

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

日下 啓作^{*1}・佐々木 良^{*2}・塚田 輝夫^{*3}・及川 浩人^{*4}

Growth and Morphological Characteristics of native Wakame (*Undaria pinnatifida*) seed
collected from eight locations around Japan coast

Keisaku KUSAKA^{*1}, Ryo SASAKI^{*2}, Teruo TSUKADA^{*3} and Hiroto OIKAWA^{*4}

キーワード: ワカメ, 成実葉, 早期養殖生産, 対馬産種苗

宮城県のワカメ養殖生産量は1986年の約3万9千トン
をピークに減少基調で推移し, 2001年には輸入ワカメの急
増による価格低下等の影響で約1万3千トンまで減少した^{1,2)}。
2004年以降の生産量は1万9千トン前後まで回復して
いるものの, 産地間競争や後継者不足などワカメ養殖業
には依然として多くの課題が残されている。

県内のワカメ養殖漁場は唐桑半島から牡鹿半島に至る
県北中部沿岸の外洋域と内湾域に広く分布しているが,
このうち外洋漁場で養殖されたワカメは裂葉の切れ込み
が深く, 葉が厚く, 色調が濃いとといった特徴があり, こ
れらの原藻によるボイル(湯通し)塩蔵加工品は高品質
な「三陸ワカメ」として一般消費者にも広く知られるブ
ランドを維持してきた。一方, 内湾漁場の養殖ワカメは
裂葉の切れ込みが浅く葉が薄い形質となることから³⁾, 品
質面や価格面では外洋産よりも低く位置付けられてきた。
さらに1990年代に輸入が急増した中国産ワカメの形質は
三陸沿岸の内湾産ワカメに類似していると言われており⁴⁾,
輸入品との品質格差が小さい内湾産は厳しい価格競争
を強いられている。内湾漁場では外洋漁場や県外からの
移入種苗を用いて原藻の形質向上が試みられてきたが,
ワカメの形質は波浪等の物理的な環境要因と種苗の遺伝
的要因が複合的に関与して発現すると考えられており⁵⁻⁷⁾,
移入種苗のみによる形質改善が困難であることは近

年の生産現場でもほぼ認識されている。

県内での養殖生産は外洋漁場での収穫が本格化する2
月中旬頃から3月下旬頃がピークであるが, 内湾漁場では
これより約一月早く毎年1月初旬には葉状部やメカブ(成
実葉)が新物として比較的高値で取引されている。メカ
ブは近年の健康食志向で需要が高まっており, 気仙沼湾
内の漁場では養殖開始時期を従来の10月中・下旬から9月
下旬頃に早めることでさらなる早期収穫が試みられてき
た。しかし, 例年9月下旬頃の漁場水温は20℃前後と地元
産種苗の生育適水温より高いことから幼芽の枯死脱落

(芽落ち)が発生し易く, 早期養殖生産用種苗の生産状
況は潜在的に不安定である。以上のことから, 高品質な
原藻の養殖生産が困難な内湾漁場における生産方式とし
ては葉状部および成実葉の早期収穫が有効と考えられ,
今後は地元産種苗よりも高い水温条件下で生育可能な種
苗を作出し, 種苗生産の安定化を図っていく必要がある
と考えられる。

そこで, 本研究では内湾漁場における早期養殖生産方
式の確立を目的として国内各地で採取した天然ワカメの
種苗を気仙沼湾および志津川湾で試験養殖し, 各種苗の
成長と形質について比較検討を行った。その結果, 種苗
によって成長・形質特性に異なる傾向が認められ, 早期
養殖生産用として有効な種苗が見出されたので報告する。

^{*1}水産研究開発センター, ^{*2}内水面水産試験場, ^{*3}栽培漁業センター, ^{*4}南三陸町海浜高度利用施設

材料と方法

養殖種苗の母藻とした天然ワカメは2002年に長崎県（対馬）、北海道（利尻）、2003年に鹿児島県（指宿）、三重県（浜島）および新潟県（粟島）、2004年に千葉県（千倉）、島根県（隠岐）および北海道（函館）の計8地点で潜水採取した野生株である（図1）。採取地点の概要および採取個体の全長は表1に示した。これらの採取地点周辺では過去にワカメ養殖が行われておらず、他産地からの移入種苗と交雑している可能性は極めて低いと考えられる。また、北海道（利尻）および鹿児島県（指宿）は国内のワカメ分布域のほぼ北限と南限に相当する⁸⁾。

採取した天然ワカメを気仙沼水産試験場へ持ち帰った後、室内水槽内で成実葉から遊走子を放出させて採苗し、水温18~20℃、照度100~6,000ルクスで室内育苗した。種苗が5mm前後に成長した時点で気仙沼湾内および志津川湾内の養殖漁場の水深約3mに仮殖した。仮殖期間中は種苗の生育状況と3m層水温、表面海水中の硝酸態窒素濃度を週1回調査した。水温測定にはデジタル温度計（佐藤計量器製作所製SK-1250 MC2）を用い、硝酸態窒素濃度の測定は銅・カドミウム還元法により分光光度計（日立製作所製CR-1000）で行った。

種苗が3cm前後に成長した時点で気仙沼湾内の鹿折地先・松岩地先・階上地先、同湾口部の岩井崎地先、志津川湾内の荒島地先において2002年・2003年・2004年の各



図1 天然ワカメの採取地点

年9月から翌年3月の期間に試験養殖を行った（図2）。養成ロープ上の着生本数は約50本/m、養殖水深は30~60cmとし、成長把握のため適時10~15個体の全長を測定した。コンブ目褐藻の成長測定方法としては葉体に開けた孔の移動速度を測定する穿孔法^{9,10)}があるが、本研究では藻体先端部の枯死流失（末枯れ）を含めた藻体全体の変化を把握するため全長を測定することとした。成実葉の形成を確認した月以降、各月毎に成葉の採取を行い、各種苗毎に計20~30個体について図3に示す各部位（全長、葉幅、欠刻幅、最大裂葉中央部の葉厚、成実葉長、成実葉幅）と葉状部（成長点から先端部まで）および成実葉の重量を測定し、形質評価を行った。成長・形質が良好であった種苗はさらに継代養殖を行い、継代による成長・形質特性の変化について検討した。



