

別府湾日出町地先のアマモ場における生物多様性把握のための 間欠駆動式水中ビデオカメラ利用の試み

伊藤龍星・平澤敬一^{*a}・上城義信^{*b}・森口朗彦^{*c}

大分県農林水産研究指導センター水産研究部 浅海・内水面グループ

Trial of Using Intermittent Underwater Video Camera for Understanding the Biological Diversity in a Seagrass Bed ,Seto inland sea, Beppu Bay, Oita Prefecture

RYUSEI ITO, KEIICHI HIRASAWA, YOSHINOBU KAMIJIYO and AKIHIKO MORIGUCHI

Shallow/Fresh Water Group, Fisheries Research Division
Oita Prefectural Agriculture, Forestry and Fisheries Research Center

キーワード：アマモ場，水中ビデオカメラ，生物多様性，別府湾，モニタリング

結 言

アマモ *Zostera marina* は日本各地の内湾砂泥域に生育する海草で、「アマモ場」と呼ばれる大規模な群落を形成する。¹⁾ アマモ場は、多くの水棲生物の生息場や産卵場、保育場としての機能を有するほか、水質・底質の環境浄化機能や、地球温暖化対策となる二酸化炭素の吸収能なども有している。²⁾ アマモ場には、メバルやクロダイ等水産資源として有用な魚類が蟻集することはよく知られているが、³⁾ 同時に、直接人間には利用されていないが、間接的に水産資源の維持・増大の役割を担う多種多様の生物が生息しており、これらがより高次の生物の餌料等に利用されることで、アマモ場内の生態系が成立している。このような藻場生態系を維持することは生物相互の命のつながり、すなわち生物多様性を保全することにほかならない。折しも 2015 年 10 月には、瀬戸内海環境保全特別措置法の改正⁴⁾ が行われ、瀬戸内海は水質の良好なる保全だけではなく「豊かな海」を目指し、藻場を含めた生物多様性や生産性の確保が求められる時代に突入した。さらに近年では、藻場是一般市民のレジャーや憩い、エコツーリズムの場といった社会的な面からの活用も期待されて

おり、⁵⁾ 瀬戸内海の藻場環境をモニタリングすることは、市民の生活環境向上のためにも重要となっている。

しかしながら水中にあって、多様な生物が生息する藻場のモニタリングは容易ではない。これまで、藻場に生息する生物を調査する手段としては、刺網や引き網等の漁具⁶⁻⁸⁾ を使用して生物を採集するか、現場での潜水観察⁹⁻¹⁰⁾ によるものがほとんどである。漁具による採集の場合、調査時間や使用漁具の統一などで、ある程度の定量的評価は可能である。しかし、藻場内の生物は、その行動に季節性や日周性が見られることが多いため、生物相の把握には、複数回の継続調査が必要となり、藻場の環境や生物に不当な圧力をかける結果になりかねない。また、採集した生物のアマモ場内における行動までは明らかにすることはできない。

一方、潜水調査では、アマモ場内での動物の行動を直接観察できるものの、時間が制限され、観察者の技術の差もあって定量的な評価が困難である。特に夜間や荒天時の観察は危険を伴い、十分な情報を得ることは難しい。そこで、環境に影響を与えず時間も制限されずに藻場をモニタリングできる技術手法として、最近では、水中カメラを用いた観察手法が利用されつつ

*^a 現所属：大分県 農林水産部 水産振興課

*^b 現所属：日出町役場 農林水産課

*^c 現所属：国立研究開発法人 水産研究・教育機構 水産工学研究所

あるが¹¹⁾ 大分県ではまだそのような試みはない。

我々は、生物多様性や生産性の確保、環境保全への新しい対応が求められている瀬戸内海の別府湾において、アマモ場での新しいモニタリング手法の一つとして、間欠駆動式水中ビデオカメラを用いた藻場生物の観察を試みたので報告する。

