

ノート

松島湾で養殖したワカメ・マコンブの成長と漁場の水温・栄養塩環境について

永木 美智子^{*1}・須藤 篤史^{*1}・阿部 修久^{*2}・花輪 正一^{*2}

Growth of *Undaria pinnatifida* and *Laminaria japonica* cultivated in Matsushima Bay
and water temperature and nutrient concentration in the cultivating area

Michiko NAGAKI^{*1}, Atsushi SUTO^{*1}, Nobuhisa ABE^{*2} and Shoichi HANAWA^{*2}

キーワード：ワカメ，マコンブ，養殖，成長，漁場環境

宮城県松島湾におけるワカメ・コンブ類の養殖は、1980年代から試験的に始まり、1988年に区画漁業権にワカメ・コンブ類が追加されると、本格的な養殖生産が行われるようになった。松島湾内のワカメ・コンブ類の養殖生産のほとんどを占めているのは、宮城県漁業協同組合塩釜市第一支所（旧塩釜市第一漁業協同組合）と塩釜市漁業協同組合である。両漁協による養殖生産が本格化した1989年以降のワカメ・コンブ類の生産量の推移を見ると（図1）、ワカメについては1989年に139tとなった後減少し、1999年以降は50t～60tで推移していたが、2010年以降急増し、2010年に181t、2011年には245tとなった。一方、コンブ類については1992年にピークの613tとなった後は年々減少し、2009年の生産量は170tであったが、2010年、2011年には、それぞれ2月、3月に襲来した津波により、収穫前のコンブ類の多くが流失し、生産量はそれぞれ27t、0tとなった（生産量は塩釜の水産¹⁾及び両漁協からの聞き取りによる）。

両漁協では、東日本大震災の津波による被災からいち早く施設を復旧させ、その年の冬にはワカメ・コンブ類ともに養殖生産を再開したが、2012年12月から2013年5月頃の生産量は、ワカメが78t、コンブ類については0tと、激減あるいは全く収穫できない状態となった。これは、ワカメ・コンブ類ともに色調不良、穴あき、先枯れとい

った障害が発生し、枯死・脱落したことによる。この原因として、宮城県水産技術総合センターでは、低水温による活性の低下、漁場の海水中の栄養塩濃度が低かったことに加えて養殖密度が高いことによる栄養塩の欠乏を想定した。しかし、これまで、松島湾においてワカメ・コンブ類がどのような環境条件下で養殖され、いつどのようなサイズで収穫可能となるのか明らかにされていなかったため、病障害が発生した際の規模や程度の判断、原因の解明が困難な状況となっている。

そこで本報告では、松島湾内の異なる漁場で養殖されているワカメ・マコンブの成長と病障害の発生状況及び養殖期間中の環境条件を調査し、松島湾内における養殖ワカメ・マコンブの現状を明らかにすることを目的とした。

材料と方法

宮城県松島湾内の牛生及び矢板の2つのワカメ・マコンブ養殖漁場において、牛生漁場の3地点及び矢板漁場の2地点を選定して牛生1、牛生2、牛生3、矢板1、矢板2とし、ワカメ・マコンブの試験養殖施設を設置した（図2）。養殖施設はワカメ・マコンブともに30mシングルスの延縄式とし、種糸は挟みこみにより取り付けられた。ワカメにつ

^{*1}仙台地方振興事務所水産漁港部、^{*2}水産技術総合センター

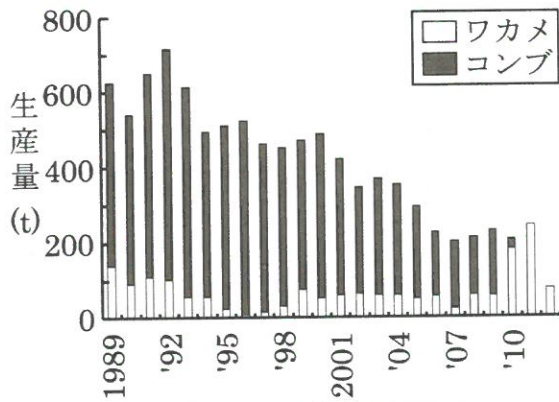


図1 松島湾における養殖ワカメ・コンブ類の生産量の推移

いては、牛生漁場では、2013年10月9日に牛生1に、挟みこみ間隔45cm、垂下水深30cm、施設間隔16尺（およそ4.8m）で設置し、種苗は松島湾における養殖ワカメを用いたタンク採苗による塩釜種とした。矢板漁場では、2013年10月10日に矢板1に、挟みこみ間隔60cm、垂下水深30cm、施設間隔15尺（およそ4.5m）で設置し、種苗はタンク採苗による塩釜種を使用した。マコンブについては、牛生漁場では、2013年10月22日に牛生3に、挟みこみ間隔70cm、垂下水深30cm、施設間隔16尺で設置、種苗は北海道尾札部産マコンブとし、矢板漁場では、2013年10月末に矢板2に、挟みこみ間隔60cm、垂下水深30cm、施設

