

岡山県ノリ漁場における色落ち原因プランクトン *Coscinodiscus wailesii*の発生状況の変化

乾 元 気・角 田 成 美・高 木 秀 蔵・古 村 振 一・林 浩 志

Changes in the Bloom Period of the Diatom *Coscinodiscus wailesii* Cause *Porphyra* Bleaching
in Nori Farms in Okayama Prefecture.

Genki INUI, Narumi SUMIDA, Shuzo TAKAGI, Shinichi KOMURA and Hiroshi HAYASHI

岡山県では冬季のノリ養殖が盛んであり、県内の漁業生産額の2～3割を占める¹⁾。近年、海域の溶存態無機窒素（DIN）濃度が低下し、ノリの色落ちが頻発している。瀬戸内海東部ではDIN濃度が3 μ Mを下回るとノリが色落ちし、色落ちノリを加工した乾海苔の単価は著しく低い²⁾。

ノリ養殖漁期のDIN濃度は、県西部の燧灘からの貧栄養水塊の流入^{3,4)}、河川からの栄養塩供給⁵⁾に加えて珪藻類の発生⁶⁾等、様々な影響を受けて変化する。そのため、ノリ養殖が行われる地域の公設研究機関等では、DIN濃度とともに珪藻類の発生状況を調査し、漁業者に提供している。播磨灘では1990年代前半までは主に *Coscinodiscus wailesii*、後半以降は *C. wailesii*に加えて *Eucampia zodiacus*が色落ちの原因となり^{7,8)}、DIN濃度の動態予測に向けた *C. wailesii*の予察手法も開発されている⁹⁾。一方、この手法は1990年代前半までの気象、海象等に基づいており、それ以降の状況が考慮されていない。瀬戸内海では、陸域からの負荷量減少等の影響を受けてDIN濃度が低下するとともに、水温、透明度は上昇し¹⁰⁾、*C. wailesii*の発生状況も変化した可能性がある。そこで、1994年度以降の本県ノリ漁場における *C. wailesii*の発生状況、水質環境の推移を整理し、発生状況の変化やその要因を検討したので、以下に報告する。

材料と方法

1994～2023年度の10月～翌3月の上旬に、図1に示したノリ漁場周辺の18定点において（水深5～25m）、水温と透明度を測定するとともに、表層水を採取した。試水は研究室にて、100mLをGF/Fフィルター（Whatman社製）でろ過し、栄養塩分析装置（1994～2010年度：TRAACS800（Bran+Luebbes社製）、2011～'21年度：

QuAAttro2HR（BLTEC社製）、2022～'23年度：QuAAttro39（BLTEC社製）を用いて硝酸態窒素（NO₃-N）、亜硝酸態窒素（NO₂-N）、アンモニア態窒素（NH₄-N）、溶存態無機リン（DIP）、ケイ酸態ケイ素（DSi）を分析し、NO₃-N+NO₂-N+NH₄-N=DINとした。また、フィルターにトラップされた *C. wailesii*の細胞数を実体顕微鏡で計数した。水温、透明度、栄養塩（DIN、DIP、DSi）濃度は、各月ごとに全定点の平均値を求め、Mann-Kendall検定^{11,12)}を用いてトレンドを検出し、Sen's Slope¹³⁾でその大きさを調べた。また、Pettitt検定¹⁴⁾を用いてジャンプを検出した。有意水準は5%とし、検定にはR（4.1.0）¹⁵⁾を用いた。

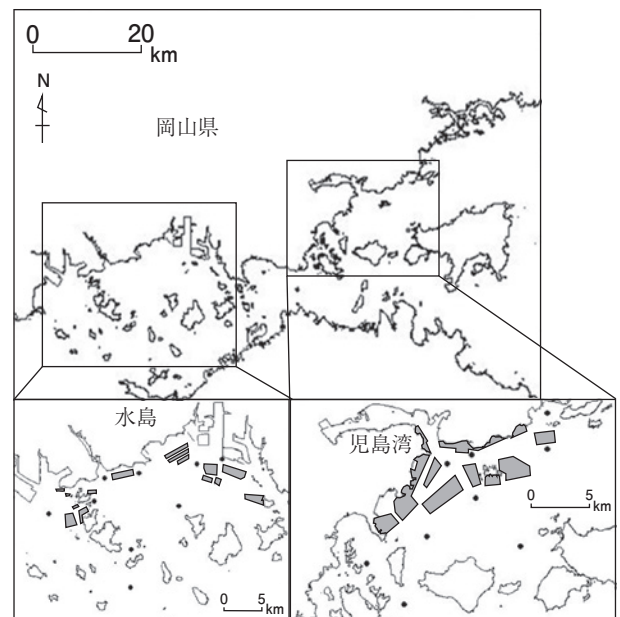


図1 調査定点図（■はノリ漁場を示す）

結 果

C. wailesiiの発生状況 1994～2023年度の*C. wailesii*の月別平均細胞密度を表1に示した。なお、長井⁷⁾に従い、0～100, 100～500, 500cells/L以上に区分した。各月の平均細胞密度は0～855.2cells/Lとなり、100cells/L以上の回数は10月, 11月, 12月, 1月, 2月, 3月にそれぞれ9, 7, 3, 7, 7, 2回となった。1994～2008年度の10, 11月における100cells/L以上の回数は1, 3回, 2009～'23年度の10, 11月では8, 4回, 500cells/L以上の回数は4, 3回あった。一方, 2007年度以降の1, 2月に100cells/L以上となることはなかった。

1994～2008年度 (I期), 2009～'23年度 (II期) に分けて, 年度平均細胞密度と10, 11, 1, 2月の平均細胞密度をエクセル統計 ((株) 社会情報サービス社製) を用いて比較した (Mann-Whitney *U* - test) (図2)。年度平均細胞密度はI, II期の順に72.0±105.2, 81.2±183.9cells/Lとなり (平均値±標準偏差), 有意差はなかった (図2 (a))。10月はそれぞれ26.5±41.8, 256.6±257.4cells/Lとなり, II期はI期に比べて高い値を示した ($p<0.05$)。11月は74.9±132.7, 170.4±278.9cells/Lとなり, 有意差はなかった (図2 (b))。1月は109.6±

表1 1994～2023年度の*C. wailesii*の月別平均細胞密度 (cells/L)

