

鳥取県中部海域におけるアマモ場の季節消長と 生物群集構造について－Ⅱ

葉上付着生物と底生生物の動態について

太田太郎*・水流園直樹**・大塚淳生***・吉永郁生****

1. はじめに

海草の一種であるアマモ *Zostera marina* の群落（以下、アマモ場と記す）は沿岸域の静穏な砂泥底に形成され、魚類等の海洋生物の生息場として利用されるなど、沿岸生態系における生物多様性の維持に重要な役割を果たしている（三重県農水商工部水産基盤室、2008）。また、アマモは陸上植物と同様に根を張ることにより底質を安定化させることや繁茂による波力の減衰などの物理的効果、光合成による酸素供給や草体の成長による窒素やリンの固定などの化学的効果等、沿岸海域において様々な機能を有しているものと考えられる。一方、アマモ場は人為的な影響を受けやすい内湾のごく沿岸域に形成されることから、1970年代後半からの高度成長期における海岸の改変等により、全国的に大きく減少していると言われている（環境庁、1994）。鳥取県周辺の沿岸については県西部に位置する汽水湖中海でアマモの分布が調査されている（島村・中村、1998）。この水域にはかつて広大なアマモ場が存在したが、近年の環境悪化などの要因によりアマモ場が減少しており、市民活動を主体とした再生活動等も行われている（中海再生協議会、2012）。一方、鳥取県東中部には内湾的な環境が少ないため、アマモ場は元来少ないが、漁港などの一部の閉鎖的な水域でアマモの繁茂が確認される。太田ら（2017）では、鳥取県中部に位置する泊漁港内（東伯郡湯梨浜町）に分布するアマモ場をモデルフィールドとし、アマモの季節消長とアマモ場に分布する小型甲殻類の出現動態について調査を行った。本稿では、鳥取県東中部のような開放的な沿岸海域におけるアマモ場の生態的な価値を検証する基礎資料の集積を目的とし、漁港内に分布するアマモ場における葉上付着生物相と、アマモの基質となる砂泥中に分布するベントス（底生生物）相について調査をした結果を報告する。

2. 方法

2.1. 調査海域、調査日と水質調査

調査は鳥取県中部に位置する鳥取県東伯郡湯梨浜町の泊漁港内（図1）に分布するアマモ場において、2018年6月7日、7月13日、9月27日、11月5日の計4回実施した。泊漁港は、外海に面した海岸に位置し、東側には岩礁域、西側には砂底域が広がっている。なお、太田ら（2017）で調査を実施

* 公立鳥取環境大学人間形成教育センター

** 株式会社ゼニライトブイ

*** 株式会社ナフコ支店富士店

**** 公立鳥取環境大学環境学部

したアマモ場は、事前調査によりアマモがほとんど消失していたため、調査海域を対岸の漁港北東部に位置する突堤の南側に位置するアマモ場に移した。各調査日の調査開始時には、多項目水質計（WQC-24、東亜ディーケーケー株式会社）を岸壁から海面より約1mの海中に降ろし、水温、塩分、および溶存酸素（DO）を測定した。

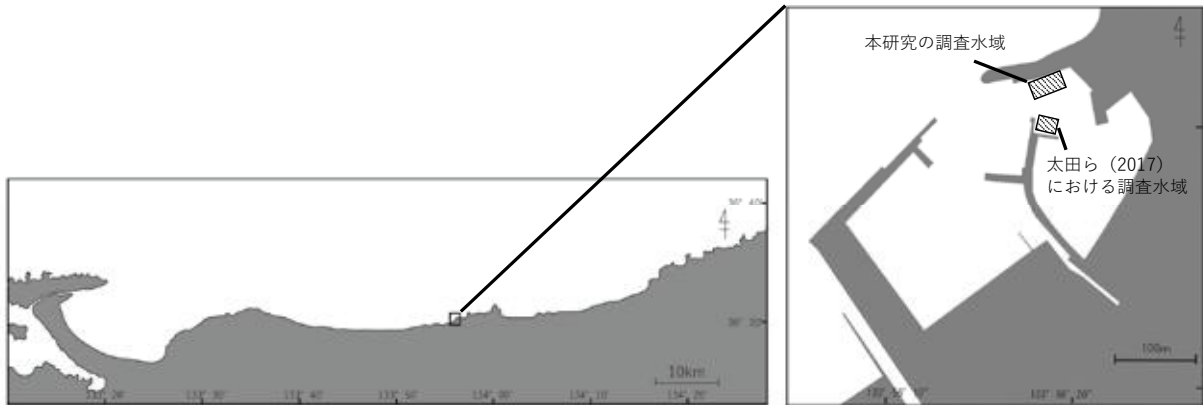


図1 泊漁港の位置（左）及び港内における調査海域の位置（右：太田ら(2017)の調査水域と本稿の調査水域の位置を斜線で示す）

2.2. アマモ場の観察

各調査日にスキューバ潜水によりアマモ場の面積を測定した。まず、アマモ場に面した突堤に1～2m間隔で9つの基点を設定し、各基点から突堤に対して垂直な定線を設定した。スキューバ潜水により定線上のアマモの有無を確認し、アマモ場の突堤側の端までの距離(a)と沖側の端までの距離(b)を測定し、各定線上のアマモ場の幅(b-a)を算出した。さらに定線間の距離からアマモ場を台形に近似して面積を計算し、これらを足すことでアマモ場の面積を算出した(図2)。

