

高濁度感潮域における植物プランクトンの変動特性 －夏期の筑後川感潮域を対象として－

Temporal Variation of Phytoplankton in the Highly Turbid Chikugogawa Estuary

横山勝英¹・野間口芳希²・山本浩一³・岡村和磨⁴・児玉真史⁵

Katsuhide YOKOYAMA, Yoshiki NOMAGUCHI, Kouichi YAMAMOTO
Kazumaro OKAMURA and Masashi KODAMA

Temporal variation of phytoplankton in the Chikugogawa estuary was observed for two weeks in the summer of 2009. The concentration of chlorophyll a in surface water was the highest two days after the neap tide, and that of pheophytin was the lowest during this time. The level of concentration of pheophytin increased gradually when the high tidal velocities produced strong vertical mixing. A strong correlation existed between pheophytin a and the suspended sediment concentration. Therefore, it is inferred that phytoplankton grows at the surface during the neap tide and that they settle to the bottom of the estuary to form detritus as the light penetration of the water column is reduced by the suspended sediment. It is suggested that detritus is resuspended with fine sediment owing to strong mixing during spring tide.

1. はじめに

有明海奥部では、高濁度域の粒状有機物が二枚貝や動物プランクトンの餌資源となって生態系を支える重要な役割を担っていると考えられている(代田, 1981)。鈴木ら(2007)は筑後川感潮域から有明海奥部にかけて高頻度の観測を行い、海域における高濃度粒状有機物は河川と河口域の植物プランクトンまたは陸上植物を起源とし、海域の植物プランクトンの影響が小さいとしている。

また、田中ら(2004)はクロロフィル蛍光強度が筑後川河口域において大潮干潮時に増大し、濁度と対応した短期的増減を示すとしている。以上より、筑後川感潮域から植物プランクトンおよびそのデトリタスが海域に流出し、海域の水質や濁度に影響を与えていると推測され、感潮域での植物プランクトン動態を解明することは重要な課題である。

感潮域における植物プランクトンの挙動には半日周期と半月周期の潮汐が影響し、さらに海域－汽水域－淡水域の塩分勾配や塩水遡上による移流も影響すると考えられ、時空間的な変動特性を把握するのは容易でない。岡田・中山(2002)は荒川河口域において、鈴木ら(2007)は筑後川河口域において、Kasaiら(2010)は由良川河口域において植物プランクトンの広域分布状況について検討しているが、数日おきの調査となっており時間的な分

解能は低く、さらなる知見の蓄積が必要と考えられる。

さらに、筑後川感潮河道では大潮時に表層でもSS濃度が2,000mg/lを超えて(横山ら, 2008)光条件が極端に悪くなるが、高濁度感潮域における植物プランクトンの存在状況については鈴木ら(2007)が扱っている程度であり、時空間的な変動特性に関する研究は少ない。

そこで本研究では、夏期の筑後川感潮域を対象としてクロロフィル、フェオフィチン、濁度、塩分などに関する2週間の連続モニタリングと小潮・大潮時の12時間連続調査を実施し、感潮河道におけるクロロフィルとフェオフィチンの変動特性について検討した。

2. 観測・分析方法

(1) 観測場所

研究対象地は図-1に示す筑後川の河口から14kmの地点である。感潮域は筑後大堰までの約23kmであり、海水は基本的に強混合型で遡上し、日常的な遡上範囲は17.4km地点の床固めまでである。高濁度水塊は5～16kmの範囲で発生し、14km付近で最大濃度を示す(横山ら, 2008)。

(2) 観測・分析方法

現地観測は定点モニタリングと集中観測を実施した。定点モニタリングとして、2009年8月29日から9月12日の期間にクロロフィル濁度計(JFEアレック, Compact CLW)をブイに横向きに取り付けて、水面下10 cmの様子を計測するように河道の中央部に係留した。

小潮と大潮の時には集中観測を行い、作業船に多項目水質計(JFEアレック, AAQ-1183)を搭載して、塩分・濁度・クロロフィル蛍光値の鉛直分布を一潮汐にわたっ

1 正会員 博(工) 首都大学東京 准教授
2 学生会員 首都大学東京大学院 都市基盤環境学域
3 正会員 博(工) 山口大学 准教授
4 非会員 修(工) 西海区水産研究所 主任研究員
5 正会員 博(工) 中央水産研究所 研究員

