

## 底層溶存酸素量の基準値について（案）

### 1. 文献の収集

底層溶存酸素量の環境基準の検討に用いる貧酸素耐性評価値を、以下のとおり整理した。

#### （1）検討対象種

対象となる魚介類等は、我が国の公共用水域（海域または湖沼）に生息する魚介類より、生活史のいずれかの段階で水域の底層を利用する種とした。また、魚介類の生息の場及び再生産の場の確保だけでなく、無生物域の解消という観点から、魚介類の餌となる水生生物の生息も確保される必要があると考えられる。

#### （2）文献収集の範囲

検討対象種を供試個体として、貧酸素耐性実験を実施した結果が記載されている文献等を収集した。具体的には、室内に設置した実験装置において、低溶存酸素量への暴露実験に基づき溶存酸素量と生存率（死亡率）との関係が数値で記載されたものとした。なお、貧酸素化しやすい夏季の水域の底層を想定し、水温条件が概ね 20～25℃前後で実施された実験が記載されている文献を収集対象とした。

#### （3）文献の精査

実験条件が、毒性試験に関する各種のテストガイドライン<sup>1,2</sup>に準拠しているとともに、その試験方法や結果の妥当性について、専門家による確認を受けて精度が担保されているものを抽出した。

### 2. 貧酸素耐性評価値の導出

水生生物の個体群を維持するという目的に鑑み、貧酸素が魚介類等の水生生物に与える影響の多くは、貧酸素水塊の発生に伴うものであることから急性影響の観点を考慮する。また、感受性の特に高い個体の生存までは考慮しないものとして、貧酸素耐性を評価する値は、24 時間の曝露時間における 5% 致死濃度（24hr-LC<sub>5</sub>：以下、「貧酸素耐性評価値」という。）を基本とする。貧酸素耐性評価値の導出の方法は以下（1）～（3）のとおりである。

1 OECD TEST GUIDELINE FOR TESTING OF CHEMICALS. Adopted by the Council on 17th July 1992. Fish, Acute Toxicity Test.

2 海産魚類及び海産エビ類の急性毒性試験法（案），（独）国立環境研究所，平成 17 年 11 月

(1) 文献に記載された 24hr-LC<sub>5</sub> を用いる方法

ロジスティック回帰等の統計的手法や対数近似法を使って直接 24hr-LC<sub>5</sub> を導出している文献については、その値をそのまま貧酸素耐性評価値とした。

(2) 24hr-LC<sub>50</sub> から 24hr-LC<sub>5</sub> を算出する方法

表 1 は、U. S. EPA(2000) が作成している種別の LC<sub>50</sub> および LC<sub>5</sub> の表である。この表には各属の LC<sub>5</sub>/LC<sub>50</sub> 比が示されている。この比について魚類及び甲殻類別に幾何平均値を求めた結果、LC<sub>5</sub>/LC<sub>50</sub> 比は、甲殻類 1.49、魚類 1.31 となった。この値を用いて 24hr-LC<sub>50</sub> から 24hr-LC<sub>5</sub> を算出した。

表 1 U. S. EPA(2000) による LC<sub>5</sub>/LC<sub>50</sub> 比 (一部抜粋)<sup>1</sup>

学名	種名	一般名称	発育段階	GMAV	
				GMAV LC5	LC5/LC50
甲殻類 <i>Carcinus maenus</i>	<i>Carcinus maenus</i>	グリーンクラブ	稚ガニ・成体		
軟体類 <i>Spisula solidissima</i>	アメリカウバガイ	Atlantic surfclam	稚貝	0.70	1.63
甲殻類 <i>Rithropanopeus harrisi</i>	<i>Rithropanopeus harrisi</i>	ハリスノコギリガザミ	稚ガニ		
魚類 <i>Prionotus carolinus</i>	ノーザンシーロビン	北ホウボウ	稚魚	0.80	1.45
甲殻類 <i>Eurypanopeus depressus</i>	<i>Eurypanopeus depressus</i>	平坦なノコギリガザミ	稚ガニ		
魚類 <i>Leiostomus xanthurus</i>	<i>Leiostomus xanthurus</i>	スポットクローカー (ニベ科の魚)	稚魚	0.81	1.16
魚類 <i>Tautoga onitis</i>	<i>Tautoga onitis</i>	tautog (ペラ科の魚)	稚魚	1.15	1.40
甲殻類 <i>Palaemonetes vulgaris</i>	テナガエビ科	沼地グラスシュリンプ	稚エビ	1.24	1.45
甲殻類 <i>Palaemonetes pugio</i>	<i>Palaemonetes pugio</i>	daggerbladeグラスシュリンプ	稚エビ		
甲殻類 <i>Ampelisca abdita</i>	海洋端脚類スガメソコエビ科	端脚類	稚仔		
魚類 <i>Scophthalmus aquosus</i>	<i>Scophthalmus aquosus</i>	ヒラメ	稚魚	1.20	1.48
魚類 <i>Apeltes quadracus</i>	ヨンキョクトゲウオ	ヨンキョクトゲウオ	稚魚・成魚	1.20	1.32
甲殻類 <i>Homarus americanus</i>	アカザエビ科の一種	アメリカンロブスター	稚エビ	1.6	1.76
甲殻類 <i>Crangon septempinosus</i>	エビジャコ科	砂エビ	稚エビ・成体	1.6	1.65
甲殻類 <i>Callinectes sapidus</i>	ブルークラブ	アオガニ	成体		
魚類 <i>Brevoortia tyrannus</i>	ニシンダマシ亜科の一種	アトランティックメンハーデン	稚魚	1.72	1.53
軟体類 <i>Crassostrea virginica</i>	バージニアガキ	イースタンオイスター	稚貝		
魚類 <i>Stenotomus chrysops</i>	<i>Stenotomus chrysops</i>	スカップ (スギ目タイ科)	稚魚		
甲殻類 <i>Americamysis bahia</i>	甲殻類のアミ	アミ	稚仔	1.50	1.16
魚類 <i>Paralichthys dentatus</i>	ナツビラメ	ナツビラメ	稚魚	1.57	1.19
魚類 <i>Pleuronectes americanus</i>	<i>Pleuronectes americanus</i>	フユビラメ	稚魚	1.65	1.20
魚類 <i>Morone saxatilis</i>	ストライドバス	ストライドバス	稚魚	1.95	1.23
魚類 <i>Syngnathus fuscus</i>	ヨウジウオの一種	パイブウオ	稚魚	1.9	1.17

