

日本海固有水の製塩副産物もちいた安心安全なイカ麻酔剤の開発

松原 創¹, 永見 新¹, 鈴木 信雄², 小木曾 正造², 中 浩二³, 中田 洋助³, 中田 亨³

¹ 金沢大学能登海洋水産センター, ² 金沢大学環日本海域環境研究センター, ³ 石川県漁業協同組合能都支所

概要 令和元年の我が国のイカ類の水揚げ量は、ピーク時の昭和43年に比べて93.7%も減少した。石川県能登町は、北海道函館市、青森県八戸市に続く、国内有数のイカ類水揚げ量を誇る地域である。しかし、近年、能登町沖の領海にあるイカ類の好漁場である大和堆では、宇宙からも確認できるほどの高照度の集魚灯を用いる外国船籍の違法操業により資源量が激減している。イカ資源の激減により、能登町は過疎化が進行し、消滅可能性都市となった。

そこで、研究代表者らは、能登町の水産業や里海づくりに貢献すべく、少ない水揚げでも高価値が望める地産地消型の活イカ技術の開発を試みている。しかし、イカ類は、ストレス下で墨を吐き、墨によるアンモニア上昇などで水質を悪化させるため飼育が難しい。さらに、活イカ輸送は喧嘩するため個別包装輸送が一般的で、高密度輸送できない。そこで、本研究ではイカの麻酔剤を開発し、麻酔下でイカを高密度輸送することを試みた。

実験には、石川県能登町で漁獲されたアオリイカ(*Septoteuthis lessoniana*)とヤリイカ(*Heterololigo bleekeri*)を用いた。これらのイカは、能登海洋水産センターの紫外線殺菌濾過海水にて数日間馴致させた。最近、我々は、6%日本海固有水製塩副産物「にがり」(以下、にがり)に浸漬したイカが、墨を吐いた後、麻酔状態になることを発見した。

そこで、種々濃度の「にがり」添加海水によるイカの痙攣、墨吐きそして麻酔時間を計測した。また、「にがり」中のマグネシウム以外の成分をそれぞれ種々濃度添加した海水にイカを入れ、痙攣と墨吐きをひき起こす「にがり」成分を解明するとともに作用時間を調査した。

アオリイカを1.0, 2.0, 2.5, 3.0, 4.0, 5.0, 6.0%の「にがり」に入れたところ、「にがり」2.0%以上で麻酔にかかった。いずれも、海水を入れることで覚醒したが、「にがり」6.0%以上では死亡が数個体認められた。次に、ヤリイカを2.0, 3.0, 4.0, 5.0, 6.0%の「にがり」に入れたところ、「にがり」2.5%以上で麻酔にかかった。アオリイカ同様、ヤリイカでも海水を入れることにより覚醒したが、「にがり」4.0%以上では死亡が数個体いた。なお、「にがり」とそれぞれのイカを入れた麻酔液のpHは自然海水と同様のpH 8.4付近、溶存酸素は、濃度依存的に自然海水の10 mg/Lに近くなった。このことから、高濃度で麻酔時間が短ければ、溶存酸素の消費が少ないことがわかった。以上の結果、アオリイカの麻酔には「にがり」2.0%以上 6.0%未満、ヤリイカの麻酔には「にがり」3.0%以上 4.0%未満が良いと推察された。今後、この条件で麻酔をかけ、高密度飼育できるか検討する。

1. 研究目的

石川県能登半島は、長い砂浜・岩礁・リアス式海岸などを有し、その沖合では暖流の対馬海流と寒流のリマン海流が交わる。さらに水深300 m以深には、日本海固有水と呼ばれる水温0から1°C、塩分34.1程度のほぼ均質な水塊が分布する。石川県鳳珠郡能登町では、(株)能登町ふ

れあい公社が日本海固有水を取水し、逆浸透膜処理した脱塩水、深層水や製塩を販売している。

我が国の漁業生産量は40年前までは世界トップを誇っていたが、現在は8位で、排他的経済水域内の漁業規制や水産資源の状況などから今後向上することは期待できない。特に、イカ類の漁業生産量は著しく激減、令和元年

における我が国のそれは、ピーク時の昭和 43 年に比べて 93.7%も減少した。石川県能登町は、北海道函館市、青森県八戸市に続く、国内有数のイカ類漁業生産量を誇る。しかし、近年、能登町沖の領海にあるイカ類の好漁場である大和堆では、宇宙からも確認できるほどの高照度の集魚灯をもちいる外国船籍の違法操業により資源量自体が激減している。イカ資源の激減により、能登町は過疎化が進行し、消滅可能性都市となった。そこで、能登町により整備された金沢大学能登海洋水産センターに勤務する研究代表者は、能登町の水産業や里海づくりに貢献すべく、少ない水揚げでも高価値が望める地産地消型の活イカ輸送技術の開発を試みている。