さらに、アマモ場内に900cm²(30cm×30cm)のコドラートを任意の箇所を設置し、コドラート内のアマモの株数を水中で計測した。なお、計測箇所は原則4箇所以上としたが、6月7日の調査のみ1箇所計測した。その後、複数回の計測結果を平均し、1m²当たりの株数(株密度:株/m²)を推定した。さらに、葉長測定用にアマモの海底基質より上部を基部からカッターで刈り取り、ポリエステル生地の中着袋に入れ採集した。採集したアマモは、調査の翌日に研究室にて葉長を計測した。得られたデータを用い、調査海域におけるアマモの海底基質より上部の現存量の指標(V)を以下の式から算出した。

$$\text{アマモの現存量 (V)} = \text{面積 (m}^2\text{)} \times \text{株密度 (株/m}^2\text{)} \times \text{平均葉長 (m)}$$

2.3. アマモ場の葉上付着生物の採集及び個体数の計測

葉上付着生物用のサンプルは、スキューバ潜水によって任意に選定した5箇所で1サンプル当たり最大3株のアマモを水中でカッターを用いて刈り取り、直接サンプル瓶(容積11)に入れ採集した。なお、6月と7月の調査では、1株の量が多いため1瓶に1株ずつ採集し、9月及び11月の2回の調査では、アマモの先枯れが進み、葉長が短くなっていたことから、1瓶に3株ずつ採集することとし

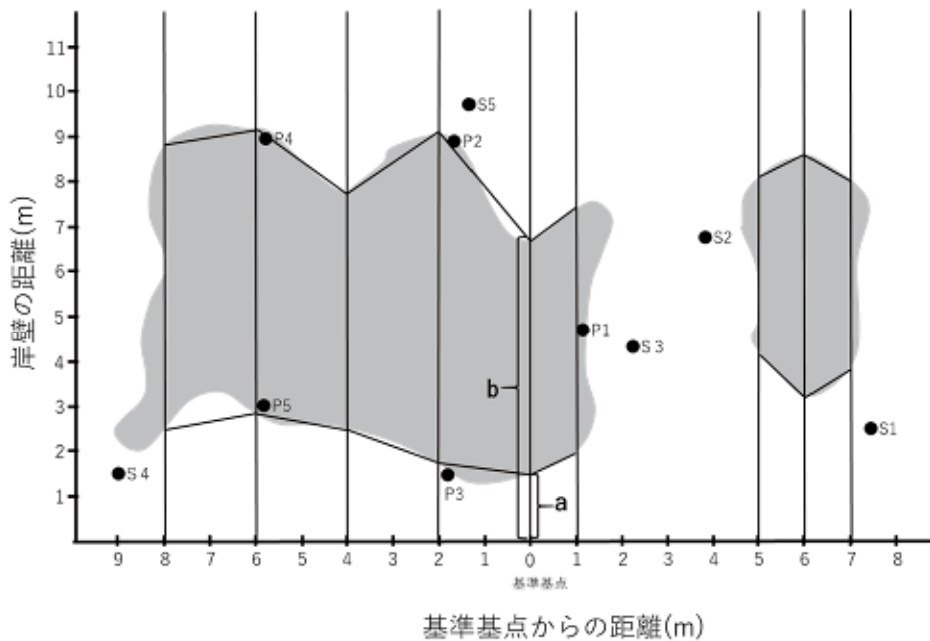


図2 調査海域のアマモ場の定線及び面積計算方法の概略図。横軸は漁港の北東岸壁に一致し、アマモ場の中心付近を基準基点(0m)に設定した。縦軸は岸壁からの距離を表す。黒丸S1からS5及びP1からP5はベントスの採集定点を示す(2.4.を参照)

た。採集したサンプルは直ちに陸上にて10%ホルマリンで固定し、研究室に持ち帰った。

葉上付着生物用に採集したアマモのサンプルは、研究室にて真水で葉上付着生物を洗い落とし、目合い300 μ mのネットで受けて濾し集めた。濾し集めたサンプルから可能な限りゴミを除去し、最初に目視で分類可能な大型の生物を選別後、可能な限り細かい分類群まで同定を行った。残りの小型生物については、全体のサンプルからランダムに0.3g前後を抽出した後、実態顕微鏡(NikonSMZ1270)下で観察し、可能な限り細かい分類群まで同定した上で、分類群別に個体数を計数した。なお、種を同定できない場合にも形態的特徴からタイプ分けを行い、タイプを種として扱い種数を求めた。小型生物の個体数は、計測したサンプルの重量と全体のサンプルの重量との比により引き伸ばし、サンプル全体の個体数を推定した。なお、アマモに多数の棲管が付着していたウズマキゴカイは、選別に至るまでの作業過程で棲管が破損し、個体の判別が困難であったため、分析の対象から除外した。葉上付着生物の同定は、新日本動物圖鑑(岡田、2004)に従った。

