

シンポジウム記録

東日本大震災からの復興・再生に向けた 新たな水産業の創成につながる新技術開発

竹内俊郎^{1*} (東京海洋大学),
佐藤 實² (東北大学大学院農学研究科),
渡部終五³ (北里大学海洋生命科学部)

Development of new technologies for innovation in
fisheries related to the reconstruction and renovation
efforts following the Great East Japan Disaster

TOSHIO TAKEUCHI,^{1*} MINORU SATO²
AND SHUGO WATABE³

¹ Tokyo University of Marine Science and Technology,
Minato, Tokyo 108-8477, ² Graduate School of Agricultural
Science, Tohoku University, Aoba, Sendai 981-8555,
³ School of Marine Biosciences, Kitasato University,
Sagamihara, Kanagawa 252-0373, Japan

はじめに

東日本大震災からすでに4年以上が経過する中で、これまで様々な復興・再生に向けた取り組みが行われてきた。この間、本学会のみならず、各省庁や機関においてそれぞれ精力的に事業が進められてきたが、その中で、水産業の再生に向けた取り組みとして、文科省が実施している東北マリンサイエンス拠点形成事業がある。本事業は大きく二つに分かれているが、その1つである「新たな産業の創成につながる技術開発」については平成27年度で終了する運びとなった。最終年のこの時期に、被災地の東北で開催される学会のシンポジウムとしてふさわしい内容と考え企画したものである。特に、今回取り上げる水産業の新たな創成を目指した新技術開発では、実用化に向けた様々な取り組みがあることから、本シンポジウムではこれらの研究成果について8課題9名の研究者が講演を行った。質疑応答では研究成果に対して様々な視点から活発な議論が、また最後の総合討論では、これまでの研究開発と震災復興について各講演者から所感が述べられ、今後の技術移転や産業化に向けた取り組みについて有意義な議論がなされた。

〈プログラム〉

企画責任者：竹内俊郎 (海洋大)・佐藤 實 (東北大院農)・渡部終五 (北里大海洋)

趣旨説明 竹内俊郎 (海洋大)

I. 地域再生

座長：竹内俊郎 (海洋大)

1. 排熱を活用した小型メタン発酵による分散型エネルギー生産と地域循環システムの構築

多田千佳 (東北大院農)

2. 漁場再生ニーズに応える汚染海底浄化システムの構築

荒川久幸 (海洋大院)

3. 東北サケマス類養殖事業イノベーション

潮 秀樹 (東大院農)

II. 海藻の利用

座長：渡部終五 (北里大海洋)

1. 三陸における特産海藻類の品種改良技術開発と新品種育成に関する拠点形成

阿部知子 (理研)・

佐藤陽一 (理研食品)

2. 三陸産ワカメ芯茎部の効率的なバイオエタノール変換技術開発と被災地復興への活用法の提案

浦野直人 (海洋大院)

3. 三陸沿岸域の特性やニーズを基盤とした海藻産業イノベーション

宮下和夫 (北大院水)

III. 新規食品の開発

座長：婁小波 (海洋大院)

1. 高度冷凍技術を用いた東北地区水産資源の高付加価値推進

鈴木 徹 (海洋大院)

2. 電磁波を水産物加工に用いた新規食品製造技術開発

佐藤 實 (東北大院農)

IV. 総合討論

座長：婁小波 (海洋大院)

閉会の挨拶

佐藤 實 (東北大院農)

* Tel : 81-3-5463-0350. Fax : 81-3-5463-0425. Email : take@kaiyodai.ac.jp

シンポジウム記録 東日本大震災からの復興・再生に向けた新たな水産業の創成につながる新技術開発

I-1. 排熱を活用した小型メタン発酵による分散型エネルギー生産と地域循環システムの構築

滝沢憲治,¹ 吉田 弦,¹ 中村和徳,²中野和典,² 多田千佳¹¹東北大学大学院農学研究所, ²日本大学土木工学科

I-1. Construction of regional circulation and decentralized energy production system by the small methane fermentation using exhaust heat

KENJI TAKIZAWA,¹ GEN YOSHIDA,¹KAZUNORI NAKAMURA,² KAZUNORI NAKANO²
AND CHIKA TADA¹¹Department of Agricultural Science, Tohoku University, Oosaki, Miyagi 989-6711, ²Department of Civil Engineering, College of Engineering, Nihon University, Koriyama, Fukushima 963-8642, Japan

水産食品製造由来の廃棄物は 590,000 t であり (平成 24 年度), 16% は利用されていない。魚アラは, 油を含有するため炭素含量が高く, 効率よくメタン発酵できれば優れたエネルギー源になる。しかし, 魚主成分のタンパク質分解に伴うアンモニア生成により, 嫌気性微生物への阻害が知られ,^{1,2)} 効率的ガス生産の課題となる。本研究では, 水産加工地域からの魚アラと排水汚泥の混合メタン発酵によるバイオガス生産を行い, バイオガスでガスエンジン発電し, 分散型エネルギー生産を確立することを目的とした。さらに, メタン発酵後の消化液について自浄作用を活用した人工湿地による浄化も検討した。以上, メタン発酵と人工湿地の組み合わせによってエネルギー供給と排水処理を同時に行う小型施設を分散的に設置し, 自立的なエネルギー生産と排水処理ができる災害に強い町づくり形成を大目標としている。

