

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 12 日現在

機関番号：10101

研究種目：基盤研究(A)

研究期間：2011～2013

課題番号：23241002

研究課題名(和文) 気候系に影響を及ぼす南大洋の二酸化炭素と揮発性有機分子に関する研究

研究課題名(英文) Studies on carbon dioxide and volatile organic compounds in the Southern Ocean that affect climate system

研究代表者

吉川 久幸(井上久幸)(YOSHIKAWA (INOUE), Hisayuki)

北海道大学・地球環境科学研究科(研究院)・教授

研究者番号：60344496

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 38,700,000円、(間接経費) 11,610,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、南大洋における二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)および揮発性有機化合物(volatile organic compounds, VOC)の大気-海洋間交換と、その変動要因(特に生物活動の影響)を解明することを目的として開始した。2012年度には、海洋地球研究船「みらい」に前年度開発したシステムを搭載し、南大洋広域で11月から2月まで海洋CO<sub>2</sub>・メタン(CH<sub>4</sub>)分圧、VOCなどの観測を行った。その結果、南緯60度以南の高緯度海域では海水融解、鉛直・水平混合、生物活動などの影響によりCO<sub>2</sub>とCH<sub>4</sub>の吸収域、放出域が混在していること、VOCは生物活動に起因して亜表層で極大となっていることが分かった。

研究成果の概要(英文)：We have conducted observational studies with the main objective of clarifying air-sea fluxes of CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, and volatile organic compounds (VOC) and factors controlling them (especially focusing on biological activity) in the Southern Ocean. A new system for measurements of oceanic CO<sub>2</sub> and CH<sub>4</sub> were developed in FY2011 by using a Cavity Ring Down Spectroscopy analyzer. Underway measurements of partial pressure of CO<sub>2</sub> and CH<sub>4</sub> were made aboard the R/V Mirai in the Southern Ocean over the period from November to February in FY2012. Oceanic dimethyl sulfide and isoprene were also measured at the hydrographic stations. Observed results indicate that the Southern Ocean south of 60S exhibited both negative and positive air-sea CO<sub>2</sub>/CH<sub>4</sub> fluxes due to effects of sea-ice melting, horizontal/vertical mixing, and biological activity, and maximum concentrations of VOC occurred in sub-surface layer due to biological activity.

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：環境学・環境動態解析

キーワード：二酸化炭素分圧 揮発性有機化合物 海洋メタン 南大洋 炭酸系 温室効果ガス

## 1. 研究開始当初の背景

本研究は、気候変化及び海洋酸性化に着目した研究の一環であり、二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)および揮発性有機化合物(volatile organic compounds, VOC)の気候-海洋間交換と、その変動要因(特に生物活動の影響)を南大洋で明らかにすることを目的としている。南大洋は広大な面積を有し、これらの物質の動態が未解明であるため、研究観測海域に設定した。以下に南大洋における海洋炭素循環とVOCに関する研究開始当初の背景を説明する。

### (1)南大洋炭素循環について

我々も共著となった Takahashi et al. (2009)の論文は、世界中の科学者が協力し、海洋の二酸化炭素分圧(pCO<sub>2</sub><sup>SEA</sup>)測定結果に基づいて海洋CO<sub>2</sub>吸収量を評価した唯一の論文である。論文では、2000年単年度のみでの評価しかないが、それによると南大洋(50°Sより南側)のCO<sub>2</sub>吸収量は、約0.2 PgC/yr (Pgは10<sup>15</sup>g)である。一方、Takahashi et al. (2002)の論文では、1995年単年度での評価を~0.5 PgC/yrとしていた。この差は、1995年と2000年の南大洋炭素循環変動を反映している訳ではなく、我々の評価が変わっただけである。このような大きな評価差は、他の海洋では報告されておらず、現在の炭素循環像を描いていく上で看過できないほど大きいものである。CO<sub>2</sub>吸収量評価に差をもたらす要因のひとつに、大気・海洋間のCO<sub>2</sub>交換の季節変化(つまりはpCO<sub>2</sub><sup>SEA</sup>の季節変化)が十分に把握されていないことがある。年間を通じて海洋観測は限られているため、南大洋広域での季節変化、年々変動、長期変動の詳細な把握は、まだ困難な状況である。このため、大気・海洋間のCO<sub>2</sub>交換と共に、南大洋における中・深層への人為起源CO<sub>2</sub>の取り込みを明らかにしていく必要がある。

