

## 下層溶存酸素及び透明度に関連する文献・調査等

## . 下層溶存酸素に係る文献・調査等

## 1 . 低溶存酸素濃度耐性試験

## ( 1 ) 趣旨

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り、急性影響を考慮した下層溶存酸素（以下「下層DO」という。）の目標を設定すべきと考えられる。DO濃度による魚介類等の水生生物の影響について、低溶存酸素濃度耐性試験により評価した値を活用することが考えられる。その際、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、評価値は24時間の曝露時間における5%が致死する溶存酸素濃度（24hr-LC<sub>5</sub>：以下、「DO耐性評価値」という。）を活用することが考えられる。

対象となる魚介類等の水生生物は、我が国の公共用水域（湖沼または海域）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下層を利用する種とした。

## ( 2 ) 文献等の収集範囲

検討対象種を供試個体として、低溶存酸素濃度耐性試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、低溶存酸素への暴露試験に基づき溶存酸素濃度と生存率（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下層を想定し、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 ) 文献等の精査

試験条件が、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。

## ( 4 ) DO耐性評価値

DO耐性評価値の導出の方法は以下の1)～3)のとおりである

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DO耐性評価値とした。

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

<sup>2</sup> 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

## 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(一部改変)<sup>3</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>	Carcinus maenus	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>	Rithropanopeus harrisi	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>	Eurypanopeus depressus	平坦なノコギリガザミ	稚ガニ		
魚類 <i>Leiostomus xanthurus</i>	Leiostomus xanthurus	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>	Tautoga onitis	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>	Palaemonetes pugio	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>	Scophthalmus aquosus	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 septemspinosa</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>	Stenotomus chrysops	スカップ(スギ目科)	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>	ナツピラメ	ナツピラメ	稚魚	1.57	1.19
魚類 <i>Pleuronectes americanus</i>	Pleuronectes americanus	フコピラメ	稚魚	1.65	1.20
魚類 <i>Morone saxatilis</i>	ストライブドバス	ストライブドバス	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

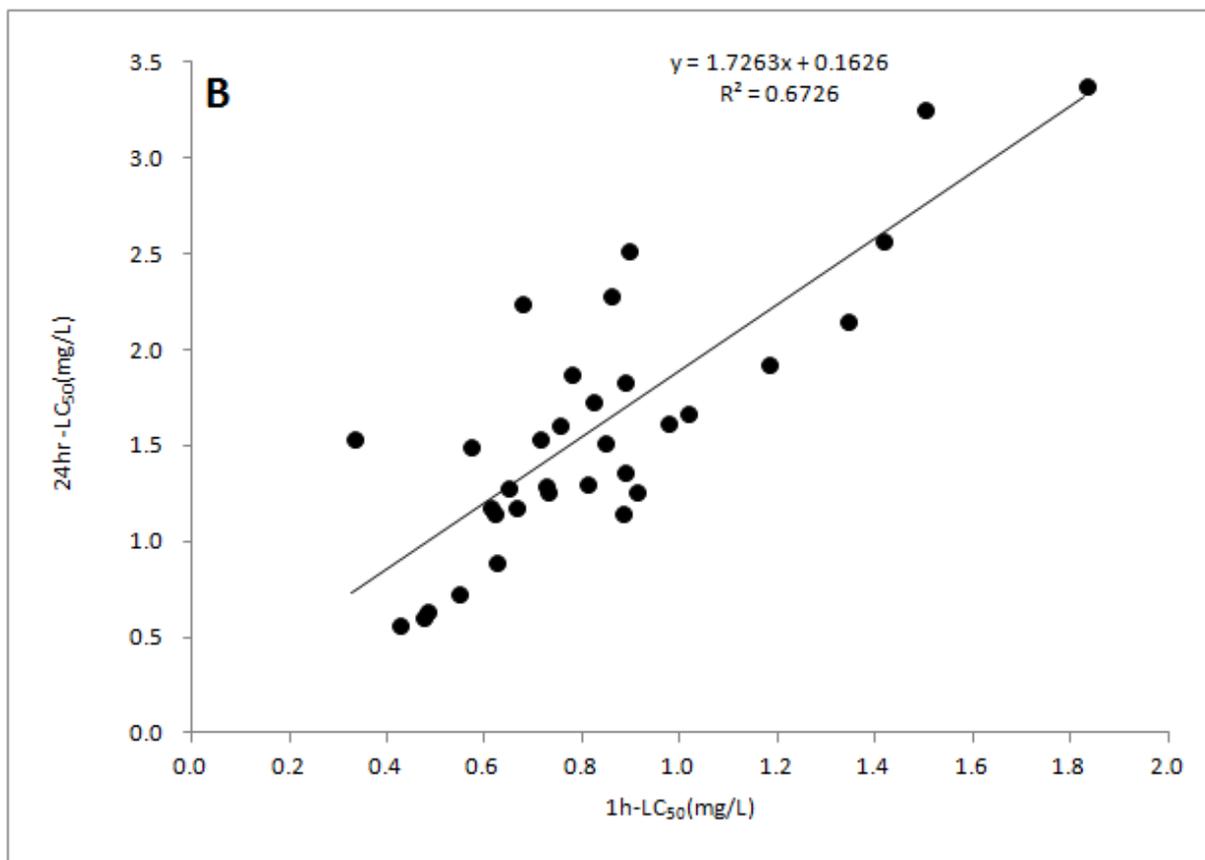
## 3) 1hr-LC<sub>50</sub> から 24hr-LC<sub>5</sub> を算出する方法

### 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、それらに対数関数化した式を作成している。

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時間影響濃度(1hr-LC<sub>50</sub>)及び24時間影響濃度(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。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。

<sup>3</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.



注) 図は、U.S.EPA(2000)<sup>3</sup>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: D O、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