1. 魚アラのメタン発酵

メタン発酵システムは容量 32 m³ タンクから成り, 排水汚泥 1 t/日と魚アラ 50 kg/日を混合投入した。タンクの加温には工場からの排熱も活用した。アンモニアによる嫌気性微生物への阻害抑制のため, カルシウム供給が効果的とされるため,³⁾ カキ殻を充填した。その結果, タンク内温度約 35°C でガス収率平均 70.6% (COD 負荷あたり) が可能であった。ガス生産量最大時は約 9 m³/日であり, 6 kW 発電機 3 時間運転により 18 kWh

の発電ができた。タンク内のカキ殻付着物の DNA 解析より, 水素資化性メタン菌 *Methanospirillum hungatei* が付着していた。これより, カキ殻は微生物担体としての役割も担うことが明らかになった。これまで Eiora ら⁴⁾ によって, Mackerel (サバ) (Total Solid (以下 TS) 5%) のメタン発酵によるガス変換効率は 0.04 L CH₄/g Volatile Solid (以下 VS) added とされ, 本結果では 0.61 L CH₄/g VS added (TS 7%) となり, 15 倍以上の高効率を得た。カキ殻は産業廃棄物で, その処理に困っている。本結果より, カキ殻は担体として非常に安値であり, そのまま利用することで有効な効果を得られることが示された。

2. 消化液の人工湿地による浄化

メタン発酵後の消化液は 1 t/日を 100 m² の重層型人工湿地によって浄化した。消化液は Chemical Oxygen demand (COD) 約 10000 mg/L, Total Nitrogen (TN) 約 1800 mg/L, アンモニア 1600 mg/L, Total Phosphorus (TP) 約 250 mg/L であった。処理性能は COD 除去率 90% 以上, TN 除去率 50% 前後, アンモニア除去率 99%, TP 除去率 85% 前後であった。また, 1 段目処理水, 2 段目処理水は, 無濾過のまま, 微細藻類 *Euglena gracilis* の培養液に利用可能であった。通常, 排水を藻類培養に用いる際には, 前濾過が必要であるが, 人工湿地処理水の場合には不要であるという利点を得られた。人工湿地の消費電力量は 18 kWh/月であり, 有機物負荷あたりの消費電力は, 通常の下処理施設と比較しても⁵⁾ 高い省エネ率であった。

文 献

- 1) Gallert C, Bauer S, Winter J. Effect of ammonia on the anaerobic degradation of protein by a mesophilic and thermophilic biowaste population. *Appl Microbiol Biotechnol.* 1998; **50**: 495-501.
- 2) Chen Y, Cheng JJ, Creamer KS. Inhibition of anaerobic digestion process: a review. *Bioresource Technol.* 2008; **99**: 4044-4064.
- 3) Tada C, Yang Y, Hanaoka T, Sonoda A, Ooi K, Sawayama S. Effect of natural zeolite on methane production for anaerobic digestion of ammonium rich organic sludge. *Bioresource Technol.* 2005; **96**: 459-464.
- 4) Eiroa M, Costa JC, Alves MM, Kennes C, Veiga MC. Evaluation of the biomethane potential of solid fish waste. *Waste Management* 2012; **32**: 1347-1352.
- 5) 平成21年度東京都下水道局環境報告書。東京都下水道局, 東京。2010; 6-12.

シンポジウム記録 東日本大震災からの復興・再生に向けた新たな水産業の創成につながる新技術開発

I-2. 漁場再生ニーズに応える汚染海底浄化システムの構築

荒川久幸,¹ 池田吉用²

¹東京海洋大学大学院海洋環境学部門,

²東京海洋大学産学地域連携推進機構

I-2. Deoiling system of seabed sediment to recover fishing ground

HISAYUKI ARAKAWA¹ AND YOSHICHIKA IKEDA²

¹Department of Ocean Sciences, Tokyo University of Marine Science and Technology, Minato, Tokyo 108-8477,

²Office of Liaison and Cooperative Research, Tokyo University of Marine Science and Technology, Minato, Tokyo 108-8477, Japan

2011年3月11日に発生した地震および津波によって、三陸沿岸の数多くの燃油タンクは倒壊し油が流出した。宮城県気仙沼湾では燃油タンク約20基が倒壊し、約12000 kLの重油が流出したとされている。流出した重油の大部分は津波の引き波とともに湾外へ排出されたが、一部は海中の粒子と混合され、海底に堆積した。また別の一部は、海上で発火し多環芳香族炭化水素 Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (以下 PAHs) を発生し、海底に沈降したとされている。¹⁾ すなわち、本流出事故によって気仙沼湾では大規模な海底の油汚染が発生した。三陸沿岸は養殖業が盛んであることから、早期の漁場の再生が望まれた。そこで本研究では、気仙沼湾を対象海域として、油汚染漁場の再生事業を構築することを目的として、①底泥の油汚染分布の把握技術開発、②汚染底泥の浄化技術開発を行い、事業化の可能性を検討する。

1. 底泥の油汚染分布の把握技術開発

対象海域とした気仙沼湾の油分（ノルマルヘキサン抽出物質濃度、TPH, PAHs）分布を採泥によって調べたところ、ノルマルヘキサン抽出物質濃度は湾奥で高く、湾内の広い範囲で水産用水基準を超えていた。また PAHs は東湾で高かった（中村ら、未発表）。気仙沼湾の底質から効率的に油分を取り除くためには、高濃度の油分の位置を詳細に把握する技術の開発が必要である。そこで、紫外レーザーを利用した観測システムを構築した。本システムは海面から紫外レーザー（波長 355 nm）を照射し、海底の油の蛍光を海面の集光器で検出するので、海水が清澄な海域では水深 20 m 程度までの油の検出が可能である（戸口ら、未発表）。しかしながら、