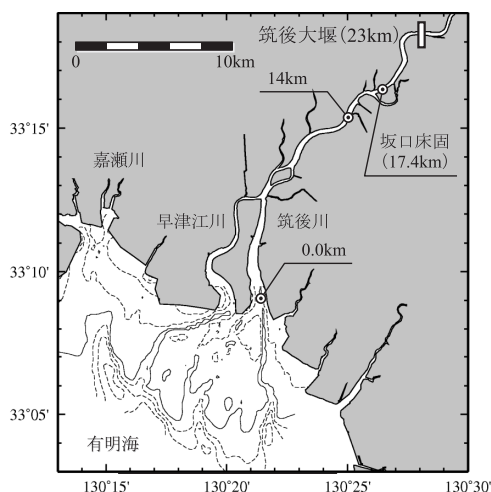


図-1 筑後川の平面図と観測領域

て計測した。小潮観測は8月30日の9時から19時まで20分間隔で実施し、大潮観測は9月7日の7時から19時まで30分間隔で実施した。

このとき表層と底層の水を採取して、200 μ mのメッシュで濾過してからポリ瓶に保存した。その後、サンプルを適宜陸揚げして現場付近の施設で3時間以内にGF/Fフィルターでろ過し、DMF溶液に浸してから冷凍保存した。それを実験室に持ち帰り、クロロフィルa濃度 (Chl) とフェオフィチン濃度 (Pheo) を蛍光光度法により計測した。SS濃度も別途分析した。

(3) 観測期間の潮汐、河川流量と気象

図-2に観測期間の潮汐、河川流量（筑後大堰放流量）、気温、日照時間（気象庁アメダス久留米地点）を示す。潮汐は14.6km地点の値である。潮位差は8月30日に最小で2.3m、9月7日に最大で4.8mである。河川流量は9月12日を除けば32～59m³/sであり低水流量（42m³/s）程度であった。気温は23度～34度、日中の日照時間は概ね1時間あたり1時間であり（すなわち100%）、快晴の暑い日が継続していた。このように、河川流量、気温、日射は期間中の変化が少なく、安定した条件のもとで観測は実施された。

3. 植物プランクトン色素量の推定

感潮河道における植物プランクトンやSSの時空間分布特性を把握するには多項目水質計や自記式計器の出力値を各濃度値に変換する必要がある。そこで、現場計測器のChl蛍光値、濁度値と、採水分析により得られたChl濃度、Pheo濃度、SS濃度の相関を調べた。なお、本研究で用いている多項目水質計と自記式クロロフィル濁度計の光学センサーは同じメーカー・仕様であるため、反応性も同じと考えてよい。

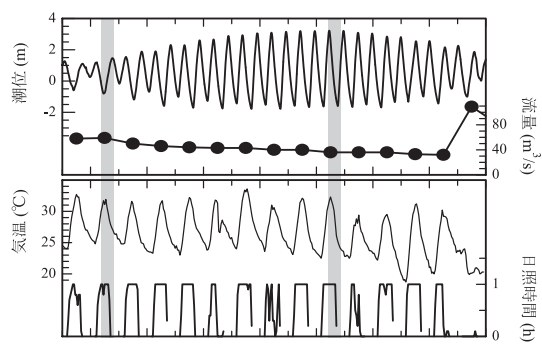


図-2 観測期間の潮汐・河川流量と気象

(1) クロロフィル蛍光値と分析値

図-3(a)にChl濃度の計器出力値と分析値の相関を示す。図中のプロットは潮汐（大潮・小潮）、水深（表層・底層）の区分になっている。これより、大潮14kmの底層のデータ（●）が他のグループと異なる傾向を示しており、Chl蛍光値をChl濃度に一括変換することは不可能と言える。後述するが、大潮の14km底層ではSS濃度が著しく高いため、植物プランクトンの活性度や内容が他のグループと異なる可能性があることを示している。

(2) クロロフィル蛍光値とフェオフィチン分析値

図-3(b)にChl蛍光値とPheo分析値の相関を示す。グループごとには相関が見られるものの全体としてはばらばらであり、計器出力値から全期間・全水深のPheo濃度を推定するのは困難である。