図2 試験養殖地点(■)

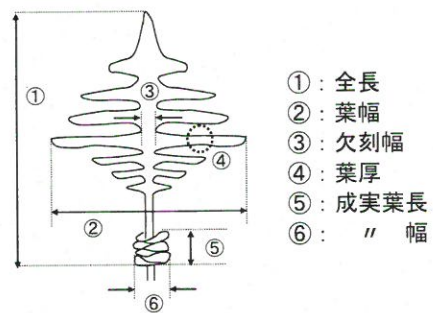


図3 成葉の計測部位

表 1 天然ワカメ採取地点の概要および採取個体の全長 (*: 成実葉のみ採取した地点)

採取地点名	採取水深 (m)	採取月日	全長 (cm)
長崎県対馬市上対馬町鱒浦地先	2.0-2.5	2002年5月	50-80
北海道利尻郡利尻富士町鬼脇地先	2.0-3.0	2002年6月	70-140
鹿児島県指宿市岩本地先	3.0-4.0	2003年4月	33-68
三重県志摩市浜島町目戸海岸地先	3.5-4.0	2003年5月	32-69
新潟県岩船郡粟島浦村内浦地先	3.0-5.5	2003年5月	76-138
千葉県南房総市千倉町平磯地先*	0.5-1.0	2004年3月	-
島根県隠岐郡西ノ島町国賀海岸地先	1.0-2.0	2004年6月	52-125
北海道函館市恵山町日浦地先*	0.5-1.5	2004年7月	-

結果および考察

1 種苗の生育状況

気仙沼湾内および志津川湾内に仮殖した種苗の生育状況を以下に記載した。仮殖期間を含む9月～11月の水温および硝酸態窒素濃度の推移を図4に、養殖中の種苗の全長推移を図5に示した。

1) 長崎県対馬産種苗

2002年9月上旬に鹿折地先および荒島地先で種苗の仮殖を行った。鹿折地先では9月下旬までの垂下層水温が20.6～23.1℃と地元産種苗（以下、地種）の適水温より高い範囲で推移したものの順調な生育を示した。この期間の硝酸態窒素濃度は20.9～28.3 $\mu\text{g/l}$ の範囲であった。荒島地先では仮殖後1週間以内に芽落ちした後に再び幼芽が発芽し、9月下旬には芽落ち前の状態にまで回復した。この期間の垂下層水温は鹿折地先と同様であり、硝酸態窒素濃度は0.5～5.7 $\mu\text{g/l}$ と鹿折地先より低濃度で推移した。

養殖試験は10月上旬から鹿折地先・階上地先・荒島地先で開始した。このうち荒島地先では高成長を示し、12月中旬の平均全長は130cmで成実葉を形成した。荒島地先では従来から徳島県鳴門産種苗のF2が早期養殖生産用として利用されてきたが、この種苗は12月中旬の平均全長が100cm前後で成実葉の形成は認められなかった。鹿折地先では11月下旬まで順調に成長したが、12月以降には原因不明の生育障害により藻体が流失した。階上地先では1月中旬に平均全長が85.4cmに達した後、末枯れが進行したため全長の伸びは認められなかった。

2) 北海道利尻産種苗

2002年9月中旬と下旬に鹿折地先・松岩地先・荒島地先で種苗の仮殖を行った結果、松岩地先と荒島地先では順調な生育を示した。仮殖期間中の垂下層水温は18.3～20.8℃の範囲で降下し、硝酸態窒素濃度は松岩地先では22.1～113.0 $\mu\text{g/l}$ 、荒島地先では5.7～13.3 $\mu\text{g/l}$ の範囲であった。一方、鹿折地先では10月下旬までにほとんどの種苗が芽落ちした。仮殖期間中の垂下層水温は18.8～20.9℃で松岩地先および荒島地先と同様であったが、硝酸態窒素濃度は10月上旬まで20.9～57.5 $\mu\text{g/l}$ で推移したものが10月中旬には4.2 $\mu\text{g/l}$ に低下したことから、栄養塩濃度の急激な減少が芽落ちの一因であったと推察された。

養殖試験は10月上旬から荒島地先で、10月下旬から松岩地先でそれぞれ開始した。松岩地先では1月上旬に平均全長が94cmに達した後、末枯れにより全長が減少した。荒島地先では3月上旬まで成長が持続したが平均全長は94cmにとどまった。このように両地先とも成長は低調であった。

3) 鹿児島県指宿産種苗

2003年9月中旬に岩井崎地先で、9月下旬および10月上旬に荒島地先で種苗の仮殖を行った結果、両地先ともほぼ順調な生育を示した。仮殖期間中の垂下層水温は16.3～19.4℃の範囲で降下したが、硝酸態窒素濃度は岩井崎地先では0.1～14.4 $\mu\text{g/l}$ 、荒島地先では4.4～21.9 $\mu\text{g/l}$ の範囲で大きく変動した。

養殖試験は10月下旬から松岩地先と荒島地先で、11月上旬から岩井崎地先で開始した。これらの地先における

12月下旬の平均全長は68～107cmで成長は低調であった。その後、松岩地先・荒島地先では1月下旬まで成長が持続したが両地先の平均全長は最大83～117cmにとどまった。2月以降は各地先で末枯れが進行し全長が減少した。

4) 三重県浜島産種苗

2003年9月中旬および10月上旬・中旬に岩井崎地先と松岩地先で、9月下旬および10月上旬・下旬に荒島地先で種苗の仮殖を行った結果、10月23日に荒島地先で仮殖したものを除いて順調に生育した。仮殖期間中の垂下層水温は16.3～19.4℃の範囲で低下したが、硝酸態窒素濃度は岩井崎地先で0.1～14.4 μg/l、松岩地先では7.6～50.5 μg/l、荒島地先では4.4～21.9 μg/lの範囲で大きく変動した。

養殖試験は10月下旬から松岩地先と荒島地先で、11月上旬から岩井崎地先で開始した。これらの地先における12月下旬の平均全長は82～104cmで成長は低調であった。松岩地先・荒島地先では1月下旬、岩井崎地先では2月上旬まで成長が持続したが両地先の平均全長は最大102～138cmにとどまった。また、松岩地先・荒島地先では2月以降に末枯れが著しく進行し全長が減少した。

