ウニの陸上養殖　マニュアル（案）別添資料

目次

2－１　調査概要 1
2－2　稚ウニの入手 2
（1）稚ウニの採取 2
（2）運搬方法 3
（3）採取時期 3
2－3　養殖事例（かけ流し型半循環型養殖・田代島） 4
（1）実験方法（手順） 4
（2）設備 5
（3）条件 5
（4）2021 年実験結果・考察 8
（6）2022 年度実験結果・考察 10
2－4　養殖事例（閉鎖循環型養殖・宮城大学） 12
（1）実験方法（手順） 12
（2）設備 14
（3）条件 15
（4）2021 年度実験結果・考察 17
（5）2022 年度実験結果・考察 19
2－5　年間スケジュール 21
2－6　養殖モニタリング結果 22
（1）IOT 技術の活用 22
2－7　流通体制構築にかかわる可能性調査 23
（1）目的 23
（2）流通体制構築に関わる可能性調査の手法 23
（3）養殖事業モデルの基本工程の想定 24
（4）企業へのヒアリング実施 24
（5）先行事業者へのヒアリング実施 27
（6）養殖ウニの試食会 29
（7）ウニの市場動向について 56
（8）宮城県産のウニについて 58
（9）販路構築にあたっての今後の方向性 60
2-8　再生可能エネルギーの活用について 64
（1）調査概要 64
（2）測定結果 64
（3）電気料金の削減効果 68
（4）採算性の確認 71
（5）採算性確保に向けた取り組み 82
2－9　屋上緑化を組み合わせた屋内温熱環境改善手法の検討（伊吹　竜太） 83

（1）目的 83
（2）方法概要 83
（3）栽培準備作業・栽培管理について 84
（4）シート施工および屋根面緑化による遮熱効果の結果 87
（5）屋根面栽培の結果 88
2－10　ナマコ混合養殖試験 91

第 2 章　ウニの養殖事例

2－1　調査概要

(1) 目的

ウニの陸上養殖については、半循環型と閉鎖循環がある。前者は、特に海水が手に入りやすい沿岸域では管理が容易で、後者は、水温コントロールによる冬場の出荷が可能となっている。そのため、本調査では半循環型養殖と閉鎖循環型養殖とを比較した。

具体的には、半循環型については、田代島の仁斗田漁港背後の宮城県漁協石巻地区支所所有の施設で宮城県漁協石巻地区支所の協力のもと養殖試験を行った。また、閉鎖式については、宮城大学内でろ過システムを導入し必要に応じて換水を設置し、同期間養殖を行った。

本書では実証試験・調査結果を踏まえ、出荷可能なレベルまでの事業採算性のある陸上養殖方法の一例を提示する。

〇用語説明

・半循環型とは

半循環型養殖とは、飼育水の一部は新たな飼育水をいれて飼育するものである。

仁斗田漁港内においては、海水をポンプアップし、飼育水を得ている。夏場はかけ流しで飼育を行う。冬場は飼育水温をあげるため、ヒーターを設置し、飼育海水を循環して飼育を行う。定期的な換水を行うため、半循環型とする。

・地下海水かけ流しとは

仁斗田漁港では，2021 年度に地下 7m より海水を掘り当てた。その地下海水を用いることで，夏季，冬季に安定した水温を得ることが可能となると考える。地下海水をポンプアップし，飼育水を得る。一年間を通して，かけ流しで飼育を行う。

・閉鎖循環型とは

閉鎖循環型養殖とは、掃除や蒸発分以外は新たな飼育水は入れずに飼育水はポンプなどで循環しながら使用するものである。

宮城大学においては濾過槽を設置し、水質浄化することで飼育水の環境を保った。加えて、定期的にウニの糞の掃除をしており、その際に排出される飼育水を新たに新しい海水を加えている。

2－2　稚ウニの入手

(1) 稚ウニの採取

【ウニの選定】

飼育水槽やウニ収容カゴ、飼育水の準備が整った後、ウニの入手となる。本試験では、身入りの向上を目指すものであり、海藻が少ないあるいは磯焼け海域から駆除対象となっているウニを入手した。養殖に用いるウニだが、殻径が大きいものは年齢が高いこともあり、生殖巣の発達が悪い可能性が高い。そのため、殻径が小さいもの（約 3~6 ㎝）を対象として養殖した方が短期での身入り向上を目指すことが出来る。

【方法】

ウニの採取方法には大きく分けて①カギ竿による採取、②カゴによる採取、③ダイバー等による手づかみ採取の 3 つある。これら全てでウニの種苗を得ることは可能であるが、管足を傷つけやすい①のカギ竿による漁獲はその後の生残に影響を与える可能性が高く、ウニの畜養には②、③の方法が良い。管足をなるべく傷つけないように採取することがポイントである。

ウニの採取に最も気を付けるべきは、採取後のウニの取り扱いである。ウニを空気にさらす時間を最小限にすることが重要である。船上にタンクを用意し、水揚げ後すぐにタンク内へ収容することで、その後の生残を 90%以上することができる。カゴなどに入れ、空気に晒したまま船から揚げ水槽へ移動した場合は、水槽へ移動後に棘が徐々に抜け始め、1 週間後には 8 割以上死亡する場合がある。移動後にはすぐに死亡しないが、空気に晒す行動が最もウニにダメージを与えると考えられる。

図 1　ウニの採取

(2) 運搬方法

ウニの採取でも記載したが、空気に晒す時間を最小限にする必要がある。そのため、運搬においても海水中にウニをいれた状態にする必要がある。少量の運搬であれば、市販の発泡スチロール箱容器に海水をいれ、エアレーションをすることで運搬可能である。本事業において石巻市から宮城大学のある仙台市太白区までの運搬は写真の通り、タンクをトラックに置き、その中に海水を入れ、エアレーションをした状態で運搬した。酸素不足もウニに大きなダメージを与えるため、エアレーションを使用することは重要である。また、運搬後にウニをタンクから水槽へ移動する際に、タンクへ直接ウニを入れると、ウニの管足がタンク壁面にしっかりと張り付いていることから管足を傷つけずにとることができず、ウニにダメージを与えてしまう。ウニの管足は呼吸や摂餌などにも使われる重要な器官であり、この管足を傷つけないことも重要である。管足は海水から出すと殻の中に引っ込む。そのため、タンク内に図表1，2のようにカゴを入れ、カゴごと海水からウニを取り出せるように工夫しておくと良い。この方法を用いることで管足を傷つけることなく、ウニを引き上げることができる。

図 2　ウニの輸送の様子 1

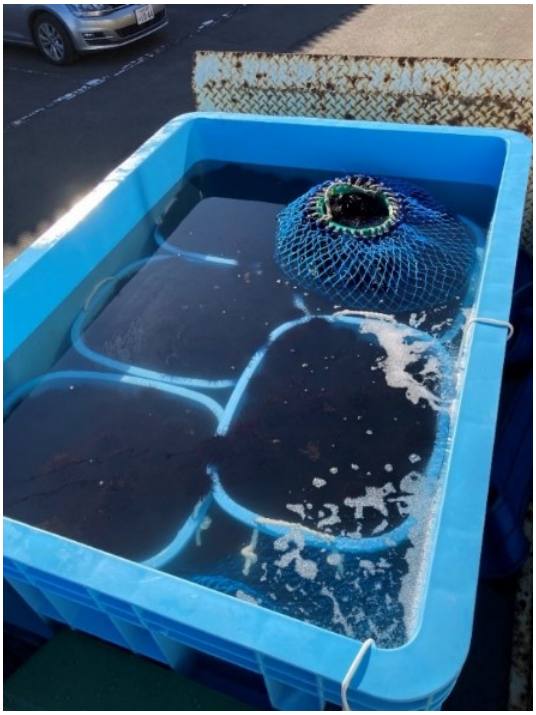


図 3　ウニの輸送の様子 2

(3) 採取時期

採取時期は漁期が定められている場合は、漁期内で漁獲することが求められる。漁期以外での採取は密漁となるため気を付けなければならない。宮城県における漁期は 3 月～9 月であるが、抱卵放精しやすい 8 月、9 月での採取は少しの刺激で抱卵放精しやすいため採取後の取り扱いに気を付ける必要がある。

抱卵放精することで飼育水の水質が悪化し、ウニが死亡しやすい。特に海水の入手量が限られる場所での飼育においては、できるだけこの時期は避けるべきである。抱卵放精後での採取が良いが、現在の漁期の設定では難しく、今後の課題である。

2－3　養殖事例（かけ流し型半循環型養殖・田代島）

(1) 実験方法（手順）

仁戸田漁港の既存の施設内にて、710Ｌ水槽 5 基を連結した養殖水槽を設置した。各養殖水槽へは、濾過水槽から循環ポンプにより 7.5Ｌ/分で天然海水を入水した。飼育水は 710Ｌ水槽に約 500Ｌとなるように設置しており、1 日で約 3.4 回転する計算となる。飼育水は仁戸田漁港内岸壁から汲み上げポンプ（40TMA2.25S、鶴見製作所）を用いて、天然海水をポンプアップした。この天然海水を濾過水槽内でフィルター濾過した後、飼育水として用いた。2021 年 12 月より半循環型へ変更する予定だったが、水位調整が出来ず、かけ流しでの試験となった。各水槽内にはエアレーションを設置した。照明は作業時のみ点灯し、天然光下で試験した。11 月よりヒーター（SHI-1KW-100V1-G、レイシー）を設置した。

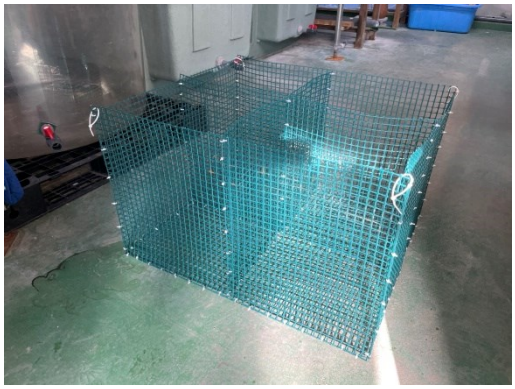


図 4　飼育カゴ 1

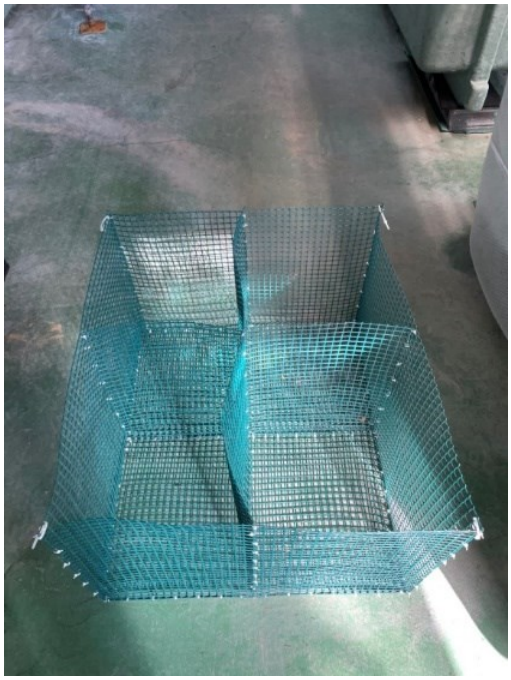


図 5　飼育カゴ 2

710Ｌ水槽に飼育カゴ（76×66×46 ㎝）2 個を設置した（図 4～5）。ウニの接着可能面積を増やすため、飼育カゴ内を 4 区に分けた。1 区画に 25 個体のウニを収容し、710Ｌ水槽に対して 200 個体となるようにした。1 水槽 200 個収容したため、5 水槽で合わせて 1000 個体を 1 回の試験で用いた。

2022 年度は仁斗田漁港内に 2021 年度に地下 7m より海水を掘り当てたため，その地下海水を用いたかけ流し型養殖試験を行った。地下海水をポンプアップし，飼育水を得た。飼育水槽は 710L 水槽 1 基に飼育カゴ 2 個（図 4～5）を設置した。ウニの収容や飼育方法は半循環型養殖と同様とした。

ウニはキタムラサキウニを使用し、田代島周辺の磯焼け海域からダイバーにより採取した。2021 年度試験は第 1 回目 9 月 30 日、第 2 回目 1 月 25 日に採取した。試験期間はそれぞれ 10 月 8 日～1 月 6 日、1 月 25 日～とした。第 2 回目は 1 月末にポンプの故障により全個体が死亡した。2022 年度試験は，第 1 回目 6 月 23 日～6 月 27 日、2022 年 9 月 9 日～9 月 12 日、第 3 回目 2022 年 11 月 1 日～2 月 10 日、第 4 回目 2022 年 2 月 13 日～事業終了日を実施した。

ウニは全重量 40～100ｇ（殻径　4～6 ㎝）のものを用いた。サイズが大きいものは高年齢である可能性が高く、身入りに時間がかかるため小型個体を用いた。水温・塩分はフィールド型ポータブル水質計（Ｄ－２１０Ｃ、堀場）を、溶存酸素量はフィールド型ポータブル水質計（D-210D、堀場）を用いて測定した。測定は毎日行い、記録シートにまとめた。田代島では 2021 年 11 月末より計測機器が故障したため、2021 年度は水温、塩分の計測データがない。生残数も同時に計測した。

死亡の判断は、棘が全て抜け落ち、動かない状態となったもの、また棘が抜け始めたものは死亡とした。棘が抜け始めると、すでに弱っている状態であり、養殖条件下ではその後死亡する可能性が高い。水質悪化の原因となる可能性が高いため、早めに判断し、取り除いた。

2021 年度の餌条件は 2 回の試験で異なるものを用いた。第 1 回目は冷凍ノリ、冷凍ワカメ茎である。冷凍餌はそれぞれ給餌前に海水で解凍した。解凍した餌を水槽ごとに重量を計測して与えた。試験区は冷凍ノリ区を 3 水槽、冷凍ワカメ茎区を 2 水槽設置した。2022 年度の餌条件は 2021 年度の結果に基づき、塩蔵ワカメ区を 3 水槽、乾燥ワカメ区を 2 水槽とした。

一般的にウニは体重の 5～10%の餌を摂餌すると言われている。そのため、1 水槽あたり 1000 g を目安に与えた。1 カ月間隔で各試験区から 3 個体をランダムに採取し、重量、生殖巣重量、生殖巣の色彩、遊離アミノ酸を分析した。

(2) 設備

①ウニ水槽（720L） ×5 台

ウニの養殖用水槽。各水槽にはウニの接着可能面積を増やすため 4 区に分けた飼育カゴ（76×66×46 ㎝）2 個を設置

②加温水槽（２ｔ） ×1 台

加温システム。冬場の水温に応じて加温。

半循環にすることで効率的なシステムを構築。

③チタンヒーター ×1 台

④エアレーション ×２台

⑤汲み上げポンプ ×1 台

海水の汲み上げに利用。

⑥循環用ポンプ ×1 台

濾過，加温水槽からの水槽循環に利用。

(3) 条件

①餌について

＜2022 年度＞

ワカメ、コンブ、ノリの海藻廃棄物

※ワカメ茎、ノリは冷凍、コンブは乾燥である

＜2023 年度＞

【半循環型養殖】

2022 年度の結果に基づき、乾燥ワカメ、塩蔵ワカメを使用

【かけ流し型養殖】

塩蔵ワカメを使用

＜選ぶ基準＞

身入り向上にはタンパク質含有量が高い餌が良いとされている。現在、餌として入手可能なも

ののタンパク含有量を表１にまとめた。

表１　餌料 100ｇあたりのタンパク質含有量

[redacted]

＜解凍方法など＞

冷凍保存された餌については、必要量を毎日、海水で解凍した後、各水槽へ給餌した。しかし、その解凍時にタンパク質などが溶出している可能性がある。

＜量＞

ウニの１日の摂餌量は体重の 5～10％と言われており、多くの餌を食べる。故に、餌は安価かつ安定して入手可能であることが求められる。田代島では、ワカメ茎やコンブ、ノリ等の残渣が入手可能という条件があったため、2021 年度試験では用いた。

②ウニについて（サイズ・量など）

ウニは磯焼け対策として地先で除去した痩せウニを利用。サイズは 4～６㎝。

③水について

【半循環型養殖】

地先から海水をくみ上げ

【かけ流し型養殖】

井戸より地下海水をくみ上げ

④換水頻度

【半循環型養殖】

海水は各水槽に 7.5 L /分である。

【かけ流し型養殖】

海水は各水槽に 33.7L/分である。

⑤水温

2021 年度試験は，夏季はかけ流し、冬季に半循環型へ変更し加温する計画であったが、潮汐などの影響で海水流入量が変化すること、そしてポンプ調整がうまくいかず、冬季もかけ流しでの飼育となった。従って、海水の温度、外気温の影響を受け、飼育期間中の水温は図 6 に示す通りである。2022 年度試験では，冬季には半循環型へ変更し加温を行ったが，換水量が多く加温の効果は小さかった（図 6)。

⑥水質管理

2 週間から 1 カ月に 1 度、水槽を掃除した。定期的に底の糞は網などにより除去し、水質悪化を防いだ。

⑦密度管理

710 L 水槽に飼育カゴ（76×66×46 ㎝）2 個を設置した（図 4～5)。ウニの接着可能面積を増やすため、飼育カゴ内を 4 区に分けた。1 区画に 25 個体のウニを収容し、710 L 水槽に対して 200 個体となるようにした。

⑧照度

作業時のみ照明を使用したが、本試験は自然光条件とした。

⑨塩分

天然海水を使用したため、塩分は 33～34 であった。飼育期間中に計測計が故障した。

（4）2021 年実験結果・考察

9 月 30 日より採取したウニを飼育水槽へ移動した。10 月 8 日より飼育を開始したが、潮汐によりポンプアップされる水量が変化するため、水槽水位が不安定となり水槽 2 基分が 11 日～15 日の間で全個体死亡した。10 月 14 日に再度ウニを採取し、死亡した分を補充した。

水温は図 6 に示すように、低下し続けた。10 月の平均水温は 19.0±1.3℃、11 月は 16.4±1.2℃、12 月は 13.1±0.9℃であった。11 月よりヒーターを設置したが、水位調整がうまくいかず、かけ流しとなったため、ヒーターによる温度上昇が認められなかった。塩分は 32～34 で推移した（図 8）。12 月 19 日以降は水温・塩分計の故障によりデータが取得出来ていない。溶存酸素量は 5mg/L 前後で推移した。溶存酸素濃度計も異常値が計測されており、機器の不具合がみられた。12 月上旬ごろより故障したと考えられる（12 月 19 日に故障確認）。

生残率は水槽により異なった（図 9）。約 2 カ月後の冷凍ノリ区の生残率はそれぞれ、91%、53%、90.5%であった。冷凍ワカメ茎区は 50.5、58.5%であり、冷凍ワカメ茎区は冷凍ノリ区より死亡個体が多かった。全ての水槽で 11 月中旬より生残率が低下する傾向がみられた。

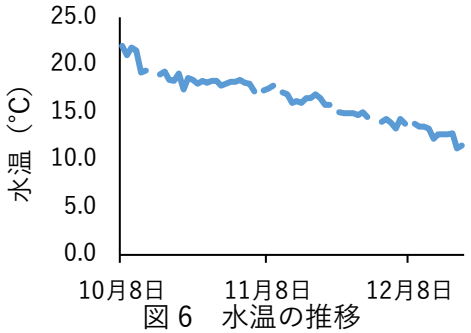


図 6　水温の推移

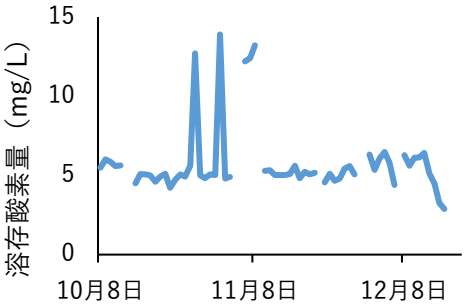


図 7　溶存酸素量の推移

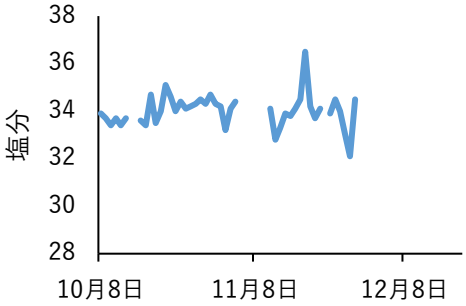


図 8　塩分の推移

給餌量は水槽間では差はなく与えており、冷凍ノリ区は 122 g ～1112 g /日、冷凍ワカメ茎は 286 g ～1390 g /日であった（図 10～14）。

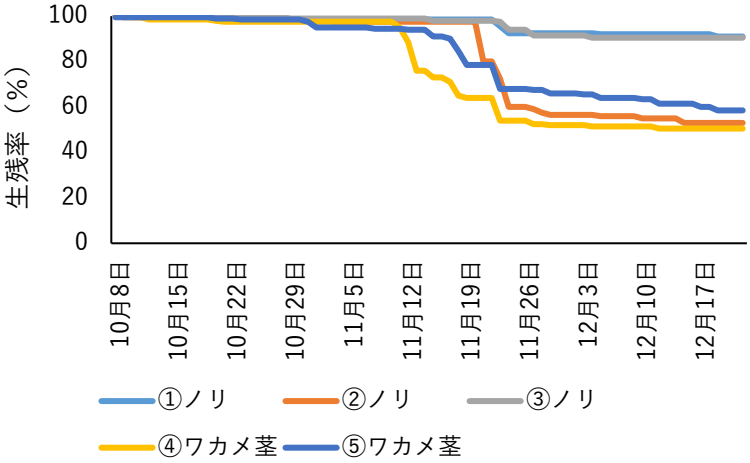


図 9　生残率

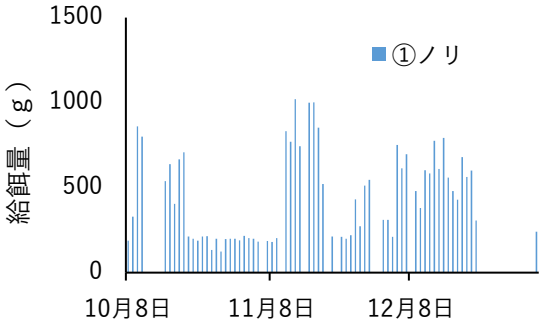


図 10

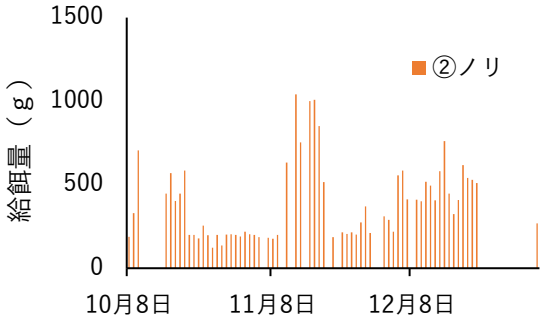


図 11

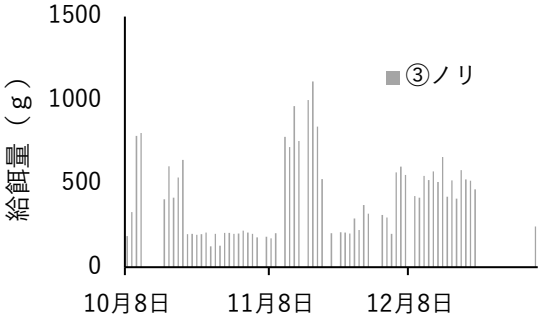


図 12

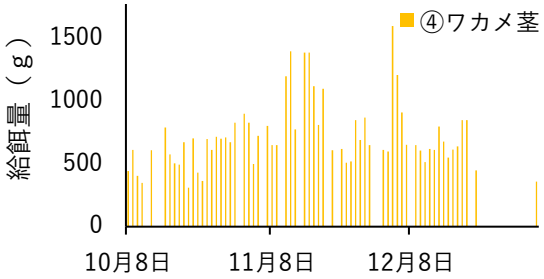


図 13

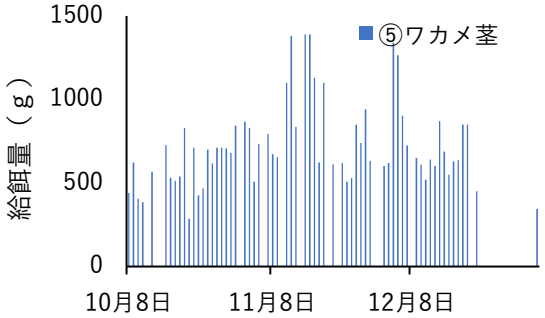


図 14

生殖巣重量は全区で 11 月に低下し、冷凍ノリを給餌した実験区では増加がみられた。

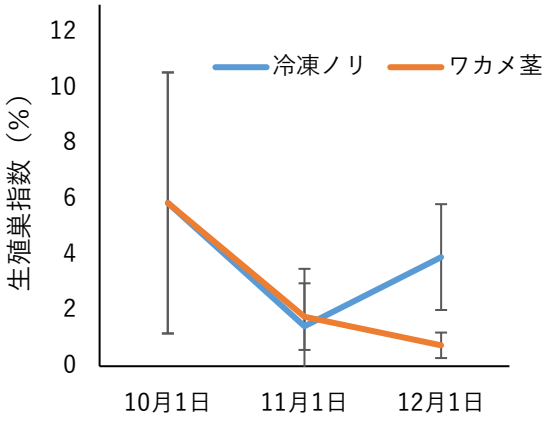


図 15　餌による生殖巣指数の推移

ウニの産卵期は水温が低下する 10 月～11 月とされ、この時期に生殖巣指数が低下するといわれている。田代島のウニも水温が低下し始めた 10 月、11 月に放卵放精されたと考えられ、生殖巣指数が低下した。その後は、冷凍ノリ給餌区で増加傾向がみられているが、水温低下に伴い摂餌量も減少し、生殖巣の発達には時間を要するものと考えられた。給餌量がワカメ茎の方が多いにもかかわらず、生殖巣の発達がみられなかった要因として、餌中のタンパク質量の減少が示唆される。ワカメ茎も積極的な摂餌行動はみられていたが、冷凍により細胞が壊れ、解凍時に栄養分である蛋白質が溶出したためと推測された。分析の結果、ワカメ茎中のタンパク質含有量は冷凍ノリの 1/3 程度であり、このタンパク質含有量の少なさが身入りに影響していたと考えられる。

(6) 2022 年度実験結果・考察

2022 年度は半循環型により全 4 回の飼育試験を行った。第 1 回目は 2022 年 6 月 23 日から開始したが、6 月 27 日にネコの侵入が原因による海水くみ上げポンプのコンセントの抜けによりウニが全個体死亡した。くみ上げポンプにより海水が汲み上げられなかったことにより水温が上昇し、死亡したと考えられる。第 2 回 2022 年 9 月 9 日より再スタートさせたが、ポンプの故障により、再度、全個体が死亡した。水槽内の海水量には保たれていたことから、くみ上げポンプにより海水が汲み上げられなかったことにより水温が上昇し、死亡したと考えられる。第 3 回目を 2022 年 11 月 1 日より際スタートさせた。第 2 回目でくみ上げポンプが故障したため、ポンプの容量を大きくした。

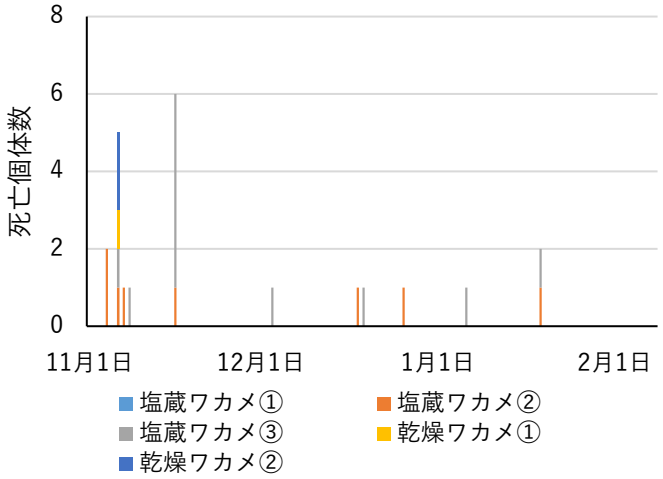


図 16　各試験区における死亡個体数の関係

第 3 回目の飼育結果を示す。第 3 回目は全試験区で生残率 95%以上（図 16、表 2）であった。

表 2　給餌率と生残率の関係

	塩蔵ワカメ①	塩蔵ワカメ②	塩蔵ワカメ③	乾燥ワカメ①	乾燥ワカメ②
給餌量（g）	644±184	641±181	644±183	687±146	688±145
生残率（%）	100	96	95	100	99

