

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 28 日現在

機関番号：12614

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26281004

研究課題名(和文)北極海表層の窒素栄養塩の時間変動とその要因の解明

研究課題名(英文)Variability in dissolved inorganic nitrogen in surface layer of the Arctic Ocean

研究代表者

川合 美千代(Kawai, Michiyoi)

東京海洋大学・その他部局等・准教授

研究者番号：50601382

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,800,000円

研究成果の概要(和文)：北極海の一次生産量は、窒素栄養塩の供給量によって決まる。2週間の定点観測から、窒素栄養塩は夏季上層では常に低濃度であるが、渦の通過などによって短期的な供給があることが分かった。

また、北極海中央部では窒素栄養塩は1年を通じて低濃度であったが、それにもかかわらず、春先に太陽光が入る時期から1か月程度にわたって一次生産のピークがみられた。つまり、窒素栄養塩が不足しているにもかかわらず、何らかの方法で一次生産が維持されていることが分かった。この一次生産への窒素栄養塩供給源は現段階では不明である。

研究成果の概要(英文)：Nitrogen is the limiting nutrients to phytoplankton production in the surface We have investigated supply process of dissolved inorganic nitrogen (DIN) to the surface layer of the Arctic Ocean. A fixed point observation for two weeks revealed that DIN concentration is very low, even in nano-molar level. Temporal events such as a passing of an eddy could bring some trace of DIN to promote local primary production during summer/autumn. Year-round observations in the central Canada Basin using moored water sampler and sensors showed that DIN is low throughout a year, even during the mid-winter, probably due to very strong stratification which limits entrainment of deeper nutrient rich water to surface layer. Nevertheless, fluorescence data showed a peak at the beginning of Spring. At the moment, it is not clear what is the source of nitrogen supporting this production.

研究分野：化学海洋学

キーワード：北極海 栄養塩 窒素

1. 研究開始当初の背景

地球温暖化に伴い、北極海では夏季の海水減少や水温上昇が起きている。このことは、光のある時期の植物プランクトンの増殖に有利に働くと考えられている。しかし、北極海の太平洋側では、光や水温ではなく、栄養塩の供給量が植物プランクトンの増殖を制限する主な要因であるため、今後の生物生産量の増減は、十分な栄養塩が供給できるかどうかによって決まる。また、栄養塩の中でも、特に窒素影響塩が不足気味である。実際、北極海カナダ海盆では、2000年代の海水減少に伴う一次生産の増加は見られず、植物プランクトンの小型種への変移および生息深度の深化が観測された。これは、海水の融解により、表層海水の塩分が低下し、密度差が拡大して下層の水との混合を妨げた結果、下層からの栄養塩の供給が制限されたためと考えられている。つまり、北極海(特に太平洋側)の一次生産は、水温や光ではなく栄養塩によって制限されているのである。

しかし、北極海表層における栄養塩循環やその変動についての定量的な解析は殆ど行われてこなかった。その原因としては、船舶観測が夏季のみに限られており季節変動が不明であること、観測が可能な夏季には表層の窒素栄養塩濃度が低すぎて通常の測定方法では時空間的变化を捉えられないことあげられる。

2. 研究の目的

上述の背景から、本研究では以下を目的とした。

- (1) 夏季北極海表層における栄養塩濃度の変化を明らかにする。特に、北極海で初めての微量栄養塩分析の適応により、低濃度レベルでの詳細な時空間分布をとらえる。
- (2) 北極海上層に時系列採水器とセンサーを係留し、1年を通じた表層の栄養塩濃度の変動を明らかにする。

3. 研究の方法

船舶による晩夏の定点観測と、自動採水器による通年観測を行った。

- (1) 北極海カナダ海盆南西部において、2014年9月6日から9月24日にかけて定点観測を実施した。12時間毎に採水を行い、得られた海水試料について、現場で塩分とアルカリ度を測定した。栄養塩試料は凍結して研究室に持ち帰った後、ナノモルレベル栄養塩分析装置を用いて窒素栄養塩3種(硝酸塩、亜硝酸塩、アンモニウム塩)、リン酸塩、ケイ酸の5項目を測定した。

- (2) 季節変動の解析については、カナダ海盆中央部の上層35m深に自動採水器と各種センサー(水温、塩分、クロロフィル蛍光など)を設置した。時系列採水では8日に一回の海水採取を行った。採水バッグにはあらかじめ塩化第二水銀を入れて置き、保管中の生