化学的にCO<sub>2</sub>は(海)水に溶けると弱酸として働く。CO<sub>2</sub>吸収による酸性化の影響は、今後数十年の時間スケールで、北極海とともに南極海において炭酸カルシウムを持つプランクトンに影響を及ぼすことが予測されている(Orr et al., 2005)。現在の海洋表層のカルシウムイオン濃度と炭酸系の化学平衡のもとでは、固体の炭酸カルシウムが溶け出すことはない。しかし、近い将来、酸性化によりプランクトンの炭酸カルシウムの殻が溶け出す可能性が示された。研究開始までに開催されてきた国際会議(ICDC8、SOLAS、IPY-OSC2010会議)などでは、南大洋の炭素循環が多くの研究者により取り上げられ、国際的に共同して取り組むべき課題として指摘されている。

### (2) VOCの動態について

VOCは微量ながら、大気の酸化能やエアロゾルの生成などに寄与しており、生物地球化学過程を通じて多くのVOCが海洋表層から放出されていると考えられている(例えば Andreae, 1986; Jacob et al., 2005等)。海洋が発生源とされるVOCの中でも雲の凝結核となる硫酸塩の前駆物質として重要な硫化ジメチル(dimethyl sulfide, DMS)や大気中における光化学反応性が極めて高いイソプレンやテルペンは、大気環境化学における重要性からVOCの中で特に注目されている成分でもある。DMSは海洋での実測データから基礎パラメータを使って濃度分布や放出量のモデル化もなされている(Simó and Dachs, 2002; Watanabe et al., 2007等)。しかし、その見積もりの幅は大きく、DMSに関してはモデル間の不一致が多く見られ、包括的な理解には至っていないのが状況である。海域によって実測データの時・空間的なカバレッジに大きく差があること(Kettle et al., 1999)がその原因の一つと考えられ、南大洋は特にデータが不足している。本研究では温室効果ガスであるメタン(CH<sub>4</sub>)もVOCとして計測する予定である。一般的に海洋のCH<sub>4</sub>は大気に対して過飽和であるが、南大洋におけるCH<sub>4</sub>の生成・酸化メカニズム、動物プランクトンの寄与は良く分かっていない。南大洋で特に理解が進んでいないのは、やはりこれらのVOCの現場での観測が少ないことが主たる原因である。

本研究の位置付けとしては、第二期地球圏-生物圏国際共同研究計画(IGBP)のコアプロジェクトである海洋・大気間の物質相互作用研究計画(SOLAS)、その中でも最重要課題に位置づけられている「微量気体の生成・消滅に関する生物地球化学過程の解明」に関連している研究である。

## 2. 研究の目的

本研究は、南大洋のCO<sub>2</sub>およびVOCの大気-海洋間交換と、その変動要因(特に生物活動の影響)を解明することを目的とする。CO<sub>2</sub>は気候変化と海洋酸性化をもたらす原因物質であり、海洋生物への影響が懸念されること、VOCは生物活動により生成し、大気に放出されて大気酸化能やエアロゾルの生成などを通じて気候変化に関与する物質である。南大洋がこれらの物質を通して気候系に果たしている役割の重要性は指摘されているものの、これらの物質の動態は未解明の課題として残っている。更に南大洋は北極海とともに全世界の海洋に先駆けて酸性化の影響が現れると予想されている。その結果、生物相の変化が生じ、CO<sub>2</sub>の吸収能力、VOCの生成などに影響を及ぼすことが考えられる。海洋

