

東京湾三番瀬における カキ礁生態系の環境機能評価

ENVIRONMENTAL EVALUATION OF OYSTER REEF ECOSYSTEM IN SANBANZE SHALLOWS OF TOKYO BAY

東 将司¹・佐々木 淳²・
Masashi AZUMA and Jun SASAKI

¹修（工） 前横浜国立大学大学院 工学府社会空間システム学専攻

²正会員 博（工） 横浜国立大学准教授 大学院工学研究院（〒240-8501 横浜市保土ヶ谷区常盤台）

Field investigations and indoor experiments were performed to evaluate the environmental function of the oyster reef existing around the Nekozane River mouth in Sanbanze Shallows of Tokyo Bay in terms of the decomposition rate of organic matter. The number of living oysters and oystershells was counted to estimate their densities in the reef. Sediment samples were collected and analyzed to understand spatial variation in sediment properties around the reef. Indoor experiments were conducted to determine the oxygen consumption rates of oysters and oystershells in terms of water temperature. All of the information are integrated on GIS and the spatial variation in decomposition rate of organic matter inside and outside of the oyster reef. Very high organic matter decomposition rate of the oyster reef was obtained during summer, which is comparable to several times of that of sandy bed in Sanbanze Shallows. According to the historical aerial photos, the oyster reef remains for more than 10 years. These results show that the oyster reef has valuable and sustainable function of water purification.

Key Words : *Oxygen consumption rate, decomposition of organic matter, GIS, oystershell*

1. はじめに

東京湾三番瀬の北西部に位置する猫実川河口域に総面積約 3,800 m²におよぶ天然のカキ礁 (*Oyster Reef*) が存在する. カキ礁とはマガキ (*Crassostrea gigas*) が密集することによって形成される群落であり, 東京湾奥部では旧江戸川河口, 多摩川河口, 猫実川河口域においてその存在が確認されている. カキ礁は水質浄化機能, 生物多様性を維持する生息場としての機能, および底質安定化機能を有していると考えられ, 人工干潟や浅場造成の際の構成要素としても有用であると推察される. 近年においては, お台場海浜公園でのカキによる水質浄化実験¹⁾, 猫実川河口域に存在するカキ礁の生物調査²⁾, 自然環境保全基礎調査³⁾が実施され, カキ及びカキ礁の機能が注目を浴びている.

しかしながら, カキの個体に焦点を当てた生理機能等の研究は数々行われているが⁴⁾, カキ礁の場に着眼した水質浄化機能, 物理的機能に関する定量的な調査研究はほとんどなされていない. 三番瀬市民調査の会によって, 2002 年 3 月より猫実川河口域に存在するカキ礁の調査が実施され, カキ礁は優れた水質浄化機能を有することが示されたが, 不明な点も残されている.

そこで本研究ではカキ礁およびその周辺域における現地調査, 室内実験, および GIS 上での情報の集約を行うことによって, カキ礁やその周辺底質の有する有機物分解機能 (2 次処理機能) 等を算出し, カキ礁の有する環境機能を定量的に評価することを目的とする. また, 金属元素含有濃度分析を行うことによって, 環境劣化が叫ばれているカキ礁周辺海域の現況を検証する.

2. 現地調査および室内実験の方法

現地調査は東京湾三番瀬猫実川河口域の図-1 に示すカキ礁および周辺海域において, 2006 年 5 月から 2007 年 1 月にかけて計 12 回実施した. 調査内容は大きく 3 つに分けられ, カキ礁における生カキおよびカキ殻のコドラートを用いた生息密度調査, カキ礁周辺底質の高密度採取, および室内実験, 金属元素含有濃度分析用のカキの採取を行った. 調査地点の位置出しは GPS (GARMIN eTrex Legend) およびレーザー距離計 (Nikon LASER 800) を用いた. また, 持ち帰ったカキは, 培養しながら, チャンバーを用いた 24 時間連続測定による酸素消費実験に供試した.

