

## 兵庫県明石海峡周辺のノリ漁場における二毛作に向けたワカメ養殖試験

二羽恭介

兵庫県立農林水産技術総合センター水産技術センター (〒 674-0093 兵庫県明石市二見町南二見 22-2)

Kyosuke Niwa\*: Experimental cultivation of *Undaria pinnatifida* for double cropping in *Pyropia* farms around the Akashi Strait, Hyogo Prefecture. Jpn. J. Phycol. (Sôru) 63: 90-97, July 10, 2015

This study examined the possibility of double cropping by introducing *Undaria pinnatifida* (wakame) after *Pyropia* (nori) cultivation in the sea around the Akashi Strait of Hyogo Prefecture, because bleaching of *Pyropia* blades has recently caused extensive economic damage to nori cultivators in the late harvest season. To enable the start of *Undaria* cultivation for double cropping by two months late, free-living male and female gametophyte cultures were established respectively from a single zoospore discharged from mature sporophytes, and were kept in an incubator under controlled conditions. The mature gametophytes were mixed, cut into pieces and attached onto strings wound around collectors to obtain fertilized eggs. Germlings (juvenile sporophytes) on the strings were cultured in 20 L indoor water tanks from late November to late December, and moved to nursery cultivation in the sea from late December to late January. The growing juveniles were cultivated in the floating cultivation facility in the *Pyropia* farm from late January. In spite of the delayed start, large sporophytes of av. 177 cm in length (without sporophyll and holdfast) were harvested in mid April. In addition, *Undaria* sporophytes were confirmed to be tolerant to bleaching by low dissolved inorganic nitrogen (DIN) concentration as compared with *Pyropia* blades. Thus, the double cropping with *Undaria* in the *Pyropia* farms can be a candidate to reduce economic damage in the late period of *Pyropia* cultivation.

*Key Index Words:* cultivation, double cropping, *Pyropia yezoensis*, seedling, *Undaria pinnatifida*

Fisheries Technology Institute, Hyogo Prefectural Technology Center for Agriculture, Forestry and Fisheries, Akashi, Hyogo 674-0093, Japan

\*Author for correspondence: Kyosuke\_Niwa@pref.hyogo.lg.jp

### 緒言

日本で養殖されている食用海藻として、ノリ、ワカメ、コンブなどがよく知られている。農林水産省が公表した平成24年漁業生産額によると、これらの海藻のうち生産金額の第1位がノリ養殖(945億円)、第2位がワカメ養殖(97億円)、第3位がコンブ養殖(79億円)で、ノリとワカメは我が国で最も重要な有用海藻である([http://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/gyogyou\\_seigaku/index.html](http://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/gyogyou_seigaku/index.html))。ところが、近年、日本各地の海藻養殖漁場で、海水中のDIN(溶存無機態窒素)やDIP(溶存無機態リン)の減少により、特に養殖ノリの色落ちが年々深刻化し、ノリ生産者に大きな被害を与えている(渡辺ら2004, 石川ら2008, 西川2011, Niwa & Harada 2013, 小池・淵上2013)。ノリ養殖の盛んな瀬戸内海東部海域では、養殖ノリの色落ちが頻発する以前、秋から1月下旬頃までの前期生産(秋芽網生産)と、1月下旬から2月上旬に網を張り替えて春まで養殖する後期生産(冷凍網生産)の二期作が盛んに行われてきた。しかし、近年、特に年明け以降にDINが著しく減少するため養殖ノリの後期生産が行えず、二期作から一期作に移行するノリ漁場が増えており、色落ちによる品質低下とともにノリ漁期の短縮による生産減も生じている。このため、ノリ生産者からノリ養殖の収入減を補完するため、1月下旬以降から行える養殖漁業の導入が求められている。

一方、食用海藻のうち養殖ノリに次いで一定の需要がある

ワカメは、岩手県と宮城県の三陸沿岸海域とともに、徳島県と兵庫県が接する鳴門海峡周辺の海域でも秋から春にかけて盛んに養殖されている。近年、鳴門海峡周辺のワカメ養殖でも色落ち被害が生じているが、海水中のDIN濃度が低下してもワカメはノリに比べて色落ちしにくいことが知られている(中西・棚田2012)。また、ワカメ養殖はノリ養殖に比べて養殖管理や経費も少なく済むことから、ノリ養殖後期生産の代替としてワカメ養殖が考えられる。しかしながら、現状ではワカメは養殖ノリのような種苗の冷凍保存(三浦1992)ができないため、通常、ワカメ種苗ができる秋頃から収穫に向けたワカメの本養殖を始める必要がある。つまり、秋からのノリ養殖を行った後、1月後半から二毛作に向けたワカメ養殖を行うためには、大幅に時期を遅らせたワカメの種苗生産に取り組む必要がある。また、ワカメの種苗が作られても、ワカメは4月以降になると胞子体の先端から先枯れ(末枯れ)が顕著となるため(Yoshikawa *et al.* 2001)、養殖期間が通常に比べて短くなることが予想され、収穫サイズまでワカメが生長できるかどうかを確認する必要がある。

ワカメには大型に生長し我々が食する胞子体(2n)の時期と、微視的で雌雄異株の配偶体(n)の時期があり、これらが異世代交代を行う(館脇1993)。雌性配偶体と雄性配偶体は、胞子体下部に形成される胞子葉(メカブ)から放出された遊走子が基質に着生後、それぞれ発達してくる。一方、胞子体は、雄性配偶体から放出された精子と雌性配偶体に形

