

アマモ場造成技術開発に関する研究

松井 繁明¹ 山木 克則² 中本 崇¹ 秋本 恒基¹
(¹研究部・²鹿島建(株)技術研究所)

アマモ類は魚介類稚仔の生息場として水産上重要な役割を果たしているだけでなく、近年、内湾域の環境浄化や底質の改善効果等環境面でも注目されている。しかし、全国的に分布範囲や分布量が衰退し、本県筑前海でも福岡湾や引津湾でアマモの生息域は過去と比較して衰退傾向にある。本研究では、地元海域から採取した種を用いた育苗、移植技術を開発するとともに、廃棄物として問題となっているカキ殻を使い育苗試験を行い、その効果とアマモ場造成への利用を検討した。福岡県産の種子から陸上水槽で育苗した苗を使用して芥屋地先に移植を行い定着させた。低塩分処理による発芽試験の結果、福岡県産の種子にも低塩分刺激による発芽促進が有効であることが分かった。神奈川県産の種子との比較から、福岡県産の種子は比較的広い範囲の塩分、温度で発芽が促進される事が明らかになった。基質別育苗試験では、カキ殻を粉砕した試験区が高い発芽率(約30~50%)を示し、底質中の溶存酸素の低下が発芽を促進したと考えられた。試験区ごとの生長(葉長、葉鞘長、根長)はカキ殻を粉砕した試験区が最も高く、他の試験区と比較して有意の差がみられた。

キーワード：アマモ場、低塩分、カキ殻、発芽促進

アマモ (*Zostera marina* L.) は、北半球に広く分布し、北海道から九州にかけての比較的静穏な浅海域に群落を形成する海産顕花植物で、群落を形成した場合はアマモ場と呼ばれる。¹⁾ アマモ場は魚介類幼稚仔の生息場や索餌場として水産上重要な役割を果たしている。加えて、近年、内湾域の環境浄化や底質の改善効果、栄養塩の吸収による赤潮の防止等、環境面でも注目されている。²⁾ しかし、埋め立てや浚渫、水質環境の悪化等により全国的に分布範囲や分布量が衰退している。^{3,4)} 本県筑前海でも福岡湾や引津湾でアマモの生息域は過去と比較して減少しておりアマモ場の面積も衰退傾向にある。⁵⁾ このため漁業者からアマモ増殖とアマモ場の拡大の強い要望が上がっている。アマモの移植は当初株移植による方法が提唱され成果をあげていたが、^{6,7)} 株分けによる方法は母集団に影響を与えるおそれが強く適当でない。また、播種による方法は発芽の確率が低く定着が困難であるため成果をあげることが難しい。適切なのは当該海域のアマモ場から種を採取し育苗を行った苗の移植によりアマモ場の拡大を図ることである。本研究では、地元海域から採取した種を用いて育苗、移植技術を開発するとともに、廃棄物として問題となっているカキ殻を使い育苗試験を行い、その効果とアマモ造成への利用を検討した。

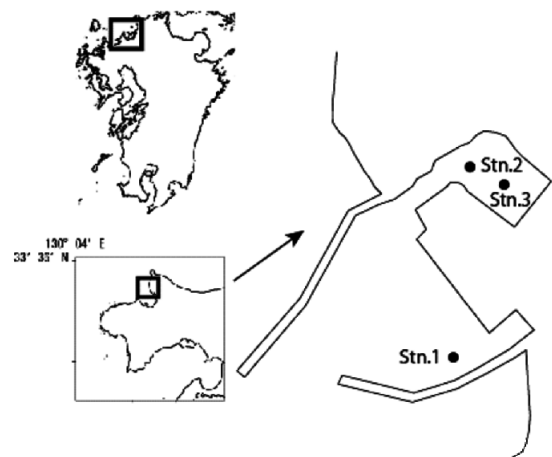


図1 アマモ移植地点

方法

1. 移植試験

現在、アマモ場が衰退し、漁業者から移植要望のあった福岡県糸島郡志摩町芥屋地先に環境別に3試験区を設け移植試験を行った(図1)。移植した苗は、福岡県糸島郡志摩町引津湾船越地先から採取した種子を陸上水槽で育苗したものをを使用した(図2)。いずれの試験区も元々アマモ場があったがそれが衰退消滅した場所で、Stn. 1は、漁港内であるが外海に面し水深5m、比較的波浪が高く底質は砂質(Md φ 2~3)、Stn. 2は漁港内で水深2m、底質は砂質(Md φ 2~3)、Stn. 3は、漁港内で水深

