



東京大学
大気海洋研究所

令和8年3月26日

各報道機関文教担当記者 様

西部北太平洋で粒子状チオールの広域分布を 初めて解明

金沢大学理工研究域物質化学系の黄国宏助教、長谷川浩教授、眞塩麻彩実准教授、東京大学大気海洋研究所の小畑元教授、長崎大学水産・環境科学総合研究科の近藤能子准教授らの共同研究グループは、西部北太平洋における粒子状チオール（システイン・グルタチオン）（※1）の広域分布を初めて明らかにするとともにその主要供給源が海洋の植物プランクトンであることを明らかにしました。

本研究では、国際 GEOTRACES プログラムの一環として設定された GEOTRACES GP22 トランセクト（※2）で採取された海水サンプルを用い、粒子状チオールの詳細な分析を行うとともに、海洋性シアノバクテリア *Synechococcus* および珪藻 *Thalassiosira nordenskioeldii* の室内培養実験を組み合わせることで、海洋中に存在する粒子状チオールの起源と分布特性を多角的に明らかにしたものです。

解析の結果、海域ごとのチオール濃度の違いが水塊特性・植物プランクトン組成・環境ストレスにより大きく左右されることが明らかになりました。特に、貧栄養で透明度の高い亜熱帯域の北太平洋中央水塊（NPCW）では、通常の生理生産だけでは説明できない高濃度のグルタチオンが検出され、死滅した植物プランクトン由来の懸濁粒子にグルタチオンが保持される“事前形成（preformed）型”グルタチオンの寄与が大きい可能性を見いだしました。

これらの結果は、粒子状チオールが海洋中における微量金属の化学形態やプランクトンの環境応答と密接に関わることを示しており、海洋における有機硫黄化合物の循環理解に向けた重要な手がかりとなります。

本研究成果は、2025 年 12 月 15 日（欧州時間）に国際学術誌『*Science of the Total Environment*』に掲載されました。

【研究の背景】

チオール類（システイン・グルタチオン）は、金属と結合しやすい性質を持つ低分子有機硫黄化合物であり、海洋微生物における金属ストレス応答や酸化還元反応に重要な役割を果たしています。海洋中のチオールの分布は、Cu、Cd、Hg など金属の毒性緩和や輸送を通じて、海洋の生物地球化学サイクルに深く関与していると考えられています。先行研究では、栄養が豊富な環境において、海洋植物プランクトンがチオール類を生産する能力を持ち、特に重金属に暴露されるとその生産量が大きく増加することが報告されていました。

しかし、溶存チオールの空間分布に関する研究は限られており、粒子状チオールの亜熱帯域や赤道域の広域分布は、外洋観測の難しさから全く未解明のままでした。さらに、シアノバクテリアが優占する貧栄養海域（例：北太平洋亜熱帯循環域）において、粒子状チオールがどの程度生産されているかについても、ほとんど情報がありませんでした。

そこで本研究では、北太平洋を縦断する GEOTRACES GP22 観測航海（2022–2023 年）により、複数の水塊における粒子状チオールの広域分布を明らかにするとともに、主要な植物プランクトン 2 種を用いた培養実験を行い、海洋における粒子状チオール動態を包括的に明らかにすることを目的としました。

【研究成果の概要】

本研究では、西部北太平洋を縦断する GEOTRACES GP22 トランセクトに沿って採取した海水試料を解析し、粒子状チオールであるシステイン（p-Cys）およびグルタチオン（p-GSH）の広域分布を初めて明らかにしました。解析の結果、粒子状チオール濃度「をクロロフィル a で規格化した指標（p-Cys/Chl-a、p-GSH/Chl-a）は、水塊ごとに大きく異なり、亜寒帯域の太平洋亜寒帯上層水（PSUW）で最も低値を示し、北赤道反流（NECC）、北太平洋中央水塊（NPCW）、北太平洋遷移帯（NPTZ）で高い値を示すなど、生物群集組成や水塊特性を反映した明瞭な地理的パターンが確認されました。特に NPCW では p-GSH/Chl-a が顕著に高く、強い光環境や大気沈着由来の金属負荷に加え、生きていない懸濁粒子が寄与している可能性が示唆されました。