2.4. ベントスの採集と計測

ベントスの採集には、図2に示す10定点(アマモ場内にP1からP5、アマモの生えていない砂底域(以下、裸地と記す)にS1からS5)を設定した。なお、アマモ場の中心部での底質の採集が困難だったため、アマモ場縁辺部付近をアマモ場内の定点として設定した。6月及び7月の調査では、アマモ場と裸地におけるベントスの種組成及びバイオマス比較を行うため、全ての定点で採集を実施し、ベントス相の水平的な分布傾向を調査した。さらに、アマモ場及び裸地におけるベントス相の経時変化を調査するため、9月及び11月の調査では、P2(アマモ場)、S5(裸地)において採集を行った。

採集にはコドラート（300×300mm）を用い、スキューバ潜水にてコドラート内の底質を金属製のカップで10cm程度の深さで掘り、土嚢袋に入れ陸上に回収した。回収した底質は軽く水分を落とした後、現場で重量を測定した。その後、底質をふるい（野中理科器製作所：目開き850μm）にかけて分離し、ふるいに残った試料を10%ホルマリンで固定して研究室に持ち帰った。研究室では試料から生物をソーティングした後、分類群の同定を行い、ベントスの個体数及び湿重量を電子天秤（SHIMADSU TW223N：最小表示0.001g）で計測した。また、分類は新日本動物圖鑑（岡田他、2004）及び鳥取県東部浦富海岸の打ち上げ貝類Web図鑑（鳥取県立博物館、採集閲覧日：2018/08/29）に基づいて行い、基本的に種まで分けることを目指したが、種名がわからなかった場合は形態的特徴からタイプ分けし、各タイプを種として処理し、種数を求めた。また、湿重量については電子天秤の測定限界以下の場合、0.001gとしてデータを取り扱った。

2.5. 多様度指数の算出

アマモの葉上付着生物及びアマモ場のベントスについては下式の多様度指数 H' （Shannon and Weaver、1949）を算出した。葉上着生物については種別の個体数をベースに算出し、ベントスについては種別の個体数及び湿重量をベースに多様度指数を算出した。

$$H' = - \sum_{i=1}^S \frac{n_i}{N} \log_2 \frac{n_i}{N}$$

S：種数 N：総個体数（または重量） n_i ：i番目の種の個体数（または重量）

3. 結果

3.1. 水温・塩分、および溶存酸素

水温、塩分、溶存酸素の値を表1に示す。水温は、7月に最高値25.9℃、11月に最低値19.5℃を示した。塩分については調査日により若干変動したが、特に7月には最低値27.5を示した。溶存酸素は6月に最高値9.50mg/l、9月に最低値6.02mg/lとなった。

表1 調査水域における水温、塩分及び溶存酸素

調査日	水温（℃）	塩分	溶存酸素（mg/l）
2018/6/7	21.8	32.3	9.50
2018/7/13	25.9	27.5	7.66
2018/9/27	24.0	31.2	6.02
2018/11/5	19.5	30.9	6.46

3.2. アマモの現存量の推移

各調査日における調査海域のアマモ場の写真を図3に示した。アマモ場の面積については、62.7m²から68.5m²の間で推移し、季節変化に伴った顕著な変化は認められなかった（図4（A））。また、アマモの株密度は6月から7月にかけて増加し、7月13日が最大値191.7±42.9株/m²となったが、以降は減少し、11月5日には最小値90.7±30.2株/m²となった（図4（B））。アマモの葉長については6月

7日及び7月13日は平均でおよそ0.9mであったが、9月27日は急激に減少し、以降は平均0.15m程度となった(図4(C))。

これらの結果に基づき算出したアマモの現存量の指標(V)を図5に示した。現存量の指標(V)は6月7日に10,270、7月13日には11,132と高い値を示したが、9月27日には1,462、11月5日には829に減少した。なお、このアマモの現存量の変動、特に7月から9月にかけての急激な変化は、葉長の変動の影響を最も強く受けているものと判断された。

