

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年5月24日現在

機関番号：10101

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2010～2012

課題番号：22310002

研究課題名（和文） 春季親潮珪藻ブルームにおける透明細胞外重合体粒子生産の特徴とその支配要因の解明

研究課題名（英文） Understanding the production of transparent exopolymer particles and its controlling factors during the spring bloom in Oyashio waters

研究代表者

鈴木 光次（SUZUKI KOJI）

北海道大学・大学院地球環境科学研究院・准教授

研究者番号：40283452

研究成果の概要（和文）：海水中の透明細胞外重合体粒子（TEP）は、海洋の炭素固定能力を決める上で鍵となる「海水中の有機物を凝集させるための接着剤」として最近注目されている。世界の海の中でも生物生産力の高い西部北太平洋親潮域では TEP に関する知見がこれまで得られていなかったが、本研究で実施した海洋調査および室内培養実験を通して、春季親潮珪藻ブルーム期の TEP 生産の特徴とその支配要因に関する極めて貴重な知見を得ることができた。

研究成果の概要（英文）： Much attention has recently been paid to the dynamics of transparent exopolymer particles (TEP) in seawater, because TEP can play an important role in determining the capability of ocean carbon fixation as adhesives for aggregating marine organic matters. However, no such information has ever been available from the Oyashio region, NW Pacific where biological production is relatively high among the world's oceans. In this study, we obtained crucial results of TEP production and its controlling factors during the spring bloom in Oyashio waters through field observations and laboratory experiments.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	9,100,000	2,730,000	11,830,000
2011年度	2,600,000	780,000	3,380,000
2012年度	2,600,000	780,000	3,380,000
総計	14,300,000	4,290,000	18,590,000

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：環境学・環境動態解析

キーワード：親潮，植物プランクトン，春季ブルーム，透明細胞外重合体粒子，珪藻

1. 研究開始当初の背景

海洋の主要基礎生産者である植物プランクトンは、光合成により、海洋表層で海水中の二酸化炭素を使って有機物を作る。この有機物は生食物連鎖や微生物食物網の過程で消費、分解されるが、その一部は海洋の中深層へ輸送され、長期間、炭素が貯蔵される。この海洋生物による炭素貯蔵機構は「生物ポンプ」と呼ばれる。本研究対象海域である西

部北太平洋親潮域は、世界有数の漁場であるとともに、生物による表面海水中の二酸化炭素分圧を下げる効果が世界の海の中で最も高い海域の1つであり、また生物ポンプの効率（有機物の移出比）が非常に高いことでも知られている。

海洋生物ポンプの効率を決める鍵となる過程の1つとして、沈降粒子の凝集が挙げられる。近年、沈降粒子を凝集させる接着剤と

して、透明細胞外重合体粒子 (Transparent Exopolymer Particles, 以後、TEP) が注目されている。TEP は、植物プランクトンが光合成過程で細胞外に排出した溶存態炭水化物のコロイド画分が主な起源であると考えられ、高い粘着性および高い炭素量を持つことが知られている。しかし、海水中の TEP 濃度は時空間的に大きく変化し、特にその生成機構については未だ不明な点が非常に多い。

近年、親潮域の春季珪藻ブルーム (大增殖) 期において、植物プランクトンの現存量指標であるクロロフィル *a* 濃度が年々減少傾向にあり、ブルームを形成する珪藻種も年々変化していることが報告された。今後、世界の海の中でも生物生産が高い親潮域において、TEP 生産、ひいては生物ポンプの効率に変化する可能性がある。しかし、過去に同海域で TEP に関する研究は実施されていない。

2. 研究の目的

海洋植物プランクトンが生産する透明細胞外重合体粒子 (TEP) は、海洋炭素循環における生物ポンプ効率を決める上で鍵となる「海水中の沈降粒子を凝集させるための接着剤」として注目されている。このため、本研究では、外洋域の中でも特に生物生産の高い西部北太平洋親潮域の春季珪藻ブルームにおける TEP 生産の特徴とその支配要因を定量的に明らかにする。

3. 研究の方法

(1) フィールド調査

2010年4月および6月において、(独)水産総合研究センターの漁業調査船若鷹丸 WK1004 次および WK1006 次調査航海に参加した。また、2011年5月において、(独)研究開発機構の研究船淡青丸 KT-11-7 次調査航海を、研究代表者が主席研究員として、実施した。これら航海において、海洋物理、化学データとともに、TEP および植物プランクトン試料を採取した。

