（12）ふくいの海藻増養殖技術開発事業
ア　磯根生物が利用する海藻種の特定

水産試験場　海洋研究部　谷保 文野・中嶋 登
株式会社 アトックス　堀保博

1　目的

浅海域に生息するウニ類、アワビ類、サザエ等の動物や食用の海藻等は磯根資源と呼ばれている。福井県内のウニ類、アワビ類およびサザエの漁獲量は、アワビ類を除いて大幅に減少している。特にウニ類については、1970 年代は約 200 トンの水揚げがあったが、現在では数トンに減少しており、減少量は極めて大きい。ウニ類の漁獲量が減少した原因は、資源量が減少したためであると考えられている。

これらの生物の資源量を増大させる方法として、人工種苗の放流や漁場環境の改善などが挙げられる。一般的に、魚類に比べてこれらの生物の移動能力は低いため、放流場所の環境が生物にとって良好でなければ、放流効果は小さくなると予想される。餌料環境は漁場環境を評価するための重要な指標の一つであるが、福井県内のウニ類の摂餌生態を詳細に調べた事例は少ない。本研究では、ムラサキウニ *Heliocidaris crassispina* とバフンウニ *Hemicentrotus pulcherrimus* が摂餌している海藻の種類を調査し、漁場環境の把握に有益な知見を得ることを目的とした。

ウニ類の餌料環境を安定同位体比分析に評価する場合、同位体比の濃縮計数を検証する必要がある。昨年度の報告書で、これまでの知見に基づいて考察をしたが、本年度は、緑藻類（アナアオサ）の培養実験により、δ15N 値とδ13C 値が環境水の DIN および DIC のδ15N、δ13C を反映しているかを検証した。また、海藻中の同位体比の年変化を確認した。

2　方法

1）環境水がアオサの同位体比に与える影響

2021 年 9 月と 11 月に小浜市仏谷のマガキ養殖場で実施した(図.1)。地点別に培養期間中の相対成長、δ15N、δ13C を測定した。なお、9 月は養殖筏 1 表層、底層、養殖筏 2 表層、対照地点表層、底層、St.2、St.3、St.4 で培養を行い、11 月は養殖筏 2、St.1、St.2、St.5 の表層で培養を行った。カキ養殖場で培養開始時にアオサの中心部を 3.5cm の円にカットしてサイズを均一にし、広口 T 型瓶(300ml)（アズワン株式会社）の蓋と底にホールソーで直径 5cm の穴を空け、4mm メッシュのネットを貼り付けて常に海水交換が行われるようにした培養容器に入れて培養を行った。

海藻のサンプルは、一部を切り出し、蒸留水で洗浄したのち 60℃で約 20 時間乾燥し、乳鉢と乳棒を用いて磨り潰して粉末状にした。これらを 1.5 mL のテストチューブに保存した。

粉末状にしたサンプルは専用の錫箔に封入した。封入量は約 2～3 mg で調整した。安定同位体比分析は、2022 年 2 月 12 日～17 日の期間に京都大学生態学研究センターにおいて元素分析計に接続した安定同位体質量分析計（DELTA V plus, Thermo FisherScientific）を用いて分析した (Tayasu et al., 2011) 。炭素安定同位体比（δ13C）および窒素安定同位体比（δ15N）は以下の式を用いて算出した。

$$\delta_{Sample} = \{(R_{Sample}/R_{Standard}) - 1\} \times 1000$$

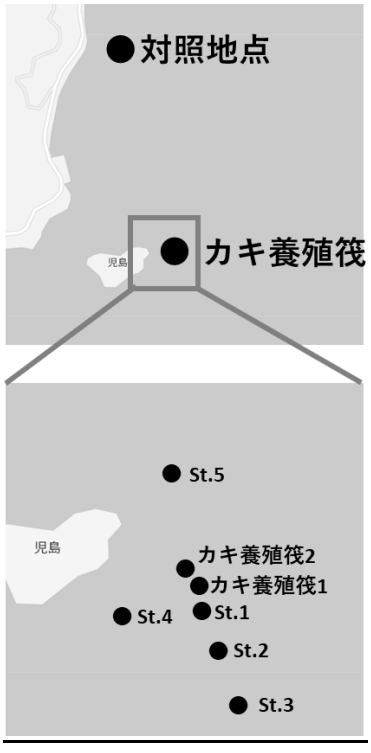

図 1　カキ養殖場でのアオサ培養地点

なお、RSample 及び RStandard はそれぞれ試料と標準物質の安定同位体比を示している。窒素安定同位体比の標準物質は大気中の窒素、炭素安定同位体比は化石炭酸塩鉱物 Vienna Pee-Dee Belemnite (VPDB) である。測定値補正のために 2 次標準物質として DL-2-Aminopropionic Acid を分析した。

