

海生生物の水質環境耐性について：総説

下茂 繁・秋本 泰・高浜 洋

Review of the Water Quality Effects on Marine Organisms

Shigeru Shimo*¹, Yutaka Akimoto*² and Hiroshi Takahama*²

要約：海生生物への温度影響との複合的な関係が指摘されている水質環境要因（溶存酸素、硫化水素、栄養塩類、塩分など）に関する文献資料を収集し、火力および原子力発電所からの温排水と気化ガス供給基地からの冷排水による海生生物への影響評価などに係る環境アセスメントの研究に寄与する基礎情報について整理した。

概要は以下のとおりであった。

1. 本邦沿岸海域に生息する魚類25種、甲殻類4種、軟体類11種、棘皮類4種、多毛類4種、海藻草類11種について、溶存酸素、硫化水素、無機三態窒素（アンモニア態窒素、亜硝酸態窒素、硝酸態窒素）、塩分に対する反応の種別総括表を作成した。
2. 種別総括表は産卵期、孵化期、仔稚魚期、未成魚期、成魚期などの生活史各段階での好適域、最適域、限界域などについて、文献資料から実験・観測値を引用し、列記した。
3. また、溶存酸素、硫化水素、無機三態窒素、塩分の環境要因別に、要因別総括表を作成した。
4. さらに、海生生物の溶存酸素、硫化水素、無機三態窒素、塩分に対する環境要因反応に影響と耐性、生理特性、漁業影響などの生理・生態的現象から捉え、概説した。

キーワード：海生生物、温排水、冷排水、溶存酸素、硫化水素、無機三態窒素、塩分、水温

Abstract : The aim of this study was to compile bibliographic data concerning the effects of water quality on marine organisms inhabiting coastal waters and organize basic information relevant to assessment of effects of thermal effluent from thermal and nuclear power stations and cooled seawater discharges from LNG terminal using seawater to vaporize LNG.

The results were as follows:

1. The compiled bibliography was used to survey the effects of water quality parameter including dissolved oxygen, hydrogen sulfide, inorganic nitrogen (ammonium-N, nitrite-N, nitrate-N) and salinity.
Effects tables were compiled for marine species including 25 fish species, 4 crustacean species, 11 mollusc species, 4 echinoderm species, 4 polychaete species and 11 marine plant species.
2. The effects tables included optimal concentrations and lower and upper concentration limits for survivals during life cycle stages including spawning, hatching, larval, juvenile, adult and other stages for each species in their respective habitats.
3. An effects table was compiled for each water quality factor reviewed.
4. The responses of marine organisms to water quality including effects and tolerance, physiological parameters and effects on fisheries were also reviewed and the characteristics of these effects, responses and adaptive significance were summarized.

Keywords : Marine organisms, Thermal effluent, Cooled seawater, Dissolved oxygen, Hydrogen sulfide, Inorganic nitrogen (ammonium-N, nitrite-N, nitrate-N), Salinity, Water temperature.

(2004年1月9日受付, 2004年3月19日受理)

*1 財団法人 海洋生物環境研究所 事務局 (東京都千代田区神田神保町3-29 帝国書院ビル5F)

*2 財団法人 海洋生物環境研究所 中央研究所 (千葉県夷隅郡御宿町岩和田300)

目 次

目的	5
方法	5
1. 調査項目および範囲	5
1) 調査項目	5
2) 対象種	5
2. 調査方法	5
1) 水質環境要因の特性値情報などの収集	5
(1) 総説などによる特性値情報などの収集および文献情報の収集	5
(2) 文献データベースを用いた文献情報や特性値情報などの収集	5
2) 水質環境要因の特性値情報などの整理方法	6
(1) 海生生物に及ぼす水質環境要因の概要整理	6
(2) 海生生物種別の総括表（生物種別の総括表）作成	6
(3) 水質環境要因別の総括表（要因別の総括表）作成	6
3) 文献の表示方法	6
結果	6
1. 水質環境要因の特性値情報などの収集	6
1) 総説などによる特性値情報などの収集および文献情報の収集	6
2) 文献データベースを用いた文献情報や特性値情報などの収集	6
2. 対象種	7
3. 水質環境要因の特性値情報などの整理	7
1) 海生生物に及ぼす水質環境要因の概要整理	7
2) 生物種別総括表の作成	7
3) 要因別総括表の作成	7
4. 海生生物と溶存酸素に関する概要	8
1) 海水中の溶存酸素量	8
2) 海生生物の酸素消費量	8
(1) 活動力と溶存酸素消費量	8
(2) 生物の種類や体重などと酸素消費量	8
(3) 群れと酸素消費量	9
(4) 水温と酸素消費量	9
(5) 溶存酸素量と酸素消費量	9
(6) 水中炭酸ガス量と酸素消費量	9
(7) 水のpHその他と酸素消費量	9
(8) 溶存酸素量と化学物質の毒性	10
3) 貧酸素水塊の形成機構	10
(1) 大村湾	11
(2) 浦の内湾	11
(3) 大阪湾	11
(4) 渥美湾	11
(5) 東京湾	11
4) 海生生物への貧酸素の影響	12
(1) 海生生物の貧酸素耐性	13
(2) 貧酸素と漁業影響	13

(3) 溶存酸素と硫化水素の複合影響	14
(4) 溶存酸素と塩分の複合影響	15
(5) 溶存酸素と水温の複合影響	15
5) 海生生物への過飽和酸素の影響	15
6) 水産用水基準	15
7) 養殖新法の環境基準	16
8) 環境基準	16
5. 海生生物と硫化水素，無機三態窒素（アンモニア・亜硝酸・硝酸態窒素）に関する概要	16
1) 海水中の硫化水素量など	16
(1) 硫化水素	16
(2) 無機三態窒素	16
2) 水域における底泥の酸素消費	17
3) 水域の底泥における硫化水素などの生成	17
4) 海生動物への硫化水素などの影響と耐性	18
(1) 硫化水素	18
(2) 無機三態窒素（アンモニア・亜硝酸・硝酸態窒素）	18
(3) 有害物質の相互作用	19
(4) 硫化水素などと漁業影響	19
5) 海藻草類への無機三態窒素の影響	19
6) 水産用水基準	20
(1) 硫化水素	20
(2) 全窒素	20
(3) アンモニア態窒素	20
(4) 亜硝酸態窒素	20
(5) 硝酸態窒素	21
7) 養殖新法の環境基準	21
8) 環境基準	21
(1) 全窒素	21
(2) 亜硝酸態および硝酸態窒素	21
6. 海生生物と塩分に関する概要	21
1) 海水中の塩分	21
2) 赤潮生物への塩分の影響	22
3) 海生動物への塩分の影響	22
4) 魚類の浸透圧調節	22
5) 海生動物の塩分耐性	23
(1) 魚類の塩分耐性	23
(2) 底生動物の塩分耐性	23
6) 海藻草類への塩分の影響	23
おわりに	24
参考文献	24
用語の解説	28
水質環境耐性総括表	31
1. 総括表目次	31
1) 要因別総括表目次	31
2) 生物種別総括表目次	31
2. 総括表	32

下茂ら：海生生物の水質環境耐性について

1) 要因別総括表	32
2) 生物種別総括表	58

目 的

火力および原子力発電所の温排水，および天然ガスの気化基地から排出される冷排水に対する海生生物の温度反応に関するデータの蓄積をはかり，環境アセスメントの研究推進に寄与する基礎資料を得るため，“海生生物の温度影響に関する文献調査”海生研研究報告第2号（2000）をまとめた。しかし，温度反応は他の水質環境項目とも密接に関連していることから，さらに温度影響との複合的な関係が指摘されている水質環境要因（溶存酸素，硫化水素，栄養塩類，塩分など）が海生生物に与える影響を明らかにし，発電所取放水影響に関連する情報をとりまとめることを目的とした。

このため，海生生物種別の発育段階別に生存・斃死などに係わる好適域，最適域，限界域などに関する文献情報の整理検討を行い，海生生物と水質環境耐性に関する概要をまとめるとともに生物種別・要因別の総括表を作成した。

方 法

1. 調査項目および範囲

実施した調査項目および範囲は次のとおりであった。

1) 調査項目

海生生物に及ぼす水質環境要因の影響に関して以下の4項目について調査を行った。

- a. 溶存酸素と海生生物
- b. 硫化水素と海生生物
- c. 無機三態窒素（アンモニア態窒素・亜硝酸態窒素・硝酸態窒素）と海生生物
- d. 塩分と海生生物

2) 対象種

本調査で対象とする水質環境項目については，水温とは異なり情報量が少ないことが想定されたため，種類を特定せず国内に生息する海生生物全般にわたり情報収集を行った。

2. 調査方法

1) 水質環境要因の特性値情報などの収集

海生生物に及ぼす水質環境要因の特性値情報などの収集は，以下の方法により行った。

(1) 総説などによる特性値情報などの収集および文献情報の収集

海生生物を対象とした生理・生態的知見を整理した総説などを中心に水質環境要因の特性値情報の収集を行った。また，これらの資料の引用文献などを参照し，追加資料の入手に努めた。

(2) 文献データベースを用いた文献情報や特性値情報などの収集

①検索に使用したデータベースおよび期間

検索対象とするデータベースの種類および検索期間は次のとおりである。

- i) 海生研収書月報（1976～2002年）
- ii) Fishery Index（1963～2002年）

②検索方法

上記データベースについて，以下のキーワードによる検索を行った。データベースの検索によって得られた文献リストの中から本調査の目的に添っていると判断される文献を収集し，特性値情報の収集を行った。また，検索にあたっては対象種は特定しなかった。

- i) 溶存酸素関係キーワード
 - ・溶存酸素 dissolved oxygen
 - ・貧酸素 anoxia
 - ・酸素消費 oxygen consumption
 - ・酸素欠乏 oxygen deficiency
- ii) 硫化水素関係キーワード
 - ・硫化水素 hydrogen sulfide
- iii) 栄養塩（無機三態窒素）関係キーワード
 - ・栄養塩 nutrient
 - ・アンモニア態窒素 ammonium nitrogen
 - ・亜硝酸態窒素 nitrite nitrogen
 - ・硝酸態窒素 nitrate nitrogen
- iv) 塩分関係キーワード
 - ・塩分 salinity

・塩素量 chlorinity

結果

注)：検索キーワードについて

海生研収書月報；日本語，英語キーワード使用
Fishery Index；日本語キーワードのみ使用

2) 水質環境要因の特性値情報などの整理方法

(1) 海生生物に及ぼす水質環境要因の概要整理

海生生物と溶存酸素，硫化水素，無機三態窒素（アンモニア態窒素・亜硝酸態窒素・硝酸態窒素），塩分に関する概要について整理した。

(2) 海生生物種別の総括表（生物種別の総括表）作成

海生生物種別に溶存酸素，硫化水素・アンモニア態窒素など無機三態窒素，塩分，関連水温情報などについて総括表を作成した。

(3) 水質環境要因別の総括表（要因別の総括表）作成

海生生物に及ぼす溶存酸素，溶存酸素と硫化水素，溶存酸素と塩分，アンモニアなど無機三態窒素，塩分，これら要因と水温の水質環境要因別の影響濃度などについて総括表を作成した。

3) 文献の表示方法

- ① 各文献の表示は，著者名，発表年，論文の題名，出典誌名，巻号，頁の順に表示した。
- ② 著者名は，国内文献については共著者も含めフルネームで表示し，著者名の記載されていない場合は機関名で表示した。
国外文献についてはファミリーネームを最初に示し，ファーストネームは頭文字のみとした。
- ③ 論文の題名は略さずに表示した。
- ④ 機関名，出典誌名は慣例に従い略記した。

1. 水質環境要因の特性値情報などの収集

1) 総説などによる特性値情報などの収集および文献情報の収集

以下の総説などを中心に水質環境要因の特性値情報などの収集を行った。また，これらの資料の引用文献などを参照し追加資料の入手に努めた。

文献の検索・収集は主として以下の刊行物によった。

- ①海洋生物環境研究所(1991). 沿岸至近域における海生生物の生態知見 魚類・イカタコ類編，494pp.
- ②海洋生物環境研究所(1991). 沿岸至近域における海生生物の生態知見 貝類・甲殻類・ウニ類編，537pp.
- ③海洋生物環境研究所(1999). 沿岸至近域における海生生物の生態知見 海藻編，256pp.
- ④日本水産資源保護協会(1981). 水生生物生態資料，361pp.
- ⑤日本水産資源保護協会(1983). 水生生物生態資料（続），172pp.
- ⑥日本水産資源保護協会(1981). 水生生物適水温図，63pp.
- ⑦日本水産資源保護協会(1983). 環境条件が魚介類に与える影響に関する主要要因の整理，449pp.
- ⑧日本水産資源保護協会(1985). 水産生物の生活史と生態，252pp.
- ⑨日本水産資源保護協会(1986). 水産生物の生活史と生態（続），224pp.
- ⑩日本水産資源保護協会(1992). 環境が海藻類に及ぼす影響を判断するための「判断基準」と「事例」，63pp.
- ⑪ 全国沿岸漁業振興開発協会(1993). 水産生物の環境条件. 「沿岸漁場整備開発事業施設設計指針 平成4年度版」，pp.323-400.

2) 文献データベースを用いた文献情報や特性値情報などの収集

文献データベースによる検索結果は以下のとおりであった。

	海生研収書月報 (34,208件) 件数	Fishery Index (76,164件) 件数
① 溶存酸素関係キーワード		
溶存酸素	188	101
貧酸素	119	88
酸素消費	231	124
酸素欠乏	11	15
② 硫化水素関係キーワード		
硫化水素	4	21
③ 栄養塩(無機三態窒素)関係キーワード		
栄養塩	399	199
アンモニア態窒素	10	13
亜硝酸態窒素	3	4
硝酸態窒素	16	12
④ 塩分関係キーワード		
塩分	650	323
塩素量	12	37

2. 対象種

情報の得られた海生生物を以下の6つのグループに分けて情報の整理を行った。

① 魚類 (25種)

アオハタ, アユ, イサキ, ウナギ, カサゴ, カワハギ, キジハタ, キュウセン, クラカケトラギス, サケ, シマアジ, シロギス, トラフグ, ネズミゴチ, ハナオコゼ, ヒラメ, ブリ, ボラ, マアジ, マコガレイ, マダイ, ワカサギ, (その他海産硬骨魚類としてイシガキダイ, マダラ, ニシンの情報も整理)

② 甲殻類 (4種)

ウシエビ, ガザミ, クルマエビ, ヨシエビ

③ 軟体類 (11種)

アカガイ, アコヤガイ, アサリ, エゾアワビ, シズクガイ, トリガイ, ハマグリ, ホタテガイ, マガキ, ムラサキイガイ, ヤマトシジミ

④ 棘皮類 (4種)

ウニ類 (アカウニ, バフンウニ, ムラサキウニをウニ類として整理), マナマコ

⑤ 多毛類 (4種)

多毛類 (イトゴカイ *Capitella capitata*, スゴカイイソメ *Diopatra bilobata*, ヨツバネスピオ *Paraprionospio pinnata*, *Polydora*

*cornuta*を多毛類として整理)

⑥ 海藻草類 (11種)

アカモク, アマノリ類 (アサクサノリ, オオバアサクサノリ, スサビノリ, ナラワスサビノリをアマノリ類として整理), オオバモク, ヒジキ, コンブ類 (ナガコンブ, ホソメコンブ, マコンブをコンブ類として整理), ワカメ

3. 水質環境要因の特性値情報などの整理

1) 海生生物に及ぼす水質環境要因の概要整理

海生生物に及ぼす溶存酸素, 硫化水素, 無機三態窒素, 塩分などの環境要因の反応を, 影響と耐性, 生理特性, 漁業影響などの生理・生態的現象から捉え, 概説した。

2) 生物種別総括表の作成

① 種別総括表は, 本邦沿岸海域に生息する魚類25種, 甲殻類4種, 軟体類11種, 棘皮類4種, 多毛類4種, 海藻草類11種の合計59種について作成した。

② 海生生物への水質環境要因の影響について, 溶存酸素, 硫化水素, アンモニア・亜硝酸・硝酸の無機三態窒素, 塩分の各要因別に, 種別総括表を作成した。

③ 種別総括表は, 調査対象種の産卵期, 孵化期, 仔稚魚期, 未成魚期, 成魚期などの生活史各段階での好適域, 最適域, 限界域などについて文献資料 (すなわち当該海域関係) から実験・観測値を引用し, 列記した。

④ 水温情報を軟体類1種, 棘皮類3種, 多毛類1種, 海藻草類1種の合計6種に付記した。

3) 要因別総括表の作成

① 溶存酸素, 無機三態窒素, 塩分の各要因別総括表を作成した。

② 溶存酸素と硫化水素, 溶存酸素と塩分の複合影響総括表を作成した。

③ 溶存酸素, 無機三態窒素, 塩分の各要因と水温との複合影響総括表を作成した。

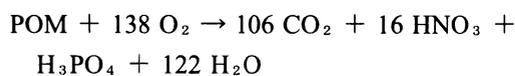
4. 海生生物と溶存酸素に関する概要

1) 海水中の溶存酸素量

大気中の酸素はわずかながら海水に溶ける。その量は温度と塩分の関数であり、角皆(1987)によると、Weiss(1970)は、塩分35‰の海水に0℃で8.05mL/L、20℃で5.17mL/Lの酸素が溶けることになっている。なお、これは海面で1気圧の大気と平衡にある時の値であり、溶解度は圧力にはほぼ比例するから、深所に気泡をいれればもっと溶けることになる。溶存酸素量のmL/L(標準状態における体積)単位を $\mu\text{mol/L}$ (μM)単位に直すには44.6倍すればよく、ppm(mg/L)単位にするには1.43倍すればよい。海水のLあたりでなくkgあたりで表すときは密度で割ればよく、表層水では0.978程度、深層水なら0.974程度を掛ければよい。

0.025mL/L以下を無酸素水塊、0.025mL/L以上と2.5mL/L以下を貧酸素水塊と分離し定義したほうがよいという意見もある。普通は特に区別されない。現場海水の溶存酸素量とその海水の飽和酸素量で割った酸素飽和度を使うこともある(鈴木, 1998)。

海水中の有機物 [POM:(CH₂O)₁₀₆(NH₃)₁₆・H₃PO₄]の分解が好氣的に行われると



溶存酸素138モルの消費に対して、16モル硝酸塩と1モルの燐酸塩が再生される。河口域や海浜ではこの分解が完全には進行せず、一部は溶存有機物やアンモニウムの形で流出する。

海水中の溶存酸素はその海水が示す温度、塩分で1気圧の大気と平衡になった量だけ存在する。大気からのO₂の拡散を無視すると、水深10mの水柱は平衡時、約 $6 \times 10^4 \text{mL/m}^2$ の溶存酸素を保持しており、好氣的分解の式から得られる $\Delta[\text{CO}_2]/\Delta[\text{O}_2]=0.77$ を換算係数として用いると、全ての溶存酸素を消費した場合、生成されたCO₂-Cは約25gC/m²に相当する。水の交換が悪く成層の発達した場所では、一次生産による沈降粒子の分解に伴う酸素消費が溶存量を上まわると無酸素層が出現することになる。酸化還元電位の低下は、堆積物中でより顕著になり、深さとともに硝

酸還元、酸化鉄の還元、硫酸還元、メタン発酵が進行する(和田, 1988)。

2) 海生生物の酸素消費量

笠原(1966)は、魚類の酸素消費量について以下のように解説している。魚類は一般に鰓呼吸を行い、鰓の極めてうすい表皮(鰓弁)をなす毛細血管壁を通して口腔から入れた水から酸素を摂取し、炭酸ガスや排泄物の一部を外界に排出するが、この場合、酸素の摂取は水を構成しているH₂Oの酸素ではなく水中に溶存(混入)している分子状の酸素ガスを摂取し消費する。水中に溶存する酸素の量即ち空気中から水面を通して水に溶入し得る酸素量はその溶入(吸収)係数によって規制されており、自然状態では最も好条件の時でもその飽和量は淡水の場合9~10mL/L、海水の場合5~6mL/Lに過ぎず、空気中のそれ(約21%)の何十分の一というほど少ない。さらにそれは水温上昇や気圧の変化により著しく変化するほか、水中微生物の呼吸や有機物の分解、底質などにより多量に消費されるので、魚類は空気中で生活する陸上動物と異なりその必要とする酸素が不足する危険に常に曝されているといっても過言ではない(笠原, 1966; 板沢, 1991)。

(1) 活動力と溶存酸素消費量

魚類の酸素消費量はその活動状態によって強く影響され変化する。酸素消費量は静止時または安静時の基礎代謝における値(基礎消費量または標準酸素消費量あるいは標準代謝量)、活動興奮時の最大値(最大消費量あるいは活動代謝量)、随意活動時の平常値(平常消費量あるいは平常代謝量)の三つがあり、一般に飢餓状態における休息時の基礎消費量を最低として活動力の大きさに比例して増大する(笠原, 1966; 板沢, 1977)。

(2) 生物の種類や体重などと酸素消費量

概して高等動物は、体構造が複雑であり新陳代謝量も多いため下等動物より呼吸量は多く、小型魚類は大型魚類に比べ体重当たりの酸素消費の多いことが認められているが、魚種によりその酸素消費量はかなり相違がみられる。同一魚種に

おいては体重が大きい程酸素消費量が増大するが、増加する割合は幼魚時に多く成長するに従って少なくなる（笠原、1966）。

酸素消費量の生物種による相違には、実際の運動量のいかに拘らぬ本質的な原因があるとも考えられる。また、性別によっても酸素消費量に差があるとした報告もある（板沢、1977、2001）。

(3) 群れと酸素消費量

魚類では、板沢（1991；2001）によると、かなり多数の個体が群れて生活する 경우가多く、酸素消費量を単位体重当たりあるいは1個体当たりの値で比較すると、群れの場合が少なくなる場合や逆に多くなる場合があり、群効果と呼ばれる。特に、種によっては個体数が多くなると単位体重当たりの酸素消費量が多くなるものは、負の群効果と呼ばれる。群効果は攻撃行動を示すまでに成長したアユ（Umezawaら、1983）などで報告されている。単独個体と群れの間、あるいは多数個体から成る群れと、少数個体から成る群れの間にもみられる差は、個体を基本として群効果と考えるよりも、群れを基本として、単独あるいは少数という本来の生態的条件と異なる条件に置かれたことの影響、すなわち隔離効果と考えるのが自然ではないかと考えている。

(4) 水温と酸素消費量

生物の呼吸量は水温に深い関係があり、魚類ではVan't Hoffの温度と反応速度の法則 $Q_{10}=2\sim 3$ にしたがい、 10°C 上昇で酸素消費量が2～3倍に増加することが知られ、実際、夏季のそれが冬季の約3倍になっており、水温の上昇は水中溶存酸素量を減少させることになるので、水温との関係は養魚上特に注意すべきことである（笠原、1966）。

また、酸素消費量は馴致温度によって異なる（板沢、1977）。

(5) 溶存酸素量と酸素消費量

生物が平常態の呼吸を行うには、ある範囲の溶存酸素量の存在が必要で、例えば多量の藻類の光合成のため一時的に著しい過飽和状態になった場合や、逆に生

物呼吸その他の消費により過少になった場合には、何れも呼吸困難の状態を呈するようになる。

溶存酸素量過多の時は、初めは緩慢に呼吸することで調節するが、その限度を超えると酸素は小気泡となり血管栓塞から神経障害にまで発展し、ついに横転斃死するに至る。しかし実際に多く起こるのは酸素量過少の場合であり、魚類の場合はこの状態に置かれると所謂“鼻上げ”を行なって、口中で空気中の酸素を水に取り込みながら必要な酸素量を得ようと努める。魚の静脈血中の酸素圧は普通その血液の不荷圧値が低いので、水中酸素圧がこの値以下になった場合は水中酸素の移行が不可能となり呼吸作用が営まれなくなるので致死する。例えばウナギの不荷圧が他の魚に比較してかなり低いことは、それが他の魚種より低酸素中に生存できる事実を裏づけるもので、海産魚が酸素量の僅かな減少で死ぬことがあるのは、血液の不荷圧値が比較的高いためである（笠原、1966）。

(6) 水中炭酸ガス量と酸素消費量

酸素消費量は水中の炭酸ガス量にも関係し、ある程度の炭酸ガス量の増大は灌漑水量を増しその結果酸素消費量を増すことが知られている。魚類の血液の解離曲線はRoot効果またはBohr効果として知られ、炭酸ガスの存在に強く影響され、炭酸ガスが増すと荷圧、不荷圧とも著しく高くなるので、比較的高い水中酸素圧においても窒息する可能性のあることが明らかにされている。炭酸ガスに対して非常に敏感な海産魚は考慮すべき問題であるが、ウナギやその他の淡水魚のように一般に高い炭酸ガス圧の環境に住む魚類は、炭酸ガスに敏感でなく、その変化のために酸素消費量が特に変わることはない（笠原、1966）。

(7) 水の pH その他と酸素消費量

一般に水中のpHの高低に従って魚の酸素消費量は増減するといわれているが、異説も多くあり明らかでない。塩分の変化、換言すれば浸透圧の変化が魚の呼吸や酸素消費量に与える影響についても、

一時的に生ずる変化を除けば先ず余り関係ないとみられている。しかし、海産魚がその生活し得る限度近くまで塩分が低下した場合には、それらの呼吸運動や酸素消費量は明らかに減退することが認められている。その他、薬品の水中における有害作用のため魚の代謝が減退する場合は、酸素消費量も減少する結果となり、さらに水中懸濁物のため鰓の洗滌運動が行われる場合にも、平常呼吸と異なる酸素消費を示すことが知られている（笠原、1966）。

(8) 溶存酸素量と化学物質の毒性

溶存酸素量が減少すると魚の呼吸速度が増大したり、代謝機能が変化したりするため、有害物質に対する感受性も変化すると推定できる。魚種、水温および化学物質の種類によって影響の出る限界濃度は異なるが、溶存酸素量の減少により魚類の化学物質に対する感受性は増す。すなわち、化学物質の影響は汚濁の進んだ溶存酸素量の低い水域では、汚濁の少ない水域に比較して強くなると推定できる（若林、2000）。

3) 貧酸素水塊の形成機構

貧酸素水塊とは湖沼や沿岸海域で魚介類の生息環境として不適当なほど、水中の溶存酸素が減少して比較的孤立した湖水または海水をいう。貧酸素化が進行し無酸素状態になると硫酸塩の還元によって硫化水素が発生することがある。大村湾では硫化水素が発生して水中の銅イオンの影響が減少し、また無機リンなどが溶出してくるために、赤潮になりやすいと報告されている（岡市、1987）。

鬼塚（1989）は東京湾における貧酸素水塊に対する酸素飽和度の指標値について、1945年以前の夏季に最も溶存酸素量が低下したときの下の層での平均的な値50%（千葉県）や水生生物が逃避することが知られている値40%（日本水産資源保護協会、1987）があるが、東京湾の海洋環境特性を考慮し飽和度40%以下の海水を貧酸素海水とし、その形成の特徴として

- ① 春先から夏季にかけて低温・多雨で夏季高温になり、赤潮が持続すると貧酸素化が

長期化すること

- ② 河川水量および降雨量、気温、風など密度成層に係わる物理的要因の影響が大きいこと
などを示している。

シンポジウム「貧酸素水塊」のまとめとして、柳（1989）は大村湾、久美浜湾は人為的な富栄養化とは無関係に、貧酸素水塊が発生していた海域と考えられるとし、燧灘、播磨灘、大阪湾、三河湾、東京湾などは人為的な富栄養化に伴って貧酸素水塊が発生し始めた海域と考えられるとした。海水中の溶存酸素量の低下に伴って起こる化学、生物過程をまとめて、貧酸素水塊と無酸素水塊という術語を使い分けることを提案している。

また、越智（1986）は、貧酸素化が認められる海域は、物理的には安定な成層構造をとるという特徴を持っていて、具体的には流入河川水量が多く上下層間で塩分差を生じるところや、潮流が弱い海域で夏季に強い太陽光線によって表面水が暖められ、主として上下の温度差に基づく密度躍層が形成される場所である。化学的には非生産的な酸素消費が大きいことである。すなわち陸域から多量の有機物が供給され、沈降途中で溶存酸素を消費しながら底層に到達し、分解が続けられこの際に消費される酸素量が上層から躍層を通して下層に運ばれる酸素量を上まわる時に底層水の貧酸素化が起こる。貧酸素水塊が潮流で沿岸の浅瀬に押し寄せ、そこに棲む魚介類に被害を与えるいわゆる"苦潮"なども観察されることがある。ただこの場合、酸欠そのものよりもむしろ硫化物や低級アミン類による影響の方が強いように思われるとしている。

松川（1992）によると、弱混合型内湾である三河湾や東京湾の富栄養化と貧酸素水塊の形成機構はほぼ解明されたとしている。

その外的要因は

- ① 全般的な流入負荷の増大
- ② 流入負荷のタイミング
- ③ 流入負荷のレッドフィールド比であり

内的要因は

- ① 河川水流入と日照による成層構造の発達
- ② それに伴う二層流
- ③ 貧酸素水塊の形成に伴うリン(P₀₄-P)の溶出

などであるとしている。

(1) 大村湾

大村湾は袋状湾で、湾水は停滞的で夏季は成層と海底水無酸素化現象が誘起される。

この湾の無酸素化現象には3つの特徴があり、

- ① 7.5mの水深に形成される酸素飽和層以浅層における酸素多生産と酸素多消費との変動が大きいこと
- ② 毎年のように無酸素水塊が形成されるが、大規模無酸素水塊の形成が10年間に1度ぐらいの頻度でみられること、これにより底生生物群集は潰滅的被害を受け、またこのような年に*Gymnodinium nagasakiense*赤潮も発生する可能性があること
- ③ 無酸素水の浮上現象が観察されることである(飯塚・関, 1989)。

(2) 浦の内湾

浦の内湾は土佐湾のほぼ中央に位置する複雑なりヤス式の細長い湾で、湾の環境は4月から9月にかけての成層期と10月から3月にかけての対流期で大きく異なる。対流期には表・底層とも生物が生息するのに十分な酸素が存在するが、成層期には表層では酸素生産が盛んに行われて有り余るほどの酸素が存在するのに対して、底層では上層からの酸素補給の減少と透明度低下による酸素生産の減少によって貧酸素となり、底泥有機物の分解・無機化に大きな役割を果たす底生生物は死滅する。また、貧酸素化は底泥から海水への栄養塩類の溶出を促進し、湾の富栄養化を更に高めるため、湾の環境はますます悪化する(木村・和泉, 1994)。

(3) 大阪湾

大阪湾の貧酸素水塊は、温度成層が生じる5月から9月の期間に水深20m以浅の東部海域で形成されるが、その消長は表層と底層の水温差とよく対応する。これは温度成層の形成によって底層への酸素供給が妨げられると同時に表層からの日射熱も遮断されることによるもので、底層水中の酸素濃度は上層からの供給遮断後の継続時間によって大きく制約されると考えられる。このことは、この海域は停滞海域で、湾中央部方向からの沖合水の入り込みによる水平方向

の海水交換により酸素補給が相対的に少なく、底層への酸素補給が主に海面からの鉛直混合に依存していることを示唆している。そして貧酸素水塊中ではDIN(無機溶存態窒素)やDIP(無機溶存態リン)(AOU 3~4mL/L以上は除く)が有機物の分解に消費された酸素量に比例した濃度で溶存している(城, 1989)。

(4) 渥美湾

渥美湾では、佐々木(1993b)によると、中田ら(1985)および鈴木ら(1986)は、湾外水が湾口下層では還流が生じてほとんど流入しないこと、上層では知多湾水と合流して中山水道を経て湾外へ流出すること、中山水道付近に下降流が存在するため知多湾由来の有機物も沈降し、湾外水の流入が弱く下層への溶存酸素の供給が弱く下層の溶存酸素量が減少しやすい特徴をもっているとしている。

(5) 東京湾

東京湾水質調査を1947年9月より継続している千葉水試の報告によると、1947年から1994年の結果から海域をのり・貝類漁場に近い船橋と、地理的・海況的な面から湾北部と湾南部の3つの海域に分け、水温、塩分、底層の溶存酸素を解析した。

底層の溶存酸素量は船橋が最も高く、ついで湾南部、湾北部の順であった。各海域の底層の年間平均溶存酸素量の推移から、夏季(5~10月)の底層の溶存酸素は、1959年頃から低下傾向が認められた。同時に湾北部と湾南部で生物に影響を及ぼすと考えられる3mL/L前後に達し、船橋では1968年から3mL/Lを下回る年が多くなった(田辺・山口, 1995)。

山田(1992)によると、神奈川水試が1966年1月から1989年12月までの東京内湾域内での測定値を月ごとに整理検討した結果は

- ① 0m層では5月または7月に溶存酸素量の最高値が、12月に最低値が、10m層以深では2月あるいは3月に最高値が、8月あるいは9月に最低値が現れる
- ② 底層の貧酸素水は7月から9月を中心に出現する
- ③ 水温・塩分の成層構造の発達する時期に、

底層での貧酸素化が進行する

- ④ 水温・塩分比べ、溶存酸素は複雑な鉛直分布を示す
- ⑤ 中層に核を持つ貧酸素水の出現が認められたとしている。

東京湾奥部底層で成層期に形成される貧酸素水は、それが形成される海底のみならずその湧昇により海岸域を含む東京湾奥部の広い範囲にわたる底生・付着動物の生息環境を悪化させている。貧酸素化の著しい海底では底質そのものの悪化により底層水の酸素濃度が回復しても底生動物現存量や種類が周年にわたって少なく、海域によっては無生物に近い状態が継続する所もある。貧酸素水による動物の大量斃死は生物体に蓄積された有機物を瞬時に海水中に放出することになり、湾の有機汚濁進行を助長している（風呂田, 1988）。

東京湾奥部特に千葉県船橋沖では夏から秋にかけて北東風が吹くと、海底に蓄積されていた無酸素水塊が海岸に湧昇して海水が青白色から青緑色に変色する。これは青潮と呼ばれ、三河湾でも同様の現象が認められて苦潮と呼んでいる。青潮発生時には水温の低下、塩分の上昇、溶存酸素の低下が明瞭である。東京湾での青潮の発生源は航路筋や浚渫窪地ではなく、湾中央部に大きく広がる無酸素水塊と考えている（佐々木, 1993c）。

古谷（1999）は、東京都環境保全局が昭和61年度から平成7年度に実施した東京湾奥部における底生生物が受ける貧酸素の影響の実態調査についての水生生物調査結果報告書（1988-1997）を検討し、底層水の溶存酸素量が2mg/L以下になると、底生生物が大きく減少することが明らかになったとした。また、既往の報告による底生生物の貧酸素耐性に関する知見をとりまとめている。

4) 海生生物への貧酸素の影響

瀬戸内海などの半閉鎖性海域においては、富栄養化に伴ってまず海底の環境が悪化し、ベントス（底生動物）に多大の影響を及ぼすことが判明している。棲息密度や種類は、一

般に溶存酸素量3mg/L（飽和度：約50%）を切ると、著しく減少することが知られる。

福山港や広島湾の貧酸素海域でみられたマクロベントス（大型底生動物）の個体群動態と酸素レベルとの関係について3つのグループに区分した（今林, 1998）。

グループA：年平均酸素飽和度で30～70%（夏季で30%以下）の泥質底でみられる群集

グループB：年平均酸素飽和度で70～90%（夏季で30～70%）の泥質底でみられる群集

グループC：年平均酸素飽和度が約90%以上（夏季で70%以上）に保たれるような砂質底でみられる群集

東京湾内湾域では埋立などの開発により河口湿地、干潟そして浅瀬域からなる自然海岸域の約90%が消失し、その結果もたらされた潮間帯面積の大幅な減少はここに依存して生活する生物種を東京湾内で希少化させている。潮下帯部では湾奥部において貧酸素化に伴う底生動物群集の消失がみられる。一方酸素条件の比較的良好な湾口部では周年にわたって底生動物群集が維持され、多くの種の湾奥での酸素回復後の個体群再生は湾口部の個体群からの幼生の分散に支えられていると推察される。このことは東京湾底生動物の群集維持のうえで湾口部の環境保全にも留意しなければならないことを示唆している。さらに貧酸素域での群集の多様性と現存量の衰退は溶存酸素量2mg/L以下で特に顕著である。底層水の溶存酸素減少を2mg/Lまでに防止できれば、湾奥においても周年にわたり豊富な底生動物群集の維持が可能と思われる（風呂田, 1991）。

東京湾内湾における底生魚介類の季節分布の変化について、清水（1988a, 1988b）は統計資料の解析に基づいた生物相の時系列変化と現地調査結果に基づく空間分布が溶存酸素量と対応していることを述べるとともに、時村（1985）が4類型に区分していたことを紹介している。

- ① 夏以外の季節に分布の中心が湾北部に移動する種：イシガレイ、イッカククモガニ等
- ② 夏以外の季節に分布が湾全体に拡大する

種：マコガレイ、ジンドウイカ等

- ③ 夏以外の季節に分布域が北に拡大するが、分布の中心は南部にある種で
 - i) 分布の北限がかなり北にある種：シャコ、ハタタテヌメリ等
 - ii) 分布の北への拡大が限定されている種：テンジクダイ、アカハゼ等
- ④ 分布に季節変化がなく、常に南部のみに出現する種：ホシザメ、ショウサイフグ等

(1) 海生生物の貧酸素耐性

収集文献から整理した魚類19種、甲殻類4種、軟体類11種、棘皮類4種、多毛類4種への溶存酸素の影響の結果を第1表に、さらに溶存酸素と硫化水素との複合影響については甲殻類3種、軟体類5種を第2表に、溶存酸素と塩分との複合影響については甲殻類1種、軟体類2種を第3表にとりまとめた。またそれぞれの種ごとの成果の詳細は種別総括表にとりまとめた。

佐々木 (1993c) によると、日本水産資源保護協会 (1989) は、実験データを取りまとめて、溶存酸素が3mL/L (4.3ppm) 以下になると、底生性の魚類や甲殻類の一部に生理的变化がみられるようになり自然状態では逃避行動を起こす濃度と推測されるとしている。2.5mL/L (3.6ppm) 以下になると甲殻類のうち酸素耐性の弱いものが死に、1.5mL/L以下になると底生性魚類で死ぬものがでてくる。貝類は2.5mL/L以下になると生理的变化がみられ逃避行動を起こす濃度と推測されるとした。

また、佐々木 (1993b) によると、讃岐田ら (1979) や今林 (1983) は、播磨灘における底生生物の種類数、個体群密度と底層水の溶存酸素量との関係から、底生生物が安定的に生息するには、おおまかに底層水の溶存酸素量が3mL/L以上に維持される必要があると考えられた。これらから漁場としての価値をもつためには、夏季の底層の溶存酸素量が3mL/L以上に維持される必要があるとしている。

玉井 (1990a) によると、海域の富栄養化や有機汚染に伴う底生生物群集の変化は

- ① 多毛類の増加、甲殻類と棘皮類の減少、消滅

- ② 種類数の減少、多様度の低下
- ③ 大型長命種の減少、小型短命種の増加
- ④ 汚染指標種の相対的優占度の上昇
- ⑤ 底層水の貧酸素化に伴う無生物域の出現などが一般的にあげられるとしている。また、大阪湾の調査結果をもとに底生生物群集と溶存酸素量レベルの関係を検討し、
 - ① ほぼ正常な底生生物群集が維持されている海域では、年間を通じて少なくとも2.5mL/L以上、大部分は3.0mL/L以上である
 - ② 年間最低溶存酸素量が2.5mL/Lを切るような停滞性の泥底域では、正常な底生生物群集が形成されない
 - ③ 底層の流動が活発な海域では、貧酸素化の影響は軽減されるものの、2.0mL/L以下に低下すると、多くの種は死滅するの3点を指摘した。

また、松川 (1992) によると、線虫などは溶存酸素レベルが1mL/Lでも生息できるが、漁業生物の餌となる多毛類などは、2~3mL/Lのレベルでないと生息できないようである。

したがって、健全な内湾生態系の一つの目安としては、夏季の底層の溶存酸素レベルがほぼ2mL/L以上とすることができようとしている。

(2) 貧酸素と漁業影響

玉井 (1994c) は、ベントスによる養殖漁場環境の評価として、マクロベントス各種が正常に生息しうるDO量の最低値は、シズクガイ1.5~1.6mL/L (今林, 1989; 玉井, 1993), ゴカイ2.1mL/L (Inamori *et al.*, 1979), イトゴカイ2.1mL/L (上野ら, 1982), ナナテイソメ科の一種 *Diopatra bilobata* 2.4mL/L (上野ら, 1982), ヨツバナネスピオA型2.5~2.8mL/L (細川ら, 1989) としている。

広島湾北部水域における昭和37-48年の溶存酸素のデータから、養殖カキの生育状況と貧酸素水塊の出現状況の関係、貧酸素水塊の発達に関与する気象、陸水量などの変化について検討した結果、養殖カキの生育は、餌料環境条件とは別に貧酸素水塊の出現状況によって影響をうけ、貧酸素水塊が強く、かつ10月以降まで長期にわたって出現する年には生育が大きく低下する (木村, 1974)。

東京湾の漁業生物は、明治33年（1900）と34年には多様な生物が生息していたのが、1970年代後半においては、産卵と生育からみた生物の生態と貧酸素と場所適性からみた環境悪化との関連から、かつての豊かな東京湾から多くの漁業生物が減少した原因として、少なくとも夏季の貧酸素と埋立による干潟の喪失が問題であると考えている（佐々木, 1993a）。

また、三河湾と東京湾の環境と漁業生物の対応の模式は、マイワシ、カタクチイワシ、ボラ、コノシロ、サッパなどのプランクトン食性の浮魚類、これらを捕食するスズキ、冬季に深場で産卵し成長期を汽水域の浅場で送るハゼ、浅場に生息するアサリやバカガイなど、夏季の貧酸素を免れる生態をもった魚介類は、富栄養化に伴って限界は存在するがむしろ一貫して増えることができる。これに対して、カレイ、シャコ、アカガイなどの底生魚介類は、富栄養化の初期の段階では上層から供給される有機物の増加に伴って増えるが底層が貧酸素になる段階では減少に転ずる。清浄な海水を好む回遊魚や藻場に強く依存する魚介類は、貧酸素が広がる以前にも透明度の低下に伴って減少する（松川, 1992）。

東京湾においては昭和20年代後半に貧酸素水の影響によると推定される貝類の斃死が初めて報告されている。昭和30年代前半にも起こり、昭和60年までの過去10年間の青潮の発生と貝類の斃死事例、アサリ生産量の推移を調査した結果、大規模な青潮の場合はアサリの壊滅的な斃死が発生した事例（昭和53年、60年）があるが、必ずしも貝類が大量に斃死するとは限らない場合（昭和55年、57年）もあり、また青潮の発生が確認されなかったにもかかわらず、貧酸素水の影響（昭和56年）でかなりの斃死が発生した場合もある。青潮の影響を受けやすい場所でまずアサリの斃死が発生し、資源量が多いほどアサリの斃死によって水質が悪化し、小潮や静穏な天候などの要因が加わり、さらに斃死が拡大していくと推察している（柿野, 1986）。

東京湾における低酸素水域の分布と小型底びき網によるマコガレイとシャコの漁獲

量との関係について、小林（1993）は神奈川県農林水産統計年報（1992）の結果から、2mL/L以下の低酸素水域内の漁獲が皆無に近く、2~3mL/Lまたは3mL/L前後の水域での漁獲集中がみられ、これはシャコの場合に顕著であった。これはマコガレイとシャコは生息海域の溶存酸素量が2mL/L程度に下がってくると逃避するためであると考えられるとした。