注) GMAV : Genus Mean Acute Values

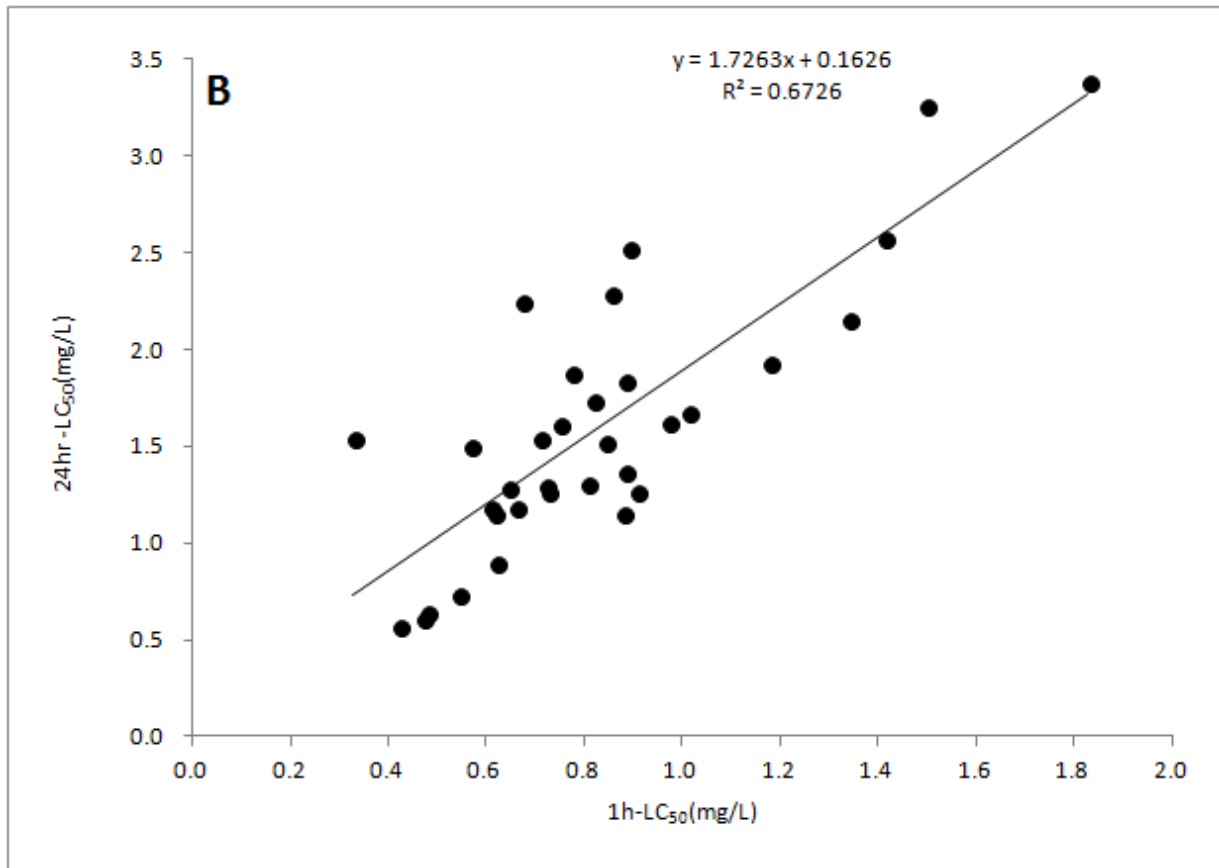
(3) 1hr-LC<sub>50</sub> から 24hr-LC<sub>5</sub> を算出する方法

1) 1hr-LC<sub>50</sub> から 24hr-LC<sub>5</sub> への算出方法

湖沼に生息する種を供試個体として行われた暴露実験の中には、1hr-LC<sub>50</sub> のみしか得られないデータも含まれる。U. S. EPA(2000) は、魚類・甲殻類の試験結果を用い、各種で TTD (time-to-death) 曲線を作成し、それらを対数関数化した式を作成している。

<sup>1</sup> United States Environmental Protection Agency (2000) : Ambient Aquatic Life Water Quality Criteria for Dissolved Oxygen(Saltwater) : Cape Cod to Cape Hatteras, EPA-822-R-00-012.

