

機関番号：62611  
 研究種目：研究活動スタート支援  
 研究期間：2009～2010  
 課題番号：21810036  
 研究課題名（和文）  
 南極海における海氷の生成と融解が大気-海洋間の二酸化炭素交換過程に及ぼす影響  
 研究課題名（英文）  
 Effects of sea ice growth and melting on the air-sea CO<sub>2</sub> flux in the Southern Ocean  
 研究代表者 野村 大樹 (NOMURA DAIKI)  
 国立極地研究所・研究教育系・特任研究員  
 研究者番号：70550739

研究成果の概要（和文）：南極海における海氷の生成と融解が大気-海洋間の二酸化炭素（CO<sub>2</sub>）交換過程に及ぼす影響を定量的に評価するため、2009年11月から2010年3月に砕氷艦『新しらせ』を用い、南極海季節海氷域で海氷/海洋観測を実施した。本観測データは、厳しい気候条件により、殆ど観測例がない南極海海氷域の炭素循環についての有益なデータを提示する事が可能となった。本研究で得られた結果は、南極海の物質循環に関する将来予測研究の進展に大きく貢献できると考えられる。

研究成果の概要（英文）：In order to clarify the air-sea ice CO<sub>2</sub> flux in the Southern Ocean, we carried out field experiments during the cruise on the icebreaker *Shirase* in the seasonal sea ice zone in the Southern Ocean from November 2009 to March 2010. The results obtained in this study would shed light towards understanding the role of sea ice in biogeochemical cycling in the Southern Ocean. This study provides valuable information on the carbon balance in the Southern Ocean, and contributes to the prediction for the future chemical cycles in the Southern Ocean.

## 交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,090,000	327,000	1,417,000
2010年度	990,000	297,000	1,287,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,080,000	624,000	2,704,000

研究分野：海洋生物地球化学

科研費の分科・細目：化学・環境動態解析

キーワード：海氷、ブライン、海洋化学、二酸化炭素、地球温暖化、炭素循環、南極海、極域

## 1. 研究開始当初の背景

本研究では、南極海における海氷の生成と融解が大気-海洋間の二酸化炭素（CO<sub>2</sub>）交換過程に及ぼす影響を定量的に評価し、季節海氷域が炭素循環に果たす役割を明らかにする

ことを目的とする。この課題は、南極海（特に季節海氷域）における大気-海洋間の炭素収支の見積もりが、不確かであり、全球における炭素循環過程の理解の妨げとなっていることから設定した（Takahashi et al., 2009; Deep-Sea Res. II）。

この原因の一つとして、高緯度海域に広く分布する海氷と大気間の気体の交換過程が、全く考慮されてこなかった点が挙げられる。しかし、海氷は普段我々が目にする淡水氷とは異なり、多孔質の構造を持つため、海氷と大気の間で活発なCO<sub>2</sub>交換が行われ、極域での炭素循環に大きな影響を及ぼすということが、数少ない室内実験や現場観測より指摘されつつある(Zemmelink et al., 2006, GRL)。しかし、実際の海氷-大気間でのCO<sub>2</sub>交換の定量的な評価とCO<sub>2</sub>交換メカニズムは明らかになっていない。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は、南極海における海氷-大気間のCO<sub>2</sub>交換量の定量的な評価と、CO<sub>2</sub>交換メカニズムを明らかにすることである。また、海氷-大気間のCO<sub>2</sub>交換量を測定するためのチャンバーを開発することも目的とした。

## 3. 研究の方法

砕氷艦『新しらせ』を用い、2009年11月から2010年3月の第51次日本南極地域観測航海に参加し、南極海季節海氷域で氷上現場観測を実施した。

チャンバー法を用い、大気-海氷間のCO<sub>2</sub>交換量を実測/定量化した。チャンバー法は、陸域の土壤呼吸量を測定するために良く使用される方法で、海氷上での使用は、世界でも稀である。本研究では、北海道大学低温科学研究所と共同で開発/設計をしたチャンバーを使用した。海氷は、アイスコアラーを用い採取し、ポリエチレン製の袋に入れ冷凍庫で保存した。海水中ブライン、海氷下海水は、それぞれシリンジ、簡易型採水器を用い採取した。これらのサンプルは、航海後、国立極地研究所に持ち帰った。海氷サンプルは、低温室でバンドソーを用い、細分した。融解後の海氷、ブライン、海水の物理パラメータ(塩分)の測定、生物・化学分析(溶存無機炭素、全アルカリ度、植物プランクトン色素)を実施した。

