

のと海洋ふれあいセンター研究報告

第 25 号

Report of the Noto Marine Center, No.25

石川県生活環境部

2019



のと海洋ふれあいセンター研究報告, 第 25 号, 2019

目 次

(原著論文)

小木曾正造・広瀬雅人・東出幸真・又多政博

能登半島沿岸に生息するスズメガイダマシ属(腕足動物門, スズメガイダマシ科)の 2 種  
について..... 1

荒川裕亮・柳井清治

カワヤツメ *Lethenteron camtschaticum* 孵化幼生にとって最適な底質粒形と飼育方法に  
関する研究..... 9

村山寛記・小木曾正造・岡村隆行・柳井清治・関本愛香・丸山雄介・服部淳彦・鈴木信雄

能登半島九十九湾に生息するアカテガニの生態学的研究..... 19

中山貴将・柳井清治

九十九湾におけるアカテガニ類幼生とそれを捕食する魚類..... 29

坂井恵一・東出幸真・北市 仁

ミトコンドリア DNA 分析に基づく石川県白山手取川水系におけるイワナ *Salvelinus leu-*  
*maenis* の遺伝的集団構造の特徴 - I ..... 43

のと海洋ふれあいセンター年次報告..... 58

I - 石川県の砂浜海岸における底生動物モニタリング調査..... 58

II - 石川県の砂浜海岸におけるモニタリング調査..... 66

III - 九十九湾周辺における気象と水質..... 78



## 能登半島沿岸に生息するスズメガイダマシ属(腕足動物門, スズメガイダマシ科)の 2 種について

小木曾正造<sup>1)</sup>・広瀬雅人<sup>2)</sup>・東出幸真<sup>3)</sup>・又多政博<sup>4)</sup>

<sup>1)</sup>金沢大学総合技術部環境安全部門, 石川県鳳珠郡能登町字小木ム 4-1 (〒927-0553)

<sup>2)</sup>北里大学海洋生命科学部, 神奈川県相模原市南区北里 1-15-1 (〒252-0373)

<sup>3)</sup>のと海洋ふれあいセンター, 石川県鳳珠郡能登町字越坂 3-47 (〒927-0552)

<sup>4)</sup>金沢大学環日本海域環境研究センター臨海実験施設, 石川県鳳珠郡能登町小木ム 4-1 (〒927-0553)

Notes on the two species of the genus *Discradisca* (Brachiopoda, Discinidae) inhabiting the coast of Noto Peninsula, Sea of Japan

Shouzo OGISO<sup>1)</sup>, Masato HIROSE<sup>2)</sup>, Yukimasa HIGASHIDE<sup>3)</sup> and Masahiro MATADA<sup>4)</sup>

<sup>1)</sup>Engineering and Technology Department, Kanazawa University, Mu-4-1, Ogi, Noto, Ishikawa Pref., 927-0553, Japan

<sup>2)</sup>School of Marine Biosciences, Kitasato University, 1-15-1, Kitasato, Minami-ku, Sagamihara, Kanagawa Pref., 252-0373, Japan

<sup>3)</sup>Noto Marine Center, 3-47 Ossaka, Noto, Ishikawa 927-0552, Japan

<sup>4)</sup>Noto Marine Laboratory, Institute of Nature and Environmental Technology, Kanazawa University, Mu-4-1, Ogi, Noto, Ishikawa Pref., 927-0553, Japan

### はじめに

腕足動物の現生種は日本周辺海域からは 68 種が記録されており、舌殻亜門舌殻綱シャミセンガイ目スズメガイダマシ科のスズメガイダマシ属ではスズメガイダマシ *Discradisca stella* (GOULD, 1926)、スゲガサチヨウチン *Discradisca sparselineata* DALL, 1920、スズメガイダマシ属の 1 種 *Discradisca* sp. の 3 種が報告されている (HATAI, 1940; 倉持, 1999; 広瀬ら, 2012)。このうち日本海沿岸では能登半島九十九湾からスゲガサチヨウチンの報告がある (小木曾ら, 2014)。能登半島沿岸におけるスゲガサチヨウチンの生息状況をより詳しく調べるため、九十九湾と七尾湾北湾で潜水調査を行ったところ、九十九湾からスゲガサチヨウチンが再確認され、七尾湾北湾では新たにスズメガイダマシの生息が確認された。これはスズメガイダマシの生息地として日本海で初めての記録となる (大谷, 2011)。本研究では腹殻の放射条の本数及び長さの間隔に注目してこれら 2 種の形態比較を行った。

材料と方法

2018 年 6 月 8 日に能登半島七尾湾北湾の石川県七尾市能登島無関町の立ヶ鼻の東側と、能登島久木町の北東にある鱈島の東側(以下、鱈島東)の 2 カ所にてスクーバダイビングを用いた潜水調査を行った(図 1)。このうち、鱈島東でスズメガイダマシ科の 1 種を 4 個体採集した。採集した個体は研究室へ持ち帰って顕微鏡下で観察し、腹殻と背殻を撮影した後、99%エタノールによる液浸標本とした。

また、小木曾ら(2014)がスゲガサチョウチンを記録した石川県鳳珠郡能登町の九十九湾蓬莱島南西(以下、蓬莱島南西)においても 2018 年 7 月 31 日に潜水調査を行った。スズメガイダマシ科 6 個体を採集して研究室へ持ち帰ったが、途中で 1 個体を紛失した。5 個体の腹殻と背殻を顕微鏡下で撮影し、99%エタノールにより液浸標本を作製した。

これらの標本を観察し、模式標本と比較した結果、鱈島東で採集された個体をスズメガイダマシ *D. stella* (GOULD)、蓬莱島南西で採集された個体をスゲガサチョウチン *D. sparselineata* DALL と同定した(図 2)。

この 2 種は背殻の放射条と同心円状の成長脈、腹殻の放射条の形態の違いで主に識別される(DALL, 1920; HATAI, 1940; 広瀬ら, 2012)。本研究ではこれらの分類形質の観察に加えて、腹殻の放射条の本数及び長さの間隔を測定して比較を行った。まず、観察個体の前縁を顕微鏡像の上方、後縁を下方にして腹殻を正面から見た際に、正中線に最も近い放射条を中央線 C0 とした(図 3)。次に、体の右側(顕微鏡像の C0 の左側)の放射条を C0 に近い側から R1、R2、同様に体の左側の放射条を C0 に近い側から L1、L2 とした。なお、放射条は殻の縁辺に向かって分岐することがあるため、放射条の肉茎

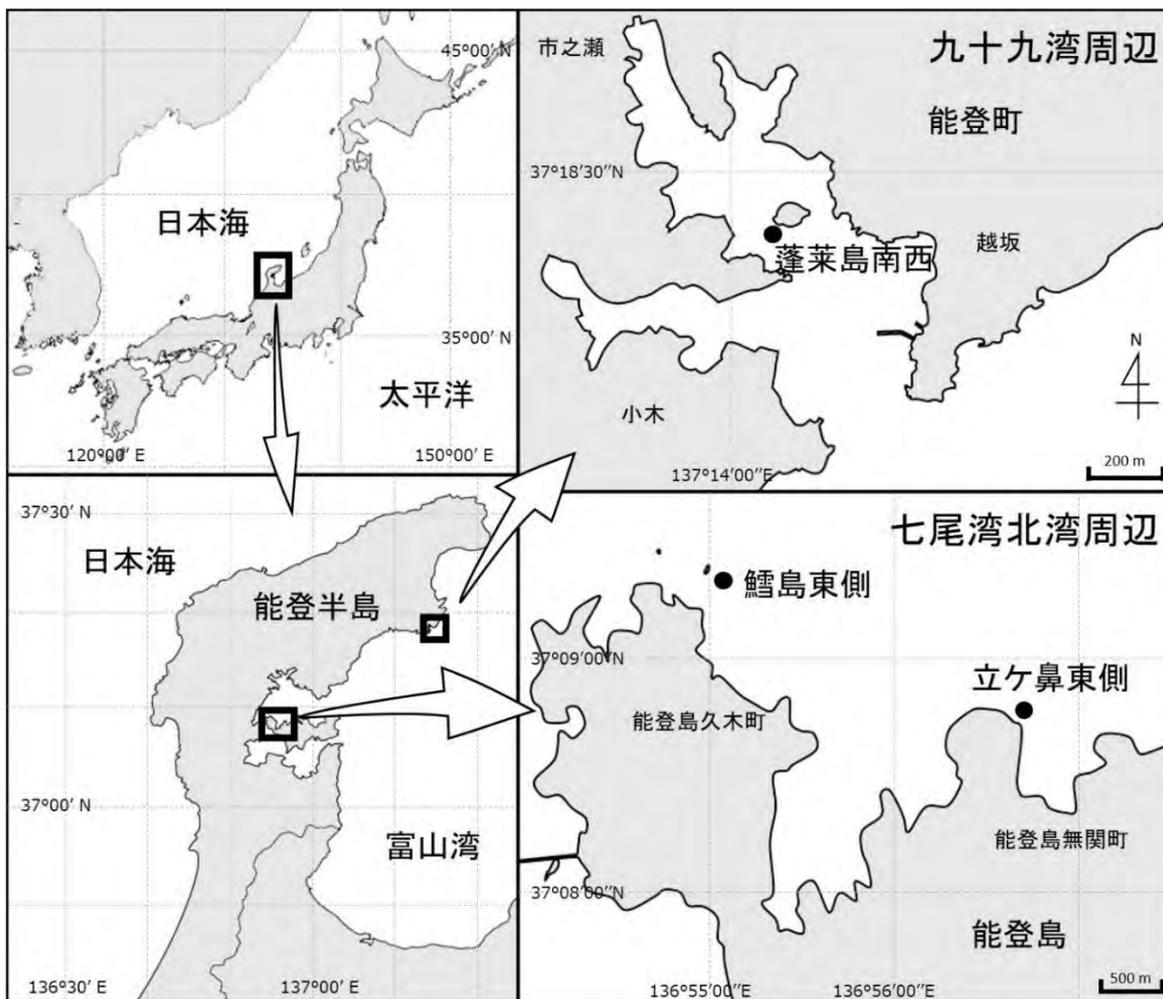


図 1 九十九湾と七尾湾北湾の調査地点周辺の地図(●:調査地点)

側を基部、殻の縁側を縁として扱い、これら R1、R2 等の名称は放射条の基部で観察できたものに基づいて番号を付した。放射条の本数の測定では、固定後

の標本を顕微鏡下で観察し、C0 とその左右に分けて、基部と縁での放射条の数をそれぞれカウントした。分岐のみられる放射条(以下分岐放射条)、基

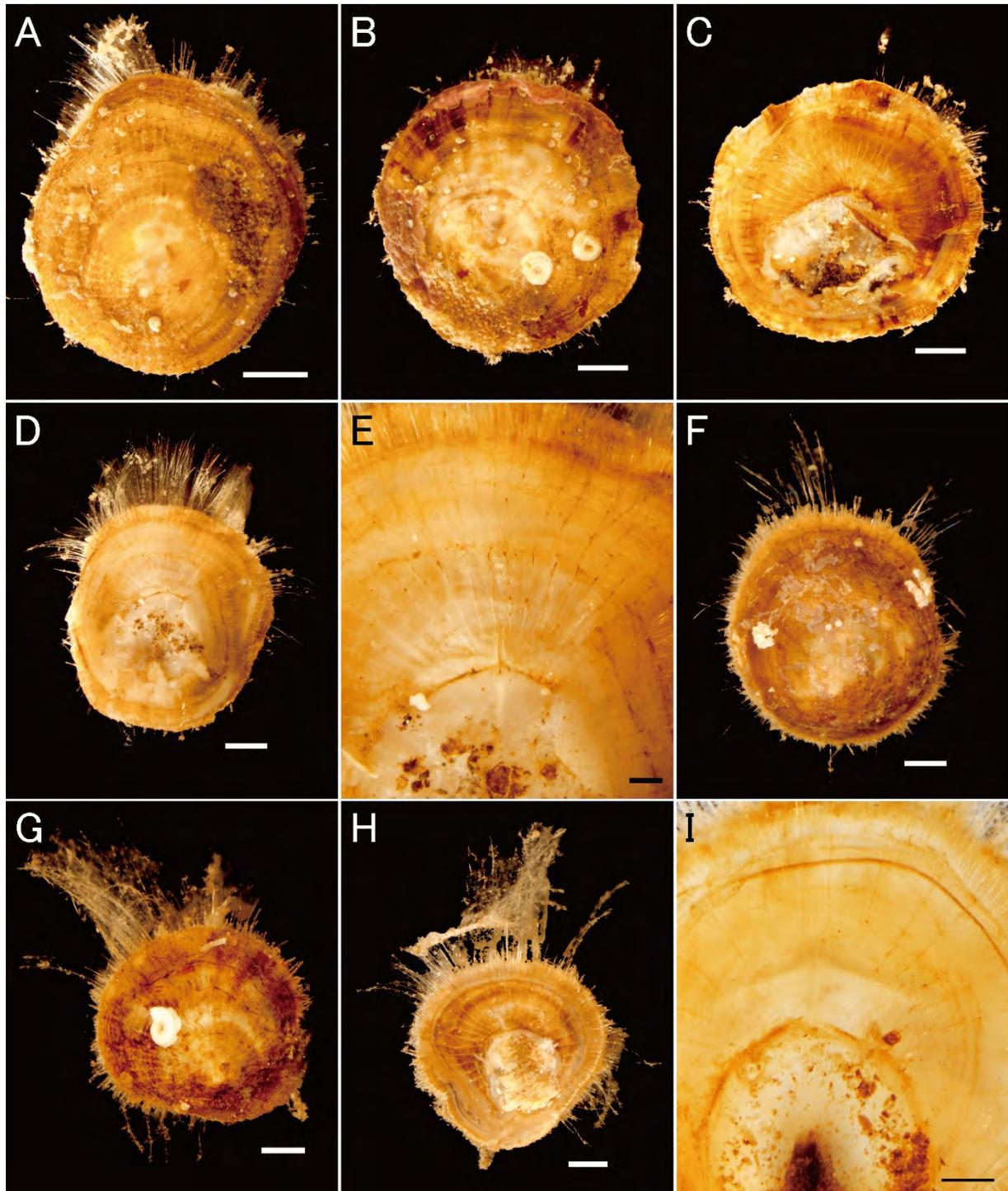


図 2 A-E:スズメガイダマシ *Discradisca stella*、F-I:スゲガサチョウチン *Discradisca sparselineata*。A:背面観(NML-02081)、B:背面観(NML-02083)、C:腹面観(NML-02083)、D:腹面観(NML-02080)、E:腹殻拡大(NML-02080)、F:背面観(NML-02086)、G:背面観(NML-02088)、H:腹面観(NML-02088)、I:腹殻拡大(NML-02084)。スケールバー:A-D:2 mm、EとI:0.5 mm、F-H:1 mm

部から縁への途中で消失する放射条(以下途中消失放射条)及び途中から縁に向かって出現する放射条(以下途中出現放射条)の数もカウントした。

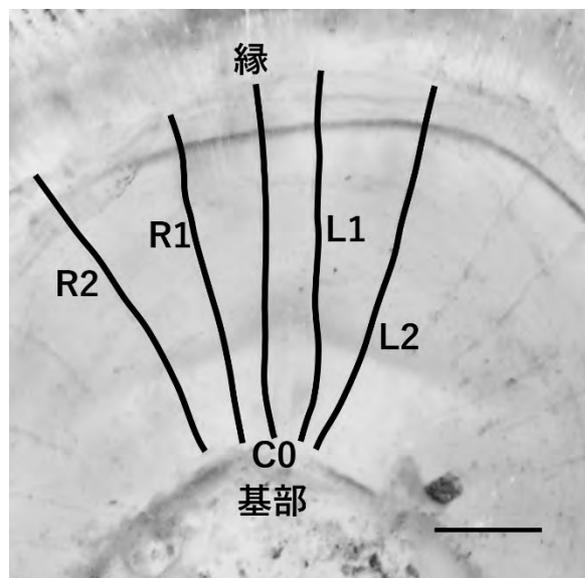


図 3 腹殻の放射条に付した名称(スゲガサチョウチン NML-02084、スケールバー:0.5 mm)

放射条の長さの間隔の測定では、R2、R1、C0、L1、L2 の 5 本の放射条の長さの間隔を Adobe 社製 Photoshop CC を用いて写真画像上で測定した。長さの測定では、基部から縁までの直線距離を測定し、分岐放射条の場合は分岐した放射条のうち最も C0 に近い 1 本の放射条の長さのみを測定した。放射条の間隔の測定では、隣り合う放射条の縁端における距離を直線距離で測定した。分岐放射条では、隣接する番号を付けた放射条に最も近い放射条を 1 本選び、同様に直線距離を測定した。なお、分岐した放射条間での距離は求めなかった。また、測定する放射条間に途中出現放射条があった場合は、選定した放射条と隣り合う途中出現放射条との間隔を直線距離で測定した。分岐放射条もしくは途中出現放射条がみられた個体では、これらが無いと仮定した場合の放射条の長さの間隔の推定も行った。すなわち、分岐放射条がある場合では、分岐した放射条が殻縁に到達した各地点の中間地点を分岐が無かった場合の放射条の縁端の位置として想定放射条を描き、想定放射条の長さ、想定放射条と隣り合う

放射条の間隔を測定した。途中出現放射条がある場合では、途中出現放射条を無視して放射条の間隔の測定を行った。

2018 年に得られた標本に加えて、2014 年に蓬莱島南西で採集されたスゲガサチョウチン 1 個体(大阪市立自然史博物館収蔵 OMNH-Iv-5444)についても同様の測定を行った。放射条の数及び間隔について Welch's test による統計解析を行った。

#### 調査標本

*Discradisca stella* (GOULD), NML-02080-02083, 4 個体, 背殻長 9.00–10.98 mm, 2018 年 6 月 8 日, 石川県七尾市能登島久木町の鱒島東, 水深約 2 m, 潜水採集, 小木曾正造・東出幸真採集.

*Discradisca sparselineata* DALL, NML-02084-02088, 5 個体, 背殻長 4.55–6.03 mm, 2018 年 7 月 31 日, 石川県鳳珠郡能登町の九十九湾蓬莱島南西, 水深 2.8–4.9 m, 潜水採集, 小木曾正造採集.

*Discradisca sparselineata* DALL, OMNH-Iv-5444, 1 個体, 背殻長 6.67 mm, 2014 年 10 月 7 日, 石川県鳳珠郡能登町の九十九湾蓬莱島南西, 水深 4 m, 潜水採集, 幸塚久典採集.

#### 結果と考察

##### スズメガイダマシ *Discradisca stella* (GOULD, 1926) 記載

背殻は殻長 9.00–10.98 mm、殻幅 7.99–10.88 mm のほぼ円形で、殻頂は中央よりもやや後方に位置する。殻は厚く、全体に淡黄色であるが、一部に乳白色や暗褐色が見られる個体もある。放射条は細く、その間隔は放射条の太さよりも広い。放射条はウズマキゴカイの仲間や石灰藻などの付着生物により一部が不明瞭となる。同心円状の成長脈は弱く、放射条との交点で瘤状にわずかに隆起する場合もみられる。腹殻は円形で薄く、淡黄色から半透明を呈し、後方よりの位置に大きな肉基板がある。腹殻の放射条は明瞭で間隔が狭く、観察した 4 個すべてにおいて分岐放射条がみられる。背殻、腹殻とも殻の縁は

棘毛が生え、前縁で特に長い。

**スゲガサチヨウチン *Discradisca sparselineata* DALL,**

**1920**

**記載**

背殻は殻長 4.55–6.67 mm、殻幅 4.74–6.66 mm、ほぼ円形で殻頂は中央よりもやや後方にあり、殻は厚い。全体的に淡黄色を呈し、一部に乳白色や暗褐色がみられる。放射条の隆起の程度は個体差が大きく、全体に不明瞭な個体、一部明瞭な個体、全体に明瞭な個体がみられる。同心円状の成長脈は全体的に弱く、ほとんど確認できない個体と、放射条との交点で瘤状の隆起がみられる個体もある。腹殻は円形で薄く、淡黄色から半透明を呈し、後方よりの位置に大きな肉基板がある。腹殻の放射条は明瞭で間隔が広く、観察した6個体中1個体でのみ分岐放射条が確認できる。背殻、腹殻ともに殻の縁は棘毛が生え、前縁で特に長く、前縁以外においてもまばらに長い棘毛が見られる。

**背殻の形態の比較**

スズメガイダマシの背殻では放射条が明瞭で、同心円状の成長脈との交点が瘤状に隆起するのに対し、スゲガサチヨウチンの背殻では放射条の隆起が

ほぼないとされる(DALL, 1920; HATAI, 1940; 広瀬ら, 2012)。しかしながら、本研究において背殻の放射条と同心円状の成長脈は付着生物の影響により不明瞭な場合や、同種内でも明瞭さに個体差がみられ、この形質により2種を識別することは難しかった。そのため、背殻以外の形態についても観察することが、本グループの分類には重要であると考えられる。

**腹殻の放射条の本数**

各標本における腹殻の基部と縁における放射条の本数及び放射条の分岐数、途中消失放射条、途中出現放射条の本数を表1に示す。スズメガイダマシの2個体(NML-02080及び02083)では腹殻左側(顕微鏡像の右側)の一部が欠損していたため、確認できた本数のみを示している。一方、NML-02081では腹殻左側の大部分が欠損していたため、左側の放射条はカウントできなかった。そこで、腹殻右側の放射条とC0における各放射条本数について2種で比較を行った。その結果、基部放射条本数(p=0.0029)、縁放射条本数(p=0.0006)、基部と縁の放射条本数の差(p=0.023)において有意差が認められ(図4A-C)、スズメガイダマシの腹殻にはスゲガサチヨウチンの約2倍の本数の放射条があり、基部と縁での本数の差が大きいことが分かった。

表1 腹殻の各放射条の本数。

種名	標本 No.	基部放射条				縁放射条				放射条の分岐数				途中消失放射条				途中出現放射条			
		右	C0	左	計	右	C0	左	計	右	C0	左	計	右	C0	左	計	右	C0	左	計
スズメガイダマシ <i>D. stella</i>	NML-02080*1	24	1	22	47	27	1	29	57	3	0	5	8	0	0	1	1	0	0	3	3
	NML-02081*2	20	1	-	21	28	2	-	30	8	1	-	9	0	0	-	0	0	0	-	0
	NML-02082	17	1	17	35	22	1	17	40	2	0	0	2	0	0	0	0	3	0	0	3
	NML-02083*1	23	1	15	39	30	1	15	46	6	0	2	8	0	0	2	2	1	0	0	1
	平均	21.0	1.0	18.0	35.5	26.8	1.3	20.3	43.3	4.8	0.3	2.3	6.8	0.0	0.0	1.0	0.8	1.0	0.0	1.0	1.8
スゲガサチヨウチン <i>D. sparselineata</i>	NML-02084	10	1	12	23	10	1	11	22	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0
	NML-02085	11	1	12	24	11	1	12	24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	NML-02086	14	1	12	27	15	1	12	28	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	NML-02087	10	1	10	21	10	1	10	21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	NML-02088	13	1	12	26	13	1	12	26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	OMNH-Iv-5444	7	1	9	17	8	1	10	19	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	2
平均	10.8	1.0	11.2	23.0	11.2	1.0	11.2	23.3	0.2	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.2	0.2	0.2	0.0	0.2	0.3	

\*1: 腹殻左側が一部欠損している。\*2: 腹殻左側が多く欠損しているため左側は計測せず。

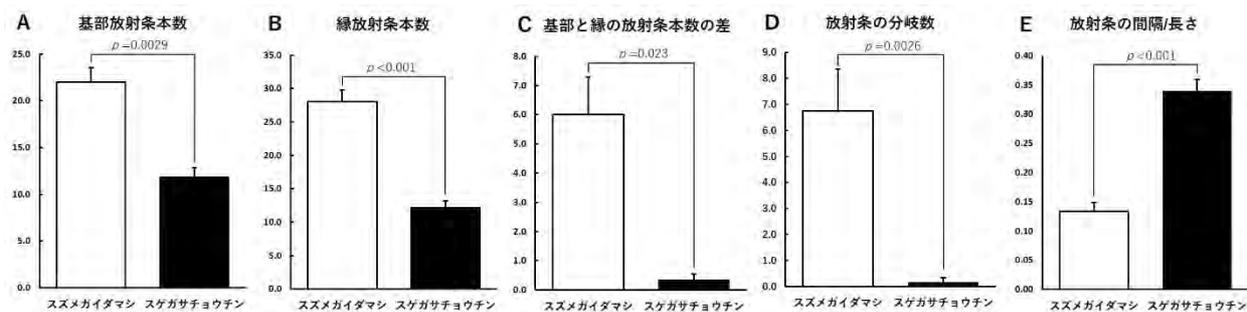


図 4 腹殻の放射条本数及び間隔/長さの平均値(スズメガイダマシ:n=4、スゲガサチヨウチン:n=6)。A:腹殻右側とC0の基部放射条本数、B:腹殻右側とC0の縁放射条本数、C:腹殻右側とC0の基部と縁の放射条本数の差、D:腹殻全体の放射条の分岐数、E:R2、R1、C0、L1、L2の間隔/長さ(バーは標準誤差を示す)。

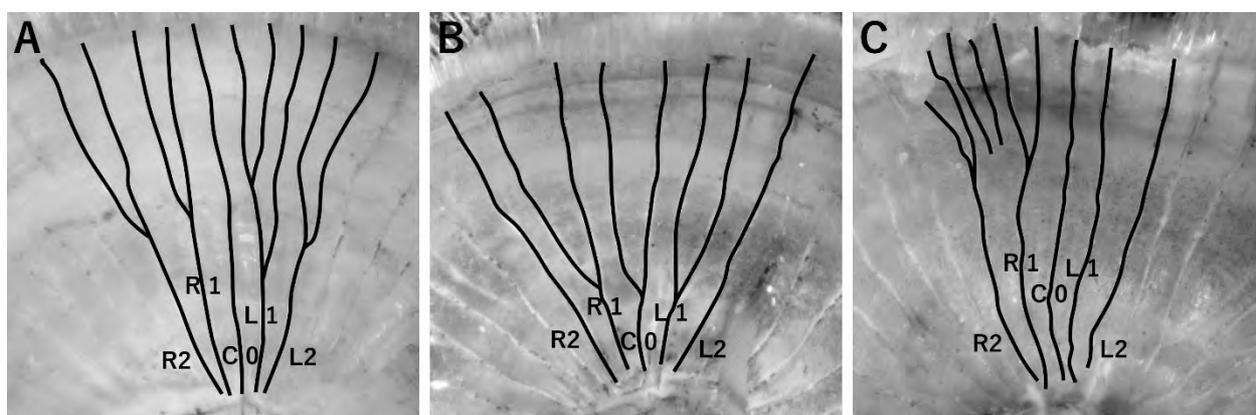


図 5 R2、R1、C0、L1、L2 に分岐放射条もしくは途中出現放射条を含むスズメガイダマシの腹殻(A: NML-02080, B: NML-02081, C: NML-02083)

表 2 背殻の殻長と殻幅、腹殻の 5 本の放射条(R2、R1、C0、L1、L2)の長さの間隔の測定値及びその比率。

種名	標本 No.	背殻長(mm)	背殻幅(mm)	腹殻の 5 本の放射条の		
				長さの平均(mm)	間隔の平均(mm)	間隔/長さ
スズメガイダマシ <i>D. stella</i>	NML-02080 <sup>*1</sup>	10.68	9.74	3.57	0.35	0.10
	NML-02081 <sup>*2</sup>	9.39	8.50	3.02	0.45	0.15
	NML-02082	9.00	7.99	2.61	0.44	0.17
	NML-02083 <sup>*3</sup>	10.98	10.88	3.51	0.40	0.12
	平均	10.02	9.28	3.18	0.41	0.13
スゲガサチヨウチン <i>D. sparselineata</i>	NML-02084	5.13	5.22	1.72	0.49	0.29
	NML-02085	6.03	6.66	1.70	0.64	0.38
	NML-02086	5.56	4.95	1.35	0.46	0.34
	NML-02087	4.81	5.10	1.25	0.46	0.37
	NML-02088	4.55	4.74	1.44	0.40	0.28
	OMNH-iv-5444	6.67	6.44	2.15	0.84	0.39
	平均	5.46	5.52	1.60	0.55	0.34

\*1:R2、R1、L1、L2 が分岐放射条で、L1 は分岐した C0 側の条がさらに分岐する。\*2:R1、C0、L1 が分岐放射条。\*3:R2、R1 が分岐放射条で、R2 と R1 の間に 2 本の途中出現放射条がある(図 5 参照)。

放射条の分岐はいずれも二又に分かれており、三又以上に分かれる放射条は確認されなかった。ズメガイダマシでは分岐した後の放射条がさらに分岐を繰り返す様子が2カ所で確認できた。腹殻全体で測定した放射条の分岐の頻度を両種で比較すると、ズメガイダマシは4個体で計27カ所、スゲガサチョウチンでは6個体で計1カ所のみで、有意な差( $p=0.026$ )が認められた(図4D)。しかしながら、本研究で用いた標本はズメガイダマシの方の背殻長が大きく、スゲガサチョウチンと大きさに差があることから、放射条の分岐は成長に伴って生じる可能性も考えられる。今後、様々なサイズの標本を用いて2種の放射条の分岐数を比較する必要がある。

### 腹殻の放射条の長さと同隔

測定した5本の放射条のうち、分岐放射条もしくは途中出現放射条が含まれたのはズメガイダマシの3個体(NML-02080, 02081, 02083)であった(図5)。測定した各値を表2に示す。ズメガイダマシ各個体の5本の放射条の長さの平均値は2.61–3.57 mmで、放射条の間隔の平均値は0.35–0.45 mmだった。スゲガサチョウチンではそれぞれ1.25–2.15 mmと0.40–0.84 mmだった。本研究で観察したズメガイダマシの標本はスゲガサチョウチンに比べて全体に大型だったため、放射条の長さがスゲガサチョウチンの約2倍となった。放射条の間隔は殻が大きくなるほど値が大きくなると考えられることから、ここでは相対的な放射条の間隔の広さを求めるために、放射条の間隔/長さの比率を計算した。その結果はズメガイダマシで0.10–0.17(平均±標準偏差:0.13±0.03)、スゲガサチョウチンで0.28–0.39(0.34±0.05)となり、スゲガサチョウチンで有意に大きく( $p=0.00004$ )、相対的な放射条の間隔がズメガイダマシの2倍以上あることが判明した(図4E)。

分岐放射条もしくは途中出現放射条が含まれたズメガイダマシの3個体(NML-02080, 02081, 02083)における分岐及び途中出現放射条が無いと仮定した場合の放射条の間隔の平均はそれぞれ0.68、0.87、0.64となり、通常のスズメガイダマシの値(0.35–0.45 mm)に比べて大きい値となった。一方、放射条の間

隔/長さの値は0.19、0.27、0.18であり、2個体では通常のスズメガイダマシに近い値となった。残る1個体は大きい値を示したが、スゲガサチョウチンの値よりは小さい値であった。このことから、ズメガイダマシの放射条に分岐や途中出現放射条が無いと仮定しても、基部からの放射条数が多いためにその相対的な間隔はスゲガサチョウチンよりも狭くなると考えられる。

腹殻の右側とC0の基部放射条の本数を横軸に、R2、R1、C0、L1、L2の放射条の間隔/長さの値を縦軸にとった散布図では(図6)、ズメガイダマシとスゲガサチョウチンは明確に2つのグループに分けることができる。このことから、腹殻の放射条の本数と同隔/長さの値はこれら2種を識別する指標として有効であると考えられる。

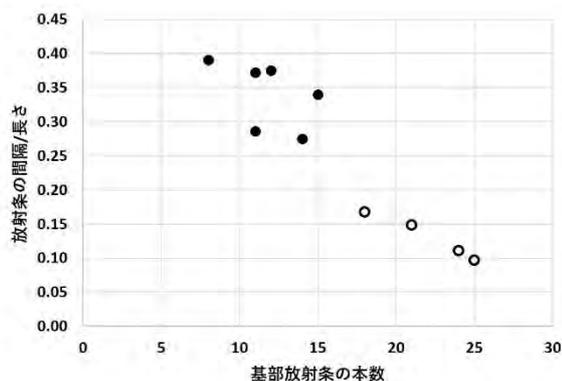


図6 腹殻右側とC0の基部における放射条本数とR2、R1、C0、L1、L2の間隔/長さの散布図(○:ズメガイダマシ、●:スゲガサチョウチン)

### ズメガイダマシ属の生息状況

ズメガイダマシは潮間帯中部から潮下帯の転石下や人工護岸上にも生息するとされ(大谷, 2011)、スゲガサチョウチンは内湾の湾口や海峡部などの潮通しのよい場所の潮間帯中部から潮下帯に生息する(岡山県, 2019)。本研究においてズメガイダマシが見つかった鱈島東は七尾湾北湾の最奥部に近い場所であるが、北湾湾口から入る東からの波浪の影響を受け、七尾湾西湾との接続部である海峡部に近く潮流の影響を受けられると思われる。本種は重なり合った転石の下面で見つかったが、下面が砂に埋まった転石では見られなかった。一方、立ヶ鼻の東側では転石の上に砂や泥の堆積が見られ、砂に埋もれた転石が

多かった。この場所は鱒島東側に比べて波浪や潮流の影響が少ないと推察され、このことが生息の有無に影響しているかもしれない。スゲガサチョウチンを採集した九十九湾の蓬莱島南西は、湾の中央付近に位置するが、潮流が速く湾口からの波浪の影響を強く受ける(矢島ら, 1979)。本種は重なり合った転石の下面や岩盤上の転石の下面で見つかるが、九十九湾周辺でよく見られる凝灰岩に付着している個体は少なく、ほとんどの個体はより硬質な転石に付着していた。両種とも、内湾的な環境で、潮流と波浪の影響を受ける転石帯の転石の下面に付着生活をしていたが、これまでに能登半島沿岸において同所的な生息は確認できていない。今回採集した2種の生息地は直線距離で約30 km 離れているが、どのように住み分けが行われているかは大変興味深い。

日本海におけるスズメガイダマシ及びスゲガサチョウチンの生体の記録は極めて乏しい。しかしながら、海岸に打ち上げられたスズメガイダマシ属の背殻は福井県から新潟県にかけての広い範囲で多数確認されている(吉岡, 2016)。今後、日本海の各地からこれらの種の生体や生息地が報告されることが予想される。

#### 比較標本

スゲガサチョウチン *Discinisca sparselineata* DALL (= *Discradisca sparselineata*): USNM MO 274131 (holotype), Gulf of Tokyo, Japan, collected by University of Tokyo; USNM MO 274129 (paratype), Hakodate, Japan, collected by W. STIMPSON. スズメガイダマシ *Discinisca stella* (GOULD) (= *Discradisca stella*): USNM MO 1759 (syntype), HongKong, collected by W. STIMPSON; USNM MO 175724 (hypotype), Fukura, Awaji, Japan, collected by HIRASE. *Discradisca* 属の一種 *Discradisca* sp.: NSMT-Te875, 瀬戸内海, 塩飽諸島(香川県), 広島北東沖 水深 21 m, 2010年11月9日, collected by M. HIROSE.

#### 謝辞

本研究は「石川県の絶滅のおそれのある野生生物

いしかわレッドデータブック」の更新のための調査の一環として行われた。石川県自然環境課、石川県里海生物研究会、金沢大学環日本海域環境研究センター臨海実験施設の鈴木信雄教授に本研究の機会を与えて頂いた。富山市科学博物館の吉岡翼氏と南部久男氏には文献調査にご協力頂いた。大阪市立自然史博物館には収蔵標本を計測させて頂いた。この場をお借りして心より御礼申し上げます。

#### 参考文献

- DALL, W. H., 1920. Annotated list of the recent Brachiopoda in the collection of the United States National Museum, with descriptions of thirty-three new forms. *Proceedings of the U.S. National Museum*, 57: 261–377.
- HATAI, K. M., 1940. The Cenozoic Brachiopoda of Japan. *Science reports of the Tohoku Imperial University. 2nd series, Geology*, 20: 1–413.
- 広瀬雅人・大塚功・近藤裕介・平林丈嗣・富川光・清水則雄, 2012. 瀬戸内海中央部で発見された腕足類 2 種について. *広島大学総合博物館研究報告*, (4): 43–48.
- 倉持卓司, 1999. 日本周辺海域産現生腕足類目録. *南紀生物*, 41(2): 155–158.
- 小木曾正造・又多政博・幸塚久典・広瀬雅人, 2015. 石川県における腕足動物スゲガサチョウチンの初記録. *のと海洋ふれあいセンター研究報告*, (20): 11–16.
- 岡山県, 2019. 岡山県版レッドデータブック 2009. [http://www.pref.okayama.jp/seikatsu/sizen/reddata\\_book/](http://www.pref.okayama.jp/seikatsu/sizen/reddata_book/) (参照 7 January 2019)
- 大谷道夫, 2011. 腕足動物門. Pp.139 in 今原幸光編著, 写真でわかる磯の生き物図鑑. トンボ出版, 大阪.
- 矢島孝昭・新谷力・又多政博, 1979. 能登九十九湾周辺海浜域におけるムツサンゴ *Rhizopsammia minuta mutsuensis* の生息状況. *日本海域研究所報告*, (11), 81–91.
- 吉岡翼, 2016. 北陸沿岸におけるスズメガイダマシ属(腕足動物)の打ち上げ背殻. *漂着物学会誌*, (14): 39–40.

## カワヤツメ *Lethenteron camtschaticum* 孵化幼生にとって最適な底質粒形と飼育方法に関する研究

荒川裕亮・柳井清治

石川県立大学生物資源環境学研究科, 石川県野々市市末松 1-308 (〒921-8836)

Optimal sediment particle size and rearing method for hatched larval Arctic Lamprey  
(*Lethenteron camtschaticum*)

Hiroaki ARAKAWA and Seiji YANAI

Ishikawa Prefectural University, 1-308, Suematsu, Nonoichi, Ishikawa 921-8836

### Abstract

Arctic Lamprey (*Lethenteron camtschaticum*) are important species culturally for food and fishing in the Noto Peninsula but its resource has been decreased. Artificial propagation of Arctic Lamprey was conducted in 2017 to develop the aquaculture method (ARAKAWA and YANAI, 2018), however, the rearing method of hatched larvae has not established. Our study objectives were to examine 1) the timing to feed, 2) sediment particle size, 3) kind of food and 4) larvae density in the tank for improvement of rearing hatched larval Arctic Lamprey. Hatched larvae reached to 8 mm in 18 days and stopped growth derived from yolk suck to shift feeding exogenous nutrition. The initial larva group (11 mm) and the grown larva group (43 mm TL) could not burrow into medium sand and coarse sand (0.25–1 mm). In addition, the initial larva group had more difficulty to burrow into fine sand (0.125–0.25 mm) than the grown larva group. The optimal sediment particle size for hatched larvae was recognized finer very fine sand (0.065–0.125 mm). In this study, we reared hatched larvae for one month in three different density (1667 /m<sup>2</sup>, 10000 /m<sup>2</sup>, 16667 /m<sup>2</sup>) and fed three different mixed food (active dry yeast, wheat flour, larval fish feed). The highest survival rates were 47.9–55.2 % in the lowest larvae density (1667 /m<sup>2</sup>). For kind of food, the larvae fed mixed active dry yeast and wheat flour survived higher than larvae fed active dry yeast, wheat flour, and larval fish feed which were used for supplemental food for larval lamprey. However, the growth rates of larvae fed larval fish feed were higher than feeding only active dry yeast and wheat flour. For the next study, we need to improve the amount and mixing ratio of basic food (active dry yeast, wheat flour) and supplemental food (larval fish feed), and frequency of feeding. Key words: Arctic Lamprey, aquaculture, hatched larva, burrowing behavior, feeding.