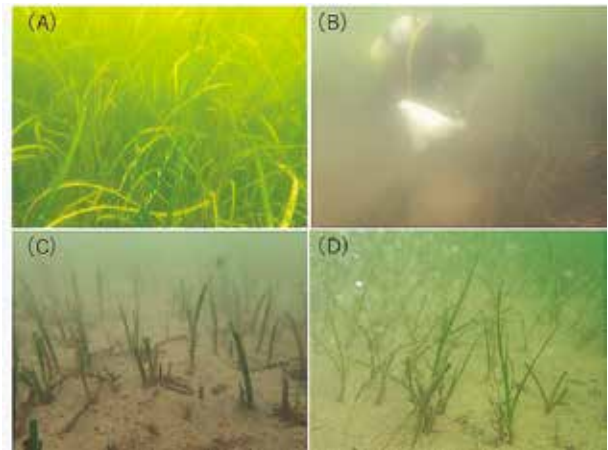


図3 調査海域のアマモ場の写真 (A) H30.6.7撮影 (B) H30.7.13撮影 (C) H30.9.27撮影 (D) H30.11.5撮影

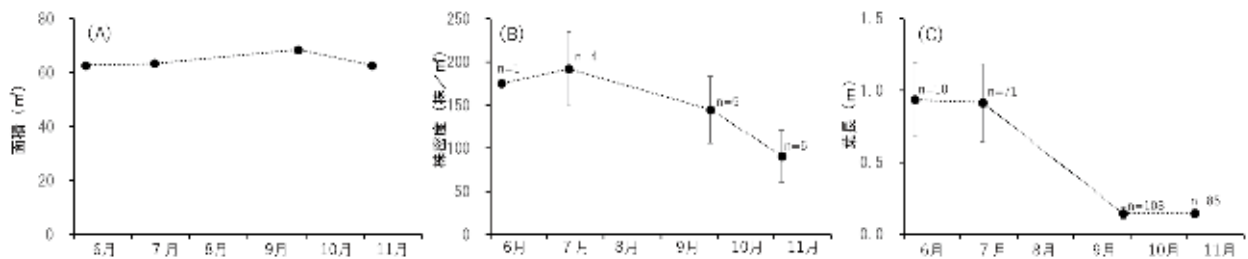


図4 アマモ場の面積 (A)、平均株密度(株/m²) (B)、平均葉長 (m) (C) の推移 (エラーバーは標準偏差、各値の右上の数字は測定数を示す)

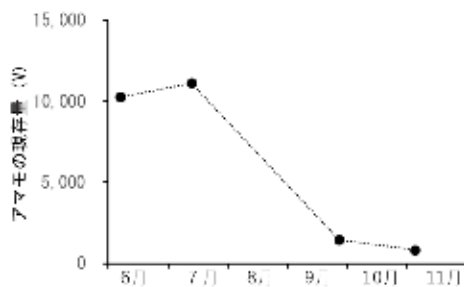


図5 アマモ場の現存量 (V) の値の推移

3.3. アマモの葉上付着生物の動態

3.3.1. アマモ1株当たりの葉上付着生物の動態

アマモ1株当たりの葉上付着生物の分類群別個体数の推移を図6に示した。全4回の調査のうち、アマモ1株当たりの葉上付着生物の個体数の最大値は6月7日の1325.7個体、最小値は11月5日の25.1個体であり、6月の調査開始以降、季節進行に伴い減少する傾向が認められた。分類群別に比較を行うと、最も多く出現したのは節足動物門Arthropodaであり、次いで袋形動物門Aschelminthes、環形動物門Annelida、軟体動物門Mollusca、扁形動物門Plathelminthesの順に出現した。最も多く個体数が出現した節足動物門甲殻綱Crustaceaの分類群別個体数の推移を図7に示した。6月7日及

び7月13日は、端脚目ヨコエビ亜目Gammarideaが半分以上を占めていたが、それ以降はカイアシ亜綱Copepodaが優占した。なお、カイアシ亜綱については、カラヌス目Calanoida、キクロプス目Cyclopoida、ハルパクチクス目Harpacticoidaの3目をまとめている。

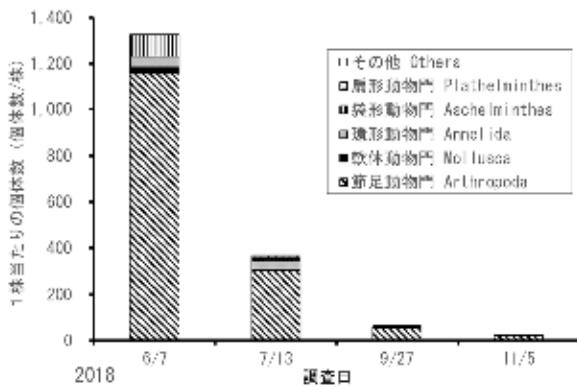


図6 アマモ1株当たりの葉上付着生物の分類群別個体数 (全分類群)

