

# アマモとサルボウを用いた中海の水質浄化に関する研究（第1報）

【水環境室】

宮本 康 初田亜希子\* 山本香織

(\*：現西部総合事務所生活環境局)

## 1 はじめに

中海の汚濁化が過去 100 年の間に突発的に生じたことは「中海生態系の長期変動と研究成果の活用方法に関する研究」で説明した通りである<sup>1)</sup>。そして、このような湖沼の浄化には、流入負荷の削減だけではなく、浄化能力を有する生物、例えば水生植物や二枚貝の再生も不可欠であることも紹介した。アマモ類（水生植物）とサルボウ（二枚貝）がかつての豊饒な中海のシンボリックな生物であること、そしてこれらが優れた水質浄化力を有することを考慮すると、これらの生物の再生は中海の浄化に不可欠であると言える。そこで本調査研究は、コアマモとサルボウの再生に資する情報収集を目的とした。

中海には2種のアマモ類（アマモ・コアマモ）が分布するが、本調査研究はコアマモに注目した。なぜなら、今日の中海は塩分の時空間変異が大きいと、高塩分域に分布の中心をもつアマモを恒常的に再生することが困難であると予想されるからである。一方、コアマモは大橋川から境水道にかけての広い範囲に分布するため<sup>2)</sup>、中海の広い範囲で再生の可能性が期待される。しかし、本種の生育環境に関する知見はアマモに較べると著しく少なく<sup>3)</sup>、このことが今日におけるコアマモの再生事例の少なさに直結している。したがって、コアマモを再生するためには、本種の生育環境を明らかにする必要がある。

また、サルボウに関しては、1970年代に入り漁獲統計から姿を消して久しく、絶滅したものと考えられていた。しかし、この10年の間に本種の生育が漁業者により確認されたことで、再生への期待が著しく高まった。本種を再生する上でも生育環境を解明することが不可欠であるが、同じ有用二枚貝であるアサリやシジミに較べると、知見が著しく少ないのが現状である<sup>4)</sup>。

そこで、本調査研究は、コアマモとサルボウの生育至適環境を明らかにし、これらの再生技術を確認する上での礎とすることを目的とした。コアマモに関しては、1)再生適地の選定と2)移植実験を行い、サルボ

ウに関しては、塩分耐性を解明するための実験より開始した。現在は貧酸素耐性の解明実験を実施中だが、これに関する成果発表は次の機会に譲ることとする。

なお、本研究の主な成果は学術誌に投稿中であるため、以下の内容（方法・結果・考察）は概要の紹介にとどめる。

## 2 方法

### 1) コアマモ

#### (1) 再生適地の選定

当所が行った中海沿岸の生物相と環境調査の結果<sup>5) 6)</sup>を活用し、まず コアマモの分布制限要因を明らかにした。さらに、この結果を踏まえて 再生適地の選定を行った。

の目的のため、H16に10地点（**図1**）で四季毎に行われた調査結果<sup>5)</sup>を用い、コアマモの被覆度がどのような環境要因に制限されているのかを推定した。この推定はステップワイズ回帰分析を用いて行

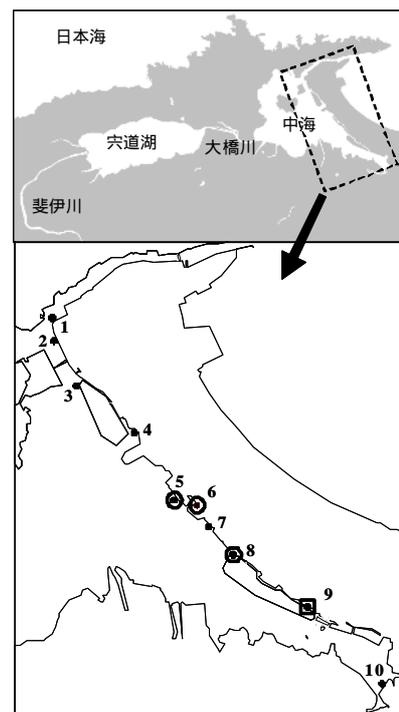


図 1. 平成 16～18 年の調査地点。  
1～4 はコアマモの自生地、5～10 は移植候補地を示す。

った<sup>7)</sup>。解析に供した環境要因は水深・流速・水温・消散係数・塩分・全窒素量・全リン量・Chl.a濃度・底質の強熱減量・底質の全硫黄量・底質のシルト・クレイ率の11項目である。

