

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 8 日現在

機関番号：10101

研究種目：若手研究(A)

研究期間：2012～2015

課題番号：24681001

研究課題名(和文) 北太平洋におけるモノハロメタンの時空間的な分布と生成・分解過程の解明

研究課題名(英文) Spatial-temporal distribution of monohalomethane in the N Pacific

研究代表者

大木 淳之(Ooki, Atsushi)

北海道大学・水産科学研究科(研究院)・准教授

研究者番号：70450252

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 21,400,000円

研究成果の概要(和文)：メチル基にハロゲンが一つ結合した化合物をモノハロメタンという。対流圏や成層圏のオゾン破壊する効果をもち、海洋はモノハロメタン発生源の一つと考えられている。本研究では、海洋のモノハロメタン分布を調査した。北極海のチャクチ海陸棚上では、底層水中でモノハロメタン3成分の濃度が高くなった。北海道噴火湾では、有機物分解が進行する時期に中層にてブロメタンとクロロメタンの濃度が極大を示した。植物プランクトンの培養実験により、対数増殖期にはモノハロメタンの生成は無かったが、定常期から老化・死滅期に生成が確認された。モノハロメタン生成には、植物プランクトンの老化や有機物分解が関与していることが考えられた。

研究成果の概要(英文)：Monohalomethanes (chloromethane, bromomethane, and iodomethane) are the dominant organic halogen compounds in the atmosphere. Ocean is an important source of monohalomethane. Spatial-temporal distributions of monohalomethane were measured in the NW Pacific and eastern Arctic Ocean. Over the continental shelf of the Chukchi Sea in the Arctic Ocean, the concentration maxima of 3 monohalomethanes were found in the bottom layer water, in which bottom sediment, denitrification would occur owing to a large amount of settling organic particle. In the Funka-Bay, Hokkaido, Japan, concentration maxima of bromomethane and chloromethane were found in the subsurface layer in June when decompositions of organic material proceed. Phytoplankton culture experiment showed that productions of monohalomethane were found in the senescence stage after the exponential growth. It is considered that monohalomethane production in seawater is associated with cell senescence and degradation of organic matter.

研究分野：海洋化学

キーワード：揮発性有機物 VOC 有機物分解 ハロカーボン 溶存有機物 植物プランクトン 生物地球化学

1. 研究開始当初の背景

大気中の有機ハロゲン化合物(ハロカーボン)は光化学反応によりオゾンに触媒的に破壊する働きがある。成層圏に到達する長寿命のハロカーボンには人為起源のフロン類と自然起源のモノハロメタン(メタンの水素原子1個がハロゲンに置換したクロロメタン、プロモメタン、ヨードメタン)がある。海洋はモノハロメタンの重要な発生源の一つと考えられており、特にヨードメタンの多くが海洋起源と信じられている(WMO, 2007)。本申請者らは先行研究により、モノハロメタン3成分の表面海水中の濃度が代表的な海域(亜寒帯、混合域、亜熱帯)でそれぞれ異なる特徴を示すことを発見した。その特徴を以下にまとめる。

- ・ 亜寒帯域(低水温・高生物生産性): 3成分の濃度が低い。ただし、クロロメタンとプロモメタンの飽和度はマイナス(海洋が吸収)、ヨードメタンの飽和度はプラス(海洋が放出)。
- ・ 混合域(中～低水温・高生物生産性): 3成分の濃度が40°N付近で非常に高い(飽和度はプラス)。
- ・ 亜熱帯域(高水温・低生物生産性): クロロメタンとヨードメタンの濃度が急激に上昇(飽和度はプラス)、プロモメタンの濃度は低下(飽和度はマイナス)。

混合域におけるモノハロメタン3成分の高濃度現象は、植物プランクトンによる活発なモノハロメタン生成に由来すると思われた。いっぽう、亜寒帯と亜熱帯で3成分が異なる挙動を示したのは、海水中での生成と分解のバランスが異なるためと推測された。水温変化に伴い飽和度が急激に変わったので、水塊や水温に依存する生物・化学的な反応が関与している可能性がある。そのメカニズムは未解明であるが、そこに“モノハロメタンの海洋動態を解明する鍵”があると考えた。水塊変動や水温変化により、モノハロメタンの分布が時空間的にどのように変化するのかを明らかにする必要がある。

