



水産技術

Journal of Fisheries Technology



「水産技術」刊行の趣旨と内容 ～技術の伝承・継続～

独立行政法人 水産総合研究センター
公益社団法人 日本水産学会

「水産技術」は、水産業に役立つ技術開発（手法や装置の開発、改良など）の成果をいち早く伝え、最新技術の活用促進を目的とした技術論文誌です。水産業にはいろいろな技術が係わっているため、本誌は、資源、海洋、増養殖、水産工学、流通加工等、幅広い分野を対象としています。本誌が、水産業に関わる研究者、技術者や実務に携わる専門家等に広く愛読されることにより、最新の技術開発成果が現場にすぐに活用され、新たな技術が生まれ、さらに後世に伝承されていくことが期待されます。

通常の学術論文は、仮説を検証し再現できた事象や新しい事実の発見を取扱います。これに対し水産分野の技術開発は、自然を相手に現場での問題解決に取り組むものであり、効果の実証に時間を要し、論文を書くタイミングを逸してしまうこともありがちです。その結果として、貴重な科学的知見が埋もれてしまうことになります。技術開発は新しい発想に基づくブレイクスルーとその後の改良の積み重ねが基本です。このため本誌では、新しい手法や装置の開発だけでなく、既存の技術の改良に関するものについても積極的に論文として取り上げます。調査航海や実験的研究の結果で、技術開発に結び付く事実の記述も重要であると考えています。

本誌では、投稿された論文のひとつひとつを大切に精査し、読者の観点から、より理解しやすい論文へブラッシュアップすることを通じて、わが国における水産の技術論文のスタイルを確立したいと考えています。このことにより、より多くの水産技術者の足跡が本誌の上に残され、さらに次世代の技術者の育成と水産業の振興につなげて行くことを目指しています。

水産技術（第7巻第2号）

企画・編集委員長

福田 雅明（水産総合研究センター）

企画・編集委員

日野 明德（公益財団法人海洋生物環境研究所）

胡 夫祥（東京海洋大学）

岡田 茂（東京大学）

宮原 一隆（兵庫県立農林水産技術総合センター）

山下 東子（大東文化大学）

堀川 博史（水産総合研究センター開発調査センター）

浦和 茂彦（水産総合研究センター北海道区水産研究所）

薄 浩則（水産総合研究センター北海道区水産研究所）

秋山 秀樹（水産総合研究センター研究推進部）

木村 郁夫（鹿児島大学）

富永 修（福井県立大学）

渡邊 研一（東京農業大学）

森永 健司（水産総合研究センター中央水産研究所）

八吹 圭三（水産総合研究センター北海道区水産研究所）

明田 定満（水産総合研究センター水産工学研究所）

編集幹事

清水 智仁（水産総合研究センター研究推進部）

編集事務局

水産総合研究センター研究推進部

e-mail: fish_tech@ml.affrc.go.jp

http://www.fra.affrc.go.jp/bulletin/fish_tech/index.html

目 次

原著論文

静岡県内浦湾沿岸におけるアオリイカの遊漁実態と釣獲量の推定	中村永介・岡本一利・今吉清文・海野高治	59-68
ブリ幼魚用飼料における魚油精製副産物の利用…	古板博文・杉田 毅・山本剛史・風 直樹・山本浩志	69-74
大型水槽を用いたコウライアカシタビラメの種苗生産試験.....	草加耕司・岩本俊樹・弘奥正憲	75-83

短 報

トラフグ凍結精子の家庭用冷蔵庫での二次保存	細谷 将・水野直樹・城 夕香・藤田真志・鈴木 譲・菊池 潔	85-88
--------------------------------	-------------------------------	-------

技術報告

サケの耳石温度標識パターンを増やすための標識時間の短縮	宮内康行・江田幸玄・平間美信・岡本康孝・大貫 努	89-95
硝酸塩センサーを用いたノリ漁場栄養塩テレメトリーシステムの開発	高木秀蔵・清水泰子・阿保勝之・柏 俊行	97-103

資 料

経年変化から見た夏季三方五湖の水質評価.....	森山 充	105-111
2001 年から 2003 年の有明海奥部および中部海域で採集されたマクロベントス –出現種および主要種の分布–	興石裕一・清本節夫・西 潔・小菅丈治・田中徳子・陶山典子・鈴木健吾	113-138

第 7 巻第 2 号掲載報文要旨		139-140
------------------------	--	---------

CONTENTS

Original articles

- Factual investigation on shore leisure fishing and estimation of the total catch of oval squid *Sepioteuthis lessonia* in Uchiura Bay, Shizuoka Prefecture
Eisuke NAKAMURA, Kazutoshi OKAMOTO, Kiyofumi IMAYOSHI and Takaji UNNO 59-68
- Evaluation of nutritional value of a fish oil by-product in a diet for fingerling yellowtail *Seriola quinqueradiata*
Hirofumi FURUITA, Tsuyoshi SUGITA, Takeshi YAMAMOTO, Naoki KAZE and Hiroshi YAMAMOTO 69-74
- Mass juvenile production of threeline tonguefish *Cynoglossus abbreviatus* in a large culture tank
Koji KUSAKA, Toshiki IWAMOTO and Masanori HIROOKU 75-83

Short papers

- Secondary preservation of cryopreserved torafugu (*Takifugu rubripes*) sperm in a conventional refrigerator
Sho HOSOYA, Naoki MIZUNO, Yuka JO, Masashi FUJITA, Yuzuru SUZUKI and Kiyoshi KIKUCHI 85-88

Technical reports

- Shortening of marking time to increase otolith thermal marking pattern of chum salmon (*Oncorhynchus keta*) released from hatcheries
Yasuyuki MIYAUCHI, Yukiharu GOHDA, Yoshinobu HIRAMA, Yasutaka OKAMOTO and Tsutomu OHNUKI 89-95
- Development of a real time nutrient monitoring system on a Nori (*Pyropia*) farm using an automatic nitrate sensor
Shuzo TAKAGI, Yasuko SHIMIZU, Katsuyuki ABO and Toshiyuki KASHIWA 97-103

Technical Data

- Water quality of Mikata-goko Lakes in summer evaluated by long-term observation
Mitsuru MORIYAMA 105-111
- Macrobenthos in inner and central part of Ariake Sound from 2001 through 2003
- Species composition and distribution -
Yuichi KOSHIISHI, Setuo KIYOMOTO, Kiyoshi NISHI, Takeharu KOSUGE, Noriko TANAKA, Noriko SUYAMA, and Kengo SUZUKI 113-138

Abstracts

..... 139-140

原著論文

静岡県内浦湾沿岸におけるアオリイカの
遊漁実態と釣獲量の推定中村永介^{*1}・岡本一利^{*2}・今吉清文^{*3}・海野高治^{*3}Factual investigation on shore leisure fishing and estimation of the total catch
of oval squid *Sepioteuthis lessonia* in Uchiura Bay, Shizuoka PrefectureEisuke NAKAMURA, Kazutoshi OKAMOTO, Kiyofumi IMAYOSHI
and Takaji UNNO

Identifying the actual situation and estimating total catches for recreational shore fishing are difficult as this type of fishing occurs in a wide range of places, seasons and time periods. For this study, we conducted 147 fact-finding surveys on the recreational fishing of oval squids *Sepioteuthis lessoniana*, an important fishery species in Uchiura Bay, Shizuoka Prefecture, between May 25, 2011, and March 5, 2012. On the basis of the survey results, catches were calculated for different fishing seasons, days of the week, hours of the day, sexes and mantle length classes and the annual catch and weight were also estimated. Of 6,545 recreational anglers surveyed, 97% responded and reported a total catch of 741 oval squids. The annual catch and weight were estimated to be 5,663 fish and 3.2 tons, respectively, indicating that the impact of recreational fishing on the resource is not negligible.

キーワード：アオリイカ, 釣獲実態調査, エギ釣り, ヤエン釣り

2014年3月27日受付 2015年1月8日受理

アオリイカ *Sepioteuthis lessoniana* は、ツツイカ目ジンドウイカ科に属し（奥谷 1973）、北海道南部から南西諸島にかけて日本各地の沿岸域に広く分布する（上田・海野 2013）。本州沿岸域では 7～8 月に孵化して夏から秋にかけて成長し、翌年には成熟する（瀬川 2014）。寿命はおおむね 1 年であるが、成長は早く大型のものは体重 3kg を超える（奥谷 1984）。産卵期には海藻等に房状の卵塊を生みつける習性があり、静岡県伊東市では資源を増やそうと漁業者が産卵礁を設置している（山本 1984）。駿河湾奥に位置する静岡県沼津市の内浦湾内では、4～8 月にかけて主に船びき網漁業（あおりいかしば漬け網）

や小型定置網漁業で漁獲される。2007～2011 年の同地区における漁獲量は年間 2～10 トンであるが、市場において 1,200 円/kg 程度の単価^{*4}で取り引きされ、水産上の重要種となっている。

一方、アオリイカは近年では遊漁によっても釣獲されており、エギングと称される疑似餌釣りは手軽に楽しめる釣りレジャーとして人気が高い（瀬川ら 1984）。特に、首都圏からの交通アクセスの良い静岡県内浦湾沿岸には多くの遊漁者が訪れることから、遊漁による漁獲がアオリイカの資源量や漁業に与える影響は少なくないと考えられる。しかし、漁業情報に比較して定量的な遊漁情報

^{*1} 静岡県水産技術研究所

〒425-0033 静岡県焼津市小川 3690

Shizuoka Prefectural Research Institute of Fishery, 3690 Kogawa, Yaizu, Shizuoka, Japan

eisuke1_nakamura@pref.shizuoka.lg.jp

^{*2} 静岡県水産技術研究所浜名湖分場^{*3} 玉野総合コンサルタント株式会社^{*4} 静岡県経済産業部水産資源課集計

はほとんど見当たらない。

遊漁による釣獲実態の把握手段には、アンケートによる遊漁船の標本調査（北田 1993）が一般的に用いられ、マダイ等では釣獲量が推定されている（柳瀬ら 1996, 山崎ら 2013）。しかし、アンケート調査はアオリイカのように陸から不特定多数の遊漁者によって釣獲されている魚種の調査には適していない。また、陸からの釣りは遊漁船と違い、釣りのできる時間が限られていないため、時間帯の検討も必要である。海面での陸からの釣り遊漁の調査は神奈川県において報告（一色 2010）があるが、特定の魚種に着目し、季節や時間帯等の影響を考慮して釣獲量を推定した事例はない。アオリイカは場所や時期、時間帯によって活性に大きな差があり、漁獲に影響を与える（上田・海野 2013）。釣れる時期には遊漁者が集中するため、これらの要素を考慮した推定法が必要である。

今回、著者らはアオリイカが漁業と遊漁で利用されている静岡県内浦湾沿岸における陸からの遊漁実態を把握することを目的として年間を通した調査を行い、漁獲の時期や時間帯、漁獲物の組成等を明らかにした。さらに、資源量や漁業に及ぼす影響を評価する基礎資料を得る目的で、年間の釣獲個体数および釣獲重量を推定した。なお、同地区にはアオリイカを対象とした遊漁船業者はいないため、陸からの遊漁が主体となる。本論文では陸からの釣りによる遊漁のみを取り扱った。

材料と方法

釣獲実態調査 陸（岸）からアオリイカを主な目的として釣りを行っていた者（遊漁者）を対象に、調査員による聞き取りと目視により釣獲の実態を調べた。平日と休日を区別して調査日毎に釣法（エギ釣り、ヤエン釣り、ウキ釣り）（上田・海野 2013）、釣獲者の居住地区、性別、

年齢層、アオリイカの釣獲時刻、および釣獲されたアオリイカの雌雄別の個体数と外套背長を調べた。なお、雌雄は外套背面の斑紋により目視で判別した（上田・海野 2013, 道津ら 1981）。アオリイカを主な目的として釣りを行っているかどうかは聞き取りし、確認できなかった者については、釣法や釣具の目視から判断した。

陸からの遊漁の調査を行う際には調査場所が広域にわたるため、効率的に全体を把握する必要がある。静岡県内浦湾の沿岸約 20km は自由に立ち入ることのできる場所が限られているため、必然的に遊漁者が集中する 20 地点を調査地点とした（図 1）。また、今回の調査では時間帯による調査結果への影響を極力減らすために 16 時間および 24 時間の調査を行った。調査期間は 2011 年 5 月 25 日から 2012 年 3 月 5 日までとし、午前 4 時から 20 時までの 16 時間、または午前 6 時から翌朝午前 6 時までの 24 時間の調査を計 147 回行った（表 1）。調査は調査員 2 人を 1 班とし、1 班につき 2 地点を担当範囲として、調査時間内に調査地点を 3 回程度巡回した。1 回の調査では 10 地点を調査し、1 つの調査地点で調査の曜日が偏らないように配慮した。

釣獲量の推定 釣獲実態調査により得られた雌雄・月・平日休日・外套背長階級毎の釣獲イカ個体数データを要素とし、釣獲者数・調査時間・調査日数で補正することによって全時間帯における釣獲個体数を推定し、重量換算式により釣獲重量を推定した。要素となる釣獲イカ個体数データは、16 時間調査・24 時間調査に係らず午前 4 時から 20 時までのデータを使用した。

(1) **遊漁者数の補正** 釣獲実態調査では聞き取りによる回答が得られない場合がある。この補正を行うため月別に、聞き取り不能であった遊漁者も、聞き取り可能であつ

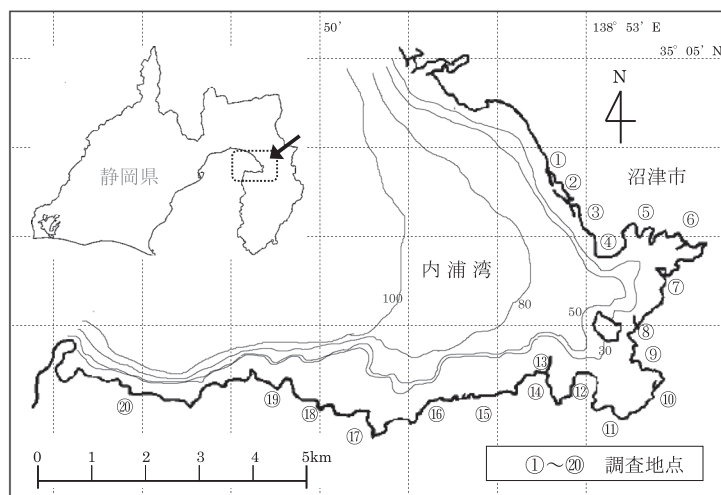


図 1. 調査場所

表 1. 月別・平日休日別・調査時間帯別調査回数(回)

		2011年									2012年			合計
		5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月		
16時間調査	平日	2	8	7	9	5	2	11	7	9	8	2	70	
	休日	0	6	8	6	6	2	8	8	8	8	2	62	
24時間調査	平日	1	3	2	2	0	0	0	0	0	0	0	8	
	休日	1	2	2	2	0	0	0	0	0	0	0	7	
合計		4	19	19	19	11	4	19	15	17	16	4	147	

16時間調査は午前4時から20時までの16時間の値

24時間調査は午前6時から翌朝午前6時までの24時間の値

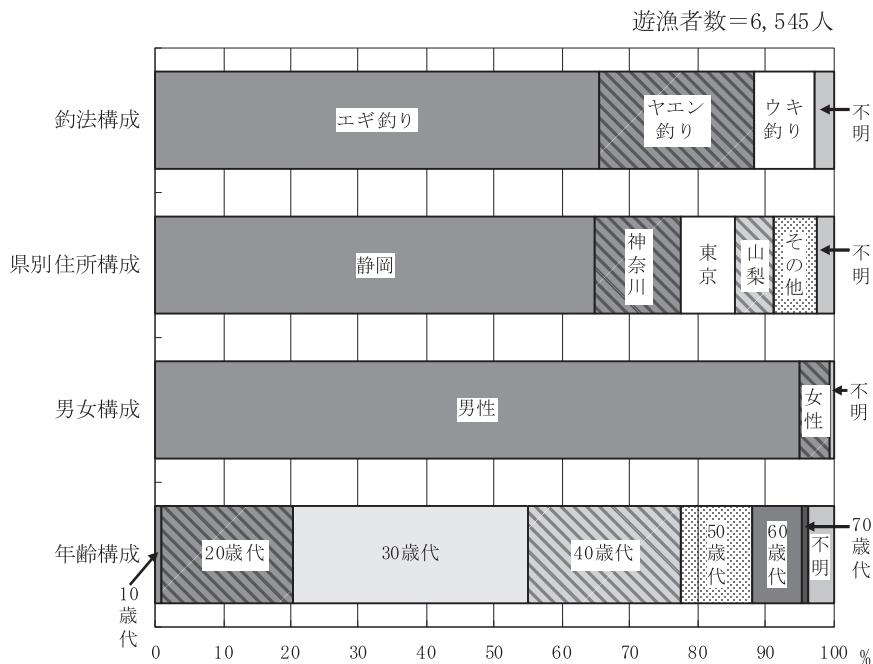


図 2. 遊漁者の釣法, 県別住所, 男女及び年齢の構成

*県別住所構成のその他は, 埼玉, 千葉, 愛知など 14 県

た遊漁者と同程度の釣獲を得ていたものとして係数((聞き取り遊漁者+聞き取り不能遊漁者)/聞き取り遊漁者)を乗じて遊漁者数を補正した。

(2) 調査時間の補正 労力低減のため, 釣獲実態調査は 16 時間調査を基本として行い, 得られたデータを引き伸ばすことで全時間帯での釣獲個体数を推定した。16 時間調査, 24 時間調査に係らず午前 4 時から 20 時までの釣獲個体数に, 係数 (24 時間調査における釣獲個体数のうち 16 時間調査に該当する 4 時から 20 時の間の釣獲個体数/24 時間調査における釣獲個体数) を乗じて補正した。

(3) 調査日数の補正 調査を行わなかった日にも調査を行った日と同程度の釣獲が得られたものとした。1 回の調査では 20 地点のうち半分の 10 地点を調査しているため, 月別の係数 (ひと月あたりの平日 (休日) 日数/ひと月あたりの平日 (休日) 調査日数) を 2 倍することにより期間全体の釣獲個体数を推定した。

(4) 重量換算 釣獲イカを外套背長で 5cm ごとの階級に分け, その中間値 x_i (cm) を用いて, 川合・柳瀬 (1999) の次式の雌雄別外套背長-体重アロメトリー式に基づいて体重 y_i (kg) を算出した。

$$\text{雄: } y_i = 0.2x_i^{2.46} \quad \text{雌: } y_i = 0.1x_i^{2.76}$$

雌雄不明の個体に関しては雌雄の中間値とした。また, 外套背長階級が不明の個体については, 雌雄別に該当月の釣獲個体の平均値とした。

結 果

釣獲実態調査 調査期間中に確認した遊漁者数は 6,545 人, 調べたイカの個体数は 741 個体であった。また, 遊漁者への聞き取りでは 6,381 人 (97%) から回答が得られた。

釣法のうち最も多かったのはエギ釣りで 65% を占め, 次いでヤエン釣りが 23%, ウキ釣りが 9% であった (図 2)。来所者を県別にみると静岡県内からが全体の 64% を占め, 県外では神奈川, 東京, 山梨などの近隣都県か

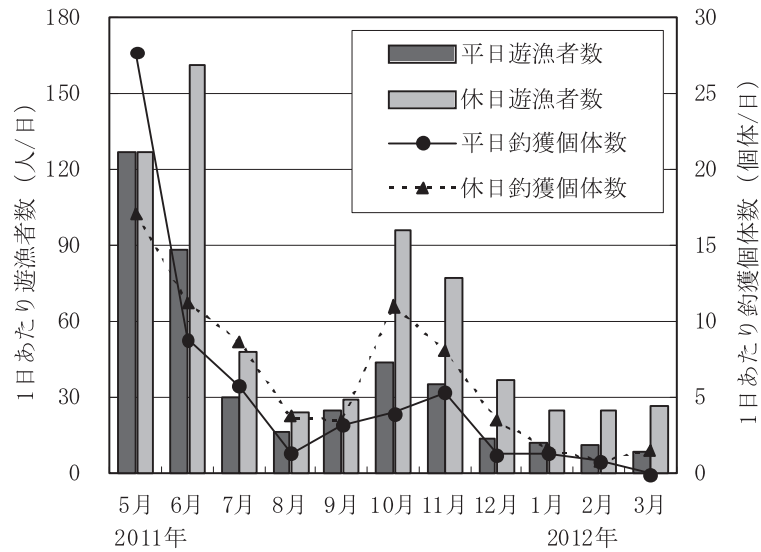


図3. 調査日1日あたりの月別・平日休日別遊漁者数および釣獲個体数

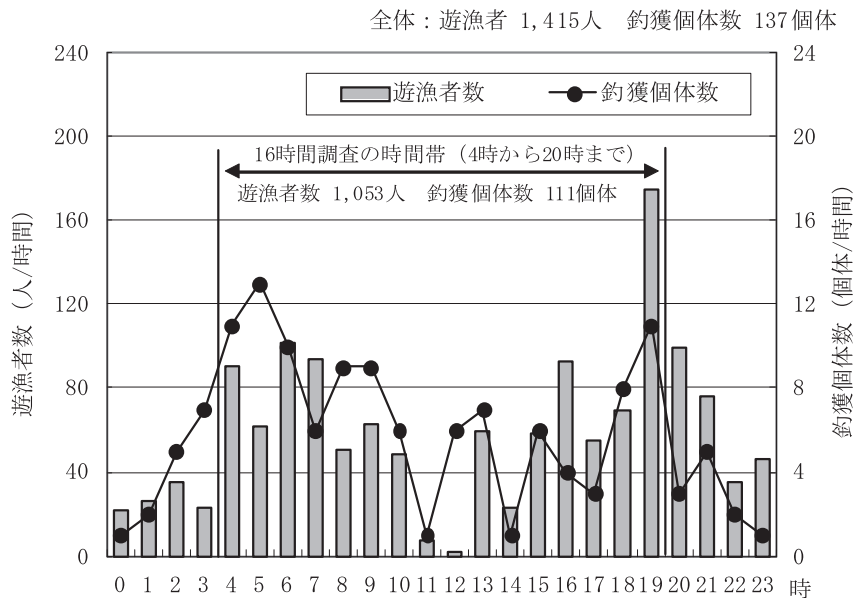


図4. 24時間調査における時間帯別遊漁者数および時間帯別釣獲個体数

らの来所者が27%であった。その他、埼玉、千葉、愛知など14県から来所していた。男女構成では男性が95%で大部分を占めていた。年齢構成では30歳代が35%と最多で、次いで40歳代の22%、20歳代の20%となった。

調査日1日あたりの遊漁者は5、6月が多く、7～9月にかけて大きく減少したが、10月には再び増加した(図3)。その後、緩やかに減少し、1～3月には横ばい傾向を示した。平日と休日の遊漁者数を比較すると、休日の方が多く、6月は平日の1.8倍、10～3月には2.0～3.1倍であった。本海域における1日あたりの全釣獲個体数は5月が最も多く、平日が28個体/日、休日が17個体

/日であった。また、平日と休日の釣獲個体数を比較すると、5月を除いて休日の方が平日よりも多くの釣獲があった。

24時間調査における時間帯別遊漁者数が80人/時間以上と多かったのは、朝の4、6、7時と夕方の16、19、20時で、最も多かったのは19時であった(図4)。時間あたりの釣獲個体数をみると、8個体/時間以上の釣果があったのは、朝の4～6時と8、9時、夕方の18、19時であった。16時間調査の時間帯に該当する4時から20時までの遊漁者数は1,053人で24時間調査全体の74%であり、釣獲個体数では111個体で全体の81%であった。

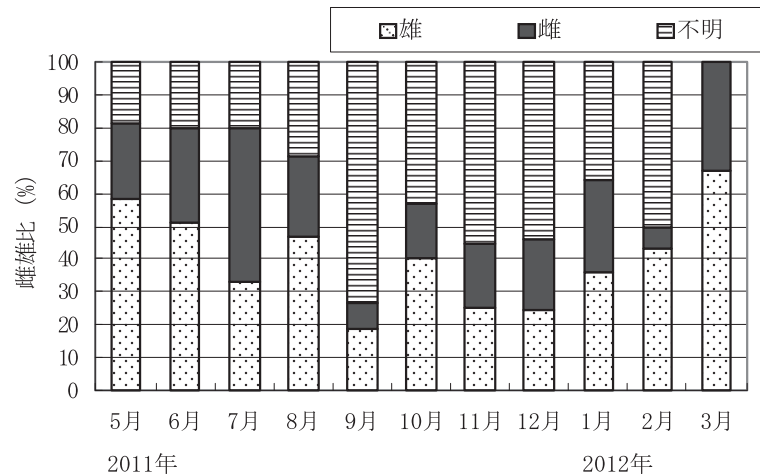


図 5. 釣獲イカの月別雌雄比

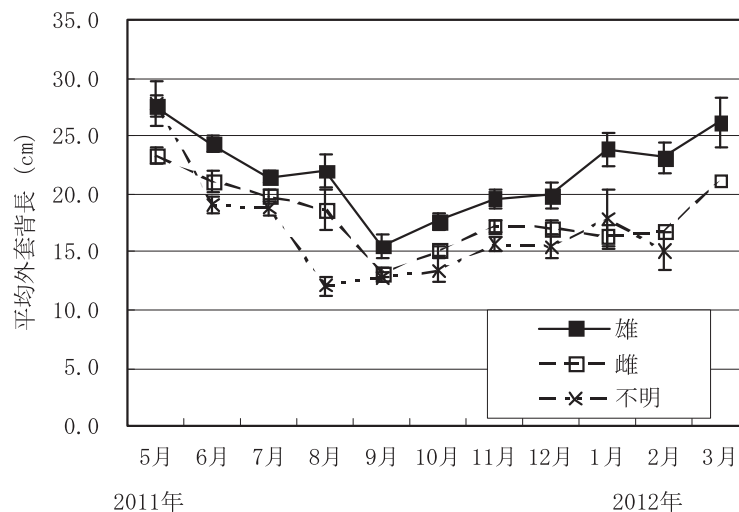


図 6. 釣獲イカの月別・雌雄別平均外套背長（平均値±標準偏差）の推移

釣獲されたイカの月別雌雄比をみると、雄は5月と3月に多く出現した（図5）。雌雄不明個体は5～7月には20%程度であったが、9～2月に割合が増加した。全期間を通して雄が40%、雌は27%、雌雄不明個体は33%であった。釣獲されたイカの月別・雌雄別平均外套背長は5月に最大となり、6月以降次第に小型化し、9月に期間中最小となったが、その後は徐々に大きくなった（図6）。全期間を通して雄が雌より大きく、不明が最も小さかった。

釣獲量の推定 午前4時から20時までの釣獲実態調査より得られた月・平日休日・雌雄・外套背長階級別の釣獲個体数は合計720個体（表2）、月別・平日休日別の遊漁者数は6,163人であった（表3）。雌雄・月・外套背長階級別に推定した5月から翌年3月までの釣獲個体数は合計4,739個体、釣獲重量は合計2,439kgとなった（表4）。今回は4月に調査を行うことができなかったため、4月の釣獲を5月と3月の中間値として算出したところ、

4月の釣獲個体数は雄512個体、雌204個体、不明208個体の924個体となり、年間の合計は5,663個体となった。同様に4月の釣獲重量は、雄391kg、雌122kg、不明220kgの合計733kgで、年間の合計は3,172kgとなった（図7）。個体数、重量ともに5月が最も多く、5月と10月を中心とする2つのピークが出現した。特に5月～7月の推定釣獲個体数は全期間の53%、推定釣獲重量は63%を占め、釣獲が集中していた。

考 察

アオリイカの釣獲実態 一般に陸からのアオリイカ釣りには手軽なエギ釣り、高度な技術と経験を必要とするヤエン釣り、活き餌を必要とするウキ釣りがあり、中でもエギ釣りが最も人気がある（上田・海野2013）。内浦湾沿岸においても同様に餌の調達が必要で、手軽に釣行できるエギ釣りの人気が高かった（図2）。また、高尚で熟練が必要とされるヤエン釣りも23%を占めることが

表 2. 月別・平日休日別・雌雄別・外套背長階級別釣獲個体数

雌雄	調査年月	平日 休日 区分	外套背長階級 (単位: cm) ことの月別釣獲個体数 (個体)								不明	合計
			～10	10 ～15	15 ～20	20 ～25	25 ～30	30 ～35	35 ～40	40 ～		
雄	2011年	5月 平日	0	0	11	13	11	6	5	5	0	51
		5月 休日	0	0	0	3	1	1	1	0	0	6
		6月 平日	0	2	7	22	9	3	2	3	0	48
		6月 休日	0	3	10	14	7	3	0	0	0	37
		7月 平日	0	0	6	3	3	0	0	0	3	15
		7月 休日	0	1	12	12	3	2	0	0	0	30
		8月 平日	0	0	2	3	4	1	0	0	0	10
		8月 休日	1	2	3	3	1	1	0	0	0	11
		9月 平日	0	2	2	0	0	0	0	0	0	4
		9月 休日	0	2	0	1	0	0	0	0	0	3
		10月 平日	0	0	3	1	0	0	0	0	0	4
		10月 休日	0	2	5	1	0	0	0	0	0	8
	2012年	11月 平日	1	1	7	1	3	0	0	0	0	13
		11月 休日	1	2	5	9	1	0	0	0	0	18
		12月 平日	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
		12月 休日	0	1	2	5	0	0	0	0	0	8
		1月 平日	0	0	1	0	2	0	0	0	0	3
		1月 休日	0	0	1	3	1	1	0	0	0	6
		2月 平日	0	0	1	2	0	0	0	0	0	3
		2月 休日	0	0	0	2	1	0	0	0	0	3
		3月 平日	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		3月 休日	0	0	0	1	1	0	0	0	0	2
		小計	3	18	78	100	48	18	8	8	3	284
雌	2011年	5月 平日	0	0	5	9	7	0	0	0	0	21
		5月 休日	0	0	0	2	0	0	0	0	0	2
		6月 平日	0	3	10	5	1	0	1	0	0	20
		6月 休日	0	3	10	8	2	0	1	1	1	26
		7月 平日	0	3	13	6	0	0	0	0	0	22
		7月 休日	1	1	17	19	4	1	0	0	0	43
		8月 平日	0	0	2	0	1	0	0	0	0	3
		8月 休日	0	4	1	2	1	0	0	0	0	8
		9月 平日	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
		9月 休日	0	2	0	0	0	0	0	0	0	2
		10月 平日	0	1	1	0	0	0	0	0	0	2
		10月 休日	0	1	2	0	0	0	0	0	0	3
	2012年	11月 平日	0	2	5	2	0	0	0	0	0	9
		11月 休日	0	3	9	3	0	0	0	0	0	15
		12月 平日	0	0	1	0	0	0	0	0	1	2
		12月 休日	0	1	5	0	0	0	0	0	0	6
		1月 平日	0	0	3	0	0	0	0	0	0	3
		1月 休日	0	2	2	0	0	0	0	0	0	4
		2月 平日	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
		2月 休日	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		3月 平日	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		3月 休日	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
		小計	1	27	87	57	16	1	2	1	2	194
不明	2011年	5月 平日	1	0	0	3	3	1	1	0	0	9
		5月 休日	0	0	3	0	1	0	5	0	0	9
		6月 平日	0	3	9	3	1	0	0	0	0	16
		6月 休日	2	3	7	6	3	0	0	0	1	22
		7月 平日	0	0	8	2	3	0	0	0	2	15
		7月 休日	1	2	5	2	0	0	0	0	3	13
		8月 平日	2	0	0	0	0	0	0	0	0	2
		8月 休日	1	1	0	1	0	0	0	0	8	11
		9月 平日	5	5	0	0	1	0	0	0	0	11
		9月 休日	0	7	2	0	0	0	0	0	7	16
		10月 平日	1	0	1	0	0	0	0	0	0	2
		10月 休日	4	3	4	0	0	0	0	0	0	11
	2012年	11月 平日	1	16	15	4	1	0	0	0	0	37
		11月 休日	6	10	14	0	2	0	0	0	0	32
		12月 平日	0	2	1	2	0	0	0	0	1	6
		12月 休日	3	7	2	1	1	0	0	0	0	14
		1月 平日	2	0	0	3	0	1	0	0	0	6
		1月 休日	1	0	2	0	0	0	0	0	0	3
		2月 平日	0	0	2	1	0	0	0	0	0	3
		2月 休日	2	1	1	0	0	0	0	0	0	4
		3月 平日	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		3月 休日	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		小計	32	60	76	28	16	2	6	0	22	242
		合計	36	105	241	185	80	21	16	9	27	720

釣獲個体数は16時間調査および24時間調査における4時から20時までの値

表3. 月別・平日休日別の遊漁者数・調査時間・調査日数の補正係数

年	月	平日 休日 区分	遊漁者数			調査時間		調査日数	
			聞き取り 人数 (人)	聞き取り 不能人数 (人)	補正係数	補正係数	調査日数 (日)	ひと月の 平日(休日) 日数 (日)	補正係数
2011年	5月	平日	332	10	1.03	1.23	3	19	12.7
		休日	94	2	1.02	1.23	1	12	24.0
	6月	平日	807	47	1.06	1.23	11	22	4.0
		休日	1,116	22	1.02	1.23	8	8	2.0
	7月	平日	255	4	1.02	1.23	9	20	4.4
		休日	461	7	1.02	1.23	10	11	2.2
	8月	平日	168	4	1.02	1.23	11	23	4.2
		休日	180	5	1.03	1.23	8	8	2.0
	9月	平日	124	0	1.00	1.23	5	20	8.0
		休日	166	7	1.04	1.23	6	10	3.3
	10月	平日	86	2	1.02	1.23	2	20	20.0
		休日	187	5	1.03	1.23	2	11	11.0
2012年	11月	平日	381	6	1.02	1.23	11	20	3.6
		休日	598	19	1.03	1.23	8	10	2.5
	12月	平日	96	0	1.00	1.23	7	21	6.0
		休日	297	1	1.00	1.23	8	10	2.5
	1月	平日	112	0	1.00	1.23	9	21	4.7
		休日	195	3	1.02	1.23	8	10	2.5
	2月	平日	91	0	1.00	1.23	8	21	5.3
		休日	201	2	1.01	1.23	8	8	2.0
	3月	平日	17	0	1.00	1.23	2	22	22.0
		休日	50	3	1.06	1.23	2	9	9.0
合計			6,014	149			147	336	

遊漁者数は16時間調査および24時間調査における4時から20時までの値

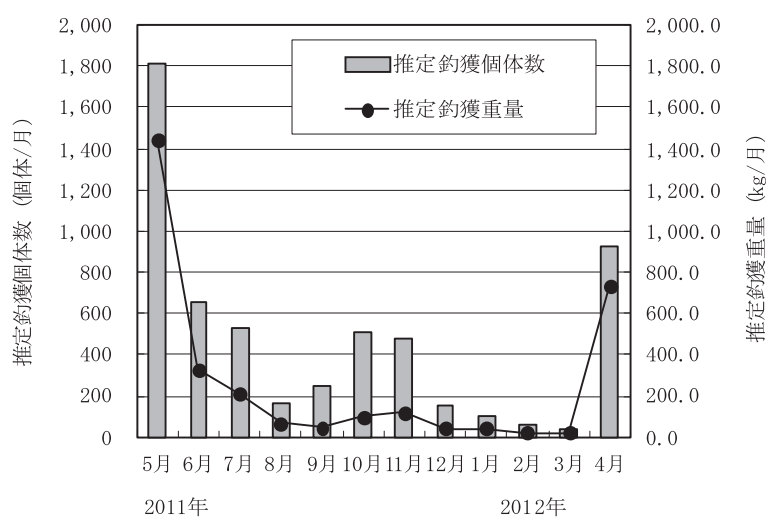


図7. 推定釣獲個体数・推定釣獲重量の月別推移

ら、リピーターの割合が多いと考えられる。生き餌を使い釣果が上がりやすいウキ釣りは9%で3釣法の中で最も少なかった。これは、餌調達の手間やエギやヤエンに比べて面白さが少ないことが影響しているのかもしれない。また、年齢構成を見ると、10、70歳代は少ないものの、幅広い年齢層がアオリイカ釣りを行っていた。若年齢層に受け入れられやすいエギ釣りと経験を要するヤエ

ン釣りのように、同じアオリイカを狙った釣法でも、異なる趣向があるものと考えられる。

アオリイカは黒潮の影響を受ける日本の太平洋岸では周年漁獲され、主に10～12月には若イカが、4～7月には成熟した親イカが漁獲される(上田・海野2013)。内浦湾においてもほぼ周年釣獲がみられ、5～7月の産卵群が最も多く釣獲され、次いで10～12月に若イカが

表 4. 月別・雄雌別・外套背長階級別推定釣獲個体数および推定釣獲重量

雌雄	外套背 長階級 (cm)	月別釣獲個体数 (個体)												月別釣獲重量 (kg)												合計
		2011年						2012年						2011年						2012年						
		5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	合計	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	合計	
雄	～10	0	0	0	3	0	0	8	0	0	0	0	11	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	
	10～15	0	18	3	5	29	28	11	3	0	0	0	97	0.0	1.8	0.3	0.5	2.9	2.8	1.1	0.3	0.0	0.0	0.0	9.7	
	15～20	177	61	66	19	20	145	48	6	9	6	0	557	40.5	14.0	15.1	4.4	4.6	33.2	11.0	1.4	2.1	1.4	0.0	127.7	
	20～25	299	150	50	24	4	39	34	22	9	18	12	661	126.8	63.6	21.2	10.2	1.7	16.5	14.4	9.3	3.8	7.6	5.1	280.2	
	25～30	207	65	25	24	0	0	17	0	14	2	12	366	143.9	45.2	17.4	16.7	0.0	0.0	11.8	0.0	9.7	1.4	8.3	254.4	
	30～35	126	24	5	8	0	0	0	0	3	0	0	166	132.0	25.2	5.2	8.4	0.0	0.0	0.0	0.0	3.1	0.0	0.0	173.9	
	35～40	110	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	120	163.9	14.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	178.8	
	40～	80	16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	96	162.2	32.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	194.6	
	不明	0	0	17	0	0	0	0	0	0	0	0	17	0.0	0.0	10.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.0	
	合計	999	344	166	83	53	212	118	31	35	26	24	2,091	769.3	197.1	69.2	40.3	9.2	52.5	38.5	11.0	18.7	10.4	13.4	1,229.6	
	～10	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	
雌	10～15	0	24	20	10	19	39	19	3	6	0	0	140	0.0	2.6	2.1	1.1	2.0	4.2	2.0	0.3	0.6	0.0	0.0	14.9	
	15～20	80	77	119	14	0	53	52	22	23	6	0	446	21.6	20.8	32.1	3.8	0.0	14.3	14.0	5.9	6.2	1.6	0.0	120.3	
	20～25	204	46	85	5	0	0	19	0	0	0	12	371	110.2	24.8	45.9	2.7	0.0	0.0	10.3	0.0	0.0	0.0	6.5	200.4	
	25～30	112	10	11	8	0	0	0	0	0	0	0	141	105.2	9.4	10.3	7.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	132.4	
	30～35	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0.0	0.0	4.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.5		
	35～40	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	0.0	17.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	17.7		
	40～	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0.0	9.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9.4		
	不明	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0.0	1.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.1	0.0	0.0	4.4		
	合計	396	171	241	37	19	92	90	32	29	6	12	1,125	237.0	86.0	95.0	15.1	2.0	18.5	26.3	9.3	6.8	1.6	6.5	504.1	
	～10	16	5	3	14	49	81	24	9	14	5	0	220	0.4	0.1	0.1	0.4	1.3	2.2	0.6	0.2	0.4	0.1	0.0	5.8	
	10～15	0	24	5	3	79	42	105	37	0	2	0	297	0.0	2.5	0.5	0.3	8.1	4.3	10.8	3.8	0.0	0.2	0.0	30.5	
不明	15～20	90	65	58	0	9	81	112	13	6	15	0	449	22.4	16.2	14.4	0.0	2.2	20.2	27.9	3.2	1.5	3.7	0.0	111.7	
	20～25	48	31	16	3	0	0	18	18	17	6	0	157	23.1	14.9	7.7	1.4	0.0	0.0	8.7	8.7	8.2	2.9	0.0	75.6	
	25～30	78	13	17	0	10	0	11	3	0	0	0	132	63.7	10.6	13.9	0.0	8.2	0.0	9.0	2.5	0.0	0.0	107.9		
	30～35	16	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	22	20.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.6	0.0	27.9		
	35～40	167	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	167	309.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	309.0		
	40～	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		
	不明	0	3	19	20	30	0	0	7	0	0	0	79	0.0	1.4	8.8	9.3	13.9	0.0	0.0	3.2	0.0	0.0	0.0	36.6	
	合計	415	141	118	40	177	204	270	87	43	28	0	1,523	438.9	45.7	45.4	11.4	33.7	26.7	57.0	21.6	17.7	6.9	0.0	705.0	
	合計	1,810	656	525	160	249	508	478	150	107	60	36	4,739	1,445.2	328.8	209.6	66.8	44.9	97.7	121.8	41.9	43.2	18.9	19.9	2,438.7	

まとまって釣獲されていることが確認できた（図 6, 7）。アオリイカは 4～9 月に渡って多回産卵後に死亡することから（上田・海野 2013）、本研究の内浦湾においても親イカ資源の減少が、7, 8 月の 1 日あたりの釣獲個体数の減少に関連しているものと考えられた。また、水温が 15℃ 以下に低下するとアオリイカの摂餌活性は低下し、漁獲が減少することが報告されている（上田・海野 2013）。内浦湾においても水温が 15℃ 以下となる 1～3 月期には釣獲個体数は減少しており、ほぼ同様の傾向が見られた。

1 日あたり全釣獲個体数と全遊漁者数との関係を見ると、どちらも多い月と少ない月に大きな開きがあった（図 3）。1 日あたり 5 個体以上の釣獲があったのは、5～7, 11 月の平日休日および 10 月の休日であり、該当月の全遊漁者数はいずれも 1 日あたり 30 人以上とほぼ同調した。このように、遊漁者数は、資源豊度が高く釣獲の可能性が高い時期に集中する傾向があり、今後、遊漁者を対象とした資源保護活動や普及啓発を実践していく場合には、これらの時期またはその直前が望ましいと考えられる。

1 日あたり遊漁者数では、全ての調査月において平日に比べて休日の遊漁者が多く、遊漁者が休日を選んで釣行していると考えられる。なお、平日は本格的な遊漁者が中心なのに対し、休日にはビギナーや家族連れなど、より様々な愛好者が参加すると思われるので、見かけ上の 1 日あたりの釣獲個体数が小さく見積もられている可能性がある。

アオリイカの摂餌活性は日没後の時間帯が高いとされており（Munekiyo and Kawagishi 1993）、徳島県沿岸域ではアオリイカ釣漁業は朝夕および夜間に操業されている（上田 2000）。これに加え、アオリイカの漁獲には月周期性が存在することが知られている（上田・金田 1998）。漁業者は主に半月から満月の月夜にエギでアオリイカを釣獲し、アオリイカは月夜に多く定置網に入網する（Munekiyo and Kawagishi 1993, 上田・金田 1998）。また、闇夜であっても朝夕の薄明時にはエギで釣獲される。このように、アオリイカは一定の明度を好んで摂餌行動を起こす（上田・海野 2013）。本研究においても朝の 4～7 時と夕方の 16～21 時にまとまって釣獲されていることはこれらの知見と一致したが、22～3 時に釣獲個体数が減少することや、8～10 時、13～15 時にもまとまって漁獲されることも確認された（図 4）。さらに日中の 12 時頃のような釣獲者のほとんどいない時間帯でも一定の釣獲があることも判明した。22～3 時の釣果の減少については、遊漁者数も減少していることから、遊漁者が深夜の時間帯を避けている可能性もある。また、昼間の釣果については活き餌を用いるヤエン釣りやウキ釣りでは昼間でも釣れることが関係している可能性がある。今後は季節毎に、漁法別に釣果を詳細に解析する必要がある。

アオリイカは 9～10 月から徐々に漁獲加入し、雄の成長速度は雌より大きい（上田 2000）。また、釣りでは大型個体を選択的に漁獲する傾向がある（Tokai and Ueda, 1999）。本研究では全般に雄の割合が高く、特に 3, 5, 6 月は 50% を超えていた（図 5）。この理由としては、釣り漁具の選択性により、早く成長した雄が先に漁獲されたためと考えられる。また、9 月は性不明個体が 73% と最も多いが、外套背側の斑紋から雌雄の判別が難しい小型個体（道津ら 1981）の割合が多くなるためと考えられる。

25cm を超える個体の大部分は 5～8 月に釣獲されており、さらに 35cm を超える大型個体はいずれの性別においても 5, 6 月にのみ出現している（表 2）。また、平均外套背長の経月変化をみると、5～9 月にかけて低下している（図 6）。これは早生まれの大型群と遅生まれの小型群があるため（上田 2000, 上田・城 1989）、大型個体から順に交接・産卵後死亡するためと考えられる。また、9～3 月にかけて平均外套背長が大きくなるのは夏期に加入した個体が徐々に成長し、釣獲されていたためと考えられる。幼イカの漁獲加入時期は、静岡県伊東市（川合・柳瀬 1999, 川合 2000）、千葉県小湊で 8 月（Segawa 1987）、若狭湾西部で 8 月下旬（内野 1987）、徳島県海域では 7～10 月（上田 2000）、佐賀県玄海域で 9 月（異儀田 1991）と報告があり、静岡県内浦湾においてもほぼ同時期と考えられる。また、アオリイカは雌雄ともに孵化後 6 ヶ月間の成長速度が大きく、水温の低下する冬期の成長は停滞する（上田 2000）。15cm 以下の小型個体はほぼ周年にわたって釣獲があることから、本調査海域においても産卵期が長期にわたること、冬期に成長が停滞していると推測できる。

以上から、本研究で対象とした内浦湾における遊漁での釣獲実態は、同海域や周辺海域に生息するアオリイカの生活史や生態を反映しているものと考えられた。

遊漁による釣獲量と資源に与える影響 静岡県内浦湾沿岸におけるアオリイカの年間釣獲個体数は合計 5,663 個体、釣獲重量は合計 3.2 トンと推定された。同地区におけるアオリイカの漁獲量は年間 2 トンから 10 トン程度であり、アオリイカが年変動の大きい資源であることを考慮しても、遊漁による釣獲が資源に与える影響は小さいと思われる。調査を行わなかった 4 月は釣獲の多い 5 月と少ない 3 月の中間値として算出しており、実際に調査を実施した 5 月～翌 3 月の合計に対する 4 月の占める割合は個体数で 19%、重量で 30% とかなり多くの割合を占めている。1～3 月はアオリイカの活性が低下する低水温期であること、4 月の同地区の海水温は 15.0～19.8℃ であることから、4 月はアオリイカの釣果が大きく増えるものと推測される。また、同地区で行われている船びき網は、アオリイカの産卵礁となるようなしほを海中に設置し、そこに集まってきたイカを漁獲する漁

法である。漁業の期間は4～8月であり、今回調査で得られた4～7月のピークとはほぼ同調していることから、この時期にアオリイカが沿岸域に來遊していることがうかがえる。

4～7月と10、11月を中心とする推定釣獲個体数の2つのピークと、推定釣獲重量の推移から、4～7月には親イカが、10、11月には夏季に発生した若いイカが主体に釣獲されていたことがわかった(図7)。また、推定された年間釣獲個体数は、雄が雌の2.0倍となった。釣り漁具が大型の雄個体を選択的に漁獲していることも要因の一つと思われるが、アオリイカの性比は1対1と報告されており(上田・城1989)、性別不明の個体が全個体のうち30%を占めていて雌は雄より小型であること、小型個体に性別不明が多いことから、本調査における性別不明の小型個体には雌が多く含まれているものと考えられる。

今回、年間の推定釣獲個体数および釣獲重量を算出するにあたり、月別・平日休日別・雌雄別・外套背長別の釣獲個体数データに対し、個別に調査から得られた遊漁者数、調査時間および調査日数の補正を行った(表3)。釣りは遊漁者の熟練度によって釣果に大きな差がでるため、全遊漁者数に対する聞き取り人数は釣獲量の推定に大きな影響を及ぼすと考えられる。確認した遊漁者数のうち97%から聞き取りできていたことから、補正係数は年間を通して1.00～1.06と安定しており、推定値の精度は高いと考えられる。調査時間の補正係数は、24時間調査が5～8月の温暖期のみであったため、年間を通して一定の1.23とした。冬期の夜間のように釣行に厳しい条件の月と差がある可能性はあるが、9～3月にかけて夜間の遊漁者が補正係数に大きな影響を与えるほど急増または急減することは考えにくい。調査日数の補正係数は、5、10、3月は調査日数が少なかったため9.0～24.0となり、その他の月と比べて大きな値となった。3月は釣獲自体がほとんどなかったため推定値への影響は少ないが、釣獲の多い5、10月は推定値に与える影響も大きかった。今後は、釣獲の多い時期は調査回数を増やす等の対応が必要と思われる。

陸からの遊漁は道具があればいつでも誰でも楽しむことができる。特にエギ釣りは餌を必要としないため、スズキやオオクチバスのルアー釣りと同様に気軽に釣行ができる。このため、その実態や釣獲量を把握することは難しい。このため、本研究では147回の調査を行い、遊漁者数、調査時間および調査日数の補正を行い、初めて陸からの釣りによるアオリイカの遊漁実態を詳細に把握し、より精度の高い釣獲量を推定した。今回の調査を通じて遊漁によって漁業に匹敵する量のアオリイカが釣獲されており、秋季には小型個体が多く釣獲されていることなどが判明した。同地区では資源保護の取り組みとして15cm以下の個体のリリースを啓発する看板が設置されているが、外套背長18cm以下の個体の放流効果を試

算すると着実に経済効果があがると示されている徳島県の事例もある。今後は、これらのデータを基に漁業者のみならず遊漁者にも協力を要請することで、地域の資源を有効に利用していく方法を関係者で考えていく必要がある。

文 献

- 道津貴衛・島尾 優・夏莉 豊(1981)五島列島におけるアオリイカの生態と漁業. 五島の生物. 長崎県生物学会, 457-465.
- 異儀田和弘(1991)佐賀県玄海域におけるアオリイカ漁業と生態について. イカ類資源海峡検討会議研究報告, 92-93.
- 一色竜也(2010)神奈川県における陸釣り遊漁釣獲量の推定. 神奈川水技セ研報, 4, 15-20.
- 川合範明・柳瀬良介(1999)静岡県伊東市地先におけるアオリイカの産卵生態に関する知見. 静岡水試研報, 34, 1-5.
- 川合範明(2000)伊東市川奈地先定置網におけるアオリイカの漁獲特性. 静岡水試研報, 35, 7-8.
- 北田修一(1993)遊漁船の標本調査による遊漁釣獲量の推定方法. 日水誌, 59, 75-78.
- Munekiyo, M. and M. Kawagishi (1993) Diurnal behaviors of the oval squid, *Sepioteuthis lessoniana*, and Fishing strategy of small-sized set net (Preliminary Report). Recent Advances in Fisheries Biology. Tokai University Press, 283-291pp.
- 奥谷喬司(1984)アオリイカの生活史. 栽培技研, 13, 69-75.
- 奥谷喬司(1973)日本近海産十腕形頭足類(イカ類)分布・同定の手引. 東海水研報, 74, 83-111.
- 瀬川 進(2014)アオリイカの生物学と漁業技術の進歩, 胚発生と生活史. 日水誌, 80, 243.
- Segawa, S (1987) Life history of the oval squid *Sepioteuthis lessoniana* in Kominato and adjacent waters central Honshu, Japan. J. Tokyo Univ. Fish., 74, 67-105.
- 瀬川 進・池田 譲・海野徹也・上田幸男(2014)アオリイカの生物学と漁業技術の進歩. 日水誌, 80, 241.
- Tokai, T. and Y. Ueta (1999) Estimation of size selectivity for oval squid *Sepioteuthis lessoniana* in the squid jigging fishery of Tokushima Prefecture. Fish Sci., 65, 448-454.
- 内野 憲(1978)若狭湾西部海域アオリイカの成熟・産卵・成長. 京都府海洋研究センター研究報告, 2, 101-108.
- 上田幸男(2000)徳島県産アオリイカの資源生物学的研究. 徳島水研報, 1, 1-80.
- 上田幸男・海野徹也(2013)アオリイカの秘密にせまる. 成山堂書店, 東京都, 210pp.
- 上田幸男・金田佳久(1998)アンケート調査からみたアオリイカ釣の漁業実態とその検証. 南西外海の資源海洋研究, 14, 33-43.
- 上田幸男・城 泰彦(1989)紀伊水道外域産アオリイカの生態学知見. 日水誌, 55, 1669-1702.
- 山本浩一(1984)アオリイカの増・繁殖技術開発. 栽培技研, 13, 77-79.
- 山崎 淳・辻 秀二・濱中雄一(2013)京都府沿岸域における遊漁船による釣獲量推定. 京都海セ研報, 31, 25-46.
- 柳瀬良介・阿井敬雄・岩ヶ谷寿保(1996)静岡県における遊漁船の操業実態. 静岡水試研報, 31, 7-14.