図1 実証試験装置の概観

気仙沼湾は春から秋にかけて高濁度状態が継続することから、気仙沼湾での使用の期間や範囲が限定されると考えられ、このため、今後は高濁度の海域での観測システムの開発が望まれる。

2. 汚染底泥の浄化技術開発

海底泥の油の浄化では安全で短期間に処理する方法が求められる。本研究では脱脂技術の一つである過熱水蒸気処理を海底泥の浄化に利用する可能性について検討した。

処理能力 20 kg/h の実証試験装置を製作した（図1）。実証試験装置を用いて予備の処理試験を行い、本装置と処理方法の課題を検討した。油分の除去量は水蒸気量と温度によって異なるが、炉内温度 300°C・過熱水蒸気温度 300°C の条件下で、泥から油分を除去できることが分かった（池田ら、未発表）。今後は事業化のために効率的な条件設定を検討しなければならない。また本装置の場合、結露および粉じんの対策について検討が必要である。

震災から4年以上が経過して、気仙沼湾の養殖漁業は次第に回復している。しかし、その海底にはいまだに多くの油が堆積しており、その濃度変化を監視する必要がある。今後、当海域の浚渫など工事が行われる際には、本開発技術を使用した事業が必要となるだろう。

文 献

- 1) 酒井敬一. 東日本大震災の水産被害と水産試験場の対応, 宮城県水産技術総合センター気仙沼水産試験場. 日本水産学会誌 2013; 79: 93-94.

シンポジウム記録 東日本大震災からの復興・再生に向けた新たな水産業の創成につながる新技術開発

I-3. 東北サケマス類養殖事業イノベーション

潮 秀樹,¹ 北澤大輔,¹ 金平 誠,¹ 水上洋一,¹
 金子豊二,¹ 渡邊壯一,¹ 佐藤秀一,² 池田大介,³
 渡部終五,³ 水野英則,⁴ 植向直哉,⁴ 宇田川純一,⁵
 木下弘実,⁵ 伊藤 翔,⁵ 武内要人,⁵ 戸川富喜,⁶
 北出武徳,⁶ 小野秀悦⁷

¹東京大学, ²東京海洋大学, ³北里大学, ⁴(株)サタケ,
⁵ニチモウ(株), ⁶(株)ニチモウマリカルチャー,
⁷みやぎ漁協

I-3. An innovation of salmonid aquaculture for
 reconstruction following the Great East Japan
 Earthquake

HIDEKI USHIO,¹ DAISUKE KITAZAWA,¹
 MAKOTO KANEHIRA,¹ YOUICHI MIZUKAMI,¹
 TOYOJI KANEKO,¹ SOUICHI WATANABE,¹
 SHUICHI SATOH,² DAISUKE IKEDA,³
 SHUGO WATABE,³ HIDENORI MIZUNO,⁴
 NAOYA UEMUKI,⁴ JUN-ICHI UDAGAWA,⁵
 HIROMI KINOSHITA,⁵ SHO ITO,⁵ YOTO TAKEUCHI,⁵
 TOMIYOSHI TOGAWA,⁶ TAKENORI KITADE⁶
 AND SHUETSU ONO⁷

¹The University of Tokyo, Bunkyo, Tokyo 113-8657 and
 Meguro, Tokyo 153-8505, ²Tokyo University of Marine
 Science and Technology, Minato, Tokyo 108-8477,
³Kitasato University, Sagami-hara, Kanagawa 252-0373,
⁴Satake Corporation, Higashihiroshima, Hiroshima 739-
 8602, ⁵Nichimo Co., Ltd., Shinagawa, Tokyo 140-0002,
⁶Nichimo Mariculture Co., Ltd., Fukuoka, Fukuoka 810-
 0075, ⁷Japan Fisheries Cooperative Miyagi, Ishinomaki,
 Miyagi 986-0032, Japan

1. はじめに

東北地方のギンザケ養殖も今回の東日本大震災における津波被害で甚大な被害を受けた。東北地域におけるサケマス類の養殖事業の持続的な発展を目指すためには、商品展開力を向上しなければならない。そこで本研究では、養殖産業基盤そのものの強固化を目指すこととした。

2. 浮沈式生簀によるギンザケの出荷時期調節と高付加価値化

通常の生簀の水深では、海水温がギンザケの正常生息上限温度の21°Cを8月上旬に超過するため、それまでの時期に出荷を終了しなくてはならない。一方、浮沈式生簀は設備等が高価なため、ギンザケのような比較的安

価な魚種には使用できなかった。そこで本研究では、新たに浮沈式生簀システムを開発し、8月から低水温域に沈下させることによって8月中旬でも健康なギンザケを出荷することに成功した。¹⁻⁴⁾

3. 他産業との連携

東北地方は日本有数の米どころである。そこで、養殖業と米産業との融合の可能性について検討を加えた。まず、精米工場等で生じる米糠の米油への有効利用とその残滓の飼料への利用を想定し、米糠処理システムを設計・試作した。本システムを使用することによって、各種健康機能成分を含有した米油の生産と同時に、飼料添加用の残滓米糠を生産することが可能となった。

