

シンポジウム

持続可能な次世代養殖システムの開発： サバ養殖の新たな展開に向けて

要旨集

令和 5 年 12 月 12 日 (火) 13:00~17:00

会場：イオンコンパス東京八重洲会議室

共 催：水産増養殖産業イノベーション創出プラットフォーム・

JST 未来社会創造事業「日本型持続可能な次世代養殖システム
の開発-養殖システム研究会」

シンポジウム

持続可能な次世代養殖システムの開発：サバ養殖の新たな展開に向けて

共 催： 水産増養殖産業イノベーション創出プラットフォーム

JST 未来社会創造事業「日本型持続可能な次世代養殖システムの開発-養殖システム研究会」

日 時：令和 5 年 12 月 12 日（火）13:00～17:00

会 場：イオンコンパス東京八重洲会議室（Room B+C）

<http://www.aeoncompass-kaigishitsu.com/tokyoyaesu/>

〒104-0031 東京都中央区京橋 1-1-6 越前屋ビル 4 階

（東京駅八重洲口から徒歩 4 分；八重洲地下街 24 番出口を上がってすぐ）

参加方法：ハイブリッド（会場参加+Microsoft Teams による Web 配信）

企画趣旨

JST 未来社会創造事業（探索加速型）の本格研究「日本型持続可能な次世代養殖システムの開発」（研究 代表者 中山一郎）のスタートを受けて、令和 3 年 8 月に「持続可能な次世代養殖システムの開発～サバを中心に～」というタイトルでシンポジウムが開催されました。その後 2 年が経過し、新たな成果が生まれています。一方、国内ではマサバを対象とした養殖がその当時より拡大し、その発展と同時に新たな問題も浮き彫りになっています。ここでは、現時点での研究課題の成果のトピックスを紹介するとともに、現場で展開していく養殖システムの一つのオプションとして、自然エネルギー利用の可能性も考えていくこととします。また、サバ養殖業者、一般消費者、研究者の多様な視点から現状のサバ養殖の問題点・課題を関係者で共有し、今後望まれる実証研究の展開や目指すべき新たな養殖システムの姿を論議していきます。

プログラム

1. 開会 水産研究・教育機構水産技術研究所 企画調整部門

2. 挨拶および趣旨と全体説明 13:00～13:15
JST 未来社会創造事業「持続可能な社会の実現」領域 運営統括 國枝 秀世
水産研究・教育機構 理事長 中山 一郎

3. 講演
(1) 特別講演 13:15～13:50
座長：東京大学生産技術研究所 教授 北澤 大輔
演題：「洋上風力発電施設を利用した沖合での養殖ビジネス開発について」
九電みらいエナジー株式会社事業企画本部 次長 福岡 達也

(2) 一般講演 (JST 未来事業成果から)

座長：水産研究・教育機構 理事長補佐役 神山 孝史

1) 餌料関係 13:50～14:15

「発酵技術を利用した資源循環型養殖餌料の開発」

京都大学 教授 小川 順

2) 育種関係 14:15～14:40

「育種産物の不妊化と種の保存」

東京海洋大学 教授 吉崎 悟朗

3) 養殖システム関係 14:40～15:05

「海面半閉鎖循環式養殖システムの実現可能性の検討」

東京大学生産技術研究所 教授 北澤 大輔・水産研究・教育
機構 水産技術研究所 井上 誠章、三好 潤

休憩 (15分)

4. 総合討論 (サバ養殖の問題点と今後の展開) 15:20～16:55

座長：水産研究・教育機構 理事長中山 一郎

パネリスト 九州大学 教授 太田 耕平

福井県立大学 教授 田原 大輔

田鳥水産 代表取締役 横山 拓也

全日本さば連合会 広報担当 池田 陽子

一般講演発表者

※関連事項について、一般講演発表者以外のパネリストによる簡単な話題提供を
予定しています。

9. 閉会挨拶 16:55～17:00

水産研究・教育機構 理事 生田 和正

【特別講演】

洋上風力発電施設を利用した沖合での養殖ビジネス開発について

九電みらいエナジー株式会社 事業企画本部 事業企画一部
福岡 達也

1. はじめに(発表要旨)