2. 研究の目的

モノハロメタンの時空間的な分布と生成・分解過程を明らかにすることを目的として、海洋観測と室内培養実験を行った。モノハロメタン分布の時系列変化を調べるため、北海道噴火湾と北西部北太平洋の混合水域で時系列モニタリングを行った。また、モノハロメタンの動態と関連することが推測される他のハロカーボン類(CH₂I₂やC₂H₅I, CHBr₃)の分布と比較した。

3. 研究の方法

(1) 海洋観測

北部ベーリング海 - 北極海(チャクチ海)

期間: 2012年9-10月
2013年6-7月
航海: JAMSTEC 研究船みらい
北海道大学おしよる丸航海
(航路は、図6を参照)
採取: CTD採水にて鉛直的に海水を採取
項目: 表面海水中の有機ガス分圧
鉛直海水中の有機ガス濃度
大気中の有機ガス分圧
栄養塩類、溶存酸素ほか

北海道噴火湾

期間: 2011年12-2016年3月
隔月もしくは毎月の頻度
計24回
航海: 北海道大学うしお丸航海
採取: CTD採水にて鉛直的に海水を採取
バンドン採水器にて底層水を採取
項目: 鉛直海水中の有機ガス濃度
栄養塩類、溶存酸素ほか

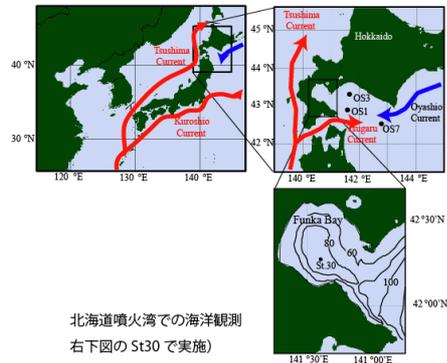
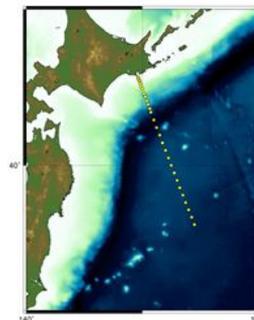


図1 北海道噴火湾での観測場所

北西部北太平洋混合水域

期間: 2014年5, 7, 10月
2015年1月
航海: 水研センター若鷹丸、北光丸
(Aライン観測)
採取: CTD採水にて鉛直的に海水を採取
項目: 鉛直海水中の有機ガス濃度
栄養塩類ほか



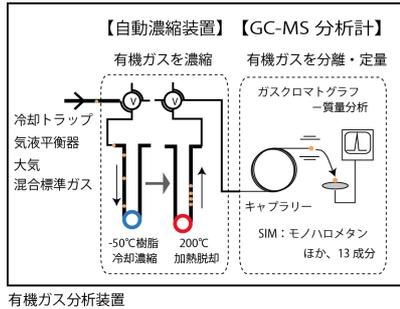
北西部北太平洋混合水域の観測ライン
(Aライン観測)黄色プロット

図2 北西部北太平洋混合水域の観測場所

(2) 分析方法

ガスクロマトグラフ - 質量分析法

有機ガス成分を樹脂(Tenax TA; -60)に冷却濃縮してから、ガスクロマトグラフ質量分析計(Agilent 社製)に導入した。SIMモードにて有機化合物を同定した。混合標準ガス(各成分 10ppb)を純窒素で希釈して同様に測定して検量線を得た。



有機ガス分析装置

図3 自動空気濃縮 - ガスクロマトグラフ質量分析法の概略

気液平衡器 (海水中分圧測定)

船底から常時採取される研究用海水を、シリコンメンブランチューブ式の気液平衡器に導入した。気液平衡器のチューブ内の気相部分を一定圧に保ちながら、気相空気を連続的に 25mL/min で自動大気濃縮器に導入した。

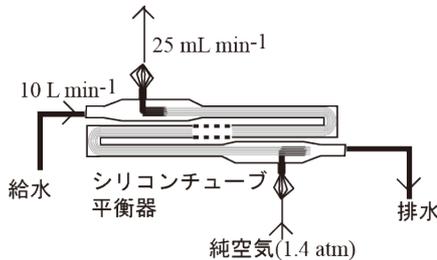


図4 シリコンメンブラン式の気液平衡器

パージ&トラップ法 (海水中濃度測定)