年度	10月	11月	12月	1月	2月	3月
1994	3.6	8.3	0	65.1	17.1	15.1
1995	2.5	98.1	1.3	232.7	347.4	67.8
1996	19.6	3.4	83.4	139.6	77.6	0
1997	158.1	44.0	13.8	51.7	137.8	135.9
1998	0	0	0	0	0	0
1999	25.6	414.8	26.5	122.2	107.3	0.4
2000	0	7.1	27.6	155.5	0	0
2001	37.0	388.0	197.7	87.4	57.9	62.0
2002	0	21.6	76.2	157.8	11.0	39.0
2003	17.9	7.0	3.3	157.8	206.4	13.7
2004	0	1.3	219.4	3.0	203.5	89.6
2005	0	0	0	379.2	286.0	185.4
2006	0	0	2.8	43.0	499.6	29.1
2007	74.2	115.8	9.1	9.3	0	0
2008	58.5	14.0	40.0	39.5	14.7	5.7
2009	707.6	60.8	8.9	35.9	7.6	14.8
2010	329.7	855.2	0	2.7	8.1	34.2
2011	1.3	0	7.5	3.3	1.4	0.7
2012	0.4	10.6	23.0	18.1	28.5	7.1
2013	575.8	31.3	17.0	27.5	20.5	19.8
2014	516.3	15.2	11.9	10.8	14.7	1.8
2015	62.0	41.9	2.2	1.4	3.2	3.5
2016	69.8	722.4	5.8	5.0	13.4	13.6
2017	9.1	0	38.7	59.1	39.2	11.2
2018	13.7	2.5	2.5	14.6	49.4	38.9
2019	448.6	14.8	2.0	7.1	14.4	8.6
2020	169.5	210.0	1.1	2.2	2.3	0.7
2021	698.4	543.8	185.5	0.7	0.7	0
2022	214.4	1.3	2.2	15.6	16.1	0
2023	32.6	45.1	10.6	2.5	0.7	0.7

	<100
	100≤, <500
	500≤

98.1, 13.8±15.7cells/L, 2月は131.1±145.8, 14.7±14.1cells/Lとなり, 両月ともにII期はI期に比べて低い値を示した ($p<0.05$) (図2 (c))。10月と11月, 1月と2月について期間ごとの発生状況に違いがあったことから, これらの月の水質を以下に整理した。

10月と11月の水質 1994～2023年度の10月, 11月における水温と透明度の全測点平均値を図3に示した。10月の水温は22.3～27.3℃, 11月は17.3～22.7℃となり, 全期間の平均値はそれぞれ25.1±1.1, 20.6±1.2℃となった (図3 (a))。両月ともに有意な上昇トレンドを示し ($p<0.05$), 大きさは年度あたり0.058, 0.050℃となった。10月の透明度は1.5～5.7mとなり, 平均値は3.0±1.1となった (図3 (b))。有意な上昇トレンドを示し ($p<0.05$), 大きさは年度あたり0.083mとなった。10月は2006年度に上昇

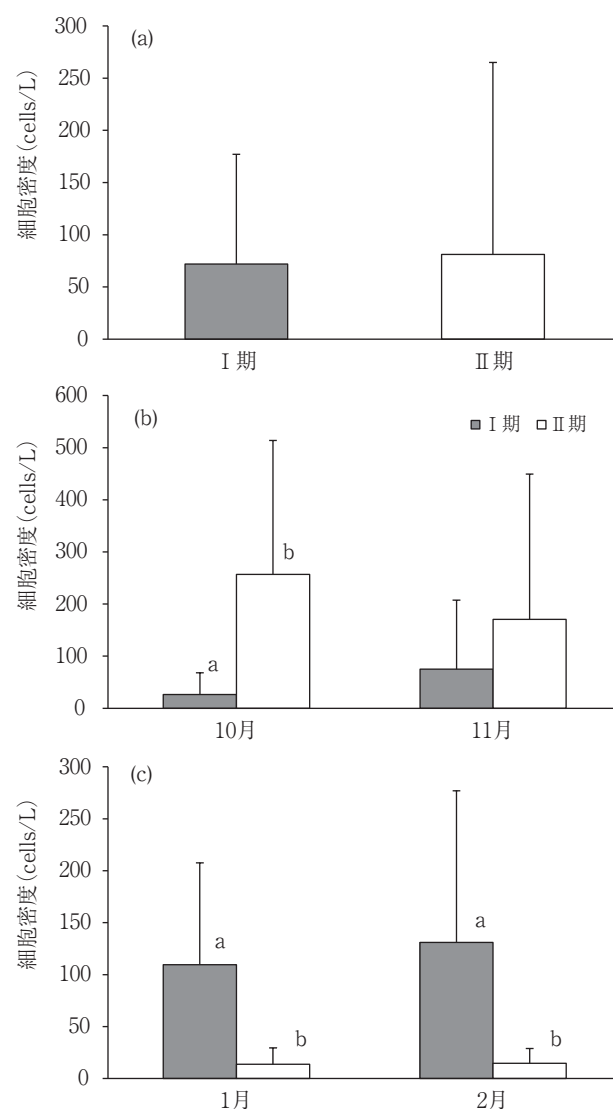


図2 1994～2008年度 (I期) と2009～'23年度 (II期) における*C. wailesii*の平均細胞密度
(a) 年度平均, (b) 10, 11月, (c) 1, 2月
(図中の記号は有意差を, 範囲は標準偏差を示す)

側へのジャンプが検出され ($p<0.05$), ジャンプの前後で中央値が1.2m上昇した。11月は2.1~5.2mとなり, 平均値は 3.1 ± 0.7 mとなった(図3(c))。有意な上昇トレンドを示し ($p<0.05$), 大きさは年度あたり0.025mとなった。

次に, 同期間の水温と透明度について, I期(1994~2008年度), II期(2009~'23年度)に分けて各期間の平均値を比較した(図4)。10月の水温はI, II期の順に 24.7 ± 1.2 , $25.5\pm0.9^{\circ}\text{C}$, 11月は 20.3 ± 1.4 , $20.9\pm0.7^{\circ}\text{C}$ となり, 有意差はなかった(図4(a))。10月の透明度は 2.4 ± 0.5 , 3.7 ± 1.1 mとなり, 10月はII期がI期に比べて高い値を示した ($p<0.05$)。11月は 2.9 ± 0.5 , 3.4 ± 0.8 mとなり, 有意差はなかった(図4(b))。

