

## 西部北太平洋における Transparent Exopolymer Particles 濃度と サイズ組成

小針統<sup>1\*</sup>・山本孝<sup>1</sup>・古橋智志<sup>1</sup>・貝原本充<sup>1</sup>

### Concentrations and its size compositions of transparent exopolymer particles in the western North Pacific Ocean

Toru Kobari<sup>1\*</sup>, Takashi Yamamoto<sup>1</sup>, Satoshi Furuhashi<sup>1</sup>, Motomitsu Kaihara<sup>1</sup>

**Keywords:** Transparent exopolymer particles, Western North Pacific Ocean, Diatom, Seaweed, Coral

#### Abstract

Transparent Exopolymer Particles (TEP) are suspending transparent organic matter produced by seaweeds and phytoplankton and appear abundantly in seawater. They are known not only to form marine snow aggregating phytoplankton, zooplankton fecal pellets and other particles, but also to serve as substrates for bacterial growth and prey source for zooplankton, suggesting their important functions for food web structure and material cycle in marine ecosystems. We have knowledge on TEP from the temperate to northern waters, however, there is limited information in the subtropical waters. The present study demonstrated TEP concentrations and its size compositions at the coastal and pelagic sites in the subtropical waters and explored the source of supply through incubation experiments on diatoms, seaweeds and corals. TEP concentrations were higher at the coastal sites compared with those at the pelagic sites and comparable to previously reported values from the northern waters. Higher biomass of nano- and micro-sized phytoplankton resulted in higher TEP concentrations. A greater number of larger TEPs were found at the coastal sites compared to pelagic sites. When diatoms and seaweeds were cultured, TEP concentrations were increased under their high standing stocks and high thermal conditions. TEP size distributions from seaweeds exhibited a wide range and were larger than those from diatoms and corals. These findings suggest that TEP production is likely supported not only by diatoms but also seaweeds and coral in the subtropical waters.

Transparent Exopolymer Particles (TEP) は海水中に多く存在する透明な懸濁有機物であり、大型藻類<sup>1,2)</sup>、植物プランクトン<sup>2,3)</sup>から浸出する物質であることが知られている。TEP は光学顕微鏡での観察が困難であったためにその存在が過小評価されてきたが、多糖類に特有の染色技術によって可視化<sup>3)</sup>、定量化<sup>4)</sup>されるようになって以来、重視されるようになってきた。例えば、北方海域では海洋表層に高濃度で存在<sup>2,4,5)</sup>するため、植物プランクトンや動物プランクトンから排泄される糞粒を吸着して沈降粒子（マリンスノー）を形成し<sup>3)</sup>、海洋深層への炭

素輸送に影響を及ぼしていることが指摘されている<sup>5)</sup>。また、バクテリアの増殖基質<sup>5,6)</sup>や、繊毛虫<sup>7)</sup>やカイアシ類<sup>8)</sup>、オキアミ<sup>9)</sup>などの餌料源となることが知られており、海洋生態系の群集構造や食物連鎖に影響を与えていることが示唆されている。しかし、これまでの研究では北方海域からの報告に基づいており、生物生産力が低いとされる亜熱帯域からの情報は少ないため、TEP の包括的な機能的役割については偏りがある。

そこで本研究では

①亜熱帯海域における TEP 濃度およびサイズ組成

<sup>1</sup> 鹿児島大学水産学部, 鹿児島市下荒田 4-50-20 (Aquatic Sciences, Faculty of Fisheries, Kagoshima University, 4-50-20 Shimoarata, Kagoshima 890-0056, Japan)

\* Corresponding Author: T. Kobari  
Faculty of Fisheries, Kagoshima University  
4-50-20 Shimoarata, Kagoshima 890-0056, Japan  
Telephone: +81-99-286-4140  
Email: kobari@fish.kagoshima-u.ac.jp

## ②亜熱帯海域特有の海藻・植物プランクトン・サンゴによる TEP の産出実験

により、当該海域における TEP の基礎的知見を得ることを目的とする。

### 実験方法

#### 海洋観測・標本採取

調査は、外洋域では 2005 年 6 月～9 月までの期間に鹿児島大学練習船かごしま丸・南星丸にて、沿岸域では 2005 年 6 月～10 月までの期間に鹿児島大学練習船南星丸もしくは海岸にて行った。海表面からはプラスチックバケツ、その他の深度からは CTD に装着したニスキン採水器を用いて海水を採取した。TEP 濃度とクロロフィル *a* 濃度測定用標本は黒色プラスチックボトル (1000 mL) に、TEP サイズ測定用標本は白色プラスチックボトル (100 mL) に採取し、中性ホルマリンで固定して (最終濃度 5%) 実験室に持ち帰った。海水採取時に、棒状温度計で水温を測定した。

#### TEP 濃度測定

TEP 濃度測定は、既往法<sup>4)</sup>に準じた。TEP 濃度測定用海水標本は、アドバンテック社製白色ポリカーボネートフィルター (孔径 0.4  $\mu\text{m}$ ) を使って弱圧 (20 kPa 以下) で 50 mL を濾過した。濾過後、直ちに 0.02% アルシアンブルー染色液を 500  $\mu\text{L}$  滴下してフィルター上の TEP を染色し、余分な染色液を Milli-Q 水で除去した後、水分を濾過した。フィルターは暗条件、 $-30^{\circ}\text{C}$  で冷凍保存した。TEP 濃度はフィルターを 80% 硫酸に 2 時間半以上浸漬した後、日立社製分光光度計 (U-1800) を用いて 787 nm の波長で測定し、ガムキサソ等量 ( $\mu\text{gXG equiv. L}^{-1}$ ) で表した。