材料と方法

調査場所と調査期間

調査は図1に示す、大分県日出町尖港の沖合に位置するアマモ場で行った。水深は約2m、アマモ場面積は約0.75ha、被度は疎生～密生¹²⁾で、アマモ草丈は長いもので約70cmであった。調査期間は2011年3月16日12時～3月20日13時までの約5日間とした。

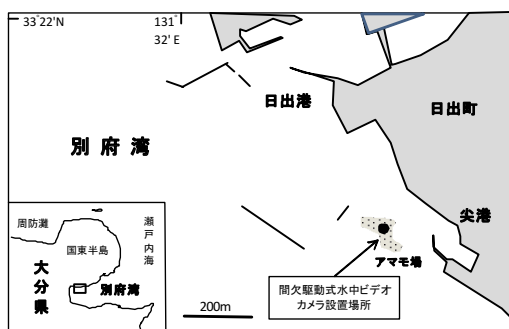


図1. 調査対象のアマモ場と間欠駆動式水中ビデオカメラ設置場所

間欠駆動式水中ビデオカメラ

水中撮影には独立行政法人水産総合研究センター水産工学研究所（調査当時）が開発した間欠駆動式水中ビデオカメラ¹³⁾ 1台（以下、水中ビデオカメラと略記）を使用した。撮影に必要なビデオカメラ、駆動装置、ライト、バッテリー等（以下、撮影装置と略記）は、水中撮影できるように耐圧のハウジングに収容されている。ハウジングは円筒形で、直径、長さともに約40cmで、円筒部分および蓋となる円盤部分の一方はステンレス製とし、もう一方の円盤部分は透明アクリル

板としている。ハウジングを含めた撮影装置全体の重量は約25kgであった。ハウジングを台座となるコンテナカゴにボルトで固定したのち、SUCUBA潜水で図1に示すアマモ場のほぼ中央部の海底に固定した（図2-A）。水中映像の撮影は30分間隔で15秒間行い、のべ撮影時間は48.5分であった。夜間など暗くて撮影困難な場合には自動的にライトが点灯し、日中と同範囲を撮影できるようにした。

天候、気温、水温、水中照度

天候と気温は大分地方気象台資料¹⁴⁾から、調査地点最寄りの杵築市の1時間ごとの観測データを使用した。また、水中ビデオカメラのハウジングの頂上部に自動温度・照度ロガー（HOBO社CO-UA-002）を設置し、1時間ごとの水温と照度を測定した。

潮汐

時刻ごとの潮位の変化は、市販の潮位計算ソフトWSIO21（Version1.17）を使用し、日出港の調査期間中の値を算出した。

出現生物等の確認

撮影した映像をパソコン画面で再生しながら、出現した生物の種類や撮影時刻、尾数、推定全長、行動の様子等を記録した。種名については、映像の鮮明度等で種の特長までできない場合には、科もしくは属までの段階とした。また、特徴的な現象として、微小な動物プランクトンの出現や、潮汐による潮流の変化を示す映像などが得られたのであわせて記録した。

結果

出現した生物、その他

出現した生物の撮影時刻、昼夜の別、種類、大きさ、

表1. 出現した生物の撮影年月日と時刻、昼夜の別、種類、大きさ、行動の概要、遊泳層

No.	撮影年月日	撮影時刻 (h:m:s)	昼夜の別	撮影された生物の種類	全長又は外套背長(cm)※	行動の概要	各生物の遊泳層※※
①	2011/3/16	20:05:06	夜間	クロダイ属 <i>Acanthopagrus spp.</i>	20	ライトに反応し逃避	中部
②		21:34:52	夜間	メバル属 <i>Sebastes spp.</i>	10	ライトに反応し逃避	上部
③		23:04:37	夜間	メバル属 <i>Sebastes spp.</i>	10	ライトに反応し逃避	中部
④	2011/3/17	3:04:01	夜間	メバル属 <i>Sebastes spp.</i>	10	斜め上方向いて定位、ライト無反応	下部
⑤		3:34:03	夜間	メバル属 <i>Sebastes spp.</i>	10	カメラ前を横切る、ライト無反応	上部
⑥		14:02:17	昼間	クロダイ属 <i>Acanthopagrus spp.</i>	30	低速で遊泳	中部
⑦		19:31:09	夜間	メバル属 <i>Sebastes spp.</i>	10	低速で遊泳、ライト無反応	中部
⑧		21:00:51	夜間	メバル属 <i>Sebastes spp.</i>	10	低速で遊泳、ライト無反応	下部
⑨	2011/3/19	0:55:36	夜間	ボラ科 <i>Mugilidae</i>	30	高速で横切る、ライト反応あり	中部
⑩		2:25:09	夜間	ボラ科 <i>Mugilidae</i>	30	ライトに驚き逃避	中部
⑪		2:55:12	夜間	ボラ科 <i>Mugilidae</i>	40	高速で横切る、ライト反応あり	中部
⑫		3:54:56	夜間	コウイカ科 <i>Sepiidae</i>	10	漂いホバリング状態	下部
⑬		23:20:41	夜間	クロダイ属 <i>Acanthopagrus spp.</i>	30	ライトに反応し逃避	中部
⑭	2011/3/20	1:20:20	夜間	ボラ科 <i>Mugilidae</i>	30	高速で横切る、ライト反応あり	中部
⑮		2:20:04	夜間	メバル属 <i>Sebastes spp.</i>	10	定位で安定、ライト無反応	上部
⑯		3:19:51	夜間	ボラ科 <i>Mugilidae</i>	40	ライトに反応し逃避	中部

※ 0,20,30,40cm台で表現

※※ アマモの草丈における生物の位置。アマモ草丈の上1/3を上部、下1/3を下部、その他を中部とした。

行動の概要，遊泳層について，出現順に No.を付けて 表 1 に，種類ごとの主な画像を図 2-B ～ E に示した。



図 2. アマモ場に設置した水中カメラと出現した主な生物

- A : アマモ場海底に設置した間欠駆動式水中ビデオカメラ
 B : No. ① クロダイ属, C : No. ⑤ メバル属, D : No. ⑫ コウイカ科
 E : No. ⑯ ボラ科, F : 微小動物プランクトンの出現

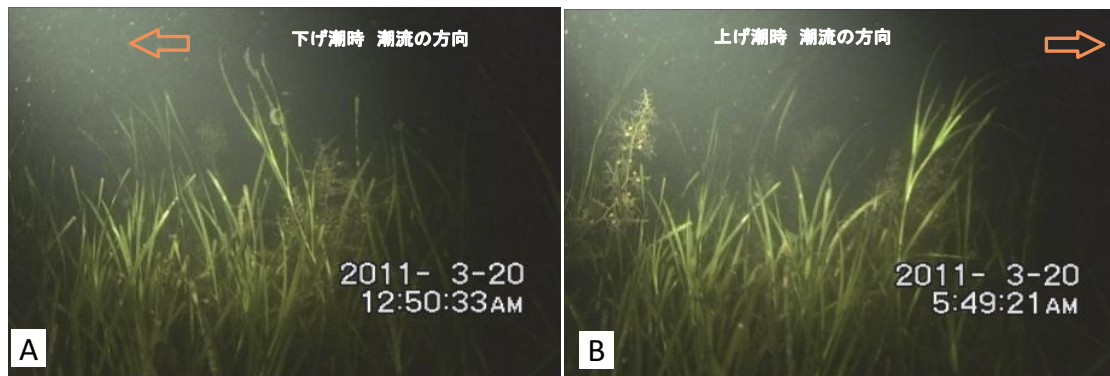


図 3. 潮汐による潮流の変化 (3月20日満潮時刻 2:40の前後2～3時間の画像)

- A : 下げ潮時, B : 上げ潮時

生物の出現回数はこの 5 日間の撮影で、初日の 3 月 16 日は 3 回（①～③）、2 日目 5 回（④～⑧）、4 日目 5 回（⑨～⑬）、5 日目 3 回（⑭～⑯）の計 16 回であった。3 日目の 3 月 18 日には出現がなかった。出現した種類は、魚類がクロダイ属 *Acanthopagrus spp.*、メバル属 *Sebastes spp.*、ボラ科 *Mugilidae* の 3 種類、軟体類がコウイカ科 *Sepiidae* の計 4 種類であった。

クロダイ属は①（図 2-B）、⑥、⑬の 3 回出現した。全長は 20 ～ 30cm 台で、①と⑬は夜間、⑥は昼間の出現であった。2 回の夜間出現時には、自動点灯したライトに驚いて逃避する行動が見られた。遊泳層はいずれもアマモの草丈の中部で、周囲を見まわるようにゆっくりと回遊していた。メバル属は②、③、④、⑤（図 2-C）、⑦、⑧、⑮の 7 回出現した。全長はすべて 10cm 台、いずれも夜間の出現で、ライトに反応する個体と無反応に見える個体が観察された。遊泳層はアマモ草丈と同じ高さの 70cm から、地面近くまでであったが、それぞれの位置であまり動かない個体が多かった。ボラ科は⑨、⑩、⑪、⑭、⑯（図 2-E）の 5 回出現した。全長は 30 ～ 40cm 台で、いずれも夜間であった。すべてカメラの前を横切るように高速で移動し、ライトに反応する行動を示した。遊泳層はいずれもアマモ草丈の中部であった。コウイカ科は⑫の 1 回（図 2-D）のみ、夜間に出現した。外套長 10cm 台で、アマモ草丈の下部の位置で、定位で安定しながら、腕部でアマモに触れるような行動が見られた。

魚類等の他に、激しく小刻みに動き回る微小動物プランクトンが、多い時には画面一面に度々出現しスウォームを形成するのが観察された（図 2-F）。この現象は日没の 1 時間前ぐらいから夜間を通して見られ、日の出とともに収束したが、連日確認することができた。

また、同一位置の連続撮影で、アマモのたなびく方

向と傾きの程度から、潮汐による現場での上げ潮、下げ潮の潮流の変化と、その流れの強さを視覚的にとらえることができた（図 3-A、3-B）。

続いて、出現した生物の出現時刻を 15 分ごとに分けて図 4 に示した。クロダイ属が昼間に 1 回撮影された以外、残りの 15 回はすべて夜間の出現であった。メバル属は出現時間にばらつきが見られたが、ボラ科は 0 時～3 時台に集中していた。

天候

期間中、3 月 16～18 日は晴れ、19～20 日は曇りで、降水量は 3 月 17 日の 9～10 時に 2mm 見られたのみであった。期間中の日の出の時刻は 6 時 20 分前後、日の入りの時刻は 18 時 25 分前後であった。

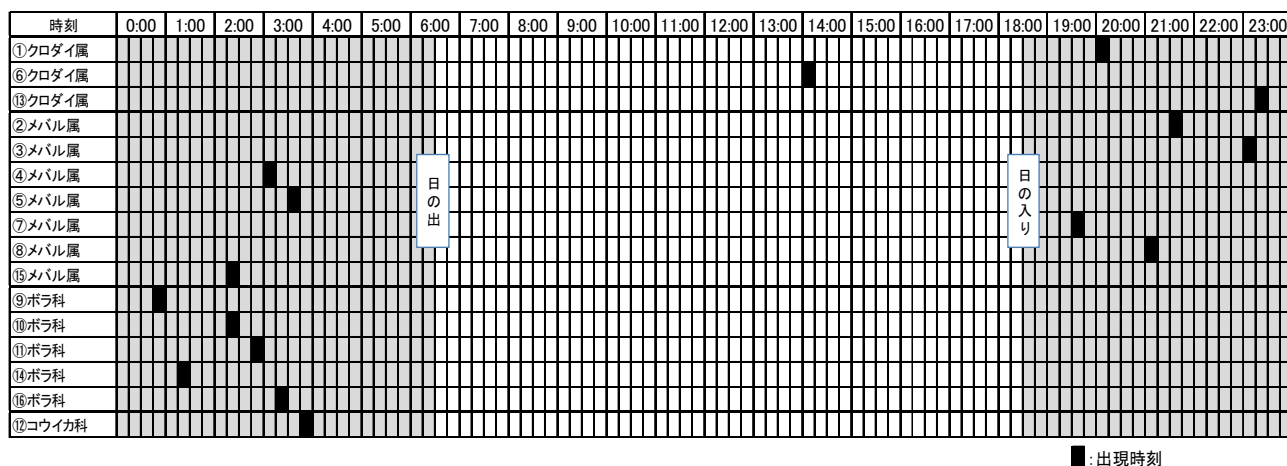
水温

図 5-A に気温を、図 5-B に水温を示した。また、出現した生物 16 回（表 1）を出現時刻にあわせて、図 5-A、B 内下部に示した。水温は気温の変化と連動した動きを示し、日の出後まもなく上昇し始め、13～15 時の間に最高を示すが、その後速やかに低下していった。夜間も同様な動きを見せ、特に 3 月 17 日の日没（日の入り）後、気温は強く冷え込み、23 時以降 18 日の 7 時まで氷点下となったが、水温もこの時間は低下が激しく、18 日の 0 時には、調査内で最低の 8.98℃を記録した。日較差は最大で 3 月 18 日の 2.55℃（最大 14 時 11.53℃、最少 0 時 8.98℃）、最少は 3 月 20 日の 0.88℃（最大 12 時 11.43℃、最少 21 時 10.55℃）であった。

水中照度

図 5-C に示した。また、出現した生物 16 回（表 1）を出現時刻にあわせて、図 5-C 内下部に示した。

図 4. 出現した生物の出現時刻



■: 出現時刻

水中照度は日中 13～14 時に 30,000～40,000Lux の最大を示した。最大値は 3 月 16 日 14 時の 41,300Lux であった。出現動物は、3 月 17 日の昼間 14 時過ぎに ⑥クロダイ属が出現した（14 時の水中照度 33,100Lux）が、それ以外はすべて夜間（0Lux）の出現であった。

中潮から大潮にあたり、月齢は 11.3～15、3 月 20 日は満月であった。1 日 2 回の干潮と満潮があり、日の入りと日の出の頃に満潮となり、夜中と正午過ぎに干潮になる潮回りであった。調査の範囲では、4 種類の出現動物や動物プランクトンは特段、潮汐に対応したような動きを見いだすことはできなかった。しかし、前述の「結果 出現した生物、その他」で述べたように、同一位置の連続撮影で、潮汐による現場での上げ潮と下げ潮の潮流の変化と、その流れの強さを視覚的にとらえることができた。

潮汐

図 5-D に潮位の変化を示した。また、出現した生物 16 回（表 1）を出現時刻にあわせて、図 5-D 内下部に示した。期間中の潮回りは旧暦の 2 月 12 日～16 日で、

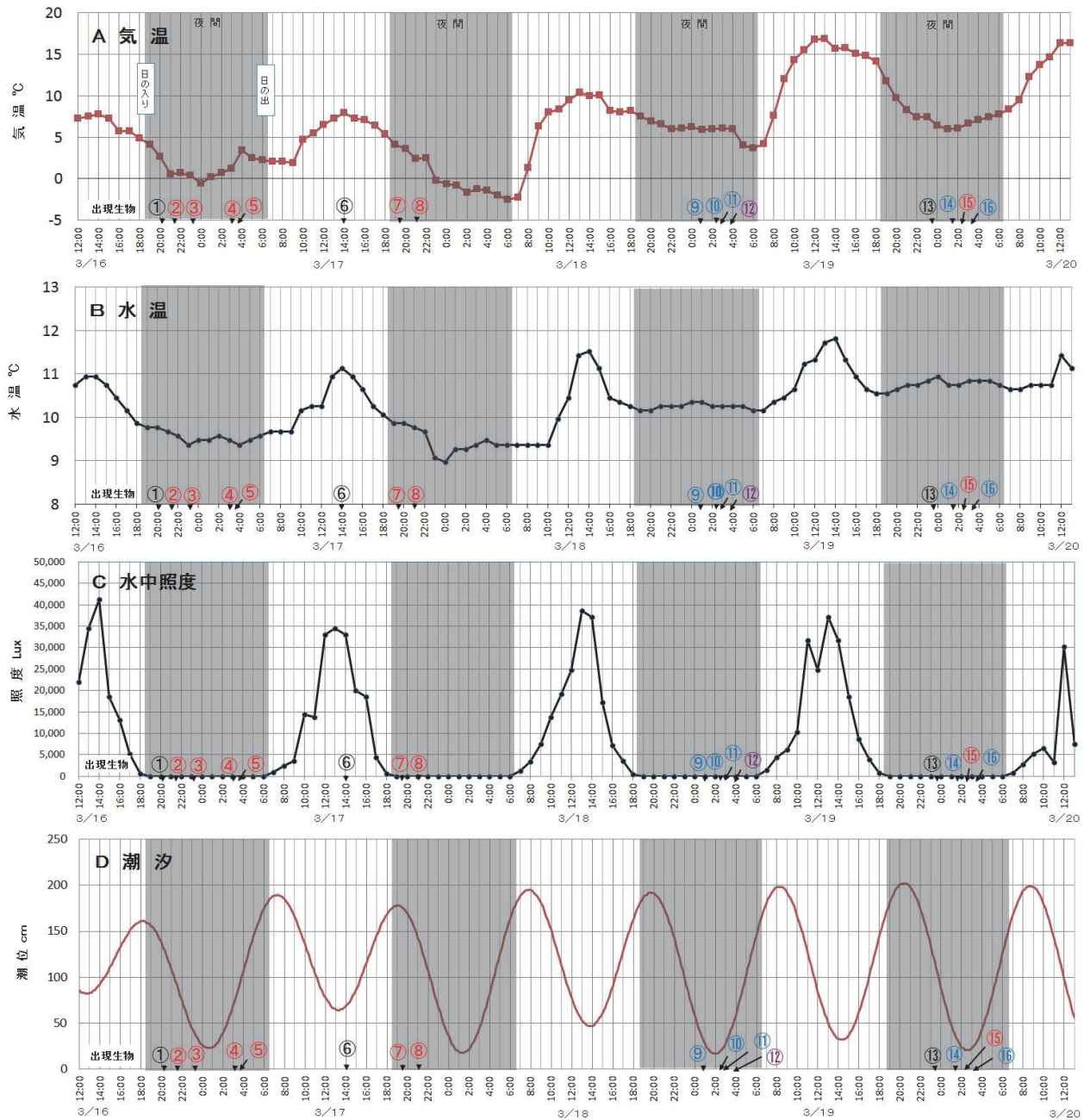


図 5. 調査期間中の気温，水温，照度，潮汐

A：気温， B：水温， C：照度， D：潮汐 （各図中の数字は、表1の出現生物のNo. と一致する。）

考 察

調査期間中に出現した生物は、クロダイ属 *Acanthopagrus spp.*、メバル属 *Sebastes spp.*、ボラ科 *Mugilidae*、コウイカ科 *Sepiidae* の 4 種類であった。調査期間中の水温は上昇傾向にはあったが、この時期は別府湾の最低水温期でもあるため 10℃前後とまだ低く、¹⁵⁾ そのため出現種類数も少なかったと推定される。なお、4 種類のうち、ボラ科以外は菊池¹⁶⁾の言うアマモ場の「季節定住種」に入り、水産資源として有用とされているものである。³⁾ また、日の入り前からの微小な動物プランクトンのスウォーム形成や、潮汐による上げ潮、下げ潮の潮流の変化などもとらえることができたが、スウォーム形成については、昼間下層に降下している動物プランクトンが、夜間に海の表層に浮上することを繰り返す「日周垂直移動」¹⁷⁾の現象と思われる。この現象や潮流の変化などは、従来の採集調査や潜水調査では捉えることは難しく、今回のように連続した定点観測によって、初めて視覚的に確認できるものと思われる。出現した動物プランクトンは、昼間アマモ場内に生息しているものか、アマモ場でおこる緩流域の形成などで他から集積されたものか、あるいは沿岸域ではどこでも起きる現象なのか等は不明であるが、多くの生物の餌料になる動物プランクトンの出現は藻場生態系の基礎的部分であるとともに、生物多様性を生み出す根幹でもあり、貴重な映像と言えよう。また、今回の調査では、潮汐と生物の行動の関係を見いだすことはできなかったが、これは低水温期の実施に加え、調査期間が短くサンプル数が少なかったことや、連日、中潮から大潮に向かう同じ潮まわりで、比較対照がなかったことなどによるものと思われる。アマモが時刻よってたなびく方向を変えたのは、潮汐による潮流の変化に他ならないが、潮汐表の潮位や干満時刻と、現場の潮位や干満時刻が一致しないことはよく経験するものである。現場の潮流の変化を確認できる画像と、そこに出現している生物の行動記録を今後多数蓄積し、解析することで、潮汐と生物の行動についても今後、関係を見いだすことが可能になると思われる。

種の同定については、外部形態が似ている生物が調査海域に生息している場合、画像の鮮明度や被写体の大きさなどにより、撮影画像のみからでは同定が困難な場合がある。出現した 4 種類について、筆者の一人上城が毎月 1 回実施している日出町魚市場調査で見られ

る出現生物から推定すると、クロダイ属はクロダイ *A.schlegeli* かキチヌ *A.latus*、メバル属はシロメバル *S.cheni* かアカメバル *S. inermis* かクロメバル *S.ventricosus*、ボラ科はボラ *Mugil cephalus* かメナダ *Liza haematocheila*、コウイカ科はコウイカ *Sepia esculenta* もしくはシリヤケイカ *Sepiella japonica* と思われるが、より正確な同定のためには、水中ビデオカメラの設置位置や撮影条件をより検討するとともに、従来からの周辺海域での採集調査や潜水調査の結果も参考にすべきである。

アマモ場の光環境については、今回、日中の照度はおよそ 30,000 ~ 40,000Lux であった。赤澤ら¹⁸⁾は、アマモの補償点は 30 μ E/m²/sec と述べているが、明るさを示す Lux とエネルギー単位の μ E/m²/sec の間には近似的に 5 μ E/m²/sec = 250lux の関係が成立するとされている。¹⁾ そこで、今回の照度をエネルギー単位に換算するとおよそ 120 ~ 160 μ E/m² sec となることから、調査したアマモ場の光量は補償点を越えて十分にあると言える。愛知県¹⁹⁾では、1955 ~ 60 年のアマモの減少理由として、水質悪化に起因する透明度不足による光量減少をあげていることから、本県においても、今回調査を行った別府湾等の都市部沿岸域のアマモ場光量については、注意しておく必要がある。

水中ビデオカメラの撮影装置はマイクロコンピュータに書き込むプログラムによりほぼ任意の撮影間隔および撮影時間等の設定が可能である。¹³⁾ また記録媒体の進歩により、のべ撮影時間は本調査時に比べて飛躍的に大きくなっていることから、現在では調査目的に応じて、より詳細かつ長期間の調査が可能である。また今回のハウジングは、機能の拡張も考慮して比較的大型としたため、水中ビデオカメラ全体の重さも 25kg と重く設置作業にやや難があった。しかし近年は、撮影機能に特化し、またビデオカメラの小型化に対応したより小型で軽量のものも開発されており、用途や海域に応じて撮影装置を選択することで、機材設置の労力も大きく軽減されるであろう。

今回使用した水中ビデオカメラは、無人で昼夜を問わず、生物の行動が長期間にわたり撮影できることから、養殖ノリ²⁰⁾や養殖カキ²¹⁾等の食害調査にも利用されている。漁具を用いた調査で指摘されるような採集種の偏り³⁾はなく、自然な状態で藻場内に生息する生物の観察が可能である。今回、生物の出現映像は多くはなかったが、今後は季節ごとにより多くの映像を収集し解析することで、アマモ場における各種生物の季

