

酸素消費速度に着目した干潟・浅瀬の環境評価

佐々木淳¹・前田周作²

底生動物の酸素消費速度に着目した, 干潟・浅瀬の簡便な評価方法について検討した。まず, 各底生動物の酸素消費速度の時系列を計測する効率的な方法を開発し, 変動の幅と要因について検討した。得られた結果を基に単位質量当たりの酸素消費速度の時間平均値を水温の関数として示し, その定量性の高いことを確認した。次に評価の具体例として生物調査の豊富な東京湾の三番瀬を対象として, GIS 上に底質や底生動物の種および量の時空間分布を整理し, 先に求めた各底生動物の酸素消費速度と統合することにより, 三番瀬全体の酸素消費速度および有機物分解速度の季節変化を推定した。最後に生物調査の空間密度が推定結果に与える影響を考察した。

1. はじめに

沿岸域における環境保全や環境再生を考える際, 干潟や浅場が持つ環境機能の評価は最重要課題の一つである。特に干潟・浅瀬の保全や造成を検討する際には, それぞれの干潟・浅瀬の環境価値の相対比較が, 保全の優先度や環境再生事業の優先順位を考える際の有益な情報になると考えられる。しかし, 現状では対象とする場によって調査項目や規模が大きく異なるなど, 相対比較が必ずしも客観性を持たないのが現状である。そこで本研究では将来的に多くの場間での相対比較を行っていくことを想定し, 比較的簡便な手法を用いた環境評価とその推定値の幅について基礎的な検討を行うことを目的とする。

ところで干潟・浅瀬には生物の生息場, 水質浄化等様々な機能があるが, ここでは水質浄化機能, 中でも有機物の好気的環境下における分解過程に絞る。この場合の有機物分解は底生動物の呼吸や底質による酸素消費として捉えることができ, 計測が簡便で信頼性も高い。そこでまず, 個々の素過程の酸素消費速度を簡便かつばらつきを含めて把握する。次に, 場全体における底質や生物調査結果のうち, 酸素消費に関わる情報を GIS 上で整理し, 場全体での酸素消費量の算定, すなわち好気的環境下における有機物分解量の推定を行う。なお, 本研究ではこれら一連の流れを示すことに主眼をおき, 個々の酸素消費実験等については情報の蓄積を含め課題があること, また, 脱窒を含む嫌気的環境下における有機物分解についても今後の検討課題であることを付記しておく。

2. 実験手法の確立

干潟・浅場を対象とした酸素消費速度実験はこれまでも数多くの例があるが, ここでは室内実験における方

法を再検討し, より効率的かつ信頼性の高い手法の確立を目指す。また, 室内実験の妥当性を検証するため, 現地干潟における酸素消費速度の直接計測も実施する。

(1) 室内実験

a) 実験装置

直径 110 mm 長さ 500 mm のアクリル製の円筒型水槽(測定水槽)に測定試料(底質や底生動物)を入れ, 人工海水を満たし, 大気と遮断した後, 溶存酸素濃度計(以下, DO 計)によって DO 時系列を計測する(図-1)。円筒形水槽は恒温槽中に設置することで水温を管理する。恒温槽は温度設定が可能な外部循環型恒温水槽 TAITEC 社製 COOLNIT CR-80R との間で設定水温の水を循環させることにより構成する。恒温槽内に測定水槽を 2 つ設置し, 同一条件下での実験を 2 セット同時に行えるようにする。測定水槽には攪拌機を設置し, 水槽内の水質分布が一樣となるよう配慮している。DO 濃度の計測には東亜ディーケーケー製 DO24P を用いた。

実験に先立ち, 水面における気体交換を遮断する方法について検討した。一般に気体交換の遮断には流動パラフィンが用いられるが, 試料が油まみれになりやすいといった問題もあるため, 直径 2 mm の発砲スチロール粒を全面に重ねて覆う方法, 肉厚 10 mm の発砲スチロール製蓋を用いる方法, および肉厚 5 mm のゴム製蓋で覆う方法についても, それぞれの気体交換の遮断効果を検