1994~2023年度の10月, 11月におけるDIN, DIP, DSi濃度を図5に示した。10月と11月のDIN濃度は0.8~

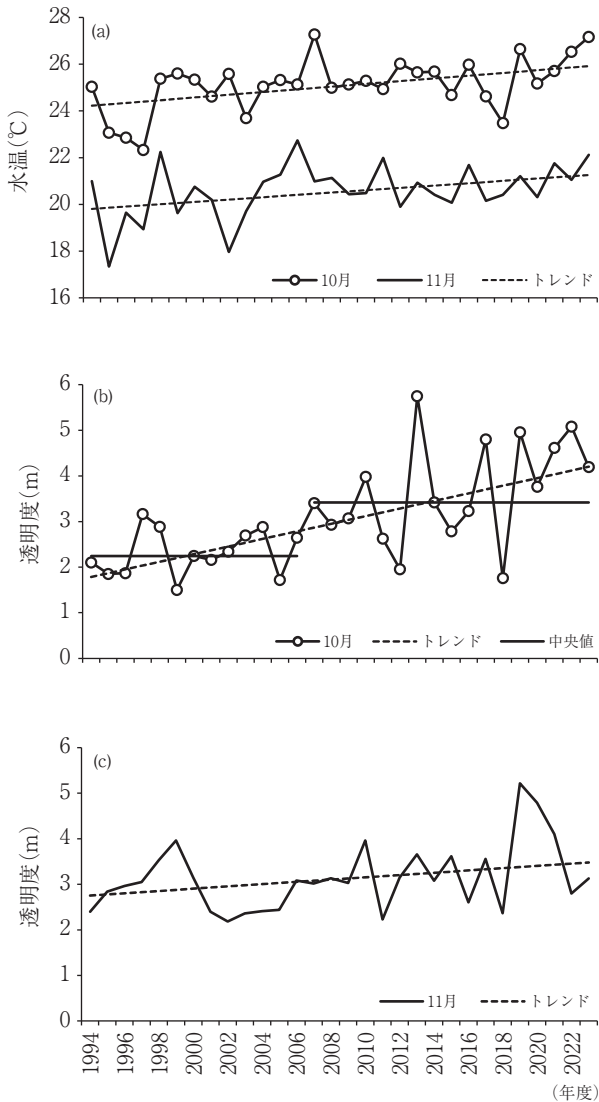


図3 1994~2023年度の10, 11月における水質の推移
(a) 水温, (b) 透明度(10月), (c) 透明度(11月)

21.6, $3.7\sim18.1\mu\text{M}$ となり, 平均値は 7.3 ± 5.0 , $8.6\pm3.9\mu\text{M}$ となった(図5(a))。10月は有意な減少トレンドを示し ($p<0.05$), 大きさは年度あたり $0.20\mu\text{M}$ となった。DIP濃度は $0.13\sim1.11$, $0.36\sim1.08\mu\text{M}$ となり, 平均値は 0.66 ± 0.28 , $0.72\pm0.20\mu\text{M}$ となった(図5(b))。DSi濃度は $3.5\sim83.6$, $8.7\sim45.5\mu\text{M}$ となり, 平均値は 21.9 ± 16.4 , $21.0\pm10.4\mu\text{M}$ となった(図5(c))。なお, DIP, DSi濃度に有意なトレンド, ジャンプはなかった。

次に, DIN, DIP, DSi濃度について I, II期の平均値を比較した(図6)。10月のDIN濃度はそれぞれ 8.7 ± 4.1 , $5.9\pm5.4\mu\text{M}$ となり, II期がI期に比べて低い値を示した ($p<0.05$)。11月は 9.6 ± 3.9 , $7.6\pm3.6\mu\text{M}$ となり, 有意差はなかった(図6(a))。10月のDIP濃度は 0.70 ± 0.26 , $0.63\pm0.29\mu\text{M}$, 11月は 0.70 ± 0.23 , $0.74\pm0.17\mu\text{M}$ となった(図6(b))。10月のDSi濃度は 22.3 ± 12.8 , $21.6\pm18.9\mu\text{M}$, 11月は 22.7 ± 10.5 , $19.5\pm10.0\mu\text{M}$ となった(図6(c))。これらの項目についてはいずれも有意差はなかった。

*C. wailesii*の細胞密度が高い値を示したII期の10月について細胞密度とDIN濃度の関係を図7に示した。両者には有意な負の相関があり ($r=-0.58$, $p<0.05$), 細胞密度が高いほど, DIN濃度は低かった ($y=7.4e^{-0.002x}$ (x : 細胞密度, y : DIN濃度))。

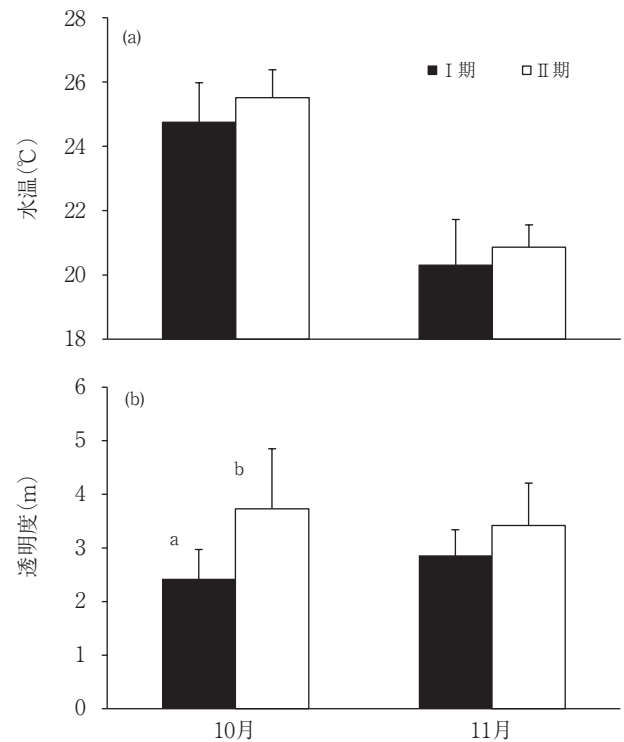


図4 I期とII期の10, 11月における水質
(a) 水温, (b) 透明度
(図中の記号は有意差を, 範囲は標準偏差を示す)