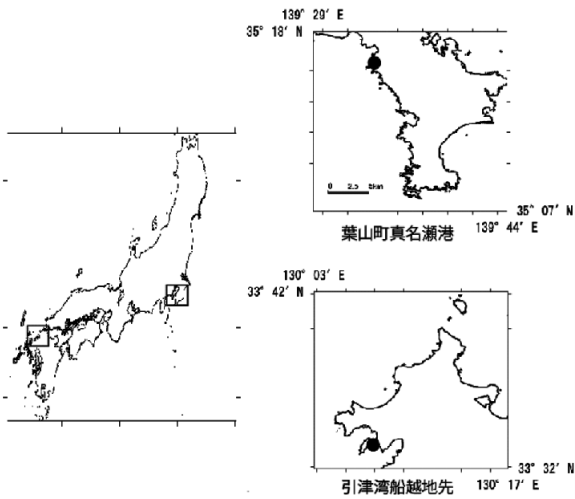


図2 種苗採取場所

2 m 底質は砂泥～シルト質 (Md φ 3~4<) であった。移植は地元漁業者と協力し自己崩壊性のポットに入った苗を潜水作業により植える方法で行い、移植後の2008年3月から翌年4月までの1年間草丈、草体数等を調査した。Stn. 1 と Stn. 2, 3の試験区ごとに移植したアマモの横に水温の連続計 (HOBO ペンダントデータロガー UA-002) を設置し測定を行った。

2. 低塩分処理による産地別発芽効果試験

福岡県産種子と神奈川県産種子を使い、塩分濃度、水温別に発芽試験を行い低塩分処理の発芽促進効果を検討するとともに、両者の比較から福岡県産種子の環境対応特性を検討した。福岡県産種子は2008年7月1日に福岡県糸島郡志摩町引津湾船越地先で、神奈川県産種子は2008年6月5日に神奈川県三浦郡葉山町真名瀬港で採取し (図2)、いずれの種子も試験に供するまで粒状活性炭を加え20℃に調温した無菌海水中に約2ヶ月間保存した。インキュベーターを使い温度別に4試験区 (5, 10, 15, 20℃) を設け、各温度ごとに塩分濃度別に、8試験区 (0, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 33psu) で培養し発芽状態を観察した。種子5粒をマルチプレート12穴の各穴に収容し塩分濃度を調節した濾過海水を3 ml ずつ入れ1検体とし、各試験区毎に4検体を設定した。発芽の判断は外皮が割れた時点を発芽として定義した。また、低塩分処理の経時的な発現効果を比較するために塩分濃度別に0と5 psu の2試験区を設け低塩分刺激による発芽試験を行った。水温は20℃とし、5粒を1検体として12検体について経時的に発芽率を測定した。

