

南極海の二酸化炭素吸収：微細藻類の量だけでなく種類が鍵となる
－ 優占群集の違いが夏期の炭素収支を左右していた －

令和2年4月16日（木）

国立研究開発法人 国立環境研究所

研究員 高尾 信太郎

主任研究員 中岡 慎一郎

国立大学法人 東京海洋大学

助教 橋濱 史典

特任助教 嶋田 啓資

教授 神田 穰太

国立大学法人 北海道大学

教授 鈴木 光次

准教授 平譯 享

名誉教授 吉川 久幸

大学共同利用機関法人 情報・システム研究機構 国立極地研究所

教授 橋田 元

南極海（南大洋）は、人類がこれまで放出してきた二酸化炭素（CO₂）の約1割を吸収してきたと見積もられており、地球規模の炭素循環を理解する上で重要な海域です。国立環境研究所・地球環境研究センターの高尾信太郎研究員らと、東京海洋大学、北海道大学、国立極地研究所の共同研究チームは、浮遊性微細藻類（植物プランクトン）の優占^{※1}グループの変化が南極海のインド洋区における夏期のCO₂吸収量に影響を及ぼすことを、船舶観測と衛星画像解析により初めて明らかにしました。具体的には、特定の群集（珪藻類）が優占する年ほど、植物プランクトンの正味の炭素固定量は大きくなり、海洋へのCO₂吸収量も増加することが分かりました。本研究で得られた知見は、温暖化等の気候変動によって生じる可能性がある植物プランクトンの群集変化が、海洋の炭素循環を通じて気候変動に及ぼす影響を評価・予測する上でも重要な情報です。

本研究成果は、海洋学分野の学術誌「Deep-Sea Research Part I」に2020年3月19日付でオンライン先行公開されました。

1. 背景

海洋は大気中の二酸化炭素(CO₂)の主要な吸収源の一つであり、人為起源 CO₂ の 2~3 割に相当する量を吸収していると言われています。また、海洋がこれまで吸収してきた人為起源 CO₂ の約 4 割が南極海(南大洋)で吸収されたと見積もられています。この CO₂ 吸収には海水中に浮遊する微細藻類(以下「植物プランクトン」という。)の光合成が重要な役割を担っています。植物プランクトンの光合成によって、海水中に溶け込んだ CO₂ が有機物として固定されると、その一部は食物連鎖によって形を変えながら海洋の表層から中深層へと運ばれていきます(図 1)。その結果、表層海洋の CO₂ 分圧^{※2}は低下し、その分海洋は大気から CO₂ を取込みやすくなります。この一連の過程は生物ポンプと呼ばれており、大気中の CO₂ を除去する重要な過程の一つです。この生物ポンプの効率は、優占する植物プランクトン群集によっても変化すると考えられています。例えば、植物プランクトンのうち、珪藻類(図 2)は比較的大型で比重の重いケイ素の殻を持つため、固定した炭素を効率よく中深層へ輸送すると考えられています。一方、ハプト藻類(図 2)に属する円石藻のように、炭酸カルシウムの外殻を形成する過程^{※3}において CO₂ を海水中に放出する群集も存在します。

近年の研究から、地球温暖化を始めとする海洋環境の変化に伴って、優占する植物プランクトン群集が変化する可能性が指摘されています。実際、地球上で最も温暖化が進行している場所の一つである南極半島の周辺海域では、植物プランクトンの量や優占群集の変化が報告されています。しかし、このような変化が大気-海洋間における CO₂ の吸収や放出に与える影響については、南極海のごく限られた海域でしか調査されていませんでした(図 3)。そこで本研究では、これまで調査が行われていない南極海インド洋区を広域的に対象として、優占する植物プランクトン群集や正味の光合成速度(純基礎生産力)の変化が海洋の CO₂ 分圧に与える影響を船舶観測と衛星画像解析により初めて評価しました。

2. 内容と成果

本研究では、南極海インド洋区の季節性海氷域において東京海洋大学附属練習船「海鷹丸」で南半球の夏期(12月~2月)に実施された船舶観測のデータを用いました。表層海洋の CO₂ 分圧の変化に対する生物的影響を調べるため、純基礎生産力、植物プランクトンの現存量^{※4}、群集組成^{※5}との関係を解析しました。

