

流動を考慮した堆積物酸素消費実験手法の開発

東京都市大学 学生会員 ○佐和英俊
 港湾空港技術研究所 正会員 井上徹教
 東京都市大学 正会員 田中陽二

1. はじめに

三河湾や伊勢湾のような閉鎖性内湾では外洋水との海水交換が行われにくく、富栄養化によって水質悪化が起こっている。一般的に富栄養化は家庭排水や工場排水、農畜産排水といった人為的起源の栄養塩が多量に流入することで起こる。栄養塩による負荷は内部負荷と外部負荷に分けられる。内部負荷とは主に堆積物からの溶出を意味し、外部負荷とは河川や下水処理場からの流入を意味する。

底層水の貧酸素化には、堆積物中で微生物が有機物を分解するときに生じる酸素消費や嫌気的条件下で生成された還元物質の酸化などが影響している。赤潮の原因となる栄養塩や青潮の原因となる硫化物は貧酸素時に堆積物より溶出することから、水・堆積物間での酸素循環を把握することは重要である。

既往の研究では、現場チャンバー法(図-1)、コア実験(図-2)、底層濃度変動などから現場での水・堆積物間の物質循環¹⁾を推定していた。これらの研究から取扱いやすさなどを考慮するとコア実験が最も汎用的であると報告されている。コア実験とはアクリルパイプを用いて現場の堆積物を採取し、そのアクリルパイプを培養する室内実験のことである。しかし、これまで現場の温度など生化学的な要素を再現するコア実験は行われているが、流速など物理的な要素を再現できないことが指摘されている。

一方で近年、現場環境を改変することなく現場測定が出来る渦相関法が開発されており、実際の現場での値を測定する方法として注目されている。しかし、現場の測定にはコストや特殊な技術を要するため、現場の値を再現できる室内実験手法の開発が望まれている。

そこで本研究では、三河湾で渦相関法を用いて採取したデータを用いて酸素フラックスや摩擦速度を算出する。酸素フラックスとは酸素の流量のことを

指す。また、同地点で採取した堆積物を用いてコア培養実験を行い、攪拌速度と酸素消費速度(SOD: sediment oxygen demand)の関係性をまとめる。これら渦相関法で得られた結果をコア培養実験結果と比較することで、最適なコア実験の条件設定が可能になり、現場の値を精度よく室内実験から推定することが可能になる。

