

— 論文 —

三河湾の浚渫窪地における粒子状物質の特異的な集積機構*

和久 光靖^{†**}・橋口 晴穂^{‡1}・栗田 貴代[‡]・金子 健司[‡]・宮向 智興[‡]・青山 裕晃^{†2}・
向井 良吉^{†3}・石田 基雄[†]・鈴木 輝明^{†4}

要 旨

顕著な貧酸素水の発生源となり周辺の浅場生態系に致命的な打撃を与えている、埋め立て用土砂採取跡地（浚渫窪地）およびその周辺海域における酸素の消費過程を解明するため、主たる酸素消費物質である粒子状物質の沈降フラックスを測定した。2007年6月から2007年7月の間に計4回、浚渫窪地の内外の3測点において、浚渫窪地上面（CDL-3.5 m）と浚渫窪地海底（CDL-6.9, -6.4 m）に相当する深度にセディメントトラップを設置した。懸濁態炭素の沈降フラックス（PC flux）は、0.35~15.3 gm⁻²d⁻¹と観測日より大きく変動し、膨大な PC flux (9.48~15.3 gm⁻²d⁻¹) が-6.9, -6.4 m 層で観測された。膨大な PC flux の観測時には、浚渫窪地周辺の浅海域において、浚渫窪地から湧昇した貧酸素水に起因すると推察される底生生物の大量へい死と、そこから浚渫窪地内部への海水流入が認められた。観測された PC flux を上方からの沈降成分と、水平輸送に由来する成分へ仕分けた結果、膨大な PC flux の観測時、水平輸送成分は、多いときには上方からの沈降成分の7~11倍に相当した。これらのことから、浚渫窪地周辺の浅海域での底生生物の大量へい死に伴い激増した粒子状物質が、海水の流動によって浚渫窪地に輸送された結果、膨大な PC flux がもたらされたと考えられた。このように、浚渫窪地は、窪地内部の貧酸素水に起因する周辺浅海域の底生生物のへい死を招き、浚渫窪地へ膨大な量の粒子状有機物の集積を引き起こし、貧酸素化を加速すると示唆された。

キーワード：浚渫窪地、懸濁態炭素、沈降フラックス、セディメントトラップ、三河湾

* 2009年7月28日受領；2010年9月29日受理

著作権：日本海洋学会，2011

† 愛知県水産試験場；〒443-0021 蒲郡市三谷町若宮97

‡ (株)日本海洋生物研究所 中部支店

〒460-0031 名古屋市昭和区紅梅町3-9-2

1 (株)日本海洋生物研究所 大阪支店

〒564-0051 吹田市豊津町18-28

2 愛知県地域振興部豊川水系対策本部事務局

〒440-0806 豊橋市八町通5-4

3 愛知県農林水産部水産課

〒460-8501 名古屋市中区三の丸3-1-2

4 名城大学総合学術研究科

〒468-8502 名古屋市天白区塩釜口1-501

** 愛知県水産試験場漁場環境研究部 漁場改善グループ 和久 光靖

e-mail；mitsuyasu_waku@pref.aichi.lg.jp

電話 (0533) 68-5196 FAX (0533) 67-2664

1. はじめに

三河湾における近年の大規模な貧酸素化の進行については、主たる原因として、干潟・浅場の埋立てによる水質浄化機能の喪失が指摘されている（青山ら，1996；青山・鈴木，1996；青山・鈴木，1997；Suzuki，2001；Suzuki，2004）。このため、干潟・浅場の造成により、水質浄化機能回復への取り組みが進められている（石田・黒田，2007）。他方、全湾規模の貧酸素水塊の消長とは別に、局所的に発生する貧酸素水塊による問題が顕在化している。埋め立て用土砂採取によって、水深が周囲よりも深くなった窪地状の海域（以下、浚渫窪地）では、窪地内部で硫化水素を含む貧酸素水塊が発生し、その湧昇現象によって周辺生態系に大きな被害をもたらされることが指摘されている（武田・石田，2006；佐々木，1997）。浚渫窪地は全国で存在が確認されており、とりわけ、東京湾の浚渫窪地総容量は1億 m^3 と莫大な規模である（中村，2006）。中央環境審議会総量規制専門委員会での答申においては、浚渫窪地の修復が必要であるとされ、交通政策審議会答申においても同様の指摘がなされている。しかしながら、浚渫窪地における貧酸素水塊の生成機構や、周辺海域に及ぼす影響に関する研究例は乏しく、このことが全国の浚渫窪地修復への障壁となっている。一般に、貧酸素化は、酸素の消費速度が供給速度を上回ることより進行する。浚渫窪地内部への酸素の供給過程については、シミュレーションモデルを用いて解析が行われ、流動の停滞性から生じる酸素環境の悪化が明らかとなった（大見ら，2008）。一方、酸素の消費過程については、有機物の負荷機構に依存するが、浚渫窪地のような特殊な海底構造を有する海域における有機物の挙動に関する研究例はない。

本研究では浚渫窪地固有の酸素消費過程を明らかにするため、三河湾の浚渫窪地において水温・塩分・溶存酸素飽和度および流向流速の連続観測を行うとともに、主たる酸素消費物質である粒子状物質の沈降フラックスを測定し、その変動機構を考察した。

2. 材料と方法

2.1 三河湾湾奥の浚渫窪地

三河湾の湾奥には、浚渫窪地が東西に2カ所隣接して存在し、面積はそれぞれ、46.8 ha，69.4 ha，容積はそれぞれ、140万 m^3 ，180万 m^3 である（Fig. 1）。これらの浚渫窪地は周辺の埋立地用の土砂採取跡である。これらの浚渫窪地の南方4.5 kmには、全国有数のアサリ稚貝発生場である「六条潟」と呼ばれる干潟が存在している。この「六条潟」において2001年，2002年の夏季に連続して、アサリの大量死が発生し（アサリへい死量：2001年2400トン，2002年4000トン），甚大な漁業被害をもたらされた。武田・石田（2006）は、浚渫窪地に由来する貧酸素水がアサリの大量死の原因となった可能性を指摘した。事態の深刻さを認識した愛知県漁連は浚渫窪地の迅速な埋め戻しを要望し，2003年から港湾管理により発生する土砂を利用して浚渫窪地を埋め戻すこととなった。埋め戻しの経緯については石田・鈴木

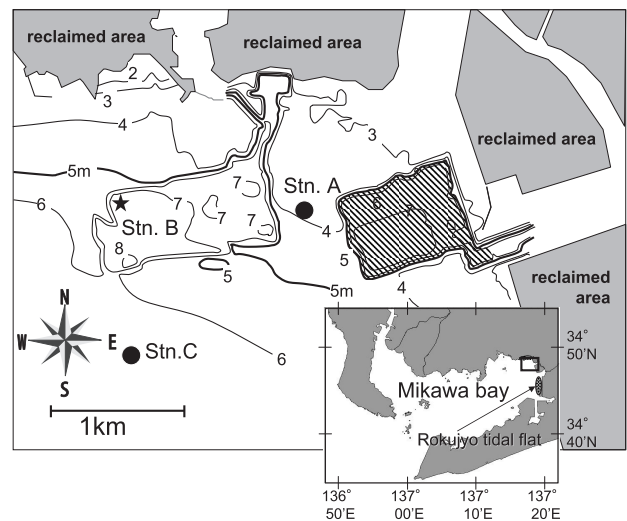


Fig. 1. Study area and location of the observation stations. Solid star shows location of Stn. B where the percentage of dissolved oxygen saturation, the temperature, salinity and current speed were recorded continuously. Numbers show the depth of the isobathic lines. Hatched area shows the borrow pit, which has been rehabilitated.

(2006) に詳しい。2007年8月現在、東側の浚渫窪地 (Fig. 1 斜線部) はほぼ埋め戻され、西側の浚渫窪地についても埋め戻しが進行中である。

2.2 現場観測および分析

Fig. 1 に示すとおり、西側の浚渫窪地とその周辺に3測点を設け、当該水域において貧酸素化が進行する2007年6月から2007年7月にかけて (中村ら 2008)、計

4回 (Fig. 2 網掛け部)、沈降粒子の捕集を行った。ただし、沈降粒子捕集2回目については荒天のため、Stn. Bのみで実施した。Stn. A (CDL: Chart Datum Level, 海図基準面-3.5 m) は浚渫窪地近傍の浅海域に、Stn. B (CDL-6.9 m) は浚渫窪地内に、Stn. C (CDL-6.4 m) は浚渫窪地の南方で水深が窪地と同程度の地点に位置する。Stn. Aにおいてはトラップを海底に設置し、Stn. BおよびStn. Cにおいては、海底に加え、-3.5 m層にもトラップを設置した (Fig. 3)。トラップ

