

## 徳島県太平洋沿岸由岐地先に適したワカメ養殖種苗の検討

棚田 教生\*<sup>1</sup>, 岡 直宏\*<sup>2</sup>, 浜野 龍夫\*<sup>2</sup>Experimental cultivation for identifying a suitable strain of *Undaria pinnatifida* (Harvey) Suringar off Yuki, on the Pacific coast of Tokushima PrefectureNorio TANADA\*<sup>1</sup>, Naohiro OKA\*<sup>2</sup> AND Tatsuo HAMANO\*<sup>2</sup>

An experimental cultivation for identifying a suitable strain of *Undaria pinnatifida* was carried out off Yuki, on the Pacific coast of Tokushima Prefecture from November 20, 2014 to March 18, 2015. Two experimental strains, F<sub>1</sub> hybrid N<sub>2</sub>♀ Tn♂ and inbred N<sub>2</sub>♀ N<sub>2</sub>♂ by crossing free-living male/female gametophytes that originated from single zoospores, were used in the cultivation. Tn is a natural strain sampled from Tsubaki, on the Pacific coast of Tokushima Prefecture and N<sub>2</sub> is an early harvesting cultivar from the Naruto area. The N<sub>2</sub>♀ Tn♂ showed better growth for both blade length and blade weight than the N<sub>2</sub>♀ N<sub>2</sub>♂ during the early harvesting period. In addition, the blades of N<sub>2</sub>♀ Tn♂ showed few rugas and good quality until early February, however the quality of blades rapidly deteriorated from late February. These results indicate the potential for cultivation of *U. pinnatifida* on the Pacific coast of Tokushima Prefecture, by using the seedling N<sub>2</sub>♀ Tn♂ and by early harvesting.

キーワード：ワカメ，養殖，種苗，交雑，生長，太平洋

徳島県南部の太平洋沿岸に位置する海部郡美波町由岐地区では、古くから採貝藻、刺網、小型定置網、延縄、釣り等の沿岸漁業が基幹産業として営まれてきた。しかしながら、近年はこれらの零細な沿岸漁業が著しく衰退しており、新たな収入源となる漁業の創出が求められている。一方で、海藻養殖、とりわけワカメの養殖は、養殖期間が数か月間と短く、施設費が安価で新規の着業が

比較的容易であること、さらに全国的にも不振が続く水産業全体の中では一定の収入を得やすいことから、多くの産地でその重要性が増している（棚田，中西 2011，棚田ら 2015c）。