## はじめに

ヤツメウナギ類は世界に 44 種が分布しており (POTTER et al., 2015)、約 5 億年前に分岐した原始的な脊椎動物群の一種である (SMITH et al., 2013)。ヤツメウナギ類は食用としても広い地域で利用されており、現在でも日本やバルト海諸国、フランス、ポルトガル、スカンジナビア半島、ロシアで消費されている (RENAUD, 1997)。また米国西海岸やニュージーランドでは先住民民族によって貴重な栄養源として、独自の漁法によって採集され利用されてきた (HICKS and WATENE-RAWIRI, 2012; CLOSE et al., 2002)。またヤツメウナギ類幼生は、淡水生態系においてエコロジカルエンジニア (SHIRAKAWA et al., 2013) や魚類の餌資源 (ARAKAWA and LAMPMAN, in press) としての役割を有する。しかし、文化的かつ生態的に重要種であるヤツメウナギ類の個体数は世界的に減少しており、種の保全に関する研究が進められている (RENAUD, 1997; CLEMENS et al., 2017)。具体的な取り組みとして、ヤツメウナギ専用魚道の設置 (MOSER et al., 2011; GOODMAN and REID, 2017; Pacific Lamprey Technical Workgroup, 2017) や成体を構造物上流側へ導入する取り組み (CLOSE et al., 2009) が行われている。また水産増殖として人工繁殖技術の確立も必要であるが、飼育方法は未だ構築されていない。

石川県能登半島にも、ヤツメウナギ類のカワヤツメ (*Lethenteron camtschaticum*) を「カンコ」と呼ばれる独自の漁具を使って採捕し、春の風物詩として食した文化が 2000 年以前まで存在していた (荒川ほか 2018)。しかし、河川改修に伴ってカワヤツメの資源量は激減しており、このような地域固有の文化は喪失しようとしている。護岸工事による幼生の生息地となる堆積地が減少し (荒川・柳井, 2017)、河川内における収容力が低下している。また近年の研究によってカワヤツメの遡上能力が乏しことが明らかとなっており (ARAKAWA et al., 2020)、横断構造物が遡上の障害になるため産卵場までの回帰個体数の減少が懸念される。そこで石川県においても、能登半島で採集されたカワヤツメを使って人工授精の研究が行われた (荒川・柳井, 2018)。孵化したヤツメウナギ類幼生の生存率は、摂食を開始直後から 3 ヶ月後までが最も死亡率が高く、この期間における飼育方法の改善が求められている (LAMPMAN et al., 2016)。日本国内では、新潟県で孵化したカワヤツメ幼生を数年間に渡って飼育し、幼生を変態させる段階まで成功した事例がある (片岡, 1985)。しかし、給餌方法に関しては詳しく検討されていないため、カワヤツメ幼生の飼育方法として飼育環境や餌の種類、給餌量を確立する必要がある。

そこで本研究は、孵化した直後の幼生の飼育方法を構築することを目的として、1) 給餌開始時期、2) 底質粒径、3) 餌の種類 (ドライイースト、小麦粉、水産飼料)、4) 幼生の飼育密度を検討するため、幼生の飼育実験を行った。

## 材料と方法

### 1) 孵化幼生を無給餌で飼育

孵化した幼生が卵黄などの内部栄養から外部栄養に移行するまでの日数を明らかにするため、2015 年 5 月 29 日に孵化した幼生を無給餌で飼育し形態の観察を行った。飼育にはプラスチック製の容器 (28×22×5 cm) を使用し、水深を 3 cm として、底質は入れずに給餌も行わなかった。幼生は数十個体を容器内に投入し、数日に一度の頻度で幼生 4

個体をサブサンプリングし、顕微鏡で観察、全長の測定を行った。水温は 19 °C に維持されるように遮光された恒温室内で幼生を飼育した。注水や水替えは行わず、水深が低下した場合に、河川水を加えて水深を維持した。

### 2) 底質粒径を変化させた潜砂実験

実験に使用したカワヤツメ幼生は、2015 年に石川県町野川で採集された親魚を用いた人工授精によって孵化した幼生である。幼生は実験に使用するま

では、石川県内水面水産センター内のタンクで飼育した。孵化してから 2 ヶ月ほどが経った初期幼生群(以下:初期幼生群とする)として、2015 年 7 月 17 日に飼育タンクから 12 個体を取り出した。実験開始まではクーラーボックスに飼育タンクから取り出した底質と河川水を入れ、エアレーションを行いながら飼育した。幼生の全長は平均で  $11 \pm 1$  mm であった。次に孵化して 5 ヶ月経った幼生群(以下:幼生群とする)として、2015 年 10 月 13 日に飼育タンクから 12 個体を取り出して初期幼生群と同様の方法で実験開始まで飼育した。幼生の全長は平均で  $43 \pm 4$  mm であった。

初期幼生群と幼生群は全長が異なるため、それぞれ容積の異なる容器を潜砂実験に使用した。初期幼生群は円柱状のガラス瓶(直径: 3 cm×高さ: 4 cm)を使用し、幼生群はプラスチック製の容器(直径: 8 cm×高さ: 11 cm)を使用した。石川県町野川の中流に形成された堆積地で採集した泥や砂礫を 4 段階の粒径区分にふるい分けをした。粒径区分は極細粒砂(0.065–0.125 mm、以下 VF と記す)、細粒砂(0.125–0.25 mm、以下 F と記す)、中粒砂(0.25–0.5 mm、以下 M と記す)、粗粒砂(0.5–1 mm、以下 C と記す)である。

ヤツメウナギ類幼生を飼育するためには、底質深を全長に対して 3 分の 2 以上とする必要がある(McGree et al., 2008)。底質深はそれぞれ、初期幼生群で 1 cm、幼生群で 3 cm となるように各粒径区分の底質を入れた。水深はそれぞれ、1 cm と 6 cm とした。各粒径区分ごとに 3 つの容器を使用し 3 反復とした。1 つの容器に幼生 3 個体を投入し、投入直後から 7 時間後まで 1 時間の間隔で、幼生の潜砂状態を目視で確認した。幼生の潜砂状態は 4 つのレベルで評価した(図 1, Level 0: 非潜砂, Level

1: 全長の半分未満が底質中に潜砂, Level 2: 全長の半分以上が底質中に潜砂, Level 3: 完全潜砂)。エアレーションは使用せず、温度が 18 °C に保たれた恒温室内で実験を行った。部屋は完全に遮光されており、幼生を確認する際のみ、室内灯をつけて作業を行った。初期幼生の実験は 2015 年 7 月 29 日、幼生群は同年 10 月 19 日に行った。

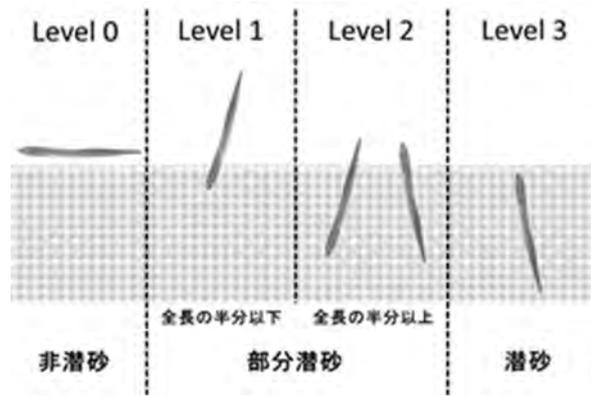


図 1 底質における幼生の潜砂状況。各潜砂レベルは、Level 0 非潜砂、Level 1 全長の半分未満が底質中に潜砂、Level 2 全長の半分以上が底質中に潜砂、Level 3 完全潜砂を示す。

### 3) 初期幼生の飼育

2017 年の春に人工授精して孵化した幼生(荒川・柳井, 2018)を、プラスチック製のタンク(67×45×30 cm)で、幼生の飼育密度や餌の種類を変えて飼育実験を行った。飼育期間は 2017 年 6 月 12 日から 7 月 19 日までの約 1 ヶ月間である。飼育タンクには粒径 0.25 mm 以下の底質を厚さ約 3 cm となるように敷き詰めた。実験中は常に地下水を注水し、目の細かいネットで覆われた排水管からオーバーフローで排水した。注水量は 2 L/min とし、実験開始時の水深は 25 cm で、6 月 19 日から実験終了時までには水深を 15 cm にした。水深を下げた理由は、餌が底

表 1 餌の処理と各種餌の配合割合

混合飼料名	ドライイースト(g)	小麦粉(g)	水産飼料 1:		水産飼料 2:		総給餌量(g)
			PB	ニジマスイクセイ 2P (g)	おとひめ	S-2 (g)	
Food 1	35	15	0	0	0	0	50
Food 2	25	5	20	0	0	0	50
Food 3	25	5	0	0	20	0	50

質表面に過度に堆積し、菌の繁茂が確認されたためである。原因として、タンク内の水深が深い場合、注水によってタンク内の攪拌が起りづらく、過度に餌が底質上に沈殿したことによって、菌類が発生したと考えられる。HANSON et al. (1974)は飼育容器内の底質上に菌類が繁茂すると、底質中が酸欠状態となり幼生の生存率が低下することを報告している。そこで、注水による攪拌する流れをタンク内に生じさせるため、水深を下げた。

飼育タンク内に入れる幼生の個体数と密度は3段階に設定し、1) 500 個体 (1667 個体 /m<sup>2</sup>)、2) 3000 個体 (10000 個体/m<sup>2</sup>)、3) 5000 個体 (16667 個体 /m<sup>2</sup>)である。また餌は3種類の混合飼料を使用し、処理は Food 1; ドライイースト+小麦粉、Food 2; ドライイースト+小麦粉+水産飼料 (PB ニジマスイクセイ 2P)、Food 3; ドライイースト+小麦粉+水産飼料 (おとひめ S-2)である。各飼育密度と各餌処理で反復は行わず、合計 9 タンクで飼育実験を行った。ドライイーストはインスタントドライイースト (Lesaffre 社)を使用し、小麦粉は薄力小麦粉 (株式会社神戸物産)を使用した。水産飼料として、PB ニジマスイクセイ 2P は手取フィッシュランドペットショップにて購入し、おとひめ S-2 は日清丸紅飼料株式会社のものを使用した。水産飼料は粒状であり、そのままでは、幼生が濾過摂食することができないため、粉碎した後に 0.125 mm のふるいを通過したものを与えた。

給餌量は Table 1 に示した量を週に 3 回の頻度で与えた。ヤツメウナギ類幼生への 1 週間の給餌量として、1 m<sup>2</sup> あたり 400–700 g で成長率に正の相関関係が得られている (LAMPMAN et al., 2016)。そこで本実験では、1 週間あたり 500 g/m<sup>2</sup> となるように混合飼料を与えた。全ての餌は、水の入ったプラスチックボトルに入れて、よく攪拌させた後にタンク内に注ぎ入れた。また実験開始 1 週間前に、サクラマス親魚の切り身を 40 g 全てのタンクに投入した。サケ科魚類の死骸をヤツメウナギ類幼生の飼育タンクに入れた理由は、幼生の成長率が高まることが報告されているためである (JOLLEY et al., 2015)。実験開始時の幼生の平均全長は約 7.3 mm、平均重量は約 2 mg であった。実験終了時に、各タンクから全ての幼生を取り出して生存個体数を計測し、各タンクから 20 個体ずつランダムにサブサンプリングして幼生の全長と湿重量を計測した。

## 結果

### 1) 孵化幼生の形態的变化

孵化直後の幼生は約 3 mm (写真 1) であり、3 日後に約 5 mm となった。7 日後に全長は約 7 mm となり、網膜の色素沈着が確認された。18 日後には全長は 8 mm となり、フード状の口が形成され、心臓や腸

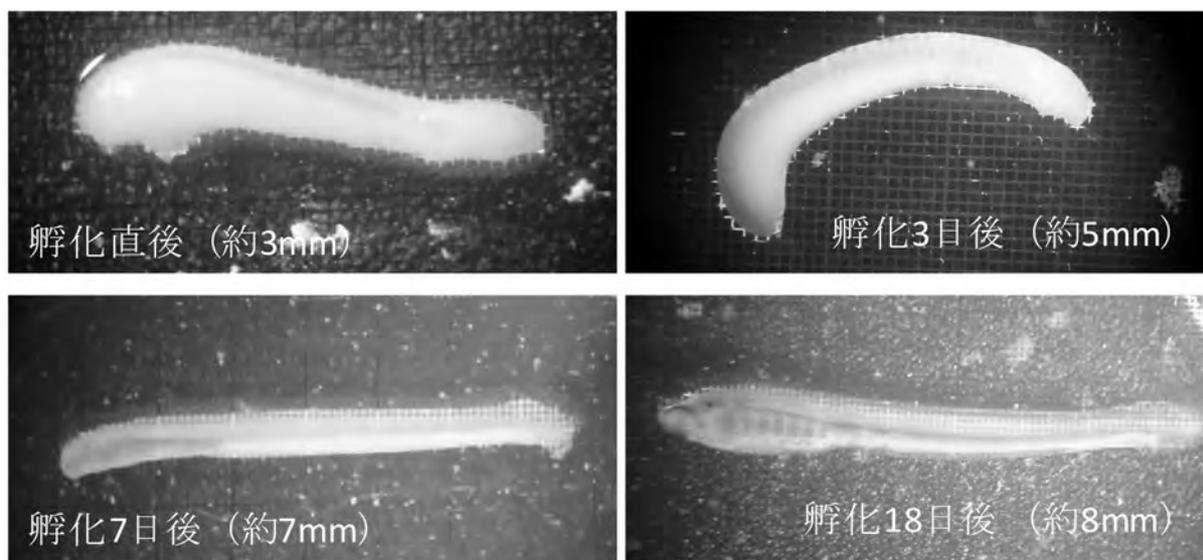


写真 1 孵化したカワヤツメ幼生を無給餌で飼育したときの形態的变化

管などの臓器の形状が明瞭となった。無給餌環境で、幼生の成長は約 8 mm で収束した(図 2)。

### 2)異なる底質粒径における幼生の潜砂状況

初期幼生群(11 mm TL)の時間ごとの潜砂レベルを図 3a に示す。潜砂レベルは粒径が粗くなるにつれて低下していた。最も粒径が細かい極細粒砂では、幼生は投入直後から全長の半分以上潜砂しており、ほとんどの個体が底質の中に潜っていた。細粒砂では投入 1 時間後から多くの個体が全長の半分以上潜砂しており、9 個体中 6 個体が完全に潜砂していた。中粒砂では、全長の半分未満潜砂していた個体が多く、全長の半分以上底質に潜り込んだ個体は、9 個体中 3 個体であった。粗粒砂ではほとんどの個体が潜砂することができず、底質上に多くの幼生が横たわっていた。しかし 4 時間後に 1 個体のみが完全に潜砂した。

幼生群(43 mm TL)の潜砂レベルは投入直後から極細粒砂と細粒砂で実験期間を通して高かった(図 3b)。中粒砂では時間の経過とともに、全長の半分未満潜砂する個体が増加したが、全長の半分以上潜砂した個体は 9 個体中 5 個体であった。粗粒砂では初期幼生群と同じく、ほとんどの幼生が潜砂することができず、2 個体が全長の半分未満潜砂したが、その後、潜砂行動をやめて底質上に横たわっていた。

### 3)初期幼生の飼育実験

飼育期間 1 ヶ月間の幼生の生存率は、低密度 1667 個体/m<sup>2</sup> で最も高く 47.9–55.2 % であった(図 4)。密度が高くなるにつれて生存率は低下し、10000 個体/m<sup>2</sup> で 15.0–28.3 %、16667 個体/m<sup>2</sup> で 3.2–21.1 % であった。餌の種類間で生存率を比較すると、Food 1(ドライイースト+小麦粉)が他の餌の種に比べて、全ての密度で常に生存率は高かった。最も生存率が高かった処理は Food 1 を与えた低密度 1667 個体/m<sup>2</sup> で 55.2 % であった。

幼生の全長や湿重量を処理ごとに比較すると、Food 1 は他の処理に比べて低い傾向であった(図 5a, b)。低密度 1667 個体/m<sup>2</sup> では Food 2【ドライイースト+小麦粉+水産飼料(PB ニジマスイクセイ 2P)】の全長と湿重量が最も大きかった(23±2 mm, 37±7 mg)。一方、

中密度 10000 個体/m<sup>2</sup> では Food 3【ドライイースト+小麦粉+水産飼料(おとひめ S-2)】で最も大きかった(21±3 mm, 27±11 mg)、高密度 16667 個体/m<sup>2</sup> では、Food 2 で最も大きかった(22±3 mm, 31±10 mg)。

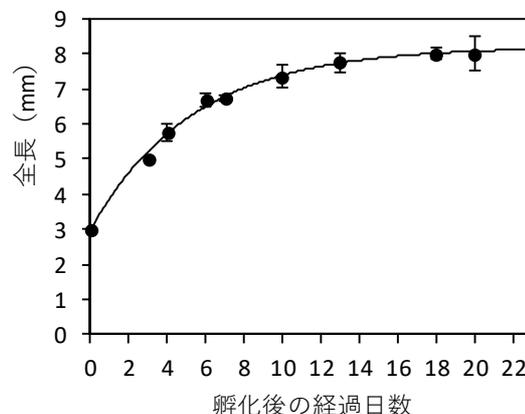


図 2 無給餌で飼育した孵化幼生の成長曲線。●は平均値、誤差範囲は標準偏差を表す。

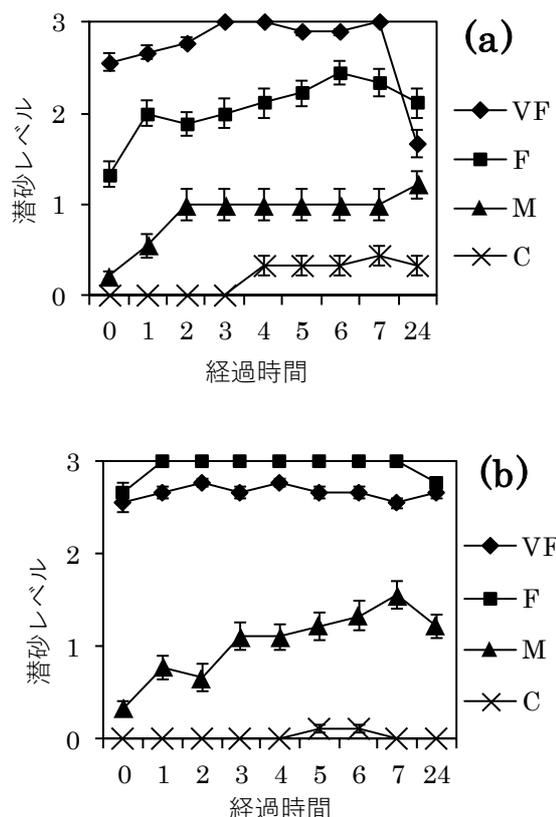


図 3 異なる粒径での初期幼生群(全長 11±1 mm, a)と幼生群(43±4 mm, b)の潜砂レベル。粒径区分は極細粒砂(VF 0.065–0.125 mm)、細粒砂(F 0.125–0.25 mm)、中粒砂(M 0.25–0.5 mm)、粗粒砂(C 0.5–1 mm)である。

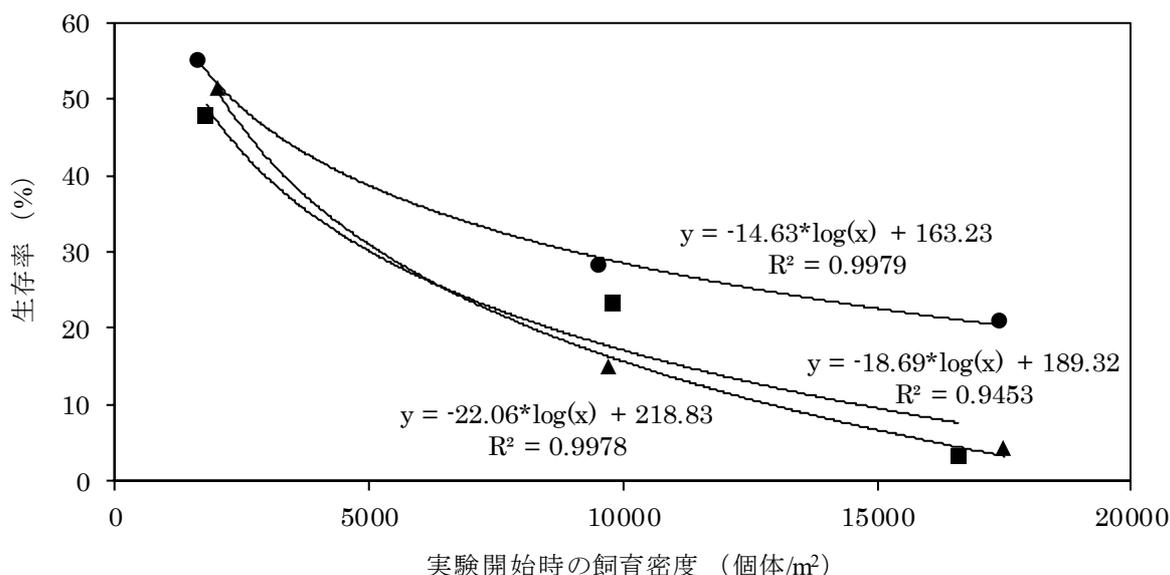


図 4 幼生の各飼育密度と与えた飼料による生存率の違い。● Food 1(ドライイースト+小麦粉)、■ Food 2(ドライイースト+小麦粉+PB ニジマスイクセイ 2P)、▲ Food 3(ドライイースト+小麦粉+おとひめ S-2)を示す。

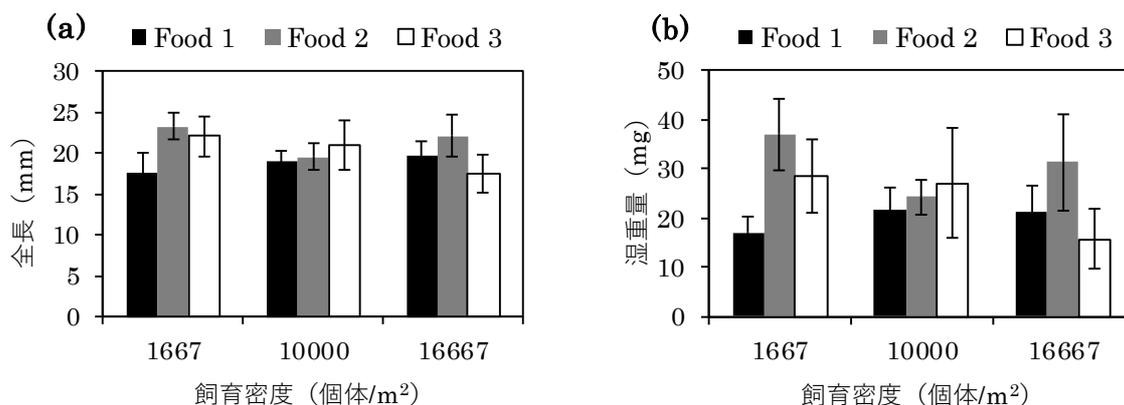


図 5 飼育実験終了時における、餌の種類と飼育密度で比較した幼生の全長の平均値(a)と湿重量の平均値(b)。誤差範囲は標準偏差を表す。

### 考察

#### 1) 初期幼生にとって適切な底質粒径

孵化直後の初期幼生群(11 mm TL)と幼生群(43 mm TL)にとって極細粒砂(0.065–0.125 mm)と細粒砂(0.125–0.25 mm)が、中粒砂(0.25–0.5 mm)と粗粒砂(0.5–1 mm)に比べて潜砂しやすい粒径であることが明らかとなった。野外調査事例においても、カワヤツメ幼生の生息環境として、粒径 0.1–0.25 mm 以下の割

合が高い底質が選択されている(白川ほか, 2009; 荒川・柳井, 2017)。カワヤツメの近縁種であるスナヤツメ(*Lethenteron reissneri* spp.)幼生の全長 50 mm 以下の個体にとっても 0.125 mm 以下の粒径が生息環境として重要な要因であることが報告されている(SUGIYAMA and GOTO, 2002)。本研究でも、孵化直後の初期幼生群(11 mm TL)と成長した幼生群(43 mm TL)は共に、粗粒砂(0.5–1 mm)に潜砂することができなかった。河床の大部分を粗粒砂で構成されている場合、Brook

Lamprey (*Lampreria planeri*) 幼生の底質に潜砂する行動や、穴を維持するための行動が阻害される (MALMQVIST, 1980)。

全長が 50 mm 以上のヤツメウナギ類幼生は底質の粒径ではなく、その他の生息環境要因として水深や底質深、餌となる河床有機物量に依存する (SUGIYAMA and GOTO, 2002; 白川ほか, 2009)。これは穿孔能力が高まることによって、底質粒径に対しての選好性が低下するためであると考えられる。一方で穿孔能力が乏しい幼生は潜砂することのできる細粒な底質粒径への依存性が高い。本研究結果においても、初期幼生群(11 mm TL)が細粒砂への潜砂率が全長の大きい幼生群(43 mm TL)と比べて低い傾向であった。孵化直後の幼生は既存の研究で小型個体群として扱われている 50 mm 以下の個体に比べても、穿孔能力はより低いと考えられる。またカワヤツメ幼生を細粒な底質のある環境と底質を与えない環境で飼育した場合、底質が無い場合に生存率が著しく低下する (荒川, 未発表)。その為、飼育環境として潜砂可能な極細粒砂などの細粒な底質を使用することで、孵化直後の幼生の生存率は向上すると考えられる。

## 2) 餌の種類と飼育密度

幼生は孵化後 18 日で、全長は 8 mm に達し成長が収束した。スナヤツメ(*Lethenteron reissneri* sp.)は孵化後 20 日、Pacific Lamprey は 21 日、Sea Lamprey は 23 日で漏斗状の口や消化管が形成され、摂食を開始する (PIAVIS, 1971; TAHARA, 1988; YAMAZAKI et al., 2003)。孵化後の幼生は卵黄などの内部栄養を利用して成長し、この段階から外部栄養に依存し始める。魚類の発生において内部栄養から外部栄養に切り替わる発育初期段階の死亡率は高い (SIFA and MATHIAS, 1987)。2015 年にカワヤツメ孵化幼生を飼育した結果でも、2 ヶ月間で初期幼生は 100 分の 1 以下に減耗したと推定されている (荒川, 未発表)。その為、孵化後 18 日前後経過した約 8 mm の幼生に、潜砂することができる適切な底質環境を提供し、給餌を開始する必要がある。

本研究ではカワヤツメ幼生を 90 L タンクで飼育し、ドライイーストと小麦粉を与えた幼生の生存率が、水

産飼料をさらに配合して与えた処理に比べて高かった。ドライイーストはヤツメウナギ類幼生の飼育に広く用いられている。ドライイーストは孵化直後の Pacific Lamprey 幼生に与えると、藻類に比べて成長率や脂肪酸の保持率が高く、給餌効率が最も良い餌であると報告されている (BARRON et al., 2015)。Sea Lamprey 幼生の飼育にもドライイーストは利用されており、600 個体/m<sup>2</sup> という高密度で幼生を飼育した時に Yeast cake を与えることで高い生存率が記録されている (HANSON et al., 1974)。

ドライイーストは粒径が約 10 μm と細粒であるため、孵化直後の小型の濾過摂食者であるヤツメウナギ幼生にとって摂食効率が高いと考えられる。しかしドライイーストはタンク内の酸素量を低下させるため (MAINE et al., in press)、注水がされていないと幼生が 100 % 死亡した事例も報告されている (LAMPMAN, 2017)。一方で、与えた際に注水を止めることで、底質に餌が沈殿しやすくなり、給餌量あたりの幼生の摂食量が増加する (HANSON et al., 1974; LAMPMAN et al., 2016)。その為、給餌時に水を止めることは効果的な飼育方法であるが、給餌量と酸素消費量の兼ね合いや、注水を戻すことに注意しなければならない。また小麦粉もヤツメウナギ類幼生の飼育に、ドライイーストと合わせて用いられている (LAMPMAN, 2017; EVANS and LAMPMAN, 2019)。本研究でも小麦粉を与えることで、幼生の成長が確認されたため、今後ドライイーストとの配合割合や、給餌量、頻度などを詳しく検討する必要がある。

水産飼料をドライイーストと小麦粉に配合した餌を与えた幼生の生存率は、ドライイーストと小麦粉のみを与えた幼生と比べて低かった。Pacific Lamprey 幼生にドライイーストと水産飼料(オトヒメ A1)を 4:1 の割合で配合した飼料を与えることで、より高い成長が報告されている (BARRON et al., 2015)。水産飼料は栄養補助的な役割を有し、基礎的な餌資源として利用されるドライイーストと混合し与えることで、幼生の成長率は向上する (LAMPMAN, unpublished)。水産飼料を配合した餌を与えた幼生の成長率は、ドライイーストと小麦粉のみを与えた時に比べてわずかに高かったことから、水産飼料による成長率の増加が裏付けられる。しかし

成長率が高かった原因として、水産飼料を使用した処理は、ドライイーストと小麦粉の処理に比べて生存率が低く、生存個体数の減少に伴って、1 個体あたりの餌の摂食可能量が増加した可能性もある。本研究では初期幼生を 1667 個体/m<sup>2</sup>で飼育した時、生存率は 10000、16667 個体/m<sup>2</sup> に比べて高く、最高で 55.2 % であった。今後、栄養補助的な水産飼料の給餌量や頻度を変えて、効率的な幼生の飼育方法を検討していかなければならない。

### 要約

カワヤツメ(*Lethenteron camtschaticum*)は石川県能登半島において、食文化や漁業資源として利用されてきた文化的に重要な種であるが、その資源量は激減している。水産増殖に関する研究として、カワヤツメの人工授精が実施されたが(荒川・柳井, 2018)、幼生の飼育方法は確立されていない。そこで、本研究は幼生の飼育方法として、1) 給餌開始時期、2) 底質粒径、3) 餌の種類、4) 幼生の飼育密度を検討した。カワヤツメ幼生は孵化後約 18 日で、卵黄による成長が終了して全長は 8 mm 程度に達し、外部栄養に移行する。孵化直後の初期幼生群(11 mm TL)と成長した幼生群(43 mm TL)は中粒砂～粗粒砂(0.25–1 mm)で、底質への潜砂が困難であることが観察された。一方で、初期幼生群は幼生群と比べて、細粒砂に潜砂しづらい傾向が確認された。その為、孵化直後の幼生の飼育環境として、極細粒砂(0.065–0.125 mm)などより細粒な底質を用いる必要がある。本研究ではドライイースト、小麦粉、水産飼料を配合した混合飼料を用い、幼生の飼育密度を変えて(1667 個体/m<sup>2</sup>、10000 個体/m<sup>2</sup>、16667 個体/m<sup>2</sup>)、孵化した幼生を 1 ヶ月間飼育した。最も生存率が高かった処理は、低密度(1667 個体/m<sup>2</sup>)で飼育した処理で、47.9–55.2 % であった。餌の種類としては、ドライイーストと小麦粉を与えた処理で生存率は最も高く、栄養補助として幼生の飼育に用いられる水産飼料を与えた処理では、生存率はわずかに低かった。しかし、水産飼料を与えた処理では成長率が高かった。その為、今後は基礎的な餌となる

ドライイーストや小麦粉と水産飼料の割合や給餌量、頻度を変えて飼育方法を改善していかなければならない。

### 謝辞

石川県内水面水産センター各位には、飼育に使用するタンクを提供して頂くなど、研究を進める上で、多くの協力をいただいた。また、能登町柳田地区小間生在住の道重重一様や山形県東庄内町清川のズスキ商店には、実験に用いるカワヤツメ親魚を提供していただいた。さらに、米国ワシントン州 Yakama Nation Fisheries の Ralph LAMPMAN 氏には、飼育に関する多くの助言をいただいた。以上の関係各位に記して謝意を表す。本研究は JSPS 科研費 26340092 の助成を受けて実施したものである。

### 参考文献

- 荒川裕亮・柳井清治, 2017. 能登半島における絶滅危惧種カワヤツメ幼生の秋季微生息環境. 応用生態工学, 20: 11–24.
- 荒川裕亮・志摩優介・柳井清治, 2018. 能登半島里川におけるカワヤツメに関する地域文化とその漁獲量の推移. 石川県立大学紀要, 1: 11–21.
- 荒川裕亮・柳井清治, 2018. カワヤツメ *Lethenteron japonicum* の成熟度合と人工授精に関する研究. のと海洋ふれあいセンター研究報告, 24: 29–39.
- ARAKAWA, H., ICHION, E., NAKANO, M., and YANAI, S., 2020. Factors that Affect Arctic Lampreys' Ascent Behavior on Fishway Weirs. *Journal of Rainwater Catchment Systems*, 25: 15–21.
- ARAKAWA, H., and LAMPMAN, R. T., in press. An experimental study to evaluate predation threats on two native larval lampreys in the Columbia River Basin, USA. *Ecology of Freshwater Fish*.
- BARRON, J. M., TWIBELL, R. G., HILL, H. A., HANSON, K. C., and GANNAM, A. L., 2015. Development of diets

- for the intensive culture of Pacific lamprey. *Aquaculture Research*, 47: 3899–3906.
- CLEMENS, B. J., BEAMISH, R. J., KELLY, C. C., DOCKER, M. F., JASON B.D., GRAY, A. E., HESS, J. E., JOLLEY, J. C., LAMPMAN, R. T., MCILRAITH, B. J., MOSER, M. L., MURAUSKAS, M. G., NOAKES, D. L. G., SCHALLER, H. A., SCHRECK, C. B., STARCEVICH, S. J., STREIF, B., van de WETERING, S. J., WADE, J., WEITKAMP, L. A., and WYSS, L. A., 2017. Conservation challenges and research needs for Pacific Lamprey in the Columbia River Basin. *Fisheries*, 42: 268–280.
- CLOSE, D. A., CURRENS, K. P., JACKSON, A., WILDBILL, A. J., HANSEN, J., BRONSON, P., and ARONSUU, K., 2009. Lessons from the reintroduction of a noncharismatic, migratory fish: Pacific lamprey in the upper Umatilla River, Oregon. In American Fisheries Society Symposium.
- CLOSE, D. A., FITZPATRICK, M. S., and LI, H. W., 2002. The ecological and cultural importance of a species at risk of extinction, Pacific lamprey. *Fisheries*, 27: 19–25.
- EVANS, T. M., and LAMPMAN, R. T., 2019. Comparison of stable isotope ratios in larval Pacific lamprey tissues and their nutritional sources when reared on a mixed diet. *Aquaculture*, 503: 499–507.
- GOODMAN, D. H., and REID, S. B., 2017. Climbing above the competition: Innovative approaches and recommendations for improving Pacific Lamprey passage at fishways. *Ecological engineering*, 107: 224–232.
- HANSON, L. H., KING Jr, E. L., HOWELL, J. H., and SMITH, A. J., 1974. A Culture Method for Sea Lamprey Larvae. *The Progressive Fish-Culturist*, 36: 122–128.
- HICKS, B. J., and WATENE-RAWIRI, E. M., 2012. Ikwai: freshwater fishes in Māori culture and economy. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*, 46(3), 437–439.
- JOLLEY, J. C., UH, C. T., SILVER, G. S., and WHITESEL, T. A., 2015. Feeding and Growth of Larval Pacific Lamprey Reared in Captivity. *North American Journal of Aquaculture*, 77(4): 449–459.
- 片岡哲夫, 1985. カワヤツメの増殖に関する研究-IV. 新潟県内水面試験場調査研究報告, 12: 23–28.
- LAMPMAN, R., 2017. Development of artificial propagation methods for production of juvenile Pacific lamprey (*Entosphenus tridentatus*) for the use in research associated with Section 4.2.3 of the Rocky Reach Pacific Lamprey Management Plan. Yakama Nation Pacific Lamprey Project 2017 Annual Progress Report. pp. 35.
- LAMPMAN, R., MOSER, M. L., and JACKSON, A. D., 2016. Developing techniques for artificial propagation and early rearing of Pacific Lamprey (*Entosphenus tridentatus*) for species recovery and restoration. In A. M. ORLOV and R. J. BEAMISH (Eds.), *Jawless Fishes of the World. Volume 2*. Cambridge: Cambridge Scholars Publishing. pp. 160–194
- MAINE, A. N., MOSER, M. L., and JACKSON, A. D., 2017. Development of artificial propagation methods for Pacific Lamprey (*Entosphenus tridentatus*)-2016. Report for Bureau of Reclamation, Boise.
- MALMQVIST, B., 1980. Habitat selection of larval brook lampreys (*Lampetra planeri*, Bloch) in a South Swedish stream. *Oecologia*, 45: 35–38.
- McGREE, M., WHITESEL, T. A., and STONE, J., 2008. Larval metamorphosis of individual Pacific lampreys reared in captivity. *Transactions of the American Fisheries Society*, 137: 1866–1878.
- MOSER, M. L., KEEFER, M. L., PENNINGTON, H. T., OGDEN, D. A., and SIMONSON, J. E., 2011. Development of Pacific lamprey fishways at a hydropower dam. *Fisheries Management and Ecology*, 18: 190–200.
- Pacific Lamprey Technical Workgroup, 2017. Practical guidelines for incorporating adult Pacific lamprey passage at fishway. [https://www.fws.gov/pacificlamprey/documents/2017.06.20%20lamprey\\_psgfinal.pdf](https://www.fws.gov/pacificlamprey/documents/2017.06.20%20lamprey_psgfinal.pdf). 2020/01/17 参照.

- PIAVIS, G. W., 1971. Embryology. In M. W. Hardisty and I. C. Potter (Eds.), *The biology of lampreys*. Vol. I. (pp. 361–400). London: Academic Press.
- POTTER, I.C., GILL, H.S., RENAUD, C.B., HAOUCHER, D., 2015. The taxonomy, phylogeny, and distribution of lampreys. In: M.F. DOCKER, (Ed.), *Lampreys: biology, conservation and control*, Vol. 1. New York: Springer, Fish and Fisheries Monograph Series. pp. 35–74.
- RENAUD, C. B., 1997. Conservation status of northern hemisphere lampreys (Petromyzontidae). *Journal of Applied Ichthyology*, 13: 143–148.
- 白川北斗・柳井清治・河内香織, 2009. カワヤツメ幼生の生息地選択性は成長段階によって変化する. *応用生態工学*, 12: 87–98.
- SHIRAKAWA, H., YANAI, S., and GOTO, A., 2013. Lamprey larvae as ecosystem engineers: physical and geochemical impact on the streambed by their burrowing behavior. *Hydrobiologia*, 701: 313–322.
- SIFA, L., and MATHIAS, J. A., 1987. The critical period of high mortality of larvae fish —A discussion based on current research. *Chinese Journal of Oceanology and Limnology*, 5: 80–96.
- SMITH, J. J., KURAKU, S., HOLT, C., SAUKA-SPENGLER, T., JIANG, N., CAMPBELL, M. S., ... and MORGAN, J. R., 2013. Sequencing of the sea lamprey (*Petromyzon marinus*) genome provides insights into vertebrate evolution. *Nature genetics*, 45: 415–423.
- SUGIYAMA, H., and GOTO, A., 2002. Habitat selection by larvae of a fluvial lamprey, *Lethenteron reissneri*, in a small stream and an experimental aquarium. *Ichthyological Research*, 49: 62–68.
- TAHARA, Y., 1988. Normal stages of development in the lamprey, *Lampetra reissneri* (Dybowski). *Zoological Science*, 5: 109–118.
- YAMAZAKI, Y., FUKUTOMI, N., TAKEDA, K., and IWATA, A., 2003. Embryonic development of the Pacific lamprey, *Entosphenus tridentatus*. *Zoological Science*, 20: 1095–1098.

## 能登半島九十九湾に生息するアカテガニの生態学的研究

村山寛記<sup>1)</sup>・小木曾正造<sup>2)</sup>・岡村隆行<sup>3)</sup>・柳井清治<sup>4)</sup>・関本愛香<sup>5)</sup>・丸山雄介<sup>6)</sup>・服部淳彦<sup>6)</sup>・鈴木信雄<sup>1,3,5)</sup>

<sup>1)</sup>金沢大学理工学域自然システム学類, 石川県角間町 (〒920-1192)

<sup>2)</sup>金沢大学総合技術部環境安全部門, 石川県鳳珠郡能登町小木ム 4-1 (〒927-0553)

<sup>3)</sup>金沢大学環日本海域環境研究センター臨海実験施設, 石川県鳳珠郡能登町小木ム 4-1 (〒927-0553)

<sup>4)</sup>石川県立大学環境科学科, 石川県野々市市末松 1-308 (〒921-8836)

<sup>5)</sup>金沢大学大学院自然科学研究科, 石川県角間町 (〒920-1192)

<sup>6)</sup>東京医科歯科大学, 教養部, 千葉県市川市国府台 2-8-30 (〒272-0827)

### Ecological studies of Red claw crab *Chiromantes haematocheir* (DE HAAN) inhabiting in Tsukumo Bay, Noto Peninsula

Hiroki MURAYAMA<sup>1)</sup>, Shouzo OGISO<sup>2)</sup>, Takayuki OKAMURA<sup>3)</sup>, Seiji YANAI<sup>4)</sup>, Aika SEKIMOTO<sup>5)</sup>, Yusuke MARUYAMA<sup>6)</sup>, Atsuhiko HATTORI<sup>6)</sup> and Nobuo SUZUKI<sup>1,3,5)</sup>

<sup>1)</sup>School of Natural System, College of Science and Engineering, Kanazawa University, Kakuma, Kanazawa, Ishikawa Pref., 920-1192

<sup>2)</sup>Engineering and Technology Department, Kanazawa University, Mu-4-1, Ogi, Noto, Ishikawa Pref., 927-0553

<sup>3)</sup>Noto Marine Laboratory, Institute of Nature and Environmental Technology, Kanazawa University, Mu-4-1, Ogi, Noto, Ishikawa Pref., 927-0553

<sup>4)</sup>Department of Environmental Sciences, Ishikawa Prefectural University, 1-308, Suematsu, Nonoichi, Ishikawa Pref., 921-8836

<sup>5)</sup>Graduate School of Natural Science and Technology, Kanazawa University, Kakuma, Kanazawa, Ishikawa Pref., 920-1192

<sup>6)</sup>Department of Biology, College of Liberal Arts and Sciences, Tokyo Medical and Dental University, 2-8-30, Kounodai, Ichikawa, Chiba Pref., 272-0827

#### Abstract

The red claw crab, *Chiromantes haematocheir*, has a unique life history, in that it must temporarily reside in the sea during the early larval stages, from the zoea stage to the juvenile megalopa

larva stage. We investigated the distribution of crabs and counted the appearance frequency of crabs using a time-lapse camera in the biotope where a channel and ponds (50 m long and 3 m wide) were created adjacent to the Noto Marine Laboratory of Kanazawa University in March 2017. Several traps made of vinyl chloride and coarse filter media were installed in Tsukumo Bay, and megalopa larvae were collected to determine the conditions in which megalopa larvae can approach and land from the sea. As a result, many small individuals were observed inside a biotope closer to the coast in June and July in 2019, and the proportion of large individuals increased farther from the shore. However, small crabs were replaced with large individuals near the shore during August and September. This phenomenon suggests that female crabs go to the seashore to release zoea larvae while male crabs go to mate with female crabs that have released zoea larvae into the sea. The appearance frequency tended to increase after sunset and decrease with sunrise. This suggested that red claw crabs were characteristically nocturnal animals, and that they sense a circadian rhythm by monitoring the stimulation of sunlight with their eyes. In the survey of megalopa larvae using traps, we were able to collect 135 megalopa larvae on middle and spring tides during October. On other hand, only a few megalopa larvae were able to be collected on other days. More of the megalopa larvae were collected at a small river mouth where freshwater flowed into the sea and a landing with a gentle slope was provided. Based on the basic data obtained in the present study, we are planning to continue our ecological research on red claw crabs inhabiting Tsukumo Bay.

