

# 水溶性酸化剤吸着触媒を用いた陸上養殖海水浄化システムの開発 ～イカの高密度活魚輸送への適用～

		食品・環境科	主任研究員	大 脇 博 樹
総合水産試験場	次 長 兼	環境養殖技術開発センター	所 長	安 元 進
		水産加工開発指導センター	加 工 科 科 長	岡 本 昭
		環境養殖技術開発センター	養殖技術科 科 長	山 本 純 弘
		株式会社 古川電機製作所	工 事 課 課 長	山 口 正 美
		株式会社 古川電機製作所	工 事 課 課 員	山 本 貴 弘

## 要 旨

長崎県で多く漁獲されるアオリイカとケンサキイカは、活魚輸送が困難であるため、その多くは鮮魚として出荷されているのが現状である。我々は、海水魚を陸上で水換え無しに飼育するための海水浄化システムの構築を目指した研究を実施しているが、今回、開発中の海水浄化システムを用いたアオリイカとケンサキイカの高密度活魚輸送について取り組んだ。その結果、アオリイカの試験において、5.5%の収容密度で24時間後の生残率100%を達成することができた。今回検討したシステムで、従来は収容密度で2～3%程度が限界であったアオリイカとケンサキイカの活魚輸送が、より高密度で実現できる可能性が高いことが確認された。

## 1. 緒 言

長崎県は国内でも有数の水産県であり、平成18年の漁業生産量は29.6万トン、生産額は1,035億円で、それぞれ全国比5.2%（全国第3位）、6.8%（全国第2位）を占めており、水産業は長崎県にとって重要な基幹産業の一つとなっている<sup>1)</sup>。特に、離島部では、就業人口の12%が水産業に従事しており、主要な産業となっていることが伺える<sup>1)</sup>。長崎県にとって水産業の振興は、産業構造の脆弱な離島部の生活を維持する上で最も重要な意味を持っている。

漁業生産額を増加させるためには、生産量を増加させることも重要であるが、販売単価を上げることも効果的な方法の一つである。販売単価を上げるためには、より付加価値の高い魚種を生産、もしくは漁獲すること、漁獲物やその水産加工品をブランド化すること、生きたまま輸送・販売して付加価値を高めること等が挙げられる。長崎県においても、販売単価の高いマグロの養殖、「ごんあじ」や平成「長崎俵物」のブランド化等に取り組んでおり、その成果が出てきているところであるが、活魚輸送についてはその方法、技術共に以前より変わっていないのが現状である。大消費地である東京や大阪から遠く離れた長崎県において、漁獲もしくは生産された魚を生きたまま輸送することは、大消費地に近い生産地に比べて不利な面が多い。

ところで、イカはマグロやサケと共に日本人が最も好む水産物であり、年間の消費量を平均すると1人当たり約1kgを消費している<sup>2)</sup>。長崎県は、北海道や青森県等の東北地方に次いで多くイカを漁獲しており、年間の漁獲量は2～3万トンで推移している。北海道や東北地方で漁獲されるイカの大部分が安価なスルメイカであるのに対し、長崎県で漁獲されるイカの約半分が高価で美味なアオリイカやケンサキイカであることが、長崎県の大きな特徴である。また、長崎県の漁獲量約5.3%をイカが占めており<sup>3)</sup>、イカは長崎県の主要な水産物となっている。更には、長崎県で水揚げされるイカの約80%が離島部で漁獲されていることから、これらアオリイカやケンサキイカの販売単価を上げることは漁家の収入増に直結するため、離島の産業振興として非常に効果的である。長崎県で漁獲されるアオリイカやケンサキイカの大部分は、鮮魚として出荷されており（図1）、その販売価格は時期的な変動はあるものの、約1,500円/kgとなっている。この鮮魚で販売しているイカを生きたまま輸送・販売できれば、より高値での販売が可能となるが、イカの活魚輸送は非常に困難であり、これまでの技術では収容密度で2～3%が限界であった。最近、活魚バックを用いて個別包装し、活魚輸送する方法が検討されているが<sup>4,5)</sup>、大量のイカを輸送するには向いていない。2～3%の収容密度での輸送では、高いリスクを負っ