この魚類・甲殻類の種ごとの式を用いて、米国の魚類・甲殻類の1時間致死濃度(1hr-LC<sub>50</sub>)及び24時間致死濃度(24hr-LC<sub>50</sub>)のデータをプロットし、この直線回帰式( $y=1.7263x+0.1626$ 、 $R^2=0.6726$ )を得た(図1)。この回帰式を用いて日本の魚種の1hr-LC<sub>50</sub>から24hr-LC<sub>50</sub>を算出した。



注) 図は、U. S. EPA(2000)で示されている TTD 曲線から作成した式 ( $Y=m(\ln X)+b$ ; X: 時間=24 時間、Y: DO、m: 傾き、b: 切片) を使い作成した。

図1 1h-LC<sub>50</sub>と24h-LC<sub>50</sub>との関係

2) 24hr-LC<sub>50</sub>から24hr-LC<sub>5</sub>への算出方法

(2)と同様に、LC<sub>5</sub>/LC<sub>50</sub>比の値を用いて24hr-LC<sub>50</sub>から24hr-LC<sub>5</sub>を算出した。

### 3. 貧酸素耐性評価値一覧表

得られた貧酸素耐性評価値の一覧を以下に示す。引用文献の概要は表3に示すとおりである。

表2 実験文献から導出した貧酸素耐性評価値の一覧

引用文献	著者	発行年	対象種	発育段階	個体サイズ(mm) ±:標準偏差 ( )内は最小~最大	実験 水温 (°C)	暴露 時間 (h)	LC <sub>50</sub> (mg/L)				LC <sub>5</sub> (mg/L) (DO耐性評価値)			
								プロ ビット 法	Moving average angle 法	対数 近似法	1hr-LC <sub>50</sub> から EPA換算式 で24hr-LC <sub>50</sub>	ロジスティック 回帰	対数近似法 により 直接導出	EPAの比 から導出	
1)	環境省	2014	マダイ	未成魚・成魚	平均全長 37.0±2.1 mm (32.1~42.0 mm)	25±1	24h	2.0							2.6
1)	環境省	2014	ヒラメ	未成魚・成魚	平均全長 50.0±3.9 mm (41.4~58.6 mm)	24±1	24h	1.6							2.1
2)	山元ほか	1988	タモロコ	未成魚・成魚	平均全長 78±8mm	26.9±0.1	1h				2.3				3.0
3)	山元ほか	1987	カマツカ	未成魚・成魚	平均全長 90±6mm	20.0±0.1	1h				1.8				2.3
1)	環境省	2014	カマツカ	未成魚	平均全長 68.3±7.1 mm (56.1~86.8 mm)	25±1	24h	1.5							2.0
2)	山元ほか	1988	ウナギ	未成魚・成魚	平均全長 144±12mm	27.0±0.1	1h				1.2				1.6
2)	山元ほか	1988	コイ	未成魚・成魚	平均全長 116±4mm	27.1±0.1	1h				1.6				2.1
4)	環境省	2013	ヤリタナ ゴ	未成魚・成魚	平均全長 72.6 mm (59.7~84.1 mm)	25±1	24h	1.1							1.4
4)	環境省	2013	モツゴ	未成魚・成魚	平均全長 59.6 mm (47.7~88.2 mm)	25±1	24h	0.9							1.2
4)	環境省	2013	ホンモロ コ	未成魚・成魚	平均全長 65.2 mm (57.7~73.4 mm)	25±1	24h	1.0							1.3
5)	矢持ほか	1998	マコガレ イ	稚魚	(全長 45~72mm)	22.4~24.3	24h				1.8				2.4
1)	環境省	2014	シロギス	未成魚	平均全長 82.3±7.50 mm	25±1	24h	2.0							2.6
1)	環境省	2014	ドジョウ	成魚	平均全長 94.6±6.5 mm (77.4~109.3 mm)	25±1	24h	0.9							1.2
8)	環境省	未発表	シロメバ ル	稚魚	平均全長 39.2±1.8mm (33.7~44.2mm)	25±1	24h	2.5							3.3
8)	環境省	未発表	トラフグ	稚魚	平均全長 45.9±3.0mm (37.6~53.5mm)	25±1	24h	1.9							2.5
8)	環境省	未発表	スズキ	未成魚	平均全長 76.7±7.2mm	25±1	24h	1.9							2.4
8)	環境省	未発表	ホシガレ イ	未成魚	平均全長 62.8±5.0mm	25±1	24h	1.9							2.5
6)	山田ほか	2013	ヨシエビ	幼生 (ノープリウス期)	平均体長:0.30mm	28	24h					<1.1			
6)	山田ほか	2013	ヨシエビ	幼生 (ゾエ期)	平均体長:1.42mm	28	24h					1.8			
6)	山田ほか	2013	ヨシエビ	幼生(ミシス期)	平均体長:2.78mm	28	24h					2.0			
6)	山田ほか	2013	ヨシエビ	幼生 (ポストローバ期)	平均体長:3.37mm	28	24h					3.2			
7)	Yamochi et al	2013	ヨシエビ	幼生(ホストラバ 4日齢期)	平均体長:約 3mm	25±1	24h						2.9		
7)	Yamochi et al	2013	ヨシエビ	幼生(ホストラバ 15日齢期)	平均体長:約 13mm	25±1	24h						2.3		
1)	環境省	2014	ヨシエビ	未成体・成体	平均全長 40.4±2.9 mm (32.0~46.5 mm)	25±1	24h	0.5		0.5					0.7
6)	山田ほか	2013	ガザミ	幼生(ゾエ期)	平均甲長:0.50mm	24	24h					1.5			
6)	山田ほか	2013	ガザミ	幼生 (メロバ期)	平均甲長:2.0mm	24	24h					3.1			
6)	山田ほか	2013	ガザミ	稚ガニ	平均甲長:5.11mm	24	24h					3.7			
6)	山田ほか	2013	クルマエ ビ	幼生 (ノープリウス期)	平均体長:0.39mm	24	24h					3.1			
6)	山田ほか	2013	クルマエ ビ	幼生(ゾエ期)	平均体長:2.24mm	24	24h					2.8			
1)	環境省	2014	クルマエ ビ	未成体・成体	平均全長 45.8±4.3 mm (33.6~56.2 mm)	25±1	24h		0.8						1.2
1)	環境省	2014	スジエビ	未成体・成体	平均全長 35.4±2.2 mm (29.2~44.3 mm)	25±1	24h	0.9							1.3

