

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

安部昌明*・大山憲一・吉松定昭・北尾登史郎・山田達夫

The simple method for measuring cell density of colony-forming diatom *Thalassiosira diporocyclus* and the bloom in the coastal area of eastern Kagawa Prefecture in winter of 2007-2008

Masaaki ABE*, Kenichi OYAMA, Sadaaki YOSHIMATSU,
Toshiro KITAO and Tatsuo YAMADA

In this study, we developed a simple method for measuring cell density of colony-forming diatom *Thalassiosira diporocyclus* by shaking sample water strongly after leaving in the cold and dark, and we monitored the bloom of this species using this method.

T. diporocyclus bloomed in the coastal area of eastern Kagawa Prefecture, mainly in Harimada from December 2007 to January 2008. This bloom occurred after 13 years since the outbreak in winter of 1994-1995 in the eastern Seto Inland Sea including Kagawa Prefecture. The maximum colony density of *T. diporocyclus* 170 colonies/ L and the maximum cell density 632,850 cells/ L were recorded in late December 2007, respectively. During the bloom, the appearance of this species accounted for high percentage in the total diatoms. With the increase of this species, dissolved inorganic nitrogen decreased rapidly in the area. It was suggested that high water temperature and salinity in autumn might cause the bloom of this species as environmental factors by analyzing data of past 20 years.

キーワード: *Thalassiosira diporocyclus*, ブルーム, 細胞密度, 群体密度, ノリ色落ち, 高水温, 高塩分

*Thalassiosira diporocyclus*は、球形、長楕円形、それらが崩れた不定形の塊状群体を形成する珪藻であり¹⁾、1994~1995年冬季、播磨灘を主体に瀬戸内海東部においてブルームを形成し、栄養塩の減少、ノリの色落ち被害をもたらした^{2, 3, 4)}。その後、ブルームは確認されなかったが、香川県海域では、2007~2008年冬季に播磨灘を主体として発生が認められた。本種の群体は単に振とうしただけではほとんど崩壊せず、細胞数を計数することが容易でないため、結果の速報が求められるモニタリングの現場では、専ら群体密度によって発生状況が把握されている。長井らは、群体密度から細胞密度への換算について検討しているが²⁾、発生状況を正確に、また他のプランクトンと同じ単位で把握するためには、細胞密度の簡易かつ正確な測定法の考案が必要である。

本研究では、本種の細胞密度の簡易で正確な測定法を検討するとともに、2007~2008年冬季の香川県沿岸域におけるブルームの発生状況を調査した。また、栄養塩消費に及ぼす影響、ブルーム発生と環境要因との関係についても検討を加えた。

材料と方法

細胞密度測定法の検討

群体を高密度に含んだ現場海水を用い、群体を崩壊させるため、①共栓付き試験管に収容し、採水当日に激しく振とうする、②共栓付き試験管に収容し、室温で採水翌日まで15時間程度静置後、激しく振とうする、③共栓付き試験管に収容し、冷暗所(約8℃)で採水翌日まで15時間程度静置後、激しく振とうする、

*現 香川県水産試験場

④採水当日に超音波処理を行うの4通りの方法を試みた。各方法による処理後、光学顕微鏡により、細胞の分散状況を観察した。

出現状況の調査

2007年10月9日から2008年3月4日の期間に23回、Fig.1に示すノリ養殖漁場定点でノリ養殖関係者により採水された表層水約1Lを試水とし、プランクトンの出現状況および漁場環境を調査した。試水200mLをメンブレンフィルター（孔径 $8\mu\text{m}$ ）を用いて重力ろ過により10mLに濃縮し、共栓付き試験管に収容した。軽く振とうしながら肉眼で*T. diporocyclus*の群体を計数後、1mL（群体を含まず）を画線スライドグラスに展開し、光学顕微鏡により、出現したプランクトンの細胞数（この段階で群体外に存在する*T. diporocyclus*を含む）を計数した。残りの濃縮海水は、冷暗所（約 8°C ）で翌日まで15時間程度静置後、激しく振とうして群体を崩壊させ、内部の細胞を分散させた後、1mLを採取し、同様な方法により*T. diporocyclus*のみを対象として細胞数を計数した。*T. diporocyclus*の細胞密度は、採水当日と翌日の計数結果を合計して算出した。また、試水別に細胞数を群体数で除して、1群体あたりの細胞数を求めた。

漁場環境の調査

試水700mLをグラスファイバーフィルター（GF/C）によりろ過し、ろ液を栄養塩自動分析装置（ビーエルテック製 SWAAT）による溶存無機態窒素（DIN）の測定に供するとともに、ろ紙を細切して90%アセトンで抽出後、分光光度計（日立ハイテクノロジー製 U-1800）によりクロロフィル a（Chl.a）を測定した。

栄養塩消費に及ぼす影響の検討

*T. diporocyclus*の細胞密度、Chl.a、DINの変動を対比させ、ブルームの発生と栄養塩の変動との関係を検討した。

また、本種の細胞の蓋殻径の測定値（2008年1月4日の東讃漁場のサンプルを用い、光学顕微鏡400倍におけるマイクロメーター使用により測定した）から細胞の体積を算出し、Verity *et al.*⁵⁾が示した細胞あたりの窒素含有量を求める式

$$\text{窒素含有量 (pgN/cell)} = 0.083 (\text{BV})^{0.837}$$

BV：細胞体積

に適用して、窒素消費量を試算した。

ブルーム発生に係る環境要因の検討

ブルームが発生した1994～1995年および2007～2008年の海域環境を、ブルームが発生しなかった年の海域環境と比較し、ブルーム発生に係る環境要因を検討した。用いるデータは、香川県水産試験場が原則として毎月上旬に実施している浅海定線調査の1988年4月から2008年3月までの水温、塩分、DINの播磨灘7定点の平均値とした。

結 果

細胞密度測定法

前記③の方法により、群体は完全に崩壊して内部の細胞が均一に分散し、円滑に細胞数を計数することができた。他の方法では、粘液糸でつながった細胞どうしを十分に分散させることができず、細胞数を正確に計数することは困難であった。