4. 生物および食品素材の放射性物質除染法の開発

ギンザケではこれまで放射性物質汚染は認められていないが、稚魚が陸水経由で汚染される可能性は否定できない。また、水産加工品についても除染法は確立されていなかった。本研究によって、セシウムはカリウムチャンネルを介して魚体から排出され、⁵⁾その活性を環境水等で制御できること、魚種によってその排出制御機構が異なることなどが明らかとなった。一方、水産練り製品および塩干品では、水さらしや洗浄工程でかなりのセシウムが除去されることが明らかとなった。⁶⁾実際に使用するかどうかは別問題として、これらの技術の確立は食の安全のための技術的担保を果たすものとする。

文 献

- 1) 「水産白書 平成25年版」(水産庁編)財団法人農林統計協会, 東京, 2013.
- 2) 大家正太郎, 清水壽一, 堀川芳明, 山本慎一. ギンザケのへい死と水温との関係. 近畿大学水産研究所報告. 1989; 3: 73-77.
- 3) Kitazawa D, Mizukami Y, Isobe M, Saigo K, Ebisui A, Yanagita K, Hirai Y, Tanaka K, Hosokawa T. Improvement of the inner structure of the polyethylene pipes for a reliable fish-cage flotation/submersion system. Proceedings of the Aquaculture Europe. 2011; 557-558.
- 4) 北澤大輔, 水上洋一, 金平 誠, 戸川富喜, 武内要人, 伊藤 翔, 潮 秀樹. 閑散期でもギンザケを出荷可能な浮沈式生簀システム. 養殖ビジネス 2015年2月号. 2015; 23-26.
- 5) Furukawa F, Watanabe S, Kaneko T. Excretion of cesium and rubidium via the branchial potassium-transporting pathway in Mozambique tilapia. Fish. Sci. 2012; 78: 597-602.
- 6) Watabe S, Matsuoka Y, Nakaya M, Ushio H, Nemoto Y, Sato M, Tanoi K, Nakanishi T. Removal of radioactive cesium accumulated in fish muscle by washing in the process of surimi-based productions. Radioisotopes. 2013; 62: 31-38.

シンポジウム記録 東日本大震災からの復興・再生に向けた新たな水産業の創成につながる新技術開発

II-1. 三陸における特産海藻類の品種改良技術
開発と新品種育成に関する拠点形成福西暢尚,¹ 佐藤陽一,² 市田裕之,¹
阿部知子,¹ 平野智也³¹理化学研究所仁科加速器研究センター,²理研食品株式会社, ³宮崎大学農学部II-1. Development of the breeding technology and
new cultivar for macroalgae in Sanriku region, JapanNOBUHISA FUKUNISHI,¹ YOICHI SATO,²HIROYUKI ICHIDA,¹ TOMOKO ABE¹AND TOMONARI HIRANO³¹Nishina Center for Accelerator-Based Science, RIKEN,
Wako, Saitama 351-0198, ²Riken Food Co., Ltd., Tagajyo,
Miyagi 985-8540, ³Faculty of Agriculture, University of
Miyazaki, Miyazaki-shi, Miyazaki 889-2192, Japan

三陸におけるワカメおよびコンブの生産量や原料品質は年ごとに大きく変動しており、生産性の向上や、単価の高い原料の安定生産を可能にする優良系統の開発が求められている。そこで本研究では、理化学研究所の重イオンビーム品種改良技術をワカメおよびコンブに用いた優良系統開発を試みている。本発表では重イオンビーム品種改良試験の進捗を紹介するとともに、新たな養殖装置の性能評価およびワカメの地域系統から選抜した早生および晩生の養殖試験についても報告する。

1. 陸上養殖装置の開発と選抜育種への利用

円形水槽の内部構造を新規開発することにより、藻体が絡まらずに流動し、岩手県内の一般的なワカメ養殖漁場と同等の流速を付与できる浮遊回転式陸上養殖装置(CFCS)を開発した。¹⁾ワカメおよびコンブの生活環を海の養殖環境とは無関係に完結させることが可能となり、年に2-3回の養殖試験を実施できる。また、本装置を活用した陸上養殖生産や種苗生産についても技術開発を進めている。

2. ワカメに対する重イオンビーム照射条件の最適化

理化学研究所では、RIビームファクトリーで発生する高エネルギー重イオンビームを照射し、生存率が低下しない低線量照射区より変異体を選抜、それをを用いて新品種を育成する品種改良技術を開発し、陸上植物で

26品種、清酒酵母で2株の実用化品種を作出した。²⁾これまで大型褐藻類への適用例はないため、最適照射条件の検討を行った。メカブに重イオンを照射し、得られた配偶体の形態観察によって変異指標を調査した結果、雌雄配偶体において細胞伸長が抑制される変異が認められた。これを指標として変異率を計測した結果、最適線量は炭素イオンで2-5 Gy、アルゴンイオンで0.2-2.5 Gyと推定された。³⁾そこで岩手県産のワカメ配偶体および芽胞体に炭素イオンおよびアルゴンイオンを照射した。照射当代(M₁世代)は、培養と水槽養殖を経て個別別にメカブを収穫した。同じメカブから誘導した配偶体を兄妹交配し、M₂世代を得て、その中から無照射の系統よりも高水温でも芽胞体が発芽するものや高生長の変異体候補を選抜した。いずれの変異体候補も通常個体と同等の官能評価結果が得られており、優良系統としての可能性が示唆された。

3. 地域系統から選抜した早生、晩生系統の養殖試験

三陸における養殖原料の中から、初期生長の早い早生系統候補(R1)と養殖晩期の葉質が良好な晩生系統候補(R2)を選んで母藻とし、得られた種苗をCFCSで養殖して高生長個体を選抜した。岩手県広田湾において2014年9月から12月の5回に分けて種苗糸を設置して養殖した。その結果、養殖開始初期はR1が、後期はR2が大型化したことから、早生、晩生の特性を海上養殖において確認できた。通常種苗と比較すると、両系統ともに収穫量が高かったことから、生産性の向上が期待できる。両系統の使い分けによって、三陸地域におけるワカメ収穫時期の分散や、複数回養殖の産業化が期待できる。