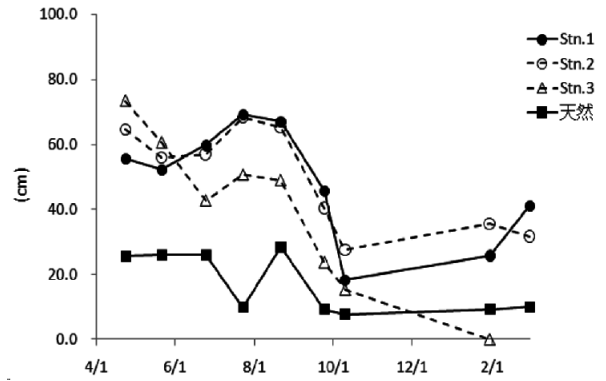


図3 葉長の径時変化

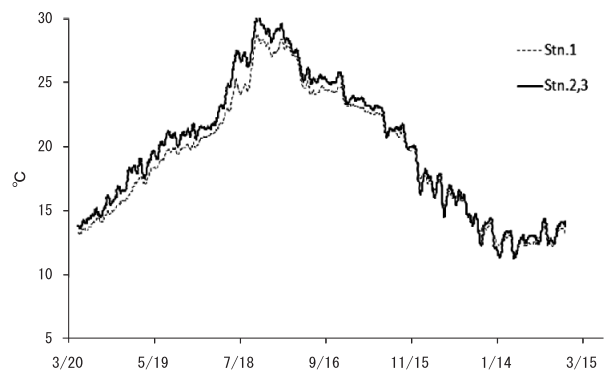


図4 水温の変化

3. 基質別発芽・育苗試験

カキ養殖の廃棄物として問題となっているカキ殻を用いて育苗基質としての有効性を検討した。試験は2008年12月から翌年4月にかけて自然光、2次濾過海水、1回転/日の条件下で屋内と屋外水槽を使い発芽・育苗試験を行った。試験には前述の発芽試験と同様、船越地先で採取した福岡県産の種子を用いた。試験区は、焼カキの殻を粒状 (MD φ 2<) に粉砕したもの (以下カキ殻粉砕区)、イガイやホヤ等の付着物を荒く砕いて用いたもの (以下残渣区) の2試験区とし、濾過海水で洗浄した海砂 (Md φ 2) を対照区とした。各基質を口径12cmの園芸用ポットに8分目まで入れ、1ポットに20粒ずつ播種して1検体とした。屋内、屋外とも1.5t水槽に水深50cmまで水を満たし基質別試験区ごとに11ポットを水面から約30cmの深さに設置した。試験期間中、水槽中の海水と各基質の間隙水中の溶存酸素、ORPを測定した。間隙水中の溶存酸素は光学式溶存酸素計 (Hach社, HQ30d, USALoveland) のセンサー部をプランクトンネットNXX13で保護し、基質中に約2cm挿入して測定した。発芽率は実験開始から2ヶ月後の2月16日に目視で出芽を計数した。計数を行った後、発芽促進のため水槽中の塩分濃度を一端20psuまで落とし1日間維持し

た。実験終了時の4月26日には、すべての種を基質から取り出し発芽を観察し、あわせて成長（葉長、葉鞘長、根長）を測定した。

試験結果の解析は発芽試験・育苗試験ともに一元配置の分散分析を行い、有意差が認められた物について Fisher の Protected Least Significant (PLSD) を用い、有意水準は5%として検定を行った。

結 果

1. 移植試験

芥屋に移植したアマモは、夏季7～9月時点ではすべての試験区で順調に生長・生残し、葉長は、7月23日に各試験区とも最大値 (Stn. 1 : 69.1cm, Stn. 2 : 68.2cm, Stn. 3 : 50.7cm) を示した (図3)。その後、減少傾向を示し泥質の試験区 Stn. 3 は冬季にかけて草体が消失した。他の試験区では水温が低下する冬季でも生残が確認され、漁場への定着がみられた。Stn. 1 の最高水温は7月31日に29.1℃, Stn. 2, 3 で31.8℃, 最低水温は Stn. 1 で1月25日に11.39℃, Stn. 2, 3 で1月15日に9.7℃であった (図4)。

