

令和3年1月29日

報道機関 各位

熊本大学

磯の香りをたどればクジラは餌の在処にたどり着く

（ポイント）

- 海水や海洋大気に存在するジメチルスルフィド（DMS）（磯の香りの成分）の分布をオキアミなどの動物プランクトンの分布と合わせて初めて可視化しました。
- 動物プランクトンの密度とDMSの濃度間に正の相関があり、クジラなどの海洋動物がDMSの濃度勾配を認識できれば、餌の在処に到達できることを示しました。
- 海洋動物の捕食活動や集団行動、生殖行動などに関わる誘引化学物質をフィールドで探る先駆的な研究成果です。

（概要説明）

熊本大学大学院先端科学研究部(理学系)の戸田敬教授の研究グループは、米国ウッズホール海洋研究所、ストーニーブルック大学、アメリカ海洋大気局NOAAの研究グループとともに、海洋の大気や海水に含まれる磯の香りの成分（ジメチルスルフィド：DMS）の濃度勾配をたどると、オキアミなど動物プランクトンの在処に到達できることを実証しました。これまで、クジラがどのように餌を探して巨大な体を維持しているか、その生態はほとんど知られていませんでした。今後は、クジラの移動履歴や捕食行動も合わせて追跡し、確かな証拠を積み上げていきますが、本成果が様々な海洋生物と誘引化学物質との関連に関する研究の幕開けになると期待されます。

本研究成果は令和3年2月1日に*Nature*の姉妹誌である科学雑誌「*Communications Biology*」に掲載されます。

本研究はJSPSの二国間交流事業共同研究の支援を受けて実施しました。また、ウッズホール海洋研究所のDaniel P. Zitterbart博士は熊本大学国際先端科学技術研究機構（IROAST）の客員准教授も務めています。

（説明）

[背景]

クジラの餌の多くはオキアミに代表される動物プランクトン（摂食浮遊生

物)です。このような小さな生き物をエネルギー源とし巨大な体を維持するには、大量の餌を摂取する必要があります。そのためには効率的に餌の在処に到達しなければならず、クジラなどの巨大な海洋生物がどのようにして餌場にたどり着くのかまだよく分かっていません。

オキアミは、珪藻や渦鞭毛藻（うずべんもうそう）などの植物プランクトンを餌として繁殖します。植物プランクトンは、海水の浸透圧に対応するため水溶性の化合物を生成して体内に保持しています。その代表的な化合物が、ジメチルスルフォニオプロピオネート（dimethylsulfoniopropionate: DMSP^{*1}）と呼ばれる化学物質です。図2に示すDMSPは、硫黄元素を含み、かつアミノ酸のように分子内にプラスとマイナス双方の電荷を持つ、いわゆる「双性イオン」化合物です。このような化合物は、海水の浸透圧に対応する役割を持っており、塩濃度の高い海洋で生存するための必須な機能を持ちます。DMSPはバクテリアなどによって分解され、ジメチルスルフィド（dimethyl sulfide: DMS）となります（図2）。DMSは磯の香りの成分であり、海産物に恵まれた日本人にはなじみの深い匂いを持ちます。小魚やエビなどの海洋生物がDMSの匂いをもとに餌を探しているのではないかと、ということが以前から言われていましたが、その関係については明らかになっていませんでした。

一方、クジラが餌とする動物プランクトンが植物プランクトンを捕食する際、植物プランクトンに蓄えられていたDMSPやDMSが海水に放出され、その結果動物プランクトンの密集域ではDMS濃度が局所的に高くなっていることが推定されます。しかし、このような事象の調査はこれまで行われていませんでした。

[研究の内容]