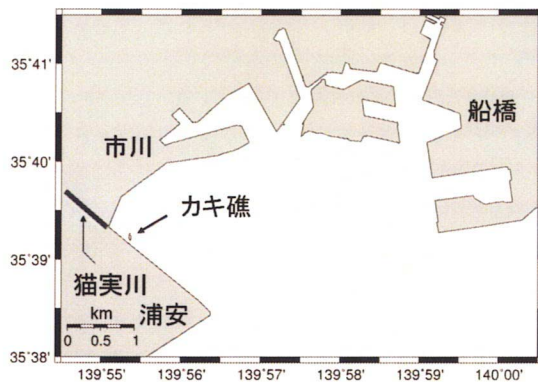


図-1 調査対象区域

(1) 生息密度調査および面積の算定

生カキおよびカキ殻の単位面積当たりの生息数を把握するため、1格子が0.2m×0.2mの計25格子からなる縦横各1.0mのコドラートを用いて調査を実施した。カキ礁には高密度区域と低密度区域があり、その比率はおおよそ7対3であると見積もられたため、高密度区域で2点、低密度区域で1点計測を行った。高さ30cm程のカキ株が存在する超高密度区域も存在したが、全体に占める割合はかなり小さいと判断し考慮しなかった。計測方法は、格子毎に表層の生カキおよびカキ殻の個数を計測するが、カキは鉛直方向に株を形成していく性質があるため⁵⁾表層底質中にも生カキおよびカキ殻が存在すると推察される。しかし、これら底質中に埋没したカキによる環境機能の寄与は相対的に小さいと判断し、計測が困難であることから無視した。カキ礁の面積に関しては、カキ礁の淵をGPSで記録することにより把握し、ArcGIS (ESRI 社)を用いて算定を行った。

(2) 底質の採取と分析

カキ礁がその周辺環境に与える影響を把握するため、カキ礁周辺海域において表層底質の高密度採取を実施した。採取した底質は冷蔵保存し、調査終了後直ちに横浜国立大学水理実験棟に持ち帰り、分析用の試料とした。分析はまず、定温乾燥機 DVS602 (ヤマト科学社製)にて110度で24時間炉乾燥させた後、電気マッフル炉 SSTR-13K (ISUZU 社製)およびレーザー回折式粒度分布測定装置 SALD-3100 (島津製作所製)を用いて強熱減量および粒径分布をそれぞれ測定した。

(3) 酸素消費実験

カキ礁による有機物分解量を算出するため、チャンバーを用いて水温別の生カキおよびカキ殻の酸素消費実験を行った。その際、幅広い水温下における酸素消費速度を把握するため、実験水温として生カキ、カキ殻ともに15、20、24、および28℃の4パターンを採用し、それぞれ複数回実施した。実験時間は佐々木ら⁶⁾の手法に従い24時間連続運転による測定を行うことで、時刻帯別の酸素消費速度を効率的に測定できるようにした。

図-2 に酸素消費実験装置を示す。まず、対象とした水温を設定可能な恒温水槽中に設置したアクリル製の円筒型水槽に測定試料（生カキおよびカキ殻）を入れ、人工海水を満たした。流動パラフィンを用いて水面における気体の交換を遮断した後、溶存酸素濃度計 DO-24P (東亜ディーケーケー製)によってDOの変化を捉えた。

実験前の作業として、カキに付着しているフジツボ、ムラサキイガイ、泥分等を取り除き、設定水温で2日間飼育することでその環境に順応させた。1実験あたりに供試するカキの個体数は3、4個とした。

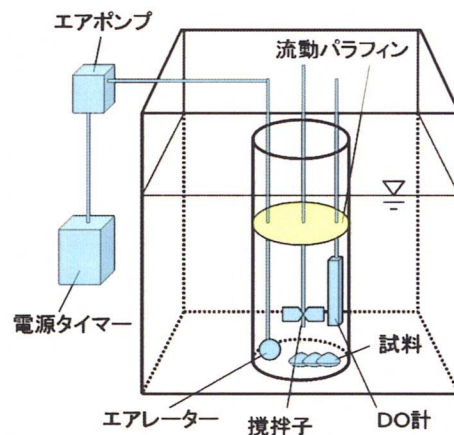


図-2 室内実験装置

(4) 金属元素含有濃度分析

重金属類による海域環境の汚染は、海産魚介類が重金属を体内に濃縮する特性を利用して見て取ることが出来るといわれている⁷⁾。そこで本研究では、生カキの金属元素含有濃度を測定し、広島湾内で養殖され食用に用いられている生カキの数値と比較することにより、カキ礁周辺の海域環境および水産資源としての可能性を検証する。