間間隔15尺で設置し、種苗は北海道尾札部産マコンブとした。

2012年の不作の原因と考えられた低水温と低栄養塩濃度への対策を検討するため、上記の4施設を対照区として、対照区よりも垂下水深を深くした深下区と施設間隔を広くとった低密度区を設定し、対照区の養殖施設に隣接して施設を設置した。それぞれの条件を表1に示した。ワカメ深下区：垂下水深を牛生漁場では1m、矢板漁場では50cmとし、その他の条件は対照区と同様とした。ワカメ低密度区：施設間隔を牛生漁場では32尺、矢板漁場では30尺、挟みこみ間隔80cmとし、それぞれ区画の端の航路沿いに施設を設置し、その他の条件は対照区と同様とした。なお、牛生漁場では対照区に隣接させず、牛生2に設置した。マコンブ深下区：垂下水深を牛生漁場では50cm、矢板漁場では70cmとし、その他の条件は対照区と同様とした。マコンブ低密度区：施設間隔を牛生漁場では32尺、矢板漁場では30尺、挟みこみ間隔80cmとし、それぞれ区画の端の航路沿いに施設を設置し、その他の条件は対照区と同様とした。対照区と深下区の施設には、水中用データロガー（HOBOペンダントロガーUA-001-64、Onset社）を設置して、調査期間中の水温を10分間隔で測定した。