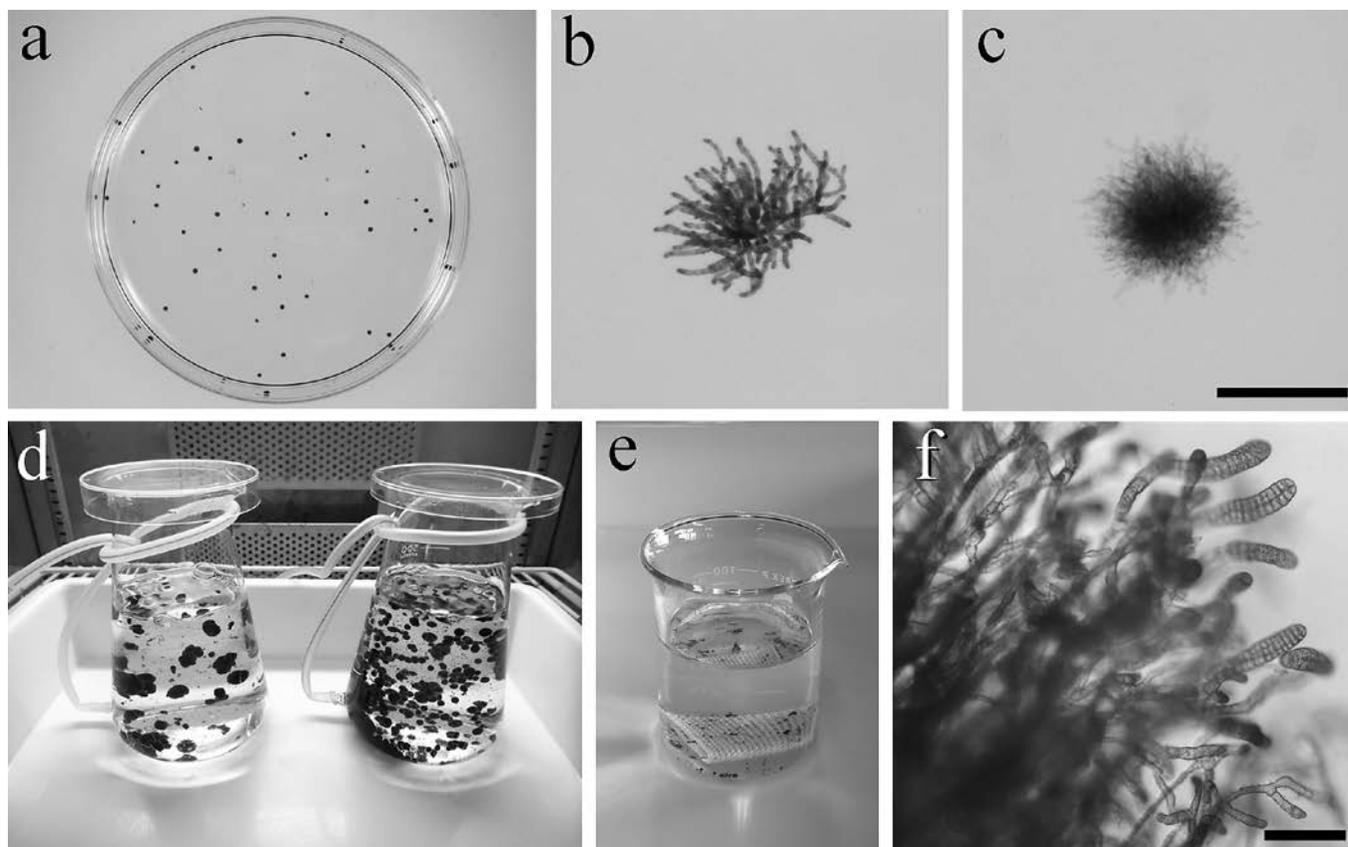


Fig. 1. Isolation and culture of male and female gametophytes for seedling production of *Undaria pinnatifida*. (a) Colonies of male and female gametophytes developed from zoospores after a month of culture. (b) A female gametophyte developed from a single zoospore. (c) A male gametophyte developed from a single zoospore. (d) Cultures of free-living female (left) and male (right) gametophytes. (e) 100 mL flask containing male and female gametophytes for testing sporophyte germination. (f) Germlings (sporophytes) developed from fertilized eggs on female gametophytes cultured for 8 days in the 100 mL flask. Scale bars: 400  $\mu$ m in (c) also applies to (b); 100  $\mu$ m in (f).

成された卵が受精し、この受精卵から発達してくる芽胞体がさらに分裂を繰り返して生長してくる。このようなワカメの生活史を活用して、通常、ワカメ養殖で行われている種苗生産（井伊 1964, 秋山 1992, 小河 2004）では、多数個体の胞子葉から放出させた遊走子を採苗器に着生させ、春から屋内水槽または海に採苗器を垂下し、着生した遊走子から配偶体に生長させている。水温が低下してきた秋口に、成熟した配偶体で受精が行われ、受精卵から芽胞体が発達してきたら、海で仮沖出しを行い、芽胞体を数 cm サイズの幼胞子体に生長させることにより種苗を生産している。この方法は大量にワカメ種苗を作ることはできるが、年に一度しか種苗生産が行えず、種苗生産の時期を調整することは難しい。一方、予め室内で胞子葉から 1 遊走子由来の雌性配偶体と雄性配偶体をそれぞれ別々に分離しておく、フラスコ内で基質に着生していない無基質配偶体（以下「フリー配偶体」と呼ぶ）の状態が長期間保存培養することができる。このようなフリー配偶体を使った種苗生産は、胞子葉から大量の遊走子を放出させて配偶体を得る通常の方法と異なり、一年に何度でも実施でき、本養殖を開始したい時期に合わせて短期間で種苗生産を行うことができる（秋山 1992, 團 2000, 小河 2004）。

