

深海温泉を源とする微生物に分解されない有機物

～深海熱水から溶存黒色炭素が供給されていることを発見～

ポイント

- ・森林火災や化石燃料燃焼の副産物である溶存黒色炭素の太平洋広域における観測を実施。
- ・深海熱水域からも溶存黒色炭素が供給されることを発見。
- ・炭素循環のブラックボックスである海洋溶存有機物の動態の理解に大きく貢献。

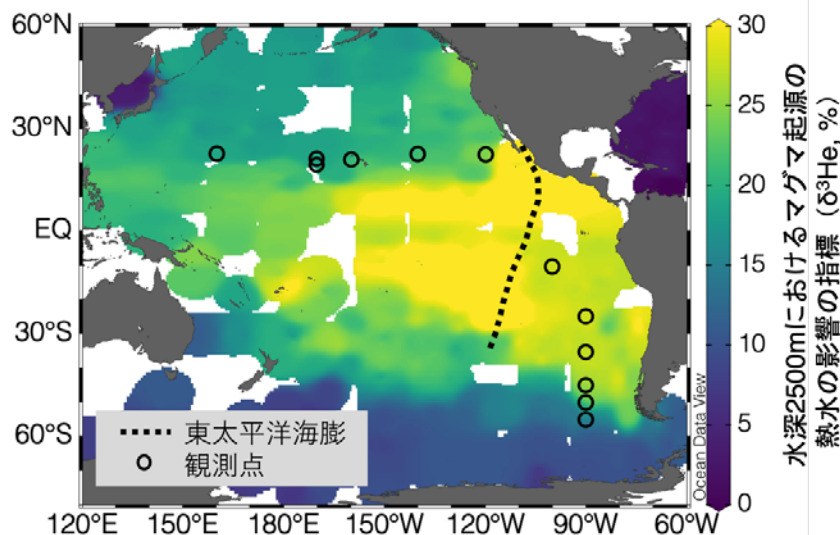
概要

北海道大学大学院地球環境科学研究院の山下洋平准教授と、同大学大学院環境科学院博士前期課程（研究当時）の森雄太郎氏は、東京大学大気海洋研究所の小川浩史教授と共同で、東太平洋海膨における深海熱水域から熱成炭素*¹である溶存黒色炭素*²が供給されていることを明らかにしました。

森林火災や化石燃料燃焼に伴い、不完全燃焼産物である煤や炭などの熱成炭素が生成されます。熱成炭素の多くは、環境微生物による分解を受けにくく、土壌や海洋に蓄積されやすいため、地球表層の炭素循環から二酸化炭素を隔離する機能を持つと考えられています。熱成炭素の一部は、水と共に移動可能な形態である溶存黒色炭素に変質し、河川や大気を経由して海洋へと輸送されることが知られています。海洋中では、溶存黒色炭素は太陽光により分解もしくは沈降粒子に吸着され、除去されます。しかし、海洋への溶存黒色炭素の年間の供給量はその除去量よりも小さく、海洋には溶存黒色炭素のミッシングソース（未知の供給源）がある事が指摘されていました。そこで研究グループは、学術研究船白鳳丸により東太平洋を中心とした観測を行い、高温かつ高圧である深海熱水域で生成された溶存黒色炭素が深海に供給されていることを世界で初めて明らかにしました。

海洋に存在する難分解な溶存有機物*³の総量は大気中の二酸化炭素の総量に匹敵しますが、その起源や生成メカニズムはよく分かっておらず、炭素循環におけるブラックボックスとされています。本研究成果は、難分解な溶存有機物である溶存黒色炭素が深海熱水域から供給されている事を明示しており、炭素循環における溶存有機物の役割を理解する上でも貴重な知見となります。

なお、本研究成果は2023年2月11日（土）公開の *Science Advances* 誌にオンライン掲載されました。



本研究の観測点と東太平洋海膨の位置。図の背景の色は水深2500mにおける熱水の影響の指標であるヘリウム同位体 ($\delta^3\text{He}$) の空間分布を示す。

【背景】

森林火災などのバイオマス燃焼や化石燃料燃焼に伴い生成される副産物の一つに煤や炭などの熱成炭素があります。熱成炭素の主要な成分である多環芳香族化合物は、環境微生物により分解されにくい難分解な有機物であり、炭素循環から二酸化炭素を隔離する役割があると考えられています。