物活動を阻止した。1年後に全ての試料を回収し、塩分、アルカリ度、酸素同位体比、栄養塩の分析を行った。

4. 研究成果

- (1) 9月の定点観測時、混合層深度は約20m、有光層深度は55-70mであった。期間を通じて、栄養塩濃度は表層0から40mまでで低く、40-60mで急激に増加し(躍層)、60m以下で高濃度となっていた。0-40mではリン酸塩は0.5~0.8 $\mu\text{mol/kg}$ 、ケイ酸は3~5 $\mu\text{mol/kg}$ と残っていたが、硝酸塩は通常測定法における定量下限(0.1 $\mu\text{mol/kg}$)以下の極低濃度がほとんどであった。リン酸塩は0-20m、ケイ酸は20-30mでそれぞれ濃度が低いという鉛直分布が得られた。リン酸塩とケイ酸、それぞれと塩分の相関関係から、20m以深では通常の光合成-呼吸がリン酸塩とケイ酸の濃度を変化させる主な要因であり、0-20mではケイ酸濃度が高いがリン酸塩濃度が低い淡水との混合が栄養塩濃度を変化させていることが分かった。また、淡水の起源が海水融解水が河川水かによって、栄養塩変化に差がみられた。

窒素栄養塩については、20m以浅と以深に違いは見られず、0-40mにおいて0~150 nmol/kg で変化していた。50 nmol/kg を超える値は、1) 観測期間初期、2) 渦の通過時、および3) 40m付近に下層の高塩分水の持ち上がりが見られたときに観測された。2)の高水温の渦があった時にはアンモニウム塩、硝酸塩にピークがみられ、小型から大型のプランクトンによるクロロフィル濃度の極大が観測された。3)については、アンモニウム塩、亜硝酸塩、硝酸塩にピークがみられ、小型プランクトンのクロロフィル濃度の増加が観測された。1)については、流速のデータから、南からの海水の移流が若干の硝酸塩を供給したものと考えられる。

北極海の海水について、ナノモルレベルの栄養塩解析を行ったのは本研究が初めてである。微細な変動の解析により、表層の窒素栄養塩は長期間にわたって枯渇状態にあるが、渦の通過や下層水の持ち上がりなどの短期間の物理的過程が微量の窒素栄養塩を供給し、一時的な生物生産を促進している様子をとらえることができた。また、海水融解水や河川水が表層におけるリン酸塩やケイ酸塩の濃度変化にそれぞれ異なる影響を与えていることが分かった。

- (2) 自動採水器とセンサーを用いて、北極海カナダ海盆で、通年観測を行った。その結果、表層水の栄養塩濃度は1年を通して低く、冬季であっても夏季と変わらない低濃度(<0.1 $\mu\text{mol/kg}$)であることが分かった。通常の海洋では、冬季の冷却や海水形成によって鉛直混合が起き、下層の栄養塩豊富な海水が表層にもたらされ、この栄養塩を用いて、春先の植物プランクトンの増殖が起きると考えられ

ている。しかし、カナダ海盆表層では冬季の栄養塩供給がほとんど起きてないということになる。これは、近年の海水融解により海洋の成層構造が強化され、冬季の冷却や海水形成による混合が成層を超えられず、下層との混合が起きないためだと推測できる。そこで、冬季の鉛直混合がどのように起きているかを調べるため、自動採水試料の酸素同位体比を測定した。解析の結果、冬季には海水形成による塩分増加がみられたが、下層の水との明らかな混合は見られなかった。このことから、下層の栄養塩を表層にもたらすほどの冬季混合が起きていないことが推察される。

一方、冬季の栄養塩供給がないにも関わらず、光が海水に入り始める初春に、クロロフィル蛍光のピークが観測された。クロロフィル蛍光のピークが現場での植物プランクトンの増加ではなく、別の海域や海水内で増殖したプランクトンが沈降する際に発するクロロフィル蛍光をとらえている可能性もあるが、ピークは約1か月かけて緩やかに増減することから、海水由来のアイスアルジーの沈降や別海域からの移流とは考えにくい。

今回の結果は、これまで不明であった冬季や春先に予想外の生物化学的プロセスが働いている可能性を示唆しており、今後、夏季以外の船舶観測やさらに様々な機器の係留観測などを実施し、北極海の一次生産を左右する栄養塩供給過程について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)

川合美千代「北極海の物質循環の変化」
海の温暖化, 査読なし, 印刷中.

Yamamoto-Kawai, M., T. Mifune, T. Kikuchi and S. Nishino (2016): Seasonal variation of CaCO₃ saturation state in bottom water of a biological hotspot in the Chukchi Sea, Arctic Ocean, *Biogeosciences*, 13, 6155-6169, doi:10.5194/bg-13-6155-2016.