イカ類は、ストレス下で墨を吐き、墨によるアンモニア上昇などで水質を悪化させるため飼育が難しい。くわえて、活イカ輸送では喧嘩により負傷するため高密度輸送はできず、個別包装輸送が一般的である。なお、低温耐性を有すスルメイカは氷温で麻酔状態になり輸送できるが、覚醒後、墨を吐くため飼育管理が困難である。いっぽう、低温耐性がないアオリイカなどは氷温下では死亡する。ところで、イカ類はマグネシウムやアルコールで麻酔にかかることとされる⁽¹⁾。最近、研究代表者はアオリイカが日本海固有水製塩副産物「にがり」(以下、にがり)添加海水では墨を吐いた後、麻酔状態になることを見出した。これらを受け、本研究では、高値で取引される能登産アオリイカ(*Septoteuthis lessoniana*)とヤリイカ(*Heterololigo bleekeri*)を対象種とし、イカに墨を吐かせる「にがり」の成分を探索、活イカの高密度輸送技術の確立を試みた。

2. 研究方法

2.1 供試生物

実験には、富山湾で定置網にて漁獲されたアオリイカ(*Septoteuthis lessoniana*)とヤリイカ(*Heterololigo bleekeri*)をもちいた。漁獲後、金沢大学理工学域能登海洋水産センターに運搬、1トタンクにそれらを入れ、毎分10Lの紫外線濾過海水(水温18°C、塩分34、pH 8.4、溶存酸素8 mg/L)を注水、飼育を行なった。なお、水温と塩分測定にはポータブル電気伝導率計 CM-31P型(東亜ディーケーケー社、東京)、pH測定にはハンディ pH メータ D-51(HORIBA 社、京都)そして溶存酸素(DO)測定にはハンディ DO メーターID-150(飯島電子工業社、愛知)をもちいた。

2.2 麻酔剤

(株)能登町ふれあい公社は、日本海固有水を富山湾水深 332 m から汲みあげ、逆浸透膜処理により脱塩水、塩を生産している。この日本海固有水製塩過程において副産物「かん水」(以下、かん水)が産出される。「かん水」の一部はさらに蒸留して、「にがり」まで加工するが、「かん水」のほとんどは廃棄される。「かん水」と「にがり」には、多くのマグネシウムが含まれている。本研究では、廃棄される「かん水」をもちいる予定であったが、より精製度の高い「にがり」を(株)能登町ふれあい公社が無償譲渡してくださったため、それをイカ類麻酔剤に使用した。

2.3 イカ類の麻酔実験

本研究では、下記の実験をおこなった。なお、実験は金沢大学の実験動物の規定に準じて実施した。

20 L トスロンタンクに紫外線濾過海水を 10 L 注ぎ、1.0・2.0・2.5・3.0・4.0・5.0・6.0%となるように「にがり」を添加した。それらに、アオリイカ(321.0 ± 189.5 g)あるいはヤリイカ(205.5 ± 65.0 g)をそれぞれ 1 尾入れた。その後、アオリイカの行動をスマートフォン(Apple 社、USA)により動画撮影した。浸漬後 20 分で、不動となるか確認した。不動となった個体は白色バットの上に静置した後、画像補正用カラーチャート CASMATCH(フナコシ社、東京)とともにスマートフォンにより撮影した。不動の個体は、紫外線濾過海水のみを 10 L 入れ、エアーを通気した 20 L トスロンタンクに入れ、不動から遊泳状態(覚醒)になるかを観察した。「にがり」添加前後および覚醒中の水温と塩分測定にはポータブル電気伝導率計 CM-31P 型、pH 測定にはハンディ pH メータ D-51 そして DO 測定にはハンディ DO メーターID-150 をもちいた。

2.4 統計学的処理

各測定項目は平均±標準偏差で示した。測定項目ごとに試験区間の差を検定するため、繰り返しのある一元配置分散分析(one-way ANOVA)をおこなった後、有意差が認められれば Tukey-Kramer Test(P < 0.05)により多重比較検定をおこなった。検定には、super ANOVA (Abacus Concepts 社、CA) をもちいた。

3. 研究結果

3.1 アオリイカにおよぼす「にがり」の影響

まず、アオリイカが「にがり」により麻酔にかかる過程を再度確認した。6.0%「にがり」を添加した海水にアオリイカを

入れたところ、アオリイカは(a)触腕の反転(痙攣), (b)墨吐, (c)横転及び不動(麻酔状態)という一連の行動を示した(図 1)。痙攣から墨吐きの行動は数十秒の間に行われたので墨吐きの時間と麻酔の時間を計測することとした。

アオリイカを各濃度の「にがり」に浸漬し麻酔状態になった時間を図 2 に示した。まず、1.0%「にがり」では、墨吐と麻酔状態にはならなかった。一方、2.0%「にがり」では、墨吐までの時間は 176.0 ± 60.8 秒、麻酔状態までの時間は 362.0 ± 97.1 秒であった。2.5%「にがり」では、墨吐までの時間は 125.0 ± 27.8 秒で、麻酔状態までの時間は

154.0 ± 25.0 秒であった。3.0%「にがり」では、墨吐までの時間が 109.0 ± 11.2 秒、麻酔状態までの時間は 131.8 ± 35.6 秒であった。4.0%「にがり」では、墨吐までの時間は 70.9 ± 21.7 秒で、麻酔状態までの時間は 99.9 ± 33.9 秒であった。5.0%「にがり」では、墨吐までの時間が 62.0 ± 7.1 秒、麻酔状態までの時間が 55.7 ± 11.4 秒であった。そして、6.0%「にがり」では、墨吐までの時間は 53.0 ± 2.6 秒で、麻酔状態までの時間は 62.0 ± 2.6 秒であった。このように、「にがり」濃度依存的に墨吐および麻酔状態までの時間が短いことが確認された。



