受け皿」はあるのでしょうか。

寺坂 学術、産業の二つの分野で「受け皿」を整えています。大学の先生や企業の研究員などの学術、研究に興味をお持ちの方のためには、昨年4月1日に発足した「ファインバブル学会連合」があります。化学工学会や日本混相流学会、日本ソノケミストリー学会など五つの学会が会員で、ファインバブルに関する情報交換を行います。私はこの団体の理事長を務めています。

一方、産業界の「受け皿」としては、2013年にできた「ファインバブル産業会」があります。日本は世界のなかでもファインバブルを取り入れている企業が多く、製品も多数あります。かつての失敗の轍を踏まないよう、日本が主導してISOの世界標準規格を提案しようと

いう経済産業省の後押しでできた組織です。会員は発生器メーカー、計測器メーカーだけでなく、洗浄、食品、化粧品などのアプリケーションとして「ファインバブル」を活用したい企業などがあり、現在は約60社が参加しています。設立時には私も関わり、今は会長職を離れて理事を務めています。ISOの規格づくりも進めています。信頼できない製品を淘汰するため、国内用の業界規格も作成中です。「ウルトラファインバブル」は計測が難しいので、ウルトラファインバブルの有無を保証していない企業が出てきているからです。「泡」を使ってみたいと思う企業にはできれば会員として参画してもらい、一緒に工夫していきたいと思っています。

村山 世界的にみたとときの研究や市場はどういう状況にあるのですか。

寺坂 圧倒的に日本がリードしています。発生器も計測器も日本製品が主力です。追随しているのが韓国です。ただし、日本のメーカーの多くは中小企業で、資金力が乏しい現状にあります。韓国ではサムスンのような大企業が興味をもっています。本格的に参入してきたら手強いでしょう。ISOの規格化に取り組んでいる立場からすれば、世界中に普及してほしいですが、日本には常にリーダーでいてほしいと考えます。ISOの国際会議でも、まだ日本には及びませんが、韓国や中国が積極的に発言をしています。もっと投資を増やし、日本が特許を押さえていく必要があります。

村山 本日は私たちの暮らしだけでなく産業界をも大きく変える可能性のある大変貴重なお話を伺うことができ、ありがとうございます。