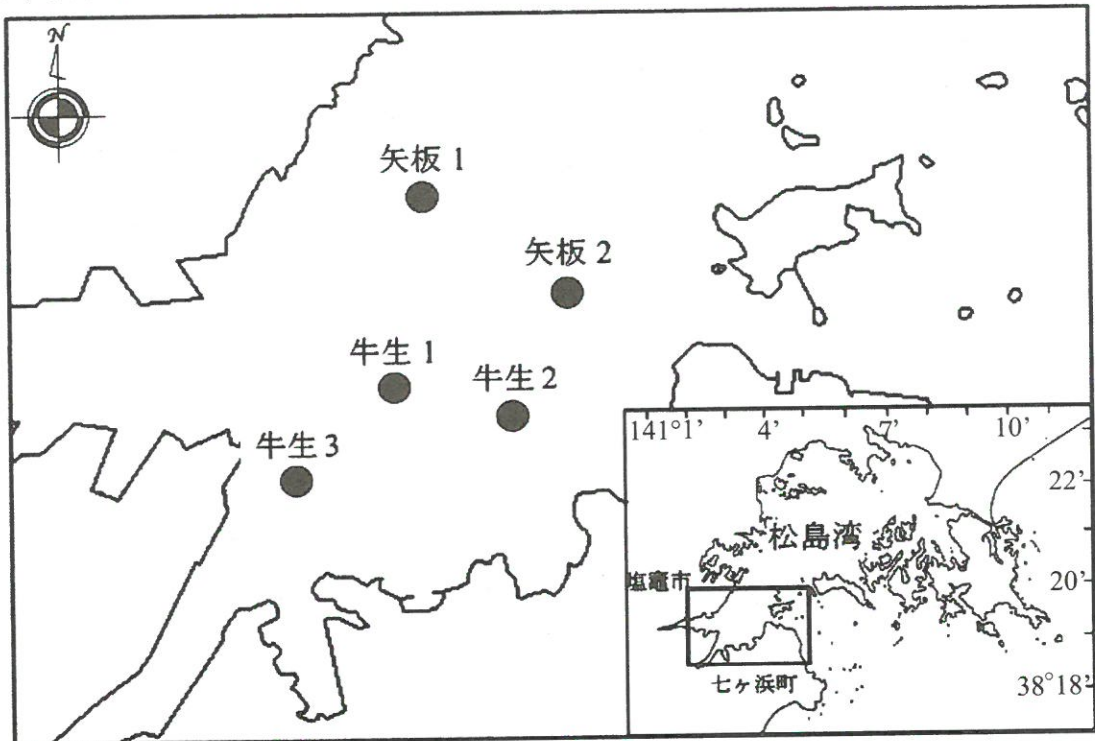


図2 養殖施設設置位置

表1 ワカメ・マコンブ各試験区の条件

| | 設置位置 | 設置時期 | 挟込間隔 | 垂下水深 | 施設間隔 | 種苗 |
|------|------|--------|------|------|------|------|
| ワカメ | | | | | | |
| 対照区 | 牛生1 | 10月9日 | 45cm | 30cm | 16尺 | タンク採 |
| | 矢板1 | 10月10日 | 60cm | 30cm | 15尺 | 苗による |
| 深下区 | 牛生1 | 10月9日 | 45cm | 1m | 16尺 | 塩釜種 |
| | 矢板1 | 10月10日 | 60cm | 50cm | 15尺 | |
| 低密度区 | 牛生2 | 10月9日 | 45cm | 30cm | 32尺 | |
| | 矢板1 | 10月10日 | 80cm | 30cm | 30尺 | |
| マコンブ | | | | | | |
| 対照区 | 牛生3 | 10月22日 | 70cm | 30cm | 16尺 | 北海道尾 |
| | 矢板2 | 10月末 | 60cm | 30cm | 15尺 | 札部産マ |
| 深下区 | 牛生3 | 10月22日 | 70cm | 50cm | 16尺 | コンブ |
| | 矢板2 | 10月末 | 60cm | 70cm | 15尺 | |
| 低密度区 | 牛生3 | 10月22日 | 70cm | 30cm | 32尺 | |
| | 矢板2 | 10月末 | 80cm | 30cm | 30尺 | |

2013年11月15日から2014年4月14日までの期間の月1回～3回、対照区の試験養殖施設付近において、表層の水温とアンモニア態、亜硝酸態、硝酸態の各窒素量及びリン酸態リンの濃度を測定した。水温の測定にはデジタル温度計（SK-250WP11-K、株式会社佐藤計量器製作所）、栄養塩濃度の測定にはオートアナライザー（QuAAtro2-HR、ビーエルテック株式会社）を使用した。また、各施設から葉体を5個体採取し、付着器上部から先端までの全長と付着器を除く湿重量を測定した。調査の最終回には、50個体を採取して同様に全長と湿重量を測定した。なお、牛生漁場と矢板漁場の対照区間の全長および湿重量の差の検定にはt検定を、同一漁場内の3試験区間の全長およ

び湿重量の差の検定には、多重比較法（Tukeyの方法）を用いた。

調査期間中の水温は、東北ブロック沿岸水温速報ホームページ²⁾より独立行政法人水産総合研究センター東北区水産研究所提供の宮城塩釜地点の日平均水温を参照した。

結果

調査期間中2013年10月1日から2014年5月31日までの塩釜の水温を、前年同期の水温とともに図3に示した。2013年11月下旬以降の水温は、前年同期に比べ高めに推移したが、2月8日から20日までの期間は4℃未満の低水温が持続した。また、2014年4月10日から26日には、10℃台から15℃台へと急激に水温が上昇した。

牛生及び矢板漁場の試験施設付近で測定した水温は、両漁場でほとんど差が無く、2月下旬（2月21日測定）に3.7℃まで低下した後、3月中旬には5℃台、4月中旬には10℃台まで上昇した（図4）。