て活きたイカを首都圏まで輸送しても、販売単価の増加分が輸送コストに相殺され、実質的に漁家の収入増にはつながらず、アオリイカやケンサキイカを安定して首都圏に輸送することはできなかった。

一方、我々は、これまで海水魚を陸上で水換え無しに飼育するための海水浄化システムの開発を行ってきた<sup>6,7)</sup>。従来、海水魚を陸上で飼育するためには、魚から排出される糞や鱗等を飼育水から取り出すための物理濾過槽、魚にとって有害なアンモニアを微生物の力を借りて害の少ない硝酸に変換するための生物濾過槽、蓄積する窒素成分を除去するための脱窒槽、脱色や殺菌を目的としたオゾン処理装置もしくは紫外線処理装置、過剰なオキシダントを除去するための活性炭槽、温度を調整するための熱交換器、飼育水槽中のタンパク質等を除去するための泡沫処理装置等、多くの装置を接続して使う必要があったが、コストを含む種々の制約要因を含有していた。我々は、海水電解により生成する次亜塩素酸とアンモニアの反応により、アンモニアから直接窒素に変換させることで飼育水槽中に窒素成分を蓄積させない海水浄化装置の開発と、この装置を活用した海水魚の陸上飼育システムを構築することを目的とした研究を実施し、多くの成果を上げてきた<sup>6,7)</sup>。この新規海水浄化システムは、微生物を利用する従来の濾過システムとは本質的に異なり、省スペースで低コスト、濾材の交換等の重労働が無い等、海水魚を陸上で飼育するための海水浄化技術を革新できるシステムとなりうる。本システムでは、次亜塩素酸やアンモニアを効率的に吸着させ、見かけの反応速度を増加させるゼオライト系の吸着材を利用することで、小容量化を図っている。この海水浄化システムは、小容量であること、アンモニア分解能力を自由に即時に決定することが可能であり、活魚輸送用の浄化装置として最適である。

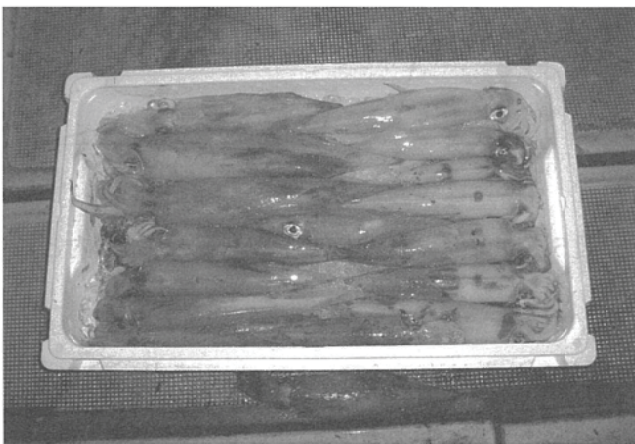


図1. アオリイカの鮮魚出荷

これらの背景のもと、本年度は、これまで開発してきた海水浄化システムを使ったアオリイカとケンサキイカの活魚輸送について検討を行ったので、その結果について報告する。

## 2. 実験材料及び実験方法

### 1) 実験材料

実験に使用したイカは、長崎県内で定置網にて漁獲されたアオリイカとケンサキイカを用い、漁獲地から実験場所である長崎県総合水産試験場まで活魚輸送車で輸送した。入手したイカは、入手後1日間、陸上水槽（1 tパンライト水槽を必要に応じて複数個使用した）内で濾過海水を掛け流しして飼育し、元気の良いイカのみを実験に使用した（図2）。なお、この間給餌は行っていない。

