

アサリと有機物分解速度に着目した 干潟・浅場環境の比較評価手法の開発

Environmental Evaluation Methodology for Tidal Flats and Shallows Focusing on Short-Necked Clams and Decomposition Rate of Organic Matter

前田 周作¹・佐々木 淳²

Shusaku MAEDA and Jun SASAKI

An environmental evaluation model system for tidal flats and shallows focusing on population dynamics of short-necked clams and organic carbon decomposition rates is developed on the basis of integration of existing models. The evaluation model is applied to three tidal flats and shallows in Tokyo Bay, forcing with realistic boundary conditions and parameters. After verifying the model through the comparison with field data, features for each water along with their mechanism are analyzed. The proposed model system would be useful to understand the mechanism for the appearance of differences among those waters.

1. はじめに

食料資源に恵まれない我が国では沿岸水産資源の再生が不可欠であり、開発の進んだ内湾においても人工干潟等の造成によるアサリ等の資源再生を目指した環境再生が検討されている。人工干潟の適切な設計と費用効果分析に基づく着実な遂行には信頼性の高い資源動態予測と総合的な環境機能評価が不可欠であるが、プロセスに忠実でかつ時空間変動を詳細に考慮した信頼性の高い手法の提案には至っていない。そこで本研究では東京湾内に位置する三番瀬、横浜海の公園、および盤洲干潟を対象として、実現象に忠実な環境動態再現モデルを開発し、実測データとの比較を通じた検証を行うことで、人工干潟の設計と複数の場の比較評価に使うことを目指した、総合的な環境評価手法の開発について検討する。

2. 環境評価モデル

(1) 波浪・流動場予測モデル

波浪場の予測にはSWAN (Booijら, 1999)を採用し、間瀬ら (2001)、川口ら (2003)を参考にして、東京湾への適用法について検討した。まず、底質中央粒径の推定に用いる底面せん断応力の空間分布を把握するため、南西風20m/sの暴浪時における波浪推算を行い、三番瀬、海の公園および盤洲における底面摩擦速度を評価した(図-1)。その際、東京湾全域の計算では100m格子を用い、湾口境界ではアシカ島における観測値を参考に有義波高1.5m、有義波周期5.5秒の波を与え、エネルギー輸送理論にはJannsenモデル、スペクトル周波数範囲の最大値は1.2とした。この結果を境界条件としてネスティ

ングし、三番瀬等の対象海域においては50m格子による波浪推算を行った。

一方、アサリ資源動態モデルの入力に必要な各干潟・浅場における時系列波浪推算には、400m格子を用い、風速場としてはそれぞれの海域に最も近い気象庁測候所(千葉、横浜、木更津)の特別風速データを標高10mに換算した上で1.5倍した値を空間一様に与えることで計算した。この手法の妥当性については、東京灯標、千葉灯標、東京13号地、海ほたる、本牧、および第二海堡の6地点における特別の海上風データを空間補間して用いた計算との比較をすることで検証を行っている。

環境評価モデルの入力値として必要となる各干潟・浅場における水温・塩分の時空間値については、佐々木ら(1996)をベースとした流動モデルを用い、対象年の気象・海象・河川データを用いた再現計算結果から与えた。

(2) アサリ資源量変動モデル

アサリ資源量変動モデルは中村ら(1989)による個体群動態モデルと個体成長モデルから構成されるものを採用し、モデルパラメータの多くは金綱ら(2003, 2005)に従った。

a) 個体群動態モデル

アサリを最小殻長 l_{min} から最大殻長 l_{max} までの連続した殻長組成を持つ個体群と考え(数値計算においては Δl ごとに分割)、その時間発展を考える。このとき時刻 t における殻長 l の個体数 $N(l, t)$ は前後の殻長を持つ個体群の成長(殻長成長速度 U)による加入と流出の差し引きとして増加することを表現し、さらに自然死亡と漁獲による減少を考慮することで、次の方程式で記述される。

$$\frac{\partial N(l, t)}{\partial t} + \frac{\partial U(l, t)N(l, t)}{\partial l} = -(M(t) + F(l, t))N(l, t) \quad (1)$$

