

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 5 月 30 日現在

機関番号：16201

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2013

課題番号：24780187

研究課題名(和文)植物プランクトンの消長に伴う浅海域の光環境変化と底生微細藻類の応答

研究課題名(英文)Effect of phytoplankton on temporal changes in light attenuation and photosynthetic activity of microphytobenthos in a shallow coastal area

研究代表者

山口 一岩 (YAMAGUCHI, HITOMI)

香川大学・農学部・准教授

研究者番号：50464368

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円、(間接経費) 1,050,000円

研究成果の概要(和文)：瀬戸内海の播磨灘周辺域では、植物プランクトンの増減が海水の光透過性の経時変動を支配する第一義的因子になっていることが分かった。脱富栄養化に関連して同海域では今後、「植物プランクトンの減少による海底光環境の好転」が、最大3割程度の光減衰係数の低下を伴って起きる可能性が考えられた。

海底面に生息する底生微細藻類群集の光合成-光曲線を四季にわたり調べたところ、光合成の光飽和の目安光量が、概ね日中の現場海底到達光量に匹敵していることが分かった。将来的に海底光環境の好転が継続的に起きると、それに順応した、より強光嗜好型の底生微細藻類群集が海底面で優占する可能性が高い。

研究成果の概要(英文)： This study revealed that temporal variation of light attenuation in Harima Nada, the eastern Seto Inland Sea, is regulated principally by phytoplankton biomass. Judging from the relative contribution of light attenuation by phytoplankton to total light attenuation, the light attenuation coefficient in this area is estimated to be decrease up to 30% in relation to the progression of de-eutrophication.

We also examined the photosynthetic characteristics of subtidal benthic microalgal populations in the study area. The results indicated that the irradiance intensities of onset of light saturation of microphytobenthos were lower than those of the overlying phytoplankton, and the observed values were almost equivalent to the irradiance intensities of the seafloor. It is therefore suggested that the microphytobenthic populations in the subtidal area would be able to acclimate in response to changes in light environments of the seafloor.

研究分野：農学

科研費の分科・細目：水産学・水産学一般

キーワード：浅海域 光透過性 植物プランクトン 底生微細藻類 瀬戸内海

1. 研究開始当初の背景

近年、栄養度の異なる 27 湖沼域のリン濃度、植物プランクトン生産、底生植物生産のデータが Vadeboncoeur et al. (2003) によって統合的に解析された。彼らによると、水柱の植物プランクトン生産の規模は、湖水中のリン濃度の増加と共に増す傾向がある。一方の底生植物生産は、植物プランクトン生産の増大が海底到達光の遮蔽に結びつくため、植物プランクトン生産とは対照的に減少する傾向がある。この先行知見は、湖沼や沿岸等の浅い水域における富栄養化・貧栄養化現象の本質が、生産量の変化というよりも、生産に携わる「植物種の置換」にあることを示唆している。

先進諸国に位置する多くの沿岸域では、一時の深刻な富栄養状態からの脱却に伴い、植物プランクトンの現存量や生産量に低下傾向が認められがちである。単位面積あたりの漁獲量が、世界最高レベルにある我が国を代表する閉鎖性海域・瀬戸内海においても、この状況は例外ではない。Vadeboncoeur et al. (2003) の知見を踏まえると、瀬戸内海を含む多くの先進諸国沿岸域では今後、植物プランクトン生産の減少が海底到達光の増加をもたらすと予測できる。また、それに伴って、底生植物生産の増加が起きる可能性が考えられる。

ここで問題となるのは、上記の筋書きが実際に対象とする海域で、どの程度の規模で起き得るのか、である (=インパクト)。これには海域ごとの程度差があるはずであり、その差は基本的に以下の二点に依存すると考えられる。第一に、植物プランクトン生物量の消長によって海水の濁り具合、ひいては海底に届く光量がどの程度変化するか? である。第二に、実際に起きる光量の増減を受けて、“底生植物群集”の生産力がどの程度の変化を示すのか? である。内湾や内海を最小単位と捉える場合、とりわけ重要な底生植物は、一見不毛な砂泥域の広範囲に生息する底生性の微細藻類である。従って、彼らが示す生産力の変化がその解を導く鍵となる。

