

海藻の陸上養殖事業化に向けて

キーワード：海藻類、陸上養殖、アオサ類、アカバギンナンソウ、オゴノリ

はじめに

2020年における国内の海藻養殖業および採藻業は、年間約1,488億円の生産額を上げており、日本の漁業生産額全体の約10%を占める重要な漁業です(図1)¹⁾。日本では海苔や昆布、若芽、もずく、青海苔など、多くの海藻類が食材として利用され、日々の食卓にあがっています。また、海藻類にはアガロースやカラギーナン、アルギン酸などの有用成分が含まれており、食品添加物や医薬品の原料、農業用の肥料など、様々な形で利用されてきました。近年、国内の生産量は減少しており(図1)、アマノリ類やワカメの養殖では高水温化や貧栄養、植食性動物による食害など、海洋環境の変化に起因すると考えられる不漁が報告されています。北海道においても、道南海域の天然コンブが急減しているほか、同海域で行われているコンブ養殖でも沖出し直後の生育不良や芽落ちなどが頻発するようになっており、深刻な問題となっています。

国外ではこの20年の間に海藻類の生産量は3倍以上に増加しており、それらの利用が拡大しています²⁾。特に有用成分の原藻となるコンブ類やオキリンサイ類、オゴノリ類は、養殖による生産量が急増しています²⁾。また、近年は和食ブームや健康食品として注目されたことで、食材としての需要も高まっているようです。

こうした、海藻類の生産状況の変化や需要の拡大に合わせて、企業や市町村などから水産試験場

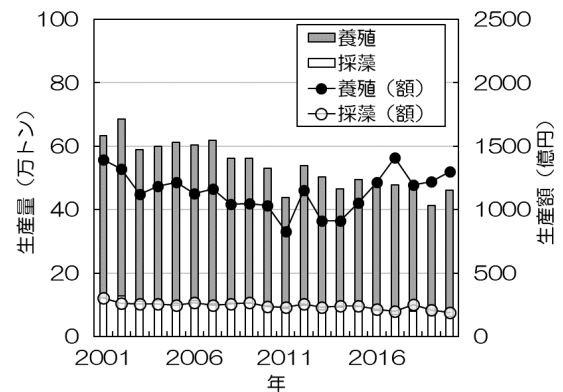


図1 国内の海藻類の生産量と生産額。
「海面漁業生産統計調査および漁業産出額」(農林水産省)を加工して作成

<https://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/kensaku/bunya6.html> (2022年11月7日閲覧)

への海藻類の生産に関する問い合わせが増えてきました。それらの内容は、海藻類の生産に関する要望以外に海藻養殖事業の技術支援の要請など、多岐にわたります。近年は特に陸上施設を利用した養殖や有機栽培に関する相談件数が急増しています。こうした状況を受け、稚内水産試験場では種々の海藻類について養殖技術の開発に取り組むとともに、養殖事業化に向けた技術支援を開始しました。現在は、企業や市町村と連携して陸上養殖試験に取り組んでいます。本稿では、道内で関心が高まっている海藻類の陸上養殖の現状と課題、現行の研究の進捗状況などを紹介します。

海藻類の陸上養殖

海藻類の陸上養殖は海面養殖に比べると事業化された事例は多くはありませんが、道外では沖縄

県でクビレズタ（通称：海ブドウ）、高知県などでスジアオノリ（通称：青海苔）が事業化され、大規模な養殖が行われています。その他、アマノリ類やマツモなど、試験的な取組も増加してきました。

ここで、海藻類を陸上で養殖する利点をいくつか紹介します。天然海域において、海藻類には季節的な消長が見られます。海藻にも野菜や果物のような旬があり、周年採集できるわけではありません。それは海面養殖においても同様であり、収穫時期は限られます。一方、陸上養殖は水温や照度、日長などが制御された環境下で育成できるため、周年生産することができます。また、天候の影響を受けないため、海面養殖や採藻業に比べて作業性がよく、安定した生産や均質な製品作りも可能です。北海道では海面養殖が可能な海域が限られているため、場所に制約がないこともひとつの利点として挙げられます。