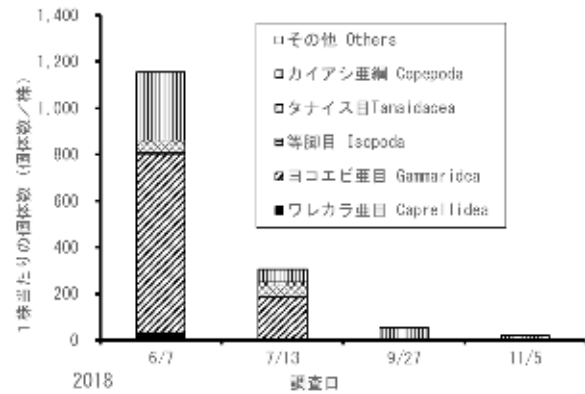


図7 アマモ1株当たりの葉上付着生物の分類群別個体数 (甲殻類)

3.3.2. アマモ場全体の葉上付着生物の総個体数及び種数及び多様度指数

調査海域における、アマモ場全体の葉上付着生物の推定総個体数及び種数の推移を図8に示した。推定総個体数の最大値は6月7日の14,546,243個体となり、以降は時間経過とともに減少し、最小値は11月5日の142,805個体となった。一方、種数の最大値は7月13日の27種で、最小値は11月5日の15種と推定総個体数とは異なる傾向を示した。多様度指数 (H') の季節推移を図9に示した。なお、多様度指数はサンプル毎に算出した後、各調査日の平均値を求めた。各調査日の多様度指数の平均値 (±標準偏差) は、6月7日に 2.65 ± 0.25 、7月13日に 3.00 ± 0.34 、9月27日に 1.29 ± 0.15 、11月5日に 1.40 ± 0.45 となった (図5)。

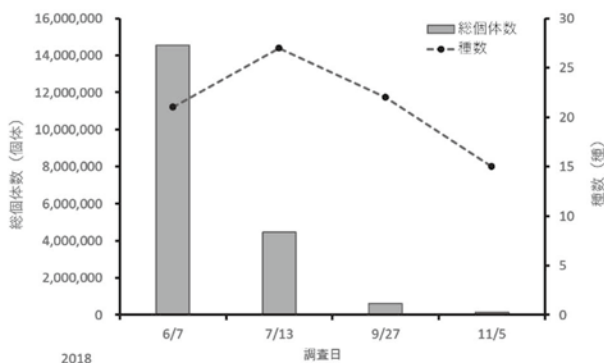


図8 調査海域のアマモ場全体の葉上付着生物の推定総個体数及び種数

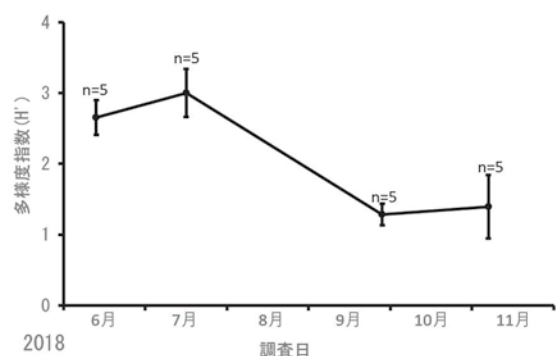


図9 アマモの葉上付着生物の多様度指数の平均値 (エラーバーは標準偏差。数字はサンプル数を表す)

3.4. ベントス生物の動態

3.4.1. アマモ場及び裸地におけるベントスの水平分布と多様度

6月及び7月に採集したベントスサンプルからは環形動物門、棘皮動物門Echinodermata、紐形動物門Nemertea、軟体動物門、節足動物門の出現が確認された。各定点で採集されたベントスの個体数（底質サンプル1kg当たり）、湿重量（底質サンプル1kg当たり）、種数を分類群（門）別に図10に示す。アマモ場と裸地の個体数、湿重量、種数の値について差を検定したところ、6月では各値に有意な差は認められなかった（t検定、 $p>0.05$ ）。7月については個体数、湿重量については有意な差は認められなかったが（t検定、 $p>0.05$ ）、種数についてはアマモ場の方が裸地と比べ高い値となった（t検定、 $p=0.02$ ）。また、多様度指数については個体数ベース及び湿重量ベースで算出した（表2）。個体数ベース、重量ベースともにアマモ場と裸地の間で、有意差は確認されなかった（t検定、 $p>0.05$ ）。