研究対象海域において、表層海洋の CO₂ 分圧は珪藻類の現存量が増えると減少する傾向にありましたが、その他の群集(ハプト藻類)の現存量との間にそのような関係は見られませんでした(図 4)。この結果はウェッデル海で報告された傾向

とは異なっていました。南極半島の周辺海域で報告された傾向とは同様でした（図 3）。この結果と従来研究との比較から、植物プランクトン群集の変化が海洋の CO₂ 分圧に与える影響は、南極海の中でも海域によって異なることが示唆されました。

次に、船舶観測で得られた海洋の CO₂ 分圧と純基礎生産力の関係を適用して、衛星画像から算出される純基礎生産力分布から CO₂ 分圧の広域分布と長期変動を推定しました。本研究で再現された南半球の夏期（12 月～2 月）の CO₂ 分圧の 10 年間平均値の分布は、現場観測データから作成された Takahashi et al. (2009) の南半球の夏期（12 月～2 月）の CO₂ 分圧平年値の分布とよく一致していることが確認できるとともに、より詳細な空間分布を再現することができました（図 5）。

さらに推定した海洋の CO₂ 分圧を用いて、1997/1998 年から 2006/2007 年までの夏期の大気-海洋間の CO₂ 収支を計算しました。その後、植物プランクトン優占群集識別アルゴリズム PHYSAT^{※6} を用いた衛星画像解析から、研究対象海域に優占する珪藻類とハプト藻類を推定し、大気-海洋間の CO₂ 収支との関係を調べました。その結果、珪藻類が多く存在する年ほど、大気から海洋への CO₂ 吸収量も増加傾向にあることが分かりました（図 6）。

3. 今後の展望

本研究で、これまで報告がなかった南極海インド洋区における夏期の炭素収支に植物プランクトン群集の変化が影響を与えることが明らかになりました。一方で、その影響は南極海の中でも海域によって異なることが示唆されました。今後も様々な観測プラットフォームを活用し、未調査海域における関係性や既に調査した海域での関係性変化を明らかにすることで、温暖化等の気候変動によって生じる可能性がある植物プランクトンの群集変化が海洋の炭素循環に与える影響の解明に貢献できると考えています。また、こうした知見は、気候モデルの精緻化を通じて気候変動の将来予測の向上に役立ちます。