鉛直的に採取した海水を褐色ガラスバイアル(120mL)に分取した。塩化第二水銀の飽和溶液を 50 μ L 添加し、ブチルゴムセパタムとアルミシールで密封した。陸上の実験室にて、ガラスバイアルのセパタムに二本の針を刺して、片方から窒素圧をかけ、もう片方から試水を排出しパージ管(窒素バブリング管)に送液した。パージ管を 65 に加熱しながら純窒素でバブリングした(65mL/min)。試水中の有機ガス成分を気相に追い出して(パージ)、除湿したのち、樹脂トラップ(Tenax TA, -100)に冷却濃縮した。この冷却トラップは -25 で冷凍保存した。その後(数日以内に)、冷却トラップを 200 に加熱して、有機ガス成分をガスクロマトグラフ質量分析計に導入した。

冷却トラップ法の開発

長期の観測航海では、試水を採取してから

分析にいたるまで数カ月を要することもある。水中では不安定な有機ガス成分もあるため、なるべく早く抽出・濃縮操作をしたほうがよい。また、植物プランクトン培養により発生した有機ガス成分を抽出・濃縮して保存しておき、後日、まとめて分析した方が効率が良く、多くの実験区を設定することができる。そこで、有機ガス成分を小型トラップに冷却濃縮する手法を開発した。TenaxTA 樹脂(10mg)を、長さ 50cm の 1/8 インチステンレス管の中央付近に充填して、その部分をコイル状に巻いた。充填した樹脂の両端には石英ウールを詰めて、樹脂の流出を防いだ。両端にはスウェーデン社のナットとキャップを取りつけた。樹脂部分を、FPSC(フリーピストンサイクル・クーラー)で -100 に冷却して、有機ガス成分を濃縮した。冷却濃縮したのちは、普通冷凍庫(-25)にてトラップを保存した。有機ガス成分の保存性を調べるため、標準ガスをトラップに濃縮してから、最大 412 日まで保存後の分析結果を下の表に記す。

硫化カルボニル(COS)については、日数の経過とともに徐々に濃度が上昇したので、コンタミネーションの影響が考えられた。クロロメタン(CH₃Cl)については、標準偏差は 6.5% とやや大きい。経過日数とは関係がないので、継続的にコンタミネーションが増加するとは考えられなかった。濃縮時における、偶然誤差が 6.5% くらいあるものと考えられた。

VOC濃度の変化率(標準混合ガススタンダード)

保存日数	COS (%)	HFC-22 (%)	CHCl (%)	CHBr (%)	CH ₂ Cl (%)	CH ₃ I (%)	CS ₂ (%)
48 (n=2)	-1.21 ± 2.37	2.26 ± 2.90	-4.93 ± 0.91	-5.4 ± 0.14	-5.61 ± 0.08	-4.64 ± 0.36	-3.95 ± 1.81
61 (n=2)	3.94 ± 0.60	-2.75 ± 0.18	7.22 ± 9.53	4.04 ± 0.003	-0.44 ± 0.39	-0.48 ± 0.09	2.45 ± 3.16
95 (n=1)	3.36	-5.23	-0.74	-0.14	-2.61	-1.73	-0.77
159 (n=2)	12.3 ± 1.88	-1.24 ± 1.44	4.62 ± 4.22	3.64 ± 2.03	0.16 ± 1.54	0.12 ± 1.54	1.23 ± 1.06
188 (n=4)	13.8 ± 1.82	-1.71 ± 2.43	5.21 ± 5.71	5.08 ± 4.23	-1.29 ± 2.77	-0.32 ± 3.32	1.48 ± 1.03
225 (n=4)	11.1 ± 1.05	-2.93 ± 1.89	-0.72 ± 1.95	2.39 ± 2.49	-3.09 ± 1.61	-1.6 ± 1.88	-2.35 ± 2.32
412 (n=2)	28.5 ± 1.16	-3.18 ± 0.08	0.04 ± 0.19	4.71 ± 0.02	-0.82 ± 0.69	0.46 ± 0.33	-1.03 ± 1.18
平均 (n=17)	10.2	-2.11	2.89	2.05	-1.96	-1.17	-0.42
標準偏差 (n=17)	9.03	2.14	6.50	3.45	1.83	1.61	2.11