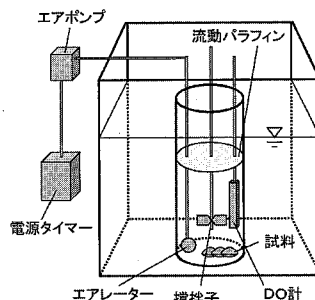


図-1 実験装置の概要

1 正会員 博(工) 横浜国立大学助教授 大学院工学研究院システムの創生部門

2 横浜国立大学大学院工学部社会空間システム学専攻

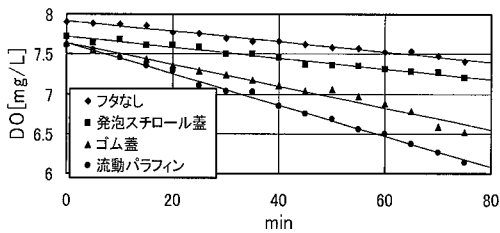


図-2 水面におけるガス交換の抑制方法に関する検討

討した。

検討方法としては、東京湾盤州干潟の底質と海水を用い、蓋を一切用いない場合、発砲スチロール蓋、ゴム蓋、および流動パラフィンの順に DO 濃度の時系列を測定し比較した。結果の一例を図-2 に示すが、流動パラフィンを用いた場合が最も DO 濃度の低下速度が大きく、他の方法ではゴム蓋が比較的良好ではあるものの、いずれも大気中からの酸素溶解を十分に遮断できていないことが分かる。そこで、本実験でも流動パラフィンを用いることとしたが、底生動物等の試料の汚損を避けるため、試料の取り出しの際には事前に流動パラフィンを吸い取る等の工夫をした。

b) DO 濃度時系列の計測法

底生動物の酸素消費速度に関しては潮汐リズムや夜行性等の体内リズムの影響により、1日のうちでも酸素消費速度が変化する。こういった変化をとらえつつ、効率的な測定を行うため、以下のような方法を検討した。

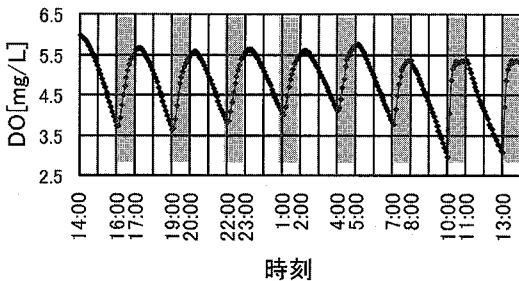


図-3 24 時間連続運転による溶存酸素濃度時系列の測定例

まず、広い範囲の水温環境下における酸素消費速度を把握するため、実験水温として 15、20、25、28℃ の 4 通りを採用した。試料を投入した後、恒温槽を用いて実験水槽をそれぞれの水温に固定した。次に、ばっ気することにより実験水槽中の DO 濃度を飽和させた後、実験を開始する。1 回の酸素消費速度の算定に要する計測時間は全体で 3 時間とし、2 時間酸素消費実験を行った後、1 時間ばっ気して DO 濃度を回復させた。これを 8 回繰り返すことで、24 時間にわたる酸素消費速度の時系列を算定することが可能となった。この一連の操作を

自動化するため、DO 濃度は自記式の計測器による 24 時間連続測定とし、ばっ気装置のスイッチは自動タイマーによって 2 時間おきに 1 時間稼働するように設定した。結果の一例を図-3 に示すが、酸素消費とばっ気による酸素供給が明瞭に示されている。なお、ばっ気を停止した直後はしばしば酸素消費速度の値が小さくなる結果が得られたが、これは残った気泡からの酸素の溶け込みによると推定され、気泡を大型化することでこの傾向が軽減されることが分かった。

