

# 海外輸出に向けた活魚輸送技術の開発

		食品・環境科	専門研究員	大脇博樹
長崎県総合水産試験場	水産加工開発指導センター	加工科	科長	桑原浩一
長崎県総合水産試験場	環境養殖技術開発センター	養殖技術科	科長	山本純弘
長崎県総合水産試験場	環境養殖技術開発センター	養殖技術科	主任研究員	横山文彦
	長崎県窯業技術センター	環境・機能材料科	専門研究員	秋月俊彦
	長崎県窯業技術センター	環境・機能材料科	主任研究員	狩野伸自

消費者の「魚離れ」が進行し、国民1人1日当りの魚介類摂取量が減少傾向にある一方、経済発展の続くアジア諸国を中心に水産物の輸出は増加傾向にある。東アジアへの長崎県産水産物の輸出拡大は、本県の基幹産業である水産業振興のためにはきわめて効果的な手段である。中国では、鮮魚よりも活魚のニーズが高く、日本産の安全・安心・美味な魚を活魚の状態でも輸出できれば、高価格で大量に販売できる可能性は高い。著者らは電解技術を利用した海水魚の閉鎖循環式飼育システムの開発を実施し、高密度で長距離の活イカ輸送システムの開発に成功しており、その技術を応用した長時間の活魚輸送技術の開発を目指した。

本研究開発では、室内飼育試験を実施して輸送魚を高密度で長時間生存させるための条件を見出し、活魚輸送装置を試作して輸送試験を実施した。また、飼育水のpHコントロールや溶存二酸化炭素の除去機能を有する新たな電解槽を開発することを目指した検討を行った。

## 1. 緒言

国内における魚介類消費量の減少が続くなど、国内マーケットが小さくなる一方、水産物の輸出は増加傾向にあり<sup>[1]</sup>、特に経済成長の著しい東アジアに対しても長崎県産の高品質な水産物の輸出拡大が求められている。鮮魚については、県内の民間企業が20年程前から中国市場への輸出を行っている。鮮度保持の観点から2005年より航空便が利用され、その後輸出量は年々増加して高級品として高値で取引されているが、航空便であるためにその輸出量には限界がある。本県の水産物の消費拡大とブランド化を進めるためには、流通上の輸送・鮮度保持技術の確立が必要であり、新しい輸出のツールとその技術開発が求められていた。

本県では、県内企業、長崎県総合水産試験場、当センターとの共同で、活イカの高密度輸送技術を開発した経緯があり、他県に先駆けた長時間活魚輸送技術の確立が期待されている。

本研究開発では、長崎県総合水産試験場、長崎県窯業技術センター、県内企業と協力して高密度・長時間の活魚輸送を実現するための技術の開発を目指した。そのために、中国市場で求められている魚種を選定し、活魚を長時間輸送する際の収容条件等を把握し、高密度で長時間、高い生存率で運搬できる装置の開発につなげることとした。

## 2. 試験材料および使用機器

### 2.1 試験材料と測定機器

電解槽の評価の際には、長崎県総合水産試験場にて種苗生産・育成された約0.5kg/尾のクエを、室内飼育試験と国内輸送試験の際には、県内で漁獲された200～300g/尾のマアジ、および前記由来のクエ0.8～1.6kg/尾を用いた。

室内飼育試験と国内輸送試験には、昨年度改造した200L容の活魚輸送装置(試作機)(以下輸送装置と記述)<sup>[2]</sup>(図1)を用いた。また、国内輸送試験の際には、平成25年度に委託製作した改造コンテナに輸送装置2基を収容して試験を実施した。

電解槽の評価の際には、山陽電子工業(株)製PSA酸素濃縮装置SO-001Bにて濃縮酸素を供給した。

アンモニアの測定にはWTW社製pHotoFlexを、溶存酸素濃度の測定には飯島電子工業(株)製ID-100を、pHの測定には(株)堀場製作所製LAQUA F-74を、溶存二酸化炭素濃度は(株)東興化学研究所製TiN-9004iを使用した。

