

令和1年度—令和3年度
戦略的基盤技術高度化・連携支援事業
戦略的基盤技術高度化支援事業

「ウニの実入改善を実現する
海藻等未利用バイオマス再資源化と利用技術の確立」

研究開発成果等報告書

令和4年5月

担当局 東北経済産業局
補助事業者 株式会社ひろの屋、国立大学法人北海道大学

目 次

第1章 研究開発の概要

- 1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標
- 1-2 研究体制
(研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者)
- 1-3 成果概要
- 1-4 当該研究開発の連絡窓口

第2章 本論

- 1 海藻残渣の再資源化手法の確立
- 2 生殖巣肥大化を促進するウニ用配合飼料の開発
 - 2-1 海藻残渣を利用した EP 飼料開発と AI による品質管理
 - 2-2 ウニ内臓に含まれる機能性物質の探索
- 3 配合飼料を利用したウニ養殖技術の高度化

最終章 全体総括

第1章 研究開発の概要

1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標

○ 研究開発の概要・背景

ウニは、東北地方の青森県・岩手県・宮城県 の 3 県と北海道で全国の生産量の 82%を占め、北日本地域にとって重要な水産物であり、貴重な観光資源でもある。しかし、ウニの餌となる天然の海藻が極端に減少する「磯焼け」と呼ばれる現象により、ウニの実入りが悪化し、全国的に不漁が続いている（図 1）。磯焼けは、海水温上昇が原因とみられ、抜本的な対策はない。川下製造業者である飼料会社らはウニ用配合飼料の開発を進めており、磯焼け海域の痩せたウニを採捕して海藻の食害を抑えながら、採捕したウニに給餌して商品化する試みがされているが（後述）、未だ研究段階であり、事業化の成功例はない。



図 1. 左：都道府県別ウニ生産量、中：ウニ生産量推移（農林水産業統計）、右：河北新報（H30/7/26）

そこで、株式会社ひろの屋（法認定事業者等）らは、岩手県洋野町において、ウニ養殖の技術開発に取り組み、産卵期（9～10月）直後の商品価値のないウニを短期間（2～3カ月間）で、商品サイズ（15%以上）まで生殖巣を肥大させることに成功した（図 2）。この技術に基づけば、天然では不可能であった 12 月～4 月にも出荷が可能となり、特に需要が高い年末年始に、高品質のウニを出荷することができる。

株式会社ひろの屋を中心に平成 30 年度に実施した岩手県洋野町での実証試験において、上記の技術の有効性が実証された。しかし、ウニ養殖を事業化し、全国の沿岸部に展開する上では、本事業に関連する川下製造業者らの下記の課題を解決する、新たな研究開発の必要性が顕在化した。



図2. 左：みなと新聞（H31/3/18）、右：（株）ひろの屋らが開発したウニ養殖技術の概要

○ 従来技術での課題：



課題	特徴
<ul style="list-style-type: none"> 配合飼料の主な原料である海藻粉末は輸入に依存し、国内の未利用資源が活用されていない。 配合飼料を利用した養殖の効率性が低く、ウニの品質のバラツキが大きい。 	<ul style="list-style-type: none"> 国内で発生した海藻の未利用部位を使用し、AI（機械学習）で品質管理したウニ用配合飼料 効率的な作業で、且つ安定的な品質のウニを生産可能な養殖技術

○ 新技術を実現するために解決すべき研究課題

（十一）バイオに係る技術に関する事項

1 バイオに係る技術において達成すべき高度化目標

（4） 川下分野特有の事項

2) 環境・エネルギー分野に関する事項

① 川下製造業者等の特有の課題及びニーズ

ア. 未利用バイオマスの利用

川下製造業者である飼料製造業者にとって、海藻粉末はウニ用配合飼料で必須の原材料である。国内では、北大西洋で採取される褐藻 *Ascophyllum nodosum* の粉末が入手可能だが、価格は高い（280 円/kg）。また、ウニの味は、ウニが何を食べたかにより左右され、コンブを食べたウニは特に美味しいとされる。しかし、*A. nodosum* はヒバマタ目であり、コンブ・ワカメが属するコンブ目とは異なるグループに分類される。したがってコンブ・ワカメ由来の飼料用海藻粉末に対するニーズは強い。一方、国内で生産されたコンブやワカメ等の食用海藻の未利用部位は廃棄され、コンブの仮根（ガニアシ）や、葉先や元茎等の端材は、日本全国で年間 47,000 t 以上の発生量があると試算される（表 1）。これらの海藻は約 90%が水分で、保管・運搬コストが多めで、そのままウニに給餌しても 2~3 ヶ月で商品化できるほどの栄養を供給できないといった問題があり、新しい活用法が求められている。また、ウニは、商品となる生殖巣を除いた 8 割以上が廃棄され、うち内臓は 171t を占める。しかし、北海道大学・浦らの検討から、ウニ内臓に、生殖巣肥大化を促進させる機能が見出されているが（後述）、再資源化はまったくなされていない。

種別	未利用部位	廃棄量	種別	未利用部位	廃棄量
コンブ	仮根（生産量の約 10%）	11,029 t	ワカメ	端材（生産量の約 20%）	9,790 t
	端材（生産量の約 20%）	22,058 t	雑海藻	駆除・間引（北海道内*）	4,000 t

表 1. 本事業で検討する海藻の未利用部位

(e-Stat より推計、*:マリネット北海道、2005 年)

3) その他の川下分野に関する事項

b. 食品製造業分野に関する事項

① 川下製造業者等の特有の課題及びニーズ

ウ. 生物資源、生産プロセスの改良

ウニは我が国沿岸部の貴重な生物資源であるが、「磯焼け」と呼ばれる海藻の育成不良が全国的に深刻化し、ウニの生産量減少や品質悪化が顕著である。川下製造業である水産加工業者や漁業者は、配合飼料を利用した養殖技術を導入し、実入改善を図りたいという要望がある。株式会社ひろの屋は、特許技術（特願 2015-058382）を基にウニ養殖カゴを開発し、平成 30 年度に実証試験を実施したが（後述）、飼料の給餌や水揚に手間が掛かる、同一のカゴ内で、摂餌するウニと摂餌しないウニが生じ、品質のバラツキが大きい、養殖中

にカゴが破損すること等の課題が明らかとなり、採算性の面で生産プロセスの改良が求められている。また、ウニは何を食べたかによって、食味が大きく異なることが知られている。これまで、多くの研究機関がウニ用飼料の開発を試みてきたが、天然ウニの味は再現できていない。養殖ウニを、天然ウニに近付けるためには、客観的な品質評価指標に基づく生産プロセスの改良が必要である。上述の課題を解決した採算性の高い養殖技術は、海藻バイオマスの新たな利用法の確立に繋がる。

○ 本研究開発体制のこれまでの取り組み

(1) ウニ生殖巣の分子生物学的解析に基づく、有用原料探索系の確立

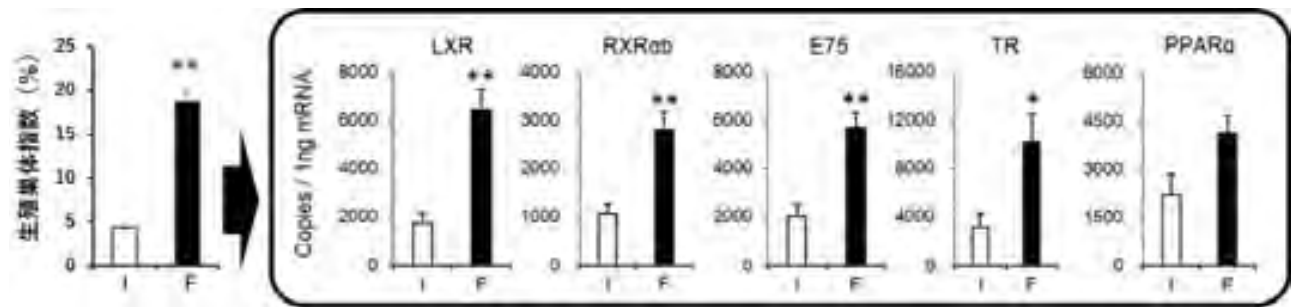
ウニの食用部位は、生殖巣における栄養細胞である。ウニの実入を人為的に改善するためには、生殖巣を効率的に肥大させる必要がある点で、給餌が、単に体重増加を目的とする他の生物種（肉用鶏等の畜産動物や、養殖魚）とは根本的に異なる。北海道大学・浦らは、分子生物学的な視点からウニの生殖巣肥大のメカニズムの解明を進めている。ウニの生殖巣における mRNA の発現を網羅的に解析した結果、脂質をリガンドとする核内受容体や、脂質代謝に関与するシトクロム P450 が発現していることを明らかにした（表 2）。さらに、ウニの給餌による生殖巣の肥大に伴い、生殖巣にて発現が亢進する遺伝子群の特定に成功にした（図 3）。これら遺伝子群の発現は、ウニの生殖巣の肥大に必須であると考えられるため、この発現パターンを指標とすれば、効率的に生殖巣を肥大化できる飼料原料の探索が可能となる。

	発現が確認された遺伝子	機能
核内受容体	RAR α -like（甲状腺ホルモン受容体型）、HNF4 γ -like（レチノイド X 受容体型）等	レチノール、脂肪酸・コレステロール等をリガンドとする。
シトクロム P450	CYP1A1-like, CYP2D3-like, CYP3A8-like, cholesterol-24-hydroxylase-like 等	レチノールや脂肪酸・コレステロール等の脂質代謝に関与。

表 2. キタムラサキウニ生殖巣で発現が確認された遺伝子の一部（浦ら、未発表）

本解析系を用いてさまざまな原料を探索した結果、海藻粉末を主体とし、特定の植物性脂質を添加した配合飼料の試作に成功し、平成 30 年度の岩手県洋野町での実証試験により有効性が確認された。また、ウニの内臓に、ウニの実入を顕著に促進させる効果が確認され「ウニの内臓又はそれらの破砕物を含有するウニ用畜養飼料」として特許出願を行った（特

開 2016-187337、出願人：北海道大学ら）。しかし、同属の動物由来の原料を飼料に用いることは、病原体の持ち込リスクや、牛海綿状脳症(BSE)の原因となったこともあり、安全性に懸念があり、実用化には至っていない。



I: 給餌開始前、F: 給餌後、*: $p < 0.05$; **: $p < 0.01$

図 3. 生殖巣肥大に伴い発現が亢進する核内受容体 Subclass 1 の一部（浦ら、未発表）

(2) ウニ用配合飼料の試作と岩手県洋野町におけるウニ養殖の実証

株式会社ひろの屋は、洋野町に根差した水産加工会社である。これまで、JAPAN ブランド育成支援事業（2015～2017 年度）、復興庁・輸出拡大モデル事業（2016 年度）等の支援を受け、ウニやアワビ等洋野町の水産物の魅力を引き出す商品を開発し、東京・大阪等の消費地や、台湾・香港・米国・タイ等の海外に向けて販売してきた。さらに、洋野町の貴重な地域生物資源であるキタムラサキウニを活用した持続性の高い産業の確立を目指し、漁業協同組合や洋野町の協力の下、平成 30 年 3 月に地域経済牽引計画「蓄養北紫ウニを基軸としたローカルブランディング創出事業」の岩手県知事の承認を得た。

本計画に基づき、平成 30 年 11 月より、(1) の成果に基づいた海藻主体の配合飼料（輸入海藻粉末 40% 配合）の試作と、短期での実入改善を目的とした実証試験を実施した（図 4）。洋野町の複数の海域で約 2 ヶ月間の短期給餌を実施したところ、生殖巣の肥大（8% から商品化ラインである 15% へ）と、良好な食味が確認された。一方で、事業化のためには、上述の課題が顕在化したため、新たに共同体を構築し、本研究開発の提案に至った。

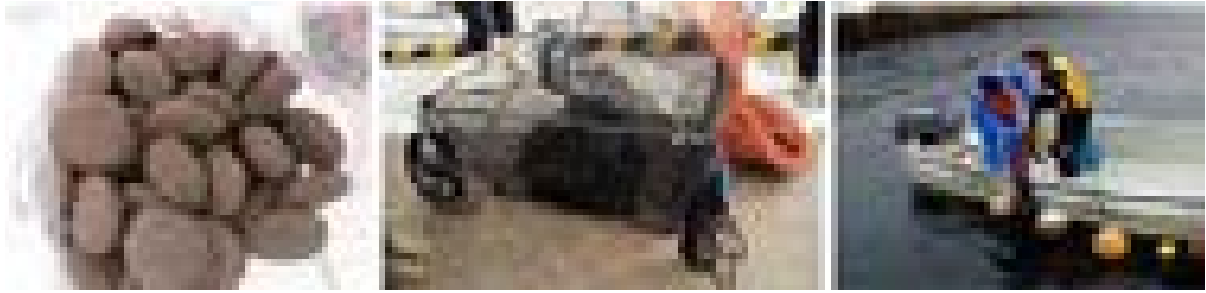


図 4. 洋野町での実証成果：配合飼料試作品（左）、ウニを収容する養殖カゴ（中）、ウニへの給餌（右）

○ 研究開発の高度化目標

（十一）バイオに係る技術に関する事項

（4）川下分野特有の事項

2) 環境・エネルギー分野に関する事項

② 高度化目標

イ. 廃棄されていた生物資源の再資源化に係る技術の確立

東北地方や北海道を中心として廃棄されている海藻の未利用部位の再資源化手法を確立する。また、AI（機械学習）を用い、再資源化された海藻残渣の高度な品質管理・保証プロセスを確立し、短期間でウニの生殖巣を成長させることが可能な飼料原料を開発・実証する。さらに、ウニの内臓等の加工残渣から、ウニの実入を促進させる物質を探索し、その有効利用法を確立する。

3) その他の川下分野に関する事項

b. 食品製造業分野に関する事項

② 高度化目標

ア. 有用な生物資源および利用方法の多様化

品質の高いウニやその一次加工品の安定的な供給を目指し、再資源化された海藻・ウニ残渣を利用して、川下製造業者である水産加工業者・漁業者にライセンス展開可能なウニ養殖技術（ウニを収容する籠や生簀、効率的な給餌手段等）を高度化する。天然ウニは、これまで限られた時期にのみ漁獲されていたが、旬以外の時期にも提供できることで、有用な生物資源であるウニの利用方法が多様化し、ウニ漁が盛んな北日本地域の沿岸部に新たな付加価値を生み出す。

○ 当初の目標及び実施結果

【1. 海藻残渣の再資源化手法の確立】（株式会社北清（R1～R2）、株式会社北三陸ファクトリー（R3）、（公財）函館地域産業振興財団（北海道立工業技術センター））【令和元年度～令和3年度実施】

目標：コンブの未利用部位を用い、乾燥粉末で 20t/年（50t/年の EP 飼料、ウニ水揚量 48t/年に相当）、250 円/kg 以下での再資源化手法を確立する。

実施結果：未利用の海藻バイオマスであるガニアシの再資源化を目指して粉末化条件を検討した結果、約 270 円/kg で再資源化が可能であると試算された。

【2. 生殖巣肥大化を促進するウニ用配合飼料の開発】

【2-1】 海藻残渣を利用した EP 飼料開発と AI による品質管理（株式会社ひろの屋、株式会社愛南リベラシオ、株式会社北清）【令和元年度～令和3年度実施】

目標：ウニの成長・食味の総合的な評価から、輸入海藻（*A. nodosum*）粉末（280 円/kg）を 40%配合した現在の試作飼料（その他の飼料原料を合わせて）の価値を上回る。

EP 飼料としては 400 円/kg とし、ウニ 1 個体当たりの飼料コスト 45.9 円（1.28g/日/個×90日）を目標とする。

実施結果：再資源化されたガニアシは、飼料中の輸入海藻（*A. nodosum*）粉末の一部又は全部を代替可能であり、飼料の原料コストを下げる点で優位であった。ウニ重量当たりの 1 回の給餌量を削減し、養殖における飼料コストを 36 円～45 円/個体に低減できる可能性が試算された。

【2-2】 ウニ内臓に含まれる機能性物質の探索（北海道大学）【令和元年度～令和3年度実施】

目標：ウニ内臓に含まれる機能性物質を同定し、配合飼料への利用方法を確立する。

実施結果：油や植物油に含有される脂肪酸であることが特定され、廃棄物であるウニ内臓のエタノール抽出画分が配合飼料に利用できる可能性が見出された。

【3. 配合飼料を利用したウニ養殖技術の高度化】（株式会社ひろの屋、株式会社北三陸ファクトリー（R3）、（公財）岩手生物工学研究センター）【令和元年度～令和3年度実施】

目標：平成 30 年度の実証結果と比較して、飼料以外の労務費及び資材費を 225 円から

・研究者氏名、協力者

機関名	役割	氏名	期間	機関名	役割	氏名	期間
株式会社ひろの屋	PL	下学坪 之典	R1-3	国立大学法人北海道大学	SL	浦 和寛	R1-3
		下学坪 佳世子	R1-3			細川 雅史	R3
		下学坪 文典	R1-3			由比 智春	R2-3
		山崎 裕司	R1-3			北野 雄大	R1-3
		本波 華織	R1-3			中川 紅美	R1-3
		石倉 柳子	R3			西川 奈歩	R1-3
		庭瀬 美恵	R3			濱 遥香	R1-3
		岡田 将紘	R1-2			出口 真彌	R2-3
		坂下 房子	R2			佐野 真生	R2-3
		長谷川 悦子	R2			渡邊 周一郎	R3
		城内 望歩	R1-2			尼子 星仁	R3
		事業管理	戸狩 明代			R2-3	葛西 鍊
事業管理	清水 知美	R1-2	小川 成美	R1-2			
株式会社北三陸ファクトリー		今村 聖祐	R3			木本 光海	R2
		岡田 将紘	R3			齊藤 真凜	R2
		城内 望歩	R3			吉本 博倫	R2
		坂下 房子	R3			浦 祥輝	R1
		長谷川 悦子	R3			松尾 惟	R1
株式会社北清		今村 聖祐	R1-2			鈴木 菜月	R1
		鈴木 雅	R2			加藤 雄	R1
		鈴木 亜子	R1			新城 大祐	R1
株式会社愛南リベラシオ		井戸 篤史	R1-3		事業管理	上田 敦	R3
		上月 和美	R1-3		事業管理	佐貫 翔悟	R3
		梶原 陽子	R1-3		事業管理	砂田 朔	R1-2
		三宅 開	R2-3		事業管理	横川 由希	R1-2
		桑原 まり子	R1-2	(公財) 函館地域産業振興財団		清水 健志	R1-3
		森田 竜作	R1			高村 巧	R1-3
						齊藤 美帆	R1-3
				(公財) 岩手生物工学研究センター		上杉 祥太	R1-3
						箱崎 真友佳	R1-3
						結城 彩香	R1-3
フィード・ワン株式会社	アドバイザー	鈴木 秀和	R1-3			矢野 明	R1-3
日清丸紅飼料株式会社	アドバイザー	松井 英基	R1-3			福原 和哉	R1-3
ニチモウ株式会社	アドバイザー	石田 朗人	R1-3			山田 秀俊	R1-2

1-3 成果概要

本補助事業では、ガニアシに代表される海藻の未利用部位の再資源化と、短期間でウニの可食部歩留を改善させる配合飼料や養殖手法の確立に成功した。3年間の事業期間において北海道や岩手県・宮城県等で大規模な実証試験により、品質の高いウニの生産が可能であることが見い出され、漁業者も利益が確保できることが検証された。国内には、ウニ養殖に関して類似のプロジェクトがあるものの、本プロジェクトは、それらと比較して、最も実証的な取り組みであると言える。

藻場は「ブルーカーボン」として、海洋生態系において炭素の隔離・貯留する機能を持つ。四方を海に囲まれた我が国が世界の地球温暖化対策に貢献するためにはブルーカーボンの推進が最も有効で、ウニ対策を含めた藻場の保全・回復は国の重要推進施策の一つとなっている。磯焼け海域の痩せウニを用いたウニ養殖は、磯焼けからの藻場の回復も期待され、カー

ボンオフセットにおける新たな価値を生み出す可能性がある。

1-4 当該研究開発の連絡窓口

株式会社ひろの屋・下芋坪 佳世子

TEL: 0194-65-2408

FAX: 0194-65-4432

E-mail: kayoko.shitautsubo@hirono-ya.com

第2章 本論

1 海藻残渣の再資源化手法の確立

【1】 海藻残渣の再資源化手法の確立

我が国最大の養殖コンブの産地である函館市南茅部を中心に、コンブのガニアシや葉先等の端材を対象としてその発生量や回収手段を調査し、再資源化に必要な工程を明らかにし、採算性を検証するため、令和元年度から3年度において、以下の調査・研究を実施した。

【令和元年度】

(1) コンブ未利用残渣の発生量・回収手段の調査



図1 ガニアシ堆肥化フロー

養殖コンブの一大産地である函館市南茅部地区について、コンブ未利用残渣の発生量及び回収手段に関する調査を行った。当該地区では、養殖コンブの仮根（ガニアシ）などの水産残渣や、加工工場から発生するコンブの端材など相当量の発生があるが、効果的な処分方法が無く、地元では2,000トン/年程度発生するガニアシを堆肥化による再資源化に取り組んでいる。しかし、良質な堆肥を作成する事が困難であり、現実にはその多くが焼却処理となっているようである（図1）。

また、地元にはガニアシを粉末化し商品と

表1. コンブ未利用残渣の乾燥粉末加工事例

品名	規格	単価（円/kg）
ガニアシ	貝無し・2mm	1,350
ガニアシ	貝無し・1mm	1,500
ガニアシ	貝有り・2mm	500
葉片	2mm	1,350
葉片	1mm	1,500*

*同等品のアルギンゴールドは、370円/kg程度（web販売）

しての製品製造に取り組んでいる事業者があるが、破碎粉碎に手間がかかるため低コストのものが製造し難く、また港で回収されるガニアシは異物混入が多く、コンブ粉末のように価格の高い食品としての利活用が難しい。更に、現状は研究協力という名目で無償提供となっているが、原材料として購入し、運搬、保管という工程を経ることで一層コストの高い粉末製品となる事が推察される（表1）。コンブ未利用残渣を飼料原料とする場合の検討課題として、以下があげられる。

（ア）性状として強固な繊維状であり、粉末化し、海中での保形成を維持できる飼料を作成するための粒径にする機械・方法等の検討。

（イ）ガニアシは、「廃棄物として処理しなくてはならない」、また「廃棄物として受け入れることで飼料コストを抑える」、という2つの側面から、その処理に係る許可が必要であり、廃掃法の考慮が必要である事。

（ウ）ガニアシが排出されるのは、一年のうち7月～8月にかけてのわずかな期間であるため、年間を通じての事業計画を立てにくく、また、植物で傷みやすいため原料保管の方法や運搬の方法の検討を要する。

上記の課題検討のためには、事業実施する地域の自治体との協議及び連携が必要と思われる。

（2）コンブのボイル端材を用いた配合飼料の保形性向上に関する検討

（ア）増粘剤を添加した飼料の配合設計

混練機及び圧延成形機での製造を想定し、成型に適した飼料配合を設計するため、以下の試験を行った。まず、これまでの研究で開発しているプロトタイプの飼料に、多糖類系（デンプン等）、タンパク質系（大豆タンパク等）、多糖類タンパク質混合系（小麦粉）の増粘剤を添加したモデル飼料を試作した。なお、タンパク質を多く含むタンパク系増粘剤及び小麦粉を使用する場合は、既存配合飼料に使用しているタンパク原料と置換してタンパク質含有量が同等になるように配合量を調整した。混練りには、卓上のミキサーを使用し、ミキサー専用ボウルにすべての原料を投入した後、各原料を分散させるためにミキシングを1分間行い、続けて水を少量ずつ添加しながらミキシング処理を3分間行った（図7）。次いで、伸ばし棒と厚み5mmまたは10mmの型枠を用いて均等な厚さのシート状に成形した後、90℃で2時間加熱し、冷却後に40mm角にカット成形した飼料を作成した（図8、9）。その結果、多糖類系および小麦粉は、添加量を増加しても成形可能であったのに対し、タン

パク系は、添加量の増加に伴い、延伸性が低下し、加熱後に割れが発生する傾向が見られることを確認した（図10）。本試験により、混練り機及び圧延成形機を想定した人工飼料の製造に必要な配合に関する基本データを得ることができた。