アンモニア態、亜硝酸態、硝酸態窒素を合計した三態窒素濃度及びリン酸態リン濃度は、牛生漁場で矢板漁場よりも高めに推移した。調査を開始した11月下旬以降減

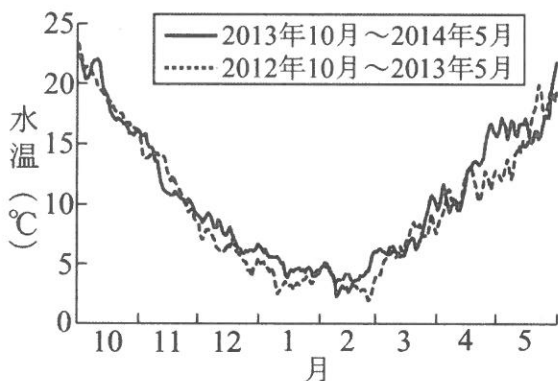


図3 10月～5月の塩釜の日平均水温の推移

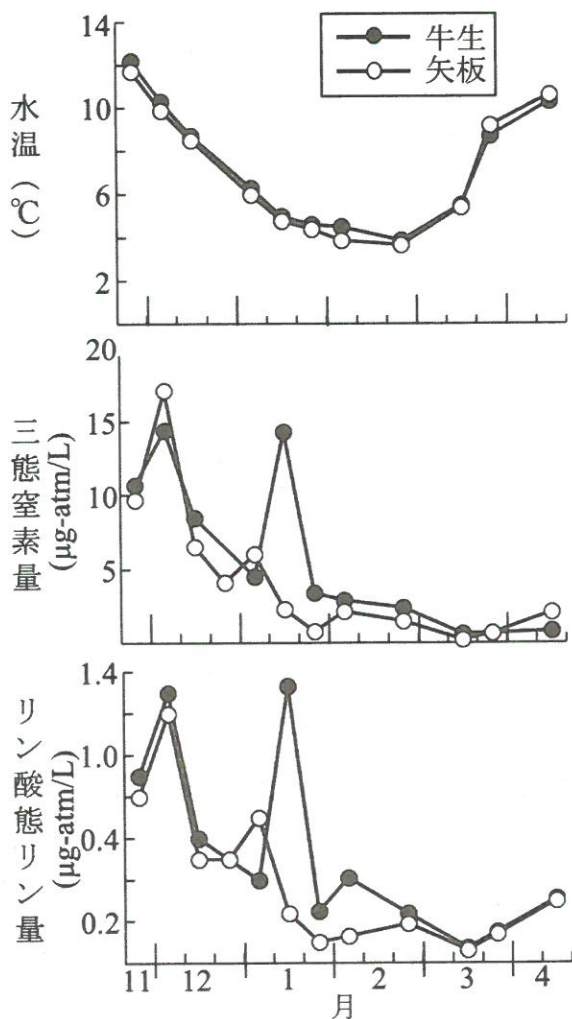


図4 試験養殖施設付近の水温（上段）、三態窒素濃度（中段）、リン酸態リン濃度（下段）の推移

少傾向で、1月中旬（1月17日測定）に牛生漁場で三態窒素が $14.30\mu\text{g-atm/L}$ 、リン酸態リンが $1.33\mu\text{g-atm/L}$ と比較的高い値を示した後は、三態窒素、リン酸態リンともに低い値で推移し、それぞれ、矢板漁場で $0.23\sim 2.17\mu\text{g-atm/L}$ 、牛生漁場で $0.06\sim 0.30\mu\text{g-atm/L}$ 、 $0.64\sim 3.43\mu\text{g-atm/L}$ 、 $0.07\sim 0.41\mu\text{g-atm/L}$ の範囲にあった（図4）。

調査期間中のワカメ、マコンブ対照区の全長と湿重量の変化を図5に示した。ワカメの全長は、牛生漁場・矢板漁場ともに1月下旬以降ほとんど増加が見られず、3月27日の最終調査時には、牛生漁場で平均 $234.1\pm 47.6\text{cm}$ （最大の個体は 365cm ）、矢板漁場で平均 $240.6\pm 44.4\text{cm}$ （最大の個体は 355cm ）となった。両漁場を比較すると、12月上旬・中旬には牛生漁場で、1月上・下旬には矢板漁場で有意に大きかった（ $p<0.05$ ）。一方、ワカメの湿重量は1

月下旬以降も増加し続け、3月27日には、牛生漁場で平均 $765.1\pm 203.5\text{g}$ （最大の個体は 1168g ）、矢板漁場で（平均 $576.8\pm 190.4\text{g}$ ）（最大の個体は 1163g ）まで増加した。両漁場を比較すると、1月下旬を除き牛生漁場が矢板漁場を上回っており、12月中旬・1月中旬・3月下旬に牛生漁場で有意に大きかった（ $p<0.05$ ）。1月上旬以降成実葉の形成が確認された。マコンブの全長も、両漁場とも1月下旬以降ほとんど増加せず、4月14日の最終調査時には対照区で、牛生漁場で平均 $301.4\pm 76.8\text{cm}$ （最大の個体は 498cm ）、矢板漁場で平均 $324.8\pm 56.8\text{cm}$ （最大の個体は 440cm ）となった。両漁場を比較すると、12月上旬・中旬に牛生漁場で有意に大きかったが、以降全長に差はなかった（ $p<0.05$ ）。一方湿重量は1月下旬以降も緩やかに増加しつづけ、4月14日には牛生漁場で平均 $325.4\pm 152.8\text{g}$ （最大の個体は 910g ）、矢板漁場で平均 $306.8\pm 121.7\text{g}$ （最大の個体は 608g ）となった。両漁場を比較すると、3月下旬を除き、牛生漁場が矢板漁場を上回っており、12月中旬および1月上旬・中旬には有意差が認められた（ $p<0.05$ ）。