文 献

- 1) 佐藤陽一, 山口正希, 阿部知子, 平野智也, 福西暢尚. 海藻類養殖用装置及び海藻類養殖方法. 特開2014-36596, 2014.
- 2) Abe T, Ryuto H, Fukunishi N. Ion beam radiation mutagenesis. In: Shu QY, Forster BP, Nakagawa H (eds). *Plant Mutation Breeding and Biotechnology*. Wallingford, Oxfordshire. 2012; 99-106.
- 3) Hirano T, Sato Y, Ichinose K, Hayashi Y, Fukunishi N, Abe T. Rapid evaluation of mutational effects resulting from heavy-ion irradiation of *Undaria pinnatifida*. RIKEN Accel. Prog. Rep. 2013; 47: 299.

シンポジウム記録 東日本大震災からの復興・再生に向けた新たな水産業の創成につながる新技術開発

II-2. 三陸産ワカメ芯茎部の効率的な
バイオエタノール変換技術開発と被災地復興
への活用法の提案

浦野直人

東京海洋大学大学院

II-2. Development of a method in effective bioethanol production from wastes of *Undaria pinnatifida* processing in Sanriku district and a proposal of its utilization to a reconstruction of stricken areas by

The Great East Japan Earthquake

NAOTO URANO

Department of Ocean Sciences, Tokyo University of Marine Science and Technology, Minato, Tokyo 108-8477, Japan

1. はじめに

本事業は震災からの復興を期す三陸沿岸の新たな産業創生策として、当該沿岸域を拠点とするバイオエネルギー生産構想の実施を目指している。特に海洋バイオマス（未利用大型海藻）中でも、国内生産量の約75%を占める三陸ワカメの加工残渣を主原料とするバイオエタノール生産の技術開発を行い、生産エタノールの有効利用により被災地復興への一助とする。

2. 方法

本事業は北海道大学-東京大学-東京海洋大学の共同研究で、以下の①, ②, ③で構成されている。①高機能化スーパー酵母の創製：海藻特有の糖質（アルギン酸/ラミナラン/マンニトール）をエタノールへ変換するために、海洋生物由来のアルギン酸の分解および代謝、ラミナランの分解、マンニトールからフルクトースへの変換に関わる各酵素の遺伝子を酵母へ導入してスーパー酵母を創製する。さらに、タンパク質工学により各酵素を高機能化した改良酵素を酵母へ導入して、高機能化スーパー酵母を創製する。②バイオエタノール生産システムの構築：未利用海藻を主原料（副原料に廃棄紙）とし、海洋酵母の発酵によりバイオエタノール生産システムを構築する。さらに、エタノール発酵残渣を原料として海洋メタン菌群によりバイオメタン生産を行う。③アルコール飲料の製造：海藻、海藻+リンゴを原料として、酵母発酵によりアルコール飲料を製造する。

3. 結果

①高機能化スーパー酵母の創製：アルギン酸/ラミナラン/マンニトールをそれぞれ分解または代謝し、酵母細胞内でピルビン酸に変換する酵素系をアルギン酸資化細菌 *Flavobacterium* sp. UMI-01 のゲノム配列上に見出

した。同菌由来のアルギン酸分解・代謝関連酵素 (FlAlyA, FlAlyB, FlAlyC, FlAlex, FlRed, FlKin, FlAld), ラミナラン分解酵素 (ULam109, ULam111), マンニトール-2-デヒドロゲナーゼ (M2DH66) の機能を解明した。さらに、酵素特性が異なるアルギン酸リアーゼ（上記 FlAlyA, アメフラシ由来 AkAly28, 深海好熱細菌由来 NitAly）とラミナラナーゼ（上記 ULam111）の立体構造解析を完了し、変異導入による高機能化酵素の作出を行っている。スーパー酵母の創製に必要と判断した8種の酵素 (FlAlyA, FlAlex, FlRed, FlKin, FlAld, ULam111, M2DH66, 既報の DEHトランスporter AcDHT1 (Newman *et al.*, 2014)) の遺伝子をそれぞれ酵母へ導入し発現を確認した。今後は、酵素活性の発現を確認後に全遺伝子を集結させたスーパー酵母を創製する。また、固定化 FlAlyA/FlAlex バイオリクターによりアルギン酸からオリゴ糖を生産するシステムを構築した。

②バイオエタノール生産システムの構築：主原料（ワカメ芯茎部または塩蔵ワカメ不良品）と副原料（廃棄紙）を混合して糖化後に海洋由来 *Saccharomyces cerevisiae* にて発酵した。最高 87.7 g/L の発酵液を蒸留して精製エタノールを製造した。発酵スケールは最大 150 L にて行った。全工程コストをシミュレーションしたところ、現状では 305 円/L エタノールであり、高機能化スーパー酵母の適用で 165 円/L に低減可能と試算された。さらに、海洋メタン菌群によりエタノール発酵残渣から、60-80% のメタンを1か月以上生産した。

③アルコール飲料の製造：主原料（ワカメ/コンブ）、副原料（リンゴ/柑橘類）を各種酵母で発酵しアルコール濃度 10% 程度の醸造酒を製造し、さらに蒸留酒を製造した。各酒を官能検査したところ、コンブのみコンブ+リンゴ酒の香味が優れていた。