4. 参考図

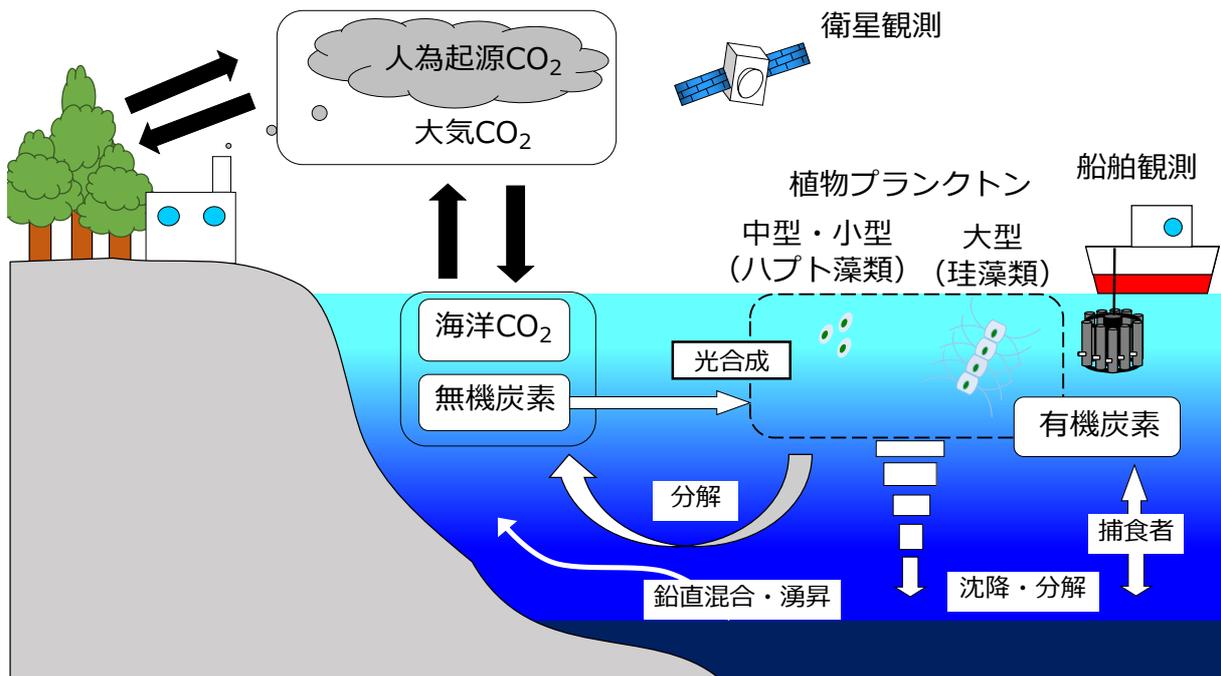


図 1. 大気から海洋へ溶け込んだ CO₂ のゆくえ。

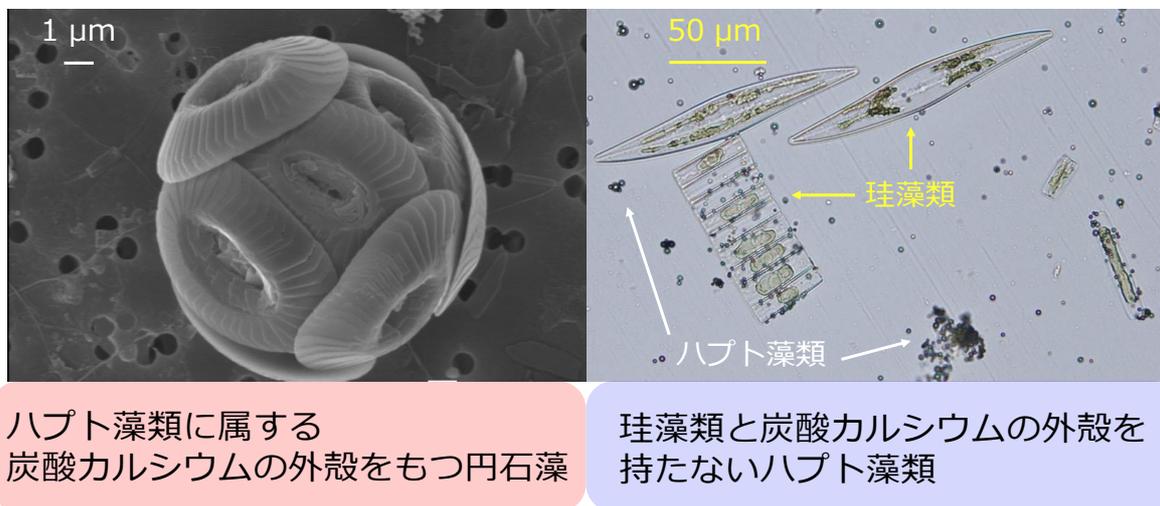


図 2. 珪藻類とハプト藻類。1 μm (マイクロメートル) は 1 mm (ミリメートル) の 1/1000。写真提供：東海大学札幌キャンパス 生物学部海洋生物科学科 野坂裕一 助教。