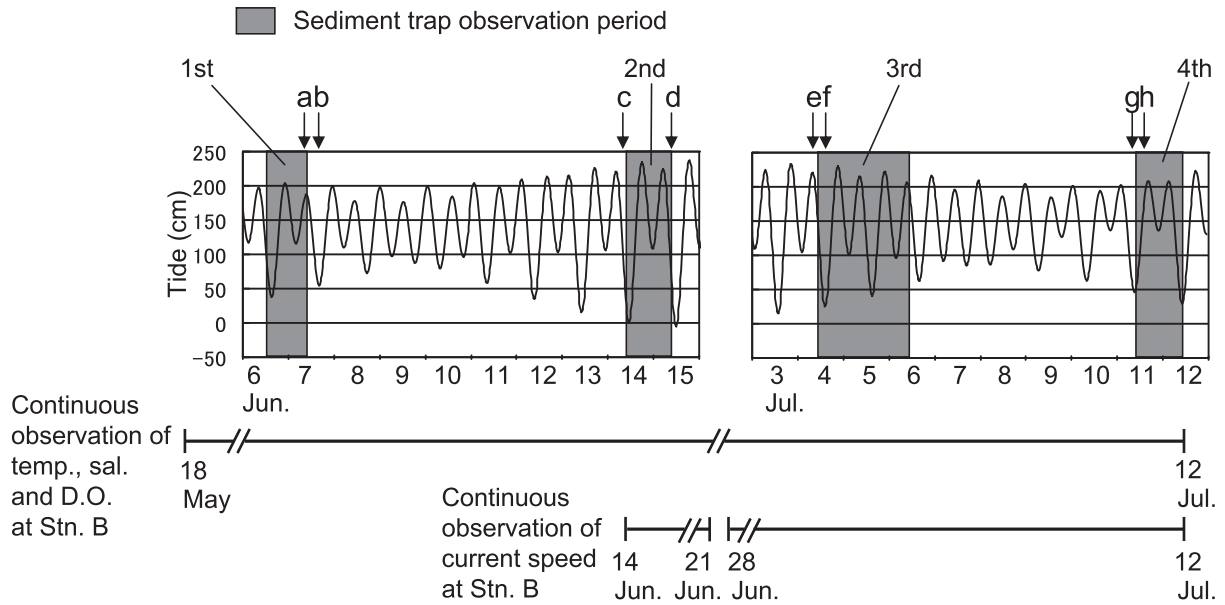


Fig. 2. Conditions during sediment trap observations, and the duration of the continuous observations of temperature (temp.), salinity (sal.), dissolved oxygen (D.O.) and current speed. Arrows show times of sampling for suspended particles.

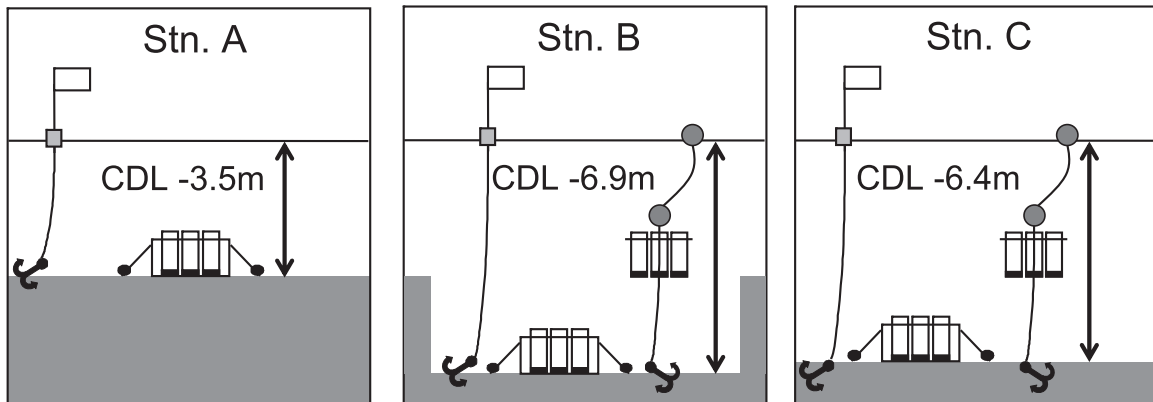


Fig. 3. Schematic of the sediment trap setup at each observation station.

は、内径 10 cm、長さ 50 cm のアクリル製の円筒 3 本を架台に固定したもので、円筒の両端はゴム栓で密栓できる。海底に設置したトラップについては架台とシンカーをロープで繋ぎ、固定した。−3.5 m 層のトラップについては、架台の下端とシンカー、架台の上端と中間耐圧ブイをそれぞれロープで繋ぎ、トラップを直立させ、架台の下端が Stn. A の海底地盤高と同様となるよう、海底からの高さを調節した。トラップ設置の直前に各トラップの係留深度からバンドン採水器にて採水し、これを初期海水として円筒内部に注入し、密栓した。トラップの設置はスクーバ潜水により行った。トラップ内への作業による巻き上げ粒子の混入を避けるため、細心の注意を払い、念のためトラップの設置作業の終了から約 1 時間経過し、巻き上がりのないことを確認後、スクーバダイバーが円筒上端のゴム栓を取り去り、沈降粒子の捕集を開始した。初期海水の一部を遮光下で研究室に持ち帰り、懸濁物量 (SS)、懸濁態有機窒素 (PON)、懸濁態炭素 (PC) の分析に供した。捕集開始から約 24 時間後 (3 回目調査のみ、荒天のため約 46 時間後)、スクーバダイバーが円筒上端を密栓し、トラップを船上に引き上げた。トラップ内の試水を直ちに研究室に持ち帰り、初期海水と同様の項目を分析した。沈降フラックスは (1) 式により求めた。

$$\text{Flux} = \frac{C_{\text{Fin.}} - C_{\text{Init.}}}{At} \quad (1)$$

Flux: 全粒子束 (Mass flux) ($\text{g m}^{-2}\text{d}^{-1}$), もしくは PON, PC の沈降フラックス (PON flux; PC flux) ($\text{g m}^{-2}\text{d}^{-1}$), $C_{\text{Fin.}}$: 沈降粒子捕集終了後のトラップ内の SS (g), もしくは PON, PC 量 (g), $C_{\text{Init.}}$: 初期海水の懸濁物重量 (g), もしくは PON, PC 量 (g), A: トラップ断面積 (m^2), t: 捕集時間 (d)。

水柱の懸濁物を採取するために、Fig. 2 の a~h で示す時期に計 8 回 Stn. A, Stn. B および Stn. C において各層採水を行った。バンドン採水器にて表面から 1~2 m 間隔で採水し、PON, PC 分析に供した。

SS は、予め恒量を測定した Whatman GF/C フィルターで試水をろ過し、110 °C で 2 時間乾燥させ、重量を測定し、重量の増分から求めた。PON, PC については、予め 420 °C で 2 時間程度強熱した Whatman GF/C フィ

ルターで試水をろ過した後、60 °C で 48 時間以上通風乾燥し、CHN コーダー (住化分析センター NC-900 S) により分析した。

2007 年 5 月 18 日から 7 月 12 日の間、Stn. B の海底に自記式水温・塩分・溶存酸素計 (SEA-BIRD SBE 16/DO) を設置し、海底上 1 m 層における 10 分毎の観測値を得た (Fig. 2)。

沈降粒子の捕集 2 回目以降については、捕集期間中、Stn. B の海底に流向流速計 (NORTEC ADP) を設置し、海底から表面まで 30 cm (2 回目), ないしは 50 cm (3, 4 回目) の間隔で各層における 10 分毎の流向流速を計測した (Fig. 2)。なお、沈降粒子の捕集 1 回目については、流向流速の観測はできなかった。

3. 結果

3.1 粒子状物質の沈降フラックス

Table 1 に各測点における粒子状物質の沈降フラックスを示す。Mass flux は、4.5~542 $\text{gm}^{-2}\text{d}^{-1}$ であり、観測日により大きく変動した。Stn. B, Stn. C では、ほとんどの場合で深い層の方が大きかった。3 回目の沈降粒子捕集においては、Stn. B の −6.9 m 層, Stn. C の −6.4 m 層でそれぞれ、290, 542 $\text{gm}^{-2}\text{d}^{-1}$ と突出し、他の観測日における同層の平均値のそれぞれ 3.5, 9.2 倍であった。PC flux は 0.35~15.3 $\text{gm}^{-2}\text{d}^{-1}$ と Mass flux 同様、大きく変動し、Stn. B, Stn. C では、ほとんどの場合で深い層の方が大きかった。また、Mass flux 同様、3 回目の沈降粒子捕集における Stn. B の −6.9 m 層, Stn. C の −6.4 m 層でそれぞれ、9.48, 15.3 $\text{gm}^{-2}\text{d}^{-1}$ と突出し、他の観測日における同層の平均値のそれぞれ 3.8, 21.0 倍であった。沈降粒子の CN 比 (元素比) は、6.4~11.4 であった。

3.2 水温、塩分および溶存酸素飽和度の連続観測

Fig. 4 に浚渫窪地内の Stn. B の海底上 1 m における水温、塩分、溶存酸素飽和度の連続観測結果を示す。観測期間中、水温の一時的な上昇が何度か認められ、同時期に塩分の低下が認められた。溶存酸素飽和度は、水温

Table 1. Summary of the variables, mass flux, particulate carbon flux (PC flux), and atomic CN ratio of mass flux (CN ratio), observed at three stations in and around a borrow pit in Mikawa Bay during the summer of 2007.