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。

#### (5) DO 耐性評価値の導出結果

導出した DO 耐性評価値を、発育段階別に表 2 のとおり整理した。

表2 低溶存酸素濃度耐性試験から得られたDO耐性評価値

文献No.	著者	発行年	対象種	発育段階	実験水温( )	暴露時間(hr)	LC50 (mg/L)				LC5 (mg/L) (DO耐性評価値)		
							プロビット法	Moving average angle法	対数近似法	1hr-LC50からEPA換算式で24hr-LC50	DOスティック復帰	対数近似法により直接導出	EPAの比から導出
7)	環境省	未発表	マダイ	未成魚・成魚	25 ± 1	24時間	2.0						2.6
7)	環境省	未発表	ヒラメ	未成魚・成魚	24 ± 1	24時間	1.6						2.1
3)	山元ほか	1988	タモロコ	未成魚・成魚	26.9 ± 0.1	1時間			2.3				3.0
2)	山元ほか	1987	カマツカ	未成魚・成魚	20.0 ± 0.1	1時間			1.8				2.3
7)	環境省	未発表	カマツカ	未成魚	25 ± 1	24時間	1.5						2.0
3)	山元ほか	1988	ウナギ	未成魚・成魚	27.0 ± 0.1	1時間			1.2				1.6
3)	山元ほか	1988	コイ	未成魚・成魚	27.1 ± 0.1	1時間			1.6				2.1
6)	環境省	2012	ヤリタナゴ	未成魚・成魚	25 ± 1	24時間	1.1						1.4
6)	環境省	2012	モツゴ	未成魚・成魚	25 ± 1	24時間	0.9						1.2
6)	環境省	2012	ホンモロコ	未成魚・成魚	25 ± 1	24時間	1.0						1.3
1)	矢持ほか	1998	マコガレイ	稚魚	22.4 ~ 24.3	24時間			1.8				2.4
4)	山田ほか	2013	ヨシエビ	幼生 (J-フリス期)	28	24時間					<1.1		
4)	山田ほか	2013	ヨシエビ	幼生 (プロトゾエ期)	28	24時間					1.8		
4)	山田ほか	2013	ヨシエビ	幼生(ミス期)	28	24時間					2.0		
4)	山田ほか	2013	ヨシエビ	幼生 (ホストラー期)	28	24時間					3.2		
5)	Yamochi et al	2013	ヨシエビ	幼生(ホストラー 4日齢期)	25 ± 1	24時間						2.9	
5)	Yamochi et al	2013	ヨシエビ	幼生(ホストラー 15日齢期)	25 ± 1	24時間						2.3	
7)	環境省	未発表	ヨシエビ	未成体・成体	25 ± 1	24時間	0.5		0.5				0.7
4)	山田ほか	2013	ガザミ	幼生(ゾエ期)	24	24時間					1.5		
4)	山田ほか	2013	ガザミ	幼生 (メガロ期)	24	24時間					3.1		
4)	山田ほか	2013	ガザミ	稚ガニ	24	24時間					3.7		
4)	山田ほか	2013	クルマエビ	幼生 (J-フリス期)	24	24時間					3.1		
4)	山田ほか	2013	クルマエビ	幼生(ゾエ期)	24	24時間					2.8		
7)	環境省	未発表	クルマエビ	未成体・成体	25 ± 1	24時間		0.8					1.2
7)	環境省	未発表	スジエビ	未成体・成体	25 ± 1	24時間	0.9						1.3

【引用文献】

- 1) 矢持進, 有山啓之, 佐野雅基 (1998) 大阪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
- 2) 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)
- 3) 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
- 4) 山田智・蒲原聡・曾根亮太・堀口敏弘・鈴木輝明(掲載準備中)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, 水産海洋研究受理済
- 5) 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.
- 6) 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.
- 7) 環境省 (未発表) H25 年度 貧酸素耐性実験結果

## < 参考 >

### 【ロジスティック回帰による算出】

任意の致死濃度 ( $LC_x$ ) を求める統計学的手法で、ロジスティック回帰による溶存酸素濃度と生残率の関係を推定する方法であり、後述するプロビット法と同様、 $LC_x$  の推定方法として精度が高い手法である。

### 【プロビット法による $LC_{50}$ の算出】

毒性学において、 $LC_{50}$  (半数致死濃度) の推定に用いられる統計学的手法である。プロビット法により推定し、得られた関係式から  $LC_{50}$  を算出する。ロジスティック回帰と同様に精度の高い手法であるが、この手法を用いるためには、生残率が 50% となる濃度を挟む複数点のデータが必要であり、生残率が 0% および 100% のデータは用いることができない。

### 【Moving average angle 法による $LC_{50}$ の算出】

溶存酸素濃度と生残率との関係が、プロビット法との適応性が低い場合に用いられる手法である。生残率の移動平均値 (Moving average) をとり、ここから得られる回帰式により  $LC_{50}$  を算出する手法である。

### 【対数近似法による $LC_x$ の算出】

溶存酸素濃度と生残率の関係について、対数近似することで得られる回帰式から  $LC_x$  を算出する手法である。プロビット法やロジスティック回帰を用いるほどの多くのデータが無い場合に採用され、 $LC_x$  を求める最も簡易な手法である。

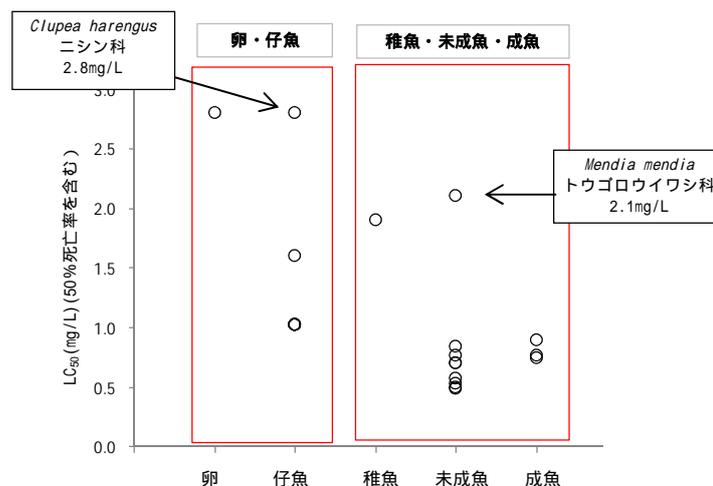
## (6) 発育段階初期のD O耐性評価値

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D O耐性評価値が得られていない。U.S.EPA(2000)<sup>4</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。

1.(4)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0.92mg/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(再生産の段階)のD O耐性評価値は、稚魚、未成魚及び成魚の段階のD O耐性評価値に、1mg/Lを加えた値として推定してはどうかと考えられる。



曝露時間が24時間以下の結果

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D O耐性評価値が、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・稚ガニの段階も発育初期段階(再生産の段階)として扱うべきではないかと考えられる。

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

## 2 . 現場観測文献

現場観測文献とは、現地調査に基づき、魚介類の分布とD O濃度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D O濃度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。

検討対象種の分布図（平面分布図、漁場メッシュ図等）とD O分布図との重ね合わせによる場合は、その濃度を下回ると魚介類の生息が確認できなくなるD O濃度から分布境界がわかるもの。

検討対象種の出現密度とD O濃度との関係から、検討対象種の生息が確認できなくなるD O濃度について、D O濃度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D O濃度において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D O濃度において、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。

収集した結果を、表3にまとめた。

表3 現場観測から得られた分布境界

文献No.	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)	大富ら	2006	シャコ	幼生	2.5mg/L
c)	Kodama, et. al.	2009	シャコ イッカクモガニ 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

### 【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, Publised 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

## ・透明度に係る文献・調査等

### (1) 水生植物保全の観点からの透明度の目標値設定に係る知見について

水生植物の生育に及ぼす影響については、物理的要因（水中光量、付着基盤、水温等）、化学的要因（栄養塩濃度）及び動力学的要因（流れ、波浪等）<sup>5</sup>など様々な要因があるが、必要最低光量を確保することは生育のため不可欠である。このため、分布下限水深ごとに必要最低光量を確保できる透明度の目標を設定することが考えられる。

