

【論文】

## 石川県金沢沖におけるホッコクアカエビ抱卵個体の小型化

白石 宏己<sup>1\*</sup>

ホッコクアカエビ *Pandalus eous* は、石川県で年間約700 t水揚げされる水産上重要種である。石川県水産総合センターが行った稚エビの資源量調査では、卓越年級群である2010年級がオスとして性成熟した2013年から抱卵個体が小型化していることが確認された。また、底びき網に入網する抱卵個体も2013年から小型化したことが確認された。タラバエビ科のエビは雄性先熟の雌雄同体であり、いくつかの種で個体群内の性比に応じて性転換年齢が変化することが報告されている。本研究により、抱卵個体の小型化と卓越年級である雄の性成熟が同時期に発生したことが確かめられた。抱卵個体の小型化は、個体群内の雌の割合を増加させて再生産効率を高めることを目的として、性転換年齢および初産卵年齢が若齢化したことが原因であると推察された。

ホッコクアカエビ *Pandalus eous* はタラバエビ科に属する寒海性のエビであり、北太平洋に広く分布し、日本海は分布の南限に位置する<sup>1)</sup>。石川県では年間約700 t水揚げされ<sup>2)</sup>、水産物総水揚金額の約7%を占める重要種である。本種の抱卵個体は子持銘柄に選別されて高値で取引されているが、2013年より抱卵個体が小型化しているとの情報が金沢沖で操業する漁業者より寄せられるようになった。抱卵個体の小型化は「子持」銘柄の単価の低下を招き、漁業経営を圧迫するばかりでなく、資源の再生産にも影響を及ぼすことが懸念される。そこで、本種の近年の資源動向と抱卵個体の小型化の現状を整理して、その発生要因について考察した。

### 材料および方法

**調査船調査** 石川県水産総合センター所属の漁業調査指導船白山丸 (167 t) を用いて、本種の若齢個体を対象とした資源量調査を実施した。調査漁具は、幅2.2 m、高さ1.5 m、ソリ長2.0 mの鉄製のソリ付桁に全長10 m、目合16節の袋網を付けたソリ付桁網を用いた(図1)。本種は孵化後、浮遊幼生期を経て水深300 m付近に着底し、成長とともに深場へ移動するため、浅海域ほど若齢個体が多

く、成熟した個体は主に水深500 m以深に生息する<sup>3)</sup>。このことから、調査海域は金沢沖の水深375~500 mの海域とした(図2)。曳網時間は調査漁具の着底後30分間、曳網速度は約1ノットとした。採集した個体は船上で眼窩後縁から頭胸甲末端までの頭胸甲長(以下CLとする)をノギスで0.1 mm単位で測定し、あわせて抱卵の有無を判別した。調査の概要を表1に整理した。

ここでは、2007年7月から2017年1月まで、冬季(1~2月)と夏季(7~9月)に実施した合計20回のCL測定データを用いて各年級群の尾数を調べた。CL組成の年級群への分解は以下の方法で行った。まず、調査回ごとのCL別採集尾数を曳網回数で除して、1曳網当たりCL組成を求めた。次に、貞方<sup>4)</sup>の成長式より、幼生孵出期(1,2月)を考慮して冬季調査については満年齢時、夏季調査については満年齢+0.5歳時のCLを求めた。これらを各年級群の平均CLの初期値とし、相澤・滝口<sup>5)</sup>の方法に従って、MS ExcelのソルバーによりCL組成を年級群に分解した。

**漁獲物調査** 石川県では、本種を主に金沢港、橋立港、蛸島港の底びき網漁船が水揚げしている。このうち水揚げが県全体の70%以上を占める金沢港の沖合底びき網漁船による漁獲物を調査対象とした。2007年から2016年に、各年2回原則として漁船1隻が同日に水揚げした全ての銘柄

2018年10月16日受付

キーワード: ホッコクアカエビ, 抱卵個体, 小型化, 卓越年級

<sup>1</sup> 石川県水産総合センター (〒927-0435 石川県鳳珠郡能登町宇津新港3-7)

\* Tel: 0768-62-1324, Fax: 0768-62-4324, Email: siraisi@pref.ishikawa.lg.jp

ホッコクアカエビ抱卵個体の小型化

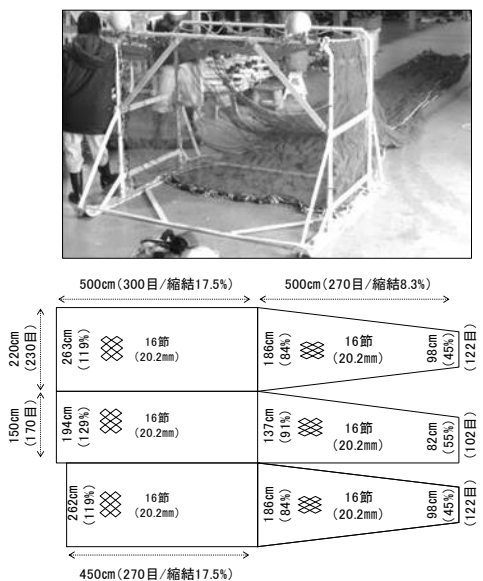


図1. 調査に使用したソリ付桁網と網の展開図

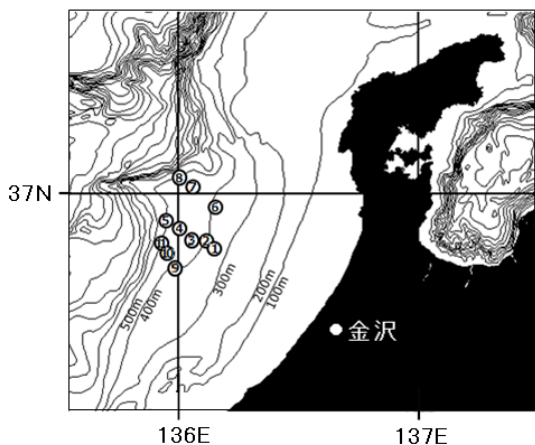


図2. 調査船調査地点

を各1~4箱(3 kg/箱)購入し,全個体のCLをノギスを用いて0.1 mm単位で測定した.漁獲年月,銘柄,測定箱数および尾数を表2に示した.このうち,2015年4月には,「大」「中」「小」銘柄から,2016年4月には,「子持」「大」「中」「小」銘柄から,それぞれ100尾を無作為に抽出し,前者は目視により,後者は実体顕微鏡により第1腹腔内肢の形状を観察し,下記のA~Fに示す特徴<sup>6)</sup>を基に,A~C型を雄,D~F型を雌に類別した.

- A型:内肢より内突起が長い
- B型:内肢と内突起の長さがほぼ等しい
- C型:内突起が内肢の縁辺にあり,細い
- D型:内突起が内肢の縁辺にあり,非常に細い
- E型:内突起が痕跡的に残るか,取れた跡が滑らかでない
- F型:内突起が完全に消失し,取れた跡が滑らかである

これらのデータからCL階級0.5 mmごとに雌の出現率を求めた.次に,CLと雌の出現率の関係に最小二乗法によりロジスティック曲線をあてはめ,雌の出現率が50%となるCLを求めた.

表1 調査船調査の調査情報

年	月	曳網回数 (回)	採集尾数 (尾)	1曳網当たり採集尾数 (尾/回)	調査点番号
2007	7	4	758	190	2, 4
2008	1	9	1,698	189	2, 4~11
2008	8	9	1,321	147	2, 4~11
2009	1	9	1,348	150	2, 4~11
2009	8	8	1,308	164	2, 4~10
2010	1	5	1,112	222	4~5, 9~10
2010	8	8	1,605	201	2, 4~10
2011	2	7	1,999	286	2, 4~5
2011	8	8	5,957	745	2, 4~10
2012	1	6	5,023	837	4~6, 9~10
2012	7	9	16,968	1,885	2, 4~11
2013	1	3	2,298	766	2, 4~5
2013	8	6	4,166	463	2, 4~8
2014	1	8	4,778	597	1~6, 9~10
2014	9	7	5,137	734	1~7
2015	1	7	5,409	773	1~5, 9~10
2015	8	8	7,601	950	1~6, 9~10
2016	1	5	2,064	413	1~3, 9~10
2016	8	9	5,080	564	1~7, 9~10
2017	1	6	2,578	430	1~6

表2 漁獲物調査の調査情報

年	月	銘柄	箱数 (箱)	測定尾数 (尾)
2007	6	子持	1	208
		大中	2	544
	10	子持	1	215
		大中	2	859
2008	6	小	1	447
		子持	1	204
		大中	1	386
	10	小	1	706
2013	5	子持	1	205
		大	1	294
		中	1	477
		小	1	722
2014	6	子持	1	205
		大	1	165
		中	1	343
		小	1	515
2015	4	子持	4	849
		子持	1	218
		大	1	206
		中	1	369
2016	10	小	1	523
		子持	1	205
		大	1	213
		中小	1	446
2016	4	子持	1	190
		大	1	177
		中	1	349
		小	1	567
2016	10	子持	1	204
		大	2	504
		中	1	369
		小	1	875

結果

**調査船調査** 調査回ごとの1曳網当たりCL組成と、年級群への分解結果を図3に示した。ソリ付桁網は網口が金属枠で固定されかつ曳網ごとに漁網監視装置により海底を掃過する距離を正確に調整していたことから、曳網ごとの努力量は一定とみなせる。したがって、1曳網当たりの年級群別採集尾数は各年級群の相対的な資源豊度を表すと考えられる。採集された最若齢年級群は、夏季調査では1.5歳、冬季調査では2歳であった。夏季調査の1.5歳個体、冬季調査の2歳個体の1曳網当たり採集尾数を図4に示した。どちらの調査時期も2010年級、2011年級、2014年級が他の年級群に比べて多く採集された。また、2010年級、2011年級はその後の調査でも多く採集された。

抱卵個体の採集数は冬季調査(平均10個体)よりも夏季調査(平均58.9個体)で多かった。これは抱卵個体が幼生孵出期である1~2月に水深200 m前後の浅海域に移動するため<sup>3)</sup>と思われた。夏季調査で採集された抱卵個体のCL組成を図5に示した。各年の採集数は12~162個体(合計589個体)、抱卵個体が採集個体に占める割合は0.3~3.4%であった。CLのモードは2007~2012年には27~30 mm, 2013~2016年には24~25 mmであった。

**漁獲物調査** 「子持」銘柄のCL組成を図6に示した。モードは、2007~2008年には26.5~28.0 mm, 2013年には24.5 mmと27.0 mm, 2014~2016年は25.0~25.5 mmであった。各銘柄の性判別の結果、2015年4月に観察した300個体は雄186個体、雌114個体、2016年4月に観察した399個体は雄199個体、雌200個体に判別された。両年のCLと雌の出現率の関係を図7に示した。雌の出現率の変化は以下のシグモイド曲線で表され、雌の出現割合が50 %となるCLは、2015年4月は25.7 mm, 2016年4月は24.8 mmとなった。

$$2015年4月: y = 1 / \{1 + e^{(-3.35 \cdot CL + 83.06)}\} \quad (1)$$

$$2016年4月: y = 1 / \{1 + e^{(-1.74 \cdot CL + 43.11)}\} \quad (2)$$

考察

調査船調査と漁獲物調査の双方で、2013年以降に抱卵個体の小型化が確認された。金沢沖では、抱卵個体の小型化は2013年から発生し、2014年以降は小型個体が抱卵個体の大部分を占めるようになった。2014年以

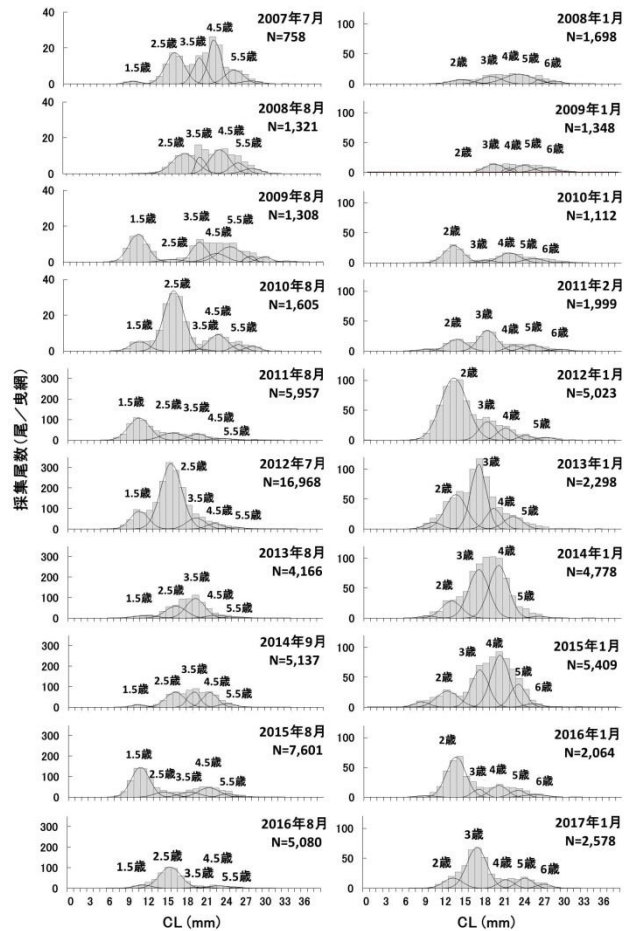


図3. 調査船調査で採集されたホッコクアカエビのCL組成と正規分布への分解結果

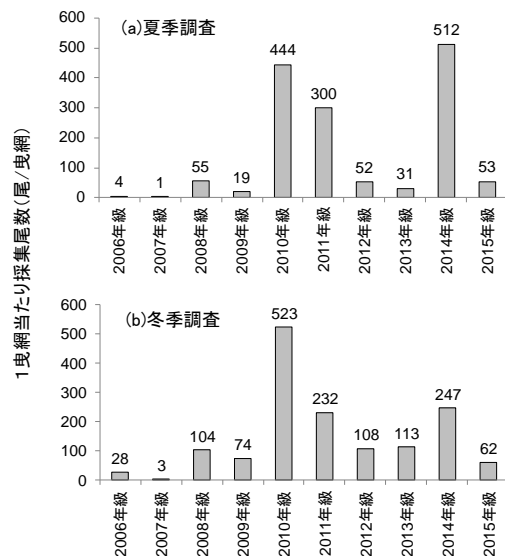


図4. 最若齢年級群の採集尾数の推移  
(a)夏季調査での1.5歳個体  
(b)冬季調査での2歳個体

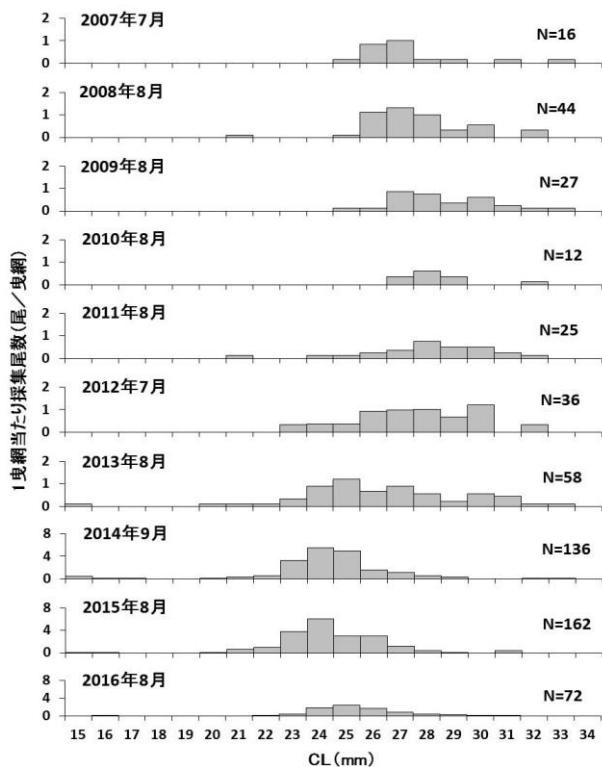


図5. 調査船調査で採集されたホッコクアカエビ抱卵個体のCL組成

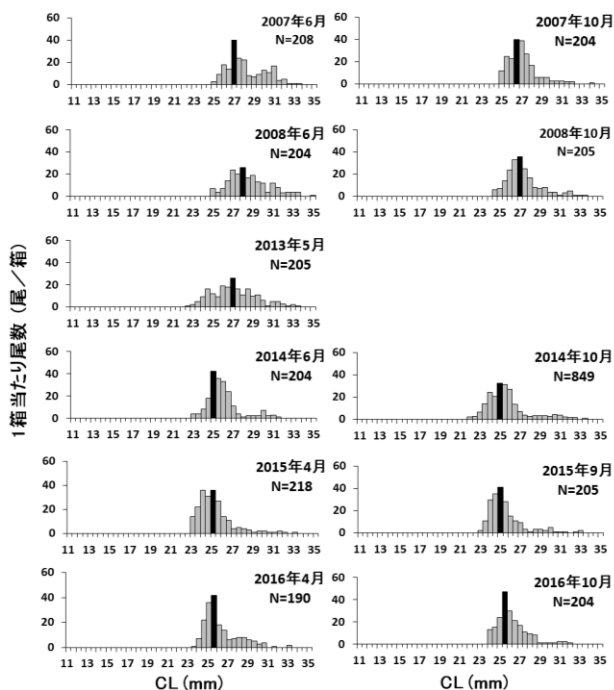


図6. 沖合底びき網漁船が金沢港に水揚げした「子持」銘柄(抱卵個体)のCL組成  
黒塗はモードを表す

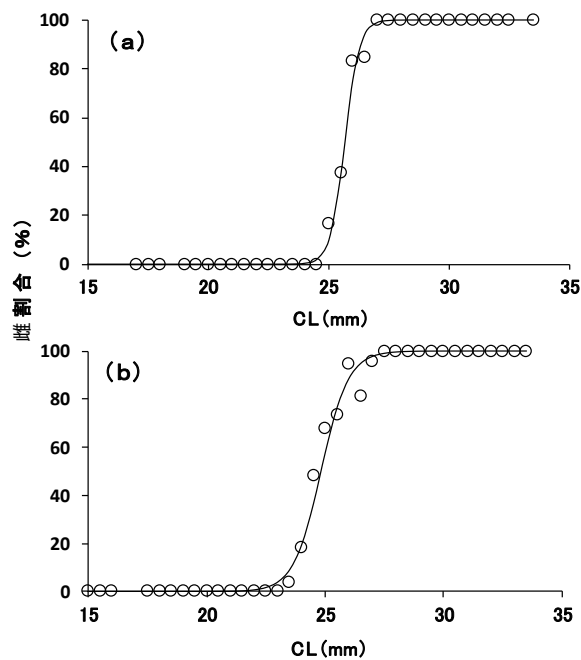


図7. CLと第1腹肢内肢の形状から推定した雌の割合の関係  
(a)2015年4月調査 (b)2016年4月調査

降の子持銘柄のモードは、雌の出現割合が50%となるCLに近いことから、子持ち銘柄は主として初産卵個体によって構成され、その大きさは性転換サイズを反映していると推察された。抱卵個体が小型化する以前(2007~2012年)の初産卵年齢は貞方<sup>4)</sup>のCL-年齢関係式から6歳と推定され、これは、本種が3~4歳で雄として成熟、5歳で性転換、6歳で初産卵を行うとした貞方<sup>4)</sup>の知見と一致した。一方、2013~2016年の初産卵年齢は5歳と推定され、2013年以降の抱卵個体の小型化は性転換および初産卵年齢が1年若齢化したことによると推察された。