Experiment No.	Sampling period	Stn.	Depth (m)	Mass flux ($\text{g m}^{-2} \text{d}^{-1}$)	PC flux ($\text{g m}^{-2} \text{d}^{-1}$)	CN Ratio Atomic ratio
1st	6 Jun.-7 Jun.	A	-3.5	42.2	1.62	8.6
		B	-3.5	28.7	0.66	11.4
		B	-6.9	127	3.16	9.2
		C	-3.5	34.0	0.35	10.2
		C	-6.4	106	1.09	10.7
2nd	14 Jun.-15 Jun.	B	-3.5	20.6	1.07	6.4
		B	-6.9	109	3.30	10.5
3rd	4 Jul.-6 Jul.	A	-3.5	57.5	3.33	8.4
		B	-3.5	30.6	2.43	8.0
		B	-6.9	290	9.48	8.5
		C	-3.5	24.6	2.01	8.2
		C	-6.4	542	15.3	10.2
4th	11 Jul.-12 Jul.	A	-3.5	4.5	0.91	8.1
		B	-3.5	36.2	0.42	8.8
		B	-6.9	15.0	1.01	9.1
		C	-3.5	4.5	0.45	9.5
		C	-6.4	12.4	0.37	10.5

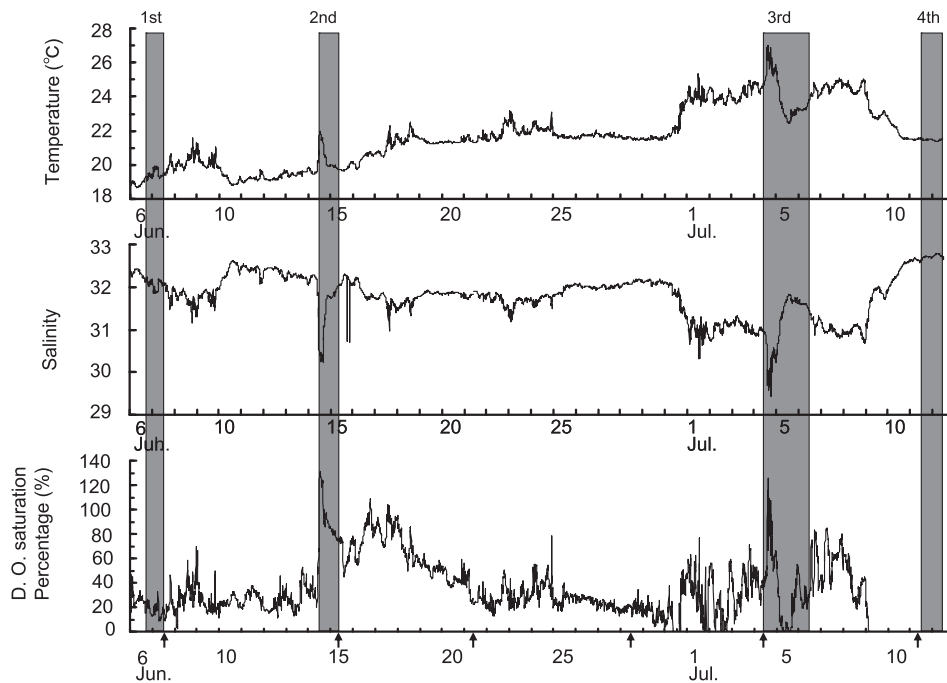


Fig. 4. Changes in temperature, salinity and dissolved oxygen saturation percentage at the bottom of Stn. B. Hatched areas show the period of the sediment trap observations. Arrows show the macrobenthos sampling day (see Fig. 8) at sublittoral zone north of the borrow pit.

上昇、塩分低下と同時に上昇したが、6月30日に0%に低下して以降は、一時的な水温上昇、塩分低下に伴い、一時的に上昇するものの、急激に低下する傾向が認められた。7月9日から観測終了の7月12日までは0%であった。

沈降粒子捕集期間中に着目すると、2回目、3回目の沈降粒子捕集期間における、水温、塩分、溶存酸素飽和度の変動幅は1回目、4回目よりも大きく、数時間での急激な変化が認められた。

2回目の沈降粒子捕集開始の1時間前から開始後1時間の間には水温は急上昇し、塩分は急低下した。捕集開始から約7時間後には、沈降粒子捕集前と同程度となった。溶存酸素飽和度は、水温の急上昇、塩分の急低下とともに130%程度にまで急上昇し、その後90%程度に急低下した。

3回目の沈降粒子捕集開始から2時間40分後には水温は急上昇し、塩分は急低下した。その後、捕集開始後8時間までは小刻みな変動を繰り返しながら、水温は高位で、塩分は低位で推移した。捕集開始8時間後から28時間後にかけては、水温は急低下し、塩分は急上昇した。捕集開始28時間後から捕集終了にかけては再び水温の上昇、塩分の低下が認められた。溶存酸素飽和度は、沈降粒子捕集開始から2時間40分後に認められた水温の急上昇、塩分の急低下とともに急上昇し、約130%に達したが、その後急低下し、捕集開始19時間後から28時間後までの間は10%以下と低い状態が継続した。捕集開始28時間後における水温の上昇、塩分の低下時には、溶存酸素飽和度は再び上昇し、捕集開始35時間後には50%に達したが、その後、捕集終了にかけて20%程度に低下した。

3.3 流向流速

Stn. Bにおける沈降粒子捕集期間中の流向流速をFig. 5に示す。2回目の沈降粒子捕集開始前1時間から開始後1時間の間、海底上2.5 m層以深では、それより上層と流向が逆転し、南から南東向きの流れ(平均流速 $3.9\sim 8.3\text{ cm s}^{-1}$)が顕著であった(Fig. 5点線囲み部)。その後、沈降粒子捕集終了時までには、散発的に南よりに向かう流れが捉えられることもあったが、北よりに向か

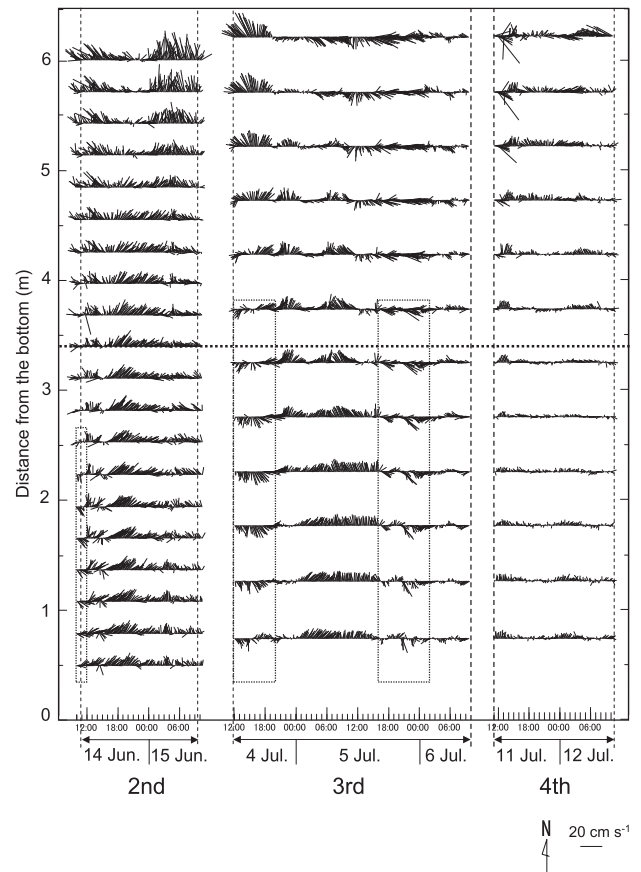


Fig. 5. Changes in current speed at Stn. B. Arrows and vertical broken lines show sediment trap observation periods. Horizontal broken line shows the depth of the surrounding area of the borrow pit. Boxes with dotted lines indicate notable southward current.