このことから、フリー配偶体を使った種苗生産は、二毛作用のワカメ種苗を生産するうえで有用な種苗生産方法と考えられる。

本研究では、秋からノリ養殖を行った後にワカメ養殖を行う二毛作が可能であるか検討するため、フリー配偶体を使った種苗生産方法（新村 1982, 團 2000, 棚田・中西 2011）に、複数の採苗器を小型水槽に垂下しサーモスタットヒーターを使用するなど一部改良を加えて、11月下旬から実用化規模の種苗生産に取り組んだ。さらに、明石海峡周辺のノリ漁場において、1月下旬からワカメの本養殖を行い、4月中旬までに流通サイズの大型のワカメに生長するか確かめるための野外養殖試験を行ったので報告する。

## 材料と方法

### フリー配偶体の分離培養

本研究で用いたワカメのフリー配偶体は、兵庫県の瀬戸内海域に生育していたワカメ胞子体を用いて遊走子から分離培養したもので、兵庫県立農林水産技術総合センター水産技術センター（以下「水産技術センター」と呼ぶ）で保存培養していた株である。フリー配偶体の分離は團（2000）の方法

を参考に以下のとおり行った。採集した胞子体（胞子葉を形成した藻体）を水産技術センターに持ち帰り、藻体から胞子葉を切り取り、20°Cの暗所で一晚保存した。翌日、保存した胞子葉から1×1 cm程度の葉片を切り取り、滅菌海水入りのシャーレに入れ、筆を使って葉片の表面をよく洗浄した。新たに用意した滅菌海水入りシャーレと筆を使って、再度葉片を洗浄し、この作業を2回繰り返した。洗浄した葉片から遊走子を採取するため、葉片を滅菌海水入りシャーレに入れて、遊走子が放出されたのを顕微鏡で確認した後、マイクロピペットを用いて、遊走子を含む海水を2～10 μL程度吸い取った。吸い取った遊走子液は、NPM培地（愛知海苔協議会 1986, Niwa & Aruga 2003）の入ったシャーレに入れ、温度20°C、光強度40 μmol photons m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>、明暗周期12 hL:12 hDの条件下で1～2ヶ月間、静置培養を行った。シャーレに配偶体のコロニーが確認されたら（Fig. 1a）、実体顕微鏡下でピンセットを使って、1遊走子由来の雌性配偶体と雄性配偶体をそれぞれ分離した（Fig. 1b, c）。

分離したフリー配偶体を種苗生産に必要な量にまで増殖させるため、NPM培地を含む500 mLの枝付コニカルビーカーに雌雄配偶体を別々に入れて、上述の培養条件下で、2週間に1回培地交換しながら通気培養を行った（Fig. 1d）。増殖

させた雌性配偶体と雄性配偶体がそれぞれ生殖能力を有しているか確認するため、クレモナ糸（直径2 mm、左三ツ撚り）を巻き付けたスライドガラスの半片を、NPM培地入りの100 mLビーカーに入れ、メスで細断した雌性配偶体と雄性配偶体を混ぜて加え、受精して芽胞体が形成されるか確認（以下「芽胞体発芽試験」と呼ぶ）を行った。（Fig. 1e, f）。

#### 種苗生産と仮沖出し

芽胞体発芽試験で芽胞体が形成された雌性配偶体と雄性配偶体の組み合わせのうち、二毛作用ワカメ種苗の生産には、雌性配偶体は南あわじ市阿万産胞子体由来の株、雄性配偶体は明石市江井ヶ島産胞子体由来の株を用いた。雌性配偶体と雄性配偶体それぞれ1 g（湿重量）を200 mLの滅菌海水に混ぜて入れ、ミキサーで40秒程度細断し（Fig. 2a）、滅菌海水を加えて1 Lに調整した配偶体液を合計2 L用意した。採苗器の作製は、徳島県立農林水産総合技術支援センターで行われている手法を取り入れて、以下のとおり行った。まず、タネ糸用のクレモナ糸（上記と同じ規格品）は、糸に附着している油成分を取り除くため、沸騰させたお湯を入れた鍋に一晚浸け、その後よく乾燥させた。さらに、クレモナ糸に付いている毛羽を取り除くため、アルコールランプで炙ったもの



Fig. 2. Seedling production using free-living gametophytes of *Undaria pinnatifida*. (a) Cutting of free-living gametophytes using an electric mixer. (b) Attachment of cut gametophytes to collectors by using a paintbrush. (c) Attachment of cut gametophytes to collectors by soaking collectors in gametophyte suspension. (d) Culture of sporophyte germlings (seedlings) attached on collectors in two 20 L indoor water tanks. (e) Seed strings were detached from the collectors and rewound around metal frames for nursery cultivation in the sea.