### 2.2 電解槽

#### 2.2.1 電解槽の特徴

今回の試験に使用した電解槽は、当センターで独自に開発したもので、電解槽内の構造を工夫することで陽極側の海水(陽極水)と陰極側の海水(陰極水)を完全

に分離できる構造となっており、イオン交換膜等の膜を使っていないところに特徴がある。

海水の電気分解では、陽極で臭化物イオンや塩化物イオンが酸化されて臭素(Br<sub>2</sub>)や塩素(Cl<sub>2</sub>)が生成し、それらと水との反応により次亜臭素酸(HBrO)や次亜塩素酸(HClO)という酸化力を有するオキシダントが生成する。飼育魚が排出して飼育水に蓄積する有害なアンモニアを、このオキシダントと反応させることにより窒素に変換して系外に除去することができる。また、その酸化力により、殺菌効果や脱色効果も期待することができる。塩素と水の化学反応式は以下のとおりで、この反応により陽極近傍は酸性となる。



一方、陰極では水素イオンが還元されて水素が生成し、陰極近傍の水素イオン濃度の低下によりアルカリ性(pHが高く)となる。電解条件によっては、高pHでは溶解度が低下するマグネシウムやカルシウムが塩として電極表面に析出してスケールとなる。

陽極と陰極が同一槽内にある電解槽の場合、電極近傍では前記の反応が起こっているが、槽内で陽極水と陰極水が混合されて均一の溶液になって電解槽から排出されることになる。我々は、この従来の電解槽を海水魚の飼育システムに組み込んで脱アンモニアや殺菌、脱色に効果があることを確認してきた。

当センターで開発した陽極水と陰極水を分離できる電解槽では、海水魚の高密度・長時間飼育に対して有意義な次のような機能が付与されることを期待できる。  
① pHの下がった陽極水を曝気することで飼育水に蓄積する二酸化炭素を効率よく除去することができる。  
② pHの下がった陽極水を系外に排出することで飼育水pHを上げることができる。  
③ 陽極側と陰極側の流量を自由に制御することが可能となり、余剰のオキシダントを分解するための活性炭槽容量を下げるができる。

今回の室内飼育試験と国内輸送試験には、図2に示した電解槽を使用した。この電解槽ではスケールの析出による流路の閉塞等の問題が生じたため、新たな構造の電解槽として図3に示した電解槽を開発した。電解槽の構造決定の際には、コンピュータシミュレーションを用いて電解槽内の流れを解析した後、試作して陽極水と陰極水が分離することを確認した。

### 2.2.2 飼育水のpH調整機能

海水の電気分解では、電極の電解効率の補正は必要なものの、流れた電流値によって生成する酸の量が決



図1 活魚輸送装置（試作機）の外観



図2 活魚輸送に使用した電解槽の外観



図3 試作した新規電解槽の外観

定され、その際の海水のpH変化も推測することができることを確認している<sup>[3]</sup>。

### 2.2.3 脱二酸化炭素機能

海水のpHは8程度と高く、海水に溶存した二酸化炭素の約85%は重炭酸イオン( $\text{HCO}_3^-$ )、約15%は炭酸イオン( $\text{CO}_3^{2-}$ )となっており、そのまま曝気しても二酸化炭素を除去することは困難であるが、pHを下げて曝気することで溶存する二酸化炭素を効率よく系外に放出できることを確認している<sup>[4]</sup>。

## 3. 試験内容と結果

### 3.1 クエを用いた新規電解槽の評価

図3に示した電解槽、泡沫分離装置、150L容円形水槽、30L容物理ろ過槽、循環槽、活性炭槽、曝気槽、流量計を備えた閉鎖循環式海水魚飼育システム(図4)を構築し、クエ6kg(飼育水槽容量に対する収容密度4%)を収容して飼育水温を23℃に設定して試験を行った。試験中、飼育水槽中にはPSA酸素濃縮装置で濃縮酸素を供給し、飼育水の溶存酸素濃度を9以上に維持した。飼育しているクエに、飽食するまで給餌した後、アンモニア濃度(飼育水)、pH(飼育水、活性炭前、曝気後)、二酸化炭素濃度(飼育水、曝気後)、飼育水中の溶存酸素濃度を計測した。曝気槽での曝気量は1.0L/minとした。試験は、同じ魚を用いて海水の電解なしとありの2回行い、その比較を行った。試験中の水質変化を図5に示した。

