

## 夢洲周辺海域における赤潮形成珪藻 *Skeletonema costatum* および *Thalassiosira* spp. の動態

大島 詔、西尾孝之、藤原康博、新矢将尚、北野雅昭

### Dynamics of a Red Tide of *Skeletonema costatum* and *Thalassiosira* spp. (Bacillariophyceae) around the Yume-Shima Landfill Site in Osaka Bay.

Akira OSHIMA, Takayuki NISHIO, Yasuhiro FUJIWARA, Masanao SHINYA and Masaaki KITANO

#### Abstract

*Skeletonema costatum* and *Thalassiosira* spp. are representative diatoms that cause red tide in eutrophicated enclosed coastal seas. The dynamics of these species around the Yume-Shima landfill site, located in a cordoned-off section of Osaka Bay, were analyzed. Blooms by *S. costatum* were identified in spring (May to June) and autumn (September to October), and the mean cell density during spring and autumn was  $7.6 \times 10^3$  to  $2.2 \times 10^4$  and  $4.0 \times 10^3$  to  $1.2 \times 10^4$  cells/mL, respectively. The number of *Thalassiosira* spp. cells peaked in summer (August), and the mean was  $1.7 \times 10^4$  to  $6.9 \times 10^4$  cells/mL. The results of regression analyses have shown that the precipitation in Osaka City negatively affects the cell density of *S. costatum*; it has been suspected that the dilution effect due to the rising levels of river water is relatively higher than the nutrient load at the mouth of the rivers. However, there was no evident relationship between any environmental factors and the *Thalassiosira* spp. cell density.

**Key words:** closed-off section of Osaka bay, Yume-shima landfill site, *Skeletonema costatum*, *Thalassiosira* spp., river water

#### I 緒言

大阪湾は大阪平野や淡路島などに囲まれ、北東—南西方向に伸長した楕円に近い形状をしている。湾内の海水交換は明石海峡と鳴門海峡、紀淡海峡の3海峡に限定されているので閉鎖性が極めて強い。一方で淀川や大和川を始めとする大阪湾流入河川の流域居住者人口は約2000万人と推定され、また沿岸部には阪神工業地帯が形成されており、大阪湾は殊更富栄養化が進行しやすい環境にあるといえる。1950年代からの高度経済成長期における富栄養化の進行とともに大阪湾奥部においてヤコウチュウ *Noctiluca* や珪藻類、渦鞭毛藻類による赤潮の発生頻度や規模が拡大し、赤潮原因となった珪藻種のうち、かなりの事例は *S. costatum* により占められ、他に *Nitzschia seriata*、

*Rhizosolenia*、*Eucampia*等が原因種として報告されている[1-3]。ただし2000年代の珪藻種は *S. costatum* に加え、*Thalassiosira* spp. が比較的高密度に出現する観測事例が多く、少なくとも夢洲周辺海域においてはこれら2種属による優占が一般的な傾向である[4,5]。

*S. costatum* や *Thalassiosira* spp. は沿岸海洋生態系を支える生産者として極めて重要な地位を占めるが、著しい赤潮状態になると酸欠や鰓の閉塞に伴う呼吸障害による漁業被害をもたらすこともある[6]。近年の赤潮発生の規模は沈静化の方向にあるとはいえ、過度の赤潮発生は漁業のみならず海洋生態系そのものへの影響が懸念されるので、なおも注意を払う必要がある。

本研究ではウォーターフロントとしての開発が期待される大阪湾奥部に位置する人工島夢洲および舞洲周辺海域で優占する珪藻種についての出現状況と栄養

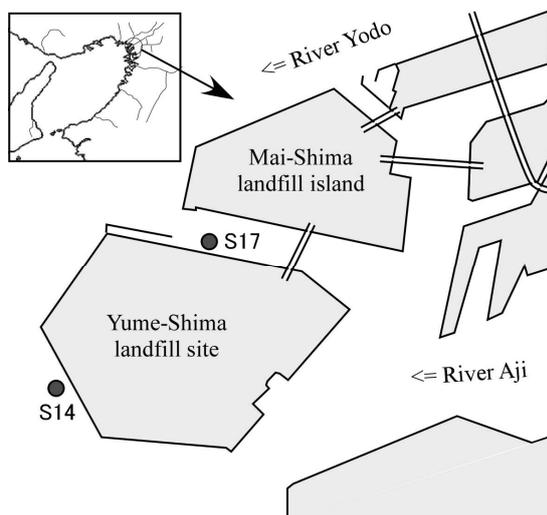


図1 採水場所(●)を示した地図

塩および気象環境などとの対応関係について解析し、その結果一定の知見を得たのでここに報告する。

## II 方法

本研究では大阪湾奥部に位置する人工島夢洲周辺海域の2カ所を解析対象とした(図1)。それらの観測地点は大阪市環境事業局、大阪市港湾局および大阪市立環境科学研究所が長年にわたり水質等について定点観測してきた場所であり、それぞれS14、S17と称されている。両地点において2001年4月から2009年3月までの期間に実施された毎月の表層水を解析の対象とした。

S14およびS17では毎月採水調査が実施され、両地点ともに同日の概ね午前10時前後に船上よりバケツを用いて表層水が採取された。直ちに水温(WT: water temp.)を測定した後に、試料はポリエチレン製の容器に封入されて速やかに研究所に運ばれた後に、各種分析に供された。

プランクトン検鏡用の試料は、試料水約1 Lを四ホウ酸ナトリウムで中和処理されたホルムアルデヒド水溶液で最終濃度が2%となるように固定され、自然沈殿により約250~750倍に濃縮した。ピルケルチュルク血球計算盤上に濃縮試料を滴下・封入し、総合倍率400倍で光学顕微鏡を用いて形態学的な特徴を元にして*S. costatum*および*Thalassiosira* spp.を同定し、種(属)毎に細胞密度を計数し、細胞密度を算出した。

各種水質項目のうち、解析対象としたものは窒素(全窒素(T-N)、硝酸態窒素( $\text{NO}_3\text{-N}$ )、亜硝酸態窒素( $\text{NO}_2\text{-N}$ )、アンモニア態窒素( $\text{NH}_4\text{-N}$ ))、リン(全リン(T-P)およびリン酸態リン( $\text{PO}_4\text{-P}$ ))および塩化物イオン( $\text{Cl}^-$ )とし、すべて日本工業規格[7]に準拠した方法で測定された。なお2003年3月の窒素およびリン、2005年5月のリンのデータは欠測である。

気象に関するデータは大阪管区気象台で観測され

た、観測地:大阪の日ごとの値を加工して用いた[8]。2001年4月1日から2009年3月31日までの日毎の値のうち、毎月の採水日を含む前7日間の1)降水量の合計(AP: accumulative precipitation)、2)平均風速の平均(WV: wind velocity)、3)日照時間の合計(HS: house of sunshine)を、その月の気象データとして使用した。

## III 結果

### 1) *S. costatum*と*Thalassiosira* spp.の動態

2001年4月から2009年3月までの*S. costatum*および*Thalassiosira* spp.の細胞密度を図2に示す。S14(図2上側)では、*S. costatum*は $0\sim 3.4 \times 10^4$  cells/mLの範囲にわたり観測され、平均細胞密度は $3.3 \times 10^3$  (s.d.  $6.1 \times 10^3$ ) cells/mLであった。*Thalassiosira* spp.は $0\sim 1.8 \times 10^4$  cells/mLの範囲にあり、平均細胞密度は $9.6 \times 10^2$  (s.d.  $2.8 \times 10^3$ ) cells/mLであった。一方、S17(図2下側)における*S. costatum*は0から最大 $1.2 \times 10^5$  cells/mLが観測され、平均細胞密度は $6.5 \times 10^3$  (s.d.  $1.7 \times 10^4$ ) cells/mLであった。*Thalassiosira* spp.細胞密度の範囲は $0\sim 5.3 \times 10^4$  cells/mLであり、平均 $1.8 \times 10^3$  (s.d.  $6.6 \times 10^3$ ) cells/mLであった。S14では2001年5月や2004年4月を始め、何度かの*S. costatum*によるブルームが記録された。S17についても2002年5月や2008年6月を始め、何度かのブルームが観察されたが、いずれのブルームにあっても大抵は1ヶ月か、長くても2ヶ月で収束し、何ヶ月にもわたり長期的に継続するものはなかった。*Thalassiosira* spp.によるブルームは、S14では2001年8月や2002年8月など、S17では2007年8月など、主として8月に観察され、*S. costatum*と同様に何ヶ月にもわたり継続することはなかった。

### 2) 月毎の平均細胞密度

*S. costatum*および*Thalassiosira* spp.の細胞密度を月別で比較したところ、両種属ともに明瞭な季節変動パターンが認められた(図3)。

S14における*S. costatum*の月別平均密度には5月と11月を極大とする2つのピークが見られ、それぞれの平均細胞密度は $7.6 \times 10^3$  ( $\pm 1.2 \times 10^4$  s.d.)、 $4.0 \times 10^3$  ( $\pm 4.9 \times 10^3$  s.d.) cells/mLであった。平均値の最大は5月であり、この値と比較して10%以上の細胞密度が観測された月は1~7月と9~11月の10ヶ月間にわたり、8月および12月の細胞密度は極端に少なかった。S17における月別平均密度は6月と9月に極大が見られ、それぞれ $2.2 \times 10^4$  ( $\pm 1.3 \times 10^4$  s.d.) および $1.2 \times 10^4$  ( $\pm 7.0 \times 10^3$  s.d.) cells/mLであった。平均細胞密度は6月が最大であり、この月に対して10%以上の細胞密度が観察されたのは3~7月と9~11月の8ヶ月間であった。8月および1月の細胞密度はS14同様に極端に低かった。*S. costatum*のピークは、両地点で(1~)3~7月と9~11月の年2回見られ、8月と冬(12か1月)に細胞密度が極端

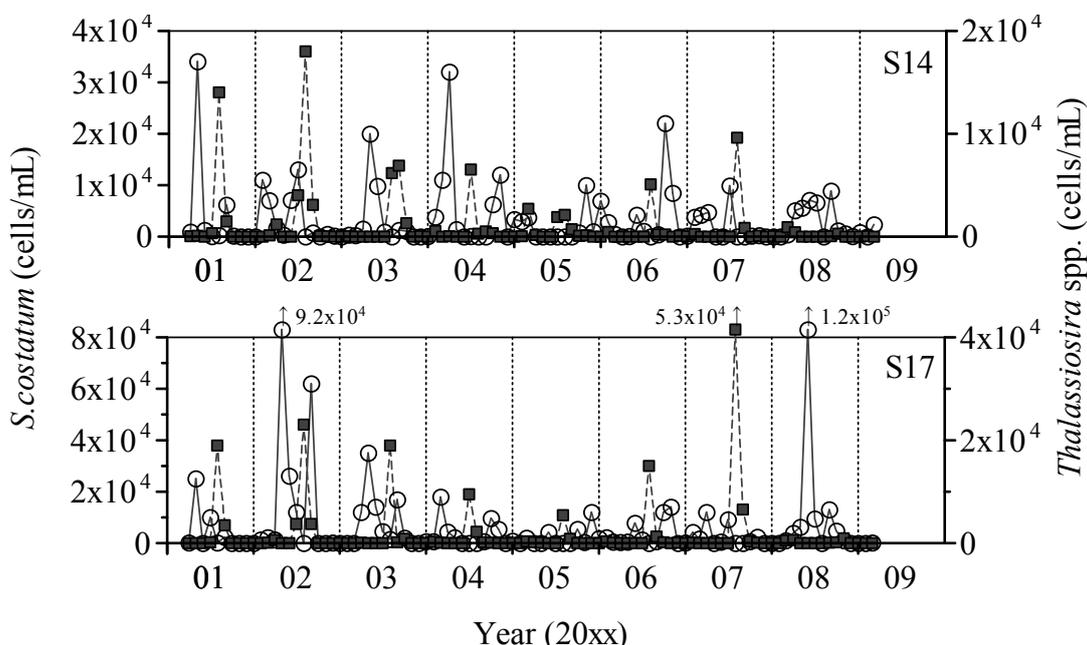


図2 *Skeletonema costatum* および *Thalassiosira* spp.細胞密度の推移  
(○: *S. costatum*, ■: *Thalassiosira* spp.)

に減少することが共通し、S17はS14比平均細胞密度および極大値の細胞密度は高く、極大を示す月にも若干の違いが見られた。

*Thalassiosira* spp.の細胞密度は、S14、S17ともに8月に極めて鋭いピークが観測され、平均細胞密度はそれぞれ  $6.9 \times 10^4$  ( $\pm 6.1 \times 10^4$  s.d.) および  $1.7 \times 10^4$  ( $\pm 1.6 \times 10^4$  s.d.) cells/mLであった。この8月の平均細胞密度に対して10%以上の平均細胞密度を示した月は、S17では7~9月の3ヶ月間であった。S14では7~9月に加え、3月においても細胞密度が10%を越え、弱いピークも認められた。*Thalassiosira* spp.のブルームは *S. costatum*細胞密度が一時的に低下する8月に集中して観測されることから(図3)、*Thalassiosira* spp.のブルーム期(7~9月)に限定し、独立変数を *S. costatum*細胞密度、従属変数を *Thalassiosira* spp.細胞密度(ともに対数変換後の値)とする回帰分析を実施し、両者の関係を検証したところ、S14、S17ともに有意な相関は見られなかった。(S14:  $n=24$ ,  $r=0.030$ ,  $t=-0.82$ ,  $p>0.05$ , S17:  $n=24$ ,  $r=0.027$ ,  $t=-0.79$ ,  $p>0.05$ )。

### 3) 環境要因とプランクトン細胞密度との関係

WT、T-N、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 、T-P、 $\text{PO}_4\text{-P}$ 、 $\text{Cl}^-$ 、そして気象に関わる項目のAP、WV、HSの各項目ごとに *S. costatum* および *Thalassiosira* spp.細胞密度との関係について相関分析を実施し、結果を表1にまとめた。ただし、プランクトン細胞密度は、両種(属)ともに低密度側に著しく偏った頻度分布をしていたため、相関分析に際し、プランクトン細胞密度に1を加え、自然対数に変換した値を分析に使用した。*S. costatum*の細胞密度

に対する解析においては、最大密度の10%以上の細胞数が観測された月をブルーム期と見なし、(1~)3~7月までの春期ブルームと9~11月の秋季ブルームとに分けて実施した。*Thalassiosira* spp.に対しては7~9月の夏季ブルーム期のデータを対象として、それぞれ解析

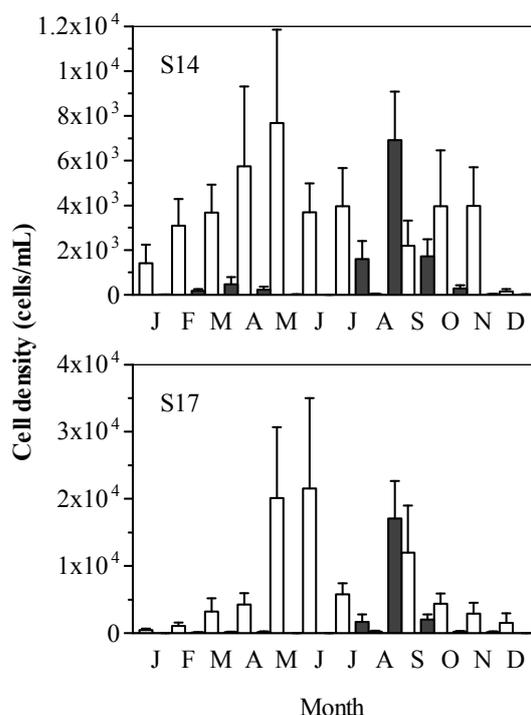


図3 月毎の平均細胞密度と標準誤差  
(□: *S. costatum*, ■: *Thalassiosira* spp.)

表1 環境要因と細胞密度との相関分析の結果

	<i>log (S.costatum+1)</i>						<i>log (Thalassiosira spp.+1)</i>		
	Jan. to Jul.			Sep. to Nov.			Jul. to Sep.		
	N	R	p	N	R	p	N	R	p
Water temp.	56	-0.029	n.s.	24	0.017	n.s.	24	0.552	<0.001
T-N	55	-0.063	n.s.	24	-0.363	n.s.	24	0.040	n.s.
NH4-N	55	-0.275	<0.05	24	-0.615	<0.001	24	-0.136	n.s.
NO3-N	55	0.130	n.s.	24	-0.203	n.s.	24	-0.405	<0.05
T-P	54	0.128	n.s.	24	-0.423	<0.05	24	0.025	n.s.
PO4-P	54	-0.281	<0.05	24	-0.531	<0.001	24	-0.372	n.s.
Chloride ion	56	-0.032	n.s.	24	0.183	n.s.	24	-0.272	n.s.
Accumulative precipitation	56	-0.268	<0.05	24	-0.211	n.s.	24	0.050	n.s.
Wind velocity	56	-0.112	n.s.	24	-0.194	n.s.	24	-0.287	n.s.
Hours of Sunshine	56	-0.042	n.s.	24	0.296	n.s.	24	0.332	n.s.

	<i>log (S.costatum+1)</i>						<i>log (Thalassiosira spp.+1)</i>		
	Mar. to Jul.			Sep. to Nov.			Jul. to Sep.		
	N	R	p	N	R	p	N	R	p
Water temp.	40	0.067	n.s.	24	0.327	n.s.	24	0.552	<0.001
T-N	39	-0.016	n.s.	24	-0.302	n.s.	24	0.040	n.s.
NH4-N	39	-0.324	<0.05	24	-0.464	<0.05	24	-0.136	n.s.
NO3-N	39	0.148	n.s.	24	-0.148	n.s.	24	-0.405	<0.05
T-P	38	-0.036	n.s.	24	-0.440	<0.05	24	-0.372	n.s.
PO4-P	38	-0.392	<0.05	24	-0.503	<0.05	24	-0.272	n.s.
Chloride ion	40	-0.005	n.s.	24	-0.162	n.s.	24	0.050	n.s.
Accumulative precipitation	40	-0.341	<0.05	24	-0.278	n.s.	24	-0.287	n.s.
Wind velocity	40	-0.155	n.s.	24	-0.032	n.s.	24	0.332	n.s.
Hours of Sunshine	40	0.018	n.s.	24	0.368	n.s.	24	0.541	<0.001

した。S14では3月にも *Thalassiosira* spp.による弱い極大が観測されたが、出現したプランクトンは形態的に夏のブルームを形成する種とは異なる細胞種であったので、この解析の対象より除外した。

その結果、S14およびS17の双方で共通して相関係数に一定の傾向が見られた(図2)。S. *costatum*に対しては、春季ブルームでは地点を問わず水質項目のうちNH<sub>4</sub>-NおよびPO<sub>4</sub>-Pが有意な負の相関を示し、気象要因ではAPが有意な負の相関を示した。秋季ブルームではNH<sub>4</sub>-NおよびPO<sub>4</sub>-Pに加え、T-Pも有意な負の相関を示したが、APはS14およびS17ともに有意な相関を示さなかった。*Thalassiosira* spp.に対してはWTが正、NO<sub>3</sub>-Nが負の、それぞれ有意な相関を示し、さらにS17ではHSも有意な正の相関を示した。

#### 4) 季節変動を考慮に入れた相関関係の解析

月毎のプランクトン細胞密度の変動パターン(図3)からは、プランクトンの細胞密度は季節変動が支配的であることが明らかであるが、各月の細胞密度にはある程度の変動幅もあり、この変動部分はその時の環境要因によるものと考えられる。プランクトン細胞密度に対する環境変動の影響は季節変動による影響を取り除いた

上で検証しなくてはならない。本報告では観測された細胞密度について、自然対数変換した上で、さらに月毎の平均値および分散を元にしてzスコアへと変換し、ある月における平均細胞密度からの変動を規準化した。

こうして求められたzスコアは、やはり同様に月毎の平均値および分散より求めた環境要因のzスコアと相関分析を行い、ブルーム期毎で対応関係について検討した。この相関分析に投入された環境要因は、3)環境要因とプランクトン細胞密度との関係での解析と同一の10要因とした。

その結果(表2)、S. *costatum*はS14では春期ブルーム期にはNO<sub>3</sub>-N、T-Pが有意な正の相関、APが有意な負の相関を示し、単純な数量に対する相関分析とはやや異なった傾向を示した。一方秋季ブルーム期にはNH<sub>4</sub>-N、T-P、PO<sub>4</sub>-Pがいずれも有意な負の相関を示し、表1の結果と同様の傾向にあり、加えてHSも正の相関を示した。S17における春期ブルーム期にはNH<sub>4</sub>-NおよびAPが表1に示した結果と同様の負の相関を示し、さらにT-Pも有意な正の相関を示した。秋季ブルーム期では表1同様にNH<sub>4</sub>-N、T-P、PO<sub>4</sub>-Pに対して負の相関を示し、さらにT-NやAPでは負の、HSに対し

表2 規準化された環境要因と細胞密度との相関分析の結果

	<i>log (S.costatum+1)</i>						<i>log (Thalassiosira spp.+1)</i>		
	Jan. to Jul.			Sep. to Nov.			Jul. to Sep.		
	N	R	p	N	R	p	N	R	p
Water temp.	56	0.024	n.s.	24	0.185	n.s.	24	0.401	n.s.
T-N	55	0.121	n.s.	24	-0.364	n.s.	24	0.172	n.s.
NH4-N	55	-0.134	n.s.	24	-0.780	<0.001	24	-0.130	n.s.
NO3-N	55	0.275	<0.05	24	-0.173	n.s.	24	-0.234	n.s.
T-P	54	0.298	<0.05	24	-0.543	<0.001	24	-0.263	n.s.
PO4-P	54	0.028	n.s.	24	-0.646	<0.001	24	-0.316	n.s.
Chloride ion	56	-0.137	n.s.	24	0.181	n.s.	24	-0.292	n.s.
Accumulative precipitation	56	-0.378	<0.001	24	-0.279	n.s.	24	-0.335	n.s.
Wind velocity	56	-0.118	n.s.	24	-0.154	n.s.	24	0.298	n.s.
Hours of Sunshine	56	-0.175	n.s.	24	0.444	<0.05	24	0.315	n.s.

	<i>log (S.costatum+1)</i>						<i>log (Thalassiosira spp.+1)</i>		
	Mar. to Jul.			Sep. to Nov.			Jul. to Sep.		
	N	R	p	N	R	p	N	R	p
Water temp.	40	0.068	n.s.	24	0.375	n.s.	24	0.122	n.s.
T-N	39	0.234	n.s.	24	-0.564	<0.001	24	0.074	n.s.
NH4-N	39	-0.409	<0.001	24	-0.779	<0.001	24	-0.147	n.s.
NO3-N	39	0.123	n.s.	24	-0.371	n.s.	24	-0.229	n.s.
T-P	38	0.340	<0.05	24	-0.604	<0.001	24	-0.262	n.s.
PO4-P	38	-0.123	n.s.	24	-0.718	<0.001	24	-0.180	n.s.
Chloride ion	40	0.078	n.s.	24	0.117	n.s.	24	0.070	n.s.
Accumulative precipitation	40	-0.384	<0.05	24	-0.417	<0.05	24	-0.318	n.s.
Wind velocity	40	-0.196	n.s.	24	-0.259	n.s.	24	0.251	n.s.
Hours of Sunshine	40	-0.013	n.s.	24	0.443	<0.05	24	0.127	n.s.

ては正の、それぞれ有意な相関を示した。しかしながら *Thalassiosira* spp.については、いずれの環境要因とも有意な相関関係を示さなかった。

#### IV 考察

##### 1) *S. costatum*と *Thalassiosira* spp.細胞密度の比較

*S. costatum*による赤潮がもっとも激しかった1960年代末に大阪湾奥部で最高密度が $5.3 \times 10^4$  cells/mLが記録されており[1]、大阪湾全域に拡大すると、最大密度で $1 \times 10^5$  cells/mLが記録されている[9]。2001年から2009年までの最大値ですらS17で2008年6月に観測された $1.2 \times 10^4$  cells/mLが最大であり、高度成長期の時と比較すると赤潮の最高密度は1オーダー低く、赤潮の規模は沈静化している。しかしながら *Thalassiosira* spp.は、高度成長期における最大値は $10^4$  cells/mLのオーダーであるが[9]、S17で2007年8月における $5.3 \times 10^4$  cells/mLを筆頭に2000年代においても $10^4$  cells/mLのオーダーで度々観測されており、当時とさほど変わらない状況にある。

##### 2) 2通りで実施された相関分析の有用性

相関分析による *S. costatum*と *Thalassiosira* spp.の細

胞数についての解析は、表1では観測値同士、表2ではzスコア同士と、同じデータに対して二重に分析されている。zスコア同士による比較の必要性はすでに述べたとおりであり、改めてその必要性については議論しないが、双方で得られた相関係数等は、その要因がブルームの期間を通じた擬似的な相関なのか、あるいは何らかの意味ある相関なのかの判断するために必要であった。例えば、表1で *Thalassiosira* spp.はS14、17ともに水温と正の相関を示したが、大阪湾奥部では水温は8月に最大となるので(図3)、同じ月に最大数となる細胞密度と強く相関することは自明である。表2の結果と比較することでも水温と細胞密度の間に見られる疑似相関は容易に排除することができる。もし表1、表2ともに相関が見られるのであれば、それは期間を通じて強く影響し続ける要因であると考えられ、表2のみで相関が見られるのであれば、月の平均値からかけ離れたときに、パルス的に作用する要因であると解釈される。

##### 3) 気象要因とプランクトン密度との関係

今回、従属変数として解析を試みた栄養塩は、形態を問わず窒素とリンのみである。珪藻類はケイ酸質の殻を持つため、他の藻類種と違いケイ素が必須元素で

ある。本来なら珪藻類のブルームを解析するにあたり、溶存ケイ素量を因子として加えるべきであるが、データとして持ち合わせていなかった。ただし沿岸域における溶存ケイ素は陸域より河川水により運搬されるので、本解析では水質分析の前7日間における降水量(AP)で代用して検討した。