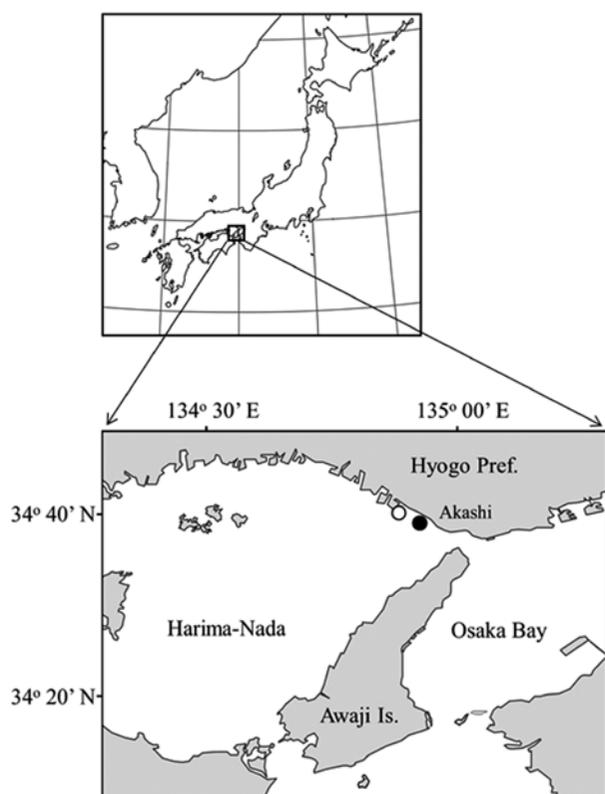


Fig. 3. Map showing the cultivation site (closed circle) around Akashi Strait, Seto Inland Sea. Open circle shows the measurement site for seawater temperature.

をタネ糸として用いた。このタネ糸を、台所用品として市販されている油切り用のステンレス網 (23×17 cm) に隙間が空かないよう巻き付け (棚田・中西 2011), 合計 10 個の採苗器を作製した。

小型水槽を使った種苗生産は、2013 年 11 月 20 日から 12 月 27 日まで、明石浦漁業協同組合の研究会会議室で行った。まず、用意した 10 個の採苗器に配偶体を付着させるため、配偶体液を刷毛で塗り付ける方法 (棚田・中西 2011) と、配偶体液を入れた平バット (30×20×5 cm) に採苗器を浸漬させる方法 (團 2000) の 2 通りで行った (Fig. 2b, c)。刷毛で塗り付ける方法では、1 L の配偶体液を使って刷毛で 5 個の採苗器に配偶体を付着させ、NPM 培地を入れた 20 L 水槽 (37×28×22 cm) に吊した。残った配偶体液は水槽に加えた。浸漬させる方法では、1 L の配偶体液を入れた平バットに 5 個の採苗器をそれぞれ上下反転させながら 2～3 秒ずつ浸漬させ、別に用意した NPM 培地入り 20 L 水槽に 5 個の採苗器を吊し、残った配偶体液は水槽に加えた。このように採苗器を吊した 2 個の水槽を、白色蛍光灯を取り付けた照明棚に置き、芽胞体を形成させるため、光強度  $80 \mu\text{mol photons m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 、明暗周期 12 hL : 12 hD の条件下で通気培養を行った (Fig. 2d)。なお、冬季に種苗生産を行ったため、水槽用サーモスタットヒーターを水槽に装着し 20°C に設定して水温低下を抑えた。また、その後は、培地交換のため、海から汲み上げた海水を鍋に入れて、ガスコンロを使って海水が沸騰し始める

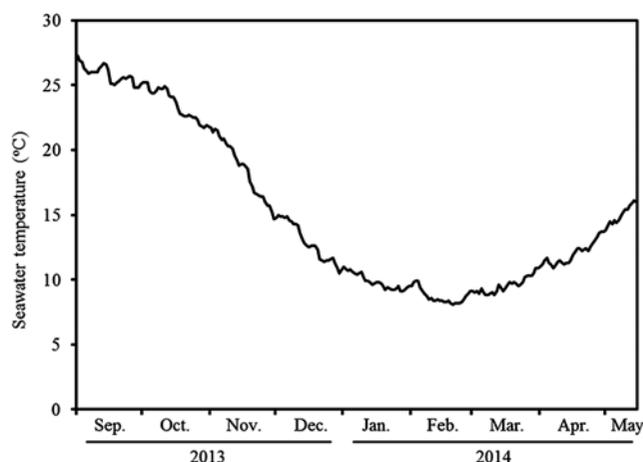


Fig. 4. Record of seawater temperature near the cultivation site.

まで温めてから冷し、NPM 培地をつくり、10 日に 1 回程度の間隔で交換した。

海に仮沖出しを行うため、12 月 27 日に採苗器からタネ糸を取り外した。仮沖出しの手法は徳島県立農林水産総合技術支援センターで行われている手法 (團 2000, 棚田・中西 2011) を取り入れて、ワカメ仮沖出し用の鳴門式種枠 (50×35 cm, 以下「タネ枠」と呼ぶ) にタネ糸を巻き直し、仮沖出し中に、枠に巻き付けたタネ糸の間隔がずれないように、タネ糸とタネ枠に細い糸を巻き付けた (Fig. 2e)。タネ枠には沈子と紐を取り付け、明石海峡に隣接した明石地区ノリ漁場 (Fig. 3) の浮流し式ノリ養殖施設 (水深 5～6 m 程度) に、水深 1.5 m の位置に垂下し、1 月 25 日まで養生した。

#### 本養殖

仮沖出し終了後、タネ枠を海から取り上げ、幼胞子体が着生しているタネ糸を約 4 cm 間隔で切断し、全長 30 m のワカメ用養殖ロープ (直径 1.2～1.4 cm) に 40～50 cm 間隔で挟み込んだ。この養殖ロープの両端を、明石地区ノリ漁場 (Fig. 3) のノリ網を撤去した浮流し式ノリ養殖施設に約 1.1 m 間隔で括り付け、2014 年 1 月 25 日から本養殖を開始した。なお、この間隔はノリ網 1 枚分の設置スペースに養殖ロープ 2 本を括り付けたことになる。本養殖期間中の 3 月 7 日と 4 月 15 日に、それぞれ生長の良い胞子体を 5 個体と 10 個体ずつ採取し、藻体の測定に用いた。養殖期間中の水温は、隣接する水産技術センター地先 (Fig. 3) に設置した自動観測装置で、午前 9 時に測定されたデータを用いた。

