

## 第4章 泡沫分離法に適したタンパク質

前章において、タンパク質の界面化学的性質である泡沫生成能および懸濁粒子への吸着特性は、その種類によって大きく異なることがわかった。そこで本章では、モデル濁水としてカオリン懸濁水を対象とし、各種タンパク質を用いた凝集・泡沫分離法による懸濁物除去能から適切なタンパク質を選定し、そのタンパク質の界面化学的性質を明らかにすることを目的とした。また、魚類の体表面粘質物による凝集剤無注入の泡沫分離法についても検討した。

### 4.1 凝集・泡沫分離法に適したタンパク質の選定<sup>1)</sup>

一般に、懸濁物を含む下水や排水の処理においては、凝集処理によって懸濁物を集塊させてから、沈殿、ろ過、あるいはその他の方法で分離することが効率的である。そこで、泡沫分離処理の前に、凝集処理を施し、懸濁物を凝集フロックとしてから、タンパク質を用いて泡沫分離処理する処理フローを考えた。この方法を“凝集・泡沫分離法 (Coagulation and foam separation)” と称すことにする。フロックを形成させる技術は完成されているが、そのフロックを泡沫分離する際に、どのようなタンパク質が適当であるか、についての知見はない。

この節では、カオリン懸濁水について、鉄塩で凝集処理し、良好な凝集フロックを形成させた後に、数種類のタンパク質を用いて泡沫分離実験を行った。そして、それぞれのタンパク質の処理性の違いから、泡沫分離法に利用できるタンパク質を選定することとした。さらに、前章で得られた知見をもとに、泡沫分離法に適するタンパク質の性質について整理した。

#### 4.1.1 実験方法

##### (1) 試料

##### (a) タンパク質

カゼイン (乳製, 化学用和光純薬製), アルブミン (卵製, 和光純薬製), ならびにヘモグロビン (牛血製, 片山化学製) の標準溶液 (10,000mg/L) は、それぞれの試薬を0.01Nの水酸化ナトリウム水溶液に溶解して作成した。ゼラチン (和光純薬) については、50~60℃程度の温蒸留水で溶解させて10,000mg/Lの標準溶液を作成した。

##### (b) 懸濁水

カオリン懸濁水は、あらかじめ蒸留水に炭酸水素ナトリウム ( $\text{NaHCO}_3$ ) を  $\text{NaHCO}_3$  として 50mg/L になるように調整した水溶液に、カオリン濃度が 200mg/L となるように懸濁原液を添加して原水とした。

##### (2) ジャーテスト

カオリン懸濁水 500mL を 500mL ピーカーに取り、急速攪拌を行いながら pH 調整剤 (0.1~1N 塩

酸または水酸化ナトリウム溶液)と凝集剤(塩化第二鉄,  $\text{FeCl}_3$ )を所定濃度となるように加えた。攪拌条件等は, ジャーテスター(宮本製作所製, MJS-8型)を用いて, 急速攪拌(150rpm)3分間, 緩速攪拌(40rpm)15分間, 静置15分間とした。静置後の上澄水を採取し, 濁度(積分球式濁度計, 三菱化成製, SEP-PT-706D型)とpH(東亜電波製, 12-P型)を測定した。

### (3) 凝集・泡沫分離実験

カオリン懸濁水(200mg/L)500mLを500mLビーカーに取り, 急速攪拌を行いながらpH調整剤(0.1N水酸化ナトリウム溶液)で凝集適正pHの7となるように調整し, 凝集剤(塩化第二鉄,  $\text{FeCl}_3$ )を10mg-Fe/Lとなるように加えて3分間急速攪拌した後, 各種のタンパク質を所定濃度となるように加え, さらに1分間急速攪拌した。この懸濁液200mLを分取し, 図-4.1に示す回分式泡沫分離装置である気液接触塔に移して, 泡沫分離処理を行った。気液接触塔本体は, 塔高54cm, 内径2.6cmの亚克力管から成り, その底部には微細気泡を供給するためのガラスボールフィルター(木下理化工業製, 501G-4, 公称ポアサイズ5~10 $\mu\text{m}$ )を取り付けた。通気ガスには空気を用い, 送気ポンプ(レイシー製, AP-115型)および流量計(小島製作所製, RK1600R型)によって所定の流量に調整して塔内に通気した。水面上に形成される安定泡沫は, アスピレーターによって吸引・回収した。分離・回収された泡沫は消泡して液体になるが, これを“泡沫分離水(Foam separated water)”と称する。吸引管は送気時の水面から約2cmの位置に設置した。泡沫分離の操作条件は, 送気流量を0.3L/min, 泡沫分離処理時間は3分間とした。気液比(送気量に対する試水量の比)は4.5となる。泡沫分離処理終了後, ドレンより気液接触塔内の処理水を採水し濁度を測定した。濁度の標準物質は精製カオリンであり, 濁度単位はTUと表記した。濁度除去率は, 原水の濁度と処理水の濁度から求めた。また, 回収した泡沫分離水の重量を測定した。