図1 小麦系飼料の混合機（混合機）

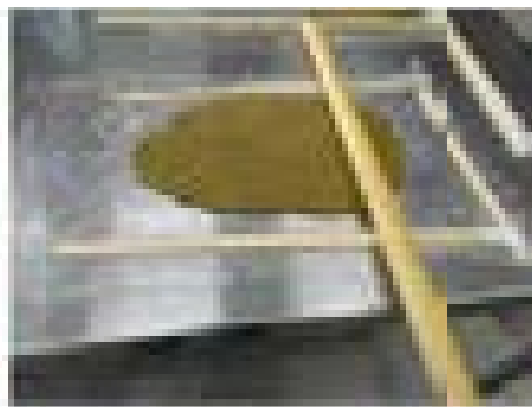


図2 小麦系飼料の製粉（シート成形機）



図4 40mm角に成形された小麦系飼料

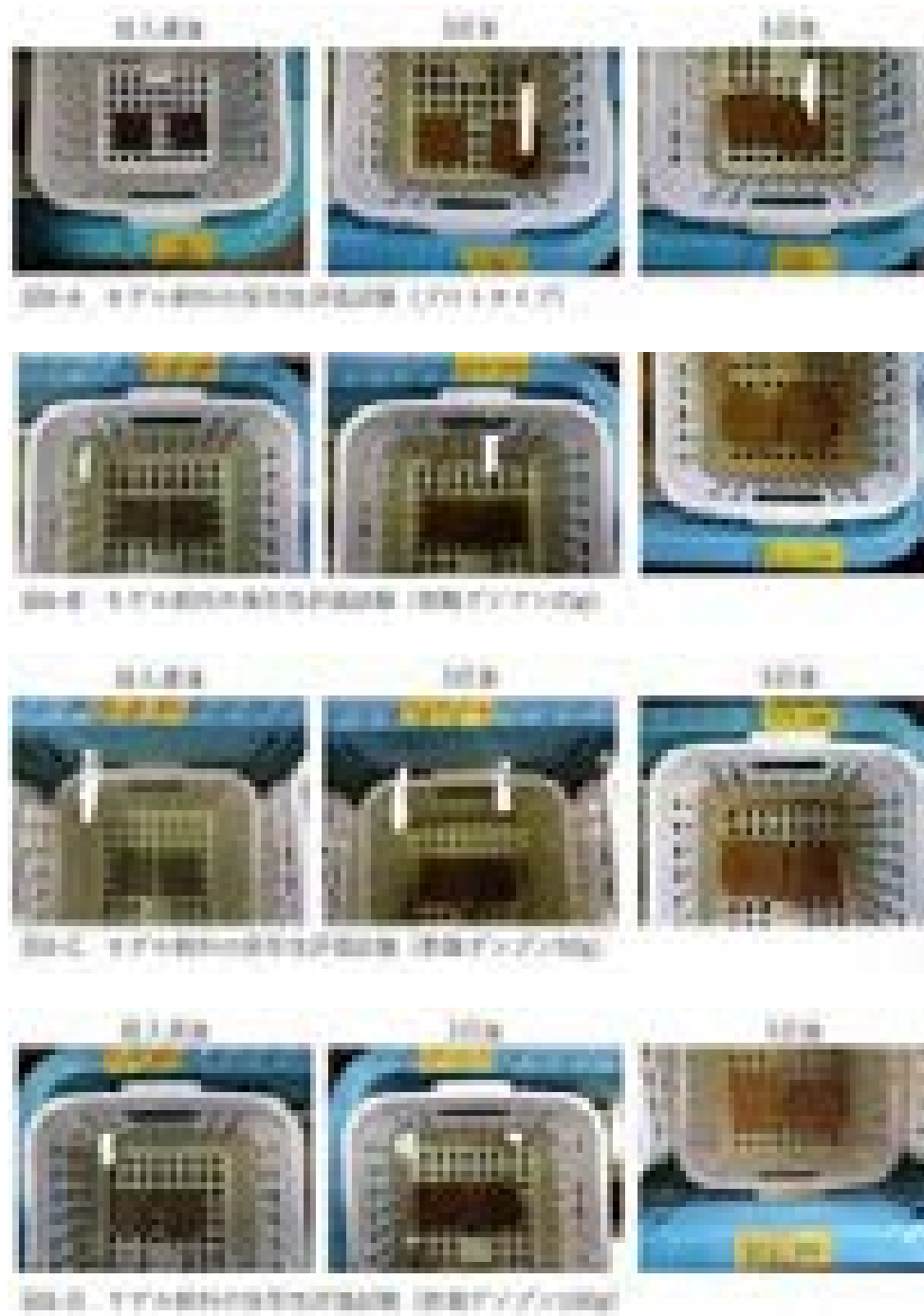


図5 シート成形後の割れの様子

（イ） モデル飼料の保形性評価試験

成形加工時に問題が見られなかった計 15 種類の増粘剤添加モデル飼料の保形性を評価するため、各モデル飼料をカゴに入れて海水中に 3 日間及び 5 日間浸漬した後、それぞれの固形分残存率を算出して保形性を評価した。比較対象には、これまでの研究で開発しているプロトタイプを用いた（図 6-A～P）。その結果、小麦タンパクの添加量が最大の条件を除く全ての配合条件において、プロトタイプよりも保形性が高くなることが確認された。最も高い保形性を示したのは、小麦粉であり、3 日後及び 5 日後の固形分残存率は、プロトタイプの 59.1%及び 57.6%に対し、68.4%及び 65.7%に向上していた。また多糖類系増

粘剤である馬鈴薯デンプン、酢酸デンプン、カードランを用いた場合は、いずれも添加量の増加に伴い固形分残存率が増加する傾向を示した。一方、タンパク系増粘剤である大豆タンパク及び小麦タンパクを用いた場合は、いずれも添加量の少ない配合条件で保形性が最も高くなることが分かった（図 7）。本試験により得られた各増粘剤の保形性への効果及び原料コスト（約 61 円/個体・10 週分）から、馬鈴薯デンプン、大豆タンパク、小麦タンパク、小麦粉を用いた 4 種類の配合条件を選定した。





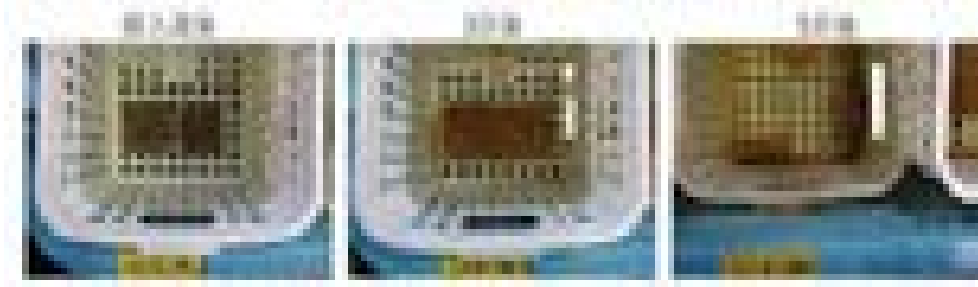
009-2. 0.1g, 0.2g, 0.3g (0.1g, 0.2g, 0.3g)



009-3. 0.1g, 0.2g, 0.3g (0.1g, 0.2g, 0.3g)



009-4. 0.1g, 0.2g, 0.3g (0.1g, 0.2g, 0.3g)



009-5. 0.1g, 0.2g, 0.3g (0.1g, 0.2g, 0.3g)



009-6. 0.1g, 0.2g, 0.3g (0.1g, 0.2g, 0.3g)



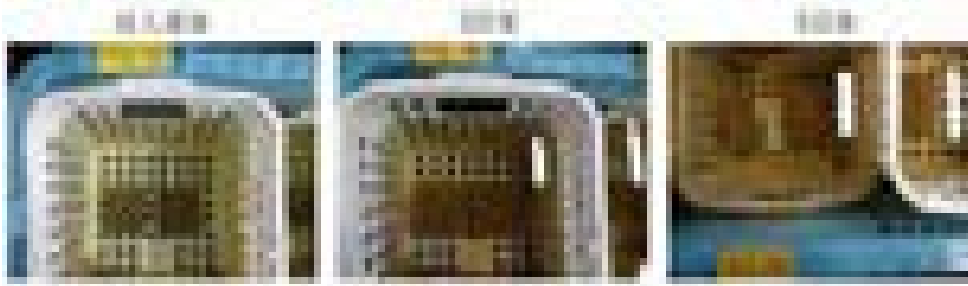
200-1 投入前・投入後・投入後(200g)



200-2 投入前・投入後・投入後(200g)



200-3 投入前・投入後・投入後(200g)



200-4 投入前・投入後・投入後(200g)



200-5 投入前・投入後・投入後(200g)

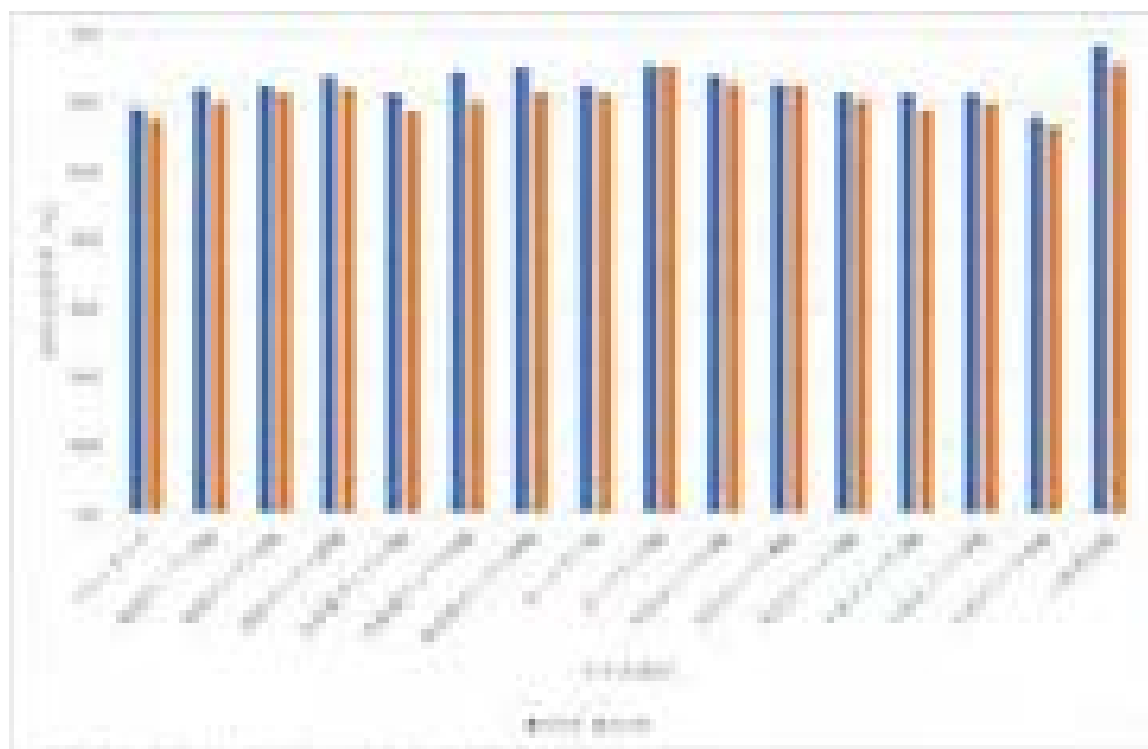


図4. 配合飼料試作によるモデル豚の飼料摂取量

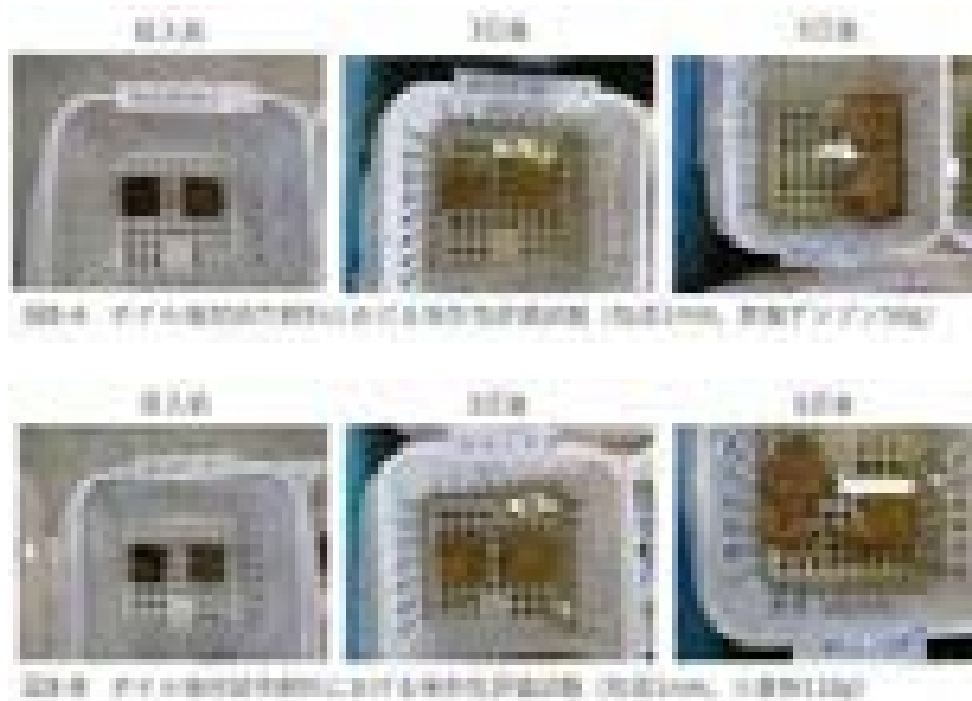
(ウ) ボイル端材を用いた飼料の試作試験

コンブのボイル端材から調整された 1 mmまたは 2 mmの粒径の乾燥粉末を使用し、モデル飼料の評価試験から選定された 4 種類の配合条件（馬鈴薯デンプン、大豆タンパク、小麦タンパク、小麦粉）により、各試験試料を試作した。その結果、粉末粒径の違いに関わらず、

4 種類全ての配合条件において、混練り及びシート成形が可能なことを確認した。

(エ) ボイル端材試作飼料における保形性の検証

粒径が 1 mm または 2 mm のボイル端材乾燥粉末のそれぞれについて、プロトタイプの配合条件で作製した無添加飼料及び 4 種類それぞれの配合条件（馬鈴薯デンプン、大豆タンパク、小麦タンパク、小麦粉）で作製した添加飼料（計 10 種類）を用意し、海水中に 3 日間及び 5 日間浸漬した後の固形分残存率から保形性を評価した（図 8-A~H）。粒径 1 mm を使用した場合は、無添加飼料が、58.7%（3 日後）及び 46.8%（5 日後）であったのに対し、4 種類の配合条件はいずれも高く、72.9~80.2%（3 日後）及び 62.8~70.9%（5 日後）であった。粒径 2 mm を使用した場合も同様の傾向が見られ、無添加飼料が、61.6%（3 日後）及び 56.0%（5 日後）に対し、4 種類の配合条件は、68.5~83.7%（3 日後）及び 60.6~68.2%（5 日後）に向上することが確認できた（図 9、10）。以上の結果、本研究で設計した 4 種類の配合条件で製造することにより、粒径が 1~2 mm のボイル端材粉末を用いた場合でも、飼料を水中で 3 日間保形することが可能と考えられたことから、令和元年度に目標としていた技術を確立することができた。



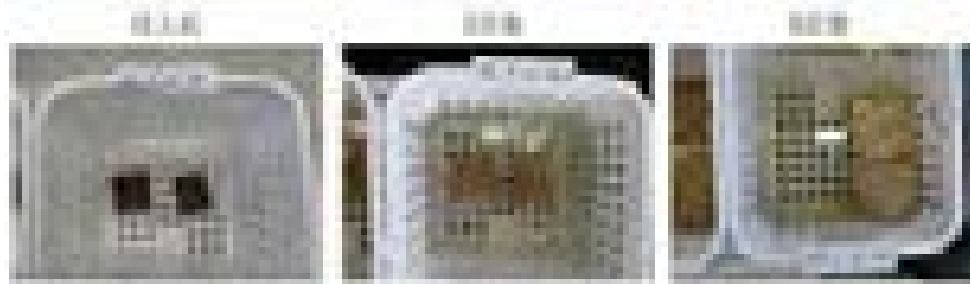


図20 0日、10日、15日の培養の様子 (培養液: 100% 培養液)



図21 0日、10日、15日の培養の様子 (培養液: 100% 培養液)



図22 0日、10日、15日の培養の様子 (培養液: 100% 培養液)



図23 0日、10日、15日の培養の様子 (培養液: 100% 培養液)



図24 0日、10日、15日の培養の様子 (培養液: 100% 培養液)



図10 配合飼料の製造機として導入する機器の選定結果（左：MS-30、中：KR4330、右：KTC）



図11 配合飼料の製造機として導入する機器の選定結果

図12 配合飼料の製造機として導入する機器の選定結果

(3) 混練機と成形機の選定調査及び導入

本事業では、海洋試験等に使用する配合飼料の製造機として食品業界で使用されている混練機及び成形機の利用を計画しているが、開発している配合飼料は、水中での崩壊を抑えるために含水率を低く抑えており、混練り、または成形処理時に大きな負荷がかかることが予想される。そこで機器メーカー4社を訪問し、製造機として導入する混練機及び圧延成形機の選定に関する調査を行った。各社の試験室等で試作試験を実施した結果、(株)愛工舎製作所の特殊形状のフックを有する混練機(MS-30)を用いることで、原料の均一な混練が可能である事を確認した(図11)。また、(株)鎌田製作所の圧延機(KR4330)及びカッター(KTC)は、厚さ及び大きさの調整が可能である事を確認した(図12、13)。以上の調査結果から、混練機(MS-30)、圧延機(KR4330)、カッター(KTC)の3機種を選定し、海洋試験等の配合飼料の製造機として導入した。



図11 導入した試験材料用製造機（圧縮機：材料-20、伊達工業製作所）

- ・導入材料5kgの原料を処理可能。
- ・特殊フックにより、均一な圧縮力物を毎時間に製造可能。
- ・仕上がり時間は約5～10分程度。



図12 導入した試験材料用製造機（圧縮機：材料20、伊達工業製作所）
 形状を異なる形状の圧縮力物（約2kg）を約1分程度で5mm厚まで圧縮可能な構造



図13 導入した試験材料用製造機（ホルダー：ATC、伊達工業製作所）
 厚さ5mmの厚さのホルダーを製造可能。また、厚さを調整することによって異なる形状を製造可能。

(1) コンプの仮根（ガニアシ）を用いた配合飼料の保形性向上における製造要件の把握

(1) -1. 配合飼料の強度評価法の構築に関する検討

これまでに構築した飼料の保形性評価法は、カゴに入れた試験飼料を水槽内に設置し、3日間及び5日間浸漬した後、飼料の固形分残存率を算出して評価する方法であった。昨年度に試作した既存飼料とEP飼料について、本評価法を用いて保形性を比較した結果、5日後のそれぞれの保形性は、ほぼ同等と評価された（図1）。

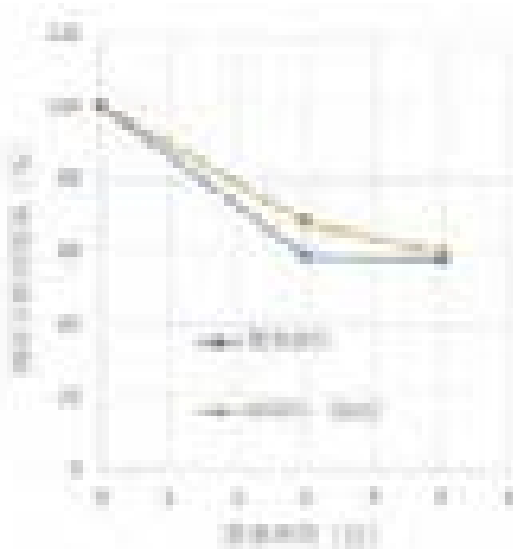


図1 既存飼料とEP飼料の保形性評価結果の比較

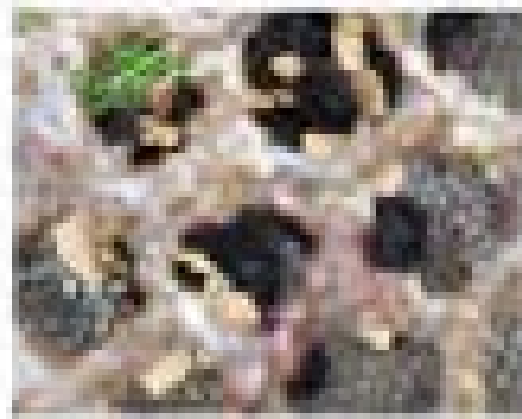


図2 既存飼料とEP飼料の保形性評価結果の比較

一方、海洋での給餌試験の様子では、既存飼料は5日後にほとんど残らなかったのに対し、EP飼料では半量程度が残っている場合が多く確認されており（図2）、評価結果とのズレが課題であることが分かった。この原因として、潮流による物理的負荷に対する強度の違いが影響しているものと考えられた。そこで物理的負荷を考慮した強度評価法を構築するため、以下の試験を行った。試験試料には、海洋での給餌試験の残餌量の様子に差が見られた既存飼料及びEP飼料を用いた。各試料を20mm(W)×20mm(D)×10mm(H)のサイズにカット成形し、80mlの人工海水と共に100ml容プラスチックチューブに入れ、振とう試験機を用いて振とう処理を行った（図3）。



処理後に回収した各試料について、固形分残存率を分析した結果、100rpm、16時間の条件において、既存飼料は 0.1%とほとんど消失するのに対し、EP 飼料は 68.7%と半量以上が残っており、海洋試験での残餌量の傾向に近い結果が得られることが分かった（図 4）。そこで本年度の配合飼料の設計に関する検討は、強度評価法を使用して評価することとした。



(1) -2. ガニアシを用いた配合飼料の設計に関する検討

課題 2 により行われた調査及び飼育試験の結果から、昨年度までに使用していた既存飼料について、①使用していた塩化マグネシウムは、飼料工場の製造規格に適していないこと、②タンパク量を 1/2 以下に低減することで、呈味性を向上できる可能性があること、③海藻粉末の含有量を高くすることで、呈味性を向上できる可能性が高いとの知見が得られた。そこで本年度は、タンパク源である小麦粉及びコーングルテンミールについては、それぞれ 63.7%から 61.5%及び 6.7%から 0%に低減し、海藻粉末量については、22.9%から 31.3%に増量した配合（以下、2020 配合）を基本とし、課題解決に向けた配合設計に関する検討を行った。試験飼料は、モイストペレットを想定し、原料を混練機で混合後、成形機または伸ばし棒でシート状に圧延成型した後、90℃で 2 時間の加熱処理を行い、固化した飼料を作製した。

(ア) 塩化マグネシウムの代替添加物の探索

輸入海藻粉末を用いた 2020 配合を基本に、塩化マグネシウムを除いて成形を試みた結果、混練後の混合物は、結着性が著しく低下しており、シート状の成形が困難であることが分かった（図 5）。そこで、代替添加物について調査した結果、マグネシウム化合物である

硫酸マグネシウムが飼料製造規格に適合することが分かったことから、2020 配合の塩化マグネシウムを硫酸マグネシウムに置換して試作を行った。その結果、結着性を有する混合物が得られ、圧延によるシート成形が可能であり、既存飼料よりも高い強度の飼料を作成することができた。一方、2020 配合の海藻原料をガニアシ粉末に置き換えた場合には、3 種類（粒径 1 mm、粒径 2 mm、粒径 2 mm（貝類含む））のいずれの粒度においても硫酸マグネシウムに置換した混合物に結着性は認められず、シート成形が困難となり、加熱固化後の強度が著しく低下することを確認した（図 6）。以上の結果から、混練機によりガニアシ粉末を使用した配合飼料を製造する場合、硫酸マグネシウムを塩化マグネシウムの代替することは困難であると判断した。



(イ) α 化デンプンを利用した配合設計に関する検討

2020 配合のガニアシ粉末飼料について、結着性の付与及びタンパク量の低減化を図るため、昨年度に実施している増粘剤添加試験の結果を参考に、タンパク質をほとんど含まない植物系増粘剤である α 化デンプンを用いた検討を行った。先の試験（塩酸マグネシウムを硫酸マグネシウムに置換）の配合を基本に、粒径 2 mm（貝類含む）のガニアシ粉末を使用し、小麦粉の 20%、33%、50%、66%、75%を α 化デンプンに置換した配合飼料を試作した。その結果、20%以上の置換率において、結着性が認められ、シート成形が可能となることを確認した。一方、置換率 70%まで増加した場合は、弾力性が増すことにより、圧延によるシート厚の調整が困難となり、成形できなくなることが分かった。また試作した各飼料の強度を評価した結果、置換率 20%では強度の向上は見られなかったが、置換率 33%以上では、置換率の増加に比例して強度が向上することを確認した。さらに、硫酸マグネシウムを除去することにより強度が向上することが明らかとなった。置換率 66%の配合において、3 種類（粒径 1 mm、粒径 2 mm、粒径 2 mm（貝類含む））のガニアシ粉末飼料を作製したところ、それぞれの強度は、61.8%、49.7%、51.8%となり、いずれの粒度においても海洋で 5 日間は保形していると予想された（図 7）。

以上の結果から、ウニの品質向上が期待できる配合（塩化マグネシウム不使用・低タンパク・海藻高配合）において、 α デンプンの添加は、混練機による製造を性及び強度の向上に有効であり、添加する際の製造要件についても明らかとなった。さらに強度評価試験の結果を基に、ウニ 1 匹あたりに必要となるガニアシ配合飼料の原料コストを算出した結果、小麦粉の 66%をデンプンに置換した配合のコストは 32.1 円と試算され、既存飼料（54.6 円）に比べてコストを約 60%まで削減できるものと考えられた。

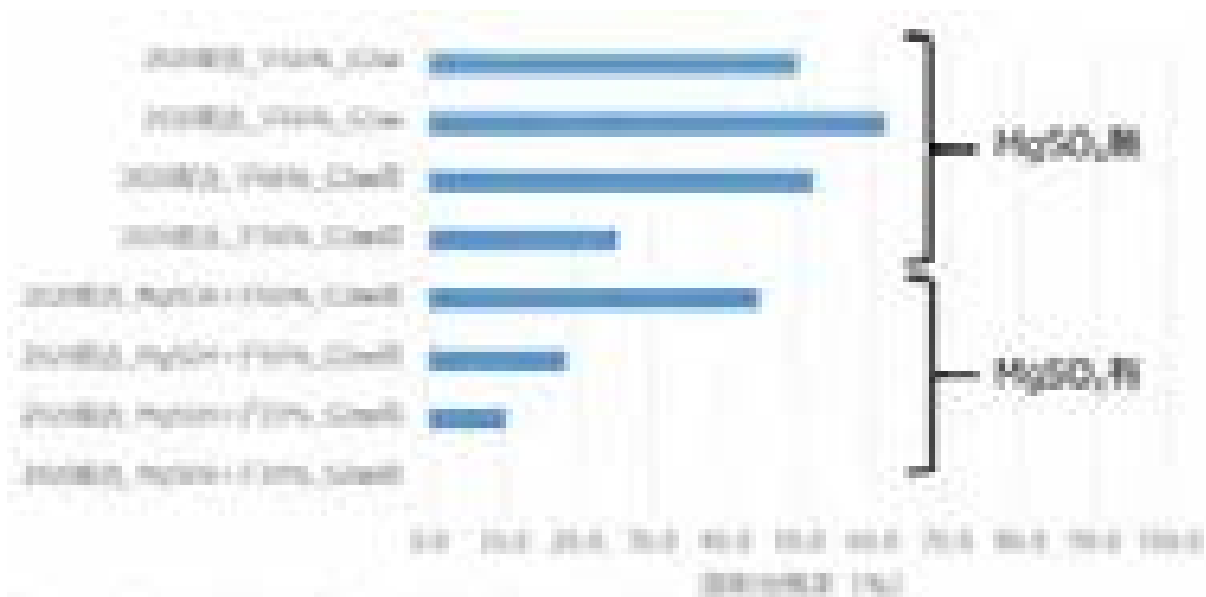


図7. 各種廃棄物から硫酸アンモニウムに還元した場合は硫酸アンモニウムの回収

(2) ガニアシの飼料原料化に関する要件及びコスト試算

(2) -1. ガニアシの飼料原料化に関する要件調査

昨年度まで協力機関として参加していた有限会社ヤマサン山本商店の自己破産により、本年度は、事業継承を検討している株式会社ワイエスフーズ（北海道茅部郡森町）を訪問し、ガニアシ粉末化に関する調査を行った。①ガニアシに付着しているイガイ等の貝類を手作業で大まかに除去した後、②センチオーダーのクリアランスの2軸破碎機でガニアシをほぐし破碎した後、③高圧洗浄機により付着物を除去し、④さらに手作業で貝類を除去した後、⑤ミリオーダーのクリアランスの2軸破碎機で粗破碎、⑥乾燥、⑦さらにハンマーミルによる粉末化の手順で処理されていることを把握した。付着物の除去工程に多大な労力を要しており、最大のコスト要因であることが分かった。また保存性の高い配合飼料は、原料混合、成形（圧延、カット）、加熱固化、乾燥による複数工程を経て製造する必要がある。そのため飼料会社では、1台で混合・加熱固化・成形を同時に行うことができるエクストルーダを量産化装置として利用している。昨年度、課題2-1において、エクストルーダによる飼料（EP飼料）の試作に成功したことから、配合飼料への再資源化を進める上でEP飼料に利用可能な品質にすることが重要と考える。アドバイザーである日清丸紅飼料株式会社への聞き取り調査の結果、エクストルーダに使用する粉末原料は、1mm以下の粒度が要件であることが分かった。また、貝類が多く付着しているガニアシの乾燥粉末は、ウニにとって栄養価の乏しい貝殻成分（ミネラル分）の比率が高くなることから、ウニ生殖層の品質向上の観点