#### 結果

本研究では、1 遊走子由来の雌性配偶体と雄性配偶体を分離するため、シャーレに配偶体のコロニーを形成させた (Fig. 1a)。この時、シャーレに注入する遊走子量が多いと、配偶体のコロニーが重なり合って形成されるため、1 遊走子由来の配偶体を分離することが難しくなる。このため、シャーレを 5

Table 1. Measurements of *Undaria pinnatifida* sporophytes collected on March 7 and April 15, 2014. Average±SD.

	Sporophyte length (cm)	Blade length (cm)	Blade width (cm)
March 7, 2014 (n = 5)	55±7*	45±6	24±4
April 15, 2014 (n = 10)	177±22**	154±23	87±3

\*Total length, \*\*Length of the sporophyte without proximal parts after sporophyll and holdfast were removed for marketing.

個以上用意し、マイクロピペットで2～10  $\mu$ L程度の範囲で量を変えながら各シャーレに遊走子液を注入することにより、1遊走子由来の雌性配偶体と雄性配偶体を分離することができた (Fig. 1b, c)。分離培養した雌雄のフリー配偶体を100 mL ビーカーに混ぜて入れた芽胞体発芽試験を行ったところ、培養8日目までに雌性配偶体の先端に芽胞体の形成が確認された (Fig. 1f)。また、分離した配偶体によって、芽胞体が形成されにくい株もあったため、それらの株は種苗生産に用いなかった。

小型水槽を使った種苗生産では、刷毛を使う方法と、配偶体液に採苗器を浸漬する方法の2通りでタネ糸に雌性配偶体と雄性配偶体を付着させたが、いずれの方法でもタネ糸全体に雌雄配偶体が着生し、芽胞体が形成された。芽胞体は、約1ヶ月間、小型水槽で培養することにより、数mmサイズの幼孢子体に生長した。仮沖出しは2013年12月27日から2014年1月25日まで行ったが、この期間を含む9月から翌年5月中旬までの水温の動向を Fig. 4 に示す。本研究の仮沖出し開始水温は11.7°Cであった。この水温は鳴門海峡周辺で通常行われている仮沖出し開始水温の23°Cに比べ10°C以上低かったが、約1ヶ月間で長さ3～4 cm程度の幼孢子体に生長した。このことから、11月下旬から種苗生産を開始し、12月下旬か

ら仮沖出しを行っても、本養殖に用いるワカメ種苗を生産できることがわかった。

2014年1月25日から本養殖を開始し、3月7日と4月15日に採取したワカメ孢子体の標本を Fig. 5 に、測定結果を Table 1 に示す。3月7日に採取した孢子体は色調が低下しておらず、すでに裂葉が形成されており、長さは平均55 cmであった。4月15日には出荷用に孢子葉上部の茎から切断された藻体であったため基部を含まない長さしか測定できなかったが、孢子体は長さ平均177 cmに達しており、全長は190 cm程度に達していたと推定される。また、これらの孢子体は、いずれも先端部での先枯れは目立たず、色調も良く、皺の少ない藻体であった (Fig. 5)。なお、本養殖期間中の水温については、試験開始時の1月25日には9.3°C、その後2月27日には8.1°Cまで低下し、収穫時の4月15日には11.5°Cであった (Fig. 4)。4月21日には、遊走子からフリー配偶体を分離培養するために大きく育った孢子体を採取したが、その全長は291 cm、葉幅は97 cmに達していた (Fig. 6)。

## 考察

二毛作に向けたワカメの試験養殖は、本研究とは別に生産した種苗も加えて、2014年1月中旬以降、養殖ロープ30 m × 281本を使って、明石浦漁業協同組合10経営体のノリ生産者によって明石海峡周辺のノリ漁場で取り組まれた。このうち、本研究で本養殖を開始したのは1月25日、本格的な収穫は4月15日から開始された。通常、兵庫県瀬戸内海域では、ワカメの本養殖は11月下旬から開始され、収穫は3月初め頃から行われる。このため、通常のワカメ養殖に比べて、本研究の本養殖開始時期は2ヶ月程度、収穫開始時期は1.5ヶ月程度遅かった。また、岩手県大槌湾では、ワカメは4月以降になると、孢子体先端部から先枯れが顕著になると報告さ



Fig. 5. Sporophyte samples of *Undaria pinnatifida* grown at the cultivation site. Three blades on the left were collected on March 7, 2014; three blades on the right were collected on April 15, 2014. Scale bar, 1 m.



Fig. 6. Large sporophyte of *Undaria pinnatifida* grown at the cultivation site. The sample was collected on April 21, 2014. Scale bar, 1 m.