安定して海水が供給されていれば死亡個体を抑え、本施設においても飼育が可能であることがわかった。飼育期間中の水温は図 17 に示した。11 月の水温は 10℃以上で推移したが、その後も低下し続け，1 月下旬には 6℃まで下がった。水温の低下はみられたが、死亡個体はほぼ出ず、緩やかな水温の低下はウニの死亡を増加させなかった。

生殖巣指数を表 3 に示した。11 月 1 日のスタート時は 2.73%であったが、約 1 カ月後の 1 2 月 8 日には塩蔵ワカメ給餌区で 15.37%と出荷レベルである 12%を超えた。塩蔵ワカメ給餌区と乾燥ワカメ給餌区では塩蔵ワカメ区で高い結果となった。本試験により冬場であっても約 1 カ月で出荷レベルまで身入りを良くすることができることがわかった。

表 3　生殖巣指数の推移

[redacted]

地下海水を用いたかけ流し型飼育試験は、2022 年 11 月 1 日より試験を開始した。しかし、12 月 13 日に全個体死亡確認、12 月 21 日に再スタートしたが，1 月 5 日にウニが全個体死亡した。この原因として地下海水の供給量の減少が考えられた。水温の変化を図 18 示した。2 月 3 日までは地下海水の水温は 11℃前後を推移していた。しかし、2 月 3 日以降は水温が大きく変動した。これは地下海水の供給量が減少し、外気により水温が冷やされ水槽内の水温が一気に低下したものと考えられる。2 月 4~7 日は大潮であり、干満時間に合わせて水温の上下動が確認された。また、12 月 13 日、1 月 5 日の死亡時も大潮の時期と重なっており、仁斗田漁港内の井戸は大潮の最干潮時に水位が低下する可能性が考えられた。地下海水を使用する場合は、水位がどのような条件の時に変化するか把握しておく必要があるが、天然海水より安定した水温を得られる点では地下海水の利用はウニの冬場の畜養において有効なものである。

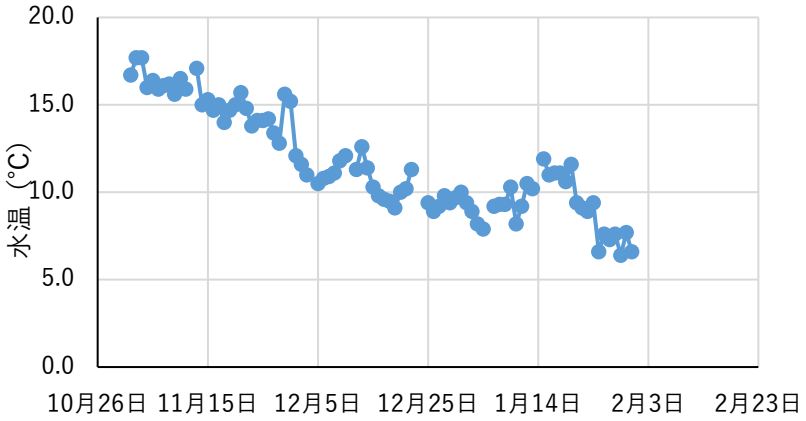


図 17　水温の推移

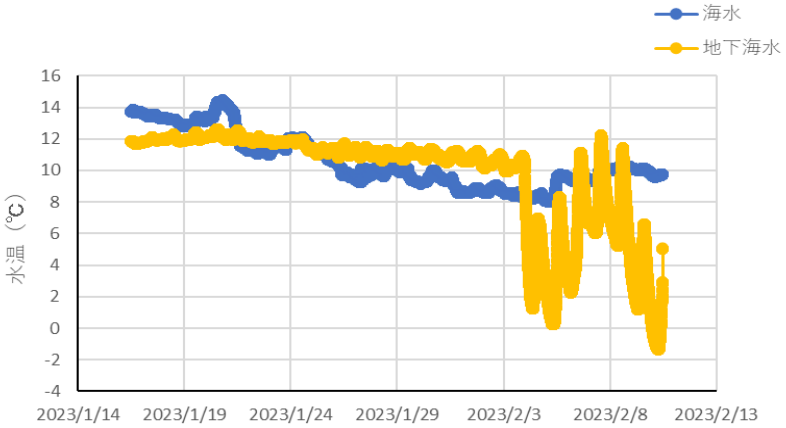


図 18　水温の推移

2－4　養殖事例（閉鎖循環型養殖・宮城大学）

(1) 実験方法（手順）

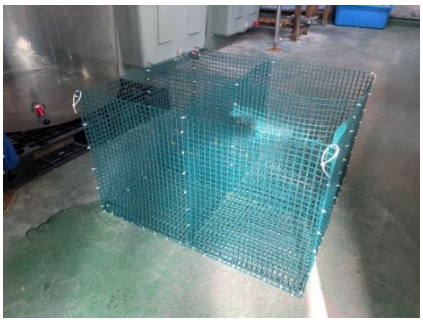


図 19　飼育カゴ

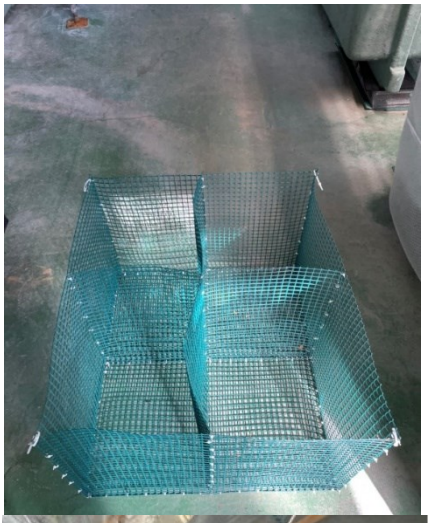


図 20　飼育カゴ

図 21　給餌量の記録の様子

宮城大学太白キャンパスの施設内にて、710Ｌ水槽 5 基を連結した養殖水槽を設置した。各養殖水槽へは、濾過水槽から循環ポンプにより 1.8Ｌ/分で循環した。飼育水は 710Ｌ水槽に約 500Ｌとなるように設置しており、1 日で約 1 回転する計算となる。飼育水は国立研究開発法人　水産研究・教育機構塩釜庁舎より砂濾過海水を提供頂いた。週 1 回、2ｔトラックで海水を運搬して飼育水として用いた。各水槽内にはエアレーションを設置した。照明は作業時のみ点灯し、天然光下で試験した。閉鎖循環型であるため、濾過タンク（泡沫式多層濾過システム、アクアインパルス社）を設置した。濾過タンクシステムに接続する前に小型水槽を設置し、水槽内に 11 月よりヒーター（SHI-1KW-100V1-G、レイシー）を設置した。濾過タンク内のフィルターは毎月 1 回掃除をした。5 基ある水槽のうち 1 基に水質管理システム（5500Ｄ、Ｘｙｌｅｍ）を設置した。このシステムはリアルタイムで水温、塩分、溶存酸素量を測定し、インターネット上でいつでも確認できる。また、予め設定しておけば異常な値になった際にメールでお知らせしてくれるシステムである。

710Ｌ水槽に飼育カゴ（76×66×46 ㎝）2 個を設置した（図 19～20）。ウニの接着可能面積を増やすため、飼育カゴ内を 4 区に分けた。1 区画に 25 個体のウニを収容し、710Ｌ水槽に対して 200 個体となるようにした。1 水槽 200 個収容したため、5 水槽で合わせて 1000 個体を 1 回の試験で用いた。

ウニはキタムラサキウニを使用し、渡波佐須浜海域の磯焼け海域からダイバーにより採取した。2021 年度試験では第 1 回目 10 月 8 日、第 2 回目 11 月 30 日に採取した。試験期間はそれぞれ 10 月 8 日～1 月 28 日、11 月 30 日～事業終了時とした。2022 年度試験では、第 1 回目 6 月 29 日～9 月 16 日、第 2 回目 10 月 28 日～2 月 24 日、第 3 回目 2 月 22 日～事業終了時とした。

ウニは全重量 40～100ｇ（殻径　4～6 ㎝）のものを用いた。サイズが大きいものは高年齢である可能性が高く、身入りに時間がかかるため小型個体を用いた。水温・塩分はフィールド型ポータブル水質計（Ｄ－２１０Ｃ、堀場）を、溶存酸素量はフィールド型ポータブル水質計（D-210D、堀場）を用いて測定した。測定は毎日行い、記録シートにまとめた。生残数も同時に計測した。死亡の判断は、棘が全て抜け落ち、動かない状態となったもの、また棘が抜け始めたものは死亡とした。棘が抜け始めると、すでに弱っている状態であり、養殖条件下ではその後死亡する可能性が高い。水質悪化の原因となる可能性が高いため、早めに判断し、取り除いた。

2021 年度試験では、餌は 2 回の試験で異なるものを用いた。第 1 回目は乾燥ワカメ、塩蔵ワカ

メである。乾燥ワカメは給餌前に淡水で戻し、塩蔵ワカメも塩分を淡水で洗い流した後、使用した。餌は水槽ごとに重量を計測して与えた（表 2)。試験区は乾燥ワカメ区を 3 水槽、塩蔵ワカメ区を 2 水槽設置した。第 2 回目は①乾燥ワカメ区②塩蔵ワカメ区で 2 カ月間養殖後、乾燥コンブ、キャベツ葉、カボチャ、コマツナ、ホウレンソウを用いて 1 カ月間養殖した。乾燥ワカメ、塩蔵ワカメは市販品（製造過程で基準に満たなかったもの）をキャベツはスーパーで廃棄される外側の葉を、カボチャは市販品を種付きのままぶつ切りにて与えた。コマツナ、ホウレンソウは大学内農場で出荷規格外となったものを用いた。2022 年度試験では、未利用であるパプリカの葉が餌料として使用可能か検討するため、パプリカ給餌区 3 区、塩蔵ワカメ給餌区 2 区を設定した。パプリカの葉は株式会社デ・リーフデ北上/大川より週に 1 度提供して頂き、生のまま給餌させた。

一般的にウニは体重の 5～10%の餌を摂餌すると言われている。そのため、1 水槽あたり 1000 g を目安に与えた。1 カ月間隔で各試験区から 3 個体をランダムに採取し、重量、生殖巣重量、生殖巣の色彩、遊離アミノ酸、ルテオリン含有量を測定した。

（2）設備

①ウニ水槽（750L）　×5 台

ウニの養殖用水槽。各水槽にはウニの接着可能面積を増やすため 4 区に分けた飼育カゴ（76×66×46 ㎝）2 個を設置

②チタンヒーター　×1 台

③エアレーション　×２台

安永エアポンプ株式会社　AP-60G を設置

④殺菌灯

紫外線で飼育水に混入する菌の増殖を抑制・除菌し、飼育水の安定効果を図る。

UV ランプは高純度オゾンレス石英ランプを使用。

⑤冷却装置

⑥ろ過タンク

泡沫式多層ろ過システム(屋内仕様)

アクアインパルス社製

外形寸法　幅 105 ㎝×63 ㎝×170 ㎝(H)

構成概要👇

ⅰ.ろ過水槽

容量：保有水量 0.4m3

（※530mm×750mm×90mm(H)）

材質：樹脂製(PVC)

構成：海水用水槽,

内部ろ材設置用トレー３段付

ⅱ.旋回流装置

寸法：90 ㎜×167 ㎜

材質：アクリル製

構成：本体ケーシング

コック

ⅲ.電動式ポンプ

流量：510L/h

能力：8.5L/min×0.1MPa 以上

ⅳ.制御盤

制御方式：シーケンス

スケジューラー機能：

週間スケジュール運転

インターバル運転

制御：ろ過水槽水位検知によるポンプ

運転

緊急停止

Ⅴ.フレーム

材質：SS400(鉄)
防錆：溶融亜鉛メッキ
金物：ステンレス鋼
樹脂
SS400(鉄)を主材料とする。

⑦水質管理システム

⑧ポンプ

(3) 条件

①餌について

＜2021 年度＞

・ワカメ、コンブ、ノリの海藻廃棄物

※ワカメ茎、ノリは冷凍、コンブは乾燥である

・野菜残渣（コマツナ、カボチャなど）

＜2022 年度＞

・ワカメ等の海藻、パプリカの葉

図 22　餌

【選ぶ基準】

身入り向上にはタンパク質含有量が高い餌が良いとされている。現在、餌として入手可能なもののタンパク含有量を表 1 にまとめた。

【解凍方法など】

冷凍保存された餌については、必要量を毎日、海水で解凍した後、各水槽へ給餌した。しかし、その解凍時にタンパク質などが溶出している可能性がある。

【量】

ウニの 1 日の摂餌量は体重の 5～10%と言われており、多くの餌を食べる。故に、餌は安価かつ大量に入手可能であることが求められる。田代島では、ワカメ茎やコンブ、ノリ等の残渣が入手可能という条件があったため、本試験では用いた。

②ウニについて（サイズ・量など）

ウニは磯焼け対策として地先で除去した痩せウニを利用。サイズは 5 ～ 6 ㎝。

③水について

天然ろ過海水

④換水頻度

1.8 L /分で循環した。飼育水は 710 L 水槽に約 500 L となるように設置しており、1 日で約 1 回転する計算となる。

⑤水温

夏場は冷却装置を用いて、冬場は室温は暖房器具により、水槽内はヒーターにより加温を行い、水温を 16℃~18℃に保つように設定した。

⑥水質管理

1 週間に 2 度、水槽を掃除した。定期的に底の糞は網などにより除去し、水質悪化を防いだ。

⑦密度管理

710Ｌ水槽に飼育カゴ（76×66×46 ㎝）2 個を設置した（図 23）。ウニの接着可能面積を増やすため、飼育カゴ内を 4 区に分けた。1 区画に 25 個体のウニを収容し、710Ｌ水槽に対して 200 個体となるようにした。

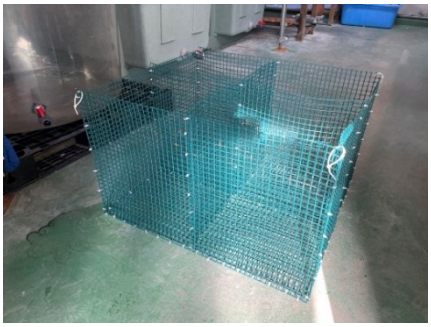


図 23　飼育かご

⑧照度

作業時のみ照明を使用したが、本試験は自然光条件とした。

⑨塩分

塩分は 33～34

⑩室温

基本的には水温はヒーターで管理できることが望ましいが、本施設の濾過水槽の設置場所が屋外であるため、泡沫濾過時に急激に水温が低下した。そのため、室内温度を高め、室内の暖気を濾過水槽へ送り出すことで、水温の低下を防いだ。濾過水槽も建屋内に設置することが出来れば、ヒーターのみでも温度コントロールができると考えている。

⑪飼育日数

2021 年度試験では、9 月以降の飼育となり、天然ウニは放卵放精後の個体を用いた。スタート時の身入りは 0.6%とほぼ身が入っていない状態であった。1 カ月後には 4.8±2.2%、2 カ月後には 12.3±4.7%となり、出荷レベルである 12%を超えた。従って、冬季の飼育には最低でも 2 カ月は必要であると考える。

⑫その他

ＩＯＴ技術を用いたモニタリングシステムは水温・塩分計およびＤＯ計を設置した。ＤＯ計については、週 1 度程度のセンサー部分の掃除が不可欠であった。飼育水の状況により清掃回数は異なるが、閉鎖循環で海藻を餌として用いた場合、週 1 度の掃除が必要であった。ＤＯセンサーを定期的に掃除しない場合、正確なデータを取ることができない。ＤＯの数値が下がるため、アラームが鳴り続ける。

(4) 2021 年度実験結果・考察

10 月 8 日に採取したウニを飼育水槽へ移動した。石巻から約 70 km離れた宮城大学太白キャンパスまでは海水を入れた水槽にウニを入れ、エアレーションしながら運搬した。輸送による死亡個体は 1000 個体中 2 個体であり、99.7%の生残率であった。しかし、輸送によるストレスにより、ほぼ全ての個体で抱卵放精がみられた。そのため、水質が悪化したため、抱卵放精する個体がなくなるまで高頻度で水換えした。

10 月 20 日には放卵放精する個体がみられなくなったため、試験をスタートした。高頻度での水換えを行ったため、死亡個体はなかった。

水温は図 24 に示すように、上下動はありながらも安定した水温を保った。10 月の平均水温は 15.9±0.9℃、11 月は 17.7±0.5℃、12 月は 15.3±2.0℃、1 月 17.6±1.7℃であった。11 月よりヒーターを設置したため、11 月は 10 月より平均水温が高い値となった。しかし、12 月、1 月は外気温が低下し、ヒーターのみでは水温の低下がみられたため、暖房により室内を加温した。水温低下の要因として、濾過タンクを室外に設置したため、泡沫濾過時に急激に水温が低下するためと考えられる。そのため、室内の暖気を濾過タンク設置場所へ送りこむように工夫した。その結果、水温を維持することが出来た。塩分は 31～34 で推移した（図 25）。11 月 21 日から測定データがないが、この時期に建物内電力低下によりエアポンプなどの機器が一時停止した。溶存酸素量は 7mg/L 前後で推移したが、11 月 20 日ごろの電力低下により一気に溶存酸素濃度が低下した。12 月 25 日にも低下したが、これは計測機器の不具合であった。

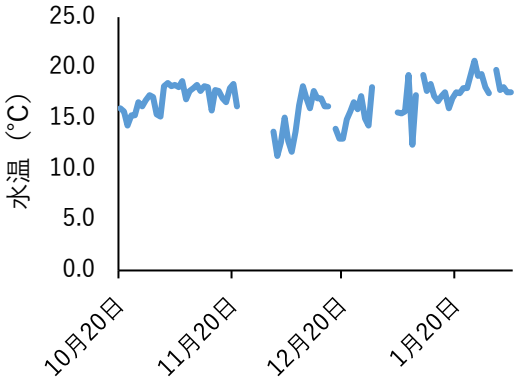


図 24 水温の推移

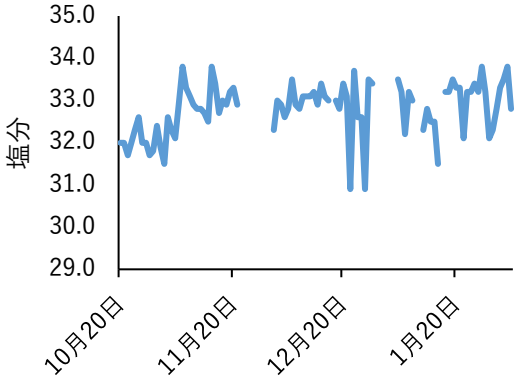


図 25　塩分の推移

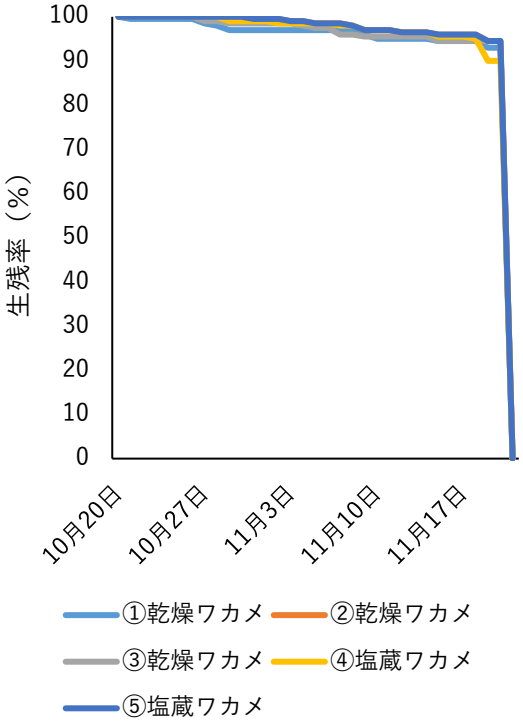


図 26　生残率

第 1 回目の試験は気温が低下し始めた 11 月中旬から建物内の電力が夜間に低下する現象が起き、エアレーションが止まり、溶存酸素濃度が低下したことで、11 月 21 日に 23 個体を残し、死亡した。休日であったため、対応（酸素供給の改善および水質改善）が遅れ死滅個体を増やす結果となった。11 月 19 日までは生残率 90%以上で維持出来ていた。23 個体は継続し、第 2 回目を 12 月 1 日よりスタートし、現在も飼育継続中であるが、生残率は 96%以上を維持している。給餌量は塩蔵ワカメ、乾燥ワカメともにスタートから 2 週間は 700～1800 g まで与え、次の日に残渣が少量ある量を検討し、その後は 800 g を目安に与え続けた。

生殖巣指数は、第 1 回目の試験スタート時は約 1.3%であったが、2 カ月後には 12.3±4.7%となり集荷可能なレベルとなった。第 1 回目は塩蔵ワカメ給餌区と乾燥ワカメ給餌区と分けて試験していたが、11 月 20 日の大量死亡時以降は同一区として、乾燥ワカメを給餌して試験した。

第 2 回目の試験スタート時は 1.6±1.7%であったが、塩蔵ワカメ、乾燥ワカメともに増加し、2 月 2 日には 8%を超えた。塩蔵ワカメ給餌区で 2 月 2 日に生殖巣指数が低下したようにみえるが、3 個体のサンプリングの結果、3.97%、10.1%、12.3%であり、1 個体が低い値となったためである。天然ウニでもウニの身入りは個体差が激しいと言われており、本試験でも同様に個体によりばらつきがみられた。2 月 2 日以降は身入りだけでなく、色や味を向上させるため、様々な餌を用いて畜養を行った。その結果、塩蔵ワカメ＋キャベツ給餌区、塩蔵ワカメ＋カボチャ給餌区で身入り、色が良い結果となった（表 7，8）。また味については試食会の結果、様々な餌を混合することで味が良いという評価を得た。

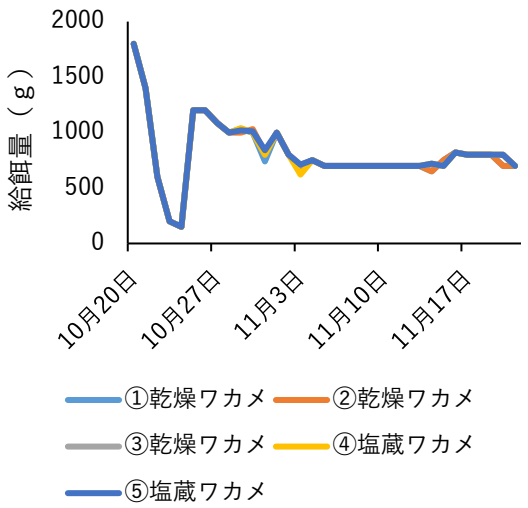


図 27　飼育期間中の給餌量

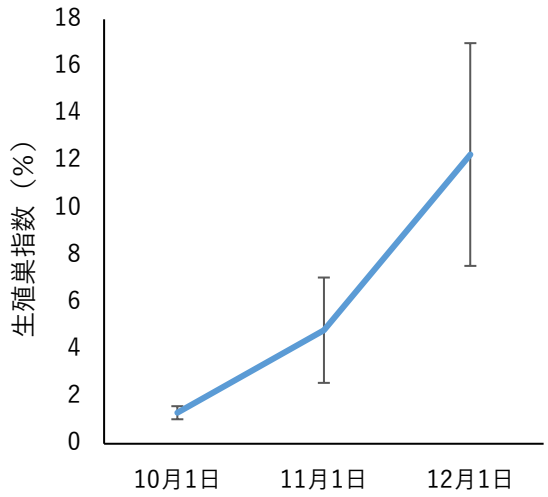


図 28　生殖巣指数の推移

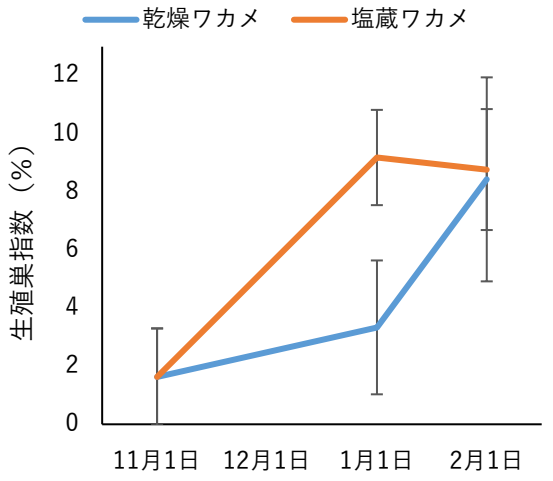


図 29　飼育期間中の生殖巣指数の推移

既往の研究より身入りの増加は餌料中のタンパク質含有量が重要であるといわれており、本研究においてもタンパク質含有量が多い餌料区で身入りの増加がみられた。

表 7　各試験区における生殖巣指数および色調

[redacted]

表 8　各試験区における生殖巣指数および色調

[redacted]

(5) 2022 年度実験結果・考察

第 1 回目は 6 月 29 日から試験をスタートした。飼育水温の変化と試験期間中の死亡個体の推移を図 30、31 に示した。

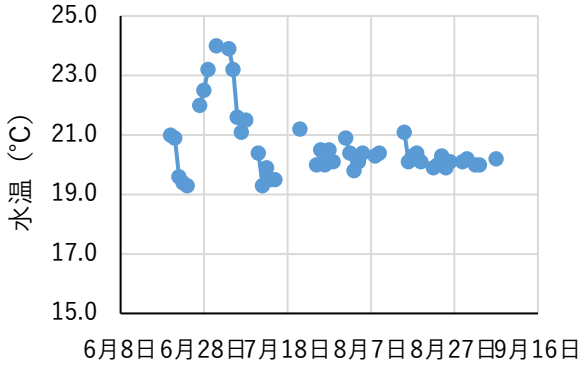


図 30　水温の推移

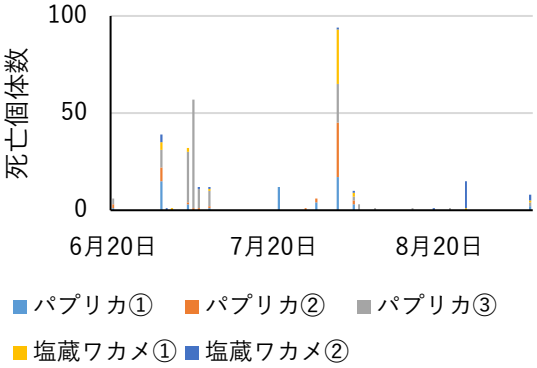


図 31　死亡個体数の推移

7 月上旬時点で冷却装置を設置していなかったため、急激な気温の上昇に伴い、水温も 24℃以上となった。そのため、死亡個体も増加した。冬季期間である第 2 回試験の飼育水温の変化と死亡個体の推移を図 32 と図 33 に示した。11 月上旬と 1 月下旬に外気温が低下し、水温が大きく変動した。それに伴い、死亡個体数は増加した。水温の急激な変化は死亡を招くため、陸上養殖において水温のコントロールは重要であり、断熱材等による水温変化を抑える工夫も施設整備として求められる。