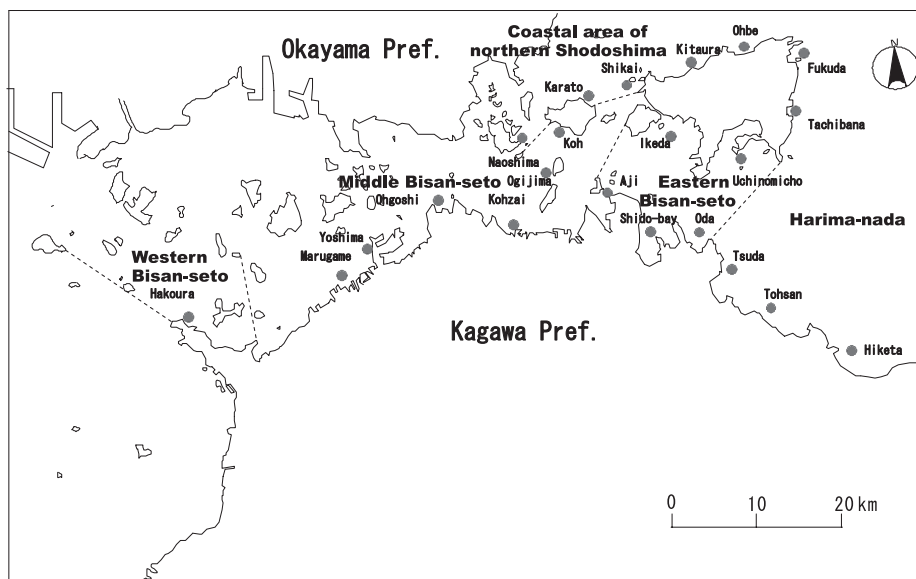


Fig.1 Location of sampling stations at Nori culture grounds and section of sea area in Kagawa Prefecture.

ブルームの発生状況

*T. diporocyclus*の群体は、12月初め、播磨灘において肉眼で確認されるようになった。12月11日以降の群体密度の分布の推移をFig.2に示した。12月11日に播磨灘、備讃瀬戸東部の一部、備讃瀬戸中部の一部で確認され、18日には小豆島東部沿岸で増加が目立ち、橘漁場における170colonies/Lは本調査における最高値

であった。25日には香川県本土の東部沿岸および小豆島北部沿岸で増加が著しく、28日には東讃漁場で165colonies/Lに達した。1月以降は減少に転じ、1月29日には引田漁場においてのみ確認された。2月5日の調査では、すべての漁場で確認されなかった。

本種の細胞密度の分布の推移をFig.3に示した。12月11日、播磨灘を主体に、小豆島北部海域、備讃瀬戸

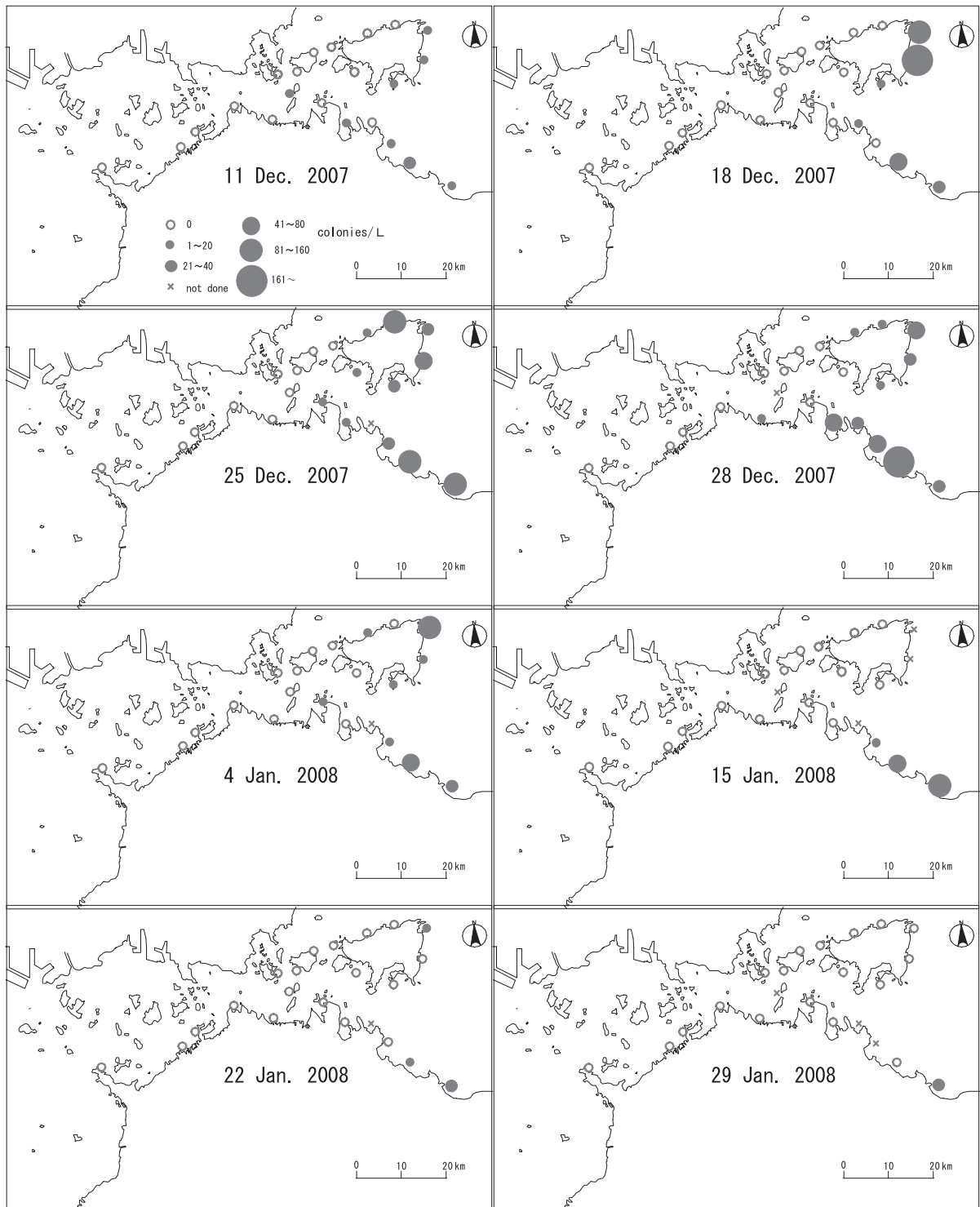


Fig.2 Horizontal distribution of colony density of *Thalassiosira diporocyclus* at Nori culture grounds in Kagawa Prefecture.