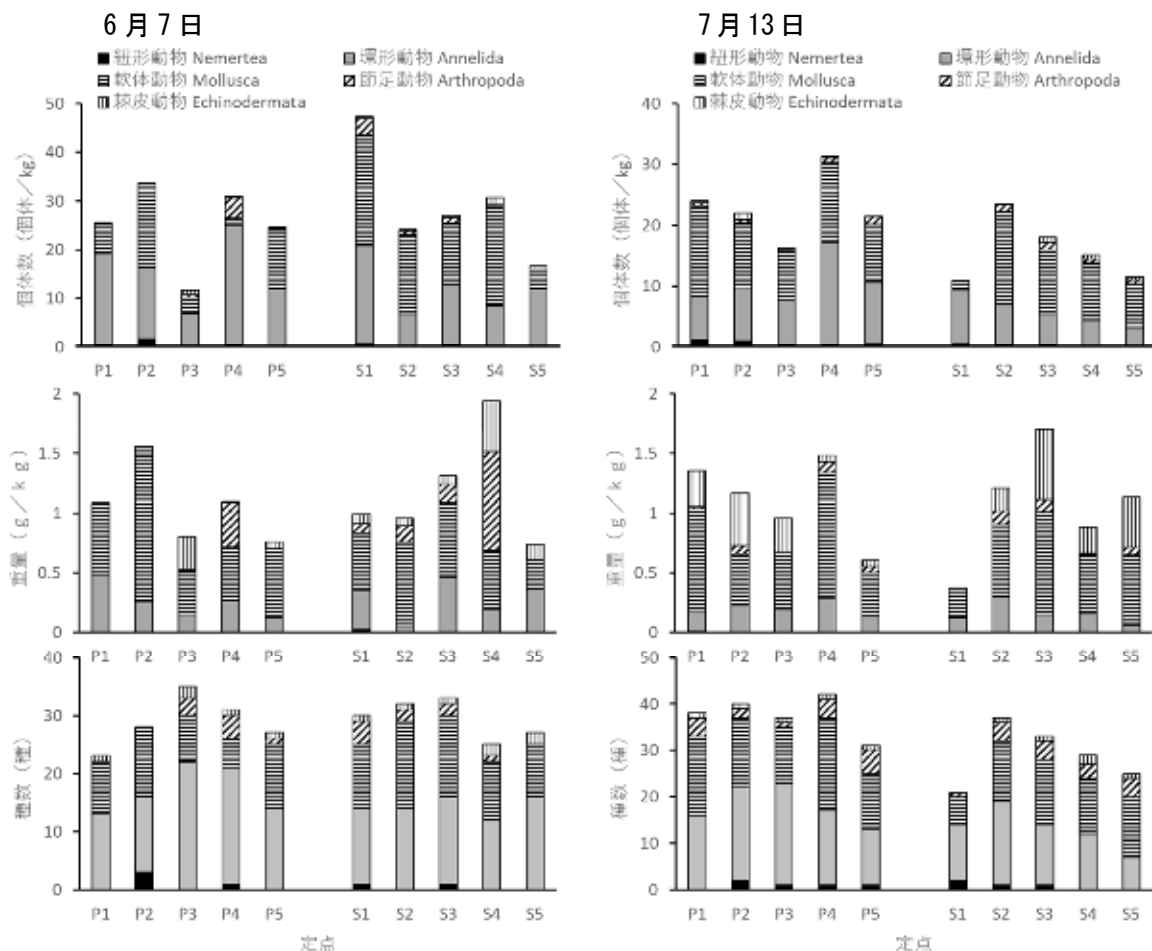


図10 底質サンプル1kg当たりの分類群別ベントスの個体数（上段）と湿重量（中段）、及び種数（下段）。左は6月7日、右は7月13日の結果

表2 各定点におけるベントスの多様度指数 H' の値（上段は個体数ベース、下段は湿重量ベースで算出した結果）

個体数ベース													
調査日\定点	P1	P2	P3	P4	P5	アマモ場 平均	S1	S2	S3	S4	S5	裸地平均	
6月7日	2.96	3.87	4.53	3.23	3.44	3.60	3.35	3.68	3.96	2.91	4.14	3.61	
7月13日	4.20	4.80	4.48	4.07	3.80	4.27	3.38	4.28	3.91	4.33	4.00	3.98	

湿重量ベース													
調査日\定点	P1	P2	P3	P4	P5	アマモ場 平均	S1	S2	S3	S4	S5	裸地平均	
6月7日	3.33	3.42	3.37	3.11	3.22	3.29	3.79	3.08	3.97	2.79	3.60	3.45	
7月13日	3.40	3.33	3.57	3.97	3.84	3.62	2.88	3.71	3.34	3.50	2.89	3.26	

3.4.2. アマモ場及び裸地におけるベントスの経時変化

アマモ場（P2）、裸地（S5）について、6月から11月の間の計4回の調査で採集されたベントスの個体数、湿重量、種類の値を図11に示す。各月の総ベントス出現個体数及び湿重量を比較すると、ともに6月のアマモ場で最大となり、種数では7月のアマモ場が最大であった。また、各月の出現個体数をアマモ場と裸地で比較すると、アマモ地上部現存量の多い6月及び7月にはアマモ場で高く、アマモ現存量の少ない9月及び11月では裸地で高い結果となった。

分類群別に見ると、環形動物と軟体動物が調査時期を問わず安定して出現する傾向が認められ、個体数ベースの種組成については、各調査日の値を平均するとアマモ場では環形動物が39.7%、軟体動物が47.7%を占め、裸地では環形動物が51.6%、軟体動物が40.6%を占めた。