徳島県では、北中部の瀬戸内海、小鳴門海峡および紀伊水道沿岸でワカメ養殖が盛んに行われているが、南部の太平洋沿岸では天然ワカメが一部の海域で採取されて

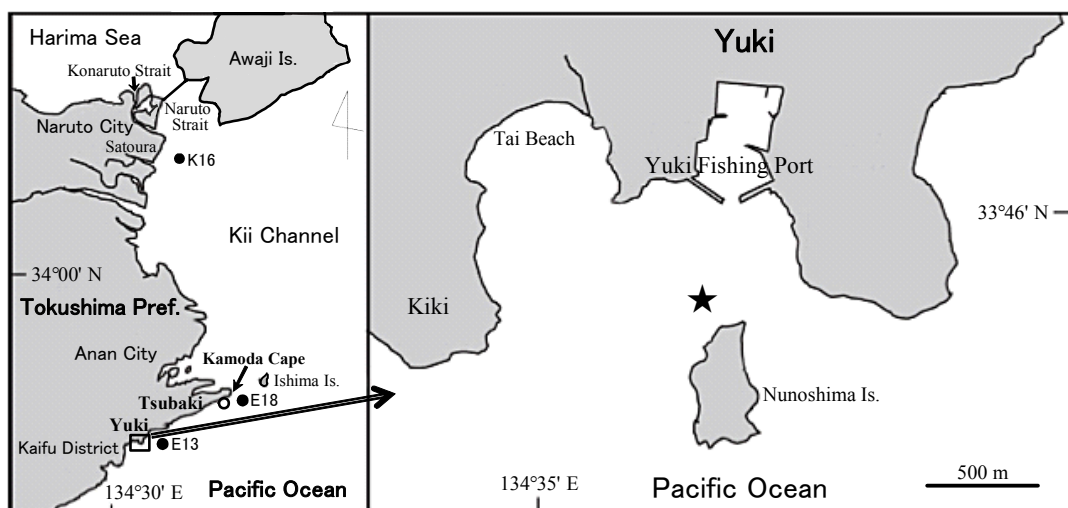


Fig. 1 Map showing the sampling site of the parental sporophyte of *Undaria pinnatifida*, the cultivation site, and survey stations for the hydrographic data in Tokushima Prefecture. ○: Sampling site of the natural sporophyte (Tsubaki, Anan City), ★: Cultivation site (Yuki, Minami Town, Kaifu District), ●: Survey stations of the monthly water temperature and salinity.

\*1 徳島県立農林水産総合技術支援センター水産研究課鳴門庁舎 (Fisheries Research Division Naruto Branch, Tokushima Agriculture, Forestry and Fisheries Technology Support Center, Seto, Naruto, Tokushima 771-0361, Japan)

\*2 徳島大学大学院生物資源産業学術研究部 (Graduate School of Bioscience and Bioindustry, The University of Tokushima, Minamijosanjima 2-1, Tokushima, Tokushima 770-8502, Japan)

Table 1 Results of the experimental cultivation of the two strains of *Undaria pinnatifida* off Yuki on the Pacific coast of Tokushima Prefecture from Nov. 20, 2014 to Mar. 18, 2015.

Date	Water temperature (°C)	N <sub>2</sub> ♀ Tn♂ <sup>♂</sup>			N <sub>2</sub> ♀ N <sub>2</sub> ♂ <sup>♂</sup>		
		BL (cm)	BW (g)	No. of rugas <sup>※</sup>	BL (cm)	BW (g)	No. of rugas <sup>※</sup>
Nov. 20, 2014	20.2	(TL 4.1)			(TL 3.5)		
Dec. 30, 2014	14.7	56.5±3.7		0.2	40.3±7.0		0
Jan. 18, 2015	17.8						
Feb. 4, 2015	12.7	91.9±9.9	148.7±42.5	3.7	83.8±6.3	102.1±28.0	0.7
Feb. 14, 2015	16.3						
Feb. 27, 2015	11.5	95.4±8.6	162.0±64.7	8.8			
Mar. 18, 2015	12.9	108.9±8.4		13.7			

※Number of rugas/ 30 cm on the blade close to the midrib.

Data are given as average values ± SD of the largest 10 sporophytes (except on Mar. 18, 2015, the largest 3 sporophytes).

いるのみでワカメの養殖は行われていない。黒潮の影響を強く受ける徳島県の太平洋沿岸は、北中部海域と比べて海水温が大幅に高いため、元来ワカメの生育には厳しい環境と考えられてきた。このため、この海域でワカメ養殖を可能にするためには、高水温に代表される当海域の環境に適した種苗が必要となる。

そこで本研究では、徳島県太平洋沿岸の由岐地先において、当海域の環境に適したワカメの養殖種苗ひいてはワカメ養殖の可能性について検討するため、初の養殖試験を実施した。

### 材料と方法

養殖試験に用いた種苗の親藻は、2013年4月22日に徳島県阿南市椿町の太平洋沿岸 (Fig.1) で採集した天然ワカメ (棚田 2014) のTnおよび鳴門海域で養殖に利用されている在来の早生種苗N<sub>2</sub>である。

TnおよびN<sub>2</sub>それぞれ1個体の親藻から得た1遊走子起源の雌雄配偶体を用いて、2014年9月17日から10月20日まで室内ボトル方式 (棚田ら 2015b) により種苗を生産した。その後、水産研究課鳴門庁舎内の屋外陸上水槽における流水での育苗を経て、10月28日から11月19日まで小鳴門海峡沿岸 (Fig.1) で育苗し、養殖用種苗を得た。これらの種苗は、交雑種としてN<sub>2</sub>の雌とTnの雄の配偶体の組合せ (以下「N<sub>2</sub>♀Tn♂<sup>♂</sup>」)、自殖種としてN<sub>2</sub>の雌雄配偶体の組合せ (以下「N<sub>2</sub>♀N<sub>2</sub>♂<sup>♂</sup>」) の2種苗である。