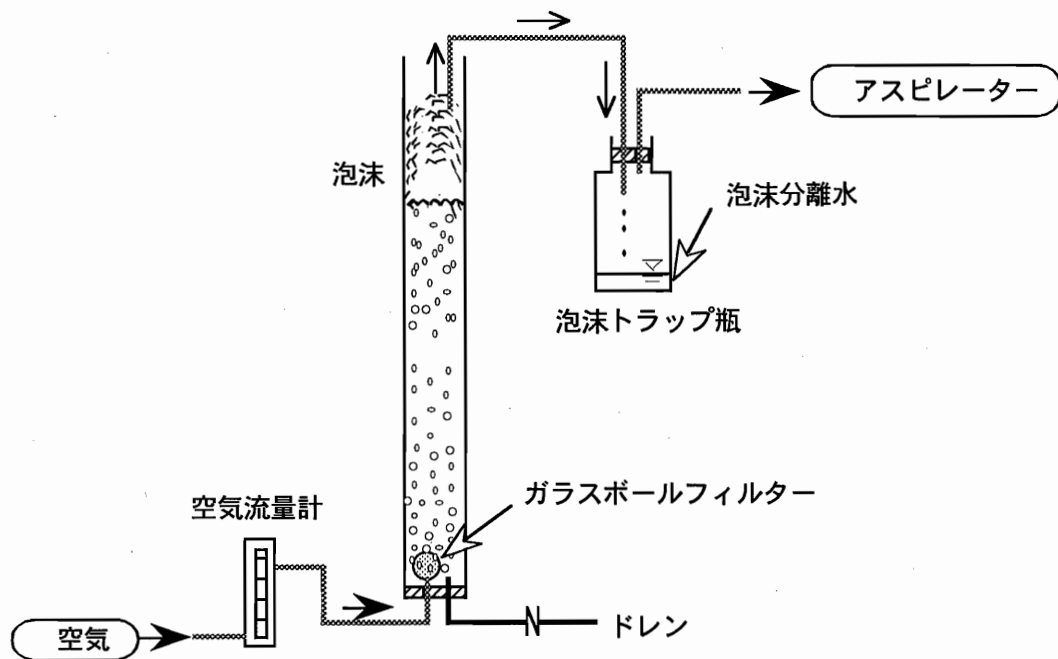


図-4.1 回分式泡沫分離装置.

#### 4.1.2 結果と考察

##### (1) FeCl<sub>3</sub>の凝集沈殿特性

FeCl<sub>3</sub>によるカオリン懸濁水の凝集沈殿特性を把握するため、Fe注入量10mg-Fe/Lのときの濁度除去とpHの関係を図-4.2に示した。pH6以下では凝集はみられず、濁度は高い値を示した。pH6~6.5の領域では濁度が低下したが、大型のフロックの形成はみられず、茶褐色の水酸化鉄コロイドとマイクロフロックとして存在した。pH6.5~8の領域では、大型のフロックを形成し、良好な凝集沈殿を示した。

pH8以上のアルカリ性になると、濁度除去は著しく低下し、pH10以上ではフロックの形成は全く認められなかった。原水（カオリン懸濁水）を凝集沈殿させるための適切なpHは6.5~8の領域であり、特にpH7付近では効率的に凝集沈殿でき、良好なフロックを形成する条件であった。したがって、FeCl<sub>3</sub>を用いた凝集・泡沫分離実験における凝集処理の条件は、急速攪拌時間3分、凝集剤添加濃度10mg-Fe/L、pH7.0±0.1とした。

##### (2) 懸濁物除去

図-4.3には、カゼイン、アルブミン、ヘモグロビン、およびゼラチンを用いた凝集・泡沫分離法による濁度除去率および泡沫分離水量を示した。それぞれのタンパク質の添加濃度は泡沫が十分に生成されるように設定し、カゼイン20mg/L、アルブミン40mg/L、ヘモグロビン30mg/L、およびゼラチン50mg/Lとした。タンパク質標準溶液添加後のpHは、わずかに上昇したが、pHの変動範囲は7.07~7.25であった。

泡沫分離水量は、いずれのタンパク質を用いた場合も約13~25gであり、泡沫分離の基本的条件である泡沫の生成は、良好であった。カゼインおよびゼラチンを用いた場合では、水面上に生成される泡沫にフロックが吸着・濃縮され、液中の懸濁物（フロック）は、溶液から0.5~1分間程度で除去された。カゼインとゼラチンの濁度除去率は、極めて高く、それぞれ98.6±0.3% (n=3)と99.5±0.3% (n=3)となった。

