

令和 5 年 6 月 21 日現在

機関番号：82706

研究種目：基盤研究(A)（一般）

研究期間：2018～2022

課題番号：18H04144

研究課題名（和文）西部北太平洋のマーチンカーブ-光学的手法による沈降粒子鉛直変化率の数値化-

研究課題名（英文）"Martin curve" in the western Pacific: Quantification of vertical change of settling particles by optical method

研究代表者

本多 牧生 (Honda, Makio)

国立研究開発法人海洋研究開発機構・地球環境部門(地球表層システム研究センター)・上席研究員(シニア)

研究者番号：20359160

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 34,600,000円

研究成果の概要（和文）：後方散乱（BS）計をセジメントトラップ（ST）係留系に搭載し、BSデータから推定された粒子状有機炭素（POC）とSTで得られたPOCを比較したところ、季節変動は一致したが、推定されたBS-POC濃度はST-POC濃度より高かった。一方、BGC-Argoフロートに搭載されたBS計データの解析を行い、POCフラックスの時系列変化・鉛直変化を推定し、STで観測されたPOCフラックスと比較した。その結果、やはりBSで算出したPOCフラックスはSTのPOCフラックスより低かった。このことはBSは、STが観測する大粒子POCではなく、小粒子POCを観測していることを示唆している。

研究成果の学術的意義や社会的意義

海洋の二酸化炭素（CO₂）吸収メカニズムの一つが、CO₂が沈降粒子有機炭素（POC）として海洋内部へ輸送される過程（生物炭素ポンプ：BCP）である。従来、BCP過程はセジメントトラップを海中に係留し沈降粒子を捕集し、化学分析をすることで観測研究されてきたが、係留系維持の経済的困難さゆえデータ数が時空間的に限定されている。そのような中、近年、海中粒子を光学的に観測する手法が普及してきた。世界中に投入されている漂流ブイ（BGC-Argoフロート）に搭載した後方散乱計等で海中粒子中のPOCを時空間的に高密度で測定できれば、BCP研究が飛躍的に推進するものと考えられ、本研究はその先駆的研究である。

研究成果の概要（英文）：In order to verify the magnitude of biological carbon pump quantitatively, marine particulate materials were optically observed. Backscatter (BS) meter was installed on the sediment trap (ST) mooring system at subarctic time-series station K2 and BS-based particulate organic carbon (POC) were compared with POC observed by ST. Although both seasonal variability were similar, estimated BS-based POC concentration were significantly larger than ST-based POC concentration. BS data from the biogeochemical drifting buoy with biogeochemical sensors (BGC-Argo float) deployed and drifted in the northwestern North Pacific subarctic gyre was also analyzed and BS-based POC flux was compared with ST-based POC flux. Estimated BS-based POC flux was also smaller than that observed by ST. As a result, BS data likely represents slow sinking and small POC while ST observes fast sinking and large POC.

研究分野：化学海洋学

キーワード：生物炭素ポンプ 沈降粒子 セジメントトラップ 光学的観測 鉛直変化率（マーチンカーブ） 小粒子

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

様式 C-19, F-19-1, Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

=生物ポンプ=

海洋は人類が放出する二酸化炭素 (CO₂) の約35%を吸収している。海洋が大気中で増加するCO₂を吸収するメカニズムには、海洋植物プランクトンの光合成を皮切りに、その多くは粒状態 (粒状有機炭素: POC) として沈降粒子により、海洋内部に鉛直輸送される“生物ポンプ”がある。生物ポンプのおかげで毎年人類が放出するCO₂の約5倍量が海洋内部に輸送されている。また生物ポンプというメカニズムがなければ、産業革命以前の大气中CO₂濃度は実際の2倍程度であったという試算結果がある。現在、地球環境変動に伴う海洋の温暖化、酸性化、低塩分化、貧酸素化などの複合的ストレス (マルチプルストレス) によりこの生物ポンプ能力、換言すれば海洋のCO₂吸収能力が将来的に変化することが懸念されている。

=鉛直変化率の経験式 (マーチンカーブ) =

通常、沈降粒子中POCは海底に向かって海中を重力沈降する際に化学的・生物学的・物理学的作用により減衰していく。より深くまでより多くのPOCが輸送されると、海洋での滞留時間 (大気からの隔離期間) が長くなるため、大气中CO₂濃度の低下に貢献することになる。従って“生物ポンプ”の効率を把握するためには、POCが鉛直輸送時、特にトワイライトゾーンと呼ばれる水深100m-1000m間を、どのように減衰していくか、すなわち鉛直変化率を定量化することが重要である。1980年代、鉛直変化率を示す経験式が数多く提案されたが、その中で米国のマーチン博士が提案した経験式 (以下マーチンカーブ) がその後、観測研究者、数値モデル研究者に頻繁に用いられるようになった。しかし、沈降粒子捕集装置 (セジメントトラップ) による深度別POC測定により、マーチンカーブが海域によって大きく異なることが指摘され、例えば珪藻が優占する西部北太平洋亜寒帯域のPOC鉛直変化率は小さい、換言すると同海域のPOC輸送効率が高い可能性が指摘されてきた。ただしセジメントトラップによる観測は、セジメントトラップ、特に水深1000m以浅に設置されたセジメントトラップの沈降粒子捕集効率が必ずしも100%ではないために、その海域に適用できる信頼できるマーチンカーブが提案されていないのが現状である。

2. 研究の目的

本研究では、従来のセジメントトラップによる観測ではなく、光学的手法を用いて西部北太平洋の亜寒帯、亜熱帯海域におけるマーチンカーブを提案する。西部北太平洋亜寒帯、亜熱帯海域にはそれぞれの海域の生物地球化学的特徴を時系列的に把握するために観測定点が設けられ (観測点K2およびKEO)、様々な計測機器がとりつけられた係留系が、海洋研究開発機構開発機構 (以下JAMSTEC)、および米国海洋大気庁太平洋海洋環境研究所 (以下NOAA-PMEL) により設置されている (亜寒帯: K2 ハイブリッド係留系、亜熱帯: KEO 表層ブイ係留系)。これらの係留系の複数層に後方散乱計を設置し、後方散乱強度の鉛直分布の時系列的变化を観測す

る。また両海域には2017年度から後方散乱計を搭載した自動昇降型漂流フロート（BGC-Argoフロート）も投入されているのでこれらの観測データの解析も併せて実施する。さらにK2, KE0に設置されている時系列式セジメントトラップによる捕集された沈降粒子の捕集量や化学組成の季節変動データ、および人工衛星で観測・推定される植物プランクトン量・基礎生産力・POC量の季節変動データを解析する。そしてそれぞれの観測データの時空間データが再現できるような数値モデルを構築することで、それぞれの海域の鉛直変化率を表す経験式（マーチンカーブ）を提案する。

3. 研究の方法

- (1) 係留系に搭載した後方散乱計による POC 濃度の推定
- (2) BGC-Argo フロートに搭載した後方散乱計による POC フラックスの推定
- (3) 後方散乱計により推定された POC フラックスとセジメントトラップで観測された POC フラックスの比較

4. 研究成果

(1) 後方散乱データから POC 濃度の推定

本研究で購入した後方散乱計もしくは BGC-Argo フロートに搭載された後方散乱計で測定された波長 700nm の後方散乱 (bbp(700)) と、bbp(700)測定時に採水・濾過して収集された海中粒子を元素分析し得られた POC 濃度を比較し、POC/bbp(700)比を算出した。その結果、後方散乱計によって、また海域によって、季節によってその関係は大きく変化する可能性が示唆された (図 1)。よって bbp(700) から POC を推定する際にはその点を考慮する必要があることが明らかになった。