以上によって実験 1 ケースが終了した後、水温を変化させて 1 日間慣らした後、同様の方法で計測を続けた。

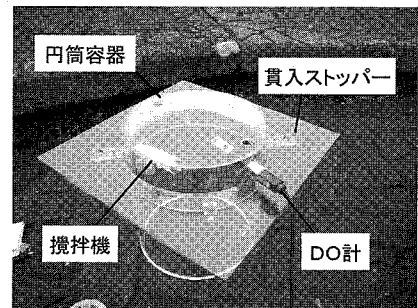


図-4 現地干潟用の酸素消費実験装置

(2) 現地実験

室内実験の妥当性の検証を目的に、現地の干潟における酸素消費速度の直接計測を行った。図-4 に示すように直径 300 mm、高さ 350 mm の上蓋付きアクリル製円筒容器に底質貫入ストッパーを取り付けたチャンバーを用いた。チャンバーの横の小孔から DO 計を挿入し、内部には電池式の水中モーター (攪拌機) を設置した。本チャンバーを底質上の厚さが 100 mm となるように底質中へ貫入させた。干潮時にはチャンバー上面の小孔から海水を注入した後ゴム栓をすることで、チャンバー内に海水を満たした。本装置を用いて DO 濃度の時系列を測定することにより、酸素消費速度を算定した。

3. 実験結果と考察

実験試料は底質、海水に加え、甲殻類、二枚貝類、および多毛類それぞれについて、アシハラガニ、アサリ、およびアオゴカイを用いた。ここでは底生動物を中心に結果を示す。

(1) アサリ

図-5 にアサリ酸素消費速度の水温別の 24 時間時系列の一例を示す。アサリの呼吸速度には潮汐リズム等の変動があることが知られているが (伊藤, 1992)、今回の実験では他の例も含めて必ずしも明確な呼吸リズムは見られなかったが、かなりの変動が観察された。次にすべ

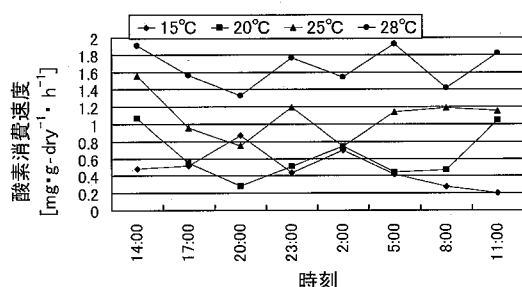


図-5 水温別のアサリ酸素消費速度の24時間時系列

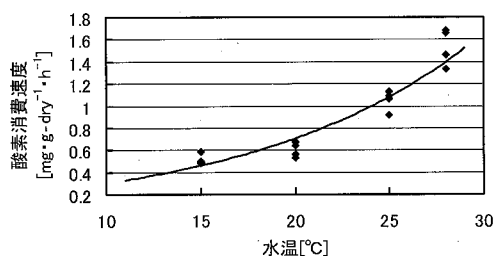


図-6 アサリ酸素消費速度の水温依存性

での実験ケースについて水温別に時間平均をとったところ、図-6の結果が得られた。

一般に動物はその個体のサイズによって、単位重量あたりの呼吸速度が異なることが知られている（例えば、赤繁ら，2005）。本研究ではサイズ別の計測は行っていないため、この点は実験ケースごとのばらつきの一因になっていると考えられ、信頼性向上のためには今後検討していく必要がある。一方、活動状態の差異による変動は24時間の平均値をとることによりある程度抑えられているものと推察する。

(2) アシハラガニ

アシハラガニ酸素消費速度の水温別の24時間時系列の一例を図-7に示す。アシハラガニの場合は一貫して計測開始直後の酸素消費速度が大きく、その後低減する傾向が見られた。水槽に投入した直後はアシハラガニは通常より活発に活動する様子が見られたため、活動量の変化が強く影響しているものと考えられる。また、若干ではあるが深夜の時間帯において酸素消費速度が上昇する傾向が見られた。これは同種が夜行性であることを反映しているものと見られ、実際、活動が活発となっている様子を確認している。図-8に単位重量あたりの酸素消費速度と水温の関係を示すが、このように酸素消費速度は活動状況等による変動が大きいため、アサリよりもばらつきが大きく出たものと思われる。なお、実験時間を48時間にして同様の実験を行ったところ、やはり最大の酸素消費速度は実験開始直後に見られたため、開始直後の値