海水浄化に使用した吸着材は、吸着技術工業（株）にて製作されたハニカム状ゼオライトを使用した。

### 2) 実験に使用した機器、試薬

海水浄化のための浄化装置は、電気分解槽、吸着材槽、活性炭槽、泡沫分離槽から構成される。電気分解槽は、所定の大きさに製作した田中貴金属（株）製の白金修飾チタン電極をセットできるように設計し、富士樹脂（株）にて製作したものを使用した。吸着材槽と活性炭槽は、必要となる吸着材と活性炭を収容できる大きさの塩ビ管を使用して自作した。泡沫分離装置は、（有）東熱製プロテインスキマ オーロラを使用した。海水中のアンモニア濃度の測定には HACH 社製の簡易測定キット（サリチル酸法）を、次亜塩素酸濃度の測定には（株）同仁化学研究所製の残留塩素測定キット（SBT 法）をそれぞれ用い、（株）島津製作所製 UV-2400PC にて、あらかじめ作成した検量線を利用

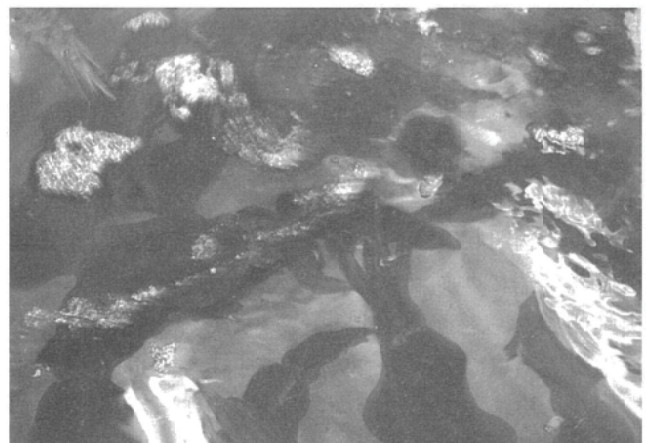


図2. 1 tパンライト水槽中のアオリイカの状況

イカの個別収容容器は、市販の雨樋を所定の長さに切断し、その前後にキャップを接着して海水を貯めることができるようにし、その前後のキャップにそれぞれホースを取り付けて吸水口と排水口とした。吸水口には水量を調整できるコックを取り付け、全てのトレーの通水量を一定にするための水量調整を行う共に、イカがスミを吐いた場合にそのトレーのみを実験系から切り離すことができるようにした。

### 3) 実験方法

実験には個別収容容器を用いた。これは、実験に使用したイカがスミを吐いた場合でも、そのスミを吐いたイカの入った容器のみを実験系から切り離して実験を継続し、海水浄化システムの効果を確認できるようにするためである。

実験系を組み上げた後、濾過海水を1日間実験系に掛け流しで通水し、実験系を洗浄した。その後、個別収容容器に、外套長と重さを個別に計測したアオリイカを入れ、1時間程度掛け流しをした後、濾過海水の導入を停止して実験を開始した。

実験系には、個別収容容器から出た水を集めるストックタンクを準備し、そのタンクに酸素ガスを吹き込んで溶存酸素濃度をイカの生存可能な濃度に維持した。

実験開始後、水槽内のアンモニア濃度が所定の濃度になるまで、海水の電解は行わず、アオリイカからのアンモニア排泄量を確認した。その後、アオリイカが排泄するアンモニア量と同程度の量のアンモニアを分解するのに必要な次亜塩素酸を生成する電流値に設定して海水電解を行った。海水中のアンモニア濃度と次亜塩素酸量は、実験初期は1時間毎に測定して、電流値の設定に反映させた。

実験時間は、長崎から東京までの輸送時間が約16時間であるため、余裕を持ってその1.5倍である24時間とした。

### 3. 結果と考察

#### 1) ケンサキイカを使った評価

図3に個別収容容器を使った実験状況を、図4に個別収容容器にケンサキイカを入れた様子を、図5に、実験開始から終了(24時間後)までの水槽内と海水浄化装置出口のアンモニア濃度の推移を、図6に実験開始から終了までの水槽内と電解槽出口、海水浄化装置出口の次亜塩素酸濃度の推移を示した。