表層の酸性化、すなわち炭素循環の実態把握と同時に、生物活動に伴う炭酸系の変動、VOC 放出・生成過程の理解が気候変化の将来予測のために必要である。

### 3. 研究の方法

大気および表面海水中の  $p\text{CO}_2$  と  $\text{CH}_4$  分圧 ( $p\text{CH}_4$ ) 観測については、波長スキャンキャピテリングダウン分光法 (WS-CRDS) を用いた計測装置 (Picarro G2301) を、イソブレン、テルペン、アセトン、メタノールなどの VOC 測定には、ヘッドスペース 水素炎イオン化検出器ガスクロマトグラフ測定装置を新たに開発し、海洋観測に用いた。2012 年度 (平成 24 年度) には海洋地球研究船「みらい」 (MR12-05 航海、海洋研究開発機構) による南大洋の太平洋、オーストラリア、インド洋各セクターの観測が 11 月～2 月にかけて実施された。この航海においては、開発した機器を用いて  $p\text{CO}_2$  と  $p\text{CH}_4$  の連続観測を出航直後から入港直前まで、ほぼ実施することが出来た。採水地点では VOC 測定のため、各層観測を行った。更に、南大洋の各層採水地点では表層から深層に至るまで溶存無機炭素、全アルカリ度、pH、栄養塩、溶存酸素、塩分などの分析用海水試料を採取し、船上で分析を実施することが出来た。

### 4. 研究成果

#### (1) 南大洋炭素循環

図 1 に本研究課題で開発したシステムを用いて計測した大気 ( $p\text{CO}_2^{\text{AIR}}$ ) と表面海水中の  $\text{CO}_2$  分圧差 ( $\Delta p\text{CO}_2 = p\text{CO}_2^{\text{SEA}} - p\text{CO}_2^{\text{AIR}}$ ) を示す。図に示すように同じ南大洋高緯度帯ではあっても、大気から  $\text{CO}_2$  を吸収している海域 (負の海域) 大気に  $\text{CO}_2$  を放出している海域 (正の海域) があることが分かる。「みらい」は、日付変更線から西に向かって航行した。海氷融解直後に航行した太平洋セクターでは、 $p\text{CO}_2^{\text{SEA}}$  は  $p\text{CO}_2^{\text{AIR}}$  よりも若干高くなっていることが分かる。また昭和基地近傍 (30-60°E) でも  $p\text{CO}_2^{\text{SEA}}$  は  $p\text{CO}_2^{\text{AIR}}$  よりも高い。大気への放出が認められる海域は、冬期の高  $p\text{CO}_2^{\text{SEA}}$  や温度上昇による効果が、それ以外の海域では生物

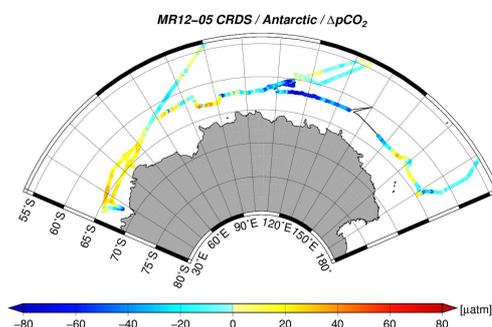


図 1. 2012 年度「みらい」MR12-05 航海で観測した大気と表面海水の  $\text{CO}_2$  分圧差 ( $\Delta p\text{CO}_2 = p\text{CO}_2^{\text{SEA}} - p\text{CO}_2^{\text{AIR}}$ )。

活動 (光合成) や海氷融解、Ikai te 溶解の影響など (アルカリ度/溶存無機炭素比) により  $p\text{CO}_2^{\text{SEA}}$  が減少したと考えられる。昭和基地沖で海氷融解直後に観測した以前の結果では、大気よりも低い  $p\text{CO}_2^{\text{SEA}}$  が観測されており (Nomura et al., 2014) これが年々変動によるものなのか、空間的な要因によるものなのかを今後明らかにしていく必要がある。これまで季節雪氷域の  $p\text{CO}_2^{\text{SEA}}$  季節変化の空間的な分布の特徴は明らかになっておらず、今回の観測は更なる観測データの蓄積を促す結果となった。

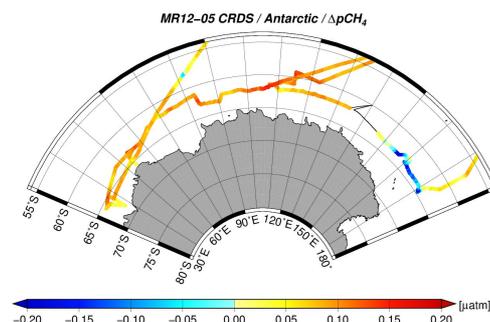


図 2. 2012 年度「みらい」MR12-05 航海で観測した大気と表面海水の  $\text{CH}_4$  分圧差 ( $\Delta p\text{CH}_4 = p\text{CH}_4^{\text{SEA}} - p\text{CH}_4^{\text{AIR}}$ )。