Key words: *Chiromantes haematocheir*, Tsukumo Bay, biotope, megalopa

## はじめに

アカテガニ *Chiromantes haematocheir* (DE HAAN)は、十脚目ベンケイガニ科に分類されるカニの一種であり、日本では本州から南西諸島までに分布し、海岸や川辺に多く生息する。アカテガニは陸上生活に高度に適応しているが、成長過程（ゾエア期からメガロパ期を経て稚ガニまでの過程）において、一時的に海中で生活しなければならないという特異的な生活史を持つ。能登半島にもアカテガニが生息しており、特に、石川県能登町の九十九湾は溺れ谷の地形をしており、海岸線が長く、海のすぐそばに森林が広がっているという地形を持っている。したがって、主に陸（森林）を生活の場とするアカテガニの成体にとって、九十九湾は最適な環境といえる。

そこで本研究では、九十九湾に生息するアカテガニの生態を調査することを目的として以下の実験を行った。前報（近藤他，2017）で報告したビオトープをフィールドとして、①ビオトープに生息するアカテガニの捕獲調査を行った。また、②タイムラプスにてアカテガニ類の時間的な行動パターンも観察した。さらに、③メガロパ幼生が上陸する条件を調査するために、九十九湾の地形の条件が違う場所を選び、トラップによるメガロパ幼生の採集調査を行った。

## 材料と方法

1) ビオトープに生息するアカテガニ類の捕獲調査  
ビオトープ周辺に生息するアカテガニ類の分布、  
個体サイズ、雌雄を調査するために、ビオトープの

区間を約 15 m の 3 区間に分け（図 1）、区間ごとに水路や池の周辺に生息するアカテガニ類を捕獲した。その後、カニをバケツに集めて電動ノギスで甲幅を測定し、雌雄も確認した。採集は 1 区間につき、20 分間行い、計測後にカニは同じ区間に戻した。

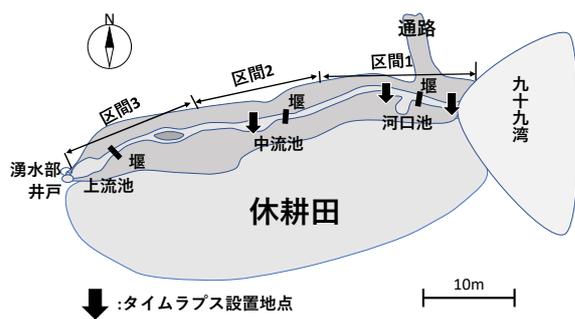


図 1 ビオトープ及び休耕地の見取り図  
矢印は、タイムラプスの定点観察地点を示す。

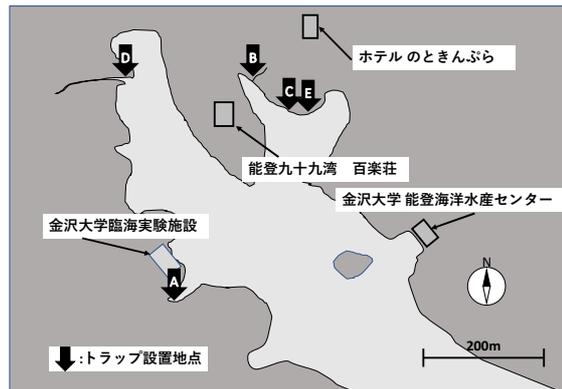


図 2 メガロパ幼生を採集するためにトラップを設置した地点。矢印は設置した5地点 (A から E) を示す。

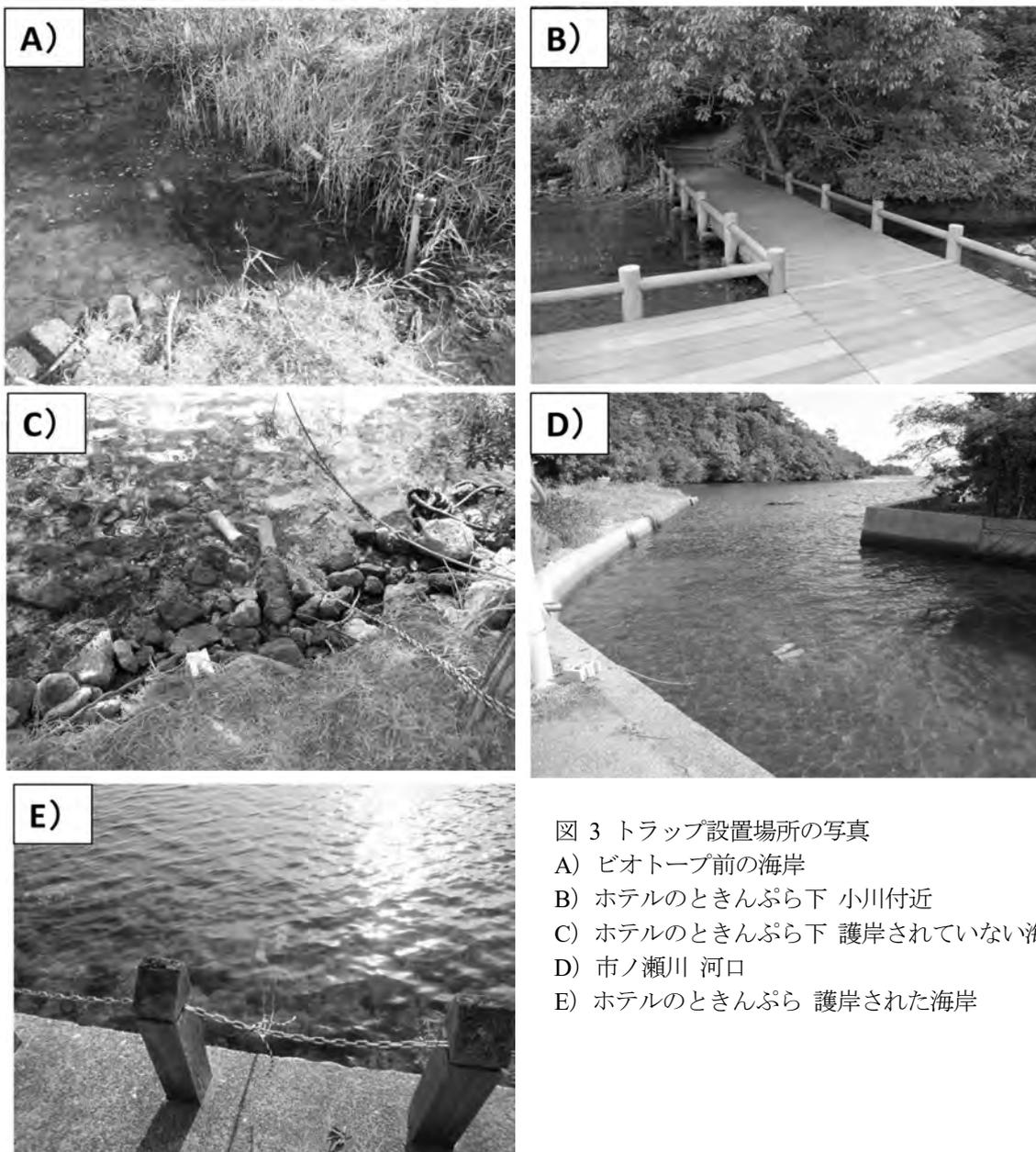


図 3 トラップ設置場所の写真  
A) ビオトープ前の海岸  
B) ホテルのときんぷら下 小川付近  
C) ホテルのときんぷら下 護岸されていない海岸  
D) 市ノ瀬川 河口  
E) ホテルのときんぷら 護岸された海岸

調査は、6月から10月の満月の日の前後で、1ヶ月に一度の頻度で実施した。調査日は、2019年6月18日、7月18日、8月17日、9月14日、10月16日の日の出の時刻に行った。

## 2) タイムラプスカメラを用いたアカテガニ類の生態行動の観察

ビオトープに生息するカニの生態行動を観察するために、タイムラプス (Acomcamera 社製 Ltl Acom 5210B) を用いて、カニの出現頻度を定点観測にて行った。タイムラプスは、海岸、河口池、中流池の3地点に設置した (図1)。なおビオトープには、アカテガニと同属のクロベンケイガニも少数生息しているが、写真で種を確実に同定するのが困難なため、まとめてアカテガニ類としてカウントした。撮影は河口池、中流池の2地点は6月18日から11月30日まで、海岸では8月17日から11月30日まで、5分間隔で撮影を行い、アカテガニ類の出現頻度をカウントした。

## 3) トラップを用いたメガロパ幼生の採集調査

メガロパ幼生がどのような場所に上陸し、稚ガニになるのかを調査するために、メガロパ採集用トラップ (村上、未公表資料) を用いて、採集調査を行った。トラップは直径約 10 cm の水道管用のパイプを用い、約 34 cm に切断して、側面に直径 1 cm ほどの穴を 10 か所程度開けて、幼生がトラップに入りやすくした。両底面に蓋を取り付け、蓋にも直径 3 cm ほどの穴を 2 か所開けた。トラップの中には、「ゼンスイ株式会社製のサランロック (錦鯉飼育用のろ過材、厚さ 25 mm × 幅 1 m × 2 m)」を 25 cm × 30 cm ほどの大きさに切り、丸めてトラップにいれた。トラップを固定させるために、この穴と別にロープを通す穴を開けて、5 m ほどのロープを通して、ロープの一端に重りとしてブロックを縛り、もう一端は近くの木や手すりに縛り付けて固定した。トラップは九十九湾内の 5 地点に設置した (図 2)。各地点の景観を図 3 に示す。トラップ設置場所として選択した地点は、河川や小川などの汽水域があるか、上陸できるような海岸があるか (護岸されていないか) という条件の相違のもと、決定

した (表 1)。トラップは 1 日おきにろ過材を交換し、ろ過材に水圧をかけてメガロパ幼生を洗い流し、幼生の数を目視にてカウントした。

## 結果と考察

### 1) ビオトープに生息するアカテガニの捕獲調査

区間別に採集したアカテガニの甲幅と雌雄の測定の結果を図 4 に示し、区間別の雌雄の個体数を図 5 に示す。

2019年6月18日の捕獲数は63個体であり、クロベンケイガニと思われる個体は見られなかった。最もアカテガニの個体数が多かったのは中間部の区間2で27個体、次に上流の区間3の24個体、そして河口の区間1の10個体であった。次にそのサイズ分布をみると、河口付近では小さな個体が多く、上流に行くに従い大型の個体が生息するような傾向がみられた。雌雄差は、区間2、3では雌のほうが多くみられた。特に上流ではオス4個体に対して、メスが20個体と5倍もの差が確認された。なぜ、上流域にメスが多かったのかは不明であり、継続的な観察が必要である。区間1に関しては捕獲されたカニの数は、雌雄で差がなかった。また、区間2で採集された甲幅約20mmの個体に抱卵が確認された。

7月18日の捕獲数は44個体で、クロベンケイガニが区間1で2個体捕獲された。アカテガニの個体数は多い地点から順に区間1の16個体、区間2と3はどちらも13個体であった。サイズ分布は6月18日の調査と同様な傾向が見られた。雌雄差は、明確な差が見られたのは区間1で、オス10個体に対し、メス2個体、判別不能2個体となった。他区間では明確な差は確認されなかった。抱卵個体は、区間2と3で甲幅18-19mmの1個体ずつであった。

8月17日の捕獲数は50個体であり、クロベンケイガニは区間1で3個体、区間2で1個体確認された。各区間のアカテガニの個体数は区間1で17個体、区間2で15個体、区間3で14個体採集された。サイズ分布は区間1に大型個体が多く確認でき、逆に区間2では比較的小型の個体が多く確認された。雌雄分布に

ついてはどの地点でも明確な差は見られなかった。抱卵個体は区間1にて甲幅 17-25 mm ほどの、7 個体確認された。

9月14日の捕獲数は30個体で、クロベンケイガニは区間1で2個体、区間2で3個体確認された。各区間のアカテガニの個体数は区間1で9個体、区間2で

表 1 メガロパ幼生採集用のトラップを設置した地点名と各地点の条件

地点名	汽水	上陸点	川幅
地点 A ビオトープ前の海岸	○	○	1 m 前後
地点 B ホテルのときんぷら下 小川付近	○	○	1 m 前後
地点 C ホテルのときんぷら下 護岸されていない海岸	×	○	
地点 D 市ノ瀬川 河口	○	×	4-5 m
地点 E ホテルのときんぷら下 護岸された海岸	×	×	

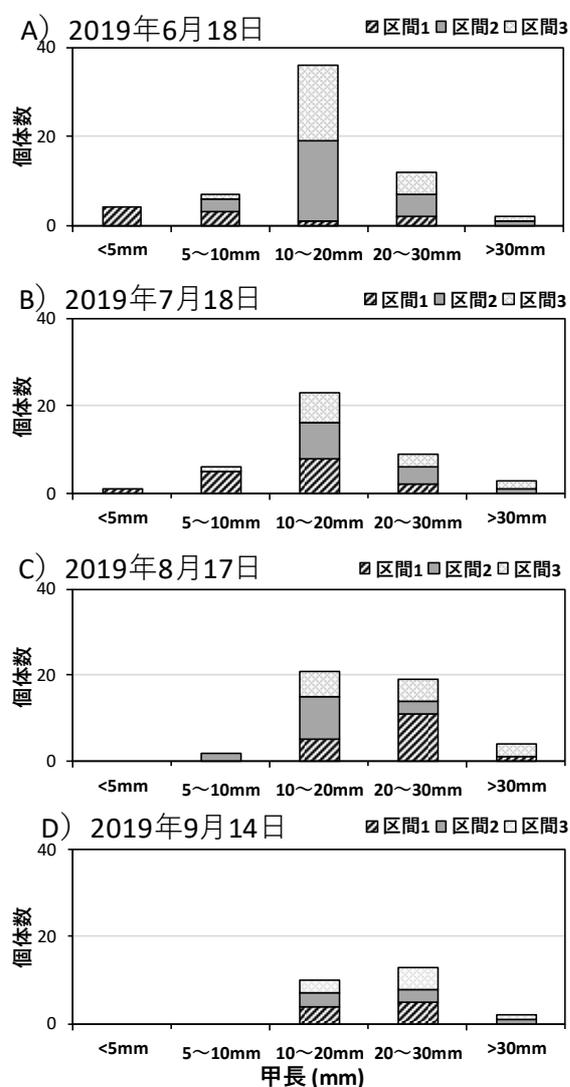


図 4 ビオトープ周辺の区間ごとで捕獲されたアカテガニ (成体) のサイズ分布

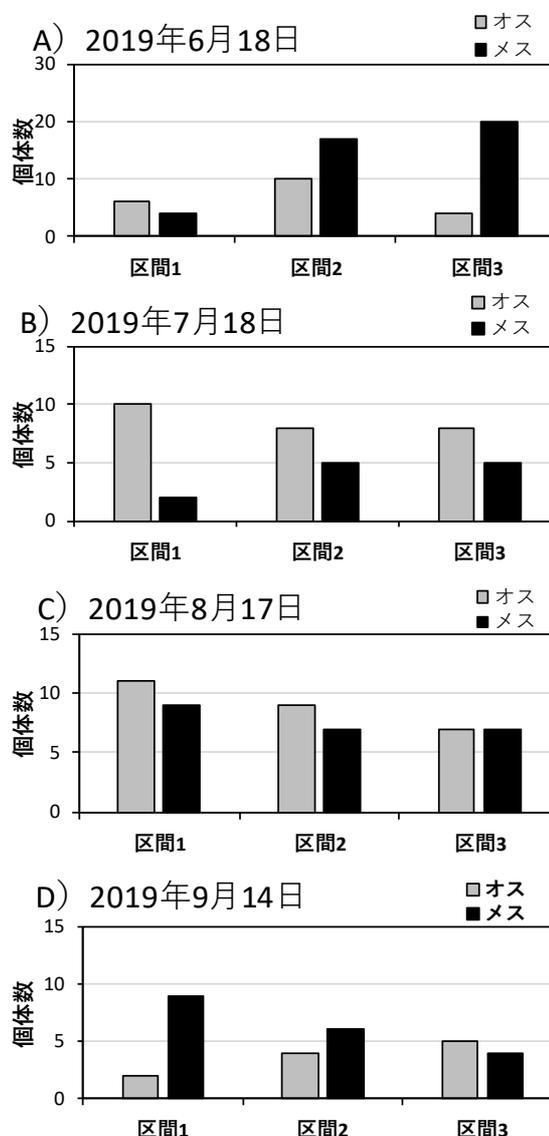


図 5 ビオトープ周辺の区間ごとで捕獲されたアカテガニ (成体) の雌雄分布

7個体、区間3で9個体採集された。サイズ分布については6月、7月の調査の傾向に準じているが、10mm

未満の個体が採集されなかった。雌雄差は区間1にて、オス1個体、メス8個体と大きな差が確認され

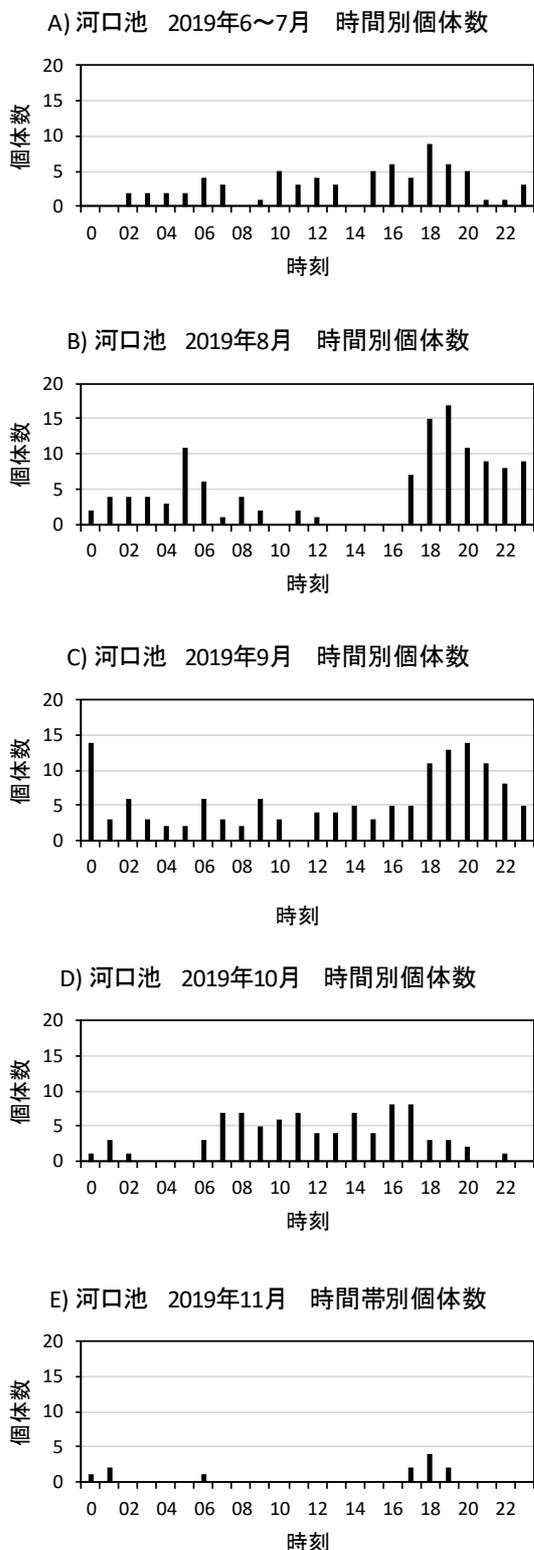


図6 河口池におけるアカテガニ類の出現頻度

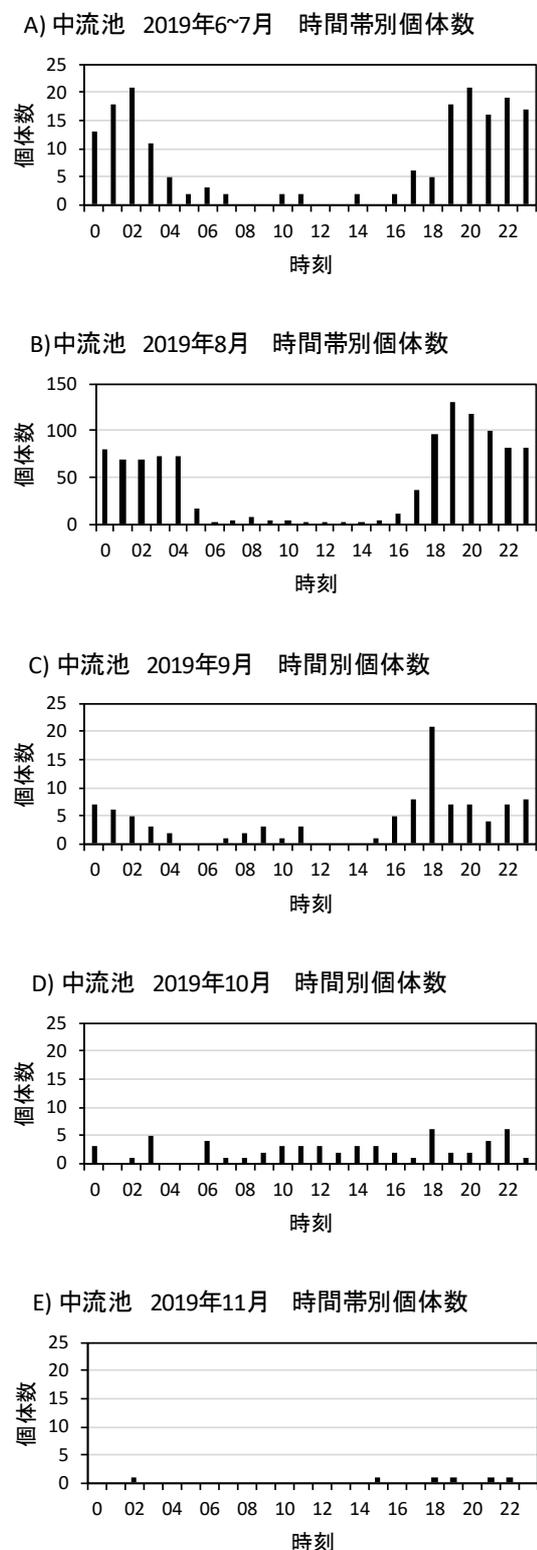


図7 中流池におけるアカテガニ類の出現頻度

た。抱卵個体は区間 1 にて甲幅約 17 mm の 1 個体が確認された。

10 月 16 日の調査ではカニが全く確認できなかった。おそらく気温が低下して、カニの活動が低下した可能性がある。

以上の結果から、アカテガニは成長に伴い、生息域を陸上のほうへと移すということが示唆された。アカテガニは脱皮を水中で行う必要があり、稚ガニは成体に比べて脱皮の回数が多い。そのため、体が小さい間は脱皮のための水場が確保しやすい下流で生活し、成体になり脱皮の回数が減ると、生息域をより陸のほうへ広げていくのではないかと推測される。あるいは、成長に伴い乾燥耐性を獲得するのではということも考えられる。

8 月に河口域で大型の個体が多かったのは、抱卵した雌が多くみられたことから、ゾエアの放仔を行うために河口付近へ移動していた可能性がある。一方、雄は、放仔した雌に交尾するために河口域に移動していた可能性が考えられる。引き続き、2021 年度も継続的な観察をしていく予定である。

## 2) タイムラプスカメラを用いたアカテガニ類の生態行動の観察

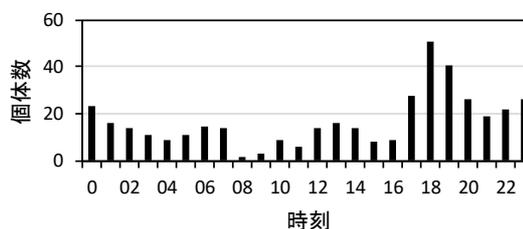
アカテガニ類の時間別の出現頻度を図 6 (河口池)、図 7 (中流池) 及び図 8 (海岸) に示す。海岸付近に多くのカニが観察されたので、8 月から海岸にもタイムラプスを設置して定点観察を行った。

6-8 月においてはどの地点でも日没後に個体数が増加し、日の出とともに減少する傾向が見られた。特に中流池の 8 月では、その傾向が強く表れた。9 月は、海岸以外の 2 地点では出現個体数が減少し、逆に海岸では増加した。10 月に入ると、全体的に出現個体数が減少し、昼の個体数が夜を上回るようになった。日の出前の捕獲調査において、捕獲できなかったのは、夜間の気温が低下したためだと考えられる。9 月の平均気温は 22℃前後であり、10 月の平均気温は、17℃前後であったため、気温が 20℃以下になると、アカテガニの行動に影響が出る可能性がある。11 月に入ると、カメラでもほとんど確認できなかった。

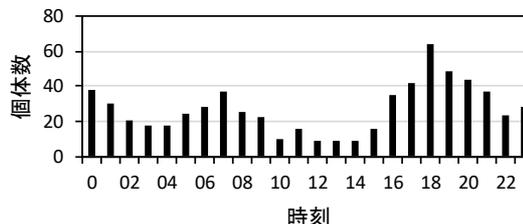
河口池が他に比べて出現頻度が少ないのは、カメラ

の角度が悪く、はっきりと姿をとらえられた個体が少なかったためだと思われる。次回の調査では、カメラの角度を考慮する必要がある。2019 年の日没時刻は、6 月は 19 時 15 分前後、7 月は 19 時 15 分-19 時前後、8 月は 19 時-18 時 25 分前後、9 月は 18 時 25 分-17 時 40 分前後、10 月は 17 時 40 分-17 時前後、というように推移した。日の出時刻は、6 月は 4 時 40 分前後、7 月は 4 時 40 分-5 時前後、8 月は 5 時-5 時 25 分前後、9 月は 5 時 25 分-5 時 50 分前後、10 月は 5 時 50 分-

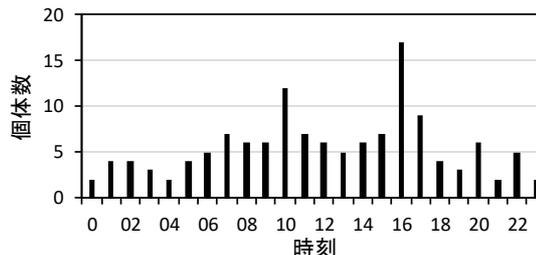
A) 海岸 2019年 8月 時間帯別個体数



B) 海岸 2019年 9月 時間帯別個体数



C) 海岸 2019年10月 時間帯別個体数



D) 海岸 2019年11月 時間帯別個体数

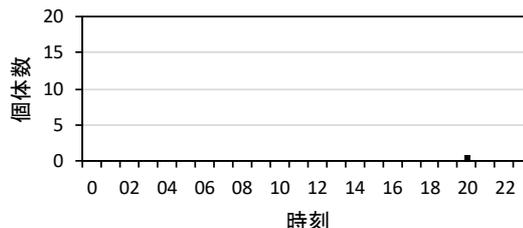


図 8 海岸におけるアカテガニ類の出現頻度

6時15分前後、というように推移した。これは日没後に活動を開始するというアカテガニ類の出現頻度と概ね一致していた。海岸における9月の出現頻度増加の要因としては、他地点から放仔行動を行うメスが集まってきたためと予想される。アカテガニの放仔行動は、日没後25分で最大になり、その前後29分(日没前4分から日没後53分)に95%が放仔を終えることが報告されている(矢部・岸, 2001)。矢部・岸(2001)の報告は太平洋側のアカテガニの行動であるが、本研究においても同様の傾向が観察された。したがって、放仔行動をはじめとする活動は日本海側においても、日没による光量変化が引き金となっている可能性が高い。10月に昼の出現頻度が夜を上回ったのは、気温が下がり、比較的気温が高い日中に活動するようになったことが考えられる。佐渡島の調査では11月、日差しのある日中に大型の個体が採餌する様子が確認されており(北見・本間, 1981)、気温と行動との関係が示唆される。

### 3) トラップを用いたメガロパ幼生の採集調査

九十九湾の各地点のメガロパ採集調査の結果を図9に示す。

地点A及びB以外の3地点では3個体以上とれた日がなかった。特に上陸地点、汽水域の両方がない地

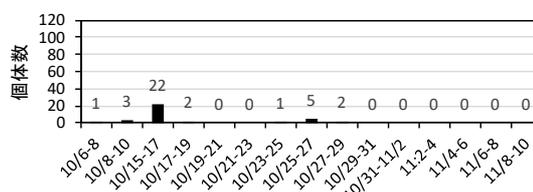
表 2 トラップの設置期間、メガロパ幼生の個体数及び潮汐の変化 (2019年10月6日-11月10日)

設置期間	合計採集数	潮汐
10/6-8	2	小潮→長潮
10/8-10	6	長潮→中潮
10/15-17	135	大潮→中潮
10/17-19	4	中潮
10/19-21	0	中潮→小潮
10/21-23	0	小潮→長潮
10/23-25	2	長潮→中潮
10/25-27	11	中潮→大潮
10/27-29	5	大潮
10/29-31	0	大潮→中潮
10/31-11/2	0	中潮
11/2-4	0	中潮→小潮
11/4-6	0	小潮→長潮
11/6-8	0	長潮→中潮
11/8-10	0	中潮→大潮

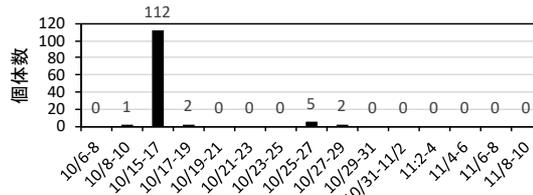
点Eについては全く採集されなかった。両方の条件が備わっている地点A及びBについても、特定の日以外は採集できない日が多かった。

トラップ設置期間、メガロパの採集個体数及び潮汐の関係を表2に示す。メガロパ幼生が多量に採集されたのが中潮、大潮の日が多いことがわかった。特に、10月15日-17日に設置したトラップでは非常に多くのメガロパ幼生が確認された。

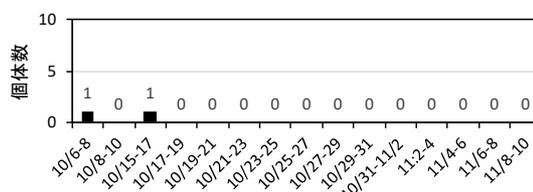
A) ビオトープ前の海岸(2019年)



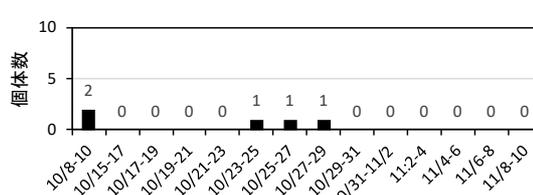
B) ホテル下 小川付近(2019年)



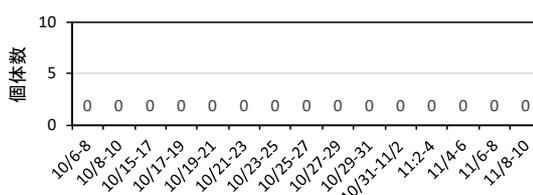
C) ホテル下 護岸されていない海岸(2019年)



D) 市ノ瀬川 河口(2019年)



E) ホテル下 護岸されている海岸(2019年)



トラップを設置した期間

図 9 メガロパ幼生の捕獲数の変化間隔

図 9 の結果より、メガロパ幼生が上陸するための条件として、淡水が流れ込む川があり、汽水域からの上陸可能な海岸が必要なことが示唆された。地点 A、B に流れ込む川は幅 1 m 前後と小さな川なので、大きさに関係なく汽水域が形成されていること、海岸が護岸されていないことが必要であると考えられる。この原因として、アカテガニは成長に伴い海から陸へと生息域を変化させるため、浸透圧調節機能が海水適応から淡水適応へと変化した可能性がある。稚ガニになる前に浸透圧調節機能に変化が生じ、汽水域に生活環境を移さなければならなくなるので、河川のある海岸に集まり、結果として成体ガニが多く生息する地点に戻ってくるのではないかと推測している。護岸されていないことが必要なのは、メガロパ幼生が着岸する際はヨシなどの植物の根にしがみつくと、着底すると予想されるため、護岸されているとそのような着底できる場所が存在せず、上陸できないためだと思われる。さらに表 2 の結果からも、メガロパ幼生は潮汐のリズムをもとに接岸、上陸していると予測される。ゾエア幼生は放仔後、約 1 か月で稚ガニになる。このことから、メガロパ幼生が多量に採集された日の 30 日前に放仔のピークがあったのではと推測され、九十九湾のアカテガニは潮汐のリズムの元、放仔行動を行っている可能性がある。太平洋側のアカテガニの成体は放仔行動に潮汐のリズムが認められているが（橋本, 1965; SAIGUSA and HIDAKA, 1978; 矢部・岸, 2001）、日本海は潮位の差が太平洋側と比較して小さいことから、佐渡島に生息するアカテガニは、潮汐と産卵との関係が明確ではない可能性を示す結果が報告されている（北見・本間, 1981）。今後、継続的な調査が必要である。

### 要約

1. ビオトープ内のアカテガニの生態を調査するために、6 月から 10 月の満月の日の前後に、月一回のアカテガニ類の採集調査を行った。また、アカテガニの捕獲調査と並行してタイムラプスカメラをビオトープ内の 3 地点に設置して定点観察を実施した。

2. メガロパ幼生の上陸の条件を調査するために、九十九湾の 5 か所にトラップを設置して、メガロパ幼生の採集調査を行った。
3. ビオトープ内のアカテガニ類の採集調査の結果、大型の個体は上流側の池周辺に分布し、サイズが小さい個体は河口に多く分布していた。タイムラプスにより、アカテガニ類の出現頻度を観察した結果、6-9 月は日没後に出現個体数が増加し、日の出とともに減少するといった傾向が見られた。アカテガニは、眼からの光の情報を使用して行動している可能性がある。今後、眼柄で産生されるホルモンについても調べていきたい。
4. メガロパ幼生採集調査の結果、汽水域と上陸可能な海岸がある地点で多く採集された。また、中潮や大潮の日に多く取れることが多かった。今後、継続的に調査を行い、本研究で得られた結果の再現性を調べていくと共に、幼生の浸透圧調節機能やガニの概日リズムについても研究していく予定である。

### 参考文献

- 北見・本間, 1981. 佐渡島(日本海)におけるアカテガニの習性、甲殻類の研究, 11, 113-123.
- 橋本碩, 1965. 河川流域に生息するアカテガニの放卵. 動物学雑誌, 74: 82-87.
- HONMA Y., OZAWA T., CHIBA A., 1980. Maturation and spawning behavior of the puffer, *Fugu niphobles*, occurring on the coast of Sado Island in the Sea of Japan (a preliminary report). *Jap. J. Ichthyol.*, 27: 129-138.
- 近藤薫平・小木曾正造・谷内口孝治・又多政博・関口俊男・村上隆也・柳井清治・浦田慎・木下靖子・鈴木信雄, 2017. ビオトープを利用したアカテガニの生態学的研究. のと海洋ふれあいセンター研究報告, 23: 17-24.

SAIGUSA M., HIDAKA T., 1978. Semilunar rhythm in the zoea-release activity of the land crabs *Sesarma*. *Oecologia (Berl.)* 37: 163–176.

矢部和弘・岸由二, 2001. 小網代におけるアカテガニの放仔行動の時間特性. 慶応義塾大学日吉紀要, 30: 75–82.

## 九十九湾におけるアカテガニ類幼生とそれを捕食する魚類

中山貴将・柳井清治

石川県立大学生物資源環境学研究所, 石川県野々市市末松 1-308 (〒921-8836)

Relationship between larvae released from Red Claw Crab (*Chiromantes haematocheir*) and fishes that feed on them in Tsukumo Bay

Takamasa NAKAYAMA and Seiji YANAI

Ishikawa Prefectural University, 1-308, Suematsu, Nonoichi, Ishikawa 921-8836

### Abstract

In Tsukumo Bay, Noto Peninsula, we measured the summer larval behavior of land crab (*Chiromantes haematocheir*, Sesamidae) inhabiting the surrounding forest, the density of zoea released by them, and the fish that feed on it. The number of land crabs coming down from the forest to the seaside changed from July to September and tended to be synchronized with the age of the moon (tide). The density of crabs increased rapidly after sunset and continued until around 9 pm, after which it gradually decreased to zero with sunrise. The density of zoea released from the land crabs in the sea tended to increase from the bay mouth toward the inner bay, and similarly increased around the spring tide. It was higher in August, especially at measured points in the inner bay where forests and natural shores were conserved, while density was lower on the artificial shores. These results were used to illustrate the density in the bay by interpolation using GIS. There was a tendency for zoea to diffuse along the shore from the high-density habitat at the inner area of the bay, however, they slightly diffuse toward the outside of the bay. When observing fishes that prey on zoea using an infrared scope, it was observed that the mullet and horse mackerel migrated in accordance with the release of zoea and took in seawater from their mouth to prey. Looking into the stomach contents of these fish, it was found that 90 to 100% of the stomach contents were occupied by zoea, which indicates they are important to feed resources for planktivore fishes in summer. For enhancing fisheries resources, the importance of natural forests and the conservation of land crabs that inhabit forests have been demonstrated.

Key words: *Chiromantes haematocheir*, zoea, Tsukumo Bay, planktivore fishes, moon age.

## 要旨

能登半島九十九湾において、周辺の森林に生息するアカテガニ類の夏季の放仔行動の計測と、それが放出するゾエアの密度変化、そしてこれを捕食に来る魚類の測定を行った。森から海辺に来るアカテガニの数は、7 月から 9 月にかけて変化し、月齢(大潮)に同調する傾向が見られた。来訪するカニの密度は日没後急が増加し、午後 9 時頃まで継続するが、それ以降漸減し、日の出とともにゼロとなった。アカテガニから放出されるゾエアの海中における密度は、湾内では湾奥にかけて高くなる傾向があり、同様に大潮前後に高くなる傾向がみられた。とくに森林と自然海岸が保全されている定点でゾエア密度が 8 月に高い傾向があり、逆に人工化された海岸においては密度が低かった。これらの結果に基づき GIS を用いて内挿法により湾内のゾエア密度マップを作成したところ、湾奥のアカテガニ高密度生息区から湾岸に沿ってゾエアが拡散している傾向が見られたが、湾口から日本海への流出はわずかであった。赤外線スコープを用いてゾエアを捕食する魚類を観察したところ、ボラ類とマアジがゾエア放出に合わせて回遊し、口から海水を取り込んで捕食している様子が観察された。これらの魚類の胃内容物を見ると、胃内容物の 9-10 割がゾエアによって占められ、夏季の重要な餌資源となっていることがわかった。水産資源を増殖する上で、森林に生息する陸ガニ類の保全と自然海岸の重要性が明らかになった。

キーワード: アカテガニ、ゾエア、九十九湾、プランクトン食魚類、月齢

## はじめに

「能登の里山里海」が、新潟県佐渡市の「トキと共存する佐渡の里山」とともに日本初となる「世界農業遺産」に認定されて以来、能登の里山、里海が広く認識されるようになってきた。里海の資源を育む上で里山の役割について、その大部分を占める森林は水産資源を育む上で重要であると古くから認識され、沿岸に生育する森林は魚附林として守られてきた(農林省森林局・水産局編, 1937)。そして近年、森-川-海のつながりに大きく関心が寄せられ、漁業者による全国的な植樹運動が展開されてきた(柳沼, 1993)。たとえば宮城県気仙沼市では 2009 年 5 月に NPO 法人「森は海の恋人」が設立され、水産資源の一つである牡蠣の生育と漁獲量向上を図るため上流域で落葉広葉樹の植樹が行われている。このように森林は、河川や海域の生物を育むために重要であることが広く認知されるようになってきた(若菜, 2015)。

里山・里海の関係を考える上で、最も注目すべきは里山、里海の接続部分に当たるエコトーン(移行帯)である。日本国内の自然海岸は戦後 80 %近くあったものが、埋め立てや防災工事により高度経済成長期に急激に消失し、1990 年頃には 50 %前後まで減少した(敷田, 1997)。そこでは、コンクリート護岸など、人工的な構造物により水域と植生域が分断されている場面を多く見ることができる。そこで筆者らはこのエコトーンの健全性を示す指標として、陸域と水域を行き来する生物が重要であると考え、発達段階に応じて山から海へと生息場所を変化させ、石川県沿岸域に多く生息するアカテガニ類(ベンケイガニ科 *Sesarmidae*)に注目した。

アカテガニは、我が国では岩手・秋田以南の本州、四国、九州、周辺諸国では台湾、韓国、中国に分布する(豊田・関, 2014)。この種は、他の *Sesarmidae* と同じく汽水域、淡水域および陸域を生息場所としており(鈴木, 1981; VOGT, 2012)、その生活史に浮遊幼生期を有する。アカテガニの抱卵雌は、6 月から 10 月の夜に海岸または河岸へ移動し、放仔を行う(SAIGUSA, 1978; SAIGUSA & HIDAKA, 1978; 矢部・岸, 2001)。交尾・産卵活動に参加する個体は生後 3、4 年経過した個体であり、少ない個体でも 1 年間に 1 回、多い個体では 3 回、平均では 2 回の放仔を行うとされている(SAIGUSA, 1980; 鈴木, 1981)。アカテガニは、4 または 5 つのゾエア期と 1 つのメガロバ期を経て稚ガニへと変態する(寺田, 1976; 福田・馬場, 1976; OH et al., 2007)。海から回帰

してきた直後のアカテガニの稚ガニは、河口域の水際に存在する植生帯を生息場として利用し、生後 3、4 年目になると付近の森林の林床など、陸域へとその生息場を移動させる(鈴木, 1981)。

アカテガニはこのような多様な環境を利用しなければ、その生活史を完結させることはできない。そのため、アカテガニが生息できる環境の保全が、同時に他の多様な生物の生息環境の保全につながる。しかしアカテガニがどのように他の生物や生態系に影響を与えるかを、定量的に示した知見は国内ではほとんどない。そこで、アカテガニの生活史において不明な点が多い、幼生が放仔され海に拡散されるプロセスと、海に生息する魚類への影響を解明することで、アカテガニの生息に適した沿岸環境の改善の方向性と保全することの価値を示すことを目的とする。

## 材料と方法

### 1) 調査対象地

調査対象地は石川県鳳珠郡能登町の九十九湾である(図 1)。九十九湾は湾口の幅約 200 m、最大奥行き 1,200 m、水深 25 m の典型的な溺れ谷である。湾に沿って急峻な海食崖が発達し、その上部は標高 30 m 前後の段丘面となっている。沿岸斜面はコナラ(*Quercus serrata*)などの落葉広葉樹の二次林やタブノキ(*Machilus thunbergii*)やヤブツバキ(*Camellia japonica*)などの常緑樹が多いことから、そこを生息地とするアカテガニ(*Chiromantes haematocheir*)、クロベンケイガニ(*Chromantes dehanii*)、そしてカクベンケイガニ(*Parasesarma picton*)などベンケイガニ科(*Sesarmidae*)の陸ガニ類が多く生息している。これらのベンケイガニ類は水中から陸上までの広い範囲に分布し、雑食性のものが多いが(小林, 2000)、その生

育ニッチは微妙に異なっており、アカテガニは斜面上部までの森林内に生育するに対して、クロベンケイガニは低地や湿地、そしてカクベンケイガニは海岸に面した斜面に穴を掘って生息する。九十九湾周辺は森林が豊富なため、アカテガニが優占する。湾奥部(ホテルのときんぶら下、ホテル百楽荘、金沢大学臨海実験施設など)は自然海岸が多く人工構造物は少ないが、湾の南部から湾口にかけて集落が発達し、堤防が築造されており、森林との連続性が分断されている状態である。能登半島浅海域には 126 種の魚類の生息が確認されており(坂井・山本, 1996)その中には、表中層に周年生息する主要魚種として、マアジ(*Trachurus japonicus*)、メナダ(*Liza haematocheilus*)、ボラ(*Mugil cephalus*)、スズキ(*Lateolabrax japonicus*)などが報告されている。

### 2) 調査定点

九十九湾における調査定点は船舶定点 5 か所(St. 1-St. 5)、湾岸部で 5 か所(St. 6-St. 10)を設定した(図 1)。St.1 は湾口付近、城ヶ崎から南に 200 m、St.2 は城ヶ崎から北西へ 225 m の地点である。St.3 は蓬萊島から南西に 100 m、St.4 はホテルのときんぶら下の海岸から 50 m 付近、そして St.5 は湾奥の水中翼船乗り場から約 200 m 沖合に設定した。

St. 6-8 はホテルのときんぶら下の湾岸に位置し、最もアカテガニの密度が多い地点である(図 2)。St. 6 は最奥地点であり汀線から巣穴のある斜面までの間に人工の障害物が無く、ヨシなどの高茎草本と堆積土層が裸出した自然海岸である。汀線の背後が森林であり、アカテガニが最も多く見かけられた。St. 7 は、汀線

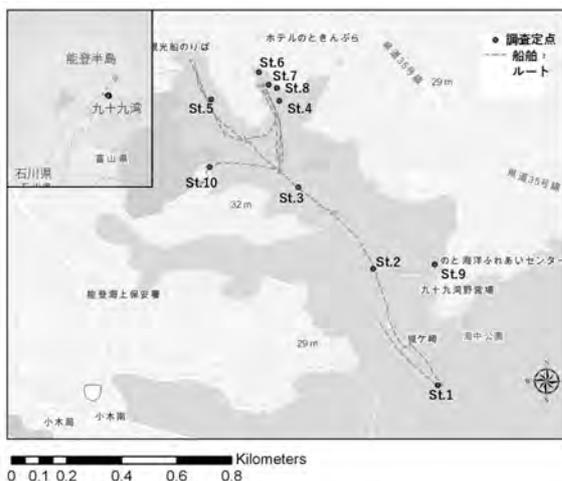


図 1 調査地の概要と調査定点の位置(破線は船舶調査のルート)

のすぐ後ろに磯場があり、その後ろに道路が通り、その道路を挟んで森林がある。St. 8 付近の海岸にはアカマツが生育し、その下部は高さ 1.5 m の崖となっており、その背後に道路があり、道路を挟んで森林がある。St. 9 は越坂地区、のと海洋ふれあいセンターに面する海岸沿いの堤防の突端に設置した。St. 10 は金沢大学臨海実験施設敷地内にあり、埠頭とコンクリート防波堤、石積み護岸が設置されているが、周囲が常緑樹を中心とした森林に囲まれている。

### 3) 調査方法

#### ① 自動撮影カメラによる個体の出現数の計測

アカテガニ類の放仔は夏季、7 月から 9 月頃まで行われる(図 2)。そこで 2014 年 7 月 22 日-9 月 8 日までの期間に、St. 8 に夜間でも撮影できる自動撮影カメラ Ltl Acom 5210B を設置し、毎日夕方-明け方まで海辺に訪れるアカテガニを撮影した。撮影インターバルは 3 分に設定した。撮影された連続写真 1 枚ずつ解析を行い、個体数をカウントし、1 m<sup>2</sup> 辺りの個体数密度を求めた。この中には、放仔のために海中に入る雌ガニとその背後にそれを待ち受ける雄が同時に撮影されるが、写真の上では区別が困難であるため、両者を含めた値として解析を行った。

#### ② プランクトンネットによるアカテガニ類ゾエアの捕獲

放仔期間に海に放出されたゾエアの個体数を把握するため、海岸および船舶を用いて、湾内のゾエアの捕獲を試みた。なおここで放仔個体の大部分はアカ

テガニではあるが、クロベンケイガニやカクベンケイガニも放仔する場面も少数見られた。しかし、ゾエアの形態からこれらを区分するのは困難であるため、アカテガニ類のゾエアとして一括して扱った。

#### (1) プランクトンネットを使用した海岸からゾエアの採集

調査期間は 2013 年 7 月-9 月、2014 年 7 月-9 月までで、調査頻度は各月 1 回程度であるが、特に 2014 年の放仔が集中する期間においては、1 日間隔、それ以外は約 1 週間間隔でゾエアの採集を行った。調査の時間帯は、アカテガニ類の放仔のピークは既存の日没前後に見られるとの報告(北見・本間, 1981; 矢部・岸, 2001)に基づき設定した。採集方法は、St. 6-10 において汀線からプランクトンネットを投げ、全体が水の中にもぐる程度の水深(プランクトンネットの直径)まで沈め、深さを保ったまま 5 m 水平に曳いた。使用したプランクトンネットは口径が 25 cm、目合が 0.1 mm、長さ 0.4 m でロート状になっており、最下部にコックがついており、濃縮された水を採集できるようになっている。採集された水から、ろ紙を用いプランクトンのみを取り出し、75 %アルコールで固定し持ち帰った。また同時に物理条件(水温、塩分濃度)の測定も行った。

持ち帰ったサンプルから、実体顕微鏡(SHIMADZU 社製 Digital Microscope STZ-40TBiTa)を用いゾエアの個体数を計数した。測定は 3 反復行い、結果は平均値で示すこととした。

#### (2) 船舶によるゾエアの採集

船舶による沖合でのゾエア採集を試みた。使用した



図 2 最もアカテガニの生息密度が高い調査定點 St. 6-8 付近の景観と海辺で放仔する様子

のは金沢大学臨海実験施設の小型船舶で、最初に湾の入り口 (St. 1) から始め、湾央 (St. 2, 3)、そしてホテルのときんぶら付近 (St. 4) と観光船乗り場付近 (St. 5) で行った。採集方法はプランクトンネットを 1 ノットの速度を維持したまま 1 分間巡航し、採集された水を濾紙で採集後、75 %エタノールで保存し持ち帰った。2013 年と 2014 年の 7 月-9 月までの各月合計 5 回、夜間午後 8 時過ぎから 1 時間かけて採集を行った。採集日は 2013 年 7 月 26 日 (大潮)、8 月 20 日 (中潮)、9 月 20 日 (大潮)、2014 年 7 月 22 日 (小潮)、8 月 22 日 (若潮) である。採集したプランクトンは検鏡して個体数を計数し、単位体積 (m<sup>3</sup>) 当たりの個体密度を求めた。

### (3) GIS によるマップ化

調査定点の月ごと、m<sup>3</sup> 当たりのゾエア密度をポイントデータに組み込んだ。そして ArcGIS10.6.1 を用いて、月ごとの湾内のゾエア密度分布図を作成した。手法は ArcGIS の Spatial Analyst の内挿、Spline ツール、tention 法を用いて、ポイントデータから湾内の密度を推定し、ゾエア濃度 MAP を作成した。

### ③魚類によるゾエア幼生の摂食調査

#### (1) 暗視スコープとビデオによる魚類による摂食行動の調査

陸ガニの産卵が始まり、水面にゾエアが放出されると、ゾエアを狙って多くの小型魚類が浅瀬の陸ガニ産卵場が集まってくる。この魚類を暗視スコープにより赤外線をあて、さらに赤外線が感知可能なビデオカメラを用いて撮影した。これは通常のサーチライトを用いた場合は、魚は警戒して接岸してこないためである。用いた暗視カメラは Night Owl Optics iGen NV20/20 night-vision monocular であり、ビデオカメラは Sony HDR-SR1 である。観察は 2013 年 7 月 25 日 (大潮) と 8 月 16 日 (小潮) の日没後に行った。

#### (2) 投網による小型魚類の捕獲

投網を使用して、ゾエアを捕食する小型魚類の採捕を 2014 年 9 月 9 日 (大潮) に行った。暗闇の中での作業となったため、事前に投網を使用する場所の地形を把握しておき、障害物はできるだけ取り除いた。その理由は枝などがあると網と水底に隙間ができ、魚

が逃げってしまうためである。次にサーチライトは用いず魚が集まっていると推定されるポイントにできる限り近づき、投網を投げ、網をなるべく水面に近い高さを維持したまま慎重に手繰り寄せた。持ち帰ったサンプルは冷凍庫で保存した。

### (3) 胃内容物の分析

(2) で捕獲し冷凍保存していた小型魚類を解凍し、体長、体重を記録して胃を取り出し、胃をエタノールで固定した。一通りすべてのサンプルの処理を完了させた後、順次胃内容物の分析を行った。