ここに M と F はそれぞれ自然死亡係数および漁獲係数であり、その設定方法については後述する。最大および最

1 正会員 修(工) 東京都港湾局
2 博(工) 横浜国立大学准教授 大学院工学研究院

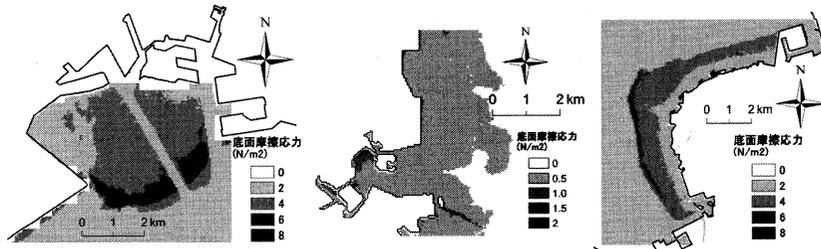


図-1 三番瀬(左), 海の公園(中), 盤洲(右)における暴浪時の波浪による底面摩擦応力分布の計算値

小の殻長は千葉県土木部・企業庁(1998)を参考にそれぞれ1mmおよび40mmとし, 最小殻長の個体群については稚貝の新規参入を考慮する。殻長の成長速度 U は次に述べる殻長別個体成長モデルの結果から与える。

式(1)は時間方向にはクランク・ニコルソン法, 移流項に相当する部分には陽的な1次風上差分を適用し, 数値積分を行った。

b) 殻長別個体成長モデル

任意の殻長のアサリの軟体部炭素重量を D_{wc} (mgC)とすると, 軟体部の成長は次式に従う。

$$\frac{D_{wc}}{dt} = A - R - G \quad (2)$$

ここに, A は同化量(mgC/day), R は呼吸による炭素分解量(mgC/day), G は生殖腺への配分(mgC/day)である。同化量 A は摂餌速度 C (mgC/day)と排泄速度 E (mgC/day)から $A=C-E$ であり, 摂餌速度は懸濁態有機炭素濃度 C_{poc} (mgC/m³)と濾水速度 F_t (L/day)を用いると, $C=C_{poc}F_t \cdot 10^3$ と表現される。濾水速度 F_t の評価に当たっては, 本研究では冠水・干出の影響を考慮し, 冠水時のみを計算の対象とした。生殖腺への配分 G に関しては, 生殖腺が発達可能な15mm以上の個体において, 2月~6月(産卵期)の生殖腺発達期間には同化量を割引くことで考慮し, 本研究ではこれを同化量の10%として与えた。

計算されたアサリの軟体部炭素重量の増分を殻長の成長速度に換算することで, 個体群動態モデルの殻長成長速度 U を与えることができる(金綱ら, 2003)。

c) モデルの入力条件の与え方

アサリ資源量変動モデルの駆動にあたっては, 評価対象の干潟・浅場を水平400m格子で分割し, それぞれの格子においてモデルパラメータの時間変動を考慮し, 資源量の時間発展を求めた。アサリの呼吸速度や濾水速度を律則する水温については, 流動モデルの計算結果から与えた。同化効率に影響する懸濁態有機物濃度は公共用水域水質測定から得られる月別のクロロフィル a 濃度から換算した。干潟の干出時間は天文潮位と地盤高との関係から計算した。

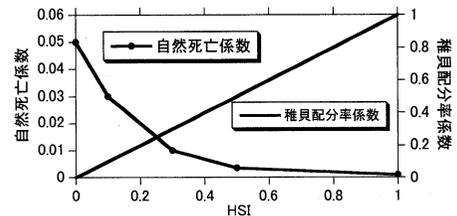


図-2 自然死亡係数および稚貝配分率係数とHSIの関係

アサリの初期資源量は千葉県土木部・企業庁(1998)や千葉水試(2001)による資源量調査の結果から, 殻長別個体数として与え, 空間的には一様と仮定した。漁獲係数は各干潟・浅場を漁場とする漁業組合におけるアサリの漁獲量を合計し, 漁獲対象貝の資源量に対する比から漁獲率を設定した。その際, 資源量は資源量調査において推定資源量が計算されている場合はその値を引用したが, 推定資源量が不明である場合は, 資源量調査によって得られた湿重量分布をGIS上に入力し, 内挿補間にて対象場全体での湿重量を推定した後, 全体で積分することで総資源量を推定した。