の分析により、分布制限要因の影響が小さい地点(地点9)が明らかになった。アマモ類の再生適地は自生地の環境(水質・底質・流速・波当たり等)とほぼ同じである必要があることを考慮し<sup>8)9)</sup>、地点9の環境要因が自生地(地点)のものと差がないかどうかを検証した。環境要因は上記の11項目とし、項目毎に四季の調査結果を繰り返しとしたt検定を行った<sup>7)</sup>。

## (2) 移植実験

上記(1)の分析で明らかになった分布制限要因の影響が小さい実験水域にて、自生地(地点5・6・8)より採取したコアアマモ株の移植を行った。実験水域は東郷湖の畔に設けられた実験水路である。

## 2) サルボウ

塩分と水温に応じたサルボウの濾過速度の変化を明らかにするために、殻長2cm以上の個体を用いて室内実験を行った。塩分は6段階、水温は4段階に設定し、全24通りの組み合わせの下でサルボウ個体の濾過速度と生残率を定量化した(図2)。

実験は恒温チャンバーの中で行った。このチャンパーは1つの温度のみが設定可能なため、1回の実験で1水温・6塩分の設定を3反復ずつ設けた(図2)。そして、各水温の実験を2回ずつ行い、合計8回の実験(4水温×2反復)を行った(図2)。

このチャンパー内に、サルボウを1個体ずつ入れた飼育容器を入れた。砂を敷いた円筒型のプラスチック製容器(容積1L)に、設定塩分に調整した海水800mlを入れた。そこにサルボウを殻高と殻長を測定した後に投入し、給気を行った。

その後5日間、以下の手順で実験を行った。

飼育水の交換： 水換えを毎日行い、この折にサルボウの生死を確認した。その後、市販の二枚貝餌料を容器あたり15ml加えた。

濾過速度の計測： 珪藻を加えた10分後とその2時間後、Chl.a濃度の測定を行った。この測定結果を用いて濾過速度を算出した。濾過速度の算出には以下の式を用いた<sup>4)</sup>。

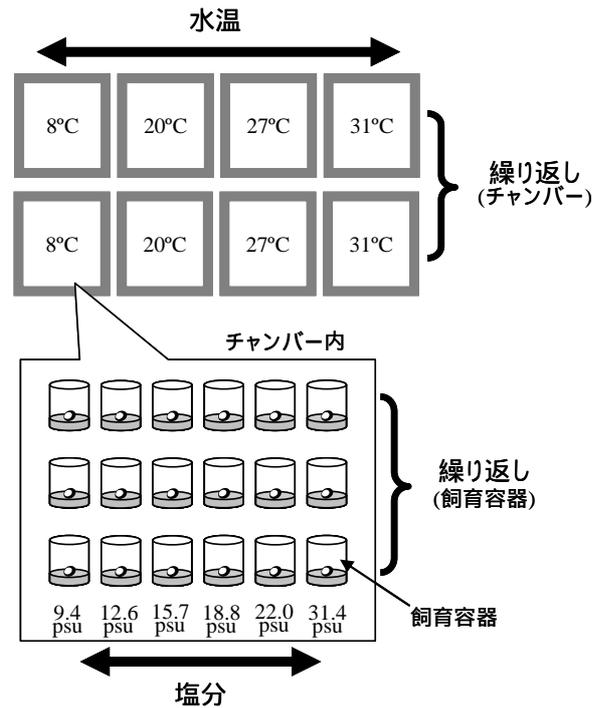


図2. 塩分と水温に応じたサルボウの濾過速度、および死亡率の変化を調べるための実験デザイン。

濾過速度 (L/g/hr)

$$= ([V/t_s] \cdot \ln[C_0/C_1] - CR^*) / w_i$$

Vは飼育水の容積、 $C_0$ と $C_1$ は接餌前と後( $t_s$ 時間後)のChl.a濃度、 $CR^*$ は見かけの濾過速度、そして $w_i$ は実験に供した個体iの軟体部乾燥重量である。

$CR^*$ は以下の式で表される。

$$CR^* = (V/t_s) \cdot \ln(C_0^*/C_1^*)$$

$C_0^*$ と $C_1^*$ は接餌前と後( $t_s$ 時間後)のChl.a濃度である。 $CR^*$ の測定は接餌実験とは独立に、本実験で設定した全ての塩分と水温の組合せの下で行った。

## 3 結果及び考察

### 1) コアマモ

#### (1) 再生適地の選定

分析の結果、光合成に十分な光が供給される浅場であるとともに、静穏であることがコアアマモ生育地の特徴として示された。同じ時期に島根県水域でもコアアマモに関する調査が行われ<sup>10)</sup>、光合成に十分な光が届く水深の浅い静穏な場所が、コアアマモの生育に必要なことが明らかになった。このように、両県の解析結果は、ともに光と波浪が今日の中海に