今回の実験における全水量は63Lで、実験に使用

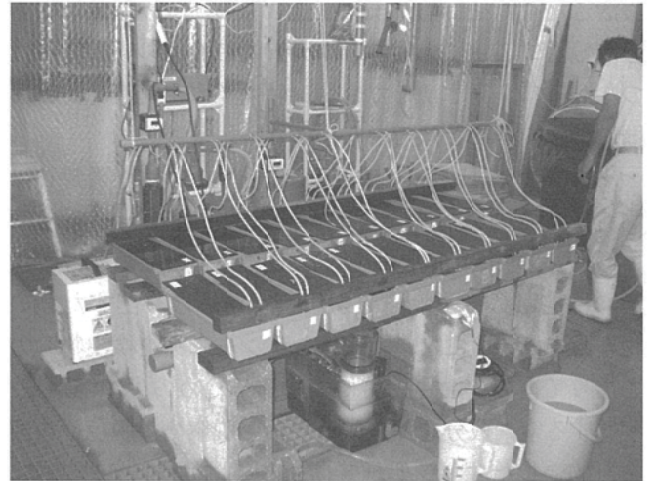


図3. 個別収容容器を使った実験状況



図4. 個別収容トレーに入ったケンサキイカ

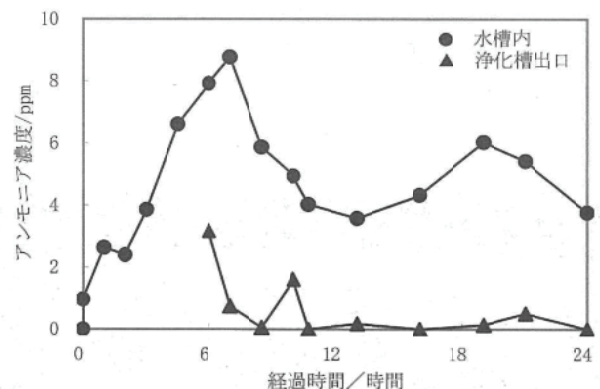


図5. ケンサキイカを使った実験時の水槽内と海水浄化装置出口のアンモニア濃度

したケンサキイカは8杯(1.6kg)であり、全水量に対するイカの収容密度は2.5%であった。実験時の水温は20℃に設定した。

24時間の実験終了後、実験に使用したケンサキイ

力は全数が生存し、イカの状態は目視による評価ではあるが、特に問題なく元気な様子であった。実験中のアンモニア濃度は、電解開始後も増加して9ppmに達したが、電流値をコントロールすることで4～5ppm程度に抑えることができた。水槽内次亜塩素酸濃度は、浄化槽出口の濃度が高い場合は、その後の活性炭に負荷をかけることになるため、できるだけ低い値に抑えたかったが、アンモニア濃度が高かったこともあり、5ppmという高濃度を観測することになった。水槽内の次亜塩素酸濃度はほぼ0ppmで推移したため、活性炭が十分機能したものと考えられるが、活性炭の寿命はランニングコストに直結するため、電解条件については再考が必要となった。また、泡沫分離装置からは、約2Lの茶褐色の汚水が排出されたが、飼育水には全く着色や過剰な泡の発生は認められず、ケンサキイカを生存させるのに問題無い水質を維持できたものと推測された。

今回の実験において、ケンサキイカは24時間の実験中にスミを吐くことはなかった。この実験の再現性を見たかったが、時期的要因でケンサキイカが入手できず、その後はアオリイカでの実験に移った。

## 2) アオリイカを用いた評価

図7に個別収容容器にアオリイカを入れた様子を、図8に実験開始から終了(24時間後)までの水槽内と海水浄化装置出口のアンモニア濃度の推移を、図9に実験開始から終了までの水槽内と電解槽出口、海水浄化装置出口の次亜塩素酸濃度の推移を示した。

