

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 5 年 6 月 29 日現在

機関番号：12614

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2018～2021

課題番号：18H03425

研究課題名(和文) 生鮮魚介類の環境保全型生産・流通システムの開発

研究課題名(英文) Development of production and distribution system for fresh fish and shellfish aiming at environmental conservation type

研究代表者

濱田 奈保子 (HAMADA, NAOKO)

東京海洋大学・学術研究院・教授

研究者番号：70323855

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究において、オオミジンコを用いたミジンコ急性遊泳阻害試験を行うことにより、海洋環境から単離した耐塩性糸状菌を用いた水質浄化技術の浄化前後の毒性評価系を確立することができた。また、産地での脱水シート包装フィレ加工流通は、ラウンド流通と比較して約40%のCO2を削減できたことから、環境負荷低減と鮮度保持を兼ねた加工技術であることを示した。さらに、鮮度指標K値と積算温度を可視化するツールであるWST-8型BTMを鮮魚(スズキ)の流通試験に導入した結果、常温にさらされた際の品質劣化(昇温リスク)も可視化できることを明らかとした。上記の基盤技術を組み合わせさせた持続可能な水産物供給システムを提案した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

報告者が開発した3つの基盤技術を統合して、生鮮魚介類の環境保全型生産から、漁獲地での低環境負荷加工、さらには適切な温度と鮮度管理下での流通により、持続可能な水産物供給システムを提案する研究はこれまでに例がなく、新規性を有する学術的な意義がある。また、本提案は世界的な魚食ブームにも対応し、我が国の水産物輸出にも貢献するとともに、世界各国における食料自給力の強化へとつながる社会的意義も兼ね備えている。

研究成果の概要(英文)：In this study, we were able to establish a system for evaluating the toxicity of water purification technology using salt-tolerant filamentous fungi isolated from the marine environment before and after purification by conducting a Daphnia acute swimming inhibition test using Daphnia magna. In addition, the results showed that dehydrated sheet-wrapped fillet processing and distribution at the production site reduced CO2 emissions by about 40% compared to the distribution of whole fish, indicating that this processing technology can both reduce environmental impact and preserve freshness. In addition, the results of introducing the WST-8 BTM, a tool for visualizing freshness index K-values and integrated temperature, into the actual distribution of fresh fish showed that it is also possible to visualize quality deterioration (temperature rise risk) when exposed to ambient temperatures. A sustainable seafood supply system combining the above fundamental technologies was proposed.

研究分野：水産科学

キーワード：環境保全 環境負荷低減 オオミジンコ 耐塩性糸状菌 脱水シート 鮮度保持 水産物供給システム  
バイオサーモメーター

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

## 1. 研究開始当初の背景

わが国の水産物供給システムは非持続的な状態にある。生産段階においては、環境改変、乱獲による天然水産資源の減少、過剰給餌や投棄による養殖漁場の水質・底泥の汚染という問題が生じている。

また、輸入水産物との価格競争による国産水産物の逼迫や漁業者の高齢化などの課題も抱えている。加工段階では、价格的に優位な輸入水産物への依存が進み、結果的に島国であるにもかかわらず、水産物供給の半分以上を輸入に依存している状況である。

このような課題を解決するための打開策としては、漁場を再生し、国産水産物の付加価値を創出し、消費者の意識の変化に応える持続可能な水産物の供給システムの構築が不可欠である。このような課題の核心をなす学術的「問い」に応える具体的手段として、漁場の水質を保全しつつ行う環境に配慮した養殖、未利用魚を含む国産資源の再評価と活用、水産加工の過程における付加価値の創出および科学的指標に基づく最適な流通管理を可能とする「生鮮魚介類の環境保全型生産・流通システムの開発」研究の着想に至った。

## 2. 研究の目的

報告者がこれまで開発してきた3つの基盤技術【(1)耐塩性微生物を用いた水質浄化技術、(2)環境負荷低減と鮮度保持を兼ねた加工技術、(3)鮮度指標に基づく適切な流通管理技術】を組み合わせた持続可能な水産物供給システムの開発を目的とした。