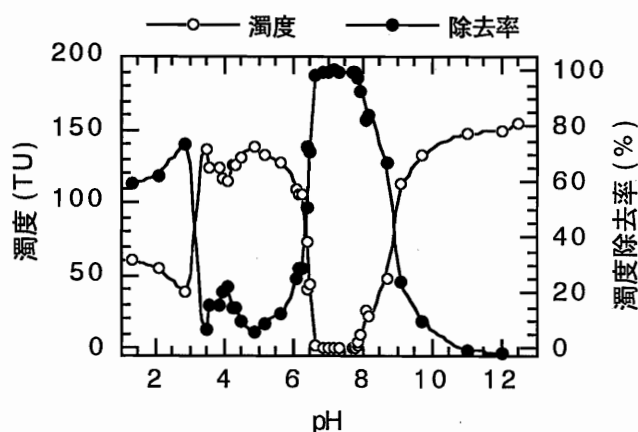


図-4.2 鉄塩凝集剤を用いた凝集処理におけるpHと濁度除去率の関係。

カオリン, 200mg/L; FeCl<sub>3</sub>, 10mg-Fe/L;  
急速攪拌, 3分; 緩速攪拌, 15分, 静置, 15分。

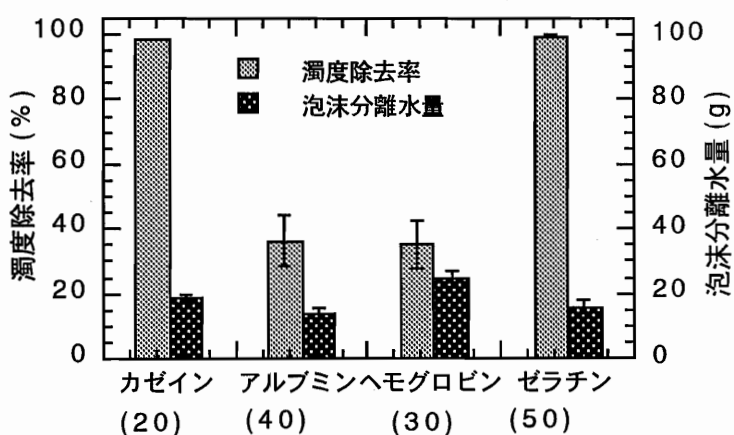


図-4.3 鉄塩凝集剤とタンパク質を用いた凝集・泡沫分離処理における濁度除去率と泡沫分離水量 (n=3, 平均±SD)  
添加濃度: カゼイン, 20mg/L; アルブミン, 40mg/L;  
ヘモグロビン, 30mg/L; ゼラチン, 50mg/L。

これに対して、アルブミンおよびヘモグロビンの場合には、水面上に泡沫は良好に生成されたにも関わらず、その泡沫にはフロックがあまり吸着されず、溶液側に、懸濁物の大部分が残留した。濁度除去率は40%を下回る低い値であった。

いずれのタンパク質においても泡沫生成能を有しているのにも関わらず、タンパク質の違いによって処理性が著しく異なることが明らかとなった。

なお、鉄塩凝集剤の代わりに、凝集剤としてポリ塩化アルミニウムを用いて、同様の凝集・泡沫分離実験を行った場合においても、カゼインとゼラチンの処理性は極めて高く、一方、その他のタンパク質は著しく低いことが示された(図-4.4)。

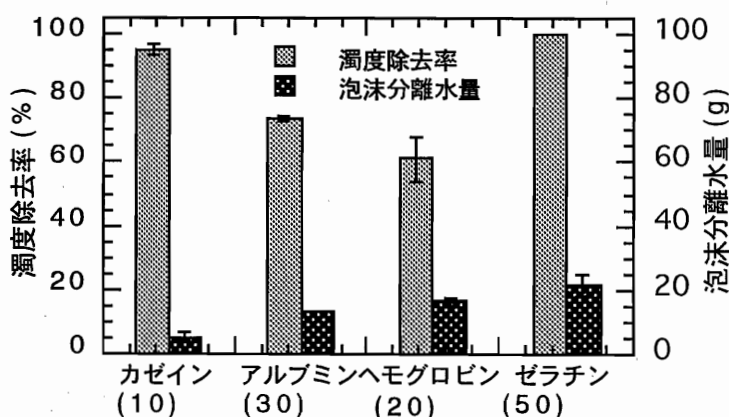


図-4.4 アルミニウム塩凝集剤とタンパク質を用いた凝集・泡沫分離処理における濁度除去率と泡沫分離水量 (n=3, 平均±SD)  
 添加濃度: カゼイン, 10mg/L; アルブミン, 30mg/L; ヘモグロビン, 30mg/L; ゼラチン, 50mg/L.  
 凝集条件: PAC, 10mg-Al/L; 急速攪拌時間, 3分; pH 8.0~8.3.