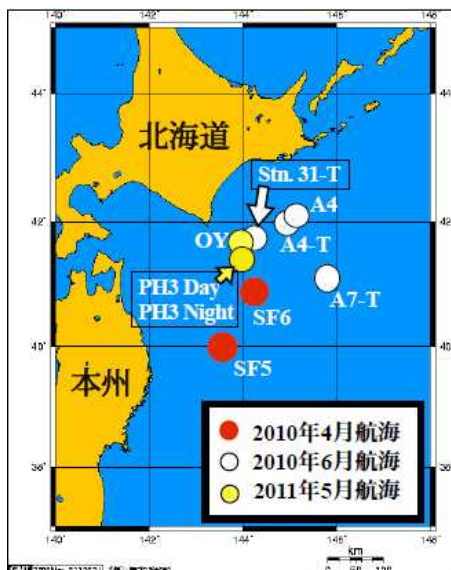


図1. 観測点図 (計9観測点)。

(2) 室内培養実験

上記 (1) の2011年5月に実施した淡青丸航海で採取した中心目珪藻 *Thalassiosira nordenskiöldii* を無菌化した後、20Lポリカーボネート製容器 (2個) 内で水温5°C、100 $\mu\text{mol photons m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 、明暗周期各12時間、f/2培地を用いて、40日間培養実験を行った。TEP試料の他、植物プランクトン試料を採取した。この際、同珪藻株の光合成活性を調査する実験も実施した。

4. 研究成果

(1) フィールド調査

調査期間中、植物プランクトン現存量指標であるクロロフィル *a* (Chl*a*) 濃度は、表層100m以浅で相対的に高く、5m深におけるChl*a*濃度は、2010年4月で最も高く (4.2~8.8 mg m^{-3})、2011年5月 (1.0~2.0 mg m^{-3})、2010年6月 (0.4~0.8 mg m^{-3}) の順に低下した。また、検鏡 (明視野顕微鏡および走査型電子顕微鏡による観察) および植物プランクトン色素組成から、調査期間中、珪藻ブルームが発生していた。

また、調査期間中、TEP濃度は表層で高く、深度の増加と共にTEP濃度は減少する傾向があつ (図2)。各月の平均TEP鉛直濃度は、40m以浅において、6月 (約60 Xanthan gum equiv. L^{-1}) よりも4月 (約110 Xanthan gum equiv. L^{-1}) の方が高い値を示した。TEP生産も表層で相対的に高かったことから、Chl*a*濃度で5m深のTEP濃度を規格化した結果、その値 (TEP*) は、4月から6月にかけて有意に増加した (Wilcoxon rank sum test, $p < 0.01$)。このことから、TEPの大部分が植物プランクトン由来であると仮定すると、単位細胞当たりのTEP生産力がブルーム最盛期から終焉期に向かって増加した事が示唆された。

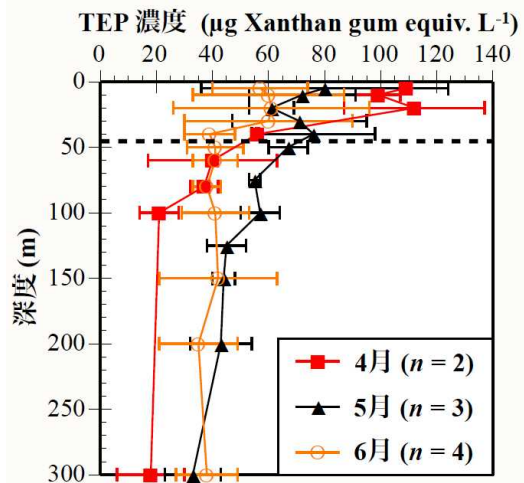


図2. 親潮域における TEP 分布の鉛直分布。

TEP は、主に植物プランクトンによって生産された溶存態有機物が起源と考えられているが、TEP*と植物プランクトンによる溶存態有機炭素生産速度の間には有意な相関関係が見られなかった。一方、TEP*と海水温 ($\rho = 0.83$, Spearman's rank test, $p < 0.01$, $n = 9$), TEP*と光合成活性 (F_v/F_m) ($\rho = -0.83$, Spearman's rank test, $p < 0.01$, $n = 9$) との間に有意な相関関係が見られたことから、親潮域の植物プランクトン群集による TEP 生産には、海水温と光合成活性が影響していたことが示唆された。