4. 考察

アマモは水中照度の高い場所を好み、種子による有性繁殖と地下茎の分枝による栄養繁殖の2通りの繁殖方法が存在し、地域により多年生アマモと1年生アマモが存在すると報告されている（三重県農水商工部、2008）。本研究の対象である泊漁港内のアマモ場については、株密度や葉長こそ夏季から秋季に減少したが、アマモ場の面積は11月でも維持されたことから、多年生アマモが生息していると考えられた。一方で、本調査水域のアマモの葉長は夏季に顕著な減少傾向を示した。阿部ら（2004）の報告によると、水温25℃以上の高水温でアマモの成長抑制及び枯死が起こることから、本研究においても7月13日に記録した最高水温25.9℃を境に、アマモの葉の先枯れが始まったものと考えられた。当該調査海域におけるアマモの季節変化を報告した知見（太田ら、2017）と比較した結果、アマモ場の面積及びアマモの葉長は同様の推移を示した。一方、株密度について太田ら（2017）では季節変化に伴う顕著な増減は認められなかったが、今回の研究では7月13日を境に減少傾向を示した。太田ら（2017）で調査を行った2016年には、葉幅が2mm前後で葉の先端に丸みを帯びた新たに生えたと考えられる株（新規個体）が9月以降に出現したため、株密度が維持されたのに対して、本研究における2018年の調査では栄養繁殖による新規個体の出現が、調査期間中（6月～11月）に確認されず、株密度が減少した可能性が考えられた。このような栄養繁殖による新規個体の加入の有無を決定づける要因の解明には至らなかったが、今後の経年的なモニタリングによる解明が望まれる。

アマモの葉上付着生物について、大部分は甲殻類により構成され、そのバイオマスは付着基質となるアマモの現存量に比例して増減していた。加えて、アマモの現存量の多い6月や7月は比較的大型