養殖試験は、2014年11月20日から2015年3月18日まで由岐漁港沖に位置する試験漁場 (Fig.1) で実施した。各種苗が着生した種糸を3~4 cmに切断し、全長20 mのポリエチレン製養殖ロープ (直径16 mm) に40 cm間隔で挟み込み、水平筏式の養殖筏に各ロープを設置した。

養殖期間中、各種苗について、ロープ上に40 cm間隔で形成されたワカメの集塊の中から、平均的な生育が見られる1集塊を1か月に1~2回の頻度で採取し、葉長の長

いものから10個体を選んで測定用標本とした。各標本につき、棚田ら (2015a) の方法により葉長および葉重を測定した。2月4日には、N<sub>2</sub>♀Tn♂<sup>♂</sup>のロープ上で平均的な生育が見られる3集塊を採取し、集塊の全個体の葉重を測定して1集塊あたりの湿重量を求めた。なお、測定値については、Steel-Dwassの多重比較検定により各種苗の平均値の有意差を判定した。また、品質面の指標として、葉状部表面の皺の発現状況を把握するため、中央葉の中肋沿いに形成された皺の数 (棚田ら 2015a) を計数した。すなわち、中央葉を上部、中央部、下部に概ね3等分し、各部において平均的な皺の発現が見られる部位10 cmあたりの皺の数を計数し、それらの合計値を中央葉30 cmあたりの「皺密度」とした。さらに、2月27日および3月18日に採取したN<sub>2</sub>♀Tn♂<sup>♂</sup>の標本については、葉長の長いものから3~6個体を選び、葉状部の色調の目安として葉状部基部におけるSPAD値 (中西, 棚田 2012) を葉緑素計 (コニカミノルタ社製 SPAD-502 Plus) で測定した。

試験漁場の水温については、毎回の調査時に養殖筏近傍の表層水をデジタル温度計で測定し、標準水銀温度計との補正值により校正した値を用いた。

また、今回の養殖試験地である海部郡美波町由岐沿岸、養殖種苗の親藻の産地である阿南市椿町沿岸および鳴門市沿岸の近年の海洋環境を比較するため、徳島県の漁業調査船「とくしま」の観測定点から各海域に近いE13 (海部郡美波町阿部沖)、E18 (阿南市椿町蒲生田岬沖) およびK16 (鳴門市里浦町沖) を選定し (Fig.1)、2010年から2016年における各定点の水温および塩分の観測値を解析した。

### 結果

養殖期間中の試験漁場の水温は、養殖開始時の2014年11月20日の20.2 °Cから、12月30日には14.7 °Cまで低下した。しかし2015年1月18日には大きく上昇に転じて17.8