(a) 痙攣(触腕の反転)

(b) 墨吐

(c) 麻酔状態(横転及び不動)

図 1 アオリイカが「にがり」で麻酔にかかる様子

6.0%「にがり」を添加した海水にアオリイカを入れたところ、アオリイカは(a)触腕の反転(痙攣), (b)墨吐, (c)横転及び不動(麻酔状態)という行動を示した。

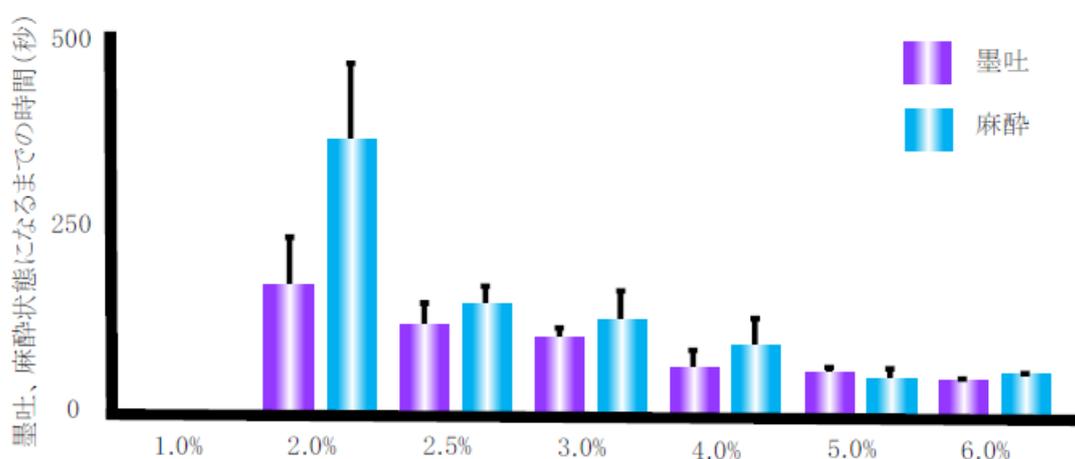


図 2 アオリイカが「にがり」で墨吐, 麻酔状態になるまでの時間

「にがり」濃度依存的に墨吐(紫カラム)および麻酔状態(青カラム)までの時間が短いことが確認できる。

あわせて、「にがり」麻醉前後の水質変化を調べた。水温は麻醉前後で $17.5 \pm 1.3^\circ\text{C}$ だった。塩分は「にがり」1.0%で塩分 35.10 ± 0.38 , 「にがり」2.0%で塩分 38.30 ± 0.46 を示し、それ以上は測定不可の高値を示した。「にがり」麻醉前後の pH を調べた結果を図 3 に示した。1.0%「にがり」では麻醉前 pH は 8.45 ± 0.01 , 20 分後 pH は 8.35 ± 0.03 であった。2.0%「にがり」では麻醉前 pH が 8.47 ± 0.09 , 麻醉後 pH は 8.31 ± 0.11 であった。2.5%「にがり」では麻醉前 pH は 8.58 ± 0.02 , 麻醉後 pH が 8.53 ± 0.03 であった。3.0%「にがり」では麻醉前 pH が 8.53 ± 0.06 , 麻醉後 pH が 8.44 ± 0.12 であった。4.0%「にがり」では麻醉前 pH は 8.53 ± 0.05 , 麻醉後 pH は 8.51 ± 0.06 であった。5.0%「にがり」では麻醉前 pH は 8.57 ± 0.01 , 麻醉後 pH が 8.59 ± 0.01 であった。そして、6.0%「にがり」では麻醉前 pH は 8.52 ± 0.01 , 麻醉後 pH は 8.48 ± 0.02 であった。つまり、pH は墨を吐いた後でも変わらないことがわかった。

引き続き、「にがり」麻醉前後の溶存酸素(DO)を調べた結果を図 3 に示した。1.0%「にがり」では麻醉前 DO は $8.03 \pm 0.06 \text{ mg/L}$, 20 分後 DO は $4.63 \pm 0.86 \text{ mg/L}$ であった。2.0%「にがり」では麻醉前 DO が $7.42 \pm 0.80 \text{ mg/L}$, 麻醉後 DO は $4.22 \pm 1.73 \text{ mg/L}$ であった。2.5%「にがり」では

麻醉前 DO は $7.77 \pm 0.06 \text{ mg/L}$, 麻醉後 DO が $7.00 \pm 0.10 \text{ mg/L}$ であった。3.0%「にがり」では麻醉前 DO が $7.77 \pm 0.06 \text{ mg/L}$, 麻醉後 DO が $6.98 \pm 0.60 \text{ mg/L}$ であった。4.0%「にがり」では麻醉前 DO は $7.78 \pm 0.44 \text{ mg/L}$, 麻醉後 DO が $6.96 \pm 0.54 \text{ mg/L}$ であった。5.0%「にがり」では麻醉前 DO が $7.51 \pm 0.63 \text{ mg/L}$, 麻醉後 DO は $8.00 \pm 0.00 \text{ mg/L}$ であった。そして、6.0%「にがり」では麻醉前 DO は $8.27 \pm 0.06 \text{ mg/L}$, 麻醉後 DO は $6.67 \pm 0.15 \text{ mg/L}$ であった。以上から、「にがり」麻醉後 DO は麻醉にかかる時間が長い低濃度ほど消費されることがあきらかとなった。

