

海洋深層水の低溶存酸素特性が珪藻の動態に与える影響

The Effect of Low Dissolved Oxygen Characteristics of

Deep Seawater on Diatom Dynamics

秋田もなみ・阿部祐子^{*}・竹田匠輝^{*}・伊吹哲・堀田敏弘・山本浩

(^{*}高知県工業技術センター)

要旨

本研究では、海洋深層水の低溶存酸素 (DO) 特性が珪藻の増殖に及ぼす影響を検討した。低 DO 区 (約 5-6 mg/L) と高 DO 区 (約 9 mg/L) 2 区の 3 試験区で比較した結果、低 DO 区で珪藻個体数が最も多く、増殖速度も速いことが示された。珪藻群集では、全区で *Tabularia* 属が優占したが、低 DO 区では *Navicula* 属も優占種となり、人工種苗の餌料としての有用性が示唆された。これにより、深層水の低 DO 特性が珪藻増殖を促進し、水産業の種苗生産に新たな可能性をもたらすことが示された。今後は追加試験や養殖試験を通じて有効性の検証と普及促進を図る必要がある。

1. はじめに

海洋深層水 (以下、深層水) は、清浄性・低温安定性・富栄養性に加え、表層水に比べて溶存酸素 (Dissolved Oxygen、以下 DO) が相対的に低いという特徴を持つ (高橋および池谷 (2002)、隅田ら (2001)、安川ら (2002))。これまで深層水の利用研究では、前述の 3 つの特性に着目したものが多く (高橋および池谷 (2002)、菅野ら (2008)、中岡ら (2003)、堀田ら (2021)、藤田 (2017))、低 DO については基礎・応用の両面において十分に評価されてこなかった。一般的に水域における低 DO または貧 DO は、それらの環境中に生息する水生生物に対してネガティブな影響を与えることが知られている (小埜ら (2011)、丸茂および横田 (2012)、和久 (2011))。そのため低 DO については、防止策や改善策についてのみ着目され、研究されてきた (環境省 (2020))。

その一方で、オニテナガエビでは、短時間の低 DO 環境への曝露による血中ヘモシアニンの増加による酸素取り込み能の増加が報告されている (Cheng et al. (2003))。また、一部二枚貝では、低 DO 環境に生息する個体で、可食部のコハク酸含量が増加したと報告されている (松井ら (2007)、松田ら (2021))。こういった背景から、これまで

あまり注目されてこなかった深層水における低 DO 特性が、使用法によっては水産業やその他分野における有用な資源特性となり得ると考えられる。

本研究では、これまであまり注目されてこなかった深層水における低 DO の資源特性の可否を検討するため、本特性が珪藻に与える影響に着目した。珪藻は、アワビやウニ等の人工種苗生産における初期餌料として重要であり (伊東ら (1987)、松本ら (2018))、大量の種苗を水槽内で効率よく生産するには、付着珪藻の効率的な増殖手法の確立が求められる。本研究では、増殖速度を始めとした珪藻の動態に対する深層水の低 DO 特性の影響を評価することを目的とした。

2. 方法

2.1 試験区の設定

本研究では、深層水の水質特性の違いを評価するために、3 つの試験区を設定した。第一に、取水後に濾過槽に入る前の段階の深層水を用いた「深層水原水区 (低 DO 区): DO 約 5-6 mg/L」である。この水は地下ピットから取水され、濾過槽内の攪拌の影響を受けないため、溶存酸素 (DO) 濃度が低い状態で維持されている (図 1)。第二に、

同じ原水に空気をバブリングしDOを人工的に上昇させた「深層水原水高DO区（原水高DO区：DO約9mg/L）」を設置した。これは濾過槽内に設置されている不織布フィルターの物理ろ過の影響を排除した条件で、高DO状態の影響を検証するためである。最後に、実際に深層水が濾過槽を通過し攪拌されたことによりDOが上昇している「深層水濾過槽区（ろ過高DO区）：DO約9mg/L」を設定した。これらの試験区について、同一敷地内で水をそれぞれ遮光した1tタンクに一旦貯水し、その後30L水槽に掛け流す方式で実験を行った（図2）。なお、日射量が結果に与える影響を考慮し、各30L水槽は日当たりの異なる地点A～Cに設置した。また1t水槽および30L水槽を入れ替え、試験を2回行った。