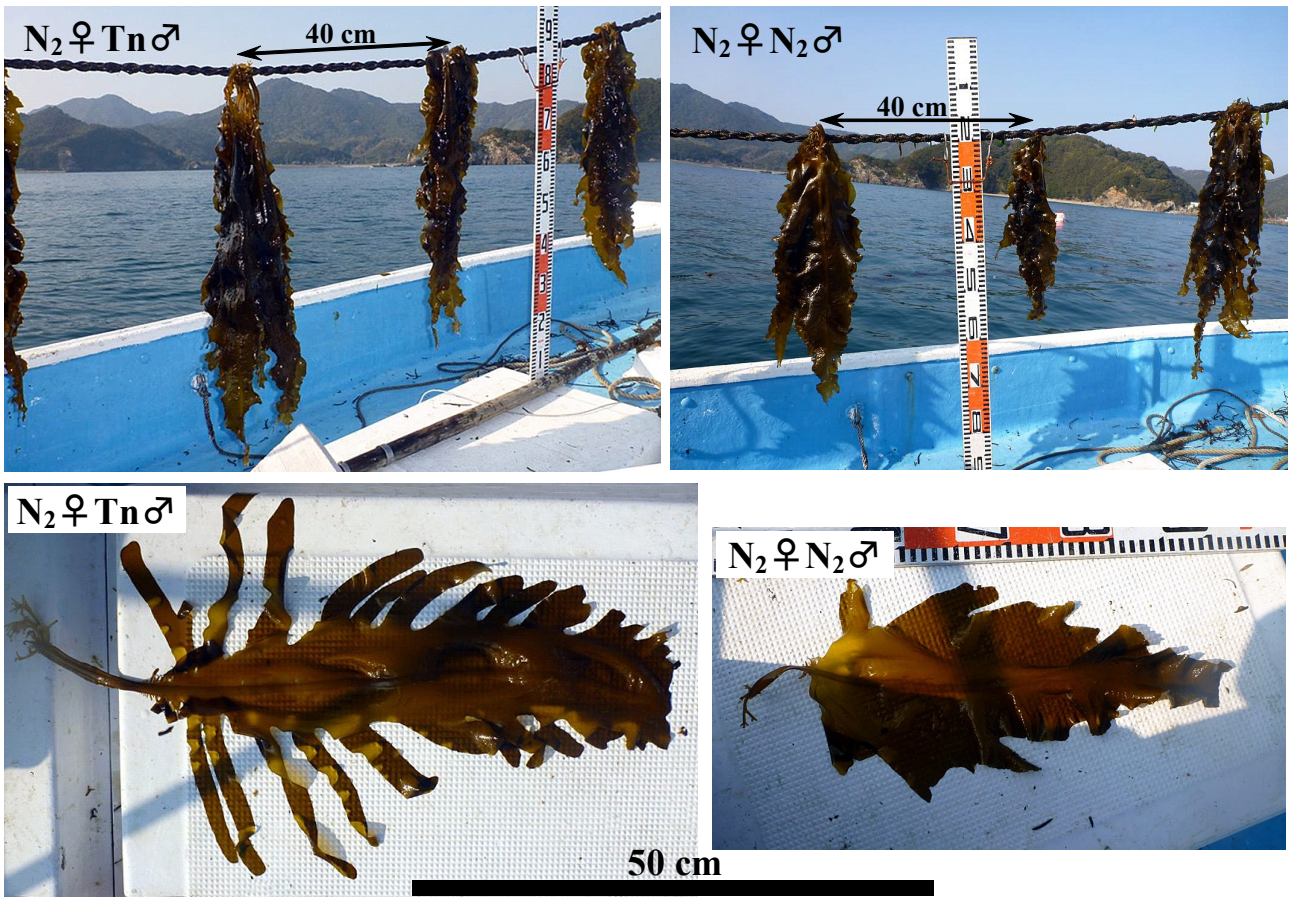


Photo. 1 *Undaria pinnatifida* sporophytes of the two experimental strains, F1 hybrid  $N_2♀ Tn♂$  (left column) and inbred  $N_2♀ N_2♂$  (right column) on Dec. 30, 2014, after cultivation off Yuki on the Pacific coast of Tokushima Prefecture since Nov. 20, 2014.

