

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 27 日現在

機関番号：12614

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2012～2015

課題番号：24310111

研究課題名(和文)安全・安心な水産物のフードシステムの開発～海から食卓まで～

研究課題名(英文)Development of the food system of safe and secure marine products -from sea to table-

研究代表者

濱田 奈保子 (HAMADA, NAOKO)

東京海洋大学・その他部局等・教授

研究者番号：70323855

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,000,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は耐塩性微生物を用いたバイオレメディエーションにより浄化した漁場において生産された水産物を鮮度管理ツール(BTM)を導入し適正な流通を行うことにより、海から食卓までのフードサプライチェーン全体にわたるフードシステムを構築することを目的とした。報告者らが単離した耐塩性微生物 *Pestalotiopsis* sp. SN-3はこれまで報告した有機スズ化合物、ノニルフェノール、染料等の有機化合物に加え、Hg、Pb等の重金属も除去可能であることを明らかにした。BTMはクルマエビの鮮度も可視化できることを明らかとした。本研究で対象とした2つの開発技術が社会技術として受容されるための問題点を抽出した。

研究成果の概要(英文)：This study on aimed to establish a food system for the whole food supply chain from sea to table so as to appropriately distribute the marine products, relying on freshness management tool (BTM), which were produced at a fishing ground where the quality of water was purified by bioremediation using halotolerant microbes. The authors clarified that the isolated halotolerant microbe *Pestalotiopsis* sp. SN-3 could remove not only organic compounds such as organotin compounds, nonylphenol, and dye that were previously reported, but also heavy metals such as Hg and Pb. We also made it clear that the BTM was able to visualize the freshness of prawn as well as the fish we reported hitherto. We extracted problems so that the two developing technologies which were the target of this study could be accepted as a social technology.

研究分野：食品流通安全管理

キーワード：食の安全・安心 フードシステム バイオレメディエーション バイオサーモメーター クルマエビ
鉛 吸着

1. 研究開始当初の背景

わが国においては、東日本大震災に伴う原発事故の影響で、食に対する消費者の安全・安心志向は異常な高まりを見せている。BSEの事件を受け、牛肉については徹底したトレーサビリティが行われており、放射性物質に汚染された牛肉の追跡がなされている。農産物については、外界と隔離された植物工場での生産体制が企業等により実用化され、安全・安心な農産物の供給システムが整いつつある。一方、水産物においては、環境有害物質に汚染された海洋および沿岸域での漁獲や飼料(給餌)や薬品(投薬)による養殖漁場の水質・底泥の汚染が大きな課題となっている。このような状態を打開するためには、漁場の再生、国産水産物の付加価値の創出を伴う、安全・安心で鮮度が良い水産物を供給するシステムが不可欠である。

食料・農業・農村及び水産資源の持続的利用に関する意識・意向調査[農林水産情報交流ネットワーク事業全国調査農林水産省(2010)]において「水産物を購入する際に重視すること」として「鮮度」を挙げる方が約70%もいるという調査結果がある。このようなデータからも放射性物質を含めた環境汚染物質フリーの水産物を鮮度保持させた状態で消費地に届けることが、海から食卓までの安全安心な水産物のフードシステムの構築につながると考えた。その具体的な手段としては、有機塩素化合物、重金属、さらには放射性物質等で複合汚染された漁場の水質に対し、耐塩性微生物を用いて浄化し、鮮度情報をリアルタイムでモニタリング可能な流通を行うことにより、鮮度情報を付加したトレーサビリティと温度管理による有害微生物等の対策が可能となる。

本研究で提案した水質浄化技術と科学的指標(積算温度と鮮度指標)に基づく流通管理技術を組み合わせた統合的アプローチは、国内外に例がなく、このようなシステムを安全・安心かつ高品質な水産物嗜好とそれを支える水産物生産流通技術を有するわが国において開発することにより、ここで構築したフードシステムを世界基準として展開させることも可能と考え、本研究を設定した。

2. 研究の目的

本研究「安全・安心な水産物のフードシステムの開発—海から食卓まで—」は、水質浄化した漁場において生産された水産物に対し、品質管理ツールを導入し適正な流通を行うことにより、海から食卓までのフードサプライチェーン全体にわたるフードシステムを構築することを最終目標とした。