分析に用いた試料は、2007年1月にカキ礁から数十個体採取したものをを用いた。採取後すぐに水理実験棟に持ち帰り、前処理として軟体部のみを取り出し冷蔵保存した。その後、これらの試料の金属元素含有濃度分析を(株)環境総合研究所に依頼した。

3. 現地調査および実験結果

(1) 生息密度および面積

生カキおよびカキ殻の生息密度調査の結果を図-3に示す。3地点中2地点において、生カキおよびカキ殻の存在比率はほぼ同程度であり、高密度区域は低密度区域の約2倍の個体数であった。三番瀬市民調査の会の目視による調査結果²⁾と比較すると、調査地点、調査年度は異なるものの双方の個体数に大差はなく、カキ礁はこの程度の個体数を維持しながら原形を保っているものと推察された。また、

ArcGIS を用いてカキ礁面積を算出したところ 3,800 m² となった。千葉県環境研究センター³⁾が行ったリモートセンシングによる結果では、4,010 m²と算定されており、本調査の結果とほぼ同様の値となっていた。

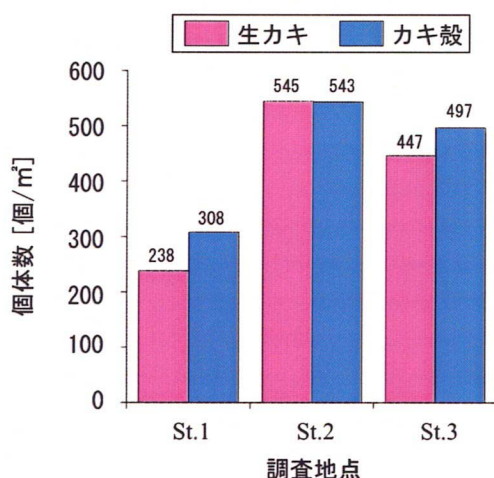


図-3 生息密度調査結果

(2) 強熱減量および中央粒径

カキ礁周辺海域における中央粒径および強熱減量の平面分布を図-4 に示す。カキ礁周辺の中央粒径分布を見ると、沖側に中央粒径が 40 μm を超えるやや粗い砂泥域が広がり、一方、岸側には中央粒径が 25 μm 以下の泥質域が伸びている。同様に強熱減量の分布を見ると、カキ礁の岸側底質域は中央粒径から予想される値より小さな値となっていた。カキ礁岸側を除く周辺底質においてはそのような傾向が見られないことから、カキ礁岸側の底質域においては底質粒径から予想されるよりも有機物含量の低い底質域が形成されているものと考えられる。

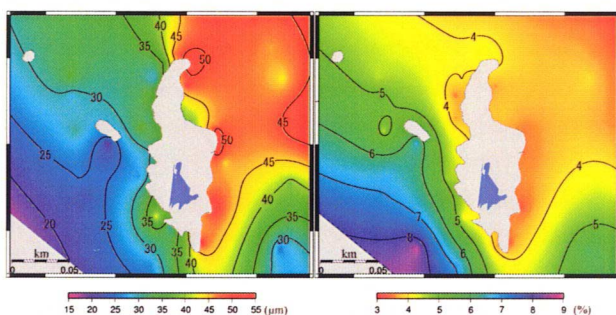


図-4 中央粒径および強熱減量の平面分布

(3) カキおよびカキ殻の酸素消費速度

カキ軟体部酸素消費速度の水温別 24 時間時系列の一例を図-5 に示す。1 日の中でも酸素消費速度が大きく変動し、いずれの水温においても 20 時から 24 時の間で最低値をとっていることが観察できた。このような変動はカキの開殻の変化にも表れており、夜間は朝方に比べて開殻の幅が明らかに小さくなっていることを確認している。次に全ての実験ケース