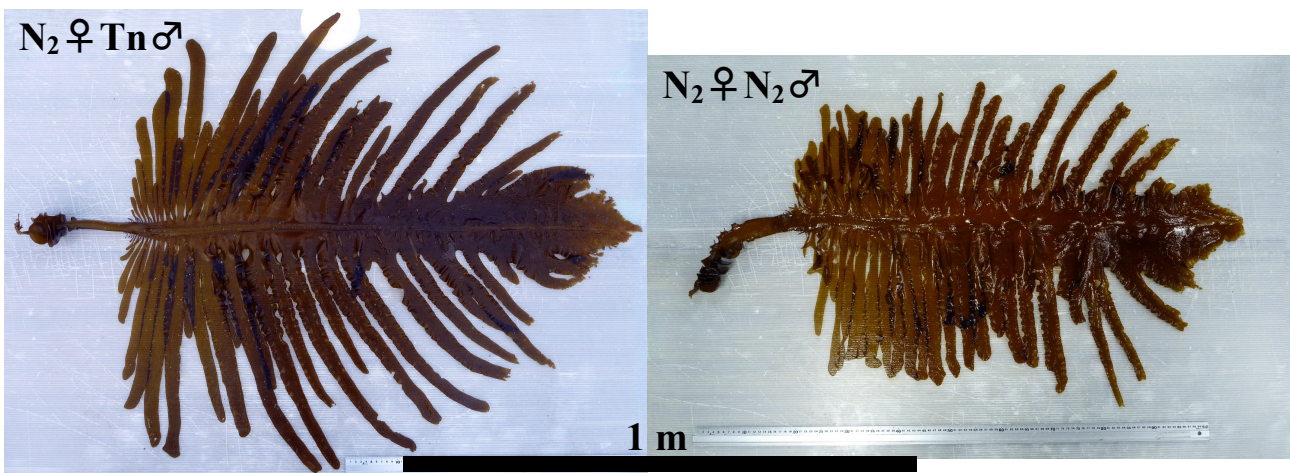


Photo. 2 Representative sporophytes of the two experimental strains,  $N_2♀ Tn♂$  (left column) and  $N_2♀ N_2♂$  (right column) sampled on Feb. 4, 2015, after cultivation off Yuki on the Pacific coast of Tokushima Prefecture.

℃となり、その後も2月末まで3℃以上の低下と上昇を繰り返す不規則な変動を示した。2月27日に、期間で最低となる11.5℃を記録した (Table 1)。

養殖期間中の2種苗の葉長、葉重および皺密度の平均値をTable 1に示した。

養殖開始時の2014年11月20日における各種苗の大型10個体の平均全長は、交雑種の $N_2♀ Tn♂$ が4.1 cm、自殖種

の $N_2♀ N_2♂$ が3.5 cmであり、種苗間に有意差は認められなかった。その後12月12日に各種苗の生育状況を船上から観察したところ、明瞭な食害の影響および芽落ちは確認されず、2種苗とも健全な生育が認められた。

葉長に関しては、 $N_2♀ Tn♂$ が12月30日、2月4日ともに $N_2♀ N_2♂$ を上回り、それぞれ $N_2♀ N_2♂$ の値の1.4倍、1.1倍となった。12月30日の両種苗の値には有意差が認



Photo. 3 *Undaria pinnatifida* sporophytes of the strain N<sub>2</sub>♀ Tn♂ on the cultivation rope on Feb. 4, 2015 cultivated off Yuki fishing port on the Pacific coast of Tokushima Prefecture.

められた (n=10, p<0.01)。N<sub>2</sub>♀ Tn♂の平均葉長は、12月30日に56.5 cm, 2月4日に91.9 cmと大きく伸長したが、その後は生長が鈍化し、3月18日の試験終了時には108.9 cmであった。

一方、葉重では、2月4日におけるN<sub>2</sub>♀ Tn♂の値はN<sub>2</sub>♀ N<sub>2</sub>♂の1.4倍の148.7gとなり、有意に大きかった (n=10, p<0.05)。この日に採取したN<sub>2</sub>♀ Tn♂の3集塊から求めた1集塊あたりの平均湿重量は、1,641g (1,499~1,754g)であった。また、ロープ上には明瞭な集塊の脱落や生長不良の集塊は認められず、ロープ全体に平均的なワカメの生育が確認できた (Photo. 3)。これらの結果から、ロープ1本 (20 m) あたりのN<sub>2</sub>♀ Tn♂の湿重量を試算すると、40 cm間隔で50集塊着生していた場合における全体の湿重量は、82.1 kg (75.0~87.7kg)となった。

葉状部表面の皺については、2種苗とも12月30日の時点では明瞭な皺は認められず、滑らかな葉質であった (Table 1, Photo. 1)。しかし、その後はN<sub>2</sub>♀ Tn♂の皺数が経時的に増加し、皺密度は、2月4日に3.7, 2月27日に8.8, 3月18日には13.7となった。