２）海藻の同位体比の年変化

若狭町世久見において、2013 年から 2018 年にかけて採集した海藻の同位体分別について、年変動を比較した。

３　結果と考察

１）環境水がアオサの同位体比に与える影響

9 月のカキ養殖場での培養　養殖筏の表層で培養したアオサは、他の地点で培養したアオサよりも有意に高い相対成長を示し、δ15N とδ13C は、ともに養殖筏で培養したアオサが対象地点を除く他の養殖場周辺で培養したアオサよりも有意に高い値となった(図.2)。しかし、養殖場周辺で培養したアオサには、養殖筏に近いほどδ15N とδ13C の値が高くなるといった傾向はみられなかった。11 月のカキ養殖場での培養　相対成長に有意差はみられず、δ15N とδ13C はすべての地点において 9 月の養殖筏で培養したアオサに近いδ15N を示したが、養殖筏のアオサが他の地点よりも高いδ15N とδ13C を示すというような結果はみられなかった。

9 月ではδ15N とδ13C は養殖筏で培養したアオサが高い値を示した。この結果は、カキ養殖場由来のδ15N とδ13C を養殖筏のアオサが取り込み、それを反映したものと推測される。δ13C も養殖筏で有意に高い値となったことから、δ15N だけでなく、δ13C もカキ養殖による負荷を示す指標として有効だと考えられる。11 月では養殖筏周辺のアオサのδ15N とδ13C は 9 月と比較して高い値となり、養殖筏のアオサのδ15N、δ13C との差はみられなかった。また、マガキは 10 月、11 月に糞量が多くなる(楠木,1977)。そのため、11 月はカキの糞量の増加によりカキ養殖による影響は 9 月と比較しては大きくなり、今回培養を行った範囲にまで影響が及んでいたと考えられる。

これらの結果から判断して、アオサのδ15N とδ13C は環境水中の DIN や DIC の安定同位体比を反映することを意味している。環境水中の DIN あるいは DIC の供給源別（河川、地下水、養殖場などの人為起源）のδ15N とδ13C が分かれば、一次生産者の同位体比から供給群別の寄与率推定が可能になる。

２）海藻の同位体比の年変化

海藻類の安定同位体比の測定結果のうち、ウニ類の主な餌料と考えられる、イソモク、ジョロモク、ノコギリモク、フシスジモク、ヤツマタモクおよびヨレモクについて、経時変化を図 3，4 に示す。δ15N の値は、2014 年を除くと種間で大きな違いが認められなかった。2014 年にδ15N が種別で大きく異なった原因はわからないが、それ以外のように値が異ならない場合は、δ15N 値から餌料を特定することが難しくなる。一方、δ13C の値は変動が大きく、餌料となっている海藻を特定できる可能性がある。同位体比の違いは、同一地点で採集していることから同位体分別により生じていると考えられる。今後、海藻別の濃縮係数がわかれば、餌料を推定することが可能であろう。ただし、本調査では、標本の採集時期が春～夏に偏っていたことから、今後は季節ごとの変化を確認する必要がある。