う流れが全層で卓越していた。海底上2.5 m層以深で南下流が顕著であったとき、Fig. 4に示したように、海底上1 mの溶存酸素飽和度は急上昇した。

3回目の沈降粒子捕集期間については、捕集開始直後から、捕集開始後8時間までの間、海底上3.7 m層以深の流れは、それより上層と流向が逆転し、南向き(平均流速 $4.6\sim 8.7\text{ cm s}^{-1}$)であった(Fig. 5点線囲み部)。捕集開始後8時間から28時間までの間は、海底上3.7 m層以深では、南下流はほとんど認められず、捕集開始後28時間から38時間までの間、再び、南東向きの流れ(平均流速 $3.7\sim 8.2\text{ cm s}^{-1}$)が捉えられた(Fig. 5点線囲み部)。海底上3.7 m層以深で南下流が認められ

た期間は、Fig. 4 に示したように、海底上 1 m の溶存酸素飽和度が急上昇した期間にはほぼ一致していた。

4 回目の沈降粒子捕集期間中については、期間中の平均流速は深度とともに減少し、海底上 3.7 m 層以深の平均流速は $2.4\sim 3.3\text{ cm s}^{-1}$ と、他の採集期間に比べて小さかった。

4. 考察

本研究で観測された PC flux は $0.35\sim 15.3\text{ gm}^{-2}\text{d}^{-1}$ と測点や観測日により大きく変動したが、3.1.章で述べたように、3 回目の沈降粒子捕集において Stn. B, Stn. C の -6.9 m 層と -6.4 m 層ではそれぞれ、 $9.48, 15.3\text{ gm}^{-2}\text{d}^{-1}$ と膨大な PC flux (以下, Elevated PC flux と称する) が捉えられた。このような莫大な有機物の負荷により、その後の溶存酸素濃度の極端な低下が引き起こされることは Fig. 4 から明らかである。以下の考察では、浚渫窪地固有の酸素消費過程に大きく影響を与えると考えられる Elevated PC flux が何に起因するのかについて論じる。

4.1 基礎生産の寄与

Fig. 6 に PC flux と、セディメントトラップ開口部から海面までの PC 濃度から積算した PC の水柱積算量 ($\text{PC}_{\text{Integ.}}$) との関係を示す。なお、水柱積算に用いた PC 濃度については、それぞれの採集期間近傍に実施した 2 回の観測で得られた値の平均値を用いた。門谷 (1993) は、東京湾湾口部において、水柱の懸濁態有機炭素現存量の 1.7~2.8% に相当する有機態炭素フラックスを報告している。濱田ら (2008) は、洞海湾の湾口部から湾中央部において、水柱の懸濁態有機炭素現存量の 32~57% に相当する沈降フラックスを捉えている。本研究で得られた Elevated PC flux の $\text{PC}_{\text{Integ.}}$ に対する割合は 87~189% であり、上述の既往文献値に比べて著しく大きい。

また、三河湾において、1979 年 9 月 (佐藤・澤田, 1980) と 1980 年 7 月 (佐藤, 1982) にセディメントトラップ観測により得られた PC flux は $0.2\sim 0.7\text{ gm}^{-2}\text{d}^{-1}$ であり、Elevated PC flux はこの既往値に比べ二桁大きい。

本調査が行われた 2007 年 6 月から 7 月にかけて、三河湾では広範囲な赤潮が断続的に発生し、セディメント

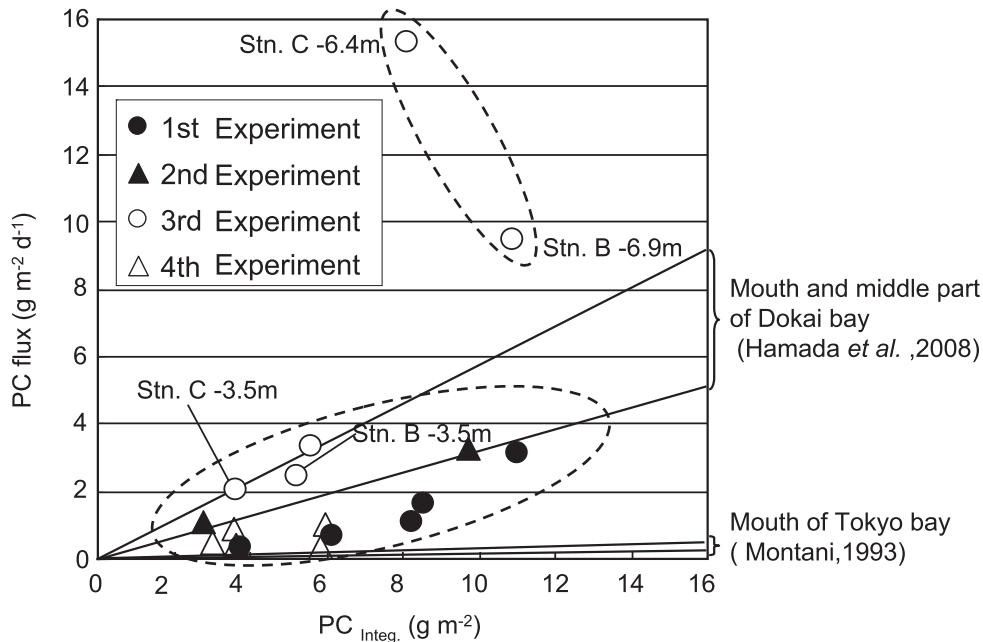


Fig. 6. Particulate carbon flux (PC flux) compared to the particulate carbon integrated within the water column ($\text{PC}_{\text{Integ.}}$).

トラップ観測海域は赤潮に覆われることが多かった(愛知県水産試験場, 2008)。佐々木(1993)は, 三河湾の夏季における1日あたりの有機炭素の沈降フラックスは基礎生産量の15~30%に相当すると計算している。三河湾の基礎生産量は, 赤潮発生時には, $7\sim 13 \text{ g C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ (西條ら, 1978), $13.6 \text{ g C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ (田中・佐野, 1980)に達すると報告されている。本研究の Elevated PC flux はこれら赤潮時における基礎生産量の既往値の70~219%となり, 佐々木(1993)に比べ極めて大きな値となる。いずれの情報も, Elevated PC flux は上方からの沈降だけではなく, それを大きく上回る他からの供給があったことを強く示唆する。

4.2 陸域供給粒子の寄与

濱田ら(2008)は, 夏季の洞海湾奥部において, 水柱の懸濁態有機炭素現存量の3倍以上となる, 有機態炭素フラックスを観測し, その由来を陸域から流入した粒子であると結論している。気象庁 AMeDAS データによると, Elevated PC flux が観測された3回目の沈降粒子捕集開始日の前日にあたる2007年7月3日には測点近傍の蒲郡で日積算23 mmの降水が記録されている。Stn. Bの-6.9 m層, Stn. Cの-6.4 m層で捉えられた Elevated PC flux が, 降雨による河川の出水に伴い陸域から供給された粒子に起因するものであれば, Stn. BおよびStn. Cの-3.5 m層でもPC fluxが増大すると考えられる。しかしながら, Elevated PC flux が観測された3回目の沈降粒子捕集時, Stn. B, Stn. Cの-3.5 m層でのPC fluxは, Elevated PC fluxの13~26%と小さい(Table 1)。また, Elevated PC flux が観

測されたときの沈降粒子のCN比は8.5~10.2であり(Table 1), 濱田ら(2008)が陸域由来とした沈降粒子のCN比11.1~21.2に比べて低く, 本研究の他の観測日や他の測点のCN比に比べても同程度であった。これらことから, 陸域供給粒子が本研究の Elevated PC fluxの要因とは考えにくい。

4.3 再懸濁物質の寄与

内湾や沿岸域では, 潮汐, 風波により, セディメントトラップ付近の堆積物が擾乱し, 再捕集され, 沈降フラックスが大きく見積もられることが指摘されている(Davies, 1975; Steele and Bird, 1972; Taguchi, 1982; 細川ら, 1982)。セディメントトラップ付近の堆積物の巻き上がりの可能性を推測するため, 土木学会(2000)の方法により, 次式(2)から沈降粒子捕集期間中の浚渫窪地海底における一方向流による掃流力 τ (N m^{-1})を算出した。

$$\tau = \rho \frac{n^2 g}{R^{1/3}} U^2 \quad (2)$$

ρ : 海水密度 (1020 kg m^{-3} とした), n : Manningの粗度係数 (0.04とした(土木学会, 2000)), g : 重力加速度 (9.8 m s^{-2}), R : 流向流速観測層の厚さ= $0.3\sim 0.5 \text{ m}$, U : 海底直上層の流速

Table 2に, 流向流速を測定した, 沈降粒子捕集3期間中(2, 3, 4回目)のStn. B海底における τ を示す。Elevated PC fluxが観測された3回目の沈降粒子捕集期間では, τ の平均値は 0.05 N m^{-1} と2回目の沈降粒子捕集期間の半分以下であった。 τ の最大値については,

Table 2. Mean shear stress, maximum shear stress, cumulative duration of high shear stress, mean SD of current velocity and maximum SD of current velocity recorded at the bottom of Stn. B during three sediment trap experiment periods (2 nd, 3 rd and 4 th).