このように陸上養殖にはいくつかの利点がある一方で課題もあります。陸上で海藻類を育成する場合、海水の汲み上げや濾過、照明装置、水温の調整にかかる光熱費のほか、培養液や濾過器具などの消耗品費、人件費などの生産コストが発生します。今のところは、高単価な海藻類を用いるか、一定の設備のもとで大量生産しない限りは、生産コストに見合った収益を得ることは難しい状況です。これが陸上養殖の事業化が進まない、ひとつの理由と考えられます。従って、まずは生産効率が良く、高単価かつ市場性のある海藻類を選択することが必須となります。また、生産コストの大部分を占める、海水の調温や製品の乾燥にかかる光熱費を最小限に抑えた養殖手法を開発することが、事業化の鍵になります。

陸上養殖の対象となる海藻類の探索

北海道沿岸には、コンブ類以外にも多数の有用海藻が生育しています³⁾。稚内水産試験場で陸上養殖に関する研究課題が開始された当初、宗谷地方沿岸から約20種が採集され、養殖試験に用いる種の選定が行われました。生長が速く、寒冷地での養殖を想定して低水温下でも育成可能であり、また胞子を介さずに葉状部や茎状部、付着器などの栄養器官から無性的に繁殖する能力(栄養繁殖)を有する種が検討された結果、アオサ類（アオサやアオノリを含む）やアカバギンナンソウ、オゴノリが候補にあげられました。

そこで、これら3種類の海藻について様々な条件下で培養試験を行い、養殖対象種としての適性を評価しました。次項では試験の概要を紹介します。

陸上養殖対象種としての適性評価

・アオサ類

前述にあるように、道外では既にアオノリ類の陸上養殖が行われており、いくつかの企業が事業展開し、大規模な施設を利用してスジアオノリが養殖されています。本種は高級なアオノリとして知られ、令和元年には価格が4万円/kg以上に高騰したことが報告されています⁴⁾。道内でも事業に関心を持つ企業や市町村が試験的な生産を開始しています（写真1）。

現在、稚内水産試験場では道内10地点から採集したウスバアオノリ、スジアオノリ、ヒラアオノリなど、アオサ類6種（不明種1種を含む）16株を保存しています。培養試験開始当初は、主にスジアオノリを用いていましたが、種苗育成開始から収穫まで2～3週間程度要するため、現在は別の種類を利用しています。現行の試験で用いている株は、スジアオノリに比べて生産効率がよく、



写真1 アオノリ類の陸上養殖試験

種苗を大型の水槽に移してから1週間で10倍程度の重量に増加します。また、17.8～23.1℃の比較的高水温下でもよく生長することが確認できており、スジアオノリとは異なる温度特性を持つことが示されています。8～9月や12～3月は気温の影響で、アオサ類の生産が低調になるため、今のところ、これらの期間は冷却器やヒーターに頼らざるを得ません。そのため、温度特性の異なるいくつかの株を組み合わせる使用することや、高水温または低水温下でも生長可能な株を作出することなども検討し、調温に要するコストを低減するとともに周年生産できる技術開発を進めています。

・アカバギンナンソウ

アカバギンナンソウは北海道や本州北部太平洋岸に分布する紅藻で、同型の四分孢子体世代と配偶体世代が交代する生活史を持ちます(図2)⁵⁾。かつては漆喰に混ぜて使用されていたほか、北海道や青森県では食材としても利用されており、宗谷地方のギンナンソウ漁は冬季の重要な収入源になっています。これまで国内では発生初期の個体の培養試験は行われていましたが⁶⁻⁷⁾、その後の生育段階については試験が行われていませんでした。そこで、水温や塩分、照度が異なる条件下で培養し、生長率を比較し、効率的な育成条件を探索しました。以下では、水温に関する試験の概要

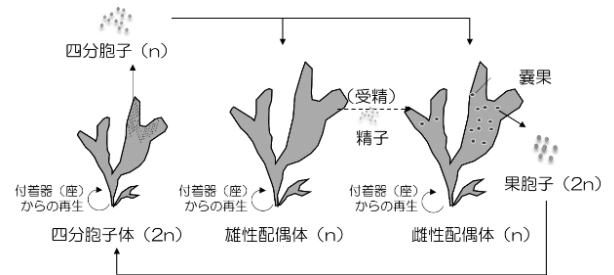


図2 アカバギンナンソウの生活史と繁殖様式。

四分孢子体 (2n) は四分孢子 (n) を放出します。それらが雄性または雌性の配偶体 (n) となり、前者から放出された精子が受精すると嚢果が形成されます。嚢果から放出された果胞子 (2n) が発芽したものが、次世代の四分孢子体 (2n) となります。