次に、各濃度の覚醒した時間を図 4 に示した。まず、麻醉状態となった 2.0%「にがり」では、覚醒までの時間は 515.5 ± 321.7 秒であった。2.5%「にがり」では、覚醒までの時間が 495.7 ± 112.5 秒であった。3.0%「にがり」では、覚醒までの時間は 932.0 ± 579.6 秒であった。4.0%「にがり」では、覚醒までの時間が 543.0 ± 341.7 秒であった。そして、5.0%「にがり」では、覚醒までの時間は 307.3 ± 43.7 秒であった。覚醒までの時間は、体重や麻醉濃度とは関係がなく、個々によると思われた。なお、6.0%「にがり」では、3 個体中 2 個体、翌日には死亡したため、覚醒とはしなかった。

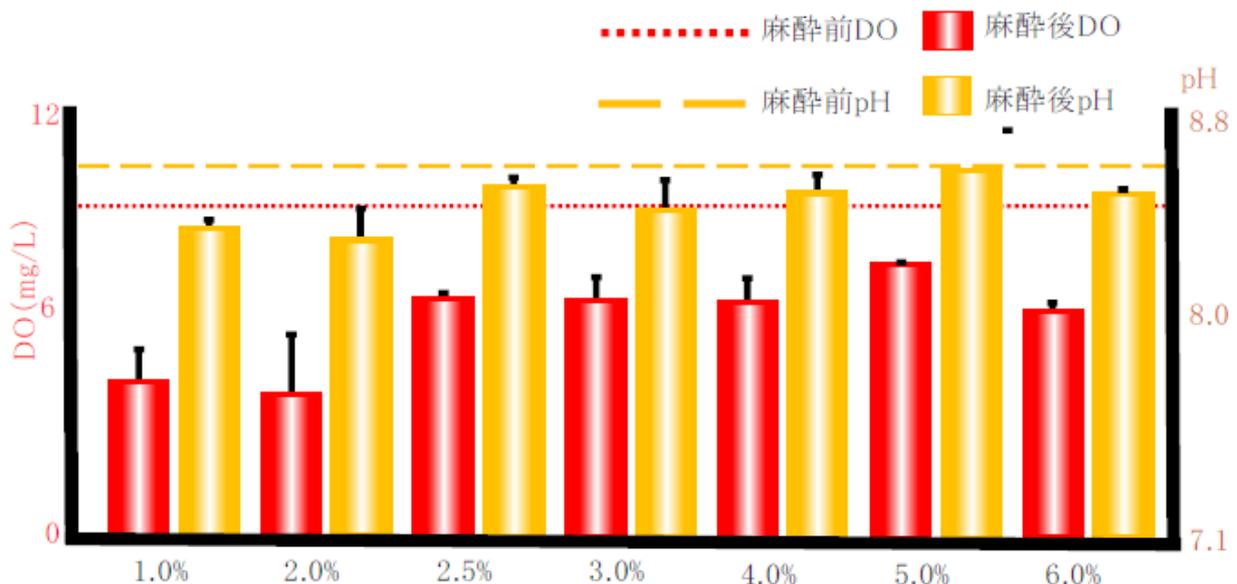


図 3 アオリイカが麻醉にかかる前後の pH と溶存酸素(DO)変化
pH(橙色)。麻醉前は点線、麻醉後はカラム)は墨吐後でも変化なかった。溶存酸素 DO(赤色。麻醉前は点線、麻醉後はカラム)は麻醉にかかる時間が長い低濃度ほど低値を示した。