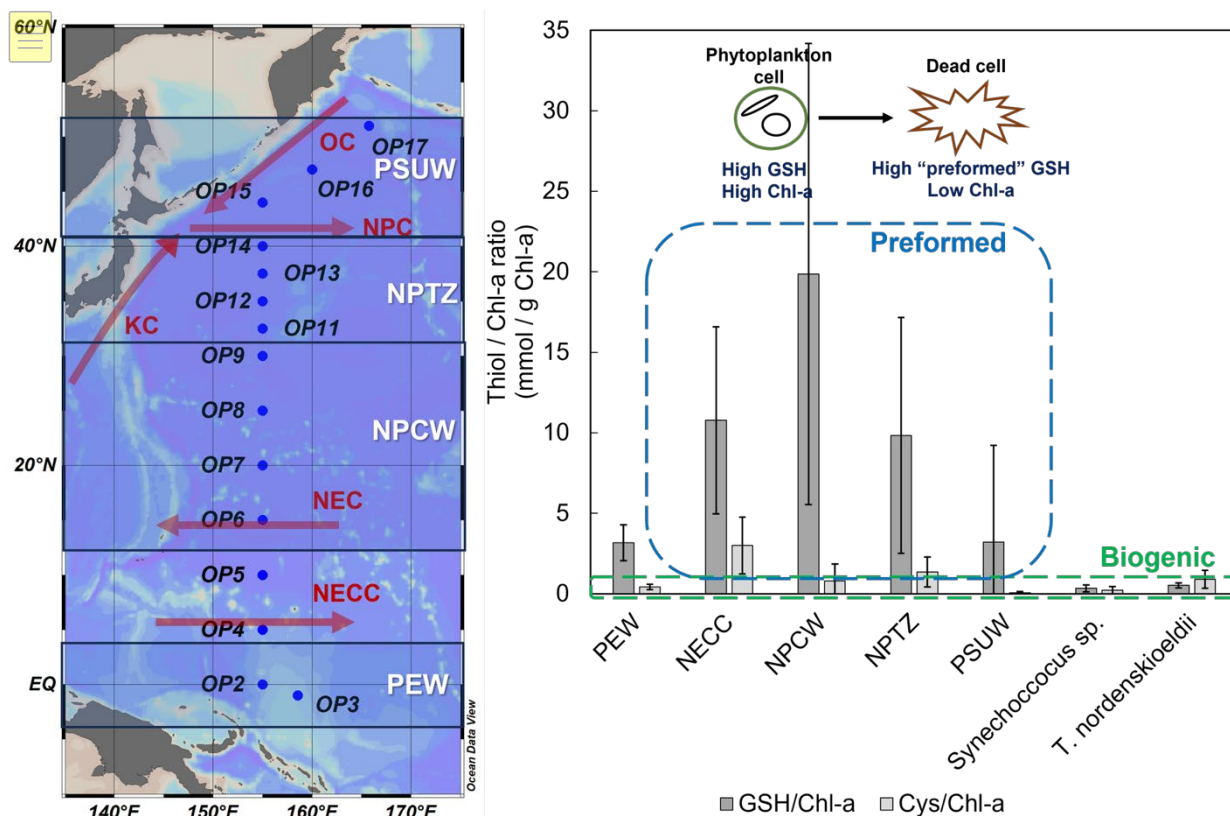
さらに、海洋性シアノバクテリア *Synechococcus* と珪藻 *Thalassiosira nordenskiöldii* を用いた培養実験の結果、植物プランクトンが粒子状チオールの主要な供給源であること、また Cu ストレス条件下で *Synechococcus* の p-GSH が著しく増加することが確認されました。これにより、観測海域で見られた地域差の一部が、植物プランクトンの生理的応答によって説明できることが明らかになりました。また、NPCW における p-GSH/Chl-a の異常な高値は、生細胞由来のチオールだけでは説明できず、クロロフィルが先に分解した後にも相対的に残存しうる“事前形成（preformed）型”のグルタチオンを含む、死滅した植物プランクトン由来の懸濁粒子が大きく寄与している可能性が高いことも判明しました。

