

原著論文

バフンウニ養殖に向けた閉鎖循環飼育, 海面筏飼育および流水飼育の比較

岩谷芳自*¹・宮田克士*²・仲野大地*³・上奥秀樹*⁴・富永 修*⁵

Comparison of closed circuit, sea raft, and flowing water cultures for cultivation of sea urchins *Hemicentrotus pulcherrimus*

Hoji IWATANI, Katsushi MIYATA, Daichi NAKANO,
Hideki UWAOKU and Osamu TOMINAGA

A comparative study was conducted between closed circuit and running water cultures for cultivating the sea urchins *Hemicentrotus pulcherrimus*. There were no differences in shell size, body weight, or gonad index; however, the survival rate in July was superior in the closed circuit culture with a water temperature of approximately 20°C due to the cooling effect. In addition, a comparative test was conducted between sea surface raft culture and running water culture at a winter fishing port. There were no differences in shell size, body weight, or gonad index; however, the survival rate was always superior in the sea surface raft culture. Therefore, a combination of sea surface raft culture and closed circulation culture, in which the culture water can be cooled, is suitable for cultivating sea urchins in the Hokuriku region until June, following by switching to closed circulation culture from July onwards, when the coastal water temperature rises and the risk of mortality increases.

キーワード：バフンウニ, 閉鎖循環飼育, 海面筏飼育, 流水飼育

2024年11月25日受付 2025年6月30日受理

日本に生息するウニ類で産業的に重要な種は、エゾバフンウニ *Strongylocentrotus intermedius*, キタムラサキウニ *Mesocentrotus nudus*, ムラサキウニ *Heliocidaris crassispina*, バフンウニ *Hemicentrotus pulcherrimus*, アカウニ *Pseudocentrotus depressus* およびシラヒゲウニ *Tripneustes gratilla* の6種で、事業規模で養殖が行われているのはアカウニである（秋山ら 2001, 水津 2007, 岡山 2014）。

ウニ類の飼育に関する試験研究は、海藻や野菜を与え

る給餌試験が主で、それらの飼育方法は流水飼育が多い（角田ら 1970, 今井・新井 1986, 名畑ら 1999, 町口ら 2012, 臼井ら 2018, 豊福・吉田 2019）。また、閉鎖循環飼育は、魚類の種苗生産、中間育成および養殖で多用されているが、ウニ類での報告はない（山本 2023）。加えて、日本三大珍味の一つになっている越前塩ウニの産地である福井県沿岸のバフンウニ資源は、低位状態が続いている。地元産バフンウニを使った越前塩ウニ生産量は、福井県内有数の越前塩ウニ生産地である坂井市三国地区で

*¹ 福井市農林水産部林業水産課

〒910-8511 福井県福井市大手3丁目10番1

Forestry Fisheries Division, Agriculture, Forestry Fisheries Department, Fukui Municipal Office, Ohte 3-10-1, Fukui, Fukui 910-8511, Japan

E-mail: hoji-31521@wt.ttn.ne.jp

*² 福井県立大学かつみキャンパス企画サービス室

*³ 福井県水産試験場海洋資源研究センター

*⁴ 福井県水産試験場栽培漁業センター

*⁵ 福井県立大学海洋生物資源学部先端増養殖科学科

1982年に2,443kg生産されていたが（仲野 2018）、近年では福井県全体でも年間約 100kg にまで激減している（農林水産省 2022）。そのため福井県では、バフンウニの種苗放流による資源回復を図るとともに、養殖による地域特産化を検討しているが、バフンウニを含めたウニ類の養殖を目的とした飼育方法について、比較検討を行った研究報告は乏しい。そこで、本報告では、福井県含め北陸地方における最適なバフンウニ飼育方法を明らかにするために、ウニ類の飼育試験で多用されている流水飼育を対照に、閉鎖循環飼育および海面筏飼育の比較試験を行ったので報告する。