玉井（1990a）は、底生生物の群集レベルと種レベルでみた溶存酸素量レベルは、以下のようになるとしている。

- ① ほぼ正常な底生生物群集の維持には、周年3.0mL/L以上の溶存酸素量を確保することが望ましい
- ② 年間最低溶存酸素量が 2.5mL/Lを切るような停滞性の泥底域では、正常な底生生物群集が形成されない
- ③ 流動が良好な海域でも、2.0mL/Lは多くの種にとって致命的濃度であり、また汚染指標種といえども、この濃度以下では生活史を完結することはかなり難しい
- ④ 1.0mL/L以下では、ほとんどすべての種は数日以上生存することが困難である。①~④からみて、養魚場で確保すべきDO量レベルは、周年にわたって、できれば3.0mL/L以上、少なくとも2.5mL/L以上ということになる。

(3) 溶存酸素と硫化水素の複合影響

姜ら（1993）は貧酸素と硫化水素がガザミ幼生に及ぼす影響を実験的に明らかにし、広島湾底層の観測結果からメガロパ期以前のガザミ幼生は鉛直移動により、底生期の稚ガニでは底生生活により底層水中の貧酸素と硫化水素に暴露されることが考えられ、幼生期の自然減少が憂慮されるとしている。

アサリの室内実験の結果では、0.36mg/L以下で4日間生存し溶存酸素の欠乏に対しては抵抗性が強いと考えられるが、硫化物量（Sulfide-S）が 3.7mg/Lで80%、8.1mg/Lで100%斃死し、貧酸素下で衰弱したアサリは微量の硫化水素に触れても斃死することが考えられるとした（荻田, 1985）。また、硫化物の溶存状態即ち H_2S 、 HS^- 、 S^{2-} にかかわらず 2 ppm-S（青潮発生時）では72時間斃死しないが、貧酸素で弱った貝の斃死

を早める程度であろうとする結果もある（柿野，1982）。

シズクガイでは、硫化水素平均12～15 μ M程度の低濃度でも生存期間は0濃度より短縮され、硫化水素耐性はかなり低い（玉井，1994b）。

ムラサキイガイは、低酸素水中では硫化水素が存在すると生存日数が短くなる（平井・林，1986）。ヤマトシジミは、硫化水素0.5mg/Lで影響がなく、他の生物と比較して耐性が強い（中村ら，1997）。

(4) 溶存酸素と塩分の複合影響

ウシエビでは、低塩分と高水温が酸素消費量を高める傾向があり、塩分と水温では水温の影響が著しい。塩分10‰では水温30℃が20℃より酸素消費量が2倍以上となる（桑原ら，1985）。

アサリは低水温下（1℃）では、低塩分、貧酸素耐性は極めて強い。塩分15psu以下の場合には、塩分が制限要因となるのに対し、塩分20psu以上の場合には飽和度が40%以下の溶存酸素が制限要因であった（蔵田，2000）。

(5) 溶存酸素と水温の複合影響

不適環境に対する抵抗力は、一般に高温ほど小さくなる。致死酸素濃度は高温で高くなるが、致死二酸化炭素濃度は高温で低くなる（板沢，1997）。

水温と溶存酸素との関係は、2) (4)でも述べたが、第6-1表にまとめた。

トリガイは天然海域でも高水温期（25～27℃）には溶存酸素量の低下（1mL/L前後）が斃死に最大の影響がある（上野ら，1981）。

ヤマトシジミでは水温により貧酸素耐性に大きく違いがあり、無酸素状態でも10、20℃で17日間生存するが、30℃で成員のLT₅₀が8日目、LT₁₀₀が10日目で成員と稚員の貧酸素耐性に顕著な違いは無いとしている。酸素消費量が皆無になっても20℃では35日間は死亡しないが30℃では10日間で全死した（中村ら，1997）。

マナマコの酸素消費量は、水温低下に伴い低下し、水温上昇に伴い増加する。水温22.0あるいは23.0℃で最大となり、さらに水温が上昇すると減少する（山元，1992）。

5) 海生生物への過飽和酸素の影響

溶存酸素の過飽和の影響に関しては、先に4. 2) (5)溶存酸素量と酸素消費量の関係で述べたが、海生生物については研究資料が少ない。淡水魚については、水中溶存酸素量の過飽和によるガス病について報告している（江草，1954）。また、江草（1959）はガス病と水中溶存酸素過飽和の量的関係を明らかにするとともに、ガス発生を組織学的に解明した。また、海生生物については、マダイの仔魚では180～200%でガス病の症状が現れ（山下，1964）、ガザミ幼生では120～150%の過飽和水中で飼育されると2.5時間後にガス病となったが、正常海水に戻して1.5時間以内に症状がみられなくなったとしている（今ら，1968；日本水産資源保護協会，2000）。

6) 水産用水基準

海域の溶存酸素についての基準値は、日本水産資源保護協会（2000）の「水産用水基準」によると、

- ① 海域では6mg/L以上であること（河川および湖沼では6mg/L以上、ただしサケ・マス・アユを対象とする場合は7mg/L以上であること）
- ② 内湾漁場の夏季底層において最低限維持しなくてはならない溶存酸素量は3mL/L（4.3mg/L）であることとしている。

淡水中における溶存酸素6mg/L以上に対応した海水中の酸素の飽和濃度を考慮すれば5mg/Lとなるが、海産生物の活動性からそれでは不足で6mg/Lとしている。魚類の成長、摂餌量および飼料効率などが低下せず、健全に生活するのに要する最小の溶存酸素量を健全臨界値と称し、主として養殖魚類について値が求められ、飽和度として40～60%（大部分は50%）であった。

魚介類の致死濃度、貧酸素と底生生物の生理、生態的变化、底層の酸素濃度分布と漁場形成との関係について以下のとおりとしている。

① 魚介類の致死濃度

底生魚類	1.5mL/L
甲殻類	2.5mL/L

② 魚介類に生理的变化を引き起こす臨界濃度

魚類、甲殻類	3.0mL/L
--------	---------

- 貝類 2.5mL/L
- ③ 貧酸素と底生生物の生理、生態的变化
底生生物の生存可能な最低濃度 2.0mL/L
底生生物の生息状況に変化を引き起こす臨界濃度 3.0mL/L
- ④ 漁場形成と底層の酸素の濃度
底生魚類の漁獲に悪影響を及ぼさない底層の酸素濃度 3.0mL/L
(mL/L×1.429=mg/L)

7) 養殖新法の環境基準

1999年5月に公布された「持続的養殖生産確保法」(一般に養殖新法と呼ばれる)によると、基本方針の運用に関し、状況が著しく悪化している養殖漁場の基準として

- ① 水質
いけす等の施設内の水中におけるDOが2.5mL/Lを下回っていること
- ② 底質
i) いけす等の養殖施設の真下の水底における硫化物量が、2.5mg/Lを上回っていること あるいは
ii) いけす等の養殖施設の真下の水底に半年以上ごかい等の多毛類その他これに類する底生生物が生息していないこととしている(横山, 2000)。

8) 環境基準

生活環境の保全に関する環境基準では、海域での溶存酸素の基準値は類型別に以下のとおりとしている(前田, 1998)。

海域類型	利用目的の適応性	溶存酸素量(DO)
A	水産1級・水浴・自然環境保全及びB以下の欄に掲げるもの	7.5mg/L以上
B	水産2級・工業用水及びCの欄に掲げるもの	5 mg/L以上
C	環境保全	2 mg/L以上

- (注) 1. 自然環境保全：自然探勝等の環境保全
2. 水産1級：マダイ、ブリ、ワカメ等の水産生物用及び水産2級の水産生物用

水産2級：ボラ、ノリ等の水産生物用

3. 環境保全：国民の日常生活(沿岸の遊歩等を含む。)において不快感を生じない限度

5. 海生生物と硫化水素、無機三態窒素(アンモニア・亜硝酸・硝酸態窒素)に関する概要

1) 海水中の硫化水素量など

沿岸域での硫化水素、無機三態窒素(アンモニア・亜硝酸・硝酸態窒素)などの溶存物質についての測定例は、次のようなものがある。

(1) 硫化水素

井上(1998)によると、給餌型のハマチ養殖場などにおいて、海水中にH₂Sが出現すると、大量斃死の危険をはらむ。硫化物は毒性が強く、生態系から嫌気性のバクテリアを除いた全ての生物を排除する。潮差型の安戸池養殖では、海水交換率が低く底に凹地があって、夏季における底層水の停滞性が強いと、溶存酸素量の極度の低下、H₂S出現、NH₄-N集積をみる。9月に溶存酸素が低くH₂S濃度が高かった。最高0.8mL/L(平均0.5mL/L)に達した(青木ら, 1967)。

海水中の硫化水素量については、姜ら(1993)の1992年広島湾奥部と江田内湾内での硫化水素量調査によると、春季には全水域で5μgH₂S/L以下であったが、夏季には底層水中で10μgH₂S/L以上の高い濃度が測定された。秋季には4μgH₂S/L以下まで低下し、冬季には大部分の水域で1μgH₂S/L以下であった。

また、荻田(1985)の英虞湾内浜島地先での1884年8月調査では、14~15m層(底層部)の硫化物量は、5.5~13.9mg/Lと1~5mg/L、pHは7.6-7.8であった。

(2) 無機三態窒素

井上(1998)によると、香川県喜平島ハマチ養殖のNH₄-Nは、9月初旬に最高値93μgN/Lに達したが、11月にはハマチ放養前の値に戻っている(青木ら, 1967)。兵庫県福良で8月下旬25-300μg/LのNH₄-Nを

記録した(橘高, 1960)としている。一般に $\text{NH}_4\text{-N}$, 0.3mL/L で悪影響があるとされているので, $\text{NH}_4\text{-N}$ の増加について十分注意する必要があるとしている。

① 大阪湾

大阪湾の1972-1983年の調査によると, 表層のアンモニア態窒素($\text{NH}_4\text{-N}$), 亜硝酸態窒素($\text{NO}_2\text{-N}$), および硝酸態窒素($\text{NO}_3\text{-N}$)は, いずれも5月・8月の水温上昇期に低く, 11月・2月の低温期に高くなる周期的な季節変化を行っている。底層では $\text{NO}_3\text{-N}$ は表層と同じ季節変化を行い, $\text{NH}_4\text{-N}$ は11月と2月に低く($2\sim 5\mu\text{g-at./L}$), 5月・8月に高くなる表層とは逆の変化を示す。 $\text{NO}_2\text{-N}$ は一年を通して $1\sim 3\mu\text{g-at./L}$ と低濃度で季節的な特徴も明らかではない(城, 1985)。

② 伊勢湾・三河湾

伊勢湾・三河湾の1973~1974年の環境庁の調査結果によると,

i) NH_4^+ は, 伊勢湾では北部のみ春夏に $10\mu\text{g-at./L}$, 秋冬に $20\mu\text{g-at./L}$ と高い値であるが, 中部では $5\sim 10\mu\text{g-at./L}$, 南部では $2\sim 4$ (冬のみ 10) $\mu\text{g-at./L}$ である。三河湾では衣浦港内で夏 $100\mu\text{g-at./L}$ を越し, 他の季節は $10\sim 20\mu\text{g-at./L}$, 他の水域では $1\sim 3\mu\text{g-at./L}$ と低い。

ii) $\text{NO}_2\text{-N}$ は, 伊勢湾北部でも一年中 $1\mu\text{g-at./L}$ 程度で, 三河湾は衣浦港のみ $2\sim 4\mu\text{g-at./L}$ 程度であるが, 他は $0.5\mu\text{g-at./L}$ 以下である。

iii) $\text{NO}_3\text{-N}$ は, 伊勢湾北部で秋に $15\mu\text{g-at./L}$ 程度の最大値を示すが, 他の季節は $5\mu\text{g-at./L}$ で, 他の水域は通常 $1\sim 2\mu\text{g-at./L}$ 程度であるが, 南部および湾口部は冬季 $3\sim 6\mu\text{g-at./L}$ を示す。三河湾は衣浦港のみ年間を通して $10\sim 30\mu\text{g-at./L}$ で, 他の水域では $1\sim 2\mu\text{g-at./L}$ でありとくに湾口部では春先には殆ど0となる(西條ら, 1985)。

③ 東京湾

小倉(1985)は, 東京湾での宇野木ら(1977)の1947~1975年の調査結果の統計処理報告をおこない

i) $\text{NH}_4\text{-N}$ は, 湾奥部で $30\sim 40\mu\text{g-at./L}$ と大きい, 湾中央部で $10\mu\text{g-at./L}$ 前後の値

であった。

ii) $\text{NO}_2\text{-N}$ は, 湾奥で $4\mu\text{g-at./L}$ 以上であるが, 湾中央では $1\sim 2\mu\text{g-at./L}$ になる。濃度は $\text{NH}_4\text{-N}$ の約 $1/10$ である。

iii) $\text{NO}_3\text{-N}$ は, 東京港付近で $10\mu\text{g-at./L}$ 以上, 横浜港付近でも $8\mu\text{g-at./L}$ 以上であり, これらは河川などを通して供給されると考えられる。湾中央部では $3\sim 6\mu\text{g-at./L}$, 湾口付近では $0.5\sim 4\mu\text{g-at./L}$ へ減少した。濃度はアンモニア態窒素の約 $1/4$ であるとしている。

④ その他

海水中の NH_4^+ と NO_3^- の含有量として, 大槌湾とその内湾, 東京湾表面水, 西部太平洋表面水ではそれぞれ $0.2, 30, 0.5\sim 0.6\mu\text{g-at./L}$ と $0.2\sim 4, 10.0\sim 12\mu\text{g-at./L}$ が得られている(和田, 1988)。

2) 水域における底泥の酸素消費

東京湾の湾奥部のように極めて高濃度の有機物が多量に流入する水域では, 初夏の成層期になると, まず中層付近から溶存酸素が減少し始めて, その後中層から底層にかけて無酸素状態となっていく例も観察されているが, 一般に水域における貧酸素化は底層から始まって次第に上層にまで広がっていくのが通例である。したがって, 底層水の酸素消費はその大部分が底泥堆積物に起因することになる(河合, 1990)。

3) 水域の底泥における硫化水素などの生成

水域の底泥堆積物における硫化物の生成ならびに水中への溶出の過程は, 底層水の貧酸素化が主因として極めて重要である。酸化された無機イオウ化合物で, 海水中に陰イオンとしては塩化物に次いで高濃度に存在する硫酸塩が, 分子状イオウを経て硫化水素にまで還元される過程が, 硫酸還元反応である。

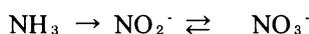
この生化学過程は, 分子状酸素が存在しない嫌気的条件, あるいは酸化還元電位の低い条件下で増殖することのできる偏性嫌気性細菌で, *Desulfovibrio*属あるいは*Desulfotomaculum*属の細菌によって行われる。一般に, この還元反応においては硝酸還元反応や脱窒反応の場合と同様に水素供与体(電子供与体)を必要とするが, 硝酸還元過程で水素供与体とし

て有効な物質は、乳酸、ピルビン酸、ギ酸など少数の有機酸に限られていて、菌種によってはさらにリンゴ酸、フマル酸、コハク酸、アラニンなどを利用する場合もある。

また、硫酸還元過程の他に、含硫アミノ酸のような有機物からも、その分解過程において硫化水素は生成されるが、食品の腐敗過程などとは異なり、海水域だけでなく、硫酸塩濃度の低い淡水域においても、底泥における硫化物の生成は、その殆どの部分が硫酸還元過程によると考えてよいであろう。

有機物に含まれる窒素は分解、無機化の過程でまずアンモニア態窒素となるが、好気的環境では、硝化細菌（アンモニア酸化細菌および亜硝酸酸化細菌）によって亜硝酸を経て硝酸にまで酸化された後、水中に溶出する。一方、嫌気的環境では分子状酸素を必要とする硝化細菌が機能しないため、魚介類に極めて有害なアンモニアの形態のまま水中に溶出する。さらに、赤潮発生の原因となるリンや鉄、マンガンなども、好気的環境では不溶性の化合物となって水中には溶出してこないが、嫌気的環境では、底層水に溶出してその水域の水質悪化を促進することになる（河合、1990）。

また、自然界では亜硝酸塩は微生物によるアンモニアの酸化ならびに硝酸塩の還元によって生成するので、この三者は一種の平衡状態にあるともいえる（岩本・羽賀、1970）。



4) 海生動物への硫化水素などの影響と耐性

沿岸域での硫化水素、無機三態窒素（アンモニア、亜硝酸、硝酸態窒素）などの水生動物に及ぼす毒性は、一般にDO量、pHあるいは温度によって異なる。水域の硫化水素はほとんどの場合が無酸素あるいは貧酸素化に伴って発生するため、貧酸素と硫化水素の複合的な影響に関して幾つかの研究が行われている。

(1) 硫化水素

収集文献から整理した甲殻類3種、軟体類5種への溶存酸素と硫化水素の複合影響の結果を第2表に、またそれぞれの種ごとの結果の詳細を種別総括表にとりまとめた。

中尾（1978）は、北海道能取湖が恒久死圏を生ずる原因は、酸素欠乏とともに多量に存在する硫酸塩の還元によって生ずる底質中の硫化水素および硫化物に由来するとした。これに関して Miyadi（1931, 1932）や吉村ら（1938）により、底生動物の生息を制限するのは溶解性酸素または硫化物ではなく、底質中に吸収されている硫化物が一義的に働き、それらの1%を底生動物の生息最高限界値としている。また、清石ら（1942）の浜名湖のカキ異常斃死に関する研究で、底質からの遊離硫化水素を第一因にあげ、底質中に1%以上の全硫化物量がある場合、カキ漁場としては危険であるとした。能取湖の無生物域の底質が含む全硫化物量は、1.3%から10.1%となっているが、硫化水素に対する抵抗力は種によって異なり、また酸素量や水温の差によって大きく左右されること、酸素が豊富で水温の低い方が耐性は強い（Theede *et al.*, 1969）ことから、能取湖では約4%の全硫化物量を底生生物の生息最高限界値とした。

硫化水素と水温の関係について、ヤマトシジミは低水温（18℃）下で40日間では濃度7 mg/L以下ではLT₅₀、LT₁₀₀は算出されないが、高水温（28℃）ではLT₁₀₀は14日以内である（中村ら、1997）。

溶存酸素との複合影響については、4.4) (3)を参考にされたい。

(2) 無機三態窒素（アンモニア・亜硝酸・硝酸態窒素）

収集文献から整理した魚類5種、軟体類2種へのアンモニアなどの影響の結果を第4表に、またそれぞれの種ごとの結果の詳細を種別総括表にとりまとめた。

水生生物に対するアンモニアの毒性は主として非解離のアンモニアによるとされ、またpHが高くなるほど全アンモニア中の非解離アンモニアの割合が増加し毒性が強まることが知られている（若林、2000）。

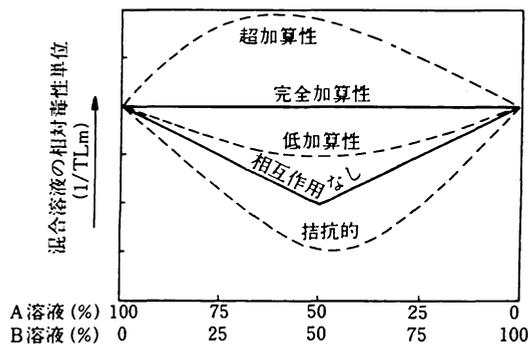
アンモニウムイオン（NH₄⁺）と非イオン性アンモニア（NH₃）の相互交換が起こり、これを化学式で示すとNH₃+H⁺=NH₄⁺である。NH₄⁺は無害であるが、NH₃は極めて有害である。定常状態では、pH9.3でNH₃とNH₄⁺の濃度は等しくなり、pHが1上が

るたびに $[\text{NH}_3]/[\text{NH}_4^+]$ の比は10倍ずつ増加する。pH7で無害であった水が pH9で非常に有害になる可能性もあり、したがって、 $(\text{NH}_3+\text{NH}_4^+)$ を測定するだけでなく pHも同時に測定する必要がある。

NH_3 の場合には、ローズ (1996) によると毒性はpHと負の相関があり、20~25°C以下では温度とも負の相関がある。EPAの水質基準 (EPA, 1986) では、 NH_3 の基準最大濃度と基準持続濃度は温度とpHを含む関数式で定められている。

(3) 有害物質の相互作用

2種以上の有害物質による影響は、それらの有害物質の相互作用のあり方によって変わる。ローズ (1996) によれば、例えば、ある生物に対する96時間-TLmが有害物質AとBでそれぞれ1.0ppbと10ppbであったとすると (第1図 参照)



第1図 2つの仮想的な有害物質A, Bの相互作用

- ① AとBには相互作用がない
96時間後にちょうど半分の生物が死ぬ。この結果はA1.0ppb だけ、またはB10ppb だけの場合と同じである。
- ② AとBには拮抗作用がある
96時間後に半分より少ない生物しか死ななかつた。この結果はA, B 単独の場合よりも毒性が低いことになる。
- ③ AとBには相互作用がある
 - i) AとBの相互作用は完全加算性
死亡率がAのみ 2.0ppb, またはBのみ20ppb加えた場合と全く同じである。
 - ii) AとBの相互作用は超加算性
96時間後の死亡率がi) の場合より大きい場合である。
 - iii) AとBの相互作用は低加算性

96時間後の死亡率が50%より大きい
が、i) の場合より小さい場合である。

EPA (1980) では「2種以上の有害物質の無数の組合せについて、協同作用と拮抗作用の両方があり得る。しかもあるデータによれば、このような相互作用は生物種によって異なるだけでなく、有害物質の濃度や混合比率、生物種の生活段階などによっても異なってくる」としている。

(4) 硫化水素などと漁業影響

宇和島湾周辺において、1994年発生した *Gonyaulax polygramma* 赤潮によって、養殖マダイ、アコヤガイ、ヒオウギなどの大量斃死が起きて、約8億円の被害を与えた。

G. polygramma による赤潮は“persistent bloom”とも表現され、約3ヵ月に及ぶ長期赤潮となり、沿岸域では赤潮生物の分解による酸素消費の影響を長期間受け続け、顕著な貧酸素 (DO3mL/L以下) あるいは無酸素 (DO1mL/L以下) 水塊が形成された。

表層水の酸揮発性硫化物 (AVS) と $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度は、それぞれ1.28-2.36mg/L, 14.1-55.4 μM が得られている。*G. polygramma* 赤潮による貧酸素あるいは無酸素水塊の形成に伴う高濃度の硫化物、アンモニアなどの発生は魚介類に対して有毒であり、貧酸素水との複合的な影響によって大量の魚介類の斃死が起きたのが特徴である (小泉ら, 1996)。

また、先に述べた4. 4) 海生生物の貧酸素の影響を参照されたい。

5) 海藻草類への無機三態窒素の影響

収集文献から整理した海藻草類6種へのアンモニアなどの影響の結果は第4-2~3表に、またそれぞれの種ごとの結果の詳細を種別総括表にとりまとめた。

海藻草類は、多年生でも一年生でも、成長と生殖に明瞭な季節変化を示すが、光強度、温度、栄養塩濃度の季節変化と関係している。成長速度は通常冬の終わりから春にかけて増加を開始し、夏あるいは秋に低

下しはじめる。成長速度の低下は、窒素欠乏よることが明らかにされている。海藻の窒素源としては NH_4^+ が好適とされ、とりこみ速度は一般に NO_3^- よりも高い（ダーリー, 1987）。

第6-2表に無機三態窒素と水温の影響についてまとめた。ナガコンブでは無機三態窒素のうち $\text{NH}_4\text{-N}$ および $\text{NO}_3\text{-N}$ を良く吸収し、特に 5°C と 15°C では水温が高い 15°C の場合には $\text{NH}_4\text{-N}$ の吸収が著しく促進されるとしている（町田ら, 1985）。

兵庫県播磨灘においては、*Coscinodiscus wailesii* や *Thalassiosira diporocyclus*, *Eucampia zodiacus* などの植物プランクトンの低水温期の異常増殖に伴う栄養塩吸収により海水中の栄養塩濃度が低下し、ノリの生理障害の一つである色調低下がしばしばみられるようになり、顕著な乾海苔の品質低下やそれに伴う乾海苔生産額の減少が無視できない状況となっている。

DIN濃度が平均で $3.0 \mu\text{g-at./L}$ 以下、DIP濃度が平均 $0.3 \mu\text{g-at./L}$ 以下になればノリの色落ち被害が広範囲に起こりやすいたことが明らかとなった（永田ら, 2001）。

海藻草類への無機三態窒素など栄養塩類の影響については、日本水産資源保護協会（1992）の「環境が海藻類に及ぼす影響を判断するための“判断基準”と“事例”」によると、

例えば、アマノリ類では判断基準として

- ① 平均流速 $10\sim 30\text{cm/秒}$ 程度の普通の養殖漁場では、良好なノリの成長と品質を保つための最低基準と考えられる DIN濃度は、 $5\sim 7 \mu\text{g-at./L}$ ($70\sim 100 \mu\text{g/L}$) とみられる。流速 10cm/秒 程度の支柱式漁場では約 $5 \mu\text{g-at./L}$ 以下、 $20\sim 30\text{cm/秒}$ 程度の支柱式または浮き流し式漁場では約 $3 \mu\text{g-at./L}$ 以下になるとノリの色落ちが始まる。
- ② また $\text{NH}_4\text{-N}$ が 1mg/L (約 $70 \mu\text{g-at./L}$) 以上では養殖が不可能となる。
- ③ またリンは海水中の P/N 値 ($\mu\text{g/L}$) が $1/7\sim 1/9$ 程度で品質が最も良いように、ほぼ $0.2\sim 0.5 \mu\text{g-at./L}$ (約 $7\sim 14.3 \mu\text{g/L}$) 以上あるのがよいとしている。その他の種や環境項目など

については本“判断基準”と“事例”を参考にされたい。

6) 水産用水基準

日本水産資源保護協会（2000）の「水産用水基準」によると、海域の基準値は

(1) 硫化水素

実験結果から 0.001mg/L となるが、メチレンブルー吸光光度法の定量下限 0.1mg/L を下回るため（淡水域ともに）

検出されないこととした。

(2) 全窒素

海域については環境基準が定める

水産1種

全窒素 (参考)

0.3mg/L 以下 (全リン 0.03mg/L 以下)

水産2種

全窒素

0.6mg/L 以下 (全リン 0.05mg/L 以下)

水産3種

全窒素

1.0mg/L 以下 (全リン 0.09mg/L 以下)

のり養殖に最低必要な栄養塩濃度

無機態窒素 $0.07\text{-}0.1\text{mg/L}$

(無機態リン $0.007\text{-}0.014\text{mg/L}$)

(3) アンモニア態窒素

海域については甲殻類の急性毒性値に 0.1 を乗じて

0.3mg/L (淡水域では 0.2mg/L)

とした。

海産魚介類、淡水魚介類ともに溶存酸素の低下に伴って、アンモニアの毒性が強くなっていくことに留意する必要がある。また、U.S.EPAの慢性毒性の安全基準値は、 $0.03\text{mgNH}_3\text{-N/L}$ である。

また、アンモニアの毒性は非解離アンモニア ($\text{NH}_3\text{-N}$) だけでなく、 $\text{NH}_4\text{-N}$ の毒性も無視できないことから、基準値は全アンモニアで示すこととした。

(4) 亜硝酸態窒素

塩分の増加に伴って、同一魚種でも NO_2 の毒性が著しく緩和されることが知られ、また主としてメトヘモグロビン血症をひき起こすが、最近では網膜壊死をひき起こし

て盲目魚にするという報告もみられ、いずれにしても低酸素条件によって毒性は強まる。

以上の結果から海域については
0.06mg/L (淡水域については0.03mg/L)
とした。

(5) 硝酸態窒素

海域、淡水域ともに環境基準値10mg/Lが達成されればよいとした。

7) 養殖新法の環境基準

先に述べた3. 7) ①水質の溶存酸素DOに続いて、養殖新法によると、基本方針の運用に関し、状況が著しく悪化している養殖漁場の基準として

① 水質

いけす等の養殖施設内の水中におけるDOが2.5mL/Lを下回っていること

② 底質

- i) いけす等の養殖施設の真下の水底における硫化物量が、2.5mg/Lを上回っていること あるいは
- ii) いけす等の養殖施設の真下の水底に半年以上ごかい等の多毛類その他これに類する底生生物が生息していないこととしている (横山, 2000)。

8) 環境基準

生活環境の保全に関する環境基準では、海域での基準値は

(1) 全窒素

類型別に以下のとおりとしている。

海域 類型	利用目的の 適応性	全窒素 (全リン)	(参考)
I	自然環境保全及びII以下の欄に掲げるもの (水産2種及び3種を除く。)	0.2mg/L以下 (0.02g/L以下)	
II	水産1種・水浴及びIII以下の欄に掲げるもの (水産2種及び3種を除く。)	0.3mg/L以下 (0.03g/L以下)	
III	水産2種及びIVの欄に掲げるもの	0.6mg/L以下 (0.06g/L以下)	

(水産3種を除く。)

IV 水産3種・工業用水・生物生息環境保全

- (備考) 1 基準値は、年間平均値とする
2 水域類型の指定は、海洋植物プランクトンの著しい増殖を生じるおそれのある海域について行うものとする

- (注) 1 自然環境保全：自然探勝等の環境保全
2 水産1種：底生魚介類を含め多様な水産生物がバランス良くかつ、安定して漁獲される
水産2種：一部の底生魚介類を除き、魚類を中心とした水産生物が多獲される
水産3種：汚濁に強い特定の水産生物が主に漁獲される
3 生物生息環境保全：年間を通して底生生物が生息できる限度

(2) 亜硝酸態および硝酸態窒素

人の健康の保護に関する要監視項目および指針値として
硝酸態窒素および亜硝酸態窒素は10mg/L以下
としている (前田, 1998)。

6. 海生生物と塩分に関する概要

1) 海水中の塩分

塩分は水温とともに海水の状態を表す最も基本的な特性値である。海水の塩分は、天然水中の無機性電解質含量を示すこともあるが、海水1kg中に溶解している固形物質の全量に相当している。溶存物質の全量を直接測定することは困難なため、海水の電気伝導度(電導度)を正確に測定して塩分を求めるのが一般的である。海水中に含まれる溶存物質の全量をプロミル(‰)で表した塩分を絶対塩分、比電導度によって決定された無次元の塩分を実用塩分と呼ぶ。実際上絶対塩分を測定することはなく、一般に塩分といえば実用塩分を指す。

海洋表面や沿岸域の塩分は降水、陸水の流

入などによって薄まり、蒸発によって濃くなる。蒸発は海上大気湿度に逆比例し、風速に比例して大きくなる。海洋表面の塩分分布は太平洋では赤道のやや北で極小（34）、南北回帰線付近で極大（北太平洋35.5、南太平洋36.5）を示し、緯度を増すにつれて塩分は小さくなる。塩分の季節変化は特殊な海域を除けば、塩分にしてたかだか0.5以下である（鷲, 1987）。

実用塩分値であることを明確にするために、psuをつけて表示することもある（気象庁, 1990）。

2) 赤潮生物への塩分の影響

赤潮とは「海水中で微小な生物（主に植物プランクトン）が異常に増殖して、そのために海水の色が変わる現象を総称したもの」と1966年赤潮に関する研究協議会（日本水産資源保護協会主催）で概念が示されている。これら赤潮生物に対する塩分の増殖応答は種によって異なり、広い塩分範囲で増殖できる種（euryhaline）と塩分変化に敏感な狭塩分種（stenohaline）とがある。多くの赤潮鞭毛藻は広塩分種である。増殖に最適な塩分は渦鞭毛藻で12-30、ラフィド藻で8-30で、室内実験でも天然海水の1/4-4/5の低塩分でよく増殖する（山口, 1998）。

3) 海生動物への塩分の影響

魚類は淡水、海水、あるいは汽水など、さまざまな塩分の水の中で生活している。

塩分は一般に千分比（パーミル、‰ あるいはppt）で表される。淡水は一般に0.001-0.1‰の塩分を含んでおり、海水では35‰程度の塩分を含むが、蒸発の激しい紅海では43‰にも達するし、逆にバルト海は10‰程度の低い塩分しか含まない。河口の汽水域では淡水の流入によってわずかの距離や時間の中に、塩分が大きく変動する。多くの魚類は淡水か、あるいは海水にしか生存することができないので、狭塩性（stenohaline）魚類と呼ばれる。一方、サケ科の魚やウナギなど川と海の間を回遊するもの、あるいはある種のハゼやカレイなどのように、塩分が大きく変動する汽水に生息する魚は、広塩性（euryhaline）魚類と呼ばれる（岩田・平野, 1991）。

ヒラメの仔稚魚は24時間生残率をみると5%海水でも生残可能である。着底稚魚では25%海水のほうが100%海水より成長がよい広塩性と判断されるとしている。ブリやマダイは低塩分になると摂餌量が減少し、ヘマトクリット値や赤血球数が増加するなど血液性状に異常を生じることから狭塩性魚種に属する（安永, 1998）。

海と川の間を往復する回遊（diadromous）魚、すなわちサケ・マス、イトヨ、カワヤツメなどのように産卵のため川を上る遡河（anadromous）魚やウナギのように産卵のため川を下る降河（catadromous）魚にとって浸透圧調整機構の転換はきわめて重要な問題である（能勢ら, 1989）。

4) 魚類の浸透圧調節

魚類は生活の場が水中であるので、脊椎動物のなかでも独特の浸透圧調節機構を有している。淡水魚の場合には、ほとんど水を飲まないが、それでも浸透圧差によって水が体内に流入し、塩が体外へ流出する。塩分の不足を補うために、淡水中の魚は鰓から能動的に Na^+ および Cl^- を取り入れ、腎臓では低張な尿を多量につくり、過剰となった水分を排泄している。逆に海産魚では、環境水の浸透圧が体液のおよそ3倍であるので、脱水されると同時に塩が体内に流入する。そのため海産魚は多量の海水を飲み腸から Na^+ および Cl^- などの1価イオンとともに水を吸収する。過剰になった塩分は、おもに鰓から能動的に排出する。海産魚の尿量はきわめて少なく、腎臓の主な機能は、腸管および体表を通して周囲の海水より侵入した2価イオンを排出することにある。このように魚類においては、腎臓に加えて、鰓および腸が浸透圧調節器官としても重要な機能をはたしている。

また、魚類の浸透圧調節には、種々のホルモンが関与している（岩田・平野, 1991）。

海産硬骨魚では、塩分の排出と水分を補充するために鰓にそのための特殊な細胞、すなわち塩類細胞が発達している。塩類細胞では Na 、 K -ATPアーゼ活性が高く、濃度勾配に逆らって能動的に塩分の排出が行われている。

回遊魚であるサケ・マスの稚魚は、孵化後2、3カ月あるいは1、2年淡水中で生活

してから川を下り海に入る。その直後に体色が銀色になるとともに海水適応能が発達してくる。この現象は銀化あるいは銀毛化 (smoltification) とよばれている (能勢ら, 1989)。

5) 海生動物の塩分耐性

収集文献から整理した魚類20種、甲殻類4種、軟体類10種、棘皮類6種、多毛類1種への塩分の影響の結果を第5表に、またそれぞれの種ごとの結果の詳細を種別総括表にとりまとめた。また溶存酸素と塩分との複合影響については第3表にまとめ、先述したように4.4) (4)を参照されたい。

(1) 魚類の塩分耐性

一般に環境水の塩分の変化とそれに伴う浸透圧の変化は、魚類の塩・水代謝を通じてエネルギー代謝に影響する。成長・摂餌に影響することは、ギンザケ、ニジマス、ナマズなどの淡水魚で知られている (斉藤ら, 1990)。

魚類では、ヒラメの卵稚仔の発生・生残に関して、仔魚期における環境変化への耐性は、水温、塩分に関しては孵化仔魚がもっとも強く、10日目をもっとも弱いことになる。仔魚を飼育する場合も10日目前後に斃死率が高くなることが認められている。その原因については、仔魚自体の生理的激変期に当たるためなのか、それとも初期餌料の摂餌状態の悪さのため生理活性の低下した個体が多出したためか今後調査の必要がある (安永, 1975)。

キジハタは暖海性の磯魚で、近年栽培漁業の対象種として注目され、人工種苗の生産技術の開発が進められている。キジハタの産卵生態については不明な点が多いが、河川水の影響をほとんど受けない岩礁域で産卵すると考えられることから、低塩分の飼育水は孵化に適さないことが予想される。しかし、卵および孵化仔魚の塩分適応範囲は広く、このような塩分耐性が天然海域における本種の生き残り戦略の一つとなっているものと考えられる (萱野・水戸, 1993)。

塩分低下による卵発生速度の抑制は、村井ら (1992) によるとイサキ、ニシンなどで報告されているが、塩分が発生速度に及

ぼす影響は、水温のそれに比較して小さい。低塩分下でみられる孵化異常は、Alderdice *et al.* (1971) によって post mature unhatched eggs (過熟性不孵出卵) と呼ばれている。

魚類の孵化に及ぼす塩分と水温との影響について、第6-3表に示した孵化適・最適域がアユ、イサキなどについて明らかにされている (Kashiwagi *et al.*, 1986他)。

(2) 底生動物の塩分耐性

第6-3, 4表に塩分と水温の影響について示した。アサリは低水温下では、低塩分・貧酸素に対して耐性が強いが、冬季間に現場で、塩分が15psu以下の環境が15~20日持続した場合や、塩分が20psu以上でも、DOが飽和度の20%以下の環境が25日間前後持続した場合には斃死要因となる (蔵田, 2000)。

中村ら (1996) は、ヤマトシジミの体液塩分は、馴致した環境水の塩分とほぼ等しいことから、浸透順応型動物であり、しかも0-35psuの広範な塩分の変化に耐えうる広塩性動物と判断した。また、稚貝は成貝より高塩分耐性が弱いとした。更に田中 (1984) は後期発生期、初期稚貝期、後期稚貝期と発生段階が進むにつれてより淡水域で、生息可能になると述べている。また、Lockwood (1976) は一般的に広塩性の無脊椎動物は成長段階初期の方が生息限界の塩分範囲が狭くなり、塩分変動に対して抵抗性がないと報じている (中村ら, 1996)。

また、ウシエビでは、低塩分と高水温が酸素消費量を高める傾向があり、塩分と水温では水温の影響が著しいという (桑原ら, 1985)。

多毛類の *Capitella capitata* は、低塩分、高水温程生残率は減少する。15.05‰と30℃の組み合わせで顕著である (上野・山元, 1982)。

6) 海藻草類への塩分の影響

沿岸環境の多くで、海藻草類は陸上からの流入水に伴う塩分の周期的な変動にさらされる。また、海藻草類は潮間帯で次のような極端な塩分に出合うことがある。

① 干潮時における藻体の乾燥

- ② 大潮後、高位域の岩礁にできた潮だまりで水が蒸発する
- ③ 干潮で露出した藻体上に雨が降る。温度耐性に藻体の露出が関係するのと同様に、潮下帯の海藻は一般に15-45‰の塩分変化に耐えられる。成長可能な塩分範囲は、もちろん、これらの範囲より狭い（ダーリー, 1987）。

収集文献から整理した海藻草類11種への塩分の影響の結果を第5-10~13表に、塩分と水温の影響について第6-4表に、またそれぞれの種ごとの結果の詳細を種別総括表にとりまとめた。

ヒジキでは、仮根形成には塩分より水温の影響が大きく、低塩分側より高塩分側での影響が大きい（小河ら, 1996）。ナラワスサビノリでは、幼芽は水温が低く塩分が高い年は順調な生長を示す（川村ら, 1991）。また、ワカメでは、配偶体の発芽および成熟、芽胞体の発芽および成長は大略Cl(塩素量)15‰以下で悪影響を受け、特に高水温における低塩分の影響は大きい（斉藤, 1962）。

日本水産資源保護協会(1992)の「環境が海藻類に及ぼす影響を判断するための“判断基準”と“事例”」によると、

アマノリ類では、判断基準として

ノリ養殖漁場の塩分は、潮間平均で採苗期には28~34（最低限界20程度）、育苗期には25~35（最低限界18程度）、養成期には22~33（最低限界18程度）であるのがよい。なお育苗期、養成期には潮間最低値が9以下になると生育不良となる。ワカメ養殖および天然漁場の塩分は、27以上あるのがよい。

また、事例として

アカモクでは、適塩分域は実験値21~43、現地測定値23.5~33.1であり、生存可能範囲は実験値として上限値50~67.5、下限値が>15.7である。オオバモクでは、適塩分域は、現地測定値で31~34、生存可能範囲は幼体の実験値で下限値が>5である。ヒジキは、約74.6~33.7で幼胚から幼芽への成長がみられ、海域の年平均値の最低値は約28.5である。コンブ類の生育帯での塩分は、マコンブ31.1~33.9、ミツイシコンブ32.0~34.0、リシリコンブ29.3~34.7、ホソメコンブ33.3~34.5、ナガコンブ31.6~33.5である

としている。その他の種や環境項目などについては、“判断基準”と“事例”を参考にされたい。

おわりに

報告にあたり、懇切なる御助言を賜った当所元顧問東京大学名誉教授羽生 功博士、平野禮次郎博士、清水 誠博士、沖山宗雄博士並びに当所理事會澤安志博士に謝意を表す。また、貴重な御意見を頂いた中央研所長城戸勝利博士、所長代理片山洋一氏に御礼申し上げる。今回のとりまとめにおいて、文献の検索期間を限定したことや、文献の入手に当たっては諸般の事情により不十分な点もあり、資料からの転記にとどまり、確認できないデータもあった。今後も先に報告した「海生生物の温度影響に関する文献調査」（下茂ら, 2000）とともに、検索、収集整理を続け、内容の充実に努めることとしたい。

参考文献

- 新崎盛敏 (1976). 海藻の生態. 「海藻・ベントス」, (新崎盛敏著 海洋科学基礎講座5), 東海大学出版会, 東京, pp.93-147.
- ダーリー, W. M. (1987). 成長に影響する環境因子. 「藻類の生理生態学」, (手塚泰彦・渡辺泰徳・渡辺真利代共訳), 培風館, 東京, pp.106-121. 「Daeley, W. M. (1982). Algal biology: A physiological approach」
- 江草周三 (1954). 魚類ガス病発生因としての水中溶存酸素量. 科学, 24(5), 262-263.
- 江草周三 (1959). 溶存窒素過剰に因る魚のガス病について. 広大水畜産紀要, 2(2), 157-183.
- 風呂田利夫 (1988). 東京湾における貧酸素水の底生・付着動物群集に与える影響について. シンポジウム東京湾の物質循環と生物環境. 沿岸海洋研究ノート, 25, 104-113.
- 風呂田利夫 (1991). 東京湾内底生動物の生き残りと繁栄. シンポジウム: 東京湾の環境回復への提言. 沿岸海洋研究ノート, 28, 87-98.
- 古谷純一 (1999). 東京湾奥部において底生生物が受ける貧酸素の影響. 月刊海洋, 31, 504-