本種について貞方<sup>7)</sup>は、雄に対する雌の相対的な尾数が減少すると性転換年齢が若齢化すること、生残率が低いほど早く性転換した方が繁殖効率が高くなることを述べている。調査船調査で他の年級群より高い初期資源豊度を示した2010年級、2011年級、2014年級は卓越年級群と推定される。2010年級が雄として成熟した2013年は、抱卵個体の小型化が確認された時期と一致したことから、抱卵個体の小型化は卓越年級群の性成熟により個体群内のオスの割合が高まったことで、性転換及び初産卵の年齢が若齢化したことが原因であると推察される。

タラバエビ科のエビは、雄性先熟の雌雄同体であり、個体群の年齢組成が性転換年齢の変動に関係する例が知られている。例えばアメリカ北西部に分布する *P. jordani* は個体群構造の変動に合わせて性転換年齢を

変えることができる<sup>8)</sup>,またホツカイエビ *P. latirostris* は個体群内の性比と性転換サイズに相関がある<sup>9)</sup>.一方,本種と同様に雄性先熟雌雄同体で,個体群内の性比によって性転換年齢が変動するテッポウエビ科のムラサキヤドリエビ *Arete dorsalis* は縄張り争いで接触の頻度から個体群内の性比を感知しているとされている<sup>10)</sup>.深海底に生息する本種についても,接触刺激が周囲の環境を感知する重要な因子となっている可能性が考えられる.今後,抱卵個体の小型化を予測し,また小型抱卵個体の増加が資源の再生産に与える影響を評価するためには,抱卵個体の小型化,若齢化と孵化幼生の生残の関係性のほか,抱卵個体の小型化を誘発する性比などを明らかにしていく必要がある.

## 謝 辞

漁獲物調査の標本入手に協力をいただいた,石川県漁業協同組合かなざわ総合市場の職員の方々に深く感謝する.また,精度の高い資源調査を適確に実施していただいた石川県調査船白山丸の乗組員一同にお礼申し上げる.

## 文 献

- 1) 伊藤弘: 日本海産ホッコクアカエビに関する2・3の知見. 日水研研報, 1976, **27**, p.75-89.
- 2) 養松郁子, 上田祐司, 藤原邦治: 平成27(2015)年度ホッコクアカエビ日本海系群の資源評価. 平成27年度我が国周辺水域の漁業資源評価, 第3分冊, 2016, p.1828-1852.
- 3) 日本海ホッコクアカエビ研究チーム: 特定研究開発促進事業 地域性重要水産資源管理技術開発総合研究中間報告書(ホッコクアカエビの生態と資源管理に関する研究), 1989.
- 4) 貞方勉: 日本海能登半島近海産ホッコクアカエビの成長. 日水誌, 1999, **65(6)**, p.1010-1022.
- 5) 相澤康, 滝口直之: MS-Excelを用いたサイズ度数分布から年齢組成を推定する方法の検討. 水産海洋研究, 1999, **63**, p.205-214.
- 6) 日本海ホッコクアカエビ研究チーム: 特定研究開発促進事業 地域性重要水産資源管理技術開発総合研究総合報告書(ホッコクアカエビの生態と資源管理に関する研究), 1991.
- 7) 貞方勉: 日本海能登半島近海産ホッコクアカエビの群構造と性転換. 日水誌, 2011, **70(2)**, p.131-137.
- 8) ERIC L. CHARNOV, DANIEL W. GOTSHALL, JACK G. ROBINSON: Sex Ratio: Adaptive Response to Population Fluctuations in Pandalid Shrimp. SCIENCE, 1978, **200**, p.204-206.
- 9) 千葉晋: ホッコクアカエビにみられる環境に応じた性転換-産業有用種の生活史変異と漁業の関係-. うみうし通信, 2002, **36**, p.4-5.
- 10) 中嶋康裕: 甲殻類の性転換-ムラサキヤドリエビを中心に. 魚類の性転換, 東海大学出版会, 1987, p.221-248.

Miniaturization of Ovigerous Female Pink Shrimp *Pandalus eous*

off Kanazawa, Ishikawa

Hiromi Shiraishi

Ishikawa Prefecture Fisheries Research Center

Pink shrimp *Pandalus eous* is an important species and the catch in Ishikawa prefecture reaches 700 tons each year. The survey of the young shrimp resources by Ishikawa prefecture fisheries research center revealed that brooding females, including those caught by commercial Danish seiners, have been miniaturized since 2013, when the year class of 2010, the dominant year class, matured as male. The shrimps of the family Pandalidae are protandrous hermaphrodites and the age of sex transition of some of these shrimps reportedly fluctuates under the influence of sex ratio in the population. The result confirmed that both the miniaturization of the brooding female and the maturation of the male dominant year class occurred simultaneously. Based on the above, we concluded that the brooding female is caused by the lowering of the age of sex transition and spawning in order to increase the female ratio in the population and improve the reproduction efficiency.

【論文】

## 石川県沿岸の定置網における魚類相の変遷とその要因

原田 浩太郎<sup>1\*</sup>

マイワシとカタクチイワシの魚種交替に代表される魚類資源の変動は水産業全体に大きな影響を与える。この変動はレジーム・シフト等の環境変動に起因すると考えられているが、因果関係については不明な点が多い。一方、地域漁業を考える上でも魚種交替等の変動の影響は無視できないが、県単位のローカルな漁獲量や魚類資源の変動について、グローバルな環境変動との関係を研究した例は非常に少ない。本研究では石川県内の定置網の漁獲データより漁獲される魚類相の変動を調べ、その変動と環境要因との関係性について、多変量解析手法を用いて統計解析を行った。石川県沿岸の魚類相は10年程度の周期でシフトしており、その変動に対して全球規模の環境変動が影響していることが示唆された。この結果はローカルな魚類相に対してもグローバルな環境変動が大きく影響していることを示唆しており、漁業生産や資源管理を考える上で非常に重要な知見である。

定置網は沿岸海域における主要漁業の一つであり、石川県では定置網による漁獲が県内総漁獲量の約3割を占める<sup>1)</sup>。また、定置網漁は他の漁法と異なり、入網した魚群を受動的に漁獲するという特徴があるため、定置網の漁獲物の種組成を調べることは魚類の資源変動を把握する上で有用である。魚類資源の変動の中でも特徴的であるマイワシ・カタクチイワシの魚種交替現象については、全球規模の環境変動が関連している<sup>2)</sup>と考えられている。しかし、魚種ごとの最適水温の違いが気候変動に伴う魚種交替を引き起こしている<sup>3)</sup>等の仮説はあるものの、具体的なメカニズムについてはいまだ説明されていない。また、全球規模の環境変動について、魚類資源の変動に与える影響の研究例としてはTian *et al.*<sup>4)</sup>などがあるが、県レベルの地域的な魚類資源の変動に及ぼす影響を研究した例はほとんどない。資源管理や漁業生産を考える上で、地域的な資源変動を把握することは非常に重要であり、変動の要因の解明に対する社会的な要求も大きい。本研究では、石川県の定置網によって漁獲される魚類相の変遷とそれに関連する環境要因を明らかにすることを目的として、漁獲統計データ及び各種環境データに対して多変量解析等の手法を用いた解析を行った。

### 材料および方法

**漁獲量データ** 北陸農政局発行『石川県農林水産統計年報』より、1970年から2014年までの定置網による11魚種(まぐろ類, まいわし, うるめいわし, かたくちいわし, あじ類, さば類, ぶり類, たら, まだい, すずき, するめいか)の漁獲量(重量, 単位: t)を,  $\log(x + 1)$  の形に変換して利用した。

**環境要因データ** 石川県調査船白山丸による海洋観測データ(沿岸の観測点における0 m深, 50 m深の年平均水温), 気象庁がHP<sup>5)</sup>で公開している日本海・東シナ海・北太平洋の海面水温データ, 太平洋十年規模振動指数(PDOI: Pacific Decadal Oscillation Index), アリューシャン低気圧指数(NPI: North Pacific Index), 南方振動指数(SOI: Southern Oscillation Index)を用いた。なお、本解析では上記環境要因データについて、全て年平均値を用いた。環境要因データについては、標準化を行ったうえで下記の統計解析に利用した。

**解析方法** 上記11魚種の年別漁獲量について主成分分析を行い、次に、主成分得点に対して寄与率の高い上位主成分から計算したユークリッド距離を用いて、Ward法によるクラスター分析を行った。また、魚類相の変遷に対する環

2018年10月22日受付

キーワード: 魚類生態系, 資源変動, レジーム・シフト, 定置網, 多変量解析

<sup>1</sup> 石川県水産総合センター (〒927-0435 石川県鳳珠郡能登町宇出津新港3-7)

\* Tel: 0768-62-1324, Fax: 0768-62-4324, Email: kharada@pref.ishikawa.lg.jp

境要因の影響を評価するため、各年の主成分得点を応答変数とし、各環境要因データを説明変数とする重回帰モデルを作成した。説明変数の選択に当たっては総当たりによるモデル選択を行い、赤池情報量基準 (AIC: Akaike's Information Criterion)が最少となるものを採択した。重回帰式の説明変数の多重共線性の有無に対しては、分散拡大係数 (VIF: Variance Inflation Factor)を計算し、VIFが10を下回る場合多重共線性がないと判断した。すべての統計解析には、統計ソフトウェアR<sup>6)</sup>を用いた。

結果

各主成分の寄与率は表1の通りであった。また、各主成分に対する各魚種の主成分負荷量は表2の通りであり、絶対値で比較すると第一主成分に対してまだい・あじ類、第二主成分に対してうるめいわし、第三主成分に対してかたくちいわし、第四主成分に対してさば類・まぐろ類が特に高い値を示した。

各年の第一主成分と第二主成分の得点の分布を図1に示した。各年の分布位置は1970年から時系列に沿って時計回りに変化した。また、第一主成分から第四主成分までの、主成分得点の時系列図を図2に示した。

第四主成分までの累積寄与率は0.76と高い値が得られたため、各年の第一主成分から第四主成分までの主成分得点を用いてクラスター分析を行った結果、5つのクラスターに分けられた(図3)。各クラスターにおける年平均漁獲量を表3に示した。また、クラスター毎の水揚量と比較するために、水揚量データについて10年移動平均処理

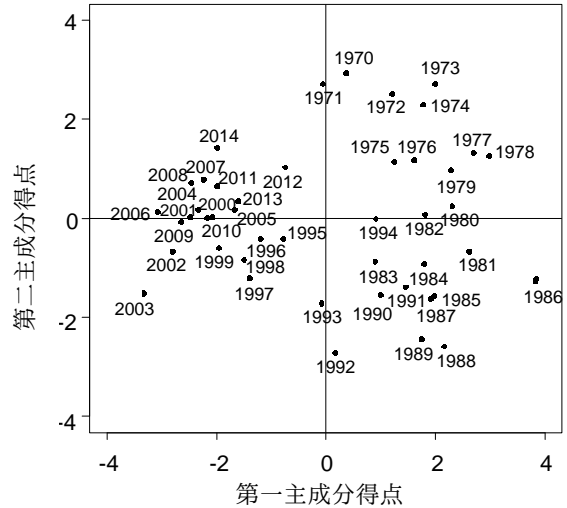


図1. 主成分分析結果散布図

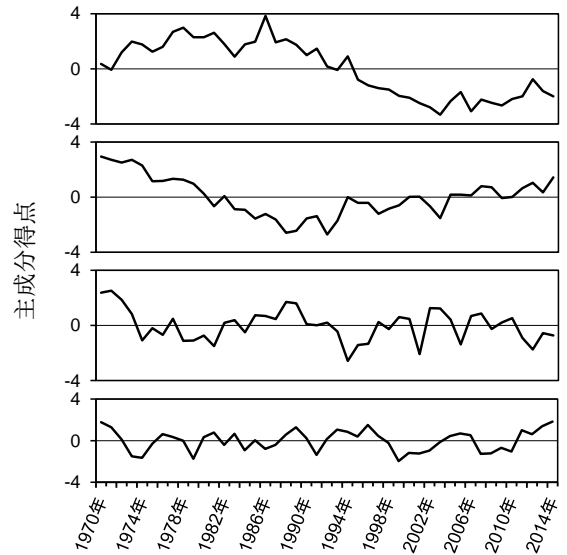


図2. 第一～四主成分得点時系列図

表1 主成分分析結果 各主成分 (PC)の標準偏差・寄与率・累積寄与率

	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7	PC8	PC9	PC10	PC11
標準偏差	2.01	1.42	1.14	1.01	0.78	0.76	0.72	0.60	0.50	0.42	0.33
寄与率	0.37	0.18	0.12	0.09	0.06	0.05	0.05	0.03	0.02	0.02	0.01
累積寄与率	0.37	0.55	0.67	0.76	0.82	0.87	0.92	0.95	0.97	0.99	1.00

表2 各魚種主成分負荷量

	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7	PC8	PC9	PC10	PC11
まぐろ類	0.24	0.39	-0.51	-0.62	0.28	-0.07	0.17	-0.18	-0.09	0.00	-0.05
まいわし	0.73	-0.44	-0.21	0.05	0.37	0.02	-0.06	-0.03	0.22	-0.01	0.18
うるめいわし	0.01	-0.84	-0.30	-0.16	0.05	-0.15	-0.12	0.30	-0.23	0.08	-0.02
かたくちいわし	-0.40	0.07	0.72	0.02	0.52	-0.11	0.10	0.05	-0.13	-0.01	0.01
あじ類	-0.83	0.12	-0.15	0.03	0.10	-0.37	-0.11	0.02	0.25	0.21	-0.07
さば類	0.37	0.44	-0.35	0.63	0.04	-0.31	0.04	-0.06	-0.20	0.04	0.06
ぶり類	-0.68	0.26	-0.34	0.16	0.25	0.22	-0.42	0.04	-0.02	-0.18	-0.04
たら	0.80	0.27	0.03	0.17	0.17	0.39	-0.07	0.09	0.00	0.24	-0.11
まだい	-0.83	-0.27	-0.02	-0.02	-0.04	0.23	-0.10	-0.32	-0.15	0.18	0.12
すずき	-0.69	0.45	-0.24	-0.06	-0.01	0.20	0.28	0.33	0.02	0.04	0.14
するめいか	-0.45	-0.58	-0.28	0.38	0.14	0.15	0.41	-0.09	0.05	-0.05	-0.12



定置網魚類相の変遷とその要因

表3 クラスタ別年平均漁獲量

クラスター	まぐろ類	まいわし	うるめいわし	かたくちいわし	あじ類	さば類	ぶり類	たら	まだい	すずき	するめいか
(i)	113	709	43	2,780	1,393	1,632	1,665	225	126	32	206
(ii)	264	12,569	291	835	1,485	1,925	1,627	290	93	36	566
(iii)	120	17,208	659	1,248	817	944	1,338	133	152	13	619
(iv)	106	6,863	409	1,231	3,364	1,493	2,674	54	273	71	1,137
(v)	149	445	333	2,970	4,357	646	2,282	24	329	85	850