(Shida et al., in preparation)

それ以外の成分については、5%以内の誤差精度で濃縮・保存ができることを確認した。以下、モノハロメタン 3 成分については、5~6.5%の誤差はあるものとして、結果をまとめる。なお、開発した冷却トラップは小型(15cm)であること、普通冷凍庫で保存が可能であることから、有機ガス研究に広く応用が可能である。

植物プランクトン培養

植物プランクトンによるモノハロメタン発生タイミングを調べるため、珪藻類の一種タラシオシラ株を培養海水(f/2 培地、鉄強化型)に添加して実験する手法を開発した。植物プランクトンの培養日数は、対数増殖期から死滅期までをカバーするため 60 日以上とした。実験中は、容器を密封する必要があるため、培地をガラスバイアル(120mL)に入れて、ブチルゴムセパタムで栓をした。従来研究では、大きなフラスコ(1~2L)に培養海水を入れて、その一部を採取して発生した有

機ガス成分を測定するのが主流であった。従来法では、培養海水中有機ガス成分の濃度は上昇を続けてしまう。有機ガス成分の中には、微生物の成長を阻害する成分も含まれる。また、培養海水中有機ガス濃度が高くなると、植物プランクトンからの有機ガス発生が抑えられてしまう可能性もある。したがって、培養期間、定期的に有機ガス成分を抽出して、培養ボトル内の有機ガス成分の濃度を自然レベルに保つ必要がある。そのため、小さな培養ボトル(120 mL)を使って、定期的にボトル内の有機ガス成分の全量近くを抽出することにした。そこで、培養ボトルのヘッドスペースに合成空気(純空気+二酸化炭素)を50mL/minで送り込み、ヘッドスペース空気を30分間抽出した。ヘッドスペース空気中有機ガス成分が効率的に移行するように、培養ボトルにはマグネット回転子を入れておき、培養水を攪拌しながら、ヘッドスペース空気を抽出した。なお、合成空気を使った理由は、光合成と呼吸に要する二酸化炭素と酸素を供給するためである。純空気を使うと、培養日数が経過すると、培養海水中の二酸化炭素が減り、炭素律速により植物プランクトンの増殖が抑えられてしまう。合成空気の成分比率は、実大気に近い酸素と二酸化炭素の濃度比率にした。また、ヘッドスペース法を用いた理由は、有機ガス成分を抽出する際にバブリングをすると植物プランクトン細胞が破碎されること、バブリングする際に温度を上げられないからである。培養海水の一部を採取して、細胞数をカウントして細胞密度を求めた。実験装置の概略を以下に記す。

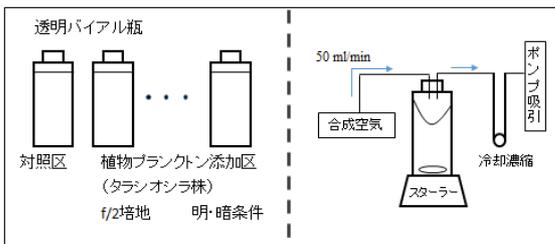


図5 植物プランクトン培養の概略

4. 研究成果

(1) 海洋観測結果

北極海(チャクチ海)

2012年9-10月にみらいMR12-E03航海(北部ベーリング海~チャクチ海)で観測したモノハロメタン3成分の表面濃度測定の結果を図6に記す。北極海海盆域(75°N付近)では水温が低いため、クロロメタン(CH_2Cl)とブromoメタン(CH_2Br)が高濃度になった。ここでは大気と海洋のガス分圧が平衡状態に近かったため、海水中でモノハロメタンが正味で生成されていなかった。これに対して、チ

ャクチ海南部では、太平洋水が流入して高温であったにもかかわらず、 CH_2Cl と CH_2Br は高濃度であり、大気分圧に対して海水中分圧が過飽和にあった。したがって、両成分が海水中で正味に生成されていた。 CH_2I については、北部ベーリング海から南部チャクチ海、東部チャクチ海にかけて高濃度であり、どの海域でも大気分圧に対して過飽和であった。チャクチ海では初夏に珪藻ブルームが発生し、その後、晩夏にかけて有機物分解が卓越する。観測時期(晩夏)には、生物起源のモノハロメタンが活発に生成されていたことが考えられた。