### (3) カゼインとゼラチンの適切な添加濃度の検討

凝集・泡沫分離実験において、カゼインとゼラチンは、高い濁度除去率を示したことから、添加濃度を変化させて、それぞれの適切な添加濃度を調べた(図-4.5)。鉄塩による凝集処理条件は、先の実験と同一(凝集剤添加濃度10mg-Fe/L, pH7.0±0.1)とした。

カゼインの添加濃度を増加させると、処理性は急激に上昇し、20mg/Lより高い濃度区では、99%以上の極めて高い濁度除去率を示した(図-4.5-a)。5と10mg/Lでは、濁度除去率は約80%を示したが、泡沫は生成されず、フロックは、水面際の塔の内壁および吸引管に付着しただけであり、懸濁物は回収されなかった。カゼインの適正な添加濃度は、15~20mg/Lであると判断される。

ゼラチンの場合にも、添加濃度の増加に伴って、濁度除去率は増加し、30mg/L以上の濃度区では、99%以上の極めて高い濁度除去率を示した(図-4.5-b)。

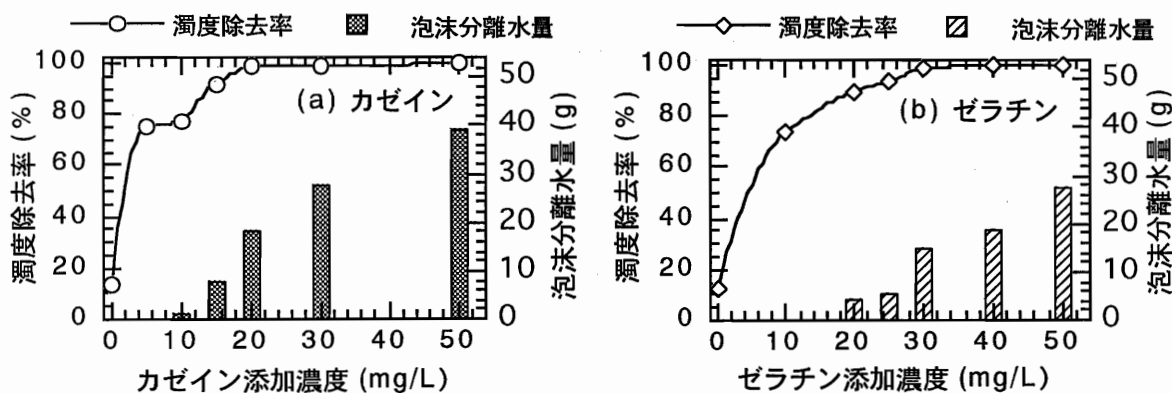


図4.5 カゼインとゼラチンの添加濃度と濁度除去率および泡沫分離水量の関係。

カゼインとゼラチンの適正な添加濃度を比較すると、カゼインの方が低くなった。カゼインは、ゼラチンよりも泡沫生成能が高いことから（図-3.8）、フロックを回収するために要する泡沫生成量を低い添加濃度で達成できたためと考えられる。カゼインは、ゼラチンよりも凝集・泡沫分離法の薬剤として優れた物質であることが明らかである。

#### （４）凝集・泡沫分離法に適するタンパク質の性質

カゼイン、アルブミン、ヘモグロビン、およびゼラチンは、いずれも泡沫生成能を有し、20～50mg/Lの添加濃度において、泡沫分離水量として、13g以上の泡沫を生成した。しかし、懸濁物の凝集フロックの処理性は、大きく異なり、カゼインとゼラチンは極めて高い除去率が得られたのに対して、アルブミンとヘモグロビンの処理性はかなり低かった（図-4.3, 4.4）。

泡沫に懸濁物を濃縮させて、分離・回収するためには、懸濁物あるいはそのフロックを疎水化するプロセス（捕集剤）と水面上に泡沫を生成させるプロセス（起泡剤）の両方を満足させる必要があると考えられた。タンパク質の違いによって処理性が大きく左右した要因は、タンパク質のフロックへの吸着特性によるものと考えられる。カゼインとゼラチンの懸濁粒子（カオリンと $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ）への吸着性は、その他のタンパク質と比較して高く、しかも疎水性も高い性質を有していることから（第3章3.4）、フロックへの吸着量が多く、かつ吸着した部位の溶液側の疎水性が高くなり、フロック界面の疎水化される程度が高くなったと考えられる。ヘモグロビンは、疎水性は高いものの、カオリンと酸化鉄への吸着性が極めて低いことから、カオリンと水酸化鉄で構成されたフロックには吸着し難く、フロック界面は疎水化されなかったと考えられる。アルブミンは、懸濁粒子への吸着性も疎水性も最も低いことから、フロック界面を疎水化することは困難となる。

以上のことから、凝集・泡沫分離法に適するタンパク質の性質を整理すると、①懸濁物およびフロックを構成する水酸化鉄（または水酸化アルミニウム）への吸着性が高いこと、②疎水性が高いこと、および、③泡沫生成能が高いこと、の三点をすべて兼ね備えていることである。

## 4.2 魚類の体表面粘質物の利用<sup>2)</sup>

魚類の飼育水浄化プロセスとして、泡沫分離法を効果的に利用するためには、それに寄与していると考えられる魚類の体表面粘質物（以下、粘質物と称する）<sup>3)-8)</sup>の懸濁物除去能力を把握し、その機能を効率よく発揮させることが必要である。しかし、実際の魚類の飼育現場において、これらの機能を定量的に評価することは困難である。