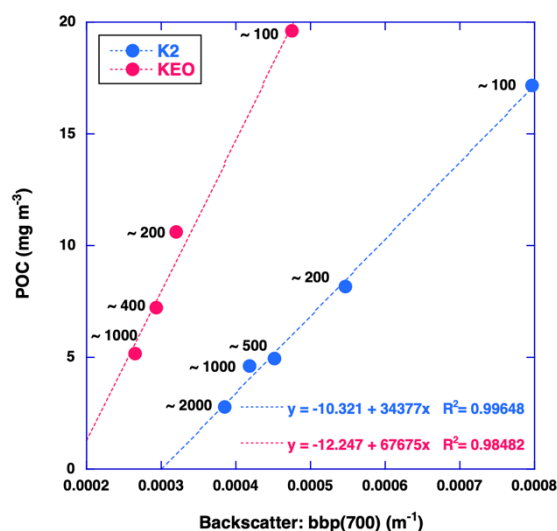


図 1 K2 と S1 で観測された POC / bbp(700)比

(2) 係留系に搭載した後方散乱計データで推定した POC 濃度とセジメントトラップで観測された POC 濃度の比較

2019年10月～2020年8月、亜熱帯観測定点 KE0 の表層ブイ係留系の水深 48m, 98m, および 248m に後方散乱計を搭載し、時系列的に bbp(700)を測定し、POC 濃度に換算した。その結果、平均 POC 濃度は深度とともに減少し、2019年10月に小さな POC 濃度の増加、2020年5月に大きな POC 濃度の増加が観測された (図 2)。これらの季節変動は同時に測定された植

物プランクトン色素 (Chl-a) の季節変動と一致した。さらに同海域で実施されているセジメントトラップ実験で観測された POC フラックスの季節変動とも概ね一致していた。ただし水深 248m の 5 月に観測された POC 濃度年最大値 (50 mg m^{-3}) は、同海域の浅い水深で推定される沈降粒子 POC 濃度 (POC フラックス/沈降速度: $100 \text{ mg m}^{-2} \text{ day}^{-1} / 10\text{-}50 \text{ m day}^{-1} = 2\text{-}10 \text{ mg m}^{-3}$) よりはるかに大きいものであった。このことは bbp(700) は、沈降粒子 POC ではなく、ゆっくりと沈降する小さい粒子 POC もしくは懸濁粒子 POC を測定している可能性を示唆するものであった。

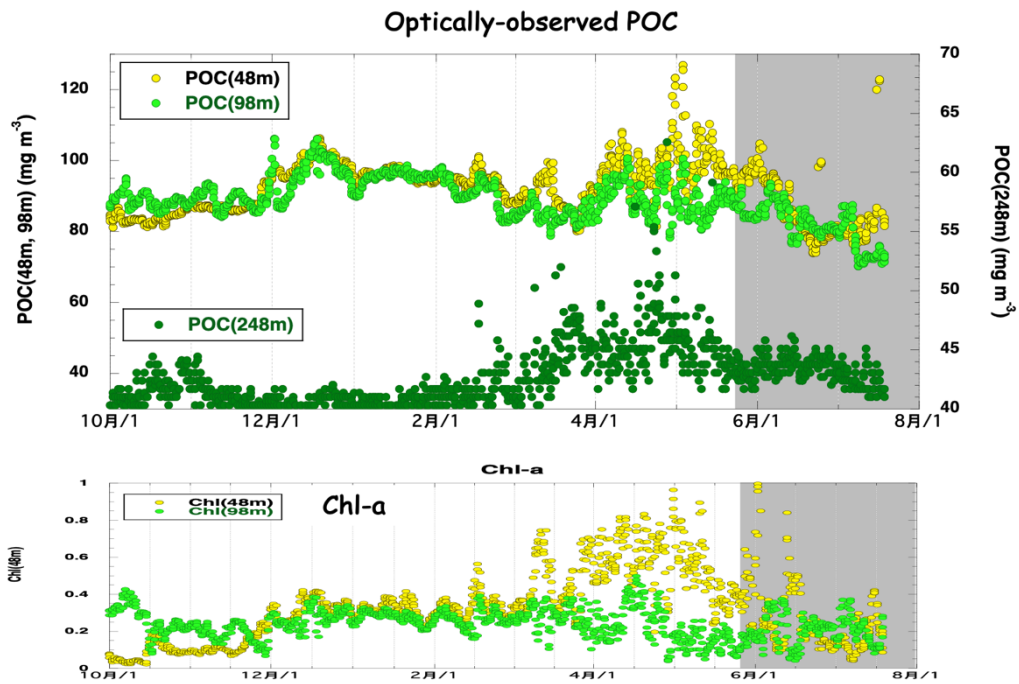


図2 KE0 表層ブイの(上)水深 49m, 98m, 248 m に搭載された後方散乱計で測定された bbp(700) から推定した POC 濃度と(下)水深 49m と 98m に搭載された蛍光光度計で測定された植物プランクトン色素 (chl-a) の季節変動