おけるコアマモの分布の制限要因として重要であることを示した。したがって、今日の中海においてコアマモ場を保全・再生するためには、特に光環境と波浪の影響に配慮する必要があると言える。

以上の結果を踏まえ、H16 に調査を行った 10 地点の中から、コアマモの分布が現時点で認められないものの、水深が浅く静穏である水域として地点 9 を移植候補地とした。この地点の環境は 11 要因中、10 要因が自生地と差が認められなかった。そこで、この地点 9 を再生適地と判定した。

## (2) 移植実験

東郷湖畔に設けられた実験水路は、水深が約 10cm と浅く水路幅が 1m であることから、日光が十分に差し込む上、波浪の影響がほとんどない。したがって、コアマモの生育には好適と考えられる。ここに、平成 18 年 8 月に中海のコアマモ自生地（地点 6）で約 0.25m<sup>2</sup> の範囲からバケツ 1/3 ほど採集した株を移植した。その後、1~2 月の冬枯れ、6~9 月の夏枯れを経て分布が著しく拡大し、約 1 年半で面積にして移植時の約 60 倍の増殖に成功した（図 3）。

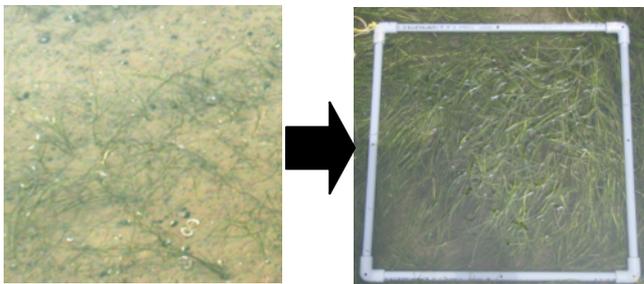


図 3. 自生地より実験水路に移植したコアマモの分布拡大。地下茎成長により被覆度が著しく増大した。枠の大きさは 50x50cm。

この実験水路は、上記のようにコアマモの分布制限要因を回避できているものの、他の環境要因に関しては自生地と大きく異なっている。塩分に関しては自生地の 1/10 程度であり、底質に関しては市販の川砂（自生地の底質は砂泥）である。それにも関わらず、コアマモの分布拡大は移植 2 年後（平成 20 年 9 月）も継続している。この結果は、コアマモの再生には「水深が浅く静穏な場所」を探し出すか、もしくは人工的に作り出すことが重要であることを強

く示唆するものである。

## 2) サルボウ

サルボウの濾過速度は中程度の塩分（18.8 ~ 22.0psu）で最大になることが明らかになった（図 4）。塩分低下による濾過速度の低下は 12.6psu 以下で顕著になった。こうした塩分低下に応じた濾過速度の低下傾向は、水温に拘わらず一貫していた。

また、濾過速度は高塩分（31.4psu）でも低下することが明らかになった（図 4）。しかし、高塩分での濾過速度の低下は低塩分下ほど顕著ではなかった。そして、この傾向は全ての水温条件で共通していた。したがって、海水に相当する高塩分は、本種の濾過速度に若干の低下を引き起こすものの、濾過活動を停止させるほど不適なものではないと言える。

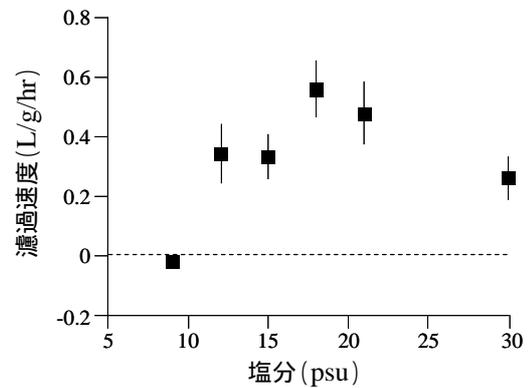


図 4. 塩分に応じたサルボウの濾過速度の変化。4 水温の結果を平均化した結果。エラーバーは 95%信頼区間を示す。

水温に応じた濾過速度の変化は、中～高塩分で顕著であった。水温 8 では塩分に拘わらず濾過活動がほとんど認められなかった一方、27 で濾過速度が最大になり、さらに 31 になると濾過速度がやや低下することが示された。27 が夏季の代表水温であり 8 が冬季の代表水温であることを考慮すると、中海産サルボウの濾過活動は冬季に著しく低下し、夏季に最大になると結論できる。