原著論文

ブリ幼魚用飼料における魚油精製副産物の利用

古板博文^{*1}・杉田 毅^{*2}・山本剛史^{*3}・風 直樹^{*4}・山本浩志^{*4}Evaluation of nutritional value of a fish oil by-product in a diet for fingerling yellowtail *Seriola quinqueradiata*Hirofumi FURUITA, Tsuyoshi SUGITA, Takeshi YAMAMOTO,
Naoki KAZE and Hiroshi YAMAMOTO

A 50-day feeding experiment was conducted to evaluate the nutritional value of a fish oil by-product rich in phospholipids, obtained from tuna and bonito processing residue, in low-fish-oil diet (LFO) for yellowtail. Control diet contained fish oil as the sole lipid source (HFO). Fish oil content of HFO was reduced to one-third and substituted by soybean oil to prepare LFO. Fish oil content of LFO diet was replaced with fish oil by-product and squid liver oil to prepare fish oil by-product diet (FOB). As fish oil by-product contained less n-3 highly unsaturated fatty acids (HUFA) than fish oil, squid liver oil was added to satisfy the n-3 HUFA requirement. After the feeding experiment, final body weight, weight gain and specific growth rate of fish fed FOB were comparable to those for fish fed HFO, and higher than for those fed LFO. Feed efficiency showed a similar trend to fish growth. n-3 HUFA levels in liver of fish fed HFO were significantly higher than for those fed LFO and FOB, and were similar between fish fed LFO and FOB. These results suggest that the inclusion of fish oil by-product in a low-fish-oil diet improves growth and feed performance in yellowtail fingerlings.

キーワード：魚油精製副産物, n-3HUFA, 低魚油飼料, ガム質

2014年4月10日受付 2015年1月8日受理

世界的な養殖生産量の増加にともない養魚飼料の主原料である魚粉や魚油の需要が増加しているが、魚粉や魚油の生産量は頭打ちとなっているため、それらの価格が高騰している (Tacon *et al.* 2008, Turchini *et al.* 2009)。今後も養殖生産量は増加していくと予測されており (Tacon *et al.* 2008)、魚粉および魚油の代替原料の開発が急務である。ブリ *Seriola quinqueradiata* は国内における養殖生産量が最も多く、魚粉代替タンパク質の検討は数多くなされているが、魚油代替油脂の検討はわずかである (Watanabe 2002)。多くの魚種で魚油代替油脂として利

用される大豆油やパーム油等は、海産魚の必須脂肪酸 (EFA) である n-3 高度不飽和酸 (n-3HUFA) を含まないため海産魚において魚油の全てを代替することは困難であり (Tocher 2003)、ブリではパーム油、牛脂およびその混合物により魚油の 50% の代替が可能であることが報告されている (Watanabe 2002)。

養魚飼料に配合されている魚油はトリグリセライドが主成分で、n-3HUFA はトリグリセライド型である。しかし、仔魚に対する n-3HUFA 給源としては、トリグリセライド型よりもリン脂質と結合したもの (海洋性リン

^{*1} 独立行政法人水産総合研究センター増養殖研究所南勢庁舎
〒516-0193 三重県度会郡南伊勢町中津浜浦 422-1

Nansei Laboratory, National Research Institute of Aquaculture, FRA, 422-1 Nakatsuhamaura, Minami-ise, Watarai, Mie 516-0193, Japan
furuita@affrc.go.jp

^{*2} 独立行政法人国際農林水産業研究センター水産部

^{*3} 独立行政法人水産総合研究センター増養殖研究所玉城庁舎

^{*4} 植田製油株式会社

脂質)の方が優れており (Sargent *et al.* 2002), 海洋性リン脂質はトリグリセライド型の n-3HUFA よりも 20-30% 程度少ない量で EFA 要求を充足できることが知られている (Salhi *et al.* 1999)。しかし, 幼魚あるいは成魚での EFA 要求に及ぼす海洋性リン脂質の効果は不明である。魚油は, 魚粉の製造過程で, あるいは魚介類の内臓を圧搾して得られる粗製油から, 遊離脂肪酸やリン脂質などを取り除く精製工程を経て製品となる。その過程で得られる副産物 (ガム質) は, リン脂質に富む新しい原料である。幼魚においても仔魚と同様に海洋性リン脂質が高い効果を持つならば, 低魚油飼料にガム質を配合することで既報 (Watanabe 2002) の 50% よりもより高い割合で魚油を代替できる可能性がある。本研究では, 魚油の 67% を大豆油で代替した低魚油飼料にガム質を配合することで成長や飼料効率を改善できるかどうか検討した。

材料と方法

試験飼料 試験に使用した魚油精製副産物 (ナイスマリニリビッド KW, 植田製油株式会社製) は, カツオおよびマグロの頭部から抽出した粗製油の精製過程で得られたもので, その組成を表 1 に示した。ガム質は水分約 77%, 脂質が 22% で, 脂質のうち極性脂質が 16% であった。極性脂質として, ホスファチジルコリンおよびスフィンゴミエリンが主成分であった。脂肪酸組成は n-3HUFA が約 14% であり, 通常の魚油 (約 20%) に比べてやや n-3HUFA が少なかった。

表 1. ガム質の一般成分 (%) および脂肪酸組成

水分	77.0
タンパク質	1.0
総脂質	22.0
中性脂質	5.5
遊離脂肪酸	3.7
その他	1.8
極性脂質	16.5
ホスファチジルコリン	8.0
スフィンゴミエリン	5.0
その他	3.5
脂肪酸	(脂肪酸組成中 %)
16:0	34.5
16:1	3.3
18:0	12.9
18:1	17.6
20:4n-6	2.9
20:5n-3	2.2
22:5n-3	1.4
22:6n-3	10.1
n-3 HUFA*	13.7

*n-3 HUFA=20:4n-3+20:5n-3+22:5n-3+22:6n-3

タンパク質源として魚粉, 大豆油粕, コーングルテンミールを用い, 粗タンパク質 46% で, 異なる油脂を配合した 3 種の試験飼料を作製した (表 2)。対照区 (高魚油区) は魚油のみを添加し, 低魚油区およびガム質区は魚油の 2/3 を大豆油で代替した。低魚油区の飼料中 n-3HUFA 含量は, ブリ幼魚の n-3HUFA 要求量 (2%) (Takeuchi 1997) を満たすように設計した。ガム質区ではガム質に含まれる n-3HUFA が少ないため, n-3HUFA 含量の高いイカ肝油を配合し, n-3HUFA 要求を満たすように設計した。各飼料原料をよく混合した後, ディスクペレッターで成形し, 乾燥機で乾燥させた。魚のサイズに合わせてふり分けした後, 給餌まで冷凍保存した。

試験魚 天然のモジャコを市販飼料で約 2 ヶ月間育成した後, 対照飼料で 8 日間馴致した平均体重 46 g のブリ幼魚を 200L 水槽に 11 尾ずつ収容 (2 反復区) した。平均水温 $25.2 \pm 1.1^{\circ}\text{C}$ のもとで 1 日 2 回飽食給餌し, 8 月から 10 月まで 50 日間の飼育を行った。注水量は約 3.2L/

表 2. 試験飼料の組成および分析値 (%)

原料	対照区	低魚油区	ガム質区
アジ魚粉	40.0	40.0	40.0
大豆油粕	14.7	14.7	14.7
コーングルテンミール	10.0	10.0	10.0
小麦粉	10.0	10.0	10.0
アルファー澱粉	1.95	1.95	1.95
タラ肝油	13.8	4.6	-
大豆油	-	9.2	9.2
魚油精製副産物*1	-	-	3.1
イカ肝油	-	-	1.5
ミネラルミックス*2	1.25	1.25	1.25
リン酸カルシウム	2.0	2.0	2.0
ビタミンミックス*3	1.5	1.5	1.5
ベタイン	0.5	0.5	0.5
グアガム	0.3	0.3	0.3
セルロース	4.0	4.0	4.0
分析値 (乾物)			
タンパク質	45.9	45.8	45.9
総脂質	22.1	23.1	25.9
中性脂質	19.3	20.4	20.4
極性脂質	2.8	2.7	5.5
飼料中 n-3HUFA	4.4	2.3	2.4
灰分	9.2	9.5	9.2

*1 魚油精製副産物の値は乾物で表示

*2 ミネラルミックスの組成 (g/kg) : NaCl, 40; $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 600; Fe citrate, 100; Ca lactate, 140; $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 1.41; $\text{MnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, 0.65; $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, 0.13; $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, 0.004; KIO₃, 0.012; セルロース, 117.8

*3 ビタミンミックスの組成 (g/kg) : チアミン硝酸塩, 0.86; リボフラビン, 0.70; ビリドキシン塩酸塩, 0.83; ニコチン酸, 2.50; パントテン酸カルシウム, 2.71; イノシトール, 30.00; ビオチン, 0.03; 葉酸, 0.15; シアノコバラミン, 0.001; アスコルビン酸カルシウム, 10.8; メナジオン, 0.3; 塩化コリン, 115.31; 酢酸トコフェロール, 6; セルロース, 829.8

分であった。試験終了時には48時間絶食した後、サンプリングを行った。サンプルは分析まで-80℃で保存した。

飼育成績は下記の数式により計算した。

増重率(%)=(終了時平均体重-初期平均体重)×100/(初期平均体重)

日間成長率(%/日)=(\ln (終了時平均体重)- \ln (初期平均体重))×100/(飼育日数)

日間摂餌率(g/kg体重/日)=摂餌量(g)×1000/[(初期平均体重+終了時平均体重)/2×(収容尾数+生残尾数)/2]/(飼育日数)

飼料効率(%)=(終了時平均体重×生残尾数-初期平均体重×収容尾数+Σ死亡魚体重)×100/(摂餌量)

タンパク質効率=(終了時平均体重×生残尾数-初期平均体重×収容尾数+Σ死亡魚体重)×100/(タンパク質摂取量)

分析方法 全魚体、肝臓および筋肉は各水槽で4個体をブールしてホモジナイズし、1サンプルとして各試験区2サンプルを分析した。飼料および魚体の粗タンパク質含量は、セミマイクロケルダール法により窒素を定量して求めた。水分は105℃で10時間乾燥し、灰分は600℃で5時間灰化して、それぞれ測定した。粗脂肪はクロロホルム：メタノール混液で抽出し(Folch *et al.* 1957)、シリカカートリッジを用いて中性脂質と極性脂質に分画した(Juanda and Rocquelin 1985)。ガム質の脂質組成はイヤトロスキヤン(MK-6、株式会社三菱化学ヤトロン)で定量した。各脂質を三フッ化ホウ素によりメチル化した後、ガスクロマトグラフ(株式会社島津製作所 GC-2010)で脂肪酸組成を調べた(Furuita *et al.* 2014)。

結 果

飼料の分析値 飼料の一般成分を表2に、脂肪酸組成を表3にそれぞれ示した。タンパク質含量は各飼料とも約46%であったが、脂質含量はガム質区が他の区よりもやや高かった。飼料中n-3HUFA含量は対照区、低魚油区、ガム質区の順に、4.4、2.3、2.4%であり、全ての区でブリのn-3HUFA要求量(2%) (Takeuchi 1997)を満たし

表3. 試験飼料の脂肪酸組成(総脂肪酸中%)

脂肪酸	対照区	低魚油区	ガム質区
14:0	4.4	1.9	1.3
16:0	13.7	12.9	15.2
16:1n-7	5.6	2.4	1.6
18:0	2.8	3.5	4.4
18:1n-9	13.3	19.3	20.5
18:1n-7	3.1	2.6	1.8
18:2n-6	6.4	32.7	37.5
18:3n-3	1.1	3.0	3.3
20:1	9.5	3.3	0.9
20:4n-6	0.5	0.4	0.6
20:5n-3	8.4	3.6	2.7
22:1	12.1	3.5	0.7
22:5n-3	1.5	0.7	0.4
22:6n-3	9.5	5.4	5.9
n-6	8.1	33.6	38.7
n-3	21.5	13.3	12.6
n-3 HUFA*	20.0	10.0	9.1
n-6/n-3	0.38	2.53	3.07
20:4n-6/20:5n-3	0.06	0.10	0.22
22:6n-3/20:5n-3	1.13	1.49	2.23

*表1参照

ていた。

飼育結果 終了時の平均体重はガム質区が最も高く、ついで対照区であり、低魚油区は最も低かった。増重率、飼料効率、タンパク質効率も同様の傾向であったが、ガム質区の飼育成績は他の試験区よりも水槽間で大きく変動した。日間摂餌率は試験区間で差はなかった(表4)。

魚体の分析結果 全魚体の水分は低魚油区がガム質区に比べて高く、脂質含量はガム質区が低魚油区よりも高かった。タンパク質、灰分は試験区間で差はなかった(表5)。肝臓中の脂質含量は低魚油区が最も高く、ついでガム質区、対照区の順であった。筋肉の脂質含量に試験区間で差はなかった。

肝臓および筋肉の脂肪酸組成は、飼料の脂肪酸組成をよく反映しており、低魚油区、ガム質区ともに肝臓、筋肉の中性脂質では、リノール酸(18:2n-6)が最も多くなっていた(表6、7)。n-3HUFAは肝臓、筋肉ともに中性脂

表4. 試験飼料を50日間給餌したブリの飼育結果

	対照区		低魚油区		ガム質区	
	1	2	1	2	1	2
生残率(%)	100	100	100	82	91	100
終了時平均体重(g)	192.4	196.9	179.0	171.2	226.3	203.5
増重率(%)	318.1	328.0	290.0	271.2	391.5	342.5
日間成長率(%/日)	2.86	2.91	2.72	2.62	3.19	2.97
日間摂餌率(g/kg体重/日)	27.1	26.6	26.3	26.8	25.5	27.3
飼料効率(%)	90.6	93.3	90.0	86.5	103.0	92.6
タンパク質効率	1.97	2.03	1.96	1.89	2.24	2.02

表 5. 全魚体の一般成分および肝臓、筋肉の脂質含量 (%)

	対照区		低魚油区		ガム質区	
	1	2	1	2	1	2
全魚体						
水分	70.8	71.2	71.5	72.3	70.3	69.2
タンパク質	19.3	19.1	19.2	18.7	19.2	19.6
総脂質	6.4	6.3	5.9	5.0	6.9	7.8
灰分	3.2	3.1	3.2	3.5	3.2	3.1
肝臓						
総脂質	7.8	9.4	12.3	12.5	9.0	10.3
中性脂質	5.6	6.2	9.9	9.3	6.9	8.1
極性脂質	2.2	3.2	2.4	2.1	2.2	2.2
筋肉						
総脂質	1.4	1.4	1.4	1.3	1.5	1.5
中性脂質	0.6	0.7	0.8	0.6	0.7	0.6
極性脂質	0.8	0.7	0.7	0.8	0.8	0.8

質および極性脂質において対照区が他の2区よりも高かった。低魚油区とガム質区の間では n-3HUFA 含量に大差なかったが、ガム質区の方がドコサヘキサエン酸 (DHA, 22:6n-3)、アラキドン酸 (20:4n-6) が高く、エイコサペンタエン酸 (EPA, 20:5n-3) が低く、飼料組成と同様の傾向がみられた。

考 察

今回の試験では、これまでブリで報告されている魚油代替率 (50%) (Watanabe 2002) よりも高い割合 (67%) で魚油を大豆油で代替した。大豆油のみで代替した低魚油区は飼育成績が最も劣ったことから、魚油の 67% を

大豆油で代替するとブリの EFA 要求を満たしていない可能性が考えられた。低魚油区の飼料 n-3HUFA 含量は要求量 (2%) (Takeuchi 1997) よりも高くなるように設計した。しかし、n-3HUFA 要求量は飼料脂質量に左右され、ブリにおける脂肪酸組成中の n-3HUFA の適正量は 15-20% とされている (Takeuchi 1997)。低魚油区の脂質中 n-3HUFA は 10% と、この適正值よりも低いことから (表 3)、低魚油区は n-3HUFA 要求量を満たしていなかったものと考えられた。さらに、低魚油区の肝臓の脂質含量は、対照区よりも高くなっていった。肝臓の脂質含量の増加は EFA 欠乏の初期の指標とされ (Torstensen and Tocher 2011)、大西洋サケ *Salmo salar* では低水温下で代替油脂を給与した場合に見られている (Torstensen

表 6. ブリ肝臓の中性脂質および極性脂質の脂肪酸組成 (総脂肪酸中 %)

脂肪酸	中性脂質						極性脂質					
	対照区		低魚油区		ガム質区		対照区		低魚油区		ガム質区	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
14:0	3.8	3.7	1.4	1.4	0.8	0.9	1.2	1.3	0.5	0.6	0.4	0.4
16:0	14.5	15.0	11.7	11.4	9.4	11.4	21.4	21.3	20.6	20.3	21.2	22.0
16:1n-7	5.3	5.0	2.0	2.1	1.3	1.3	1.6	1.6	0.5	0.7	0.7	0.4
18:0	2.7	2.7	2.6	2.8	2.6	3.4	6.7	6.5	8.6	7.8	9.5	9.3
18:1n-9	20.9	20.7	24.2	24.4	21.8	22.4	7.0	7.4	7.5	8.5	6.5	6.8
18:1n-7	4.2	4.1	2.4	2.5	2.1	2.1	2.5	2.6	2.0	1.9	1.4	1.4
18:2n-6	7.6	7.1	38.2	38.0	44.0	41.5	2.6	2.7	15.8	18.1	14.6	15.6
18:3n-3	0.8	0.8	2.2	2.2	2.7	2.5	0.4	0.4	0.9	1.1	0.8	0.9
20:1	11.0	10.4	3.0	3.2	1.1	1.2	1.5	1.4	0.6	0.8	0.3	0.4
20:4n-6	0.7	0.7	0.3	0.3	1.0	0.9	3.0	2.9	2.6	2.5	3.7	3.4
20:5n-3	4.8	4.8	1.8	1.6	1.8	1.7	7.4	7.2	5.1	4.9	2.7	2.8
22:1	8.8	8.1	2.0	2.0	0.3	0.4	1.1	1.0	0.4	0.5	0.1	0.0
22:5n-3	1.7	1.8	0.6	0.8	0.9	0.8	2.0	1.8	1.7	1.9	1.5	1.5
22:6n-3	5.4	6.6	2.5	2.3	4.6	4.1	34.4	35.0	28.5	25.8	29.4	30.6
n-6	9.3	8.7	39.4	39.4	46.7	44.1	7.5	7.4	19.8	22.3	20.5	21.2
n-3	13.7	15.2	7.6	7.4	10.7	9.6	13.7	45.2	36.7	34.1	34.9	36.2
n-3 HUFA *	12.6	14.0	5.1	4.9	7.6	6.7	12.6	44.3	35.6	32.8	33.8	35.0

* 表 1 参照

表 7. ブリ筋肉の中性脂質および極性脂質の脂肪酸組成（総脂肪酸中 %）

脂肪酸	中性脂質						極性脂質					
	対照区		低魚油区		ガム質区		対照区		低魚油区		ガム質区	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
14:0	1.8	2.6	1.2	0.9	0.9	0.9	0.3	0.3	0.2	0.2	0.1	0.1
16:0	18.8	16.5	14.6	16.5	16.7	16.3	19.4	20.3	18.5	18.1	18.5	19.5
16:1n-7	8.6	8.3	5.3	5.1	3.4	5.5	0.8	0.8	0.4	0.4	0.3	0.2
18:0	4.1	3.5	4.1	4.7	5.0	4.9	7.9	8.4	9.9	9.8	10.1	10.2
18:1n-9	10.3	11.7	17.2	14.4	16.7	16.6	7.8	7.4	9.2	9.2	7.8	7.9
18:1n-7	2.6	2.8	2.0	2.1	1.7	1.9	3.3	3.1	2.8	3.0	2.2	2.3
18:2n-6	4.7	4.9	28.0	25.3	29.3	29.5	3.1	2.9	16.4	16.7	16.8	16.5
18:3n-3	0.5	0.6	1.8	1.7	1.8	1.9	0.2	0.2	0.5	0.5	0.5	0.5
20:1	6.1	6.6	2.9	2.4	1.1	1.0	2.7	2.5	1.0	1.0	0.5	0.4
20:4n-6	1.1	0.9	0.6	0.8	1.1	1.2	1.6	1.6	1.3	1.3	2.2	2.1
20:5n-3	6.5	6.9	3.0	3.5	2.5	2.5	6.2	6.1	3.3	3.2	2.6	2.6
22:1	5.6	7.5	2.4	1.6	0.4	0.2	1.3	1.3	0.4	0.4	0.4	0.2
22:5n-3	1.6	1.6	1.0	1.0	0.8	0.3	1.3	1.3	1.2	1.1	1.0	0.9
22:6n-3	21.1	17.6	11.7	16.3	13.8	13.9	37.2	37.0	29.9	30.2	31.7	31.5
n-6	7.2	7.4	29.5	27.3	31.7	31.7	6.2	6.0	18.7	19.2	20.8	20.3
n-3	30.2	27.5	18.0	22.9	19.4	19.0	45.5	45.1	35.3	35.4	36.2	35.8
n-3 HUFA*	29.5	26.6	16.0	21.1	17.2	16.8	44.9	44.7	34.4	34.7	35.4	34.9

*表 1 参照

and Tocher 2011)。本実験の魚体の分析値からも低魚油区は n-3HUFA が不足していたものと推察された。

一方、ガム質区は低魚油区とほぼ同じ n-3HUFA 含量であったが、成長や飼料効率などが低魚油区に比べて改善され、対照区と同等の飼育成績を示したことから、ガム質とイカ肝油を添加することで魚油の 67% を大豆油で代替できることが示された。また、肝臓の脂質含量も低魚油区と異なり、ガム質区は対照区と差異がないことから、EFA 欠乏の症状を呈していないものと考えられた。魚粉由来のものを除けば、低魚油区は n-3HUFA 源が魚油のみであるのに対して、ガム質区にはガム質に由来する海洋性リン脂質が含まれており、飼料中の n-3HUFA の約半分が極性脂質由来の n-3HUFA であった。これらのことから、仔魚で知られているように、ブリ幼魚においても海洋性リン脂質が n-3HUFA 供給源として通常の魚油よりも優れた効果をもっているものと考えられた。飼料の脂肪酸組成（表 3）はガム質区が、低魚油区に比べて DHA およびアラキドン酸がやや高く、EPA が低かった。肝臓および筋肉の脂肪酸組成もこれらの飼料の組成を反映し、ガム質区は低魚油区に比べて DHA およびアラキドン酸の割合が高く、EPA が低い傾向があった。これらの脂肪酸はエイコサノイド等生理活性物質の前駆体であり、魚体内で重要な役割を演じていると考えられており、互いに拮抗作用をもっているため、飼料中の含量だけでなく、それらの比率も重要であると考えられている（Sargent *et al.* 1999）。そのため、ガム質飼料の DHA/EPA 比およびアラキドン酸/EPA 比が低魚油飼料に比べて高かったことも、ガム質区の飼育成績を向上させた要因である可能性もある。ブリあるいは他魚種の仔稚魚に

おいては、DHA が EPA よりも高い EFA 効果を持つことが知られている。しかし、幼魚期においてはマダイ *Pagrus major* で EPA と DHA の間で EFA 効果に差がないことが示されているが、ブリでは不明である（竹内 2009）。海水魚におけるアラキドン酸の必要性に関する研究は n-3HUFA に比べて少ないが、ターボット *Scophthalmus maximus* 稚魚やヨーロッパヘダイ *Sparus aurata* 仔魚において飼料中にアラキドン酸を添加することで成長やストレス耐性などが改善することが示されている（Bell and Sargent 2003）。飼料へのアラキドン酸添加量の増加に伴う飼育成績改善効果のメカニズムは不明であるが、先に述べたようにアラキドン酸はエイコサノイドの前駆体であることから、飼料中のアラキドン酸/EPA 比の変化に伴い魚体中でエイコサノイド産生量が影響を受け、その結果として成長に影響を与えているのではないかと推察されている（Bell and Sargent 2003）。今後、低魚油飼料におけるこれらの脂肪酸含量および割合の影響についても調べる必要があるであろう。

以上、低魚油飼料にガム質とイカ肝油を配合することによって、ブリ幼魚の成長や飼料効率を魚油のみを配合した飼料と同等にまで改善できることが示唆された。しかしながら、今回の試験ではガム質区の飼育成績の水槽間の変動が大きかったことから、追試を行って効果を再確認する必要がある。また、今回使用したガム質は複数の主要成分から構成されていたことから、その中の有効画分を明らかにすることで、魚油精製副産物の有効利用および魚油使用量の低減化を進められるものと考えられる。

謝 辞

天然モジャコの入手にご協力いただいた愛媛県農林水産研究所水産研究センターの山下浩史博士に深く感謝する。この研究は、(独)水産総合研究センター運営費交付金によって行われた。

文 献

- BELL J. G. and J. R. SARGENT (2003) Arachidonic acid in aquaculture feeds: current status and future opportunities. *Aquaculture*, **218**, 491-499.
- FOLCH J., M. LEES and G. H. SLOANE-STANLEY (1957) A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. *J. Biol. Chem.*, **226**, 497-509.
- FURUITA H., K. MURASHITA, H. MATSUNARI, T. YAMAMOTO, J. NAGAO, K. NOMURA and H. TANAKA (2014) Decreasing dietary lipids improves larval survival and growth of Japanese eel *Anguilla japonica*. *Fish. Sci.*, **80**, 581-587.
- JUANEDA P. and G. ROCQUELIN (1985) Rapid and convenient separation of phospholipids and non phosphorous lipids from rat heart using silica cartridges. *Lipids*, **20**, 40-41.
- SALHI M., C. M. HERNÁNDEZ-CRUZ, M. BESSONART, M. S. IZQUIERDO and H. FERNÁNDEZ-PALACIOS (1999) Effect of different dietary polar lipid levels and different n-3 HUFA content in polar lipids on but and liver histological structure of gilthead seabream (*Sparus aurata*) larvae. *Aquaculture*, **179**,

253-263.

- SARGENT J. R., D. R. TOCHER and J. G. BELL (2002) The lipids. in "Fish nutrition (3rd edn)" (ed. by J. E. HALVER and R. W. HARDY), Academic Press, San Diego, 181-257pp.
- SARGENT J. L., MCEVOY, A. ESTEVEZ, G. BELL, J. HENDERSON and D. TOCHER (1999) Lipid nutrition of marine fish during early development: current status and future directions. *Aquaculture*, **179**, 217-229.
- TACON A. J. G. and M. METIAN (2008) Global overview on the use of fish meal and fish oil in industrially compounded aquafeeds: Trends and future prospects. *Aquaculture*, **285**, 146-158.
- TAKEUCHI T. (1997) Essential fatty acid requirement of aquatic animals with emphasis on fish larvae and fingerlings. *Rev. Fish. Sci.*, **5**, 1-25.
- 竹内俊郎 (2009) 脂質. 「改訂魚類の栄養と飼料」(渡邊武編), 恒星社厚生閣, 東京, 115-135pp.
- TOCHER D. R. (2003) Metabolism and functions of lipids and fatty acids in teleost fish. *Rev. Fish. Sci.*, **11**, 107-184.
- TORSTENSEN B. E. and D. R. TOCHER (2011) The effects of fish oil replacement on lipid metabolism. in: Fish oil replacement and alternative lipid sources in aquaculture feeds (ed. by G. M. TURCHINI, W.-K. NG, and D. R. TOCHER). CRC Press, Boca Raton, 405-437pp.
- TURCHINI G. M., B. E. TORSTENSEN and W.-K. NG (2009) Fish oil replacement in finfish nutrition. *Rev. Aquac.*, **1**, 10-57.
- WATANABE T. (2002) Strategies for further development of aquatic feeds. *Fish. Sci.*, **68**, 242-252.

原著論文

大型水槽を用いたコウライアカシタビラメの種苗生産試験

草加耕司*・岩本俊樹*・弘奥正憲*

Mass juvenile production of threeline tonguefish
Cynoglossus abbreviatus in a large culture tank

Koji KUSAKA, Toshiki IWAMOTO and Masanori HIROOKU

A 45-day mass production experiment of juvenile threeline tonguefish was conducted in a large culture tank (40 m³). A total of 77,000 juveniles with an average length of 22.8 mm were produced. The survival rate was low at around 10%, with a large number of fish being found dead on the water surface at growth stage D (larval stage) and at the bottom of the tank at growth stages E to H. However, it was shown that the fish could be raised by the same methods used for other saltwater fish species using, for example, a feeding regime primarily consisting of rotifers and *Artemia* larvae, indicating that mass production would be possible. Future issues in raising juvenile threeline tonguefish, such as difficulty in switching from live feed to formula feed and the occurrence of morphological abnormalities (e.g., in the head or body color), as observed in other Heterosomata species, and the future direction of technological development are discussed.

キーワード：コウライアカシタビラメ, 大型水槽, 種苗生産

2014年9月1日受付 2015年1月8日受理

コウライアカシタビラメ *Cynoglossus abbreviatus* はウシノシタ科に属し全長 40cm 以上に成長する大型のシタビラメで, 朝鮮半島南部及び西部沿岸, 渤海, 黄海, 東シナ海, 南シナ海に至る中国大陸沿岸に広く分布し, 日本周辺では駿河湾, 瀬戸内海, 土佐湾, 有明海とその隣接海域の砂泥域に生息している (大坂・興石 1997)。瀬戸内海中央部では他のウシノシタ科魚類とともに小型底びき網漁業の主要対象種であるが, 近年, 漁獲量が減少傾向にあるため (元谷 2010, 岡山農林統計 2008), 従来からの漁獲圧低減等の資源管理に加え, 将来的には種苗放流による資源水準の維持方策も検討されている。

ウシノシタ科魚類の人工種苗生産に関しては, クロウシノシタ *Paraplagusia japonica* (土屋ら 1993), イヌシタ *Cynoglossus robustus* (弘奥ら 2013) で若干の試みはあるが, 受精卵の確保や初期減耗が難題で, 量産に繋が

る成果はあがっていない。本種については藤田ら (1965, 1986) の報告に基づき, 1990 年代に有明海 (深浦 1999, 福澄ら 2001) 及び瀬戸内海 (尾田・水戸 1994, 原田ら 1994) 各県において技術開発が試みられた経緯があるが, 初期減耗や着底期以降の育成方法に課題を残すなど, 未だ確立されているとは言い難い。近年では初期飼育の改良により, 1 ~ 6m³ の水槽を複数個使用した全長 13mm, 計 7.1 万尾の生産事例 (宮木 2010, 宮木・中田 2012) はあるが, 資源にインパクトを与えられる規模の大量種苗放流を可能とする大型水槽を用いた量産報告はない。

これまで筆者らは小型水槽での飼育実験を重ね (草加ら 2012), 本種仔稚魚の特性に応じた飼育方法とともに, 安定した種苗生産を行うための良質卵の確保についても検討してきた。その結果, 個体レベルの成熟・産卵特性は明らかでないものの, 種苗生産を安定的に行う上で必

* 岡山県農林水産総合センター 水産研究所

〒701-4303 岡山県瀬戸内市牛窓町鹿忍 6641-6

Okayama Prefectural Technology Center for Agriculture, Forestry and Fisheries, Research Institute for Fisheries Science, Setouchi, Okayama 701-4303, Japan

kouji_kusaka@pref.okayama.lg.jp

要な親魚群の産卵生態の一端を明らかにし、養成した天然魚の自然産卵により、量産に十分な受精卵を得ることが可能となった（草加ら 2014）。そこで、これらの卵を用い 40m³ 大型水槽による種苗生産を試み、一部の種苗を全長約 80mm まで飼育した。本稿では、大型水槽での量産に成功したコウライアカシタビラメの種苗生産試験の概要を報告するとともに、種苗生産技術の問題点を整理し、その方向性について検討した。

材料と方法

親魚養成と採卵 供試したコウライアカシタビラメ卵は、草加ら（2014）に示した瀬戸内市牛窓町漁協の小型底びき網で漁獲された天然魚を養成した 2 親魚群からの自然産出卵を用いた。産出された卵は親魚水槽からオーバーフローした表層水とともに夕刻に設置したゴースネットにて受け、翌日 9～10 時に浮上卵のみを回収した。種苗生産には 2012 年 5 月 24～26 日に得られた 1,265 千粒（24 日：44.3 千粒，25 日：33.4 千粒，26 日：48.8 千粒）を併せて用いた。すなわち 3 日間の浮上卵を採卵日ごと別々に 1m³ 円形 FRP 水槽内でろ過海水を流水にしてふ化予定日の前日まで発生観察や死卵の除去等の管理を行った後、40m³ 長八角形コンクリート水槽（底面積 48m²，図 1）へ順次に収容した。

仔魚期の飼育 飼育水は自然水温の紫外線殺菌海水を使用し、卵収容時から換水率 1 回転 / 日の流水とし、ふ化後 10 日目（ふ化日の異なる 3 仔魚群について日齢を統一することとし、以後、5 月 24 日採卵の仔魚を基準にふ化後 n 日目を日齢 n とする）から 1.5 回転 / 日、それ以降最大 3.5 回転 / 日まで徐々に高めた。通気はエア分散ホース（Φ 25mm×1m，ユニホース，ユニホース株式会社）を用いて水槽底の縁辺 4 か所から行い、通気によって発生する上昇流で飼育水を一定方向に回転させた。さらに排水口付近のよどみを解消するため 2 個のエアストーン（20×20×150mm）を配置した。卵収容から開口までの通気量は、受精卵やふ化仔魚が沈下しないようエア分散ホース 1 本当たり 1.2～1.5L / 分で、表面流速 5～8cm / 秒とやや強めにした。また、開口する日齢 4～10 には仔魚が定位して摂餌できるよう 0.5～0.7L / 分で流速 3～5cm / 秒に弱めた。日齢 10 以降は仔魚の遊泳能力に応じて極度のパッチを形成しないよう流速 5～10cm / 秒に強めた。

飼育水には給餌した生物餌料の飢餓を防止するため、日齢 4～39 に淡水産濃縮クロレラ（スーパー生クロレラ V12，クロレラ工業）300mL を海水で約 10 倍に希釈して 1 日 2 回、水面から添加した。また、ふ化直後の仔魚が表層に蟄集して死亡する浮上死を防止するため、フィードオイル（理研ビタミン）3～5mL を 1 日 1 回、8 時に表層から滴下した。照度は水槽上部に設置した水

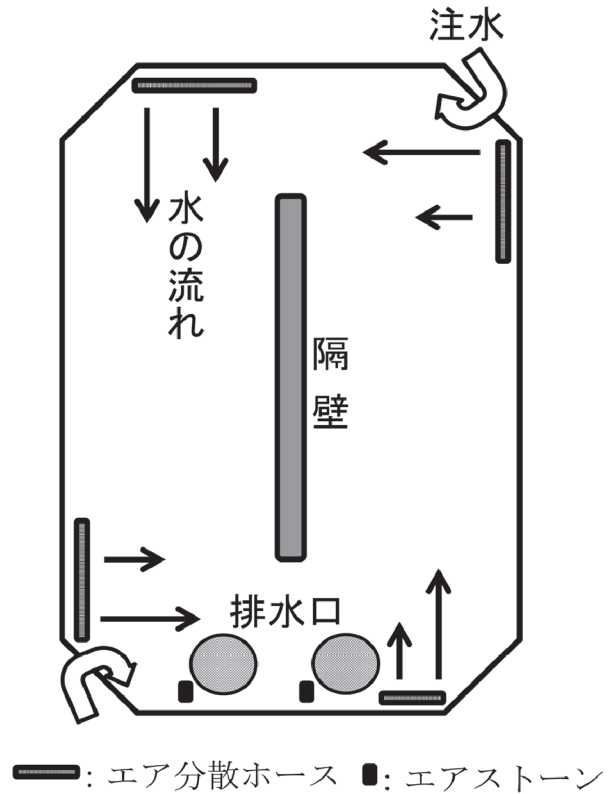


図 1. 種苗生産水槽内の飼育資材の配置

銀灯と蛍光灯により飼育水面直上で 600～2,000lux となるよう調光した。日長時間は、開口直後の日齢 4～10 までの間は 24 時間連続照明として仔魚の初期摂餌を促進し、日齢 11 からは 20 時間、日齢 16 からは 18 時間、日齢 30 からは 16 時間、日齢 38 に 14 時間まで短縮した。

仔魚の口径から摂餌可能サイズを推定した尾田ら（1994）の報告に従い、初期餌料はシオミズツボワムシ *Brachionus plicatilis* sp. complex S 型（携卵個体サイズで 170～230 μm，以下、ワムシとする）とし、次にアルテミア *Artemia* sp. 幼生（米国ユタ州ソルトレイク産，以下、アルテミアとする）を給餌した。ワムシは日齢 4～39 に飼育水中の密度が 15 個体 / mL となるよう 1 日 1 回、給餌した。アルテミアは日齢 21 から日齢 45 まで、0.1～4 個体 / mL になるよう 1 日 2 回、給餌した。なお、ワムシは高密度連続培養装置（ワムシわくわく，クロレラ工業）で増殖させ、高度不飽和脂肪酸が強化された淡水産濃縮クロレラ（スーパー生クロレラ V12，クロレラ工業）で 2 時間栄養強化した。午前に給餌するアルテミアはふ化後 18 時間から市販の高度不飽和脂肪酸強化剤（ハイパーグリーン，日清マリンテック）で、午後に給餌するアルテミアはふ化直後から高度不飽和脂肪酸強化剤（すじこ乳化油，日清マリンテック）でそれぞれ 2 時間栄養強化した。

底掃除は行わず、飼育水や底質の改善を目的に開口から取上げまで、沈降性貝化石（フィッシュグリーン，グ

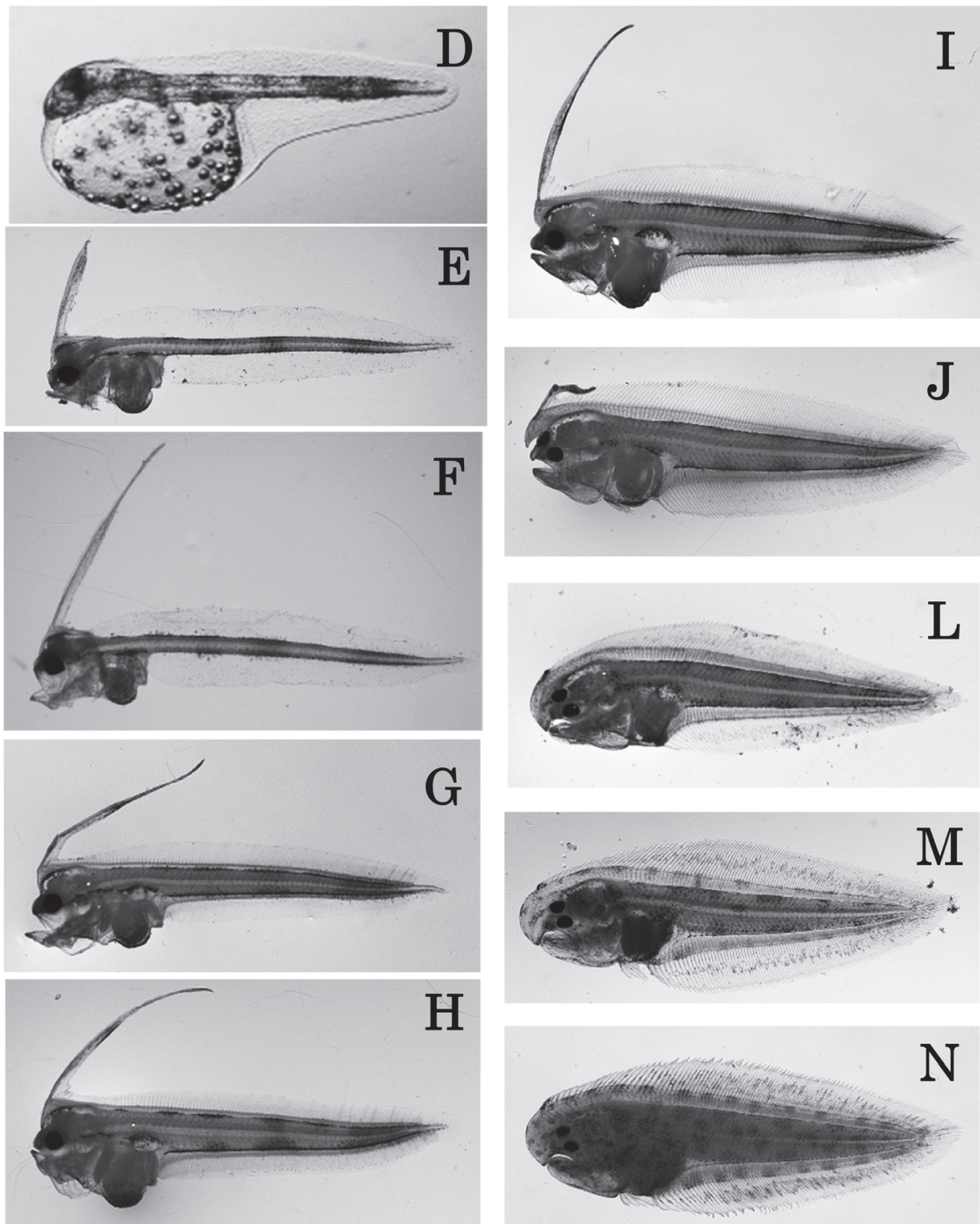


写真 1. 発育ステージ（発育ステージ区分は藤田ら 1986 を参照）
D：ふ化仔魚，全長 2.7mm E：仔魚，5.8mm F：後期仔魚，6.7mm
G：後期仔魚，6.7mm H：後期仔魚，7.6mm I：後期仔魚，9.7mm
J：変態中の後期仔魚，9.8mm L：変態終期の仔魚，10.2mm
M：稚魚，12.4mm N：稚魚，15.0mm

リーンカルチャー) 600g を 4L の海水に溶いて 1 日 2 回添加した。

生残尾数は、日齢 20 まで 5 日おきに直径 50mm の塩化ビニール製パイプを用いて暗期に水槽内 10 定点より柱状サンプリングを行い、これらを併せて飼育水約 25L 中の仔魚を計数して容積法により推定した。同時に仔魚 30 尾を m-アミノ安息香酸エチルメタンスルホネートで麻酔後に万能投影機で 20 倍に拡大し、デジタルノギスで全長を計測した。これらの仔魚を 5% ホルマリン溶液中に保存し、藤田ら (1965) に従って外部形態的特徴から発育段階を卵黄の仔魚 (ステージ D) から稚魚 (ステージ M) までの 10 段階に区分した (写真 1)。飼育魚の全てがステージ M に達した日齢 45 で取上げ、重量法により生残尾数を算出するとともに、稚魚 60 尾の全長を測定した。

稚魚期の飼育 種苗生産した稚魚の一部 350 尾を自然光の屋内 1m³ 円形 FRP 水槽 (実容量 0.5m³) に収容し、日齢 135 まで飼育して着底以降の成長と生残を調べた。飼育水は自然水温のろ過海水を用い、換水率 10 回転 / 日の流水とした。一定方向の緩やかな水流となるよう、塩化ビニール製パイプの下部にエアストーンを取り付けたエアリフトを水槽壁面 1 か所に配置した。

餌料は、日齢 45 ～ 60 では 10 時と 16 時にアルテミアを、日齢 61 ～ 105 では 8 ～ 14 時に 2 時間間隔で配合飼料 (おとひめヒラメ C2, 日清丸紅飼料) を、16 時にアルテミアをそれぞれ与えた。日齢 106 ～ 115 はゼンマイ式自動給餌機 (クロックワーク・フィーダー, フィリップ) で日中、配合飼料のみを連続給餌した。なお、午前に給餌するアルテミアはふ化後 12 時間から高度不飽和脂肪酸強化剤 (スーパーカプセル A-1 パウダー, クロレラ工業) で 8 時間、午後に給餌するアルテミアはふ化後 24 時間から高度不飽和脂肪酸強化剤 (ハイパーグリーン, 日清マリンテック) で 2 時間栄養強化した。配合飼料の給餌期間には、毎日 16 時前後にサイフォンにより底掃除を行い、残餌や糞を排出した。

生残尾数の計数は試験終了時まで 15 日おきに全数を取上げて行い、同時に 30 尾について、m-アミノ安息香酸エチルメタンスルホネートで麻酔後にデジタルノギスで全長を、電子天秤で体重を計測した。

結 果

種苗生産結果 種苗生産結果の概要を表 1 に示した。種苗生産期間中の飼育水温は平均値が 20.7°C, 17.6 ～ 23.1°C の範囲で、産卵終期水温 (草加ら 2014) から 2 ～ 3°C 高く推移した。

取上げは底面に堆積した貝化石へ潜砂した種苗をサイフォンで概ね吸い取った後、水位を下げて残りを掬い取る手順で、稚魚を傷めることなく回収できた。種苗の平均全長 (平均値 ± 標準偏差) は 22.8 ± 3.1mm, 全長範囲は 16.1 ～ 28.9mm で 2 倍近い成長差が生じた。生残尾数は 77,480 尾で、ふ化仔魚からの生残率は 9.9% であった。

成長、発育 餌料系列と飼育水温、仔稚魚の全長及び生残率の推移を図 2 に、発育ステージ組成の推移を図 3 に示した。平均全長 3.57 ± 0.14mm で発育ステージ D のふ化仔魚は、日齢 4 で開口後、ワムシを摂餌し始めた。日齢 5 に 4.77 ± 0.30mm, 日齢 10 には 6.43 ± 0.64mm に成長したが、この間の発育はステージ E のままであった。日齢 15 には 7.52 ± 1.22mm になり、発育ステージは E が 6%, F が 63%, G が 14%, H が 17% と F が過半数を占めた。日齢 20 には 9.74 ± 0.99mm で、F が 10%, G が 25%, H が 33%, I が 25%, J が 3%, L が 5% と様々なステージが混在し、変態完了直前の仔魚も認められた。水槽内の観察では、日齢 19 に全長 10.5 ～ 11.0mm のステージ L, M の仔稚魚で着底を初認、日齢 22 以降に着底魚が急増した。着底してステージ M, N に移行した稚魚の多くは水槽底に数 cm 堆積した貝化石の中に体の一部を潜砂させた。日齢 36 には概ね稚魚に変態し、日齢 40 以降は成長の遅れた変態直後の個体のみが浮遊する状態が続いたため、日齢 45 で種苗生産を終了した。

日齢 45 ～ 135 の稚魚期の飼育水温は、21.3°C から 28.3°C の範囲であったが、日齢 49 ～ 127 は 25°C 以上の高水温で推移した (図 2)。日齢 45 以降の平均全長は日齢 60 で 33.7 ± 5.3mm, 日齢 105 で 47.8 ± 9.8mm, 日齢 135 で 74.4 ± 16.2mm に達した。日間成長量は、アルテミアのみを給餌した日齢 45 ～ 60 の間が 0.73mm/日、アルテミアと配合飼料を併用した日齢 60 ～ 105 の間が 0.31mm/日、配合飼料を単独給餌した日齢 105 ～ 135 の間が 0.89mm/日であった。生物餌料から配合飼料への

表 1. 種苗生産結果の概要

開始時				終了時		
ふ化仔魚数 (尾)	全長 (mm)	飼育日数 (日)	飼育水温*1 (°C)	生産尾数 (尾)	生残率 (%)	全長*2 (mm)
785,000	3.57 ± 0.14	45	20.7 (17.6-23.1)	77,480	9.9	22.8 ± 3.1

*1 飼育水温: 平均値 (範囲)

*2 終了時全長: 平均値 ± 標準偏差

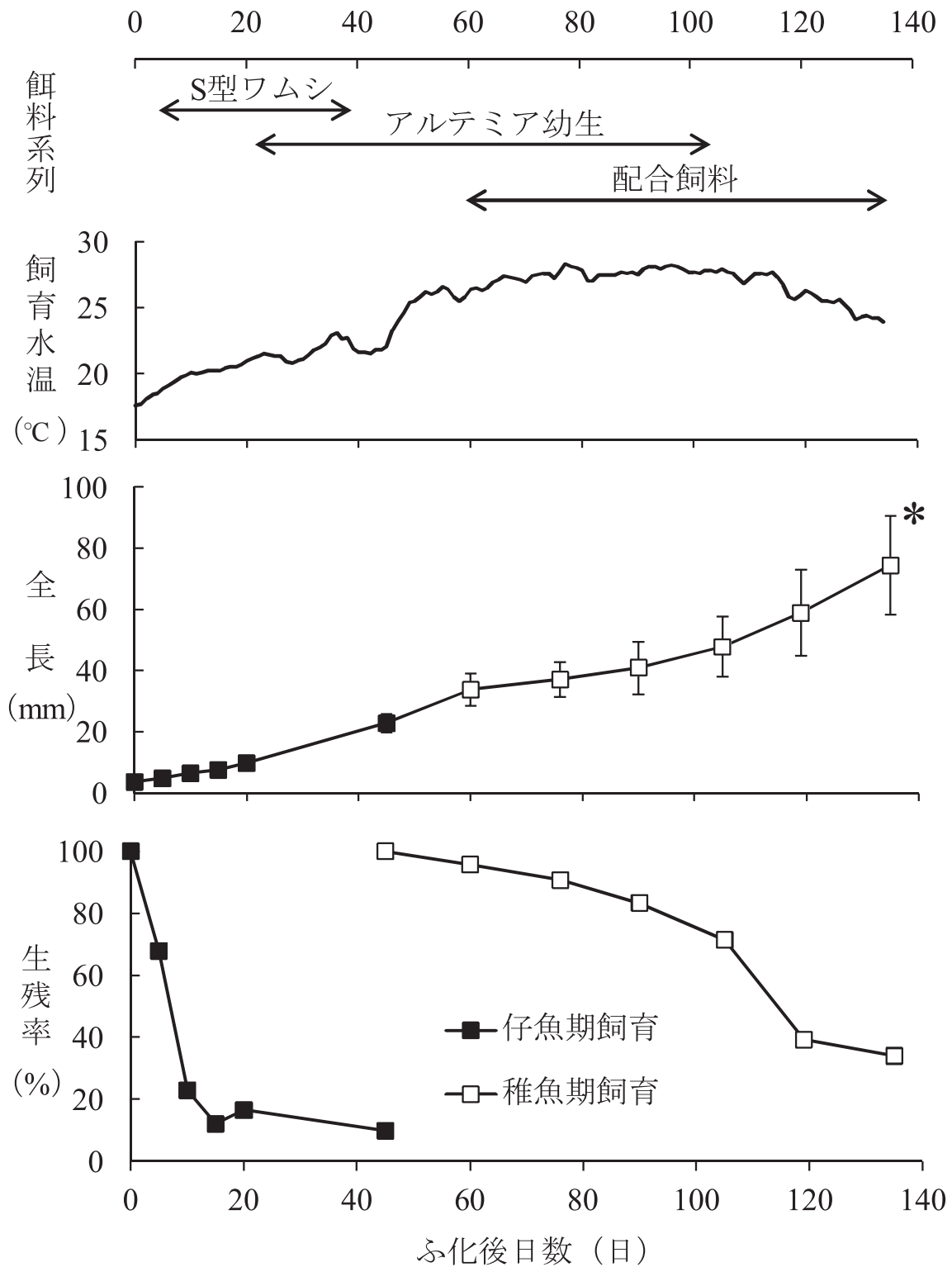


図2. 餌料系列と飼育水温、全長及び生残率の推移
*全長のバーは標準偏差

切り替え時期にあたる日齢 60 ～ 105 の間に成長が停滞した（図 2）。日齢 45 から 135 までの通算日間成長量は 0.57mm/日 で、全長（TL, mm）と体重（BW, g）の間に $BW=4.435 TL^{3.051} \times 10^{-6} (r^2=0.991, n=240)$ の関係式を得た（図 4）。

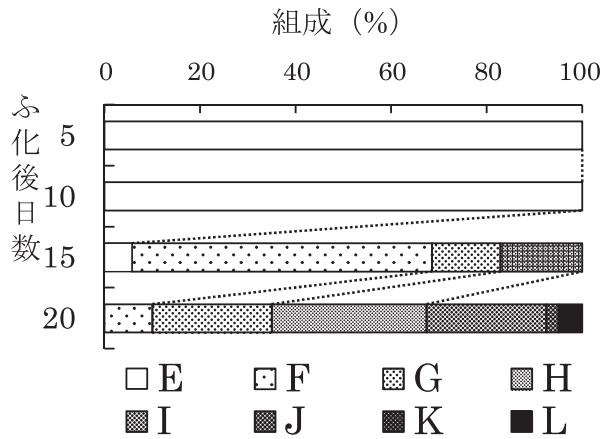


図 3. 発育ステージ組成の推移

目視行動観察と生残率 日齢 3 ～ 7 に仔魚が水槽表面で稠密なパッチを形成したあと浮上死し、日齢 8 ～ 12 には表層付近を定位できずふらついたあと沈降する状況も観察された。これらの影響で、生残率は開口後の日齢 5 に 67.8% となり、後期仔魚期に移行した日齢 10 には 22.9% にまで低下するなど、日齢 10 までの減耗が特に激しかった。日齢 10 ～ 20 には暗期と点灯後の数時間の間、仔魚が底面に蟄集する行動が頻繁にみられ、そのまま浮上できずにへい死するなど、生残率は 16.5% に低下した。全期間を通じて共食いは全く観察されず、変態後の大きな減耗はなかった。しかし、日齢 28 以降における着底魚の急増と成長に伴う水槽底面及び側面の高密度化により、小型魚が大型魚に突かれる状況が観察され、鰭の損傷やびらんが散見された。この頃から水槽壁の水面上に干上がって死亡する「這い上がり死」が発生し始めた（写真 2）。これらによる若干の減耗もあり、種苗生産終了の日齢 45 には生残率 9.9% となった。

日齢 45 以降へい死はわずかで、稚魚期の飼育水槽へ収容してから日齢 60 までの生残率は 95.7% であったが、アルテミアと配合飼料の併用給餌とした日齢 60 からへ