なお、対象となる水生植物は、沈水植物及び海藻草類（群落を形成する藻場の代表種）とした。

### (2) 文献等の収集・精査

湖沼の沈水植物については、実水域で分布下限水深とその場（近傍を含む）の透明度の関係を整理した。具体的には、検討対象種である沈水植物が光量の不足によって生育が制限されている分布下限水深に関する文献並びにその近傍の年間平均透明度に関する記載がある文献を用いた。

海域の海草藻類については、実海域で対象種の光量の不足が分布の制限要因となっている場合の分布下限において、水中光量が長期間観測され、日積算光量の年間平均値が記載されている文献から、必要最低光量を整理した。

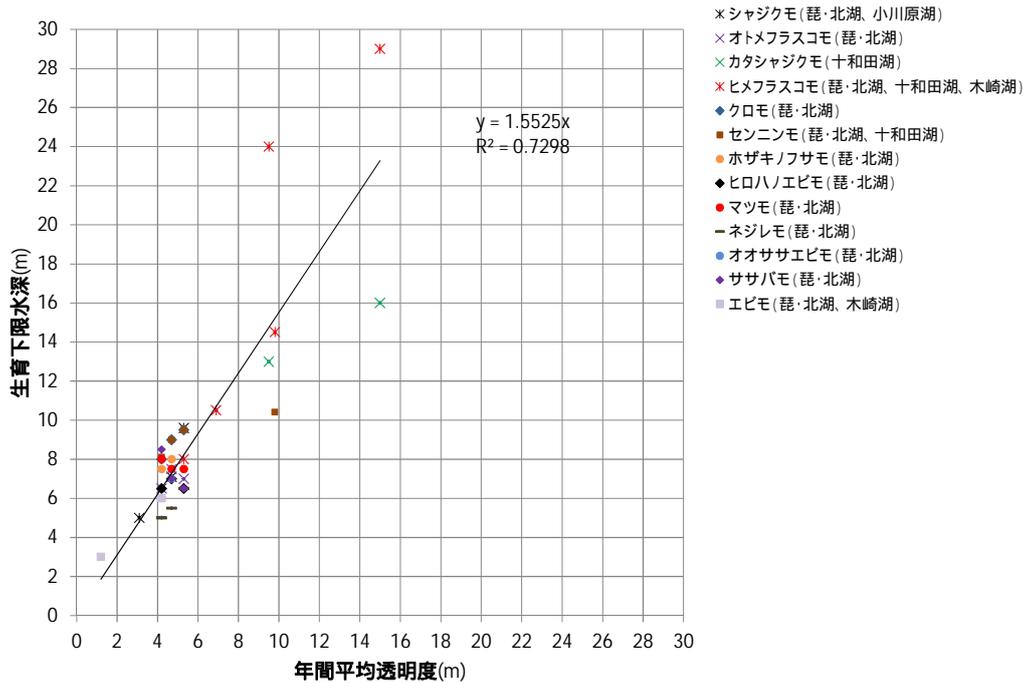
### (3) 湖沼の沈水植物の生育に必要な透明度

検討対象種の分布下限水深、並びに沈水植物調査が実施された湖沼の年平均透明度データを整理した。透明度の観測データは、分布下限水深と同時に観測されている文献のデータ、又は沈水植物の分布調査と同年に実施された公共用水域の水質測定結果のデータを用いて年平均値を求めた（湖沼によっては冬季の1月～3月に透明度の観測がなされていないため、その期間のデータは含まれていない）。

沈水植物については、深場の車軸藻類などの例を除くと、多くの場合で複数種が混生して分布している。このため、種ごとではなく沈水植物としてまとめて生育に必要な透明度と分布下限水深の関係を導出した。

沈水植物の種ごとの分布下限水深とその湖沼における年平均透明度の関係は、琵琶湖、十和田湖、小川原湖、木崎湖、諏訪湖から情報が得られ、整理すると図3のようになった。

5. 徳田廣, 大野正夫, 小河久朗(1987)「海藻資源養殖学 水産養殖学講座 第10巻」, pp354, 緑書房



【引用文献】

< 琵琶湖 >

独立行政法人 水資源機構琵琶湖開発総合管理所 (2009) 琵琶湖枕水植物図説、pp.253.

< 小川原湖 >

浜端悦治 (1998): 小川原湖 (青森県) における沈水植物の分布状況 (要旨)、水草研究報、No65、pp1-3

< 十和田湖 >

野原精一、上野隆平、加藤秀男 (2001): 十和田湖の水生植物分布の現状と現存量、国立環境研究所報告、第 167 号、pp64-74

< 木崎湖 >

樋口澄男、北野聡、近藤洋一、野崎久義、渡邊信 (2005): 木崎湖における車軸藻類の分布 (2001~2002)、長野県環境保全研究所研究報告、Vol1, pp29-37

図3 分布下限水深と年平均透明度の関係

(4) 海藻草類の生育に必要な最低光量

実海域での最低光量は、海藻草類は多年生であり1年の中で減衰と繁茂を繰り返すため、検討対象種の生育に必要な最低光量は日積算光量の年間平均値を対象とした。

現地調査により得られた実海域の分布下限水深の光量を用いて、検討対象種の生育に必要な最低光量を導出した。生育に必要な光量が得られた種は以下に示すアマモ、アラメ、カジメである。