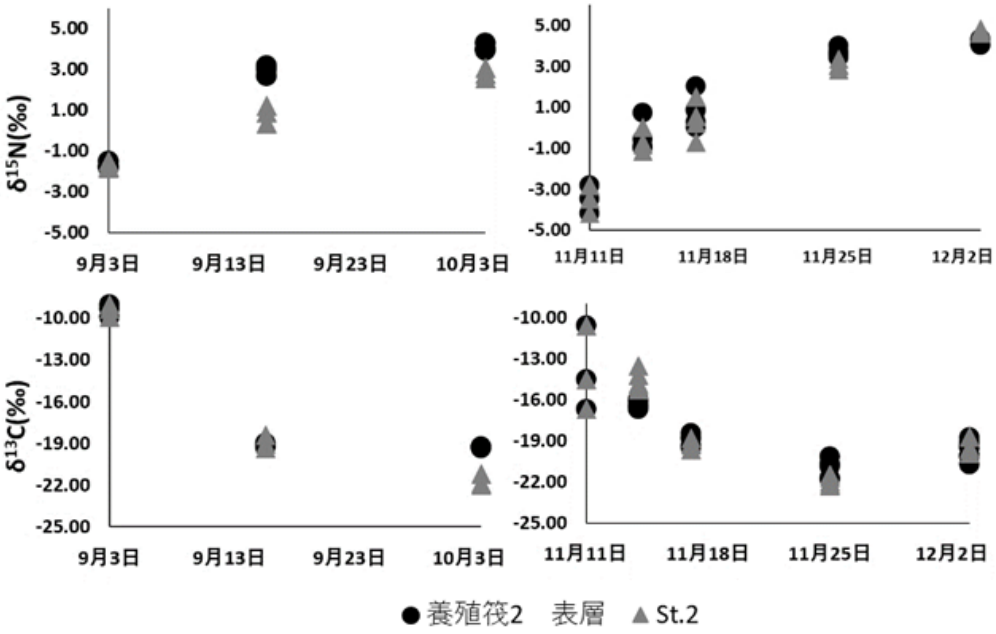

図２　.養殖筏２と St.2 で培養したアオサのδ15N とδ13C の時間変化

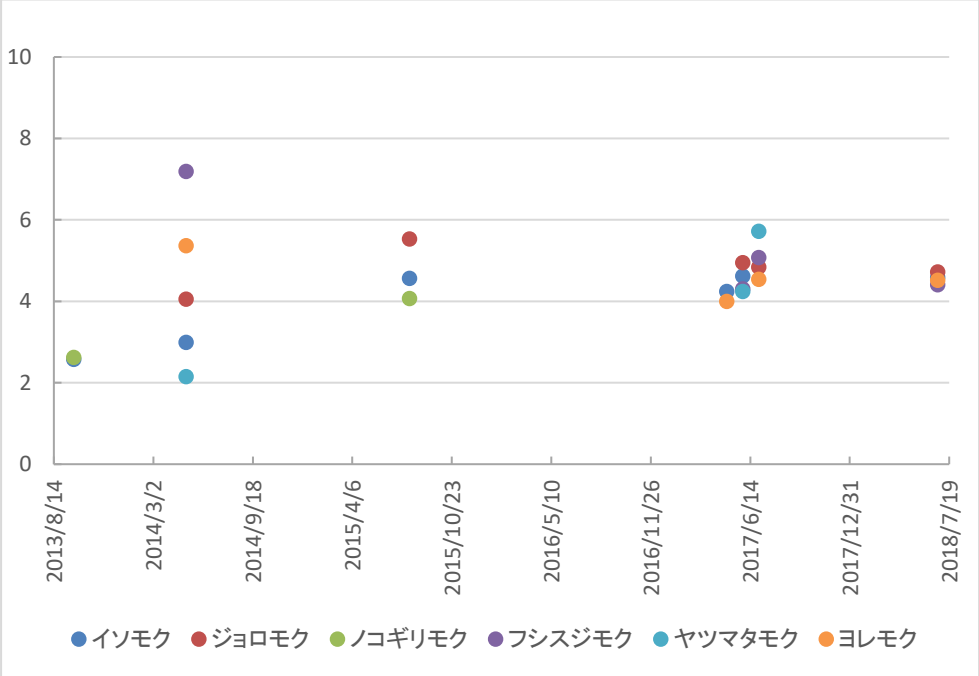

図３　ウニ餌料の海藻のδ15N の年変化

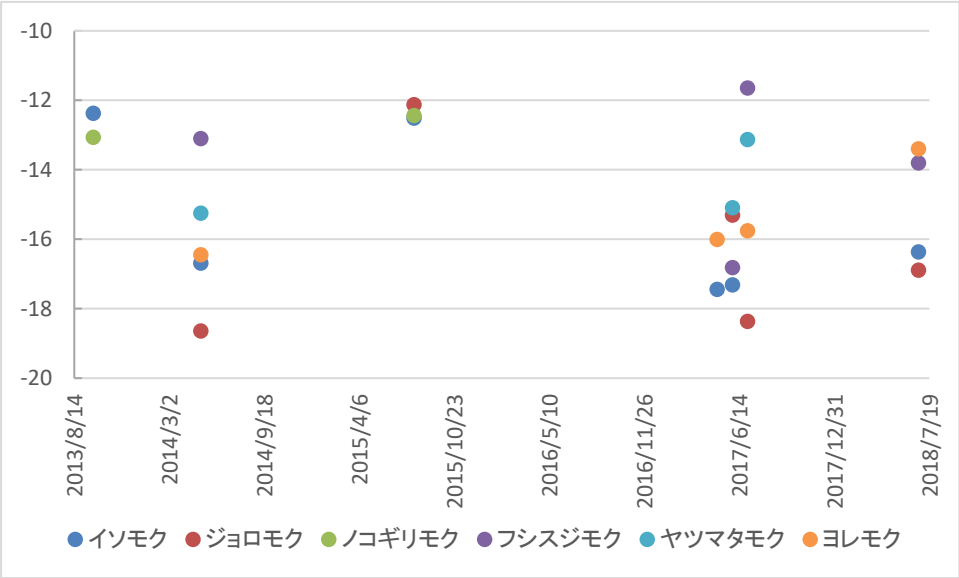

図４　ウニ餌料の海藻の $\delta^{13}C$ の年変化

４　文献

1) Nakano Daichi, Kamiya Mitsunobu, and Tominaga Osamu (2017): Molecular identification of macroalgal fragments in gut contents of the sea urchin *Hemicentrotus pulcherrimus*. Fisheries science 83.3: 425-432.

2) 上奥 秀樹・中島 輝彦・瀬戸 久武（2004）: VII バフンウニ栽培漁業効率化事業. 平成 15 年度 事業報告書, 福井県栽培漁業センター, 福井県小浜市: 36–45.

3) Hobson K.A. and Welch H.E. Determination on trophic relationships within a high Arctic marine food web using δ13C and δ15N analysis Marine Ecology Progress Series, 1992, 84, 9-18

4) 仲野大地　DNA バーコ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　福井県立大学博士学位論文，pp119，2018 年 3 月

5) D. M. Sigman, K. L. Casciott, M. Andreani, C. Barford, M. Galanter, and J. K. Böhlke. A Bacterial Method for the Nitrogen Isotopic Analysis of Nitrate in Seawater and Freshwater　2001, Analytical Chemistry, 73 (17), pp 4145–4153