しかしながら表1および表2の結果からは、降水量は*S. costatum*の細胞密度に対して正の相関を示すことは無かった。この理由としては、降水量はケイ酸塩の指標として満足していなかった可能性も考えられるが、対象としたS14およびS17の両地点は河口域の極近傍であるために(図1)、降水により増水した河川水により希釈されて細胞密度が低下したためと考えられる。

また、HSやWVとプランクトン細胞密度との関連性についても解析を試みた。HSは光合成による同化、WVはプランクトンの表層集積に作用するので、いずれも*S. costatum*や*Thalassiosira* spp.と正の関係を期待して投入した。一部で従属変数との関連を示したが、総じて細胞密度を説明する満足な説明変量と見なすことは難しい結果であった。両地点ともに河口直下であるため、降水の影響は増水した河川水による希釈効果により植物プランクトンの細胞密度が低下する効果が絶大であり、一般的に見られる正の効果が確認されなかったものと推察される。

#### 4) *S. costatum*の動態と二峰性

大阪湾奥部における*S. costatum*の二峰性については、すでに矢持(1993)[10]や吉田ら(2000)[3]により報告されており、今回の結果はそれらを追認するものである。しかしながら、なかでも吉田ら(2000)[3]は二峰性の要因として*S. costatum*には遺伝子的[11]に異なる春型和秋型の2種類がある知見を踏まえ、DIN:DIP比の季節変動との関連性を示唆した。今回の結果は春期、秋季のブルーム期ともに*S. costatum*はNH<sub>4</sub>-Nと強い負の相関を示し、しかも春と秋とで相関係数に差が見られたが、季節による出現型の差異と栄養塩吸収特性の違いをうまく説明できるであろうか。

本解析で得られたNH<sub>4</sub>-Nと*S. costatum*との関係は負の相関であったが、ブルームが生じて*S. costatum*細胞密度が増加したときには、窒素源としてNO<sub>3</sub>-NよりもNH<sub>4</sub>-Nが優先的に利用されるためと解釈されよう。*S. costatum*や*Thalassiosira* spp.はNO<sub>3</sub>-NおよびNH<sub>4</sub>-Nの両方を窒素源として利用可能であるが[12]、NH<sub>4</sub>-Nをより積極的に吸収する傾向にあることはPennock *et al.* (1996)が培養実験の結果を基に報告しており[13]、今回観測された現象と符合する。春と秋でNH<sub>4</sub>-Nとの相関係数が大きく異なり(表1、2)、一見春型和秋型の吸収特性の差のように映るが、季節によりNH<sub>4</sub>-N以外の環境要因の状況は異なる。今回の解析ではそうした他の要因を完全に調整した解析が行えていないので、現段

階では積極的に栄養塩の吸収特性が異なるとまではいえない。また、秋季にはPO<sub>4</sub>-Pとの間にも強い負の相関が見られた。NH<sub>4</sub>-N同様、やはりブルームに伴うPO<sub>4</sub>-Pの消費とも思われるが、細胞密度は降水量と負の相関を示していることを考慮に入れると、流入する河川水の影響とも考えられる。すなわち、淀川や安治川からの河川水にはNH<sub>4</sub>-NやPO<sub>4</sub>-Pが高濃度で含まれており、降水により普段以上に夢洲周辺海域に河川水が流入すると、*S. costatum*は希釈され、プランクトンにより未利用の状態にある、陸域由来のNH<sub>4</sub>-NやPO<sub>4</sub>-Pが高濃度で検出される。降水量が減少すると*S. costatum*は希釈されることなく増殖して細胞密度が上昇し、代わりにNH<sub>4</sub>-NやPO<sub>4</sub>-Pが利用されて減少する。従って*S. costatum*はNH<sub>4</sub>-NやPO<sub>4</sub>-Pと見かけ上負の相関を示すと解釈される。

また、秋季ブルーム期には規準化された値の相関分析でのみ日照時間が有意な正の相関を示した(表2)。この傾向は春季には見られないものであり、春型和秋型の光要求性の相違を反映したものであるかもしれないが、要検討課題でもある。