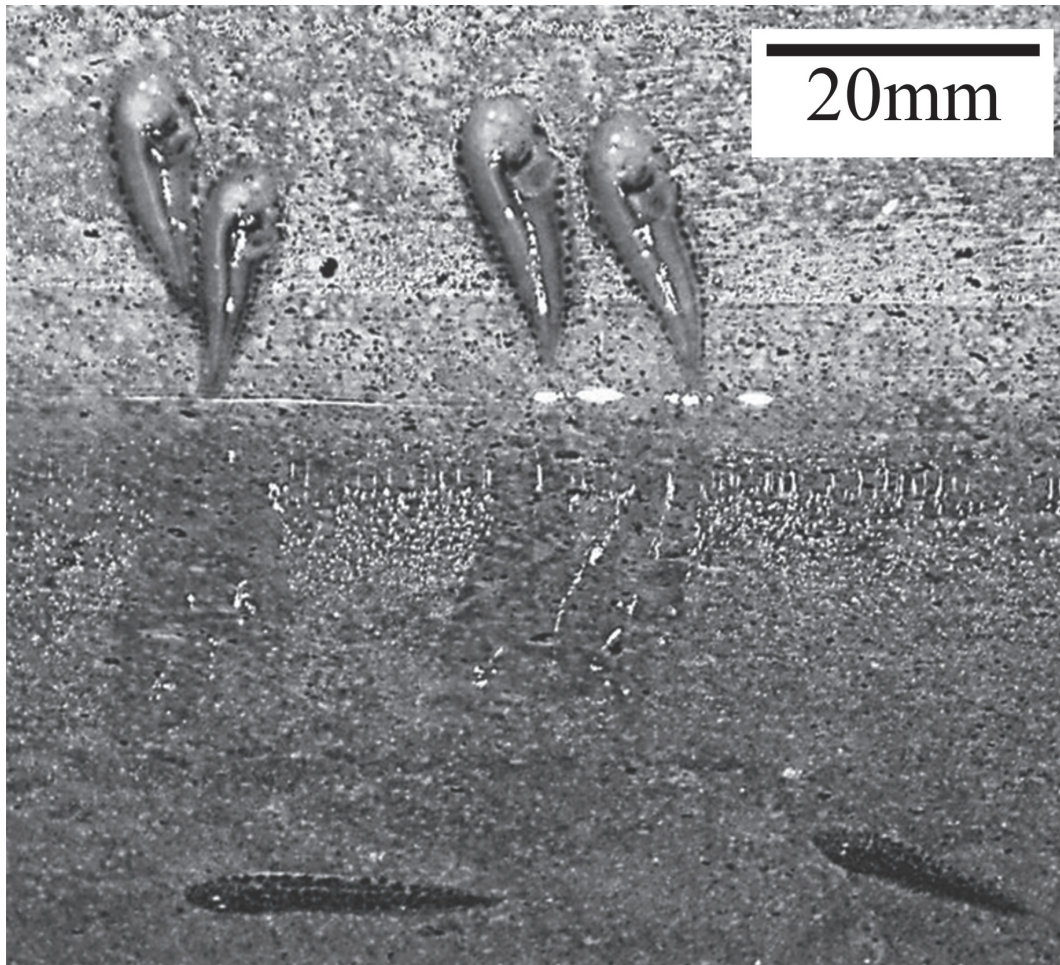


写真 2. 「這い上がり死」した稚魚
写真下部は水面下の正常な稚魚

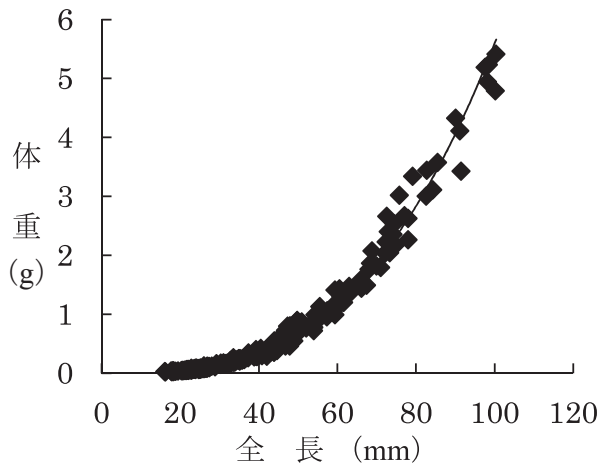


図 4. 稚魚の全長と体重の関係
BW：体重 TL：全長

い死魚が徐々に増加し、日齢 105 で 71.4% に減少した。配合飼料単独給餌とした日齢 105 からは、さらにへい死が顕著となり、日齢 120 には 39.2% とこの期間に半減した。日齢 45 ～ 135 の間、稚魚期飼育の開始から終了までの生残率は 34.0% であった。

これら成長過程において外部形態に異常を呈す種苗が顕著になってきた。形態異常は頭部周辺と体色にみられ、右眼が無眼側に残存するものや頭部の吻端に亀裂が生じる症状、無眼側の有色化等が混在した。

考 察

仔魚期の飼育 コウライアカシタビラメの自然産出卵を用い 40m³ の大型水槽による種苗生産を実施したところ、全長 22.8mm の稚魚 7.7 万尾の生産に成功した。ワムシとアルテミア主体の餌料系列など他の海産魚類と同様の方法で飼育できることが分かり、量産の見通しを得た。しかし、その生残率は浮上死や沈降死など飼育初期の減耗の影響で約 10% と、ヒラメ *Paralichthys olivaceus* の平均生残率 50.3% (草加ら 2007)、オニオコゼ *Inimicus japonicus* の 28.8% (草加ら 2006) 等、事業化されている着底性の海産魚と比較すると低いものであった。

魚類の種苗生産における初期減耗には卵質・ふ化仔魚の活力、餌料、光、水質、飼育水の流動など様々な要因が影響を及ぼすものと考えられているが、現象的には浮上死と沈降死に大別される (宮下 2006)。今回の飼育では浮遊期の日齢 3 ～ 7、日齢 8 ～ 12、日齢 10 ～ 20 にそれぞれ異なる要因と考えられる減耗が観察された。浮上死とは、仔魚が通気のための気泡によって水面に運ばれ、あるいは照度の上昇にともなって表層に移動し、粘液の分泌と表面張力によって水面に張り付いて死亡する現象であり、ハタ類等の種苗生産では飼育水へフィードオイルを添加して水面に油膜を形成することでこれを抑止し

ている (Yamaoka *et al.* 2000, 土橋ら 2003, 平田ら 2009)。ふ化直後のステージ D で水槽の表層に仔魚が著しく蟬集し起こる浮上死については、その兆候がみられた日齢 3 ～ 7 にフィードオイルで表面を皮膜したところ、水面に張り付く現象は抑止され、浮上死の防止に一定の効果が認められた。しかし、この時期の表層への極度の蟬集は、初期摂餌や健全な成長に悪影響を及ぼし、その後の生残率を下げる要因となったと考えられる。フィードオイル以外の対策としてクロマグロ *Thunnus orientalis* (宮下 2006) やマハタ *Epinephelus septemfasciatus* (Sakakura *et al.* 2006) で有効とされる通気の改善やアカアマダイ *Branchiostegus japonicus* (清川ら 2014) で報告されている照度の調整等により仔魚を分散させる飼育方法を検討する必要がある。

次に日齢 8 ～ 12、ステージ E における減耗については、これまでの筆者ら (草加ら 2012) の飼育実験でも報告されている。福澄ら (2001) においても日齢 10 ～ 15 に大幅な減耗がみられ、この時期が無給餌条件下で飼育した場合の全減期と一致するため、摂餌不良による減耗と推察している。卵黄を吸収した時点の仔魚は、眼や口が機能し始めた直後であり、筋肉組織の発達も十分でないため、たとえ餌生物に遭遇しても摂餌に成功する率はかなり低く、仔魚が視界に餌生物をとらえて摂餌姿勢に入っても全てが捕食行動につながるとはかぎらない (田中 1981)。特に本種は遊泳行動がやや緩慢なため、狙ったワムシに対する積極的な捕食行動ができていない、あるいは摂餌成功率が低いことが推測される。そこで、開口から日齢 10 までの期間、摂餌の機会を増やすことでスジアラ *Plectropomus leopardus* (與世田ら 2003) 等の初期摂餌の促進に有効とされる恒明条件を採用し、さらにワムシの密度を他魚種の生産で一般的な 5 ～ 10 個/mL より多い 15 個/mL に高めたが、ステージ E に起こるへい死は改善できなかった。ワムシの給餌密度について、福澄ら (2001) は 50 個/mL 以上で群摂餌率や平均摂餌数が高まったとし、クエ *Epinephelus bruneus* (照屋・與世田 2006) では 20 ～ 30 個/mL、遊泳力の乏しいアカハタ *Epinephelus fasciatus* (川辺・木村 2007) 仔魚では 30 個体/mL の維持が初期減耗には有効とされていることから、より高密度の給餌が適している可能性もある。今後、適正なワムシ密度について明らかにする必要がある。また、ワムシの単独給餌期間が日齢 4 ～ 20 と長期に及ぶことから、ヒラメ仔魚の成長や発育促進への有効作用が確認されているタウリン強化ワムシの給餌 (陳ら 2005) が効果的かもしれない。

一方、沈降死とは、主に夜間に仔魚が水槽底に沈降して死亡する現象であり (宮下 2006)、水槽底への沈降による仔魚の死亡原因は必ずしも明らかでないものの、水槽底との接触で生じる外傷や病原菌の侵入 (宮下 2006) あるいは水槽底の水の動きが弱い環境で仔魚のガス交換の効率が著しく劣る (萱場ら 2003) ことなどが原因と

して考えられている。日齢 10～20, F～H ステージにおける沈降死については、日長時間を恒明から 18～20 時間とした期間の暗期に主に発生した。仔魚の沈降は、発育に伴う体密度の増大に起因し、日中には遊泳している仔魚が静止する夜間に起こることがクロマグロ（坂本ら 2005, Takashi *et al.* 2006）やカンパチ *Seriola dumerili*（照屋ら 2009）で報告されている。特に発育過程を通して鰾が形成されないマツカワ *Verasper moseri*（萱場ら 2003）では、変態直前のステージにおける体高の増加に伴う筋肉や骨組織の形成が体密度の急増に繋がり、特異的な一斉沈降から大量死に至ると推察されている。本種と近縁のクロウシノシタ（南 1982）、同属のアカシタビラメ *Cynoglossus joyneri*（南 1983）は、浮遊期には鰾を形成するが変態期に縮小し、着底時には退化消失することが確認されている。本種でも変態前ステージでの体高の増加や鰾の縮小等が相まって、マツカワと同様の要因で沈降しやすい状態となったと推察される。仔魚の発育に伴う体構造や体密度が遊泳行動に及ぼす影響を明らかにするとともに、夜間の強通気（Sakakura *et al.* 2006）や水中ポンプによる飼育水の循環（Kato *et al.* 2008）等による沈降防除策も検討する必要がある。

稚魚期の飼育 変態後はヒラメ（翠川 1974）やオニオコゼ（八木 1996）等で多発する共食いが無いため減耗は軽微であったが、ふ化日の異なる 3 仔魚群を併せて飼育した影響もあり、成長差は著しく大きかった。加えて、着底魚の増加と成長に伴う水槽底面及び側面の高密度化により、小型魚が大型魚に突かれる状況や若干の這い上がり死もみられた。這い上がり死は、夜間に有眼側で水槽壁面の水面上に這い上がり、自力で戻れなくなる死亡例で、全長 18～40mm で頻発する（草加ら 2012）。ただし、40m³ 水槽での這い上がり死は、コンクリート壁面に凹凸が多いことで体側が壁面に接着し難いためか、ポリエチレンや FRP など表面が滑らかな水槽よりも軽微で、壁面上部からのシャワーや水面の曝気等の防除対策（宮木・中田 2012, 草加ら 2012）を要する程の減耗ではなかった。これら高密度化に伴う弊害に対しては、他のカレイ目魚類同様、適切な時期にサイフォンを用いた早期着底魚の移槽等による密度調整が重要と考えられた。

稚魚期の餌料については、アルテミアのみで育成可能であることがすでに明らかであったため（藤田ら 1986, 草加ら 2012）、将来的な事業化を目指す観点から、生物餌料よりも給餌作業が簡素で低コスト、栄養価が高い配合飼料への切り替えを試みた。しかし、配合飼料への餌付きが悪く、結果、アルテミアを単独給餌した飼育事例の 87.5%（草加ら 2012）を大きく下回る 34.0% の低い生残率となった。全般的に配合飼料への反応は鈍く、摂餌できないまま衰弱死する稚魚が多かったが、積極的に摂餌する個体も見られた。コウライアカシタビラメ 0 歳

魚の食性について大坂ら（1997）は、主な餌料は成長によって変化し、全長 70mm 以下ではカイアシ類、クマ類、ヨコエビ類であるとしている。また、クロウシノシタの種苗生産においても、同様に着底後の稚魚は配合飼料への反応が鈍く、摂餌は不活発であったことから（土屋ら 1993）、ウシノシタ類の稚魚において生物餌料から配合飼料へ切り替えるには技術的な検討が必要であると考えられる。一方、宮木ら（2012）は稚魚を巡流水槽に収容して、全長 30mm までの間に配合飼料に餌付けたことを報告しており、水槽底に沈下した配合飼料を動きのある状態とすることで改善できる可能性もある。

今回の飼育試験では外部形態に異常を呈す種苗が観察された。カレイ目魚類では、ヒラメやカレイ科で眼位や体色異常の頻発が報告され、種苗生産現場で解決すべき大きな問題となってきた（青海 2003, 有瀧 2013）。クロウシノシタ（土屋ら 1993）、イヌノシタ（弘奥ら 2013）、及び本種（藤田ら 1986）でも形態異常の発現を示す簡略な報告は存在することから、ウシノシタ科魚類の人工種苗においても他のカレイ目魚類同様の症状が多発する可能性が考えられる。現在筆者らは、本種における形態異常について観察を始めており、今後詳細に検討していく予定である。

謝 辞

本研究を進めるにあたり、本種の種苗生産技術全般にわたりご教授いただいた長崎県総合水産試験場種苗量産技術センター 宮木廉夫博士に厚くお礼申し上げます。また、本論文をとりまとめるにあたり、有益なご助言をいただいた福山大学教授 南 卓志博士、並びに有瀧真人博士に深謝する。

文 献

- 有瀧真人（2013）カレイ科魚類人工種苗における形態異常魚の普遍的特徴。日水誌, **79**, 613.
- 陳 昭能・竹内俊郎・高橋隆行・友田 努・小磯雅彦・桑田 博（2005）ヒラメ仔魚の成長に及ぼすタウリン強化ワムシの効果。日水誌, **71**, 342-347.
- 土橋靖史・栗山 功・黒宮香美・柏木正章・吉岡 基（2003）マハタの種苗生産過程における仔魚の活力とその生残に及ぼす水温、照明およびフィードオイルの影響。水産増殖, **51**, 49-54.
- 藤田矢郎・田北 徹（1965）ムラサキアカシタビラメの卵発生と仔魚前期。日水誌, **31**, 388-392.
- 藤田矢郎・北島 力・林田豪介（1986）コウライアカシタビラメの成熟促進、卵発生と飼育による仔稚魚の形態。魚類学雑誌, **33**, 304-315.
- 深浦雄一・倉田清典（1999）種苗生産試験Ⅲ（コウライアカシタビラメ）。平成 10 年度熊本水研事報, 179-181.
- 福澄賢二・太刀山透・深川敦平（2001）コウライアカシタビラメの採卵と仔稚魚の飼育。福岡水海技セ研報, **11**, 21-27.

- 原田和弘・水田 章・杉野雅彦（1994）コウライアカシタビラメの種苗生産試験. 平成5年度兵庫水試事報, 137-138.
- 平田義郎・浜崎活幸・照屋和久・虫明敬一（2009）マハタおよびクエ仔稚魚の成長にともなう体密度の変化. 日水誌, **75**, 652-660.
- 弘奥正憲・杉野博之・草加耕司（2013）イヌノシタの人工授精と仔稚魚の飼育. 岡山水研報告, **28**, 39-46.
- Kato Y, Takebe T, Masuma S, Kitagawa T, Kimura S（2008）Turbulence effect on survival and feeding of Pacific Bluefin tuna *Thunnus orientalis* larvae, on the basis of a rearing experiments. *Fish. Sci.*, **74**, 48-53.
- 川辺勝俊・木村ジョンソン（2007）選別した小型S型ワムシを用いたアカハタの種苗生産. 栽培技研, **35**, 11-21.
- 萱場隆昭・杉本 卓・松田泰平（2003）マツカワの種苗生産における仔魚の大量沈下減耗. 水産増殖, **51**, 443-450.
- 清川智之・堀 玲子・佐藤利夫（2014）小型水槽を使用したアカアマダイの種苗生産. 水産技術, **6**, 147-159.
- 草加耕司・後藤真樹・小見山秀樹・弘奥正憲（2012）コウライアカシタビラメの仔稚魚の飼育方法の検討. 岡山水研報告, **27**, 37-43.
- 草加耕司・岩本俊樹・後藤真樹（2014）養成期間の異なるコウライアカシタビラメ親魚群の自然産卵と卵質. 水産技術, **7**, 17-22.
- 草加耕司・樫東裕子・池田博明・弘奥正憲・池田善平（2007）ヒラメの種苗生産. 岡山水研報告, **22**, 190-195.
- 草加耕司・弘奥正憲・藤井義弘（2006）オニオコゼの種苗生産. 岡山水研報告, **21**, 99-103.
- 南 卓志（1982）クロウシノシタの初期生活史. 日水誌, **48**, 1041-1046.
- 南 卓志（1983）アカシタビラメの初期生活史. 日水誌, **49**, 719-724.
- 宮木廉夫（2010）コウライアカシタビラメの種苗生産について. 豊かな海づくり水産開発ながさき, **106**, 1-4.
- 宮木廉夫・中田 久（2012）コウライアカシタビラメ種苗生産. 平成23年度長崎水試事報.
- 宮下 盛（2006）種苗生産における浮上および沈降死. 日水誌, **72**, 947-948.
- 元谷 剛（2010）岡山県海域で操業する小型底びき網漁業の漁獲物組成（平成21年）. 岡山水研報告, **25**, 24-29.
- 尾田 正・水戸 鼓（1994）コウライアカシタビラメ仔魚の相対成長, 摂餌可能サイズと適正塩分. 岡山水試報, **9**, 85-88.
- 岡山県農林統計協会（2008）平成18～19年岡山県水産統計年報, 37pp.
- 大坂幸男・興石裕一（1997）日本の稀少な野生水生生物に関する基礎資料（Ⅳ）. 日本水産資源保護協会, 東京, 190-195.
- Sakakura Y, Shiotani S, Chuda H, Hagiwara A（2006）Improvement of the survival in the seven-band grouper *Epinephelus septemfasciatus* larvae by optimizing aeration and water inlet in the mass-scale rearing tanks. *Fish. Sci.*, **72**, 939-947.
- 坂本 亘・岡本杏子・上土行起典・家戸敬太郎・村田 修（2005）クロマグロ仔魚の成長に伴う比重変化. 日水誌, **71**, 80-82.
- 青海忠久（2003）異体類体色異常出現の防除に関する研究. 日水誌, **69**, 697-700.
- 翠川忠康（1974）ヒラメの種苗生産について. 栽培技研, **3**, 15-21.
- Takashi T, Kohno H, Sakamoto W, Miyashita S, Murata O, Sawada Y（2006）Diel and ontogenetic body density change in Pacific Bluefin tuna *Thunnus orientalis* (Temminck and Schlegel), larvae. *Aquacult. Res.*, **37**, 1172-1179.
- 田中 克（1981）海産仔魚の摂餌と生残－Ⅲ. 生残に必要な限界餌料密度の推定（2）. 海洋と生物, **13**, 140-146.
- 照屋和久・與世田兼三（2006）クエ仔魚の成長と生残に適した初期飼育条件と大量種苗量産試験. 水産増殖, **54**, 187-194.
- 照屋和久・浜崎活幸・橋本博・片山俊之・平田義郎・鶴岡廣哉・林 知宏・虫明敬一（2009）カンパチ仔魚の成長にともなう体密度と水槽内鉛直分布の変化. 日水誌, **75**, 54-63.
- 土屋笙子・細谷久信・渡辺昭・佐藤義昭（1993）ウシノシタ種苗生産技術開発試験. 新潟栽セ業務研報, **16**, 73-82.
- 八木秀志（1996）オニオコゼ種苗生産時に共食いが発生する条件について. 栽培技研, **24**, 121-122.
- Yamaoka K, Nanbu T, Miyagawa M, Isshiki T, Kusaka A（2000）Water surface tension-related deaths in prelarval red-spotted grouper. *Aquaculture*, **189**, 165-176.
- 與世田兼三・團 重樹・藤井あや・黒川優子・川合真一郎（2003）異なった日周条件がスジアラ仔魚の初期摂餌, 初期生残および消化酵素に及ぼす影響. 水産増殖, **51**, 179-188.

短 報

トラフグ凍結精子の家庭用冷蔵庫での二次保存

細谷 将*・水野直樹*・城 夕香*・藤田真志*・鈴木 譲*・菊池 潔*

Secondary preservation of cryopreserved torafugu (*Takifugu rubripes*) sperm in a conventional refrigeratorSho HOSOYA, Naoki MIZUNO, Yuka JO, Masashi FUJITA,
Yuzuru SUZUKI and Kiyoshi KIKUCHI

Transfer of cryopreserved torafugu (*Takifugu rubripes*) sperm for commercial use has been established. Because of difficulties in rigorous ovulation control for this species, secondary preservation of the cryopreserved sperm might be required after delivery to hatcheries that are not equipped with deep freezers or liquid nitrogen tanks until the fish spawn. In this study, we tested the ability to keep cryopreserved sperm in a conventional freezer and fridge. Sperm directly transferred from a liquid nitrogen tank to the freezer became motionless within a day and fertilization ability within nine hours, whereas those thawed and kept in the fridge maintained motility over four days and could produce larvae even 72 hours after secondary preservation.

キーワード：トラフグ、凍結精子保存、二次保存

2014年6月9日受付 2015年1月8日受理

ゲノム情報を活用した育種研究の重要性がますます広く認識されつつあるが、その成果が水産分野でも実用化され始めた。その代表例はリンホスチス病耐性を持つヒラメ系統であり、このヒラメ種苗はすでに市場において大きなシェアを獲得している (Ozaki *et al.* 2012, Fuji *et al.* 2007)。今後は、多くの養殖魚種において優良系統が次々と生まれ、その種苗の流通が拡大すると予想される。さらには、畜産業界で行われているように (畜産技術協会 2004)、凍結精子を利用した優良品種の流通が一般的になる可能性も高い。先駆的な例としては、岐阜県河川環境研究所が県内の鮎養殖業者に対して子持ち鮎生産支援として行っている全雌化精液の販売があげられる。また、東京大学大学院農学生命科学研究科附属水産実験所 (以下、東大水産実験所) で作出された「超雄トラフグ」 (菊池ら 2013, Matsunaga *et al.* 2014) の凍結精子の提供も 2013 年から始まっている。

トラフグを始め、多くの魚種では水温や日長の管理、ホルモン処理などによる排卵誘導を行っても厳密に産卵日を決定することは容易ではない。したがって、凍結精子を生産現場に持ち込んでも、その日に卵が得られずに授精できない事態も起こり得る。そうならないためには、搬入した凍結精子の二次保存法について検討しておく必要があると考えられた。

本研究では、天然のトラフグ (*Takifugu rubripes*) を用いて、液体窒素容器や超低温冷蔵庫などがない生産現場でも可能な方法として、家庭用冷蔵庫の冷凍室および冷蔵室での二次保存を検討した。最初に実験 1 では、冷凍室内での保存を試み、精子の能力を評価するために人工授精させて孵化率を求めた。次に実験 2 では、冷蔵室内での 3 日間の保存を試みた孵化実験を行った。実験 3 では、冷蔵室内で 3 日以上保存した精子の運動活性を評価した。

* 東京大学大学院農学生命科学研究科附属水産実験所

〒 431-0214 静岡県浜松市西区舞阪町弁天島 2971-4

Fisheries Laboratory, Graduate School of Agricultural and Life Sciences, University of Tokyo, 2971-4 Bentenjima, Maisaka, Nishiku, Hamamatsu 431-0214, Japan

ahosoya@mail.ecc.u-tokyo.ac.jp

材料と方法

実験 1：冷凍室での二次保存 2013 年 4 月 26 日に敦賀港にて購入した天然トラフグを東大水産実験所まで陸送して実験に供した。すでに排精していた 3 尾の雄（個体 A, B, C）から 4 月 29 日に精子を採取し、ストロー法（Kamada *et al.* 2008）で凍結精子を作製し、液体窒素で保存した。精子の保存液には、ジメチルスルホキシド（Dimethyl sulfoxide (DMSO), Wako）と非働化済みウシ胎児血清（Fetal bovine serum (FBS), Gibco 社）を 1:9 の割合で混合して用いた。精子に 9 倍量の保存液を添加し、穏和な転倒混和を 30 回行って希釈した。精子に活性があることを確認したうえで、0.5 mL サイズのストロー精液管（富士平工業株式会社）に充填し、ストローパウダー（富士平工業株式会社）で封をした。ストローは液体窒素の液面で 1 分間冷却した後に液体窒素に沈め、液体窒素容器（XT-20, Taylor Wharton, 米国）で保存した。

この凍結精子を用いて、冷凍室（-24°C 程度）で 2 日間の保存を試みた。雌個体の成熟過程をカニューレションで確認し、成熟の進行具合から産卵日を 5 月 2 日と予想した。4 月 30 日の 9 時, 15 時, 5 月 1 日の 9 時, 15 時, 5 月 2 日の 3 時に、各個体の凍結精子をストロー 3 本ずつ液体窒素容器から出して、ポリ袋に入れて冷凍室に保存した。後述の媒精操作を行ったのは、5 月 2 日の 12 時であったため、冷凍室での保存時間は、それぞれ 51, 45, 27, 21, 9 時間となった。

凍結精子の解凍は、各個体あたりストロー 3 本ずつを冷凍室から取り出し、20°C の水をはったバットにストローのまま浮かべて行った。人工授精に先立って、解凍後の活性を顕微鏡下で確認したところ、9 時間保存した精子には活性が認められたが、21 時間保存した精子は、その場で痙攣したように首をふる精子はいたものの、前進運動する精子はなかった。保存時間が 27 時間以上の精子はどの個体でも活性がなかった。これらの結果を受け、9 時間保存した精子と 21 時間保存した精子、および対照区として、液体窒素から出してそのまま 20°C の水で解凍した精子を用いて人工授精を行った。各ストローから 18 μ L の精子をとり、それぞれ直径 9cm の滅菌済みプラスチックシャーレ中で 1.0 g の卵と混ぜ、乾導法で人工授精させた。授精には 20°C の濾過海水を用いた。5 時間後に卵 100 粒ずつを 300mL の海水を入れた 500mL のサンプル瓶に保存し、海水を毎日交換しながら孵化まで飼育した。

実験 2：冷蔵室での二次保存 2014 年 4 月 28 日に敦賀港にて購入した天然トラフグを東大水産実験所まで陸送して実験に供した。すでに排精していた 3 尾の雄個体（D, E, F）から 5 月 6 日に精子を採取し、上述の方法で液体窒素中に凍結保存した。5 月 7 日の午後 3 時と 5 月 9

日の午後 3 時に凍結精子を上述の方法で解凍した後、ストローのままポリ袋に入れて家庭用冷蔵庫の冷蔵室に保存した。5 月 10 日に採卵できたので、午後 3 時にこの解凍精子を用いて乾導法で人工授精し、100 粒の卵から上述の方法で孵化率を求めた。

実験 3：冷蔵庫で 3 日以上保存した精子の運動能 実験 1, 2 とは異なるオス個体（G, H, I）から採精して凍結精子を作製し、精子の運動能を記録した。液体窒素から出した凍結精子を 20°C の水で解凍した後、家庭用冷蔵庫内に保存した。冷蔵庫に移してから 76, 100, 124 時間にあたる精子の運動能を精子運動比と運動時間から評価し、冷蔵庫での保存時間との関係について検討した。また、対照区として、液体窒素容器から出して解凍した直後の精子についても運動能を評価した。

運動能の評価は顕微鏡下で 400 倍の倍率で行った。スライドガラス上に 9 μ L の海水を取り、解凍した精子を 0.3 μ L 滴下し、素早く混合することで活性を賦与した。顕微鏡は Leica 社製の光学顕微鏡（DM5000B）を用い、鏡筒にデジタルカメラ（DFC490）をつないでパソコンモニターに映し、それを Sony 社製ハンディカム（HDR-SR12）で録画して精子の運動を観察した。運動精子比は太田ら（1995）の方法により、6 段階に区分して判定した。すなわち、活性を賦与してから 10 秒後に前進運動する精子の割合が 75% 以上の場合を「5+」、50–74% を「4+」、25–49% を「3+」、24% 以下を「2+」、極めて少数の場合を「1+」、すべて動かない場合を「0」とした。また、精子を滴下した直後から活性を持つ精子が視界内でおおよそ 5% になるまでの時間を運動時間とした。

結 果

実験 1：冷凍室での二次保存 対照区では 5 割程度の孵化率だったのに対し、冷凍庫で二次保存した場合、9 時間保存区では平均 4–14% と著しく低下しており、21 時間保存区では孵化仔魚を得られず、孵化率は 0% であった（図 1）。各個体の平均値を用いて、保存時間の影響を Kruskal-Wallis test ($n=3$, $\alpha=0.05$) で評価した。その結果、冷凍庫での保存時間の延長とともに孵化率の有意な低下が認められた ($P=0.024$)。

実験 2：冷蔵室での二次保存 凍結精子を解凍したうえでストローのまま冷蔵保存した場合、対照区と同程度の孵化仔魚が得られた（図 2）。個体 D の精子を用いた 72 時間保存区のみ 14% 程度と孵化率が低かったが、Kruskal-Wallis test ($n=3$, $P=0.177$) では対照区との間に有意差は確認されなかった。

実験 3：冷蔵庫で 3 日以上保存した精子の運動能 解凍後にストローのまま冷蔵保存した精子の運動時間は保存

トラフグ凍結精子の冷蔵保存

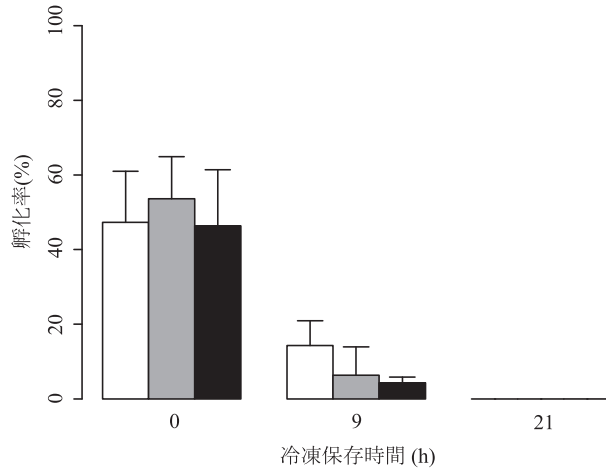


図1. トラフグ精子の冷蔵室での保存時間と媒精後の孵化率(平均値±標準偏差). A, B, Cは個体の識別記号

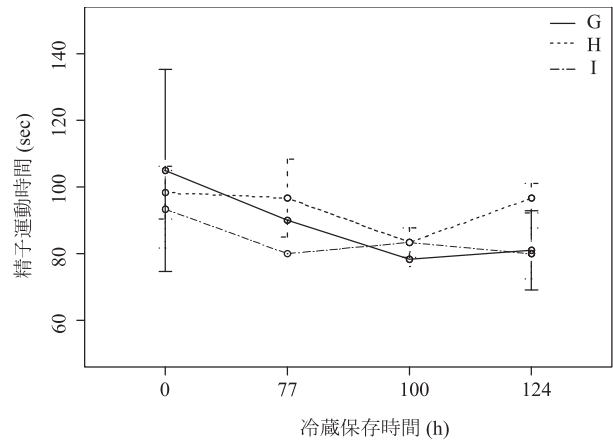


図3. 解凍精子の冷蔵室での保存時間と賦活後の精子運動時間(平均値±標準偏差). G, H, Iは個体の識別記号

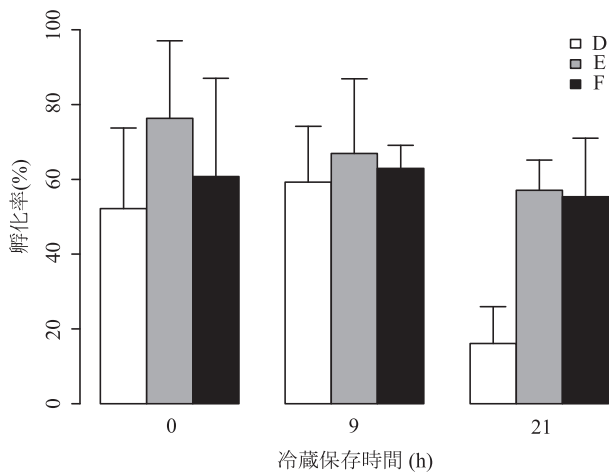


図2. トラフグ精子の冷蔵室での保存時間と媒精後の孵化率(平均値±標準偏差). D, E, Fは個体の識別記号

時間の経過とともに減少の傾向にあったものの(図3), 対照区と有意差はなかった(Kruskal-Wallis test, $P = 0.157$)。また, 精子運動比は, 100 時間では「5+」が多かったが, 124 時間では「4+」が増えており, 全体として運動能の低下が認められた(表1)。

考 察

トラフグの凍結精子を家庭用冷蔵庫の冷凍室に保存した場合, 1 日以内に活性を失い, 孵化率も9 時間以内に著しく低下した(図1)。このことから, 本種では冷蔵室での二次保存は不可能あることが分かった。本実験で二次保存が不可能であったメカニズムは不明であるが, 冷蔵室内の温度(-24°C)が動物細胞内で氷結晶が生成される -8°C から -21°C の温度帯(朝比奈 1980)に近かったことが影響していると考えられる。したがって, これよりももっと低い温度を保つ冷凍庫であれば二次保存が可能かもしれない。一方, 解凍後に冷蔵保存した場合, 3 日経過しても対照群と同程度の孵化仔魚を得られた(図2)。このことから, トラフグの凍結精子は, 搬入後, 家庭用冷蔵庫の冷蔵室に二次保存することが可能であることが示された。本研究では冷蔵室での4 日以上二次保存は試せなかったが, 実験3で精子の運動能は4 日目まで大きな変化がなく, 5 日経過した場合に若干の劣化傾向が認められたことから(図3, 表1), 冷蔵室で二次保存の可能期間は3-4 日程度と予想された。ただし, 個体D由来の精子では3 日目に孵化率の低下が認められた。この結果から, この個体の精子は他の個体の精子

表1. 個体 G, H, I から得た凍結精子の冷蔵室での保存時間と賦活後の精子運動比が「5+」「4+」だった回数 (n=3)

	0h		77h		100h		124h	
	5+	4+	5+	4+	5+	4+	5+	4+
G	3	0	2	1	3	0	1	2
H	3	0	3	0	3	0	2	1
I	3	0	3	0	2	1	2	1

より質的に劣っていたことが示唆され、凍結前の精子の質によって保存可能期間が異なることも予想された。今後、凍結前の精子の運動能などから二次保存の可能時間を予測するモデル式などの開発が求められる。

以上のことから、トラフグの凍結精子は家庭用冷蔵庫で二次保存が可能であることが示された。生産現場に液体窒素容器や超低温冷凍庫など専用の道具が必ずしも必要ではないことは、凍結精子の使用を容易にする。また、凍結精子を搬入した日に卵が得られない、あるいは得られても過熟などで状態が思わしくなかった場合、近日中に産卵が予定されている雌に使用できるなど計画に柔軟性が持てる。さらに、解凍精子を冷蔵発送できるため、輸送方法の選択肢も増える。育種研究の成果が蓄積されるにつれて、養殖業において凍結精子の流通は一般的になると予想される。今後、他魚種においても凍結精子の二次保存方法を含め、凍結精子の使用について利便性を増すような技術の開発が望まれる。

謝 辞

本研究を行うに当たり、凍結精子の作製やカニューレーション等の技術をご指導いただいた独立行政法人水産総合研究センター増養殖研究所 鈴木重則氏にこの場を借りてお礼を申し上げます。

引用文献

- 朝比奈英三（1980）生体の組織と細胞における氷晶形成．凍結及び乾燥研究会誌，**26**，46-51
- 畜産技術協会（2004）牛の人工授精マニュアル .151pp
- FUJI, K., O. HASEGAWA, K. HONDA, K. KUMASAKA, T. SAKAMOTO, N. OKAMOTO (2007) Marker-assisted breeding of a lymphocystis disease-resistant Japanese flounder (*Paralichthys olivaceus*). *Aquaculture*, **272**, 291-296.
- KAMADA Y., Y. MORIMOTO, K. YOKOI, S. SUZUKI, H. OHTA (2008) Cryopreservation of tiger puffer sperm. 水産増殖, **56**, 648.
- 菊池 潔・細谷 将・田角聡志（2013）魚類の性統御．アクアネット, **16**, 42-47.
- MATSUNAGA, T., R. IEDA, S. HOSOYA, M. KUROYANAGI, S. SUZUKI, H. SUETAKE, S. TASUMI, Y. SUZUKI, T. MIYZDAI, K. KIKUCHI (2014) An efficient molecular technique for sexing tiger pufferfish (fugu) and the occurrence of sex-reversal in a hatchery population. *Fish. Sci.*, **80**, 933-942.
- 太田博巳・楠田 聡・工藤 智（1995）シシヤモ精巢精子の運動活性．日水誌, **61**, 7-12.
- OZAKI, A., K. ARAKI, H. OKAMOTO, M. OKAUCHI, K. MUSHIAKE, K. YOSHIDA, T. TSUZAKI, K. FUJI, T. SAKAMOTO, N. OKAMOTO (2012) Progress of DNA marker-assisted breeding in maricultured finfish. *Bull. Fish. Res. Agen.*, **35**, 31-37.

技術報告

サケの耳石温度標識パターンを増やすための
標識時間の短縮宮内康行^{*1}・江田幸玄^{*2}・平間美信^{*3}・岡本康孝^{*1}・大貫 努^{*4}Shortening of marking time to increase otolith thermal marking pattern of
chum salmon (*Oncorhynchus keta*) released from hatcheriesYasuyuki MIYAUCHI, Yukiharu GOHDA, Yoshinobu HIRAMA,
Yasutaka OKAMOTO and Tsutomu OHNUKI

Thermal otolith marking is an effective tool to identify the origin of anadromous salmon released from hatcheries. The otolith is thermally marked by abrupt changes in water temperature (3–4 °C) during incubation. The marking time required for creating one ring is at least 24 h (cooling for 12 h and warming for 12 h). The number of available marking patterns is limited because the window of marking is less than two weeks for the eyed-egg stage. In order to increase otolith marking patterns, we conducted laboratory experiments to shorten the marking time. Our experiments confirmed that a clear marking ring was created within 12 h (cooling for 3 h and warming for 8 h at least) in the otolith of chum salmon (*Oncorhynchus keta*) during the eyed-egg stage. By using this method, various marking patterns were created in the otolith of fish, even at hatcheries where the marking period was restricted because of relatively high water temperatures during incubation.

キーワード：サケ, 耳石標識, 標識パターン, 大量標識放流

2014年6月3日受付 2015年1月8日受理

さけ・ます類の資源管理や生態調査を行う際に、放流した国および河川等を明らかにするため、しばしば幼稚魚の標識放流が行われている。以前は幼稚魚の鰭切除(坂野 1960) やリボンタグなどを装着(真山 2005) する外部標識が主流であった。近年では卵管理時期に蛍光物質のアリザリン・コンプレクソンを用いて耳石に蛍光リングを付ける標識(工藤 2001) や、水温変化により耳石にバーコード状の黒いリングをつける耳石温度標識(以下、耳石標識) による大量標識放流が主流となっている

(浦和 2001)。

我が国では 1999 年春に耳石標識をつけたサケ *Oncorhynchus keta* 稚魚が石狩川支流の千歳川にはじめて放流された(川名 1999)。その後、耳石標識魚の放流数は徐々に増加し、2013 年春には耳石標識を施したサケ稚魚が約 2 億 3000 万尾放流された(Tomida *et al.* 2013, Urawa *et al.* 2004)。放流効果(高橋 2010)などを把握するための様々な調査にも利用されている。

耳石標識は冷却装置を用いて通常水温(原水)を約 4°C

^{*1} 独立行政法人水産総合研究センター北海道区水産研究所さけます資源部天塩さけます事業所
〒098-2243 北海道中川群美深町西3条南4丁目1-1

Tesio Field Station, Salmon Resources Division, Hokkaido National Fisheries Research Institute, Fisheries Research Institute, West 3
South 4-1-1, Bifuka, Hokkaido 098-2243, Japan
ymiyauch@affrc.go.jp

^{*2} 独立行政法人水産総合研究センター北海道区水産研究所さけます資源部千歳さけます事業所

^{*3} 水産庁増殖推進部栽培養殖課

^{*4} 独立行政法人水産総合研究センター北海道区水産研究所さけます資源部

下げると耳石に黒いリングが形成される（浦和 2001）。このリングは光周期により 1 日 1 本形成される周期的な日周輪（Mugiya 1987）とは異なり、急激な魚体の生理状態の変化やなんらかのストレスを受けた時、耳石中に含まれるカルシウムとタンパク質層の厚さが変化し、非周期的なリングが形成されることを応用した標識技術である（浦和 2001, 麦谷 1996, Brothers 1990）。我が国では冷却する時間を 12 時間もしくは 24 時間としている。水温を冷却する時間が 12 時間の場合は細いリングが、24 時間の場合はそれよりも太いリングが形成される。これと 12 時間以上の通常水温で管理する時間を組み合わせ、バーコード状の標識パターンを作成している（浦和 2001）。

サケの人工ふ化放流事業の行程で、耳石標識を行うのは死卵を取り除く「検卵」の作業後から、卵からふ化する前に養魚池（仔魚管理池）へ移行する「散布」作業までの間である。例えば、ふ化管理水温が 8℃ の場合、積算温度 320℃ 過ぎ（受精から約 40 日）に検卵作業を行い、積算温度 450℃ 以前（受精から約 56 日）には養魚池へ散布することから、標識作業を行える期間は約 16 日となる。また、検卵や散布作業の衝撃で生じるノイズや卵からふ化する時に表れる「ふ化リング」と標識したリングを見分けるため、標識前後には「安息日（通常水温での管理）」を 2 日設けることを基本としている。そのため、実際の標識期間は約 12 日前後である。ふ化管理水温が高温の場合は標識可能な期間も短くなり、例えば、水温が 12℃ を越えるふ化場での標識可能日数は約 7 日前後である。辻本・田子（1998）や坂本ら（2009）はサクラマス *O. masou* のふ化後の仔魚にも水温変化を与えることで、耳石標識が可能であることを確認している。しかし、サケの種卵はサクラマスの種卵よりも大量に扱うため、標識装置の冷却能力を考慮すると、ふ化前の卵の発眼期に標識をつけることが望ましい。

耳石標識パターンの重複を避けるため、NPAFC（北太平洋河性魚類委員会）の標識作業グループ（2014）が国間の調整を行っている。日本から放流されるサケ稚魚に用いられる耳石標識パターンとして、最初は 2 本の太いリングもしくは細いリングを付け、その後に細いリングもしくは太いリングを組み合わせるルールとなっている（浦和 2001）。こうした調整作業を経て、2013 年現在、日本ではサケ、サクラマス、カラフトマス *O. gorbusha* およびベニザケ *O. nerka* の 4 魚種に 65 種類の耳石標識をつけて放流している（Tomida *et al.* 2013）。しかし、近年、耳石標識を用いた様々な研究開発（高橋 2009, Urawa 2009, Urawa 2004, 高橋 2010）が増加したことにより、耳石標識パターンが慢性的に不足して支障を来している。特に本州の比較的水温の高いふ化場では卵期の発生が早く、標識できる期間も短いため、利用可能な耳石標識パターンが限定されている。

本試験では、耳石標識にかかる時間を短縮して利用可

能な耳石標識パターンを増加させるため、認識可能な標識リングを形成することができる最短時間を検討した。

材料と方法

供試卵と冷却装置 試験には 2012 年 9 月 8 日、15 日、21 日と 12 月 7 日、12 日に千歳川に遡上したサケ親魚から採卵授精させた卵を用いた。受精卵は北海道区水産研究所千歳さけます事業所（以下、千歳事業所）のボックス型ふ化器に収容し、積算温度 320℃ の時点で死亡した卵を除去するために検卵作業を実施し、48 時間の安息期間（通常水温での管理）を設けた後、試験に供した。耳石標識は千歳事業所に設置された水温冷却装置（TR-J150DCS, タカツ電機商会社製）を用いて行った。この装置は 1 ～ 99 時間毎の設定で水温調整した用水を毎分 50 L 供給することが可能である。千歳事業所で卵管理に用いている湧水の平均水温は 8.3℃（範囲 7.9 ～ 8.8℃）であり、冷却装置を用いておよそ 4℃ に下げて標識試験を行った。試験には 1 群あたりおよそ 1,000 粒の卵をネットに入れ、ボックス型ふ化槽に収容して標識を行った。標識終了後、再び 48 時間の安息期間を設けてから仔魚管理へ移行した。試験期間中の水温変化は自記水温計（HOBO Pendant, ONSSET 社製）を用いて 5 分毎に記録した。

最短の冷却時間 まず、標識リングの識別が可能な最短冷却時間を把握するため、冷却（約 4℃）時間が 1, 2, 3, 4, 6, 12（対照）時間の 6 区分を設定した。通常水温（約 8℃）での管理時間は従来通り 12 時間とした。本試験での冷却と通常水温の表記方法として、冷却水と通常水温での管理時間の後に C（冷却）か H（通常水温）を付記した。例えば、1 本のリングをつけるための組合せで 1 時間冷却と 12 時間通常水温の表記方法は「1C12H」となる。このサイクルを 4 回繰り返し、4 本リングの耳石標識を試みた。

通常水温での最短管理時間 識別可能な標識リング間の空白を形成する通常水温での最短の管理時間を把握するため、前述の試験で判断された最短の冷却時間から通常水温での管理時間を 1 時間ずつ増やし、最長で 11 時間までの試験区を設定した。この試験でも 4 本リングの耳石標識を試みた。また、4 本のリングが鮮明に確認できた試験区については 1 本目と 4 本目のリング間の距離を測定した。生物顕微鏡（ECLIPSE Ci-S, ニコンインステック社製）にデジタルカメラ（IK-HR2D, 東芝社製）を接続し、映像化したものを画像計測ソフトウェア（SENSIV MEASURE, 三谷商事社製）を用いて距離の測定を行った。

標識後の仔魚の生残率 今回、従来の耳石標識の間隔よ

り短い間隔での水温変化を発眼卵に与えたため、ふ化仔魚の生残に与える影響を検討した。試験に用いた同日採卵日（3区分）と別の採卵日（2区分）の受精卵に非標識群を設け、ふ化した仔魚が浮上（積算温度約 950°C）するまでの生残率を標識群と比較した。標識群、無標識群ともにふ化した仔魚は粒径およそ 2～5cm の玉砂利を敷き詰めたプラスチック製のザル（縦 40cm、横 28cm、高さ 5cm）に収容し、湧水（約 8°C）を供給して浮上期まで流水飼育した。生残率は最終的に浮上した稚魚の数を試験開始時の発眼卵の数で割って算出した。

耳石標識の評価方法 各試験区分が耳石標識として認識可能か判断するため、標本を作製し、表 1 に記した 4 段階の基準を用いて 6 名で評価した。標本は試験区毎に浮上したサケ稚魚から 10 尾を無作為に抽出し、耳石（扁平石）を取り出し、スライドガラスに樹脂を用いて貼り付け、耳石の核が明瞭に見えるまで研磨したものを作製した。また、評価については試験設定の先入観をなくするため、順番をランダムに並べたブラインドテストを用いた。生物顕微鏡の 100～600 倍で耳石標識の状態を観察し、1 個体に対して、6 名のうち 2 名が評価を行い、評価結果が異なる場合には良い方の評価結果を採用し、その割合を算出した。良い評価結果を採用した理由は、通常の耳石解析作業では見落としや誤認を防ぐため、複数人によるチェック体制をとっているためである。この評価結果の割合をもとに標識として認識可能な最短時間を判断した。

結 果

最短の冷却時間 試験を行った各区の通常水温は 8.5～8.8°C であり、冷却により 4.1～4.5°C 低下した（図 1）。各試験区の浮上稚魚から取り出した耳石の 4 本リングを観察した結果（図 2）、冷却 1 時間（1C12H）では形成

されたリングが薄く、標識の存在が確認できない（C）と評価されたものが 43% であった（表 2）。冷却 2 時間（2C12H）で C と評価されたものは 0% となったが、標識パターンの識別は困難（B）と評価されたものは 25% であった。冷却 3 時間以上の区では、標識パターンが鮮明（S）あるいは標識パターンが識別できる（A）とされた割合の合計が 95% 以上となった。以上のことから、標識パターンを識別できる最短の冷却時間は 3 時間と判断された。

通常水温での最短管理時間 本試験では冷却時間を 3 時間（3C）に固定し、通常水温での管理時間が 3、4、5、6、

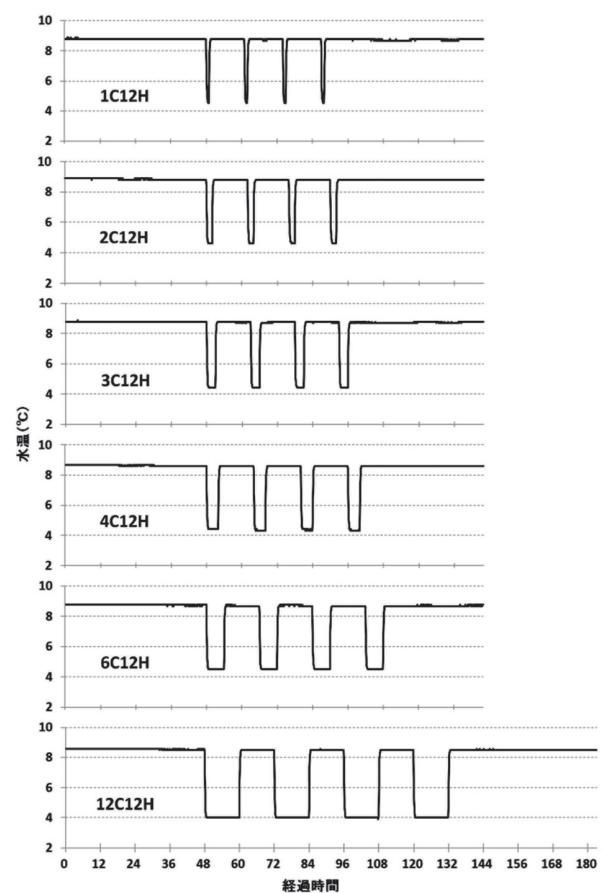


図 1. 通常水管理時間を 12 時間とし冷却時間を 1 時間（1C12H）、2 時間（2C12H）、3 時間（3C12H）、4 時間（4C12H）、6 時間（6C12H）、12 時間（12C12H；対照）とした各群の水温測定結果

表 1. 耳石標識パターンの識別評価基準

基準	評価内容
S	標識パターンが鮮明に識別できる
A	標識パターンが識別できる
B	標識は確認できるが、標識パターンの識別は困難
C	標識の存在が確認できない

表 2. 冷却時間を変えた耳石標識群 6 区の識別評価結果（%）

	1C12H	2C12H	3C12H	4C12H	6C12H	12C12H
S	0	24	60	46	94	97
A	3	51	35	49	6	3
B	53	25	5	5	0	0
C	43	0	0	0	0	0

評価基準は表 1 を参照

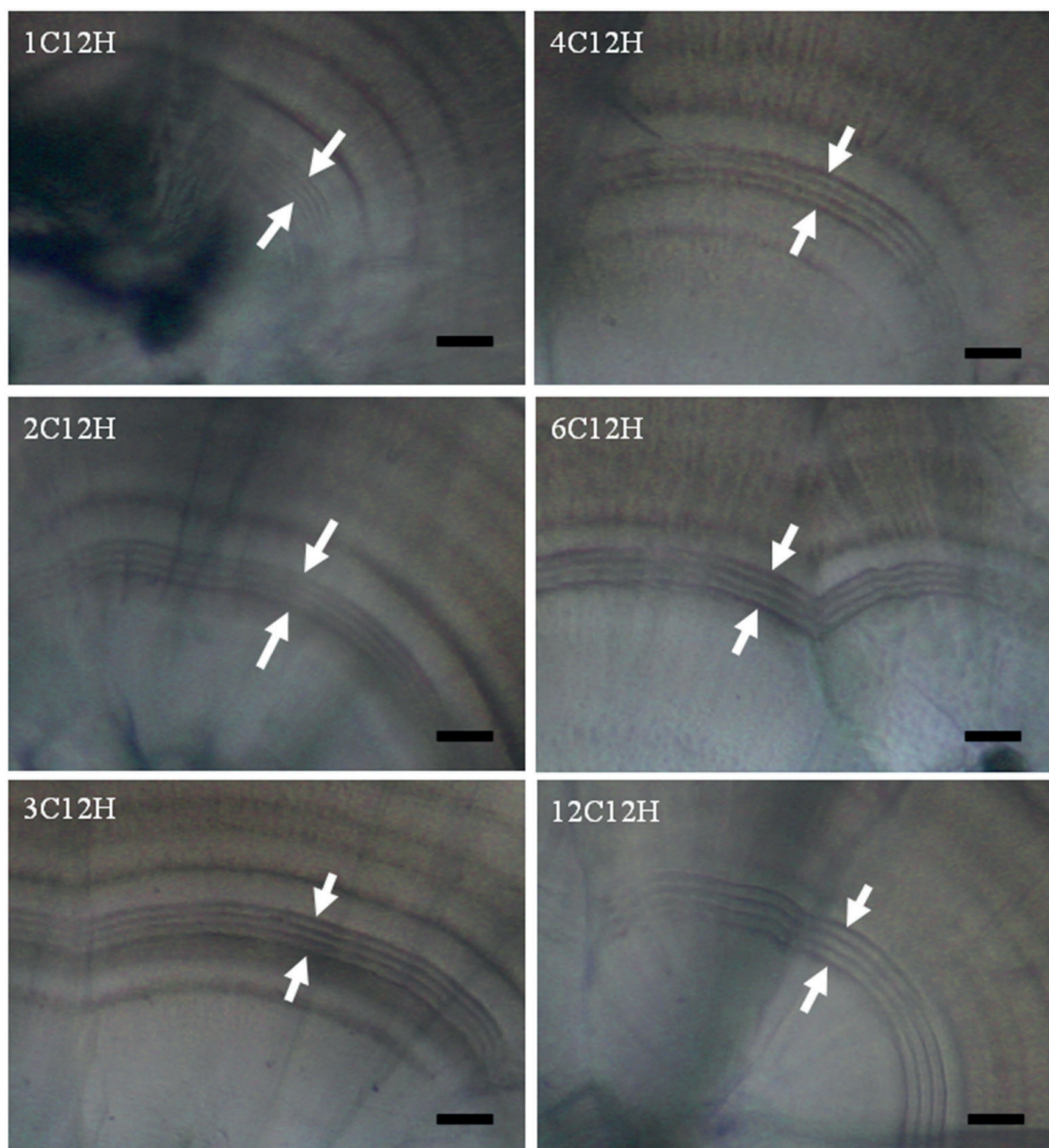


図2. 通常水管理時間を12時間とし冷却時間を1時間（1C12H）、2時間（2C12H）、3時間（3C12H）、4時間（4C12H）、6時間（6C12H）、12時間（12C12H；対照）としたサケ稚魚の耳石標識（4本リング）の画像比較
矢印は1本目と4本目のリングを示し、バーは10 μm を示す