N<sub>2</sub>♀ Tn♂の葉状部基部におけるSPAD値 (平均値) は、2月27日には15.7 (13.4~19.9) (n=6), 3月18日には17.2 (15.3~18.7) (n=3) であった。

海洋観測定点E13, E18およびK16の2月と3月における水温および塩分について、水深0 mと5 mの観測値の平均値を2010年から2016年までの直近7年間を対象に平均した値 (範囲) をTable 2に示した。平均値と比較すると、鳴門市沖のK16では年間の最低水温期となる2月, 3月の水温が9℃台, 塩分が32 psu台であるのに対し、阿南市椿町沖のE18と海部郡美波町沖のE13では、水温が12.2~14.0℃, 塩分が32.9~33.7psuと明瞭に高かった。

## 考 察

### 試験種苗の生長, 品質および実用性

本研究で養殖試験に用いた2種苗を比較すると、阿南市椿町産天然ワカメの雄配偶体を用いた交雑種N<sub>2</sub>♀ Tn♂が、養殖期間の初期から良好な生長を示した。2014年11月20日に同時に養殖を開始した2種苗において、水温が14.7℃に低下した12月30日における平均葉長は、N<sub>2</sub>♀ N<sub>2</sub>♂の40.3 cmに対して、N<sub>2</sub>♀ Tn♂はその1.4倍の56.5 cmに達していた (Table 1, Photo. 1)。このサイズは、鳴門海域で年末年始から一部の生産者によって早期収穫される「芽生えわかめ」 (加藤 2008) の規格である「葉長60cm程度」と同等であった。さらに、本研究で用いたN<sub>2</sub>♀ Tn♂と同一の生産ロットの種苗を用いて、筆者らが2014年10月28日から鳴門市小鳴門海峡で実施した養殖試験の事例では、2014年12月25日および2015年1月7日における大型10個体の平均葉長は、それぞれ50 cmおよび60 cmに達していなかった (棚田 2016b)。本研究のほうの本養殖の開始時期は遅かったが、年末年始期における生長は、鳴門海域で養殖した場合と同等の結果となった。

また、12月30日のN<sub>2</sub>♀ Tn♂の藻体は、品質面でも葉状部表面の皺や先枯れがほとんどなく、良好な葉質であった (Photo. 1)。藻体が小型である「芽生えわかめ」は中肋ごと食べられることもあって非常に美味であることが知られているが (加藤 2008), 今回由岐地先で養殖され、12月30日に採取したワカメを試食したところ、同様に美味であった。これらの結果から、当種苗を用いることにより、太平洋沿岸の由岐地先においても、鳴門

Table 2 The hydrographic data (water temperature and salinity) of three survey stations on the coast of Tokushima Prefecture in February and March averaged over 2010–2016.

Station	Water temperature (°C)		Salinity (psu)	
	Feb.	Mar.	Feb.	Mar.
K16	9.7 (8.5–11.4)	9.6 (8.5–10.3)	32.5 (32.1–33.0)	32.5 (32.1–32.9)
E18	13.2 (9.9–18.1)	12.2 (11.0–14.3)	33.6 (32.9–34.8)	32.9 (32.1–34.2)
E13	13.5 (11.4–17.8)	14.0 (12.0–17.7)	33.7 (33.0–34.7)	33.5 (32.8–34.6)

Data are given as average values (range) of the data at the depth of 0 m and 5 m.