熱成炭素は炭や煤として地表面に蓄積します。また、熱成炭素の一部は水に溶ける状態へと変質し、それは溶存黒色炭素と呼ばれています。溶存黒色炭素は地球表層の至るところに存在し、海洋も溶存黒色炭素が蓄積する場として考えられています。しかし研究グループの過去の研究により、河川や大気から流入する溶存黒色炭素の供給量が、沈降粒子に吸着され海底へと流出する除去量を下回る事が明らかとなり、研究グループは海洋には溶存黒色炭素のミッシングソース（未知の供給源）が存在することを指摘しました（下記【関連するプレスリリース】参照）。地球表層の熱成炭素の挙動は炭素循環に深く関わっているため、海洋における溶存黒色炭素の供給源と除去源及びそれらの変動要因を明らかにし、海洋における溶存黒色炭素の収支を解明することは、重要な研究テーマとなっていました。

研究グループは、熱成炭素は陸上での燃焼活動のみならず深海熱水域の高温かつ高圧条件でも生成されるという先行研究から、深海熱水は溶存黒色炭素の起源であるとの仮説を立てました。そこで、東太平洋海膨からの熱水の影響を受けている海域を含む太平洋広域における溶存黒色炭素濃度の分布を調査し、仮説の検証を行いました。

【研究手法】

本研究では東太平洋海膨からの熱水の影響を受ける海域で溶存黒色炭素の分布を評価するために、北太平洋を東西に、南太平洋を南北に横切る2つの研究航海に参加し、海水試料を採取しました（p.1 図）。航海は2017年と2019年に海洋研究開発機構の学術研究船白鳳丸により行われました（図1）。

海水中に存在する溶存黒色炭素の濃度は極めて低いため、その分析を行う前に特殊技術により濃縮する必要があります。そこで、研究グループは、浅海から深海における海水を各10L程度採取しました。採取した海水試料に含まれる溶存黒色炭素は、船上において固層抽出法により濃縮し、陸上研究室に持ち帰りました。陸上研究室において、硝酸を用いて溶存黒色炭素をその構成成分であるベンゼンポリカルボン酸へと分解し、高速液体クロマトグラフによりベンゼンポリカルボン酸を分離及び定量し、溶存黒色炭素の濃度や組成を求めました。

【研究成果】

これまでに深海熱水の影響のある海域における溶存黒色炭素の分布は明らかではありませんでした。本研究により、世界で初めて東太平洋海膨からの熱水の影響を受けた海域の溶存黒色炭素濃度の分布が示された結果、その濃度は熱水の影響を受けた深海で高いことがわかりました（図2）。また、研究グループは、陸上での燃焼活動により生成し河川及び大気経由で海洋表層へと供給、海洋表層から海洋循環に伴い深海へと輸送、さらに深海への輸送後に沈降粒子に吸着し除去された分の溶存黒色炭素の濃度を海水中の溶存酸素濃度を使って補正することに成功しました。補正の結果、深海における熱水由来の溶存黒色炭素の濃度を正しく見積もる事ができ、その濃度はマグマ起源の熱水の指標とされている³He濃度と直線関係にある事がわかりました（図3）。この直線関係から、研究グループは、深海熱水から溶存黒色炭素が供給されていると結論づけました。

【今後への期待】

全深海熱水域からの溶存黒色炭素の年間供給量を見積もった結果、深海熱水域のみでは海洋の溶存

黒色炭素のミッシングソースの全てを説明できませんでした。すなわち、海洋には深海熱水域の他に溶存黒色炭素のミッシングソースがあることが考えられます。しかし本研究では、深海熱水域の影響を強く受けている熱水プルームを観測できておらず、見積もりに大きな誤差が含まれると考えられるため、さらなる観測が望まれます。

海洋に存在する難分解な溶存有機物の総量は、大気中の二酸化炭素の総量に匹敵し、炭素循環において重要な役割を有すると考えられています。しかし、海洋の難分解な溶存有機物の起源や生成メカニズムはよく分かっておらず、それは炭素循環におけるブラックボックスとされていました。本研究により、深海熱水から難分解な溶存有機物である溶存黒色炭素が供給されていることが分かりました。本研究の成果を足がかりに、難分解な溶存有機物の起源としての深海熱水の研究が進展し、海洋の難分解な溶存有機物の動態の実体、その炭素循環における役割が明らかになると期待されます。