## 4. 研究成果

図1に自動開閉式CO<sub>2</sub>チャンバーの写真を示す。海氷上で使用するため以下の内容を考慮し設計/作成した。

(1)大気-海氷間での微量なCO<sub>2</sub>フラックスを検出するため、チャンバー内の体積に対する底面積の割合が大きくなるよう設計した。

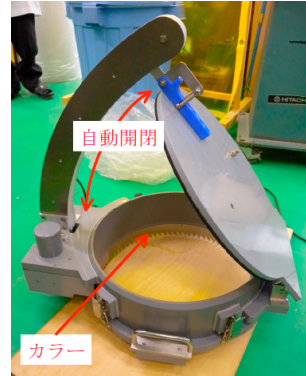


図1. 自動開閉式CO<sub>2</sub>チャンバー

(2)チャンバー本体と海氷表面を密着させるため、金属製の刃を搭載したカラーを作製した。

(3)海氷上積雪を通してのCO<sub>2</sub>フラックスを把握するため、チャンバー本体とカラー間に挿入可能なエクステンションを作製した。

(4)低温室内での動作確認のテストを実施した。

開発した自動開閉式チャンバーを用いて南極海定着氷上で海氷-大気間のCO<sub>2</sub>フラックスを測定した。自動開閉式チャンバーは、全ての観測日において順調に作動し、良好なデータが得られた。図2に自動開閉式チャンバー内CO<sub>2</sub>濃度変化の一例を示す。チャンバー内CO<sub>2</sub>濃度が減少していることから、大気から海氷へのCO<sub>2</sub>の吸収が確認できる。傾き(時間変化量:赤線)をもとにCO<sub>2</sub>フラックスを計算した。

観測を実施した定着氷の構造は、上部から積雪、アイスレイヤー(積雪融解水が再凍結して出来た氷の層)、スラッシュ、海氷となっていた。

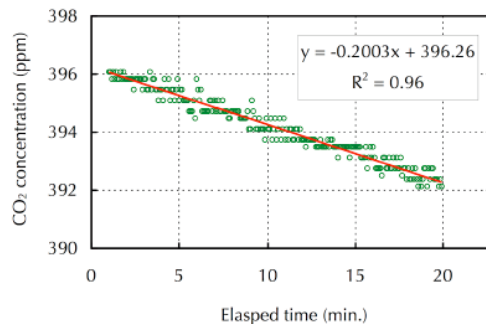


図2. チャンバー内CO<sub>2</sub>濃度変化の一例

海氷上部に存在するスラッシュのCO<sub>2</sub>濃度は、大気に対して未飽和となった。これは、スラッシュの温度上昇、塩分及び全炭酸濃度の減少より、主に希釈効果によるものと考えられる。同様な傾向は、CO<sub>2</sub>以外のガス成分であるブロモホルムにおいても観測された。本研究は、研究代表者がまとめ、国際雑誌 (Antarctic Science) に掲載された (雑誌論文3参照)。

大気-海洋間のCO<sub>2</sub>放出量は、全てのデータにおいて負の値となった。これは、スラッシュのCO<sub>2</sub>濃度は、大気に対して未飽和であるため大気から海氷にCO<sub>2</sub>が吸収されたためである。また、CO<sub>2</sub>以外のガス成分である硫化ジメチル (DMS) についてもチャンバー法を用い定量化した。その結果、海氷表面からの大気への放出が確認された。本研究は、研究代表者がまとめ、国際雑誌 (Journal of Geophysical Research-Oceans) に投稿した (現在リバイス中)。