海域と同時期に実用水準の養殖ワカメを早期収穫できる可能性が示された。

その後、試験漁場の水温は1月18日に17.8℃まで大きく上昇し、2月4日には再び12.7℃に大きく低下した。鳴門海域では通常この時期にこのような不規則かつ高い水温環境はみられないが、N<sub>2</sub>♀Tn♂は2月4日においても健全かつ良好な生長を示した (Table 1, Photo. 2, 3)。品質面でも、2月4日におけるN<sub>2</sub>♀Tn♂の葉状部表面の皺数は、12月30日と比べると増加したものの、これらは湯通しすることで消失する程度の軽微な皺 (棚田 2016a) であったため、色調も含めて商品化に支障のある水準には至っていなかった (Photo. 2)。しかし2月27日以降は皺数が急増するとともに皺および葉の性状も硬くなり、3月18日には商品化が困難と考えられる葉質に劣化していた。ただし、色調においては、2月27日にN<sub>2</sub>♀Tn♂の一部の個体で葉状部基部に色調の低下が認められたものの、調査を実施した日においては養殖期間を通じて色落ちは発生していなかった (Photo. 1, 2, 3)。2月27日以降のN<sub>2</sub>♀Tn♂の葉状部基部におけるSPAD値をみると、平均で15以上の値を示しており、鳴門市の生産者が色落ちを認識した事例における平均値の10 (中西, 棚田 2012) を上回っていた。

これらの生長・品質両面における試験結果から判断すると、当漁期の由岐地先においては、N<sub>2</sub>♀Tn♂は少なくとも2月初旬までは養殖ワカメとして実用的な水準を維持していたと考えられた。さらに、生産性の観点から、2月4日に採取したN<sub>2</sub>♀Tn♂の3集塊の湿重量より試算したロープ全体の湿重量82.1kg (75.0~87.7kg) を、ロープ1mあたりに換算すると、4.1 kg (3.8~4.4kg) となった。これらの値は、鳴門海域で漁業者が早生系種苗を養殖し、2月上旬 (2014年2月3日) に収穫した事例における平均値の3.5 kg (棚田ら 2015b) を上回っていた。本研究では平均的な生育の3集塊のみの値からの概算であることなどから、実際のロープ1本の収穫量よりは過大に算出された可能性があるものの、少なくとも2月初旬まではワカメ養殖としての生産性にも支障がないことが示唆された。

一方、自殖種のN<sub>2</sub>♀N<sub>2</sub>♂は、鳴門海域では生長が早い早生種苗として養殖に利用されている。しかし、今回徳島県太平洋沿岸の由岐地先で養殖したところ、葉状部表面の皺が少ないなど優れた点はあったものの、生長においては良好な結果は得られなかった。

#### 養殖試験地および種苗の親産地の海洋環境

本研究で解析の対象とした3定点のうち、まず鳴門市沖のK16と海部郡美波町沖のE13を比較すると、由岐地先の養殖試験地に近いE13ではK16と比べて水温で4℃前後、塩分で1psu前後高く、両地点の海洋環境には明瞭な差異が認められた。一方、E13と阿南市椿町沖のE18に

おいては、3月の水温と塩分に一定の差は認められるものの、2月の値にはほとんど差が生じておらず、両地点が比較的近い海洋環境にあることが示された。さらに、年変動をみると、K16では水温で3℃、塩分で1psuまでの範囲で比較的安定しているのに対し、E13とE18では、水温で3.3~8.2℃、塩分で2psu前後の大きな年変動が生じていることが明らかになった (Table 2)。

太平洋と紀伊水道の境界に位置する蒲生田岬沖のE18および太平洋沿岸でも北部に位置するE13は、黒潮の接岸に伴い流入する高水温、高塩分、低栄養の黒潮系水 (藤原ら 2009) および紀伊水道から南下する内海系水等の影響を複雑に受ける地理的環境にある。このため、これらの勢力の相互作用によって大きな海洋環境の変動が生じる (徳島県水産課 2001, 鎌田ら 2009)。E13の近傍に位置する由岐地先で実施した本研究においても、養殖試験期間中に頻繁な水温の上下変動が認められたことから、この現象は長期的な年変動のみならず、短期的にも恒常的に発生しうる当海域に特徴的な海況 (徳島県水産課 2001) と位置付けることができる。