電解なしでは、給餌直後から飼育水のアンモニア濃度が直線的に増加し、16時間後には15ppmに達したため、電解ありの試験への影響を考慮して試験を中断した。電解ありの試験での電解電流値は、飼育水中のアンモニア濃度から浄化に必要な電流値を算出して順次変更しながら試験を実施した。二酸化炭素濃度の縦軸は、試験スタート時の濃度を100%として換算した値とした。

電解なしの場合、経時的にアンモニア濃度が高くなっているのに対して、電解ありの場合にはアンモニア濃度は抑制され、一定の値を維持することができていた。また、電解を停止した18.5時間後以降にはアンモニア濃度が増加に転じていることから、海水電解によって飼育魚の排泄するアンモニアを分解除去できていることが確認された。

飼育水の溶存二酸化炭素濃度は、電解なしの場合は試験終了まで経時的に増加した。電解ありの場合、曝気後は電流値が大きい程低下しており、pHの測定結果

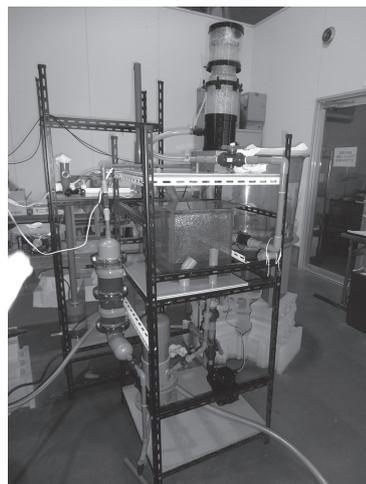


図4 クエの飼育試験に使用した閉鎖循環式海水魚飼育システム外観

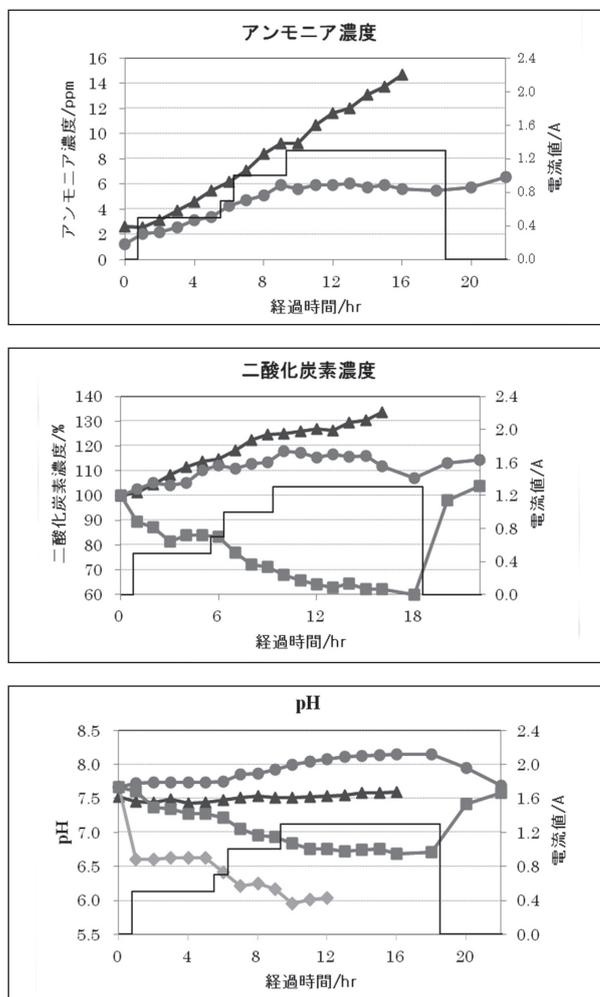


図5 クエ飼育海水のアンモニア濃度、溶存二酸化炭素濃度、pHの変化

- ▲：電解なし飼育水、●：電解あり飼育水、
- ◆：電解あり活性炭前、■：電解あり曝気後
- ：電流値

とあわせて考察すれば、曝気による溶存二酸化炭素の放出はpHが低い程効率的であることが確認できる。飼育水の溶存二酸化炭素濃度は、試験当初は増加傾向にあったが、電流値の増加に伴ってその増加は抑制され、15時間目以降は低下に転じた。電解を停止した18.5時間後以降には再度増加していることから、陽極水の曝気による二酸化炭素の除去効果が確認された。飼育水のpH変化では、電解なしの場合は経時的に僅かなpH上昇が認められ、アンモニア濃度の上昇により試験を終了させるまでアンモニア濃度と同じように上昇した。電解ありでは、活性炭前のpHが電流値に比例して低下したが、曝気後は活性炭前より高くなり、飼育水pHは徐々に高くなった。