エタノール固定された胃を電子顕微鏡の下で綿製のろ紙に載せ、ピンセットを使い切り開いた。内容物がある程度ピンセットで取り出し、内容物が胃の壁に残らないよう水で洗い流しながら、ろ紙に広げた。そして、胃内容物が確認できるかどうかを目視し、確認できた場合はさらに内容物の詳細について、ソーティングをおこない個体数をカウントした。

胃内容物のソーティング完了後、胃内容物におけるゾエアの出現頻度 (Fi) と、ゾエアの胃内容物における優占度 (Pi) を以下の式で算出し、ゾエアが魚類へ寄与する割合を評価した (Amundsen et al., 1996)。

$$\%Fi = (Ni / N) \times 100$$

%Fi: 餌生物 i の出現率、Ni : 胃内容物中に餌生物 i が含まれていた捕食者数、N : 胃内容物があつた全捕食数

$$Pi = (\sum Si / \sum Sti) \times 100$$

Pi: 餌生物 i の特有存在量、Si: 胃内容物中の餌生物 i 量、Sti: 胃内容物中に餌生物 i が含まれていた捕食者の全胃内容物量

## 結果

### 1) 自動撮影カメラによる海辺に來訪したアカテガニ個体数の変化

のときんぶら下の St. 6-8 付近では、7 月を過ぎると多くのアカテガニが森から海岸に移動し、海辺のヨシなどの草本や磯に密集した様子が観察された (図 2 右)。図 3 は St. 8 付近に設置した自動撮影カメラにより撮影された磯場の様子である。直径 30 cm 程度の自

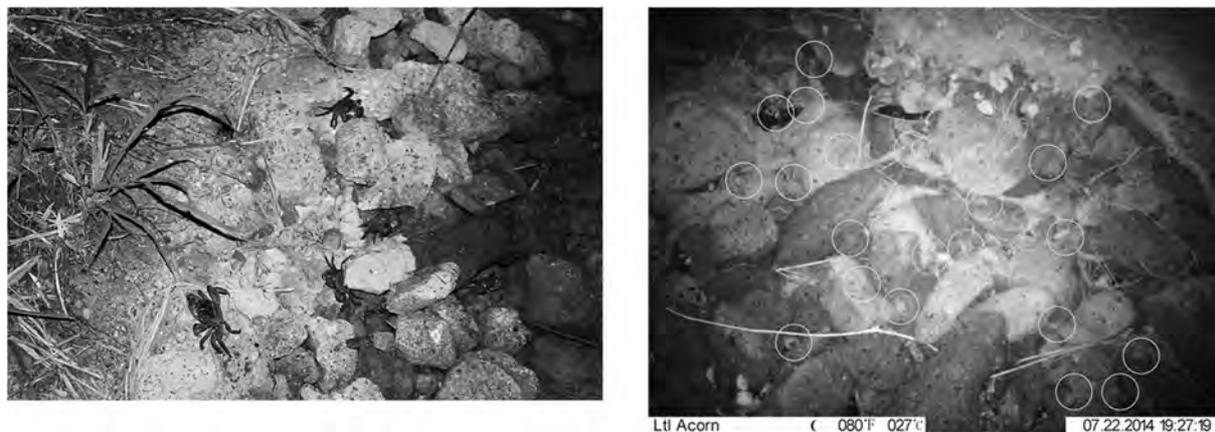


図 3 St. 8 付近の岸壁に降りてきたアカテガニ(左、通常のフラッシュライトによる撮影; 右、赤外線カメラによる画像、丸がカニの分布を示す)

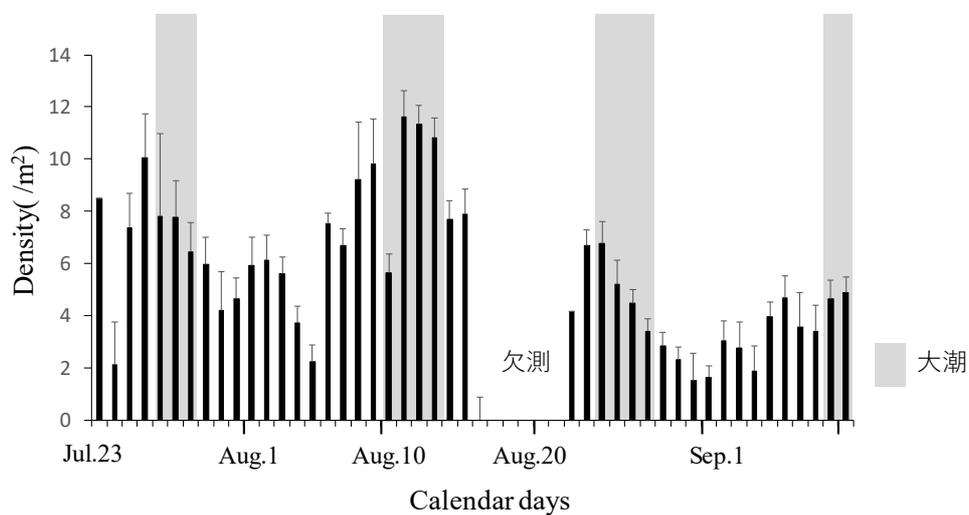


図 4 赤外線自動カメラによる夏季のアカテガニ出現密度の変化と月齢の関係(2014年7月-9月)

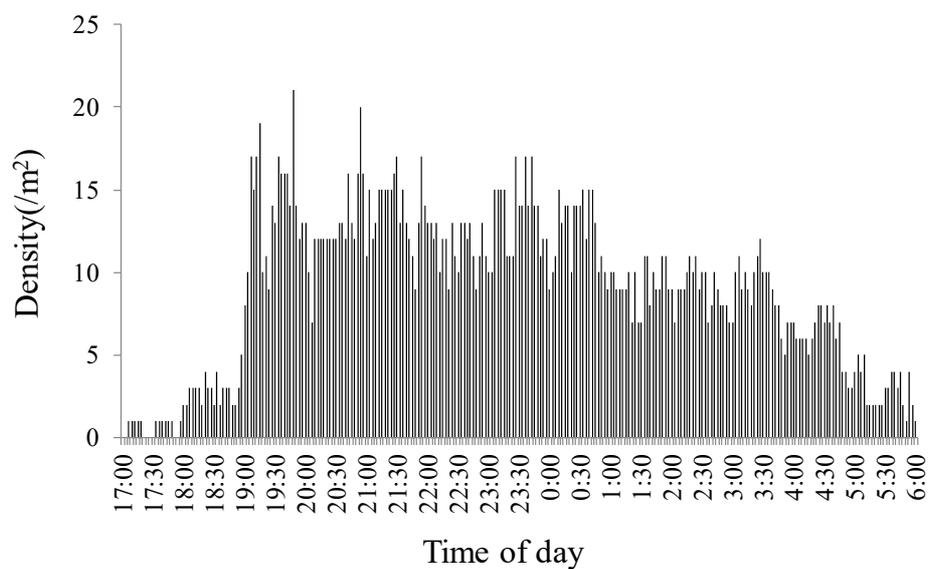


図 5 日没後の時間ごとのアカテガニ出現密度(2014年7月27日)

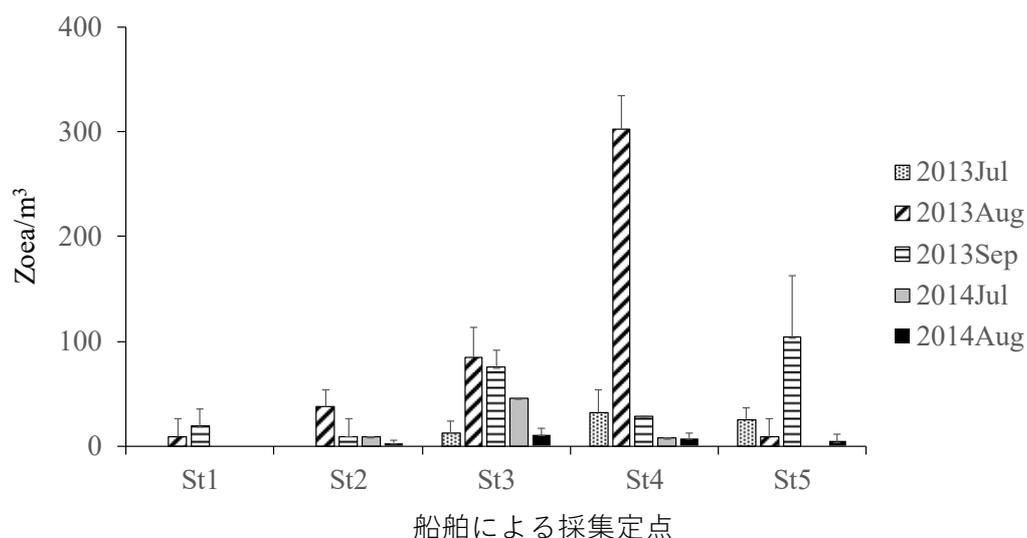


図 6 船舶を用いた定点ごとのゾエア採集結果(2013年7月-2014年8月)

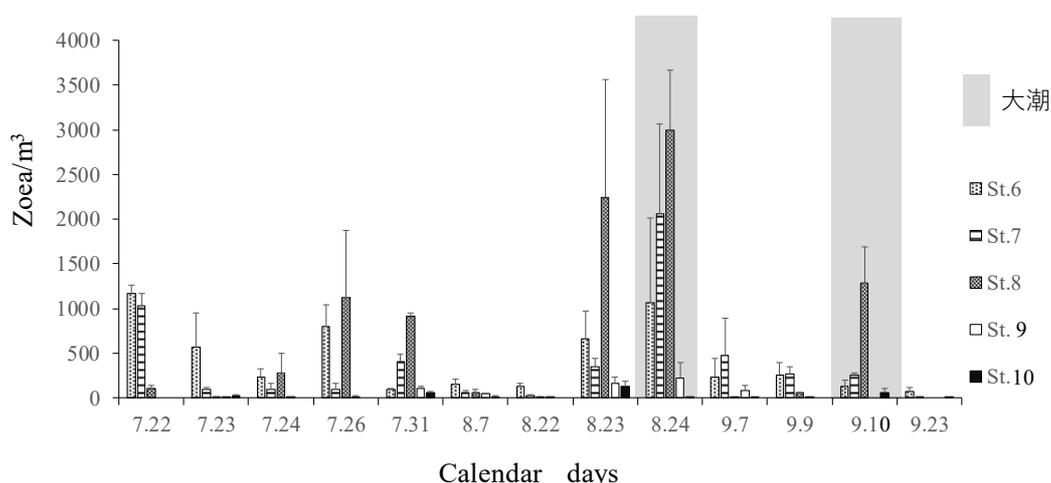


図 7 夏季における九十九湾岸辺定点におけるゾエア密度(2014年7月22日-9月23日)

然石が積み重なっている隙間に多くのアカテガニが観察された(図 3 左)。赤外線カメラには幅 2 m、長さ 1.5 m の方形区内に、30 個体以上が撮影されていた(図 3 右)。図 4 にアカテガニの日平均個体数を示した。調査開始時点の 2014 年 7 月 22 日時点で、8.2 個体 /m<sup>2</sup> のアカテガニが確認された。個体密度のピークは、7 月 24 日(10.2 個体 /m<sup>2</sup>)と 8 月 11 日(11.9 個体 /m<sup>2</sup>)の 2 回である。ピーク前後の個体密度は微かに増減を繰り返しながら周期的に変動している。図に月齢表から大潮の期間を重ねてみると、7 月 26 日は大潮の直前であるが、8 月 10 日-13 日、8 月 24-27 日、9

月 9、10 日の大潮の期間には、最も多くのアカテガニ類が撮影されている。また、区間全体では 8 月が平均 6.2 個体 /m<sup>2</sup> と、密度が高かった。

2014 年 7 月 27 日(新月、大潮)における放仔個体の時間変化を示した(図 5)。2014 年 7 月 27 日の石川県の日没は 19:04 である。最も近い干潮、満潮の時刻は、それぞれ 14:08、21:43 であった。アカテガニは、17 時から出現し始めたが、その時点での個体密度は 1.0 個体 /m<sup>2</sup> であった。日の入り直後(19 時)から個体密度は急激に増加し、19:15 には 10 個体 /m<sup>2</sup> を超えた。その後 21 時頃まで平衡状態に達し、それ以降は

漸減傾向を示し、6:00 では完全に姿が確認できなくなった。

## 2) ズエアの採集調査結果

船舶による5つの定点で採集されたズエアから密度を図 6 に示した。地点別に見ると湾口 (St. 1, 2) ではほぼ 20 個体 / $m^3$  以下であり、最も密度が低かった。湾央 (St. 3) から湾奥 (St. 4, 5) にかけてズエア密度が高まり、特に St. 6-8 に最も近い St. 4 において最高 300 個体 / $m^3$  と高い密度のズエアが観測された。時期的には 2013 年 8 月に最も高い値が観測され、ついで 2013 年 9 月が高かった。2013、2014 年とも 7 月は 45 個体 / $m^3$  以下で低かった。

次に沿岸で 2014 年 7 月-9 月まで、高頻度にズエアの採集を行った結果を図 7 に示す。時期的には 8 月 24 日 (大潮)、St. 8 で 3500 個体 / $m^3$  と最も高い密度のズエアが観測された。次いで 8 月 23 日で同じく St. 8 で 2238 個体 / $m^3$  のズエアが観測され、そのほかは 7 月 22 日、7 月 26 日、9 月 10 日において最高 1000 個体 / $m^3$  を超えるズエアが観測された。地点別に見れば、St. 8 において最も密度が高く、次いで St. 6、St. 7 の順であり、その順位は入れ替わる場合もあるが、これらの地点が相対的に高かった。一方、人工構造物に囲まれている St. 9 においては 8 月 23、24 日で比較的高い値 (160-220 / $m^3$ ) が観測されたものの、St. 6-8 の最高値の 1/10 以下であった。そのほかの時期 (7 月、9 月) においてはほとんど観測されなかった。金沢大学臨海施設内の St. 10 においても、同様の傾向であった。

船舶および沿岸の定点の観測データを元に、GIS を用いて湾内のズエア分布を推定した結果が図 8 である。2013 年 7 月では湾奥付近で高い密度でズエアが分布し、沖合に向かうにつれて個体密度は減少し、St. 3 付近でやや高くなるものの、湾口付近である St. 2、1 ではズエアは少なかった。2013 年 8 月には、湾奥から St. 9 付近まで湾内の東半分にズエアが分布していた。2013 年 9 月になると全体的に密度が低くなるものの、依然として湾奥付近に高い密度が分布していた。2014 年 7 月には前年と同様に St. 6-8 付近に高密度分布域が観測され、それが St. 3 と St. 10 付近に広が

っていた。2014 年 8 月になると、高密度域は前年と同様に東岸に拡散していた。

このように時期により湾内でのズエアの分布は変動するが、シーズンを通して St. 6-8 がソースとなり、九十九湾全域に拡散している傾向が判読された。またズエアはほとんど湾内にとどまり、湾口を通過して、日本海側に移動する割合は低いことが明らかになった。

## 3) 魚類の捕獲と胃内容物組成

暗視スコープによる観察から、2013 年 7 月 26 日日没後アカテガニの放仔行動が始まってしばらくして、St. 6 付近の木道に隠れ、ズエアを捕食する 2 尾の体長約 60 cm のメナダのペアを撮影することができた。このメナダは口をパクパク開けながらしきりに水を吸い込んでいた。しかし、撮影中に木道のわずかな物音を警戒して、姿がたちまち消えてしまった。さらに翌月の 8 月 16 日の日没直後、St. 6 の木道上から水面を観察していると、放仔に合わせて水面が波立ち、多くの小型の魚類が水中から水面に浮上し、盛んに水面をばくついている様子を観察することができた。これは体長 10 cm 前後のマアジであり、直径 50 cm の赤外線照射範囲に 15 尾程度カウントされ、ズエアを求めて高密度に集まっていた。次にこれらの捕獲調査を 2014 年 9 月 9 日に行った結果、ボラ、メジナ (*Girella punctate*)、マアジ、ヒラメ (*Paralichthys olivaceus*) の 4 種が捕獲された (表 1, 図 10 左)。これらの体長は、6-12 cm と小型であった。

それぞれの胃内容物について見ていくと、メジナはズエアを選択的に捕食しており (図 10 右)、1 尾当たり 559.0 個体のズエアが確認できた。マアジについても胃内容物のほとんどをズエアが占めており、1 尾当たり 66.0 個体のズエアが確認できた。ボラの胃内容物にもズエアが多く見られ、1 尾当たり 6267.5 個体のズエアが確認できた。ヒラメは小魚を捕食していたが、動物プランクトンは見られなかった。捕獲された魚の胃内容物における陸ガニ幼生の優占度  $P_i$  は、ボラで最も高く 100 %、次いでメジナが 99%、マアジが 91 %、ヒラメが 0 % であった (図 11)。また、各魚種の全個体におけるズエアの捕食頻度  $F_i$  は、ヒラメが捕食していなかった以外は、ほかの魚種においてはすべての個

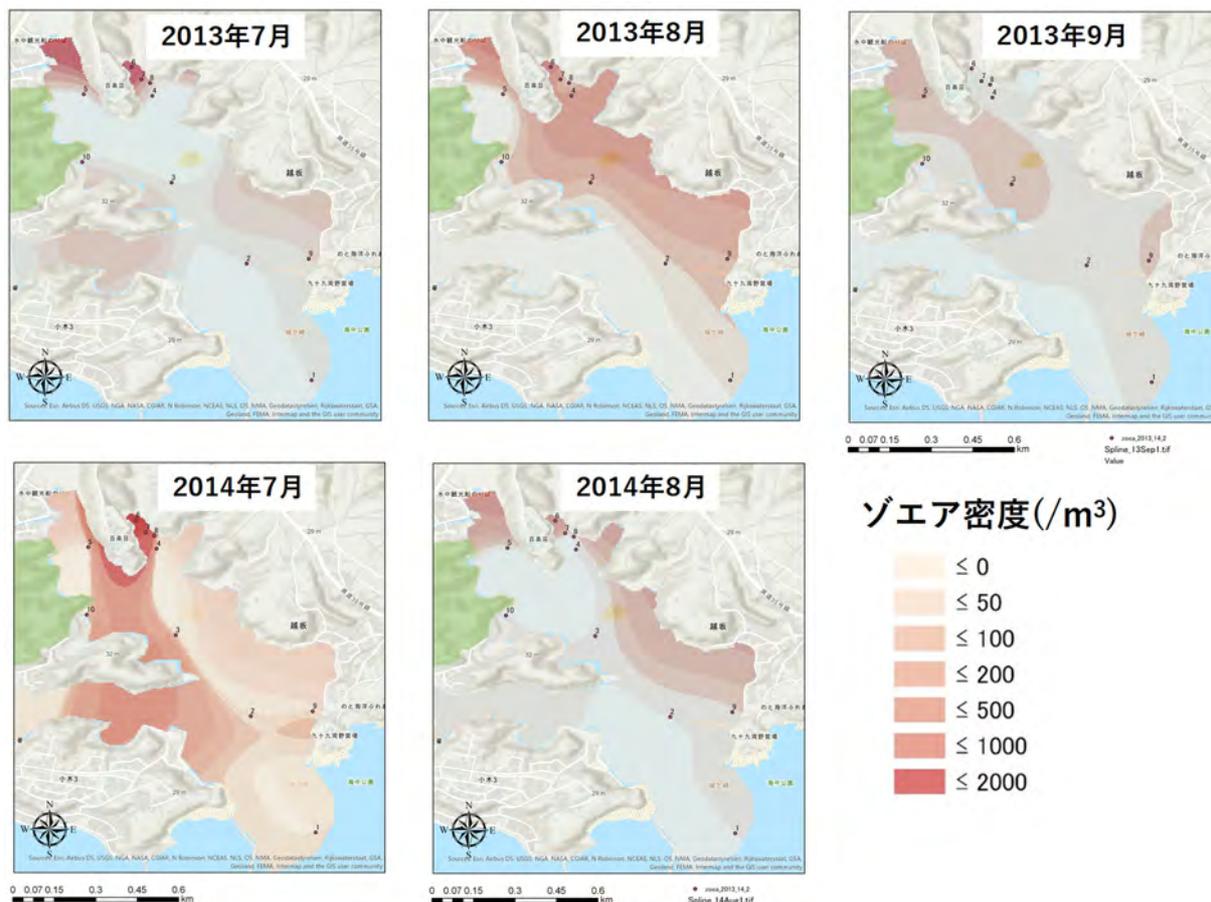


図 8 Spline 内挿法による九十九湾におけるゾエア密度の推定(2013 年 7 月-2014 年 8 月)



図 9 赤外線スコープにより撮影されたアカテガニゾエアを捕食する魚類(左:メナダ、右:マアジ)

表 1 St.6 付近で捕獲された魚類の種類と個体数、体長

species	population	Length (cm)	(±SD)	weight(g)	(±SD)
<i>Girella punctata</i>	7	5.91	1.71	3.98	3.20
<i>Trachurus japonicus</i>	2	8.00	0.00	11.91	10.23
<i>Mugil cephalus</i>	4	12.05	0.48	21.34	2.34
<i>Paralichthys olivaceus</i>	1	11.50	0.00	7.66	0.00

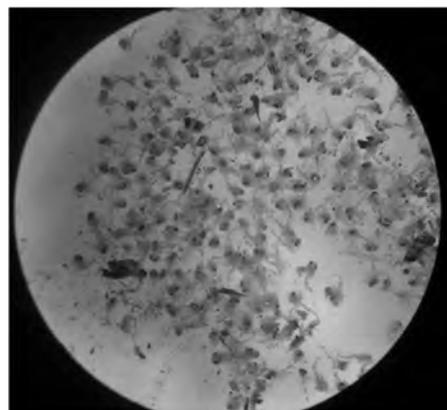


図 10 St. 6 付近で捕獲された小型魚類(2014年 9 月 9 日捕獲, 左)と胃内容物の大部分を占めるゾエアの(右)

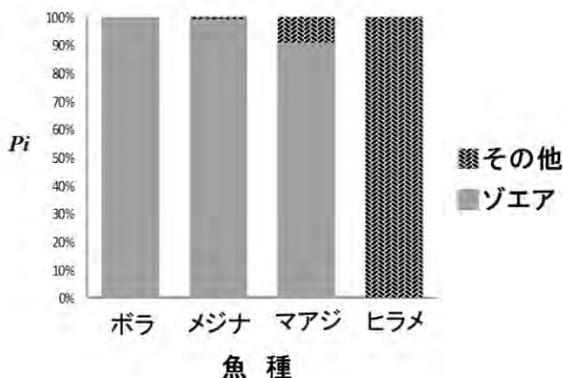


図 11 魚類の胃内容物で観察されたゾエアの占める割合

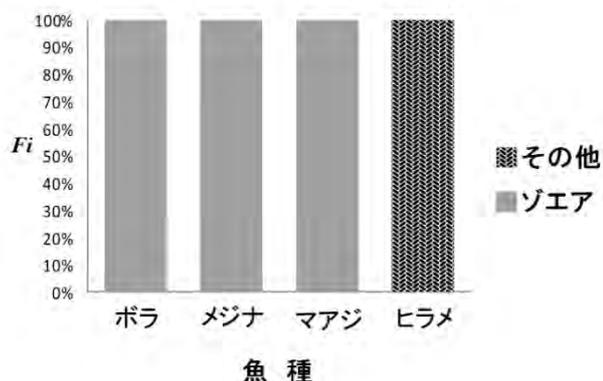


図 12 魚類の種ごとのゾエアの出現率

体の胃からゾエアが見つかったため 100 %となった (図 12)。

### 考察

#### 1) 放仔と月齢との関係

アカテガニの放仔行動は月齢周期と強い関係性があり、満月・新月と、その前後の夜に多く見られる。アカテガニの放仔行動の観察がよく行われる環境は、汽水湖や、海岸線が多く、塩分を含む水を好んで放

仔する傾向があるが、地域によっては、汽水域から 1 km 以上離れた完全淡水の用水路や、水溜りにでも放仔してしまうことがあるが、この場合の放仔個体の数も満月、新月の日に多くなるとされている(橋本, 1965)。人工的に月齢周期を作り出して行われた実験においても月齢に従う傾向が確認されている(三枝, 1978)。

満月、新月に従い放仔数が増減する理由については、大潮時の潮汐差を利用して最も効率的にゾエアを海まで届けるためであると考えられており、抱卵行動の開始も月齢周期に従うと報告されている(三枝, 1979; 三枝, 1980)。しかし、月齢に伴う潮汐変動の少

ない日本海側の地域では月齢に関わらず、好天であれば放子するとされており、佐渡島のアカテガニの放仔活動は月齢によらないと報告されている(北見・本間, 1981)。九十九湾は日本海側の地域に位置することから、佐渡島と同様の傾向が期待された。しかし調査結果を詳しく見ると、全調査期間中にわたりゾエアの放出は確認できたが、図 7 に示すように大潮時に密度が高まる傾向が明瞭であることから、太平洋岸と同じく月齢に対応して放仔は同調すると判断される。

また、アカテガニの放仔には日周期のリズムがあり、新月や満月前後には、日没後 1 時間ほどの間にすべての個体が鋭いピークを描いてゾエアを放出するが、新月や満月を過ぎると、このピークは序々になだらかとなり、かつその位置は満潮時刻あるいは月の出または入りの時刻に同調して遅れて行くこととされている(三枝, 1976)。九十九湾における、7月27日(大潮 満月)には 19:04 の日没直後にピークがあり、その後、緩やかな減少傾向が確認できた。今回日没直後に放仔個体が増加する傾向が確認できたものの、日没直後に放仔が集中していると考えられる。

結論として、天候による悪影響を受けた期間を除くと、月齢、潮汐に従わない、日本海型の放仔傾向は確認できなかった。また、日周期の放仔傾向に関して、日没直後の放仔個体密度の増加は確認できたが、満潮の時刻、月の入りとの関係は確認できなかった。このことから、九十九湾におけるアカテガニの放仔行動は、月齢周期と日没に影響を受けていることが示された。

## 2) 湖岸環境とアカテガニの個体数変化

アカテガニの放仔行動が、月齢、潮汐、大潮時刻や日没時刻に左右されることはこれまでの研究で示されている(橋本, 1965; 北見・本間, 1981; 三枝, 1976; 三枝, 1978)。しかしながら、沿岸線の形態が放仔行動に与える影響についての知見は無い。本研究の調査地点である九十九湾は沿岸の形態が人工化した地域と自然状態の地域ではっきりと分かれている。

九十九湾においては、コナラ林に囲まれており人工建築物の少ない St. 6-8 と住宅街である St. 9 について比較していく。全海域のゾエアの個体密度の低い

2013 年 9 月を除いて見ると、2013 年度、2014 年度共に St. 6-8 付近のゾエアの個体密度が St. 9 より高い。また、ゾエアの個体密度が相対的に高い St. 6-8 までのゾエアの個体密度を比較しても、自然状態の海岸が残る St. 6 が最も個体密度が高くなった。それでも、St. 9 と比較すると高い密度を示したことについては以下のように考察できる。

ゾエアを放仔するために水際に降り、放仔時間になるまでに待機する時に好まれる地形は、空石積みや、植生に覆われた地域である(稲飯ほか, 2014)。放仔されたゾエアが確実に海に到達できるような海岸林と海を結ぶ自然形態の水路や河川といったコリドーの存在も、重要である(松田ほか, 2004)。九十九湾に関しても、ゾエアの個体密度が高い地点は沿岸線形態が St. 6 のように自然状態に近いもの、もしくは St. 8 のように人工海岸の近くに隠れることのできる植生がある地域であった。対照的に、放仔場の環境として最も好まれないのはコンクリート三面水路など、周りに植生の無い地形である(松田ほか, 2004)。St. 9 のような堤防に囲まれた住宅地の近くはアカテガニ類の生息に適さず、結果的に放仔個体が少なくゾエアの密度が少なくなっている。

上陸した稚ガニの生息に関しても、水辺の形態が大きな影響を与える。上陸後 1 年目、2 年目の稚ガニは、ヨシ原で脱皮を繰り返しながら成長するとされている(鈴木, 1981)。大阪府南市と岬市にまたがる「せんなん里海公園」において行われた調査で、陸ガニ類の稚ガニの生息に好まれる環境としては、樹林地の大きな分断が無いこと、遡上可能な水路が存在することが重要であり、樹林地が減少した地域に植林を施すことで、分断区間を解消することが必要である(鷲谷, 2010)。

アカテガニの生態において、沿岸の環境が人工化されることは、放仔行動の妨げになるのみならず、稚ガニの生息域を縮小し、巣穴を形成できる環境を限ってしまう。近年アカテガニの個体数が減少しているといわれているが、沿岸の環境の人工化が大きな原因であると考えられる。

### 3) ゾエアと魚類による利用

河口域において、動物プランクトンの中で陸ガニの幼生は時期的に大きな割合を占めることが報告されている(QIN et al., 2016)。そして放仔されたゾエアが沿岸魚類により捕食されることは、MORGAN(1990)によって詳しく報告されている。その研究によると、カタクチイワシなどの魚類の捕食が河口に生息するカニ類のゾエアが捕食されたため、幼生の放仔生態において捕食を逃れるための進化をもたらしていると述べている。またブラジル、パラナ州のピニェロイス川において、ニシン科 *Platanichthys platana* が陸ガニから放出されたゾエアを選択的に捕食しており、全胃内容物の 80%以上を占めているという研究事例(COSTA et al., 2009)がある。本研究において観察された魚類の中で、高頻度に観察されたボラ、メジナ、マアジの 3 種について検証していく。

ボラとメナダは同じボラ科(Mugilidae)に属し、外見が非常に似るが、いずれも沿岸域のプランクトン食者として重要であり、またボラ待ち櫓に象徴されるようになって能登地域の独特の食材となっていた。これらは、カニの幼生を好んで捕食することが知られている。例えばオーストラリア塩性湿地において、回遊してくるカレイやボラ科の胃内容物のほとんどはゾエアによって占められる(MAZUMDER et al., 2006)。また神奈川県三浦半島先端に位置する小網代でも放仔を狙ってボラが集まる様子が確認されている(矢部・岸, 2001)。今回、捕獲されたボラの胃内容物を確認してみると、そのほとんどがゾエアであった。調査当日の動物プランクトン組成において、ゾエアは 40%に満たない(中山、未公表資料)にもかかわらず、非常に高い割合で捕食していたため、放仔を狙って水際に集結していると考えられる。

メジナは北海道南部から台湾及び東シナ海にかけての沿岸帯に広く生息する魚である。今回捕獲を行った夏季-秋季は植物性餌資源を食べるとされており、動物性資源を選択的に捕食するという報告は無いことに加え、調査を実施した時間帯である日没後の 19:00 前後では、メジナはほとんど捕食行動をとらないとされている(三郎丸・塚原, 1984)。しかし、九十九湾沿岸で 9 月に捕獲された個体からは、動物性資源のみが

確認され、植物性資源は確認されなかった。特に陸ガニ類のゾエアが胃内容物のほとんどを占めている。このことから、メジナは放仔行動に合わせて捕食に訪れる可能性が示唆された。

マアジは、日本周辺の沿岸から水深 200 m の沖合にかけて広く分布しており、特に日本海から東シナ海に多く生息している。周年性の魚で、どの季節であっても、沿岸海域であれば、小型の個体を簡単に捕獲することができる。食性は動物性食で、動物プランクトン、甲殻類、多毛類、イカ類、他の小魚等を捕食するとされている。今回捕獲されたマアジは全長 8.0 cm のものが最大であった。このような小型の個体は小型の甲殻類であるカイアシ類や端脚類、オキアミ類を捕食するとされている(河野, 2007)。また、カニ類の幼生も捕食することがある(松尾ほか, 1997)。2014 年 9 月 14 日の動物プランクトン組成においてもこれらのプランクトンは出現しており、実際にカイアシ類の捕食が確認されたが、陸ガニ類ゾエアの捕食割合が最も多くなった。メジナと同様に他のプランクトンが優占する中で胃内容物の 90%以上をゾエアが占めていることから、ゾエアを狙って捕食していることが示唆された。

そしてこれらの小魚は、より大きな魚類の餌として重要となる。例えば石川県と福井県の境界にある北潟湖においては、ゾエアを狙って集まったボラは、スズキの成魚に捕食されることが観察されており(中山未公表資料)、さらに高次の食物連鎖へとつながってゆくと考えられる。

### 4) 沿岸環境保全の方向性

自然との共生を考える上で、アカテガニを河口・沿岸域の生態系におけるアンブレラ種として捉える事例(岸, 2012; 稲飯ほか, 2014)が見られる。これは、アカテガニの生活史に関係しており、アカテガニは多様な環境を利用しなければ、その生活史を完結させることはできない。またアカテガニが樹木の果実を捕食し、種子を散布することにより、森林の更新を助ける(伊藤ほか, 2011)。そのため、アカテガニが生息できる環境の保全が、同時に他の多様な生物の生息環境の保全につながるというものである。

また、このような河口・沿岸域の生態系の健全性を

象徴するアカテガニを環境保護のアピールに用いる動きも見られ、アカテガニの放仔観察会は、近年では全国各地で見られるようになり、環境教育の場として利用されている。これらの先駆けとして、アカテガニを象徴とした環境保護が行われてきたのが、小網代の森である。小網代の森は、神奈川県三浦市小網代・浦の川流域の通称であり、この場所は関東・東海地方で唯一、源流から河口までひとまとまりの集水域が自然の状態に維持されている「奇跡の自然」として知られている(岸, 2012; 岸・柳瀬, 2016)。アカテガニがどのように暮らしているのか、そのためにはどのような環境が必要なのかについて、小網代の森では、アカテガニという生き物を通して、森と干潟と海がセットで存在していることの大切さを広く理解してもらう活動が行われている。

一方で、近年の急速な都市化や気候変動により災害は多発傾向にあるため、河道拡幅や護岸工事は治水上やむを得ない場合もある。そのため、今後ともアカテガニ類を取り巻く環境は厳しくなることが予想され、保全に向けた取り組みが必要と考えられる。すでに一部ではそうした取り組みが行われており、アカテガニ類の生息に適したコンクリート護岸の開発(柵瀬ほか, 2001)や、開発によって失われた生息環境を再生するためのエコロードの整備(松田・上甫木, 2004; 岡野ほか, 2016)などが行われている。また、陸ガニの生息を脅かすとされるロードキルへの対策として、道路標識の設置が行われている地域も存在する。

水産資源を増殖するために各地で森づくりが行われているが、アカテガニが住める森林を整備し、そして森から海、または幼生が海から森に戻る緩衝帯を整備することにより、より豊かな生態系が形成され、その結果、魚などの水産資源を我々が生態系サービスとして享受できる。アカテガニが増やすために、地域における取り組みが今後求められる。

## 謝辞

本研究を進めるにあたり、石川県立大学環境科学科流域環境学研究室の荒川氏、北原氏、金沢大学

大学院の寺島氏には調査にご協力頂いた。また、金沢大学臨海実験施設所長の鈴木教授をはじめ、職員各位には船舶の提供など、様々な便宜を図っていただいた。のと海洋ふれあいセンターの坂井恵一普及課長には魚類分類の指導を頂いた。以上の各位に感謝する。

## 参考文献

- AMUNDSEN, P. A., GABLER, H. M., and STALDVIK, F. J. (1996). A new approach to graphical analysis of feeding strategy from stomach contents data – modification of the Costello (1990) method. *Journal of Fish Biology*, 48: 607–614.
- CHARMANTIER G., GIMÉNEZ L., CHARMANTIER-DAURES M., and ANGER K., 2002. Ontogeny of osmoregulation, physiological plasticity and larval export strategy in the grapsid crab *Chasmagnathus granulata* (Crustacea, Decapoda). *Mar Ecol Prog Ser*, 229: 185–194.
- COSTA P.V., UBIRATA A.T., VENTURA R., OSTRENSKY A., and ANGELO L., 2009. Fish predation on brachyuran larvae and juveniles in the Pinheiros river, Guaratuba Bay Parana, Brazil. *Zoologica*, 26: 231–240.
- 福田靖・馬場敬次, 1976. 河口産ベンケイガニ類 4 種の幼生. 熊本大学教育学部紀要 自然科学: 61–75.
- 橋本碩, 1965. 河川流域に生息するアカテガニの放卵. *動物学雑誌*, 74: 82–87.
- 稲飯幸代・四宮隆司・河口洋一・鎌田磨人, 2014. アカテガニを指標とした都市公園緑地の景観構成要素の機能評価. *景観生態学*, 19: 57–68.
- 伊藤信一・鈴木智和・小南陽亮, 2011. 温帯海岸林における陸ガニの果実採食と種子散布. *日本生態学会誌*, 61:123–131.
- 岸 由二, 2012. 奇跡の自然 三浦半島小網代の谷を「流域思考」で守る. 八坂書房, 東京.
- 岸 由二・柳瀬博一, 2016. 「奇跡の自然」の守りかた 三浦半島・小網代の谷から. 筑摩書房, 東京.
- 北見健彦・本間義治, 1981. 佐渡島(日本海)における

- アカテガニの習性. 甲殻類の研究, 11: 113–123.
- 小林 哲, 2000. 河川環境におけるカニ類の分布様式と生態—生態系における役割と現状—. 応用生態工学会, 3: 113–130.
- 河野光久, 2007. 山口県日本海沿岸域で漁獲されたマアジの食性. 山口県水産研究センター研究報告, 5: 19–23.
- MAZUMDER D, SAINTILAN N, WILLIAMS RJ., 2006. Trophic relationships between itinerant fish and crab larvae in a temperate Australian saltmarsh. *Mar Freshwater Res.*, 57:193–199.
- 松田朋子・上甫木昭春, 2004. 大阪府泉南の海岸線埋め立て部における陸ガニの生息状況と環境特性との関係に関する研究. 日本造園学会誌, 67: 537–542.
- 松尾健司・宮川昌志・神田 優・山岡耕作, 1997. 伊吹島岩礁性魚類の食性. *Bulletin of Marine Sciences and Fisheries, Kochi University*, 17: 41–61.
- MORGAN S.G., 1990. Impact of planktivorous fishes on dispersal, Hatching, and morphology of estuarine crab larvae. *Ecology*, 71: 1639–1652.
- 農林省森林局・水産局, 1937. 魚附林の効果調.
- OH, S.M., CHUNG, D.E., KO, H.S., 2007. Complete Larval Development of *Chiromantes haematocheir* (Crustacea Decapoda Brachyura Grapsidae), with a Key to Seven Sesarminid Zocae in Korea. *Korean Journal of Systematic Zoology*, 23: 9–20.
- 岡野綾香・浦出俊和・上甫木昭春, 2016. 陸ガニのためのエコロードの整備条件に関する研究. ランドスケープ研究, 79: 697–702.
- QIN H, SHENG Q, CHU T, WANG S, WU J., 2016. Import and export fluxes of macrozooplankton are taxa- and season-dependent at Jiuduansha marsh, Yangtze River estuary. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 163:254–64.
- 三郎丸 隆・塚原 博, 1984. 福岡北部沿岸におけるメジナの生活史. 九州大学農学部学藝雑誌, 39: 35–48.
- 三枝誠行, 1976. ベンケイガニ類のゾエア放出リズム(日周期リズムと潮汐リズムの相互作用). 動物学雑誌, 85: 475.
- 三枝誠行, 1979. アカテガニ類におけるゾエア幼生放出の semilunar rhythm の持つ適応的意味. 動物学雑誌, 88: 659.
- 三枝誠行, 1980. 半月周期リズムの同調機構—集団のリズムと個体のリズム. 動物学雑誌, 89: 616.
- SAIGUSA, M., HIDAHA, T., 1978. Semilunar rhythm in the zoea-release activity of the land crabs *Sesarma*. *Oecologia*, 37: 163–176.
- SAIGUSA, M., 1980. Entrainment of a semilunar rhythm by a simulated moonlight cycle in the terrestrial crab, *Sesarma haematocheir*. *Oecologia*, 46: 38–44.
- 坂井恵一・山本邦彦, 1996. 能登半島浅海域における魚類の研究 I. のと海洋ふれあいセンター研究報告, 2: 91–97.
- 敷田麻実・小荒井衛, 1997. 1960年以降の日本の自然海岸の改変の統計学的分析. 日本沿岸域学会論文集, 9:17–25.
- 鈴木幸子, 1981. 三浦半島に生息するアカテガニの生活史. 甲殻類の研究, 11: 51–65.
- 柵瀬信夫・林文慶・越川義功・内川隆夫・唐木裕志, 2001. 環境保全・修復材 -コンクリート護岸パネルの試み-. 海洋開発論文集, 17: 153–158.
- 寺田正之, 1976. カニ類, ベンケイガニ亜科9種の後期発生の比較. *Researches on Crustacea*, 7: 138–169.
- 豊田幸詞・関慎太郎, 2014. 日本の淡水性エビ・カニ 日本産淡水性・汽水性甲殻類 102種. 誠文堂新光社, 東京.
- VOGT, G., 2012. Abbreviation of larval development and extension of brood care as key features of the evolution of freshwater Decapoda. *Biological Review*, 88: 81–116.
- 矢部 和弘・岸 由二, 2001. 小網代におけるアカテガニの放仔行動の時間特性. *Hiyoshi Review of Natural Science Keio University*, 30: 75–82.
- 柳沼武彦. 1993. 木を植えて魚を殖やす. 家の光協会.
- 鷺谷寧子・上甫木昭春, 2010. 沿岸埋め立て部の海岸林における陸ガニの分布状況の変化. ランドスケープ研究, 73: 513–518.
- 若菜 博. 2015. 内陸森林と魚附林. 森林科学, 75:1–6.