東部，備讃瀬戸中部で確認された。その後，12月末にかけていずれの海域でも増加し，特に播磨灘，小豆島北部海域，備讃瀬戸東部で密度が高かった。12月28日には東讃漁場で，本調査における最高値である632,850cells/Lに達した。1月以降は減少に転じ，1月29日には播磨灘の一部の漁場においてのみ確認され

た。2月5日の調査では，すべての漁場で確認されなかった。

群体密度と細胞密度との関係をFig.4に示した。両者の関係を直線で回帰すると， $y = 3.28x + 4.49$ ($n = 147$, $R^2 = 0.798$) の式が得られた。

1群体あたりの細胞数は，220~26,426，平均3,712

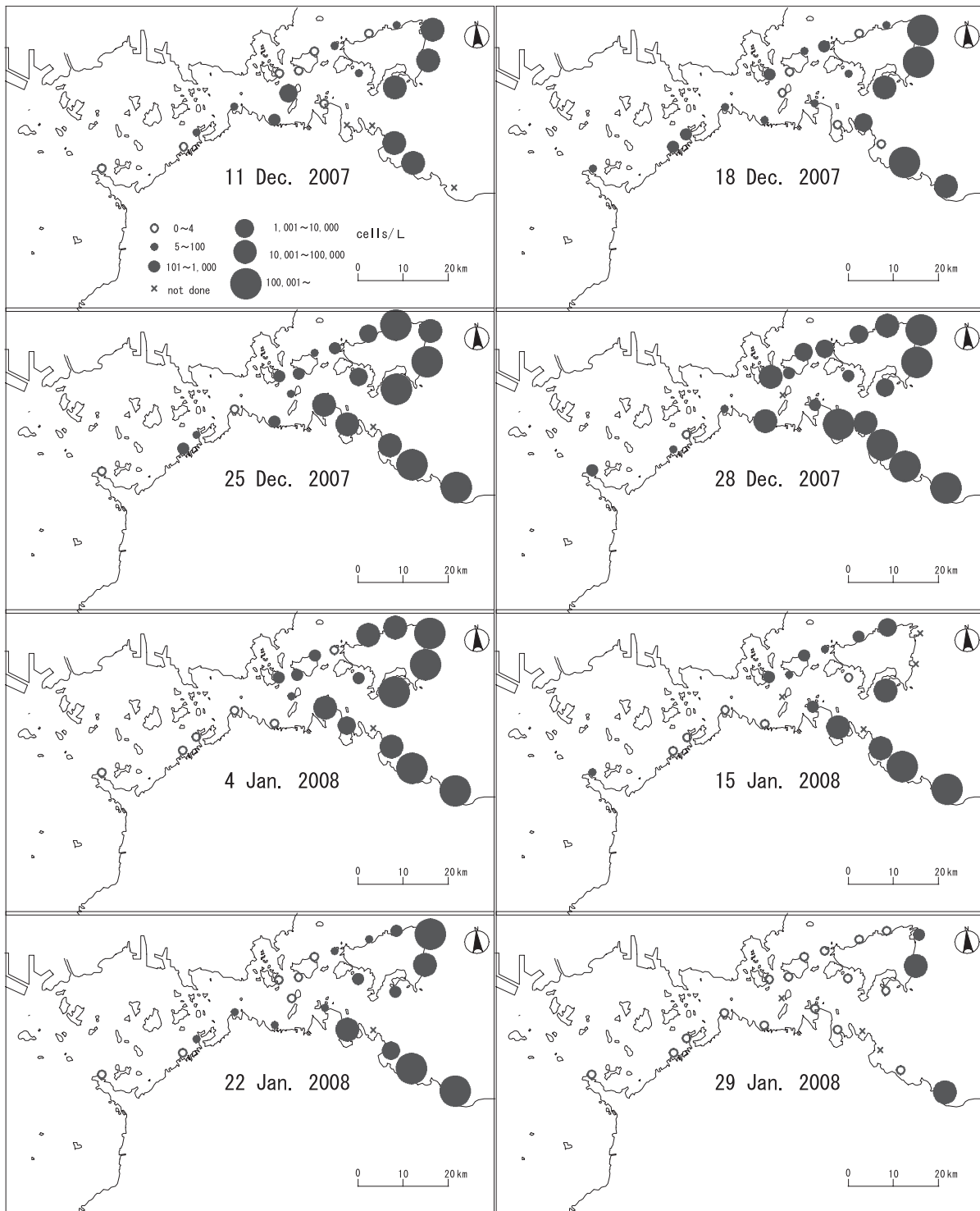


Fig.3 Horizontal distribution of cell density of *Thalassiosira diporocyclus* at Nori culture grounds in Kagawa Prefecture.

(n=67)であった。

珪藻類の細胞密度の海域別平均値の推移をFig.5に示した。播磨灘では、*T. diporocyclus*が12月中旬以降急増し、12月28日にピーク(292,263cells/L)に達した。1月10日にかけて減少したが、再び増加して1月15日にもピーク(259,983cells/L)を形成した。その後は急減し、2月5日には確認されなくなった。12月11日から1月29日までの期間、プランクトン(珪藻類以外を含む、以下同様)の細胞密度において本種が最優占種となり、全珪藻類に占める比率は、12月11日~1月22日が80~98%、1月29日が46%であった。小豆島北部海域においても、本種が12月中旬以降急増し、12月25日にピーク(101,547cells/L)に達した。12月28日には減少したが、再び増加して1月10日にもピーク(37,188cells/L)を形成した。その後は急減し、1月29日には確認されなくなった。12月21, 25日, 1月4, 10日において、プランクトンのうちでは本種が最優占種となり、この時の全珪藻類に占める比率は、それぞれ57%, 84%, 50%, 58%であった。備讃瀬戸東部においては、本種が12月11日に最初のピーク(31,136cells/L)に達し、12月18日には減少したが、再び増加して12月28日にもピーク(50,181cells/L)を形成した。その後は徐々に減少し、1月29日には確認されなくなった。12月11日から1月15日までの期間(12月18日を除く)、プランクトンのうちで本種が最優占種となり、全珪藻類に占める比率は31~86%であった。備讃瀬戸中部および備讃瀬戸西部では、本種のブルームは発生しなかった。

ブルームとDINの関係

播磨灘、小豆島北部海域、備讃瀬戸東部におけるDIN、Chl.aの海域別平均値の推移をFig.6に示した。

播磨灘では、12月下旬までの期間、DINとChl.aの間におおむね相反する関係がみられ、特に12月18日から21日にかけてDINが $3.11 \mu\text{g-at/L}$ から $1.66 \mu\text{g-at/L}$ に急減して、ノリの色落ちが始まるとされる $3 \mu\text{g-at/L}^6$ を下回った際、ほぼ同じ時期にChl.aは急増してピークを形成していた。この時期は前述したとおり、*T. diporocyclus*のブルームが発生しており、他の珪藻類は低密度であった。小豆島北部海域におけるDINは、11月20日をピークとして以後減少し、12月11日に $3 \mu\text{g-at/L}$ を下回った。このDINの減少に対応する形でChl.aは徐々に増加しており、特に12月18日から21日にかけてDINが $2.12 \mu\text{g-at/L}$ から $0.41 \mu\text{g-at/L}$ に急減した時期にもChl.aはピークに向かって増加傾向であった。この時期は前述したとおり、本種のブルームが発生しており、他の珪藻類は低密度であった。備讃瀬戸東部におけるDINは、11月20日をピークとして以後減少し、12月18日に $3 \mu\text{g-at/L}$ を下回った。DINとChl.aの関係は、前2海域に比べると明らかでないが、DINが減少を続けている期間内の12月11日にChl.aのピークがみられた。この時期は前述したとおり、前2海域に比べると小規模ではあるが、本種のブルームが発生していた。