## 3. 研究の方法

これまで開発してきた3つの基盤技術について、具体的な内容やこれまでの経緯も記載した上で、本研究で実施した方法について、項目毎に簡潔に記載した。

(1)耐塩性微生物を用いた水質浄化技術: 以前の科学研究費補助金【基盤研究C(一般) 研究課題名:海洋微生物を用いた環境有害物質のバイオレメディエーション、課題番号16580150】において、高活性のリグニン分解系状菌である *Pestalotiopsis* sp. SN-3 (以下、SN-3) が複数の有機化合物を分解する能力を有している耐塩性微生物として、海洋環境から単離された(特許第4734562)。遺伝子組み換え微生物ではないため、散布に伴う生態系破壊等の環境への影響が少なく、水質の浄化および管理に適していることが期待された。また、別の科学研究費補助金【基盤研究B(一般) 研究課題名:安全・安心な水産物のフードシステムの開発、課題番号24310111】において、マウスを用いた毒性試験を実施し、耐塩性微生物を用いた浄化後も毒性物質は産生されないことを検証した。

本研究では、水環境での評価に重点を置くため、オオミジンコ (*Daphnia magna*) を用いたミジンコ急性遊泳阻害試験条件を検討した。試験方法は化学物質の毒性評価の国際的なガイドラインである OECD テストガイドライン (OECD-TG) および OECD-TG をベースにした生体影響評価で用いられている方法を参考とし、SN-3 を用いた浄化前後の毒性を評価した。

また、同じく海洋環境から単離した高活性のセルロース分解系状菌である *Pestalotiopsis* sp. AN-7 (以下、AN-7) (特許第5463564) についても実施した。

(2)環境負荷低減と鮮度保持を兼ねた加工技術: (公財)流通経済研究所の「消費者店舗選択調査」によれば、食料品を購入する際に重視する要素として、80%の消費者は価格が1割以上高くても国産品を選択し、73%の消費者が高鮮度であれば1割以上高くても選択すると回答している。以上のことから、消費者の意識の変化に応える「安全・安心」に加えて「鮮度が良い」水産物が求められていることから、本研究においては、水産物の中でも鮮度が重視される生鮮魚介類を対象とした。

鮮魚の出荷形態は、ラウンドやドレス、フィレ等がある。ラウンドの場合は丸魚を店舗に搬入し、店内のバックヤードで水産売場担当者がフィレ加工している。フィレの場合は産地や中間流通業者の出荷基地でフィレ加工を行い、直接量販店などのユーザーに出荷されている。近年はコスト面と簡便性の高さ、環境負荷低減効果の面からも産地でのフィレ加工の需要が高まっている。しかし、魚の加工度を上げると鮮度の低下が起こりやすく、長時間の輸送に対応した鮮度保持が必要となる。報告者らは、浸透圧脱水の原理を利用し、均一に水分を取り除く「脱水シート」を用いた鮮魚の鮮度保持に関する研究を行ってきた。鮮魚には多量の水分が含まれており、それに起因して鮮度低下が起こるため、鮮魚流通に脱水シートを適用すれば、フィレ流通における鮮度低下を抑えられると考えられる。しかしながら、包装資材を増やすことは環境負荷上昇につながり得るため、脱水シートを鮮魚流通に使用した場合の環境負荷について検討した。

対象魚として、水分含量が高く、脱水シート包装の効果が大きいと予想されたマダラを用いた。脱水シートで包装したマダラフィレ流通についての LC-CO<sub>2</sub> 評価と品質評価 (ATP 関連化合物や色彩値等) をラウンド流通した場合と比較した。

(3) 鮮度指標に基づく適切な流通管理技術：水産業界で現在最も信頼されている鮮度指標 K 値と積算温度を可視化するツールとして報告者らが開発したバイオサーモメーター（以下、BTM）を鮮魚流通に導入することにより、漁場から消費者に届くまでの温度管理と鮮度管理が適切であるかどうかを評価・判断することが可能となった（特許第 4556497）。

本研究では、これまで開発された 3 種類の BTM のうち、最も使用温度範囲が広く、目視で色調が確認しやすい WST-8 型 BTM の実用化を目指した改良を行った。

#### 4. 研究成果

(1) 耐塩性微生物を用いた水質浄化技術：本報告書では、水中に漏出されると光の透過率低下と藻類の光合成阻害をもたらす、水環境において有害な影響があるとされる合成染料を主な対象とした。表 1 に耐塩性微生物である AN-7 を用いた染料脱色処理による染料の生態毒性の変化について、*D. magna* を用いた急性遊泳阻害試験の結果を示した。