具体的には、研究実施者らが開発した2つの基盤技術(①バイオレメディエーション^(注1)による水質浄化技術;②バイオサーモメーター(以下、BTM)^(注2)による鮮度管理技術)を「ブレークスルー技術」として統合し、関係者とともに、参加型アクション・リサーチ(現場での問題特定→適用検討→実験→評価→改善の過程)を行うことで、安全・安心な生鮮魚介類のフードシステムを開発することを目的とした。

(注1) バイオレメディエーションとは、生物の機能を用いた環境浄化方法

(注2) BTMとは、申請者が開発した生鮮食品の鮮度を可視化するツール

3. 研究の方法

研究実施者がこれまで開発した2つの基盤技術(バイオレメディエーションに基づく水質浄化技術とBTMによる鮮度管理技術)を発展・統合させ、その技術を現場に適用するにあたり、以下の3つの項目について検討した。

(1) 以前の研究において、有機スズ化合物、ノニルフェノール化合物および各種染料など複数の有機化合物に対して分解・除去能を有する耐塩性微生物 *Pestalotiopsis* sp. SN-3 (以下、SN-3 菌) を海洋環境から単離した(特許 4734562) が、本研究においては、当該微生物が生態系に重篤な影響を及ぼす重金属、さらには、2011年3月の福島原発の事故で放出された放射性セシウム(Cs)に対して吸着・浄化する機能があるかどうか検討した。機器の設備的な問題から、本研究では、放射性Csでなく非放射性Csを、重金属としては水銀(Hg)、銅(Cu)、カドミウム(Cd)および鉛(Pb)を計測した。また、バイオレメディエーション後に毒性となる物質が生成されていないことをマウス等の試験動物と微細藻類を用いて検証した。

(2) 当研究室で開発したBTMを魚類以外の水産物の流通管理ツールとして普及するために、エビ類、ホタテ等の貝類を代表例とし、消費量の多い生鮮水産物を対象にBTMと相関する鮮度指標を文献等から抽出した。また、実際に鮮度試験を行い、BTMと相関する指標を絞り込み、BTMによる鮮度可視化が可能なる種を特定した。

(3) 本研究で対象とした2つの開発技術が社会技術として受容されるための問題点について、関係するステイクホルダーのそれぞれの立場から考察した。

4. 研究成果

(1) 当研究室で単離した耐塩性微生物 SN-3 菌を用いて Cs 除去試験を行った結果、初発

濃度 50 ppm の場合、24 時間の回転振盪培養で約 30% 除去可能であった。低濃度における検討も行ったが再現性が低く、明確な除去率を求めることができなかった。

Hg、Cu、Cd および Pb を対象とした場合には、初発濃度 20 ppm の各重属が含まれる水溶液に SN-3 菌を接種した場合、24 時間の回転振盪培養でそれぞれ、12%、4%、6% および 21% が除去可能であった。

ついで、人工海水に SN-3 菌が生育するのに必要な栄養源を添加した人工海水培地において水銀除去試験を行った結果、高濃度の Cd、Cd および Pb が混在する条件下で除去試験を行った結果、Cd と Cd については SN-3 菌による除去が観察されなかった。一方、Pb は NaCl 0% を含む人工海水培地で 33%、NaCl 1.5% を含む同培地で 63%、NaCl 3.0% を含む同培地で 39% が除去された。除去能向上を目的とし、SN-3 菌をアルギン酸カルシウムに固定化し、人工海水培地で培養した結果、Pb は塩分濃度や他の重金属の存在に関わらず 90% 以上の除去率が得られた。SN-3 菌による Pb の吸着等温線を Freundlich の吸着等温式と Langmuir の吸着等温式を用いて検討した結果、 Freundlich の吸着等温式と高い相関が得られた。Pb 水溶液の pH を変化させて SN-3 菌を培養した結果、pH の上昇とともに除去量が増加したことから、菌体への吸着には表面の官能基が関与しており、SN-3 菌は菌体表面に Pb を吸着していることが示唆された。