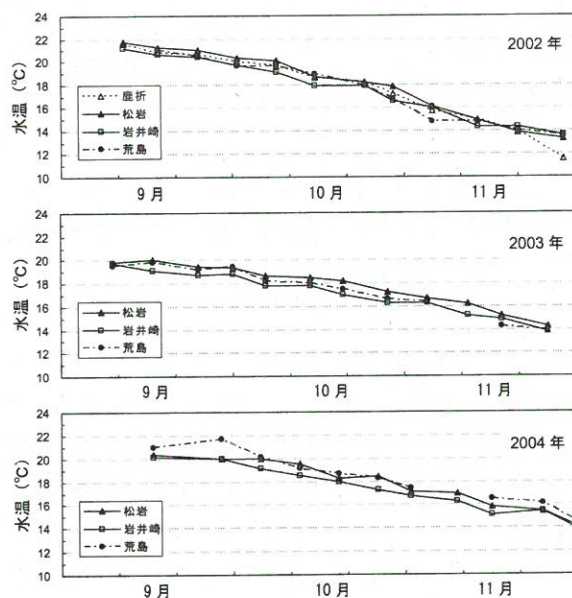


図 4-1 2002・2003・2004年の9月～11月における3m層水温の推移

5) 新潟県粟島産種苗

2003年9月中旬および10月上旬・中旬に岩井崎地先と松岩地先で、9月下旬および10月上旬・下旬に荒島地先で種苗の仮殖を行った結果、いずれの地先でも順調な生育を示した。仮殖期間中の水温および硝酸態窒素濃度の推移は浜島産種苗で記載したとおりである。

養殖試験は10月下旬から松岩地先と荒島地先で、11月上旬から岩井崎地先で開始した。これらの地先における12月下旬の平均全長は69～73cmで成長は低調であった。その後、岩井崎地先では2月上旬、荒島地先では2月中旬まで成長が持続したが両地先の平均全長は最大99～120cmにとどまった。

6) 千葉県千倉産種苗

2004年10月上旬から下旬に松岩地先と荒島地先で種苗の仮殖を行ったが、ほとんどが芽落ちした。仮殖期間中の水温および硝酸態窒素濃度は隠岐産種苗で記載したとおりである。残存した種苗を用いて11月上旬から荒島地先で養殖試験を行ったが、引き続き芽落ちが発生し、他の種苗と同等の生育条件に維持することが困難となったため本種苗は検討対象から除外した。

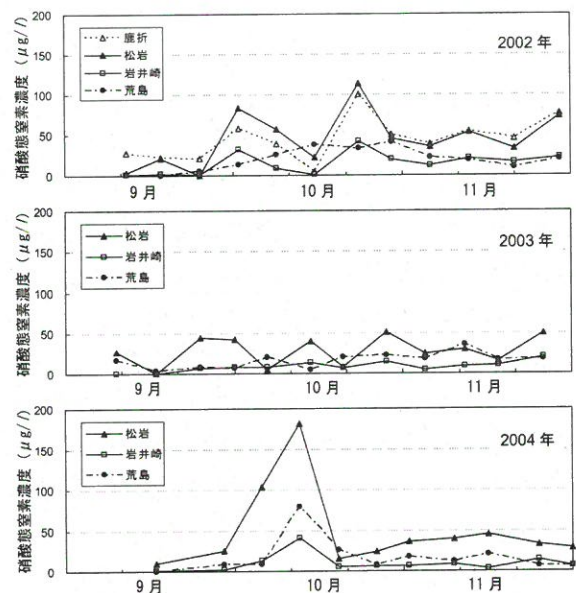


図 4-2 2002・2003・2004年の9月～11月における表面海水中の硝酸態窒素濃度の推移

7) 島根県隠岐産種苗

2004年10月上旬から下旬に松岩地先と荒島地先で種苗の仮殖を行い、このうち10月上旬に仮殖した種苗は両地先とも順調に生育した。仮殖期間中の垂下層水温は17.3~20.2℃の範囲で低下し、硝酸態窒素濃度は松岩地先では15.4~181.2 μg/l、荒島地先では7.5~79.3 μg/lの範囲で顕著に変動したが両地先とも芽落ちは認められなかった。

養殖試験は10月下旬から松岩地先で、11月上旬から荒島地先で開始した。これらの地先における12月下旬の平均全長は54~67cmで成長は低調であった。その後、松岩地先では2月上旬、荒島地先では2月下旬まで成長が持続したが両地先の平均全長は最大95~127cmにとどまった。

8) 北海道函館産種苗

2004年10月上旬から下旬に松岩地先と荒島地先で種苗の仮殖を行った結果、10月上旬に仮殖した種苗は両地先とも順調に生育した。仮殖期間中の水温および硝酸態窒素濃度は隠岐産種苗で記載したとおりである。

養殖試験は10月下旬から松岩地先で、11月上旬から荒島地先で開始した。これらの地先における12月下旬の平均全長は42~68cmで成長は低調であった。その後、松岩地先では2月上旬、荒島地先では2月下旬まで成長が持続したが、両地先の平均全長は最大120~151cmにとどまった。