細胞の蓋殻径の測定値(n=100)は、範囲が $21.8 \sim 33.4 \mu\text{m}$ 、平均±標準偏差が $28.1 \pm 2.0 \mu\text{m}$ であった。細胞のおよその体積(μm^3)は、 $\pi \times (a/2)^2 \times b$ で表される。ただし、aは平均蓋殻径(μm)、bは細胞高さ(μm)である。細胞高さは蓋殻径と同じとみなすと¹⁾、体積は $17,418 \mu\text{m}^3$ となり、細胞あたりの窒素含有量(pgN/cell)は、 $0.083 \times 17,418^{0.837} = 294$ と算出された。この値を用い、12月下旬の適当な期間を設定して、海水交換等を考慮しない単純な方法により

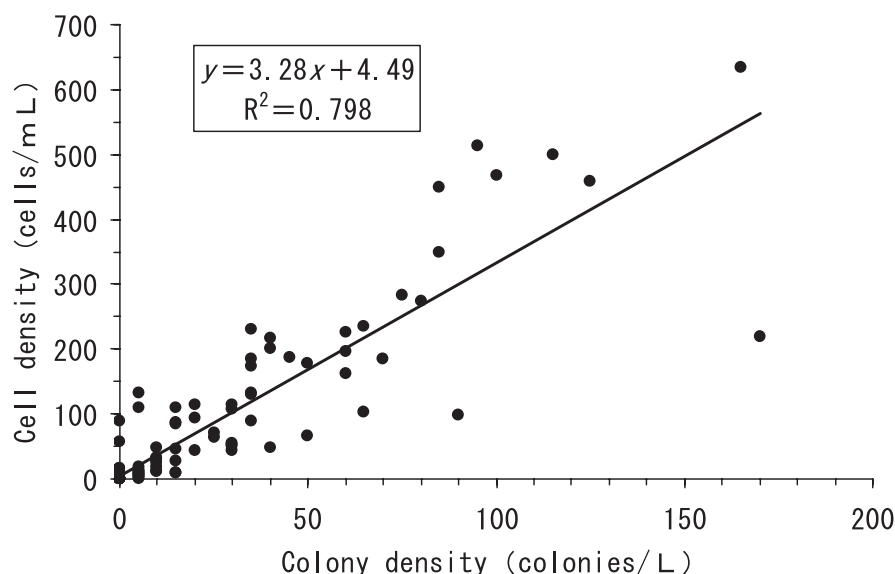


Fig.4 Relationship between colony density and cell density of *Thalassiosira diporocyclus*.

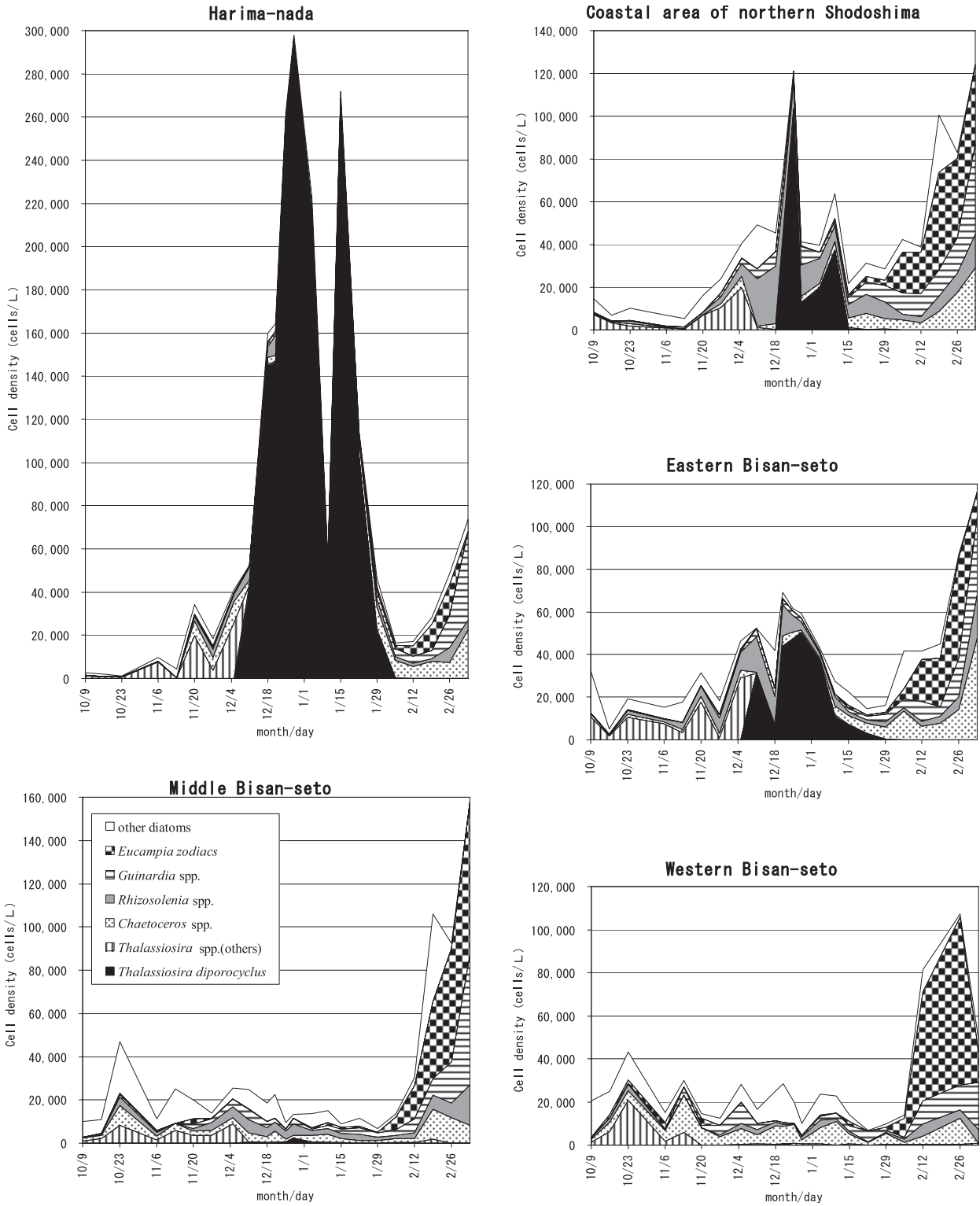


Fig.5 Changes of cell density of diatoms at Nori culture grounds from 2007 to 2008.