本調査において、海水に含まれるDMS、ならびに大気に存在するDMSを調べるため、双方を連続的に自動分析する装置を新たに開発しました。本装置は熊本大学が開発し、三菱ケミカルアナリテック（2020年度より日東精工アナリテックに改名）が機器として形にしました。本装置については、2019年8月に米国化学会の論文にまとめています[参考文献1]。本装置を用いて、2019年6月に、米国ウッズホール海洋研究所（Woods Hole Oceanographic Institution: WHOI）とともにクジラが回遊するCape Cod沖（マサチューセッツ州）でDMSやDMSPの濃度分布の調査を行いました。化学物質の測定は熊本大学の戸田と佐伯が、動物プランクトンや魚の群れの観測はニューヨーク州立ストーニーブルック大学が担当しました。船の手配やクジラの観察、全体のとりまとめはWHOIが行いました。本調査では、DMSとともにクジラの餌となる動物プランクトンを同時に計測し、その関係を調べました。また海域をジグザグに走行しながら計測を行い、二次元的な平面分布を調査しました。

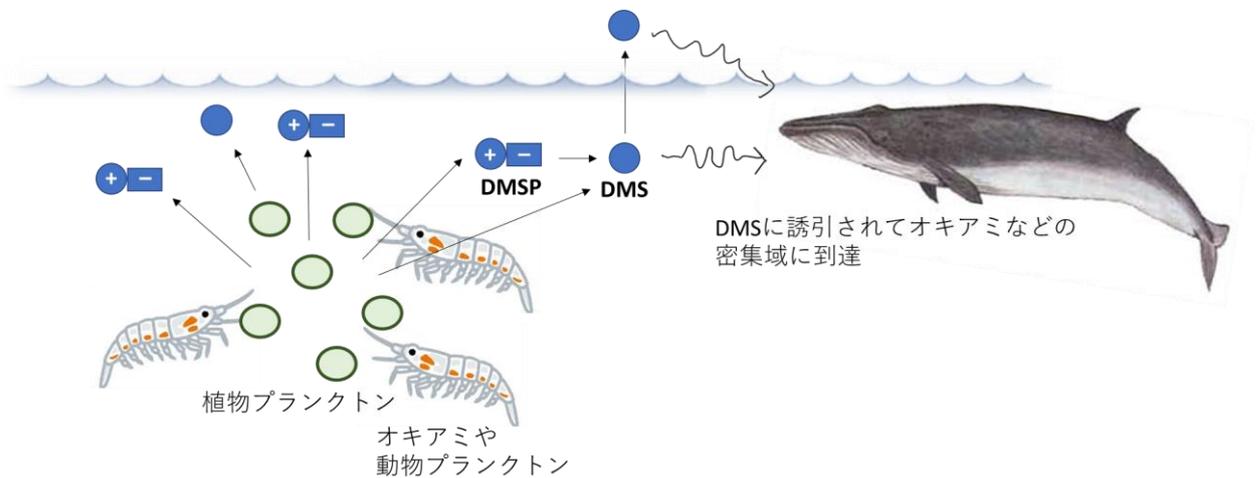
[成果]

調査の結果、ローカルに限られた小面積の海域でもDMSやDMSPの濃度に分布のあることが証明されました（図3上段）。また、海水や大気に含まれるDMSの濃度は動物プランクトンの密度と正の相関があることが判明しました。動物プランクトンの捕食活動により、植物プランクトンの化学物質が海水に放

出され、周囲よりも高濃度になっていることが考えられます。これに対し、魚の群れとDMS濃度の間に関連は見られませんでした。もしクジラがDMSの濃度勾配を検知することができ、DMSの濃い方へと移動すれば、やがて餌（動物プランクトン）の密集域に到達できることが、実測結果に基づいたシミュレーションによって得られました（図3下段）。

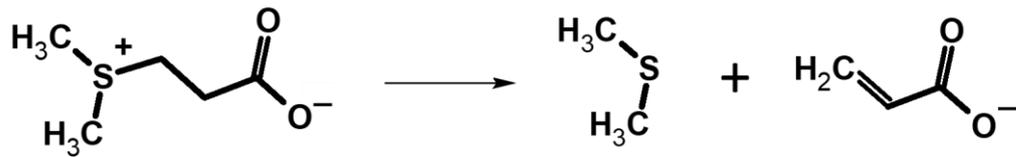
[展開]