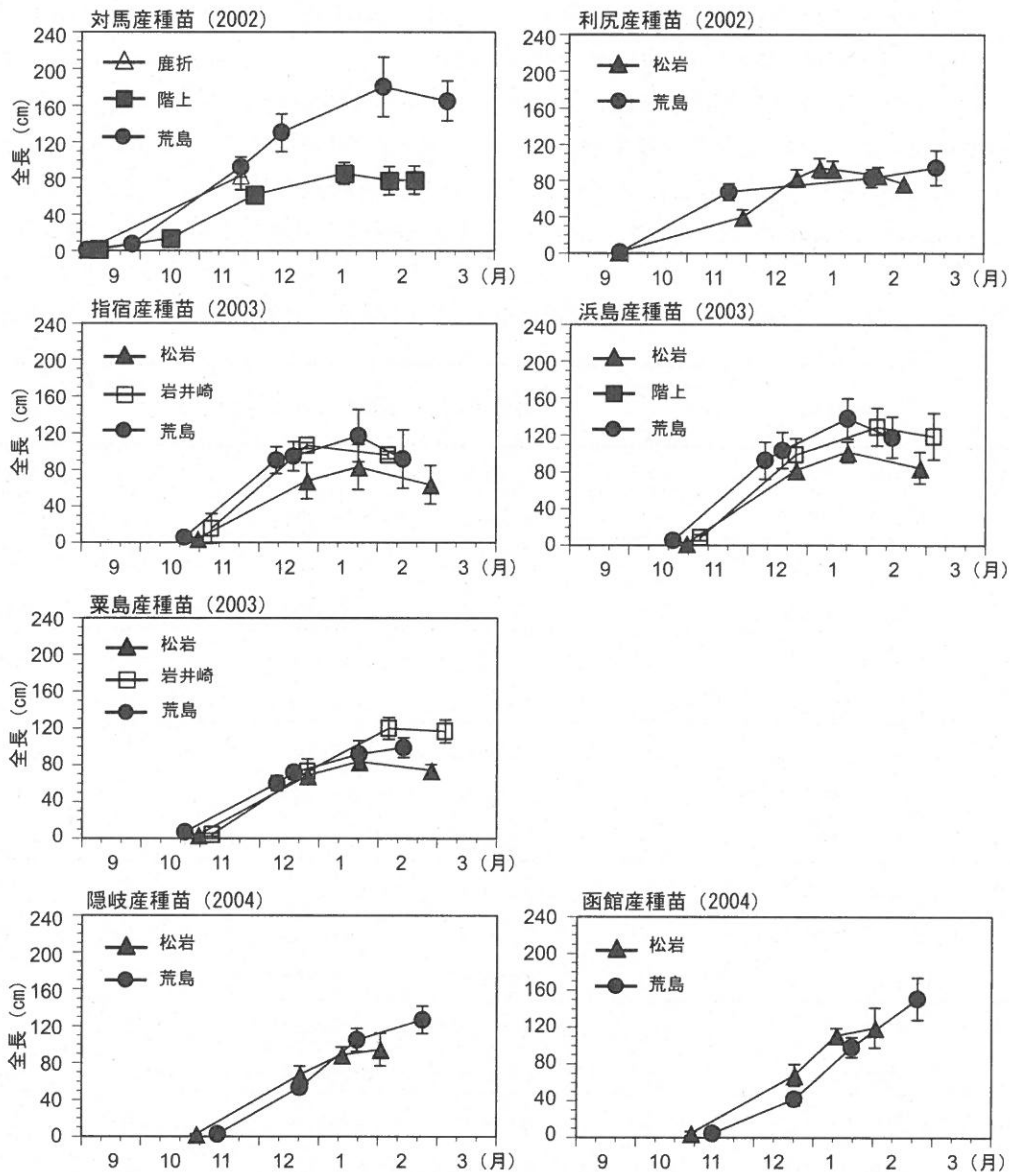


図5 試験養殖した天然ワカメ種苗の全長推移

2 成葉の形質

天然ワカメ種苗による成葉の外部形態を図6に、葉幅に対する欠刻幅の比（欠刻幅/葉幅）、最大裂葉中央部の葉厚および成実葉重量を表2に示した。欠刻幅/葉幅は葉形、葉厚は葉質を表す有効な指標であり¹¹⁾、前者はより小さい値、後者はより大きい値を示す藻体が優良形質として評価される。成実葉重量は採取時期内における月平均値の最小値と最大値をそれぞれ示した。

成葉の形質は同一種苗では漁場によって、また同一漁場では種苗によって著しく異なり、環境要因と遺伝的要因が形質発現に複合的に関与したことが裏付けられた。岩井崎地先で養殖した浜島産種苗と栗島産種苗、荒島地先で養殖した対馬産種苗と函館産種苗は裂葉の切れ込みが深く表面性状が滑らかで形質は概ね良好であった。欠刻幅/葉幅は岩井崎地先の浜島産種苗と栗島産種苗で0.13～0.16、荒島地先種苗の対馬産種苗と函館産種苗で0.19～0.20と漁場によって異なる傾向を示したが、葉厚は漁場間の差が小さく0.27～0.34 mmの範囲であった。これら

の結果を岩井崎地先および松岩地先で養殖された地種に関する報告³⁾と比較すると、岩井崎地先の浜島産種苗および栗島産種苗の欠刻幅/葉幅は同地先の地種（0.08～0.10）³⁾より有意に大きく（ $p<0.01$ ）、形質面で地種よりもやや劣ることが示唆された。一方、荒島地先の対馬産種苗および函館産種苗の欠刻幅/葉幅は松岩地先の地種（0.13～0.29）³⁾に近く、内湾産ワカメの形質としては妥当であったと考えられた。葉厚は岩井崎地先の栗島産を除いて地種（岩井崎地先：0.31～0.42 mm、松岩地先：0.20～0.25mm）³⁾とほぼ同等で形質は良好と考えられた。

松岩地先・岩井崎地先・荒島地先で養殖した指宿産種苗、松岩地先と荒島地先で養殖した利尻産種苗は中肋の歪曲や葉体表面の縮れが著しく製品化には不適当と判断された。

成実葉は荒島地先で養殖した対馬産種苗・指宿産種苗・浜島産種苗で12月から形成が認められた。対馬産種苗は12月の平均重量が37.4gで指宿産種苗（36.1g）および浜島産種苗（27.8g）より大きく、良好な形質を示した。