(3) クロロフィル蛍光値と植物プランクトン色素量

Chl分析値とPheo分析値の合計を植物プランクトン色素量と考えて、計器出力値との相関を調べた（図-3(c)）。その結果、概ね1本の相関式で表されることが分かった。

現場型クロロフィル蛍光センサーは、一般に特定の水域・季節であれば、Chl濃度やPheo濃度と相関が高いことが知られているが、植物プランクトン組成や活性、デトリタスの多寡などが絶えず変化する高濁度感潮域では高い相関が得られなかった（図-3(a), (b)）。一方、植物プランクトン色素濃度（Chl濃度とPheo濃度の合計）と計測器出力値との間には高い相関が見られたことから（図-3(c)）、本研究ではChl蛍光値を植物プランクトン色素濃度に換算し、以下の解析に用いた。

(4) 濁度とSS濃度

濁度とSS濃度の相関図（図-4(a)）によれば、濁度はSS濃度と良好に対応していることから、現場計器の濁度出力値を懸濁土砂濃度（SS）に換算して用いた。

(5) 濁度とフェオフィチン濃度

先に植物プランクトン色素量は推定できることを示したが、本研究ではその内訳（生体・デトリタス）を知る

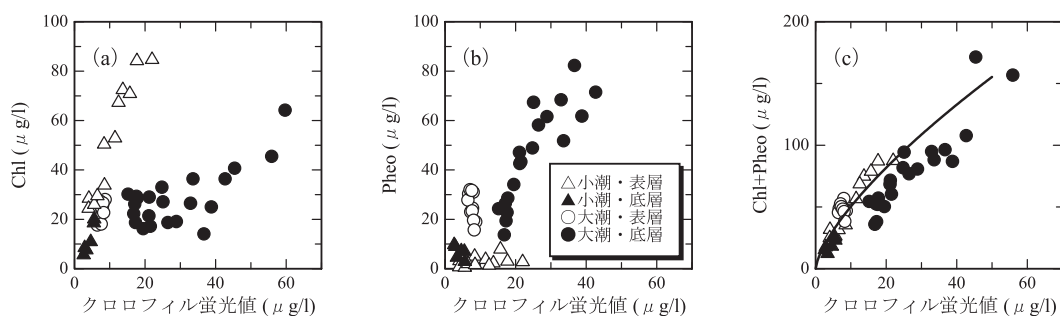


図-3 Chl蛍光値と各分析値の相関 (凡例は全て共通)

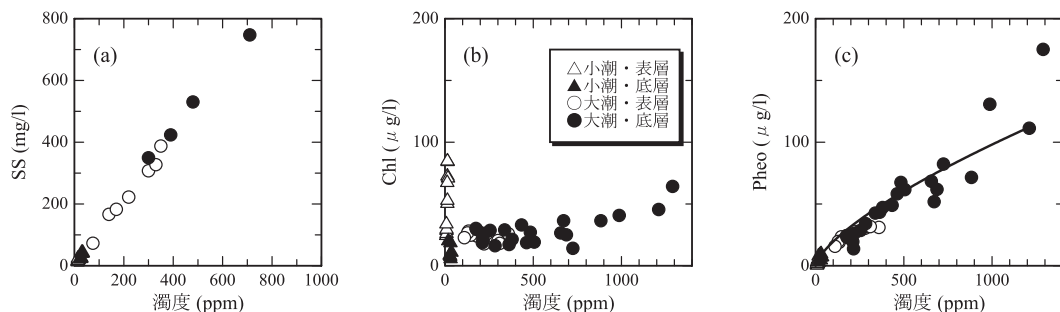


図-4 濁度と各分析値の相関 (凡例は全て共通)

必要がある。そこで、濁度とPheo濃度の相関を調べたところ図-4(c)が得られ、両者には良い相関が見られた。

本来、濁度は土砂粒子に反応するものであり、植物プランクトンとは関係がない。実際、図-4(b)のように濁度とChl濃度の間には相関が全くない。それにもかかわらず、Pheo濃度に関しては濁度との相関が見られたことは、デトリタスが土砂と結合して、もしくは土砂との混合状態で浮上・懸濁している可能性を示唆している。すなわち、濁度はPheo濃度を直接捉えているのではなく土砂濃度を計測しているものの、土砂とデトリタスが一定の割合で混合しているために間接的にPheo濃度を表していると考えられる。