表内(i)~(v)は図2の区分に対応したもの 単位: t

表4 十年移動平均水揚げ量の最大値と最小値

	まぐろ類	まいわし	うるめいわし	かたくちいわし	あじ類	さば類	ぶり類	たら	まだい	すずき	するめいか
最大	260.4	18872.5	672.3	2824.7	4642.9	1763.4	2981.5	316.9	354.5	98.4	1026.9
最小	112.2	216.6	160.2	837.3	604.1	829.3	1255.8	8.2	88.4	10.2	299.6

単位: t

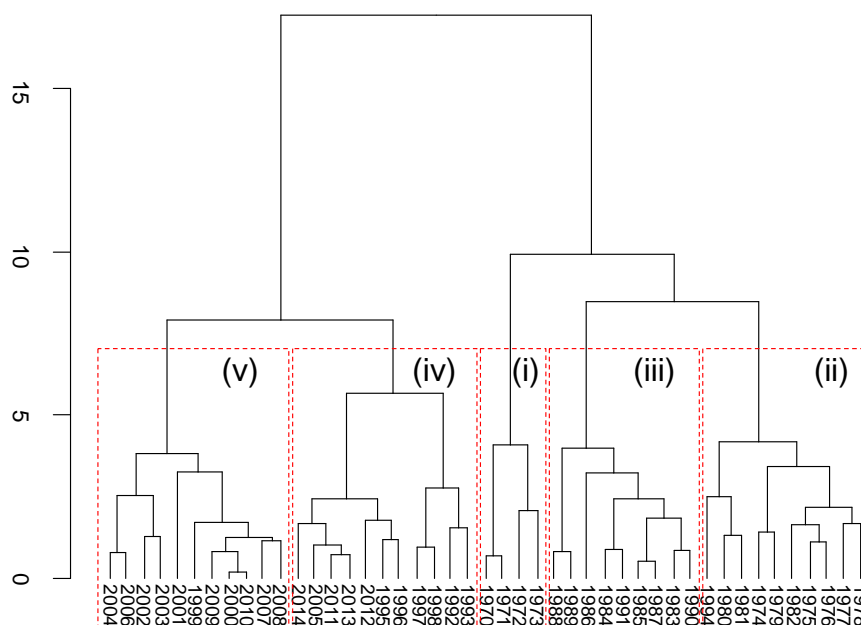


図3. クラスタ解析結果樹形図

図内(i)~(v)は表3の区分に対応したもの

を行い、その10年移動平均値の最大値と最小値を表4に示した。第一主成分から第四主成分までの年別主成分得点データを目的変数、環境要因データを説明変数とする重回帰分析の結果を表5に示した。複数の説明変数からなるモデルが採用された第一主成分得点・第二主成分得点・第四主成分得点の重回帰式についてVIFを計算したところ、すべての説明変数でVIFは2を下回ったため、多重共線性は生じていないと判断された。また、主成分に対して有意に寄与しているという結果が得られた東シナ海水温、北太平洋水温、石川県沖0 m水温及びPDOIについて、時系列図を図4に示した。

考察

**魚類相の変遷** 主成分分析では時系列に沿って年別魚類相が変化してきた様子が示された。今回の漁獲データの期間である45年程度のスケールでみると、魚類相はある程度の連続性をもって、少しずつ変化しているといえる。一方、クラスタ分析で得られた各クラスターの年数について、70~73年を除いた4クラスターを平均すると10.25となり、おおむね10年に一度程度魚類相の不連続な変化が起こってきたことが明らかになった。また、各クラスターの魚種別漁獲量は大きく異なっていた。さらに、各クラ

表5 重回帰分析結果

	説明変数					R <sup>2</sup>	AIC
	ECSS	NP	ISK 0 m	PDOl	SOI		
PC1	+	+	-	+	+	0.61	154.6
PC2	+	-	-	+	-	0.27	150.0
PC3	-	+	-	-	-	0.03	142.3
PC4	-	+	+	-	-	0.15	126.3

モデル選択に利用した変数のうち、いずれかの主成分の説明変数として採択されたものを示した。

略語はそれぞれ以下の通りである。

ECSS: 東シナ海南部水温, NP: 北太平洋水温, ISK 0 m: 石川県沿岸 0 m 深水温。

採択されたものは"+", 採択されなかったものは"-“で示しており,添字は次の有意確率を表す。

\*\*\*:  $p < 0.001$ , \*\*:  $0.001 < p < 0.01$ , \*:  $0.01 < p < 0.05$

スターの水揚量と表4の水揚量移動平均の最大値・最小値とを比較すると,いずれの魚種でも,クラスター分析によって抽出された高位期や低位期の水揚量が移動平均による最大値・最小値とよく一致していた。これらから,今回のクラスター分析によって魚類相のシフトが高精度に検出できたといえる。

また,今回の結果ではクラスター間の距離が最大となるシフトは91/92年に発生したが,その際のクラスター間距離はその他のシフトの際のクラスター間距離よりかなり大きかった。このことより,魚類相のシフトには10年程度の周期の小規模なもの,それよりも周期の長い大規模なものが存在することが示唆された。また,第一主成分負荷量を見ると,暖水系の魚種で主成分負荷量が負となり(e.g. かたくちいわし・あじ類・ぶり類・するめいか),冷水系の魚種で主成分負荷量が正となる(e.g. まいわし・たら)傾向がみられた。上記のような魚類相の変動は,水温の変動に関連して発生してきたことが示唆された。

**クラスターのシフト** クラスター分析の結果では,前後の年のいずれとも異なるクラスターに属した”外れ値”となった年は,1994年と2005年の二年であり,1970年から2014年までの45年分のデータを用いて外れ値が2つのみと良好な結果が得られた。上記以外の年でクラスター間のシフトのタイミングを見てみると,クラスターがシフトしたのは1970年以降では1973/74年,1982/83年,1991/92年,1998/99年,2010/11年であった。気象庁HP<sup>5)</sup>ではエルニーニョ現象が1972~1973年,1982~1983年,1991~1992年,1997~1998年,2009~2010年に発生したとされており,今回検出された魚類相クラスターのシフトの当年もしくはその前年には,毎回エルニーニョ現象が発生していた。エルニーニョが発生していてもシフトが発生していない場合もあるため,

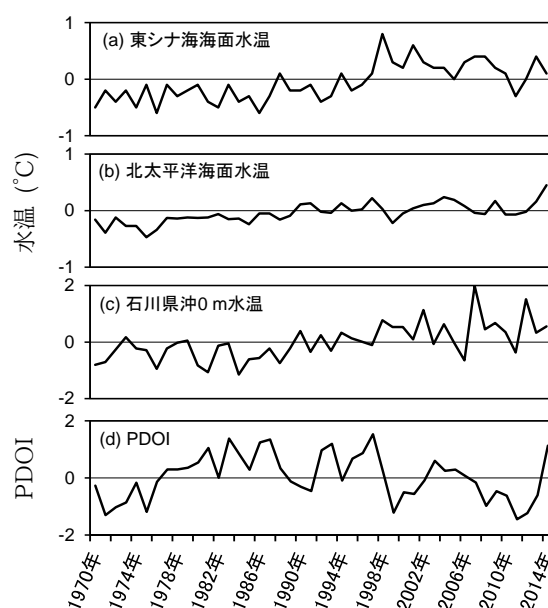


図4. 主要環境データ経年変動

このことが直接の因果関係を示しているとするには根拠が薄いが,例えばサンマではエルニーニョが資源に大きな影響を及ぼす<sup>7)</sup>ことを考慮すると,魚類生態系の変動を考える上でエルニーニョ現象は注目すべき重要なイベントであるといえる。

**変動要因** 各主成分を応答変数とする重回帰モデルでは,東シナ海南部表面水温・北太平洋表面水温・PDOIがそれぞれ二つの主成分に対して採択されたが,一方で日本海の水温は採択されなかったほか,石川県周辺の水温では石川県沖0 m深水温が第四主成分の説明変数として採択されたに留まった。モデルによる選択結果が直接の因果関係を示すものではないが,この結果は,石川県沿岸の魚類相の変動に対しては,石川県周辺海域の環境変動の影響よりも,東シナ海や全球規模の環境変

動の影響の方が相対的に大きいことを示唆している。東シナ海は石川県周辺海域で多く漁獲されるブリ・マアジ・マサバ・スルメイカ等回遊性浮魚類の重要な産卵場である<sup>8-11)</sup>ため、東シナ海の水温は石川県に來遊する浮魚類の資源量を定める重要な要因であると考えられる。今回説明変数として東シナ海南部水温が採択されたのはこれを裏付ける結果と考えられる。

また、各主成分得点の経年変動を見ると(図2)、第一主成分及び第二主成分はどちらも比較的長周期の変動であり、位相が異なっていた。一方で、第三主成分及び第四主成分はどちらも比較的短周期の変動であった。第一主成分、第二主成分に対しては比較的広範囲の変動である北太平洋水温やPDOIが説明変数として採択されており、第四主成分には相対的に局所的な変動である石川県沖の水温が採択された。これらから、浮魚類資源の変動に対しては、全球規模の長周期な環境変動の影響が支配的であり、それに比較的短周期の局所的な環境変動の影響が加わっていると考えられる。魚類相のシフト等、中長期的な変動を考えるにあたっては広範囲の環境変動の影響が大きい。一方、漁獲量予測等で求められる短期的な変動を考えるにあたっては、局所的な水温変動や周辺海域の水塊配置等のローカルな環境変動も一定の影響をもつと考えられる。

**課題と展望** 今回の解析では漁獲量や変動要因となる環境変数について、年平均値を用いて解析を行った。しかし、たとえば海面の水温は、日本海中部では冬季に、日本海南部では秋季に上昇率が大きくなっている<sup>12)</sup>などの季節的な変動の違いがある。また、暦年区切りで集計した漁獲量を利用しているため、特に主漁期が冬期であるぶり類等の魚種については、短期的な経年変動が正確に解析できていないことが考えられる。本論文では、長期的な魚類相と海洋環境との関連について、俯瞰的にまとめて今後の研究の下地となる知見を発掘することを目的としたため、簡潔のためにすべて年単位のデータに統一して解析した。今後本研究をさらに発展させていく際には、魚種ごとの産卵期の違いや環境データの季節性にも留意した解析を行っていくことで、さらに詳細な因果関係について論じることが可能となるだろう。

**結論** 石川県周辺海域の定置網の漁獲量から魚類相の変動を抽出したところ、約10年周期で魚類相がシフトしていた。一方で、それよりも長い周期で、より大きな魚類相のシフトが起こっていることも示唆された。重回帰分析からは、石川県の魚類相の変動に対しては東シナ海南部の水温変動が最も大きく寄与しているという結果が得ら

れ、石川県の定置網で漁獲される多くの魚種の産卵場となっている東シナ海海域が実際に石川県の魚類相に対して大きな影響をもっていることが示唆された。また、他に寄与の高かった環境要因としては全球規模の環境要因が多く、ローカルな魚類相の変動に対してもグローバルな環境変動が大きく影響していることが明らかになった。

今回の結果は、石川県沿岸という狭い目で見えた魚類相について考える際にも、石川県周辺だけでなくより広範囲の環境条件について検討する必要があることを示しており、今後の研究においてはそのような点を念頭に入れて進めていくことが求められる。

## 謝 辞

本論文の査読にあたって、有益なコメントを多くいただいた九州大学応用力学研究所の千手智晴准教授にこの場をお借りして御礼申し上げます。また、本研究に利用したデータの一部は、「我が国周辺水産資源調査・評価等推進委託事業」により得られました。

## 文 献

- 1) 石川県農林水産部水産課: 海面漁業・海面養殖業漁業種類別生産量。「石川県水産統計指標」, 2015, p.26-27.
- 2) 川崎健, 花輪公雄, 谷口旭, 二平章: レジーム・シフト-気候変動と生物資源管理-. 成山堂書店, 2007, p216.
- 3) Takasuka, A., Y Oozeki, I. Aoki: Optimal growth temperature hypothesis: Why do anchovy flourish and sardine collapse or vice versa under the same ocean regime?. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 2007, **64**, p.768-776.
- 4) Tian, Y., K. Uchikawa, Y. Ueda, J. Cheng: Comparison of fluctuations in fish communities and trophic structures of ecosystems from three currents around Japan: synchronies and differences, *ICES J. Marine Sci.*, 2014, **71**, P.19-34.
- 5) 気象庁: 各種データ・資料. 気象庁ホームページ, <http://www.jma.go.jp>, (2016年9月14日閲覧).
- 6) R Core Team: R: A language and environment for statistical computing, R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria(2016).

- 7) 田永軍, 赤嶺達郎, 須田真木: 北西太平洋におけるサンマ資源の長期変動特性と気候変動. 水産海洋研究, 2002, **66**, p.16-25.
- 8) 村山達朗: 日本海におけるブリの資源生態に関する研究. 島根水試研報, 1992, **7**, p.1-64.
- 9) Sassa, C., Y. Konishi, K. Mori: Distribution of jack mackerel (*Trachurus japonicus*) larvae and juveniles in the East China Sea, with special reference to the larval transport by the Kuroshio Current, *Fish. Oceanogr.*, 2006, **15**, p.508-518.
- 10) Yukami, R., S. Ohshimo, M. Yoda, Y. Hiyama: Estimation of the spawning grounds of chub mackerel *Scomber japonicus* and spotted mackerel *Scomber australasicus* in the East China Sea based on catch statistics and biometric data, *Fish. Sci.*, 2009, **75**, p.167-174.
- 11) 森賢: スルメイカ冬期発生系群の初期生態と資源変動機構に関する研究. 北海道大学博士号論文, 2006, p.172.
- 12) 気象庁: 日本近海の海面水温. 「海洋の健康診断表 総合診断表 第2版」, 2013, p.41-51.

【論文】

## 手取川におけるアユの遡上量予測

増田 泰隆<sup>1\*</sup>

アユの河川遡上尾数は年変動が大きいいため、資源を安定して確保するためには、遡上尾数に応じた適正な規模の種苗放流を行うことが重要である。そこで、アユの遡上尾数の予測手法を検討する目的で、石川県最大の河川である手取川における遡上量調査、産卵量調査の結果と、河川・沿岸環境データを用いて相関分析を行った。推定遡上尾数と相関がみられたのは前年の主群降下時の河川流量および前年10月の沿岸水温であり、この二つの環境要因がアユの遡上に大きく影響していることが示唆された。また、上記の2変数を説明変数、遡上尾数を目的変数とした重回帰分析を行ったところ、有意な重回帰式が得られ遡上尾数を早期に見積もることが可能となった。

アユは地域の人々の生活に結びついた重要な内水面漁業資源に位置づけられる。石川県加賀地方では、藩政時代に武士の特権であった伝統的なアユの毛針釣りが現在に受け継がれて、初夏の風物として親しまれている。アユ資源を増殖するため、多くの河川では種苗放流と併せて再生産の促進を目的とした禁漁区・禁漁期の設定、産卵場造成、親魚放流などが行われている。しかしアユの河川遡上尾数は年変動が大きいいため、安定した資源を確保するためには早期に遡上尾数を予測して、適正な規模の種苗を放流する必要がある。アユの遡上尾数はこれまでに、稚魚降下期の海水温<sup>1-2)</sup>、産卵期の河川水温と濁度<sup>3)</sup>、産卵期の河川流量と稚魚降下期の海水温<sup>4)</sup>、稚魚降下期の海水温、餌料生物量<sup>5)</sup>、稚魚降下期の海水温、餌料生物量、カタクチイワシの仔魚数<sup>6)</sup>を用いて推定されているが、これらの多くは太平洋側の河川を対象としたものであり日本海側の河川を対象とした報告はほとんどみられない。本研究では、石川県最大の河川である手取川において、アユの遡上尾数を推定し、産卵数及び河川・沿岸環境データとの関係を調べるとともに、これらのデータを用いた遡上尾数の予測方法を検討した。

### 材料および方法

手取川でのアユの産卵期は10月上旬～11月中旬、降下期は10月中旬～11月下旬であり、翌年4月上旬～6月下旬に河川に遡上する。このことから、2000～2013年の10月～翌年6月の期間に、図1に示す手取川下流と河口周辺海域で、産卵数、河川・沿岸環境、遡上尾数のデータを収集した。

**産卵数の推定** 手取川河口から手取川橋まで約4 kmの区間(図1)を対象に、目視で産卵場を探索し、形状をメジャーで計測して産卵場面積を算出した。次に、各産卵場の1点または2点に調査枠を設置し、枠内の卵を砂礫ごと採取して持ち帰り卵数を計数した。調査枠は2000年は方形枠(10×10 cm)を用いたが、採集効率を高めるため2001年は直径13 cmの円形枠、2002年以降は直径8 cmの円形枠を用いた。産卵場内の産卵数は、枠取り結果を産卵場面積に引き延ばして求めた。産卵場調査は、10～11月に旬1回の頻度で実施し、一度確認された産卵場は重複を避けるため孵化が完了する2旬後まで調査対象から除外した。調査期間に確認されたすべての産卵場の産卵数の合計を、その年の産卵数の指標として用いた。なお、2005年は産卵期の出水のため調査データが得られなかった。