から、貝類（ミネラル分）の少ない品質であることが必要と考える。

(2) -2. ガニアシの飼料原料化に関するコスト試算

ガニアシの再資源化に向け函館市との協議を進める中で得た情報をもとに、飼料原料化に関わるコストを以下の通り試算した。現在函館市において、ガニアシは事業系一般廃棄物として処理することが義務付けられており、他自治体で見られる「海洋上における投棄」は不法投棄と見なされる。函館市におけるガニアシの処理費用は約 20 円/kgであり、更にその運搬費用を加えたものが漁業者の負担（一部、市が補助）となっている。このガニアシを飼料原料として受入れるためには、現状では、有価物として購入しなくてはならず、10 円/kgで購入した場合でも現状の粉体化にかかるコストは、512,850 円/トﾝ（513 円/kg）と試算され、飼料原料としては高価過ぎであり、使用することが難しくなる（表 1）。そこで、ガニアシを現状と同じく廃棄物として受け入れることでコストダウンを図ることを検討した。廃棄物としてのガニアシの受入れ単価をこれまでの 1/2 の 10 円/kgとすることで、漁業者の負担も軽減をする。同時にこれは飼料化するための原料費用の軽減につながる。購入と受入れ費用との差額で計 20 円/kgのコストカットとなり、輸入海藻（240 円/kg）とほぼ同等の 252,850 円/トﾝ（252 円/kg）にできると試算される（表 2）。従って、ガニアシを飼料原料として利活用するためには廃棄物処理業者が適正な処理のもとでの、処理及び製造することが必要、もしくは自治体が、飼料製造業者にガニアシに限定するような、特別な廃棄物処理の許可を与え、製造販売を実施していくことが望ましいと考えられる。

表1 ガニアシの飼料原料化に関するコスト試算

原料購入 - 運搬費用	原料費 円/kg	ガニアシ 円/kg	ガニアシの粉体化 円/kg	ガニアシ 円/kg	合計
① 輸入海藻 (240円/kg)	240,000	0	0	240,000	240,000
② 輸入海藻 (240円/kg)	240,000	0	0	240,000	240,000
③ 原料費 - 運搬費	0	10	0	10	10
④ 原料費	0	10	0	10	10
⑤ 粉体化	0	0	513	0	513
⑥ 原料費	0	10	0	10	10
⑦ 原料費合計	0	10	0	10	10
⑧ 原料費 (合計)	0	10	0	10	10
					252,850

図1 鹿部町及び函館市で採取されたマコブのガニアシの付着物組成に関するコスト試算

採取地	採取日	採取量 (kg)	付着物組成 (kg)	付着物組成 (%)
鹿部町	6/28	1000	382	38.2%
	7/12	1000	408	40.8%
	7/26	1000	538	53.8%
	8/9	1000	638	63.8%
函館市	6/11	230	2.8	1.2%
	8/2	230	69.6	30.1%
合計		1230	1090.6	88.6%

【令和3年度】

(1) ガニアシの品質（付着物量）に関する調査

マコブの収穫期間中に排出されるガニアシの付着物量の変化について、モデル地区に選択した2地区（鹿部町、函館市）のガニアシを試料として調査した。鹿部町のガニアシ試料（全量：約1000kg）は、マコブ漁の開始日（6月28日）及び終了日（8月9日）の他、約2週間毎となる7月12日及び7月26日に収集し、函館市のガニアシ試料（全量：約230kg）は、開始日（6月11日）及び終了日（8月2日）に収集した（図1）。各ガニアシ試料は、使用するまで冷凍庫（-20℃）で保管した。各ガニアシ試料について、ガニアシと付着物の構成比（乾物重量）を調査した結果、主な付着物は貝類であり、鹿部町（6/28：38.2%、7/12：40.8%、7/26：53.8%、8/9：63.8%）は、函館市（6/11：1.2%、8/2：30.1%）に比べて付着量が多いことが分かった（図2）。また試料中の灰分、ナトリウム、カリウム、カルシウム、マグネシウムの各含有量を調査した結果、付着物量と正の相関が見られたのは、灰分及びカルシウムであった。カルシウムの分析は、灰分に比べて非常に煩雑であることから、本研究では、灰分を利用することとし、付着物を含むガニアシの灰分からガニアシだけの灰分（41.7%）を差し引いて付着物量を評価した（図3）。



図3 西ノアシの採取場所（採取地、製粉地）と採取作業の様子

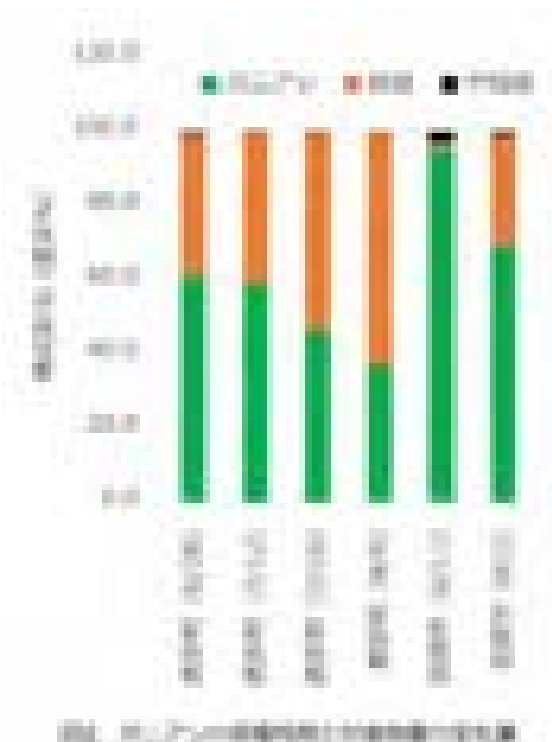


図4 西ノアシの採取場所別粗破砕アシの水分含有率



図5 西ノアシの粗破砕アシの篩通過率

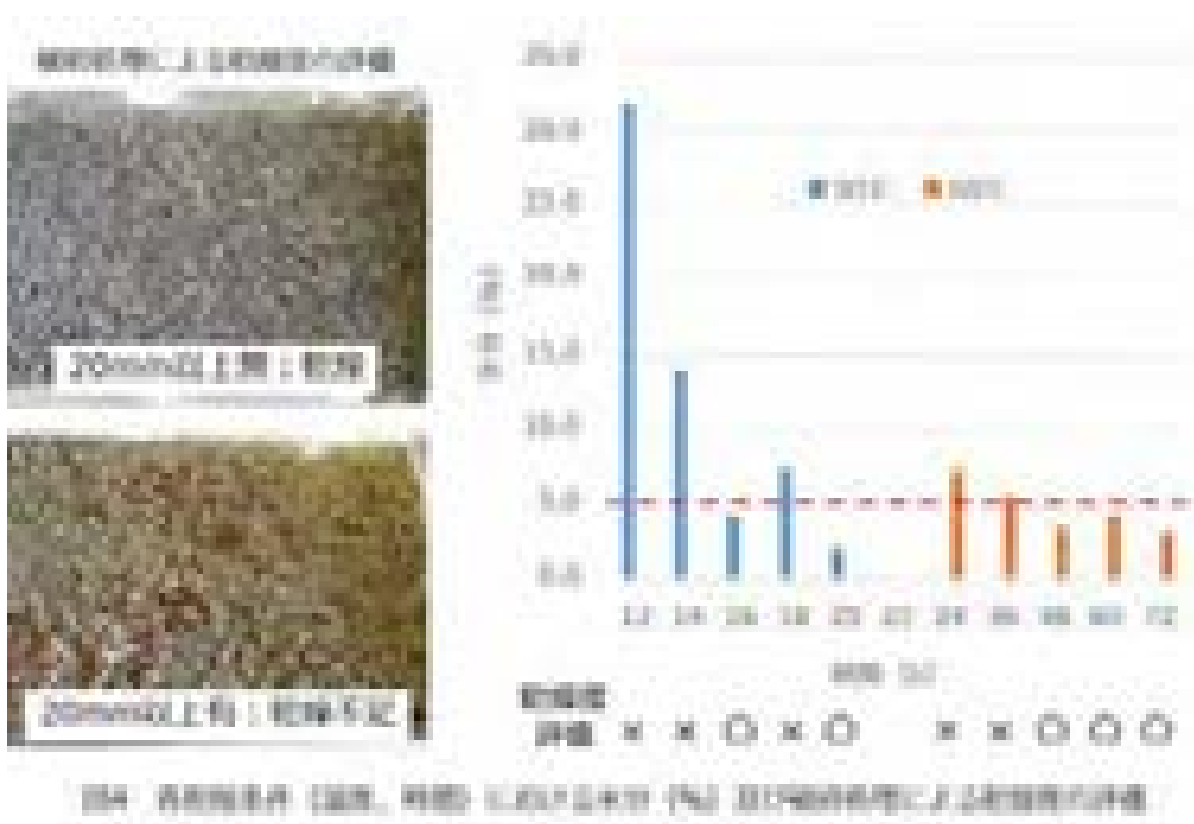
(2) 飼料原料に適した粉末の品質に関する調査

乾燥条件の異なるガニアシを使用し、2次破碎機及び粉碎機を用いて飼料原料に適した粉末を製造するための品質条件（水分量）を調査した。各ガニアシを粗破碎機により処理した後、外観・形状・水分量から評価した結果、2 mm以下の粉末製造に適している原料品質は、水分含量が約 5%以下であることが分かった（図 4）。またテーマ【2-1】の協力により、

EP 飼料用の粉末原料としての利用性を評価した結果、目開き 1 mmのメッシュで調製した粉末が適していることが分かった（表 1）。

表1 粉実化試験の結果

原料	粉実化処理			目開き (目開きmm)	目開き (%)	加工原料への 利用性評価 (目開き1mm未満)
	メッシュ	回収率 (%)	粉実量 (kg/%)			
2次破砕物	2mm	94.5	14		94.7	不可
2次破砕物	1mm	94.4	12		94.4	可



(3) 粉末製造条件の効率化に関する検討

粉末製造条件として付着物除去工程及び乾燥工程の効率化について検討した（図 5）。付着物除去の手法は、ガニアシ粉末を製造していた(有)ヤマサン山本商店（廃業）で実施していた高圧洗浄機による洗浄工程を参考に、高圧洗浄機（ケルヒージャパン株）を用いて効率化に関する試験を行った。その結果、乾燥前のガニアシを 1 次破砕機（株タイヨー製作所）で約 1/6 に分割処理することにより、付着物除去の効率が向上することに加え、乾燥効率も向上することが明らかとなった（表 2）。また乾燥度の高いガニアシは、貝類を除去

しやすい傾向を確認できたことから、乾燥とメッシュ上での振動を組み合わせた付着物除去手法についても検討した結果、乾燥前のガニアシを1次破碎機で処理することにより、乾燥効率が向上し、これに伴い付着物の除去効率も高くなることが確認された（表3）。さらに本手法は、水を必要としない簡易な作業であることから、高圧洗浄に比べて低コストであると考えられる。またテーマ【2-1】による付着物の含有量の異なる配合飼料を用いた飼育試験の結果、ガニアシ粉末においては、付着物量によるウニの実入りへの影響はほとんど見られなかったことから、配合飼料用の粉末製造では、付着物除去工程は不要であることが分かった。本研究により、乾燥効率の高い製造フローは、1次破碎、乾燥、2次破碎、微粉碎であり、調査した製造事例で行われていた高圧洗浄を除くことで低コスト化が図れるものと考えられる。



図15 粉末製造工程の効率化の検討項目及び結果
 *：飼用粉末原料の製造に必要な工程を示す。

表2 風乾処理による村藁物の粉末化試験の結果

処理工程	原料量	量	量	水分	水分
一次乾燥	—	100	100	200	200
可食部抽出（風乾処理）	—	2000(g)	2000(g)	2000(g)	2000(g)
乾燥機で	—	200	200	200	200
合計抽出率 (%)	20%	100%	100%	100%	100%
水分 (%)	80%	10%	10%	10%	10%

表3 乾燥と振動を組み合わせる手法による村藁物の粉末化試験の結果

処理工程	原料量	量 (%)	量 (%)	量 (%)	量 (%)	量 (%)
乾燥機で	—	—	0%	0%	0%	0%
一次乾燥	—	100	100	100	100	100
可食部抽出（乾燥機）	—	2000	2000	2000	2000	2000
乾燥機で	—	200	100	100	0%	—
合計抽出率 (%)	20%	100%	100%	100%	100%	100%
水分 (%)	80%	0%	0%	0%	0%	0%

(4) ガニアシ粉末配合飼料の強度について

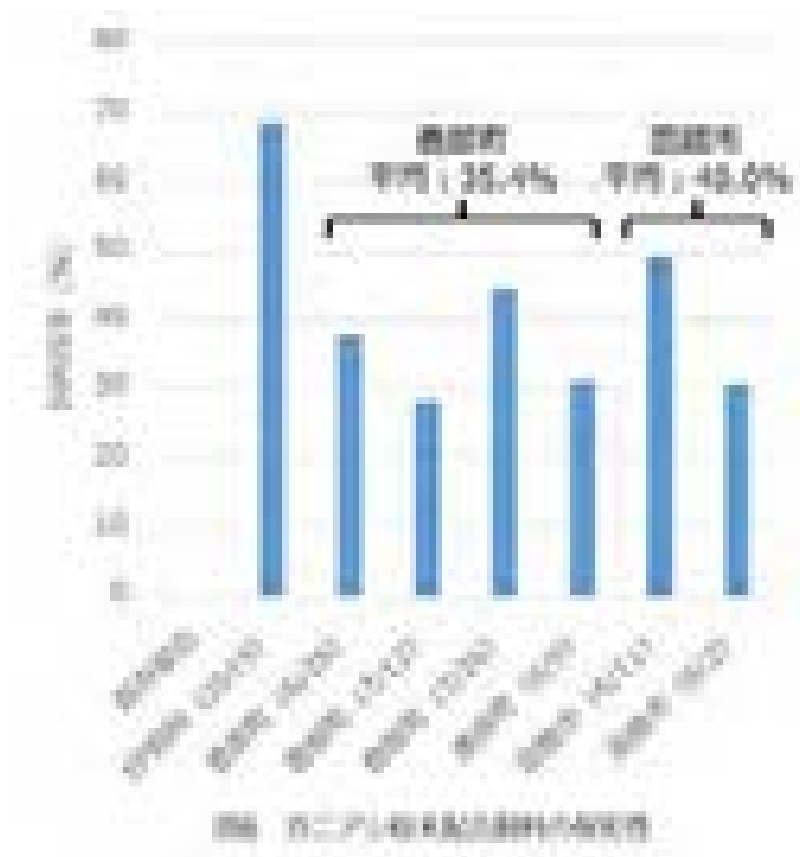
乾燥効率の高い製造フローである A (0・24) の条件により、鹿部町で 4 回 (6/28、7/12、7/26、8/9) に分けて収集したガニアシ及び函館市で 2 回 (6/11、8/2) に分けて収集したガニアシから粉末を試作した結果、全てのガニアシで付着物が少なく、かつ水分が 5%以下の粉末を作成できることが分かった (表 4)。

また混練り機を用い、各粉末を配合した飼料を試作し、昨年度に構築した評価手法により強度を調べた結果、鹿部町ガニアシ粉末 (平均 35.4%) 及び函館市ガニアシ粉末 (平均 40.0%) の強度は、本事業で開発された EP 飼料 (68.7%) と比べて低い結果ではあったものの、本事業で改良する前の既存飼料と比べて高い強度を有していることが分かった (図 6)。配合が同じ場合、混練り機に比べてエクストルーダで製造した飼料の強度は、高くなることから、ガニアシ粉末は EP 飼料用の原料として利用可能と考える。

以上の結果から、コンブの未利用バイオマスであるガニアシから EP 飼料用の粉末原料を低コストに製造する技術を構築することができた。

表4 「表3 (5・24)」 調査で採用した各種飼料原料にアシ由来の品質

飼料原料	調査内 (6/20)	調査内 (2/12)	調査内 (2/20)	調査内 (2/19)	調査内 (2/12)	調査内 (2/12)
一次飼料	100	100	100	100	100	100
二次飼料用(乾燥飼料)	100	100	100	100	100	100
乾燥飼料	100	100	100	100	100	100
一次飼料	100	100	100	100	100	100
二次飼料用(乾燥飼料)	100	100	100	100	100	100
飼料原料(%)	6.1	1.3	6.1	1.1	6.1	6.2
割合	1.7	1.6	1.1	1.3	2.6	1.1



(5) ウニ配合飼料用粉末におけるガニアシの再資源化コストについて

上記の調査結果を基に、ガニアシの再資源化コストを算出した。ガニアシを飼料原料として製造する場合の主な問題点は以下の3点である。

- ① コンブ漁が7～8月の期間に行われるため、その期間にのみガニアシが排出され、道南の1エリアだけでも約1,500トンが集中している。そのためガニアシ原料化が継続的な事業となり難い。
- ② 主に事業系一般廃棄物として処分されているため、民間がガニアシ資源化を実施するには、有価物として購入しなければならないため、資源化コストに大きく反映し、高額な原料

となってしまう。

③ 現状では廃棄物として運搬、処分で約 20,000 円/トンの費用がかかっており、漁業者の大きな負担となっている。従って自治体との連携により、ガニアシ資源化における限定的な廃棄物処分の許可を取得させることで、処分費用の大幅削減と資源化のコストダウンが見込めるが、実際に検討している自治体はない。

北海道内の運送・保管会社や、飼料用の粉碎加工が可能な企業等にヒアリングを行い、外注によりガニアシを有価物として取り扱い原料化した場合のコストは、ガニアシ粉末単価で約 520 円/kgとなると想定された（図7）

特に、乾燥工程を民間企業に委託した場合、道南の企業で運搬コストが比較的安かったと仮定しても、その乾燥コストには約 150,000 円/トンが必要となる。

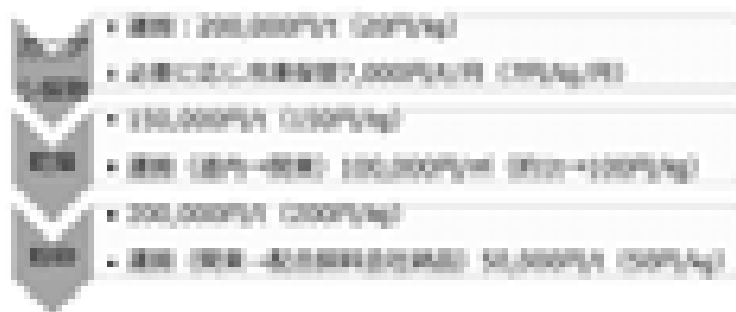


図7 ガニアシ資源化コストの構成（乾燥場の場合）

そこで、自治体の協力の下で、廃棄物処分場等での排熱利用を想定した場合には、設備投資は必要であるが、排熱利用でありランニングコスト 150 円/kg をゼロとし、処理費用としての収入が 100 円/kg を得れば、図 6 の資源化コストを将来的には約 270 円/kg までコスト削減が可能と見積られる。一般廃棄物として自治体責任により処理することで、監視が容易となり、漁業者が負担する処理料は、現在よりも安価に抑えることができるメリットがある。

2 生殖巣肥大化を促進するウニ用配合飼料の開発

2-1 海藻残渣を利用した EP 飼料開発と AI による品質管理

【令和1年度】

(1) ウニ用の EP 飼料の試作と養殖実証試験

当年度は、株式会社ひろの屋は、従来の輸入品の海藻粉末を用い、アドバイザーである日清丸紅飼料株式会社の協力の下、EP 飼料の試作に成功した（図1、2）。



図1. 試作した EP 飼料（左）、ウニへの試験給餌（右）

石巻市桃浦の養殖業者の協力の下、EP 試作飼料及び養殖カゴ（課題 3 参照）を用いて、養殖現場でのウニ給餌試験を行った。キタムラサキウニ（*Strongylocentrotus nudus*）200 個体を収容した養殖カゴを筏に設置し、各カゴ 3kg を毎週給餌し、約 2 ヶ月半の飼育を行った。給餌 1 週間後にカゴを引き上げ、EP 飼料の状態を確認したところ、形状がほぼ保たれていたため、養殖現場であっても保形性は十分であることが分かった。試験に用いたウニの約 20%は 7~8 歳と高齢であったが、開始時は 3.1%であった GSI は、試験終了時は平均 16.1~17.7%で、20%以上となった個体も多く、大幅に改善した（図3）。外洋に養殖カゴを設置した洋野町でも、実証試験において大幅な改善が見られた。

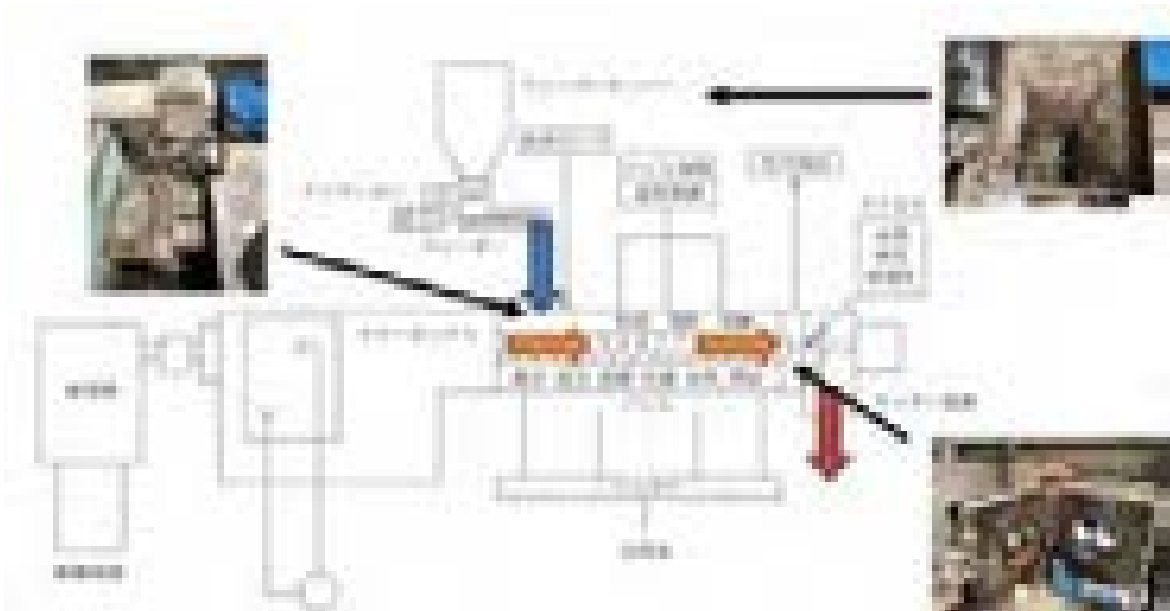


図2. EP 飼料の試作に用いた 2 軸エクストルーダ（株式会社スエヒロ EPM）

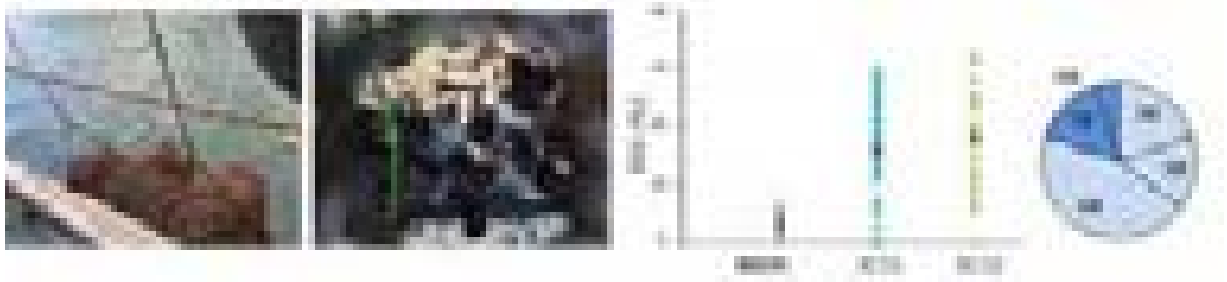


図3. 養殖現場での実証試験風景（左）、給餌試験結果（石巻市桃浦）及び年齢査定（右）

(2) 飼料組成の検討（水槽での給餌試験）

愛媛県愛南町で採取したムラサキウニ (*Helicoidaris crassispina*) (平均重量 $75.8 \pm 11.6g$) を用いて飼育試験を行った。各群 2 水槽、1 水槽当たり 16 個体を収容し、58 日間、試験飼料を週 6 回の飽食で与えた (図4)。試験終了後、全個体の殻径、体重、及び生殖巣重量を測定した。試験飼料は、日清丸紅社の協力で試作した EP の他、ほぼ同等の組成で作製した飼料 (Control)、脂質量を 2 倍にした飼料 (Fat+)、及び脂質量を 3 倍にした飼料 (Fat++) の 4 種類を用いた。各飼料の一般成分分析結果を示す (表 1)。