*T. diporocyclus*による窒素消費について計算した結果をTable 1に示した。DINの減少量に占める本種による消費量の比率は、播磨灘で167%，小豆島北部海域で53%，備讃瀬戸東部で83%と試算された。

ブルーム発生に係る環境要因

1988年4月から2008年3月までの20年間（4月から翌

年3月までを期間とする）の播磨灘における水温，塩分，DINをFig.7に示した。このうち水温は，観測日の遅延によって測定値が大きく変化するため，前月の測定値との差と測定間隔日数との間に1次式が成立すると仮定して，1日の値に補正されている。また，DINの底層は，30m層または底上1m層の値を示す。

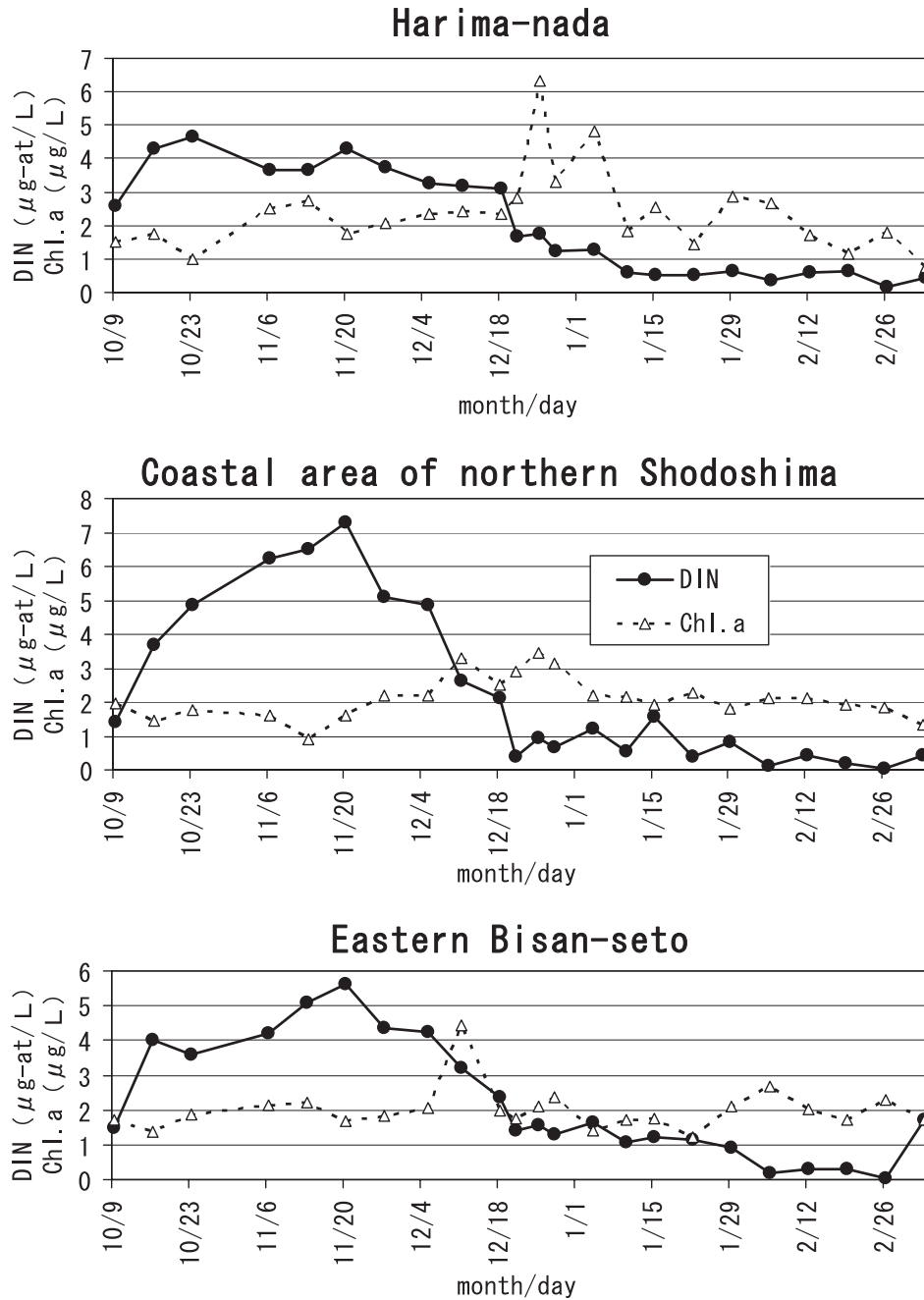


Fig.6 Changes of DIN and Chl.a at Nori culture grounds where *Thalassiosira diporocyclus* bloomed from 2007 to 2008.

これらの図から、ブルームが発生した1994~1995年と2007~2008年に共通し、かつブルームが発生しなかった他の年と比較して特異であると思われる事項は、およそ次のとおりであった。

- 水温（表層）：4~7月の高値，10~11月の高値
- 水温（10m層）：7月の高値，10~11月の高値
- 水温（底上1m層）：10~11月の高値
- 塩分（表層）：10~3月の高値
- 塩分（10m層）：11~3月の高値
- 塩分（底上1m層）：11~3月の高値
- DIN（表層）：10，1，2月の低値

DIN（底層）：1，2月の低値

播磨灘におけるブルームの発生時期は、1994~1995年が11~1月^{2,3)}、2007~2008年が12~1月であったので、発生前から発生初期の環境の特徴としては10，11月の高水温，高塩分が、また発生中の環境の特徴としては高塩分，低DINが挙げられた。

そこで、10，11月における各年の水温と塩分の関係をFig.8に示した。ほぼすべての観測層において、発生年はグラフの最も右上の位置、すなわち値の分布の中で水温，塩分がともに最高レベルを示した。発生年の値の条件は観測層によっていくらか異なる

Table 1 Results of trial calculation about consumption of DIN by *Thalassiosira diporocyclus*.

Consumption of nitrogen was calculated from nitrogen content (pg/cell). The cell volume was calculated from present study, and regression equation of nitrogen content and cell volume was cited from Verity *et al.*⁵⁾

	Harima-nada	Coastal area of northern Shodoshima	Eastern Bisan-seto
Increase of cell density of <i>Thalassiosira diporocyclus</i> (cells/L) : △ (12/25-12/18 ¹⁾ or 12/21-12/18 ²⁾	107,125	42,827	37,665
Decrease of DIN (μg-at/L) : △ (12/18-12/25 ¹⁾ or 12/18-12/21 ²⁾	1.35	1.71	0.95
Consumption of nitrogen by <i>Thalassiosira diporocyclus</i> (μg-at/L)	2.25	0.90	0.79
Percentage of consumption of nitrogen by <i>Thalassiosira diporocyclus</i> (%)	167	53	83

¹⁾ Harima-nada

²⁾ Coastal area of northern Shodoshima, Eastern Bisan-seto

が、おおむね、10月上旬においては水温26℃以上かつ塩分32PSU以上、11月上旬においては22℃以上かつ32.5PSU以上であった。

ブルーム発生前から発生初期のDINについては、2007～2008年は表層、底層ともにたいへん低いレベルで推移した。1994～1995年は10月の表層において低い値を示したが、それ以外は他の年と比べて特異な傾向は認められなかった。