2. 低塩分処理による産地別発芽効果試験

試験開始から2週間後の発芽率について検討を行った (図5)。福岡県産の種子では塩分濃度0～10psu の試験区で各温度区とも発芽が見られた。特に0 psu の試験区では15℃と20℃の試験区で80%、10℃の試験区で65%、5℃の試験区で50%と高い値を示した。5 psu の試験区では、5, 15, 20℃の試験区で40%以上、10℃の試験区で30%、10psu の試験区では、20℃の試験区で45%、15℃の試験区で35%の発芽率を示した。20psu の試験区でも5℃の試験区で5%、20℃の試験区で15%と発芽の促進効果が見られた。25psu とコントロールとして設けた標準的な海水33psu の試験区では発芽が見られなかった。神奈川県産の種子では0から15psu で発芽が見られた。0 psu の試験区では20℃で85%、15℃で40%と高い発芽率を示したが、10℃では10%、5℃では5%といずれも低い発芽率にとどまった。5 psu の試験区でも発芽率は低く15℃で5%、20℃で15%の発芽率であった。10psu と20psu の試験区では20℃で5%の発芽が見られたがその他の温度帯では発芽した種子は無かった。20, 25, 33psu の試験区ではすべての温度帯で発芽が観察されなかった。産地別の発芽率を比較すると、0 psu の試験区では20℃の試験区を除きすべての温度で福岡県産種子の発芽率が有意に高かった。また、他の塩分濃度試験区 (5～20psu) でも同様の傾向を示した。

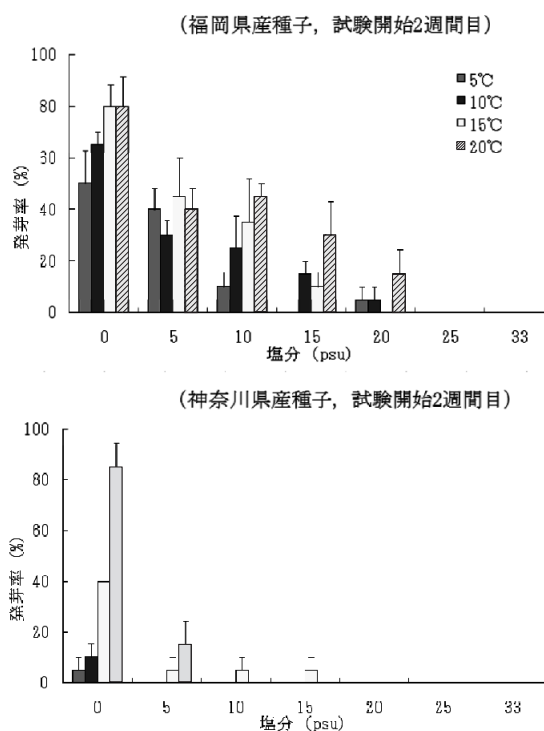


図5 塩分・水温別発芽率

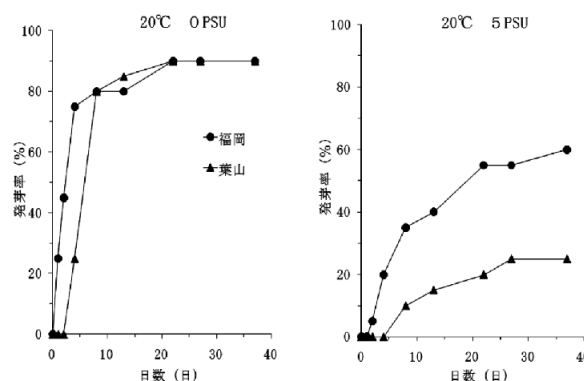


図6 発芽率の経時変化

経時的な発芽率の変化をみると、0 psu の試験区では、福岡県産の種子は開始から1日目で25%2日目で45%、3日目で75%の発芽率が見られ、8日目で80%、22日目で90%に変化し、その後、試験終了の37日まで90%のまま変化がなかった (図6)。神奈川県産の種子は2日目まで発芽が見られなかったが、4日目で25%、8日目で80%、13日目で85%、22日めで90%と増加し37日目まで90%で推移した。5 psu の試験区では福岡県産の種子は1日目は発芽が見られなかったものの2日目で5%、4日目で20%、8日目で35%、22日目には55%と増加し試験終了日の37日目には60%の種子で発芽が見られた。神奈川県産の種子では4日目まで発芽が見られず8日目