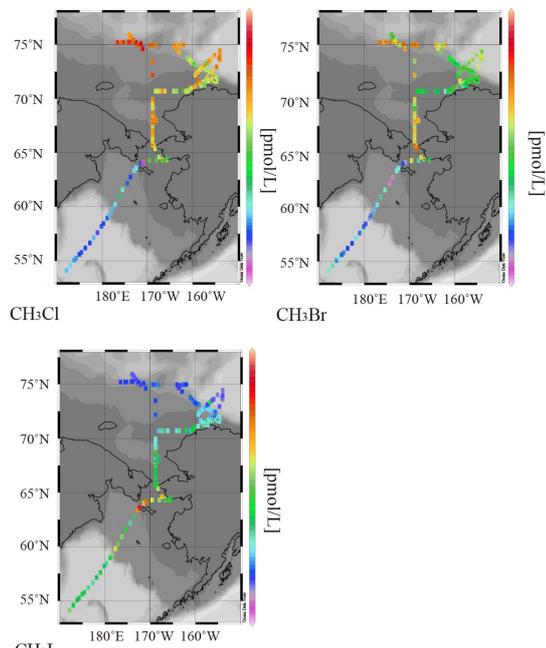


図6 表面モニタリング結果(2012年9-10月、北部ベーリング海~チャクチ海)

ャクチ海北部(73.5°N)の陸棚上のステーションで鉛直的に海水を採取し、モノハロメタンの鉛直プロファイル測定した結果を図7に示す。

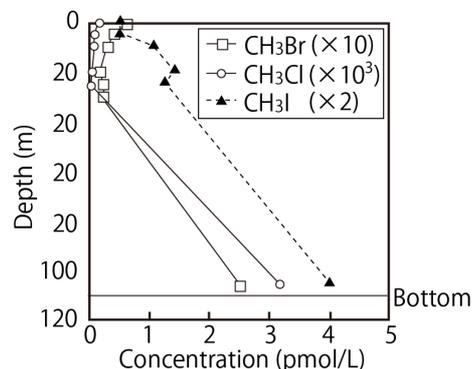


図7 チャクチ海北部における鉛直分布

堆積物の直上水(水深106m)にて、モノハロメタン3成分の濃度が急激に高くなる現象

が捉えられた。チャクチ海陸棚上の堆積物中では有機物分解により栄養塩濃度が高いこと、貧酸素状態になり脱窒反応が起きていること、ジヨードメタン(CH_2I_2)やヨードエタン($\text{C}_2\text{H}_5\text{I}$)が高濃度になる現象が捉えられている。モノハロメタン3成分についても、堆積物中での有機物分解に起因して発生していることが示唆された。

北海道噴火湾

噴火湾で時系列モニタリングを実施した結果、夏季(8月)に、 CH_3Br と CH_3Cl は中層(10~60m)にて濃度極大を示した。8月の中層にはクロロフィル濃度の極大もみられた。いっぽう、噴火湾底層では CH_3Br と CH_3Cl の濃度が減衰して、大気分圧に対して未飽和の状態にあった。中層では植物プランクトン細胞に関連したモノハロメタン生成が卓越し、底層ではバクテリアによるモノハロメタン分解が卓越したことが示唆された。 CH_3I については、中層のみで濃度極大を示す年(2012-2015年)と、中層と底層の両方で濃度極大を示す年(2012-2014年)があった。

中層における CH_3I の増加については、ジヨードメタン(CH_2I_2)の生成過程と関連付けて考察した。噴火湾の中層では、毎年、珪藻ブルームのあと約1ヶ月を経過してから、 CH_2I_2 が急激に増加することが捉えられている。本観測結果と過去の知見をまとめて、以下のジヨードメタン生成仮説を提唱するに至った。中層の密度躍層には死滅期にある植物プランクトンが蓄積する。中層水には酸素が豊富にあり、植物プランクトンが死滅すると、細胞内から超酸化物が発生してヨウ化物イオン(I^-)を酸化する。 I^- が酸化されると I_2 分子が発生しハロホルム(ヨードホルム)反応が進行する。中層におけるヨードホルム反応により、 CH_2I_2 と共に、 CH_3I が生成されることが考えられた。なお、室内実験により、海水中でのヨードホルム反応を再現したところ、多量の CH_2I_2 が発生すると同時に、微量の CH_3I も発生することが確認された。