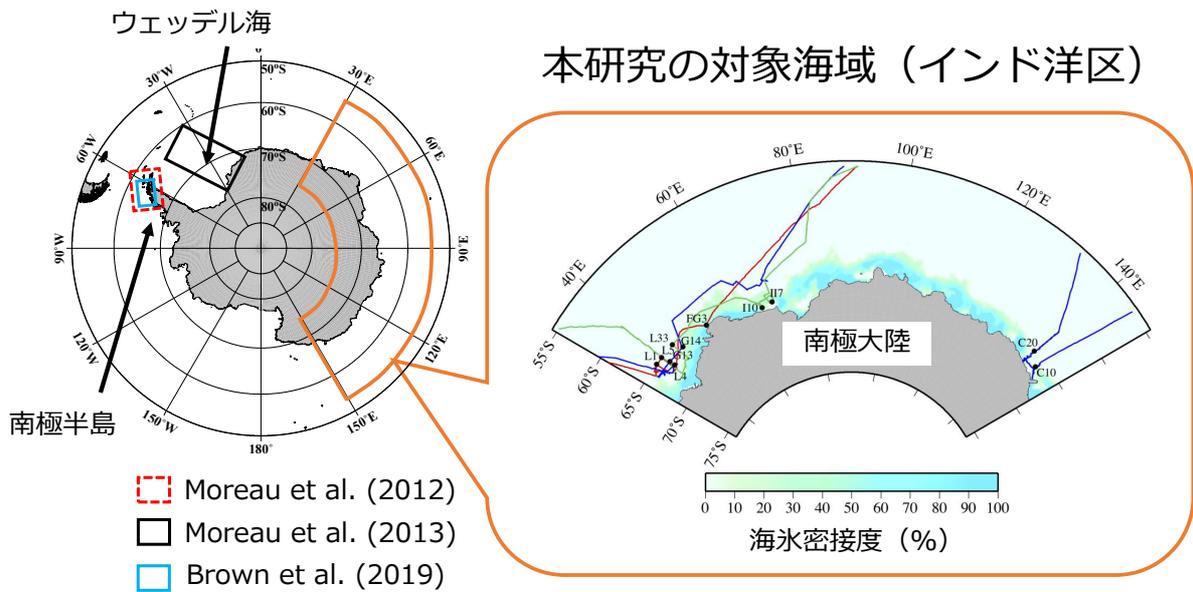


図 3. 東京海洋大学附属練習船「海鷹丸」の観測航路（緑：2006年、青：2008年、赤：2009年）と停船観測を実施した観測点（●印）。

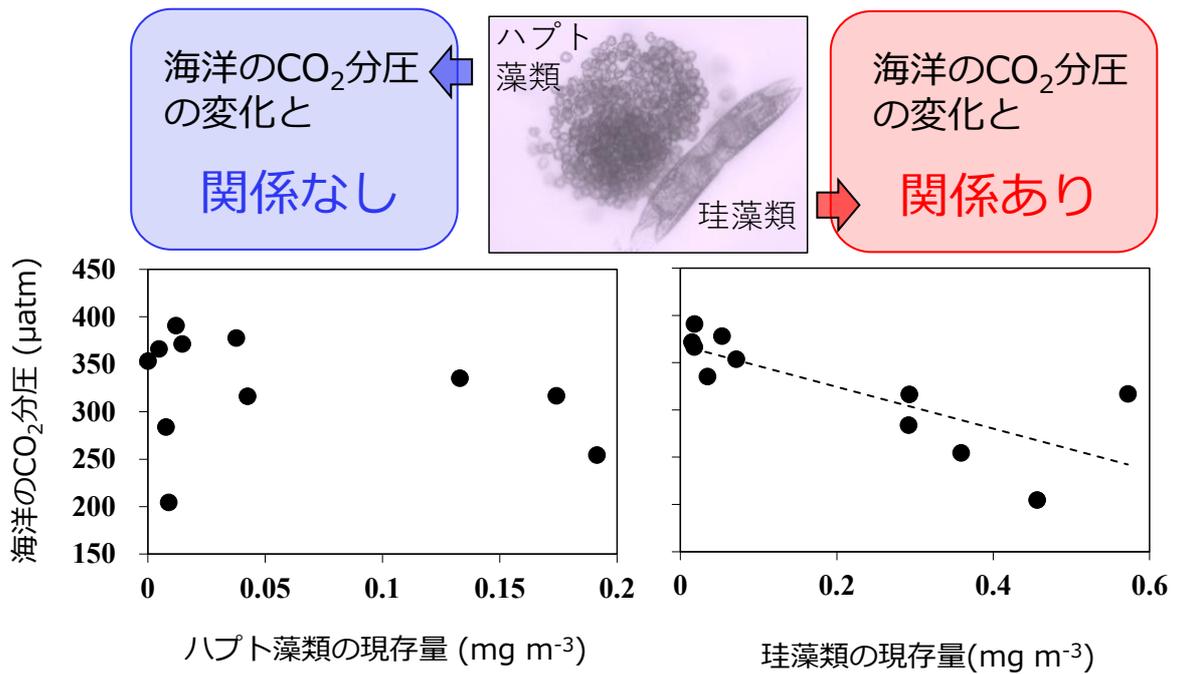


図 4. 植物プランクトン群集（ハプト藻類および珪藻類）と海洋の CO₂ 分圧との関係（現場観測の成果）。図中のハプト藻類は、炭酸カルシウムの殻を持たない種（*Phaeocystis antarctica*）で、時折、南極海で大増殖する。