図1 高知県海洋深層水研究所内の濾過槽外観。拡大部は深層水原水の採水部を示す

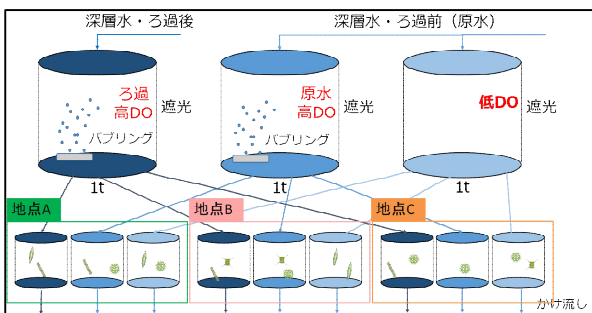


図2 試験内容の模式図

2.2 水温、照度及びDOの測定

試験期間中、各試験区に設置した30L水槽における水温およびDO濃度を、一日に2回計測した。計測には防水デジタル温度計（CT-5100WP、（株）カスタム）およびマルチメータ（HQ30d、東亜デ

ィケーケー（株））を用い、水槽間での環境条件の差異を明確に把握・管理した。また、試験区全体の日照条件の変動を考慮し、各水槽にペンダント温度/照度ロガー（UA-002-64、パシコ貿易（株））を設置し、日中の照度を連続的にロギングした。

2.3 付着珪藻の観察及び同定

試験の終了後、図2で示した30L水槽の内部壁面に付着した珪藻を採取し、システム生物顕微鏡（BX-53F、オリンパス株）で形態的特徴を詳細に観察した。種の同定に際しては、過去弊所で確認された付着珪藻に関する文献（鈴木ら（2007））を参照し、同定精度の向上を図った。さらに、各試験区において相対的な出現頻度を算出し、30%以上の頻度を示す種を優占種として分類した。

2.4 付着珪藻の定量化

付着珪藻の量的評価のために、試験水槽内に50mL容量の遠沈管を重り付きで沈め、試験期間中に珪藻の付着を促進した（図3および4）。培養終了後、遠沈管内面に付着した珪藻個体数を既存のカウント法（安部ら（2009））に従って計測し、遠沈管1本あたりの珪藻の総個体数を算出した。この総個体数を各試験区間で比較することで、DO条件の違いが珪藻の付着・増殖に及ぼす影響を定量的に評価した。

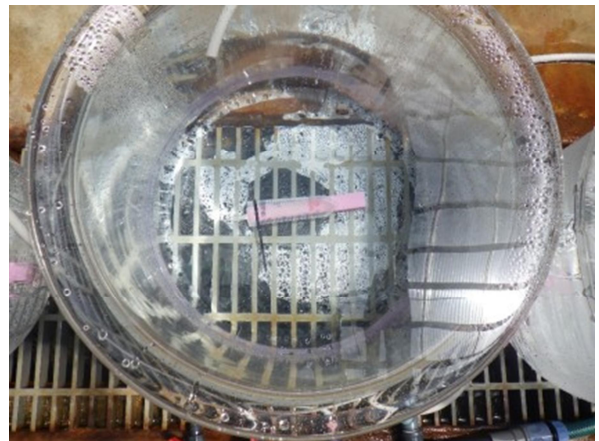


図3 各30L水槽に設置された遠沈管

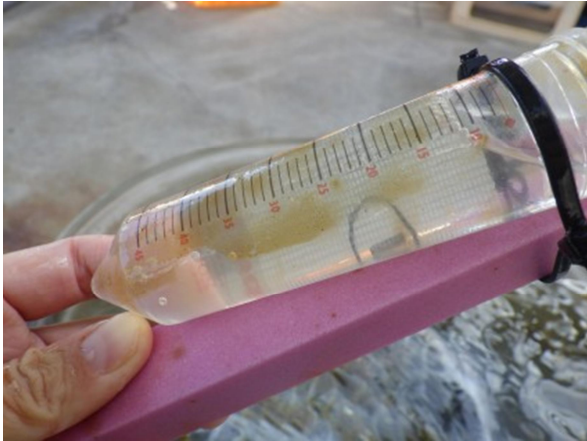


図4 試験終了後の遠沈管内部に付着した珪藻の外観

3. 結果

3.1 環境条件の測定

試験期間中における全試験区の平均日照量および平均水温を表1に示した。地点間において日照量および水温にやや差異は認められたものの、同じ地点における各試験区間の間ではほぼ同等の値を示した。これにより、異なる試験区間間において温度や照度の影響を最小化した環境条件が維持されていることが確認できた。