臭素化合物のハロホルム反応により、プロモホルム(CHBr_3)とジプロモメタン(CH_2Br_2)が発生することも確認された。ヨードホルム反応により CH_2I_2 と微量の CH_3I が発生するように、プロモホルム反応やクロロホルム反応により、 CH_3Br や CH_3Cl も極微量ながら発生する可能性がある。

噴火湾底層で CH_3I が発生したのは、貧酸素状態にある海底堆積物中で珪藻由来の有機物が分解したことに由来すると考えた。既往研究により、珪藻濃縮物を密封して培養したところ、バクテリア生産の増加と共に CH_3I と $\text{C}_2\text{H}_5\text{I}$ が同時に増加することが報告されている。このときは、ヨードホルム反応に由来する CH_2I_2 の増加は確認されていない。これは、噴火湾底層での状況に似ている。

(2) 植物プランクトン培養の結果

植物プランクトン(珪藻類のタラシオシラ)を培養した結果、光合成副産物のイソプレンは対数増殖期に濃度が急激に増えたが、モノハロメタン3成分については対数増殖期には有意な増加は認められなかった。培養開始から10日を過ぎ、定常期になってからモノハロメタン3成分の濃度増加が認められた。定常期を過ぎて老化・死滅期に至ると、光合成副産物のイソプレンの放出は無くなったが、モノハロメタン3成分の濃度は増加を続けた。モノハロメタン3成分については、植物プランクトンの老化・死滅・分解に際して生成されることが示唆された。

(3) 結論 - モノハロメタン生成の仮説 -

従来研究により、生物生産性の高い混合水域の表面水中で高濃度のモノハロメタンが報告されていた。また、寒冷な海の表層水中(水深5m)では CH_3Br と CH_3Cl の濃度が大気分圧に対して未飽和であることが報告されていた。本研究により、寒冷な海でも、表層以深でモノハロメタンの濃度が高くなることが明らかになった。北海道噴火湾では中層水(10~60m)で高濃度になり、北極域チャクチ海では底層水(陸棚上の堆積物直上水)で高濃度になった。噴火湾中層には密度躍層があり、老化・死滅細胞が浮遊・蓄積する。いっぽう、北極域チャクチ海の陸棚上底層には、珪藻ブルームで老化した細胞が海底に堆積してから死滅する。本研究の海洋観測の結果より、植物プランクトンが死滅するタイミングでモノハロメタンが活発に生成されることが考えられた。植物プランクトン(珪藻類のタラシオシラ)の培養実験の結果、対数増殖期にはモノハロメタンの生成は確認されなかったが、対数増殖期の後、定常期から死滅期にモノハロメタン3成分が生成されることが明らかになった。つまり、海洋観測と培養実験の両面から、植物プランクトンが死滅するタイミングでモノハロメタンの生成が活発になることが明らかになった。

植物プランクトンの死滅期に顕著に濃度が増加した有機ヨウ素ガス成分はジヨードメタン(CH_2I_2)であった。 CH_2I_2 については、珪藻ブルームの1か月後に、海水中濃度が最大で2000倍にも増加することが4年連続で捉えられている。また、 CH_2I_2 の濃度極大の深度と一致して、モノハロメタン3成分の濃度極大が見られた。海水中では、ハロホルム反応により CH_2I_2 や CH_3I が解離することが確認されている。同様に、臭素や塩素のハロホルム反応の途中で CH_3Br や CH_3Cl が解離する可能性がある。

なお、実際の海洋では植物プランクトンブルームの最盛期でも、表面海水中でモノハロメタンの濃度が増加することが捉えられている。ブルーム最盛期になると、動物プランクトンによる植物プランクトンの捕食圧が