が呼吸速度のほぼ最大値を示すものと推測される。

(3) アオゴカイ

アオゴカイについても同様の実験を行い、単位重量あたりの酸素消費速度と水温の関係を求めた。ただし、本種については実験途中から老廃物による海水の濁りが顕著に観察された。実験直後にこの老廃物を含む海水のみの酸素消費速度を計測したところ、アオゴカイのみによる酸素消費速度の3倍以上の値が得られた。この老廃物は比較的定常的に排出されていると思われ、また速やかに酸素を消費していることから、老廃物による寄与を分けて概算することができる。多毛類は既往の研究におけるばらつきが大きい、このような性質が影響している可能性もある。本研究では老廃物の有機物分解過程も本種による分解過程の一部であると考え、両者の寄与を含めた値を用いることとした。

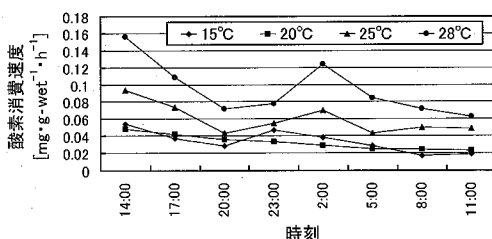


図-7 水温別のアシハラガニ酸素消費速度の24時間時系列

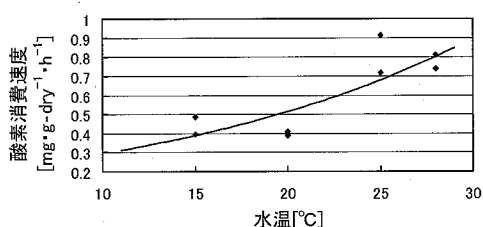


図-8 アシハラガニ酸素消費速度の水温依存性

表-1 底生動物の酸素消費速度と水温の関係を表す推定式

ベントス	酸素消費速度 ($\text{mg} \cdot \text{g-wet}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$)
二枚貝類	$S=0.0028 e^{0.0838t}$
多毛類	$S=0.0479 e^{0.0383t}$
甲殻類	$S=0.0074 e^{0.088t}$

(4) 現地干潟の底質

有明海奥部の鹿島海岸における底泥、東京湾盤州干潟および三番瀬における底質、および横浜海の公園における底質について実験を行い、室内実験結果との比較を行ったところ、両者はよい精度で一致し、本手法の妥当性が示された。

(5) 考察

表-1に本研究で得られた底生動物単位湿重量あたり

の酸素消費速度と水温との関係を表す推定式を示す。酸素消費速度に関してはこれまでも数多くの報告がある。例えば、清木ら（1998）は底生動物による酸素消費速度として、水温 20℃ の二枚貝類で $9.6 \sim 17.3 \text{ mg gdry}^{-1} \text{ day}^{-1}$ 、多毛類で $0.3 \sim 3.9 \text{ mg gdry}^{-1} \text{ day}^{-1}$ の値を報告している。既に触れたように底生動物による酸素消費速度は様々な要因による変動が見られるが、その値のオーダーについては同様の結果が得られた。しかし、本実験のように 24 時間の時系列を水温別に複数ケース実施することで、単位重量あたりの酸素消費速度と水温の関係が比較的良好とまり、変動の幅についてもある程度把握することが可能となると考えられる。推定式については今回は個体サイズを考慮していないため、最も単純な指数関数の形式を用いた。全体の精度を考えると今後も基本的にはこの方向で十分であると考えが、主要な種については精度の向上とその最終結果への影響について考えていきたい。

4. GIS を用いた干潟・浅瀬の評価

これまでに求めた個々の素過程に関する酸素消費速度の推定式を用い、生物分布調査結果と組み合わせて GIS 上で整理することにより、干潟・浅瀬全体における酸素消費速度の推定を試みる。推定には底生動物分布に関する情報が必要となるため、既往データの豊富な東京湾三番瀬を具体例とし、1996 年から 1997 年にかけて千葉県企業庁（1997）および千葉県土木部・千葉県企業庁（1998）が実施した、四季の調査結果を用いることとする（以下、千葉県と略記する）。