7, 8, 9, 10, 11時間の9区を設定し、前試験と同様に4本リングの耳石標識を試みた。各試験区の通常水温は8.1～8.5℃であり、冷却により4.0～4.3℃低下した（図3）。各区の浮上稚魚から摘出した耳石を観察した結果（図4）、通常水温での管理時間が4時間以内では、リングの存在を確認することが難しく、ほとんどがBもしくはCと評価された（表3）。5～6時間ではAと評価された割合が22～59%と増えたが、BもしくはCと評価された割合の合計も41～78%と多かった。7時間ではSもしくはAと評価された割合の合計は71%となったが、Bと評価された割合も29%となった。一方、8時間以上

では、SもしくはAと評価された割合の合計が96～100%となった。

4本リング間の平均距離（±標準偏差）は8時間で $4.27 \pm 0.31 \mu\text{m}$ 、9時間で $4.60 \pm 0.29 \mu\text{m}$ 、10時間で $5.24 \pm 0.43 \mu\text{m}$ および11時間で $5.37 \pm 0.40 \mu\text{m}$ であった（図5）。なお、前試験で標識した従来から使用している12時間サイクル（12C12H）の4本リング間の距離は $7.66 \pm 0.33 \mu\text{m}$ であった。

標識群と非標識群の生残率 耳石標識試験を行った計14区の標識群における発眼卵から浮上までの平均生残

表 3. 冷却時間を 3 時間に固定し通常水管理時間を変えた耳石標識群 9 区の識別評価結果 (%)

	3C3H	3C4H	3C5H	3C6H	3C7H	3C8H	3C9H	3C10H	3C11H
S	0	0	0	0	21	85	85	97	65
A	3	9	59	22	50	15	15	3	31
B	30	51	32	42	29	0	0	0	4
C	67	39	9	36	0	0	0	0	0

評価基準は表 1 を参照

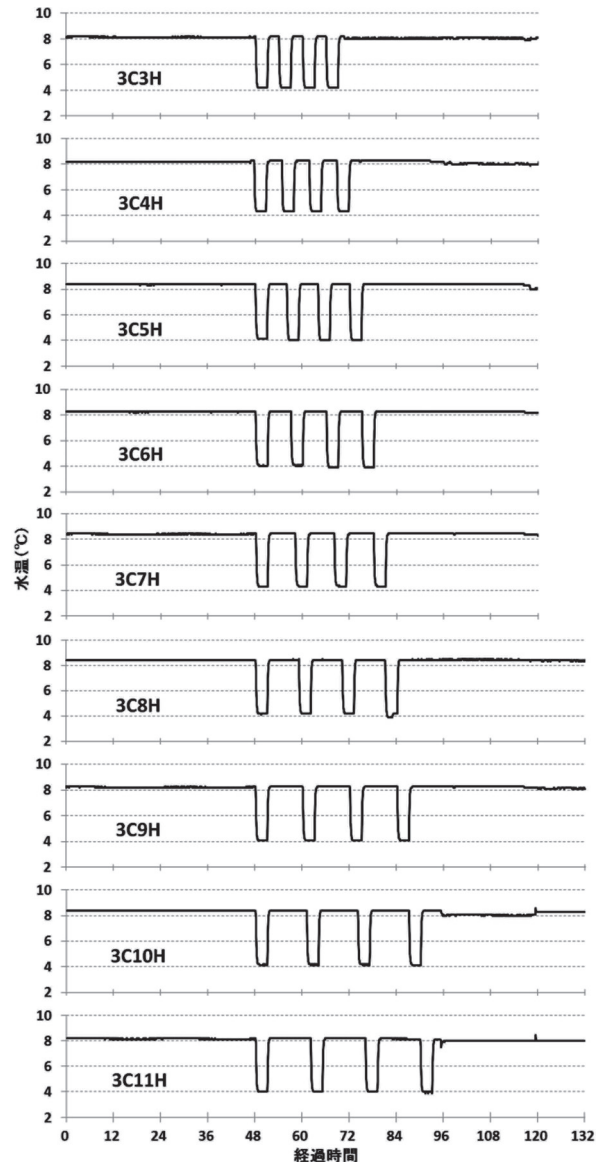


図 3. 冷却時間を 3 時間に固定し通常水管理時間を 3 時間 (3C3H), 4 時間 (3C4H), 5 時間 (3C5H), 6 時間 (3C6H), 7 時間 (3C7H), 8 時間 (3C8H), 9 時間 (3C9H), 10 時間 (3C10H), 11 時間 (3C11H) とした各群の水温測定結果

率 (±標準偏差) は $95.1 \pm 2.0\%$ であった (表 4)。一方、非標識群 5 区の生残率は $95.9 \pm 3.1\%$ であり、両者の生残率に有意な差はみられなかった (U -test, $p > 0.05$)。

表 4. 各試験区毎の浮上期までの生残率

採卵月日	標識群		非標識群 生残率 (%)
	区分	生残率 (%)	
2012/9/8	1C12H	96.9	96.6
	2C12H	96.0	
	3C12H	95.4	
	4C12H	95.0	
	6C12H	94.1	
2012/9/15	—	—	90.5
2012/9/21	—	—	97.6
2012/12/7	3C3H	97.0	97.9
	3C4H	93.5	
	3C5H	95.1	
	3C6H	94.8	
	3C7H	91.8	
	3C8H	90.9	
	3C9H	95.4	
2012/12/12	3C10H	97.7	96.8
	3C11H	97.9	
平均値±標準偏差*		95.1 ± 2.0	95.9 ± 3.1

*標識群、非標識群の生残率の平均値と標準偏差を求めた

考 察

さけ・ます類の耳石標識ではマスノスケ *O. tshawytscha* の受精卵を使い、冷却時間が 1 時間もしくは 2 時間でも標識可能であることが報告されている (Volk *et al.* 1999)。今回の試験で通常水温での管理時間を 12 時間に固定し、冷却時間を 1 時間と 2 時間で標識を試みた結果、標識として認識できるものも存在した。しかし、この場合は解析時の耳石研磨をより精細に行い、顕微鏡での確認にも十分な時間を費やす必要があるため、耳石解析を大量に行う作業行程の中では見落としの可能性が十分に考えられた。一方、3 時間以上の冷却では耳石標識として認識可能と評価された (S もしくは A) 割合が 95% となった。標識の存在は確認できるが、標識パターンの識別は困難 (B) と評価されたものも 5% あるが、現在実施している 2 名の分析者による標識確認体制をとれば、判別が難しい標本に対してより精細な研磨を行い再度の見直しを行っていることから見落としは避けられると考えられた。以上のことから、識別可能なリングを標識する最短の冷却時間は 3 時間と判断した。

冷却 3 時間に対する通常水温での管理時間が 3 ~ 7 時間では形成された標識リングの間隔が狭く、標識として認識するのは困難であった。一方、8 時間になるとほと

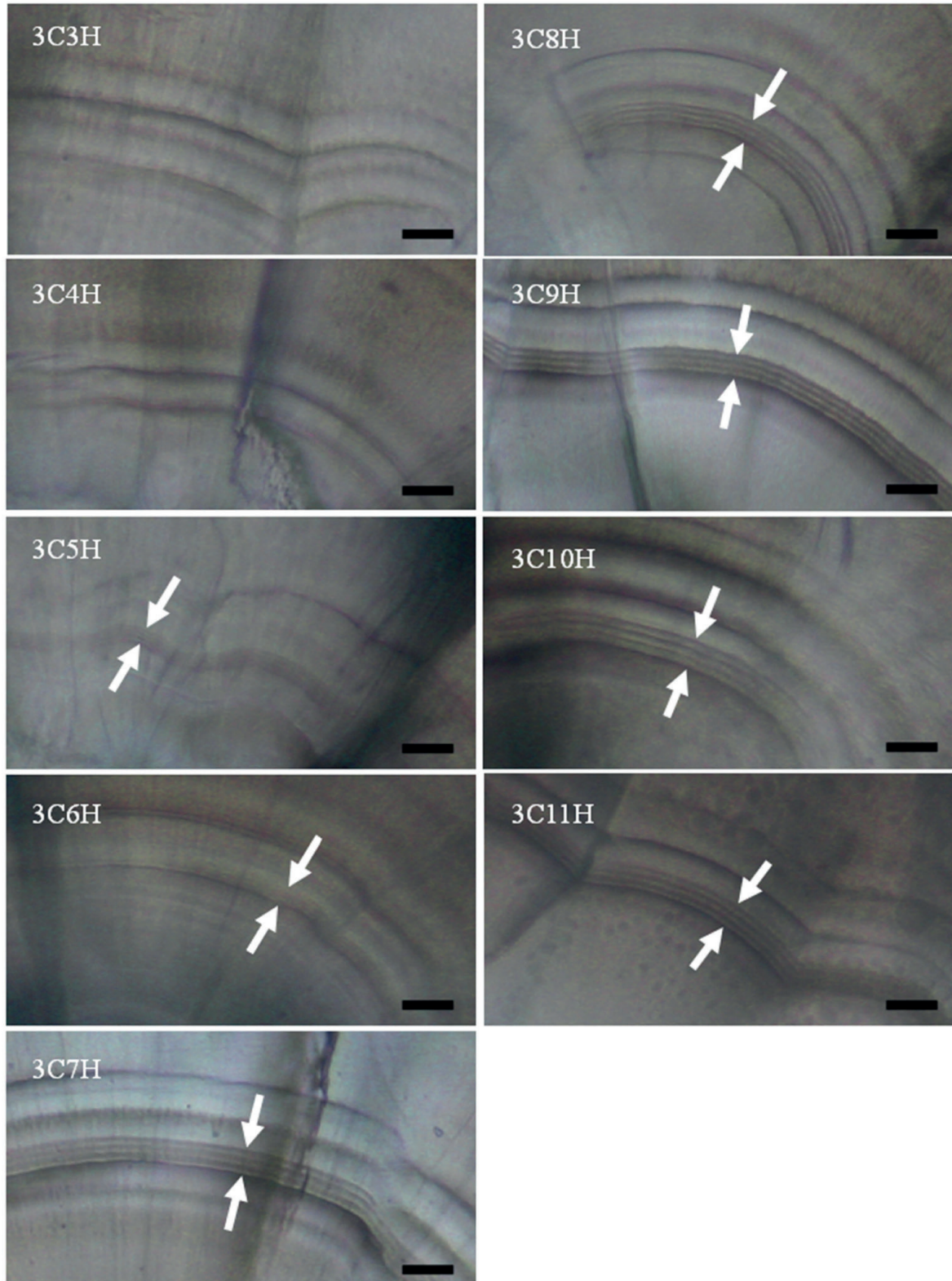


図4. 冷却時間を3時間に固定し通常水管理時間を3時間(3C3H), 4時間(3C4H), 5時間(3C5H), 6時間(3C6H), 7時間(3C7H), 8時間(3C8H), 9時間(3C9H), 10時間(3C10H), 11時間(3C11H)とした耳石標識群(4本リング)の画像比較
矢印は1本目と4本目のリングを示し, バーは10 μ mを示す

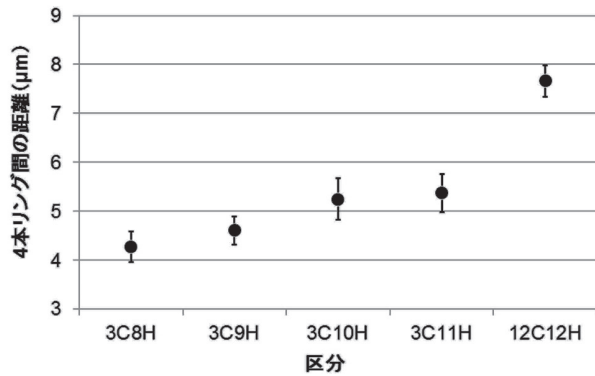


図5. 冷却時間を3時間に固定し通常水管理時間を8時間(3C8H), 9時間(3C9H), 10時間(3C10H), 11時間(3C11H)とした耳石標識群と冷却12時間・通常水管理時間12時間群における標識(4本リング)平均距離の比較
各区分10個体ずつ測定し, バーは標準偏差を示す

んどが標識として認識可能であることから, 通常水温での最短管理時間は8時間以上と判断した。

また, 従来から使用している12時間間隔よりも短時間での水温変化を与えたため, ふ化後の仔魚の生残に影響を及ぼすことが懸念されたが, 標識群と非標識群の生残率に有意な差は見られなかった。従って, 短時間の標識が発眼卵やふ化仔魚に与える影響はないと判断した。

以上のことから, 最短の冷却時間は3時間で, この冷却時間に対する最短の通常水温での管理時間は8時間以上であることが判った。我が国では従来の耳石標識作業は12時間の倍数の間隔で行っている。従って, 今回の結果から冷却時間を3時間(3C)とした場合, 通常水温での管理時間を9時間(9H)にすれば, 合計12時間(3C9H)で1本のリングを標識でき, 作業性の面からしても実用的であると考えられた。従来の標識は最短24時間で1本のリングを標識していたが, 今回の標識間隔を導入すれば, 同じ24時間で2本のリングが標識可能になる。加えて, 標識期間の短縮も可能である。

一方, 従来の12時間サイクル(12C12H)で標識した4本リングの標識距離は平均 $7.66\mu\text{m}$, 今回の結果からふ化場で導入できると判断された冷却3時間と通常水9時間(3C9H)の4本リングの標識距離は平均 $4.60\mu\text{m}$ であり, 従来のものよりも約40%狭くなっている(図5)。従って, 短時間の標識を調べる際は, 従来よりも注意深い観察が要求される。今後, 各種調査等で短時間の標識を利用する場合には, 従来から使用している12時間もしくは24時間間隔標識と今回の標識を組み合わせることでさらに見落としの可能性はなくなると考えられる。

今後の実用化に向けて, 今回の試験ではすべて浮上稚魚段階の耳石でしか確認していないため, これより成長した幼魚もしくは親魚の耳石でも短時間の標識が識別可能か検討する必要がある。さらに, 短時間の標識が事業規模の数百万粒単位で大量標識の実施可能かどうかに加え, 今回実施した試験の約 8°C の水温条件と異なる場所

でも実施可能か検討する必要がある。

謝 辞

本報告をとりまとめるにあたり, 独立行政法人水産総合研究センター北海道区水産研究所浦和茂彦博士には有益なご助言を頂きました。また, 本研究を行うにあたり, 同千歳さけます事業所の契約職員の皆様には耳石解析作業にご協力いただきました。お礼申し上げます。

文 献

- Brothers, E. B (1990) Otolith marking. *American Fisheries Society Symposium*, 7, 183-202.
- 川名守彦(1999) 耳石大量標識に関する先進地調査. さけ・ます資源管理センターニュース, 3, 13.
- 工藤 智(2001) ALC 標識放流サケの幼魚期の成長とその母川回帰状況. 魚と水, 37, 31-40.
- 真山 紘(2005) サクラマス生態ノート パート2. さけ・ます資源管理センター技術情報, 171, 1-4.
- Mugiya, K (1987) Effects of Photoperiods on the Formation of Otolith Increments in the Embryonic and Larval Rainbow Trout *Salmo gairdneri*. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 53, 1979-1984.
- 麦谷泰雄(1996) 硬骨魚類の耳石形成と履歴情報解析. 海洋生物の石灰化と硬組織(和田浩爾・小林巖雄編). 東海大学出版会, 東京. 285-298pp.
- NPAFC (2014) working Group on Salmon Marking <http://npafc.taglab.org>, 2014年8月12日
- 坂本 準・桑木基靖・江場岳史(2009) サクラマスの耳石バーコード標識パターン数を増やすための低水温飼育と昇温刺激を併用した標識方法. 水産技術, 2 (1), 25-30.
- 坂野栄市(1960) 北海道に於ける鮭稚魚の標識放流試験 昭和26年～34年. 北海道さけ・ますふ化場研究報告, 15, 17-38.
- 高橋史久(2009) これまでの耳石温度標識魚から得られた知見. SALMON 情報, 3, 6-7.
- 高橋史久(2010) これまでの耳石温度標識魚から得られた知見 その2(放流時期とサイズの検討). SALMON 情報, 4, 12-14.
- 辻本 良・田子泰彦(1998) 耳石バーコード標識のサクラマスへの適用. 富山県水産試験場報告, 10, 21-26.
- 浦和茂彦(2001) さけ・ます類の耳石標識: 技術と応用. さけ・ます資源管理センターニュース, 7, 3-11.
- Urawa, S., J. Seki, M. Kawana, T. Saito, P. A. Crane, L. Seeb, K. Gorbatenko, and M. Fukuwaka (2004) Juvenile chum salmon in the Okhotsk Sea: their origins estimated by genetic and otolith marks. *N. Pac. Anadr. Fish Comm. Tech. Rep.*, 5, 87-88.
- Urawa, S., S. Sato, P.A. Crane, B. Agler, R. Josephson, and T. Azumaya. (2009) Stock-specific ocean distribution and migration of chum salmon in the Bering Sea and North Pacific Ocean. *N. Pac. Anadr. Fish Comm. Bull.*, 5, 131-146.
- Volk, E. C., S. L. Schroder, and J. J. Grimm (1999) Otolith thermal marking. *Fish. Res.*, 43, 205-219.
- Y.Tomida, T. Ohnuki, N.Watanabe, Y.Miyauchi, Y.Okada, M. Iida, and S. Urawa. (2013) Releases of Otolith Marked Salmon from Japan between Fall of 2012 and spring of 2013. NPAFC Doc. 1484. 12 pp.

技術報告

硝酸塩センサーを用いた ノリ漁場栄養塩テレメトリーシステムの開発

高木秀蔵^{*1}・清水泰子^{*2}・阿保勝之^{*3}・柏 俊行^{*4}

Development of a real time nutrient monitoring system on a Nori (*Pyropia*) farm using an automatic nitrate sensor

Shuzo TAKAGI, Yasuko SHIMIZU, Katsuyuki ABO and Toshiyuki KASHIWA

To reduce the damages of discoloration in nori *Pyropia*, dissolved inorganic nitrogen (DIN) telemetry technology that combines a $\text{NO}_3\text{-N}$ sensor with a data transfer device was developed. For the nori fishing seasons in 2010, 2011 and 2012, a significant correlation was identified between DIN concentration and $\text{NO}_3\text{-N}$ sensor value ($p<0.01$). We successfully transferred the obtained data to a PC via a telephone line and the data were provided to fishing companies by email or fax.

キーワード：硝酸塩センサー, 栄養塩, テレメトリー, ノリ (*Pyropia*)

2014 年 10 月 10 日受付 2015 年 1 月 8 日受理

近年, 日本各地で海水中の栄養塩不足に伴うノリ (*Pyropia*) の色落ちが発生し, ノリ生産者に大きな被害をもたらしている (渡辺 2009)。ノリの色落ちとは, 本来黒色であるノリの葉体が薄い茶褐色となる現象を指し, 色落ちしたノリから作られた乾のりの製品価値は著しく低い (有賀 1980)。色落ちの原因となる栄養塩成分としては, 東京湾ではリン, 有明海では窒素とされているが (石井ら 2008, 川口ら 2004), 本研究で対象とした瀬戸内海では経験的に, 溶存態無機窒素 (DIN) 濃度が $3\mu\text{M}$ を下回ると色落ちが始まると言われている (渡辺ら 2004)。なお, DIN とは一般に硝酸態窒素 ($\text{NO}_3\text{-N}$), 亜硝酸態窒素 ($\text{NO}_2\text{-N}$), アンモニア態窒素 ($\text{NH}_4\text{-N}$) の合計値で示される。

沿岸海域の DIN 濃度は様々な要因によって急激に減少するため (多田ら 2010), ノリの色落ちも突然発生す

る。色落ちが始まる前に収穫することが出来れば, 色落ち被害を軽減できるため, ノリの生産がおこなわれている地域の公設研究所では, 漁場周辺の栄養塩の調査を実施し, 漁業者に向けて定期的に情報提供している。ところが, 現在実施されている採水と機器分析に依存する調査では多くの手間がかかるために, その回数が制限される。その結果, 海域の DIN 濃度の低下時期を見逃し, 色落ち被害の軽減に十分に貢献できないことも多い。

前報で (高木ら 2013) 著者らは硝酸塩 ($\text{NO}_3\text{-N}$) センサー値と $\text{NO}_3\text{-N}$ や DIN の実測値の間に相関があることを示し, DIN のモニタリング方法として現場設置型の硝酸塩センサーが有用である可能性を示した。ただし, 前報では単年度の結果のみに基づいて検討しており, それ以外の年におけるセンサー値と $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度, DIN 濃度の関係や誤差については不明である。加えて, 測定結果

^{*1} 岡山県農林水産総合センター 水産研究所

〒701-4303 岡山県瀬戸内市牛窓町鹿忍 6641-6

Okayama Prefectural Technology Center for Agriculture, Forestry and Fisheries, Research Institute for Fisheries Science, Setouchi, Okayama 701-4303, Japan

shiyuuzou_takagi@pref.okayama.lg.jp

^{*2} 岡山県農林水産部水産課^{*3} 独立行政法人水産総合研究センター 瀬戸内海区水産研究所^{*4} 株式会社 CT&C

は、測器を回収、解析するまで分からなかったため、海域の栄養塩環境をリアルタイムで把握しながら、ノリ養殖のスケジュール管理を行いたいという漁業者の要望に添えることができなかった。

今回、前報の調査年度に加え2ヶ年の間、硝酸塩センサー値とDIN濃度の相関を調べるとともに、取得したデータをリアルタイムで転送するシステムの開発を行った。これらの技術を組み合わせて、海域のDIN濃度のテレメトリー技術を開発し、現場漁業者への試験的な情報発信を行ったので、以下に報告する。

材料と方法

硝酸塩センサーの設置期間と設置方法 2011年11月23日から2012年1月10日までの48日間（2011年度）、2012年11月29日から2013年2月10日までの73日間（2012年度）に、図1に示す備讃瀬戸のノリ漁場の海面下50cmに硝酸塩センサー（ISUS V3, Satlantic社製）を、その標識灯ブイに携帯電話回線を使用したデータ転送装置（CT & C社製）をそれぞれ設置した。

両調査年度ともにノリ養殖は例年通り10月中旬ごろに育苗が、11月上旬ごろから本張りが始まった（水戸2012, 2013）。11月中旬ごろから生産が始まった。1月中、下旬からDIN濃度が低下し始めて色落ち被害が発生し、2月中、下旬頃から徐々に網上げが行われ、3月中旬ごろには生産はほぼ終了した。すなわち、上に示した機器の設置期間は、本張りから漁期の後半に相当する。

今回、機器の設置に使用した標識灯ブイは、ノリ養殖

の区画漁業権の範囲を示すために養殖期間中は常に設置されている。備讃瀬戸海域において一般的に使用されている箱舟型のブイであり、40kgの錨を数個用いて海上に設置する。大きさは1.8m(W)×1.4m(L)×0.5m(H)、浮力体積は0.41m³、重量は70kg、自重を除いた余剰浮力は350kgである。

硝酸塩センサーを用いた現場観測とデータ転送装置の開発 機器の設置期間中2011年度は4時間に1回、2012年度は2時間に1回、観測とデータ転送を行った。

両年度ともに、センサーの電力は市販のアルカリ単一電池30個（合計51Ah）から、転送装置の電力は密閉型鉛蓄電池PE12V24（合計24Ah, GS YUASA社製）から供給した。これらの機器は、直径10mmのクレモナロープを用いて設置し（図2）、測器の掃除、バッテリーの交換といったメンテナンスは実施していない。また、装置回収後の機材一式の写真についても合わせて示した（図3）。

硝酸塩センサーは、紫外線の複数の波長帯における減衰率を基に、NO₃-N濃度を推定する（高木ら2013）。1回の観測において、1.5分間の間に、約80データを取得し、はずれ値をフィルタリングして除いた後の平均値をセンサー値とする。KANSOテクノス社製の標準溶液（塩分：34.88, NO₃-N濃度：42.82μM）を超純水で4段階に希釈した標準水を作成し（表1）、それぞれの標準水と超純水のNO₃-N濃度とセンサー値の間の差が0.5μM以下であることを確認した後に設置した。すなわち、塩分とNO₃-N濃度が異なる試水において精度の確認を行っており、塩分の影響を受けてセンサー値が変化する可能性については除外できる。

転送装置は、直径267mm×高さ395mmの円筒状の筐体にバッテリーと一緒に封入されており、空中重量は25kgである。耐水水深は20m、真夏の炎天下でも十分に耐える性能を有している。アンテナ部分が空中にあれば通信が可能であり、1回あたりの最大データ送付量は30Kbytesである。今回は、センサー値、観測時間、転送装置の電圧、基盤温度を添付したメールを電話回線で送付した。センサーと転送装置は、RS232端子を有した防水ケーブルで接続している。

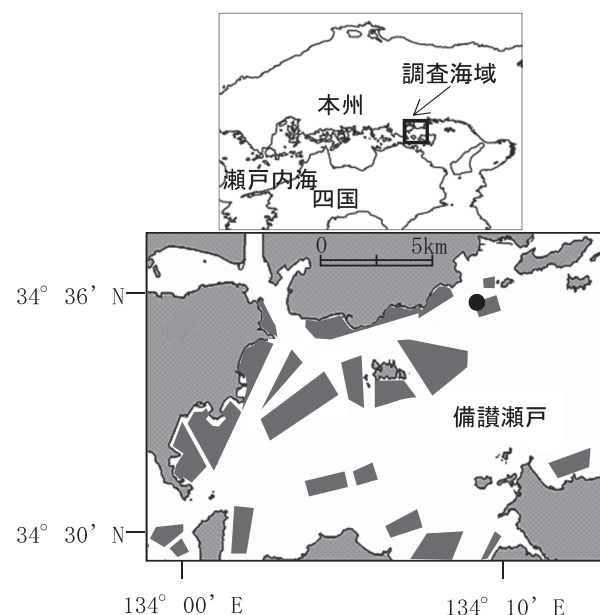


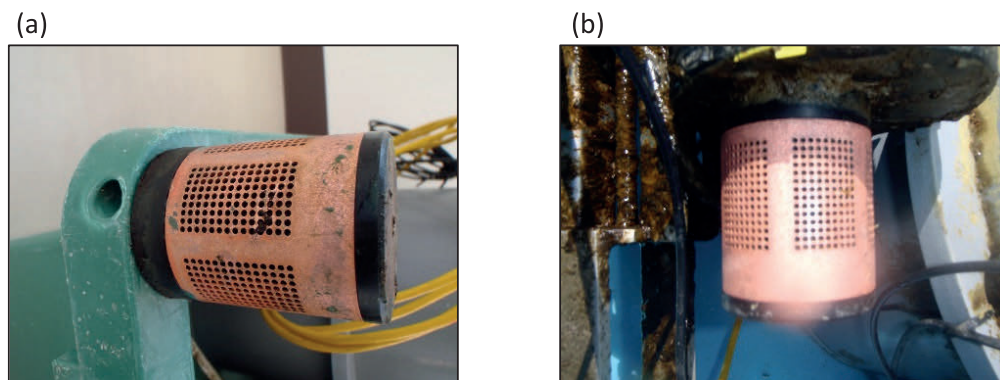
図1. 調査場所
●：硝酸塩センサーの設置場所
■：ノリ漁場

表1. 標準溶液および較正に使用した標準水と超純水

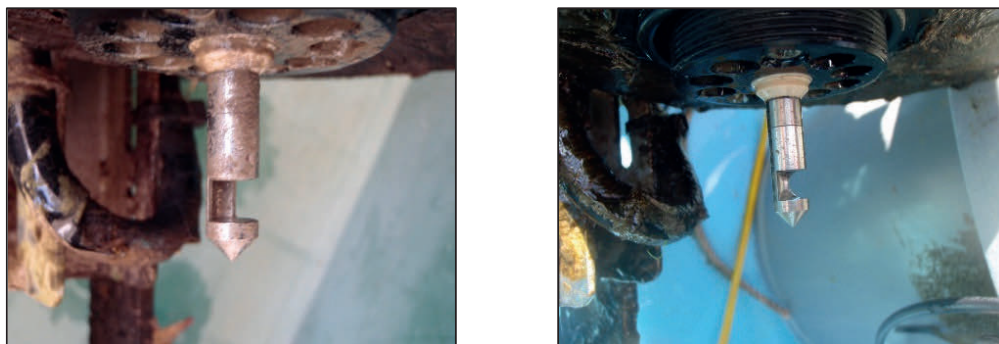
	塩分	NO ₃ -N 濃度 (μM)
標準水①	17.22	21.41
標準水②	12.30	15.29
標準水③	8.61	10.7
標準水④	1.72	2.14
超純水	0.00	0.00



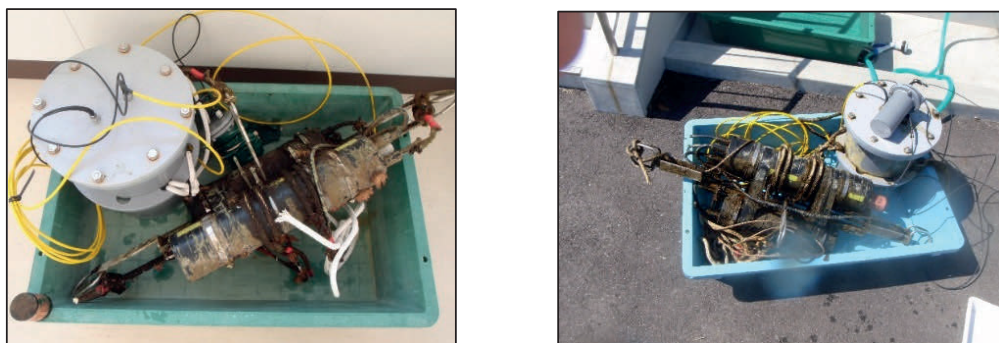
図 2. 本研究で設置した硝酸塩センサー（ISUS V3）と転送装置



測定部のカバー



測定部



装置一式

図 3. 硝酸塩センサーの回収時の測定部，装置一式の状況
(a) 2011 年度，(b) 2012 年度

一般に、海域環境の連続モニタリングとデータ転送を行う場合、測器の測定タイミングと転送時間のズレを解消するとともに、電源の消費を抑えることを目的として、測器の動作をコントロールする機能を転送装置に組み込むことが多い。その場合、データ転送に不具合が生じた際、センサーと転送装置のどちらに問題があるのかの判断が難しくなる。加えて、転送装置が故障した際に、センサーのデータ取得もできなくなる可能性がある。本研究では、転送装置とセンサーは独立して動作し、指定した時間にメールを送付するように転送装置の設定を行った。また、転送装置が作動しなかった場合でもセンサーの内部には常に取得したデータが保存されるようにした。

センサーの設置場所における栄養塩の実測調査 2011年度はセンサーの設置期間中に12回、2012年度は11月29日から2013年1月21日までの間に13回、5日に1回程度の間隔でセンサーの観測時間に合わせて、センサーの設置場所の海面下50cmにて採水を行った。採水試料は、研究所に持ち帰ったのちにGF/Cフィルター(Whatman社製)でろ過した。ろ液は栄養塩分析装置QuAatro 2HR(BL-Tech社製)による栄養塩分析に供し、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2\text{-N}$ 、 $\text{NH}_4\text{-N}$ を分析した。これらの合計をDINとした。

結 果

センサー値および各実測値の推移 2011年度および2012年度の硝酸塩センサー値、DINおよび $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度の実測値の推移を図4に示した。なお、硝酸塩センサー値はほぼすべての結果が数分以内に転送され、予定通り転送されてきた結果のみを図中に記載している。

2011年11月23日の硝酸塩センサー値、実測の $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度、DIN濃度はそれぞれ、 $17.4\mu\text{M}$ 、 $14.2\mu\text{M}$ 、 $16.5\mu\text{M}$ となっていたが、いずれの項目についても徐々に低下し、2012年1月10日には $4.7\mu\text{M}$ 、 $1.7\mu\text{M}$ 、 $2.1\mu\text{M}$ まで低下した(図4(a))。2012年11月29日のセンサー値、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度、DIN濃度はそれぞれ、 $7.7\mu\text{M}$ 、 $5.1\mu\text{M}$ 、 $8.3\mu\text{M}$ であった(図4(b))。その後、1月上旬に一時的な濃度の上昇がみられたものの、再び減少し、2013年1月20日には $3.0\mu\text{M}$ 、 $0.9\mu\text{M}$ 、 $1.2\mu\text{M}$ となった。センサー値はその後とも低下を続け、2月10日には $1.6\mu\text{M}$ となった。両年度ともに、DIN濃度の低下に伴って、DIN濃度と $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度の差は小さくなった。また、センサー値は $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度よりも常に高い値を示した。なお、両年度ともにごく短時間でのセンサー値の増減がみられているが、これは前報で検討した通り(高木ら2013)、同海域で特徴的にみられる河川からの間欠的な $\text{NO}_3\text{-N}$ 供給の結果であり(高木ら2012a, 高木ら2012b)、測器の値のぶれを示しているものではないと考えられた。

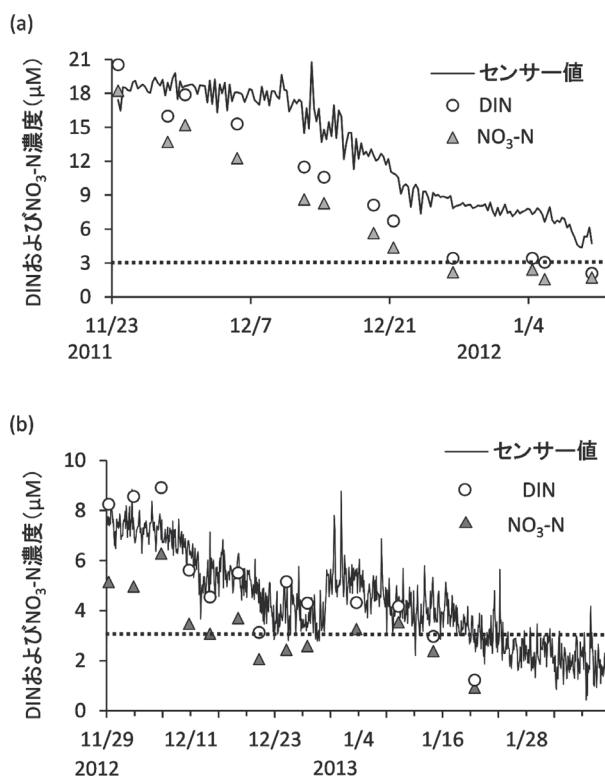


図4. センサー値と実測のDIN濃度および $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度の推移(a) 2011年度、(b) 2012年度 (図中の点線は、瀬戸内海で色落ちが生じるとされるDIN濃度; $3\mu\text{M}$ を示している)

センサー値と各実測値の相関 年度ごとの硝酸塩センサー値と実測の $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度、実測のDIN濃度の関係をそれぞれ図5に示した。なお、ここには前報(高木ら2013)における2010年度の結果についても合わせて示した。

硝酸塩センサー値(x)と実測の $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度(y)はすべての年度において有意な($p<0.01$)相関がみられ(2010 $y=0.81x-3.3$, 2011 $y=0.87x-4.1$, 2012 $y=0.95x-1.7$)、いずれの年においてもセンサー値は実測の $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度よりも高い値を示した。また、3ヶ年を合わせた場合でも有意な($p<0.01$)相関がみられた($y=0.72x-1.7$)(図5(a))。年度ごとの相関式についてFisherのLSDによって共分散分析を行ったところ、2010年度と2011年度では相関式の傾きの間に有意差は見られなかった($p>0.05$)。一方、2012年度と2010年度、2012年度と2011年度の相関式の間には有意差がみられた($p<0.05$)。

硝酸塩センサー値と実測のDIN濃度(y')の関係をみると、すべての年度において有意な($p<0.01$)相関がみられ、2010; $y'=1.12x-4.6$, 2011; $y'=1.03x-3.8$, 2012; $y'=1.40x-2.3$ 3ヶ年を合わせた場合でも有意な($p<0.01$)相関がみられた($y'=0.85x-2.3$)(図5(b))。 $\text{NO}_3\text{-N}$ の結果と同様に、2010年度と2011年度の相関式の間には有意差はなく(Fisher's LSD $p>0.05$)、2012年度と他年度の間には有意差がみられた($p<0.05$)。

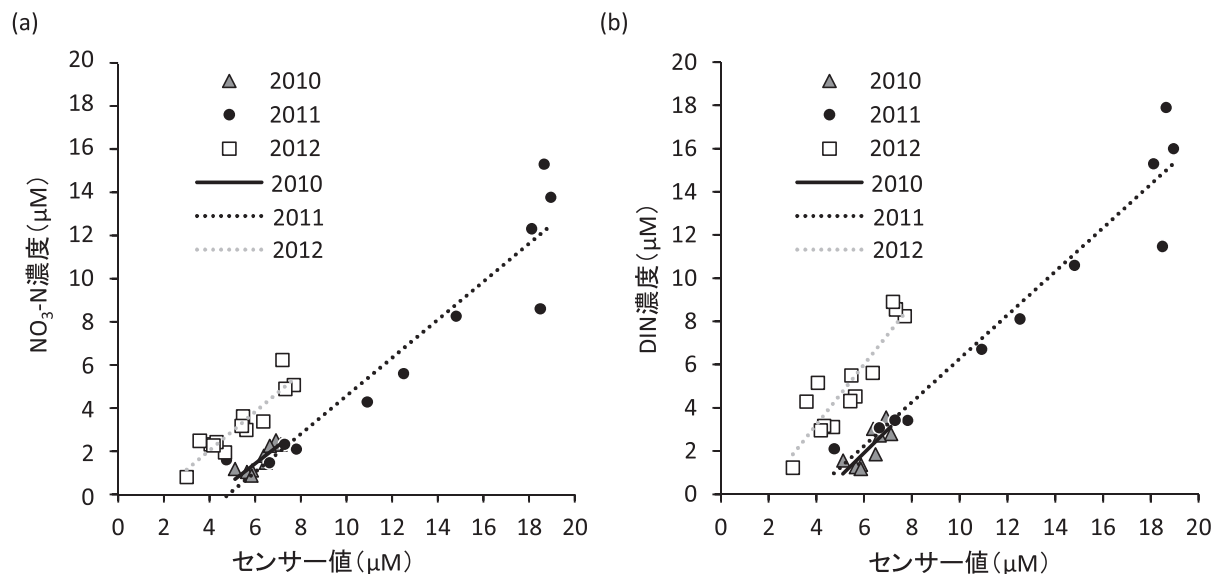


図 5. センサー値と実測の NO₃-N 濃度 (a), DIN 濃度の関係 (b)

表 2. NO₃-N 濃度の実測値, センサー値 (補正なしまたは補正あり) と実測値との差

	実測値	センサー値と実測値との差		
		補正せず	当該年度の結果で補正	3ヶ年の結果で補正
2010年度	1.73±0.61	4.48±0.33	0.24±0.16	1.08±0.31
2011年度	7.53±5.25	3.70±1.53	1.03±1.10	1.61±1.02
2012年度	3.29±1.45	1.07±0.48	0.44±0.37	1.18±0.61
平均	4.31±3.89	3.08±0.87	0.57±0.39	1.29±0.76

(平均値±標準偏差; μM)

実測値とセンサー値, センサー補正值の間の差 表 2, 3 は, 硝酸塩センサー値と実測の NO₃-N 濃度, 実測の DIN 濃度との差 (絶対値) について, 年度毎の平均値と標準偏差を示したものである。また, 前節で示した各相関式を用いて, 硝酸塩センサー値を補正した場合の NO₃-N 濃度または DIN 濃度 (センサー補正值) と各実測値の差 (絶対値) についても示している。さらに, センサー補正值は, 当該年度の結果で補正した場合と 3 ヶ年の結果で補正した場合の 2 通りについて算出した。

NO₃-N 濃度について, センサー値やセンサー補正值と実測値を比較すると, 当該年度の結果で補正した場合に実測値との差が最も小さく, 0.24 ~ 1.03 μM となった。この補正值と実測値との差を実測値で除した値 (誤差) は 2010 年度が 13.0 %, 2011 年度が 13.6 %, 2012 年度が 13.4 % であった (表 2)。

DIN 濃度について比較したところ, NO₃-N 濃度と同様に, 当該年度の結果で補正した場合に実測値との差は最も小さく, 0.47 ~ 1.25 μM となった (表 3)。この補正值と実測値との誤差は 2010 年度が 17.1 %, 2011 年度が 13.0 %, 2012 年度では 17.2 % であった。

ノリ養殖漁業者へのデータ提供 センサーを設置した海

域に関係する漁協やノリ養殖業者に対して, センサー値と DIN 濃度の間に有意な ($p < 0.01$) 相関が得られた以降に, DIN 濃度のセンサー補正值をメールまたは FAX で送付した。2011 年度は, 2011 年 12 月 22 日から 2012 年 1 月 4 日までの間に 5 回, 2012 年度は, 2012 年 12 月

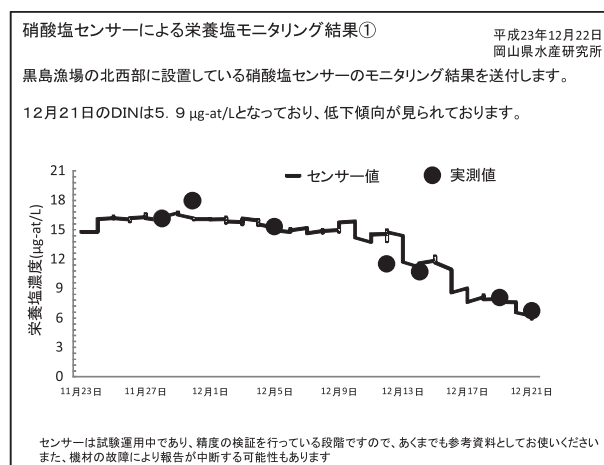


図 6. 現場の漁業者に送付した FAX (2011 年 12 月 22 日) センサー値は, 相関式で補正済みの値

表 3. DIN 濃度の実測値、センサー値（補正なしまたは補正あり）と実測値との差

	実測値	センサー値と実測値との差		
		補正せず	当該年度の結果で補正	3ヶ年の結果で補正
2010年度	2.75±0.89	4.07±0.54	0.47±0.20	1.90±0.55
2011年度	9.56±5.88	3.70±1.53	1.25±1.07	1.57±0.90
2012年度	5.05±2.34	1.08±0.48	0.87±0.50	1.81±1.28
平均	5.74±4.65	2.95±1.10	0.85±0.64	1.76±0.99

(平均値±標準偏差; μM)

12日から2013年2月8日までの間に18回、3日に1回程度の頻度で実施した。参考として、2011年12月22日に送付したFAXを図6に示した。なお、その際にはDIN濃度の中長期的な変化を理解しやすくするために、1日の間の移動平均値を用いた。

考 察

本報では、前報（高木ら2013）で示した結果に加えて、その後の2ヶ年についても硝酸塩センサー値と実測の $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度、DIN濃度の関係を調べるとともに、データの転送技術の開発を行い、漁業者へのセンサー補正值の情報発信を行った。

前報で示した結果と同様に、2011、2012年度ともに観測開始時には、実測の $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度とDIN濃度の間に乖離がみられたが、季節が進むにしたがって両者の差は小さくなった（図4）。これは、前報で示したとおり、 $\text{NH}_4\text{-N}$ の硝化がすすみ（小林ら2007）、DINにおける $\text{NH}_4\text{-N}$ の割合が低下したためと考えられた。このことから、ノリの色落ちが生じはじめるDIN濃度低下時には、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度でDIN濃度を代表できることが明らかになった。センサー値は、 $\text{NH}_4\text{-N}$ と $\text{NO}_2\text{-N}$ の値ではなく、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度を反映して変化する。そのため、DINに占める $\text{NO}_3\text{-N}$ の割合が異なるサンプルを混合してセンサー値とDIN濃度の補正式を作成した場合（図5）、同一年度内の連続したサンプルで補正を行っても、一定程度の誤差が生じ、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 補正值の誤差（13.0～13.6%）よりもDIN補正值の誤差（13.0～17.2%）は大きくなる（表2、3）。そこで、長期間のモニタリングを行う中で、海水中のDINの中の $\text{NO}_3\text{-N}$ の割合が変化してきた場合には、担当者の判断のもとで補正に使用するデータ区間を変えながら、運用することも考えられた。一例として、2011年度において、2011年11月13日～12月19日（前半）と12月23日～2012年1月10日（後半）の2つの区間に分け、それぞれについてセンサー値と実測のDIN濃度の間の相関を作成し、実測のDIN濃度とセンサーのDIN補正值の間の濃度差と誤差を計算した。前半（ $n=6$ ）では実測値との差は $1.25\mu\text{M}$ 、誤差は7.4%、後半（ $n=6$ ）では実測値との差は $0.30\mu\text{M}$ 、誤差は6.6%となり、表3で示した全データを用いて補正した際の誤差

（13.0%）よりも低くなった。

年度ごとの硝酸塩センサー値と実測の $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度、DIN濃度の相関式を比較すると、傾き、切片ともに2012年度はそれ以外の年と異なる相関がみられた（図5）。切片についてみると、硝酸塩センサー値は低波長の光を吸収する有色溶存有機物（CDOM）の影響を受け、実測値よりも高い値を示すことが分かっている（Johnson and Coletti 2002, Bricaud and Prieur 1981）。ところが、瀬戸内海におけるCDOM濃度の時空間分布については不明な点が多い。そのため、現時点では、この違いが生じた理由についてははっきりした結論を出すことができない。今後は、CDOM濃度の増減が生じる海域でセンサー値と実測値の関係を調べるとともに、室内環境下においても $\text{NO}_3\text{-N}$ とCDOMを様々な濃度で混合した試水とセンサー値の関係を求める必要がある。加えて、本調査海域のように河川水の流入が見られる場所では、河川から供給されるCDOMの影響についても調べる必要がある。これらをあわせることにより、センサー値に対するCDOMの影響を把握することが可能となり、一般性のある補正式の作成につながると考えられる。

センサー値と実測の $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度の相関式の傾きについては、2012年度において他の2ヶ年との間に有意差がみられたものの、有意水準を10%とした場合には、年度間の差は見られなかった。また、設置前に実施している標準溶液を用いた検定では、3ヶ年の相関式の間に有意差が見られなかったことから、現場海水の分析の際に生じる僅かな誤差によって、傾きが変化したと考えられた。

現在のところ、本システムは実測のモニタリングなしで運用できる精度を有していない。しかし、著者らが聞き取りを行ったところ、水試等の公設研究所では、ノリの養殖の盛期には月に3～4回（7～10日に1回）以上の頻度で実測調査を実施し、その翌日までは情報提供を行っていた。本報では、5日に1回程度の分析頻度による実測データを用いて補正した結果を示したが、各年度ともに偶数または奇数回時の調査結果を除いてセンサー値と $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度、DIN濃度の相関を調べた場合、いずれのケースにおいても有意な（2010年度； $p<0.05$ 、2011および2012年度； $p<0.01$ ）相関が得られた。加えて、オートアナライザーによる分析では、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2\text{-N}$ 、

$\text{NH}_4\text{-N}$ は同時に測定・算出され、DIN はそれらを合計することによって算出される。すなわち、現行の実測モニタリングが行われている海域では、追加の調査を行うことなく、DIN のテレメトリーが可能になると考えられた。

また、生ノリの色調は、DIN 濃度が $2 \sim 3 \mu\text{M}$ を下回ると急激に低下するものの、 $5 \mu\text{M}$ 以上については、色調と DIN 濃度の関係ははっきりしなくなることが分かっている（村山ら 2015）。本研究では、生産が開始されてからの情報発信であったが、今後はより早い時期から機器を設置し、情報発信を行うとともに、DIN が一定以上の濃度を保っている時には多少正確さに欠けていても、高 DIN 濃度期はセンサーによるモニタリングをメインで行い、センサーによるモニタリングにより低 DIN 濃度期に入った段階で、実測のモニタリング頻度を増やすといった運用も可能であると考えられた。

センサー値と DIN 濃度の間に有意な相関を得るまでに要したサンプル数は、2010 年度は 5 サンプルでその濃度差は $1.8 \mu\text{M}$ 、2011 年度は 5 サンプルで濃度差は $5.4 \mu\text{M}$ 、2012 年度は 5 サンプルで $2.6 \mu\text{M}$ であった。これらのことから、概ね $3 \mu\text{M}$ 程度の濃度差を持つ中で 5 サンプル程度センサー値と実測値を得ることができれば、相関式を作成できると考えられた。

本報における 2012 年度の調査では、2.5 ヶ月以上の長期にわたって海域に設置したにもかかわらず、センサー値と実測の $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度、DIN 濃度の間に有意な相関が得られる精度のデータを継続して得ることができた。さらに、今回行ったメーカーの推奨設定では観測 1 回あたりの硝酸塩センサーの電池使用量は約 0.02Ah であり、転送に必要な電池の使用量はそれよりも小さい。そのため、 51Ah のバッテリーを使用し、1 日に 12 回観測した場合には 213 日間、1 日に 24 回観測の場合は 107 日間の連続データを取得できる。即ち、生物の付着が少ない初冬から初春にかけてのノリ漁期中であれば、一度設置すれば、バッテリー交換や清掃等のメンテナンスを行うことなく、連続観測が可能であると考えられる。

謝 辞

本研究は平成 22 ～ 24 年度水産庁委託事業「沿岸海域の栄養塩管理技術開発委託事業」の成果の一部を示した。本研究を行うにあたり、協力して頂いた関係漁協の方々に厚く御礼申し上げます。

文 献

- 有賀祐勝（1980）スサビノリの色彩と色素. 遺伝, **34**, 8-13.
- BRICAUD, A., A. MOREL, and L. PRIEUR (1981) Absorption by dissolved organic matter of the sea (yellow substance) in the UV and visible domains. *Limnol. Oceanogr.*, **26**, 43-53.
- 石井光廣・長谷川健一・松山幸彦（2008）東京湾のノリ生産に影響を及ぼす環境要因：栄養塩の長期変動および最近の珪藻赤潮発生の影響. 水産海洋研究, **72**, 22-29.
- JOHNSON, K. S., and L. J. COLETTI (2002) In situ ultraviolet spectrophotometry for high resolution and long-term monitoring of nitrate, bromide and bisulfide in the ocean. *Deep-Sea Res.*, **49**, 1291-1305.
- 川口 修・山本民次・松田 治・橋本俊也（2004）水質の長期変動に基づく有明海におけるノリおよび珪藻プランクトンの増殖制限元素の解明. 海の研究, **13**, 173-183.
- 小林志保・藤原建紀・原島 省（2007）瀬戸内海における溶存態無機窒素の季節・経年変動とその要因. 沿岸海洋研究, **44**, 165-175.
- 水戸 鼓・野坂元道・村山史康・林 活志（2012）平成 23 年度ノリ養殖概況, 岡山県農林水産総合センター水産研究所資料, 岡山県, www.pref.okayama.jp/upload/attachment/185121.pdf, 2015 年 2 月 27 日
- 水戸 鼓・野坂元道・村山史康・林 活志（2013）平成 24 年度ノリ養殖概況, 岡山県農林水産総合センター水産研究所資料, 岡山県, www.pref.okayama.jp/upload/attachment/185113.pdf, 2015 年 2 月 27 日
- 村山史康・高木秀蔵・清水泰子（2015）岡山県ノリ漁場における栄養塩濃度がノリの色調および乾海苔単価との関係. 日水誌, **81**, 107-114.
- 高木秀蔵・清水泰子・阿保勝之・柏 俊行（2013）硝酸塩センサーを用いたノリ漁場栄養塩モニタリング. 水産技術, **5**, 159-163.
- 高木秀蔵・難波洋平・藤沢節茂・渡辺康憲・藤原建紀（2012a）備讃瀬戸に流入する河川水の広がりとのり漁場への栄養塩供給. 水産海洋研究, **76**, 197-204.
- 高木秀蔵・清水泰子・草加耕司・藤沢節茂・藤原宗弘・渡辺康憲・藤原建紀（2012b）河川から間欠的に供給される栄養塩供給によるノリ色調の回復. 日水誌, **78**, 246-255.
- 多田邦尚・藤原宗弘・本城凡夫（2010）瀬戸内海の水質環境とのり養殖. 分析化学, **59**, 945-955.
- 渡辺康憲（2009）ノリ養殖と珪藻赤潮・栄養塩. 海洋と生物, **31**, 112-117.
- 渡辺康憲・川村嘉広・半田亮司（2004）ノリ養殖と栄養塩ダイナミックス. 沿岸海洋研究, **42**, 47-54.