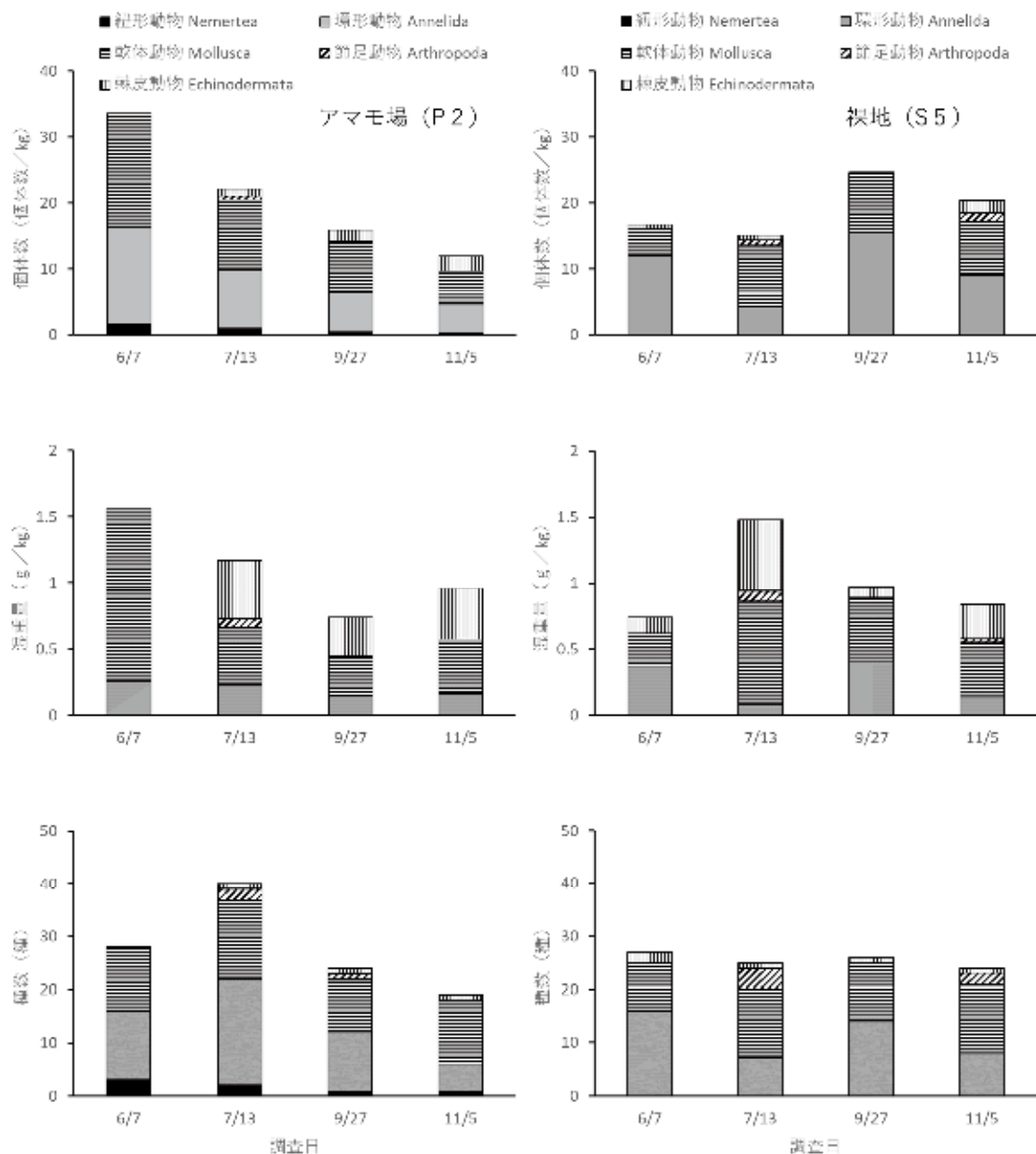


図11 底質サンプル1kg当たりの分類群別ベントスの個体数（上段）と湿重量（中段）、及び種数（下段）の季節推移（右はアマモ場（定点P2）、左は裸地（定点S5）

な端脚類が優占する一方、アマモの現存量の少ない9月や11月は端脚類が著しく減少し、小型甲殻類のカイアシ類が優占した。アマモの現存量の増減は、付着生物のバイオマスのみならず、多様性の増減にも寄与していることが明らかとなった。すなわちアマモの繁茂により端脚類や付着生カイアシ類などの甲殻類を中心とした複雑で多様な付着生物群集が形成されることが明らかとなった。

一方、アマモの基質となる底質中のベントスについては、環形動物（多毛綱）と軟体動物（二枚貝綱、腹足綱）が優占した。アマモ場とその周辺の裸地でベントスの個体数、湿重量、種数に顕著な差は確認できなかった。アマモ有無によるベントス相への影響を検証するには、裸地の定点としてアマモ場からより離れた場所を設定し検証を行う必要がある。また、アマモの現存量の季節変化とベントス相の挙動の関係についても明瞭な関連性は認められなかったものの、アマモの多い6月や7月に

ベントスの個体数及びバイオマス（湿重量）が多い傾向は認められた。

本研究では夏季から秋季にかけてのアマモの季節消長と葉上付着生物相とベントス相の関係を調査した。特にアマモの現存量とベントス相の関係については周年に渡る調査、中でもアマモの成長期である春季における生物群集の挙動を把握する必要性があり、課題も残された。一方、本研究により、漁港内のアマモ場及びその周辺には、分類群を跨ぐ多様な生物が多数存在し、複雑なコミュニティを形成していることを確認することができた。また、調査水域となるアマモ場には多くの魚類が蝟集し、メバル属*Sebastes* sp.、マアジ*Trachurus japonicus*、スズキ*Lateolabrax japonicus*、マダイ*Pagrus major*、マコガレイ*Pleuronectes yokohamae*など水産業上の重要種についても、調査を行ったアマモ場を成育場として利用していることが確認されている（太田ら、2017）。これらの魚類はアマモ場の葉上付着生物やベントスを餌料として利用していることが推察される。アマモ場のみならず沿岸環境の保全や再生活動による水産資源の増大を推進していくためには、海域の生物生産構造に関する情報を蓄積し、その効果を検証することが重要である。特に前浜の浅場は生物生産の場として極めて重要と考えられることから、今後はアマモ場だけでなく、ガラモ場や砂浜海岸、河口域など様々なタイプの前浜水域の生物群集構造の解明が必要と考えられる。

5. 謝辞

本研究にあたり、鳥取県漁業協同組合泊支所の皆様には多大なるご理解とご協力を賜りました。また、鳥取県栽培漁協センター及び公益財団法人鳥取県栽培漁業協会の皆様には、調査道具や施設の提供、調査手法や生物種の同定などの技術的助言等、多大なるご支援をいただきました。末筆ながら厚く御礼申し上げます。

参考文献

- [1] 阿部真比古、橋本奈央子、倉島 彰、前川行幸：三重県松名瀬沿岸におけるアマモ群落の構造と季節変化、日本水産学会誌、70：523-529、2004
- [2] 環境庁、自然保護局、財団法人海中公園センター、1994：第4回自然環境保全基礎調査海域生物環境調査報告書（干潟、藻場、サンゴ礁調査）、第2巻藻場
- [3] 三重県農水商工部水産基盤室：アマモ場再生ガイドブック、2008
- [4] 岡田要：復刻版新日本動物圖鑑、北隆館、東京、2004
- [5] 太田太郎・竹中美紀・吉永郁生：鳥取県中部海域におけるアマモ場の季節消長と生物群集構造について、2016地域イノベーション研究、4、22-29、2017
- [6] Shannon C.E.and Weaver W.：The Mathematical Theory of Communications, University of Illinois Press, Urbana, 1949.
- [7] 島村京子・中村幹雄：汽水湖中海における海藻・海草類の分布と現存量、水産増殖、46（2）：219-224、1998
- [8] 鳥取県立博物館、鳥取県東部浦富海岸の打ち上げ貝類Web図鑑
<https://www.pref.tottori.lg.jp/265343.htm>（採集閲覧日：2018/08/29）