表2 天然ワカメ種苗による成葉の形質および成実葉重量。成実葉重量は採取時期内における月平均値の最小値と最大値を示した。

種苗	養殖漁場	採取時期 (月)	欠刻幅/葉幅	葉厚 (mm)	成実葉重量 (g)	
					(最小)	(最大)
対馬産	気仙沼 (階上)	1-2	0.23±0.07	0.29±0.04	91.9±21.8	139.9±42.0
	志津川 (荒島)	12-3	0.19±0.07	0.28±0.04	37.4± 7.6	165.4±58.3
利尻産	気仙沼 (松岩)	1-2	0.26±0.05	0.28±0.04	50.3±14.6	90.1±31.9
	志津川 (荒島)	2-3	0.20±0.06	0.34±0.04	157.0±45.9	249.7±86.8
指宿産	気仙沼 (松岩)	1-2	0.30±0.05	0.28±0.04	103.0±35.1	157.1±91.1
	志津川 (荒島)	12-2	0.27±0.06	0.28±0.06	36.1±14.6	129.0±65.6
浜島産	気仙沼 (松岩)	1-2	0.27±0.05	0.27±0.03	67.8±17.7	109.0±29.9
	〃 (岩井崎)	2-3	0.13±0.03	0.34±0.08	148.0±39.9	267.6±57.1
	志津川 (荒島)	12-2	0.23±0.07	0.31±0.05	27.8±13.5	176.1±49.2
栗島産	気仙沼 (松岩)	1-2	0.27±0.08	0.21±0.02	16.5± 4.2	31.2±14.6
	〃 (岩井崎)	2-3	0.16±0.04	0.27±0.06	52.8±15.9	90.8±25.3
	志津川 (荒島)	12-2	0.22±0.05	0.25±0.04	14.8± 6.3	116.5±28.3
隠岐産	気仙沼 (松岩)	1-2	0.20±0.04	0.24±0.03	22.4± 7.5	42.4± 8.5
	志津川 (荒島)	1-2	0.18±0.03	0.25±0.04	24.9± 9.1	96.7±18.6
函館産	気仙沼 (松岩)	1-2	0.32±0.07	0.28±0.02	15.9± 4.5	34.3± 8.1
	志津川 (荒島)	2	0.20±0.05	0.33±0.03	62.7±25.0	62.7±25.0

一方、指宿産種苗および浜島産種苗の成実葉は葉が薄く縁辺部が波状を呈し、製品化には不相当と判断された。なお、成実葉の形質は異なる漁場においても種苗毎に共通した特徴が認められ、遺伝的要因が形質発現に関与したことが示唆された。

以上に述べたとおり、寒暖8水域で採取した天然ワカメによる種苗の中で対馬産種苗は成長・形質の両面で良好

な結果を示し早期養殖用種苗としての有効性が示唆された。しかしながらワカメの成長・形質は水温・栄養塩濃度等の生育環境条件や継代年数によって変化することが経験的に知られている。そこで、継代による成長・形質特性の変化について検討するため対馬産種苗の継代養殖試験を行ったので、次項でその概要を述べる。

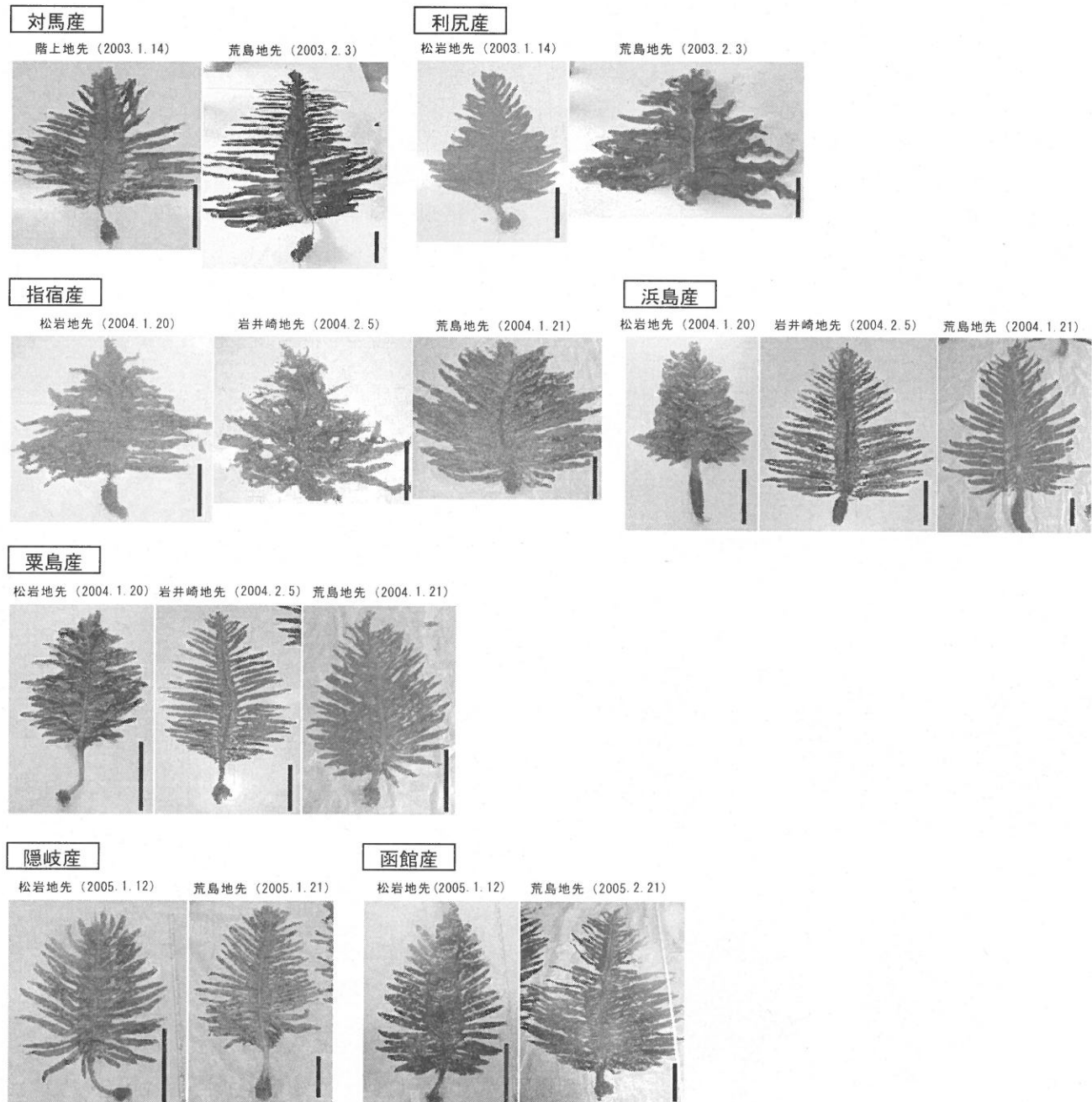


図 6 天然ワカメ種苗による成葉の外部形態。写真上に養殖漁場と採取年月日，右下に 30cm スケールを示した。

3 対馬産種苗の継代養殖

2002年に養殖した対馬産種苗をF1として2003年に対馬産F2, 2004年に対馬産F3を気仙沼湾および志津川湾で継代養殖し, 成長および形質特性の変化について検討した。