514.
平井昭夫・林 智草 (1986). 低酸素海水中におけるムラサキガイの酸素消費量と生存日数. 附着生物研究, **6**, 31-34.
- 飯塚昭二・関 霽紅 (1989). 大村湾における無酸素水塊の形成. シンポジウム：貧酸素水塊. 沿岸海洋研究ノート, **26**, 75-86.
- 今林博道 (1998). 貧酸素下のベントスの生残戦略. 月刊海洋, **30**, 125-132.
- 井上裕雄 (1998). 水環境. 「沿岸の環境圏」, (平野敏行監修), ㈱フジテクノシステム, 東京, pp.561-646.
- 板沢靖男 (1977). 呼吸. 「改訂増補 魚類生理」, (川本信之編), 恒星社厚生閣, 東京, pp.46-91.
- 板沢靖男 (1991). 呼吸. 「魚類生理学」(板沢靖男・羽生 功編), 恒星社厚生閣, 東京, pp.1-34.
- 板沢靖男 (1997). 温度. 「魚類生理学概論」, 恒星社厚生閣, 東京, pp.63-83.
- 板沢靖男 (2001). 魚類の呼吸と血液循環. 日水誌, **67**, 634-639.
- 伊藤克彦 (1990). 環境にやさしい増養殖. 「水産と環境」, (清水 誠編 水産学シリーズ103), 恒星社厚生閣, 東京, pp.19-21.
- 岩本多喜男・羽賀正信 (1970). 亜硝酸塩と毒性. 化学と薬学の教室, **28**, 4-6.
- 岩田宗彦・平野哲也 (1991). 浸透圧調節. 「魚類生理学」, (板沢靖男・羽生 功編), 恒星社厚生閣, 東京, pp.125-150.
- 城 久 (1985). 第15章 瀬戸内海 I (A. 大阪湾, B. 紀伊水道) III 化学 A. 大阪湾. 「日本沿岸海洋誌」, (日本海洋学会沿岸海洋研究部会編), 東海大学出版会, 東京, pp.642-655.
- 城 久 (1989). 大阪湾の貧酸素水塊 シンポジウム：貧酸素水塊. 沿岸海洋研究ノート, **26**, 75-86.
- 柿野 純 (1982). 青潮によるアサリへのへい死原因について 貧酸素水および硫化物の影響. 千葉水試研報, **No.40**, 1-6.
- 柿野 純 (1986). 東京湾奥部における貝類へい死事例特に貧酸素水の影響について. 水産土木, **23**, 41-47.
- 姜 柱替・松田 治・山田民次 (1993). 広島湾の貧酸素と硫化水素がガザミ幼生の初期発達段階に及ぼす影響. 広大生物生産学部紀要, **32**, 26-70.
- 環境庁長官官房総務課 (1992). 水質・土壌汚濁. 「最新環境キーワード」, (環境庁長官官房総務課編), 経済調査会, pp.158-177.
- 環境庁水質保全局 (1995). 平成6年度公共用水域水質測定結果について. 59pp.
- 笠原正五郎 (1966). 用語解説. 水産土木, **2**(2), 54-55.
- 柏木正章 (1990). 水温が魚類に及ぼす影響. 三重大環境科学研究紀要, **No.14**, 79-114.
- Kashiwagi, M., T.Imai, H.Yamamoto, and Y.Sokabe (1986). Effects of temperature and salinity on egg hatch of the Ayu *Plecoglossus altivelis*. *Bull. Fac. Fish., Mie Univ.*, **No.13**, 17-24.
- 河合 章 (1990). 水域における底層水の底酸素化と底質について. 瀬戸内海科学, **2**(2), 36-42.
- 川本信之 (1966). 呼吸. 「新版魚類生理生態学」, (川本信之), 恒星社厚生閣, 東京, pp.1-64.
- 川本信之 (1966). 浸透圧. 「新版魚類生理生態学」, (川本信之), 恒星社厚生閣, 東京, pp.307-331.
- 川村嘉広・山下康夫・鬼頭 鈞 (1991). 養殖ナラワスサビノリの生長と環境条件について. 水産増殖, **39**, 273-279.
- 萱野泰久・水戸 鼓 (1993). キジハタの卵発生及びふ化仔魚の生残に及ぼす塩分の影響. 栽培技研, **22**(1), 35-38.
- 木村晴保・和泉征仁 (1994). 底層の貧酸素が湾の環境に及ぼす影響. 水産工学, **31**, 41-45.
- 木村知博 (1974). 広島湾北部水域における養殖カキの生育と貧酸素水塊の出現の関係について. 水産増殖, **22**(1), 27-33.
- 気象庁 (1990). 塩分 実用塩分の定義. 「海洋観測指針」, (気象庁編), 日本気象協会, 東京, pp.149-151.
- 小林良則 (1993). 東京湾における低酸素水域の分布と小型底びき網の漁獲量との関係. 神水試研報, **No.14**, 27-39.
- 小泉善嗣・河野慈敬・松山紀彦・内田卓志・本城凡夫 (1996). 1994年宇和島周辺で発生した *Gonyaulax polygramma* 赤潮の環境特性と魚介類の大量斃死. *Nippon Suisan Gakkaishi*, **62**(2), 217-224.
- 今 攸・山下 巖・石田信一 (1968). 溶存酸素

- の過飽和によるガザミ幼生のガス病. 水産増殖, **16**(2), 73-80.
- 今 攸 (1973). ガザミ種苗生産の経過と現状. 福井水試報告, **No.81**, 1-54.
- 蔵田 護 (2000). 低水温におけるアサリの低塩分・貧酸素水耐性. 北水試研報, **No.58**, 17-21.
- 桑原 連・秋本 泰・平野禮次郎 (1985). ウシエビの酸素消費量に関する研究. 水産増殖, **33**, 1-6.
- 前田 勝 (1998). 環境指標と基準 (1)水質・底質の指標と基準. 「沿岸の環境圏」, (平野敏行監修), (株)フジテクノシステム, 東京, pp.805-813.
- 町田祐二・三本菅善昭・岡田行親 (1985). 再生期におけるナガコンブの無機窒素吸収と生長について. 北水研報告, **No.50**, 45-61.
- 松川康夫 (1992). II. 水域別の検討 3. 三河湾・東京湾. 「漁場環境容量」, (平野敏行編 水産学シリーズ87), 恒星社厚生閣, 東京, pp.37-48.
- 村井 衛・川辺勝俊・隆島史夫 (1992). シマアジ卵の最適ふ化塩分および水温, 水産増殖, **40**(3), 261-268.
- 永田誠一・名角辰郎・中谷明泰・鷲尾圭司・真鍋武彦 (2001). 近年の播磨灘主要ノリ漁場の環境調査結果. 兵庫水試研報, **No.36**, 59-73.
- 中村幹雄・安木 茂・高橋文子・品川 明・中尾 繁 (1996). ヤマトシジミの塩分耐性. 水産増殖, **44**, 31-35.
- 中村幹雄・品川 明・戸田顕史・中尾 繁 (1997). ヤマトシジミの貧酸素耐性. 水産増殖, **45**, 9-15.
- 中村幹雄・品川 明・戸田顕史・中尾 繁 (1997). ヤマトシジミの硫化水素耐性. 水産増殖, **45**, 17-24.
- 中尾 繁 (1978). 能取湖湖口の周年開口による環境変化, 特に無生物域の消滅 II. 底生動物の出現と底質中の全硫化物量. 水産土木, **15**, 13-17.
- 日本水産資源保護協会 (1992). 環境が海藻類に及ぼす影響を判断するための”判断基準”と”事例”. 日本水産資源保護協会, 東京, 104pp.
- 日本水産資源保護協会 (2000). 水産用水基準 (2000年版). 日本水産資源保護協会, 東京, 96pp.
- 能勢幸雄・羽生 功・岩井 保・清水 誠編 (1989). 塩分と魚. 「魚の事典」(能勢幸雄監修), 東京堂出版, 東京, pp.63-64.
- 小倉紀雄 (1985). 第9章 東京湾 III 化学. 「日本沿岸海洋誌」, (日本海洋学会沿岸海洋研究部会編), 東海大学出版会, 東京, pp.362-372.
- 小河久朗・金谷夏広・木内悦子 (1996). 褐藻ヒジキの仮根形成に及ぼす温度と塩分の影響. 水産増殖, **44**, 407-411.
- 岡市友利 (1987). 貧酸素水塊. 「海洋大事典」, (和達清夫監修), 東京堂出版, 東京, pp.414.
- 荻田健二 (1985). 貧酸素水と硫化水素水のアサリのへい死に与える影響. 水産増殖, **33**, 67-71.
- 鬼塚正光 (1989). 東京湾の貧酸素水塊. シンポジウム: 貧酸素水塊. 沿岸海洋研究ノート, **26**, 99-100.
- 越智 正 (1986). 貧酸素化. 「漁業からみた閉鎖性海域の窒素・リン規制」, (村上彰男編 水産学シリーズ62), 恒星社厚生閣, 東京, pp.48-57.
- Redfield, A.C., B.H.Ketchum and F. A. Richards (1963). The influence of organisms on the composition of sea-water. *In*: Hill, M. N. ed., *The Sea*, 2, Interscience Publishers, New York, pp.26-77.
- ローズ, E. A. (1996). 毒性学. 「水環境の基礎科学」, (神田穰太・神田玲子訳), 技報堂出版, 東京, pp.199-242. 「Edward A. Laws(1993). *Aquatic pollution*. John Wiley & Sons, Inc., New York」
- 鷲 猛 (1987). 塩分, 塩分の分布. 「海洋大事典」, (和達清夫監修), 東京堂出版, 東京, pp.38-41.
- 西條八東・八木明彦・三田村緒佐武 (1985). 第13章 伊勢湾・三河湾 III 化学. 「日本沿岸海洋誌」, (日本海洋学会沿岸海洋研究部会編), 東海大学出版会, 東京, pp.528-545.
- 斉藤節雄・佐々木睦子・李 海鷗・清水幹博・山田寿郎 (1990). ヒラメ稚魚の成長と代謝に及ぼす低塩分環境の影響. 北水試研報, **No.34**, 1-8.
- 斉藤雄之介 (1962). ワカメの増殖に関する基礎的研究. 東大水産実験所業績, **3**, 1-102.

- 佐々木克之 (1993a). 内湾および干潟における物質循環と生物生産 [1]地球環境問題と物質循環. 海洋と生物, **15**, 17-23.
- 佐々木克之 (1993b). 内湾および干潟における物質循環と生物生産 [3]貧酸素水塊の形成機構. 海洋と生物, **15**, 170-177.
- 佐々木克之 (1993c). 内湾および干潟における物質循環と生物生産 [4]東京湾の青潮の形成機構. 海洋と生物, **15**, 249-254.
- 清水 誠 (1988a). 東京湾内湾における底棲魚介類の分布 シンポジウム：東京湾の物質循環と生物環境. 沿岸海洋研究ノート, **25**, 96-103.
- 清水 誠 (1988b). 環境問題と水産資源. 「河口・沿岸域の生態学とエコテクノロジー」, (栗原康編), 東海大学出版会, 東京, pp.182-193.
- 下茂 繁・秋本 泰・高浜 洋 (2000). 海生生物の温度影響に関する文献調査. 海生研研報, **No.2**, 351pp.
- 鈴木輝明 (1998). 貧酸素化. 「沿岸の環境圏」, (平野敏行監修), (株)フジテクノシステム, 東京, pp.475-479.
- 玉井恭一 (1990a). 底生生物. 「海面養殖と養魚場環境」, (渡辺 競編 水産学シリーズ82), 恒星社厚生閣, 東京, pp.69-78.
- 玉井恭一 (1994b). シズクガイの硫化水素耐性. 日本ベントス学会誌, **No.46**, 41-48.
- 玉井恭一 (1994c). ベントスによる養殖漁場環境の評価 平成6年度研究会 養殖漁場 環境とベントス, 日水誌, **61**, 268-269.
- 田辺 伸・山口利夫 (1995). 東京湾の長期的水質変化について-I 水温・塩分・底層の溶存酸素量の変化. 千葉水試研報, **No.53**, 63-72.
- 角皆静男 (1987). 溶存酸素. 「海洋大事典」, (和達清夫監修), 東京堂出版, 東京, pp.477-478.
- 角皆静男・乗木新一郎 (1983). 生物活動の化学方程式化. 「海洋化学-化学で海を解く」, (西村雅吉編), 産業図書, 東京, pp.114-117.
- 上野和彦・梅沢 敏・坂口清次・福原 修 (1981). トリガイ *Fulvia mutica* (REEVE) の酸素消費量と高水温期におけるへい死との関係について. *Bull. Nansei Reg. Fish. Res. Lab.*, **No.13**, 18-28.
- 上野信平・山元護太郎 (1982). *Capitella capitata* ならびに *Paraprionospio pinnata* の生理的耐忍性について. ベントス研会誌, **No.23**, 60-68.
- 和田英太郎 (1988). 化学環境. 「河口・沿岸域の生態学とエコテクノロジー」, (栗原康編著), 東海大学出版会, 東京, pp.26-31.
- 若林明子 (2000). 化学物質と生態毒性. 産業環境管理協会, 東京, 486pp.
- 山田佳昭 (1992). 東京内湾における貧酸素水の季節的消長. 神水試研報, **No.13**, 65-72.
- 山口峰生 (1993). 渦鞭毛藻類. 「水域の窒素：リン比と水産生物」, (吉田陽一編 水産学シリーズ95), 恒星社厚生閣, 東京, pp.11-19.
- 山口峰生 (1998). 赤潮. 「沿岸の環境圏」, (平野敏行監修), (株)フジテクノシステム, 東京, pp.181-190.
- 山元憲一 (1992). マナマコの酸素消費に及ぼす低酸素と水温の影響. 水産増殖, **40**, 313-316.
- 山下金善 (1964). マダイ養殖の基礎的研究-IV 稚仔に疾病について 1. ガス病. 水産増殖, **16**, 127-133.
- 柳 哲雄 (1989). シンポジウム「貧酸素水塊」のまとめ シンポジウム：貧酸素水塊. 沿岸海洋研究ノート, **26**, 141-145.
- 八杉龍一・小関治男・古谷雅樹・日高敏隆 (1996). 温度係数. 「岩波生物学辞典」第4版, 岩波書店, 東京, p.174.
- 八杉龍一・小関治男・古谷雅樹・日高敏隆 (1996). ボーア効果. 「岩波生物学辞典」第4版, 岩波書店, 東京, pp.1298.
- 八杉龍一・小関治男・古谷雅樹・日高敏隆 (1996). ルート効果. 「岩波生物学辞典」第4版, 岩波書店, 東京, pp.1493.
- 安永義暢 (1975). ヒラメ卵稚仔の発生・生残に及ぼす水温・塩分の影響について. 東海水研研報, **No.81**, 151-169.
- 安永義暢 (1998). 環境を利用した資源生物の行動抑制. 「沿岸の環境圏」, (平野敏行監修), (株)フジテクノシステム, 東京, pp.437-443.
- 横山 寿 (2000). 環境基準としての底生生物. 養殖, **37**(11), 114-117.

用語解説

1. AOU (apparent oxygen utilization) みかけの酸素消費量：酸素の消費量を表す尺度として使われる。その海水の水温と塩分から決まる飽和量と実測値との差である。“みかけ” というのは、飽和量が水温と塩分の一次関数ではないので、混合のある海水では真の飽和量はわからないからである。
2. Bohr効果 (Bohr effect)：ヘモグロビンのような酸素運搬能を持つ物質が水溶液または血液の中にあるとき、二酸化炭素の分圧が上昇するかあるいは pH が低下すると、酸素分圧に変化がなくても酸素飽和度が減少し酸素がたやすく伝達体から離れてくる現象。
3. 孵化時間 (HT : hatching time)：特定の条件 (水温, 化学物質等の濃度) に接触された受精卵のうち特定の比率の受精卵が孵化する時間で、例えば特定の濃度の物質に接触された受精卵の50%が孵化する時間は HT_{50} とする。
4. 致死濃度 (LC : lethal concentration)：特定の比率の生物を死亡させる物質の濃度で一般的には半数致死濃度 LC_{50} を用いる。例えば96時間接触された生物の50%が死亡する物質の濃度は $96h-LC_{50}$ とする。
5. 致死時間 (LT : lethal time)：特定の (水温, 化学物質等の濃度) に接触された生物のうち特定の比率の生物が死亡する時間で、例えば特定の濃度の物質に接触された生物の50%が死亡する時間は LT_{50} とする。また、接触された生物の10, 50, 100%が死亡する日数をそれぞれ LD_{10} , LD_{50} , LD_{100} とする場合がある。
また、 LD_{50} (50% lethal dose) には、化学物質の急性毒性の指標であり、投与した動物の半数 (50%) が死亡すると推定される投与量のことと半致死量, 50%致死量ともよばれるものもある。
6. psu (実用塩分値) : practical salinity units (または pss : practical salinity scale) 実用塩分 (塩分と記す) は、1気圧, 15°Cにおける塩化カリウム (KCl) 標準液 (1kg中に32.4356gのKClを含んだ水溶液) との電気伝導度比によって定義 (UNESCO,

1980) されている。

塩分は記号Sで表し、無次元の値であり、数値のみで表示する。実用塩分値であることを明確にするために、psuまたはpssをつけて表示することもある。

7. Q_{10} (温度係数 : thermal coefficient) : 生体における化学反応に対する水温の影響は Q_{10} で表わされる。水温 $t+10^{\circ}\text{C}$ と $t^{\circ}\text{C}$ とにおける反応速度の比 v_{t+10}/v_t で、水温が 10°C 上昇した時の反応速度が何倍になるかという係数で、酸素消費量や心拍数、発生速度などにも用いられる。常温付近 ($10\sim 30^{\circ}\text{C}$) では、一般に $Q_{10}=2\sim 3$, 低温 ($0\sim 10^{\circ}\text{C}$) では4以上の値を示すことも少なくない。光化学反応では $Q_{10}=1$ である。
8. レッドフィールド比 (Redfield ratio) : 多くの海洋生物の生体元素の比は、種, 季節, 生育段階によって異なるが、それらが集合した海洋を考えると統計的平均値はあまり変化しない。有機化とは生物がその組成比で海水から化学成分を抜き出すこと、無機化とは生物体が分解してその比で各海水成分の濃度を増やすことと考えることができる。この時、酸素の量を知れば各成分の変化量の絶対値を見積もることもできる。Redfieldら (1963) がこの等量関係を証明し、細胞内平均の炭素C : 窒素N : リンP : 酸素O比は $106 : 16 : 1 : 276$ であるとし、この関係をレッドフィールド比といい、特に海域における植物プランクトンの増殖にNとPが制限栄養塩となるため水質のN : P比16が注目される。
9. Root効果 (Root effect) : 呼吸色素が結合する酸素の量が、pHが上昇した場合には十分に酸素分圧が高いときに低下する現象。Bohr効果がpHの上昇にともない呼吸色素の酸素解離曲線を右方向に移動させるのに対し、Root効果は下方向に移動させる。多くの硬骨魚類のヘモグロビンはBohr効果に加えてRoot効果をもつことにより多量の酸素を運搬することができる。
10. Weissの式 : 大気中の酸素が海水に溶ける量は、温度と塩分の関数であり $\ln C = A_1 + A_2 (100/T) + A_3 \ln (T/100) + A_4 (T/100) + S [B_1 + B_2 (T/100) + B_3 (T/100)^2]$ で示すことができるとしている。

下茂ら：海生生物の水質環境耐性について

ここで、 C は mL/L 単位の酸素の溶解度、
 T は絶対温度(K)、 S は塩分(‰)であ
り、各定数は $A_1=-173.4292$ 、 $A_2=249.6339$ 、

$A_3=143.3483$ 、 $A_4=-21.8492$ 、 $B_1=-0.033096$ 、
 $B_2=0.014259$ 、 $B_3=-0.0017000$ である。

第1-1表 海生生物への溶存酸素の影響 総括表

種名	発育段階	試験条件(溶存酸素量mL/L, 飽和度% 他)	試験結果	参考文献*1
A-1 アオハタ	未成魚期	DO : 0.53, 1.23, 4.81 mL/L, 体重98g (飽和度10.9, 24.5, 96.6%), 水温25.9℃	酸素消費量の減少は酸素飽和度25%から始まり, 約10%でも窒息死なし	山元ら(1987)
A-2 アユ	仔稚魚期 成魚期	20-30, 30-40, ~, 80-90%, 2-8g, 24-25℃ 約30.40, ~, 100%, 64.3g, 29個体, 26.4℃体重	飼育水の溶存酸素量は飽和度45%以上に保たれるべき 飽和度29%で29尾中13尾が窒息死	千葉(1988) 山元・高殿(1985)
A-3 イサキ	未成魚期	89g, 20.2℃	酸素消費量*2 : 104mL/kg/時	全沿漁*3 (1993)
A-4 ウナギ	仔稚魚期	約10, 20, ~, 100%, 4.96g, 120個体 27.1℃	低酸素水域からの逃避は飽和度35%より始まる. 酸素消費量は逃避が始まる飽和度より低下すると著しく減少	山元(1990)
	未成魚期	約10, 20, ~, 100%, 79.8g, 18個体, 26.8℃ 358-397, 403-442, 456-473, 515-541, 566-583 660-679%	飽和度 20-30%以下で酸素消費量が著しく減少 飽和度 400%を越えると鰭その他皮下の気泡の生ずる可能性があり 500%を越えると生命の危険を生ずる	山元・高殿(1985) 江草(1954)
A-5 カサゴ	未成魚期	12.7, 30.5, 95.9%, 8.6g, 44個体, 26.1℃	正常酸素消費量の維持限界酸素飽和度は30.5%. 12.7%でも窒息死なし 酸素消費量 : 55mL/kg/時 (20℃)	山元ら(1990) 全沿漁(1993)
A-6 カワハギ	未成魚期	0.80, 2.04, 4.67mL/L, 52g, 49個体 (15.7, 42.1, 96.6%), 27.7℃	酸素消費量の減少が始まる酸素飽和度は40%で, 約16%で窒息死が起こっている	山元ら(1987)
A-8 キュウセン	未成魚期	0.46, 2.57, 4.66mL/L, 67g, 17個体 (9.3, 52.0, 94.5%), 26.5℃	酸素消費量の減少が始まる酸素飽和度は50%で, 約10%まで低下しても窒息死が起こらない	山元ら(1987)
A-9 クラカケトラギス	未成魚期	1.09, 1.45, 4.69mL/L, 21g, 36個体 (22.2, 29.6, 95.7%), 26.5℃	正常酸素消費量の維持限界の酸素飽和度は29.6%. 22.2%で窒息死が起こっている	山元ら(1990)
A-10 サケ	孵化期 仔稚魚期	卵期, 仔稚魚期 水槽排水部で2, 3, 4, 5 ppm, 約 5,000個体 卵期, 稚魚期	水質酸素量好適値 *4 ; ~7mL/L 仔魚の発育は2ppm < 3ppm < 4ppm < 5ppm, 排水部DOは5ppm 以上必要 酸素消費量 : 9.5-25.7mL/kg/時 (20℃) (孵化~浮上期) 酸素消費量 : 160-180mL/kg/時 (10℃)	全沿漁(1993) 松島(1993) 全沿漁(1993)
A-12 シロギス	未成魚期	3.15-4.78mL/L, 17.9-32.1g, 20, 23, 26, 29℃ (68.4-89.0%)	酸素消費量 : 60.9-165.3mL/kg/時 (遡上サケ9.0-15.3℃) 日間成長率, 増重量は 20-26℃まで水温とともに増大, 29℃で26℃より減少. 耐忍限界値 1.4-1.8mL/L (飽和度30-36%) (23-29℃) 酸素消費量 : 240-634mL/kg/時 (20-29℃)	城戸・木下(1985)
A-13 トラフグ	成魚期 未成魚期	<i>S.sihama</i> 体重132g, 21.5℃ 0.95, 2.00, 4.98mL/L, 18.3g, 26個体 (19.1, 40.2, 100.2%), 25.7℃	酸素消費量 : 339mL/kg/h (板沢1977) 正常酸素消費量の維持限界の酸素飽和度は40.2%. 19.1%で窒息死が起こっている	山元ら(1990)
A-14 ネズミゴチ	未成魚期	0.69, 1.65, 4.91mL/L, 22.3g, 36個体 (13.7, 32.7, 97.2%), 24.7℃	正常酸素消費量の維持限界の酸素飽和度は32.7%. 13.7%で窒息死が起こっている	山元ら(1990)
A-15 ハナオコゼ	未成魚期	0.58, 1.40, 4.67mL/L, 85g, 18個体 (11.9, 28.7, 94.5%), 27.1℃	酸素消費量の減少が始まる飽和度は30%で, 約10%まで低下しても窒息死は起こらない	山元ら(1987)

*1:生物種別総括表の文献リスト参照,*2:安静状態での酸素消費量,*3:全沿漁:全国沿岸漁業振興開発協会,*4:好適値:生息域の標準値または実験上の好適値

第1-2表 海生生物への溶存酸素の影響 総括表

種名	発育段階	試験条件(溶存酸素量mL/L, 飽和度% 他)	試験結果	参考文献
A-16 ヒラメ	仔稚魚期	塩分 20,40,60,80,100%海水, 日令3-40, 5-30 個体, 水温20°C	成長に伴う標準酸素消費量は孵化後 10-14日目にかけて急減した. 酸素消費量は低塩分で急増し, 生残は13日令以降20%海水区で激減した 酸素消費量: 500-1,500mL/kg/時 (20°C) 酸素消費量: 50-280mL/kg/時 (20°C) 酸素消費量: 13-23mL/kg/時 (10°C)	日向野・安永 (1986) 全浴漁(1993)
A-17 ブリ	未成魚期 成魚期	単位体重あたりの酸素消費量① 1.6- 7.6g 20°C ②10.8-878 g	① $VO_2 = BW^{0.76}$ ② $VO_2 = BW^{0.48}$ 酸素消費量: 60-700mL/kg/時 (20g, 22-25°C) 酸素消費量: 150mL/kg/時 (850g, 14.5°C) 酸素飽和度が低下しても正常酸素消費量の値を維持したが, 酸素消費量の減少する過程を示さずに34.9%に低下すると窒息死が起こる	Kikuchi <i>et al.</i> (1990) 全浴漁(1993)
	仔稚魚期 仔稚魚期 未成魚期			
A-19 マアジ	成魚期	酸素飽和度 21.9, 34.6, 38.6, 55.8, 74.3, 85.5, 100.2%, 114g, 54個体, 16.5°C	酸素消費量は飽和度が75%より低下すると呼吸運動に影響がでるが, 44%以上であれば生存可能 酸素消費量: 444mL/kg/時 (137g, 21.5°C)	山元(1991) 全浴漁(1993)
A-20 マコガレイ	未成魚期	貧酸素耐性: 17-51%の5段階 塩分 33.13	酸素飽和度30%までは24時間後の死亡率は0%, 25%までは50%, 19%では 100%の死亡率 半数致死飽和度は 23-26%(1.2-1.3mL/L) 付) ヨシエビ稚仔 7-12% ガザミ小型 9-13% クルマエビ稚仔 14-21% サルエビ 16-19% マハゼ 18-21%	矢持ら(1998)
A-21 マダイ	仔稚魚期	180-200%, 孵化後4日目, 水温27°C	酸素消費量: 77.2mL/kg/時 (55g, 25°C) ガス病: 横向きあるいは仰向きで浮上 (飽和度 180-200%)	全浴漁(1993) 山下(1964)
	未成魚期	稚魚期 1.47, 2.02, 4.80mL/L, 200g, 44個体 (29.8, 41.7, 97.7 %), 26.6°C 21-22cm (1年魚), 28-29°C	酸素消費量: 352mL/kg/時 (20°C) 酸素消費量: 92mL/kg/時 (101g, 18.8°C) 酸素消費量: 183mL/kg/時 (124g, 22.5°C) 酸素消費量の減少が始まる飽和度は50%で, 約30%で窒息死が起こる 3.43mL/L (4.9ppm : 飽和度73%) 以上で生残, 3.7ppm (55%) 以下で24時間以内に10尾中1尾, 2.9ppm (44%) で 5.2時間以内に全死	全浴漁(1993) 山元ら(1987) 城戸(1989)

*⁵: 限界値; 生息域の限界値または実験上の限界値

第1-3表 海生生物への溶存酸素の影響 総括表

種名	発育段階	試験条件(溶存酸素量mL/L, 飽和度% 他)	試験結果	参考文献
A-21 マダイ (つづき)	未成魚期 成魚期		96h-LC ₅₀ = 3.1ppm 酸素消費量: 123mL/kg/時 (720g, 15.0°C) 酸素消費量: 210mL/kg/時 (1250g, 25.5°C)	城戸(1989) 全沿漁(1993)
A-22 ワカサギ A-23 海産硬骨魚類 36種	孵化期	卵期 実験Ⅰ: 呼吸室への流入水の酸素量: 5.15±0.09mL/L 酸素飽和度96.4±1.6% 実験Ⅱ: 呼吸室への流入水の酸素量: 4.71±0.16mL/L 酸素飽和度95.5±3.1%	酸素消費量: 0.26-8.4mg/万粒/時 酸素消費量(M,mL/min./fish)と体重(W,g)の間には 水温 21.4±0.4°Cのとき M = 0.00401W ^{0.786} (R ² =0.931,n=290) 26.2±0.8°Cのとき M = 0.00534W ^{0.811} (R ² =0.883,n=1358) 未知の魚種でも体重および生息場所の水温を知らば安静状態の推測可能 底生魚は小さめに遊泳性の大きな魚種は大きめに酸素消費量を修正 すれば信頼性が大となる	全沿漁(1993) 山元ら(1990)
B-1 ウシエビ B-2 ガザミ	底生期 浮遊期	親エビ 10-18g ゾエアⅠ期 121-145%	塩分30‰では酸素飽和度50%以下で酸素消費量の低下が著しい ガス病: 酸素飽和度 121-145%の範囲で 2.5時間で発症 自然海水に戻すと 1.5時間で回復 酸素飽和度 184%, pH 8.6以上で発症	桑原ら(1985) 今ら(1968) 今(1973) 日水資* ⁶ (1981)
B-3 クルマエビ	底生期	ゾエアⅡ期 幼ガニ 甲幅 47-68mm, 9-21,14-19,25-30% 稚貝期, 成体期 稚仔 体長 27-50mm 稚エビ期 未成体期 成体期	24h-LC ₅₀ = 9-13% (酸素飽和度) 水質酸素量限界値: 3mL/L~ 24h-LC ₅₀ = 14-21% (酸素飽和度) 水質酸素量限界値: 2mL/L~ 酸素消費量: 420-720mL/kg/時 (20°C) 酸素消費量: 77-135mL/kg/時 (3-18g, 23°C砂中) 活動中は約3倍 水質酸素量好適値: 4mL/L~ 水質酸素量限界値: 2.5mL/L~ 酸素消費量(a,mL/g/h)と温度(t°C)の関係 a = 0.0029t-0.0137 (前川ら 1955)	矢持(1995) 全沿漁(1993) 矢持(1995) 全沿漁(1993) 海生研(1991) 全沿漁(1993) 海生研(1991)
B-4 ヨシエビ	浮遊期 底生期	ゾエア期 25個体, 72時間接触 ミス期 25個体, 72時間接触 稚仔 体長 27-40mm	生存率 DO 3.4 以下で低下 生存率 DO 1.5 以下で低下 24h-LC ₅₀ = 7-12%以下 (酸素飽和度)	Kang and Matsuda. (1994) 矢持(1995)
C-1 アカガイ	底生期	水温 25-23°C 未成貝期, 成貝期	DO 0.5mL/LでLD ₅₀ = 約10日間 (高見ら1980) DO 1mL/L以下で呼吸量の低下 (田村1938) 水質酸素量好適値; 4.2mL/L~ 水質酸素量限界値; 1.39mL/L~ 酸素消費量: 24.5mL/kg/時 (23°C)	中西(1981) 全沿漁(1993)

*⁶: 日水資; 社) 日本水産資源保護協会

第1-4表 海生生物への溶存酸素の影響 総括表

種名	発育段階	試験条件(溶存酸素量mL/L, 飽和度% 他)	試験結果	参考文献
C-2 アコヤガイ	底生期	4, 6, 8月の水温 15-27°C 体重 38g	酸素摂取量は4月から6月の水温上昇によって増加する. 8月の高温による影響が生じた 1.0-1.5mL/L以下開閉頻度の増大, 0.5mL/L以下長時間の閉殻(宮内ら1970) 1.5-1.0mL/L程度より影響がみられ, 0.2mL/L以下で危険(宮内ら1966) 酸素消費量: 0.00-0.18mL/g湿肉/h (関1972) 酸素消費量: 0.9-1.2mL/個体(桑谷ら1970)	山元ら(1999) 山元(2000) 日水資(1981)
C-3 アサリ	底生移行期~底生期	DO: 1.4~, ~0.7mg/L DO: 1ppm以下 DO: 6月0.58-0.80ppm, 24°C; 9月0.22-0.49, 24.2-25.3; 11月0.82-1.12, 16.8-18.5 全重量 10g程度, 5個体	1.4mg/L以上で異常なく生息, 0.7mg/L以下では4日目より斃死 生存日数: 6月; 3日間, 9月; 2日間, 11月; 7日間以上生存 6-9月採取貝は 48-96時間の冠水が生息の限界. 11月採取貝はさらに長時間耐えた	倉茂・松本(1957) 柿野(1986) 柿野(1982)
C-4 エゾアワビ	底生期	DO: 4.73, 5.32, 5.46, 5.88, 6.36, 6.90mL/L, 全体重 1.5-151g, 水温8.3-28.0°C	酸素消費量: R = 1.318T ^{1.480} W ^{0.699} (O ₂ μL/個体/時間), W: 湿肉重(g) 酸素消費量は日没前後から夜半にかけて約20%増加する日周変化を示す 酸素消費量: R = 0.0210W ^{0.8025} · 1.0963 ^T , T: 水温(8-20°C) (R: O ₂ mL/個/時) W: 体重(5-150g)	全沿漁(1993) 浮・菊地(1975) 全沿漁(1993)
C-5 シズクガイ	浮遊期	DO: 0~飽和の5段階, 殻頂期幼生, 21.1°C DO: 0~飽和の5段階, 変態期幼生, 21.1°C	無酸素で24時間以内全死, 1.0mL/L死亡率10-20%, 1.7mL/Lで殆ど死なし 無酸素で24時間生存, 48時間以内ほぼ全死, 1.0mL/L以上で殆ど死亡せず 1.7mL/Lで飽和時と同様よく成長	Tamai(1996)
	底生期	DO: 0-2, 4mg/L, 殻長7.4, 8.5mm 水温 15, 25°C, 10個体	無酸素15°Cで2日間, 25°Cで1日間生存, 1.3-1.4mg/Lで4日間生存, 2.2-2.4mg/Lで健全. 無酸素耐性は高くないが貧酸素耐性は高い	玉井(1993)
C-6 トリガイ	底生期	殻長63-85mm, 6-9個体, 水温15-24°C DO: ① <0.5, ② <1, ③ >2 殻長63-85mm, 20°C	酸素消費量: 15→24°Cで増加, 24°Cで最大, 26-28°Cで低下 ① LT ₁₀₀ = 24時間天然海域でも高水温期(25-27°C)には溶存酸素量の低下(1mL/L前後)が斃死に最大の影響 ② LT ₁₀₀ = 40時間 ③ 異常なし, 2mg/L以下で低下	野上ら(1981)
C-7 ハマグリ	底生期	未成貝, 成貝期 大型貝 小型貝 25g, 5.5°C	酸素消費量: 14.6mL/kg/時(28°C) 酸素消費量: 26.7mL/kg/時(33°C) 21.5mL/kg/時(田村1976)	全沿漁(1993)
C-8 ホタテガイ	底生期	DO: 無酸素区 = 0.01-0.03mg/L, 0.1-0.2% 低酸素区 = 1.5-2.1mg/L, 17.0-23.8% 対照区 = 8.4-8.8mg/L, 95.2-99.7% 殻高84-110mm, 2個体, 13.5°C	無酸素区 LT ₅₀ = 22.2時間 水温13.5°Cの無酸素下で全数生存は16時間, 飽和度17.0-23.8%では斃死なし 2mL/L以下で呼吸量が減少(田村1938)	日水資(1981) 桜井ら(2000)
C-9 マガキ	底生期	未成貝, 成貝期 未成貝, 成貝期	酸素消費量: 24.2mL/kg/時(15°C) 水質酸素量好適値; 4.5-6mL/L 水質酸素量限界値; 1.5-6mL/L	全沿漁(1993) 全沿漁(1993)

第1-5表 海生生物への溶存酸素の影響 総括表

種名	発育段階	試験条件(溶存酸素量mL/L, 飽和度% 他)	試験結果	参考文献
C-10 ムラサキイガイ	底生期	DO: 0.8mL/L, 殻長1.7, 5.9cm, 水温10, 20°C	水温20°Cで呼吸量が減少する濃度は ① 殻長 5.9cmで 0.5mL/L ② 殻長 1.7cmで 0.1mL/L, 小型個体ほど低酸素水の影響が少ない 水温10°Cで 0.07mL/L以下でも45日以上生存(殻長 2.0cm)	平井・林(1986)
C-11 ヤマトシジミ	底生期	成貝16-28mm, 50個体, ①水温25-28°C ②水温19-30°C DO: 0, 0.5, 1.0, 2.0, 3.0mg/L 成貝(16.4mm), 稚貝(3.1mm) 20個体, 10, 20, 30°C	① 酸素消費量は4mL/L以下になると低下 ② 25-30°Cでは0mL/Lで5時間から斃死が始まる 19°Cに比べ30°Cでは斃死率 2.3倍 ① 成貝と稚貝では貧酸素耐性に顕著な差はない ② 水温は高いと貧酸素耐性は低下する ③ 1.0mg/L 以下で生存に影響するが 1.5mg/L以上で影響なし	位田・浜田(1975) 中村ら(1997a)
D-1 ユニ類 付-1 アカニ 付-2 バフンニ 付-3 ムラサキニ D-2 マナマコ	浮遊期 底生期 底生期	受精後 12-96時間のプルテウス幼生の腕長 アカニ, バフンニ, ムラサキニ 未成体, 成体期: バフンニ クロナマコ: 130.5g, 120個体 9.9, 14.0, 18.1°C 未成体, 成体期	0.4 - 1.0mL/L 以上の溶存酸素があれば90%以上が正常孵化する 酸素消費量: 5-8mL/kg/時 ① 9.9°Cでは酸素飽和度27.5%まで正常 ② 14.0°Cでは38.4%まで正常 ③ 18.1°Cでは38.1%まで正常 ④ 酸素消費量は水温22°Cあるいは23°Cで最大 酸素消費量: 43.5mL/kg/時 (5g, 18.5°C) 酸素消費量: 15.0mL/kg/時 (50g, 18.5°C) 酸素消費量: 3.0mL/kg/時 (165.0g, 5°C) (谷川ら1977)	海生研(1995) 全沿漁(1993) 山元(1992) 全沿漁(1993) 日水資(1981)
E-1 多毛類 付-1 <i>Paraprionospio</i> sp. (A) 付-2 <i>Capitella</i> <i>capitata</i> 付-3 <i>Diopatra</i> <i>bilobata</i> 付-4 <i>Polydora</i> <i>cornuta</i>	底生期	1.大阪湾奥の底生生物の分布と季節変化 東京湾奥の底生生物の分布と季節変化 <i>Paraprionospio</i> sp. (A) 2.駿河湾田子の浦港と用宗港採集, 室内実験 (1) <i>Capitella capitata</i> (2) <i>Diopatra bilobata</i> 3.瀬戸内海福山港 底生個体の出現状況 <i>Polydora cornuta</i>	① 20°CでヨツバナスピオA はDO量が3mg/Lを下回ると活性が低下 ② 1 mg/L以下の低酸素条件でも即死せず, 1日間から数日間生き延びる 独立域の下限值 依存域の下限值 即死域の上限值 (1) 2.1 mL/L 1.0 mL/L 0.7 mL/L (2) 2.4 1.2 0.4 ① DO量は6-10月底層が0-2.5%とほぼ無酸素状態になり11月以降は 60%を超えた ② 底生個体は5月に底層の貧酸素化とともに減少し7-10月に出現なし 出現時期は冬~春季に限定した ③ 酸素飽和度50%以下で底生個体密度が低下 ④ 浮遊幼生は9-11月減少。酸素飽和度10%まで分布。貧酸素耐性あり	細川・堀江(1989) 上野・山本(1982) 山田ら(2001)

第2-1表 海生生物への溶存酸素と硫化水素の影響 総括表

種名	発育段階	試験条件(溶存酸素量mL/L, 飽和度% 他)	試験結果	参考文献
B-2 ガザミ	浮遊期	DO : 1.5-7.3mL/L, H ₂ S : 0-31.2 μg/L ゾエア期30個体, メガロツパ期20個体 水温 20-22.5°C	ゾエア期 : 生存率 DO 3.4mL/L以下で低下, H ₂ S 5.2 μg/L以上で低下 メガロツパ期 : 生存率 DO 2.6mL/L以下で低下 H ₂ S 9.5 μg/L以上で低下 DOと H ₂ Sの複合影響で生存率は低下	姜ら(1993)
	底生移行期 ~底生期	広島湾奥部と江田内湾の水質調査 DO : 0.35-7.3mL/L, H ₂ S : 0-31.2 μg/L 稚ガニ期20個体, 20-22.5°C	メガロツパ期以前のガザミ幼生期の鉛直移動により影響が憂慮される 稚ガニ期 : 生存率 DO 1.5mL/L以下で低下, H ₂ S 19.7 μg/L以上で低下 H ₂ S の 96h-LC ₅₀ = 31.5 μg/L LT ₅₀ = 28h, 生存日数 36h (DO : 0.35mL/L, H ₂ S : 0 μg/L) LT ₅₀ = 20h, 生存日数 31h (DO : 0.35mL/L, H ₂ S : 12.1 μg/L)	姜・松田(1993)
B-3 クルマエビ	底生移行期	広島湾奥部と江田内湾の水質調査 DO : 3.84mL/L, H ₂ S : 0-5.0 μg/L ポストラバ期, 体長9.5mm, 5個体	底生期の稚ガニ期への影響が憂慮される H ₂ S の 1h-LC ₅₀ = 3.1ppm	姜ら(1993) 平岡(1999)
	底生期	DO : 3.79mL/L, H ₂ S : 0-4.5 μg/L 若年エビ期 体長8.3cm, 5個体	H ₂ S の 1h-LC ₅₀ = 3.2ppm	
B-4 ヨシエビ	浮遊期	DO : 1.5-7.3mg/L, H ₂ S : 0-32.3 μg/L ゾエア期, ミシス期25個体 21.5±1.3°C, 21.0±1.4°C	ゾエア期 : 48h-LC ₅₀ = 8.7 μgH ₂ S/L 72h 生存率 DO 3.4mg/L ミシス期 : 48h-LC ₅₀ = 11.4 μgH ₂ S/L 72h 生存率 DO 1.5mg/L	Kang and Matsuda (1994)
	底生移行期 ~底生期	DO : 0.20-7.3mg/L, H ₂ S : 0-50 μg/L 稚エビ期20個体, 21.5, 22.0°C DO : 1.5-7.3mg/L, H ₂ S : 0-32.3 μg/L 稚エビ期25個体, 22.2°C	生存率 : DO 3.4以下+H ₂ S 10 μg/L の複合条件下で DO 単独より低下 稚エビ期 : H ₂ S の96h-LC ₅₀ =35.2 μg/L LT ₅₀ = 22h, 生存日数 28h (DO : 0.20mL/L, H ₂ S : 0 μg/L) LT ₅₀ = 22h, 生存日数 33h (DO : 0.20mL/L, H ₂ S : 11.8 μg/L) H ₂ S の48h-LC ₅₀ = 18.5 μg/L 48時間生存率 : DO : 1.5mg/L以下で低下 (DO : 1.5-7.3mL/L, H ₂ S : 0 μg/L) 72時間生存率は DO : 2.5mg/L以下, H ₂ S : 10 μg/Lの複合条件下でDO単独より低下 (DO : 2.5-7.3mL/L, H ₂ S : 0-10 μg/L) 夏季の幼生の資源は大きな悪影響を受ける	姜・松田(1993)