(2) 室内培養実験

春季親潮珪藻ブルームを形成する珪藻種 *Thlassiosira nordenskiöldii* は、実験開始の約 2 cells mL^{-1} から $2 \times 10^4 \text{ cells mL}^{-1}$ に増加した。この際、細胞の対数増殖期は実験開始後、28 日目まで見られ、その後、実験終了時の 40 日目まで細胞は定常期にあった。この珪藻細胞数の変化に伴い、容器内の TEP 濃度は、実験開始時の $8 \mu\text{g Xanthan gum equiv. L}^{-1}$ から実験終了時の $1107 \mu\text{g Xanthan gum L}^{-1}$ に増加した。また、溶存態有機炭素濃度も実験開始時の $96 \mu\text{M}$ から実験終了時の $151 \mu\text{M}$ に増加した。培養容器内の TEP 濃度と溶存態有機炭素濃度の間には有意な相関関係が見られたことから ($\rho = 1.0$, Spearman's rank test, $n = 11$), TEP は珪藻細胞から排出された溶存態有機炭素から生産されたと考えられた。

対数増殖期と定常期における TEP 生産速度を Fukao et al. (2012) に基づいて計算した結果、対数増殖期における細胞当たりの TEP 生産速度は $16.0 \text{ pg Xanthan gum equiv. cell}^{-1} \text{ day}^{-1}$ 、定常期における細胞当たりの TEP 生産速度は $2.0 \text{ pg Xanthan gum equiv. cell}^{-1} \text{ day}^{-1}$ となった (図 3)。すなわち、定常期よりも対数増殖期の TEP 生産速度が約 8 倍高い事が明らかとなった。

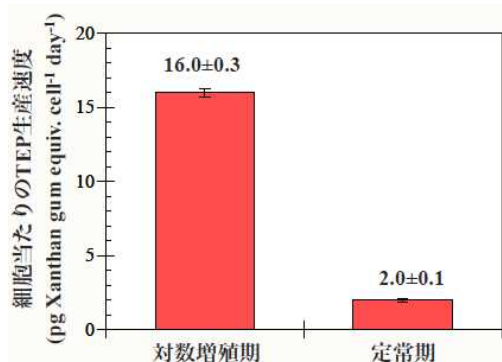


図 3. 対数増殖期および定常期における細胞当たりの TEP 生産速度。

上記の研究により、春季親潮域に生息する

T. nordenskiöldii は、ブルーム最盛期において、TEP 前駆物質をより多く産生し、海水中の TEP 濃度を高めていたことが推察された。

(3) まとめ

海水中の透明細胞外重合体粒子 (TEP) は、海洋炭素循環における生物ポンプ効率を決める上で鍵となる「海水中の沈降粒子を凝集させるための接着剤」として注目されている。これまで、親潮域では TEP や溶存態有機炭素生産速度に関する知見が得られていなかったが、本研究で実施したフィールド調査および室内培養実験を通して、親潮域の TEP 生産の特徴とその支配要因に関する極めて貴重な知見を得ることができた。

さらに、上記の研究成果を基に、研究代表者の研究室の大学院生が、2011 年度日本地球化学会第 58 回年会において、「2010 年春季親潮珪藻ブルーム期における透明細胞外重合体粒子 (TEP) 分布の特徴」に関する発表で、学生優秀口頭発表賞受賞を受賞した。さらに、平成 24 年度岩手県三陸海域研究論文知事表彰事業において、「春季親潮珪藻ブルームにおける透明細胞外重合体粒子 (TEP) 分布の特徴」で岩手県知事賞 (学生の部) を受賞した。

引用文献:

Fukao, T., K. Kimoto, Y. Kotani (2012) Effect of temperature on cell growth and production of transparent exopolymer particles by the diatom *Coscinodiscus granii* isolated from marine mucilage. *J. Applied Phycol.*, 24, 181-196.

