

令和 6 年 6 月 11 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2023

課題番号：20K04073

研究課題名（和文）北極海におけるCO<sub>2</sub>吸収量の長期変化傾向研究課題名（英文）Long-term change of CO<sub>2</sub> uptake in the Arctic Ocean

研究代表者

安中 さやか（Yasunaka, Sayaka）

東北大学・理学研究科・教授

研究者番号：80620393

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 1,400,000円

研究成果の概要（和文）：最新の観測データに基づく推定の更新と、数値モデル実験結果との比較を通して、北極海におけるCO<sub>2</sub>吸収量がいつどこでどのくらい変化しているのかを明らかにした。大気海洋間CO<sub>2</sub>交換量推定の推定期間を2014年12月までから2018年12月までに延長するとともに、国際プロジェクト地域炭素収支評価（Regional Carbon Cycle Assessment and Processes; RECCAP）phase2に参画し、北極海担当として、北極海全体および各海域のCO<sub>2</sub>吸収量を、その不確実性を含め、定量的に評価した。これまでの結果を国際共著原著論文としてまとめた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

北極海はCO<sub>2</sub>吸収域として知られているが、長く氷に閉ざされた北極海での観測は非常に困難で、地球温暖化に伴う環境変化に対して、北極海のCO<sub>2</sub>吸収量がどのように変化するかは、よくわかっていなかった。本研究では、最新の観測データに基づく推定の更新と、数値モデル実験結果との比較を通して、北極海のCO<sub>2</sub>吸収量を定量的に評価するとともに、いつどこでどのくらい変化しているのかを明らかにした。

研究成果の概要（英文）：This study assessed the Arctic CO<sub>2</sub> uptake based on state-of-the-art observation-based estimates and biogeochemical model outputs. The results were published as an international collaborated research paper, which was one chapter of Regional Carbon Cycle Assessment and Processes (RECCAP) phase2.

研究分野：海洋環境科学

キーワード：北極海 二酸化炭素 大気海洋間フラックス

## 1. 研究開始当初の背景

北極海は CO<sub>2</sub> 吸収域として知られているが、地球温暖化に伴う環境変化に対して、北極海の CO<sub>2</sub> 吸収量がどのように変化するかは、よくわかっていない。長く氷に閉ざされた北極海での観測は非常に困難で、CO<sub>2</sub> 関連の観測は、1990 年代後半以降でも、限られた海域で年に数回の観測があるに過ぎないためである。

このような限定的なデータから CO<sub>2</sub> 分布を推定する手法として、ニューラルネットを用いたマッピングがある。これは、水温や塩分など、海洋情報を表すパラメータから CO<sub>2</sub> 分布を推定するもので、研究代表者らは、初めて、北極海への適用を試み、これまで観測の多い時期や海域に限定した解析しか行われてこなかった北極海 CO<sub>2</sub> 吸収量の時空間的な変化を明らかにした (Yasunaka et al. 2016)。さらに、研究代表者らは、推定の説明変数として、クロロフィル濃度を追加することで、不確実性の低減に成功し、北極海全体で、年間  $180 \pm 130 \text{ TgC}$  (炭素換算で 1.8 億トン) の CO<sub>2</sub> を吸収していることを明らかにした (Yasunaka et al. 2018)。これは、海洋全体が毎年吸収している二酸化炭素の約 10% に相当する。北極海の面積は全海洋の 3% に過ぎないのに対して、約 10% もの二酸化炭素を吸収していると言うことは、北極海が重要な吸収域であることを意味する。一方で、水温上昇に伴う海洋二酸化炭素分圧の上昇による吸収量を減少させる効果と海氷減少による吸収量を増加させる効果が打ち消し合って、北極海全体の二酸化炭素吸収量の長期的な変化は小さくなっていることも明らかになった。すなわち、北極海の高氷が減少し、大気と直接接する海域が広がったからといって、必ずしも二酸化炭素の吸収量が増えているわけではない。海氷減少が続く北極海において、CO<sub>2</sub> 吸収量が長期的にどのように変化しつつあるのかを明らかにするには、更なる不確実性の低減が必要であった。

地球全体の炭素収支の定量化は、深刻になりつつある地球温暖化の将来予測の不確実性低減にとって、必要不可欠な要素である。国際コミュニティの中でも、全球・領域の炭素収支の総合的評価の重要性が認識されており、国際プロジェクト地域炭素収支評価 (Regional Carbon Cycle Assessment and Processes; RECCAP) の phase 2 が開始されたところであり、北極海は、今回新たに 1 つの独立した章で取り扱われることになっていた。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は、最新の観測データに基づく推定の更新と、数値モデル実験結果との比較を通して、北極海における CO<sub>2</sub> 吸収量の変化傾向の定量的な把握であった。