材料と方法

試験 1 閉鎖循環飼育と流水飼育における成長・生残・生殖巣比較試験は、福井県福井市荻崎町にある陸上中間育成施設内（図 1）で、2021年5月7日から7月30日まで実施した。閉鎖循環飼育水槽は、図 2（A）に示した FRP 角型水槽（濾過槽、かき殻汙材および泡沫分離汙過：2.2 × 1.5 × 1m、飼育水槽：3.8 × 1.5 × 1m、循環ポンプ：約 200L/min.、三相電気 40PSPZ-4031B、冷却：（株）ゼンスイ ZRW400、加温：チタンヒーター 1kw、水温制御：（株）ゼンスイ ZS-211）である。飼育水温は、試験開始時から5月31日までは加温、7月10日から試験終了時までには冷却を行い、約 20℃ に維持した。また、水質維持を図るために、微量の海水を常時注水し換水した（約 2L/min.）。バフンウニ飼育には、トリカルネット製籠（0.8 × 0.7 × 0.4m、目合：3.5 × 3.5mm）を十字に4区画に分け、その内3区画を用いた（図 3）。

流水飼育水槽は、図 2（B）に示した、FRP 角型水槽（6 × 1.5 × 1m）で、飼育水は自然海水、注水量は約 200L/min. である。バフンウニ飼育には、閉鎖循環飼育同様にトリカルネット製籠（0.8 × 0.7 × 0.4m、目合：3.5 × 3.5mm）

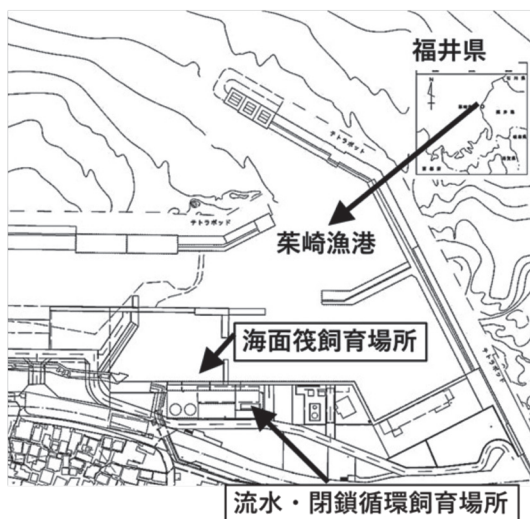


図 1. バフンウニ飼育試験実施場所
荻崎漁港住所：福井県福井市荻崎町

を4区画に分け、その内3区画を用いた（図 3）。

供試バフンウニは、2019年に福井県栽培漁業センターで生産した人工稚ウニを2020年12月に搬入し、ホンダワラ科海藻を主に与え飼育してきた個体である。飼育試験は1区画60個体（平均体重±標準偏差：6.7 ± 1.2g、ウニ重量：約 400g）収容し、餌は、仲野（2018）がバフンウニに有効と報告しているイソモク *Sargassum hemiphylum* を与えた。給餌量は、著者らがイソモク給餌試験で得た日間摂餌率 4.6 ~ 13.6%（未発表）や角田ら（1970）が報告しているウミトラノオ *Sargassum thunbergii*、フシスジモク *Sargassum confusum* の最大日間摂餌率 13 ~ 14% を参考に、1週間毎にバフンウニ飼育重量以上となる 1.5kg/区画とした。

5月11日、6月1日、6月29日および7月27日に、区画毎に10個体ずつ殻径、体重を測定し、取り上げにより生残数を計数した。また、5月11日および7月27日には10個体/区画ずつ生殖巣重量を測定し、以下により生殖巣指数 GI（%）を求めた（以後 GI と記す）。