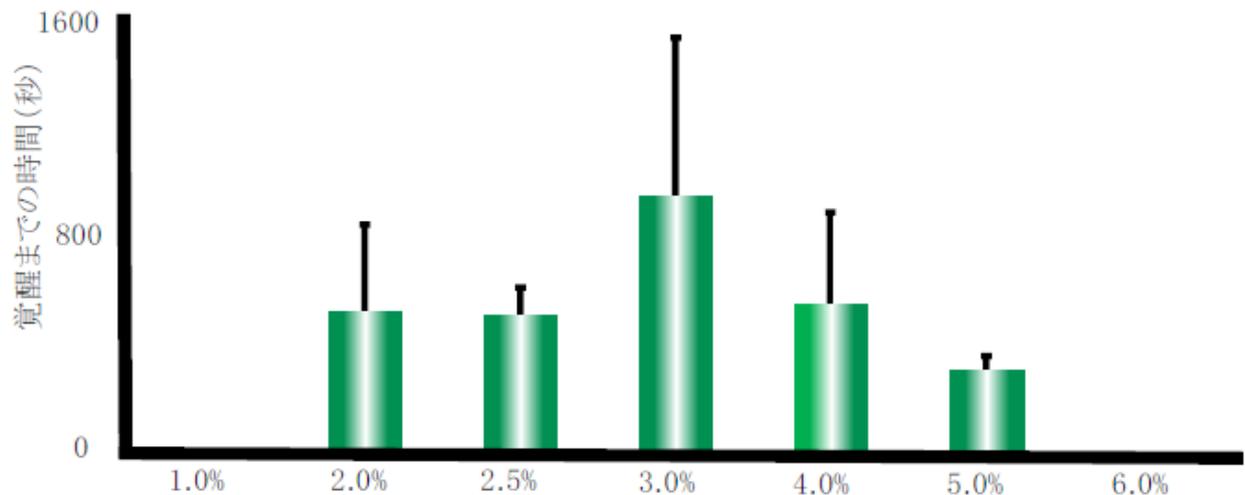


図4 アオリイカが「にがり」麻醉から覚醒する時間

覚醒までの時間は、体重や麻醉濃度とは関係なく、ここによる影響と思われた。6.0%「にがり」では、3個体中2個体、翌日には死亡したため、覚醒とはしなかった。

3.2 ヤリイカにおよぼす「にがり」の影響

ヤリイカもアオリイカ同様、「にがり」により、(a)痙攣、(b)墨吐、(c)麻醉状態という一連の行動を示した。

ヤリイカを各濃度の「にがり」に浸漬し麻醉状態になった時間を図5に示した。まず、2.0%「にがり」では、墨吐と麻醉状態にはならなかった。一方、3.0%「にがり」では、墨吐までの時間は 172.3 ± 20.4 秒で、麻醉状態までの時間が 197.7 ± 18.2 秒であった。4.0%「にがり」では、墨吐までの時間が 123.4 ± 75.9 秒で、麻醉状態までの時間は 167.8 ± 93.2 秒であった。5.0%「にがり」では、墨吐までの時間は 94.7 ± 4.0 秒で、麻醉状態までの時間が 119.3 ± 8.1 秒であった。そして、6.0%「にがり」では、墨吐までの時間が 78.3 ± 25.6 秒で、麻醉状態までの時間が 120.7 ± 20.1 秒であった。このことから、ヤリイカもアオリイカ同様、「にがり」濃度依存的に墨吐および麻醉状態までの時間が短いことがわかった。

「にがり」麻醉前後の水質変化を調べた。水温は麻醉前後で $13.5 \pm 0.3^\circ\text{C}$ だった。塩分はアオリイカの結果と同様で3%以上では高値を示し、測定不能であった。「にがり」前後のpHを調べた。2.0%「にがり」では麻醉前pHは 8.64 ± 0.01 、20分後pHは 8.58 ± 0.00 であった。3.0%「にがり」では麻醉前pHは 8.68 ± 0.01 、麻醉後pHは

7.60 ± 1.72 であった。4.0%「にがり」では麻醉前pHは 8.68 ± 0.05 、麻醉後pHは 8.63 ± 0.04 であった。5.0%「にがり」では麻醉前pHは 8.68 ± 0.01 、麻醉後pHは 8.67 ± 0.00 であった。そして、6.0%「にがり」では麻醉前pHは 8.66 ± 0.00 、麻醉後pHは 8.64 ± 0.02 であり、ヤリイカもアオリイカ同様、pHは墨を吐いた後も変わらなかった。

くわえて、「にがり」前後のDOを調べた。2.0%「にがり」では麻醉前DOは 8.23 ± 0.12 mg/L、20分後DOは 5.25 ± 0.49 mg/L であった。3.0%「にがり」では麻醉前DOが 8.30 ± 0.00 mg/L、麻醉後DOは 6.97 ± 0.47 mg/L であった。4.0%「にがり」では麻醉前DOが 8.50 ± 0.09 mg/L、麻醉後DOが 7.40 ± 0.54 mg/L であった。5.0%「にがり」では麻醉前DOが 8.60 ± 0.00 mg/L、麻醉後DOは 7.80 ± 0.30 mg/L であった。そして、6.0%「にがり」では麻醉前DOは 8.70 ± 0.00 mg/L、麻醉後DOが 8.13 ± 0.06 mg/L であり、ヤリイカもアオリイカ同様、「にがり」麻醉後DOは麻醉にかかる時間が長い低濃度ほど消費されていた。

覚醒は3.0%「にがり」で認められ、覚醒までの時間は 67.0 ± 1.0 秒であった。なお、4.0%以上の「にがり」では正常な遊泳をせず、翌日には実験に用いた各3個体とも死亡したため、覚醒としなかった。

