

# 第1章 緒言

## 1.1 固液分離処理の二一ズ

今日の我々を取り巻く水環境は、下水道の普及、浄化槽の整備、あるいは工場排水等の規制によって改善され、重金属や有機塩素系化合物などの有害物質の汚染、あるいは河川や湖沼の悪臭など、過去に公害と称された諸種の極度に突出した問題は、ほぼ解決されたとみなされている。この背景には、近代の水処理技術のめざましい発展と強力な展開がある。しかし、後背地に都市<sup>1),2)</sup>、畜産場<sup>3)</sup>、あるいは養殖場<sup>4)-6)</sup>などの汚濁負荷源を有する湖沼やダム、下流域の内湾・内海などの閉鎖性水域では、依然として富栄養化が進行し<sup>7)</sup>、湖沼やダムでは、アオコをはじめとする淡水赤潮が発生し<sup>8),9)</sup>、沿岸域では、赤潮による被害が毎年のように報告されている<sup>2)</sup>。都市化は沿岸域から山間部に及び<sup>10)</sup>、国土の保水力および保土力が低下し<sup>1),11)</sup>、降雨時には局所集中的に土砂・粘土粒子が流出し<sup>12),13)</sup>、溪流からダム・貯水池、下流の河川から沿岸へと運ばれ、各水域で濁水化が長期化する傾向にある<sup>14)-18)</sup>。濁水問題は、水資源としての質の低下のみならず、河川・下流域の沿岸生態系への影響も危惧されてきている<sup>19)-25)</sup>。また、国土の保水力の低下は、都市の濁水を招く<sup>1)</sup>。最近では、多くの産業活動によって様々な物質が非意図的に環境に排出され、極微量で人間に発ガンや内分泌攪乱を引き起こす可能性のある合成化学物質が河川水<sup>26)</sup>、水道水<sup>27)</sup>、および下水<sup>28)</sup>から極低濃度ではあるが、検出されたことが報告され始めてきた。このような背景の中、水を有限な資源として捉え、使用した水は、処理して再使用する循環型の水システムの問題が提案されている<sup>29),30)</sup>。

水処理とは、水に混入した不純物・汚濁物を分離除去して、元の水にできるだけ近い状態に戻す行程であり、その除去能力と処理水水質は、用途目的や放流域によって異なっている。水処理のプロセスには、物理的、化学的、および生物的手法があり、これらを有機的に組み合わせて、固液分離（懸濁物・コロイド分離）および液液分離（溶解性物質分離）の技術を構築してきた<sup>31)</sup>。特に、固液分離処理は、水処理プロセスの主要な構成要素であり、古くから現在に至るまで、創意工夫がなされ、盛んに研究され、発展してきた。実際の水処理において、固液分離処理の対象として問題となる物質を例に挙げると、藻類、粘土、エマルジョン、および細菌などの数 $\mu\text{m}$ ～数十 $\mu\text{m}$ のいわゆる懸濁粒子と、それ以下のサイズ（1nm～1 $\mu\text{m}$ ）の金属酸化物、ウイルス、および色度成分などのコロイドである<sup>31),32)</sup>。これら懸濁物は、水中で分散して存在し、単純な物理的手法では処理が困難である。したがって、化学薬品（凝集剤、凝集助剤）を用いた凝集プロセスと、沈殿、浮上、あるいはろ過プロセスを組み合わせた固液分離処理の研究・開発が多数行われ、各種排水処理に広く採用されている。

21世紀に向けて、都市化の拡大、人口の集中化、および生活の高水準化によって、水需要の増加傾向は当分続くと予測され、水の大量消費に伴う大量処理・再生のシステムが必要となる。したがって、水再利用を目的とした新しい水処理プロセスの開発がさらに要求されている。これを受けて、水再利用の担い手として、膜分離プロセスが脚光を浴びている。膜は、除去目的の粒子・物質に応じて、孔径を任意に製造でき、圧力をかけて膜を通過あるいは浸透させることによって、数 $\mu\text{m}$ の粒子から分子量100以上の溶解性物質に至るまでの固液分離および液液分離が可能であるとされる<sup>29),33)</sup>。さら