【関連するプレスリリース】

北海道大学・東京大学共同プレスリリース「深海に滞留する燃焼由来の溶存物質～太平洋深海における溶存黒色炭素の除去プロセスを発見～」

発表日：2022年1月14日

URL：https://www.hokudai.ac.jp/news/pdf/220114_pr.pdf

【謝辞】

本研究は、科学研究費補助金・基盤研究(課題番号 JP16H02930; JP19H04249; JP22H03714; JP19H05667; JP19H04260)の助成を受けて実施されました。

論文情報

論文名	Hydrothermal-derived black carbon as a source of recalcitrant dissolved organic carbon in the ocean (海洋における難分解な溶存有機物の起源としての溶存黒色炭素)
著者名	山下洋平 ¹ 、森雄太郎 ² 、小川浩史 ³ (¹ 北海道大学大学院地球環境科学研究院、 ² (当時)北海道大学大学院環境科学院、 ³ 東京大学大気海洋研究所)
雑誌名	Science Advances
DOI	10.1126/sciadv.ade3807
公表日	2023年2月11日(土)(オンライン公開)

お問い合わせ先

北海道大学大学院地球環境科学研究院 准教授 山下洋平 (やましたようへい)

T E L 011-706-2349 メール yamashiy@ees.hokudai.ac.jp

U R L <https://pablos.ees.hokudai.ac.jp/yamashita/>

配信元

北海道大学社会共創部広報課 (〒060-0808 札幌市北区北8条西5丁目)

T E L 011-706-2610 F A X 011-706-2092 メール jp-press@general.hokudai.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

(〒277-8564 千葉県柏市柏の葉5-1-5)