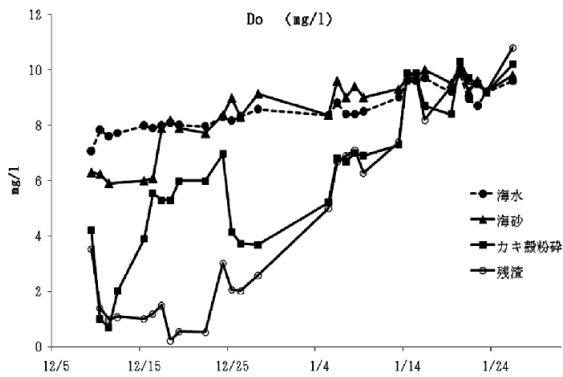


図7 試験区別溶存酸素濃度の変化

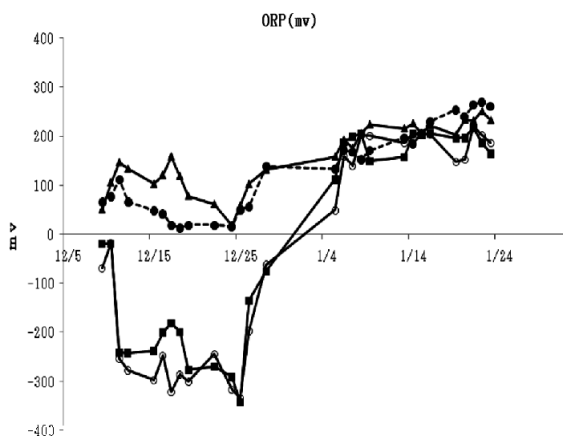


図8 試験区別酸化還元電位の変化

で10%, 13日目で15%, 22日目で20%, 27日目で25%と増加し37日目まで25%と変化がなかった。

3. 基質別発芽・育苗試験

試験区別間隙水中の溶存酸素濃度(図7)と酸化還元電位(図8)を示す。水槽内の海水の溶存酸素は、試験期間を通じて7.0mg/l以上、飽和度85%以上の高い水準で推移した。コントロールとして設けた砂区の間隙水は、実験開始から緩やかに減少し12月11日~12月16日まで低い値で推移したが、その後上昇し水槽の海水中の溶存酸素濃度と同じ傾向を示した。カキ殻粉砕区は実験開始から急激に溶存酸素が低下し、4日目の12月19日に最低値0.71mg/lを示した。その後12月16日には5.5mg/l、12月24日には6.9mg/lまで上昇したが12月28日にかけて再び減少し3.7mg/lを示した。その後は上昇し、1月13日からは7.0mg/l以上を維持した。残渣区はカキ殻粉砕区と同様に実験開始から急激に減少し12月18日には0.23mg/lと極めて低い値を示した。12月25日には3.0mg/lまで回復するが再び減少し、12月23日には2.0mg/lを示した。その後増加傾向を示し1月5日に5.0mg/lを超えて

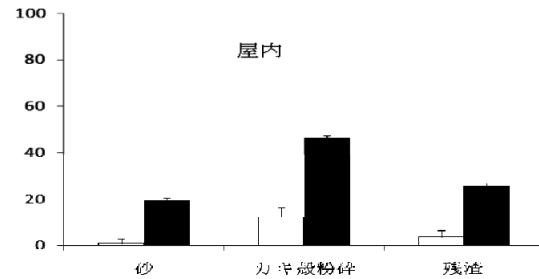
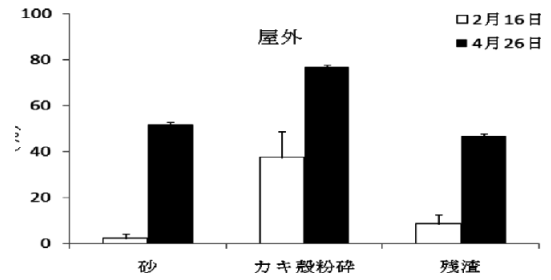