表 1 染料処理前後における遊泳阻害率

試験区	濃度 [mg/L]	pH		溶存酸素量 [mg/L]		遊泳阻害率 [%]	
		0 h	48 h	0 h	48 h	24 h	48 h
RR120		6.4	6.7	8.56	6.77	10	80
脱色前	25	6.3	7.7	8.56	7.03	0	90
		6.4	6.7	8.56	7.28	0	75
RR120		6.2	6.5	8.56	6.49	0	0
脱色後	25	6.2	6.4	8.56	6.76	0	5
		6.1	6.4	8.56	6.44	0	0
Control	-	7.4	7.5	8.56	8.29	0	0
FR104		6.7	6.6	8.71	5.84	20	60
脱色前	15	6.6	6.7	8.71	6.04	55	95
		6.6	6.7	8.71	6.28	70	95
FR104		6.5	6.7	8.71	3.70	10	45
脱色後	15	6.6	6.7	8.71	3.27	0	35
		6.7	6.7	8.71	3.23	5	40
Control	-	6.6	6.7	8.71	7.88	0	0
FR105		6.1	6.3	9.22	6.81	60	100
脱色前	1	6.2	6.6	9.22	6.49	55	100
		6.1	6.6	9.22	6.77	65	100
FR105		6.5	6.7	9.22	6.35	10	20
脱色後	1	6.6	6.9	9.22	6.34	5	20
		6.7	6.9	9.22	6.44	15	35
Control	-	7.0	7.2	9.22	7.36	5	5

5 頭/50 mL/容器、20 頭/試験区、 $20 \pm 2$ 、無給餌、換水なし

Control：被験物質を添加していない希釈水

試験終了時に対照区での遊泳阻害されたミジンコの遊泳阻害率が 10%を超えず、試験期間を通じてすべての試験区で溶存酸素濃度が 3 mg/L 以上維持されたことから、試験成立条件を満たしていたと判断した。

表 1 の結果に基づき、AN-7 による単独染料脱色処理前後の遊泳阻害率の変化を図 1 に示した。AN-7 による脱色処理により、各染料による遊泳阻害率は、RR120 では 82%から 2%、FR104 では 83%から 40%、FR105 では 100%から 25%まで低下した。AN-7 は処理前に毒性を示した 3 種の染料を含有する培地において、浄化後に毒性を有する物質を産生しないことが明らかになった。以上のことから、本研究において *D. magna* を用いた急性毒性試験条件が確立され、AN-7 を用いた水圏環境の浄化技術は有害物質を産生しないことが示された。