資料

経年変化から見た夏季三方五湖の水質評価

森山 充^{*1}Water quality of Mikata-goko Lakes in summer
evaluated by long-term observation

Mitsuru MORIYAMA*

Using physicochemical data, such as chemical oxygen demand (COD), and phytoplankton counts, which have been monitored for 26 years by Fukui Prefecture, we showed the usefulness of phytoplankton counts as a water quality parameter and also assessed the water quality of the Mikata-goko Lakes. Surface water samplings have been conducted in August at fixed points established at Lake Mikata, Lake Suigetsu and Lake Kugushi; the levels of physicochemical parameters have fluctuated significantly at Lake Mikata, exceeding environmental standards for most of the parameters. On the other hand, phytoplankton counts have shown similar fluctuation patterns among the three lakes, increasing in the first half and decreasing in the second half of the study period. Phytoplankton counts have recently decreased to the 1988 level after peaking in 2000, when a sewerage system was introduced to the area, and water bloom has not been confirmed since 2001, suggesting that the water quality of the Mikata-goko Lakes has been improving.

キーワード：三方五湖, 水質評価, 経年変化

2014年7月29日受付 2015年1月8日受理

三方湖・水月湖・菅湖・久々子湖および日向湖の総称である三方五湖は福井県西部に位置し、観光資源であるとともにニホンウナギ *Anguilla japonica*, ヤマトシジミ *Corbicula japonica*などを対象とした漁業生産の場としても市民生活に密着した汽水湖群である。現在は水路で結ばれた同一水系であり、海水の遡上程度により湖毎の水質に違いも見られるが、「三方五湖」というように一体化して議論される場合が多い。ハス *Opsariichthys uncirostris* など琵琶湖、淀川水系と三方湖にしか分布していない貴重な固有種も存在し、2005年にはラムサール条約に湿地登録されるなど、保全すべき貴重な自然環境も残されている。

一方、全国の湖沼に見られるような富栄養化などの水質汚染問題も抱えている。三方湖では1990年代にはアオコが大規模発生し、大きな社会問題となった（青木ら1991）。集水域である三方地域では、2000年に下水処理

施設の供用が開始されるなど水質改善に向けた努力はなされてきているが、2012年時点においても化学的酸素要求量（COD）、全窒素（TN）および全リン（TP）の環境基準はほとんど達成されていない（福井県2014）。近年では、三方湖ではヒシ科の1年性水草であるヒシ *Trapa japonica* の繁茂など新たな問題も発生しており、水質環境や生態系の経年的な変化の影響が示唆されている（多田・児玉2011）。富栄養化などの水質環境の変化は漁業生産量の多寡にも影響を与えることが知られており（吉田・堀家2001）、水域内や沿岸で営まれる漁業・魚類養殖業など地域水産業関係者の関心も高いが、当水域の水質環境経年変化の実態を示す科学的な資料は乏しい。

水環境の評価は従来CODやTNおよびTPなど水質環境基準の達成率を指標としてきたが、その評価法は市民の実感とは異なり、CODの指標としての有用性も疑

* 福井県衛生環境研究センター

〒910-8551 福井県福井市原目町39-4

Fukui Prefectural Institute of Public Health and Environmental Science, 39-4, Harame, Fukui, Fukui 910-8551, Japan

m-moriyama-ml@pref.fukui.lg.jp

間視されている（津田ら 2014）。そのような状況で水環境指標に生物学的要素を付け加えるなど、新たな指標作りが検討されてきた（水環境の総合指標研究委員会 2013）。

そこで本研究では、生物学的要素の 1 つであり、その増殖が富栄養化と密接に関係している植物プランクトンにも注目し、福井県衛生環境研究センターが夏季にモニタリングしてきた植物プランクトン数のデータおよび COD などの物理化学的要素とのデータを解析することで、三方五湖の水質を評価した。また、水質の変化時期と三方地域に位置する若狭町三方浄化センターの供用開始時期との同調性についても考察を加えた。

方 法

調査水域の概要 三方五湖は汽水湖である三方湖、水月湖（一部を菅湖と呼ぶ）、および久々子湖と、海水湖である日向湖からなる（図 1）。三方湖と水月湖および水月湖と久々子湖はおおの水路で結ばれ、最も下流である久々子湖は水路で日本海と結ばれており、最も上流部にある三方湖まで海水が遡上する。一方、水月湖と日向湖も水路で結ばれているが、水門が閉じており、湖水の交流はない状況にある（日本水環境学会 1999）。日向湖

を除く 3 湖は COD については 5mg/L 以下、TP に関しては 0.05mg/L 以下、TN に関しては 0.6mg/L 以下の環境基準が福井県知事により設定されている*。

試料の採取 1988～2013 年の 26 年間、毎年 8 月に行った。採水は三方湖、水月湖および久々子湖の湖心付近である以下の 3 地点の表層から行った（図 1）。

St.M (N35° 33' 50" E135° 53' 35") 水深 2.5m
St.S (N35° 34' 50" E135° 53' 10") 水深 26.8m
St.K (N35° 35' 45" E135° 54' 40") 水深 2.0m

アオコ発生状況の有無 アオコの発生については、本研究におけるアオコを植物プランクトンの大増殖現象による湖面の緑色化と定義し（渡辺ら 1994）、採水時の三方湖湖面全域の目視により判断した。

植物プランクトンの計数 採水した試料を 1,000mL 取り、5mL のグルタルアルデヒド固定液を加え、上水試験方法に準じて計数した（日本水道協会 2011）。出現細胞数の最も多かった種（または属）を第一優占種（属）とした。ただし、同一属の複数種の同定が困難なものについては、spp. とした。

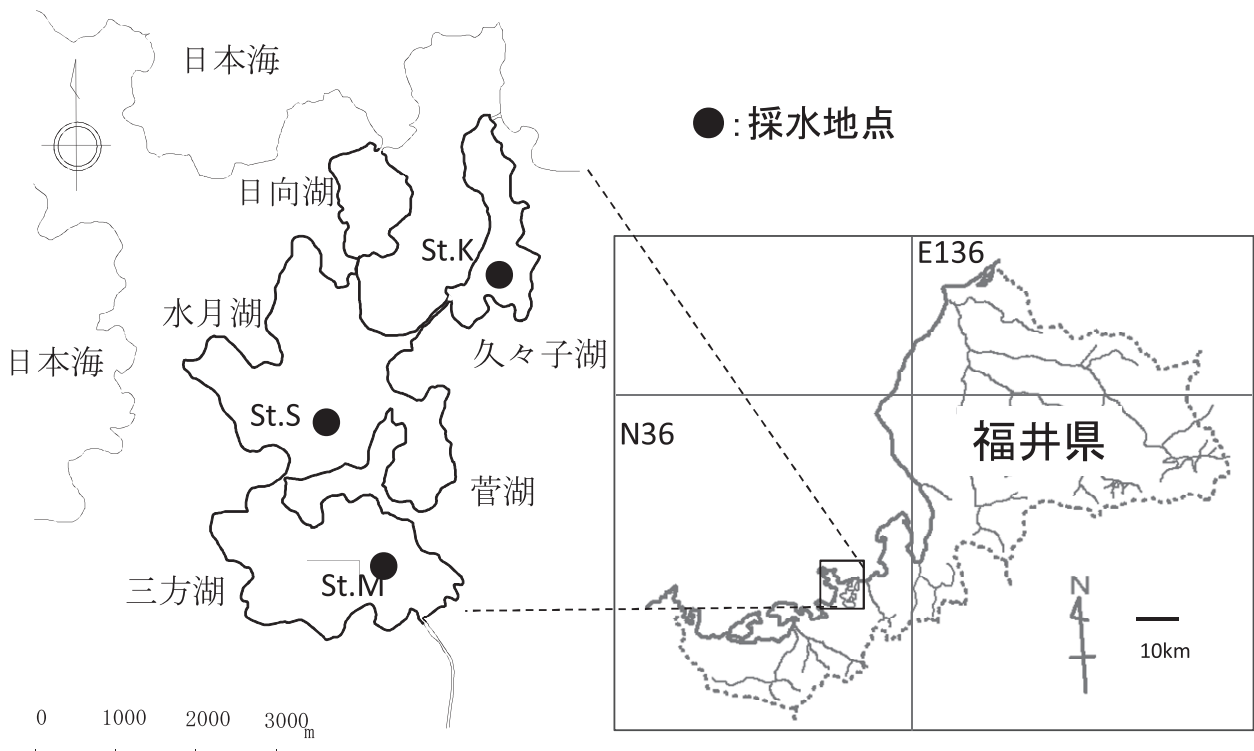


図 1. 三方五湖の概略

*昭和 52 年福井県告示 110 号および昭和 62 年福井県告示 1037 号

pH, COD, TN, TP, 浮遊物質 (SS) の測定 JIS 規格に準じて行った (日本規格協会 2014)。

植物プランクトン数, pH, COD, TN, TP および SS の評価 本研究期間内におけるトレンドから経年変化を評価するために、得られた植物プランクトン数, pH, COD, TN, TP および SS の 26 年間データから、2000 年の下水道供用開始を基準とした前期 (1988 ~ 2000 年) の 13 データおよび後期 (2001 ~ 2013 年) の 13 データを抽出し、年を説明変数、植物プランクトン数 (対数値), pH, COD, TN, TP および SS の値を目的変数とした回帰直線の傾きから経年変化を評価した。また、それぞれの項目について各定点の前期群と後期群における統計的な差を *U* 検定により確認した。

結 果

アオコの発生状況 アオコは 1988 年から 1998 年までは毎年確認されたが、2000 年に確認されたのを最後に、2001 年以降は確認されなかった。1991 年、1993 年および 1997 年には特に発生域範囲の規模が大きかった。

植物プランクトン数 植物プランクトンの計数結果を図 2 および付表に示した。縦軸は対数目盛である。3 地点とも 2001 年頃まで増加し、ピークを示した後減少し、2013 年には 1988 年とほぼ同水準の量となった。St.M で

は 2008 年度に顕著な低下が見られたが、2009 年からは他の湖と同様のゆるやかな減少傾向を示した。

植物プランクトンの主要出現種 (属) について表 1 に示した。St.K および St.S では藍藻類が優占する年が大半であり、前者が 22 回、後者が 24 回であった。

一方、St.M では珪藻類 (4 回) や緑藻類 (5 回) が優占する場合も散見され、藍藻類でも属の交代が多かった。特にアオコの大規模発生が確認された 1993 年は *Anabaena* spp. が、1997 年は *Microcystis aeruginosa* が第一優占種であった。

pH, COD, TN, TP および SS の経年変化 pH の経年変化を図 3 および付表に示した。pH は環境基準として 6.5 ~ 8.5 とされているので (日本規格協会 2014)、図中に基準線を示した。St.K と St.S では基準値超過が半数程度であったが、値は安定していた。一方、St.M は 2006 年まではほとんど基準値を超過していたが、2007 年以降低下傾向にあり 2011 年以降は基準内で推移した。

COD の経年変化を図 4 および付表に示した。COD の環境基準は 5mg/L 以下であるので、図中に基準線を示した。St.K と St.S では基準値である 5mg/L を超過する値が散見されるものの、概ね 5mg/L 以下の値であった。しかし St.M はほとんど全ての年で 5mg/L を超過しており、St.K および St.S と比較すると 1993 年や 2001 年の極大値を示した年は共通していたが、値は大きくなっていった。

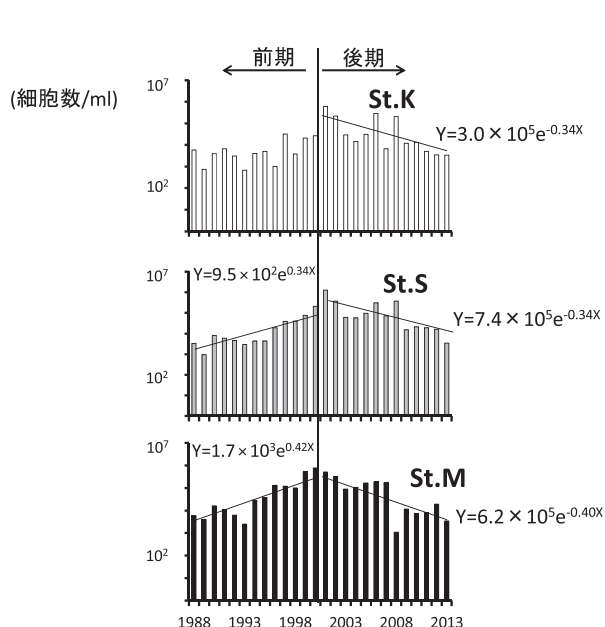


図 2. 植物プランクトン数の経年変化
2000 年の若狭町三方浄化センターの供用開始を区切りとし、それ以前を前期 (～ 2000 年) それ以降を後期 (2001 年～) とした
(図中の直線は有意な回帰直線: $p < 0.05$)

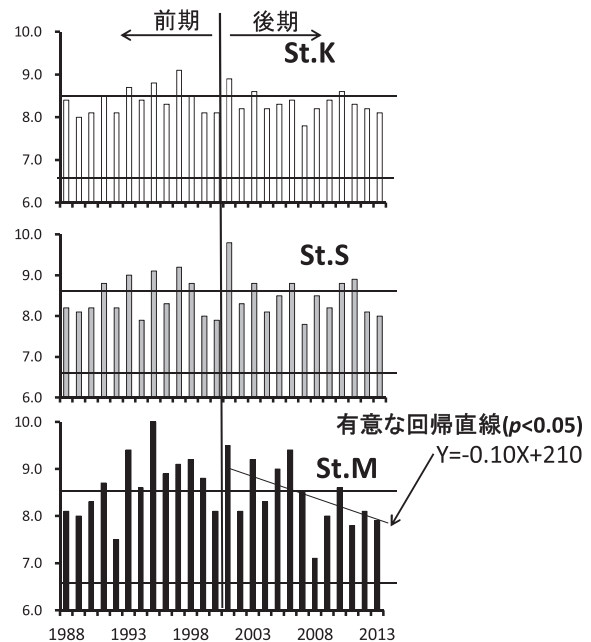


図 3. pH の経年変化
(前期・後期の区分は図 2 に同じ: 6.5 と 8.5 の線は環境基準)

表 1. 各調査定点における植物プランクトン主要出現種 (属), (光学顕微鏡で分類できないものは, 複数種 (属) を含む)

	S.L.K			S.L.S			S.L.M		
	第一優占種	種	類	第一優占種	種	類	第一優占種	種	類
1988	珙蕨	<i>Cyclotella meneghiniana</i>	藍藻	<i>Aphanocapsa</i> sp.	珙蕨	藍藻	<i>Cyclotella meneghiniana</i>	珙蕨	綠藻
1989	藍藻	<i>Coelosphaerium naegelianum</i>	藍藻	<i>Lyngbya limnetica</i>	藍藻	藍藻	<i>Coelosphaerium naegelianum</i>	珙蕨	<i>Melosira distans</i>
1990	藍藻	<i>Lyngbya limnetica</i>	珙蕨	<i>Cyclotella meneghiniana</i>	藍藻	藍藻	<i>Coelosphaerium naegelianum</i>	藍藻	<i>Anabaena flos-aquae</i>
1991	鞭毛藻	<i>Crysothyceae</i>	珙蕨	<i>Cyclotella meneghiniana</i>	藍藻	藍藻	<i>Anabaena spiroides</i> sp.	藍藻	<i>Anabaena spiroides</i> sp.
1992	藍藻	<i>Coelosphaerium naegelianum</i>	藍藻	<i>Microcystis parvula</i>	珙蕨	藍藻	<i>Lyngbya limnetica</i>	綠藻	<i>Coelastrum microporum</i>
1993	藍藻	<i>Anabaenopsis raciborskii</i>	藍藻	<i>Lyngbya limnetica</i>	藍藻	藍藻	<i>Lyngbya limnetica</i>	藍藻	<i>Oscillatoria</i> sp.A
1994	鞭毛藻	<i>Prorocentrum</i> sp.	珙蕨	<i>Cyclotella</i> sp.	藍藻	藍藻	<i>Scenedesmus</i> spp.	綠藻	<i>Merismopedia tenuissima</i>
1995	藍藻	<i>Microcystis inserta</i>	藍藻	<i>Merismopedia tenuissima</i>	綠藻	綠藻	<i>Oocystis</i> sp.	綠藻	<i>Anabaena spiroides</i>
1996	鞭毛藻	<i>Prorocentrum</i> sp.	藍藻	<i>Chroococcus</i> sp.	藍藻	藍藻	<i>Oscillatoria tenuis</i>	珙蕨	<i>Oscillatoria tenuis</i>
1997	藍藻	<i>Microcystis aeruginosa</i>	藍藻	<i>Anabaena macrospora</i>	藍藻	藍藻	<i>Microcystis aeruginosa</i>	藍藻	<i>Anabaena spiroides</i> sp.
1998	藍藻	<i>Lyngbya</i> sp.	藍藻	<i>Planktothrix</i> sp.	藍藻	藍藻	<i>Planktothrix</i> sp.	藍藻	<i>Microcystis novaeckii</i>
1999	藍藻	<i>Lyngbya</i> spp.	藍藻	<i>Merismopedia tenuissima</i>	藍藻	藍藻	<i>Merismopedia tenuissima</i>	藍藻	<i>Aphanocapsa</i> sp.
2000	藍藻	<i>Lyngbya</i> sp.	藍藻	<i>Oscillatoria</i> spp.	藍藻	藍藻	<i>Planktothrix</i> spp.	藍藻	<i>Oscillatoria</i> spp.
2001	藍藻	<i>Oscillatoria</i> spp.	藍藻	<i>Anabaena aphanizomenoides</i>	藍藻	藍藻	<i>Oscillatoria</i> spp.	藍藻	<i>Microcystis aeruginosa</i>
2002	藍藻	<i>Lyngbya</i> sp.	藍藻	<i>Chroococcus</i> sp.	藍藻	藍藻	<i>Planktothrix agardhii</i>	藍藻	<i>Planktothrix agardhii</i>
2003	藍藻	<i>Planktothrix</i> sp.	藍藻	<i>Coelosphaerium pusillum</i>	藍藻	藍藻	<i>Planktothrix</i> sp.	藍藻	<i>Oscillatoria</i> sp.
2004	藍藻	<i>Lyngbya limnetica</i>	藍藻	<i>Planktothrix</i> sp.	藍藻	藍藻	<i>Planktothrix</i> sp.	藍藻	<i>Oscillatoria</i> sp.
2005	藍藻	<i>Lyngbya limnetica</i>	藍藻	<i>Planktothrix agardhii</i>	藍藻	藍藻	<i>Planktothrix agardhii</i>	藍藻	<i>Anabaena aphanizomenoides</i>
2006	藍藻	<i>Lyngbya limnetica</i>	藍藻	<i>Phormidium</i> sp.	藍藻	藍藻	<i>Phormidium</i> sp.	藍藻	<i>Phormidium</i> sp.
2007	藍藻	<i>Planktothrix agardhii</i>	珙蕨	<i>Cyclotella</i> spp.	藍藻	藍藻	<i>Oscillatoria</i> sp.	藍藻	<i>Oscillatoria</i> sp.
2008	藍藻	<i>Lyngbya limnetica</i>	藍藻	<i>Oscillatoria</i> sp.	藍藻	藍藻	<i>Oscillatoria</i> sp.	綠藻	<i>Aphanocapsa</i> sp.
2009	藍藻	<i>Lyngbya limnetica</i>	珙蕨	<i>Achnanthes</i> sp.	藍藻	藍藻	<i>Cyclotella</i> spp.	珙蕨	<i>Cyclotella</i> spp.
2010	藍藻	<i>Lyngbya limnetica</i>	藍藻	<i>Oscillatoria</i> sp.	藍藻	藍藻	<i>Anabaena</i> spp.	藍藻	<i>Actinastrum</i> sp.
2011	藍藻	<i>Lyngbya limnetica</i>	藍藻	<i>Oscillatoria</i> sp.	藍藻	藍藻	<i>Anabaena</i> spp.	綠藻	<i>Synedra</i> sp.
2012	藍藻	<i>Lyngbya limnetica</i>	藍藻	<i>Anabaena</i> sp.	藍藻	藍藻	<i>Anabaena</i> spp.	藍藻	<i>Auracoseira granulata</i>
2013	藍藻	<i>Lyngbya limnetica</i>	藍藻	<i>Oscillatoria</i> sp.	藍藻	藍藻	<i>Anabaena</i> sp.	藍藻	<i>Merismopedia</i> sp.

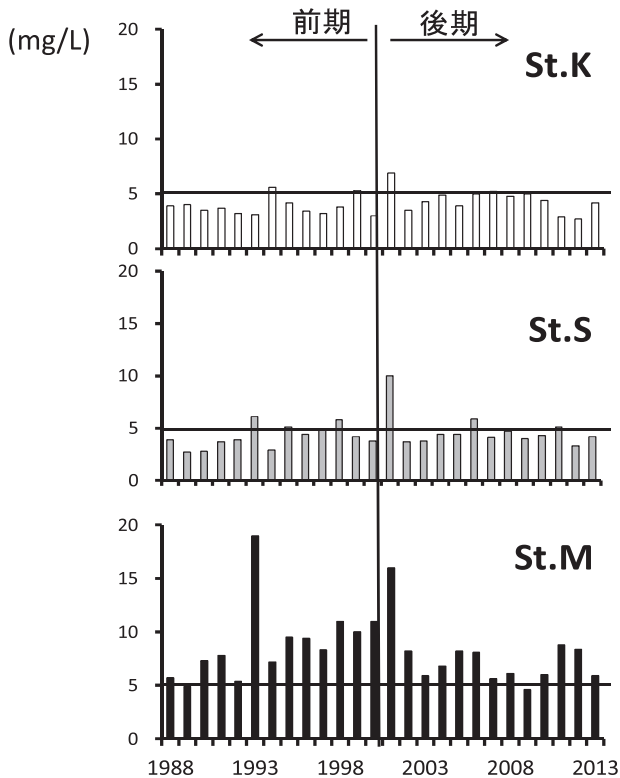


図 4. COD の経年変化
(前期・後期の区分は図 2 に同じ: 5mg/L の線は環境基準)

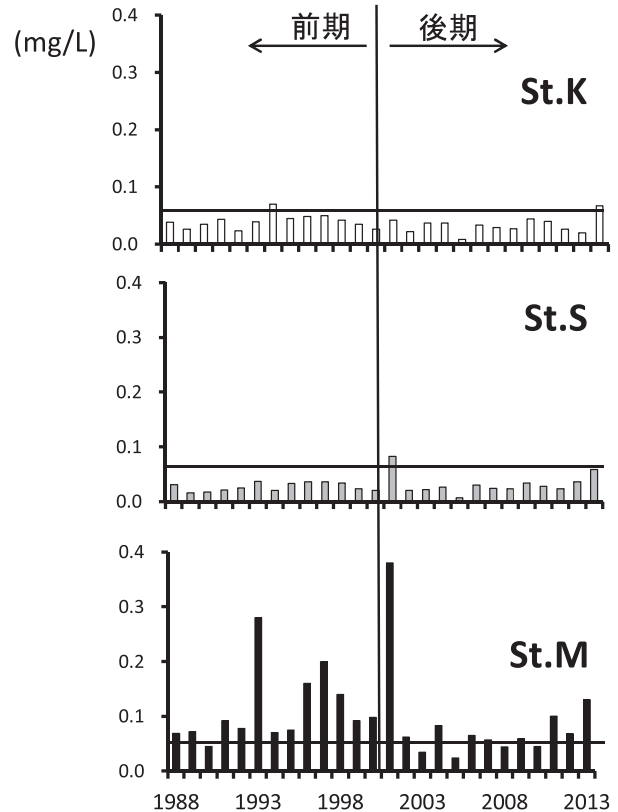


図 5. TP の経年変化
(前期・後期の区分は図 2 に同じ: 0.05mg/L の線は環境基準)

TP の経年変化を図 5 および付表に、TN の経年変化を図 6 および付表に示した。TP に関しては 0.05mg/L 以下、TN に関しては 0.6mg/L 以下が環境基準であるので、図中に基準線を示した。TP および TN は pH、COD と同様に、St.M はほとんど全ての年で環境基準値を超過していたが、St.K と St.S では環境基準値を超過することがほとんどなかった。St.M においては TN が 1993 年に極大値を示し、その後増減しながら徐々に低下した。

SS の経年変化を図 7 および付表に示した。St.M は 2001 年にピーク (39mg/L) を示し、その後低下した。St.S においても 2001 年にピーク (17mg/L) を示したが、他の年は 10mg/L 以下の低い値であった。St.K においては常に 10mg/L 以下の低い値であった。

植物プランクトン数, pH, COD, TN, TP および SS の評価 植物プランクトン数で、St.K 前期を除く前期後期別のいずれの定点でも $p < 0.05$ で有意に傾きが 0 でなく、傾きは St.M 前期が 0.42 で後期が -0.40 であった。同様に St.S 前期が 0.34 で後期が -0.34 であり、St.K 後期が -0.34 であった。pH では St.M 後期でも $p < 0.05$ であり有意に傾きが 0 でなく、傾きは -0.10 であった。

一方、COD、TN、TP および SS の全定点、前期・後期いずれも $p > 0.05$ でありトレンドが見られなかったも

の、SS では、St.M において前期群の方が後期群よりも有意に大きかった ($p < 0.05$)。

考 察

本研究期間内で植物プランクトン数に変化傾向が認められたことから、従来の物理化学的要素では検知出来ない水質の変化を植物プランクトン数の推移から検知出来る可能性が示唆された。特に上・中流域に位置する三方湖、水月湖では、前期の増加と後期の減少の両方の変化が統計的に有意であり、より鋭敏に水質の状態を反映するので有用であると考えられた。

植物プランクトン数の減少時期である後期は、アオコの発生およびアオコ現象の主な原因生物のひとつである *Microcystis aeruginosa* が優占種として確認されていない。また、2008 年におけるヒシの繁茂などと連動した植物プランクトン数の減少とも同調しており、植物プランクトン数の変化とアオコの発生やヒシの増減といった生態学的な事象との連動性 (Sugimoto *et al.* 2014) も認められた。植物プランクトン数の減少が大きかった St.M では、細胞数の減少に伴う光合成活性の低下が pH の減少傾向として反映されたと考えられた。

一方、社会的環境変化についても 2000 年には三方地

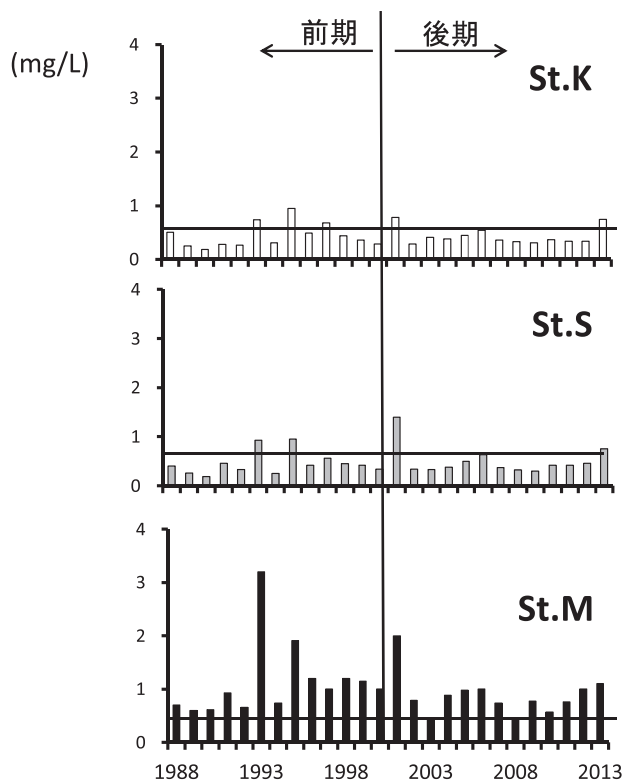


図 6. TN の経年変化
(前期・後期の区分は図 2 に同じ: 0.6mg/L の線は環境基準)

区において若狭町三方浄化センターが供用開始となった。このセンターでは、三方湖に流入する最大の河川であるハス川流域の下水を引き込み処理・放出しており、2,600m³/日の処理能力を有する。この処理により窒素の 97% 以上、リンや SS の 99% 以上を低減させる効果があるとされている。しかし本研究の結果からは SS への効果しか認められず、窒素やリンに関しては上流域以外からの供給も考えられた。

この浄化センターの供用開始以降は大規模なアオコの発生が三方湖で確認されていないこと、2000 年あたりをピークとした植物プランクトン数が減少していること、前期と後期で SS に有意差が認められること、ヒシの繁茂が問題となったことから判断すると、富栄養化した三方湖の水質は近年改善に向かっていると考えられた。水質転換の同調性を考慮すると諏訪湖と同様に（花里 2012）、社会的な環境変化である下水道供用開始が三方五湖水環境改善に寄与していることが示唆された。

今後も水質改善に向かっている当該水域において、今回有用と判断された生物学的指標を含めた継続的な水質監視を実施し、水産業への影響や課題を引き続き検討していく必要がある。

謝 辞

三方湖に流入する下水処理水の現状について、情報提

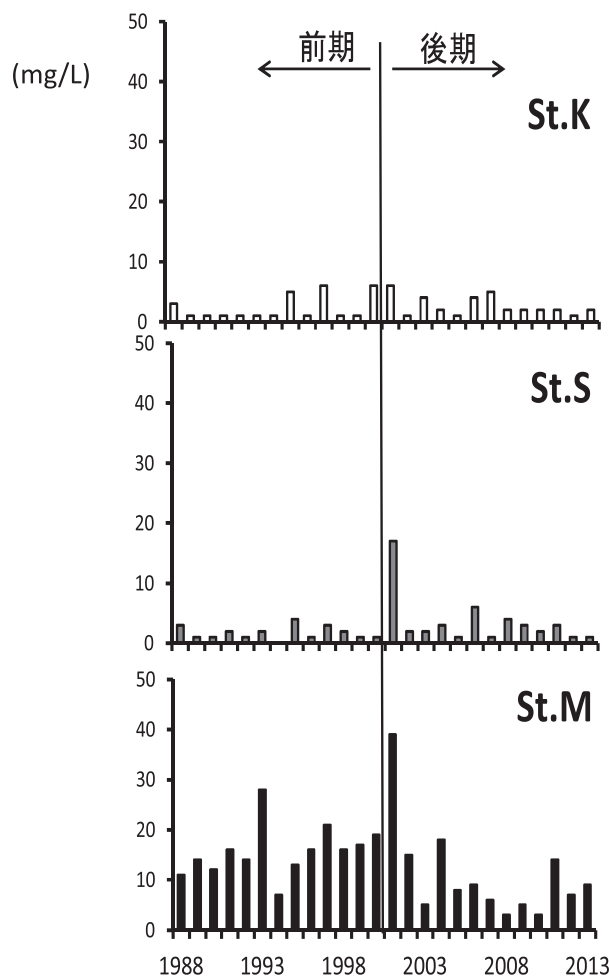


図 7. SS の経年変化（前期・後期の区分は図 2 に同じ）

供いただいた福井県若狭町水道課に深謝します。

文 献

- 青木啓子・石田敏一・宇都宮高栄・林隆一郎（1991）福井県三方湖で発生したアオコ（1991 年の事例）. 福井県環境センター年報, **21**, 78-84.
- 福井県（2014）平成 25 年度版環境白書. 福井県, 福井, 87-118 pp.
- 花里孝幸（2012）諏訪湖学. 地人書館, 東京, 76-101 pp.
- 水環境の総合指標研究委員会（2013）水環境に関する総合指標の展開と今後. 水環境学会誌, **36**, 439-445.
- 日本規格協会編（2014）JIS ハンドブック環境測定Ⅱ水質. 日本規格協会, 東京.
- 日本水環境学会編（1999）日本の水環境. 技報堂出版, 東京 36-40pp.
- 日本水道協会編（2011）上水試験方法 2011 年版・生物編. 日本水道協会, 東京, 120-131pp.
- Sugimoto R., T. Sato, T. Yoshida and O. Tominaga（2014）Using stable nitrogen isotopes to evaluate the relative importance of external and internal nitrogen loadings on phytoplankton production in a shallow eutrophic lake (Lake Mikata, Japan), *Limnol. Oceanogr.*, **59**(1), 37-47.

三方五湖の水質評価

多田雅充・児玉晃治（2011）三方五湖水域の魚類相とその特性、
福井県自然保護センター研究報告，16，45-61.
津田久美子・早川和秀・岡本高弘（2014）有機汚濁と環境基準、
用水と廃水，56，59-72.

渡辺真利代・原田健一・藤本博太編（1994）アオコ－その出現
と毒素－，東京大学出版，東京，1-3 pp.
吉田陽一・堀家健司（2001）日本における湖沼の富栄養度と水
産生物，日水誌，67(3)，422-428.

付表 本研究で用いたデータ

	植物プランクトン数（細胞数/mL）			pH			COD (mg/L)			TP (mg/L)			TN (mg/L)			SS (mg/L)		
	St.K	St.S	St.M	St.K	St.S	St.M	St.K	St.S	St.M	St.K	St.S	St.M	St.K	St.S	St.M	St.K	St.S	St.M
1988	5.8×10^3	3.3×10^3	5.9×10^3	8.4	8.2	8.1	3.9	3.9	5.7	0.038	0.031	0.069	0.51	0.40	0.70	3	3	11
1989	7.4×10^2	9.5×10^2	4.0×10^3	8.0	8.1	8.0	4.0	2.7	4.9	0.026	0.016	0.072	0.25	0.26	0.60	1	1	14
1990	3.9×10^3	7.9×10^3	1.6×10^4	8.1	8.2	8.3	3.5	2.8	7.3	0.035	0.017	0.045	0.19	0.19	0.61	1	1	12
1991	6.6×10^3	5.9×10^3	1.1×10^4	8.5	8.8	8.7	3.7	3.7	7.8	0.043	0.021	0.092	0.28	0.46	0.93	1	2	16
1992	3.1×10^3	4.6×10^3	6.2×10^3	8.1	8.2	7.5	3.2	3.9	5.4	0.023	0.025	0.078	0.27	0.33	0.66	1	1	14
1993	6.8×10^2	2.9×10^3	2.5×10^3	8.7	9.0	9.4	3.1	6.1	19.0	0.039	0.037	0.280	0.74	0.93	3.20	1	2	28
1994	4.1×10^3	4.4×10^3	2.8×10^4	8.4	7.9	8.6	5.6	2.9	7.2	0.070	0.020	0.070	0.31	0.25	0.74	1	0	7
1995	5.1×10^3	4.4×10^3	3.8×10^4	8.8	9.1	10.0	4.2	5.1	9.5	0.045	0.033	0.075	0.95	0.95	1.91	5	4	13
1996	1.0×10^3	1.9×10^4	1.3×10^5	8.3	8.3	8.9	3.4	4.4	9.4	0.048	0.036	0.160	0.49	0.42	1.20	1	1	16
1997	3.2×10^4	3.9×10^4	1.2×10^5	9.1	9.2	9.1	3.2	4.8	8.3	0.050	0.036	0.200	0.68	0.56	1.00	6	3	21
1998	3.8×10^3	4.1×10^4	1.0×10^5	8.5	8.8	9.2	3.8	5.8	11.0	0.042	0.034	0.140	0.44	0.45	1.20	1	2	16
1999	2.1×10^4	7.6×10^4	5.3×10^5	8.1	8.0	8.8	5.3	4.2	10.0	0.035	0.023	0.092	0.36	0.42	1.15	1	1	17
2000	2.7×10^4	2.1×10^5	7.6×10^5	8.1	7.9	8.1	3.0	3.8	11.0	0.026	0.020	0.098	0.29	0.34	1.00	6	1	19
2001	6.1×10^5	1.3×10^6	5.1×10^5	8.9	9.8	9.5	6.9	10.0	16.0	0.042	0.082	0.380	0.78	1.40	2.00	6	17	39
2002	2.2×10^5	3.8×10^5	3.2×10^5	8.2	8.3	8.1	3.5	3.7	8.2	0.022	0.020	0.062	0.29	0.34	0.79	1	2	15
2003	2.9×10^4	6.2×10^4	9.0×10^4	8.6	8.8	9.2	4.3	3.8	5.9	0.037	0.022	0.034	0.41	0.33	0.43	4	2	5
2004	1.4×10^4	5.8×10^4	1.0×10^5	8.2	8.1	8.3	4.9	4.4	6.8	0.037	0.026	0.083	0.38	0.38	0.88	2	3	18
2005	3.1×10^4	9.5×10^4	1.6×10^5	8.3	8.5	9.0	3.9	4.4	8.2	0.008	0.007	0.024	0.45	0.50	0.98	1	1	8
2006	2.9×10^5	3.1×10^5	1.8×10^5	8.4	8.8	9.4	5.0	5.9	8.1	0.033	0.030	0.065	0.54	0.63	1.00	4	6	9
2007	6.7×10^3	7.2×10^4	1.6×10^5	7.8	7.8	8.5	5.2	4.1	5.6	0.029	0.024	0.057	0.36	0.37	0.74	5	1	6
2008	2.0×10^5	3.7×10^5	1.1×10^3	8.2	8.5	7.1	4.8	4.7	6.1	0.027	0.023	0.044	0.33	0.32	0.43	2	4	3
2009	1.1×10^4	1.5×10^4	1.1×10^4	8.4	8.2	8.0	5.0	4.0	4.6	0.044	0.034	0.059	0.31	0.30	0.77	2	3	5
2010	1.3×10^4	2.0×10^4	7.1×10^3	8.6	8.8	8.6	4.4	4.3	6.0	0.040	0.028	0.045	0.37	0.42	0.57	2	2	3
2011	5.0×10^3	1.9×10^4	7.9×10^3	8.3	8.9	7.8	2.9	5.1	8.8	0.026	0.023	0.100	0.34	0.42	0.76	2	3	14
2012	3.4×10^3	1.6×10^4	1.9×10^4	8.2	8.1	8.1	2.7	3.3	8.4	0.020	0.036	0.068	0.34	0.46	1.00	1	1	7
2013	3.3×10^3	3.4×10^3	3.4×10^3	8.1	8.0	7.9	4.2	4.2	5.9	0.067	0.058	0.130	0.75	0.75	1.10	2	1	9

資料

2001 年から 2003 年の有明海奥部および 中部海域で採集されたマクロベントス －出現種および主要種の分布－

興石裕一^{*1}・清本節夫^{*2}・西 潔^{*3}・小菅丈治^{*4}
田中徳子^{*2}・陶山典子^{*5}・鈴木健吾^{*6}

Macrobenthos in inner and central part of Ariake Sound from 2001 through 2003: Species composition and distribution

Yuichi KOSHIISHI, Setuo KIYOMOTO, Kiyoshi NISHI, Takeharu KOSUGE,
Noriko TANAKA, Noriko SUYAMA, and Kengo SUZUKI

Abstract

A total of 635 species of macrobenthos were identified in grab samples collected by five surveys conducted in the inner and central parts of Ariake Sound, southern Japan, from 2001 through 2003. Polychaeta, Gammaridea and Bivalvia were the major taxa, which occupied 72%-87% of the macrobenthos in each survey. The top three species in each taxon were *Heteromastus* sp. 1, *Magelona japonica* and *Sigambra* sp. 1 in Polychaeta; *Corophium* sp. 1, *Corophium sinensis* and *Photis longicaudata* in Gammaridea; and *Ruditapes philippinarum*, *Theora fragilis* and *Musculista senhousia* in Bivalvia. The order of dominant species in each taxon changed annually. A list of the macrobenthos and the distribution of dominant species are presented.

キーワード：有明海, マクロベントス

2014 年 10 月 6 日受付 2015 年 1 月 8 日受理

国内最大の潮差と多くの流入河川を背景に広大な干潟を有する有明海は、多くの特産種、準特産種を含む多様な動物相に特徴付けられる（佐藤・田北 2000）。マクロベントスは、採泥器等で採集され、通常 0.5mm あるいは 1mm の篩に残る体重が 1g 未満の底生動物の総称で、その量や組成は海底環境やその変化の有用な指標とされ（菊池 1975, 風呂田・石川 1986）、魚類養殖場環境の評

価に活用する手法も検討されている（横山ら 2002）。

有明海では 2000 年～2001 年の養殖シーズンに大規模なノリの不作が起き、諫早湾干拓事業との因果関係が注目されて社会問題となり、「有明海及び八代海等を再生するための特別措置に関する法律」が 2002 年に施行される契機となった。同時に有明海の環境や生物に関する研究も急速に展開し、2000 年以前には比較的少なかった

^{*1} 独立行政法人水産総合研究センター中央水産研究所
〒236-8648 横浜市金沢区福浦 2-12-4

National Research Institute of Fisheries Science, Fisheries Research Agency, 2-12-4, Fukuura, Kanazawa-ku, Yokohama, 236-8648, Japan

^{*2} 独立行政法人水産総合研究センター西海区水産研究所

^{*3} 元・株式会社海洋生態研究所

^{*4} 元・独立行政法人水産総合研究センター西海区水産研究所

^{*5} 元・独立行政法人水産大学校

^{*6} 独立行政法人水産総合研究センター北海道水産研究所

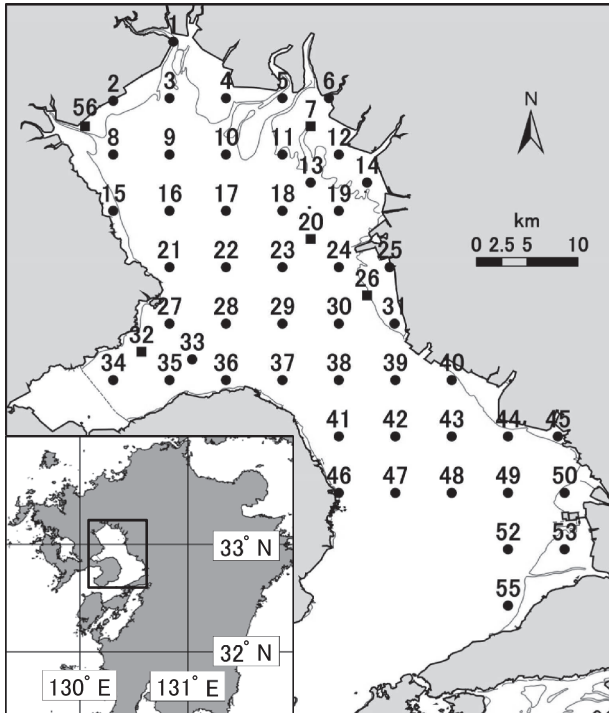


図1. 調査海域図
数字は調査定点番号、●は全5回の調査で採泥した定点

た有明海全体あるいは比較的広い海域のマクロベントスを対象にした研究報告も多くなされている(菊池 2002, 陶山ら 2003, 東 2005a, 松尾ら 2007a, 松尾ら 2007b, Yoshino *et al.* 2007, 吉野ら 2009, 上杉ら 2012)。

本資料では 2001 年から 2003 年に実施された行政特別研究「有明海の海洋環境の変化が生物生産に及ぼす影響の解明」の採泥調査により確認されたマクロベントスのリスト並びに主要種の分布を報告する。採泥調査によって得られるマクロベントスの種数には調査範囲や調査時期、さらに調査点数や採泥量等が影響するが、有明海では菊池・田中 (1978) により 245 種以上、古賀 (1991) により 206 種、環境省の調査 (日本水産資源保護協会, 平成 16 年度) で 251 種以上、等の値が報告されている。本調査では 2002 年 6 月の調査で 373 種、3 年間に実施した 5 回の調査で 635 種のマクロベントスが確認された。

調査と方法

北緯 32 度 40 分以北の干潟域を含む有明海奥部および中部を対象海域とした (図 1)。この海域の原則として 5.6km (3 海里) 毎に配置した定点において、長崎県小長井町漁業協同組合所属の福寿丸 (3.1t) により調査を実施した。調査は、貧酸素水塊の観測例が多い夏の成層期を挟んだ 6 月と 10 月に 3 年間で 5 回実施し、採泥面積が 1/20m² の Smith-McIntyre 型採泥器を用いて、2001 年 6 月 11 日～15 日と 2001 年 10 月 2 日～6 日には 53

定点で各点 2 回、2002 年 6 月 13 日～15 日、17 日、2002 年 10 月 8 日～11 日、及び 2003 年 6 月 3 日～6 日には 50 定点で各点 1 回の採泥を行った。採泥時に多項目水質計 (Quanta, Hydrolab 社製) を用いて表・底層の水温、塩分および溶存酸素飽和度を測定した。また、内径 38mm のアクリル管を用いて採泥器中の底質試料の表面から 50mm を分取し、後日湿式篩い分け及びレーザー回析式粒度分析装置 (SALD2000A, 2001, 2002 年), SALD3100, 2003 年), 島津製作所製) を併用して粒度分析を行った。

採取した泥は船上で目合い 0.5mm の篩でふるい、残った試料をホルマリン固定して持ち帰った。この試料を後日目合い 1mm の篩で再度ふるい、残った動物のうち体重 1g 未満の動物を 16 の高次分類群に分類して計数および湿重量測定対象のマクロベントスとした。マクロベントスの内、2001 年は二枚貝と巻貝 (腹足類)、多毛類、ヨコエビ類、カニ類について、2002 年と 2003 年については全動物について可能な限り種のレベルまで同定を行った。種数の集計にあたり、不明種は分類単位にかかわらず 1 種として扱い、複数種で構成される項目 (spp.) は除外した。なお、本資料の学名は同定当時の分類体系によっている。このため、2003 年以降の学名や分類の変更は原則として反映されていない。

調査点位置は GPS で測位した。5 回の調査で共通する調査点は図 1 に黒丸で示した 49 点であるが、2002 年の 6, 10 月は漁場整備工事と漁具敷設により定点 31 の位置を大きく沖側にずらし、2003 年 6 月については定点 43 の試料を紛失した。このため、二枚貝、多毛類、ヨコエビ類を対象とした主要種の選定と分布図の作成にはこれら 2 点を除いた 47 点の計数結果を用いた。なお、調査点の水深は最低水面 (DL) を 0m として示した。すなわち、レッドまたは魚探による実測値を潮汐表 (海上保安庁) から算出した調査時の推定潮位により補正して水深とした。

結 果

採泥時の海底環境 5 回の調査、のべ 256 調査点の水深範囲は -2.9 ～ 46.6m で平均水深は 8.5m であった。底質の泥分率 (粒径 63μm 以下の粒子の重量割合) および中央粒径値 (Mdφ) の平均値と範囲は、それぞれ 51.0 (0.0 ～ 99.8) %, 4.22 (-1.13 ～ 8.60) % であった。Mdφ の頻度分布は、中粒砂 (φ スケールで 1 ～ 2) と微粒シルト (同 7 ～ 8) にモードを示し (図 2), Mdφ=4 を境として区分すると、127 調査点が泥質堆積物、129 調査点が砂質堆積物に分類された。図 3 に 2002 年 6 月の Mdφ の水平分布を示した。2001 年 6 月 (陶山ら 2003) と同様に、湾奥西側から諫早湾にいたる海域と沿岸干潟域を除く熊本県沖は泥底域で、調査海域の中央に南北に広がる海域は筑後川沖の海底水道を除いて砂底域となっ

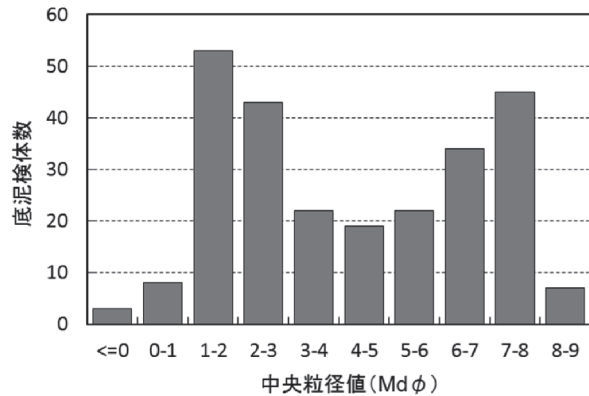


図2. 全256底泥試料の中央粒径値(Md φ)頻度分布

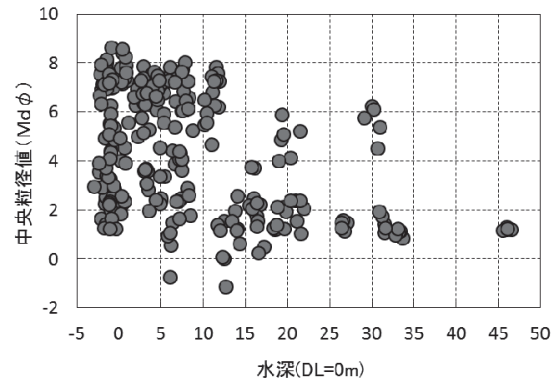


図4. 全256底泥試料の中央粒径値(Md φ)と採泥水深との関係

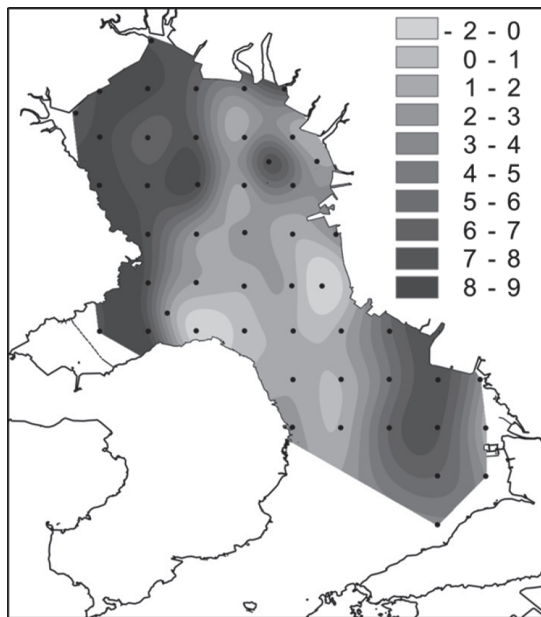


図3. 底泥の中央粒径値(Md φ)の水平分布(2002年6月)

ていた。なお、Mdφには浅い調査点ほど大きい傾向が見られ、水深12m以深の調査点では泥質堆積物の割合が減少した(図4)。

採泥時の泥温範囲は19.0～25.0℃で、海底上0.5m(2002年は1.0m)の底層で観測した水温は19.1～25.1℃、塩分は17.1～32.0、溶存酸素飽和度は61.0～110.7%であった(表1)。

出現種と生息密度 5回の調査で得られたマクロベント

スの総数は39,689個体で、分類群別では多毛類、ヨコエビ類、二枚貝が、それぞれ15,372個体、8,521個体、8,428個体となり、これら3分類群が調査回次毎のマクロベントスの71.7～87.2%を占めた。また、これら3分類群で仮同定を含む種レベルの同定が出来なかった個体の出現率は、5回の調査を通して多毛類が1.1%、ヨコエビ類が1.7%、二枚貝が1.5%であった。

調査回次毎のマクロベントス出現種および出現量(全調査点を平均した生息密度)を付表1に示した。5回の調査により635種のマクロベントスが出現し、全動物を同定の対象とした2002年6月、10月および2003年6月の調査で確認されたマクロベントス種数はそれぞれ、373種、292種、323種であった。5回の調査を通した分類群別出現種数は、多毛類45科242種、ヨコエビ類23科94種、二枚貝24科74種の順であった。また、同一年で比較すると出現種数は3分類群とも6月が10月より多かった。

出現種のうち調査回次あたりの全調査点平均生息密度が100個体/m²以上を示した種は、二枚貝のアサリ(*Ruditapes philippinarum*)、チヨノハナガイ(*Raetellops pulchella*)、シズクガイ(*Theora fragilis*)、ホトトギスガイ(*Musculista senhousia*)、ビロードマクラ(*Modiolus comptus*)、ヨコエビ類のドロクダムシ属の1種(*Corophium* sp. 1)、タイリクドロクダムシ(*Corophium sinensis*)、クダオソコエビ(*Photis longicaudata*)、ボウアシソコエビ(*Gammaropsis utinomii*)、多毛類のカザリゴカイ(*Amphicteis*

表1. 調査回次毎の泥温ならびに底層の水温、塩分および溶存酸素飽和度(平均、最小-最大)

	2001年6月	2001年10月	2002年6月	2002年10月	2003年6月
泥温(℃)	21.9 (20.3-24.4)	24.1 (22.2-25.0)	22.6 (20.8-24.6)	23.2 (20.8-24.3)	20.3 (19.0-22.2)
水温(℃)	21.7 (20.2-24.3)	24.4 (22.6-25.1)	23.0 (21.3-25.0)	23.4 (21.6-24.4)	20.3 (19.1-22.0)
塩分	28.3 (17.1-32.0)	28.0 (21.3-30.3)	28.5 (21.3-30.8)	29.4 (24.9-30.9)	28.7 (19.6-31.4)
酸素飽和度(%)	79.3 (61.0-97.2)	74.3 (61.8-89.0)	79.7 (63.4-101.6)	78.1 (69.2-110.7)	83.8 (68.9-110.7)