**河川流量** 各年の産卵量調査結果を基に、産卵数が最も多い旬を主産卵期として、それらの降下時期の河川流

2018年7月12日受理

キーワード: 手取川, アユ, 遡上量予測

<sup>1</sup> 石川県水産総合センター内水面水産センター (〒922-0134 石川県加賀市山中温泉荒谷町口100)

\* Tel: 0761-78-3312, Fax: 0761-78-5756, Email: y-masuda@pref.ishikawa.lg.jp

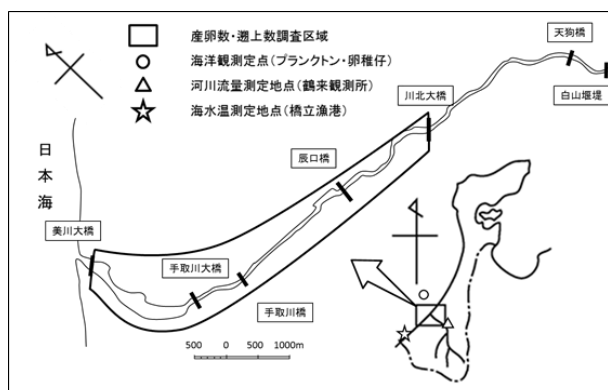


図1. 調査位置図

量(以下主群降下時河川流量)を指標に用いた。主群の降下時期は、ふ化までの積算水温(250°C)<sup>7)</sup>と10月の手取川下流の水温(15°C前後)から、産卵から降下に約20日を要すると見積られること、産卵場から河口までの距離が10 km以内と近く、ふ化後1日以内に降下すると考えられることから、主産卵期から2旬後とした。流量データは、国土交通省水文学データベースより提供される金沢河川国道事務所鶴来観測所(図1)の日流量を用いた。**沿岸水温およびプランクトン量** 沿岸水温は、10~3月の毎9時に加賀市橋立漁港内(図1)に設置したデータロガー(㈱ティアンドデイ RTR502/TR5530)で計測した水面下1.5 mの水温の月平均値を用いた。また、資源評価調査委託事業により、手取川河口北北西約17 km 沖合の定点(稚治二春-6b線, 定点34)で4~6月に各月1回行われた改良型ノルパックネットによる海底直上から海面までの鉛直曳きの調査結果から、単位ろ水量あたりプランクトン重量(動物プランクトンと植物プランクトンの合計重量)とイワシ類卵稚仔数(マイワシ・カタクチイワシ・ウルメイワシ

シの卵と仔魚の合計数)の平均を求め、それぞれ餌料生物量と餌料競合生物量の指標として用いた。

**遡上尾数の推定** 手取川では河口から約14 km上流の白山堰堤まで天然魚が遡上する。この区間では平成28年5月まで河口から約10 kmの地点から上流域に漁業権が設定されていたが、平成28年6月以降河口まで漁業権区域が延長されている。天然魚の遡上尾数は、図1に示す河口から川北大橋まで約10 kmの区間(以下調査区間)で行われた標識放流調査結果<sup>8)</sup>を用いて、ピーターセン法により推定した。ピーターセン法の適用には、個体群の加入や移出が無視できること、人工生産魚が天然魚と同じ確率で採捕されることが必要条件となる。手取川での天然アユの遡上は6月下旬まで続くが、ピークは4月下旬から5月上旬<sup>9)</sup>であり、当調査における標識魚の主再捕日である解禁日(6月16日)には、遡上による加入は無視できるとした。一方で調査区間と漁業権設定区間の間では放流魚や天然魚の移出入が予想される。しかし、ここでは標識魚が遡上区間全域で天然魚と均等に混じりあい同じ確率で採捕されるものとして、調査区間の捕獲データを用いて天然魚の遡上尾数を推定した。

**遡上尾数の変動要因とその予測** 当年のアユの推定遡上尾数と、前年の産卵数、前年から当年の河川・沿岸環境データ(主群降下時河川流量, 月平均沿岸水温, 河口沖合での餌料生物量と餌料競合生物量)の相関分析を行い、遡上尾数に影響する要因について調べた。得られた相関関係をもとに重回帰分析を行って遡上尾数の予測を試みた。統計解析には、統計ソフトウェアRを用いた。

表1 推定遡上尾数・産卵数・環境データ

年	推定遡上尾数 (千尾)	産卵数 (千粒)	主群降下時河川 流量 (m <sup>3</sup> /s)	沿岸水温 (°C)						イワシ類卵 稚仔 (個/m <sup>3</sup> )	プランクトン (g/m <sup>3</sup> )
				10月	11月	12月	1月	2月	3月		
	Y	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	X <sub>5</sub>	X <sub>6</sub>	X <sub>7</sub>	X <sub>8</sub>	X <sub>9</sub>	X <sub>10</sub>
2001	1,898	22,687	156.9	21.6	17.2	13.5	10.2	9.4	10.0	0.1	0.7
2002	1,633	64,789	89.7	20.5	17.0	13.5	11.4	10.5	11.2	6.4	1.2
2003	1,304	51,419	207.1	21.3	16.3	13.0	10.6	10.0	9.9	1.0	0.6
2004	605	136,630	29.2	20.5	17.3	13.9	11.2	10.2	10.7	29.2	0.5
2005	1,436	-	-	20.9	18.4	14.7	11.9	10.1	10.3	1.7	3.9
2006	1,795	46,044	69.8	20.8	17.0	12.7	9.7	9.1	9.6	7.2	0.9
2007	1,670	177,236	72.4	20.5	17.2	13.4	11.5	11.0	10.9	55.9	0.6
2008	5,249	140,348	328.2	21.6	17.1	13.4	10.7	9.3	10.2	8.3	4.6
2009	1,363	298,099	57.4	21.2	17.4	14.7	11.0	10.7	11.0	3.8	0.4
2010	2,628	275,138	341.8	20.6	17.2	13.5	11.1	9.3	10.0	25.4	1.1
2011	5,455	289,313	421.6	22.6	17.1	14.3	11.0	10.1	10.0	10.3	0.9
2012	2,238	242,657	84.7	21.2	18.8	13.9	10.8	9.3	10.2	0.5	2.2
2013	2,579	917,512	96.8	22.8	17.3	13.2	10.4	9.3	10.3	12.8	6.0

産卵数, 主群降下時河川流量, 10~12月水温は前年の値

表2 推定遡上尾数・産卵数・環境データの相関行列

	Y	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	X <sub>5</sub>	X <sub>6</sub>	X <sub>7</sub>	X <sub>8</sub>	X <sub>9</sub>	X <sub>10</sub>
Y	—	0.183	0.823**	0.604*	0.006	0.134	-0.045	-0.305	-0.339	-0.146	0.446
X <sub>1</sub>		—	-0.015	0.633*	0.221	0.103	-0.028	-0.165	0.054	0.073	0.701*
X <sub>2</sub>			—	0.407	-0.264	0.076	0.041	-0.270	-0.468	-0.118	0.118
X <sub>3</sub>				—	0.001	0.125	-0.355	-0.319	-0.351	-0.388	0.586*
X <sub>4</sub>					—	0.407	0.096	-0.202	0.117	-0.064	0.172
X <sub>5</sub>						—	0.511	0.451	0.463	-0.053	-0.249
X <sub>6</sub>							—	0.736**	0.754**	0.549	-0.240
X <sub>7</sub>								—	0.786**	0.458	-0.493
X <sub>8</sub>									—	0.349	-0.111
X <sub>9</sub>										—	-0.144
X <sub>10</sub>											—

表中の略号は表1を参照

### 結果および考察

推定遡上尾数と産卵数および河川・沿岸環境データを表1に示した。推定遡上尾数は605~5,455千尾、産卵数は22,687~917,512千粒と推定され、いずれも大きな年変動を示した。主群降下時の河川流量は29.2~421.6 m<sup>3</sup>/sの範囲で年によって大きく変動した。沿岸水温はいずれの年も10月から1月に約10°C前後低下し、1~3月は10°C前後で横ばいに推移した。イワシ類卵稚仔数は大部分をカタクチイワシが占め、0.1~55.9個体/m<sup>3</sup>の範囲にあった。プランクトン重量は1 g/m<sup>3</sup>前後の値が多くみられた。

推定遡上尾数・産卵数・環境データの相関行列を表2に示した。推定遡上尾数と有意な相関があったのは主群降下時の河川流量 (r = 0.823, p < 0.01) と10月の沿岸水温 (r = 0.604, p < 0.05) の2つであった。その他には、産卵数と10月の沿岸水温 (p < 0.05) および翌春のプランクトン重量 (p < 0.05) ,10月の海水温と翌春のプランクトン重量 (p < 0.05) ,1月の沿岸水温と2月の沿岸水温 (p < 0.01) ,1月の沿岸水温と3月の沿岸水温 (p < 0.01) ,2月の沿岸水温と3月の沿岸水温 (p < 0.01) にそれぞれ有意な正の相関がみられた。

以上の相関分析により、手取川においてアユの遡上に影響すると考えられる主群降下時の河川流量および10月の沿岸水温の2つを説明変数(それぞれF,T)とし、推定遡上尾数を目的変数(Y)として重回帰分析を行ったところ、以下に示す有意な重回帰式が得られた。これらの統計量を表3に示した。

$$Y = -11,997 + 7.9 F + 614.9 T$$

( R<sup>2</sup> = 0.763, p = 0.002)

表3 重回帰分析結果

変数	係数	標準誤差	t値	p値
切片	-11,997.0	7,090.8	-1.692	0.125
10月海水温 (T)	614.9	339.3	1.812	0.103
主群降下期河川流量(F)	7.9	2.0	3.897	0.004

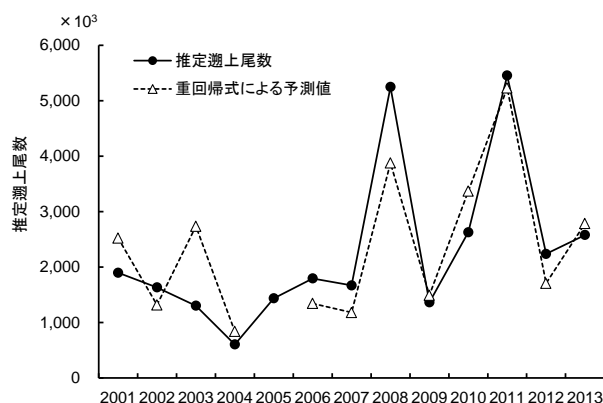


図2. 推定遡上尾数と重回帰式による予測値の比較

重回帰式による予測値と推定遡上尾数を比較すると2003年、2008年は両者の開きが大きくなっているが、2009年以降は予測値が推定遡上尾数の変動をよく表していた(図2)。河川流量の変動は孵化直後の遊泳力の弱いアユ仔稚魚の降海や、河口域での残留・分散に関与することが報告されており<sup>6,10)</sup>、手取川では主群降下時の河川流量の増加が仔稚魚の生残に有利に働いた可能性が考えられる。一方、アユの初期生残率は飼育水温の影響を強く受け、海産系アユ仔魚の海水飼育試験では23°C以上で生残率が低下するとされている<sup>11-13)</sup>。10月の沿岸水温は23°C未満の適水温内にあったが、この期間の高めの水温分布は降下直後、海洋生活初期の稚魚の成長を促し生残を高めた可能性が考えられる。また、11~3月の沿岸水温よりも10月の沿岸水温の影響が大

きいことは、早期に生まれた稚魚の初期生残が資源形成に大きく影響する可能性を示唆していると考えられる。

今回帰式によって翌年の遡上尾数を早期に見積もることが可能となった。遡上尾数の予測結果は、適正な放流規模の決定に重要な役割を果たすと期待される。今後は標識放流による遡上尾数推定を再開して、今回求めた予測式の検証を行うとともに、変数に用いるデータの精度向上や他の要因の探索によって予測式の改善に努めたい。

12) 坂野博之, 内田和男: 異なる給餌と水温条件が汽水環境下で飼育したアユふ化仔魚の成長に与える影響. 日水誌, 2011, **77**, p.237-239.

13) 岸野 底, 四宮明彦, 寿 浩義: リュウキュウアユ仔魚の水温・塩分耐性に関する生残実験. 魚類学雑誌, 2008, **55**, p.1-8.

## 文 献

- 1) 中村智幸, 糟谷浩一: 栃木県那珂川における両側回遊型アユの遡上日と遡上群数の予測. 日水誌, 2004, **70**, p.288-296.
- 2) 山本祥一郎: アユの遡上量を予測する. 中央水産研究所主要成果集, 2008, **6**, p.19..
- 3) 嶋田啓一, 後藤浩一, 山本一生, 和田吉弘: 長良川における稚アユ遡上量の予測に関する検討. 日水誌, 2006, **72**, p.665-672.
- 4) 吉村研人, 高橋陽一, 山口和好: 長良川における稚アユ遡上量予測に関する一考察. 平成29年度中部地方整備局内事業研究発表会, 2017.
- 5) 浦部真治, 竹門康弘, 角哲也: 淀川におけるアユ遡上尾数の変動要因解析に基づいた将来予測モデルの検討. 京都大学防災研究所年報, 2016, **59(B)**, p.557-569.
- 6) 岐阜県農政課水産振興室: 長良川における天然アユの遡上量予測について. 平成24年度長良川河口堰調査検討会岐阜県資料, 2013.
- 7) 川本信之: 養魚学各論 改訂三版, 厚生社厚生閣, 1978, p.238-239.
- 8) 石川県水産総合センター: 平成13~25年度石川県水産総合センター事業報告書 手取川遡上アユ資源量調査, 2001-2015.
- 9) 石川県水産総合センター: 平成22~25年度石川県水産総合センター事業報告書 手取川アユ初期遡上状況調査, 2012-2015.
- 10) 東健作, 平賀洋之, 木下泉: 降下仔アユの海域への分散に及ぼす降水量の影響. 日水誌, 2003, **69**, p.352-358.
- 11) 田畑和男, 東幹夫: 海産,湖産系および湖産アユ仔魚の海水飼育における生残特性. 兵庫県水産試験場研究報告, 1986, **24**, p.28-36.



【論文】

## 水生生物によるドジョウ稚魚の捕食

石山 尚樹<sup>1\*</sup>

耕作放棄地を利用した養殖池における水生生物によるドジョウ稚魚の食害を検討するため、石川県内の19カ所の養殖池で水生生物採集調査を行い、さらに6種類の水生生物のドジョウ稚魚(全長18 mm前後)に対する食害の程度を水槽実験により調べた。採集調査では、15科1,366個体の水生生物が確認され、ドジョウ稚魚を食害する可能性のあるヤンマ科とトンボ科の幼虫では抽水植物のある池でのみ採集された。水槽実験の結果からマツモムシ、シオカラトンボ幼虫、ギンヤンマ幼虫、アメリカザリガニが主要な食害生物であると推察された。これらの水生生物による食害を防ぐには、養殖池周囲への仕切板の設置による侵入阻止や、養殖池への消石灰の散布による駆除、水生生物の足場や産卵場所となる抽水植物の除去などの対策が重要である。

石川県では金沢を中心に明治時代からドジョウの蒲焼きを食べる習慣がある。近年では、蒲焼きに使われる大半のドジョウは県外産の天然魚や養殖魚であり、地産地消や地域ブランド化への取り組みが強まるなかで、県内産のドジョウを使用した蒲焼きの復活を望む声が高まっている。石川県水産総合センターでは蒲焼き用の県内産ドジョウ *Misgurnus anguillicaudatus* の供給拡大と耕作放棄地の有効活用を目的として、2009年から耕作放棄地を利用した養殖池でのドジョウ養殖の普及に取り組んでいる。しかし、これらの養殖池ではドジョウの脱出とともに、ヤゴやアメリカザリガニなどの水生生物による食害が大きな問題となっている。

養殖池に生息する昆虫は養殖対象種の生残に大きな影響を及ぼすことが報告されている<sup>1-2)</sup>。ラオスのコイ科魚類の種苗生産池では、マツモムシなどの昆虫による稚魚の食害が問題となっており、稚魚の大きさが捕食リスクに深く関わることを報告されている<sup>3)</sup>。Gonzales and Leal<sup>4)</sup>は、トンボ科幼虫、イトトンボ科幼虫、ガムシ幼虫、マツモムシ科、ミズムシを用いて、コイ稚魚に対する食害実験を行い、トンボ科幼虫とマツモムシ科では稚魚の捕食数が多く、体長が大きくなるほど両生物の捕食能力も高いことから、種苗生産池からこれらを駆除することが重要

であることを指摘している。

水田を改変したドジョウ養殖池は、恒久的水域である溜め池と、一時的水域である水田がそれぞれ持つ昆虫の生息環境としての役割をある程度併せ持つ水域である<sup>5)</sup>ため、トンボやゲンゴロウなどの昆虫が多く生息する。ドジョウ稚魚を食害する生物としては、ゲンゴロウ、トンボの幼虫、マツモムシなどの昆虫<sup>6-7)</sup>やヌマエビ<sup>7)</sup>が報告されているが、アメリカザリガニの影響は述べられていない。県内のある養殖場ではアメリカザリガニが多く捕獲できる一方で、ドジョウがほとんどいない事例がある。そこで、本報告では水生生物によるドジョウ稚魚の食害を検討するため、養殖池における水生生物の生息実態を採集調査で明らかにし、主要な水生生物のドジョウ稚魚に対する捕食の程度を室内での水槽実験により評価した。