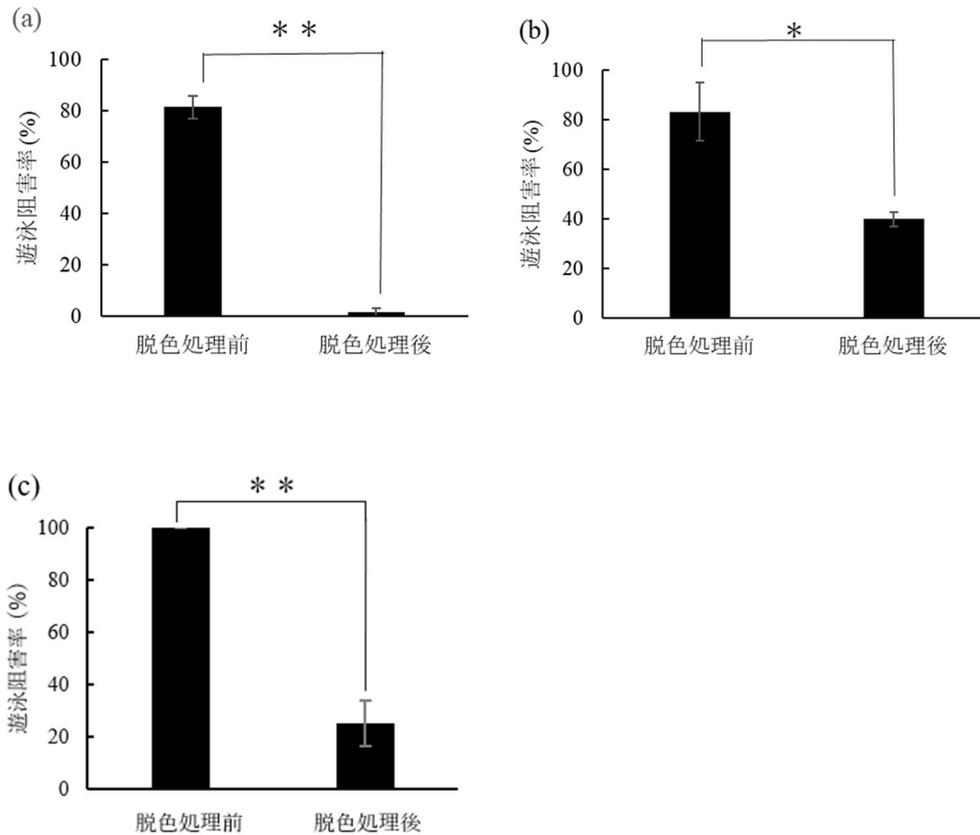


図1 AN-7の染料脱色処理によるミジンコ遊泳阻害率の変化

(a) Reactive Red 120、(b) Food Red No.104、(c) Food Red No.105

5頭/50 mL/容器、20頭/試験区、試験時間 48 時間、\*p < 0.05、\*\*p < 0.01

(2)環境負荷低減と鮮度保持を兼ねた加工技術： LC-CO2 評価は、まず算定範囲を決定し、次にライフサイクルフロー (LCF) 作成、最後にライフサイクルインベントリ (LCI) 分析を行った。LCI 分析では、LCA 対象となる商品またはサービスに関して、投入される資源やエネルギー (インプット) および生産または排出される製品・排出物 (アウトプット) のデータを収集・算出し、環境負荷項目に関する入出力明細表を作成する。本研究における CO2 排出量の算定範囲は、加工・箱詰めから廃棄までと設定し、CO2 排出量は活動量 × 排出原単位で算定した。計算に用いた排出原単位は、カーボンフットプリント制度試行事業 CO2 換算量原単位データベース ver.4、食品関連材料 CO2 排出係数データベース、包装用緩衝材の LCA 研究報告から引用した。上記算出方法を用いた結果からは、脱水シート包装フィレ区では 1473 [ kg- CO2/t-マダラフィレ ] ラウンド区では 2726 [ kg- CO2/t-マダラフィレ ] の CO2 排出量であることが示された (図 2)。輸送段階では、不可食部除去により積荷重量が減り、CO2 排出量が削減された。フィレ流通では、発泡箱の小型化が可能のため、発泡スチロール由来の CO2 排出量が削減できる。脱水シートおよびフィレ内装袋由来の環境負荷は全体の約 9%と算出され、フィレ流通での削減分に対して小さいことが示された。脱水シート包装フィレでの流通はラウンドでの流通と比較して約 40%の CO2 を削減でき、地球温暖化防止に寄与する流通であることが明らかになった。

ATP 関連化合物量から算出可能であり、マダラの鮮度指標として有用とされている H 値は、脱水シート包装フィレ区で 24% ~ 65% までの経時的な上昇、ラウンド区で 13% ~ 36% までの経時的な上昇がみられた。ラウンド区で H 値が低い傾向がみられ、脱水シート包装およびフィレ加工による鮮度低下抑制の作用は確認されなかった。

一般生菌数は、両試験区ともに保管 7 日目においても水産庁の定める鮮魚の初期腐敗基準値を下回ることが示された。また脱水シート包装フィレ区一般生菌数は初期菌数からの増加率がラウンド区と比較して約 3 分の 1 に抑えられていることが確認された。

