

底質環境が河口干潟の生態系に及ぼす影響 -大分県番匠川河口干潟のアサリを対象として- THE EFFECT OF DISSOLVED OXYGEN DEPLETION DUE TO FINE SEDIMENT ON THE CLAM HABITAT IN THE TIDAL FLAT OF BANJO RIVER IN OITA

東野 誠¹・高見 徹¹・中茂義晶²・平島英恵²・井上徹教³・清野聡子⁴・
高木章次⁵・荒巻重則⁵・小松利光⁶

Makoto HIGASHINO, Tohru TAKAMI, Yoshiaki NAKASHIGE, Hanae HIRASHIMA,
Tetsunori INOUE, Satoko SEINO, Syouji TAKAGI, Sigenori ARAMAKI
and Toshimitsu KOMATU

¹正会員 博(工) 大分工業高等専門学校助教授 土木工学科 (〒870-0152 大分市大字牧1666)

²学生会員 九州大学大学院 工学府海洋システム工学専攻(〒812-8581 福岡市東区箱崎6-10-1)

³正会員 博(工) (独)港湾空港技術研究所 海洋・水工部(〒239-0826 横須賀市長瀬3-1-1)

⁴正会員 東京大学大学院助手 総合文化研究科(〒153-8902 東京都目黒区駒場3-8-1)

⁵国土交通省九州地方整備局佐伯工事事務所(〒876-0813 大分県佐伯市長島町4-14-14)

⁶フェロー 九州大学大学院教授 工学研究院環境都市部門(〒812-8581 福岡市東区箱崎6-10-1)

A field survey has been performed both in the estuary of the Banjo river and in the Saeki bay in order to investigate the effect of water quality on the clam habitat in tidal flat. The result of water quality measurements shows that dissolved oxygen depletes due to fine sediment in the bottom of the Banjo river. Dissolved oxygen profiles near the sediment/water interface on the tidal flat are simulated based on the experimental results of the oxygen consumption rate by the sediment. The dissolved oxygen concentration profile varies considerably near the sediment/water interface and rapidly becomes zero just below the interface regardless of the shear velocity, because all DO that reach the sediment surface are utilized instantly. There is not enough oxygen both at the sediment surface and inside the sediment. A tidal flat that has biologically active sediment accumulating is therefore an inappropriate place for the clam habitat.

Key Words : field survey ,marine products, clam ,tide land, environment, dissolved oxygen,
water quality

1. まえがき

河口域に形成される干潟には地形や潮汐等の環境の多様性に伴って多種多様な生物が生息している。このような生物には、二枚貝類をはじめとして水産有用種が多く、干潟はこれら有用種の漁場として、アサリやノリ養殖の場として、さらには有用種の再生産(産卵・稚仔の生育)の場として重要な役割を果たしてきた。しかしながら、従来の沿岸域開発(環境改変)、近隣都市からの汚濁負荷の流入等によって干潟の消滅や生態系の劣化等、の問題が顕在化しつつある。近年、全国各地でこのような干潟において、生態系劣化に伴う水産生物資源の減少等が報告されている^{1), 2)}。

本研究で対象とする大分県番匠川は、その河口に約30haの干潟を有し、かつてはアサリの漁獲量が100t/年を越える良好な漁場であった。しかし、1994年からアサリの漁獲量が急減し、それ以降の漁獲量が1t/年に満たない状態で推移している³⁾。このアサリの急減は、河口干潟での生態系劣化に伴う現象であり、その原因としては、工場や水産加工場からの廃水の流入による水質の悪化、降雨等による出水に伴う底質材料の変化、重金属等の有害物質の影響等、が考えられる。著者らが行った現地観測によって、干潟周辺の樋門からの汚濁水の流入、樋門付近での多量の底泥の堆積、また、河道部では場所によっては貧酸素水塊が確認されている³⁾。アサリは水・底質境界近傍に生息することから、底質表面近傍での溶存酸素(DO)の濃度分布が底質材料や底質直上の水理・