1月と2月の水質 1994～2023年度の1月、2月における水温と透明度の平均値を図8に示した。1月の水温は9.3～12.5℃、2月は7.8～10.8℃となり、全期間の平均値はそれぞれ 10.9 ± 1.0 、 $9.1 \pm 0.7^\circ\text{C}$ となった(図8(a))。1月の透明度は2.3～7.2mとなり、平均値は $4.4 \pm 1.0\text{m}$ となった。有意な上昇トレンドを示し($p < 0.05$)、大きさは年度あたり0.075mとなった。2011年度には上昇側へのジャンプが検出され($p < 0.05$)、ジャンプの前後で中央値が1.1m上昇した。(図8(b))。2月は2.4～7.5mとなり、平均値は $4.5 \pm 1.0\text{m}$ となった(図8(c))。

次に、水温と透明度についてI、II期の平均値を比較した(図9)。1月の水温はI、II期の順に 10.9 ± 1.0 、 $10.8 \pm 1.1^\circ\text{C}$ 、2月は 9.2 ± 0.8 、 $9.1 \pm 0.7^\circ\text{C}$ となり、有意差はなかった(図9(a))。1月の透明度は 3.8 ± 0.7 、 $5.1 \pm 1.0\text{m}$ となり、II期がI期に比べて高い値を示した($p < 0.05$)。2月は 4.2 ± 0.9 、 $4.8 \pm 1.0\text{m}$ となり、有意差はなかった(図9(b))。

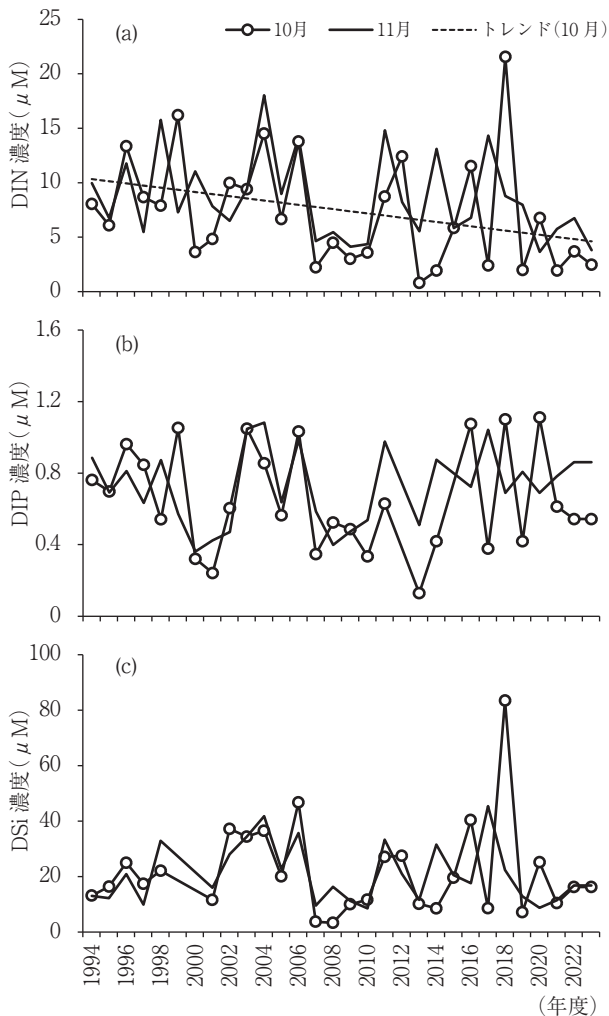


図5 1994～2023年度の10、11月における栄養塩濃度の推移
(a)DIN濃度、(b)DIP濃度、(c)DSi濃度

1994～2023年度の1月、2月におけるDIN、DIP、DSi濃度の推移を図10に示した。1月のDIN濃度は0.9～

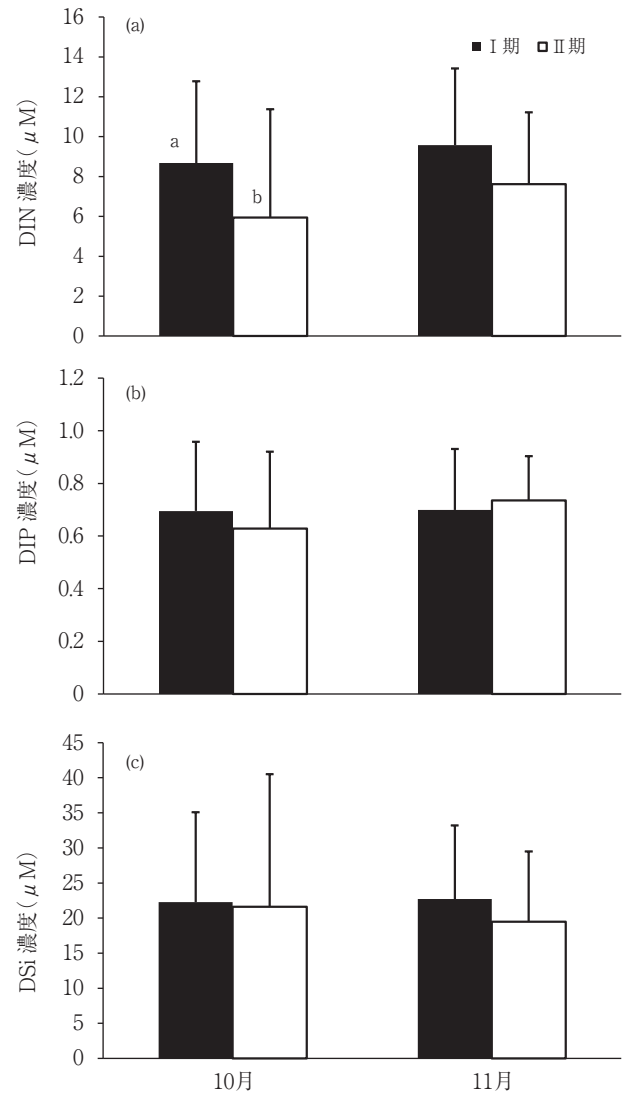


図6 I期とII期の10、11月における栄養塩濃度
(a)DIN濃度、(b)DIP濃度、(c)DSi濃度
(図中の記号は有意差を、範囲は標準偏差を示す)