$$\text{生殖巣指数 GI (\%)} = \frac{\text{生殖巣重量 g} \times 100}{\text{体重 g}}$$

また、各飼育水槽の水温（℃）を午前10時頃に測定した。

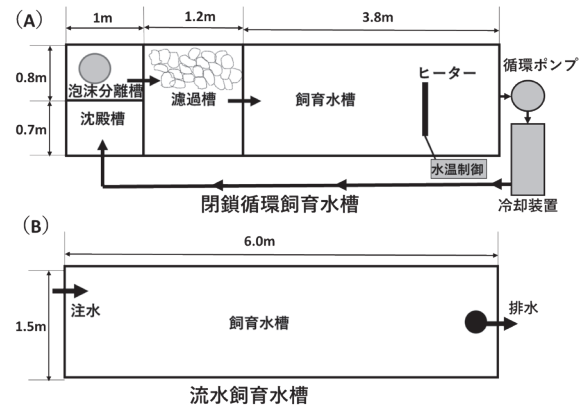


図 2. 試験 1 における閉鎖循環飼育水槽および試験 1, 2 における流水飼育水槽の構造
(A) 閉鎖循環飼育水槽の平面図を示す
(B) 流水飼育水槽の平面図を示す

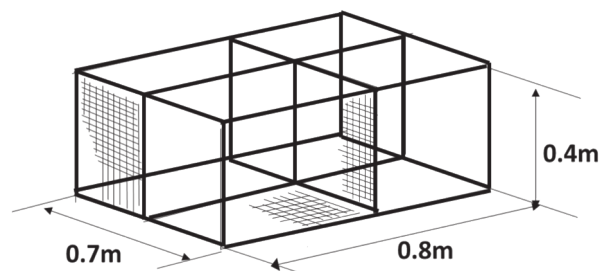


図 3. 試験 1 における閉鎖循環飼育および流水飼育試験に用いた飼育籠

試験2 海面筏飼育と流水飼育における成長・生残・生殖巣比較試験は、2022年12月20日から2023年7月31日まで行い、海面筏飼育は、図1に示した栲崎漁港内の岸壁に筏(3.5×2.5m)を設置し、図4(A)に示したトリカルネット製籠(1.9×0.9×0.9m、海面下水深約20cm、目合:7×7mm)3籠で実施した。

流水飼育は、試験1と同様の角型水槽に、図4(B)に示した底面が浮くトリカルネット製籠(1.9×0.9×0.5m、水面下水深約20cm、目合:7×7mm)を3籠浮かべて実施した。なお、飼育水は自然海水で、注水量は約200L/min.である。

供試バフンウニは、2022年9～10月に地先で採捕した天然バフンウニおよび2022年12月20日に福井県栽培漁業センターから搬入した人工稚ウニを用いた。試験区は、1籠に天然バフンウニを496個体(平均体重±標準偏差:5.5±0.2g)と人工稚ウニを230個体(平均体重±標準偏差:3.2±0.2g)混合したものを、12月20日に6籠調製した。餌はアキヨレモク *Sargassum autumnale*、イソモクを主としたホンダワラ科海藻を毎週採取し、給餌量は、飼育重量以上になるように3月末までは4kg以上/籠、4月以降は5kg以上/籠とした。ただし、1月から3月中の低水温期と7月下旬の高水温期は、残餌が多かったので2週間毎に給餌した。

殻径、体重の測定は、海面筏飼育および流水飼育から、それぞれ測定する1籠を固定し、12月20日、1月12日、2月21日、3月27日、4月24日、5月29日、7月25日に30個体ずつ行った。7月25日には生殖巣重量を10個体ずつ測定しGIを求めた。また、3月28日、6月26日および7月31日には、6籠の取り上げを行い、生残数を計数した。さらに、飼育水温(°C)および溶存酸素(mg/L、HANNA Instruments社製、ポータブル溶存酸素計(HI9146N))を午前10時頃に計測した。