6) 楠木 豊　1977　カキ養殖漁場における漁場老化に関する基礎的研究―Ⅰマガキの排せつ物量　日本水産学会誌　43(2),163-166

7) Tayasu et al. New organic reference materials for carbon- and nitrogen-stable isotope ratio measurements provided by Center for Ecological Research, Kyoto University, and Institute of Biogeosciences, Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology Limnology12:261－266　DOI：10.1007/s10201-011-0345-5(2011)

(12) ふくいの海藻増養殖技術開発事業

イ　ワカメの生産量安定化

中嶋 登・谷保 文野

1　目的

ワカメ *Undaria pinnatifida* は福井県で大規模に養殖が行われている唯一の海藻で、主に嶺南地方の沿岸部で養殖されている。近年になってワカメの収穫量が年によって変動するようになってきたとの意見が養殖業者から聞かれるようになってきたことから、福井県水産試験場（以下、「水試」という。）では、平成28年から本格的に原因の調査を開始した。養殖業者への聞き取りから、収穫期になってもワカメが充分に成長しない、との情報が得られ、ワカメの成長不良が収穫量に影響を与えている可能性が指摘された。

平成29年度および平成30年度に、複数由来の種糸を用いて養殖試験を行うと共に、同じく複数由来の種糸を養殖に使用している養殖場にて測定調査を実施したところ、種苗の由来によって、充分に成長したもの、成長不良に陥るものと、成長の程度は様々であった[1,2]。このことから、種糸の由来がワカメの収穫量の変動要因と成り得ることが明らかになった。一方で、ワカメ養殖そのものの継続が困難な程に養殖環境が悪化しているわけではないことが示された。