【引用文献】

- 1) 環境省 (2014) 魚貝類に対する低溶存酸素濃度の急性影響試験, 平成 25 年度下層DO及び透明度新規環境基準化検討業務報告書
- 2) 山元憲一・平野修・原洋一・三代建造 (1988) 淡水産魚類 11 種の低酸素下における鼻上げおよび窒息死, 水産増殖 36(1), 49-52

- 3) 山元憲一・平野修・原洋一・吉川浩史(1987)カマツカの低酸素下における呼吸および逃避反応, 魚類学雑誌, Vol. 33(4)
- 4) 環境省 (2013) 魚類に対する低溶存酸素濃度急性影響試験の実施, 平成 24 年度下層 D O ・透明度設定検討及び魚介類調査検討業務報告書, pp128-155.
- 5) 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, Vol. 7, No. 5
- 6) 山田智・蒲原聡・曽根亮太・堀口敏宏・鈴木輝明 (2014) ガザミ (*Portunus trituberculatus*), クルマエビ (*Penaeus japonicus*) およびヨシエビ (*Metapenaeus ensis*) の浮遊幼生に及ぼす貧酸素水の影響, 水産海洋研究, 48, 45-53
- 7) Susumu Yamochi, Ken Ikeda and Kazuma Mutsutani (2013) An experimental research to clarify the response of larval and postlarval greasyback prawn to hypoxia, Global Congress on ICM, Lessons Learned to Address New Challenges, EMECS10-MEDCOAST 2013 Joint Conference, Book of Extended Abstracts, Edited by Erdal Ozhan, p.43-44.
- 8) 環境省 (未発表)

表3 (1) 引用文献(実験文献)の概要

引用文献	種	実験方法	実験水温(°C)	実験結果
1)	ヒラメ(未成魚)	・水槽内で所定の溶存酸素濃度に調整。 ・1濃度区当たり25個体を収容。	24±1	24時間後の生残率は、溶存酸素濃度2.44～2.06mg/Lで100%、1.74mg/Lで92%、1.57mg/Lで44%、1.40mg/Lで4%、1.13mg/Lで0%。
	マダイ(未成魚)	・水槽内で所定の溶存酸素濃度に調整。 ・1濃度区当たり25個体を収容。	25±1	24時間後の生残率は、溶存酸素濃度2.72mg/Lで100%、2.32mg/Lで96%、2.13mg/Lで80%、1.87mg/Lで24%、1.71mg/Lで4%、1.53mg/Lで0%。
	シロギス(未成魚)	・水槽内で所定の溶存酸素濃度に調整。 ・1濃度区当たり24個体を収容。	25±1	24時間後の生残率は、溶存酸素濃度2.38mg/Lで100%、1.88mg/Lで29%、1.69mg/Lで13%、1.38mg/Lで0%。
	カマツカ(未成魚)	・水槽内で所定の溶存酸素濃度に調整。 ・1濃度区当たり25個体を収容。	25±1	24時間後の生残率は、溶存酸素濃度8.26mg/Lで100%(対照区)、1.99mg/Lで76%、1.62mg/Lで64%、1.42mg/Lで56%、1.28mg/Lで24%、1.13mg/Lで12%、0.99mg/Lで0%。
	ドジョウ(成魚)	・水槽内で所定の溶存酸素濃度に調整。 ・1濃度区当たり25個体を収容。	25±1	24時間後の生残率は、溶存酸素濃度1.45mg/Lで100%、1.16mg/Lで88%、0.90mg/Lで60%、0.72mg/Lで12%、0.56mg/Lで4%。
	クルマエビ(未成体、成体)	・水槽内で所定の溶存酸素濃度に調整。 ・1濃度区当たり25個体を収容。	25±1	24時間後の生残率は、溶存酸素濃度1.75～1.43mg/Lで100%、1.00mg/Lで72%、0.75mg/Lで80%、0.61mg/Lで8%、0.48mg/Lで0%。
	ヨシエビ(未成体、成体)	・水槽内で所定の溶存酸素濃度に調整。 ・1濃度区当たり25個体を収容。	25±1	24時間後の生残率は、溶存酸素濃度1.73～1.00mg/Lで100%、0.71mg/Lで92%、0.51mg/Lで68%、0.34mg/Lで0%。
	スジエビ(未成体、成体)	・水槽内で所定の溶存酸素濃度に調整。 ・1濃度区当たり25個体を収容。	25±1	24時間後の生残率は、溶存酸素濃度1.96mg/Lで100%、1.43mg/Lで96%、1.09mg/Lで88%、0.82mg/Lで16%、0.63mg/Lで8%、0.45mg/Lで0%。
2)	タモロコ(未成魚、成魚)	・水槽内で所定の溶存酸素濃度に調整。 ・1濃度区当たり15個体を収容。	26.9±1	・1時間後に半数が斃死した濃度は0.96±0.11ml/L。 ・1時間後に全個体が斃死した濃度は0.90±0.09ml/L。
	ウナギ(未成魚、成魚)	・水槽内で所定の溶存酸素濃度に調整。 ・1濃度区当たり26～28個体を収容。	27.0±1	・1時間後に半数が斃死した濃度は0.95±0.10ml/L。 ・1時間後に全個体が斃死した濃度は0.67±0.04ml/L。
	コイ(未成魚、成魚)	・水槽内で所定の溶存酸素濃度に調整。 ・1濃度区当たり20個体を収容。	27.1±1	・1時間後に半数が斃死した濃度は0.64±0.13ml/L。 ・1時間後に全個体が斃死した濃度は0.61±0.11ml/L。
3)	カマツカ(未成魚)	・水槽内で所定の溶存酸素濃度に調整。 ・1濃度区当たり16個体を収容。	25±1	・鼻上げが開始する濃度は1.25±0.19ml/L。 ・1時間後に1個体が斃死した濃度は0.64±0.07ml/L。 ・1時間後に全個体が斃死した濃度は0.62±0.09ml/L。