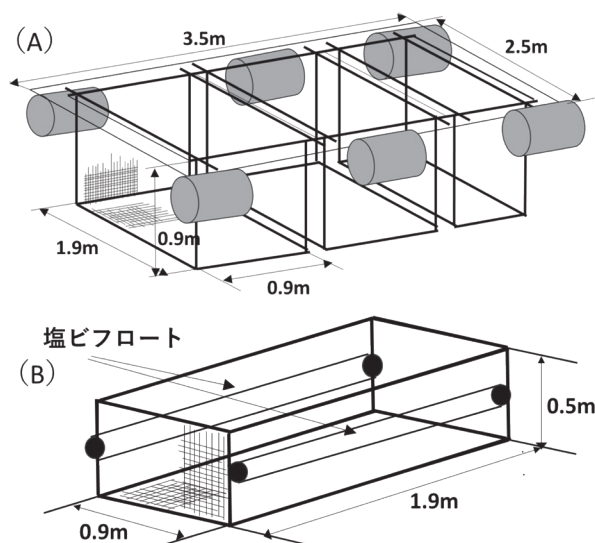


図4. 試験2における海面筏および流水飼育試験に用いた飼育籠
(A) 海面筏と飼育籠を示す
(B) 流水飼育籠を示す

統計解析 殻径、体重および生殖巣指数の検定は、解析ソフト(カイエンス社製、KyPlot 6.0)を用いてt検定($p<0.05$)で行った。生残数の検定は、Fisherの正確確率検定法($p<0.05$, js-STAR_XR+2×2表使用)で実施した。

結果

試験1 閉鎖循環飼育および流水飼育の飼育水温は、5月7日の飼育開始時に15.5°Cで、その後閉鎖循環飼育では水温を20°Cに維持調整した。一方、流水飼育では6月4日に19.4°Cに達し、7月10日に23.7°C、7月25日に25.7°Cまで上昇した(図5)。

飼育結果を図6、7に示した。これによると閉鎖循環

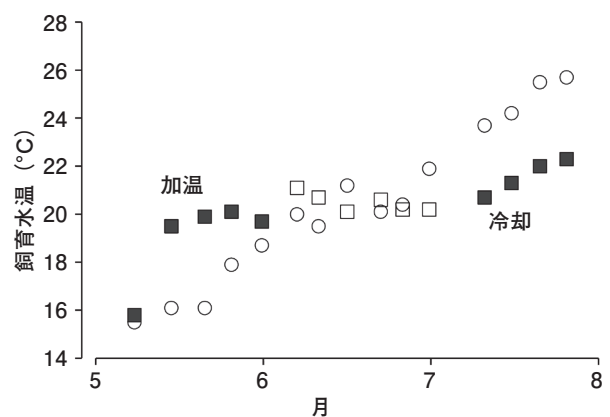


図5. 試験1における閉鎖循環飼育と流水飼育試験の飼育水温
■□閉鎖循環飼育の飼育水温を示す
(■は調温時期を示す)
○流水飼育の飼育水温を示す

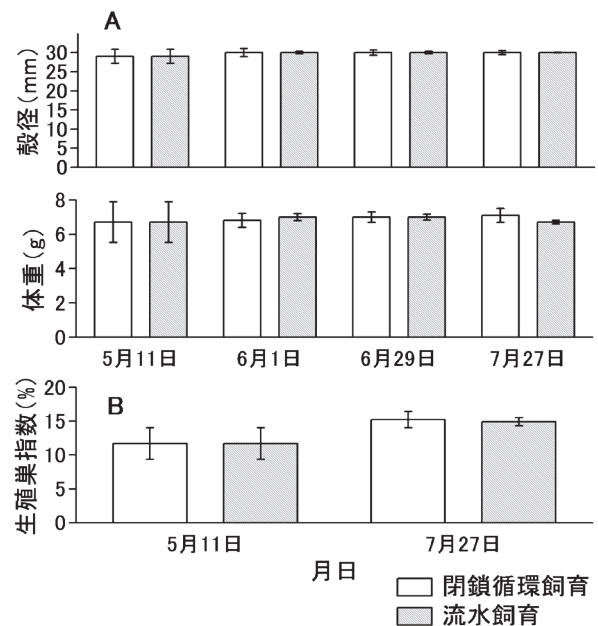


図6. 試験1における閉鎖循環飼育と流水飼育の飼育結果
数値は平均値±標準偏差($n=3$)で示す
A 殻径および体重を示す
B 生殖巣指数を示す
検定は各籠の平均値($n=3$)をt検定で行った