高成長な種苗と成長不良となった種苗では、沖出し時の幼葉（種糸に着生しているワカメ幼胞子体）の大きさが著しく異なり、この違いが収穫量の差を生んでいる可能性も指摘された。令和2年度には、一時蓄養によって幼葉の大きさが異なる種糸を複数作製し、養殖試験を行ったところ、沖出し時の幼葉大きさが、収穫時のワカメの大きさおよび生残率に影響していることが確認された[3]。

本年度は、種糸の一時蓄養による効果の再現性の確認および、別由来の種苗における効果の確認を目的とし、養殖試験を行った。

2　方法

令和3年11月15日にサカイオーベックス株式会社（福井県福井市）から宮城県産と徳島県小松島産の種糸（以下、「宮城産」「小松島産」という。）を購入し、令和2年度と同様の方法[3]によって種糸の一時蓄養を行った（図1）。

11月16日に、対照区として蓄養していない種糸を、同30日に蓄養した種糸をそれぞれ3 cm間隔に切り、小浜市志積地先のワカメ養殖場の水深約2 mに設置した養殖ロープに約40 cm間隔で差し込んだ。

養殖試験中のワカメ藻体の測定は、1月27日、3月2日および3月16日に実施した。養殖ロープをボート側面に持ち上げ、ワカメの全長（幹縄から葉状体の先端まで）を測定した。測定後は、海中に戻して3月16日の最終測定まで養殖試験を継続した。

志積の養殖場にて、養殖用の幹縄に光量子計（DEFI2-L, JFEアドバンテック株式会社）を固定し、30秒ごとに養殖水深における光量子量を記録した。同じく、流行流速計（AEM-USB, JFEアドバンテック株式会社）を幹縄に固定し、15分ごとに流行・流速および水温を記録した。

測定時のワカメの全長をKruskal-Wallis検定で比較し、有意

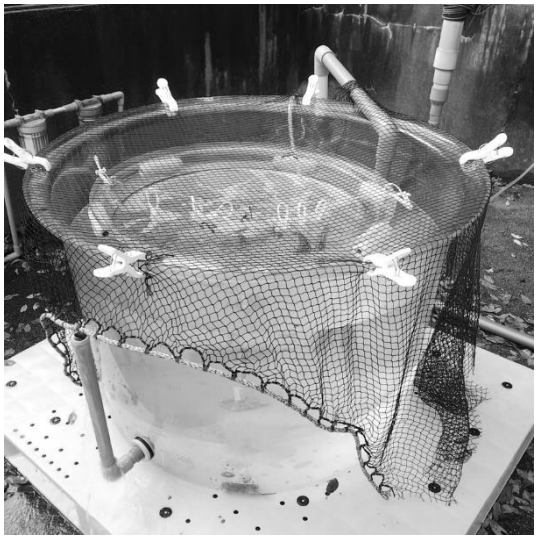

図1　種糸の蓄養水槽外観

差（$p < 0.05$）があった場合は、Scheffe の多重比較検定を行った。

養殖試験における最終的な生残率の比較はχ^2検定により行った（有意差：$p < 0.05$）。

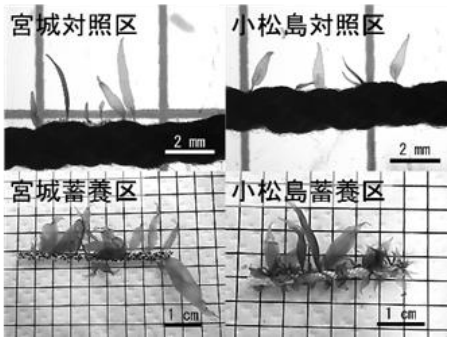

図2　各試験区の種糸の外観

3　結果

養殖試験開始時における各試験区の種糸の外観を図2に示した。宮城産、小松島産ともに蓄養期間中に幼葉の成長が確認された。

養殖試験におけるワカメの全長の推移を図3に示した。ワカメの全長は、対照区よりも蓄養区の方が大きく成長し、3月16日の最終測定時には対照区と蓄養区の間で有意差があった。また、宮城産の方が小松島産よりも大きくなった。

生残率の推移を図4に示した。養殖試験期間中、一部の試験区ではワカメ幼葉が枯死する芽落ちが確認され、最終的な生残率は宮城産対照区が83.5%、小松島産対照区が48.1%、宮城産蓄養区が98.0%、小松島蓄養区が100%であり、対照区と蓄養区の間には有意差があった。