#### TEP サイズ測定

TEP サイズ測定は、既往法<sup>3)</sup>に準じて面積をサイズとして評価した。TEP サイズ測定用標本は、アドバンテック社製白色ポリカーボネートフィルター (孔径 0.4  $\mu\text{m}$ ) を使って弱圧 (20 kPa 以下) で 50 mL を濾過した。濾過後、直ちに 0.02% アルシアンブルー染色液を 500  $\mu\text{L}$  滴下してフィルター上の TEP を染色し、余分な染色液を Milli-Q 水で除去した後、水分を濾過した。フィルターはエマージェンオイルで封入することで、プレパラート標本作製した。プレパラート標本は、生物顕微鏡に装備された CCD カメラで画像として取り込んだ後、三谷社製画像解析ソフト (Lumina Vision) を用いて 1 プレパラートにつき 50～100 個の TEP 面積を測定した。

#### クロロフィル *a* 濃度測定

クロロフィル *a* 濃度用標本はワットマン社製 GF/F

フィルター (孔径 0.7  $\mu\text{m}$ )、ミリポア社製フィルター (孔径 5  $\mu\text{m}$ )、ナイロン製プランクトンネット地 (孔径 20  $\mu\text{m}$ ) を用いてサイズ分画しながら弱圧 (20 kPa 以下) で 1000 mL を濾過した。濾過後直ちにフィルターは暗条件、 $-15^{\circ}\text{C}$  で *N,N*-dimethylformamide (DMF) 中に 24 時間以上浸漬し、クロロフィル色素を抽出した<sup>10)</sup>。抽出されたクロロフィル *a* はターナーデザイン社製蛍光光度計 (TD700) を用いて Welschmeyer 法<sup>11)</sup>に従って測定した。

#### 培養実験

沿岸域および外洋域で観察された TEP の産出源を評価するために、植物プランクトン (珪藻類)、海藻 (褐藻類) およびサンゴを培養し、これらから産出される TEP 濃度およびサイズを測定した。鹿児島湾沿岸より採取された海水をワットマン社製 GF/F フィルター (孔径 0.7  $\mu\text{m}$ ) で濾過し、 $125^{\circ}\text{C}$ ・20 分間で滅菌することで、培養実験海水を作成した。植物プランクトン培養実験では、鹿児島県水産技術開発センターから供与された中心目珪藻 (*Chaetoceros gracilis*) を使用した。培養実験海水 1000 mL 中に中心目珪藻を入れ、毎日硝酸塩 (24  $\mu\text{M}$ )、リン酸塩 (2  $\mu\text{M}$ )、アンモニウム塩 (8  $\mu\text{M}$ )、ケイ酸塩 (40  $\mu\text{M}$ )、鉄 (2  $\mu\text{M}$ )、マンガン (0.2  $\mu\text{M}$ ) を添加し、エアレーションしながら異なる水温 (5・10・15・20・25・30 $^{\circ}\text{C}$ ) で 7 日間培養した。培養期間中、クロロフィル濃度標本 10 mL を採取して前述の方法に準じてクロロフィル *a* 濃度を測定する他、TEP 濃度測定用標本およびサイズ組成測定用標本をそれぞれ 10 mL を採取し、前述の方法に準じて TEP 濃度・サイズ組成を測定した。海藻培養実験では、鹿児島湾沿岸から採取されたオゴノリ (*Gracilaria vermiculophylla*) およびクビレズタ (*Caulerpa lentillifera*) を使用した。培養実験海水 100 mL 中に海藻を入れ、照度はオゴノリについては 33.27  $\mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-2}$  にて、クビレズタについては 43.0  $\mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-2}$  にて、水温  $24^{\circ}\text{C}$  で 7 日間培養した。培養期間中、毎日藻体の余分な水分を除去して湿重量を測定する他、TEP 濃度測定用標本およびサイズ組成測定用標本 50 mL を採取し、前述の方法に準じて TEP 濃度・サイズ組成を測定した。サンゴ培養実験では、鹿児島湾沿岸より採取されたクシハダミドリイシ (*Acropora hyacinthus*) を使用した。培養実験海水 1000 mL 中にクシハダミドリイシを入れ、毎日硝酸塩 (24  $\mu\text{M}$ )、リン酸塩 (2  $\mu\text{M}$ )、アンモニウム塩 (8  $\mu\text{M}$ )、ケイ酸塩 (40  $\mu\text{M}$ )、鉄 (2  $\mu\text{M}$ )、マンガン (0.2  $\mu\text{M}$ ) を添加し、異なる水温 (20・25・30 $^{\circ}\text{C}$ ) で 7 日間培養した。培養期間中、クロロフィル濃度標本 10 mL を採取して前述の方法に準じてクロロフィル *a* 濃度を測定する他、TEP 濃度測定用標本およびサイズ組成測定用標本をそれぞれ

Table 1. Comparisons of concentrations and sizes of transparent exopolymer particles (TEP) among the previous and present reports. Min: minimum. Max: maximum. XG equiv.: xanthan gum equivalent.