九電みらいエナジー株式会社は九州電力 100%出資の会社であり、主に九州電力グループにおける再エネ事業の中核を担う会社である。現在、当社は浮体式洋上風力発電を再エネの主力電源として開発中であるが、開発にあたって重要な課題を認識しており、その一つが海域確保の困難性である。海域を占有する洋上風力発電は、利害関係者である漁業関係者の皆様の理解を得なければ困難で、特に浮体式洋上風力の開発は欧州や中国と比較し進んでいない。一方で、日本の漁業実態は、人口減少・高齢化、地球温暖化による海洋環境の変化により生産量・就労者数共に低下傾向であり、先行き不透明な状態が続いている。

当社は、将来的な浮体式洋上風力の普及を目指すにあたり、漁業者の皆様と共存できる「先進的」な方策の実証を検討している。日本の漁業が抱える課題に対し、漁業者様と共に今回の取り組みをさせて頂くことが、これら再エネ開発の課題解決のみでなく将来の水産業の諸問題のブレイクスルーのきっかけとなる可能性を追求したい。

2. 九電みらいエナジーの浮体式洋上風力の取り組みについて

1) 九電みらいエナジーの会社紹介

「私たちは、自然が持つ様々な力をエネルギーとして活かすことで、ずっと快適な社会の実現や魅力ある地域づくりに貢献します。」

当社は、再生可能エネルギーの普及拡大を図るため、九州電力グループで培ってきた再エネに関する技術やノウハウ、そして人材などの経営資源を統合し、2014年7月に設立した、九州電力(株)100%出資の会社である。

これまで培ってきた技術力を生かし、再エネ5電源(地熱・風力・バイオマス・水力・太陽光)の開発から運営までを一貫体制で行い、長期安定稼働を実現できることが当社の強み。九電グループの経営目標である「2030年度開発量500万KW」達成に向け、再エネ開発中核会社として貢献する。

発電事業設備の導入実績であるが、太陽光:16.1万kW(15地点)、地熱:1.0万kW(2地点)、水力:0.2万kW(1地点)、風力:14.2万kW(3地点)、バイオマス:42.8万kW(10地点)の合計74.3万kW。今後、太陽光、バイオマス合わせて35.6万kWの導入予定がある。

2) 洋上風力発電開発の取り組みについて

現在、電源開発(株)様、(株)北拓様、西部ガス(株)様、(株)九電工様とコンソーシアムを組み、北九州市の響灘で洋上風力発電プロジェクトを進めている。2017年4月に事業主体となる特別目的会社「ひびきウインドエナジー(株)」を設立、北九州港港湾区域内の約2,700haにわたるエリアに、最大約22万KWの洋上風力発電所の建設を目指している。2022年度から建設工事に着手、順次運転を開始する予定。

再エネ海域利用法に基づき1Rの秋田県由利本荘市沖(北側・南側)が促進区域に指定されたことに対し、洋上風力発電事業者の公募にRWE Renewables Japan 合同会社と共同で入札を実施し、落札とはならなかったが、当社として今後も洋上風力発電について開発を実施していく。

3) 浮体式洋上風力発電開発の取り組みについて

当社は、イギリスの Carbon Trust が主催する Floating Wind Joint Industry Project(JIP) に日本企業として初めて参加し、欧州の主要な発電事業者とともに浮体式洋上風力発電事業の大規模な商用化に向けた技術的・コスト的課題解決に向けて検討を進めている。

また、NEDO(国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構)が実施するグリーンイノベーション基金事業、浮体式を中心とした洋上風力発電のコスト低減によって導入拡大を目指すプロジェクト「洋上風力発電の低コスト化」のうち、【研究開発項目:フェーズ 1-[3]】洋上風力関連電気システム技術開発事業に参画している。なお今後の予定であるが、最速 2023 年度以降に実施する実証研究(フェーズ 2)にも参画を検討している。