【引用文献】

- 1) 環境省(2014) 魚貝類に対する低溶存酸素濃度の急性影響試験, 平成25年度底層溶存酸素量及び透明度新規環境基準化検討業務報告書
- 2) 山元憲一・平野修・原洋一・三代建造(1988) 淡水産魚類11種の低酸素下における鼻上げおよび窒息

死, 水産増殖 36(1), 49-52

- 3) 山元憲一・平野修・原洋一・吉川浩史(1987)カマツカの低酸素下における呼吸および逃避反応, 魚類学雑誌, Vol. 33(4)

表3(2) 引用文献(実験文献)の概要

引用文献	種	実験方法	実験水温(°C)	実験結果
4)	ヤリタナゴ (未成魚、成魚)	・水槽内で所定の溶存酸素濃度に調整。 ・1濃度区当たり25個体を収容。	25±1	24時間後の生残率は、溶存酸素濃度3.12mg/L～1.43mg/Lで100%、1.15mg/Lで72%、0.87mg/Lで0%。
	モツゴ (未成魚、成魚)	・水槽内で所定の溶存酸素濃度に調整。 ・1濃度区当たり25個体を収容。	25±1	24時間後の生残率は、溶存酸素濃度2.38mg/L～1.88mg/Lで100%、1.37mg/Lで96%、1.05mg/Lで88%、0.81mg/Lで20%、0.66mg/Lで0%。
	ホンモロコ (未成魚、成魚)	・水槽内で所定の溶存酸素濃度に調整。 ・1濃度区当たり25個体を収容。	25±1	24時間後の生残率は、溶存酸素濃度2.19mg/L～1.28mg/Lで100%、1.04mg/Lで68%、0.81mg/L、0.63mg/Lで0%。
5)	マコガレイ (稚魚)	・水槽内で所定の溶存酸素濃度に調整。 ・1濃度区当たり6個体を収容。	22.4～ 24.3	・溶存酸素濃度が1.6～2.4mg/Lでは、24時間後の斃死率は0%。 ・1.3mg/Lでは、24時間後の斃死率は50%。 ・0.98mg/Lでは、24時間後の斃死率は100%。
6)	ヨシエビ (ノープリウス期幼生, フロトゾエア期幼生, ミシス期幼生, ホストラハ期幼生)	・水槽内で所定の溶存酸素濃度に調整。 ・1濃度区当たり9～87個体を収容。	28	24hrLC <sub>5</sub> は、ノープリウス期幼生が1.11mg/L未満、フロトゾエア期幼生が1.76mg/L、ミシス期幼生が2.02mg/L、ホストラハ期幼生が3.22mg/L。
	ガザミ (ゾエア期幼生, メカロハ期幼生, 稚ガニ)	・水槽内で所定の溶存酸素濃度に調整。 ・1濃度区当たり18～52個体を収容。	24	24hrLC <sub>5</sub> は、ゾエア期幼生が1.53mg/L、メカロハ期幼生が3.08mg/L、稚ガニが3.68mg/L。
	クルマエビ (ノープリウス期幼生, ゾエア期幼生)	・水槽内で所定の溶存酸素濃度に調整。 ・1濃度区当たり63～114個体を収容。	24	24hrLC <sub>5</sub> は、ノープリウス期幼生が3.08mg/L、ゾエア期幼生が2.79mg/L。