申請者は、沿岸生態系の構成要素としての底生微細藻類の動向に着目した現場研究に精力を傾けてきた (e.g. Yamaguchi et al. 2007)。その過程で、瀬戸内海域における先の筋書きの妥当性と、そのインパクト(重大性)を追求してきた。ただし、インパクトの定量的な評価と、それに基づく瀬戸内海海域環境の将来予測には至れていないというのが、本課題の申請時点における実状であった。

2. 研究の目的

以上の経緯から、本申請では瀬戸内海を具体的な対象海域に据え、「植物プランクトンの消長に伴う浅海域の光環境変化と底生微細藻類の応答」を定量的に捉えることを試みた。そして、具体的には以下に示す 2 つの目

的を設定した。

(1) 海水の光透過性の変動機構の解明
瀬戸内海内に設定したモデル海域で、周年にわたり水柱の光透過性と各種“濁り”成分の変動を調べる。そして、光透過性の変動機構を解明すると共に、それに及ぼす植物プランクトンの影響力を定量的に評価する。

(2) 底生微細藻類の光合成-光曲線の描写
定点の海底から、堆積物と選り分けて、底生微細藻類を高純度で捕集する方法をまず確立させる。

次いで、捕集した底生微細藻類の光合成-光曲線(PI 曲線)を四季にわたり解明し、光環境変化が砂泥域の底生植物群の生産力に与える影響をポテンシャルとして評価する。

3. 研究の方法

(1) 海水の光透過性の変動機構の解明

播磨灘沖合と浅海域に定点を設け、2年(沖合域)または3年間(浅海域)、毎月観測を行った。定点では水中の光合成有効放射照度(PAR)を鉛直的に計測し、有光層における平均 PAR 減衰係数(K_d)を求めた。また、鉛直 4-5 層で採水し、光減衰に関わる各種成分[懸濁固形物(SS), Chlorophyll a (Chl-a), トリプトン(デトリタス+鉱物粒子濃度; TRI)濃度と、有色溶存有機物の波長 440nm における吸光係数($CDOM_{440}$)]を測定した。

K_d は、各種成分に由来する PAR 減衰係数の和だと見なせる:

$$K_d = K_w + K_{CDOM} + K_{PHY} + K_{TRI}$$

ここで K_w , K_{CDOM} , K_{PHY} , K_{TRI} は各々海水自身, $CDOM$, Chl-a (植物プランクトン) と TRI (非生物粒子) による PAR 減衰係数であり, $K_{PHY} + K_{TRI}$ は SS 由来の PAR 減衰係数 (K_{SS}) に等しい。本申請では以上の考えに則り, K_d の変動に及ぼす各種成分の影響を解析した。

(2) 底生微細藻類の PI 曲線の描写

堆積物には、底生微細藻類の生細胞由来以外の Chl-a も含まれる。従ってその単位 Chl-a 当たりの光合成活性を正確に知るには、底生微細藻類を堆積物から選り分ける必要がある。底生微細藻類の常套的な選別捕集手段の一つに、堆積物に光を照射して光に集まる底生微細藻類を集める、走光性の利用がある (Couch 1989)。本申請では必要量と高純度の試料確保のため、走光性による底生微細藻類捕集法の詳細をまず検討した。

捕集した底生微細藻類を、堆積物間隙水と海底直上水を等量混合した栄養塩濃度となるよう調整した濾過海水に懸濁させた。この底生微細藻類入り懸濁水を分注し、7 段階の PAR 条件で、 ^{13}C 法 (Hama et al. 1983) を用いて培養した。各 PAR 条件で得られた光合成活性 [$mgC (mgChl-a)^{-1} h^{-1}$] を Steele (1962)

の式に近似させ、底生微細藻類の PI 曲線を求めた。またこれに加えて、底生微細藻類との比較を目的として、直上水柱の植物プランクトンの光合成活性も併せて測定した。PI 曲線の描写は、四季（2012 年 12 月、2013 年 3 月、7 月、10 月）にわたって実施した。