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 12 件)

1. Peloquin, J., C. Swan, N. Gruber, M. Vogt, H. Claustre, J. Ras, J. Uitz, R. Barlow, M. Behrenfeld, R. Bidigare, H. Dierssen, G. Ditullio, E. Fernandez, C. Gallienne, S. Gibb, R. Goericke, L. Harding, E. Head, P. Holligan, S. Hooker, D. Karl, M. Landry, R. Letelier, C. A. Llewellyn, M. Lomas, M. Lucas, A. Mannino, J.-C. Marty, B. G. Mitchell, F. Muller-Karger, N. Nelson, C. O'Brien, B. Prezelin, D. Repeta, W. O. Smith Jr., D. Smythe-Wright, R. Stumpf, A. Subramaniam, K. Suzuki, C. Trees, M. Vernet, N. Wasmund, and S. Wright (2013) The MAREDAT global database of high performance liquid chromatography marine pigment measurements. *Earth Syst. Sci. Data*, 5,

109-123, 査読有.

2. Kondo, Y., S. Takeda, J. Nishioka, M. Sato, H. Saito, K. Suzuki, and K. Furuya (2013) Growth simulation and inhibition of natural phytoplankton community by organic ligands in the western subarctic Pacific. *J. Oceanogr.*, 69, 97-115, DOI: 10.1007/s10872-012-0160-6, 査読有.

3. Endo, H., T. Yoshimura, T. Kataoka, and K. Suzuki (2013) Effects of CO₂ and iron availability on phytoplankton and eubacterial community compositions in the northwest subarctic Pacific. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 439, 160-175, DOI: 10.1016/j.jembe.2012.11.003, 査読有.

4. Ushizaka, S., K. Kuma, and K. Suzuki (2011) Effects of Mn and Fe on growth of a coastal marine diatom *Thalassiosira weissflogii* in the presence of precipitated Fe(III) hydroxide and EDTA-Fe(III) complex. *Fish. Sci.*, 77, 411-424, DOI: 10.1007/s12562-011-0339-6, 査読有.

5. Sugie, K., K. Kuma, S. Fujita, S. Ushizaka, K. Suzuki, and T. Ikeda (2011) Importance of intracellular Fe pools on growth of marine diatoms in unialgal cultures and the Oyashio region during spring. *J. Oceanogr.*, 67, 183-196, DOI: 10.1007/s10872-011-0017-4, 査読有.

6. Suzuki, K., A. Kuwata, N. Yoshie, A. Shibata, K. Kawanobe, and H. Saito (2011) Population dynamics of phytoplankton, heterotrophic bacteria, and viruses during the spring bloom in the western subarctic Pacific. *Deep-Sea Res. I*, 58, 575-589, DOI: 10.1016/j.dsr.2011.03.003, 査読有.

7. Hirata, T., N. Hardman-Mountford, R. Brewin, J. Aiken, R. Barlow, K. Suzuki, T. Isada, E. Howell, T. Hashioka, M. Noguchi-Aita, and Y. Yamanaka (2011) Synoptic relationships quantified between surface Chlorophyll-a and diagnostic pigments specific to phytoplankton functional types. *Biogeosciences*, 8, 311-327, DOI: 10.5194/bg-8-311-2011, 査読有.

8. Kameyama, S., H. Tanimoto, S. Inomata, K. Suzuki, D. D. Komatsu, A. Hirota, U.

Konno, and U. Tsunogai (2011) Application of PTR-MS to an incubation experiment of the marine diatom *Thalassiosira pseudonana*. *Geochem. J.*, 45, 355-363, 査読有.

9. Isada, T., A. Hattori-Saito, H. Saito, T. Ikeda, and K. Suzuki (2010) Primary productivity and its bio-optical modeling in the Oyashio region, NW Pacific during the spring bloom 2007. *Deep-Sea Res. II*, 57, 1653-1664, DOI: 10.1016/j.dsr2.2010.03.009, 査読有.

10. Kurihara, M. K., M. Kimura, Y. Iwamoto, Y. Narita, A. Ooki, Y.-J. Eum, A. Tsuda, K. Suzuki, Y. Tani, Y. Yokouchi, M. Uematsu, and S. Hashimoto (2010) Linkage between ocean and air in short-lived iodocarbons and oceanic distributions of biogenic trace gases in the Western North Pacific. *Mar. Chem.*, 118, 156-170, DOI: 10.1016/j.marchem.2009.12.001, 査読有.

11. Yoshie, N., K. Suzuki, A. Kuwata, J. Nishioka, and H. Saito (2010) Temporal and spatial variations of phytoplankton photosynthetic physiology during the spring bloom in the western subarctic Pacific. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 399, 39-52, DOI: 10.3354/meps08329, 査読有.