対馬産F2は2003年10月下旬から荒島地先で, 11月上旬から岩井崎地先でそれぞれ養殖した。荒島地先の対馬産F2は12月上旬の平均全長が144cmで地種を47cm上回り, 有意に高い成長を示した ($p<0.01$)。岩井崎地先の対馬産F2は12月まで地種と同様の成長推移であったが, 2月の平均全長は210cmで地種を24cm上回り, 有意に高い成長を示した ($p<0.05$)。対馬産F2の外部形態は地種に比べて遜色がなく (図7), 欠刻幅/葉幅および葉厚は地種と同等であり, 成実葉重量は対馬産F2が地種を有意に上回った ($p<0.01$) (表3)。

対馬産F3は2004年10月下旬から松岩地先で, 11月上旬から荒島地先で, 11月中旬から岩井崎地先でそれぞれ養殖した。

1月中~下旬の平均全長は岩井崎地先で219cm, 荒島地先で203cmとなり気仙沼湾内の地種の平均全長を35~51cm上回る高成長を示した ($p<0.05$)。形質面では, 岩井崎地先と荒島地先で養殖した対馬産F3はF2に比べて欠刻幅/葉幅が増大, 葉厚が減少し, 形質がやや劣化した傾向が認められた。この結果は継代養殖したワカメの形質はF2またはF3から変化すると報告した石川 (1992)¹¹⁾と合致する。ただし, 荒島地先で養殖した対馬産F1・F2・F3の全長および成実葉重量の月別平均値を比較すると, 全長はF3が最も大きく, 成実葉重量はF1とF3がほぼ同様であったことから (図8), 成長速度や成実葉重量におけるF1の優位性はF3でも維持されていたと考えられる。対馬産種苗の成長と形質が何世代まで維持されるかについては今後も調査を継続し, 養殖可能年数の把握に向けて検証を行っていく必要があると考えられる。

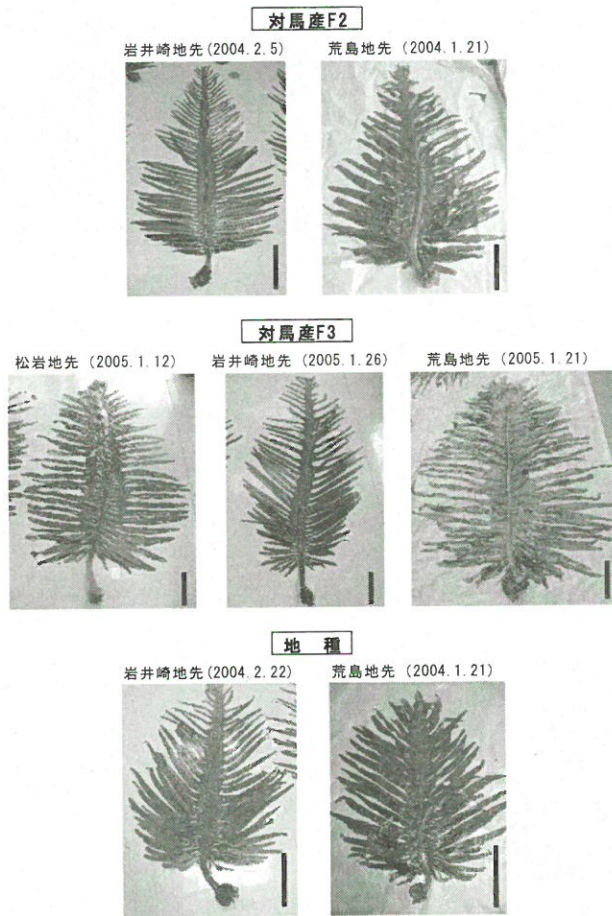


図7 対馬産 F2・F3 種苗および岩井崎地先・荒島地先の地種による成葉の外部形態。図中の説明は図5に同じ。

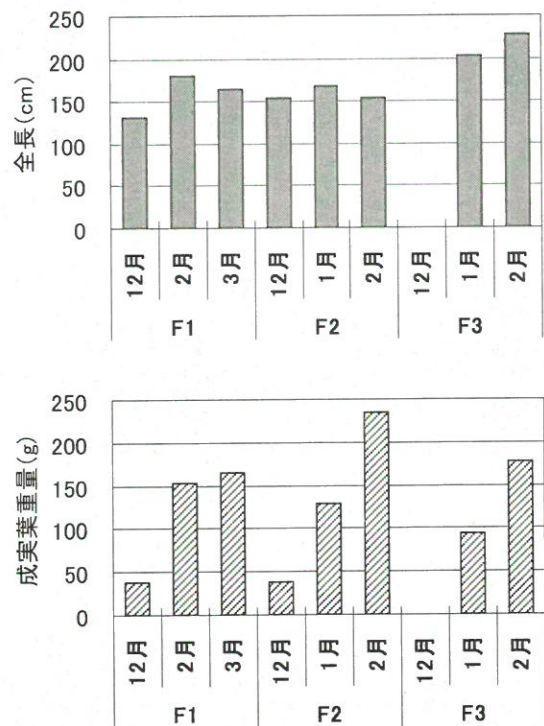


図8 荒島地先で養殖した対馬産 F1・F2・F3の全長および成実葉重量の月平均値。

表 3 対馬産 F2・F3 種苗および岩井崎地先・荒島地先の地種による成葉の形質および成実葉重量。成実葉重量は採取時期における月平均値の最小値と最大値を示した。

種苗	養殖漁場	採取時期 (月)	欠刻幅/葉幅	葉厚 (mm)	成実葉重量 (g)	
					(最小)	(最大)
対馬産 F2	気仙沼 (岩井崎)	2-3	0.14±0.04	0.32±0.05	170.5±26.1	306.6±112.7
	志津川 (荒島)	12-2	0.17±0.06	0.31±0.06	38.4±8.9	234.6±72.7
地種	気仙沼 (岩井崎)	3	0.14±0.03	0.37±0.06	—	139.0±49.1
	志津川 (荒島)	12-2	0.18±0.07	0.31±0.05	7.4±2.8	72.4±42.8
対馬産 F3	気仙沼 (松岩)	1-2	0.27±0.05	0.22±0.03	61.0±15.9	114.0±21.9
	〃 (岩井崎)	1-3	0.17±0.05	0.22±0.02	64.6±27.5	243.0±105.9
	志津川 (荒島)	1-2	0.22±0.05	0.27±0.03	93.2±14.4	177.9±38.7
地種	気仙沼 (岩井崎)	1-2	0.13±0.04	0.23±0.02	52.7±13.6	98.7±40.8