を紹介します。

材料のアカバギンナンソウの雌性配偶体および四分孢子体は、稚内市声問地先から採集しました。それらから果胞子と四分孢子を単離し、育成することで数ミリグラムの個体を得ました。それらの個体を用い、水温について5試験区：5、10、15、20、25℃を設定し、照度4klux、光周期12時間明期:12時間暗期 (12L:12D) の条件下、500 mLのProvasoli Enriched Seawater (以下、PES培地) を用いて通気培養しました⁸⁾。試験は4週間継続し、1週間毎に観察を行い、湿重量を測定して日間生長率 (%/day) を算出しました。

その結果、四分孢子体は、水温20℃でよく生長し、日間生長率は12.0 %/dayでした(図3)。それより高温の25℃や低温の5℃では著しく低下し、日間生長率はおよそ7 %/dayにとどまりました。配偶体は10℃や15℃で生長がよく、日間生長率はそれぞれ9.3および9.5 %/dayでした。なお、四分孢子体世代と配偶体世代、各世代の個体とも培養環境下で成熟させることが可能であり、また付着器さえ残しておけば、再生して新しい葉状部が形成されるため(図2)、種苗生産や株の保存は容易でした。

以上のように、アカバギンナンソウを陸上施設で養殖することは可能でしたが、生産効率が悪い

こと、国内では知名度が低く、市場規模が小さいことから、本種は陸上養殖には適さないと判断されました。現在は、種苗生産技術を活用して海面養殖または増殖事業への展開を検討しています。

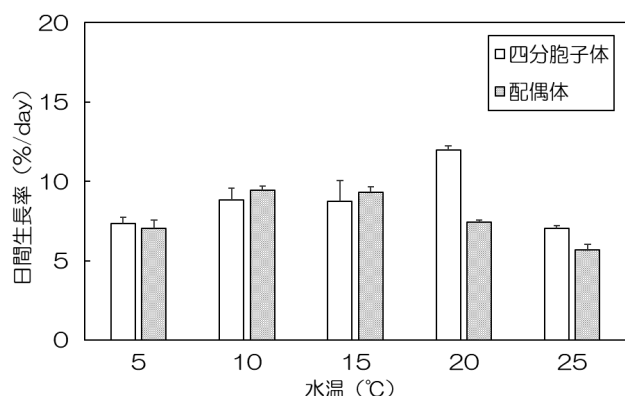


図3 アカバギンナンソウ四分胞子体および配偶体の生長に及ぼす水温の影響。
エラーバーは標準偏差を示す

・オゴノリ

オゴノリは寒天の原料に利用され、海外では陸上養殖も行われています。国内で寒天原藻と言え、テングサ類なのでオゴノリはあまり馴染みがないかもしれませんが、本種は北海道沿岸にも広く分布していますが⁵⁾、現在はほとんど利用されていません。本種についても、アカバギンナンソウと同様の培養試験を行い、効率的な育成条件を検討し、事業性を評価しました。

材料のオゴノリは網走市二ツ岩地先から採集しました。先述のアカバギンナンソウと同様に四分胞子体を作成し、それらの側枝先端部2cmを切り取り、その切片を培養試験に用いました。水温試験は10～24℃まで2℃ずつ変化させた8試験区、照度試験は4、6、12 kluxの3試験区を設定しました。水温の試験区では照度は4 klux、照度の試験区では水温は20℃としました。また、その他の条件は試験区間で統一し、光周期は12L:12D、培養液には500 mLのPES培地を用い、通気培養

としました。観察や測定は、前項のアカバギンナンソウと同様の方法で行いました。

その結果、四分胞子体の日間生長率は水温20℃で最も高く、試験終了時の湿重量は他の水温に比べて有意に大きくなりました(図4)。20℃以下では、水温が低くなるにつれて日間生長率は低下する傾向が見られました。また、高照度ほど日間生長率は高くなる傾向が見られ、12 kluxでは日間生長率26.2%/dayに達しました。種苗は、四分胞子体を水温20～24℃で2週間程度培養して成熟させ、その藻体から得られる四分胞子を用いることで、効率よく生産することができました。

オゴノリは、生産効率は良いものの、低単価であるために現状のままでは採算が合わず、事業性が見通しが立たない状況です。道内にはオゴノリ類以外にもテングサ類などの寒天原藻が生育しています。それらはオゴノリに比べて高値で取引されているので、今後はそちらも併用するなどして事業化を検討する予定です。