第2-2表 海生生物への溶存酸素と硫化水素の影響 総括表

種名	発育段階	試験条件(溶存酸素量mg/L, 飽和度% 他)	試験結果	参考文献
C-3 アサリ	底生移行期 ~底生期	DO : 0mg/L, Sulfide-S : 6.5-13.9mg/L 英虞湾殻長32mm, 50個垂下, 8月 DO : 7.6-8.0mg/L, Sulfide-S : 0mg/L 英虞湾殻長32mm, 50個垂下, 10-11月 DO : 0-0.36mg/L, Sulfide-S : 0mg/L 20°C, 殻長25mm, 10個体 DO : 0mg/L, Sulfide-S : 3.7mg/L 20°C, 殻長25mm, 10個体	垂下3日目 14m以深斃死率 100% 垂下2, 10日目 14m以深斃死率0% 4日目斃死率0%, 溶存酸素0.36mg/L以下では4日間生存 3日目斃死率80%, 硫化物量 3.7mg/Lで80%斃死, 8.1mg/Lで100%斃死 1mL/L 以上で異常なし, 0.51mL/L以下で 4-5日後に障害があらわれ, 10日前後で斃死 (大島ら1965)	萩田(1985)
C-5 シズクガイ	底生期	硫化ソーダ:ND-1.38, 3-20, 0.5-1.0ppm 全重量 10g程度, 5個体 H ₂ S :0-778 μ M, 殻長7.8mm, 15.1°C 10個体 H ₂ S :0-736 μ M, 殻長9.2mm, 24.2°C 10個体	硫化物の溶存状態 H ₂ S, HS ⁻ , S ²⁻ にかかわらず2ppm(青潮発生時濃度)では72時間斃死しない. 貧酸素水で弱った貝の斃死を早める程度 LT ₅₀ =40.5h; 平均濃度157 μ MH ₂ S LT ₅₀ =35-15.5h; 平均濃度333-778 μ MH ₂ S LT ₅₀ =23h; 平均濃度12 μ MH ₂ S LT ₅₀ =19.5-15h; 平均濃度316-736 μ MH ₂ S 平均 12-15 μ M(最大40-43 μ M)程度の低濃度でも生存期間は0濃度より短縮される シズクガイの硫化水素耐性はかなり低い	日水資(1981) 柿野(1982) 玉井(1994)
C-9 マガキ	底生期		水質 H ₂ S量限界値: ~1‰ 水質酸素量好適値: 4.5-6mg/L 水質酸素量限界値: 1.5-6mg/L	全沿漁(1993)
C-10 ムラサキガイ	底生期	DOと硫化水素の複合影響: 10°C	水温10°Cで0.15mg/Lの低酸素水中で35日間生存し, 硫化水素が存在すると25日と短くなる (Theede <i>et al.</i> 1969)	平井・林(1986)
C-11 ヤマトシジミ	底生期	H ₂ S : 0, 5, 10 mg/L, 成貝(16.3mm) 稚貝(3.1mm), 20個体, 18, 28°C	成貝と稚貝では硫化水素耐性に顕著な差は無く, 耐性時間は水温条件が同じであれば濃度が高いほど短くなる	中村ら(1997b)
	底生期	H ₂ S : 0, 3, 5, 7, 10, 20, 30, 50mg/L 成貝(21.1mm), 20個体, 18, 28°C	低水温(18°C)で40日間濃度 7mg/L以下では LT ₅₀ , LT ₁₀₀ は算出されない 高水温(28°C)では3mg/L以上の濃度で LT ₁₀₀ は14日以内である 水温28°Cで長期間(40日間)では1mg/L以上で影響があるが, 0.5mg/Lで影響なく, 他の生物種と比較して耐性は強い	
	底生期	H ₂ S : 0, 0.5, 1.0, 3.0mg/L 成貝(20.7mm), 28°C		

第3表 海生生物への溶存酸素と塩分の影響 総括表

種名	発育段階	試験条件(溶存酸素量mg/L, 飽和度% 他)	試験結果	参考文献
B-1 ウシエビ	底生期	塩分：10, 20, 30‰ 親エビ10-18g 水温：20, 30℃	① 塩分10‰では水温30℃が20℃より酸素消費量が2倍以上 ② 塩分30‰では酸素飽和度50%以下で酸素消費量の低下が著しい ③ 低塩分と高水温が酸素消費量を高める傾向. 塩分と水温では水温の影響が著しい	桑原ら(1985)
C-3 アサリ	底生期	DO：0, 10, 20, 40, 100% 塩分：5, 10, 15, 20, 31psu, 殻長約35mm, 水温1℃ 20個体	低水温, 低塩分での貧酸素耐性は, 15psu, DO 10%以下でも13日以上で斃死し, 貧酸素, 低塩分耐性は強い 生息には, 15psuでは塩分が, 20psu以上では飽和度40%以下の溶存酸素が制限要因である	蔵田(2000)
C-8 ホタテガイ	底生期	DO：100%→80→60→逐次低下→4→100% 塩分：0, 20, 40, 60, 80, 100%(32.5‰) 2年貝, 冬季-1.8, 3, 8℃ 春季 8, 13, 18℃ 夏季23, 28℃	① 28℃で死亡 ② 塩分について, 80‰海水でも心拍数に影響があり, 60‰と40‰の間に致死濃度 ③ 低酸素下では致死DO濃度は飽和度4%以下と推定	中西(1977)

第4-1表 海生生物への無機三態窒素などの影響 総括表

種名	発育段階	試験条件(NO ₂ ,NO ₃ ,NH ₃ ,NH ₄ -N:mg/L,ppm 他)	試験結果	参考文献
A-2 アユ	仔稚魚期	塩分: Cl 0-10‰, NO ₂ -N : 0-3,000ppm 孵化仔魚 Ca : 0- 100ppm, NO ₂ -N : 0, 3ppm Mg : 0- 500ppm, NO ₂ -N : 0, 3ppm K : 0- 500ppm, NO ₂ -N : 0, 3ppm Na : 0- 5,000ppm, NO ₂ -N : 0, 3ppm	① 亜硝酸塩の毒性と塩分: 毒性は塩分が高い程低下する 塩分: 0‰ (淡水) ; TLM ⁴⁸ = 2.1ppm 塩分: 3‰ ; TLM ⁴⁸ = 380 ppm ② 亜硝酸塩の毒性と塩類添加:100%致死濃度3ppm に対して Ca,Mg, K の毒性低下の効果あり, これらの濃度はCl 3‰海水の成分濃度と一致 Ca : 50ppm, Mg,K : 10-100ppmで毒性低下, Na : 5-2,000ppmは対照区より良	岩井ら(1974)
A-4 ウナギ	仔稚魚期	シラスウナギ, 平均体重1.9g, 25℃ アンモニア: 急性毒性; pH 5, 6, 7, 8, 9で24h-LC ₅₀ pH 7で48h-, 72h-, 96h-LC ₅₀ 慢性毒性; 塩化アンモニウムでTA-Nを0-80 mg/Lの範囲とし9週間飼育	① pHの上昇に伴って毒性は上昇しアルカリ域では毒性の主体は NH ₃ による。24h-LC ₅₀ = TA-N * ¹ 2,844-16.8mg/L (pH 5-9) ② pHの低下に伴い NH ₃ の濃度は低下し酸性域では NH ₄ ⁺ 毒性に関与する割合が大きくなる ① NH ₃ -N の 0.067-0.121mg/Lの間で成長阻害 ② 0.121mg/L以上の濃度で赤血球数の増加が, 0.121 および 0.228mg/Lで鰓組織に変成	山形・丹羽(1982)
A-17 ブリ	仔稚魚期 未成魚期	アンモニア: 体重20g, 25.5℃ NH ₄ Cl : 7.4 - 34.8ppm,若魚 亜硝酸: NaNO ₂ : 7.4 - 147ppm, 若魚	24h-TLM = 460と351mg/L 9週間飼育成長阻害 = 30mg/L 安全濃度 = 10mg/L 96h-LC ₅₀ = 3.36mg/L 96h-LC ₅₀ = 28ppm 若魚への急性毒性はアンモニア態窒素が亜硝酸態窒素より強い 96h-LC ₅₀ = 147ppm以上 若魚の体色変化は亜硝酸態窒素がアンモニア態窒素よりも低濃度で健康に影響	山形・丹羽(1979) 瀬戸内海水研(1999) 杉山ら(1991)
A-18 ボラ	仔稚魚期	体重 0.4g, 21℃ 0.7g, 22℃ 1.8g, 23.3℃ 10.0g, 23.3℃	96h-LC ₅₀ = 1.23mg/L (総アンモニア濃度) 96h-LC ₅₀ = 1.19mg/L 96h-LC ₅₀ = 1.63mg/L 96h-LC ₅₀ = 0.69mg/L	瀬戸内海水研(1999)
A-21 マダイ	孵化期 仔稚魚期	4-8 細胞期卵, 20℃, アンモニア: NH ₄ -N ; 0-50ppm アンモニア:0.004(cont.), 0.066, 0.66mg/L (NH ₃ -N : <0.001, 0.002, 0.020mg/L)	HC ₅₀ * ² = 6.6-7.0ppm 非解離アンモニア(NH ₃ -N) の場合: HC ₅₀ = 0.79-0.88ppm,pH 8.03-9.35 仔魚の成長は 0.002と0.020mg/L の NH ₃ -Nで明らかに抑制された (孵化1日令仔魚2.71mm, 3日間接触)	城戸ら(1991) Guillen <i>et al.</i> (1993)

*¹: TA-N ; Total ammonium nitrogen, *²: HC₅₀ ; 半数正常孵化濃度

第4-2表 海生生物への無機三態窒素などの影響 総括表

種名	発育段階	試験条件(NH ₃ ,NH ₄ -N: mg/L,ppm 他)	試験結果	参考文献
A-21マダイ (つづき)	仔稚魚期	アンモニア: 0.004, 2.00, 3.33, 6.0mg/L (NH ₃ -N: <0.001, 0.05, 0.08, 0.15mg/L) 孵化3日令仔魚3.13mm, 1日間接触 アンモニア: 0-20ppm 平均体重15.9mg (NH ₄ -N) 0- 6ppm 52.7mg 0- 9ppm 7.5mg 7.5mg 7.5mg 孵化後 24-31日間飼育, 21℃ 塩分 33.81-34.39, 酸素飽和度 97-100%	0.05, 0.08と 0.15mg/L NH ₃ -N で軟骨組織に著しい病変が生じた 96h-LC ₅₀ = 3.0ppm ; 非解離アンモニア: 96h-LC ₅₀ = 0.26ppm 96h-LC ₅₀ = 4.9ppm ; (NH ₃ -N) : 96h-LC ₅₀ = 0.58ppm 21h-LC ₅₀ = 5.0ppm 44h-LC ₅₀ = 2.9ppm 68h-LC ₅₀ = 2.6ppm 7.5mg の仔稚魚では, 接触時間21-68 時間の範囲でLC ₅₀ 値が低下 一方, 15.9mg, 52.7mgではほぼ一定	Guillen <i>et al.</i> (1993) 城戸ら(1991)
	未成魚期	成長優良系マダイ 体重13.4g 21.4-23.8℃ 在来系マダイ 体重15.2g 21.4-23.8℃ アンモニア: 体重15.9g,21℃ 体重52.7g,21℃	24h-LC ₅₀ = 1.05mg/L (非解離アンモニア) 96h-LC ₅₀ = 0.77mg/L 24h-LC ₅₀ = 0.57mg/L 96h-LC ₅₀ = 0.45mg/L 成長優良系マダイが在来系マダイよりアンモニア耐性が高い 96h-LC ₅₀ = 0.26mg/L 96h-LC ₅₀ = 0.58mg/L	瀬戸内海水研 (1999)
C-2 アコヤガイ	底生期	アンモニア: 0-10,000 μ g-at.N/L	致死濃度48h-LC = 3,000 μ g-at.N/L, 20-22 °C 72h-LC = 2,000 μ g-at.N/L, 20-22 °C 48h-LC = 2,000 μ g-at.N/L, 26-27 °C 72h-LC = 1,000 μ g-at.N/L, 26-27 °C およびそれ以上の濃度で斃死個体が生ずる NH ₄ -N 濃度が0.32-0.40mg/L なら少なくとも5日間生存できる (Yamada <i>et al.</i> 1987)	桑谷ら(1970)
C-5 シズクガイ	底生期	アンモニア		玉井(1993)
F-1 アカモク	造胞体期	成葉期 藻場の栄養塩濃度	水質窒素量好適値: NO ₃ -N ;0.04-4.59 μ g-at./L 水質リン量好適値: PO ₄ -P ;0.09-1.29 μ g-at./L NH ₄ -N ;0.17-4.57 μ g-at./L, PO ₄ -P ;0.02-0.92 μ g-at./L DIN ;0.30-7.85 μ g-at./L NO ₃ -N, NO ₂ -Nは100ppmでもほとんど影響はないが NH ₄ -N単独では10ppm (約 714 μ g-at./L)で影響があらわれる (小河1982,1985;Ogawa1984) 無機三態窒素の吸収速度はNO ₃ -N > NO ₂ -N > NH ₄ -N	全治漁(1993) 日水資(1992) 大分浅海漁試 (1981)

第4-3表 海生生物への無機三態窒素などの影響 総括表

種名	発育段階	試験条件(NO ₂ ,NO ₃ ,NH ₃ ,NH ₄ -N : mg/L,ppm 他)	試験結果	参考文献
F-2 アマノリ類 付-1 スサビノリ 付-2 アサキサリ	葉体期	<p>養殖漁場 平均10-30cm/秒程度</p> <p>支柱式漁場 平均10cm/秒程度</p> <p>支柱式または浮流し式漁場 20-30cm/秒程度</p> <p>スサビノリ 無機三態窒素 DIN : 30-500 μg/L</p> <p>養殖場の DIN : 1.7-18.3 μg/L (播磨灘養殖場)</p> <p>アサキサノリ</p>	<p>良好な成長と品質を保つための最低基準 DIN濃度 ; 5-7 μg-at./L (70-100 μg/L)</p> <p>色落ち DIN濃度 ; 約5 μg-at./L以下 DIN濃度 ; 約3 μg-at./L以下</p> <p>NH₄-N が 1 mg/L (約70 μg-at./L)以上では養殖不可能 ノリ品質に最適な P/N値 (μg/Lで) : 1/7-1/9 程度 品質に適したリン濃度 : 0.2-0.5 μg-at./L</p> <p>9日間の日成長率 : 貧栄養条件 ; 15-23%, 富栄養条件 ; 19-36%</p> <p>流速条件よりも栄養条件が成長要因として大きく, ノリの成長率, 窒素 同化速度は栄養塩濃度, 流速の増加に伴って増大した</p> <p>海水中の DINがノリ製品の N含量, 等級と高い相関を示し DINがノリ生 産の支配的要因である</p> <p>DINと N含量が相関する漁場では DINで 5 μg/L以下が品質低下を予測 する一つの基準になると推測した</p> <p>DIN濃度が平均で 3.0 μg-at./L 以下, DIP 濃度が平均 0.3 μg-at./L 以下になればノリの色落ち被害が広範囲に起こり易い</p> <p>窒素濃度が 50mg/L 以下の場合には短期内の成長又は光合成活動に影響 なし</p> <p>NH₄-N と NO₃-Nが共存するときは NH₄-Nを先に吸収し, ついで NO₃-Nを 吸収する (武居ら1959)</p>	<p>日水資(1992)</p> <p>馬場・宮崎(1983)</p> <p>香川(1988)</p> <p>山内(1983)</p> <p>永田ら(2001)</p> <p>Iwasaki and Matsudaira (1956)</p> <p>尾形(1964)</p>
F-3 オオバモク	造胞体期	藻場の栄養塩濃度	<p>NH₄-N ;0.42 μg-at./L, PO₄-P ;0.08 μg-at./L DIN ;3.68 μg-at./L</p>	日水資(1992)
F-4 コンプ類 付-1 カコンブ	葉体期	<p>ナガコンブ NH₄-N : 10,20,50 μM, 5, 15°C NO₃-N : 10,20,50 μM, 5, 15°C NO₂-N : 10,20 μM, 5 °C</p> <p>養殖, 天然漁場の栄養塩濃度</p>	<p>NH₄-N および NO₃-Nを良く吸収し, 特に水温が高い場合には NH₄-Nの吸 収が著しく促進される</p> <p>NH₄-N ;0.0- 7.0 μg-at./L, PO₄-P ;0.0- 9.5 μg-at./L DIN ;0.1-26.0 μg-at./L</p>	町田ら(1985)
F-6 ワカメ	葉体期	<p>気仙沼</p> <p>養殖, 天然漁場の栄養塩濃度</p>	<p>適栄養塩域 : T-N 20-100 γ/L (藤原ら1972)</p> <p>芽落ち : 水温上昇気味, 比重 1.026台 NO₃-N 10 γ/L以下, PO₄-P 8 γ/L以下のとき発生しやすい (藤原ら1974)</p> <p>NO₃-N ;0.0- 8 μg-at./L, PO₄-P ;0.0-1.4 μg-at./L DIN ;2 -18 μg-at./L</p>	<p>海生研(1999)</p> <p>日水資(1992)</p>

第5-1表 海生生物への塩分の影響 総括表

種名	発育段階	試験条件 (塩分‰, S, psu 他)	試験結果	参考文献
A-2 アユ	孵化期	塩分：0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8‰ 水温：11, 14, 17, 20, 23, 26℃ 受精卵 161個	孵化塩分域：0-8.0‰, 孵化水温域：11.0-26.0℃ 孵化最適域：水温19℃と塩分 0.9-1.1‰の組合せ 半数孵化時間 (HT ₅₀) = 6.5-26.2日 孵化限界塩分域：低塩分側0‰, 高塩分側11.6‰ 孵化最適塩分：1.8‰ 孵化最適水温：19.0℃ 孵化限界水温域：低温側 9.9℃ 高温側27.9℃ 適塩分域：10.8-21.7‰ (田畑1975) 生存可能上限塩分：24.59‰ (京都府水産課1956) 適塩分域：32.70‰以下 (京都府水産課1956) 生存可能上限塩分：38.95‰	Kashiwagi <i>et al.</i> (1986)
	仔稚魚期			日水資(1983) 日水資(1983)
A-3 イサキ	孵化期	塩分：29.0, 32.6, 36.2‰ 水温：12, 16, 20, 24, 28, 32℃	孵化適域：水温 18-28℃と塩分 31.0-36.2‰の複合条件下で孵化 孵化最適域：水温22.4℃と塩分34.2‰の組合せ, 孵化率90%は 19.5-25.4℃と 32.1-36.3‰の組合せ 孵化限界塩分域：低塩分側30.6‰ 高塩分側38.1‰ 孵化最適塩分：34.2‰ 孵化最適水温：22.4℃ 孵化限界水温域：低温側17.1℃ 高温側27.7℃ 孵化限界塩分域：30-38‰	Kashiwagi <i>et al.</i> (1984) 柏木(1990)
	仔稚魚期	塩分：32.6, 34.4, 36.2‰ 水温：16,18,20,22,24,26,28,30,32℃	無給餌飼育による半数生存時間の最長は77.9時間で、その最適条件は水温20.9℃と塩分34.7‰	全沿漁(1993) Kashiwagi <i>et al.</i> (1985)
A-4 ウナギ	産卵期		適塩分域：35.1‰以上 (川本1978, 松井1970)	日水資(1983)
	孵化期		適塩分域：35.1‰以上 (松井1970)	
	仔稚魚期	葉形仔魚	適塩分域：35.10-35.30‰以上 (松原ら1965)	
A-5 カサゴ	仔稚魚期	稚魚期	限界値：30.7-35‰ 適塩分域：30.7-35.0‰ 最適塩分域：33.6-34.7‰	全沿漁(1993) 日水資(1983)
A-6 カワハギ	仔稚魚期	九州沿岸	出現塩分域：最適域 17.4-18.6‰ (千田1964) 適域 15.8-19.2‰	海生研(1978)
A-7 キジハタ	孵化期	塩分：3-30‰ (間隔3‰11段階) 水温：23.4℃ 自然産出浮上卵	孵化適塩分域：24‰以上 (84.7%以上の孵化率) 奇形率：24‰以上で低く21‰以下で急激に高く9‰以下で正常孵化なし	萱野・水戸(1993)

第5-2表 海生生物への塩分の影響 総括表

種名	発育段階	試験条件 (塩分‰, S, psu 他)	試験結果	参考文献
A-7 キジハタ (つづき)	仔稚魚期	孵化仔魚 21.8℃ 6日間無給餌飼育	生残率：10%海水で生残率0%，20-60%海水で生残率50%以上 (森実ら1984)	萱野・水戸(1993)
A-10 サケ	仔稚魚期	塩分：0-18‰Clで塩分選好 水温：5.2-8.5℃ 塩分：9, 18‰Clで大型装置による塩分選好 水温：8℃(34mm) 11℃(47mm) 塩分：0-100%海水 (間隔25% 5段階)	尾叉長34mm群は5‰以上は忌避 尾叉長38mm群は9および13‰に移行個体あり 尾叉長43mm群は9および13‰を 30-40%が選択 尾叉長47mm群は13‰以上の海水を 50-90%が選択し18‰は忌避的 9‰を選択した稚魚はその後18‰を選択した 尾叉長 37-38mm群は9‰以下で順調,13‰以上で低成長 尾叉長 41-43mm群は13‰以下で順調,18‰で低成長	高橋(1986) 高橋(1986)
A-11 シマアジ	孵化期	塩分：17.34-34.68‰ 水温：4-28℃ 受精直後の未分割浮上卵	孵化最適域：20℃と 34.68-40.46‰ 孵化限界域：22℃と 17.34-52.02‰ (正常孵化率50%以上)	村井ら(1992)
A-12 シロギス	孵化期	塩分：23-60psu 1細胞期受精卵 水温：0-32℃	孵化最適域：24.5℃と39.1psu ; シロギス卵は広塩性 高温側致死温度 LT ₅₀ = 30.4℃ 低塩分側致死濃度 LC ₅₀ = 23.3psu 高塩分側致死濃度 LC ₅₀ = 54.8psu 50%孵化時間 HT ₅₀ = 17.3-45.2 時間 ; 塩分の影響は水温に比べ微小	Kashiwagi <i>et al.</i> (2000)
A-13 トラフグ	仔稚魚期		最適塩分域：浮遊期 32.7-32.9‰ (堀木1975) 適塩分域：卵期 32.0-33.6‰ 稚魚期好適塩分域：25‰以上	日水資(1983)
A-16 ヒラメ	産卵期 孵化期	塩分：5.0-30.0‰ 稚魚期 全長 10.5mm 水温：20-26.5℃ 若魚期 37 mm 未成魚期 97 mm	若魚期好適塩分域：10.0‰またはそれ以下の低塩分水が適するようになる 未成魚期好適塩分域：15‰前後 限界値：広塩性 適塩分域：33.01-34.00‰ (樋田ら1976,1977) 孵化塩分域：26-50‰ 孵化最適塩分：34‰ 適塩分域：32.45-34.02‰ (山本ら1976) 好適値：30-35‰ 限界値：25-51‰	全沿漁(1993) 韓ら(1995) 全沿漁(1993) 日水資(1983)
	仔稚魚期	塩分：0-68‰ 水温：5-30℃ 塩分：0-68‰ 水温：5-30℃ 塩分：50, 75, 100%海水飼育孵化約60日令	30日間生残塩分域：4.2-40‰ 生残最適塩分：17‰ 全長, 体重増加率, 餌料効率：50% > 100% > 75 %海水 最適塩分域：浮遊仔魚期 33.49-34.58‰ (山本ら1976他) 適塩分域：浮遊仔魚期 9.32-34.65‰ (山本ら1976他)	安永(1975) 全沿漁(1993) 安永(1975) 斉藤ら(1990) 日水資(1983)

第5-3表 海生生物への塩分の影響 総括表

種名	発育段階	試験条件 (塩分‰, S, psu 他)	試験結果	参考文献	
A-16 ヒラメ (つづき)	仔稚魚期	卵期	適塩分域：底生移行期～稚魚期 1.8-34.32‰ (野沢1974他)	日水資(1983) 全沿漁(1993)	
	未成魚期		好適値：33.4-34.7‰ 限界値：9.4-34.7‰		
	成魚期		好適値：18-34‰ 限界値：6.6-34‰		
A-17 ブリ	産卵期		好適値：33-35‰ 最適塩分域：33.73-34.78‰ (柿本ら1978)	日水資(1983)	
	孵化期		適塩分域：30.7‰以上 (藤田ら1969) 適塩分域：34.54-34.60‰ (高知水試1971) 比重1.0234-1.024 (松原ら1965)		
	仔稚魚期		好適値：34-34.5‰		
	未成魚期		適塩分：30.7‰ (松原ら1965) 適塩分域：0, 1年魚 33.78-34.32‰ : 2, 3年魚 34.3‰以上		
A-18 ボラ A-19 マアジ	仔稚魚期		卵期	限界値：19.0‰～	全沿漁(1993)
	孵化期			好適値：27.2-36.3‰ 限界値：20.7‰～	
A-18 ボラ A-19 マアジ	仔稚魚期			適塩分域：34.11-34.85‰ (堀木1975)	日水資(1983) 柏木(1990)
	孵化期	孵化限界塩分域：低塩分側14‰ (落合1984) : 高塩分側40‰ 孵化最適塩分域：27-33‰, 孵化最適水温域：21-24℃			
	仔稚魚期	好適値：1.020-1.025			
	未成魚期	適塩分域：31.96-34.85‰ (堀木1975他) 好適値：31.9-34.8‰			
A-18 ボラ A-19 マアジ	未成魚期	適塩分域：33.6-34.3‰ (久保1966)		日水資(1983) 全沿漁(1993)	
	成魚期	好適値：33.6-34.3‰			
	成魚期	適塩分域：32.95-34.32‰ (松原ら1965他)			
A-20 マコガレイ	孵化期	好適値：33.3-34.3‰	日水資(1983) 全沿漁(1993) 柏木(1990)		
	孵化期	孵化限界塩分域：低塩分側20.9‰ (山本1939) : 高塩分側40.1‰			
	孵化期	孵化最適塩分域：21-40‰ 好適値：20-40‰ 限界値：15-45‰			
				全沿漁(1993)	

第5-4表 海生生物への塩分の影響 総括表

種名	発育段階	試験条件 (塩分‰, S, psu 他)	試験結果	参考文献
A-20 マコガレイ (つづき)	仔稚魚期	東京湾	出現塩分：11.15-15.5% (19.9-28.0‰) (茨城水試1975) 限界値：15.4‰～	日水資(1983) 全沿漁(1993)
A-21 マダイ	産卵期		塩分域：33.82-34.72‰ (盛期34.0-34.5‰) (田中ら1977) (落合ら1986) 適塩分域：33.4-34.87‰ (田中ら1977他)	海生研(1991) 日水資(1983)
	孵化期		孵化限界塩分域：低塩分側11‰ (Apostolopoulos1976) ：高塩分側 >40‰ 孵化最適塩分：35‰ 適塩分域：17-35‰で孵化率80%以上	柏木(1990)
	仔稚魚期		適塩分域：28.9-34.47‰ (熊本水試1976他) 塩分耐性：19.0‰以下3時間以内に死亡 (Apostolopoulos1976)	全沿漁(1993) 日水資(1983)
	未成魚期		生息適性下限塩分：31.5‰ 適塩分域：32.93-34.16‰ (田中ら1978)	海生研(1991) 日水資(1983)
	成魚期		好適値：32.9-34.1‰ 適塩分域：33.49-34.79‰ (田中ら1978)	日水資(1983) 全沿漁(1993)
A-22 ワカサギ	孵化期	塩分：0-10‰ (間隔2‰ 6段階) 水温：10-25℃ (間隔 2.5℃ 7段階)	孵化限界塩分域：低塩分側10‰以下および22.5℃以下 正常半数孵化上限塩分域：塩分 6.7‰および水温19℃と推定 適塩分域：海水 7.5‰以下でよく孵化 (川本1978) 孵化最適塩分：0‰ (Kashiwagi <i>et al.</i> 1988) 孵化限界塩分域：低塩分側 0 ‰ ：高塩分側 6.7‰	Kashiwagi <i>et al.</i> (1988) 日水資(1983) 柏木(1990)
A-23 海産硬骨魚類	孵化期	卵期 イシガキダイ	限界値：～2.6‰ 孵化最適塩分：35‰ 孵化限界塩分域：低塩分側22‰ (原田ら1979) ：高塩分側50‰以上	全沿漁(1993) 柏木(1990)
付-1 イシガキダイ		マダラ	孵化最適塩分：14.9‰ 孵化限界塩分域：低塩分側10‰以下 (Alderdice <i>et al.</i> 1971) ：高塩分側29‰	
付-2 マダラ		ニシン	孵化最適塩分：17.0‰ 孵化限界塩分域：低塩分側 5 ‰以下 (Alderdice <i>et al.</i> 1971) ：高塩分側41.9‰	
付-3 ニシン				

第5-5表 海生生物への塩分の影響 総括表

種名	発育段階	試験条件 (塩分‰, S, psu 他)	試験結果	参考文献
B-1 ウシエビ	底生期	塩分：10, 20, 30% 水温：20, 30℃	塩分10%では水温30℃が20℃より酸素消費量が2倍以上。塩分30%では酸素飽和度50%以下で酸素消費量の低下が著しい。低塩分と高水温が酸素消費量を高める傾向。塩分と水温では水温の影響が著しい	桑原ら(1985)
B-2 ガザミ	浮遊期		適塩分域：ゾエアⅠ期比重1.0163以上 (山口内海水試1971) " Ⅱ, Ⅲ期比重 1.013以上 (山口内海水試1971) " Ⅳ期比重1.0153以上 (山口内海水試1971) " 26-36‰ (丹下1976)	今(1973)他
		ゾエア期	好適値：26-36‰ 塩分耐性：メガロツパ生存可能下限比重1.0091 (山口内海水試1971) " 変態可能範囲 10.8-12.6‰ (福岡豊前水試1972)	全沿漁(1993) 今(1973)
	底生移行期		好適塩分域：着底場塩素量 16.7-17.6‰, 5.4‰でも生息可能 塩分耐性：24h-TLm ; C ₂ 9.55‰, C ₃ 8.91‰, C ₄ 8.25‰ (福岡有明水試1981)	西海区水研(1971) 今(1973)他
	底生期	成体期	塩分耐性：塩素量15‰以下になると生存不可能 塩分耐性：稚ガニ生存可能下限比重1.0074 (山口内海水試1971) 限界値：27‰～ 飼育：適塩分域；27.10‰以上 不適塩素量域；15‰以下	今(1973)他 全沿漁(1993) 日水資(1983) 日水資(1981)
B-3 クルマエビ	浮遊期		塩分耐性：8h-TLm, 下限値 12.23-12.7‰, 上限値26.022-26.58‰ 生存可能下限塩分域：1.4-3.1‰以下	石岡(1973)他 藤谷・石岡(1978) 他
	底生移行期		遊泳行動変化塩分域：2.5‰以下, 20%海水以下 24h-LC ₅₀ ：塩素量 0.8-1.7‰以下	石岡(1973)
	底生期	塩分：0-50 (海水%) 水温：22.5-29.7℃平均体長1.1,1.7,2.5cm	塩分耐性：体長1～3cmで殆ど差はなく, 24h-TLm は1～2‰の範囲 高水温は塩分耐性に影響する 塩分耐性：30℃以上で 24h-TLm = 4.18‰, 体長1-3.5cm(石田1970) 22℃で24h-TLm = 4.1-5.6‰または 2.6-4.1‰ (山口水試1971) 26±0.5℃で24h-TLm = 3.5‰, 31±1.0℃で 24h-TLm = 2.4‰ 24h-TLm = 3.47‰以下 (体長7.6-13.5cm) (戸田1936) 24h-TLm = 3.45-6.03‰ (体長7.98cm) (吉田1960) 24h-TLm = 1.8-3.6‰, 31℃で4.3‰, 30℃で7.55‰以下(石岡1973) 26℃で 6.3‰, 22℃で7.4-10.1‰, 体長1～3cm 生存可能下限塩分：6.27‰ (体長7.6-13.5cm) (石岡1973) 生存可能下限塩分域：6.23-10.89‰ (体長7.98cm)	石岡(1973)他
		成体期	好適値：22 ‰～, 限界値：6.3‰～	日水資(1983) 全沿漁(1993)

C₂, C₃, C₄ : 稚ガニの脱皮令

第5-6表 海生生物への塩分の影響 総括表

種名	発育段階	試験条件 (塩分%, S, psu 他)	試験結果	参考文献
B-4 ヨシエビ	孵化期 底生期	体長 7~8cm以上	適塩分域: 23-35‰ (生田ら1972) 生息塩素量: Cl 5‰以上 (倉田ら1977)	日水資(1983)
C-1 アカガイ	孵化期 浮遊期 底生期	卵期 垂下水深: 1~6m (1m 間隔) 阿蘇海 未成貝, 成貝期 塩分: 0-33psu	好適値: 29.8-32.5‰ 好適値: 29.8-32.5‰ 5~7月17.5℃と 28.53‰の3m層で成長良 約 Cl 8‰まで斃死しない (濱本1981) 17.04 ‰では27℃以下20℃前後で13日間異常なく生存 (塩屋ら1961) Cl 8.48‰以下では5日後に影響があらわれる。8.48‰では全て斃死 12.14‰以上では斃死は認められなかった (塩屋ら1961) 好適値: 27.2-32.4‰ 限界値: 18.1-34.3‰ 塩分耐性限界: 0-14psuで3日目で全死 22-33psuでは29日間生残	全沿漁(1993) 中西(1981) 日水資(1985) 全沿漁(1993) 沼口(1999)
C-2 アコヤガイ	底生期		最適塩分域: 比重1.020-1.025 (田村1976, 川本1978) 適塩分域: 比重1.018-1.027 (田村1976他) 生存可能範囲下限塩分域: 20-22‰ (比重1.015) (川本1978, 宮内1962)	日水資(1983)
C-3 アサリ	底生 移行期 底生期	殻長 16mm, 水温5-30℃	30℃比重1.0140以上で3日間で100%死 水温5℃以下, 塩分15psu以下では潜砂しない (相島1993) 最適塩分域: 比重1.018-1.027 (川本1978) 適塩分域: 比重1.015-1.028 (川本1978) 塩分耐性限界: 20 psu, 淡水では3-4日後から斃死が始まる (倉茂1942) 水温15℃, 塩分13psuでは潜砂しない (桜井ら1996)	蔵田(2000) 日水資(1983) 蔵田(2000)
C-4 エゾアワビ	浮遊期 底生期	約27mm成貝期 未成貝期 成貝期 浮遊期, 稚貝期	好適値: 比重1.015-1.023 好適値: 20.7-37.6‰ 好適値: 24-33‰ 限界値: 22.5‰ -1.8℃と33℃では全数死亡 塩分濃度40‰と20‰の間に致死濃度がある 低酸素に対して耐忍性が強い	全沿漁(1993) 全沿漁(1993) 中西(1978)
C-6 トリガイ	底生 移行期 底生期	水温: -1.8-33℃までの5℃おきの8段階	最適塩分域: 比重1.023-1.024 (田村1976) 最適塩分域: 比重1.023-1.024 (田村1976)	日水資(1983)

第5-7表 海生生物への塩分の影響 総括表

種名	発育段階	試験条件 (塩分‰, S, psu 他)	試験結果	参考文献
C-7 ハマグリ	産卵期 孵化期		適塩分域：比重1.020-1.024(相良1958) 適塩分域：比重1.027-1.014(相良1958) 限界値：19.7-32.9‰	日水資(1983) 全沼漁(1993)
	浮遊期		最適塩分域：24.59‰ (比重1.01801) (上城1978他) 適塩分域：11.13-31.61‰ (比重1.0077-1.027) (上城1978他)	日水資(1983)
C-8 ホタテガイ	底生 移行期	塩分：30-31‰, 18日間 水温：10-37℃, 平均殻長 2.3mm 塩分：20% (6.4‰)-100% (32.2‰) 海水 水温：25, 39℃, 28日間, 平均殻長1.5mm 稚貝期	成長最適塩分域：19.3-32.2‰ 成長最適水温域：27-34.5℃ 成長低塩分限界域：6.4-12.9‰ 成長適水温域：22-34.5℃ 初期稚貝は著しい高温耐性を有し低塩分許容範囲が広い	沼口・田中(1987)
	底生期	未成貝, 成貝期	好適値：19.3-32.2‰ 適塩分域：比重1.015-1.024‰ (田村1976)	全沼漁(1993) 日水資(1983)
C-8 ホタテガイ	孵化期		好適値：27.2-32.4‰ 最適塩分：37.0‰ (丸ら1978) 適塩分域：30-40‰ 比重1.023-1.026 生存可能下限塩分：比重1.016	全沼漁(1993) 日水資(1983)
	卵期		好適値：31.1-35‰ 限界値：30-40‰	全沼漁(1993)
	浮遊期		最適塩分：37.0‰ (大島ら1978) 適塩分域：30.3-40.0‰ 塩分耐性：比重1.024 では6, 7時間で死亡 (丸ら1978) 好適値：31-33.5‰	日水資(1983)
底生期	塩分：海水20% (8.0psu) - 100% (33.9psu) 水温：13.5℃ 殻高 84-110mm	20%海水区 LT ₅₀ = 3.5時間 40%海水区 LT ₅₀ = 10.5時間 4h-TLm = 9.2psu 8h-TLm = 12.0psu 12h-TLm = 16.4psu 16-24h-TLm = 18.0psu 水温13.5℃で塩分18.0 psu以下に低下すると24時間以内に死亡, 10 psu以下では数時間のうちに死亡	全沼漁(1993) 桜井ら(2000)	
	未成貝, 成貝期	塩分：0-100% (32.5‰), DO：100→4%	適塩分域：比重1.023-1.024 (田村1976) 塩分耐性：13.4‰では1時間で30%, 2時間で100%死亡(順田ら1979) 好適値：31.1-32.4‰, 限界値：20.8‰~ 塩分致死濃度：60%海水と40%海水の間, 28℃で死亡, DO致死濃度は4%以下	日水資(1983) 全沼漁(1993) 中西(1977)

第5-8表 海生生物への塩分の影響 総括表

種名	発育段階	試験条件 (塩分‰, S, psu 他)	試験結果	参考文献
C-9 マガキ	孵化期	塩分：比重1.01527-1.02654 の5段階 水温：18.4-29.9℃の5段階 受精卵	D 幼生殻高成長最適域：水温27℃, 比重1.02365 卵発生限界塩分域：比重1.010-1.025 (雨宮1921) 卵発生好適塩分域：比重1.014-1.021 (雨宮1921) 卵発生好適塩分域：比重1.017-1.021 (妹尾ら1926) 卵発生高限界塩分：比重1.0274 受精塩分域：受精は比重1.022 以上で,1.023以上で良 (佐藤1948) 好適値：23.5-32.5‰ 限界値：23.3‰ 好適値：27.2-33.7‰ 限界値：20.7‰ 好適値：25.3-33.7‰ 限界値：8.9‰	菊地(1961)
	浮遊期	的矢湾		全沿漁(1993)
	底生期	成貝期		
C-10 ムラサキガイ	孵化期 底生 移行期		適塩分域：比重1.014-1.0256 (内橋1951) 適塩分域：22-32‰ (梶原1978) 生息域塩分：14-33‰ (加戸ら1979)	日水資(1983)
C-11 ヤマトシジミ	底生期	①塩分：0-32.2(全海水)‰ 小型稚貝 0.4-1.25mm ②塩分：0.5-31.4 (全海水)‰ 大型稚貝5-12mm ③塩分 0.5から20‰まで段階的馴致し20‰で 20日間置き半数を33.6‰と0‰で50日間 大型稚貝 5-12mm ④塩分 0.5‰, 0.1℃に30日間置いた場合 塩分：5-35psu, 水温：15℃ 成貝21mm 塩分：0-32psu, 水温：10,25℃成貝 20-22mm 塩分：25.6, 28.8, 32.0psu 水温：10, 20, 30℃ 成貝20mm, 稚貝3mm	①② 0から25‰までは40日間生残率 100% 全海水中では31日目までに生残率0% ③ 0.5 から20‰へと高濃度へ徐々に移行して後全海水に移行し50日間 後の生残率は90%, 淡水へ移行した群では 100%生残 ④ その生存に大きく影響しない 0-35psuに耐える広塩性動物 生息可能塩分域：採集時(水温)に関係なく1.5-22psu 馴致水温の上昇に伴い塩分耐性は弱くなる. 高塩分耐性は成貝より稚貝 が弱い 生存可能上限塩分域：27.73‰以上が6時間続き, 24.24 ‰以上の地域 では生存できない	日水資(1981) 寺西ら(1998) 中村ら(1996a) 日水資(1983)

第5-9表 海生生物への塩分の影響 総括表

種名	発育段階	試験条件 (塩分‰, S, psu 他)	試験結果	参考文献
D-1 ウニ類 付-1 ハフウニ 付-2 アカウニ 付-3 ムラサキウニ	孵化期 底生期	ハフウニ : 卵期 : 未成体期, 成体期 アカウニ : 稚ウニ期 : 未成体期, 成体期 ムラサキウニ : 稚ウニ期 : 成体期	好適値 : 31.1 -33.7 ‰ 好適値 : 30 -34 ‰ 好適値 : 28 -34 ‰ 好適値 : 30 -34 ‰ 好適値 : 27 -34.5 ‰ 好適値 : 28 -34 ‰ 限界値 : 23 -35 ‰	全沿漁(1993)
	浮遊期 底生期	塩分 : 23.5-34.5‰, 水温 : 12.5-25℃ 受精後 12-96時間の4腕期幼生の腕長 稚ナマコ期 (0.4mm) 未成体期, 成体期 アオナマコ アカナマコ	(アカウニ, ハフウニ, ムラサキウニ) 腕長は塩分に敏感で塩分の減少に伴って短くなる 適塩分域 : 24.2-34.7‰ (崔1963) 限界値 : 20 ‰~ 好適値 : 30 ‰~ 好適値 : 22.7 ‰~ 好適値 : 25.5 ‰~ 生息塩分域 : アカナマコ CI 13.4-19.2‰ (崔1963) アオナマコ CI 13.6-17.9‰	海生研(1995) 日水資(1983) 全沿漁(1993) 日水資(1981)
E-1 多毛類 付-1 <i>Capitella capitata</i>	底生期	<i>Capitella capitata</i>	120h-TLm = 16.5-50.0S 100%生残率を示す範囲 = 25.0-44.5S 0%生残率を示す範囲 = 8.0S以下 = 56.0S以上 低塩分, 高水温程生残率は減少する。15.0S と30℃の組み合わせで顕著である	上野・山本(1982)

第5-10表 海生生物への塩分の影響 総括表

種名	発育段階	試験条件 (塩分‰, S, psu 他)	試験結果	参考文献
F-1 アカモク	造胞体期	分布と塩分 幼胚 幼胚～幼体 幼体～成体	最適塩分域：32‰ (実験値) 適塩分域：21-43‰ (実験値) 適塩分域：30-32‰ (現場測定値) 発芽好適値：CI 19.4-45.3‰(8-25℃で50%以上の発芽率) 葉体成長：30-32‰ (種苗移植試験で成長のみられた試験地の塩分) 好適値：19.4-40.4‰ 仮根形成適条件：22.7-42.1Sと10-20℃ (小河1986) 仮根形成最適条件：32.0S と15℃ 25℃と22.7S 以下または42.1S 以上では好適条件に比べ発芽率と仮根数は減少する 発芽最適塩分：17.15‰ (31.0S) (大分浅海漁試1976) 発芽適塩分域：11.68-23.79‰ (21.1-43.0S) 不発芽塩分域：8.68‰ (15.7S)以下と37.79‰ (67.5S)以上 好適塩分：20‰以上であり、低塩分に強い 好適水温：15-20℃ 発芽最適塩分：32.0S(小河1981) 不発芽塩分域：約 10S以下と約 50S以上	日水資(1992) 日水資(1992) 全沿漁(1993) 日水資(1992)
	胚発芽期	塩分：12.9-51.8Sの11段階 水温：10-25℃の4段階 宮城県七ヶ浜町産 仮根形成 大分県産 仮根形成 宮城県女川産 仮根形成	最適塩分域：28-34‰, 最低限界20‰程度 適塩分域：25-35‰, 最低限界18‰程度, (斉藤1956) 潮間最低値9‰以下で生育不良 適塩分域：22-33‰, 生育期最低限界18‰程度, 潮間最低値9‰程度以下で生育不良	大分浅海漁試(1981) 小河(1986)
F-2 アマノリ類 付-1 スサビノリ 付-2 ナラウスサビノリ 付-3 オハアササノリ 付-4 アササノリ	養殖漁場	殻胞子放出, 付着 幼芽生育 葉体生育	適塩分域：28-34‰, 最低限界20‰程度 適塩分域：25-35‰, 最低限界18‰程度, (斉藤1956) 潮間最低値9‰以下で生育不良 適塩分域：22-33‰, 生育期最低限界18‰程度, 潮間最低値9‰程度以下で生育不良	日水資(1992)
	殻胞子 放出期	スサビノリ CI：4.3, 7.7, 11.5, 14.5, 18.6, 22.3‰	殻胞子・単胞子の着生数は 14.5,18.6‰CIで多く11.5‰で減少 ノリ幼芽は低塩分に弱く長期間で種々の異常形態となり限界濃度は 11.0-14.0 ‰CI	右田(1922) 吉川・斉藤(1974)
	幼芽期	室温 17.5℃, 照度：3,000lux	適塩分域：30.6-32.4‰,19.8-25.2以下と39.7以上で異常形態 適塩分域：12-18‰(CI 塩素量) (山内1973) 好適値：18-22‰ 好適値：18-22‰	日水資(1992) 日水資(1981) 全沿漁(1993)
	葉状体期 糸状体期 幼芽期	塩分：天然海水CI;16-17‰,1/4,1/2,3/4,5/4 ナラウスサビノリ	糸状体は低塩分で生育阻害を受けるがかなり強い抵抗力がある 幼芽は水温が低く塩分が高い年には順調な成長を示す。低塩分と干出過多により阻害される 幼芽は淡水浸漬30時間より影響があらわれ72時間で枯死 乾燥前の1.015 から障害が始め 1.012では大きくなる 乾燥前後では乾燥前の塩分の影響が極めて大きい	黒木・平野(1955) 川村ら(1991) 切田・松井(1993)