について水温別に時間平均をとったところ、図-6 に示す結果が得られ、カキ軟体部とカキ殻それぞれについて、式(1)および式(2)に示す指数関数型の推定式を提案した。

$$S = 0.2092 \exp(0.0712T) \quad (1)$$

$$S = 0.0007 \exp(0.0922T) \quad (2)$$

ここに S はそれぞれの酸素消費速度、 T は水温である。

図-6 の結果から単位質量あたりの酸素消費速度と水温の関係は、24 時間の酸素消費速度の推移を考慮することで比較的良くまとまっており、開殻の変化に代表される活動状態の差異についてもある程度抑えられていると推察した。また、各々の酸素消費速度を比較すると、カキ軟体部はアサリ軟体部と同程度の値を示し、カキ殻より 176 倍程度大きな値となっていた。一方、個体あたりでカキ軟体部に対するカキ殻の酸素消費量比率(図-7)を見るとカキ殻は軟体部の 3 割程度を占め、現地におけるカキ殻の多さを考慮すると、カキ殻による寄与の重要性が認識された。

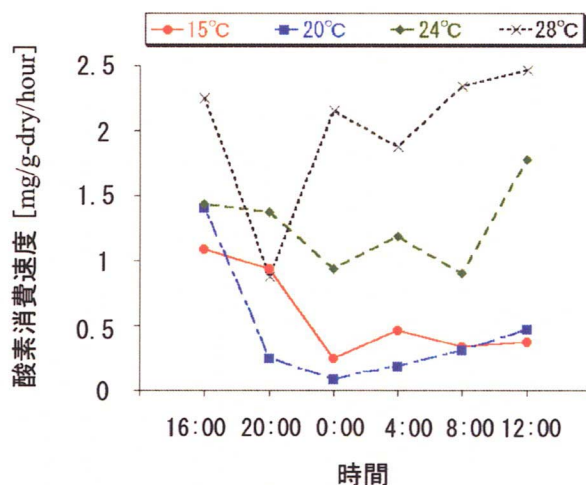


図-5 水温別のカキ軟体部酸素消費速度の 24 時間時系列

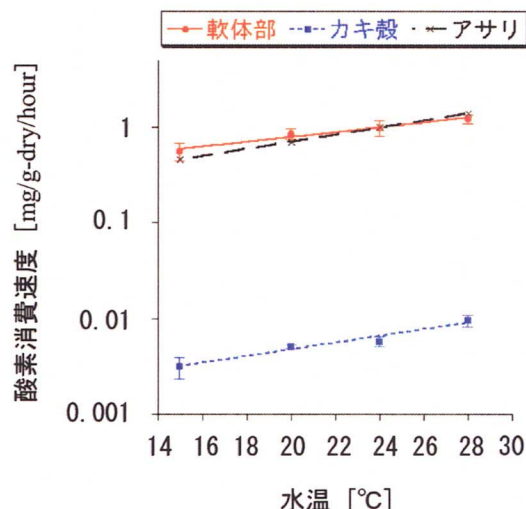


図-6 カキ軟体部、カキ殻およびアサリの酸素消費速度

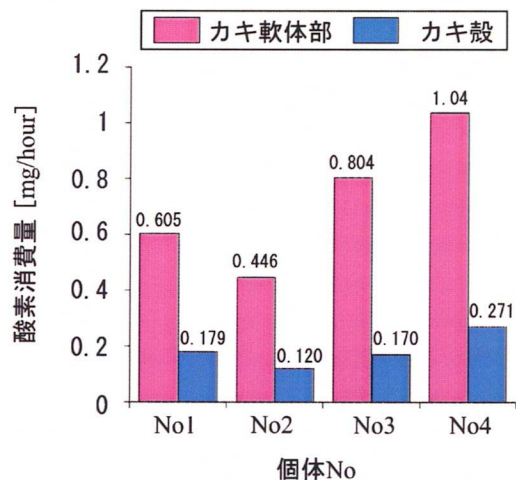


図-7 カキ軟体部とカキ殻の酸素消費量の比較の一例

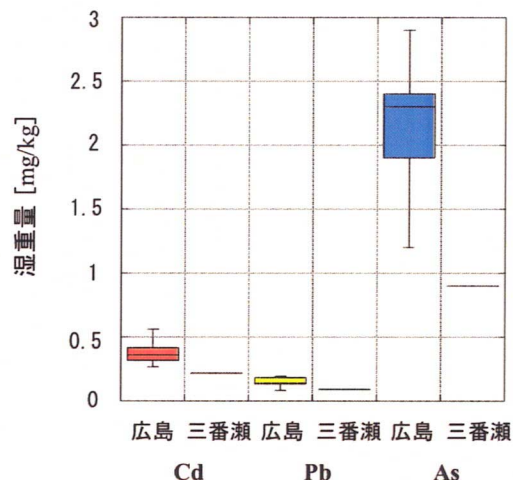


図-8 金属元素含有濃度分析

(3) 金属元素含有濃度分析

図-8 に 2007 年 1 月にカキ礁から採取した生カキ、および 2006 年 12 月から 2007 年 3 月にかけて採取された広島湾内産カキ⁸⁾の金属元素含有濃度分析結果を示す。11 元素について比較を試みたが、その中でも特に毒性が強く蓄積性のあるヒ素、鉛およびカドミウムの 3 元素についてのみ今回は取り扱った。水銀、スズは定量下限値未満であったため分析対象から除外した。各ボックスはデータの 50% を囲み、バーは許容範囲内にあるデータの最大値と最小値を示している。ボックス内のラインは全データの中央値であり、データ数が一つしかない項目についてはその値をラインで示してある。