4 遺伝率の推定

天然ワカメ種苗による成葉の形質は同一漁場内で種苗によって著しく異なり、種苗の遺伝的要因が形質発現に関与したことが示唆された。そこで、2003年に気仙沼湾および志津川湾で試験養殖した種苗を対象として、遺伝性評価に有効な形質とされる欠刻幅/葉幅・葉厚・葉長/全長・葉状部重量/全体重量¹²⁾ および成実葉の幅/長さの5形質について個体の表現型がどの程度遺伝子型によって決まるかを表す指標となる広義の遺伝率 (h^2g) を石川 (1995)¹²⁾ に従い次式から推定した。

$$h^2g = \sigma G^2 / (\sigma G^2 + \sigma E^2) \quad (1)$$

ここで、

$$(\sigma E^2 + k \sigma G^2) = \{1 / (n-1)\} \times \sum (P_i - P_j)^2 \cdot N_i \quad (2)$$

$$\sigma E^2 = \{1 / (N_i - n)\} \times \sum Sd_i^2 \cdot (N_i - 1) \quad (3)$$

$$k = Nt/n \quad (4)$$

n は分集団数 (種苗の種類), P_i は全測定個体の平均, P_j は分集団内の平均, N_i は全測定個体数, N_j は分集団内の個体数, Sd_i は分集団内の標準偏差である。

推定された各形質の遺伝率を表4にまとめた。一般に遺伝率が0.20以上の形質では遺伝的要因による選択効果があるとされている¹³⁾。松岩地先と岩井崎地先では欠刻幅/葉幅を除く4形質、荒島地先では5形質で遺伝率が0.20以上を示したことから、これらの形質は遺伝的要因による種苗の選択効果が期待でき、種苗による優良形質の維持が可能であることが示唆された。なお、葉厚の遺伝率は松岩地先・岩井崎地先・荒島地先とも0.20以上となったが、これは岩手県の養殖ワカメにおける遺伝率 (0.081)¹²⁾と異なる結果であった。また、欠刻幅/葉幅の遺伝率は0.002~0.301の範囲で変動し遺伝的要因の影響が漁場によって異なることが示唆されたが、これは欠刻幅/葉幅が遺伝的に安定であることを報告した鬼頭ら (1981)⁶⁾、原・秋山 (1985)¹⁴⁾と異なる傾向であった。

遺伝率は解析対象となる集団やその集団が置かれた環境によってしばしば値が異なることから¹³⁾、今後ワカメの形質発現に及ぼす遺伝的要因の影響を把握するには養殖種苗や養殖条件をより適切に設定した上で漁場毎に詳細な検討を行っていく必要があると考えられる。

表 4 2003年に気仙沼湾および志津川湾で試験養殖した天然ワカメ種苗の成葉における遺伝率

	欠刻幅/葉幅	葉厚	葉長/全長	葉状部重量/全体重量	成実葉の幅/長さ
気仙沼湾松岩地先	0.002	0.644	0.562	0.747	0.705
気仙沼湾岩井崎地先	0.047	0.261	0.348	0.601	0.324
志津川湾荒島地先	0.301	0.224	0.301	0.375	0.389

5 生産現場における対馬産種苗の評価

早期養殖生産用種苗としての対馬産F3の有効性を検証するため、2004年9月から2005年3月まで内湾漁場の気仙沼湾階上地先および志津川湾荒島地先、外洋漁場の唐桑町石浜地先および北上町十三浜地先の養殖生産者7人に対して養殖試験を依頼し、種苗の成長、成実葉の形成状況、利用形態、形質・性状について聞き取りを行った。このうち形質・性状は各漁場で従来利用されてきた種苗（階上地先・荒島地先：鳴門系種苗、石浜地先・十三浜地先：北方系種苗）を比較対照として評価された。

対馬産F3の成長および成実葉の形成状況は各漁場で良好または非常に良好と評価された（表5）。利用形態は成実葉が生出荷用、葉状部が荒島地先を除く3漁場でボイル塩蔵加工用に適していると評価された。

形質・性状に関しては気仙沼湾階上地先で成実葉の形成時期がやや遅いとの指摘が聞かれた。これは養成ロープ上の着生密度が過密であったことが原因と推察され、養殖初期に一株あたりの着生本数を従来の地種と同様20本前後に調整することで回避できると考えられる。葉状部については石浜地先では葉厚が良好であり、石浜地先・十三浜地先では従来の養殖種苗より2週間前後収穫を早められる点が評価されたが、階上地先では葉厚がやや小さく、荒島地先・石浜地先・十三浜地先では対馬産F3の欠刻幅が従来の養殖種苗に比べてやや広い（欠刻幅/葉幅が大きい）との指摘があった。葉厚に関する石浜地

先と階上地先の聞き取り結果を裏付ける数値データは得られていないが、同一種苗で比較した場合に外洋漁場では内湾漁場に比べて葉厚が大きくなる傾向があることから³⁾、石浜地先での葉厚が階上地先よりも大きかった可能性が高く、結果的に石浜地先の高評価に結びついたと推察される。

対馬産F3の欠刻幅/葉幅が荒島地先・石浜地先・十三浜地先で大きいと評価された点は、対馬産F3と各漁場で従来利用されてきた種苗との遺伝的特性が異なっていたことを示唆するとともに欠刻幅/葉幅が遺伝的に安定な形質である^{6,14)}ことを裏付けたものと考えられ、環境要因によって対馬産種苗の欠刻幅が従来の養殖種苗の水準にまで改善する可能性が低いことを示唆していると考えられる。

欠刻幅および葉厚は原藻の品質を左右する重要な形質であり¹¹⁾、「三陸ワカメ」の主要産地である外洋漁場では長年の経験則によって選抜された既存種苗による高品質な原藻の生産維持が今後も最重要と考えられることから、形質面でやや劣る対馬産種苗を導入する意義は小さいと考えられる。