d) HSIを用いたパラメータの推定

アサリの自然死亡係数と稚貝参入率の推定にはHSIモデルを用いた。アサリに影響する物理的な要因として, 鈴木ら(2001)を参考に, 水温, 塩分, 底質中央粒径, 水深, シールズ数, および干出時間を選択し, 新保ら(1999, 2000)によるSIを採用した。水温および塩分は流動場の計算結果から与え, シールズ数はSWANによる計算結果の日最大値を用いて換算した。千葉水試(2001)によるとシールズ数が0.2を超えるとアサリが掘り起こされて生存に影響を与えるため, 最適範囲を0から0.2とした。ただし, 実際にはSWANによる計算結果の日最大値をそのまま用いるとシールズ数が過大評価となるため, モデルチューニングを通じた補正を行った。

HSIはSI値の積によって決定するが, このときSIの重要度を考慮して重み付けを行った。東京湾三番瀬や盤洲干潟においては冬季のアサリの減耗が報告されているが,

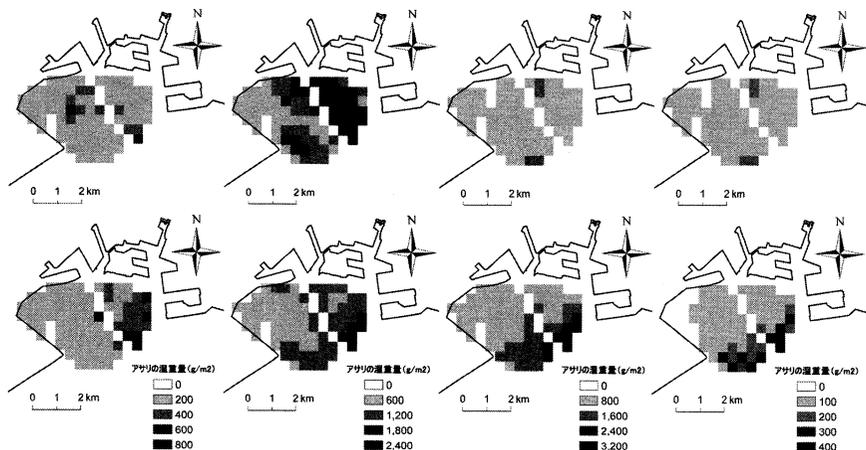


図-3 三番瀬におけるアサリ湿重量分布の季節変化(左より, 5月, 8月, 11月, 2月)の観測値(上)と計算値(下)の比較

これは冬季の低水温によって活力を失ったアサリが波浪にさらされて掘り起こされた結果, 再び潜砂することができずに斃死することも一因と考えられている(柿野ら, 1995). そこで, アサリの生息環境として第一義的に重要と考えられる, 水温と底質中央粒径のSIについては自乗を取ることで重み付けした.

得られたHSI値と自然死亡係数の関係は関根(2001)や鳥羽(1987)を参考に, 図-2示すように, HSI=1のとき最小値 $0.001 \text{ (day}^{-1}\text{)}$, HSI=0のとき最大値 $0.05 \text{ (day}^{-1}\text{)}$ をとるように按分した. 一方, 稚貝参入率についてはHSI=1のときは基本値の100%とし, HSI=0のときは参入無し仮定した.

(3) 有機物分解速度の推定法

有機物分解機能は干潟・浅場における重要な機能と認識されており, 環境評価指標として有用である. 本研究では脱窒を含む底質における有機物分解とアサリによる呼吸を対象として, それぞれの場における時空間変動の推定法を説明する. なお, 佐々木・前田(2006)がまとめているように, ベントスによる有機物分解速度においてはアサリによる寄与が支配的であることからこのように扱った.

まず, 底質における好気的な有機物分解については佐々木・前田(2006)にならい, 中央粒径別の酸素消費速度式を水温の関数として作成し, これを用いて水温の時空間計算結果を反映した有機物分解速度に換算した. 脱窒については, 三番瀬では北林ら(1991)が三番瀬中央部において測定した値を月別に引用し, 盤洲干潟と海の公園については環境庁(2000)が行った生態系モデルによる計算結果から引用した. 一方, アサリによる酸素消費に関しては磯野(1998)を参考に, 佐々木・前田(2006)の方法で水温 20°C における年齢別の速度を求め,

3令貝以上での水温に関する式とを組み合わせることで, 水温別, 令貝別の酸素消費速度を定量化した.