### 3.2 室内飼育試験結果

今年度の室内飼育試験は、総合水産試験場にてアジ、クエそれぞれ5回、飼育期間は4-6日間で実施した。

その結果、アジは収容密度5%で6日間飼育して生残率99%、クエは収容密度23%で6日間飼育して生残率100%という結果が得られた。試験終了時、試験に供したマアジとクエは目視の確認ではあるが良好な状態であった。

遊泳魚であるアジの飼育では、水槽内の流れの影響が大きいことが確認され、流れを適切に管理することでアジの生残率が高くなることが確認された。

クエは、収容密度が高くなると噛み合いが生じることが確認されたが、個別収容カゴを使用することで噛み合いが防止され、無傷の魚体のまま飼育できることが確認された。また、個別収容カゴを用いることで、クエのアンモニア排泄量が抑制され、海水浄化に対しても有意であることが確認された。

### 3.3 国内輸送試験結果

昨年度の輸送試験では、長崎から鹿児島までを往復する試験を行ったが、今年度は長崎から東京までを6日間で往復する輸送試験を3回実施した。長崎県総合水産試験場にて2基の輸送水槽にアジとクエをそれぞれ収容し、2時間程度掛け流しを行って水質を安定させた後、閉鎖循環にして海水浄化をスタートした。この輸送装置2基を改造コンテナ内に収容して輸送試験を実施した。長崎県総合水産試験場から博多港まではトレーラーによる陸上輸送、博多港から東京港まではRo-Ro船を用いた海上輸送で、東京港で降ろさずにそのまま逆のルートで長崎県総合水産試験場まで輸送して魚の状態を確認した。

輸送試験では、トレーラー輸送時の振動が予想以上に大きく、FRP製の水槽の破損や水質浄化装置内の部材の落下等による問題が発生したため防振パレットの設置やネジの緩み対策等を実施した。またストレーナの閉塞に伴って電解槽の陰極に多量のスケールが析出して電解がストップする等の問題が発生し、陰極構造の変更、大面積の物理ろ過フィルターの設置等の対策を行った。これらの対策を実施し、クエを収容密度10%で全数生残という結果が得られた。

## 4. 結 言

新たな機能を有する新規電解槽の開発を行った。隔膜を使わず陽極水と陰極水を分離できること、pHの下がった陽極水を曝気することで飼育水に蓄積する二酸化炭素を除去できること、飼育水のpH制御が可能なることを、クエの飼育試験を実施して確認した。この電解槽は、今後閉鎖循環式の陸上養殖への展開も含めて開発を継続する予定としている。

室内での飼育試験では、高密度・長時間輸送を実現するために必要となる水槽機能が、遊泳魚であるアジと底生魚であるクエは異なっていることが確認できた。遊泳魚であるアジの高密度飼育は非常に困難であったが、水槽内の流れを適切に管理することで可能となった。また、クエでは、個別収容カゴを用いることでアンモニア排泄量が低下することを確認するとともに、噛み合いの防止が可能となった。

当初の予定では、今年度は中国上海への海外輸送試験を実施する予定であったが、諸般の事情により国内輸送試験のみとなった。室内飼育試験では、前記のとおり高密度で6日間以上の飼育が実現できたが、輸送試験の振動等の影響により輸送試験は満足のいく結果が得られなかった。アジとクエについて、高密度・長時間飼育するための条件は見出されており、今後、輸送装置の振動対策等を実施することで、高密度・長時間の活魚輸送が実現できるものと考えられた。

## 参考文献

- [1] 中里靖、Journal of National Fisheries University, 61 (1), 27-31(2012).
- [2] 大脇博樹、山本純弘、岡本昭、阿部久雄、永石雅基：長崎県工業技術センター研究報告、43、1-2(2014).
- [3] 大脇博樹、山本純弘、岡本昭、黒川由美：長崎県工業技術センター研究報告、40、52-55(2011).
- [4] 大脇博樹、山本純弘：長崎県工業技術センター研究報告、39、50-51(2010).