Area/Organism	Concentration ( $\mu\text{gXG equiv. L}^{-1}$ )		Size ( $\mu\text{m}^2$ )		Reference
	Min	Max	Min	Max	
Field data					
Ross Sea	0	2800			Hong et al. (1997)
Santa Barbara Channel	14	252			Passow and Alldredge (1995a)
Monterey Bay	46	310			Passow and Alldredge (1995a)
Norway fjord	100	255			Passow and Alldredge (1995a)
Indian Ocean	70	500			Kumar et al. (1998)
Tokyo Bay	14	1774			Ramaiah and Furuya (2002)
Otsuchi Bay	24	2321			Ramaiah et al. (2001)
Western North Pacific	91	183	3	6469	This study
Satsunan area	66	584	1	1950	This study
Kagoshima Bay	69	1312	5	6469	This study
Experiment data					
<i>Phaeocystis</i> sp.	2000	12000			Hong et al. (1997)
<i>Chaetoceros</i> sp.	20	380			Passow and Alldredge (1995b)
<i>Gracilaria vermiculophylla</i>	66	549	6	1966	This study
<i>Caulerpa lentillifera</i>	66	463	8	2780	This study
<i>Chaetoceros gracilis</i>	2812	48961	5	1064	This study
<i>Acropora hyacinthus</i>	1654	63848	5	568	This study

10 mL を採取し、前述の方法に準じて TEP 濃度・サイズ組成を測定した。

データ分析

アルシアンブルー染色液は時間経過と共に変質するため、各測定において分光光度計を用いてガムキサンで染色係数 ( $F_x$ ) を算出した。

$$F_x = W \times ((EST_{787} - C_{787}) / V_{st})^{-1} \dots \dots \dots (1)$$

- $F_x$  : 染色液キャリブレーション係数
- $W$  : ガムキサントタン濾過量 (mL)
- $EST_{787}$  : 787nm で測定した試料の吸光度
- $C_{787}$  : 787nm で測定したブランクフィルターの吸光度
- $V_{st}$  : 染色液キャリブレーション標準液の濾過量

TEP 濃度をガムキサン等量として下記の式より求めた。

$$C_{TEP} = (E_{787} - C_{787}) / (V_f) \times F_x \dots \dots \dots (2)$$

- $C_{TEP}$  : TEP 濃度 ( $\mu\text{gXG equiv. L}^{-1}$ )
- $E_{787}$  : 787nm で測定した試料の吸光度
- $C_{787}$  : 787nm で測定したブランクフィルターの吸光度
- $V_f$  : 試料の濾過量 (mL)
- $F_x$  : 染色液キャリブレーション係数

結果

沿岸域～外洋域

どのような海域・深度で TEP 濃度が高いのかを評価するため、海域間で比較した。TEP 濃度は鹿児島沿岸域では 69~1312  $\mu\text{gXG equiv. L}^{-1}$ 、薩南海域では 66~584  $\mu\text{gXG equiv. L}^{-1}$ 、西部北太平洋では 91~183  $\mu\text{gXG equiv. L}^{-1}$  の

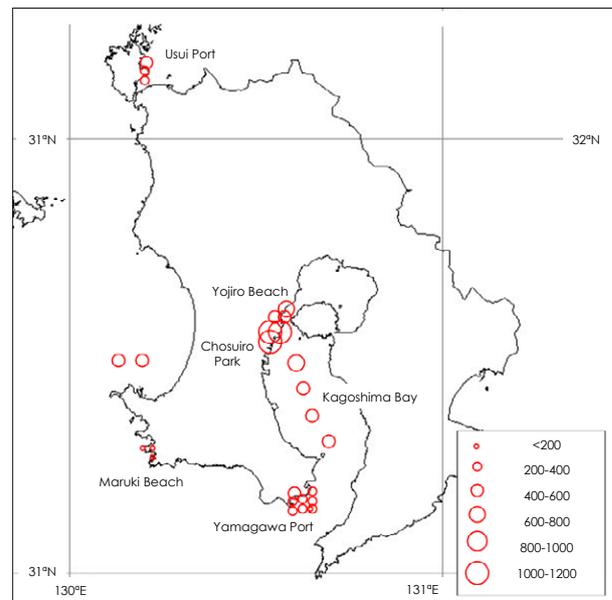


Fig. 1. Concentrations of transparent exopolymer particles (TEP:  $\mu\text{gXG equiv. L}^{-1}$ ) at the coastal sites (Kagoshima coasts, Usui Port, Maruki Beach, Yamagawa Port, Yojiro Beach and Chosuiro Park).

範囲で変化しており (Table 1)、変動幅は外洋域より沿岸域で大きい傾向を示した (Figs. 1 and 2)。鉛直的に比較すると、TEP 濃度は 75 m 以浅で 219~584  $\mu\text{gXG equiv. L}^{-1}$  であったがそれ以深では 73~219  $\mu\text{gXG equiv. L}^{-1}$  となり、表層で高い傾向を示した (Fig. 3)。

どのような海域で TEP サイズが大きいのかを評価するため、海域間で比較した。TEP サイズは鹿児島沿岸域では 5~6469  $\mu\text{m}^2$ 、薩南海域では 1~1950  $\mu\text{m}^2$ 、西部北太平洋では 3~6469  $\mu\text{m}^2$  の範囲で変化した (Table 1)。薩南海域や西部北太平洋よりも沿岸域の方がサイズの大きい

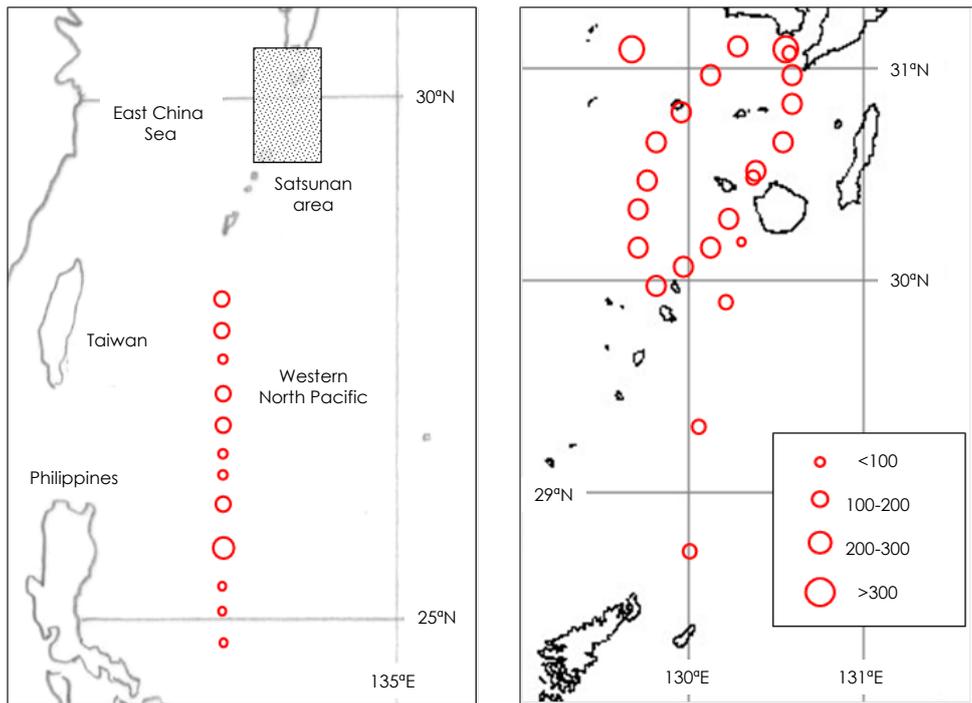


Fig. 2. Concentrations of transparent exopolymer particles (TEP:  $\mu\text{gXG equiv. L}^{-1}$ ) at the pelagic sites (Right: Satsunan area, Left: western North Pacific Ocean).

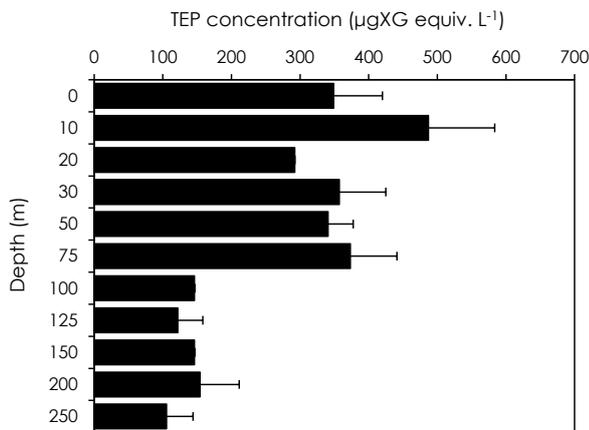


Fig. 3. Vertical distribution of transparent exopolymer particles (TEP:  $\mu\text{gXG equiv. L}^{-1}$ ) in the Satsunan area. Horizontal bars show standard deviations.

TEPが多く、サイズ組成には統計学的に有意な差が認められた。(Student's  $t$ -test,  $p < 0.05$ )。

TEP濃度がどのような環境要因に依存するのかを評価するため、水温およびクロロフィル  $a$  濃度に対する TEP濃度を比較した。TEP濃度は小型画分 ( $< 5 \mu\text{m}$ ) と弱い正の相関を示すものの (Pearson's correlation coefficient,  $r = 0.292$ ,  $p < 0.05$ ), 中型画分 ( $5 \sim 20 \mu\text{m}$ ) および大型画分 ( $> 20 \mu\text{m}$ ) ではクロロフィル  $a$  濃度が高くなると、TEP濃度も増加する傾向があり (Fig. 5), 強い正の相関が認められた (Pearson's correlation coefficient,  $r = 0.696 \sim 0.874$ ,  $p < 0.01$ )。他方、水温に対する TEP濃度には有意な相関

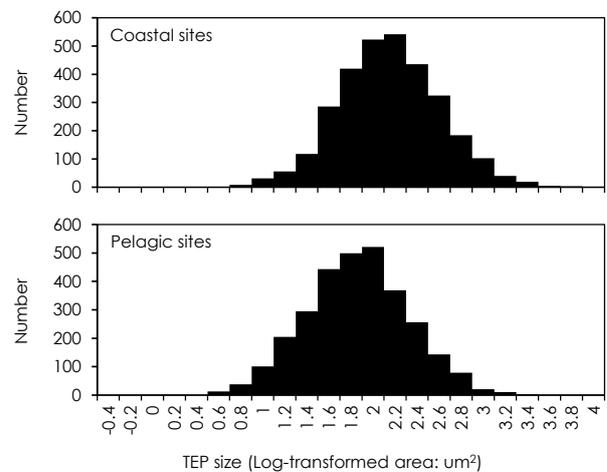


Fig. 4. Size distributions of transparent exopolymer particles (TEP:  $\mu\text{m}^2$ ) at the coastal and pelagic sites. Note that TEP areas were log-transformed.

が認められなかった (Pearson's correlation coefficient,  $r = -0.060$ ,  $p > 0.05$ )。

#### 培養実験

植物プランクトンから産出される TEP濃度を評価するため、珪藻類 (*Chaetoceros gracilis*) を異なる水温で培養した。クロロフィル  $a$  濃度は、水温  $5 \sim 10^\circ\text{C}$  では顕著な増加を示さなかったが、水温  $15 \sim 30^\circ\text{C}$  では時間経過と共に線形的に増加した (Fig. 6)。TEP濃度は、いずれの水温でも時間経過と共に指数関数的に増加したが、水温  $5 \sim 10^\circ\text{C}$  よりも水温  $15 \sim 30^\circ\text{C}$  では時間経過と共に指数関

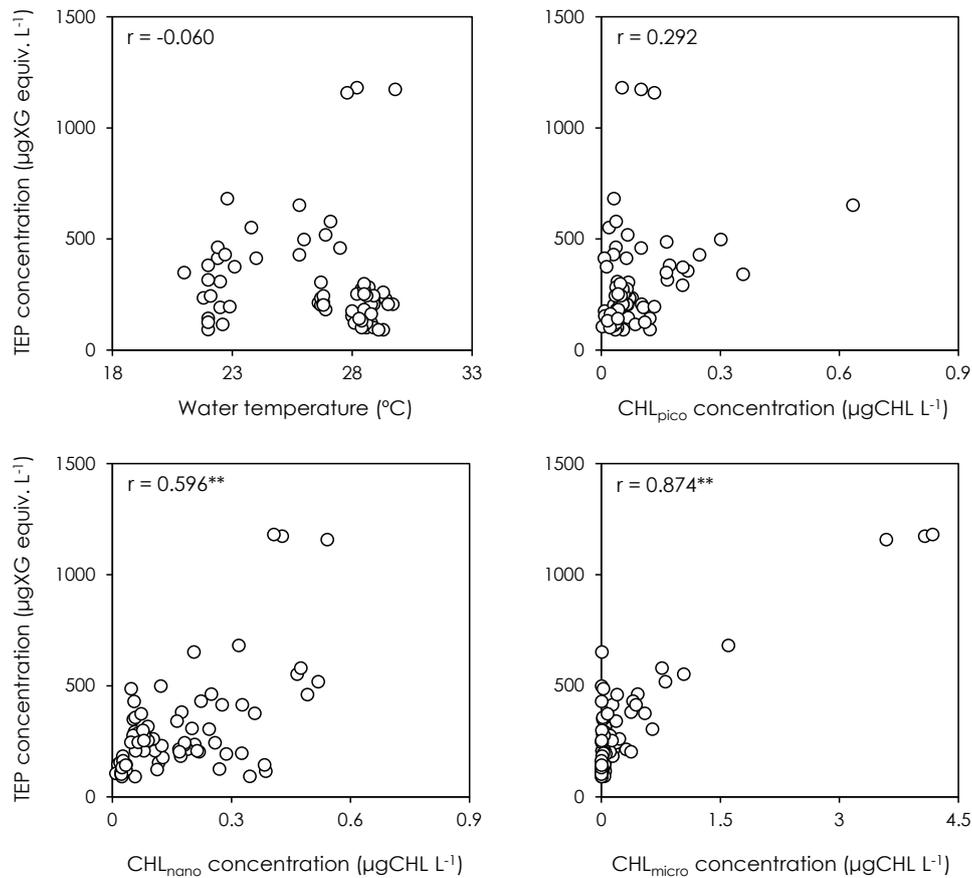


Fig. 5. Comparisons of transparent exopolymer particles (TEP:  $\mu\text{gXG equiv. L}^{-1}$ ) to ambient water temperatures ( $^{\circ}\text{C}$ ) and size-fractionated chlorophyll a concentrations (CHL:  $\mu\text{gCHL L}^{-1}$ ) at the coastal and pelagic sites. r: Pearson correlation coefficient. \*:  $p < 0.05$ . \*\*:  $p < 0.01$ . Pico:  $< 5 \mu\text{m}$ . Nano:  $5\text{--}20 \mu\text{m}$ . Micro:  $> 20 \mu\text{m}$ .

数的に増加する傾向を示した。

次に、海藻から産出される TEP 濃度を評価するため、オゴノリ (*Gracilaria vermiculophylla*) およびクビレズタ (*Caulerpa lentillifera*) を培養した。いずれの藻類でも、時間経過と共に藻体湿重量は線形的に、TEP 濃度は指数関数的に増加する傾向を示した (Fig. 7)。

さらに、サンゴから産出される TEP 濃度を評価するため、クシハダミドリイシ (*Acropora hyacinthus*) を異なる水温で培養した。いずれの水温でも、時間経過と共に TEP 濃度は指数関数的に増加する傾向を示した (Fig. 8)。

培養した植物プランクトン・海藻・サンゴから産出された TEP サイズは、珪藻類では  $5\text{--}1064 \mu\text{m}^2$ 、オゴノリでは  $6\text{--}1966 \mu\text{m}^2$ 、クビレズタでは  $8\text{--}2780 \mu\text{m}^2$ 、クシハダミドリイシでは  $5\text{--}568 \mu\text{m}^2$  の範囲だった (Fig. 9)。珪藻類・サンゴよりもオゴノリ・クビレズタはより大型サイズの TEP を産出したが、いずれの生物群から産出された TEP サイズにも有意な差が認められ、クビレズタ・オゴノリ・珪藻類・クシハダミドリイシの順に小さくなった (Scheffe's F-test,  $p < 0.05$ )。

## 考察

### 海域間比較

TEP 濃度について海域間比較すると (Table 1, Figs. 1 and 2), 外洋域ではロス海 ( $0\text{--}2800 \mu\text{gXG equiv. L}^{-1}$ )<sup>12)</sup> よりもインド洋 ( $70\text{--}500 \mu\text{gXG equiv. L}^{-1}$ )<sup>13)</sup> では低濃度であり、本研究でもインド洋と類似する TEP 濃度が観察された。沿岸域で比較すると、カリフォルニア沿岸 ( $14\text{--}310 \mu\text{gXG equiv. L}^{-1}$ )<sup>4)</sup> やノルウェーフィヨルド ( $100\text{--}255 \mu\text{gXG equiv. L}^{-1}$ )<sup>4)</sup> に比べて、東京湾 ( $14\text{--}1774 \mu\text{gXG equiv. L}^{-1}$ )<sup>14)</sup> や大槌湾 ( $24\text{--}2321 \mu\text{gXG equiv. L}^{-1}$ )<sup>1)</sup> では TEP が高濃度になることがあり、本研究でもこれらの内湾域に匹敵する高い濃度が測定された。これらの結果は、TEP 濃度は外洋域では緯度的に変化するものの、沿岸域では緯度的傾向が不明瞭なることを示唆している。TEP サイズについて海域間比較すると、外洋域よりも沿岸域で、深層に比べて表層で TEP サイズが大型になる傾向を示した (Table 1, Figs. 3 and 4)。これらのことを考慮すると、外洋域の産出源に加え、沿岸域では大型の TEP 産出源が表層に存在すると考えられる。

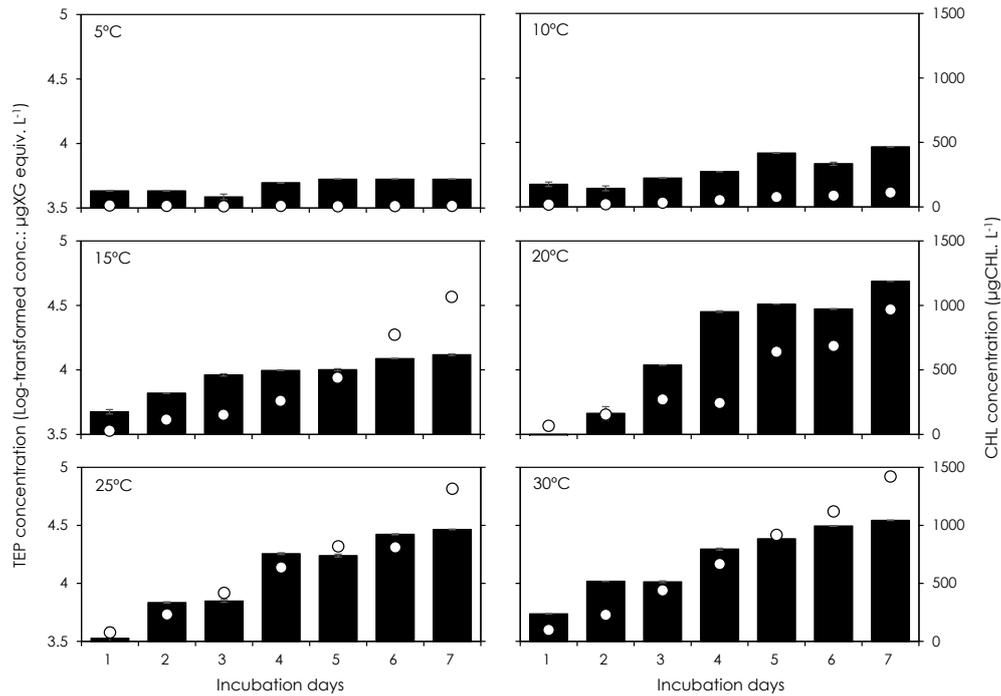


Fig. 6. Concentrations of chlorophyll *a* (CHL:  $\mu\text{gCHL L}^{-1}$ , open circles) and transparent exopolymer particles (TEP:  $\mu\text{gXG equiv. L}^{-1}$ , solid bars) extracted from diatom (*Chaetoceros gracilis*) incubated at the different water temperatures (5, 10, 15, 20, 25 and 30°C). Note that TEP concentrations were log-transformed. Vertical bars show standard deviations.

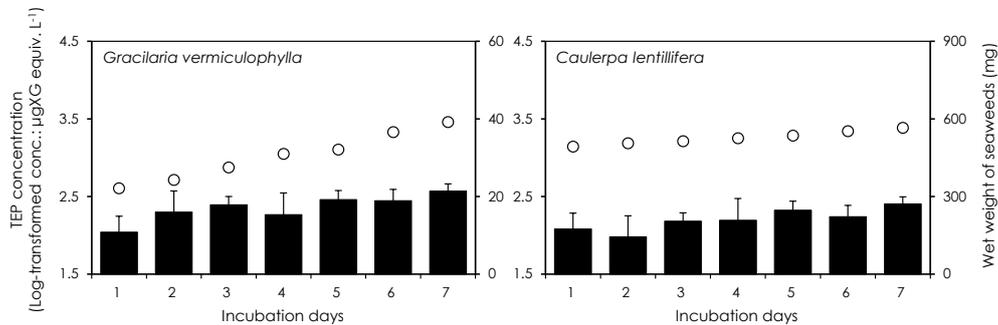


Fig. 7. Wet weights (mg, open circles) and concentrations of transparent exopolymer particles (TEP:  $\mu\text{gXG equiv. L}^{-1}$ , solid bars) extracted from seaweeds (*Gracilaria vermiculophylla* and *Caulerpa lentillifera*) incubated at 24°C. Note that TEP concentrations were log-transformed. Vertical bars show standard deviations.

### TEP 産出源

既往報告<sup>15)</sup>によれば、カリフォルニア沿岸域ではクロロフィル *a* 濃度の増加と共に TEP 濃度が増加する傾向があり、TEP 濃度 (TEP) はクロロフィル *a* 濃度 (CHL) で推定できるとしている。

TEP = 7.35 CHL + 34.3 ( $r^2=0.60$ ) ..... (3)  
東京湾でも同様な傾向が認められ<sup>14)</sup>、類似した推定式が求められている。

TEP = 10.91 CHL + 35.62 ( $r^2=0.42$ ) ..... (4)  
本研究でも TEP 濃度とクロロフィル *a* 濃度とに有意な回帰式が得られたものの、傾きや切片が高い値を示した。

TEP = 230.77 CHL + 172.64 ( $r^2=0.82$ ) ..... (5)

これらの結果は、本研究の対象海域では TEP がそもそも存在し、他海域と比べて産出速度も速いことを示す。既往報告によれば、植物プランクトン (*Chaetoceros gracilis*, *Skeletonema costatum*, *Heterosigma akashiwo*) を培養すると、細胞密度の増加と共に TEP 濃度が増加することが報告されている<sup>14,15)</sup>。本研究においても同様のことが認められており (Fig. 6)、これらの結果は、植物プランクトンから TEP が産出されていることを示している。他方、大槌湾では植物プランクトン現存量と TEP 濃度に相関がなく、ナンブワカメ (*Undaria pinnatifida*) の養殖が栄えであることから、この海藻類が TEP の産出源であると考えられた<sup>1)</sup>。実際、ナンブワカメを培養すると TEP 濃

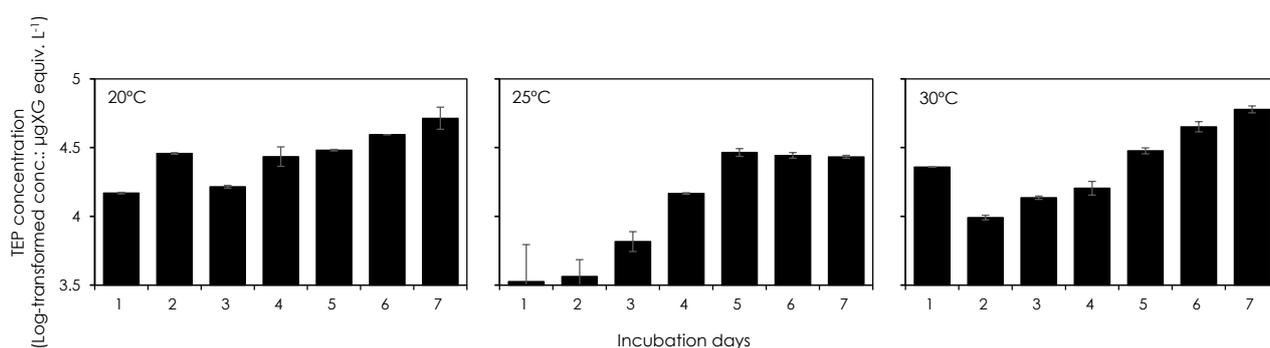


Fig. 8. Concentrations of transparent exopolymer particles (TEP:  $\mu\text{gXG equiv. L}^{-1}$ , solid bars) extracted from coral (*Acropora hyacinthus*) incubated at the different temperature (20, 25 and 30°C). Note that TEP concentrations were log-transformed. Vertical bars show standard deviations.

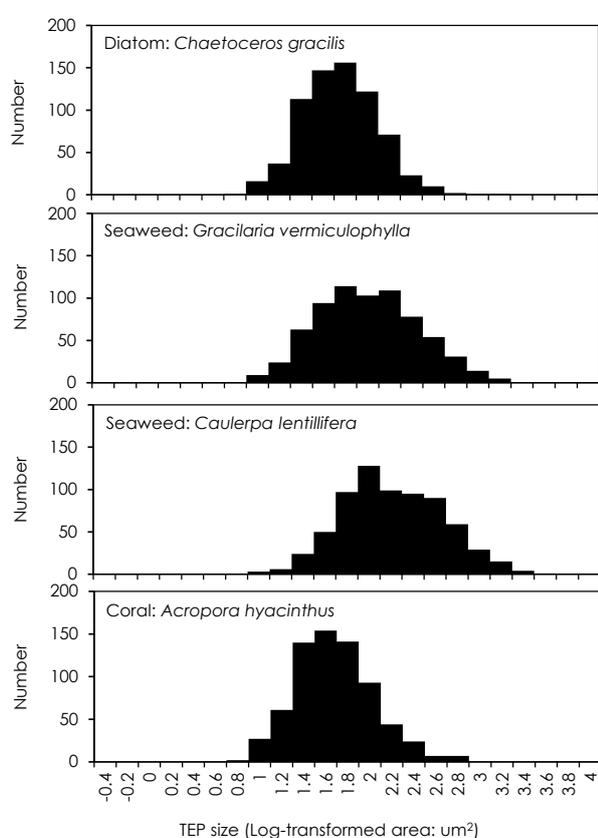


Fig. 9. Size distributions of transparent exopolymer particles (TEP:  $\mu\text{m}^2$ ) extracted from diatom (*Chaetoceros gracilis*), seaweeds (*Gracilaria vermiculophylla* and *Caulerpa lentillifera*) and coral (*Acropora hyacinthus*). Note that TEP areas were log-transformed.

度は時間経過と共に増加することが確かめられ、植物プランクトン以外にも TEP 産出源があることを指摘している<sup>1)</sup>。他方、コンブ (*Laminaria digitata*) 断片の培養実験も行われており、コンブからも TEP が産出されたことが報告されている<sup>2)</sup>。さらに、本研究ではサンゴを培養すると TEP 濃度は時間経過と共に増加することが確かめられた (Fig. 8)。従って、これまで想定されていた植