## 3. 研究の方法

### ① 最新の観測データを使った大気海洋間 CO<sub>2</sub> 交換量推定の更新

これまでの研究代表者らの研究により、観測データが多ければ多いほど、推定値の不確実性が小さくなることがわかっている (Yasunaka et al. 2018)。そこで、国際的なデータベース SOCAT から、最新の海洋 CO<sub>2</sub> 分圧の観測値をダウンロードし、大気海洋間 CO<sub>2</sub> 交換量推定の更新を行う。研究代表者らのこれまでの推定は、2014 年 12 月までとなっているので、まずは、2020 年度に、2018 年 12 月までの更新を行い、以後、SOCAT の年 1 回の新たなデータ公開に合わせた更新を継続する。また、得られた推定値は、研究代表者の所属機関の web サイトを通じて、順次、公開する。

### ② 大気海洋間 CO<sub>2</sub> 交換量の相互比較

一般に、推定値は、その手法により、系統的な誤差を生みやすいが、異なる方法による推定結果を合わせて解析することにより、不確実性を小さくすることができる。そこで、広域の大気海洋間 CO<sub>2</sub> 交換量の推定結果や、数値モデルによる計算結果を用いることで、北極海における大気海洋間 CO<sub>2</sub> 交換量に関して、いつどこでどのくらいの変化が起こっているのかを定量的に明らかにする。具体的には、国際プロジェクト地域炭素収支評価 (Regional Carbon Cycle Assessment and Processes; RECCAP) phase 2 の枠組みで収集された 20 を超える推定値から、北極域を切り出し、相互比較を行う。

## 4. 研究成果

### ① 最新の観測データを使った北極海大気海洋間 CO<sub>2</sub> 交換量推定の更新

国際的なデータベース SOCAT (The Surface Ocean CO<sub>2</sub> Atlas) から、最新の海洋 CO<sub>2</sub> 分圧の観測値をダウンロードし、大気海洋間 CO<sub>2</sub> 交換量推定の更新を行った。2020 年度に、推定期間を 2014 年 12 月までから 2018 年 12 月までに延長した。2023 年度に、web サイトにて、推定結果を公開した (<http://sao.gp.tohoku.ac.jp/arctic-ocean-air-sea-co2-flux/>; 図 1)。

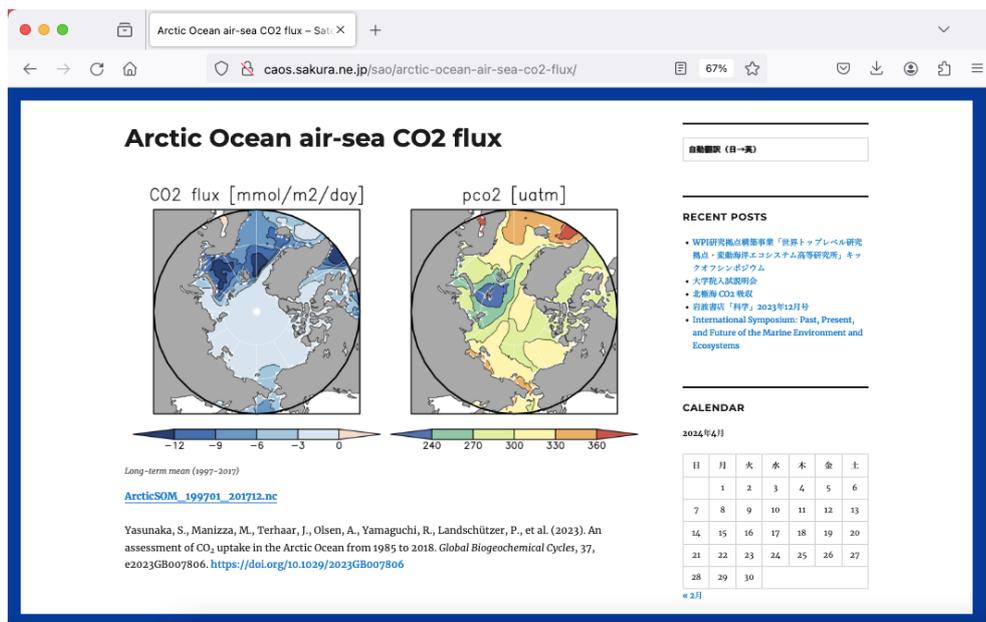


図 1 : 北極海大気海洋間 CO<sub>2</sub> フラックス推定値の公開サイト

## ② 北極海大気海洋間 CO<sub>2</sub> 交換量の定量的評価

国際プロジェクト地域炭素収支評価(Regional Carbon Cycle Assessment and Processes; RECCAP) phase2 の枠組みで収集された 20 を超える推定値から、北極域を切り出し、北極海大気海洋間 CO<sub>2</sub> 交換量の定量的評価を行った (図 2)。その結果、北極海全体の CO<sub>2</sub> 吸収量は、91~116 ± 4~21TgC/yr であった。海氷が少ない夏から秋にかけて吸収量が増加し、海氷の多い冬は吸収量が少なかった。また、長期的な海氷減少が顕著な海域で、CO<sub>2</sub> 吸収の増加傾向が見られた。その増加傾向は、観測値を元にした推定値よりもモデルの推定値の方が小さく、表現されている海氷減少の違いによるものと推察された。さらに、北極海は、CO<sub>2</sub> 吸収量の変化に対する気候変動の効果が、人為起源 CO<sub>2</sub> 増加の影響と同程度に大きく、世界の海の中でも特異な海域であることもわかった。以上の結果は、国際共著論文として、Global Biogeochemical Cycle 誌に掲載された。