結論として、対馬産種苗は高品質な原藻の養殖生産が困難な内湾漁場で葉状部および成実葉を早期収穫するための種苗として有効と考えられ、今後は生産現場への導入を通じて内湾漁場の特性を活かした生産構造への転換と養殖漁家の収入向上に寄与することが期待される。

表5 対馬産F3の成長、成実葉の形成状況、利用形態、形質・性状に関する養殖生産者からの聞き取り結果
(◎：非常に良好，○：良好，△：あまり良好でない，×：悪い)

漁場 (生産者数)	種苗提供 方法	仮殖中の 成長	養殖中の 成長	成実葉の 形成状況	利用形態	形質・性状 (葉厚、形態等)	聞き取り時期
内湾 気仙沼湾階上地先 (3)	種糸	○	◎	○	成実葉(生), ボイル塩蔵	葉厚がやや小さいが外洋漁場 で養殖すれば改善の可能性が ある。成実葉の形成がやや遅い (1業者)。	2月下旬, 3月中旬
志津川湾荒島地先 (1)	種糸	○	◎	◎	成実葉(生)	表面のしわがやや多く欠刻幅 がやや広い。	1月下旬
外洋 唐桑町石浜地先 (1)	成実葉	○	◎	○	成実葉(生), ボイル塩蔵	欠刻幅がやや広い。葉厚は良 好。従来の北方系種苗より2週 間前後早く収穫可能。	3月上旬
北上町十三浜地先 (3)	種糸	○	◎	○	成実葉(生), ボイル塩蔵	欠刻幅がやや広い。従来の北方 系種苗より2週間前後早く収 穫可能。	1月上旬, 3月上旬

要 約

寒暖8水域（2002年：長崎県対馬，北海道利尻，2003年：鹿児島県指宿，三重県浜島，新潟県粟島，2004年：千葉県千倉，島根県隠岐，北海道函館）で採取した天然ワカメ野生株を用いて養殖種苗を育苗し，気仙沼湾鹿折・松岩・階上・岩井崎および志津川湾荒島地先で養殖試験を実施した。

- 1) 対馬産種苗は20.6～23.1℃の水温条件下でも順調に成長し，養殖期間中の成長および成実葉の形成時期は従来の早期養殖生産用種苗を上回った。利尻産種苗・指宿産種苗・浜島産種苗・隠岐産種苗・函館産種苗の成長は低調であり，千倉産種苗は種苗が芽落ちしたため成長状況を把握できなかった。
- 2) 葉状部の形質は岩井崎地先の浜島産種苗と粟島産種苗，荒島地先の対馬産種苗と函館産種苗が比較的良好であったが，気仙沼湾の地種に比べるとやや劣っていた。成実葉の形質は対馬産種苗が唯一良好であった。
- 3) 荒島地先で継代養殖した対馬産種苗の平均全長はF3が最も大きく，成実葉重量はF1とF3がほぼ同様であり，継代養殖による形質の劣化は認められなかった。
- 4) 養殖生産者による対馬産F3の養殖試験では成長，形質ともに良好な評価が得られ，内湾漁場を対象とした早

期養殖生産用種苗として有効であることが示された。

謝 辞

天然ワカメの採取にあたり，北海道立稚内水産試験場 赤池章一氏，北海道渡島南部地区水産技術普及指導所 牧本浩一氏，千葉県水産総合研究センター 清水利厚氏，三重県科学技術振興センター水産研究部 松田浩一氏・竹内泰介氏，島根県栽培漁業センター 山根恭道氏，長崎県対馬水産普及指導センター 松田正彦氏，長崎県総合水産試験場 藤井明彦氏，鹿児島県水産技術開発センター 田中敏博氏・今吉雄二氏，（独）水産総合研究センター 西海区水産研究所 清本節夫氏，同 日本海区水産研究所 林育夫氏の各位より多大な御協力をいただいた。ここに厚く御礼申し上げます。また，試験養殖に御協力いただいた唐桑町漁業協同組合，気仙沼地区漁業協同組合，南三陸町漁業協同組合，北上町十三浜漁業協同組合所属のワカメ養殖生産者各位，ならびに本研究推進に御協力いただいた気仙沼水産試験場職員諸氏に心から感謝申し上げます。本研究は水産庁委託「ワカメ養殖業構造調整支援技術等緊急開発調査事業（平成14～16年度）」により実施した。記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 平成11年宮城県漁業の動き．平成12年12月，東北農政局統計情報部，123pp.
- 2) 平成16年宮城県漁業の動き．平成18年3月，東北農政局統計部，119pp.
- 3) 日下啓作・菊田輝（2002）気仙沼湾におけるワカメ養殖種苗の形態差，宮城水産研報，**2**，1-6.
- 4) 大野正夫・松岡正義・團昭紀・Shaojun PANG・Chaoyuan WU（1999）中国産と鳴門産天然ワカメの形態形質特性．水産増殖，**47**（1），61-64.
- 5) 齊藤雄之助（1960）ワカメの生態に関する研究-V．養殖ワカメの形態について（その1）．日水誌，**26**（3），250-258.
- 6) 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固体の形態比較．東北水研研報，**42**，11-18.
- 7) 加藤孝・中久喜昭（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．日水誌，**28**（10），998-1004.
- 8) 堀 輝三（1993）藻類の生活史集成 第2巻 褐藻・紅藻類，345pp. 東京，内田老鶴圃.
- 9) 石川豊（1993）ワカメ葉状部生長量の簡易測定法．日水誌，**59**（8），1331-1336.
- 10) 齋藤宗勝・竹内一郎・乙部弘隆（1999）岩手県大槌湾における養殖ワカメの生長について．藻類，**47**（2），113-117.
- 11) 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.
- 12) 石川豊（1995）藻類の量的形質の遺伝率の推定．水産育種，**21**，3-13.

- 13) 日本水産学会 (1979) 水産生物の遺伝と育種. 水産学シリーズ26, 恒星社厚生閣, 東京, 140pp.
- 14) 原素之・秋山和夫 (1985) ワカメのヘテロシス効果について. 東北水研研報, 47, 47-50.