以上より、本研究では濁度をPheo濃度に換算して用いることとした。また、Chl濃度は統一的に推定することができなかったため、植物プランクトン色素濃度からPheo濃度を差し引いて求めることとした。

4. 半日周期の変動特性

(1) 小潮での塩分・SS・植物プランクトンの状況

図-5に小潮時(8月30日)の塩分、SS、植物プランクトン色素濃度のコンター図を示す。多項目水質計の濁度、Chl蛍光値をそれぞれSSと植物プランクトン色素濃度に変換している。塩分は表層で1psu程度ではほぼ淡水であり、水深2m付近に境界面があって、下層は約20psuの塩水であり、弱混合型の塩分分布となっている。淡水層の厚さ

は時間的に変動が少ないが、塩水層は感潮から満潮に向かって厚さが増している。

SS濃度は約20mg/lで一様であり、時間・水深方向の変動は少ない。植物プランクトン色素濃度は表層(塩分が5psuのラインより上)で高く、上げ潮から満潮にかけて濃度が3倍に増大し、満潮時には80μg/lを超えている。

図-6に表層採水のChl濃度、Pheo濃度の分析値を示す。植物プランクトンのほぼ全てがChlであり、表層塩分が1~4psuの範囲でも濃度が上昇していることから、光条件の良い表層で生体が増殖したものと推測される。ただし、上流淡水域から流下してきたものが集積している可能性もあり、今後の検討が必要である。

(2) 大潮での塩分・SS・植物プランクトンの状況

図-7に大潮時(9月7日)の塩分、SS、植物プランクトン色素濃度のコンター図を示す。塩分は鉛直方向に一様で、干潮時に0.5psu、満潮時に2.5psuとなっており、強混合型であった。小潮から混合型が急変しており、興味深い調査結果が得られた。

SS濃度は満潮と干潮では100mg/l程度であるが、上げ潮と下げ潮では底層において800mg/lを超えている。植物プランクトン色素濃度はSSと同様の傾向を示しており、干潮の表層では50μg/lを下回り、上げ潮と下げ潮の底層では90μg/lを超えている。すなわち、小潮とは異なって、光条件に対応した植物プランクトンの増殖はみられない。

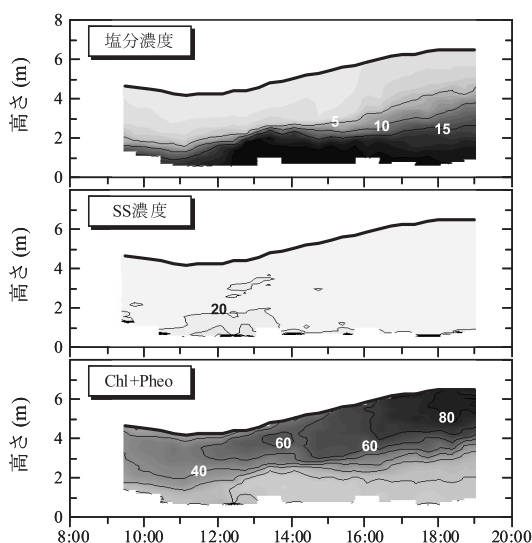


図-5 塩分, SS, 植物プランクトン色素濃度 (小潮: 8月30日)

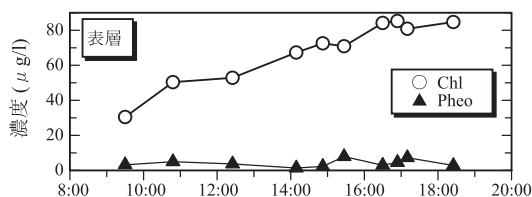


図-6 ChlとPheoの分析値時系列 (小潮: 8月30日)

図-8は表層と底層のChl濃度, Pheo濃度の分析値である。表層ではChl濃度とPheo濃度がほぼ同程度であり, 底層ではPheo濃度が顕著に高い。したがって, 大潮ではデトリタスが微細土砂と共に浮上・沈降を繰り返していると考えられる。なお, Chl濃度も20~60 $\mu\text{g/l}$ と比較的高いが, 光がほとんど透過しない高濁度条件下で植物プランクトンが増殖しているのか不明である。