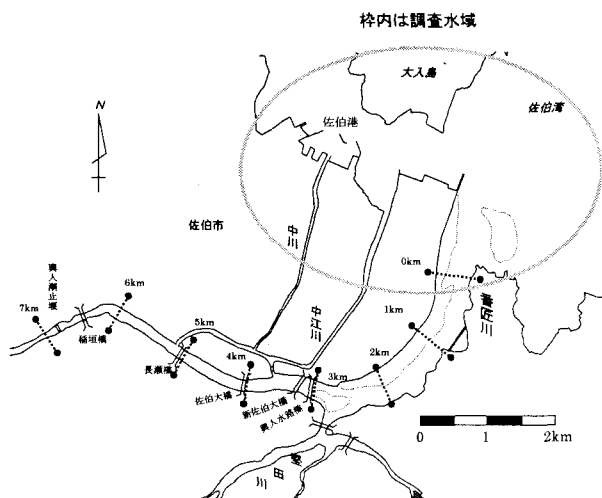


図-1 番匠川河口域の概略図

水質条件によってどのように変化するかを把握することは極めて重要である。本研究は、この底泥に起因する水域底層部の貧酸素化、およびこれによって形成される嫌気的環境がアサリ生態に及ぼす影響について検討を行ったものである。

まず、河口域とその周辺海域において、水質・底質の現地観測を行い、貧酸素水塊の形成場所とその挙動を調べた。次に、干潟上の底泥が堆積している場所で採泥を行い、この底泥によるDO消費特性を実験的に調べた。また、実験結果を基に、底泥表面近傍のDO濃度分布をシミュレートし、干潟の底質環境がアサリの生態に及ぼす影響について考察した。

2. 調査対象水域の概要

調査対象水域である番匠川は、大分県南海郡本匠村壱峯を水源とする幹線流路延長38.1km、流域面積464km²(山地413km²、平地51km²)の一級河川である。河口干潟は、河口沖と河口端から約2.5km上流までの左岸側に形成されており、その面積は約30haである。また、河口端では、場所によっては航路確保のため浚渫が行われている。かつてのアサリ漁場は、河口沖の干潟ならびに河口端から約1.5km上流までの干潟部と河道部であるが、近年、アサリの漁獲量の急減が深刻化している。なお、国土交通省の水質観測所(番匠川河口、茶屋ヶ鼻橋、水路橋(図-1))におけるBOD、およびCODは環境基準を下回っている。