### 材料および方法

**採集調査** 2015年および2016年の10~11月に図1に示す19カ所の養殖池でたも網(網幅50 cm, 目合3 mm)を用い、各池の適当な5地点でたも網を池底に着けて2 m曳網して水生生物を採集した。入網した水生生物は種毎に、種が特定できない場合は属あるいは科毎に採集尾

2018年8月23日受理

キーワード: ドジョウ, 養殖池, 食害生物, 抽水植物

<sup>1</sup> 石川県水産総合センター内水面水産センター (〒922-0134 石川県加賀市山中温泉荒谷町口100)

\* Tel: 0761-78-3312, Fax: 0761-78-5756, Email: cisiyama@pref.ishikawa.lg.jp

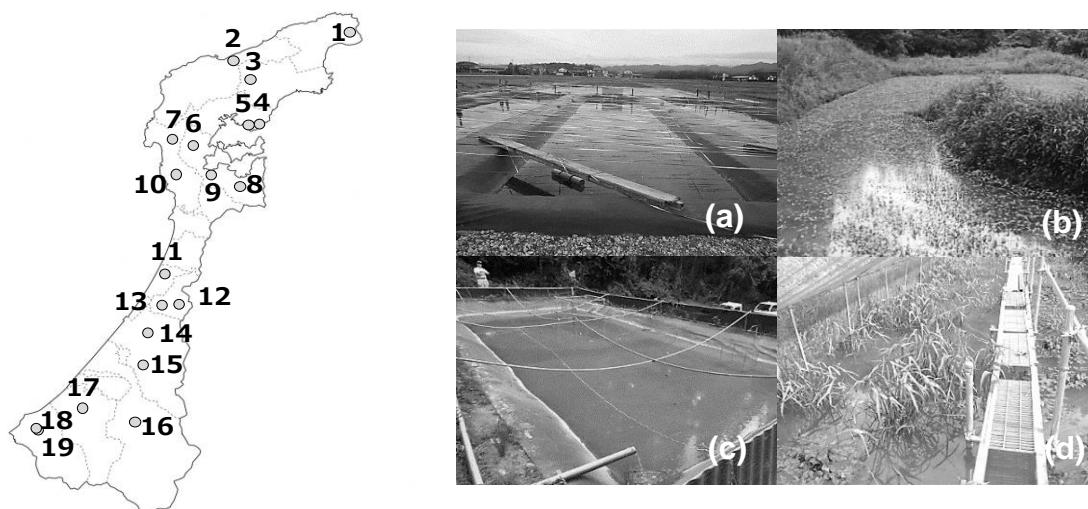


図 1. 採集調査位置とドジョウ養殖池の外観

図中の数字は調査点番号を示す。(a)防虫網なし・抽水植物なし, (b)防虫網なし・抽水植物あり, (c)防虫網あり・抽水植物なし, (d)防虫網あり・抽水植物あり

数を記録した。また、調査中に視認した水生生物の種名、水深、畔の状態、抽水植物の有無、防虫網の有無を記録した。各池の採集データから1曳網あたりの採集数(以下CPUE)を求め、捕食性水生生物とドジョウの採集数、並びに養殖池の環境との関係を調べた。なお、各養殖池では調査した年の6~7月に生産者によって全長15 mm前後のドジョウ稚魚が100尾/m<sup>2</sup>の密度で放養されていた。

**水槽実験** 2015年および2016年の6~11月に石川県水産総合センター内水面水産センター(加賀市山中温泉荒谷町)で水生生物によるドジョウ稚魚の捕食実験を実施した。実験に用いた水生生物は、既報<sup>6,7)</sup>と後述の採集調査結果からドジョウ稚魚の生残に影響する可能性が高い5種(ヒメゲンゴロウ成虫 *Rhantus suturalis*, マツモムシ成虫 *Notonecta triguttata*, シオカラトンボ幼虫 *Orthetrum albistylum*, ギンヤンマ幼虫 *Anax parthenope*, アメリカザリガニ *Procambarus clarkia*)にドジョウ親魚を加えた6種とした。ドジョウ稚魚は内水面水産センターで生産した平均全長18 mmの人工種苗(以下供試魚)を用いた。水生生物1個体と供試魚20尾を1組とし、砂を2 cm程度敷いた実験水槽(幅60 cm×奥行30 cm×高さ36 cm)にこの1組を収容し、供試魚の生残尾数を14日間追跡した。実験水槽の水量を45 L、水温を25°Cに設定し、止水状態でエアレーションした。日長は自然日長とした。実験は各水生生物について5組で行い、実験期間中に水生生物が斃死した場合は、同水生生物の生存期間中における供試魚の生残尾数を集計に用いた。供試魚20尾のみを入れた水槽を対象区とした。実験期間中、供試魚にはブラインシュリンプ *Artemia salina* を1

回あたり平均2万個体、またはブラインシュリンプが培養不調の時は配合飼料を1日2回午前と午後給餌した。

## 結果

**採集調査** 養殖池で採集した水生生物を表1に示した。調査を通じて15科1,366個体の水生生物を採集した。なお、1カ所の養殖池で多数のウシガエル幼生を確認したが、たも網で採集できなかったことから目視のみの記録にとどめた。出現頻度は、ヒメゲンゴロウ(13カ所)、マツモムシ(11カ所)、クロイトトンボ属およびコマツモムシ(9カ所)、コムズムシおよびハイイロゲンゴロウ(8カ所)の順で高く、採集数はクロイトトンボ属(239個体)、マツモムシ(231個体)、アメリカザリガニ(130個体)、コマツモムシ(113個体)、ヒメゲンゴロウ(99個体)の順で多かった。

各養殖池における環境条件と稚魚を食害する可能性のある1種4科の水生生物およびドジョウのCPUEを表2に示した。アメリカザリガニを除く主要4科(ヤンマ科、トンボ科、ゲンゴロウ科、マツモムシ科)のCPUEとドジョウのCPUEの関係(図2)では、両者に有意な相関関係は認められなかった。これらの昆虫の有無によってドジョウのCPUEに差がみられるかをマン・ホイットニーのU検定で調べた。この結果、トンボ科生物が採集された養殖池ではドジョウのCPUEが有意に低かった(図3)。

養殖池の環境条件をみると、19カ所のうち防虫網は13カ所に設置されていた。抽水植物は11カ所にみられ、コナギやオモダカ、イボクサなどが池の一部あるいは全面を覆っていた。防虫網および抽水植物の有無によって上記4科

## 水生生物によるドジョウ稚魚の捕食

表1 ドジョウ養殖池に出現した水生生物

科	和名	学名	出現池数	採集数
ドジョウ科	ドジョウ	<i>Misgurnus anguillicaudatus</i>	16	233
アメリカザリガニ科	アメリカザリガニ	<i>Procambarus clarkii</i>	2	130
イトトンボ科	アオモンイトトンボ属	<i>Ischnura</i> spp.	5	37
	クロイトトンボ属	<i>Paracercion</i> spp.	9	239
モノサシトンボ科	モノサシトンボ	<i>Copera annulata</i>	1	2
ヤンマ科	ギンヤンマ	<i>Anax parthenope</i>	7	84
トンボ科	シオカラトンボ	<i>Orthetrum albistylum</i>	5	32
	ショウジョウトンボ	<i>Crocothemis servilia</i>	1	12
ゲンゴロウ科	ヒメゲンゴロウ	<i>Rhantus suturalis</i>	13	99
	ハイロゲンゴロウ	<i>Eretes sticticus</i>	8	55
	クロズマメゲンゴロウ	<i>Agabus conspicuus</i>	2	3
	コシマゲンゴロウ	<i>Hydaticus grammicus</i>	2	4
	クロゲンゴロウ	<i>Cybister brevis</i>	1	1
	キベリクロヒメゲンゴロウ	<i>Ilybius apicalis</i>	1	1
	ヒメゲンゴロウ属(幼虫)	<i>Rhantus</i> sp.	1	10
ガムシ科	ゴマフガムシ	<i>Berosus punctipennis</i>	2	2
	ヒメガムシ	<i>Sternolophus rufipes</i>	4	7
	コガムシ	<i>Hydrochara affinis</i>	1	1
ミズムシ科	コミズムシ	<i>Sigara substriata</i>	8	24
タイコウチ科	ミズカマキリ	<i>Ranatra chinensis</i>	2	3
コオイムシ科	オオコオイムシ	<i>Diplonychus major</i>	1	1
マツモムシ科	マツモムシ	<i>Notonecta triguttata</i>	11	231
	コマツモムシ	<i>Anisops ogasawarensis</i>	9	113
コカゲロウ科	コカゲロウ類	Baetidae	3	21
アカガエル科	ツチガエル(幼生)	<i>Rana rugosa</i>	4	20
	ウシガエル(幼生)	<i>Rana catesbeiana</i>	1	-
イモリ科	アカハライモリ	<i>Cynops pyrrhogaster</i>	1	1

- : 目視で確認

表2 調査点の情報と主要種の採集結果

調査点	日付	CPUE(個体数/曳網)					水深 (cm)	抽水植物	防虫網	
		ドジョウ	アメリカザリ ガニ	ヤンマ科	トンボ科	ゲンゴロウ科				マツモムシ科
1	2015年10月14日	0	0	9.8	2.4	0.8	1.6	21	○	×
2	2015年10月15日	2.8	0	0	0	2.2	2.2	18	×	○
3	2015年10月15日	0.4	0	1.6	0.2	2.0	3.6	16	○	×
4	2015年10月14日	1.6	0	0	0	0	0	50	○	○
5	2015年10月14日	1.6	0	0	0	0	11.4	22	×	○
6	2015年10月15日	1.2	0	0.2	0	0.6	0.2	13	○	○
7	2016年10月21日	2.0	0	0	0	0	0	51	○	○
8	2015年10月21日	7.8	0	3.0	0	2.6	0.8	28	○	×
9	2016年10月21日	1.2	0	0	0	0.4	8.2	45	×	○
10	2015年10月20日	0.8	0	0	0	0.6	0	40	×	○
11	2016年10月27日	0	0	1.8	1.8	0.8	0.2	91	○	○
12	2016年10月27日	0.4	0	0	1.6	0.6	4.2	15	○	○
13	2015年10月20日	0	25.4	0	0	0.6	1.4	20	×	×
14	2015年10月21日	1.2	0.6	0	0	0.2	0	13	×	○
15	2016年11月08日	0.6	0	0	0.2	1.0	31.0	21	○	○
16	2015年10月22日	12.0	0	0	0	0	0	10	○	×
17	2015年11月11日	0.2	0	0.4	2.6	12.4	3.2	9	○	○
18	2015年11月04日	6.4	0	0	0	0.4	0	15	×	○
19	2015年11月11日	6.4	0	0	0	9.4	0.8	32	×	×

○: あり、×: なし

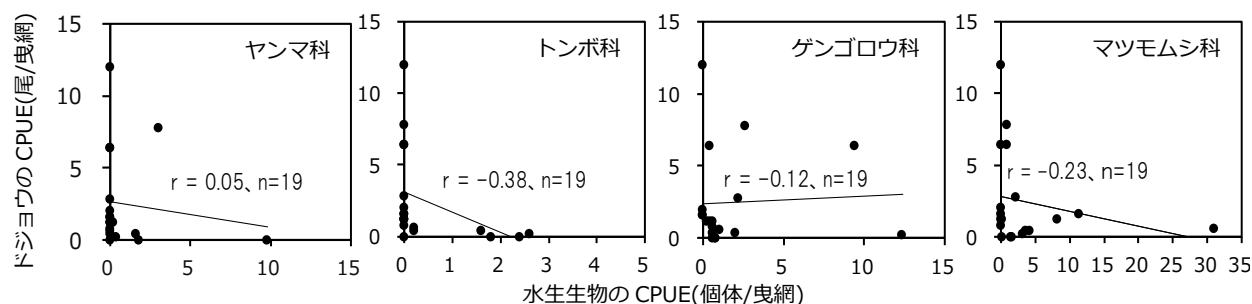


図2. 水生生物主要4科のCPUEとドジョウのCPUEの比較 rは相関係数, nは調査点数を示す。

の水生生物の CPUE に差がみられるかを, U 検定で調べた。ただし, ヤンマ科とトンボ科は抽水植物のある池でのみ採集されたため検定から除外した。この結果, 防虫網の有無および抽水植物の有無によって水生生物の CPUE に差は認められなかった(図4)。

**水槽実験** 実験に用いた供試魚と水生生物の大きさを表3に示した。供試魚の全長は実験開始時には 16~19 mm であったが, 終了時には 26~33 mm に成長した。試験区毎の供試魚の平均生残率の推移を図5に示した。対照区の生残率は実験終了時までほぼ 100%で推移し, 14日目には 98%であった。ドジョウ親魚区およびヒメゲンゴロウ区では, 供試魚は 1~2 尾しか捕食されず, 対照区と同様に生残率はほぼ 100%で推移し, 14 日目でそれぞれ 96%と 97%であった。シオカラトンボ区は 7 日目に 63%, マツモムシ区では 8 日目に 79%に低下し, その後はほぼ横ばいで推移した。なお, マツモムシとシオカラトンボは全体的に実験後半から動きが緩慢になる傾向がみられ, マツモムシは 13 日目, シオカラトンボは 12 日目にそれぞれ 1 尾が死亡した。ギンヤンマ区は 3 日目に 51%に低下し, その後は徐々に低下した。アメリカザリガニ区では, 生残率は実験開始 3 日目に 22%に低下し, その後は低下が緩やかとなった。

表3 供試生物の全長

試験区	ドジョウ稚魚の全長(mm)		水生生物全長(mm)
	開始時	終了時	
対照区	17±6	27±6	
ドジョウ親魚区	19±2	33±6	111±6
ヒメゲンゴロウ区	16±2	26±3	11±0
マツモムシ区	16±1	27±1	13±0
シオカラトンボ区	17±2	31±2	21±1
ギンヤンマ区	17±8	33±6	31±8
アメリカザリガニ区	16±2	33±2	31±4*

数字は平均値±標準偏差を示す。

\*は頭胸甲長(mm)を示す。

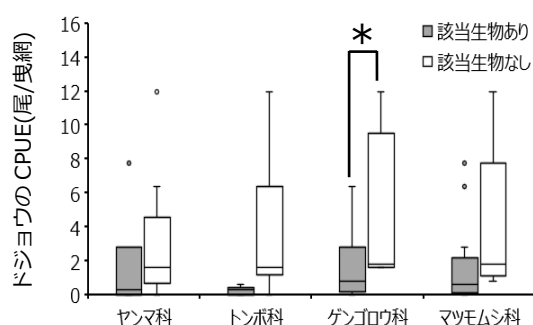


図3. 主要4科の有無によるドジョウのCPUEの比較

エラーバーは四分位範囲の 1.5 倍の長さ, 箱の上辺と下辺は第 1 および第 3 四分位, 箱内の線は中央値, 点は外れ値を示す。\*は有意 ( $p < 0.05$ ) であることを示す。

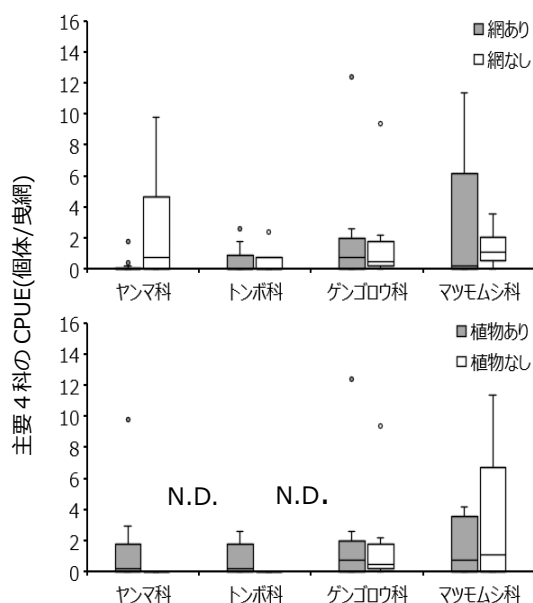


図4. 防虫網および抽水植物の有無による主要4科のCPUEの比較

エラーバーは四分位範囲の 1.5 倍の長さ, 箱の上辺と下辺は第 1 および第 3 四分位, 箱内の線は中央値, 点は外れ値を示す。N.D.は採集されなかったことを示す。

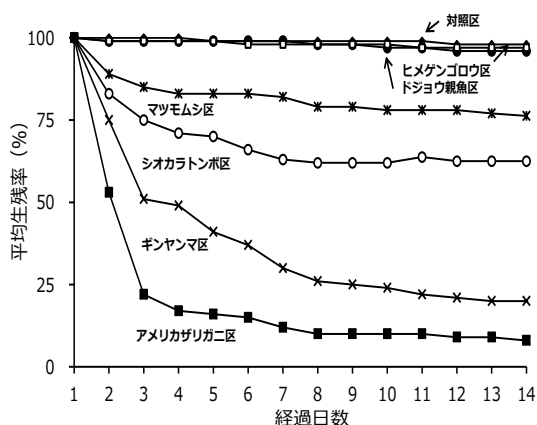


図 5. ドジョウ稚魚の生残率の推移

水生生物が斃死した水槽を含めた 14 日目のドジョウの生残数を図 6 に示した。生残数は、対照区、ヒメゲンゴロウ区、ドジョウ親魚区、マツモムシ区、シオカラトンボ区、ギンヤンマ区、アメリカザリガニ区の順で多かった。これらの各試験区の生残数に差がみられるかどうかを等分散を仮定しない Games-Howell 検定で調べたところ、対照区、ドジョウ親魚区、ヒメゲンゴロウ区で有意差は認められなかった(図 6)。また、対照区とマツモムシ区、シオカラトンボ区、ギンヤンマ区、アメリカザリガニ区との間で有意差が認められた。

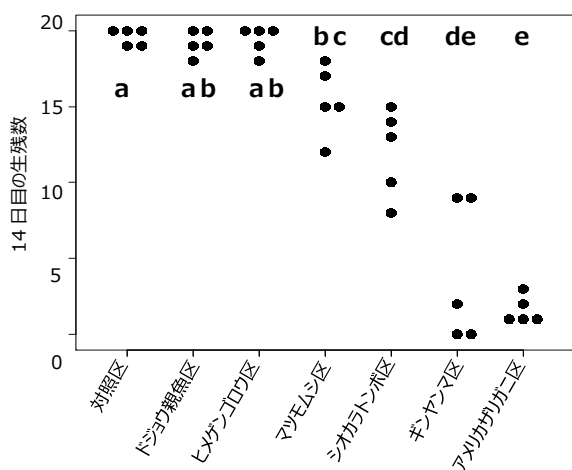


図 6. 14 日目における各組のドジョウ稚魚の生残数  
同じアルファベットを含まない試験区間に有意差 ( $p < 0.05$ ) があることを示す。

## 考 察

養殖池のドジョウの生息密度は食害以外に池からの脱出でも変動することから、ドジョウの CPUE は水生生物による食害の影響のみを反映したものではない。しかし、養殖池における水生生物の CPUE とドジョウの CPUE を比較

した結果、トンボ科 2 種(シオカラトンボ、ショウジョウトンボ)が生息する養殖池では、生息しない養殖地と比較してドジョウの CPUE が有意に低かった。また、アメリカザリガニは 19 カ所中 2 カ所でのみ採集されたが、アメリカザリガニの CPUE が高かった 1 カ所ではドジョウは全く採集されなかった。水槽実験では、ドジョウ稚魚の生残率は、アメリカザリガニ、ギンヤンマ、シオカラトンボ、マツモムシの順で低かった。これらを考慮すると、耕作放棄地を改変したドジョウ養殖池では、アメリカザリガニ、ギンヤンマ、シオカラトンボ、マツモムシが主要な食害生物であると推察される。なかでもアメリカザリガニはドジョウ稚魚に対する捕食圧が最も大きいことから、本種が分布する地域では、ドジョウ稚魚を放す前に消石灰を散布して駆除するほか、周囲の水域からの侵入<sup>8)</sup>を防ぐため養殖池の周囲に仕切板を設置するなどの対策が必要と考えられる。

養殖池の環境と水生生物の関連をみると、ヤンマ科のギンヤンマとトンボ科のシオカラトンボは抽水植物がある養殖池でのみ採集された。ギンヤンマは植物組織内に産卵する習性があるため<sup>9)</sup>、抽水植物のある養殖池に出現したと考えられるが、腹部の先端を水面につけて産卵するシオカラトンボが抽水植物のある養殖池にのみ出現した要因は明らかではない。Sana *et al.*<sup>10)</sup>は、構造物が存在することで、マツモムシの仲間 *A. bouvieri* が水生生物をより多く捕食することを報告している。水槽実験では、マツモムシやギンヤンマが加温器具のコードにつかまる様子が頻りに観察されており、養殖池でも水生生物が抽水植物や沈水植物を足場にして捕食量を増やしている可能性が考えられる。これらのことから、養殖池の除草はこれらの昆虫による食害を防ぐ対策として重要性が高いといえよう。

一方、現状の防虫網に関しては、水生生物の防除効果は低いと判断された。この原因としては、養殖池に水を入れた後に防虫網を設置する例があること、網の目合いが大きいこと、さらに網の固定が不十分で強風でめくれる例が多くみられたことがあげられる。防虫網の効果を高めるためにはこれらの改善が必要である。

アメリカザリガニとギンヤンマは全長 18 mm 前後の稚魚に対する捕食圧が著しく高いことが確かめられた。シオカラトンボとマツモムシも全長 18 mm 前後の稚魚に対する食害が大きい。試験開始(放養後)7,8 日目になると捕食圧が低下することがわかった。ドジョウ稚魚の生残率を向上させるために、今後、これら捕食性水生生物によるドジョウ稚魚の食害を対サイズ別に調べて、適正な放養サイズを検証したい。

文 献

- 1) Adeyemo, A.A., Yakubu, A.F., Oladosu, G.A., Ayinla, O.A: Predation by aquatic insects on African catfish fry. *Aquaculture International*, 1997, **5**, p.101-103.
- 2) Edwards, P., D. Little, A. Yakupitiyage: A comparison of traditional and modified inland artisanal aquaculture systems. *Aquaculture Research*, 1997, **28**, p.777-788.
- 3) 佐野幸輔: ラオスにおけるコマツムシ属(半翅目:マツモムシ科)による養殖種苗の食害の実態. 博士論文, 東京大学, 2011.
- 4) González, A. V., and J. M. Leal: Predation potential of some aquatic insects (*Pantala*, *Coenagrion*, *Tropisternus*, *Notonecta* and *Sigara*) on common carp fry. *Journal of applied Aquaculture*, 1995, **5(1)**, p.77-82.
- 5) 西城洋: 止水性水生昆虫の生活史における養魚水田の役割. 日本生態学会誌, 2002, **52**, 155-165.
- 6) 鈴木亮: 図解/ドジョウの養殖, 緑書房, 1982, p.68.
- 7) 横松芳治: ドジョウの種苗生産試験. 大分県海洋水産研究センター事業報告, 1993, p.10-11.
- 8) 荻部治紀, 西原昌吾: エビ・カニ・ザリガニ-淡水甲殻類の保全と生物学(川井唯史,中田和義), 生物研究社, 2011, p.315-328.
- 9) 高木良吉: 改訂 トンボの調べ方(日本環境動物昆虫学会, 生物保護とアセスメント手法研究部会), 文教出版, 2010.
- 10) Saha, N., G. Aditya, A. Bal, and G.K. Saha: Influence of light and habitat on predation of *Culex quinquefasciatus* (Diptera: Culicidae) larvae by the waterbugs (Hemiptera: Heteroptera). *Insect science*, 2008, **15(5)**, p.461-469.

【論文】

## モズク胞子体(成体)の生長および光合成に及ぼす LED光照射の影響

山岸 大<sup>1\*</sup>

モズクの養殖生産に向けた発光ダイオード(LED)光源の利用法について検討するため,青色,緑色,赤色LEDおよび白色蛍光灯の照射がモズクの生長,成熟および光合成に与える影響を調査した.モズクの重量増加率と光合成速度は青色LED照射下で高く,赤色LED照射下で低かった.また,単子嚢の形成は赤色LED照射下ではほとんど確認されなかった.一方,カロテノイドの含有量は青色光の照射によって増加した.以上の結果から,青色LED光源はモズクの培養および機能性成分の含有量増加に利用できる可能性が示された.

褐藻の一種であるモズク *Nemacystus decipiens* は石川県能登地域を代表する食用海藻の一種であり,古くより地域の重要な漁業資源に位置付けられている.モズクの藻体は細い糸状で柔らかいため,波浪により流出しやすい.しかし,能登半島東岸に位置する七尾北湾では,冬季の季節風の影響を受けにくく,冬場でも比較的穏やかなことから,1月からモズク漁が始まり4~5月に盛期を迎える.このうち,早春に漁獲されるものは藻体が細く,舌触りが滑らかなことから,地元では「絹もずく」や「寒もずく」と呼ばれ,特産品として珍重されている.また,モズクには機能性成分であるフコイダンやフコキサンチンが含まれているため,高機能性食材や健康補助食品としても注目されており<sup>1,2)</sup>,今後,需要の拡大が期待される.しかし,能登地域におけるモズクの漁獲量は近年減少傾向にあり,年による豊凶の差が大きく不安定である.また,収穫したモズクには細かな雑海藻などが多く付着しているため,出荷前の選別作業に多大な手間と時間を要している.このため,これらの課題解決の手段として,モズク養殖技術の開発が望まれている.もずく養殖は沖縄県で盛んに行われているが,そのほとんどは別種のオキナワモズク *Cladosiphon okamuranus* である.モズクに関しては沖縄県内の一部の地域で養殖されているものの,本州に

おいては養殖網等の基質に着生させるのが難しいこと,着生後も生長に伴い基質から脱落・流出してしまうことから安定的に養殖する技術は未だ確立されていない.モズクは主にヤツマタモク *Sargassum patens* に選択的に着生することが知られているが<sup>3)</sup>,能登半島沿岸に夏季に生育するモズクは様々な海藻に絡まって生育するといった特徴を有している<sup>4)</sup>.この特徴を利用し,陸上において藻体を基質に付着させずに培養することができれば,流出の恐れがなく,不純物も混入しにくい生産性の高いモズク養殖につながる.

陸上で培養するためには光源の確保が必要不可欠であり,光のスペクトル(光質)は植物の生育に関わる重要な要素の一つである.近年,発光波長幅が狭く,波長が異なる発光ダイオード(以下,LED)が数多く開発されるようになり,光質が植物の生長や機能性向上に及ぼす影響が検討されている.農業分野では,青色や赤色のLED照射下で,ニチニチソウ<sup>5)</sup>やレッドリーフ<sup>6)</sup>の生長や機能性成分の生産が促進されることが報告されており,植物工場の光源としてLEDが利用されている<sup>7)</sup>.水産分野では,LED照射下における海藻の生長に関して,アラメ *Eisenia bicyclis*<sup>8)</sup>,アカモク *Sargassum horneri*<sup>9)</sup>,スジアオノリ *Ulva prolifera*<sup>10)</sup>などで,青色光による生長

2018年5月21日受付

キーワード: モズク, 胞子体, 生長, 光合成, LED

<sup>1</sup> 石川県水産総合センター (〒927-0435 石川県鳳珠郡能登町字宇出津新港3-7)

\* Tel: 0768-62-1324, Fax: 0768-62-4324, Email: d-yamagi@pref.ishikawa.lg.jp

促進などの結果が報告されている。これらのことから、品質の高い作物を効率よく生産するための光源として、今後LEDの利用・普及が進むことが考えられる。本研究では、夏季に生育する大型の胞子体世代(成体)のモズクの生長、成熟および光合成活性に及ぼす光質の影響を調べて、LEDを利用したモズク養殖の可能性について検討した。

### 材料および方法

**材料** 2016年8月10日に石川県能登町越坂地先の水深約0.5~1.0 mに生育していたモズクを採取した。採取した藻体はすぐに実験室に持ち帰り、着生基質から分離した後、濾過海水で複数回洗浄して実験に使用した。光源には砲弾型の青色LED(AQ-L05030BC, audio-Q製)、緑色LED(AQ-L0530GC, audio-Q製)、赤色LED(OSR7CA5111A, OptoSupply製)、並びに白色蛍光灯(FL20SSEX-D/18-HG, NECライティング製)を用いた。カタログ記載の発光ピーク波長は青色LEDで470 nm、緑色LEDで525 nm、赤色LEDで660 nmであった。白色蛍光灯の第1ピーク波長は540 nm付近、第2ピーク波長は620 nm付近、第3ピーク波長は440 nm付近であった。

**培養実験** 容量300 mlの三角フラスコの中に濾過海水(1 μmカートリッジフィルター2本で濾過)と藻体約1.5 gを入れ、各光源を使用し、光量子束密度100 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>、明期12時間・暗期12時間、温度20°Cの条件下で12日間通気培養した。光源毎に5個のフラスコを用いてモズクを培養し、2,3日毎に藻体の湿重量を測定するとともに、生殖細胞である単子嚢を光学顕微鏡下で観察し、単子嚢を形成している同化糸の割合を求めた。湿重量測定および単子嚢観察の際には培養海水の全量を交換した。各試験区のフラスコ外面における光量子束密度を電圧ロガー(LR5041, 日置電機製)に接続した球面光量子計(ML-020P, 英弘精機製)を用いて測定し、所定の光量子密度になるよう各フラスコを配置した。

**光合成および呼吸速度の測定** 滅菌海水を満たした反応容器(容量約250 ml)に藻体約1 gと攪拌子を入れた。そこに蛍光式酸素電極(LDO101, HACH製)を挿入し、DOメーター(HQ40d, HACH製)にて溶存酸素の変化を測定した。測定時には反応容器を密閉状態にし、マグネチックスターラーで海水を攪拌した。各光源を用いて、光量子束密度100 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>、温度20°Cのもと、反応開始時と終了時に溶存酸素量を測定し、1時間あたりの酸素増加量を純光合成速度とした。光合成速度の測定

後、反応容器をアルミ箔で覆い、暗黒下で単位時間・単位湿重量あたりの酸素減少量を測定し、これを呼吸速度とした。光源毎に藻体をかえて光合成速度と呼吸速度を4回測定した。

**光合成色素の抽出と定量** 培養実験が終了した藻体の表面の水分をキムタオルで除去し、約300 mgを乳鉢に入れ、石英砂100 mg、炭酸マグネシウム30 mgおよび90%アセトンを加えて磨砕した後、遠心分離機(CF-9RX, 日立工機製)で3,000 rpm、20分間遠心分離し、その上澄みを採取した。遠心残渣に対しても同様の操作を数回繰り返した。得られた上澄みを合わせて20 mlに定容した後、吸収スペクトルを分光光度計(UV-2600, 島津製作所製)で測定した。波長480 nm, 630 nm, 664 nmの各吸光度(E)から750 nmの吸光度を差し引いた後、クロロフィルa(Chl.a)とクロロフィルc(Chl.c)についてはJeffrey and Humphrey<sup>11)</sup>、カロテノイド(Caro)については斎藤・大房<sup>12)</sup>に従い、以下の計算式から含有量を求めた。

$$\text{Chl.a} = 11.47 E_{664} - 0.40 E_{630} \quad (\mu\text{g}\cdot\text{ml}^{-1})$$

$$\text{Chl.c1+c2} = 24.36 E_{630} - 3.73 E_{664} \quad (\mu\text{g}\cdot\text{ml}^{-1})$$

$$\text{Caro} = 4.0 E_{480} \quad (\mu\text{g}\cdot\text{ml}^{-1})$$

**統計処理** 各データは一元配置分散分析を行った後、Tukey-Kramerの方法により多重比較検定した。

### 結果

**培養実験** 青色LED照射下では培養開始から7日目まで、蛍光灯および緑色LED照射下では9日目まで藻体重量の増加が確認され、青色LEDでは最大21.67±3.48%増加した。一方、赤色LED照射下では培養日数の経過とともに藻体重量が減少し、7日目には15.9±3.41%減少した(図1)。光源間で最も差が大きくなった7日目の湿重量の変化率を比較した結果、緑色LEDと蛍光灯の間を除く全ての光源間で有意差(P < 0.05, n = 5)が認められた。藻体を顕微鏡下で観察したところ、蛍光灯、青色および緑色LED照射下では、単子嚢の形成割合が増加し、その程度は青色LEDで最も顕著であった。一方、赤色LED照射下では、培養日数が経過しても単子嚢はほとんど確認されなかった(表1)。

**光合成速度と呼吸速度の測定** 各光源下におけるモズクの純光合成速度を図2に、呼吸速度を図3に示す。純光合成速度は青色LED照射下で1.24±0.08 mgO<sub>2</sub>·g<sup>-1</sup>·



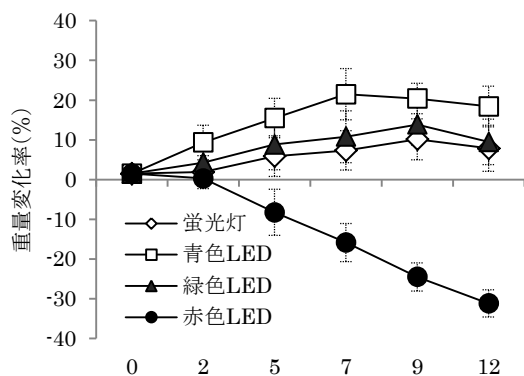


図1. 各光源下で培養したモズクの湿重量の変化率 (平均値±標準偏差)

表1 単子嚢を形成した同化糸の割合の推移

光源	2日目	5日目	7日目	9日目	12日目
蛍光灯	+	+	++	+	+
青色LED	+	++	+++	++	+
緑色LED	+	++	++	++	+
赤色LED	-	-	-	+	-