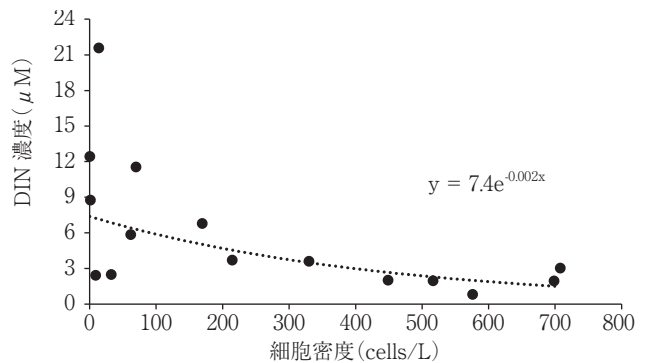


図7 II期の10月における*C. wailesii*の細胞密度とDIN濃度の関係

7.3 μM , 2月は0.5~6.8 μM となり, 平均値は 3.0 ± 1.7 , $2.5 \pm 1.6 \mu\text{M}$ となった(図10(a))。DIP濃度は0.14~0.60, 0.05~0.41 μM となり, 平均値は 0.33 ± 0.12 , $0.22 \pm 0.09 \mu\text{M}$ となった(図10(b))。DSi濃度は0.9~22.3, 1.1~21.9 μM となり, 平均値は 8.8 ± 5.3 , $5.9 \pm 3.8 \mu\text{M}$ となった(図10(c))。

次に, DIN, DIP, DSi濃度についてⅠ, Ⅱ期の平均値を比較した(図11)。1月のDIN濃度はⅠ, Ⅱ期の順に 3.5 ± 1.8 , $2.6 \pm 1.3 \mu\text{M}$ となり, 有意差はなかった(図11(a))。2月は 3.9 ± 1.8 , $2.0 \pm 1.3 \mu\text{M}$ となり, Ⅱ期がⅠ期に比べて低い値を示した($p < 0.05$)。1月のDIP濃度は 0.36 ± 0.13 , $0.31 \pm 0.10 \mu\text{M}$, 2月は 0.22 ± 0.10 , $0.21 \pm 0.08 \mu\text{M}$ となった(図11(b))。1月のDSi濃度は 10.0 ± 6.0 , $7.8 \pm 4.4 \mu\text{M}$, 2月は 5.9 ± 2.4 , $5.9 \pm 4.7 \mu\text{M}$ となった(図11(c))。いずれも有意差はなかった。本種の半飽和定数(K_s 値)は, 窒素が1.4~5.1 μM , リンが0.39 μM , 珪素が5.7~6.2 μM とされる^{16, 17)}。DIN, DIP濃度の平均値が5.1, 0.39

μM 以下となったことから, DIN:DIP比(以下, N:P比とする), DSi:DIN比(以下, Si:N比とする)についても同様の方法で整理した。

1994~2023年度の1月, 2月におけるN:P比, Si:N比の推移を図12に示した。1月のN:P比は3.0~28.8となり, 有意な低下トレンドを示し($p < 0.05$), 大きさは年度あたり0.21となった(図12(a))。2月は3.0~53.1となり, 有意な低下トレンドを示し($p < 0.05$), 大きさは年度あたり0.33となった(図12(b))。2月は2007年度に低下側へのジャンプが検出され($p < 0.05$), ジャンプの前後で中央値が7.7低下した。1月と2月のSi:N比は0.8~12.4, 1.3~4.4となり, いずれも有意なトレンド, ジャンプは検出されなかった(図12(c))。

考 察

播磨灘では*C. wailesii*の大量発生は鉛直混合期にみられ, 二峰的出现特性を持つ⁷⁾。本県のノリ漁場周辺でも10月と11月, 1月と2月に100cells/L以上となることが多く, 同様の傾向がみられた(表1)。一方, 近年は傾向が変化し, 2009年度以降の10, 11月では100cells/L以上となる頻度が増加し, 500cells/L以上となる年度も見られた。また, 2007年度以降の1, 2月では100cells/Lを超えることがなくなった(表1)。Ⅰ期(1994~2008年度), Ⅱ期(2009~'23年度)の各月の細胞密度を比較

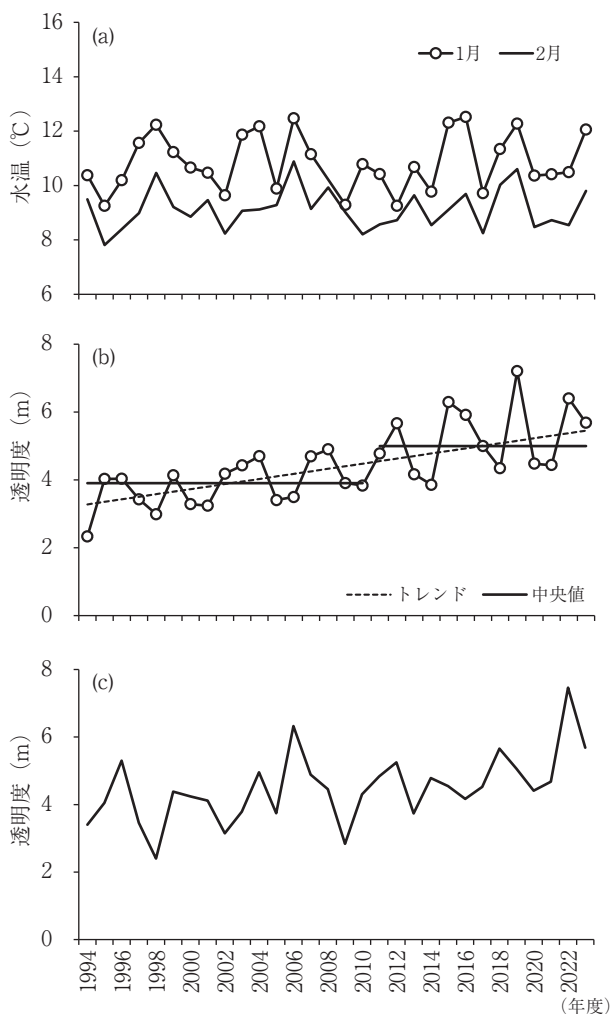


図8 1994~2023年度の1, 2月における水質の推移 (a)水温, (b)透明度(1月), (c)透明度(2月)