図 2 は  $p\text{CO}_2$  と同時に計測した大気と表面海水のメタン分圧差 ( $\Delta p\text{CH}_4$ ) である。これまで

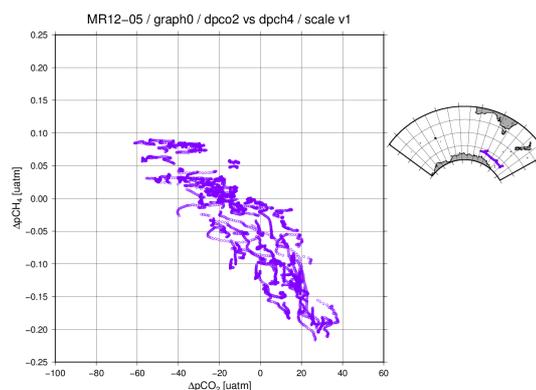


図 3. 南大洋太平洋セクターで観測された高  $p\text{CO}_2^{\text{SEA}}$  海域における  $\Delta p\text{CO}_2$  と  $\Delta p\text{CH}_4$  の関係

報告されているようにほとんどの海域で海洋  $\text{CH}_4$  は大気に対して過飽和であるが、太平洋セクターの一部では大気と比較して未飽和の状態であったことが分かる。この海域で  $\Delta p\text{CO}_2$  と  $\Delta p\text{CH}_4$  を比較したところ、図 3 に示すように負の相関が認められた ( $p\text{CO}_2^{\text{AIR}}$  及び  $p\text{CH}_4^{\text{AIR}}$  は、表面海水の分圧と比較するとほぼ一定とみなせる)。観測は海氷融解直後に行われたことから、生物活動が盛んになる前の冬期の状態が残っており、鉛直混合による効果が卓越していたためと考えられる。その一方で、 $p\text{CO}_2^{\text{SEA}}$  が同様に  $p\text{CO}_2^{\text{AIR}}$  よりも高くなっていた昭和基地沖では、 $\text{CH}_4$  も過飽和になっていた。同じ高  $p\text{CO}_2^{\text{SEA}}$  と言っても、その要因 (海

洋物理・生物活動)に差があることが分かった。

## (2)VOC 観測

VOC のひとつである 硫化ジメチル (Dimethyl sulfide, DMS) は大気中で酸化されて雲凝結核となる。海洋は大気 DMS の主要な放出源であり、植物プランクトン生体内で作られるジメチルスルフォニルプロピオネート (DMSP) が DMS の主な前駆体物質と言

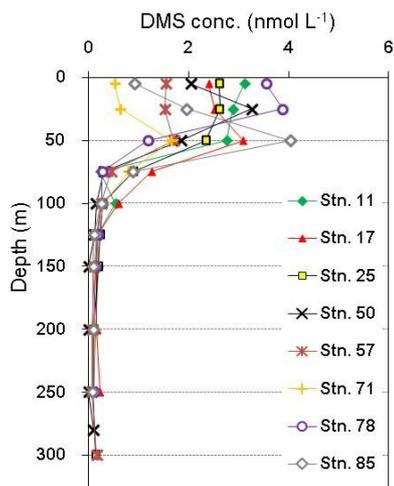


図 4. 「みらい」MR12-05 航海で観測した DMS の鉛直分布例。Stn. 11 (57°S, 174°E), Stn. 17 (60°S, 174°E), Stn. 25 (63.5°S, 171°E), Stn. 50 (63.5°S, 159.9°E), Stn. 57 (63.4°S, 150.8°E), Stn. 71 (62°S, 131.3°E), Stn. 78 (62°S, 121.5°E), Stn. 85 (62.1°S, 112.2°E)

