



## 海洋コンベアベルトの終着点における栄養物質循環の解明

～縁辺海が海を混ぜ、栄養分を湧き上がらせる～

### ポイント

- ・海洋コンベアベルトの終着点である北部北太平洋において栄養物質循環像を捉えることに成功。
- ・北太平洋に広がる中層水が栄養物質を運び、縁辺海で混ざって表層へ湧き上がることを解明。
- ・気候変動による海洋の炭素循環、栄養物質循環、生態系の変化を含めた将来予測の進展に期待。

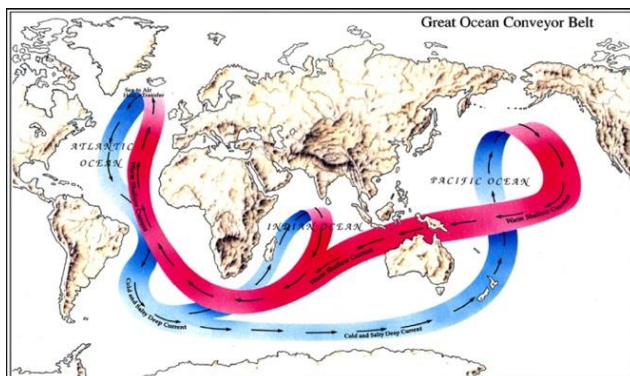
### 概要

北海道大学低温科学研究所の西岡 純准教授と同大学院地球環境科学研究院の山下洋平准教授、東京大学大気海洋研究所の小畑 元教授、小川浩史教授、安田一郎教授、長崎大学大学院水産・環境科学総合研究科の武田重信教授らの研究グループは、これまで明確には理解されていなかった、グローバルスケールの海洋循環（海洋コンベアベルト）の終着点に位置する北太平洋の栄養物質循環像を明らかにしました。

これまで北太平洋では、どのようなメカニズムを経て海洋表層に窒素やリンなどの栄養塩が供給され、生物活動が維持されているのかは良くわかっていませんでした。本研究では、これまでに予想されていた、深層に蓄積されている栄養塩が直接表層の高緯度海域を肥沃にしているという考えを覆し、ベーリング海で形成される中層水の栄養塩プールの形成と海峡部で起こる混合が、深層と表層の栄養塩を繋ぐ重要な役割を果たしていることを明らかにしました。この中層水由来の栄養塩とオホーツク海から流出する鉄分が混合することで、西部北太平洋の生物生産が高い状態で維持されていることが解明されました。本研究で見えてきた北太平洋の栄養物質循環像は、地球規模の海洋物質循環を解明する上で鍵となるエリアの理解を大きく進めます。今後、海洋における炭素循環、栄養物質循環、生態系の気候変動に起因する変化を理解する上で欠かせない知見となります。

本研究は、新学術領域研究「海洋混合学の創設」及び「新海洋像」、その他の科学研究費補助金、低温科学研究所共同利用開拓型研究の助成を受けて実施されました。

なお、本研究成果は2020年5月27日（水）公開の *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 誌にオンライン掲載されます。



海洋コンベアベルトの概念図

W.S. Broecker,

Oceanography, vol 4, No.2, 1991

## 【背景】

日本が面する西部北太平洋は、サケ・マスをはじめ多くの魚が獲れる海域として知られています。この西部北太平洋は、全海洋の面積の6%を占めるに過ぎませんが、全海洋の水産資源の26%を生み出すと見積もられています。また西部北太平洋は、生物活動による大気から海洋へのCO<sub>2</sub>の吸収-放出量の変動が最も大きな海域であり、気候変動とも密接に関わっています。

何故、西部北太平洋では豊かな生物活動が生み出されるのでしょうか？研究グループでは、この「海の豊かさを生み出す仕組み」を解明するための研究に取り組みました。西部北太平洋が高い生物生産を生み出す仕組みを理解するためには、植物プランクトンの増殖量を決めている硝酸塩、リン酸塩、珪酸塩などの栄養塩と、微量栄養物質である鉄分の供給量や供給過程を明らかにしていかなければなりません。栄養塩は植物プランクトンを含む生物の死骸など有機物が沈降し分解されていく過程で、海洋の深層水に蓄積されます。これまで北太平洋は、深層水が表面にまで運ばれている地球規模の海洋コンベアベルトの出口 (p.1 図) として捉えられ、漠然と「栄養塩が深いところから供給されている海域である」と認識されてきました。確かに北太平洋亜寒帯域の表層には栄養塩が豊富に存在しています (図 1)。しかし、一般的に密度成層の強い海洋において、深いところにある重い水は、より浅いところにある軽い水と入れ替わることは難しく、深層の栄養塩が表層に回帰する仕組みはそう単純ではありません。実際は「どこでどのような物理的プロセスを介して深層の栄養塩が表層にもたらされ、どのようなルートを介して西部北太平洋に移送され、生物生産に結びついているのか」について、科学的知見が欠落しているのです。この海洋コンベアベルトの終着点の栄養物質循環の実態を捉えるためには、オホーツク海やベーリング海など北太平洋を取り囲むすべての海で、栄養物質の混合過程など鍵となるプロセスを把握する必要がありました。