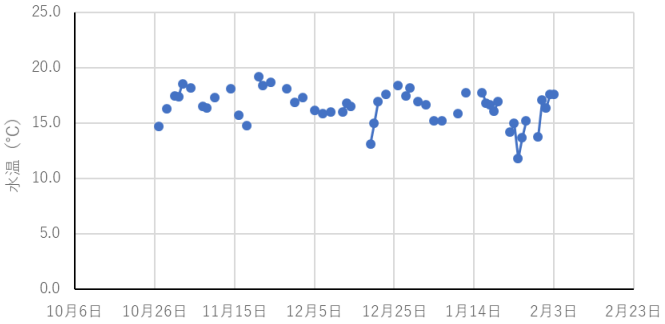


図 32　水温の推移

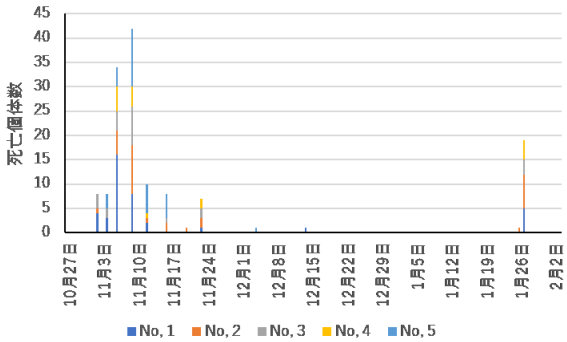


図 33　死亡個体数の推移

パプリカ餌料として用いた際に 2 カ月後には生殖巣指数は 14.97%と出荷レベルに達した。その後、放卵放精を抑制するため暗条件で飼育した結果、徐々に生殖巣指数は低下するものの、10 月 19 日で 8.55%であった（表 9）。遊離アミノ酸の結果では、パプリカ給餌区で甘味成分であるグリシンの含有量が塩蔵ワカメ給餌区より高く、食味試験の結果からも甘味が強いという結果が得られた。また、苦味成分であるバリン含有量がワカメ給餌区より低く、苦味も少なかった。加えて、機能性成分であるルテオリンの含有がウニ生殖巣において認められた（図 34）。パプリカの葉には機能性成分であるルテオリンが含有していることは示されている。パプリカの葉をウニの餌として給餌することでウニの生殖巣へもルテオリンが添加されることがわかった。パプリカの葉をウニの餌料として用いることで石巻市独自のブランドウニとなる可能性がある。

表 9　各試験区における生殖巣指数

	6月29日	7月29日	8月25日	9月20日	10月19日
パプリカ	10.3	13.4	14.97	11.76	8.55
パプリカ→塩蔵ワカメ	—	—	13.98	14.43	6.15

＊　8 月 25 日から暗条件で飼育
10 月 19 日時点で 14 と高いウニもあった

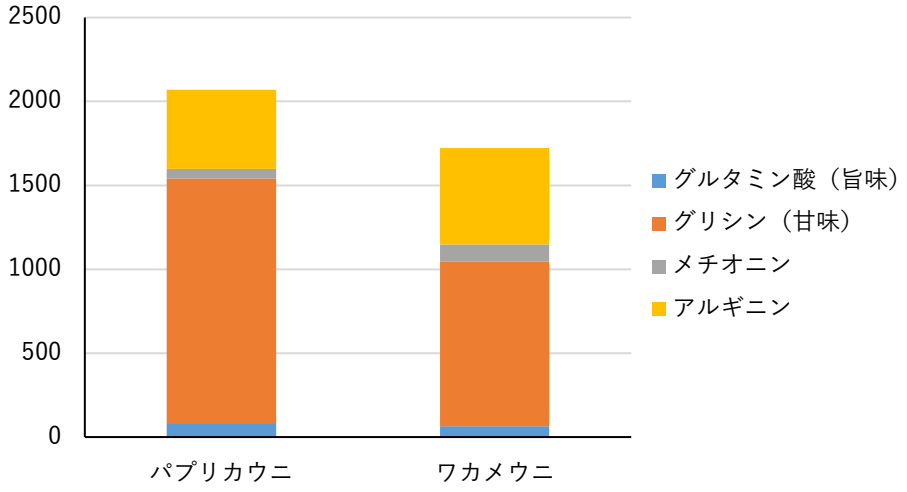


図 34　各試験区における遊離アミノ酸含有量

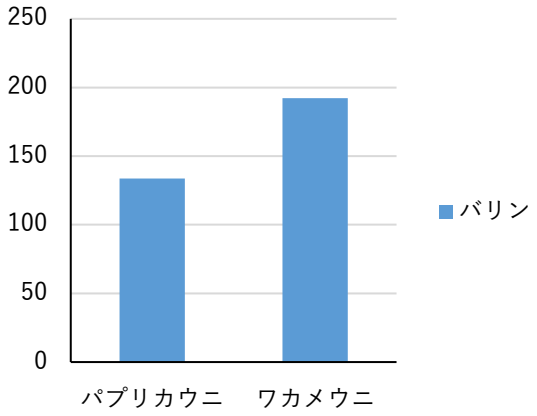


図 35　各試験区におけるバリン含有量

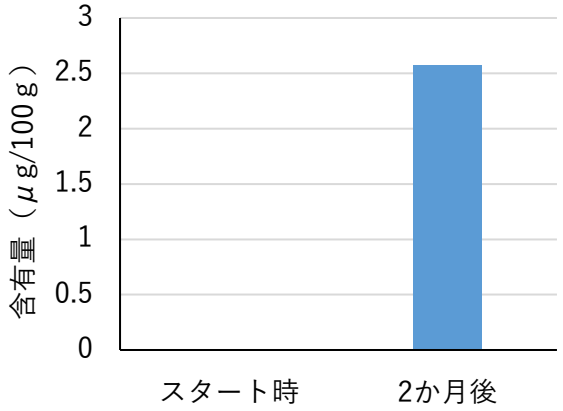


図 36　各試験区におけるルテオリン含有量

2－5　年間スケジュール

1 クール 3 か月×4 回で試算

2－6　養殖モニタリング結果

(1) IOT 技術の活用

【水質モニタリングシステム】

水質モニタリングシステムでは、設定しておけば基準値以下の異常値となった場合にメールでお知らせしてくれる（図 37）。そのため、すぐに異常に気が付くことができ大変便利な機能であるが、常に対応できる状態にあることが最も重要である。本学および田代島においても、すぐに対応できなかったため大量の死亡個体を出す結果となってしまった。事業化した場合はモニタリングシステムの設置とともに、対応できる人材の確保も重要である。

本試験に用いたモニタリングシステムのセンサーは正確な測定には 1 週間に 1 回の掃除が必要であった。使用するセンサーにより異なるが、閉鎖循環型で海藻を餌として用いた場合、1 週間でセンサー表面が汚れるため、掃除が不可欠である。掃除を怠ると正確な測定ができない。

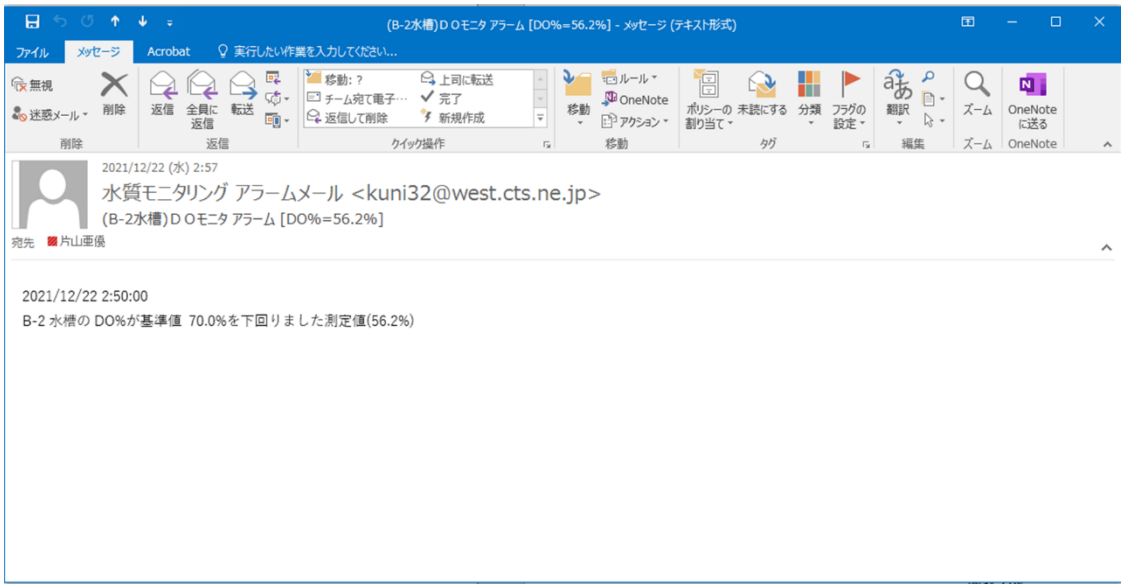


図 37　モニタリングシステムからの通知

2－7　流通体制構築にかかわる可能性調査

（1）目的

藻場の荒廃（磯焼け）を再生する有効な方法として、異常繁殖するウニを駆除すると共に、駆除したウニの有効活用方法として陸上養殖による商品化（収益構造を確立）を目指す。

陸上養殖の商品化の課題としては、

①安定的かつ簡易に低コストで商品化できる養殖技術を確立する

→宮城大学を主体とする実証調査によりその確立を目指すとともに、試食会等の開催により定期的に消費者からの評価を把握する必要がある。

②養殖ウニの流通体制を構築し、地域漁業の新たな収益源（藻場再生に還元等）を創出する

→流通体制構築に向けた可能性調査を実施し、養殖ウニの目指すべき方向性や販売需要について調査する

（2）流通体制構築に関わる可能性調査の手法

流通事業者との取引判断材料として、商品の質、数量確保、提供時期、提供価格の概略的な方向性を示す必要があると考える。商品の質については、上記①の実証調査結果に依存するところが大きい。数量確保、提供時期、提供価格については、流通先への聞き取り調査等により取引可能性及び課題等を抽出・整理し、目的達成に向けた基礎情報を得る。

また、採算性確認のため、石巻専修大学に設置された太陽光発電設備による発電量、養殖事業の必要経費、ウニの売り上げ等をもとに、どの程度の養殖数から採算性の確保が可能となるか試算（感度分析）を行った。

①先行事業者へのヒアリング実施

既にウニの養殖及び販売を行っている先行事業者へヒアリングを行い、流通における課題の確認や、協力体制の構築を目的とする。

②試食会の開催

業務関係者のみならず、一般消費者や漁業関係者、バイヤー等を対象とした養殖ウニを試食できる機会を設け、商品化するにあたっての課題や評価を把握する。

③再生可エネルギーの導入による事業採算性の確認

各大学で養殖に要する電気利用量を測定し、再生可能エネルギーをどの程度の規模で導入すれば採算性の確保が可能であるか確認する。

(3) 養殖事業モデルの基本工程の想定

磯焼けの原因となっている異常繁殖するウニの駆除の時期を、宮城県藻場ビジョン（R02）を参考に年４回（4 月､7 月､10 月､1 月）とし、採取（駆除）～養殖～出荷の期間を３か月とした基本工程（クール）を設定し、これを年４回、回すことを想定する。

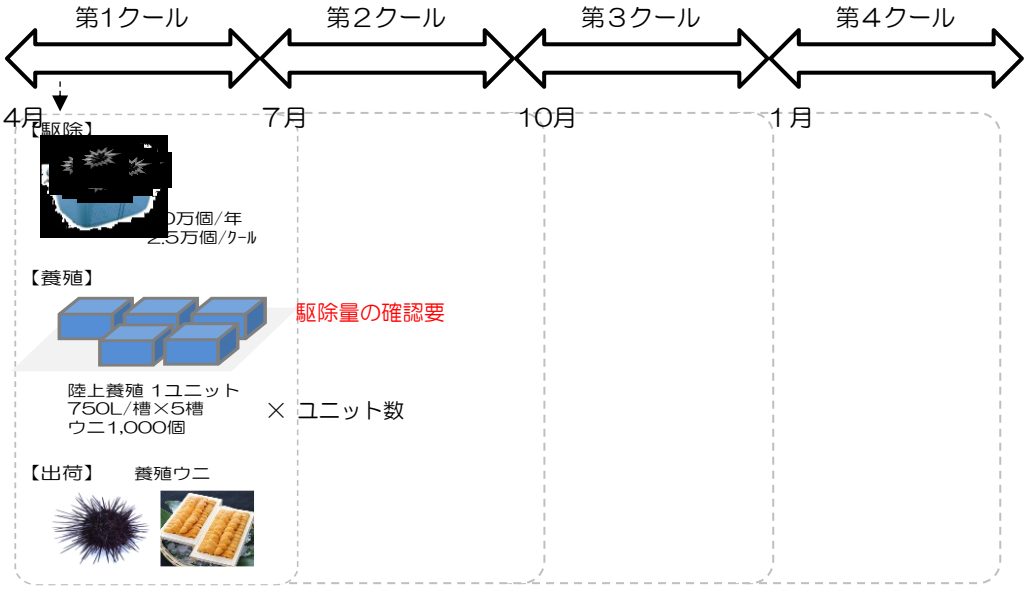


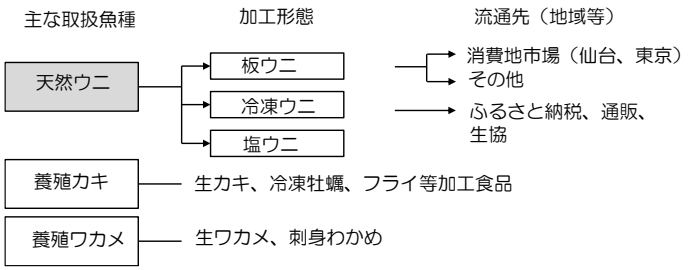
図 38　出荷サイクルのイメージ

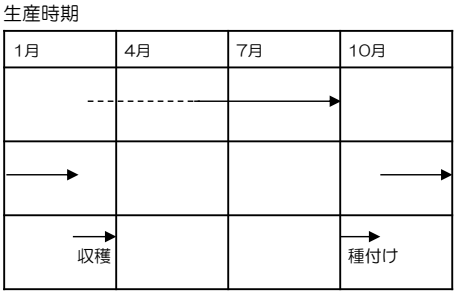
(4) 企業へのヒアリング実施

石巻エリアの天然ウニの流通実績を参考に、宮城県漁協石巻地区支所から取引実績のある企業を紹介していただき，石巻市を中心にウニの加工を行っている「株式会社まるたか水産」「ヤマサ正栄水産株式会社」の２社にそれぞれヒアリングを行った。ヒアリング結果は次頁に記載する。

事業者名	株式会社まるたか水産	ヒアリング対象者	代表取締役 髙橋雄治氏
住所	石巻市沢田字流留境畑 16-6	ヒアリング日時	令和 3 年 10 月 15 日

現行の事業内容と流通の概要





ウニの仕入れ先：雄勝、気仙沼、青森、海外
天然ウニ取扱量：仕入れ 300kg/日、出荷量：30kg/日
平均歩留り 10%（歩留り：剥き身重量/殻重量）
板ウニ取引価格：シーズン　：　7,000～10,000 円/250g（2,800～4,000 円/100g）
シーズン外：～20,000 円/250g（８,000 円/100g ）
板ウニ生産量：300 枚/日（100g 板換算）
牡蠣は自社養殖

養殖ウニへの期待

・養殖ウニの品質・量の安定化が天然モノの欠点を補う
近年、天然ウニの品質（色味、実入り）の低下が課題になっており、捕獲担い手減少が進む。
これらの天然モノの欠点を補う役割を、冷凍モノや輸入モノに代わって担うことに期待する。

・商品出荷の時期調整に貢献する
ウニは市場価格で決まり需給関係で変動が大きい。天候等の要因で供給量が変動する際にも、
現行技術の低温熟成や冷凍技術に加え、養殖ウニは入荷時期を調整できる強みがある。

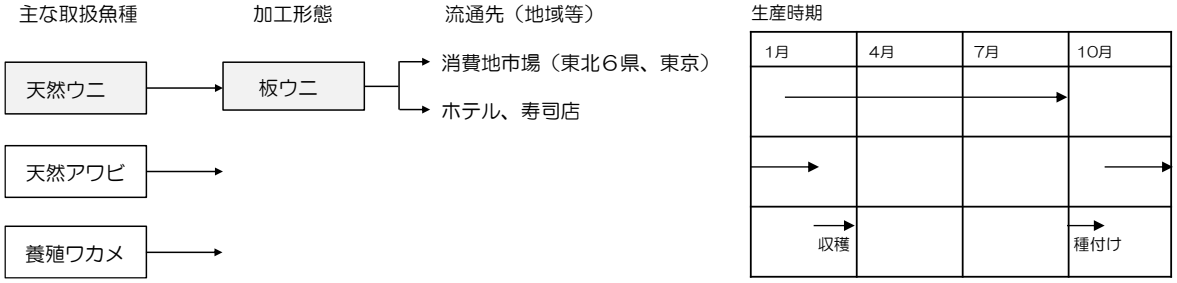
・年間を通しての安定供給に対応する
天然ウニは入荷時期が限られ、年間を通した需要に対しては冷凍ウニや輸入モノに頼っている。
時期に左右されない養殖ウニが、年間需要に対応できると期待する。

・養殖ウニに期待しており、年間を通して受け入れ余力があり柔軟に対応したい
牡蠣や天然ウニの最盛期も含めて、年間を通して 300kg/日程度の受け入れ余力は持っている。
海外からも生ウニの引き合いがあり、そうした新たな需要にも応えられる。

・養殖ウニの畜養には、海底生息動物に適した環境づくりが重要
技術的に難しい部分もあるが、事業性も含めて成功してほしい。

事業者名	ヤマサ正栄水産株式会社	ヒアリング対象者	代表取締役 阿部慎弥氏
住所	石巻市渡波字新釜 1-49	ヒアリング日時	令和 3 年 10 月 18 日

現行の事業内容と流通の概要



仕入れ先：三陸産 100％（県内 70%）に拘る
天然ウニ取扱量：仕入れ 1 ～ 2 t/日、出荷量：100～200kg/日
平均歩留り 10%（数％～20%）（歩留り：剥き身重量/殻重量）
板ウニ取引価格：2,000 円/100g（A 級品）～500 円/100g（B 級品）
板ウニ生産量：1,000～2,000 枚/日（100g 板換算）
ワカメは自社養殖

養殖ウニへの期待

・天候、季節に左右されず計画出荷ができることによる商品価値の向上
天然ウニは、旬の時期でも天候により入荷量が変動し、商品の価格も変動する。
品薄の時期を見計らって計画出荷できれば、商品価値があがり利益率も高まる。

・品質の安定化（歩留りの安定）
天然ウニは同じ浜でも品質のバラつきがあり、歩留りも変動する。
歩留りの変動が小さく、品質の安定した養殖ウニが期待される。

・一定のまとまった数量（1～2t/日 or 回）の供給
旬の時期に限らず需要があり、国産天然ウニが獲れない時期は輸入ものに頼ることになる。
年間を通して天然モノと同等の受け入れ態勢はとれる。年末年始等は需要が高まる。

・天然モノに近い味、色味、形
付加価値の高い商品は味、色味、形が整っていること。
味は餌に左右されると聞くが、養殖ならではの給餌調整による品質向上に期待する。

・取引可能な価格（天然モノに比べて養殖経費がかかることの危惧）
競合の少ない時期に適正な価格で仕入れられることが望まれる。
流通市場に見合う事業性の伴う殖ウニの生産に期待する。

・上記の点が満たされれば取引可能性は高い

(5) 先行事業者へのヒアリング実施

ウニの陸上養殖を実施している企業のうち、宮城大学片山先生からのご紹介があった「株式会社ケーエスフーズ」にヒアリングを行った。ヒアリングの概要を以下に示す。

①ヒアリング概要・結果

事業者名	株式会社ケーエスフーズ	ヒアリング対象者	西條　盛美
住所	宮城県本吉郡南三陸町戸倉字滝の沢 50-1	ヒアリング日時	令和 4 年 10 月 4 日

養殖の様子

【養殖施設（全体）】

【養殖施設（水槽）】

【養殖施設（ウニの卵）】

【養殖中のウニ】

ケーエスフーズの養殖の特徴

- 駆除されたウニは年齢が不明のため、大きさが同じでも実入りに差が出る。そのため、高価格での買取を目指す上でウニ齢が明確で品質が安定する“完全養殖”に重点を置いている。“完全養殖”は卵から出荷までの期間が 3 年と長期間に及ぶ。
- 養殖の水環境は、揚水地点を水質の安定した沖合（200m）に設定し、海水のかけ流しで畜養水槽を大型（約 14,000Ｌ）とすることで、（水槽水温が気温の影響を受けにくく）熱源による水温調整を行っていない。そのためのエネルギーコストを削減することができている。また水温の安定化により死滅のリスクを抑えている。
- ケーエスフーズでは、ウニの他にナマコ等の複数の魚種を同一施設内で養殖しており、全体の収益で事業計画を立てている。ウニ単独での事業的評価は行っていない。

②石巻市とケーエスフーズの養殖方法の比較

表 10　ヒアリング結果

	石巻市		南三陸（ケーエスフーズ）	
養殖方法	駆除畜養		完全養殖	駆除畜養
養殖場所	田代島	宮城大	南三陸戸倉	
給水方法	半循環	循環型	かけ流し型	かけ流し型
取水方法	漁港内岸壁	（石巻湾内）	地先 200m	地先 200m
排水方法			沈殿槽を経て志津川湾に放流	
水温調整	ﾋｰﾀｰ	ﾋｰﾀｰ/ｴｱｺﾝ	なし	なし
畜養期間	2 ヵ月	2 ヵ月	3 年	2 ヵ月程度
基本水槽	700L	700L	14,000L※1	14,000L※1
畜養個数/水槽	200	200	約 50,000	
ユニット	5	5	2	2
畜養個数/ﾕﾆｯﾄ	1,000	1,000	約 100,000	30,000（駆除数）
基準サイズ	5cm/個	5cm/個	6cm/個	―（未確認）
販売価格	―	―	150 円/個	―（未確認）
			1,500 円/kg※2	―（未確認）
売上	―	―	1,500 万円/年※3	―（未確認）
年間経費	（検証中）	（検証中）	1,500 万円/年	―（未確認）
初期投資	（検証中）	（検証中）	1 億 5,000 万円※4（要確認）	

※1：1.5m×1m×12m×0.8 にて概算　　※2：100g/個と想定
※3：想定値　　※4：給排水設備、ろ過設備、孵化建屋、養殖槽（16 槽）、沈殿槽、事務所

③ヒアリング結果まとめ

- 駆除されたウニは年齢が不明のため、大きさが同じでも実入りに差が出る。そのため、高価格での買取を目指す上でウニ齢が明確で品質が安定する“完全養殖”に重点を置いている。“完全養殖”は卵から出荷までの期間が 3 年と長期間に及ぶ。
- 養殖の水環境は、揚水地点を水質の安定した沖合（200m）に設定し、海水のかけ流しで畜養水槽を大型（約 14,000Ｌ）とすることで、（水槽水温が気温の影響を受けにくく）熱源による水温調整を行っていない。そのためのエネルギーコストを削減することができている。また水温の安定化により死滅のリスクを抑えている。
- ケーエスフーズでは、ウニの他にナマコ等の複数の魚種を同一施設内で養殖しており、全体の収益で事業計画を立てている。ウニ単独での事業的評価は行っていない。

(6) 養殖ウニの試食会

クールごとに養殖ウニを用いて試食会を開催し、あわせて食味アンケートを実施した。試食会は下記の全 4 回+石巻市主催のフード見本市で提供を行った計 5 回、実施した。

表 11　試食会のスケジュール

<table>
<tr><th></th><th>クール</th><th>開催日時</th><th>開催</th></tr>
<tr><td rowspan="2">1.</td><td>第 1 クール</td><td>8/31、9/16</td><td>第 1 回試食会</td></tr>
<tr><td colspan="3">デ・リーフデ大川工場で開催。自社の廃棄物で育成したウニを食べることで、養殖ウニへの興味・関心を高めるとともに、養殖ウニへの評価を確認する。</td></tr>
<tr><td rowspan="2">2.</td><td>第 2 クール</td><td>2/10</td><td>田代島関係者向け試食会</td></tr>
<tr><td colspan="3">ウニの養殖にご協力いただいた田代島の漁師・ISOP の方々などに、養殖したウニを試食いたたき、今年度途中段階での成果を示す。</td></tr>
<tr><td rowspan="2">3.</td><td>第 2 クール</td><td>2/25</td><td>第 2 回試食会（関係者向け）</td></tr>
<tr><td colspan="3">デ・リーフデ北上工場で開催。自社の廃棄物で育成したウニを食べることで、養殖ウニへの興味・関心を高めるとともに、養殖ウニへの評価を確認する。</td></tr>
<tr><td rowspan="2">4.</td><td>第 2 クール</td><td>2/25</td><td>第 2 回試食会（一般消費者向け）</td></tr>
<tr><td colspan="3">デ・リーフデのカフェで提供することにより、より多くの一般消費者から養殖ウニへの意見をいただく。</td></tr>
<tr><td rowspan="2">-</td><td>第 2 クール</td><td>3/3</td><td>フード見本市</td></tr>
<tr><td colspan="3">バイヤーの方々の養殖ウニへの興味・関心の高さを確認する。また、試食によるプロの視点からの養殖ウニへの評価を調査することで、今後の流通体制構築（販売時期や売り先）の参考とするほか、大学とも情報を共有することで、味の調整などに活用していただく。</td></tr>
</table>

①第１回目試食会について

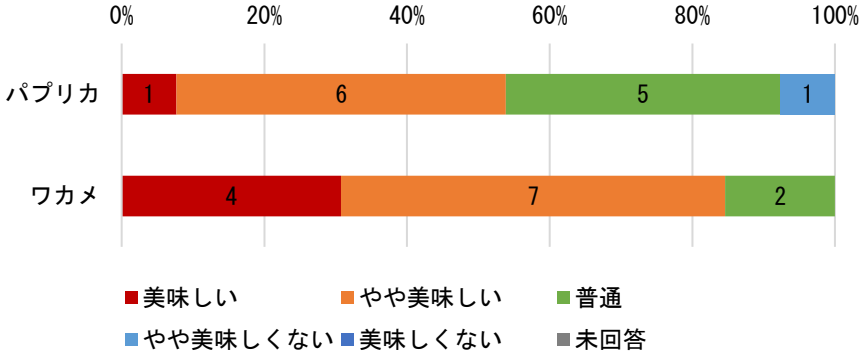
ｉ）開催概要

試食会	第１回試食会
日程	2023/8/31、2023/9/16
開催場所	（株）デ・リーフデ　大川工場
参加者	市・県職員、パプリカ生産業者 計 13 人
ウニの種類	ｉ）パプリカの廃棄葉を餌としたウニ ⅱ）パプリカの廃棄葉を餌として与え、最終的にワカメで味調整をしたウニ 計２種類 【←右：パプリカのみ　　左：パプリカ+わかめ→】 
クール数	第１クール
実施事項	・養殖ウニの食べ比べ ・食味アンケート実施
アンケート項目	・味について ①総合評価　②甘味　③塩味　④苦味　⑤旨味　⑥口当たり ・見た目や香りについて ①色　②形　③香　④大きさ ・販売について ①また食べたいか　②販売レベル　③販売時の価格帯
試食会の様子	