に、大部分のイオンも分離できる浸透膜が海水淡水化に利用されている。膜の設計・製造の技術は、ほぼ確立されてきており、膜の洗浄、交換、および耐久性等の維持管理技術ならびにイニシャル・ランニングコストに課題が残されているようであるが、膜分離プロセスは、今後、広く実用化されると考えられる。

それでは、固液分離処理は膜分離プロセスに取って代われ、従来より主流である物理化学的処理法は、徐々に必要とされなくなっていくのであろうか。膜分離プロセスは、懸濁物を濾し取るという原理から、一度での大量処理を必要とするプロセスとしては、不向きであると考えられる。また、高濃度の懸濁物を含んだ原水を直接的に膜分離プロセスに導入することは、効率が悪い。したがって、物理化学的処理プロセスは、大量の水をある一定の水質に維持する処理プロセスとして、また、膜分離プロセスの前処理<sup>34)</sup>として、今後とも益々、重要度が増すと予想される。物理化学的処理法は、優れた凝集剤の開発、凝集・沈殿池の改良、ろ過法、ろ過装置、あるいは充填ろ材の開発などによって、さらに処理性を高めることが可能である。物理化学的処理法による固液分離処理は、新しい水システムを創出していく上においても、最も重要な水処理プロセスであることに変わりはないと考える。

## 1.2 気泡を利用した分離法

水処理システムにおける最も速い固液分離プロセスに浮上法がある。浮上法は、気泡の供給方法から、加圧して空気を水に溶解させ、常圧に解放することによって微細気泡を析出させる方式 (dissolved air) と攪拌機、エアレーターあるいは散気板・エアーストーンなどで空気を吸引あるいは吹き込むことによって、気泡を分散させる方式 (dispersed air) の二つに大別される。また、懸濁物・フロックの回収方法からみると、水面上に集積した懸濁物・フロックのスカムを回収する方式と、水面上に泡沫を生成させて、その泡沫を回収する方法に大別される。いくつかの組み合わせが想定されるが、空気加圧-スカム回収、ならびに空気分散-泡沫分離の組み合わせが適当とされる<sup>35)</sup>。両者を区別するために、本研究では、後者を泡沫分離法と称すことにする。なお、洗剤などの界面活性剤<sup>36)~38)</sup>やタンパク質<sup>39)</sup>などの界面活性物質を含む廃水や溶液に、空気分散方式で気泡を供給することによって、泡沫として界面活性物質が分離・回収できる。単に泡沫を回収する液液分離の処理プロセスも泡沫分離法と呼ばれる場合が多い<sup>40)</sup>。気泡を利用した分離法の詳細は、第二章で整理することにする。

現在、最も一般的な浮上法は、加圧浮上法である<sup>31),35)</sup>。各種の廃水処理システムに加圧浮上法が採用され、実績を上げている。加圧浮上法の処理フローの概略は、「凝集→溶解空気の導入→微細気泡の析出→浮上→スカム回収」から成る。一方、固液分離を目的とした泡沫分離法には、有用な微細鉱物粒子を分離・精製する浮遊選鉱法がある<sup>41),42)</sup>。浮遊選鉱法の処理フローの概略は、「界面活性剤による鉱物粒子界面の疎水化→気泡供給→浮上→界面活性剤による泡沫生成→泡沫分離・回収」から成る。空気分散方式で発生する気泡径は、空気加圧方式のそれを比較すると少なくともワンオーダー以上大きく<sup>35)</sup>、浮上速度は著しく速い。したがって、泡沫分離法は、加圧浮上法と比較して、処理速度が速く、潜在的な処理能力は高いと考えられる。ところが、下水や廃水、あるいは環境水の懸濁物除去を目的とした処理プロセスとして、泡沫分離法が利用された事例は見あたらず、泡沫分離法による