猫実川河口域は、携帯電話やバッテリーに代表される生活雑貨の不法投棄や未処理の生活排水流入等による環境劣化が叫ばれているが、カドミウム、ヒ素においては広島湾内産の最低値以下であり、鉛についても最低値と同等の値を示した。特に砒素については、広島湾内産中央値と比較して 4 割程度であった。貝軟体部中の金属濃度は、海水中の濃度を反映して変動すること⁷⁾、および地域差はあるものの同一種、同一時期に採取し分析されたカキであることを考慮すると、この結果は、カキ礁周辺海域では金属元素による汚染がみられないことを示唆している。しかし、潮間帯に生息する天然集団と海中に垂下されている養殖集団では、化学物質の蓄積性に差があること⁷⁾、および同一地域での経年変化を検証したものではないことを考慮すると絶対的なものであるとはいえない。これらを含め、季節による変動および地域間での相対比較等のデータ蓄積は今後の課題であるといえる。

4. カキ礁機能の評価

室内実験により求めたカキ軟体部、カキ殻に関する酸素消費速度の推定式(1)および(2)を用い、現地調査結果と組み合わせることで、カキ礁全体の酸素消費速度を推定する。また、GIS 上で三番瀬全域における酸素消費速度の空間分布と比較することでカキ礁評価を行う。その際、佐々木ら⁶⁾が求めた各底生動物による推定式と千葉県企業庁⁹⁾および千葉県土木部・千葉県企業庁¹⁰⁾が実施した四季の調査結果を用いることとする。

(1) 方法

カキ礁の酸素消費速度は、カキ軟体部およびカキ殻の単位質量あたりの推定式に平均乾燥重量および平均殻重量を乗じることで求めた。そして、高密度区域および低密度区域それぞれにおいて、単位面積あたりの個体数を乗じ、カキ礁に占めるそれぞれ区域の面積で積分することによって、カキ礁全体における酸素消費速度の推定を行った。