そこで、粘質物の懸濁物除去に関する実験的検討を行い、飼育水浄化に有効な泡沫分離法に関する基礎的知見を得ることを目的とした。対象とした魚種は、わが国の養殖魚種として重要である海産養殖魚のヒラメと淡水養殖魚のウナギとした。カオリン懸濁水について、これら2種類の粘質物を利用した回分式泡沫分離実験を行い、粘質物のカオリン除去能を検討した。なお、魚類飼育システムでは、泡沫分離プロセスにおける懸濁物除去の薬剤として、魚類から分泌される粘質物のみを利用することを想定し、凝集処理は行わず、泡沫分離処理による濁度除去能を検討した。

#### 4.2.1 実験方法

##### (1) 粘質物の抽出および試薬の調整

活ヒラメ500g (250gを2尾) を $-20^{\circ}\text{C}$ で凍結してから再び解凍し、エタノール (1級, 99.5%, 和光純薬) で、粘質物を抽出し<sup>9)</sup>, 減圧乾燥させ、乳鉢を用いて粉末にした。同様に、活ウナギ650g (約200gを3尾) の粘質物粉末も得た。粘質物の抽出方法の詳細は、第3章3.3 (p.34) に述べた。

##### (2) 回分式泡沫分離実験

蒸留水, 海水添加水または海水<sup>10)</sup>を用いて, 200mg/Lのカオリン懸濁水を作成し, これを原水とした。この原水200mLに, 粘質物を所定量添加し, スターラーで1分間激しく攪拌混合した。これを気液接触塔 (図-4.1) に移し, 底部のガラスボールフィルターから所定量を送気し, 水面上に形成される安定泡沫を, アスピレーターによって吸引・回収した。吸引管は送気時の水面から約2cmの位置に固定設置した。泡沫分離の操作条件は, 送気流量を0.3L/min, 泡沫分離処理時間は3分間とした。泡沫分離処理終了後, ドレンより気液接触塔内の処理水を採水し, 濁度を測定した。

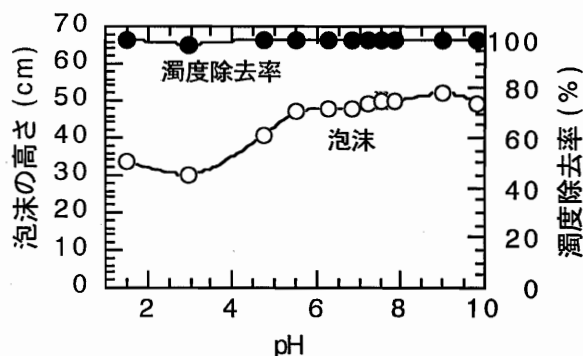


図-4.6 海水のpH変化がヒラメ粘質物の泡沫生成能, および泡沫分離処理における濁度除去率に及ぼす影響. (n=3, 平均±SD)  
懸濁海水 (人工海水, カオリン200mg/L);  
粘質物添加濃度, 10mg/L.

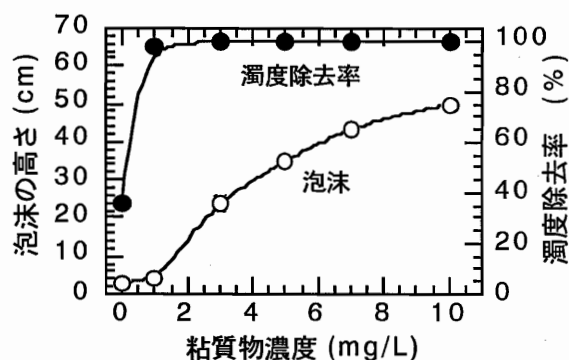


図-4.7 ヒラメ粘質物の添加濃度と泡沫生成能および泡沫分離水量の関係. (n=3, 平均±SD)  
懸濁海水 (人工海水, カオリン200mg/L).

#### 4.2.2 粘質物による濁度除去

##### (1) ヒラメの粘質物によるカオリンの除去

海水のpH変化とヒラメの粘質物の泡沫層の高さの関係, ならびにヒラメの粘質物を用いたカオリン懸濁海水の泡沫分離処理における pHと除去率との関係について図-4.6に示した。ヒラメの粘質物の濃度は10mg/Lとした。海水中においてヒラメの粘質物の泡沫生成能は極めて高く, pH変化に対して大きな影響を受けず, 泡沫層の高さは, pH1.5~9.8の範囲において全て30cmより高い値を示した。また, ヒラメの粘質物を用いて, カオリン懸濁海水を泡沫分離処理すると, カオリンは気泡によって水面に集積され, 水面に生成される泡沫とともに水面より上層に形成される泡沫層に移送され, 海水から極めて良好に除去された。除去率は, いずれのpHにおいても97.8%~100%と極めて高く,