Experiment No.	Sampling period	Mean shear stress (N m^{-2})	Maximum shear stress (N m^{-2})	Cumulative duration of high shear stress ($\geq 0.16 \text{ N m}^{-2}$) (h:m)	Mean SD of current velocity (cm s^{-1})		Maximum SD of current velocity (cm s^{-1})	
					(North-South Component)	(East-West Component)	(North-South Component)	(East-West Component)
2nd	14 Jun.-15 Jun.	0.11	0.37	5:30	1.5	1.4	2.5	2.5
3rd	4 Jul.-6 Jul.	0.05	0.39	2:50	0.9	0.9	1.8	1.6
4th	11 Jul.-12 Jul.	0.02	0.12	0:10	1.1	1.1	1.9	1.8

2回目と3回目の沈降粒子捕集期間でそれぞれ、0.37, 0.39 N m^{-1} と同程度であった。岩垣(1956)によれば、粒径0.075~0.25 mmの粒子に対する一方向流による限界掃流力は0.16~0.24 N m^{-1} と計算される。2, 3回目の沈降粒子捕集期間において、 τ が0.16 N m^{-1} 以上であった累積時間を比べると、それぞれ、5時間30分、2時間50分であり、3回目の沈降粒子捕集期間の方が短かった(Table 2)。

また、往復流の大きさを表す指標として、1分間に得た流速測定値の標準偏差について、捕集期間中の平均値、最大値をTable 2に併せて示す。3回目の沈降粒子捕集期間における流速の標準偏差は、平均値、最大値ともに他の捕集期間と比べ最も小さく、3回目の沈降粒子捕集期間の往復流は他の期間に比べ小さかったと考えられる。これらのことから、2, 3回目の沈降粒子捕集期間においてはともにセディメントトラップ付近の堆積物の巻き上がりが起こっていた可能性があるものの、2回目の沈降粒子捕集期間の方がその可能性が大きかったと推測されるため、巻き上がり粒子の再捕集が3回目の沈降粒子捕集で捉えられた Elevated PC flux の要因とは考えにくい。

4.4 周辺海域からの流入粒子による寄与

4.4.1 浚渫窪地における海水流動

沈降粒子捕集2回目と3回目には、Stn. Bの海底上1 mにおいて急激な水温上昇と塩分低下を伴う、溶存酸素飽和度の急上昇が認められた(Fig. 4)。これらの現象は、浚渫窪地内部に溶存酸素飽和度の高い、高水温、低塩分の海水の流入を捉えたものと考えられる。また、このとき、浚渫窪地内部では顕著な南下流が認められた(Fig. 5)。窪地の北には、水深が窪地内よりも3~4 m浅い浅海域が広がっており(Fig. 1)、浚渫窪地内部に流入した海水は、この北部浅海域由来と推察される。

ここで、2回目の沈降粒子捕集開始から1時間後には、浚渫窪地内部の南下流は終結したことから(Fig. 5)、2回目の沈降粒子捕集期間については、北部浅海域からの水塊流入の影響をあまり受けていなかったと考えられる。これに対し、3回目の沈降粒子捕集期間に捉えられ

た南下流は、捕集開始から8時間にわたって認められ、加えて捕集開始から28時間後からは10時間にわたって断続的に捉えられた(Fig. 5)。このように、Elevated PC fluxが観測された3回目の沈降粒子捕集期間には、他の捕集期間に比べて北部浅海域からの水塊の流入が長期に持続したといえる。

Elevated PC fluxが観測された3回目の沈降粒子捕集期間について、北部浅海域海底における南下流による堆積物の巻き上げの可能性を推測するため、前出の式(2)から北部浅海域海底における一方向流による τ (N m^{-1})を算出した。計算にあたり、海水密度(ρ)、Manningの粗度係数(n)、重力加速度(g)については前章4.3.で用いた値を使用し、流向流速観測層の厚さ(R)は0.5 m、流速(U)は浚渫窪地のStn. Bにおける海底上3.2 mの流速を、北部浅海域海底直上の流速として与えた。

計算の結果、沈降粒子捕集3回目の捕集開始から8時間後まで認められた、南下流による τ は最大0.39 N m^{-1} 、平均0.15 N m^{-1} であった。捕集開始後28時間後から38時間後までの南下流については最大0.74 N m^{-1} 、平均0.14 N m^{-1} であった。沈降粒子捕集3回目の北部浅海域海底直上における南下流によるこれらの τ の平均値は、前出の岩垣(1956)からの限界掃流力の計算値0.16~0.24 N m^{-1} よりやや低い。岩垣(1956)の限界掃流力は、比重2.65の砂粒を対象に計算されたものであり、2.5以下の低比重で特徴付けられる浮泥(日比野・松本, 2006)等、海底表層に堆積していることが予想される低比重の粒子は岩垣(1956)からの限界掃流力よりも低い値で巻き上がると考えられる。

トラップに捉えられた粒子を検鏡したところ、Elevated PC fluxが捉えられた3回目の沈降粒子捕集のStn. B-6.9 m層、Stn. C-6.4 m層でのみ、珪藻フロックが認められた。

従って、北部浅海域では、珪藻フロック等、低比重の堆積物が南下流により巻き上げられ、浚渫窪地へ輸送されたと示唆される。

また、浚渫窪地より沖側に位置するStn. Cでの流向流速は得られていないが、3回目の沈降粒子捕集においてStn. Cの-6.4 m層で捉えられた膨大な量の沈降粒子中には、Stn. Bと同様の珪藻フロックが認められた。

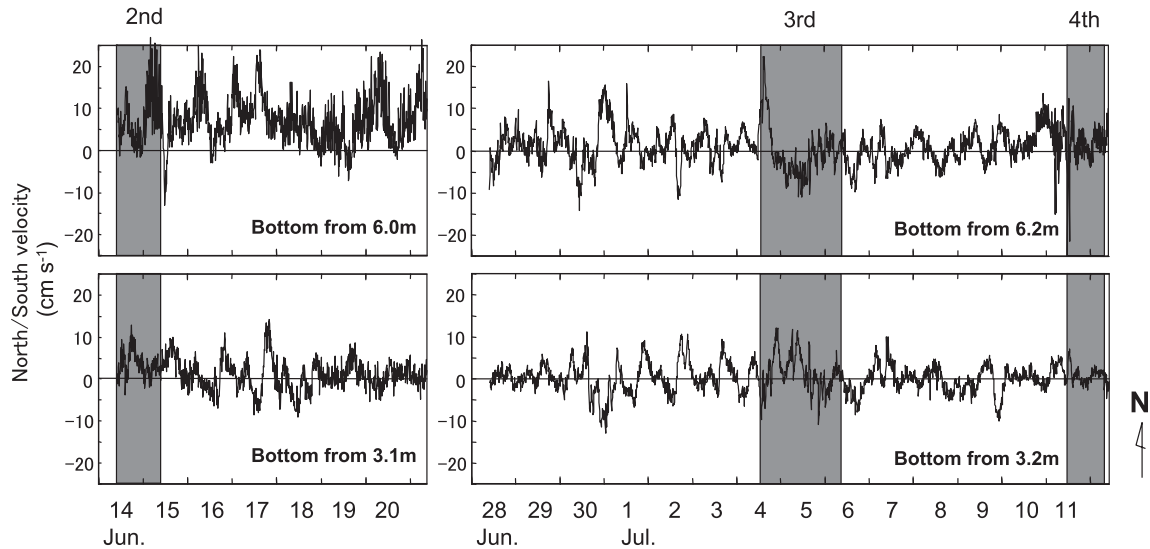


Fig. 7. Changes in North/South velocity at the layer above 6.0 m, 6.2 m, 3.1 m and 3.2 m from bottom at Stn. B. Hatched areas show the period of the sediment trap observations.

よって、Stn. C の Elevated PC flux についても、Stn. B と同様に、浚渫窪地北部の浅海域から輸送された粒子が寄与していたと考えられる。

4.4.2 周辺海域における底生生物の減少による影響

浚渫窪地の北部浅海域においては、2007年6月28日から7月4日にかけてマクロベントス、とりわけ懸濁物食者であるアサリ、ホトトギスガイの現存量がそれまでに比べ著しく減少した(中村ら 2008)。浚渫窪地近傍の干潟「六条潟」では、2001、2002年に2年連続で夏季にアサリ大量へい死がもたらされた(石田・鈴木 2006)。武田・石田(2006)は、三河湾奥の浚渫窪地において、底層からの貧酸素水塊の湧昇により、海面付近の溶存酸素濃度が頻繁に低下することを現場観測で捉え、浚渫窪地内部で発生した硫化水素を含む貧酸素水塊の湧昇によって、「六条潟」でのアサリ大量へい死がもたらされたことを指摘している。

Fig. 4 に示したように、浚渫窪地の Stn. B 底層では、6月30日に7時間程度、溶存酸素飽和度 0% の状態が継続した直後、水温の急上昇、塩分の急低下および溶存酸素飽和度の急上昇が認められたことから、このとき、窪地内部に滞留していた貧酸素水が湧昇したと考えられる。