L\*a\*b\* 値は試験区による大きな差はみられず、フィレ加工および脱水シート包装によってもマダラの色調に影響を与えることなく流通できることが示唆された。

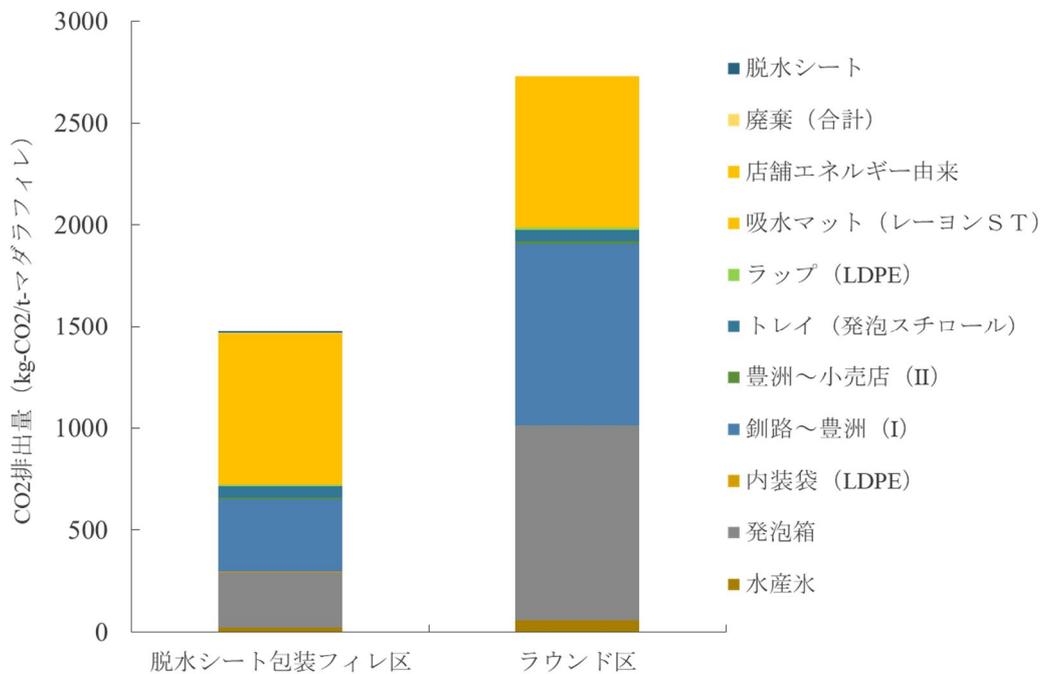


図2 脱水シート包装フィレ区およびラウンド区におけるCO2排出量

(3) 鮮度指標に基づく適切な流通管理技術：最も使用温度領域が広いWST-8型BTMに関して、実際の流通で使用できることを目指して保管安定性の検討を行った。WST-8型BTMは基質液と酵素液の2液で構成されており、2液を混合させることにより、反応が開始する。基質液の保管期間を検証するために、冷蔵環境下(5℃)と常温環境下(25℃)で保管し、保管安定性試験を行った結果、冷蔵および常温環境下ともに約1年間(364日間)保管可能であることを確認した。また、酵素液の保管可能期間延長のため、以前の科学研究費補助金【基盤研究B(一般) 研究課題名：安全・安心な水産物のフードシステムの開発、課題番号24310111】において確立された条件で作製したWST-8型BTMを雛形として、ガラス化凍結乾燥法および複数の安価な安定化試薬の添加により組成の改良を行った。酵素液は従来の組成にゼラチン(終濃度0.125%)を添加することにより、5℃で56日間、10℃で7日間保管可能であることが明らかとなった。酵素液は、本研究を開始する前には5℃で1日間しか保管できなかった状況を考慮すると、飛躍的な改善が見られた。なお、ガラス化凍結乾燥処理による酵素の安定性は確認されなかった。組成を改良したWST-8型BTMの発色度と鮮魚のK値との相関を確認した結果、マアジ、ムシガレイおよびウスメバルの鮮度評価にWST-8型BTMが適用可能であることが明らかとなった。以上の結果から、マアジ、ムシガレイおよびウスメバルはWST-8型BTMによる鮮度の可視化が可能であることを明らかにした。

また、冷凍技術の発達によって鮮魚の冷凍流通等が主流となっていることを踏まえ、WST-8型BTMの冷凍温度帯での利用と冷凍温度帯での長期安定保管が可能な組成を検討した結果、冷凍温度帯で凍結せず、-20～40℃の間で使用可能である組成を決定することができた。また、決定した組成で保管安定性試験を行ったところ、5℃で252日間、25℃で7日間の安定保管が可能となった。