(2) エビ類を対象として検討した結果、クルマエビの K 値が鮮度指標となることを明らかとし、BTM による鮮度の可視化が可能であることを示した。

(3) 本研究で対象とした 2 つの開発技術が社会技術として受容されるための問題点として以下の 3 項目を抽出した。

1) 本研究で対象としたバイオレメディエーションで用いた SN-3 菌は奄美大島の流木に付着していた自然環境から単離した微生物であり、マウス等の試験動物を用いた安全性試験を行った結果からも安全性は問題ないことが実証された。また、同菌は遺伝子組み換え微生物ではないため、環境中に散布しても問題ないと考えられる。しかしながら、同菌の増殖による生態系の影響も考慮に入れ、閉鎖系でのフィールド試験を行う必要があるといった意見が養殖業者からのヒアリング結果から得られた。

2) バイオレメディエーションにおける微生物の環境導入は歴史が浅く、社会への認知度が低いため、一般の不安を誘起する懸念があることからバイオレメディエーション利用指針が作成されている。浄化の対象としては石油類、揮発性有機化合物、多環芳香環化合物及び金属類が代表的なものだが、特に限定

はされていない。

また、浄化対象環境は自然条件下の限定された区域の土壌や地下水等の汚染範囲が明確となるものに限られている。したがって、河川などの底質の汚染や海洋の石油流出汚染等、区域の限定が難しい場合は、評価に馴染まないため対象外とされている。過去にナホトカ号の石油流出事故の際には石油分解微生物を用いたバイオレメディエーションの手法が用いられたにも関わらず、利用指針が定められていないという現状を踏まえ、今後、沿岸域および海洋におけるバイオレメディエーション利用指針を定める必要がある。

3) BTM を生鮮水産物流通に導入する際の社会的技術としての受容性を生産者、流通業者、消費者などの関係者からヒアリングを行ったところ、BTM 導入による鮮度情報を付与した生鮮水産物流通は高度な鮮度管理を可能にすること、IC タグなどの IT 技術や通い容器と BTM を組合せることで、より安全で安心な鮮魚を消費者に届けることが可能になるといった肯定的な意見が寄せられた。

一方で、誰が BTM のコストを負担するのか？ BTM の費用対効果を考えた価格設定が必要であり、コストが回収できるほどの利益が得られるのか？ 鮮度は経験則や感覚でわかるため、BTM は必要ないという意見も出された。また、BTM による科学的な鮮度データをすんなり消費者が受け入れるか？ BTM を導入する社会的需要がどの程度あるのかについて、さらなる調査が必要との意見が出された。

生産者（漁業者）にとっては、明確な鮮度がわかる⇒安心する⇒高鮮度の食材を選択できる⇒購買意識の高まりにつながるといった BTM がもたらすメリットにより、産地の水産物のブランド化とタイアップして取り組むためのツールになり得るという期待があるものの、小売業者や外食業者にとっては、明確な鮮度がわかってしまう⇒新たなクレームを招く可能性や高鮮度志向による廃棄量増加につながる恐れがあり、導入には慎重にならざるを得ないという意見が多く出された。また、全魚種で BTM の使用を求められる気運になること、BTM のコストが魚価の上昇に反映してしまうため、高価な牛とは違う水産物には難しいという声があった。さらに、BTM だけに頼る傾向となり、BTM の改ざんの可能性もあり、誤認識による食中毒のリスクにつながるといった厳しい意見も出された。

以上を踏まえ、BTM 技術の社会的受容についてはリスクとベネフィットを考慮する考えが重要であることを再認識した。

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 12 件)