本観測により、これまで大気-海洋間の物質交換のバリアとして扱われた海氷は、実際は気体透過性に富み、物質交換が頻繁に起こっていることが明らかになった。本観測データは、厳しい気候条件により、殆ど観測例がない南極海の海氷域の炭素循環についての有益なデータを提示する事が可能となる。本研究で得られた結果は、南極海の物質循環に関する将来予測研究の進展に大きく貢献できると考えられる。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計6件)

1. Daiki Nomura, Nobue Kasamatsu, Kazu Tateyama, Sakae Kudoh, Mitsuo Fukuchi. DMS and DMS in coastal fast ice and under-ice water of Lützow-Holm Bay, eastern Antarctica. Continental Shelf Research, 査読有り, In press.
2. Daiki Nomura, Daisuke Simizu, Chinatsu Oouchida, Saori Yasui, Takahiro Iida, Gen Hashida, Mitsuo Fukuchi. Biogeochemical data of the 51st Japanese Antarctic Research Expedition in the Austral summer of 2009-2010. JARE Data Reports, 査読無し, 318, Marine Biology 41, In press.

3. Daiki Nomura, Atsushi Ooki, Daisuke Simizu, Mitsuo Fukuchi. Bromoform concentrations in slush-layer water in Antarctic fast ice. Antarctic Science, 査読有り, pp1-6, 2011.

4. Daiki Nomura, Andrew McMinn, Hiroshi Hattori, Shigeru Aoki, Mitsuo Fukuchi. Incorporation of nitrogen compounds into sea ice from atmospheric pollution. Proceedings of the 26<sup>th</sup> international symposium on Okhotsk Sea and sea ice, 査読無し, pp3-16, 2011.

5. Sachiko Oguma, Tsuneo Ono, Yutaka W. Watanabe, Hiromi Kasai, Shuichi Watanabe, Daiki Nomura, Humio Mitsudera. Flux of low salinity water from Aniva Bay (Sakhalin Island) to the southern Okhotsk Sea. Estuary, Coastal and Shelf Science, 査読有り, 91, pp24-31, 2011.

6. Daiki Nomura, Hajo Eicken, Rolf Gradinger, Kunio Shirasawa. Rapid physically driven inversion of the air-sea ice CO<sub>2</sub> flux in the seasonal landfast ice off Barrow, Alaska after onset of surface melt. Continental Shelf Research, 査読有り, 30, pp1998-2004, 2010.

[学会発表] (計20件)

1. Daiki Nomura, Andrew McMinn, Hiroshi Hattori, Shigeru Aoki, Mitsuo Fukuchi. Incorporation of nitrogen compounds into sea ice from atmospheric pollution. The 26<sup>th</sup> international symposium on Okhotsk sea and sea ice. Mombetsu-shi Bunka kaikan, Mombetsu, Japan, February 2011.

2. Daiki Nomura, Hajo Eicken, Rolf Gradinger, Kunio Shirasawa. Rapid physically driven inversion of the air-sea ice CO<sub>2</sub> flux in the seasonal Arctic landfast ice. Second International Symposium on the Arctic Research, Hitotsubashi Memorial Hall, Tokyo, Japan, December 2010.

3. 野村大樹, 兒玉裕二, 中坪俊一, 福士博樹, 千貝健, 藤田和之, 清水大輔, 福地光男. 自動開閉式チャンバーを用いた海氷-大気間

のCO<sub>2</sub>フラックス測定-南極海定着氷上での現場観測. 北海道大学低温科学研究所平成22年度技術部発表会. 北大. 札幌. 2010年12月.

4. 野村大樹, 古賀聖治, 笠松伸江, 品川秀夫, 清水大輔, 和田誠, 福地光男. 南極定着氷表面から大気への硫化ジメチルの放出について. 第1回極域科学シンポジウム. 極地研. 東京. 2010年12月.

5. 古賀聖治, 野村大樹, 和田誠, 塩原匡貴. 南大洋でのPTR-MSを用いて観測した大気DMS濃度の分布. 第1回極域科学シンポジウム. 極地研. 東京. 2010年12月.

6. 古賀聖治, 野村大樹, 和田誠, 塩原匡貴. 南大洋でのPTR-MSを用いて観測した大気DMS濃度の分布. 首都大学東京. 大気化学討論会. 東京. 2010年11月.