3. 現地観測

(1) 調査対象地点と観測方法

貧酸素水塊が形成される場所、およびその挙動を調べ

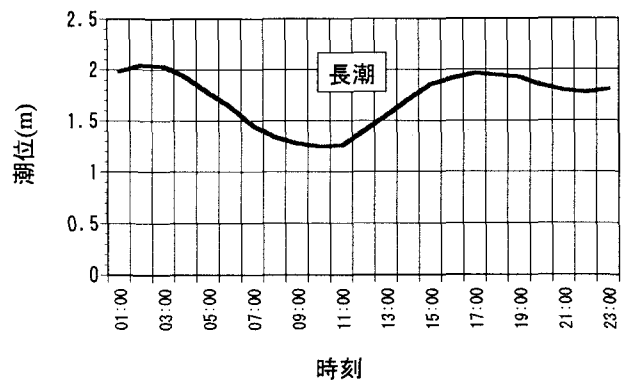


図-2 調査日(長潮)の潮位の変化

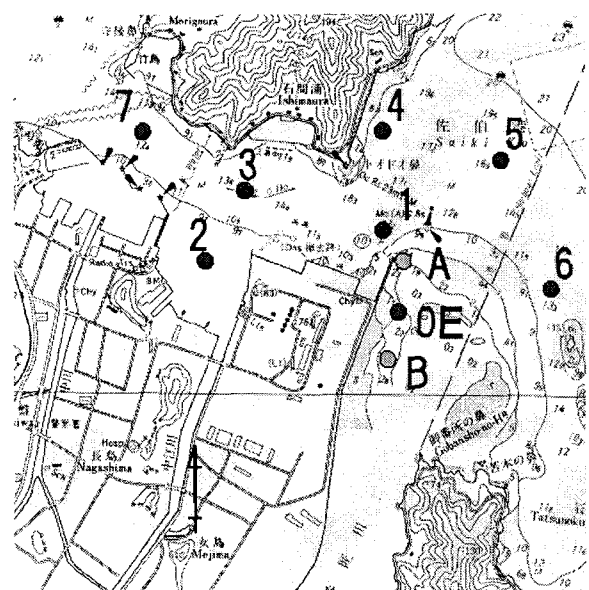


図-3 調査地点

るために、番匠川河口域とその周辺海域において水質・底質調査を行った。河口域では、観測される水理・水質諸量が潮汐によって変化する可能性があるため、現地観測は潮汐の影響が少ない長潮の日を選んだ。調査日の2003年7月24日の潮位の変化を図-2に示す。観測は干潮の時間帯である午前9時頃から15時にかけて実施された。調査開始時、すなわち干潮時の番匠川の水深は1.5～3mであった。

調査対象地点は、番匠川河口の3点(OE, A, B)と周辺海域の7点(1～7)である(図-3)。河口の3点OE, A, Bの水深は3m前後であり、前述(2.)の航路確保のための掘削が行われた場所と思われる。これらの観測地点において、計器(YSI6600)による水質(水温、塩分、DO、pH、クロロフィルa(Chl.a))観測を行った。また、エクマンバージ採泥器によって底泥を採取し、酸揮発性硫化物(AVS)の分析を行った。AVSとして、測定される硫化物にはHS⁻、H₂S、FeS、Fe₃S₄等があり、これらはいずれも