3. 結果と考察

(1) アサリ資源量変動モデルの検証

開発したアサリ資源量変動モデルは多くの仮定やチューニングパラメータを含むため, その検証は難しいが, ここでは豊富な実測値が入手可能な1996年度の三番瀬, 2000年度の海の公園と盤洲干潟を対象とした. 図-3に三番瀬におけるアサリ湿重量空間分布の季節変化について計算結果と調査結果(千葉県土木部・企業庁, 1998)の比較を行った. なお, 対象とした1996年は江戸川放水路からの放水や青潮時の漁業被害が報告されていない. 同図によると, 全体的な季節変動がよく再現されていることが分かる. 冬季の減耗については本モデルの計算からは低水温下における高波浪による自然死亡係数の増大が大きく寄与していた. 空間分布について見ると夏季から秋季にかけての市川航路と船橋航路で挟まれた領域での湿重量の増大や, 浦安側遮蔽域では年間を通じて湿重量が極めて小さい様子がよく再現されている.

海の公園では佐々木(2001)によるとアサリ資源量は4月から5月にかけての潮干狩りによる漁獲により急激に湿重量が減少し, その後増大して10月頃に約 2kg/m^2 のピークを迎え, 冬季の減耗が比較的少ないといった特徴がある. 図-4に示すアサリ湿重量の時系列計算結果はこの特徴をよく再現しているといえ, 冬季の減耗が小さい原因としては, その地形的特徴から冬季の高波浪が生じにくいことが主因であり, 水温や餌料の低下による影響は比較的軽微であることが分かった.

盤洲干潟では千葉水試(2001)によるとアサリの湿重量は4月から10月においては $1.5\sim 1.9\text{kg/m}^2$ であり, 4月~

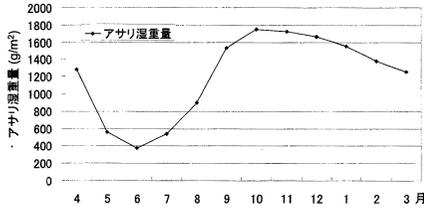


図-4 海の公園におけるアサリ湿重量の時系列計算結果

6月にかけて多少減少し、夏季には増加し秋にピークを迎える。ここでは示さないが計算結果も定性的には同様の結果であった。ただし、計算値はやや過小評価となっており、この原因の一つとしては漁業用に撒いている稚貝の参入量の評価における誤差が考えられる。

(2) 有機物分解速度

三番瀬、海の公園、および盤洲干潟における有機物分解量の計算値を各場において空間的に積分し、その周年にわたる時系列変動をまとめたものを図-5に示す。同図中では総有機物分解量と同時にアサリ、脱室および底質の好気分解による寄与を内訳として示している。また、三番瀬と盤洲干潟については図-6に年間有機物分解量の空間分布を示し、さらに、各干潟・浅場における単位面積当たりの年間有機物分解量を図-7にまとめる。

三番瀬においては7月頃までは底質の酸素消費による有機物分解が支配的であるが、夏場になるとアサリ資源量の増大や水温上昇によって、アサリによる分解量が急激に増加し、一時的に底質による寄与を上回る結果が得られた。その後秋季になると、夏季と比べてアサリ個体数にはあまり差が無いが、水温低下の影響を受けて有機物分解量が減少している様子が現れている。冬季においては、アサリによる有機物分解量は資源量の減少と水温の低下に伴い、小さな値となった。有機物分解速度の空間分布をみると、底質の酸素消費による有機物分解能の高い猫実川河口域と、アサリが多く分布する暴浪時の碎波帯域において高い有機物分解能があることがわかる。他の干潟・浅場と比較すると、三番瀬の碎波帯に位置するアサリ資源量が多い場所において最も有機物分解能が高い領域を確認することができた。