4. まとめ (2016年3月までの計画)

①高機能化スーパー酵母の創製：アルギン酸/ラミナラン/マンニトールをそれぞれ分解または代謝し、酵母細胞内でピルビン酸に変換するために必要な全酵素系が発現した組換え酵母を創製する。発酵試験と酵素遺伝子の変異を繰り返して、海藻糖類を高発酵できる高機能化スーパー酵母を創製する。

②バイオエタノール生産システムの構築：バイオメタン生産の最適条件を確立して、バイオエタノール-バイオメタンのカスケード生産システムを構築する。

③アルコール飲料の製造：香味が優れたコンブ（またはワカメ）-リンゴの蒸留酒を製造する。

シンポジウム記録 東日本大震災からの復興・再生に向けた新たな水産業の創成につながる新技術開発

II-3. 三陸沿岸域の特性やニーズを基盤とした
海藻産業イノベーション宮下和夫,¹ 三浦 靖,² 小海康夫³¹北海道大学大学院水産科学研究院, ²岩手大学農学部,
³札幌医科大学II-3. Seaweed industry innovation based on
the characteristics and necessity of Sanriku CoastKAZUO MIYASHITA,¹ MAKOTO MIURA²
AND YASUO KOKAI³¹Faculty of Fisheries Sciences, Hokkaido University, Hakodate, Hokkaido 041-8611, ²Faculty of Agriculture, Iwate University, Morioka, Iwate 020-8550, ³Sapporo Medical University, Sapporo, Hokkaido 060-8556, Japan

海藻は、効率的な二酸化炭素ガス吸収能力を有すること、陸上植物とは異なり真水ではなく海水で生育することなどから、優れたバイオマス資源として世界中から注目を集めている。こうした中、宮下らは、褐藻に抗肥満や抗糖尿病作用を持つ脂溶性成分（フコキサンチン）を見だし、褐藻が価値の高い機能性素材原料として活用できることを明らかにした。¹⁾このような背景のもと、本研究では、フコキサンチンを多く含む食用褐藻としてアカモクに注目し、その持続的生産と有効活用に関し山田湾をモデルとして検討を行った。

まず、フコキサンチンの抗肥満活性については、フコキサンチン代謝物が主として、内臓白色脂肪組織（WAT）中の脱共役タンパク質1（UCP1）の発現を亢進することで内臓脂肪を分解し、生じたエネルギーを熱として変換すること、WATでのUCP1の発現誘導は、 $\beta 3$ 受容体やPGC-1の発現増大に起因し、フコキサンチンによりWATの一部が褐色脂肪組織様の性質を有することなどを明らかにした。一方、フコキサンチンの抗糖尿病作用は、代謝物による内臓WATからの過度の炎症性サイトカインの分泌抑制と、これによる、インスリン抵抗性の改善に起因することを見いだした。さらに、マウスにフコキサンチンを与えると、フコキサンチンの代謝物であるフコキサンチノールが、血液を介して骨格筋に作用し、グルコースの運搬役であるGLUT4を活性化することを明らかにした。なお、この場合、フコキサンチンを投与した動物では、インスリンレセプター、AMP活性化プロテインキナーゼ（AMPK）、セリン・スレオニンプロテインキナーゼであるAktおよびPGC-1の発現が増大しており、こうした分子レベルでの制御により、GLUT4の発現や膜移行が亢進していることも分かった。

また、山田湾のアカモクの分布、現存量と季節変動の

定量的な調査も実施し、湾口の北東側に分布するアカモクが湾内のカキ棚に付着し、そこで成長していくことをつきとめた。さらに、カキ棚周辺でのアカモクの生産力は沿岸部よりも極めて大きいことを明らかにした。以上より、山田湾では、カキの養殖棚を活用したアカモク生産が、漁業資源保全や経済性に優れた効率的な生産システムであることを示した。

アカモクを原料とした機能性素材の開発では、アカモク油の製造法を確立し、このアカモク油を用いてフコキサンチン含有製品の機能性についてヒト介入試験を実施した。その結果、フコキサンチン投与による肝機能、脂質代謝能に対する悪影響のないこと、高感度LC-MS/MSを用いた血清中フコキサンチン代謝物の定量により、摂取されたフコキサンチンは量依存的に代謝吸収されていることを明らかにした。さらに、空腹時血糖、空腹時血清インスリン濃度、HbA1cなどをフコキサンチン摂取前後で比較し、フコキサンチン摂取が長期糖代謝の指標であるHbA1cの改善に効果があるとの知見を得た。

また、山田湾産のアカモクを原料とした粉末素材も開発したが、この際、前処理に行う冷凍法やその後の乾燥・粉末化法を工夫することにより、機能性脂質成分含量がより高く、フコキサンチンの吸収性にも優れた粉末素材が製造できることを見出した。さらに、アカモク粉末素材を含む乾麺、ケーキ・マフィン、ドーナツを試作し、アカモク粉体を混合することにより麺が伸びにくくなることや、小麦粉製品の水分保持能力、粘性、気泡保持性なども増大することを明らかにした。

本研究では、山田湾をモデルとして海藻の活用による震災からの復興、再生を検討してきたが、事業が進むにつれ、アカモクを軸とした研究成果が、我が国の水産業の発展をも導く新たなビジョン形成にもつながっていくことが分かってきた。我が国の沿岸域には生物資源が豊かな地域も多く見られるが、特に海藻については、海洋国家としての日本の長所をいかんなく発揮できる無限の価値があるにも関わらず、その利用は極めて限定的となっている。アカモクのような海藻の持つ沿岸環境保全能力、高い二酸化炭素吸収能力、優れた栄養機能性は、まさに、我が国が目指している低炭素社会の実現と気候変動、高齢化の問題への対応にひとつの方向性を示すものであり、地域の特色を活かした山田湾での取組は、被災地域の復興に資するだけでなく、日本の各沿岸地域にも応用可能であると考えている。

文 献

- 1) 宮下和夫, 細川雅史. ニュートリゲノミクス解析に基づく褐藻カロテノイド, フコキサンチンの栄養機能性. 遺伝 2015; 6: 21-27.