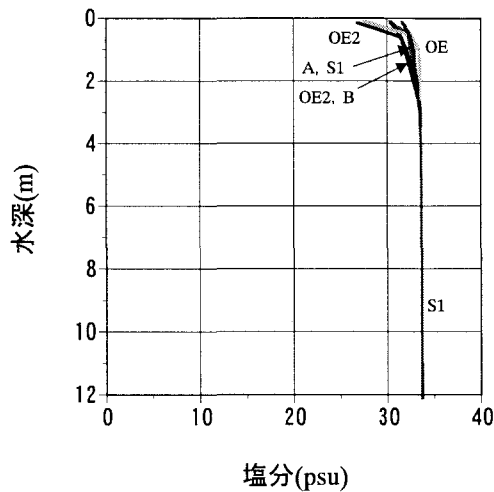


図-4 塩分の鉛直分布

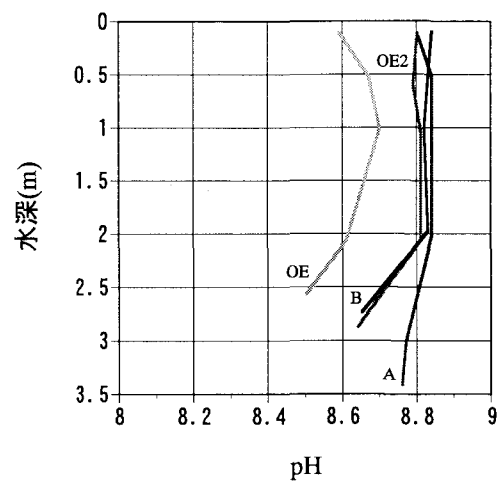


図-6 pHの鉛直分布

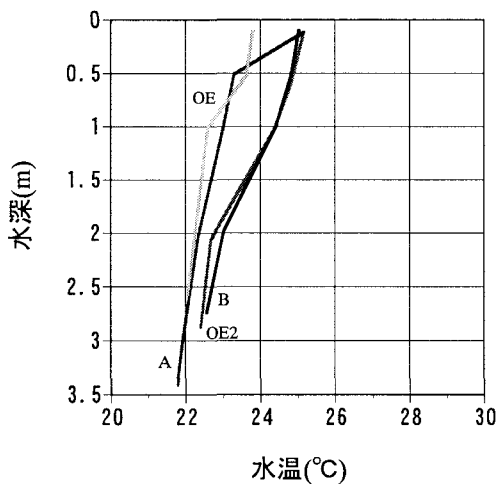


図-5 水温の鉛直分布

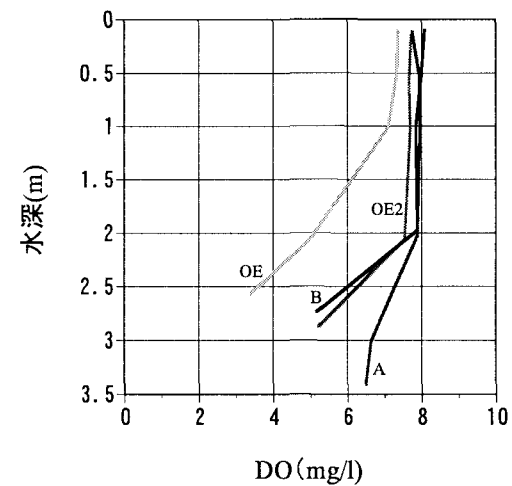


図-7 DOの鉛直分布

アサリに対して強い毒性を示す。なお、水質に及ぼす潮汐の影響を調べるために、OE地点では干潮時(OE)と上潮時(OE2)において水質を測定した。

(2) 水質の鉛直分布特性

図-4はOE, A, B地点, およびS1地点(海域)での塩分の鉛直分布を示したものである。なお、海域ではS1～S7地点の鉛直分布に大きな違いが見られなかった。この図より、上げ潮時のOE2の鉛直分布は海域(S1)と類似しており、干潮時のOEと異なる。これは、潮汐による水塊の交換に起因すると考えられる。また、海側のA地点では、海域とほぼ同様の鉛直分布を示すのが見て取れる。

調査対象地点OE, A, B地点での水温, pH, DO, Chl.aの鉛直分布を図-5, 6, 7, 8に示す。図-5より、OEを除けば、水温は表層付近において約25℃であり、水深とともに低下する。海側のA地点では他の2点と異なる変化を示しているが、これは、前述(図-4)のように、A地点が他よりも海域からの影響を強く受けることに起因している。

OEを除くpHは8.6～8.9であり、表層から水深2m付近まではほぼ一様である(図-6)。それ以深では、どの調査地点においても水深とともに低下する。また、塩分の鉛直分布(図-4)と同様、OEとOE2とで明確な相違が認められるが、これは潮汐の影響である。

図-7より、DOは図-6のpHと同様、表層から水深2mまでは約8mg/lで、鉛直方向への変化は見られない(OEを除く)。一方、水深2m以深では、DOは急激に低濃度になる。B点、OE2では約5mg/lまで低下しており、底層の貧酸素化が確認された。干潮時のOEでは、水深1m以深でDO濃度の低下が始まり、底部では約3mg/lと、OE2よりも低濃度まで低下した。塩分の鉛直分布(図-4)、および後述の海域のDOの鉛直分布(図-9)を想起すれば、OE2では上潮によって海域からDOを豊富に含む水が供給されたことにより、全水深においてDO濃度が上昇したと推察される。

図-8より、A, B地点, およびOE2では、Chl.aの鉛直方向への顕著な変化は見られない。一方、干潮時のOEではChl.aは水深とともに値が大きくなり、底層において