（1）方 法

まず、三番瀬全域の海岸線に関しては国土地理院の数値地図 25000 を ESRI 社の ArcGIS 上に読み込み、地形図を作成した。次に千葉県による調査地点が示された紙地図を GIS 上に読み込み、ジオリファレンス機能を用いて先に作成した地形図と重ね合わせ、データポイントを作成した（図-9）。これらのデータポイント上に各季節の底生生物の種と量、および泥温、底質粒径等の環境データを入力した。三番瀬全体への内外挿には IDW (Inverse Distance Weighted) 法を用いた。これによりデータポイント上の値の範囲を超える不自然な内外挿は抑制されることになる。

三番瀬における底生動物の出現湿重量優先種をみると、軟体動物ではアサリ、シオフキガイ等の二枚貝類が、環形動物ではミズヒキゴカイ等の多毛類が、節足動物ではドロクダムシ等の甲殻類が大半を占める。よって、軟体動物、環形動物、節足動物の分布に対し、二枚貝類、多毛類、甲殻類の酸素消費速度を適用することとした。当該調査では底生動物の分布は湿重量で整理されているた

め、酸素消費速度の式は表-1 に示したものを使用した。ただし、環形動物の酸素消費は老廃物による酸素消費も含むものとしてある。一方、GIS を用いた算定により三番瀬における底生動物の湿重量は表-2 に示すように季節を通して軟体動物、環形動物、節足動物によって占められている。よって、これらの酸素消費速度の合計を三番瀬における底生動物による酸素消費速度とした。

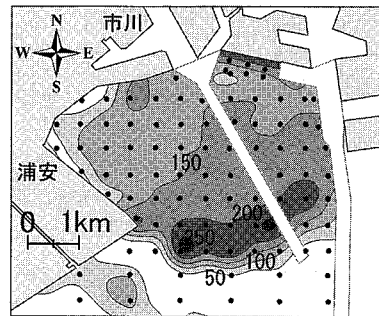


図-9 三番瀬における底質粒径分布 (μm) とデータポイント

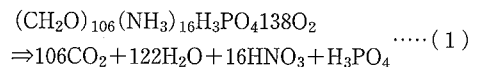
表-2 三番瀬における季節別の底生動物の割合

底生生物	春季(%)	夏季(%)	秋季(%)	冬季(%)
二枚貝類	70.6	95.0	95.3	69.7
多毛類	18.3	1.4	2.1	19.8
甲殻類	5.6	0.5	0.6	3.2
合 計	94.5	96.9	98.0	92.7

（2）推定結果

このようにして求めた四季の底生動物による酸素消費速度の分布を図-10 に示す。酸素消費速度に関する動物による寄与は二枚貝によるものが圧倒的に大きく、生物量と水温の影響で夏季に最も高く、冬季には非常に小さな値となることから図-9 に示すような等間隔のサンプリングの場合は情報量が不足するおそれがある。

以上の結果から四季の三番瀬における 1 日あたりの底生動物による酸素消費速度が得られた。これを基に有機物分解を表す次式を用いて、1 日あたりの有機物分解量に換算した。これらの結果を図-11 に示す。