三番瀬全体の空間分布の算出に関しては、まず三番瀬の海岸線、千葉県による調査地点を ArcGIS 上に読み込み、その調査地点上に各季節の底生動物の種と量、および泥温を入力した。三番瀬における底生動物の出現優先種は、二枚貝類、多毛類、甲殻類が大半を占めることから、佐々木ら⁶⁾が求めた推定式を用いてそれぞれの酸素消費速度を推定した。

(2) 推定結果

このようにして求めた春、夏、秋の 3 季における底生動物による単位面積あたりの酸素消費速度の空間分布を図-9 に示す。夏季におけるカキ礁の酸素消費速度は、アサリ等の二枚貝が多く生息し三番瀬の中でも特に酸素消費速度の高い、市川航路周辺における値と比べても、5 倍程度大きな値を示し、浅場の生態系としては特異な存在であることが分かった。これは、互いに密接しあいながら非常に高い生

息密度を誇るカキ礁特有の性質を示していると推察される。また、カキ礁全体とカキ礁を除く三番瀬全域における有機物分解量の比較を季節別に行ったところ（図-10），どの季節においても三番瀬全体に比べてカキ礁の効果は 1%にも満たなかった。これは三番瀬全体の面積に対するカキ礁面積の割合が極めて小さいためである。

(3) 航空写真を用いたカキ礁面積変化の把握

現在のカキ礁面積は、およそ 4,000 m²と算定され、過去におけるカキ礁の存在も確認されているが³⁾、過去のカキ礁との面積比較はなされていない。そこで、ArcGIS 上に各年代の航空写真を取り込み、面積を算定することによって、カキ礁面積の変遷を把握した。

その結果、1998 年にはカキ礁の一部が冠出している様子が確認でき、1997 年においては現在のカキ礁が存在する位置にカキ礁と思われる地形が確認できた（図-11）。その面積を同様に算定すると 3,800 m²となり、現在のカキ礁とほぼ同程度の値となった。この結果からカキ礁は少なくとも 10 年前には現在と同程度の空間スケールで存在していたと考えられ、持続性の高い生態系であることが判明した。