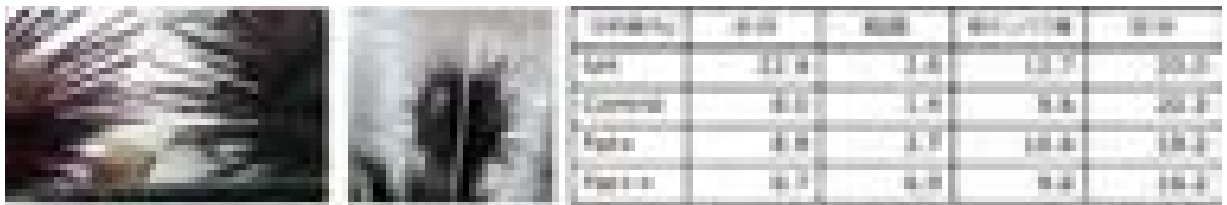


図4 水槽飼育風景

表 1. 試験飼料の一般成分分析結果 (%湿重量)

飼育終了時の生殖巣の写真、及び GSI の測定結果 (図5) を示す。開始時の 3.7% から、いずれの試験区も 10% 前後まで成長したが、飼料条件による違いは見られなかった。飼料の成分分析値を基に、水槽毎に個体の増 GSI と、給餌した飼料に含まれる総脂質及び総粗タンパク質との相関の有無を検討した。増 GSI と総脂質の間には、相関は見られなかったが、増 GSI と総粗タンパク質の間には強い相関 ($R^2=0.5$) が見られた (図6左)。官能評価では、総合的には NM2 が最も優れ、F++2 が最も劣る結果となったが、NM1 と NM2、F++1 と F++2 との間で同様の傾向は見られなかった。また、いずれの水槽も異臭・苦味の数値は 4 未満であり、異臭・苦味を感じた者は少なかった (図6右)。

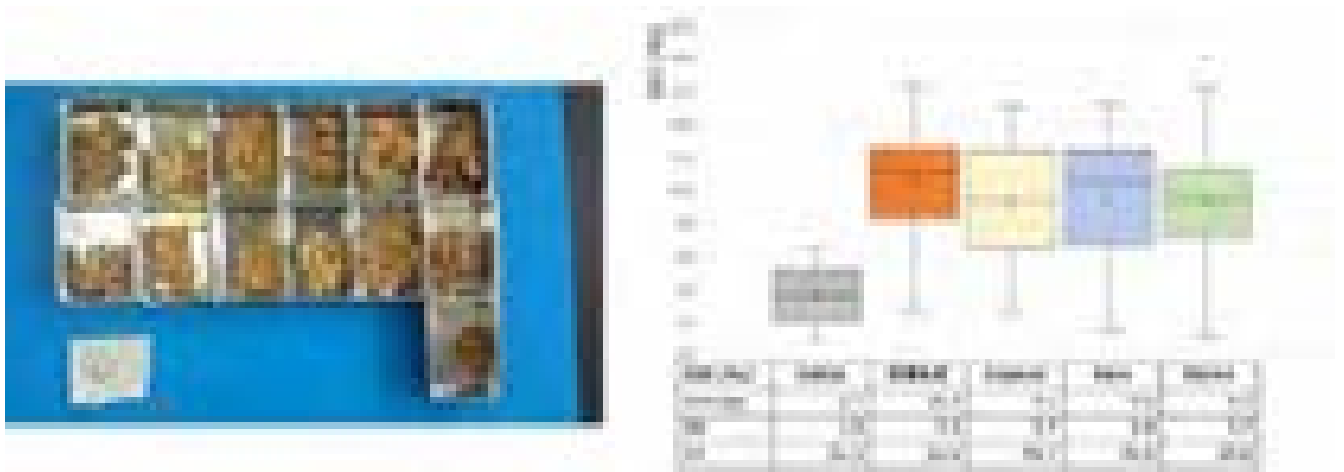


図5. サンプルした生殖巣（左）、飼育条件毎の生殖巣体指数の推移（右）



図6. 右：給餌飼料中の成分と増GSIとの相関解析、左：官能試験結果

開始時に 3.7%だった GSI は、いずれの飼料でも 10%前後まで成長した。一方で、水槽でも GSI にバラツキが生じたため、バラツキを抑える飼料条件の検討が今後の課題となる。各試験区の変動係数を比較すると、試験飼料が 39.8~40.7%のところ、EP 飼料 (NM) は 32.0%と最も小さかった。EP 飼料は、試験飼料と比較して保形性が高いため、個体が満遍なく摂餌できていることがバラツキの低減に寄与しているものと考えられる。

飼料成分について検討すると、ウニ生殖巣の肥大化は、給餌した飼料に含まれる脂質量には相関がほぼ見られず、タンパク質量と強い相関を示した。北海道大学の検討から、脂溶性の物質が生殖巣肥大化効果を持つと考えられるが、当該効果は脂質の摂取量依存的には働いていないことが示唆される。脂質とは対照的に、粗タンパク質の摂取量と増 GSI は、強い相関を示した。一方、摂取タンパク質が多い場合には、ウニの生殖巣が苦味を呈することは過去の文献からも明らかであるが、本試験ではいずれの飼料条件でも苦味・異臭を感じたも

のは少なかった。したがって、粗タンパク質が 7.3g/個体以下であれば、商品価値は損なわれないものと考えられる。

養殖現場では、水槽とは異なり、ウニの摂餌を見ながら給餌量を調整することは困難であるため、可能な限り飼料中のタンパク質を削減する必要がある。本試験では、各水槽の粗タンパク質の摂取量は 4.1~7.3g/個体であったが、より広い範囲でタンパク質と増 GSI、及び食味との関係を明らかにすることで、飼料組成の最適化を目指す必要がある。

(3) 飼料及び飼料原料の分析と AI による品質管理

ガニアシ粉末を基に、貝殻等の付着生物の混入割合を判定する AI（機械学習）モデルの構築を行った。北海道函館市で採取されたガニアシのうち、付着生物を除去せずに粉末化したもの（A）、及び付着生物を手作業で可能な限り除去し粉末化したもの（B）を図 14 左の割合で混合したサンプル 1~7 を作成し、各サンプルの乾物当たりのタンパク質、脂質、及び灰分の測定を行った。

その結果、タンパク質及び脂質にはほぼ変動がないが、付着生物の割合に応じて灰分が大きく変動することが分かった。そこで、(A) 100%は、その灰分値と (B) 100%の灰分値の差である 39.1%が付着生物の貝殻由来の灰分となるため、これを「貝率」と定義した。

(A) の貝率は 39.1%、(B) の貝率は 0%とし、1~7 の貝率を求めた（図 7）。



図 7. 混合したガニアシ粉末の脂質、タンパク質、灰分測定結果、及び貝率（右）

さらに、その貝率を基に、近赤外スペクトル（波長 800~2,500 nm、波数 12,500~4000 cm⁻¹）を用いた検量モデルを作成した。最適化方法は、マーカーサイズ: 16、ベクトル正規化 (SNV)、一次微分、一次微分+ベクトル正規化 (SNV)、及びスムージングポイント: 17 とした。その結果、決定係数 (R²) =97.75、二重平均平方根誤差

(RMSECV) =2.04 で検量モデルを構築することができた (図8)。



図8. 検量モデル作成に使用した近赤外スペクトル、及び作成した検量モデル

また、EP 飼料、及び飼育試験に用いた飼料を併せて、各分析値の検量モデルを作成した。サンプル数は不足しているものの、決定係数 92 以上、二重平均平方根誤差 0.34 以下と、高い相関・精度のモデルが得られた (図9)。



図9. EP 飼料及び試作飼料の検量モデル

また、今後の飼料や飼料原料の品質管理基準を設けるため、脂肪酸組成の分析及びアミノ酸組成の分析を行った (図10)。特に、飼料中の脂肪酸は、ウニ生殖巣の肥大効果を有する可能性があり、安定した飼料製造のためには脂肪酸組成の管理が重要である。函館ラボで使用されている魚油と、市販の魚油であるハイカロール C、及び水産飼料用の魚油の組成を比較した。函館ラボでは、ハイカロール C と脂肪酸組成が一致しており、同等品を使用しているものと思われるが、一般的に水産飼料用で出回っている魚油は、不飽和脂肪酸としては、オレイン酸 (18:1n-9)、リノール酸 (18:2n-6) や、DHA (22:6n-3) の含有量が、逆に EPA (20:5n-3) の含有量が低いという特徴があることが分かった。

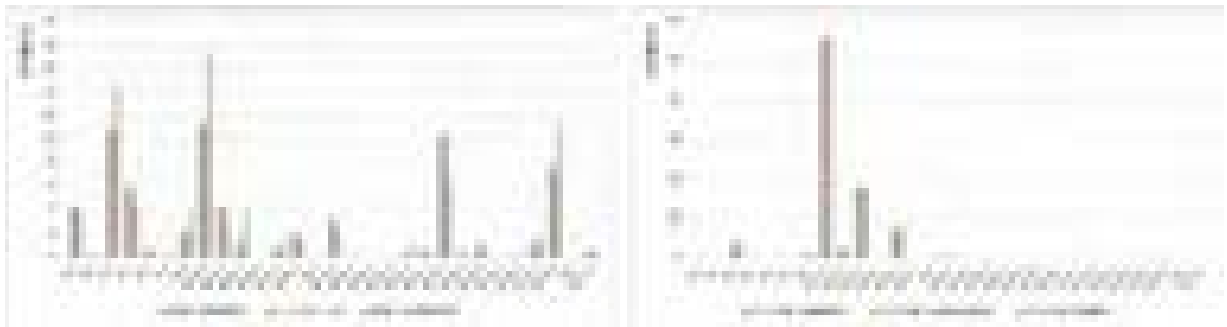


図 10. 魚油及びサラダ油（キャノーラ油）の脂肪酸組成解析結果

飼料のアミノ酸バランスを分析すると、旨味に関するグルタミン酸やアスパラギン酸の含有量が多いことが分かった（図 11）。今後の食味試験の結果次第で、旨味を強化する必要があった場合、結晶グルタミン酸の添加等の検討もすべきと考えられる。



図 11. 飼料のアミノ酸バランス

期間中に測定した飼料合計 79 サンプルの測定値（乾物当たり脂質、タンパク質、及び灰分）の統計的な解析を行い、品質管理基準の検証を行った。平均値 $\pm 2\sigma$ の範囲は、脂質で 1.97、タンパク質では 4.04、灰分は 3.42 であり、この範囲に収まるような配合設計が求められることが分かった（図 12）。



図 12. 飼料の脂質、タンパク質、及び灰分測定結果

また、飼料に含まれる脂質を、石油エーテルで抽出し、酸化（Acid Value: AV）、及び過酸化価（Peroxidative Value: POV）を測定した（表 3）。脂質は、ウニの生殖巣肥大に直接影響を与えると考えられるため、飼育試験結果と併せ、品質管理基準の開発を目指す。

表2. AV 及び POV 測定結果

	AV (mg KOH / g)	POV (meq of O ₂ /kg)
平均値	3.5	8.6
標準偏差	1.4	3.3
平均値+2σ	6.2	15.2
平均値-2σ	0.7	2.0
変動係数(%)	39.3	38.2

(4) 全国へのライセンス可能性を探るニーズ調査

本事業で得られた飼料や養殖手法に関する知見は、全国の沿岸地域へのライセンス展開を目指す。本年は、沖縄や愛媛・福井等の西日本でのニーズ調査を行った。

沖縄県では、シラヒゲウニが重要な沿岸漁業資源とされている。しかし、近年の地球規模での環境変動により、シラヒゲウニの種苗を放流しても、シラヒゲウニの漁獲量は増加せず激減している。そのため、沖縄県の水産試験場がシラヒゲウニの養殖技術開発に取り組んでいるが事業化には至っていない。その理由として、養殖に必要な餌の確保が困難であることが最大の理由である。シラヒゲウニの餌となる海藻も十分に確保できない状況にある。最近では、陸草であるクワの葉を餌に用いるとシラヒゲウニが食べることから試験的にクワの葉を餌として与えているが、輸送コスト、保存コストの面から事業化が困難だという意見もでている。そこで、本事業で開発したウニ用配合飼料を用いたシラヒゲウニの養殖が可能か、現地調査と意見交換を沖縄県の名護市の漁協で行った。意見交換の場で、沖縄県において、西海岸は海藻群落が消失しており、一方東海岸では海藻は繁茂しているが、シラヒゲウニの種苗を放流しても漁獲量が一向に増加しない。試験的に、数個体のシラヒゲウニに対し、クワの葉、ウニ用配合飼料を与えたところ、配合飼料に対する摂餌行動が観察された。一方で、シラヒゲウニの激減により、試験用のシラヒゲウニを採捕することも難しいとの話もあり、次年度以降、現地の各機関と連携を取りながら、試験が実施できるかどうか検討を進める。

その他の地域では、神奈川県のカベツウニがマスメディアの注目を集めていることを背景に、消費者に馴染みのある野菜を与えるウニ養殖に取り組む事例が多い。愛媛県愛南町ではブロッコリー、福井県美浜町ではレタス等、地場で生産される野菜の廃棄物を与える取り組みが試験的に行われている。関係者へのヒアリングでは、野菜屑だけでは生殖巣の肥大化は十分ではないことから、例えば配合飼料で生殖巣を肥大化させた後に、野菜を与える等、本事業で確立された技術も、各地域で特色を持たせた養殖ウニの生産に貢献できることが分

かった。また、魚類養殖が盛んな愛媛県では、養殖カゴに対する興味・関心が高いことも分かった。次年度以降も、引き続き各機関と連携を取りながら、ライセンス展開の可能性を探っていく。

【令和2年度】

(1) ウニ用の EP 飼料の試作と養殖実証試験

昨年度の実証試験では、給餌したウニの生殖巣に苦味が生じることが課題であった。飼料中のタンパク質含有量が高い場合には、成長は良いものの、食味には悪影響を及ぼすことが知られているため、今年度試作する EP 飼料のタンパク質含有量をどこまで減らすことができるか、水槽試験により検証した。昨年度の試作飼料の粗タンパク質（CP）12.7%に対し、デンプンを使用して小麦粉と海藻粉末の使用量を調整した Low 区（CP:3.5%）、Mid 区（CP:6.3%）、High 区（CP:8.2%）、及びゼラチンを配合した G-High 区（CP:13.7%）を設定し、愛媛県で採捕されたムラサキウニに対して、飽食且つ残餌がないように給餌量を調整しながら飼育し、11 週経過後にサンプリングを行った。昨年度の飼料と比べて、タンパク質を減らした飼料でも成長は遜色がなく、良好な食味・色が確認された（図1）。一方、比較対照とした塩蔵コンブ給餌区は、塩辛いだけで味の深みを感じられなかった。その後、ムラサキウニでの最大歩留を検証するため、15 週まで給餌を行ったが、11 週と比較して歩留向上は限定的であり、成熟している個体も多く見られた。摂取タンパク質と摂餌量と、増殖率指数との相関を見ると、11 週までは摂取タンパク質よりも摂餌量との相関が高いものの、その後の 15 週経過時には相関が見られなくなった（図2）。ウニの成熟が進んだことで生殖巣重量の増加が見られなくなったこと、ムラサキウニは生殖巣指数 15%当たりが限界であることが、理由として考えられた。

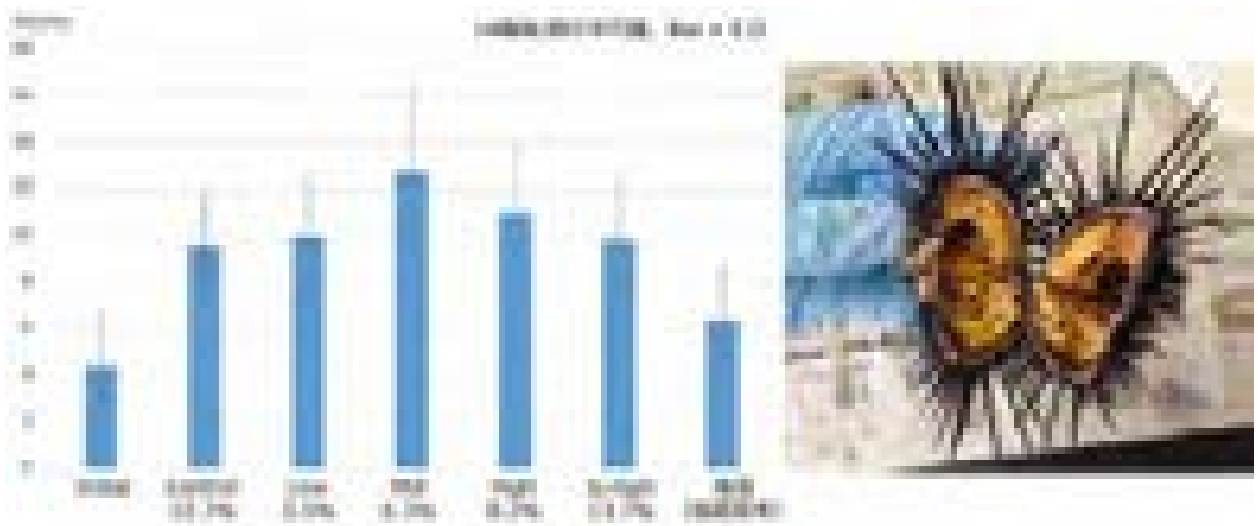


図1. 飼料組成を検討した水槽試験結果（左）、Mid 区のウニ生殖巣の写真（右）



図2. 摂取タンパク質・給餌量と増殖指数の相関

上記の飼育試験結果を鑑み、日清丸紅飼料株式会社（アドバイザー）の協力の下、EP 飼料を試作した（図3）。当年度は、飼料工場で製造可能な規格に合わせ、塩化マグネシウムを不使用・食塩を 20%とし、色揚げのためパプリカ粉末を増量し、少ない給餌量で餌当たりを良くするために、飼料サイズは小さくした（20-25mm × 30-40mm × 6-7mm. 約 4g/個）。

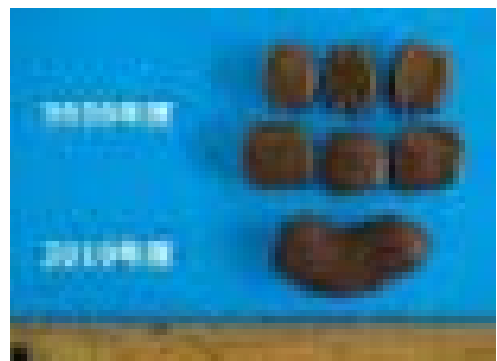


図3. 試作した EP 飼料

本年度は、昨年度の試験機（50kg/h）から、実機（2t/h）に変えて EP 飼料の試作を行った。ウニ用飼料では、回転数を抑えてゆっくり押し出すことが必要であり、加温を抑えて、膨化させないこと（沈降性アップ）、内部までしっ

かり熱を通す（保形性アップ）が必要である。実機は温度が高く、且つ回転数の抑制にも限界があるため、沈降性・保形性を確保する条件を見出すのに苦労したが、造粒時の水分を増やすことで、原料の加熱を抑えることができ、EP 飼料の沈降性（3 日までは浮きなし）・保形性（5 日は水中で形状維持）を確保することに成功した。

本年度の試作した EP 飼料の最適摂餌量の検証を行った。愛媛県で採捕されたムラサキウニをサイズ別に三段階に分け、週 1 回、又は週 2 回給餌した。週 1 回給餌群は、飼料が崩壊しており、残餌の重量測定が困難であった。そこで、週 2 回給餌群において残餌を可能な限り回収し、乾燥重量ベースで、ウニが実際に摂餌した量を算出した。5 週間の給餌後にサンプリングを行ったところ、生殖巣が 5%以上に成長した（図 11 左）。週 2 回の給餌条件よりも週 1 回の条件の成長が良好であったが、これは週 2 回の給餌群では、給餌の度にウニが抱えていた飼料を半ば無理やり引き剥がしたため、ウニに余計なストレスを与えてしまったことが原因と考えられる。

週 2 回の摂餌量と生殖巣の増加重量から増肉係数（Feed conversion ratio: FCR）が 10.9 と算出されたため、これを基に週 1 回の最適摂餌量を算出した（図 11 右）。成長がよい大・中の水槽から、ウニ体重当たり 14.4~16.3%の給餌が適正量であると考えられた。



図4. 本年度試作 EP 飼料を用いた最適摂餌量の検証

(2) 飼料及び飼料原料の分析と AI による品質管理

ガニアシ粉末等の飼料原料や、各種原料を基に配合設計した飼料の一般成分の分析と、近赤外スペクトル（NIR）の測定を行い、NIR を基に、一般成分や貝殻等の付着生物の混入割合を判定する AI（機械学習）モデルの構築を行った。

まず、NIR に基づく AI（機械学習）モデルの判定結果の妥当性の検証を行った。2 種類の飼料原料を用いて、ロット毎に実際の分析値（粗脂質・粗タンパク質・灰分）と AI モデル

の判定値との比較を行った。その結果、平均値及び標準偏差はほぼ同等であり、AI モデルの判定値が、実際の分析値とほぼ同等であることが確認された（表1、2）。

表1. AI（機械学習）モデルの妥当性検証（1）

	判定値			分析値		
	n	平均値	標準偏差	n	平均値	標準偏差
粗脂質	112	9.62	0.89	21	9.32	0.76
粗タンパク質	112	63.89	1.06	75	63.07	0.85
灰分	112	19.93	1.15	25	19.50	1.19

表2. AI（機械学習）モデルの妥当性検証（2）

	判定値			分析値		
	n	平均値	標準偏差	n	平均値	標準偏差
粗脂質	84	9.09	0.66	16	9.09	0.79
粗タンパク質	84	65.21	0.77	56	65.12	0.78
灰分	84	18.56	1.07	15	17.19	1.13

また、昨年度及び本年度の期間中に測定した飼料合計 189 サンプルの測定値（乾物当たり脂質、タンパク質、及び灰分）の統計的な解析を行い、品質管理基準の検証を行った。平均値±2σ の範囲は、脂質で 2.9、タンパク質では 4.7、灰分は 5.2 であり、この範囲に収まるような配合設計が求められることが分かった（図5）。



図5. 飼料の脂質、タンパク質、及び灰分測定結果

また、本年度試作飼料に含まれる脂質について、製造日から約 3 カ月後の酸価（Acid value; AV）及び過酸化値（Peroxidative value; POV）を測定した。比較対照には同時

期に製造された市販の魚類用飼料を用いた。その結果、試作飼料の POV が顕著に高かった（表3）。魚類用 EP には魚粉を多く含んでおり、魚粉にはエトキシキン、ブチル化ヒドロキシトルエン等の抗酸化剤を添加しているため、結果的にペレットへの抗酸化物質が持ち込まれることが原因と考えられる。次年度に試作する飼料では、品質管理上、抗酸化剤の添加が必須であると考えられる。

表3. 飼料の酸価（AV）及び過酸化物価（POV）

	AV (mg KOH / g)	POV (meq of O ₂ /kg)
本年度試作飼料	11.2	68.2
魚類用飼料	9.36	3.6

また、昨年度に構築した近赤外スペクトルを用いた貝殻等の付着生物の混入割合（以下、「貝率」とする。）の判定モデルに対して、本年度入手したガニアシ粉末を用いて妥当性を検証した。今年度入手したガニアシ粉末は、昨年度の入手したサンプルのうち、最も貝率が高いもの（39%）よりも、貝率が高く、昨年度の判定モデルの測定限界を越えていたが、本年度のサンプルを含めて検量線を作成することで、貝率の測定範囲を拡大させることに成功した。また、ガニアシ粉末を、目開き 1.0 mm の篩に掛けることで、貝率をさらに高めることができた。本年度の業務完了時においては、当判定モデルにおいては、貝率 68.6%までが判定可能な範囲となっている（図6）。



図6. 貝率の判定結果

【令和3年度】

(1) ガニアシ粉末の分析と評価

課題【1】にて処理方法が検討されたガニアシ粉末及び、定点観測のガニアシについて付着生物の混入率（=貝率）を分析により算出した。貝率は、海藻に対する貝由来灰分の割合と定義し、付着生物が目視で確認できなかった6月採取の函館市戸井で採取されたサンプルを貝率ゼロとした（図1）。



図1. 処理毎の貝率の変化（左）、定点観測による貝率の変化（右）

この分析結果を基に、ガニアシ貝率を算出する近赤外（NIR）スペクトルのAI（機械学習モデル）を構築した。本モデルによって、相関係数（ R^2 ）は95.31、二乗平均平方根誤差（RMSECV）が2.54と、極めて高い精度で、ガニアシ由来の付着生物の由来を判定可能であることが示された（図2）。

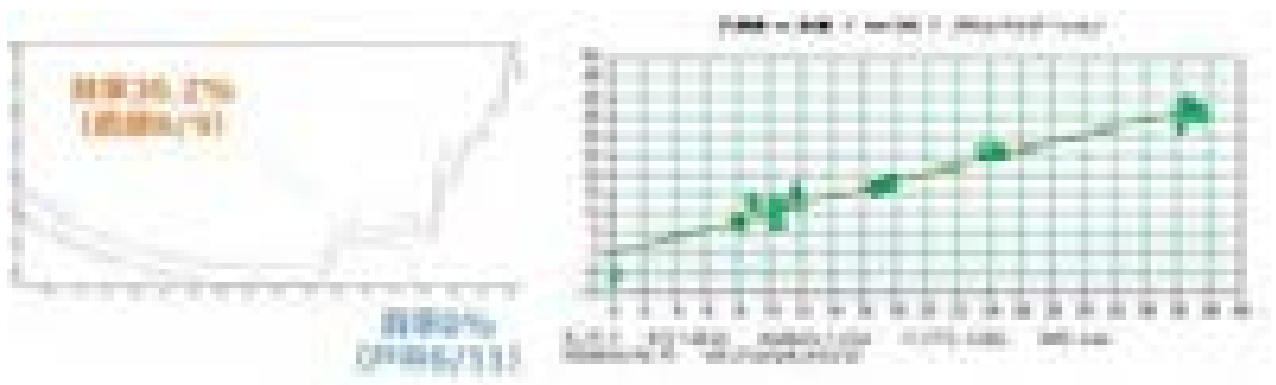


図2. ガニアシ貝率を判定するAI（機械学習）モデル

ガニアシを飼料化するためには、ガニアシが含有する重金属が問題となる。そこで、カドミウム、ヒ素、鉛、及び水銀の4項目について分析した。ガニアシに含まれるヒ素は、食用コンブと同水準であるが、家畜・家禽用配合飼料の基準値を大幅に上回った（表1）。したがって、陸上動物に対する使用は難しく、水産用飼料用途が適切であると考えられる。ま