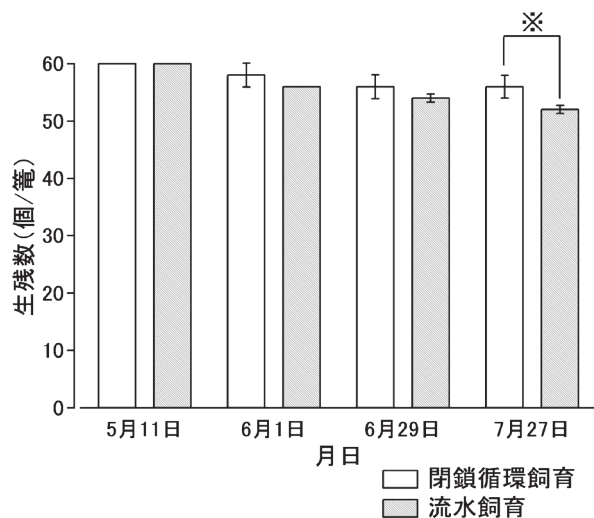


図7. 試験1における閉鎖循環飼育と流水飼育の生残数変化
 数値は平均個体数±標準偏差 (n=3) で示す
 検定はFisherの正確確率検定法で行った
 ※有意差のあることを示す (p<0.05)

飼育および流水飼育の各測定日における殻径や体重の推移は有意差が認められなかった (p>0.05)。また、GIは、閉鎖循環飼育および流水飼育とも約15%を示し高かったが、有意差は認められなかった (p>0.05)。一方、図7で示した閉鎖循環飼育の生残数は、6月29日で 56 ± 2.1 個体 (以下、平均個体数±標準偏差で示す)、7月27日で 56 ± 2.0 個体と高く推移した。流水飼育では、6月29日が 54 ± 0.7 個体で、閉鎖循環飼育の生残数 (3区画の合計で168個体) より有意に低くなった (3区画の合計で155個体, p<0.05)。

試験2 海面筏飼育および流水飼育の環境変化はほぼ同じで、飼育を開始した12月20日で水温は約14°Cを示し、1月下旬から3月下旬にかけて10~12°Cまで低くなった。4月以降からは徐々に水温が高くなり6月上旬に20°Cに達し、取り上げた7月31日には約26°Cまで上昇した (図8)。一方、溶存酸素量は、飼育開始時に約10mg/Lと高く、その後1月末までは、海面筏飼育および流水飼育で差がなかったが、2~4月中旬には、海面筏飼育の方が高くなった。その後、溶存酸素量は徐々に低くなり、7月に入ると流水飼育では約7mg/Lを維持していたが、海面筏飼育では6mg/L台でやや低くなった (図8)。

海面筏飼育および流水飼育の間において、図9に示した通り殻径および体重とも差がなかった (p>0.05)。また、GIも有意差は認められなかった (p>0.05)。

生残数は、平均個体数±標準偏差で示すと、図10に示した通り3月28日において海面筏飼育が 694 ± 15.3 個体、流水飼育が 676 ± 14.5 個体で有意差が認められ、海面筏飼育の方が生残数は優れていた (p<0.05)。その後6月26日において、海面筏飼育が 688 ± 15.0 個体、流水飼育が 653 ± 32.0 個体となり、3月28日の生残数同

様に有意差が認められ、海面筏飼育の方が優れていた (p<0.05)。7月31日の最終取り上げでは、海面筏飼育が 645 ± 27.5 個体、流水飼育が 624 ± 44.6 個体で有意差が認められ、海面筏飼育の方が生残数は優れていた (p<0.05)。また、海面筏飼育および流水飼育において、6月26日と7月31日の生残数に有意差が認められ、水温が高くなった7月31日の生残数が有意に低くなった (p<0.05)。