汚濁水の固液分離処理に関する知見は、極めて少ない。従来の泡沫分離法の処理性が低いとされる理由は、下水・廃水などには、多様なイオンが含まれているために界面活性剤が効果的に働かないこと<sup>43,44)</sup>、ならびに気泡の浮上が激しいために懸濁物が気泡に吸着・保持できないためと考えられる。

浮遊選鉱法における分離・回収時の現状が生じるような、より有効な界面活性物質を用いて懸濁物・フロック界面の疎水化、および泡沫生成を適切に制御することができれば、泡沫分離法は、下水から環境水に及ぶ多種多様な汚濁水の処理において、処理速度の極めて速い、処理能力の高い処理プロセスとして利用できる可能性を秘めている。

### 1.3 自然界にみる泡沫分離作用

水処理システムおよびそれを構成するプロセスの多くは、自然界における物質循環や自浄作用と類似している。我々は、自然のシステムを模倣して、それぞれのプロセスの機能を人為的に高めて、水処理システムを構築してきたと考えることができる。自然界における諸種の現象を解析することによって、水処理工学における貴重な知見が得られる場合が少なくない。

海洋において、潮目と呼ばれる潮流と潮流の境目に沿って、植物プランクトンや懸濁物が安定泡沫に濃縮され、浮遊物として集積している現象を目にすることがある。この潮目にみられる現象は、どのようにして生じるのであろうか。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、懸濁性有機物が凝析して、水面上に集積することが実験的に確認されている<sup>45)~48)</sup>。最近、Chinら<sup>49)</sup>は、海洋における溶解性有機物が自発的に自己集合し、大きな凝集体を形成する機構を報告している。海洋の溶解性有機物は凝析作用を有し、気泡を供給することによって、攪拌・混合され、あるいは気液界面で酸化・変性を生じ、凝析・凝集作用が促進されると考えられる。また、藻類の代謝物の中には、高い界面活性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<sup>50)</sup>。海洋表層では、溶解性有機物質と植物プランクトンやその他の懸濁物が共存し、波浪による攪拌・混合、および気泡の供給によって、溶解性有機物の凝析に伴い植物プランクトンや懸濁物が凝集され、凝集体を形成すると考えられる。生物生産の高い沿岸域などで、植物プランクトン起源の界面活性多糖類がある程度の濃度で存在し、風と波浪の作用で白波のように連続的に気泡が海中に引き込まれ浮上する条件を整えば、界面活性作用によって、凝集体は気泡に吸着して浮上し、安定泡沫中に捕捉されて浮遊すると考えられる。浮遊物は、潮流や風によって潮目に集積する。まさしく、海洋の自然作用による泡沫分離である。

### 1.4 本研究に至るまでの経緯

1991年に丸山ら<sup>51)</sup>は、海産魚介類の飼育水に薬剤等を全く加えずに、微細気泡を激しく供給・混合すると、水面上に懸濁物を濃縮した安定泡沫が形成され、この泡沫を分離除去することによって飼育水が浄化され、水質が良好に維持されることを報告している。泡沫分離法による懸濁物除去を目的として、意図的に生物起源の体表面粘質物を利用した先駆的研究である。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・代謝している。この体表面粘質物は、粘性が高く、魚臭を示し<sup>52)</sup>、難溶性で複雑な巨大分子の糖タンパク質であり<sup>53)-55)</sup>、界面活性を有する物質である。飼育水から回収された泡沫の性状は、粘性が高く、界面活性を有し、しかも、魚臭を放ち、極めて濃厚に懸濁物を濃縮している。したがって、このような現象から、飼育水に気泡を供給すると、懸濁物を浮上させ、かつ、泡沫を生成する原因物質は体表面粘質物であると考えられる。しかしながら、体表面粘質物は、飼育水の浄化プロセスにおいて利用する以外に、実際の水処理プロセスの薬剤として利用できる可能性は極めて低い。