12. Hattori-Saito, A., J. Nishoka, T. Ono, R. M. L. McKay, and K. Suzuki (2010) Iron deficiency in micro-sized diatoms in the Oyashio region of the western subarctic Pacific during spring. *J. Oceanogr.*, 66, 105-115, 査読有, 日本海洋学会奨励論文賞受賞.

[学会発表] (計 10 件)

① 鈴木光次・神村章子: 超高速液体クロマトグラフ (UHPLC) を用いた海洋植物プランクトン色素の分析法の開発、2013 年度日本海洋学会春季大会、2013 年 3 月 22 日、東京海洋大学。

② 野坂裕一・鈴木光次・山下洋平・齊藤宏明・高橋一生: 春季親潮珪藻ブルーム期における透明細胞外重合体粒子 (TEP) 分布の特徴、2013 年度日本海洋学会春季大会、2013 年 3 月 22 日、東京海洋大学。

③ 遠藤寿・鈴木光次・杉江恒二・芳村毅: *rbcl* 遺伝子からみた春季親潮域の珪藻類に対する CO₂ の効果、2013 年度日本海洋学会春季大会、2013 年 3 月 22 日、東京

海洋大学。

- ④ Y. Nosaka, K. Suzuki, Y. Yamashita
Characteristics of transparent
exopolymer particle (TEP)
distributions in the Oyashio region of
the Northwest Pacific during the
spring diatom bloom 2011. 2012 ASLO
Aquatic Sciences Meeting, 2012年7月
11日、プラザ淡海(大津市)。
- ⑤ H. Endo, T. Yoshimura, K. Sugie, K.
Suzuki: Responses of phytoplankton
assemblages in pCO₂ level during the
spring bloom in the Oyashio region.
2012 ASLO Aquatic Sciences Meeting,
2012年7月11日、ピアザ淡海(大津市)。
- ⑥ 鈴木光次: 分子指標を用いた海洋植物プ
ランクトンの群集構造と生理活性の評価、
平成23年度日本分析化学会北海道支部
公開セミナー、2011年11月11日、北海
道大学函館キャンパス、招待講演。
- ⑦ K. Suzuki: Interaction between ocean
and atmosphere: Roles of marine
organisms in climate change、8th
Japanese-German Frontiers of Science
Symposium by Alexander von Humboldt
Foundation (AvH) and Japan Society for
the Promotion of Science (JSPS)、2011
年10月29日、ホテルニューオオタニ(東
京都千代田区)、招待講演。
- ⑧ 野坂裕一・鈴木光次・山下洋平・齋藤宏
明・高橋一: 2010年春季親潮珪藻ブル
ーム期における透明細胞外重合体粒子
(TEP)分布の特徴、2011年度日本地球化
学会第58回年会、2011年9月15日、北
海道大学札幌キャンパス、学生優秀口頭
発表賞受賞。
- ⑨ 鈴木光次・津田敦: 栄養物質供給に対す
る海洋域の植物プランクトンおよび従属
栄養生物の応答、日本地球惑星化学連合
2011年大会、2011年5月26日、幕張メ
ッセ〔千葉市〕。
- ⑩ 野坂裕一・伊佐田智規・鋤柄千穂・齋藤
宏明・津田敦・鈴木光次: 2008年夏期
の西部北太平洋亜寒帯域における植物プ
ランクトンによる水柱の光合成光利用効
率の特性。2010年度日本海洋学会春季大
会、2010年3月28日、東京海洋大学。

〔図書〕(計1件)

1. 鈴木光次(分担執筆): 丸善株式会社、環

境分析ガイドブック(日本分析化学会編)、
植物プランクトン、2011年、563-567。

〔産業財産権〕

○出願状況(計0件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
出願年月日:
国内外の別:

○取得状況(計0件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
取得年月日:
国内外の別:

〔その他〕

ホームページ等

<http://geos.ees.hokudai.ac.jp/kojis/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

鈴木 光次 (SUZUKI KOJI)

北海道大学・大学院地球環境科学研究院・
准教授

研究者番号: 40283452

(2) 研究分担者

齋藤 宏明 (SAITO HIROAKI)

独立行政法人・水産総合研究センター・東
北区水産研究所・生態系動態グループ長

研究者番号: 30371793