- (1) Hiroko Seki, Kaori Nakazato, Kazunori Kobayashi, Mio Sakurada, Tae Soo Lee, Naoko Hamada-Sato: Effect of different packaging materials on the quality of tuna and use of corrugated cardboard as suitable packaging material for fisheries logistics, International Proceedings of Chemical, Biological and Environmental Engineering, 92, 8-17. (2016). 査読有
- (2) Hiroko Seki and Naoko Hamada-Sato: Effect of various salts on inosinic acid-degrading enzyme activity in the white and dark muscle of saury, Fisheries Science, 81, 365-371 (2015). 査読有
- (3) 濱田(佐藤)奈保子: 漁港・市場における品質・衛生管理の今後のあり方 漁港漁村研究報告 38, 8-11(2015). 査読無
- (4) Hiroko Seki, Kazuhumi Osako and Naoko Hamada-Sato: Effect of bitterns and constituent salts on the inosinate phosphatase activity in horse mackerel muscle. International Food Research Journal. 21, 2215-2220 (2014). 査読有
- (5) Hiroko Seki and Naoko Hamada-Sato: Effects of various salts on IMPase activity and IMP quantity in coho salmon, *Oncorhynchus kisutch* (Walbaum 1792), Salmonidae. Asian Fisheries Science 27, 173-184 (2014). 査読有
- (6) Hiroko Seki and Naoko Hamada-Sato: Effects of salt and bittern on inosinic acid- and inosine-degrading enzyme activity in Pacific cod muscle, Journal of Aquaculture & Marine Biology, Vol. 1 No. 1 Page 00001 (2014). 査読有
- (7) Hiroko Seki and Naoko Hamada-Sato: Identification of bacteria that contribute to IMP degradation in horse mackerel, Journal of Food Processing & Technology, Vol. 5 No. 8: 363(2014). 査読有
- (8) 岡野利之, 濱田(佐藤)奈保子: 水産物産地卸売市場内における衛生品質管理の課題と対策—立替・出荷工程の検証—日本フードシステム学会, 20, 337-342 (2013). 査読有
- (9) 関 洋子, 濱田(佐藤)奈保子: にがりを用いた反応染料及び食用タール系色素廃水の沈殿除去処理. 環境技術, 41, 448-454(2012). 査読有
- (10) 小林亜珠香, 濱田(佐藤)奈保子, 日佐和夫: キムチ製造における微生物汚染状況調査の事例報告. 日本フードシステム学会, 19, 279-282 (2012). 査読有
- (11) 濱田(佐藤)奈保子, 関 洋子, 鈴木 徹: 干物製造に及ぼす脱水シートの効用. 日本調理科学会誌 45, 29-32(2012). 査読有
- (12) Nobuo Obara, Masami Ishida, Naoko Hamada-Sato, Naoto Urano: Efficient bioethanol production from paper shredder scrap by a marine derived *Saccharomyces cerevisiae* C-19. Studies in Science and Technology, 1, 127-132 (2012). 査読有

[学会発表] (計 35 件)

- (1) 西山良子, 北岡千佳, 良永(加藤)裕子, 濱田(佐藤)奈保子: 脱水シートによるマガキの品質変化に関する研究, 平成 28 年度日本水産学会春季大会, 東京, 2016 年 3 月 29 日.
- (2) 富川明日香, 濱田(佐藤)奈保子: 耐塩性糸状菌を用いた環境浄化に関する研究 (12) *Pestalotiopsis* sp. AN-7 を用いた染料脱色に関する研究, 平成 28 年度日本水産学会春季大会, 東京, 2016 年 3 月 27 日.
- (3) 小菅良典, 萩原知明, 湯川剛一郎, 濱田(佐藤)奈保子: 耐塩性糸状菌を用いた環境浄化に関する研究 (11) *Pestalotiopsis* sp. AN-7 を用いた人工海水における重金属除去, 平成 28 年度日本水産学会春季大会, 東京, 2016 年 3 月 27 日.
- (4) 中里香央理, 関 洋子, 濱田(佐藤)奈保子: 養殖クルマエビの品質評価に関する研究, 平成 28 年度日本水産学会春季大会, 東京, 2016 年 3 月 27 日.
- (5) Hiroko Seki, Izumi Ueno, Toru Suzuki