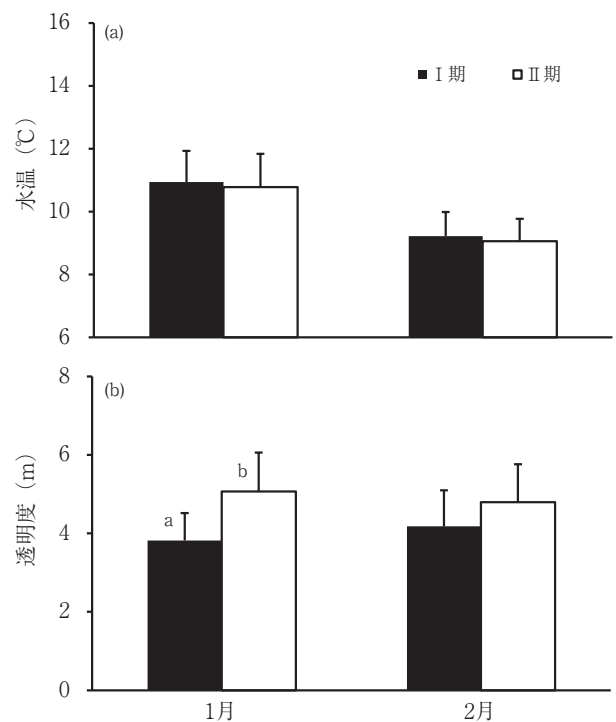


図9 Ⅰ期とⅡ期の1, 2月における水質 (a)水温, (b)透明度 (図中の記号は有意差を, 範囲は標準偏差を示す)

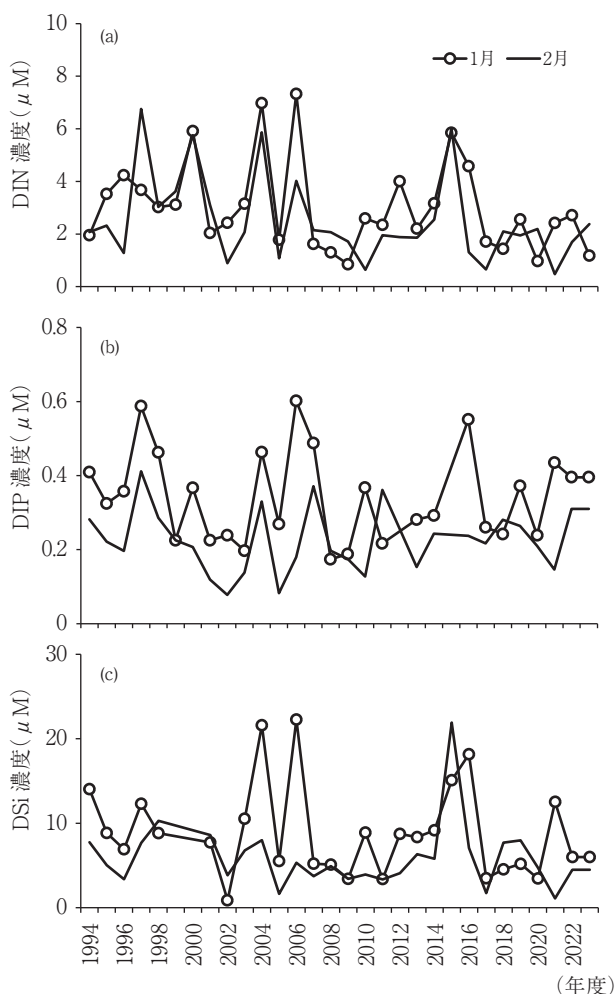


図10 1994～2023年度の1，2月における栄養塩濃度の推移
(a)DIN濃度，(b)DIP濃度，(c)DSi濃度

すると，10月はⅡ期が高く（図2（b）），1，2月はいずれもⅡ期が低かった（図2（c））。2000年代後半以降は，秋季（10，11月）にのみ高密度化していたことから，水質環境の観点からこの変化を考察する。

秋季の水質 1994～2023年度の10，11月の平均水温はそれぞれ 25.1 ± 1.1 ， $20.6 \pm 1.2^\circ\text{C}$ であり，有意な上昇トレンドを示した（図3（a））。備讃瀬戸全体でも1974年以降，地球温暖化の影響を受けて^{18, 19)}水温は上昇しているが¹⁰⁾，Ⅰ期，Ⅱ期では，10月は 24.7 ± 1.2 ， $25.5 \pm 0.9^\circ\text{C}$ ，11月は 20.3 ± 1.4 ， $20.9 \pm 0.7^\circ\text{C}$ となり，両月ともに有意差はなかった（図4（a））。また，いずれの期間も*C. wailesii*の至適増殖水温の $20 \sim 25^\circ\text{C}$ ²⁰⁾に近かった。

透明度は，10，11月ともに有意な上昇トレンドを示し（図3（b，c）），10月は2006年度に上昇側へジャンプしていた（図3（b））。その結果を反映して，Ⅰ，Ⅱ期の10月では 2.4 ± 0.5 ， $3.7 \pm 1.1\text{m}$ となり，Ⅱ期の方が高かった（図4（b））。備讃瀬戸全体でも透明度は上昇し，2006年