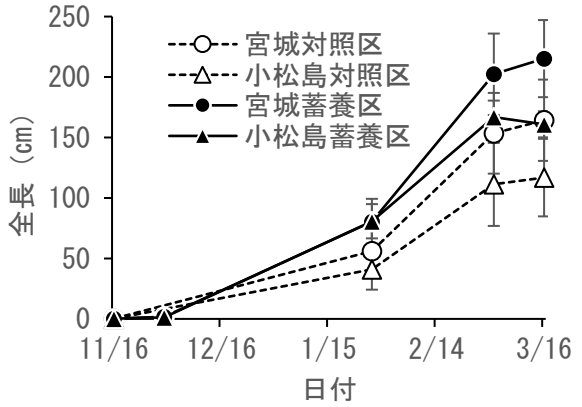

図3　ワカメの全長の推移

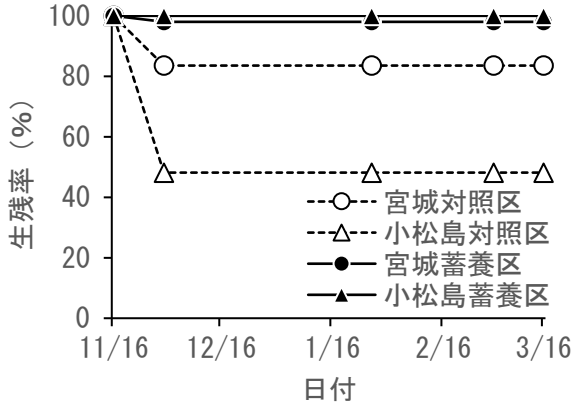

図4　ワカメの生残率の推移

3月16日の測定時に各試験区の一部の個体を採集し、写真撮影した（図5）。

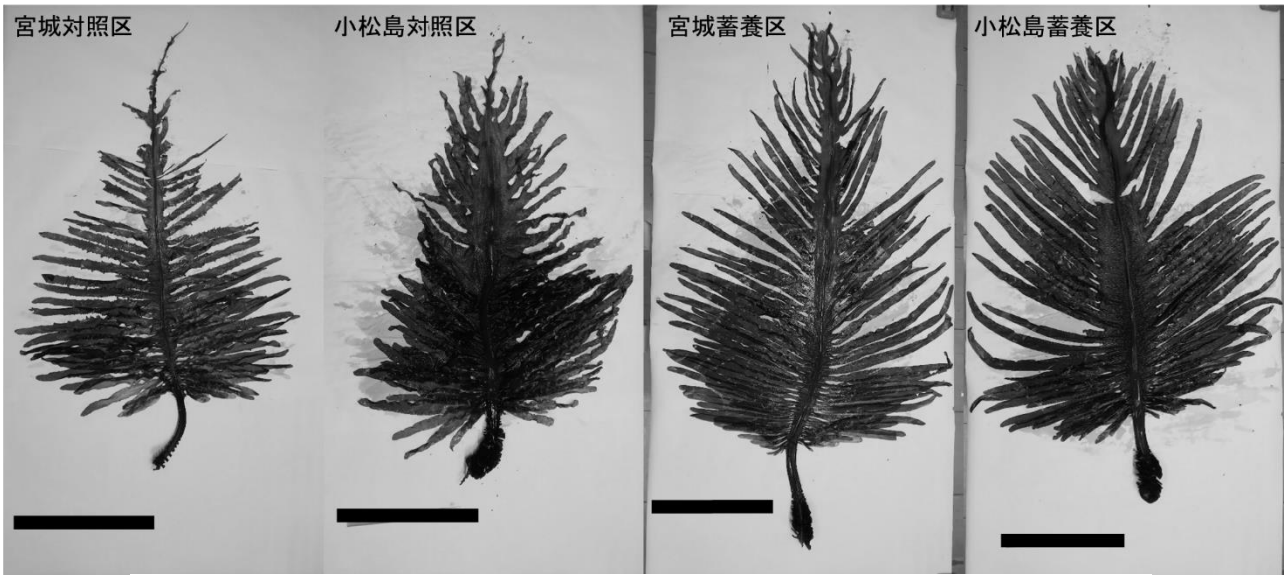

図5　各試験区のワカメの外観（3月19日撮影. Bar＝40 cm）

養殖期間における水温変化を図6に示した。最高水温は11月19日の19.6℃、最低水温は2月24日の7.7℃であった。養殖期間における光量子の変化を図7に示した。光量は平均62.1 µmol m-2 s-1、最大4,230.3 µmol m-2 s-1であった。養殖期間における潮流の変化を図8に示した。流速は平均15.0 cm s-1、最大227.6 cm s-1であった。

