

ワカメ養殖雑話

所長 團 昭紀

Key word ; ワカメ, ワカメ養殖, 採苗, ワカメの形態, 末枯れ

ワカメ養殖は昭和 30 年代頃から始まり、現在ではその技術は出来上がったものと言えるでしょう。このため、現在の水産研究所では品種改良の研究が主体であり、養殖技術の研究は、ほとんど行っておりません。しかし、「春の採苗作業」や「陸上水槽の管理」など、意外と知っているようで知らなかったりすることも多いものです。筆者もよく分かっていない一人かも知れず、反省の意味を込め、過去の文献など紐解き、新しい知見も加味し、自らの知識を検証してみることにしました。

「水研だより」は、一般向けの内容であることを一つの編集方針としていますが、今回はワカメ養殖のプロの方々に焦点を当て書きましたので、専門用語を少し使わせていただきました。また、「末枯れの話」と「色落ちの話」はコンブに関する研究から推論したものであり、ワカメでこのとおりであるとは断言できないものも含まれています。しかし、養殖漁業者の皆様にとって示唆に富んだ話になるのではないかと思ひ書かせていただきました。

春の採苗作業の話

ワカメ養殖のまず第一の工程は春の採苗作業があります。ワカメの基部にできる生殖器官である胞子葉（「芽株」^{めかぶ}、「成実葉」^{せいじつよう}、「ミミ」とも呼ばれています）から放出される遊走子（胞子）^{ゆうそうし}を糸に付着させます。胞子葉は分厚いひだ状の葉が連なった形をしています。その中には遊走子が蓄えられている遊走子嚢^{ゆうそうしのう}という器官があります。胞子葉の表面は粘塊で被われており、遊走子嚢は胞子葉の表面には直接露出していません。このため、遊走子は粘塊を通り抜けて海中へ放出されることになり、同時に粘液も出てきます。

遊走子は 1000 分の 4mm 程度と非常に小さいものです。2 本の鞭毛^{べんもう}を持って泳ぎますが、水温が高いほど泳ぐ時間は短くなり、低いほど長くなります。20℃ で 1 時間程度泳ぎますから、5 月の連休明けの晴天の日だと 30 分～1 時間で泳ぎを止め、近くの糸に鞭毛をからませて付着します。

具体的な採苗の手順としては、まず、海水の入った容器に成実葉を入れます。遊走子は明るい方向に向かって泳ぎますので、茶色い粘液の混じった遊走子が雲のように放出されるのが肉眼で見ることが出来ます。ここで注意するのは、粘液は遊走子を捕まえ、糸に付着するのを妨害するので、採苗作業のコツは、なるべく静かに遊走子を放出させるということです。成実葉をナイフでスライスしたり、成実葉の入った水槽の上から長靴で踏むなどの行為は、粘液を増加させたり珪藻やドロなどを巻き上げますので、やめた方がよいと思います。次に、海水をできるだけ静かに別の容器に移します。この時、海水は容器の 2/3～1/2 だけ移します。容器の底には付着珪藻も沈殿していますので、決して底水まで移さないことです。布かプランクトンネットを通してやることで、遊走子だけを得ることが出来ます。次に、新しい海水で薄め、適当な遊走子の濃度に調整した後、糸を入れて採苗します。遊走子は想像以上に多く放出されているので遊走子液が茶色でなければ安心で

きないという人も思い切って薄めに採苗することで、珪藻がほとんど着いていない美しい種糸ができると思います。

種苗の水槽管理の話（春～夏）

糸に付着した遊走子は、細胞分裂を繰り返して生長していきます。これを配偶体と呼びます。配偶体の生長は 17～20℃ が最も良く、その後も生長は続きますが 25℃以上になると止まります。この時、細胞は球状になり細胞膜も厚くなり休眠に備えた体になっていきます。採苗後は初夏までに、できるだけ配偶体を育てなければなりません。芽胞体がほうたいが一部見られる程度まで生長させた後、伏せ込み（減光）をすればちょうど良いのではないのでしょうか。しかし、事情があって配偶体を生長させる時間がなかったり、生長が悪かったとしても、それほど深刻な問題ではないと思います。たとえ 1 細胞であっても秋には卵や精子を作り受精して芽胞体になりますので心配いりません。

ワカメの一生のうちでも配偶体は環境の変化に対し最も丈夫な時期です。飽和蒸気（湿度 100%）中で長時間空中に露出させても生存しています。例えば、休眠状態となった配偶体が着生している種糸をビニール袋に収容し密封します。これを冷蔵庫などに入れ、低温で保管することで夏期の水槽管理の代わりにすることもできます。夏場の高水温により配偶体が死亡する心配もなくなり安全な管理ができるでしょう。

種苗の水槽管理の話（秋）

盆が過ぎ気温が下がってきますが、水槽の平均水温が 23℃ を下回ると配偶体は休眠状態から目覚めます。配偶体は水温が低下すること、日長が短くなること、水槽を被う簾などを順次取り外し光りを入れることが刺激となって、成熟（卵と精子を作ること）してきます。配偶体は糸状の細胞の集まりですが、端の細胞の中に大きな球状の卵が形成され、そこへ精子が泳ぎ着き受精します。受精卵は細胞分裂を繰り返し、いわゆる陸上植物の発芽にあたる芽胞体へと変化します。将来ワカメの基部になる細胞が仮根かこんという陸上植物の根のような形をした細胞に分化し、糸に着生します。通常、卵は配偶体にくっついていますが、何かの拍子に配偶体から落下することがあります。しかし、落下した卵も発芽し仮根で糸に固着します。さらに、0.8～1.0cm の幼葉に生長すると繊維状根という大人のワカメと同じ根ができますので、養殖開始時の種付けに用いる種苗は糸から脱落することはありません。よくフリー配偶体からの種苗（いわゆるバイオ種）は養殖中に落下すると言われますが、受精卵は発芽して仮根で固着するので、通常の種苗生産による種苗と何ら変わることはありません。落下するという話は、誤った先入観に基づいたものです。

水槽の水替えは必要なのでしょうか？水替えはワカメが発芽し、幼葉まで生長するのに必要な栄養を補給するために行いますが、やり方によってはマイナスの効果となることもあります。水槽管理でやっかいなのは付着珪藻です。持ち込まれた種糸を検鏡すると幼葉みたいな形をした茶色の塊が見えることがあります。種糸を持ち込んだ人は、やっとワカメが見つかったと喜んでいますが、糸を水道水でよく洗ってやると、糸のケバに珪藻が群がっているものを見誤ったものでした。付着珪藻は遊泳力がなく水槽の底に沈んでいるのですが、水替え作業で水とともに巻き上がって種糸にくっつき繁殖することもあります。また、交換した生海水に混じって侵入するかも知れません。むしろ水替えせずに栄養補給は栄養剤を添加するだけが良いと思います。市販のノリ糸状体培養用栄養剤は比較的安価で使い易いです。また、珪藻防除効果も期待できる商品もあります。ただし、光が強すぎると、栄養剤を入れた後、アオサなどの緑藻が大発生することもあるので使い方に注意が必要です。

仮沖出しの話

ワカメ養殖が始まって半世紀、既に出来上がった技術といっても地球温暖化による海水温上昇に対応した技術はないのが現状です。高水温化の影響を受けて、仮沖だし、それに続く養殖開始の時期がどんどん遅くなっています。

鳴門地方では海水温 23℃ が仮沖だしの目安ですが、北方系ワカメの性質を受け継ぐ^{おくて}晩生種は失敗することも多いようです。三陸地方で種苗作りの名人と言われる人の話を聞いたことがあるのですが、「芽落ちするのは芽が出ている状態を出すから落ちるのであり、初めから芽が出ていなければ落ちようがない。7~8 細胞程度（芽胞体）で出せば、海に馴致したものが生き残り、その後の生長は環境に馴致された芽のみが育つ。大芽でだせば環境への順応が充分でなく、落ちやすい」とのことでした。これこそ「目からウロコ」の話でした。筆者は、気温の低下に伴い低水温が早く得られる陸上水槽の利点を生かして、できるだけ大きな芽に育ててから海で仮養殖すべきだと思っていました。付着珪藻などに負けない大芽ほどその後の生長がよいと思いこんでいましたが、環境順応力の話は頭から抜け落ちていました。そこで、「そのような小さな段階で海に出したら雑藻だらけになりませんか。」と問いますと、ポリ袋によるマルチングをしているとのことでした。マルチングは昭和 34 年に熊本水試が考案した方法ですが、こんな方法もあるのかという思いでした。筆者はやったことがないのですが、やる気のある方はどうでしょうか。

ワカメの形態の話

ワカメの形を知っていますか？恐らく、1 枚 1 枚の葉片を先まで拵げて観察した人は少ないと思います。簡単に説明しますと、根があって、その上に孢子葉ができ、茎が上に向かって伸びています。その茎から横方向に、たくさんの葉片が左右対称に伸びていますが、この葉片を裂葉と呼びます。

産地によりワカメの形は違っています。大きく分けて三陸地方に産する「ナンブワカメ」とそれ以外で主に南方に分布する「ワカメ」の 2 型に分けられます。これに「ナルトワカメ」を加えた 3 型に分類することもあります。しかし、ナルトワカメは昭和 50 年代からナンブワカメ種苗の移植が盛んになり、自然交配が進むことで、もはや純粋なものは残っていないのではないのでしょうか。

ナンブワカメは大型になり、茎は長く裂葉の数が少ないという特徴があります。また、葉は皺が少なく、肉厚です。ワカメは、ナンブワカメに比べて小型であり、茎は短く裂葉数は多いです。また、葉は皺が多く薄いです。しかし、全国各地にはこれらの中間型や移行型の特徴を持つものもあつたり、同一産地でも漁場環境、例えば流れの速いところと遅いところ、湾口と湾外でも違う形態となります。さらに、鹿児島などに産する南方系天然ワカメでは孢子葉がコーン状（とうもろこしの形に似る）となつたり、葉にざらつき感がある別種のヒロメやアラメに葉質が似てくることがあります。いずれにしてもワカメの形態は遺伝的要素だけでなく環境の要素、さらには養殖ワカメであれば漁業者の技術（例えば種苗の植え付け密度、養殖水深などの違い）により大きく変化することは確かです。

ワカメの生長の話

ワカメの生長水温は 6~15℃ が良好とされていますが、20℃ までは生長します。鳴門地方の水温は 15℃ を下回る時期は 12 月中旬から 5 月上旬までであり、20℃ になるのは 6 月末であるため生理的には結構遅くまでワカメは生存できることとなります。ただし、水温が高くなるとどうしても末枯れ量が生長量よりも大きくなるため、見かけ上はどんどん短くなります。実質上は 5 月上旬がワカメ養殖の終わりということになります。筆者が過去に生長量を測定したところ（ワカメ葉体に穴を開け移動距離を測定する方法）、4 月の末でも晩生ワカメでは 1 日に 0.3~1cm 伸びていました。

3~5cm の小さい芽の時期はやや高温の 15℃ 付近で生長が良く、10℃ を切ると非常に悪くなります。10℃を下回るのが 1 月下旬なので、この時期から養殖を開始すると、いつまでたってもワカメは大きくなれないということになります。現実には、このような遅い時期から養殖を開始する人はいないと思いますが、二期作を考えている場合は、遅くとも 1 月上旬あたりまでが二期作開始の限界ということになります。

三陸地方では最低水温が 6℃ を下回る時期があるため、低水温がワカメの生長期間を制限する要因となります。逆に、鳴門などの南方地方では高水温が制限要因として働きます。

各地の天然ワカメを鳴門で養殖すると、北方系ワカメは 3 月に最大の生長を示し、南方系ワカメは 1 月に最大の生長を示します。ワカメの形態形成（大人の姿になる）は葉長 70cm を越えるあたりで完成すると言われており、南方系ワカメは早く生長し早く成熟（孢子葉を形成する）します。2 月に入ると体内で栄養分を葉先から孢子葉へ移動させるため、末枯れが進みます。北方系ワカメは、高水温時には生長が遅いですが水温が低下する 2 月から生長量が大きくなります。これはワカメ自身が持つ遺伝的特性によるものと考えられます。

孢子葉は、本来、葉を作るはずの栄養分を奪って形成するので、孢子葉がなく可食部となる葉がりっぱなワカメを作り出すことができれば、人間にとり非常に都合のよいものと言えます。しかし、ワカメも子孫を残さなければならず、人間の都合ばかり言うておられません、まれに孢子葉が非常に小さなワカメがあるそうなので、見つけたときは、ぜひ研究所へご一報ください。

末枯れの話

ワカメの生長帯は葉体基部にあります。この部分は盛んに細胞分裂を行っている若い組織で構成されています。そして、新しくできた組織を上へ上へと押し上げていく生長様式であるので、先端部が最も古い組織となっております。末枯れは、この先端部の細胞内色素が分解することで白色となったり、組織が崩壊することで、容易に流出する現象です。ワカメでの末枯れの研究がないのでコンブについての研究を基に推測してみます。コンブは、環境中の栄養塩（主に窒素）の減少によって末枯れが引き起こされ、水温の上昇や日射量の増加などの物理的要因が直接の原因でないと報告されております。漁場環境の違いなどにより、そのまま当てはまるとは思えませんが、筆者の乏しい経験からもワカメについて同じようなことがあると思います。色落ちが発生している間（窒素量が非常に少ない環境条件下）は生長量よりも末枯れ量が大きくなり、葉体は生長するどころか逆に短くなっていきます。そして、海の栄養塩量が回復すると、葉の色も戻り、再び生長していきます。コンブでは外界から窒素を吸収できないときは体内にある窒素で補うという報告があります。葉体内でアミノ酸やアンモニアなど窒素化合物を融通しあう仕組みがあり、先端部で分解されたタンパク質は窒素化合物として基部へ輸送され、生長のための材料に使われるそうです。

色落ちの話

ワカメの葉は生きている時は、緑色のクロロフィル a という色素と赤色のフコキサンチンという色素が混じって褐色をしていますが、熱湯に浸すとフコキサンチンが黄色になり緑色のクロロフィル a が前面に出てきて緑色を呈します。色落ちが発生すると緑色の色素が減少することにより黄緑色となります。水産研究所ではイネの葉のクロロフィル量を簡易的に測定する器具を用いてワカメのクロロフィル a 量を SPAD 値として測定し、色落ちの研究に使っています。ワカメ葉体全部を測定してみますと、若い細胞が多い葉体基部の生長帯や茎に沿った部分が SPAD 値が低い結果となりました。なぜ若い細胞組織がクロロ

フィル量が少ないのかはよく分かりませんが、生長が盛んな組織では光合成による同化作用よりも生長を優先させているためかもしれません。いずれにしても、生長が盛んな組織以外で作られた同化物質や色素成分が生長盛んな組織へと体内で輸送されているのだと考えられます。経験的に DIN（海水に溶けている窒素量）が $2\mu\text{mol/L}$ 以下になると、1 週間以内に色落ちが発生すると言われていています。このことは、ワカメ藻体内で窒素化合物や色素成分を融通しても 1 週間程度が限界だということでないでしょうか。ちなみに実験的に SPAD 値が 0 近くになった葉体でも栄養環境を回復させてやると再び SPAD 値が上昇し、葉体の生長も回復しますので、たとえ色落ちが発生しても環境が改善されれば回復します。色落ちの発生時期と種の種類によっては、あきらめずに待てば収穫できると思います。

参考文献

- 斎藤雄之助, 1904: ワカメの増殖に関する基礎的研究. 東大水産実験所業績, 3, 102.
水田浩之, 1999: コンブの末枯れは如何にして起こるか. 海苔と海藻, 58, 12-18.