4. 研究成果

(1) 海水の光透過性の変動機構の解明

沖合定点と浅海定点における K_d は、観測期間中の平均として各々 0.238 m^{-1} ($n=24$)、 0.428 m^{-1} ($n=36$) であった。これは、計算上の有光層深度（海表面直下に届く光量の 1% に当たる光量が到達する水深と定義する）がそれぞれ 19.4 m、10.8 m となることを意味する値である。瀬戸内海の有光層深度は平均 20 m 前後であるとされており、本観測から得られた沖合定点の光透過性は、概ね瀬戸内海の平均像を表すものだと判断された。また、浅海定点における結果は、浅海域の光透過性は一般に沖合より低いという瀬戸内海の実況を的確に捉えられていた。

K_d は、各種成分に由来する PAR 減衰係数の和だとみることが出来る。そこで、二つの観測地点における、 K_d の構成内訳を解析した。その結果、沖合、浅海定点の区別なく、瀬戸内海域で水柱の光の減衰を引き起こす主成分は、懸濁粒子 (K_{SS}) であることが判明した。さらに、特に非生物粒子であるトリプトン (K_{TRI}) の寄与がとりわけ大きいことも分かった。 K_d に占める K_{TRI} の割合は、観測期間全体の平均として、沖合定点で約 5 割、浅海定点では 6 割に達するものと見積もられた。

K_d に対する植物プランクトン生細胞由来の PAR 減衰 (K_{PHY}) の寄与は、観測期間中の平均として、沖合定点で 3 割、浅海定点で 2 割程度に留まっていた。しかしその一方で、観測期間中の K_d の経時変動は、沖合定点では、主に Chl-a (植物プランクトン生物量) の変動に依っていた。また重回帰分析に基づく限り、トリプトン濃度が比較的高かった浅海定点においても、 K_d の変動に対する Chl-a の寄与率 (影響度) は、トリプトンとほぼ同等だと判断された。つまり、 K_d の構成成分としての植物プランクトンの寄与はトリプトンに劣る反面、植物プランクトンは瀬戸内海の K_d の経時変化を起こす第一義的因子であることが解明された。

浅海定点における 3 年間のデータセットから、同定点における K_d の経時変化は、季節によらない突発的な変化と、季節周期的変化に分けられることが判った。前者は主にトリプトン濃度、後者は Chl-a 濃度の変化に起因すると判断された。特に季節周期的変化に着目すると、 K_d は秋季に Chl-a 濃度の上昇に伴って高水準値を示す傾向があった。

以上の成果を総合的に鑑みると、以下のことが言えそうである。まず瀬戸内海では、 K_d の経時変化が主に Chl-a の変化によることから、「水柱植物プランクトンの減少に伴う海

底光環境の好転」という現象が実際に十分に起き得る。また、 K_d に占める K_{PHY} の構成割合から判断して、植物プランクトンの減少は周年平均値として最大 3 割程度（浅海域では 2 割程度）の K_d 値の減少（光透過性の増大）をもたらすと試算できる。さらに季節の違いに着目すると、植物プランクトン生物量が高い、秋季に光透過性の増大が特に顕在化して起きる可能性が高い。

(2) 底生微細藻類の PI 曲線の描写

堆積物からの底生微細藻類捕集法

浅海定点の海底から採取した堆積物の上に、光学顕微鏡用レンズティッシュを敷き、その上部を濾過海水で満たした。次いで、堆積物の中央粒径に近い微小ビーズを投入し、レンズティッシュ上にビーズを敷き詰めた。その後、ビーズ上部から約 $100 \mu\text{E m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ の光を半日間照射し、底生微細藻類を堆積物からビーズへ移動させた。ビーズへ移動した底生微細藻類は、ビーズと共に回収し、濾過海水に懸濁させた。この海水試料についてデカンテーションを繰り返し行い、混在するガラスビーズと微量堆積物を海水中から極力排除することで、高純度で底生微細藻類を含む濾過海水溶液を調整した。

この濾過海水が示す懸濁態有機炭素と Chl-a 濃度を測定し、その比 ($C/\text{Chl-a}$) を求めたところ、200 前後の値を示した。この値は、現場表層堆積物が示す $C/\text{Chl-a}$ よりも一桁水準低い一方、浅海定点の表層水が示す $C/\text{Chl-a}$ に概ね匹敵していた。以上の事実から、堆積物からの高純度底生微細藻類捕集方法が、一応の確立をみたと判断した。