底層の観測位置は海底上0.5m(2001, 2003年)、または1m(2002年)

gunneri), イトゴカイ科の1種 (*Mediomastus* sp. 1) の11種であり, このうち10月に100個体/m²以上を示したのはアサリのみであった。なお, 6月のマクロベントスの平均生息密度上位5種を比較したところ(表2), 最優占種は年ごとに異なり, 出現種も大きく入れ替わった。アサリとシズクガイがそれぞれ2回出現したが他種は毎年入れ替わり, 3年連続して上位5種に入った種はなかった。

調査回次毎のマクロベントス(全動物)の全調査点を対象とした平均生息密度および現存量を表3に示した。生息密度は1,295~3,791個体/m²で, ヨコエビ類の出現量が多かった2002年6月に最も高かった。現存量は38.6~146.6g/m²で, 最高値を示した2001年10月は定点50で多獲されたアサリが全マクロベントス重量の約50%を占めた。

表2. 平均生息密度により順位付けした6月のマクロベントス主要種(47共通調査点)

累積 順位*	種 名	順 位		
		2001年	2002年	2003年
1	<i>Corophium</i> sp. 1 ドロダムシ属		1	
2	<i>Ruditapes philippinarum</i> アサリ	3	3	
3	<i>Corophium sinensis</i> タイワンドロダムシ	1		
4	<i>Theora fragilis</i> シス'ガイ	4		3
5	<i>Photis longicaudata</i> クダオソコエビ		2	
6	<i>Musculista senhousia</i> ホトキスガイ			1
7	<i>Raetelopsis pulchella</i> チノハナガイ	2		
8	<i>Modiolus comptus</i> ヒロドマカラ			2
9	<i>Mediomastus</i> sp. 1 イトゴカイ科			
10	<i>Sigambra</i> sp. 1 カギゴカイ科	5		
11	<i>Amphicteis gunneri</i> カザリゴカイ		5	
12	<i>Magelona japonica</i> モロテゴカイ			5
13	<i>Sternaspis scutata</i> ダルマゴカイ			
14	<i>Gammaropsis utinomii</i> ホウアシソコエビ		4	
15	<i>Heteromastus</i> sp. 1 イトゴカイ科			
16	<i>Chaetozone</i> sp. 1 ミズヒキゴカイ科			
17	<i>Byblis japonicus</i> ニッポンスガメ			
18	<i>Terebellides horikoshii</i> フクビタマゲシサゴカイ			4

* 調査回次(3回)毎の47定点平均生息密度の合計による順位

表3. 調査回次別, 高次分類群別のマクロベントス生息密度および現存量(全調査点平均値)

調査年月	2001年		2002年		2003年
	6月	10月	6月	10月	6月
生息密度(個体/m ²)					
多毛類	986	591	1,194	666	959
二枚貝	659	375	504	213	471
ヨコエビ類	600	148	1,602	49	175
クモヒトデ類	168	187	96	142	195
その他	216	188	395	224	300
合計	2,629	1,489	3,791	1,295	2,101
現存量(g/m ²)					
多毛類	10.3	11.5	21.1	12.3	16.0
二枚貝	14.3	122.5	56.7	53.3	68.5
ヨコエビ類	0.5	0.2	2.6	0.1	0.4
クモヒトデ類	2.0	4.7	4.0	7.0	3.6
その他	11.6	7.7	8.2	6.5	25.2
合計	38.6	146.6	92.7	79.2	113.7

主要種の分布 多毛類, ヨコエビ類, 二枚貝の出現種について, 共通47定点を対象として定点別, 種別の累積生息密度(調査回次毎の生息密度を5回分合計した値)を求め, 47定点の平均累積生息密度により順位付けを行った。3分類群の上位16種の分布を図5~7に示した。また, 種毎の分布の重心となっている水深および中央粒径値(Mdφ)について, 累積生息密度を用いた加重平均により求めた。なお, 以降各分類群の上位16種を主要種と呼ぶ。また, 本項目内の「順位」, 「生息密度」, 「相対優占度(各分類群における生息密度の合計値に占める該当種の生息密度の割合)」や「出現率(生息密度>0の調査点の割合)」はいずれも5回の調査を合計した累積値をベースに算定し, 累積値による順位は調査回次毎の順位と区別するため括弧書きで示した。

1. 多毛類(図5) 主要種の相対優占度はヨコエビ類, 二枚貝と比べて偏りが少なく, 上位10種の相対優占度は合計40.2%であった。一方, 出現率は他の2分類群より高く, 上位10種の平均で61%となった。

最優占種(1位)はイトゴカイ科の*Heteromastus* sp. 1で, 生息密度は47定点の平均で253個体/m², 相対優占度は5.6%であった。生息密度は湾奥と熊本県沿岸の浅い海域で高く, 分布重心の水深とMdφはそれぞれ, 1.7m, 5.5であった。本種は2001, 2002両年10月の最優占種であり, 平均生息密度は6月より10月が高かった。同様に10月の生息密度が6月より高かった主要種は, モロテゴカイ科の*Magelona* sp. 1, ヨツバネスピオB型(*Paraprionospio* sp. Form B), チロリ(*Glycera chirori*), アシビキツバサゴカイ(*Spiochaetopterus costarum*)の4種であった。

2001年6月調査の最優占種であったカギゴカイ科の*Sigambra* sp. 1(3位)の分布重心は主要種中最も浅く1.3m, Mdφは最も細かい5.9であった。また, 生息密度は湾奥西側海域で高かった。分布重心のMdφが4以上を示し泥底域の生息密度が高かった主要種は*Heteromastus* sp. 1と*Sigambra* sp. 1の他, ダルマゴカイ(*Sternaspis scutata*, 6位)およびヨツバネスピオB型の計4種で他の12種は砂底域の生息密度が高かった。

2002年6月の最優占種カザリゴカイ(5位)と2003年6月調査の最優占種フクビタマゲシフサゴカイ(*Terebellides horikoshii*, 9位)の分布重心の水深およびMdφはそれぞれ, 13.4m, 14.2mおよび2.4, 1.7でほとんどが砂底域に生息した。両種の生息密度は長崎県雲仙市の多比良港(定点37付近)と福岡県大牟田市の三池港(定点24付近)を結ぶライン周辺の海域, あるいはそのやや北側で高かった。ナガタンザクゴカイ(*Bhawania goodie*)やヒメエラゴカイ科の*Paraonides* sp. 1(10位)も砂底域を中心に分布し, 主な分布域に南北方向のシフトが認められたものの, これら2種に類似した分布様式を示した。

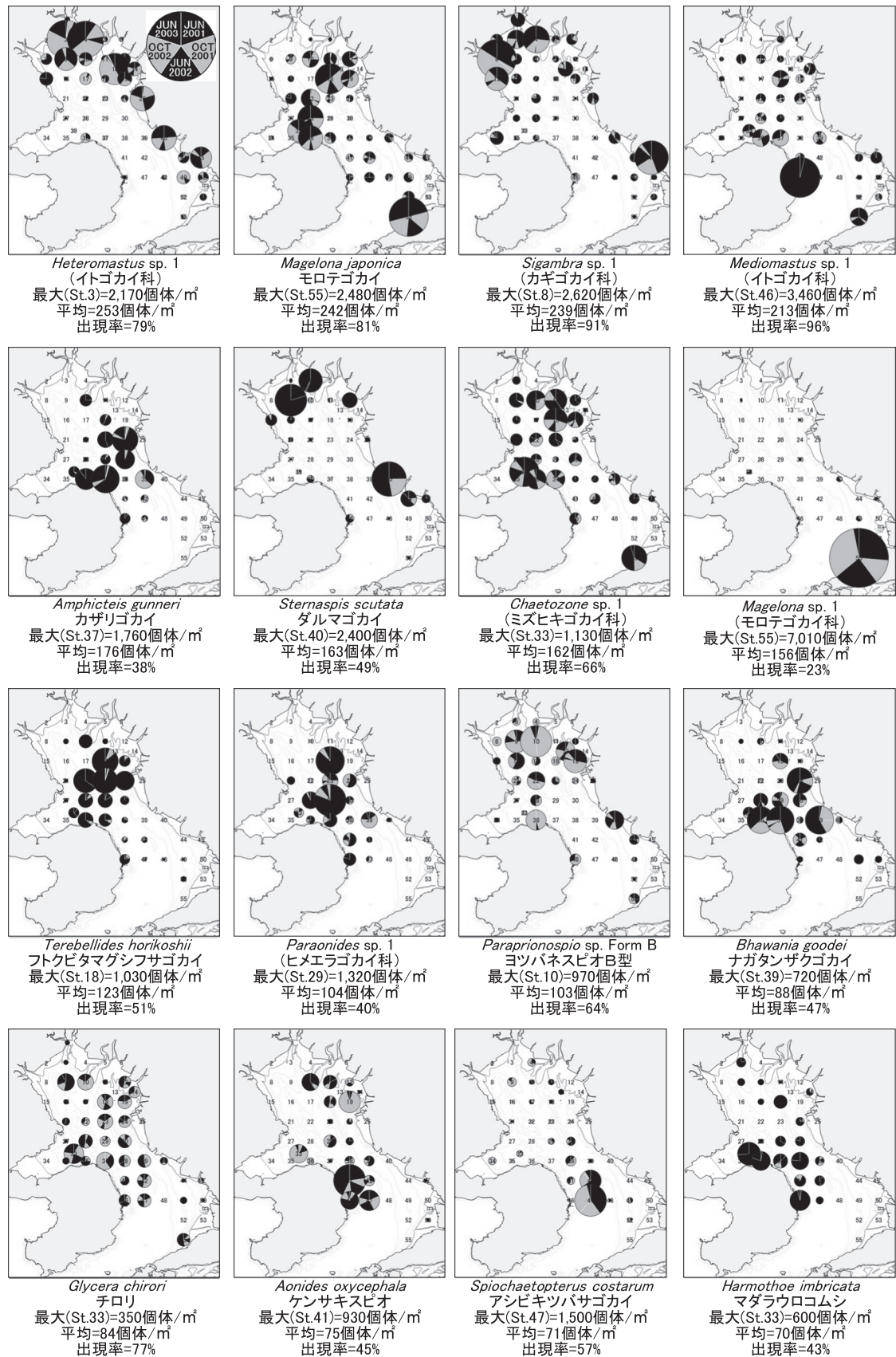


図 5. 多毛類主要種の水平分布

密度 (円グラフ面積), 最大値, 平均値とも 5 回の調査の累積生息密度で表示, 出現率は累積生息密度が正の調査点の割合, 円グラフの黒は 6 月, 灰色は 10 月調査の生息密度を示す

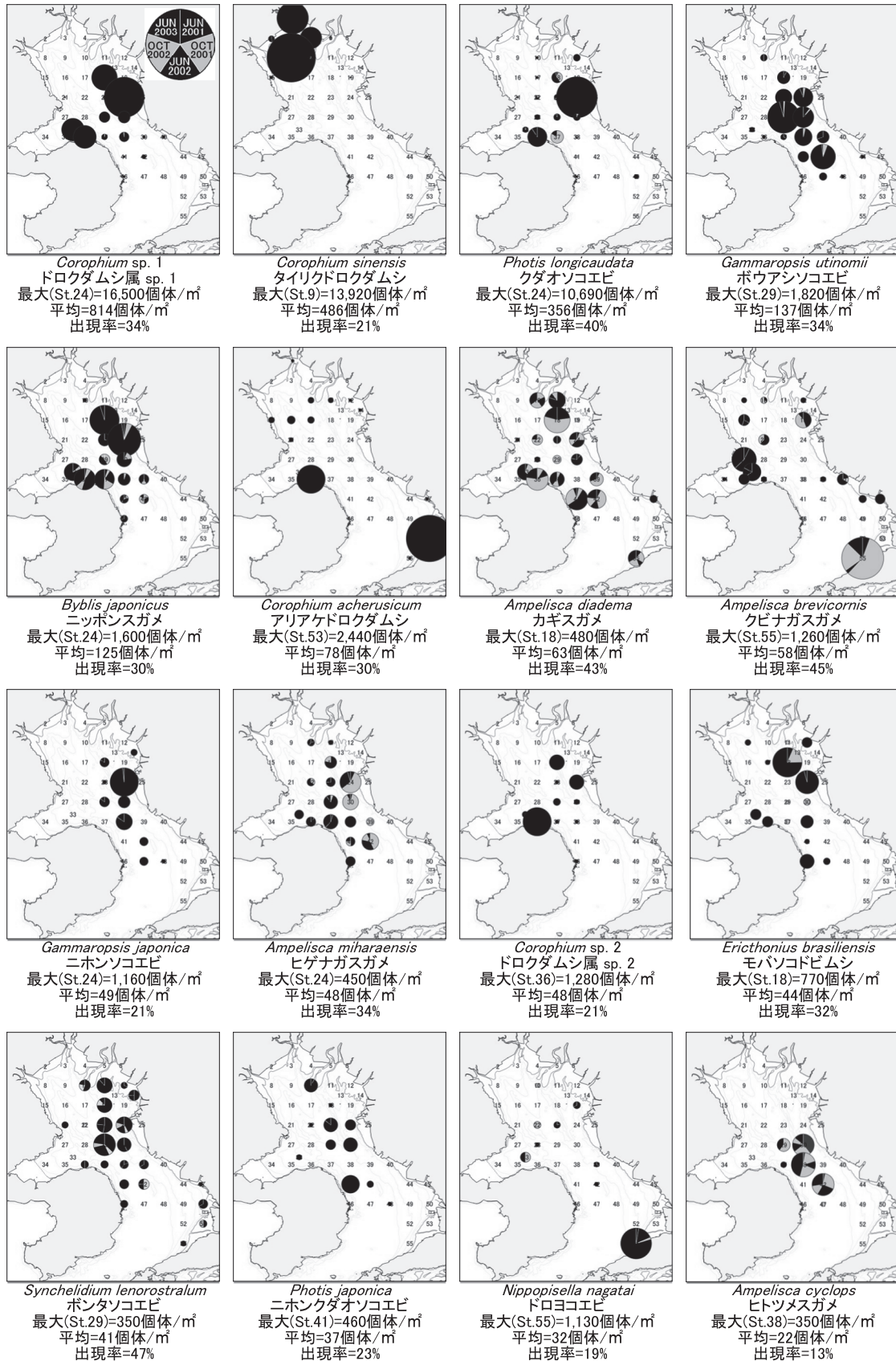


図 6. ヨコエビ類主要種の水平分布
密度 (円グラフ面積), 最大値, 平均値とも 5 回の調査の累積生息密度で表示, 出現率は累積生息密度が正の調査点の割合, 円グラフの黒は 6 月, 灰色は 10 月調査の生息密度を示す

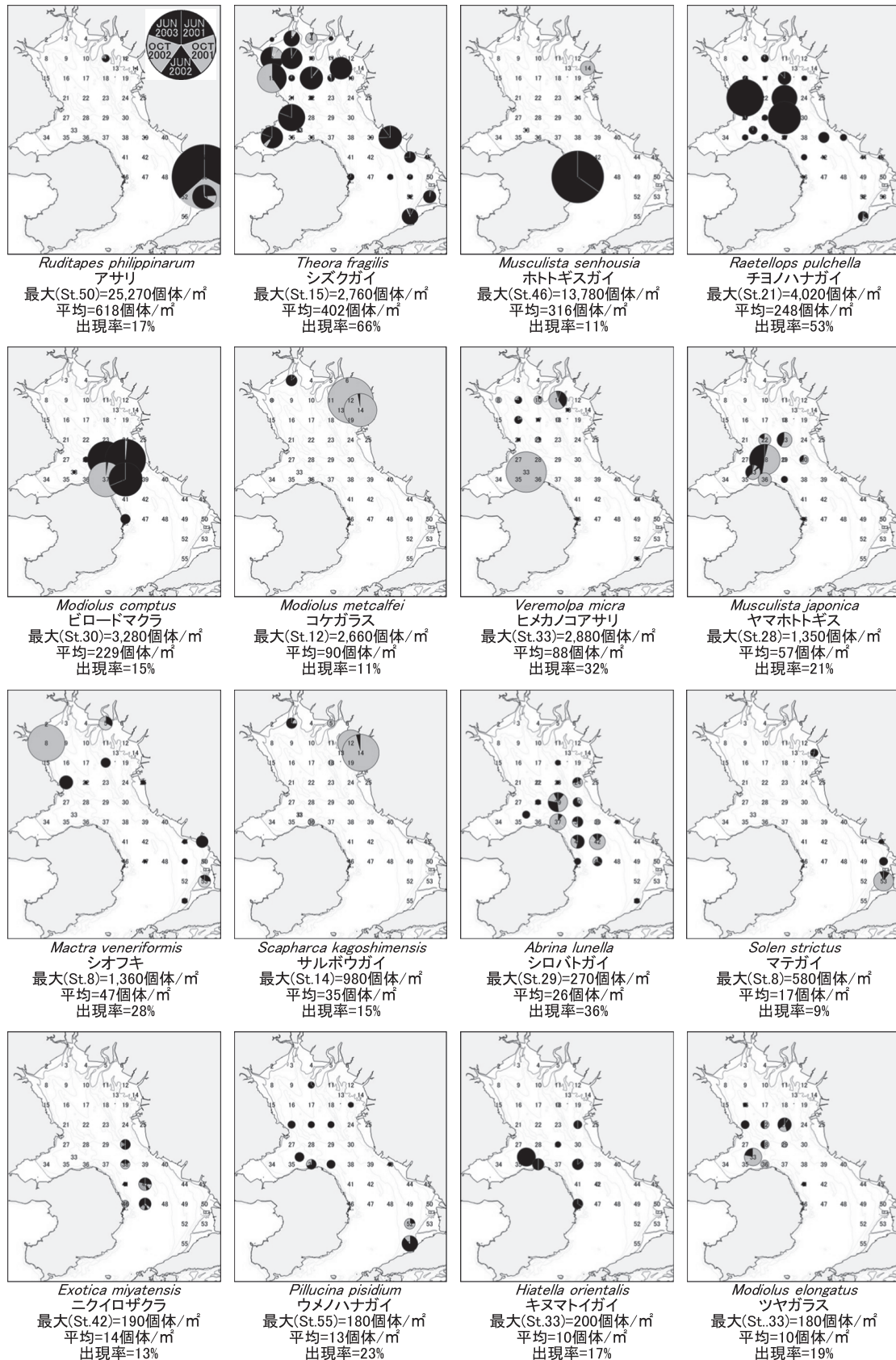


図 7. 二枚貝主要種の水平分布
密度 (円グラフ面積), 最大値, 平均値とも 5 回の調査の累積生息密度で表示, 出現率は累積生息密度が正の調査点の割合, 円グラフの黒は 6 月, 灰色は 10 月調査の生息密度を示す

一方、モロテゴカイ (*Magelona japonica*, 2 位), イトゴカイ科の *Mediomastus* sp. 1 (4 位), ミズヒキゴカイ科の *Chaetozone* sp. 1 (7 位), チロリは砂底域を中心に分布するものの泥底域にも生息し, 出現率が高かった。

なお, 主要種のうち潮間帯で分布が認められなかったのは, カザリゴカイ, フトクビタマグシフサゴカイ, *Paraonides* sp. 1 の 3 種で他の 13 種は潮下帯と潮間帯双方に生息していた。また, 潮間帯の平均生息密度が潮下帯より高かったのは, *Heteromastus* sp. 1, *Sigambra* sp. 1, ダルマゴカイの 3 種であった。

2. ヨコエビ類 (図 6) 上位 3 種の相対優占度は高く 3 種合計で 61.5% を占め, 上位 10 種の相対優占度は合計 82.3% となった。また, 主要種の出現率は 13 ~ 47% で上位 10 種の平均は 33% であった。

最優占種 (1 位) はドロクダムシ属の *Corophium* sp. 1 で累積の平均生息密度は 814 個体 /m² を示し, 3 分類群を通して最大となった。相対優占度は 30.2%。分布重心の水深と Mdφ はそれぞれ, 11.0m, 1.7 で, 三池港沖の定点 24 で最も生息密度が高かった。また, 累積生息密度の 99.6% を 2002 年 6 月の調査結果が構成し, 10 月の調査では採集されなかった。本種の生息密度は長崎県雲仙市の多比良港と福岡県大牟田市の三池港を結ぶラインの周辺海域で高かった。*Corophium* sp. 1 と類似した分布様式を示した種には *Corophium* sp. 2, クダオソコエビ (3 位), ニッポンスガメ (*Byblis japonicus*, 5 位) があげられる。なお, 本種は優占度, 分布域や出現年度から松尾ら (2007a, 2007b) の *Corophium* sp. A と同種と考えられる。

ドロクダムシ属のタイリクドロクダムシ (2 位) とアリアケドロクダムシ (*Corophium acherusicum*, 6 位) は潮間帯の生息密度が高く, ヨコエビ類主要種で潮間帯の平均生息密度が潮下帯より高かったのはこれら 2 種のみであった。また, 2 種はいずれも 2001 年 6 月に多く出現したが, 分布重心の Mdφ はタイリクドロクダムシが 6.6 に対し, アリアケドロクダムシは 2.6 であり, 前者が湾奥の泥底域に出現したのに対し, 後者は熊本県の緑川河口干潟の定点 53 で多かった。

分布重心の水深が 20m 以上と深かったのはボウアシソコエビ (4 位) およびヒトツメスガメ (*Ampelisca cyclops*) で, 湾軸に沿った砂底域に出現した。また, 主要種で最も高い出現率 47% を記録したボンタソコエビ (*Synchelidium lenorostratum*) は潮間帯にも比較的多く出現し, 長崎県雲仙市の多比良港と筑後川河口 (定点 5 付近) を結ぶライン周辺の海域で生息密度が高かった。

主要種のうちドロクダムシ属 4 種, クダオソコエビ属 2 種, およびソコエビ属 2 種では累積生息密度の 72.9% 以上が 6 月に実施した 1 回の調査で構成され, 調査回次毎の密度変動が大きかった。これに対し, スガメソコエビ属 4 種は 10 月の調査を含め調査回次毎の密度変動が

比較的少なかった。また, 10 月の平均生息密度が 6 月より高かった主要種はスガメソコエビ属のカギスガメ (*Ampelisca diadema*, 7 位) とクビナガスガメ (*Ampelisca brevicornis*, 8 位) の 2 種であった。

3. 二枚貝 (図 7) 相対優占度は上位 3 種合計で 57.5%, 上位 10 種合計で 91.7% となった。主要種の出現率は 9 ~ 66% で, 上位 10 種の平均は 27% であった。

最優占種 (1 位) はアサリで相対優占度は 26.6%, 出現率は 17% で, 累積生息密度の 87% を熊本市白川河口干潟の定点 50 が構成する偏った分布を示した。同様にホトトギスガイ (3 位) も出現率が低く, 長崎県島原市沖の定点 46 が累積生息密度の 93% を構成した。

主要種のうち 50% 以上の出現率を示したのはシズクガイ (2 位) とチヨノハナガイ (4 位) の 2 種であった。シズクガイは諫早湾内, 湾奥部および熊本県沿岸の泥底域で生息密度が高く, チヨノハナガイは諫早湾口とその沖側で密度が高かった。シズクガイとチヨノハナガイの分布重心は, 水深がそれぞれ 3.0, 14.3m, Mdφ がそれぞれ 6.5, 4.0 であり, シズクガイがより浅く粒径の小さい泥底域に分布する傾向を示した。

ピロードマクラ (5 位) は長崎県雲仙市の多比良港と熊本県玉名郡長洲町 (定点 31 付近) を結ぶライン周辺の湾軸に近い 4 定点の生息密度が高かった。本種の分布重心の水深と Mdφ はそれぞれ, 19.3m, 1.2 であり, 2001 年には採集されなかった。

二枚貝主要種の内, 分布重心が 0m 以浅であった種, すなわち潮間帯を中心に分布していた種は, アサリ (1 位), マテガイ (*Solen strictus*), コケガラス (*Modiolus metcalfei*) (6 位), サルボウガイ (*Scapharca kagoshimensis*, 10 位) の 4 種で, マテガイは潮間帯でのみ採集された。また, 10 月の平均生息密度が 6 月より高かった種は 16 種中 8 種で, コケガラスとサルボウガイは 10 月の平均密度が 6 月の 20 倍を超えた。

考 察

出現種数および主要種の分布 3 年間に実施した 5 回の採泥調査により 635 種のマクロベントスが確認され, 調査回次別では 2002 年 6 月に 373 種が出現した。対象海域や採泥量等が異なるため直接的な比較は困難なものの既往の報告 (菊池・田中 1978, 古賀 1991, 日本水産資源保護協会) と比べ多種のマクロベントスが確認された。本調査では多毛類の出現種数が多いが, 形態記載を元に仮同定 (sp. 1 等) 作業を進めたことが確認種数を多くした要因の一つと考えられる。

有明海のマクロベントス種数について, 菊池 (2000) は約 1,000 種であり, 将来的に発見される未記載種や初記録種を加えて 1,200 種以上に達すると予測した。また, 諫早湾干拓事業の潮受堤防の排水門の開門調査に係る環

境影響評価書（農林水産省九州農政局，2012）の「諫早湾調整池および有明海における底生生物出現種リスト」には文献調査結果として，多毛類 276 種，ヨコエビ類 125 種，二枚貝 165 種，昆虫綱を除いた底生生物では総計 1,220 種が掲載されている。有明海の魚類では最近の調査により多くの初記録種が確認されている（山口ら 2009）。生態系劣化の影響が懸念されるものの，有明海で生息が確認されるマクロベントス種数も魚類と同様に調査努力量の増加を背景に増えるものと想定される。

多毛類，ヨコエビ類，および二枚貝主要種の分布には種毎に特徴が見られたが，分布の重心が泥底域にあった種は 3 分類群 48 種中 8 種と少なく，砂底域を中心に生息する種が多かった。これら主要種には長崎県雲仙市の多比良港と福岡県大牟田市の三池港を結ぶライン周辺海域の生息密度が高い種が多かったが，この海域は調査海域の中では底質粒径の粗い海域（砂底域，図 3）であった。

分類群別では二枚貝で極端に偏った分布が見られた。特に最優占種のアサリと 3 位のホトトギスガイでは 90% 前後が 1 定点で採集された。これらの定点はアサリでは覆砂漁場，ホトトギスガイでは区画漁業権（ワカメ養殖）の設定水域にあり，調査結果には漁場造成や漁場管理が影響したと考えられる。

一方，3 分類群の主要種全体の分布を見るとこれらの種が調査海域を広範に利用している実態も推察された。図 8 は 3 分類群主要種の分布の重心の水深と中央粒径値（ $Md\phi$ ）の関係を示している。上述のように泥底を主な生息域とする種は少なく，特に，潮間帯や 15m 以深の泥底域に分布の重心を持つ種は無かった（図 4 参照）。多くの主要種が $Md\phi$ 1～3 の砂底域を中心に生息したが，水深との関係も加味すると主要 48 種の分布重心は極端に集中することなく分散していた。このことは有明海の多様な環境をこれらのマクロベントスが広範に利用している実態を示すものと言えよう。

上位種の入替わり 6 月のマクロベントスの主な構成種は調査した 3 年間に大きく変化した。その変化は，連続した年の上位 5 種を見るとアサリの 1 例を除き他は全

てが入れ替わるという大きなものであった。また，分類群毎に見ても優占種は大きく変わり，多毛類とヨコエビ類には 3 年連続して上位 5 種に入った種が無く，二枚貝はシズクガイ 1 種のみであった。マクロベントス上位種の密度変化を扱った陸奥湾での 8 年間の調査（高橋ら 1991）やオランダのワッデン海干潟での 21 年間の調査（Beukema 1991）では全調査期間を通じて上位 5 種に入った種が報告され，連続する年で共に上位 5 種に入った種が 3～4 種にのぼっている。直接的な比較は難しいが，本調査における上位種の入替わりはこれらの調査結果と比べ著しかったと言える。

有明海では，漁獲の主体をなす二枚貝の生産量が 1970 年代末から減少を続け，近年，タイラギやアゲマキ等は漁業が成立しない水準まで資源が減少してきている（伊藤 2004，環境省有明海・八代海総合調査評価委員会 2006）。生産量減少の要因として，潮汐振幅の減少（灘岡・花田 2002），赤潮の発生頻度の増加や大規模化（堤ら 2005，環境省有明海・八代海総合調査評価委員会 2006），底質の細粒化（東 2005b）等の海洋環境の変化（劣化）が推測されており，本調査における上位種の入替わりにもこれらの海洋環境の変化が関係した可能性が考えられる。特に 2000 年初冬期には例外的に大きな規模の赤潮が発生し（堤ら 2005），また，諫早湾から有明海湾奥海域では 2001 年から 2002 年にかけて明瞭な底質の細粒化が起きていること（東 2005b）から，調査期間は海洋環境の変化が著しかった時期と推測される。上杉ら（2012）は 11 年間（1997 から 2007 年）の継続的な調査により，湾奥部 20 調査点でのマクロベントス生息密度が 6 月は 2002 年，11 月は 2003 年に最も高かったことを示し，2002 年 6 月に見られたマクロベントス生息密度の増加はピロードマクラガイやドロクダムシ属に象徴されるような日和見種が底質の変化を背景に急増したことによるとしている。

2001 年から 2003 年のマクロベントス上位種が顕著に入れ替わった現象が有明海で「普通」であるか，あるいは「特異」であるかを判断する情報は不十分である。しかしながら，調査期間は海洋環境の変化が著しく，マクロベントス生息密度の変動が大きかった時期にも相当していたことから，本調査で見られた上位種の入替わりは特異な現象であった可能性が高い。マクロベントス上位種入れ替わりの実態やその背景について今後さらなる検討が必要であろう。

水深別のマクロベントス出現傾向 沿岸域のマクロベントス調査では潮間帯（干潟域）あるいは潮下帯のどちらかを対象とする例が多く，両水域を対象とした報告は比較的少ない。両水域を対象とした調査でも採泥方法が水域で異なる事例（古賀 1991）も見られる。

本調査は調査点の約 1/4 を潮間帯に設定し，喫水の浅い小型漁船を用いて同一の手法により採泥した事が特徴

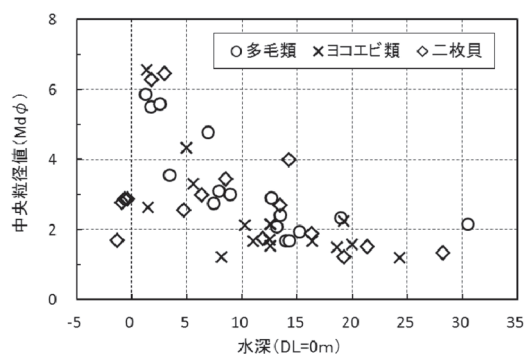


図 8. 多毛類，ヨコエビ類，および二枚貝主要種（上位 16 種）の分布重心の水深と中央粒径値の関係

になっている。ここでは、本資料を比較資料として用いる場合の参考として、出現種数および生息密度と水深との関係を示した。なお、潮間帯調査点の平均水深は-1.3m、最高点の水深は-2.9mであり、2001年～2003年の三池港の平均水面は-2.8mであったのでほぼ全ての調査点は平均水面より低かった。

表4に6月における多毛類、ヨコエビ類、二枚貝の出現種数を潮間帯と潮下帯に分けて示した。3分類群とも潮間帯出現種の多くは潮下帯にも出現し、特に多毛類では潮下帯との共通種数が潮間帯のみに出現した種数を大幅に上回った。また、3カ年、3分類群とも生息種数や生息密度は水深変化とともに連続的に変化し、水深0mを境界とした不連続性は認められなかった(図9)。一方、潮間帯部分に注目すると出現種数、生息密度共に上部ほど低くなる傾向が認められた。

干潟域(潮間帯)の生物多様性が潮下帯より高いか否かは干潟地形の多様性に依存する(風呂田2006)とされるが、調査海域は潮間帯、潮下帯とも多様な地形と海況を有し、潮間帯下部と潮下帯上部の3分類群の出現種

表4. 6月の調査における多毛類、ヨコエビ類、および二枚貝の年別、水深帯別出現種数

	2001年	2002年	2003年
全調査点数	53(100)	50(100)	49(100)
潮間帯点数	14(26)	13(26)	12(24)
潮下帯点数	39(74)	37(74)	37(76)
多毛類			
総種数	171(100)	165(100)	145(100)
潮間帯のみ	12(7)	11(7)	5(3)
両水深帯	49(29)	31(19)	29(20)
潮下帯のみ	112(65)	124(75)	111(77)
ヨコエビ類			
総種数	55(100)	56(100)	41(100)
潮間帯のみ	9(16)	4(7)	0(0)
両水深帯	13(24)	4(7)	6(15)
潮下帯のみ	33(60)	48(86)	35(85)
二枚貝			
総種数	41(100)	34(100)	28(100)
潮間帯のみ	7(17)	4(12)	2(7)
両水深帯	6(15)	4(12)	4(14)
潮下帯のみ	28(68)	26(76)	22(79)

括弧内は百分率

数や生息密度にも明瞭な差異は認められなかった。ただし、潮間帯では上部ほど出現種数や生息密度が低くなるため、データの取扱いではこの点に留意する必要がある。

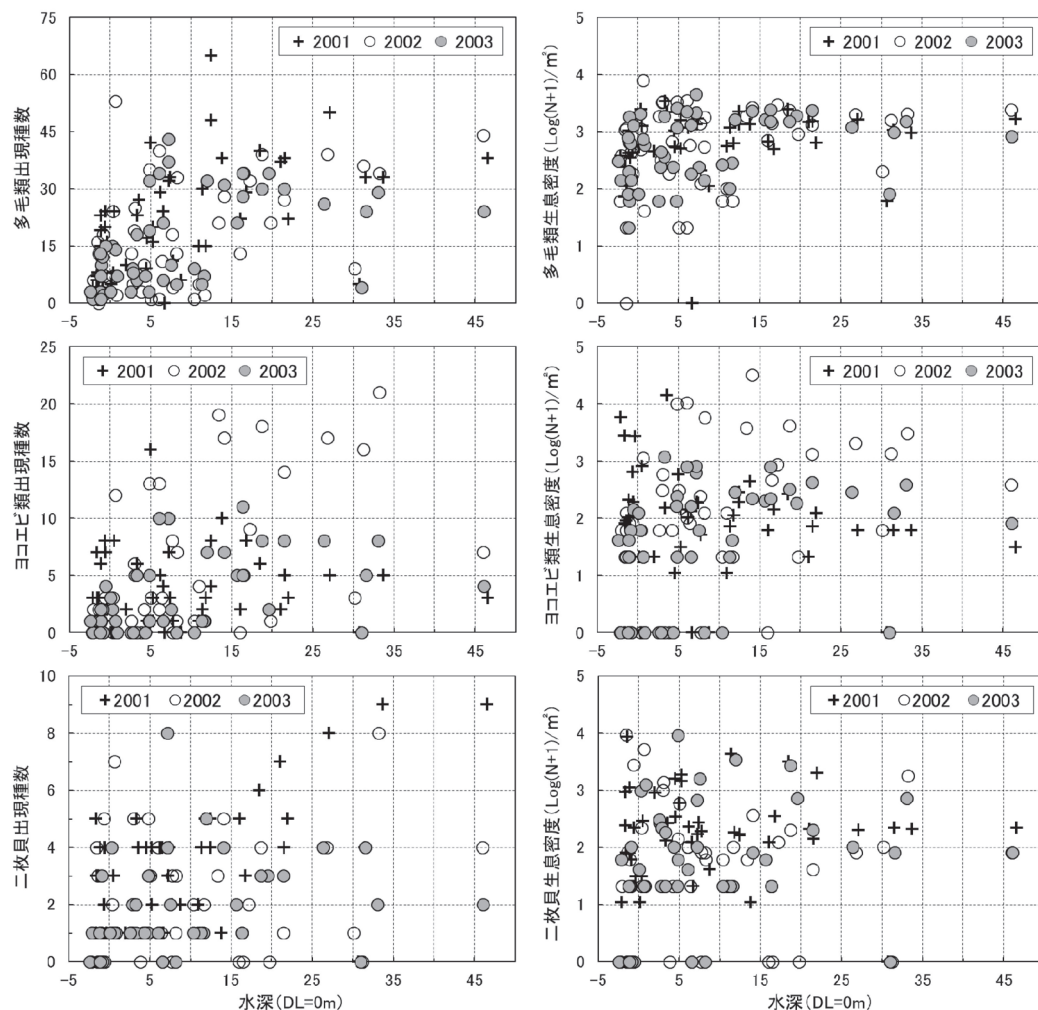


図9. 6月の調査における多毛類、ヨコエビ類、および二枚貝の年別、水深別出現種数と生息密度(47共通調査点)

謝 辞

有明海沿岸の各県担当部局ならびに小長井町漁業協同組合をはじめとする漁業関係者には現地調査に便宜を図っていただいた。福寿丸の平田政実，平田勝仁，平田寛俊各船長には的確な操船で調査にご協力をいただいた。船上作業は，水産大学校漁業生物学研究室（当時）の岡本康孝，諏訪多津，菱木功至，田口啓輔，村松浩之，原田孝明の各氏に負うところが大きい。また，2名の査読者からは有意義なご助言をいただいた。これらの方々，機関に深く感謝します。本研究は農林水産技術会議の行政対応特別研究「有明海の海洋環境の変化が生物生産に及ぼす影響の解明」の一貫として実施された。プロジェクトの運営・推進に当たられた各位に感謝します。

文 献

- 東 幹夫（2005a）底生動物相の経年変化。「有明海の生態系再生をめざして」（日本海洋学会編），恒星社厚生閣，東京，118-128pp.
- 東 幹夫（2005b）底質の変化。「有明海の生態系再生をめざして」（日本海洋学会編），恒星社厚生閣，東京，94-104pp.
- Beukema J.J.（1991）Changes in composition of bottom fauna of a tidal-flat area during a period of eutrophication. *Mar. Biol.*, **111**, 293-301.
- 風呂田利夫（2006）干潟底生動物の種多様性とその保全. 地球環境, **11**, 183-190.
- 風呂田利夫・石川公敏（1986）ベントス調査.「沿岸環境調査マニュアル（底質・生物編）」（日本海洋学会編），恒星社厚生閣，東京，217-222pp.
- 伊藤史郎（2004）有明海における水産資源の現状と再生. 佐賀県有明水産振興センター研報, **22**, 69-80.
- 環境省有明海・八代海総合調査評価委員会（2006）委員会報告. 85p
- 菊池泰二（1975）環境指標としての底生動物（1）－群集組成を中心に－.「環境と生物指標2－水界編－」（日本生態学会環境問題専門委員会編），共立出版株式会社，東京，255-264pp.
- 菊池泰二（2000）干潟浅海系の保全の意義.「有明海の生きものたち」（佐藤正典編），海游社，東京，306-317pp.
- 菊池泰二（2002）底生生物相の変化. 日本水産学会誌, **68**, 97-98.
- 菊池泰二・田中雅生（1978）汚染海域ベントスに関する研究－I. 有明海，八代海のベントス群集. 文部省特定研究「海洋保全」有明海班 昭和 50-52 年度研究成果報告, 59-74pp.

- 古賀秀昭（1991）有明海北西海域の底質及び底生生物. 佐賀県有明水産試験場研報, **13**, 57-79.
- 松尾匡敏・首藤宏幸・東幹夫・近藤寛・玉置昭夫（2007a）諫早湾奥部締め切り後の有明海潮下帯ヨコエビ群集構造の変化. 日本ベントス学会誌, **62**, 17-33.
- 松尾匡敏・首藤宏幸・東幹夫・近藤寛・玉置昭夫（2007b）有明海潮下帯の底質区分とヨコエビ群集：1997 年と 2002 年の比較. 長崎大学水産学部研報, **88**, 1-42.
- 灘岡和夫・花田岳（2002）有明海における潮汐振幅減少要因の解明と諫早堤防締め切りの影響. 海岸工学論文集, **49**, 401-405.
- 日本水産資源保護協会「マクロベントスの出現種一覧（平成 16 年度有明海八代海水質保全調査（環境省水環境部）
<http://ay.fish-jfrca.jp/ariake/index.asp>（参照 2008-10-02）
- 農林水産省九州農政局（2012）生物出現種リスト（諫早湾調整池および有明海における底生生物の出現種リスト）. 諫早湾干拓事業の潮受堤防の排水門の開門調査に係る環境影響評価書（平成 24 年 11 月），参考 23- 参考 50.
- 佐藤正典・田北 徹（2000）有明海の生物相と環境.「有明海の生きものたち」（佐藤正典編），海游社，東京，10-35pp.
- 陶山典子・興石裕一・須田有輔・村井武四（2003）底質から見た有明海北部の海域区分とマクロベントスの分布. 水産大学校研究報告, **51**, 105-114.
- 高橋豊美・河村 卓・藤岡 崇（1991）陸奥湾における夏季のマクロベントスの密度と群集型の経年変動. 日本ベントス学会誌, **41**, 15-27.
- 堤 裕昭・木村千寿子・永田紗矢香・佃 政則・山口一岩・高橋 徹・木村成延・立花正生・小松利光・門谷 茂（2005）陸域からの栄養塩負荷量の増加に起因しない有明海奥部における大規模赤潮の発生メカニズム. 海の研究, **15**, 165-189.
- 上杉 誠・佐藤慎一・佐藤正典・松尾匡敏・近藤 寛・東 幹夫（2012）諫早湾潮止め後 10 年間の有明海における主な底生動物相の変化. 日本ベントス学会誌, **66**, 82-92.
- 山口敦子・古満啓介・田北 徹（2009）有明海の魚類相.「干潟の海に生きる魚たち」（日本魚類学会自然保護委員会編，田北 徹・山口敦子責任編集），東海大学出版会，神奈川，15-32pp.
- 横山 寿・西村昭史・井上美佐（2002）マクロベントスの群集型を用いた魚類養殖場環境の評価. 水産海洋研究, **66**, 142-147.
- Yoshinok., K. Yamamoto, Y. Hayami, T. Hamada, T. Kasagi, D. Ueno, and K. Ohgushi（2007）Benthic fauna of the inner part of Ariake Bay: long-term changes in several ecological parameters. *Plankton Benthos Res.*, **2**, 198-212.
- 吉野健児・山本 浩・速水祐一・濱田 孝・山口創一・大串浩一郎（2009）有明海湾奥部干潟域のマクロベントス相. 日本ベントス学会誌, **64**, 15-24.

付表 1-1. 2001 年～2003 年の 5 回の調査で出現した有明海のマクロベントス一覧表（調査回次毎の全調査点を対象とした平均生息密度（個体数 /m²）を“-”: 未調査, “0”: 0, “*”: <1, “**”: <10, “***”: <100, “****”: >=100 で示した）

No.	分類（種名）	2001年 6月	2001年 10月	2002年 6月	2002年 10月	2003年 6月
	Phylum Cnidaria 刺胞動物門					
	Class Hydrozoa ヒドロ虫綱					
	Order Leptomedusae 軟クラゲ目					
	Family Campanulariidae ウミサカシキヤ科					
1	Campanulariidae sp. 1 ウミサカシキヤ科 sp. 1	-	-	0	*	0
	Class Anthozoa 花虫綱					
	Order Pennatulacea ウミエラ目					
	Family Virgulariidae ヤナギウミエラ科					
2	unidentified Virgulariidae ヤナギウミエラ科不明種	-	-	0	0	*
	Order Ceriantharia ハナギンチャク目					
	Family Cerianthidae ハナギンチャク科					
3	unidentified Cerianthidae ハナギンチャク科不明種	-	-	0	0	*
	Order Actiniaria イソギンチャク目					
	Family Edwardsiidae ムシモドキギンチャク科					
4	unidentified Edwardsiidae ムシモドキギンチャク科不明種	-	-	*	**	**
5	unidentified Actiniaria イソギンチャク目不明種	-	-	**	***	**
	Phylum Platyhelminthes 扁形動物門					
	Class Turbellaria 渦虫綱					
	Order Polycladida 多岐腸目					
6	Polycladida sp. 1 多岐腸目 sp. 1	-	-	*	0	0
7	Polycladida sp. 2 多岐腸目 sp. 2	-	-	0	**	*
8	unidentified Polycladida 多岐腸目不明種	-	-	**	**	**
	Phylum Memertinea 紐形動物門					
	Class Anopla 無針綱					
	Order Archinemertea 原始紐虫目					
	Family Cephalothrichidae ケファロトリックス科					
9	unidentified Cephalothrichidae ケファロトリックス科不明種	-	-	**	**	**
	Order Palaeonemertea 古紐虫目					
10	unidentified Palaeonemertea 古紐虫目不明種	-	-	***	***	***
	Order Heteronemertea 異紐虫目					
	Family Lineidae リネウス科					
11	unidentified Lineidae リネウス科不明種	-	-	***	***	**
12	unidentified Heteronemertea 異紐虫目不明種	-	-	***	**	***
	Class Enopla 有針綱					
	Order Hoplonemertea 針紐虫目					
13	unidentified Hoplonemertea 針紐虫目不明種	-	-	***	**	**
	Phylum Nematoda 線形動物門					
14	unidentified Nematoda 線形動物門不明種	-	-	**	0	**
	Phylum Tentaculata 触手動物門					
	Class Phoronida 簪虫綱					
	Family Phoronidae ホウキムシ科					
15	Phoronis sp. 1	-	-	**	**	**
16	Phoronis sp. 2	-	-	0	*	0
17	Phoronis sp. 3	-	-	0	*	0
	Phylum Mollusca 軟体動物門					
	Class Scaphopoda 掘足綱					
	Order Dentaliida ソウゲツツガイ目					
	Family Dentaliidae ツツガイ科					
18	Dentalium octangulatum ヤマトツツガイ	-	-	0	0	*
	Class Polyplacophora 多板綱					
	Order Neoloricata 新ヒサザガイ目					
	Family Leptochitonidae サメハダヒサザガイ科					
19	Leptochiton hirasei サメハダヒサザガイ	-	-	*	0	0
20	Leptochiton sp. 2 サメハダヒサザガイ属 sp. 2	-	-	0	*	0
	Family Ischinoschitonidae ウシヒサザガイ科					
21	Lepidozona coreanica ヤスリヒサザガイ	-	-	*	0	*
	Class Gastropoda 腹足綱					
	Order Discopoda 盤足目					
	Family Stenothyridae ミスゴマツボ科					
22	Stenothyra edogawensis ウミゴマツボ	0	**	0	0	0
23	Stenothyra sp. 1 ミスゴマツボ属 sp. 1	0	0	*	**	0
24	Stenothyra sp. 2 ミスゴマツボ属 sp. 2	0	0	0	*	0
	Family Irvadiidae カワケチツボ科					
25	Irvadia (Fluviocingula) elegantula カワケチツボ	*	**	**	***	*

付表 1-2. 2001 年～2003 年の 5 回の調査で出現した有明海のマクロベントス一覧表（調査回次毎の全調査点を対象とした平均生息密度（個体数/m²）を“-”: 未調査, “0”: 0, “*”: <1, “**”: <10, “***”: <100, “****”: ≥100 で示した）

No.	分類（種名）	2001年 6月	2001年 10月	2002年 6月	2002年 10月	2003年 6月
26	<i>Iravadia</i> (<i>Fairbankia</i>) <i>sakaguchii</i> ワカウツボ	0	*	0	0	0
27	<i>Iravadia</i> (<i>Pseudonoba</i>) <i>yendoii</i> イリエツボ	0	0	0	0	*
28	Family Vitrinellidae イソハカガイ科 unidentified Vitrinellidae イソハカガイ科不明種	*	0	0	0	0
29	Family Calyptraeidae カリハガサガイ科 <i>Crepidula onyx</i> シマメノウフネガイ	**	*	**	**	*
30	<i>Ergaea walshi</i> ヒラフネガイ	0	0	0	*	0
31	Family Assimineidae カワサンショウ科 <i>Assiminea japonica</i> カワサンショウガイ	0	*	0	0	0
32	Family Naticidae タマガイ科 <i>Sinum undulatum</i> ツガイ	0	*	0	*	0
33	<i>Glossaulax didyma</i> ツメタガイ	0	*	0	0	0
34	<i>Eunaticina papilla</i> ネコガイ	0	0	0	0	*
35	Family Vanikoridae シロネスミガイ科 <i>Berthais egregia</i> ヒナツボ	0	0	0	*	0
	Order Ptenoglossa 翼舌目					
36	Family Eulimidae ハナゴウナ科 <i>Eulima bifasciata</i> ハナゴウナ	0	0	*	**	*
37	<i>Vitreobalcis temnopleuricola</i> サンショウウニヤドリニナ	*	0	0	0	0
38	Family Eptoniidae トカケガイ科 <i>Eptonium</i> (<i>Hirtoscala</i>) <i>aculeatum</i> トゲシノブガイ	0	0	0	0	*
39	<i>Eptonium</i> (<i>Parviscala</i>) sp. 1 好ヨコイトカケ属 sp. 1	0	0	*	0	0
40	<i>Eptonium</i> (<i>Papyriscala</i>) sp. 1 クレハガイ属 sp. 1	0	0	0	0	*
	Order Neogastropoda 新腹足目					
41	Family Muricidae アツキガイ科 <i>Bedeia birileffi</i> カゴメガイ	0	0	*	*	0
42	Family Columbidae フトコガイ科 <i>Mitrella bicincta</i> ムギガイ	0	0	0	0	*
43	<i>Mitrella</i> (<i>Indomitrella</i>) <i>martensi</i> マルテンスマツムシ	*	0	*	**	**
44	<i>Zafra</i> sp. 1 ミナミ属 sp. 1	0	0	0	**	0
45	Family Nassariidae ムシロガイ科 <i>Zeuxis succinctus</i> ヒロオビヨフバイ	0	*	0	0	0
46	<i>Nassarius sinarus</i> カラムシロ	0	*	*	0	*
47	<i>Zeuxis castus</i> ハナムシロ	0	0	0	*	0
48	<i>Reticunassa festiva</i> アラムシロ	0	0	**	**	**
49	<i>Varicunassa varicifera</i> ウネハナムシロ	**	0	0	0	0
50	Family Cancellariidae コロモガイ科 <i>Trigonostoma scalariformis</i> オリレボウ	*	*	0	0	**
51	Family Turridae クダマキガイ科 <i>Haedroleura pygmaea</i> チビシヤシク	0	0	*	*	0
52	Turridae sp. 2 クダマキガイ科 sp. 2	0	0	*	*	0
	Order Heterostrophia 異旋目					
53	Family Pyramidellidae トウガタガイ科 <i>Tiberia</i> sp. 1 クチキレガイ属 sp. 1	0	0	0	*	0
54	<i>Odostomia</i> sp. 1 クチキレモトキ属 sp. 1	0	0	0	**	0
55	<i>Odostomia</i> sp. 2 クチキレモトキ属 sp. 2	0	0	0	*	0
56	<i>Tibersynola serotina</i> ヤセクチキレ	0	0	0	*	0
57	<i>Turbonilla</i> sp. 1 イトカケギリ属 sp. 1	0	0	0	*	0
58	<i>Cingulina cingulata</i> ヨコイトカケギリ	0	0	0	**	0
59	<i>Monotygia lauta</i> ホソマキキヌ	0	0	0	0	*
	Order Cephalaspidea 頭楯目					
60	Family Cylichnidae スイフガイ科 <i>Adamnestia japonica</i> クダタマガイ	*	*	0	0	0
61	<i>Eocylichna braunsi</i> ツマベニクダタマガイ	*	0	0	*	**
62	Family Philinidae キセワタ科 <i>Philina argentata</i> キセワタ	**	*	**	*	**
63	<i>Yokoyamaia ornatisima</i> ヨコヤマキセワタ	0	0	**	0	**
64	Family Aglajidae カノキセワタ科 <i>Aglajidae</i> sp. 1 カノキセワタ科 sp. 1	0	0	0	0	**
	Order Nudibranchia 裸鰓目					
65	Family Gymnodorididae キヌハダウミウシ科 <i>Gymnodoris</i> sp. 1 キヌハダウミウシ属 sp. 1	0	0	0	*	0
66	<i>Gymnodoris</i> sp. 2 キヌハダウミウシ属 sp. 2	0	0	0	0	**
	Order Basommatophora 基眼目					

付表 1-3. 2001 年～2003 年の 5 回の調査で出現した有明海のマクロベントス一覧表（調査回次毎の全調査点を対象とした平均生息密度（個体数 /m²）を“-”: 未調査, “0”: 0, “*”: <1, “**”: <10, “***”: <100, “****”: >=100 で示した）