年間を通してみると、三番瀬における有機物分解量は底質の好気分解によるものが約5割、アサリの呼吸によるものが約3割、脱室によるものが約2割という結果となった。佐々木・前田(2006)では四季のアサリ資源量分布の実測値を用いて有機物分解量に占めるベントスの割合を2割弱と見積もっているが、この差は本研究においてはアサリの年令による酸素消費速度の変化を考慮に加えたことによる差異であると考えられる。また、千葉県土木部・企業庁(1998)により推定された三番瀬の空

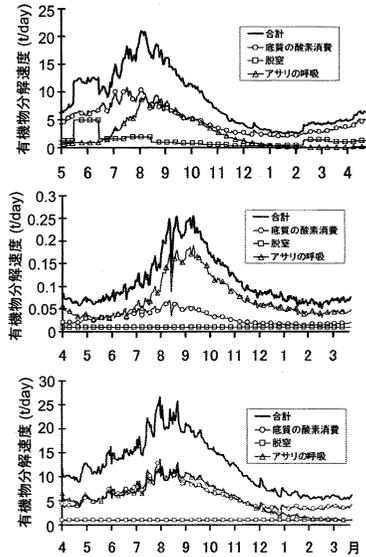


図-5 三番瀬(上)、海の公園(中)、盤洲(下)における総有機物分解速度($\text{gm}^2\text{year}^{-1}$)の時系列とその内訳

素浄化量を有機炭素分解量に換算すると $3,265\text{t/year}$ となるが、これは本研究で求めた値 $2,882\text{t/year}$ と同程度の値となっている。

海の公園においては底質の酸素消費による有機物分解量よりも、アサリの呼吸による有機物分解量の方が大きくなっている。三番瀬や盤洲干潟と比較すると、夏季以降の漁獲の影響が小さく、また、高波浪によるアサリ資源量の減耗がおこりにくいことから、冬季においてもアサリによる有機物分解量が高い。海の公園の底質中央粒径はアサリの生息場として最適な範囲にあり、十分な稚貝の参入と冬季も含めて高波浪に見舞われることのない静穏な環境が実現されている結果として、アサリの観点から見ると極めて生息に適した場が形成されていると言える。

盤洲干潟においては春季から秋季にかけては底質とアサリによる有機物分解量が同程度であるという結果となった。また、空間的な有機物分解量をみると、干出時間の長い沿岸部ではアサリ資源を除いてほぼ一様の有機物分解能があることがわかる。

4. まとめ

本研究ではアサリと底質に着目し、既存のモデルを総合化することで、アサリ資源量や有機物分解量について、時々刻々の環境場の時空間動態を考慮した推定モデルを開発し、東京湾の三番瀬、海の公園、および盤洲干潟に適用することで、干潟・浅場機能の比較評価手法の高度化について検討した。まず、アサリ生息環境や底質性状

本学術振興会科学研究費基盤研究(B)課題番号19360220の補助によるものである。

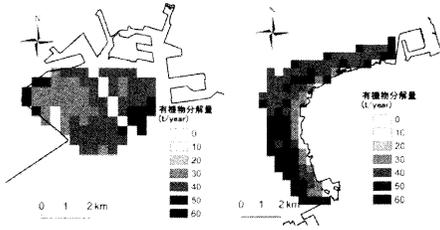


図-6 三番瀬(左)と盤洲(右)における格子毎の有機物分解速度(g/year)

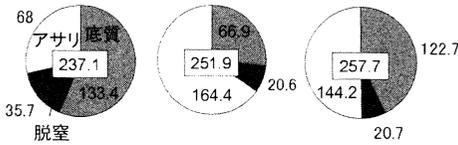


図-7 三番瀬(左), 海の公園(中), 盤洲(右)における有機物分解速度(g m² year⁻¹)とその内訳

を決める上で最重要のパラメータである底質中央粒径は高波浪時における底面摩擦応力と実測粒径分布との相関から求め、また、波浪モデルと流動モデルから対象場のシールズ数、水温、および塩分の時空間動態を把握した。これらの情報からアサリに関するHSIを計算し、アサリの自然死亡係数等のパラメータを推定することで、アサリ資源動態モデルを用いた時空間動態の計算を可能とした。