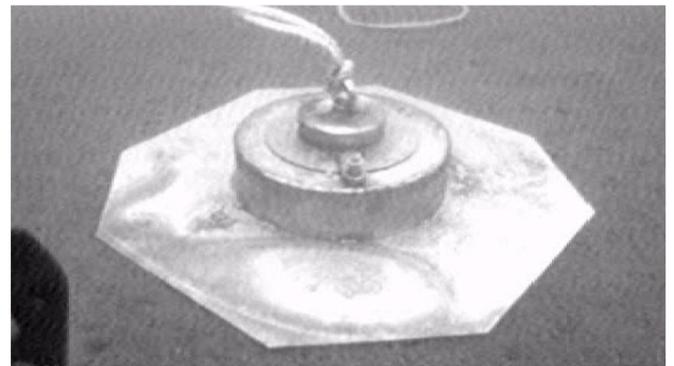


図-1 現場チャンバー法の設置例

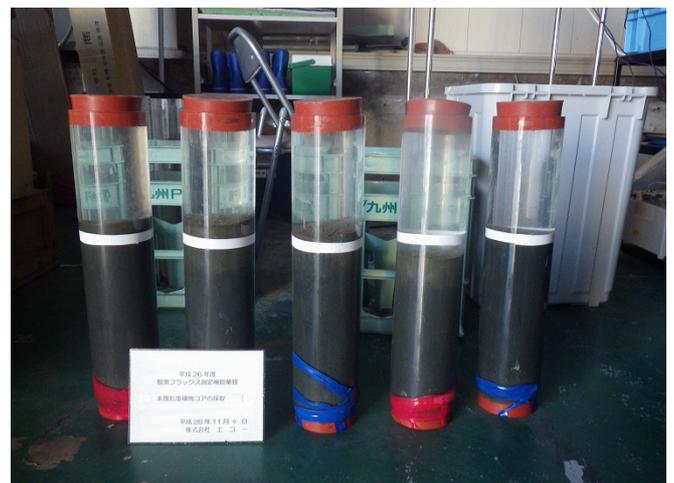


図-2 コア培養実験の作業状況

2. 研究方法

2.1. 観測場所

本研究では、2014年11月4日～11日に図-3に示す。

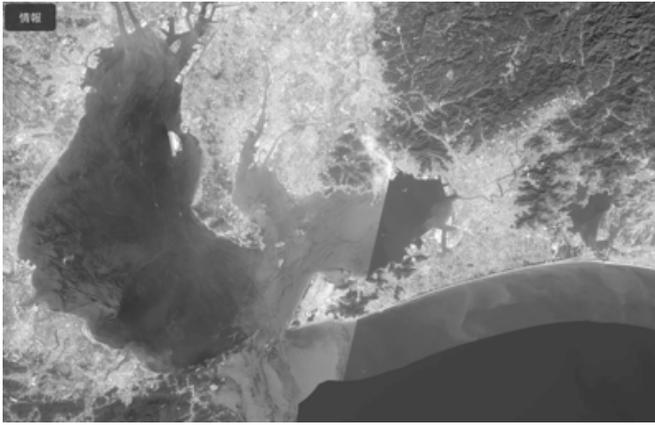


図-3 三河湾における観測地点²⁾(出典:国土地理院)

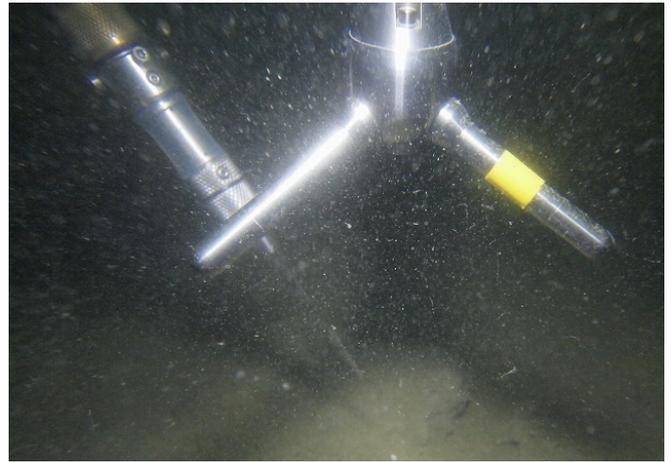


図-4 ドップラー流速計及び酸素微小電極

三河湾内の水深12メートル程度の地点において行った観測結果を使用する。観測地点にADV(ドップラー流速計), 酸素微小電極, 電磁流速計, 溶存酸素計を設置し, 流速及び酸素濃度を測定した。

また, 同地点において, アクリルパイプ(50cm×内径100mm)5本を用いて, 調査期間中の11月4日, 5日に海底の泥を採取した。

2.2. 研究手順

以下の手順を踏むことで, 本研究を進めて行く。

①渦相関法の現場観測データを整理し, 酸素フラックスを算出する。②室内実験により, コア内の流速が堆積物による酸素消費に与える影響について考察を行う。③現場(渦相関法)と室内実験(コア培養実験)によって求めた値の差を検討し, その原因を考察する。

酸素フラックスの算出手順として, トレンド除去は必須である。トレンドとは酸素濃度が増減した際の傾きのことであり, トレンドを除去せずに流速や酸素濃度の変動成分を抽出³⁾すると, 本来より値が増大してしまうからである。計算手法上では, 線形・曲線・移動平均による近似データを観測データから差し引くことでトレンドを除去することが出来る。本研究ではトレンドを除去する計算手法として, 平均処理(ブロック平均)を用いる。