第5-11表 海生生物への塩分の影響 総括表

種名	発育段階	試験条件 (塩分‰, S, psu 他)	試験結果	参考文献
F-2 アマノリ類 (つづき)	幼芽期	オオバアサクサノリ	幼芽は低塩分に弱く限界濃度はCl 11.0-14.0‰, 最適成長塩分はCl 17.0-18.0‰, 高塩分で悪影響を受けてCl 22.0‰で異常形態が認められた	山内(1973)
	単孢子 形成期 殻孢子 放出期 葉状体期	アサクサノリ 葉体 5mm ² 10-20枚	二次芽の付着はCl 14.0-18.0‰で最も多く4‰以下では0であった 塩分の低下による異常芽は細胞膜の肥厚突出症状である ヒビ建: 20-23℃, 比重1.020 以上 (新崎1954) 適塩分域: 28-34‰, 潮間平均 27.5-34.1‰ (黒木ら1955) 葉体は広塩性で蒸留水に少なくとも20時間耐える 葉体最適成長塩分は 12.00-18.00‰ 適塩分域: 16.3-32.5‰ (敦賀1965他)	日水資(1981) 日水資(1992) Iwasaki and Matsui (1956)
	糸状体期	塩分: 7.0-19.0‰, 7.0-21.0‰ 7.0-21.0‰, 4.0-21.0‰	糸状体形成は Cl 10‰以下で著しく阻害される (齊藤1956) 糸状体成長は初期においておくれるが大きくなると大きな影響を受けない 孢子囊の形成も低塩分ではおくれる 干出条件下で枯死する。葉体に比べ乾燥耐性は非常に弱い (本田1962) 成長好適塩分は比重 1.020-1.030で, 1.010以下では成長できない 適塩分域: 32-34‰ (現場測定値) 適塩分域: 31-33‰ (現場測定値) 生存可能範囲下限: 幼体 > 5‰ (実験値), 全期年平均最低値: 29.99‰ (現場測定値)	日水資(1992)
F-3 オオバモク	幼体期	分布と塩分 幼胚~幼体 幼体~成体 幼体 塩分: 5-30‰ S の 6 段階 照度: 1,000-10,000lux の 3 段階 千葉県天津小湊産 幼体成長	幼体成長はどの照度でも塩分が高い程よい 塩分30, 25‰では高照度ほどよく成長したが20‰以下では照度よりも塩分に左右される 塩分10‰ではほとんど成長せず5以下では白化, 塩分の適応範囲は広い 好適塩分: 29-30‰以上であり, 低塩分に弱い 好適水温: 20℃	徳田ら(1987) 日水資(1992)
F-4 コンブ類 付-1 マコンブ 付-2 ホソメコンブ		天然, 養殖漁場 マコンブ ミツイシコンブ リシリコンブ ホソメコンブ ナガコンブ	生育帯塩分: 31.1-33.9‰ : 32.0-34.0‰ : 29.3-34.7‰ : 33.3-34.5‰ : 31.6-33.5‰	新井・三浦(1991)
	配偶体 発芽期 配偶体 成熟期	マコンブ	好適値: 30-35‰ 限界値: 20‰~ 好適値: 30-33‰ 限界値: 20-35‰	大分浅海漁試 (1981) 全沼漁(1993)

第5-12表 海生生物への塩分の影響 総括表

種名	発育段階	試験条件 (塩分‰, S, psu 他)	試験結果	参考文献
F-4 コンプ類 (つづき)	葉体期	マコンブ 成葉	好適値：30-33‰, 限界値：20-35‰ 適塩分域：1.0250-1.0260 気仙沼 (藤原ら1972)	全沿漁(1993)
	配偶体期 幼胚期 胞子体 形成期	ホソメコンブ生存率 成長	比重0, 86では16日目に全死. 15-17‰で19%以上の生存率 成長は22.7でよい (船野1983) 胞子体形成は 1.02888-1.01098でも形成されるが, 低比重が好条件で最 適比重は 1.0135-1.0183程度 (木下1947)	日水資(1981) 日水資(1983) 海生研(1999)
F-5 ヒジキ	幼胚期	塩分：6.5-64.2S の10段階 水温：10-25℃の4段階 岩手県三陸沿岸産 仮根形成	仮根形成適条件：6.3-58.7S と10-25℃ 仮根形成最適条件：19.5-45.7Sと15-20℃ 仮根形成には水温が塩分よりも影響が大きい 低塩分側よりも高塩分側での影響が大きい	小河ら(1996)
付-1 タマハキモク	幼胚期	仮根形成	好適塩分：18-19‰以上であり, 低塩分に強い 成長可能範囲：塩分約24.6-33.7‰ (小河1994) 成長可能範囲：塩分約24.6-33.7‰ 生育海域塩分の年平均値の最低値：約28.5‰ 海域培養試験中の塩分：比重18-25(塩分約24.6-33.7)	大分浅海漁試(1981) 日水資(1992)
F-6 ワカメ	葉体期	養殖, 天然漁場	仮根形成は水温 10-25℃の範囲では塩分 16.3-55.1S でみられる 海域適塩分：27‰以上あるのがよい ワカメ養殖地の養殖期 (10~4月), 0-4m層での塩分はほぼ29.4-33.6‰ (斉藤1958)	小河ら(1996) 日水資(1992)
		気仙沼	適塩分域：比重1.0250-1.0260 (藤原ら1972)	日水資(1981) 日水資(1983) 全沿漁(1993)
	遊走子 着生期	成葉 成熟 塩素量：7.0, 9.0, 11.0, 13.0, 15.0, 17.5 21‰	好適値：33.7-35‰ 好適値：15.3‰~ 遊走子着生：Cl 9‰以下で著しく着生阻害 (斉藤1958) 成長：15‰以上で成長および生残率が順調, 9‰で殆ど枯死 好適塩分は 17-18‰であろう 生存可能範囲：下限10.3-15.4‰ (殖田ら1975他) 適塩分域：Cl 17-18‰ 15‰で高温時に死亡, 9‰以下で着生阻害 Cl 18.27-11.35‰の間では遊走子の着生は塩分の影響を受けないが, そ れ以下 (8.5-5.70‰) では低塩分の影響がある Cl 8.5-5.7‰以下で阻害 (殖田ら1975)	海生研(1999) 日水資(1983) 斉藤(1956) 斉藤(1962)

第5-13表 海生生物への塩分の影響 総括表

種名	発育段階	試験条件 (塩分‰, S, psu 他)	試験結果	参考文献
F-6 ワカメ (つづき)	遊走子 成長期	塩素量 : 7.0, 9.0, 11.0, 13.0, 15.0, 17.5, 21‰ 9, 15, 17(海水) ‰	適塩分域 : 30.7-32.5 ‰ (比重1.020以上) (齊藤1956)(大島ら1965) 比重1.0250以上で順調, 1.017以下で遅れ, 1.014以下で枯死 (大島ら1965)	日水資(1983)
	配偶体 形成期		生存可能範囲下限 27.1‰, 比重1.014 (齊藤1956他)(大島ら1965) 配偶体の発芽, 成長, 芽胞体の発芽, 成長は大略Cl15‰以下で悪影響 高水温における低塩分の影響は大きい 配偶体の成熟, 胞子体の発芽, 成長はいずれも15‰以下で遅れ低濃度の 影響が大きい 配偶体発育期 (5月), 幼芽発生期(10~12月) に比重1.0220以下が続く と凶漁 (殖田ら1975)	日水資(1983) 齊藤(1962) 齊藤(1956)他 日水資(1981)

第6-1表 海生生物への溶存酸素と水温の影響 総括表

種名	発育段階	試験条件(溶存酸素量mL/L, 飽和度% 他)	試験結果	参考文献	
B-3 クルマエビ	底生期	4, 6, 8月の水温 15-27℃ 成貝16-28mm, 50個体, ① 水温 25-28℃ ② 水温 19-30℃ DO : 0, 0.5, 1.0, 2.0, 3.0mg/L 成貝16.4mm, 稚貝3.1mm, 水温10, 20, 30℃	酸素消費量(a,mL/g/h)と温度(t℃)との関係 (前川ら1955) $a = 0.0029t - 0.0137$	海生研(1991)	
C-2 アコヤガイ	底生期		酸素摂取量は4月から6月の水温上昇によって増加する。8月の高温による影響が生じた	山元ら(1999)	
C-6 トリガイ	底生期		天然海域でも高水温期(25-27℃)には溶存酸素量の低下(1mL/L前後)が 斃死に最大の影響がある	野上ら(1981)	
C-11 ヤマトシジミ	底生期			① 酸素消費量は溶存酸素量が4mL/L以下になると低下し ② 25-30℃では0mL/L, 5時間で斃死がはじまり, 19℃に比べ30℃では斃死率が2.3倍になる	位田・浜田(1975)
				成貝と稚貝では貧酸素耐性に顕著な差はないが, 水温は高いと貧酸素耐性は低下する	中村ら(1997a)
D-2 マナマコ	底生期		酸素消費量は水温低下に伴い低下, 水温上昇に伴い増加, 22-23℃で最大	山元(1992)	

第6-2表 海生生物への無機三態窒素と水温の影響 総括表

種名	発育段階	試験条件 (NO ₂ , NO ₃ , NH ₄ -N:mg/L, ppm 他)	試験結果	参考文献
E-1 多毛類	底生期	<i>Capitella capitata</i>	120h-Tlm = -0.8-27.9°C, 100%生残率を示す範囲 = 0.0-20.0°C	上野・山本(1982)
F-4 コンブ類 ナガコンブ	葉体期	NH ₄ -N : 50, 20, 10 μM 水温 5, 15°C NO ₃ -N : 50, 20, 10 μM 水温 5, 15°C NO ₂ -N : 20, 10 μM 水温 5 °C	NH ₄ -N および NO ₃ -Nを良く吸収し, 特に水温が高い場合には NH ₄ -Nの吸収が著しく促進される	町田ら(1985)

第6-3表 海生生物への塩分と水温の影響 総括表

種名	発育段階	試験条件 (塩分‰, S, psu 他)	試験結果	参考文献
A-2 アユ	孵化期	塩分: 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8‰ 水温: 11, 14, 17, 20, 23, 26°C	孵化塩分域: 0-8.0‰, 孵化水温域: 11.0-26.0°C 孵化最適域: 水温19°Cと塩分 0.9-1.1‰の組合せ	Kashiwagi <i>et al.</i> (1986)
A-3 イサキ	孵化期	塩分: 29.0, 32.6, 36.2‰ 水温: 12, 16, 20, 24, 28, 32°C	孵化適域: 水温 18-28°Cと塩分 31.0-36.2‰の複合条件 孵化最適域: 水温22.4°Cと塩分34.2‰の組合せ	Kashiwagi <i>et al.</i> (1984)
	仔稚魚期	塩分: 32.6, 34.4, 36.2‰ 水温: 16, 18, 20, 22, 24, 26, 28, 30, 32°C	無給餌飼育による半数生存時間の最長は77.9時間で, その最適条件は水温20.9°Cと塩分34.7‰	Kashiwagi <i>et al.</i> (1985)
A-11 シマアジ	孵化期	塩分: 17.34-34.68‰ 水温: 4-28°C 受精直後の未分割浮上卵	孵化最適域: 20°Cと 34.68-40.46‰の組合せ 孵化限界域: 22°Cと 17.34-52.02‰の組合せ	村井ら(1992)
A-12 シロギス	孵化期	塩分: 23-60psu 1細胞期受精卵 水温: 0-32°C	孵化最適域: 24.5°Cと 39.1psuの組合せ 高温側致死温度: LT ₅₀ = 30.4°C	Kashiwagi <i>et al.</i> (2000)
A-22 ワカサギ	孵化期	塩分: 0-10‰ (間隔 2‰ 6段階) 水温: 10-25°C (間隔 2.5°C 7段階)	孵化限界塩分域: 低塩分側10‰以下, 22.5°C以下 正常半数孵化上限塩分域: 塩分 6.7‰, 水温19°C	Kashiwagi <i>et al.</i> (1988)
B-1 ウシエビ	底生期	塩分: 10, 20, 30‰ 親エビ 10-18g 水温: 20, 30°C	① 塩分10‰では水温30°Cが20°Cより酸素消費量が2倍以上 ② 低塩分と高水温が酸素消費量を高める傾向. 塩分と水温では水温の影響が著しい	桑原ら(1985)
B-3 クルマエビ	底生 移行期 底生期	塩分: 0-50 (海水%) 水温: 22.5-29.7°C 平均体長1.1, 1.7, 2.5cm 塩分耐性	塩分耐性は体長 1 ~ 3 cmで殆ど差はなく, 24h-TLmは1-2‰の範囲 高水温は塩分耐性に影響する 30°C以上で 24h-TLm = 4.18‰, 体長 1-3.5cm (石田1970) 22°Cで 24h-TLm = 4.1-5.6‰または 2.6-4.1‰ (山口水試1971) 26±0.5°Cで24h-TLm = 3.5‰ 31±1.0°Cで24h-TLm = 2.4‰	石岡(1973) 石岡(1973)他

第6-4表 海生生物への塩分と水温の影響 総括表

種名	発育段階	試験条件 (塩分‰, S, psu 他)	試験結果	参考文献
C-3 アサリ	底生 移行期 底生期	3.0-4.5mm 殻長約 35mm	30℃, 比重1.0140以上で3日間で100%死(水産庁1979) 水温5℃以下, 塩分15psu以下では潜砂しない(相島1993) 低水温1℃では15psu, DO10%でも13日以上経過後に斃死し, 低塩分・貧酸素耐性は強い	日水資(1983) 蔵田(2000)
C-7 ハマグリ	底生 移行期	約27mm 成貝 塩分: 20%(6.4‰)-100%海水(32.2‰) 水温: 25, 39℃, 28日間, 平均殻長1.5mm	水温15℃, 塩分13psuでは潜砂しない(桜井ら1996) 初期稚貝は著しい高温耐性を有し, 低塩分許容範囲が広い	沼口・田中(1987)
C-8 ホタテガイ	底生期	DO: 7.3-9.63 水温: 13.5℃	水温13.5℃で塩分18.0psu以下に低下すると24時間以内に死亡 10psu以下では数時間のうちに死亡	桜井ら(2000)
C-9 マガキ	底生期	肉質の湿重量 4.62g 水温: 10.0℃	鰓の小片の匍匐速度は水温を上昇させると速度は大きくなり, 水温37℃で最大, 43℃で停止した	山元ら(1993)
C-11 ヤマトシジミ	底生期	塩分: 0-32psu, 水温: 10, 25℃ 成貝20-22mm 塩分: 25.6, 28.8, 32.0psu 水温: 10, 20, 30℃ 成貝20mm, 稚貝3mm	生息可能塩分域: 高温期と低温期の採集時期(水温)に関係なく1.5-22psu 22psu以上の高塩分域では馴致水温の上昇に伴い塩分耐性は弱くなる 高塩分耐性は成貝より稚貝が弱い	中村ら(1996a)
E-1 多毛類	底生期	<i>Capitella capitata</i>	低塩分, 高水温程生残率は減少する。15.0S‰と30℃の組合せで顕著	上野・山本(1982)
F-1 アカモク	胚発芽期	塩分: 12.9-51.8Sの11段階 水温: 10-25℃の4段階	仮根形成適条件: 22.7-42.1Sと10-20℃ 22.7-38.9Sと25℃の組合せ 仮根形成最適条件: 32.0Sと15℃の組合せ	小河(1986)
F-2 アマノリ類 スビノリ ナラワスビノリ	殻胞子 放出期 幼芽期	Cl: 4.3, 7.7, 11.5, 14.5, 18.6, 22.3‰ ノリの病気 あかぐされ病 壺状菌病	水温20, 25℃で殻胞子着生が良く, 10℃以下では不良 幼芽は水温が低く, 塩分が高い年には順調な生長を示す。低塩分と干出過多により阻害される 高水温低塩分下で感染速度が早まる 収穫前期(19℃→10℃台)16℃以上で低比重水が重なる時期に発生 菌の成長は15-20℃, 塩素量11-19%で良 早冷(22℃台)で低塩分の年に発生が早い	右田(1972) 川村ら(1993) 馬場・山下(1985) 切田(1991) 須藤ら(1972) 馬場・山下(1985)
F-5 ヒジキ	幼胚期	塩分: 6.5-64.2Sの10段階 水温: 10-25℃の4段階	仮根形成適条件: 6.3-58.7Sと15-20℃の組合せ 仮根形成最適条件: 19.5-45.7Sと15-20℃の組合せ 水温が塩分よりも影響が大, 高塩分側での影響大	小河ら(1996)
F-6 ワカメ	配偶体 形成期		配偶体の発芽, 生長, 芽胞体の発芽, 生長は大略 Cl 15‰以下で悪影響 高水温における低塩分の影響は大きい	斉藤(1962)

総括表 種名 A-1 アオハタ

環境要因	発育段階	試験条件	結果 (生存・斃死率(%))	特記事項ほか	文献
溶 存 酸 素	産卵期				
	孵化期				
	仔稚魚期				
	未成魚期	① 0.53±0.01 (mL/L) (飽和度10.9±0.2%) ② 1.23±0.05 (mL/L) (飽和度24.5±1.2%) ③ 4.81±0.11 (mL/L) (飽和度96.6±1.2%)	①酸素消費量：0.55±0.10 (mL/min./kg) ②酸素消費量：ほぼ正常状態 ③酸素消費量：1.32±0.17 (mL/min./kg) 要約：酸素消費量の減少が始まる酸素飽和度は25%で、約10%まで低下しても窒息死が起こらなかった	体重98±18g, 全長190±11mm, 24個体 水温25.9±0.5℃ 同上 同上	(2)
	成魚期			分布域：東京湾および新潟県以南 成体全長：約50cm	(1)
塩分					

<文献リスト>

(1)荒賀忠一 (1983). アオハタ. 学研生物図鑑 魚類 (落合 明監修), 東京, pp.180.

(2)山元憲一・細本 誠・上村達也 (1987). 低酸素下におけるマダイ, アオハタ, カワハギ, キュウセン, ハナオコゼの酸素消費量の変化.
水産増殖, 35(3),143-146.

総括表 種名 A-2 アユ (地方名:アイ (全国), コアユ (琵琶湖))

環境要因	発育段階	試験条件	結果 (生存・斃死率(%), TLm24,48,72* ¹ , HT ₅₀ * ²)	特記事項ほか	文献
溶存酸素	産卵期				
	孵化期				
	仔稚魚期	飽和度: 約 20-30,30-40,40-50,50-60,60-70,70-80,80-90%	要約: 飼育水の溶存酸素量は飽和度45%以上に保たれるべき	稚魚: 体重 2.0- 8.0g,20個体 水温 24.0-25.0℃	(7)
	未成魚期				
	成魚期	飽和度: 約30, 40, 55, 65, 80, 100% (文献中の第5図より判読)	要約: 酸素飽和度29%で29尾中13尾が窒息死し正常状態での代謝量に相当する酸素量を摂取出来なければ直ちに窒息死する	体重 64.3 ± 6.9g, 29個体 全長 19.3 ± 0.7cm 水温 26.4 ± 1.1℃ 分布域: 北海道天塩川・湧沸川以南の各地 成体全長: 20-30cm (1年魚)	(8) (5) (1)
亜硝酸	仔稚魚期	①塩分:0 ‰, NO ₂ -N:0,0.1,0.5,1,2,3ppm 塩分:0.1‰, NO ₂ -N:0,3,5,7,10,20,50,100ppm 塩分:0.2‰, NO ₂ -N:0,10,20,30,40,50,100,200ppm (～0.4,0.6,0.8,1,3,5‰) 塩分:10 ‰,NO ₂ -N:0, 300, 500, 700, 1,000, 2,000, 3,000ppm ②Ca:0,1,5,10,20,30,50,100ppm,NO ₂ -N:0,3ppm Mg:0,1,5,10,20,30,50,100,200,300,500ppm, NO ₂ -N:0,3ppm K :0,1,5,10,20,30,50,100,200,300,500ppm, NO ₂ -N:0,3ppm Na:0,1,5,10,50,100,300,500, 1,000, 2,000, 3,000, 5,000ppm,NO ₂ -N:0,3ppm	① 亜硝酸塩の毒性と塩分 塩分:0‰ (淡水);TLm ⁴⁸ = 2.1ppm 塩分:3‰ ;TLm ⁴⁸ =380 ppm 要約: 毒性は飼育水の塩分が高い程低下する ② 亜硝酸塩の毒性と塩類添加 Ca:50ppm Mg, K:10-100ppm で毒性低下 Na:5-2000ppmは対照区より良 要約: 100%致死濃度3ppmに対してCa,Mg,Kの毒性低下の効果が有り, これらの濃度は塩分3‰の海水成分濃度と一致する	孵化仔魚: 水温15.8-19.8℃ 試薬: NO ₂ -N ; NaNO ₂ Ca ; CaCl ₂ ・2H ₂ O Mg ; MgCl ₂ ・6H ₂ O K ; KCl Na ; NaCl	(2)

*¹: TLm24,48,72 (24,48,72時間半数致死濃度), *²: HT₅₀ (半数孵化時間)

塩分	孵化期	塩分：0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8‰	要約：孵化塩分域; 0 - 8.0‰ 孵化水温域; 11.0-26.0℃ 孵化最適域; 水温19℃と塩分 0.9-1.1‰ の組合せ 半数孵化時間 (HT ₅₀) ; 6.5-26.2日 孵化限界塩分域：低塩分側 0 ‰ 高塩分側11.6‰ 孵化最適塩分：1.8‰ 適塩分域：10.8-21.7‰ 生存可能上限塩分：24.59‰	受精卵 平均 161個 (供試数) 水温 11, 14, 17, 20, 23, 26℃ 孵化限界水温域：低温側 9.9℃ 高温側27.9℃ 孵化最適水温：19.0℃ (Kashiwagi <i>et al.</i> 1986) (田畑1975) (京都府水産課1956)	(4) (3)(4) (6)
	仔稚魚期		適塩分域：32.70 ‰以下 生存可能上限塩分：38.95‰	(京都府水産課1956) (京都府水産課1956)	(6)

<文献リスト>

- (1)井田 齊 (1989). アユ. 魚の事典 (能勢幸雄監修), 東京堂出版, 東京, pp.23-24.
- (2)岩井寿夫・伊藤 隆・田村憲二 (1974). アユのふ化仔魚に対する亜硝酸塩の毒性および飼育水の塩分濃度について. *Bull. Fac. Mie Univ.* **No.1**, 43-51.
- (3)柏木正章 (1990). 水温が魚類に魚類に及ぼす影響. 三重大環境科学研究紀要, **No.14**, 79-114.
- (4)Kashiwagi, M., T. Iwai, H. Yamamoto, and Y. Sokabe (1986). Effects of temperature and salinity on egg hatch of the Ayu *Plecoglossus altivelis*. *Bull. Fac. Fish. Mie Univ.*, 13, 17-24.
- (5)日本水産資源保護協会 (1981). アユ. 水生生物生態資料, pp.40-44.
- (6)日本水産資源保護協会 (1983). アユ. 環境条件が魚介類に与える影響に関する主要要因の整理, pp.294.
- (7)千葉健治 (1988). アユの成長に及ぼす溶存酸素の影響について. *Nippon Suisan Gakkaishi*, **54**(2), 175-181.
- (8)山元憲一・高殿俊行 (1985). 低酸素下におけるウナギ, ドジョウ, チィラピア, アユの酸素消費量の変化. 水産増殖, **33**(2), 103-107.

総括表 種名 A-3 イサキ (地方名:イサギ (東京以南各地),イッサキ (九州),オクセイゴ (東北))

環境要因	発育段階	試験条件	結果 (生存・斃死率(%), MST* ¹)	特記事項ほか	文献
溶 存 酸 素	産卵期 孵化期 仔稚魚期				
	未成魚期		安静状態での酸素消費量:104mL/kg/時	体重 89g, 水温 20.2℃	(6)
	成魚期			分布域:本州中部以南 成体全長:26cm(4年魚)	(5) (4)
塩	産卵期				
	孵化期	塩分:29.0, 32.6, 36.2‰	要約:水温 18-28℃と塩分 31.0-36.2‰の複合条件下で孵化し, 最大孵化率を最適条件とすると水温22.4℃, 塩分34.2‰であった 孵化率90%がえられるのは 19.5-25.4℃と 32.1-36.2‰である 孵化限界塩分域:低塩分側30.6‰ 高塩分側38.1‰ 孵化最適塩分:34.2‰ 生息域(実験上)の限界値:30~38‰	水温 12, 16, 20, 24, 28, 32℃ 孵化限界水温域:低温側17.1℃ 高温側27.7℃ 孵化最適水温:22.4℃ (Kashiwagi <i>et al.</i> 1984)	(2) (1)(2) (2) (6)
分	仔稚魚期	塩分:32.6, 34.4, 36.2‰	要約:無給餌飼育による半数生存時間 MSTは $MST = -4441.58 + 32.55T + 240.52S - 0.78T^2 - 3.46S^2$ 最長の MSTは77.9時間で, その水温と塩分の最適条件は20.9℃と34.7‰.	孵化直後の仔魚 水温 16, 18, 20, 22, 24, 26, 28, 30, 32℃	(3)
	未成魚期				
	成魚期				

*¹: MST (半数生存時間)

<文献リスト>

- (1) 柏木正章 (1990). 水温が魚類に及ぼす影響. 三重大環境科学研究紀要, **No.14**, 79-114.
- (2) Kashiwagi, M., N.Yamada, Y.Okada, F.Nakamura, S.Kimura and T.Iwai (1984). Some effects of temperature and salinity on developing eggs of the threeline grunt, *Paralistipoma trilineatum* (Pisces:Haemulidae). *Bull. Fac. Fish. Mie Univ.*, **No.11**, 1-13.
- (3) Kashiwagi, M., N.Yamada and T.Iwai (1985). Effects of temperature and salinity on survival time of the newly hatched threeline grunt, *Paralistipoma trilineatum*. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, **51**(7), 1201.
- (4) 望月賢二 (1989). イサキ. 魚の事典 (能勢幸雄監修), 東京堂出版, 東京, pp.29-30.
- (5) 日本水産資源保護協会 (1983). イサキ. 水生生物生態資料 (続), pp.36-39.
- (6) 全国沿岸漁業振興開発協会 (1993). 水産生物の環境条件. 沿岸漁場整備開発事業施設設計指針 平成4年度版, pp.323-400.

総括表 種名 A-4 ウナギ

環境要因	発育段階	試験条件	結果 (生存・斃死率(%), LC ₅₀ * ¹)	特記事項ほか	文献
溶 存 酸 素	産卵期 孵化期				
	仔稚魚期	飽和度：約10, 20, 30, 40, 60, 70, 100% (文献中のFig 3より判読)	要約：ウナギ(5g)の低酸素水域からの逃避は酸素飽和度35%より始まる。酸素消費量は低酸素水域からの逃避が始まる酸素飽和度より低下すると著しく減少した	体重4.96±1.49g, 120個体 全長 187±18mm, 水温27.1±0.1℃	(8)
	未成魚期	飽和度：約10, 20, 33, 48, 65, 100% (文献中の第2図より判読) ガス病試験 飽和度：358-397,403-442,456-473,515-541, 566-583,660-679%	要約：ウナギ当才魚では酸素飽和度 20-30%以下で酸素消費量が著しく減少した 要約：飽和度 400%を越えると鰭その他皮下の気泡の生ずる可能性があり,500%を越えると生命の危険を生ずる	当才魚体重79.8±24.5g,18個体 全長39.9±3.1cm, 水温26.8±0.1℃ 体長 30-35cm	(7) (1)
	成魚期			分布域：太平洋側；北海道以南 日本海側；秋田以南 成体全長：60cm	(3) (2)
アンモニア	仔稚魚期	急性毒性：pH 5, 6, 7, 8, 9で24h-LC ₅₀ pH 7で48h-, 72h-, 96h-LC ₅₀ 慢性毒性：塩化アンモニウムで TA-N * ² を 0-80mg/Lの範囲とし9週間飼育	要約：①24h-LC ₅₀ はpH 5-9の範囲でTA-N 2,844-16.8mg/LとなりpHの上昇に伴って毒性は上昇し,NH ₃ -Nの濃度はpH7-9では殆ど差がなくアルカリ域では毒性の主体はNH ₃ による ②pH5-7ではpHの低下に伴いNH ₃ -Nの濃度は低下し酸性域ではNH ₄ ⁺ 毒性に関与する割合が大きくなる ③9週間の飼育により成長阻害のNH ₃ -Nの濃度は 0.067-0.121mg/Lの間にある ④0.067mg/L 以上の濃度で赤血球数の増加が,0.121および 0.228mg/Lで鰓組織に変成が認められた	シラスウナギ：平均体重1.9±0.36g 水温25±1℃	(6)

*¹ : LC₅₀ (半数致死濃度), *² : TA-N;Total ammonium nitrogen

亜硝酸塩分	仔稚魚期	NO ₂ -N : 0, 115, 155, 210, 280, 370, 490mg/L	24h-TLm = 460 および351mg/L 9週間飼育成長阻害 = 30mg/L 安全濃度 = 10mg/L	日本ウナギおよびヨーロッパウナギ 日本ウナギ 水温25±1℃ 日本ウナギ	(5)
	産卵期		適塩分域 : 35.1‰以上	(川本1978, 松井1970)	(4)
	孵化期		適塩分域 : 35.1‰以上	(松井1970)	(4)
	仔稚魚期		適塩分域 : 葉形仔魚 35.10-35.30‰	(松原ら1965)	(4)

<文献リスト>

- (1)江草周三 (1954). 魚類ガス病発生病因としての水中酸素量. 科学, **24**(5), 262-263.
- (2)川口弘一 (1989). ウナギ. 魚の事典 (能勢幸雄監修), 東京堂出版, 東京, pp.49-50.
- (3)日本水産資源保護協会 (1981). ウナギ. 水生生物生態資料, pp.78-81.
- (4)日本水産資源保護協会 (1983). ウナギ. 環境条件が魚介類に与える影響に関する主要要因の整理, pp.298.
- (5)山形陽一・丹羽 誠 (1979). 亜硝酸のウナギに対する毒性について. 水産増殖, **27**(1), 5-11.
- (6)山形陽一・丹羽 誠 (1982). 日本ウナギに対するアンモニアの急性および慢性毒性. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, **48**(2), 171-176.
- (7)山元憲一・高殿俊行 (1985). 低酸素下におけるウナギ, ドジョウ, ティラピア, アユの酸素消費量の変化. 水産増殖, **33**(2), 103-107.
- (8)山元憲一 (1990). ウナギの低酸素下における逃避反応. 水産増殖, **38**(2), 113-116.

総括表 種名 A-5 カサゴ (地方名: ガシラ (大阪), ホゴ (広島, 松山), アカカブ (長崎, 玄海), カラコ (下関))

環境要因	発育段階	試験条件	結果 (生存・斃死率(%))	特記事項ほか	文献
溶 存 酸 素	産仔期				
	仔稚魚期				
	未成魚期	① 0.62±0.03mL/L (飽和度12.7±0.6%) ② 1.49±0.03mL/L (飽和度30.5±0.6%) ③ 4.69±0.07mL/L (飽和度95.9±1.4%)	①酸素消費量: 0.93±0.21 (mL/min./kg) 全個体生存	体重 8.6±2.1g, 全長79±9mm, 44個体 水温 26.1±0.1℃	(3)
			②酸素消費量: 1.99±0.27 ③酸素消費量: 2.01±0.25 要約: 酸素消費量を正常状態での値で維持出来る限界酸素飽和度は30.5%である 12.7%まで低下しても窒息死は起こらない 安静状態での酸素消費量: 55mL/kg/時	同上 同上 水温 20℃	(4)
成魚期			分布域: 北海道南部から九州 成体体長: 24cm (6年魚)	(4) (1)	
塩 分	仔稚魚期		浮遊期: 最適塩分域; 33.6-34.7‰ 適塩分域; 30.7-35.0‰ 生息域 (実験上) の限界値: 30.7-35‰	稚魚期 (千田1964)	(2)
					(4)

<文献リスト>

- (1)馬場 治 (1989). カサゴ. 魚の事典 (能勢幸雄監修), 東京堂出版, 東京, pp.86.
- (2)日本水産資源保護協会 (1983). カサゴ. 環境条件が魚介類に与える影響に関する主要要因の整理, pp.301.
- (3)山元憲一・広中孝始・山下秀幸・綿石慶太 (1990). 低酸素下におけるブリ, クラカケトラギス, カサゴ, ネズミゴチ, トラフグの酸素消費量の変化.
水産増殖, **38**(1), 35-39.
- (4)全国沿岸漁業振興開発協会 (1993). 水産生物の環境条件. 沿岸漁場整備開発事業施設設計指針 平成4年度版, pp.331.

総括表 種名 A-6 カワハギ (地方名: ハギ, ハゲ (各地))

環境要因	発育段階	試験条件	結果 (生存・斃死率(%))	特記事項ほか	文献
溶存酸素	産卵期				
	孵化期				
	仔稚魚期				
	未成魚期	① 0.80±0.17mL/L (飽和度15.7±4.1%) ② 2.04±0.14mL/L (飽和度42.1±2.9%) ③ 4.67±0.04mL/L (飽和度96.6±0.7%)	①酸素消費量: 0.63±0.37 (mL/min./kg) (生存個体) 49個体中17個体窒息死 ②酸素消費量: 1.99±0.27 ほぼ正常 ③酸素消費量: 2.48±0.23 要約: 酸素消費量の減少が始まる酸素飽和度は40%で, 約16%で窒息死が起こっている	体重52±28g, 全長 132±21mm, 49個体 水温27.7±0.3℃ 同上 同上	(4) (4)(5)
	成魚期			分布域: 北海道から東シナ海 成体体長: 30cm	(1)(2) (1)(2)
塩分	仔稚魚期		出現塩分域: 最適17.4~18.6‰ 九州沿岸 適15.8~19.2‰	(千田1964)	(3)

<文献リスト>

- (1)蒲原稔治 (1971). カワハギ. 原色日本魚類図鑑, 保育社, 東京, pp.47.
- (2)望月賢二 (1989). カワハギ. 魚の事典 (能勢幸雄監修), 東京堂出版, 東京, pp.103.
- (3)海洋生物環境研究所 (1978).カワハギ. 沿岸海域水生生物と水域環境の関係に関する文献調査報告書, pp.58.
- (4)山元憲一・細本 誠・上村達也 (1987). 低酸素下におけるマダイ, アオハタ, カワハギ, キュウセン, ハナオコゼの酸素消費量の変化.
水産増殖, **35**(3), 143-146.
- (5)山元憲一・広中孝始・山下秀幸・綿石慶太 (1990). 低酸素下におけるブリ, クラカケトラギス, カサゴ, ネズミゴチ, トラフグの酸素消費量の変化.
水産増殖, **38**(1), 35-39.

総括表 種名 A-7 キジハタ (アズキハタ) (地方名: アユ, アズキ (大阪), アカハラ (長崎))

環境要因	発育段階	試験条件	結果 (孵化・生存・斃死率(%))	特記事項ほか	文献
溶 存 酸 素	産卵期				
	孵化期				
	仔稚魚期				
	未成魚期				
	成魚期			分布域: 本州中部・青森県以南 成体全長: 50cm	(2) (2)
塩 分	孵化期	① 孵化率と奇形率 塩分: 10-100%海水 (3-30‰) の11段階 ② 孵化仔魚の無給餌飼育 塩分: 10-100%海水 (3-30‰) の11段階	要約: 孵化率は24‰以上で84.7%以上と安定して高い。奇形率は24‰以上で低く21‰以下で急激に高くなり9‰以下では正常な孵化仔魚は殆ど得られなかった 無給餌生残指数* は9‰以上で急激に上昇し18‰で最も高い値を示した	自然産出浮上卵: 水温23.4, 23.1℃ * : 無給餌生残指数 $SAI = \sum_{i=1}^k (N-h_i) \times i / N$ N は収容時の仔魚数, h_i は i 日目の斃死魚の累積尾数, k は生残尾数が0となった日	(1)
	仔稚魚期		10%海水 (比重3.16) : 生残率0% 20-60%海水 (比重5.70-17.06) : 生残率50%以上 70%海水 (比重20.20) 以上では生残率は低下	孵化仔魚: 水温21.8℃で6日間無給餌飼育 (森実ら1984)	(1)

<文献リスト>

(1)萱野泰久・水戸 鼓 (1993). キジハタの卵発生及びふ化仔魚の生残に及ぼす塩分の影響. 栽培技研, **22(1)**, 35-38.

(2)今 攸 (1998). キジハタ. 新魚種導入の可能性を探る (下). 養殖, **No.11**, 44-47.

総括表 種名 A-8 キュウセン (地方名: ギザミ (西日本各地), シマメグリ (青森), ジョロウオ (東海), クサビ (広島))

環境要因	発育段階	試験条件	結果 (生存・斃死率(%))	特記事項ほか	文献
溶存酸素	産卵期				
	孵化期				
	仔稚魚期				
	未成魚期	① 0.46±0.02mL/L (飽和度 9.3±0.5%) ② 2.57±0.03mL/L (飽和度52.0±0.5%) ③ 4.66±0.02mL/L (飽和度94.5±0.3%)	①酸素消費量: 0.53±0.12 (mL/min./kg) ②酸素消費量: ほぼ正常状態 ③酸素消費量: 1.51±0.23 要約: 酸素消費量の減少が始まる酸素飽和度は50%で, 約10%まで低下しても窒息死は起こらない	体重67±13g, 全長 179±12mm, 17個体 水温26.5±0.9℃ 同上 同上	(3)
	成魚期			分布域: 北海道南部から南シナ海 瀬戸内海に特に多い 成体全長: 26cm	(1)(2)
塩分					

<文献リスト>

- (1)阿部宗明・本間昭郎監修 (1997). キュウセン. 現代おさかな事典, エヌ・ティー・エス, pp.586-588.
- (2)荒賀忠一 (1983). キュウセン. 学研生物図鑑 魚類 (落合 明監修), 学研, 東京, pp.210.
- (3)山元憲一・細本 誠・上村達也 (1987). 低酸素下におけるマダイ, アオハタ, カワハギ, キュウセン, ハナオコゼの酸素消費量の変化.
水産増殖, **35**(3), 143-146.

総括表 種名 A-9 クラカケトラギス (地方名：トラギス (三崎・富山),オキハゼ (高知),トラハゼ (大阪))

環境要因	発育段階	試験条件	結果 (生存・斃死率(%))	特記事項ほか	文献
溶存酸素	産卵期			産卵期：2～6月と10～11月	(2)
	孵化期			孵化時間：12-17℃受精後71～75時間	(2)
	仔稚魚期				
	未成魚期	① 1.09±0.08mL/L (飽和度22.2±1.6%) ② 1.45±0.09mL/L (飽和度29.6±1.8%) ③ 4.69±0.02mL/L (飽和度95.7±0.4%)	①酸素消費量：1.72±0.20 (mL/min./kg) (生存個体) 36個体中8個体窒息死 ②酸素消費量：2.10±0.16 ほぼ正常状態 ③酸素消費量：2.13±0.23 要約：正常状態の酸素消費量の値を維持出来る 限界の酸素飽和度は29.6%で、窒息死は 22.2%で起こっている	体重21.0±2.4g, 全長 126±5mm, 36個体 水温26.5±0.2℃ 同上 同上	(3)
	成魚期			分布域：千葉県および新潟県以南 成体全長：20cm	(1)
塩分					

<文献リスト>

- (1)岡村 収 (1983). クラカケトラギス. 学研生物図鑑 魚類 (落合 明監修), 学研, 東京, pp.214.
- (2)山田梅芳 (1986). クラカケトラギス. 東シナ海・黄海のさかな, 水産庁, 西海区水産研究所, 長崎, pp.292-293。
- (3)山元憲一・広中孝始・山下秀幸・綿石慶太 (1990). 低酸素下におけるブリ, クラカケトラギス, カサゴ, ネズミゴチ, トラフグの酸素消費量の変化. 水産増殖, **38**(1), 35-39.

総括表 種名 A-10 サケ (地方名:アキアジ, ラシヤマス (北海道, 東北))

環境要因	発育段階	試験条件	結果 (生存・斃死率(%))	特記事項ほか	文献
溶存酸素	産卵期				
	孵化期		安静状態での酸素消費量: 9.5-25.7mL/kg/時 水質酸素量: 生息域 (実験上) の標準 (好適) 値; ~7mL/L	孵化~浮上期 卵~仔魚期	(4) (4)
	仔稚魚期	浮上時の試験水槽排水部のDO: 2, 3, 4, 5ppm	仔魚の発育: 2ppm < 3ppm < 4ppm < 5ppm 要約: 排水部溶存酸素量を5ppm以上に保つとが安静な仔魚管理上重要である 水質酸素量: 生息域 (実験上) の標準 (好適) 値; ~7mL/L	孵化平均水温: 10.4°C 試験平均水温: 6.7°C 約 5,000個体 稚魚期	(2) (4)
	未成魚期		安静状態での酸素消費量: 160-180 mL/kg/時	水温 10°C	(4)
	成魚期		安静状態での酸素消費量: 60.9-165.3mL/kg/時	遡上サケ, 水温 9.0-15.3°C 成体全長: 約 1 m 分布域: 太平洋側; 東京湾以北 日本海側; 佐賀県玉島以北	(4) (4) (1)
塩分	仔稚魚期	塩分: 0, 3, 5, 9, 13, 18‰Cl (淡水, 海水1/8, 1/4, 1/2, 3/4, 4/4) 塩分: 9, 18‰Cl	塩分選好: ①34mm群は3-5‰の海水を若干選択するが5‰以上は忌避 ②38mm群は9および13‰の海水に移行する個体が認められた ③43mm群の30-40%は9および13‰の海水をも選択 ④47mm群は13‰以上の海水に対して50-90%が選択し, 18‰は忌避的 ⑤大型装置による10日間の観察によると9‰を選択した稚魚はその後18‰をも選択した	尾叉長: 浮上直前34mm, 浮上直後38mm 浮上後10日43mm, 浮上後25日47mm 30個体 水温 5.2-8.5°C 各区総観察尾数1,500個体 尾叉長: 浮上直前34mm, 浮上後25日47mm 30個体 10日間投餌 水温 8.0-8.1°C (34mm), 11.4-11.7°C (47mm)	(3)

塩分	仔稚魚期 (つづき)	塩分：0, 25, 50, 75, 100%海水	塩分と成長： ①37-38mm 群は9‰以下で順調に成長，13‰以上の海水では低成長 ②飼育2週間後の稚魚は13‰以下の海水で順調に成長，5‰では淡水より高成長，18‰は低成長 要約：サケは浮上前後から成長に伴って汽水嗜好性を高める事により汽水への移行を活発化させ，さらに汽水中で一定期間生息する事により高濃度海水に馴致し，最終的に海水へ移行する	尾叉長：浮上直前37-38mm 飼育2週間41-43mm 10, 20, 30日目に 20-30尾計測	(3)
	未成魚期 成魚期				

<文献リスト>

- (1)井田 齊 (1989). サケ. 魚の事典 (能勢幸雄監修), 東京堂出版, 東京, pp.179-180.
- (2)松島 豊 (1993). 溶存酸素量の異なる水環境におけるサケ仔魚の発育比較. 北海道さけ・ますふ化場業績, **B24**, 69-75.
- (3)高橋清孝 (1986). 各種濃度海水に対するシロサケ *Oncorhynchus keta* 稚魚の反応. 宮城水試研報, **No.11**, 59-80.
- (4)全国沿岸漁業振興開発協会 (1993). 水産生物の環境条件. 沿岸漁業整備開発事業施設設計指針 平成4年度版, pp.323-400.