(3) 西部北太平洋 BGC-Argo フロートで観測された bbp(700) から推定した POC フラックス、マーチンカーブそしてセジメントトラップで観測された POC フラックとの比較

西部北太平洋亜寒帯観測定點K2に投入されたBGC-Argoフロートの複数年のbbp(700)データを解析し、POC鉛直分布の複数年にわたる時系列変化を再現した。K2に投入したBGC-Argoフロートは2年半にわたり西部北太平洋亜寒帯循環域に滞在していたため、観測値は西部北太平洋亜寒帯海域を代表するものであった。このデータの解析の結果、西部北太平洋亜寒帯域では春と夏の二回植物プランクトンの増加に伴いPOC濃度が増加すること、そしてPOC鉛直分布の年変動が二年間にわたってほぼ同様なものであることが明らかになった(図3)。ここで、経年変動が無いと仮定すると、このPOC鉛直分布から得られたある深

度区間の水柱のPOC積算値（インベントリー）の年変動は、同区間にもたらされるPOCフラックスに相当すると考えられた。そこで150mから900mの様々な深度におけるPOCフラックス（BS-POCフラックス）を計算した。その結果、BS-POCフラックスは、BGC-Argoフロート観測期間にK2のセジメントトラップ観測で得られたPOCフラックス、並びに過去に報告されたPOCフラックスよりはるかに小さいことがわかった。さらにPOCフラックスの鉛直変化率（マーチンカーブ指数）は、これまでK2で観測されているPOCフラックス鉛直変化率よりはるかに小さいものであった（図4）。これは測定されたbbp(700)は、セジメントトラップで観測される大粒子POCではなく、沈降速度の遅い小粒子を測定しているためと推定された。今後、後方散乱計で大粒子POCを観測するためにはBGC-Argoフロートの鉛直測定解像度をより密にし（数m—数十m間隔から1m間隔など）、大粒子POC由来と考えられるスパイク状のbbp(700)をより多く検出する必要があると考えられた。