## ミトコンドリア DNA 分析に基づく石川県白山手取川水系における イワナ *Salvelinus leucomaenis* の遺伝的集団構造の特徴 - I

坂井恵一<sup>1)</sup>・東出幸真<sup>1)</sup>・北市 仁<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>のと海洋ふれあいセンター, 石川県鳳珠郡能登町字越坂 3-47 (〒927-0552)

<sup>2)</sup>石川県白山自然保護センター, 石川県白山市木滑又4 (〒920-2326)

Genetic Population Structure of White-spotted charr (*Salvelinus leucomaenis*) from Tedor  
River of Mt. Hakusan, Ishikawa Prefecture, inferred from mitochondrial DNA sequences - I

Keiichi SAKAI<sup>1)</sup>, Yukimasa HIGASHIDE<sup>1)</sup> and Hitoshi KITAICHI<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>Noto Marine Center, 3-47 Ossaka, Noto, Ishikawa 927-0552

<sup>2)</sup>Hakusan, Nature Conservation Center, Ishikawa Prefecture, Nu-4 Kinameri, Hakusan,  
Ishikawa Prefecture, 920-2326

### はじめに

手取川は石川県と岐阜県の県境にそびえる白山を源とし、日本海に注ぐ流路延長約 72 km の一級河川である。日本有数の急流河川であり、尾添川、瀬波川、直海谷川、そして大日川など多数の支流を有している。手取川本流では 1900 年代になると、次々に発電用の取水堰堤や砂防堰堤などの河川横断構造物が設置された。現在、最大支流である尾添川との合流点のすぐ上流に手取川第二ダム、またその上流に手取川ダム(ロックフィルダム)が設置されていて、両水系間の魚類の移動・交流は不可能な状態にある。また、手取川ダムより上流部の本流(牛首川とも呼ばれる)、そして尾添川や各支流にも複数の取水堰堤や砂防堰堤が設置されている。

イワナはサケ科イワナ属の冷水性魚類で、夏の最高水温が 15 °C 以下の河川上流域に生息する(亀甲, 2018)。国内に分布するイワナは体側の白色と朱色か橙色の有色斑点の有無や形状などの形態的特徴に基づきアメマス(エゾイワナ)、ニッコウイワナ、ヤマトイワナ、ゴギの 4 亜種に分類されている(細谷, 2013)。しかしながら、種内における亜種の区分と遺伝的集団構造は一致しないことが明らかとなっているので(YAMAMOTO et al., 2004)、向井ほか(2015)や亀甲(2018)らと同様に、本報告でも亜種ではなく種【イワナ *Salvelinus leucomaenis* (PALLAS, 1814)】として扱うことにする。

手取川水系では体側に白色と朱色か橙色の斑点を持つ“ニッコウイワナ”タイプが分布し、主に各支流の上流域に生息している。繁殖期は秋で、支流に流れ込む小さな枝川や分流に上り、砂礫底に産卵にする。春、幼魚は岸辺の流れの緩やかな石の隙間などで採餌行動を始め、翌春には 10-15 cm に成長する。満 2 才の秋

には 15–20 cm までになり、一部のオスが繁殖に加わり、満 3 歳でメスも産卵するようになる。産卵後も多くの個体が生き残り、寿命は 7、8 年程度とされている。水生昆虫や陸生昆虫、ミミズ、サンショウウオやカエル等をエサとしている(丸山, 1989; 亀甲, 2018)。イワナが安定して繁殖を繰り返して生息するためには、多様な河川環境だけでなく、周辺の森林環境も重要な要素になっている。

発電用の取水堰堤や砂防堰堤が設置される以前の手取川本流では、白山温泉のある市ノ瀬地区より上流域まで(橘, 2005)、尾添川では蛇谷の中宮温泉まで(水野昭憲氏からの私信)、サクラマスが遡上していたことが知られている。従来の手取川は河口から源流近くの最上流域まで、多くの魚類が往来できる河川環境が維持されていたことが明らかである。したがって、取水・砂防堰堤の設置は、下流域から上流域への遡上の妨げとなり、イワナの生息域の分断化を招くことになる。また分断化が起きると、特にその上流部に生息する集団の孤立化をもたらし、河床の単調化は産卵場所や幼魚の生息環境を破壊することにつながる。このことから、各河川の上流部に設置された砂防堰堤よりも上流域には、その地域特有の遺伝的特徴を有したイワナが生息している可能性があるが、イワナ集団の孤立化による遺伝的劣化の進行が推察される。

イワナは古くから山村の人々の貴重な蛋白源となっていたが、近年では山間部の宿泊施設の食材として、また遊漁の対象として人気が高い。このため、減少したイワナ資源の増殖を図るため、全国的に養殖と移植・放流のための種苗生産が行われるようになった。滋賀県鹿井養鱒場では 1967 年からイワナの養殖試験が開始され、1972 年には放流用種苗を販売している(金子ほか, 2008)。石川県では 1972 年に新潟県内水面水産試験場から発眼卵を導入し、人工種苗の生産技術の開発と実用化の取り組みが始まった(石川県, 1994)。イワナの河川における増殖を目的とした種苗放流や移植が日本各地で行われているが、遺伝的特徴を配慮しない増殖手法では地域固有の遺伝的特徴を消失させる恐れがある(樋口ほか, 2011)。

手取川ダムの上流域である白山市白峰地内の一支流(以後、白峰 A 支流とする)には、“ニッコウイワナ”タイプだけでなく、体側に斑紋や斑点がまったくない“無斑イワナ”が生息している。白峰 A 支流には石川県および地元漁協によるイワナの放流履歴がないので在来集団との前提で白山市の天然記念物に、また石川県の絶滅のおそれのある野生動植物を記載した「いしかわレッドデータブック(動物編)2009」では、無斑イワナは地域個体群に選定されている(石川県, 2009)。しかしながら、白峰 A 支流でも複数の発電用の取水堰堤や砂防堰堤が設置されている。また、2000 年には右岸斜面で大崩落が起こり(浅井ほか, 2002)、2001 年にはその下流部で大型の砂防堰堤の設置工事が始まった(高門ほか, 2003)。したがって、無斑イワナの生息域も分断化が進み、その上流部に生息する無斑イワナを含んだイワナ集団は孤立化している。

手取川ダムとそれに流入する本流と多くの支流の漁業権は白山白峰漁業協同組合(以下、白峰漁協とする)に与えられている。白峰漁協の加藤隆夫組合長によると、同漁協では独自でイワナの種苗生産を行い、管理下の河川に放流しているが、その採卵親魚は放流履歴の無い河川から調達・補充しているとのことである。また、無斑イワナの生息域である白峰 A 支流にはこれまで、白峰漁協としてイワナの放流を行ったことは一切ないとのことである。またこの支流には、当地で“カワリモンイワナ”と呼んでいる体側のパーマークが不定型の雲状斑で有色斑点がないイワナも生息しているとのことであった。

一方、尾添川の一支流である蛇谷は両岸が切り立った V 字谷となっていて、流入する支流の合流点はほとんどが滝となっている。このため、支流へのイワナの遡上を妨げている(中村・丸山, 1987)。この蛇谷はかつて、イワナの宝庫と呼ばれていたが、1977 年から“白山スーパー林道”の一般供用が始まると、イワナの生息数は激減した(中村・丸山, 1988)。このため、1983 年から蛇谷の一部と支流の途中谷の全区間の計約 9.0 km が禁漁区に指定された(丸山・斎藤, 1987; 石川県白山自然保護センター, 1989a)。イワナの生息状況の調査により、1984 年秋に産出された年級群が顕著な増殖を示し、蛇谷のイワナは予想以上の速度で個体数が回復したとされている(中村・丸山, 1988; 石川県白山自然保護センター, 1989b)。現在、途中谷は禁漁区ではなくなり、

蛇谷の禁漁区も中宮温泉入口にある中宮橋直下の砂防堰堤からオモ谷枝谷の合流点までの約 6 km に縮小されている。中宮橋直下の砂防堰堤は落差が 10 m 以上あり、魚道も整備されていないため、堰堤下流域から上流域への魚類の遡上は不可能である。したがって、この蛇谷でもイワナの生息域は分断化され、その上流に生息するイワナ集団は孤立化している。また、途中谷は蛇谷との合流点のすぐ上流部に 2 基の砂防堰堤が設置されており、蛇谷から途中谷へのイワナの遡上は不可能である。

蛇谷では 1978–1980 年の 3 年間に、白山市内尾の養魚場で生産されたイワナを放流した経緯がある(石川県白山自然保護センター, 1989a)。この養魚場で使われていた採卵親魚が、いずれの地域から搬入されたものかは定かでない。また、放流場所や個体数の詳細は不明であるが、蛇谷でニジマス *Oncorhynchus mykiss* (WALBAUM, 1729) の捕獲記録があることから(丸山・中村, 1989)、少なくとも北陸電力の蛇谷取水堰堤からふくべ谷合流点までの区間でも放流が行われた可能性がある。一方、途中谷のイワナは、地元住民により 1910 年頃に蛇谷のイワナを移植したものに由来すると言われている(中村・丸山, 1987; 中村・丸山, 1988)。1988 年に途中谷と蛇谷のふくべ谷合流点から上流域で捕獲したもの、白山市内尾の養魚場のイワナを用いてアイソザイム分析を行ったところ、蛇谷と途中谷のイワナは遺伝的に異なった集団であること、そして両者には放流イワナの影響は認められなかったと報告されている(丸山・中村, 1989)。ところが、蛇谷のイワナの捕獲場所がふくべ谷合流点より上流域であったので、それより下流域では放流イワナの影響が残っている可能性がある。また、蛇谷の在来集団の遺伝的特徴が損なわれていないか、危惧される。

蛇谷や目附谷、丸石谷、荒谷を含む尾添川水系と手取川ダムより下流域の手取川、手取川の支流である瀬波川、直海谷川、そして大日川ダムより下流域の大日川とこれに合流する各支流は白山手取川漁業協同組合(以下、手取漁協とする)に与えられていて、現在もイワナの放流事業が積極的に行われている。主に白山市深瀬(旧尾口村)にある坪田養魚場から発眼卵または生産種苗の提供を受けて実施されている。その養魚場では現在、採卵親魚は蛇谷などの手取漁協の管理下の河川から調達しているとのことである。

本研究では、手取川本流の白峰 A 支流、そして尾添川の蛇谷と途中谷には手取川水系在来のイワナ集団が生息している可能性があると考えられたので、その遺伝的集団構造の把握を試みた。また、これらの在来のイワナ集団が、現在も移植・放流が行われている白峰漁協や手取漁協の遊漁区のイワナ集団と、どのような関係にあるのかを考察する必要があると考えた。本報告では、2018 年に手取川水系から収集したイワナのミトコンドリア DNA(以下、mt DNA とする)を分析および解析し、手取川水系におけるイワナの遺伝的集団構造の把握を試みたので、その結果を報告する。

## 材料と方法

### イワナの採集

手取川本流の白峰 A 支流と尾添川の蛇谷と途中谷での採集は、石川県知事の特別採捕許可を得て、執筆者らが釣りまたは電気ショッカーを用い、2018 年の 6 月と 10 月に行った(図 1)。無斑イワナの生息域である白峰 A 支流は、この他に白山市長の白山市指定文化財現状変更許可を得て、最上流部に設置された砂防堰堤の上流域で採集を行った。また、石川県淡水魚類研究会が同年 7 月に行った白峰 A



図 1 電気ショッカーを使ったイワナの採集(22 Oct 2018, 白峰 A 源流)

支流における無斑イワナの調査に同行して資料の収集を行った。採集されたイワナは可能な限り写真の撮影と体側の斑紋や斑点の観察を行い、体長と全長の測定、脂鱗の採取を行い、原則、採集した近傍に放流した。ただし、一部の小型個体はのと海洋ふれあいセンターの登録標本として保存した。イワナの遊漁が許可されている水域(遊漁区)は遊漁権を有する本研究の協力者に依頼し、2018 年の 5 月から 9 月末日までの間に釣獲したイワナの全長と場所の記録、写真撮影、脂鱗の採取をお願いして資料の収集を行った。採取した脂鱗は 99.5%のエチルアルコールで固定保存し、DNA 抽出用サンプルとした。イワナのサンプルを収集した場所の概略図は図 2 に示した。この他、白峰漁協の加藤隆夫組合長から生産種苗を、手取漁協の加波健一理事から養殖魚の提供を受けた。また、国土交通省北陸地方整備局金沢河川国道事務所から尾添川水系で採集された 3 個体の標本を提供していただいた。以上の結果、2018 年に採集できたイワナの DNA 抽出用サンプルは、河川から採集された 141 個体、生産種苗と養殖魚の 67 個体の合計 208 個体であった(表 1)。

表 1 白山手取川水系から収集されたイワナの分析用サンプル数

白峰漁協管理区		手取漁協管理区	
白峰 A 支流 (SM-A)	36	蛇谷禁漁区 (JDN)	10
SM-B	3	途中谷 (TCD)	8
SM-C	3	蛇谷遊漁区 (JD-Y)	12
SM-D	4	OZ-1	4
SM-E	1	OZ-2	7
SM-F	2	OZ-3	2
SM-G	7	OZ-4	5
SM-H	4	SNM	9
SM-I	4	DAI	4
SM-J	3	NOM	13
白峰種苗 (SM-S)	57	手取養殖魚 (TD-S)	10
計	124	計	84

手取川本流の無斑イワナの生息域である白峰 A 支流で採集したものを白峰 A 支流 (SM-A)、白峰漁協により放流が継続して行われている各支流から採集したものを SM-B から SM-J の 9 集団、そして白峰漁協の生産種苗を白峰種苗 (SM-S) とした。一方、尾添川水系の蛇谷は親谷との合流点付近と禁漁区の最下流域にあたる中宮橋直下の砂防堰堤より上

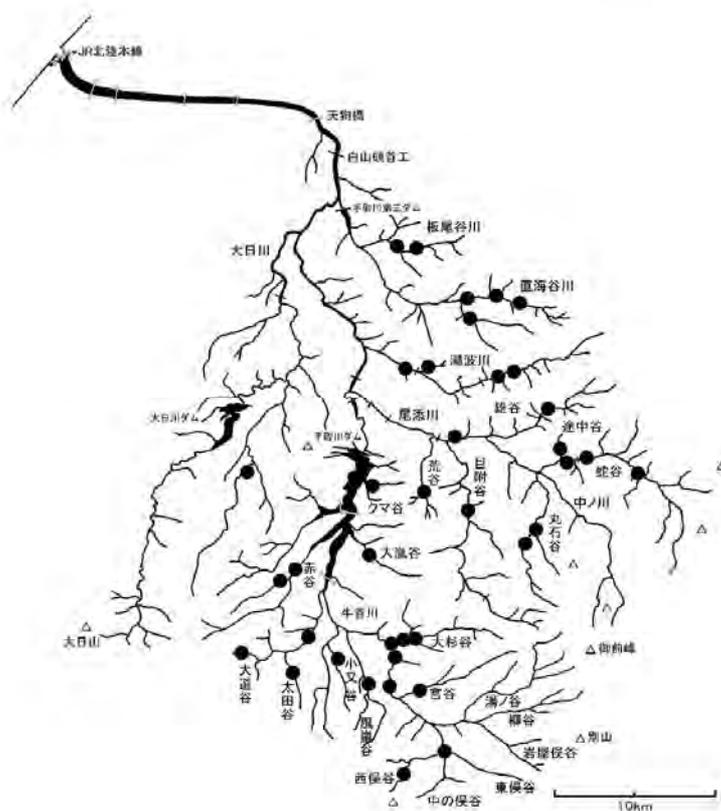


図 2 白山手取川水系におけるイワナの DNA 抽出用サンプルを採集した場所(●)の概略図

流約 300 m の範囲(白山林道の料金所付近)で採集したものは蛇谷禁漁区(JDN)、そして途中谷の最初の砂防堰堤より上流部で採捕したものは途中谷(TCD)とした。手取川漁協が積極的にイワナの放流を継続している遊漁区から協力者が釣りて採取したものは、蛇谷遊漁区(JD-Y)や尾添川支流(OZ-1 から OZ-4)、瀬波川(SNM)、DAI(大日川)、そして直海谷川(NOM)の 8 集団、手取漁協関連の養殖魚を「手取養殖魚(TD-S)」として扱い、合計 22 集団に分けて解析を行った。

### DNA の分析と解析

全 DNA の抽出は、前記した DNA 抽出用サンプルから、NucleoSpin® Tissue(マッハライ・ナーゲル社製)を用いて行った。抽出した全 DNA のうち、mt DNA のチトクローム *b* 領域(以下、Cyt-*b* とする)の後半部を対象に塩基配列の決定を行った。このために、プライマーセット L15285 5'-CCCTAACCCGVT-TCTTYGC-3' と H15915 5'-ACCTCCGATCTYCG-GATTACAAGAC-3' を用いて PCR 法を行い、鋳型 DNA の熱変性は 94 °C で 2 分、PCR サイクルについて、熱変性は 94 °C 30 秒、アニーリング温度は 55 °C 30 秒、伸張温度は 72 °C 1 分を 1 サイクルとし、35 サイクルで行なった。試薬は Go-to DNA Polymerase(ニッポンジーン)を、サーマルサイクラーは eppendorf Mastercycler® nexus X2 を用いた。塩基配列の決定は PCR 産物を ABI (Applied Biosystems 3130xl Genetic Analyzer もしくは 3730xl DNA Analyzer)社製の DNA シーケンサを用いて行った。反応試薬は Big Dye Terminator V3.1 を用いた。得られた塩基配列は YAMAMOTO et al.(2004)、KUBOTA et al.(2007)、KIKKO et al.(2008)、山本ら(2008)、SATO et al.(2010)、樋口ほか(2011a)、樋口ほか(2012)及び日本 DNA データバンク(DDBJ)で報告されている全国各地のイワナの塩基配列データと照合し、ハプロタイプを決定すると共に、TCS ver.1.21 (CLEMENT et al., 2000)を用いてハプロタイプの最節約ネットワークを作成した。また、ハプロタイプ多様度( $h$ )、塩基多様度( $\pi \times 100$ )、集団間の遺伝的分化の程度を示す  $F_{st}$  値と異質性検定の確率

値(P 値)の算出は Arlequin Ver 3.5.2.2. (EXCOFFIER and LISCHER, 2010)を用いた。異質性検定における有意水準は全て 5 %とした。

## 結果

### 手取川水系におけるイワナの遺伝的特徴

今回分析を行った mt DNA 内の Cyt-*b* 領域において、塩基配列を解析・決定できたのは、収集できたイワナのサンプル 208 個体中の 166 個体である。先行研究(YAMAMOTO et al., 2004;KUBOTA et al., 2007;KIKKO et al., 2008;山本ら, 2008;SATO et al., 2010;樋口ほか, 2011a;樋口ほか, 2012)により、イワナ種内で見つかっている 47 のハプロタイプと比較したところ、手取川水系から 17 のハプロタイプが見つかった(表 2)。この内の 3 つは既知のものとは一致せず、本研究で見いだされた新しいハプロタイプであった。これらを Hap-46、Hap-47、Hap-48 として日本 DNA データバンク(DDBJ)に登録した(アクセッションナンバーは LC508211-508213)。

手取川水系から見つかった 3 ハプロタイプの塩基の置換状況を、広域分布している代表的なハプロタイプと比較して表 3 に示す。また、TCS で推定されたハプロタイプネットワークを図 3 に示す。この推定図から、Hap-46 は Hap-19 のグループに、Hap-47 と Hap-48 は Hap-7 のグループに分類された。Hap-46 は、東北から西日本の日本海に流入する河川に広域分布する Hap-19 から派生し、Hap-19 の 42 番の塩基 G が A に置き換わっており、白峰 A 支流から 2 個体が得られた。Hap-47 と Hap-48 は特に東北地方に分布する Hap-7 から派生し、まず Hap-47 は Hap-7 の 328 番の塩基 A が T に置き換わっていて、途中谷と蛇谷遊漁区、OZ-3、そして手取養殖魚から各 1 個体の計 4 個体が得られた。Hap-48 は Hap-7 の 310 番の塩基 T が C に置き換わっていて、蛇谷禁漁区から 1 個体が得られた。

白山手取川水系で採集されたイワナを 22 集団に分けて算出した遺伝的分化の程度を示す  $F_{st}$  値と異質性検定の確率値(P 値)を表 4 に示す。一部の支

表 2 白山手取川水系の各支流から採集されたイワナのハプロタイプとその個体数、およびハプロタイプ多様度 ( $h$ ) と塩基多様度 ( $\pi \times 100$ )

イワナ集団	確認されたハプロタイプ																計	ハプロタイプ		塩基多様度 $\pi \times 100$	
	1	3	5	7	8	9	10	11	16	17	19	22	38	42	46	47		48	個体数		多様度( $h$ )
白峰 A 支流 (SM-A)				5								28	1		2		4	36	0.383	0.185	
SM-B	1										2						2	3	0.667	0.718	
SM-C				1		1			1								3	3	1.000	0.489	
SM-D									1		2			1			3	4	0.833	0.688	
SM-E											1						1	1	1.000	0.000	
SM-F		1						1									2	2	1.000	0.359	
SM-G	2			1							4						3	7	0.667	0.564	
SM-H	1			3													2	4	0.500	0.449	
SM-I	1			1						1	1						4	4	1.000	0.718	
SM-J														3			1	3	0.000	0.000	
白峰種苗 (SM-S)	6			8					2		6						4	22	0.745	0.597	
蛇谷禁漁区 (JDN)										5	3						1	3	9	0.639	0.259
途中谷 (TCD)										6	1					1	3	8	0.464	0.257	
蛇谷遊漁区 (JD-Y)	1		1	1		1			1		5					1	7	11	0.818	0.571	
OZ-1				3							1						2	4	0.500	0.269	
OZ-2	2					2					3						3	7	0.762	0.718	
OZ-3											1					1	2	2	0.500	0.718	
OZ-4											5						1	5	0.000	0.000	
SNM					1					1	7						3	9	0.417	0.200	
DAI						1					3						2	4	0.500	0.449	
NOM				1				1			9	2					4	13	0.526	0.262	
手取養殖魚 (TD-S)	2			1								1				1	4	5	0.900	0.646	
合計	16	1	1	25	1	5	2	4	1	37	63	1	1	1	2	4	1	17	166		
組成 (%)	9.6	0.6	0.6	15.1	0.6	3.0	1.2	2.4	0.6	22.3	38.0	0.6	0.6	0.6	1.2	2.4	0.6				

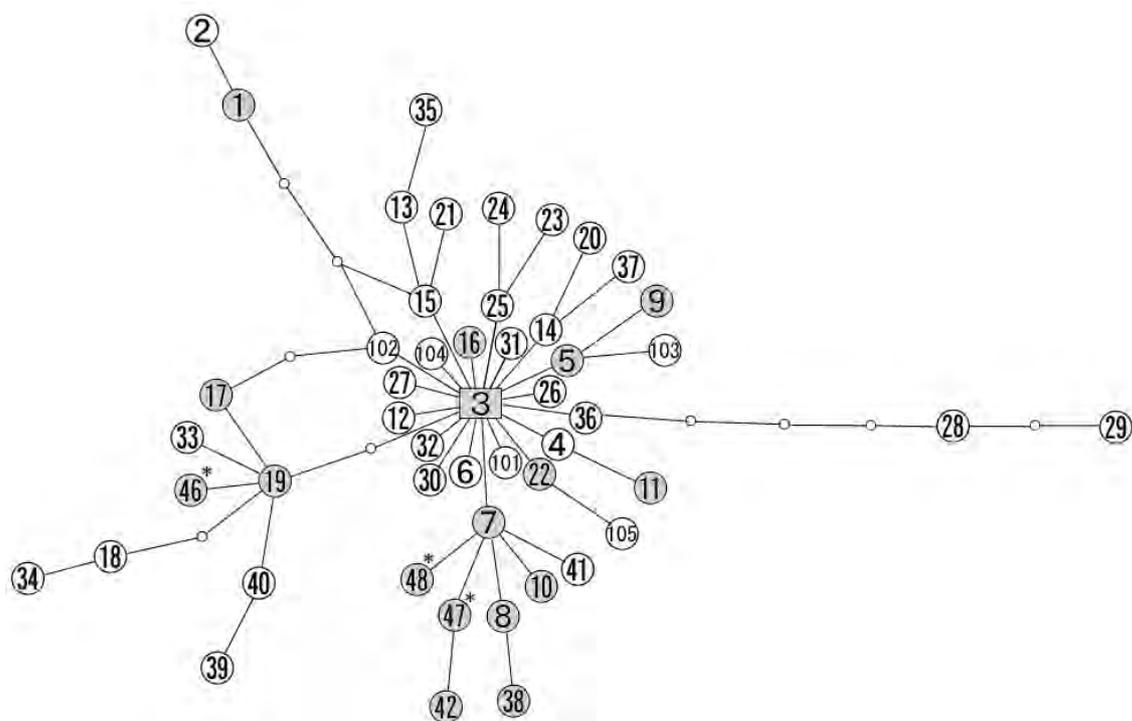


図 3 推定されたハプロタイプネットワーク図。既知 47 タイプと手取川水系から得られた 3 タイプの合計 50 タイプで作成。スクリーンは手取川水系から見つかったハプロタイプを、\*は本研究で見つかったハプロタイプを示す。

流集団はサンプル数の不足から、多くの確率値が 0.05 を超えたが、白峰 A 支流と蛇谷禁漁区、途中谷等の間では有意な値が得られた。これらは個別に後述する。

また、新潟県、栃木県、そして滋賀県(琵琶湖水系)の放流履歴がない河川で見つかったイワナのハプロタイプ、そしてハプロタイプ多様度と塩基多様度を本研究で得られた白峰 A 支流と蛇谷禁漁区、そして途中谷の結果と比較した(表 5)。出現したハプロタイプ数は新潟の三面川の U2 が 5 種で最も多かった。本研究における白峰 A 支流と新潟県の三面川の U1 と信濃川水系の S5 の 3 集団は、これに次ぐ 4 種であった。したがって、白峰 A 支流のイワナ集団は、構成するハプロタイプが多い特徴を持つものと判断できる。また他の河川と比較すると、ハプロタイプ多様度と塩基多様度は白峰 A 支流がやや低いと見ることができた。

### 白峰 A 支流

白峰 A 支流では 36 個体の分析が終わり、4 つのハプロタイプが見つかった。Hap-19 が 28 個体

(77.8%) と特に多く、Hap-7 は 5 個体 (13.9%)、Hap-46 が 2 個体 (5.5%)、Hap-38 が 1 個体 (2.8%) であった。蛇谷禁漁区や途中谷、そして白峰・手取遊漁区で多くの個体が見ついている Hap-17 が含まれていなかった(表 2)。

Hap-46 は体長 142 mm と 215 mm の 2 個体が採集されたに過ぎないが、体長に 73 mm の差があるので、異なる年級群だと判断された。Hap-38 は 1 個体だけの採集だが、体長 55 mm の前年秋に産出された当歳魚だと判断された。

表 3 白山手取川水系から新たに見つかったイワナのハプロタイプの塩基置換状況

	19	42	103	184	211	214	254	310	328
Hap-1	A	G	C	G	A	T	C	T	G
Hap-3	G	.	.	.	.	C	T	.	A
Hap-19	G	.	A	A	.	C	T	.	A
Hap-46	G	A	A	A	.	C	T	.	A
Hap-7	G	.	.	.	T	C	T	.	A
Hap-47	G	.	.	.	T	C	T	.	T
Hap-48	G	.	.	.	T	C	T	C	A

表 4 手取川水系における支流別のイワナ 22 集団間の Fst 値(左下段)と異質性検定の確率値(P 値, 右上段)

	SM-A	SM-B	SM-C	SM-D	SM-E	SM-F	SM-G	SM-H	SM-I	SM-J	SM-S	JDN	TCD	JD-Y	OZ-1	OZ-2	OZ-3	OZ-4	SNM	DAI	NOM	TD-S
SM-A	—	0.144	0	0.0455	0.991	0.036	0	0	0.009	0	0	0.018	0	0.027	0.036	0	0.072	0	0.685	0.009	0	0
SM-B	0.208	—	0.333	0.775	0.991	0.387	0.604	0.288	0.991	0.387	0.640	0.369	0.162	0.847	0.270	0.739	0.991	0.009	0.225	0.595	0.171	0.414
SM-C	0.582*	0.167	—	0.450	0.991	0.946	0.099	0.450	0.459	0.081	0.162	0.045	0.036	0.360	0.414	0.577	0.631	0.027	0.018	0.081	0.009	0.279
SM-D	0.200	-0.117	0.031	—	0.991	0.522	0.153	0.261	0.856	0.117	0.288	0.063	0.018	0.919	0.405	0.477	0.991	0.009	0.189	0.207	0.018	0.198
SM-E	-0.763	-1.000	0.200	-0.704	—	0.595	0.486	0.450	0.991	0.270	0.577	0.991	0.306	0.991	0.351	0.991	0.991	0.099	0.991	0.405	0.441	0.171
SM-F	0.585*	0.118	-0.200	-0.064	0.333	—	0.081	0.730	0.523	0.117	0.468	0.063	0.108	0.523	0.757	0.261	0.991	0.054	0.072	0.270	0.072	0.405
SM-G	0.429*	-0.167	0.298	0.133	-0.158	0.261	—	0.117	0.883	0.450	0.099	0.126	0.207	0.099	0.054	0.423	0.279	0.261	0.018	0.441	0.171	0.198
SM-H	0.617*	0.156	0.003	0.111	0.333	-0.160	0.219	—	0.568	0.045	0.603	0.018	0	0.108	0.991	0.216	0.604	0	0.009	0.090	0	0.594
SM-I	0.283*	-0.333	0.071	-0.099	-0.600	-0.018	-0.179	0	—	0.189	0.775	0.243	0.270	0.820	0.378	0.775	0.757	0.036	0.099	0.991	0.234	0.405
SM-J	0.483*	0.143	0.692	0.332	1.000	0.829	0.038	0.657	0.111	—	0	0.577	0.801	0.040	0.072	0.126	0.153	0.991	0.036	0.991	0.703	0
SM-S	0.328*	-0.052	0.052	0.006	-0.076	-0.051	0.078	-0.052*	-0.103	0.313*	—	0	0	0.252	0.559	0.324	0.640	0	0	0.027	0	0.396
JDN	0.188*	0.035	0.531*	0.197	-0.444	0.550	0.112	0.532*	0.061	-0.009	0.250*	—	0.756	0.009	0.063	0.072	0.162	0.703	0.045	0.991	0.865	0
TCD	0.314*	0.059	0.552	0.235*	-0.143	0.575	0.052	0.535*	0.051	-0.132	0.257*	-0.077	—	0.009	0.018	0.009	0.865	0	0.072	0.171	0	0.090
JD-Y	0.171*	-0.100	0.012	-0.121	-0.458	-0.012	0.114	0.110	-0.087	0.272*	0.012	0.162*	0.198*	—	0.288	0.559	0.973	0	0.108	0.279	0	0.045
OZ-1	0.456*	0.200	0.029	-0.016	0.333	-0.118	0.287	-0.067	0.043	0.729	0.002	0.468	0.505*	0.013	—	0.252	0.541	0	0.027	0.063	0.009	0.252
OZ-2	0.330*	-0.200	0.013	-0.009	-0.400	0.042	0.011	0.105	-0.143	0.222	0.010	0.193	0.203*	-0.050	0.135	—	0.541	0.018	0.099	0.378	0	0.270
OZ-3	0.215	-0.263	-0.063	-0.417	-1.000	-0.200	0.051	-0.051	-0.280	0.520	-0.122	0.223	0.248	-0.243	-0.204	-0.120	—	0.018	0.351	0.378	0.054	0.550
OZ-4	0.515*	0.326*	0.783	0.468*	1.000	0.894	0.149	0.741*	0.264*	0	0.367	0.092	-0.026*	0.350*	0.798*	0.326*	0.683*	—	0	0.468	0.378	0.009
SNM	-0.042	0.072	0.540	0.124*	-1.000	0.575	0.278*	0.565*	0.148	0.419*	0.247	0.059*	0.186*	0.105	0.458*	0.200	0.169	0.494*	—	0.054	0.054	0
DAI	0.332*	-0.091	0.314	0.095	-0.429	0.374	-0.039	0.394	-0.083	-0.091	0.179	-0.053	-0.087	0.066	0.385	-0.005	0.075	0.063	0.180	—	0.622	0.027
NOM	0.274*	0.091	0.544	0.256*	-0.188	0.542	0.093	0.533*	0.074	-0.073	0.266	-0.069	-0.089*	0.207*	0.472*	0.232*	0.271	0.018	0.152	-0.061	—	0
TD-S	0.620*	0.042	0.073	0.127	0.182	-0.028	0.131	-0.139	-0.030	0.512	-0.023	0.481*	0.465*	0.133	0.140	0.047	-0.036	0.609*	0.519*	0.319*	0.494*	—

確率値が P < 0.05 の Fst 値に\*を付与

表 5 他県の未放流河川および白山手取川水系から採集されたイワナのハプロタイプとその個体数、およびハプロタイプ多様度( $h$ )、塩基多様度( $\pi$ )

イワナ集団	確認されたハプロタイプ																計	個体数	ハプロタイプ 塩基多様度									
	1	3	5	7	8	9	10	11	13	16	17	18	19	22	30	33			34	38	39	42	40	46	47	48	$h$	$\pi \times 100$
白峰 A 支流				5									28				1				2				4	36	0.383	0.185
蛇谷禁漁区												5	3											1	3	9	0.639	0.259
途中谷											6	1											1	3	8	0.464	0.257	
大川, 新潟県			4	3			6																		3	13	0.692	0.263
三面川 U1, 新潟県	1			8			7														4				4	20	0.711	0.401
三面川 U2, 新潟県				2			5						1						2		5				5	15	0.790	0.582
笠掘川 S1, 新潟県			1	13																					2	14	0.143	0.051
破間川 S2, 新潟県			9	1			4																		3	14	0.538	0.257
信濃川 S3, 新潟県		8								2															2	10	0.356	0.064
信濃川 S5, 新潟県	1		11	4			1																		4	17	0.551	0.273
関川, 新潟県				4																					1	4	0.000	0.000
西大芦川, 栃木県		12							8					100											3	120	0.294	0.095
渡良瀬川, 栃木県								5	1						28										3	34	0.308	0.222
旗川, 栃木県														13	11										2	24	0.518	0.279
MOM, 滋賀県													14												1	14	0.000	0.000
ISA, 滋賀県													13												1	13	0.000	0.000
KUS, 滋賀県											5	6				2									3	13	0.590	0.249
ANE, 滋賀県											4					7									2	11	0.509	0.291
YAS, 滋賀県											10				2										2	12	0.167	0.032

無斑イワナ(図 4-A)は 2 個体が採集されたいずれも Hap-19、カワリモンイワナ(図 4-B)も 2 個体含まれていたが、Hap-19 と Hap-7 であった。

白峰 A 支流のハプロタイプ多様度は 0.383、塩基多様度は 0.185 となり、低い値を示した(表 5)。本支流と蛇谷禁漁区との間の Fst 値は 0.188 (P = 0.018)、途中谷とは 0.314 (P = 0.000) で、両者との間で有意な遺伝的分化が確認された(表 4)。

撮影写真を観察した結果、本水域の有斑個体は、体側の側線より上方に白色斑点、側線の下方に鮮やかな朱色や橙色の斑点を持つ個体が多かった。背部の斑点は褐色に変わり、一部が虫食い状の斑紋に変わることがある。そして、腹部は正中線を中心に胸部下から臀鰭基部にかけて、赤褐色から橙色を呈す個体が多かった(図 4-C, D)。また採集を行った際、この水域はイワナの生息密度が高く、しかもエサとなる水生昆虫も多いと観察された。

#### 白峰遊漁区と白峰種苗

白峰遊漁区(SM-B から SM-J の 9 集団)では 31 個体の分析が終わり、10 のハプロタイプが見つかった。白峰 A 支流で見つかった Hap-19 と Hap-7 のほ

かに、Hap-1 と Hap-17 の個体が多かった。この他、Hap-11 が 3 個体、Hap-3、9、10、16、そして 42 が各 1 個体であった。ハプロタイプ多様度は SM-J が 0.000、他は 0.500-1.000、塩基多様度も SM-J が 0.000、他は 0.359-0.718 を示し、SM-J 以外はいずれも白峰 A 支流より高かった。

白峰種苗では 22 個体の分析が終わり、Hap-1、7、11、そして 19 の 4 つのハプロタイプが見つかった。Hap-7 が 8 個体、Hap-1 と Hap-19 が 6 個体、そして Hap11 が 2 個体だった。ハプロタイプ多様度は 0.745、塩基多様度は 0.597 であった。

#### 蛇谷禁漁区

蛇谷禁漁区では 9 個体の分析が終わり、3 つのハプロタイプが見つかった。Hap-17 が 5 個体(55.6%)と最も多く、Hap-19 が 3 個体(33.3%)、そして本研究で見出された Hap-48 が 1 個体(11.19%)であった。白峰 A 支流などで見つかった Hap-7 が含まれていなかった。また、ハプロタイプ多様度は 0.639、塩基多様度は 0.259 となり、両者とも白峰 A 支流より高かった(表 2)。

蛇谷禁漁区と途中谷との間の Fst 値は-0.077 だっ

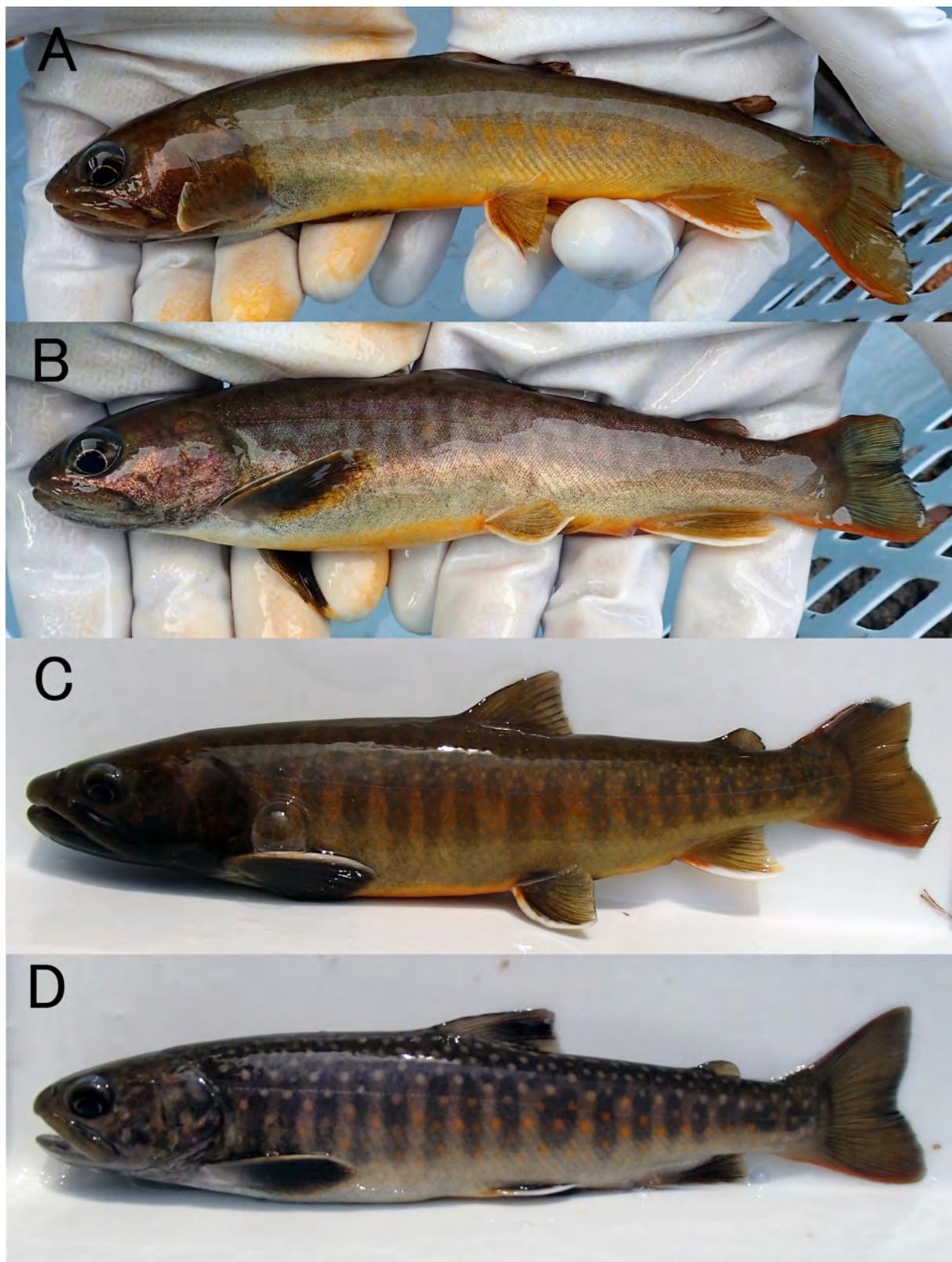


図 4 白山手取川水系で採集されたイワナ A 無斑イワナ(白峰 A 源流, 22 Oct. 2018 採集, NMCI T-108, 体長 185 mm, Hap-19)の側面観, B カワリモンイワナ(白峰 A 源流, 22 Oct. 2018 採集, NMCI T-109, 体長 150 mm, Hap-19)の側面観, C 有斑イワナ(白峰 A 源流, 22 Oct. 2018 採集, NMCI T-96, 体長 218 mm, Hap-7)の側面観, D 有斑イワナ(白峰 A 源流, 22 Oct. 2018 採集, NMCI T-97, 体長 170 mm, Hap-19)の側面観

たが、有意ではなかった ( $P=0.756$ )。一方、蛇谷禁漁区と蛇谷遊漁区との間の  $F_{st}$  値は  $0.162$  ( $P<0.05$ ) で有意な遺伝的分化が確認された (表 4)。

撮影された写真からは、蛇谷禁漁区の有斑個体は、側線より上方の背部の斑点は大きさに変異があり、大きな斑点状のものが散在する個体 (図 5-A)、細かい斑点が多数ある個体など (図 5-B)、変化が見られた。さらに、その斑点は背中線付近で褐色の虫食い状斑に変わる個体がよく見付き (図 5-C)、時にはその虫食い状斑がいわゆるゴギのように、頭頂部にも現れる個体も散見された。多くの個体は体側の側線より下方に朱色や橙色の斑点を持つが、その色は不鮮明な個体が多かった。また、腹部は正中線を中心に胸部下から臀鰭基部にかけて、鮮やかな赤褐色から橙色を呈す個体が多かったが、白色を呈する個体も認められた。

#### 途中谷

途中谷では 8 個体の分析が終わり、3 つのハプロタイプが見つかった。Hap-17 が 6 個体 (75.0 %) と多く、Hap-19 と本研究で見出された Hap-48 が各 1 個体 (各 12.5 %) であった。蛇谷禁漁区と同様に、白峰 A 支流などで見つかった Hap-7 が含まれていなかった。また、ハプロタイプ多様度は蛇谷禁漁区より少し低い  $0.464$ 、塩基多様度は蛇谷禁漁区とほぼ同じ  $0.257$  であった (表 2)。途中谷と蛇谷遊漁区との間の  $F_{st}$  値は  $0.198$  ( $P<0.05$ ) で、有意な遺伝的分化が確認された (表 4)。

#### 蛇谷を含む手取遊漁区と手取養殖魚

蛇谷を含む手取遊漁区 (JD-Y から NOM の 8 集団) では 55 個体の分析が終わり、10 のハプロタイプが見つかった。蛇谷と途中谷で見つかった Hap-17 と Hap-19、Hap-47 の他にほかに、Hap-1、5、7、8、9、10、そして 11 が見つかった。Hap-17 と Hap-19 の個体数が多く、他は 1-4 個体であった。ハプロタイプ多様度は OZ-4 が  $0.000$ 、他は  $0.417-0.818$ 、塩基多様度も OZ-4 が  $0.000$ 、他は  $0.200-0.718$  を示した。

手取養殖魚は 5 個体だけの分析結果であるが、Hap-1、7、22、そして 47 の 4 つのハプロタイプが見

つかった。Hap-1 が 2 個体、他は各 1 個体で、ハプロタイプ多様度は  $0.900$ 、塩基多様度は  $0.646$  と高かった。

### 考察

#### 手取川水系におけるイワナ集団の遺伝的特徴

放流履歴がない県外の河川と白峰 A 支流で見つかったハプロタイプ数を比べると、よく似た数であることが分かった (表 5)。また、地域によって主体となるハプロタイプが変わることも読み取れる。

まず Hap-19 を中心とした Hap-17、Hap-18 などは従来、琵琶湖水系などの西日本を中心に分布するものと考えられていたが (YAMAMOTO et al., 2004)、このグループは東北地方から西日本の日本海沿岸に広く分布しており、その起源ハプロタイプは後期更新世の時代の古日本海を介在して日本海沿岸に分布を拡大した可能性が指摘されている (KIKKO et al., 2008)。その派生ハプロタイプである Hap-33 と Hap-34 は琵琶湖水系から (KIKKO et al., 2008)、Hap-39 と Hap-40 は新潟県村上市の三面川から (樋口ほか, 2011a)、そして Hap-46 は本研究により手取川水系から見つかった。

一方、Hap-7 は新潟県を中心に、東北地方に多いハプロタイプとされている (YAMAMOTO et al., 2004)。村上市の三面川からは派生ハプロタイプと考えられる Hap-41 と Hap-42 が見つかった (樋口ほか, 2012)。しかしながら、琵琶湖水系からは Hap-7、もしくはその派生ハプロタイプである Hap-8 と Hap-10 は見つからない (KIKKO et al., 2008)。手取川水系では Hap-7 は主要な構成員であり、しかもその派生ハプロタイプと考えられる Hap-47、48 が見つかった。手取川水系における Hap-7 が自然分布であり、ここで Hap-47 と Hap-48 が派生したとも考えられるが、前述したように石川県には新潟県から発眼卵を搬入し、人工種苗の生産技術の開発と実用化が行われた経緯がある。したがって、これら 3 つのハプロタイプが過去に行なわれた増殖事業に由来したものである可能性もある。



図 5 白山手取川水系で採集されたイワナ A 有斑イワナ(蛇谷本流, 23 Oct. 2018 採集, NMCI T-117, 体長 248 mm, Hap-17)の側面観, B 有斑イワナ(蛇谷本流, 25 June, 2018 採集, NMCI T-61, 体長 245 mm, Hap-19)の側面観, C 有斑イワナ(蛇谷本流, 25 June, 2018 採集, NMCI T-61, 245 mm SL, Hap-19)の背面観, D 有斑イワナ(白峰西俣谷川遊漁区, 11 June, 2018, 那須田氏釣獲, NMCI T-4, 体長 240 mm, Hap-1)の側面観

### 白峰 A 支流

白峰 A 支流は Hap-19 が主体となり、これに若干の Hap-7 が混じるが、Hap-17 を含まないというハプロタイプ構成は、蛇谷禁漁区や途中谷とは明らかに異なる。蛇谷禁漁区との間の Fst 値は 0.188、途中谷とは 0.314 を示し、この二者とは遺伝的分化が認められる。

白峰 A 支流で採集された Hap-38 は奈良県野瀬川村の十津川水系から得られた標本に基づき報告されたハプロタイプであるが、この採集地に移植された放流魚に由来するものであると考えられている (SATO et al., 2010)。ここで見つかった Hap-38 も移植個体由来のハプロタイプであるかも知れない。しかしながら、白峰漁協はこの流域にイワナの放流を行ったことがない。他方、白山麓では 1950 年代まで、山中に居住して焼畑や養蚕、製炭などを行い生活する「出作り」が盛んに行なわれ、特に白峰地区は「永久出作り」が多かった (石川県白山自然保護センター, 1986)。「出作り」での食生活は基本的に自給自足であり、イワナは重要な自然産物であった (石川県白山自然保護センター, 1986)。このため、イワナが生息していなかった滝の上流域などに住民による移植放流が行われ、それが繁殖を繰り返して定着している河川も少なくない (水野・山口, 1988)。この「出作り」に伴う移植があったとしても、遠方からの持ち込みは考えにくい。このハプロタイプは個人的な放流による可能性が考えられる。また、Hap-38 を示した個体は当歳魚であったことから、この個体以外にも複数個体が生存している可能性がある。そして、本研究で見出された Hap-46 も他地域から持ち込まれた可能性もあるので、この水域における分析資料を増やし、解析する必要がある。

本研究においても、本流域におけるハプロタイプ多様度と塩基多様度は各支流、および他県の河川と比べても低かった。遺伝的多様性が低下している可能性がある。さらに近年、本支流の上流域に大型の砂防堰堤が設置され、下流域からのイワナの遡上が妨げられ、無斑イワナを含むイワナ集団の孤立化が進行することが推察される。

### 蛇谷禁漁区と途中谷

蛇谷禁漁区のイワナ集団は Hap-17 と Hap-19、これに Hap-48 が含まれるという構成であった。そして、白峰 A 支流との間で遺伝的分化が進んでいることが認められた。この 2 者は、人為的攪乱が少ない集団と考えられることから、これらの遺伝的分化の程度は、手取川水系における自然の遺伝的分化パターンに近いものと考えられる。ところが、ハプロタイプ多様度と塩基多様度は双方と白峰 A 支流より高く、他県の集団と比べると中程度の値であった。これは過去に行なわれた養殖イワナの放流の影響かもしれない。また、本研究で見出された Hap-48 は 1 個体しか見つかっていない。蛇谷特有のハプロタイプの可能性もあるが、他地域から持ち込まれた可能性も捨てきれない。今後は分析資料を増やし、また別の手法を取り入れて解析を行い、この実態を明らかにする必要があると考えている。

一方、途中谷のイワナ集団は蛇谷とよく類似し、Hap-17 と Hap-19 に Hap-47 が含まれるという構成であった。ハプロタイプ多様度と塩基多様度は双方とも蛇谷禁漁区より低く、白峰 A 支流より高かった。このことから、蛇谷禁漁区より孤立化が進んでいるものと推察できる。

途中谷は、二つの砂防堰堤によって蛇谷本流から隔離され、現在は自然状態では交流は不可能な状態にある。両集団を隔てる砂防堰堤が設置される以前は、自然に交流していたとも考えられ、この程度の年数でイワナ集団の遺伝的分化が進むとは考えにくい。蛇谷禁漁区と途中谷のサンプル数が 9 個体以下と少なかったためと考えられるので、サンプル数の補充が必要だと考えられる。

蛇谷禁漁区と途中谷は、共にイワナにとって良好な自然環境が保持されている水域であると推察される。しかしながら、発電用の取水堰堤や砂防堰堤の設置により、河川内におけるイワナの移動と交流に対する障害が多く、生息域の分断化とイワナ集団の孤立化が進行していることを認識する必要がある。

### 白峰遊漁区と手取遊漁区

白峰遊漁区と手取遊漁区では両者とも 10 のハプ

ロタイプが見いだされた。そして、ハプロタイプ多様度と塩基多様度も白峰 A 支流、蛇谷禁漁区や途中谷より明らかに高かった。放流履歴がある河川では、見出されるハプロタイプの数が増え、ハプロタイプ多様度と塩基多様度が高くなることが知られている(久保田・土居, 2006; 樋口ほか, 2012)。手取川における遊漁区のイワナ集団もこの指摘に一致している。

白峰・手取の両遊漁区には、その上流域である白峰 A 支流や蛇谷禁漁区などから、流下したイワナが供給されているにも関わらず、比較的大きな Fst が検出されたことから、白峰 A 支流や蛇谷禁漁区とは別の支流に、異なるハプロタイプを有したイワナ集団が存在しているのかもしれない。また、両遊漁区は過去、そして現在も種苗の放流が行われているが、この種苗には他地域由来のイワナも混入している可能性があるため、Fst 値が高くなったものと考えられる。なお、両遊漁区で見つかった Hap-3、5、8、9、10、16、42 などは、他地域から何らかの形で持ち込まれた過去の放流事業に由来するものと推察できる。Hap-11 と 22 は白峰種苗や手取養殖魚からも見ついているため、現在も放流種苗に混入が続いている可能性がある。

一方、Hap-1 は降海するアメマス(1 亜種)に特有のハプロタイプと考えられている(YAMAMOTO et al., 2004)。従来の形態的特徴に基づく分類によると、アメマスの日本海沿岸域における分布地はサハリン、北海道から山形県(最上川)以北とされていた(細谷, 2013)。しかしながら、mt DNA の解析によると Hap-1 を示すイワナは本州の新潟県(信濃川、三面川)、富山県(黒部川、常願寺川)、兵庫県(丸山川)、そして鳥取県(天神川)から見ついている(YAMAMOTO et al., 2004)。したがって、手取川はアメマスの自然分布域の範囲に含まれることになる(山本, 2011)。また近年、早春に行なわれるようになったサクラマス釣りにより、白山市鶴来や川北町の手取川下流域で、体側に大きな白斑を持っている降海して回帰したと思われるアメマスが釣獲されている(手取漁協の小林豊一氏からの私信)。Hap-1 が白峰種苗や手取養殖魚から複数個体が見つかることから、放流事業により手取川での個体数を増

やしている可能性がある(図 5-D)。

## 今後の課題

白峰 A 支流と蛇谷禁漁区、途中谷のイワナの分析サンプル数を増やし、白峰 A 支流で見つからなかった Hap-17、そして後者で見つからなかった Hap-7 が本当に生息していないのか、明らかにしたいと考えている。また、尾添川支流や大日川等の放流履歴がないとされる最上流域を調査対象に加え、分析する集団数とそのサンプル数を増やして解析を行う必要がある。そして、手取川水系におけるイワナの遺伝的集団構造の実態を可能な限り明らかにしたいと考えている。また、Hap-46 は 2 個体、Hap-48 は 1 個体だけしか採集されていないので、これらの標本数を増やす必要があると考えている。

一方、今回の mt DNA の分析と解析では各集団内における遺伝的多様性を評価するには十分ではない可能性がある。特に、白峰 A 支流のイワナ集団は、遺伝的多様性が低下している可能性があるため、核 DNA 内のマイクロサテライト領域を対象とした分析と解析を行う必要があると考えている。そして、手取川水系におけるイワナの遺伝的多様性に配慮した、保護・保全を図るための流域単位を見極める必要があると考えている。

## 要約

1. 白山手取川水系におけるイワナの遺伝的集団構造を明らかにすることを目的に、2018 年の 5 月から 10 月かけて無斑イワナの生息地である手取川本流の白峰 A 支流と尾添川の蛇谷と途中谷、そして漁協による放流事業が継続されている河川からイワナのサンプルを収集し、ミトコンドリア DNA の分析と解析を行った。
2. 手取川本流では 1900 年代になると次々に発電用の取水堰堤などが設置され、現在は本流と尾

添川との間でも魚類の移動・交流は不可能な状態にある。また、本流や各支流とも複数の取水・砂防堰堤が設置されており、イワナの生息域は分断され、各支流のイワナ集団は孤立化している。

3. 先行研究に従い、mt DNA の Cyt-*b* 後半部の 557 bp の塩基配列を解析した結果、手取川水系から 17 のハプロタイプが見つかり、この内の 3 つは新しいハプロタイプであった。これらを Hap-46、Hap-47、Hap-48 として日本 DNA データバンク (DDBJ) に登録した (アクセッションナンバーは LC508211-508213)。
4. 無斑イワナの生息域である白峰 A 支流からは 4 つのハプロタイプが見つかり、Hap-19 が構成主体であった。無斑イワナは 2 個体とも Hap-19、カワリモンイワナは Hap-19 と Hap-7 が各 1 個体であった。蛇谷禁漁区と途中谷からはそれぞれ 3 つのハプロタイプが見つかったが、構成は白峰 A 支流とは異なっていた。特に白峰 A 支流は遺伝的分化が進んでいるだけでなく、孤立化が進行していることが示唆された。
5. 手取川水系では Hap-7 は主要な構成員であり、しかもその派生ハプロタイプと考えられる Hap-47、48 が見つかった。これらが自然分布であるとも考えられるが、石川県には新潟県から発眼卵を搬入、増殖事業に着手した経緯がある。したがって、これらのハプロタイプが搬入した発眼卵に由来したものである可能性もある。
6. 今後は調査河川数を増やし、イワナのサンプル数を確保することで、見出された疑問の解決を図る必要がある。また、マイクロサテライト等の核 DNA を分析し、各集団間の遺伝的分化の程度をさらに詳しく把握する必要がある。そして、在来集団の保護・保全を図るべき流域単位を見極める必要があると考えている。

## 謝辞

国立研究開発法人水産研究・教育機構、中央水産研究所日光庁舎の山本祥一郎博士と滋賀県水産試験場の亀甲武志博士にはハプロタイプの決定や研究に対して助言・指導をしていただいた。金沢大学環日本海域環境研究センター臨海実験施設の鈴木信雄教授には mt DNA 分析の機会と器材の提供を、また関口俊男助教には分析の助言・指導をしていただいた。石川県立大学の柳井清治教授には電気ショッカー使用の便宜を図っていただいた。石川県淡水魚類研究会の山本邦彦と石山尚樹氏、いしかわ動物園の那須田樹氏、高田洋之氏、大木崇裕氏にはイワナの分析資料の収集にご協力いただいた。また、前石川県立自然史資料館館長の水野昭憲博士、白山手取川漁業協同組合の代表理事組合長登敏明氏、土室真人氏と小林豊一氏、白山白峰漁業協同組合の組合長加藤隆夫氏と鶴野俊哉氏の各位には手取川やイワナ、白山にまつわる様々な情報の提供をしていただいた。白山市観光文化スポーツ部文化財保護課課長補佐兼文化財係長の小中和也氏には白山市の「天然記念物」、文化財現状変更承認申請にご協力いただいた。ここに記して感謝申し上げます。

## 参考文献

- 浅井久夫・桶田浩司・四登淳・板屋佳作, 2002. 9. イワナ資源増殖調査(要約). 石川県水産総合センター, 平成 12 年度事業報告, P. 172.
- CLEMENT M., D. POSADA, KA. CRANDALL, 2000. TCS: a computer program to estimate gene genealogies. *Mol. Ecol.*, 9: 1657-1660.
- EXCOFFIER, L. and H.E. L. LISCHER, 2010. Arlequin suite ver 3.5: A new series of programs to perform population genetics analyses under Linux and Windows. *Mol. Ecol.* 10: 564-567.
- 樋口正仁, 兵藤則行, 佐藤雍彦, 野上泰宏, 河野成実. 2011a. ミトコンドリア DNA 分析による信越地方産イワナの遺伝的集団構造. 日本水産学会誌, 77 (6): 1098-1100.
- 樋口正仁・野上泰宏・兵藤則行, 2011b. 登川にお

- るイワナ(*Salvelinus leucomaenis*)の遺伝的集団構造. 新潟県内水面水産試験場調査研究報告, (35): 1-8.
- 樋口正仁, 佐藤雍彦, 野上泰宏, 兵藤則行. 2012. ミトコンドリア DNA 分析による放流河川におけるイワナ *Salvelinus leucomaenis* の遺伝的集団構造. 新潟県内水面水産試験場研究報告, (36): 1-5.
- 細谷和海, 2013. サケ亜目. Pages 362-367 in 中坊徹次編. 日本産魚類検索 全種の同定 第3版, I, 東京.
- 石川県白山自然保護センター, 1986. 白山の作り. 白山の自然史 7, Pp. 21.
- 石川県白山自然保護センター, 1989a. 尾添川水域水生動物調査報告書. 46 pp.
- 石川県白山自然保護センター, 1989b. イワナと水生昆虫. 白山の自然史 9, Pp. 21.
- 石川県, 1994. 石川県水産研究機関のあゆみ. 石川県水産試験場・石川県増殖試験場・石川県内水面水産試験場・石川県水産業改良普及所(編), 能登物産商会, 珠洲市.
- 石川県, 2009. 改訂・石川県の絶滅のおそれのある野生生物, いしかわレッドデータブック(動物編) 2009. 石川県環境部自然保護課.
- 金子裕明・糸井史郎・山崎泰・勝呂尚之, 2008. 丹沢山塊に生息するイワナの分布と系統. 神奈川県自然史資料 (29): 113-120.
- KIKKO T., M. KUWAHARA, K. IGUCHI, S. KURUMI, S. YAMAMOTO, Y. KAI, K. NAKAYAMA. 2008. Mitochondrial DNA population structure of white-spotted charr (*Salvelinus leucomaenis*) in the Lake Biwa water system. *Zool. Sci.*, 25: 146-153.
- 亀甲武志, 2018. イワナ属. Pages 130-131 in 中坊徹次 編・監修 小学館の図鑑 Z 日本魚類館, 東京.
- 久保田仁志・土居隆秀, 2006. 渓流域管理体制構築事業. 栃木県水産試験場研究報告, (49): 144-145.
- KUBOTA H., T. DOI, S. YAMAMOTO, S. WATANABE, 2007. Genetic identification of native populations of fluvial white-spotted charr *Salvelinus leucomaenis* in the upper Tone river drainage. *Fish. Sic.* 73: 270-284.
- 中村智幸・丸山隆, 1987. 蛇谷のイワナ. 石川県白山自然保護センター編集“はくさん”, 14 (3): 8-11.
- 中村智幸・丸山隆, 1988. 石川県手取川水系蛇谷における禁漁後のイワナ個体群の回復過程. 石川県白山自然保護センター研究報告, 15: 49-68.
- 丸山 隆, 1989. ニッコウイワナ Pages 114-119 in 川那部 浩哉・水野信彦 編・監修 山溪カラー名鑑 日本の淡水魚, 山と溪谷社, 東京.
- 丸山 隆・斎藤裕也, 1987. 日本のイワナ手取川のイワナ. 石川県白山自然保護センター編集“はくさん”, 14 (3): 4-7.
- 丸山 隆・中村智幸, 1989. III 尾添川禁漁区のありかた. 石川県白山自然保護センター, 尾添川水域水生動物調査報告書, 16-36 pp.
- 水野昭憲・山ロー一男, 1988. 手取川ダム上流域の魚類相. 石川県白山自然保護センター研究報告, 15: 75-82.
- 向井貴彦・二村 凌・丹羽大樹・後藤暁彦・三輪直生・石塚 航・矢追雄一・高木雅紀, 2015. 岐阜県揖斐川支流におけるイワナとアマゴの 交雑個体の形態および遺伝的特徴. 魚類学雑誌, 62(2): 149-156.
- SATO T., T. DEMISE, H. KUBOTA, M. NAGOSHI and K. WATANABE, 2010. Hybridization, Isolation, and Low Genetic Diversity of Kirikuchi Char, the Southernmost Populations of the Genus *Salvelinus*. *Transactions of the American Fish. Soc.* 139:1758-1774.
- 高門光太郎・桶田浩司・四登淳・板屋佳作, 2003. 9. イワナ資源増殖調査(要約). 石川県水産総合センター, 平成 13 年度事業報告, P. 195.
- 橘 礼吉, 2005. 手取川源流域におけるマス・イワナ漁について—奥山人の溪流資源の利用例—その 1. 石川県白山自然保護センター研究報告, 32: 55-66.
- 山本祥一郎, 2011. 溪流魚の遺伝資源および包括的資源管理を考える. 国立研究開発法人水産研究・教育機構, 北海道区水産研究所, SALMON 情報, No. 5: 5-8.
- YAMAMOTO S., K. MORITA, S. KITANO, K. WATANABE, I. KOIZUMI, K. MAEKAWA and K. TAKAMURA, 2004. Phylogeography of white-spotted charr (*Salvelinus leucomaenis*) inferred from mitochondrial DNA sequences. *Zool. Sci.*, 21: 229-240.
- 山本祥一郎, 中村智幸, 久保田仁志, 土井隆秀, 北野聡, 長谷川功. 2008. ミトコンドリア DNA 分析に基づく関東地方産イワナの遺伝的集団構造. 日本水産学会誌, 74 (5): 861-863.

## I-石川県の砂浜海岸における底生動物モニタリング調査

のと海洋ふれあいセンターは、平成 19(2007)年よりかほく市の高松海岸と志賀町の甘田海岸で、平成 23(2011)年の秋から宝達志水町の今浜海岸と羽咋市の千里浜海岸でシギ・チドリ類の飛来時期である春と秋の 2 回、ナミリソコエビ等の底生動物の生息状況についてモニタリング調査を継続しているので、2019 年の調査結果を報告する。

ナミリソコエビは、本県の主にかほく市白尾から志賀町甘田にかけての砂浜海岸の波打ち帯に生息する節足動物端脚類で、3 月から 11 月にかけて繁殖をくりかえし、ほぼ周年にわたり個体数、現存量(湿重量)ともに優占して生息している。ところが、冬期は繁殖を行わないので、春の調査では大型の越年群(長期世代群)と、早春に発生したばかりの小型の未越年群(短期世代群)が混在する。一方、秋の調査では短期世代群だけとなり、発生時期が異なるさまざまな大きさの個体が認められる(環境省, 2006, 2007)。そして、この海岸に飛来するシギ・チドリ類は、このナミリソコエビを重要な餌動物として利用していることが明らかとなっている(環境省, 2007)。

### 材料と方法

底生動物の採集はシギ・チドリ類の飛来時期である春(4 月下旬から 5 月上旬)と秋(9 月中旬から 10 月上旬)

旬)の年 2 回とし、高松、甘田、今浜、千里浜海岸の 4 ヶ所で行った(図 1)。

各海岸 1 ヶ所の波打ち帯中部の上部・中部・下部でアズワン(株)のストロール T 型ビン 600 ml(口部内径 φ83 mm, ポリスチレン製)を用いて深さ約 7 cm までの表砂を各部それぞれ 3 回ずつ、計 9 回採集した。採集された砂と砂に含まれる底生動物を 2 リットルの標本ビンに収容し、クーラーボックスに入れて氷で冷やしながら研究室に持ち帰り、冷凍ストッカーに収容して約 -20 °C で一晩保存した。そして凍った砂と動物を流水解凍しながら 1 mm メッシュのふるいにかけて砂中の動物を取り出し、75 %エタノール液で固定した。固定後保存液は 2 回程交換し、約 1 週間後に種類ごとの湿重量を計測した。また、底生動物の採集と同時に波打ち際の海水をポリバケツで約 10 リットル採水して測温し、一部を褐色遮光ビン(200 ml)に入れて密栓して研究室に持ち帰り、堀場製作所製カスターニー ACTpH メーター D-21 を用いて pH を、赤沼式比重計で比重( $\sigma_{15}$ )を求めて塩分量(‰)に換算した。なお、波打ち帯の幅は歩測した。



図 1 砂浜海岸の底生動物モニタリング調査地点

### 結果と考察

各海岸において、2011 年以降に採集された底生動物の湿重量と汀線付近の水質、波打ち帯の幅を表 1-4 に示す。なお、採集された底生動物の湿重量は平方メ

一トル当たりに換算した。

### 高松海岸

ナミノリソコエビは春の調査では長期世代群が 122.1 g/m<sup>2</sup>、短期世代群は 19.5 g/m<sup>2</sup> であった。これまで春の調査で採集された長期世代群の湿重量は 15.3–1212.1 g/m<sup>2</sup> であり、この平均値 235.1 g/m<sup>2</sup> の半分程度であった。短期世代群は、これまでに 0.0–61.3 g/m<sup>2</sup> 採集されており、平均値は 24.0 g/m<sup>2</sup> であった。これと比較すると若干少ない値であった。

次に秋の調査では、短期世代群だけが 211.3 g/m<sup>2</sup> 採集され、これまでの調査の 6.9–293.0 g/m<sup>2</sup> の平均 125.1

g/m<sup>2</sup> よりも 1.7 倍ほど多かった(表 1, 図 2, 3)。

### 甘田海岸

春の調査で採集されたナミノリソコエビは、長期世代群が 17.5 g/m<sup>2</sup>、短期世代群が 12.5 g/m<sup>2</sup> で合計 30.0 g/m<sup>2</sup> であった。これまでの長期世代群の平均値は 27.2 g/m<sup>2</sup>、短期世代群の平均値は 33.7 g/m<sup>2</sup> であり、合計は 60.9 g/m<sup>2</sup> となり、約半分ほどの値であった。採集時、ナミノリソコエビはペアとなっている個体が目についた。

秋の調査で採集されたナミノリソコエビは、短期世代群が 22.4 g/m<sup>2</sup> で、これまでの平均値 70.6 g/m<sup>2</sup> の 3 分の 1 ほどであった(表 2, 図 4, 5)。

表 1 高松海岸で採集された底生動物の湿重量(g/m<sup>2</sup>)と汀線付近の水質、波打ち帯の幅

季節	春									
	調査年 月日	2011年 4月21日	2012年 5月1日	2013年 4月23日	2014年 4月23日	2015年 4月30日	2016年 4月30日	2017年 4月25日	2018年 4月27日	2019年 4月24日
ナミノリソコエビ(計)		23.5	467.1	113.0	28.0	1212.1	98.4	111.2	611.6	141.6
長期世代(越年)群		23.5	432.9	109.0	15.3	1212.1	37.1	56.6	593.0	122.1
短期世代(未越年)群		0	34.2	4.0	12.7	+	61.3	54.6	18.7	19.5
シキシマフクロアミ		1.1	8.2	0	0	0	0	1.6	1.1	8.2
ヒメスナホリムシ		0.9	0.7	4.2	3.3	8.4	2.7	6.7	13.3	2.2
ツルヒゲソコエビ科 sp.		3.1	0.2	0	1.3	0	0	0	0	0
ハマスナホリガニ		0	0	0	0	0	0	0	0	0
ナミノコガイ		0	0	0	0	0	0	0	0	0
フジノハナガイ		0	11.5	54.0	0	0	17.1	49.1	12.7	33.3
多毛綱 spp.		0	0	0	0	0	0	0	0	0
水温(°C)		14.2	19.7	14.1	15.6	17.5	14.3	16.8	16.3	15.4
pH		8.08	8.07	8.02	8.18	8.13	8.08	8.17	8.27	8.19
塩分量(‰)		31.63	29.70	33.78	31.50	33.51	31.20	34.41	32.2	31.45
波打ち帯幅 (m)		3.5	2.1	2.8	2.1	2.1	3.5	2.8	2.8	2.1
季節	秋									
調査年 月日	2011年 9月13日	2012年 9月20日	2013年 9月19日	2014年 9月19日	2015年 9月24日	2016年 10月3日	2017年 10月3日	2018年 9月27日	2019年 9月17日	
ナミノリソコエビ(計)	115.4	293.0	14.9	198.7	272.0	6.9	15.1	75.3	211.3	
長期世代(越年)群	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
短期世代(未越年)群	115.4	293.0	14.9	198.7	272.0	6.9	15.1	75.3	211.3	
シキシマフクロアミ	0	0	0.4	0	0	0.2	0.2	0.4	0	
ヒメスナホリムシ	0.2	0	0	0.2	2.2	6.9	0.4	0.4	0.2	
ツルヒゲソコエビ科 sp.	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0	
ハマスナホリガニ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
ナミノコガイ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
フジノハナガイ	0	20.2	0	0	0	0	2.7	7.6	0	
多毛綱 spp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
水温(°C)	28.2	28.0	26.2	25.0	22.5	23.5	22.2	23.5	26.3	
pH	8.00	8.10	8.12	7.99	8.01	8.15	8.25	8.00	8.28	
塩分量(‰)	32.03	31.19	32.17	33.55	32.56	31.83	32.31	31.86	32.54	
波打ち帯幅 (m)	2.1	4.2	2.8	10.0	1.4	2.1	5.6	2.8	3.5	

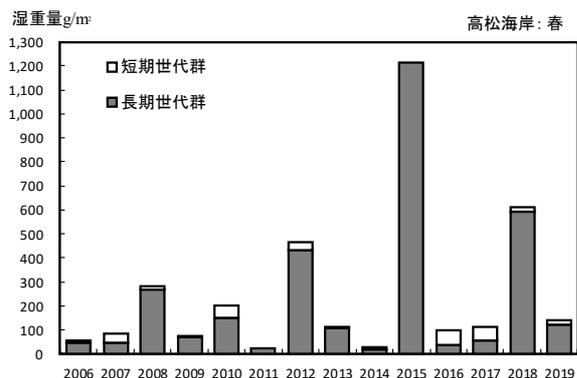


図 2 高松の春の調査で採集されたナミノソコエビの湿重量 (g/m<sup>2</sup>)

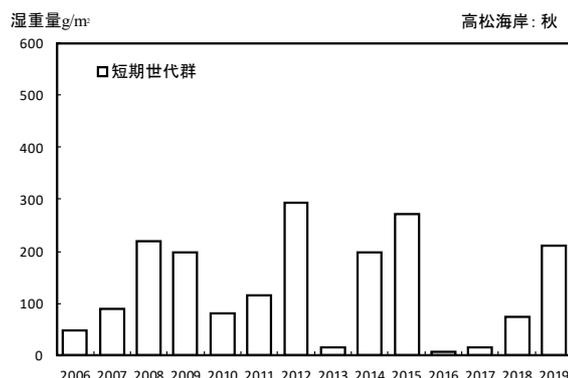


図 3 高松の秋の調査で採集されたナミノソコエビの湿重量 (g/m<sup>2</sup>)

表 2 甘田海岸で採集された底生動物の湿重量 (g/m<sup>2</sup>) と汀線付近の水質、波打ち帯の幅

季節	春									
調査年	2011年	2012年	2013年	2014年	2015年	2016年	2017年	2018年	2019年	
月日	4月21日	5月1日	4月23日	4月23日	4月30日	4月30日	4月25日	4月27日	4月24日	
ナミノソコエビ(計)	40.4	69.5	10.2	11.1	102.3	86.6	10.2	39.1	30.0	
長期世代(越年)群	39.7	30.6	5.8	10.7	77.2	61.7	2.2	14.7	17.5	
短期世代(未越年)群	0.7	38.9	4.4	0.4	25.1	24.9	8.0	24.4	12.5	
シキシマフクロアミ	0.7	20.4	0.4	4.0	55.5	10.7	20.9	0.7	3.6	
ヒメスナホリムシ	2.0	2.0	2.4	0.2	0.4	9.8	8.7	1.6	2.4	
ツノヒゲソコエビ科 sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
ハマスナホリガニ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
ナミノコガイ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
フジノハナガイ	10.0	30.0	0	0	10.2	224.9	9.6	5.1	0.4	
多毛綱 spp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
水温(°C)	14.9	21.8	14.0	16.0	21.2	15.0	16.5	16.5	15.3	
pH	8.03	8.06	8.03	8.18	8.10	8.10	8.15	8.3	8.2	
塩分量(‰)	33.19	30.37	34.19	33.06	33.10	33.90	33.71	31.20	34.16	
波打ち帯幅 (m)	7.0	2.8	7.0	3.0	4.2	6.3	3.5	3.5	2.1	
季節	秋									
調査年	2011年	2012年	2013年	2014年	2015年	2016年	2017年	2018年	2019年	
月日	9月13日	9月20日	9月19日	9月19日	9月24日	10月3日	10月3日	9月27日	9月17日	
ナミノソコエビ(計)	62.8	13.3	3.1	22.9	178.7	41.5	29.3	103.7	22.4	
長期世代(越年)群	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
短期世代(未越年)群	62.8	13.3	3.1	22.9	178.7	41.5	29.3	103.7	22.4	
シキシマフクロアミ	0	2.0	0	0	0	0	0.2	0	0.2	
ヒメスナホリムシ	3.3	0	4.2	0	0	0	0.7	0.2	0	
ツノヒゲソコエビ科 sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
ハマスナホリガニ	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0	
ナミノコガイ	0	0	0	0	0	3.3	0	0	6.0	
フジノハナガイ	0	219.6	0	0	0	0.4	0.2	0	34.4	
多毛綱 spp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
水温(°C)	29.7	28.4	27.3	25.0	23.0	23.7	22.3	24.2	26.2	
pH	7.97	8.10	8.12	7.99	8.07	8.06	8.31	8.01	8.25	
塩分量(‰)	32.98	32.40	33.74	33.55	34.26	32.94	33.00	31.71	32.58	
波打ち帯幅 (m)	2.1	6.3	6.3	10.0	1.75	2.1	4.9	2.8	4.9	

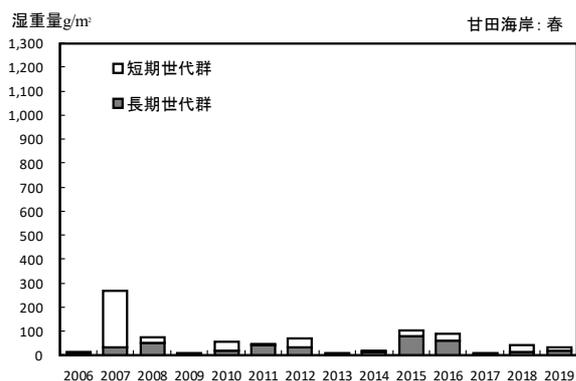


図 4 甘田の春の調査で採集されたナミノリソコエビの湿重量(g/m<sup>2</sup>)

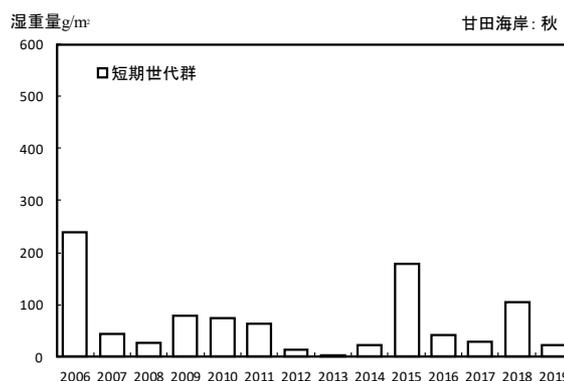


図 5 甘田の秋の調査で採集されたナミノリソコエビの湿重量(g/m<sup>2</sup>)

### 今浜海岸

春に採集されたナミノリソコエビは、長期世代群が 735.9 g/m<sup>2</sup>、短期世代群が 162.5 g/m<sup>2</sup>で合計 898.4 g/m<sup>2</sup>となった。長期世代群はこれまででもっとも多かった。フ

ジノハナガイは 17.8 g/m<sup>2</sup>が採集され、前年よりも若干多かった。

次に、秋の調査では短期世代群が 46.2 g/m<sup>2</sup> 採集され、ここ数年と同様の数値であった(表 3, 図 6, 7)。

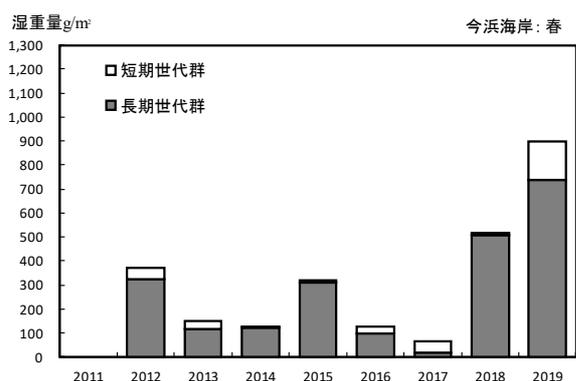


図 6 今浜の春の調査で採集されたナミノリソコエビの湿重量(g/m<sup>2</sup>)

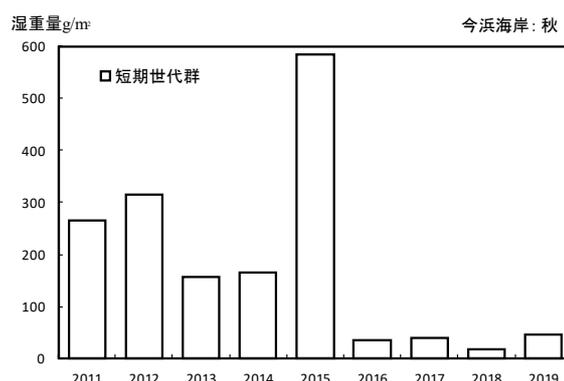


図 7 今浜の秋の調査で採集されたナミノリソコエビの湿重量(g/m<sup>2</sup>)

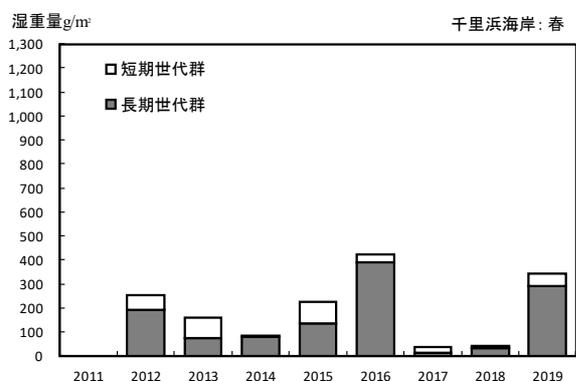


図 8 千里浜の春の調査で採集されたナミノリソコエビの湿重量(g/m<sup>2</sup>)

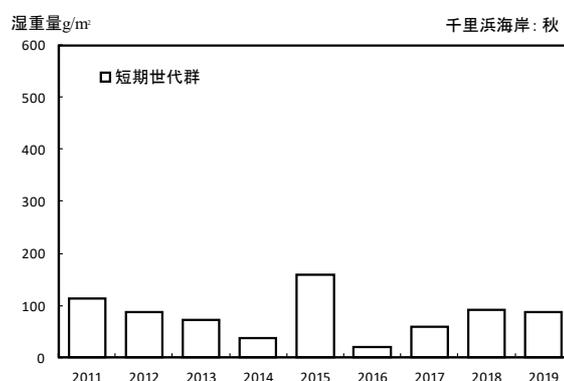


図 9 千里浜の秋の調査で採集されたナミノリソコエビの湿重量(g/m<sup>2</sup>)

表3 今浜海岸で採集された底生動物の湿重量(g/m<sup>2</sup>)と汀線付近の水質、波打ち帯の幅

季節		春								
調査年		2012年	2013年	2014年	2015年	2016年	2017年	2018年	2019年	
月日		5月1日	4月23日	4月23日	4月30日	4月30日	4月25日	4月27日	4月24日	
ナミノソコエビ(計)		372.3	148.7	123.7	318.8	127.9	67.0	517.5	898.4	
長期世代(越年)群		325.0	118.1	119.2	311.9	98.6	16.0	507.3	735.9	
短期世代(未越年)群		47.3	30.6	4.5	6.9	29.3	51.0	10.2	162.5	
シキシマフクロアミ		0	0	3.8	1.6	4.0	0	1.6	3.3	
ヒメスナホリムシ		1.6	0	2.0	0.9	3.6	4.7	7.1	1.6	
ツルヒゲソコエビ科 sp.		0	0	0	0	0	0	0	0	
ハマスナホリガニ		0	0	0	0	0	0	0	0	
ナミノコガイ		0	0	0	0	0	0	0	0	
フジノハナガイ		7.3	0	0	2.0	35.1	53.7	15.5	17.8	
多毛綱 spp.		0	0	0	0	0	0	0	0	
水温(°C)		20.6	14.0	17.5	18.0	14.2	16.6	16.7	16.2	
pH		8.05	8.01	8.17	8.09	8.09	8.22	8.26	8.13	
塩分量(%)		31.11	34.11	31.02	33.33	32.45	32.91	32.86	32.28	
波打ち帯幅 (m)		2.1	6.3	2.1	2.8	5.6	2.8	2.8	2.1	
季節		秋								
調査年		2011年	2012年	2013年	2014年	2015年	2016年	2017年	2018年	2019年
月日		9月13日	9月20日	9月19日	9月19日	9月24日	10月3日	10月3日	9月27日	9月17日
ナミノソコエビ(計)		265.5	315.9	156.5	166.5	583.6	35.7	39.7	17.8	46.2
長期世代(越年)群		0	0	0	0	0	0	0	0	0
短期世代(未越年)群		265.5	315.9	156.5	166.5	583.6	35.7	39.7	17.8	46.2
シキシマフクロアミ		0.2	0.2	0	0.2	0	0	0	0	0
ヒメスナホリムシ		0	0	0	0	2.9	0	0.2	0	0
ツルヒゲソコエビ科 sp.		0	0	0	0	0	0	0	0.7	0
ハマスナホリガニ		0	0	0	0	0	0	0	0	0
ナミノコガイ		0	0	0	0	0	0	0	0	0
フジノハナガイ		17.1	124.5	0	0	16.9	0	0.2	1.1	0
多毛綱 spp.		0	0	0	0	0	0	0	0	0
水温(°C)		29.4	27.7	26.2	24.8	22.3	23.4	22.2	23.1	26.1
pH		7.98	8.10	8.11	8.00	8.07	8.14	8.21	8.11	8.28
塩分量(%)		32.08	30.68	33.15	33.42	32.31	32.02	32.56	32.54	32.81
波打ち帯幅 (m)		2.8	4.9	2.8	7.0	1.4	1.0	4.2	5.6	3.5

### 千里浜海岸

春に採集されたナミノソコエビは、長期世代群が 291.2 g/m<sup>2</sup>、短期世代群が 53.3 g/m<sup>2</sup> で、合計が 344.5 g/m<sup>2</sup> となった。また、フジノハナガイが 29.3 g/m<sup>2</sup> 採集された。一方、秋の調査では短期世代群が 87.5 g/m<sup>2</sup> 採集された。これまでの平均値 91.8 g/m<sup>2</sup> と、ほぼ同様の数値であった。(表4, 図8, 9)。

調査場所近傍には海岸浸食防止のためのサンドバック(砂をつめた布製の袋)が設置されている。今回の調査時には、水面下に隠れてどこに設置されているかわからないほどであった。

ナミノソコエビはこれまでの調査により、冬の気温が高く、海水温が高いと繁殖開始が早まることがわかって

いる。すなわち暖冬の年は春の調査時に未越年(小型)の短期世代群が多く含まれ、その現存量が多くなる傾向にある。また、夏に高温であると秋の調査時にナミノソコエビの現存量が減少する傾向にある。2019年は1月と2月の気温がやや高めで1月から3月にかけて海水温が高い傾向が続いたため、春の調査時に小型の個体ばかりになると予想された。しかし、すべての調査地点で長期世代群が短期世代群よりも多い結果となった。また、2019年は1年を通じて気温が高い傾向にあり、降雨量も少ない傾向であったが、秋の調査での現存量は酷暑だった2016、2017年と比較すると多かった。全ての調査地点でナミノソコエビは繁殖を繰り返していることが明らかとなった。

表4 千里浜海岸で採集された底生動物の湿重量(g/m<sup>2</sup>)と汀線付近の水質、波打ち帯の幅

季節	春								
調査年	2012年	2013年	2014年	2015年	2016年	2017年	2018年	2019年	
月日	5月1日	4月23日	4月23日	4月30日	4月30日	4月25日	4月27日	4月24日	
ナミノコエビ(計)	252.6	157.4	77.7	224.8	423.4	38.4	42.6	344.5	
長期世代(越年)群	190.7	73.0	77.5	137.6	391.4	12.4	33.1	291.2	
短期世代(未越年)群	61.9	84.4	0.2	87.2	32.0	26.0	9.5	53.3	
シキシマフクロアミ	3.3	0	10.4	0	1.3	14.7	44.8	7.1	
ヒメスナホリムシ	0	0	0	0	0.4	1.8	2	3.1	
ツルゲノコエビ科 sp.	0.2	0	0	0	0	0	0	0	
ハマスナホリガニ	0	0	0	0	0	0	0	0	
ナミノコガイ	0	0	0	0	0	0	0	0	
フジノハナガイ	16.9	9.6	0	0	582.8	133.4	435.3	29.3	
多毛綱 spp.	0	0	0	0	0	0	0	0	
水温(°C)	21.0	14.0	16.0	19.5	14.6	16.8	16.4	15.8	
pH	8.11	8.03	8.17	8.13	8.05	8.17	8.23	8.18	
塩分量(%)	28.72	33.81	33.52	31.55	33.34	34.41	30.5	33.61	
波打ち帯幅 (m)	2.1	4.9	2.8	2.8	4.2	2.8	2.1	2.1	
季節	秋								
調査年	2011年	2012年	2013年	2014年	2015年	2016年	2017年	2018年	2019年
月日	9月13日	9月20日	9月19日	9月19日	9月24日	10月3日	10月3日	9月27日	9月17日
ナミノコエビ(計)	113.4	86.4	72.2	37.7	158.7	20.4	59.7	91.5	87.5
長期世代(越年)群	0.0	0	0.0	0	0	0	0	0	0
短期世代(未越年)群	113.4	86.4	72.2	37.7	158.7	20.4	59.7	91.5	87.5
シキシマフクロアミ	0	0	0	0.2	0	0	0	0	0
ヒメスナホリムシ	0	0	0.2	0	0	0	0.4	0	0
ツルゲノコエビ科 sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ハマスナホリガニ	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ナミノコガイ	0	0	0	0	0	0	0	0	0
フジノハナガイ	0	0	0	0	0	0	2.4	0.2	22.9
多毛綱 spp.	0.4	1.1	0	0	8.4	0	0	0	0
水温(°C)	30.2	28.1	27.2	24.5	22.3	23.7	22.2	24.0	27.3
pH	8.02	8.09	8.07	8.11	8.05	8.17	8.27	8.01	8.27
塩分量(%)	32.08	31.73	34.43	30.9	33.98	32.59	31.19	32.61	29.91
波打ち帯幅 (m)	2.8	7.7	5.4	9.0	1.4	2.1	4.9	2.8	2.8

千里浜沖では2012年から養浜の目的で金沢港の浚渫砂を海上投入し、汀線付近ではサンドバックを設置している。2017年は春と秋の調査の間にサンドバックの高さを下げたことで、短期的に海藻やそこに生活する節足動物の増減がみられた。2018年の調査では、サンドバックよりも数m岸側に波打ち際が認められ、直接観察することは困難だったが、サンドバックの設置された場所は認識できた。しかし、2019年はどこに設置されているかわからない状態であった。サンドバックが養浜に寄与しているか不明であるが、採集された底生動物の種組成や湿重量には影響は認められなかった。

今後もこの調査を継続し、また必要に応じて調査回数や場所を増やし、見守りたいと考えている。

## 文献

- 環境省,2006: 第7回自然環境保全基礎調査, 生物多様性調査種の多様性調査(石川県-能登地域)報告書. 環境省自然保護局, 生物多様性センター, 36 pp.+資料編.
- 環境省,2007: 第7回自然環境保全基礎調査, 生物多様性調査種の多様性調査(石川県)報告書, 石川県の砂浜海岸における生態学的基礎調査(能登地域), 第1章. 環境省自然保護局, 生物多様性センター, pp.1-55.
- のと海洋ふれあいセンター年次報告, 2008: 石川県の砂浜海岸のモニタリング調査. のと海洋ふれあい

センター研究報告, (13): 89-90.  
のと海洋ふれあいセンター年次報告, 2009: 石川県の  
砂浜海岸における底生動物モニタリング調査. の  
と海洋ふれあいセンター研究報告, (14): 42-43.  
のと海洋ふれあいセンター年次報告, 2010: 石川県の  
砂浜海岸における底生動物モニタリング調査. の  
と海洋ふれあいセンター研究報告, (15): 39-40.  
のと海洋ふれあいセンター年次報告, 2011: 石川県の  
砂浜海岸における底生動物モニタリング調査. の  
と海洋ふれあいセンター研究報告, (16): 39-42.  
のと海洋ふれあいセンター年次報告, 2012: 石川県の  
砂浜海岸における底生動物モニタリング調査. の  
と海洋ふれあいセンター研究報告, (17): 42-46.  
のと海洋ふれあいセンター年次報告, 2013: 石川県の  
砂浜海岸における底生動物モニタリング調査. の  
と海洋ふれあいセンター研究報告, (18): 45-49.  
のと海洋ふれあいセンター年次報告, 2014: 石川県の

砂浜海岸における底生動物モニタリング調査. の  
と海洋ふれあいセンター研究報告, (19): 19-24.  
のと海洋ふれあいセンター年次報告, 2015: 石川県の  
砂浜海岸における底生動物モニタリング調査. の  
と海洋ふれあいセンター研究報告, (20): 25-30.  
のと海洋ふれあいセンター年次報告, 2016: 石川県の  
砂浜海岸における底生動物モニタリング調査. の  
と海洋ふれあいセンター研究報告, (21): 29-35.  
のと海洋ふれあいセンター年次報告, 2017: 石川県の  
砂浜海岸における底生動物モニタリング調査. の  
と海洋ふれあいセンター研究報告, (22): 21-27.  
のと海洋ふれあいセンター年次報告, 2018: 石川県の  
砂浜海岸における底生動物モニタリング調査. の  
と海洋ふれあいセンター研究報告, (23): 43-49.  
のと海洋ふれあいセンター年次報告, 2019: 石川県の  
砂浜海岸における底生動物モニタリング調査. の  
と海洋ふれあいセンター研究報告, (24): 40-47.