## 【研究成果】

オホーツク海・ベーリング海は、北太平洋の縁に位置しており、「縁辺海」と呼ばれる海です。縁辺海内部の陸棚斜面や周辺の海峡部には、潮汐による海水の動きと地形が相互作用することで大規模な混合が生まれる可能性があります。しかし、縁辺海の大部分は他国の排他的経済水域であるため、これまで観測は著しく制限され、混合や物質循環に関わる十分なデータが得られておらず、縁辺海で起こる混合過程が北太平洋に果たす役割はわかっていませんでした。

そこで研究グループは日露の国際共同研究として縁辺海における観測航海を実施し (図 2)、得られたデータを日本独自の観測航海で取得したデータと統合することで、各国の境界を跨いで北太平洋の全体像を捉えることが出来るデータセットを構築しました (図 3)。このデータを解析したところ、北太平洋亜寒帯域全域の中層 (数百 m~1,000m 付近) には、表層の有機物が分解することで生まれた硝酸塩やリン酸塩が高濃度で蓄積していること、また、千島列島周辺やアリューシャン列島周辺では周囲外洋域より 2-4 桁強い鉛直混合が存在することが示されました。この縁辺海の縁に存在する大規模な鉛直混合が、密度成層を壊して海を混ぜることによって、中層水からの表層へ硝酸塩やリン酸塩などの物質移送を介して、北太平洋表層の高い栄養塩濃度を維持する為に重要な役割を果たしていることが明らかになりました。

つまり、ベーリング海で形成される中層水の栄養塩プールと海峡部で起こる混合が、深層と表層の栄養塩を繋ぐ重要な役割を果たしていることが世界で初めて示されました (図 4)。また、この栄養塩をたっぷりと含んだ中層水が、オホーツク海から中層水上部に流出する高鉄濃度の水塊と混合することで (図 5, 図 6)、西部北太平洋の生物生産が高い状態で維持されていることを解明しました。

## 【今後への期待】

グローバルな栄養物質循環の一部として縁辺海を含めた北太平洋の全体像を捉え、栄養物質循環システムを正確に把握することは、今後の気候変動に起因する海洋炭素循環、栄養物質循環の変化を理解する上で欠かせない知見となります。また、今後、将来の海洋生態系の変化を精度よく予測する上で、本研究成果で得られた栄養物質循環像が数値モデルなどに反映されることが期待されます。

## 論文情報

論文名 Sub-polar marginal seas fuel the North Pacific through the intermediate water at the termination of the global ocean circulation (海洋コンベアベルト終着点における中層水を介した縁辺海による北太平洋の肥沃化)

著者名 西岡 純<sup>1</sup>, 小畑 元<sup>2</sup>, 小川浩史<sup>2</sup>, 小野数也<sup>1</sup>, 山下洋平<sup>3</sup>, Keun Jong Lee<sup>2</sup>, 武田重信<sup>4</sup>, 安田一郎<sup>2</sup> (<sup>1</sup>北海道大学低温科学研究所, <sup>2</sup>東京大学大気海洋研究所, <sup>3</sup>北海道大学大学院地球環境科学研究院, <sup>4</sup>長崎大学大学院水産・環境科学総合研究科)

雑誌名 *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* (総合科学雑誌)

D O I 10.1073/pnas.2000658117

公表日 2020年5月27日(水)

## お問い合わせ先

北海道大学低温科学研究所 環オホーツク観測研究センター 准教授 西岡 純(にしおかじゅん)  
T E L 011-706-7655 F A X 011-706-7655 メール nishioka@lowtem.hokudai.ac.jp  
U R L <https://nishioka48.wixsite.com/nishioka>

東京大学大気海洋研究所 海洋物理学部門 教授 安田一郎(やすだいちろう)  
メール ichiro@aori.u-tokyo.ac.jp  
U R L <http://omix.aori.u-tokyo.ac.jp>

長崎大学大学院水産・環境科学総合研究科 教授 武田重信(たけだしげのぶ)  
T E L 095-819-2804 F A X 095-819-2804 メール s-takeda@nagasaki-u.ac.jp