PI 曲線の特徴

上記で考案した方法に則って、浅海定点の表層から底生微細藻類を捕集し、四季にわたって PI 曲線を描写した。底生微細藻類の PI 曲線から導かれた最大光合成速度 [P_m^B ; $0.60\text{-}3.14 \text{ mgC (mgChl-a)}^{-1} \text{ h}^{-1}$] と光飽和点の目安値 (I_k ; $74\text{-}176 \mu\text{E m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) は、同時期における直上水柱の植物プランクトンの P_m^B 、 I_k よりも常に低い値を示していた。また、 $325 \mu\text{E m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ 以上の光条件下では、四季にわたって強光阻害による光合成活性の顕著な低下が認められた。以上の事実から、浅海底に生息する底生微細藻類群集は、直上水柱の植物プランクトンに比して弱光向きの光合成特性を備えていたことが確認された。

PI 曲線の初期立ち上がり勾配 (β) に着目すると、秋季と冬季は植物プランクトンに比して低い値を示したが、春季と夏季には植物プランクトンとほぼ同等の値を示していた。つまり、後者の時期に関して言えば、弱光条件下では、底生微細藻類は植物プランクトンと同等の光合成能力を有していることが分かった。

今回得られた底生微細藻類群集の I_k は、Pinckney & Zingmark (1993) や Blanchard &

Cariou-Le Gall (1994)が干潟域から報告した底生微細藻類群集の I_K ($258-834 \mu E m^{-2} s^{-1}$) に比して顕著に低い水準にあった。その一方で今回得た I_K は、 K_d の観測値と気象庁発表の全天日射から試算した、浅海定点(平均水深 6 m)の海底に日中(12-13時)到達する光量(周年平均 $181 \pm 88 \mu E m^{-2} s^{-1}$)に概ね一致していた。この事実は、今回得られた浅海定点の海底面に生息する底生微細藻類群集の PI 曲線が、現場光環境への順応の産物であることを示唆する結果だと受け取れる。つまり、将来的に海底光環境の好転が継続的に起きると、それに適応した、より強光嗜好型の底生微細藻類群集が海底において優占する可能性が本研究から示された。今回は光環境変化に伴う生産速度変化の定量評価には至らなかったものの、以上の解析結果から、「光環境変化に対する底生微細藻類の応答」の一端を捉えることができた。

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1件)

Hitomi Yamaguchi, Ryo Katahira, Kazuhiko Ichimi, Kuninao Tada (2013): Optically active components and light attenuation in an offshore station of Harima Sound, eastern Seto Inland Sea, Japan. *Hydrobiologia*, 714, 49-59. DOI: 10.1007/s10750-013-1520-y. (査読有)

[学会発表](計5件)

山口一岩, 片平諒, 田村昂広, 一見和彦, 多田邦尚: 浅海域に設けた定点における海水の濁りと光透過性の経時変化, 2012年度日本海洋学会秋季大会. 2012年9月14日, 静岡.

Hitomi Yamaguchi, Ryo Katahira, Kazuhiko Ichimi, Kuninao Tada: Optically active components and light attenuation in an offshore station of Harima Sound, eastern Seto Inland Sea, Japan. 2013 ASLO (Association for the Sciences of Limnology and Oceanography) Aquatic Sciences Meeting, 21 February 2013, New Orleans, USA.

山口一岩, 三浦友浩, 一見和彦, 多田邦尚: 潮下帯泥底に生息する底生微細藻類群集の捕集法の検討ならびに光合成能の評価, 平成25年度日本水産学会春季大会. 2013年3月27日, 東京.

白石真大, 一見和彦, 多田邦尚, 山口一岩: 志度湾における植物プランクトンの生物量, 光合成-光曲線, 生産量の季節変動, 平成25年度日本水産学会春季大会. 2013年3月28日, 東京.

Hitomi Yamaguchi, Takahiro Tamura, Ryo Katahira, Kazuhiko Ichimi, Kuninao Tada: Factors affecting temporal variation of light attenuation in a shallow embayment in the eastern Seto Inland Sea, Japan. AOGS (Asia Oceania Geosciences Society) 10th Annual Meeting, 28 June 2013, Brisbane, Australia.

[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

山口一岩 (YAMAGUCHI HITOMI)

香川大学・農学部・准教授

研究者番号: 50464368