また、1回目および2回目の試験において各試験区のDO値の変動を図5に示した。図中、緑色がろ過高DO区、青色が原水高DO区、赤色が低DO区を示し、それぞれの地点A~Cにおける測定値を表示した。ろ過高DO区および原水高DO区では、試験期間中を通じて平均DOが約9mg/L程度で安定しており、後半に珪藻の増殖に伴い光合成作用の影響でDO値が上昇した。一方、低DO区は試験後半にかけては増加傾向が見られたものの、1回目の試験では中盤まで、2回目の試験では後半まで相対的にDOが低い水準を維持していた。

表1 全試験区における試験期間中の平均日射量 (Lux) および平均水温 (°C)

		地点A			地点B			地点C		
		ろ過高DO	原水高DO	低DO	ろ過高DO	原水高DO	低DO	ろ過高DO	原水高DO	低DO
平均日照量 (Lux)	1回目	14,750	15,997	18,728	23,750	24,052	27,946	27,731	18,083	27,186
	2回目	18,594	17,338	17,238	24,237	21,846	23,311	22,629	23,438	22,222
平均水温 (°C)	1回目	16.5	17.8	18.1	16.4	17.7	17.7	16.4	17.6	17.7
	2回目	19.4	19.2	19.7	18.7	19.5	19.5	19.6	19.5	19.5

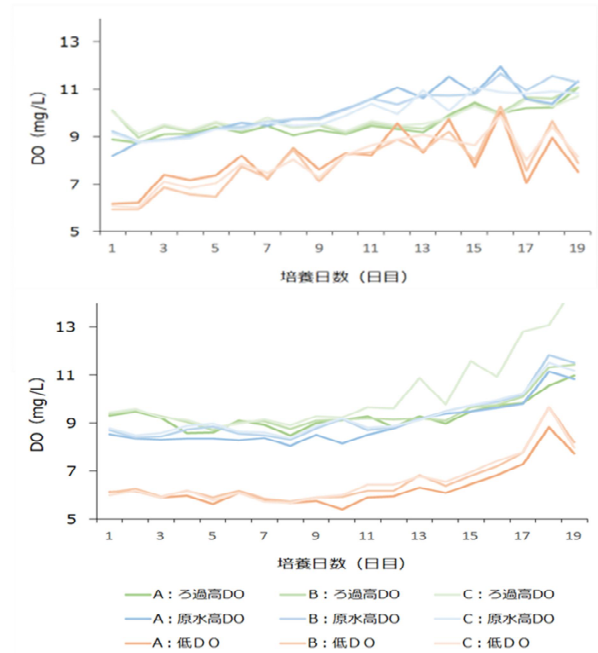


図5 1回目(上)及び2回目(下)試験における試験期間中のDOの変化

3.2 珪藻群集の構成

各試験区で増殖した珪藻の顕微鏡写真を図6に示した。ろ過高DO区では4種類の珪藻種が確認され、その中で *Tabularia* 属と *Craspedostauros* 属が優占種であった。対照的に低DO区では5種類の珪藻種が確認され、ろ過高DO区で優占種とされた *Tabularia* 属に加え、稚ウニなどの初期餌料として利用される *Navicula* 属も優占種として同様に多く出現した。