このように内海の鳴門海域とは明瞭に異なる海洋環境を呈する外海の海部郡美波町由岐地先において、今回初めてワカメ養殖の導入に向けた養殖試験を実施し、当海域に適した種苗について検討した。その結果、交雑種のN<sub>2</sub>♀Tn♂は、期間の初期から良好な生長および品質を示し、当海域の特異な海洋環境に対しても高い適応性を有していることが示唆された。この要因としては、ワカメの交雑種苗において生長面に強い影響を及ぼすと考えられる雄配偶体 (棚田ら 2015a) に、環境条件が由岐地先と比較的近い阿南市太平洋沿岸 (Fig. 1, Table 2) に生育する暖海性の天然ワカメを用いたことが挙げられる。当種苗については前述のように鳴門海域においても養殖試験が実施され、特に高水温期に良好な生長が得られた事例があるが (棚田 2016b)、本研究により太平洋沿岸の暖海域でも有効なワカメ養殖種苗として利用できる可能性が見出された。

しかしながら、太平洋沿岸の由岐地先では鳴門海域と比べて海洋環境の変動が大きいと、単年のみの試験結果をもって種苗の有用性等に関する正当な評価をすることはできない。今後は、当地先でのワカメ養殖の実用化に向けて、異なる海洋環境の養殖年次におけるN<sub>2</sub>♀Tn♂の適性および実用性を検証するとともに、養殖期間中の漁場水温等を連続観測することにより、短期的な環境変動に伴う養殖ワカメの生長および品質の推移については収穫適期を正確に見極めていくことが重要となる。

#### 謝 辞

由岐地先海面でのワカメ養殖試験に協力いただいた美波の海の恵み研究会の漁業者および事務局の皆様、徳島

県水産研究課の牧野賢治氏, 徳島県南部県民局産業交流部の岡崎孝博博士に感謝申し上げます。徳島県沿岸定点における海洋観測データの継続的な取得に尽力された調査船とくしまの乗組員と研究員の皆様および観測データの提供に便宜を図ってくださった徳島県水産研究課の湯浅明彦氏に謝意を表します。本稿を校閲いただくとともに, 有益な助言を賜った徳島県水産研究課の上田幸男博士, 本稿の英文を校閲いただいた徳島大学水圏教育研究センターの齋藤稔博士に感謝の意を表します。

## 文 献

- 藤原建紀, 山田佳昭, 久野正博, 上田幸男 (2009) 日本南岸海域への栄養塩供給と一次生産. 黒潮の資源海洋研究, **10**, 1-7.
- 鎌田信一郎, 吉村晃一, 上田幸男 (2009) 紀伊水道における透明度の長期変動Ⅱ 徳島・和歌山両県観測データを用いた統合解析. 黒潮の資源海洋研究, **10**, 15-26.
- 加藤慎治 (2008) 鳴門ワカメの新ブランド「芽生えわかめ」の生産はじめました!. 徳島水研だより, **68**, 1-4.
- 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. 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, 68-75.
- 棚田教生 (2014) 天然ワカメ, ヒジキの分布・現存量調査. 平成25年度徳島水研事報, 66-69.
- 棚田教生 (2016a) 小松島和田島地区のワカメ産地強化に向けた生産技術の開発. 平成27年度徳島水研事報, 76-77.
- 棚田教生 (2016b) フリー配偶体を用いたワカメの実用規模種苗生産法および高水温耐性品種の開発. 海洋と生物, **38**, 464-471.
- 棚田教生, 團昭紀, 加藤慎治, 岡直宏, 浜野龍夫 (2015a) 鹿児島県産天然ワカメと鳴門産養殖品種の雌雄フリー配偶体正逆交雑による品種改良の効果. *Algal Resources*, **8**, 103-112.
- 棚田教生, 團昭紀, 日下啓作, 岡直宏, 浜野龍夫 (2015b) 1遊走り起源のフリー配偶体を用いたワカメの大規模種苗生産法および養殖への実用化の実証. *Algal Resources*, **8**, 23-36.
- 棚田教生, 加藤慎治, 廣澤晃, 住友寿明, 中西達也, 牧野賢治, 團昭紀 (2015c) フリー配偶体を用いたワカメの種苗生産技術に関する普及及び視察研修の実績. 平成26年度徳島水研事報, 70-73.
- 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復興支援. *Algal Resources*, **4**, 69-72.
- 徳島県水産課 (2001) 沿岸漁場等の自然条件「徳島の水産」徳島県印刷企業組合, 徳島, 9-12 pp.