考 察

*T. diporocyclus*の細胞密度の測定法については、試水を冷暗所で翌日まで静置後に激しく振とうすることにより、細胞が均一に分散し、計数可能になることがわかった。これにより、結果判明が翌日にはなるが、本種の発生状況を簡易な操作で正確に、また他のプランクトンと同じ単位で把握することができ、全珪藻類に占める本種の出現割合を算出することもできた。試水を室温で放置後に同様の処理を行っても群体の崩壊が不完全であったことから、冷暗所に置くことが有効に作用していると考えられる。冷暗所静置後の計数時、細胞が崩壊あるいは分裂している状態は観察されなかった。今後、温度や静置時間による差異、静置中の細胞分裂の有無等を詳細に検討することにより、より短時間で正確に細胞密度を把握することが可能になるであろう。この測定法は、操作が簡易で特別な機器を必要としないため、モニタリング現場で有用である。さらに、本種以外の群体形成種への応用も期待される。ところで長井らは、1994～1995年発生時、サンプルに対して超音波破砕機を数秒間発振させ、攪拌した後、細胞数を計数している²⁾。長井(私信)によると、採水当日のこの操作により、群体の崩壊は完全で

はなかったが、何とか細胞数を計数したとのことである。本研究においても、超音波処理では群体の崩壊は不完全であった。低温処理と組み合わせることなどによって、採水当日に群体を完全に崩壊させ、正確に細胞数を計数することが可能になるかもしれない。

群体密度 (x colonies/L) と細胞密度 (y cells/mL) との間には、前記のような関係式が得られた。長井らは、1994年12月のサンプルを用いて、 $y=0.73x+3.27$ ($n=19$, $R=0.82$) という関係式を得ているが²⁾、本研究における傾きはこれの4.5倍も大きく、同じ群体密度から換算される細胞密度にもこの程度の差が生じることになる。このことは、1群体が含有する細胞数の違いを意味しており、実際、本研究では平均3,712であったが、長井らにおいては平均750であった²⁾。本研究における1群体あたりの細胞数は、試水別に、群体外に存在した細胞を含めた全細胞数を、肉眼で確認できた群体数で除して求められており、個々の群体別に含有する細胞数が計数されたものではない。さらに、微小な群体は肉眼による計数で見逃されていると考えられる。このことは、Fig.2で群体がほとんど確認されていない備讃瀬戸中部、備讃瀬戸西部の漁場においても、Fig.3をみると、本種の発生が散見されていることからもうかがえる。またFig.4は、群体密度0～170cobnies/Lの値を用いたものであるが、群体密度が低い段階では値のバラツキが大きくなっており、たとえば30cobnies/L以下の値のみを対象とするとFig.9のような関係が得られ、群体密度と細胞密度との相関は低下している。こうしたことから、1群体あたりの細胞数、さらに群体密度と細胞密度との関係についてはさらなる検討が必要である。現状では、細胞密度を群体密度からの単純計算による換算によって推定することは精度的に問題があり、直接、細胞密度を

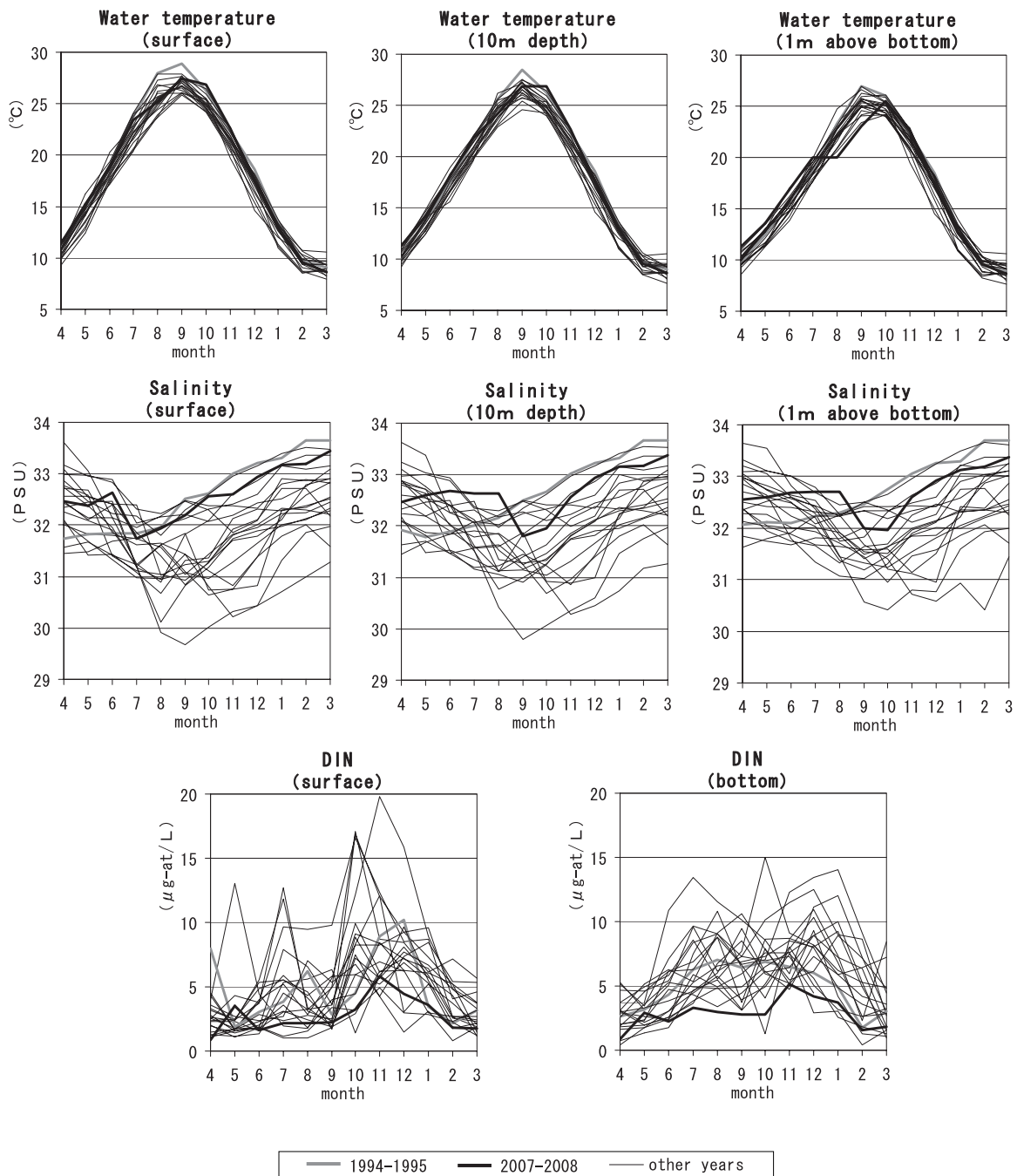


Fig.7 Water temperature, salinity and DIN in Harima-nada (average of 7 stations) from 1988 to 2008. Data are cited from the results of monthly marine investigations of Kagawa Prefectural Fisheries Experimental Station.