総括表 種名 A-11 シマアジ (地方名:シマイサギ (各地), オオカミ (東京),コセ (和歌山), カツオアジ (鹿児島))

環境要因	発育段階	試験条件	結果 (生存・斃死率(%))	特記事項ほか	文献
	溶存酸素	産卵期			
孵化期					
仔稚魚期					
未成魚期					
成魚期				分布域：青森以南 成体全長：約1m	(3) (2)
塩分	孵化期	① 塩分：17.34, 20.81, 24.28, 27.74, 31.21, 34.68‰ ② 塩分：17.34, 23.12, 28.90, 34.68, 40.46, 46.24, 52.02‰	要約：塩分が低下すると孵化時間が長くなるとともに個体差が大きくなり、低塩分は孵化に悪影響を及ぼし孵出異常や孵化仔魚の形態異常がみられた。孵化最適塩分域（正常孵化率80%以上）は産卵時と同一の水溫・塩分からやや高塩分までの水溫20℃,34.68-40.46‰であった。孵化限界塩分域（正常孵化率50%以上）は22℃, 17.34-52.02‰であった	受精直後の未分割浮上卵 ①水溫14, 16, 18, 20, 22, 24, 26, 28℃ ②水溫14, 16, 18, 20, 22, 24, 26, 28℃	(1)

<文献リスト>

- (1)村井 衛・川辺勝俊・隆島史夫 (1992). シマアジ卵の最適ふ化塩分および水温. 水産増殖, **40**(3), 261-268.
- (2)須田有輔 (1989). シマアジ. 魚の事典 (能勢幸雄監修), 東京堂出版, 東京, pp.200.
- (3)全国沿岸漁業振興開発協会 (1993). 水産生物の環境条件. 沿岸漁業整備開発事業施設設計指針 平成4年度版, pp.323-400.

総括表 種名 A-12 シロギス (キス) 地方名: キスゴ (九州各県), キツゴ (長崎)

環境要因	発育段階	試験条件	結果 (生存・斃死率(%))	特記事項ほか	文献
溶 存 酸 素	産卵期				
	孵化期				
	仔稚魚期				
	未成魚期	DO : 3.15-4.78 mL/L (飽和度68.4-89.0%)	要約 : 増重量に差なし 日間成長率, 増重量は20~26℃まで水温とともに増大, 29℃では26℃より減少した 酸素消費量: 240-634mL/kg/時, 20-29℃ 耐忍限界値: 1.4-1.8mL/L, 23-29℃ (飽和度30-36%)	体長113-141mm, 体重17.9-32.1g 飼育期間: 23-24日 水温 20, 23, 26, 29℃	(2)
	成魚期		酸素消費量: 339mL/kg/時, 21.5℃	<i>S.sihama</i> 体重132g (板沢1977) 分布域: 暖流域沿岸 成体全長: 30cm	(2) (4) (3)
塩 分	孵化期	塩分: 23, 29, 35, 45, 50, 55, 60psu	要約: ①32℃ではいずれも孵化しなかった ②20℃-55psu, 20℃-60psuも孵化しなかった ③孵化最適条件: 24.5℃-39.1psu 高温側致死温度LT ₅₀ =30.4℃ 低塩分側致死濃度LC ₅₀ =23.3psu 高塩分側致死濃度LC ₅₀ =54.8psuと推定 シロギス卵は広塩性 ④50%孵化時間HT ₅₀ =17.3-45.2 時間 塩分の影響は水温と比べて著しく小	1 細胞期の受精卵 水温 20, 24, 28, 32℃	(1)
	仔稚魚期		最適塩分域: 浮遊期 32.7-32.9‰ 適塩分域: 浮遊期 16.3-34.74‰	(堀木1975) (堀木1975)	(5)

<文献リスト>

- (1)Kashiwagi, M., S.Kondo, W.Yoshida, and M.Yoshioka (2000). Effects of temperature and salinity on hatching success of japanese whiting *Sillago japonica* eggs. *Suisanzoshoku*, **48**(4), 637-642.
- (2)城戸勝利・木下秀明 (1985). シロギス幼魚の成長と酸素消費量に及ぼす水温の影響. *海生研報*, No.85202, 1-20.
- (3)望月賢二 (1989). シロギス. 魚の事典 (能勢幸雄監修), 東京堂出版, 東京, pp.213-214.
- (4)日本水産資源保護協会 (1983a). シロギス. 水生生物生態資料 (続), pp.29-32.
- (5)日本水産資源保護協会 (1983b). シロギス. 環境条件が魚介類に与える影響に関する主要要因の整理, pp.304.

総括表 種名 A-13 トラフグ (地方名: マフグ, オオフグ (中国), オヤマフグ (和歌山), ゲンカイフグ (北九州))

環境要因	発育段階	試験条件	結果 (生存・斃死率(%))	特記事項ほか	文献
溶 存 酸 素	産卵期				
	孵化期				
	仔稚魚期				
	未成魚期	① 0.95±0.12mL/L (飽和度 19.1±2.4%) ② 2.00±0.11mL/L (飽和度 40.2±2.2%) ③ 4.98±0.14mL/L (飽和度100.2±2.8%)	①酸素消費量: 1.64±0.30 (mL/min./kg) (生存個体) 26個体中5個体窒息死 11個体転倒 ②酸素消費量: 3.75±0.30 ほぼ正常 ③酸素消費量: 3.64±0.38 要約: 正常状態の値を維持出来る限界の酸素飽和度は40.2%で, 19.1%で窒息死が起きている	体重18.3±4.0g, 全長93±12mm, 26個体 水温25.7±0.4℃ 同上 同上	(4)
	成魚期			分布域: 室蘭以南の太平洋, 稚内以南の日本海 (松原ら1977) 成体全長: 70cm以上	(3) (2)
塩 分	孵化期		生息域(実験上)の標準(好適)値; 32.0-33.6‰	卵期	(5)
	仔稚魚期 未成魚期	塩分: 5.0, 10.0, 15.0, 20.0, 25.0, 30.0‰	要約: ①稚魚期の好適塩分は25‰以上である ②若魚期には急激に10.0‰またはそれ以下の低塩分水が適するようになる ③未成魚は15‰前後の汽水が適しているがそれより低い塩分範囲での成長は試験期間中の日数の経過とともに次第に低下する傾向が認められる 生息域(実験上)の限界値: 広塩性	全長: 稚魚期 10.5mm, 体重 0.02g 水温 20.0-22.8℃ 若魚期 37mm, 体重 1.18g 水温 21.5-26.5℃ 未成魚期97mm, 体重25.4g 水温 21.3-25.0℃	(1) (5)

<文献リスト>

(1)韓 慶男・莊 恒源・松井誠一・古市政幸・北島 力 (1995). トラフグ幼稚魚の成長, 生残および飼料効率に及ぼす飼育水塩分の影響.

Nippon Suisan Gakkaishi, **61**(1), 21-26.

(2)望月賢二 (1989). トラフグ. 魚の事典 (能勢幸雄監修), 東京堂出版, 東京, pp.299-300.

(3)日本水産資源保護協会 (1981). トラフグ. 水生生物生態資料 (続), pp.54-57.

(4)山元憲一・広中孝始・山下秀幸・綿石慶太 (1990). 低酸素下におけるブリ, クラカケトラギス, カサゴ, ネズミゴチ, トラフグの酸素消費量の変化.

水産増殖, **38**(1), 35-39.

(5)全国沿岸漁業振興開発協会 (1993). 水産生物の環境条件. 沿岸漁場整備開発事業施設設計指針 平成4年度版, pp.323-400.

総括表 種名 A-14 ネズミゴチ (地方名:ヌメリゴチ・メゴチ (三崎), ネバリゴチ (浜名湖))

環境要因	発育段階	試験条件	結果 (生存・斃死率(%))	特記事項ほか	文献
溶 存 酸 素	産卵期				
	孵化期				
	仔稚魚期				
	未成魚期	① 0.69±0.07mL/L (飽和度13.7±1.4%) ② 1.65±0.08mL/L (飽和度32.7±1.6%) ③ 4.91±0.04mL/L (飽和度97.2±0.8%)	①酸素消費量: 0.63±0.21 (mL/min./kg) (生存個体) 18個体中9個体 窒息死 ②酸素消費量: 1.19±0.18 ほぼ正常 ③酸素消費量: 1.33±0.26 要約: 正常状態での酸素消費量の値を維持出来る 限界の酸素飽和度は32.7%で, 窒息死 は13.7%で起きている	体重22.3±8.0g, 全長 173±23mm, 36個体 水温24.7±0.1℃ 同上 同上	(3)
	成魚期			分布域: 仙台湾・新潟県以南の内湾砂底 成体全長: 20cm	(1)(2) (1)
塩分					

<文献リスト>

- (1)馬場 治 (1989). ネズミゴチ. 魚の事典 (能勢幸雄監修), 東京堂出版, 東京, pp.316.
- (2)落合 明 (1965). ねずみごち. 新日本動物図鑑 [下] (岡田 要監修), 北隆館, 東京, pp.333.
- (3)山元憲一・広中孝始・山下秀幸・綿石慶太 (1990). 低酸素下におけるブリ, クラカケトラギス, カサゴ, ネズミゴチ, トラフグの酸素消費量の変化.
水産増殖, **38**(1), 35-39.

総括表 種名 A-15 ハナオコゼ (地方名：ウミガエル (広島加茂), モクノヨ (静岡))

環境要因	発育段階	試験条件	結果 (生存・斃死率(%))	特記事項ほか	文献
溶存酸素	産卵期				
	孵化期				
	仔稚魚期				
	未成魚期	① 0.58±0.02mL/L (飽和度11.9±0.4%) ② 1.40±0.04mL/L (飽和度28.7±0.8%) ③ 4.67±0.04mL/L (飽和度94.5±0.4%)	①酸素消費量：0.53±0.12 (mL/min./kg) ②酸素消費量：ほぼ正常状態 (③と同レベル) ③酸素消費量：1.12±0.09 要約：酸素消費量の減少が始まる酸素飽和度は30%で、約10%まで低下しても窒息死は起こらない	体重 85 ±24g, 全長145±12mm, 18個体 水温 27.1 ±0.2℃ 同上 同上	(2)
	成魚期			分布域：本州中部以南各地沿岸 成体全長：15cm	(1)
塩分					

<文献リスト>

(1)上野達治 (1983). ハナオコゼ. 学研生物図鑑 魚類 (落合 明監修), 学研, 東京, pp.254.

(2)山元憲一・細本 誠・上村達也 (1987). 低酸素下におけるマダイ, アオハタ, カワハギ, キュウセン, ハナオコゼの酸素消費量の変化.
水産増殖, **35**(3), 143-146.

総括表 種名 A-16 ヒラメ (地方名: テックイ, アオopp (若魚) (北海道), オオブチカレイ (東北), オオタチ (中国))

環境要因	発育段階	試験条件	結果 (生存・斃死率(%))	特記事項ほか	文献
溶 存 酸 素	産卵期 孵化期				
	仔稚魚期	①孵化 3~11日令 " 14~30日令 " 40日令	要約: 成長に伴う標準酸素消費量は孵化後10日から14日目にかけて急激に減少した	水温20℃, 孵化 3~11日令 30個体 " 14~30日令 10個体 " 40日令 5個体	(1)
		②孵化 10, 15, 20, 30, 40日令 塩分: 20, 40, 60, 80, 100%海水 (34‰)	要約: 孵化後10~40日目で酸素消費量は低塩分濃度(20-80%海水)で急増し, 30-40日目ではほぼ一定値を示した. 塩分濃度を100%から50%, 50%から20%へ希釈すると酸素消費量は17日令の仔魚はそれぞれ8から14倍に増加し3~4時間後に回復した. 孵化後31日令では100%を25%に希釈すると約50%上昇し30分後に回復した	水温20℃, 孵化 10日令 30個体 " 15, 20, 30日令 10個体 " 40日令 5個体	
		③孵化 17日令, 31日令 17日令: 塩分100 → 50 → 25% 31日令: 塩分100 → 25%	要約: 生残は13日令以降20%海水区で激減した 孵化後13から15日令あたりに生理機能の発達する変曲点が存在する 単位体重あたりの酸素消費量は ① $VO_2 = BW^{-0.76}$ ② $VO_2 = BW^{-0.48}$ 安静状態での酸素消費量: 500-1,500mL/kg/時	水温 20℃, 孵化10日令 各20個体 40日令まで飼育 水温 20℃ ① 体重 1.6- 7.6g ② 体重 10.8-878 g	(2)
		④孵化 10日令 塩分: 20, 40, 60, 80, 100%海水			(7)
未成魚期		安静状態での酸素消費量: 50-280mL/kg/時	水温 20℃	(7)	
成魚期		安静状態での酸素消費量: 13-23 mL/kg/時	水温 10℃ 分布域: 日本沿岸一帯	(7) (3)	
塩 分	産卵期		適塩分域: 33.01-34.00‰	(樋田ら1976,1977)	(4)
	孵化期	塩分: 0- 68‰	要約: 孵化塩分域: 26-50‰ 孵化最適塩分: 34‰	卵: 水温平均13.5℃	(6)

塩分	孵化期 (つづき)		適塩分域：32.45-34.02‰ 生息域（実験上）の標準（好適）値：30-35‰ 生息域（実験上）の限界値：25～51‰	孵化水温域：10-20℃ 水温5-30℃ 孵化最適水温：15℃ 塩分34‰ （山本ら1976） 卵期	(6) (4) (7)
	仔稚魚期	塩分：0-68‰	要約：30日生残塩分域：4.2-40‰ 生残最適塩分：17‰ 生息域（実験上）の標準（好適）値：33.4-34.7‰ 生息域（実験上）の限界値：9.4-34.7‰	仔稚魚：孵化0-30日令 水温 13.0-15.0℃ 30日生残水温域：10-25℃ 生残最適水温：15℃水温5-30℃塩分34‰	(6) (7)
		飼育海水塩分 ① 50%海水(16.4%) ② 75%海水(21.1%) ③ 100%海水(32.3%)	全長、体重の増加率、餌料効率 は 50%海水 > 100%海水 > 75%海水 水分、灰分、粗蛋白質含量は塩分が低い程低く 粗脂肪量は塩分が低い程高くなる傾向 要約：50%海水は餌からのエネルギー吸収が良く、基礎代謝に使われるエネルギー支出が少ないためより良好な成長が得られた 最適塩分域：浮遊仔魚期 33.49-34.58‰ 適塩分域：浮遊仔魚期 9.32-34.65‰ 適塩分域：底生移行～稚魚期1.8-34.32‰	稚魚：孵化 約60日令 平均全長3.85mmの50日間飼育 （山本ら1976、京都水試1972、野沢1974、遊佐1972、山洞ら1977） （山本ら1976、京都水試1972、野沢1974） （野沢1974、遊佐1972、山洞ら1977、柿元ら1978）	(5) (4) (4) (4)
	未成魚期 成魚期		生息域（実験上）の標準（好適）値：18-34‰ 生息域（実験上）の限界値：6.6-34‰ 生息域（実験上）の標準（好適）値：33-35‰ 適塩分域：33.73-34.78‰	（柿元ら1978）	(7) (4)

<文献リスト>

- (1)日向野純也・安永義暢（1986）. 酸素消費量からみたヒラメ仔魚*Paralichthys olivaceus*の低塩分耐性について. 水工研技報 水産土木, **No.7**, 33-39.
- (2)Kikuchi,K.,Takeda,S.,Honda,H., and Kiyono,M. (1990). Oxygen consumption and nitrogenous excretion of starved Japanese flounder *Paralichthys olivaceus*. *Nippon Suisan Gakkaishi*, **56**(11),1891.
- (3)日本水産資源保護協会（1981）. ヒラメ. 水生生物生態資料, pp.190-195.
- (4)日本水産資源保護協会（1983）. ヒラメ. 環境条件が魚介類に与える影響に関する主要要因の整理, pp.318.
- (5)斉藤節雄・佐々木睦子・李海鷗・清水幹博・山田寿郎（1990）. ヒラメ稚魚の成長と代謝に及ぼす低塩分環境の影響, 北水試研報, **No.34**, 1-8.
- (6)安永義暢（1975）. ヒラメ卵稚子の発生・生残に及ぼす水温塩分の影響について. 東海水研報, **No.81**, 151-169.
- (7)全国沿岸漁業振興開発協会（1993）. 水産生物の環境条件. 沿岸漁場整備開発事業施設設計指針 平成4年度版, pp.323-400.

総括表 種名 A-17 ブリ (地方名:メジロ (大阪), ハマチ, ワカナゴ (各地)) (~7cmモジャコ, 15cmワカシ, 40cmイナダ, 60cmワラサ, ワラサ以上ブリ)

環境要因	発育段階	試験条件	結果 (生存・斃死率(%))	特記事項ほか	文献
溶存酸素	産卵期 孵化期				
	仔稚魚期		安静状態での酸素消費量: 60-700mL/kg/時	体重 20g, 水温 22-25°C	(7)
	未成魚期	① 1.73±0.09mL/L (飽和度34.9±1.7%)	①酸素消費量: 4.86±0.73 (mL/min./kg) (生存個体) 36個体中9個体窒息死	体重86.6±17.6g, 全長204±12mm, 36個体 水温26.0±0.2°C	(6)
		② 2.85±0.14mL/L (飽和度57.3±2.8%) ③ 4.72±0.02mL/L (飽和度94.9±0.4%)	②酸素消費量: 4.98±0.77 ほぼ正常 ③酸素消費量: 4.96±0.67	同上 同上	
成魚期	0年魚 体長35-37cm 平均体重784-877g 水温 28 °C	要約: 酸素飽和度が低下しても正常状態での酸素消費量の値を維持したが酸素消費量の減少する過程を示さずに34.9%に低下すると窒息死が起こる 安静状態での酸素消費量: 150mL/kg/時 2.8mL/L (4.0ppm * ¹ 飽和度59%) 以上で生残 3.2ppm (48%) 以下で24時間内に全死 96h-LC ₅₀ = 3.6 ppm	体重 850g, 水温14.5°C	(7) (1)	
成魚期		安静状態での酸素消費量: 180mL/kg/時 水質酸素量: 生息域 (実験上) の限界値; 4-8mL/L	体重 7 kg, 水温18.3°C 分布域: 東北海域~本邦南海域 成体長: 80cm以上 (5年魚)	(7) (4)	
アンモニア	仔稚魚期		96h-LC ₅₀ = 3.36 mg/L (非解離アンモニア)	体重 20g, 水温25.5°C	(3)
	未成魚期	NH ₄ Cl : 7.4, 15.3, ~34.8ppm	96h-LC ₅₀ = 28 ppm 要約: 若魚が死亡に至る急性毒性はアンモニア 態窒素が亜硝酸態窒素より強い	若魚 塩分: 32.2-33.3 pH : 8.0-8.2	(5)

*¹: DO(mL/L)値×1.43=DO ppm値

亜硝酸	未成魚期	NaNO ₂ : 7.4, 15.3, ~147ppm	96h-LC ₅₀ = 147ppm以上 要約：若魚の体色変化から亜硝酸態窒素はアンモニア態窒素よりも低濃度で健康に影響している	若魚 塩分：32.2-33.3 pH : 8.0-8.2	(5)
	産卵期		適塩分域：30.7‰以上	(藤田ら1969)	(2)
塩	孵化期		適塩分域：34.54-34.60‰ 比重1.0234-1.024 生息域（実験上）の標準（好適）値:34-34.5‰	(高知水試1971) (松原ら1965) 卵期	(2) (7)
	仔稚魚期		適塩分：30.7‰	(松原ら1965)	(2)
分	未成魚期		適塩分域：0, 1年魚 33.78-34.32‰ 2, 3年魚 34.3‰以上 生息域（実験上）の限界値：19.0‰～	(渡辺1967, 1964, 永田1959)	(2) (7)
	成魚期		生息域（実験上）の標準（好適）値： 27.2-36.3‰ 生息域（実験上）の限界値：20.7‰～		(7)

<文献リスト>

- (1)城戸勝利 (1989). 高水温条件下における海産養殖魚の溶存酸素量に対する反応試験. 海生研ニュース, **No.25**, 6-7.
- (2)日本水産資源保護協会 (1983). ブリ. 環境条件が魚介類に与える影響に関する主要要因の整理, pp.319.
- (3)瀬戸内海水研 (1999). アンモニア耐性からみたマダイの種苗生産. 養殖, **No.10**, 74-76.
- (4)須田有輔 (1989). ブリ. 魚の事典 (能勢幸雄監修), 東京堂出版, 東京, pp.363-364.
- (5)杉山元彦・田中秀樹・福所邦彦 (1991). ブリ若魚に対するアンモニア態及び亜硝酸態窒素の毒性 (短報). 養殖研報, **No.19**:31-33.
- (6)山元憲一・広中孝始・山下秀幸・綿石慶太 (1990). 低酸素下におけるブリ, クラカケトラギス, カサゴ, ネズミゴチ, トラフグの酸素消費量の変化. 水産増殖, **38**(1), 35-39.
- (7)全国沿岸漁業振興開発協会 (1993). 水産生物の環境条件. 沿岸漁場整備開発事業施設設計指針 平成4年度版, pp.323-400.

総括表 種名 A-18 ボラ (27mm前後ハク, ゲンプク, キララゴ, 3~18cmオボコ, イナッコ, スバシリ, 18~30cmイナ, 30cm以上ボラ, 大型トビ, トド)

環境要因	発育段階	試験条件	結果 (生存・斃死率(%))	特記事項ほか	文献
溶 存 酸 素	産卵期				
	孵化期				
	仔稚魚期				
	未成魚期				
	成魚期			分布域：本州沿岸	(1)
アンモニア	仔稚魚期		96h-LC ₅₀ = 1.23 mg/L* ¹ 96h-LC ₅₀ = 1.19 mg/L 96h-LC ₅₀ = 1.63 mg/L 96h-LC ₅₀ = 0.69 mg/L	体重 0.4g, 水温 21 °C 体重 0.7g, 水温 22 °C 体重 1.8g, 水温 23.3°C 体重 10.0g, 水温 23.3°C	(3)
塩分	仔稚魚期		適塩分域：34.11-34.85‰	(堀木1975)	(2)

*¹: 総アンモニア濃度

<文献リスト>

- (1)日本水産資源保護協会 (1981). ボラ. 水生生物生態資料, pp.92-95.
- (2)日本水産資源保護協会 (1983). ボラ. 環境条件が魚介類に与える影響に関する主要要因の整理, pp.320.
- (3)瀬戸内海水研 (1999). アンモニア耐性からみたマダイの種苗評価. 養殖, No.10, 74-76.

総括表 種名 A-19 マアジ (地方名: アジ, ゼンゴ (各地))

環境要因	発育段階	試験条件	結果 (生存・斃死率(%))	特記事項ほか	文献
溶存酸素	産卵期 孵化期 仔稚魚期 未成魚期				
	成魚期	飽和度: 21.9, 34.6, 38.6, 55.8, 74.3, 85.5 100.2%	要約: 酸素消費量は酸素飽和度が75%より低下すると呼吸運動に低酸素の影響があらわれるが, 44%以上であれば激しく暴れても生存可能である 安静状態での酸素消費: 444 mL/kg/時	体重 114±9g, 全長 226±7mm, 54個体 水温 16.5±0.3 °C 体重 137g, 水温21.5°C 分布域: 北海道から九州西岸 成体尾叉長: 35~40cmを超える	(4) (5) (3)
塩分	孵化期		孵化限界塩分域: 低塩分側14‰, 高塩分側40‰ 孵化最適塩分域: 27-33‰ 孵化限界水温域: 低温側16°C, 高温側25°C 孵化最適水温域: 21-24°C 生息域(実験上)の標準(好適)値: 1.020-1.025	(落合1984)	(1) (5)
	仔稚魚期		適塩分域: 31.96-34.85‰ 生息域(実験上)の標準(好適)値: 31.9-34.8‰	(堀木1975, 小笹1971)	(2) (5)
	未成魚期		適塩分域: 33.6-34.3 ‰ 生息域(実験上)の標準(好適)値: 33.6-34.3‰	(久保1966)	(2) (5)
	成魚期		適塩分域: 32.95-34.32 ‰ 生息域(実験上)の標準(好適)値: 33.3-34.3‰	(松原ら1965, 鈴木1973)	(2) (5)

<文献リスト>

- (1) 柏木正章 (1990). 水温が魚類に及ぼす影響. 三重大環境科学研究紀要, **No.14**, 79-114.
- (2) 日本水産資源保護協会 (1983). マアジ. 環境条件が魚介類に与える影響に関する主要要因の整理, pp.321.
- (3) 須田有輔 (1989). マアジ. 魚の事典 (能勢幸雄監修), 東京堂出版, 東京, pp.382-383.
- (4) 山元憲一 (1991). マアジの酸素消費に及ぼす低酸素の影響. 水産増殖, **39**(4), 399-402.
- (5) 全国沿岸漁業振興開発協会 (1993). 水産生物の環境条件. 沿岸漁場整備開発事業施設設計指針 平成4年度版, pp.323-400.

総括表 種名 A-20 マコガレイ (地方名:モク(新潟), マコ(東京, 三崎), クチボソ(七尾, 福井, 鳥取), ホソクチ(舞鶴), アマガレイ(明石), マテガレイ(広島))

環境要因	発育段階	試験条件	結果 (生存・斃死率(%))	特記事項ほか	文献
溶存酸素	産卵期 孵化期 仔稚魚期				
	未成魚期	<p>野外調査: 大阪湾堺北港</p> <p>室内実験: 塩分 33.13</p> <p>① 貧酸素耐性; 溶存酸素0.88-2.6mg/L (17-51%, 5濃度)</p> <p>② 呼吸頻度; 酸素飽和度 40, 50, 60, 70, 80, 100%から1時間経過した時の1分間あたりの呼吸頻度</p>	<p>マコガレイの生息を考慮すると人工干潟周辺の浅海域は夏季に1日以上の間継続して酸素飽和度30%(1.6mL/L)を下回ることがなく月平均値として50%(2.6mL/L)以上に保持することが望ましい</p> <p>①酸素飽和度30%(1.6mL/L)までは24時間後の死亡率は0%, 25%(1.3mL/L)で50%, 19%(0.98mL/L)では100%</p> <p>②酸素飽和度40-50%(2.1-2.6mL/L)以下に減少すると鰓蓋運動が活発になり酸素補給の低下を補うために呼吸頻度が増加した</p> <p>③半数致死酸素飽和度は23-26%(1.2-1.3mL/L)</p> <p>付) ヨシエビ稚仔 7-12%, ガザミ小型 9-13% クルマエビ稚仔 14-21%, サルエビ 16-19% マハゼ 18-21%</p> <p>安静状態での酸素消費量: 77.2mL/kg/時</p>	<p>全長 4.5-7.2cm, 体重 0.98-4.97g 水温 22.4-24.3°C, 1濃度あたり1個体暗条件</p> <p>全長 7.0-7.8cm, 体重 3.9-6.1g, 4-5尾 水温 23 ±1°C</p> <p>体重 55g, 水温 25°C 分布域 北海道南部から九州沿岸</p>	(3)
塩分	孵化期		<p>孵化限界塩分: 低濃度側 20.9‰ 高濃度側 40.1‰</p> <p>孵化最適塩分: 21-40‰</p> <p>生息域(実験上)の標準(好適)値: 20-40‰</p> <p>生息域(実験上)の限界値: 15-45‰</p>	<p>(山本1939)</p> <p>(山本1974)</p>	(1) (4)
	仔稚魚期		<p>出現塩分: 11-15.5%(19.9-28.0‰)</p> <p>生息域(実験上)の限界値: 15.4‰~</p>	(茨城水試1975)	(2) (4)

<文献リスト>

- (1) 柏木正章 (1990). 水温が魚類に及ぼす影響. 三重大環境科学研究紀要, **No.14**, 79-114.
- (2) 日本水産資源保護協会 (1983). マコガレイ. 環境条件が魚介類に与える影響に関する主要要因の整理, pp.324.
- (3) 矢持 進・有山啓之・佐野雅基 (1998). 大阪湾湾奥沿岸域の環境修復—堺泉北港干潟造成予定地周辺の水質・底質ならびに底生動物相とマコガレイの貧酸素に対する応答—. 海の研究, **7(5)**, 293-303.
- (4) 全国沿岸漁業振興開発協会 (1993). 水産生物の環境条件. 沿岸漁場整備開発事業施設設計指針 平成4年度版, pp.323-400.

ア ン モ ニ ア	孵化期	① cont., 1, 2, 3, 6, 12, 25, 50ppm ② cont., 2, 4, 6, 8, 10, 12, 20ppm	HC ₅₀ = 6.6-7.0ppm (非解離アンモニア(NH ₃ -N) の場合: HC ₅₀ = 0.79-0.88ppm, pH 8.03-9.35)	卵 : 4-8 細胞期の浮上卵, 水温20℃ 塩分 34.26-34.46‰, 酸素飽和度 100%	(5)
	仔稚魚期	NH ₄ -N:0.004(cont.) 0.066, 0.66mg/L (NH ₃ -N:<0.001, 0.002, 0.020mg/L) NH ₄ -N:0.004, 2.00, 3.33, 6.0mg/L (NH ₃ -N:<0.001, 0.05, 0.08, 0.15mg/L) NH ₄ -N: ③ cont.,2.5,5.0,10, 20ppm ; 平均体重15.9mg ④ cont.,0.8,1.5, 3, 6 ppm ; 平均体重52.7mg ⑤ cont.,1.2,2.5, 5, 9 ppm ; 平均体重 7.5mg ; 平均体重 7.5mg ; 平均体重 7.5mg	要約 : 仔魚の成長は 0.002と 0.020mg/LNH ₃ -N で明らかに抑制された 要約 : 0.05,0.08と0.15mg/LNH ₃ -N で軟骨組織 に著しい病変が生じた これらのNH ₃ -N濃度は種苗生産現場ではし ばしば検出されている濃度であるので注意 が必要である NH ₄ -N: NH ₃ -N: 96h-LC ₅₀ = 3.0ppm 96h-LC ₅₀ = 0.26ppm 96h-LC ₅₀ = 4.9ppm 96h-LC ₅₀ = 0.58ppm pH = 8.11-8.97→ 0.19-0.58 21h-LC ₅₀ = 5.0ppm 44h-LC ₅₀ = 2.9ppm 68h-LC ₅₀ = 2.6ppm 要約 : 7.5mg の仔稚魚では接触時間21-68 時間 の範囲でLC ₅₀ 値が低下 一方, 15.9mg, 52.7mgではほぼ一定 24h-LC ₅₀ = 1.05mg/L 96h-LC ₅₀ = 0.77mg/L 24h-LC ₅₀ = 0.57mg/L 96h-LC ₅₀ = 0.45mg/L 要約 : 成長優良系マダイが在来系マダイよりア ンモニア耐性が高い 96h-LC ₅₀ = 0.26mg/L (非解離アンモニア) 96h-LC ₅₀ = 0.58mg/L	孵化 1 日令仔魚2.71mm,100個体3日間接触 孵化 3 日令仔魚3.13mm, 20個体1日間接触 仔稚魚 : 孵化後 24-31日間飼育 水温21℃, 塩分 33.81-34.39‰ 酸素飽和度97-100%	(5)
	未成魚期			成長優良系マダイ 体重13.4g 同上 水温 21.4-23.8℃ 在来系マダイ 体重15.2g 同上 水温 21.4-23.8℃ 体重 : 15.9g 水温21℃ 体重 : 52.7g 水温21℃	(9)

* : HC₅₀・LC₅₀ (半数孵化・濃度)

<文献リスト>

- (1) Guillen, J.L., M.Endo, Turnbull J.F., H.Kawatsu, Richards R.H. and Aoki(1993). Depressed growth rate and damage to the cartilage of redsea bream larvae associated with exposure to ammonia. *Nippon Suisan Gakkaishi*, **59**(7), 1231-1234.
- (2) 海洋生物環境研究所 (1991). (18) マダイ. 沿岸至近域における海生生物の生態知見 魚類・イカタコ類編, pp.379-443.
- (3) 柏木正章 (1990). 水温が魚類に及ぼす影響. 三重大環境科学研究紀要, **No.14**, 79-114.
- (4) 城戸勝利 (1989). 高水温条件下における海産養殖魚の溶存酸素量に対する反応試験. 海生研ニュース, **No.25**, 6-7.
- (5) 城戸勝利・渡辺康憲・中村幸雄・岡村武志 (1991). マダイ卵および仔稚魚の生残に及ぼすアンモニアの影響. 水産増殖, **39**(4), 353-362.
- (6) 望月賢二 (1989). マダイ. 魚の事典 (能勢幸雄監修), 東京堂出版, 東京, pp.392-393.
- (7) 光永 靖・坂本 且・荒井修亮・笠井亮秀 (1999). 野外におけるマダイの酸素消費量の水温を指標とした見積り. 日水誌, **65**(1), 48-54.
- (8) 日本水産資源保護協会 (1983). マダイ. 環境条件が魚介類に与える影響に関する主要要因の整理, pp.326.
- (9) 瀬戸内海水研 (1999). アンモニア耐性からみたマダイの種苗生産. 養殖, **No.10**, 74-76.
- (10) 山元憲一・細本 誠・上村達也 (1987). 低酸素下におけるマダイ, アオハタ, カワハギ, キュウセン, ハナオコゼの酸素消費量の変化. 水産増殖, **35**(3), 143-146.
- (11) 山下金善 (1964). マダイ養殖の基礎的研究- IV 稚仔の疾病について 1. ガス病. 水産増殖, **12**(2), 127-133.
- (12) 全国沿岸漁業振興開発協会 (1993). 水産生物の環境条件. 沿岸漁場整備開発事業施設設計指針 平成4年度版, pp.323-400.

総括表 種名 A-22 ワカサギ (地方名: アマサギ (山陰地方), チカ (北海道; 混称))

環境要因	発育段階	試験条件	結果 (孵化・生存・斃死率(%))	特記事項ほか	文献
溶存酸素	産卵期				
	孵化期		安静状態での酸素消費量: 0.26-8.4mg/万粒/時		(5)
	仔稚魚期				
	未成魚期				
	成魚期			分布域: 利根川と島根県以北 成体全長: 15cm	(1)
塩分	孵化期	塩素量: 6段階 0-10‰ (間隔 2‰)	要約: 孵化限界は22.5℃以下および10‰以下であった 総孵化率TH(%), 正常孵化率VH(%), 水温, 塩素量の間関係式を表した 供試卵の半数が正常に孵化する上限は19℃および 6.7‰と推定した 孵化時間は水温と高度に有意な負の相関関係があったが塩素量との関係は有意でなかった 孵化最適塩分域: 0‰ 孵化限界塩分域: 限界低塩分域; 0 ‰ 限界高塩分域; 6.7 ‰ 適塩分域: 海水が 7.5‰以下でよく孵化する 生息域 (実験上) の限界値: ~2.6‰	受精卵 水温 7段階 10-25℃ (間隔 2.5℃)	(3)
			(川本1978) 卵期	(2) (4) (5)	

<文献リスト>

- (1)井田 齊 (1989). ワカサギ. 魚の事典 (能勢幸雄監修), 東京堂出版, 東京, pp.433.
- (2)柏木正章 (1990). 水温が魚類に及ぼす影響. 三重大環境科学研究紀要, **No.14**, 79-114.
- (3)Kashiwagi, M., T.Iwai and A.N.G.Lopes (1988). Effects of Temperature and Salinity on Egg Hatch of the Pond Smelt *Hypomesus olidus*.
Bull. Fac. Bioresources Mie Univ. **No.1**, 7-13.
- (4)日本水産資源保護協会 (1983). ワカサギ. 環境条件が魚介類に与える影響に関する主要要因の整理, pp.332.
- (5)全国沿岸漁業振興開発協会 (1993). 水産生物の環境条件. 沿岸漁場整備開発事業施設設計指針 平成4年度版, pp.323-400.

総括表 種名 A-23 海産硬骨魚類36種他

環境要因	発育段階	試験条件	結果	特記事項ほか	文献																														
溶存酸素	産卵期																																		
	孵化期																																		
	仔稚魚期	実験Ⅰ：呼吸室への流入水の溶存酸素量 5.15±0.09mL/L 酸素飽和度96.4±1.6%	要約：酸素飽和した水中で安静状態での海産硬骨魚36種の酸素消費量(M,mL/min./fish)と体重(W,g)との間に 水温21.4±0.4℃では $M = 0.00401W^{0.786}$ (R ² =0.931, n=290) 水温26.2±0.8℃では $M = 0.00534W^{0.811}$ (R ² =0.883, n=1,358)	実験Ⅰ：水温21.4±0.4℃ 魚種：ゴズイ、ヨウジウオ、ギンソイワシ、セズボラ、 (31種)アオハタ、キジハタ、マハタ、ネブツダイ、シロギス、 マアジ、マルアジ、メジナ、クロダイ、キチヌ、イシダイ、 ササノハベラ、ホンベラ、キュウセン、マサバ、イトヒキハゼ、 ドロメ、マハゼ、ダイナンギンボ、メバル、クロソイ、 ハオコゼ、クジメ、アイナメ、ネズミゴチ、アミメハギ、 クサフグ	(2)																														
	未成魚期	実験Ⅱ：呼吸室への流入水の溶存酸素量 4.71±0.16mL/L 酸素飽和度95.5±3.1%	未知の魚種でも体重および生息場所の水温を知れば安静状態の消費量は推測可能で、底生魚は小さめに遊泳性の大きな魚種は大きめに酸素消費量を修正すれば信頼性が大となる	実験Ⅱ：水温26.2±0.8℃ 魚種：ゴズイ、ハオコゼ、アオハタ、ネブツダイ、ブリ (17種)マアジ、メジナ、マダイ、キュウセン、マハゼ、 クラガケトラギス、カサゴ、ネズミゴチ、カワハギ、 アミメハギ、トラフグ、クサフグ																															
成魚期																																			
塩分	孵化期	塩分と孵化	<table border="1"> <thead> <tr> <th>孵化最適塩分域</th> <th>限界低塩分域</th> <th>限界高塩分域</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>① 27-33</td><td>14</td><td>40</td></tr> <tr><td>② 35</td><td>22</td><td>> 50</td></tr> <tr><td>③ 34.2</td><td>30.6</td><td>38.1</td></tr> <tr><td>④ 21-40</td><td>20.9</td><td>40.1</td></tr> <tr><td>⑤ 14.9</td><td>< 10</td><td>29</td></tr> <tr><td>⑥ 17.0</td><td>< 5</td><td>41.9</td></tr> <tr><td>⑦ 1.8</td><td>0</td><td>11.6</td></tr> <tr><td>⑧ 0</td><td>6.7</td><td>0</td></tr> <tr><td>⑨ 35</td><td>11</td><td>> 40</td></tr> </tbody> </table>	孵化最適塩分域	限界低塩分域	限界高塩分域	① 27-33	14	40	② 35	22	> 50	③ 34.2	30.6	38.1	④ 21-40	20.9	40.1	⑤ 14.9	< 10	29	⑥ 17.0	< 5	41.9	⑦ 1.8	0	11.6	⑧ 0	6.7	0	⑨ 35	11	> 40	魚種： ① マアジ (落合1984) ② イシガキダイ (原田ら1979) ③ イサキ (Kashiwagi <i>et al.</i> 1984) ④ マコガレイ (山本1939) ⑤ マダラ (Alderdice <i>et al.</i> 1971) ⑥ ニシン (Alderdice <i>et al.</i> 1971) ⑦ アユ (Kashiwagi <i>et al.</i> 1986) ⑧ ワカサギ (Kashiwagi <i>et al.</i> 1988) ⑨ マダイ (Apostlopoulos 1976)	(1)
孵化最適塩分域	限界低塩分域	限界高塩分域																																	
① 27-33	14	40																																	
② 35	22	> 50																																	
③ 34.2	30.6	38.1																																	
④ 21-40	20.9	40.1																																	
⑤ 14.9	< 10	29																																	
⑥ 17.0	< 5	41.9																																	
⑦ 1.8	0	11.6																																	
⑧ 0	6.7	0																																	
⑨ 35	11	> 40																																	

<文献リスト>

(1) 柏木正章 (1990). 水温が魚類に及ぼす影響. 三重大環境科学研究紀要, **No.14**, 79-114.

(2) 山元憲一・島 隆夫・山下秀幸・綿石慶太 (1990). 海産硬骨魚類36種の安静状態での酸素消費量と体重の関係. 水産増殖, **38**(1), 41-45.

総括表 種名 B-1 ウシエビ

環境要因	発育段階	試験条件	結果 (生存・斃死率(%))	特記事項ほか	文献
溶 存 酸 素 ・ 塩 分	産卵期				
	孵化期				
	浮遊期				
	底生 移行期				
	底生期	塩分：10, 20, 30‰ 水温：20, 30℃	塩分10‰では水温30℃が20℃より酸素消費量が2倍以上 塩分30‰では酸素飽和度50%以下で酸素消費量の低下が著しい 低塩分と高水温が酸素消費量を高める傾向がみられる。塩分と水温では水温の影響が著しい	親エビ10-18g 分布域：千葉県以南の太平洋沿岸数は少ない。東南アジア周辺に多い	(2) (1)

<文献リスト>

- (1)阿部宗明・本間昭郎監修 (1997). ウシエビ. 現代おさかな事典, エヌ・ティー・エス, 東京, pp.729-731.
- (2)桑原 連・秋本 泰・平野禮次郎 (1985). ウシエビの酸素消費量に関する研究. 水産増殖, 33(1), 1-6.