処理後の海水の濁度は0~2.6TUの低さであった。

つぎに、海水を溶媒としたときのヒラメの粘質物濃度と泡沫層の高さ、ならびに泡沫分離処理によるヒラメの粘質物濃度とカオリンの除去率の関係を図-4.7に示した。pHの変化は7.8~7.9であった。泡沫層の高さはヒラメの粘質物濃度の増加とともに高くなり、10mg/Lでは50cmに達した。泡沫分離処理では、粘質物濃度が3mg/Lより高い濃度区では、カオリンは泡沫と共に完全に海水から除去・回収された。本回分式泡沫分離実験では、ヒラメの粘質物濃度が3mg/Lであれば、200mg/Lのカオリン懸濁海水中のカオリンは完全に除去できることが明らかとなった。

## (2) ウナギの粘質物によるカオリンの除去

### (a) 蒸留水の場合

蒸留水にカオリンを懸濁させた場合におけるpHとカオリン除去率の関係を図-4.8に示した。ウナギの粘質物濃度は、20mg/L、カオリン濃度は200mg/Lとした。除去率は、pH6~10の広い範囲にわたって1~35%と悪く、泡沫は生成されたにも関わらず、カオリンは除去されなかった。カオリン粒子の界面が親水性のまま気泡に吸着できなかつたためと考えられる。ウナギの粘質物の添加量を大幅に増加させて100mg/Lとしたが、泡沫生成量が増加するのみで、カオリンの除去率は27%と極めて低かった。

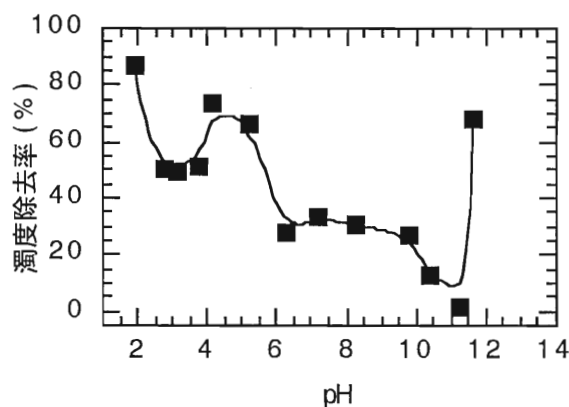


図-4.8 ウナギ粘質物を用いた泡沫分離処理における濁度除去率及ばすpHの影響。  
懸濁水 (蒸留水, カオリン 200mg/L, NaHCO<sub>3</sub>, 50mg/L) ; 粘質物添加濃度, 20mg/L.

泡沫がほとんど形成されないpH4~5の範囲で除去率が70~80%と幾分増加したが、これはカオリンが泡沫によって除去されたのではなく、ウナギの粘質物が等電点に達して析出し、カオリンとフロックを形成し、気液接触塔の水面近傍のアクリル壁面に付着したためであった。

一方、pH1.9の強酸性とpH11.6の強アルカリ性では、形成されてくる泡沫にカオリンも吸着して除去される様子がみられ、除去率は、それぞれ87%と69%であった。蒸留水を溶媒とした場合においても、極端なpHの条件では、ウナギの粘質物の高次構造が崩れてカオリンに吸着できる部位が露出し、泡沫生成能が高まると同時に、カオリン粒子にウナギの粘質物が吸着でき、粒子界面が疎水化され、気泡に結合できたためと考えられる。

### (b) 水道水の場合

実際の淡水魚養殖は河川などから取水するため、その水質は蒸留水よりもCa<sup>2+</sup>、Mg<sup>2+</sup>、炭酸塩などの数種類の成分を含む水道水に近いと考えられる。そこで蒸留水を溶媒とした実験と同様にして、水道水についてもpHが泡沫生成に及ぼす影響と、泡沫分離によるカオリン懸濁水の濁度除去について調べた。pHの変化は、実際の養殖水の水質を想定して、pH5.0~8.9の範囲で変化させた。水道水

で作成したカオリン懸濁水 (200mg/L) におけるpHとカオリン除去率の関係を図-4.9に示した。ウナギの粘質物濃度は、20mg/Lとした。水道水の水質は、pH 7.53、電気伝導度 206  $\mu$ S/cm、Mアールカリ度 48.2mg-CaCO<sub>3</sub>/L、Ca<sup>2+</sup> 15.7mg/L、Mg<sup>2+</sup> 4.0mg/Lであった。泡沫生成能は、pH6.4~8.9ではほとんど一定の傾向を示し、泡沫層の高さは41~47cmであった。pH5.0では泡沫層の高さは著しく減少して6cmとなり、極端に泡沫生成能が低下し、蒸留水の挙動と良く一致していた。蒸留水と水道水を比較すると、粘質物濃度は等しいにも関わらず、同じpHの範囲では水道水の方が2倍以上高い値を示した。NaClと海水を添加した場合においても泡沫生成能が増加したことから、水道水中に含まれる数種類のイオンによってNaClおよび海水と同様の作用によって粘質物の界面活性が高められたと考えられる。