これらの結果は、海洋における粒子状チオールの分布が、植物プランクトン群集の構成や光・金属ストレス、さらには懸濁粒子の生成・分解といった複数の生物地球化学的プロセスの重なりによって形成されていることを示しています。

【今後の展開】

本研究により、西部北太平洋における粒子状チオール分布とその起源に関する理解が大きく進みましたが、今後はその詳細な供給源や生成過程をさらに明確にすることが重要になります。特に、生物起源、大気由来、デトリタス由来の寄与を区別するために、硫黄同位体比などの化学的指標を用いた分析が必要になります。また、北太平洋中央水塊（NPCW）で見られた高濃度“事前形成型”グルタチオンは、その保存性や分解過程を定量的に評価する研究が求められます。さらに、強光環境や大気エアロゾルに含まれる銅や水銀といった金属ストレスが、植物プランクトンのチオール応答にどのように影響を及ぼすのかを、観測・培養実験・モデル解析を組み合わせる必要があり、明らかにする必要があります。こうした取り組みにより、粒子状チオールを海洋環境ストレスの指標として活用する可能性が広がり、国際 GEOTRACES 計画との連携を通じて、他海域への知見の展開や、地球規模での有機硫黄循環および金属動態の理解深化が期待されます。

本研究は、科研費（若手研究）22K18021 の支援を受けて実施されました。



本研究の概要図：北太平洋における水塊の分布および各水塊における粒子状チオール濃度分布と起源

【掲載論文】

雑誌名： *Science of the Total Environment*

論文名： Particulate thiols along a meridional transect in the western North Pacific: Insights from laboratory cultures of *Synechococcus* sp. and *Thalassiosira nordenskiöldii*
(日本語訳)

著者名： Kuo Hong Wong (責任著者), Hajime Obata, Akihiro Takamura, Izumi Ishizaki, Shino Kato, Inhee Kim, Yoshiko Kondo, Asami S. Mashio, Hiroshi Hasegawa
(黄 国宏、小畑 元、高村 晃拓、石崎 泉、加藤 惲、キム インヒー、近藤 能子、眞塩 麻彩実、長谷川 浩)

掲載日時： 2025 年 12 月 15 日

DOI： 10.1016/j.scitotenv.2025.180977

【用語解説】

※1 粒子状チオール（システイン・グルタチオン）

海水中の懸濁粒子（プランクトン細胞やデトリタスなど）に含まれる低分子有機硫黄化合物。金属結合能と抗酸化能を持ち、生物地球化学サイクルに関与します。

※2 GEOTRACES GP22 トランセクト

国際 GEOTRACES プログラムの一環として設定された、西部北太平洋を亜寒帯域から赤道域まで南北に縦断する観測トランセクト（測線）です。GP22 では、海洋の金属元素や微量成分の分布と循環を明らかにするため、2022-2023 年に海洋研究船「白鳳丸」によって複数の水塊（PSUW、NPTZ、NPCW、NECC、PEW など）で海水が採取されました。本研究では、この GP22 トランセクトに沿って取得された表層～亜表層の海水試料を用いて、粒子状チオール（システイン・グルタチオン）の分布と起源解析が行われています。

【本件に関するお問い合わせ先】

■研究内容に関すること

金沢大学理工研究域物質化学系 助教

黄 国宏（うおん くお ほん）

TEL：076-234-4793

E-mail：wong@se.kanazawa-u.ac.jp

■広報担当

金沢大学先端科学・社会共創推進機構 特任准教授

山崎 輝美（やまざき てるみ）

金沢大学理工系事務部総務課総務係

松田 理奈（まつだ りな）

TEL：076-234-6951

E-mail：s-somu@adm.kanazawa-u.ac.jp

東京大学大気海洋研究所 附属共同利用・共同研究推進センター 広報戦略室

E-mail：kouhou@aori.u-tokyo.ac.jp