生残率も塩分と水温に応じて変化する傾向が認められた。中海産サルボウの生残率は、猛暑年の夏季水温（31）における低塩分条件（<12.6psu）で著しく低下した。こうした高水温、低塩分の条件は、中海では 7-8 月の浅場環境に該当する。さらに、夏

季における降水量の増加は、躍層上部の浅場の塩分低下を伴う一方、躍層下部の深場の塩分低下は伴わない。これらの点から、沿岸域の浅場は、夏季にはサルボウにとって致命的な条件になりやすいことが示唆される。

以上の結果は、サルボウの生育には高塩分が常に保たれる深場（塩分躍層の下部）が相応しいことを示している。しかし、今日の中海では、深場の広い水域においてサルボウの生息が認められていない。この事実は、塩分と水温以外の環境要因が今日におけるサルボウの生息域を制限していることを示唆している。現在は、そのような要因として注目を浴びている溶存酸素が本種の濾過速度と生残率に与える影響を評価している。

#### 4 まとめ

本調査研究のこれまでの成果を要約すると以下の通りである。

- (1) 今日の中海では静穏であり、かつ光が十分に届く浅場が少ないことが、コアマモの分布を制限していることが示された。これらの影響を取り除くと、本種の再生が可能であることが実験水路で確認された。
- (2) サルボウの生残には高塩分（海水の1/3以上）が不可欠であること、そして本種による水質浄化は夏季に最大になることが室内実験により示された。

しかし、コアマモの再生に関しては現場（中海）での移植技術の確立が不可欠である。この点に関しては、現在、中海で移植実験を実施中であり、近い将来、結果を報告する予定である。一方、サルボウに関しては、以上の成果を現場での再生に活用する必要がある。これに関しては、今年より島根大学と島根県、および漁業者と連携して進めている。今後は、このサルボウ再生プロジェクトの一環として、当所の実験技術とその成果を生かす予定である。

#### 5 謝辞

サルボウの調査研究を進めるにあたり、島根大学汽水域研究センター、同大学生物資源科学部、島根県水産技術センター、鳥取県栽培漁業センター、瀬戸内海区水産研究所の協力を得ました。さらに、コアマモの調査研究はC型共同研究の一環として行い、国立環境研究所、広島県立総合技術研究所、兵庫県立健康環境

科学研究センター、茨城県霞ヶ浦環境科学センター、三重県水産研究所、同県農業研究所と情報・意見交換を行いながら進めました。以上の機関とスタッフの方々に厚く御礼申し上げます。

#### 6 参考文献

- 1) Katsuki K, Miyamoto Y, Yamada K, Takata H, Yamaguchi K, Nakayama D, Coops H, Kunii H, Nomura R, Khim B-K (in press) Eutrophication-induced changes in Lake Nakaumi, southwest Japan. *Journal of Paleolimnology*.
- 2) 國井秀伸 (2001) 宍道湖・中海における水生絶滅危惧植物の分布. *LAGUNA (汽水域研究)* 8: 95-100.
- 3) 越川義功・中村華子・田中昌宏・小河久郎 (2007) コアマモ場再生を目指した草体増殖および種子発芽特性の検討. *海岸工学論文集* 54: 1076-1080.
- 4) Nakamura Y (2005) Suspension feeding of the ark shell *Scapharca subcrenata* as a function of environmental and biological variables. *Fisheries Science* 71: 875-883.
- 5) 鳥取県衛生環境研究所・株式会社東京久栄 (2005) 藻類・貝類等による中海浄化手法検討事業に係る現地調査業務報告書.
- 6) 鳥取県衛生環境研究所・株式会社東京久栄 (2006) 藻類・貝類等による中海浄化手法検討事業に係る現地調査業務報告書.
- 7) Sokal RR, Rohlf FJ (1995) *Biometry* 3rd ed. Freeman, New York, 887pp.
- 8) Fonseca MS (1994) A guide to transplanting seagrass in the Gulf of Mexico. Texas A&M University Sea Grant College Program, TAMU-SG-94-601.
- 9) Coastal Resources Management Council (2003) Technical & scientific resources, restoring coastal habitats for Rhode Island's future, [http://www.edc.uri.edu/restoration/html/tech\\_sci/projsea.htm](http://www.edc.uri.edu/restoration/html/tech_sci/projsea.htm)
- 10) 島根県 (2006) 宍道湖・中海水産資源維持再生構想. 61pp.