2.3. 渦相関法による酸素フラックスの算出

渦相関法とはドップラー流速計と酸素微小電極

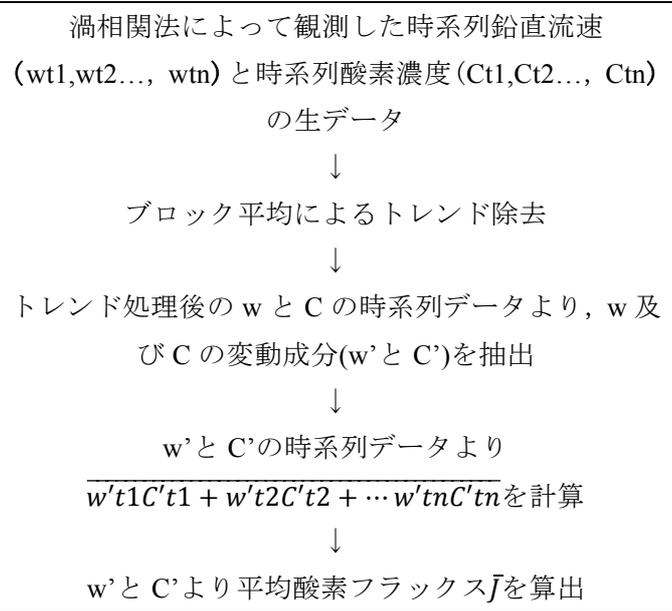


図-5 酸素フラックスの算出手順

(図-4)を用いて観測する。測定した鉛直流速及び溶存酸素濃度の座標変換等を行うことで平均酸素フラックスを算出する。酸素フラックスの算出手順⁴⁾⁵⁾を図-5に示す。

2.4. LDV (Laser Doppler Velocimeter) 実験

渦相関法によって採取した結果のデータ整理と並行してLDV実験を行う。LDV実験とは堆積物を採取したアクリルパイプにレーザー光を当て, 流速を測定する装置である。また, アクリルパイプの上部にプロペラを取り付け, 内部を循環させる。堆積物が酸素消費する際の流速等を測定し, 流速と攪拌値の関係を観測する。図-6にLDV実験図を示す。

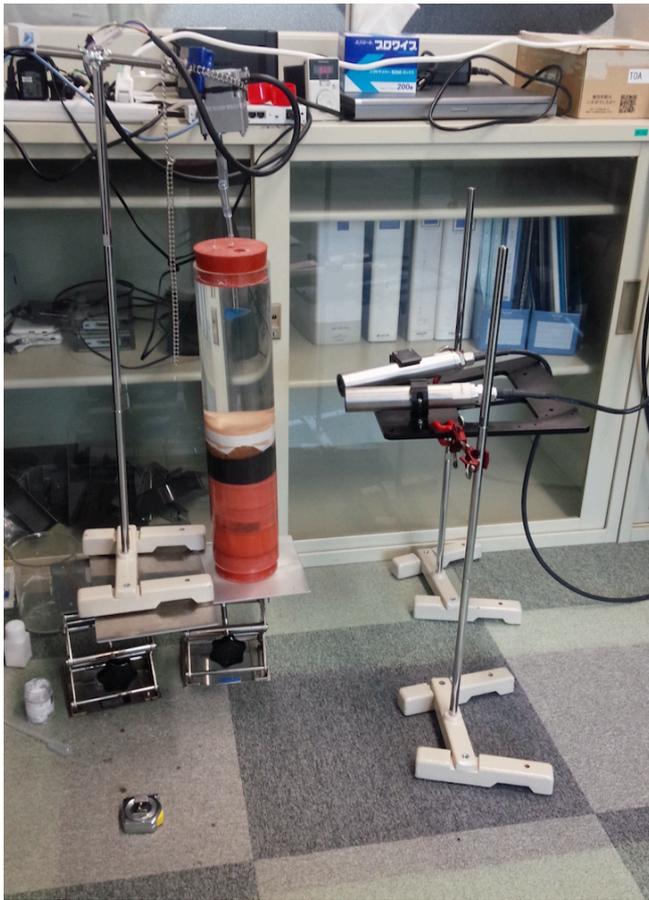


図-6 LDV (Laser Doppler Velocimeter)