現場観測→衛星観測：海洋のCO₂分圧の推定

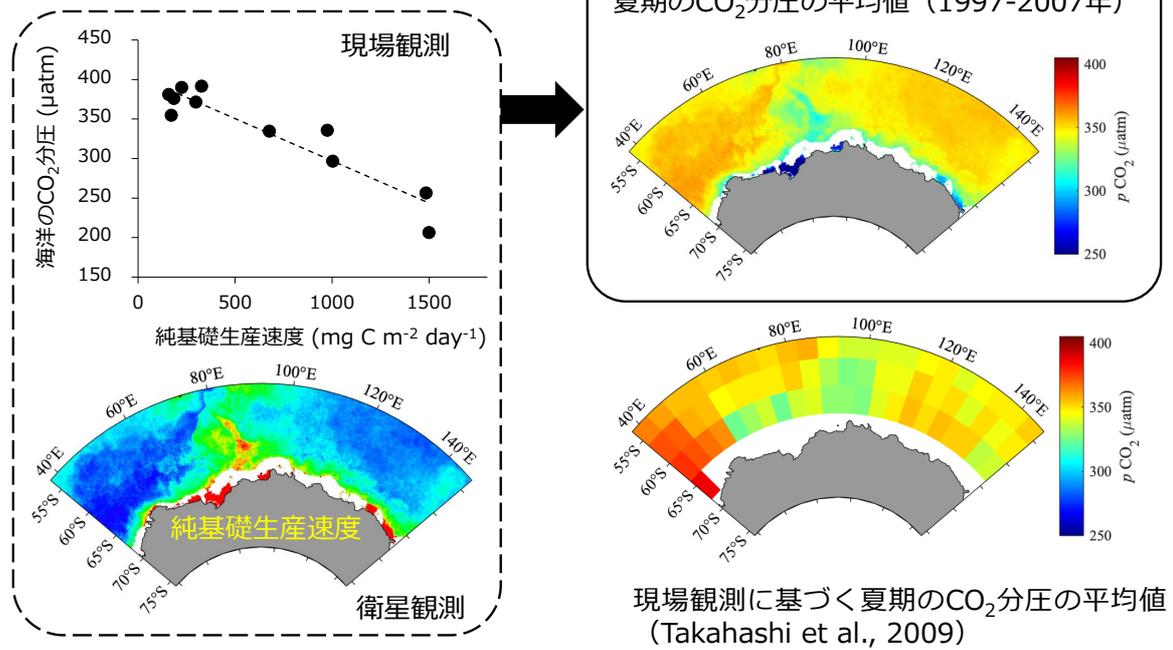


図 5. 衛星観測から海洋の CO₂ 分圧を推定・比較した解析の流れ。ここでの夏期は南半球の夏にあたる 12 月～2 月を指す。

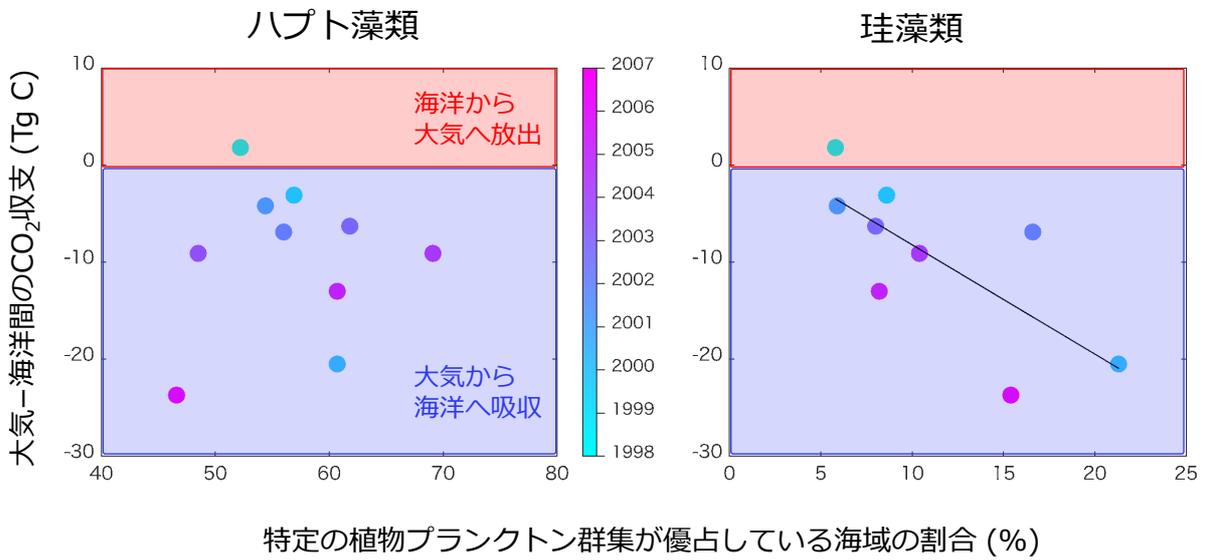


図 6. 大気-海洋間の CO₂ 収支と優占する植物プランクトン群集の関係（衛星画像解析の成果）。

5. 注釈

※1 優占：本研究では、特定の植物プランクトン群集の現存量が全植物プランクトン現存量の50%以上を占めた状態を指す。

※2 海洋のCO₂分圧：海水中に含まれるCO₂の量（表層海水と平衡にした空気を測定して得られる）を、圧力を単位として示す指標で、大気中のCO₂分圧との差でその場の海洋がCO₂を吸収するかが決定される。

※3 $\text{Ca}^{2+} + 2\text{HCO}_3^- \Rightarrow \text{CaCO}_3$ （炭酸カルシウム）+ CO₂ + H₂O

※4 現存量：本研究では植物プランクトンの持つ主要な光合成色素クロロフィルaの濃度として示される。

※5 群集組成：本研究では植物プランクトンが持つ各色素を高速液体クロマトグラフィー法で抽出し、その含有パターンから群集組成と現存量を見積もった。

※6 PHYSAT：海から出てくる光の情報（正規化射出輝度）を基に、海域に優占する植物プランクトン群集を識別するためのアルゴリズム（Alvain et al., 2005, 2008）。

6. 参考文献

Alvain et al. (2005), *Deep-Sea Res. I*, 52, 1989–2004; Alvain et al. (2008), *Global Biogeochem. Cy.* 22, GB3001, doi:10.1029/2007GB003154; Brown et al. (2019), *Nat. Clim. Chang.