今後は同様の調査研究をさらに発展させていきます。DMSの濃度分布とともにクジラの行動も併せて追跡し、クジラの移動軌跡とDMSの濃度勾配から、この誘引化学物質の作用をより具体的に明らかにしていきます。また、DMS以外の誘引化学物質についても探っていくとともに、クジラだけでなく、海鳥やペンギンなどの海洋生物の行動と化学物質との関連について、南極などでの調査研究を進めていきます(すでに2020年2月に第1回を南極で実施)。様々な動物の捕食や繁殖, 集団行動と化学物質の関連を追及する課題は多く、今後の展開が期待されます。



- 植物プランクトンがクジラの餌となるオキアミなど動物プランクトンに捕食されると植物プランクトン内の化学物質DMSPが海水に放出される
- DMSPはDMSに分解される
- 餌（動物プランクトン）の密集域はDMSの濃度が高くなっていた ←→ 魚の群れとDMSとは相関がなかった
- クジラなどの海洋生物はDMSの濃度の高い方へ移動すると餌の密度の高いところに到達できる
- DMSは海面から海洋大気へも放出される

図1. クジラの餌となるオキアミが植物プランクトンを捕食することによってDMSが海水にリリースされる



DMSP
dimethylsulfoniopropionate
ジメチルスルフォニオプロピオネート

DMS
dimethyl sulfide
ジメチル硫黄

acrylate
アクリル酸イオン

- DMSPは海洋の植物プランクトンで生成される化合物である
- 分子内にプラスとマイナス双方の電荷を持ついわゆる双性イオン（ツビッターイオン）である、つまり水にも高濃度で存在することのできる有機化合物
- 主に塩水の浸透圧に対応する役割を担い、細胞内から水が抜けていかないように作用している
- DMSPはバクテリアなどでDMSとアクリル酸に容易に分解される
- DMSは揮発性が高く大気へも放出される、大気に放出されたDMSは酸化されたのち雲をつくるきっかけとなる凝結核となる、海洋の気象を司っている化合物として知られている
- DMSは磯の香りの成分である