た、ガニアシに含まれる塩素は、鹿部ガニアシで 5.9%、戸井ガニアシは 12.3%であり、付着生物が多いほど、塩素は少ない傾向が見られた。

表 1. 鹿部ガニアシと戸井ガニアシの塩素含有率

品名	塩素含有率 (%)
鹿部ガニアシ	5.9
戸井ガニアシ	12.3

さらに、水槽でのウニの飼育試験によりガニアシ含有飼料の評価を行った。

付着生物が多いガニアシ（貝率 36.6%）を用いて、飼料中の海藻粉末の 100%置換（ガニ 100）、50%置換（ガニ 50）と、置換しないもの（ガニ 0）でウニの成長を比較した。ガニ 0 の成長が最も優れたが、有意差はなく、付着生物の影響は軽微であった（図 9 左）。また、上記で分析した戸井（貝無）と鹿部（貝率 36.2%）と輸入海藻や EP との比較を行った。ここでも、輸入海藻を用いたノーマル EP の成長が最も優れたものの、有意差はなく、ガニアシ間の比較では全く差がなかったことから、付着生物がウニの成長に与える影響はなく、少なくとも 36%まで貝率は許容できると考えられた（図 3 右）。

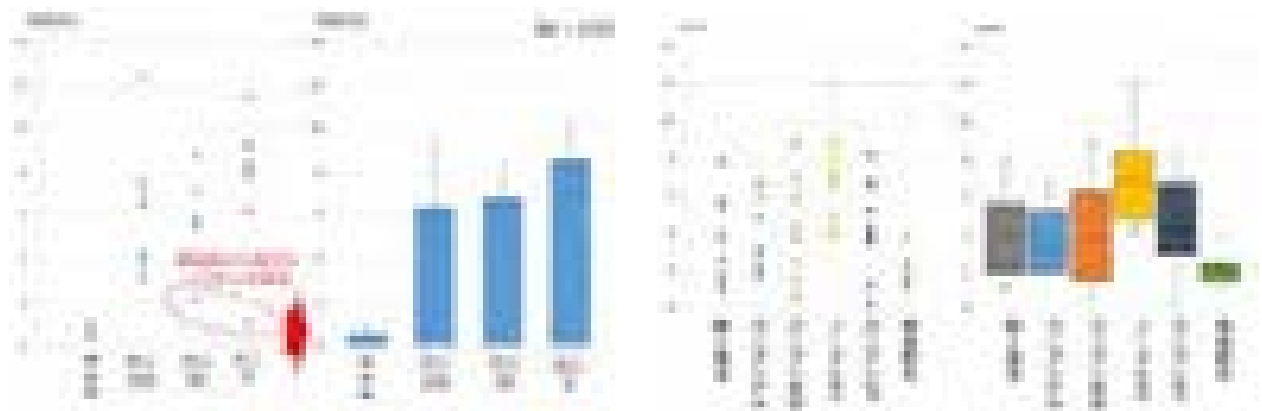


図 3. 飼料中のガニアシがウニの成長に与える影響

表 2. パプリカ粉末及び飼料中の色素分析値

(2) EP 飼料の試作と品質管理

本年度は、ウニの色揚効果を有する EP 飼料の開発を課題とした。パプリカ粉末について、既存品（P-1）に加え、別の市販品（P-2、P-3）合計 3 種類入手し、飼料の基本組成であるパプリカ粉末 1.5%配合と、3 倍（× 3）

項目	既存品 (P-1)	市販品 (P-2)	市販品 (P-3)
β-カロテン	1.2	1.5	1.8
リコピン	0.8	1.0	1.2
クロロフィル a	0.5	0.6	0.7
クロロフィル b	0.3	0.4	0.5
総クロロフィル	0.8	1.0	1.2

強化の 4.5%配合で飼料を作製し、粉末と飼料に含まれるカロテノイド色素の分析を行った。分析は、岩手生物工学研究センターが実施した。分析の結果、パプリカ粉末及び飼料から赤色色素 Capsantin は検出されたものの、ウニの色揚げに重要であるとの報告がある β -carotene は、飼料中からほとんど検出されないことが分かった（表2）。

β -carotene の供給源として、パプリカ以外の野菜粉末を検討したが、カボチャ粉末は飼料原料として利用できるものはなく、また、 β -carotene の含有量も限定的であった。そこで、本年度の EP 飼料には、 β -carotene 製剤を使用し、さらに β -carotene の酸化防止効果を持つ抗酸化剤を使用することとした。

これまでの検討結果を踏まえ、本年度の EP 飼料について、パプリカ粉末に加えて、 β -carotene 製剤(10,000 ppm)を 0.5 %配合すること、糖分を増強するため、小麦粉に置換で、5% CMC を配合、抗酸化剤として BHT（ジブチルヒドロキソトルエン）を添加することとし、試作品の製造を日清丸紅飼料株式会社（協力機関）に依頼した（図4）。各ロットの水分、タンパク質、脂質及び灰分の分析結果を表3に示す。概ね 2~3%の変動が認められたが、脂質は含有量が低いため、変動による影響が大きいことが示唆された（表3）。

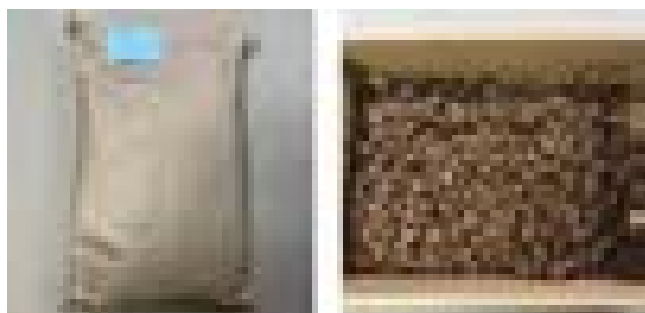


図4 試作したウニ用配合飼料

ロット	水分 (%)				タンパク質 (%)				脂質 (%)				灰分 (%)			
	測定値	標準偏差	最大値	最小値	測定値	標準偏差	最大値	最小値	測定値	標準偏差	最大値	最小値	測定値	標準偏差	最大値	最小値
1	10.5	0.2	10.8	10.2	15.2	0.3	15.5	14.9	0.5	0.2	0.1	0.3	1.2	0.1	1.3	1.1
2	10.8	0.2	11.1	10.5	15.5	0.3	15.8	15.2	0.5	0.2	0.1	0.3	1.3	0.1	1.4	1.2
3	11.2	0.2	11.5	10.9	15.8	0.3	16.1	15.5	0.5	0.2	0.1	0.3	1.4	0.1	1.5	1.3
4	11.5	0.2	11.8	11.2	16.1	0.3	16.4	15.8	0.5	0.2	0.1	0.3	1.5	0.1	1.6	1.4
5	11.8	0.2	12.1	11.5	16.4	0.3	16.7	16.0	0.5	0.2	0.1	0.3	1.6	0.1	1.7	1.5
6	12.2	0.2	12.5	11.9	16.7	0.3	17.0	16.3	0.5	0.2	0.1	0.3	1.7	0.1	1.8	1.6
7	12.5	0.2	12.8	12.2	17.0	0.3	17.3	16.6	0.5	0.2	0.1	0.3	1.8	0.1	1.9	1.7
8	12.8	0.2	13.1	12.5	17.3	0.3	17.6	16.9	0.5	0.2	0.1	0.3	1.9	0.1	2.0	1.8
9	13.2	0.2	13.5	12.9	17.6	0.3	17.9	17.2	0.5	0.2	0.1	0.3	2.0	0.1	2.1	1.9
10	13.5	0.2	13.8	13.2	17.9	0.3	18.2	17.5	0.5	0.2	0.1	0.3	2.1	0.1	2.2	2.0
平均	12.5	0.2	12.8	12.2	16.5	0.3	16.8	16.0	0.5	0.2	0.1	0.3	1.6	0.1	1.7	1.5
標準偏差	0.2	0.05	0.2	0.1	0.3	0.05	0.3	0.2	0.05	0.1	0.05	0.1	0.1	0.05	0.1	0.05

表3. 各ロットの分析結果

また、NIR に基づく AI（機械学習）モデルの判定結果の妥当性の検証を行った。本年度はウニの品質に与える影響が大きいタンパク質について妥当性を検証した。飼料原料のロット毎に実際の粗タンパク質の AI モデルでの判定を行い、外れ値と表示されたものを中心に実際の分析を行った。判定値は、分析値に対して 1.11 ± 0.66 の誤差であり、機械学習のデータ量を増やすことで、高い精度のモデル構築が可能であることが示された（表4）。

表4. AI（機械学習）モデルの妥当性検証

	判定値	分析値	判定値-分析値の誤差
N	131	106	106
平均値	65.08	64.15	1.11
標準偏差	0.85	0.99	0.66

これまで分析した飼料合計 281 サンプルの測定値（乾物当たり脂質、タンパク質、及び灰分）の統計的な解析を行い、本年度の各ロットの分析結果を基に、品質管理基準の検証を行った。2 σ の範囲は、タンパク質で 6.9、脂質で 4.5、灰分は 6.1 であり、この範囲に収まるような配合設計が求められることが分かった（図5）。

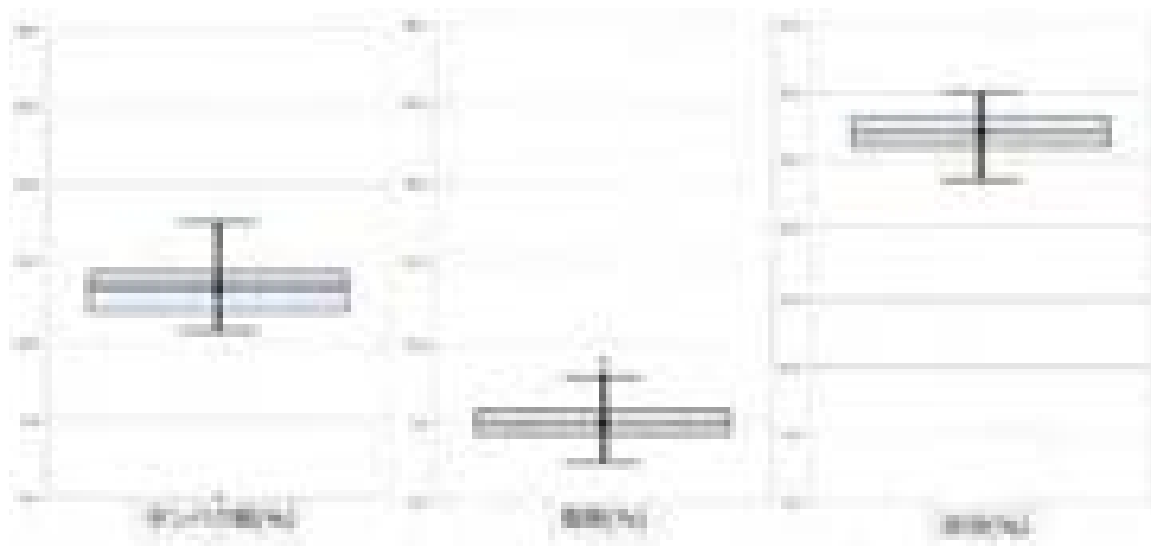


図5. 飼料の脂質、タンパク質、及び灰分測定結果

当年度試作した EP 飼料は、ウニの実色の改善効果は抜群であり（課題【3】にて後述）、実用化できるレベルまで到達した。ガニアシの付着生物は、ウニの成長に与える影響は軽微であり、輸入海藻の一部を置換えることは可能であり、ガニアシ粉末が 270 円/kg で資源化できれば、輸入海藻よりも飼料価格を抑えることができるため、目標は達成された。しかしながら、原料価格の高騰が続いており、飼料価格は読めないため、養殖の飼料コストは、トータルの給餌量を抑える方向での検討が必要である。課題【3】の結果で、1 回の給餌量をウニ重量当たり 15%から 8%以下まで削減できる可能性があり、かかる場合には飼料コストは単価が 700 円/kg でも、36~45 円/個体と試算されるため、「ウニ養殖生産における飼料コスト 45.9 円/個体」としたコスト目標は達成された。飼料組成に関する特許出願

関与することが明らかにされている。多くの核内受容体は、その核内受容体に結合し遺伝子の発現を促進する化学成分（リガンド）が明らかにされているが、この COUP-TF のリガンドは脊椎動物から無脊椎動物まで不明である。これらのことから、COUP-TF のリガンドを明らかにし、その成分をウニ用配合飼料に効果的量で含ませることにより、MYP の合成・蓄積、糖・脂質代謝を促し高品質なウニ生殖巣を育成できると推測される。COUP-TF のリガンドを探索するために、MYP プロモーター領域を含むベクターを挿入したレポーターアッセイ系の構築を行った。これらの過程で実験器具を大量に洗浄する必要があり、超音波洗浄機を用いて実験器具類を洗浄し、研究を効率的に進捗させることに成功した。

レポーターアッセイ系の原理は図 2 に示すように、核内授与体に特異的に結合するリガンドが細胞内に取り込まれ核内受容体に結合することにより、ルシフェラーゼ遺伝子が発現し細胞が発光するものである。発光量を数値化することによりリガンドの探索が可能となる。このレポーターアッセイ系を用いてウニ生殖巣や内臓に含まれる総脂質分画の中から COUP-TF のリガンドを特定する。また、内臓に含まれるリガンドを効率的に抽出する方法の検討を行った。

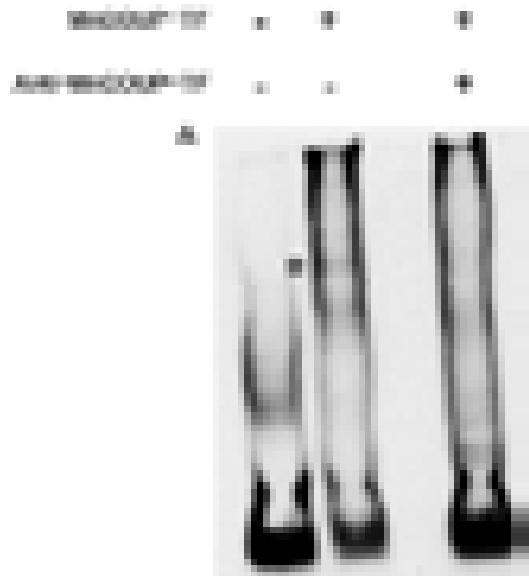


図 1. ゲルシフトアッセイ解析



図 2. レポーターアッセイ系の原理

キタムラサキウニ COUP-TF のリガンド探索用レポーターアッセイ系を構築し、ウニ生殖巣および内臓からブライ・ダイヤー法により総脂質を抽出、上記レポーターアッセイ系に添加し、発光量が増加するか否かを調べた。ウニ生殖巣から抽出した総脂質は、その添加量の増加に伴い発光量が増加した(図 3)。このことから、キタムラサキウニ COUP-TF のレポーターアッセイ系が構築できていると共に、生殖巣中に COUP-TF のリガンドが存在することが示唆された。さらに、キタムラサキウニ内臓から抽出した総脂質を添加し、有意に発光量が増加したことから、キタムラサキウニ内臓にも COUP-TF のリガンドが存在することが示された(図 4)。以上のことから、キタムラサキウニ COUP-TF のリガンドを探索するためのレポーターアッセイ系が構築できた。

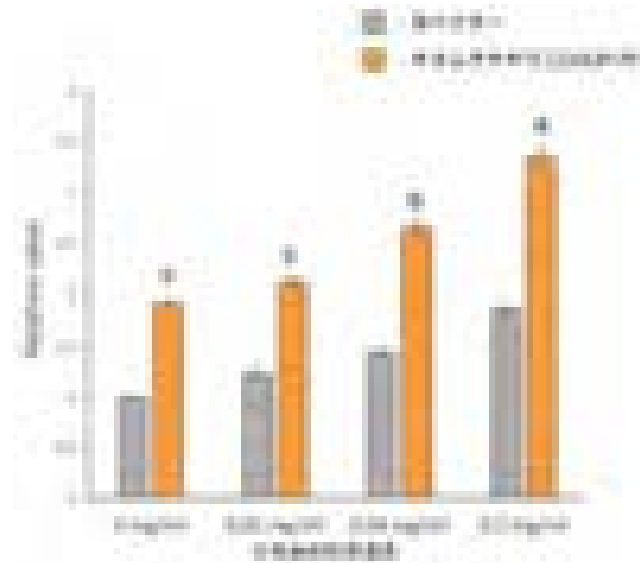


図 3. ウニ生殖巣総脂質を用いたレポーターアッセイ系による活性

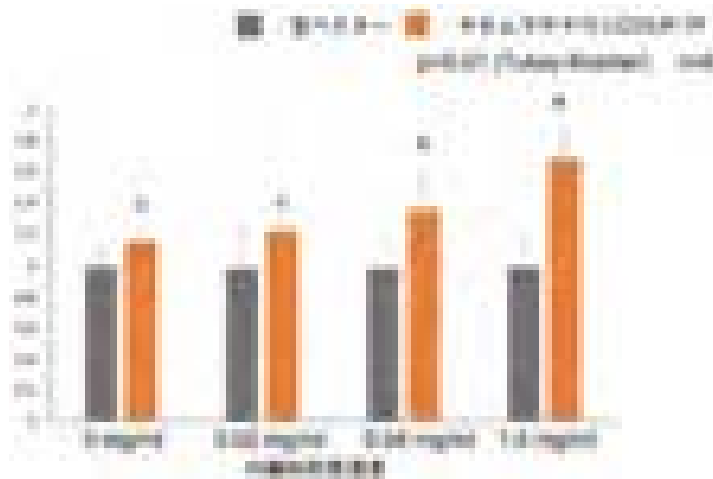


図 4. ウニ内蔵総脂質を用いたレポーターアッセイ系による活性

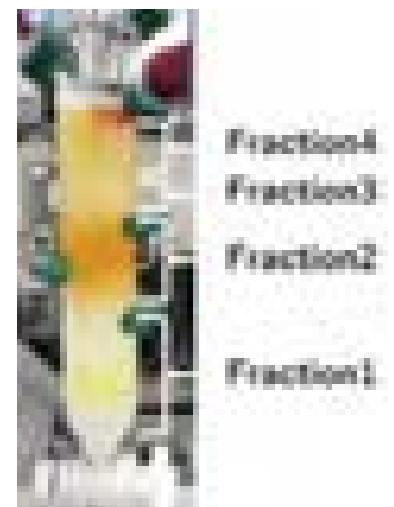


図 5. シリカゲルクロマトグラフィーによるウニ生殖巣総脂質の分画

ウニ生殖巣や内臓の総脂質中に存在する核内受容体 COUP-TF リガンドの特定のため、ウニ生殖巣総脂質を分画し、どの分画にリガンドが含まれるか検証すると共にリガンドの推測を行った。ウニ生殖巣からブライ・ダイヤー法により総脂質を抽出し、シリカゲルクロマトグラフィーにより4つの分画を得た（図 5）。

次に、得られた4つの分画を用いてレポーターアッセイ系により活性を評価した。その結果、フラクション1が最も活性を促進した。また、これまでマウスで 9-cis-レチノイン酸が核内受容体 COUP-TF のリガンドと推測されていたが、9-cis-レチノイン酸添加群よりフラクション1は活性が高く、COUP-TF のリガンドは 9-cis-レチノイン酸ではないと推

測された（図6）。

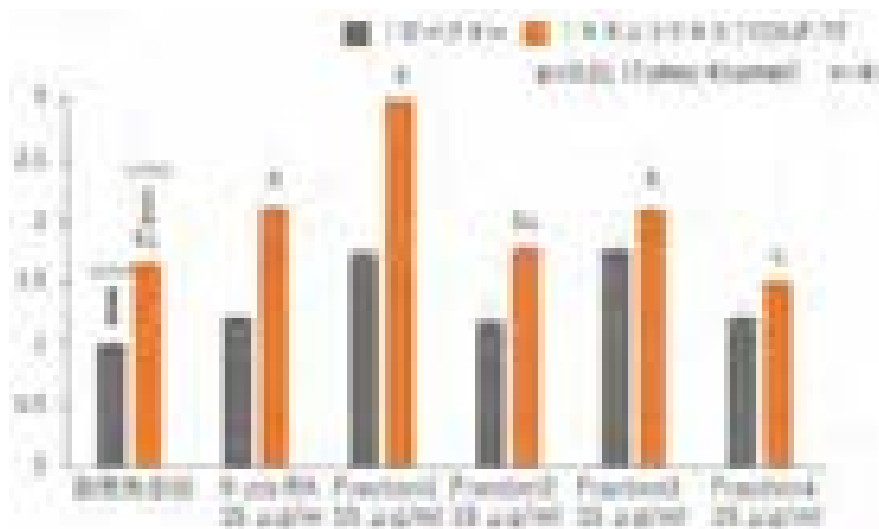


図6. ウニ生殖巣総脂質分画のレポーターアッセイによる活性評価

このフラクション1に 9-cis-レチノイン酸が含まれるか、薄層クロマトグラフィーにより確認したところ、フラクション1には 9-cis-レチノイン酸が含まれていなかった。このことから COUP-TF のリガンドは、9-cis-レチノイン酸ではなく他の成分であることが明らかになった。また、フラクション1は、大きく3つの成分に分画することができた（図7）。

この薄層クロマトグラフィーにより得られた3つの分画を用いてレポーターアッセイ系により活性を評価した。その結果、フラクション1-1（F1-1）が最も COUP-TF を活性化すると共に、9-cis-レチノイン酸の5倍以上の活性を持つことが明らかになった（図8）。さらに、フラクション1の活性より、F1-1 の活性が4倍程度高いことからリガンドが絞り込まれていることが分かる。

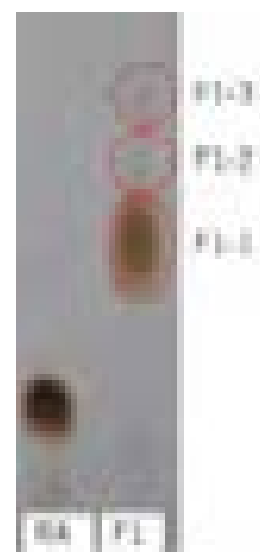


図7. フラクション1の薄層クロマトグラフィーによる分画

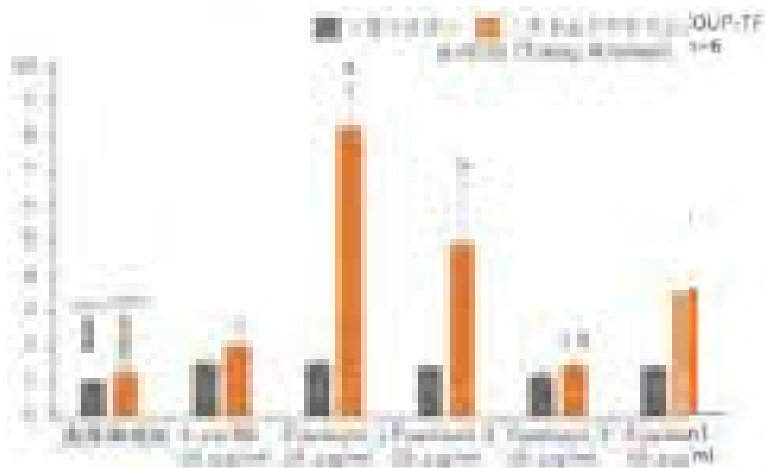


図 8. 薄層クロマトグラフィーにより分画した3つの分画の活性

次に、フラクション1-1がどのような性状を有しているか検討するために、魚油、サラダ油と薄層クロマトグラフィーにより比較解析を行った。その結果、F1-1は、魚油やサラダ油に含まれるトリアシルグリセロール(TAG)と同じ移動度であったことから、F1-1はTAGと同じ性状を有していることが推測された(図9)。

F1-1がTAGと同じ性状を有していることから、魚油やサラダ油中のTAGに結合している脂肪酸(パルミチン酸、オレイン酸、パルトミレイン酸、ステアリン酸、リノール酸)の標準品を用いてレポーターアッセイ系により活性を評価した結果、これらの脂肪酸では活性が上昇しなかった。このこと



図 9. 薄層クロマトグラフィーによるフラクション1-1の性状解析

より、F1-1に含まれる他の成分がCOUP-TFのリガンドと推測された。そこで、F1-1をメチル化し、脂肪酸がリガンドであるかレポーターアッセイ系により評価した。その結果、F1-1をメチル化した成分が9-cis-レチノイン酸およびF-1より活性が高く、COUP-TFのリガンドは脂肪酸であると推測された(図10)



図 10. メチル化した F1-1 のレポーターアッセイ系による活性

次に、F1-1 に含まれる脂肪酸をガスクロマトグラフィーにより同定した。同定した結果、2種類の未知の脂肪酸を含む合計 20 種類の脂肪酸が含まれることが明らかになった（図 11）さらに、F1-1 には、サラダ油や魚油に含まれる脂肪酸も含まれていた。このことから、ウニ用配合飼料に用いる原材料が選定された。

脂肪酸名	組成比 (%)	脂肪酸名	組成比 (%)
パルミチン酸	32.0%	パルミチン酸	32.0%
ステアリン酸	42.0%	ステアリン酸	42.0%
オレフィン酸	18.0%	オレフィン酸	18.0%
リノレン酸	6.0%	リノレン酸	6.0%
アラキドン酸	2.0%	アラキドン酸	2.0%
エイコザン酸	0.5%	エイコザン酸	0.5%
ドコザン酸	0.5%	ドコザン酸	0.5%
ヘキサデカノール	0.5%	ヘキサデカノール	0.5%
オクタデカノール	0.5%	オクタデカノール	0.5%
ドコサノール	0.5%	ドコサノール	0.5%
トコフェロール	0.5%	トコフェロール	0.5%
ビタミンE	0.5%	ビタミンE	0.5%
...