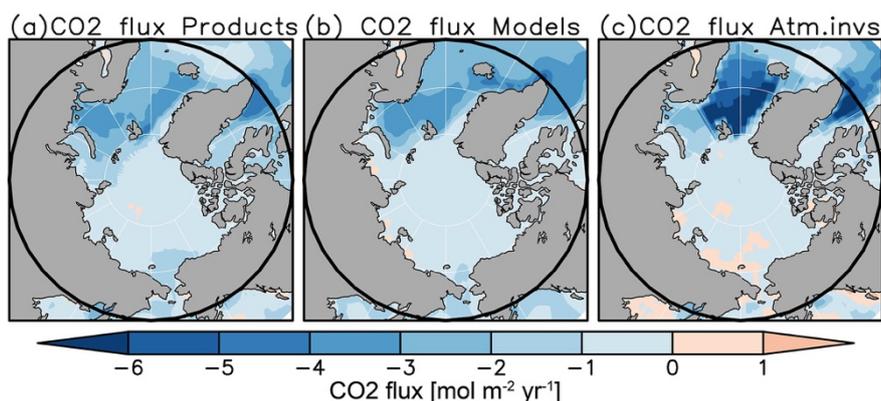


図 2 : 多数の推定値を統合して評価した北極海大気海洋間 CO<sub>2</sub> フラックス

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Yasunaka Sayaka, Manizza Manfredi, Terhaar Jens, Olsen Are, Yamaguchi Ryohei, Landschutzer Peter, Watanabe Eiji, Carroll Dustin, Adiwira Hanani, Muller Jens Daniel, Hauck Judith	4. 巻 37
2. 論文標題 An Assessment of CO2 Uptake in the Arctic Ocean From 1985 to 2018	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Global Biogeochemical Cycles	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1029/2023gb007806	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Yamamoto-Kawai Michiyo, Tamura Takeshi, Watanabe Eiji, Nishioka Jun, Nomura Daiki, Makabe Ryusuke, Mizobata Kohei, Sayaka Yasunaka	4. 巻 30
2. 論文標題 Decadal vision in oceanography 2021: Polar oceans	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Oceanography in Japan	6. 最初と最後の頁 159 ~ 178
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.5928/kaiyou.30.5_159	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計7件（うち招待講演 1件/うち国際学会 4件）

1. 発表者名 Yasunaka, S, Manizza, M, Terhaar, J, Olsen, A, Yamaguchi, R, Landschutzer, P, Watanabe, E, Carroll, D, Adiwara, H, Muller, J. D, Hauck, J
2. 発表標題 An assessment of CO2 uptake in the Arctic Ocean from 1985 to 2018
3. 学会等名 EGU2023（国際学会）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Yasunaka, S, Manizza, M, Terhaar, J, Olsen, A, Yamaguchi, R, Landschutzer, P, Watanabe, E, Carroll, D, Adiwara, H, Muller, J. D, Hauck, J
2. 発表標題 An assessment of CO2 uptake in the Arctic Ocean from 1985 to 2018
3. 学会等名 JpGU2023（国際学会）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 安中さやか
2. 発表標題 北極海CO2吸収
3. 学会等名 北大低温研共同利用研究集会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 S. Yasunaka, M. Manizza, J. Terhaar, A. Olsen, R. Yamaguchi, P. Landschutzer, E. Watanabe, D. Carroll, H. Adiwara, J.D. Muller, J. Hauck
2. 発表標題 Regional Carbon Cycle Assessment Processes 2 (RECCAP2): CO2 uptake in the Arctic Ocean
3. 学会等名 ISAR7 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 S. Yasunaka
2. 発表標題 CO2 uptake in the Arctic Ocean
3. 学会等名 International Joint Graduate Program Workshop in Earth and Environmental Sciences (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 安中さやか
2. 発表標題 データの蓄積が明らかにする海洋環境変化
3. 学会等名 日本海洋学会2020年度秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 安中さやか
2. 発表標題 北極海CO2マッピング
3. 学会等名 寒冷圏大気海洋間の生物地球化学的相互作用に関する研究集会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

Arctic Ocean air-sea CO2 flux <a href="http://sao.gp.tohoku.ac.jp/arctic-ocean-air-sea-co2-flux/">http://sao.gp.tohoku.ac.jp/arctic-ocean-air-sea-co2-flux/</a>
--

6. 研究組織		
氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------