節性や日周性の把握，空間的，立体的な行動の把握も可能になると思われる。夜間の動物プランクトンの出現や潮流の変化等の視覚的確認は従来の漁具を用いた調査や潜水調査では把握できない部分である。今回の調査手法と従来の手法を組み合わせることで，アマモ場生物群集のより正確な把握が可能となり，藻場モニタリングによる生物多様性の把握や保全対策への有効な提言が可能になると思われる。

引用文献

- 1) 徳田 廣，大野正夫，小河久朗。「海藻資源養殖学」緑書房，東京。1987.
- 2) 水産総合研究センター。海草・海藻 FRA NEWS2014；41.
- 3) 寺脇利信，吉川浩二，高木儀昌。アマモ場の機能「藻場の機能」水産庁中央水産研究所，横浜。1997；82-110.
- 4) https://www.env.go.jp/water/heisa/setonaikai_law_rev.html
- 5) 伊藤 靖。浅場造成における市民の参加プロセス。「水産学シリーズ 162 市民参加による浅場の順応的管理」恒星社恒星閣，東京。2009；58-70.
- 6) 畑中正吉，飯塚景記。モ場の魚の群集生態学的研究 - I。優占種をとりまく魚類の栄養生態的地位。日本水産学会誌 1962；28(1)：5-16.
- 7) 英虞湾湾口部アマモ場の魚類に関する生態学的研究 - I：魚類相とその季節的变化。三重大学水産学部研究報告 1983；10：71-93.
- 8) Kie MOHRI, Yasuhiro KAMIMURA, Ken-ichiro MIZUNO. Seasonal Changes in the Fish Assemblage in Seagrass Bed in the Central Seto Inland Sea. Aquaculture Sci. 2013；61(2)：215-220.
- 9) 布施慎一郎。アマモ場における動物群集。生理生態 1962；11：1-22.
- 10) 布施慎一郎。メバルとアマモ場・ガラモ場との関係。「藻場・海中林」。1990，東京。恒星社厚生閣，24-33.
- 11) 渡辺伸一，太田寛規。瀬戸内海アマモ場における生物多様性モニタリングのための水中観察技術の開発。福山大学生命工学部年報 2009；8：35-47.
- 12) (社)海洋調査協会「海洋調査技術マニュアル海洋生物調査編」
- 13) 森口朗彦，高木儀昌。間欠撮影式水中ビデオ・カメラを用いた藻場調査 その1 マイクロコンピュータによるビデオカメラ間欠駆動装置の小型・省電力・多機能化。平成 19 年度日本水産工学会学術講演会講演論文集 2007；91-94.
- 14) 大分地方気象台。大分県気象月報平成 23 年 (2011 年) 3 月。
- 15) 野田 誠。大分県海域 (伊予灘・別府湾)。瀬戸内ブロック浅海定船調査観測 40 年成果 (海況の長期変動)。(独)水産総合研究センター瀬戸内海区水産研究所，広島。2015.
- 16) 菊池泰二。藻場生態系。「海洋学講座第 9 巻 海洋生態学 (山本護太郎編)」東京大学出版会，東京。1980.
- 17) 谷口 旭。動物プランクトンの生理生態。「海洋科学基礎講座 6 海洋プランクトン」(元田 茂編)東海大学出版会，東京。1975.
- 18) 赤澤貴光，川井仁，浜辺 聖，石崎修造，桐山隆哉，白井玄爾。藻場による水環境の改善に関する研究。長崎県衛生公害研究所報 2004；50.
- 19) 阿知波英明。伊勢・三河湾のアマモ場面積の変動。愛知県水産試験場研究報告 2009；15：29-33.
- 20) 伊藤龍星，林 亨次，中川彩子，寺脇利信，高木儀昌，森口朗彦。ボラによる養殖ノリの食害とバリカン症。海苔と海藻 2008；75：1-3.
- 21) 中村優太，中川浩一。豊前海におけるマガキ食害実態の把握。福岡県水産海洋技術センター研究報告 2011；1：105-110.