図6　水温の変化

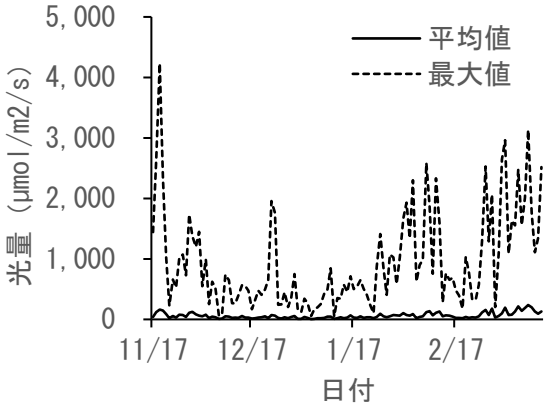

図7　光量の変化

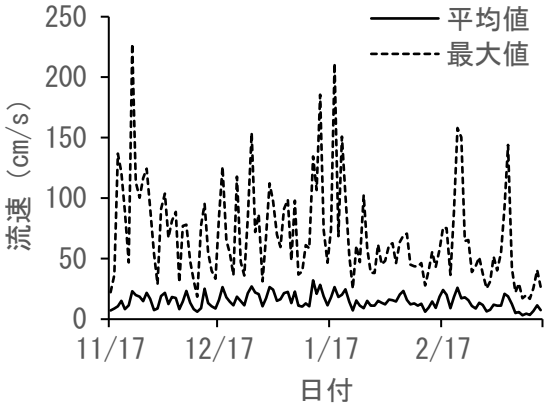

図8　流速の変化

4　考察

蓄養区のワカメは対照区に比べて大きく成長し、生残率も高かった。これは令和2年度の養殖試験と同様の結果である[3)]。令和2年度は、沖出し時に種糸に着生しているワカメ幼葉の大きさが養殖生産量に及ぼす影響を評価することが目的であったため、蓄養区と対照区を同時に沖出しし、養殖試験を行った。したがって、蓄養区と対照区それぞれの種糸の作製開始時期には1-2週間程度の違いがあり、蓄養区の方がワカメ藻体の生育期間は長かったことになる。今年度は、種糸作製時期が同じ種糸を用いていることから、一時蓄養という工程の有無が養殖生産量に及ぼす影響を評価したことになる。ワカメの生育期間が同じであるにもかかわらず、対照区におけるワカメの成長および生残率が蓄養区よりも劣っていたことは、ワカメ幼葉にとって養殖場の生育環境が過酷なものであったことを示唆している。令和2年度および今年度の養殖試験により、種糸の一時蓄養は、幼葉の成長および生残率を高める効果があり、養殖生産量を安定化させる有効な手法であることが確認された。

本年度は、宮城産と小松島産という由来の異なる2種類の種糸を用いて養殖試験を行った。今回の試験においては、同じ条件であれば小松島産よりも宮城産の方が大きく成長したが、いずれの種類も、対照区よりも蓄養区の方が成長、生残ともに高い値となった点では結果が一致しており、産地の違いに関わらず、一時蓄養により養殖生産安定化効果を得られることが確認された。

5　文献

1) 仲野 大地・矢野 由晶 (2018): 種糸の由来が福井県での養殖ワカメ収穫量に与える影響. 平成30年度福井県水産試験場事業報告: 259-264

2) 中嶋 登・仲野 大地 (2018): ふくいの海藻増養殖技術開発事業（ワカメの生産量安定化）. 平成30年度福井県水産試験場事業報告: 191-196

3) 中嶋 登・谷保 文野・家接 直人 (2020): ふくいの海藻増養殖技術開発事業（ワカメの生産量安定化）. 令和2年度福井県水産試験場事業報告: