

ISSN 0917-8147

福山大学
内海生物資源研究所報告

第 31 号

**Report
of
The Research Institute of Marine Bioresources
Fukuyama University**

No. 31

福山大学内海生物資源研究所

2021 年 2 月

**The Research Institute of Marine Bioresources
Fukuyama University**

February, 2021

福山大学内海生物資源研究所報告

第 31 号

目 次

学術論文

地球観測衛星画像データを用いた因島沿岸の藻場状況定量解析	勝部雄介, 関田隆一	1
広島県因島および福山における黄緑藻綱ウミフシナシミドロ <i>Vaucheria longicaulis</i> の生育	山岸幸正, 海原光寿, 三輪泰彦	16
ブリ人工種苗の頭部等に発現する形態異常	豊田陽子, 柳田忠大, 原田悠生, 有瀧真人	21
異なる塩分下におけるトビハゼの高温耐性	阪本憲司, 佐藤 諒	31
令和元年度 学士研究課題		38
令和2年度 博物館実習報告		41
使用海水温測定結果		59
令和2年 プレスリリース		62
令和2年 海洋環境調査実習船「第二爽風丸」運航状況		63
令和2年 海洋環境調査実習船「爽風丸」運航状況		64
令和2年 内海生物資源研究所活動状況		66

Report
of
the Research Institute of Marine Bioresources
Fukuyama University

No. 31

Contents

Scientific Paper	
Quantitative analysis for seaweed and seagrass beds analysis using the satellite remote sensing data in coastal waters of Innoshima.	
	Yusuke Katsube, Ryuichi Sekita 1
Occurrence of <i>Vaucheria longicaulis</i> (Xanthophyceae) from Innoshima and Fukuyama, Hiroshima Prefecture, Japan	
	Yukimasa Yamagishi, Mitsuhsa Kaihara and Yasuhiko Miwa 16
Morphological abnormalities of the head in artificial juvenile of yellowtail <i>Seriola quinqueradiata</i>	
	Yoko Toyoda, Tadahiro Yanagida, Yusei Harada and Masato Aritaki 21
The high-temperature tolerance of Mudskipper <i>Periophthalmus modestus</i> at different salinities	
	Kenji Sakamoto, Ryo Sato 31
Titles of Undergraduate Thesis	38
Reports of Practice	41
Seawater temperature	59
Press Releases	62
Activities of the Research Vessel Sofu Maru II	63
Activities of the Research Vessel Sofu Maru	64
Activities in the Research Institute of Marine Bioresources	66

地球観測衛星画像データを用いた因島沿岸の藻場状況定量解析

勝部雄介*、関田隆一**

本学では 2017 年度から福山大学研究プロジェクトを実行中であり、その一環で瀬戸内沿岸域の藻場分布の定量的評価が必要である。本論文は地球観測衛星データから因島沿岸の藻場を識別する解析を行い、季節変化および自然環境変化が及ぼす藻場への影響を議論する。

キーワード：海洋観測、Sentinel-2、底質指標、リモートセンシング

1. はじめに

本学では、2017 年度から瀬戸内海の生態系を解明し備後圏域の産業活性化を目指す「瀬戸内の里山・里海学」の研究を行っており、その一環で瀬戸内沿岸域における藻場分布の定量的評価を効率的かつ精度良く行うための研究が必要である。

本研究の目的は、里海の豊かさを表すパラメータとして藻場の状態を選定し、それを地球観測衛星データから定量的に解析し、持続的な状態モニターにより藻場の季節変化および経年変化を把握する技術を確認することである。さらに本研究は、藻場が陸域の人の活動及び里山から河川を伝って受ける影響の定量的モデル化まで踏み込むことにしており、これは従来研究に全く意義が大きいと言える。

先行研究サーベイの結果から、地球観測データから藻場を識別する解析技法は Lyzenga の Bottom Index (底質指標、以降 BI) を採用している。この解析では太陽光の反射が大気により散乱・吸収されることによる輝度を補正する必要があり、大気補正については暗画素法と相対大気補正法を適用し、海中補正は藻場成育の要因である海水データ (塩分、透明度、海水温) を BI へ反映させる新しい技法を考案してある。

本論文は、藻場識別解析技法と高い解析精度達成に寄与した補正技法を説明し、ヨーロッパの Sentinel-2 が撮像したデータから広島県尾道市因島沿岸の藻場識別解析を行い、季節変化および自然環境変化が藻場へ及ぼす影響を考察するものである。最後に今後の陸域の活動まで藻場増減の定量的モデルへ反映させる研究計画についても議論する。

2. 先行研究サーベイ

2.1 海洋観測

浅沼ら⁷⁾は海洋観測に関するリモートセンシング研究を大きく以下の 4 つに分類している。

- I. 海水中に含まれるクロロフィル濃度などの水質・海色に関する研究
- II. 大気海洋相互作用の指標となる海面水温に関する研究
- III. 海底の地形と、そこに分布するサンゴ・海藻・海草などの底質マッピングやモニタリングの研究
- IV. 海氷、海面高度、表層海流、海面塩分などの観測に関する研究

本研究はこの III に該当するもので、さらに浅沼らは、沿岸域のリモートセンシングは以下の 2 点で外

* 〒729-0292 広島県福山市東村町三蔵 985-1 福山大学大学院工学研究科電子・電気工学専攻
Tel: +81-84-936-2111、 Fax: +81-84-936-2023、 E-mail: t8511901@fukuyama-u.ac.jp

** 福山大学工学部スマートシステム学科 准教授

洋リモートセンシングと異なると説明している。

- i. 複雑な地形に囲まれた水域を解析するために「高解像度の画像」が必要であること。
 - ii. 河川からの土砂等の流出が多く、水質を調べるために「高い波長分解能の画像」が必要であること。
- 従って、一般に外洋と比べ沿岸のリモートセンシングは難しく、国際協力の地球観測衛星 Aqua・Terra に搭載された MODerate resolution Imaging Spectroradiometer (適切解像度走査計、MODIS) センサのように水質を計ることができる沿岸観測専用のセンサが必要となる。しかし現在の宇宙低軌道で動作中の地球観測衛星に沿岸観測に適切なセンサを搭載したものはない。そこでアメリカの Landsat やヨーロッパの Sentinel 等に搭載している陸域観測センサのデータから沿岸域の観測を工夫して行う必要がある。

2.2 藻場観測

青山ら¹⁾は、地球観測衛星に搭載されたマルチスペクトルカメラによる Normalized Difference Vegetation Index (正規化植生指標、以降 NDVI) を用いて海藻の密集度と藻場の面積を求め、藻場増減の経年変化を調べている。NDVI は植生の分布状況や活性度を示す指標であり、マルチスペクトルカメラで撮影された可視赤・近赤外の 2 バンドの画像から NDVI 画像を作成することができ、藻場が存在しない海域と藻場が存在する場所を区別することが可能である。しかし、波長が長い近赤外線は海水による吸収が大きく、水深によっては NDVI を用いた植物の判定が困難になるため、本研究では採用していない。

環境省³⁾は、2016 年度に瀬戸内沿岸域を含む瀬戸内海中部を調査している。画像解析の方法は、藻場に該当する輝度(光の明るさ)の画素を藻場として分類する方法であるが、詳細を公表していないため、本研究では解析結果と精度検証結果として得ている精度 71%を参考にしている。

ルイら⁹⁾は、BI による藻場マッピングを作成し、現地調査に基づく藻場分布と概ね一致する結果を得ているが精度検証まで行っておらず、本研究は精度検証まで行う点で研究意義が高い。BI は Lyzenga が提案した解析技法で、異なる 2 バンドの画像を比演算することで、その画像間で反射率比が異なる砂地から藻類を抽出するものである。この技法は、2 バンドの画像を比演算することにより水深の影響を除去する水深補正が含まれている。

本研究では、水深の影響を除去できる BI を採用して、ヨーロッパの Sentinel-2 撮像データの解析で藻場を識別すると共にその解析精度検証を行う。また、BI による藻場識別解析技法には大気補正と海中補正が必要であり、大気補正について 2.3 項で説明する。また海中補正については BI で活用できる適切な技法が先行研究で見つからないため、BI しきい値の設定へ藻場成育の要因を反映する新たな海中補正技法を考案してあり、これを 2.4 項で説明する。

2.3 大気補正

虎谷¹³⁾は、海における水の色の変化はわずかであり、そのわずかな色の変化、海中からの放射輝度スペクトルのわずかな変化を捉えるためには、高感度、高 S/N のセンサで得られた衛星データから海中からの放射輝度以外の成分を取り除く必要があると報告している。

Fig. 1 は太陽光の伝播経路概念⁹⁾をイラスト化したものである。森ら⁵⁾は、衛星で観測される放射輝度から取り除かなければならない成分は、海面からの反射光、空気中の分子に衝突した散乱光としている。空気中の分子に衝突した散乱には、気体分子とエアロゾルによる散乱がある。これらの成分を取り除いて、海中からの放射輝度スペクトルを推定し、そのスペクトルから水中に含まれる物質量を推定する。

作野ら¹¹⁾によると、湖上の水質成分で 70~90%を占める大気散乱光成分を除去する方法として、デジタル画像で最も暗く写っている画素(暗画素)を引く簡易的な大気補正法が有効であると報告している。さらにルイら⁹⁾は、もう一つの簡易的な大気補正である相対大気補正法の有効性を報告している。相対大気補正法とは、時間的に反射特性が変化しない地点で、高い反射率と低い反射率をもつ数点を基準物体として、データ間の相対的な関係を求め、観測日の輝度データを補正する方法である。本研究では、当初、暗画素法のみ採用していたが、精度向上の必要性から相対大気補正法も追加している。

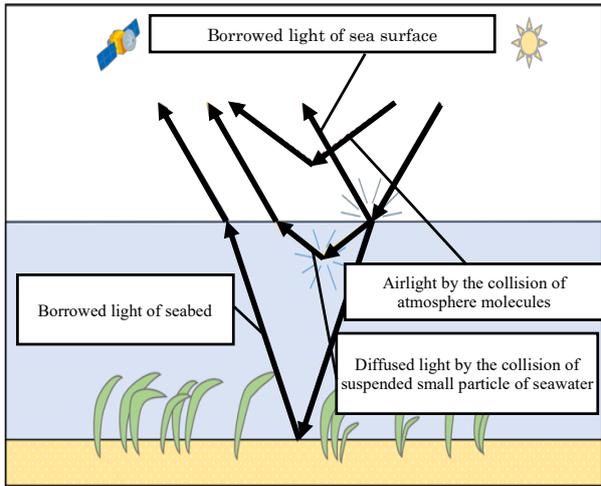


Fig. 1. Illustration of transmission conceptual scheme of solar.

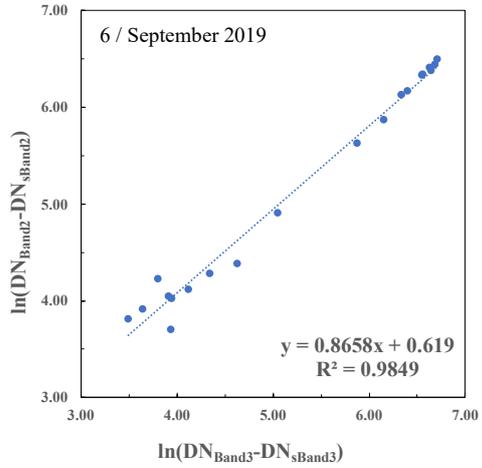


Fig. 2. Calculation results of extinction coefficient ratio (6/September 2019).

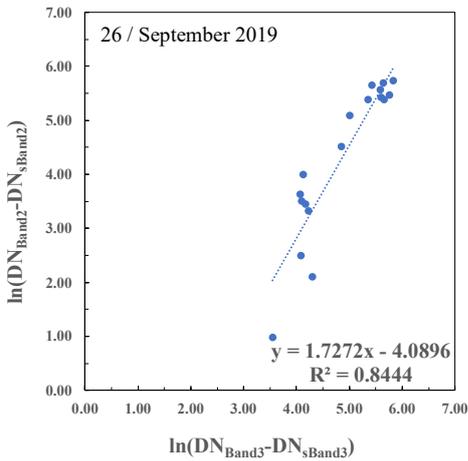


Fig. 3. Calculation results of extinction coefficient ratio (26/September 2019).

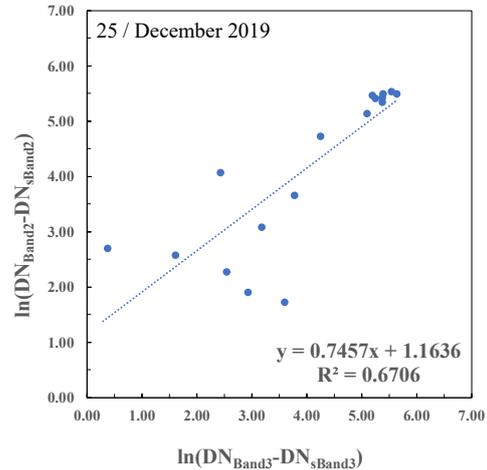


Fig. 4. Calculation results of extinction coefficient ratio (25/December 2019).

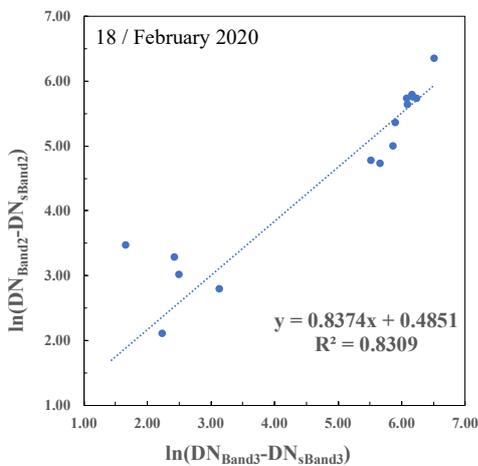


Fig. 5. Calculation results of extinction coefficient ratio (18/February 2020).

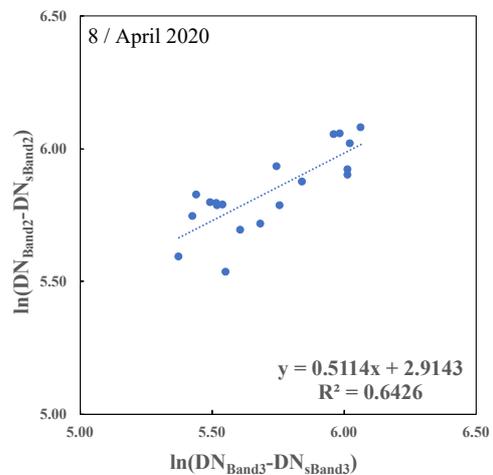


Fig. 6. Calculation results of extinction coefficient ratio (8/April 2020).

2.4 藻場増減の環境要因

藤田ら²⁾は、藻場の衰退に関連する環境要因として、光不足、高水温、栄養塩不足、静穏化、浮泥堆積、塩分低下などを挙げている。これらの中で本研究は、藻場現地観測の際に計測器で直接測定が可能な光不足、高水温、塩分低下の3点に注目する。光不足は天候による日照不足や海水の濁りが原因で、芽生え期や夏季に発生すると影響は深刻である。また夏季の高水温は秋から冬の藻の生長・成熟に影響する。さらに塩分低下は台風や集中豪雨による河川の増水時に河口・内湾域から遠方まで低塩分になり非塩分耐性種が枯死する影響がある。

以上から本研究では、藻場成育の条件が悪い海水域では地球観測衛星データから藻場が識別しにくいという仮説を立て、この藻場を識別しにくい海域ではBIのしきい値選定を適切に修正する技法を新たな海中補正法として新たに提案する。

作野¹⁰⁾は地球観測衛星データから透明度を推定する技法として、衛星画像データのある2つのバンドの反射率の組み合わせと透明度の相関をすべての組み合わせで計算し、最も相関係数が高い2つのバンドからモデル式を算出する方法を提案している。なお、この衛星データと透明度の関係のモデル式作成では、衛星撮像日と現地の実測透明度の関係がほぼ一致するデータセットを探索する必要がある。本研究では、塩分、透明度、海水温の推定において、このモデル作成技法を適用する。なお、塩分、透明度(光量子量実測値から消散係数を介して変換)、海水温の実測値は、衛星撮像日に近い現地藻場観測日での現地計測データを使用する。

3. 地球観測衛星データの解析技法

3.1 BI アルゴリズムによる藻場分布識別⁹⁾

BI アルゴリズムは、Lyzenga の「比演算アルゴリズム」を基にしたものである。Lyzenga は、地球観測衛星に搭載されたセンサが浅海域において放射輝度 L_λ を次式で表している。

$$L_\lambda = L_{s\lambda} + E_\lambda r_{B\lambda} \exp(-k_\lambda f z) \quad (1)$$

ここで $L_{s\lambda}$ は水深の深い地点で観測した放射輝度、 E_λ は太陽の分光放射照度(大気中および水面での光の透過率さらに海面での光の屈折による減衰を含む係数¹²⁾)、 $r_{B\lambda}$ は底質による分光反射率、 k_λ は水の消散係数、 f は光路の修正係数、 z は水深である。上記の各パラメータを見ると空気中の情報は $L_{s\lambda}$ だけであり、それ以外のパラメータは水中の情報である。

地球観測衛星データから底質を判別するために最も有効な方法は(1)式から $r_{B\lambda}$ を求めることであるが、水深や消散係数に反映される水質が不明な底質環境に対して、(1)式の $r_{B\lambda}$ を解くことは非常に難しい。そこで、「底質が同じならば、異なる2バンドの底質反射率比は一定になる」という Lyzenga の理論を応用して、画像データを比演算することにより水深の影響を除去する水深補正アルゴリズムが導かれる。以下にこれらの過程を式で説明する。

異なる2バンド i, j により地球観測衛星が観測する放射輝度は、(1)式からそれぞれ以下の式で表すことができる。

$$L_i = L_{si} + E_i r_{Bi} \exp(-k_i f z) \quad (2)$$

$$L_j = L_{sj} + E_j r_{Bj} \exp(-k_j f z) \quad (3)$$

(2)式と(3)式を整理すると、以下の式となる。

$$\ln \left[\frac{E_i r_{Bi}}{(E_j r_{Bj})^{k_{ij}}} \right] = \ln \left[\frac{L_i - L_{si}}{(L_j - L_{sj})^{k_{ij}}} \right] \quad (4)$$

ただし、 k_{ij} は2つの異なるバンドの消散係数 k_i 、 k_j の比（消散係数比）を表す。ここで、左辺の変動の多くは「2バンド間における海底反射率の比」支配されており、底質の情報を持つ。したがってこれを底質指標 BI_{ij} とする。すなわち底質指標は以下の式となる。

$$BI_{ij} = \ln \left[\frac{L_i - L_{si}}{(L_j - L_{sj})^{k_{ij}}} \right] \quad (5)$$

(5)式は、地球観測衛星のセンサが取得したデジタル値（Digital Number、以降 DN）に置き換えれば以下の式となる。

$$\begin{aligned} BI_{ij} &= \ln \left[\frac{(DN_i - DN_{si})}{(DN_j - DN_{sj})^{k_{ij}}} \right] \\ &= \ln(DN_i - DN_{si}) - k_{ij} \ln(DN_j - DN_{sj}) \end{aligned} \quad (6)$$

(6)式より、異なる2バンドの地球観測衛星データの関係から消散係数比がバンド比（異なるバンドの輝度値の対数をプロットした時の傾き）として求まり、理論的には画像データのみから水深の影響を除去した藻場の判別が可能となる。なお、本研究での解析は MathWorks 社が開発した数値解析ソフトである「MATLAB」のプロット機能で実行している。

3.2 消散係数比算出

BI アルゴリズムによる藻場分布推定方法では、水における光の吸収と散乱を表すパラメータの消散係数が重要であり、前述した異なるバンド間の消散係数比の算出手順を以下に示す。

- ① 現地調査をもとに底質の状態が同じと確認してある水域 20ヶ所の DN を 3×3 画素の平均値として抽出する。
- ② 海図をもとに水深が大きいと考えられる 1ヶ所の DN を 3×3 画素の平均値として抽出する。
- ③ ①で抽出した 20ヶ所から②で抽出した 1ヶ所を引く。
- ④ 異なる 2バンドで③まで行って求めた DN の自然対数をプロットし、その回帰直線の傾きが消散係数比である。

3.3 海中補正

2.4項で説明してあるとおり、藻場成育の環境要因についての先行研究をもとに、「塩分・透明度が低い、かつ、夏の海水温が高い海域では、藻の成育度が低いので、地球観測衛星データからの識別が困難」という仮説を立てる。この仮説から地球観測衛星データを用いて塩分、透明度、海水温を推定し、上記仮説に該当する海域の BI しきい値を適切に修正する海中補正を考案し、試行している。

3.4 地球観測衛星データ

本研究で使用する Sentinel-2 衛星の撮像データは、European Space Agency（欧州宇宙機関、ESA）がブラウザベース（<https://apps.sentinel-hub.com/>）より無料で配布している。Table 1 に Sentinel-2 およびその衛星センサである Multi Spectral Instrument（MSI）の諸元を示す。ここでは詳述しないが、アメリカの Landsat-8 衛星と比較すると周回日数も短く、撮像素素数も Sentinel-2 は優れているが、Landsat-8 でかかっているデータ補正がかかっていないため、ユーザーがこの補正から行う必要がある点が欠点である。本研究では暗画素法によりこのデータ補正を行うことができるため、毎月 1 回の撮像データから、藻場識別を蓄積して、持続的に藻場増減を考察するには、Sentinel-2 が最適であるとの結論である。

4. データ解析結果

4.1. 消散係数比

Fig. 2-6 に夏、冬及び春における消散係数比の算出結果を示す。また Table 2 に各観測日の Band2-Band3 間の消散係数比 k_{23} と相関係数 R^2 を示す。本研究では消散係数比を算出する際、生口島の尾道市瀬戸田 B&G 海洋センター前を適切な沿岸域として抽出してある。この時、地球観測衛星の撮像日に関わらず

Table 1. Elements of Sentinel-2 and MSI

	Orbit	Sun-synchronous orbit
Satellite	Recurrent Days	5days
	Altitude	786km
	Band (center wavelength)	Band2 : blue-green (490nm) Band3 : green (560nm) Band4 : orange (665nm) Band8 : near infrared (842nm)
Sensor	Resolution of Multispectrum	10m
	Observation Width	290km

Table 2. Extinction coefficient and correlation coefficient

Observational day	Extinction coefficient ratio (k_{23})	Correlation coefficient (R^2)
6/September 2019	0.8658	0.9849
26/September 2019	1.7272	0.8444
25/December 2019	0.7457	0.6706
18/February 2020	0.6515	0.8376
8/April 2020	0.5114	0.6426

一つの沿岸域で消散係数比を算出することが望ましい。しかし、海の状況や潮汐の変化等、詳細は不明であるが回帰直線の傾きが著しく小さくなり算出できないことがある。このような場合は Band2 または Band3 の輝度値が沿岸域から沖にかけて変化して算出に適する他の海域を探索する必要がある。前述した解析結果の内、2019年9月6日、2020年2月18日、2020年4月8日の3データは瀬戸田海域で算出しているが、2019年9月26日、2019年12月25日の2データは他の海域で算出してある。抽出する海域を変更することによって、必ずしも相関係数が高くなるわけではなく、むしろ解析精度に影響があることがわかる。これは次章の解析精度結果で考察する。

4.2. 沿岸海水データの推定結果

2020年2月18日による塩分推定 (Fig. 7)、透明度推定 (Fig. 8) を示す。また、2019年8月2日の海水温推定 (Fig. 9) を示す。さらに、この3つの推定結果で塩分濃度と透明度が低く、夏の海水温が高

く藻場成育が悪いと推定できる海域を Fig. 10 に示す。

塩分推定については、Band2 と Band4 との反射率比の相関が最も高かったのでこの時の推定式を用いている (Fig. 11)。しきい値について、塩分が低いと藻の生育は悪いことは既知であるが、具体的な数

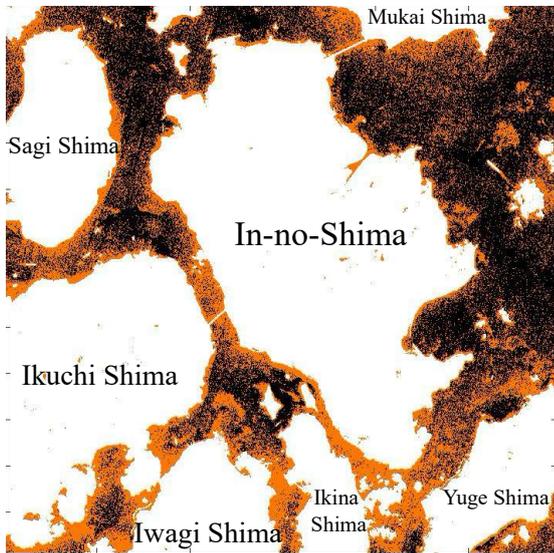


Fig. 7. Salinity estimation result (18/February 2020).

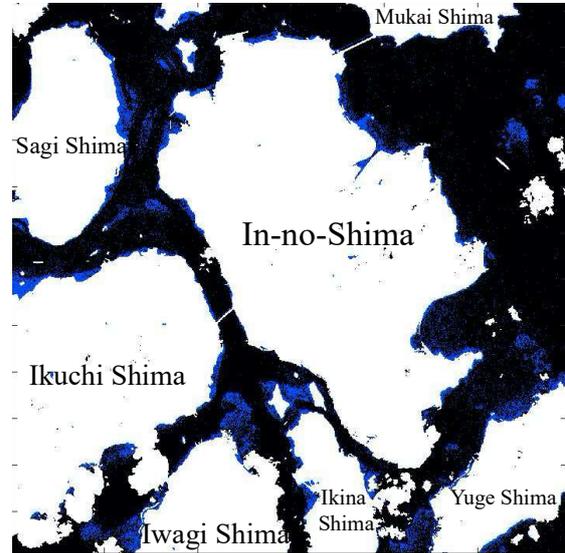


Fig. 8. Transparency estimation result (18/February 2020).



Fig. 9. Seawater temperature estimation result (2/August 2019).

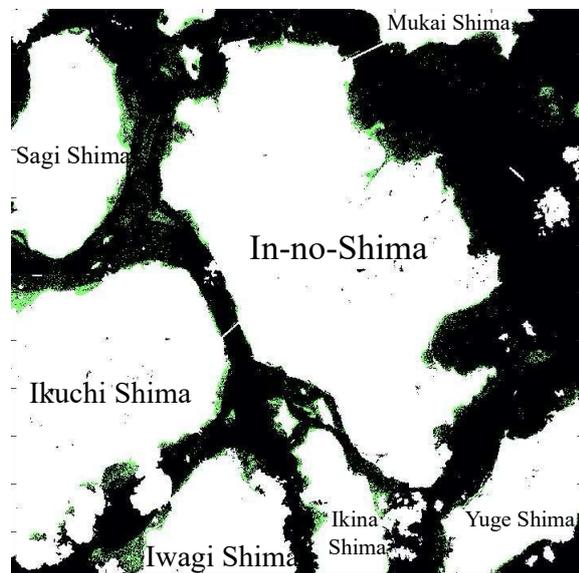


Fig. 10. Common sea area for salinity estimation, transparency estimation, and seawater temperature estimation.

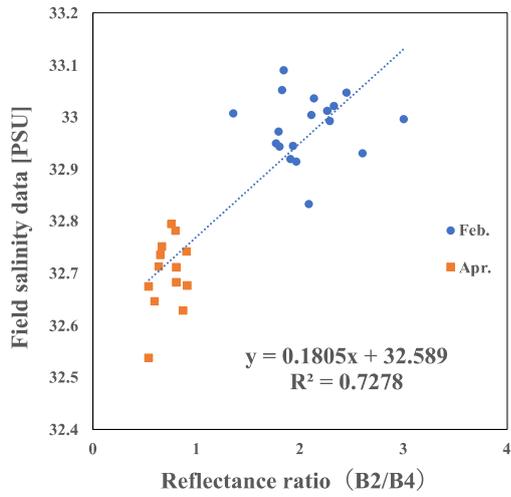


Fig. 11. Calculation of salinity estimation formula.

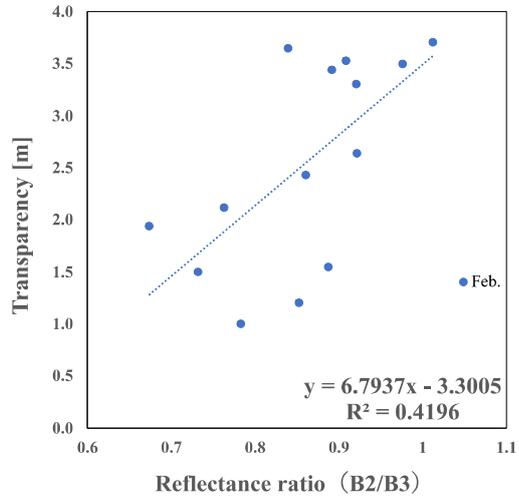


Fig. 12. Calculation of transparency estimation formula.

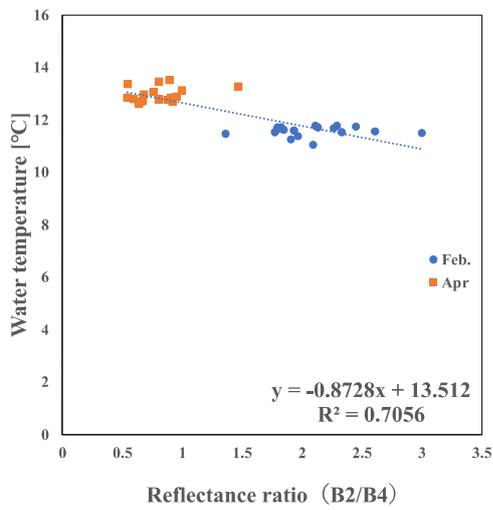


Fig. 13. Calculation of seawater temperature estimation formula (1).

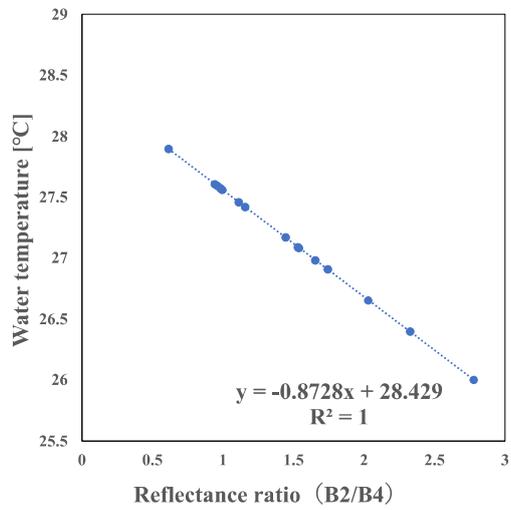


Fig. 14. Calculation of seawater temperature estimation formula (2).

値は先行研究でも定まっていない。そこで衛星撮像日のデータ（または衛星撮像日に近い現地実測データ）の該当ポイントの平均から標準偏差（ 1σ ）を引いた値をしきい値に設定してある。塩分推定結果を示す Fig.7 では、オレンジ色で識別している部分が塩分濃度の高い（しきい値より高い）海域を示している。

透明度推定については、Band2 と Band3 との反射率比の相関が最も高かったのでこの時の推定式を用いている（Fig. 12）。なお、透明度そのものについて現地実測データは取得していないため、光量子量データから消散係数を介して変換して求めている⁶⁾。しきい値については、環境省が、透明度が 1m よりも低いと藻の成育に影響がある⁴⁾と報告しているが、因島周辺では透明度 1m 以下の海域は少ないことを海洋生物科学科山岸准教授からご指導いただき、本研究でのしきい値は 1.5m に設定してある。透明度推定はこれまでのところ 2020 年 2 月以外の推定が困難である。その原因は、未だデータ数が少ないこと、光量子量から推定式を用いて 2 回変換しているため誤差が重なることを考えている。今後は現地データを追加して推定精度の向上を目指す。さらに光量子データからの推定式で変換する透明度ではなく、直接実測可能な濁り度への変更、すなわち「透明度が低い」から「濁り度が高い」への変更も現在計画している。透明度推定結果を示す Fig.8 では、青色で識別している部分が透明度の低い（しきい値より低い）海域を示している。

海水温は Band2 と Band4 との反射率比の相関が最も高かったのでこの時の推定式を用いている。ただし海水温の現地データについて、昨年夏時点でデータを測定していなかったため、夏の海水温を正しく推定することは困難である。そこで傾きは 2 月の現地観測データから推定したもの（Fig. 13）を用いて、切片は広島県水産海洋技術センターから提供いただいた昨年 8 月のデータで補正し、これによる近似式を用いて解析している（Fig. 14）。しきい値については、先行研究や書籍によると藻の種類にもよるが、夏季の海水温が 28℃以上になるとそれ以降の藻の成育が悪いと明らかになっている。本研究でも、当初それを適用してみたが、28℃設定では因島周辺の全海域が 28℃より高いと推定されてしまうため、しきい値を上げて 28.5℃と設定した。なお、海水温推定については今年夏の現地実測データをもとに海水温推定の精度を向上させる。海水温推定結果を示す Fig.9 では、黄色で識別している部分が夏季の海水温が高い（しきい値より高い）海域を示している。

以上より、海中補正については、塩分推定は現状の方法を継続することが可能であるが、透明度推定は現地実測データを追加して推定精度を向上させ、海水温推定は今年の実測海水温データを追加することで推定精度を向上させる必要がある。

4.3. 藻場識別解析結果

Fig.15-19 に各時期における底質指標図を藻場識別解析結果として示す。それぞれ図中の緑で識別してある部分は藻場が存在すると推定される海域である。

5. 精度検証

5.1. 精度検証方法

本研究では、BI による藻場識別解析の精度を検証するために現地調査を行ってある。現地調査では本学 内海生物資源研究センターの調査船・爽風丸を運行いただいたものである。現地調査で観測するポイントは、環境省の解析結果を参照し、海洋生物科学科の山岸准教授、阪本准教授にご指導いただいて選定してある（Fig. 20）。

調査方法は、船を停止した状態で水中カメラを沈めてデータを取得するスポット調査と、船を海岸近くから低速で後進しながらデータを取得するライン調査の 2 種類である。まず、各観測点の海岸に接近し、藻場確認をスポット調査で行う。このスポット調査で藻場を確認できた場合は徐々に海岸から離れながら水中カメラによる観測を続け、藻場がなくなったところを境界として藻場の領域を記録する。水中カメラは、釣用録画機能搭載赤外線水中カメラ「Big Catch LQ5050DR」を使用している。この水中カメラは圧力センサを搭載しており、静止画または動画を撮影すると同時に水温と水深を測定できる。位置情報は GPS ロガー「GT-730FL-S」を使用して軌跡を記録し、付属ソフトウェア「CanWay」を使う

ことで記録した軌跡を Google Map に表すことができる。この水中カメラデータおよび GPS ロガーデータを用いて解析結果の該当ポイントと比較し藻場の有無を目視判断して解析精度を得る。なお、解析精度は現地調査で藻場の有無を確認した全ポイントのうち、地球観測衛星データによる藻場識別解析結果が一致した割合 (%) で算出している。

5.2. 解析精度結果

Table 3 に各時期の解析精度結果を示す。解析精度が最も高いのは 2020 年 2 月 18 日であることがわかる。これは海中補正で沿岸海水データを推定する際に同日の現地実測データを用いているため、沿岸海水データの精度が他の観測日と比べて高いことが影響していると考えられる。一方、解析精度が最も低いのは 2019 年 9 月 26 日であることがわかる。これは次章で考察するが台風の影響を受けている。

また、消散係数比の算出と解析精度について、消散係数比を算出する際、瀬戸田海域で算出している 3 データ (2019 年 9 月 6 日、2020 年 2 月 18 日、2020 年 4 月 8 日) に比べて他の海域で算出している 2 データ (2019 年 9 月 26 日、2019 年 12 月 25 日) の解析精度が悪くなっていると確認できる (Table 3)。現段階でその原因は不明であり、消散係数比を瀬戸田海域の抽出から算出できない場合、藻場識別解析の精度を下げないための消散係数比算出と海域の抽出について更に検討が必要である。

現状の藻場識別解析精度は 71.2% で環境省の識別精度 71% と同等であり、さらに台風の影響で識別精度が悪い 2019 年 9 月 26 日の解析結果を除外すれば、解析精度は 75% まで達成している。従って本論文で提示した技法により、今後、因島沿岸の藻場識別を地球観測衛星データから十分に良い精度で解析できるとの結論である。

Table 3. Analysis accuracy results

Observational day	Analysis accuracy
6/September 2019	72%
26/September 2019	56%
25/December 2019	67%
18/February 2020	83%
8/April 2020	78%
Average	71.2%
Average(withuout 26/September)	75%

6. 考察

6.1. 藻場の季節変化

1 年間の藻場現地調査結果により因島周辺の藻場は、アマモ場、ガラモ場、その他複数の藻場を観測している (Fig. 20)。また、山岸ら¹⁴⁾は、因島八重子島における各月の海藻種数をみると、種数は季節的な増減パターンを示し、多くの場合 4 月を中心とする春に種数が最大となり、10 月に最小となるパターンが多いと報告している。本論文では 9 月から翌年 4 月の解析を説明しており (Fig.15-19)、因島周辺全体の沿岸域の藻場が 9 月から 12 月にかけて減少し、2 月から 4 月にかけて増加していることがデータ解析結果から識別できる。これは藻場の季節変化の現地の傾向と一致している。

より詳細に見ると、本学因島キャンパス付近海域 (図中の海域 A) では、2019 年 9 月 26 日を除けば季節変化を明確に観測できている。ただし 2020 年 4 月 8 日は本学キャンパス沿岸域全体に藻場が分布するはずであるが、南側の海岸沿いに偏っている。これは海中補正の沿岸海水データの推定が現時点で

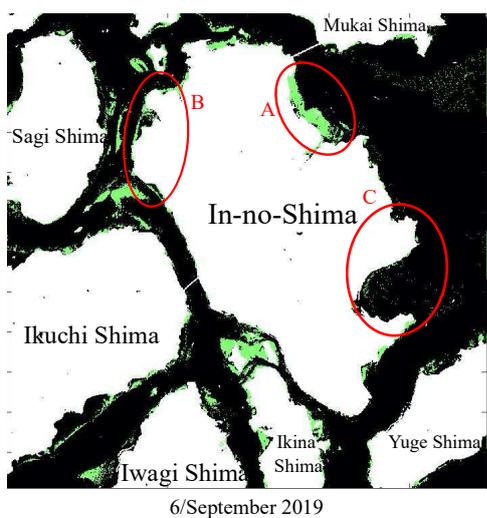


Fig. 15. Result of seagrass beds distinction analysis (6/September 2019).



Fig. 16. Result of seagrass beds distinction analysis (26/September 2019).



Fig. 17. Result of seagrass beds distinction analysis (25/December 2019).



Fig. 18. Result of seagrass beds distinction analysis (18/February 2020).

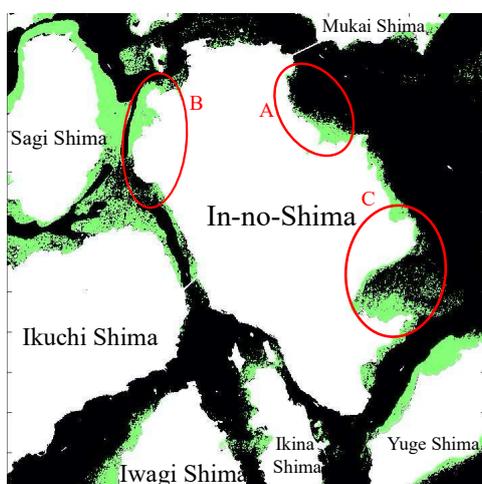


Fig. 19. Result of seagrass beds distinction analysis (8/April 2020).

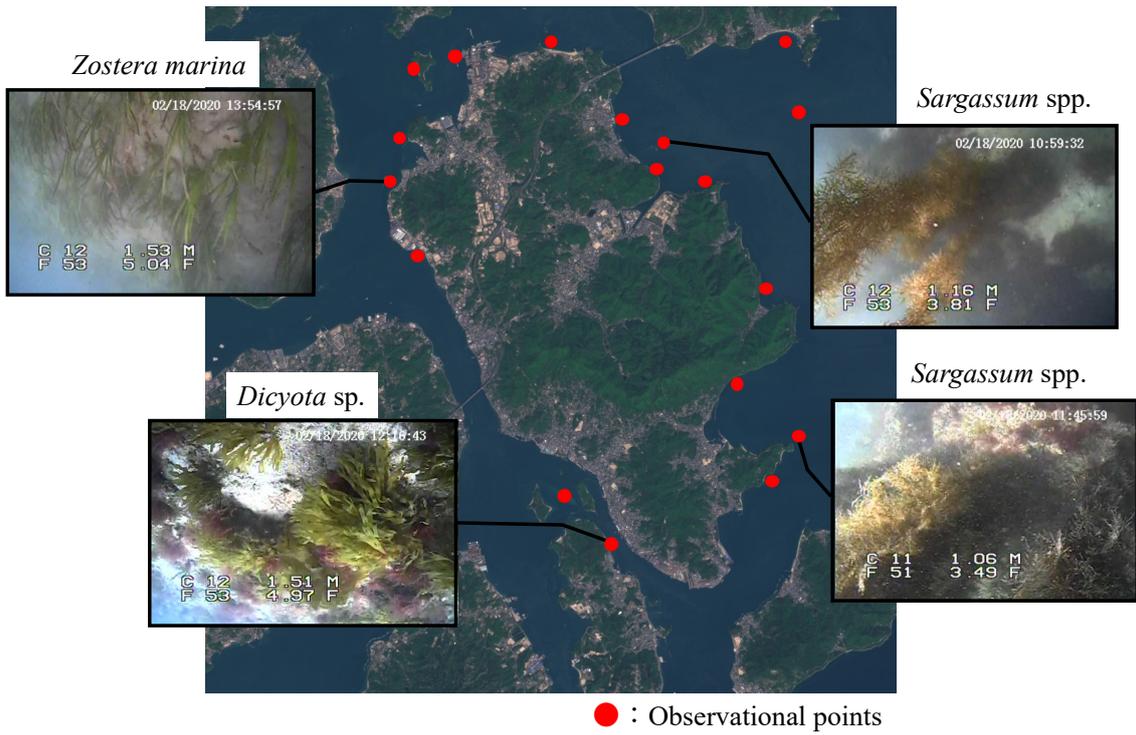


Fig. 20. Observation points of site investigation.

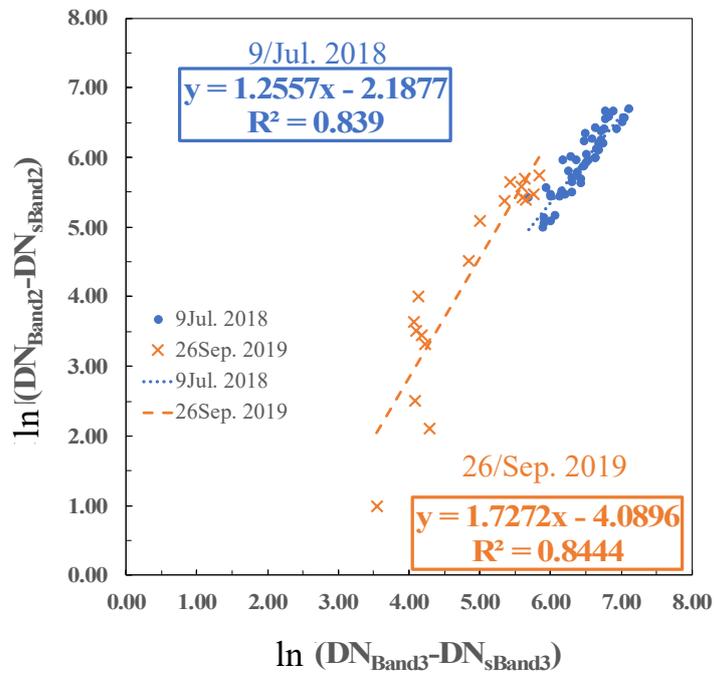


Fig. 21. Calculation results of extinction coefficient ratio (9/July 2018 and 26/September 2019).

は精度が十分ではないことが原因と推定している。今後、沿岸海水データ（特に透明度推定と夏の海水温推定）の推定精度を向上させることで、この不確かさを除去する。

因島北西部沿岸海域（Fig. 15-19（図中の海域 B））では、現地観測で大きなアマモ場を確認している。アマモの葉長の季節変動は、春（5～7月）に葉長が長く、秋（9～11月）に最も短くなることが報告されている⁸⁾。解析結果の海域 B に注目すると、2019年9月でわずかに存在している藻場が12月に見えなくなり、さらに翌年2月に存在し、4月に増加していることが確認できる。これはアマモの葉長の成育傾向と解析結果が一致しており、12月の解析結果に藻場を識別していないのは葉長が短いため土砂が葉に被っていることが原因と推定している。

因島南東部沿岸域（Fig. 15-19（図中の海域 C））では、現地観測によりガラモ場が多く存在する海域であることを確認している。海域 C に注目すると、2019年9月に最も減少しており、12月と翌年2月に沿岸域で増加し、4月で大きな藻場が存在していることが確認できる。現地調査の結果では、大きなガラモ場は春季で繁茂し、夏季にかけて減少、冬季にはほとんど確認できないことがわかっている。この誤差は、Bottom Index で、砂地に対して岩場は反射率比が大きいことが原因と推定しているが、明確な原因究明を今後も継続する必要がある。

以上より、地球観測衛星データを用いて藻場の季節変化を把握する技術について基盤を確立したと判断できる。Sentinel-2 の撮像は、広島上空でおおよそ1ヶ月に1回、雲の無い良いデータを入手できるので、今後1ヶ月間隔でより詳細な季節変化を考察でき、解析精度の向上も可能である。

6.2. 自然環境変化が及ぼす影響

2019年9月22日に台風17号が広島県を直撃している。この台風が直撃する前（2019年9月6日（Fig. 16））と直撃した後（2019年9月26日（Fig. 17））を比較すると、台風直撃後に藻場が減少していることが確認できる。特に海域 A、B に注目するとその傾向が明らかである。

また台風直撃前後の解析精度は72%から56%へ大きく低下している（Table 3）。これは台風の影響により、藻が切れてしまったり藻場が減少していること、藻場に土砂が被さって見えなくなっていること及び大量の河川から流入した真水が上層に存在して藻場が見えにくくなっていることなどが原因と推定している。

さらに消散係数比について、他の観測日が0.500～1.000の範囲内であるのに対して2019年9月26日は1.7272と高い値となっている（Table 2）。これは、2018年7月6日の西日本豪雨直後の解析（2018年7月9日）で消散係数比が高い（1.2557）ことと傾向が同じである（Fig. 21）。このことから消散係数比が高くなる原因として、土砂の流入や因島海域全体の砂地の攪拌によって濁り度が高くなり、各バンドの反射率に変動が発生しているためと推定できる。このような自然環境変化により、海水状況に大きな変化が発生しても解析精度を保つためには、海中補正（特に塩分推定と透明度推定）の推定精度を向上させることが有効と考えており、検討を継続する。

以上より、地球観測衛星データを用いた藻場識別解析から自然環境変化が藻場へ及ぼす影響を考察することが可能と判断できる。

7. まとめ

本論文は、里海の豊かさを地球観測衛星データから識別する藻場の状態で定量化し、持続的な状態モニターにより藻場の季節変化および経年変化を把握できることを議論したものである。その定量化のために、BIによる藻場識別解析技法を精度検証を伴って確立しており、研究成果は以下の3点である。

- ① BIによる藻場識別解析で必要となる大気補正について暗画素法と相対大気補正法の適用が有効である。海水補正は藻場の成育要因である沿岸海水データ（塩分、透明度、海水温）を解析に反映させる新しい技法を考案し、これらの補正により、藻場識別解析精度は環境省と同等の71.2%を達成している。
- ② 現状の解析精度ならば、地球観測衛星データを用いて藻場の季節変化を把握し考察する技術の基盤

を確立できている。

- ③ 現状の解析精度ならば、地球観測衛星データにより藻場識別解析から台風や豪雨などの自然環境変化が及ぼす影響をとらえることが可能である。

最後に、今後の研究における課題4点を以下に示す。

- I. 海中補正について、現地実測データの追加等により沿岸海水データの推定精度を向上させる。
- II. Iの成果を反映して、藻場識別解析の精度をさらに向上させ80%を達成する。
- III. 藻場の季節変化について、1ヶ月間隔の藻場識別解析結果を基に詳細な変化を考察する。
- IV. 陸域の活動と藻場増減の要因との相関を分析し、定量的モデルの基盤を構築する。

謝辞

藻場識別解析技法についてご多忙の中、時間を割いて基調就職なご意見を下さった広島大学大学院工学研究科の作野裕司准教授に深く感謝いたします。藻場の現地観測データを基に藻場成育環境要因について熱心にご指導いただいた福山大学生命工学部海洋生物科学科の山岸幸正准教授にも感謝いたします。また現地調査で爽風丸を操船いただいた福山大学内海生物資源研究所の藤井実元船長、海水データ取得にご協力くださった福山大学生命工学部海洋生物科学科の金子健司教授にも感謝の意を表します。

文献

- 1) 青山隆司, 矢野達也, 八木一平. 衛星リモートセンシングを用いた小浜湾の藻場計測. *福井工業大学研究紀要*, 44, 7-13 (2014)
- 2) 藤田大介, 村瀬昇, 桑原久実. 藻場を見守り育てる知恵と技術. *成山堂書店*, 174-212 (2010)
- 3) 環境省. 瀬戸内海における藻場・干潟分布状況調査 調査結果 (中部海域). *報道・広報, 報道発表資料*, (2016)
- 4) 環境省. 透明度目標値について[基本的考え方及び選定結果]. *報道・広報, 報道発表参考資料* (2010)
- 5) 森信人, 二宮順一, 有田守, 出口一郎, 芳田利春, 矢持進. SFFM を用いた藻場分布と海底地形のリモートセンシング. *土木学会, 海岸工学論文集*, 54, 1451-1455 (2007)
- 6) 向井徹雄, 滝本和人, 柴田輝一, 小林馨, 阿部弘幸. 沿岸海域における海水の光学的性質およびそれらの季節変動. *水質汚濁研究*, 7, 1, 11-19 (1984)
- 7) 日本リモートセンシング学会. 基礎からわかるリモートセンシング. *理工図書株式会社*, 61-82 (2013)
- 8) 緒方郁夫, 鶴田幸成, 川口栄男. 福岡市周辺の海産生物調査. II. 能古島南部におけるアマモ *Zostera marina* L. の季節的変動. *九大農学芸誌*, 70, 1, 1-6 (2015)
- 9) ルイツチエー, 作野裕司. 衛星 Terra/ASTER データを使った吉名干潟における藻場モニタリング. *水工学論文集*, 52, 1381-1386 (2008)
- 10) 作野裕司. 現地調査と衛星データによる西日本豪雨前後の広島県沖における透明度分布特性. *土木学会論文集 B2(海岸工学)*, 75, 2, I_1045-I_1050 (2019)
- 11) 作野裕司, 吉田武史, 松永恒雄, 古津年章, 高安克己. 多時期 Landsat データを用いた宍道湖・中海のクロロフィル a 濃度分布推定. *土木学会, 海岸工学論文集*, 50, 1011-1015 (2003)
- 12) 寺内元基, 前田経雄. 北西太平洋地域における衛星リモートセンシング による富栄養化の評価と藻場マッピングの現状と課題. *沿岸海洋研究*, 54, 1, 29-42 (2016)
- 13) 虎谷充浩. 海色リモートセンシングの大気補正. *写真測量とリモートセンシング*, 52, 5, 239-242 (2013)
- 14) 山岸幸正, 三輪泰彦. 因島および福山の海藻相の 10 年間の変化について. *福山大学生命工学部研究年報* (18), 35-47 (2019)

Annu. Rep. Fac. Life Sci. Biotechnol, Fukuyama Univ. (31), 1-15 (2021)

**Quantitative Analysis for Seaweed and Seagrass Beds Analysis using the Satellite Remote Sensing Data
in Coastal Waters of InnoShima**

Yusuke Katsube* and Ryuichi Sekita**

*Department of Electronic and Electrical Engineering, Graduate School of Engineering,

**Associate Professor, Department of Smart System, Faculty of Engineering,

Fukuyama University, Fukuyama, Hiroshima 729-0292, Japan

Fukuyama University has been currently executing “Seto Inland Sea Sato-yama Sato-umi research project” as the branding research since FY2017. As part of it, we have been executing data analysis research for the distribution of seaweed and seagrass beds in coastal waters of Seto Inland Sea. This paper analyzes the seaweed and seagrass beds distribution around InnoShima using Sentinel-2 satellite image data and discusses seasonal changes of the seaweed and seagrass beds and discusses the influence of changes in the natural environment.

Keywords: Marine Observation, Sentinel-2, Bottom Index, Remote Sensing

広島県因島および福山における黄緑藻綱ウミフシナシミドロ

Vaucheria longicaulis の生育

山岸幸正*、海原光寿、三輪泰彦

瀬戸内海中央部の広島県尾道市因島および福山市鞆から、海産黄緑藻綱ウミフシナシミドロ *Vaucheria longicaulis* を形態観察により確認した。本種の標本は以下の特徴を持っていた：雌雄異株の藻体；1-3個の側生の小突起および1個の中空の支持細胞を持つ円柱形の造精器；頂端が丸く、支持細胞を持たない棍棒形から洋梨形の生卵器；棍棒形の孢子嚢など。本種は広島県から初報告である。

キーワード：黄緑藻綱、*Vaucheria longicaulis*、ウミフシナシミドロ、瀬戸内海

フシナシミドロ属 *Vaucheria* は不等毛植物門黄緑藻綱 Xanthophyceae に属する藻類で、水中の泥土上や地上の湿土上に生育し、体は細胞間の隔壁がない多核の管状（多核嚢状）の糸状体であり、卵細胞と精子による有性生殖と、遊走子や不動孢子などによる無性生殖を行う¹⁾。世界で100種近くが報告され²⁾、多くの種は淡水産であるが、一部の種は汽水や海水に生育する。海産（汽水産を含む）のフシナシミドロ属のうち、日本では以下の6種が報告されている（括弧は産地）：(1) *V. erythrospora* Christensen（山口県平生³⁾）、(2) ウミフシナシミドロ *V. longicaulis* Hoppaugh（沖縄県⁴⁾、鹿児島県⁵⁾、福岡県⁶⁾、愛媛県松山⁷⁾、兵庫県淡路島⁸⁾、静岡県⁹⁾、福島県、宮城県¹⁰⁾）、(3) *V. mayyanadensis* Erady（広島県瀬戸田、岡山県、兵庫県³⁾、神奈川県、宮城県¹¹⁾）、(4) ヒラマメフシナシミドロ *V. piloboloides* Thuret（山口県長島¹²⁾）、(5) *V. schleicheri* de Wildeman（山口県平生³⁾）、(6) カマクビウミフシナシミドロ *V. vipera* Blum（沖縄県¹³⁾、岡山県³⁾、福島県¹¹⁾）。瀬戸内海からはこれら6種すべてが報告されている。

これらの海産種のうちウミフシナシミドロは、日本では主に西日本の塩田や干潟から報告されているが、生育地である沿岸の干潟が失われていることから、環境省により第三次レッドリスト（2010年）以降絶滅危惧Ⅱ類（VU）に指定されている¹⁴⁾。本種は各産地で種の形態的特徴は報告されているものの、成熟時期などの生態的情報が乏しいことや、近年（2013年から2017年）の調査により東日本の東北地方にも生育が確認された^{10,11)}ことなどから、保全のために必要な分布域や季節的消長などの基本情報はいまだ不十分と考えられる。

筆者らの研究室では、瀬戸内海中央部の広島県尾道市因島や福山市鞆町などの海岸において2005年以降継続的に海藻相調査を行ってきた^{15,16)}。その中で、潮間帯下部の泥上に生育する緑色の糸状藻類を確認しており、当初は多核嚢状で糸状の体制を持つ緑藻ツユノイト属の一種として暫定的に記録していた。今回これらの採集標本の形態を再観察したところ、緑藻ツユノイト属の糸状体には生じないはずの有性生殖器官がみつき、黄緑藻綱のウミフシナシミドロであることを確認したので、ここに報告する。

方法

形態観察に用いた標本は、瀬戸内海中央部の広島県尾道市因島大浜町八重子島および福山市鞆町玉津島においてこれまでに行われた海藻相調査^{15,16)}により採集され、緑藻ハネモ目のツユノイト属の一種 *Derbesia* sp.として記録されていたもので、50%グリセリン海水で封入されたプレパラートまたは-20℃で保存された冷凍標本を用い、さらに筆者らが2018年度に因島八重子島において採集した生の藻

体を用いた。これらの標本を顕微鏡を用いて観察し、フシナシミドロ属の同定に重要な生卵器、造精器などの生殖器官を探し、形態的特徴の記録を行った。本研究により確認されたウミフシナシミドロの標本の情報を Table 1 に示した。

Table 1. Sample list of *Vaucheria longicaulis* using in this study.

Localities	Collection date	Preservation	Reproductive organs
Yaekojima, Innoshima, Onomichi, Hiroshima Prefecture, Japan	17 December 2008	-20°C frozen, microscope slides	sporophytes
	12 January 2009	-20°C frozen, microscope slides	sporophytes
	28 February 2014	-20°C frozen, microscope slides	female
	23 February 2015	-20°C frozen, microscope slides	male, female
	27 February 2016	-20°C frozen, microscope slides	female
	27 February 2017	-20°C frozen, microscope slides	male, female
	27 November 2018	-20°C frozen, microscope slides	sporophytes
	22 February 2019	fresh	female
Tomo, Fukuyama, Hiroshima Prefecture, Japan	22 December 2017	-20°C frozen, microscope slides	sporophytes
	22 January 2018	-20°C frozen, microscope slides	female, sporophytes

結果および考察

因島・福山産ウミフシナシミドロ *Vaucheria longicaulis* の特徴

藻体は潮間帯下部の平らに泥が堆積している場所の泥上にゆるく錯綜して生育し (Fig. 1a, b)、細胞間に仕切りのない管状の糸状体で (Fig. 1c)、まばらに分枝し、直径 35-65 μm ある。配偶体は雌雄異株である。造精器 antheridia は糸状体の末端または側枝の末端に形成され、先のとがった円柱形で、まっすぐで湾曲せず、直径 40-65 μm 、長さ 300-500 μm あり、側方に 1-3 個の小突起を持ち、基部に 1 個の中空の支持細胞を持つ (Fig. 1d)。生卵器 oogonia は糸状体の末端または側枝の末端に形成され、下部が細く上部が膨れた棍棒形から洋梨形で、直径 120-175 μm 、長さ 315-535 μm あり、頂端に突起はなく、基部に糸状体との仕切りがあるが、支持細胞を持たない (Fig. 1e, f)。卵孢子 oospores は球形かやや卵形で、透明な壁に囲まれ、短径 128-145 μm 、長径 140-160 μm あり、生卵器内の上方に位置する (Fig. 1f)。胞子嚢 sporangia は糸状体の末端に形成され、先がやや太い棍棒形で、直径 75-140 μm 、長さ 220-400 μm あり (Fig. 1g)、ときに胞子嚢内の胞子から仮根状突起が伸びることがある (Fig. 1h)。本調査地における生育時期は 11 月から 2 月の低水温期であり、有性生殖器官は 1 月から 2 月にみられ、胞子嚢は 11 月から 2 月にみられた。

他種との形態的特徴の比較

因島および福山産の本種藻体の形態的特徴を、日本産フシナシミドロ属の海産種 6 種と比較検討した (Table 2)。*Vaucheria erythrospora*、*V. mayyanadensis*、*V. schleicheri*、*V. vipera* の 4 種は造精器に側生する小突起や支持細胞を持たず、生卵器に嘴状突起を持つことに対して、本種は造精器に側生する小突起や支持細胞を持ち、生卵器に突起を持たないことなどで区別される。ヒラマメフシナシミドロ *V. piloboloides* は雌雄同株であり、凸レンズ状の卵孢子を持つことに対して、本種は雌雄異株であり、球形の卵孢子を持つことなどで区別される。本種は、糸状体のサイズや、雌雄異株であること、造精器がまっすぐな円柱形で、複数の側生する小突起および 1 個の支持細胞を持つこと、生卵器が棍棒形から洋梨形で頂端に突起を持たないこと、胞子嚢が棍棒形であることなどの特徴がウミフシナシミドロ *V. longicaulis* の原記載¹⁷⁾およびタイプ産地からの報告¹⁸⁾、日本各地の報告^{6, 8, 9, 11)}とよく一致することから、ウミフシナシミドロ *V. longicaulis* であると結論した。

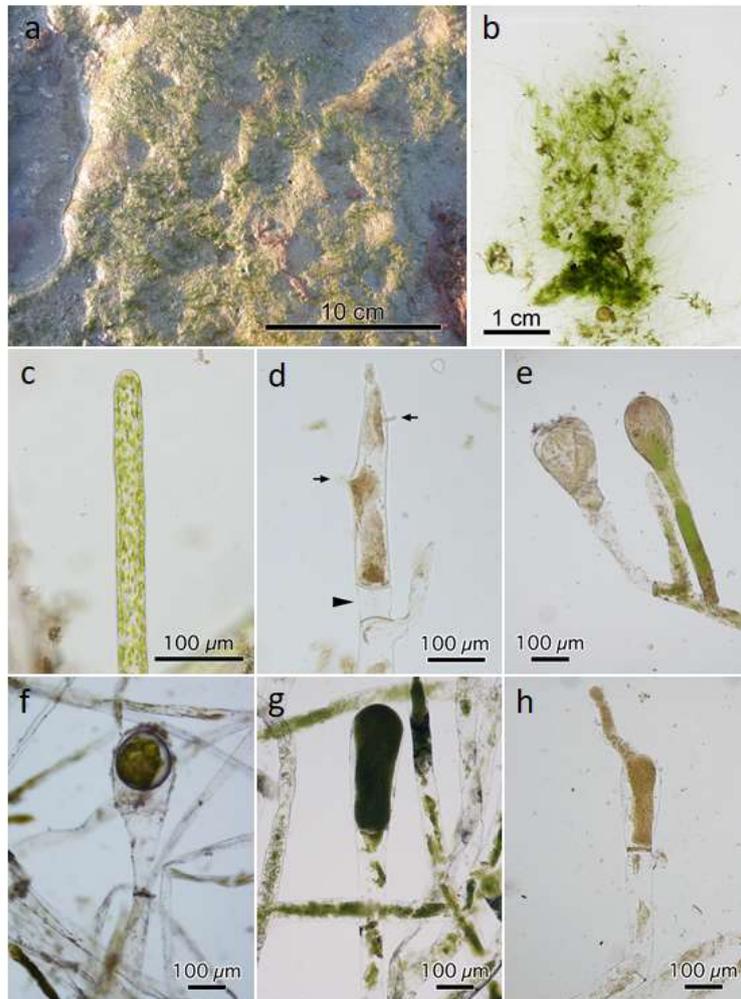


Fig. 1. *Vaucheria longicaulis*. Living (a, c) and preserved (b, d-h) specimens from Innoshima, Onomichi (a, b, d-g) and Tomo, Fukuyama (c, h), Hiroshima Prefecture, Japan.

a: Lower tidal mud covered with filamentous thalli (January 2009). b: Filamentous thalli (December 2008). c: An apical part of a living filamentous thallus (December 2017). d: An antheridium with lateral projections (arrows) and an empty supporting cell (arrowhead) (February 2015). e: Two oogonia formed terminally at an axis and a lateral branch (February 2017). f: An oogonium forming an oospore (February 2014). g: A sporangium (January 2009). h: A sporangium with a germinated spore (January 2018).

瀬戸内海における生育状況

ウミフシナシミドロは瀬戸内海において、これまで愛媛県松山⁷⁾および兵庫県淡路島塩谷の塩田跡⁸⁾の2カ所から報告がある。本研究は瀬戸内海で3例目の報告となり、広島県からは初報告となる。瀬戸内海における本種の生育状況については、本種を情報不足 (DD) として記載している愛媛県レッドデータブック 2014²²⁾によると、愛媛県内では松山沿岸での文献上の記録があるが現状が把握できないとされており、また淡路島においても最初の塩田跡からの記録以降の報告はおそらくなく、現在の生育状況についてはほとんど情報が無い。ウミフシナシミドロが含まれる黄緑藻綱は褐藻と同じ不等毛植物門であるが、フコキサンチンを欠くため体色が緑色であり、本種は外見ではツユノイト類などの緑藻の糸状体に類似していることや、同定のために生殖器官を持つ成熟藻体が必要であることから、各地に生育していても認識されにくかった可能性も考えられる。緑藻ツユノイト属の糸状体は孢子体であり (配偶体は異形で微視的)、生卵器や造精器をつけた糸状体を確認することがフシナシミドロ属であることの識別

点となる。因島ではほぼ毎年12月～2月に岩と砂泥が混じる海岸の堆積した泥表面に、肉眼視できる緑色の糸状体の集団として生育しており、瀬戸内海のほかの海岸においても同様の場所を探すことでウミフシナシミドロの生育が確認できる可能性があり、生育状況を明らかにするためには今後の調査が必要である。

Table 2. Morphological comparison of an alga collected in this study and six marine species of *Vaucheria* in Japan.

		Thalli of Imnoshima and Tomo	<i>V. longicaulis</i>	<i>V. piloboloides</i>	<i>V. mayyanadensis</i>	<i>V. erythrospora</i>	<i>V. schleicheri</i>	<i>V. vipera</i>
Filaments	Diameter	35-65 μm	30-72 μm	40-90 μm	35-85 μm	28-37 μm	100-180 μm	40-80 μm
Antheridia	Diameter× length	40-65 μm× 300-500 μm	45-90 μm× 330-730 μm	60-120 μm× 240-350 μm	45-90 μm× 110-200 μm	10-12 μm in diameter	29-48 μm× 116-126 μm	35-60 μm× 90-135 μm
	Shapes	Cylindrical	Cylindrical	Cylindrical	Elongate ovoid	Cylindrical	Cylindrical to clavate	Conical
	Curvature	Straight	Straight	Straight	Straight	Curved	Curved	Curved
	Positions of papillae	Apical and lateral	Apical and lateral	Apical and lateral	Apical	Apical	Apical	Apical
	A basal supporting cell	Present	Present	Present	Absent	Absent	Absent	Absent
Oogonia	Diameter× length	120-175 μm× 315-535 μm	110-200 μm× 242-440 μm	140-210 μm× 320-500 μm	95-200 μm× 150-230 μm	42-48 μm× 52-58 μm	200-310 μm× 250-340 μm	115-190 μm× 170-260 μm
	Shapes	Clavate to pyriform	Clavate to pyriform	Clavate	Ovoid to ellipsoidal	Spherical	Spherical to ovoid	Ovoid to pyriform
	Apical beaks	Absent	Absent	Absent	Present	Present	Present	Present
	Oospores	Shapes	Spherical to ovoid	Spherical to ovoid	Convex-shaped	Spherical	Spherical	Spherical
Sexuality		Dioecious	Dioecious	Monoecious	Dioecious	Monoecious	Monoecious	Monoecious
References		Present study	Hoppaugh 1930 ¹⁷⁾ , Taylor 1952 ¹⁸⁾	Yamamoto <i>et al.</i> 2013 ¹²⁾ , Womersley 1987 ¹⁹⁾	Yamagishi 1965 ³⁾ , Kikuchi <i>et al.</i> 2018 ¹¹⁾	Yamagishi 1965 ³⁾	Wildman 1895 ²⁰⁾ , Yamagishi 1965 ³⁾ , 1999 ²¹⁾	Yamagishi 1964 ¹³⁾ , 1965 ³⁾ , Kikuchi <i>et al.</i> 2018 ¹¹⁾

謝辞

本研究の一部は文部科学省私立大学研究ブランディング事業「瀬戸内海 しまなみ沿岸生態系に眠る多面的機能の解明と産業支援・教育」の助成を受け実施されたものである。ウミフシナシミドロの同定についてご助言をいただいた千葉県立中央博物館分館海の博物館主任上席研究員の菊地則雄博士に深く感謝する。また材料の採集および観察において多大なご協力をいただいた福山大学海洋生物科学科海洋植物科学研究室卒業生の皆様に心より感謝する。

文献

- 山岸高旺. 淡水藻類 淡水産藻類属総覧. 内田老鶴圃、東京 (2007)
- M. D. Guiry in M. D. Guiry and G. M. Guiry. AlgaeBase. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. <http://www.algaebase.org>; searched on 05 August 2020 (2020)
- 山岸高旺. 数種の塩田産フシナシミドロについて. *植物研究雑誌*, **40**, 148-155 (1965)
- 沖縄県環境部自然保護課. 改訂・沖縄県の絶滅のおそれのある野生生物 第3版 (菌類編・植物編). (2018)
- 環境省自然環境局生物多様性センター. 第7回自然環境保全基礎調査 浅海域生態系調査 (藻場調査) 報告書. (2008)
- 瀬川宗吉、太田国光. 博多湾の海藻についての二三知見. *九州大学農学部学芸雑誌*, **13**, 282-285 (1951)
- 八木繁一. 伊予の海藻目録. 愛媛県科学教育研究会 (1961)
- 山岸高旺. 淡路島産フシナシミドロ属. *植物研究雑誌*, **38**, 334-336 (1963)
- 山岸高旺. 日本産フシナシミドロ属. *植物研究雑誌*, **34**, 72-85 (1959)
- 菊池則雄、平野弥生、大越健嗣. 東北地方太平洋沿岸における黄緑藻綱フシナシミドロ属の生育. *藻*

- 類、**65**、66 (2017)
- 25) 菊池則雄、平野弥生、大越健嗣. 東北地方太平洋沿岸産黄緑藻綱フシナシミドロ属藻類についての続報. *藻類*、**66**、78 (2018)
 - 26) 山本正之、志田尾耕三、富田伸明、菊本憲文、下西孝、二宮早由子、長井隆、香村眞徳. 瀬戸内海長島周辺海域における黄緑藻綱フシナシミドロ属日本初記録種 *Vaucheria piloboloides* の分布. *海生研報*、**16**、1-10 (2013)
 - 27) 山岸高旺. 二三の沖縄産管状藻類について. *植物研究雑誌*、**39**、82-90 (1964)
 - 28) 環境省自然環境局野生生物課. 改訂レッドリスト 付属説明資料 藻類. (2010)
 - 29) 山岸幸正、三輪泰彦. 瀬戸内海中央部因島・福山の海藻相. *福山大学生命工学部研究年報*、**7**、21-33 (2008)
 - 30) 山岸幸正、三輪泰彦. 因島および福山の海藻相の10年間の変化について. *福山大学生命工学部研究年報*、**18**、35-47 (2019)
 - 31) K. W. Hoppaugh. A taxonomic study of species of the genus *Vaucheria* collected in California. *American Journal of Botany*、**17**、329-347 (1930)
 - 32) W. M. Taylor. Marine algae of the northeastern coast of North America. The University of Michigan Press (1957)
 - 33) H. B. S. Womersley. The marine benthic flora of southern Australia. Part II. South Australian Government Printing Division, Adelaide (1987)
 - 34) E. De Wildman. *Vaucheria schleicheri* sp. nov. *Bulletin de l'Herbier Boissier*、**3**、588-592 (1895)
 - 35) 山岸高旺. 淡水藻類入門 淡水藻類の形質・種類・観察と研究. 内田老鶴圃、東京 (1999)
 - 36) 愛媛県レッドデータブック改訂委員会. 愛媛県レッドデータブック 2014. 愛媛県県民環境部環境局自然保護課、松山 (2014)

Annu. Rep. Fac. Life Sci. Biotechnol, Fukuyama Univ. (31), 16-20 (2021)

Occurrence of *Vaucheria longicaulis* (Xanthophyceae) from Innoshima and Fukuyama, Hiroshima Prefecture, Japan

Yukimasa Yamagishi, Mitsuhsa Kaihara and Yasuhiko Miwa

Department of Marine Bio-Science, Faculty of Life Science and Biotechnology,
Fukuyama University, Fukuyama, Hiroshima 729-0292, Japan

The marine Xanthophycean species *Vaucheria longicaulis* is identified by the morphological observations of specimens collected from Innoshima, Onomichi and Tomo, Fukuyama, Hiroshima Prefecture on the central region of Seto Inland Sea of Japan. Our specimens of this species have following features: dioecious thalli; cylindrical antheridia with 1-3 short lateral projections and an empty supporting cell; clavate to pyriform oogonia with a rounded apices and without a supporting cell; clavate sporangia, etc. This species is a new record for Hiroshima Prefecture, Japan.

Keywords: Xanthophyceae, *Vaucheria longicaulis*, Seto Inland Sea

ブリ人工種苗の頭部等に発現する形態異常

豊田陽子、柳田忠大、原田悠生、有瀧真人*

本研究ではブリ人工種苗の形態を正常魚と異常魚 3 タイプ（口部の歪み、両顎の不整合、頭部陥没）に類別し、それぞれどの部位に、どのような異常が発現しているかを把握するため、対象となる骨格の観察を行った。観察には、31 日齢 20 個体と 44 日齢 27 個体を用いた。また、鹿児島県種子島近海で採集された、天然魚 5 個体を飼育魚の比較対象群とした。標本は個体ごとに、左右の前上顎骨、主上顎骨、歯骨、角骨および神経頭蓋について観察した。両顎の骨格は相対比（頭長比%）を算出した。その結果、1) 頭部に発現する形態異常は口部の歪みや両顎の不整合の頻度が高い、2) これらの異常は両顎の左右いずれかの骨格に変形が生じている、3) 人工種苗と天然魚の体型を比較すると頭部が下方に歪むことなどが明らかとなった。

キーワード：ブリ、人工種苗、形態異常、口部と頭部

ブリ類の養殖生産量は約 14 万トンと魚類養殖の中では最も多く、そのほとんどはブリ *Seriola quinqueradiata* が占める¹⁾。これまでブリ養殖種苗のほぼすべては、天然の稚魚や若魚を漁獲し使用している。しかし近年、由来のはっきりとした“安心安全な食品の提供”を求める社会的な声の高まりに加え、養殖現場から端境期の夏場を中心に、周年の安定出荷のニーズが提示され、ブリ養殖現場においても人工種苗への移行が始まった²⁾。本種を含めこれまでに 70 種を超える海産魚類で人工種苗生産が可能となっているが³⁾、多くの魚種で、脊椎骨や頭部、口部、体色、眼位などに多種多様な異常が高率に発現し、大きな問題となり続けている⁴⁾。脊椎骨の湾曲は、鰻の未発達が大きな要因として生じることが明らかにされ、飼育水槽表面を覆う油膜を除去することで大きな効果を上げている⁵⁾。また、異体類の体色や眼位の異常は変態時の左右性決定の不具合であり、種特異的な発達速度を再現することで軽減することが可能となっている⁶⁾。しかし、頭部の陥没、口部の変形など、その他の部位に見られる異常は、発現機序や対策はもとより、異常の詳細もほとんど手がつけられていない。量産可能なブリでも、多くの場合取り上げた稚魚の 50% 以上に何らかの変形箇所が認められ、生産の効率低下が実証化の進展を大きく阻んでいる⁷⁾。そこで本研究では、ブリに発生する形態異常でも特に大きな問題となっている口部の歪み、両顎の不整合、頭部陥没 3 タイプについて、それぞれどの部位に、どのような異常が発現しているかを把握するため、対象となる骨格の観察を行った。

方法

観察には、2011 年に（独）水産総合研究センター西海区水産研究所五島庁舎（現 水産研究・教育機構）で 50 トン水槽を用いて量産された人工種苗から、骨格形成が完了した 31 日齢 20 個体と 44 日齢 27 個体を用いた。飼育は卵で收容し水槽内で孵化させ開始した。收容密度は 2 万粒を目安に行った。飼育水温は種苗生産水槽に收容する時には 20℃、その後は約 2 日程度かけ 22℃まで昇温し、これを維持した。飼育水の交換率は飼育開始当初 10%で順次増加させ、取り上げ時には 300%程度にした。また、

*〒729-0292 広島県福山市学園町 1 番地三蔵 福山大学生命工学部海洋生物科学科
Tel: +81-84-936-2111、 Fax: +81-84-936-2023、 E-mail: aritaki@fukuyama-u.ac.jp

ワムシ給餌期間中は飼育水にナンノクロロプシスが 50 万細胞/mL となるよう適宜添加した。仔魚はふ化後 3 日齢に開口・摂餌するため、餌料は L 型ワムシ (3~22 日齢：開口~全長 10mm)、アルテミアノープリウス (16~30 日齢：全長 7~19mm)、配合飼料 (26 日齢~：全長 14mm~) を与えた。これら人工種苗とは別に、2014 年 5 月に鹿児島県種子島近海で採集された、天然魚 5 個体を飼育した人工種苗の比較対象群とした。標本はすべて 5~10% の中性ホルマリン溶液で固定後、70% のエタノールで保存したものである。

それぞれの標本は、頭部 (口部の歪み、両顎の不整合、頭部陥没) に異常の見られるもの 3 タイプと目視で異常の見られなかった個体 (正常魚) の 4 タイプに類別し (Fig. 1)、写真撮影と測定 (全長、頭長) を行った。その後、アリザリンレッド S とトリプシンによる硬骨染色および透明化処理⁸⁾ を施し、左右の前上顎骨、主上顎骨、歯骨、角骨および神経頭蓋について観察した。観察は実体顕微鏡を用い、異常の有無を確認後、全体および各部位を撮影した。前上顎骨、主上顎骨、歯骨、角骨は得られた画像からそれぞれの長さを測定し (Fig. 2)、頭長で除した相対比 (頭長比%) を算出した。また、31 日齢、44 日齢における異常の発現頻度を各部位 (前上顎骨、主上顎骨、歯骨、角骨、神経頭蓋) 別および異常魚 3 タイプ (口部の歪み、両顎の不整合、頭部陥没) 別に把握した。各骨の名称は落合⁹⁾ に準じた。この研究での異常の名称は、顎骨の一部が欠如しているものを欠損、正常のものより著しく変形しているものを歪み、正常よりも短いもしくは細いものを発育不全とした。

結果

人工種苗 31 日齢の平均全長±標準偏差 (以下同様) は 20.3 ± 3.0 mm、同 44 日齢は 45.9 ± 1.8 mm、天然魚は 49.0 ± 5.6 mm であった。

1) 異常魚 3 タイプと正常魚の頭部及び口部骨格

(1) 正常魚

31、44 日齢の正常魚は前上顎骨および歯骨の縫合部が頭部の正中線上にあり、いずれの部位においても左右の相対比に差はなかった。また、すべての個体で歯は生えそろっており、神経頭蓋にも陥没や歪みは認められなかった (Fig. 3-A, 4-A)。

(2) 口部の歪み

左右いずれかの前上顎骨、主上顎骨、歯骨および角骨が歪むもしくは短かった。また、前上顎骨および歯骨の縫合部は正中線より左右いずれかにずれていた。一方、前上顎骨と主上顎骨が正常魚に比べ細く発育不全とみられる個体も認められた。このほかにも歯が未発達な個体 (31 日齢) や前頭骨が陥没しているもの (44 日齢) が確認できた (Fig. 3-B, 4-B)。

(3) 両顎の不整合

歯骨と角骨が正常魚より小さく、31 日齢では前頭骨後方の陥没と前頭骨下部の歪みが併発していた。また、44 日齢では左右いずれかの歯骨、角骨が短く、前上顎骨および歯骨の縫合部が正中線からずれている個体も認められた (Fig. 3-C, 4-C)。

(4) 頭部陥没

前頭骨の前方もしくは前頭骨側辺の左右一方が陥没し、一部の個体では鼻骨が彎曲していた。また歯骨および角骨において左右どちらかが短いものや、右前上顎骨の欠損した個体がみられ、頭部陥没と口部の歪みが併発していた (Fig. 3-D, 4-D)。

2) 31 日齢、44 日齢における異常部位およびタイプ別の発現頻度

異常部位の発現率は、31 日齢が歯骨 19%、角骨 17%、神経頭蓋 18%、主上顎骨 35%、前上顎骨 11% で、44 日齢が歯骨 34%、角骨 29%、神経頭蓋 21%、主上顎骨 10%、前上顎骨 6% であった (Fig. 5)。タイプ別の異常の発現率は、31 日齢が口部の歪み 48%、両顎の不整合 40%、頭部陥没 12% で、44 日齢が口部の歪み 44%、両顎の不整合 33%、頭部陥没 23% となった (Fig. 6)。

3) 口部骨格における相対比の比較

正常魚と異常魚 3 タイプの口部骨格における相対比を比較した (Fig. 7, 8)。

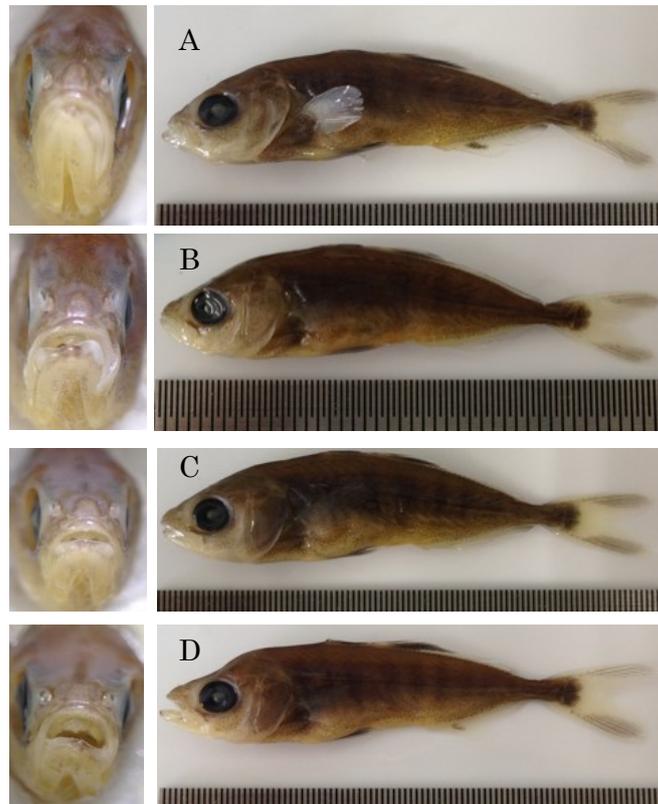


Fig. 1 Types of artificial yellowtail *Seriola quinqueradiata* juvenile
 A: normal, B: mouth distortion, C: misalignment of jaws, D: head depression
 Left: front, right: left side , scale: 1mm

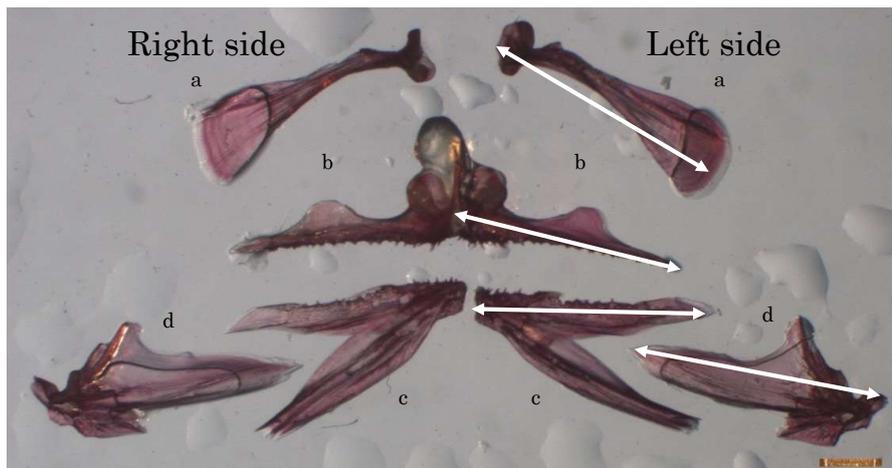


Fig. 2 Jaws skeleton and measurement points
 a: maxillary, b: premaxillary, c: dentary, d: angular
 ←→ : measurement points, scale: 1mm

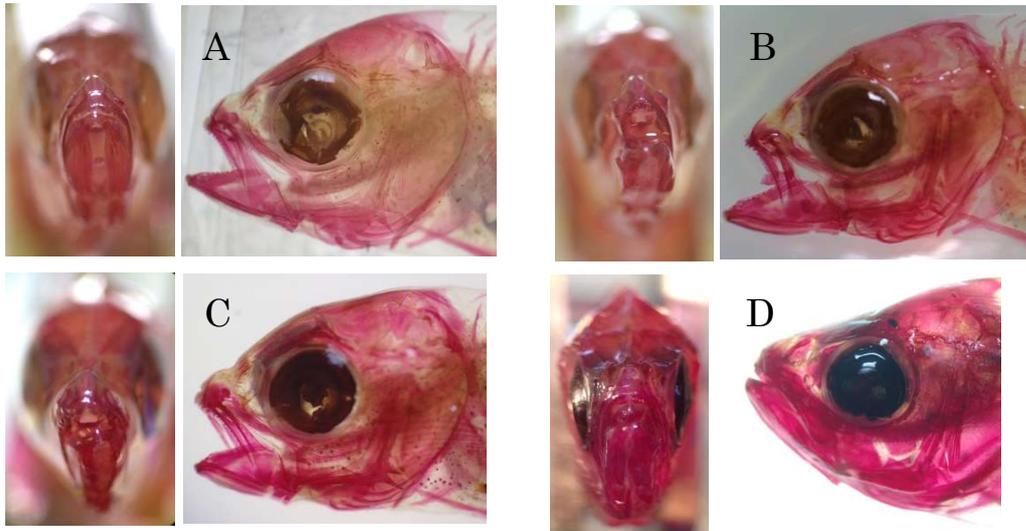


Fig. 3 Head skeleton of artificial yellowtail *Seriola quinqueradiata* juveniles
 A: normal, B: mouth distortion, C: misalignment of jaws, D: head

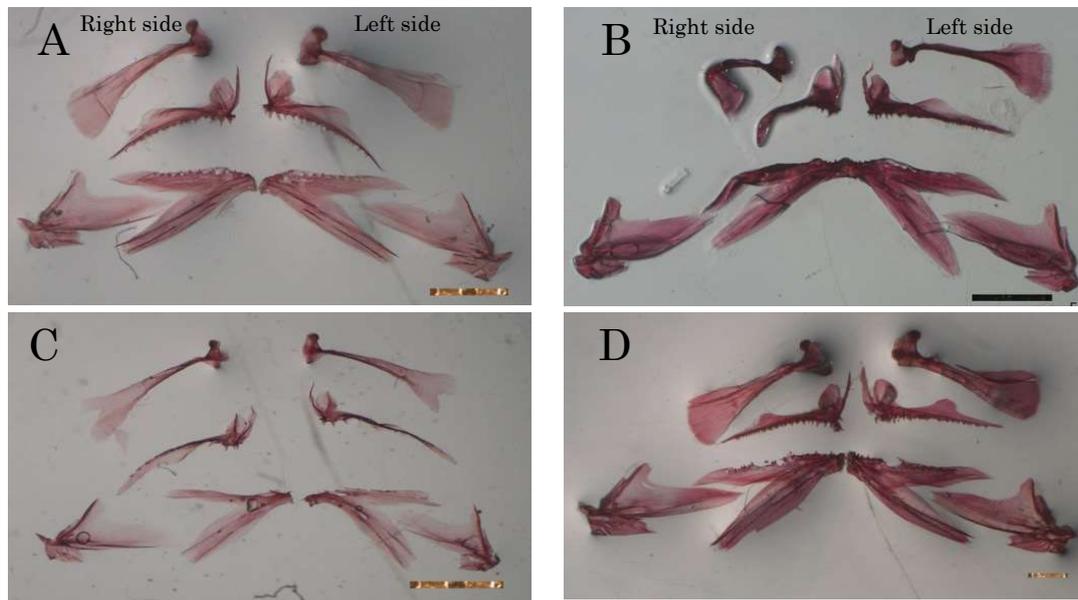


Fig. 4 Jaws skeleton of artificial yellowtail *Seriola quinqueradiata* juvenile
 A: normal, B: mouth distortion, C: misalignment of jaws, D: head depression, scale: 1mm

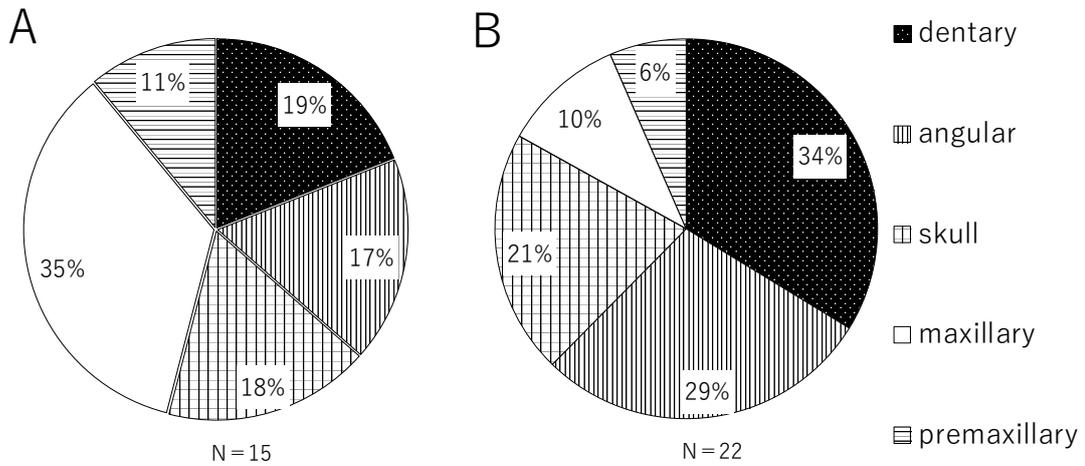


Fig. 5 Occurrence of abnormal bones in artificial juvenile
A: 31 days after hatching, B: 44 days after hatching

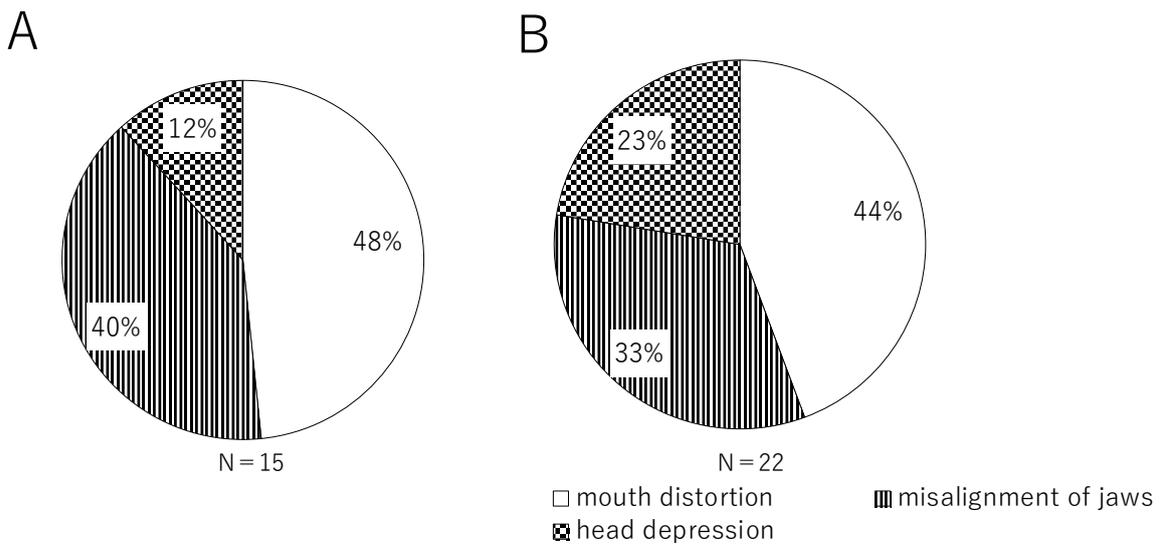


Fig. 6 Occurrence of abnormal types in artificial juvenile
A: 31 days after hatching, B: 44 days after hatching

(1) 前上顎骨

31日齢の正常魚の前上顎骨比は左 $29.5 \pm 0.8\%$ 、右 $29.1 \pm 0.8\%$ であるのに対し、両顎の不整合は左 $31.0 \pm 0.8\%$ 、右 $30.6 \pm 1.2\%$ 、口部の歪みは左 $31.1 \pm 1.7\%$ 、右 $28.3 \pm 5.9\%$ 、頭部陥没は左 $31.5 \pm 1.2\%$ 、右 $30.2 \pm 1.8\%$ であった。

44日齢における正常魚の前上顎骨比は左 $30.2 \pm 1.0\%$ 、右 $29.6 \pm 1.3\%$ に対し、両顎の不整合は左 $30.6 \pm 0.9\%$ 、右 $30.4 \pm 1.0\%$ 、口部の歪みは左 $27.0 \pm 5.6\%$ 、右 $25.0 \pm 7.6\%$ 、頭部陥没は左 $30.4 \pm 1.2\%$ 、右 $29.4 \pm 1.8\%$ となった。

(2) 主上顎骨

31日齢における正常魚の主上顎骨比は左 $35.4 \pm 0.8\%$ 、右 $34.6 \pm 0.7\%$ に対し、両顎の不整合は左 35.3

±1.0%、右 34.8±1.6%、口部の歪みは左 35.6±3.0%、右 31.0±8.4%、頭部陥没は左 35.9±1.5%、右 35.3±1.4%であった。

44 日齢における正常魚の主上顎骨比は左 35.6±1.4%、右 34.4±1.3%に対し、両顎の不整合は左 35.9±0.7%、右 35.4±0.9%、口部の歪みは左 32.3±6.1%、右 29.3±8.6%、頭部陥没は左 35.8±1.4%、右 34.8±1.1%となった。

(3) 歯骨

31 日齢における正常魚の歯骨比は左 32.9±1.3%、右 32.7±1.9%に対し、両顎の不整合は左 29.9±2.2%、右 30.3±1.9%、口部の歪みは左 33.8±1.7%、右 33.4±2.0%、頭部陥没は左 32.6±1.5%、右 32.4±1.6%であった。

44 日齢における正常魚の歯骨比は左 33.5±1.3%、右 33.2±1.4%に対し、両顎の不整合は左 31.1±0.7%、右 31.0±0.9%、口部の歪みは左 33.9±3.3%、右 31.7±3.0%、頭部陥没は左 33.6±1.5%、右 33.6±1.6%となった。

(4) 角骨

31 日齢における正常魚の角骨比は左 33.7±1.1%、右 34.2±1.6%に対し、両顎の不整合は左 29.6±2.9%、右 30.1±2.4%、口部の歪みは左 31.4±3.8%、右 31.4±3.7%、頭部陥没は左 31.9±3.1%、右 32.1±3.1%であった。

44 日齢における正常魚の角骨比は左 36.5±1.6%、右 36.6±1.5%に対し、両顎の不整合は左 33.7±1.2%、右 33.6±1.1%、口部の歪みは左 34.8±3.7%、右 33.3±3.4%、頭部陥没が左 36.4±2.7%、右 37.1±1.6%となった。

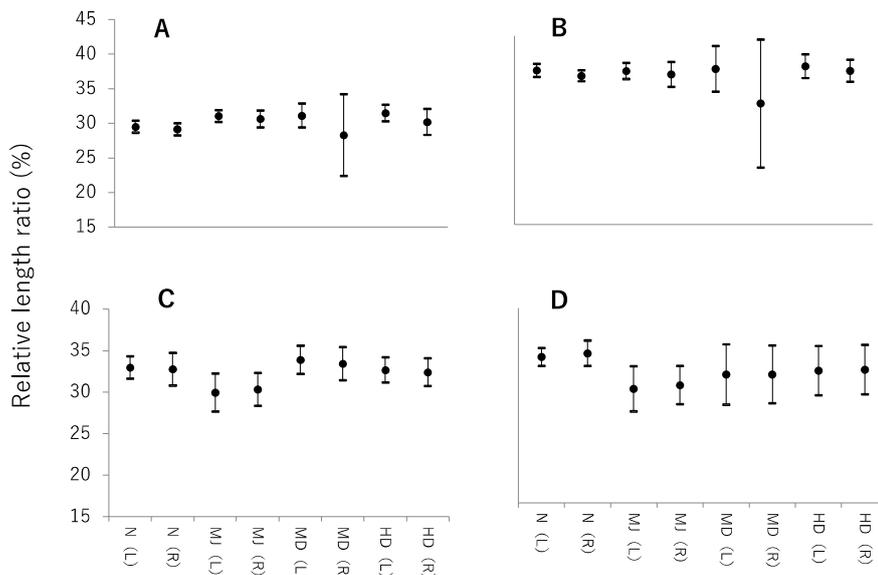


Fig. 7 Relative length ratio (/head length %) in each type (31 days after hatching)
 A: premaxillary, B: maxillary, C: dentary, D: angular
 N: normal, MJ: misalignment of jaws, MD: mouth distortion, HD: head depression,
 L: left side, R: right side

4) 天然魚と人工種苗（正常魚）の比較

天然魚と 31、44 日齢の正常魚における両顎構成骨の相対比を比較した。その結果、前上顎は天然魚が右 30.3±1.3%、左 30.0±1.1 に対し正常魚が右 30.0±1.0%、左 29.5±1.2、主上顎骨が同様に 36.5±1.3、36.1±1.2 に対し 35.5±1.1、34.5±1.2、歯骨が 32.5±1.2、32.2±1.1 と 33.3±1.3、33.0±1.6、角骨が 37.0±1.4、37.0±1.2 と 35.5±2.0、35.8±1.9 となり人工魚の正常魚は天然魚と同様の値を示すとともに、左右の構成骨に大きな差異は認められなかった (Fig. 9)

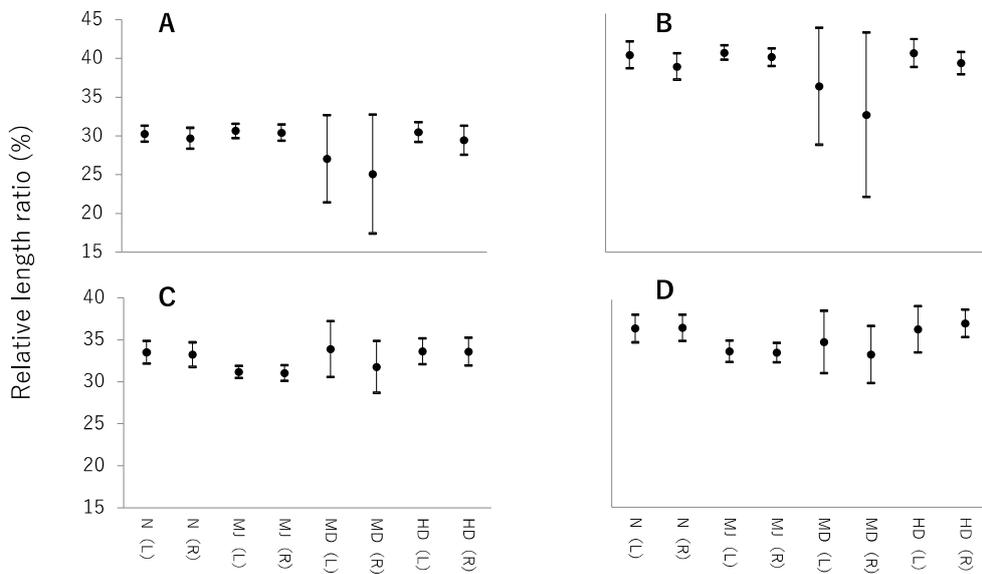


Fig. 8 Relative length ratio (/head length %) in each type (44 days after hatching)
 A: premaxillary, B: maxillary, C: dentary, D: angular
 N: normal, MJ: misalignment of jaws, MD: mouth distortion, HD: head depression,
 L: left side, R: right side

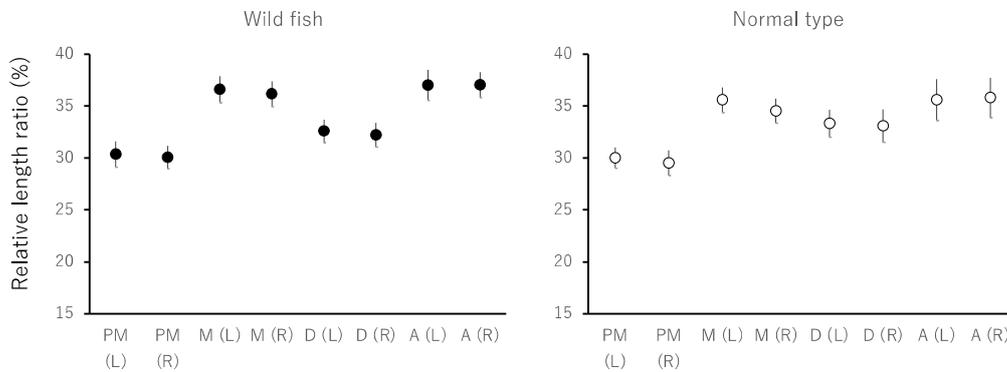


Fig. 9 Relative length ratio (/head length %) of wild fish (●) and normal type (○)
 PM: premaxillary, M: maxillary, D: dentary, A: angular
 L: left side, R: right side

考察

1) 他魚種に発現する形態異常との比較

種苗生産の歴史が長く、形態異常に関する知見が蓄積されているマダイ *Pagrus major* と今回観察したブリの形態異常を比較した。本報告で述べてきたようにブリは頭部陥没や口部の歪みが主な形態異常の症状であり、この傾向は過去に報告されたデータでも同様であった^{10, 11)}。一方、マダイは体幹部が短くなる短軀症などをはじめとした、脊椎骨の変形を伴う異常が多く発現している¹²⁾。マダイではその他の形態異常としてみられる吻部のねじれと、ブリ口部の歪みはどちらも顎骨の変形によるものであり、ほぼ同様の症状であると考えられる。一方、ブリではそれに加えて歯の未発達や頭部陥没が併発している個体も確認できた。また、このほか服部¹²⁾はマダイの頭部異常としてバグヘッドを挙げている。症

状は、前頭骨前方の湾曲、鼻骨、篩骨および副蝶形骨の水平軸における収縮が発現している。本研究のブリでは前頭骨の陥没、また一部の個体で鼻骨の軽い湾曲が見られたが、神経頭蓋を構成する骨格の詳細な異常に着目した観察は行わなかった。今後、篩骨、副蝶形骨およびその他の部位に関しても異常の有無を確認する必要がある。頭部の変形はカタクチイワシ *Engraulis japonicus*、マサバ *Scomber japonicus*、シイラ *Coryphaena hippurus*、マアジ *Trachurus japonicus*、イトヒキアジ *Alectis ciliaris*、ブリ、カンパチ *Seriola dumerili* 等、多様な魚類に広く認められている¹³⁾。また、マダイ稚魚では下顎短小、上、下顎のかみ合わせ不全が発現しており、これはブリの両顎の不整合と類似している^{10, 11)}。このことから、この研究で検討してきた頭部や口部などの骨格異常は、マダイをはじめ様々な魚種で同等の症状が発現している可能性が極めて高い。

2) ブリの形態異常魚に何が生じているのか？

今回の観察で 31 日齢の異常発現率の高いものは、主上顎骨、歯骨、神経頭蓋、角骨、前上顎骨、44 日齢では歯骨、角骨、神経頭蓋、主上顎骨、前上顎骨の順となり、ともに上下顎に関連した骨格の異常が概ね 80% を占めた (Fig. 5)。異常のタイプ別に発現頻度をみると、31、44 日齢のいずれも口部の歪み (48、44%)、両顎の不整合 (40、33%) であり異常が発現した骨格と同様、口部に発現する形態異常の発現率が 80% 程度となった (Fig. 6)。つまり、ブリでは両顎を構成する骨格の変形を原因とした形態異常の発現頻度が極めて高いといえる。堀田¹³⁾ はブリ種苗生産で形態異常の発現は 40~90% にも及びそのほとんどが口部に発現するものであるため、その対策が急務であると述べている。一方で、その原因は不明であることが対策を困難にしていることも合わせて示した。

3) ブリの頭部に発現する形態異常の発現要因

口部の歪みが生じている個体を正常魚と比較すると、1. 前上顎骨と歯骨の縫合部が左右どちらかにずれている、2. 左右いずれかの前上顎骨及び主上顎骨が小さい、3. 上顎骨が極端に歪むまたは欠損していた。このタイプの異常は 2 によって下顎がその顎骨比の小さい方へずれ、1 が発現すると考えられる。また、3 は左右どちらかの上顎に発現し、それに影響された下顎が曲がって口部の歪みになったと推察される。

両顎が不整合な個体は、左右いずれかの歯骨比と角骨比が正常魚よりも小さいことで下顎が上顎より顕著に短くなっていた。また、31 日齢のみで両顎の不整合と前頭骨後方の陥没、前頭骨下部の歪みが併発している個体を確認できた。

頭部陥没個体では、1. 左右どちらか片側の前頭骨前方の陥没、2. 左右どちらか片側の前頭骨後方の陥没、3. 両側前頭骨前方の陥没のいずれかが発現していた。そのうちのどの個体でも 1、2 は併発していることから、一部分の骨異常が他の骨形成に影響を与えている可能性が示唆された。

以上のようにブリの形態異常において症状やその原因となる骨格の変形等は左右どちらかに偏って発現していた。特に口部の歪みが生じている個体は前上顎骨比、主上顎骨比、角骨比で相対比のばらつきが大きく、今回の観察では右側でその傾向が顕著でかつ小さいなど、左右の発現状況に差異が確認できた (Fig. 7, 8)。豊村^{14, 15)} はアカアマダイ *Branchiostegus japonicus* の形態異常について口部や頭部、鰓蓋部を詳細に検討し、鰓蓋の欠損、口部の異常、頭部の陥没に区分した後にそれぞれの発現特性を報告している。それによるとこれらの異常は、左右体側のどちらかに偏って発現する傾向が示された。さらに、異常発現の左右性が左右どちらかに歪む頭部の傾きと強い関連性のあることを明らかにしている。

本研究で正常魚としたブリ人工種苗と天然魚について両顎の構成骨を比較した結果、相対比はほぼ同様の値であった (Fig. 9)。このことから、正常魚の口部は天然魚とほぼ同様の形態を有していると判断される。一方、頭部と中軸骨格の接合基部を基準として、天然魚と人工種苗魚の頭部の傾きを比較したところ、44 日齢の正常魚ではすべての個体で天然魚とは明らかに体型が異なっていた (Fig. 10)。すなわち、天然魚では中軸骨格の水平軸に沿って頭部も位置するのにに対し、人工種苗は正常と判断された個体においても頭部は下方へ傾いていた。このことは形態異常を発現した個体でも同様であった (Fig. 1)。したがって今回観察したブリ人工種苗は、中軸骨格と頭部との接合に天然魚とは異なった形質を有していると考えられる。今後はアカアマダイ及びブリの頭部に発現する形態異常と頭部の傾きとの関係を含

め、多くの魚種に確認される口部や頭部の形態異常の発現状況やその機序に関して検討する必要がある。

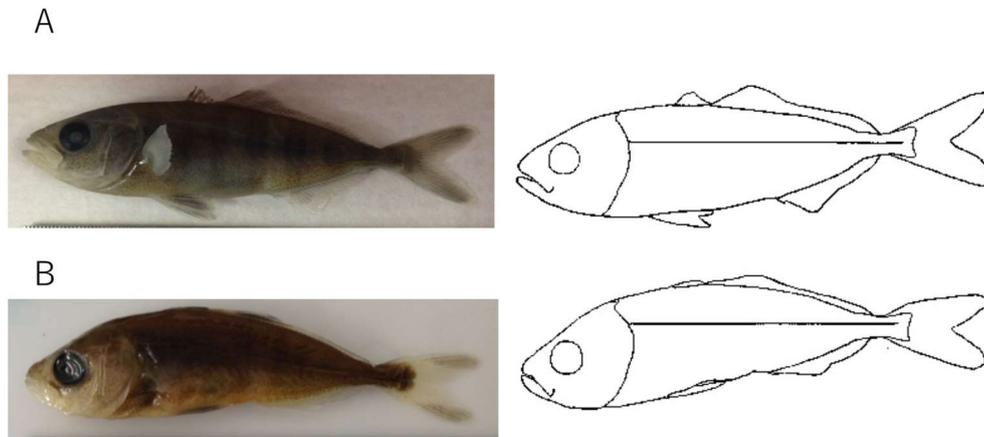


Fig.10 Comparison of external shape between wild fish and artificial juvenile
A: wild fish, B: artificial juvenile (normal type)

謝辞

本研究の遂行にあたり、貴重な標本とデータをご提供頂いた（独）水産総合研究センター西海区水産研究所五島庁舎の職員の皆様に深く御礼申し上げます。

本研究の実施にあたり、福山大学生命工学部海洋生物科学科沿岸資源培養学研究室の諸氏には、本研究を実施する上で数々のご協力を頂いた。これらの方々に心より感謝いたします。

文献

- 1) 塩澤聡. ブリの種苗生産技術開発. 栽培漁業技術シリーズ, **12**, 独立行政法人 水産総合研究センター, 神奈川, 1-28 (2006).
- 2) 有瀧真人. 種苗生産新たなブリ養殖の方向性~赤潮被害軽減から高付加価値種苗へ~. アクアネット 4月号, 41-44 (2014).
- 3) 独立行政法人 水産総合研究センター. 平成 24 年度栽培漁業・海面養殖用種苗の生産・入手・放流実績 (国)~総括編・動向編~, 独立行政法人 水産総合研究センター, 神奈川県, 109 (2014).
- 4) 田中正明. 魚類の形態異常の概略. 有瀧真人・田川正朋・征矢野 清 (編) 魚の形は飼育環境で変わる. 恒星社厚生閣, 東京, 1-10 (2017).
- 5) 塩澤聡. III-3 種苗生産技術の開発. 日本栽培魚漁協会事業年報, 社団法人日本栽培漁業協会, 東京, 145-146 (1995).
- 6) 有瀧真人. 飼育したカレイ科魚類の変態期に発現する形態異常とその防除に関する研究. 水研センター研究報告, **37**, 147-149 (2013).
- 7) 藤本宏. ブリの種苗生産技術開発. ブリの種苗生産技術開発. 栽培漁業技術シリーズ, **12**, 76 (2006).
- 8) 河村功一, 細谷和海. 改良二重染色法による魚類透明骨格標本の作製. 養殖研究所研究報告, **20**, 11-18 (1991).
- 9) 落合 明. IV骨格. 落合明編 魚類解剖学. 緑書房, 東京, 35-61 (1987).
- 10) 高橋 誠. 種苗の健全性. ブリの種苗生産技術開発. 栽培漁業技術シリーズ, **12**, 39-41 (2006).
- 11) 堀田卓郎. ブリに発現する骨格等の形態異常と量産規模における防除. 有瀧真人・田川正朋・征矢野 清 (編) 魚の形は飼育環境で変わる. 恒星社厚生閣, 東京, 80-87 (2017).
- 12) 服部 学. 養殖マダイの脊椎骨異常に関する研究. 近水研報, **9**, 3-61 (2004).

- 13) 松里寿彦. 魚類の骨異常に関する研究. *養殖研究所研究報告*, **10**, 57-179 (1986).
- 14) 豊村晃丞, 水田篤, 松浦光宏, 中西健二, 有瀧真人. アカアマダイ人工種苗に発現する形態異常. *水産増殖*, **65**, 117-124 (2017).
- 15) 豊村晃丞, 水田篤, 松浦光宏, 中西健二, 有瀧真人. アカアマダイ人工種苗に発現する形態異常. 有瀧真人・田川正朋・征矢野 清 (編) 魚の形は飼育環境で変わる. 恒星社厚生閣, 東京, 54-61 (2017).

Annu. Rep. Fac. Life Sci. Biotechnol, Fukuyama Univ. (31), 21-30 (2021)

**Morphological abnormalities of the head in artificial juvenile of
yellowtail *Seriola quinqueradiata***

Yoko Toyoda, Tadahiro Yanagida, Yusei Harada and Masato Aritaki

Department of Marine Bio-Science, Faculty of Life Science and Biotechnology,
Fukuyama University, Fukuyama, Hiroshima 729-0292, Japan

In this study, artificial juveniles of yellowtail *Seriola quinqueradiata* were categorized into 4 types: normal and 3 abnormal types (mouth distortion, misalignment of jaws, head depression). In addition, the target skeleton was observed in order to understand what kind of abnormality appeared in each abnormal type. For the observations, 20 individuals of 31 days after hatching juvenile and 27 individuals of 44 days after hatching juvenile were used. The 10 wild fish collected in the coastal area of Tanegashima, Kagoshima Prefecture, were used as a comparison target group for artificial juveniles. Each specimen was observed for the left and right premaxillary, maxillary, dentary, angular and neural cranial bone. For the skeletons of jaws, the relative length ratio (/ head length %) was calculated. As a result, 1) Morphological abnormalities appearing on the head frequently have distortion of the mouth and misalignment of both jaws. 2) These abnormalities cause deformation of the skeleton on either the left or right side of the head, 3). It was clarified that the body shape of normal fish was significantly distorted downward compared to wild fish.

**Keywords: yellowtail *Seriola quinqueradiata*, artificial juvenile, morphological abnormalities,
mouth and/or head**

異なる塩分下におけるトビハゼの高温耐性

阪本憲司*、佐藤 諒

干潟に生息するトビハゼの環境ストレス耐性のうち塩分と水温の関係をすることを目的とし、異なる塩分下における高温耐性の差異を調べた。高温耐性実験は、水温 $36 \pm 0.5^\circ\text{C}$ で行い、供試魚が死亡するまでの生存時間を測定した。2/3 海水区および 1/2 海水区において、全海水区 (30psu) と淡水区よりも高い高温耐性が認められた。本実験の結果から、汽水条件下における浸透圧調節に関わるエネルギー消費の抑制が、高温耐性能力に影響していることが示唆された。

キーワード：トビハゼ、*Periophthalmus modestus*、高温耐性、塩分

トビハゼ *Periophthalmus modestus* は、沖縄本島から東京湾までの泥干潟に生息している¹⁾。本種は、全国的に個体数が減少しており、環境省のレッドリスト (2020)²⁾において準絶滅危惧種 (NT: Near Threatened) に指定されている。本種を含めたトビハゼ属は、空気呼吸に適した皮膚構造をもち、半陸生適応している^{3,4)} (Fig. 1A)。また、成魚の雄は泥干潟に巣穴を掘り (Fig. 1B)、この穴に成熟雌を誘う求愛行動をとる⁵⁾。産卵後は、親魚が口に含んだ空気を産卵床に運び込み、卵が空気に触れた状態で発生する⁶⁾。

トビハゼの生活様式は、季節によって変化し、3月中旬から11月上旬までの夏期を中心とした活動期と、11月中旬から3月上旬までの越冬期間である冬期を中心とした休止期に大別される⁵⁾。活動期は、干潟が露出する干潮時に泥面上で摂餌行動をとり、満ち潮によって泥面が水没する時間帯は水際へ移動してつぎの干潮を待つ (Fig. 1C)。潮汐の干満によって、泥面と水際の二重生活を営む本種は、水中から出て両生生活を行う特異的な生物学的特徴を有する⁷⁾。

トビハゼの両生生活に関する生理学的な知見として、空気呼吸や窒素代謝に着目したものが幾つかある。本種が空気中から摂取する酸素の約76%は皮膚から、残りの24%は口腔や鰓腔を含む鰓からであり⁸⁾、鰓腔よりも皮膚呼吸が卓越している。本種は肉食性で、獲物を求めて干潟を広く探索することに、この特性が有利に働いていると考えられる。本種の上皮表層には、真皮に存在するはずの毛細血管が皮膚表層から僅か $5 \mu\text{m}$ 直下に多数分布し⁹⁾、この層の下部には大型の細胞からなる中層細胞層が存在する¹⁰⁾。この大型細胞の詳細な機能については解明されていないが、皮膚の保湿に重要な役割を果たしていると考えられている¹¹⁾。また、本種の皮膚には、一般の魚類の皮膚にみられる粘液細胞が全く見られないのも特徴の一つである¹¹⁾。本種には鰓のほかに、胸鰭の裏面に塩類細胞が存在し、鰓と同様、能動的に塩化物イオンを排出していることが知られている¹²⁾。泥面などで過ごす時間が長い本種は、空気中では十分な塩類を鰓から排出できないため、胸鰭の裏面の皮膚に多くの塩類細胞を発達させたと考えられている¹¹⁾。他方、本種の窒素代謝にも特徴がみられ、アンモニアの排出が困難な場合、その一部をアミノ酸に変換することが知られている。これによりアンモニアの増加を防ぐが、大部分のアンモニアを筋肉に蓄積する。しかし、アンモニアの毒性に対する感受性が最も高い脳では、一般の魚類に比べて非常に強力なグルタミン酸脱水素酵素とグルタミン合成酵素によりアンモニアをグルタミンに変換し、脳内のアンモニアの上昇を防いでいる¹³⁾。これらの生理学的な一連の研究は、陸上生活への適応を示すトビ

* 〒722-2101 広島県尾道市因島大浜町 452-10 福山大学内海生物資源研究所

Tel: +81-845-24-2933 (代)、Fax: +81-845-24-3449、E-mail: sakamoto@fukuyama-u.ac.jp

ハゼの特徴を捉えた興味深い知見である。

干潟は、潮の干満による塩分変化と泥表面の温度変化が非常に激しい環境にある。このような干潟環境に着目したトビハゼの生理学的研究は、上述したような空気呼吸や窒素代謝に加え、浸透圧調節や神経内分泌制御に関する一連の報告¹⁴⁻¹⁷⁾がみられるが、塩分と水温を併せた環境ストレス耐性については知見がない。本研究では、干潟での陸上生活に関わる生理的な適応能力を知るために、本種の環境ストレス耐性に着目し、異なる塩分下における高温耐性について調べた。

環境水の温度や塩分は、魚類の棲息域を決める制限要因である。温度耐性や塩分耐性といった環境ストレス耐性の評価方法としては、①ある温度あるいはある塩分における死亡するまでの時間、②ある温度あるいはある塩分における一定時間後の生存率、③ある温度あるいはある塩分における成長や繁殖能力、等がある。③の方法は最も自然な形で環境ストレス耐性を評価できると考えられるが、実験時間の長さや環境要因を実験期間中一定に保つことの困難さから、方法としては不適と考えられる。本研究においては、トビハゼの環境ストレス耐性を評価するに当たり、より短時間で評価可能であり、且つ耐性能力の個体差を明らかにできる①の方法を採用した。

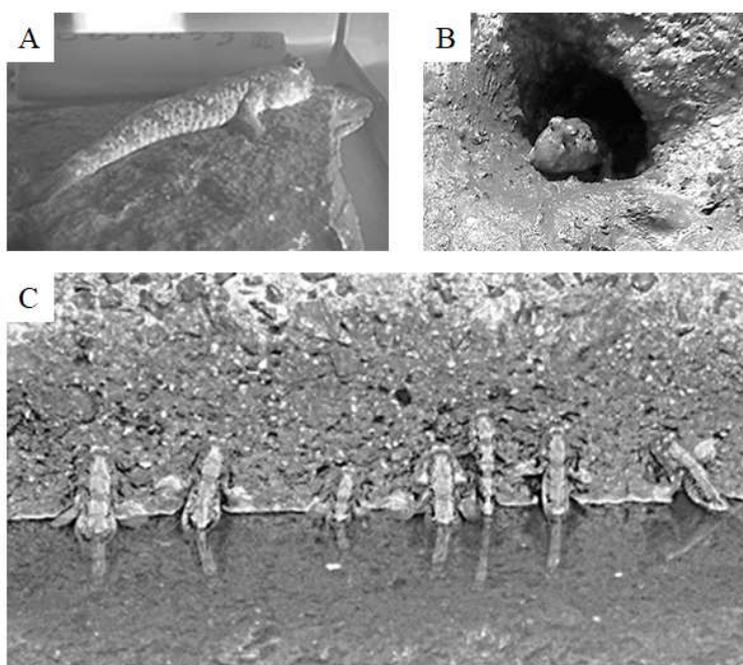


Fig. 1. Mudskipper *Periophthalmus modestus*
(A) Adult fish on the stone, (B) Male adult fish protecting burrow,
(C) Fish sticking to the wall.

方法

供試魚

2017年7～8月に広島県福山市松永湾の干潟に生息するトビハゼを60個体（全長 43.7 ± 12.2 mm, 体重 1.12 ± 1.32 g）採取し、恒温室内の60 cm 角形水槽で飼育していたものを供試した。飼育槽には、水槽の底から1～2 cmほどの2/3海水を張り、トビハゼが上陸するための適当なサイズの石を数個設置した。餌は解凍した冷凍オキアミを、ほぼ毎日午前10時頃に飽食量与えた。

高温耐性実験 1

馴致飼育水槽には2L容量の三角フラスコを用い、1実験区あたり2個ずつ用意した。三角フラスコを用いた理由は、容器壁が口へ向かって内側に傾いているので、トビハゼの水からの這いあがりを防

ることができ。実験区は、①全海水区 (30 psu)、②1/2 海水区 (15 psu)、③淡水区、④海水→淡水区 (30 psu で馴致) および⑤淡水→海水区 (淡水で馴致) の 5 区を設けた。馴致飼育は、22°Cの恒温室内で 1 週間行った。それぞれのフラスコに、供試魚を 3 個体ずつ収容した。チオ硫酸ナトリウムでカルキを抜いた水道水に SEA LIFE(人工海水の素、日本海水)を溶かしたものを用い、塩分計で 30 psu に調整した。餌は毎日午前 10 頃に与え、飽食後に残餌を取り除いたあと水換えをした。

高温耐性実験は、保温性の高いポリプロピレン樹脂製の角型水槽 (25 L 容量) を用いて行った。この水槽を 3 槽用意し、それぞれ海水 (30 psu)、1/2 海水 (15 psu)、淡水を 20 L ずつ入れた。各実験水槽に 11.6×7.8×12.6 cmのメッシュ籠を入れ、この中に馴致飼育別に供試魚を収容した (3 個体/籠)。

実験水はサーモスタット(DEL THERMO, 100V, Nitto Co.Ltd.)で温度調節をし、エアストーンを用いて十分な通気を行った。22°Cから水温を 10 分に 1°Cずつ上昇させて、36°Cに達した時点で実験開始とした。また、実験区④と⑤については、この時点でそれぞれ「海水→淡水」と「淡水→海水」に供試魚を移した。水温 36±0.5°Cを維持し、300 分間実験を行った。供試魚が死亡するまでの経過時間を測定し、平均生存時間を算出した。なお、実験中は常時個体の様子を観察し、平衡喪失が観察された際に個体をすくい取り、鰓蓋の動きがなく、突付くなどの刺激に対する反応が見られない場合に死亡と判定した。

高温耐性実験 2

2 L 容量の三角フラスコを、1 実験区あたり 2 個ずつ用意した。実験区は、①全海水区 (30 psu)、②2/3 海水区 (20 psu)、③1/2 海水区 (15 psu)、④1/3 海水区 (10 psu) および⑤淡水区の 5 区を設けた。それぞれのフラスコに、供試魚を 3 個体ずつ収容した。飼育水は前述の高温耐性実験①と同様とし、人工海水 (30 psu) にカルキ抜きを施した淡水を混合して塩分を調整した。餌は午前 10 頃に毎日与え、飽食後に残餌を取り除いたあと水換えをした。なお、馴致飼育は、24°Cの恒温室内で 1 週間行った。

高温耐性実験は、前述の高温耐性実験 1 と同様の装置を用いて行った。ただし、この実験ではメッシュ籠を使用せず、ポリプロピレン樹脂製の角型水槽に水道水を入れ、この水槽中に各実験区の三角フラスコを設置した。同じ馴致条件の供試魚は、一つのフラスコに混合した (6 個体/フラスコ)。なお、通気はそれぞれの三角フラスコの中にエアストーンを投じて行った。24°Cから水温を 10 分に 1°Cずつ上昇させて、36°Cに達した時点で実験開始とした。水温 36±0.5°Cを維持し、480 分間実験を行った。供試魚が死亡するまでの経過時間を測定し、平均生存時間を算出した。実験水の溶存酸素量は、D.O.メーター (YSI Inc.) を用いて測定した。

結果

高温耐性実験 1

高温耐性実験 1 の結果を、Fig. 2 および Table 1 に示す。

①「全海水区」では、36°Cに達したのち 65 分経過後に 1 尾の死亡が確認され、その後しばらくは死亡個体が見られなかった。180 分を過ぎたあたりで死亡個体が再び現れ、215 分後に 50%の個体が死亡し、240 分後にすべての個体が死亡した。平均生存時間は、123.6±84.1 分であった。

②「1/2 海水区」では、実験終了時の 300 分経過後もすべての供試魚が生存した。

③「淡水区」では、実験開始から 30 分過ぎに死亡個体が現れ、120 分経過後に 50%の個体が死亡し、240 分後にすべての個体が死亡した。平均生存時間は、92±74.9 分であった。

④「海水→淡水区」では、実験開始から 30 分過ぎに死亡個体が現れ、40 分経過後は急激に死亡個体が増え、50 分経過後に 50%の個体が死亡し、90 分後にすべての個体が死亡した。平均生存時間は、51.8±6.7 分であった。

⑤「淡水→海水区」では、65 分が経過した頃から死亡個体が現れ、120 分経過後に 50%の個体が死亡し、220 分頃にすべての個体が死亡した。平均生存時間は、94±87.6 分であった。

すべての個体が生存した「1/2 海水区」以外のその他の実験区間で多重比較検定 (Steel-Dwass test) を行ったところ、「海水→淡水区」とその他の実験区においてのみ有意差が認められた ($P<0.05$)。

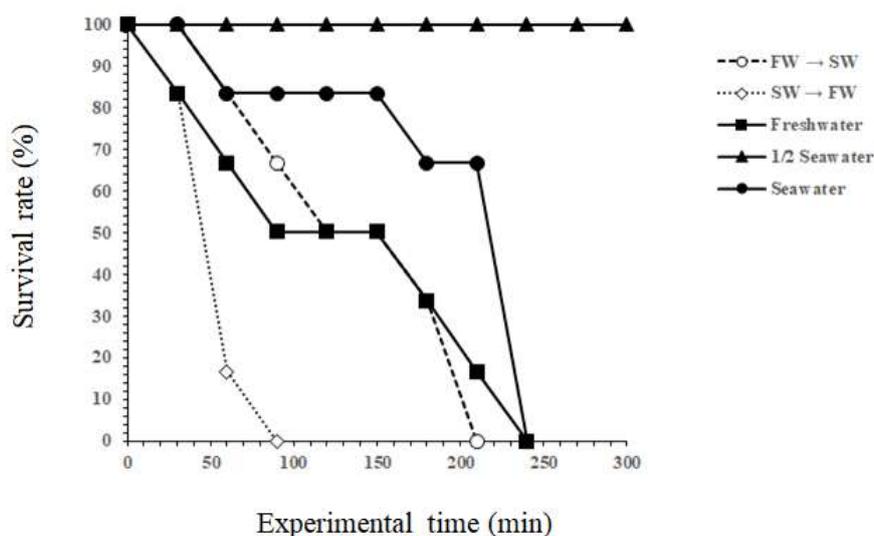


Fig. 2. Survival rates of the mudskipper *Periophthalmus modestus* reared at various salinities exposed to high-temperature stress at $36\pm 0.5^{\circ}\text{C}$

Table 1. Mean times to death of the mudskipper *Periophthalmus modestus* reared at various salinities exposed to high-temperature stress at $36\pm 0.5^{\circ}\text{C}$.

Experimental groups	Seawater	1/2 Seawater	Freshwater	SW → FW	FW → SW
Salinity (psu)	30	15	0	30 → 0	0 → 30
Mean ± SD (min)	123.6±84.1 (n=6)	all survived (n=6)	92±74.9 (n=6)	51.8±6.7 (n=6)	94±87.6 (n=6)

高温耐性実験 2

高温耐性実験 2 の結果を、Fig. 3 および Table 2 に示す。

- ①「全海水区」では、 36°C に達したのち 250 分後に 1 尾の個体の死亡が確認され、270 分が経過後に 50% の個体が死亡し、その後 330 分後にすべての個体が死亡した。平均生存時間は、 238.6 ± 107.9 分であった。
- ②「2/3 海水区」では、270 分経過後に 1 尾の死亡が確認され、その後徐々に生存率が低下して 340 分経過後に 50% の個体が死亡し、その後 475 分まで生存した個体が見られた。平均生存時間は、すべての実験区で最も長い 309.3 ± 153.7 分であった。
- ③「1/2 海水区」では、270 分経過後に 1 尾の死亡がみられ、285 分経過後に 50% の個体が死亡し、450 分後に最後の 1 尾が死亡した。平均生存時間は 271.4 ± 134.2 分で、「2/3 海水区」に次いで生存時間が長かった。
- ④「1/3 海水区」では、240 分経過後に 1 尾の死亡がみられ、270 分後に 50% の個体が死亡し、その後 330 分後にすべての個体が死亡した。平均生存時間は、 228.6 ± 108.9 分であった。
- ⑤「淡水区」では、190 分経過後に 1 尾の死亡がみられ、その後短時間のうちに死亡個体が増え、240 分後に 50% の個体が死亡し、300 分経過後にすべての個体が死亡した。平均生存時間は、 205 ± 94.5 分であった。

なお、全ての実験区間で多重比較検定 (Steel-Dwass test) を行ったところ、有意差は認められなかった ($P>0.05$)。

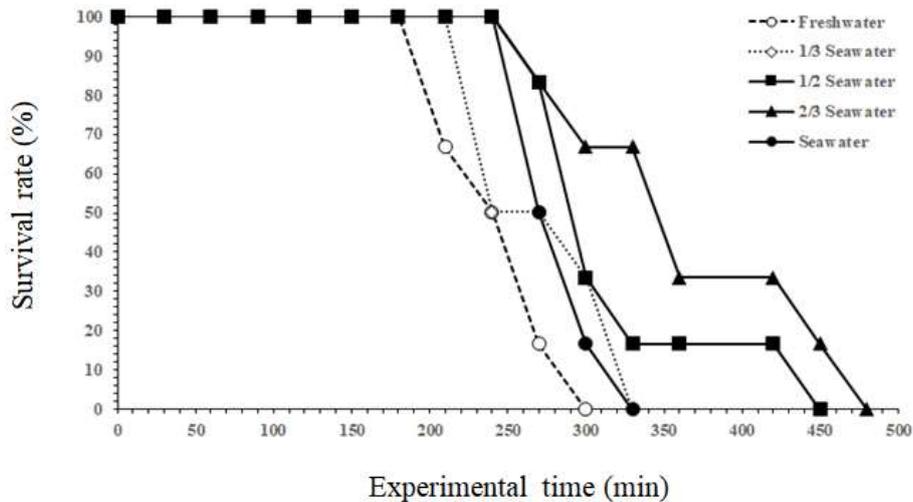


Fig. 3. Survival rates of the mudskipper *Periophthalmus modestus* reared at various salinities exposed to high-temperature stress at $36\pm 0.5^{\circ}\text{C}$

Table 2. Mean times to death of the mudskipper *Periophthalmus modestus* reared at various salinities exposed to high-temperature stress at $36\pm 0.5^{\circ}\text{C}$.

Experimental groups	Seawater	2/3 Seawater	1/2 Seawater	1/3 Seawater	Freshwater
Salinity (psu)	30	20	15	10	0
Mean \pm SD (min)	238.6 \pm 107.9 (n=6)	309.3 \pm 153.7 (n=6)	271.4 \pm 134.2 (n=6)	228.6 \pm 108.9 (n=6)	205 \pm 94.5 (n=6)

考察

異なる塩分下における高温耐性実験1の結果、「1/2海水区」において高い生残率と平均生存時間が認められた。また、高温耐性実験2の結果、「2/3海水区」と「1/2海水区」において比較的高い生残率と平均生存時間が認められた。トビハゼを含む真骨魚類は、体液と異なる塩分下に生息しているため、鰓の塩類細胞や腎臓における能動的なイオン交換で浸透圧を調節し、恒常性を維持している¹⁸⁾。塩類の排出には多くのエネルギー消費が伴い、マダイ稚魚の飼育実験では塩分が32sから24sに変わることによって、浸透圧調節に関わるエネルギー消費がおおよそ半減すると試算されている¹⁹⁾。魚類の血漿に含まれる無機塩類としてはNaとClが多く、浸透圧(mOsm/kg)はヤツメウナギで333、ニジマスで306、コイで274、ウグイで310、ティラピアで309-328、ウミメダカで330-337であり、淡水魚でも海水魚でもほぼ海水(1,050)の1/3の浸透圧に保たれている¹⁸⁾。トビハゼの体液浸透圧については詳細な報告はないものの、本実験結果の「2/3海水区」と「1/2海水区」で高い生残率と平均生存時間が認められたのは、環境水の浸透圧が体内の浸透圧に近づいたことによって浸透圧調節が比較的容易となり、エネルギー消費が抑えられたからではないかと考えられる。御堂岡ら²⁰⁾は、外傷のある海水魚(アカメバル、オニオコゼ、カサゴ、マダイ)を6-100%の20段階に希釈した海水で48時間飼育し死亡率を調べたところ、100%海水よりも低い塩分下で死亡率の低下が認められたとしている。また、外傷魚を33%海水と100%海水で8日間飼育し死亡率を比較したところ、オニオコゼ、アカメバルおよびカサゴでは33%海水の方が100%海水よりも延命し累積死亡率も低かったとしている。この報告は、今回の実験結果と同様に、浸透圧調節が生存状況に大きく関わっていることを示唆している。また、トビハゼの生息場所である干潟は、満

潮時と干潮時において塩分が大きく変化する環境にある。すなわち、満潮時は海水に満たされ、干潮時は河川水の流れ込みがある。さらに、干潮時に降雨がある場合は、より一層の塩分低下が生じる。トビハゼが「2/3 海水区」や「1/2 海水区」の塩分下において比較的高い高温耐性を示したことは、生息場所である干潟特有の汽水環境と深い関係があるものと推察される。

他方、「1/2 海水区」および「2/3 海水区」と比較し、「全海水区」における生残率の低下が早まった理由として、溶存酸素量の低下が考えられる。今回の高温耐性実験では、メッシュ籠や三角フラスコを用いて行った。これは、実験中にトビハゼが水から出ることを防ぐ措置であった。溶存酸素量は水温と塩分が高いほど低下し、実験水温 36°C における「1/2 海水区」、「2/3 海水区」および「全海水区」における溶存酸素量 (ppm) は、それぞれ 6.4, 5.9 および 5.5 であり、「全海水区」の溶存酸素量の低下が供試魚の斃死を早めたものと推察される。本種の呼吸が皮膚表面でより多く行われることを考えると、溶存酸素量の低下が高温耐性に大きな影響を及ぼしたことが窺える。

「海水→淡水区」において、著しい高温耐性の低下が認められた。一方、「淡水→海水区」ではこの実験区ほどの耐性能力の低下はみられなかった。トビハゼは本来汽水域に生息する魚類であるため、海水から淡水への急激な塩分低下によって浸透圧調節の恒常性を保つことが困難となり、このことが高水温下における早期の斃死を招いたものと考えられる。

トビハゼの浸透圧調節において、脳下垂体ホルモンのプロラクチン (PRL) が大きく関与していることが知られている。PRL は、魚類では淡水適応の作用をもち、トビハゼにおいて PRL mRNA 量が淡水適応の過程で上昇することが明らかにされており、また淡水中では皮膚の組織抵抗が上昇し、PRL が塩分保持の役割を演じているとされている^{14,15)}。今回の実験結果において、「淡水区」で「海水→淡水区」よりも比較的高い高温耐性が認められたのは、馴致飼育によって得られた PRL の効果によるものと推察される。

阪本・宮崎²¹⁾は、ハゼ類 4 種 (アカオビシマハゼ、アゴハゼ、トビハゼ、ヒメハゼ) における高温耐性の種間差を調べ、トビハゼにおいて非常に高い高温耐性を認めている。本種は冬季に泥中で冬眠し、夏季に活動期を迎えるが、真夏の炎天下の時間帯に干潮を迎えると、潮が引いた干潟の泥表面はかなりの高温になると予想される。松永ら²²⁾は、干潟の日中における地表面と地中 (4, 10, 20, 40cm) の温度を測定し、日中の地表面温度は日射の影響を受けて大きく上昇し、上下層の格差は、冠水時、干出時ともに日射量の多い夏季に大きくなると報告している。このような環境下に生息するトビハゼの高い高温耐性能力は、干潟特有の環境に適応した本種の特異的な特徴の一つであり、干潟を取り巻くさまざまな環境要因との関連性も明らかにする必要がある。

文献

- 1) 川那部浩哉、水野信彦. 日本の淡水魚. 山と溪谷社, 東京 (1998)
- 2) 環境省. 汽水・淡水魚類レッドリスト (2020)
- 3) 田村 修. 陸に上がった魚の謎—呼吸・排泄の仕組み. アニマ, **53**, 24-28 (1977)
- 4) J. Zhang, T. Taniguchi, T. Takita and A. B. Ali, A study on the epidermal structure of *Periophthalmodon* and *Periophthalmus* mudskippers with reference to their terrestrial adaptation. *Ichthyol. Res.*, **50**, 310-317 (2003)
- 5) 的場 実・道津善衛. 有明海産トビハゼの産卵前行動. 長崎大学水産学部研究報告, **43**, 23-33 (1977)
- 6) A. Ishimatu, Y. Hishida, T. Takita, T. Kanda, S. Oikawa, T. Takeda and K. H. Khoo. Mudskippers store air in their burrows. *Nature*, **391**, 237-238 (1998)
- 7) J. B. Graham. Air-breathing fishes: evolution, diversity, and adaptation. *San Diego. Academic Press.* (1997)
- 8) S. O. Tamura, H. Morii and M. Yuzuriha. Respiration of the amphibious fishes *Periophthalmus cantonensis* and *Boleophthalmus chinensis* in water and on land. *J. Exp. Biol.*, **65**, 97-107 (1976)
- 9) 山家裕子. 種々の環境に生息する各種ハゼ科魚類の皮膚の形態とその呼吸機能について. 和歌山大学教育学部. 卒業論文 (自然科学, 生物学部門) (1981)
- 10) N. Suzuki. Fine structure of the epidermis of the mudskipper, *Periophthalmus modestus* (Gobiidae). *Japanese J. Ichthyol.*, **38**, 1-27 (1992)

- 11) 岩田勝哉. 魚類比較生理学入門—空気の世界に挑戦する魚たち. 海遊舎, 東京, 1-26 (2014)
- 12) S. Yokota, K. Iwata, Y. Fujii and M. Ando. Ion transport across the skin of the mudskipper *Periophthalmus modestus*. *Comparative Biochem. Physiol.*, **118A**, 903-910 (1997)
- 13) K. Iwata. Nitrogen metabolism in the mudskipper, *Periophthalmus contonensis*: changes in free amino acids and related compounds in various tissue under conditions of ammonia loading, with special reference to its high ammonia tolerance. *Comparative Biochem. Physiol.*, **91A**, 499-508 (1988)
- 14) 坂本竜哉. 広塩性両生魚・トビハゼの分子細胞生物学. シンポジウム「Marine Ecophysiology」. MRI レポート vol. 2, 18-19 (2001)
- 15) T. Sakamoto, M. Amano, S. Hyodo, S. Moriyama, A. Takahashi, H. Kawauchi and M. Ando. Expression of prolactin-releasing peptide and prolactin in the euryhaline mudskippers (*Periophthalmus modestus*): prolactin-releasing peptide as a primary regulator of prolactin. *J. Molecul. Endocrinol.*, **34**, 825-834 (2005)
- 16) 坂本竜哉, 片山侑駿, 小林靖尚, 斎藤和裕, 竹内祥郎. シンポジウム記録 魚類行動生理学の基礎と水産研究への応用 II-3. トビハゼの水陸選択行動から行動の神経内分泌制御の普遍性への跳躍. *日本水産学会誌*, **81**, 868 (2015)
- 17) T. Sakamoto and S. D. McCormick, Prolactin and growth hormone in fish osmoregulation. *General and Comparative Endocrinol.*, **147**, 24-30 (2006)
- 18) 金子豊二, 渡邊壮一. 浸透圧調節・回遊. 魚類生理学の基礎 (会田勝美・金子豊二編). 恒星社厚生閣, 東京, 216-233 (2013)
- 19) 滝井健二, 秋山真一, 前田初音, 瀬岡学, 中村元二, 熊井英水, 三鬼基史, 栗藤和治. マダイのエネルギー収支に及ぼす飼育塩分濃度と密度の影響. *水産増殖*, **48**, 631-636 (2000)
- 20) 御堂岡あにせ, 川口修, 工藤孝也, 飯田悦左, 長尾則男, 松本拓也. 低塩分飼育が外傷のある海産魚の生残性に与える影響について. *日本水産学会誌*, **83**, 77-79 (2017)
- 21) 阪本憲司, 宮崎恭平. 潮間帯に生息するハゼ類の高温および低温耐性. *日本生物地理学会会報*, **72**, 25-28 (2018)
- 22) 松永信博, 児玉真史, 福田和代, 杉原裕司. 干潟における熱収支の観測. 海岸工学論文集, *土木学会*, **45**, 1056-1060 (1998)

Rep. Res. Inst. Mar. Biores., Fukuyama Univ., (31), 31-37 (2021)

The high-temperature tolerance of Mudskipper *Periophthalmus modestus* at different salinities

Kenji Sakamoto and Ryo Sato

Research Institute of Marine Bioresources, Fukuyama University,
Innoshima, Onomichi, Hiroshima 722-2101, Japan

The tolerance of mudskipper *Periophthalmus modestus* to high water temperatures was investigated in relation to salinity. Fish were subjected to a water temperature of $36 \pm 0.5^\circ\text{C}$ and the time points of mortalities were recorded. The overall survival rates of the brackish-water groups (2/3 and 1/2 seawater) were higher than that of the seawater (30 psu) and the freshwater groups. This outcome may indicate a suppression of energy consumption to activate regulation of osmotic pressure.

Keywords: mudskipper, *Periophthalmus modestus*, high water temperature tolerance, salinity

令和元年度 学士研究課題

水族生態遺伝学研究室

カワムツの遺伝的集団構造	池永直人
西日本におけるアカハライモリの形態と遺伝的差異	高村洸介
広島県松永湾におけるトビハゼの遺伝的多様性	岸部貴成
セトウチサンショウウオの産卵生態と遺伝的特性	河野雅也
アキサンショウウオとセトウチサンショウウオの外部形態と遺伝的特性	副島春菜
環境 DNA 分析とたも網採取による芸予諸島海域の藻場の魚類相	竹原龍之介
香川県志度湾の流れ藻に付随していたガザミのハプロタイプ	日比佳奈有
瀬戸内海中央海域における藻場と流れ藻のアミメハギのハプロタイプ構成	翠 剛
環境 DNA 分析とたも網採取による芦田川水系の魚類相	涌井梨緒

沿岸資源培養学研究室

飼育環境下におけるキジハタの形態変化と骨格形成	吉岡杏奈
ニシキゴイ頭部に発現する形態異常と関連骨格の発達	安藤瑞貴
ニシキゴイにおける鰓及び脊椎骨の形成と形態異常	石井 諒
コウライアカシタビラメにおける発育と化骨形成	齋藤翔也
シロギス人工種苗の形態異常とその発現要因	西藤年良
シロギスの短日化による産卵抑制の効果	齋藤 大
透明標本を用いたキジハタ仔魚の開腔観察と形態異常防除の応用	下村知恵
個別飼育から検討したシロギスの産卵状況（産卵数の変動）	杉山智哉
低酸素環境がキンギョの短軀症および椎骨異常へ与える影響	陶山拓郎
個別飼育から検討したシロギスの産卵状況（卵径の変動）	出口竣悟

異なる飼育水温がコウライアカシタビラメの形態異常出現に及ぼす影響

藤村勇佑

水産資源生態学研究室

因島大浜海岸におけるアマモ場とアオサ場の付着生物相の比較

市村秀弥

因島大浜海岸のシロギスの消化管内容物から推定される食物供給源

大西 遼

因島大浜海岸におけるクサフグの摂餌選択性

土井田哲郎

因島大浜海岸に出現する魚類の藻場利用

林 直樹

因島大浜海岸におけるアマモ場とアオサ場のベントス相の比較

堀田隆一

アクアリウム科学研究室

巡回展「雨展」における展示評価と地域情報の開発

大橋香月

ヨウジウオ仔魚の育成に関する研究

大畑龍佑

培養餌料生物を用いた産地の異なるマミズクラゲの飼育

金岡佑紀

ホウネンエビの培養および塩分耐性に関する研究

木岐 稔

斃死クロウミウマから分離された細菌の生理・生化学的性状

菊池和斗

因島沿岸に生息する生物を利用した環境教育プログラムの開発と実践

谷 響介

希少種スイゲンゼニタナゴの現状と生息域外保全の検討

二宮洸太

ゼブラスナウトシーホース稚魚の育成に及ぼす餌料生物と栄養強化の影響

姫野満帆

芦田川水系におけるスイゲンゼニタナゴの市民への意識調査と啓発展示に関する研究

福岡美紗希

附属水族館の潮汐水槽を活用した藻場・干潟環境展示に関する研究

藤原拓視

「しまなみテッポウギスプロジェクト」の展示開発

松原弘幸

特別支援学校と連携した水族館学習

安井咲奈

海洋植物科学研究室

因島八重子島における藻場の分布状況（2019年度）

因島八重子島における藻場の定点調査 (2019 年度)

江畑大生

因島八重子島の海藻相 (2019 年度)

鈴木哲平

環境指標値を用いた因島八重子島の海藻相変化の解析

米田創樹

しまなみ海域のアカモクの *cox3* による個体群解析

宮川友希

しまなみ海域のアカモクのマイクロサテライトによる個体群解析

芹川智祐

松原拓也

令和2年度 博物館実習報告

令和2年度博物館実習報告

実習施設名	人数	氏名
世界淡水魚園水族館 アクア・トトぎふ	1	青山 泰輔
姫路市立水族館	1	今津 良太
笠岡市立カブトガニ博物館	4	石阪 友麻 井上 颯太 木下 知保 本山 耕太
福山市立動物園	3	池内 友樹 中岡 志おり 丸山 俊輔
宮島水族館	2	宮地 隆太 山口 久瑠実
日和佐ウミガメ博物館カレッタ	1	神野 麻由
桂浜水族館	1	山田 菜緒
高知県立足摺海洋館	1	原 いつき
北九州市立自然史・歴史博物館	2	今田 実那 山口 大輝
九十九島水族館海きらら	1	坂口 恵
合計 10 施設	計 17 名	

学生番号・氏名 : 6317001・青山 泰輔

実 習 先 : 世界淡水魚園水族館 アクア・トト ぎふ

実 習 期 間 : 令和2年8月7日(金)～令和2年8月16日(日)

実習目的：世界淡水魚園水族館アクア・トトぎふ(以下アクア・トト)は「環境教育の実践の場として、また地域交流拠点として子供から大人まで岐阜県の自然環境・河川環境を楽しく学び、考える場とするとともに、癒しの効果を持つ施設」のコンセプトの下、学芸員実習にも大変力をいれており、そのような環境下で、学芸員として来館者に正しい知識を伝える力やノウハウを身に着けるため実習を依頼した。また、アクア・トトでは生態展示や国内希少淡水魚の保全繁殖にも力をいれており、その現場を直接見学することで、生き物をより自然に近い環境でストレスなく管理する技術や方法、安定して繁殖を成功させるノウハウ等を学ぶことを実習の目的とした。

実習概要：1日の実習時間は8:30～17:00だった。午前中は7日～11日の間は魚類チーム、12日～16日の間は動物チームの元で測温やメンテナンス、調餌や給餌を行い、午後は体験学習チームの下でクイズラリーの作成、ハンズオンガイドの企画等を行った。魚類チームの主な作業は館内水槽の水温測定と給餌であった。餌はアジ、

サバ、タラ、ブラインシュリンプ、人工飼料の他に冷凍赤虫、冷凍エビ等を与えた。

動物チームでは館内の爬虫類、両生類、鳥類、哺乳類の調餌給餌をメインに行うと共に、鳥類(ルリコンゴウインコ、コノハズク)ではケージ内の清掃も行った。午後の体験学習チームの活動では館内生物を題材としたクイズラリーの作成とハンズオンガイドの企画が課題とされ、体験学習チーム監修の下それぞれの作成を行った。

実習成果：午前中の飼育活動を通して、生物の種類ごと個体ごとの食性、性格、年齢等の差異を把握する事が重要だと知った。アクア・トトでは7頭のコツメカワウソを飼育していたが個体ごとに餌の量や種類に違いがあり、これはそれぞれの健康状態や食の好みを反映した結果であることを学んだ。また企画展のために飼育しているエイの中にはアジやサバなどには餌付かず、冷凍エビのみ食べるなど好みに偏りのある生き物もいた。午後の活動ではクイズラリーやハンズオンガイド作成の過程で対象者の年齢などを明確にし、対象者にとって難解でなく有意義な企画を作成する事の重要性を知った。特に対象者が小学生以下の場合は漢字の使用や言い回しなどに留意する事を知った。

感 想：アクア・トトでの実習を通して学芸員としての在り方やアニマルウェルフェアの重要性を知る事が出来た。また、周囲の人たちと協力し日々の業務にあたるスタッフの方々を見て、社会人としての在り方も知る事が出来たように思った。これらの事から今回の実習は自分にとって大変有意義であり、大学生活4年間で特に印象に残るものとなった。

学生番号・氏名 : 6317011・今津 良太

実 習 先 : 姫路市立水族館

実 習 期 間 : 令和2年10月17日(土)～令和2年10月21日(水)

実習目的：姫路市立水族館では、実物の魚から型を取り目の不自由な人にも触って楽しみながら、魚の形や鱗の様子を伝える展示や、触れる実物大のオオサンショウウオの人形など様々な展示を作成している。私は、楽しみながら学習が出来る展示物の作成の方法を学びたいと思い学芸員養成課程を履修した。そこで、わかりやすく楽しみながら学習ができるハンズ・オン展示の作成方法について学ぶことを実習の目的とした。

実習概要：実習1日目は、漁業体験船に乗り、底曳網で獲れた生物の仕分けをした。アカエイ、ハモ、シロザメ、ホウボウ、ヒゲソリダイが確認出来た。その後、水族館に戻り採取した生物のスケッチ、同定、標本ラベルの作成をした。2日目は、水族館の水循環の仕組みに関するレクチャーを受けた。ろ過の仕組みや、閉鎖式循環と開放式循環の違いについて学んだ。昼食後、昼の館内チェックをして生態や展示物に異常がないか点検をした。次に、水族館本館で飼育展示しているフンボルトペンギン、アオウミガメ、バックヤードの生物に給餌を行なった。3日目は水質測定の方法や、寄生虫予防の薬を混ぜた餌の作り方を学んだ。その後、展示水槽の掃除と水槽のレイアウト作成の方法を学んだ。4日目は妻鹿漁港に行き、今の時期に獲れている生物の調査の方法を学んだ。その後、水族館に戻り1日目と同様に漁師から譲渡されたサンプルを処理した。5日目は、新館でケヅメリクガメの給餌とアクアラボでの解説の方法について学んだ。最後に実習の振り返りや感想を発表して5日目の実習を終了した。

実習成果：実習2日目に学芸員に展示物や展示水槽を作成する時に気を付けていることを確認し、お客様の生の声を聴いて疑問を解決出来るように展示物を作成していると学んだ。ウミガメやフンボルトペンギンへの給餌は、決まった曜日にビタミン剤とカルシウム剤を餌に混ぜ、餌の解凍で失われるビタミンやカルシウムを強化して与えていた。標本として採取物を保存するには、標本No、種名、採集年月日、採集場所を標本ラベルに記入して初めて標本として保存ができることを学んだ。学芸員は地元の漁師や市の職員など多くの人と関係を築くためにコミュニケーション能力を鍛えることが大切であると学んだ。

感 想：実習を通じて大学では学ぶことが出来ない様々なことを学んだ。特に標本を作成する時の標本ラベルの書き方や、フンボルトペンギン、ウミガメ、ケヅメリクガメの給餌方法、ろ過設備、電気系統などの機械設備の見学、漁業体験船や妻鹿漁港での生物調査などは、この学芸員実習でしか学ぶことが出来ない体験であった。今回の実習を通して、知識不足を再認識し更なる勉強が必要であると実感した。今後は実習で学んだことを活かし、お客様の疑問を調査し解決できる展示を作成していきたいと考えている。

学生番号・氏名 : 6317006・石阪 友麻

実 習 先 : 笠岡市立カブトガニ博物館

実 習 期 間 : 令和2年9月25日(金)～令和2年10月10日(土)

実習目的：笠岡市立カブトガニ博物館は、国の天然記念物に指定されている「カブトガニ繁殖地」の神島水道に位置しており、生体だけでなく繁殖地の保護にも力を入れている。また、成体放流ツアー等の地域と連携した教育も行っており、生きた化石であり絶滅危惧種という珍しく貴重な生物であるカブトガニについて身近で学ぶことができる。そこで、繁殖地などの環境についてやその保全、また地域との連携のノウハウを学ぶことができるのではないかと考えた。また、カブトガニ博物館の隣には恐竜公園があり休日には多くの家族連れや、遠足等で小学生等が多く来館するので、子供たちにもわかりやすく説明するという対応のノウハウを学ぶことができると考えた。

実習概要：開館作業・朝礼・ふき掃除・閉館作業は、ほぼ毎日行った。また、1齢幼生の水替え・計数・餌やりは二日に一回、館内の魚たちには毎日餌やりをした。休日においては、館内のアルコール除菌を行った。その他にも、水槽掃除、ビーチコーミング、キャプション作成、干潟での幼生調査、仕掛けを用いた生物採集、標本作成、成体放流、釣りでの展示生物の採集、海や川でのウェーダーを着用した生物・水草採集、カブトガニ繁殖地や干拓地巡り、化石掘り、化石のクリーニング、カブトガニの折り紙を行った。さらに、底曳き網にかかったカブトガニの保護、成体の測定・記録、エコツアーでのお客様に対してのカブトガニの体についての説明、遠足できた小学生の対応等を行った。

実習成果：遠足で来館した小学生たちへの説明では、質問に対してただ答えを言うだけでなく、逆に質問をしたり、一緒にカブトガニを観察することで楽しみながらカブトガニを観察して、質問の答えを自分たちで発見することができるということを学んだ。この実習を通して一番重要だと思ったことは日々の観察である。毎日きちんと観察して普段の様子を知っていなければ、異変に気付くことはできない。しっかりと観察を行っていたことで、ショウキハゼの体調の異変に気づき、いち早く対処することができた。また、朝の遊具の拭き掃除等の普段は目にすることはない心配りが入館者の増加につながると思った。

感 想：普段は目にする機会はほとんどないカブトガニを身近に感じながら、楽しみながら実習ができた、とても充実した2週間であった。学芸員の仕事は重労働ではあるが、自分の得た知識を他の人へと共有できる素晴らしい職業であると感じた。しかし、自分では理解ができて、それを一般の方に分かりやすく説明して理解してもらうことはそう簡単ではなかった。10分間という制限時間を考慮した上で話す内容を考えたり、体の動き方をわかりやすく説明するために模型を作成したりと、すべてを自分たちだけで決めて行ったエコツアーでの説明はとても貴重な体験であった。

学生番号・氏名 : 6317008・井上 颯太

実 習 先 : 笠岡市立カブトガニ博物館

実 習 期 間 : 令和2年9月3日(木)～令和2年9月18日(金)

実習目的：カブトガニ博物館ではカブトガニの人工繁殖や保全活動などを行っている。また、市民とのつながりを持ちながら、環境保護や幼生の放流をしているので、その啓発運動を勉強したいと考えた。実習では上記のような多岐にわたる仕事内容とやりがいを学び、大学で学んだ知識や技術をどのように活かすことができるのか知りたいと思う。また、まだ自分に足りないことや勉強しなければならないことを学び、今後の勉学や知識の向上に役立てたい。さらには実際に現場に立つことで、来館者とのコミュニケーションの取り方、社会に出ることの責任をさらに身をもって知り、学芸員の役割を実践的に理解することを実習の目的とした。

実習概要：博物館などの開錠、館内の展示物の動作確認やモニターの電源を点ける開館作業と施錠などの閉館作業は毎日行った。また、館内の魚への給餌もほぼ毎日行った。バックヤードの幼生カブトガニには2日に一回、給餌・換水・計数を行った。産卵池でのカブトガニ幼生や卵の採集をし、選別作業を数回行った。また、干潟でのカブトガニの個体数・大きさの調査、成体の計測、化石の採掘・クリーニング作業、海や川での生物採取・調査、ビーチコーミング、採集した生物や貝殻の同定、自分の興味のあるものでのキャプション作製も行い、最後に提出した。さらには学芸員によるカブトガニ産卵地の案内を受けた。

実習成果：実習を通して、学芸員の様々な仕事を学ぶことができた。生物の飼育だけではなく、野外での調査や地域との連携、キャプションや種名板、展示物の維持などを行っており、その大変さを身をもって理解することができた。生物への給餌では飼育水槽ごとに給餌する量・大きさなどを考え、生物がきちんと食べることができるような工夫をすることができた。産卵池での採卵を地域の高校の生徒たちと行ったときはサポートすることを心掛け、教える側としての対応ができたと思う。キャプション作製では自分が思ったものをきちんと形にすることができた。また、対象を小学生中学年と設定し、言葉選びを考え、図を多く取り入れるなどして見る人が見やすく理解しやすい工夫を行うことができた。これらのことから学芸員の一員としての自覚を持ちながら実習を行い、さらに理解を深めることができた。

感 想：カブトガニ博物館での実習では、普段することがないような貴重な体験や様々な知識を得ることができた。学芸員の仕事はとても大変であるが、充実感ややりがいを感じた。来館者にカブトガニや展示してある生物について説明するには、その生物のことについて深く精通していることが大切だと感じた。また、話すときは難しい言葉を使わないようにし、興味を持ってもらうことが必要だと思った。そして博物館の学芸員の方の「すべてのものに愛をもって接する」という言葉に深い理解を感じ、今後もこの心構えを大切にしていきたい。

学生番号・氏名 : 6317031・木下 知保

実 習 先 : 笠岡市立カブトガニ博物館

実 習 期 間 : 令和2年9月3日(木)～令和2年9月18日(金)

実習目的：カブトガニ博物館は天然記念物の「カブトガニ繁殖地」の保護活動を行い、カブトガニの研究に特化した博物館である。カブトガニ博物館は、自然史博物館であるため、生物だけでなく化石堀やビーチコーミングなどの活動も行っている。実習では、カブトガニ博物館でカブトガニの生態や飼育方法の知識を深めたい。また、私自身ビーチコーミングやフィールド調査が好きなので学芸員としてのフィールドワークでの心得や基礎を身に付けることを目的とした。カブトガニ博物館の敷地内には恐竜公園があり、恐竜の模型も展示されている。生物だけでなく、そういった展示技術も身に付けたい。

実習概要：毎朝7時半から開館作業、午後5時からは閉館作業を行った。令和2年9月3日(木)から2日に1回飼育しているカブトガニの幼生に給餌し、特別展示で飼育している生き物には毎日給餌を行った。敷地内の産卵池や大島川河口でカブトガニの採卵、東村の干潟でカブトガニの個体数調査を行った。敷地内の砂浜や三郎島の砂浜でビーチコーミングを行い、種を同定した。公園内で捕獲されたスズメバチの標本作りも行った。岡山県小田郡の山で化石堀を体験した。特別展示の水槽、カブトガニのメイン水槽の掃除を行った。小田川、鳥ノ江で博物館で展示するための生物を採集し、展示した。最終日はホルマリンと防虫剤の重鎮を行った。最終日までに、自分で課題を決めキャプションを作った。

実習成果：自分の手で実際にカブトガニの採卵を行い、飼育環境を作りそこでカブトガニの幼生を飼育した。カブトガニの幼生、成体の飼育技術や成長についての知識を深めることができた。また、生物を展示するときはその生物の生活環境を再現するようにし、解説版は見た人がなるほどと思えるような情報を入れることが大切であると学んだ。博物館近辺の干潟や河口で生物を採取し、その生物を博物館で展示するという体験もすることができた。地域の方々との幼生放流活動や地元の高校生との採卵活動など、自然環境への関心を高めてもらうことも博物館として大切な役割だと学んだ。恐竜公園では恐竜が生きていた時代の植物を植え、その時代を再現していた。

感 想：実習を通し、博物館は学びの場であることを再確認することができた。自然史博物館は、生物の知識だけでなく自然現象や化石など幅広い知識が必要だと感じた。今当たり前に見られている生物でもいつ絶滅するか分からないため、採集して満足するのではなく、保存方法が大切だと学んだ。学芸員とは、その一瞬を切り取り保存・展示することが仕事だと学んだ。気になったことは進んでやってみることが大切だし、学芸員には好奇心と応用力が必要不可欠だと感じた。これからはいろいろなことに興味関心を持ち、何事にも挑戦していきたい。

学生番号・氏名 : 6317097・本山 耕太

実 習 先 : 笠岡市立カブトガニ博物館

実 習 期 間 : 令和2年9月25日(金)～令和2年10月10日(土)

実習目的：今回、実習の大きな目的は2つあった。1つ目は、カブトガニの生態を学ぶことである。カブトガニは生きた化石と呼ばれるほど太古の生物で謎が多い。そんなカブトガニの生態を学芸員に教えてもらいたいと思った。2つ目は、カブトガニ博物館で行っているセミナーやミニアクアリウムなどの企画展の制作について学ぶことである。カブトガニ博物館には、触れる展示などのハンズ・オン展示や、カブトガニシアターのような映像・クイズの展示がある。どのように子供から大人まで分かりやすく、生き物に興味を持ってもらう解説の作り方をしているのか、企画展であれば、来館者に「知らなかった!」と言ってもらえるような企画展の作り方をすることを実習の目的とした。

実習概要：実習では、館内の飼育生物の給餌をほぼ毎日行った。9月26日(土)はカブトガニの採卵作業を行い、9月27日(日)は東村にてカブトガニの生息数調査を行った。9月30日(水)は館内のカブトガニの放流を行なった。10月1日(木)は釣りで生物調査、10月4日(日)はエコツアーを行った。10月6日(火)は化石採集を行い、10月7日(水)は前日に採集した化石のクリーニングを行った。10月8日(木)は自作のキャプション制作を行った。最終日の10月10日(土)は小田川での生物採集を行った。

実習成果：実習を通して、カブトガニの詳しい知識を身につけることができた。カブトガニの血液は青色ではなく無色で、空気によって酸化されることにより青色に変化すること、カブトガニの雌雄判別の方法、からだの仕組みなど新たに知ることができた。エコツアーでは、実習で教えてもらった知識を来館者の前で発表する機会もあり、改めて学芸員の大変さに気付いた。イベント見学では、学芸員の分かりやすい説明の仕方、来館者に退屈させないように生物の魅力を伝える技などを学んだ。情報を間違わずに伝えることは大事だが、どう伝えたいのか、どのように伝えれば理解しやすいのかを考えて話すことが重要だと学んだ。

感 想：実習を終えて、業務に必要なことは、展示生物の特徴をどのような方法で来館者に伝えるのか考えることだと思った。ひたすら自分の知識を来館者に押し付けてもすべてを理解するのが難しい。そのため、カブトガニ博物館では来館者の記憶に残りやすいように一緒に作業を行ったり、簡単な質問をしていた。展示では、ハンズ・オン展示などで実際に来館者に触ってもらうことでその生物の体の特徴を伝えていた。この方法はどの博物館でも必要で、学芸員にはとても重要だと感じた。この博物館はただカブトガニを飼育しているだけでなく、絶滅危惧種のカブトガニを保護する重要な役割を担っていて、職員のカブトガニへの愛がとても伝わってきた。こういう学芸員が働いているからこそ、他では知ることができないような内容の展示を作ることができ、運営が可能になっていると思った。

学生番号・氏名 : 6317005・池内 友樹

実 習 先 : 福山市立動物園

実 習 期 間 : 令和2年8月26日(水)～令和2年9月7日(月)

実習目的：実習では、授業だけでは学べない実際の現場での作業や来館者の反応を見ながらの対応を学びたいと考えた。また、駐車場から動物園入り口の通路に設置する展示生物の解説板やクイズボード作りを通じて、それを実際に展示できることから、自分の希望と一致していた。さらに、自分が担当する生物種以外の生物の管理についても来館者とのコミュニケーションを取ることができることから、さまざまな生物の知識を得つつ来館者とのコミュニケーションを通じて学芸員に必要な力や求められる力を身につけたいと思った。

実習概要：令和2年8月26日(水)～8月27日(木)は猛獣ゾーンのライオン、ピューマ、カラカル、サーバル、小動物ゾーンのカピバラ、ワラビー、オニオオハシ、ワライカワセミ、ハイラックスの寝室と放飼場の掃除、エサやりを行った。8月28日(金)～9月5日(土)は午前中に小動物ゾーンでの作業、午後から動物園の駐車場から入り口の通路に展示するクイズボードの作成を行い、5日にはクイズボードを通路に貼り付けた。8月31日(月)、9月5日(土)、6日(日)には保護されているカラスの世話もした。9月6日(日)、7日(月)には動物園からの課題をした。課題には福山市立動物園の長所、短所を書くものと新たな展示物の企画書を書くものがあった。

実習成果：小動物舎では扉の開閉時に動物が脱走しないように注意したり、猛獣者では動物との間に必ず柵があるようにしなければならないなど、大学の研究室の魚を世話をするうえで気を遣わないようなことが多く、慣れないうちは大変だった。また、動物たちの餌の野菜を切る際は動物の大きさや餌の食べ方の違いによって切り方を変えなければならず、覚えるのが大変だったが食べる様子を観察し、それと関連付けると覚えやすいということを学んだ。クイズ作りでは小学生を対象にしていたので難しすぎる問題にならないように気を付けた。また、問題は動物園内にある解説板や動物の動きや色をよく見れば分かるようにした。

感 想：餌やりや掃除の際に来館者とコミュニケーションをとり、来館者はどんなことを知りたいのか、どんなことに興味があるのかなどを学ぶことができた。また、種名板の一部に地元の小学生が作成したものをういており、地元とのつながりを強く感じることもできた。クイズ作成では問題文を見やすくする方法、問題文、答えの解説文の作り方など分かりやすく、より簡潔に来館者に伝えたいことを伝えるにはどうすればいいのかなどを学び、卒業研究での展示物作成などにも活かせると感じた。掃除や餌切りなどほぼすべての作業が力仕事で大変だったが、毎日新たな発見があり、やりがいを感じることもできた。

学生番号・氏名 : 6317062・中岡 志おり

実 習 先 : 福山市立動物園

実 習 期 間 : 令和2年9月9日(水)～令和2年9月21日(月)

実習目的：動物園の学芸員が担う学びの役割や飼育について学ぶことをおもとして、2つの目的をもって実習に臨んだ。1つは来園者との関わりや、学芸員の働きかけでどのような変化が来園者にあるのかを観察し学ぶことである。私が福山市立動物園のテンジクネズミのふれあい体験に参加した際、生態や動物とのふれあい方を教えてもらった。実際にふれあうことで間近で観察することができ知識の向上や豊かな情操を養うことができると考えた。2つ目は展示や解説の工夫についてである。解説版や動物の見せ方など年齢層に合わせた理解しやすい展示方法や餌やり解説、イベントについて学ぶことを目的とした。

実習概要：令和2年9月9日～9月21日まで爬虫類館とフライングケージでカナヘビ、イグアナ、ワニ、リクガメ、ゾウガメ、インドホシガメ、チリメンナガクビガ目メ、ニシキヘビ、レッドテグー、フラミンゴ、オシドリ、トキ、サギ、カモ類を担当した。爬虫類は温度、湿度の確認や餌づくり、清掃を行った。フライングケージでは清掃、餌づくりを行った。9月10日の午後か慰霊祭のための草刈りをし、9月18日は慰霊祭に参加した。9月11日以降の午後からは爬虫類館に展示する掲示物を作成した。9月21日はペンギンの餌やりを行った。他にも実際に展示するカナヘビを探したり、爬虫類の温浴を行った。

実習成果：毎日行っていた爬虫類館とフライングケージの実習では清掃作業は生き物の近くに行くので毎回注意して作業をした。鳥類は気が付いたら近くにいたり、パニックになってしまう種類もいたため、周りをよく見る力が付いた。毎日変わったことがないか観察をして飼育することができた。爬虫類は初めて知る生き物もいて生態について知ることもできた。餌を毎日食べなくてもよいところや温浴が必要なことも初めて知った。どの飼育作業も一連の流れがあり、決まった時間の中で毎日同じことをしていた。その中で無駄がないようにスムーズに作業効率を上げて飼育業務を行うことができた。掲示物づくりでは爬虫類と両生類の違いをヤモリとイモリを使って分かりやすくまとめ、ハンズオンの掲示物も作った。小学生にわかるような言葉や、目線の高さに展示物を設置した。

感 想：コロナ禍にもかかわらず実習を最後まで行うことができ、よかった。飼育業務は体力が想像以上に必要であることや生き物の知識がないといけないということも改めて分かった。展示も生態をわかりやすくするための方法がとられており、来園者が楽しめるものであった。イベントや来園者とかかわることはコロナウイルスの影響でできなかったが、私が作った掲示物を見てくれた人や遊んでくれた人がいたということなのでうれしかった。展示物を通して少しでも生き物に興味を持ってほしい。今回実習を受け入れてくださった福山市立動物園に感謝したい。

学生番号・氏名 : 6317090・丸山 俊輔

実 習 先 : 福山市立動物園

実 習 期 間 : 令和2年9月23日(水)～令和2年10月5日(月)

実習目的：私の博物館実習の目的は、福山市立動物園では、学芸員実習生と動物園スタッフで「動物観察ワークシート」を作成していて、それをホームページでダウンロード形式にしている。来館者が動物園をレクリエーションとして利用するだけではなく、学習の場として利用しやすいように工夫されていると思った。他にも動物園の4つの役割(種の保存、教育、調査研究、レクリエーション)について福山市立動物園ではどのような役割を果たしているのかを学ぶことを目的とした。

実習概要：実習は、令和2年9月23日(水)～10月5日(月)まで午前中は、主にアミメキリン、ハートマンヤマシマウマ、ミゼットポニーの調餌や給餌、獣舎の清掃ミゼットポニーのブラッシングを行った。午後からは、サバンナに生息する動物の種名板の作成や、新たな展示の企画プレゼンテーションを作成した。そして、ミーアキャット、アカハナグマの撰餌給餌をした。また、閉館作業の時にエミュ、ダチョウ、ヒクイドリ、レア、アミメキリン、ミゼットポニーを展示場所から獣舎に移動させ、調餌、給餌をし、展示場所の清掃を行った。その他にも地域の方などから運ばれてきた野生動物の治療の見学やアミメキリンの削蹄の見学をした。

実習成果：アミメキリンとミゼットポニーを主に担当し、近くで観察することができ、その動物の生態や特徴を学ぶことができた。そして、獣舎の清掃や動物の調餌や給餌をすることで、飼育技術および基礎知識を身に付けることができた。同じ種でも個体ごとに性格が違うので、それぞれの性格を理解して接し方を変えていることが分かった。獣舎の清掃では、ただ獣舎をきれいにするだけではなく、エサの食べた量や排泄物をみて健康状態を確認していることが分かった。また動物園で飼育されている動物は、飼育員飼育員が清掃した部屋で生活をし、飼育員から与えられたエサしか食べることができないので、少しでも動物が快適に過ごせるように飼育員が健康管理や衛生管理を徹底する必要があるということが分かった。

感 想：福山市立動物園での実習で動物園の役割や学芸員や獣医、飼育員の仕事について学ぶことができた。動物園を訪れる来館者の多くは、家族連れのレクリエーションとして動物園を利用する人が多くいるように感じた。飼育展示や標本展示などを通して動物の生態や行動を来館者に伝えるためには、動物に対しての知識やそれに関する様々なことを知る必要があり、多くの知識が必要であることが分かった。また、その知識を正しく伝えるためのコミュニケーション能力が必要なことも学んだ。展示を作ることも大変だが、展示に注目してもらうことも大変であり、来館者に見てもらうために様々な工夫をしていることがわかった。今後は、動物の行動や生態の知識を来館者に正しく、印象に残るように伝える方法を考えていきたい。

学生番号・氏名 : 6317093・宮地 隆太

実 習 先 : 宮島水族館

実 習 期 間 : 令和2年8月20日(木)～令和2年8月26日(水)

実習目的：宮島水族館では、瀬戸内海本来の自然を再現することをテーマとしている。例として海の恵み水槽でカキいかだを展示、日本の水族館に20頭しか飼育されていないスナメリを4頭飼育、スタッフが自ら海に行き採集した生き物も展示している。さらに水生生物だけでなく、1年中カブトムシを展示し、ミヤジマトンボという固有種を保護する種の保存活動も行っている。このように宮島水族館でしか展示されていないものも多くある。そこで今回は宮島水族館が瀬戸内海の魅力をどのような工夫をして来館者に伝えているか、教育普及活動として何を行っているのか、飼育や展示においてどのような工夫をしているか学ぶことを目的とした。

実習概要：令和2年8月20日(木)はオリエンテーション、バックヤード見学、宮島水族館の現状と概要を学んだ。8月21日(金)～8月23日(日)の間は魚類全般の担当で調餌、給餌、水槽の掃除、ウミホタルのショーの準備、見学を行った。8月24日(月)～8月25日(火)の間は海獣類全般の担当で調餌、調餌室の掃除、アシカライブの準備、見学を行った。8月26日(水)は解説実習としてポイントガイドを行った。

実習成果：バックヤードツアーを通して、海の恵み水槽では水槽を船に見立てて設計する工夫が見られた。このように展示は生き物だけでなく、生き物を飼育する周りの環境にも工夫を加えることでより良いものになることを学んだ。調餌、給餌では個体ごとの性格や体調によって、餌の切り方、量が違うので個体に合わせた飼育を行うことが大事だと分かった。さらに体重測定、採血時に少しでもストレスを低下させるために行うハズバンドリートレーニングの重要性も理解した。イベント見学では、担当する動物の伝えたい重要なポイントだけを説明することで簡潔に分かりやすくまとめられていた。さらに質問されたことにすぐ答えを教えるのではなく、一緒に考えられるよう返答に工夫をされていた。このような対応をすることで来館者の理解力はより深まることを学んだ。解説実習では図鑑の朗読にならないよう、知的な内容をいかに面白く、楽しく解説するかが大事だと分かった。

感 想：この度の宮島水族館実習で、私は水族館の役割、展示の仕方、お客様への対応の仕方など様々なことを学ぶことができた。展示は生物だけでなく周りの環境にも配慮することが大事だと分かった。宮島水族館では楽しく学ぶことを理念としており、それを実現するために細部まで気を配った展示施設を設け、解説、イベント等を作成、実演されていた。さらにお客様に間違った知識を教える訳にはいかないの、日々、生物や展示についての知識を身に付けているとのことだった。以上のことを行うためにも、今後はコミュニケーション能力の向上と正確な水族館の知識を身に付けていきたいと考えている。

学生番号・氏名 : 6317100・山口 久瑠実

実 習 先 : 宮島水族館

実 習 期 間 : 令和2年9月3日(木)～令和2年9月9日(水)

実習目的：宮島水族館では、積極的に教育普及活動が行われており、参加・体験型の展示を大切にしている。その中では、海の生き物を身近に感じられる教育普及活動やイベントが行われていて、参加者は瀬戸内海に棲む生物や海洋環境について学ぶような工夫がなされている。そこで、水族館について教える立場として特に何に重点を置いて取り組まれているのか学びたいと考えた。また、瀬戸内海特有の干潟など、瀬戸内海に囲まれている宮島水族館ならではの展示方法や水族館展示、教育普及活動、飼育管理についても学び力を習得したいと考えた。

実習概要：令和2年9月3日(木)には、創設から現在の活動に至るまでなどのオリエンテーションを受けた。ほかに、館内、バックヤードの見学、希少淡水魚水槽設備見学、スナメリ行動観察を行った。9月4日(金)～9月5日(土)には、主に海獣類の飼育について見学を行った。午前中に1日の調餌をし、カリフォルニアアシカのライブ準備、カリフォルニアアシカ、ゴマフアザラシ、オタリア、コツメカワウソ、フンボルトペンギンの飼育管理を見学した。9月6日(日)、9月8日(火)には、魚類の飼育管理についての実習、見学を行った。午前中、調餌を行い給餌、イベント見学をした。最終日には、リーフフィッシュについてのポイントガイドを行った。

実習成果：今回の実習を通して、水族館展示に必要な技術や知識、さらに担当した生物の飼育技術について学ぶことができた。来館者にどのようなことを持ち帰ってほしいのか、それにはどのような展示をすることが有効であるのかなどについて考えなければならぬことが分かった。海獣類の飼育では、個体ごとの性格に合わせた飼育を行っていることを知った。ポイントガイド実習では、館内の環境や来館者が展示を見回る動線、分かりやすく解説に聞き入りやすい話し方が必要であると知り、それらの技術を身につけることができた。さらに、解説には年齢による聞きやすい言葉のスピードの違いや展示パネルの見やすさの工夫を学ぶことができた。飼育員にしか見えない姿を伝え、飼育生物の興味深い特徴を分かりやすく伝えなければならぬことが重要であることと、来館者が理解しやすく興味を抱かせる方法を学んだ。

感 想：宮島水族館での実習で、展示や解説についての重要性を知ることができた。来館者がどのような経路で本館に訪れ、どのような思いで館内を楽しむのかを考え解説が必要であった。宮島水族館では、フェリーに乗って宮島を訪れるため、船の上から見える景色を思い出しながら館内を見るとより深い学習へとつなげることができる。このように飼育生物について深く観察し知ることもちろん重要であるが、来館者の年齢や学習状況なども考える必要があると知った。博物館として重要な飼育生物の知識と来館者に寄り添った解説を行いたいと考えた。

学生番号・氏名 : 6317023・神野 麻由

実 習 先 : 日和佐うみがめ博物館カレッタ

実 習 期 間 : 令和2年9月29日(火)～令和2年10月11日(日)

実習目的：うみがめ博物館ではウミガメ以外にもリクガメや淡水ガメを飼育しており、ウミガメを身近に感じてもらうために、屋外プールやただようウミガメ館など下からウミガメを観察できるようになっている。新型コロナウイルスの影響により餌やりや子ガメのふれあいイベントなどは中止されていたが、来館者が多い時間に餌をあげたりすることで、少しでも来館者に喜んでもらうように工夫がされていた。以上のことから、来館者にウミガメのことをもっと知ってもらうための方法、ウミガメだけではなく淡水ガメやリクガメの飼育方法を身につけることを目的とした。

実習概要：令和2年9月29日(火)～令和2年10月11日(日)までの10日間、朝の開館準備では子ガメ水槽の掃除、中水槽のワイパー掛け、ガラス拭き、リクガメや淡水ガメ、ウミガメの給餌と調餌を行った。またアカホシガメの餌となるタンポポを拾いに行き、道の駅にいらなくなった野菜や漁師さんから魚をもらいに行った。ほかにも子ガメの体調測定、屋外プールの掃除、ウミガメの甲羅洗い、ツアー案内見学、解剖見学、パネル製作を行った。フィールド調査では、館内の孵化場で孵化しなかった未熟卵の確認を行い、ウミガメが上陸したとされる場所に孵化後の殻が残っていないかを探しに行った。

実習成果：10日間の毎日の給餌や調餌を通し、動物の飼育技術を身につけることができた。動物によって好き嫌いがはっきりしている個体もいれば、ほかの個体より食べ始めるのが遅かったり、観察することにより個体ごとの性格を把握することができた。ツアー案内の見学ではウミガメとタイマイの違いを生態的な部分や生息地の観点から説明し、その際に餌をあげることでより生態的な特徴をみもらえる工夫がされていた。これらのことから来館者にウミガメのことをもっと知ってもらうためには、どのような話をすればより詳しく伝わるのかを学ぶことができた。また調餌では個体により野菜の切る大きさを調整してあげたり、すべての個体に餌がいきわたるよう工夫したりすることが大切だと学んだ。

感 想：実習では給餌や調餌をはじめとする飼育方法やフィールド調査の手法を学ぶことができた。館以外の外部の人と関わる機会も多く、ただ飼育し研究するだけでなくコミュニケーション能力を使い協力しながら研究を進めることが大切だということを知った。小さな館になるほど学芸員は治療や解剖をしたりすることが多くなることを知り、実習中に一匹のアカウミガメが死亡し解剖の見学をした。自分が何年も世話をしていた個体を自分は解剖できるのかと思った時、来館者に生物のことを知ってもらうための工夫や生物に愛情をもち世話をし、職員と館を盛り上げる方法を考えたりするなどの華やかな仕事とのギャップを感じた。

学生番号・氏名 : 6317104・山田 菜緒

実 習 先 : 桂浜水族館

実 習 期 間 : 令和2年11月2日(月)～令和2年11月15日(日)

実習目的：桂浜水族館はふれあい体験やエサやり体験ができるイベントが多くあり、生き物についてより身近に学ぶことができる水族館である。生き物との距離が近い分、お客様への対応の仕方や注意点などが多数あると感じ、それらを学習するとともに、学芸員として必要なコミュニケーション能力や知識・技術を身につけたいと思った。また、SNSや飼育員ブログを通しての情報発信も盛んであり、生き物と飼育員の方々について、個性豊かで遊び心のある伝え方にとても魅力を感じた。そこで本実習では、情報発信をするための経緯や苦勞を知ることで、「伝える」という大切さについて学ぶことを目的とした。

実習概要：令和2年11月2日(月)～令和2年11月9日(月)までは飼育教育チームとして主にフンボルトペンギン、カピバラ、ケヅメリクガメ、ウミガメ、魚類を担当した。それ以降の11月10日(火)～11月15日(日)の期間はショーチームとして主にカリフォルニアアシカ、トド、コツメカワウソを担当し、それぞれで調餌、給餌、掃除等の飼育実習を行った。また最終日には、周辺地域で開催された「龍馬まつり」において、桂浜水族館が無料で開催した「海のワークショップ」のイベント補佐として受付や作業工程の説明等を行った。課題製作では、館内で飼育されているリクガメ、ウミガメ、ヌマガメの3種類の甲羅と手足の形の違いに関するポップを作成した。

実習成果：調餌では、各生物が食べる餌の種類や与える量、大きさの違いについて学習した。一方給餌では、毎日量や内容を変更していることを知った。飼育教育チームでは、一つ一つの作業を行う上で客観的な考えが重要であることが理解できた。また来館者と会話する機会が多く、自身の生物についての知識やコミュニケーション能力も高めることができた。ショーチームでは、海獣類の健康管理の仕方や日々のトレーニング方法について知ることができた。課題製作としてカメの違いに関するポップを作成する際には、「何を」「誰に」伝えたいのかを明確にすることが大切だということが理解できた。

感 想：一つ一つの作業を行う中で生き物の性格や行動を知り、より野生化に近くストレスを与えない環境を提供しようとする工夫が数多く見られ、飼育員の生き物に対する愛情や優しさがいたる所で感じられた。売り餌体験やショーにおいては生き物と来館者との距離がとて近くなるので、事前に予想できる事態を色々想定した上での製作やトレーニングが必要だと感じた。また来館者と飼育員の距離も近く質問される機会がとて多いので、生き物や館内について詳しく知っておく必要があると思った。今回様々な教育方法を学習したが、一つの資料においても年代によって捉え方や得る情報が異なるように感じたので、今後博物館教育を提供する上で注意したい。

学生番号・氏名 : 6317077・原 いつき

実 習 先 : 高知県立足摺海洋館

実 習 期 間 : 令和2年10月5日(月)～令和2年10月18日(日)

実習目的：高知県立足摺海洋館は、「土佐の海と黒潮の魚たち」をテーマに、竜串湾の生物をメインに展示し、本物の自然を体験できるような水族館である。また、生物だけでなく地域の住民や周辺の施設との連携も大切にしている。実習では、飼育技術や運營業務だけでなく、コロナ禍という環境でどのような対策をされているのか、来館者を普段のイベント以外でどのように楽しませているのかについて学びたいと思った。また、卒業研究では病理について研究しているため、感染症対策についても学びたいと思った。そこで、この実習では生物だけでなく、人との繋がりを大切に、何事にも前向きに取り組み、自身のスキルアップに繋げることを目的とした。

実習概要：令和2年10月5日(月)～10月11日(日)までは淡水班でクラゲ、ウミウシ、ウミガメ、川魚、カワウソ、トサシミズサンショウウオを担当し、それ以降10月13(火)日～10月18日(日)の間は海水班で深海生物、クロウミウマ等の飼育実習・管理を行った。また、給餌イベントの補助、旧館・プロテインスキマー・曝気槽の掃除、海岸清掃、逆洗、生物・水草採集、イセエビの特別展水槽の立ち上げ、アオウミガメ・ナンヨウツバメウオ等の水槽搬入、生物の薬浴作業を行った。そして最終日には、大阪海遊館の海洋生物研究所以布利センターを見学した。

実習成果：2週間の実習では、掃除の際は一度使用したら必ず洗浄すること、給餌の際は各水槽の飼育水に触れないよう注意するなど基本的なことが感染症対策に繋がると改めて実感した。また、調餌の際は餌の栄養が偏らないようビタミン剤を生物に気付かれないように加えたり、週に2回野菜を混ぜるなどと生物の栄養状態に合わせて調餌することを学んだ。生物や水槽管理だけでなく、来館者との接し方についても多くの学びがあった。例えば、目線を合わせたり、年齢に合った言葉遣いをしたりと来館者のことを思って伝えることの大切さを学んだ。生物だけでなく、人との繋がりを大切にすると生物の魅力も伝わりやすいということを実感し身に付けることができた。

感 想：今回の実習で、知識として知っていても行動に移すことができないと意味がないことを痛感した。しかし、改めて手順を確認しながら作業することで以前より意味を深く理解し、作業技術も身に付けることができ自信に繋がった。また、特別展水槽の立ち上げや生物の梱包作業など、実習だからこそ体験できることも多くあり、新たにできることが増えることに喜びを感じた。実習を通し、自分に足りない点・良い点が見つかり勉強になったと同時に、水族館で働きたいという思いが更に強くなった。この経験を活かし、自分自身をもっとスキルアップさせ、学芸員・飼育員として生物の魅力を伝えられるひとになりたいと思った。

学生番号・氏名 : 6317010・今田 実那

実 習 先 : 北九州市立自然史・歴史博物館

実 習 期 間 : 令和2年8月4日(火)～令和2年8月8日(土)

実習目的：私は、博物館学芸員に必要な「誰にでも分かりやすく伝える力」を身に付けるために博物館実習に臨んだ。これから高齢化が進み、ICTが進歩することで博物館に足を運ぶことなく展示を見ることができるようになると思う。そこで北九州市立自然史・歴史博物館が独自に行っている、博物館をネット化して知的な疑問や関心に責任を持って答える24時間ミュージアムという取り組みについて詳しく学びたい。そのほかにも博物館に保管されている資料の取り扱いについて学びたい。

実習概要：令和2年8月4日(火)はオリエンテーションの後、収蔵庫見学や常設展見学をしながら自分で展示を考え、その展示を作りたい理由を交えて発表した。8月5日(水)は昆虫標本の取扱や受入を行い、標本にラベルを付けていった。8月6日(木)は甲殻類の標本整理、化石標本処理・作成を行い、標本を管理するリスト作成、アンモナイト化石のクリーニング作業を行った。8月7日(金)は鳥類と魚類の標本作製を行い、午前中はメジロの羽の標本作製、午後は魚の液浸標本のタグ付けを行った。8月8日(土)は化石標本整理、脊椎動物の骨格標本観察を行い、資料の番号と過去のリストの照合、ラクダの骨を組み合わせた。

実習成果：バックヤード見学では収蔵庫を見学して、資料によって保管方法が異なることを学んだ。昆虫標本受入では、昆虫標本の取り扱いについて学んだ。甲殻類の標本整理では、ラベルに必要な情報や、リストを作成して管理することの重要性について学んだ。化石のクリーニング作業では、化石を掘り出す大変さを学んだ。メジロの羽の標本作製では、多くの羽が集まって翼ができていることを学んだ。魚の液浸標本のタグ付けでは、標本の種類によって用途が異なることを学んだ。化石標本整理では、データベース化して管理することの重要性を学んだ。脊椎動物の骨格標本観察では、骨の大きさや形から推測できることが多くあり、骨が持つ情報の多さを学んだ。

感 想：実習初日はとても緊張していたが、学芸員の話し方や雰囲気のおかげで緊張がほぐれて、楽しく積極的に実習に取り組むことができた。実習も体で学ぶものばかりで熱中して取り組んだ。実習中に疑問に思ったことはすぐに質問して、自分の知識として蓄えた。収蔵庫を見学したとき、同じ生き物の資料がたくさんあって収蔵庫があふれかえっているのを見て、「数を減らして整理することはないのか。」と学芸員に質問した。すると、「寄贈されたものは絶対に断ったり捨てたりせず、大切に保管して次の世代に遺すのが博物館学芸員の仕事。」との返答がとても印象に残っている。実習生も日本各地から集まっており、とても仲良くなることができた。今まで感じたことが無かった博物館の役割や学芸員の仕事を肌で感じることができた、とても濃密な5日間だった。

学生番号・氏名 : 6317102・山口 大輝

実習先 : 北九州市立自然史・歴史博物館

実習期間 : 令和2年9月1日(火)～令和2年9月5日(土)

実習目的：博物館には「動くモノ」を展示するタイプと「動かないモノ」を展示する2つのタイプがある。「動かないモノ」を展示している北九州市立自然史・歴史博物館ではロボット技術を取り入れた音声解説付きのエンバイラマ館を所有しているため、他にはどのような工夫がされているのか知りたいと考えた。また、標本を扱う際の知識や注意点、保管の方法、種類、制作技術等を学び学芸員としての知識、技術力を上げていくことを目的とする。

実習概要：令和2年9月1日(火)は午前中に北九州市立自然史・歴史博物館がどのようにして創設されてきたか歴史について学んだ。午後にはバックヤードと常設展の見学を行い、自然史を中心に何をどうしたらより良くなるのか、課題を与えられ配布プリントに記入していった。それ以降の9月2日(水)～9月5日(土)の間は各部類の標本について学んだ。魚類標本では鰓から口にかけて針と絹糸を用いてタグ付けを行った。岩石、鉱物標本は保管している入れ物の取り換えや番号順に並び替えをし、整理していった。昆虫標本では新たなタグ付け、落ちてしまった昆虫の修繕を行った。鳥類標本は実際に羽を抜き取って羽標本の制作を行った。化石標本ではノジュールと呼ばれる化石が含まれている岩石のクリーニングを行った。

実習成果：自然史の標本作製の実習を通して、担当した標本、鳥類の羽標本作製技術を身に付けることが出来た。標本作成する上で注意すべき点や鳥類の骨格や初列風切羽などの羽についている細かい名称を新たに知ることが出来た。個体の大きさによって部位の大きさが変わるのももちろんのこと、骨への接合部を外す力加減も部位によっては変わってくることも身をもって知ることが出来た。常設展見学では展示品のライトアップで映し出される影の出し方の工夫や、館内の段差を利用し時代区分を分けたり、引き出しを利用して隠し展示のカラクリを作ったりと、展示品だけでなく影や館の構造を余すことなく利用していく発想の大切さを得ることが出来た。バックヤード見学では、通常は入れないところに入れてもらい膨大な資料が眠っていて処理に多くの時間がかかることや、人手不足であることを知ることが出来た。

感想：多くの標本を保管している収蔵庫では扉の後に虫やゴミの侵入を防ぐ網戸が貼られていたり、湿度管理が必要な標本は収蔵庫の内装が全体板張りにされている場所に保管されていたりと、標本を大切に長く扱う工夫を感じることができた。また、標本の整理を行う際には、種類によってはラベルのつけ方が異なっていること、各標本のメリットとデメリットを知ることが出来た。特に本体が無くてもラベルに採取日、採取場所、名前等学術的価値のあった場合は残しておくことを知り、ラベルの大切さを感じることが出来た。

学生番号・氏名 : 6317041・坂口 恵

実 習 先 : 九十九島水族館海きらら

実 習 期 間 : 令和2年11月18日(水)～令和2年12月1日(火)

実習目的：今回の実習の目的は実際の現場でしか学べないことや、学芸員として不足している部分を
確認し、実習中に少しでも多く補うことだ。実習までは、座学を中心に、博物館と学芸員の役割や仕
事の内容などを学んでいたが、実際の現場でないとわからないことや、言葉だけでは十分に理解でき
ないこともあると思った。そのため、実習を通して水族館の仕事や学芸員についてより深く学び、現
場でこそ分かることをより多く吸収することを目標とし、実習中は受け身にならないように自ら行動
することを念頭に置き、実習に臨んだ。

実習概要：11月18日～19日は九十九島調査室で、遊覧船でのガイドボランティアに向けた研修への同
行や野鳥調査を行った。20日～21日、28日は魚類班とクラゲ班で調餌や給餌、クラゲの水換え、プロ
グラムでの給餌を行った。23日～25日にはイルカ班でショー前の餌の準備や、ショーの後の片づけを
行った。26日には子ども広場でプログラムで使用する工作の試作を行い、29日には生きものふしぎ発
見のコーナーを担当し、生物の解説を行った。30日～12月1日には施設管理課で館内の点検や各機械
の点検の見学、ろ過槽の逆洗やバックヤードで使用する棚の作成などを行った。

実習成果：九十九島調査室では、野鳥調査で普段意識することの無い鳥の声を聴く機会となり、種ご
との鳴き声の違いを知ることができた。魚類班やクラゲ班では給餌での細かな工夫や、クラゲならで
はの作業や注意点などを知ることができ、イルカ班では他の飼育生物に比べ厳しい餌の管理、ビタミ
ン剤などの栄養強化や消化補助のための薬の利用などを知ることができた。また、イルカショーの
後、担当者同士でイルカの細かな様子の違いを報告しており、イルカ班ならではの空気感も体験す
ることができた。子ども広場では、子供を相手にするからこそその難しさを知り、生きものふしぎ発見の
コーナーを担当した際には、解説の際の注意点や責任の重さ、学芸員になる厳しさや自分に足りない
力の多さを痛感した。施設管理課では、水族館職員とは思えない仕事内容ではあるが、水族館の運営
には欠かせない役割であることを知った。

感 想：今回の実習では、水族館の様々な部署で、沢山の知識や経験を得ることができた。何より
も、学芸員になるにあたって自分に足りないものの多さを痛感できたことが大きな成果だと思う。自
分が考えていたより多くの力や気遣いが必要で、それを当たり前かのようにふるまう大変さを身をも
って知った。知識の豊富さに加え、お客様からの質問に対する対応力や解説中も周りの様子を見れる
視野の広さも必要で、1つのプログラムを行うための準備の大変さも実際に体験し、学芸員の厳しさを
再確認した。また、今回の実習先は地元である長崎県の水族館であり九十九島ならではの自然を体感
し、自然の豊かさを知ることができた。少し後悔が残ってはいるが、とても充実した実習になった。

使用海水温測定結果

小田原裕子

福山大学生命工学部海洋生物科学科
(Department of Marine Bio-science, Fukuyama University,
Fukuyama, Hiroshima 729-0292)

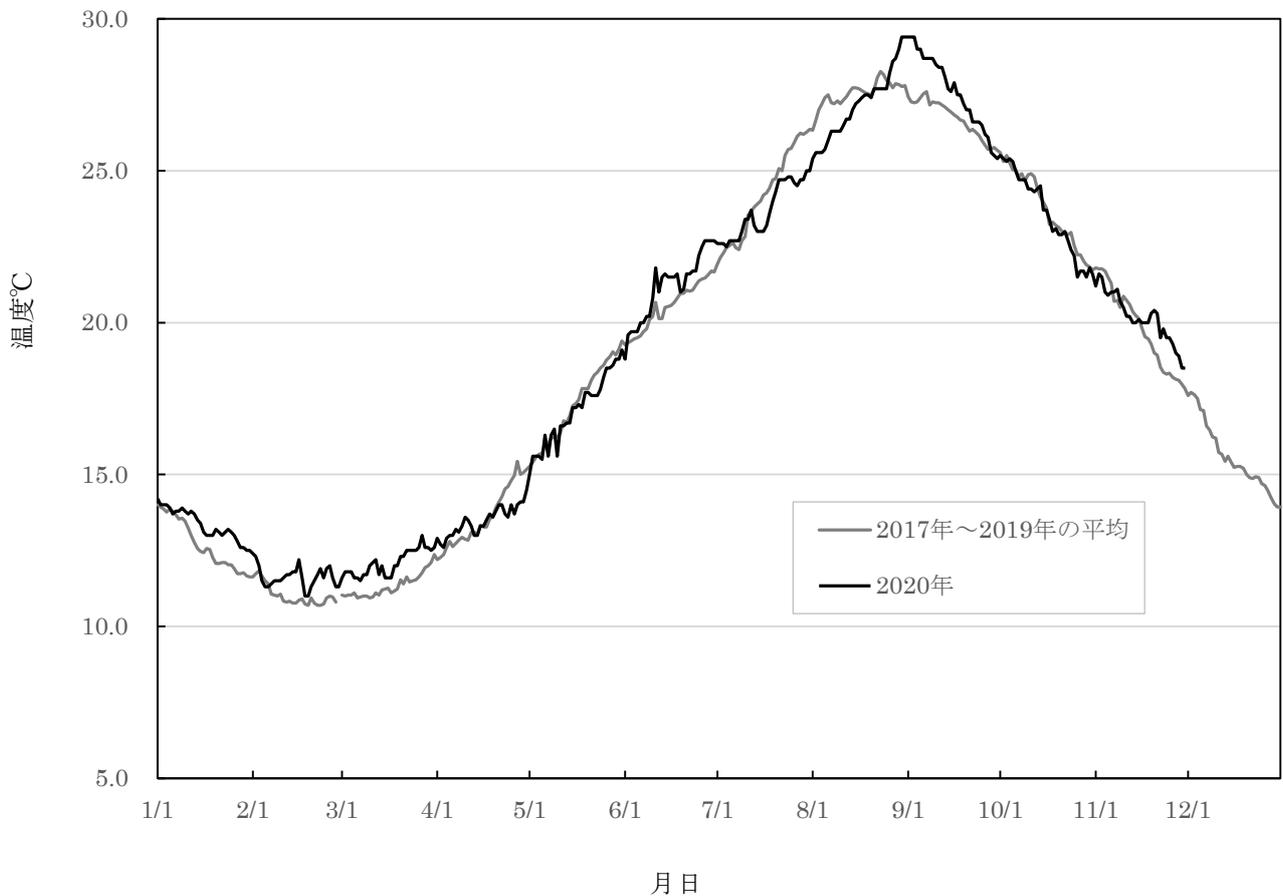


図 1. 2017～2020 年における使用海水温の周年変化

2017年1月1日から2020年11月30日までの使用海水温を毎日測定し、取りまとめた。なお、水温は午前中に施設内で常に注水されている箇所にて測定した。

図 1 に 2017 年から 2019 年における水温データの平均と 2020 年における水温データの概要を示した。過去 3 年の平均、2020 年ともに 2 月が最低水温になった。また、過去 3 年の平均は 8 月下旬に最高水温となったが、2020 年は少し遅れて上昇し 9 月上旬に最高水温となった。

表1. 各月ごとの平均水温

		平均水温							
		2017年		2018年		2019年		2020年	
1月	上旬	13.3	14.8	11.8	12.8	13.1	13.7	13.4	13.9
	中旬		13.0		11.7		13.1		13.3
	下旬		12.2		10.9		12.6		12.9
2月	上旬	11.6	12.0	9.8	10.0	11.6	12.3	11.6	11.7
	中旬		11.6		9.6		11.3		11.6
	下旬		11.3		10.0		11.3		11.6
3月	上旬	11.3	11.1	10.8	10.4	11.8	11.5	12.1	11.7
	中旬		11.2		10.8		11.6		11.9
	下旬		11.7		11.3		12.3		12.6
4月	上旬	13.4	12.5	13.4	12.7	14.0	12.8	13.5	13.0
	中旬		13.3		13.0		13.6		13.4
	下旬		14.4		14.5		15.5		14.0
5月	上旬	17.3	15.9	17.0	15.5	17.7	16.1	17.1	15.8
	中旬		17.1		16.7		17.9		17.1
	下旬		18.7		18.6		18.9		18.3
6月	上旬	20.0	19.3	20.8	19.8	20.8	19.8	21.2	19.9
	中旬		20.0		20.8		21.0		21.4
	下旬		20.8		21.7		21.6		22.2
7月	上旬	23.7	21.7	25.0	23.2	23.9	22.4	23.7	22.8
	中旬		23.7		24.8		24.0		23.4
	下旬		25.6		26.9		25.1		24.7
8月	上旬	27.5	27.4	27.8	27.2	27.3	26.7	27.2	25.9
	中旬		27.2		27.6		27.9		27.1
	下旬		28.0		28.4		27.4		28.3
9月	上旬	26.5	27.4	26.6	27.2	27.1	27.4	27.6	29.0
	中旬		26.4		26.6		27.6		27.7
	下旬		25.6		26.1		26.3		26.2
10月	上旬	23.2	24.7	23.7	24.7	24.4	25.9	23.6	25.0
	中旬		23.4		23.8		24.4		23.7
	下旬		21.6		22.6		23.0		22.1
11月	上旬	19.2	21.0	19.9	21.2	20.3	21.6	20.2	21.1
	中旬		19.2		20.0		20.6		20.1
	下旬		17.5		18.6		18.8		19.3
12月	上旬	14.8	16.4	16.0	17.4	16.0	17.2	—	—
	中旬		14.6		15.6		15.9		—
	下旬		13.6		14.9		15.0		—

表1に各年における各月及び旬ごとの平均水温を示した。

月の平均値で高水温だったのは2017～2019年（27.3～27.8℃）は8月であったのに対し、2020年は9月に27.6℃と最も高い値を示した。1ヶ月を上旬、中旬、下旬で分けた場合、2017年（28.0℃）と2018年は（28.4℃）8月下旬、2019年（27.9℃）は8月中旬、2020年（29.0℃）は9月上旬が最も高かった。

一方、月平均値で低水温だったのは2017年（11.1℃）が3月、2018年（9.8℃）、2019年（11.6℃）は2月であった。1ヶ月を上旬、中旬、下旬で分けた場合、2017年（11.1℃）は3月上旬、2018年（9.6℃）は2月中旬、2019年（11.3℃）、2020年（11.6℃）は2月中旬～下旬が最も低かった。

2020年は、3月中旬～4月上旬の水温上昇期の立ち上がり早いこと、高水温のピークが9月と例年より遅かったことが大きな特徴と言える。

令和2年 プレスリリース

中国新聞

令和2年

- 9月2日(日) 「海の生き物観察 学生が先生」
11月29日(日) 「カキ料理福山大生考案」

読売新聞

令和2年

- 11月29日(日) 「笠岡のカキ堪能して」

山陽新聞

令和2年

- 7月6日(月) 「福山大生おいしさ数値化」
11月29日(日) 「カキ料理福山大生考案」

びんご経済レポート

令和2年

- 8月15日(土) 8月20日号「瀬戸内の水産業を救え」
12月15日(火) 12月20日号「喜多嬉かきの新レシピ開発」

せとうちタイムズ

令和2年

- 9月5日(土) 「福山大学でふる里海辺教室」

広島県教育委員会 くりっぶ

令和2年

- 11月1日(日) vol.73 「地域の水族館で学ぼう！」

令和2年 海洋環境調査実習船「第二爽風丸」運行状況

年	月	日	運航目的	担当者
令和2年	7月	4日	操舵練習	得能穰・柿内俊二
令和2年	11月	7日	操舵練習	得能穰・柿内俊二
令和2年	11月	14日	プロジェクトM	2班
令和2年	11月	14日	プロジェクトM	1班
				合計 3航海

令和2年 海洋環境調査実習船「爽風丸」運行状況

年	月	日	運航目的	担当者
令和2年	1	9	水質計測等	金子健司
令和2年	1	16	地引網補助	有瀧真人
令和2年	1	22	流藻調査	阪本憲司・金子健司
令和2年	1	23	水質計測等	金子健司
令和2年	2	6	水質計測等	金子健司
令和2年	2	15	地引網補助	有瀧真人
令和2年	2	18	藻場調査	関田隆一
令和2年	2	20	水質計測等	金子健司
令和2年	2	21	海藻採集	山岸幸正
令和2年	2	27	流藻調査	金子健司
令和2年	3	5	水質計測等	金子健司
令和2年	3	13	地引網補助	有瀧真人
令和2年	3	19	水質計測等	金子健司
令和2年	3	31	水質計測等	金子健司・山岸幸正
令和2年	4	2	流藻・藻場調査	金子健司・関田隆一
令和2年	4	14	水質計測等	金子健司
令和2年	5	8	水質計測・流藻調査	金子健司
令和2年	5	21	水質計測・流藻調査	金子健司
令和2年	6	4	水質計測・流藻調査	金子健司
令和2年	7	1	地引網補助	有瀧真人
令和2年	7	2	水質計測・流藻調査	金子健司
令和2年	7	13	雨中止	渡辺伸一
令和2年	7	17	水質計測・流藻調査	金子健司
令和2年	7	29	水質計測・流藻調査	金子健司
令和2年	8	2	操舵練習	得能穰・柿内俊二
令和2年	8	5	流藻付随生物調査	金子健司
令和2年	8	7	藻場調査	関田隆一
令和2年	8	19	水質計測・流藻調査	金子健司
令和2年	8	25	地引網補助	有瀧真人
令和2年	9	4	流藻付随生物調査	金子健司
令和2年	9	4	台風10号避泊	
令和2年	9	10	台風10号避泊帰港	

令和2年 9 月 11 日	水質計測	金子健司
令和2年 9 月 17 日	水質計測	金子健司
令和2年 9 月 30 日	藻場調査	関田隆一
令和2年 10 月 1 日	流藻付随生物調査	金子健司
令和2年 10 月 8 日	台風14号避泊	
令和2年 10 月 12 日	台風14号避泊帰港	
令和2年 10 月 21 日	地引網補助	有瀧真人
令和2年 11 月 4 日	藻場調査	関田隆一
令和2年 11 月 5 日	流藻付随生物調査	金子健司
令和2年 11 月 14 日	プロジェクトM回航マリーナ往復	
令和2年 11 月 19 日	地引網補助	有瀧真人
令和2年 11 月 19 日	水質計測・流藻調査	金子健司
令和2年 12 月 3 日	流藻付随生物調査	金子健司
令和2年 12 月 7 日	地引網補助	有瀧真人

合計 43 航海

令和2年 内海生物資源研究所活動状況

1. 講習会、研究会、見学会等

- 2月19日 回転寿司協会研修 29名
- 2月27日 きのくにこどもの村中学校 (13名)
- 4月8日 福山平成大学 合宿オリエンテーション (46名)

2. 宿泊施設使用状況

- 平成12年：380名
- 平成13年：307名
- 平成14年：319名
- 平成15年：307名
- 平成16年：329名
- 平成17年：288名
- 平成19年：198名
- 平成20年：169名
- 平成21年：138名
- 平成22年：209名
- 平成23年：279名
- 平成24年：151名
- 平成25年：201名
- 平成26年：215名
- 平成27年：214名
- 平成28年：232名
- 平成29年：118名
- 平成30年：146名
- 平成31年・令和元年：182名
- 令和2年：0名

3. 水族館入館者

1月	638名
2月	887名
3月	978名
4月	49名
5月	0名
6月	0名
7月	0名
8月	0名
9月	91名
10月	0名
11月	68名
12月	6名

合計 2,717名

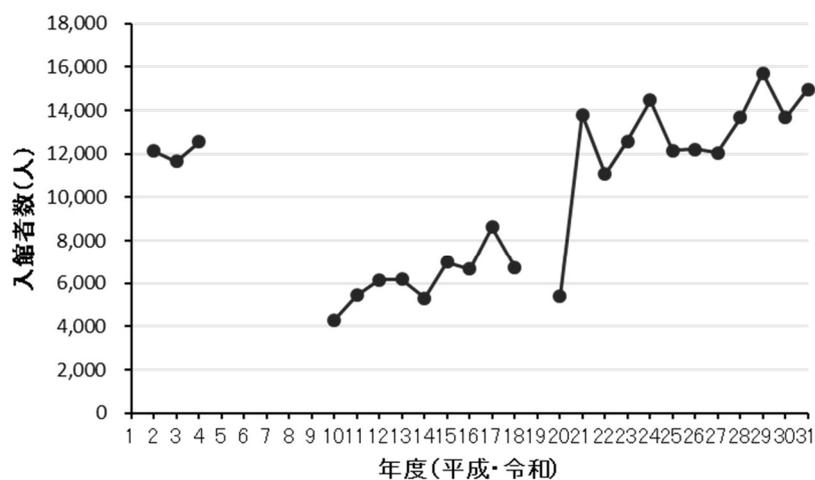


図. 水族館入館者数の推移（平成元年～令和元年度）

※4月6日以降は新型コロナウイルス感染症対策のため、一般公開を中止。

福山大学内海生物資源研究所報告 論文投稿規程

(2020年より施行)

論文の投稿者は、福山大学所属の教職員、大学院生、学生に限る。ただし、共著者に非所属者を含むことができる。また、編集委員会の要請により寄稿を依頼した論文を掲載することができる。

論文は、原著論文、短報、総説とし、和文または英文による。いずれも報文として未発表のものに限る。それ以外の報告等は論文として取り扱わず、本規定によらない。

原著論文：独創的な研究で、その論文で独立して価値がある結論、事実についての成果が含まれるもの。

短報：論文としてはまとまらないが、限られた部分に関する重要な発見や新しい実験方法などを発表するもので、刷り上がりのページ数で2ページを超えてはならない(1ページあたり1,500字程度、図表は300字程度として計算する)。

総説：関連分野の研究を総説するもの。

全ての投稿論文原稿は、編集委員会が定める審査を経て掲載される。審査は編集委員会が依頼した2名以上の査読者により査読を受け、その結果に基づき編集委員会が掲載の可否を決定する。

和文：用紙はA4サイズとし、縦長に置き、上下左右に各2cm以上の十分な余白を設ける。文字は10~12ポイントの読みやすい大きさで、横書き、行間隔2行で作成する。また、全てのページ下余白の中央にページ番号を付け、図表を除く本文のページ左余白に行番号を全体を通して付ける。図表の説明は英文で書く。

英文：ワードプロセッサを使用し、A4縦型紙にダブルスペースで書く。上下と左右に30mmの余白を設ける。

投稿は、ファイルと印刷原稿1部を同時に編集委員会に提出する。

1ページ目(表紙ページ)は、上から順に、タイトル、著者名、所属、英文タイトル、英文著者名、英文所属および所在地を記載する。

タイトルは研究の目的や内容を端的に表現したものであること。

論文には、英文要旨をつける。要旨は200語以内で記載する。

引用文献の記載は、つぎの通りとする。

- 1) 久保拓弥. データ解析のための統計モデリング入門. 岩波書店. 267 pp (2012)
- 2) 重田利拓, 薄浩則. 魚類によるアサリ食害 : 野外標本に基づく食害魚種リスト. 水産技術, 5: 1-19 (2012)
- 3) Reeb, S. G. Plasticity of diel and circadian activity rhythms in fishes. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 12: 349-371 (2002)

巻末に、論文審査を行った査読者名を掲載する。

校正

初校は著者が行い、2校以降の校正は編集委員会が行う。

編集委員会の構成

委員長および若干名の委員により構成される。委員長には所長がこれにあたる。

委員は、内海研の専任教授および兼任教授、海洋生物科学科長がこれにあたる。

(第30号については、委員長：有瀧真人、委員：金子健司、三輪泰彦)

編集幹事

(第30号については、阪本憲司、水上雅晴)

編集委員会および編集幹事は当該年度の研究報告が刊行された時点で解散する。

福山大学内海生物資源研究所報告

第 31 号

2021 年 2 月 28 日印刷

2021 年 2 月 28 日発行

編集委員会

委員長：有瀧真人

委員：金子健司、三輪泰彦

編集幹事：阪本憲司、水上雅晴

発行所：福山大学内海生物資源研究所
〒722-2101 広島県尾道市因島大浜町 452-10

Tel: 0845-24-2933, Fax: 0845-24-3449

印刷所：株式会社 小山オフセット印刷所

〒720-0053 広島県福山市大黒町 2-24

Tel: 084-922-0280

Report of the Research Institute of Marine Bioresources

Fukuyama University

No. 31

Editorial Board

Chief Editor: Masato ARITAKI

Members: Kenji KANEKO, Yasuhiko MIWA,

Secretary: Kenji SAKAMOTO, Masaharu MIZUKAMI

Date on 28 February, 2021

Copyright by

The Research Institute of Marine Bioresources, Fukuyama University
452-10 Innoshima-Ohama-cho, Onomichi, Hiroshima 722-2101, Japan

Tel: 0845-24-2933 Fax: 0845-24-3449

Printer: Koyama Offset printing Co., Ltd.

2-24 daikoku-cho, Fukuyama, Hiroshima 720-0053 Japan

Tel: 084-922-0280