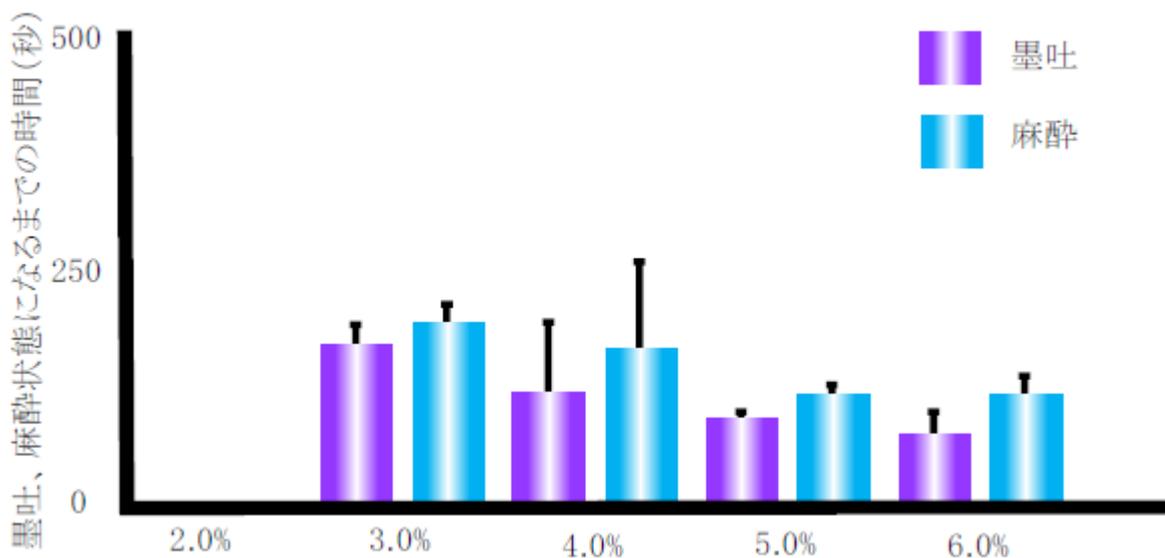


図5 ヤリイカが「にがり」で墨吐，麻酔状態になるまでの時間
アオリイカ同様，ヤリイカも「にがり」濃度依存的に墨吐(紫カラム)および麻酔状態(青カラム)までの時間が短いことが確認できる。

4. 考察

商業水産物において，イカやタコ類の麻酔に関する知見は乏しい。これまで，イカやタコ類の麻酔剤として 3%ウレタン海水および 1.5%エタノール海水⁽²⁾⁽³⁾⁽⁴⁾，アメリカアオリイカの麻酔剤として 1~3%エチルアルコール海水・1.5~2%塩化マグネシウム海水および 3~4%硫酸マグネシウム海水⁽¹⁾，スルメイカ・トビイカ・アカイカの麻酔剤として氷冷海水⁽⁵⁾が知られている。さらに，20 mM 硫酸マグネシウム海水は，ホタルイカ⁽⁶⁾とスルメイカ・ヤリイカ⁽⁷⁾の麻酔剤となることも報告されている。ヒトにおいて麻酔剤は，中枢神経系の機能全般を可逆的に抑制，「意識消失」・「無痛」・「健忘」・「不動」などの作用を順に引き起こすとされる。そこで，能登海洋深層水の「にがり」が，アオリイカとヤリイカの麻酔作用におよぼす基礎的知見の集積をおこなった。

実験にもちいたアオリイカとヤリイカは，日本海固有水製塩過程における副産物「にがり」により，(a)触腕の反転(痙攣)，(b)墨吐，(c)横転及び不動(麻酔状態)という一連の行動を示した。このことから，「にがり」には，低温耐性がないアオリイカとヤリイカに麻酔作用を示すことがわかった。そこで，さまざまな濃度の「にがり」を両種に添加したところ，アオリイカでは「にがり」2.0%以上，ヤリイカでは「にがり」3.0%以上で，「にがり」濃度依存的に麻酔にかかった。

両種の「にがり」による麻酔にかかる濃度差は種の違いも考えられるが，実験時の水温差も考えられる。実際，魚類では同一魚種でも水温により麻酔にかかる濃度が異なる⁽⁸⁾。今後，両種をもちいて，「にがり」による麻酔にかかる濃度や水温の違いを詳細に調べる予定である。ところで，「にがり」麻酔にかかる時間が長いほど，酸素が消費され溶存酸素が低下していた。また，アオリイカは「にがり」6.0%以上，ヤリイカは「にがり」4.0%以上では，覚醒後，死亡する個体が認められた。このことから，アオリイカの麻酔には「にがり」2.0%以上 6.0%未満，ヤリイカの麻酔には「にがり」3.0%以上 4.0%未満が良いと考えられた。

最後に，「にがり」成分を調査したところ，マグネシウム含有量は 55%を占めていた。そこで，既報⁽¹⁾を受け，水温 18°Cにて 25 mM および 40 mM 硫酸マグネシウムをアオリイカ(970.0 ± 246.7 g)に浸漬したが，墨吐，ひいて麻酔状態には至らなかった。また，「にがり」添加でナトリウムが高値を示したことから，水温 18°Cにて塩化ナトリウム添加により塩分 40 にした海水にアオリイカ(286.5 ± 127.0 g)を浸漬したが，麻酔状態には至らなかった。ところが，水温 18°Cにて 15.0 mM，17.5 mM，20.0 mM，22.5 mM，25.0 mM あるいは 30.0 mM の化学物質 X(特許出願のため名称は省略させていただく)にアオリイカ(327.0 ± 93.6 g)を浸