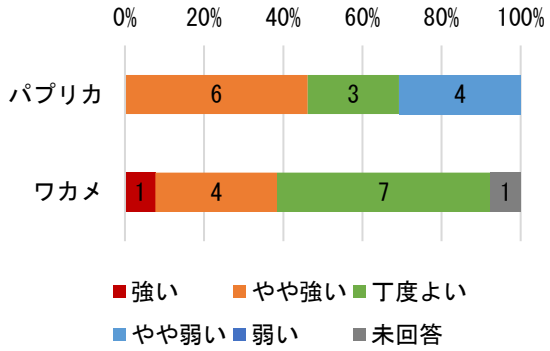
ⅱ）アンケート結果

1.味について

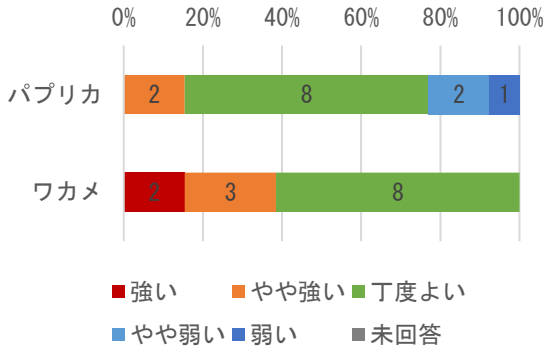
【総合評価】



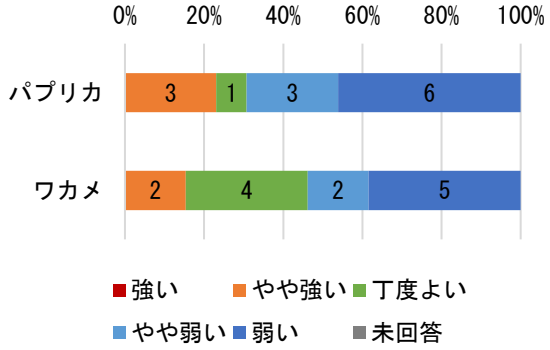
【甘味】



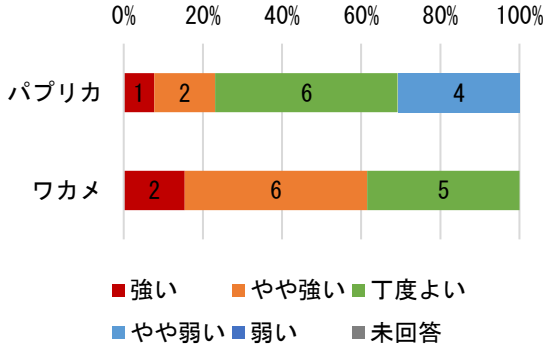
【塩味】



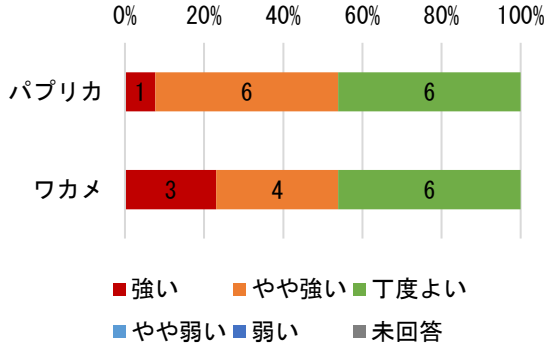
【苦味】



【旨味】



【口当たり】

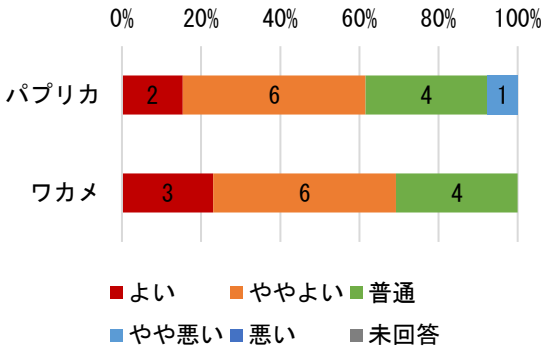


項目	餌	美味しい	やや美味しい	普通	やや美味しくない	美味しくない	未回答
総合評価	パプリカ	1	6	5	1	0	0
	ワカメ	4	7	2	0	0	0
項目	餌	強い	やや強い	丁度よい	やや弱い	弱い	未回答
②甘味	パプリカ	0	6	3	4	0	0
	ワカメ	1	4	7	0	0	1
③塩味	パプリカ	0	2	8	2	1	0
	ワカメ	2	3	8	0	0	0
④苦味	パプリカ	0	3	1	3	6	0
	ワカメ	0	2	4	2	5	0
⑤旨味	パプリカ	1	2	6	4	0	0
	ワカメ	2	6	5	0	0	0
⑥口当たり	パプリカ	1	6	6	0	0	0
	ワカメ	3	4	6	0	0	0

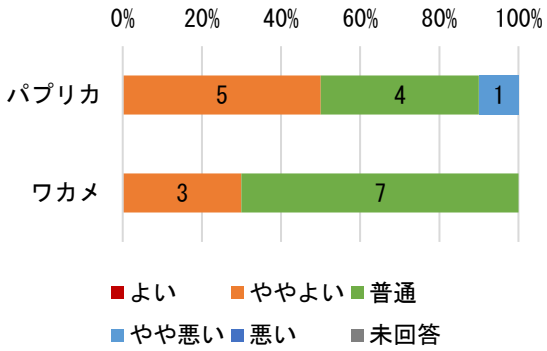
N＝13

2.見た目や香り

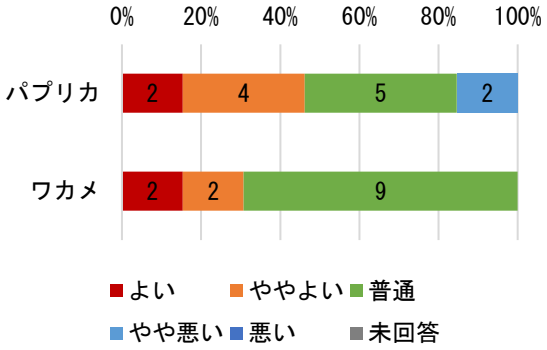
【色】



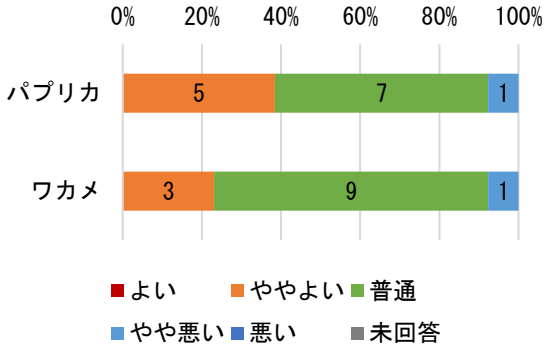
【形】



【香り】



【大きさ】

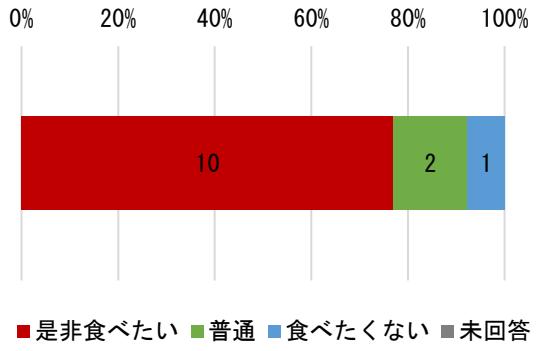


項目	餌	よい	ややよい	普通	やや悪い	悪い	未回答
①色	パプリカ	2	6	4	1	0	0
	ワカメ	3	6	4	0	0	0
②形	パプリカ	4	5	4	0	0	0
	ワカメ	3	3	7	0	0	0
③香り	パプリカ	2	4	5	2	0	0
	ワカメ	2	2	9	0	0	0
④大きさ	パプリカ	0	5	7	1	0	0
	ワカメ	0	3	9	1	0	0

N＝13

3.販売について

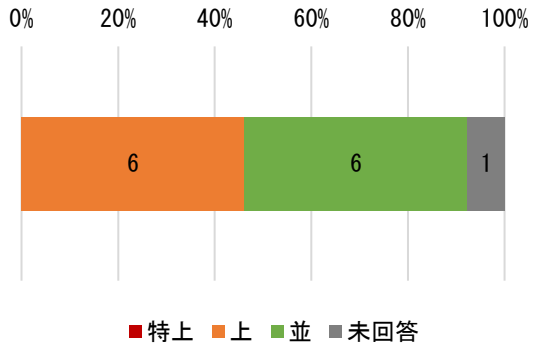
【また食べたいか】



是非食べたい	普通	食べたくない	未回答
10	2	1	0

N＝13

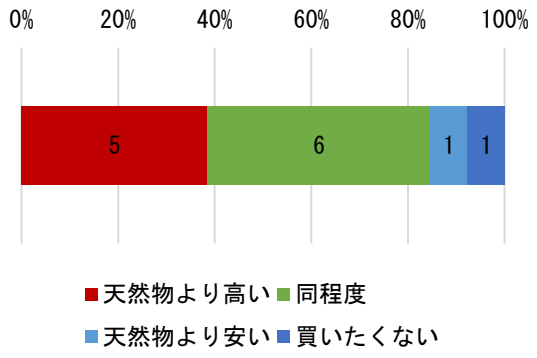
【1 パック 200 g （生ウニ）の場合，どのクラスで販売できると思うか】



特上	上	並	未回答
0	6	6	1

N＝13

【天然ウニの旬と同時期に養殖ウニが販売されていた場合，どの価格帯なら養殖ウニを買いたいと思うか】



天然物より高い	同程度	天然物より安い	買いたくない
5	6	1	1

N＝13

●感想【抜粋】

- 十分食用になるレベルに達している。
- 天然ウニは味にばらつきがあるが、養殖ウニはそのふり幅が狭いように感じた。
- 身の大きさや色は天然ウニと引けを取らないように感じる。
- 天然ウニはとは異なる美味しさがある。
- 味はワカメの有・無でかなり食感を後味に差がある。パプリカのみを与えたものは匂いが悪く残ってしまった。

ⅲ）まとめ

- これまでの試食会の中でも、特に養殖ウニへの肯定的な意見が多く、期待度の高さがうかがえる結果であった。
- 要因のひとつは餌として与えていた「パプリカの葉」であると考えられる。今回の養殖ウニは「パプリカの葉」を与えたことで、天然ウニ特有の生臭さが軽減され、植物系の爽やかさが一味違った味わいを生んでいるとの意見もあった。同時に、パプリカならではの青臭さが残るため、ワカメなど他の餌を与えて味の調整が必要であるとの意見もみられた。
- 与える餌により一味違ったウニとなり、養殖ならではの魅力を創出することもできる。天然ウニと区別化が可能となる。
- 餌として与えていたパプリカの葉は地元石巻の企業から廃棄品であり、地域連携の事業としても注目度が高い。

②田代島関係者向け試食会について

ｉ）開催概要

試食会	田代島関係者向け試食会
日程	2023/2/10
開催場所	田代島
参加者	漁港関係者 計８名
ウニの種類	塩蔵ワカメ、乾燥ワカメ 計２種
クール数	第２クール
実施事項	・田代島で養殖したウニの試食 ・食味アンケート実施
アンケート項目	・味、見た目について ①総合評価　②色　②形　③大きさ ・販売について ①今回と同程度の品質だった場合、養殖したいか ②約２カ月飼育するとしたら、殻ウニ１kgを最低いくらで購入してもらいたいか ・その他 ①どのような補助があればウニの養殖をしたいと思いますか ②感想 ・知覚品質
試食会の様子	   

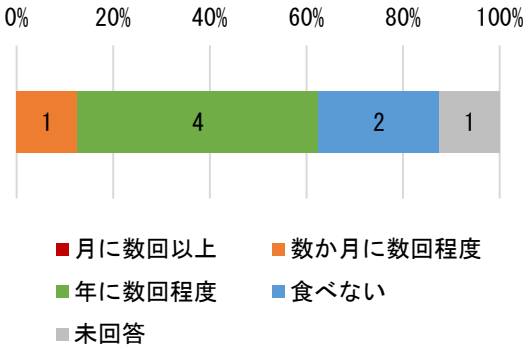
ii）アンケート結果

1.はじめに

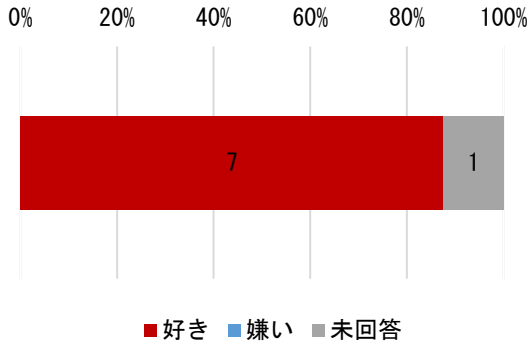
【回答者の職業】

小漁師、刺網、かご、タモ漁、刺網、公務員

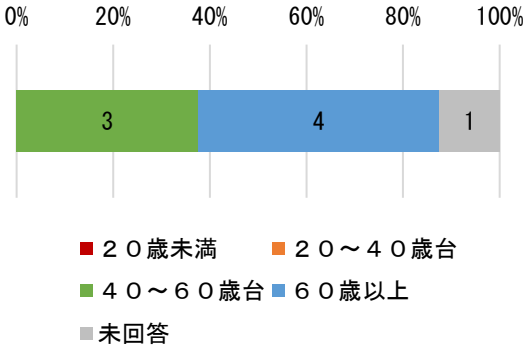
【食べる頻度】



【ウニは好きか】



【年齢】

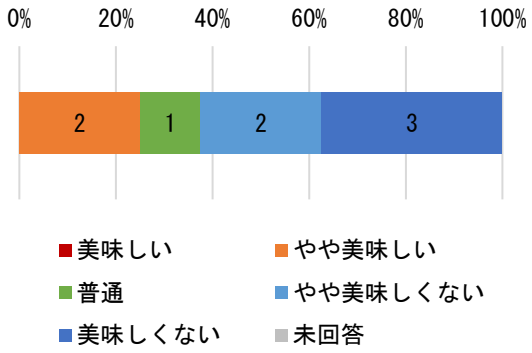


設問	月に数回以上	数か月に数回程度	年に数回程度	食べない	未回答
①食べる頻度	0	1	4	2	1
設問	好き	嫌い	未回答		
②ウニは好きか	7	0	1		
設問	20 歳未満	20～40 歳台	40～60 歳台	60 歳以上	未回答
③年齢	0	0	3	4	1

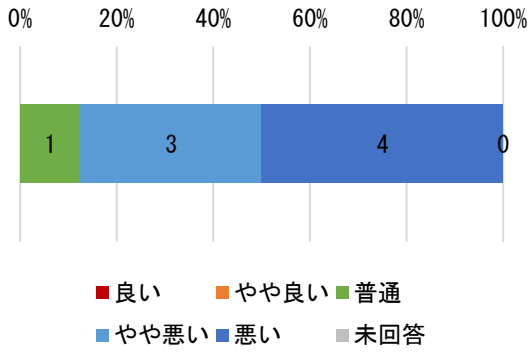
N＝8

2.味や見た目

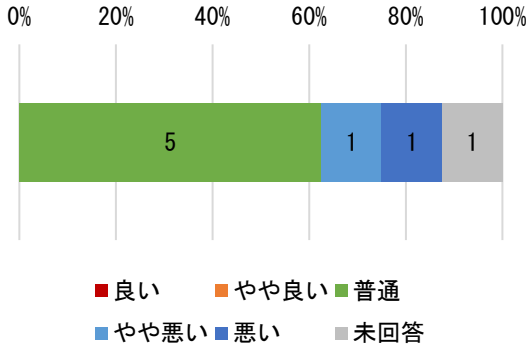
【味（総合評価）】



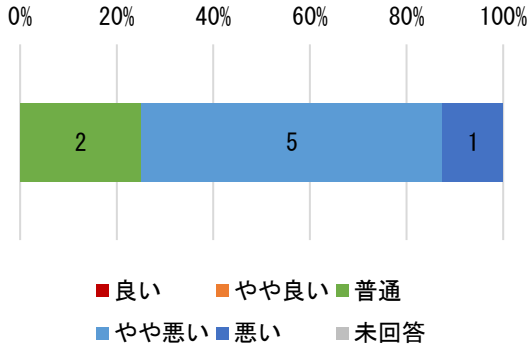
【色】



【形】



【大きさ】



【理由】

・苦い(塩蔵)、乾燥のほうがまた良い

・もう一歩

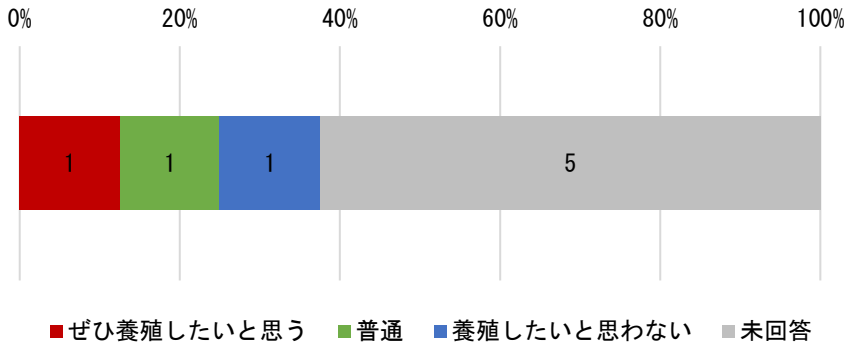
・塩蔵ワカメ給餌のウニは渋みが強い

項目	美味しい	やや美味しい	普通	やや美味しくない	美味しくない	未回答
①味	0	2	1	2	3	0
	良い	やや良い	普通	やや悪い	悪い	未回答
②色	0	0	1	3	4	0
③形	0	0	5	1	1	1
④大きさ	0	0	2	5	1	0

N＝8

3.販売について

【今回と同程度の品質だった場合、養殖したいと思うか】



【理由】

「養殖したいと思う」と回答した人

・将来的に絶対必要

設問	ぜひ養殖したいと思う	普通	養殖したいと思わない	未回答
今回と同程度の品質だった場合、養殖したいと思いますか	1	1	1	5

N＝8

【約 2 カ月飼育するとしたら、殻ウニ 1 kgを最低いくらで購入してもらいたいか】

・500～600 円

・1500～2000 円くらい

4.その他

【どのような補助があればウニの養殖をしたいと思いますか】

・設備の補助（改善の必要あり）

・資金

【感想】

・塩蔵ワカメのほうが苦味が残る

・とても良い経験ができました

・味を良くして高く販売する又は、鮮ウニが少ない時期に高く販売するの、どちらかでしょうか…

ⅲ）まとめ

- 対象者が普段から新鮮な海の幸を食べる機会が多い漁業関係者が対象であったことから、これまでの試食会の中でも、養殖ウニへの厳しい意見が多かった。
- 天然のウニと比較した際、養殖ウニの品質的な面では今後調整が必要であることから、養殖ウニとしての独自路線の開拓等も視野に入れる必要がある。また、前回の試食会ではパプリカを餌として与えたウニが天然ものにはない風味がある、という意見も多く挙げられていたことから、餌による味の調整などは有効な手段である。
- 田代島の方が養殖を行わない理由として、高齢化や、島に若い人がいないことを上げており、試食会の参加者も漁業関係者はほぼ 60 歳以上であった。養殖を行うにあたっての担い手不足や、島の交通利便性といった立地的問題など、養殖の手法や品質以外の課題も見えた試食会となった。
- 今後ウニの養殖を続けていくにあたっては、地域性をアピールしたウニの養殖など、若者にも興味を持ってもらえるような方向づけが必要である。

③第 2 回試食会（関係者向け）について

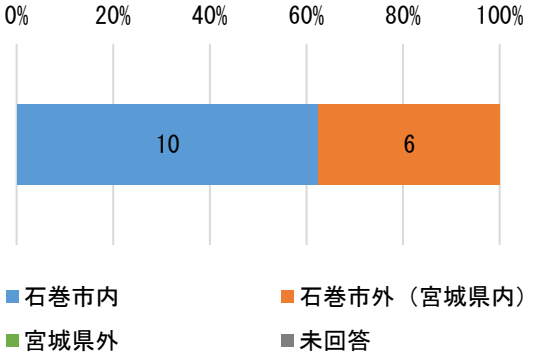
ｉ）開催概要

試食会	第 2 回試食会（関係者向け）
日程	2023/2/25　9：00～10：00
開催場所	（株）デ・リーフデ　北上工場
参加者	パプリカ生産業者、県職員、市職員、マスコミ 計 16 名
ウニの種類	ｉ）パプリカの廃棄葉を餌としたウニ →ウニパスタ、ウニ丼へ加工 ⅱ）塩蔵ワカメを餌としたウニ →ウニパスタ、ウニ丼へ加工 計 4 種類
クール数	第 2 クール
実施事項	・養殖ウニの食べ比べ ・食味アンケート実施
アンケート項目	・味について ①総合評価　②見た目 ・販売について ①また食べたいか　②販売時の価格帯 ・知覚品質
試食会の様子	   

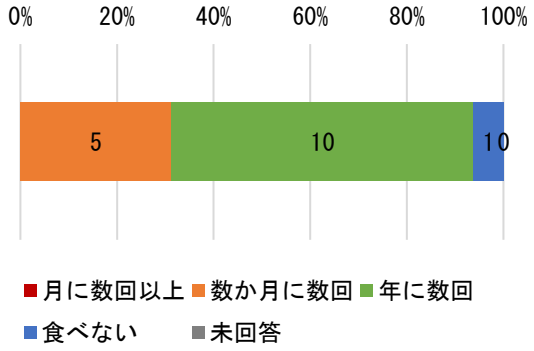
ⅱ）アンケート結果

1.はじめに

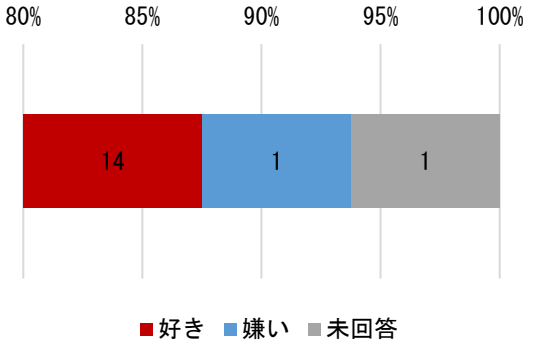
【住んでる地域】



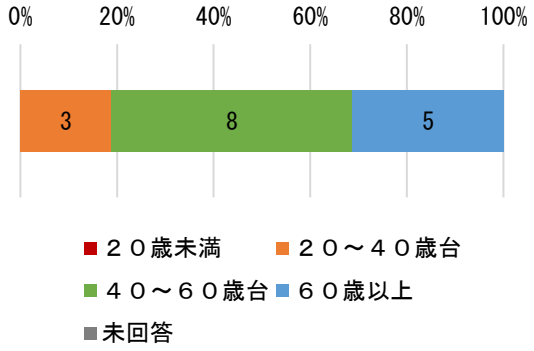
【食べる頻度】



【ウニは好きか】



【年齢】

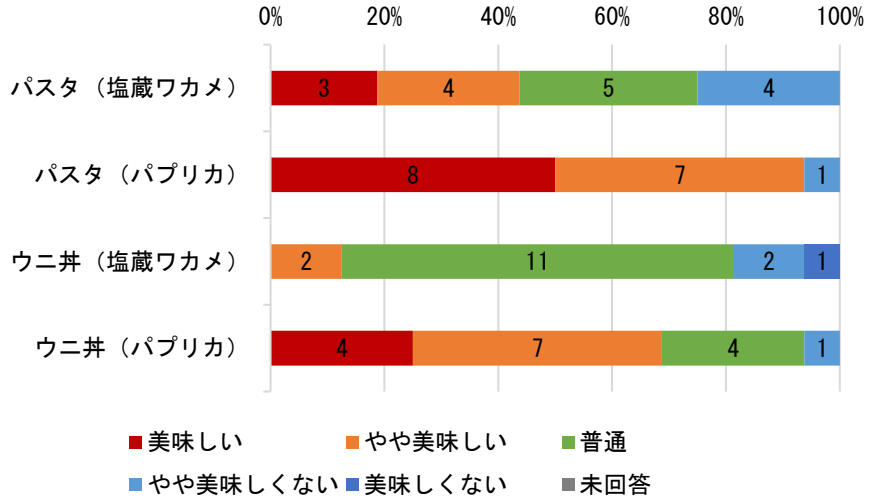


設問	石巻市内	石巻市外（宮城県内）	宮城県外	未回答	
①住んでる地域	10	6	0	0	
設問	月に数回以上	数か月に数回	年に数回	食べない	未回答
②ウニを食べる頻度	0	5	10	1	0
設問	好き	嫌い	未回答		
③ウニは好きか	14	1	1		
設問	２０歳未満	２０～４０歳台	４０～６０歳台	６０歳以上	未回答
④年齢	0	3	8	5	0

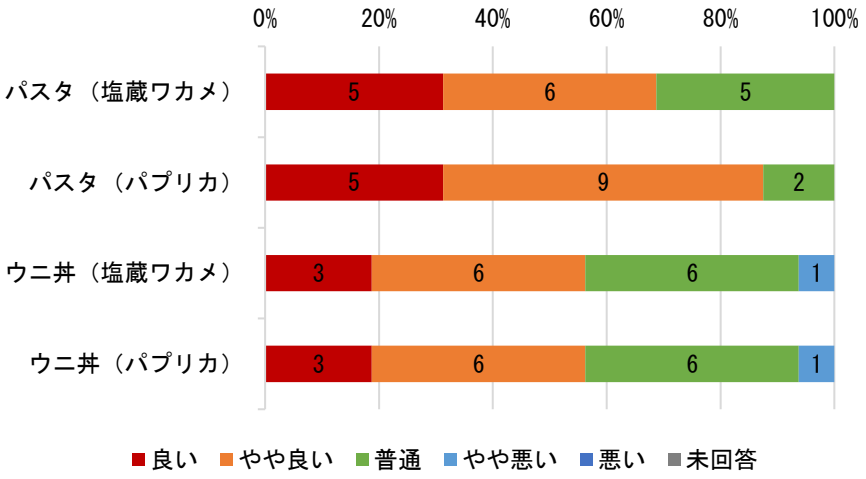
N＝16

2.味や見た目

【味（総合評価）】



【見た目】



【理由】

・パプリカウニは甘味があり美味しい

・パスタのほうが見た目、味ともに良いと感じた。冬場のウニは商品としての価値もあると思うので、出荷調整が可能な養殖については大きな可能性があると思う。

・とてもおいしかった。天然とは違う安価で提供されるのであればぜひまた食べたい。

・ウニ丼については、ウニ丼への先入から塩蔵ワカメに軍配が上がる。パスタについてはパプリカの風味もあり very good

・パプリカ：色が良く美味しい。ワカメ：苦味がある

・パスタとウニどちらもパプリカのほうが美味しいです

・パプリカはパプリカの風味が強く、ウニの風味が少ない。ワカメはとにかく苦い。※パスタそのものは美味しいですが

・冬季にも安定して身入りが進むのは、大変驚きました。食べた餌でウニの身の味（風味）が変わるのも、工夫次第で特徴として活かせるのではないかと思います。ウニに給餌でき

るパプリカの葉が安定的に供給できるのは魅力だと思います。塩蔵ワカメのウニは苦味が残りました。特にパスタのほうが強く感じました。

・ウニ特有の味覚も好まれるが、パプリカウニのほうが小さな子供も含め、より多くの方々に好まれるように思う

・塩蔵ワカメのウニは苦みを感じました。パプリカウニは甘味を感じました。

・ワカメウニは苦味が強かった

・パプリカのものは甘味が強く予想以上でした。料理にすることでパプリカウニの甘味・旨味が活かされていると感じます。加工においては、幅が広がるのではと感じます。

・おいしくいただきました

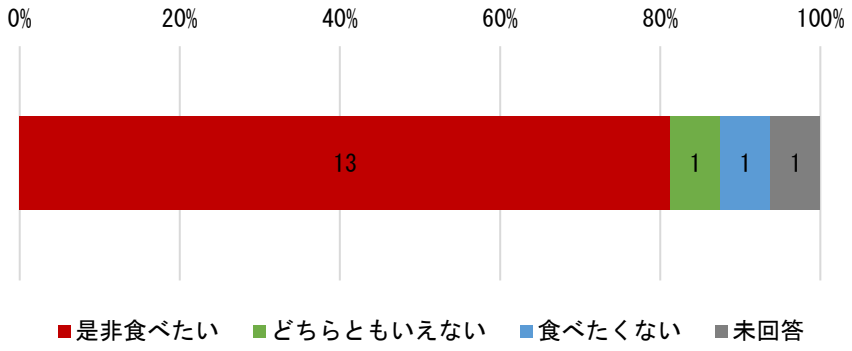
・ワカメは苦味を感じた。ウニ丼・パスタともに感じたが、パスタにするとその苦味は感じにくくなった。

項目		美味しい	やや美味しい	普通	やや美味しくない	美味しくない	未回答
味	ウニ丼（パプリカ）	4	7	4	1	0	0
	ウニ丼（塩蔵ワカメ）	0	2	11	2	1	0
	パスタ（パプリカ）	8	7	0	1	0	0
	パスタ（塩蔵ワカメ）	3	4	5	4	0	0
		良い	やや良い	普通	やや悪い	悪い	未回答
見た目	ウニ丼（パプリカ）	3	6	6	1	0	0
	ウニ丼（塩蔵ワカメ）	3	6	6	1	0	0
	パスタ（パプリカ）	5	9	2	0	0	0
	パスタ（塩蔵ワカメ）	5	6	5	0	0	0