泡沫分離実験による濁度除去についてみると、水道水の場合は蒸留水と大きく異なり、カオリンを結合・濃縮した泡沫が次々に生成され、いずれのpHにおいても70%前後の除去率が得られた。

### (c) 海水添加水の場合

海水添加水にカオリンを懸濁させ、ウナギの粘質物による泡沫分離実験を試みた。ウナギの粘質物の濃度は10mg/L、カオリン懸濁水200mg/Lとした。海水無添加では、ほとんどカオリンは除去されなかったが、わずか0.5% (486  $\mu$ S/cm) 添加した場合には除去率60%となり、急激に処理性が上がった (図-4.10)。海水添加率の増加に伴ってカオリン除去率は増加し、添加率30% (19.3mS/cm) では除去率99.3%、処理水濁度0.9TUとなり、添加率100% (海水のみ、46.2mS/cm) では検出限界以下 (0.1TU) であり、ほぼ完全にカオリンを除去できた。

そこで、85%の除去率が得られた海水添加率15%のカオリン懸濁水について、pHと泡沫生成能との関係、ならびにpHとカオリン除去率の関係を図-4.11に示した。ウナギの粘質物の濃度は10mg/L、カオリン懸濁水は200mg/Lとした。

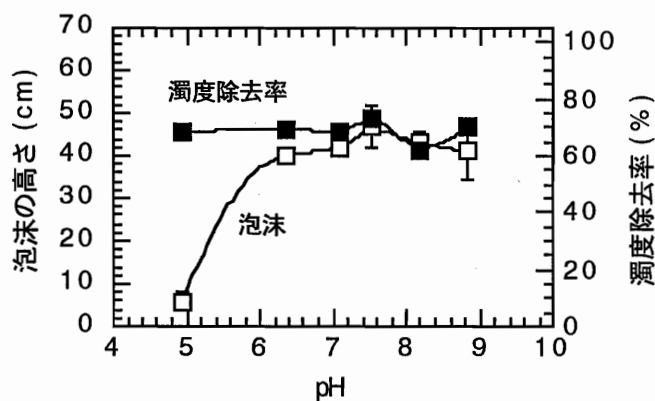


図-4.9 水道水のpH変化がウナギ粘質物の泡沫生成能、および泡沫分離処理における濁度除去率に及ぼす影響 (n=3, 平均±SD)  
懸濁水 (水道水, カオリン, 200mg/L) ;  
粘質物添加濃度, 20mg/L.

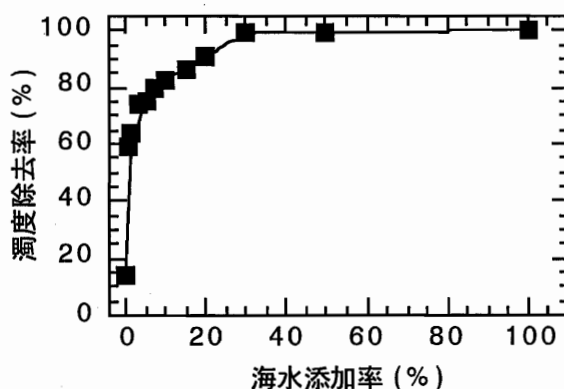


図-4.10 海水添加率がウナギ粘質物の泡沫分離処理における濁度除去率に及ぼす影響  
海水添加懸濁水 (蒸留水と所定量の海水, カオリン, 200mg/L) ; 粘質物添加濃度, 10mg/L.



泡沫層の高さは、pH6~10の広い範囲で21~28cmと高い値を示し、この範囲では高い泡沫生成能を示した。pH3~4では、蒸留水および水道水を溶媒とした場合と同様に、白濁を生じ、泡沫生成能が著しく低下した。

泡沫分離処理では、pH5.7~10.3の広い範囲において、90%以上の高い濁度除去率を示した。海水を15%含む懸濁液については、ウナギの粘質物が効果的に働き、水道水の場合と比較して、低い粘質物濃度で高い濁度除去率が得られた。海水を添加することによって、粘質物の分子構造を変化させて泡沫生成能が高まり、さらに粘質物のカオリンへの吸着性が増加してカオリンの気泡への結合力が高まり、懸濁物除去能力が著しく増加したと考えられる。

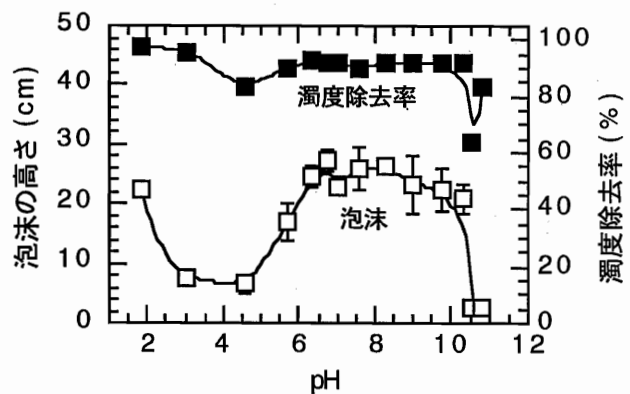


図-4.11 海水添加懸濁水（添加率15%）のpH変化がウナギ粘質物の泡沫生成能、および泡沫分離処理における濁度除去率に及ぼす影響。(n=3, 平均±SD)  
海水添加懸濁水（蒸留水：海水=85：15、カオリン、200mg/L）；粘質物添加濃度、10mg/L。