その後、7月5日にかけて、水温、塩分は小刻みな変動を繰り返しながら、水温は高位で、塩分は低位で推移した。この間、溶存酸素飽和度は急上昇、急降下を繰り返しており、窪地内部の貧酸素水の湧昇は断続的に起こっていたと考えられる。Fig. 7 に浚渫窪地の Stn. B の海底上 6.0、6.2 m 層および 3.1、3.2 m 層における流速の南北成分の変化を示す。6月30日から7月5日間の断続的な貧酸素水の湧昇と同期して、海底上 3.2 m 層では南下流が、海底上 6.2 m 層では北上流が認められている。従って、断続的な貧酸素水の湧昇は浚渫窪地北部の浅海域からの海水流入によって起こされ、湧昇した貧酸素水は北上流により浚渫窪地北部の浅海域へ移流したと考えられる。以上のことより、浚渫窪地の北部浅海域における 2007年6月28日から7月4日にかけてのマクロベントスの減少は、6月30日以降、浚渫窪地内部から断続的に湧昇した貧酸素水によるへい死が原因と考えられる。中村ら(2008)による北部浅海域におけるマクロベントスの現存量を基に、鈴木ら(2000)の方法により、マクロベントスによる有機懸濁物除去速度を算出し、本研究で得られた沈降粒子の CN 比の平均値 9.2 を用いて炭素量に換算した結果を Fig. 8 に示す。2007年6月7日から6月28日までは、懸濁態炭素除去速度は平均 $0.98 \text{ gm}^{-2}\text{d}^{-1}$ であったが、7月4日には、 $0.08 \text{ gm}^{-2}\text{d}^{-1}$

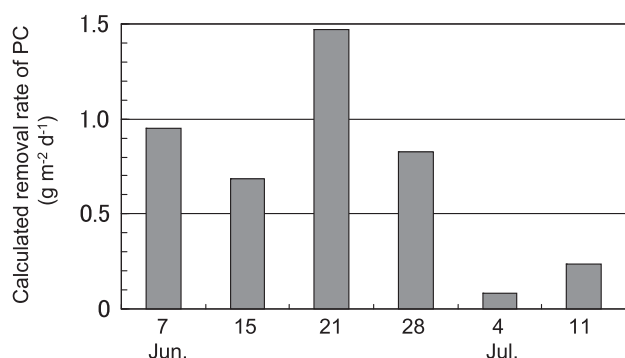


Fig. 8. Temporal change in the removal rate of particulate carbon by macrobenthos in the sublittoral zone north of the borrow pit.

に激減した。本研究で得られた 3.5 m 層の PC flux の平均値 $1.33 \text{ gm}^{-2}\text{d}^{-1}$ を浅海域における PC flux と仮定すると、懸濁態炭素除去速度と沈降フラックスの差分が海底への懸濁態炭素蓄積速度となる。上記から、2007 年 7 月 4 日には、 $1.25 \text{ gm}^{-2}\text{d}^{-1}$ の速度で懸濁態炭素が海底に負荷されたと考えられる。懸濁態炭素除去速度の急減が 2007 年 7 月 1 日に起こったと仮定し、微生物の無機化を考慮しなければ、懸濁態炭素の負荷量は 2007 年 7 月 4 日までの 4 日間で 5.0 gm^{-2} と見積もられる。加えて、6 月 28 日から 7 月 4 日にかけては、マクロベントスの炭素現存量が 58.5 gm^{-2} から 12.7 gm^{-2} に減少している（中村ら 2008）、減少量 45.8 gm^{-2} についても懸濁態炭素の負荷量とみなせる。従って、7 月 1 日から Elevated PC flux が捉えられた 7 月 4 日までの間に、最大で、Elevated PC flux の 3.3~5.4 倍にあたる 50.8 gm^{-2} の懸濁態炭素が浚渫窪地北部の浅海域海底に負荷されていたと見積もられる。

以上のことから、3 回目の沈降粒子捕集時には、浚渫窪地北部の浅海域海底に負荷された大量の懸濁態炭素が南下流により輸送され、これが、Stn. B, Stn. C での Elevated PC flux をもたらしたと考えられる。

ここで、マクロベントス現存量の急減が起こらなかったと仮定すれば、7 月 1 日から 7 月 4 日までの 4 日間で北部浅海域海底に負荷されたと見積もられる懸濁態炭素量は、6 月 7 日から 6 月 28 日までの平均懸濁態炭素除去速度 $0.98 \text{ gm}^{-2}\text{d}^{-1}$ と、上述の懸濁態炭素の沈降フラックス推定値 $1.33 \text{ gm}^{-2}\text{d}^{-1}$ との差から、 1.4 gm^{-2} と計算さ

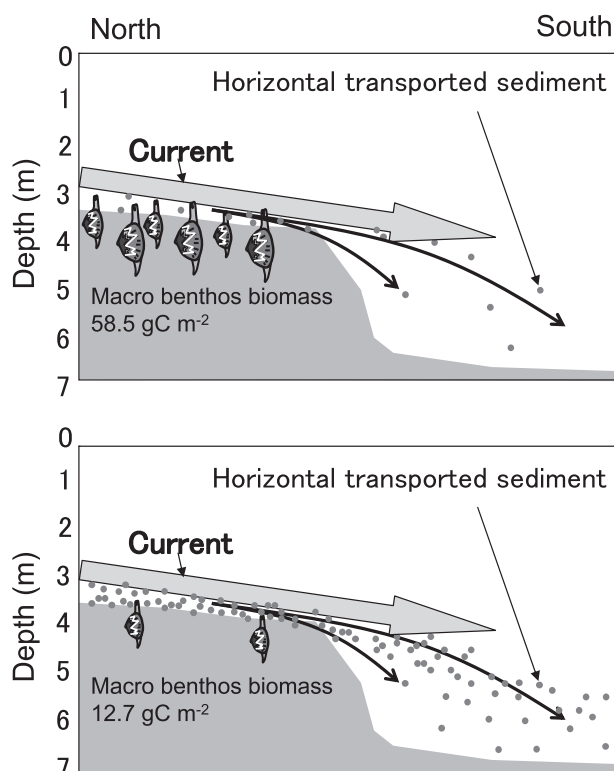


Fig. 9. Illustration of the horizontal offshore transport of the sediment accumulated on the floor of the sublittoral zone with abundant (upper) and scarce (lower) macrobenthos biomass.

れ、Elevated PC flux の 9~15% にとどまる。従って、Fig. 9 に示すとおり、3 回目の沈降粒子捕集期間には中層以深の南下流という物理的環境要因と、その上部におけるマクロベントスの激減という生物学的要因が重なることにより、膨大な沈降フラックスが引き起こされたと考えられる。

4.4.3 沈降フラックスに対する水平輸送粒子の寄与の推定

実測の沈降フラックスを、上方からの沈降成分 (Vertical PC flux) と浅海域からの水平輸送成分 (Horizontal PC flux) へ仕分けることを以下の 2 つの方法により試みた。

(方法 1)

それぞれの観測日に、Stn. B, Stn. C の -3.5 m 層で

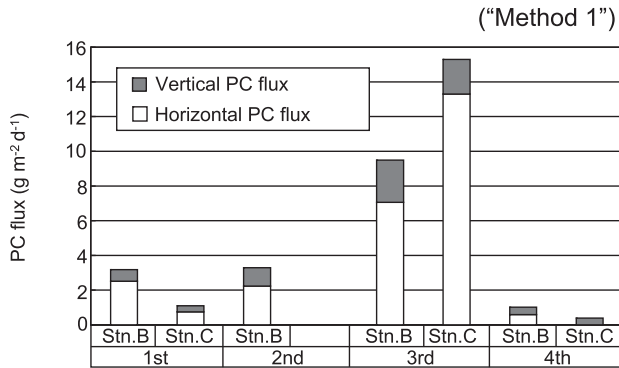


Fig. 10. Particulate carbon flux partitioned into the vertical PC flux and the horizontal PC flux by “method 1”.

得られた PC flux を、それぞれ Stn. B-6.9 m 層, Stn. C-6.4 m 層における上方からの沈降成分 (Vertical PC flux) と仮定し、実測の PC flux から Vertical PC flux を差し引いたものを、浅海域からの水平輸送による PC flux (Horizontal PC flux) として求めた。Fig. 10 に、PC flux を Vertical PC flux と Horizontal PC flux とに仕分けて示す。Horizontal PC flux は $0 \sim 13.3 \text{ gm}^{-2}\text{d}^{-1}$ と観測日より大きく変動した。膨大な沈降フラックスが捉えられた 3 回目の沈降粒子捕集時の Stn. B, Stn. C における Horizontal PC flux はそれぞれ、 $7.1, 13.3 \text{ mg m}^{-2}\text{d}^{-1}$ であり、Vertical PC flux

のそれぞれ、3, 7 倍に相当した。

(方法 2)

まず、PC flux をすべて Vertical PC flux であると仮定した場合の、“見かけの沈降速度” $S_{\text{Apparent}} \text{ (m d}^{-1}\text{)}$ を (3) 式により算出した。

$$S_{\text{Apparent}} = \frac{\text{PC flux}}{\text{PC}_{\text{Conc.}}} \quad (3)$$

PC flux: 懸濁態炭素の沈降フラックス ($\text{g m}^{-2}\text{d}^{-1}$),
 $\text{PC}_{\text{Conc.}}$: トラップ開口部の PC 濃度 (g m^{-3})。なお、PC 濃度については、それぞれの捕集期間近傍に実施した 2 回の観測で得られた値の平均値を用いた。