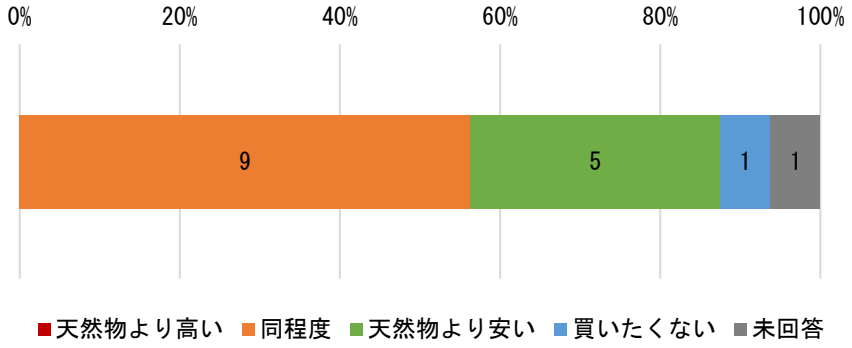
N＝16

3.販売について

【今回と同程度の品質だった場合、養殖のウニをまた食べたいか】



【どの価格帯なら養殖ウニを買いたいか】



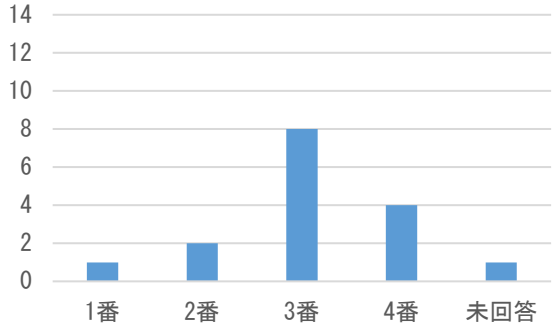
設問	ぜひ食べたい	どちらともいえない	食べたくない	未回答	
今回と同程度の品質だった場合、養殖ウニをまた食べたいか	13	1	1	1	
設問	天然物より高い	同程度	天然物より安い	買いたくない	未回答
どの価格帯なら養殖ウニを買いたいか	0	9	5	1	1

N＝16

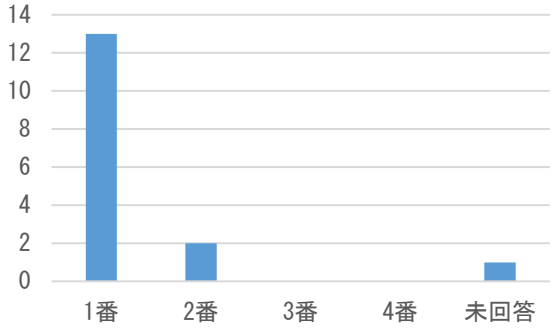
4.知覚品質試験

【どのウニが最もおいしそうに見えるか】

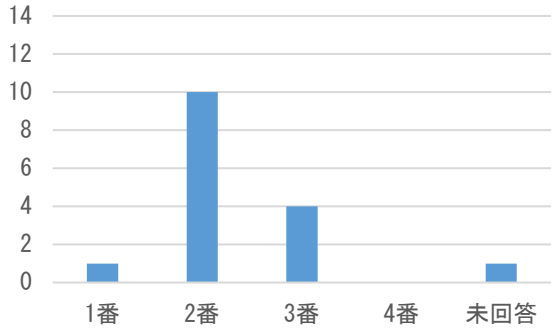
赤を強調



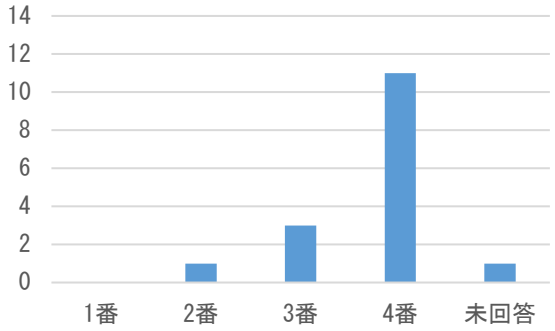
赤とオレンジを強調



オレンジと茶を強調



茶を強調



設問	色	1 番	2 番	3 番	4 番	未回答
どのウニが最もおいしそうに見えるか	赤を強調	1	2	8	4	1
	赤とオレンジを強調	13	2	0	0	1
	オレンジと茶を強調	1	10	4	0	1
	茶を強調	0	1	3	11	1

N＝16

ⅲ）まとめ

- 加工した状態での提供は今回が初めてであったが、ウニ丼、ウニパスタ、それぞれの餌の違いで特徴の出方が異なり、加工における幅の広さを参加者は感じていた。
- 知覚品質試験では、色味によるウニへの印象の違いが顕著に表れており、今後調整を行う上で参考となる結果を得らえた。

④第 2 回試食会（一般消費者）について

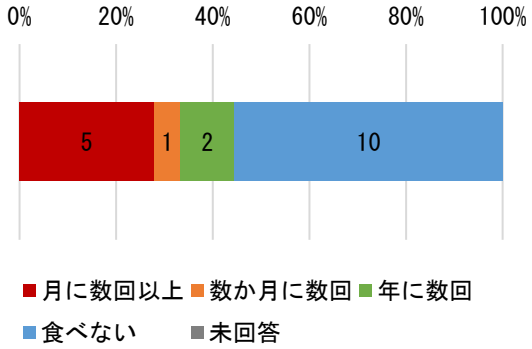
ｉ）開催概要

試食会	第 2 回試食会（一般消費者向け）
日程	2023/2/25　10：00～12：00
開催場所	（株）デ・リーフデ　北上工場　カフェ 計 18 名
参加者	一般消費者
ウニの種類	ｉ）パプリカの廃棄葉を餌としたウニ →ウニパスタへ加工 ⅱ）塩蔵ワカメを餌としたウニ →ウニパスタへ加工 計 2 種類
クール数	第 2 クール
実施事項	・養殖ウニの食べ比べ ・食味アンケート実施
アンケート項目	・味について ①総合評価　②見た目 ・販売について ①また食べたいか
試食会の様子	 

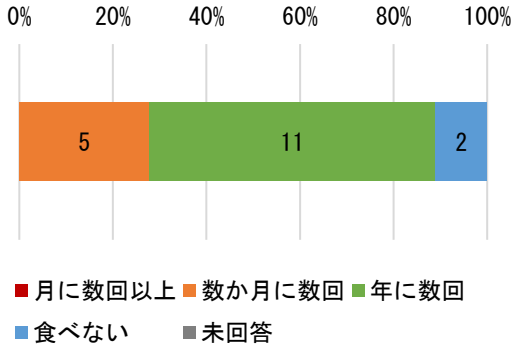
ⅱ）アンケート結果

1.はじめに

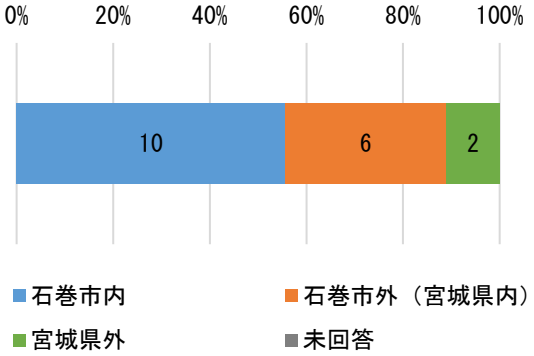
【デ・リーフデ北上の直売所もしくはカフェを利用する頻度】



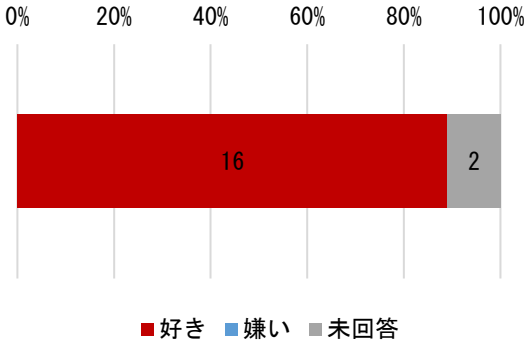
【ウニを食べる頻度】



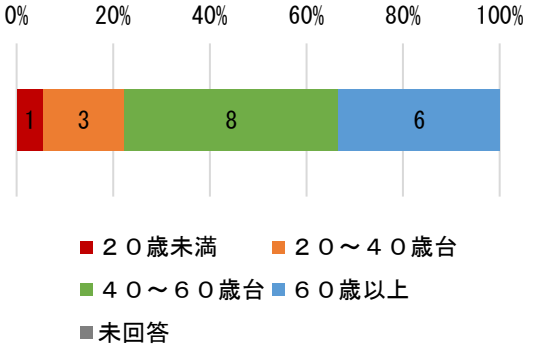
【住んでる地域】



【ウニは好きか】



【年齢】

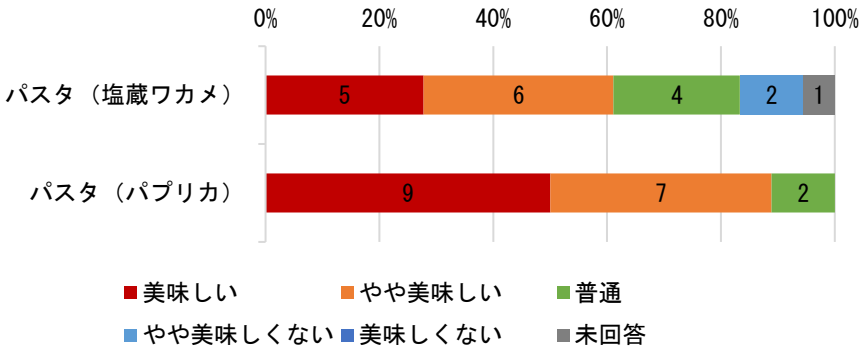


設問	石巻市内	石巻市外（宮城県内）	宮城県外	未回答	
①住んでる地域	10	6	2	0	
設問	月に数回以上	数か月に数回	年に数回	食べない	未回答
②デ・リーフデ北上の直売所もしくはカフェを利用する頻度	5	1	2	10	0
設問	月に数回以上	数か月に数回	年に数回	食べない	未回答
③ウニを食べる頻度	0	5	11	2	0
設問	好き	嫌い	未回答		
④ウニは好きか	16	0	2		
設問	２０歳未満	２０～４０歳台	４０～６０歳台	６０歳以上	未回答
⑤年齢	1	3	8	6	0

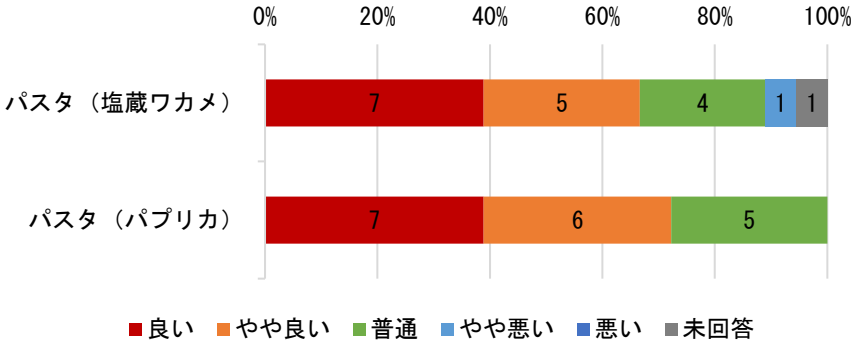
N＝18

2.味や見た目

【味（総合評価）】



【見た目】



項目	種類	美味しい	やや美味しい	普通	やや美味しくない	美味しくない	未回答
味	パスタ（パプリカ）	9	7	2	0	0	0
	パスタ（塩蔵ワカメ）	5	6	4	2	0	1
項目	種類	良い	やや良い	普通	やや悪い	悪い	未回答
見た目	パスタ（パプリカ）	7	6	5	0	0	0
	パスタ（塩蔵ワカメ）	7	5	4	1	0	1

N＝18

【理由・感想】

・パプリカの方がとても食べやすく、臭みがない

・パプリカウニはパプリカの甘さが強くとてもおいしかった。食べ比べできて楽しかった。

・塩蔵ワカメはあまり感じられませんでしたが、パプリカウニはしっかりとしたパプリカの風味が感じられ美味しくいただけました。

・ウニが食べるものによって味が変わる事が分かりました。ちゃんとパプリカの味がしました。感動。

・塩蔵ワカメのほうが少し苦かったがどちらも美味しいと思った。子供はパプリカのほうが好み。

・パプリカ：甘味が少ない気がする、苦みちょっとある

・パプリカの甘味をベーコンの味が邪魔している感じ。ベーコンをカリカリにしてほしかった。オリーブオイルで十分な気がする。

・パプリカの方は濃い色なので、少し悪くなった印象を与える。

・ワカメは苦みが強く味が薄いが食べられないほどではない。パプリカは苦味がマイルドで

味が濃いが、天然ウニより若干薄味だが、比較しないとわからないレベル。

・ワカメの方に苦味を感じました。見た目はワカメのほうが美味しそうに見えます。

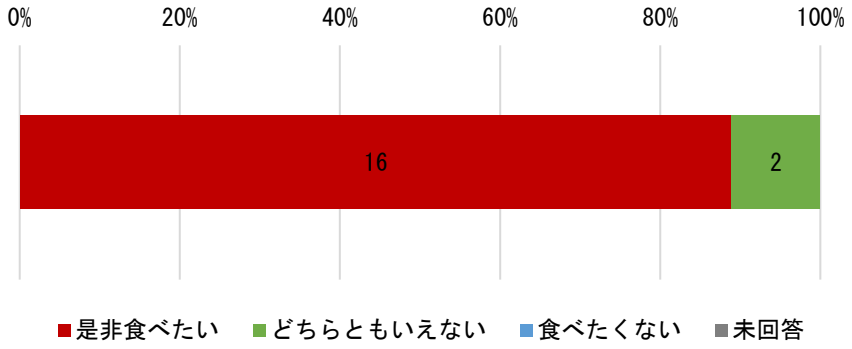
・パプリカのほうが味がしっかりしている

・パプリカウニのほうが黒いウニで濃い

・パプリカが好き（好みの味）

3.販売について

【今回と同程度の品質だった場合、養殖ウニをまた食べたいか】



設問	ぜひ食べたい	どちらともいえない	食べたくない	未回答
今回と同程度の品質だった場合、養殖ウニをまた食べたいか	16	2	0	0

N＝18

ⅲ）まとめ

- 幅広い世代の方々に養殖ウニを試食してもらった。特に、パプリカウニを用いたパスタへの評価が高く、頻繁にウニを口にすることがない人たちからも受け入れられていることを確認できた。
- 約９割の人が養殖ウニをまた食べたいと答えており、十分に一般の方々からも受け入れられる品質に達しているといえる。

⑤フード見本市について

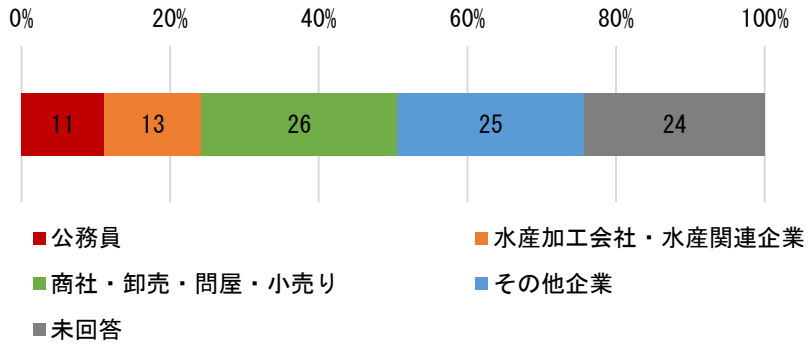
ｉ）開催概要

試食会	石巻フード見本市
日程	2023/3/3　10：00～15：00
開催場所	石巻魚市場 アンケート回答者　計 100 名
参加者	商社・問屋・卸売業者、水産加工業者　等
ウニの種類	ｉ）パプリカの廃棄葉を餌としたウニ ⅱ）塩蔵ワカメを餌としたウニ 計 2 種類
クール数	第 2 クール
実施事項	・養殖ウニの食べ比べ ・食味アンケート実施
アンケート項目	・味について ①総合評価　②見た目 ・販売について ①販売価格　②販売形態　③販売時期
試食会の様子	   

ⅱ）アンケート結果

1.はじめに

【職業】

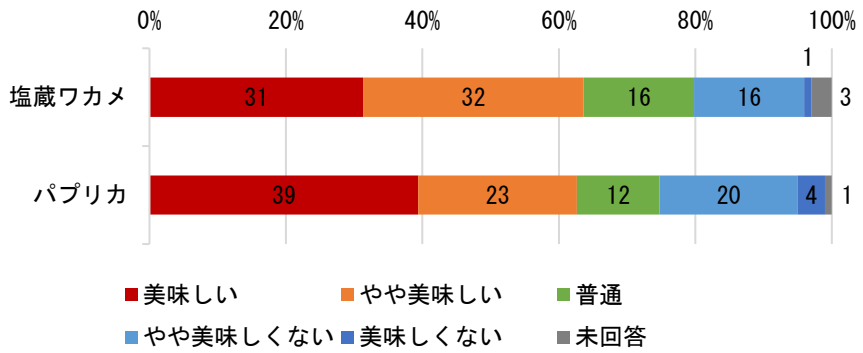


設問	公務員	水産加工会社・水産関連企業	商社・卸売・問屋・小売り	その他企業	未回答
①職業	11	13	26	25	24

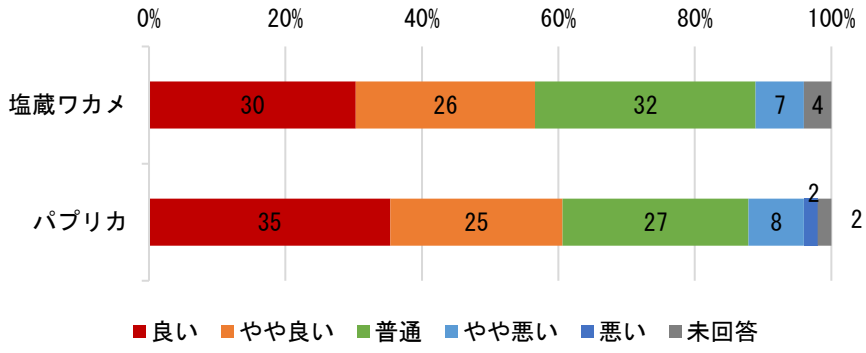
N＝99

2.味や見た目

【味（総合評価）】



【見た目】



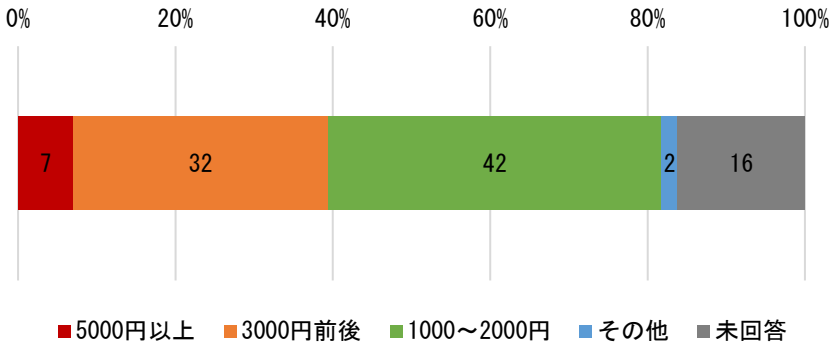
項目	種類	美味しい	やや美味しい	普通	やや美味しくない	美味しくない	未回答
味	パプリカ	39	23	12	20	4	1
	塩蔵ワカメ	31	32	16	16	1	3
項目	種類	良い	やや良い	普通	やや悪い	悪い	未回答
見た目	パプリカ	35	25	27	8	2	2
	塩蔵ワカメ	30	26	32	7	0	4

N＝99

【理由・感想】
・パプリカの葉を食べたほうがとても食べやすかった
・パプリカのほうが食べやすい。苦味がない
・パプリカが面白いので他のものでも育てても面白いと思う
・パプリカは味が濃く感じました
・パプリカが甘く感じた
・パプリカの味が無く、後から来る風味がよかった。ワカメはやわらかくて良かった
・パプリカの後味が良い
・パプリカの風味で独特の味を出している。
・パプリカが甘い
・パプリカは香りが良かった
・パプリカが風味があって美味しい
・パプリカはちょとフルーティな香りがしました。
・パプリカの香とちょっとだけ味も感じられ美味しかった
・パプリカ感があった
・思ってるよりパプリカの味がしていた
・どちらも美味しいです。パプリカは苦みがあってよいです。
・ワカメ：塩味が美味しい、パプリカ：通常の味と違って面白い
・ワカメの苦味、パプリカのフルーティー　どちらも違った美味しさがあるのでセットで販売するのもいいです
・ワカメは少し水っぽさ、柔らかさがある。パプリカしまってて美味しい。
・塩蔵ワカメの苦味が大人には好まれると思います。パプリカは子供用に良いかもしれません。とてもおいしくいただきました。
・それぞれの風味がして面白い
・独特の苦みがあり面白かったです！
・塩味強い、パプリカ
・それぞれの味がした。苦味が強く感じた
・苦味が強い
・青臭い
・パプリカは苦みを感じた
・パプリカは青臭く苦い
・味が悪い。パプリカは特に苦味がありダメ。
・ワカメのほうが味が良かった
・色がもう少し黄色いほうが良い
・次期が少し早い。5 月 6 月でどのようになるか
・とてもおいしかったです
・美味しかったです。説明を聞かないと餌が何か分からないです。
・美味しかったです
・おいしい

3.販売について

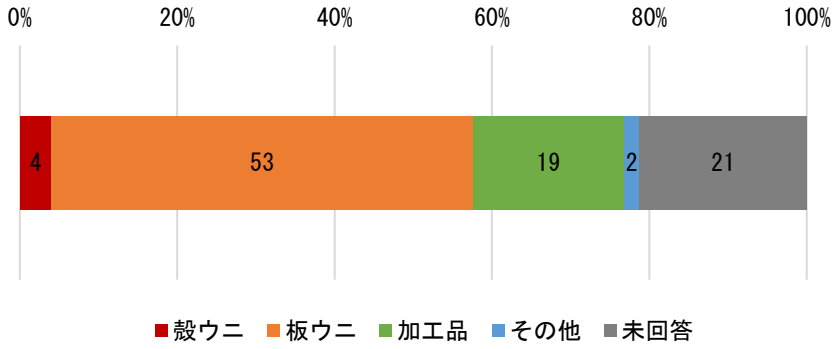
【1 パック 200 g （生ウニ）の場合、どの程度の価格で販売できると思うか】



設問	5000 円以上	3000 円前後	1000～2000 円	その他	未回答
1 パック 200 g（生ウニ）の場合、どの程度の価格で販売できると思うか	7	32	42	2	16

N＝99

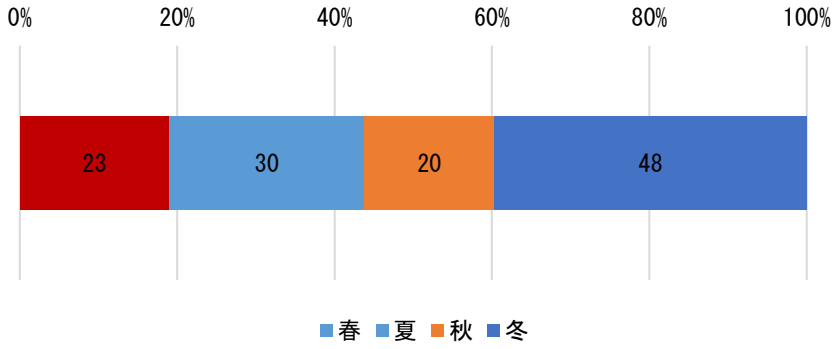
【1 パック 200 g （生ウニ）の場合、どの程度の価格で販売できると思うか】



設問	殻ウニ	板ウニ	加工品	その他	未回答
どのような形態で養殖ウニの販売を望むか	4	53	19	2	21

N＝99

【どの時期に養殖ウニが手に入るといいと思うか】（複数回答可）



設問	春	夏	秋	冬
どの時期に養殖ウニが手に入るといいと思うか	23	30	20	48

N＝121

4.今後養殖ウニに望むこと

・これからもウニを守っていただければ嬉しいです！
・旬の時期に食べるのと同じくらいの美味しさ
・養殖ウニが美味しいと思える味
・味の改善
・味・価格
・価格を抑えたい
・安く提供
・安価、安定供給
・通年通しての出荷
・ハイシーズンの夏と年末年始
・オフシーズンに売れるものがあるといいですね
・年末がチャンス
・日持ち
・数量 UP、価格↓
・お手軽に食べられるようになるといい
・環境保全につながる動きとして期待しています
・海を大切にした養殖を望みます
・技術開発もお願いします
・販路拡大してほしい
・今後に期待します
・成功してほしい
・早く販売してください！！

ⅲ）まとめ

- フード見本市という、水産関連企業や、卸売業の方々を対象として実施となった中で、塩蔵ワカメを餌としたウニ、パプリカを餌としたウニ、ともに味は「美味しい」「やや美味しい」、見た目は「良い」「やや良い」を選択した人が過半数を占めており、高い評価を得た。
- 広範な業種の方々から陸上養殖に対して期待・評価されており、特に、卸、商社、飲食店と各分野からも興味・関心が高く、商品化や契約締結の可能性も低くなく、商品化（ブランディング）や販路拡大（展示会等）のルート確保にも一定の可能性が見えた。

(7) ウニの市場動向について

国内産ウニと輸入ウニについて、令和 2 年 1 月から令和 5 年 1 月までの月ごとの出荷数量の推移を下記に示す。

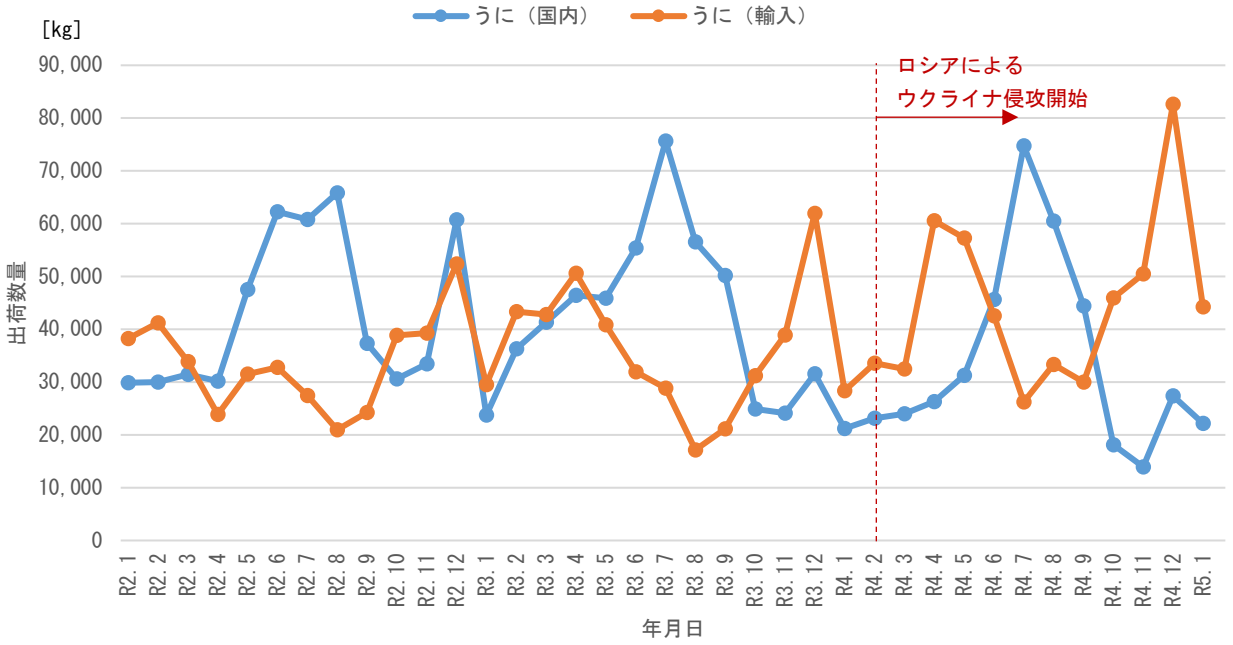


図 39　月ごとの出荷数量の推移

出典：東京中央卸売市場 HP

出荷数量は時期により大きく変動しているが、基本的には国内産のウニが獲れる時期は国内産のウニが、10～5 月などの取れない時期は輸入ものの数量が多くなっている。また、出荷総量は R2～R5 年間で大きな変化は見られない。