## 配信元

北海道大学総務企画部広報課(〒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 kouhou@jimu.hokudai.ac.jp

東京大学大気海洋研究所 広報室(〒277-8564 千葉県柏市柏の葉5-1-5)  
メール kouhou@aori.u-tokyo.ac.jp

長崎大学広報戦略本部(〒852-8521 長崎県長崎市文教町1-14)  
T E L 095-819-2007 F A X 095-819-2156 メール kouhou@ml.nagasaki-u.ac.jp

【参考図】

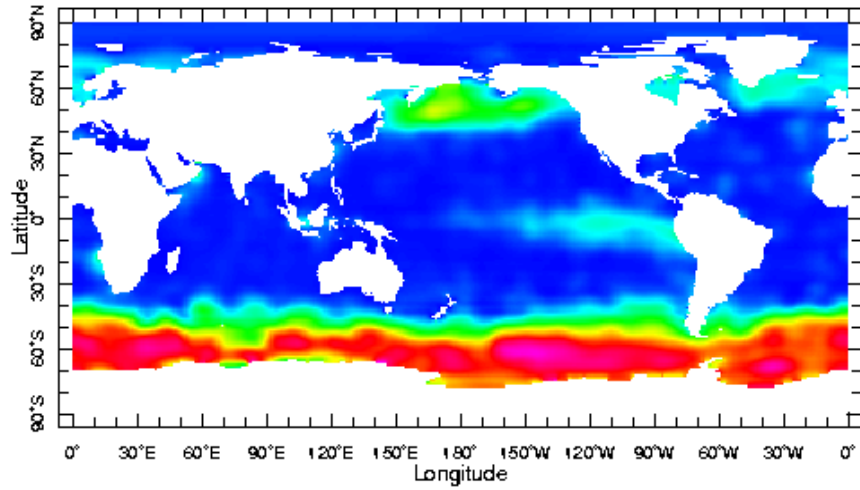


図 1. 海洋表層の栄養塩（硝酸塩）濃度, World Ocean Database 2013 参照



図 2. 観測を実施したプロフェッサー・マルタノフスキー号（左）と白鳳丸（右）