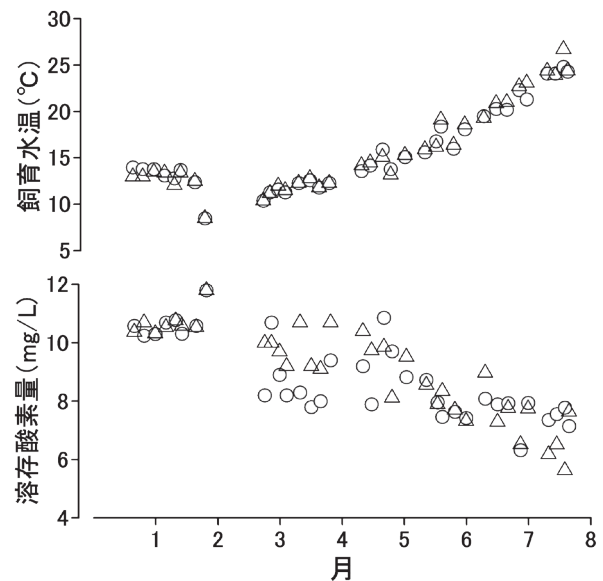


図8. 試験2における海面筏飼育と流水飼育試験の飼育環境
 △海面筏飼育環境を示す
 ○流水飼育環境を示す

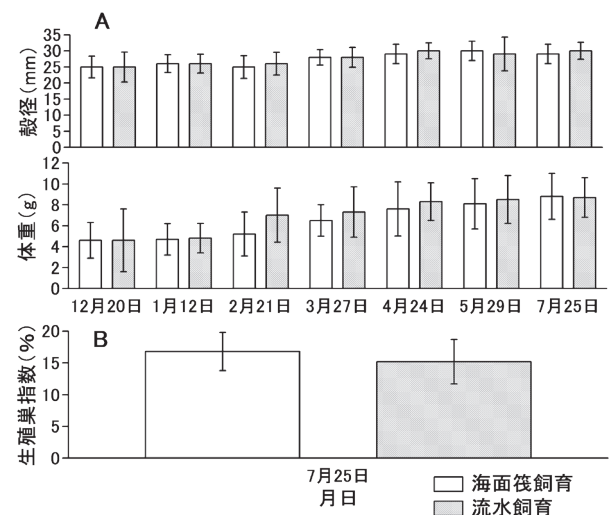


図9. 試験2における海面筏飼育と流水飼育試験の飼育結果
 A 殻径および体重を示す
 数値は平均値±標準偏差 (n=30) で示す
 検定は測定値をt検定 (n=30) で行った
 B 生残率指数を示す
 数値は平均値±標準偏差 (n=10) で示す
 検定は測定値をt検定 (n=10) で行った

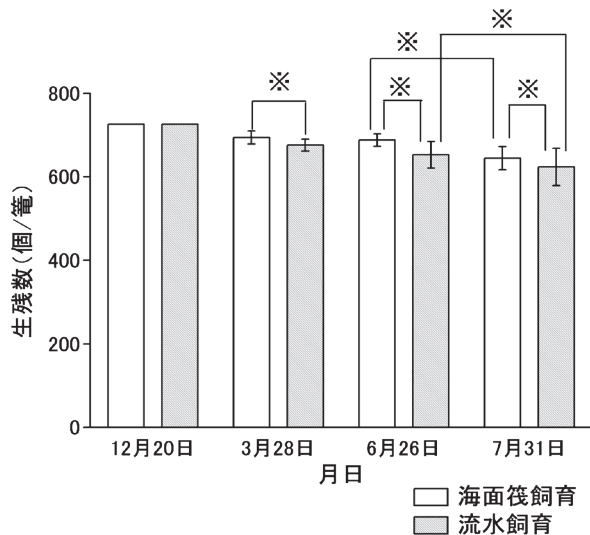


図 10. 試験 2 における海面筏飼育と流水飼育試験の生残数変化

数値は平均個体数±標準偏差 (n=3) で示す
検定は Fisher の正確確率検定法で行った
※有意差のあることを示す ($p<0.05$)