また、国内産ウニと輸入ウニについて、令和 2 年 1 月から令和 5 年 1 月までの月ごとの平均価格の推移を下記に示す。

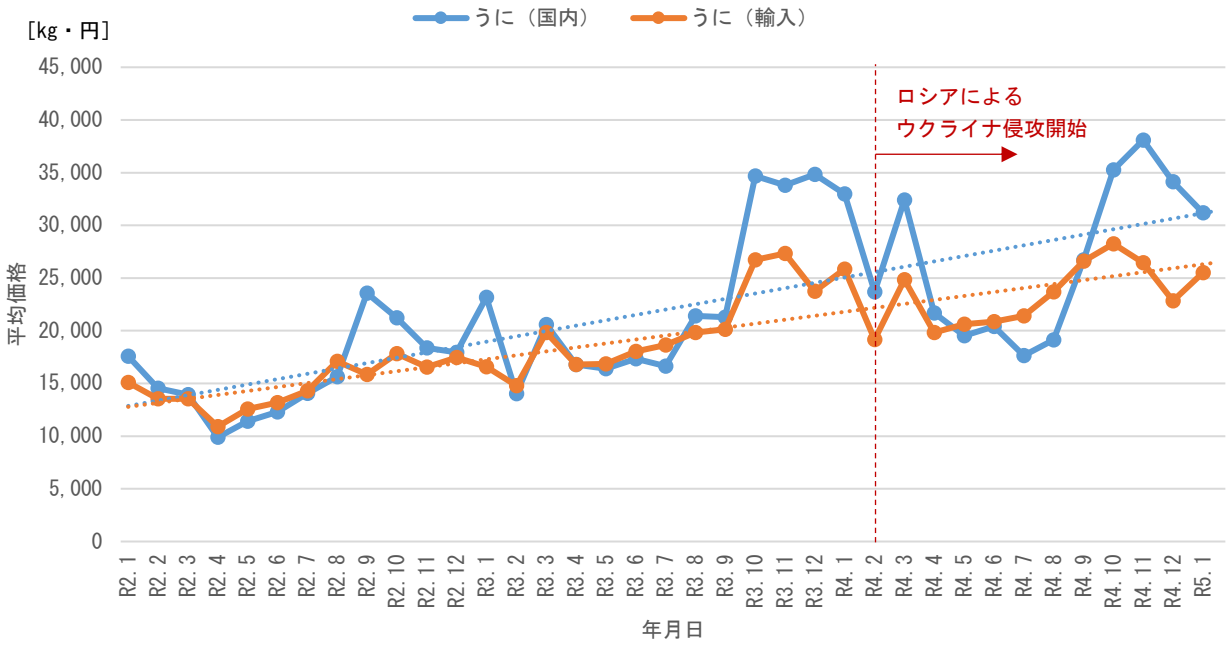


図 40　月ごとの平均価格の推移

出典：東京中央卸売市場 HP

時期によりばらつきはあるものの、国内産、輸入ともに価格は上昇傾向にあり、R5 年 1 月時点では国内産が 3 万円台、輸入ものが 2～3 万円台となっている。

ウニの値段の高騰は R2 年の年末ごろから続き、これは身入りが悪く供給が減っていたロシア産のウニや、赤潮により北海道産のウニの供給が減少した影響である。

日本では輸入ウニの約 5 割をロシア産が占めている。ロシアによるウクライナ侵攻により輸入量が減少するなどの問題は生じていないものの、先行きの見通しが立たない不安から、価格は高騰している。今後ロシアに対する経済制裁が本格化すると、ロシア企業との取引や貿易が難しくなり、値段の高騰に加え、輸入が滞る可能性も懸念される。

(8) 宮城県産のウニについて

国内産ウニについて、令和２年１月から令和５年１月までの月ごとの出荷地別取り扱い実績、平均価格を下記に示す。

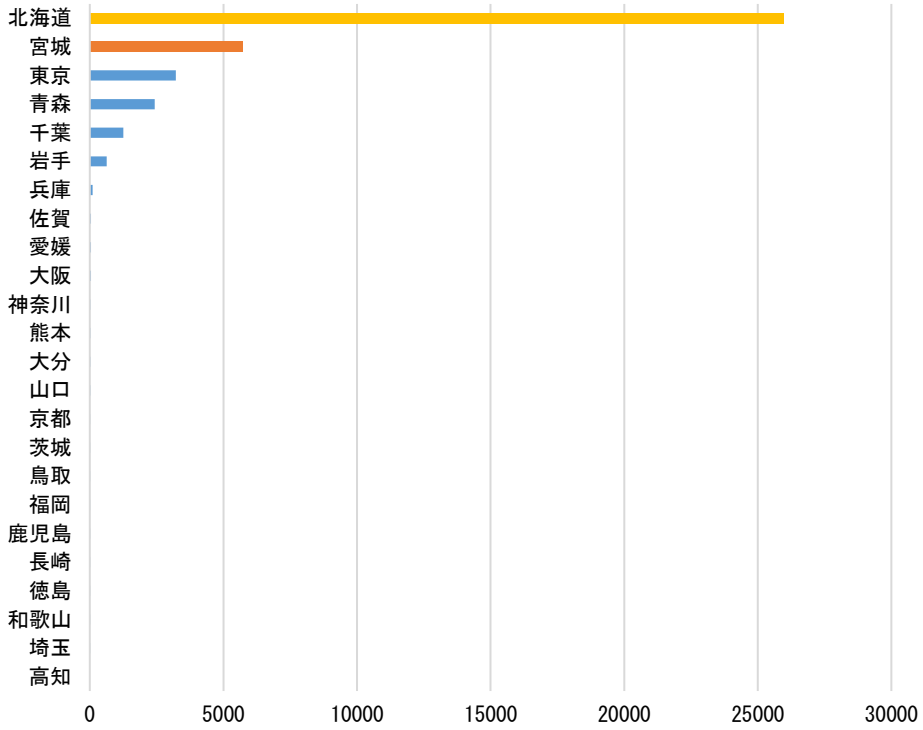


図 41　出荷地別取り扱い実績（単位：ｋｇ）

出典：市場統計情報

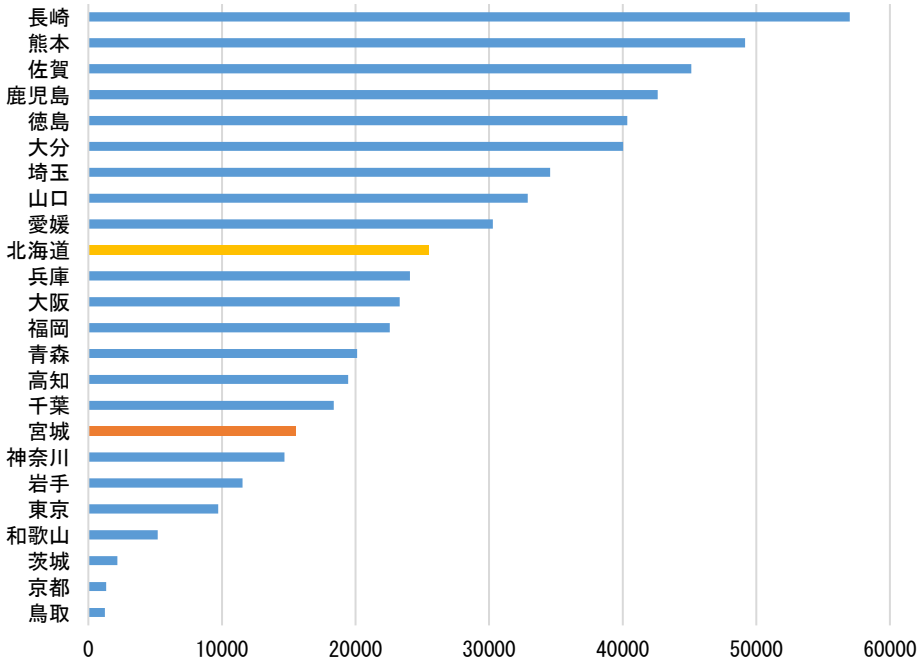


図 42　出荷地別平均価格（単位：ｋｇ・円）

出典：市場統計情報

宮城県産のウニは北海道に次ぎ、国内産ウニのシェア No.2 となっている。その一方で、出荷地別平均価格は北海道が 2 万 5 千円程度であるのに対し、宮城県は 1 万 5 千円程度と、取引価格に約 1 万円もの差が生じている。また、出荷地別平均価格トップである長崎県は 1kg5 万 7 千円とは 4 倍近くの差がついている事を確認した。

価格が安い要因の一つとして、宮城県では昔から取れたウニはすべて取引してしまっていたことが考えられる。品質の良いもの、そうでないものが混在した状態であったため、価格が最低ラインに調整され、「安く買えるウニ」という評価になってしまっていた可能性がある。

(9) 販路構築にあたっての今後の方向性

これまでに実施した試食会でのアンケート、事業者ヒアリング、調査等の結果から、販路構築にあたっての方向性として、養殖ウニの現状の評価と求められる要素を整理する。

①養殖ウニの評価

項目		評価
商品の質	味	・餌によって味の調整が可能なため、天然物にはない魅力を引き出すことができる。 ・餌によってはやや苦味、渋みが残るため調整が必要。 ・十分食用となるレベルに達している。
	見た目	・餌によってはやや茶色がかった色味となる。 ・天然物と変わらないサイズ。
	歩留まり	・冬季でも安定した身入りを実現。
提供時期		・一年通しての提供が可能。
養殖ウニへのイメージ		・　餌として与えていたパプリカの葉は地元石巻の企業から廃棄物であり、SDG s 対応や地域連携の事業としても注目度が高い。 ・将来的では必要な取り組みである。

②今度販路構築の上で重要となるポイント

<table>
<tr><th colspan="2">項目</th><th>方向性</th></tr>
<tr><td rowspan="3">商品の質</td><td>色</td><td>【赤とオレンジが協調された色味が最も美味しそうに見える】
①調査の対象者
ウニの養殖に携わる漁港関係者や、養殖ウニの餌を提供するパプリカ工場の社員、市・県職員を対象として知覚品質に係る簡易的なアンケートを実施。
②サンプルの画像
平均的な色彩のムラサキウニをサンプルとした。その検体の体色を adobe photoshop を用いて赤、オレンジ、茶、黄の色調調整を組み合わせて 4 段階に画像処理した。
③結果
赤とオレンジを強調したもの、オレンジと茶を強調したもの、赤を強調、茶を強調したものの順とに美味しそうであると評価された。</td></tr>
<tr><td>味</td><td>【養殖ウニならではの風味の評価が高い一方で、販売対象に合わせた味の調整ができるとなおよい】
①調査対象者
ウニの養殖に携わる漁港関係者や、養殖ウニの餌を提供するパプリカ工場の職員、市・県職員、一般消費者等多くの人を対象に養殖ウニの試食アンケートを実施。
②結果
パプリカの葉を餌として与えた養殖ウニは、ウニ特有の生臭さが軽減され、植物系の爽やかさが一味違った味わいを生み、養殖ならではの魅力となっているとの意見が多くあげられた。天然ウニとの差別化を図り、独自の価値を生み出していくうえで、餌による味の調整は大変有効であると考えられる。
また、ウニが苦手な人や子どもでも美味しく食べることができたという意見もあったことから、売り先を意識した味の調整も有効であると考えられる。</td></tr>
<tr><td>歩留まり</td><td>【歩留まりの変動が少なく、安定した品質が求められる】
①調査の対象者
市内の水産加工業者、および漁港関係者を対象に実施。
②結果
天然ウニの収穫では同じ浜でも品質のバラつきがあり歩留りも変動する。この欠点を養殖ウニが補うことができれば、冷凍ウニや輸入モノに代わって安定した供給を担うことが期待される。</td></tr>
<tr><td colspan="2">提供時期</td><td>【冬季を中心に、一年通して需要がある】
①調査の対象者
水産加工業者、商社・問屋・卸売業者などを対象に実施。</td></tr>
</table>

	②結果 需要が高まる年末年始に加え、天然ウニは気象状況や開口日等により入荷時期が限られることから、年間を通した需要に対しては冷凍ウニや輸入モノに頼っているのが現状である。気象状況や時期に左右されない養殖ウニが、年間需要に対応できると期待されている。
提供価格	**【天然ウニと同等、もしくはそれ以下での提供を望む声が多いが、天然ウニが獲れない時期であれば、高値での取引が予想される】** ①調査の対象者 水産加工業者、商社・問屋・卸売業者、漁港関係者などを対象に実施。 ②結果 養殖ウニは出荷日を調整できるため、旬の時期でも時化などを見計らって計画的に出荷することができれば、取引価格の上昇が期待できる。むき身のウニは、シーズン内で 15,000～20,000 円/kg、シーズン外 38,000 円/kg 程度で取引される場合がある。 一方で宮城県産のウニは相場よりも、安く取引される傾向にあるため、今後は養殖ウニのブランド化に向けたイメージ戦略等も併せ、宮城県産ウニの取引価格の底上げを目指していく必要がある。
販売形態	**【板ウニでの出荷を望む声が多い】** ①調査の対象者 水産加工業者、商社・問屋・卸売業者、漁港関係者などを対象に実施。 ②結果 板ウニとしての出荷を望む声が多かった。そのほかに、加工品として塩ウニなどでの提供を希望する声もあった。
養殖方式	**【養殖場の立地に合わせた選択が必要】** 海から近い場所に広い土地を確保し、養殖場を設置できる場合には、海水かけ流しによる養殖も可能である。海水かけ流しのメリットとして、水槽水温が気温の影響を受けにくく熱源による水温調整を行う必要がないため、エネルギーコストを削減することができる。また水温の安定化により死滅のリスクを抑えることも可能である。 半循環型、循環型による養殖は、やや海から離れた場所でも養殖でき、温度調節もできるため出荷時期の調整や安定的な供給なども可能となる。養殖場の立地や目的に合わせて最適な養殖方式を選択する必要がある。
イメージ戦略	**【宮城県産ウニの価格の底上げと、石巻ブランドのアピールも重要】** ①調査の対象者 水産加工業者、商社・問屋・卸売業者、漁港関係者などを対象に実施。

	②結果 宮城県産のウニは全国平均に比べ、低価格での取引が常態化している。このような現状を打破していくきっかけとして、養殖ウニのブランド化は重要となってくる。石巻市の企業である株式会社デ・リーフデで生産するパプリカの廃棄葉をウニに与え養殖したところ、養殖ウニならではの風味が美味しいと試食会での評判も非常に良いものであった。今後は養殖ウニ独自の路線を開拓してくとともに、餌によるブランドイメージの定着を図り、宮城県のウニの地位向上と合わせて地域の活性化策として取り組んでいく必要がある。
販売先	**【輸入ウニに代わる存在として、国内企業や海外企業からも需要あり】** ①調査の対象者 水産加工業者、商社・問屋・卸売業者、漁港関係者などを対象に実施。 ②結果 先行きの見通しが立たない輸入ウニへの不安感から、一年通して安定的に供給が可能となる養殖ウニへの関心は国内企業、卸、商社、飲食店と各分野からも興味・関心が高くなっている。年間通してウニ丼を提供している県内飲食店や水産加工業者、県外の卸売市場関係者からも取引要望の声が上がっている。日本のみならず、日本の農林水産物を取り扱う専門小売店「DON　DON　DONKI」等からも引き合いがあったことから、海外市場を視野に入れた生産も検討する必要がある。

2-8　再生可能エネルギーの活用について

(1) 調査概要

測定期間	10 月～12 月（その他の実験期間は実験棟の電力が不安定で測定できず）
測定間隔	1 分おき
日数	不定期

(2) 測定結果

【12 月計測　電力量使用量の推移】

計測日時：12/22　14：49～12/23　5：36

表 12　天候概要（12/22～12/23）

日時	天気	気温	日時	天気	気温
12/2 14：00	雨	4.6	12/23 1：00	くもり	4.8
15：00	くもり	5.3	2：00	くもり	4
16：00	くもり	5.4	3：00	くもり	3.3
17：00	雨	5.8	4：00	晴	3.2
18：00	雨	6.4	5：00	晴	3.5
19：00	雨	6.7			
20：00	雨	6.6			
21：00	雨	7.1			
22：00	くもり	6.3			
23：00	くもり	5.6			
24：00	くもり	5.3			

下図に、エアレーション、ポンプの電力使用量の合計と、エアレーション、ポンプ、ヒーターの電力使用量の合計の値を示す。このとき、ヒーターの値は昨年度の同時期に計測した比較的天気・気温が近い計測データで代用した。

【エアレーション+ポンプ】

1 分ごとの値をプロットしたものであるが、約 3～4Wh で値が推移し、値に大きな変動は見られない。

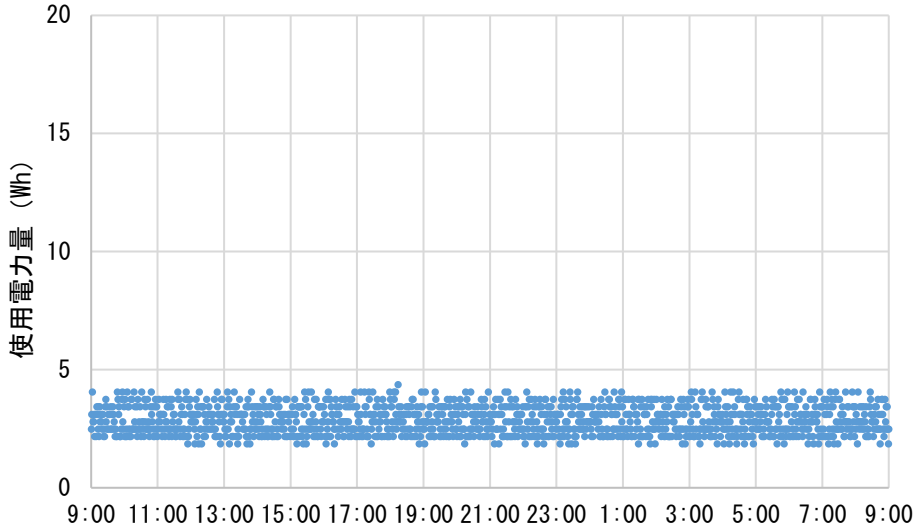


図 43　電力使用量の合計（エアレーション+ポンプ）の推移（12 月分）

【エアレーション+ポンプ+ヒーター】

1 分ごとの値をプロットしたものであるが、約 15～18Wh で値が推移し、値に大きな変動は見られない。エアレーション+ポンプのみのものと比較すると、電力利用量の 7 割程度がヒーター由来のものであり、電力利用量に影響を与える大きな要素であることが示された。

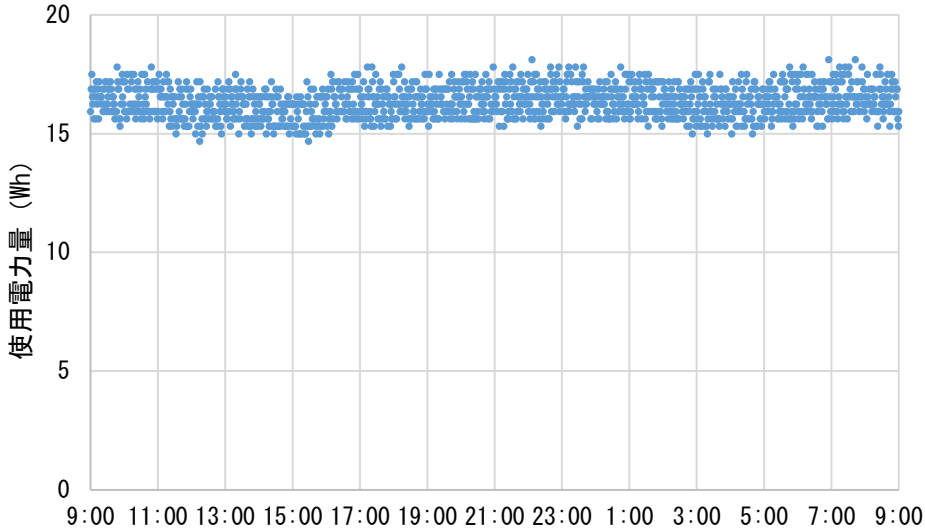


図 44　電力使用量の合計（エアレーション+ポンプ+ヒーター）の推移（12 月分）

【簡易太陽光パネルの発電データ】

田代島に簡易太陽光パネルを設置したので、その一時間の発電電力量を棒グラフで図に示す。

◎太陽光パネルの概要

最大出力：220W

図 45　太陽光パネル

図 46　蓄電池

図 47　発電量確認アプリ

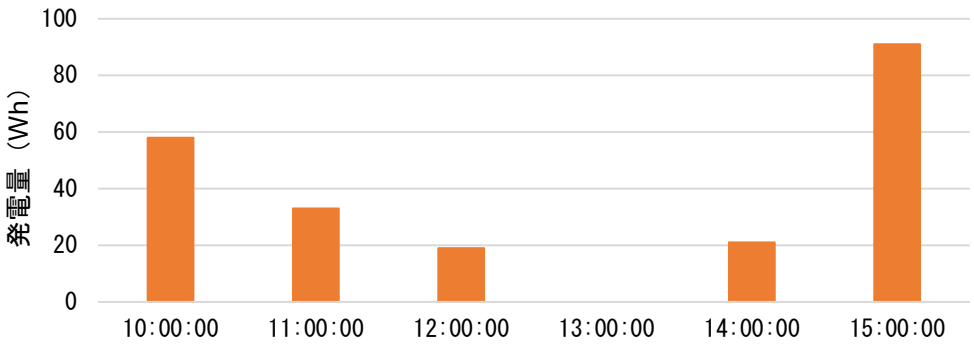


図 48　曇り時々晴れの日

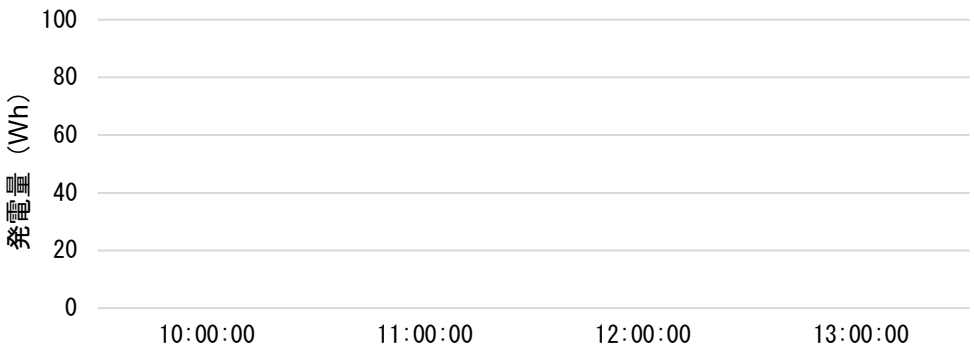


図 49　雨の日

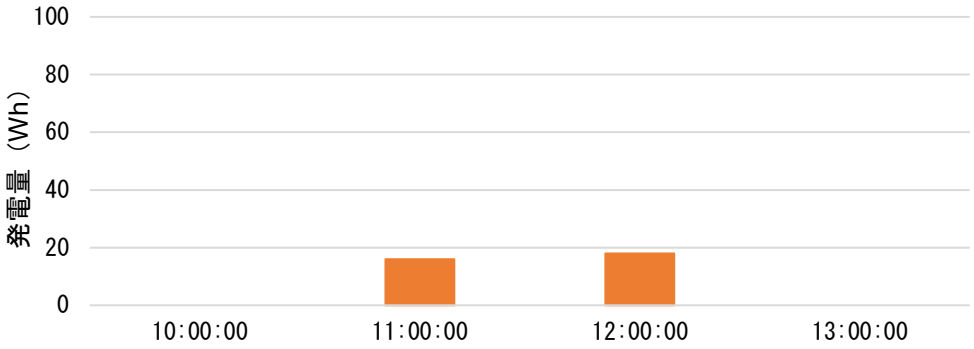


図 50　曇りの日

(3) 電気料金の削減効果

①宮城大学実測値

計測期間における電気使用量の実績と測定した太陽光発電量を図に示す。なお、発電電力量実績は、電力使用量の合計と時間軸は同じであるが、別日のデータを重ねたものである。

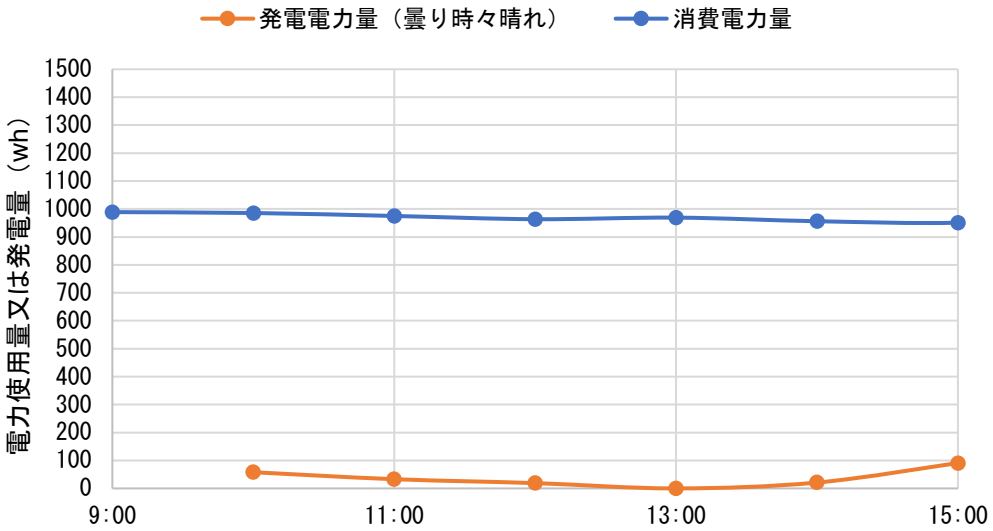


図 51　発電電力量と消費電力量の関係

今回の実験条件においては、晴天時には 200ｗ程度の太陽光発電パネルでは電力使用量に対して日照時であっても十分な発電量が得られないことが示された。また、曇天、雨天時や夜間では発電量がほぼ 0 となるため、蓄電池などの利用や設置面積の拡大等を検討する必要がある。

【太陽光発電の活用による電気料金の削減効果】

低圧　従量電灯 C を想定（契約容量 6 kVA～50 kVA）

基本料金　330 円／kVA　※今回は試算に含めない

・最初の 120 kWh まで　18.58 円／kWh

・120 kWh をこえ 300 kWh まで　25.33 円／kWh

・300 kWh をこえる　29.28 円／kWh

計測した電力使用量（12 月分）から、1 ヵ月あたりに必要な電力使用量は 1 時間平均 16Wh×60×24 時間×約 31 日＝714.24Wh≒約 714kWh と推測される。

また、今回設置した簡易太陽光発電を活用した場合、晴れ～曇りの日の平均発電量 30ｗ×12 月の平均日照時間は 146.2 時間＝4.386kWh≒4.4kWh の発電量が期待される。

太陽光パネル 1 枚では全日の消費電力量を賄うことはできないため、設置規模を 4kw 程度に拡大したと仮定すると、1 カ月あたり 80kWh の発電量が得られる。