Fig. 11 に計算された S_{Apparent} をトラップ設置深度により整理して示す。-3.5 m 層の S_{Apparent} は、 $0.31 \sim 2.14 \text{ m d}^{-1}$ (平均 0.99 m d^{-1}) であり、Stn. B-6.9 m 層, Stn. C-6.4 m 層に比べ小さく、観測日による変動も小さかった。堀江 (1987) は、海域における沈降粒子の実測結果から、(3) 式と同様の方法で算出された沈降速度を整理し、9 月の三河湾における実測例として上層部で $0.04 \sim 0.31 \text{ m d}^{-1}$ 、下層部では $0.39 \sim 0.53 \text{ m d}^{-1}$ と記載している。本研究で計算された 3.5 m 層における S_{Apparent} は、三河湾における既往値に比べやや高いが、-3.5 m 層における S_{Apparent} の平均値 0.99 m d^{-1} を、堀江 (1987) と同じように PC の上方からの沈降速度とし

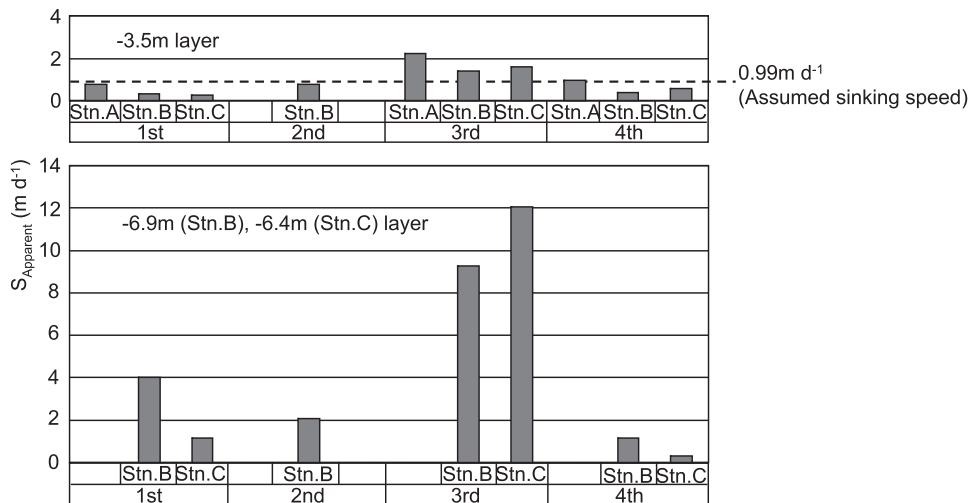


Fig. 11. Apparent sinking speed (S_{Apparent}) of PC calculated from the particulate carbon flux and the particulate carbon concentration within the water column.

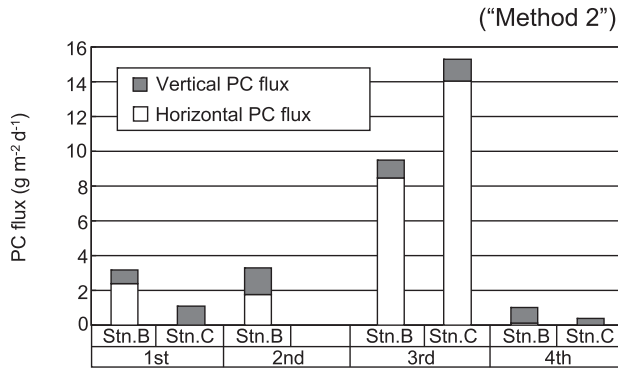


Fig. 12. Particulate carbon flux partitioned into the vertical PC flux and the horizontal PC flux by "method 2".

た。この値に Stn. B-6.9 m 層, Stn. C-6.4 m 層の $PC_{conc.}$ を乗じて, これらの層における PC flux の上方からの沈降成分 (Vertical PC flux) とした。得られた Vertical PC flux を実測の PC flux から差し引いて, 浅海域からの水平輸送による PC flux (Horizontal PC flux) を求めた。

Fig. 12 に, 計算により仕分けられた Vertical PC flux と Horizontal PC flux を示す。Horizontal PC flux は $0 \sim 14.1 \text{ gm}^{-2}\text{d}^{-1}$ と観測日より大きく変動した。膨大な沈降フラックスが捉えられた 3 回目の沈降粒子捕集時の Stn. B, Stn. C における Horizontal PC flux はそれぞれ, $8.5, 14.1 \text{ mg m}^{-2}\text{d}^{-1}$ であり, Vertical PC flux のそれぞれ, 8, 11 倍に相当した。

上述した 2 つの方法により算出された Horizontal PC flux については, それぞれいくつかの仮定に基づいており, ある程度の誤差を含んでいると考えられるため, Horizontal PC flux は両方法による計算値の間にあると考えられる。いずれにしても Horizontal PC flux は多いときには Vertical PC flux の 7~11 倍と膨大であり, PC flux の増大に大きく寄与していたと考えられる。

4.5 浚渫窪地における粒子状物質の集積機構の動態

前章 4.4.2 で論じたように, 浚渫窪地の周辺海域では, 窪地底層からの貧酸素水塊の湧昇による底生生物のへい死が, ほぼ毎年のように起こっていたと考えられる。本研究においても, Fig. 4 に示すとおり, 浚渫窪地底層に

おいては, 水温の上昇, 塩分の低下を伴う溶存酸素飽和度の急上昇が何度も認められることから, 浚渫窪地内部からの貧酸素水の湧昇は頻繁に起こっており, 浚渫窪地周辺の浅海域のマクロベントス群集は常にへい死の危険性に曝されていたと考えられる。また, Fig. 7 に示したように, 浚渫窪地の Stn. B の海底上 3.1 および 3.2 m 層における南向きの流速成分は, 3 回目の沈降粒子捕集期間のみならず, 常在的に認められる。従って, 本研究で捉えられた, 周辺浅海域におけるマクロベントス群集のへい死と, そこからの粒子状物質の水平輸送による, 沈降フラックスの増大は当該海域の現状では, 必然的に引き起こされたものと考えられる。

Fig. 4 に示したように, 浚渫窪地の Stn. B 底層の溶存酸素飽和度は 7 月 1 日以降には, 表層水の流入によるとみられる急上昇が起こっても, 7 月 1, 2, 5, 9 日には 0% にまで急激に低下し, 7 月 9 日から観測終了の 7 月 12 日までは 0% の状態が継続した。これは, 浚渫窪地海底に膨大な沈降フラックスがもたらされた結果, 窪地底層の酸素消費速度が著しく増大したことによると考えられる。

5. まとめ

本研究では, 浚渫窪地固有の酸素の消費過程を解明するため, 主たる酸素消費物質である粒子状物質の沈降フラックスを測定し, 有機物の負荷機構について考察した。浚渫窪地における沈降フラックスは, 極めて大きく変動し, 水柱の懸濁物量や, 基礎生産量から想定される値をはるかに越えることがあった。

膨大な沈降フラックスが捉えられる直前, 浚渫窪地の北部の浅海域では, マクロベントスが激減していた。このとき, 浚渫窪地内部の貧酸素水が断続的に湧昇しており, マクロベントスはこの貧酸素水により大量へい死したと考えられた。膨大な沈降フラックスが観測された期間, 浚渫窪地の北部浅海域から, 浚渫窪地内部への断続的な海水の流入が示唆された。

実測の沈降フラックスを, 上方からの沈降成分 (Vertical PC flux) と水平輸送成分 (Horizontal PC flux) へ仕分けた結果, 膨大な沈降フラックスが捉えられたとき, Horizontal PC flux は多いときには Vertical PC

flux の 7~11 倍に相当したと計算された。

これらのことから、マクロベントスの大量へい死により、北部浅海域海底に負荷された大量の粒子状物質が断続的に浚渫窪地へ水平輸送された結果、膨大な沈降フラックスがもたらされたと考えられた。

浚渫窪地では、沈降フラックスの激増により、その後の底層における酸素消費速度が著しく増加し、貧酸素化が加速されたと考えられた。

謝 辞

本研究は、独立行政法人 鉄道建設・運輸施設整備支援機構の「運輸分野における基礎的研究推進制度」により、愛知県水産試験場、(独)港湾空港技術研究所、東海大学、(株)中電シーティーアイ、(株)日本海洋生物研究所が共同で行った研究の一環である。愛知県水産試験場は浚渫窪地における物理化学的現場観測、(独)港湾空港技術研究所は全国の事例研究、東海大学および(株)中電シーティーアイは浚渫窪地の物理場における数値解析、(株)日本海洋生物研究所は浚渫窪地における底生生物の観測を主に担当した。

本稿をまとめるにあたり貴重なご助言を頂いた、株式会社 中電シーティーアイ 大見 智亮 博士に厚くお礼申し上げます。現場観測にあたっては、愛知県水産試験場観測船しらなみ乗組員各位に多大なるご支援を頂きました。また、観測の実施に際しては愛知県三河港務所の皆様に格別のご配慮を頂きました。ここに記して感謝の意を表します。

References

愛知県水産試験場 (2008) : 平成 19 年伊勢湾・三河湾の赤潮発生状況. 愛知県, 28 pp.
 青山裕晃, 鈴木輝明 (1996) : 干潟の水質浄化機能の定量的評価. 愛知水試研報 3, 17-28.
 青山裕晃, 今尾和正, 鈴木輝明 (1996) : 干潟域の水質浄化機能—一色干潟を例にして—. 月刊海洋, 28, 178-188.
 青山裕晃, 鈴木輝明 (1997) : 干潟上におけるマクロベントス群集による有機懸濁物除去速度の現場測定. 水産海洋研究 61, 265-274.
 Davies J. M., (1975) : Energy flow throughout the benthos in a Scottish sea loch. *Mar. Biol.*, 31, 353-362.
 土木学会 (2000) : 水理公式集[平成 11 年版]. 土木学会 水理委員会・水理公式集改訂小委員会編. 丸善. 713 pp.