3. 実験結果

3.1. コア実験

研究所による既往の研究で行ったコア実験結果を用いて、SOD（酸素消費速度）と攪拌値の関係を図-7に示す。

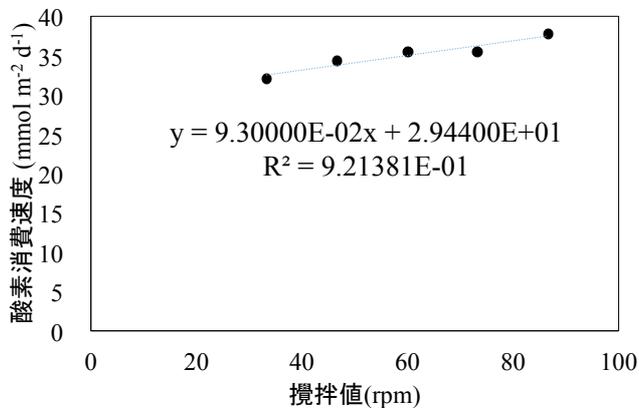


図-7 酸素消費速度と攪拌値の関係

3.2. 渦相関法による観測生データの解析結果

渦相関法によって観測した鉛直流速及び溶存酸素濃度の座標変換を行い、酸素フラックスを算出する。また、スペクトル法を用いて摩擦速度を算出する。算出した酸素フラックスと摩擦速度の関係を図-8に示した。

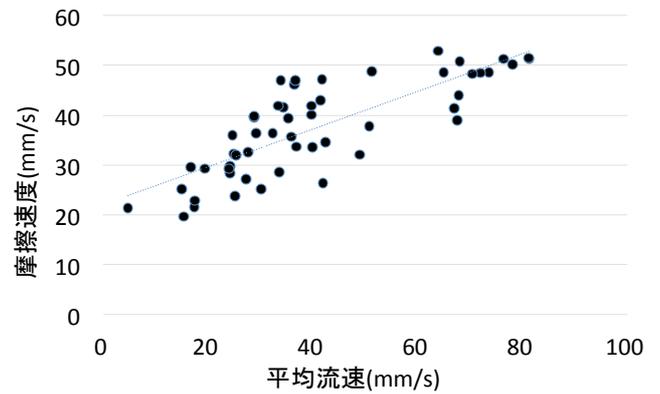


図-8 現地データによる摩擦速度と平均流速の関係

3.3. LDV実験結果

コアの底層から2.5cm,中心から4.0cm地点のLDVを使用した実験結果を図-9に示す。プロペラでコア内をかき混ぜ、モーターの攪拌値を500, 700, 900, 1100, 1300の五回に分けて測定した。実際のプロペラの攪拌値はモーターの攪拌値の1/15（モーターの攪拌値900のとき、プロペラの攪拌値は60rpm）である。本来、攪拌値と平均流速は比例関係になることが予測されるが図-9では比例にはなっていない。その理由としては測定時のノイズの影響が考えられる。