上記の差分により売電量は約 634kWh が必要となるため、大きな効果は得られない。

②石巻専修大学で測定した太陽光発電と風力発電のハイブリッドシステムの実測値

現設備の太陽光発電の能力増強の方法として、風力発電とのハイブリッドシステム化の検討として、太陽光パネル(160W～200W)と小型風力発電（最大 400W～1kW）のセットを５基、３．２kWh 蓄電池３基を備えた風力太陽光ハイブリッド発電システムを構築しデータ収集を実施している。その結果、１日の積算発電量は９．６kWh（太陽光３．３kWh、風力６．３kWh）となり、気象にもよるが、太陽光パネルの上空をうまく使うことにより、同等の施設占有面積で発電能力を増強することができることを確認した。（２０２３年２月２０日の結果）。

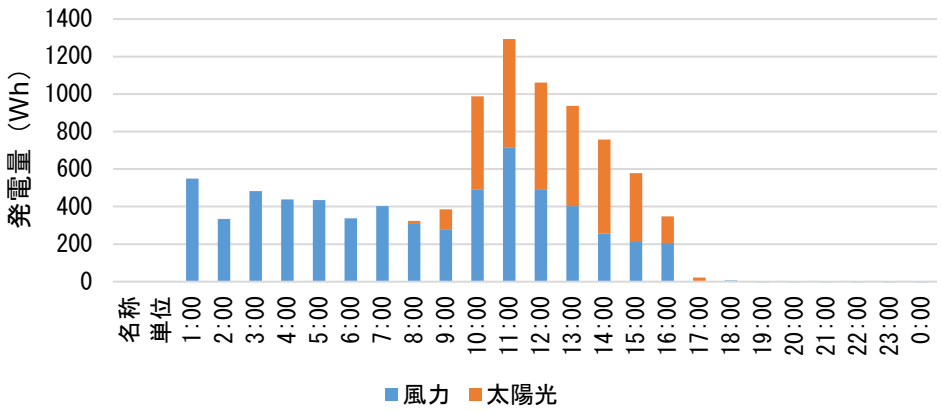


図 52　風力・太陽光ハイブリッド発電電力量

表 13　増強率

	①　合計	②　太陽光	③　風力	増強率（①／②）
１日の発電量	9.6 kWh	3.3 kWh	6.3 kWh	2.9

今回の増強率 2.9 となり、一定の風がある条件では再生可能電力で賄うことができる結果となった。これは現システムの太陽光パネルにのみの発電量の約３倍であり、風力・太陽光発電のハイブリッド化により、再生可能電力の供給能力向上に対して十分な効果が期待できることが分かった。

そこで、この石巻専修大学に設置した太陽光パネル(160W～200W)と小型風力発電（最大400W～1kW）のセットを５基、３．２kWh 蓄電池３基を備えた風力太陽光ハイブリッド発電システムの測定データを、ウニの養殖に要する電気使用量の実績と重ね合わせた。

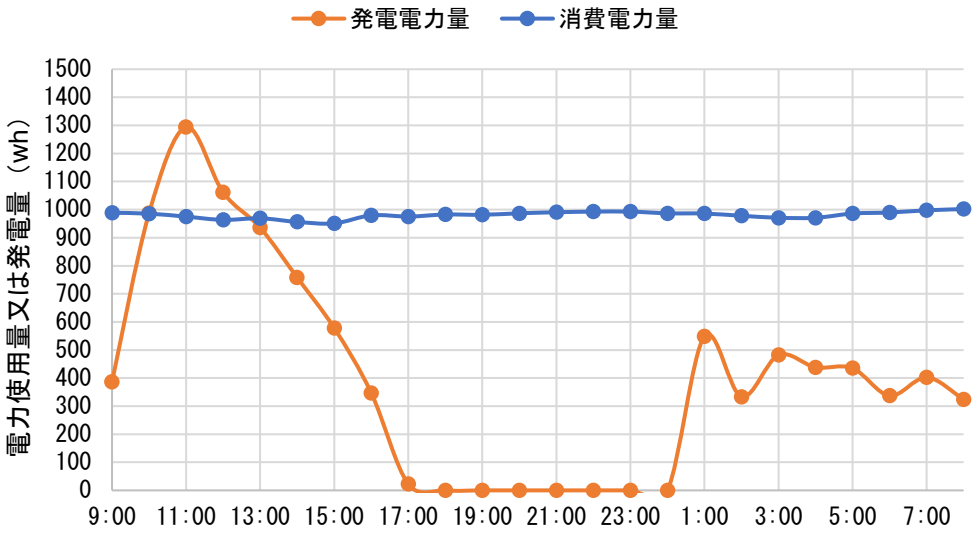


図 53　発電電力量と消費電力量の関係

上記の条件の場合、1 日の積算発電量は 9.6kWh（太陽光 3.3kWh、風力 6.3kWh）となる。

これを 1 カ月当たりに換算すると、9.6kWh×31 日＝297.6kWh≒298kWh の発電量が期待される。

理想的に蓄電池を用いて夜間や晴れの日以外の電力供給ができたと仮定すると、買電量は約 416kWh となる。

また、設置面積は約 2 倍程度に拡大した場合（太陽光パネル 160W～200W×10 機、小型風力発電 400W～1kW×10 機)、養殖水槽 1 ユニット分すべての消費電力量を再生可能エネルギーで賄うことも可能となる。

【太陽光発電の活用による電気料金の削減効果】

低圧　従量電灯 C を想定（契約容量 6 kVA～50 kVA）

基本料金　330 円／kVA　※今回は試算に含めない

・最初の 120 kWh まで　18.58 円／kWh

・120 kWh をこえ 300 kWh まで　25.33 円／kWh

・300 kWh をこえる　29.28 円／kWh

[電気料金の削減金額]

上記条件より、1 ヵ月あたり約 8,725 円の電気代が削減される。

(4) 採算性の確認

漁業者がウニ養殖を始めるにあたり、必要な経費と収入見込みを示す。一例として、実験と同様の条件（半循環型養殖、田代島）で 1 クール 3 カ月×年 4 回出荷を想定した養殖について試算する。また、1 ユニットとは 200 個/槽×5 槽×4 クールのことを指す。出荷形態は板ウニを想定する。

なお、以降は令和 3 年度のデータをもとに試算したものである。令和 4 年度においては、社会情勢等から電力利用料金の変動が大きく流動的であったことから再検討を実施しないこととした。

【イニシャルコスト】

下記の表は半循環型養殖における設置機器や環境整備に要した費用であり、総額約 140 万円となる。原価償却（10 年）を考慮すると 14 万円/年となる。

表 14　イニシャルコスト

設備	単価（円）	数量（個）	金額(円)
水槽	80,000	5	400,000
加温水槽	80,000	1	80,000
エアレーション	13,000	1	13,000
チタンヒーター	140,000	1	140,000
保温資材	1,000	24	24,000
海水汲み上げポンプ	75,768	1	75,768
循環ポンプ	59,400	1	59,400
籠	100,000	1	100,000
塩ビパイプ	100,000	1	100,000
ホース類	100,000	1	100,000
エアストーン	5,000	7	35,000
秤	30,000	1	30,000
分岐	5,000	5	25,000
チューブ	100	200	20,000
ろ材	6,850	2	13,700
餌用冷凍庫	148,500	1	148,500
コンクリートブロック（床上げ用）	1,880	20	37,600
		合計	1,401,968

【ランニングコスト】

月々のランニングコストを試算すると、再エネ未導入時は約 5.7 万円、再エネ投入時は 5.1 万円となり、月 6,100 円の削減が見込まれる。

これを年額換算すると、6100 円×12 カ月＝7.3 万円の削減が可能である。

表 15　ランニングコスト（月額）

項目		単価（円）	利用量（kwh）	時間	金額（円）
人件費		2,000		22	①△44,000
電気代	基本料金	330	-	-	②　△330
		29	430	-	③△12,590
	再エネ減額	29	130	-	④ ▼6,100
再エネ未導入時			①+②+③		56,920
再エネ導入時			①+②+③-④		50,820

＜電気料金単価＞

低圧　従量電灯 C を想定（契約容量 6 kVA～50 kVA）

基本料金　330 円／kVA　※今回は試算に含めない

・最初の 120 kWh まで　18.58 円／kWh

・120 kWh を超え 300 kWh まで　25.33 円／kWh

・300 kWh を超える　29.28 円／kWh

①収入

1 クール 3 か月の養殖を行い、年 4 回の出荷を想定する。一回の養殖数量は 1000 個であり、歩留まりは 8 割を目標としていることから、販売個数は 1 クール 800 個程度とする。ウニの殻重量を 100 g /個とすると、そのうち身の収穫量は 10 g /個である。よって、年間出荷量は 32kg となる。

出荷形態は板ウニを想定する。市場価格は時期による変動が大きいが、おおよそ 7,000～10,000 円/250g である。今回はその中間値をとり 8,500 円/250 g →34,000 円/kg として試算を行った。その結果、

32(kg)×34,000（円/kg）=1,088,000（円/年）

が 1 ユニットの売り上げとなる。

表 16　年間販売数量

養殖期間	養殖数量（個）	歩留まり	販売個数（個）	出荷量（kg）
3 か月	1000	0.8	800	8
3 か月	1000	0.8	800	8
3 か月	1000	0.8	800	8
3 か月	1000	0.8	800	8
			年間販売数量	32

②収支試算

収支計算については、

【ケース 1】再エネ未導入の場合

【ケース 2】再エネを導入した場合

の 2 パターンで試算し、再エネが採算性に与える影響の確認を行った。このとき、収支がマイナスからプラスへ転じた養殖規模を、採算性確保可能なユニット数とする。

また、再エネを導入した場合については、再エネ設備導入補助率、再エネ導入による電気代金削減効果、ウニの売上単価について感度分析を行った。

表 17　試算条件

費用	
人件費	・1 時間当たり 2000 円と仮定し、月 22 時間稼働×12 カ月分を想定。 ・1 ユニット増加ごとの割増係数は 0.1 で設定。
設備費	減価償却は 10 年とする。 ・イニシャルコスト 　1 ユニット増加ごとに、設備費は×0.3 で増加していく。 ・再エネ設備導入費 　設備導入費は約 50 万円とした。 　ユニット増加数＝設備費増加係数とする。 　再エネは、1 ユニットにつき 2kW の太陽光発電を用いるものとする。
加工費	・人件費は売値の 3 割程度を想定。 ・その他諸経費は売値の 4 割程度を想定。
考慮しなかった要素	
水道代	海水利用のため考慮しない。
稚ウニ代	収穫用ダイバーは補助金で賄うことを想定しているため、考慮しない。
餌代	廃棄海産物のため考慮しない。
建築費	建設時には補助金等の利用を想定し、考慮していない。

【ケース 1：再エネ未導入】

再エネ未導入の場合について、試算を行った結果を図表 16 に示す。実験と同様の条件下において、再エネを導入しなかった場合の採算性確保可能な最低ユニット数は 8 ユニットとなる。詳細な試算結果については以下に示す。

図表 18　試算結果

採算性確保可能なユニット数 （実験条件）
8 ユニット

売上	千円	1088	2176	3264	4352	5440	6528	7616	8704
ユニット数	個	1	2	3	4	5	6	7	8
販売数	千個	3	6	10	13	16	19	22	26
→kg換算	kg	32	64	96	128	160	192	224	256
単価	千円/kg	34	34	34	34	34	34	34	34
費用	千円	1581	2588	3596	4603	5611	6618	7626	8633
人件費（養殖）	千円	528	581	634	686	739	792	845	898
一人当たりの人件費	千円	528	528	528	528	528	528	528	528
割増係数	割	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7
電気代	千円	151	302	453	604	755	906	1058	1209
料金	千円	151	151	151	151	151	151	151	151
ユニット数	個	1	2	3	4	5	6	7	8
減価償却	千円	140	182	224	266	308	350	392	434
1ユニットの設備費	千円	140.0	140.0	140.0	140.0	140.0	140.0	140.0	140.0
ユニット設備費増加係数	倍	1.0	1.3	1.6	1.9	2.2	2.5	2.8	3.1
加工費	千円	762	1523	2285	3046	3808	4570	5331	6093
加工量	kg	32	64	96	128	160	192	224	256
一人当たりの人件費	千円/kg	10	10	10	10	10	10	10	10
その他諸経費(加工工場の電気代等。設備費は除外)	千円/kg	14	14	14	14	14	14	14	14
利益	千円	-493	-412	-332	-251	-171	-90	-10	71

図 54　採算性確保可能なユニット数

【ケース 2：再エネ導入】

再エネを導入した場合について、図表 17 に示す 5 つの条件で試算、感度分析を行った。

表 19　試算・感度分析条件

	再エネ設備導入補助率	再エネ導入による削減効果（千円）	売値（千円）
①	割引なし	0、20、46、60、80	26、28、30、32、34、36、40
②	1/3		
③	1/2		
④	2/3		
⑤	全額		

上記の条件で試算を行った結果を図表 18 に示す。

実験と同様の条件下において、再エネを導入しなかった場合の採算性確保可能な最低ユニット数が 8 ユニットであるのに対して、再エネを導入した場合の採算性確保可能な最低ユニット数が下回るのは、①再エネ設備導入補助率が 0 のときに 6 ユニット以上養殖した場合となる。また、感度分析の結果より売上単価及び再エネによる削減効果によっては、さらに小規模なユニット数でも採算性の確保が可能となる。しかし、そのためには養殖ウニの品質の向上や、より効率的な再エネ設備の導入などが必要となる。

詳細な試算結果については次ページ以降に示した。

表 20　試算結果

条件	採算性確保可能なユニット数	
	実験条件	感度分析考慮時
①	**6 ユニット**	4 ユニット ※再エネによる削減効果 80（千円/年）、売上単価 40（千円/kg）
②	**5 ユニット**	4 ユニット ※再エネによる削減効果 80（千円/年）、売上単価 40（千円/kg）
③	**5 ユニット**	3 ユニット ※再エネによる削減効果 60（千円/年）、売上単価 40（千円/kg）
④	**5 ユニット**	3 ユニット ※再エネによる削減効果 80（千円/年）、売上単価 40（千円/kg）
⑤	**4 ユニット**	3 ユニット ※再エネによる削減効果 60（千円/年）、売上単価 40（千円/kg）

①再エネ導入あり、再エネ設備導入補助率 0%

感度分析による考慮条件：売値、再エネ導入による電気代削減効果

売上	千円	1088	2176	3264	4352	5440	6528	7616	8704	9792	10880	11968	13056	14144
ユニット数	個	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
販売数	千個	3	6	10	13	16	19	22	26	29	32	35	38	42
→kg換算	kg	32	64	96	128	160	192	224	256	288	320	352	384	416
単価	千円/kg	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34
費用	千円	1557	2542	3526	4510	5495	6479	7463	8447	9432	10416	11400	12385	13369
人件費(養殖)	千円	528	581	634	686	739	792	845	898	950	1003	1056	1109	1162
一人当たりの人件費	千円	528	528	528	528	528	528	528	528	528	528	528	528	528
割増係数	割	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2
電気代	千円	78	156	234	312	389	467	545	623	701	779	857	935	1012
料金	千円	151	151	151	151	151	151	151	151	151	151	151	151	151
ユニット数	個	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
再エネ削減効果	千円	73	73	73	73	73	73	73	73	73	73	73	73	73
ユニット数	個	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
減価償却	千円	190	282	374	466	558	650	742	834	926	1018	1110	1202	1294
再エネ導入設備費	千円	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0
再エネ導入設備費増加係数		1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	11.0	12.0	13.0
1ユニットの設備費	千円	140.0	140.0	140.0	140.0	140.0	140.0	140.0	140.0	140.0	140.0	140.0	140.0	140.0
ユニット設備費増加係数	倍	1.0	1.3	1.6	1.9	2.2	2.5	2.8	3.1	3.4	3.7	4.0	4.3	4.6
加工費	千円	762	1523	2285	3046	3808	4570	5331	6093	6854	7616	8378	9139	9901
加工量	kg	32	64	96	128	160	192	224	256	288	320	352	384	416
一人当たりの人件費	千円/kg	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
その他諸経費(加工工場の電気代等。設備費は除外)	千円/kg	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14
利益	**千円**	**-469**	**-366**	**-262**	**-158**	**-55**	**49**	**153**	**257**	**360**	**464**	**568**	**671**	**775**

2ユニット　収益シミレーション

		再エネによる削減効果(千円/年)				
		0	20	46	60	80
売上単価(千円/kg)	40	-396.96	-356.96	-304.96	-276.96	-236.96
	36	-473.76	-433.76	-381.76	-353.76	-313.76
	34	-512.16	-472.16	-420.16	-392.16	-352.16
	32	-550.56	-510.56	-458.56	-430.56	-390.56
	30	-588.96	-548.96	-496.96	-468.96	-428.96
	28	-627.36	-587.36	-535.36	-507.36	-467.36
	26	-665.76	-625.76	-573.76	-545.76	-505.76

3ユニット　収益シミレーション

		再エネによる削減効果(千円/年)				
		0	20	46	60	80
売上単価(千円/kg)	40	-308.84	-248.84	-170.84	-128.84	-68.84
	36	-424.04	-364.04	-286.04	-244.04	-184.04
	34	-481.64	-421.64	-343.64	-301.64	-241.64
	32	-539.24	-479.24	-401.24	-359.24	-299.24
	30	-596.84	-536.84	-458.84	-416.84	-356.84
	28	-654.44	-594.44	-516.44	-474.44	-414.44
	26	-712.04	-652.04	-574.04	-532.04	-472.04

4ユニット　収益シミレーション

		再エネによる削減効果(千円/年)				
		0	20	46	60	80
売上単価(千円/kg)	40	-220.72	-140.72	-36.72	19.28	99.28
	36	-374.32	-294.32	-190.32	-134.32	-54.32
	34	-451.12	-371.12	-267.12	-211.12	-131.12
	32	-527.92	-447.92	-343.92	-287.92	-207.92
	30	-604.72	-524.72	-420.72	-364.72	-284.72
	28	-681.52	-601.52	-497.52	-441.52	-361.52
	26	-758.32	-678.32	-574.32	-518.32	-438.32

図 55　採算性確保可能なユニット数

②再エネ導入あり、再エネ設備導入補助 1/3

感度分析による考慮条件：売値、再エネ導入による削減効果

売上	千円	1088	2176	3264	4352	5440	6528	7616	8704	9792	10880	11968	13056	14144
ユニット数	個	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
販売数	千個	3	6	10	13	16	19	22	26	29	32	35	38	42
→kg換算	kg	32	64	96	128	160	192	224	256	288	320	352	384	416
単価	千円/kg	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34
費用	千円	1541	2508	3476	4444	5411	6379	7346	8314	9282	10249	11217	12185	13152
人件費(養殖)	千円	528	581	634	686	739	792	845	898	950	1003	1056	1109	1162
一人当たりの人件費	千円	528	528	528	528	528	528	528	528	528	528	528	528	528
割増係数	割	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2
電気代	千円	78	156	234	312	389	467	545	623	701	779	857	935	1012
料金	千円	151	151	151	151	151	151	151	151	151	151	151	151	151
ユニット数	個	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
再エネ削減効果	千円	73	73	73	73	73	73	73	73	73	73	73	73	73
ユニット数	個	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
減価償却	千円	173	249	324	399	475	550	625	701	776	851	927	1002	1077
再エネ導入設備費	千円	33.3	33.3	33.3	33.3	33.3	33.3	33.3	33.3	33.3	33.3	33.3	33.3	33.3
再エネ導入設備費増加係数		1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	11.0	12.0	13.0
1ユニットの設備費	千円	140.0	140.0	140.0	140.0	140.0	140.0	140.0	140.0	140.0	140.0	140.0	140.0	140.0
ユニット設備費増加係数	倍	1.0	1.3	1.6	1.9	2.2	2.5	2.8	3.1	3.4	3.7	4.0	4.3	4.6
加工費	千円	762	1523	2285	3046	3808	4570	5331	6093	6854	7616	8378	9139	9901
加工量	kg	32	64	96	128	160	192	224	256	288	320	352	384	416
一人当たりの人件費	千円/kg	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
その他諸経費(加工工場の電気代等。設備費は除外)	千円/kg	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14
利益	**千円**	**-453**	**-332**	**-212**	**-92**	**29**	**149**	**270**	**390**	**510**	**631**	**751**	**871**	**992**

2ユニット　収益シミレーション

		再エネによる削減効果(千円/年)				
		0	20	46	60	80
売上単価(千円/kg)	40	-363.627	-323.627	-271.627	-243.627	-203.627
	36	-440.427	-400.427	-348.427	-320.427	-280.427
	34	-478.827	-438.827	-386.827	-358.827	-318.827
	32	-517.227	-477.227	-425.227	-397.227	-357.227
	30	-555.627	-515.627	-463.627	-435.627	-395.627
	28	-594.027	-554.027	-502.027	-474.027	-434.027
	26	-632.427	-592.427	-540.427	-512.427	-472.427

3ユニット　収益シミレーション

		再エネによる削減効果(千円/年)				
		0	20	46	60	80
売上単価(千円/kg)	40	-258.84	-198.84	-120.84	-78.84	-18.84
	36	-374.04	-314.04	-236.04	-194.04	-134.04
	34	-431.64	-371.64	-293.64	-251.64	-191.64
	32	-489.24	-429.24	-351.24	-309.24	-249.24
	30	-546.84	-486.84	-408.84	-366.84	-306.84
	28	-604.44	-544.44	-466.44	-424.44	-364.44
	26	-662.04	-602.04	-524.04	-482.04	-422.04

4ユニット　収益シミレーション

		再エネによる削減効果(千円/年)				
		0	20	46	60	80
売上単価(千円/kg)	40	-154.053	-74.0533	29.94667	85.94667	165.9467
	36	-307.653	-227.653	-123.653	-67.6533	12.34667
	34	-384.453	-304.453	-200.453	-144.453	-64.4533
	32	-461.253	-381.253	-277.253	-221.253	-141.253
	30	-538.053	-458.053	-354.053	-298.053	-218.053
	28	-614.853	-534.853	-430.853	-374.853	-294.853
	26	-691.653	-611.653	-507.653	-451.653	-371.653

図 56　採算性確保可能なユニット数

③再エネ導入あり、再エネ設備導入補助 1/2

感度分析による考慮条件：売値、再エネ導入による削減効果

売上	千円	1088	2176	3264	4352	5440	6528	7616	8704	9792	10880	11968	13056	14144
ユニット数	個	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
販売数	千個	3	6	10	13	16	19	22	26	29	32	35	38	42
→kg換算	kg	32	64	96	128	160	192	224	256	288	320	352	384	416
単価	千円/kg	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34
費用	千円	1532	2492	3451	4410	5370	6329	7288	8247	9207	10166	11125	12085	13044
人件費(養殖)	千円	528	581	634	686	739	792	845	898	950	1003	1056	1109	1162
一人当たりの人件費	千円	528	528	528	528	528	528	528	528	528	528	528	528	528
割増係数	割	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2
電気代	千円	78	156	234	312	389	467	545	623	701	779	857	935	1012
料金	千円	151	151	151	151	151	151	151	151	151	151	151	151	151
ユニット数	個	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
再エネ削減効果	千円	73	73	73	73	73	73	73	73	73	73	73	73	73
ユニット数	個	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
減価償却	千円	165	232	299	366	433	500	567	634	701	768	835	902	969
再エネ導入設備費	千円	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0
再エネ導入設備費増加係数		1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	11.0	12.0	13.0
1ユニットの設備費	千円	140.0	140.0	140.0	140.0	140.0	140.0	140.0	140.0	140.0	140.0	140.0	140.0	140.0
ユニット設備費増加係数	倍	1.0	1.3	1.6	1.9	2.2	2.5	2.8	3.1	3.4	3.7	4.0	4.3	4.6
加工費	千円	762	1523	2285	3046	3808	4570	5331	6093	6854	7616	8378	9139	9901
加工量	kg	32	64	96	128	160	192	224	256	288	320	352	384	416
一人当たりの人件費	千円/kg	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
その他諸経費(加工工場の電気代等。設備費は除外)	千円/kg	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14
利益	千円	-444	-316	-187	-58	70	199	328	457	585	714	843	971	1100

2ユニット　収益シミレーション

		再エネによる削減効果(千円/年)				
		0	20	46	60	80
売上単価(千円/kg)	40	-346.96	-306.96	-254.96	-226.96	-186.96
	36	-423.76	-383.76	-331.76	-303.76	-263.76
	34	-462.16	-422.16	-370.16	-342.16	-302.16
	32	-500.56	-460.56	-408.56	-380.56	-340.56
	30	-538.96	-498.96	-446.96	-418.96	-378.96
	28	-577.36	-537.36	-485.36	-457.36	-417.36
	26	-615.76	-575.76	-523.76	-495.76	-455.76

3ユニット　収益シミレーション

		再エネによる削減効果(千円/年)				
		0	20	46	60	80
売上単価(千円/kg)	40	-233.84	-173.84	-95.84	-53.84	6.16
	36	-349.04	-289.04	-211.04	-169.04	-109.04
	34	-406.64	-346.64	-268.64	-226.64	-166.64
	32	-464.24	-404.24	-326.24	-284.24	-224.24
	30	-521.84	-461.84	-383.84	-341.84	-281.84
	28	-579.44	-519.44	-441.44	-399.44	-339.44
	26	-637.04	-577.04	-499.04	-457.04	-397.04

4ユニット　収益シミレーション

		再エネによる削減効果(千円/年)				
		0	20	46	60	80
売上単価(千円/kg)	40	-120.72	-40.72	63.28	119.28	199.28
	36	-274.32	-194.32	-90.32	-34.32	45.68
	34	-351.12	-271.12	-167.12	-111.12	-31.12
	32	-427.92	-347.92	-243.92	-187.92	-107.92
	30	-504.72	-424.72	-320.72	-264.72	-184.72
	28	-581.52	-501.52	-397.52	-341.52	-261.52
	26	-658.32	-578.32	-474.32	-418.32	-338.32

図 57　採算性確保可能なユニット数

④再エネ導入あり、再エネ設備導入補助 2/3

感度分析による考慮条件：売値、再エネ導入による削減効果

売上	千円	1088	2176	3264	4352	5440	6528	7616	8704	9792	10880	11968	13056	14144
ユニット数	個	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
販売数	千個	3	6	10	13	16	19	22	26	29	32	35	38	42
→kg換算	kg	32	64	96	128	160	192	224	256	288	320	352	384	416
単価	千円/kg	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34
費用	千円	1532	2492	3451	4410	5370	6329	7288	8247	9207	10166	11125	12085	13044
人件費(養殖)	千円	528	581	634	686	739	792	845	898	950	1003	1056	1109	1162
一人当たりの人件費	千円	528	528	528	528	528	528	528	528	528	528	528	528	528
割増係数	割	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2
電気代	千円	78	156	234	312	389	467	545	623	701	779	857	935	1012
料金	千円	151	151	151	151	151	151	151	151	151	151	151	151	151
ユニット数	個	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
再エネ削減効果	千円	73	73	73	73	73	73	73	73	73	73	73	73	73
ユニット数	個	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
減価償却	千円	165	232	299	366	433	500	567	634	701	768	835	902	969
再エネ導入設備費	千円	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0
再エネ導入設備費増加係数		1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	11.0	12.0	13.0
1ユニットの設備費	千円	140.0	140.0	140.0	140.0	140.0	140.0	140.0	140.0	140.0	140.0	140.0	140.0	140.0
ユニット設備費増加係数	倍	1.0	1.3	1.6	1.9	2.2	2.5	2.8	3.1	3.4	3.7	4.0	4.3	4.6
加工費	千円	762	1523	2285	3046	3808	4570	5331	6093	6854	7616	8378	9139	9901
加工量	kg	32	64	96	128	160	192	224	256	288	320	352	384	416
一人当たりの人件費	千円/kg	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
その他諸経費(加工工場の電気代等。設備費は除外)	千円/kg	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14
利益	**千円**	**-444**	**-316**	**-187**	**-58**	**70**	**199**	**328**	**457**	**585**	**714**	**843**	**971**	**1100**

2ユニット　収益シミレーション

		再エネによる削減効果(千円/年)				
		0	20	46	60	80
売上単価(千円/kg)	40	-330.293	-290.293	-238.293	-210.293	-170.293
	36	-407.093	-367.093	-315.093	-287.093	-247.093
	34	-445.493	-405.493	-353.493	-325.493	-285.493
	32	-483.893	-443.893	-391.893	-363.893	-323.893
	30	-522.293	-482.293	-430.293	-402.293	-362.293
	28	-560.693	-520.693	-468.693	-440.693	-400.693
	26	-599.093	-559.093	-507.093	-479.093	-439.093