一方、アサリの計算結果と底質の有機物分解に関する定式化を通して、これらを考慮した有機物分解速度の時空間分布を計算できるようにした。対象とした3つの干潟・浅場に適用したところ、単位面積当たりの年間の有機物分解量はほぼ同程度の結果となったが、その内訳については、例えば海の公園ではアサリによる寄与が極めて大きくなる等、それぞれの干潟・浅場の特性によって異なる結果が得られ、その要因について計算過程から考察することが可能となった。

本研究のアプローチには改善の余地が多く残されているが、アサリ資源の回復を目的とした人工干潟の造成にあたり、その立地や構造について検討評価する上で、有効な方法であると考えられる。

謝辞：本研究の一部は2005年度および2006年度(財)国土技術センター研究助成、および2007年度～2010年度日

参考文献

磯野良介(1998)：東京湾盤洲干潟のアサリによる窒素摂取量の推定とその季節変動に係わる要因、水環境学会誌、第21巻、第7号、pp. 751-756.

柿野 純・古畑和哉・長谷川健一(1995)：東京湾盤洲干潟における冬季のアサリのへい死要因について、水産工学、Vol. 32, No. 1, pp. 2-32.

金網紀久恵・中村義治・上月康則・村上仁士・柴田輝和(2003)：炭素収支による東京湾アサリ個体群の生物機能評価、海岸工学論文集、第50巻、pp. 1291-1295.

金網紀久恵・上月康則・村上仁士・桑原久実(2005)：アサリの水質浄化能に及ぼす地球温暖化の影響に関する研究、海岸工学論文集、第52巻、pp. 1036-1040.

川口 浩二・杉本 彰・橋本 典明(2003)：第三世代波浪推算モデルの内湾波浪推算への適用性 -メソスケール気象モデルの導入-, 港湾空港技術研究所資料, No. 1061, pp. 38-51.

北林興二・石川公敏・中田喜三郎・左山幹雄・堀口文男(1991)：内湾堆積物の窒素循環過程に関する研究、国立機関公害防止等試験研究費報告書、34pp.

佐々木克之(2001)：東京湾口部金沢湾におけるアサリ再生産の好適条件、中央水研ニュース、No.27.

佐々木 淳・磯部雅彦・渡辺 晃・五明美智男(1996)：東京湾における青潮の発生規模に関する考察、海岸工学論文集、第43巻、pp. 1111-1115.

佐々木 淳・前田周作(2006)：酸素消費速度に着目した干潟・浅瀬の環境評価、海岸工学論文集、第53巻、pp. 1046-1050.

新保裕美・田中昌宏・越川義功・池谷 毅(2000)：アサリを対象とした生物生息地適正評価モデル、海岸工学論文集、第47巻、pp. 1111-1115.

新保裕美・田中昌宏・越川義功・柵瀬信夫・池谷 毅(1999)：現地調査によるアサリ生息量と環境要因との関係の検討 -神奈川県金沢湾・平潟湾を対象として-, 海岸工学論文集、第46巻、pp. 1216-1220.

鈴木 誠・磯部雅彦・佐々木 淳(2001)：アサリの生息密度の推定法に関する研究、海岸工学論文集、第48巻、pp. 1391-1395.

千葉水試(2001)：平成12年度森林、海洋等におけるCO2収支の評価の高度化(地域重要資源の現地実態調査)、委託事業報告書、22pp.

千葉県土木部・企業庁(1998)：市川二期地区・京葉港二期地区計画に係わる環境の現況について(要約版)、336p.

鳥羽光晴(1987)：アサリ種苗生産試験-I, 人工種苗生産したアサリの成長、千葉水試報告、第45号、pp. 41-48

中村義治・平山信夫・秋元義正(1989)：動的モデルによるウバガイ資源変動の解析方法、日本水産学会誌、第55巻、pp. 417-422.

間瀬 肇・平尾博樹・國富将嗣・高山知司(2001)：SWANを用いた日本沿岸波浪推算システム構築と適用性の検証、海岸工学論文集、第48巻、pp. 236-240.

Booij, N., R.C. Ris and L.H. Holthuijsen (1999): A third-generation wave model for coastal regions, Part I, Model description and validation, J. Geophys. Res., C4, 104, pp. 7649-7666.