かほく市高松海岸の調査地点, 2019年4月24日撮影



かほく市高松海岸の調査地点, 2019年9月17日撮影



志賀町甘田海岸の調査地点, 2019年4月24日撮影



志賀町甘田海岸の調査地点, 2019年9月17日撮影



宝達志水町今浜海岸の調査地点, 2019年4月24日撮影



宝達志水町今浜海岸の調査地点, 2019年9月17日撮影



羽咋市千里浜海岸の調査地点, 2019年4月24日撮影



羽咋市千里浜海岸の調査地点, 2019年9月17日撮影

## II-石川県の砂浜海岸におけるモニタリング調査

のと海洋ふれあいセンターでは、石川県の砂浜海岸における人為的な改変と汀線付近の砂の粒度を定期的にモニタリング調査しており、1999(平成 11)年から 5 年ごとに、これまで 4 回実施した(のと海洋ふれあいセンター年次報告, 2015)。しかしながら、このモニタリング調査は、海岸環境の物理的な変化は把握できても、その海岸における動植物の生息・生育状況を記録できるものではなかった。砂浜海岸の代表的な生きものであり、なじみ深い生き物であるスナガニの生息状況の調査によれば(坂井・又多, 2017)、植生帯の有無とスナガニの生息密度は深く関わっている可能性が指摘されている。そこで今回から、人為的な改変と砂の粒度に加えて海浜植生とスナガニの生息状況を調査記録することにした。そして、調査対象の海岸を砂浜の規模や動植物の生息・生育状況を基に再検討した結果、前回までの 30 ヶ所のうち 15 ヶ所を残し、新たに 5 ヶ所を加えた計 20 ヶ所を調査したので、その結果を報告する。

### 材料と方法

調査した 20 ヶ所の砂浜海岸を図 1 に示す。調査は 2019 年 6 月 20 日から 25 日の間で行った。海岸の人為的な改変については環境庁(1994)に従い、①人工によって改変されていないで自然の状態を保持している海岸(汀線部に人工構築物のない海岸)を自然海岸、②道路、護岸、テトラポッド等の人工構築物で海岸(汀線)の一部に人工が加えられているが、潮間帯においては自然の状態を保持している海岸(海岸に護岸堤等の構築物がある場合を含む)を半自然海岸、③港湾・埋立・浚渫・干拓等により人工的につくられた海岸など、

潮間帯に人工構築物がある海岸を人工海岸とした。

新たに調査地点に加えた小松市安宅、能美市大浜、そして白山市徳光の 3 ヶ所は沖合に消波ブロックが設置されている半自然海岸、内灘町内灘は近年、砂の堆積が進み、砂浜の拡張が続いている自然海岸である。宇加川は能登半島の東海岸に位置する小規模な自然海岸で、後背植生を備え、スナガニの生息密度も比較的高い砂浜である。

前々回の調査(2009 年)から、各海岸における砂浜の拡張や後退の状況を把握するために基準点(基点 O とする)を定め、砂浜の奥行きを 2 ヶ所(測線 A と測線 C)で測量した。各調査地点における海岸地形の概略図と基点 O の位置、ならびに各距離の測量方向を図 2-1 から図 2-20 に示す。なお、各海岸における基点(O)の位置、測線 C の基点とした基点(O)からの距離 B は、基本的に前回(2009 年)と同様とした。ただし、かほく市白尾では測線 C での砂浜が消失していたので、基点 O 点と測線 A はそのまま残し、北側 100 m の位置に新たに測線 C を設定して測量した。また七尾市佐々波は、調査地点一帯に消波ブロックが増設され、海岸に降りる斜路も閉鎖されていたので、約 700 m 北に位置する上佐々波地区に調査地点を変えた。

従来、測線 A と測線 C では、波打帯中央から砂浜の奥行(距離)を計測しただけであったが、今回からは砂浜の環境を把握するため、波打帯と干出帯、前浜後方帯(以上が前浜になる)、そして後浜前縁帯と後縁帯に区別して、その内訳を測定した。すべての調査地点で後浜後縁帯までが存在せず、途中で海岸護岸が設置

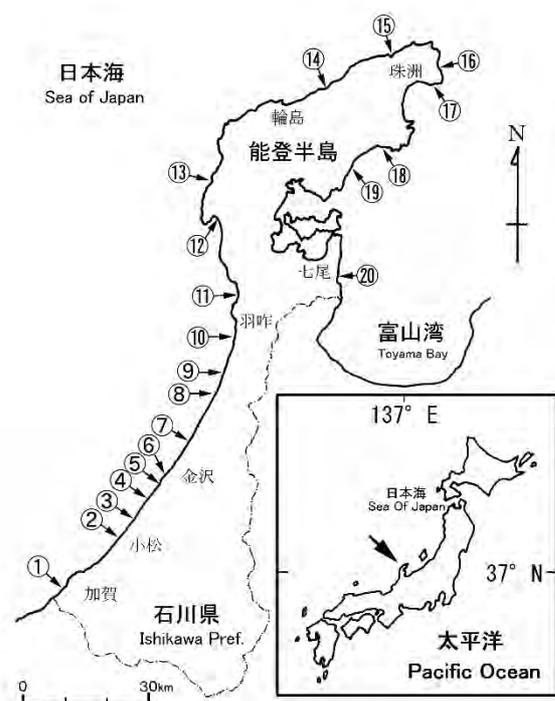


図 1 砂浜海岸の調査地点

されている場所が多かったため、その位置を記録した。

スナガニの生息状況は、スナガニの穴数を調べることで推察することにした。前浜後方帯を中心に約 50 m<sup>2</sup> の範囲を設定し、本種の穴数を数えた。そして、海浜植生の概況を 4 段階に分けて記録した。なお、砂浜海岸に生育する海外からの帰化植物であるアメリカネナシカズラとオニハマダイコンが目についたので、その生育地を記録した。

砂の粒度分析には波打帯中央部の表砂を用いた。砂はアズワン(株)スチロール T 型瓶 350 ml(口部内径 φ 73 mm, ポリスチレン製)を砂中に差し込んで表面から約 10 cm までの砂を採取した。これを濾紙上で自然風乾し、筒井理化学器械株式会社製のマイクロ形電磁振動ふるい器(M-2 形)を用いて Wentworth(藤岡, 1987)の分類に従い 8 段階にふるい分けた。1 回の分析には 10.0 g 以上の砂を用いて分別し、各調査地点で 5 回の分析を行った。ふるい分けた砂は、各々重量を計測(最小 0.01 g)し、5 回の平均値から粒度組成(重量百分率)を算出し、中央粒径値(mm)を求めた。

## 結果

### 砂浜の拡張と後退について

各調査地点における調査日、海岸の改変と利用状況、ならびに基点(O)をもとに測量した測線 A と測線 C の距離を表 1 に示す。

調査した海岸には人工海岸は含まれていない。調査を継続した 15 ヶ所の海岸のうち、前述したようにかまき市白尾では基点 O 点の測線 A で 8 m、旧測線 C で 11.5 m の砂浜が消失したことになる。2009 年に測線 C は 0 m であったことを考えると、2009 年から 2019 年の間に、砂浜の後退と堆積が繰り返していることが推察できる。加賀市片野では、測線 A と測線 C とも約 30 m の砂浜の後退が認められたが、2009 年の測量結果に近い値となっている。したがって、この 2 ヶ所は、前回(2014 年)と比べれば砂浜が後退したと判断されるが、前々回(2009 年)の結果と比べればほとんど差がないことが読み取れる。また、輪島市の琴ヶ浜と大川浜、珠洲市の馬縵と粟津の 4 ヶ所は、調査年度によって、また同じ年であっても測線 A と測線 C の間で拡張と後

表 1 各調査地点における調査日、海岸の改変・利用状況、ならびに基点(O)をもとにして測量した A, C の距離(m)

調査地	調査日	改変状況	利用状況	距離 A			距離 C		
				2009	2014	2019	2009	2014	2019
1 加賀市片野	6月24日	半自然海岸	海水浴場	44.0	63.8(+19.8)	34.3(-29.5)	46.3	66.5(+20.2)	34.6(-31.9)
2 小松市安宅	6月24日	半自然海岸		—	—	23.8(—)	—	—	46.9(—)
3 能美市大浜	6月24日	半自然海岸		—	—	65.2(—)	—	—	64.2(—)
4 白山市徳光	6月24日	半自然海岸	海水浴場	—	—	147.0(—)	—	—	128.4(—)
5 金沢市専光寺	6月24日	半自然海岸		75.4	63.8(-11.6)	49.9(-13.9)	43.6	44.3(+0.7)	33.8(-10.5)
6 内灘町内灘	6月24日	自然海岸	海水浴場	—	—	309.7(—)	—	—	228.9(—)
7 かまき市白尾	6月24日	半自然海岸		8.9	32.3(+23.4)	24.4(—)	0	11.5(+11.5)	11.2(—)
8 かまき市高松	6月24日	自然海岸	海水浴場	15.7	37.5(+21.8)	35.6(-1.9)	16.5	40.7(+24.2)	34.9(-5.8)
9 宝達志水町今浜	6月24日	自然海岸	海水浴場	26.7	44.8(+18.1)	41.9(-2.9)	30.6	46.4(+15.8)	42.9(-3.5)
10 羽咋市千里浜	6月25日	自然海岸	海水浴場	28.6	32.6(+4.0)	46.3(+13.7)	33.0	32.9(-0.1)	46.6(+13.7)
11 志賀町甘田	6月25日	自然海岸		45.6	60.4(+14.8)	67.7(+7.3)	38.1	49.3(+11.2)	72.2(+22.9)
12 志賀町相神	6月25日	自然海岸	海水浴場	107.3	108.4(+1.1)	118.0(+9.6)	123.5	130.2(+6.7)	114.0(+13.8)
13 輪島市琴ヶ浜	6月25日	自然海岸	海水浴場	39.4	35.8(-3.6)	44.0(+8.2)	36.6	30.8(-5.8)	38.5(+7.7)
14 輪島市大川浜	6月20日	半自然海岸		37.8	23.0(-14.8)	37.4(+14.4)	43.0	40(-3.0)	41.4(+1.4)
15 珠洲市馬縵	6月20日	自然海岸		30.1	29.5(-0.6)	31.4(+1.9)	26.8	32.3(+5.5)	30.0(-2.3)
16 珠洲市粟津	6月20日	自然海岸		31.8	38.5(+6.7)	29.7(-8.8)	39.5	38.9(-0.6)	40.0(+1.1)
17 珠洲市鉢ヶ崎	6月20日	自然海岸	海水浴場	52.1	41.5(-10.6)	42.4(+0.9)	49.1	44.6(-4.5)	45.3(+0.7)
18 能登町羽根	6月20日	半自然海岸		10.8	11.8(+1.0)	10.9(-0.9)	25.7	26.1(+0.4)	13.9(-12.2)
19 穴水町宇加川	6月20日	自然海岸		—	—	16.4(—)	—	—	28.8(—)
20 七尾市佐々波	6月25日	半自然海岸		9.3	8.7(-0.6)	32.7(—)	11.8	9.3(-2.5)	21.1(—)

( ) 内の数値は前回との距離の差を示す

表2 各海岸における砂浜の前浜と後浜の内訳と護岸の設置位置、スナガニの生息状況、植生と海浜扇化植物の生育状況、ならびに人工構築物の設置状況

場所	波打帯中央からの距離 (測線A)										波打帯中央からの距離 (測線C)				スナガニの生息状況	植生	人工構築物の設置状況	備考
	①	②	③	④	⑤	①	②	③	④	⑤	位置	幅	穴数					
1 片野	2.3	6.2	23.3	34.3//	—	2.3	4.2	24.4	34.6//	—	5.0-10.0	10	10	—	—	—	—	
2 安宅	4.5	10.0	19.0	23.8//	—	4.6	8.6	33.2	46.9//	—	全域	0	+	㊦	消波ブロック	㊦は護岸上部に生育		
3 大浜	2.0	4.4	29.2	42.7	65.2//	2.2	4.8	14.3	43.2	64.2//	15.0-20.0	10	14	—	—	消波ブロック	—	
4 徳光	2.5	4.5	13.0	47.0	147.0//	2.3	5.6	12.8	不明瞭	128.4//	8.0-13.0	10	4	—	—	消波ブロック	—	
5 専光寺	1.8	4.0	9.2	32.0	49.9//	1.6	3.6	9.0	—	33.8//	6.0-11.0	10	5	+	—	消波ブロック	—	
6 内灘	5.0	10.7	16.6	—	309.7	2.4	12.2	15.0	—	228.9	15.0-20.0	10	13	—	—	—	背後は道路	
7 白尾	1.7	5.7	13.5	24.4//	—	1.8	5.4	11.2//	—	—	7.5-12.5	10	14	—	—	人工リーフ	—	
8 高松	2.8	5.0	12.6	35.6//	—	1.8	4.0	12.3	34.9//	—	5.0-10.0	10	14	—	—	—	—	
9 今浜	1.7	5.6	41.9//	—	—	2.1	4.8	42.9//	—	—	全域	0	—	—	—	—	—	
10 千里浜	1.8	6.4	46.3//	—	—	1.8	4.5	46.6//	—	—	全域	0	—	—	—	—	—	
11 甘田	2.2	4.8	15.0	29.3	67.7//	1.8	3.0	13.5	37.5	72.2//	15.0-20.0	10	100	+	㊦	—	—	
12 相神	1.3	3.4	8.0	不明瞭	118.0//	1.3	2.8	8.7	14.5	144.0//	3.0-8.0	10	55	●	㊦	—	—	
13 琴ヶ浜	2.0	4.3	10.5	27.0	44.0	1.8	3.5	10.8	26.0	38.5	5.6-10.6	10	50	+	㊦	—	浜崖で終了	
14 大川浜	3.1	7.3	37.4//	—	—	3.5	7.0	41.4//	—	—	全域	1	—	—	人工リーフ	背後に浜崖あり		
15 馬繰	2.5	7.0	26.0	31.4//	—	2.0	3.0	26.5	30.0//	—	11.5-16.5	10	11	—	—	—	背後は道路	
16 栗津	4.0	7.8	20.3	23.6	29.7//	4.0	7.2	20.0	25.3	40.0	5.3-10.3	10	30	—	—	—	C線は浜崖で終了	
17 鉢ヶ崎	2.7	8.0	17.5	29.0	42.4//	1.7	6.7	20.0	30.0	45.3//	9.0-14.0	10	62	+	—	—	護岸後方は松林	
18 羽根	3.5	3.5	10.9//	—	—	3.3	3.3	13.9//	—	—	3.5-8.5	10	56	+	—	人工リーフ	—	
19 宇加川	2.0	3.6	6.0	8.0	16.4//	2.0	3.7	10.2	14.8	28.8//	5.0-10.0	10	92	+	—	—	背後は道路	
20 佐々波	1.1	2.0	7.3	15.7	32.7//	1.2	2.0	4.1	21.1//	—	3.2-7.2	10	12	◎	㊦	—	背後は道路	

凡例 波打帯中央からの距離 ① 波打帯の終点、② 干出帯の終点、③ 前浜後方帯の終点、④ 後浜前縁帯の終点、⑤ 後浜後縁帯の終点をしめす。前浜と後浜の途中で護岸が設置されている場合は、数字の後に「//」を入れ、護岸の設置位置を示した。

スナガニの生息状況 位置は打線からの距離、幅は打線に並行の長さ、穴数は50㎡に含まれたスナガニの穴の数を示す  
 植生: ● 広いまたは良好な多年生の植生帯がある、◎ 狭いまたは部分的な多年生の植生帯がある、+ 狭いまたは部分的な植生帯がある、— 植生は認められない、をす。また、㊦ はアメリカカネナシカズラ、㊦ はオニハマダイコンの生育を確認したことを示す

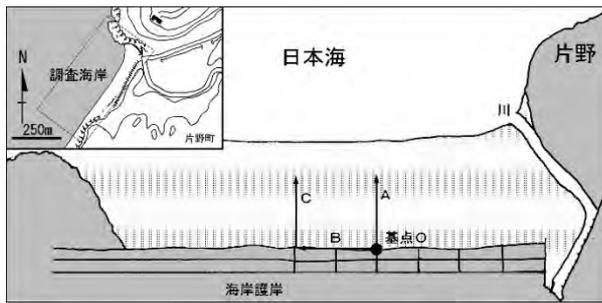


図 2-1 片野における調査地点周辺の概略図

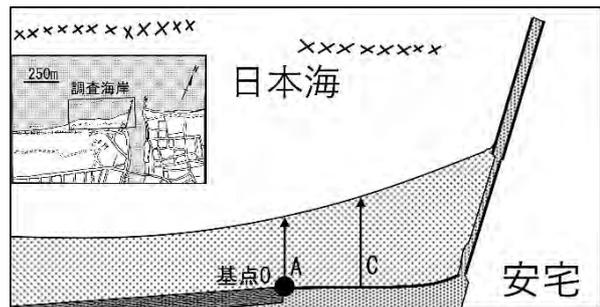


図 2-2 安宅における調査地点周辺の概略図

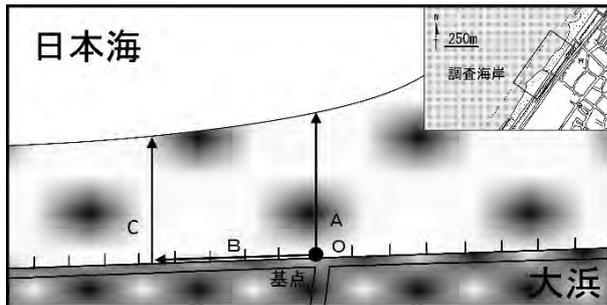


図 2-3 大浜における調査地点周辺の概略図

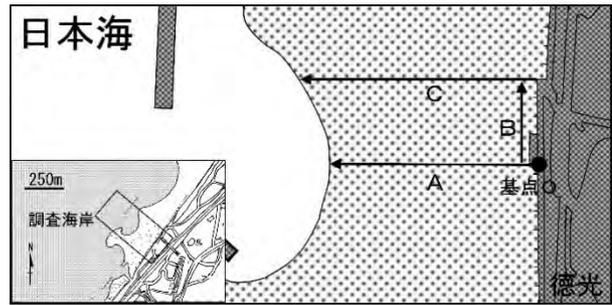


図 2-4 徳光における調査地点周辺の概略図

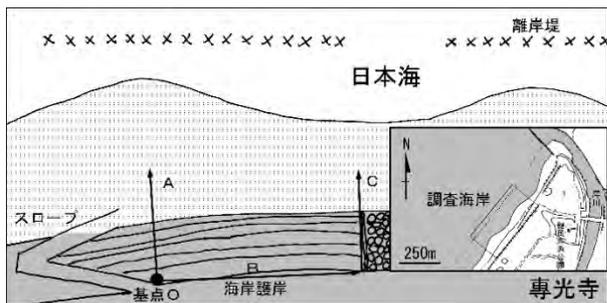


図 2-5 専光寺における調査地点周辺の概略図

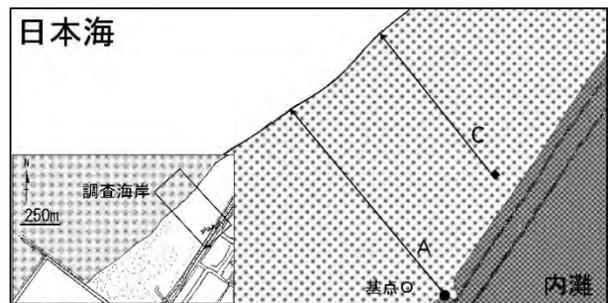


図 2-6 内灘における調査地点周辺の概略図

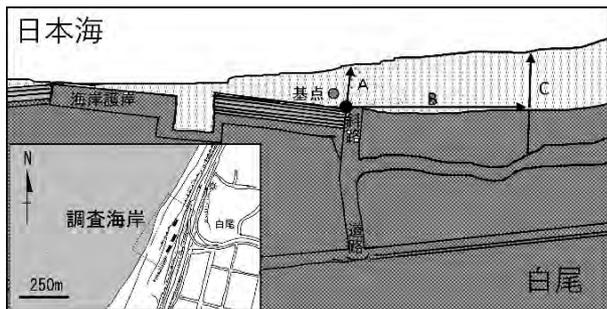


図 2-7 白尾における調査地点周辺の概略図

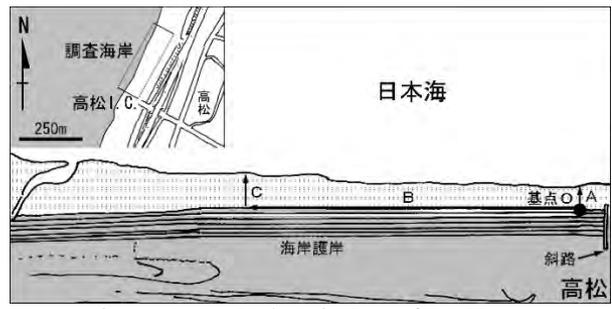


図 2-8 高松における調査地点周辺の概略図

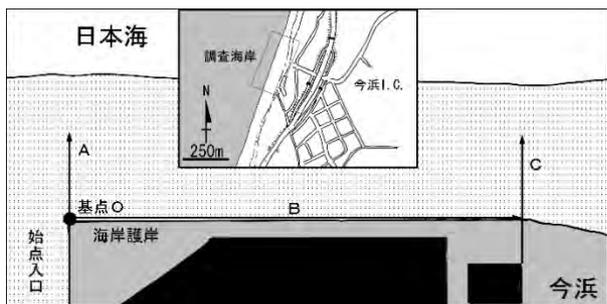


図 2-9 今浜における調査地点周辺の概略図

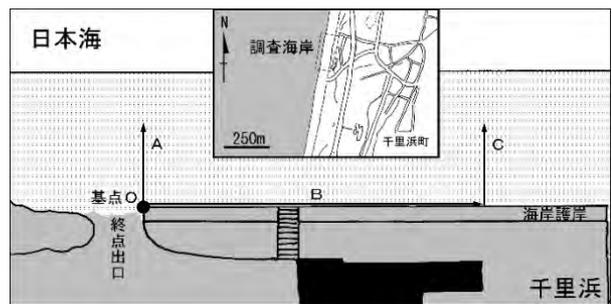


図 2-10 千里浜における調査地点周辺の概略図

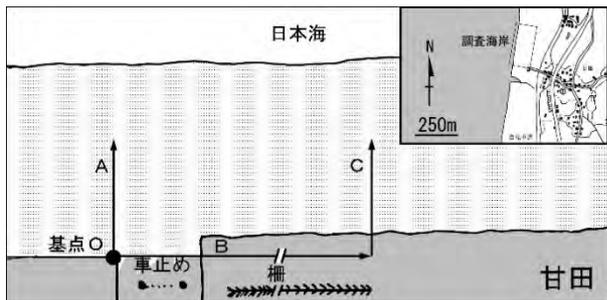


図 2-11 甘田における調査地点周辺の概略図

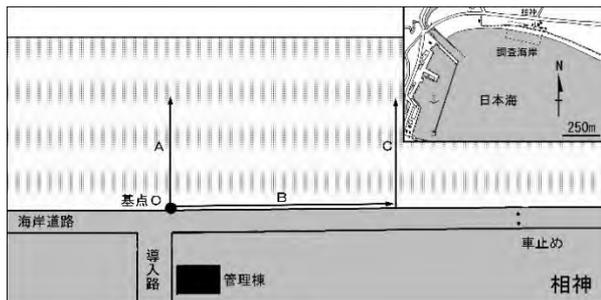


図 2-12 相神における調査地点周辺の概略図

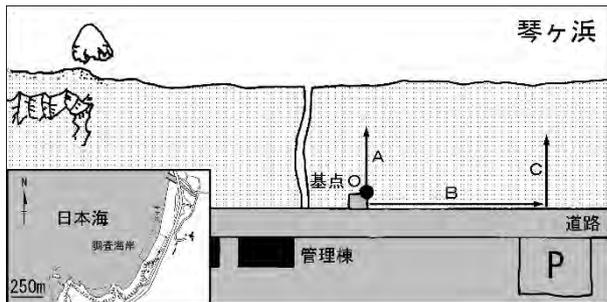


図 2-13 琴ヶ浜における調査地点周辺の概略図

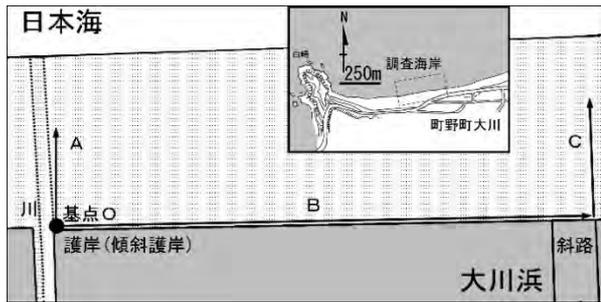


図 2-14 大川浜における調査地点周辺の概略図

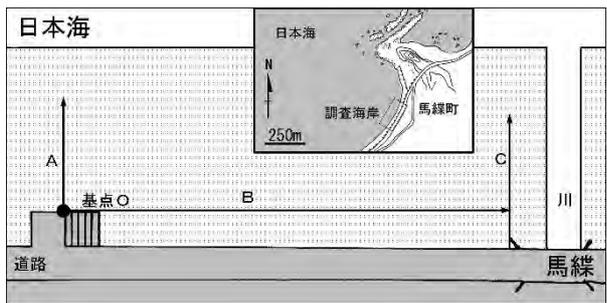


図 2-15 馬繰における調査地点周辺の概略図

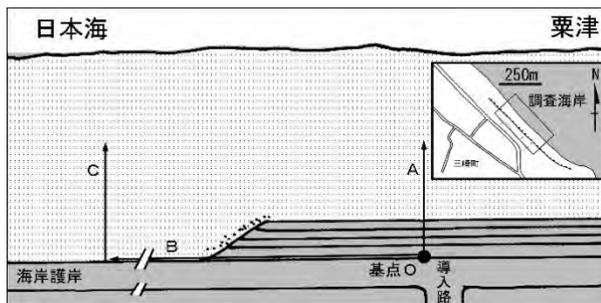


図 2-16 栗津における調査地点周辺の概略図

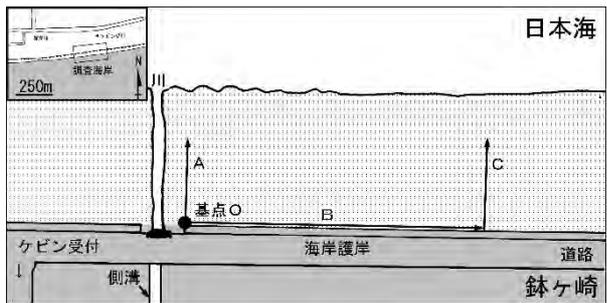


図 2-17 鉢ヶ崎における調査地点周辺の概略図

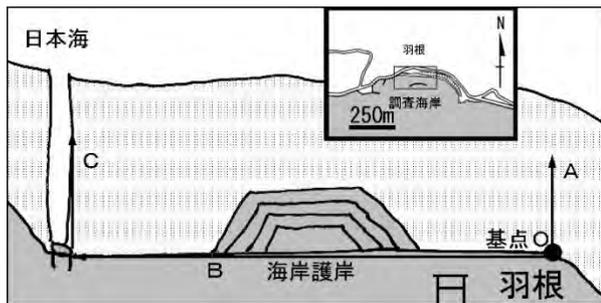


図 2-18 羽根における調査地点周辺の概略図

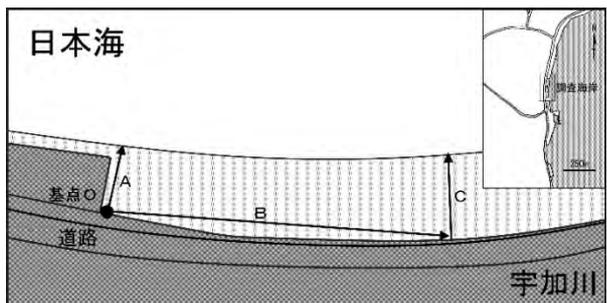


図 2-19 宇加川における調査地点周辺の概略図

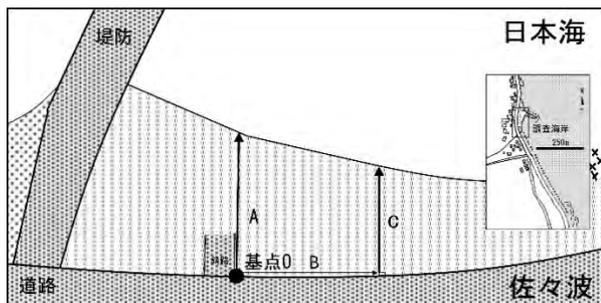


図 2-20 佐々波における調査地点周辺の概略図

退が認められることから、砂浜の砂の移動が頻繁に起こる海岸であることが推察される。他の 12ヶ所においては、前回調査と比べると砂浜の大きな形状変化は認められなかった。ただし、志賀町相神では砂浜の拡張が続いている傾向が見受けられる。

今回から調査項目に加えた前浜と後浜の内訳、スナガニの生息状況、そして海浜植物の生育状況を表 2 に示す。またここでは、ジャガイモやナスなどのさまざまな農作物や園芸植物に寄生して生育を阻害するため、国の外来生物法により要注意外来生物に指定されているアメリカネシカズラと、北アメリカ原産の帰化植物であるオニハマダイコンの生育場所を記録した。

片野と安宅、そして大浜から専光寺までの 5ヶ所は、比較的広い後浜を備えるものの、スナガニの生息密度は低く、多年生の植生も認められなかった。これは護岸設置に伴い陸水(淡水)の流路が絶たれた影響ではないかと考えられる。内灘も広い砂浜を持っているが、調査地点の周辺には植生が認められない。この理由は今後の調査で明らかにしたいと考えている。

白尾と高松も後浜の途中で護岸が設置されていて、植生は認められなかったが、スナガニの生息は認められた。一方、今浜と千里浜は前浜の途中で護岸が整備されている状況となっていて、植生はなく、スナガニの生息も認められなかった。

甘田、相神、そして琴ヶ浜の 3ヶ所は、多年生の植生を備えた比較的広い後浜後縁帯を持っている。スナガニの生息密度も高く、良好な砂浜海岸の環境が維持されている場所であると考えられる。

大川浜と馬縵は、冬季には護岸付近まで波浪が到達することが観察されている。後述するが、粗砂もしくは粗砂に近い中砂が主体の海岸であり、スナガニの生息にはあまり適さない海岸ではないかと考えられる。

粟津も冬季には護岸や浜崖付近まで波浪が到達する海岸であるが、護岸工事が行われていない浜崖部があることで、スナガニの生息密度が比較的高くなっているものと考えられる。

鉢ヶ崎は比較的広い後浜を備えているが、海水浴だけでなく、キャビン棟を備えたキャンプ場として利用されているため、そのシーズン前には漂着ごみの除去だけでなく植生の除去も行われている。この影響で、多年生

の植生が認められなくなっているものと判断できる。

羽根と宇加川は、小規模な砂浜であるがスナガニの生息密度が比較的、もしくは高い海岸である。冬季の季節風による大きな波浪が打ち寄せないので、スナガニは安定して越冬できる場所が確保されている可能性がある。一方、佐々波は狭い前浜後方帯にスナガニが集中して生息しているのが特徴であるが、浜の規模の割に生息密度は比較的高い場所であると考えられる。

### 砂の粒度

各海岸における粒度組成と最多粒径区分、中央粒径値を表 3 に示す。

砂に含まれる粘土は全ての海岸において 0.01%以下であった。シルトが 0.01%以下だったのは徳光、専光寺、高松、琴ヶ浜、馬縵、そして羽根の 6ヶ所であった。

最多粒径区分は、片野から専光寺までが連続して中砂、内灘から相神までも連続して細砂となった。能登半島外浦の琴ヶ浜、馬縵、そして粟津が中砂、大川浜が極粗砂であった。内浦の鉢ヶ崎から宇加川までが細砂であったが、佐々波は中砂であった。

中央粒径値は大川浜が 1.292 で最も大きく、琴ヶ浜と馬縵が 0.4 を超えた。一方、今浜が 0.184 で最も小さく、高松から甘田まで、そして鉢ヶ崎と宇加川で 0.2 以下であった。相神は前回までと同様に貝殻や動物遺骸が多いため、最多粒径区分は細砂であるが、中央粒径値は 0.296 とやや高かった。

各海岸における 1999 年から今回までに観測された最多粒径区分と中央粒径値の変遷を表 4 に、また粒度組成を粘土から極細砂、細砂、中砂、粗砂、そして極粗砂と礫の 5 段階に分けて図 3 に示す。

片野は 2009 年だけが粗砂であったが、その他はすべて中砂、専光寺は全て中砂であった。白尾から甘田までは全て細砂で安定していた。相神は 1999 年だけが中砂であったが、それ以降は細砂で安定していた。

一方、大川浜は 2009 年が粗砂、今回が極粗砂、それ以外が中砂と、最多粒径区分が頻繁に変わる場所であることが明らかとなった。また、馬縵は 2004 年が粗砂であったが、それ以降は中砂、粟津は 2009 年と今回が中砂であったが、その他は細砂であり、これらの海岸も粒度組成が変化する場所であることがうかがい知れる。

一方、内浦海岸の鉢ヶ崎は細砂、佐々波は中砂で安定しているが、羽根は2009年までが中砂、それ以降は細砂に変わった。

今後も各海岸で設定した基点(O)を元に、海岸の奥

行きや景観の変化、スナガニの生息状況や海浜植生の生育状況などに留意してモニタリング調査を継続し、海岸環境の現状と野生生物の生息・生育状況に関する基礎的資料の集積を図りたいと考えている。

表3 石川県の砂浜海岸における汀線付近の砂の粒度組成(重量, %)と最多粒径区分、中央粒径値

調査地	片野	安宅	大浜	徳光	専光寺	内灘	白尾	高松	今浜	千里浜
粘土(0.038 mm>)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
シルト(0.038-0.063 mm)	0.02	0.02	0.02	+	+	0.02	0.02	+	0.02	0.02
極細砂(0.063-0.125 mm)	0.02	0.31	0.35	0.04	0.16	0.06	0.42	0.23	0.88	1.58
細砂(0.125-0.25 mm)	2.05	17.09	46.95	15.43	39.37	49.98	71.07	80.63	86.83	81.04
中砂(0.25-0.5 mm)	81.84	57.80	50.36	73.60	56.91	39.62	27.74	18.49	11.37	14.47
粗砂(0.5-1.0 mm)	15.76	19.37	2.30	10.65	3.33	10.00	0.75	0.64	0.90	2.90
極粗砂(1.0-2.0 mm)	0.31	4.95	0.02	0.21	0.23	0.33	0	0.02	0	0
礫(>2.0 mm)	0	0.29	0	0.06	0	0	0	0	0	0
最多粒径区分	中砂	中砂	中砂	中砂	中砂	細砂	細砂	細砂	細砂	細砂
中央粒径値	0.373	0.367	0.260	0.347	0.285	0.250	0.201	0.190	0.184	0.188
調査地	甘田	相神	琴ヶ浜	大川浜	馬縹	粟津	鉢ヶ崎	羽根	宇加川	佐々波
粘土(0.038 mm>)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
シルト(0.038-0.063 mm)	0.02	0.02	+	0.02	+	0.02	0.02	+	0.02	0.02
極細砂(0.063-0.125 mm)	1.96	1.32	0.02	0.06	0.02	0.10	1.37	0.28	4.20	0.95
細砂(0.125-0.25 mm)	77.01	39.18	0.55	0.06	0.69	44.15	77.73	54.22	77.39	42.76
中砂(0.25-0.5 mm)	12.05	36.73	63.10	11.78	53.68	50.61	20.24	43.42	17.96	53.03
粗砂(0.5-1.0 mm)	8.92	19.08	33.93	25.28	38.74	4.75	0.61	2.02	0.37	3.17
極粗砂(1.0-2.0 mm)	0.04	3.59	2.37	37.02	6.47	0.25	0.04	0.06	0.06	0.06
礫(>2.0 mm)	0	0.08	0.04	25.79	0.40	0.13	0	0	0	0.02
最多粒径区分	細砂	細砂	中砂	極粗砂	中砂	中砂	細砂	細砂	細砂	中砂
中央粒径値	0.190	0.296	0.427	1.292	0.470	0.271	0.192	0.235	0.187	0.272

表4 各海岸で観測された最多粒径区分と中央粒径値の変遷

調査年	最多粒径 区分					中央 粒径値				
	1999	2004	2009	2014	2019	1999	2004	2009	2014	2019
1 片野	中砂	中砂	粗砂	中砂	中砂	0.43	0.36	0.63	0.37	0.37
2 安宅	—	—	—	—	中砂	—	—	—	—	0.37
3 大浜	—	—	—	—	中砂	—	—	—	—	0.26
4 徳光	—	—	—	—	中砂	—	—	—	—	0.35
5 専光寺	中砂	中砂	中砂	中砂	中砂	0.30	0.33	0.40	0.27	0.29
6 内灘	—	—	—	—	細砂	—	—	—	—	0.25
7 白尾	細砂	細砂	細砂	細砂	細砂	0.21	0.24	0.20	0.19	0.20
8 高松	—	—	細砂	細砂	細砂	—	—	0.19	0.19	0.19
9 今浜	細砂	細砂	細砂	細砂	細砂	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18
10 千里浜	細砂	細砂	細砂	細砂	細砂	0.19	0.18	0.18	0.18	0.19
11 甘田	—	—	細砂	細砂	細砂	—	—	0.18	0.18	0.19
12 相神	中砂	細砂	細砂	細砂	細砂	0.26	0.27	0.28	0.26	0.30
13 琴ヶ浜	中砂	中砂	中砂	中砂	中砂	0.39	0.36	0.36	0.41	0.43
14 大川浜	中砂	中砂	粗砂	中砂	極粗砂	0.35	0.37	0.78	0.34	1.29
15 馬縹	—	粗砂	中砂	中砂	中砂	—	0.56	0.48	0.42	0.47
16 粟津	細砂	細砂	中砂	細砂	中砂	0.20	0.20	0.40	0.26	0.27
17 鉢ヶ崎	細砂	細砂	細砂	細砂	細砂	0.20	0.19	0.19	0.19	0.19
18 羽根	中砂	中砂	中砂	細砂	細砂	0.41	0.35	0.30	0.21	0.24
19 宇加川	—	—	—	—	細砂	—	—	—	—	0.19
20 佐々波	中砂	中砂	中砂	中砂	中砂	0.47	0.44	0.40	0.38	0.27

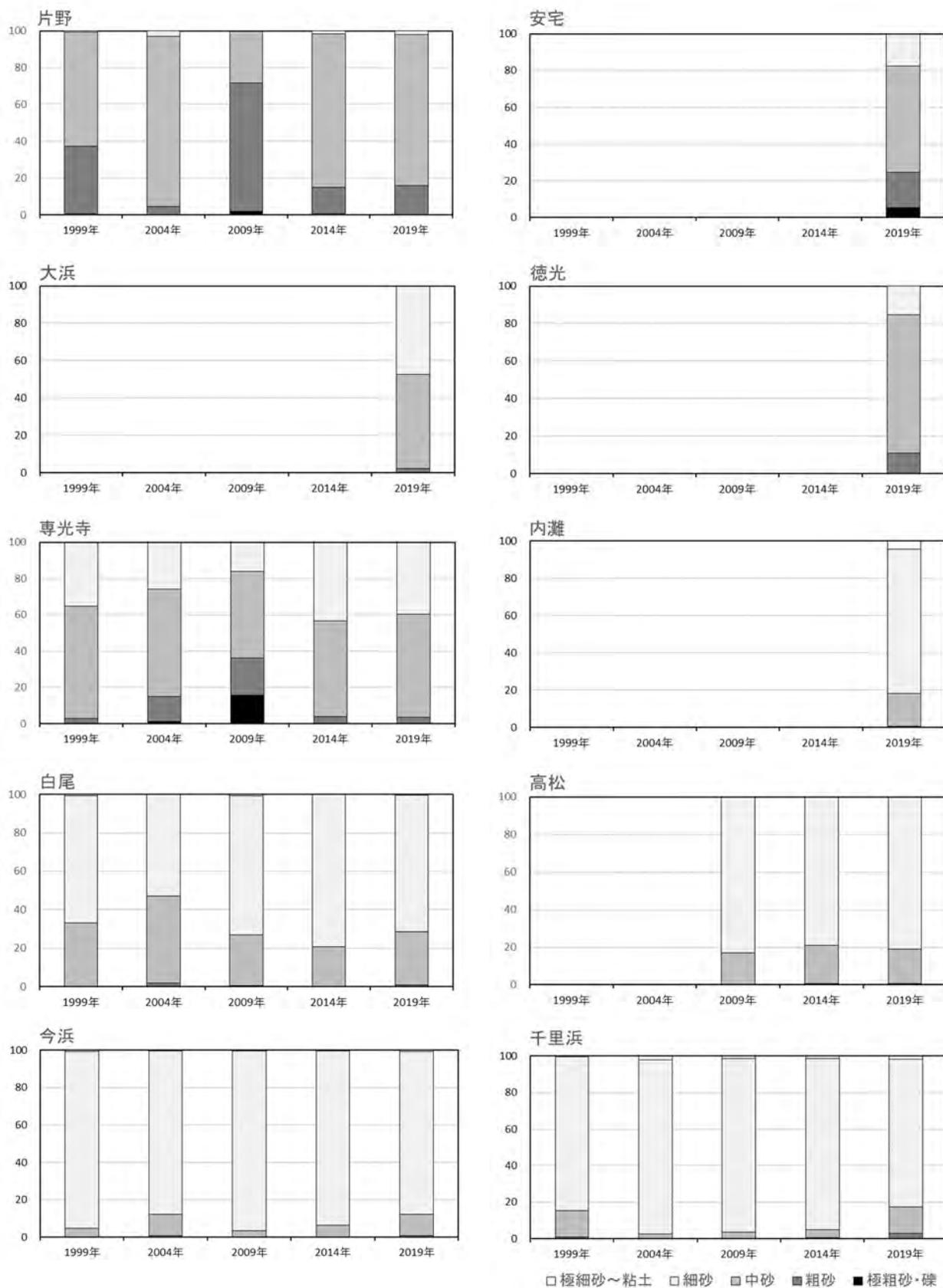


図 3-1 各海岸において 1999 年からの 2019 年までに観測された粒度組成の変遷(極細砂から粘土、細砂、中砂、粗砂、そして極粗砂と礫の 5 段階に分けた)。

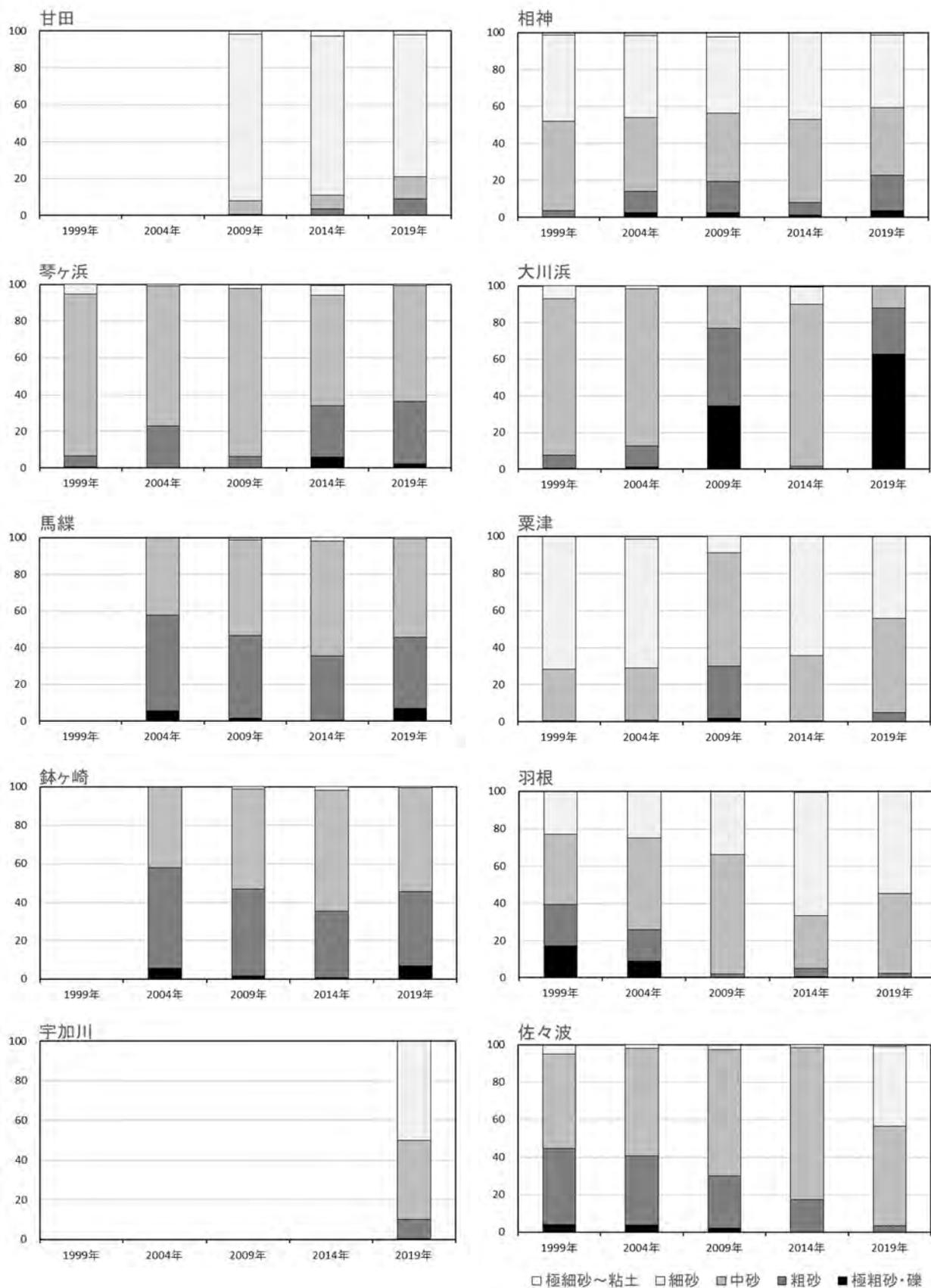


図 2-2 各海岸において1999年からの2019年までに観測された粒度組成の変遷(極細砂から粘土、細砂、中砂、粗砂、そして極粗砂と礫の5段階に分けた)。

文献

藤岡換太郎, 1987. 粒度分析. 和達清夫監修, 海洋大辞典, p.488-489, 東京堂出版, 東京.  
環境庁, 1994. 第4回自然環境基礎調査-海岸調査報告書-(全国版). 環境庁自然保護局・アジア航測株式会社, 環境庁.  
坂井恵一・福島広行・東出幸真, 2000. 石川県の砂浜海岸における汀線付近の砂の粒度組成について. のと海洋ふれあいセンター研究報告, (6):9-18.