最終調査時の全長、湿重量を、対照区、深下区、低密度区で比較すると（図6）、ワカメについては、牛生漁場では全長にほとんど差は認められなかったが、湿重量は低密度区で最大となり、対照区と低密度区の間には有意差が認められた（ $p<0.05$ ）。矢板漁場では、葉長は対照区で最大となり、深下区、低密度区との間にそれぞれ有意差が認められた（ $p<0.05$ ）。湿重量は低密度区で最も重く、深下区との間には有意差が認められた（ $p<0.05$ ）。マコンブについては、牛生漁場、矢板漁場ともに、試験区間で葉長の差はほとんど認められなかったが、湿重量については両漁場とも深下区で最も大きく、矢板漁場の深下区と低密度区の間には有意差が認められた（ $p<0.05$ ）。対照区と深下区に設置したデータロガー（精度 $\pm 0.47^\circ\text{C}$ ）で測定した水温を図7に示した。ワカメについては、深下区の水温は、牛生漁場では対照区と同じか $0.1\sim 0.2^\circ\text{C}$ 高く、矢板漁場でも同じか 0.1°C 程度高い傾向が認められた。マコンブについては、深下区の水温は、牛生漁場では対照区と同じか $0.1\sim 0.2^\circ\text{C}$ 高かったが、矢板漁場では $0.1\sim 0.2^\circ\text{C}$ 低かった。

ワカメ、マコンブとも調査開始直後の12月上旬から葉状部の先端付近が徐々に枯れる「末枯れ」が観察されたが、調査期間中に病障害による枯死は確認されなかった。

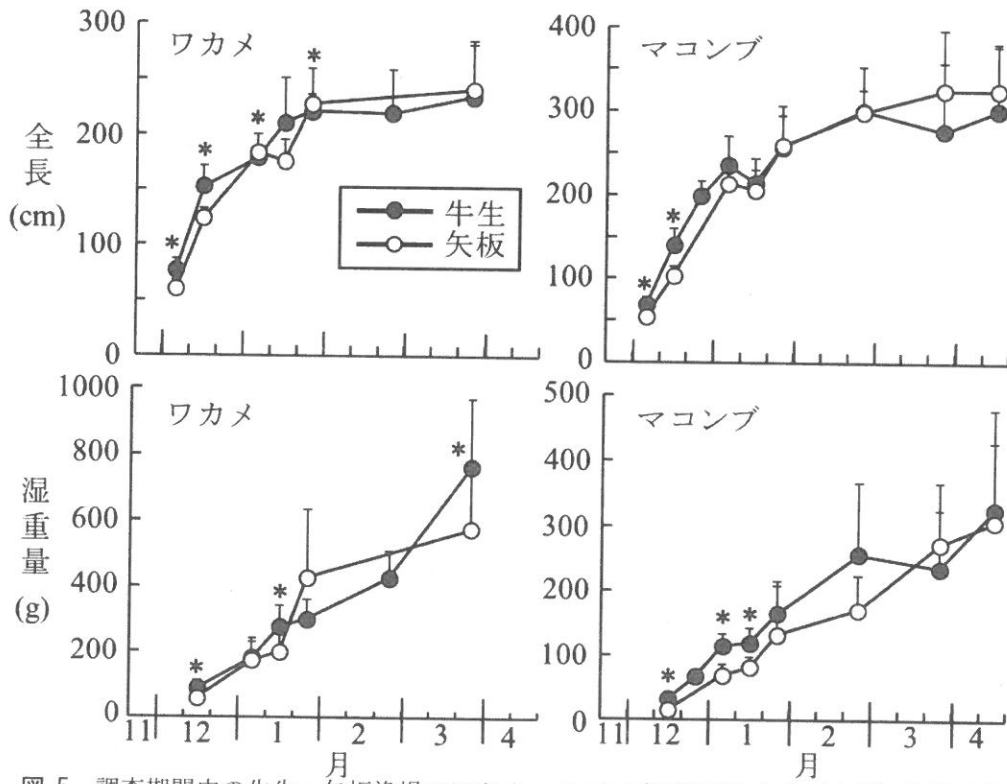


図5 調査期間中の牛生・矢板漁場のワカメ・マコンブ対照区の全長（上段）と湿重量（下段）の変化。鉛直直線は標準偏差。*は牛生漁場と矢板漁場間で有意差あり ($p < 0.05$)

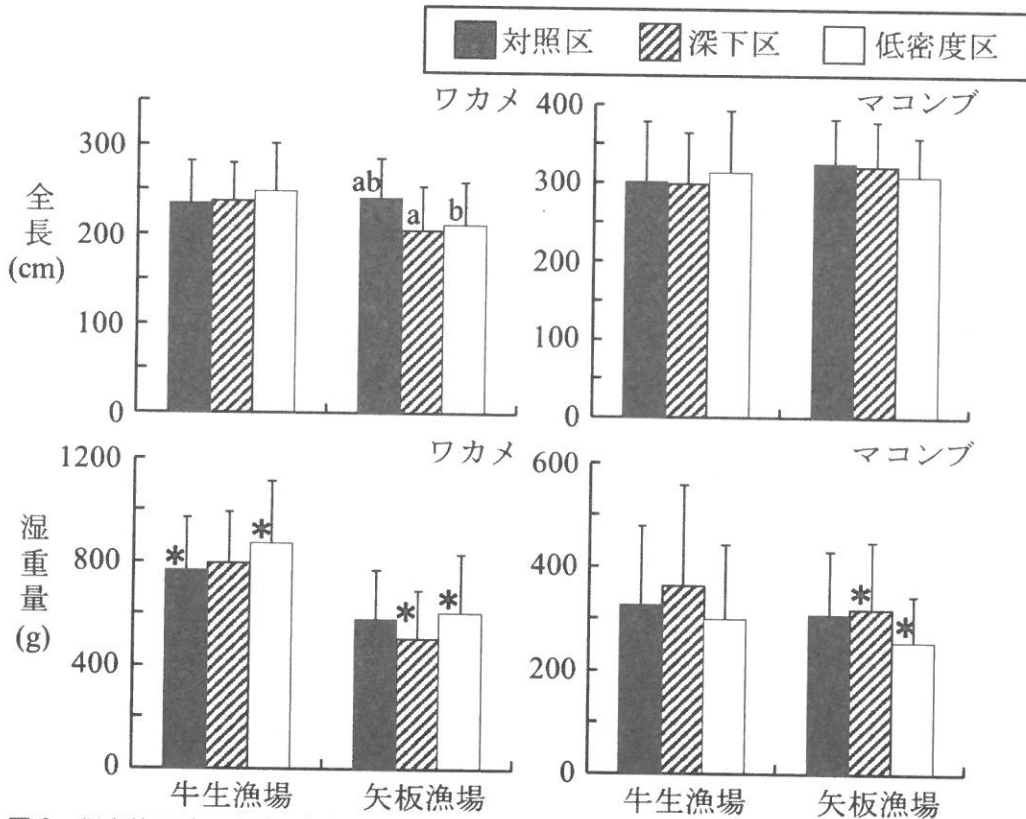


図6 調査終了時の牛生・矢板漁場のワカメ・マコンブ対照区・深下区・低密度区の全長（上段）と湿重量（下段）。鉛直直線は標準偏差。*間、a間、b間にはそれぞれ有意差あり ($p < 0.05$)