シンポジウム記録 東日本大震災からの復興・再生に向けた新たな水産業の創成につながる新技術開発

Ⅲ-1. 高度冷凍技術を用いた東北地区水産資源の高付加価値推進

鈴木 徹

東京海洋大学大学院

Ⅲ-1. Development of a marine product with additional value by using innovative refrigeration system

TORU SUZUKI

Department of Food Science and Technology, Tokyo University of Marine Science and Technology, Konan, Minato, Tokyo 108-8477, Japan

東北沿岸地域の水産業復興に繋がる新たな産業基盤の構築を目指し、高級養殖魚貝類の価格変動吸収や海外を含めた流通市場域の拡大を狙った高度冷凍技術の深化を図り、凍結生鮮魚貝類の生産加工技術開発を行った。これら技術は、盛漁時期における余剰魚貝類資源や未利用水産資源の利用化促進にも資する。本課題は多方面からのアプローチが可能であるため東京海洋大学チームを主とし、農研機構食品総合研究所、青森県産業技術センター食品総合研究所（八戸）と共同で課題を分担し、各々研究を開始した。当初、取り組んだ課題は多義に渡り分散する傾向にあったが、各課題に方向性が見えた時点で課題の整理を行い、大きく分けて下記2つの大課題（1.「生鮮魚貝を対象とした新規冷凍システムによる高級刺身商材の開発」、2.「水産加工品および未利用資源を対象とした新規冷凍技術開発による新商材の開発産業化」）に絞って研究開発を推進した。

課題（1）は輸出用高品位冷凍寿司ネタ開発を狙ったものであり、その内、小課題1）では生鮮刺身用（寿司ネタ用）貝類（牡蠣、アワビ、赤貝）の大温度差+過冷却凍結法による高品位凍結および貯蔵、解凍システムを確立し、殻つき冷凍牡蠣を宮城県志津川漁協および岩手県宮古水産物商業協同組合の協力を得て5月に数千個レベルで試作完了、試販中である。他の貝類も殻つき刺身用生鮮冷凍品の生産流通技術を確立し製品化マニュアルを作成済みである。さらに、これら科学的品質の裏付けも行った。また小課題2）簡易開殻冷凍牡蠣製品の開発では加圧条件を調べ実現性が示された。小課題3）では生鮮刺身用（寿司ネタ）について青森県八戸地区における高鮮度サバの冷凍供給技術の開発を行った。その過程でアニサキスの冷凍殺滅条件を明らかにした。¹⁾ この成果は他の生食用鮮魚流通への波及効果が大きい。ま

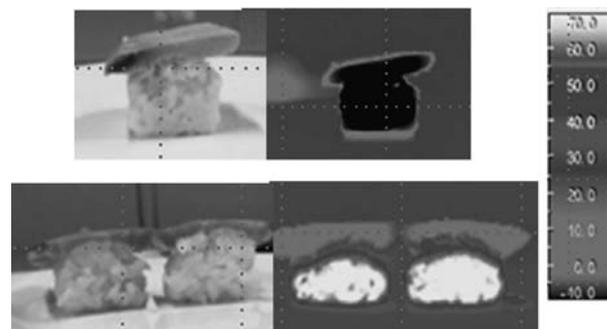


図1 新規電子レンジ解凍技術による部位温度差のある解凍状態になった冷凍握り寿司のサーモグラフィー上写真 解凍前冷凍状態の握り寿司。全体が凍結状態にある。下写真 電子レンジにて解凍した状態。米飯部の温度は高く、ネタ部分は低い温度に維持されている。

た、八戸地区にて事業化へ向けた関係業者による研究会が発足し、試験的流通販売を計画している。

課題（2）においては、冷凍解凍技術の開発研究の過程で発見された新規電子レンジ解凍技術を取り入れた小課題1）冷凍握りずしの開発が行われた。その結果、図1に示すように冷凍状態の握り寿司を短時間で握りたてのようにネタ部分は低い温度に維持しつつ、米飯部は白蟻化を解消し、温かくすることを可能とする新規電子レンジ解凍技術を確立した。また小課題2）として高鮮度冷凍によるツノナシオキアミ原料による新規カマボコ練り製品の開発、産業化を図り、岩手県宮古市の民間業者に技術移転を行い商品化（オキアミート）に成功した。高級かまぼこの耐冷凍付与に関しては、未達であるが冷凍劣化のメカニズムの一旦を科学的に解明した。さらに小課題3）では東北産水産物タラ残渣に Antifreeze Protein (AFP) 活性を見出すことに成功した。これを受け、AFPの効率的抽出法、利用法の検討に関して気仙沼市との共同研究がスタートしている。

以上、東北地区水産加工業の新産業形態化の基盤となる数多の技術確立の成果が見られた。本事業以降の継続、発展を望んでやまない。

文 献

- 1) 竹内 萌, 松原 久, 高橋 匡, 小坂善信, 工藤謙一, 渡辺 学, 鈴木 徹. アニサキス亜科 L3 幼虫の生存に与える凍結の影響. 日本冷凍空調学会論文集 2015; 32: 199-205.