測定しておくことが重要である。長井らは、群体によって含有する細胞の大きさの範囲にかなりの差があることを示しており²⁾、今後、本種の増殖過程における群体の大きさの変化およびこれに伴う含有細胞の大きさや数量の変化について、詳細な調査が必要である。

ブルームの発生状況を海域別にみると、細胞密度および全珪藻類に占める出現比率の点から、播磨灘において最も大規模であった。また、これより小規模であ

るが、小豆島北部海域、備讃瀬戸東部でも認められた。この傾向は、1994～1995年発生時³⁾と同様であった。なお、いずれの海域においても細胞密度のピークが2回認められているが、その原因は明らかでない。

2007～2008年のノリ漁期におけるDINは、いずれの海域においても漁期当初から平年より低く推移し、12月下旬頃になるとノリの色落ちが進行し、網揚げを検討する地区も出てきた⁷⁾。播磨灘では、12月中旬にDINが $3\mu\text{g-at/L}$ 程度から一気に $1.7\mu\text{g-at/L}$ 程度に急

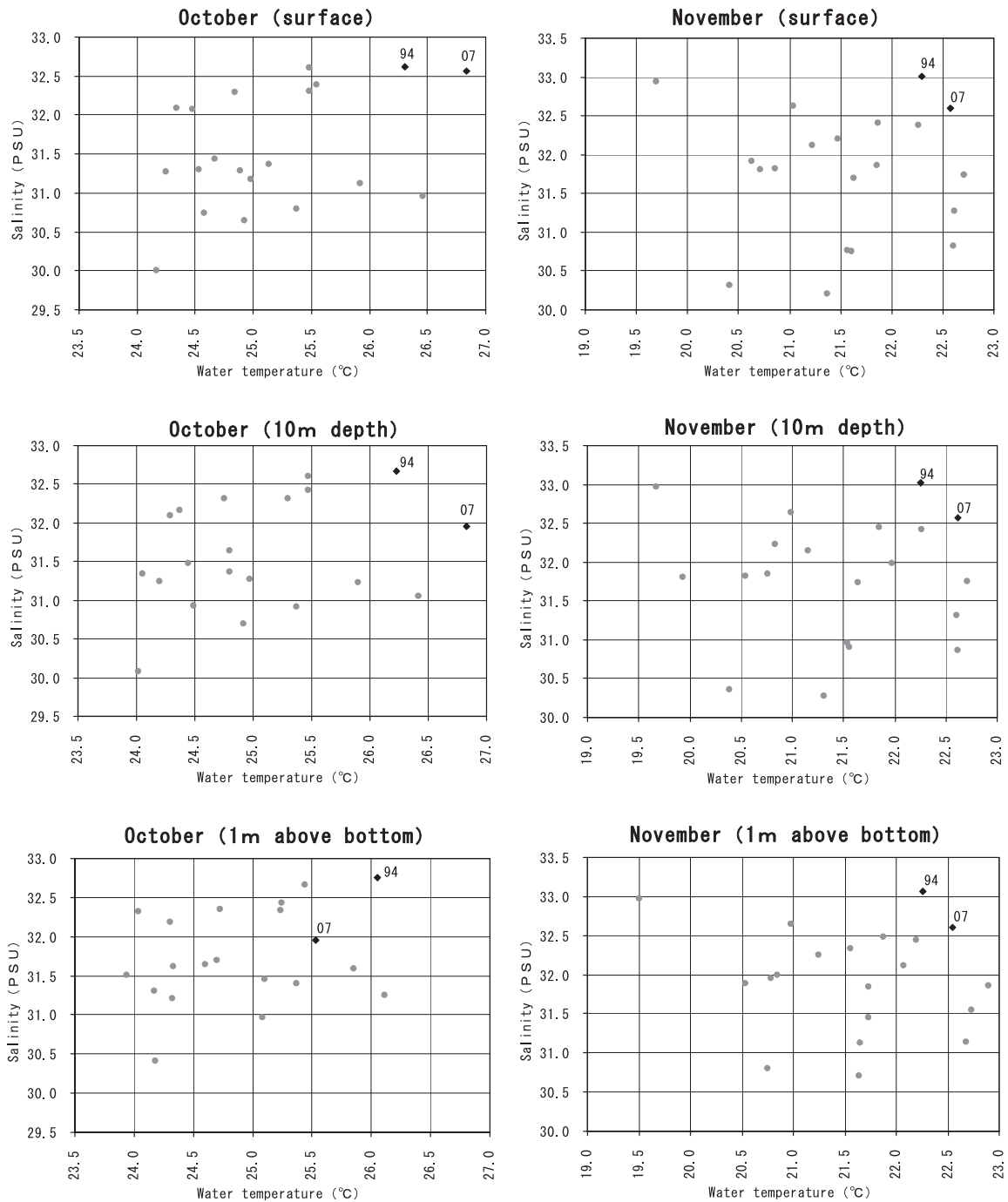


Fig.8 Relationship between water temperature and salinity in October and November in Harima-nada (average of 7 stations) from 1988 to 2007. Data are cited from the results of monthly marine investigations of Kagawa Prefectural Fisheries Experimental Station.

減した。この時期はChl.aが増加しているため、珪藻類による栄養塩の消費がDIN減少の一因になったと考えられた。珪藻類のほとんどは *T. diporocyclus* で占められており、本種のブルームが細胞密度のピークに向けて発達する時期に相当していたことから、本種のブルーム発生がDIN減少に拍車をかけ、ノリの色落ちをもたらしたと推定された。小豆島北部海域では、DINが12月中旬に $3 \mu\text{g-at/L}$ を下回ったが、この時期は本

種のブルームが発生する前であった。その後も12月下旬にかけてDINの減少が続いたが、これについては、播磨灘の場合と同様な理由から、本種のブルームがその一因になったと考えられた。備讃瀬戸東部では、DINは12月下旬に $3 \mu\text{g-at/L}$ を下回ったが、この時期は本種のブルームが発生しており、播磨灘の場合と同様な理由から、ブルーム発生がDIN減少の一因になったと考えられた。