図 11. F1-1 に含まれる脂肪酸

F1-1 に含まれる脂肪酸が同定できたため、入手可能な各種脂肪酸を用いてレポーターアッセイ系による活性評価を行った。また、各種脂肪酸を組成比に合わせて混合したサンプルも用いた。その結果、入手可能な脂肪酸では、活性が認められなかった。さらに、各種脂

脂肪酸を混合したサンプルでも活性が認められなかったことから、図 11 に示す未知な脂肪酸が COUP-TF のリガンドである可能性が示唆された (図 12)。

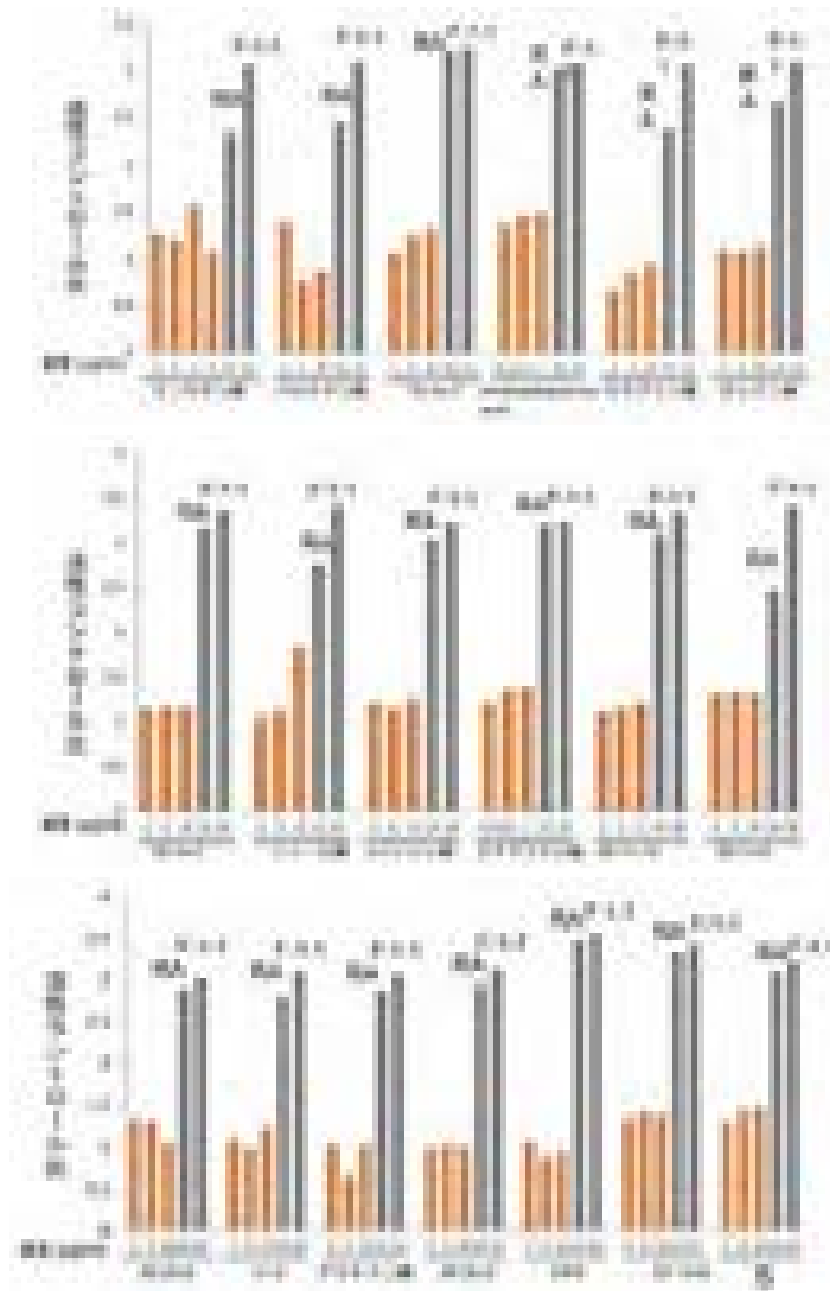


図 12. F1-1 に含まれる脂肪酸を用いたレポーターアッセイ系による活性

さらに、未利用資源であるウニ内臓から COUP-TF のリガンドを効率的に抽出する方法を検討した。図4に示しているようにウニ内臓の総脂質抽出物で活性が認められたことから、ウニ内臓に含まれる脂質結合タンパク質にリガンドが含まれる可能性も考えられた。そこで、最もコストが低く抽出する方法は水抽出法であるため、水抽出法により活性画分を得ることができるか検討した。ウニ内臓を水抽出法に得た成分をレポーターアッセイ系により評価し

た結果、活性は認められなかった（図 13）。



図 13. ウニ内蔵水抽出物を用いたレポーターアッセイ系による活性評価

最も安価で簡便な水抽出方法では、活性が認められなかったことから、次に安価で簡便なエタノール抽出法を用いてレポーターアッセイ系による活性を評価した結果、この方法では活性が認められた。このことから、未利用資源である内臓のエタノール抽出物を利用できることが明らかになった（図 14）。

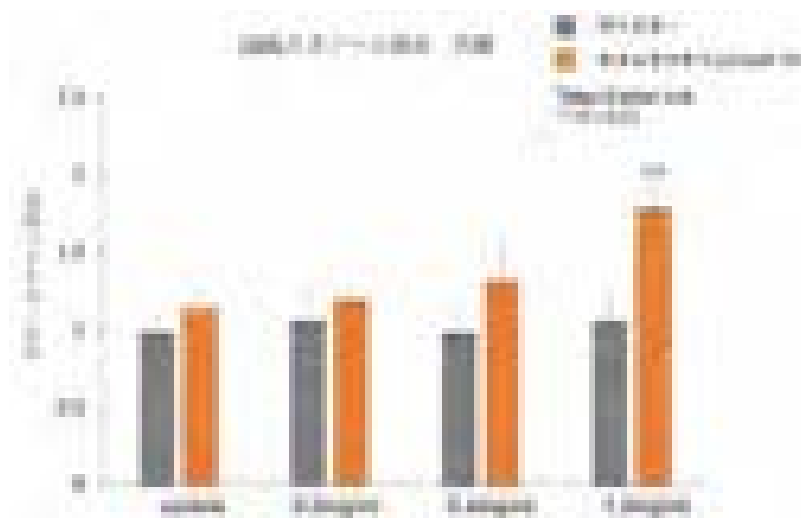


図 14. ウニ内蔵エタノール抽出物を用いたレポーターアッセイ系による活性評価

また、北海道大学では、大学のネットワークを利用し、八雲町落部や森町、函館市戸井等の漁業協同組合ら、主に北海道内の漁業関係者とのニーズ調査や、北海道・岩手県・宮城県等での養殖実証試験での実入測定、沖縄県等でのニーズ調査に協力した。

3 配合飼料を利用したウニ養殖技術の高度化

(1) 養殖カゴの開発と、養殖現場での実証試験

【令和1年度】

株式会社ひろの屋では、海洋でウニ養殖に用いるカゴを設計し、アドバイザーの企業等に試作を依頼し、養殖実証試験に用いた。当年度に試作した養殖カゴの概要を図1に示す。

当年度は、合計 9 基の養殖カゴを用いて、岩手県洋野町の小子内浜地区及び種市地区の 2 箇所で養殖実証試験を実施した。飼料は、課題 2-1 で試作した EP 飼料（日清丸紅飼料）を用いて、期間前半は 30g/個体を目安に、4 回給餌後の中間サンプリングで歩留りの大幅な改善が見られたことから、期間後半は 15g/個体を目安に、週に 1 回の頻度で給餌した。カゴの形状、設置方法、及びウニ収容数を表 4 に、10 月 24 日の設置時の写真を図 2 に示す。後述するように、太平洋側を北上した台風 21 号によると見られる波浪で、複数のカゴが破損したが、損傷が軽微であった 6 カゴは試験を継続した。それぞれの海域で、ロガーで水温を測定した。

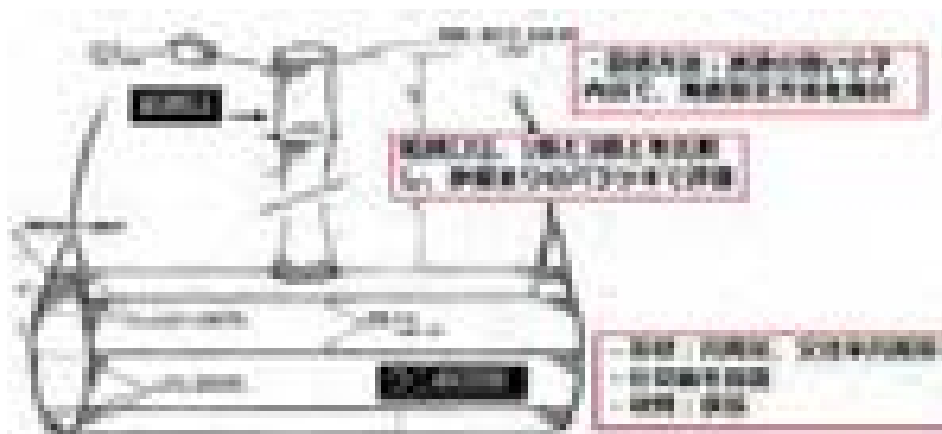


図1. 当年度試作したウニ用養殖カゴと検討項目

表 1. 洋野町での実証試験の概要

地区	No.	形状・給餌口数	設置方法	ウニ収容数 (個)	破損の有無
小子内浜	1	半円・1	海底固定	100	
	2	半円・3	海底固定	100	損傷酷く引き上げ
	3	半円・1	垂下式	100	
種市	1	円筒・1	垂下式	100	
	2	円筒・3	垂下式	100	
	3	半円・1	垂下式	100	損傷酷く引き上げ
	4	半円・3	垂下式	100	
	5	円筒・1	垂下式	100	損傷酷く引き上げ
	6	円筒・3	垂下式	50	損傷酷く引き上げ
	7	円筒・3	垂下式	200	一部破損



図 2. 洋野町種市地区の垂下式養殖カゴ（左）、小子内浜地区の海底固定式養殖カゴ（右）

給餌 10 回終了後に、小子内浜の No.3、及び種市 No.1 及び 4 を 30 個体サンプリングし、殻径、体重及び生殖巣重量を測定した。また、1 月末までに全ての個体をサンプリングし、ウニの回収率を求めた。

また、2020 年 2 月には、新たに本事業の養殖実証試験への協力が得られた広田湾漁業協同組合（岩手県陸前高田市）において、養殖カゴの垂下試験を行った。



図 3. 養殖カゴの破損状況

2019 年 10 月 24 日に設置を行った直後に多くのカゴに破損が生じたと見られ、10 月 30 日に種市及び小子内浜に設置した全てのカゴの破損状況を調査した（図 3）。設置した 9 基のうち、損傷が激しい 4 基については試験を中止した。

破損が軽微であった残り 6 基の養殖カゴは、2020 年 1 月まで養殖試験を継続した。水中カメラを用いて、定期的に養殖カゴ内のウニや飼料の状態を観察した（図 4）。ウニは養

殖カゴ内で適度に散らばっており、飼料に対する積極的な摂餌行動や、大量の糞の放出も確認された。水温測定結果を図5に示す。

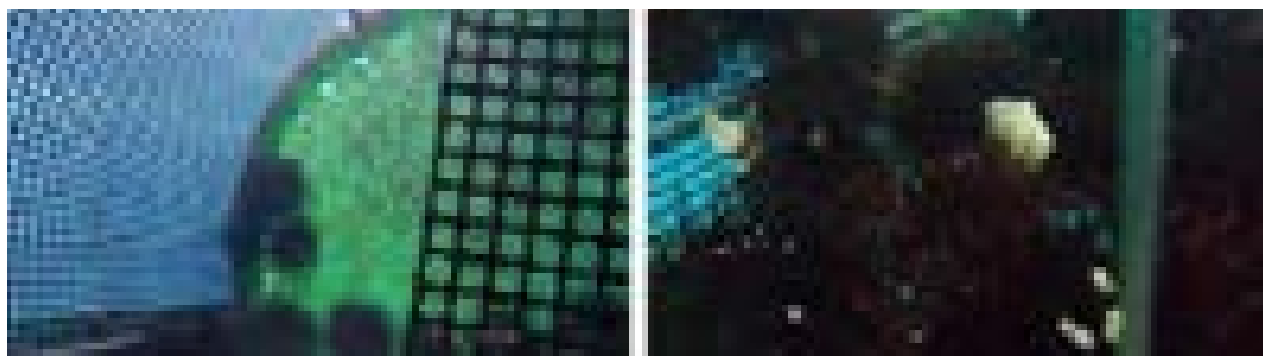


図4. 水中カメラで撮影した養殖カゴ内のウニ及び飼料



図5. 実証海域における水温測定結果

10回の給餌後のサンプリング結果を示す。種市では約60%が7歳以上の高齢ウニであるにも関わらず、開始時5.2%であったGSIは、10回の給餌により17.0~22.5%と、顕著な肥大化が見られた(図6左)。小子内浜は、約20%が高齢ウニであり、開始時5.1%であったGSIは、11.2%に成長した(図6右)。

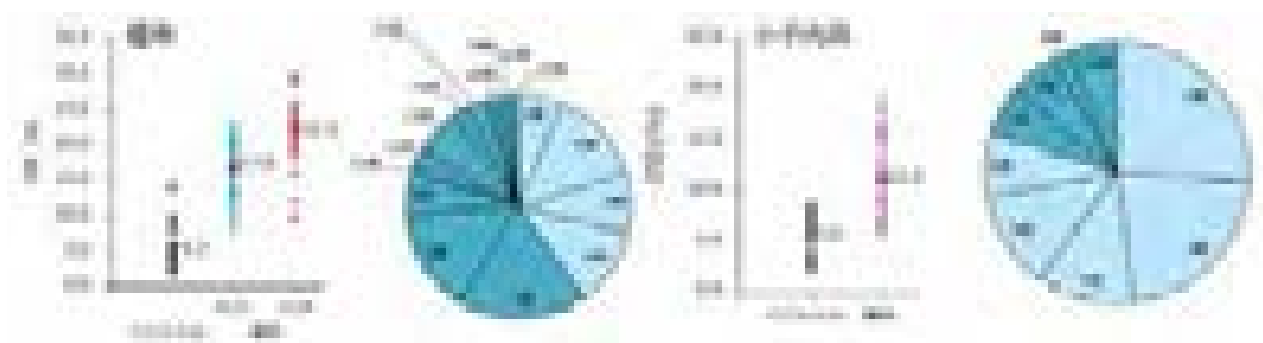


図6. GSIの推移、及び年齢査定(左:種市、右:小子内浜)

各カゴで飼育したウニのGSIのバラツキを検証した。変動係数は小子内浜で36.1%、種市で19.6~22.3%であり、昨年度の予備試験の42.7%と比較して、バラツキが小さく

なった。給餌口の数は一つよりも三つの方がバラツキは小さい傾向が見られた。

表2. 最終サンプリング時のGSIの平均値、標準偏差、及び変動係数

地区	No.	方式	形状・給餌口数	平均値	標準偏差	変動係数(%)
小子内浜	-	開始時	-	5.8	1.7	29.2
	3	垂下式	半円・1	11.2	4.0	36.1
種市	-	開始時	-	5.2	2.9	56.5
	1	垂下式	円筒・1	17.0	3.8	22.3
	4	垂下式	半円・3	22.5	4.4	19.6

1 月末の最終取り上げ時に、カゴ内で生残した全てのウニの個数を計測した。カゴ毎のウニの回収率は、小子内浜で 86~87%、種市で 67~82%（破損のあった No.7 を除く）となった。

表3. 養殖実証試験における各カゴのウニ回収率

地区	No.	方式	収容個体数	回収個体数	回収率(%)	備考
小子内浜	1	垂下式	100	87	87	
	3	海底固定	100	86	86	
種市	1	垂下式	100	82	82	
	2	垂下式	100	71	71	
	4	垂下式	100	67	67	
	7	垂下式	200	31	16	一部破損

養殖実証試験で得られたウニのうち、種市 1,4 と小子内 3 を比較した官能試験 (n=27) では、種市は苦味を強く感じる者が多かった (図7)。

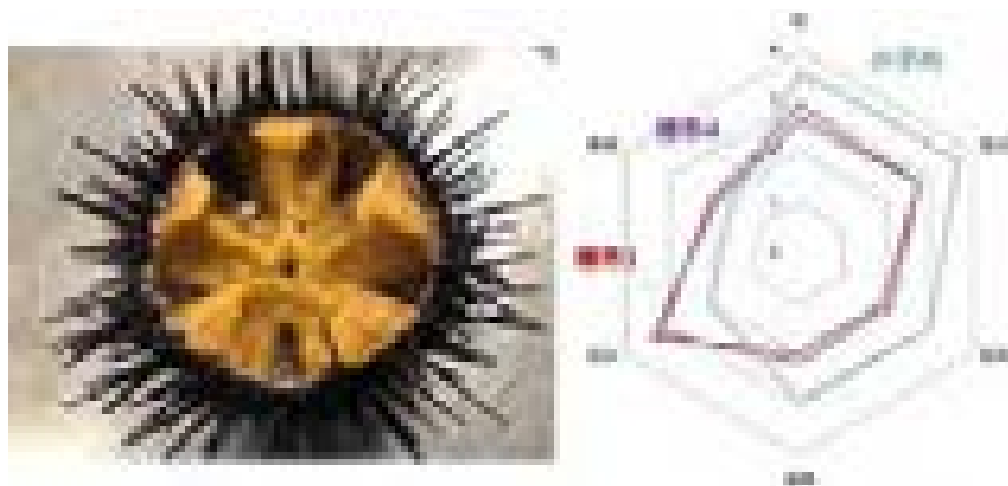


図7. 洋野町養殖実証試験で得られたウニと食味試験結果

広田湾漁業協同組合（陸前高田市）では、養殖カゴの垂下試験を行い、カキ用の養殖筏に安定して設置可能であることが確認された（図8）。

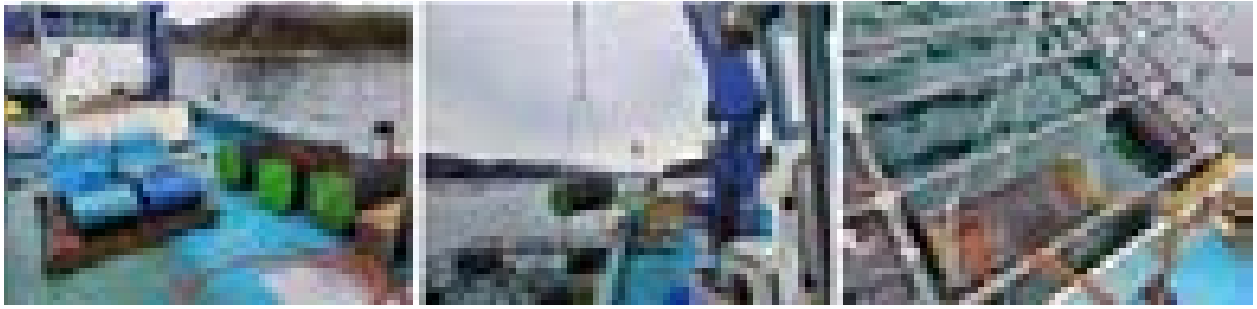


図8. 広田湾漁業協同組合での設置試験

洋野町種市と小子内浜の漁港内に設置した養殖カゴのうち、約 1/3 が時化により破損した。種市では、設置海域の水深が 2~3m と浅く、海底に激しく打ち付けられたこと、小子内浜では、海底に設置したカゴが、U字溝ごと流され、その際の摩擦によりネットが擦り切れたことが破損の直接的な要因と見られる。一方で、内湾海域であり、十分な水深のある石巻市桃浦では、2ヶ月の飼育期間中、カゴの破損は見られなかった。洋野町のような外洋地域での事業化を目指すためには、破損のないカゴの形状や設置方法を改めて検討する必要がある。

破損事故後、継続した養殖実証試験では、水中カメラにより EP 飼料に対するウニの積極的な摂餌行動が確認された。その一方で、養殖カゴ内での飼料の散らばりが給餌口の数により違いが出たか否かは明確ではなかった。GSI の変動係数は、給餌口 1 個と 3 個で大きな差は見られなかったことから、歩留りのバラツキには、カゴの給餌口数よりも、飼料の保形性が与える影響の方が大きいものと考えられる。

ウニの回収率は養殖コストに大きな影響を及ぼす。洋野町の養殖試験での回収率は、破損の少ないカゴで 67~86%であった。同時期に垂下式のカゴ養殖試験を行った石巻市では、92~96%の回収率であり、洋野町の海洋環境が回収率の悪化を招いたものと考えられる。しかし、波浪を原因とするカゴ破損による逃亡や、波浪に揺さぶられたことによる斃死以外では、ロスはほぼ確認されず、平常時であれば開始時から 90%以上の回収率が期待される。

官能試験では、特に種市での養殖ウニに苦味が強く感じられた。EP 飼料の保形性が想定よりも良かったために、有効成分が流出した可能性、給餌量が過剰であった可能性が考えられる。課題 2-1 と連携し、高い保形性を前提に飼料組成及び給餌量を再度見直す必要がある。

当年度の養殖実証試験の結果を基に、ウニ養殖の採算性を検証した。EP 飼料の保形性が良いため、給餌頻度や給餌量の削減が可能と見込まれる。週 1 回の給餌とし、給餌量を

1/3 にできれば、ウニ 1 個当たり 450 円から 220 円にコスト削減が可能と試算された（図9）。

品名	内訳	単価
ウニ
...
...
...
...

品名	内訳	単価
ウニ
...
...
...
...

図9. 本年度の養殖実証試験から検証されたコストダウンの可能性

【令和2年度】

岩手県・宮城県の漁業者らと協力してウニ養殖の実証試験を実施した。前年度の実証試験から、特に洋野町においてカゴの破損が生じたこと、給餌作業が困難であったことが課題として挙げられた。そのため、これら課題を解決するため、新たな養殖カゴと浮遊型の生簀を試作した（図 1）。養殖カゴは、薄い角型とし、給餌口をネットで覆わない形状とすることで、パイプ等で作業船から飼料を直接流し込むことができるため、給餌作業に要する時間を短縮できる。また、生簀は、海底への接触のリスクが少ないこと、給餌作業が楽であることがメリットである。併せて、陸上水槽でも、海洋との比較のための給餌試験を行った。

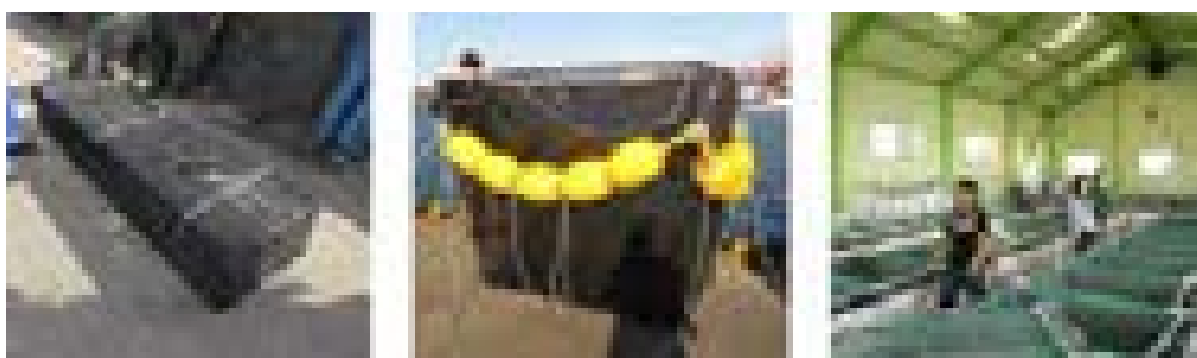


図 1. 本年度試作した角型カゴ（左）と生簀（中）、試験に使用した陸上水槽（右）

2020 年 10 月からの種市地区及び小子内浜地区での実証試験結果を以下に示す（表 1、2）。カゴは、給餌口や骨組とネットの隙間から逃亡する個体があり、カゴの生残率は極めて低かった。一方で、種市に設置した生簀では、ウニの生残率は 90%以上と高く、生簀 1

基に 700 個の個体を収容できるため、生産性が極めて良好であった。しかし、ウニの生殖巣歩留は、カゴに比べると低いため、ウニが満遍なく摂餌できるような改良が必要である。小子内浜は、生簀の生残率は種市よりも低かったが、波が高く且つ水深が浅いため、生簀が大きく揺れたことが原因と考えられる。

表 1. 養殖実証試験結果（洋野町種市）

種市地区	カゴ 1	カゴ 2	カゴ 3	カゴ 4	生簀
収容個体数	200	200	250	300	700
生残率	81 %	50.5 %	27.2 %	42.0 %	90.1 %
給餌量/週	2.9 kg	2.9 kg	3.6 kg	4.3 kg	10.1 kg
総給餌量	28.8 kg	28.8 kg	36.0 kg	43.2 kg	100.9 kg
生殖巣歩留 (開始時 4.9%)	16.4 %	19.6 %	18.0 %	19.9 %	11.7 %

表 2. 養殖実証試験結果（洋野町小子内浜）

小子内浜地区	カゴ	生簀	陸上水槽	陸上水槽
収容個体数	200	400	200	200
生残率	51.5 %	24.5 %	79.5 %	94.5 %
給餌量/週	2.9 kg	5.8 kg	2.9 kg	
総給餌量	28.8 kg	57.6 kg	28.8 kg	
生殖巣歩留 (開始時 4.8%)	4.2 %	8.1 %	10.4 %	



図 2. 食味試験結果（左）及びコスト試算結果（右）

上記のウニを用いて食味試験を行ったところ、昨年度の問題であった苦味を感じることはほぼなく、食味は大幅に改善した。一方で、水っぽい性状であるという意見や、甘味・旨味に欠けるという意見が見られた（図 2 左）。ウニの養殖生産コストは、給餌量の削減や、給

餌効率の改善による労務費削減から、本年度の目標に掲げた 300 円を達成することができた（図2右）。

洋野町以外では、三陸の内湾の養殖適地である、桃浦（宮城県石巻市）、吉浜（岩手県大船渡市）での試験を行った。桃浦では、カゴを設置する水深を 2m と 4m とで比較したが、2mの方が、給餌作業は楽であり、歩留も良好であった。吉浜でも歩留は約 2 倍になり、いずれも食味は良好であった（図3）。