丸山らの研究グループ (宮崎大学) は、体表面粘質物の泡沫に汚濁物が濃縮される現象から発想し、体表面粘質物の代替タンパク質として乳製カゼインを用いた泡沫分離法の開発に着手した。そして1995年に、凝集剤とカゼインを併用した凝集・泡沫分離法を提案し、都市下水に対して極めて良好な濁質除去が可能であることを報告<sup>56)</sup>している。乳製カゼインを用いた理由は、牛乳から高収率で精製され、安全な物質で、しかも大量入手が可能なタンパク質であったためとして (丸山、私信)。カゼインを用いることによって懸濁物除去能が飛躍的に向上し、極めて高い濁質除去率が得られることが明らかとされ、凝集・泡沫分離法の発展性を強く示唆するものであった。現在に至るまで、タンパク質を固液分離処理の薬剤として積極的に利用した方法は、国内外においても他に例を見ない。

しかしながら、凝集・泡沫分離法の処理条件を実験的に求めるに留まり、処理特性や除去機構を解明するには至ってなかった。また、タンパク質であれば種類に関係なく利用可能であろうと認識され、タンパク質の種類、カゼインの適性、あるいはカゼインをはじめとするタンパク質の化学的性質に関する知見は全く得られていなかった。

## 1.5 本研究の着眼点

潮目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であろうか。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は、数種類の糖が重合して高分子を形成している<sup>50)</sup>。また、魚類体表面粘質物である糖タンパク質とは、タンパク質と糖鎖が結合した極めて複雑な構造であることが明らかとされている<sup>54),55)</sup>。生物起源の界面活性物質は、構造が複雑であること、親水性残基および疎水性残基の種類異なる部位が多数存在することから、化学的性質は多様性・複雑性に富むと考えられる。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であり、かつ、工業的に精製法が確立され、工業製品・食品の原料に利用されているタンパク質はカゼインをはじめ多数存在する。水処理プロセスの薬剤としてのタンパク質の使用は、十分に可能である。不特定で多様な共存物質を含む汚濁水の懸濁物除去、すなわち固液分離処理を目的とする水処理プロセスにおいて、タンパク質の利用は、泡沫分離法の処理性・機能性を飛躍的に向上させる可能性がある。

泡沫分離法によって懸濁物除去を達成させるためには、二つの重要なプロセスを両立して適切に機能させる必要がある。泡沫によって懸濁物を分離するのであるから、泡沫生成プロセスは、泡沫分離法の必須条件である。しかも、懸濁物を分散気泡に吸着させ、水面に浮上させなければならない。しかしながら、気泡の気液界面には疎水性界面を持つ固体でなければ吸着することは困難であり、懸濁物界面の疎水化プロセスが懸濁物の浮上・集積を支配する。これまでの泡沫分離法に関する一連の研究から、タンパク質は、泡沫を生成する機能と懸濁物界面を疎水化する機能の両方を持ち合わせていると推察された（図-1.1）。