今回の実験における全水量は78Lで、実験に使用したアオリイカは10杯(4.3kg)であり、収容密度は5.5%であった。実験時の水温は19℃に設定した。

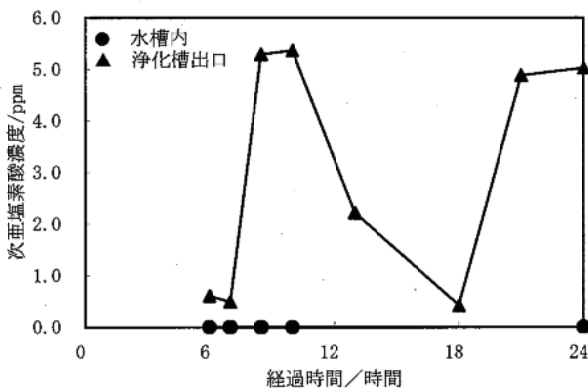


図6. ケンサキイカを使った実験時の水槽内と浄化槽出口の次亜塩素酸濃度

今回の実験においても、24時間の実験終了後、アオリイカは全数が生存し、イカの状態は目視による評価ではあるが、特に問題なく元気な様子であった。また、実験開始から終了まで全てのイカがスミを吐くことがなかった。実験中のアンモニア濃度は、電流値を厳密に管理することで、終始2ppm以下に維持することができた。また、海水浄化装置出口の次亜塩素酸濃度も、0.02ppm以下で推移しており、理想的な水質管理が行えている。

実験終了後のイカの状態が良いことから、この実験系においてアオリイカは比較的安静な状態を維持できているものと推測された。

## 3) 高密度化による輸送コストの低減効果

総重量25tの大型トラックを使った活魚輸送車には、約13tの海水と海水魚を積載することができる。このトラックで長崎から東京まで活魚を輸送すると、1往復当たり約40万円のコストがかかる。通常、活魚トラックに積載される活魚水槽は、2t程度に小割りされており、種々の魚種を混載して輸送するのが一般的である。そこで、この大型トラックの2t水槽1基に10%の収容密度でアオリイカを収容し、長崎から東京まで活きたままアオリイカを輸送して販売した場合と、長崎県内の市場で鮮魚として販売された場合の比較を行った。

総輸送費の約15.4%、61,500円が1回の輸送でアオリイカにかかる輸送費となる。従来の技術で限界となっていた収容密度3%の場合、1回の輸送で60kgのイカを運ぶことになり、1,025円/kgの輸送費がかかることになる。一方、我々の開発した海水浄化装置を用いて10%の収容密度で輸送した場合、1回の輸送で200kgのイカを運ぶことになり、308円/kgの輸送費で済むことになる。販売価格を、鮮魚の場合を1,500円/kg、活魚の場合を2,500円/kgと想定すると、収容密度3%の場合、活魚販売価格から輸送費を引くと実質的に長崎で鮮魚販売した価格と大差無いことになり、活魚で東京まで輸送する意味が無い。収容密度10%が達成できれば、活魚販売価格から輸送費を引いても鮮魚販売の1.5倍近い価格となり、活魚輸送による増収が可能となる。