表4 アマモの生育に必要な光量

NO.	場所	必要光量に関する調査方法、結果	アマモの生育に必要な光量 (日積算光量 (mol/m <sup>2</sup> /d))	出典
	神奈川県 小田和湾	方法：小田和湾近傍の日射量データ（東京・月別平均値）を用い、実測した減衰係数から分布下限水深の日積算光量の年間平均値を推定した。 結果：2ヵ所の分布下限水深における日積算光量の年間平均値： St.A：3.1 mol/m <sup>2</sup> /d（水深4.5m） St.B：3.0 mol/m <sup>2</sup> /d（水深6.5m）	St.A：3.1 mol/m <sup>2</sup> /d St.B：3.0 mol/m <sup>2</sup> /d (いずれも年間平均値)	a)
	山口県 柳井湾	方法：上記と同様の方法で、柳井湾におけるアマモの分布下限水深、減衰係数（既往知見より）広島全天日射量から、アマモの分布下限水深における日積算光量の年間平均値を推定した。 結果： アマモの分布下限水深 ：2.9 mol/m <sup>2</sup> /d（水深5.0m） 分布がみられない水深 ：1.8 mol/m <sup>2</sup> /d（水深6.3m） ：2.5 mol/m <sup>2</sup> /d（水深5.3m）	2.9 mol/m <sup>2</sup> /d（年間平均値）	a)
	広島湾 岩国地先	方法：アマモ分布下限水深付近における光量子計による測定を2000年12月～2001年10月に1～2ヵ月ごとに調査を行った。1回の調査は2～3週間連続観測した。日積算光量の年間平均値を算定。 結果：アマモの分布下限水深の日積算光量 日積算光量の月平均：0.9±0.4～6.6±2.7 mol/m <sup>2</sup> /d 日積算光量の年間平均：3.3 mol/m <sup>2</sup> /d (水深4m（原記載D.L.-2mより換算）)	3.3 mol/m <sup>2</sup> /d（年間平均値）	b)
	広島湾 岩国地先	方法：光量子量を月に1回鉛直観測し、全天日射量（広島）からアマモの分布下限水深における日積算光量を推定した。 期間：1996年9月～98年3月(1年半) 結果： 日積算光量の年間平均値：3mol/m <sup>2</sup> /d (水深4m（原記載D.L.-2mより換算）)	3.0 mol/m <sup>2</sup> /d（年間平均値）	c)
	三河湾 三谷町地先	方法：アマモ場群落直上で2000年4月～01年2月、隔月10日間連続観測し、石川ら（1988）が求めたアマモの生育に必要なとされる日積算光量3mol/m <sup>2</sup> /dの水深を推定。 結果：2ヵ所で実測した光量から減衰係数を算定し、日積算光量の年間平均値が計算上3mol/m <sup>2</sup> /dとなる水深は、D.L.-1.8m（水深約3.1m）と推定され、実際の分布下限水深D.L.-1.6m（水深約2.9m）とほぼ一致した。	- (日積算光量の年間平均値が3mol/m <sup>2</sup> /dになる水深と実際の分布下限水深がほぼ一致)	d)
	Puget sound (USA)	方法：アマモの群落分布下限水深（水深4.9m）及び分布下限以深（水深6.1m）において、日積算光量を観測。光量の測定は2002年6～9月に測定。 結果：群落分布下限水深における日積算光量の調査期間の平均値2.6 mol/m <sup>2</sup> /d ・分布下限以深の光量：平均2.3 mol/m <sup>2</sup> /d (水温目安夏季：12-14、冬季6-8) ( )の単位は文献の原記載。	(2.6 mol/m <sup>2</sup> /d) (6～9月の期間平均値)	e)

(引用文献)

- a)石川雄介,川崎保夫,本多正樹,丸山康樹,五十嵐由雄(1988)電源立地点の藻場造成技術の開発 第9報 水中の光条件に基づくアマモ場造成限界深度の推定方法,電力中央研究所研究報告U880010,pp.1-20.
- b)平岡喜代典,杉本憲司,太田誠二,寺脇利信,岡田光正(2005)葉上浮泥による光量低下と砂面変動がアマモ場の分布に及ぼす影響 広島湾でのケーススタディ,水環境学会誌,28(4)257-261.
- c)平岡喜代典,高橋和徳,中原敏雄,寺脇利信,岡田光正(2000)移植実験によるアマモの生育制限要因の検討,環境科学会誌,13(3),391-396.
- d)吉田司,芝修一,小山善明,新井義昭,鈴木輝明(2004)アマモ場造成に必要な生育環境条件に関する研究 三河湾三谷町地先における事例,水産工学,40(3),205-210.
- e)Thom R.M., S.L. Southard, A.B. Borde, and P. Stoltz.(2008)Light Requirements for Growth and Survival of Eelgrass (*Zostera marina* L.) in Pacific Northwest (USA) Estuaries.Estuaries and Coasts 31(5),969-980.

表5 アラメの生育に必要な光量

NO.	場所	必要光量に関する調査方法、結果	アラメの生育に必要な光量 (日積算光量 (mol/m <sup>2</sup> /d))	出典
	千葉県 御宿町	方法：アラメの分布水深を把握し、調査海域近くで観測した日射量から、アラメ分布水深の光エネルギーを推定。 分布調査：1983年11月 日射量観測：1979年1月～1985年8月 結果：アラメは、水深約12mまで確認。 水深12mにおける年間平均光量を推定。 約58.6μmol/m <sup>2</sup> /s (2×10 <sup>-2</sup> cal/m <sup>2</sup> /分)(グラフから読み取り) (文献値を元に、日照時間12時間と仮定すると日積算光量では2.5mol/m <sup>2</sup> /dとなる)	2.5 mol/m <sup>2</sup> /d (年間平均値)	a)

(引用文献)

- a) 須藤静夫(1992)千葉県御宿町前面の沿岸域におけるアラメ・カジメの鉛直分布と光エネルギー(海洋生物環境研究所S), 海洋生物環境研究所研究報告 92101, pp.1-22.