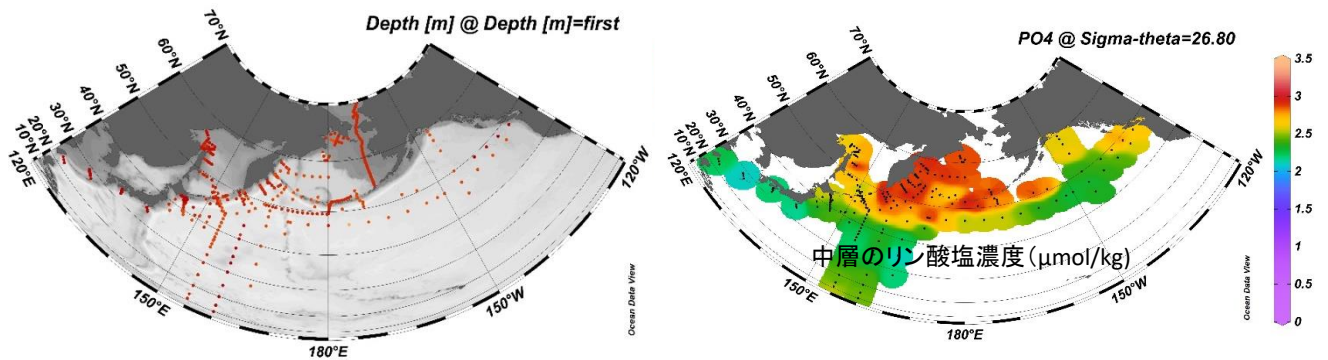


図 3. 本研究の解析に用いたデータを取得した観測点（左）と中層の栄養塩濃度（リン酸塩）（右）

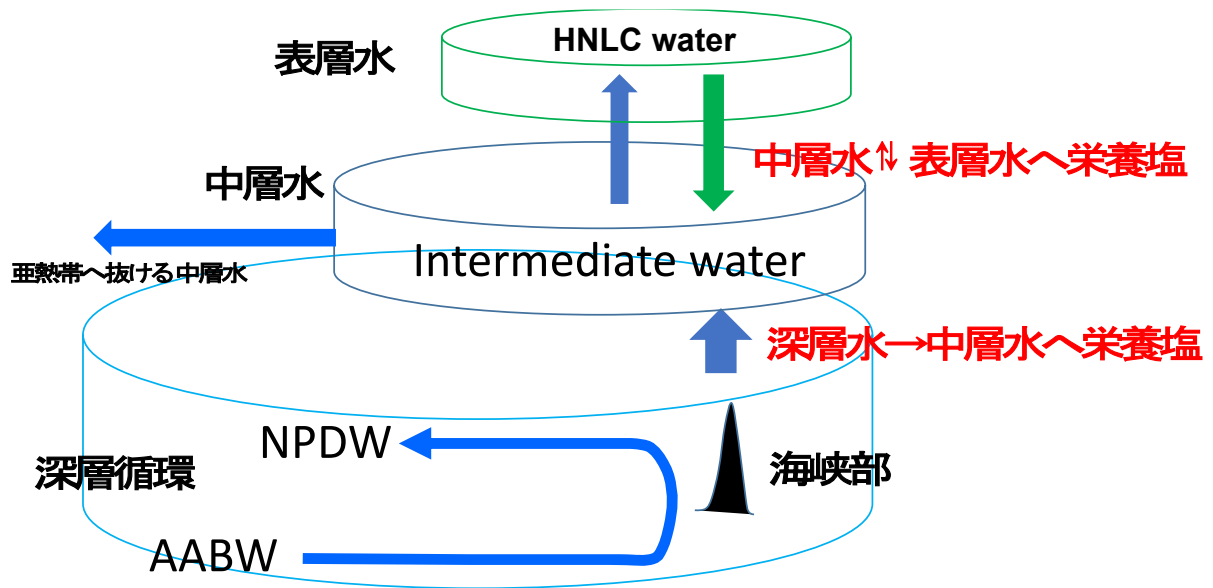


図 4. 深層水と表層水の栄養塩を繋ぐ中層水の役割

HNLC : High Nutrient Low Chlorophyl (高栄養塩低クロロフィル)

NPDW : North Pacific Deep Water (北太平洋深層水)

AABW : Antarctic Bottom Water (南極底層水)

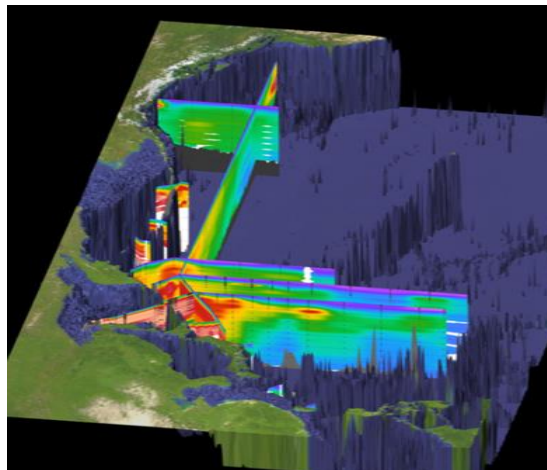


図 5. 溶存鉄濃度 3D 分布 : オホーツク海から溶存鉄が北太平洋に出ていく様子

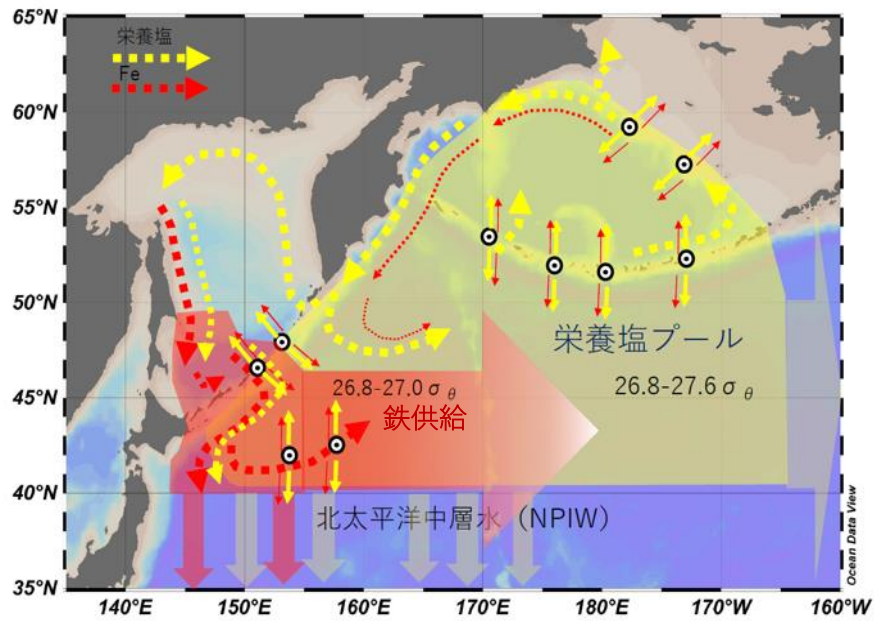


図 6. 北太平洋の溶存鉄と栄養塩の循環像