#### 5) *Thalassiosira* spp.の動態

*Thalassiosira* spp.は、その出現は主に夏に限定されていたが、今回挙げた環境因子だけでは十分に説明することができなかった。NH<sub>4</sub>-NやPO<sub>4</sub>-Pを強く要求することは知られているが[14]、この窒素やリンだけではその現存量をうまく説明することはできなかった。本解析からはブルームは夏のごく限られた短い期間に集中する傾向が明らかになったので(図3)、その動態を解析するはもっと短いスパンで集中して細胞密度や種々の環境因子を計測し、その上で解析されるべきであろう。

*S. costatum*、*Thalassiosira* spp.の両種属の発生は、春と秋に*S. costatum*のブルームが見られ、8月に細胞密度が一時的に低下する。*Thalassiosira* spp.はこの合間の時期を埋めるようにしてブルームを形成するという周期性が見られた。回帰分析の結果、S14およびS17の双方で*S. costatum*と*Thalassiosira* spp.の細胞数の間に相関が見られないので、その結果からは両者の消長は独立していることが示される。しかしながら両種ともに大阪湾奥部における代表的な赤潮形成珪藻として大量に出現するので[4,5]、資源や動物プランクトンを介した間接的な相互作用の存在が予見されるので、拙速な結論は避けるべきであろう。いずれにせよ大阪湾奥部では、春、夏、秋と珪藻種によるブルームが継続し、月により赤潮原因種が異なることは確かである。

**謝辞** 本研究では大阪市環境事業局および大阪市港湾局より大阪市立環境科学研究所に委託された調査研究で得られた成果(データ)を使用した。ここに関係者各位に対し厚く感謝の辞を表明する。

### 参考文献

- 1) 村上彰男, 第3章 瀬戸内海の赤潮, in 赤潮と富栄養化. 公害対策技術同友会, 東京 1976; 58-83.
- 2) 岡市友利, 2. 赤潮現象. 岡市友利編, 赤潮の科学(第二版). 恒星社厚生閣, 東京 1997; 5-41.
- 3) 吉田陽一, 山本圭吾, 中嶋昌紀, 辻野耕実, 小玉一哉, 酒井康彦. 大阪湾北東域における *Skeletonema costatum* の高密度発生と水質、気象要因などとの関係. 日本水産学会誌 2000; 66(2): 200-206.
- 4) たとえば、大阪市環境事業局, 大阪市港湾局, 大阪市環境科学研究所. 平成18年度北港処分地南地区の水質総合管理に関する調査研究報告書 2007.
- 5) Hayashi M, Yanagi T. Analysis of change of red tide species in Yodo river estuary by the numerical ecosystem model. Marine Pollution Bulletin 2008; 57(1-5): 103-107.
- 6) Kent M L, Whyte J N C, LaTrace C. Gill lesions and mortality in seawater penreared Atlantic salmon *Salmo salar* associated with a dense bloom of *Skeletonema costatum* and *Thalassiosira* species. Diseases of Aquatic Organisms 1995; 22: 77-81.
- 7) 日本工業標準調査会, JIS K0102 工業排水試験方法. 1998.
- 8) 気象庁ホームページ,  
<http://www.jma.go.jp/jma/index.html>,  
(2009/7/10).
- 9) 飯塚昭二, 上真一, 石田祐三郎. 4. 赤潮の生態的諸問題. 岡市友利編, 赤潮の科学(第二版). 恒星社厚生閣 東京 1997; 115-180.
- 10) 矢持進. 8.大阪湾. 吉田陽一編, 水域の窒素:リン比と水産生物(水産学シリーズ95). 恒星社厚生閣 東京 1993; 84-95.
- 11) Gallagher J C. Population genetics of *Seletonema costatum* (Bcillariophyceae) in Nrragansett bay. Journal of Phycology 1980; 16(3): 464-474.
- 12) Takahashi M, Fukazawa N. A mechanism of "red tide" formation. II. Effect of selective nutrient stimulation on the growth of different phytoplankton species in natural water. Marine Biology 1982; 70: 267-273.
- 13) Pennock J R, Velinsky D J, Ludlam J M, Sharp J H, Fogel M L. Isotopic fractionation of ammonium and nitrate during uptake by *Skeletonema costatum*: implications for  $\delta^{15}\text{N}$  dynamics under bloom conditions. Limnology and Oceanography 1996; 41(3): 451-459.
- 14) Fan C, Glibert P M, Alexander J, Lomas M W. Characterization of urease activity in three marine phytoplankton species, *Aureococcus anophagefferens*, *Prorocentrum minimum*, and *Thalassiosira weissflogii*. Marine Biology 2003; 142(5): 949-958.