シンポジウム記録 東日本大震災からの復興・再生に向けた新たな水産業の創成につながる新技術開発

Ⅲ-2. 電磁波を水産物加工に用いた新規食品製造
技術開発

佐藤 實

東北大学大学院農学研究科

Ⅲ-2. Development of a new fish processing technology
using an electromagnetic waves

MINORU SATO

Graduate School of Agricultural Science, Tohoku University,
Sendai, Miyagi, 981-8555, Japan

世界的に魚食が広まっている。魚食で特に問題になるのは傷みの早さと、魚骨であろう。水産物が傷むのは、主に自身が持つ内在性酵素によるものと、付着する微生物の活動によると考えられる。傷みを抑制する最も良い方法は、水産物を低温に保つことであり、特に酵素や微生物の活動を完全に抑える冷凍と思われる。ただし、冷凍品は利用に先立ち解凍する必要があるが、これまでのところ品質を保ったまま解凍する確実な方法が見当たらない。

魚骨は魚が嫌われる第一の理由になっている。缶詰やレトルトのように高温高压処理する加工法が一般的であるが、最近では魚骨を人手により取り除く“骨なし魚”が広がっている。骨なし魚の製造には人手と時間が掛かると共に、魚そのものの品質低下も伴うことより、骨ごと魚を食べることができる技術が求められている。

ここでは、電磁波を用いる新たな水産加工技術として研究を進めている、迅速均一解凍技術、魚骨脆弱化技術およびマイルド殺菌技術について紹介する。

1. 迅速均一解凍技術

冷凍保存技術は農水産物や加工食品の鮮度や品質を保ちながら長期保存を可能にする現代社会には欠かせない技術であるが、利用に先立ち適切な解凍技術がなかった。演者らは、100 MHz 電磁波を利用することで、例えば、冷凍マグロやクジラは煮えやドロップを発生することなく、冷凍ウニは型崩れ（溶解）することなく、冷凍寿司ではシャリ（酢飯）はひと肌程度に温かく、ネタはヒンヤリ状態に解凍できることを確認している。¹⁾

水産物では寄生虫も問題になる。米国ニューヨーク市ではその対策として生食をする水産物は冷凍するよう要求している。冷凍の広がり、とりまなおさず優れた迅速均一解凍技術が待たれているといえ、100 MHz 電磁波解凍法はその要望に応える画期的な技術と考える。

2. 魚骨脆弱化技術

魚骨を脆弱化し食するための調理法として、梅酢で長時間煮込んだり、低温油で二度揚げする伝統的な方法の

ほか、高温高压処理（缶詰、レトルト、圧力釜）がある。後者の方法は、魚骨の脆弱化には非常に有効で、盛んに利用されているが、筋肉組織の変性が著しく、かつ魚肉も魚骨も区別がつかない食感になること、レトルト臭の発生や着色の問題が生じる。演者らは電磁波照射による魚骨脆弱化に挑戦し、サンマ脊椎骨に 162 MHz 電磁波を照射することで骨の破断強度が低下することを認めた。²⁾ さらに、実際にサンマを食べる場面を考え、生サンマ開き干しに 162 MHz 電磁波を照射した後、オーブンで焙焼すると、脊椎骨の破断強度も歪率も低下し、この段階でサンマ脊椎骨は苦にすることなく噛み砕き、食することができることが確認された。

魚を骨ごと食することができれば、骨取作業を省略することでの経済効果、原料魚の品質低下抑制、カルシウム摂取促進による骨粗しょう症の防止など様々な効果が期待されよう。

3. マイルド殺菌技術

大腸菌を懸濁した液に AMHz 電磁波を照射すると菌液は 50-60°C に上昇し、大腸菌はほとんど死滅する。大腸菌液を 60°C に同じ時間湯煎しても菌数は大きく変化しないことより、電磁波照射に加熱効果だけでなく何らかの殺菌作用が存在することが推察される。食品の完全殺菌技術は、魚骨脆弱化の項でも述べた高温高压処理だけであるが、この方法では魚肉の食感、風味、色調などが大きく変化することが問題となる。この点、電磁波照射によるマイルド殺菌技術は、食品加工品の本来の風味や食感を損ねることなく、殺菌効果が期待される新技術ともいえる。今後、詳細な研究が待たれる。

4. 電磁波を用いる食品加工技術の展望

我々の身の回りで、食品加工・調理に用いられている電磁波として、家庭用電磁レンジに用いられている 2,450 MHz と業務用解凍機に用いられている 13.56 MHz および 27.12 MHz などが挙げられるが、それ以外の周波数の電磁波にここで述べた解凍効果、魚骨脆弱化効果、殺菌効果など様々な効果があることが明らかになった。これらの照射効果は、これまで水産業界、食品業界で待ち望まれている技術であり、今後、詳細を詰めて実用化することに期待が寄せられている。

文 献

- 1) 佐藤 實, 山口敏康, 中野俊樹. 冷凍食品の解凍方法. 特許出願番号 PCT/JP2014/069802, 2015.
- 2) 佐藤 実. 電磁波による魚骨脆弱化技術“最新マイクロ波エネルギーと応用技術”(最新マイクロ波エネルギーと応用技術編集委員会編). (株)産業技術サービスセンター, 東京, 2014, 761-765.