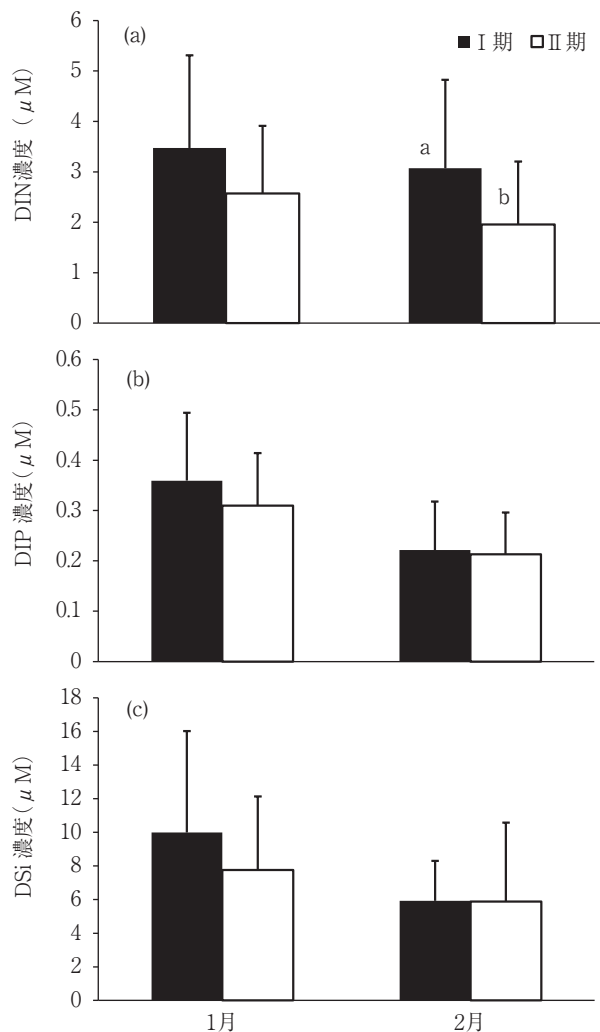


図11 Ⅰ期とⅡ期の1，2月における栄養塩濃度
(a)DIN濃度，(b)DIP濃度，(c)DSi濃度
(図中の記号は有意差を，範囲は標準偏差を示す)

にジャンプが見られている¹⁰⁾。本種は珪藻類の中では大型であり，沈降速度が他の珪藻類に比べて速い²¹⁾。そのため，大規模に増殖するには，鉛直混合により有光層へ輸送される必要があり，透明度が高く，有光層が大きいことは本種の増殖に有利に働く²²⁾。瀬戸内海の有光層深度は透明度の2.8倍とされ²³⁾，Ⅱ期の10月における有光層は10m以上となっている。透明度の上昇時期と秋季の*C. wailesii*の発生状況の変化は概ね一致しており（表1），透明度の長期的な上昇は，秋季の高密度化の一因となった可能性がある。

DIN濃度は，10月に有意な低下トレンドを示した（図5（a））。Ⅰ，Ⅱ期の10月はそれぞれ 8.7 ± 4.1 ， $5.9 \pm 5.4 \mu\text{M}$ となり，Ⅱ期の方が低かった（図6（a））。10月のDIN濃度は低下トレンドであるものの，平均値はKs値以上であった。また，DIP，DSi濃度もKs値を概ね上回っていたことから（図6（b，c）），栄養塩濃度が秋季の本種の増殖の制限要因となった可能性は低い。また，Ⅱ期の

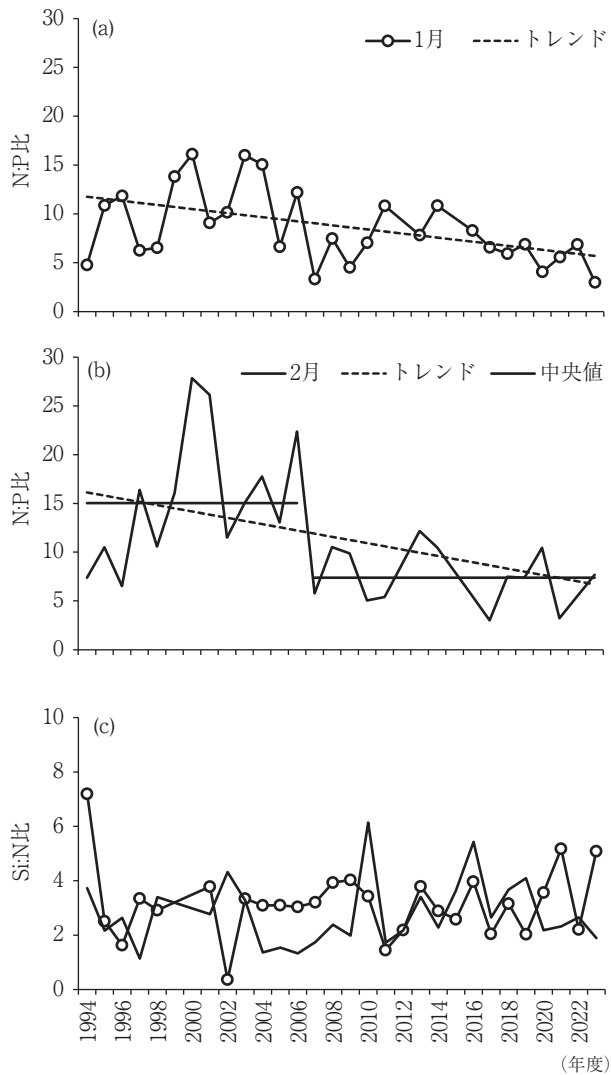


図12 1994～2023年度の1，2月のN:P比，Si:N比の推移
(a)N:P比（1月），(b)N:P比（2月），
(c)Si:N比

10月の細胞密度とDIN濃度は有意な負の相関があったことから（図7），ノリ養殖漁期当初に本種が大量発生した場合，海域のDIN濃度の低下を引き起こしていると考えられる。

冬季の水質 1994～2023年度の1，2月の平均水温はそれぞれ 10.9 ± 1.0 ， $9.1 \pm 0.7^\circ\text{C}$ であり，長期的なトレンドはなく（図8(a)），Ⅰ期とⅡ期でも有意差はなかった（図9(a)）。*C. wailesii*は低水温にも強く， $5 \sim 10^\circ\text{C}$ でも最大増殖速度の1/2程度で増殖できるため²⁰⁾，水温が発生状況の変化に影響を与えた可能性は低いと考えられる。

透明度は，1月に上昇トレンドを示し，2006年度に上昇側へジャンプしていた（図8(b)）。その結果を反映し，Ⅱ期の1月はⅠ期に比べて高かった（図9(b)）。透明度の上昇は本種にとって有利であることから，Ⅱ期の発