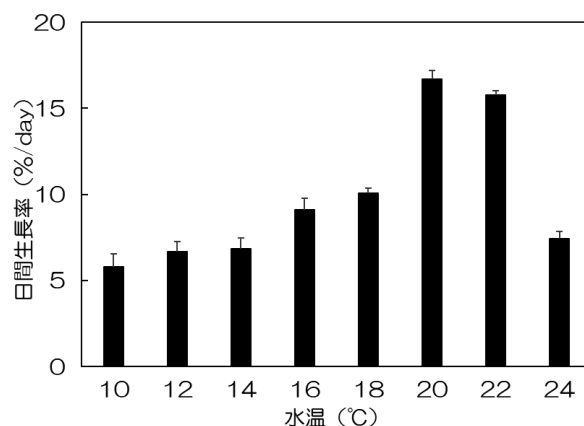


図4 オゴノリ四分胞子体の生長に及ぼす水温の影響。
エラーバーは標準偏差を示している。
※試験に用いた個体が成熟していたため、日間生長率は低めの値となった

おわりに

今回、海藻類の陸上養殖事業化に向け、アオサ類やアカバギンナンソウ、オゴノリについての培養試験の経過を紹介しました。いずれの種も育成

手法は確立できましたが、この中で事業化の可能性が高いのはアオサ類のみでした。しかし、アオサ類についても、今の高単価が続くとは限りませんので、価格の変動に備えて生産効率の向上や生産コストの削減を図る必要があります。オゴノリやアカバギンナンソウのように低単価または生産効率の観点から、現状では陸上養殖事業化が困難と判断された種については、有機藻類JAS⁹⁾を利用するなど、新しい製品づくりと新市場の開拓による付加価値向上を図り、低単価の問題を解決した後、改めて陸上養殖事業化の能否を判断したいと考えています。

近年、北海道における漁業生産量はサンマ、スルメイカなどの主要な魚種の減産によって低い水準で推移しています¹⁰⁾。また、コンブ類では海洋環境の変化に起因すると考えられる群落の衰退が見られています。今後、天然資源に依存しない養殖業への関心は一層高まることが予想されます。そのほか、道内の漁業就労者数は減少傾向にあり、高齢化も進んでいることで、労働力不足も深刻な問題になっています。高齢かつ少人数では大規模な海面養殖は困難であり、将来的には労力をかけずに安定した収入が得られる養殖業が求められると考えられます。海藻類の陸上養殖は、こうした問題を解決する糸口となると期待されています。

本研究が海藻類を活用した新たな産業の創出につながり、北海道の水産業の振興に貢献できるよう引き続き研究を進めていきます。

謝辞

試料の収集には留萌市役所農林水産課ならびに網走市役所農林水産部、網走、宗谷、胆振、檜山、ならびに根室地区の水産技術普及指導所にご協力いただきました。以上、関係者の方々に心より御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 農林水産省 (2004-2020) 平成17年～令和2年漁業・養殖業生産統計年報 (併載: 海面漁業生産統計調査, 漁業産出額). 農林水産省大臣官房統計部, 東京.
- 2) Ferdouse F, Holdt SL, Smith R, Murúa P, Yang Z (2018) The global status of seaweed production, trade and utilization. Globefish Research Programme, 124:I.
- 3) 名畑進一 (2001) 北海道有用海藻とその生産状況, 根室水産海洋研究年報第4号.
- 4) 滝本真一 (2020) スジアオノリの陸上養殖に挑戦, 愛媛県農林水産研究所水産研究センター・栽培資源研究所水研センターだより12号: 8-9.
- 5) 吉田忠生 (1998) 新日本海藻誌: 日本産海藻 類総覧. 内田老鶴圃, 東京, 692 pp.
- 6) 木下虎一郎 (1949) 北海道浅海水族の増殖に関する研究 其の2 ノリ・テングサ・フノ及びギンナンソウの増殖に関する研究, 北方出版社, 札幌.
- 7) 小河久朗 (1985) 海藻の初期発生におよぼす温度と塩分濃度の影響-1-アカバギンナンソウの果胞子発芽. 藻類, 33 (1): p45-50.
- 8) Andersen RA (2005) Algal culturing techniques. Academic press. 56 (12): 2045-2051.
- 9) 前田高志 (2021) 有機藻類JASとその利用に向けて, 試験研究は今No.944
- 10) 北海道水産林務部総務課 (2022) 2022北海道水産業・漁村のすがた 北海道水産白書. 北海道, 札幌.

(前田高志 稚内水試調査研究部

報文番号B2471)