濱田建一郎・上田直子・山田真知子・多田邦尚・門谷茂 (2008) : 夏季の過栄養内湾(洞海湾)における生化学的キャラクターから見た粒子状物質の起源と低次生産過程. 海の研究, 17, 179-191.
 日比野忠史, 松本英雄 (2006) : 広島湾に分布する浮泥の特性と季節的な性状変化. 土木学会論文集 B, 4, 348-359.
 細川恭史, 堀江毅, 三好英一, 加藤道康 (1982) : 沿岸域におけるけん濁粒子の沈降速度測定法について—数種の測定法の比較—. 港湾技研資料, 433, 1-26.
 堀江毅 (1987) : 海域の物質循環過程のモデル化と浄化効果の予測手法について. 港湾技術研究所報告, 26, 57-123.
 石田基雄・鈴木輝明 (2006) : 三河湾における浚渫窪地修復事例と実現に至る経過. 海洋理工学会誌, 12, 65-71.
 石田基雄・黒田伸郎 (2007) : 三河湾における環境修復の取り組み. 月刊海洋, 39, 35-43.
 岩垣雄一 (1956) : 限界掃流力に関する基礎的研究 (I) 限界掃流力の流体力学的研究. 土木学会論文集, 41, 1-21.
 門谷茂 (1993) : 粒子のキャラクターゼーションから見た物質輸送過程. 月刊海洋, 25, 40-45.
 中村由行 (2006) : 我が国における浚渫跡地の現状と修復. 海洋理工学会誌, 12, 43-50.
 中村由行・中田喜三郎・船越茂雄・寺澤知彦・今尾和正 (2008) : 港湾における発生土砂を利用した浚渫窪地修復効果の定量的評価手法の開発. (独) 鉄道建設・運輸施設整備支援機構「運輸分野における基礎的研究推進制度」研究成果報告書, 427pp.
 大見智亮・内藤大輔・酒井亨・山口将人・寺澤知彦・田口浩一・中田喜三郎・中村由行 (2008) : 浚渫窪地における酸素環境シミュレーション. 海岸工学論文集, 55, 1026-1130.
 西條八束・八木明彦・三田村緒佐武 (1978) : 伊勢湾・三河湾の水質と基礎生産. 沿岸海洋研究ノート, 16, 57-64.
 佐々木淳 (1997) : 東京湾湾奥水塊の湧昇現象と青潮への影響. 海岸工学論文集, 44, 1101-1105.
 佐々木克之 (1993) : 内湾および干潟における物質循環と生物生産【5】沈降物採集方法と三河湾の沈降水量. 海洋と生物, 15, 319-324.
 佐藤善徳・澤田保夫 (1980) : 底泥での有機負荷物質の無機化過程. 内湾底泥をめぐる物質収支の動態解明に関する研究. 昭和 54 年度研究成績報告書, 東海区水産研究所・南西海区水産研究所・養殖研究所・水産大学校, p. 17-20.
 佐藤善徳 (1982) : 底泥での有機負荷物質の無機化過程. 内湾底泥をめぐる物質収支の動態解明に関する研究. 昭和 56 年度研究成績報告書, 東海区水産研究所・南西海区水産研究所・養殖研究所・水産大学校, p. 13-16.
 鈴木輝明・青山裕晃・中尾徹・今尾和正 (2000) : マクロベントスによる水質浄化機能を指標とした底質基準試案—三河湾浅海部における事例研究—. 水産海洋研究, 64, 85-93.
 Steele J. H. and I. E. Bird, (1972) : Sedimentation of organic matter in a Scottish sea loch. *Mem. Ist. Ital. Idrobiol.*, 29 (Suppl), 73-88.
 Suzuki T., (2001) : Oxygen-deficient waters along the Japanese coast and their effects upon the estuarine ecosystem. *J. Environ. Qual.*, 30, 291-302.
 Suzuki T., (2004) : Large-scale restoration of tidal flats and shallows to suppress the development of oxygen deficient water masses in Mikawa Bay. *Bull. Fish. Res. Agen.*, 1, 111-121.
 Taguchi S., (1982) : Sedimentation of newly produced particulate organic matter in a subtropical inlet, Kaneohe Bay, Hawaii. *Estuarine Coastal Shelf Sci.*, 14, 533-544.
 武田和也・石田基雄 (2006) : 三河湾における苦潮によるアサリ大量死と

浚渫窪地内部の貧酸素化の状況. 海洋理工学会誌, **12**, 51-58.

田中庸央・佐野方昂 (1980): 三河湾における植物プランクトンの一次生産動態に関する一考察. 日本プランクトン学会報, **27**, 75-85.

Specific accumulation mechanism of marine particles in a borrow pit in Mikawa Bay

Mitsuyasu Waku[†], Seiho Hashiguchi^{‡1}, Kiyoko Kurita[‡], Kenji Kaneko[‡],
Tomoki Miyamukai[‡], Hiroaki Aoyama^{†2}, Ryokichi Mukai^{†3},
Motoo Ishida[†] and Teruaki Suzuki^{†4}

Abstract

Intensive oxygen deficiency at the borrow pit causes fatal impact to the surrounding benthic community. In order to numerically model this process, the vertical flux of sinking particles—the major oxygen consumer, was investigated using data recorded in sediment traps four times during the summer of 2007 at three stations in and around a borrow pit in Mikawa Bay. The vertical flux of particulate carbon (PC flux) varied widely from 0.35 to 15.3 g m⁻² d⁻¹ depending on the observation day. An elevated PC flux (9.48–15.3 g m⁻² d⁻¹) was observed at the bottom of a borrow pit (CDL: -6.9 m) and the bottom of an offshore station with the same depth (CDL: -6.4 m) as the borrow pit in the third observation period conducted from 4 July to 6 July.

The mass mortality of the macrobenthos community occurred in the sublittoral zone north of the borrow pit just before the third observation period due to the upwelling of oxygen deficient water from the borrow pit. A high-temperature, low-salinity and high-oxygen concentration water mass was expected to originate at the bottom of the sublittoral zone, and was observed temporarily at the bottom of the borrow pit during the third observation period. The contribution of the horizontally transported PC flux to the elevated PC flux was estimated on the basis of the observed PC flux and the concentration of particulate carbon in the water column. Calculation of the horizontally transported PC flux estimates it at 7–11 times greater than the vertically transported PC flux in certain station. Thus the elevated PC flux was considered to be caused by horizontal offshore transport of a huge amount of sediment accumulated on the floor of the sublittoral zone due to the mortality of the macrobenthos community. Our results suggest that further oxygen deficiency in the borrow pit could be accelerated by an elevated load of particulate organic matter to the borrow pit owing to the mortality of the macrobenthos community in the sublittoral zone near the borrow pit.

Key words: Borrow pit, Particulate carbon, Vertical flux, Sediment trap, Mikawa Bay

(Corresponding author's e-mail address: mitsuyasu_waku@pref.aichi.lg.jp)

(Received 28 July 2009; accepted 29 September 2010)

(Copyright by the Oceanographic Society of Japan, 2011)

† Aichi Fisheries Research Institute, 97 Wakamiya Miya Gamagori, Aichi 443-0021 Japan
e-mail: mitsuyasu_waku@pref.aichi.lg.jp

‡ Chubu branch, Marine Biological Research Institute of Japan Co.,Ltd, 3-9-2 Koubai-cho, Showa-ku, Nagoya, Aichi 466-0031, Japan.

1 Present address; Osaka branch, Marine Biological Research Institute of Japan Co.,Ltd, 18-28 Toyotsu Suita Osaka 564-0051, Japan

2 Present address; Toyogawa River Taskforce Department of Regional Development and International Affairs Aichi Prefectural Government, 5-4 Hatcho-dori, Toyohashi, Aichi 440-8515, Japan.

3 Present address; Fisheries Administration Division Department of Agriculture, Forestry, and Fisheries Aichi Prefectural Government, 3-1-2 Sannomaru, Naka-ku, Nagoya, Aichi 460-8501, Japan

4 Present address; Graduate School of Environmental and Human Science Meijo University, 1-501 Shiogamaguchi, Tempaku-ku, Nagoya, Aichi 468-8502, Japan