-, 形成無し; +, 5%未満; ++, 5-10%; +++, 10%超過

$h^{-1}$ と最も高く、次いで蛍光灯、緑色LED照射下で高かったが、その差は小さかった。一方、赤色LED照射下では純光合成速度は $0.16 \pm 0.02 \text{ mgO}_2 \cdot g^{-1} \cdot h^{-1}$ と他に比べて極端に低い値を示した。純光合成速度を多重比較検定した結果、緑色LEDと蛍光灯の間を除く全ての光源間に有意差 ( $P < 0.05$ ,  $n = 4$ ) が認められた。呼吸速度は蛍光灯、青色、緑色および赤色LED照射下でそれぞれ $0.20 \text{ mgO}_2 \cdot g^{-1} \cdot h^{-1}$ 前後の値を示した。呼吸速度を分散分析した結果、光源間に有意差は認められなかった。

**吸収スペクトルの測定** 培養実験後の藻体から抽出した光合成色素の吸収スペクトルの平均値を図4に示す。スペクトルはChl.aの長波長側の吸収ピークである波長664 nmの吸光度の値を1とする相対吸光度で示した。いずれの相対吸光度も波長350~500 nmおよび650~680 nmの範囲で高く、吸収極大は波長434 nmと664 nmに認められた。短波長側の吸収ピークである波長434 nmにおける相対吸光度を多重比較検定したところ、緑色LEDと蛍光灯の間を除く全ての光源間で有意差 ( $P < 0.05$ ,  $n = 5$ ) が認められた(図5)。

**光合成色素の定量** 各光源下で培養した藻体のChl.a, Chl.cおよびCaroの含有量を表2に示す。Chl.aとChl.cの含有量は光源による差が小さく、光源間に有意差は認められなかったが、Caro含有量については、青色LEDと赤色LEDの間に有意差 ( $P < 0.05$ ,  $n = 5$ ) が認められた。

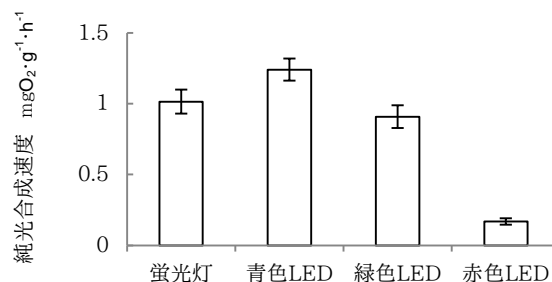


図2. 各光源下におけるモズクの純光合成速度 (平均値±標準偏差)

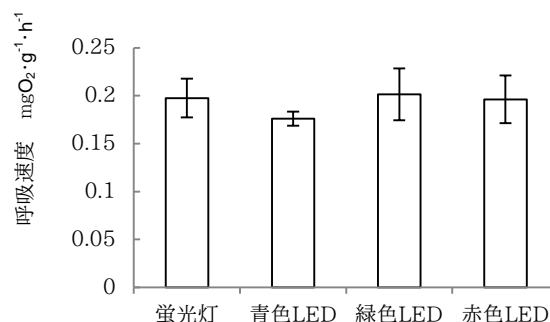


図3. 各光源下におけるモズクの呼吸速度 (平均値±標準偏差)

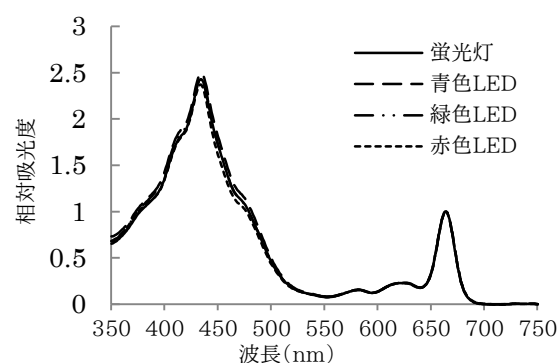


図4. 培養実験後のモズクから抽出した光合成色素の吸収スペクトル

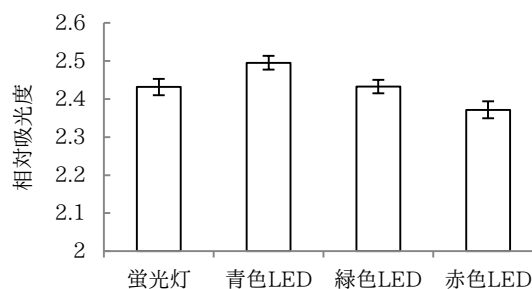


図5. 光合成色素の波長434 nmにおける相対吸光度 (平均値±標準偏差)

表2 モズクの光合成色素含有量 (平均値±標準偏差)

光源	Chl.a	Chl.c	Caro
蛍光灯	0.252±0.015	0.035±0.002	0.086±0.004
青色LED	0.253±0.018	0.038±0.003	0.092±0.006
緑色LED	0.252±0.015	0.036±0.003	0.086±0.005
赤色LED	0.252±0.016	0.033±0.003	0.082±0.007

## 考 察

異なる光源下での培養実験の結果、モズクの生長は青色LEDで最も優れ、緑色LEDと蛍光灯がこれに次ぎ、赤色LEDで最も劣る結果となった。純光合成速度も青色LEDで最も高く、緑色LEDと蛍光灯が次いで高く、赤色LEDで最も低かった。このように、モズクの生長と光合成は青色光照射下で促進されることが明らかとなった。また、モズクの光合成色素の吸収スペクトルをみると、青色LEDの発光波長付近の吸光度は緑色LEDや赤色LEDの発光波長付近の吸光度と比べて高い値を示した。このことから、モズクの光合成色素は青色光を効率良く吸収するため、青色光照射下では光合成速度が高まり、生長も良好となったと考えられる。

培養実験後の藻体のCaro含有量を比較したところ、青色LED照射下と赤色LED照射下の間に有意差が認められた。褐藻に含まれるCaroの主成分であるフコキサンチンの吸収スペクトルは抽出溶媒により多少異なるものの、波長400~500 nmの範囲において高い値を示し、青色LEDの発光ピーク波長(470 nm)に近い473 nm, 446 nm, 425 nm付近に吸収極大を持つ<sup>13)</sup>。海藻は光質により光合成色素の含有量や含有比を変化させることが報告されている<sup>9,10)</sup>。本研究においても、青色光照射下のモズクは効率的に光を吸収できるようCaro含有量を増加させた可能性が考えられる。

一方、緑色LEDの発光ピーク波長(525 nm)付近における光合成色素の吸光度は、赤色LEDの発光ピーク波長(660 nm)付近における吸光度より低いにもかかわらず、緑色LED照射下における光合成速度および生長は赤色LED照射下よりも高かった。緑色光は青色光や赤色光に比べて葉緑体に吸収され難いが、吸収後は高効率で光合成に利用される<sup>14)</sup>。また、緑色光は葉緑体に吸収されにくい分、葉の内部や裏側まで入射・拡散して葉緑体との遭遇機会が増すため、結果的に吸収率は高くなるとされている<sup>15)</sup>。さらに、褐藻のアカモク、ヤツマタモクにおいても、低光量の緑色光では幼胚の生長は低調だが、光量が増すにつれて青色光とほぼ等しい生長を示すことが確認されている<sup>16)</sup>。今回の実験で、光合成色素の吸光

度が低い緑色光照射下でもモズクの生長が良好であった要因として、藻体の内部まで緑色光が入射・拡散した結果、光が効率良く光合成に利用されたことが推察される。赤色LED照射下では、モズクの光合成速度が低く、生長も劣っていた。アラメ<sup>8)</sup>、アカモク<sup>9)</sup>、ワカメ *Undaria pinnatifida*<sup>17)</sup>の配偶体や幼体でも同様の報告があり、赤色光が光合成に利用されにくい要因が褐藻に存在するのかもしれない。さらに、赤色LED照射下では、単子嚢がほとんど確認されなかった。赤色蛍光灯や赤色LED照射による褐藻の成熟抑制については、アラメ<sup>8)</sup>やワカメ<sup>17)</sup>、クロメ *Ecklonia kurome*、カヅメ *Ecklonia cava*<sup>18)</sup>の配偶体にも報告がある。本研究で用いたモズクは配偶体ではなく大型の胞子体(成体)であるが、胞子体の成熟に対しても赤色光が抑制的に作用する可能性が示唆された。

本研究の結果、青色LEDはモズク胞子体の培養に活用できる可能性が示された。さらに、Caroの主成分であるフコキサンチンには抗肥満作用や抗糖尿病作用があることが報告されていることから<sup>2,19)</sup>、青色LEDを用いたモズク培養では、機能性成分の含有量の増加も期待できる。

## 文 献

- 1) 三好雅之, 阿部直, 笠木健, 平松喜美子, 池田匡: モズク由来高分子フコイダンの腸蠕動に及ぼす影響. 米子医誌, 2013, **64**, p.69-77.
- 2) 細川雅史: フコキサンチンの抗肥満作用とその分子機構. 日水誌, 2012, **78**, p.1007.
- 3) 四井敏雄: モズクの生活環と増殖に関する研究. 長崎県水産試験場論文集, 1980, **7**, p.1-48.
- 4) 池森貴彦: 磯の観察路で見つかった藻につくイシモズク. のと海洋ふれあいセンターだより, 2009, **31**, p.7.
- 5) 福山太郎, 大橋(兼子)敬子, 大野英一, 渡邊博之: LEDを用いた赤色光と青色光照射下で栽培されたニチニチソウの成長とアルカロイド収量. 植物環境工学, 2013, **25**(4), p.175-182.
- 6) 庄子和博, 後藤英司, 橋田慎之介, 後藤文之, 吉原利一: 赤色光と青色光がレッドリーフレタスのアントシアニン蓄積と生合成遺伝子の発現委及ぼす影響. 植物環境工学, 2010, **22**(2), p.107-113.
- 7) 後藤英司: 完全人工光型植物工場の現状と新技術開発の動向. 農業機械学会誌, 2011, **73**(2), p.87-91.

- 8) 村瀬 昇, 阿部真比古, 野田幹雄, 須田有輔: 光質が異なるLED照射下でのアラメの配偶体の生長と成熟. 水大校研報, 2014, **62**, p.147-152.
- 9) Miki O, Okumura C, Marzuki M, Tujimura Y, Fujii T, Kosugi C, Kato T: Contrasting effects of blue and red LED irradiations on the growth of *Sargassum horneri* during the germling and immature stages. *Journal of Applied Phycology*, 2016, p.1461-1469.
- 10) 高田順司, 村瀬 昇, 阿部真比古, 野田幹雄, 須田有輔: 光質が異なるLED照射下での緑藻スジアオノリの生長と光合成. 水産増殖, 2011, **59**, p.101-107.
- 11) Jeffrey S.W. and Humphrey G. F. : New spectrophotometric equations for determining chlorophylls *a*, *b*,  $c_1$  and  $c_2$  in higher plants, algae and natural phytoplankton. *Biochem. Physiol. Pflanzen*, 1975, **167**, p.191-194.
- 12) 斎藤宗勝, 大房 剛: 乾海苔に含まれる光合成色素の簡易定量法. 藻類, 1974, **22**, p.130-133.
- 13) 藤田善彦: 光合成色素の定性と定量法, 「藻類研究法」(西澤一俊, 千原光雄編), 共立出版, 1979, p.474-507.
- 14) Terashima I, Fujita T, Inoue T, Chow W.S., Oguchi R: Green light driver leaf photosynthesis more efficiently than red light in strong white light: Revisiting the enigmatic question of why leaves are green. *Plant Cell Physiology*, 2009, **50**, p.684-697.
- 15) 寺島一郎: 葉が緑色なのは緑色光を効率よく利用するためである. 光合成研究, 2010, **20**, p.15-20.
- 16) 松井敏夫, 大貝政治, 村瀬 昇: 褐藻類アカモク・ヤツマタモクの幼胚および葉状部の成長に及ぼす光質・光量の影響. 日水誌, 1994, **60**, p.727-733.
- 17) 團 昭紀: 発光ダイオードを使った藻類の培養. 平成15年度徳島県立農林水産総合研究センター水産研究所事業報告書, 2005, p.77-78.
- 18) 松井敏夫, 大貝政治, 大島芳明, 古原和明: コンブ目植物数種の配偶体の成長・成熟および胞子体(幼葉)の成長に及ぼす光質・光量の影響. 日水誌, 1992, **58**, p.1257-1265.
- 19) 宮下和夫, 細川雅史: 海藻中に含まれる多機能性カロテノイド: フコキサンチン. 日水誌, 2008, **74**, p.261-262.

【論文】

## 2016年春夏期に加賀沿岸で観察された 海藻草類と海産動物

池森 貴彦<sup>1\*</sup>

加賀海岸は越前加賀海岸国定公園の一部であり,2012年に加賀市橋立から片野の沿岸が海域公園地区に指定された。これを受けて加賀沿岸に分布する海藻草類や海産動物の広域な調査を実施した。ホンダワラ類ではヨレモク,ヤツマタモク,アカモクが優占しており,能登半島東岸の優占種とほぼ同様であった。海草のエビアマモの生育が多くの調査点で確認され,ガラモ場の中にエビアマモが混生することが加賀海岸の藻場の特徴と考えられた。調査点の一部ではカンムリゴカイ類のコロニーで覆われた岩盤が見られ,カンムリゴカイ類が大型海藻やイワガキの生育を阻害している可能性が考えられた。

石川県沿岸の藻場については,能登半島東岸の能登町沿岸<sup>1)</sup>,珠洲市沿岸<sup>2)</sup>および七尾西湾<sup>3)</sup>における分布域や優占種の実態が明らかとなっている。一方,県南部の加賀沿岸では藻場調査の事例が少なく<sup>4)</sup>,その実態はあまり分かっていない。加賀沿岸は越前加賀海岸国定公園の一部であり,2012年に加賀市橋立から片野の地先海面が海域公園地区に指定された。今般,加賀市が行う加賀海岸の諸調査の一環として,藻場を調査する機会が得られた。同調査で得られた知見を報告する。

### 方法

塩屋から篠原の加賀沿岸の,比較的大きめの藻場が形成されていた12カ所を調査点(図1)とした。調査点の情報を表1に示した。2016年5月と8月に,調査点を中心として半径約50 mの範囲を潜水して観察した。5月には調査点①の大聖寺川河口と調査点②の塩屋沖を除く10カ所で調査を行った。潜水中に目視同定した海藻草類と海産動物の種名,底質,水深を野帳に記録し,写真撮影を行った。水深の確認はダイブコンピューターで行った。優占種とその優占順位は目視により判断した。一カ所の観察時間は概ね30分とした。また5月にエビアマモの大きな群落が見られ

た調査点⑩のいずみ浜において,8月にその群落の縦横方向の分布範囲を巻き尺により計測した。

### 結果および考察

本調査では,海藻33種,海草1種,動物14種が確認された。調査点毎の確認種は5月については表2,8月については表3に示したとおりであり,一部の写真を図2に示した。

**植物相** 5月にはワカメが10調査点のうち7調査点と多くの場所で見られた。8月にはイシモズクが12調査点のうち6調査点,クロメが7調査点と多くの場所で見られた。ホンダワラ類についてはヨレモク,ヤツマタモク,アカモク,フシスジモク,ホンダワラ,イソモク,ノコギリモク,マメタワラおよびヤナギモクの9種が認められ,このうちヨレモク,ヤツマタモク,アカモクが優占種となっており,加賀沿岸にガラモ場が形成されていることが確認された。1997年から2000年に実施した藻場調査<sup>4)</sup>では,加賀沿岸(片野と黒崎)でジョロモク,イソモク,アカモク,ホンダワラ,ヤツマタモク,マメタワラ,フシスジモク,ウミトラノオ,ナラサモ,ヨレモク,トゲモクおよびヤナギモクの12種が採集されている。今回の調査では,新たにノコギリモクが確認され,ジョロモク,ウミトラノオ,ナラ

2018年2月20日受付

キーワード: 加賀沿岸, ホンダワラ類, エビアマモ, カンムリゴカイ類

<sup>1</sup> 石川県水産総合センター (〒927-0435 石川県鳳珠郡能登町字宇出津新港3-7)

\* Tel: 0768-62-1324, Fax: 0768-62-4324, Email: ikemori@pref.ishikawa.lg.jp

表 1 調査点の概要

番号	地点名	緯度(N)	経度(E)	水深(m)	底質	調査日
①	大聖寺川河口	36°17'37.4"	136°14'27.6"	4-6	平岩盤	- 8月4日
②	塩屋沖	36°17'59.3"	136°14'41.3"	0.5-6	起伏岩盤	- 8月4日
③	片野沖	36°19'30.8"	136°16'31.5"	4-5	平岩盤	5月19日 8月4日
④	貝場浜	36°19'39.9"	136°16'37.2"	1-4.5	平岩盤	5月19日 8月4日
⑤	黒崎の片野側	36°20'21.6"	136°17'13.8"	4-6	平岩盤	5月19日 8月4日
⑥	黒崎	36°20'39.2"	136°17'23.5"	0-3	起伏岩盤	5月19日 8月4日
⑦	サザエ増殖場	36°20'53.9"	136°17'41.0"	3-5	起伏岩盤	5月19日 8月4日
⑧	お夏のがん洞	36°21'00.1"	136°17'46.1"	3-4	海食洞	5月19日 8月5日
⑨	加佐ノ岬沖	36°21'23.9"	136°17'49.8"	5-15	起伏岩盤	5月20日 8月5日
⑩	いずみ浜	36°21'08.5"	136°18'01.8"	2	平岩盤	5月19日 8月5日
⑪	尼御前岬	36°21'25.2"	136°19'18.8"	5-6	平岩盤	5月20日 8月5日
⑫	篠原沖	36°21'48.8"	136°20'19.8"	5-7	起伏岩盤	5月20日 8月5日