われている。温暖化が進み海洋表層の生物活動が盛んになれば、DMS の生成が増大し海洋から大気への放出量も増す。それに伴い大気中の雲凝結核が増えて雲が生成され、雲は太陽からの供給熱量を減らし温度上昇を抑えるため、DMS は地球温暖化に対し負のフィードバック効果をもたらすといわれている (CLAW Hypothesis, Charlson et al., 1987)。しかしながら、DMS の生成・消失には様々な生物地球化学過程が関係するため極めて複雑であり、その包括的な理解には至っていない。我々の先行研究では、DMS の濃度分布と  $p\text{CO}_2^{\text{SEA}}$  の連続測定から評価した純群集生産 (net community production, NCP) との間に良い相関 ( $r^2 = 0.68$ ) があり、純群集生産が本研究海域の DMS の分布を決めるキーパラメータとなる可能性を見出した。従って炭酸系データと合わせて DMS データを解析することが重要である。図 4 は、太平洋からオーストラリア南の各層観測点における DMS の鉛直分布である。各観測点で DMS は 25-50 m の亜表層で極大を示し、極大以深では急激に減少した。海洋表面では、極大より若干小さい値である。

イソプレン ( $\text{C}_5\text{H}_8$ ) は最も存在量の多い非メタン炭化水素の一つであり、大気中で容易に酸化され二次有機エアロゾルの形成に寄与することが知られている。イソプレンの主な起源は陸上植物であるが、大気中で寿命が短い (1~5 時間) ため陸から遠い外洋には陸起源のイソプレンは到達することができ

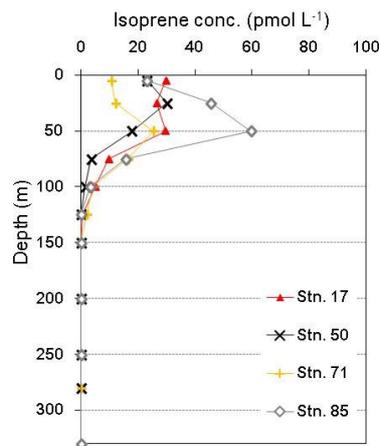


図 5. 「みらい」MR12-05 航海で観測したイソプレンの鉛直分布例。Stn. 17 (60°S, 174°E), Stn. 50 (63.5°S, 159.9°E), Stn. 71 (62°S, 131.3°E), Stn. 85 (62.1°S, 112.2°E)

ない。海洋生物起源のイソプレンは陸起源のイソプレンに比べ放出量が 2 桁小さいと見積もられているが、外洋における二次有機エアロゾルや引き続き起こる雲凝結核の形成に寄与している事が指摘されている。しかし、海水中のイソプレン濃度の分布やその制限要因に関する研究は十分になされていないのが現状である。「みらい」で観測したイソプレンも DMS 同様に亜表層に濃度極大があった (図 5)。DMS およびイソプレンの分布は生物生産量と関係があることが示唆されている。本研究でみられた亜表層の濃度極大は、主に植物プランクトン量が極大となる亜表層クロロフィル a 極大 (subsurface chlorophyll a maximum: SCM) に起因すると考えられる。DMS・イソプレンとクロロフィル蛍光の関係を調べたところ、DMS・イソプレン共にクロロフィル蛍光と正の相関がみられた。また、水深 25 m 以深のデータのみで比較を行ったところ (DMS  $r^2=0.69$ , イソプレン  $r^2=0.77$ )、水深 5 m のデータを含めた場合 (DMS  $r^2=0.51$ , イソプレン  $r^2=0.47$ ) よりも良い正の相関が得られ、勾配も大きくなる傾向が認められた。これは水深 5 m では DMS やイソプレンが大気への離散の影響を受けて濃度が低くなっていることを暗示している。南大洋高緯度海域において DMS・イソプレンと  $p\text{CO}_2^{\text{SEA}}$  やプランクトン群集などとの関係をより詳細に検討し、両者の動態を明らかにしていくことが今後の課題である。