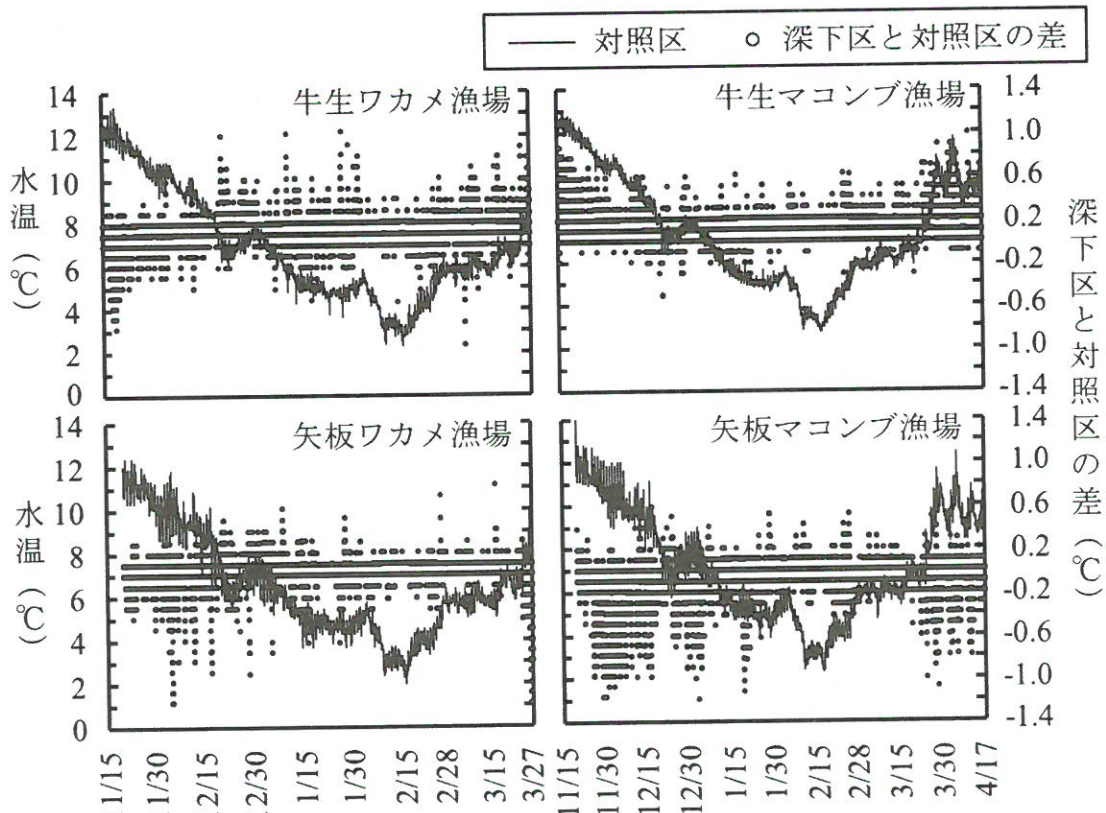


図7 データロガーで測定したワカメ・マコンプの対照区の水温と、深下区と対照区の水温の差の推移。差は深下区の水温から対照区の水温を減じて求めた

考察

宮城県における養殖ワカメの成長について、黒木・秋山³⁾によれば、松島湾産ワカメから採苗して宮城県女川湾において養殖したワカメが3、4月に最大で長さ290cm、鬼頭ら⁴⁾によれば、松島湾産ワカメから採苗して宮城県鮫浦湾において養殖したワカメが3月までに最大で全長およそ190cm、乾重量（孢子葉を除く）およそ30gとなっている。また、三枝ら⁵⁾による長崎県対馬系種苗を用いた宮城県気仙沼湾における継代養殖試験によれば3月までに全長は最大で78.2～181.8cmとなっている。本報告で行った調査では、ワカメは3月に牛生漁場で全長234.1cm、矢板漁場で240.6cmとなり、最も大きい個体では350cm以上と、上記報告と同程度か大きい。これまで松島湾における養殖ワカメの大きさについて詳細な知見はなく、本調査によって、枯死・脱落に至るような病障害が発生しなかった場合の全長・湿重量が明らかになった。

一方、宮城県における養殖マコンプの成長については、Li et al.⁶⁾が北海道尾札部産マコンプ種苗を用い松島湾に

において養殖試験を行っており、葉長は4月に376.2cmに達した後次第に減少して7月に285.1cmとなった一方、乾重量は試験開始時から増加し続け7月に最大の112.8gとなったと報告している。本報告における調査においては、マコンプの葉長については、1月下旬以降ほぼ横ばいであり4月には、牛生漁場で301.4cm、矢板漁場で324.8cmとなっており、湿重量については継続して増加し続けた。しかし、調査終了後の4月下旬から、葉体の先端部・縁辺部から穴があき、症状の進んだものでは葉体全体が流失する障害がコンブ養殖漁場全域で発生し、5月にはほとんど収穫できない状態となった（漁業者より聞き取り）。このときの漁場の環境の特徴としては、4月10日から26日の水温の急上昇が認められるが、因果関係は明らかではない。漁業者によれば、養殖コンブ類の収穫は病障害の発生がなければ6月～7月頃まで続くことから、本調査で計測された湿重量については、収穫の平均的なサイズよりも小さかったと考えられる。

牛生漁場と矢板漁場のワカメ・マコンプの成長を比較すると、全長については、時期によっては有意な差があったものの、ワカメ・マコンプともに全体としてどちら

かの漁場でより大きくなる傾向は認められなかった。一方で、湿重量については、ワカメ・マコンブとも牛生漁場で矢板漁場を上回る傾向が認められた。両漁場の環境条件を比較すると、栄養塩濃度が牛生漁場で矢板漁場より高い傾向が認められた。これは漁場の松島湾の西側を南北に流れる貞山運河によって陸域から栄養塩の供給があるためと考えられ、この傾向は宮城県水産技術総合センターによる「松島湾水質調査結果（毎年2, 4, 6, 8, 10, 12月に実施）」にも例年認められる。松島湾のワカメ・マコンブ類漁業者は、経験的にワカメ・マコンブ類の成長のよい牛生漁場を主漁場としており、マコンブ類養殖施設については牛生漁場に集中させている。以上のことから、牛生漁場においては、矢板漁場より栄養塩に恵まれたために湿重量が矢板漁場を上回っていたと考えられる。

