

# 気泡を利用した水質浄化法

## “汚れた安定泡沫”の工学的利用

宮崎大学工学部 鈴木祥広

界面活性物質を含む液体に気泡を送気・分散すると、水面上に泡沫を生じ、その泡沫に界面活性物質が濃縮される。界面活性物質とは、疎水性基と親水性基という相反した性質の部分その分子内にもった物質であり、液中の気泡界面に疎水性基が吸着し、水面上では泡膜（極薄い水の膜）の両面の空気側には疎水性基、水側に親水性基が配置することによって泡膜が安定に保持され、界面活性物質の吸着した泡沫が形成される。この現象は古くから知られ、気泡界面を利用して目的とする物質を泡沫に濃縮して分離する方法すなわち“泡沫分離法 (foam separation)”は、洗剤やタンパク質などの回収法あるいは精製法として、今日も様々の分野で利用されている。また、鉱物工学の分野においては、気泡と界面活性剤を利用して有用な鉱物粒子を選択的に精製・分離する浮遊選鉱法が開発され、工業技術として確立されている。浮遊選鉱法の原理は、界面活性剤などの有機試薬を用いて、特定の鉱物粒子界面を疎水化させて気泡に吸着・浮上させて水面に集積させ、さらに界面活性剤で水面上に泡沫を生成させて、泡沫とともに鉱物粒子と界面活性剤を同時に回収するのである。一方、水処理工学の分野において最も基本的かつ重要なプロセスは、固液分離すなわち懸濁物の除去であり、過去において、浮遊選鉱法に利用する界面活性剤等を利用して水処理技術に適用しようとする様々の検討がなされた。しかしながら、不特定の多様な無機イオンや溶解性物質を含む下水や廃水、あるいは環境水からの懸濁物除去を目的とした場合には処理性が低く、今日まで、泡沫分離法の水処理技術への適用は困難であると認識されてきた。実際に、下水に気泡をいくら送気しても、洗剤による半透明のきれいな泡沫は多量に生成されるが、泡沫には懸濁物がほとんど吸着していない。

ところが自然界に目を向けてみると、いろいろな場所で“汚れた安定泡沫”すなわち懸濁物を濃縮した泡沫を目にすることがある。海洋においては、潮目と呼ばれる潮流と潮流の境目に沿って、黄色褐色の泡沫が浮遊物として集積している現象を目にすることがある。荒天時の磯場では黄色褐色の泡沫が打ち上げられたり、よどみの水面を漂っている現象もよく見かける。この消泡し難い安定した泡沫（安定泡沫）は海水泡沫（Seam foam）あるいは海水安定泡沫と称され、泡沫には有機懸濁物、植物プランクトン、微細な粘土粒子などの様々の懸濁物が濃縮されている。また、曝気している養殖池や活魚料理店等の飼育水槽の内壁水面にも懸濁物を吸着した魚臭の強い安定泡沫が形成されている。これらの泡沫は、どのようにして形成されるのであろうか。藻類やバクテリアの代謝する溶解性有機物質を含む海水を曝気すると、懸濁性有機物が水面上に集積することが実験的に確認され、藻類の代謝物の中には、高い界面活性を有する多糖類が含まれ、気泡を供給すると、泡沫として回収されることが明らかにされている。魚類は、魚体の組織を物理的、化学的、および生物学的に防御するために、常に体表面粘質物（mucus）を分泌・代謝しており、魚類飼育水で発生した泡沫から体表面粘質物が検

出されている。この粘質物は粘性が高く、魚臭を示し、難溶性で複雑な巨大分子の界面活性を有する糖タンパク質である。

潮目や磯場にみられる泡沫状の浮遊懸濁物と、飼育水で形成される安定泡沫のいずれの形成過程においても、共通して、生物起源の界面活性物質が気泡による懸濁物の浮上および泡沫生成に効果的に作用している。なぜ、生物起源の界面活性物質は、海洋表層や飼育水中の種類や粒径の異なる多様な懸濁物を泡沫分離できるのだろうか。従来の浮遊選鉱法で用いられる合成界面活性剤は、直鎖あるいは枝鎖からなる疎水性基と親水性基が明確に分かれて配置する構造（マッチ棒構造）になっており、界面化学的性質は単純なものが多い。一方、藻類起源の多糖類界面活性物質や魚類体表面粘質物である糖タンパク質は、極めて複雑な構造であり、親水性基および疎水性基の種類異なる部位が多数存在し、化学的性質は多様性・複雑性に富む。この多様性・複雑性が懸濁物を泡沫として分離できる要因ではないかと考えられた。生物起源の界面活性物質による“汚れた安定泡沫”の形成メカニズムが解明できれば、泡沫分離法は、汚濁水の水質浄化技術を飛躍的に向上させる可能性を秘めている。

著者らは、魚類飼育水を激しく曝気することによって“汚れた安定泡沫”が形成され、水質が浄化される現象に着目して、タンパク質用いた泡沫分離法の研究に着手し、短時間に極めて効率的に懸濁物を分離・除去する技術を開発した。現在、魚類飼育水をはじめ、赤潮海水、アオコ懸濁水、下水等の各種の汚濁排水への適用性を実証し、泡沫分離における懸濁物除去のメカニズムについてもいくつかの重要な知見が得られてきている。そこで、本研修会 MPM2015 では、泡沫分離プロセスに係るタンパク質の界面化学的性質からその優れた機能と、本泡沫分離法の水質浄化技術への利用について紹介する。