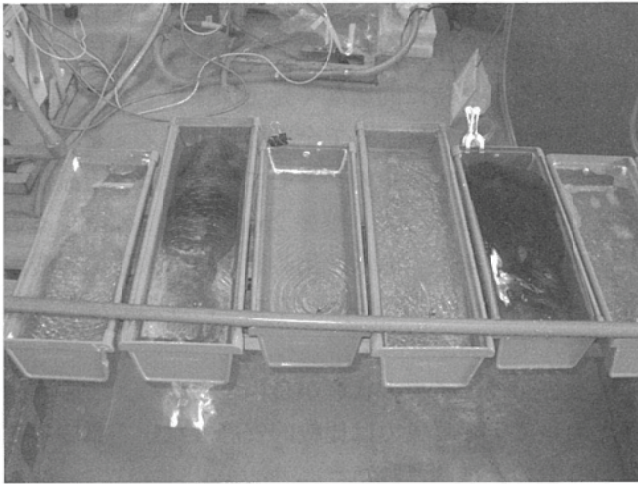


図7. 個別収容容器に入ったアオリイカ

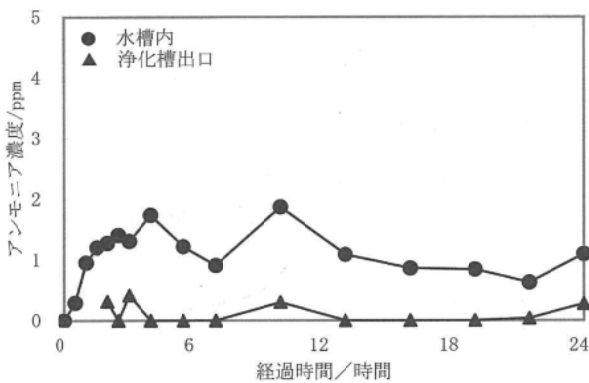


図8. アオリイカを使った実験時の水槽内と浄化槽出口のアンモニア濃度

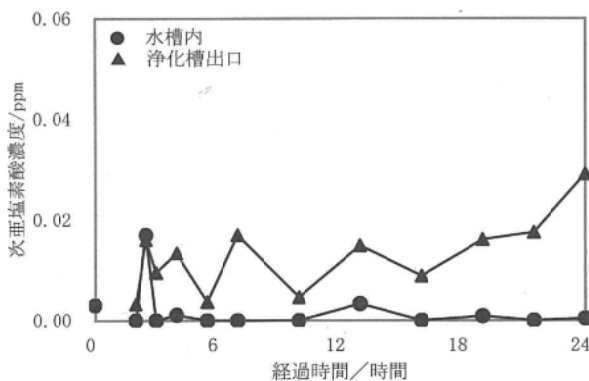


図9. アオリイカを使った実験時の水槽内と浄化槽出口の次亜塩素酸濃度

#### 4. 結 言

今回の検討により、我々の開発した海水浄化装置がイカの高密度輸送に利用可能であることが立証された。

これまでの実験において、収容密度の最高値は5.5%であり、目標とした10%には到達しなかった。10%

の実験が行えなかったのは、入手したイカの大きさと個別収容容器の大きさによるもので、収容容器の形状、大きさを改良することで、収容密度10%は達成可能であると推測している。また、今回示さなかったが、個別収容容器を使わずにアオリイカを収容密度10%で水槽に入れると、他のイカの足が接触する等によりイカが大きなストレスを受けることがわかった。このことは、イカの体色が強いストレスを感じている状態を示す濃い褐色を呈したままの状態が長く続いたことから裏付けられる。従って、アオリイカの高密度活魚輸送を実現するためには、我々の開発した水質浄化装置だけでなく、個別収容容器の使用も重要であることがわかった。

これまで、イカの活魚輸送に対して我々が開発を続けている海水浄化システムが利用可能かどうかの検証を行うことを最優先として実験を進めてきた。今後は、より細かな検討を行うと共に、10%で24時間の実験を実施して成功させること、海水浄化装置の自動制御化を行うこと、個別収容容器を改良すること、実機サイズに近い容量までスケールアップした実験を実施すること等、実用化に向けた開発を継続する予定である。

#### 参考文献

- (1) 平成19年度長崎県水産白書.
- (2) 平成20年度水産白書
- (3) 第54次長崎県農林水産統計年報
- (4) 了真司：養殖44, 17-19(2007).
- (5) 船津保浩, 川崎賢一, 臼井一茂, 仲手川恒, 阿部宏喜, 金地宏和：富山県食品研究所研究報告5, 47-55(2004).
- (6) 大脇博樹, 山口正美, 山本貴弘：長崎県工業技術センター研究報告36, 65-66(2006).
- (7) 大脇博樹, 山口正美, 山本貴弘：長崎県工業技術センター研究報告37, 58-59(2007).