考 察

バフンウニ飼育における水温の影響については、山元・半田 (2002) が水温と酸素摂取量の季節変化について検討している。この報告によると体重および有機質重量当たりの酸素摂取量は、有機質重量比が低くなる 2 月、3 月を除けば、7 月および 8 月に少し高い傾向を示すものの、10～1 月および 4～6 月の水温である 9.6～24.2℃ではほぼ一定になった。以上のことから、この時期のバフンウニ代謝量は、水温に関係なくほぼ同じであると述べている。また、福井水試 (1989) は水温が 23℃以上になると本種の摂餌活性が低下することを報告している。今回の試験において流水飼育および海面筏飼育の水温は、7 月を除くと 9～22℃を観測しており (図 5, 8)、山元・半田 (2002) が報告している酸素摂取量がほぼ一定になる水温であると考えられる。しかし、今回流水飼育および海面筏飼育における 7 月中の成長は停滞し (図 6, 9)、試験 1 の流水飼育および試験 2 の海面筏飼育や流水飼育では自然海水で飼育した場合に生残数が 7 月になると低くなった (図 10)。これは、7 月に入ると飼育水温が 23～26℃に達し (図 5, 8)、バフンウニの摂餌活性は低下 (福井水試 1989) しかつ、酸素摂取量が増加 (山元・半田 2002) する環境になるため、本種の飼育に適さないことを示唆していると考えられた。

一方、バフンウニには専用の人工飼料が市販されていないため、本報告では全て沿岸に生育しているホンダワラ科の海藻を給餌した。しかし、本種へのホンダワラ科海藻給餌に関する報告は少ないが、仲野 (2018) は、バフンウニが餌として消化し、成長に利用する海藻の一種

がイソモクであることを明らかにしている。また、角田ら (1970) は、数種の海藻を用いた給餌試験を行い、日間摂餌率を報告しているが、海藻の種類や時期により大きく変動していた。以上のことから、今後、バフンウニの養殖技術を確認するために、海藻の種類や時期別の至適給餌量の検討が必要と考えられた。

アカウニの海面養殖では、クロメ *Ecklonia kurome* Okamura, アラメ *Eisenia bicyclis*, ホンダワラ類を主に給餌している (秋山ら 2001, 水津 2007, 岡山 2014) が、餌を天然海藻に依存しているために藻場の荒廃が指摘されている。本報告の海面筏飼育で給餌した海藻の総重量は、バフンウニ取り上げ重量 (約 15.8kg) の約 25 倍 (約 400kg) にもなり、養殖振興を図る上では天然海藻に依存しない飼育方法が必要である。その中で秋山ら (2001) は、アカウニの餌として使用されているアラメの栄養価の季節、海域、葉体部位変化を報告している。同様にウニ類の餌料海藻として有効性が確認されているコンブ類 (高木ら 2021, 名畑ら 1999), イソモク, ジョロモク *Myagropsis myagroides* (仲野 2018) でも分析を行うとともに、今後の検討材料として海藻の代替となる配合飼料の開発が重要と考える。

今井・新井 (1986) は、天然アカウニの主餌料であるアラメ給餌試験を行ったところ、低水温になる 3 月および高水温になる 7～10 月において摂餌量が少なくなることを報告している。本報告でも 1～3 月の低水温期や 7 月の高水温期は残餌が多くなることを観察しており、アカウニ同様にバフンウニでも、これらの時期に摂餌が減退すると考えられた。

バフンウニの飼育方法については、福井市葉崎沖の海水温が 23℃以上に上昇する 7 月以降 (図 5, 8)、自然海水で飼育する流水飼育および海面筏飼育のへい死は増加した (図 10)。一方、飼育水温を約 20℃に制御した閉鎖循環飼育では飼育期間を通してへい死が少なく、7 月になると流水飼育より生残数は優れていた (図 7)。また、閉鎖循環飼育は、注水しながら調温する流水飼育に比べ低いエネルギーコストで調温管理できるメリットがあり、高水温によるへい死リスクを回避する飼育手法として有望と考えられる。近年、地球温暖化による海水温上昇が近年特に危惧されており (水産庁 2024)、バフンウニ養殖における閉鎖循環飼育の活用が期待される。