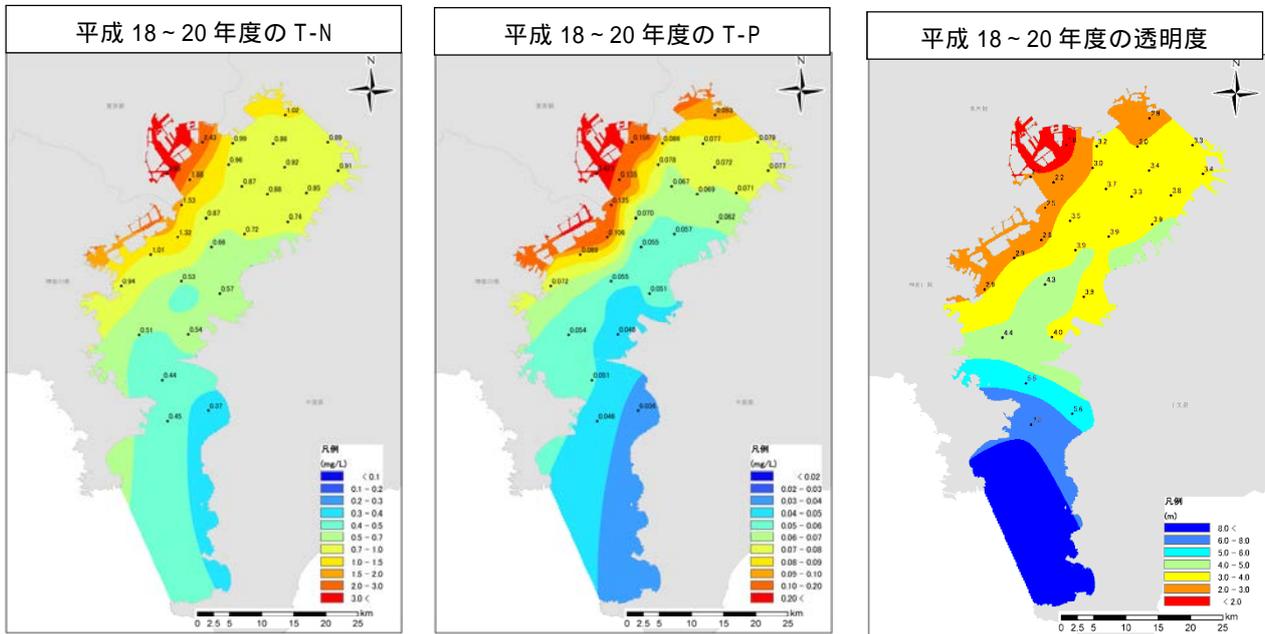
表6 カジメの生育に必要な光量

NO.	場所	必要光量に関する調査方法、結果	カジメの生育に必要な光量 (日積算光量 (mol/m <sup>2</sup> /d))	出典
	静岡県 伊豆市鍋 田湾	方法： カジメ群落底部(水深5m)のカジメ幼体生育場における光量を観測 結果：・カジメの生える光量は、海面の光量の相対光量0.2-1.8%の範囲で、茎が10cm以下の個体は、光量0.5%以上の場所で生育しており、生残及び生育限界の光量は相対光量で0.5-1.0%の範囲。 ・海面の光量の相対光量1%は、4～7月の晴れた日の正午で20μmol/m <sup>2</sup> /s(0.86mol/m <sup>2</sup> /d)に相当。	0.86mol/m <sup>2</sup> /d (4～7月の期間平均)	a)
	三浦半島 西部	方法： 光量子計による鉛直観測を行い、日射量と平均減衰率から水深別の日積算光量を月別に算定 水深：5, 10, 15, 20m 結果：カジメの分布水深は5-23m ・分布下限水深に近い水深20mの日積算光量は年間平均で、1.4mol/m <sup>2</sup> /dであった。	1.4mol/m <sup>2</sup> /d (年間平均値)	b)
	千葉県夷 隅郡御宿 町	方法： ・現地でカジメの分布水深を把握し、調査海域近くで観測した日射量から、カジメの分布水深の光エネルギーを推定。 分布調査：1983年11月 日射量観測：1979年1月～1985年8月 結果：カジメは、水深5～48mまで確認された。 カジメの成長が良好であった水深帯の光エネルギーは8.79～29.3μmol/m <sup>2</sup> /s(0.38～1.27mol/m <sup>2</sup> /d)を中心とした、2.93～87.9μmol/m <sup>2</sup> /s(0.13～3.8mol/m <sup>2</sup> /d)で、この範囲を外れると個体の大きさは急速に小型になった。 ( )は日照時間12時間と仮定した日積算光量の算定値。)	0.13mol/m <sup>2</sup> /d (年間平均値)	c)

(引用文献)

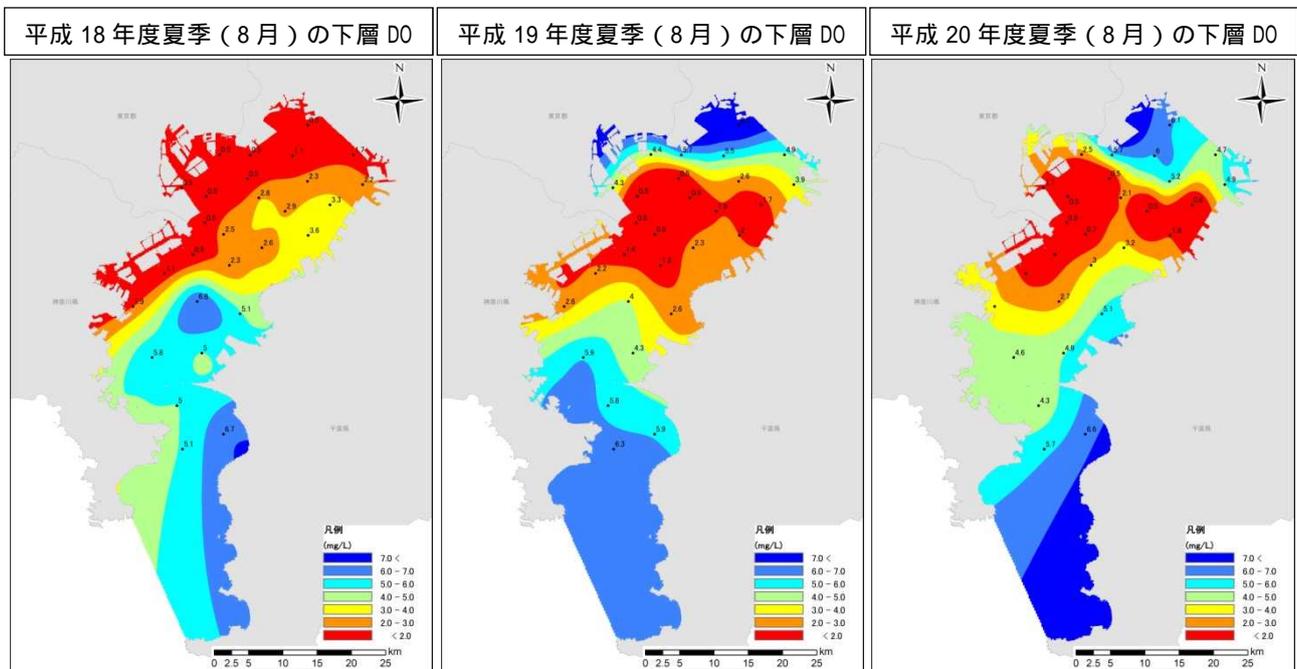
- a) Maegawa, M., Kida, W., Yokohama, Y. and Aruga, Y.(1988)Comparative studies on critical light conditions for young *Eisenia bicyclis* and *Ecklonia cava*, Jpn, J Phycol, 36, 166-174.  
b) 寺脇利信, 川崎保夫, 本多正樹(1991)海中林造成技術の実証 第2報 三浦半島西部でのアラメおよびカジメの生態と生育特性, 電力中央研究所我孫子研究所報告 U91022, pp.65.  
c) 須藤静夫(1992)千葉県御宿町前面の沿岸域におけるアラメ・カジメの鉛直分布と光エネルギー(海洋生物環境研究所), 海洋生物環境研究所研究報告 92101, pp.1-2

・東京湾、伊勢湾、瀬戸内海における水質状況  
閉鎖性海域中長期ビジョン（平成 22 年 3 月）から、東京湾、伊勢湾、瀬戸内海における全窒素（T-N）、全燐（T-P）、下層 D O、透明度の分布を以下に示す。