## 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12件)

Kameyama, S., S. Yoshida, H. Tanimoto, S. Inomata, K. Suzuki, and H. Yoshikawa-Inoue, (2014). High-resolution observations of dissolved isoprene in surface seawater in the Southern Ocean during austral summer 2010-2011, J. Oceanography. DOI: 10.1007/s10872-014-0. Tanimoto, H., S. Kameyama, T. Iwata, and S. Inomata, (2014). Measurement of air-sea exchange of volatile organic compound by PTR-MS coupled with gradient flux technique. Environmental Science and Technology, 48, 526-533. DOI: 10.1021/es4032562 Omori, Y., H. Tanimoto, S. Inomata, S. Kameyama, S. Takao, and K. Suzuki, (2013) Evaluation of using unfiltered seawater for underway measurement of dimethyl sulfide in the ocean by online mass spectrometry. Limnology and Oceanography: Methods 11, 549-560. DOI:10.4319/lom201311.549 Nomura D., H. Yoshikawa-Inoue, S. Kobayashi, S. Nakaoka, and G. Hashida, (2013). Winter to summer evolution in surface water and air-sea CO<sub>2</sub> flux in the seasonal ice zone in the Indian sector of the Southern Ocean. Biogeosciences Discussion, 11, 657-690. DOI:10.5194/bgd-11-657-2014 Sabine, C. L., H. Yoshikawa-Inoue, A. Murata et al., (2013). Surface Ocean CO<sub>2</sub> Atlas (SOCAT) gridded data products. Earth System Science Data, 5, 145-153. DOI: 10.5194/essd-5-145-2013 Pflügel, B., H. Yoshikawa-Inoue, A. Murata et al., 2013. A uniform, quality controlled Surface Ocean CO<sub>2</sub> Atlas (SOCAT). Earth System Science Data, 5, 125-143. DOI: 10.5194/essd-5-125-2013 Kameyama S., H. Yoshikawa-Inoue, D. Sasano et al., (2013). Strong relationship between dimethyl sulfide and net community production in the western subarctic Pacific. Geophysical Research Letters, 40, 3986-3990. DOI:10.1002/glr.50654 Zhu, C., H. Yoshikawa-Inoue, H. Matsueda, Y. Sawa, Y. Niwa, A. Wada, and H. Tanimoto, (2012). Variations in

atmospheric <sup>222</sup>Rn in the northernmost Japan. Atmospheric Environment, 50, 174-181.

DOI:10.1016/j.atmosenv.2011.12.04 Midorikawa, T., M. Ishii, N. Kosugi, D. Sasano, S. Saito, N. Sakamoto, and H. Yoshikawa-Inoue, (2012). Recent deceleration of oceanic pCO<sub>2</sub> increasing trend in the western North Pacific. Geophysical Research Letters, 39, L12061.

DOI:10.1029/2012GL051665 Midorikawa T., H. Yoshikawa-Inoue, M. Ishii, D. Sasano et al., (2011). Decreasing pH trend estimated from 35-yr time series of carbonate parameters in the Pacific sector of the Southern Ocean. Deep-Sea Research 61, 131-139.

DOI:10.1016/j.dsr.2011.12.003 Ishii M., T. Midorikawa, H. Yoshikawa-Inoue, et al., (2011). Ocean acidification off the south coast of Japan: A result from time series observation of CO<sub>2</sub> parameters from 1994 to 2008. Journal of Geophysical Research, 116. C06022. DOI:10.1029/2010JC006831

Yoshida O., H. Yoshikawa-Inoue, et al., (2011). Biogenic methane distribution in the South Pacific and the Southern Ocean in austral summer, 2001-2002. Journal of Geophysical Research, 116. C07008. DOI:10.1029/2009JC006089

### [学会発表](計10件)

笹野大輔、石井雅男、小杉如央、村田昌彦、内田裕、豊田栄、山田桂大、工藤久志、吉田尚弘、吉川久幸。北極海で観測された表面海水中における二酸化炭素とメタン分布の関連性。2013年度日本海洋学会春季大会シンポジウム、2013年3月21日、東京海洋大学(東京)

Nomura D., H. Yoshikawa-Inoue, S. Nakaoka, K. Kobayashi, and G. Hashida. CO<sub>2</sub> dynamics of seawater in the seasonal ice zone. 9<sup>th</sup> International Carbon Dioxide Conference, June 3-6, 2013. Beijing, China.

Hashida, G., H. Yoshikawa-Inoue, T. Okada, S. Aoki, T. Nakazawa, and H. Sasaki. Uptake of anthropogenic CO<sub>2</sub> in the Australian sector of the Southern Ocean. 9<sup>th</sup> International Carbon Dioxide Conference, June 3-6, 2013. Beijing, China.