3. 浮体式洋上風力開発の課題について

1) 浮体式洋上 WF 実現までの困難性について(実体験より)

洋上風力発電の普及拡大における課題は、事業者側と市場側の2つの側面に分類できる。

事業者側の課題については技術的課題、経済性の課題があるが、これらは今後の研究・開発により解決がなされると考える。

一方で、市場側の課題については、海域確保が難しいという日本特有の課題がある。洋上風力発電事業における主な利害関係者である漁業関係者の理解が得られないため、海域確保が困難になった結果、大規模プロジェクトの実施が困難になっている。この状況は、風車その他のサプライヤーにとって日本市場の魅力が低下していることを意味しており、現に風車の調達も困難になってきている。さらには大規模プロジェクトの計画がなされないため、基地港湾や系統等のインフラ整備も進まない、という悪循環が発生している。

洋上風力発電の普及拡大には、これら事業者側と市場側の課題を全て解決する必要があり、漁業関係者の理解を得ることが喫緊の課題である。

2) 海域確保についての困難性について(実体験より)

洋上風力発電の海域確保には、利害関係者である漁業関係者の理解を得る必要がある。

当社は、NEDO が実施するグリーンイノベーション基金事業の一環「洋上風力発電の低コスト化」実証研究(フェーズ 2)に参画するため、実施海域確保を目指し、全国を行脚し調査を行ってきた。結果、洋上風力発電の導入に対し、多くの漁業関係者から積極的に御意見を頂いた。そのご意見の中で風車設置に消極的な方の理由として、洋上に風車が設置されると、その海域での操業が困難となる可能性があることや、海洋環境への影響が未知数であることも挙げられた。また、先祖代々漁業を生業とされている方も多く、漁業を守っていくことに対する想いや漁法の変更に対する抵抗感も強く感じられた。

4. 日本の漁業の実態について

一方、我が国の漁業・養殖業の生産量は、昭和59(1984)年にピークの1,282万トン記録したが、その後、主に沖合漁業によるマイワシの漁獲量の減少の影響により、平成7(1995)年頃にかけて急速に減少し、その後も減少傾向が続いている。

その原因は多くの側面があるが、大きく「人的影響」と「海洋環境の影響」に分類できる。

我が国の漁業就業者数は一貫して減少傾向にあり、令和4(2022)年は12.3万人(平成15年比で48%減)となっている。高齢化も進んでおり、65歳以上の割合は、一貫して増加傾向である。

海洋環境も変わってきている。我が国周辺水域では海水温の上昇が主要因と考えられる現象が顕在

化してきており、近年では、北海道でのブリの豊漁やサケの分布域の北上、磯焼けの拡大との磯根資源の減少が報告されている。特に、磯焼けとは、藻場が衰退したまま回復せず不毛な状態が続く現象で、藻場が衰退すると有用な魚介藻類が減り、沿岸漁業に大きな影響を及ぼすことになる。四方を海に囲まれ海藻や磯根資源の利用が盛んな日本で、この四半世紀ほどの間に、地球規模で温暖化の影響が顕在化し、海水温の上昇が続き、藻場の衰退域が拡大しただけでなく、魚介類の分布域も変化している。(水産庁 HP より転載)

日本の養殖業も課題を抱えている。国は、国内外の需要を見据えて戦略的養殖品目を設定するとともに、生産から販売・輸出に至る総合戦略を立てた上で、養殖業の振興に本格的に取り組むこととしているが、従来、養殖場として利活用されてきている場所は潮流や波浪による影響が小さい沿岸の静穏水域であったが、我が国では沿岸域の開発が進んだこともあり、大規模な養殖を行うのに適した静穏水域が少ない状況にある。また、海面魚類養殖業従事者は、1988 年には 13,657 人であったが、2018 年には 7,062 人まで減少するなど養殖業やこれに関連する産業の人手不足が顕在化している。我が国養殖生産物の強みを維持・向上しながら、生産規模を拡大するためには、養殖作業の工程を再点検し、直面する労働状況に対応できるように ICT 機器等の導入による生産性の向上や省力化とともに人材確保に繋がる就労環境の改善が必須の状況となっている。(農林水産省／養殖業成長産業化総合戦略より抜粋)