漬したところ、15.0 mM では墨吐、麻酔にかからなかったが、17.5 mM 化学物質 X では墨吐までの時間は 334.8 ± 0.1 秒で、麻酔状態までの時間は 369.6 ± 0.1 秒であった。また、20.0 mM 化学物質 X では墨吐までの時間は 130.2 ± 0.0 秒で、麻酔状態までの時間は 134.4 ± 0.0 秒であった。22.5 mM 化学物質 X では墨吐までの時間は 87.6 ± 0.0 秒で、麻酔状態までの時間は 126.0 ± 0.0 秒であった。25.0 mM 化学物質 X では墨吐までの時間は 70.0 ± 0.0 秒で、麻酔状態までの時間は 76.8 ± 0.0 秒であった。そして、30.0 mM 化学物質 X では墨吐までの時間は 61.0 ± 0.0 秒で、麻酔状態までの時間は 73.0 ± 0.0 秒であった。この結果は、4.0% および 5.0% 「にがり」に類似する。「物質 X」添加前後の溶存酸素 (DO) を調べたところ、17.5 mM 化学物質では麻酔前は 9.06 ± 0.05 mg/L、麻酔後は 7.06 ± 0.71 mg/L であった。20.0 mM 化学物質 X では麻酔前は 9.06 ± 0.09 mg/L、麻酔後は 8.42 ± 0.11 mg/L であった。22.5 mM 化学物質 X では麻酔前は 9.18 ± 0.04 mg/L、麻酔後は 8.44 ± 0.13 mg/L であった。25.0 mM 化学物質 X では麻酔前は 8.78 ± 0.08 mg/L、麻酔後は 8.34 ± 0.33 mg/L であった。そして、30.0 mM 化学物質 X では麻酔前は 8.76 ± 0.05 mg/L、麻酔後は 8.40 ± 0.14 mg/L であった。つまり、化学物質 X では墨吐、麻酔状態までの時間が短いことから、DO の消費が少ないと考えられた。あわせて、麻酔状態となった 17.5 mM 化学物質 X では、覚醒までの時間は 484.8 ± 0.1 秒であった。20.0 mM 化学物質 X では、覚醒までの時間は 204.6 ± 0.01 秒であった。22.5 mM 化学物質 X では、覚醒までの時間は 121.8 ± 0.01 秒であった。25.0 mM 化学物質 X では、覚醒までの時間は 141.0 ± 0.05 秒であった。そして、40.0 mM 化学物質 X では、覚醒までの時間は 129 ± 0.01 秒であった。このように、覚醒までの時間も短かったことから、「にがり」より化学物質 X を麻酔剤にもちいた方が良いかと思われた。今後は、化学物質 X に焦点を当て、イカが麻酔にかかるメカニズムを解析する予定である。

5. 今後の課題

本研究により、アオリイカは 17.5°C で「にがり」2.0% 以上 6.0% 未満、ヤリイカは 13.5°C で「にがり」3.0% 以上 4.0% 未満で、麻酔をかけることが良いと示唆された。くわえて、「にがり」に含まれる化学物質 X が麻酔作用を引き起こすことを見出した。この成果を受け、今年度、追試するとともに

に特許出願を準備している。令和 4 年度、能登町の沿岸では、イカの漁獲量が少なかった。そこで、令和 5 年度以降、活イカを多く入手することができた際、高密度輸送実験を実施する。あわせて、「にがり」によるイカの麻酔がかかる分子メカニズムを調べるために、「にがり」浸漬下のイカ脳の次世代シーケンス解析を行う予定である。

なお、研究代表者と分担者らは、本研究にも関与した日本海固有水が、スルメイカ (*Todarodes pacificus*) の体重減少抑制に関与すること⁽⁹⁾、ヒラメ (*Paralichthys olivaceus*) のストレス軽減に作用すること⁽¹⁰⁾を見出した。これらの成果は、それぞれ Scientific reports 誌に掲載、本研究助成を謝辞に記載した。くわえて、これらの成果は金沢大学のプレスリリース (<https://www.kanazawa-u.ac.jp/rd/124893>, <https://www.kanazawa-u.ac.jp/rd/124728>)、令和 5 年 6 月 2 日付読売新聞夕刊全国版などにも掲載された。本研究助成をいただいたことに感謝の意を表す。

6. 文献

- (1) Garacia-Franco, M.: Anaesthetics for the squid *Sepioteuthis sepiodea* (Mollusca: Cephalopoda). *Comparative Biochemistry and Physiology*, 103C, 1: 121-123 (1992)
- (2) O'Dor, R.K., Durward, R.D., Balch, N. Maintenance and maturation of squid (*Illex illecebrosus*) in a 15-meter circular pool. *Biology Bulletin Marine Biology Laboratory Woods Hole, Mass*, 153:322-335 (1977)
- (3) O'Dor, R.K., Durward, R.D., Vessey, E., Amarantunga, T. Feeding and growth in captive squid, *Illex illecebrosus*, and the influence of food availability on growth in the natural population. *ICNAF Selected Papers*, 6:15-21 (1980)
- (4) Hanlon, R.T., Hixon, R.F., Hulet, W.T. Survival, growth, and behavior of the loliginid squids *loligo pealei* and *lolliguncula brevis* (Mollusca: Cephalopoda) in closed sea water systems. *Biology Bulletin*, 165:637-685 (1983)
- (5) 桜井泰憲, 池田 譲, スルメイカの生態研究 における飼育実験法, イカ類資源・漁海況検討会儀研究報告, 1:51-69 (1992).
- (6) 船津 保浩, 川崎 賢一, 臼井 一茂, 仲手川 恒, 清水 俊治, 阿部 宏喜: マグネシウムイオンの鎮静作用を

利用したヤリイカとスルメイカの活輸送, とくに輸送後の冷凍および冷蔵試料との品質の比較. 日本水産学会誌, 73 (1) : 69-77 (2007)