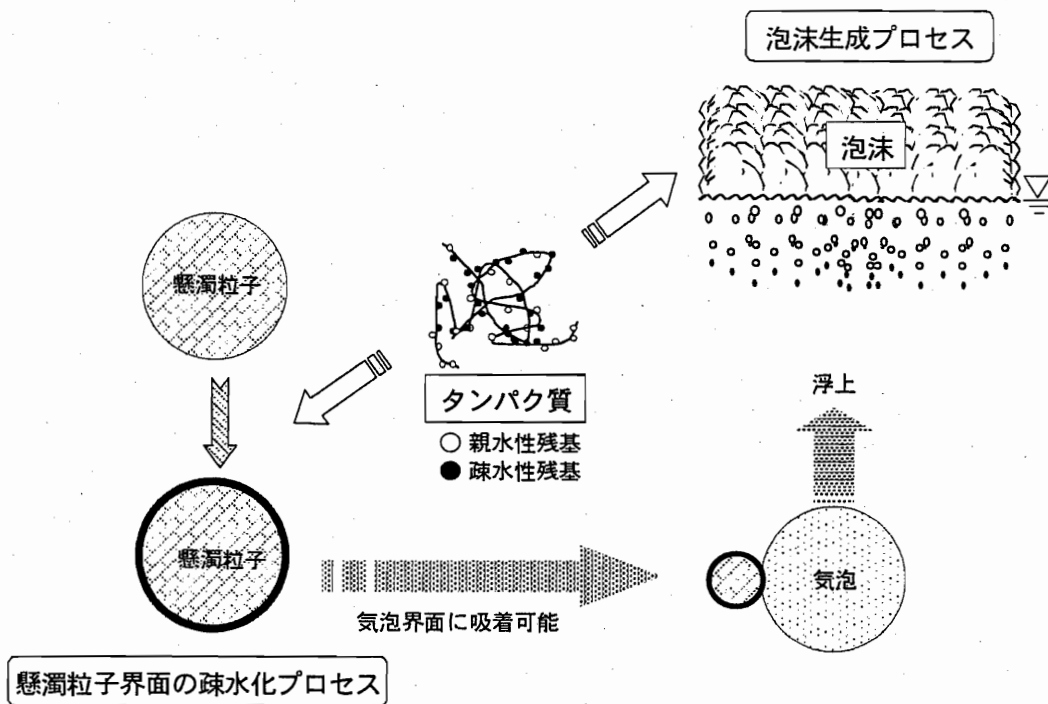


図-1.1 泡沫分離法におけるタンパク質の機能（想定図）。

## 1.6 本研究の目的と構成

本研究では、泡沫生成プロセスおよび疎水化プロセスのいずれに対しても適切に機能し得るタンパク質の界面化学的性質と、そのタンパク質を薬剤として用いた泡沫分離法による懸濁物の処理特性および除去機構を明らかとし、さらに、泡沫分離法の各種汚濁水・廃水の固液分離プロセスへの適用性を検討することを目的とした。

本論文の構成は、以下の通りである。

水処理の固液分離プロセスとして、生物起源の界面活性物質と気泡を利用した分離法に関する研究

は、現在に至るまで見あたらぬ。そこで、第2章では、気泡を利用した分離法に関する過去から現在に至る研究の概要と原理について整理し、処理特性を支配する因子を把握することにした。既知の知見は、本研究の位置づけを明確にし、展開していく上で重要である。

第3章では、数種類のタンパク質（カゼイン、大豆タンパク、アルブミン、ヘモグロビン、ゼラチン）の泡沫生成能および懸濁物への吸着特性について、実験的検討を行った。泡沫分離法に則した送気法による泡沫生成能の評価方法を確立し、タンパク質の濃度、溶液のpH、共存物質の泡沫生成能に及ぼす影響を調べた。また、懸濁物のモデル粒子として、粘土粒子であるカオリンと酸化鉄粉末について、タンパク質の吸着特性を調べた。さらに、疎水性の界面を持つグラファイト粉末への吸着特性から、タンパク質の疎水性評価を試みた。これらのタンパク質の界面化学的性質の把握は、次章の泡沫分離法に適するタンパク質の選定において、貴重な知見となる。

第4章では、カオリン懸濁水について、凝集剤と数種類のタンパク質を用いて、凝集・泡沫分離法による処理性の違いを比較検討した。処理性は濁度除去率から評価し、数種類のタンパク質の中から、凝集・泡沫分離法に利用できるタンパク質を選定した。また、魚類体表面粘質物を用いた泡沫分離法によるカオリン除去に関する検討も行った。

第5章では、第4章において選定されたタンパク質である“カゼイン”を用いて、凝集・泡沫分離法によるカオリン懸濁水の処理特性について検討した。カオリン-鉄塩フロックへのカゼインの吸着特性と泡沫生成量、ならびに泡沫分離処理における懸濁物除去率からカゼインの機能を評価し、凝集・泡沫分離法における適切な処理条件を設定するための基礎的知見を得ることを目的とした。