5. 浮体式洋上風力にできること

上記日本の水産業が抱える課題に対し、浮体式洋上風力が寄与できることは必ずあると考える。我々は、将来的な浮体式洋上風力の普及を目指すにあたり、漁業者の皆様と共存できる「先進的」な方策の実証を検討している。浮体式洋上風力を活かした以下の取り組みにより「漁獲量減少・漁業就業者減少・磯焼け」という全国的な課題に、共に取り組みをさせて頂く基礎としたいと考えている。

- 1). 浮体構造物を活用した沖合養殖『育てる漁業の発展』
- 2). 温暖化への適応『海藻牧場』
- 3). デジタル技術による漁業支援『AI 海況予報・魚道の見える化』

6. 引用文献

水産庁 令和4年度水産白書

以上

発酵技術を利用した資源循環型養殖餌料の開発

○小川 順、安藤晃規、岸野重信（京大院農・応用生命）

有田 誠（慶應大学薬学部・理研）

畑中晃昌（日本水産株式会社）

今後の人類の食料問題、特に動物性たんぱく供給を支えるべく期待されているのが水産資源である。しかし、天然魚介類の拡大は見込めず、今後の需要を満たせるかどうかは水産養殖にかかっている。一方、現在の養殖システムの環境負荷は高く、これを持続可能なシステムに転換することが求められている。とくに、養魚飼料に関しては、その原料を魚粉と魚油に大きく依存しており、供給の逼迫が予想されている。また、この状況に伴う魚油・魚粉の価格高騰が水産養殖拡張の阻害要因となっている。

これに対し、自然生態系は、共生微生物機能の活用と、健全な食物連鎖により、資源量を維持している実績がある。したがって、自然生態系を模倣し、飼料原料から魚までの食物連鎖を、糸状菌、油糧微生物、腸内細菌、プランクトンなどの微生物を介した環境制御により駆動することで、現行の養殖における魚から魚を育てる環境負荷の高いシステムを、持続可能なシステムに転換することが可能となると考えた。

しかし、この取り組みにあたり、現状では以下のような問題がある。

- ① 魚類の必須栄養素の効率的供給源としての魚を代替する資源が開発されていない。
- ② 魚類の必須栄養素に由来する機能性代謝物が同定されていない。
- ③ 魚類の消化管研究が極めて少なく、腸内細菌の機能の調査・利用ができていない。

これらの問題を解決するために、我々は、以下のような研究開発に取り組んでいる。

- ① 植物原料から必須栄養素（脂肪酸・アミノ酸）を十分に含む発酵製品を生産する。
- ② 必須栄養素由来の代謝物を同定し、その生理機能を検証する。
- ③ 必須栄養素を産生・変換する腸内細菌を分離し、その機能を検証する。

本発表では、上記取り組みの最近の成果を、サバやブリに関する取り組みを例にあげ紹介する。これらの成果をもとに、必須栄養素を含む発酵飼料を用い、共生微生物の機能を応用することで、生態系に学んだ養殖飼料フードチェーンを構築したいと考えている。

育種産物の不妊化

吉崎悟朗 (海洋大)

【背景・目的】逃亡魚による遺伝子汚染や優良品種の盗用を防止するために、不妊化した養殖魚を大量生産する技術の確立が求められている。しかし、不妊魚は自身の配偶子を生産しないため、交配により大量生産することができない。そこで我々は、今までに調べられた魚種において、生殖細胞は正常であるが、生殖腺体細胞の機能欠失によって雌が不妊となる遺伝子群に着目した。そこで本研究では、養殖対象魚種として注目されているマサバに本技術を応用するため、CRISPR/Cas9 を用いてこれらの遺伝子をノックアウト (KO) したマサバの作出を試みた。