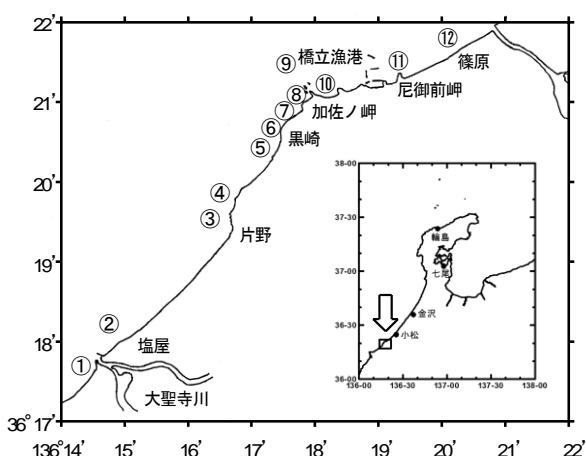


図1. 調査点の位置

サモおよびトゲモクが観察されなかった。本調査では、水深1~15 mの範囲を主に観察したため、潮間帯から低潮線付近の浅所で生育するウミトラノオ、ナラサモ、トゲモクが認められず、逆に低潮線から水深20 m付近に分布するノコギリモク<sup>5)</sup>が見つかったと考えられる。能登半島東岸の能登町沿岸の岩礁域では、ヤツマタモク、マメタワラ、ヨレモクおよびノコギリモク、能登半島東岸の珠洲市沿岸ではヤツマタモク、マメタワラ、ヨレモク、ノコギリモク、ヤナギモクおよびジョロモクが優占種となっており<sup>1,2)</sup>、加賀沿岸におけるガラモ場の優占種は能登町や珠洲市とほぼ同様であることが分かった。

本調査では、我が国のレッドリスト<sup>6)</sup>で準絶滅危惧種に指定されているエビアマモが12調査点中5調査点で観察された。調査点⑥の黒崎では水深約1 mの潮下帯で、調査点③の片野沖と調査点⑦のサザエ増殖場では水深5 mで観察されたことから、加賀沿岸ではエビアマモは水深5 m以浅の潮下帯に広く生育していると考えられる。長径数mから数十mの大きさの群落が見られたのは調査点⑦のサザエ増殖場と調査点⑩のいずみ浜であり、

特に調査点⑩のいずみ浜では水深2 m付近に大きな群落が見られた。最も大きな群落を実測したところ、海岸線に対して垂直方向に43 m、平行方向に24 mの大きさであった<sup>7)</sup>。エビアマモは石川県内では珠洲市木ノ浦と輪島市三子浜で確認されているが<sup>4)</sup>、筆者の観察ではいずみ浜の群落が県内最大規模と思われる。石川県内のエビアマモ群落は加賀沿岸から能登半島西岸と北岸に見られることから、冬季波浪の激しい海域に生育するものと考えられる。また、能登半島東岸の能登町沿岸と珠洲市沿岸のガラモ場付近にはエビアマモは見られないことから、加賀沿岸ではガラモ場の中にエビアマモが混生することが特徴といえる。

**動物相** 調査点⑫の篠原沖の水深5 m付近はイワガキが多く生息し、イワガキの漁場となっている。本調査では、イワガキ漁場の沖側でカンムリゴカイ類が多く見られ、水深7 m付近では岩盤のほぼ全てがそのコロニーで覆われていた。カンムリゴカイ類に覆われた岩場では大型海藻はほとんど生育しておらず、イワガキもほとんど見られなかったことから、カンムリゴカイ類がこれらの生育を阻害している可能性が考えられる。この場所でイワガキ漁をしている漁業者の話では、以前に比べてカンムリゴカイ類の分布域が岸側に広がっているとのことであり、イワガキ漁場や藻場に与える影響が懸念される。

ムツサンゴは石川県のレッドデータブック<sup>8)</sup>で準絶滅危惧種に指定されている希少種である。県内では能登半島の内浦沿岸を中心に広く分布し、外浦沿岸でも散見されるが、南限は志賀町とされている。今回、調査点⑨の加佐ノ岬沖の水深15 mから隆起した瀬の上部(水深5 m)でムツサンゴが見つかった。岸から離れた瀬で生育していたため、今まで発見されなかったものと考えられる。

加賀沿岸で観察された海藻草類と海産動物

表2 加賀沿岸で観察された海藻草類と海産動物 2016年5月

綱目科	標準和名	学名	観察地点
モクレン綱			
オモダカ目			
アマモ科	エビアマモ	<i>Phyllospadix japonika</i>	⑥⑦⑧⑩
緑藻綱			
シオグサ目			
シオグサ科	シオグサ類	<i>Cladophora sp.</i>	
イワズタ目			
イワズタ科	フサイワズタ	<i>Caulerpa okamurae</i>	⑧⑪
ミル科	ミル	<i>Codium fragile</i>	
	ハイミル類	<i>Codium sp.</i>	
褐藻綱			
アミジグサ目			
アミジグサ科	コモングサ	<i>Dictyopteris pacifica</i>	
	ヘラヤハズ	<i>Dictyopteris prolifera</i>	⑫
	シワヤハズ	<i>Dictyopteris undulata</i>	
	アミジグサ	<i>Dictyota dichotoma</i>	⑨⑫
	ウスユキウチワ	<i>Padina minor</i>	
ナガマツモ目			
ナガマツモ科	クロモ	<i>Papenfussiella kuromo</i>	⑪
	イシモズク	<i>Sphaerotrichia divaricata</i>	⑧
ウイキョウモ目			
ハバモドキ科	ハバモドキ	<i>Punctaria latifolia</i>	⑤
カヤモノリ目			
カヤモノリ科	フクロノリ	<i>Colpomenia sinuosa</i>	③
コンブ目			
チガイソ科	ワカメ	<i>Undaria pinnatifida</i>	③④⑥⑦⑧⑨⑩
カジメ科	クロメ	<i>Ecklonia kurome</i>	④⑧⑪⑫
ヒバマタ目			
ホンダワラ科	フシスジモク	<i>Sargassum confusum</i>	③
	ホンダワラ	<i>Sargassum fulvellum</i>	
	イソモク	<i>Sargassum hemiphyllum</i>	④⑤⑩
	アカモク	<i>Sargassum horneri</i>	④⑤⑥⑦⑧⑨⑩
	ノコギリモク	<i>Sargassum macrocarpum</i>	⑨
	ヤヅマタモク	<i>Sargassum patens</i>	④⑤
	マメタワラ	<i>Sargassum piluliferum</i>	
	ヤナギモク	<i>Sargassum ringgoldianum ssp. coreanum</i>	⑥
	ヨレモク	<i>Sargassum siliquastrum</i>	⑩⑪⑫
紅藻綱			
スギノリ目			
スギノリ科	スギノリ	<i>Chondracanthus tenellus</i>	
	ツノマタ	<i>Chondracanthus ocellatus</i>	③
ムカデノリ科	カタノリ	<i>Grateloupia divaricata</i>	
	キョウノヒモ	<i>Polyopes lancifolius</i>	
	イバラノリ	<i>Hypnea asiatica</i>	
オゴノリ目			
オゴノリ科	シラモ	<i>Gracilaria parvispora</i>	
マサゴシバリ目			
ワツナギソウ科	ヒラワツナギソウ	<i>Champia bifida</i>	
イギス目			
イギス科	エゴノリ	<i>Campylaeophora hypnaeoides</i>	
ダミア科	ダミア類	<i>Dasysp. sp.</i>	
ヒドロ虫綱			
軟水母目			
ハネガヤ科	シロガヤ	<i>Aglaophenia whiteleggei</i>	
花虫綱			
イシサンゴ目			
キサンゴ科	ムツサンゴ	<i>Rhizopsammia minuta mutsuensis</i>	⑨
腹足綱			
カサガイ目			
ヨメガカサガイ科	ベッコウガサ	<i>Cellana grata</i>	
古腹足目			
ミミガイ科	クロアウビ	<i>Haliotis discus discus</i>	⑥
	トコブシ	<i>Sulculus diversicolor supertexta</i>	
ニシキウズガイ科	オオコシダカガンガラ	<i>Omphalius pfeifferi carpenteri</i>	
サザエ科	サザエ	<i>Turbo (Batillus) cornutus</i>	③④⑤⑦
	ウラウズガイ	<i>Astraliium haematragum</i>	
二枚貝綱			
イガイ目			
イガイ科	イガイ	<i>Mytilus coruscus</i>	
カキ目			
イタボガキ科	イワガキ	<i>Crassostrea nippona</i>	③④⑫
多毛綱			
フサゴカイ目			
カンムリゴカイ科	カンムリゴカイ類	<i>Sabellariidae sp.</i>	⑫
顎脚綱			
有柄目			
ミョウガガイ科	カメノテ	<i>Capitulum mitella</i>	
ウニ綱			
ホンウニ目			
ナガウニ科	ムラサキウニ	<i>Heliocidaris crassispina</i>	
ナマコ綱			
楯手目			
シクナマコ科	アカナマコ	<i>Apostichopus japonicus</i>	⑪

加賀沿岸で観察された海藻草類と海産動物

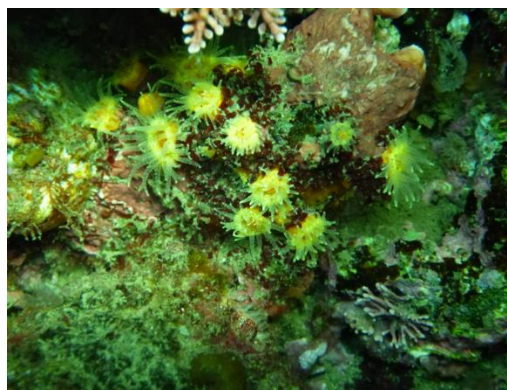
表3 加賀沿岸で観察された海藻草類と海産動物 2016年8月

綱目科	標準和名	学名	観察地点
モクレン綱			
オモダカ目			
アマモ科	エビアマモ	<i>Phyllospadix japonika</i>	③⑥⑦⑧⑩
緑藻綱			
シオグサ目			
シオグサ科	シオグサ類	<i>Cladophora sp.</i>	⑧
イワズタ目			
イワズタ科	フサイワズタ	<i>Caulerpa okamurae</i>	③⑦⑩⑫
ミル科	ミル	<i>Codium fragile</i>	②④⑤⑫
	ハイミル類	<i>Codium sp.</i>	①③
褐藻綱			
アミジグサ目			
アミジグサ科	コモングサ	<i>Dictyopteris pacifica</i>	⑩
	ヘラヤハズ	<i>Dictyopteris prolifera</i>	⑧
	シワヤハズ	<i>Dictyopteris undulata</i>	①⑨⑩⑫
	アミジグサ	<i>Dictyota dichotoma</i>	③⑥⑨⑫
	ウスユキウチワ	<i>Padina minor</i>	①②③⑤
ナガマツモ目			
ナガマツモ科	クロモ	<i>Papenfussiella kuromo</i>	
	イシモズク	<i>Sphaerotrichia divaricata</i>	①②③④⑤⑥
ウイキョウモ目			
ハバモドキ科	ハバモドキ	<i>Punctaria latifolia</i>	
カヤモノリ目			
カヤモノリ科	フクロノリ	<i>Colpomenia sinuosa</i>	
コンブ目			
チガイソ科	ワカメ	<i>Undaria pinnatifida</i>	
カジメ科	クロメ	<i>Ecklonia kurome</i>	④⑦⑧⑨⑩⑪⑫
ヒバマタ目			
ホンダワラ科	フシシジモク	<i>Sargassum confusum</i>	①④⑤
	ホンダワラ	<i>Sargassum fulvellum</i>	④⑩⑪
	イソモク	<i>Sargassum hemiphylum</i>	②⑦⑩
	アカモク	<i>Sargassum homeri</i>	④⑨
	ノギリモク	<i>Sargassum macrocarpum</i>	⑨
	ヤツマタモク	<i>Sargassum patens</i>	③⑤⑥⑩⑪⑫
	マメタワラ	<i>Sargassum piluliferum</i>	②③⑤⑥⑦
	ヤナギモク	<i>Sargassum ringoldianum ssp. coreanum</i>	①③⑧⑨
	ヨレモク	<i>Sargassum siliquastrum</i>	②③④⑥⑦⑩⑪⑫
紅藻綱			
スギノリ目			
スギノリ科	スギノリ	<i>Chondracanthus tenellus</i>	①
	ツノマタ	<i>Chondracanthus ocellatus</i>	⑤
ムカデノリ科	カタノリ	<i>Grateloupia divaricata</i>	⑤
	キョウノヒモ	<i>Polyopes lancifolius</i>	⑤
イバラノリ科	イバラノリ	<i>Hypnea asiatica</i>	③⑤⑥⑩
オゴノリ目			
オゴノリ科	シラモ	<i>Gracilaria parvispora</i>	③⑤
マサゴシバリ目			
ワツナギソウ科	ヒラワツナギソウ	<i>Champia bifida</i>	③
イギス目			
イギス科	エゴノリ	<i>Campylaeophora hypnaeoides</i>	⑥
ダシア科	ダシア類	<i>Dasya sp.</i>	④
ヒドロ虫綱			
軟水母目			
ハネガヤ科	シロガヤ	<i>Aglaophenia whiteleggei</i>	⑩⑫
花虫綱			
イシサンゴ目			
キサンゴ科	ムツサンゴ	<i>Rhizopsammia minuta mutsuensis</i>	
腹足綱			
カサガイ目			
ヨメガカサガイ科	ベッコウガサ	<i>Cellana grata</i>	⑥
古腹足目			
ミミガイ科	クロアワビ	<i>Haliotis discus discus</i>	②
	トコブシ	<i>Sulculus diversicolor supertexta</i>	④
ニシキウズガイ科	オオコシダカガンガラ	<i>Omphalius Pfeifferi carpenteri</i>	⑥
サザエ科	サザエ	<i>Turbo (Batillus) cornutus</i>	②③④⑤⑦⑨⑩⑫
	ウラウズガイ	<i>Astraliium haematragum</i>	⑩⑫
二枚貝綱			
イガイ目			
イガイ科	イガイ	<i>Mytilus coruscus</i>	②
カキ目			
イタボガキ科	イワガキ	<i>Crassostrea nippona</i>	①②③⑤⑫
多毛綱			
フサゴカイ目			
カンムリゴカイ科	カンムリゴカイ類	<i>Sabellariidae sp.</i>	⑫
顎脚綱			
有柄目			
ミョウガガイ科	カメノテ	<i>Capitulum mitella</i>	⑥
ウニ綱			
ホンウニ目			
ナガウニ科	ムラサキウニ	<i>Heliocidaris crassispina</i>	④
ナマコ綱			
楯手目			
シクナマコ科	アカナマコ	<i>Apostichopus japonicus</i>	

加賀沿岸で観察された海藻草類と海産動物



エビアマモ ③片野沖 2016年8月



ムツサング ⑨加佐ノ岬沖 2016年5月



ワカメ ④貝場浜 2016年5月



クロアワビ ②塩屋沖 2016年8月



アカモク ⑥黒崎 2016年5月



カンムリゴカイ類 ⑫篠原沖 2016年8月

図2. 本調査で観察された海藻草類と海産動物



## 謝 辞

調査の機会を与えて頂いた本宮睦加賀市長と元加賀市長の大幸甚氏、投稿にあたり多くの助言を頂いた石川県水産総合センターの大慶則之次長に深く感謝いたします。

## 文 献

- 1) 池森貴彦, 東出幸真, 大慶則之, 仙北屋圭: 能登町沿岸におけるガラモ場の現存量とガラモ場とアマモ場の分布域の再検討. のと海洋ふれあいセンター研究報告, 2012, **17**, p.7-14.
- 2) 池森貴彦, 東出幸真, 坂井恵一: 能登半島珠洲市沿岸におけるガラモ場とアマモ場の分布域の再検討. のと海洋ふれあいセンター研究報告, 2013, **18**, p.1-6.
- 3) 池森貴彦, 東出幸真, 坂井恵一: 石川県の七尾西湾におけるアマモ類の分布域と季節的特徴. 日本海域研究, 2016, **47**, p.29-22.
- 4) 池森貴彦, 田島迪生: 石川県で採集した海藻と海産顕花植物. 石川県水産総合センター研究報告. 2002, **3**, p.1-11.
- 5) 吉田忠生: 新日本海藻誌, 内田老鶴圃, 1998. P.1222.
- 6) 環境省: レッドリスト2017 別添資料5, 2017, p.131.
- 7) 池森貴彦: 加賀海岸の藻場の現状. 能登の海中林, 2016, **45**, p.2-4.
- 8) 石川県野生動物保護対策調査会: 改訂・石川県の絶滅のおそれのある野生生物いしかわのレッドデータブック〈動物編〉, 2009, 浅海域の生物, p.335.