第6章では、カゼインを用いた凝集・泡沫分離法の有用性について検討した。第一に、凝集プロセスの必要性、および共存物質の処理性への影響について調べた。つぎに、性質の異なる十数種類の合成界面活性剤を用いて、凝集・泡沫分離法によるカオリン懸濁水の濁度除去率を測定し、カゼインの場合における処理性と比較した。さらに、泡沫生成プロセスとしての合成界面活性剤の利用の可能性についても検討を加えた。カゼインを利用することの有用性および新規性を実証したのが本章である。

第7章では、第2章から第6章で得られた知見をもとに、タンパク質を用いた泡沫分離法における懸濁物の除去機構を考察した。

第8章では、カゼインを用いた泡沫分離法による各種汚濁水・廃水への適用例を示した。対象とした原水は、都市下水、海水混入下水、淡水産と海水産の植物プランクトン懸濁液、ならびにエマルジョン化した油滴を含む汚濁水とし、回分式実験による検討を行った。また、泡沫分離プロセスを組み込んだ連続処理システムとして、閉鎖循環式の魚類飼育システムを構築し、実際に長期間にわたる魚類飼育実験を行った。飼育水水質の維持特性から、魚類体表面粘質物を利用した泡沫分離プロセスを含むシステムの機能評価を行った。