図9 発芽率の比較

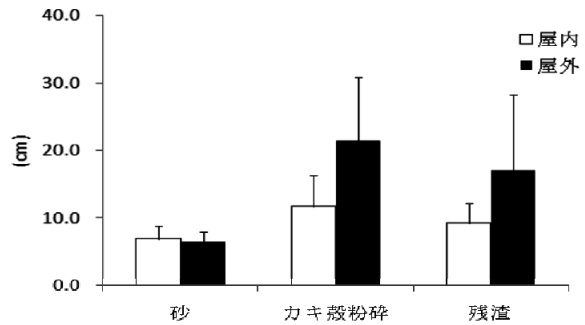


図10 成長の比較(葉長)

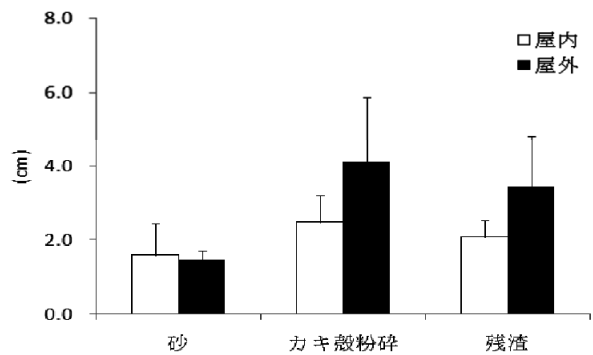


図11 成長の比較(葉鞘長)

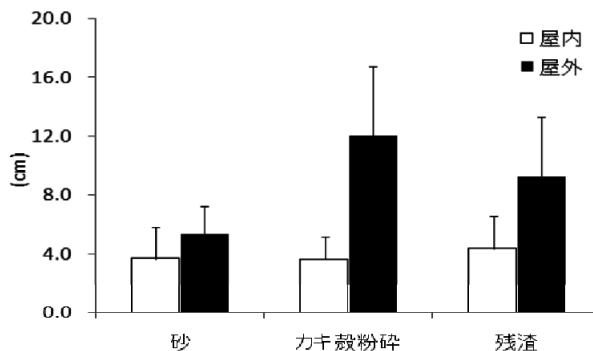


図12 成長の比較(根長)

からはカキ殻粉砕区と同様の傾向で推移した。カキ殻粉砕区、残渣区ともに1月中旬からは水槽の海水と同様の傾向を示し8.0mg/l以上の高い値を示した。酸化還元電位をみると、水槽の海水、砂区の間隙水ともに試験期間を通じて正の値を示し実験後半に上昇する傾向が見られた。カキ殻粉砕区、残渣区は、実験開始当初は著しい減少を示し12月25日にいずれの試験区も-300mVを下回る最低値を示した。その後上昇し1月5日以降は正の値を示し、水槽の海水とほぼ同様の傾向で推移した。