れており (Yoshikawa *et al.* 2001), 兵庫県瀬戸内海域でも4月以降ワカメ養殖を行うと先枯れによる品質低下が懸念された。ところが、本研究では、1月25日から4月15日までの本養殖期間でも、大型藻体は全長2 m近い孢子体に生長し、4月21日には全長3 m近い孢子体も採取され、いずれも先枯れが目立つことはなかった。これらの結果から、明石海峡

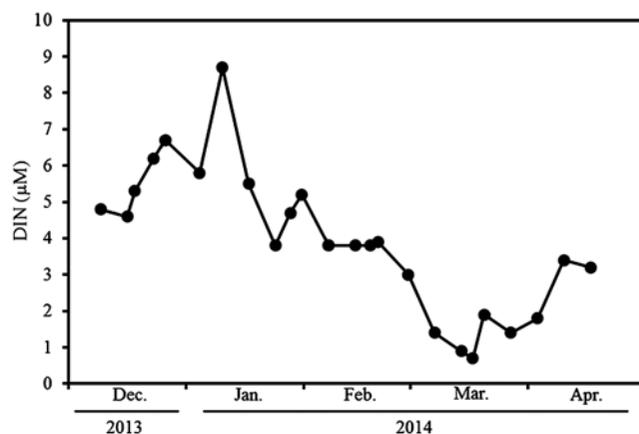


Fig. 7. Changes in dissolved inorganic nitrogen (DIN) concentration in seawater at the cultivation site.

周辺のノリ漁場では、ノリ養殖との二毛作によるワカメ養殖が可能であることが明らかになった。Nanba *et al.* (2011) は、岩手県越喜来湾の波浪や潮流の影響を受けやすい湾口の海域では、湾奥の海域に比べて、ワカメ孢子体の生長が速く、孢子体葉部に先枯れや皺も生じにくく、葉部の厚い孢子体に生長すると報告している。従って、明石海峡の潮流の影響を受ける本研究の試験漁場もワカメ養殖に適した海域と考えられ、このことも当海域でノリとワカメによる二毛作が可能であった理由の1つと考えられる。

本研究を含め、二毛作の試験養殖を試みたノリ経営体は、出荷先の都合もあり、4月9日、15～17日、19～23日の期間でワカメの収穫を行い、その後、順次養殖ロープを撤去した。しかし、別のノリ経営体では、養殖ロープ2本を撤去せず、5月7日までノリ漁場に設置していたところ、ワカメ孢子体はその後でも生長し、先枯れも目立つことはなかった(二羽未発表)。従って、1月下旬から5月上旬まで本養殖を行った場合には、さらにワカメ孢子体は生長し、収穫量も増加すると考えられる。また、このことから、本養殖の開始時期をさらに遅らせ、2月上旬～5月上旬の期間に養殖しても遜色のないワカメの収穫が可能であると推察される。

本研究では、本養殖期間中の3月7日にワカメ孢子体采取了が、この時期を含む養殖試験海域のDIN濃度の動向をFig. 7に示す(兵庫のり研究所調べ、<http://www.jf-net.ne.jp/hggyoren/>)。孢子体采取了した3月7日のDIN濃度は1.4 μMであり、瀬戸内海で養殖ノリの色落ちが起きると言われているDIN濃度3 μM以下に低下していた。このため、同一漁場で後期生産されていた養殖ノリ葉状体の色調は低下していたが、採取したワカメ孢子体ではほとんど色調の低下がなく、本研究からもワカメはノリに比べて色落ちしにくい傾向が認められた。また、本研究の取り組みから、ワカメは浮流し式ノリ養殖施設を利用して養殖することができ、ノリ養殖に比べて養殖管理の手間や加工経費も掛からず養殖し出荷できることが明らかになった。これらのことも考慮に

入れると、ワカメの取引先が確保された場合には、養殖ノリの後期生産が困難になりつつある当海域のノリ漁場において、ワカメ養殖との二毛作によって収入減を補える可能性が高い。

養殖ノリとの二毛作に向けたワカメ養殖を行うためには、本研究で行ったように、ワカメの種苗生産時期を大幅に遅らすことが必要で、フリー配偶体を使った種苗生産が不可欠である。この方式による種苗生産は1963年に京都府水産試験場で検討され(秋山1992)、その後、1遊走子由来の配偶体を使った種苗生産に関する詳細な手法が報告されている(新村1982, 團2000)。また、大型藻類培養室でフリー配偶体を使った大量の種苗生産も行われている(棚田・中西2011)。本研究では、照明棚と熱帯魚飼育用のサーモスタットヒーターを使用することにより、漁港にある既存施設でもこの方式で種苗生産を行うことができた。本研究で採苗器として使用したステンレス網(23×17 cm)では、採苗器1個につきタネ糸を30 m以上巻き付けることができる。このタネ糸を長さ4 cmずつに切断し、養殖ロープに40 cm間隔で差し込んだ場合には、採苗器1個につき養殖ロープ約300 m分のワカメ種苗を生産することができる。本研究では20 L水槽1個につき採苗器を5個入れて種苗生産を行ったが、本研究とは別に行った種苗生産では、20 L水槽1個に採苗器を10個入れても種苗を生産することができた。これらのことから、本研究の手法を用いれば、複数個の小型水槽を使うことによって、実用化規模の種苗生産を行えることが明らかになった。また、本研究の仮沖出しの開始水温は11.7°Cであったが、仮沖出し後1ヶ月以内で本養殖に用いるワカメ種苗を生産することができた。Morita et al. (2003)は、三重県五ヶ所湾産のワカメを用いて異なる温度条件下で培養した結果、幼胞子体の生育適温は20°Cであると報告している。一方、10°Cにおける幼胞子体の生長速度は、20°Cに比べて低下するが、5°Cほど極端に低下しないことも示している(Morita et al. 2003)。これらのことから、水温10°C付近(兵庫県瀬戸内海域では1月上旬)から仮沖出しを開始してもワカメ種苗を生産できると思われる。