- and Naoko Hamada-Sato :Improvement of the method for the determination of Ki-value by using amorphous freeze-dried enzymes, Food Chemistry and Technology (FCT-2015), San Francisco, California, USA, 16-18 November, 2015.
- (6) Hiroko Seki and Naoko Hamada-Sato: Evaluation of taste and freshness of fish with a kit for measuring Ki values, which are related to inosinic acid levels, World Seafood Congress 2015, Grimsby, UK, 5-9 September, 2015.
- (7) 富川明日香, 濱田 (佐藤) 奈保子: 耐塩性糸状菌を用いた環境浄化に関する研究(10) —*Pestalotiopsis* sp. SN-3 による染料脱色に関する研究— 環境バイオテクノロジー学会, 2015年 6月 29日.
- (8) 小菅良典, 萩原知明, 濱田 (佐藤) 奈保子: 耐塩性糸状菌を用いた環境浄化に関する研究(9) —*Pestalotiopsis* sp. SN-3 を用いた人工海水における重金属除去— 環境バイオテクノロジー学会, 2015年 6月 29日.
- (9) Kazunari Kawashimo, Hiroko Seki, Kaori Nakazato, Naoko Hamada-Sato: Effect of vacuum skin packaging on the dark muscle quality of the yellowtail *Seriola quinqueradiata*, 12th Asian Congress of Nutrition, Yokohama, Japan, 14- 18 May, 2015.
- (10) Hiroko Seki and Naoko Hamada-Sato: Effect of various salts on inhibition of inosinic acid-degrading enzyme in horse mackerel, 12th Asian Congress of Nutrition, Yokohama, Japan, 14- 18 May, 2015.
- (11) 川下一成, 関 洋子, 相澤孝治, 湯川剛一郎, 濱田 (佐藤) 奈保子: スキンパック包装によるブリ切身の消費期限延長, 日本食品科学工学会 平成 27 年度関東支部大会, 東京, 2015年 3月 14日
- (12) Hiroko Seki, Kazunari Kawashimo, Kaori Nakazato, Naoko Hamada-Sato: Increasing the taste component in the prawn, Pacific Fisheries Technologists 2015, Astoria, Oregon, USA, 1-4 March, 2015.
- (13) 向山夏女, 濱田 (佐藤) 奈保子: 耐塩性糸状菌を用いた環境浄化に関する研究(8) 海洋環境から単離した糸状菌を用いた人工海水培地における染料脱色, 環境微生物系学会合同大会 2014, 静岡, 2014年 10月 22日.
- (14) Hiroko Seki and Naoko Hamada-Sato: Effect of various salts on inosinic acid-degrading enzyme and inosine-degrading enzyme in Pacific cod, Aquaculture Europe 2014, Donostia-San Sebastián, Spain, 14-17 October, 2014.
- (15) 川下一成, 関洋子, 相澤孝治, 濱田 (佐藤) 奈保子: 真空包装によるマダイフィレーの微生物増殖抑制効果, 日本防菌防黴学会第 41 回年次大会, 東京, きゅりあん, 2014年 9月 24日.
- (16) 川下一成, 中里香央理, 関 洋子, 濱田 (佐藤) 奈保子, 相澤孝治: 真空包装によるブリ血合肉の品質保持に関する研究, 平成 26 年度日本水産学会秋季大会, 福岡, 2014年 9月 20日.
- (17) 関 洋子, 濱田 (佐藤) 奈保子: マアジ魚肉中の細菌が IMP 分解酵素活性の測定に及ぼす影響, 平成 26 年度日本水産学会秋季大会, 福岡, 2014年 9月 20日.
- (18) Hiroko Seki and Naoko Hamada-Sato: Effect of various salts on inosinic acid-degrading enzyme in the white and dark muscle of saury, 3rd International Conference and Exhibition on Food Processing & Technology, Las Vegas, Nevada, USA, July, 21-23, 2014. (Best Poster Award)
- (19) 関 洋子, 濱田 (佐藤) 奈保子: 魚肉のうま味成分保持におよぼす塩類の影響, 日本海水学会第 65 年大会, 沖縄, 2014年 6月 19日.
- (20) Hiroko Seki and Naoko Hamada-Sato: Effect of various salts on IMP degrading enzyme on southern mackerel, 3rd International ISEKI_Food Conference, Athens, Greece, 21-23, May, 2014. (ISEKI_Food Association Poster Award)
- (21) Hiroko Seki and Naoko Hamada-Sato: Effect of various salts on IMP-