【引用文献】

- 4) 環境省(2012)魚類に対する低溶存酸素濃度急性影響試験の実施, 平成24年度下層DO・透明度設定検討及び魚介類調査検討業務報告書, pp128-155.
- 5) 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, Vol. 7, No. 5
- 6) 山田智・蒲原聡・曾根亮太・堀口敏宏・鈴木輝明(2014)ガザミ(*Portunus trituberculatus*), クルマエビ(*Penaeus japonicus*)およびヨシエビ(*Metapenaeus ensis*)の浮遊幼生に及ぼす貧酸素水の影響, 水産海洋研究, 48, 45-53

表3 (3) 引用文献(実験文献)の概要

引用文献	種	実験方法	実験水温(°C)	実験結果
7)	ヨシエビ (ホストラーバ期幼生)	<ul style="list-style-type: none"> <li>水槽内で所定の溶存酸素濃度に調整。</li> <li>1濃度区当たり15個体を収容。</li> </ul>	25±1	24時間後の生残率は、ホストラーバ(4日齢)が溶存酸素濃度3.1～3.3mg/Lで93.3%、2.6～2.7mg/Lで93.3%、2.0～2.3mg/Lで93.3%、1.6～1.7mg/Lで53.3%、ホストラーバ(15日齢)が溶存酸素濃度3.1～3.3mg/Lで100%、2.6～2.7mg/Lで100%、2.0～2.3mg/Lで93.3%、1.6～1.7mg/Lで86.7%。
8)	シロメバル (稚魚)	<ul style="list-style-type: none"> <li>水槽内で所定の溶存酸素濃度に調整。</li> <li>1濃度区当たり25個体を収容。</li> </ul>	25±1	24時間後の生残率は、溶存酸素濃度3.17mg/Lで100%、2.89mg/Lで92%、2.70mg/Lで68%、2.47mg/Lで48%、2.26mg/Lで0%。
	トラフグ (稚魚)	<ul style="list-style-type: none"> <li>水槽内で所定の溶存酸素濃度に調整。</li> <li>1濃度区当たり25個体を収容。</li> </ul>	25±1	24時間後の生残率は、溶存酸素濃度2.27mg/Lで100%、2.05mg/Lで88%、1.88mg/Lで52%、1.58mg/Lで0%。
	スズキ (未成魚)	<ul style="list-style-type: none"> <li>水槽内で所定の溶存酸素濃度に調整。</li> <li>1濃度区当たり25個体を収容。</li> </ul>	25±1	24時間後の生残率は、溶存酸素濃度2.40mg/Lで100%、2.05mg/Lで92%、1.71mg/Lで12%、1.37mg/Lで0%。
	ホシガレイ (未成魚)	<ul style="list-style-type: none"> <li>水槽内で所定の溶存酸素濃度に調整。</li> <li>1濃度区当たり25個体を収容。</li> </ul>	25±1	24時間後の生残率は、溶存酸素濃度2.33mg/Lで100%、2.06mg/Lで92%、1.72mg/Lで0%。

【引用文献】

- 7) Susumu Yamochi, Ken Ikeda and Kazuma Mutsutani (2013) An experimental research to clarify the response of larval and postlarval greasyback prawn to hypoxia, Global Congress on ICM, Lessons Learned to Address New Challenges, EMECS10-MEDCOAST 2013 Joint Conference, Book of Extended Abstracts, Edited by Erdal Ozhan, p.43-44.
- 8) 環境省 (未発表)



アサリの浮遊幼生の実験文献は表4に示すように、第三者の専門家による確認を受けていないものと上述の表2で示した文献の実験とは実施方法が異なるものがある。

アサリ等二枚貝は、浮遊幼生期に溶存酸素量が低い海水（貧酸素海水）に遭遇すると殻を閉じて沈降するなど他の魚介類とは異なる生態上の特質がある。二枚貝について環境基準の根拠となる貧酸素耐性評価値を導出するためには、この点に留意し、更なる検討を行うことが必要である。

表4 アサリの浮遊幼生の実験文献

引用文献	種	実験方法	実験水温(°C)	実験結果
1)	アサリ(D型幼生、アンボ期幼生、フルグロウン期幼生)	<ul style="list-style-type: none"> <li>流水水槽内で溶存酸素濃度を所定の濃度に調整。1濃度区に20~100個体のアサリ幼生を収容。</li> <li>実体顕微鏡下で全く動かない個体を斃死と判定。</li> </ul>	20、25	24時間後の半数致死濃度は0.4mg/L(D型幼生、25°C)。
2)	アサリ(D型幼生、アンボ期幼生、フルグロウン期幼生)	<ul style="list-style-type: none"> <li>円筒形の水槽を用い、鉛直方向に溶存酸素濃度の濃度勾配を設定。1水槽当たり1,977~4,333個体のアサリ幼生を収容し、行動を観察。</li> <li>実体顕微鏡下で全く動かない個体を斃死と判定。</li> </ul>	23	<ul style="list-style-type: none"> <li>アサリ幼生は低溶存酸素濃度層で殻を閉じ沈降し(生存)、後に斃死する。</li> <li>沈降幼生の24時間半数致死濃度は1.88mg/L(D型幼生°C)。</li> <li>沈降後の斃死を考慮すると5%沈降/致死濃度は3.1mg/L(アンボ期幼生)。</li> </ul>