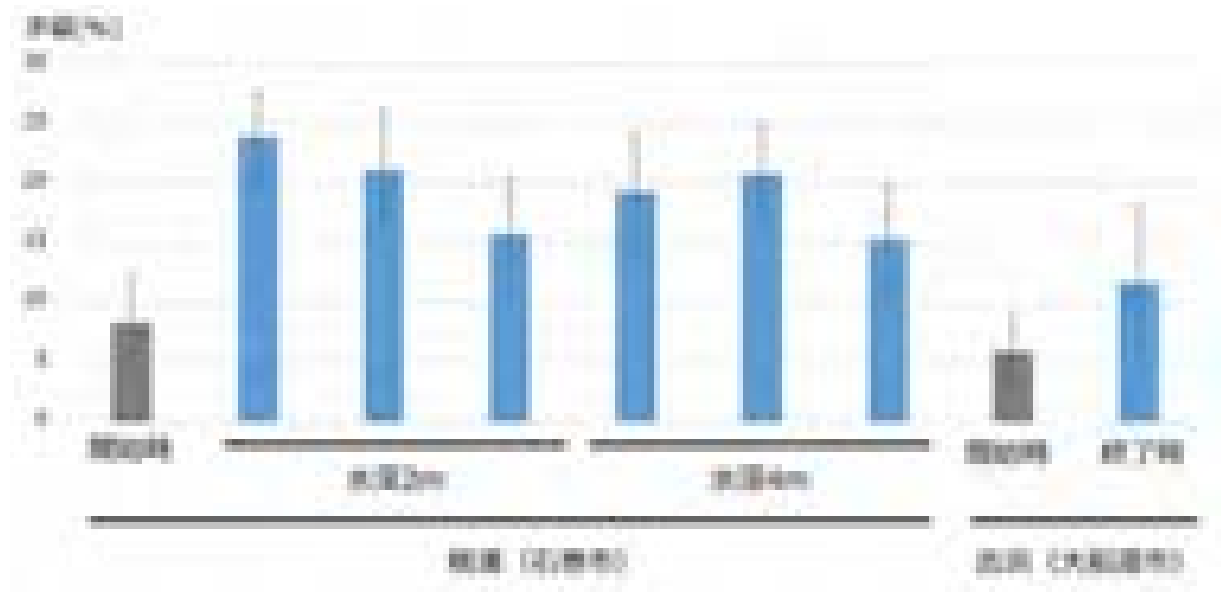


図3. 桃浦及び吉浜での養殖実証試験結果

また、北海道では、落部（八雲町）及び長磯（せたな町）にて養殖カゴを用いた実証試験を行った。落部では、養殖カゴを用いたキタムラサキウニ及びエゾバフンウニの養殖実証試験を行った。ウニの取り扱いに課題があるものの、生殖巣の品質改善が可能であると考えられた（表 7-8）。長磯では、キタムラサキウニが歩留 1.3%から 12.1~13.9%に向上した。

これら実証試験で得られたウニを用いて、市場関係者、飲食関係者、一般消費者を対象としたホームユーステストを行った。対象者のうち、56%以上が美味しい（とても美味しい+美味しい）と回答し、80%以上が出荷可能（値段次第、品質の伝え方次第を含む）と回答した（図4）。

表7. キタムラサキウニの給餌効果（落部）







	開始時（給餌前）	EP 飼料給餌群	コンブ給餌群
色			
歩留	3.6 %	10.2 %	7.2 %

表8. エソバフンウニの給餌効果（落部）

	開始時（給餌前）	EP 飼料給餌群	コンブ給餌群
色			
歩留	8.0 %	18.3 %	6.1 %

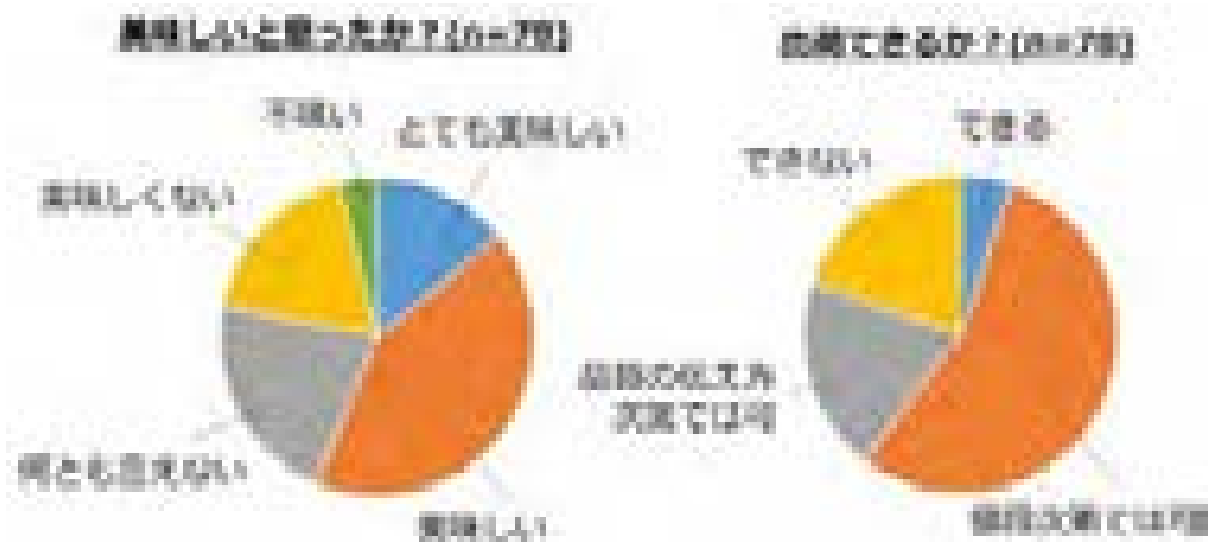


図4. ホームユーステスト結果

【令和3年度】

株式会社ひろの屋は、ニチモウ株式会社（アドバイザー）の協力の下、養殖用生簀の改良を行った。養殖用生簀は、ウニを多く収容することができ、且つ給餌作業が楽という利点を

有する。その一方で、ウニが取り付け側面の面積が限られていること、EP 飼料が満遍なく拡散できないことが課題であり、その課題を踏まえて、生簀の内部に仕切板を配設した。施工のし易さを重視し、上方視した際に W 字となるような仕切板を採用した（図 1 右）。また、ワンパレットで運搬可能な容積の中で適切な底面積と深さの検討を行った。水深を確保した「生簀（深）」は摂餌可能な底面が狭くなり、底面を広くした「生簀（浅）」は、ウニは摂餌しやすいが水深が浅くなり、外気等の環境影響が懸念される。これらの生簀を用いてウニの生産成績を比較した（図 1 左）。



図 1. 生簀内に配設した仕切板（左）、水深・底面積の比較実験（右）

本年度の養殖実証試験は、それぞれ以下の場所・内容で実施した（表 1）。

表 1. 本年度実施した養殖実証試験

岩手県	アワビ中間育成場の活用（洋野町・宿戸）
	漁港内での生簀の仕切有無の比較（洋野町・種市）
	陸上水槽での飼料の比較（洋野町・小子内浜）
	内湾での検証（大船渡市吉浜）
北海道	駆除ウニを用いた大規模実証、生簀比較（八雲町・落部）
	陸上水槽での検証（森町）
	漁港内でのカゴの比較（せたな町・長磯）
	カゴと生簀との比較（神恵内村）
	給餌量削減の検証（函館市・戸井）

養殖実証試験の結果を以下に示す。評価項目は、これまでの可食部歩留や生残率に加えて、可食部の色から A 品・B 品・C 品に分別して算出した「A 品率」を採用した。

（1）岩手県：洋野町での実証結果

養殖方法	養殖期間	養殖水深	歩留	品率
天然期				
...
...
...
...
...
...

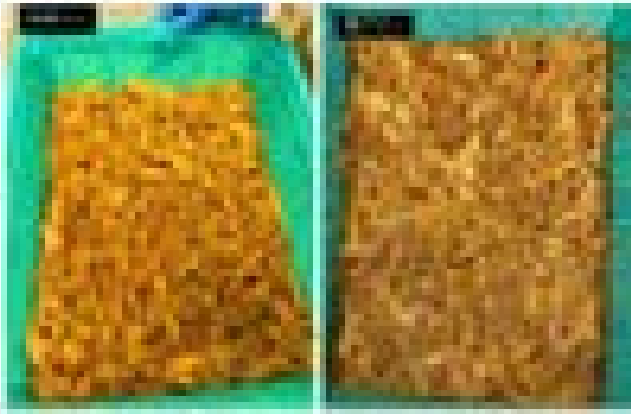


図2. 宿戸・種市の実証結果（左）と、宿戸のウニ可食部の写真（右）

宿戸では、天然期に製品となる「牧場ウニ」に加えて、磯焼海域から採捕された「痩せウニ」を用いて比較した。10月から年末までの2カ月の養殖期間で、生殖巣歩留は20%程度、A品率は97%、生残率は95%以上と、理想的な結果が得られた。痩せウニは、牧場ウニと比較すると可食部の色は若干劣るものの、販売できる水準であると判断された。

一方で、種市は、ウニの斃死が多く生じた。養殖試験開始直後より漁港内に濁り水が滞留したことが原因と考えられ、漁港内での安定生産に課題を残した。

(2) 北海道：八雲町落部・森町での実証結果

養殖方法	養殖期間	養殖水深	歩留	品率
...
...
...
...
...
...
...



図3. 落部・森町の実証結果（左）と、落部のウニの写真（右）

落部では、大雨により漁港内に淡水が入り、生残率が全体的に低くなったが、生簀同士で比較すると、生簀（深）が生簀（浅）よりも歩留が高く、生簀には水深が必要であることが分かった。A品率は、洋野町と比べるとやや低いものの、大規模な生産体制を実証できた。

森町は、陸上水槽にて試験を行ったが、途中ポンプの故障で大量死があったものの、修理後

の生残率は高かった（図には修理後の生残率を示した）。しかしながら、ポンプの電気代が高額となるため、事業化のためには電気代軽減の検討が必要となる。

（3）その他の結果は以下の通りである（表2）。

戸井では、ウニ重量当たりの給餌量と給餌間隔（毎週/補償）の検討を行い、可食部歩留は、総給餌量との相関が見られた。歩留当たりの飼料コストは、給餌量が少ない条件が安価となったが、歩留は7～10%と低く、15%以上の歩留を目指すのであればウニ重量当たり 4%以上の給餌量を確保しなければならない（図4）。

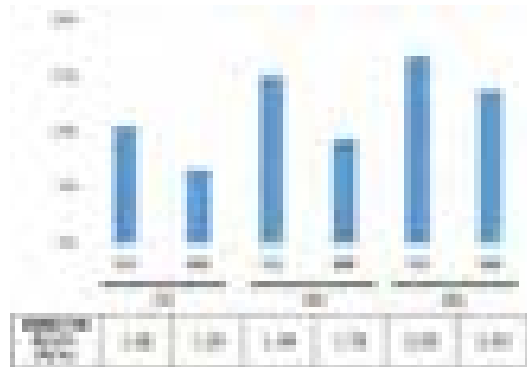


図4. 給餌量毎のウニの成長比較（戸井）

また、吉浜では内湾環境において安定した生産が可能であることが分かった。小子内浜では課題 2-1 で試作したガニアシ含有飼料において、輸入海藻よりも A 品率が優れるとの結果が得られた。神恵内は、A 品率が極めて高かったが、試験中に時化により生簀が消失したため、カゴとの比較ができなかった（表2）。

表2. その他実証試験結果の概要

		殻重量(kg)	剥身重量(kg)	歩留(%)	A 品率
吉浜	生簀	32.8	4.4	13.4	74.4
小子内	輸入海藻	16.7	2.4	14.6	46.5
	ガニアシ	16.5	2.5	15.2	57.1
せたな	港口	46.5	5.0	10.8	45.7
	港奥	14.5	1.6	10.9	37.1
	中央	18.7	2.4	12.6	71.9
	全体	79.7	8.9	11.2	51.1
神恵内	カゴ	47.6	5.4	11.3	92.8

当年度の実証試験で生産されたウニは、12月～1月に首都圏の百貨店で「はぐくむうに」として試験販売を行い、消費者の食味に関する評価を解析した（図5）。洋野町の養殖ウニは、天然ウニと遜色のない評価をいただいた。落部は、苦味が強い傾向が見られたが、冬季のウニとしては品質が高いと判断された。



図5. 左：日経 MJ（2022 年 1 月 19 日）、右：試験販売による食味評価

さらに、洋野町・宿戸と、八雲町・落部の実績値から養殖コストの算出を行った。品質の高いウニを生産する「洋野町・宿戸式」では、生産コストが高くなることを想定しているが、天然と遜色のない品質であれば、十分に利益を確保して流通されることが想定される。また、大量生産を前提とした「八雲町・落部式」では、生残率や浜値は、洋野町には劣るものの、大量生産によりコストダウンが可能である。本年度は資材費・労務費を 225 円（申請時）から、82.5 円/個とすることを目標としていたが、いずれのモデルでも目標が達成された。また、飼料コストは、多めに見積もってウニ重量当たり 15%で試算したが、戸井の結果から、8%でも高い歩留改善が見られたことから、36~45 円/kg までコスト削減が可能と見積もられる。飼料原料の高騰により価格が上がった場合でも、許容できる余地がある。その上で、両モデルともそれぞれ 300~400 円/kg の生産者利益が確保できると想定された。



図6. 本年度の実証試験実績に基づく養殖コスト試算と、
養殖実証試験の写真（右上：宿戸、右下：落部）

(2) 養殖ウニのメタボローム解析による客観的指標の構築

配合飼料を利用したウニ養殖技術高度化と養殖ウニ高付加価値化のため、メタボローム解析によるウニ養殖の客観的指標構築を目指し、養殖ウニ官能試験結果と相関の高い化合物について解析を実施した。令和元年度は、解析に洋野町の天然ウニ 40 サンプルと養殖ウニ 100 サンプル、水槽飼育ウニ 50 サンプルを用いた。サンプル採取はひろの屋にて実施。他の試料との共用によるコンタミネーション防ぐため、本事業にて購入した解剖用ハサミとピンセットを用いて、計測の終了したウニ可食部から 200 - 400mg 程度を切り出し、1.5mL チューブに回収後ドライアイスを用いて即時凍結した。サンプルは岩手生物工学研究センターに持ち帰り-80℃で保存した。

凍結保存したサンプルから 10- 50mg の試料を切り出し分析用電子天秤にて試料の正確な重量を測定後、2mL チューブに回収した。各サンプル 2 本（水溶性成分抽出用と脂溶性成分抽出用）を用意した。水溶性化合物抽出は、サンプルに 10 倍量（重量/体積）の純水：メタノールの 1 : 1 混合溶液（50%メタノール溶液）を添加したのちに、ポリトロンホモジェナイザーにて破碎し実施した。その後、20,000g、4℃で 10 分間遠心分離を行い、上清を抽出液として回収し-80℃で保存した。脂溶性化合物は、サンプルに 2 倍量（重量/体積）のメタノールを添加した後に超音波にて破碎し、サンプルと等量（重量/体積）のクロロホルムを添加し、30 分間ローテーターにて攪拌することで抽出した。攪拌後の抽出溶液にサンプルと等量の純水、サンプルと等量のクロロホルムを添加し、ボルテックスによる攪拌ののち、室温にて 3000g、3 分間遠心分離を行い、水層とクロロホルム層

に分離した。クロロホルム層は褐色ガラスバイアルに回収した。クロロホルム層を回収した抽出溶液にサンプルの2倍量のクロロホルムを再度添加し、ボルテックスによる混合後、遠心分離を実施し、クロロホルム層を再度回収した。褐色ガラスバイアル中のクロロホルム抽出液をヒートブロックにて40℃に温め、窒素ガスを吹き付けながら溶媒を除去した。ガラスバイアルにサンプルの10倍量のエタノールを添加し、脂質成分を再溶解し、-80℃で保管した。

メタボローム解析には SCIEX の高速液体クロマトグラフ質量分析装置 (LC/MS: TripleTOF 5600+) を、データ解析には SCIEX OS ならびに MSDial を用いた。-80℃に保存しておいた水溶性成分抽出サンプルから LC/MS 分析のために 50 μ L を分注した。電動ピペットは正確なサンプル分注のために用いた。LC/MS 分析のカラムには GL サイエンスの InertSustain AQ-C18 カラムを用いた。水溶性成分の分析は、0.1%の割合でギ酸を添加した超純水を移動層 A、0.1%の割合でギ酸を添加したアセトニトリルを移動層 B に用い、グラジエント条件で実施した。脂溶性化合物の分析は、超純水：メタノール：アセトニトリル (6：2：2) 混合液に終濃度 5mM ギ酸アンモニウムと 10nM EDTA を添加した溶媒を移動層 A、イソプロパノールに終濃度 5mM ギ酸アンモニウムと 10nM EDTA を添加した溶媒を移動層 B として用い、グラジエント条件で実施した。QTOFMS での MS スペクトルおよび MSMS スペクトルは、Data Dependent Acquisition (DDA) 法にて取得した。得られたデータ解析は MSDial を用いてサンプル間でのアライメントを実施し、各サンプルにおいて検出されたイオンの Hight と官能試験結果の相関解析を Excel で実施した。

天然ウニと養殖ウニのメタボローム解析により、水溶性化合物として 11946 イオンを検出し、官能試験結果と相関の高い化合物として 9 イオンを検出した。9 イオンのうち 6 イオンが m/z : 160.133 のイオンであり、分子式が $C_8H_{17}NO_2$ の化合物であると推定された。6 イオン共に旨味との高い相関関係を示しており、ウニの旨味に寄与する化合物と推察された。MSMS スペクトルから Amino octanoic acid (図 1) と推定され、アミノ基の位置の異なる構造異性体と考えられた。

次に、天然ウニと養殖ウニ、水槽飼育ウニにおけるアミノ酸含有量の比較を行なった。サンプルは 50%メタノール抽出サンプルを用いて解析した。質量分析では 20 種アミノ酸それぞれを検出するための MRM メソッドを作成し分析を実施した。アミノ酸には旨味アミノ酸や苦味アミノ酸などがあり、ウニにおいてもアミノ酸は味を左右する要因となっていると

考えられる。グリシンやアラニンなどの甘味アミノ酸、グルタミン酸などの旨味アミノ酸含有量は、天然ウニと養殖ウニにおいて大きな差は観察されなかった。一方で、ロイシンやイソロイシンといった苦味アミノ酸は養殖ウニにおいて高いことがわかった。養殖ウニを天然ウニの風味に近づけるためには、苦味アミノ酸を低減させる必要があると考えられた（図2）。

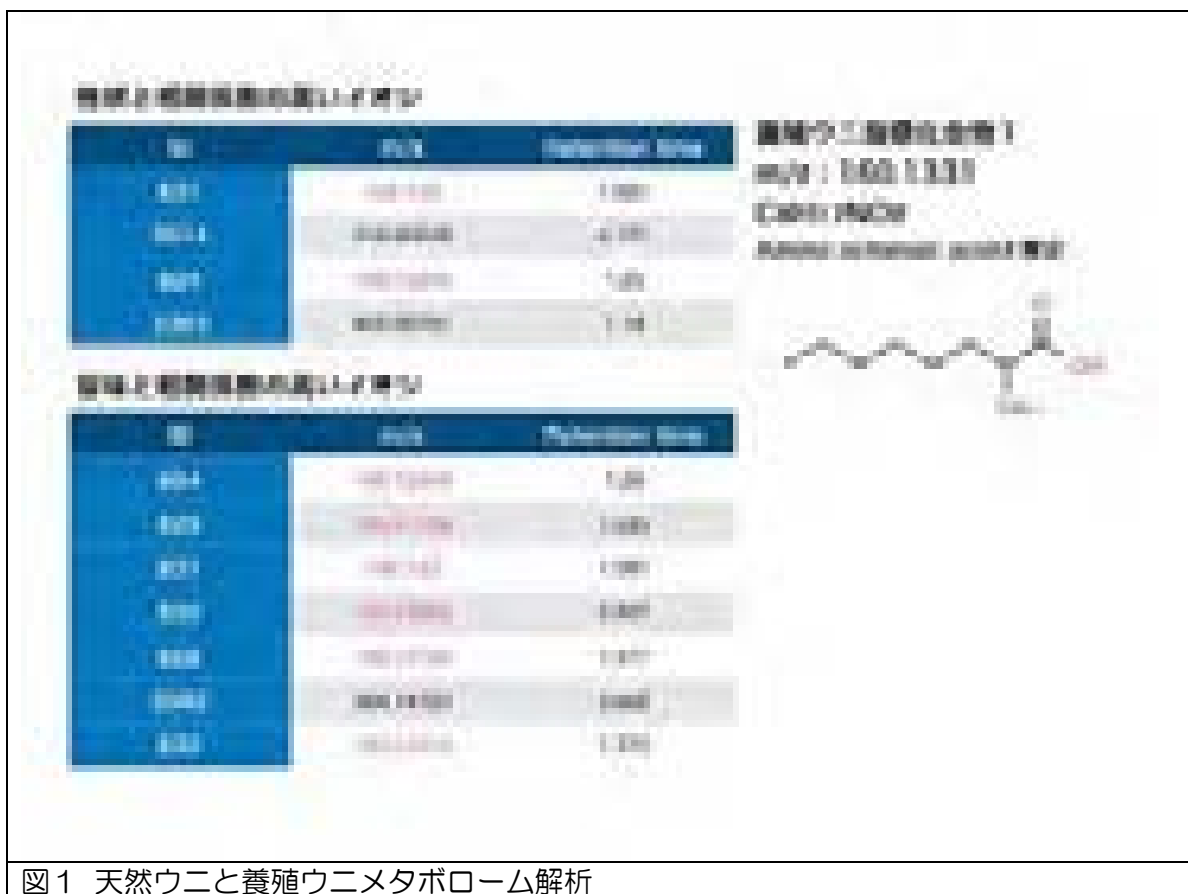


図1 天然ウニと養殖ウニメタボローム解析

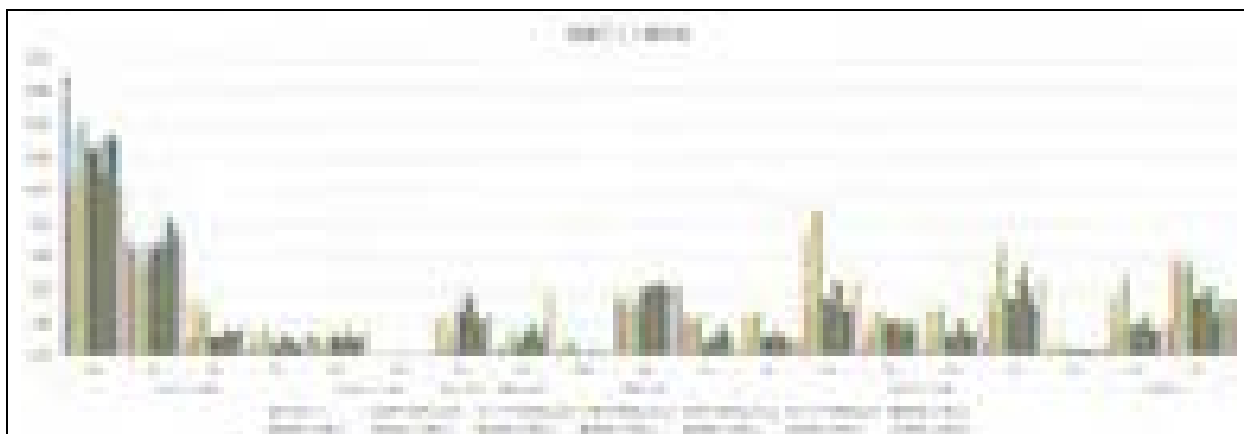


図2 アミノ酸分析結果

R2 年度は養殖飼料の改良のため、(株)愛南リベラシオが飼料中のタンパク質摂取量 (CP) を調整して水槽飼育したウニサンプルについてメタボローム解析を行った。一般に、CP 値は官能評価と逆相関することが知られており、高 CP 飼料、すなわちタンパク質摂取量を高めた飼料での養殖は味を低下させ、低 CP 飼料、すなわちタンパク質摂取量を抑えた飼料での養殖により、味が良くなる傾向が知られている。したがって R1 年度に見出した官能評価と相関する化合物は、CP 値の変化に伴って変動することが期待される。養殖ウニをサンプリング後急速冷凍したのち、昨年度と同様の手法で抽出を行い、メタボローム解析を実施した。各サンプルにおいて検出されたイオンの Hight と CP 値との相関解析を Excel で実施した。相関係数 0.8 以上、および-0.8 以下の化合物を絞り込んだ後、低 CP および高 CP 値サンプル間の Hight について T 検定を行い、有意差のあるもの ($p < 0.05$) を特定した。

CP 値と負の相関を示す化合物として、旨味成分グルタミン酸、および TCA 回路を構成し、脂肪酸合成やグルタミン酸合成に必要なオキサロ酢酸が特定された。グルタミン酸は旨味そのものであることから、低 CP 摂取がもたらす味の向上をそのまま示すものと考えられる。一方、オキサロ酢酸は TCA 回路の中間体として卵巣の成熟に欠かせない脂肪酸合成や、旨味成分グルタミン酸合成に関与する。低 CP 飼料において相対的に高くなる炭水化物から、脂肪酸やアミノ酸を合成する経路が活性化することで、旨味が強くなっていることが推測される。

一方、CP 値と正の相関を示す成分として、プロリン、グルタミン、ピログルタミン酸が特定された。これらは、旨味成分グルタミン酸から酵素的あるいは非酵素的に生成するアミノ酸であり、高 CP 飼料ではグルタミン酸が蓄積せず、旨味の無いアミノ酸に変換されていると考えられた (図3)。高 CP 飼料では一部のアミノ酸供給が過剰となり、変換経路が働き生体内でのアミノ酸組成バランスを保つよう調整されている、あるいは貯蔵向きの成分に変換されている可能性がある。

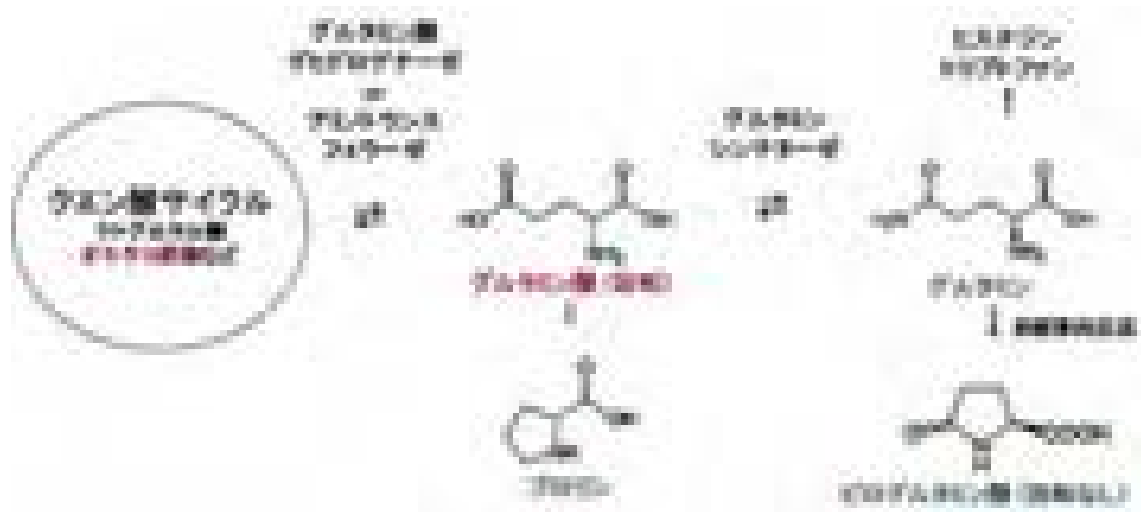


図3. CP 相関成分の代謝経路図（赤：負の相関成分、青：正の相関成分）

R1 年度に引き続き、ウニの旨味等と相関の高い化合物を特定するため、複数産地のウニについてメタボローム解析および官能試験を実施した。R2 年度は、洋野町の 2 地区で養殖され、11 月に回収した 95 サンプル、洋野町の 3 地区で養殖され 12 月に回収した 110 サンプルを用いた。サンプル採取と官能試験は、ひろの屋にて実施した。サンプルは前年度と同様、1.5mL チューブに回収後ドライアイスを用いて即時凍結した後、岩手生物工学研究センターに持ち帰り-80℃で保存した。