Brown, K. A., F. McLaughlin, P. D. Tortell, M. Yamamoto-Kawai, and R. Francois (2016): Sources of Dissolved Inorganic Carbon to the Canada Basin Halocline: A Multi-Tracer Study, *Journal of Geophysical Research-Oceans*, 121, doi:10.1002/2015JC011535.

Carmack E., M. Yamamoto-Kawai, T. Haine, S. Bacon, B. Bluhm, C. Lique, H. Melling, I. Polyakov, F. Straneo, M.-L. Timmermans, and W. Williams (2016): Fresh water and its role in the Arctic Marine system: sources,

delivery, disposition, storage, export, and physical and biogeochemical consequences in the Arctic and Global oceans, *Journal of Geophysical Research-Biogeosciences*, 121, 675-717, doi:10.1002/2015JG003140.

[学会発表](計 13件)

西野茂人, 菊地隆, 川合美千代, 川口悠介, 平譯亨, 伊東素代, 藤原周, 青山道夫: 太平洋側北極海における栄養塩と植物プランクトンの分布についての観測研究. JpGU, 2017年5月24日

Nishino, S., T. Kikuchi, M. Yamamoto-Kawai, Y. Kawaguchi, T. Hirawake, M. Itoh, A. Fujiwara, M. Aoyama: Nutrient Dynamics Affecting Phytoplankton Distributions in the Pacific Arctic Region. Arctic Science Summit Week 2017, 2017年4月6日.

Yamamoto-Kawai, M.: Distribution of river water in the Arctic Ocean, Russia-Japan Workshop on Arctic Research 2017, 2017年3月21日.

Mika Hasegawa, Michiyo Yamamoto-Kawai and Mike DeGrandpre: Seasonal variation in calcium carbonate saturation state of surface water at 2 stations in the Canada Basin, 2014-2015, The 7th Symposium on Polar Science, 2016年12月2日

長谷川美香, 川合美千代, M. DeGrandpre: 北極海カナダ海盆域上層における炭酸カルシウム飽和度の季節変動. 日本海洋学会秋季大会, 2016年9月13日

大額実咲, 上野洋路, 伊東素代, 川合美千代, 菊地隆, 西野茂人, 溝端浩平: チャクチ海における成層強度の時空間変動とその要因. 日本海洋学会春季大会, 2016年3月15日

川合美千代・長谷川美香・菊地隆: 北極海における炭酸カルシウム飽和度の季節変動. 日本海洋学会春季大会, 2016年3月15日

Onuka, M., H. Ueno, M. Itoh, T. Kikuchi, S. Nishino, E. Watanabe, T. Hirawake, M. Yamamoto-Kawai and K. Mizobata: Spatio-temporal variations of stratification and its factors in the Chukchi Sea, Ocean Sciences meeting, 2016年2月25日

Onuka, M., H. Ueno, M. Itoh, T. Kikuchi, T. Hirawake, S. Nishino, M. Yamamoto-Kawai and K. Mizobata: Spatio-temporal variations of stratification and its factors in the Chukchi Sea, The 6th Symposium on Polar Science, 2015年11月19日

Hasegawa, M., M. Yamamoto-Kawai and K. Mizobata: Seasonal variation in calcium carbonate saturation state in the upper layer of the Canada Basin, The 6th Symposium on Polar Science, 2015年11月17日

Carmack E., M. Yamamoto-Kawai, S. Bacon, B. Bluhm, T. Haine, C. Lique, H. Melling, I. Polyakov, F. Straneo M. L. Timmermans, W. Williams: Fresh water and its role in the Arctic Marine system: sources, delivery, disposition, storage, export, and physical and biogeochemical consequences in the Arctic and Global oceans, International Symposium on Arctic Research-IV, 2015年4月28日
西野茂人・川口悠介・猪上淳・川合美千代・青山道夫: 「みらい」北極航海(MR14-05)におけるカナダ海盆定点観測: 大気イベント及び渦通過に伴う海洋環境の変化, プルーアースシンポジウム 2015, 2015年3月20日
西野茂人・川口悠介・猪上淳・川合美千代・青山道夫: 定点観測で捉えたカナダ海盆での気象擾乱と海洋環境の変化, 日本海洋学会春季大会, 2015年3月22日

研究者番号:

〔図書〕(計 件)

〔産業財産権〕

○出願状況(計 0件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
出願年月日:
国内外の別:

○取得状況(計 0件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
取得年月日:
国内外の別:

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

川合 美千代 (Michiyo Kawai)
東京海洋大学・その他部局・准教授
研究者番号: 50601382

(2) 研究分担者

()

研究者番号:

(3) 連携研究者

()