【引用文献】

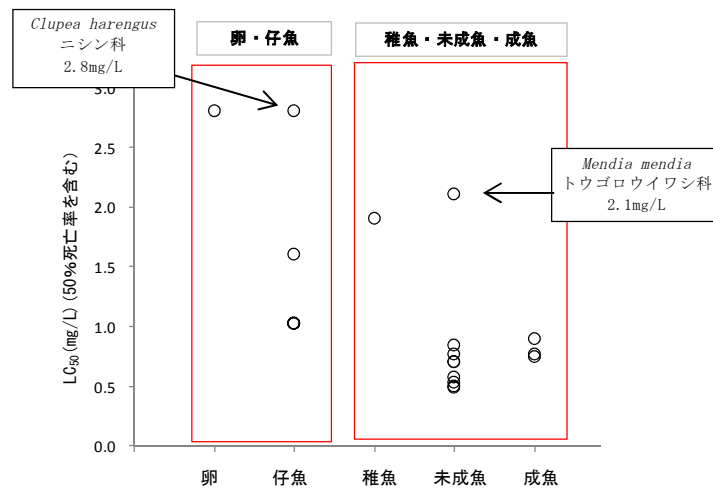
- 堀口敏宏, 蒲原聡, 山田智, 和久光晴, 岩田靖宏, 石田基雄, 鈴木輝明, 白石寛明(2012): 流水式曝露試験装置によるアサリ幼生及び稚貝の貧酸素耐性評価, 第21回環境化学討論会、ポスター発表(松山)
- 蒲原聡, 山田智, 曾根亮太, 堀口敏宏, 鈴木輝明(2013): 貧酸素水がアサリ浮遊幼生の遊泳停止と沈降後のへい死に及ぼす影響, 水産海洋研究 77(4) 282-289

#### 4. 再生産段階の貧酸素耐性評価値

魚介類の個体群が維持されるためには、生息域が確保されるのみならず、再生産も適切に行われる必要がある。

魚介類は、稚魚、未成魚及び成魚の段階と比べて、浮遊生活をする卵や仔魚等の発育段階初期の方が、底生生活を始めたばかりという環境の変化に対して受動的にならざるを得ない段階であり、貧酸素に対して影響を受けやすいことに留意して、貧酸素耐性の評価を行うことが適切である。

魚類については、卵や仔魚等の発育段階初期の貧酸素耐性評価値が得られていない。U. S. EPA (2000)<sup>1</sup> において、魚介類等の貧酸素耐性について、知見の集積を図っている。図2は、知見が得られている全魚類のうち、LC<sub>50</sub>が求められているデータを、発育段階別に抽出した（暴露時間が24時間以下の結果を抽出した）。この結果では、仔魚（*Clupea harengus* ニシン科の魚類、暴露時間6hr）のLC<sub>50</sub>の最大値は2.8mg/L、未成魚（*Mendia mendia* トウゴロウイワシ科の魚類、暴露時間6hr）の最大値は2.1mg/Lであり、LC<sub>50</sub>の最大値の差は0.7mg/Lである。3. (2) の24hr-LC<sub>50</sub>から24hr-LC<sub>5</sub>への算出方法と同様の考え方により、魚類のLC<sub>5</sub>/LC<sub>50</sub>比1.31を使うと、LC<sub>50</sub>の最大値の差0.7mg/Lは、LC<sub>5</sub>で0.92 mg/Lと換算できる。このため、魚類の卵や仔魚等の発育段階初期（再生産段階）の貧酸素耐性評価値は、稚魚、未成魚及び成魚の段階の貧酸素耐性評価値に、1mg/Lを加えた値として推定する。



曝露時間が24時間以下の結果

注) 図は曝露時間が6時間の値での比較であり、24時間の暴露時間ではLC<sub>50</sub>の最大値の差が0.7mg/L以上になる可能性がある。

図2 発育段階別のLC<sub>50</sub>

なお、甲殻類については、現在得られている稚エビ・稚ガニの貧酸素耐性評価値

<sup>1</sup>. United States Environmental Protection Agency (2000) Ambient Aquatic Life Water Quality Criteria for Dissolved Oxygen(Saltwater): Cape Cod to Cape Hatteras

が、幼生等の発育段階初期から未成体・成体にかけて、最も貧酸素耐性評価値が小さい結果となっていることから、稚エビ・稚ガニの段階も再生産段階として扱う。

## 5. 現場観測文献

### (1) 現場観測文献の位置付け

現場観測文献とは、現地調査に基づき、魚介類の分布と溶存酸素量との関係が記載されているものを指し、魚介類の分布の調査と溶存酸素量の測定が同時に行われているものを抽出した。得られた文献は、以下の2種類がある。

①検討対象種の分布図（平面分布図、漁場メッシュ図等）と溶存酸素量分布図との重ね合わせによる場合は、その溶存酸素量を下回ると魚介類の生息が確認できなくなる溶存酸素量から分布境界がわかるもの。

②検討対象種の出現密度と溶存酸素量との関係から、検討対象種の生息が確認できなくなる溶存酸素量について、溶存酸素量を説明変数とした主成分分析等の統計的手法を用いて導出したもの。