東出幸真・福島広行・坂井恵一, 2001. 能登半島東海岸における汀線付近の砂の粒度組成. のと海洋ふれあいセンター研究報告, (7):51-57.  
東出幸真・達克幸・坂井恵一, 2005. 石川県の砂浜海岸における人為的改変と汀線付近の砂の粒度. のと海洋ふれあいセンター研究報告, (10):1-10.  
のと海洋ふれあいセンター年次報告, 2010: 石川県の砂浜海岸におけるモニタリング調査. のと海洋ふれあいセンター研究報告, (15):49-56.  
のと海洋ふれあいセンター年次報告, 2015: 石川県の砂浜海岸におけるモニタリング調査. のと海洋ふれあいセンター研究報告, (20):32-42.



図4-1 片野の調査地点, 2019年6月24日撮影



図4-2 安宅の調査地点, 2019年6月24日撮影



図4-3 大浜の調査地点, 2019年6月24日撮影



図4-4 徳光の調査地点, 2019年6月24日撮影



図4-5 専光寺の調査地点, 2019年6月24日撮影



図4-6 内灘の調査地点, 2019年6月24日撮影



図 4-7 白尾の調査地点, 2019年6月24日撮影



図 4-8 高松の調査地点, 2019年6月24日撮影



図 4-9 今浜の調査地点, 2019年6月24日撮影



図 4-10 千里浜の調査地点, 2019年6月25日撮影



図 4-11 甘田の調査地点, 2019年6月25日撮影



図 4-12 相神の調査地点, 2019年6月25日撮影



図 4-13 琴ヶ浜の調査地点, 2019年6月25日撮影



図 4-14 大川浜の調査地点, 2019年6月20日撮影



図 4-15 馬縞の調査地点, 2019年6月20日撮影



図 4-16 粟津の調査地点, 2019年6月20日撮影



図 4-17 鉢ヶ崎の調査地点, 2019年6月20日撮影



図 4-18 羽根の調査地点, 2019年6月20日撮影



図 4-19 宇加川の調査地点, 2019年6月20日撮影



図 4-20 佐々波の調査地点, 2019年6月25日撮影

### III-九十九湾周辺における気象と水質

#### 1 気象観測

2018年1月1日から12月31日までの1年間、毎週月曜日と年末年始の休館日を除く毎日午前9時に、気象観測として天候、気温、最高・最低気温、降水量、風向、風力、波浪、うねり、潮位の10項目を観測した。また、磯の観察路に定点を定め(図1)、海水の水温と塩分量、pHを測定した。塩分量は赤沼式比重計を用いて比重( $\sigma_{15}$ )を求めて換算し、pHは堀場製作所製カスターニーACT pHメーターD-21を用いた。これらの観測結果のうち、気温と降水量、水温、塩分量、pHの5項目については、2018年の月別平均値、ならびに1995年から2017年の23年間に観測した月別平均値の平均値を平年値として、表1と図2-6に示した。表1には磯の観察路で赤潮が観察された日数と荒天のために磯の観察路を通行止めにした月別日数も示した。

2018年の月別平均気温は、平年値と比べて1月2月と9月が平年より1℃ほど低く、逆に3月から5月と7月と11月が高かった。特に7月は平年よりも3℃近く高かった。(表1、図2)。

1月から3月に最低気温が氷点下を下回ったのは30



図1 気象観測と水質調査の観測定点  
 ☆, 百葉箱設置点; ○, 磯の観察路の水質観測定点; ●, 水質調査定点; 枠内は内浦海域公園地区

日間で、最高気温が0℃未満の真冬日は2日間記録された。特に1月下旬に冬型の気圧配置が強まったため、1月25日に氷点下5.7℃が観測された。

1月は中旬と下旬の2回、冬型の気圧配置が強まり、降雪が認められた。11日から14日の間に60cmを超える降雪を記録し、太陽光発電パネルの周囲に設置されていた柵が、滑り落ちた雪の重みで損傷した。また、26日から27日にかけて真冬日を記録し、のと海洋ふれあいセンター自然体験館の温水器の配管の一部が凍結し、機器に不具合が生じた。この年の1月は降水量が多く、気温は低かった。

2月は上旬に14.3cmの積雪を観測した。中旬以降は最高気温が10℃を超える日があった。春一番は14日に、ウグイスの初鳴きは2月24日に観測された。気温は低かったが、降水量は平年並みであった。

3月は数日の周期で天候が変化した。高気圧におおわれることが多く、降水を記録する日は少なかった。九十九湾園地のソメイヨシノは4月3日に開花し、満開は10日であった。4月の気温は高く、降水量は平年並みであった。

5月は前線や低気圧の影響で曇りや雨が多かったが、降水量は平年並みであった。気温は平年よりも高く推移したもの、磯の観察路では赤潮の発生は1日だけであった。

6月は曇りや雨の日が多く、9日ごろから梅雨入りとなった。これは前年よりも15日早かった。しかし、降水量は少なかった。

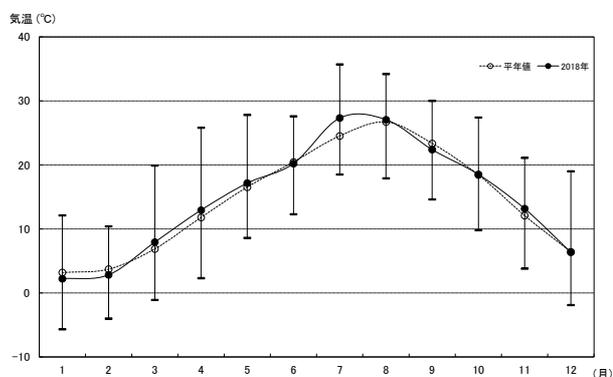


図2 2018年の月別平均気温  
 ●, 2018年(実線は月別の最高気温と最低気温の範囲を示す); ○, 1995-2017年の月別平均値

表 1 2018 年に観測された月別の気温と降水量、磯の観察路における水温と水質、赤潮観察日数、および通行止めの日数と各々の平年値

月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
気温	最高気温の最高値	12.1	10.4	19.9	25.8	27.8	27.6	35.7	34.2	30.0	27.4	21.1	19.0
	最低気温の最低値	-5.7	-4.0	-1.1	2.3	8.6	12.3	18.5	17.9	14.6	9.8	3.8	-1.9
	平均気温	2.2	2.8	7.9	12.9	17.2	20.2	27.3	27.1	22.4	18.5	13.2	6.4
	平均気温の平年値	3.2	3.7	6.9	11.8	16.5	20.5	24.5	26.7	23.4	18.4	12.1	6.4
降水量	総降水量	260.1	99.5	112.1	149.5	143.5	81.3	114.6	273.3	407.5	148.9	36.9	163.1
	総降水量の平年値	202.5	125.4	136.8	113.2	116.5	165.7	232.6	156.3	199.1	144.4	166.1	195.9
	1mm 以上降水日数	23.0	17.0	12.0	11.0	13.0	9.0	6.0	12.0	17.0	9.0	7.0	18.0
	1mm 以上降水日数の平年値	19.5	15.8	14.7	10.9	8.9	8.7	10.9	8.3	10.3	10.0	14.9	19.0
磯の水温	最高水温	12.7	10.5	11.7	15.6	19.4	22.7	29.9	29.5	25.7	24.2	20.0	18.3
	最低水温	8.3	7.2	6.7	10.4	14.1	18.0	21.7	24.9	21.7	20.0	17.0	14.0
	水温平均	11.3	9.0	9.4	13.0	16.5	20.6	26.4	27.3	24.3	21.6	18.5	15.7
	平均水温の平年値	11.2	9.5	9.7	12.1	16.2	20.5	24.2	27.1	25.0	21.1	17.5	14.1
磯の水質	塩分量(%)の平均値	3.428	3.458	3.457	3.483	3.466	3.483	3.412	3.407	3.307	3.395	3.401	3.402
	塩分量(%)の平年値	3.371	3.378	3.393	3.363	3.373	3.397	3.351	3.330	3.301	3.333	3.333	3.336
	pHの平均値	8.15	8.15	8.12	8.21	8.15	8.04	8.05	8.04	8.08	8.18	8.26	8.17
	pHの平年値	8.28	8.34	8.34	8.31	8.13	8.02	8.14	8.16	8.17	8.23	8.23	8.22
赤潮	観察日数	0	0	0	0	1	2	2	0	0	0	0	0
	観察日数の平年値	0	0	0.5	1.6	5.2	4.0	3.6	0.4	0	0	0	0
磯の観察路	通行止日数	15	8	1	0	0	0	2	3	7	2	0	0
	通行止日数の平年値	1.3	0.9	1.3	0.5	0.8	0.9	1.0	1.4	2.2	2.0	2.7	2.4

(注意) 各平年値は 1995 年 1 月から 2017 年 12 月までの月毎の平均値、観測は午前 9 時に行った

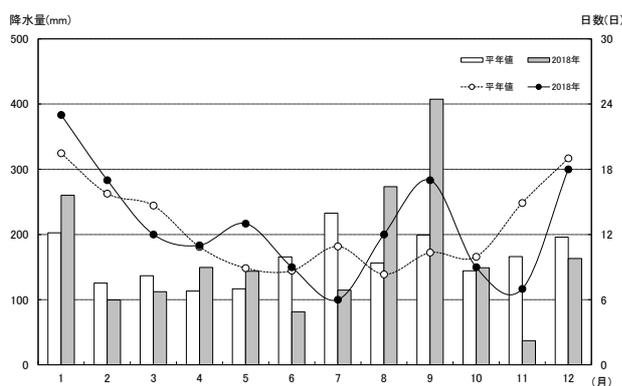


図 3 2018 年の月別の総降水量と 1 mm 以上の降水日数。総降水量(左目盛り): □, 2018 年; □, 1995-2017 年の平均値; 降水日数(右目盛り): ●, 2018 年; ○, 1995-2017 年の平均値

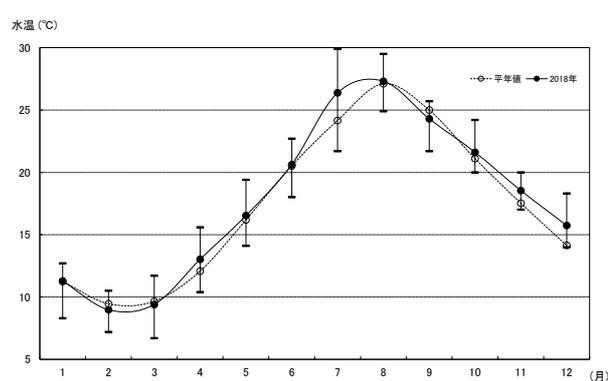


図 4 2018 年の磯の観察路における月別平均水温 ●, 2018 年(実線は月別の 9 時における最高と最低水温の範囲を示す); ○, 1995-2017 年の月別平均値

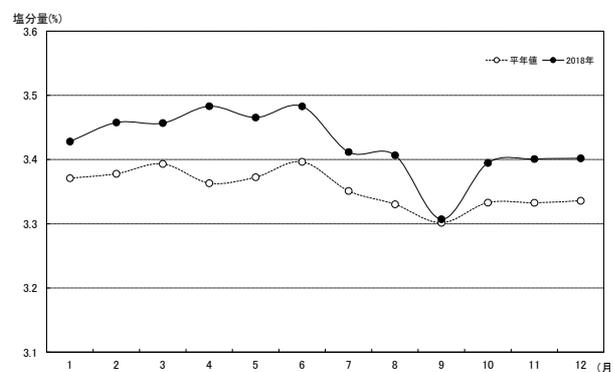


図 5 2018 年の磯の観察路における月別平均塩分量 ●, 2018 年; ○, 1995-2017 年の月別平均値

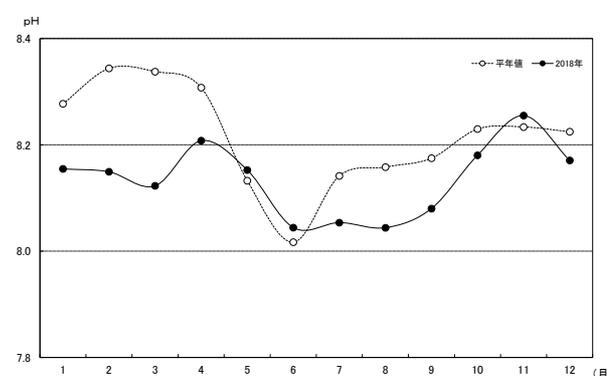


図 6 2018 年の磯の観察路における月別平均 pH 値 ●, 2018 年; ○, 1995-2017 年の月別平均値

例年より 2 週間以上も早い 7 月 9 日ごろに梅雨が明け、8 月 17 日まで連日夏日を観測した。また、降水量および降水日は平年よりも少なかった。

この年の最高気温は台風 12 号通過前の 7 月 30 日に 35.7 °C を記録した。最高気温が 30 °C を超える真夏日は 32 日間、最低気温が 25 °C を超えた熱帯夜は 26 日間であった。

9 月は上旬に台風 21 号の影響で降水量が 10 日に 107.1 mm 観測された。そして、強い波浪の影響で磯の観察路の飛石の一つが横倒しになった。この年の 9 月は平年の倍以上の降水量となり、気温も低かった。

10 月上旬は 9 月末に通過した台風 24 号の影響で降水量は 37.3 mm を記録した。その後周期的に天候は変化したものの、降水量は平年並みであった。11 月も周期的に天候が変化して曇りの日も多かったが降水量は非常に少なく、気温も高く推移した。12 月 9 日には初雪を観測し、平年並みの気温で推移した。

月別総降水量は、平年値と比べると 1 月と 8 月、9 月が多く、特に 9 月は平年の倍以上となった。一方、6 月と 7 月、11 月は平年の半分以下となり、特に 11 月の降水量は平年の 3 割に満たなかった。他の月は平年並みの降水量を記録し、1 mm 以上の降水日数は 2 月が 1 日、5 月が 4 日多く、3 月が 2 日、12 月が 1 日少なかった。(図 3)。

磯の平均水温は平年と比べると、4 月と 7 月、そして 10 月から 12 月が 0.5-2.2 °C 高かった。特に 7 月が 2.2 °C と突出して高く、9 月が 0.7 °C 低く、1 月から 3 月、そして 5 月から 12 月はほぼ平年並みであった。2018 年の夏、朝 9 時の観測時に磯の水温が 28 °C を超えたのは 7 月

の 11 日間、8 月の 10 日間の計 21 日間であった(図 4)。年間の最低水温は 3 月 7 日に 6.7 °C、最高水温は 7 月 27 日に 29.9 °C が観測され、年較差は 23.2 °C であった。

月別の平均塩分量は、平年値と比べると年間通じて高く、いずれも月別平均値よりも高い傾向を示した。特に 6 月が高くなったが、この期間の降水量が例年の半分に満たなかったからだと推察される。

月別の平均 pH は平年値より低く推移していたが、特に 5 月から 6 月の降下が顕著であった。これは漂着藻類が腐敗して海水が白濁した影響であると考えている。pH の最低値は例年 6 月頃である(図 6)。

九十九湾周辺で 4 月以降に見られる赤潮は、夜光虫の異常増殖によるものである。2018 年、磯の観察路周辺では 5 月に 1 回、6 月に 2 回、7 月に 2 回と計 5 回発生した。この年は大規模な赤潮の接岸は観察されず、小規模な接岸にとどまった。

磯の観察路の通行止め日数は 1 月に 15 日間、2 月に 8 日間、そして 7 月に 7 日間と冬期のうねりと台風による影響によるもので、年間では計 38 日間となり、1997 年の 49 日間、2017 年の 44 日間に次いで多かった。

2011 年 2 月からの各月の日射量と発電量を表 2 に示し、2018 年の各月の日射量と 2011 年から 2017 年の各月の平均値(平年値)との比較を図 7 に示す。2011 年から 2017 年の日射量は良く似た推移を示した。すなわち、3 月-5 月と 8 月-10 月にかけて 2 つのピークになる。2018 年もおおむね同様となったが、3 月と 7 月の日射量が多かったことと、9 月の落ち込みが目立つ形となった。

表 2 2011 年から 2018 年の日射量(kWh/m<sup>2</sup>)と発電量(交流発電電力量, kWh)

	2011 (H23)年		2012 (H24)年		2013 (H25)年		2014 (H26)年		2015 (H27)年		2016 (H28)年		2017 (H29)年		2018 (H30)年	
	日射	発電	日射	発電												
1 月		-	46.5	391.7	54.2	469.9	57.0	526.3	48.9	451.5	36.4	340.4	54.6	493.5	38.8	292.0
2 月	91.6	797.4	64.8	562.5	65.6	572.3	56.9	538.1	61.7	559.1	60.3	577.1	70.0	617.7	68.1	578.1
3 月	103.2	982.2	82.7	856.6	101.8	984.2	96.6	900.6	97.8	966.5	95.8	975.7	102.0	1001.7	120.3	1075.6
4 月	109.9	1122.2	111.6	1161.2	101.2	1108.4	134.4	1345.3	102.3	1030.0	108.8	1121.4	116.1	1124.2	105.1	1042.4
5 月	91.5	1181.3	98.2	1269.0	107.5	1374.1	102.8	1291.8	118.3	1439.8	109.2	1322.0	111.3	1287.5	91.6	1067.9
6 月	65.9	1059.2	76.6	1269.7	75.6	1275.2	77.2	1187.8	65.8	1047.3	73.3	1166.6	66.2	1041.6	65.4	1054.3
7 月	86.5	1185.0	85.3	1104.2	74.4	988.2	81.8	1101.4	86.9	1095.5	87.8	1071.1	83.7	1060.4	103.2	1277.7
8 月	115.8	1156.1	146.4	1365.9	121.3	1158.0	86.8	902.3	107.0	1086.5	134.7	1224.4	109.2	1009.5	112.9	1057.4
9 月	101.7	906.1	124.6	1063.3	110.7	976.2	124.5	1099.5	97.1	861.6	75.6	723.0	112.0	944.7	84.7	741.3
10 月	104.6	928.4	103.2	914.4	86.8	749.7	112.6	928.1	120.4	984.8	100.3	823.0	66.4	574.4	108.8	863.5
11 月	70.6	655.7	57.4	539.7	56.2	508.2	59.7	557.3	52.7	482.9	74.3	617.3	63.2	545	76.6	646.8
12 月	38.9	374.4	43.0	398.1	30.6	313.1	33.2	313.8	50.6	485.5	47.5	444.3	35.9	322.5	41.4	367.9
合計	980.1	10,348	1,040.2	10,896	986.0	10,478	1,023.4	10,692	1,009.5	10,491	1,004.0	10,406	990.7	10,022.7	1,016.7	10,064.9

表 3 2018年に観測された海域公園地区と九十九湾内における表層の水温(°C)と塩分量(%), pH

区分	観測日	定点											平均値		
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11		12	13
水温	1月16日	12.0	10.6	11.2	11.3	11.5	11.2	11.5	11.4	9.5	9.5	11.1	12.1	12.3	11.2
	2月13日	9.5	9.0	9.6	9.4	10.0	9.5	8.7	10.0	8.0	6.8	9.6	8.3	8.8	9.0
	3月15日	10.5	10.8	10.9	11.0	11.4	10.7	11.0	11.0	11.0	10.9	11.8	11.6	11.7	11.1
	4月13日	11.5	11.6	11.7	11.8	12.4	11.6	12.1	12.0	11.9	12.2	12.2	12.0	12.2	11.9
	5月15日	16.0	16.0	16.4	16.1	16.9	16.0	16.9	15.6	17.3	17.0	17.6	16.8	16.9	16.6
	6月16日	20.0	19.7	19.7	19.8	20.0	19.8	19.8	20.0	19.7	20.0	20.0	19.8	20.3	19.9
	7月15日	25.7	19.6	26.6	26.2	26.6	26.4	26.4	26.3	26.9	26.9	26.4	27.3	27.6	26.1
	8月17日	26.9	27.2	27.0	27.0	27.0	27.4	27.1	27.4	27.3	27.5	27.0	27.5	27.4	27.2
	9月12日	24.8	24.6	24.5	24.6	24.9	24.9	24.8	24.6	24.0	24.4	25.0	24.5	24.2	24.6
	10月17日	21.7	21.7	21.7	21.7	21.7	21.7	21.5	21.7	21.7	21.9	21.7	21.9	21.2	21.7
	11月15日	19.4	19.5	19.4	18.8	18.6	18.6	19.0	19.0	19.0	19.0	19.0	19.0	19.0	19.0
	12月12日	16.9	16.9	16.8	16.9	16.0	16.5	16.0	16.0	16.3	15.6	15.3	15.5	16.5	16.2
塩分量	1月16日	3.416	3.092	3.281	3.356	3.201	3.319	3.367	3.319	2.753	1.717	3.241	3.367	3.363	3.138
	2月13日	3.391	3.405	3.418	3.412	3.367	3.394	3.288	3.420	3.159	3.056	3.330	3.264	3.072	3.306
	3月15日	3.415	3.399	3.480	3.385	3.360	3.412	3.425	3.385	3.421	2.672	3.399	3.320	3.022	3.315
	4月13日	3.397	3.397	3.410	3.420	3.445	3.392	3.459	3.392	3.420	3.236	3.508	3.490	3.423	3.415
	5月15日	3.494	3.453	3.387	3.448	3.367	3.437	3.440	3.431	3.309	3.153	3.311	3.150	3.242	3.356
	6月16日	3.405	3.453	3.453	3.455	3.505	3.464	3.430	3.457	3.464	3.359	3.440	3.455	3.274	3.432
	7月15日	3.360	3.490	3.296	3.367	3.349	3.327	3.306	3.338	3.344	3.189	3.318	3.309	3.295	3.330
	8月17日	3.342	3.392	3.439	3.353	3.379	3.388	3.366	3.459	3.399	3.381	3.383	3.370	3.466	3.391
	9月12日	3.173	3.167	3.154	3.184	2.967	2.967	2.971	2.901	2.702	2.835	2.832	2.967	2.173	2.923
	10月17日	3.359	3.371	3.318	3.378	3.378	3.365	3.267	3.325	3.351	3.378	3.365	3.361	2.702	3.301
	11月15日	3.416	3.401	3.448	3.426	3.401	3.455	3.401	3.414	3.414	3.360	3.490	3.330	3.401	3.412
	12月12日	3.360	3.371	3.334	3.342	3.334	3.385	3.360	3.385	3.346	3.241	3.216	3.280	3.334	3.330
pH	1月16日	8.13	8.15	8.18	8.13	8.10	8.14	8.12	8.13	8.09	8.29	8.13	8.13	8.10	8.14
	2月13日	8.02	8.03	8.03	8.08	8.02	8.03	8.06	8.02	8.07	8.04	8.04	8.04	8.08	8.05
	3月15日	8.05	8.07	8.06	8.07	8.03	8.02	8.05	8.02	8.04	8.09	8.05	8.04	8.09	8.05
	4月13日	8.12	8.12	8.12	8.12	8.12	8.12	8.12	8.11	8.13	8.14	8.15	8.14	8.12	8.13
	5月15日	8.25	8.24	8.28	8.23	8.21	8.23	8.28	8.23	8.24	8.22	8.25	8.21	8.20	8.24
	6月16日	8.13	8.14	8.15	8.15	8.14	8.14	8.12	8.13	8.13	8.20	8.15	8.11	8.15	8.14
	7月15日	8.11	8.14	8.10	8.10	8.11	8.12	8.12	8.10	8.10	8.06	8.10	8.12	8.09	8.11
	8月17日	8.11	8.10	8.09	8.10	8.09	8.08	8.07	8.09	8.09	8.08	8.09	8.09	8.09	8.09
	9月12日	8.17	8.16	8.16	8.17	8.17	8.16	8.18	8.13	8.15	8.10	8.16	8.15	8.22	8.16
	10月17日	8.06	8.07	8.05	8.07	8.05	8.04	8.07	8.05	8.07	8.05	8.06	8.06	8.09	8.06
	11月15日	8.22	8.22	8.22	8.22	8.22	8.28	8.22	8.20	8.23	8.22	8.22	8.22	8.21	8.22
	12月12日	8.26	8.24	8.25	8.26	8.26	8.26	8.25	8.24	8.26	8.23	8.27	8.24	8.26	8.25

表 4 2018年に観測された海域公園地区と九十九湾内における5m、10m、および20m層の水温(°C)と塩分量(%), pH

区分	観測日	5m層							10m層					20m層					
		定点							定点					定点					
		1	2	3	4	5	6	平均値	1	2	3	4	5	6	平均値	4	5	6	平均値
水温	1月16日	12.0	12.0	12.1	12.2	12.3	12.2	12.1	11.9	12.0	12.1	12.1	12.4	12.4	12.2	12.0	12.2	12.0	12.1
	2月13日	9.8	10.0	9.9	9.5	9.8	9.5	9.8	10.0	10.0	9.9	9.9	9.6	9.5	9.8	9.6	9.6	9.4	9.5
	3月15日	10.5	10.5	10.6	10.7	10.6	10.3	10.5	10.3	10.6	10.6	10.5	10.5	10.4	10.5	10.5	10.4	10.3	10.4
	4月13日	11.5	11.5	11.5	11.5	11.9	11.7	11.6	11.3	11.5	11.5	11.5	11.5	11.6	11.5	11.4	11.5	11.4	11.4
	5月15日	15.5	15.5	15.9	15.6	16.0	15.5	15.7	15.0	15.5	15.5	15.4	15.6	15.3	15.4	15.1	15.4	15.0	15.2
	6月16日	19.6	19.6	19.6	19.7	20.0	19.8	19.7	19.2	19.2	19.3	19.4	19.0	19.8	19.3	17.3	17.0	17.6	17.3
	7月15日	24.4	24.9	24.9	25.0	25.7	25.0	25.0	24.0	24.3	23.9	24.2	24.3	24.2	24.2	23.5	23.5	23.3	23.4
	8月17日	26.5	26.6	26.8	26.9	26.6	27.0	26.7	26.5	26.5	26.8	26.6	26.6	26.7	26.7	26.4	26.4	26.9	26.6
	9月12日	24.9	24.8	24.9	24.8	25.0	25.0	24.9	24.9	24.8	24.6	24.8	25.0	25.0	24.9	24.3	24.5	24.5	24.4
	10月17日	22.0	22.0	21.6	21.9	21.9	21.8	21.9	22.0	21.9	21.8	21.7	22.0	21.7	21.9	21.5	22.0	21.8	21.8
	11月15日	19.3	19.0	19.3	18.8	18.6	18.6	18.9	19.0	19.5	19.0	18.8	18.5	18.5	18.9	19.0	18.8	19.0	18.9
	12月12日	16.5	16.5	16.5	16.4	15.9	16.0	16.3	16.4	16.4	16.4	16.4	16.0	16.0	16.2	15.8	16.0	15.5	15.8
塩分量	1月16日	3.412	3.410	3.415	3.462	3.419	3.429	3.425	3.406	3.410	3.448	3.406	3.444	3.425	3.423	3.391	3.428	3.471	3.430
	2月13日	3.443	3.468	3.443	3.407	3.420	3.418	3.433	3.430	3.418	3.452	3.432	3.418	3.429	3.430	3.418	3.420	3.441	3.426
	3月15日	3.359	3.437	3.437	3.437	3.412	3.518	3.433	3.437	3.450	3.428	3.490	3.428	3.515	3.480	3.467	3.415	3.467	3.425
	4月13日	3.448	3.462	3.423	3.497	3.445	3.392	3.445	3.475	3.435	3.488	3.472	3.445	3.445	3.460	3.458	3.459	3.445	3.454
	5月15日	3.410	3.457	3.378	3.431	3.434	3.444	3.426	3.378	3.405	3.434	3.407	3.446	3.407	3.413	3.504	3.431	3.380	3.438
	6月16日	3.467	3.490	3.460	3.467	3.467	3.467	3.470	3.473	3.446	3.497	3.473	3.486	3.430	3.468	3.467	3.457	3.430	3.451
	7月15日	3.391	3.383	3.439	3.457	3.394	3.378	3.407	3.380	3.384	3.414	3.421	3.363	3.367	3.388	3.421	3.411	3.421	3.418
	8月17日	3.480	3.403	3.439	3.473	3.399	3.426	3.437	3.459	3.399	3.384	3.395	3.425	3.410	3.428	3.399	3.395	3.395	3.407
	9月12日	3.265	3.259	3.259	3.261	3.300	3.234	3.263	3.265	3.290	3.395	3.287	3.259	3.034	3.255	3.300	3.034	3.340	3.225
	10月17日	3.355	3.380	3.361	3.351	3.365	3.340	3.359	3.505	3.361	3.398	3.348	3.338	3.378	3.388	3.355	3.365	3.311	3.344
	11月15日	3.426	3.439	3.448	3.426	3.414	3.429	3.430	3.214	3.452	3.426	3.439	3.429	3.403	3.394	3.406	3.426	3.419	3.417
	12月12日	3.385	3.381	3.334	3.360	3.309	3.346	3.353	3.334	3.385	3.402	3.388	3.385	3.385	3.380	3.360	3.394	3.385	3.380
pH	1月16日	8.09	8.12	8.11	8.12	8.12	8.11	8.11	8.12	8.10	8.14	8.11	8.12	8.10	8.12	8.11	8.09	8.20	8.13
	2月13日	8.03	8.05	8.06	8.03	8.02	8.02	8.04	8.03	8.02	8.04	8.02	8.02	8.02	8.02	8.03	8.02	8.02	8.02
	3月15日	8.03	8.02	8.02	8.05	8.04	8.13	8.05	8.02	8.02	8.03	8.03	8.02	8.08	8.03	8.06	8.03	8.02	8.04
	4月13日	8.12	8.12	8.12	8.11	8.12	8.12	8.12	8.12	8.12	8.12	8.11	8.11	8.12	8.12	8.11	8.11	8.12	8.11

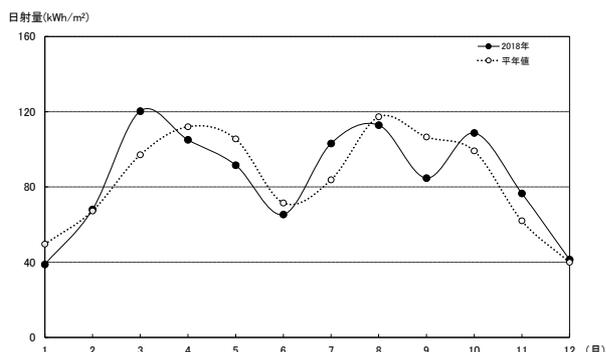


図 7 2018 年(●)と平年値(○, 2011 から 2017 年の平均値)の月別日射量(kWh/m<sup>2</sup>)

## 2 九十九湾の水質

内浦海域公園九十九湾地区(以下、海域公園地区とする)と九十九湾内に 13 の定点を定め(図 1)、2018 年の毎月中旬に 1 回、水温、塩分量、pH、および透明度の観測を行った。調査方法は前年までと同様である。なお、水深が 10 m 以浅の地点(7-13)では通常海底が確認できるので、透明度の測定は行っていない。

各定点で観測された水温、塩分量、pH を表 3 と表 4、透明度を表 5 に示す。また、2018 年の海域公園地区(St. 1)における表層の水温と塩分量、pH の月別変化を、同定点における過去 22 年間(1995 年から 2017 年)の月別平均値を平年値として比較した(図 8, 9, 10)。

水温は 2 月が平年値よりも 1.3 °C 低く、7 月が平年値より 1.4 °C、12 月に 1.5 °C 高かった。これ以外の月はほぼ平年値に近い値で推移し(図 8)、磯の観察路における平均水温の推移と概ね一致していた。また、塩分量も磯の観察路における推移とよく類似していた(図 5, 9)。

一方、pH は平年値より高い値を示したのは 5 月と 9 月、11 月と 12 月で、そのほかの月はいずれも平年値を下回った。特に、2 月の降下が顕著であったが、この理由は明らかではない(図 10)。今後も注意深く観察と観測を継続する必要があると考えている。

透明度は九十九湾中央(St. 4)で 4 月に 25 m、5 月に 20m を観測した。1 月から 3 月と 7 月、12 月は 15m を越えた。最も悪いのは 9 月の 7.5m である。台風 21 号が通過し、その影響が残ったためと考えられる。その他の月は 11.5-14.5m の範囲を示し、おおむね良好な結果がえられた。

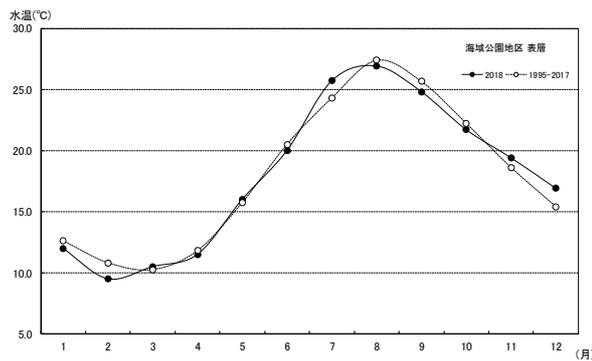


図 8 海域公園地区(St. 1)における表層の水温 ●, 2018 年; ○, 1995-2017 年の平年値(月別平均値)

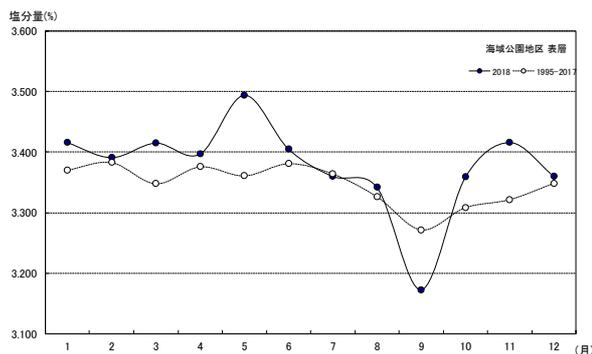


図 9 海域公園地区(St. 1)における表層の塩分量 ●, 2018 年; ○, 1995-2017 年の月別平均値

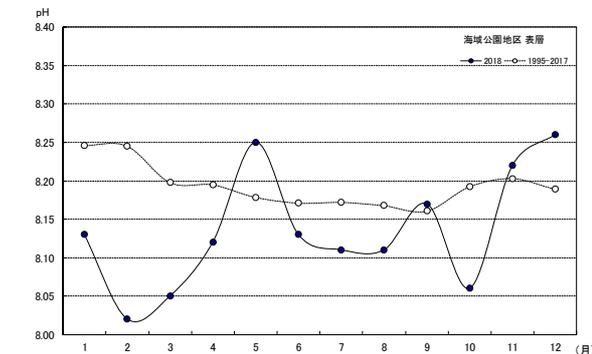


図 10 海域公園地区(St. 1)における表層の pH 値 ●, 2018 年; ○, 1995-2017 年の月別平均値

表 5 2018 年に観測された海域公園地区と九十九湾内における透明度(m) >は透明度が水深以上の意

観測日	定点					
	1	2	3	4	5	6
1 月 16 日	>12.2	>12.1	>12.7	15.5	14.5	17.5
2 月 13 日	>12.8	>11.4	>12.1	16.5	12	15.5
3 月 15 日	>12.0	>12.5	>12.4	18	17	17
4 月 13 日	>11.4	>11.6	>12.6	25	>22.9	>21.5
5 月 15 日	>12.5	>11.8	>12.4	20	14.5	15.5
6 月 16 日	>12.0	>11.1	>12.8	13	12	11
7 月 15 日	>12.6	>11.5	>11.2	15.5	12	15
8 月 17 日	>12.5	11.0	>11.3	14.5	13.5	14
9 月 12 日	8.0	7.5	7.5	7.5	7	7
10 月 17 日	>11.9	>12.7	>13.4	13.5	11.5	13
11 月 15 日	>12.5	>11.3	>11.2	11.5	8.5	8.5
12 月 12 日	>11.4	>11.3	>11.4	19	17.5	18.5

## 「のと海洋ふれあいセンター研究報告」投稿規定

### 1 内容に関すること

日本海域および能登半島周辺の海の自然環境と動植物、そこに暮らす人の生活に関するオリジナルな内容を含む総説・論文・短報・研究情報・標本目録および文献目録等とする。総説・論文・標本目録および文献目録は刷り上がり10ページ以内、その他は2ページ以内とする。

### 2 原稿作成に関すること

和文、英文ともにワードプロセッサ(Windows 対応ソフト、または互換ソフト)で作成したものに限り。

- (1)和文原稿は、引用、固有名詞など特殊な場合を除き、新仮名づかい、当用漢字とする。A-4 版用紙に1行全角35文字(欧文文字は半角70文字)、1ページ25行(約2ページで刷り上がり約1ページに相当)とする。原稿は、表題、著者名、所属、英文要旨(付けなくてもよい)、本文、文献、図表説明の順に配置する。第1頁は、表題、著者名、所属、英文表題、英著者名だけを記す。第2頁は英文要旨だけとし、本文は第3頁(英文要旨のない場合は第2頁)から始める。第1頁から末尾の図表説明まで一連のページ番号を付す。なお、和文原稿の場合でも、句読点(。、)以外の数字と記号(例: ( ) 「 」 ; : . , 等)は半角文字とし、その後に半角スペースを挿入すること。
- (2)英文原稿および英文要旨は、A-4 版用紙にダブルスペースでタイプする。英文原稿の構成は、和文原稿に準ずるが、本文の後に和文要旨を入れる。
- (3)英文要旨は、250語以内とする。第1段目は、英文で著者名、所属、年号、表題、雑誌名を記す。第2段目を内容とし、改行しない。
- (4)英文原稿の和文要旨は、著者名・表題を冒頭に入れ、800字以内とする。
- (5)英文氏名は2文字目以降をスモールキャピトルとし、学名はイタリック体、和名はカタカナ書きとする。本文中での文献の引用は、能登(1960)、能登・加賀(1973)、NOTO(1975)、(NOTO & KAGA, 1989; NOTO et al., 1990)、(能登ら, 1994; 加賀, 1995)のようになる。なお、スモールキャピタル指定は下線2重線で、イタリック指定は下線1重線で、原稿中に記すこと。
- (6)文献は、著者名のアルファベット順に配列し、下記の形式によって記す。雑誌巻番号はゴチックとし、その指定は下線1波線とする。雑誌の場合は著者名(姓前名後)、年号. 表題. 雑誌名, 巻(号): ページ.、単行本の場合は著者名(姓前名後)、年号. 表題. ページ数, 発行所, 発行地.
- (7)図(写真を含む)は、1つずつ別紙に台紙を貼るか、ファイルに挟んでおく。図は、印刷されるときの大サイズの1.5ないし2倍大(長さで)に黒インクを用いて鮮明に描き、そのまま印刷できる完全なものとする。写真も同様の大きさとし、光沢平滑印画紙に焼きつけること。デジタルファイルの場合は、300dpi以上とする。なお、カラー写真は編集委員会が認めたとき以外は、原則として載せない。
- (8)表は、1つずつ別紙に書く。1表の大きさは、原則として1ページに印刷できる限度以下とする。1ページを越える表については、2つ以上に分割する。ただし、編集委員会の判断によって、折り込み表などを認める場合がある。なお、表中の罫線はできる限り省くものとする。

(9)図表の説明は、英文原稿の場合は Fig. 1 または Figure 2、Table 1 とする。和文原稿の場合は和文・英文いずれでもよいが、和文では第 1 図、表 1 等とし、各図表の説明は一括して原稿の末尾に書くとともに、本文中にその図表を置きたいおおよその位置の原稿右欄外に記入すること。なお、和文原稿で図表の説明が英文の場合は、本文でも Fig. 1 とか Table 1 と書く。

### 3 投稿等に関すること

(1)投稿原稿は、2 部(コピーでもよいが、図や写真のうちの 1 部は原図)を下記宛に送付すること。ワードプロセッサで作成した原稿は CD 等(表題と著者名およびワードプロセッサの機種またはソフト名を記入)に TXT スタイルのファイルと併せて保存し、送付すること。この時、手元に同じ内容のファイルを必ず保存しておくこと。

#### (2)投稿先

〒 927-0552 石川県鳳珠郡能登町越坂 3-47  
のと海洋ふれあいセンター普及課 坂井恵一 気付  
「のと海洋ふれあいセンター研究報告」編集事務局

(3)著者による論文等の校正は、原則として 1 回とする。校正は、印刷のミスについてだけ行い、本文や図表の変更はしないこと。

(4)別刷の実費は、著者負担とする。必要部数(10 部単位)は、初校返送の際に表紙右上部に赤字で書くこと。

(5)原稿掲載の採否は編集委員の査読により決定する。また、図表の縮小率、印刷、校正等の最終的な判断は、原則として編集委員会に一任のこと。

(6)「のと海洋ふれあいセンター研究報告」に掲載された図表等の著作権は、のと海洋ふれあいセンターに帰属する。

のと海洋ふれあいセンター研究報告  
第 25 号

令和 2 (2020) 年 3 月 27 日 発行

編集 のと海洋ふれあいセンター研究報告編集事務局  
のと海洋ふれあいセンター

〒927-0552 石川県鳳珠郡能登町字越坂 3-47  
TEL (0768) 74-1919

発行 石川県生活環境部  
〒920-8580 石川県金沢市鞍月 1 丁目 1 番地  
TEL (076) 225-1476

印刷所 田中昭文堂印刷株式会社  
〒920-0377 金沢市打木町東 1448 番地

## Report of the Noto Marine Center, No.25, 2019

### Contents

Shouzo OGISO, Masato HIROSE, Yukimasa HIGASHIDE and Masahiro MATADA

Notes on the two species of the genus *Discradisca* (Brachiopoda, Discinidae) inhabiting the coast of Noto Peninsula, Sea of Japan..... 1

Hiroaki ARAKAWA and Seiji YANAI

Optimal sediment particle size and rearing method for hatched larval Arctic Lamprey (*Lethenteron camtschaticum*) ..... 9

Hiroki MURAYAMA, Shouzo OGISO, Takayuki OKAMURA, Seiji YANAI, Aika SEKIMOTO, Yusuke MARUYAMA, Atsuhiko HATTORI and Nobuo SUZUKI

Ecological studies of Red claw crab *Chiromantes haematocheir* (DE HAAN) inhabiting in Tsukumo Bay, Noto Peninsula..... 19

Takamasa NAKAYAMA and Seiji YANAI

Relationship between larvae released from Red Claw Crab (*Chiromantes haematocheir*) and fishes that feed on them in Tsukumo Bay..... 29

Keiichi SAKAI, Yukimasa HIGASHIDE and Hitoshi KITAICH

Genetic population structure of White-Spotted Charr (*Salvelinus leucomaenis*) from Tedoru River of Mt. Hakusan, Ishikawa Prefecture, inferred from mitochondrial DNA Sequences— I ..... 43

Annual Report of the Noto Marine Center ..... 58

のと海洋ふれあいセンター研究報告  
第 25 号

令和 2 (2020) 年 3 月 27 日 発行

編集 のと海洋ふれあいセンター研究報告編集事務局  
のと海洋ふれあいセンター

〒927-0552 石川県鳳珠郡能登町字越坂 3-47  
TEL (0768) 74-1919

発行 石川県生活環境部  
〒920-8580 石川県金沢市鞍月 1 丁目 1 番地  
TEL (076) 225-1476

印刷所 田中昭文堂印刷株式会社  
〒920-0377 金沢市打木町東 1448 番地

## Report of the Noto Marine Center, No.25, 2019

### Contents

Shouzo OGISO, Masato HIROSE, Yukimasa HIGASHIDE and Masahiro MATADA

Notes on the two species of the genus *Discradisca* (Brachiopoda, Discinidae) inhabiting the coast of Noto Peninsula, Sea of Japan..... 1

Hiroaki ARAKAWA and Seiji YANAI

Optimal sediment particle size and rearing method for hatched larval Arctic Lamprey (*Lethenteron japonicum*) ..... 9

Hiroki MURAYAMA, Shouzo OGISO, Takayuki OKAMURA, Seiji YANAI, Aika SEKIMOTO, Yusuke MARUYAMA, Atsuhiko HATTORI and Nobuo SUZUKI

Ecological studies of Red claw crab *Chiromantes haematocheir* (DE HAAN) inhabiting in Tsukumo Bay, Noto Peninsula..... 19

Takamasa NAKAYAMA and Seiji YANAI

Relationship between larvae released from Red Claw Crab (*Chiromantes haematocheir*) and fishes that feed on them in Tsukumo Bay..... 29

Keiichi SAKAI, Yukimasa HIGASHIDE and Hitoshi KITAICH

Genetic population structure of White-Spotted Charr (*Salvelinus leucomaenis*) from Tedoru River of Mt. Hakusan, Ishikawa Prefecture, inferred from mitochondrial DNA Sequences— I ..... 43

Annual Report of the Noto Marine Center ..... 58