5.2 週間の変動特性

表層の植物プランクトン変動状況と潮汐, 塩分, 流速の2週間の時系列を図-9に示す。またChlとPheoの存在比(Chl/Pheo)も示している。底層塩分は当初, 20psu程度と高かったが, 9月3日頃には低くなっており, 弱混合型から強混合型への推移したことがうかがえる。

小潮期には植物プランクトン色素濃度が非常に高く100 $\mu\text{g/l}$ 程度であるが, 内訳はほとんどChl(生体)であって, Pheo(デトリタス)は少ない。両者の存在比を見ると, 生体がデトリタスの30倍となっている。その後, 9月5日付近からPheo濃度が上昇し, Chlが減少傾向にある。9月9日には存在比が最も小さくなり, Pheoの割合が相対的に高まった。そして, 9月11日頃から存在比が

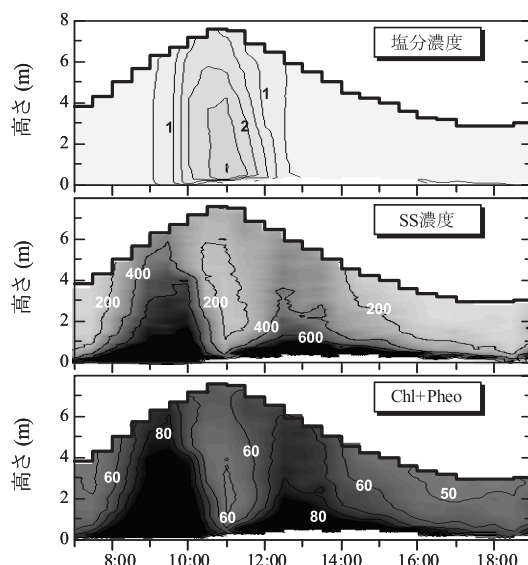


図-7 塩分, SS, 植物プランクトン色素濃度 (大潮: 9月7日)

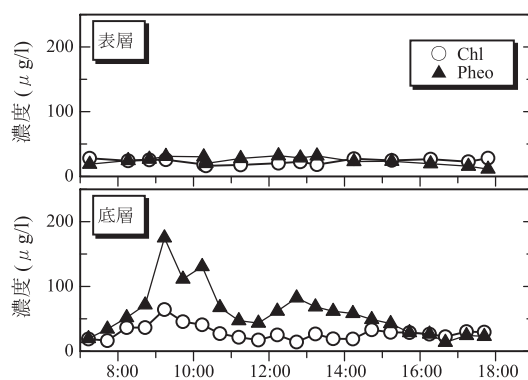


図-8 ChlとPheoの分析値時系列 (大潮: 9月7日)

再上昇しはじめている。つまり半月周期の変動が繰り返えされている可能性が考えられる。

存在比の傾向を考察するために, 表層流速との交差相関を調べた(図-10)。流速については, 時間移動平均をとった場合の比較を示している。流速と存在比のタイムラグは概ね2日であり, 流速の12時間移動平均値との相関が最も高かった。つまり, 小潮から2日遅れて存在比が最大となり, 大潮から2日遅れて存在比が最小となっており, 植物プランクトンの活性は一潮汐の平均的な流れ・乱れの影響を受けつつ, 数日程度で増殖・減少していることが示唆された。