本研究で採取したワカメ胞子体は、いずれも皺が少なく、葉形も類似した個体が多く観察された。一方、本研究とは別に、由来の異なるフリー配偶体を使って行った種苗生産では、1月中旬から同一漁場で本養殖を開始したにもかかわらず、生長が遅く葉部も皺が多かったため、ほとんど出荷することができなかった。このため、養殖ロープ30 m×281本のうち収穫できたロープは169本で、合計21,487 kg(湿重量)、ロープ1 m当たり4.2 kgのワカメを収穫した(明石浦漁業協同組合調べ)。ワカメは、同一種苗であっても、漁場環境によって形態的に大きく変化することが知られている(Nanba et al. 2011, Peteiro & Freire 2011)。また、異なる生育地に由来するワカメ種苗を同一漁場で養殖しても形態的な違いが認められており、遺伝的な要因によっても形態的特徴や生長特性などに違いがあることが報告されている(加藤・中久

1962, 鬼頭ら1981, 原・石川1988, 福澄ら1999, 日下ら2007, 團・加藤2008, 加藤・團2010, Gao et al. 2013)。これらのことから、本研究以外に同一漁場で同じ頃に取り組んだ二毛作に向けたワカメの試験養殖においても、遺伝的に異なる配偶体を用いていたため、種苗によって収穫量や品質に大きな差が生じたと考えられる。従って、今後、二毛作に適したワカメの品種改良も重要になってくるが、本研究で取り組んだ1遊走子由来の配偶体を使った種苗生産では、遺伝的に均一な種苗を作ることが可能になる(石川1992, 團2000)。これにより、養殖株同士で遺伝的要因に基づく品種特性の違いが把握しやすくなるため、選抜育種にも取り組みやすくなり、かつ優良株が選抜できれば、毎年遺伝的に同一の種苗を作成することが可能になる(石川1992, 團2000)。また、ワカメの配偶体は雌雄異株のため、フリー配偶体を使った種苗生産を行うことにより、交雑育種によるワカメの品種改良は、養殖ノリの場合(Niwa 2010)に比べて容易に取り組むことができる(原・秋山1985, 加藤ら2010)。今後、二毛作によるワカメ養殖が水産現場で広く利用されるためには、加藤ら(2010)が報告したように、1遊走子由来のフリー配偶体を使った種苗生産方法を活用して選抜育種や交雑育種にも取り組み、高生長かつ高品質のワカメ養殖株を育成していくことが重要である。

フリー配偶体を使ったワカメの種苗生産では、二毛作や効率的な品種改良の取り組みが行えるほか、1年に何度でも種苗生産を行うことが可能になる(團2000)。このため、本手法を活用して、秋口から時期をずらして段階的に種苗生産と仮沖出しを行えば、高水温の影響でタネ糸から幼胞子体が脱落しても、その後、次々とワカメ種苗が生産できるため、種苗の損失を恐れず早い時期から本養殖に取り組みすることができる。この利点を養殖現場で活用するため、明石地区で近年になってワカメ養殖を始めた漁業者にも、本研究で示した小型水槽による実用化規模の種苗生産方法の技術移転を進めている。その結果、小型水槽を複数個使って段階的に種苗生産に取り組むことにより、水温24°C前後から順次仮沖出しを行い、単価の高い時期に早期出荷する「ワカメの促成栽培」にも取り組み始めている。また、神戸市漁業協同組合の須磨浦地区では、この種苗生産方法を使ってオーナー制ワカメ養殖を行っており、予定したイベント日に合うように、種苗作りを行っている。このように、フリー配偶体を使った実用化規模の種苗生産方法を漁業者に技術移転することは、新たなワカメ養殖の振興や地元産ワカメの消費拡大にもつながる。今後、フリー配偶体を使った種苗生産方法を漁業者がさらに取り組みやすいように改良していくことは重要である。

## 謝辞

二毛作に向けたワカメの試験養殖にご協力いただいた明石浦漁業協同組合のり研究会の井上雅夫会長ほか研究会メンバーに感謝します。同研究会の吉田安志副会長には、藻体の採取や養殖管理の情報提供をいただきました。フリー配偶体

を使った種苗生産方法についてご教示いただいた徳島県立農林水産総合技術支援センターの中西達也氏（現所属、徳島県庁水産課）、棚田教生氏に感謝の意を表します。また、養殖試験海域の栄養塩データを提供いただいた兵庫のり研究所（JF兵庫漁連）の皆様にも感謝いたします。最後に、本論文の初稿から改訂稿までの校閲を賜り、貴重な助言をいただいた東京水産大学名誉教授の有賀祐勝博士に深謝いたします。