一方、同一漁場内で、対照区・深下区・低密度区を比較すると、対照区と比較してワカメでは低密度区で、マコンブでは深下区で、湿重量が最も大きくなり、ワカメについては牛生漁場において対照区との間で有意差が認められたことから、松島湾における養殖ワカメの収穫時の重量は、施設間隔を広げたり、漁場の施設台数を減らしたりする方法により現状よりも低密度で養殖することによって増加させることが可能であると考えられる。一方で、本調査期間中には、ワカメ、マコンブともに、通常の施設間隔、垂下水深で養殖を行った対照区についても、2013年1～3月に発生したような色調不良、穴あきなどの障害による枯死・脱落が発生しなかったことから、低密度や垂下水深を深くする養殖方法でこれらの病障害の発生を防ぐことができるかは明らかにならなかった。調査期間中に枯死・脱落が発生しなかった要因としては、2013年に枯死・脱落の要因と推定された低水温状態が2013年ほど長期間には及ばなかったことや、漁場全体のワカメ・マコンブ類養殖施設の台数が2013年と比較して推定で2割程度減少し養殖密度が低くなったと思われる（両漁協からの行使台数の概数の聞き取り結果による）ことが関係しているかもしれない。

以上より、松島湾において養殖されているワカメの葉長、湿重量が明らかになったことから、今後も継続して

同様の知見を積み上げることで、収穫のタイミングを計る上で、また、生育状態の良・不良を判断する指標として活用できると考えられる。しかし、2013年1～3月のワカメ・マコンブの枯死・脱落及び2014年4月下旬以降のマコンブの枯死・脱落の発生原因については不明であるため、今後も漁場における水温・栄養塩の環境条件と、養殖ワカメ・マコンブの病障害発生状況や成長についてデータを蓄積していく必要がある。

要 約

宮城県松島湾内の2漁場において、2013年11月から2014年4月に、垂下水深と施設間隔を変えてワカメ・マコンブを養殖し、全長、湿重量、漁場の水温・栄養塩濃度を測定した。ワカメ対照区の全長・湿重量は、3月に、牛生漁場で平均234.1cm, 765.1g, 矢板漁場で平均240.6cm, 576.8gとなった。一方、マコンブ対照区の全長・湿重量は、4月に、牛生漁場で平均301.4cm, 325.4g, 矢板漁場で324.8cm, 306.8gとなったが、4月下旬以降穴あき症状により枯死・脱落した。牛生漁場では矢板漁場より栄養塩濃度が高く、ワカメ・マコンブともに湿重量が大きい傾向が認められた。対照区と比較してワカメでは低密度区で、マコンブでは深下区で、湿重量が最も大きくなり、ワカメについては対照区との間で有意差が認められた。

謝 辞

本調査の実施にあたり、試験養殖施設の設置及び維持管理をしていただき、終始貴重なご助言をいただきました宮城県漁業協同組合塩釜第一支所伊勢修夫様、塩釜市漁業協同組合熱海郁夫様、並びに調査にご協力いただきました両漁協ワカメ・マコンブ養殖業者の皆様には厚くお礼申し上げます。また、貴重な漁場を試験養殖施設のために提供していただくとともに、生産量等データの収集にご協力いただきました宮城県漁業協同組合塩釜市第一支所および塩釜市漁業協同組合の皆様には心から感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 平成元年～平成23年 塩竈の水産. 平成2～24年, 塩竈市.
- 2) 東北ブロック沿岸水温速報ホームページ <http://tohokubuoyonet.myg.affrc.go.jp/Vdate/Main.aspx>
- 3) 黒木宗尚・秋山和夫 (1957) ワカメの生態及び養殖に関する研究. 東北水研研報, **10**, 95-117.
- 4) 鬼頭釣・谷口和也・秋山和夫 (1981) ワカメの形態変異について II. 松島湾産 2 型を母藻とする養殖個体の形態比較. 東北水研研報, **42**, 11-18.
- 5) 三枝美穂・熊野芳明・塚田輝夫 (2009) 気仙沼湾で継代養殖した対馬系ワカメ6世代の生長と形態特性. 宮城水産研報, **9**, 25-32.
- 6) Li, J., Y. Murauchi, M. Ichinomiya, Y. Agatsuma and K. Taniguchi (2007) Seasonal changes in photosynthesis and nutrient uptake in *Laminaria japonica* (Laminariaceae; Phaeophyta). *Aquaculture Sci.*, **55**(4), 587-597.