#### 4.2.3 まとめ

ヒラメとウナギの粘質物について、粘質物を利用した泡沫分離実験によるカオリン懸濁水の濁度除去能を検討し、以下の知見を得た。

- (1) 泡沫分離処理におけるヒラメの粘質物の懸濁物除去能力は高く、カオリン懸濁海水（カオリン 200mg/L, 海水100%）について、粘質物濃度3mg/Lで99%以上の極めて高い除去率を示した。
- (2) ウナギの粘質物は、蒸留水で作成したカオリン懸濁水に対しては、カオリン除去率が低かった。
- (3) 泡沫分離処理におけるウナギの粘質物の懸濁物除去能力は、海水の添加によって著しく増加した。粘質物濃度10mg/L, 海水添加率を15%の条件では、90%の濁度除去率を示した。

カオリン懸濁水の濁度除去率を支配する要因として、粘質物濃度、pH、および原水中の塩濃度が極めて重要であることがわかった。したがって、粘質物を利用した泡沫分離法は、これらの因子を適切に制御することによって、海産魚および淡水魚の飼育水の浄化に効果的に利用できると考えられる。

### 4.3 小括

カオリン懸濁水を対象として、界面活性を有する数種類のタンパク質を用いて泡沫分離実験を行い、濁度除去率から、それぞれのタンパク質の処理性を評価した。そして、前章で得られたタンパク質の緒性質ならびに処理性から、泡沫分離法に適するタンパク質の性質を把握することができた。本章で

得られた知見を以下に示す。

- (1) 高い泡沫生成能を示すタンパク質であっても、タンパク質の違いによって、著しくフロックの処理性が異なる。
- (2) 凝集・泡沫分離法に適するタンパク質とは、①懸濁物およびフロックを構成する水酸化鉄（または水酸化アルミニウム）への吸着性が高いこと、②疎水性が高いこと、および、③泡沫生成能が高いこと、の三つの性質をすべて兼ね備えている物質である。
- (3) 検討したタンパク質において、(2)の性質をすべて併せ持つタンパク質は、カゼインとゼラチンであり、添加濃度と濁度除去率から両者を比較すると、カゼインが最も優れていた。
- (4) ウナギおよびヒラメの粘質物は、高い塩分の条件において、凝集処理なしに、すなわちカオリン粒子に対して極めて高い濁度除去率を示し、粘質物を利用した泡沫分離法は、海産魚および淡水魚の飼育水の浄化に効果的に利用できる。

#### 第4章 引用文献

- 1) 鈴木祥広, 丸山俊朗 (2000) 凝集・泡沫分離法に適したタンパク質の懸濁粒子への吸着特性, 環境工学論文集, 37, 237-245.
- 2) 鈴木祥広, 丸山俊朗 (2000) 魚類の体表面粘質物を利用した泡沫分離法による懸濁物除去に関する基礎的研究, 水環境学会誌, 23, 181-186.
- 3) 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.
- 4) Chen, S., M. B. Timmons, J. J. Bisogni and D. J. Aneshansley (1993) Suspended-solids removal by foam fractionation, *The Progressive Fish-Culturist*, 55, 69-75.
- 5) Chen, S., M. B. Timmons, J. J. Bisogni and D. J. Aneshansley (1993) Protein and its removal by foam fractionation, *The Progressive Fish-Culturist*, 55, 76-82.
- 6) 武田重信, 菊池弘太郎 (1994) 高能率魚類生産のための水質浄化技術の開発 11. 養殖システムの物質収支と物理化学的浄化法の評価, 電力中央研究所報告, U93056, 1-23.
- 7) 丸山俊朗, 奥積昌世, 佐藤順幸 (1996) 循環式泡沫分離-ろ過システムによるヒラメ畜養水の浄化, 日本水産学会誌, 62, 578-585.
- 8) Midlen, A. and T. A. Redding (1998) Flotation in [ *Environmental Management for Aquaculture* ], pp. 117-120, Chapman & Hall, London.
- 9) Sumi, T., Y. Hama, D. Maruyama, M. Asakawa and H. Nakagawa (1997) Isolation and properties of a sialoglycoprotein from the skin mucus of the stingray *Dasyatis akajei*, *Fisheries Science*, 63, 453-458.
- 10) APHA (1985) Standard methods for the examination of water and wastewater 16th edition, pp.8-11, APHA, Washington D.C.