6. まとめ

極めて高濁度になる筑後川の感潮河道において夏期の植物プランクトンの時系列変化について調べた。水質計のChl蛍光値とChl分析値の相関は悪く, 植物プランクト

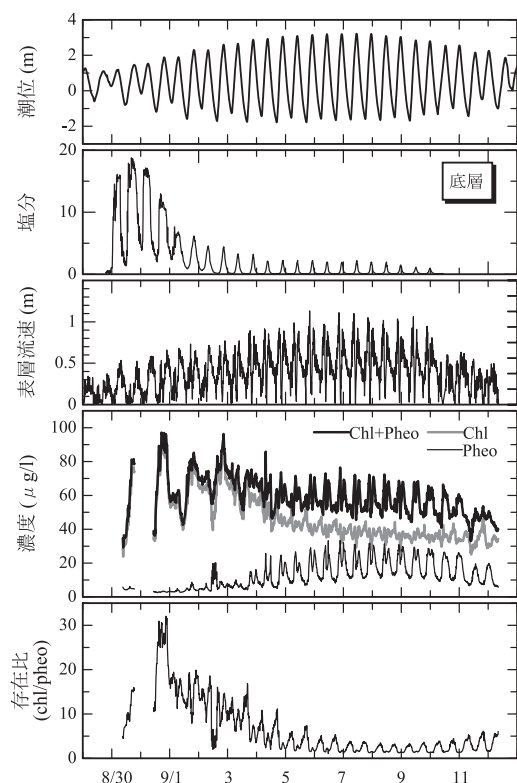


図-9 2週間の潮汐、塩分、流速と植物プランクトンの存在状況

ン色素量 (Chl + Pheo) との相関が良かった。このことは植物プランクトンの内容や活性が時空間的に変化している可能性を示している。また Pheo は濁度との相関が高く、土砂と共に再懸濁していると考えられた。

小潮では弱混合型の塩分分布となっており、表層の Chl 濃度は日中に3倍に増加していた。大潮では強混合型に変化し、植物プランクトン色素濃度の分布が SS と同様の傾向を示しており、Pheo の割合が高かった。2週間の変動状況を調べたところ、小潮の約2日遅れで Chl 濃度が最大となり、大潮に向かって Pheo の割合が相対的に高まり、大潮の2日遅れで Chl と Pheo の存在比が最小になった。小潮時には流速が弱く透明度が高くなることで約2日の間に Chl が増殖し、大潮に向かって塩淡混合が強まることで Chl の活性が低下して Pheo へと変化し、大潮時には底泥と共に巻き上げられていると推察される。

ただし、感潮河道における植物プランクトンの生産性

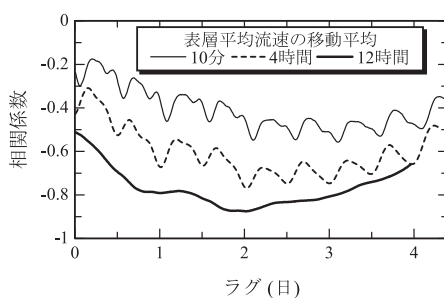


図-10 表層流速と存在比の相互相関

を議論するためには定点での増減だけではなく、海－汽水域－淡水域の広域的な分布状況や移流の影響、栄養塩との関連、基礎生産速度などについて総合的に議論する必要があり、今後、調査研究を進めてゆく予定である。

謝辞：本研究の実施にあたり平成21年度科学研究費補助金（若手B，横山勝英），および河川環境管理財団河川整備基金（重点課題，横山勝英）の援助を受けた。研究方針について水産工学研究所環境水理研究チーム長八木宏氏，京都大学田中克名誉教授ならびに鈴木啓太氏，佐賀大学速水祐一准教授からアドバイスを頂いた。現地観測の実施に際し，下筑後川漁協の塚本辰己氏には備船の面で，いであ株式会社九州支店の皆様には機器設置の面でご助力いただいた。ここに記して謝意を表する。

参 考 文 献

- 岡田知也・中山恵介（2002）：荒川河口域における Chl-a の鉛直分布，海岸工学論文集，第49巻，pp.1021-1025.
- 代田昭彦（1981）：懸濁粘土粒子の flocc 化と低次元生物生産への役割，水産海洋研究会報39，pp.68-75.
- 鈴木啓太・杉本 亮・笠井亮秀・小路 淳・中山耕至・田中克（2007）：春期の有明海筑後川の高濁度汽水域における粒状有機物の動態，水産海洋研究71（3），pp.190-198.
- 田中勝久・児玉真史・熊谷 香・藤本尚伸（2004）：有明海筑後川河口域における冬季のクロロフィル蛍光と濁度，海の研究，13（2），pp.163-172.
- 横山勝英・宮崎晃一・河野史郎（2007）：筑後川感潮河道と有明海奥部における高濁度水塊の広域移動に関する現地観測，水工学論文集，第52巻，pp.1339-1344.
- Kasai, A., Kurikawa, Y., Ueno, M., Robert, D., Yamashita, Y. (2010): Salt-wedge intrusion of seawater and its implication for phytoplankton dynamics in the Yura Estuary, Japan, Estuarine, Coastal and Shelf Science, Vol.86, pp.408-414.