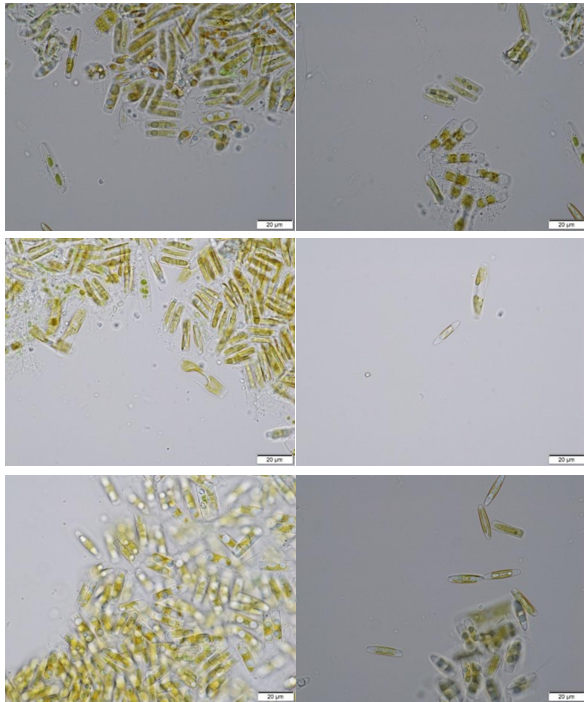


図6 各試験区において繁茂した珪藻の顕微鏡図

3.3 珪藻個体数の比較

1回目および2回目の各試験区での珪藻個体数を地点ごとに表2にまとめた。1回目の試験は15日間の培養を行ったが、珪藻の過剰繁殖により計測が困難となったため、2回目は培養期間を11日に短縮して計測を行った。そのため2回目の総個体数は1回目比べて全体的に少ない傾向を示した。試験区間の平均個体数を比較すると、両試験を通じて低DO区で最も多く、ろ過高DO区および原水高DO区間の間には顕著な差は認められなかった。

図7は試験中の30L水槽の写真を示す。1回目の試験および2回目の試験の様子をそれぞれ示し、左右に地点A?Cの試験区が配置されている。赤枠で囲んだ区画は低DO区であり、外観からもほとんどの試験区において低DO区の珪藻増殖速度が他の試験区に比べて速い様子が明らかに確認された。これらの観察結果は、測定値の定量データと一致し、低DO環境下での珪藻の成長促進を支持するものである。

表2 各試験区における試験ごとの珪藻個体数(地点A~Cの実数及び平均)

	ろ過高DO			原水高DO			低DO		
	地点A	地点B	地点C	地点A	地点B	地点C	地点A	地点B	地点C
1回目 珪藻数 (千個/50ml遠沈管)	18,800	31,200	13,600	16,800	28,000	26,000	39,600	28,400	53,600
1回目 平均珪藻数 (千個/50ml遠沈管)	21,200			23,600			40,533		
2回目 珪藻数 (千個/50ml遠沈管)	1,920	1,824	7,104	6,960	5,544	5,280	3,192	32,160	35,760
2回目 平均珪藻数 (千個/50ml遠沈管)	3,616			5,928			23,704		

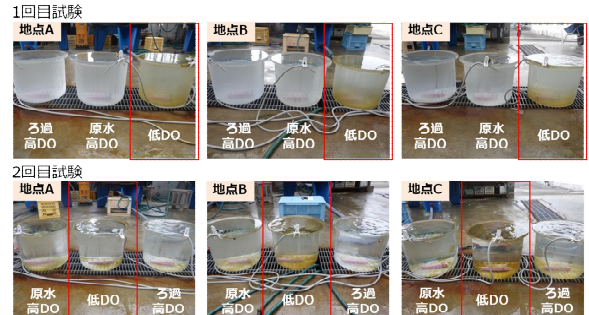


図7 試験実施中の各30L水槽の外観。赤枠はDO区を示す

4. 考察

本研究の結果から、深層水の低DO特性が珪藻の増殖および種組成に対して重要な影響を及ぼす可能性が示された。まず、3つの試験区すべてにおいて珪藻群集の優占種は *Tabularia* 属であったが、ろ過高DO区では *Craspedostauros* 属が、低DO区では *Navicula* 属がそれぞれ優占種として観察された。特に *Navicula* 属は稚ウニなどの初期餌料として用いられることが多く、これが低DO環境下で多く見られたことは生態的・養殖的に意義深い。

珪藻の総個体数に関しては、定量データが示す通り低DO区で最も多い傾向が明確であった。一方で、ろ過高DO区と原水高DO区間では個体数に大きな差は認められなかったことから、不織布フィルターの有無による影響は限定的であり、DO値の違いが珪藻増殖を左右する主因であると考えられる。これらのことから、これまで海洋深層水の特長として注目されてきた清浄性、低温安定性、富栄養性に加え、低DOという環境特性が珪藻の増殖を促進し、ひいては人工種苗生産における重要な資源特性となり得ることが示唆された。

今後の課題としては、まず本研究の結果の再現性を確認するための追試を計画すると共に、より

広い生物群を対象として大型藻類などでも同様の試験を実施し、低 DO 環境が珪藻増殖を促進した具体的な理由やその機序を解明する必要がある。また、本研究において優占種として確認された珪藻を餌料として用いた稚貝類などの養殖試験も検討することで、生物生産の現場への応用可能性を明らかにしていくことが望まれる。

さらに、注意すべき点として、一般には低(貧) DO 環境は生物にとって悪条件とのイメージが根強いため、「深層水=低 DO」というイメージが単独で広まることは逆にデメリットを生む恐れがある。そのため、本技術の普及や応用にあたっては、低 DO 特性を含む深層水の有用性を適切に伝えるための効果的な広報・情報発信方法の工夫が必要である。この点についても今後の検討課題として位置付けている。