陸上での流水飼育は飼育管理が容易であるが、揚水ポンプの電気代は、飼育経費の 30～40%にも達する (岩谷ら、未発表)。また、閉鎖循環飼育は、海水を冷却することにより 7 月のバフンウニの生残数が増える効果があるものの、循環ポンプ、水温制御機器を稼働させるために流水飼育同様に電気代を要する。そこで、時化が多い冬の北陸地方でも波浪の影響が少ない漁港内での筏飼育について流水飼育と比較検討した。その結果、飼育水温および溶存酸素量は両飼育方法で大きな差がなく (図 8)、殻径、体重、GI も有意差がなかった (図 9)。一方、海

面筏飼育の生残数は、飼育試験当初から取り上げまで流水飼育より優れていた（図 10）。したがって、筏を用いた飼育は、生産経費が安価とともに生残率が高くなる優位な飼育方法である。

以上のことから、北陸地方におけるバフンウニの飼育は、6月までは海面筏を活用した飼育が優れ、7月に入ってから閉鎖循環飼育に切り替える併用法が有効であると考えられた。今後はこれらの飼育方法について実証していく必要がある。

謝 辞

本研究を行うにあたり、バフンウニ飼育試験を実施する機会を与えて頂いた越廼漁業協同組合長はじめ組合員や職員の皆様にお礼申し上げます。また、飼育試験を実施する上で何かとご協力いただいた福井市役所林業水産課の皆様にお礼申し上げます。

文 献

- 秋山敏男・山本剛史・鶴沼辰哉・篠原直哉（2001）アカウニ餌料としてのアラメ栄養価の季節、海域および葉体部位による変化。水産増殖，**49**，475-482。
- 福井県水産試験場（1989）昭和 62 年度特産魚種栽培事業化試験報告書（バフンウニ）餌料海藻試験。pp. 2-11。
- 今井利為・新井章吾（1986）アカウニの食性と摂餌量について。水産増殖，**34**，157-166。
- 角田信孝・寺尾百合正・中村達夫・井上 泰（1970）人工採苗バフンウニの成長と摂餌について。水産増殖，**17**，155-165。

- 町口裕二・高島国男・林 浩之・北村 等（2012）エゾバフンウニの生殖巣の発達に及ぼす北海道東部海域に産する海藻（草）と給餌期間の影響。水産増殖，**60**，323-331。
- 名畑進一・干川 裕・酒井勇一・船岡輝幸・大堀忠志・今村琢磨（1999）キタムラサキウニに対する数種海藻の餌料価値。北海道立水産試験場研究報告，**54**，33-40。
- 仲野大地（2018）DNA バーコーディング法および炭素・窒素安定同位体比を用いたバフンウニの食性解析に関する研究（学位論文）。福井県立大学，福井，119p。
- 農林水産省（2022）にっぽん伝統食図鑑<https://traditional-foods.maff.go.jp/>，2023 年 9 月 28 日。
- 岡山英史（2014）アカウニ海面養殖の現状と課題。佐賀県玄海水産振興センター研究報告，**7**，121-127。
- 水産庁（2024）令和 5 年度水産白書 <https://www.jfa.maff.go.jp/j/kikaku/wpaper/R5/240611.html>，2025 年 1 月 8 日。
- 水津洋志（2007）アカウニに関する既往知見の整理（総説）。山口県水産研究センター研究報告，**5**，99-108。
- 高木聖実・村田裕子・吾妻行雄（2021）なぜコンブを食べたウニはおいしくなるのか。日水誌，**87**，p.693。
- 豊福太樹・吉田幸史（2019）アカウニの身入りと呈味特性に及ぼす給餌海藻の影響。佐賀県玄海水産振興センター研究報告，**9**，9-13。
- 臼井一茂・田村怜子・原日出夫（2018）野菜残渣を餌としたムラサキウニ養殖について。神奈川県水産技術センター研究報告，**9**，9-15。
- 山元憲一・半田岳志（2002）バフンウニの酸素摂取と水温の関係。水産増殖，**50**，177-181。
- 山本義久（2023）現場適用可能な海産魚介類の閉鎖循環飼育技術の開発と社会実装。日水誌，**89**，402-405。