- (7) 船津 保浩, 川崎 賢一, 阿部 宏喜: マグネシウムイオンの鎮静作用を利用した新しい活輸送技術の提案--ホタルイカの活輸送技術の改良. ニューフードインダストリー, 47 (2) : 1-8 (2005)
- (8) 渡邊研一, 松原創: 魚類用麻酔剤及びその製造方法並びに該魚類用麻酔剤の使用期限を判別する方法. 特許 6202570
- (9) Hatano, K., Yoshida, M.A., Hirayama, J., Kitani, Y., Hattori, A., Ogiso, S., Watabe, Y., Sekiguchi, T., Tabuchi, Y., Urata, M., Matsumoto, K., Sakatoku, A., Srivastav, A.K., Toyota, K., Matsubara, H., Suzuki,

N.Deep ocean water alters the cholesterol and mineral metabolism of squid *Todarodes pacificus* and suppresses its weight loss. Scientific reports, DOI:10.1038/s41598-023-34443-x

- (10) Ikari, T., Furusawa, Y., Tabuchi, Y., Maruyama, Y., Hattori, A., Kitani, Y., Toyota, K., Nagami, A., Hirayama, J., Watanabe, K., Shigematsu, A., Rafiuddin, M.A., Ogiso, S., Fukushi, K., Kuroda, K., Hatano K., Sekiguchi, T., Kawashima, R., Srivastav, A.K., Nishiuchi, T., Sakatoku, A., Yoshida, M.A., Matsubara, H., Suzuki, N. Kynurenine promotes Calcitonin secretion and reduces cortisol in the Japanese flounder *Paralichthys olivaceus*. Scientific reports, DOI:10.1038/s41598-023-35222-4

Development of Safety Squid Anesthesia using the Byproducts of Salt Manufacturing

Hajime Matsubara¹, Arata Nagami¹, Nobuo Suzuki², Shouzo Ogiso²,
Koji Naka³, Yosuke Nakata³, Toru Nakata³

¹ Noto center for Fisheries Science and Technology, Kanazawa University;

² Institute of Nature and Environmental Technology, Kanazawa University;

³ Noto office, Japan Fisheries Co-operative Ishikawa

Summary

In 2022, the catch of squid in Japan decreased by 93.7% compared to the peak year of 1968. Noto Town in Ishikawa Prefecture, Japan is one of the largest squid catch areas in Japan, following Hakodate City in Hokkaido, Japan and Hachinohe City in Aomori Prefecture, Japan. However, in recent years, the stock of squid in the Yamato Bank, a good fishing ground for squid in the territorial sea off Noto Town, has been drastically reduced due to illegal operations by foreign-registered vessels using fish-collecting lights with such high illumination that they can be seen from space. The drastic decrease in squid stocks has led to the depopulation of Noto Town, which has become a potentially vanishing city. The principal researchers are therefore attempting to develop a locally produced and consumed live squid transport technology that can achieve high value even with small catch, in order to contribute to Noto's fisheries industry and the creation of a SATOUMI. However, squid are difficult to rear because they spit ink under stress and the rising ammonia etc. caused by the ink deteriorates the water quality. Furthermore, live squid transport is generally done in individual packages because of fighting, and high-density transport is not possible. In this study, a specific anaesthetic for squid was developed and high-density transport of live squid under anaesthesia was attempted.

The experiments used bigfin reef squid (*Sepioteuthis lessoniana*) and spear squid (*Heterololigo bleekeri*) caught in Noto Town, Ishikawa Prefecture, Japan. These squids were acclimatised for several days in UV-sterilised filtered seawater from the Noto center for fisheries science and technology, Kanazawa university. Recently, we found that squid immersed in 6% Japan Sea proper water salt by-product 'bittern' (hereafter referred to as 'bittern') became anaesthetised after spitting ink. Therefore, we measured the convulsions, ink vomiting and anaesthesia time of squid immersed in seawater with various concentrations of 'bittern'. Squid were also placed in seawater containing various concentrations of components other than magnesium in 'bittern' to elucidate the component of 'bittern' that induces convulsions and vomiting of ink, and to investigate the duration of action.

The bigfin reef squid were placed in 1.0, 2.0, 2.5, 3.0, 4.0, 5.0 and 6.0% 'bittern' and became anaesthetised at 2.0% or more 'bittern'. All were awakened by the addition of seawater, but a few deaths were observed at 'bittern' 5.0% and above. Next, when spear squid were placed in 2.0, 2.5, 3.0, 4.0, 5.0 and 6.0% 'bittern', they became anaesthetised at 2.5% 'bittern' or higher. As with the bigfin reef squid, the squid was awakened by the addition of fresh seawater, but there were several deaths at 'bittern' 5.0% and above. The pH of the anaesthetic solution with

'bittern' and each squid was around pH 8.4, similar to natural seawater, and the dissolved oxygen was concentration-dependently close to 10 mg/L of natural seawater. This indicated that higher concentrations and shorter anaesthesia times resulted in lower dissolved oxygen consumption. As a result, it was estimated that "bittern" of between 2.0% and 6.0% is good for anaesthetising bigfin reef squid and "bittern" of between 3.0% and 4.0% is good for anaesthetising spear squid. In the future, it will be examined whether anaesthesia can be applied under these conditions and whether high-density rearing is possible.