溶 存 酸 素 ・ 硫 化 水 素	底生期 (つづき)	酸素消費量：23℃で砂中に休息中は 77-135mL/kg/時 活動中は約3倍	体重3-18g, 水温23℃ 環境水中のDOが1mL/L以下で呼吸管を砂上 に出し, 0.5mL/L になると砂上に出る (Egusa <i>et al.</i> 1961)	(5)(9)
		酸素消費量(a, mL/g/時) と温度(t℃) との関係 $a = 0.0029t - 0.0137$	(前川ら1955)	(5)
		保蔵中の50%以上の生残時間：LT ₅₀ 5℃で104時間, 8℃で82時間 11℃で 64時間, 15℃で42時間	保蔵耐性 測定水温 5, 8, 11, 15 °C	(3)
			分布域：太平洋側；北海道以南 日本海側；山形以南	(6)

塩分	産卵期				
	孵化期				
	浮遊期		8h-TLm 下限値 : 12.23-12.7‰ 上限値 : 26.022-26.58‰	塩分耐性 : 後期幼生 (Hudinaga1942)	(4)(5)
	底生移行期	塩分 (海水%) : 0, 5, 10, 15, 20, 30, 40, 50	生存可能下限塩分域 : 1.4-3.1 ‰以下 遊泳行動が変化するのは 2.5‰以下 24h-LC ₅₀ : 塩素量 0.8-1.7‰以下 遊泳行動の変化は20%海水以下 (Cl2.5‰以下) 孵化当初からかなり低塩分に高い耐性を有する 要約 : 塩分耐性は体長1~3cmではほとんど差はなく, 24h-TLm は1~2‰の範囲であった. 高水温は塩分耐性に影響を与えるようである	(藤谷ら1978) (石岡1973) (石岡1973) 平均体長1.1, 1.7, 2.5cm 水温 : 22.5-23.0℃ 26.4-27.4℃ 28.9-29.7℃	(1)(7) (1)(4)(6) (4)(6)
	底生期		塩分耐性 : 30℃以上で24h-TLm =4.18‰以下 : 22℃で24h-TLm =4.1-5.6‰ または2.6-4.1‰ : 26±0.5℃で24h-TLm =3.5‰ : 31±1.0℃で24h-TLm =2.4‰ : 24h-TLm =3.47‰以下 : 24h-TLm =3.45-6.03‰ : 24h-TLm : 1.8-3.6‰ 31℃で 4.3‰, 30℃で7.55‰以下, 26℃で 6.3‰, 22℃で7.4-10.1‰ 生存可能下限塩分 : 6.27‰ 生存可能下限塩分域 : 6.23-10.89‰ 生息域 (実験上) の標準 (好適) 値 : 22‰~ 生息域 (実験上) の限界値 : 6.3‰	体長1-3.5cm 稚エビ (石田1970) (山口水試1971) 体長7.6-13.5cm (戸田1936) 体長7.98cm (吉田1960) 体長1-3cm (石岡1973) 体長7.6-13.5cm (石岡1973) 体長7.98cm (石岡1973)	(4)(5) (7) (7) (9)

<文献リスト>

- (1)藤谷 超・石岡宏子 (1978). クルマエビの種苗特性の判定 増殖技術の基礎と理論. 水産学シリーズ23, pp.45-56.
- (2)平岡三登里 (1999). 硫化物の海水中における濃度変化とクルマエビに対する急性毒性. 山口内海水試報, **No.27**, 25-27.
- (3)石田宏一・古庄真喜・梅崎祐二・本田 彰 (1991). クルマエビの酸素消費について. 熊本水試研報, **No.1**, 17-22.
- (4)石岡宏子 (1973). クルマエビ人工種苗の生理生態に関する研究. 南西水研報, **No.6**, 59-84.
- (5)海洋生物環境研究所 (1991). (4) クルマエビ. 沿岸至近域における海生生物の生態知見 貝類・甲殻類・ウニ類編, pp.377-405.
- (6)日本水産資源保護協会 (1981). クルマエビ. 水生生物生態資料, pp.228-231.
- (7)日本水産資源保護協会 (1983). クルマエビ. 環境条件が魚介類に与える影響に関する主要要因の整理, pp.337.
- (8)矢持 進 (1995). 稚エビなどの成育場としての大阪湾奥部-淀川河口域におけるヨシエビの分布と貧酸素-特集2 大阪湾の自然と環境. 瀬戸内海, **No.2・3**, 99-104.
- (9)全国沿岸漁業振興開発協会 (1993). 水産生物の環境条件. 沿岸漁場整備開発事業施設設計指針 平成4年度版, pp.323-400.

総括表 種名 B-4 ヨシエビ (地方名:スエビ(商品名))

環境要因	発育段階	試験条件		結果 (生存・斃死率(%))	特記事項ほか	文献
		溶存酸素(mg/L)	硫化水素(μg/L)			
溶 存 酸 素 ・ 硫 化 水 素	産卵期 孵化期					
	浮遊期	① 7.3	0, 5.5, 10.2, 19.5, 32.3	①48h-LC ₅₀ = 8.7 μgH ₂ S/L (硫化水素濃度)	48時間接触, ズエア期 25個体 水温 21.5±1.3℃ 同上 ミシス期 25個体 水温 21.0±1.4℃	(2)
		② 7.3	0, 5.5, 10.2, 19.5, 32.3	②48h-LC ₅₀ =11.4 μgH ₂ S/L (硫化水素濃度)		
		③ 1.5, 2.5, 3.4, 7.3	0	③生存率 DO 3.4 以下で低下	72時間接触, ズエア期 25個体 同上 ミシス期 25個体	
		④ 1.5, 2.5, 3.4, 7.3	0	④生存率 DO 1.5 以下で低下		
		⑤ 2.5 3.4 7.3	5, 10 5.3, 10 0	⑤生存率 DO 3.4 以下+H ₂ S 10 μg/L の複合条件下でDO単独より低下 要約: 夏季に幼生の資源は大きな悪影響を受ける	72時間複合接触, ズエア期 25個体 同上 ミシス期 25個体	
	底生 移行期 底生期	7-12% (0.35-0.60) 12-17% (0.60-0.85) 20-27% (1.00-1.36)		24h の斃死率 25% 8% 0% 要約: 24h-LC ₅₀ =7-12%以下	稚仔体長27-40mm	(6)
	① 7.2 ② 0.20 ③ 0.20	10, 20, 30, 50		①96h-LC ₅₀ = 35.2(硫化水素濃度)	96時間接触, 稚エビ期, 20個体 水温22.0±1.0℃	(1)
		0		②LT ₅₀ =22時間(0.9日),生存日数28時間 1.2日	同上 21.5±1.0℃	
		11.8		③LT ₅₀ =22時間(0.9日),生存日数33時間 1.3日	同上 22.0±1.0℃	
① 7.3 ② 1.5, 2.5, 3.4, 7.3 ③ 2.5 3.4 7.3	0, 5.5, 10.2, 19.5, 32.3		①48h-LC ₅₀ = 18.5(硫化水素濃度)	48時間接触, 稚エビ期, 25個体 水温22.2±1.2℃	(2)	
	0		②生存率 DO 1.5 以下で低下	72時間接触, 同上		
	5, 10 5.3, 10 0		③生存率 DO 2.5 以下+H ₂ S 10 μg/L の複合条件下でDO単独より低下 要約: 夏季に幼生の資源は大きな悪影響を受ける	72時間複合接触, 同上		
				分布域: 太平洋側; 東京湾以南, 日本海側; 中部以南沿岸		(3) (5)

塩 分	孵化期		発生適塩分域：23-35‰	(生田ら1972)	(4)
	底生期		生息塩素量：Cl 5‰以上	体長 7-8cm以上 (倉田ら1977)	(3)

<文献リスト>

- (1) 姜 柱賛・松田 治 (1993). 有用甲殻類3種の無酸素と硫化水素に対する耐性. 広大生物生産学部紀要, 32, 71-78.
- (2) Kang, J.C. and Matuda, O. (1994). Combined effects of hypoxia and hydrogen sulfide on early developmental stage of white shrimp *Metapenaeus monoceros*. *J.Fac.Appl.Biol.Sci. Hiroshima Univ.*, No.33, 21-27.
- (3) 日本水産資源保護協会 (1983). ヨシエビ. 水生生物生態資料 (続), pp.75-77.
- (4) 日本水産資源保護協会 (1983). ヨシエビ. 環境条件が魚介類に与える影響に関する主要要因の整理, pp.342.
- (5) 日本水産資源保護協会 (1985). エビ・カニ類 2. ヨシエビ. 水産生物の生活史と生態, pp.143-151.
- (6) 矢持 進 (1995). 稚エビなどの成育場としての大阪湾奥部-淀川河口域におけるヨシエビの分布と貧酸素-特集2 大阪湾の自然と環境. 瀬戸内海, No.2・3, 99-104.

総括表 種名 C-1 アカガイ

環境要因	発育段階	試験条件	結果 (生存・斃死率(%))	特記事項ほか	文献
溶存酸素	産卵期～ 底生 移行期				
	底生期	水温：25-23℃ 未成貝期，成貝期 未成貝期，成貝期 未成貝期，成貝期	0.25mL/L：10日間で全滅 0.5mL/Lで半数致死日数は約10日 1mL/L以下で呼吸量の減少 水質酸素量：生息域（実験上）の標準（好適） 値；4.2mL/L～ 水質酸素量：生息域（実験上）の限界値； 1.39mL/L～ 安静状態での酸素消費量：24.5mL/kg/時	(浜本1981) (高見ら1980) (高見ら1980) (田村1939) 水温 23℃ 分布域：北海道南部から九州	(5) (1) (5) (2)
塩分	孵化期		生息域（実験上）の標準（好適）値： 29.8-32.5‰	卵期	(5)
	浮遊期		生息域（実験上）の標準（好適）値： 29.8-32.5‰		(5)
	底生期	垂下水深：1, 2, 3, 4, 5, 6 m	要約：5～7月に17.5℃と 28.53‰の3m層で 高い成長率を示しており，これより以浅の 26.40‰以下では成長率は低下の傾向 7～9月に1m層の26.2℃以上と低塩分， 底層のDO 2mL/Lでは成長率が低下した 約Cl 8‰まで斃死しない 17.04 ‰では水温27℃以下20℃前後で13日間異 常なく生存 Cl 8.48 ‰以下では5日後に影響があらわれる 8.48‰では全て斃死 12.14‰以上では斃死はみれなかった	平均殻長32.0-32.7mm,50個体 阿蘇海 水深13m (濱本1981) (塩屋ら1961) (塩屋ら1961)	(1) (1) (3)

塩分	底生期 (つづき)	塩分：0, 7, 14, 20, 27, 33 (海水) psu	①塩分 0,7,14 psu では飼育開始3日目で全死 ②塩分 20,27,33psuでは29日間生残 ③血リンパ液の比重は外圍海水の比重より常に 0.002-0.004 高く両者に高い正の相関 ④低塩分で飼育した貝の軟体部の水分含有率は 増加し鰓細片の匍匐速度は外圍海水の塩分 低下に伴い減少した 生息域 (実験上) の標準 (好適) 値 : 27.2-32.4 ‰ 生息域 (実験上) の限界値 : 18.1-34.3‰	平均殻長 28.9±9.3mm 平均全重量 5.60±0.93g, 35個体 水温 18℃, 29日間飼育	(4)
					(5)

<文献リスト>

- (1)中西雅幸 (1981). アカガイの成長におよぼす水温, 塩分, 溶存酸素濃度の影響について. 京都海洋センター研報, **No.5**, 23-28.
- (2)日本水産資源保護協会 (1981). アカガイ. 水生生物生態資料, pp.288-291.
- (3)日本水産資源保護協会 (1985). アカガイ. 水産生物の生活史と生態, pp.210-216 .
- (4)沼口勝之 (1999). アカガイの生残および生理状態におよぼす塩分の影響. 水産増殖, **47**(3), 391-396.
- (5)全国沿岸漁業振興開発協会 (1993). 水産生物の環境条件. 沿岸漁場整備開発事業施設設計指針 平成4年度版, pp.323-400.

塩 分	底生期		生存可能範囲下限：20-22‰ (比重1.015)	(川本1978, 宮内1962)	(3)
			最適塩分域：比重1.020-1.025 適塩分域：比重1.018-1.026	(田村1976, 川本1978) (田村1976, 川本1978, 宮内1962)	(3)

<文献リスト>

- (1) 桑谷幸正・西飯 保・和田克彦 (1970). アコヤガイの生理機能におよぼすアンモニアの影響について. 国立真珠研業績, **No.187**, 1874-1899.
- (2) 日本水産資源保護協会 (1981). アコヤガイ. 水生生物生態資料, pp.296-298.
- (3) 日本水産資源保護協会 (1983). アコヤガイ. 環境条件が魚介類に与える影響に関する主要要因の整理, pp.353.
- (4) 山元憲一 (2000). アコヤガイの呼吸に及ぼす水温の影響. 水産増殖, **48**(1), 47-52.
- (5) 山元憲一・安達 智・河邊 博 (1999). アコヤガイの呼吸に及ぼす低酸素の影響. 水産増殖, **47**(4), 539-544.

総括表 種名 C-3 アサリ

環境要因	発育段階	試験条件		結果 (生存・斃死率(%))	特記事項ほか	文献
		溶存酸素(mg/L)	硫化水素(mg/L)			
溶存酸素・硫化水素	産卵期 ～底生移行期					
	底生期	① 0	6.5 - 13.9	①斃死率3日目14m以深100%	三重県英虞湾浜島地先, 殻長32mm50個垂下 8月 同上 8月 同上 10-11月 水温20℃, 平均殻長25mm, 10個体 同上 同上 同上 同上 (大嶋ら1965) pH: 7.0-8.5で20日間全く異常なし 平均殻長31.1mm, 細片組織5~50℃測定 青潮が発生する8~9月には活力が低下し 貧酸素水に対する耐性時間が短くなっている 全重量 10g程度, 5個体 6月7日採取, 水温24℃, 9月25日採取, 水温24.2-25.3℃ 11月27日採取, 水温16.8-18.5℃	(2)
		② 0	1 - 5	②斃死率2日目14m層 85% 15m層 100%		(2)
		③ 7.6 - 8.0	0	③斃死率2, 10日目 0%		(7)
		④ 0 - 0.36		④斃死率4日目 0%		(5)
		⑤ 0	0	⑤斃死率4日目 100%		(1)
		⑥ 0	27	⑥斃死率3日目 80%		(4)
		⑦ 0	3.7 8.1	⑦斃死率3日目 100%		(3)
		1.4~ ~0.7		要約: 溶存酸素量 0.36mg/L 以下では4日間生存したが硫化物量 3.7mg/Lで80%斃死 8.1mg/L で 100%斃死 1mL/L以上で異常なし。0.5mL/L 以下で4-5日後に障害があらわれ, 10日前後で斃死する 異常なく生息 4日目より斃死 酸素消費量: 増加率(Q ₁₀) は5~25℃で一定, 25℃以上で減少, 消費量は40℃以上で低下 25℃が成長と代謝効率が最適 6月: 3日間 9月: 2日間 11月: 7日間以上生存 要約: ①6~9月採取貝は 48-96時間の冠水が生息の限界, 11月採取貝はさらに長時間耐えた		
		溶存酸素1ppm 以下 海水での生存日数				
	① 貧酸素水の影響 0.58 - 0.80ppm 0.22 - 0.49ppm 0.82 - 1.12ppm					

総括表 種名 C-4 エゾアワビ

環境要因	発育段階	試験条件	結果 (生存・斃死率(%))	特記事項ほか	文献
溶存酸素	産卵期 浮遊期 底生 移行期				
	底生期	DO : ① 4.73 ② 5.32, ③ 5.46, ④ 5.88 ⑤ 6.36, ⑥ 6.90 mL/L	要約 : ①酸素消費量は無投餌下で日没前後から夜半にかけて約20%増加する日周変化を示す ②酸素消費量(R : mL O ₂ /個/時)は 水温(T):8-20°C, 体重(W):5-150g範囲で $R = M \cdot W^b \cdot A^T$ M = 0.0210, b = 0.8025, A = 1.0963 ③代謝機能の生理的屈曲点は 20-24°Cの範囲にあり24°C以上では酸素消費量は増加しない	全体重平均① 1.5, ② 4.8, ③56, ④98, ⑤151gの5群 水温平均 ① 8.3, ②12.0, ③16.1 ④20.0, ⑤24.0, ⑥28.0°C	(3) (1)(3)(4) (3)
塩分	浮遊期		生息域(実験上)の標準(好適)値 : 24-33‰ 生息域(実験上)の限界値 : 22.5‰	浮遊期, 稚貝期	(4)
	底生期	塩分 : 100%海水(32.5‰)から0%までの20%ごとの6段階	要約 : ①28°Cで心拍数はピークを示すが死亡する個体もあった ②-1.8°Cと33°Cでは全数死亡した ③3°Cから23°Cで死亡しないが, 高温ほど心拍数が多かった ④60%海水では心拍数は一度減少しその後平常値を示した ⑤40%と20%の間に致死濃度があった ⑥低酸素に対して耐忍性が強い	殻長5-7cm, 4-5年貝 水温 -1.8 から33°Cまでの5°Cおきに8段階 分布域 : 北海道日本海岸, 茨城北部まで	(2) (1)

<文献リスト>

- (1)日本水産資源保護協会 (1981). エゾアワビ. 水生生物生態資料, pp.280-283.
- (2)中西 孝 (1978). 貝類の心拍に及ぼす環境の影響－II エゾアワビの心拍数に及ぼす水温・低塩分および低酸素の影響. 北水研報告, **No.43**, 59-68.
- (3)浮 永久・菊地省吾 (1975). エゾアワビの酸素消費量と体重および温度との関係. 東北水研報, **No.35**, 73-84.
- (4)全国沿岸漁業振興開発協会 (1993). 水産生物の環境条件. 沿岸漁場整備開発事業施設設計指針 平成4年度版, pp.323-400.

総括表 種名 C-5 シズクガイ

環境要因	発育段階	試験条件		結果 (生存・斃死率(%))	特記事項ほか	文献
		溶存酸素(mg/L)	硫化水素(μM)			
溶存酸素	産卵期 孵化期					
	浮遊期	DO: 0.0 - 0.0, 0.93 - 0.99, 1.63 - 1.89, 3.20 - 3.41, 4.81 - 4.87 の5段階		要約: 殻頂期幼生は無酸素で24時間以内に全死し, 1.0mL/Lでは死亡率10-20%, 1.7mL/Lでは殆ど死亡しない 変態期幼生は無酸素で24時間生存, 48時間以内にほぼ全死したが, 1.0mL/L以上で殆ど死亡せず, 1.7mL/L以上では飽和時と同様良く成長した	殻頂期幼生 水温 21.1℃ 着底間近かの変態期幼生 水温 21.1℃	(4)
	底生移行期					
	底生期	① 0 ② 0 ③ 1.3 - 1.4 ④ 2.2 - 2.4		要約: 無酸素条件では15℃で2日間生存, 25℃で1日間生存できる. DO濃度 1.3-1.4mg/Lでは摂餌活動が不活発となるが4日間は生存可能, DO濃度 2.2-2.4mg/L以上では健全で永続的な生存が可能 シズクガイの無酸素耐性は高くないが貧酸素耐性は高い	平均殻長7.4mm, 10個体, 水温15℃ 平均殻長8.5mm, 10個体, 水温25℃	(2) (2)(4) (1)
硫化水素	底生期		15.1℃: H ₂ S; 0, 15, 46, 157, 333, 778 μM 24.2℃: H ₂ S; 0, 12, 50, 163, 316, 736 μM	LT ₅₀ : 40.5h; 平均濃度157 μMH ₂ S LT ₅₀ : 35-15.5h; 平均濃度333-778 μMH ₂ S LT ₁₀₀ : 42-24h; 平均濃度333-778 μMH ₂ S LT ₅₀ : 23h; 平均濃度12 μMH ₂ S LT ₅₀ : 19.5-15h; 平均濃度316-736 μMH ₂ S LT ₁₀₀ : 45h; 平均濃度0-12 μMH ₂ S 要約: 平均 12-15 μM (最大40-43 μM) 程度の低濃度でも生存期間は0濃度より短縮される シズクガイの硫化水素耐性はかなり低い	殻長6.1-9.8mm (平均7.8±1.0mm), 10個体 水温15.1℃ 殻長8.1-10.3mm (平均9.2±0.5mm) 10個体 水温24.2℃	(3)

アンモニア	底生期		NH ₄ -N 濃度が 0.32-0.40mg/Lなら少なくとも5日間生存できる (生物攪拌と栄養塩の溶出に関する実験)	(Yamada <i>et al.</i> 1987)	(2)
塩分					

<文献リスト>

- (1)波部忠重・伊藤 潔 (1965). シズクガイ. 原色世界貝類図鑑 (I), 保育社, 大阪, pp.147.
- (2)玉井恭一 (1993). シズクガイの貧酸素耐性. *Nippon Suisan Gakkaishi*, **59**(4), 615-620.
- (3)玉井恭一 (1994). シズクガイの硫化水素耐性. 日本ベントス学会誌, **No.46**, 41-48.
- (4)Tamai Kyouichi (1996). Temporal tolerance of larval *Theora fragilis* (Bivalvia:Semelidae) to hypoxic condition. *Fisheries Science*, **62**(6), 996-997.

<文献リスト>

- (1)日野明德 (1989). トリガイ. 魚の事典 (能勢幸雄監修), 東京堂出版, 東京, pp.300.
- (2)日本水産資源保護協会 (1983). トリガイ. 水生生物生態資料 (続), pp.126-128.
- (3)日本水産資源保護協会 (1983). トリガイ. 環境条件が魚介類に与える影響に関する主要要因の整理, pp.362.
- (4)野上和彦・梅沢 敏・坂口清次・福原 修 (1981). トリガイ *Fulvia mutica* (REEVE) の酸素消費量と高水温期におけるへい死との関係について.
Bull. Nansei Reg. Fish. Res. Lab., **No.13**, 18-28.

総括表 種名 C-7 ハマグリ

環境要因	発育段階	試験条件	結果 (生存・斃死率(%))	特記事項ほか	文献
溶存酸素	産卵期 孵化期 底生 移行期				
	底生期		酸素消費量：21.5mL/kg/時 安静状態での酸素消費量：14.6mL/kg/時 安静状態での酸素消費量：26.7mL/kg/時	25g,水温5.5℃ (田村1976) 大型貝, 水温28℃ 小型貝, 水温33℃ 分布域：全国沿岸砂泥底	(1) (4) (1)
塩分	産卵期		適塩分域：比重1.020-1.024	(相良1958)	(2)
	孵化期		適塩分域：比重1.027-1.014 生息域(実験上)の限界値：19.7-32.9‰	(相良1958)	(2) (4)
	浮遊期		最適塩分：24.59‰ (比重1.01801) 適塩分域：11.13-31.61 (比重1.0077-1.027)	(上城1978, 大分県1978) (上城1978, 大分県1978, 相良1958)	(2) (1)
	底生 移行期	①塩分：30-31‰ ②塩分：20(6.4), 40(12.9), 60(19.3), 80(25.8), 100% (32.2‰)	要約：成長最適塩分域：19.3-32.2‰ 成長低塩分限界域：6.4-12.9‰ 要約：ハマグリ初期稚貝は著しい高温耐性を有し、低塩分に対して許容範囲が広い ため種場造成手法の開発に際し温度・塩分面に限れば特別制約はなく対応可能 生息域(実験上)の標準(好適)値： 19.3-32.2‰	冬季人工飼育初期稚貝(飼育水温25℃, 塩分30-32‰) ①平均殻長 2.3mm 18日間 水温10, 13, 16, 22, 25, 28, 34, 37℃ 成長適水温域：22-34.5℃ 成長最適水温域：27-34.5℃ ②平均殻長1.5mm 28日間 水温25, 30℃ 稚貝期	(3) (1) (4)

塩分	底生期	適塩分域：比重1.015-1.024 生息域（実験上）の標準（好適）値： 27.2-32.4‰	（田村1976） 未成貝・成貝期	(2) (4)
----	-----	---	---------------------	------------

<文献リスト>

- (1)日本水産資源保護協会（1981）. ハマガリ. 水生生物生態資料, pp.312-314.
- (2)日本水産資源保護協会（1983）. ハマガリ. 環境条件が魚介類に与える影響に関する主要要因の整理, pp.364.
- (3)沼口勝之・田中矢太郎（1987）. ハマガリ初期稚貝の成長に及ぼす水温および塩分の影響. Bull.Natl.Res.Inst.Aquaculture, No.11, 35-40.
- (4)全国沿岸漁業振興開発協会（1993）. 水産生物の環境条件. 沿岸漁場整備開発事業施設設計指針 平成4年度版, pp.323-400.

総括表 種名 C-8 ホタテガイ

環境要因	発育段階	試験条件	結果 (生存・斃死率(%))	特記事項ほか	文献
溶 存 酸 素	産卵期				
	孵化期				
	浮遊期				
	底生 移行期				
	底生期	無酸素区=0.01-0.03 (mg/L) (飽和度 0.1- 0.2%) 低酸素区=1.5-2.1 (飽和度17.0-23.8%) 対照区 =8.4-8.8 (飽和度95.2-99.7%)	無酸素区LT ₅₀ =22.2時間 要約：水温13.5℃の無酸素下で全数生存は16時間、飽和度17.0-23.8%では斃死はみとめられず 2mL/L以下で呼吸量が減少 安静状態での酸素消費量：24.2mL/kg/時	殻高84-110mm, 2個体 水温13.5℃ pH 7.7-8.1 (田村1938) 未成貝期, 成貝水温 15℃ 分布域：東京湾以北, 富山県以北	(4) (5) (2)
塩 分	孵化期		最適塩分：37.0‰ 適塩分域：30-40‰ 比重1.023-1.026 生存可能下限塩分：比重1.016 生息域(実験上)の標準(好適)値:31.1-35‰ 生息域(実験上)の限界値：30~40‰	(丸ら1978) 卵期	(2)(3) (5)
	浮遊期		最適塩分：37.0‰ 適塩分域：30.3-40.0‰ 塩分耐性：比重1.0124では6, 7時間で死亡 生息域(実験上)の標準(好適)値:31-33.5‰	(大島ら1978) (丸ら1978)	(2)(3) (5)
	底生 移行期				

塩分	底生期	対照区 = 33.9psu DO : 7.3-9.63 20%海水区 = 8.0psu (飽和度86.5-88.7%) 40%海水区 = 14.7psu 60%海水区 = 21.3psu	20%海水区LT ₅₀ = 3.5時間 40%海水区LT ₅₀ = 10.5時間 4h-TLm = 9.2psu 8h-TLm = 12.0psu 12h-TLm = 16.4psu 16-24h-TLm = 18.0psu 要約：水温13.5℃で塩分 18.0psu以下に低下すると24時間以内に死亡, 10psu以下では数時間のうちに死亡 適塩分域：比重1.023-1.024 塩分耐性：13.4‰では1時間で30%, 2時間で100%死亡	殻高84-110mm, 30個体 水温13.5℃, pH7.8-8.1 (田村1976) (順田ら1979)	(4)
		塩分：0, 20, 40, 60, 80, 100% (32.5‰) DO : 100→80→60→逐次低下→4→100%	要約：①23℃で心拍数はピーク30.0±4.6 回/分で28℃で死亡した ②80%海水でも心拍数に影響があり60%海水と40%海水の間に致死濃度があった ③酸素飽和度25%で心拍数はピークで平常値の1.2 倍. 致死濃度は4%以下と推定	2年貝, ① 8-10, ② 2-3, ③ 8個体 水温冬季 -1.8, 3, 8℃ 春季 8, 13, 18℃, 夏季 23, 28℃	(1)
		生息域 (実験上) の標準 (好適) 値： 31.1-32.4‰ 生息域 (実験上) の限界値：20.8‰～	未成貝期, 成貝期	(5)	

<文献リスト>

- (1) 中西 孝 (1977). 貝類の心拍におよぼす環境の影響— 1 ホタテガイの心拍数におよぼす水温・低塩分および低酸素の影響. 北水研報告, No.42, 65-73.
- (2) 日本水産資源保護協会 (1981). ホタテガイ. 水生生物生態資料, pp.300-303.
- (3) 日本水産資源保護協会 (1983). ホタテガイ. 環境条件が魚介類に与える影響に関する主要要因の整理, pp.365.
- (4) 桜井 泉・瀬戸雅文・巻口範人・小形 孝 (2000). ホタテガイの貧酸素および低塩分耐性. 水産増殖, 48(1), 137-138.
- (5) 全国沿岸漁業振興開発協会 (1993). 水産生物の環境条件. 沿岸漁場整備開発事業施設設計指針 平成4年度版, pp.323-400.

総括表 種名 C-9 マガキ

環境要因	発育段階	試験条件	結果 (生存・斃死率(%))	特記事項ほか	文献
溶存酸素・硫化水素	産卵期 浮遊期 底生 移行期				
	底生期		水質酸素量：生息域（実験上）の標準（好適）値；4.5-6 mL/ 水質酸素量：生息域（実験上）の限界値； 1.5-6mL/L 水質硫化水素量：生息域（実験上）の限界値； ~1‰	未成貝期，成貝期 分布域：内湾湾奥部，河口付近の干潮時干出岩礁	(4) (2)
塩分	孵化期	比重：1.01527 ~ 1.02654の5段階	要約：受精から水面に浮上するまでの時間・塩分との関係は $t = 3.0 + 0.0415(T-30)^2 + 42500(S-1.0215)^2$ また受精からD型幼生の場合もほぼ同様 D型幼生の殻高の成長速度は水温27℃，比重1.02365 のとき最大成長速度を示した 卵の発生限界塩分は比重 1.010-1.025で好適な範囲は 1.014-1.021である 卵の好適比重は1.017-1.021,発育可能な高塩分限界は1.0274である 的矢湾では受精は1.022 以上で,1.023以上が良 生息域（実験上）の標準（好適）値： 23.5-32.5‰ 生息域（実験上）の限界値：23.3‰~	受精卵 水温18.4, 21.3, 23.8, 27.0, 29.9℃の5段階 (雨宮1921) (妹尾ら1926) (佐藤1948) 卵期	(1) (4)

塩	浮遊期		生息域（実験上）の標準（好適）値： 27.2-33.7‰ 生息域（実験上）の限界値：20.7‰	浮遊期，稚貝期	(4)
	底生 移行期				
分	底生期		要約：鰓の小片の匍匐速度は水温を上昇させると速度は大きくなり水温37℃で最大，43℃で停止した．速度は酸素飽和度40%までは飽和状態での値を維持したがさらに低下させると減少 生息域（実験上）の標準（好適）値 ：25.3-33.7‰ 生息域（実験上）の限界値：8.9‰～	70個体，肉質の湿重量4.62±1.26g 水温10.0±0.1℃	(3)
					(4)

<文献リスト>

- (1) 菊地省吾 (1961). 松島湾産カキの発生に及ぼす水温・塩分の影響. 東北水研報告, No.19, 154-163.
- (2) 日本水産資源保護協会 (1981). マガキ. 水生生物生態資料, pp.304-307.
- (3) 山元憲一・田中 実・田中直樹・神菌真人・秋本恒基 (1993). マガキ, クマサルボウ, タイラギの鰓のほふく速度に及ぼす低酸素と水温の影響. 水産増殖, 41(4), 435-438.
- (4) 全国沿岸漁業振興開発協会 (1993). 水産生物の環境条件. 沿岸漁場整備開発事業施設設計指針 平成4年度版, pp.323-400.

総括表 種名 C-10 ムラサキイガイ

環境要因	発育段階	試験条件		結果 (生存・斃死率(%))	特記事項ほか	文献
		溶存酸素(mL/L)	硫化水素			
溶 存 酸 素 ・ 硫 化 水 素	産卵期 孵化期 浮遊期 底生 移行期					
	底生期	溶存酸素量と生存日数 DO : 0.8mL/L	溶存酸素量と硫化水素 の複合影響	<p>要約：水温20℃で呼吸量が減少する濃度は、 殻長5.9cm のもの 0.5mL/L 殻長1.7cm のもの 0.1mL/L 小型個体ほど低酸素水の影響が少ない 水温10℃で0.07mL/L以下でも45日以上 の生存したものがあつた（殻長2.0cm）</p> <p>要約：水温10℃で溶存酸素量0.15mL/Lの低酸素 水中で35日間生存し、硫化水素が存在する と25日と短くなる</p>	<p>大型個体（殻長5.9cm）と 小型個体（殻長1.7cm） 水温10, 20℃</p> <p>North Sea 産ムラサキイガイ (Theede <i>et al.</i> 1969)</p> <p>分布域：北海道から九州 分布南限13-29℃の暖海 (梶原1964)</p>	(1) (1) (2)
塩 分	孵化期			適塩分域：比重1.014-1.0256	(内橋1951)	(3)
	浮遊期				<p>塩素耐性：トロコフォア期：致死濃度 0.06ppm（山崎1961） D型幼生期：致死濃度 1.5ppmで20時間（山崎1961） 注）塩素に対する耐性で塩分耐性で はない</p>	(3)
	底生 移行期			<p>適塩分域：22-32‰（付着期塩分） 生息域塩分：14-33‰</p>	<p>(梶原ら1978) (加戸ら1979)</p>	(3) (2)

<文献リスト>

- (1)平井明夫・林 智草 (1986). 低酸素海水中におけるムラサキイガイの酸素消費量と生存日数. 付着生物研究, **6**(1), 31-34.
- (2)日本水産資源保護協会 (1981). ムラサキイガイ. 水生生物生態資料 (続), pp.117-119.
- (3)日本水産資源保護協会 (1983). ムラサキイガイ. 環境条件が魚介類に与える影響に関する主要要因の整理, pp.368.

総括表 種名 C-11 ヤマトシジミ

環境要因	発育段階	試験条件	結果 (生存・斃死率(%))	特記事項ほか	文献
	産卵期・孵化期・ 浮遊期 底生移行期				
溶 存 酸 素	底生期	① DO : 0(<0.05), 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 3.0 mg/L 塩分: 約5psu	要約: 水温により貧酸素耐性に大きな違いがあり、無酸素状態でも 10,20℃で17日間生存するが、30℃で成貝LT ₅₀ が8日目、LT ₁₀₀ が10日目で、成貝と稚貝の貧酸素耐性に顕著な違いは無い	成貝殻長: 16.4±1.50mm, 20個体 稚貝殻長: 3.1±0.31mm, 20個体 水温10, 20, 30℃ 17日間	(4)
		② DO : 飽和, 呼吸による減少 塩分: 約5psu	要約: 酸素消費量は20℃より30℃が大きく、呼吸によるDO減少で斃死はなく、溶存酸素量が皆無になっても20℃では35日間は死亡しないが、30℃で10日間で全死した	成貝殻長: 19.7±1.94mm, 20個体 水温20, 30℃ 60日間	(4)
		③ DO : 0(<0.05), 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 3.0 mg/Lの飽和 塩分: 約5psu	要約: 水温28℃, 長期間(30日間)ではDO濃度1.0mg/L以下で生存に影響があるが1.5mg/L以上では影響を受けなかった	成貝殻長: 20.7±1.37mm, 20個体 水温28℃ 30日間	(4)
		④代謝変動調査	要約: ①酸素消費量は溶存酸素量が4mg/L以下になると低下する ② 25-30℃では無酸素状態が5-10時間続くと斃死個体があらわれ始める. 19℃に比べ30℃では斃死率では2.3倍	成貝殻長: 16-28mm, 1.5-7.5g, 50個体 水温① 25-28℃, ② 19-30℃	(1)
硫 化 水 素	底生期	① H ₂ S : 0, 5, 10mg/L 塩分: 約5psu	要約: 成貝と稚貝では硫化水素耐性に大きな違いは無く、耐性時間は水温条件が同じであれば濃度が高いほど短くなる	成貝殻長: 16.3±1.30mm, 20個体 稚貝殻長: 3.1±0.40mm, 20個体 水温18, 28℃	(5)
		② H ₂ S : 0, 3, 5, 7, 10, 20, 30, 50mg/L 塩分: 約5psu	要約: 低水温(18℃)で40日間では濃度7mg/L以下ではLT ₅₀ , LT ₁₀₀ は算出されないが、高水温(28℃)では3mg/L以上の濃度ではLT ₁₀₀ は14日以内である	成貝殻長: 21.1±1.53mm, 20個体 水温18, 28℃	(5)
		③ H ₂ S : 0, 0.5, 1.0, 3.0mg/L 塩分: 約5psu	要約: 水温28℃長期間(40日間)では濃度1mg/L以上で影響があるが、0.5mg/L以下では影響を受けなかった. 他の生物種と比較して耐性は強い	成貝殻長: 20.7±1.19mm, 20個体	(5)

塩分	底生期	<p>①塩分：0,0.5,5,10,15,20,25,32.2全海水‰</p> <p>②塩分：0.5,5,10,15,20,25,31.4全海水‰</p> <p>③塩分 0.5‰から20‰まで段階的に馴致し20‰に20日間置いた後20個体づつに2分し全海水33.6‰と0‰に投入し50日間の生残調査</p> <p>④ 0.1℃に30日間飼育</p> <p>①塩分：5, 10, 15, 20, 25, 30, 35psu</p> <p>②塩分：0, 1.5, 5, 10, 17, 22, 32psu</p> <p>③塩分：25.6, 28.8, 32.0psu</p>	<p>要約：①②塩分0-25‰までは40日間全個体生残全海水中では31日目までに生残率は0%</p> <p>要約：0.5 から20‰へと高濃度に徐々に移行して後全海水に移行すると50日後に90%生残淡水へ移行した群では 100%生残</p> <p>要約：生存に大きく影響しない</p> <p>要約：体液塩分は馴致環境水塩分とほぼ等しい浸透順応型動物で、 0-35psuの広範な塩分の変化に耐えうる広塩性動物である</p> <p>要約：高温期と低温期の採集時期に関係なく生息可能な塩分範囲は 1.5-22psuであった</p> <p>要約：22 psu以上の高塩分域において馴致水温の上昇に伴い、塩分耐性が弱くなる。成貝と稚貝の高塩分耐性は稚貝が弱い</p> <p>生存可能上限塩分域：27.73‰以上が6時間続き 24.24‰以上の地域で生存できない</p>	<p>小型稚貝：殻長5-12mm, 20個体,0.5‰18℃ (7)</p> <p>大型稚貝：殻長0.4-1.25mm, 20個体, 0.5‰</p> <p>大型稚貝：40個体 17.2℃</p> <p>小型稚貝：塩分 0.5‰水温18.8℃→0.1℃</p> <p>成貝殻長：21.41 ±0.97mm,100個体 (2)</p> <p>水温15±1℃</p> <p>成貝殻長：22.31 ±0.88mm, 高温期20個体</p> <p>成貝殻長：19.88 ±1.00mm, 低温期20個体</p> <p>水温 高温期底層水温25±2℃</p> <p>低温期底層水温10±3℃</p> <p>成貝殻長：20.63 ±1.08mm, 20個体</p> <p>稚貝殻長：3.28 ±0.54mm, 20個体</p> <p>水温 10, 20, 30℃</p> <p>(石田1971)</p> <p>(6)</p>
	底生期	<p>①水温：18℃から2℃/10分上昇して40℃</p> <p>水温：13℃から2℃/10分下降して0℃</p> <p>塩分：8.6 psu (馴致水温18℃,1日間)</p> <p>②水温：接触水温28, 30, 32, 34, 36, 38℃</p> <p>(馴致水温30℃,1日間)</p> <p>③水温：馴致水温10, 20, 25℃</p> <p>(接触水温30℃,1日間)</p>	<p>要約：24時間以内の短期間に100%生存可能な温度範囲は0-35℃であった。成貝と稚貝の温度耐性はほぼ同程度であった</p> <p>要約：30日間の長期間にわたる生息可能な上限温度は32℃と判断した</p> <p>要約：高温域への急激な温度変化は生残に重大な影響をおよぼす。高温環境に馴致させた場合生息限度温度が上昇する可能性あり</p> <p>最適水温域：15-25℃</p> <p>適水温域：5-25℃</p>	<p>成貝殻長：23.26 ±1.03mm, 50個体</p> <p>稚貝殻長：3.49 ±0.49mm, 20個体 (3)</p> <p>成貝殻長：21.63 ±1.56mm, 20個体</p> <p>成貝殻長：21.14 ±1.55mm, 50個体</p> <p>(Fuji1957)</p> <p>(6)</p>

<文献リスト>

- (1) 位田俊臣・浜田篤信 (1975). 酸素欠乏にともなうヤマトシジミの代謝変動について. 水産増殖, 23(3), 111-114.
- (2) 中村幹雄・安木 茂・高橋文子・品川 明・中尾 繁 (1996). ヤマトシジミの塩分耐性. 水産増殖, 44(1), 31-35.
- (3) 中村幹雄・品川 明・中尾 繁 (1996). ヤマトシジミの温度耐性. 水産増殖, 44(3), 267-271.
- (4) 中村幹雄・品川 明・戸田頭史・中尾 繁 (1997). ヤマトシジミの貧酸素耐性. 水産増殖, 45(1), 9-15.
- (5) 中村幹雄・品川 明・戸田頭史・中尾 繁 (1997). ヤマトシジミの硫化水素耐性. 水産増殖, 45(1), 17-24.
- (6) 日本水産資源保護協会 (1983). ヤマトシジミ. 環境条件が魚介類に与える影響に関する主要要因の整理, pp.237, 369.
- (7) 寺西哲夫・増田政司・山下和則 (1998). ヤマトシジミ稚貝の生残に及ぼす塩分, 水温ならびに餌料の影響. 北海道水産孵化場研報, No.52, 31-35.

総括表 種名 D-1 ウニ類 (アカウニ, バフンウニ, ムラサキウニ)

環境要因	発育段階	試験条件	結果 (生存・斃死率(%))	特記事項ほか	文献
溶存酸素	産卵期 孵化期				
	浮遊期	受精後 12-96時間の4腕期幼生	アカウニ, バフンウニ, ムラサキウニ: 0.4-1.0 mL/L以上の DO で90%以上正常孵化		(1)
	底生 移行期				
	底生期		バフンウニ: 安静状態での酸素消費量; 5-8mL/kg/時	分布域: アカウニ; 東京湾から九州まで バフンウニ; 北海道南部日本海 沿岸から九州南端沿岸 ムラサキウニ; 北海道南部から 南方海域	(4) (3) (4) (2)
塩分	産卵期		バフンウニ: 生息域 (実験上) の標準 (好適) 値; 31.1-33.7‰	卵期	(4)
	浮遊期	塩分: 23.5, 25.8, 28.2, 30.6, 32.7, 34.5‰ 水温: 12.5, 15, 17.5, 20, 22.5, 25℃ 受精後 12-96時間の4腕期幼生の腕長	腕長は塩分に敏感で塩分の減少に伴って短くなる	アカウニ, バフンウニ, ムラサキウニ	(1)
	底生 移行期		アカウニ: 生息域 (実験上) の標準 (好適) 値; 28-34‰ ムラサキウニ: 生息域 (実験上) の標準 (好適) 値; 27-34.5‰	稚ウニ期	(4)

塩分	底生期		アカウニ：生息域（実験上）の標準 （好適）値；30-34‰ バフンウニ：生息域（実験上）の標準 （好適）値；30-34‰ ムラサキウニ：生息域（実験上）の標準 （好適）値；28-34‰ ムラサキウニ：生息域（実験上）の 限界値；23-35‰	未成体・成体期 未成体・成体期 成体期 成体期	(4)
温度	浮遊期	水温：18, 21, 24, 25.5, 27℃ 塩分：34 - 35‰ 受精後 12-96時間の4腕期幼生の腕長	ウニの腕長が最大となる温度(T _L)は アカウニ : 23 - 24℃ バフンウニ : 21 - 22℃ ムラサキウニ : 29 - 30℃		(1)

<文献リスト>

- (1)海洋生物環境研究所（1995）. ウニプルテウス幼生の腕長を用いた水質判定の可能性. 海生研ニュース, No.48, 4-5.
- (2)日本水産資源保護協会（1981）. ムラサキウニ. 水生生物生態資料, pp.334-336.
- (3)内海富士夫（1956）. アカウニ. 原色日本海岸動物図鑑, 保育社, 大阪, pp.115.
- (4)全国沿岸漁業振興開発協会（1993）. 水産生物の環境条件. 沿岸漁場整備開発事業構造設計指針 平成4年度版, 323-400.

<文献リスト>

- (1)日本水産資源保護協会（1981）. マナマコ. 水生生物生態資料, pp.338-340.
- (2)日本水産資源保護協会（1983）. マナマコ. 環境条件が魚介類に与える影響に関する主要要因の整理, pp.379.
- (3)山元憲一（1992）. マナマコの酸素消費に及ぼす低酸素と水温の影響. 水産増殖, **40**(3), 313-316.
- (4)全国沿岸漁業振興開発協会（1993）. 水産生物の環境条件. 沿岸漁場整備開発事業施設設計指針 平成4年度版, pp.323-400.