生頻度の低下は別の要因があると考えられる。

DIN，DIP，DSi濃度にトレンドはなかったが（図10），Ⅱ期の2月におけるDIN濃度はⅠ期に比べて低く（図11(a)），Ks値を下回る年度が多かった。備讃瀬戸全体でDIN濃度は低下していること¹⁰⁾に加え，本種に比べ栄養塩要求量の低い*E. zodiacus*等の珪藻類の発生⁸⁾が影響した可能性がある。N:P比は両月とも低下トレンドを示し，2月は2007年度に低下側にジャンプした（図12(a, b)）。*C. wailesii*細胞の化学組成はC:N:P:Si=110:14:1:55²⁴⁾であり，N:P比は14以下が増殖制限栄養塩の推定の日安とされる。2007年度以降は両月とも常に14以下であり，窒素が制限要因であった。これらのことから，2000年代後半以降はDIN濃度の低下によって，増殖が制限された可能性が考えられた。

要 約

1. 岡山県のノリ漁場では，2000年代後半に*C. wailesii*の発生状況が変化し，秋季（10，11月）に高密度化するようになった一方，冬季（1，2月）の発生規模は小さくなった。
2. 2000年代後半以降，秋季（10，11月）の透明度が上昇しており，本種の高密度化の一因となった可能性がある。また，高密度化した場合，DIN濃度の低下を引き起こすことが示唆された。
3. 2000年代後半以降，冬季（1，2月）のDIN濃度が低下しており，窒素が本種の増殖の制限要因となった可能性が考えられた。

文 献

- 1) 仲村尚人・榎東裕子，2023：令和4年度ノリ養殖概況，岡山水研資料（令和4年度）。
- 2) 村山史康・清水泰子・高木秀蔵，2015：岡山県ノリ漁場における栄養塩濃度とノリの色調および乾海苔単価との関係，日本水産学会誌，**81**，107-114。
- 3) 阿保勝之・杜多 哲・藤原建紀，2006：冬季の東部瀬戸内海における残差流と栄養塩環境，海岸工学論文集，**53**，1096-1100。
- 4) 山下泰司・濱崎正明，2018：栄養塩の変動要因の解明と動態予測技術の開発，岡山水研年報（平成29年度）。
- 5) 高木秀蔵，2014：河川から沿岸海域への栄養塩供給とノリの栄養塩利用に関する研究，岡山水研報告，**29**，1-50。
- 6) 多田邦尚・藤原宗弘・本城凡夫，2010：瀬戸内海の水質環境とノリ養殖，分析化学，**59**，945-955。

- 7) 長井 敏, 2000: 播磨灘における有害大型珪藻*Coscinodiscus wailesii*の大量発生機構とその予知, 有害・有毒赤潮の発生と予知と防除, 水産研究叢書, **48**, 71-100.
- 8) 西川哲也, 2024: 養殖海苔色落ち原因珪藻の大量発生機構と植物プランクトン群集の長期変動に関する研究, 日本水産学会誌, **90**, 204-207.
- 9) 西川哲也, 2000: 大型珪藻*Coscinodiscus wailesii*秋季発生量の予察手法と気象要因, 海と空, **75**, 82-85.
- 10) 鬼塚 剛・秋山 諭・肥後翔太・御所豊穂・乾 元気・加川真行・渡邊俊輝・芽野昌大・石川陽子・吉田 誠・喜安宏能・楨 浩樹・恵崎 撰・岡田 理・毛利文香, 2024: 瀬戸内海における海況の季節変動と長期変化, 瀬戸内海ブロック浅海定線調査観測50年成果集, 国立研究開発法人水産研究・教育機構水産技術研究所, 298-319.
- 11) Mann HB, 1945: Nonparametric tests against trend. *Econometrica*, **13**, 245-259.
- 12) Kendall MG, 1975: Rank Correlation Methods, Charles Griffin, 4th edition.
- 13) Sen PK, 1968: Estimate of the regression coefficient based on Kendall's tau, *Journal of the American Statistical Association*, **63**, 1379-1389.
- 14) Pettit AN, 1979: A non-parametric approach to the change point problem, *Journal of the Royal Statistical Society, Series C (Applied Statistics)*, **28**, 126-135.
- 15) R Core Team, 2021.: The R Project for Statistical Computing, URL. <https://www.R-project.org/>.
- 16) 西川哲也・堀 豊, 2004: ノリの色落ち原因藻*Coscinodiscus wailesii*の増殖に及ぼす窒素, リンおよび珪素の影響, 日本水産学会誌, **70**, 872-878.
- 17) Epply RW, 1977: The growth and culture of diatoms, The Biology of Diatoms, In: Werner D(ed), Blackwell Science, 24-26.
- 18) 藤澤邦康, 小橋啓介, 林 浩志 (2002): 備讃瀬戸及び播磨灘における水温経年変化について(1974~1999年度). 岡山水試報, **17**, 87-90
- 19) 阿保勝之・秋山 諭・原田和弘・中地良樹・林 浩志・村田憲一・和西昭仁・石川陽子・益井敏光・西川 智・山田京平・野田 誠・徳光俊二, 2018: 瀬戸内海における栄養塩濃度等の水質変化とその要因, 沿岸海洋研究, **55**, 101-111.
- 20) 西川哲也・宮原一隆・長井 敏, 2000: 播磨灘産大型珪藻*Coscinodiscus wailesii*の増殖に及ぼす水温, 塩分の影響, 日本水産学会誌, **66**, 993-998.
- 21) 小野 哲・一見和彦・多田邦尚, 2006: ノリ養殖に被害を及ぼす大型珪藻*Coscinodiscus wailesii*の現存量と沈降速度, 日本海水学会誌, **60**, 253-259.
- 22) 多田邦尚・大山憲一・白土晃一・益井敏光・深尾剛志・吉松定昭, 2015: 2013年に播磨灘・備讃瀬戸(香川県沿岸)で発生した*Coscinodiscus wailesii*の大量増殖, 日本水産学会誌, **81**, 979-986.
- 23) 橋本俊也・多田邦尚, 1997: 広島湾における海水の光学的特性, 海の研究, **6**, 151-155.
- 24) 小野 哲・一見和彦・多田邦尚, 2009: 大型珪藻*Coscinodiscus wailesii*の沈降に伴う生元素の鉛直輸送と沿岸海域の栄養塩環境への影響, 沿岸海洋研究, **46**, 153-160.