No.	分類（種名）	2001年 6月	2001年 10月	2002年 6月	2002年 10月	2003年 6月
	Family Amphibolidae ウミマイイ科					
67	<i>Salinator takii</i> ウミマイイ	**	*	0	**	0
68	unidentified Gastropoda 腹足綱不明種	0	**	0	0	0
	Class Bivalvia 二枚貝綱					
	Order Solemyoida キヌカガイ目					
	Family Solemyidae キヌカガイ科					
69	<i>Petrasma pusilla</i> キヌカガイ	0	*	*	*	0
70	<i>Acharax japonica</i> アサヒキヌカガイ	*	0	0	0	0
	Order Arcoida フネガイ目					
	Family Arcidae フネガイ科					
71	<i>Scapharca kagoshimensis</i> サルボウガイ	*	***	0	***	**
	Order Mytiloida イガイ目					
	Family Mytilidae イガイ科					
72	<i>Mytilus galloprovincialis</i> ムササキイガイ	0	0	*	0	0
73	<i>Modiolus comptus</i> ヒロドマクラ	0	0	***	***	****
74	<i>Modiolus metcalfei</i> コサガラ	*	***	*	***	**
75	<i>Modiolus elongatus</i> ツヤガラ	**	**	**	**	**
76	<i>Musculus cupreus</i> タマエガイ	0	0	*	0	**
77	unidentified <i>Musculus</i> タマエガイ属不明種	**	0	0	0	0
78	<i>Modiolus margaritaceus</i> マメヒナガイ	**	**	0	0	0
79	<i>Musculista senhousia</i> ホトギスガイ	0	*	***	***	****
80	<i>Musculista japonica</i> ヤマトホトギス	**	**	**	***	***
	Family Pinnidae ハボウキガイ科					
81	<i>Atrina pectinata</i> タイラギ	0	*	0	0	0
	Order Pterioidea ウグイスガイ目					
	Family Limidae ミナガイ科					
82	<i>Limaria amakusaensis</i> アマクサユキミ	0	*	0	0	0
83	<i>Limatula</i> sp. 1 ユキハネガイ属 sp. 1	0	0	*	**	**
	Family Anomiidae ナミガシラ科					
84	<i>Anomia chinensis</i> ナミガシラ	0	0	0	*	0
85	<i>Monia umponata</i> シマナミガシラモドキ	*	0	0	0	0
	Order Veneroida マルスダレガイ目					
	Family Lucinidae ツキガイ科					
86	<i>Pillucina pisidium</i> ウメノハナガイ	**	0	**	**	*
87	<i>Pillucina neglecta</i> コホレウメ	**	**	0	0	0
88	unidentified Lucinidae ツキガイ科不明種	*	*	0	0	0
	Family Ungulinidae フタバシラガイ科					
89	<i>Cycladicama tsuchii</i> アツシオガマ	0	0	*	0	*
90	<i>Cycladicama</i> sp. 1 シオガマ属 sp. 1	0	0	**	**	**
91	<i>Cycladicama</i> sp. 2 シオガマ属 sp. 2	0	0	0	*	0
92	unidentified Ungulinidae フタバシラガイ科不明種	**	0	0	0	0
	Family Kelloodae コハクツコ科					
93	<i>Pseudopythina ariakensis</i> アリアケホリガイ	0	**	*	0	**
	Family Montacutidae プンブクヤドリガイ科					
94	<i>Devonia semperi</i> ヒナズキン	0	*	0	0	0
95	Montacutidae sp. 1 プンブクヤドリ科 sp. 1	0	0	**	0	**
96	Montacutidae sp. 2 プンブクヤドリ科 sp. 2	0	0	*	*	0
97	Montacutidae sp. 3 プンブクヤドリ科 sp. 3	0	0	0	*	0
98	Montacutidae sp. 4 プンブクヤドリ科 sp. 4	0	0	0	*	0
99	unidentified Montacutidae プンブクヤドリガイ科不明種	*	0	0	0	0
	Family Carditidae トマヤガイ科					
100	<i>Carditellopsis toneana</i> ケンフミガイ	*	0	0	0	0
101	<i>Megacardita ferruginosa</i> フスカイ	*	*	0	0	0
	Family Crassatellidae モシオガイ科					
102	<i>Nipponocrassatella japonica</i> モシオガイ	**	*	0	0	0
103	<i>Nipponocrassatella nana</i> スダレモシオガイ	0	0	*	0	0
	Family Mactridae ハカガイ科					
104	<i>Mactra chinensis</i> ハカガイ	*	0	**	*	0
105	<i>Mactra veneriformis</i> シオフキ	***	**	*	***	0
106	<i>Micromactra angulifera</i> ワカミルガイ	0	0	0	0	*
107	<i>Raetellops pulchella</i> チヨノハナガイ	****	*	**	**	**
	Family Tellinidae ニツコウガイ科					
108	<i>Cadella delta</i> クサビザラ	*	0	0	0	0
109	<i>Cadella narutoensis</i> マルクサビザラ	0	*	0	0	0

付表 1-4. 2001 年～2003 年の 5 回の調査で出現した有明海のマクロベントス一覧表（調査回次毎の全調査点を対象とした平均生息密度（個体数/m²）を“-”: 未調査, “0”: 0, “*”: <1, “**”: <10, “***”: <100, “****”: ≥100 で示した）

No.	分類（種名）	2001年 6月	2001年 10月	2002年 6月	2002年 10月	2003年 6月
110	<i>Pistris capsoides</i> イチョウシナトリ	*	0	0	*	0
111	<i>Exotica miyatensis</i> ニクイロサクラ	**	**	**	**	**
112	<i>Macoma tokyoensis</i> ゴイサギガイ	*	0	0	0	*
113	<i>Moerella iridescens</i> テリサクラ	*	0	0	0	0
114	<i>Nitidotellina minuta</i> ウスサクラ	0	0	0	*	0
115	Tellinidae sp. 1 ニツコウガイ科 sp. 1	0	0	*	0	0
	Family Semelidae アサシガイ科					
116	<i>Leptomya cuspidariaeformis</i> コチョウシヤクシ	*	*	**	**	**
117	<i>Theora fragilis</i> シスウガイ	****	***	***	**	***
118	<i>Abrina lunella</i> シロハトガイ	**	**	**	**	**
	Family Solenidae マテガイ科					
119	<i>Solen strictus</i> マテガイ	**	**	**	0	*
120	<i>Solen dunkerianus</i> チゴマテ	**	**	*	*	0
121	<i>Solen roseomaculatus</i> ハラフマテ	0	0	0	0	*
	<i>Solen</i> spp. マテガイ属	0	0	0	*	0
	Family Kelliellidae ケシハマグリ科					
122	<i>Alveolus ojanus</i> ケシハマグリ	0	0	**	0	0
	Family Veneridae マルダレガイ科					
123	<i>Meretrix pethechialis</i> シナハマグリ	0	*	0	0	0
124	<i>Meretrix lusoria</i> ハマガリ	*	0	0	0	0
125	<i>Placamen tiara</i> ハナガイ	0	0	0	0	*
126	<i>Veremolpa micra</i> ヒメノコアサリ	**	***	**	**	**
127	<i>Pitar</i> sp. 1 ヨウカハマガリ属 sp. 1	0	0	*	0	0
128	<i>Ruditapes philippinarum</i> アサリ	****	****	****	**	**
129	<i>Paphia undulata</i> イヨスダレ	*	*	0	0	0
	Family Cultellidae ユキノシタガイ科					
130	<i>Siliqua pulchella</i> ミゾガイ	*	0	0	0	0
	Order Myoida オオノガイ目					
	Family Myidae オオノガイ科					
131	<i>Paramya recluzii</i> ハマカセガイ	*	0	0	*	0
132	<i>Distungonia decurvata</i> クシケマスオ	0	*	0	0	0
	Family Corbulidae クチベニガイ科					
133	<i>Anisocorbula venusta</i> クチベニ	*	*	*	0	0
134	<i>Potamocorbula laevis</i> ヒラタヌマコダキガイ	**	0	0	*	**
135	<i>Varicorbula rotalis</i> コダキガイ	*	*	0	0	0
	Family Hiatellidae キヌマトイガイ科					
136	<i>Hiatella orientalis</i> キヌマトイガイ	*	*	**	0	**
	Order Pholadomyoida ウミタコモドキ目					
	Family Laternulidae オキナガイ科					
137	<i>Laternula anatina</i> オキナガイ	0	0	0	0	*
138	<i>Laternula</i> sp. 1 オキナガイ属 sp. 1	0	0	*	0	0
139	<i>Laternula boschasina</i> コオキナガイ	*	0	0	0	0
	Family Thraciidae スエモノガイ科					
140	<i>Asthenothaerus sematana</i> セマトスエモノガイ	0	0	*	*	0
141	<i>Trigonothracia pusilla</i> ノムラスエモノガイ	0	**	0	0	0
142	unidentified Bivalvia 二枚貝綱不明種	***	**	0	*	0
	Phylum Sipuncula 星口動物門					
	Class Sipunculidea スンホシムシ綱					
	Order Golfingiiformes フクロホシムシ目					
	Family Golfingiidae フクロホシムシ科					
143	<i>Golfingia vulgaris vulgaris</i> フクロホシムシ	-	-	0	0	*
144	<i>Golfingia</i> sp. 1 フクロホシムシ属 sp. 1	-	-	*	0	0
145	<i>Thysanocardia nigra</i> クロホシムシ	-	-	*	*	*
	Family Phascolionidae マキガイホシムシ科					
146	<i>Phascolion</i> sp. 1 マキガイホシムシ属 sp. 1	-	-	*	0	0
	Class Phascolosomatidea サメハダホシムシ綱					
	Order Phascolosomatiformes サメハダホシムシ目					
	Family Phascolosomatidae サメハダホシムシ科					
147	<i>Antillesoma antillarum</i> アンチラサメハダホシムシ	-	-	**	***	**
	Order Aspidosiphoniformes タテホシムシ目					
	Family Aspidosiphonidae タテホシムシ科					
148	<i>Aspidosiphon</i> sp. 1 タテホシムシ属 sp. 1	-	-	**	**	**
	Phylum Annelida 環形動物門					
	Class Polychaeta 多毛綱					

付表 1-5. 2001 年～2003 年の 5 回の調査で出現した有明海のマクロベントス一覧表（調査回次毎の全調査点を対象とした平均生息密度（個体数/m²）を“-”: 未調査, “0”: 0, “*”: <1, “**”: <10, “***”: <100, “****”: ≥100 で示した）

No.	分類（種名）	2001年 6月	2001年 10月	2002年 6月	2002年 10月	2003年 6月
	Order Phyllococida サンバゴカイ目					
	Family Chrysopetalidae タンザクコカイ科					
149	<i>Bhawania goodei</i> ナガタンザクコカイ	***	***	***	***	***
150	<i>Chrysopetalum</i> sp. 1	***	**	***	**	**
	Family Pisionidae スナゴカイ科					
151	<i>Pisione subulata</i>	*	0	0	0	0
	Family Aphroditoidea コガネウロコムシ科					
152	<i>Aphrodita</i> sp. 2	*	*	0	0	*
153	<i>Laetomonice</i> sp. 1	*	0	0	0	0
	Family Polynoidae ウロコムシ科					
154	<i>Antinoana</i> sp. 1	0	0	*	*	0
155	<i>Harmothoe imbricata</i> マダラウロコムシ	**	*	***	**	***
156	Harmothoinae sp. 1 マダラウロコムシ亜科 sp. 1	*	*	**	*	**
157	Harmothoinae sp. 2 マダラウロコムシ亜科 sp. 2	*	0	0	0	0
158	unidentified Harmothoinae マダラウロコムシ亜科不明種	*	**	**	*	*
159	<i>Lepidonotus</i> sp. 1	*	0	**	*	0
160	Lepidonotinae sp. 1 フサツキウロコムシ亜科 sp. 1	0	*	0	*	0
161	Lepidonotinae sp. 2 フサツキウロコムシ亜科 sp. 2	0	0	0	0	*
162	unidentified Lepidonotinae フサツキウロコムシ亜科不明種	0	0	*	0	*
163	<i>Lepidasthenia</i> sp. 1	0	*	0	0	*
	Family Acoetidae ホウセキウロコムシ科					
164	<i>Polydortes</i> sp. 1	**	**	*	**	**
	Family Pholoidae					
165	<i>Pholoe</i> sp. 1	**	**	**	0	0
166	<i>Pholoe</i> sp. 2	0	0	0	*	0
	Family Sigalionidae ノリウロコムシ科					
167	<i>Sthenelais fusca</i> オロチウロコムシ	0	*	*	**	*
168	<i>Sthenelais mitsuui</i>	**	**	**	*	*
169	<i>Sthenolepis yhleni</i> マサゴウロコムシ	**	**	**	**	**
	Family Phyllococidae サンバゴカイ科					
170	<i>Anaitides</i> sp. 1	**	**	**	**	**
171	<i>Anaitides</i> sp. 2	*	*	0	0	0
172	<i>Eteone</i> sp. 1	*	0	*	0	0
173	<i>Eteone</i> sp. 2	0	0	**	0	0
174	<i>Eumida sanguinea</i> マダラサンバ	**	**	**	**	**
175	<i>Eumida</i> sp. 1	*	0	0	0	0
176	<i>Eumida</i> sp. 3	0	0	**	0	*
177	<i>Genetylis castanea</i> アケノサンバ	*	*	0	0	*
178	<i>Sige</i> sp. 1	*	0	*	0	0
179	<i>Sige</i> sp. 2	*	*	0	0	*
180	Phyllococidae sp. 1 サンバゴカイ科 sp. 1	0	0	*	0	0
	Family Glyceridae チロリ科					
181	<i>Glycera chirori</i> チロリ	***	***	***	***	***
182	<i>Glycera decipiens</i> イリチロリ	*	*	0	0	0
183	<i>Glycera subaenea</i>	*	*	**	0	*
184	<i>Glycera</i> sp. 1	**	**	**	**	***
	<i>Glycera</i> spp.	**	**	**	**	**
185	<i>Hemipodus yenourensis</i> ヒナサキチロリ	0	0	0	0	*
	Family Goniadidae ニカイチロリ科					
186	<i>Glycinde</i> sp. 1	**	**	**	**	**
187	<i>Goniada</i> sp. 1	**	*	*	**	**
	Family Sphaerodoridae コブゴカイ科					
188	<i>Ephesiella</i> sp. 1	0	0	0	*	0
	Family Hesionidae オトヒメゴカイ科					
189	<i>Gyptis</i> sp. 1	**	**	**	**	**
190	<i>Nereimyra</i> sp. 1	**	*	**	0	0
191	<i>Leocrates</i> sp. 1	0	*	0	0	*
192	<i>Ophiodromus angustifrons</i> モグリオトヒメ	**	*	**	**	**
193	<i>Ophiodromus</i> sp. 1	*	0	*	0	**
194	Hesionidae sp. 1 オトヒメゴカイ科 sp. 1	0	0	0	*	0
195	Hesionidae sp. 2 オトヒメゴカイ科 sp. 2	0	0	**	0	*
196	unidentified Hesionidae オトヒメゴカイ科不明種	*	*	0	0	0
	Family Pilargidae カギゴカイ科					
197	<i>Ancistrosyllis</i> sp. 1	*	*	0	*	0

付表 1-6. 2001 年～2003 年の 5 回の調査で出現した有明海のマクロベントス一覧表（調査回次毎の全調査点を対象とした平均生息密度（個体数 /m²）を “-”: 未調査, “0”: 0, “*”: <1, “**”: <10, “***”: <100, “****”: >=100 で示した）

No.	分類（種名）	2001年 6月	2001年 10月	2002年 6月	2002年 10月	2003年 6月
198	<i>Cabira pilargiformis japonica</i> ニホンカギゴカイ	**	**	**	**	**
199	<i>Pilargis</i> sp. 1	**	*	*	**	*
200	<i>Sigambra tentaculata</i>	***	***	**	**	**
201	<i>Sigambra</i> sp. 1	***	***	***	***	***
	Family Syllidae シリス科					
202	<i>Autolytinae</i> sp. 1	0	0	***	*	0
203	<i>Odontosyllis undecimdonga</i> クロエリス	*	0	*	**	**
204	<i>Opisthodonta</i> sp. 1	*	*	**	0	*
205	<i>Syllides</i> sp. 1	0	*	0	0	0
206	<i>Exogone uniformis</i> イツカシリス	**	*	*	0	**
207	<i>Exogone</i> sp. 1	0	0	*	0	0
208	<i>Sphaerosyllis</i> sp. 1	*	0	*	0	0
209	<i>Dentatisyllis</i> sp. 1	*	*	0	0	0
210	<i>Ehlersia cornuta</i> ケナガシリス	**	**	**	**	**
211	<i>Ehlersia japonica</i> ニホンケナガシリス	*	0	0	*	0
212	<i>Syllis gracilis</i> フタタシリス	0	0	*	0	0
213	<i>Typosyllis variegata</i> トラシリス	0	0	*	0	0
214	<i>Typosyllis</i> sp. 1	*	*	0	0	0
215	<i>Typosyllis</i> sp. 2	0	0	**	**	**
	Family Nereididae ゴカイ科					
216	<i>Ceratonereis erythraeensis</i> コケゴカイ	*	**	**	***	**
217	<i>Leonnates</i> sp. 1	*	**	0	*	*
218	<i>Neanthes caudata</i> ヒメゴカイ	0	0	**	*	0
219	<i>Neanthes japonica</i> ゴカイ	0	0	*	0	0
220	<i>Neanthes</i> sp. 1	**	*	**	**	**
221	<i>Nectoneanthes latipoda</i> オウギゴカイ	*	*	*	**	*
222	<i>Nectoneanthes oxypoda</i> ウチワゴカイ	0	**	*	*	0
223	<i>Nereis</i> sp. 1	**	**	**	**	***
224	<i>Platynereis bicanaliculata</i> ツルヒゲゴカイ	0	0	**	0	0
225	<i>Platynereis dumerilii</i> イソツルヒゲゴカイ	0	0	0	*	0
226	<i>Tambalagama fauveli</i> カゴカイ	**	**	***	**	**
	Family Nephtyidae シロガネゴカイ科					
227	<i>Aglaophamus lobatus</i> ナガユビシロガネゴカイ	*	*	**	0	0
228	<i>Aglaophamus sinensis</i> トウヨウシロガネゴカイ	*	0	0	0	*
229	<i>Micronephthys sphaerocirrata orientalis</i> コブシロガネゴカイ	0	0	*	0	0
230	<i>Nephtys caeca</i> ハヤテシロガネゴカイ	0	0	*	0	0
231	<i>Nephtys oligobranchia</i> コノハシロガネゴカイ	***	**	**	**	***
232	<i>Nephtys polybranchia</i> ミナミシロガネゴカイ	**	**	**	**	**
233	<i>Nephtys</i> sp. 1	**	*	0	0	0
	Family Paracalydoniidae カギアシゴカイ科					
234	<i>Paracalydonia paradoxa</i>	0	0	*	*	*
	Order Amphinomida ウミケムシ目					
	Family Amphinomidae ウミケムシ科					
235	<i>Chloeia flava</i> ウミケムシ	0	0	0	0	*
236	<i>Chloeia</i> sp. 1	0	0	0	**	**
237	<i>Linopherus</i> sp. 1	*	*	*	**	0
	Order Eunicida イソメ目					
	Family Onuphidae ナナテイスメ科					
238	<i>Diopatra sugokai</i> スゴカイイソメ	**	*	**	*	0
239	<i>Nothria</i> sp. 1	*	0	*	0	0
240	<i>Onuphis</i> sp. 1	0	0	0	**	0
	Family Eunicidae イソメ科					
241	<i>Eunice vittata</i>	***	**	***	***	***
242	<i>Eunice</i> sp. 1	0	0	*	**	0
243	<i>Marphysa sanguinea</i> イワムシ	*	*	**	0	**
244	<i>Marphysa</i> sp. 1	*	*	*	0	*
	Family Lumbrineridae キボシイソメ科					
245	<i>Lumbrinerides dayi</i>	*	*	*	*	*
246	<i>Lumbrinerides hayashii</i>	*	0	*	0	0
247	<i>Lumbrineris amboinensis</i> アンボンキボシイソメ	***	**	***	***	**
248	<i>Lumbrineris japonica</i> キボシイソメ	*	0	0	0	0
249	<i>Lumbrineris latreilli</i> フツウキボシイソメ	**	**	**	***	**
	<i>Lumbrineris</i> spp.	**	*	**	*	0
250	<i>Scoletoma heteropoda</i> ナガキボシイソメ	*	*	0	0	0

付表 1-7. 2001 年～2003 年の 5 回の調査で出現した有明海のマクロベントス一覧表（調査回次毎の全調査点を対象とした平均生息密度（個体数 /m²）を “-”: 未調査, “0”: 0, “*”: <1, “***”: <10, “****”: <100, “*****”: ≥100 で示した）

No.	分類（種名）	2001年 6月	2001年 10月	2002年 6月	2002年 10月	2003年 6月
251	<i>Scoletoma longifolia</i> カタカリギホシイソメ	***	***	***	***	***
252	<i>Scoletoma nipponica</i> コアシギホシイソメ	*	*	**	0	0
	Family Arabellidae セグロイソメ科					
253	<i>Drilonereis</i> sp. 1	**	**	**	**	**
	Family Dorvilleidae ハコイソメ科					
254	<i>Protodorvillea</i> sp. 1	*	*	0	0	0
255	<i>Schistomeringos</i> sp. 1	**	0	**	*	**
	Order Orbnida ホコサキコカイ目					
	Family Orbiniidae ホコサキコカイ科					
256	<i>Haploscoloplos elongatus</i> ナガホコムシ	*	*	**	**	**
257	<i>Orbinia</i> sp. 1	**	**	0	0	*
258	<i>Scoloplos</i> sp. 1	0	0	**	**	**
259	<i>Scoloplos</i> sp. 2	*	0	0	0	0
	Family Paraonidae ヒメエラゴカイ科					
260	<i>Aricidea cerrutii pacifica</i> コンボウヒメエラゴカイ	**	*	*	*	*
261	<i>Aricidea eximia</i> サンカケヒメエラゴカイ	**	**	0	0	0
262	<i>Aricidea antennata</i> ツルヒゲヒメエラゴカイ	*	0	0	0	0
263	<i>Aricidea</i> sp. 1	*	0	0	0	0
	<i>Aricidea</i> spp.	0	0	0	*	*
264	<i>Cirrophorus branchiatus</i> ムチヒメエラゴカイ	***	**	**	*	**
265	<i>Paradoneis nipponica</i> ニホンヒメエラゴカイ	**	**	**	**	**
266	<i>Paraonis</i> sp. 1	*	*	0	0	0
267	<i>Paraonides</i> sp. 1	***	***	***	**	**
268	unidentified Paraonidae ヒメエラゴカイ科不明種	*	*	0	*	0
	Order Spionida スピオ目					
	Family Poecilochaetidae トックリゴカイ科					
269	<i>Poecilochaetus</i> sp. 1	*	*	0	0	*
	Family Spionidae スピオ科					
270	<i>Aonides oxycephala</i> ケンサキシスピオ	***	**	***	***	***
271	<i>Paraprionospio</i> sp. Form A ヨツバナスピオA型	0	*	0	0	0
272	<i>Paraprionospio</i> sp. Form B ヨツバナスピオB型	***	***	***	***	***
273	<i>Paraprionospio</i> sp. Form CI ヨツバナスピオ CI 型	*	*	0	0	**
274	<i>Polydora</i> sp. 1	**	**	***	**	**
275	<i>Polydora</i> sp. 2	0	*	**	0	0
276	<i>Prionospio caspersi</i> ミミスピオ	*	*	*	*	0
277	<i>Prionospio depauperata</i> ソテナカスピオ	*	**	*	**	**
278	<i>Prionospio dubia</i> オカスピオ	**	*	**	*	**
279	<i>Prionospio krusadensis</i> ミツバナスピオ	0	0	**	0	0
280	<i>Prionospio ehlersi</i> エーレルシスピオ	0	**	0	*	0
281	<i>Prionospio membranacea</i> エリタスピオ	**	0	*	*	*
282	<i>Prionospio multibranchiata</i> マガタマスピオ	0	0	**	0	0
283	<i>Prionospio pulchra</i> トエラススピオ	***	**	**	*	*
284	<i>Prionospio sexoculata</i> フタエラススピオ	*	0	0	0	0
285	<i>Prionospio</i> sp. 1	***	*	**	*	0
286	<i>Prionospio</i> sp. 2	***	**	**	**	***
287	<i>Prionospio</i> sp. 3	**	*	*	*	**
	<i>Prionospio</i> spp.	*	0	*	*	0
288	<i>Pseudopolydora</i> sp. 1	**	**	***	*	**
289	<i>Scolecopsis geniculata</i> コシオリマクススピオ	**	*	*	0	**
290	<i>Scolecopsis texana</i> チキレマクススピオ	**	**	*	**	**
291	<i>Scolecopsis variegata</i> アカテンススピオ	*	*	0	**	**
292	<i>Spio</i> sp. 1	*	*	*	0	*
293	<i>Spiophanes bombyx</i> エラナスピオ	**	*	**	**	**
294	<i>Spiophanes kroeyeri</i> ススエラナスピオ	**	**	***	***	**
	Family Magelonidae モロゴカイ科					
295	<i>Magelona japonica</i> モロゴカイ	***	***	***	***	***
296	<i>Magelona longicornis</i>	*	0	0	0	0
297	<i>Magelona</i> sp. 1	***	***	***	***	**
	<i>Magelona</i> spp.	**	*	**	**	**
	Family Chaetopteridae ツバサゴカイ科					
298	<i>Mesochaetopterus japonicus</i> ムギワラムシ	*	**	*	**	*
299	<i>Phyllochaetopterus</i> sp. 1	*	*	0	0	0
300	<i>Phyllochaetopterus</i> sp. 2	0	0	**	**	**
301	<i>Spiochaetopterus costarum</i> アンヒキツバサゴカイ	***	***	**	***	**

付表 1-8. 2001 年～2003 年の 5 回の調査で出現した有明海のマクロベントス一覧表（調査回次毎の全調査点を対象とした平均生息密度（個体数/m²）を“-”: 未調査, “0”: 0, “*”: <1, “**”: <10, “***”: <100, “****”: >=100 で示した）

No.	分類（種名）	2001年 6月	2001年 10月	2002年 6月	2002年 10月	2003年 6月
	Family Cirratulidae ミスヒキゴカイ科					
302	<i>Caulleriella</i> sp. 1	*	0	*	0	0
303	<i>Chaetozone</i> sp. 1	***	***	***	***	***
304	<i>Cirriformia tentaculata</i> ミスヒキゴカイ	**	**	**	**	***
305	<i>Tharyx</i> sp. 1	***	**	**	**	***
306	Cirratulidae sp. 1 ミスヒキゴカイ科 sp. 1	0	*	0	0	0
	Order Flabelligerida ハボウキゴカイ目					
	Family Flabelligeridae ハボウキゴカイ科					
307	<i>Brada</i> sp. 1	**	*	***	**	***
308	<i>Diplocirrus</i> sp. 1	*	**	**	**	**
309	<i>Pherusa</i> sp. 1	0	0	*	0	0
310	<i>Piromis</i> sp. 1	*	*	**	0	0
311	Flabelligeridae sp. 1 ハボウキゴカイ科 sp. 1	*	0	0	0	0
312	unidentified Flabelligeridae ハボウキゴカイ科不明種	0	0	**	0	0
	Order Sternaspida ダルマゴカイ目					
	Family Sternaspidae ダルマゴカイ科					
313	<i>Sternaspis scutata</i> ダルマゴカイ	***	***	***	**	***
	Order Capitellida イトゴカイ目					
	Family Capitellidae イトゴカイ科					
314	<i>Capitella</i> sp. 1	**	**	**	*	**
315	<i>Dasybranchus</i> sp. 1	0	*	0	**	0
316	<i>Heteromastus</i> sp. 1	***	***	***	***	***
317	<i>Mediomastus</i> sp. 1	***	***	****	***	***
318	<i>Notomastus</i> sp. 1	**	**	**	**	**
319	<i>Notomastus</i> sp. 2	**	**	**	**	**
320	Capitellidae sp. 1 イトゴカイ科 sp. 1	*	0	0	0	0
321	Capitellidae sp. 2 イトゴカイ科 sp. 2	*	0	0	0	0
322	Capitellidae sp. 3 イトゴカイ科 sp. 3	0	*	0	0	0
323	Capitellidae sp. 4 イトゴカイ科 sp. 4	0	0	*	0	0
324	Capitellidae sp. 5 イトゴカイ科 sp. 5	0	0	*	0	0
325	Capitellidae sp. 6 イトゴカイ科 sp. 6	0	0	0	*	0
	Family Maldanidae タケフシゴカイ科					
326	<i>Clymenura columbiana</i> マルタケフシゴカイ	*	0	*	0	0
327	<i>Praxillura tanseiana</i> トラフタケフシゴカイ	**	*	*	*	**
328	unidentified Lumbriclymeninae 蛭科不明種	0	0	0	0	*
329	<i>Clymenella collaris</i> エリタケフシゴカイ	0	0	0	0	*
330	<i>Clymenella enshuense</i> エンシュウタケフシゴカイ	0	**	**	**	**
331	<i>Clymenella koellikeri</i> ヒロオヒタケフシゴカイ	*	0	0	0	*
332	<i>Clymenella</i> sp. 1	*	0	**	*	*
333	<i>Euclymene oerstedii</i> ショウゴタケフシゴカイ	**	0	0	0	0
334	<i>Praxillella pacifica</i> ナカオタケフシゴカイ	**	*	***	**	***
335	unidentified Euclymeninae	**	**	**	**	**
336	<i>Maldane pigmentata</i> ヒョウモンタケフシゴカイ	**	*	*	**	*
	Order Opheliida オフェリアゴカイ目					
	Family Opheliidae オフェリアゴカイ科					
337	<i>Armandia lanceolata</i>	0	*	**	*	*
	Family Scalibregmidae トノサマゴカイ科					
338	<i>Pseudoscalibregma</i> sp. 1	*	0	0	0	0
339	<i>Scalibregma inblatum</i> トノサマゴカイ	*	*	*	*	**
	Order Polygordiida イシマムカシゴカイ目					
	Family Polygordiidae イシマムカシゴカイ科					
340	<i>Polygordius</i> sp. 1	**	**	**	0	**
	Order Oweniida チマキゴカイ目					
	Family Oweniidae チマキゴカイ科					
341	<i>Myriochele danielsseni</i> ダニエルチマキゴカイ	0	*	0	0	0
342	<i>Myriochele oculata</i> マナコチマキゴカイ	*	*	**	0	*
343	<i>Myriochele</i> sp. 1	*	0	0	0	*
344	<i>Myriochele</i> sp. 2	***	*	**	*	**
345	<i>Owenia fusiformis</i> チマキゴカイ	**	*	*	*	**
	Order Terebellida フサゴカイ目					
	Family Pectinariidae ウミサゴムシ科					
346	<i>Lagis bocki</i> ウミサゴムシ	0	*	**	*	**
347	<i>Pectinaria</i> sp. 1	*	**	**	0	0
	Family Sabelliidae カンムリゴカイ科					

付表 1-9. 2001 年～2003 年の 5 回の調査で出現した有明海のマクロベントス一覧表（調査回次毎の全調査点を対象とした平均生息密度（個体数/m²）を“-”: 未調査, “0”: 0, “*”: <1, “**”: <10, “***”: <100, “****”: ≥100 で示した）

No.	分類（種名）	2001年 6月	2001年 10月	2002年 6月	2002年 10月	2003年 6月
348	<i>Lygdamis giardi</i> ハナカムリ	0	*	*	0	0
349	<i>Sabellaria ishikawai</i>	0	*	***	0	*
	Family Alvinellidae カサリゴカイ科					
350	<i>Melinna</i> sp. 1	0	0	0	0	*
351	Melinninae sp. 1	0	*	0	0	0
352	<i>Ampharete</i> sp. 1	**	*	**	0	**
353	<i>Ampharete</i> sp. 2	0	0	0	*	0
354	<i>Amphicteis gunneri</i> カサリゴカイ	**	**	****	***	***
355	<i>Asabellides</i> sp. 1	**	*	**	**	0
356	<i>Lysippe</i> sp. 1	**	**	***	**	***
357	<i>Sosane</i> sp. 1	**	**	***	**	**
358	Ampharetinae sp. 1 カサリゴカイ亜科 sp. 1	**	0	**	0	**
359	Ampharetinae sp. 2 カサリゴカイ亜科 sp. 2	*	*	0	*	0
360	unidentified Ampharetinae カサリゴカイ亜科不明種	**	*	**	0	**
	Family Trichobranchidae タマガシフサゴカイ科					
361	<i>Terebellides brevis</i> ツメタマガシフサゴカイ	0	*	0	0	0
362	<i>Terebellides horikoshii</i> フトヒタマガシフサゴカイ	**	**	***	**	***
363	<i>Terebellides kobei</i> ニセタマガシフサゴカイ	**	*	*	0	**
	Family Terebellidae フサゴカイ科					
364	<i>Amaeana</i> sp. 1	**	*	**	*	**
365	<i>Hauchiella</i> sp. 1	0	0	0	**	0
366	<i>Polycirrus</i> sp. 1	*	0	**	**	**
367	unidentified Polycirrinae 亜科不明種	0	0	*	**	*
368	<i>Streblosoma</i> sp. 1	*	0	*	0	0
369	<i>Streblosoma</i> sp. 2	0	*	0	0	*
370	<i>Thelepus</i> sp. 1	*	0	0	*	0
371	Thelepininae sp. 1	0	0	0	*	0
372	<i>Amphitrite</i> sp. 1	0	0	**	**	*
373	<i>Eupolymnia</i> sp. 1	*	0	0	**	*
374	<i>Lanice conchilega</i> ガンセキフサゴカイ	**	**	**	**	**
375	<i>Loimia medusa</i> チンチロフサゴカイ	**	**	*	0	*
376	<i>Nicolea</i> sp. 1	*	*	**	**	**
377	<i>Pista</i> sp. 1	**	**	0	**	**
378	Amphitritinae sp. 1	0	*	0	0	0
379	Amphitritinae sp. 2	0	0	0	0	*
380	unidentified Amphitritinae 亜科不明種	*	*	**	*	*
	Order Sabellida ケヤリムシ目					
	Family Sabellidae ケヤリムシ科					
381	<i>Myxicola</i> sp. 1	0	0	**	0	**
382	<i>Chone teres</i> コウキケヤリ	***	**	***	**	**
383	<i>Chone</i> sp. 1	0	0	0	0	*
384	<i>Euchone</i> sp. 1	**	**	***	**	**
385	<i>Laonome</i> sp. 1	*	*	0	0	0
386	<i>Potamilla</i> sp. 1	*	0	*	**	0
387	<i>Sabella</i> sp. 1	0	*	**	*	*
388	<i>Sabellastarte</i> sp. 1	0	0	*	0	0
	Family Serpulidae カンザシゴカイ科					
389	<i>Hydroides multispinosa</i> トゲカンザシゴカイ	**	*	**	0	0
390	unidentified Serpulidae カンザシゴカイ科不明種	**	0	*	0	*
	Phylum Arthropoda 節足動物門					
	Class Pycnogonida ウミグモ綱					
	Order Pantopoda 皆脚目					
	Family Ammotheidae イソウミグモ科					
391	<i>Ammothea</i> sp. 1 シマウミグモ属 sp. 1	-	-	*	0	0
	Family Nymphonidae ユメムシ科					
392	<i>Nymphon</i> sp. 1 ユメムシ属 sp. 1	-	-	0	0	*
	Family Phoxichilidiidae ホソウミグモ科					
393	<i>Anoplodactylus</i> sp. 1 ソコウミグモ属 sp. 1	-	-	0	0	*
	Class Ostracoda 貝形虫綱					
	Order Myodocopida ミオトコウハ目					
	Family Cypridinidae ウミホタル科					
394	<i>Amphisiphonostrea</i> sp. 1	-	-	0	*	0
395	<i>Cypridinodes</i> sp. 1	-	-	*	0	0
396	<i>Cypridinodes</i> sp. 2	-	-	0	*	*

付表 1-10. 2001 年～2003 年の 5 回の調査で出現した有明海のマクロベントス一覧表（調査回次毎の全調査点を対象とした平均生息密度（個体数/m²）を“-”: 未調査, “0”: 0, “*”: <1, “**”: <10, “***”: <100, “****”: >=100 で示した）

No.	分類（種名）	2001年 6月	2001年 10月	2002年 6月	2002年 10月	2003年 6月
397	<i>Vargula hilgendorffii</i> ウミホタル	-	-	0	**	0
	Family Philomedidae					
398	<i>Euphilomedes</i> sp. 1	-	-	**	***	***
399	<i>Euphilomedes</i> sp. 2	-	-	*	0	*
	Family Cyndroleberidae					
400	<i>Asteropina</i> sp. 1	-	-	0	0	*
401	<i>Asteropteron fuscum</i>	-	-	*	*	*
402	<i>Cyclasterope</i> sp. 1	-	-	*	0	*
403	<i>Cycloleberis</i> sp. 1	-	-	0	**	0
	Family Sarsiellidae					
404	<i>Eusarsiella</i> sp. 1	-	-	*	*	*
405	unidentified Myodocopida ミオドコパ目 不明種	-	-	0	*	0
	Class Maxillopoda 顎脚綱					
	Order Sessilia 無柄目					
	Family Balanoidea フシツボ科					
406	<i>Balanus reticulatus</i> サラサフシツボ	-	-	0	*	0
407	<i>Balanus improvisus</i> ヨーロッパフシツボ	-	-	0	0	*
	Class Malacostraca 軟甲綱					
	Order Leptostraca 薄甲目					
	Family Nebaliidae コノハエビ科					
408	<i>Nebalia bipes</i> コノハエビ	-	-	**	0	**
	Order Stomatopoda 口脚目					
	Family Squillidae シヤコ科					
409	<i>Clorida japonica</i> サスキメボシシヤコ	-	-	*	*	0
	Order Mysidacea アミ目					
	Family Mysidae アミ科					
410	<i>Iiella hibii</i>	-	-	0	**	0
411	<i>Iiella</i> sp. 1 イエウ属 sp. 1	-	-	0	*	0
412	<i>Mysidopsis japonica</i>	-	-	*	0	0
413	<i>Orientmysis aspera</i> サメハダハマアミ	-	-	0	0	*
414	<i>Orientmysis tenuicauda</i> ホソオトケハマアミ	-	-	**	0	***
415	<i>Orientmysis</i> sp. 1 ハマアミ属 sp. 1	-	-	*	0	0
	<i>Orientmysis</i> spp. ハマアミ属	-	-	0	0	*
416	unidentified Mysidae アミ科 不明種	-	-	0	0	**
	Order Amphipoda 端脚目					
	Family Ampeliscidae スガメソコエビ科					
417	<i>Ampelisca brevicornis</i> ケビナガスガメ	***	***	***	**	**
418	<i>Ampelisca cyclops</i> ヒトツメスガメ	**	**	**	**	**
419	<i>Ampelisca diadema</i> カキスガメ	**	***	***	***	***
420	<i>Ampelisca miharaensis</i> ヒゲナガスガメ	**	***	***	**	**
421	<i>Ampelisca misakiensis</i> ミサキスガメ	*	**	**	**	*
422	<i>Ampelisca naikaiensis</i> フクロスガメ	**	**	**	0	**
423	<i>Byblis japonicus</i> ニッポンスガメ	**	**	***	**	***
	Family Amphithoidae ヒゲナガソコエビ科					
424	<i>Ampithoe</i> sp. 1 ヒゲナガソコエビ属 sp. 1	0	0	***	0	0
	<i>Ampithoe</i> spp. ヒゲナガソコエビ属	0	0	**	0	*
	Family Aoridae ヨンボソコエビ科					
425	<i>Aoroides columbiae</i> プラブラソコエビ	**	**	**	*	**
426	<i>Grandidierella japonica</i> ニホントソコエビ	*	**	**	0	**
	<i>Grandidierella</i> spp.	**	0	0	0	0
427	<i>Lembos clavatus</i> ノゾキソコエビ	0	*	**	0	*
428	<i>Lembos</i> sp. 1 ソコエビ属 sp. 1	*	0	0	0	0
429	<i>Unciolella</i> sp. 1	0	0	**	0	*
	Family Corophiidae ドロダムシ科					
430	<i>Cerapus erae</i> エラホソツツムシ	*	*	*	0	0
431	<i>Corophium acherusicum</i> アリアケドロダムシ	***	*	***	0	**
432	<i>Corophium crassicornis</i> トゲドロダムシ	0	*	0	0	0
433	<i>Corophium insidiosum</i> トンガドロダムシ	0	0	*	0	0
434	<i>Corophium kitamorii</i> タイガードロダムシ	0	0	**	0	0
435	<i>Corophium lamellate</i> トミカドロダムシ	*	0	**	0	**
436	<i>Corophium sinensis</i> タイリクトドロダムシ	****	*	**	0	*
437	<i>Corophium</i> sp. 1 ドロダムシ属 sp. 1	**	*	****	0	*
438	<i>Corophium</i> sp. 2 ドロダムシ属 sp. 2	0	0	***	0	*
439	<i>Corophium</i> sp. 3 ドロダムシ属 sp. 3	0	0	**	0	0

付表 1-11. 2001 年～2003 年の 5 回の調査で出現した有明海のマクロベントス一覧表（調査回次毎の全調査点を対象とした平均生息密度（個体数/m²）を“-”: 未調査, “0”: 0, “*”: <1, “**”: <10, “***”: <100, “****”: >=100 で示した）

No.	分類（種名）	2001年 6月	2001年 10月	2002年 6月	2002年 10月	2003年 6月
440	<i>Corophium</i> sp. 4 トロダムシ属 sp. 4	0	0	0	0	*
	<i>Corophium</i> spp. トロダムシ属	0	0	*	0	0
441	<i>Erichthonius brasiliensis</i> モバソコヒムシ	**	**	***	*	*
442	<i>Siphonoecetes</i> sp. 1 ハイハイトロダムシ属 sp. 1	0	0	*	0	0
443	<i>Corophiidae</i> sp. 1 トロダムシ科 sp. 1	0	0	0	0	*
	Family Isaeidae インクヨコヒ科					
444	<i>Gammaropsis atlantica varius</i> ツリメソコヒ	0	*	0	0	0
445	<i>Gammaropsis japonica</i> ニホンソコヒ	0	0	***	0	**
446	<i>Gammaropsis utinomii</i> ホウアソコヒ	**	**	****	0	**
447	<i>Photis japonica</i> ニホンクダオソコヒ	0	0	***	0	**
448	<i>Photis ariakensis</i> アリアケクダオソコヒ	*	**	0	0	0
449	<i>Photis longicaudata</i> クダオソコヒ	**	***	****	0	***
450	<i>Photis</i> sp. 1 クダオソコヒ属 sp. 1	*	**	0	0	0
451	<i>Photis</i> sp. 2 クダオソコヒ属 sp. 2	0	**	0	0	0
452	<i>Photis</i> sp. 3 クダオソコヒ属 sp. 3	*	0	0	0	0
453	<i>Photis</i> sp. 5 クダオソコヒ属 sp. 5	0	0	***	*	0
454	<i>Protomedea crudoliops</i> ミナミキヌタソコヒ	0	*	*	0	0
	Family Ischyroceridae カマキリヨコヒ科					
455	<i>Jassa</i> sp. 1 カマキリヨコヒ属 sp. 1	0	**	*	0	0
456	<i>Ischyroceridae</i> sp. 1 カマキリヨコヒ科 sp. 1	0	0	*	0	0
	Family Podoceridae トロミ科					
457	<i>Podocerus</i> sp. 1 トロミ属 sp. 1	**	0	***	0	**
458	<i>Podocerus</i> sp. 2 トロミ属 sp. 2	**	*	0	0	0
	Family Priscoimilitaridae キントウヨコヒ科					
459	<i>Priscoimilitaris tenuis</i> キントウヨコヒ	**	*	**	0	0
	Family Melitidae メリダコヒ科					
460	<i>Abludomelita denticulata</i> チョビヒゲメリダコヒ	*	0	*	0	0
461	<i>Abludomelita japonica</i> ニッポンメリダコヒ	*	0	0	0	0
462	<i>Ceradocus</i> sp. 1 ノギリヨコヒ属 sp. 1	*	0	**	*	*
463	<i>Ceradocus</i> sp. 2 ノギリヨコヒ属 sp. 2	*	0	0	0	0
464	<i>Elasmopus</i> sp. 1 イソヨコヒ属 sp. 1	0	0	**	0	0
465	<i>Maera serratipalma</i> スナリヨコヒ	*	*	***	0	*
466	<i>Maerella</i> sp. 1 ホヅリヨコヒ属	0	*	0	0	0
467	<i>Melita coroninii</i>	**	0	0	0	0
468	<i>Melita koreana</i> カギメリダコヒ	**	*	0	0	0
469	<i>Melita longidactyla</i> ツメナガメリダコヒ	*	0	*	0	0
470	<i>Melita pilopropoda</i> ケナガメリダコヒ	**	*	0	*	**
471	<i>Melita tuberculata</i> ヒメメリダコヒ	**	0	***	0	0
472	<i>Melita</i> sp. 1 メリダコヒ属 sp. 1	**	**	*	0	0
	<i>Melita</i> spp. メリダコヒ属	0	0	*	0	*
473	<i>Nippopisella nagatai</i> トロコヒ	**	*	**	**	***
474	<i>Melitidae</i> sp. 1 メリダコヒ科 sp. 1	0	0	*	0	0
	Family Colomastigidae ツツヨコヒ科					
475	<i>Colomastix</i> sp. 1 ツツヨコヒ属 sp. 1	0	0	**	0	0
	Family Leucothoidae マルハサミヨコヒ科					
476	<i>Leucothoe bidens</i> フタマタルハサミヨコヒ	*	*	**	*	**
	Family Pleustidae テンクヨコヒ科					
477	<i>Parapleustes filialis</i> ニセトングリテンクヨコヒ	**	0	0	0	*
478	<i>Pleustes</i> sp. 1	*	0	0	0	0
	Family Stenothoidae タテソコヒ科					
479	<i>Stenothoe gallensis (valida)</i> タテソコヒ	0	*	0	0	0
480	<i>Stenothoidae</i> sp. 1 タテソコヒ科 sp. 1	0	0	0	*	0
	Family Liljeborgiidae トゲヨコヒ科					
481	<i>Liljeborgia serrata</i> コトモトゲヨコヒ	*	*	*	0	*
482	<i>Listriella nagatai</i> イントゲヨコヒ	*	0	0	0	0
483	<i>Listriella curvidactyla</i> シロキチアソナガヨコヒ	0	0	*	0	0
	Family Lysianassidae フヒゲソコヒ科					
484	<i>Aristias nonspinus</i> トゲナシフカソコヒ	0	0	0	0	**
485	<i>Ensayara dentarius</i> アシラソコヒ	0	0	0	0	*
486	<i>Lepideopereum vitjazi</i> グルヤノハノシ	*	*	**	**	*
487	<i>Orchomene</i> sp. 1 ツノソコヒ属 sp. 1	0	0	*	0	0
488	unidentified Lysianassidae フヒゲソコヒ科不明種	0	0	*	0	0
	Family Megaluroidea ウチワヨコヒ科					

付表 1-12. 2001 年～2003 年の 5 回の調査で出現した有明海のマクロベントス一覧表（調査回次毎の全調査点を対象とした平均生息密度（個体数/m²）を“-”: 未調査, “0”: 0, “*”: <1, “**”: <10, “***”: <100, “****”: ≥100 で示した）

No.	分類（種名）	2001年 6月	2001年 10月	2002年 6月	2002年 10月	2003年 6月
489	<i>Megaluropus massiliensis</i> シブウチワヨコヒ [*]	0	*	0	0	*
	Family Oedicerotidae クチバシヨコヒ [*] 科					
490	<i>Monoculodes limnophilus japonicus</i> ニホンクチバシヨコヒ [*]	**	*	*	0	**
491	<i>Perioculodes</i> sp. 1 カンワシヨコヒ [*] 属 sp. 1	*	0	*	0	0
492	<i>Perioculodes</i> sp. 2 カンワシヨコヒ [*] 属 sp. 2	0	*	0	0	0
493	<i>Synchelidium lenorostratum</i> ホンダヨコヒ [*]	***	**	***	**	**
494	<i>Synchelidium</i> sp. 1 サンバツヨコヒ [*] 属 sp. 1	*	*	0	0	0
495	<i>Synchelidium</i> sp. 2 サンバツヨコヒ [*] 属 sp. 2	0	0	0	0	**
496	<i>Oedicerotidae</i> sp. 1 クチバシヨコヒ [*] 科 sp. 1	0	0	0	0	*
	Family Phoxocephalidae ヒサシヨコヒ [*] 科					
497	<i>Harpiniopsis vadiculus</i> スナカキヨコヒ [*]	*	0	0	0	0
498	<i>Harpiniopsis</i> sp. 1 スナカキヨコヒ [*] 属 sp. 1	**	0	**	*	*
499	<i>Metaphoxus</i> sp. 1	0	0	**	0	0
500	<i>Paraphoxus tomiokaensis</i> トミオカナノヨコヒ [*]	0	0	*	0	0
501	<i>Parametaphoxus fultoni</i> チョウチンチョビ [*] ヒゲヨコヒ [*]	**	0	0	0	0
502	<i>Phoxocephalus prolixus</i> ヒロヒサシヨコヒ [*]	*	*	0	0	0
	Family Iphiamediidae カツチュウヨコヒ [*] 科					
503	<i>Iphimedia</i> sp. 1 カツチュウヨコヒ [*] 属 sp. 1	0	0	*	0	0
	Family Hyalidae モクスヨコヒ [*] 科					
504	<i>Hyale barbicornis</i> チョビヒゲモクス [*]	0	0	0	0	*
	Family Melphidippidae サカサヨコヒ [*] 科					
505	<i>Melphidippa globosa</i> ツメナガサカサヨコヒ [*]	*	0	0	0	0
	Family Prophiantidae コメツブヨコヒ [*] 科					
506	<i>Guernea rectocephala</i> トンガリテッポウダマ	*	*	0	0	0
507	<i>Guernea terelamina</i> ホカケテッポウダマ	*	0	0	0	0
	Family Urothoidae ツビゲヨコヒ [*] 科					
508	<i>Urothoe gelasina ambigua</i> ヒラタマルヨコヒ [*]	*	0	0	0	0
509	<i>Urothoe</i> sp. 1 マルヨコヒ [*] 属 sp. 1	*	0	0	0	0
	Family Phtisicidae ムカシワレカラ科					
510	<i>Protogeton inflatus</i> イトアシワレカラ	-	-	**	0	**
511	<i>Pseudoproto</i> sp. 1	-	-	*	0	0
	Family Caprellidae ワレカラ科					
512	<i>Caprella equilibra</i> クビナガワレカラ	-	-	*	0	0
513	<i>Caprella rhopalochir</i> オサテワレカラ	-	-	**	0	0
514	<i>Caprella penantis</i> マルエワレカラ	-	-	0	0	*
515	<i>Caprella scaura diceros</i> トゲワレカラ	-	-	***	0	*
516	<i>Caprella verrucosa</i> コブワレカラ	-	-	*	0	0
517	Caprellidae sp. 1 ワレカラ科 sp. 1	-	-	**	0	**
518	Caprellidae sp. 2 ワレカラ科 sp. 2	-	-	*	0	0
519	unidentified Caprellidae ワレカラ科不明種	-	-	*	0	0
520	unidentified Amphipoda 端脚目不明種	0	***	0	0	0
	Order Isopoda 等脚目					
	Family Paranthuridae ウミナナフシ科					
521	<i>Paranthura</i> sp. 1 ウミナナフシ属 sp. 1	-	-	*	0	0
	Family Arcturidae オニナナフシ科					
522	Arcturidae sp. 1 オニナナフシ科 sp. 1	-	-	*	0	0
	Family Janiridae ウミミズムシ科					
523	<i>Janiroopsis</i> sp. 1	-	-	0	*	0
	Family Idoteidae ヘラムシ科					
524	<i>Synidotea</i> sp. 1 ワラジヘラムシ属 sp. 1	-	-	**	*	**
	Family Sphaeromatidae コツブムシ科					
525	<i>Cymodoce japonica</i> ニホンコツブムシ	-	-	**	*	0
526	<i>Sphaeroma sieboldii</i> ナナツバコツブムシ	-	-	*	*	*
	Order Tanaidacea タナイス目					
	Family Kalliapseudidae カリアプセウデス科					
527	<i>Kalliapseudes tomiokaensis</i> トミオカカリアプセウデス	-	-	**	*	**
528	Apseudomorpha sp. 1 アプセウデス亜目 sp. 1	-	-	0	0	**
	Family Paratanaoidea バラタナイス科					
529	<i>Leptochelia</i> sp. 1	-	-	**	*	**
	Order Cumacea クーマ目					
	Family Bodotriidae ナギサクーマ科					
530	<i>Heterocuma sarsi</i> ヒラオクーマ	-	-	0	**	0
531	<i>Bodotria</i> sp. 1 ナギサクーマ属 sp. 1	-	-	*	0	0
532	<i>Bodotria</i> sp. 2 ナギサクーマ属 sp. 2	-	-	*	*	0

付表 1-13. 2001 年～2003 年の 5 回の調査で出現した有明海のマクロベントス一覧表（調査回次毎の全調査点を対象とした平均生息密度（個体数/m²）を“-”: 未調査, “0”: 0, “*”: <1, “**”: <10, “***”: <100, “****”: ≥100 で示した）