図 2. DMSP と DMS について

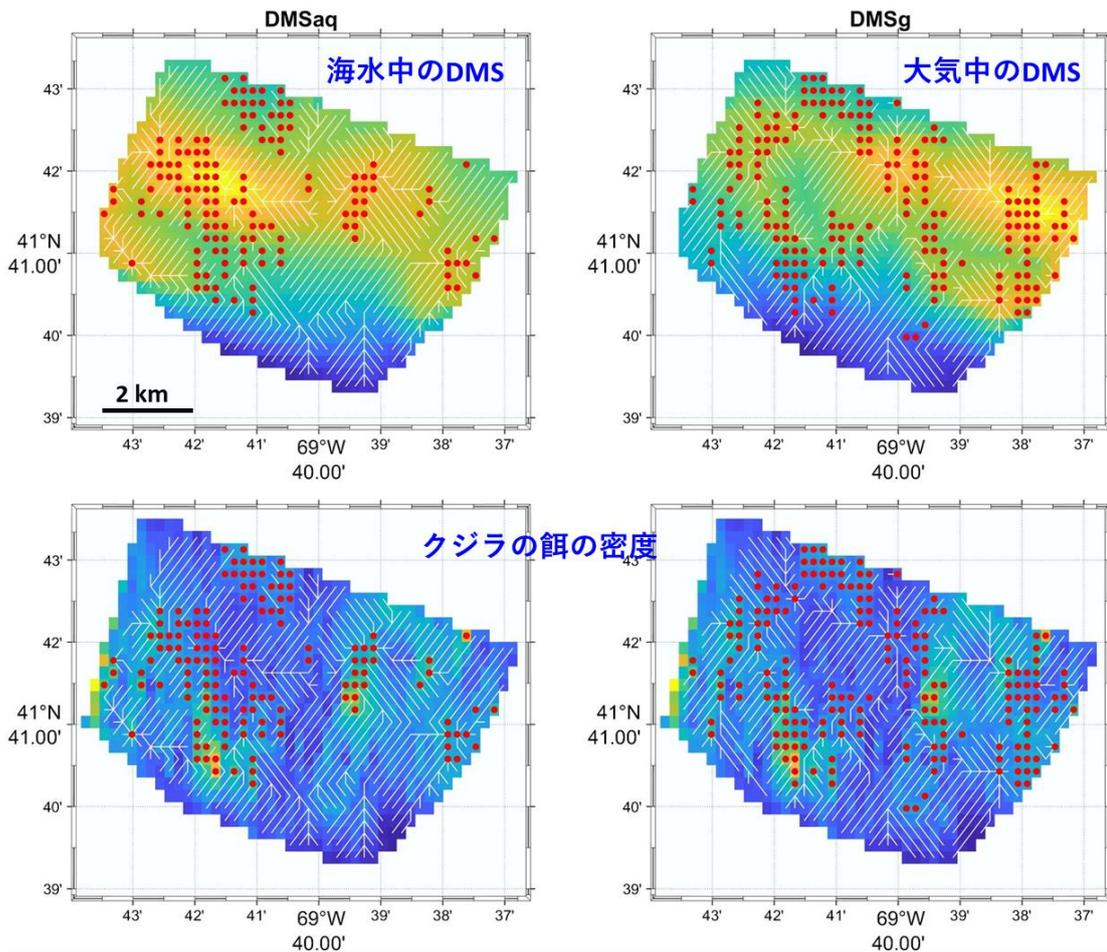


図 3. 海水および大気中の DMS の分布（上段左・右）. 下段は餌の密度を示す。白線の矢印は、DMS の濃度の高い方向を示す。白線に沿って移動した中で餌の密度の最も高い地点を赤丸の点で示す。



写真1. 本調査にチャーターしたボート

WHOI の調査船は1日のチャーターに数十万円を要し、数日間をわたる調査を遂行できない。そこで、使用不能になっていた船を見つけ、その船長に修理を依頼して本調査専用船とした。内装のペンキも塗り直した。



写真2. ボートの操舵室の左半分は大工仕事でつくってもらった作業台：コンピュータや測定装置を設置



写真3. 本研究グループのメンバー（調査最終日，船尾にて）。左から，

- Dr. Owen スウェーデンより本調査に参加，海洋生物学者
- 戸田教授（熊本大） 分析化学・大気化学
- Dr. Zitterbart 2016年にドイツよりWHOIに赴任，ドイツ ニュルンベルグの大学にも籍を置き，熊本大学IROASTの客員准教授も務める 物理学を専門とするが，物理的手法やリモート観測を生態の研究に活用
- Dr. Bocconcelli WHOIの海洋生物学者 イタリア人
- Dr. Warren ニューヨーク州立ストーニーブルック大学の准教授，アコースティック海洋学
- 佐伯健太郎（熊本大）大学院自然科学教育部博士後期課程に在籍

参考文献 1 :

D. Okane, E.P. Koveke, K. Tashima, K. Saeki, S. Maezono, T. Nagahata, N. Hayashi, K. Owen, D.P. Zitterbart, S.-I. Ohira, K. Toda* High sensitivity monitoring device for onboard measurement of dimethyl sulfide and dimethylsulfoniopropionate in seawater and an oceanic atmosphere. *Analytical Chemistry*, **91** (16), 10484-10491 (2019).

(論文情報)

論文名 :

Natural dimethyl sulfide gradients would lead marine predators to higher prey biomass

著者 :

Kylie Owen, Kentaro Saeki, Joseph Warren, Alessandro Bocconcelli, David Wiley, Shin-Ichi Ohira, Annette Bombosch, Kei Toda*, Daniel Zitterbart*

*印は責任著者を示す

掲載誌 :

Communications Biology, **4** (2021)

doi : 10.1038/s42003-021-01668-3

URL : <https://www.nature.com/articles/s42003-021-01668-3>

【お問い合わせ先】

熊本大学大学院先端科学研究部 (理学系)

担当 : 戸田 敬

電話 : 096-342-3389

e-mail : todakei@kumamoto-u.ac.jp