3ユニット　収益シミレーション

		再エネによる削減効果(千円/年)				
		0	20	46	60	80
売上単価(千円/kg)	40	-208.84	-148.84	-70.84	-28.84	31.16
	36	-324.04	-264.04	-186.04	-144.04	-84.04
	34	-381.64	-321.64	-243.64	-201.64	-141.64
	32	-439.24	-379.24	-301.24	-259.24	-199.24
	30	-496.84	-436.84	-358.84	-316.84	-256.84
	28	-554.44	-494.44	-416.44	-374.44	-314.44
	26	-612.04	-552.04	-474.04	-432.04	-372.04

4ユニット　収益シミレーション

		再エネによる削減効果(千円/年)				
		0	20	46	60	80
売上単価(千円/kg)	40	-87.3867	-7.38667	96.61333	152.6133	232.6133
	36	-240.987	-160.987	-56.9867	-0.98667	79.01333
	34	-317.787	-237.787	-133.787	-77.7867	2.213333
	32	-394.587	-314.587	-210.587	-154.587	-74.5867
	30	-471.387	-391.387	-287.387	-231.387	-151.387
	28	-548.187	-468.187	-364.187	-308.187	-228.187
	26	-624.987	-544.987	-440.987	-384.987	-304.987

図 58　採算性確保可能なユニット数

⑤再エネ導入あり、再エネ設備導入補助 100%

感度分析による考慮条件：売値、再エネ導入による削減効果

売上	千円	1088	2176	3264	4352	5440	6528	7616	8704	9792	10880	11968	13056	14144
ユニット数	個	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
販売数	千個	3	6	10	13	16	19	22	26	29	32	35	38	42
→kg換算	kg	32	64	96	128	160	192	224	256	288	320	352	384	416
単価	千円/kg	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34
費用	千円	1507	2442	3376	4310	5245	6179	7113	8047	8982	9916	10850	11785	12719
人件費(養殖)	千円	528	581	634	686	739	792	845	898	950	1003	1056	1109	1162
一人当たりの人件費	千円	528	528	528	528	528	528	528	528	528	528	528	528	528
割増係数	割	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2
電気代	千円	78	156	234	312	389	467	545	623	701	779	857	935	1012
料金	千円	151	151	151	151	151	151	151	151	151	151	151	151	151
ユニット数	個	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
再エネ削減効果	千円	73	73	73	73	73	73	73	73	73	73	73	73	73
ユニット数	個	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
減価償却	千円	140	182	224	266	308	350	392	434	476	518	560	602	644
再エネ導入設備費	千円	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
再エネ導入設備費増加係数		1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	11.0	12.0	13.0
1ユニットの設備費	千円	140.0	140.0	140.0	140.0	140.0	140.0	140.0	140.0	140.0	140.0	140.0	140.0	140.0
ユニット設備費増加係数	倍	1.0	1.3	1.6	1.9	2.2	2.5	2.8	3.1	3.4	3.7	4.0	4.3	4.6
加工費	千円	762	1523	2285	3046	3808	4570	5331	6093	6854	7616	8378	9139	9901
加工量	kg	32	64	96	128	160	192	224	256	288	320	352	384	416
一人当たりの人件費	千円/kg	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
その他諸経費(加工工場の電気代等。設備費は除外)	千円/kg	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14
利益	**千円**	**-419**	**-266**	**-112**	**42**	**195**	**349**	**503**	**657**	**810**	**964**	**1118**	**1271**	**1425**

2ユニット　収益シミレーション

		再エネによる削減効果(千円/年)				
		0	20	46	60	80
売上単価(千円/kg)	40	-296.96	-256.96	-204.96	-176.96	-136.96
	36	-373.76	-333.76	-281.76	-253.76	-213.76
	34	-412.16	-372.16	-320.16	-292.16	-252.16
	32	-450.56	-410.56	-358.56	-330.56	-290.56
	30	-488.96	-448.96	-396.96	-368.96	-328.96
	28	-527.36	-487.36	-435.36	-407.36	-367.36
	26	-565.76	-525.76	-473.76	-445.76	-405.76

3ユニット　収益シミレーション

		再エネによる削減効果(千円/年)				
		0	20	46	60	80
売上単価(千円/kg)	40	-158.84	-98.84	-20.84	21.16	81.16
	36	-274.04	-214.04	-136.04	-94.04	-34.04
	34	-331.64	-271.64	-193.64	-151.64	-91.64
	32	-389.24	-329.24	-251.24	-209.24	-149.24
	30	-446.84	-386.84	-308.84	-266.84	-206.84
	28	-504.44	-444.44	-366.44	-324.44	-264.44
	26	-562.04	-502.04	-424.04	-382.04	-322.04

4ユニット　収益シミレーション

		再エネによる削減効果(千円/年)				
		0	20	46	60	80
売上単価(千円/kg)	40	-20.72	59.28	163.28	219.28	299.28
	36	-174.32	-94.32	9.68	65.68	145.68
	34	-251.12	-171.12	-67.12	-11.12	68.88
	32	-327.92	-247.92	-143.92	-87.92	-7.92
	30	-404.72	-324.72	-220.72	-164.72	-84.72
	28	-481.52	-401.52	-297.52	-241.52	-161.52
	26	-558.32	-478.32	-374.32	-318.32	-238.32

図 59　採算性確保可能なユニット数

(5) 採算性確保に向けた取り組み

まず、支出においては、特に大きな比重を占めるのが人件費と電気代である。

【人件費】

IoT 機器の活用や養殖規模の拡大による生産性向上が可能である。一方で、漁業地域で小規模で実施する場合、地域や漁協等と連携することも有用ではないかと考えられる。

【電気代】

再生可能エネルギーの導入が有効である。また、太陽光パネルのみで養殖に要する消費電力量すべてを賄おうとした場合、それなりの規模でパネル設置が必要であるため、太陽光パネルの上空を活用した小型風力発電などと併用することも有用である。現時点では検討段階の要素のため、今後はこれらの併用システムの最適化が課題となる。

【水道費】

使用する水は、海水である。海水の取水が容易な海沿いもしくは、漁港や既存の海水取水施設の活用により、コストを低減することが可能である。

【餌代】

本ケースでは、地域で廃棄される海藻やパプリカの葉等を活用し、コストを圧縮した。加えて、地域資源を活用することが商品価値向上につながることも視野に入れておく必要がある。

【原材料費】

本ケースでは、水産多面的機能発揮対策事業で駆除廃棄される海藻やパプリカの葉等を活用し、コストを圧縮した。加えて、地域資源を活用することが商品価値向上につながることも視野に入れておく必要がある。

【加工費】

本ケースでは、板ウニへの加工を外注することを想定しているが、事業形態を加工業者への出荷とするか、殻付きで市場への出荷とするか等で異なってくる。さらに、事業主体に加工技術を有している者が参画しているかどうかでも、本コストの評価は大きく異なってくる。

【イニシャルコスト】

基本的に、施設設備整備費であることから、既存施設の有効活用の可能性が高く、行政の支援が受けられやすいコストである。

次に、収入においては、どういった事業形態で展開するのか、戦略を練った上で決定する必要がある。

例えば、流通面では、養殖ウニであっても独特な風味や、年中通しての提供が可能な点などについて、飲食店、水産加工業者や卸売市場関係者からの需要は非常に高い。その一方で、現在の宮城県産のウニは全国の取引平均額よりも低価格での取り扱いが常態化しているため、他産地との差別化を図っていく必要がある。

最後に、ランニングコスト、イニシャルコストの各種目については、各地域の特性を活かしながら、最適な手法での導入が望まれるとともに、収入の検討にあたっては、販路等の流通面を有した者（漁協や加工業者等）と連携体制が構築できるかが重要である。

2－9　屋上緑化を組み合わせた屋内温熱環境改善手法の検討

(1) 目的

屋内環境で養殖を実施する場合、夏場や冬場の冷暖房を行うことができる。一方で、気象条件が厳しい厳冬期や猛暑日においての防寒や遮熱対策が求められる。冷暖房利用を前提として建てられた施設では断熱材の施工がなされているが、無施工の既存施設を利用する場合は対策が必要と考えられる。

ウニの養殖に関する研究で明らかになっているように、ウニが葉菜などの野菜類を好む特徴を考慮すると、野菜の栽培によって飼料が供給できる。また、都市部では屋上緑化技術によって熱負荷の軽減が図られており、このような技術を参考にして屋根部での栽培を行うことで屋根部への日射を軽減させ、夏季の熱負荷軽減につながると考えられた。また、養殖施設の屋根に太陽光等の再生可能エネルギーを設置した際に併用することで、更なる電気利用量の削減が見込まれることから、並行して検討を行うこととした。本報告では、養殖施設屋根面で実施した遮熱も考慮した植物栽培試験を事例として紹介するとともに、想定される事項について提案を行う

(2) 方法概要

宮城大学では以前は重機研究施設として利用されていた倉庫に近い構造の建物を水産実験棟として流用しており、断熱材の施工はなされていない。昨年度まで屋根部でのスプリンクラー散水によって夏季の屋根部温度を制御していた。一方、水道利用のランニングコストを考慮すると散水量の削減が求められる。

今年度は①単純なシートでの遮光、②比較的小水量で実施できるプランターでの屋上緑化を検討した。また、本施設の鉄製の折板屋根は十分な強度を有しており、複数のプランター（幅 30cm×長さ 65cm サイズ）の設置と作業者の歩行が可能である。このような施設の屋根部で飼料の候補となる野菜等の栽培を実施し、適した植物種の同定や有効性を検討することとした。

単純なシートによる屋根面の遮光にはホワイトシートとシルバーシートを用いた。屋根面緑化においては、金属製屋根が日射下で高温になるため、生育を阻害する要因と考えられ、植物のツルが伸びても植物が屋根面に触れないようホワイトシートをプランター下に配置した。

栽培する野菜はツル性のものであると、屋根部の広範囲をツルが覆って、遮熱効果が得やすいと考えた。

①　屋根へシートの敷設

図 60 に示すように屋根にホワイトシート（白色のブルーシート、1.8m×1.8m）を敷設した上にプランター(幅 0.4m×奥行 0.7m×深さ 0.3m)を設置した。金属屋根面は日射下において高温となる。ホワイトシートの敷設によって、屋根面への日射の照射を反射すると共に、繁茂し始めの植物を高温面から避ける。また、葉裏への照射による光合成の促進、病害虫の被害を避けるなどの効果が期待できる。

一方で、風の影響によってホワイトシートがめくれ上がり、プランターの落下の危険性が想定される。屋根部への固定が必須と考えられ、折板屋根を梁に固定するためのルーフボルトと、ホワイトシートのハトメを細径（直径 3mm）のロープで結び、両者を固定した。

② 屋根へのプランターの設置と固定

図 60 に示すようにホワイトシートの上に、プランターを設置した。プランターも風の影響を受けて、移動や屋根からの落下を避ける必要があり、ホワイトシート同様にロープなどで屋根部に固定した。

③ 単純シート敷設による遮熱効果検証のためのシート敷設

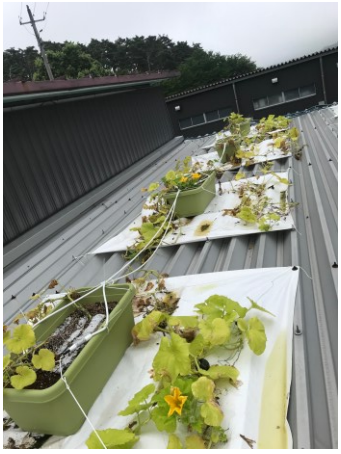
植物下のホワイトシートの他、シートのみでの遮熱効果を確認するため、単純にホワイトシートおよびシルバーシートのみを敷設した。

図 60　屋根面へのプランター設置状況

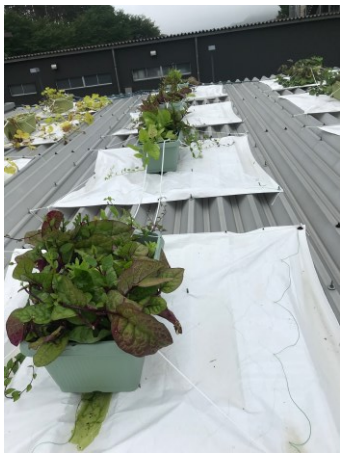
(3) 栽培準備作業・栽培管理について

① プランターへの定植と移設

苗は種からの育苗および苗の購入によって準備した。ツルムラサキおよびルコウソウは種より、カボチャとサツマイモは購入苗を用いた。ツルムラサキとルコウソウは 4 月中旬からプランターに播種して育て、購入苗はホームセンターで販売される時期（5 月上～中旬）に入手しプランターに定植した。この時期に屋根へ移設することは低温な外気に曝されることが生育不良に影響すると懸念され温室で生育させたのちに屋根上へと移設した。



(a)カボチャ



(b) ツルムラサキ

(c) サツマイモ

(d) ルコウソウ

図 61　栽培した野菜類

改善点として、屋根上へのプランターの移設作業においては、重量があるプランターを安全に高所へ移設するために高所作業台車を用いる必要があったこと、また移設時の葉や茎へのダメージが発生したことについて、改善が必要と考えている。屋根上でプランターに培地を詰めた上で定植作業を行うことを検討している。その場合は軽量培地（ヤシガラや籾殻燻炭の混合割合の多い培地）の利用、苗の保温施工（マルチ、トンネルの利用など）を併用し、低温条件時期の栽培を乗り切ることが求められると考えている。

② 栽培品目

夏季高温下での生育が期待できるツル性野菜（カボチャ、ツルムラサキ、サツマイモ）と花卉（ルコウソウ）について栽培を実施した。

③ 散水

夏季日中の晴天日において、プランター内の土壌水分量が不足しやすく、作業頻度も考慮して、自動散水設備を設置した。地上付近の水道蛇口に散水タイマーを設置し、ホースで屋根部まで水を供給し、各プランターの上部にミストノズルを設けた。要求水分量の多いカボチャとツルムラサキは潅水量を多くするため、追加散水用ホースおよびミストノズルを設置した。基準散水用は朝に散水を実施し、追加散水用は夕方に散水し、いずれも 30 分間の散水を実施した。

屋根上の配置及び散水のためのホース類の接続状況は図 62 に示す。

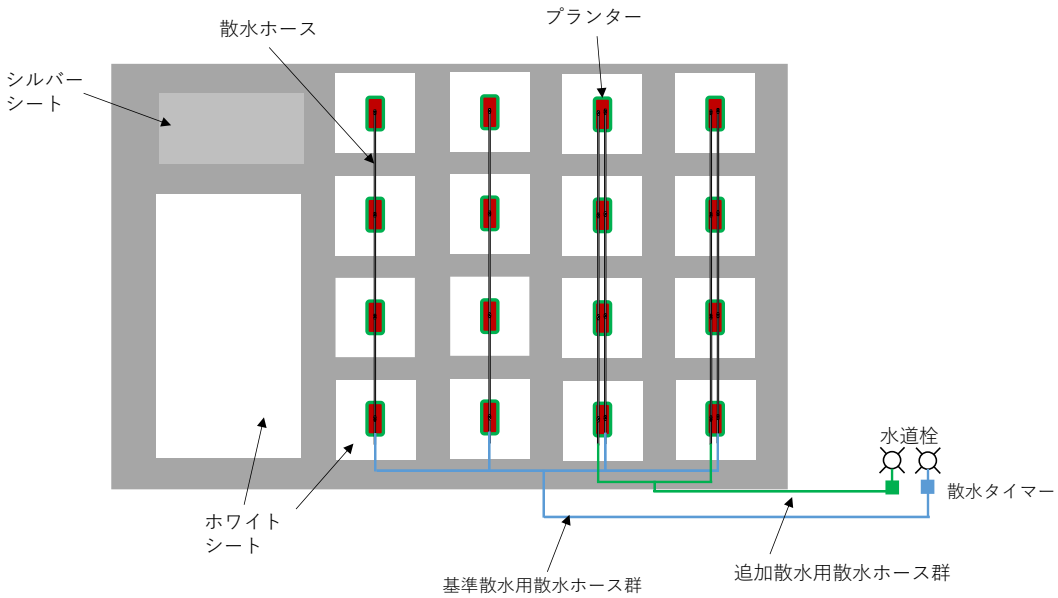


図 62　屋根部配置と散水用ホース類の接続状況：水道栓に散水タイマーを設置して定時自動散水を実施。各ホースは屋根の上で分岐させて、基準の散水と追加の散水に利用

④ 施肥

施肥は栽培する植物の特性に応じて選定する必要がある。施用について、今回は蛇口にホースを直結して、水道圧を利用して屋根部へと水を供給したため、あらかじめ散水に肥料成分を含ませるような利用が出来なかった。水道水＋緩効性の置き肥を利用した。

(4) シート施工および屋根面緑化による遮熱効果の結果

屋根面緑化区は既存屋根面で流入する熱の 7 割を猛暑日において遮断することが分かった。（ただし、日射の低下とともに遮断の割合は低下する。）、

【熱量計算過程】

シート及びプランターの設置により天井面の温度低下をサーモグラフィーにて確認。

猛暑日で既存屋根面裏 48℃、屋根面緑化区で 38℃。

熱中症計にて、屋根面裏付近の気温を計測。

猛暑日で既存屋根面裏 37℃、屋根面緑化区で 34℃。

屋根面より室内空気に流入する熱量：

屋根面からの熱伝達率：5～10W/(m²・℃)を仮定。既存屋根面と屋根面裏気温の差：48-37=11℃、屋根面緑化区屋根面と屋根面裏気温の差：38-34=4℃

既存屋根面から室内に流入する熱量： 11℃ x 5 ～10W/(m²・℃)=55～110W/m² （A- 1 ）

屋根面緑化区屋根面から室内に流入する熱量：4℃ x 5 ～10W/(m²・℃)=20～40W/m² （B-1）

屋根面より室内に照射される赤外線の熱量：

放射収支計にて屋根面裏からの赤外線の強度を測定し、屋根面緑化区では対照区に比べて室内に照射される赤外線量を 75±10%減少していた。具体的な数値として、猛暑日において 140W/m² 程度を記録。

既存屋根面より室内に照射される赤外線の熱量： 140W/m² （A-2）

屋根面緑化区屋根面より室内に照射される赤外線の熱量：140W/m² x (1-0.75) = 35W/m² （B-2 ）

屋根面積あたりの流入熱量

既存屋根面流入熱量 ＝(A-1)+(A-2) =195～250W/m² （A- 3 ）

屋根面緑化区屋根面流入熱量＝(B-1)+(B-2) =55～75W/m² （B- 3 ）

具体的には 10mx10m=100m² の屋根面を持つ施設の場合

195～250W/m²x100m² = 19.5～25kW

55～75 W/m²x100m² = 5.5～7.5kW

流入熱量の比＝既存屋根面流入熱量/屋根面緑化区屋根面流入熱量＝75/250＝0.3 もしくは 55/195=0.28

従って、屋根面から流入する熱の約 7 割を遮断できる

(5) 屋根面栽培の結果

① 各品目の緑被率

図 63 に示すような屋根面上方から撮影した写真を解析して、各品目の生育具合を評価した。図 64 に各品目の緑被率を示す。緑被率は、茎葉の繁茂状態を表すために用いており、ホワイトシート上で茎葉が占める面積割合を示している。管理上の不具合にて 8 月の半ばに潅水不良があり、この時期には一様に生育低下が確認できる。また、カボチャは初期が最も良く、後半にかけて低下が見られた。ツルムラサキでは後半における生育の伸びが見られた。

図 63　屋根面での生育状況

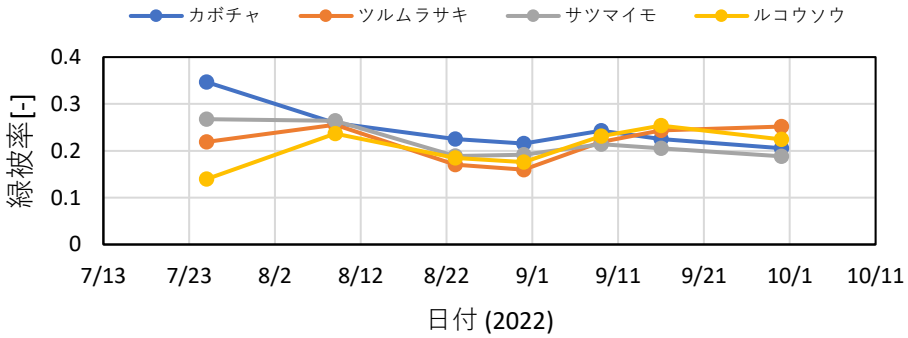
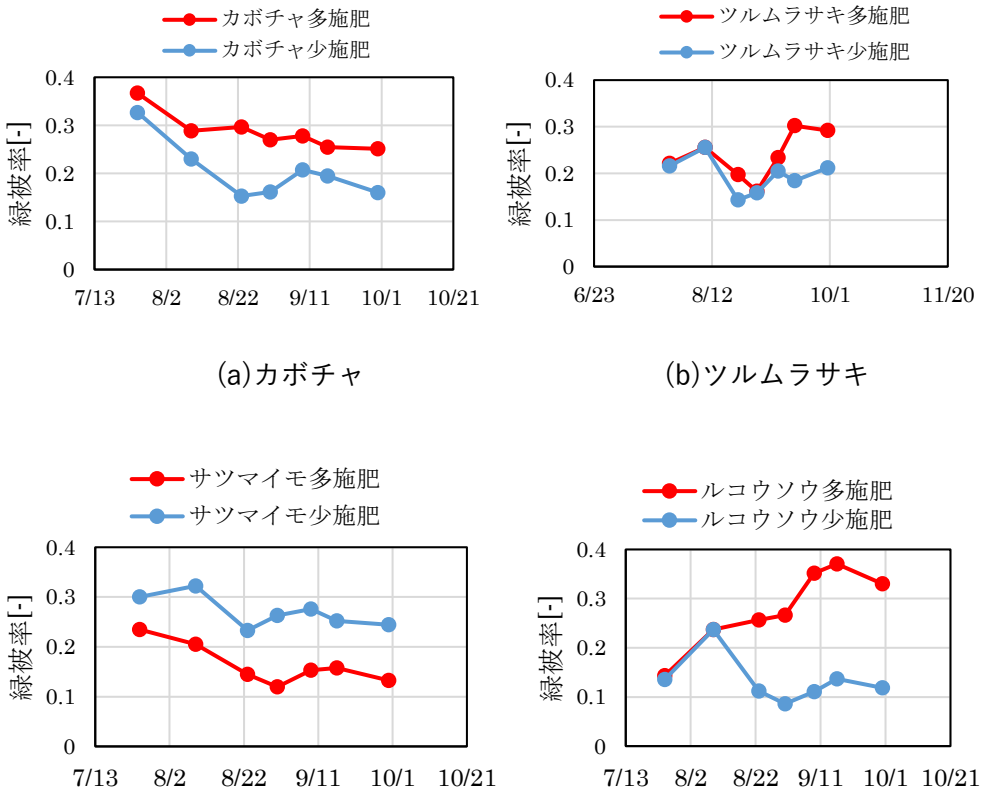


図 64　各栽培品目の緑被率

図 65 には各品目について肥料を多く与えたものと少ないものの比較を示している。(a), (b), (d) に示すカボチャ，ツルムラサキ，ルコウソウにおいては多施肥条件の方が高い緑被率を示し，図(c) に示すサツマイモのみが少施肥条件において高い緑被率を示した。



(a)カボチャ　　(b)ツルムラサキ

(c)サツマイモ　　(d)ルコウソウ

図 65　各栽培品目における施肥量別の緑被率

①　各栽培品目の生育の様子

屋根面栽培で使用した品目の特徴をまとめる。

- カボチャ　　・・・早期（7 月）にツルの生育が進み、遮熱効果が高いと考えられる。雨天に伴って一部カビの発生等が見られた。8 月の猛暑以降、実成りが悪くなった。
- ツルムラサキ・・・今回の品目の中では最も安定して成長。茎径が太く繁茂具合も良好。
- サツマイモ　・・・散水量も少なく、唯一施肥量を抑えた方が生育が良く、管理が楽に思われる。
- ルコウソウ　・・・施肥量が多いほど成長が良い。

② プランター内の培地温度

屋根面に設置するプランターは屋根下環境にとって遮熱の役割を果たす一方で、プランター内の培地にとっては高温になることが懸念された。図 66 にサツマイモのプランターにおける試験期間中の培地温度の計測結果を示す。西日の当たるプランター壁面近くの培地温度は試験期間中最も高温なときには 60℃を示し、培地中央の温度は約 40℃であった。これより、プランター内の培地には壁面～中央間において段階的な温度むらが生じているものと考えられる。

サツマイモは高地温を好む作物であり、今回の試験においても一定の収量が得られた。露地栽培と異なる点としては、側面からの日射の影響により露路栽培条件以上の高温になりやすい条件であったと考えられる。次年度以降はプランター側面の遮熱対策など施し、今年度との収量比較を行うことで、培地温度の適正を評価したいと考えている。

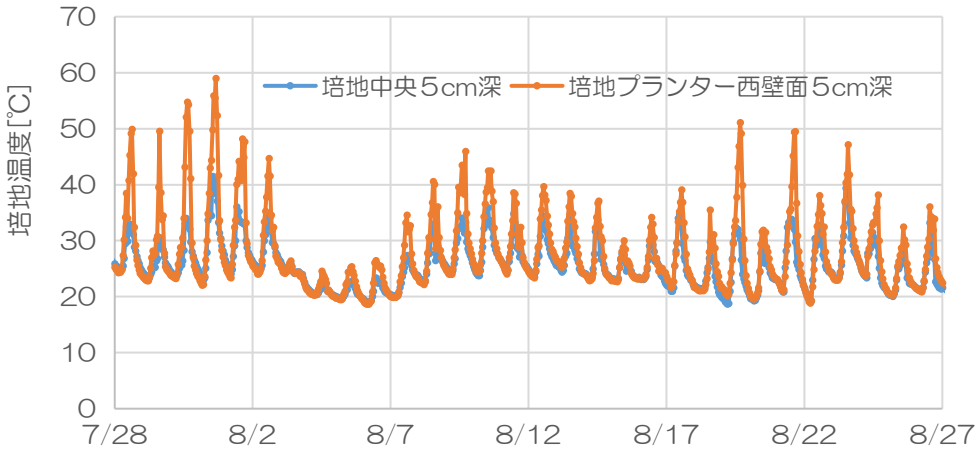


図 66　サツマイモ栽培プランター内の夏季の温度推移

③ 栽培上の要検討事項

使用する培地についてはより通気性・排水性の高いものへ変更する必要性があると考えている。使用した培地はホームセンターで購入した培養土であった。夏季には猛暑日も含まれているが、栽培期間には梅雨時期も含まれ、長期間の降雨の影響を受け、散水の必要性の低い期間も含まれた。気象条件に応じて散水量を変化させるシステムの導入も考えられるが、保水性の高い培地では保水した培地が日射を受けることで培地が蒸される悪影響も考えられ、籾殻燻炭などの通気性や排水性を改善できる資材を多く混入させることなどについて検討の余地がある。

2－10　ナマコ混合養殖試験

710L 水槽のウニ飼育水槽下に図表　のようにナマコ（湿重量 100~150g）を 5 個体入れ、ナマコの餌としてウニの糞の利用状況を調査した。さらに、パプリカの葉を食べたウニの糞を用いてナマコの摂餌の有無を検討した。ナマコのいずれの水槽においても糞は確認でき、ナマコはウニの糞を餌として利用できることが確認された。ウニの糞の有効利用は可能であると考えられる。今回飼育した個体数ではナマコを入れることにより糞の除去作業の軽減が出来るほどの効果はなかった。今後は適正なナマコの混合量を検討するとともに、ウニの糞を水流などにより排水溝へ出ていくような水槽構造の検討を行うことで糞の除去作業の軽減を図る必要がある。

図 67　ナマコとウニの混合飼育の様子

図 68　ナマコの摂餌の有無の検討（パプリカの葉を食べたウニの糞）