No.	分類（種名）	2001年 6月	2001年 10月	2002年 6月	2002年 10月	2003年 6月
533	<i>Bodotria</i> sp. 3 ナギサクーマ属 sp. 3	-	-	0	0	**
534	<i>Eocuma amakusensis</i> アマクサハリダシクーマ	-	-	**	**	**
535	<i>Eocuma</i> sp. 1 ハリダシクーマ属 sp. 1	-	-	*	0	0
536	<i>Eocuma</i> sp. 2 ハリダシクーマ属 sp. 2	-	-	*	*	**
537	<i>Iphinoe</i> sp. 1 ホリナギサクーマ属 sp. 1	-	-	**	0	*
	Family Diastylidae クーマ科					
538	<i>Diastylis trilineata</i> ミツオビクーマ	-	-	**	0	***
539	<i>Dimorphostylis asiatica</i> トウヨウササナミクーマ	-	-	0	*	**
	Family Gynodiastylidae フリソデクーマ科					
540	<i>Gynodiastylis</i> sp. 1 フリソデクーマ属 sp. 1	-	-	**	0	*
541	<i>Gynodiastylis</i> sp. 2 フリソデクーマ属 sp. 2	-	-	**	0	*
	Order Decapoda 十脚目					
	Family Penaeidae クルマエビ科					
542	<i>Metapenaeopsis barbata</i> アカエビ	-	-	0	0	*
	Family Sergestidae サクラエビ科					
543	<i>Acetes japonicus</i> アキアミ	-	-	0	*	0
	Family Pasiphaeidae オキエビ科					
544	<i>Leptochela gracilis</i> ソコシエビ	-	-	***	**	***
545	<i>Leptochela pugnax</i> カトソコシエビ	-	-	0	*	0
	<i>Leptochela</i> spp. ソコシエビ属	-	-	0	*	0
	Family Alpheidae テッポウエビ科					
	<i>Alpheus</i> spp. テッポウエビ属	-	-	*	*	0
546	<i>Athanas japonicus</i> センロムラサキエビ	-	-	*	*	0
547	unidentified Alpheidae テッポウエビ科不明種	-	-	0	*	0
	Family Hippolytidae モエビ科					
548	<i>Heptacarpus</i> sp. 1 ツノモエビ属 sp. 1	-	-	**	0	0
549	<i>Latreutes mucronatus</i> タコクゲモエビ	-	-	**	*	**
	Family Ogyridae ツノモエビ科					
550	<i>Ogyrides striatocauda</i> モヨウツノ	-	-	0	*	0
	Family Processidae ロウソクエビ科					
551	<i>Processa sulcata</i> ハヤシロウソクエビ	-	-	0	*	0
	Family Crangonidea エビシヤコ科					
552	<i>Crangon uritai</i>	-	-	0	0	*
	Family Laomediidae ハサミシヤコエビ科					
553	<i>Laomedia astacina</i> ハサミシヤコエビ	-	-	*	0	0
	Family Callinassidae スナモグリ科					
554	<i>Nihonotrypaea</i> sp. 1 スナモグリ属 sp. 1	-	-	*	**	0
	Family Upogebiidae アナシヤコ科					
	<i>Upogebia</i> spp. アナシヤコ属	-	-	0	0	*
	Family Paguridae ホンヤトカリ科					
555	unidentified Paguridae ホンヤトカリ科不明種	-	-	*	0	0
	Family Galatheaidea コンオリエビ科					
556	<i>Galathea orientalis</i> トウヨウコンオリエビ	-	-	**	0	*
	Family Porcellanidae カニダマシ科					
557	<i>Polyonyx utinomii</i> ウチミヤトリカニダマシ	-	-	*	0	*
558	<i>Raphidopus ciliatus</i> トロカニダマシ	-	-	0	*	0
	Porcellanidae(zoea) カニダマシ科のゾエ期幼生	-	-	*	0	0
	Family Leucosiidae コブシガニ科					
559	<i>Philyra pisum</i> マメコブシガニ	0	*	0	**	0
560	<i>Leucosia haematosticta</i> アカホンコブシ	0	0	0	*	0
561	unidentified Leucosiidae コブシガニ科不明種	0	*	0	0	0
	Family Majidae クモガニ科					
562	<i>Achaeus pugnax</i> ツノアケウス	0	*	0	0	0
563	<i>Achaeus</i> sp. 1 アケウス属 sp. 1	0	0	*	*	*
564	<i>Achaeus</i> sp. 2 アケウス属 sp. 2	0	0	*	0	0
565	<i>Pugettia quadridens quadridens</i> ヨツハモガニ	0	0	*	0	0
	Family Hymenosomatidae ヤワラガニ科					
566	<i>Neorhynchoplax ariakensis</i> アリアケヤワラガニ	*	**	*	0	**
	Family Parthenopidae ヒシガニ科					
567	<i>Parthenope valida intermedia</i> セシヒシガニ	*	0	0	*	0
568	<i>Parthenope validus</i>	*	0	0	0	0
569	unidentified Parthenopidae ヒシガニ科不明種	*	0	0	0	0
	Family Cancridae イチョウガニ科					
570	<i>Cancer gibbosulus</i> イボイチョウガニ	*	0	0	0	*

付表 1-14. 2001 年～2003 年の 5 回の調査で出現した有明海のマクロベントス一覧表（調査回次毎の全調査点を対象とした平均生息密度（個体数/m²）を“-”: 未調査, “0”: 0, “*”: <1, “**”: <10, “***”: <100, “****”: ≥100 で示した）

No.	分類（種名）	2001年 6月	2001年 10月	2002年 6月	2002年 10月	2003年 6月
	Family Portunidae ガサミ科					
571	<i>Charybdis variegata</i> カワリシガニ	0	0	0	*	0
572	<i>Portunus longispinosus bidens</i> サガミメガサミ	0	*	0	0	0
573	<i>Lissocarcinus</i> sp. マルガサミ属	*	0	0	0	0
	Family Goneplacidae エンコウガニ科					
574	<i>Eucrater crenata</i> マルハガニ	*	*	0	**	0
575	<i>Heteroplax nagasakiensis</i> ナガサキバガニ	**	**	0	**	*
576	<i>Typhlocarcinops decrescens</i> マダラメクラガニ	*	**	0	0	0
577	<i>Typhlocarcinops canaliculata</i> メクラガニモドキ	0	0	*	0	*
578	<i>Typhlocarcinus villosus</i> メクラガニ	**	*	**	**	**
579	unidentified Goneplacidae エンコウガニ科不明種	*	*	0	0	0
	Family Hexapodidae ムツアシガニ科					
580	<i>Hexapus anfractus</i> ヒメムツアシガニ	**	*	**	**	**
581	<i>Hexapus sexpes</i> ムツアシガニ	0	**	0	0	0
	Family Xanthidae オウキガニ科					
582	<i>Halimede fragifer</i> ゴカイホオウキガニ	0	*	0	0	*
583	<i>Actaea semblatae</i> サマダオウキガニ	0	0	0	*	0
584	<i>Nanopilumnus</i> sp. 1	0	0	*	0	0
	Family Pinnotheridae カクレガニ科					
585	<i>Pinnotheres sinensis</i> オオシロビノ	0	0	**	0	*
586	<i>Pinnotheres pholadis</i> カギツメビノ	*	*	0	*	0
587	<i>Pinnixa balanoglossana</i> キボシマメガニ	*	*	0	0	0
588	<i>Pinnixa haematosticta</i> アカボシマメガニ	0	*	*	*	*
589	<i>Pinnixa penultipedalis</i> ホンコンマメガニ	0	*	0	0	0
590	<i>Pinnixa rathbuni</i> ラスバノマメガニ	**	*	***	*	***
591	<i>Asthenognathus inaequipes</i> ヨコナガモドキ	**	**	*	*	**
592	<i>Tritodynamia horvathi</i> オコギビノ	0	*	**	0	*
593	<i>Tritodynamia japonica</i> ヨコナガビノ	*	*	0	0	0
594	<i>Xenophthalmus pinnotheroides</i> メナンビノ	**	***	0	0	*
	Family Ocypodidae スナガニ科					
595	<i>Macrophthalmus abbreviatus</i> オサガニ	*	0	0	0	*
596	<i>Camptandrium sexdentatum</i> ムツバリアケガニ	*	*	**	**	0
	Family Dromiidae カイカムリ科					
597	<i>Conchoecetes artificiosus</i> ヒラコカムリ	0	*	0	0	0
	Family Dorippidae ヘイケガニ科					
598	<i>Neodorippe japonica</i> ヘイケガニ	0	*	0	0	0
599	unidentified Brachyura 短尾下目不明種	**	0	0	0	0
	Brachyura(megalopa) 短尾下目のメダロハ期幼生	0	0	***	*	0
	Phylum Hemichordata 半索動物門					
	Class Enteropneusta キボシムシ綱					
600	unidentified Enteropneusta キボシムシ綱不明種	-	-	**	**	**
	Phylum Echinodermata 棘皮動物門					
	Class Asteroidea ヒトデ綱					
	Order Paxillosida モシガイ目					
	Family Astropectinidae モシガイ科					
601	<i>Astropecten scoparius</i> モシガイ	-	-	*	0	0
	Order Spinulosida ヒメヒトデ目					
	Family Asterinidae イトマキヒトデ科					
602	<i>Asterina</i> sp. 1 イトマキヒトデ属 sp. 1	-	-	*	0	0
	Class Ophiuroidea クモヒトデ綱					
	Order Myophiurida 閉蛇尾目					
	Family Ophiothricidae トゲナガクモヒトデ科					
603	unidentified Ophiacanthidae トゲナガクモヒトデ科不明種	-	-	0	0	*
	Family Ophiactidae 疋クモヒトデ科					
604	<i>Ophiactis affinis</i> クサイロ疋クモヒトデ	-	-	**	***	***
	Family Amphiuridae スナクモヒトデ科					
605	<i>Amphioplus japonicus</i> カキクモヒトデ	-	-	***	***	***
606	<i>Amphioplus</i> sp. 1	-	-	*	0	0
	<i>Amphioplus</i> spp.	-	-	**	**	**
607	<i>Amphipholis</i> sp. 1	-	-	*	*	0
608	<i>Amphipholis</i> sp. 2	-	-	**	**	*
	<i>Amphipholis</i> spp.	-	-	0	**	**
609	<i>Amphiura aestuarii</i> メガネクモヒトデ	-	-	**	**	**
610	<i>Amphiura vadicolae</i> ウデナガメガネクモヒトデ	-	-	*	*	0

付表 1-15. 2001 年～2003 年の 5 回の調査で出現した有明海のマクロベントス一覧表（調査回次毎の全調査点を対象とした平均生息密度（個体数 /m²）を“-”: 未調査, “0”: 0, “*”: <1, “**”: <10, “***”: <100, “****”: ≥100 で示した）

No.	分類（種名）	2001年 6月	2001年 10月	2002年 6月	2002年 10月	2003年 6月
611	<i>Amphiura</i> sp. 1	-	-	**	**	***
612	<i>Amphiura</i> sp. 2	-	-	***	***	***
	<i>Amphiura</i> spp.	-	-	***	**	**
613	unidentified Amphiuridae スナクモヒトデ科不明種	-	-	**	**	**
	Family Ophiuridae クシハクモヒトデ科					
614	<i>Ophiura kinbergi</i> クシハクモヒトデ	-	-	**	**	**
615	unidentified Ophiuroidea クモヒトデ綱不明種	-	-	0	*	0
	Class Echinoidea ウニ綱					
	Order Echinoidea ホンウニ目					
	Family Temnopleuridae サンショウウニ科					
616	<i>Temnopleurus toreumaticus</i> サンショウウニ	-	-	0	*	0
	Class Holothuroidea ナマコ綱					
	Order Dendrochirotida 樹手目					
	Family Cucumariidae キンコ科					
617	<i>Pseudocnus</i> sp. 1 グミ属 sp. 1	-	-	0	*	0
618	<i>Pentacta</i> sp. 1 コガキンコ属 sp. 1	-	-	0	*	*
619	Cucumariidae sp. 1 キンコ科 sp. 1	-	-	0	*	0
620	unidentified Cucumariidae キンコ科不明種	-	-	*	*	*
621	unidentified Dendrochirotida 樹手目不明種	-	-	0	0	*
	Order Apodida 無足目					
	Family Synaptidae イカリナマコ科					
622	<i>Labidoplax dubia</i> ウチワイイカリナマコ	-	-	**	**	**
623	<i>Leptosynapta inhaerens</i> ホソイカリナマコ	-	-	**	*	**
624	<i>Protankyra bidentata</i> トゲイカリナマコ	-	-	*	0	*
625	unidentified Synaptidae イカリナマコ科不明種	-	-	*	0	**
	Phylum Chordata 脊索動物門					
	Class Ascidiacea ホヤ綱					
	Order Enterogona マメホヤ目					
	Family Didemnidae ウスホヤ科					
626	<i>Didemnum</i> sp. 1 ウスホヤ属 sp. 1	-	-	*	0	0
	Order Pleurogona マホヤ目					
	Family Styelidae シロホヤ科					
627	<i>Cnemidocarpa fertilis minor</i>	-	-	*	0	0
628	<i>Cnemidocarpa</i> sp. 1 ホソシシホヤ属 sp. 1	-	-	*	0	0
629	unidentified Styelidae シロホヤ科不明種	-	-	*	0	0
	Family Molgulidae フクロホヤ科					
630	<i>Molgula</i> sp. 1 フクロホヤ属 sp. 1	-	-	*	0	0
631	<i>Molgula</i> sp. 2 フクロホヤ属 sp. 2	-	-	0	*	*
632	unidentified Ascidiacea ホヤ綱不明種	-	-	0	0	*
	Class Leptocardia ナメクジウオ綱					
	Order Amphioxii ナメクジウオ目					
	Family Branchiostomidae ナメクジウオ科					
633	<i>Branchiostoma belcheri</i> ナメクジウオ	-	-	*	**	*
	Class Osteichthyes 硬骨魚綱					
	Order Perciformes スズキ目					
	Family Gobiidae ハゼ科					
634	unidentified Gobiidae ハゼ科不明種	-	-	*	0	0
	Family Blenniidae イソギンボ科					
635	<i>Omobranchus</i> sp. 1 ナベカ属 sp. 1	-	-	*	0	0

本号掲載論文要旨

静岡県内浦湾沿岸におけるアオリイカの遊漁実態と釣獲量の推定

中村永介・岡本一利・今吉清文・海野高治

陸釣り遊魚は調査対象が不特定多数であり、場所や時期、時間帯が多岐にわたるため、その実態を把握することや、釣獲量を推定することが困難である。本研究では、静岡県沼津市内浦湾沿岸における水産重要種であるアオリイカについて、2011年5月25日から2012年3月5日までに実施した計147回の遊漁実態調査の結果から、漁獲時期、曜日、時間帯、雌雄、外套背長階級別の個体数を明らかにするとともに年間の釣獲個体数および釣獲重量を推定した。6,545人の遊漁者のうち97%から回答が得られ、741個体の釣獲を確認した。年間の釣獲個体数は合計5,663個体、釣獲重量は合計3.2トンと推定され、遊漁による釣獲が資源に与える影響は小さくないと思われる。

水産技術, 7 (2), 59-68, 2015

大型水槽を用いたコウライアカシタビラメの種苗生産試験

草加耕司・岩本俊樹・弘奥正憲

40m³大型水槽を用いたコウライアカシタビラメ人工種苗の量産試験を実施し、45日間の飼育で平均全長22.8 mmの稚魚7.7万尾を得た。仔魚期の発育ステージDにおける浮上死やE及びF～Hでの沈降死による減耗が顕著で生残率は約10%と低かったが、ワムシとアルテミア幼生主体の餌料系列など他の海産魚類と同様の方法で飼育可能と分かり、量産の見通しを得た。稚魚期の飼育では、生物餌料から配合飼料への切り替えが容易ではないこと、さらに他の異体類と同様に頭部周辺や体色等に形態異常を発現する可能性があることなど、今後の課題と技術開発の方向性を確認した。

水産技術, 7 (2), 75-83, 2015

ブリ幼魚用飼料における魚油精製副産物の利用

古板博文・杉田 毅・山本剛史・風 直樹・山本浩志

低魚油飼料への魚油精製副産物（ガム質）の混合がブリの飼育成績に及ぼす影響を調べた。対照区は魚油のみを添加した飼料とし、低魚油区は対照区の魚油を1/3に減らして、残りの2/3を大豆油で代替した。ガム質区は、低魚油区と同様に対照区の魚油の2/3を大豆油で代替したが、残り1/3の部分はガム質とイカ肝油で代替した。ガム質のn-3高度不飽和酸（n-3HUFA）含量が低いため、イカ肝油で補うことにより、低魚油区とガム質区のn-3HUFAが同等となるように調整した。50日間の給餌飼育の結果、対照区とガム質区は同等の成長を示したのに対し、低魚油区は劣った。飼料効率も同様の傾向であった。肝臓中のn-3高度不飽和酸含量は、対照区が他の区よりも高かったが、低魚油区とガム質区では大差なかった。低魚油飼料にガム質を混合することで、魚油の使用量を低下できることが示唆された。

水産技術, 7 (2), 69-74, 2015

トラフグ凍結精子の家庭用冷蔵庫での二次保存

細谷将・水野直樹・城 夕香・藤田真志・鈴木 譲・菊池 潔

ゲノム育種が進むとともに、今後、畜産業界で行われているような凍結精子の流通が普及していくと予想される。しかし、産卵を厳密にコントロールすることが困難な種が対象の場合、届けた凍結精子を生産現場で二次保存する必要があることも考えられる。凍結精子の二次保存法についてはこれまでに検討されていないため、ウシ胎児血清で凍結保存したトラフグ精子の家庭用冷蔵庫の冷凍室および冷蔵室での二次保存を試みた。液体窒素容器から冷凍室に直接入れた場合、9時間以上経過すると活性はあっても孵化仔魚をほとんど得られなかった。一方、解凍してから冷蔵室に入れた場合、3日経過した精子でも解凍直後と同等の孵化率を得られた。

水産技術, 7 (2), 85-88, 2015

<p>サケの耳石温度標識パターンを増やすための標識時間の短縮</p> <p>宮内康行・江田幸玄・平間美信・岡本康孝・大貫 努</p> <p>耳石温度標識はサケの起源を識別するのに有効な方法である。耳石にふ化する前に急激な水温変化（3-4℃）を与えると標識リングが形成される。従来、標識リングを形成するには最短で24時間（冷却と通常水温管理が12時間ずつ）が必要であり、標識可能期間も2週間以内であることから、利用可能な標識パターン数は限られていた。そこで、標識パターンを増やすため、標識に必要な時間の短縮を試みた。その結果、12時間程度（冷却が3時間、通常水温管理が8時間以上）で識別可能な標識リングを作ることができた。この方法により、標識可能期間が短い高水温のふ化場でも標識パターンの増加が可能と考えられた。</p> <p>水産技術, 7 (2), 89-95, 2015</p>	<p>硝酸塩センサーを用いたノリ漁場栄養塩テレメトリーシステムの開発</p> <p>高木秀蔵・清水泰子・阿保勝之・柏 俊行</p> <p>ノリの色落ち被害の軽減を目的として、硝酸塩 (NO₃-N) センサーとデータ転送装置を組み合わせたDINのテレメトリー技術の開発を試みた。2010年、2011年、2012年の3ヵ年のノリ漁期において、DIN濃度と硝酸塩センサー値の間に有意な相関がみられた ($p<0.01$)。取得したデータを、電話回線を通じてパソコンに転送することにも成功し、これらのシステムで得られたデータは、メールまたはFAXで現場漁業者に提供した。</p> <p>水産技術, 7 (2), 97-103, 2015</p>
<p>経年変化から見た夏季三方五湖の水質評価</p> <p>森山 充</p> <p>福井県が26年間モニタリングしてきたCODなどの物理化学的要素と植物プランクトン数のデータから、植物プランクトンの指標としての有用性を示し、三方五湖の水質を評価した。</p> <p>三方湖、水月湖および久々子湖にそれぞれ定点を設け、8月に表層から採水し測定を行った結果、物理化学的要素は三方湖については変動が大きく環境基準値をほとんど上回った。一方、植物プランクトン数の経年変動パターンについては3地点とも類似し、本研究期間内の前期で増加傾向、後期で減少傾向が認められた。</p> <p>2000年の下水道供用開始をピークとして植物プランクトン数は1988年程度と同水準に減少し、アオコ発生も2001年以降確認されていないことから、三方五湖の水質は浄化に向かっていると考えられた。</p> <p>水産技術, 7 (2), 105-111, 2015</p>	<p>2001年から2003年の有明海奥部および中部海域で採集されたマクロベントスー出現種および主要種の分布ー</p> <p>奥石裕一・清本節夫・西 潔・小菅丈治・田中徳子・陶山典子・鈴木健吾</p> <p>有明海奥部および中部海域において3年間に5回実施された採泥調査により635種のマクロベントスが確認された。分類群別の出現個体数は多毛類、ヨコエビ類、二枚貝の順に多く、これら3分類群が調査回次毎の出現個体数の72~87%を占めた。調査回次毎の生息密度を合計した累積値による分類群別の上位3種は、多毛類が <i>Heteromastus</i> sp.1, モロテゴカイ, <i>Sigambra</i> sp.1, ヨコエビ類が <i>Corophium</i> sp.1, タイリクドロクダムシ, クダオソコエビ, 二枚貝がアサリ, シズクガイ, ホトトギスガイであり、上位種は年毎に入れ替わった。全出現種のリストと3分類群主要種の分布図を示した。</p> <p>水産技術, 7 (2), 113-138, 2015</p>

水産技術投稿要領

- 第1条 水産技術への投稿は、本要領に定めるところによる。
- 第2条 論文等は原著で、未発表かつ他に発表を予定していないものに限る。
- 第3条 論文等は原著論文、短報、総説、技術小史・技術論、技術報告及び資料を基本とし、編集委員会において審査されたものを掲載する。
- 第4条 投稿者は、別記の水産技術投稿原稿の書き方及び投稿の方法及び投稿前チェックリストに従って投稿する。
- 2 投稿者は、水産技術投稿用紙及び投稿原稿の電子ファイル一式を水産技術企画・編集委員会事務局（以下「事務局」という）宛 fish_tech@ml.affrc.go.jp にメールにて提出する。
- 通信容量に制限等がある場合は、電子記録媒体（CD-R）での郵送も可能とする。
- 第5条 写真及び図は、原則としてモノクロームとする。投稿者の希望により、水産技術企画・編集委員長が認めた場合には、カラー印刷も可能とする。
- 第6条 印刷の際の初校は著者が行う。その際には、原則として文章又は図表の変更や追加は禁止する。
- 第7条 投稿者が、別刷を希望する場合は、投稿者の実費負担にて印刷する。
- 第8条 本誌掲載文の著作権は、独立行政法人水産総合研究センターに帰属する。

水産技術投稿原稿の書き方及び投稿の方法

1. 原 稿

用紙は、A4 判白紙とし、縦長に置き、上下左右に各々 2cm 以上の十分な余白を設け、35 字×25 行の十分に行間を取った横書き形式で、文字の大きさは 12 ポイント、字体は特に指定する以外は明朝体（MS 明朝等削除）で作成する。ただし、英数字は Times New Roman とする。本文、和文・英文要旨、文献には行番号を付し、全てのページの下中央にページ番号を付すこと。なお、提出方法は「14. 原稿の提出方法」に従う。

2. 論文等の種別

掲載する論文は、原著論文、短報、総説、技術小史・技術論、技術報告及び資料とする。また、論文の他に技術情報を掲載する。

原著論文とは、水産に関するオリジナルな技術開発（新しい手法や装置の開発、既存の手法や装置の改良など）についての論文とする。

短報とは、原著論文としてはまとまらないが、手法や装置の開発、改良などの過程で得られた成果で、新規性が認められ、いち早く報告する必要があるものとする。

総説とは、特定の技術開発分野に関する主要かつ、文献内容の総覧とし、その記述は、単なる事実等の羅列でなく、特定の視点に基づく体系的なまとまりを持つものとする。

技術小史・技術論とは、対象とする分野や水産生物等の利用に関するこれまでの技術開発の歴史を基に、技術開発の経緯及び技術開発内容について取りまとめたものを技術小史とし、対象とする分野や水産生物等の利用に関する技術についての考え方等を取りまとめたものを技術論とする。

技術報告とは、水産に関する国内外の新しい技術開発の紹介、技術的見地からの評価など、技術開発を促進し、普及・利用を図るための情報として価値があるものとする。

資料とは、水産の技術に関連した実験・調査・装置の試作などの経過や結果のデータなど、技術開発を進める上で記録に残すべき価値のあるものとする。

技術情報とは、技術開発プロジェクトの紹介、技術開発の動向、知財及び開発機器等を公表するものとし、事務局から執筆依頼する記事とする。

3. 原稿の構成

投稿原稿は、表題、著者名、英文表題、英文著者名、英文要旨、所属、所在地、本文、文献、表、図・写真、和文要旨の順に綴る。

4. 表 題

表題は、論文内容を適切に表現する簡潔な文とする。和文表題での生物名は原則として標準和名のみとし、学名は併記しない。英文表題での生物名は、英名に続けて必要に応じて学名を斜体（イタリック体）で記載する。標準和名がない場合は、慣用名を使用することができるが、企画・編集委員会が使用の是非を最終判断する。

なお、表題は「〇〇の研究 1」のような番号付きの表題や、続編を想起させるような副題付き表題は認めない。

5. ランニングタイトルとキーワード

ランニングタイトル（誌面上部欄外に載せる表題を簡潔にしたもの）として、和文原稿では 20 字以内、英文原稿では語間空白を含めて 50 字以内で記載する。また、報文の内容に関連の深いキーワード（英語）3～8 語を選び、重要と思われる順に英文要旨の下に記載する。使用する書体は、和文は明朝体、英数字は Times New Roman とする。

6. 著者名

英文著者名はローマ字で記載し、名（first name）、姓（family name）の順とする。名（first name）は、頭文字をキャピタル（大文字）、2 文字目以降を小文字とし、姓（family name）はキャピタル（大文字）で記載する。

連名の場合、和文著者名では中点「・」で、英文著者名では、「,」と「and」で連ねる。姓名合せて 3 文字以下の場合、姓と名の間に 1 文字スペースを空ける（皇族は除く）。

（例）

サクラマスの子石バーコード標識パターン数を増やすための低水温飼育と昇温刺激を併用した
標識方法

坂本 準^{*1}・桑木基靖^{*1}・江場岳史^{*2}

A Newly Thermal Induced Otolith Marking Method Applied to Masu Salmon Using Cool Rearing Water
and an Abrupt Rise in Temperature to Increase the Number of Marks Pattern

Jun SAKAMOTO, Motoyasu KUWAKI and Takeshi EBA

7. 所属及び所在地

和文著者名の右肩にアスタリスク「*」（ただし、共著者のある場合には *1, *2, …）を付けて記載し、表紙頁の下段に脚注として記載する（*1, *2 はすべて半角 Times New Roman で上付きとする）。

第一著者は所属する機関名（必要に応じて庁舎、支所名等を記載できる）

とその住所を和文と英文で記載し、電子メールアドレスを付す。第二著者以下については、所属機関名を和文で記載する。現在無所属の著者は、論文に用いたデータを取得した時点の所属または元の所属を記載する。

技術士（水産）等の記載の必要な場合は、著者名に上付きアルファベット小文字を付けて対応させる。なお、所属機関名は和文、英文ともにここでは略記しない。

（例）

^{*1} 独立行政法人水産総合研究センター瀬戸内海区水産研究所

〒 739-0452 広島県廿日市市丸石 2-17-5

National Research Institute of Fisheries and Environment of Inland Sea, Fisheries Research Agency,

2-17-5 Maruishi, Hatsukaichi, Hiroshima 739-0452, Japan

taro3@affrc.go.jp.

*2 元・独立行政法人水産総合研究センター西海区水産研究所奄美庁舎

8. 要 旨

要旨は和文と英文を併載する。

和文要旨は表題，著者名を除いて 300 字以内とする。

英文要旨は表題，著者名を除いて 200 語以内とする。

ただし，著者が英文要旨作成を編集事務局に依頼する場合は，事務局が和文要旨に基づきこれを作成する。

9. 本文の構成

原著論文の場合，本文の記載は，原則として，**まえがき**，**材料と方法**（内容によっては**技術（装置）の概要等**），**結果**，**考察**，**謝辞**，**文献**の順序とする。

なお，技術開発の内容に応じて，適宜必要な項目を設けて差し支えない。

見出しは単独行，左寄せで，ゴシック体・並字で記載する。ただし，「**まえがき**」の見出しはつけない。**材料と方法**や**結果**の項等の小見出しはゴシック体・並字で番号は付けず本文は追い込みとする。原著論文以外の論文等は，必ずしも項目に細分しなくてもよいが，書き方の基本は原著論文に倣う。

さらに細分化した見出しが必要な場合には，番号を，1., 2., …, (1), (2), …, 1), 2), …の順に使用して区分する。A, B や I, II は用いない。

編集委員長が必要と認める場合を除き，原則として本文を箇条書きにしない。

（例）

装置の概要（ゴシック体）

構成（ゴシック体）□本装置は電源部，検知部及び記録部から構成され…

1.（全角のピリオド）電源部（ゴシック体）□電源部は…

1)（全角の閉じ括弧）変圧・整流装置（ゴシック体）□200V の交流電圧を安定的に得るため…

注：□はスペースを示す

10. 文 献

1) 引用した文献は本文の関連箇所に次のように引用する。

例 引用文献の著者が 1 名または 2 名の場合

「田中（1985）」または「(田中 1985)」

「鈴木・田中（1980）」または「(鈴木・田中 1980)」

「Allendorf and Retman (1985)」または「(Allendorf and Retman 1985)」

著者が 3 名以上の場合，筆頭著者の姓に「ら」または「*et al.*」を付ける。

「吉村ら（1992）」または「(吉村ら 1992)」

「Miyajima *et al.* (1999)」または「(Miyajima *et al.* 1999)」

2 論文以上の引用の場合, 「,」で連記する。

(小林・石川 1964, 真山ら 1983, Hasegawa and Takahashi 2013)

報告書等で地方自治体等の記述で著者が明示されていない場合

「神奈川県 (2000)」または「(神奈川県 2000)」

- 2) 外国語の文献を引用する場合は, 著者名は姓と名の先頭文字のみキャピタルで 2 文字目以降は小文字で記載する。
- 3) 文献のリストは, 本文の末尾文献の項に姓のアルファベット順に記載する。同一の筆頭著者による論文が複数ある場合は, 1 名, 2 名, 3 名以上の著者の順に配列する。2 名の著者の場合は, 第 2 著者をアルファベット順に配列した後, それらをさらに年代順に配列する。3 名以上の著者の場合は, 年代順に配列する。
- 4) 雑誌に掲載された論文を引用する場合は, 以下の例に示すように, 著者名, 年, 表題, 雑誌名, 巻, ページの順に記載する。雑誌名は, 慣用法に従って略記する。巻数はゴシック体太字で記載する。欧文雑誌から引用する場合, 雑誌名は斜体 (イタリック体) で記載する。雑誌名略記法は慣用法に従う。
- 5) 単行本から引用する場合は, 著者名, 年, 書名, 出版所, 出版地, ページの順に記載する。
- 6) 文献リストでは, 著者が 3 名以上の場合でも著者名は全て記載する。また, 同一著者や同一題名が続く場合にも「-」のように省略しない。
- 7) 事業報告書等で, 著者名が明示されていない文献から引用する場合には, 報告県名 (機関名), 年, 報告書, ページの順に記載する。
- 8) ホームページの引用については, 著者名が明示されていない文献から引用する場合には, 機関名, 年, (誌名), (巻又は号), 機関所在地, ホームページの URL, アクセス年月日の順に記載する。

(例)

• 雑誌の場合

吉村研治・宮本義次・中村俊政 (1992) (←和文の場合かっこは全角) 濃縮淡水クロレラ給餌によるワムシの高密度大量培養. 栽培技研, **21**, 1-6.

Miyajima, T., Y. Hamanaka, and K. Toyota (1999) (←英文の場合括弧は半角) A marking method for kuruma prawn *Penaeus japonica* s. *Fish. Sci.*, **65**, 31-43.

• 単行本 (引用箇所が 1 箇所の場合)

田中昌一 (1985) 水産資源学総論. 恒星社厚生閣, 東京, p. 181-183.

Gulland, J. A. (1983) Fish stock assessment. Wiley, New York, 83 p.

• 単行本 (同一の本から複数箇所を引用している場合)

田中義麿・田中 潔 (1980) 科学論文の書き方. 裳華房, 東京, 365 p.

Cochran W. G. (1977) Sampling techniques. Wiley, New York, 428 p.

• 単行本 (複数の論文を集めた本の中の 1 編を引用する場合)

廣瀬慶二 (1992) 最近の成熟・産卵制御法. 「海産魚の産卵・成熟リズム」(廣瀬慶二編),

恒星社厚生閣，東京，p. 125 - 137.

Allendorf, F. W., and N. Ryman (1987) Genetic management of hatchery stocks. in "Population genetics & fishery management" (ed. by N. Ryman, and F. Utter), Univ. of Washington Press, Seattle, p. 41-160.

• ホームページ

水産総合研究センター（2014）大型クラゲの出現状況（国際フェリー調査結果等）について－第1報－. <http://www.fra.affrc.go.jp/kurage/h26/260703/index.htm>, 平成26年5月20日（閲覧日）.

*事業報告書（著者が明示されていないもの）

茨城県（1992）平成2年度放流技術開発報告書，太平洋ヒラメ班. 茨21-茨63.

海洋水産資源開発センター（1992）平成2年度沖合漁場総合整備開発基礎調査，日本海大和推海域（本文編），216 p.

*私信，未発表（投稿中を含む）や学会講演，シンポジウム要旨，修士論文などは文献の項には記載しない。必要なら本文中の引用箇所に「（ ）」内で記載することとし，脚注による説明文は記載しない。

11. 表，図・写真

- 1) 表，図及び写真は，挿入箇所を本文原稿中の右の余白欄に赤字で指定する。
- 2) 表，図及び写真の原稿の大きさは，A4版を越えないことを原則とする。刷り上がりの時の大きさは，表，図，写真の下に横幅が16cm又は8cmで指定し，カラー指定の有無を必ず明記する。
- 3) 表，図，写真には番号と和文の説明文をつける。
- 4) 表の番号及びタイトルは，「表 1. タイトル」として表の原稿の上部に，表の説明文は表の下に記入する。図，写真の番号及び説明文は，「図 1. タイトル」，「写真 1. タイトル」として原稿の下部に記入する。表，図，写真の説明文の最終文字の後には句点やピリオドなどは付さない。
- 5) 図表のタイトル及び表の書体は，「図」，「表」，「写真」はゴシック体並字。「図」，「表」，「写真の番号（半角）」はTimes New Roman 体並字。「ピリオド（全角）」はゴシック体並字とし（下記例のアンダーライン部分），以降の和文は全角明朝体・並字，英数字記号はTimes New Roman とする。

（例）

図 1. 実験装置のレイアウト

表 2. 供試魚の栄養成分

写真 3. 稚魚再捕ネット

注：ピリオドと続く表題の間にスペースは入れない

- 6) 表の罫線は，最上部を二重横線とし，必要最小限の横実線だけで作成することを原則とし，可能な限り縦線や点線は使用しない。
- 7) 刷り上がりを意識して可能な限り明瞭且つ鮮明な資料を作成，使用する。論文に関係のない

不要な文字、記号及び線等は削除すること。

12. 脚 注

本文中の脚注は、編集委員長が認める場合を除き、原則として記載しない。

13. 文 字

- 1) 字体指定は、印刷イメージで斜体（イタリック体）、ゴシック体、上付き等になるように本文中に表現する
斜体（イタリック体）：*a b c d*,
ゴシック体：**a b c d**,
上付き：山田¹⁾
下付き： O_2
- 2) 数式の上付き、下付きの記号、及びギリシャ文字は明瞭に指定する。
- 3) 日本語は、全角を使用し、英数字、小数点及び斜線は、半角を使用する。本文、和文要旨、英文要旨、及び図表に全角特殊記号（÷, 凸, ∴, ♀, ℃, \, ☆, ◎, △, →, ※, ℓ など）を使用しない。
- 4) 改行マークは、文章の段落の区切りのみに使用する。
- 5) スペースキー（空白文字）は、文の1行目の字下げや、英単語などの区切りにだけ使用し、文献リストの2行目以降の字下げなどには使用しない。

14. 用語等

- 1) 生物名は、標準和名をカタカナで書く。学名を入れる場合には本文中の初出の箇所に記載し、斜体（イタリック体）で記載する。原則として命名者名を省略する。
- 2) 化学名は慣例に従って漢字若しくはカタカナで記載し、原語を用いる必要がある時は小文字で書く。
- 3) 遺伝子座の命名は、Gene Nomenclature for Protein-coding Loci (JB Dhaklee *et al.* *Trans. Am. Fish. Soc.* 1990; 119: 2-5) に準拠すること。
- 4) 酵素名は、本文中の必要な箇所に酵素番号及び系統名あるいは常用名を記述する。酵素番号及び系統名は、国際生化学連合 (International Union of Biochemistry and Molecular Biology, IUBMB) の酵素委員会 (Enzyme Commission) によって分類された “Enzyme nomenclature 1992” (Academic Press) に準拠する。ATPase のように基質が省略されている場合を除いて酵素の名前を省略しない。
- 5) 新規の核酸塩基配列及びアミノ酸配列データは、GenBank, EMBL あるいは DDBJ のいずれかのデータベースに登録すること。本文中に accession number を表記する際には、報文の場合は試料及び方法の最後に、短報の場合は本文の最後に表記すること。論文審査時に accession number が得られない場合は、その配列データファイルを電子メディア等に収めて提出することを要求する場合がある。また、既に公表されている accession number を記載する

場合には、適切な文献を引用すること。投稿直前と受理時に配列データの検索や比較結果を、最新のデータベースで再確認することが望まれる。

- 6) 物理量の名称や量記号等は、できるだけ国際純正・応用化学連合 (International Union of Pure and Applied Chemistry, IUPAC) の勧告に従う。物理量の記号は斜体 (イタリック体) で記載する。添字はそれ自身が物理量を表すときは斜体 (イタリック体) とし、そうでない場合には立形で記載する。
- 7) 単位の記載においては、国際単位系 (SI) を尊重する日本水産学会誌に準じる。略記するものについては複数でも s を付けない。なお、水量単位は「 μL 」, 「 mL 」, 「 L 」, 「 m^3 」を使用し, 「 kL 」は使用しない。
- 8) x , y , n (個体数など) などの変数, α , β などのパラメータ, p , r , U -test, t -test などの統計量は斜体 (イタリック体) 指定とする。なお数学で一般的に用いられる演算子 (∇ : ナブラ等) は数式の理解を混乱させるため変数として使用しない。

化学関係の記号は次のように字体を区別する。

斜体 (イタリック体) とするもの: o -, m -, p -, N -, O -, S -, n -, d -, l -, prim- , sec- , tert- , cis- , trans-

立体 (フォントは Times New Roman 体) とするもの: pH , Rf , Cl^- , bis- , iso- , homo-

- 9) 図、表など引用に伴う著作権に関係した紛争は、全て著者 (引用者) の責任となるので、他から図や表を引用する際には原著者及び版權所有者の了解を得ておくこと。

15. 原稿の提出方法

- 1) 提出する原稿は、電子ファイルでメールにて提出することを原則とする。編集委員長が必要と認めた場合は、印刷原稿の提出を求めることがある。
- 2) 電子ファイル原稿は、Windows あるいは Macintosh の MS Office シリーズで作成して提出すること。
- 3) 編集委員長が写真などの画像の提出を別途求めた際には、300dpi 以上の TIFF か EPS ファイルとすること。JPEG も可能とするが、破壊的圧縮方法であるため提出時に画像が乱れる可能性があることに留意する。
- 4) 電子ファイル原稿を電子メールに添付し送付する際のファイル名は、著者名を明記の上、原稿の区分を明記すること。

例: 水産太郎 (原稿) .doc, 水産太郎 (写真) .tif

注: 原稿とは別に画像ファイルの提出を求めた場合

- 5) 編集委員長が郵送での提出を求める場合の電子記録媒体は、CD-R ディスクとする。なお、提出された媒体は返却しない。
- 6) CD-R ディスクは、ISO9660 (Level 1) 形式のフォーマットとする。
- 7) 編集委員長の求めに応じて電子記録媒体を郵送する際には、ラベルに連絡者氏名、原稿の表題、ファイル名及び原稿作成に使用したソフトウェアを明記する。ラベルが使用できない場合は別紙に明記し、電子記録媒体に同封して郵送すること。電子記録媒体の郵送に際しては、

物理的な破損を防ぐために丈夫なケースで保護すること。

16. その他

- 1) その他の記載様式は、水産技術の最新号に記載された「水産技術投稿要領」、「水産技術投稿原稿の書き方及び投稿の方法」及び「投稿前チェックリスト」を参照することとし、不明な点は編集事務局へ問い合わせる。
- 2) 原稿受理（掲載可）は、水産技術企画・編集委員会において審議、決定される。編集委員による査読終了は原稿受理ではない。著者は、事務局からの原稿受理の連絡があり次第、印刷用の最終原稿を提出する。

投稿前チェックリスト

1. フォーマットについて

<input type="checkbox"/>	1-1 用紙サイズ：	A4 縦長
<input type="checkbox"/>	1-2 余白：	上下左右各 2cm 以上
<input type="checkbox"/>	1-3 文字：	横書き 35 字× 25 行／頁
<input type="checkbox"/>	1-4 文字サイズ：	12 ポイント
<input type="checkbox"/>	1-5 使用フォント：	基本的に日本語は明朝体（MS 明朝等）、英語数字は Times New Roman 体、見出し及び小見出しは MS ゴシック体・並字とする。
<input type="checkbox"/>	1-6 ページ番号：	ページ下中央（全ページ）
<input type="checkbox"/>	1-7 行番号：	本文の左側に 1～25 を付す。
<input type="checkbox"/>	1-8 論文作成ソフトウェア：	マイクロソフトオフィス（Microsoft Office）を使用する。
<input type="checkbox"/>	1-9 構成：	1 ページ目は表紙、2 ページ目は英文要旨、4 ページ目以降に本文を記載し、本文終了後、謝辞、文献リスト和文要旨を記載する。続いて、図表、写真を記載する。

2. 表紙

<input type="checkbox"/>	2-1 表紙ページ：	タイトル、著者名、所属、英文タイトル、英文著者名、英文所属および所在地
<input type="checkbox"/>	2-2 タイトル（表題、和文）：	タイトルは研究の目的や内容を端的に表現したものであること。フォントは明朝体で並字、サイズは 12pt。
<input type="checkbox"/>	2-3 タイトル（表題、英文）：	タイトルは和文表題と内容がかけ離れないよう注意する。フォントは Times New Roman 体で並字、サイズは 12pt。
<input type="checkbox"/>	2-4 著者名：	英文著者名はローマ字で記載し、名（first name）、姓（family name）の順とする。名（first name）は、頭文字をキャピタル（大文字）、2 文字目以降を小文字とし、姓（family name）はキャピタル（大文字）で記載する。連名の場合、和文著者名では中点「・」で、英文著者名では、「, 」と「and」で連ねる。
<input type="checkbox"/>	2-4-a 著者名の変更：	著者名および著者の順番は原則として変更しない。変更する場合は、正当な理由と著者全員の同意書を書面で編集委員長宛に提出すること。
<input type="checkbox"/>	2-5 所属および所在地：	第一著者の正式な所属機関名を和文および英文で脚注に記載すること。所在地については「市区町村名」、「都道府県名と郵便番号」を記載する。「〒」マークは特殊記号を用いる。続けて、共著者の所属機関名のみを記載する。所属機関名は略記しない。
<input type="checkbox"/>	2-6 第一著者以外の所属：	共著者の所属が異なる場合は、各著者名に上付きアスタリスク（*）と数字を付けて対応させる（和文のみ）。さらに、現所属あるいは水産技術士等の記載の必要な場合は、著者名に上付きアルファベット小文字を付けて対応させる。

3. 本文、図表、引用文献

<input type="checkbox"/>	5-1 記載内容（見出し）：	まえがき、試料および方法、結果、考察、引用文献、図説明、謝辞（各見出しは左行端にゴシック体並字で記載する。ただし、まえがきの見出しは付けない。）見出しの前後1行は空き行。小見出しの直前1行を空き行とし、本文は追い込みとする。箇条書きは禁止。
<input type="checkbox"/>	5-2 記載内容（短報）：	本文（見出しなし）、謝辞、引用文献、図説明。
<input type="checkbox"/>	5-3 図および表：	図表は、一点ずつ別ページにして作成する。
<input type="checkbox"/>	5-4 図表の説明：	図表および図表の説明は日本語で記載する。本文中には「図 1.」、や「表 1.」とゴシック体並字（数字は Times New Roman 体）、ピリオドはゴシック体・並字で記載する。続く表題は明朝体で記載する。
<input type="checkbox"/>	5-5 図表挿入箇所の指定：	図表ともに挿入位置を本文原稿の右の欄外に赤で指定する。
<input type="checkbox"/>	5-6 罫線：	表の罫線は最小限に留め、縦の罫線は用いない。表最上部の罫線は二重線とする。表の上部に簡潔な表題を付け、末尾にはピリオドを付さない。表に説明が必要な場合は、表の下部に 10pt の文字の大きさと記載する。
<input type="checkbox"/>	5-7 図表の大きさ、カラー指定の有無：	刷り上がりの図の大きさは横幅が 8cm（片段）または 16cm（両段）となるので、いずれも指定する。図中文字の刷り上がりの大きさは最小でも 2mm 程度になるように考慮すること。写真はコントラストのはっきりとしたものを使用する。カラー指定の有無を記載すること。刷り上がりを意識して図表の大きさを考慮する。
<input type="checkbox"/>	5-8 本文中への著者名表記：	著者が複数で、2 名の場合は姓を連記し「鈴木・佐藤もしくは Suzuki and Sato」、3 名以上の場合は第一著者の姓に「ら」または「 <i>et al.</i> 」を付して記載する。著者名と年号の間には、英文は半角スペースを入れ、和文はスペースを入れないこととする。
<input type="checkbox"/>	5-9 投稿中の論文：	投稿中の論文は引用しない。
<input type="checkbox"/>	5-10 未発表扱い資料：	修士論文、学会講演要旨集は論文未発表のものとして引用文献とせず、文中に（未発表）として記載する。
<input type="checkbox"/>	5-11 インターネットからの引用：	インターネット上で公開されているデータベース等の電子データも引用文献とし、引用文献リストに URL と引用年月日を記載する。
<input type="checkbox"/>	5-12 機関名の略記（本文中で必要な場合）：	日本水産学会ホームページ内の「日本水産学会が用いる機関名の略記」（ http://www.miyagi.kopas.co.jp/JSFS/PUBS/KITEL/kanan_new.html ）を参照のこと。

4. 和文要旨

<input type="checkbox"/>	3-1 使用フォント：	明朝体を用い、12pt で作成する。
	3-2 語数：	300 字以内で記載。

5. 英文要旨

<input type="checkbox"/>	4-1 使用フォント：	Times New Roman を用い、12pt で作成する。
<input type="checkbox"/>	4-2 語数：	英単語 200 単語以内で記載。

6. 引用文献リスト

<input type="checkbox"/>	6-1 論文：	著者（西暦年）タイトル、雑誌名、巻、掲載ページ、短報においても論文同様のスタイルで記載する。巻を示す数字は半角・ゴシック体・太字で記す。
<input type="checkbox"/>	6-2 単行書：	著者（西暦年）書籍名、出版社、出版地。（英文書籍名は斜体で記載する）引用ページ（p もしくは pp を付す）。
<input type="checkbox"/>	6-3 報告書：	著者（西暦年）タイトル、書名、出版社、出版地、引用ページ（p もしくは pp を付す）。
<input type="checkbox"/>	6-4 学位論文：	著者、（西暦年）論文名、博士論文、学位授与機構（大学）名、所在地。
<input type="checkbox"/>	6-5 英著者名：	英文の引用文献の著者名は姓のあとにイニシャルを付けるが、姓のあとのカンマやイニシャルの省略形ピリオド、および連名の「and」は省略する。
<input type="checkbox"/>	6-6 日本語、英語以外の文献：	英語以外の外国語で書かれた文献については、英訳された題名をつける。文献に英訳が無い場合、著者が英語へ翻訳する。そして、(in Russian), (in Greek) の要領でオリジナルの言語が分かるように記載する。なお、英文要旨がある場合は、(in Greek with English abstract) のように記載する。
<input type="checkbox"/>	6-7 雑誌の省略名：	外国語雑誌名は、Chemical Abstracts Service (CAS) および BIOSIS Serial Sources に準拠して略記法するものとし、斜体で記載する。省略名を持たない和文雑誌は雑誌名を略さない。
<input type="checkbox"/>	6-8 特許：	発明者、発明の名称、公開特許公報または特許公報の番号、年。 *引用には特許出願公開番号（特開）または特許番号（特許）を取得したもののみ可能とする。出願番号（特願）は引用文献とはしない。
<input type="checkbox"/>	6-9 その他：	文献リストの2行目は、行頭を和文2全角スペース、英文3半角スペースを落として、1行目に続ける。

7. 用語等

<input type="checkbox"/>	7-1 用語の原則：	原則として「学術用語集（動物学編、植物学編、化学編、農学編など）」（文部省）および「英和・和英水産学用語辞典」（日本水産学会編、恒星社厚生閣、2001）に準拠する。
<input type="checkbox"/>	7-2 単位の原則：	単位の記載においては、国際単位系（SI）を尊重する。単位は原則、半角、Times New Roman 体、立体で記載する。本文中で全角特殊文字（㍉㍈㍇㍈℃☆◎など）を使用しない。例：%、g、cm、L、m/sec.。

<input type="checkbox"/>	7-3 生物名：	生物名は標準和名をカタカナで書き、続けて学名をカンマやカッコを付けずに斜体で入れる。「いわし旋網」、「かつお節」などの場合にはカタカナを用いない。英文要旨中では、生物名の次に学名を入れる。微生物名などはそのまま学名を用いる。原則として命名者を省く。また属名や種名を最初から略記してはならない。本文中で学名の表示を必要以上に重複させることは避ける。図表中の学名は略さない。
<input type="checkbox"/>	7-4 化学名：	化学名は慣例に従って漢字もしくはカタカナで記載し、原語を用いる必要のあるときは小文字で書く。化合物の略語は国際慣用に従い、必要なときは、本文中でその旨を注記する。外国語は原則としてカタカナ書きとする。原語を用いる場合、人名、地名、ドイツ語の名詞、固有の商品名などを除き、小文字で記載する。同一報文中で同一物名について和洋語を混用してはならない。英文中の日本語はローマ字表記で斜体とする。
<input type="checkbox"/>	7-5 パラメータ：	x 、 y 、 n （個体数など）などの変数、 α 、 β などのパラメータ p 、 r 、 U -test、 t -test などの統計量は Times New Roman 体、斜体指定とする。
<input type="checkbox"/>	7-6 記号：	化学関係の記号は Times New Roman 体で斜体と立体を区別する。 斜体とするもの： o -、 m -、 p -、 N -、 O -、 S -、 n -、 d -、 l -、 <i>prim</i> -、 <i>sec</i> -、 <i>tert</i> -、 <i>cis</i> -、 <i>trans</i> -、立体とするもの： pH 、 Rf 、 Cl^- 、 <i>bis</i> -、 <i>iso</i> -、 <i>homo</i> -。
<input type="checkbox"/>	7-7 セ氏記号：	日本語フォントの特殊記号「℃」は使わず、MS ワード上部のツールバーで「挿入」を選択する→「Ω 記号と特殊文字」を選択→「その他の記号」を選択→フォントは「Times New Roman」を選択→「° (Unicode：00 B 0)」を選択「挿入」をクリック、「°」と、半角大文字の「C」と隣合わせて「℃」とする。

8. その他

<input type="checkbox"/>	他から図や表を引用する際には、あらかじめ原著者および著作権所有者の了解を得ておく。
--------------------------	---

水産技術（第7巻第2号）

編集協力者

横山佐一郎（鹿児島大学）

上田 幸男（徳島県農林水産技術センター）

片山 知史（東北大学）

杉本 亮（福井県立大学）

阿保 勝之（水産総合研究センター）

黒川 優子（兵庫県水産技術センター）

吉川 尚（東海大学）

佐藤 純（水産総合研究センター）

石田 典子（水産総合研究センター）

有瀧 真人（福山大学）

黒倉 寿（東京大学）

田中 庸介（水産総合研究センター）

樽谷 賢二（水産総合研究センター）

武田 重信（長崎大学）

徳永 貴久（水産総合研究センター）

水産技術 第7巻第2号

平成27年3月20日印刷

平成27年3月20日発行

監修者 公益社団法人日本水産学会

編集者 福田 雅明

発行者 独立行政法人水産総合研究センター

〒220-6115 神奈川県横浜市西区

みなとみらい2-3-3 クイーンズタワーB 15階

電話 045(227)2600（代表）

印刷者 日昇印刷株式会社

〒104-0043 東京都中央区湊1-14-14

電話 03(3553)3161（代）

水産技術 第7巻 第2号 2015年3月

原著論文

- 静岡県内浦湾沿岸におけるアオリイカの遊漁実態と釣獲量の推定
.....中村永介・岡本一利・今吉清文・海野高治 59-68
- ブリ幼魚用飼料における魚油精製副産物の利用.....古板博文・杉田 毅・山本剛史・風 直樹・山本浩志 69-74
- 大型水槽を用いたコウライアカシタビラメの種苗生産試験.....草加耕司・岩本俊樹・弘奥正憲 75-83

短 報

- トラフグ凍結精子の家庭用冷蔵庫での二次保存
.....細谷 将・水野直樹・城 夕香・藤田真志・鈴木 譲・菊池 潔 85-88

技術報告

- サケの耳石温度標識パターンを増やすための標識時間の短縮
.....宮内康行・江田幸玄・平間美信・岡本康孝・大貫 努 89-95
- 硝酸塩センサーを用いたノリ漁場栄養塩テレメトリーシステムの開発
.....高木秀蔵・清水泰子・阿保勝之・柏 俊行 97-103

資 料

- 経年変化から見た夏季三方五湖の水質評価.....森山 充 105-111
- 2001年から2003年の有明海奥部および中部海域で採集されたマクロベントス -出現種および主要種の分布-
.....興石裕一・清本節夫・西 潔・小菅丈治・田中徳子・陶山典子・鈴木健吾 113-138