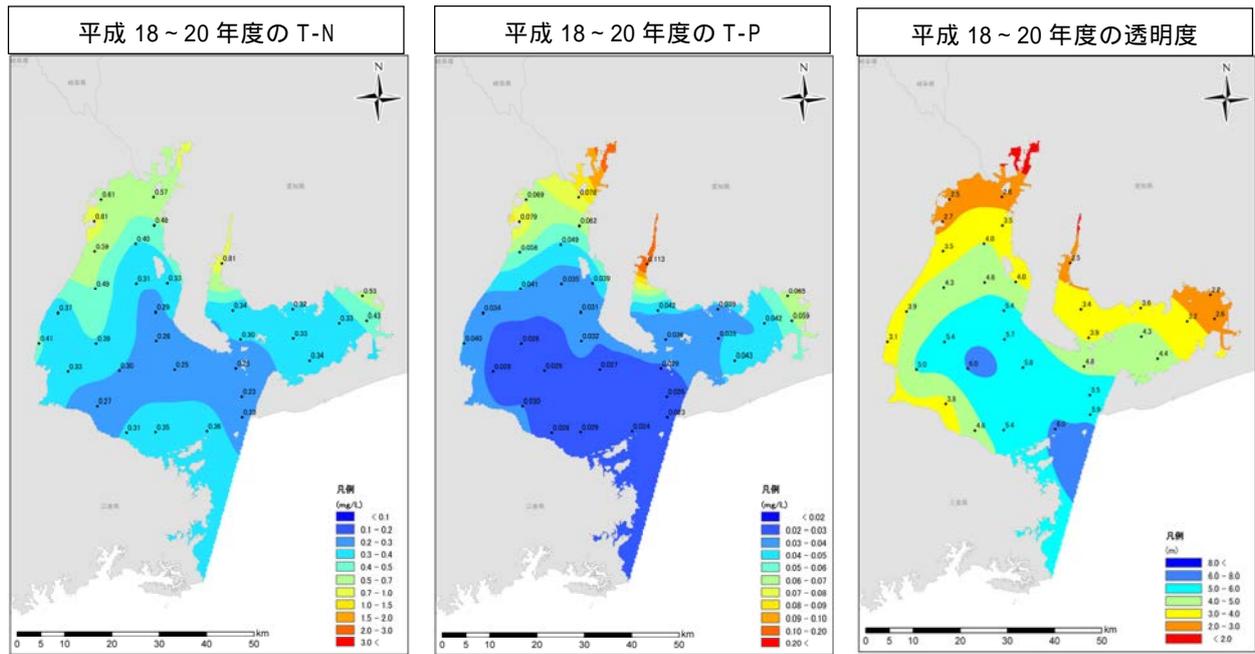
備考)「広域総合水質調査」(環境省)より作成  
注 1) それぞれの図は、平成 18～20 年度において測定された結果の平均値を用いて作成した。  
注 2) 図中の数字は、近傍黒丸地点の測定結果を表し、分布は測定結果から内挿及び外挿を行った。

図 4 東京湾における T - N (左図)、T - P (中央図)、透明度 (右図) の分布



備考)「広域総合水質調査」(環境省)より作成  
注 1) 図は、広域総合水質調査で行われている四季調査のうち、一般的に下層 D O が低下する傾向にある夏季調査の結果を用いて作成した。  
注 2) 図中の数字は、近傍黒丸地点の測定結果を表し、分布は測定結果から内挿及び外挿を行った。