総括表 種名 E-1 多毛類 (*Capitella capitata*, *Diopatra bilobata*, *Paraprionospio pinnata*, *Polydora cornuta*)

環境要因	発育段階	試験条件	結果 (生存・斃死率 (%))	特記事項ほか	文献
溶存酸素	産卵期 孵化期 浮遊期 底生 移行期				
	底生期	I. 大阪湾奥の底生生物の分布と季節変化 II. 東京湾奥の底生生物の分布と季節変化 ヨツバナスピオ (A型) <i>Paraprionospio</i> sp. A type 付) <i>Capitella capitata</i> <i>Diopatra bilobata</i>	要約：①20℃ではヨツバナスピオ (A型) は、 酸素濃度が3mg/L を下回ると呼吸速度を 低下させ活性を低下させる ②1mg/L 以下の低酸素条件でも即死せ ず、1日間から数日間は生き延びる ③20℃の条件では、有機物の摂取・代謝 を通じ湿重量1gあたり毎時0.04-0.1mgの CODを分解・除去しているが、死滅すると 湿重量1gあたり約3gのCOD負荷となる 多毛類の貧酸素耐忍性を示す溶存酸素濃度 独立域の下限値 依存域の下限値 即死域の上限値 3 mg/L* 1.4 mg/L 1 mg/L 3.4 1.7 0.6	(上野ら1982) *：上野らの実験値を換算 独立域：DOの減少に対して生物の反応 は何もない域 依存域：DOの減少に対して生物は反応 する域 即死域：DOの減少に対して生物は即死 する域	(2)
		I. 駿河湾田子の浦港と用宗港採集 II. 室内実験 (塩分耐忍性, 貧酸素耐忍性等) a. <i>Capitella capitata</i> b. <i>Diopatra bilobata</i>	貧酸素耐忍性 独立域の下限値 依存域の下限値 即死域の上限値 a. 2.1mL/L 1.0 mL/L 0.7mL/L b. 2.4 1.2 0.4		(4)
		瀬戸内海福山港 毎月1回調査 1. 底生個体の出現状況 <i>Polydora cornuta</i>	①DO量は6～10月底層が0-2.5%とほぼ無酸素 状態になり、11月以降は60%を超えた ②底生個体は5月には底層の貧酸素化とともに 減少し、7～10月は出現しなかった 出現時期は冬～春季に限定した ③酸素飽和度50%以下で底生個体密度が低下		(5)
				分布域：東北地方より本州南部まで	(3)

溶存酸素	浮遊期	2. 浮遊幼生の出現状況	④浮遊幼生は9～11月減少。酸素飽和度10%まで分布している。貧酸素耐性がある	(5)
塩分	底生期	<i>Capitella capitata</i>	120h-TLm = 16.5-50.0S* 100%生残率を示す範囲 = 25.0-44.5S 0 %生残率を示す範囲 = 8.0S以下 = 56.0S以上 低塩分, 高水温程生残率は減少する。15.0Sと30℃の組み合わせで顕著である	* : S%を Sとした (4)
温度	底生期	<i>Capitella capitata</i>	120h-TLm = -0.8-27.9℃ 100%生残率を示す範囲 = 0.0-20.0℃	(4)
COD	底生期	A. <i>Capitella capitata</i> B. <i>Diopatra bilobata</i>	100%生残率を示す範囲 = 27.5ppm以下 0 %生残率を示す範囲 = 87.0ppm以上 高水温、高 COD程生残率は減少する 100%生残率を示す範囲 = 12.0ppm以下 0 %生残率を示す範囲 = 31.5ppm以上	(4)

<文献リスト>

- (1)秋本 泰 (2001). 横浜市沿岸域の底生動物相. 横浜市環境保全局資料No.192 横浜の川と海の生物 第9報海域編, 105-140.
- (2)細川恭史・堀江 毅 (1989). ヨツバネスピオの貧酸素耐性と内湾海底における夏期無生物域の発生条件. 港湾技研資料, No.643, 1-39.
- (3)奥田四郎・山田真弓 (1965). よつばねすびお. 新日本動物図鑑 [上] (岡田 要監修), 北隆館, 東京, pp.517.
- (4)上野信平・山本護太郎 (1982). *Capitella capitata*ならびに *Paraprionospio pinnata* の生理的耐忍性について. ベントス研究会誌, No.23, 60-68.
- (5)山田 寛・今林博道・高田詔民 (2001). 福山港富栄養域におけるスピオ科多毛類 *Polydora cornuta* の着底と生残に及ぼす貧酸素水の影響. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 67(5), 814-820.

総括表 種名 F-1 アカモク (地方名: キバ (陸中), ナガモク (千葉), マメタワラ, ツブナガ (新潟))

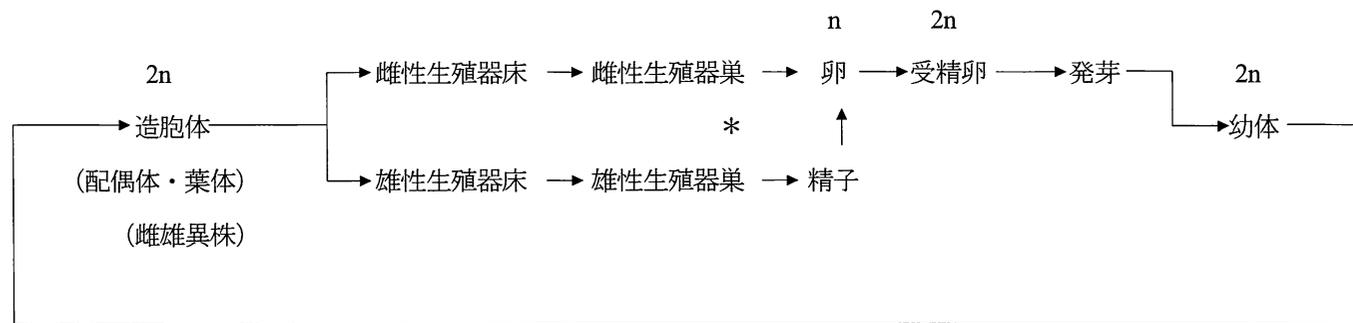
環境要因	発育段階	試験条件	結果	特記事項ほか	文献
栄養塩	造胞体 (配偶体, 葉体) 期	藻場海域	藻場海域濃度: $\text{NH}_4\text{-N}$; 0.17-4.57 $\mu\text{g-at./L}$ DIN ; 0.30-7.85 $\mu\text{g-at./L}$ $\text{PO}_4\text{-P}$; 0.02-0.92 $\mu\text{g-at./L}$ $\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{NO}_2\text{-N}$ は100ppmでもほとんど影響なし, $\text{NH}_4\text{-N}$ 単独では10ppm(約 714 $\mu\text{g-at./L}$) で影響があらわれる 窒素三態の吸収速度は $\text{NO}_3\text{-N}$ が大きく、次いで $\text{NO}_2\text{-N}$ で $\text{NH}_4\text{-N}$ が小さい 生息域 (実験上) の標準 (好適) 値: $\text{NO}_3\text{-N}$; 0.04-4.59 $\mu\text{g-at./L}$ $\text{PO}_4\text{-P}$; 0.09-1.29 $\mu\text{g-at./L}$	(小河1982,1985,Ogawa1984)	(4) (4) (7) (9)
	成葉			分布域: 岩手以南, 瀬戸内海, 北海道奥尻島以南沿岸	(8)(9)
塩	造胞体期		発芽好適値: Cl 19.4-45.3‰ (8-25°Cで50%以上の発芽率) 葉体成長適塩分域: 30-32‰ (種苗移植試験で成長のみられた試験地塩分) 生息域 (実験上) の標準 (好適) 値: Cl 19.4-40.4‰	(山内1983他) 造胞体 $\text{NO}_3\text{-N}$: 0.04-4.59 $\mu\text{g-at./L}$ $\text{PO}_4\text{-P}$: 0.09-1.29 $\mu\text{g-at./L}$	(4) (9)
	成熟期 卵放出期				
分	胚発芽期	塩分: 12.9, 16.3, 19.4, 22.7, 25.9, 32.0, 38.9, 42.1, 45.3, 48.6, 51.8S 水温: 10, 15, 20, 25°C 仮根形成を仮根発芽, 最大仮根長, 仮根数で調査 宮城県七ヶ浜町産	仮根形成適条件: 塩分 22.7-42.1S* 水温 10-20°C : 塩分 22.7-38.9S 水温 25°C 仮根形成最適条件: 塩分32.0S, 水温15°C 25°Cと22.7‰S以下または42.1S 以上では, 好適条件の場合に比べ, 発芽率と仮根伸長は低下し, 仮根数は減少する	* : ‰S を Sとした	(4)(6)

塩 分	胚発芽期 (つづき)	大分県産	<p>仮根形成と塩分 発芽最適塩分；17.15‰ (31.0S) 発芽適塩分域；11.68-23.79‰ (21.1-43.0S) 不発芽塩分域；8.68‰ (15.7S)以下 37.79‰(67.5S) 以上 好適塩分：20‰以上で、低塩分に強い</p>	(大分浅海漁試1976)	(4)(6)
		宮城県女川産	<p>仮根形成と塩分 発芽最適塩分；32.0S (1.0倍海水) 不発芽塩分域；約10S (0.3倍海水) 以下 と約50S (1.6倍海水) 以上 水温8-25℃の時、50%以上の発芽率がえ られた塩分の範囲は 19.4-45.3‰ 幼胚の成長、仮根の伸長は水温が8, 25℃の順 に良く、15℃下では塩分32.0, 40.4, 24.4, 16.3‰の順に良い結果を得た</p>	(小河1981)	(7) (4)(6)
		分布と塩分	<p>幼胚 最適塩分域：32‰ (実験値) 生存可能範囲：上限50-67.5‰ (実験値) 下限 >15.7‰</p>		(4)
		幼胚～幼体	<p>適塩分域：21-43‰ (実験値), : 23.5-33.1‰ (現場測定値)</p>		
		幼体～成体	<p>: 30-32‰ (現場測定値) 年平均値最低値：29.45‰</p>		
温 度	卵放出期 胚発芽期	山口県産	<p>最適水温域：16-17℃ 適水温域：15-23℃</p>	(河本ら1968)	(3)
		大分県産	<p>仮根形成と温度：20℃より低いと仮根発芽がお くれる</p>	(河本ら1968他)	(2)(4)(6)
		宮城県女川産	<p>仮根形成と温度： 発芽最適水温域；16-20℃ 発芽適水温域；12-25℃ 成長・仮根形成と温度： 最適水温域；15℃で最も良く、8, 25℃の順 好適水温：15-20℃</p>	(大分浅海漁試1976)	(2)(3)(4) (6)
			(小河1981)	(6)	(7)

<文献リスト>

- (1)海洋生物環境研究所 (1999). アカモク. 沿岸至近域における海生生物の生態知見 海藻編, pp.158-170.
- (2)日本水産資源保護協会 (1980). アカモク. 水産生物適水温図, pp.43.
- (3)日本水産資源保護協会 (1983). アカモク. 環境条件が魚介類に与える影響に関する主要要因の整理, pp.255.
- (4)日本水産資源保護協会 (1992). 6. ホンダワラ類. 環境が海藻類に及ぼす影響を判断するための「判断基準」と「事例」, pp.48-60.
- (5)小河久朗 (1985). ホンダワラ類の成熟・発生と環境. 海洋科学, 17(1), 26-31.
- (6)小河久朗 (1986). 海藻の初期発生におよぼす温度と塩分濃度の影響 II. アカモクの仮根形成. 藻類, No.34, 137-141.
- (7)大分浅海漁業試験場 (1981). 海藻による富栄養化防止試験. 昭和55年度赤潮対策技術開発試験報告書, 8(3), 27pp.
- (8)徳田 広・大野正夫・小河久朗 (1987).IV藻場造成 2. ホンダワラ類藻場. 海藻資源養殖学 (水産養殖学 10) 緑書房, 東京, pp.219-230.
- (9)全国沿岸漁業振興開発協会 (1993). 水産生物の環境条件. 沿岸漁場整備開発事業施設設計指針 平成4年度版, pp.323-400.

<生活史>



注) : 有性生殖型 : 1年生, * ; 減数分裂を示す

総括表 種名 F-2 アマノリ類 (アサクサノリ, オオバアサクサノリ, スサビノリ, ナラワスサビノリ)

環境要因	発育段階	試験条件	結果	特記事項ほか	文献
栄 養 塩	殻胞子放出期 (採苗期) ~ 幼芽期 (育苗期), 単胞子形成期				
	葉状体期 (育成期)	養殖漁場 平均流速10-30cm/秒程度 支柱式漁場 平均流速10cm/秒程度 支柱式または浮流し式漁場 20-30cm/秒程度 スサビノリ 無機態窒素 DIN : 30-500 μg/L 塩素量 : 13-16‰ 養殖場の DIN : 1.7-18.3 μg/L	良好な成長と品質を保つための最低基準 DIN 濃度 ; 5-7 μg-at./L (70-100 μg/L) 色落ち : DIN 濃度 ; 約 5 μg-at./L以下 DIN 濃度 ; 約 3 μg-at./L以下 NH ₄ -Nが1mg/L(約70 μg-at./L)以上では養殖不可能 ノリ品質に最適な P/N値 (μg/Lで) : 1/7-1/9 程度 ノリ品質に適したリン濃度 : 0.2-0.5 μg-at./L ①9日間の成長率: 貧栄養条件15-23%, 富栄養条件19-36% ②流速条件よりも栄養条件が成長要因として大 ③ノリの成長率, 窒素同化速度は栄養塩濃度, 流速の増加に伴って増大 ④栄養塩濃度, 流速と窒素同化速度の実験式 $1/N \cdot dN/dt = 0.026C^{0.31}V^{0.11}$ ⑤養殖場の情報による実験式の改変 $1/N \cdot dN/dt = 0.022C^{0.31}V^{0.15}$	分布域 : 北海道沿岸, 東北太平洋沿岸, 本州中部太平洋側沿岸, 日本海沿岸 葉長 5-8cm, 水温 10-15°C 流速 6-70cm/s 播磨灘養殖場 注) $DIN = NH_4-N + NO_2-N + NO_3-N$ (溶存態無機三態窒素)	(12) (21) (1) (4)
		昭和60年度~平成11年度の旬別平均の水温, DIN, DIP	①DINと葉体中の N含量 のりの N含量 3.4-8.2% $Y = 0.18X + 4.3$ (r=0.71) ②DINと等級 $Y = -0.25X + 6.73$ (r=-0.59) 要約 : 海水中の DINがのり N含量, 等級と高い相関を示し, DIN がノリ生産の支配的要因 要約 : DIN と葉体中の N含量が相関する漁場では DINで5 μg/L 以下が品質低下を予測する一つの基準になると推察 要約 : DIN濃度が平均で 3.0 μg-at./L以下, DIP濃度が平均0.3 μg-at./L 以下になればノリの色落ち被害が広範囲に起こり易い	播磨灘養殖場 播磨灘養殖場 播磨灘養殖場	(19) (10)
	葉状体期	アサクサノリ trace - 50 Nmg/L(NH ₄ NO ₃) trace - 0.21 Nmg/L(NH ₄ NO ₃)	要約 : 窒素濃度が50Nmg/L以下の場合には短期内の成長又は光合成活動に影響はない NH ₄ -NとNO ₃ -Nが共存するときは NH ₄ -Nを先に吸収し, ついでNO ₃ -N を吸収する	葉体5mm ² , 10-20枚 (武居・宮沢1959)	(3) (13)

		<p>養殖漁場 殻孢子放出, 付着 幼芽生育 葉体生育</p>	<p>適塩分域: 28-34‰, 最低限界20‰程度 適塩分域: 25-35‰, 最低限界18‰程度、潮間最低値9‰以下で生育不良 適塩分域: 22-33‰, 生育期最低限界18‰程度、潮間最低9‰以下で生育不良</p>		(12)
塩 分	殻孢子放出期	<p>スサビノリ Cl: 4.3, 7.7, 11.5, 14.5, 18.6, 22.3‰</p>	<p>①殻孢子・単孢子の着生は Cl 14.5, 18.6‰で着生数が多く11.5‰では減少 ②水温 20.25℃で着生が良く10℃以下では不良 ③最適付着は26.2, 33.6‰と40.3‰でやや減少, 20.8‰以下で不良</p>	(右田1972)	(9) (12)
	幼芽期		<p>要約: ノリ幼芽は通常漁場であり得る温度条件下でも浸漬中の平均塩素量が11-14‰なら、或いは干出(直前)時ならびに浸漬(直後)時の塩素量が7‰前後ならば低塩分の影響によって障害を受けやすく、それらの障害は気・水温が高ければ更に大きくなる 適塩分域: 30.6-32.4‰, 19.8-25.2‰以下と39.7‰以上で異常形態</p>		(20) (12)
	葉状体期		<p>適塩分域: 12-18‰(Cl:塩素量) 適塩分域: 9-18‰(Cl:塩素量) 広島 生息域(実験上)の標準(好適)値: 18-22‰</p>	(山内1973) (敦賀1965)	(11) (11) (21)
	糸状体期	<p>塩分: 天然海水 Cl 16-17 ‰, 1/4, 1/2, 3/4, 5/4</p>	<p>糸状体は淡水又は塩分の低い海水によってその生育は阻害を受けるがかなり強い抵抗力を有する 生息域(実験上)の標準(好適)値: 18-22‰</p>		(8) (21)
	葉状体期	<p>ナラワスサビノリ 佐賀県福富町地先</p> <p>① 1日1回 1, 2, 3, 4 時間乾燥, 6日間 ② 蒸留水に6, 12, 18, 24, 30, 36, 42, 48, 54, 72時間浸漬, 4日間 ③ 乾燥前 1.012-1.024の間に5段階, 1.000-1.010の間に4段階, 1時間浸漬後1時間室外乾燥</p>	<p>要約: 幼芽は水温が低く塩分が高い年には順調な成長を示し、低塩分と干出過多により阻害される。干出の影響は時間的な長短よりも干出される以前の環境水の低塩分条件により強くあらわれ葉令が小さい時ほど顕著である 要約: 幼芽は淡水浸漬30時間より影響があらわれ72時間で枯死した 乾燥前の浸漬海水比重 1.015から障害が開始、1.012では大きくなる。乾燥前後では乾燥前の比重が極めて大きい 幼芽の成長は正常海水 1.024よりもやや低い側で効果的である</p>	<p>網糸2cmに着生する個体の大きい方から10番目までの平均値 平均葉長90 μm</p>	(5) (7)
	幼芽期	<p>オオバアサクサノリ</p>	<p>① 幼芽は低塩分に弱く長期間で種々の異常形態となる。その限界濃度は Cl 11.0-14.0‰ ② 最適成長塩分は Cl 17.0-18.0‰</p>		(18)

塩分	幼芽期	オオバアサクサノリ	③高塩分で悪影響を受けCl 22.0‰で異常形態が認められた19.8-25.2‰以下の低塩分, 39.7‰以上の高塩分で異常形態 最適塩分: 30.6-32.4‰	(18) (12)
	単孢子形成期		①二次芽の付着はCl 14.0-18.0‰で最も多く, Cl 4.0‰では0であった ②塩分の低下による異常芽は細胞膜の肥厚突出症状である	(18)
	殻胞子放出期	アサクサノリ	ヒビ建: 20-23℃, 比重1.020以上 適塩分域: 28-34‰, 採苗期(殻胞子放出・付着) 潮間平均27.5-34.1‰	(新崎1954) (黒木・平野1955, 斉藤1956) (11) (12)
	葉状体期		①葉体は広塩性で蒸留水に少なくとも20時間耐える ②葉体成長最適塩分は 12.00-18.00‰ 適塩分域: 16.3-32.5‰	葉体5m ² , 10-20枚 (敦賀1965, 山内1973) (3) (12)
	糸状体期	①塩分:7.0, 9.0, 10.0, 17.0, 19.0‰ :7.0, 9.0, 11.0, 13.0, 15.0, 21.0‰ ②塩分:7.0, 9.0, 11.0, 13.0, 15.0, 21.0‰ ③塩分:4.0, 7.0, 9.0, 11.0, 13.0, 15.0, 21.0‰ 4.0, 9.0, 11.0, 13.0, 15.0, 21.0‰	糸状体形成は Cl 10‰以下で著しく阻害される 糸状体成長は初期において低塩分でおくれるが大きくなると大きな影響は受けない 胞子囊の形成も低塩分ではおくれる 干出条件下に置くと枯死した。葉体に比べ乾燥耐性は非常に弱い 成長好適塩分は比重 1.020-1.030 以下で, 1.010 では成長できない	(本田1962) (14) (17)
		ノリの病気 ①あかぐされ病 ②壺状菌病	10℃以上で激しく広がり, より低温では進行が鈍る 高水温低塩分下で感染速度が早まる 収穫前期(19℃→10℃台) 16℃以上で低比重水が重なる時期に発生 菌の成長は 15-20℃, 塩素量11-19‰で良 早冷(22℃台) で低塩分の年に発生が早い	(16) (2) (6) (16) (2)

<文献リスト>

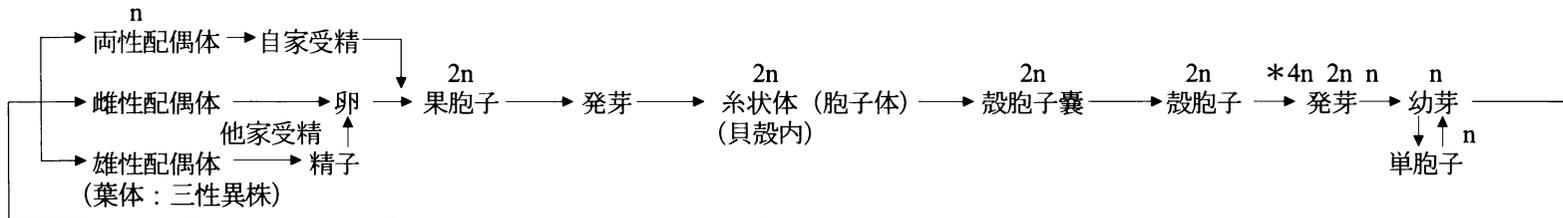
- (1)馬場裕文・宮崎征男(1983). ノリの生長と窒素代謝におよぼす栄養と流速条件の影響. 佐賀有明水試報, No.8, 1-19.
- (2)馬場裕文・山下康夫(1985). 佐賀県有明海のノリ養殖における漁海況情報の利用. 佐賀有明水試報, No.9, 39-44.
- (3)Iwasaki, H. and Matudaira, C.(1956). Studies on the physiology of a laver, *Porphyra tenera* Kjellm. *Tohoku J. Agr. Res.* 7(1), 65-83.
- (4)香川 哲(1988). 播磨灘におけるノリ養殖漁場の DIN濃度とノリ養殖との関係. 香水試研報, No.3, 1-7.
- (5)川村嘉広・山下康夫・鬼頭 鈞(1991). 養殖ナラワスサビノリの生長と環境条件について. 水産増殖, 39(3), 273-278.
- (6)切田正憲(1991). 環境情報とノリ漁場管理. 水産工学, 27(1), 19-29.
- (7)切田正憲・松井敏夫(1993). ノリ幼芽の生育におよぼす乾燥と浸漬海水の比重の影響. 水産増殖, 4(3), 281-286.
- (8)黒木宗尚・平野和夫(1955). 乾燥・海水塩分・光線がアマノリ類の糸状体(Conchocelis期)に及ぼす影響. 東北水研報, No.4, 262-282.
- (9)右田清治(1972). ノリ殻胞子と単胞子の着生. 長大水研報, No.33, 39-48.

- (10)永田誠一・名角辰郎・中谷明泰・鷲尾圭司・真鍋武彦 (2001). 近年の播磨灘主要ノリ漁場の環境調査結果. 兵庫水試研究, No.36, 59-73.
- (11)日本水産資源保護協会 (1981). アマノリ類. 水生生物生態資料, pp.356-358.
- (12)日本水産資源保護協会 (1992). 1.アマノリ類. 環境が海藻類に及ぼす影響を判断するための「判断基準」と「事例」, pp.4-17.
- (13)尾形英二 (1964). アサクサノリの生理と病理. 植物生理, 4(3), 171-182.
- (14)斉藤雄之介 (1956). アサクサノリ糸状体の生長成熟に及ぼす二, 三の要因の影響について. 日水誌, 22(1), 21-29.
- (15)下茂 繁 (1971). アサクサノリのタンク内大量培養に関する基礎的研究. 電中研農電研報, No.71002, 81pp.
- (16)須藤俊造・斉藤雄之介・秋山和夫・梅林 脩 (1972). ノリの病気とその特徴. 東水研業績, E18, 37pp.
- (17)徳田 廣・大野正夫・小河久朗 (1987). アマノリ属. 海藻資源養殖学 (水産養殖学講座 10), 緑書房, 東京, pp.159-178.
- (18)山内幸児 (1973). ノリ幼芽の生長におよぼす塩分濃度の影響. 日水誌, 39(5), 489-496.
- (19)山内幸児 (1983). ノリ浮流し養殖におよぼす環境要因に関する研究-1 ノリ葉体中の窒素, リン含量と漁場のDIN, PO₄-P濃度との関係について. 兵庫水試研報, No.21, 71-76.
- (20)吉川浩二・斉藤雄之介 (1974). 屋外タンク培養によるのりの人工発病実験- 干出と病気の発生との関係について. 南西水研研報, No.7, 85-110.
- (21)全国沿岸漁業振興開発協会 (1993). 水産生物の環境条件. 沿岸漁場整備開発事業施設設計指針 平成4年度版, pp.323-400.

<生活史>

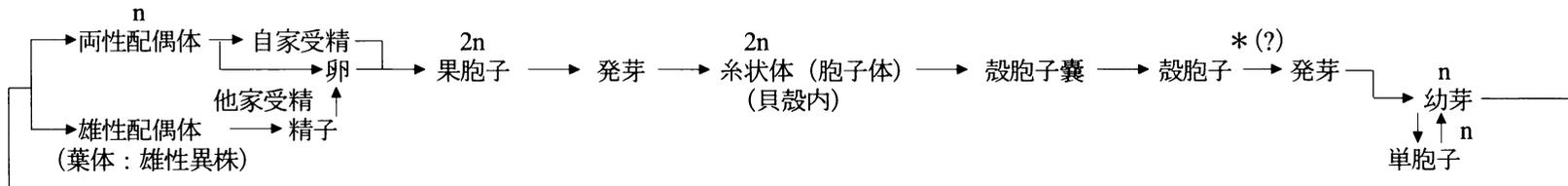
1. スサビノリ

I 分裂 : $2n \times 2$, 二分子細胞 $2n$ 幼芽
 II 分裂 : $n \times 4$, 四分子細胞 n 幼芽



注) : * ; 減数分裂を示す
 殻胞子は $2n$, 減数分裂は発芽時に起こり, 第1分裂で染色体の重複が起こり, 二分子の細胞の各々が $2n$, その第2分裂で四分子の細胞が各々 n で, 4細胞期の発芽体は線状四分子に相当する

2. アサクサノリ



注) : * ; 減数分裂を示す

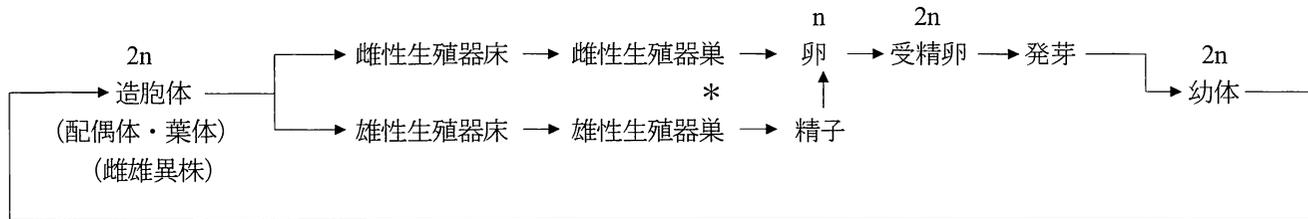
総括表 種名 F-3 オオバモク (地方名: ササバモク, ササモク, ヤナギモク, ツブナガ (徳島), アワビモク, シグモ (三重))

環境要因	発育段階	試験条件	結果	特記事項ほか	文献
栄養塩	造胞体 (配偶体, 葉体) 期	藻場海域	藻場海域濃度: NH ₄ -N ; 0.42 μg-at./L DIN ; 3.68 μg-at./L PO ₄ -P ; 0.08 μg-at./L	分布域: 太平洋側; 北海道釧路以南大分宮崎県下まで 日本海側; 秋田県以南韓国沿岸	(2) (3)
	成熟期				
塩	卵放出期				
	胚発芽期				
	幼体期	塩分: 5, 10, 15, 20, 25, 30‰ 照度: 1,000, 5,000, 10,000lux 12L:12D 千葉県天津小湊産 6,000luxで1週間培養幼体	要約: 幼体の成長はどの照度においても塩分が高い程よい 塩分30, 25‰では高照度ほどよく成長したが20‰以下では照度よりも塩分に左右される 塩分10‰ではほとんど成長せず5‰以下では白化 塩分に対して比較的広い適応範囲を持つ 好適塩分: 29-30‰以上, 低塩分に弱い 好適水温: 20℃ 適塩分域: 32-34‰ (現場測定値) 31-33‰ (現場測定値) 生存可能範囲下限: >5‰ (実験値) 年平均値の最低値: 29.99‰ (現場測定値)		(1) (4) (2)
分	分布と塩分 幼胚-幼体 幼体-成体 幼体				

<文献リスト>

- (1)新井朱美・三浦昭雄 (1991). オオバモク幼体の生長におよぼす塩分と照度の影響. 水産増殖, **No.39**, 315-319.
- (2)日本水産資源保護協会 (1992). 6. ホンダワラ類. 環境が海藻類に及ぼす影響を判断するための「判断基準」と「事例」, pp.48-60.
- (3)小河久朗 (1986). 海藻の初期発生におよぼす温度と塩分濃度の影響. 藻類, **No.34**, 137-141.
- (4)大分浅海漁業試験場 (1981). 海藻による富栄養化防止試験. 昭和55年度赤潮対策技術開発試験報告書, **8(3)**, 27pp.

<生活史>



注) : 有性生殖型 : 1年生, * ; 減数分裂を示す

総括表 種名 F-4 コンブ類 (ナガコンブ, ホソメコンブ, マコンブ)

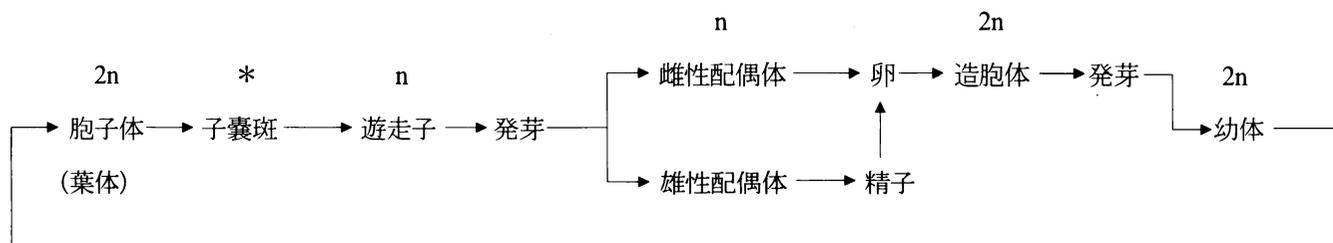
環境要因	発育段階	試験条件	結果	特記事項ほか	文献	
栄養塩	葉体(胞子体)期	天然, 養殖漁場	漁場海域濃度 : NH ₄ -N : 0.0- 7.0 μ g-at./L : NO ₃ -N : 0.0-20.0 μ g-at./L : NO ₂ -N : 0.0- 0.6 μ g-at./L : DIN : 0.1-26.0 μ g-at./L : PO ₄ -P : 0.0- 9.5 μ g-at./L	種類によって異なる (水産庁1977-88) 最低, 最高値	(4)	
		ナガコンブ : NH ₄ -N ; 10, 20, 50 μ M 5, 15°C : NO ₃ -N ; 10, 20, 50 μ M 5, 15°C : NO ₂ -N ; 10, 20 μ M 5°C	NH ₄ -NおよびNO ₃ -Nを良く吸収し, 特に水温が高い場合にはNH ₄ -Nの吸収が著しく促進される	新葉部 : 21.0g-100cm ² ; 15.0g-78cm ² 旧葉部 : 45.7g-203cm ² ; 39.4g-222cm ²	(3)	
塩分	葉体(胞子体)期	マコンブ 天然, 養殖漁場 ミツイシコンブ // リシリコンブ // ホソメコンブ // ナガコンブ //	生育帯塩分 : 31.1-33.9‰ : 32.0-34.0‰ : 29.3-34.7‰ : 33.3-34.5‰ : 31.6-33.5‰ 生息域(実験上)の標準(好適)値 : 30-33‰ 生息域(実験上)の限界値 : 20-35‰	分布域 : 北海道室蘭から福島町, 釜石以北の太平洋沿岸, 津軽海峡	(4) (5) (5)	
	遊走子嚢形成期・遊走子発芽期					
	配偶体発芽期		生息域(実験上)の標準(好適)値 : 30-35‰ 生息域(実験上)の限界値 : 20‰		(5)	
	配偶体成長期	成熟	生息域(実験上)の標準(好適)値 : 30-33‰ 生息域(実験上)の限界値 : 20-35‰		(5)	
	芽胞体形成期・胞子体形成期		芽胞体発生 ホソメコンブ	普通海水(塩分約33.3‰)で最もよく, 次に約29.8, 約27.2‰でよい		(4)
	配偶体期	ホソメコンブ生存率 塩分 : 0 (蒸留水), 5, 10, 15, 20, 22, 30, 38, 47, 86, 24.7‰ (海水) ホソメコンブ配偶体生存率		比重0, 86‰では16日目に全死 5, 10‰では13, 26%の生存率 15-17‰では91%以上の生存率 塩分約 20.7-41.5‰以上 (海水比重1.015-1.047)でよい		(1)(4) (4)

塩分	幼胚体期	ホソメコンブ成長 幼胚の生長	対照22.7%で最も速く,20, 22%で僅かに遅れ, これらに30%が続いた。15%と38%では類似した 性比は高比重で雌が僅かに多い傾向がみられた 普通海水(海水比重1.0247, 塩分約33.3%)で最も速く比重1.020-1.022(約 27.2-29.8%)がこれに次いだ	(船野1983)	(1) (4)
	孢子体形成期		孢子体形成は 1.02888-1.01098 でも形成されるが高比重よりもむしろ低比重が好条件で最適比重は1.0135-1.0183 程度とみられた	(木下1947)	(2)

<文献リスト>

- (1)船野 隆 (1983). ホソメコンブの生態 第1報 生活史と核相交番および配偶体と幼胚体の生理生態. 北水試報, No.25, 61-109.
- (2)海洋生物環境研究所 (1999). コンブ類 . 沿岸至近域における海生生物の生態知見 海藻編, pp.55-96.
- (3)町田祐二・三本菅善昭・岡田行親 (1985). 再生期におけるナガコンブの無機態窒素吸収と生長について. 北水研報告, No.50, 45-61.
- (4)日本水産資源保護協会 (1992).12.コンブ類. 環境が海藻類に及ぼす影響を判断するための「判断基準」と「事例」, pp.92-104.
- (5)全国沿岸漁業振興開発協会 (1993). 水産生物の環境条件. 沿岸漁場整備開発事業施設設計指針 平成4年度版, pp.323-400.

<生活史>



注) : * ; 減数分裂を示す

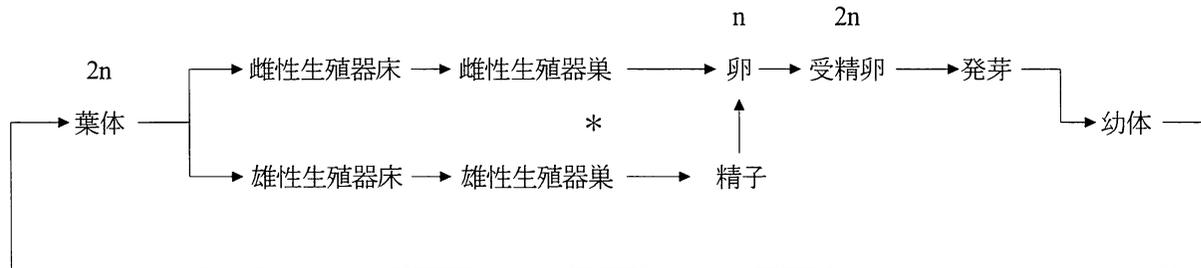
総括表 種名 F-5 ヒジキ

環境要因	発育段階	試験条件	結果	特記事項ほか	文献
栄養塩	葉体期	藻場造成試験 培養種苗の生育	生育試験海域栄養塩類濃度 DIN : 4.0 μ g-at./L PO ₄ -P : ほぼ0.4 μ g-at./L	分布域：北海道南部から沖縄 日本海沿岸；福井以南から長崎， 韓国沿岸の温帯域	(1) (4)
	生殖器成熟期				
塩分	幼胚期	塩分： 6.5, 13.0, 19.5, 26.1, 39.2, 45.7, 52.2, 58.7, 64.2S 水温：10, 15, 20, 25°C 岩手県三陸沿岸産	仮根形成：仮根形成率，伸長，数 仮根形成適条件： 塩分6.3-58.7S 水温 10-25°C 仮根形成最適条件：塩分19.5-45.7S 水温 15-20°C 仮根形成には塩分よりも水温の影響が大きい 低塩分側よりも高塩分側での影響が大きい 好適塩分：18-19‰以上，低塩分に強い	(大分浅海漁試1980,1981)	(2)
	幼胚から幼芽への成長		成長可能範囲：塩分約24.6-33.7‰ 生育海域塩分の年平均値の最低値：約28.5‰ 培養試験中の塩分：比重18-25 (塩分約24.6-33.7‰)	タマハハキモクの仮根形成： 水温 10-25°Cの範囲では 塩分 16.3-55.1S (小河1994)	(3) (1) (2)

<文献リスト>

- (1)日本水産資源保護協会 (1992). 9.ヒジキ. 環境が海藻類に及ぼす影響を判断するための「判断基準」と「事例」, pp.79-82.
- (2)小河久朗・金谷夏広・木内悦子 (1996). 褐藻ヒジキの仮根形成に及ぼす温度と塩分の影響. 水産増殖, **44**(4), 407-411.
- (3)大分浅海漁業試験場 (1981). 海藻による富栄養化防止試験. 昭和55年度赤潮対策技術開発試験報告書, **8**(3), 27pp.
- (4)徳田 広・大野正夫・小河久朗 (1987). V 現在の海藻養殖 6.ヒジキ. 海藻資源養殖学 (水産養殖学講座10) 緑書房, 東京, pp.152-154.

<生活史>



注) : * ; 減数分裂を示す

総括表 種名 F-6 ワカメ (地方名:メノハ (長崎, 島根), キシメ (石川), オキシメ (加賀), メ (古名))

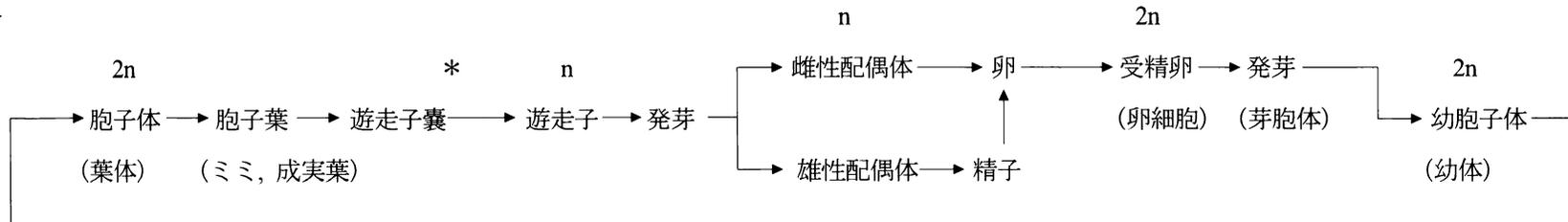
環境要因	発育段階	試験条件	結果	特記事項ほか	文献
栄養塩	葉体 (胞子体) 期	養殖, 天然漁場 芽落ち 気仙沼 気仙沼	適栄養塩域: T-N 20-100 γ /L 水質環境: 水温上昇気味, 比重 1.026台 NO ₃ -N; 10 γ /L 以下 PO ₄ -P; 8 γ /L 以下 のとき発生しやすい 海域濃度: NO ₃ -N; 0.1- 8 μ g-at/L : DIN; 2 -18 μ g-at/L : PO ₄ -P; 0.0- 1.4 μ g-at/L	(藤原ら1972) (藤原ら1974)	(2) (2)(3)
		養殖, 天然漁場		分布域: 稚内~根室間および北海道室蘭北東の太平洋沿岸。伊豆七島, 高知を除く日本各地沿岸	(4) (9)
塩分	葉体 (胞子体) 期	養殖, 天然漁場 成葉期 成熟期 気仙沼	海域適塩分: 27以上あるのがよい 養殖試験地の養殖期 (10~4月) 0-4m層での塩分 はほぼ29.4-33.6‰ 適塩分域: 比重1.0250-1.0260 生息域 (実験上) の標準 (好適) 値:33.7-35‰	(斉藤1962) (藤原ら1972)	(4) (2)(3) (9)
	遊走子着生期	塩素量: 7.0, 9.0, 11.0, 13.0, 15.0, 17.5, 21.0‰	Cl 9‰以下で著しく着生阻害, 11‰以上で差がなく成長および生残率は15‰以上ではすべて順調に成長する。13‰ではやや遅れ11‰では異常がみられ9‰で殆ど枯死。15‰でも高水温で枯死もみられ好適塩分は 17-18‰であろう 生存可能範囲: 下限 10.3-15.4 適塩分域: Cl 17-18‰ 15‰高温時死亡, 9‰以下着生阻害 Cl 18.27-11.35‰の間では遊走子の着生は塩分の影響を受けないが, それ以下 (8.5-5.70‰) では低塩分の影響がある Cl 8.5-5.7‰以下で阻害	(斉藤1958) (殖田ら1975) (殖田ら1975)	(1)(5)(6) (3) (5) (7) (2)

塩分	遊走子 成長期		適塩分域：30.7-32.5‰（比重1.020 以上） 比重 1.020以上で順調，1.017 以下で遅れ 1.014以下で枯死	（斉藤1956）（大島ら1965） （大島ら1965）	（3）
	配偶体 形成期	塩素量：7.0, 9.0, 11.0, 13.0, 15.0, 17.5, 21.0‰ 9, 15, 17(海水)‰	生存可能範囲下限塩分 27.1‰，比重1.014 配偶体の発芽，成長および成熟，芽胞体の発芽 成長は大略 Cl 15‰以下で悪影響を受け特に 高水温における低塩分の影響は大きい 配偶体の成熟，胞子体の発芽，成長はいずれも 15‰以下では遅れ低塩分の影響が大きい 配偶体発育期（5月），幼芽発生期（10～12月） に比重1.0220以下が長く続くと凶漁	（斉藤1956），（大島ら1965） （殖田ら1975）	（3） （7） （1）（5） （2）

<文献リスト>

- (1)海洋生物環境研究所（1999）. ワカメ. 沿岸至近域における海生生物の生態知見 海藻編, pp.41-54.
- (2)日本水産資源保護協会（1981）. ワカメ. 水生生物生態資料, pp.350-353.
- (3)日本水産資源保護協会（1983）. ワカメ. 環境条件が魚介類に与える影響に関する主要要因の整理, pp.391.
- (4)日本水産資源保護協会（1992）. 3. ワカメ類. 環境が海藻類に及ぼす影響を判断するための「判断基準」と「事例」, pp.24-32.
- (5)斉藤雄之助（1956）. ワカメの生態に関する研究- 1. 配偶体の発芽，生長について. 日水誌, **22**(4), 229-234.
- (6)斉藤雄之助（1958）. ワカメの養殖について. 水産増殖, **5**(3), 16-20.
- (7)斉藤雄之助（1962）. ワカメの増殖に関する基礎的研究. 東大水実業績, **No.3**, 1-102.
- (8)徳田 廣・大野正夫・小河久朗（1987）. ワカメ類. 海藻資源養殖学（水産養殖学講座10）緑書房，東京，pp.133-144.
- (9)全国沿岸漁業振興開発協会（1993）. 水産生物の環境条件. 沿岸漁場整備開発事業施設設計指針 平成4年度版, pp.323-400.

<生活史>



注) : * ; 減数分裂を示す