物プランクトンや海藻類だけでなく、熱帯～亜熱帯沿岸域に分布するサンゴも TEP 産出源となっていることが考えられる。

本研究の結果によれば、外洋域に比べて沿岸域で大型の TEP が多いこと (Fig. 4)、海藻類は小型～大型まで様々なサイズの TEP を産出するが、植物プランクトンよりも大型の TEP を産出することが分かった (Fig. 9)。野外標本と培養実験で得られた TEP サイズ組成を比較してみると、沿岸域と海藻類の TEP サイズ組成、外洋域と植物プランクトンサイズ組成は近似した (Figs. 4 and 9)。これらの結果を考慮すると、沿岸域では豊富に存在する植物プランクトンから産出した TEP に加え、海藻類から産出された TEP が存在するため、外洋域よりも TEP 濃度が高くなり、サイズも大型になると考えられる。

#### 海洋生態系における TEP の役割

TEP はバクテリアの増殖基質や、繊毛虫・カイアシ類などの動物プランクトンにとって餌料源となることが知られている<sup>5)</sup>。例えば、オキアミ類 (*Euphausia pacifica*) がナノサイズの TEP を主な餌料源とし、海水中のナノ・ピコプランクトンを摂餌しなかったことが報告されている<sup>9)</sup>。これらの報告は、植物・動物プランクトンから構築される食物網以外に新たなエネルギー経路があることを意味し、食物網や生態系の機能と構造に重要な役割を果たしているものと考えられる。近年、中国では養殖コンブの生産が盛んであり、養殖コンブ生産を増やすと海面漁獲量も増えるという傾向があることが報告されている<sup>16)</sup>。本研究の培養実験によれば、海藻類・サンゴから小型に加えて大型の TEP 産出が示されており (Fig. 9)、TEP が繊毛虫・カイアシ類などの餌料源となること<sup>5)</sup>、これらの分類群は仔魚の餌料源でもあること<sup>17)</sup>を考慮すると、沿岸域に繁茂する海藻類・サンゴから産出された TEP が漂流区食物網における新たなエネルギー供給源となりえるかもしれない。

## 謝辞

本研究を行うにあたり、海洋観測および標本採取にご協力を賜りました鹿児島大学練習船かごしま丸および南星丸の船舶職員の皆様に心から御礼申し上げます。本研究の一部は、科研費(22H05206, 24K01838, 24K09055)の支援によるものです。

## 引用文献

- 1) Ramaiah, N., T. Yoshikawa, and K. Furuya (2001). Temporal variations in transparent exopolymer particles (TEP) associated with a spring diatom bloom in a subarctic ria in Japan. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 212: 79–88.
- 2) Thornton, D.C. (2004). Formation of transparent exopolymeric particles (TEP) from macroalgal detritus. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 282: 1–12.
- 3) Alldredge, A.L., U. Passow, and B.E. Logan (1993). The abundance and significance of a class of large, transparent organic particles in the ocean. *Deep-Sea Res.*, 40: 1131–1140.
- 4) Passow, U., and A.L. Alldredge (1995a). A dye-binding assay for the spectrophotometric measurement of transparent exopolymer particles (TEP). *Limnol. Oceanogr.*, 40: 1326–1335.
- 5) Passow, U. (2002) Transparent exopolymer particles (TEP) in aquatic environments. *Prog. Oceanogr.*, 55: 287–333.
- 6) Passow, U., and A.L. Alldredge AL (1994). Distribution, size and bacterial colonization of transparent exopolymer particles (TEP) in the ocean. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 113: 185–198.
- 7) Mari, X., and F. Rassoulzadegan (2004a). Role of TEP in the microbial food web structure. I. Grazing behavior of a bacterivorous pelagic ciliate. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 279: 13–22.
- 8) Ling, S.C., and A.L. Alldredge (2003): Does the marine copepod *Calunus pacificus* consume transparent exopolymer particles (TEP)? *J. Plankton Res.*, 25: 507–516.
- 9) Passow, U., and A.L. Alldredge (1999): Do transparent exopolymer particles (TEP) inhibit grazing by the euphausiid *Euphausia pacifica*? *J. Plankton Res.*, 21: 2203–2217.
- 10) Suzuki, R., and T. Ishimaru (1990): An improved method for the determination of phytoplankton chlorophyll using *N, N*-dimethylformamide. *J. Oceanogr.*, 46: 190–194.
- 11) Welschmeyer, N.A., (1994): Fluorometric analysis of chlorophyll *a* in the presence of chlorophyll *b* and phaeopigments. *Limnol. Oceanogr.*, 39: 1985–1992.
- 12) Hong, Y., W.O., Smith, and A., White (1997): Studies on transparent exopolymer particles (TEP) produced in the Ross Sea (Antarctica) and by Phaeocystis Antarctica (Prymnesiophyceae). *J. Phycol.*, 33: 368–376.
- 13) Kumar, M.D., V.V.S.S., Sarma, N., Ramaiah, M., Gauns, and S.N., Desouza (1998): Significance of transparent exopolymer particles in the Indian Ocean. *Geophys. Res. Lett.*, 25: 81–84.
- 14) Ramaiah, N., and K., Furuya (2002): Seasonal variation in phytoplankton composition and transparent exopolymer particles in a eutrophicated coastal environment. *Aquat. Microb. Ecol.*, 30: 69–82.
- 15) Passow, U., and A.L., Alldredge (1995b): Aggregation of a diatom bloom in a mesocosm: the role of transparent exopolymer particles (TEP). *Deep-Sea Res.*, 42: 99–109.
- 16) 境 一郎 (2001) : コンブは地球を救う—水産資源倍増で一兆円産業おこし。水産社, 東京, 22–28 pp.
- 17) Kobari, T., A., Taniguchi, M., Hirata, G., Kume, M., Ichinomiya, T., Komorita, M., Kodama, F., Makino, J., Hirai (202): Comparison of the trophic sources and pathways of mesozooplankton and ichthyoplankton in the Kuroshio current and its neighboring waters. *Prog. Oceanogr.* 229: 103356.