7. 古賀聖治, 野村大樹, 和田誠, 塩原匡貴. 南大洋でのPTR-MSを用いて観測した大気DMS濃度の分布. 生物起源微量ガスワークショップ. 京都大学. 京都. 2010年11月.

8. 野村大樹, アンドリュー・マクミン, 服部寛, 青木茂, 福地光男. 大気から海氷表面への窒素供給過程. 第33回極域気水圏シンポジウム. 極地研. 東京. 2010年11月.

9. 野村大樹. 北極海沿岸バローにおける海氷化学の研究～船を使用しない海氷/海洋(現場)観測～. 極域海洋研究集会. 東京海洋大. 東京. 2010年11月.

10. 野村大樹. 海氷表面から大気へのDMS放出について-JARE51の結果をもとに. 大気雪氷間の物質循環に関する研究集会. 極地研. 東京. 2010年11月.

11. 野村大樹, 大木淳之, 福地光男. 南極定着氷スラッシュ層のプロモホルム濃度について. 第32回極域生物シンポジウム. 極地研. 東京. 2010年11月.

12. 野村大樹, 古賀聖治, 笠松伸江, 品川秀夫, 清水大輔, 和田誠, 小達恒夫, 福地光男. 海氷表面から大気への硫化ジメチルの放出について. 2010年度日本海洋学会秋季大会. 東京農大. 網走. 2010年9月.

13. 野村大樹. 海氷を介した物質循環研究に

ついて. 南大洋の海洋・海氷変動に関する研究集会. 極地研. 東京. 2010年9月.

14. 野村大樹, 古賀聖治, 笠松伸江, 品川秀夫, 清水大輔, 和田誠, 小達恒夫, 福地光男. DMS emission from Antarctic sea ice surface to the atmosphere. 雪氷研究大会2010. 東京エレクトロンホール宮城. 仙台. 2010年9月.

15. Daiki Nomura, Nobue Kasamatsu, Sakae Kudoh, Mitsuo Fukuchi.

Dimethylsulfoniopropionate in the land-fast sea ice in Lützow-Holm Bay, off Syowa Station, Antarctica. International symposium on snow, ice and humanity in changing climate. Hokkaido Univ., Sapporo, Japan, June 2010.

16. Daiki Nomura, Hajo Eicken, Rolf Gradinger, Kunio Shirasawa. Rapid physically driven inversion of the air-sea ice CO<sub>2</sub> flux in the seasonal landfast ice off Barrow, Alaska after onset of surface melt. International symposium on sea ice in the physical and biogeochemical system. Tromsø Univ. Tromsø, Norway, June 2010.

17. 野村大樹. 海氷中の栄養物質について-大気・海氷下からの供給, 大気雪氷間の物質循環に関する研究小集会, 極地研. 東京. 2009年11月.

18. 野村大樹, 笠松伸江, 舘山一孝, 飯田高大, 工藤栄, 小達恒夫, 福地光男, 南極昭和基地沖における海氷中の硫化ジメチルとその前駆体の鉛直分布日本海洋学会春季大会, 京都大学. 京都. 2009年9月.

19. Daiki Nomura, Toyota Takanobu, Kunio Shirasawa, Hisayuki Yoshikawa-Inoue. Air-sea ice CO<sub>2</sub> flux in Saroma-ko Lagoon, Hokkaido, Japan: Role of snow on sea ice, snow melting and refreezing process. 8th International Carbon Dioxide Conference, Jena, Germany, September 2009.

20. Daiki Nomura, Kunio Shirasawa, Rolf Gradinger and Hajo Eicken. Air-sea ice CO<sub>2</sub> flux and biogeochemical dynamics in land-fast sea ice. SCAR Biology Symposium, Hokkaido Univ., Sapporo, Japan. July 2009.

[その他]

ホームページ等

[http://researchmap.jp/daiki-nomura\\_sea-ice/?lang=english](http://researchmap.jp/daiki-nomura_sea-ice/?lang=english)

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

野村 大樹 (NOMURA DAIKI)

国立極地研究所・研究教育系・特任研究員

研究者番号：70550739