なお、現場観測文献から導出される値は、当該溶存酸素量において、当該魚貝類の生息に関する観測データが存在することを示すものであり、これより低い溶存酸素量において、生息・再生産できないことを必ずしも示しているものではないことに留意する必要がある。

### (2) 文献の収集

#### 1) 収集対象とする現場観測文献

現場において、明らかに溶存酸素量の影響を受けていると判断される検討対象種の分布と溶存酸素量との関係が記載されている文献を収集対象とした。

#### 2) 文献の精査

文献の精査は、魚介類の分布の調査と溶存酸素量の測定が同時に行われているものを対象として抽出した。

#### 3) 文献の結果

収集した現場観測文献を、以下に示す。

表5 現場観測文献から導出した貧酸素耐性評価値の一覧

引用文献	著者	発行年	対象種	発育段階	分布境界
a)	Kodama, et. al.	2006	シャコ	稚シャコ	4.0mg/L
b)	大富ほか	2006	シャコ	幼生	2.5mg/L
c)	Kodama, et. al.	2009	シャコ イッカククモガニ アカガイ ジンドウイカ ホシザメ ハタタテヌメリ アカハゼ ゲンコ マコガレイ テンジクダイ	成体・成魚	2.4mg/L
d)	Yokoyama H.	1998	シノブハネエラスピオ (ヨツバナスピオ)	成体	0.4mg/L
			<i>Pseudopolydora paucibranchiata</i> (コオニスピオ)		1.4mg/L

(留意事項) 上記表中の文献c)の値は、生物群集データから統計解析により導出した値である。

【引用文献】

- a) K.Kodama, T. Horiguchi, G. Kume, S.Nagayama, T. Shimizu, H. Shiraishi, M. Morita and M. Shimizu (2006) Effects of hypoxia on early life history of the stomatopod *Oratosquilla oratoria* in a coastal sea, Marine Ecology Progress Series, vol. 324
- b) 大富潤, 風呂田利夫, 川添大徳(2006)東京湾におけるシャコ幼生の発生に伴う分布の変化, 日本水産学会誌, Vol. 72, No. 3
- c) Keita Kodama, Masaaki Oyama, Gen Kume, Shigeko Serizawa, Hiroaki Shiraishi, Yasuyuki Shibata, Makoto Shimizu, Toshihiro Horiguchi(2009) Impaired megabenthic community structure caused by summer hypoxia in a eutrophic coastal bay. Ecotoxicology, Published online: 20 November 2009.
- d) Hisashi Yokoyama (1999) Three polychaetes indicating different stages of organic pollution. J. Rech. Oceanographique, 1998, vol. 23, No. 2, pp.67-74

## 6. 実験文献値・現場観測文献値のまとめ

### (1) 環境基準案に対応する実験文献値

(mg/L)

基準値	貧酸素耐性評価値(海域)		貧酸素耐性評価値(湖沼)	
	生息	再生産	生息	再生産
4.0mg/L	シロメバル 3.3	ガザミ 3.7 ヨシエビ 3.2 クルマエビ 3.1		
3.0mg/L	マダイ 2.6 シロギス 2.6 ホシガレイ 2.5 トラフグ 2.5 スズキ 2.4 マコガレイ 2.4 ヒラメ 2.1		タモロコ 3.0 スズキ 2.6 トラフグ 2.5 マコガレイ 2.4 カマツカ 2.3 コイ 2.1 ヒラメ 2.1	
2.0mg/L	クルマエビ 1.2 ヨシエビ 0.7		ウナギ 1.6 ヤリタナゴ 1.4 ホンモロコ 1.3 モツゴ 1.2 ドジョウ 1.2 スズエビ 1.4	

- 注) 1. 貧酸素耐性評価値は、一定の条件下における実験値であり、環境や個体の条件によって、貧酸素耐性が変わるものであることに留意する必要がある。
2. 魚類の再生産の貧酸素耐性評価値については、生息の値に1 mg/Lを加えて推定するものであるが、当該水域の類型指定を行う水域において、底層溶存酸素量が低下する時期に再生産を行わない魚類については、再生産期に底層溶存酸素量が回復するのであれば、当該水域の類型指定について1mg/Lを加えて目標値を設定する必要はない。
3. 基準値2.0mg/Lの設定の考え方は、以下のとおり。
- ① 海域については、基本的に無生物域を解消する観点から設定する基準値であるが、低い溶存酸素量に耐性を有する水生生物を保全対象種として設定することもできる。
  - ② 湖沼については、低い溶存酸素量に耐性を有する水生生物を保全対象種する場合に設定する基準値である（無生物域解消の観点から設定することも可能。）。

### (2) 現場観測文献値

現場観測文献から導出した値			
生息		再生産	
コオニスピオ	1.4 mg/L	シャコ	4.0 mg/L
シノブハネエラスピオ	0.4 mg/L	シャコ	2.5 mg/L

現場観測文献から導出した値(生物群集データによる)	
マコガレイ, ホシザメ, テンジクダイ, ゲンコ, アカハゼ, ハタタテヌメリ, イッカククモガニ, シャコ, ジンドウイカ, アカガイ	2.4mg/L

※) 上記は生物群集データから統計解析により導出した値である。

- 注) 現場観測文献値は当該溶存酸素量において当該魚貝類の生息に関する観測データが存在することを示すものであり、これより低い溶存酸素量において、生息・再生産できないことを必ずしも示しているものではない。