以上を踏まえ、深層水の低 DO 特性を活用した新しい海洋資源利用や養殖技術の開発に向け、基礎的な現象解明と実用化検討の双方で研究を進めていくことが重要である。

5. 引用文献

・安部昌明・大山憲一・吉松定昭・北尾登史郎・山田達夫(2009) 群体を形成する珪藻 *Thalassiosira diporocyclus* の細胞密度の簡易な測定方法および 2007~2008 年冬季に香川県東部沿岸域で発生したブルーム, 香赤潮研報, 第 7 号

・伊東義信・伊藤史郎・金丸彦一郎・真崎邦彦(1987) 付着珪藻 *Navicula ramosissima* のアカウニ稚ウニ期生産餌料としての効果, 日本水産学会誌, 53 (10), 1735-1740

・小埜恒夫・北川大二・伊藤正木・服部努・成松庸二(2011) 東北-北海道沖の大陸棚斜面における溶存酸素量の減少と底魚類の分布に対する影響, 東北底魚研究, 31, 93-98

・環境省(2020) 湖沼の低層溶存酸素量及び沿岸透明度に関する水質保全対策の手引き【詳細版】

・和久光靖・橋口晴穂・栗田貴代・金子健司・宮向智興・青山裕晃・向井良吉・石田基雄・鈴木輝明(2011) 海の研究, 海の研究, 20 (1), 1-17

・菅野敬・阿部祐子・奥田一雄・高橋正征(2008) 高知県室戸沖の深度 320m から取水した海洋深層水の懸濁物質による清浄性評価, 海洋深層水研究, 9 (1), 3-13

・鈴木秀和・阿部祐子・藤田大介・南雲保(2007) 高知県海洋深層水研究所の養殖施設から採集した付着珪藻, 海洋深層水研究, 8 (1), 27-37

・隅田隆・田村愛理・川北浩久(2001) 室戸海洋深層水の特性, 日本海水学会誌, 55 (3), 158-165

・高橋正征・池谷透(2002) 海洋深層水の清浄性, 海洋深層水研究, 3 (2), 91-100

・中岡勉・西田哲也・一瀬純弥・長友洪太・水谷壮太郎・巽重夫・松下稔・Tim Pickering・池上康之・上原春男(2003) フィジー海域の海洋温度差発電のための海洋調査及び再生エネルギーの推定, 海洋深層水研究, 4 (2), 57-66

・藤田大介(2017) 海洋深層水を利用した藻類の培養, Deep Ocean Water Research, 18 (3), 174-175

・堀田敏弘・秋田もなみ・岡本佳乃・鈴木大進・加藤麗奈・川北浩久・河野敏夫(2021) サツキマス等の早期馴致技法開発について, 高知県海洋深層水研究所研究報告

・松井繁明・田上航・渡邊大輔・伊藤輝昭・吉田幹英(2007) 貧酸素条件におけるリシケタイラギの呼吸代謝について, 福岡水海技セ研報, 第 17 号

・松田正彦・品川明・日向野純也・平野慶二・藤井明彦・石松惇(2021) 養殖漁場における貧酸素時のアサリ外套腔液有機酸含量の挙動, 水産増殖, 69 (1), 1-11

・松本有記雄・伯耆匠二・中坪あゆみ・西洞孝広・野呂忠勝・貴志太樹・高見秀輝・河村知彦(2018) アワビ類の初期餌料として好適な針型珪藻 *Cylindrotheca closterium* の大量培養法と採苗板への展開法に関する研究, Nippon Suisan Gakkaishi, 84 (2), 233-240

・丸茂恵右・横田瑞郎(2012) 貧酸素水塊の形成および貧酸素の生物影響に関する文献調査, 海生

研研報, 第 15 号, 1-21

・ Winton Cheng ・ Chun-Hung Liu ・ Ching-Ming Kuo (2003) Effects of dissolved oxygen on hemolymph parameters of freshwater giant prawn, *Macrobrachium rosenbergii* (de Man), Aquaculture, 220 (1-4) , 843-856

・ 安川岳志 ・ 筒井浩之 ・ 三森智裕 ・ 黒山順二 ・ 豊田孝義 ・ 中島敏光 (2002) 駿河湾海洋深層水取水予定海域における海水特性, 海洋深層水研究, 3 (2) , 77-82