図 5 東京湾における夏季下層 D O の分布

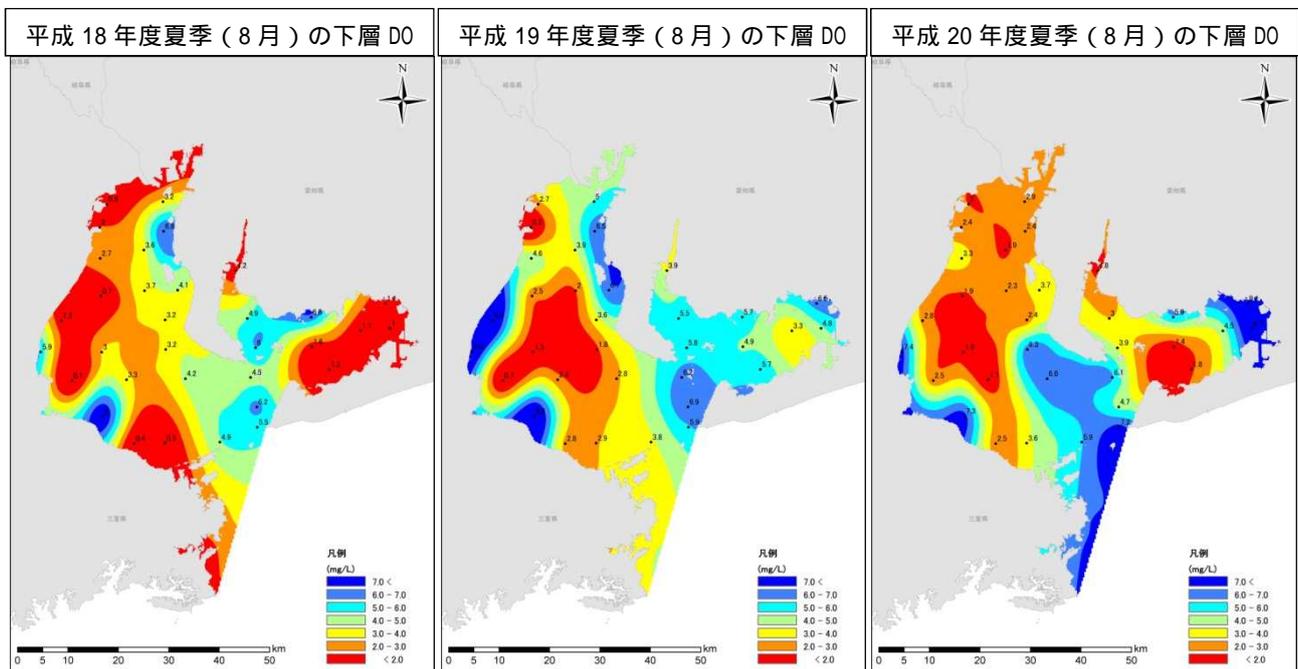


備考)「広域総合水質調査」(環境省)より作成

注1) それぞれの図は、平成18~20年度において測定された結果の平均値を用いて作成した。

注2) 図中の数字は、近傍黒丸地点の測定結果を表し、分布は測定結果から内挿及び外挿を行った。

図6 伊勢湾におけるT-N(左図)、T-P(中央図)、透明度(右図)の分布

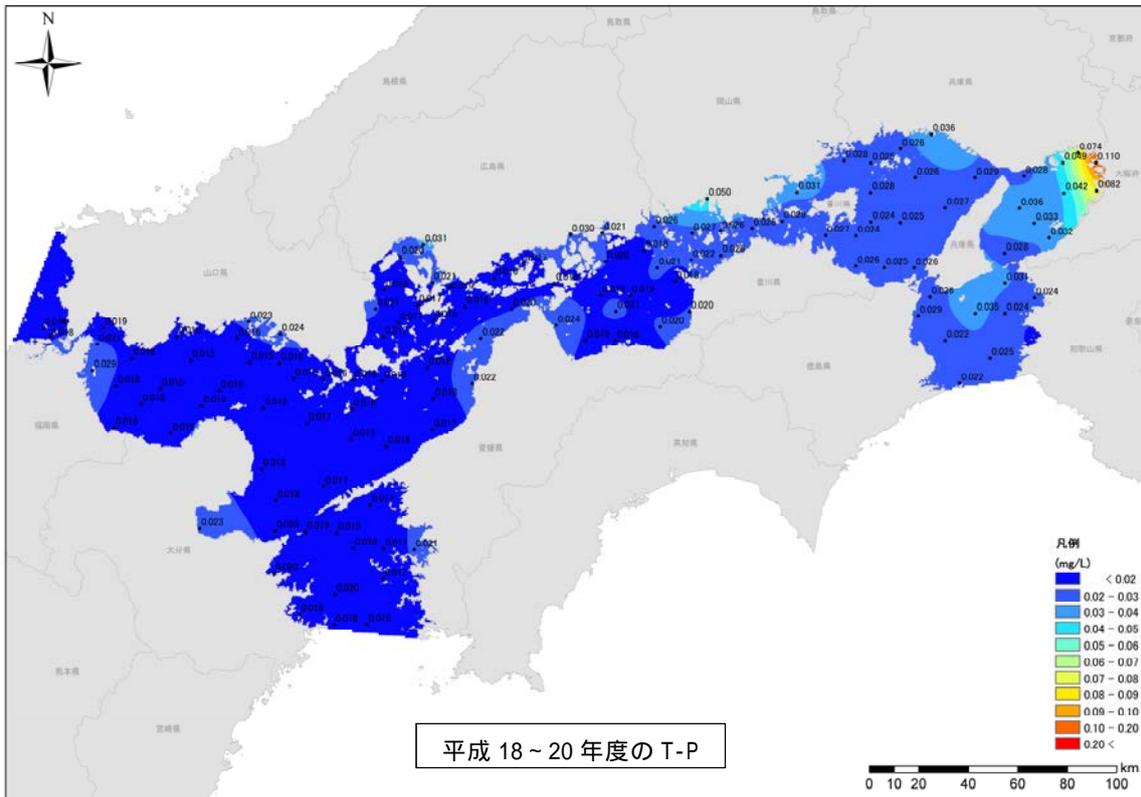
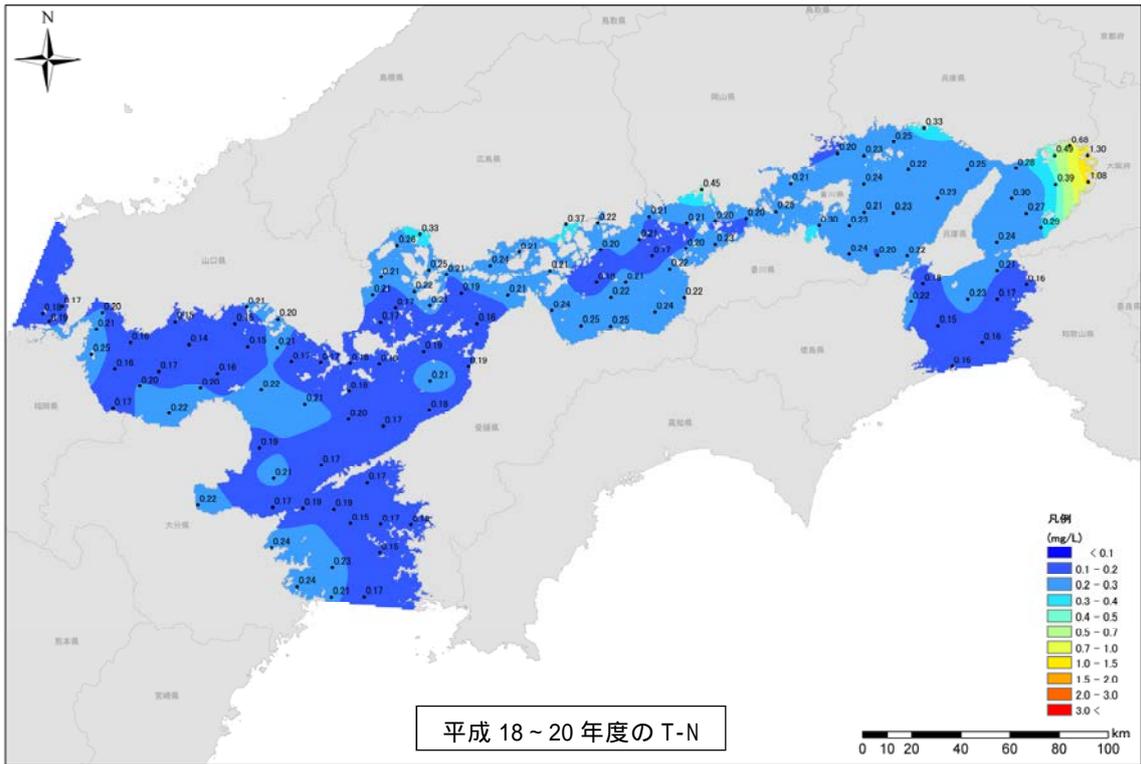