【材料・方法】上述の遺伝子群を標的としたガイド RNA および Cas9 タンパク質を 1-2 細胞期のマサバ受精卵へ顕微注入した。得られた成熟したオス個体の精子から抽出した DNA を PCR 解析およびシーケンス決定に供し、当該遺伝子上に機能欠失が期待される変異を有する個体を選抜した。次に、選抜個体の精子を野生型マサバ卵へ媒精し、F1 世代を作出した。これらの F1 個体から PCR 法により変異体を選別し、雌雄を交配することで F2 を作成し、その次世代の遺伝子型解析を行った。

【結果・考察】孵化直後の処理個体における当該遺伝子への変異導入効率は 58.8% (10/17 個体) であった。1,341 粒の受精卵に顕微注入したところ、25 尾 (1.9%) が 12 ヶ月齢まで生存し、オス 8 尾が成熟した。その精子の DNA を解析した結果、1 尾において、当該遺伝子に機能欠失が期待される 23 塩基挿入によるフレームシフト変異が検出された。また、この個体の精子と野生型マサバ卵の交配により、44,906 尾の F1 孵化仔魚を得た。さらに 7 ヶ月後、生存した 406 尾から 33 尾 (8.1%) のヘテロ KO 個体を選抜することに成功した。これら個体同士を交配することで作出した F2 世代を PCR 解析に供した結果、46 個体中 7 個体がホモ KO 個体であることが明らかになった。今後は、ホモ KO マサバの雌の妊性を解析したうえで、生殖細胞移植による不妊魚大量生産技法の樹立を目指す。

海面半閉鎖循環式養殖システムの実現可能性の検討

北澤大輔（東京大学生産技術研究所）

井上誠章、三好潤（水産研究・教育機構水産技術研究所）

現在、沿岸域での生簀養殖は、波浪の影響が小さく、流れによって海水が比較的交換しやすい海域で営まれている。これらの生簀養殖に適した海域は、国内にはあまり残されておらず、また近年はそのような海域においても水質変化による生産性の低下が発生している。そこで、養殖の場を広げる試みとして、現在の養殖の場よりも閉鎖的で、水質が相対的に悪化している海域での半閉鎖循環式養殖システムと、より開放的な海域での養殖手法の一つとして、洋上風力発電と連携した養殖システムの検討を行った。半閉鎖循環式養殖システムは、従来の網地ではなく、海水をあまり通さない材料で構成される生簀を用いて、外部の適正水温、低汚染の海水を生簀内に取り込み、生簀内部で循環させた後、内部水を外部に放出するしくみとなっている。FRP 等を用いた剛体生簀とキャンバスシート等を用いた柔軟体生簀を検討し、水槽模型実験によって生簀内部のスロッシングの発生やその生簀運動への影響を調査した。剛体生簀の場合は、ある入射波の条件では縦揺れ運動と内部水の運動とが逆位相となり、運動が小さくなる様子が見られたが、長周期側ではこれらが同位相となって運動が増幅した。また、広い波高、波周期条件でスロッシングによって内部水が生簀から溢れる様子が見られたため、スロッシングを抑制する機構の開発が必要である。柔軟体生簀の場合は、キャンバスシート材料の剛性の相似については考慮できていないが、キャンバスシートの変形によってスロッシングが抑制される様子が見られた。また、スロッシングによる流れが魚に及ぼす影響に関する研究を開始した。今後の課題としては、半閉鎖循環式養殖システムについては、剛性の相似を考慮したモデルを製作し、キャンバスシートの変形や耐久性に関する実験を行うとともに、循環システム等の付帯設備のロバスト性を考慮して全体システムの詳細設計を行う。また、洋上風力発電と連携した養殖システムに関しては、スパー型浮体式洋上風車に給餌機を搭載し、周辺が生簀に給餌を行うシステムについて、水槽模型実験によって浮体式洋上風車の運動に大きな影響を及ぼさないことが示唆されたが、安全性認証、海域利用許可等が複雑化し、洋上風車と養殖の適地もあまり合致しないことから、新たな給餌用プラットフォームを検討する予定である。さらに、スロッシングによる流れが魚に及ぼす影響を引き続き調査する。