ウニ官能試験は12名で行い、色、性状（形）、甘味、旨味、苦み、異臭について、5段階で採点し、平均値による評価を行なった（表1）。11月のサンプルについては生殖巣の増加が十分でなかったため官能評価は行わず、12月のサンプルについてのみ評価を実施した。それぞれ品質評価の高いもの上位2産地を赤字で、評価の低い下位2産地については青字で示している。その結果、No.8 小子内地区のカゴ養殖サンプルが最も高い品質を有していることが明らかとなった。同結果を統計処理ソフト「R」を用い、群間比較を実施したところ、No.8 小子内カゴと No.10 八木沖側の間で、最も有意差が大きいことを確認している。苦味については、No.4 種市青と No. 8 小子内カゴ間の有意差は小山内カゴと八木沖側に次いで大きかった。これらのサンプルについて、図4に示すデータ解析プロトコルに従いメタボローム分析を行った。



1. UniMatrixの分析データをMatrix (関数) で読み出し、各サンプルに対応する成分を抽出
2. 分析データをExcelに出力し、各成分における成分量の平均値と食味(色・香り・旨味・酸味・苦味・臭気)との相関をCORREL関数を使用して算出
3. 食味の順位について、各成分での有意差をF検定を使用して検定
4. 有意差が認められた「小子内側間」は「LSD検定」の関数で各成分の有意差を検定
食味について差が認められなかった「小子内側間」間でも有意差検定を実行
5. 上述検定結果の相対値が有意と見出し、かつそのどちらかの検定で有意差が認められた「小子内側間」成分を抽出(食味に相関し、有意差が異なるサンプル間で食味に有意差が異なる成分)
6. 抽出した成分の各成分における量をまとめたExcelで関心成分を作成

※F検定、LSD検定については、検定結果からサンプル間の差を導き出す

図4 ユニマトリクスデータ解析プロトコル

解析プロトコルに従い作成した化合物リストを図5に示す。R2年12月のNo.8 小子内カゴとNo.10 八木沖側間で含有量について有意差を示し、官能評価での相関係数の絶対値が大きい(官能評価と関連する)成分について、品質向上に資するものは赤で、品質低下に関連する成分は青で表記した。No.10 八木沖側の特徴として“強い苦味”が挙げられるが、抽出された成分リストには苦味アミノ酸として知られるバリン、イソロイシン、ロイシン、トリプトファン、リジン、メチオニン、ヒスチジンが品質低下に資する成分として抽出され、甘味アミノ酸として知られるアラニンが品質向上に資する成分として抽出されている。一方、甘味アミノ酸であるスレオニンについては、品質低下に資することが示されており単純な解釈ができない。品質向上に資する成分としてクレアチンが抽出されたが、クレアチンはアルギニンやグリシン、メチオニン等から、S-アデノシルメチオニンを経て生成されることが知られており、苦味成分が代謝され減少することでクレアチンが蓄積したと解釈可能である。クレアチンは産地間での含有量差が大きく、官能評価のマーカーとして活用しやすい成分と

考えられる。苦味アミノ酸ロイシンやチロシンのグルタミル化成分が品質低下に資する成分として抽出されたが、グルタミル基が呈味作用を強めると報告されていることから、苦味も増強されている可能性が考えられる。昨年度の解析では Amino octanoic acid が旨味との相関成分として抽出されたが、今年度の解析ではリストに含まれず、成分の年次変動があることが示唆された。一方、昨年度と同様にアミノ酸の関与が明らかとなり、今回の分析及び、高タンパク質摂取（高 CP 飼料）による品質低下においても苦味アミノ酸の関与が示唆されていることから、餌のタンパク質量調整等の対策が、ウニの旨味向上に有効である可能性が示唆された。

品質と成分との相関(+ : >0.8, - : <-0.8)

差を示した成分リスト

脂質メタボローム解析により、品質と相関する脂質成分が複数抽出された。このうち半数は性状に關与するが、脂質は細胞の形（膜）を構成する成分であり、性状との相関は妥当と考えられる。一方、甘味・旨味と相関する脂質としてホスファチジルエタノールアミン（PE）16、PE18 および PE lyso20 が、甘味と相関する脂質としてアラキジン酸と

PE19 が抽出された。アラキジン酸は炭素鎖長 20 の飽和脂肪酸で、脂としての旨味を示す成分と考えられるが、他の脂質については味との関連についての研究報告が乏しく、高分子であるため構造の特定も困難で官能評価にどのように貢献しているか推定が難しいことから、指標成分として不適であると考えられた。

R3 年度は、R2 年度までに得た、養殖ウニの官能評価と関連する化合物リストについての再現性確認を行うとともに、ウニの商品価値を左右する色に關与する生殖巣のカロテノイド群の網羅的解析を行った。

養殖条件および飼料組成改良の結果、養殖ウニの実入は大きく改善したが、白っぽいものや黒ずんでいるものなど、色づきが悪いために美味しそうに見えない個体が散見することが新たな課題として浮上していた。そこで、色付きの改善を目指した飼料の改良に並行して、ウニの色に關連が深いと推測されたカロテノイド群についての網羅的解析を行った。特に昨年度までに得た表 2、表 3 に示す化合物を中心に検討を行った。

表2、官能試験と相關する化合物リスト

化合物	相關を示す項目	化合物	相關を示す項目
タウリン	性状	バリン	苦味、異臭
クレアチン	性状、甘み	トリプトファン	苦味
アセチルコリン	性状	ε-アデノシルメチオニン	苦味
アラニン	性状	γ-グルタミルロイシン	苦味
グルタチオン	性状	γ-グルタミルチロシン	苦味、異臭
アラキジン酸	甘み	γ-グルタミルメチオニン	異臭
ヘンイコシル酸	性状		
ヘベン酸	性状		

表3、餌タンパク質含量と相關する化合物リスト

化合物	相關	(旨味との相關)
グルタミン	+	(-)
ピログルタミン酸	+	(-)
プロリン	+	(-)
オキサロ酢酸	-	(+)
グルタミン酸	-	(+)

比較対象として、養殖飼料の性能評価のために磯焼け海域で飢餓状態にあったウニを養殖したもの（ヤセウニ）を、食味との相關化合物の特定に活用した。11 月 18 日および 11 月 25 日に、ヤセウニと増殖溝で養殖を行ったウニについて、生殖巣採取と官能試験を実施した。旨味相關指標候補成分クレアチンと、苦味相關指標候補成分γジペプチド（γグルタミルロイシンおよびγグルタミルチロシン）についての解析結果を図 6 に示す。

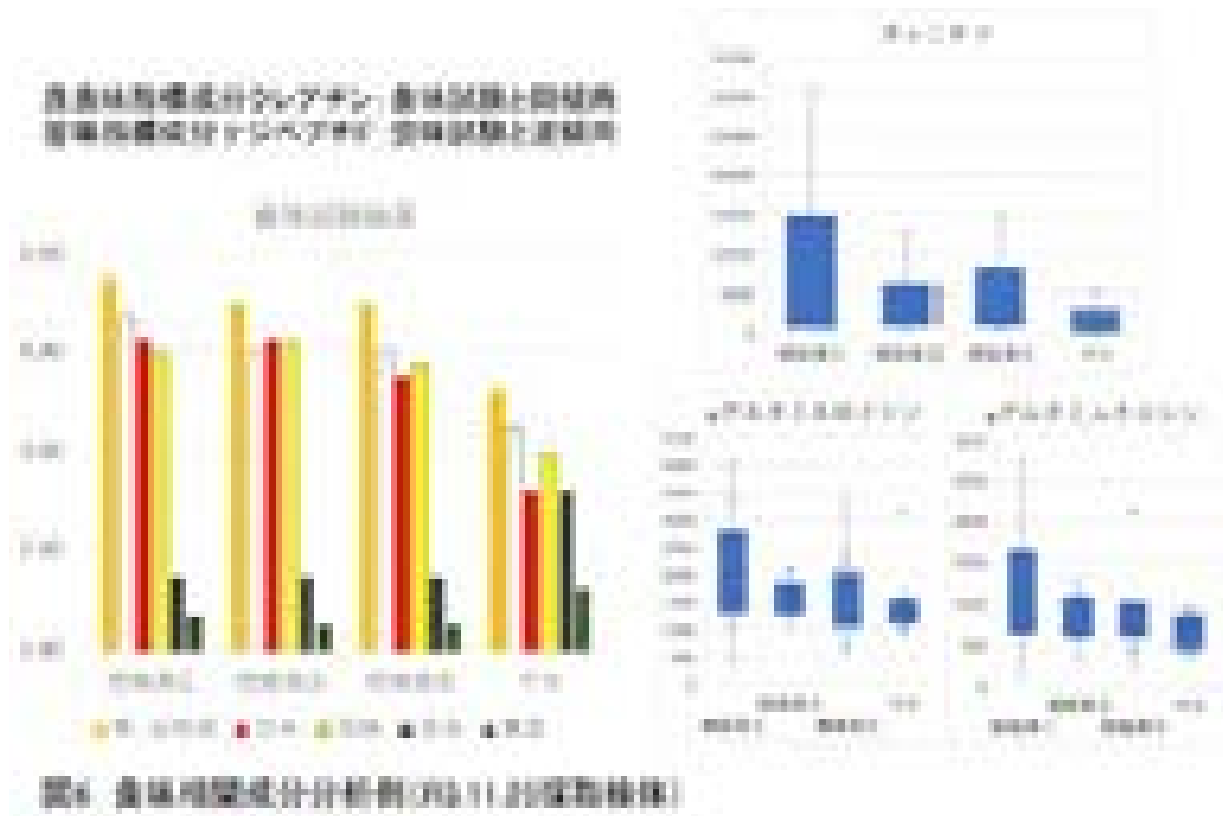
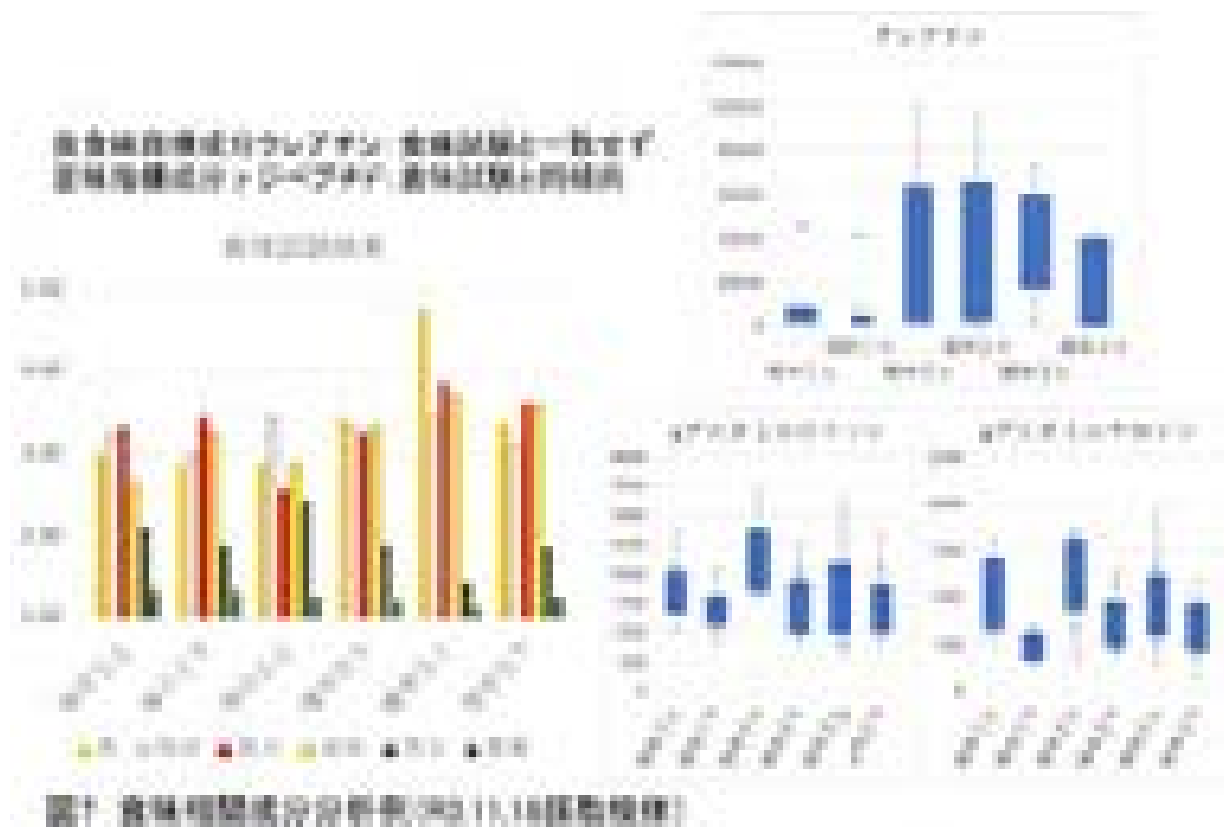
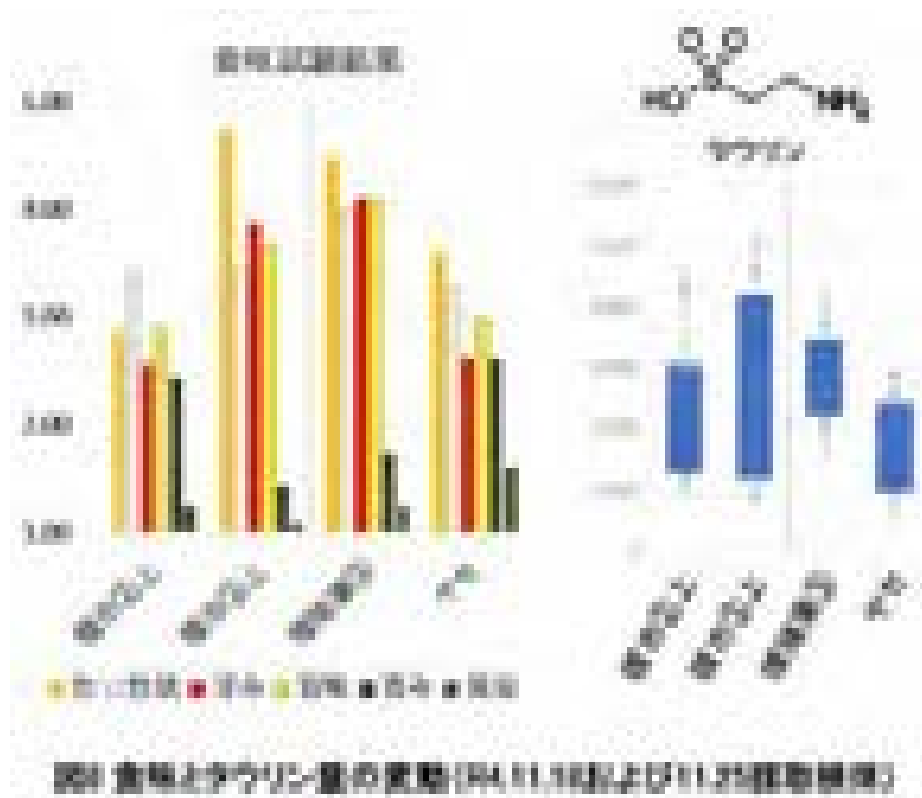


図6. 食味試験結果から推定されたクレアチン含有量とγ-グルタミル含有量

食味試験結果では、ヤセウニは他のウニと比較して苦味が強く、甘味や旨味が少ない結果を得ている。メタボローム解析を行い、甘味の相関成分として推定されたクレアチンについて検討したところ、ヤセウニに少なく、増殖溝の養殖ウニ群で含有量が高い傾向を示した。一方、苦味と相関するγグルタミルアミノ酸については、意外にも食味試験で苦味が強いヤセウニで低く、苦味が少ない増殖溝のウニで高い傾向を示した。γグルタミル修飾はアミノ酸の苦味を強調することが知られていることから、苦味指標成分としても矛盾は無く、想定外の結果であった。我々は、さらに種市の6つの養殖群について、食味試験とメタボローム解析を実施した(図7)。



食味試験では、種市②上が図1のヤセウニと近く、種市③上が図1の増殖溝ウニと近い結果を示している。しかしながらメタボローム解析によるクレアチンの相対量は、種市③上は高めであるものの種市②上のばらつきが大きく、クレアチンが食味（甘味）の指標とはなり得ない結果を示した。一方、苦味の指標成分γグルタミルアミノ酸の相対量は、種市②上で高く種市③上で低めを示し、食味と同傾向であった。その他の指標候補成分についても検討を行ったところ、11月18日、25日の全てのウニ群の食味試験と同傾向の変化を示したのはタウリンであった（図8）。



タウリンは無味無臭とされているが、魚類等の水圏生物において細胞の浸透圧調整に必須の化合物として知られており、ウニの健全な生育の指標成分である。また、タウリンは、ヒトにとっても疲労回復等の効果が知られている。一般論として、よく育ったウニの方が生育の悪いウニより美味しいと考えられることから、タウリンは食味とも関連する指標成分として適していると考えられた。

上記の食味に関連する成分の他に、ウニおよび飼料の色素分析を実施した。ウニの商品価値を大きく作用するのは、味とともに見た目、特に色である。実入よく育ち、形も綺麗であったとしても、色が薄いあるいは黒ずんでいれば、販売価格は下がってしまう。事前調査において、ウニ生殖巣の主な黄色素はカロテノイドの一種エキネノンで、エキネノンはβカロテンから代謝されることが報告されており (J. Peng et al., Nutrients 2012)、色づきの改善には飼料に含まれるβカロテン量が重要であることも示唆されている (Robinson et al. 2002 他)。そこでβカロテン強化飼料を作製し養殖を行うとともに、飼料および生殖巣のカロテノイド群分析を行った (表4、図9)。

βカロテンおよびエキネノンは、ともに黄からオレンジの色素であり、蓄積することでウニ生殖巣の色を改善する効果が期待される。今年度の養殖に使用したのは、表3に示した飼料のうち「2021年製造EP」で、βカロテン含量は100 ng/mgを超え、昨年度使用し

ていた飼料の 50 倍以上の濃度である。βカロテン等のカロテノイドは、酸化により変化しやすい性質があるが、使用した「2021 年製造 EP」では十分に保持されていることが確認された。この今年度のウニは、昨年度カロテノイドが少ない飼料で養殖したウニに比べ色づきが改善され、商品としての評価も高かった。

表 4. 飼料及び飼料原料中のカロテノイド量

飼料名	カロテノイド量 (μg/g)			
	β-カロテン	α-カロテン	β-シロフィネン	ルテイン
2021年製造 EP	150	20	10	5
2020年製造 EP	100	15	8	4
2019年製造 EP	50	10	5	3
2018年製造 EP	20	5	2	1
2017年製造 EP	15	4	1.5	0.8
2016年製造 EP	10	3	1	0.5
2015年製造 EP	8	2.5	0.8	0.4
2014年製造 EP	5	1.5	0.5	0.2
2013年製造 EP	3	1	0.3	0.1

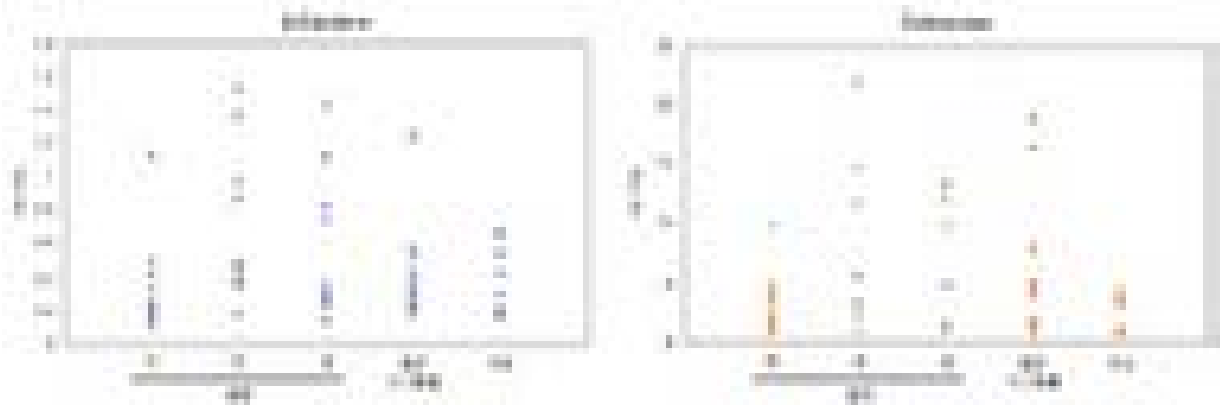


図8. 2021年採貝サンプル中のカロテノイド量

最終章 全体総括

本補助事業の研究成果では、ガニアシに代表される海藻の未利用部位の再資源化と、短期間でウニの可食部歩留を改善させる配合飼料や養殖手法の確立に成功した。3年間の事業期間において北海道や岩手県・宮城県等で大規模な実証試験により、品質の高いウニの生産が可能であることが見い出され、漁業者も利益が確保できることが検証された。また、本年度は、首都圏の百貨店での試験販売を達成するなどの大きな成果を上げている。国内には、ウニ養殖に関して類似のプロジェクトがあるものの、本プロジェクトは、それらと比較して、最も実証的な取り組みであると言える。

藻場は「ブルーカーボン」として、海洋生態系において炭素の隔離・貯留する機能を持つ。四方を海に囲まれた我が国が世界の地球温暖化対策に貢献するためにはブルーカーボンの推進が最も有効で、ウニ対策を含めた藻場の保全・回復は国の重要推進施策の一つとなっている。磯焼け海域の痩せウニを用いたウニ養殖は、磯焼けからの藻場の回復も期待され、カーボンオフセットにおける新たな価値を生み出す可能性がある。

○ 補助事業の成果に係る事業化展開について

(1) マーケット動向

養殖ウニの顧客となる小売店・飲食店からは、ウニの安定供給に対するニーズが極めて高い。特に、この1年は、北海道道東で発生した赤潮によりウニの供給量が激減したこと、世界情勢からロシア産ウニの輸入にリスクが生じていることなど、ウニの流通状況は大きく変化している。特に、我が国に輸入されるウニのうち、ロシア産は50%程度を占めており、供給の安定化が強く求められている。現在流通しているウニは、99%以上が天然であるが、今後、安定的に生産できる養殖ウニが求められることは間違いない。

(2) 事業化見込み

本研究で確立された、ガニアシ再資源化によるウニ用配合飼料と、生簀等の養殖技術は、全国でウニ養殖に取り組みたいと考える漁業者・水産会社等が想定される。前述のように、申請者らは、ウニ養殖では国内で最も先進的且つ実証的な取り組みを行っていることから、ウニ養殖に取り組みたい全国の漁業者や自治体から連携の打診があり、本事業で確立された技術を全国に波及する体制が整っている。

(3) 事業化の時期・目標

報告書作成時点で、令和4年度の事業化に向けて、漁業者との調整を行っている。具体的には、洋野町宿戸では、本事業による成果を活用して、まずは令和4年度に2~3tの生産の計画を進めており、必要な飼料やその他資材を、株式会社ひろの屋らが販売する。宿戸のアワビ増殖施設（30m×120m）内にカゴを設置した場合には、同時に、最大で20t~40tのウニ生産が可能であり、将来的に増産を進め、洋野町のウニ養殖拠点として活用をしていきたい（図1左）。

また、北海道八雲町落部では、港湾内に新たな大規模な生簀を設置する方針であり、5~10tの生産量を予定している。生簀には、本事業で取得される特許技術（特許第7029133号等）を活用する予定で、株式会社ひろの屋・株式会社北三陸ファクトリーが、資材メーカーとライセンス交渉を進めている（図1右）。



図1. 洋野町宿戸のアワビ増殖施設（左）、落部漁港内の生簀設置予定場所（右）

ウニ用配合飼料は、保形性確保のために使用される小麦粉が、全世界的に供給不安定となっており、飼料原価は変動の可能性があるため、日清丸紅飼料株式会社との調整を行っている。飼料に関する特許（特願2022-001952）は、審査中であり、特許が取得され次第、日清丸紅飼料株式会社に対してライセンスする予定である。

ガニアシ再資源化については、現時点では廃棄物としての受け入れ体制は整っていないことから、乾燥加工や粉碎加工（1mm未満）が可能な企業に外注して、有価物としての利用から進めつつ、実績を積み上げた上で、自治体との連携により、270円/kgへのコストダウンを図る。

6. 補助事業の成果に係る知的財産権等について

本事業の成果は、以下のように特許4件、商標2件の出願を行った。その結果、2件の

特許出願について、特許査定が得られた。

出願番号/特許番号	出願人	権利の内容	状況
特願 2022-001952	北海道大学 / ひろの屋 / 愛南リベラシオ	CMC を含有するウニ養殖用飼料	審査対応中
特許第 7029133 号 (特願 2021-204680)	ひろの屋 / 北三陸ファクトリー (KSF) / 愛南リベラシオ	側面に鋭角となるよう仕切板を設けたウニ用容器	特許登録
特願 2022-016944	ひろの屋 / KSF / 愛南リベラシオ	仕切板で区切られた空間に通過経路が備えられたウニ用容器	特許査定
特願 2022-016945	ひろの屋 / KSF / 愛南リベラシオ	特願 2021-204680 の分割新出願。	未審査請求
商願 2021-157707	ひろの屋 / KSF	HAGUKUMU-UNI はぐくむうに (ウニ)	出願済み
商願 2022-013185	ひろの屋 / KSF	HAGUKUMU-TANE はぐくむたね (飼料)	出願済み

以上