第9章では、処理能力、ならびにランニングコスト、あるいは設備費などの経済的観点から、タンパク質を用いた泡沫分離法の実用化の可能性について考察した。

第10章では、本研究で得られた成果をまとめ、総括を行った。

## 第1章 引用文献

- 1) 國松孝男, 菅原正孝 (1988) 都市の水環境の創造, 277 pp., 技報堂出版, 東京.
- 2) 通産商業省環境立地局 (1995) 水質汚濁の現状「公害防止の技術と法規」(公害防止の技術と法規編集委員会編), pp. 1-14, 産業環境管理協会, 東京.
- 3) 田淵俊雄 (1999) 湖沼流域における面源の窒素排出負荷量, 用水と廃水, 41, 520-525.
- 4) 中村玄正, 高橋幸彦, 成田大介, 松本順一郎 (1995) 阿武隈川の富栄養化に及ぼす養魚池の影響に関する研究, 環境工学論文集, 32, 263-272.
- 5) 丸山俊朗, 鈴木祥広 (1999) 養魚排水の現状と水域への負荷, 閉鎖循環式養殖への展望, 用水と廃水, 41, 5-16.
- 6) 高橋幸彦, 黒澤幸二, 佐藤洋一, 中村玄正, 牧瀬統, 松本順一郎 (1999) 阿武隈川中流域の富栄養化に及ぼす養魚池の影響, 用水と廃水, 41, 1097-1103.
- 7) 須藤隆一, 環境庁水質保全局水質規制課 (1996) 内湾・内海の水環境(環境庁水環境研究会), 365 pp., ぎょうせい, 東京.
- 8) 杉浦則夫 (1994) 霞ヶ浦におけるアオコの発生と対策, 水環境学会誌, 17, 540-550.
- 9) 吉田陽一, 中原紘之, 桑江朝比呂 (1996) 琵琶湖北湖諸港におけるアオコの異常発生機構, Nippon Suisan Gakkaishi, 62, 230-235.
- 10) 黒田洸, 田村亮 (1992) 都市活動の郊外化と環境「都市と環境」(中村英夫編), pp. 48-54, ぎょうせい, 東京.
- 11) 田中淳夫 (1996) 「森を守れ」が森を殺す!, 237 pp., 洋泉社, 東京.
- 12) 江藤進治, 芦田和男 (1981) 山地流域における微細土砂の生産場と流出過程に関する研究, 京都大学防災研究所年報, 24B-2, 239-250.
- 13) Laws, E. A., 神田穰太, 神田玲子訳 (1996) 都市の雨水流出「水環境の基礎科学」, pp. 109-133, 技報堂出版, 東京.
- 14) 中村昭, 今村瑞穂, 横道雅巳 (1980) 多目的ダム貯水池における濁水長期化調査, 第24回水理講演会論文集, 259-264.
- 15) 鈴木藤一郎, 福田正晴 (1981) 河川の濁水発生機構に関する研究, 建設省技術研究会報告, 1-5.
- 16) 松尾直規 (1992) ダム貯水池の水質問題, 電力土木, No.238, 3-18.
- 17) 宮永洋一 (1992) 環境保全と対策 (1) 貯水池の水質問題と対策, 電力土木, No.237, 122-127.
- 18) 福田正晴 (1997) ダム貯水池の水質問題とその対策事例, 大ダム, No.141, 50-55.
- 19) 荒川久幸, 松生治 (1990) 褐藻類カジメ・ワカメの遊走子の沈降速度および基質着生に及ぼす海水中懸濁粒子の影響, 日本水産学会誌, 56, 1741-1748.
- 20) 坂本龍一 (1994) クロメ藻場衰退原因調査結果, 南西海ブロック藻類研究会誌, 14, 62-77.
- 21) 日本水産資源保護協会 (1995) 懸濁物質 (SS) 「水産用水基準 (1995年版)」(日本水産資源保護協会編), pp. 19-21, 日本水産資源保護協会, 東京.
- 22) 安田郁子, 奥川光治, 高倉盛安 (1996) 濁水流入がダム湖の植物プランクトンにおよぼす影響, 水環境学会誌, 19, 811-820.
- 23) 鈴木祥広, 丸山俊朗, 三浦昭雄, 申宗岩 (1997) 懸濁および堆積カオリン粒子がスサビノリ殻胞子の着生と発芽に及ぼす影響, 土木学会論文集, No. 559/VII-2, 73-79.
- 24) 鈴木祥広, 丸山俊朗, 三浦昭雄 (1997) 懸濁物質によるノリ殻胞子の基質への着生に及ぼす影響, 土木学会論文集, No. 580/VII-5, 19-26.
- 25) 鈴木祥広, 丸山俊朗, 高見徹, 三浦昭雄 (1998) 海水中懸濁粒子の沈降・堆積がワカメ遊走子の着生と生長に及ぼす阻害作用, 水環境学会誌, 21, 670-675.
- 26) 藤塚哲朗 (1999) 水環境中の内分泌攪乱化学物質の存在状況実態調査について, 水環境学会誌, 22, 624-628.
- 27) 国包章一 (1999) 内分泌攪乱作用を疑われている化学物質の水道における実態調査, 水環境学会誌, 22, 633-635.