高くなる。捕食により死滅した植物プランクトンからも、モノハロメタンが活発に生成される可能性がある。

モノハロメタンは生成されると同時に、バクテリアによる分解を受ける。寒冷な海の表面水でモノハロメタン濃度が低い理由(大気分圧に対して未飽和)は、死滅期にある植物プランクトン細胞は表層混合層の直下の密度躍層まで沈降し、そこでモノハロメタンが生成されると考えられた。亜寒帯域の春季から夏季には、太陽放射加熱により表層付近が成層化する。成層化すると、表層混合層直下で発生したモノハロメタンは表層混合層内には供給されにくい。そのため、表層水中ではモノハロメタンの分解が卓越して未飽和になると考えられた。

本研究では、超酸化物の発生やハロホルム反応を直接的には捉えていないので、今後、実際の海水中でハロホルム反応が起こることを捉え、モノハロメタン生成との関係を明らかにする必要がある。

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4件)

Ooki, A., Kawasaki, S., Kuma, K., Nishino, S., and Kikuchi, T., Concentration maxima of volatile organic iodine compounds in the bottom layer water and the cold, dense water over the Chukchi Sea in the western Arctic Ocean: a possibility of production related to the degradation of organic matter, *Biogeosciences*, 査読有, 13, 133-145, 2016, doi: 10.5194/bg-13-133-2016.

Ooki, A., Nomura, D., Nishino, S., Kikuchi, T., and Yokouchi, Y., A global-scale map of isoprene and volatile organic iodine in surface seawater of the Arctic, Northwest Pacific, Indian, and Southern Oceans, *Journal of Geophysical Research*, 査読有, 120, 4108-4128, 2015, doi: 10.1002/2014JC010519.

Hioki, N., Kuma, K., Sasayama, R., Ooki, A., Kondo, Y., Obata, H., Nishioka, J., Yamashita, Y., Nishino, S., Kikuchi, T., and Aoyama, M., Laterally spreading iron, humic-like dissolved organic matter and nutrients in cold, dense subsurface water of the Arctic Ocean, *Scientific Reports*, 査読有, 4, 6775,

2014, doi: 10.1038/srep06775.

大木淳之, 三輪一彌, 大西広二, 亀井佳彦, 小林直人, 久万健志, 北海道噴火湾におけるプロモホルム分布の季節変動, *分析化学*, 査読有, 62, 1071-1078, 2013.

[学会発表](計6件)

福田紗和, 大木淳之, 黒田寛, 葛西広海, 田所和明, 桑田晃, 北西太平洋混合水域におけるイソプレンの時空間分布, 2016年3月15日, 2016年日本海洋学会春季大会, 東京大学(東京都文京区)

清水悠作, 大木淳之, 久万健志, 大西広二, 亀井佳彦, 小林直人, 沿岸海域における珪藻ブルーム後の有機物分解に伴う有機ヨウ素ガスの発生と大気への供給, 2015年9月18日, 2015年日本地球化学会年会, 富山大学(富山県富山市)

大木淳之, 川崎修歩, 久万健志, 西野茂人, 菊地隆, 西部北極海における揮発性有機化合物の分布 - 2012年みらい航海の結果 - , 2015年3月22日, 2015年日本海洋学会春季大会, 東京海洋大学(東京都港区)

大木淳之, 川崎修歩, 2012年みらい北極航海で観測した海水中揮発性有機物(VOC)の分布特性, 2013年3月21日, 2013年日本海洋学会春季大会シンポジウム(急激な海水減少と北極海海洋生態系の変化 II) 東京海洋大学(東京都港区)

大木淳之, 川崎修歩, 久万健志, 冷却トラップを用いた大気及び海水中的有機ガス測定法の開発と応用, *分析化学討論会*, 2013年5月18日, 北海道大学水産学部(北海道函館市)

大木淳之, 川崎修歩, 久万健志, 横内陽子, 南大洋から北極海における揮発性有機ヨウ素化合物の分布と生成過程, 2013年9月13日, 2013年度日本地球化学会年会, 筑波大学(茨城県つくば市)

[図書](計0件)

[産業財産権]

出願状況(計0件)

取得状況(計0件)

6. 研究組織

(1)研究代表者

大木 淳之 (Ooki, Atsushi)

北海道大学・大学院水産科学研究院・准教授

研究者番号: 70450252