*, 9, 678–683, doi:10.1038/s41558-019-0552-3; Moreau et al. (2012), *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 446, 45–59; Moreau et al. (2013), *Deep-Sea Res. I*, 82, 44–59; Takahashi et al. (2009), *Deep-Sea Res. II*, 49, 1601–1622

7. 研究助成

本研究は、JSPS 科研費（19K20445、17H06319）および南極地域観測事業の支援により行われました。

8. 発表論文

【タイトル】 Effects of phytoplankton community composition and productivity on sea surface $p\text{CO}_2$ variations in the Southern Ocean

【著者】 Takao S., Nakaoka S., Hashihama F., Shimada K., Yoshikawa-Inoue H., Hirawake T., Kanda J., Hashida G., Suzuki K.

【雑誌】 Deep-Sea Research Part I

【DOI】 10.1016/j.dsr.2020.103263

【URL】 <https://doi.org/10.1016/j.dsr.2020.103263> 【外部サイトに接続します】

※ 下線で示した著者が国立環境研究所所属です。

9. 問い合わせ先

【研究に関する問い合わせ】

国立研究開発法人国立環境研究所 地球環境研究センター
大気・海洋モニタリング推進室 研究員 高尾 信太郎
takao.shintaro（末尾に@nies.go.jp をつけてください）
029-850-2429

【報道に関する問い合わせ】

国立研究開発法人国立環境研究所 企画部広報室
kouhou0（末尾に@nies.go.jp をつけてください）
029-850-2308