## 引用文献

- 愛知海苔協議会 1986. フリー糸状体の培養. 愛知海苔協議会. 名古屋.
- 秋山和夫 1992. ワカメ. 三浦昭雄（編）, 食用藻類の栽培, pp. 35-42. 恒星社厚生閣, 東京.
- 團昭紀 2000. 新しいワカメの種苗生産マニュアルーフリー配偶体を使った種苗生産ー. 徳島県水産試験場. 徳島.
- 團昭紀・加藤慎治 2008. 鳴門海域で養殖されたナンブワカメと自生ワカメを起源とした養殖品種の形状と生長の差異. 徳島県立農林水産総合技術支援センター水産研究所研究報告 6: 79-83.
- 福澄賢二・太刀山透・深川敦平 1999. 福岡湾における養殖ワカメの種苗による生長と形態の相違. 福岡県水産海洋技術センター研究報告 9: 11-17.
- Gao, X., Endo, H., Taniguchi, K. & Agatsuma, Y. 2013. Genetic differentiation of high-temperature tolerance in the kelp *Undaria pinnatifida* sporophytes from geographically separated populations along the Pacific coast of Japan. *J. Appl. Phycol.* 25: 567-574.
- 原素之・秋山和夫 1985. ワカメのヘテロシス効果について. 東北区水産研究所研究報告 47: 47-50.
- 原素之・石川豊 1988. 同一漁場で養殖したワカメの種苗による生長と形態の違い. 水産育種 13: 29-33.
- 井伊明 1964. ワカメ養殖読本. 兵庫県漁業協同組合連合会, 神戸.
- 石川光廣・長谷川健一・松山幸彦 2008. 東京湾のノリ生産に影響を及ぼす環境要因: 栄養塩の長期変動および最近の珪藻赤潮発生. 水産海洋 72: 22-29.
- 石川豊 1992. 雌雄各1遊走子起源の配偶体から得られたワカメの形態について. 水産育種 18: 25-32.
- 加藤慎治・團昭紀 2010. 鳴門海域で養殖された国内8海域産のワカメ種苗の生長と形態. *Algal Resources* 3: 19-26.
- 加藤慎治・住友寿明・團昭紀 2010. 1遊走子由来の雌雄配偶体交配によるワカメ品種改良. *Algal Resources* 3: 205-210.
- 加藤孝・中久善昭 1962. 同一漁場に育った宮城産ワカメと鳴門産ワカメの形態の比較. 日本水産学会誌 28: 998-1004.
- 鬼頭鈞・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. 東北区水産研究所研究報告 42: 11-18.
- 小池美紀・淵上哲 2013. 溶存態無機リン欠乏がスサビノリ (*Pyropia yezoensis*) に及ぼす影響. 福岡県水産海洋技術センター研究報告 23: 33-39.
- 日下啓作・佐々木良・塚田輝夫・及川浩人 2007. 寒暖8水域で採取, 育苗した天然ワカメ種苗の成長と形質. 宮城県水産研究所報告 7: 17-28.
- 三浦昭雄 1992. ノリ. 三浦昭雄（編）, 食用藻類の栽培, pp. 11-24. 恒星社厚生閣, 東京.
- Morita, T., Kurashima, A. & Maegawa, M. 2003. Temperature requirements for the growth of young sporophytes of *Undaria pinnatifida* and *Undaria undarioides* (Laminariales, Phaeophyceae). *Phycol. Res.* 51: 266-270.
- 中西達也・棚田教生 2012. ワカメの色落ち現象機構の解明と対策. 平成23年度沿岸海域の栄養塩管理技術の開発委託事業成果報告書, pp. 68-75. 独立行政法人水産総合研究センター瀬戸内海区水産研究所, 広島.
- Nanba, N., Fujiwara, T., Kuwano, K., Ishikawa, Y., Ogawa, H. & Kado, R. 2011. Effect of water flow velocity on growth and morphology of cultured *Undaria pinnatifida* sporophytes (Laminariales, Phaeophyceae) in Okirai Bay on the Sanriku coast, Northeast Japan. *J. Appl. Phycol.* 23: 1023-1030.
- 西川哲也 2011. 養殖ノリの色落ち原因藻 *Eucampia zodiacus* の大量発生機構に関する生理生態学的研究. 兵庫県立農林水産技術総合センター研究報告（水産編）42: 1-82.
- Niwa, K. 2010. Genetic analysis of artificial green and red mutants of *Porphyra yezoensis* Ueda (Bangiales, Rhodophyta). *Aquaculture* 308: 6-12.
- Niwa, K. & Aruga, Y. 2003. Rapid DNA extraction from conchocelis and ITS-1 rDNA sequences of seven strains of cultivated *Porphyra yezoensis* (Bangiales, Rhodophyta). *J. Appl. Phycol.* 15: 29-35.
- Niwa, K. & Harada, K. 2013. Physiological responses to nitrogen deficiency and resupply in different blade portions of *Pyropia yezoensis* f. *narawaensis* (Bangiales, Rhodophyta). *J. Exp. Mar. Bio. Ecol.* 439: 113-118.
- 小河久朗 2004. ワカメ. 大野正夫（編）, 有用海藻誌, pp. 42-58. 内田老鶴圃, 東京.
- Peteiro, C. & Freire, Ó. 2011. Effect of water motion on the cultivation of the commercial seaweed *Undaria pinnatifida* in a coastal bay of Galicia, Northwest Spain. *Aquaculture* 314: 269-276.
- 新村敏 1982. ワカメ類の育種について. 南西海区ブロック会議藻類研究会誌 19-26.
- 棚田教生・中西達也 2011. フリー配偶体を用いた大量種苗生産による三陸ワカメ養殖の振興. *Algal Resources* 4: 69-72.
- 館脇正和 1993. *Undaria pinnatifida* (Harvey) Suringar (ワカメ). 堀輝三（編）, 藻類の生活史集成, 第2巻, 褐藻・紅藻類, pp. 136-137. 内田老鶴圃, 東京.
- 渡辺康憲・川村嘉広・半田亮司 2004. ノリ養殖と栄養塩ダイナミクス. 沿岸海洋研究 42: 47-54.
- Yoshikawa, T., Takeuchi, I. & Furuya, K. 2001. Active erosion of *Undaria pinnatifida* Suringar (Laminariales, Phaeophyceae) mass-cultured in Otsuchi Bay in northeastern Japan. *J. Exp. Mar. Bio. Ecol.* 266: 51-65.

(Received Oct. 17, 2014; Accepted Apr. 16, 2015)