同図中には葛西水再生センターにおける 1 日あたりの有機物分解量も併せて示してある。

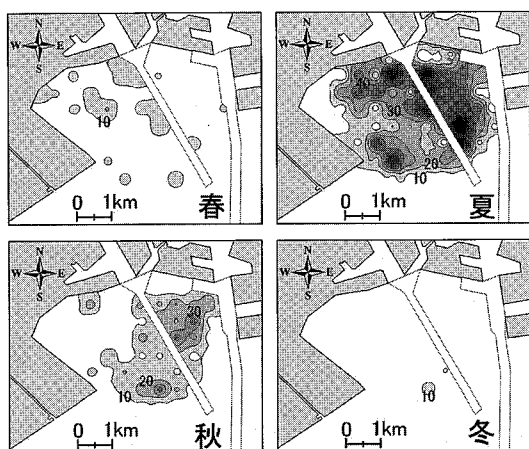


図-10 三番瀬における四季の底生動物による酸素消費速度の空間分布

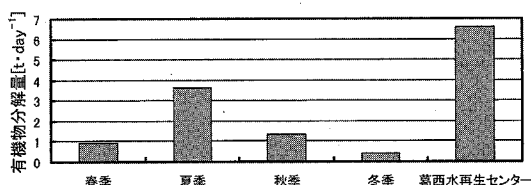


図-11 季節ごとの底生動物と葛西水再生センターにおける有機物分解速度

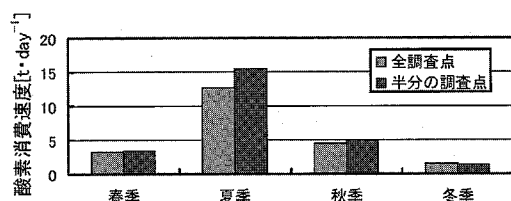


図-12 データ点を間引いた場合の酸素消費速度の比較

(3) 推定値の幅についての考察

本研究でも用いた手法による底生動物による酸素消費速度の推定値はばらつきの標準偏差からは3割程度の幅があるが、1日平均で見るとかなり安定した値が得られており、再現性も高い。一方、三番瀬全体の評価に際しては、底生動物を大きくりに分類している上に、サンプリングの問題からかなりの誤差を含むものと予想される。底生動物の分類を細かくしていくことは比較的容易に可能であり今後の課題とするが、ここでは生物調査におけるサンプリング間隔の影響について考察を加える。

図-9に示した調査点を一つおきに間引き半分の点だけを用いて同様の方法により三番瀬全体の底生動物による四季の酸素消費速度を求め、間引かない場合の結果と比較したものを図-12に示す。冬季については若干の差

異が見られるものの、全般的には両者はよく一致している。このことは調査密度の設定にあたって有益な情報であると考えられる。ただし、今回の結果は砂質域における二枚貝類の寄与が大きいこと、および三番瀬における砂質域の割合が大きく情報が豊富であったことにも起因すると考えられ、先に述べたように面積的には小さい泥質域についてはサンプリング点を増やす等、底質粒径ごとにそれぞれの面積等に応じたサンプリング密度を設定するのが合理的であると考えられる。

5. ま と め

干潟・浅瀬における環境評価の一つとして酸素消費速度に着目し、まず、変動の大きい底生動物による酸素消費速度の時系列を定量化する効率的な方法を確立した。次に二枚貝類、甲殻類、および多毛類それぞれの酸素消費速度について、その変動の様子と要因を把握した後、単位質量当たりの酸素消費速度を水温の関数として定式化した。得られた式は実験ケースごとの差異が小さく、時間平均値としては定量性の高い結果が得られたものと考えている。最後に干潟・浅瀬評価の一例として、生物調査データの豊富な東京湾三番瀬の評価を行った。千葉県によるデータをGIS上に整理し、底質、底生動物の種および量の各季節の空間分布を推定した。この結果と先の底生動物による酸素消費速度とを融合し、三番瀬全体で積分することにより、場全体での酸素消費速度および有機物分解速度を推定した。加えて、底生動物の調査密度が推定結果に与える影響について簡単な考察を加えた。

本研究では酸素消費速度を用いた干潟・浅瀬評価の方法論を中心に示したが、結果そのものについては対象とした生物種が限られていることから、信頼性が高いとはいえない。今後、本研究で提案した手法を他の種にも適用し、情報を蓄積することで、推定値の信頼性を高めていく必要がある。

参 考 文 献

- 赤繁 悟・平田 靖・高山恵介・空本季里恵(2005): 養殖マガキの酸素消費量および濾過水量の季節変化, 日本水産学会誌, 71, 5, pp. 762-767.
- 伊藤克彦(1992): 忘れられた研究データからの情報-アサリとムラサキガイの呼吸量-, 養殖研ニュース, No. 24, pp. 11-18.
- 清木 徹・平岡喜代典・李 正奎・西嶋 渉・向井徹雄・瀧本和人・岡田光正(1998): 広島湾における干潟の水質浄化機能に関する研究-有機物の分解特性について-, 水環境学会誌, 第21巻, 第7号, pp. 421-428.
- 千葉県企業庁(1997): 海生生物環境調査(その4).
- 千葉県土木部・千葉県企業庁(1998): 「市川二期地区・京葉港二期地区計画に係る環境の現況について」(要約版), 336p.