基質別の発芽率をみると試験開始から約2ヶ月後の2月16日では、砂区では屋内水槽で0.9%、屋外水槽で2.3%とほとんど発芽が見られなかった。カキ殻粉砕区では屋内水槽で12.3%、屋外水槽で37.7%の発芽が見られた。残渣区の発芽率は、屋内水槽で3.6%、屋外水槽で8.6%であった(図9)。各試験区を比較すると屋内水槽、屋外水槽ともに砂区とカキ殻粉砕区では有意な差が認められるものの、砂区と残渣区では有意な差が無かった。カキ殻粉砕区と残渣区の比較では優位の差が認められた。実験終了時の発芽率は砂区の屋内水槽で19.5%、屋外水槽で51.8%、カキ殻粉砕区の屋内水槽で46.4%、屋外水槽で76.8%、残渣区の屋内水槽で25.9%、屋外水槽で47%であった。4月時点でも2月時と同様、屋内、屋外水槽ともに砂区、残渣区と比較してカキ殻粉砕区が有意に高かった。基質別試験区ごとの成長をみると実験終了時の葉長は砂区の屋内水槽で7.0cm、屋外水槽で6.5cm、カキ殻粉砕区の屋内水槽で11.6cm、屋外水槽で21.4cm、残渣区の屋内水槽で9.3cm、屋外水槽で17.0cmであった(図10)。葉鞘長は砂区の屋内水槽で1.6cm、屋外水槽で1.5cm、カキ殻粉砕区の屋内水槽で2.5cm、屋外水槽で4.1cm、残渣区の屋内水槽で2.1cm、屋外水槽で3.4cmであった(図11)。根長は砂区の屋内水槽で3.7cm、屋外水槽で5.3cm、カキ殻粉砕区の屋内水槽で3.6cm、屋外水槽で12.0cm、残渣区の屋内水槽で4.4cm、屋外水槽で9.3cmであった(図12)。砂区との比較では、カキ殻粉砕区と残渣区の屋外水槽、屋内水槽ともに葉長、葉鞘長の成長に有意の差がみられた。根長は、屋外水槽では有意な差が見られたが、屋内水槽では認められなかった。カキ殻粉砕区と残渣区の比較では、屋内水槽の根長を除いてすべての試験区でカキ殻粉砕区が有意に高かった。

考 察

今回行った移植試験は、地元のアマモから採取した種子を使い育苗を行った苗を当該海域に移植したものである。この方法は、遺伝子攪乱の危険性が低く、加えて既存のアマモ場の損害防止に有効である。今回、こうした

一連の方法で、アマモ場が消失した場所に苗の定着がみられたことは、今後のアマモ場再生への取り組みに重要である。本試験では Stn. 3 で定着が見られなかった。水温をみるとアマモの育成に影響を与えているとされている28℃以上の水温が観察された期間は Stn. 1 では7月26日から8月18日の約22日間であったのに対して Stn. 2, 3 では7月14日から8月26日43日間に及んでいる。ただし同じ水温環境にある Stn. 2 では定着が見られている。水温がアマモに与える影響については藤澤ら⁸⁾が光量が十分に存在する条件下では28℃を超える高水温環境でも存続が可能である事を指摘している。また、平岡ら⁹⁾はアマモの消滅する自然要因として浮泥による光量の減少と葉上に堆積する浮泥の影響について述べている。Stn. 3 では底質が巻き上がり葉体に付着している状況が調査時に観察され、加えて夏季に表底層にアオサの堆積がみられた。こうした光環境の悪化が影響を与えたのではないかと考える。

発芽試験の結果、山木ら¹⁰⁾が提唱する低塩分刺激による発芽促進が福岡県産の種子にも有効であることが分かった。さらに神奈川県産の種子との比較から、福岡県産の種子は比較的広い範囲の塩分、温度で発芽が促進される傾向を示した。これは、山木ら¹⁰⁾が行った岩手県槌河口と箱崎地先の種子と比べても良好な結果を示している。こうした特性は本来発芽率が低いアマモの種子を使い育苗を行う際に有効であると考えられる。また、比較的広い範囲の温度、塩分に対応することから自然界への播種によるアマモ場造成の可能性が示唆される。

経時的な発芽率の変化を見ると神奈川県産の種子に比較して福岡県産の種子は短い時間で高い発芽率を示している。低塩分処理による発芽促進は種皮内部への淡水の浸透による膨張が種皮を割れやすくしていると考えられるが、同時に長期間低塩分海水中に浸漬することは、発芽の促進と同時に種子にダメージを与える事が指摘されている¹⁰⁾。低塩分処理の時間を短縮することは、種子への影響を軽減することでより健全な苗の生産が行える可能性を示唆している。