- 28) 田中宏明(1999) 水環境における内分泌攪乱化学物質の実態調査, 水環境学会誌, 22, 629-632.
- 29) 森田豊治, 岩泉孝司(1998) 水循環型社会構築の技術「岩波講座地球環境学 9 地球システムを支える21世紀型科学技術」(高橋裕, 武内和彦編), pp. 95-129, 岩波書店, 東京.
- 30) 浅野孝, 丹保憲仁 (監修), 五十嵐敏文, 渡辺義公 (編著) (1999) 水環境の工学と再利用, 404pp., 北海道大学図書刊行会, 札幌.
- 31) 吉野善弥(1977) 固液分離「廃水・廃棄物処理廃水処理編」(岩井重久, 加藤健司, 左合正雄, 野中八郎編), pp. 53-131, 講談社, 東京.
- 32) 丹保憲仁, 小笠原紘一 (1985) 浄水の原理「浄水の技術」, pp. 37-110, 技報堂出版, 東京.
- 33) 丹保憲仁(1999) 後近代への水システムの展開と膜処理技術「水環境の工学と再利用」(浅野孝, 丹保憲仁 監修; 五十嵐敏文, 渡辺義公 編著), pp. 35-47, 北海道大学図書刊行会, 札幌.
- 34) Adin, A. and T. Asano (1999) 物理・化学的処理の役割「水環境の工学と再利用」(浅野孝, 丹保憲仁 監修; 五十嵐敏文, 渡辺義公 編著), pp. 120-137, 北海道大学図書刊行会, 札幌.
- 35) 野中八郎(1967) 下水処理プロセスとプラントの設計, 285 pp., 山海堂, 東京.
- 36) Ng, K. S., J. C. mueller and C. C. Walden (1976) Foam separation for detoxification of bleached kraft mill effluents, J. WPCF, 48, 458-472.
- 37) 前田満雄, 谷口靖子, 小沢建樹(1976) 泡沫分離法 (その1) 陰イオン界面活性剤の除去, 化学工場, 20, 98-102.
- 38) 丸石功(1976) 泡沫分離法 (その2) 非イオン界面活性剤の除去, 化学工場, 20, 103-106.
- 39) 久保田克之, 藤川卓也, 中山将輝(1996) 起沫界面への水溶性球状蛋白質の吸着速度に関する一考察, 22, 1259-1262.
- 40) 吉田高年, 竹内忠雄(1970) 泡沫分離 (泡分離), 表面, 8, 65-73.
- 41) 富田堅二(1974) 非金属の選鉱法, 259pp., 技報堂, 東京.
- 42) 下飯坂潤三(1979) 浮選「界面活性剤」(北原文雄, 玉井康勝, 早野茂夫, 原一郎編), pp. 403-413, 講談社, 東京.
- 43) Beheir, S. G. and M. Aziz (1996) Removal of Zn(II) from dilute aqueous solution and radioactive process wastewater by foam separation, Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, Articles, 209, 75-89.
- 44) Huang, S. D., H. Ho, Y. Li and C. Lin (1995) Adsorbing colloid flotation of heavy metal ions from aqueous solutions at large ionic strength, Environmental Science and Technology, 29, 1802-1807.
- 45) Reley, G. A. (1963) Organic aggregates in seawater and the dynamics of their formation and utilization, Limnology Oceanography, 8, 372-381.
- 46) Baylor, E. R. and W. H. S. Jr. (1963) Dissolved organic matter in seawater as a source of particulate food, Limnology Oceanography, 13, 369-371.
- 47) Barber, R. T. (1966) Interaction of bubbles and bacteria in the formation of organic aggregates in sea-water, Nature, 211, 257-258.
- 48) 西沢敏(1966) 海中懸濁物 デトライタスから共棲小宇宙まで, 日本プランクトン研究連絡会報, 13, 1-33.
- 49) Chin, W., M. V. Orellana and P. Verdugo (1998) Spontaneous assembly of marine dissolved organic matter into polymer gels, Nature, 391, 568-572.
- 50) Zhou, J. and K. Mopper (1998) The role of surface-active carbohydrates in formation of transparent exopolymer particles by bubble adsorption of seawater, Limnology Oceanography, 43, 1860-1871.
- 51) 丸山俊朗, 奥積昌世, 佐伯昭和, 嶋村茂(1991) 活魚輸送・畜養, 養殖における泡沫分離法の飼育海水浄化能, 日本水産学会誌, 57, 219-225.
- 52) 榎本則行, 富安行雄(1960) 魚体表面の粘性物質に関する研究-I. ドジョウの体表面粘質物の化学的性質, 日本水産学会誌, 26, 739-744.
- 53) 浅川牧夫(1970) ウナギ体表面粘質物の組織化学的研究, 日本水産学会誌, 36, 83-87.
- 54) Asakawa, M. (1983) Structure of disaccharide from eel skin mucous glycoprotein and its linkage to



protein moiety, Nippon Suisan Gakkaishi, 49, 1601-1606.

- 55) 浅川牧夫 (1996) 魚類体表面粘質物の生態防御における役割：ウナギシアル酸含有糖タンパク質の構造と機能, 日水誌, 62, 291-292.
- 56) 後藤崇, 丸山俊朗, 鈴木祥広, 土手裕 (1995) 泡沫分離法の下水の処理能に関する研究, 土木学会第50回年次学術講演会概要集 第2部B, 1048-1049.