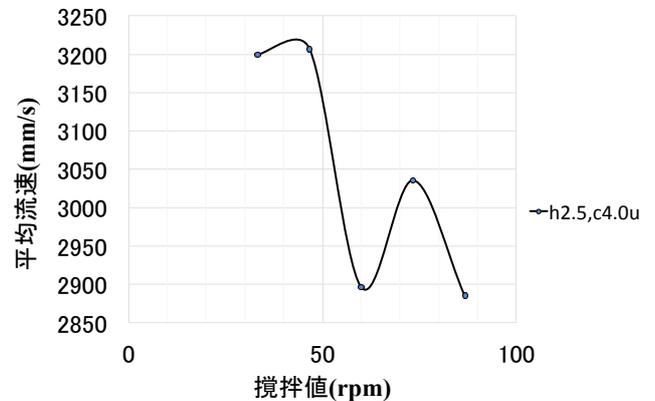


図-9 平均流速と攪拌値の関係

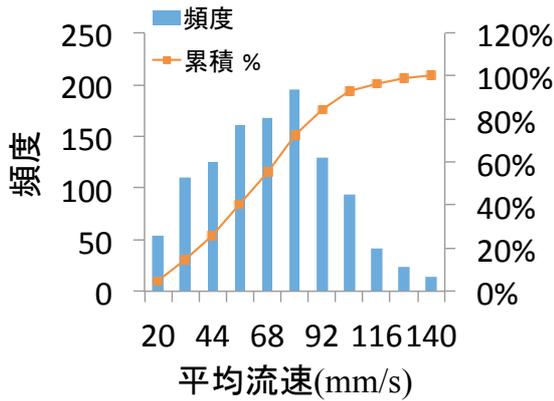


図-10 ヒストグラム一例

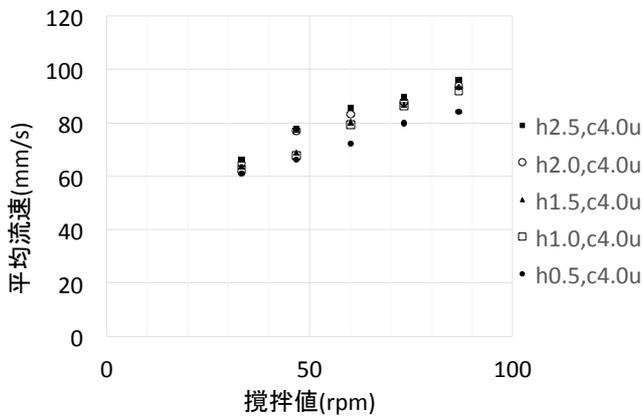


図-11 ノイズ除去後の平均流速と攪拌値の関係

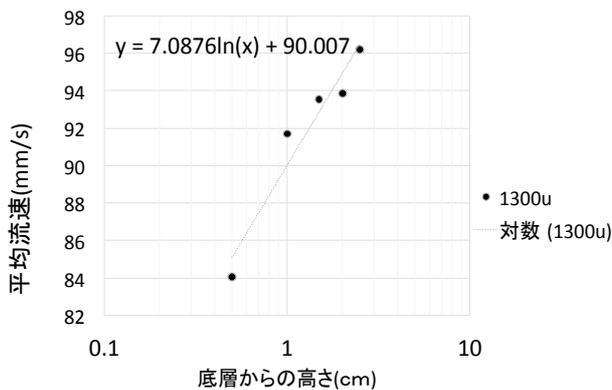


図-12 LDV実験による平均流速と底層からの高さの関係

そこでLDV測定結果の生データからヒストグラム(図-10)を用いて異常値の除去を行った。流速と頻度の関係性をまとめ、頻度数が最大の区間に対し、

10%程度より低い区間を取り除くことでノイズ削除を行った。

LDV実験の観測はコアの底面から0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0cmの各高さ、コア中心から半径方向に0.0, 1.0, 2.0, 3.0, 4.0cmの計24箇所観測を行った。図-11には中心から4.0cmにおける底層から0.5~2.5cmそれぞれの地点での平均流速と攪拌値の関係をまとめた。図-12では、平均流速とコア内の底層からの高さの関係をまとめた。底層からの高さとの関係性から摩擦速度を算出した。

4. 結論

酸素消費速度と攪拌値の関係をまとめた結果によると、酸素消費速度は攪拌値に比例することが示された。さらに、渦相関法で採取した生データをスペクトル法で算出した摩擦速度と平均流速の関係より線形性を示している結果を得られた。また、LDV実験にはノイズの削除が重要であること、及び平均流速と攪拌値が比例関係にあることが示された。さらに、コアにおける中心からの距離や攪拌値の条件が同じ場合、底層からの距離が高いほど平均流速が早いことも示された。

算出した摩擦速度や流速を酸素消費速度や攪拌値の関係性と検討した。現地観測の解析結果とLDV実験結果を比較することで擬似的な現場再現が可能となる。

参考文献

- 1) 中村由行・井上徹教・小松利光・柳町武志・Fatos Kerciku・山室真澄・神谷宏・石飛裕・左山幹雄・前田広人(1997): 栄養塩の溶出及びSODに関する室内実験手法の提案 水工学論文集, Vol.41, 1997年2月号, pp.433-438.
- 2) 国土地理院 <http://maps.gsi.go.jp> 閲覧日 11月18日
- 3) Panofsky,H.A. and J. A. Dutton(1984) : Atmospheric Turbulence:Models and Methods for Engineering Applications. John Wiley & Sons, 418 p.
- 4) Anthoni P.M.,A Freibauer, O. Kolle and E.D.Schulze(2004) : Winter wheat carbon exchange in Thuringia, Germany. Agric. For. Meteorol., Vol.121, pp.55-67
- 5) 桑江朝比呂・神尾光一郎・井上徹教・三好英一・内山雄介(2006): 堆積物による酸素消費と生成-渦相関法を適用した新たな測定手法の開発-海岸工学論文集, Vol.53,2006年, pp.1411-1415.