基質別育苗試験では、カキ殻を粉砕した試験区が高い発芽率(約30~50%)を示した。特に2月までの試験では低塩分による刺激の無い過程で37.7%の高い発芽率を示している。自然界でのアマモの発芽は幡手ら¹¹⁾が行った実験では、水温が低下する冬季に播種した場合約1.5%以下で、出芽までに1~3ヶ月を要している。カキ殻を粉砕した試験区では、底質中の溶存酸素が開始直後に著しく低下しその後短期間で回復する傾向を示している。貧酸素の刺激がアマモの発芽や成長に影響をあたえることは A.coolidgeChurchill¹²⁾により指摘されており、溶

存酸素の急激な低下や酸化還元電位の低下などの水質悪化が刺激となって発芽を促進したと考えられる。残渣区では、カキ殻粉砕区と同様に貧酸素状態が発生しているが酸素濃度の低下が著しく、継続期間も長い。しかし、基質に有機物が多く含まれているため腐敗による水質の悪化が発芽率に負の影響を与えたと考えられる。成長についてみると葉長、葉鞘長、根長ともにカキ殻粉砕した基質の有効性が明らかになった。カキ殻の植物への有効性はよく知られているが、今回行った試験でアマモの成長にも有効であることが分かった。また、カキ殻粉砕区ではアマモの根がカキ殻に絡んでいることが観測された。育苗時に根が絡むことによりカキ殻がアンカーの役割を果たし抵抗が増す。このことは軟泥域への移植や、移植後、地下茎や根が発達するまでの間に苗が海域で流失することを防止する効果が期待される。

カキ殻は海底の底質改良材としての事例が多く報告されている。また、焼カキの殻を回収しカキ殻肥料としてリサイクルする試みが糸島地区で本年度から開始されている。こうした試みを活用し漁業者自らがアマモ場の造成に取り組むためには、今回の試験結果をもとに、種苗の特性と基質の効果を生かした、より簡易で効果的なアマモ場の造成方法を開発する必要がある。

文 献

- 1) 寺脇利信：21世紀の海藻資源（大野正夫編）3-33（1996）.
- 2) 新崎盛敏：アマモ，コアマモの生態（II）. 日水誌，16，70-76（1950）.
- 3) Norio Tanaka：Distribution of *Zostera speciosa* in Japan I *Zostera marina* L. :Bull. Natl. Nat. Sci. Ser. B, vol35(1), 23-40 March22, (2009).
- 4) Terawaki, T：Technical view of seaweed forest formation in japan:The joint Meeting of the CEST Panel of UJNRR. 17-20(1998).
- 5) 池内 仁・後川龍男：福岡県水産海洋技術センター事業報告. 33. (2005).
- 6) 和泉安洋・広沢 晃・團 昭紀・森口朗彦・寺脇利信：底質安定化マットによる4年間のアマモの成長と成熟. 水産工. 39, 139-143 (2002).
- 7) 川崎保夫・飯塚貞二・後藤 弘・寺脇利信・渡辺康憲・菊池弘太郎：アマモ造成法に関する研究. (財)電力中央研究所報告. U14, 110-213. (1988).
- 8) 藤澤邦康・林 浩志・小橋啓介・小見山秀樹：高水温と水中光量が移植アマモの成長・生残に及ぼす影響. 岡山水報, 17, 41-45 (2002).
- 9) 平岡喜代典・後藤義男・寺脇利信・岡田光正：自然的要因によるアマモ場の消失－氾濫河川からの浮泥供給による消滅事例の解析－. 水環境学会誌. 第24巻第3号, 153-158(2001).
- 10) 山木克則・小河久朗・吉川東水・難波信由：アマモ種子における塩分及び温度制御による発芽促進効果：水産増殖. 54. (3), 347-351(2006)
- 11) 幡手格一：アマモ場，藻場・海中林. (日本水産学会編) 恒星社厚生閣，東京，93-115 (1981).
- 12) A. coolidge Churchill：Growth characteristics of *Zostera marina* seeding under anaerobic conditions. Aquatic Botany, 43, 379-392(1992).
- 13) 横田弘司：カキ殻の利用に関する土壌肥料学的研究，広島農業短期大学研究報告，6，6，549～639(1981).