野村大樹、吉川久幸、中岡慎一郎、小林修一、橋田元。南極海季節海氷域におけ

る海洋炭酸系の動態。第4回極域シンポジウム、2013年11月12-15日、国立極地研究所(立川市)

亀山宗彦。高時間分解能分析法を用いた海洋表層における揮発性有機化合物に関する研究(招待講演)。日本地球化学会第60回年会、2013年9月11-13日、筑波大学(つくば市)

吉田怜、亀山宗彦、谷本浩志、奥澤和浩、猪俣敏、鈴木光次、吉川久幸。南大洋インド洋区における海洋表層中イソプレン濃度の高分解能測定。日本地球化学会第60回年会、2013年9月11-13日、筑波大学(つくば市)

Ishii M., T. Midorikawa, D. Sasano, N. Kosugi, and H. Yoshikawa-Inoue. An overview of the ocean CO<sub>2</sub> increase in the western North Pacific subtropical and tropical zones. 2<sup>nd</sup> International Symposium. Effects of Climate Change on the World's Oceans, May 16, 2012. Yeosu, Republic of Korea.

Ishii M., T. Midorikawa, D. Sasano, N. Kosugi, S. Nakaoka, G. Hashida, T. Suzuki, and H. Yoshikawa-Inoue. Ocean acidification in the western Pacific sector of the Southern Ocean. The 18th International Symposium on Polar Sciences, May 22-24, 2012, Jeju Island, Republic of Korea

笹野大輔、石井雅男、小杉如央、村田昌彦、内田裕、豊田栄、山田桂大、工藤久志、吉田尚弘、吉川久幸。北極海で観測された大気および表面海水中の二酸化炭素とメタン分布。第3回極域科学シンポジウム、2012年11月28日、国立極地研究所(立川市)

吉川久幸、亀山宗彦、緑川貴、石井雅男、笹野大輔、中岡慎一郎、橋田元。大気・海洋間の二酸化炭素交換-南大洋-。日本地球化学会第58回年会、2011年9月14-16日、北海道大学(札幌市)。

〔図書〕(計1件)

Tanimoto H., S. Kameyama, Y. Omori, S. Inomata, and U. Tsunogai. High-Resolution Measurement of Volatile Organic Compounds Dissolved in Seawater Using Equilibrator Inlet-Proton Transfer Reaction-Mass Spectrometry (EI-PTR-MS) In Western Pacific Air-Sea Interaction Study, edited by M. Uematsu, Y. Yokouchi, Y. W. Watanabe, S. Takeda, and Y. Yamanaka, TERRAPUB, pp284(89-115). DOI:10.5047/w-pass.a02.001

〔その他〕

ホームページ等

<http://geos.ees.hokudai.ac.jp/hyoshika/index.html>

<http://www.mri-jma.go.jp/Dep/oc/oc-sjis.html>

<http://www.jamstec.go.jp/rcgc/j/>

6. 研究組織

(1)研究代表者

吉川(井上) 久幸 (YOSHIKAWA(INOUE) HISAYUKI) 北海道大学・大学院地球環境科学研究院・教授  
研究者番号: 6 0 3 4 4 4 9 6

研究者番号:

(2)研究分担者

平成23年度

緑川 貴 (MIDORIKAWA TAKASHI)  
気象庁気象研究所・地球化学研究部・部長  
研究者番号: 1 0 4 1 4 5 1 7

平成24年度~

笹野 大輔 (SASANO DAISUKE)  
気象庁気象研究所・海洋・地球化学研究部・研究官  
研究者番号: 1 0 4 6 2 5 2 4

村田 昌彦 (MURATA AKIHIKO)  
独立行政法人海洋研究開発機構・地球環境変動領域  
研究者番号: 6 0 3 5 9 1 5 6

亀山宗彦 (KAMEYAMA SOHIKO)  
北海道大学・大学院地球環境科学研究院・助教  
研究者番号: 7 0 5 1 0 5 4 3

(3)連携研究者

橋田 元 (HASHIDA GEN)  
国立極地研究所・気水圏研究グループ・助教  
研究者番号: 0 0 2 8 0 5 3 7