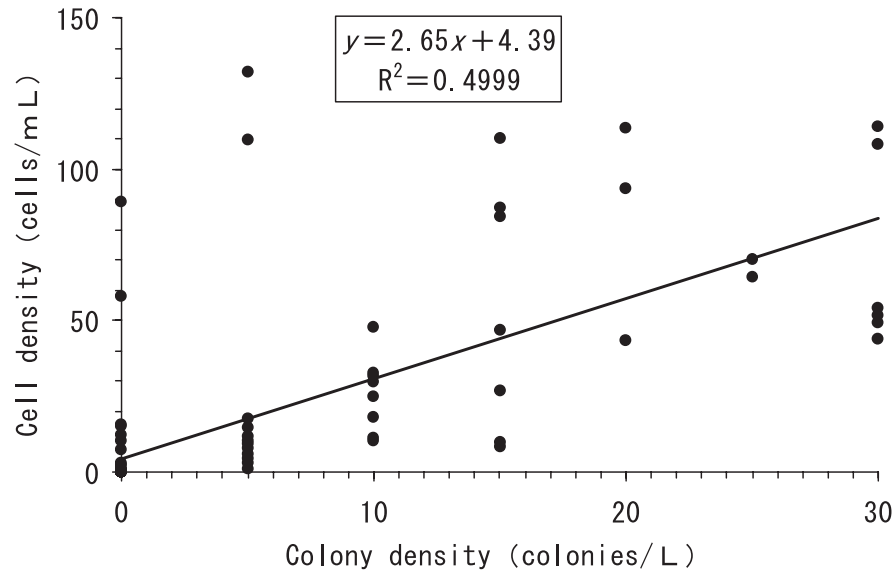


Fig.9 Relationship between colony density (under 30 colonies/L) and cell density of *Thalassiosira diporocyclus*.

DIN減少量に占める本種による消費量の比率を試算した結果からも、本種のブルームがDINの減少に大きな影響を与えていることが示唆され、海域別では、播磨灘、備讃瀬戸東部、小豆島北部海域の順にその割合が大きかった。なお、この試算は単純計算で行われており、また本種の細胞の大きさにはバラツキがある²⁾にも関わらず、単一の試水から得られた測定値が適用されたことなどから、算出された値はかなり大雑把であると推定され、播磨灘における100%を超える値はその表れであると思われる。これらの要素を点検するとともに、本種の窒素取り込みに関する知見が明らかにされれば、より正確な試算が可能になるだろう。

播磨灘の香川県海域の環境について過去20年分のデータを整理した結果、ブルームが発生した2カ年はブルームが発生しなかった他の年に比べ、10、11月の水質が顕著に高水温かつ高塩分であったことが明らかとなり、このことが本種のブルーム発生の要因として関与したと推定される。1994~1995年の発生に関し、堀は、11月~1月の播磨灘の兵庫県海域における水温、塩分が平年に比べ、それぞれ1.5~0.5°C、1.14

~0.85PSU高く、塩分上昇と本種の出現開始時期が対応していたと述べている⁸⁾。また、Miyahara *et al.*は、11月から1月までの水温と塩分は、瀬戸内海東部のほとんどの海域で過去の平均値を上回っており、暖海種である本種の増殖に最適であったと思われると述べている³⁾。本研究で2007~2008年のデータを加えて検討した結果、これらのことが裏付けられた形となった。DINは、10月の表層で低めであったが、11月の値については、1994年が非発生年と比べて特に低いわけではなく、発生要因としてはさらに検討が必要である。発生年における1、2月の低DINは、本種によってDINが消費された結果であると考えられる。2007~2008年冬季は、香川県海域だけではなく、瀬戸内海の広い範囲（大阪湾^{*1}、播磨灘兵庫県海域^{*2}、伊予灘^{*3}等）および八代海^{*1、*4}においても、本種によると思われる群体が多数出現した。これらの海域を対象に加え、また水温、塩分、DIN以外の環境要因、外海水の流入等も含めて検討することにより、ブルーム発生の要因をより明確にすることができるであろう。

本種のブルームはノリ養殖の盛期に発生し、栄養塩の大量消費によってノリに色落ち被害をもたらすこと

*1 平成19年度水産業関係研究開発推進会議漁場環境保全関係研究開発推進特別部会赤潮・貝毒部会（2007年12月13~14日、広島）議事

*2 兵庫のり研究所：兵庫県のり漁場環境情報。平成19年度、西播海域3~7号、東播海域6~13号、鹿ノ瀬海域2~5号、神戸市・東浦海域4号。

*3 久米私信

*4 吉田誠・岩竹悠里・柴田正志・櫻田清成・大和田絃一：2008、八代海の環境保全に関する研究-4 八代海に発生した珪藻 *Thalassiosira diporocyclus* の分布について。2008年度日本水産学会春季大会講演要旨集、215。

から、モニタリングの継続が重要である。また、山本は、備讃瀬戸における水温、塩分が上昇傾向を示していると報告しており⁹⁾、長期的にみるとブルーム発生の頻度が高くなる可能性があると考えられ、この意味でも注意が必要な種である。本種のブルームが漁場環境に及ぼす影響を明らかにするためには、モニタリングとともに、生活史、増殖生理等に関する基礎的な研究の蓄積が必要である。

謝 辞

本研究をとりまとめるにあたり、御校閲を賜った香川県赤潮研究所顧問 岡市友利博士、小野知足博士に厚く御礼申しあげる。

文 献

- 1) 高野秀昭：1990, 日本の赤潮生物. 内田老鶴圃, 東京, 196-197.
- 2) 長井敏, 宮原一隆, 堀豊：1995, 1994-1995年冬季播磨灘に大量発生した*Thalassiosira* sp.について. 兵庫水試研報, (32), 9-17.
- 3) Miyahara K, Nagai S, Itakura S, Yamamoto K, Fujisawa K, Iwamoto T, Yoshimatsu S, Matsuoka S, Yuasa A, Makino K, Hori Y, Nagata S, Nagasaki K, Yamaguchi M, Honjo T：1996, First record of a bloom of *Thalassiosira diporocyclus* in the eastern Seto Inland Sea. *Fish. Sci.* 62, (6), 878-882.
- 4) 安部亨利, 小林武：1995, 漁場環境監視調査, 1 ノリ養殖漁場栄養塩調査. 香川水試事報, 平成6年度, 21-24.
- 5) Verity PG, Robertson CY, Tronzo CR, Andrews MG, Nelson JR, Sieracki ME：1992, Relationships between cell volume and the carbon and nitrogen content of marine photosynthetic nanoplankton. *Limnol. Oceanogr.* 37, 1434-1446.
- 6) 松岡聡, 吉松定昭, 小野哲, 一見和彦, 藤原宗弘, 本田恵二, 多田邦尚：2005, 備讃瀬戸東部(香川県沿岸)におけるノリ色落ちと水質環境. 沿岸海洋研究, 43 (1), 77-84.
- 7) 藤原宗弘, 山賀賢一：2009, 平成19年度ノリ養殖概況. 香川水試事報, 平成19年度, 51-53.
- 8) 堀豊：1996, ノート1993, 1994年度の播磨灘の特異な水温, 塩分環境について. 兵庫水試研報, (33), 39-50.
- 9) 山本昌幸：2003, 瀬戸内海中央部の備讃瀬戸における水温と塩分の長期変動. 水産海洋研究, 67, (3), 163-167.