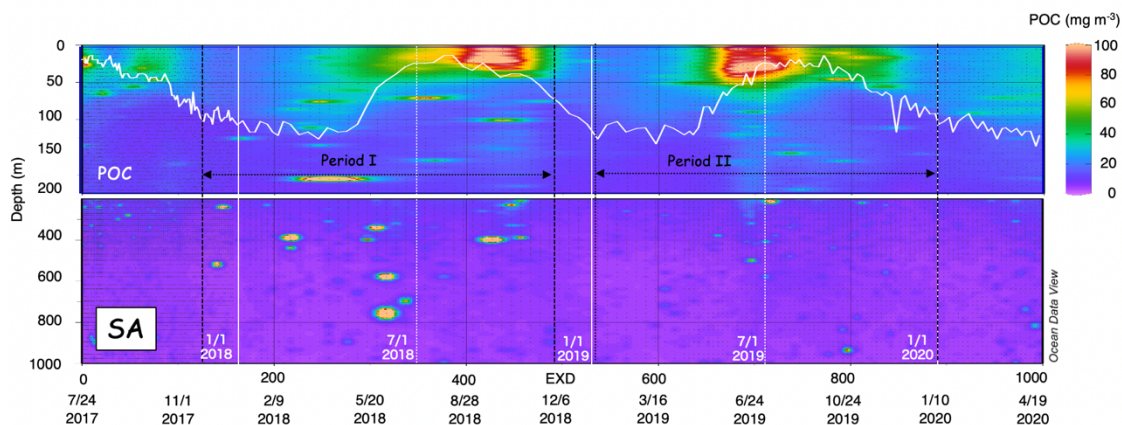


図3 bbp(700)から求めたPOC濃度鉛直分布の時系列変化

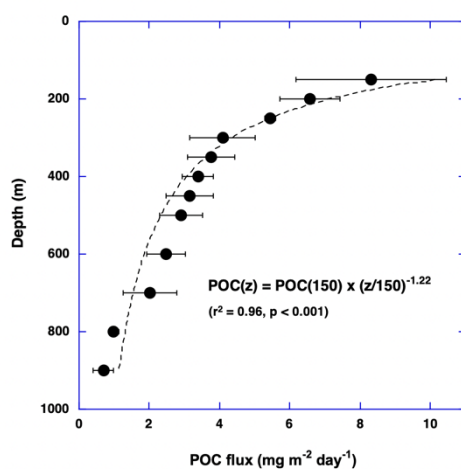


図4 POCフラックスの鉛直変化率（マーチンカーブ）

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Matsumoto, K., Y. Sasai, K. Sasaoka, E. Siswanto, M. C. Honda	4. 巻 126
2. 論文標題 The formation of subtropical phytoplankton blooms is dictated by water column stability during winter and spring in the oligotrophic northwestern North Pacific	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Geophysical Research: Oceans	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） 10.1029/2020JC016864	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 -

1. 著者名 Cael, B. B., L. Bisson, M. Conte, M. T. Duret, C. L. Follett, S. A. Henson, M. C. Honda, M. H. Iversen, D. M. Karl, R. S. Lampitt, C. B. Mouw, F Muller-Karger, C. A. Pebody, K. L. Smith Jr, and D Talmy	4. 巻 48
2. 論文標題 Open ocean particle flux variability from surface to seafloor	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Geophysical Research Letters	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） 10.1029/2021GL092895	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 -

1. 著者名 Siswanto, E., Y. Sasai, K. Matsumoto, M. C. Honda	4. 巻 14
2. 論文標題 Winter - Spring Phytoplankton Phenology Associated with the Kuroshio Extension Instability	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Remote Sensing	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） 10.3390/rs14051186	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4件（うち招待講演 1件/うち国際学会 3件）

1. 発表者名 本多牧生
2. 発表標題 Importance of biogenic opal in the biological pump
3. 学会等名 2019 Goldschmidt conference（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 本多牧生
2. 発表標題 Comparison of POC flux vertical attenuation between the subarctic and subtropical regions in the western North Pacific
3. 学会等名 2020 AGU Ocean Science Meeting (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 本多牧生
2. 発表標題 海中後方散乱データ解析による生物炭素ポンプ研究
3. 学会等名 2022 JPGU
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 本多牧生
2. 発表標題 Estimation of Particulate Organic Carbon Flux with BGC-Argo Backscatter data from the western North Pacific
3. 学会等名 the 7th Argo Science workshop (国際学会)
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>(本研究のホームページ) 西部北太平洋のマーチンカーブ = 光学的手法による沈降粒子鉛直変化率の数値化 = https://www.jamstec.go.jp/egcr/j/rr/martincurve/index.html</p>
--

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
研究分担者	笹井 義一 (Sasai Yoshikazu) (40419130)	国立研究開発法人海洋研究開発機構・地球環境部門(地球表層システム研究センター)・主任研究員 (82706)	
研究分担者	松本 和彦 (Matsumoto Kazuhiko) (50359155)	国立研究開発法人海洋研究開発機構・地球環境部門(地球表層システム研究センター)・准研究主任 (82706)	
研究分担者	E k o S i s w a n t o (Siswanto Eko) (90726762)	国立研究開発法人海洋研究開発機構・地球環境部門(地球表層システム研究センター)・副主任研究員 (82706)	
研究分担者	小栗 一将 (Oguri Kazumasa) (10359177)	国立研究開発法人海洋研究開発機構・地球環境部門(海洋生物環境影響研究センター)・招聘主任研究員 (82706)	

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