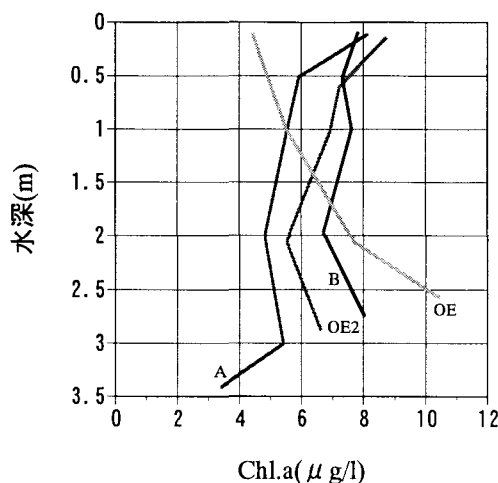


図-8 Chl.aの鉛直分布

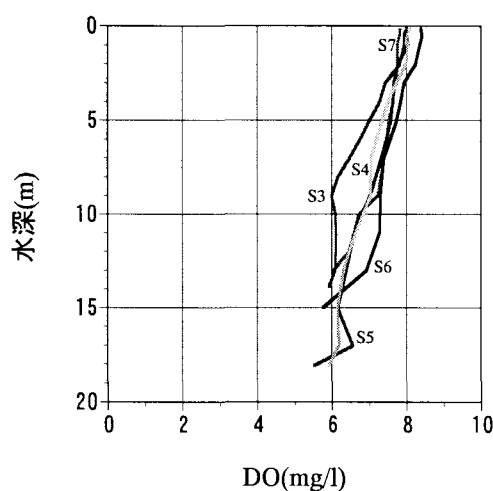


図-9 DOの鉛直分布(海域)

最大となる。前述のように、底部に堆積した底泥に起因すると思われる底層部の貧酸素化が確認されたが、底層の高いChl.a値はこの貧酸素化に伴い底泥から窒素・リン等が溶出して藻類が増殖したことによると考えられる。

(2) 海域DOの鉛直分布と貧酸素水塊形成

海域の調査地点S3～7でのDOの鉛直分布を図-9に示す。調査当日の番匠川河口周辺海域の水深は13.0～18.1mであった。この図より、DOはどの調査地点においても表層で約8mg/lで、水深とともに濃度が低下し、底層では6mg/l程度である。また、いずれの調査地点においても貧酸素水塊の存在は確認されず、これより、河口域OE地点で観測された貧酸素水塊は海域由来ではないことが確かめられた。

後述(3.(3))のように、OEとB地点ではヘドロ状の底質の堆積が確認されたことから、OE、A、Bの各調査地点では季節や環境条件によっては、この底泥に起因して水域底層部が貧酸素化し、潮汐に応じて貧酸素水塊が拡大・縮小するものと考えられる。

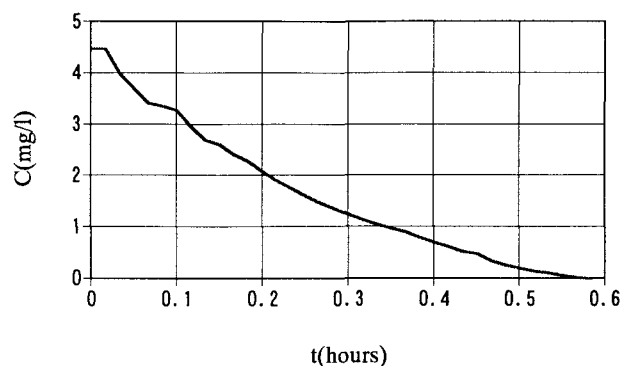


図-10 DOの経時変化

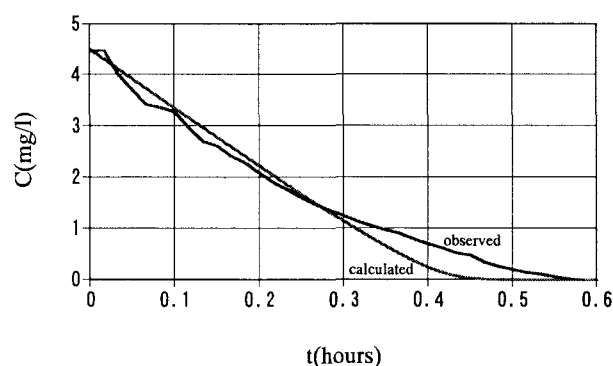


図-11 実験値と式(1)によるDO経時変化の推定値

(3) 底質

採泥はOE、B地点で行った。両地点とも底質はヘドロ状であり、嫌気臭が認められた。含水比は、それぞれ158% (OE地点)、199% (B地点)であった。AVSは1.841mg/gDW (OE地点)、1.657 mg/gDW (B地点)と、高い値を示した。2mg/gDW以上のAVSはアサリ生態に影響を与えるとの報告もあり⁴⁾、調査地点周辺では底部において、堆積した有機物の分解に起因する貧酸素化、および嫌気的環境での硫化物の生成がアサリ生態へ悪影響を及ぼしていることが示唆される。