備考)「広域総合水質調査」(環境省)より作成

注1) 図は、広域総合水質調査で行われている四季調査のうち、一般的に下層DOが低下する傾向にある夏季調査の結果を用いて作成した。

注2) 図中の数字は、近傍黒丸地点の測定結果を表し、分布は測定結果から内挿及び外挿を行った。

図7 伊勢湾における夏季下層DOの分布



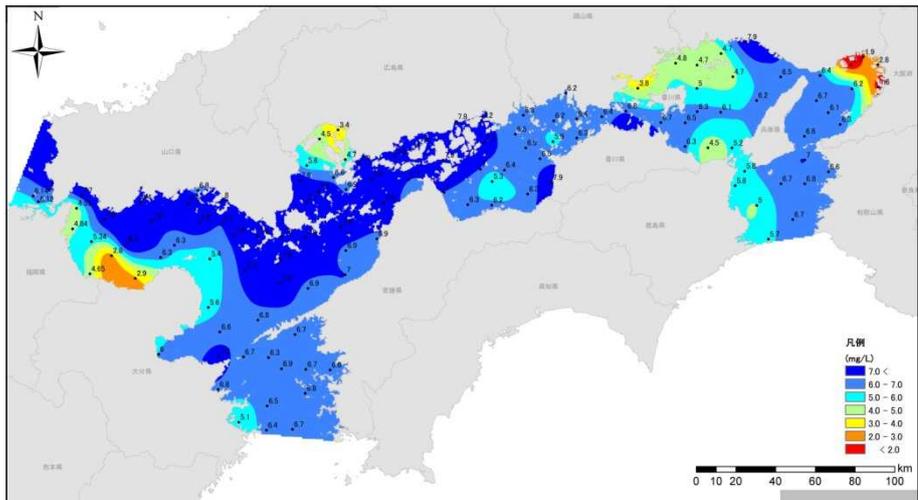
備考)「広域総合水質調査」(環境省)より作成

注1) 図は、平成18～20年度において測定された結果の平均値を用いて作成した。

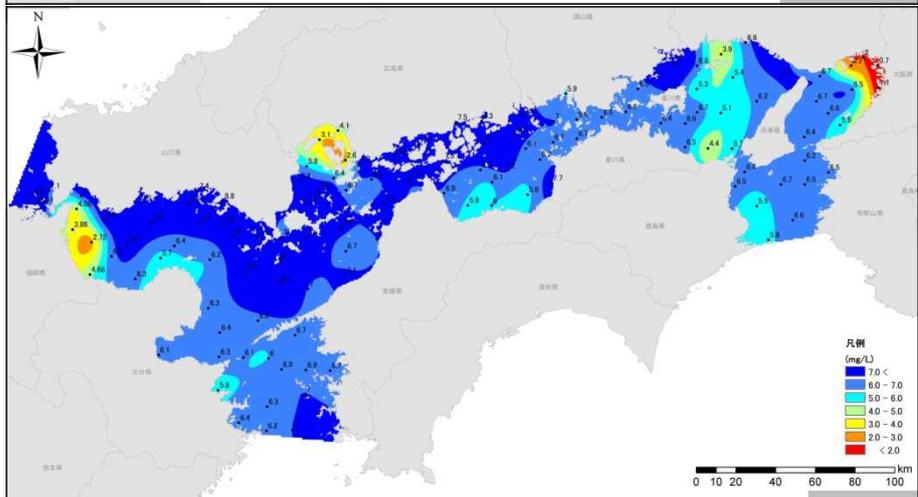
注2) 図中の数字は、近傍黒丸地点の測定結果を表し、分布は測定結果から内挿及び外挿を行った。

図8 瀬戸内海におけるT-N(上図)、T-P(下図)の分布

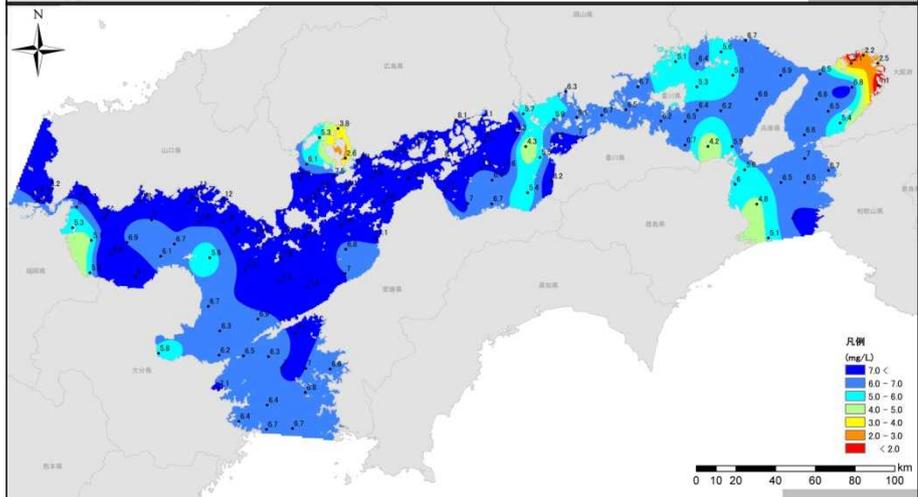
平成 18 年度夏季 (8 月)  
下層 D0



平成 19 年度夏季 (8 月)  
下層 D0



平成 20 年度夏季 (8 月)  
下層 D0

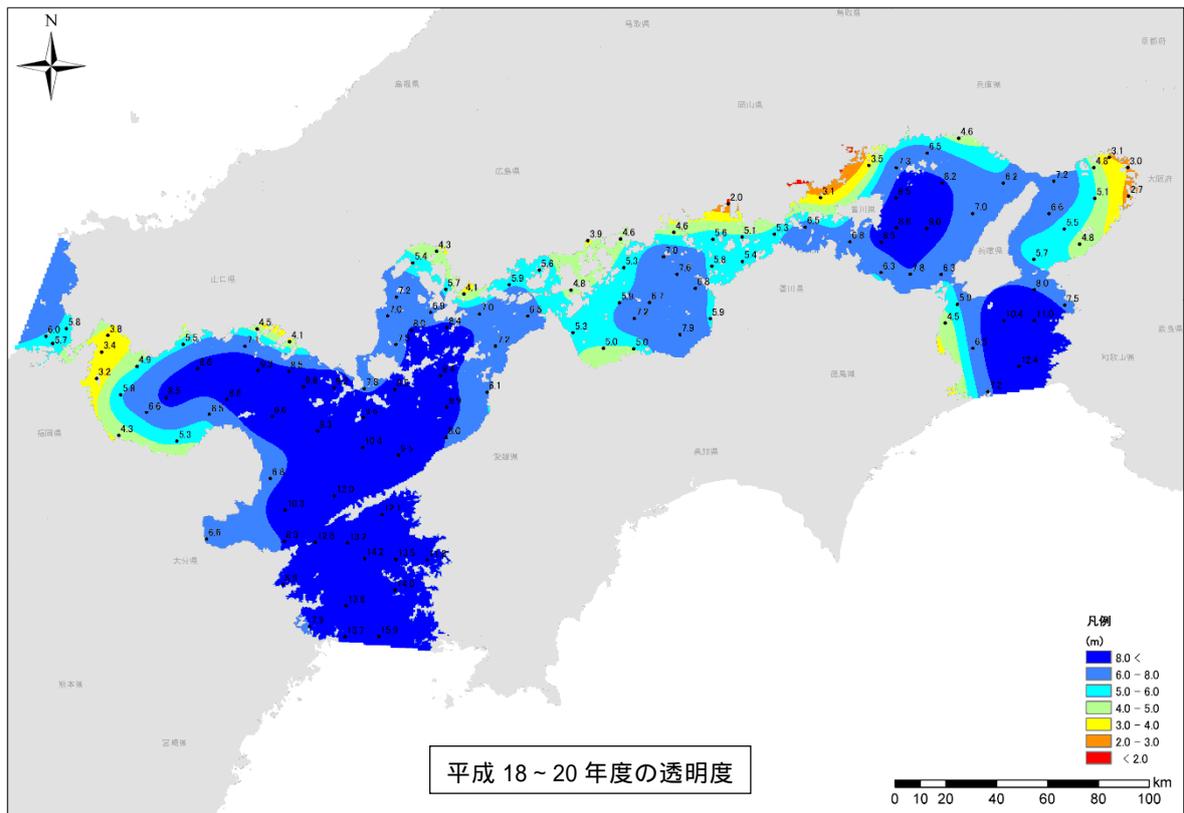


備考)「広域総合水質調査」(環境省)より作成

注 1) 図は、広域総合水質調査で行われている四季調査のうち、一般的に下層 D0 が低下する傾向にある夏季調査の結果を用いて作成した。

注 2) 図中の数字は、近傍黒丸地点の測定結果を表し、分布は測定結果から内挿及び外挿を行った。

図 9 瀬戸内海における夏季下層 D0 の分布



備考)「広域総合水質調査」(環境省)より作成

注1)各図に示す期間において測定された透明度の平均値より作図した。

注2)図中の数字は、近傍黒丸地点での測定された透明度を表し、分布は測定結果から作成した。

図 10 瀬戸内海における透明度の分布