BTMによる鮮度管理の汎用性を検証するために、これまで検討していないスズキを対象として流通試験を実施した。これまでは鮮度可視化ツールであるBTMを用いて、保管温度が一定の場合の鮮魚の鮮度管理を行ってきた。しかし、実際の流通では温度変化の発生が予想されるため、複雑な温度条件下でも使用可能か検証する必要がある。本研究では、WST-8型BTMを実際の流通に導入し、鮮魚が常温にさらされた際の品質劣化(昇温リスク)が可視化できるかどうかについても検討を行ったところ、昇温保管区は4時間の常温放置で、WST-8型BTMの発色度が急激に上昇し、発色の差を目視で確認できた。本研究結果より、水産物流通にWST-8型BTMを導入することで、消費者は水産物生産システムの温度と鮮度管理状況が目視で確認できることを明らかにした。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 濱田奈保子	4. 巻 540
2. 論文標題 魚介類の鮮度について	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Kewpie news	6. 最初と最後の頁 1-16
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 関 洋子, 井上なつみ, 濱田（佐藤）奈保子	4. 巻 16
2. 論文標題 にがりを利用した魚肉のうま味成分の保持	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 美味技術学会誌	6. 最初と最後の頁 30-36
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.11274/bimi.16.2_30	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 濱田奈保子	4. 巻 63
2. 論文標題 安全安心な水産物を食卓に届ける	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 食品と容器	6. 最初と最後の頁 278-280
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Airi Takahashi, Kyoko Masuda, Taimu Sugimoto, Naoko Hamada-Sato	4. 巻 -
2. 論文標題 Synthetic dye decolorization using the marine filamentous fungus <i>Pestalotiopsis disseminata</i> AN-7 and toxicity evaluation using <i>Daphnia magna</i>	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 International Journal of Environmental Science and Technology	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s13762-023-05065-7	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計9件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 伏見麻由・濱田（佐藤）奈保子
2. 発表標題 耐塩性糸状菌を用いた環境浄化に関する研究 (15) - Pestalotiopsis sp. SN-3を用いた Food Red No. 105の脱色と毒性に関する研究 -
3. 学会等名 日本水環境学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 荒倉夏海・大池峻吾・富谷 敦・濱田（佐藤）奈保子
2. 発表標題 福島県産ヒラメの高付加価値化に向けたWST-8型バイオサーモメーターの活用
3. 学会等名 日本水産学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 橋口怜央人・山本雄介・岡本 満・開内 洋・濱田（佐藤）奈保子
2. 発表標題 WST-8型バイオサーモメーターを用いた島根県産魚類の鮮度評価
3. 学会等名 日本水産学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 濱田（佐藤）奈保子・上嶋七海・山本雄介
2. 発表標題 クエタマ熟成魚の品質評価
3. 学会等名 日本水産学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 川村 遊・濱田（佐藤）奈保子
2. 発表標題 福島県産魚類の高鮮度化およびWST-8型バイオサーモメーターによる鮮度の可視化
3. 学会等名 食品技術士会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 杉本大夢・濱田（佐藤）奈保子
2. 発表標題 耐塩性糸状菌を用いた環境浄化に関する研究(13) ミジンコ遊泳阻害試験によるPestalotiopsis sp. SN-3を用いた脱色処理における合成染料の毒性評価
3. 学会等名 日本水産学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 増田京子・濱田（佐藤）奈保子
2. 発表標題 耐塩性糸状菌を用いた環境浄化に関する研究(14) 耐塩性糸状菌Pestalotiopsis sp. AN-7を用いた染料脱色に関する研究
3. 学会等名 環境バイオテクノロジー学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 高橋愛莉・濱田（佐藤）奈保子
2. 発表標題 耐塩性糸状菌を用いた環境浄化に関する研究(16) ミジンコ遊泳阻害試験によるPestalotiopsis sp. AN-7を用いた鉛除去処理における毒性評価
3. 学会等名 日本水環境学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 高橋愛莉・高橋あゆみ・濱田（佐藤）奈保子
2. 発表標題 耐塩性糸状菌を用いた環境浄化に関する研究(17) ミジンコ遊泳阻害試験によるPestalotiopsis sp. AN-7を用いたFood Red No.105脱色処理における毒性評価
3. 学会等名 日本水産学会
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------