メール kouhou@aori.u-tokyo.ac.jp

【参考図】



図 1. 観測を実施した海洋研究開発機構の学術研究船白鳳丸。

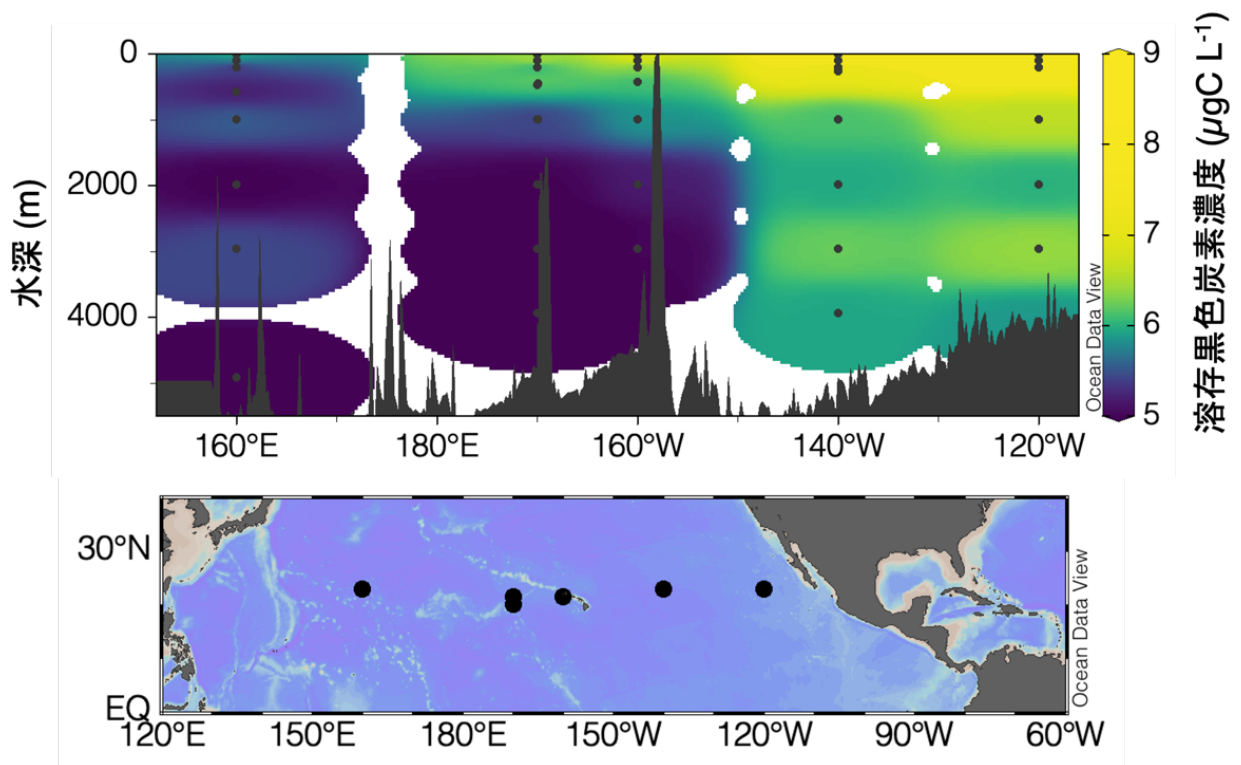


図 2. 上図：北太平洋における海水中の溶存黒色炭素濃度の東西断面分布。下図：北太平洋における観測点。

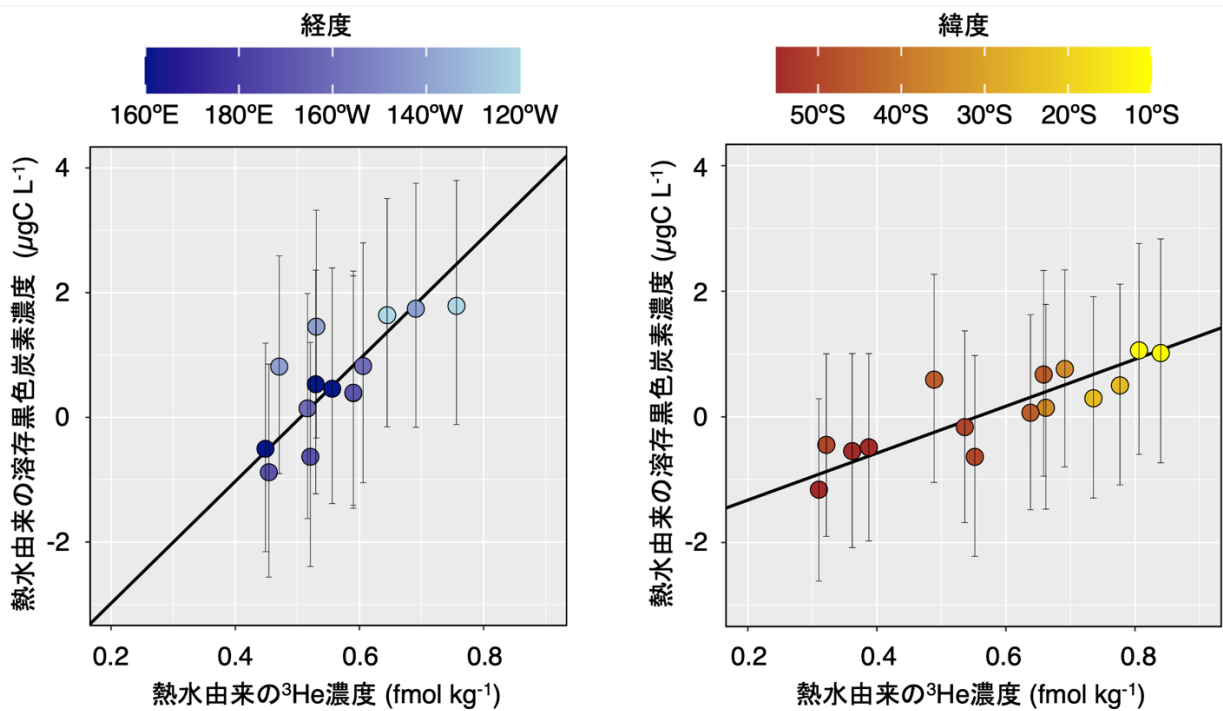


図 3. 左図：北太平洋深海における熱水由来の溶存黒炭素濃度と熱水由来の ^3He 濃度との関係。右図：南太平洋深海における熱水由来の溶存黒炭素濃度と熱水由来の ^3He 濃度との関係。黒線は両者の間の直線関係を示す。

【用語解説】

- *1 熱成炭素 … 森林火災や化石燃料燃焼の不完全燃焼に伴い形成される、煤や炭などの炭素に富んだ物質のこと。高温かつ高圧な深海熱水域でも炭素化合物であるグラファイトが形成するとされている。
- *2 溶存黒炭素 … 熱成炭素の中で水に可溶な多環芳香族化合物のこと。
- *3 難分解な溶存有機物 … 海水を $0.7\ \mu\text{m}$ の濾紙で濾過した際の濾液に含まれる有機物の中で環境微生物に分解されないもの。その平均年齢は～6500年である。