4. 底質によるDO消費と底質表面近傍でのDO濃度分布

著者らの観測により干潟の一部³⁾、また、前述(3.)のように河道においても底泥の堆積が確認された。アサリは水・底質境界面近傍に生息するので、界面近傍でのDO濃度分布を把握することは、底質がアサリ生態に及ぼす影響を評価するに際して重要である。そこで、干潟において現地泥を採取し、底泥によるDO消費特性を調べた。

(1) 実験材料と方法

著者らの観測でアサリの生息密度が低かった樋門付近

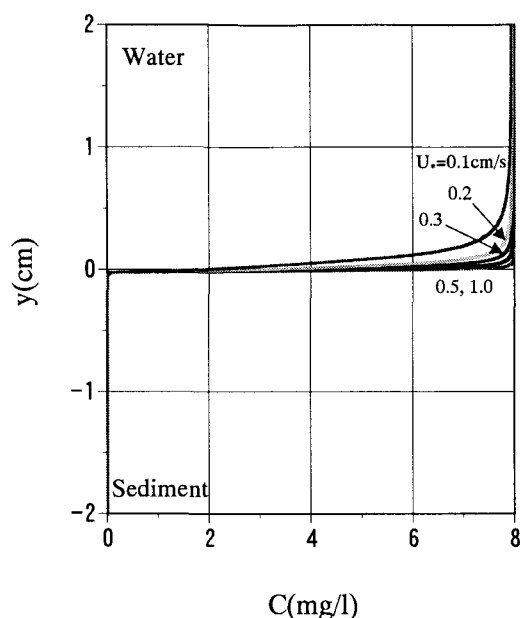


図-12 水・底泥境界面近傍のDO濃度分布(番匠川底泥)

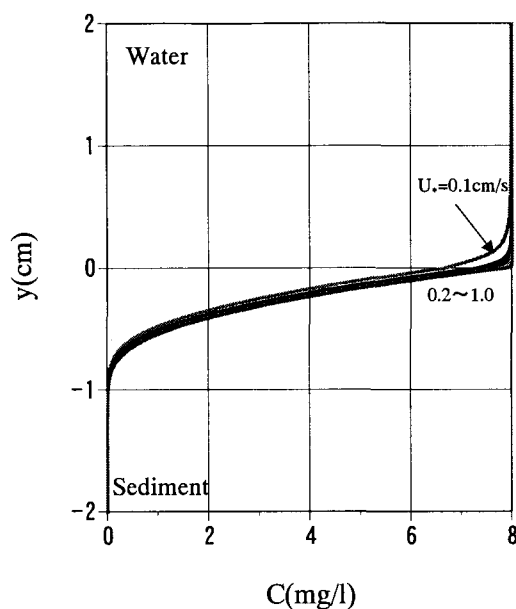


図-13 水・底泥境界面近傍のDO濃度分布(僅かな生物分解性の有機物を含む砂質土)

の干潟上2点(B点の上流部(図-3))³⁾で底泥を採取し、試料とした。

実験に供した底泥は細砂を含むものの、ヘドロ状であり、嫌気臭が認められた。この底泥50mlを培養瓶(容量300ml)に分取して、溶存酸素(DO)を飽和させた蒸留水で満たし、その後、DO濃度の経時変化をDOメーター((株)飯島電子工業製B-100)で測定した。

(2) 底泥によるDO消費特性

実験でのDOの経時変化の一例を図-10に示す。DOは時間とともに単調に減少し、0.6時間後にはゼロになる。DOが減少する原因としては、第一鉄の酸化等の化学的過程や微生物の増殖に伴うDO消費等が考えられるが、ここでは、DO消費は好気性微生物の増殖に起因すると考えることにする。微生物が分解可能な有機物を多く含む底泥の場合、底泥によるDO消費過程は、最近の微小電極を用いた実験結果によると、0次反応速度式、あるいはMonod式を用いて次のように表現できる⁵⁾。

$$-\frac{dC}{dt} = \frac{\mu C}{K_{O_2} + C} \quad (1)$$

ここに、 C はDO濃度、 μ は最大酸素消費速度、 K_{O_2} はDOの半飽和定数であり、著者らの従来の研究と同様、 0.2mg/l とする⁶⁾。

実験でのDO経時変化に上式(1)をあてはめれば、最大酸素消費速度として $\mu=1032\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$ 、 $1752\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$ を得る。これらの底泥はいずれも有機物質を高濃度に含有し、DO消費能力が極めて高いことが示された。このようにして得られた μ 値を式(1)に代入し、初期値 $C(0)=4.5\text{mg/l}$ に対してDO経時変化をシミュレートした結果を、図-11に実験値と併せて示す。この図より、

Monod式(1)は実験開始後0.3時間までは実験結果をよく再現している。一方、0.3時間以降は、式(1)は実験値よりも小さなDO濃度の推定値を与える。これに関して、式(1)では底泥が分解可能な有機物を十分に含み、DO消費速度はDO濃度により律せられると仮定されている。ところが、実験においては底泥中の有機物は酸化されて時間とともに減少してゆき、ある程度の時間の経過の後には有機物濃度がDO消費速度を律するようになることに起因していると思われる。実水域でのDO消費過程においては、底泥中には多量の分解可能な有機物が含まれるので、有限の底泥試料(50ml)を用いた実験とは異なり、DO消費速度はDO濃度により律せられると考えられる。

(3) 水・底泥境界面近傍のDO濃度分布

実験結果に基づいて、干潟における水・底泥境界面近傍のDO濃度分布をシミュレートし、干潟上の多量の底泥が堆積した場所がアサリ生息場所として適しているかを考察する。この水・底泥境界面近傍のDO濃度分布は底泥直上の水流流速と底泥内部でのDO消費の両者に規定される。加えて、河口域では潮汐に伴い水深や流速等の水理条件が変化する。底泥によるDO消費速度は、式(1)中の μ 値によって表現されるが、これに関しては実験値を用い、異なる水理条件(摩擦速度)に対する水・底泥境界面近傍のDO濃度分布を著者らのモデルによって求めた。

このモデルによるDO濃度分布を求めるための基礎式は、底泥直上の水中と底泥内部とで異なり、それぞれ次式で表される⁶⁾。

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial y} \left\{ (D_w + D_t) \frac{\partial C}{\partial y} \right\} \quad (\text{底泥直上水中}) \quad (2)$$

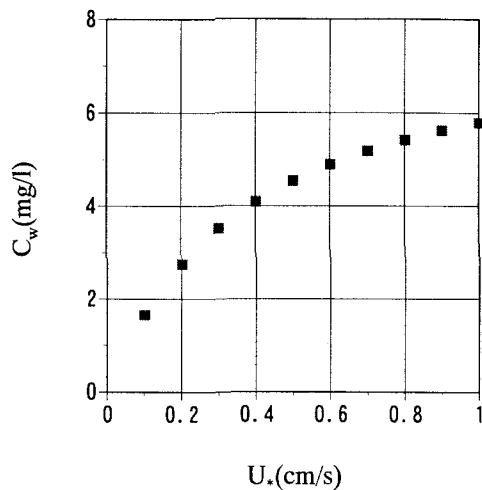


図-14 $C_w \sim U_*$ 関係

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D_s \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} - \frac{\mu C}{K_{O_2} + C} \quad (\text{底泥内部}) \quad (3)$$

ここに、 D_w と D_s はそれぞれ水中のDOの分子拡散係数、および乱流拡散係数である。 D_s は底泥内部でのDOの拡散係数であり、水中の値の50% ($D_s=1/2D_w$)と仮定されている。また、乱流拡散係数 D_s は摩擦速度 U_* 、および動粘性係数 ν を用いて次式で表される。

$$\frac{D_s}{\nu} = \left(n \frac{U_* y}{\nu} \right)^3 \quad (4)$$

ここに、 n ($=0.1$) は定数である。

シミュレーションに際して、河川水中のDO濃度は、前述(3.)の観測結果を参考に8.0mg/lとした。なお、底泥表面直上の流れは乱流であると考えている。

図-12は実験より得られた μ 値(1752 $\text{mg} \cdot \text{l}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$)に対する、底泥直上の水流流速(摩擦速度)を変化させた場合 ($U_*=0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 1.0\text{cm/s}$) のDO濃度分布を示したものである。界面直上の水中では、DOは高濃度に維持されるが、界面近傍においてDO濃度は急変(低下)するとともに、底泥内部において急激に消費され、いずれの摩擦速度においても界面直下でゼロとなる。一方、図-13は生物分解性の有機物を殆ど含まない砂質土 ($\mu=1 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$) の場合のシミュレーション結果である。どの摩擦速度においてもアサリの生息に十分なDOが水中から底泥内部へと供給され、表面から数cmにかけて好気状態に保たれており、図-12の底泥と大きく異なる。

図-14は、図-11の底泥について、種々の摩擦速度(U_*)に対する水・底泥境界面でのDO濃度 C_w を示したものである。 C_w 値は摩擦速度とともに大きくなるが、4cm/s以下の摩擦速度では C_w は水中の値の50%以下である。これらの結果から、干潟上の底泥が堆積している場所では、底泥内部はもとより、底泥表面でさえもアサリの生息に必要なDOが不足していること、底泥内部では嫌気的な物質代謝によってアサリに対して有害な硫化物が生成さ

れやすい状況であること、が明らかになった。

5. むすび

本研究では、底泥に起因する水域底部の貧酸素化、および貧酸素水塊がアサリ生態に及ぼす影響を調べるために現地観測を実施するとともに、干潟において実底泥を採取してそのDO消費特性を調べ、得られた結果を基に干潟における水・底泥境界面近傍でのDO濃度分布の再現を試みた。

現地観測より、河口域において貧酸素水塊の存在が確認された。これは海域由来ではなく、河道部に堆積した底泥に起因するものであることが示唆された。また、番匠川河口干潟には、場所によっては高濃度の有機物を含む底泥が堆積している。この底泥が堆積した場所では、底泥直上の水理・水質条件によっては水・底泥境界面でのDO濃度は水中の値の50%以下であり、底泥内部は嫌気状態に保たれ、アサリの生息に適さない環境であることが明らかになった。

謝辞：本研究は、土木学会水理委員会河川懇談会の共同研究計画「汽水域の環境特性に関する研究(番匠川)」の一環として行われたものである。佐伯工事事務所 小犬丸智明氏、草野裕一久氏には現地観測に際し、ご尽力頂いた。また、実験に際して、大分工業高等専門学校卒研生諸氏のご助力を得た。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 清野聡子, 宇多高明, 三船修司: 過去の地形条件における希少生物カプトガニの孵化幼生の分散過程の復元と生息地保全, 水工学論文集, 第46巻, pp.1181-1186, 20002.
- 2) 宇野宏司, 中野 晋: 吉野川河口における塩分環境とシオマネキ幼生分布状況, 水工学論文集, 第46巻, pp.1175-1180, 20002.
- 3) 高見 徹, 東野 誠, 井上徹教, 中茂義晶, 安達貴浩, 清野聡子, 別府五男, 郡山貞次, 小松利光: 河口干潟の環境と水産生物資源の変動に関する現地観測-大分県番匠川河口干潟のアサリを対象として-, 水工学論文集, 第47巻, pp.1081-1086, 2003.
- 4) (社)全国沿岸漁業振興開発協会: 沿岸漁場整備開発事業増殖場造成計画指針ヒラメ・アサリ編, 平成8年度版, pp.140.
- 5) House, W.A.: Factors influencing the extent and development of the oxic zone in river-bed sediment, Biogeochemistry, 63, pp.317-333, 2003.
- 6) 東野 誠, ステファン, H.G.: 底泥直上の環境条件の変化に伴うSOD応答, 水工学論文集, 第47巻, pp.973-978, 2003.

(2003. 9. 30受付)