- degrading enzyme activity in aquacultured coho salmon, Aquaculture, Seattle, USA, 9-12 February, 2014.
- (22) Hiroko Seki and Naoko Hamada-Sato: Impact of dialysis conditions and bacteria on the measurement of inosinic acid-degrading enzyme activity in horse mackerel, World Seafood Congress, St. John's, Canada, 28-30 September, 2013.
- (23) 川島康太, 伊藤るり, 川下一成, 濱田(佐藤)奈保子: 脱水シートを用いた生鮮マダラ流通におけるCO₂排出量評価, 日本水産学会秋季大会, 津, 2013年9月22日.
- (24) Hiroko Seki Izumi Ueno and Naoko Hamada-Sato: The effect of heat and various salts on the activity of the inosinate monophosphate-degrading enzyme in horse mackerel, International Association for Food Protection Annual Meeting, Charlotte, USA, 28-31 July, 2013.
- (25) Hiroko Seki Izumi Ueno and Naoko Hamada-Sato: The effect of varying the concentration of various salts on the activity of the inosinate monophosphate-degrading enzyme in fish processing, EuroFoodChem XVII, Istanbul (Turkey), 7-10 May, 2013.
- (26) Hiroko Seki and Naoko Hamada-Sato: Effect of various salts on IMP degrading enzyme activities in fish flesh, 4th MoniQA International Conference, Budapest, Hungary, 26 February - 1 March, 2013.
- (27) 近藤拓弥, 濱田(佐藤)奈保子: バイオサーモメーターを用いた水産物流通システムのビジネスモデルの可能性, 日本水産学会, 東京, 2013年3月27日.
- (28) 近藤拓弥, 前野陽美, 西本壮吾, 矢澤一良, 濱田(佐藤)奈保子: WST-8型バイオサーモメーターの安全性試験, 日本食品科学工学会関東支部大会, 東京, 2013年3月9日.
- (29) 川島康太, 伊藤るり, 濱田(佐藤)奈保子: 脱水シートを用いた生鮮マダラ流通のライフサイクルCO₂評価, 第8回日本LCA学会研究発表会, 京都, 2013年3月7日.
- (30) 小林亜珠香, 濱田(佐藤)奈保子, 日佐和夫: キムチ製造における微生物汚染状況調査の事例報告, 日本フードシステム学会, 藤沢, 2012年6月17日.
- (31) 石田健太, 濱田(佐藤)奈保子: 食品浪費を抑制する新規包装の導入可能性に関する経済性分析, 日本フードシステム学会, 藤沢, 2012年6月17日.
- (32) 大澤裕介, 関 洋子, 濱田(佐藤)奈保子: 耐塩性糸状菌を用いた環境浄化に関する研究 (6) 耐塩性糸状菌を用いた染料脱色に関する研究, 日本水産学会, 東京, 2012年3月27日.
- (33) 石田健太, 濱田(佐藤)奈保子: 食品浪費と包装の経済性分析, 日本食品科学工学会, 札幌, 2012年8月30日.
- (34) 近藤拓弥, 前野陽美, 濱田(佐藤)奈保子: WST-8型バイオサーモメーターを利用した水産物流通システムの提案, 日本食品科学工学会, 札幌, 2012年8月30日.
- (35) 近藤拓弥, 亀山祐太郎, 前野陽美, 濱田(佐藤)奈保子: WST-8を用いた新規バイオサーモメーターの開発, 日本水産学会, 東京, 2012年3月27日.
- [図書] (計 1 件)
- 食べ物と健康Ⅲ (船津保浩, 竹田保之, 加藤淳 編著) 濱田奈保子: 第4章 食品流通・保存と栄養 (p.114-124) 第5章 加工および保存中の成分変化 (p.126-137) を単独執筆 三共出版 (2014).
- [産業財産権] なし
- [その他]
- 濱田奈保子: バイオサーモメーター「品質可視化ツールを用いた食品の適性流通システムの実現とフードロス削減」(株)リバネス TECH PLANTER 第2回アグリサイエンスグランプリを受賞
6. 研究組織
- (1) 研究代表者 濱田奈保子 (HAMADA-SATO NAOKO) 東京海洋大学・学術研究院・教授
研究者番号: 70323855
- (2) 研究分担者 川邊みどり (KAWABE MIDORI) 東京海洋大学・学術研究院・教授 研究者番号: 80312817