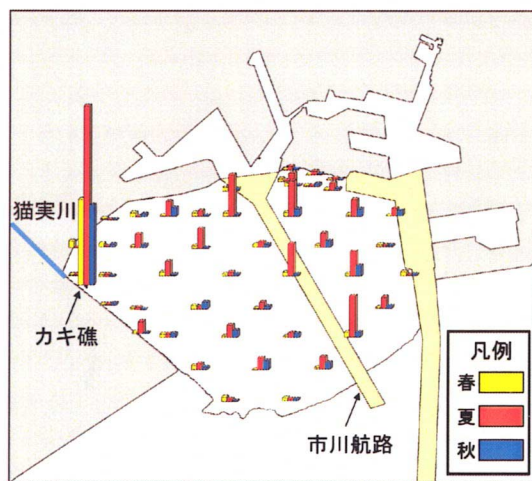


図-9 単位面積当たりの酸素消費速度分布

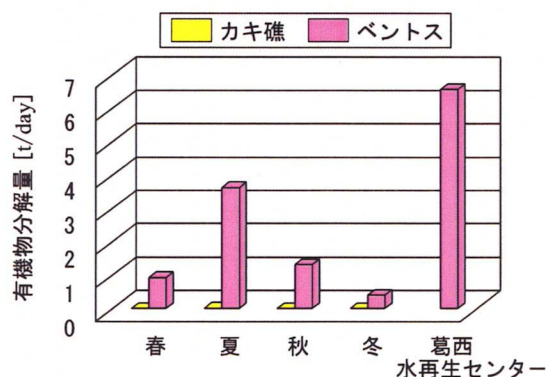


図-10 四季におけるカキ礁とカキ礁以外の三番瀬、および葛西水再生センターにおける有機物分解量の比較

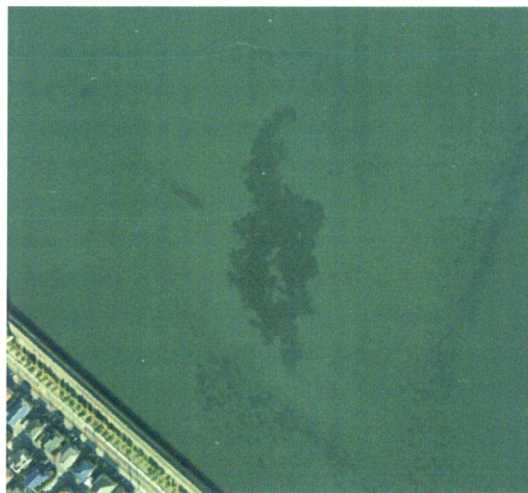


図-11 1997 年の航空写真

5. 考察

(1) 好氣的環境の形成要因

本研究によりカキ礁岸側の底質域に中央粒径が小さいにも関わらず、強熱減量の比較的低い静穏域が形成されていることが明らかとなった。一般に中央粒径と強熱減量の間には負の相関が見られるが、カキ礁岸側の底質域にはそのような関係が見られなかった。その要因としては、カキ礁内およびカキ礁周辺に生息する底生動物の影響が挙げられる。実際にカキ礁周辺の底質域では多数の底生動物が生息していることが確認されており、カキ礁沖側の底質域に比べてアナジャコの巣穴数が多いという報告もある¹¹⁾。カキ礁の存在によってその岸側には静穏域が形成されたが、カキ礁の生態系機能が底生動物にとってよりよい環境を提供し、その結果底生動物による有機物分解とバイオターベーションの活発化による好気層の拡大や脱窒等が促進されたものと推察される。これらは、カキ礁生態系による周辺環境への正の波及効果と見ることができる。

(2) カキによる酸素消費速度推定式の検証

本研究により得られたカキ軟体部における酸素消費速度推定式の妥当性を検証するため、赤繁ら⁴⁾が導出した酸素消費速度の推定式(3)との比較を行った。

$$S[\text{mg/h}] = (0.072T - 0.64)W_d^{0.75} \quad (3)$$

ここに、 T は水温 (°C)， W_d はカキの乾燥質量である。全国で行われている環境調査では乾燥質量まで計測しているものはあまりなく、より汎用的な式を構築するため、本研究では水温のみの指数関数として表現した。式(1)および式(3)を用いて得られた酸素消費速度の関係を図-12 に示すが、両者はよく一致しており、本研究で提案した推定式(1)は簡便ながら十分な精度を有することが明らかとなった。

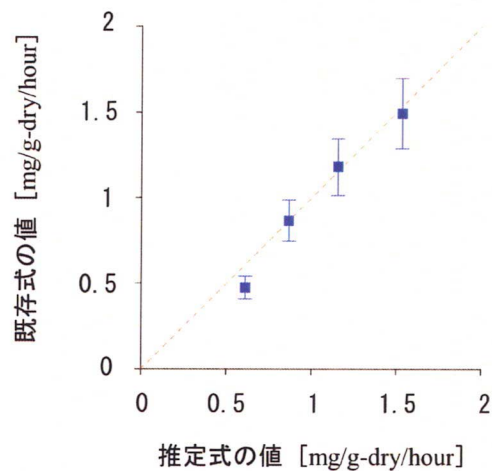


図-12 推定式の検証

6. まとめ

東京湾三番瀬の猫実川河口に存在するカキ礁の環境機能を評価するため、生カキおよびカキ殻密度に関する現地調査、カキ礁周辺の底質調査、およびカキの軟体部とカキ殻を対象とした酸素消費速度実験を行った。これによりカキ軟体部とカキ殻の単位質量あたりの酸素消費速度を水温の関数として定式化し、既存式との比較を行うことで本推定式の有効性を確認した。また、カキ礁周辺底質の分析結果から、カキ礁の存在による物理的影響と生態系機能について考察し、周辺環境へ正の波及効果をもたらすことを示した。得られた知見をGIS上に集約し、有機物分解速度としてまとめ、三番瀬全体の有機物分解速度の空間分布と比較することによって、カキ礁の環境機能評価を行った。その結果、夏季のカキ礁による効果は群を抜いて大きく、浅場の生態系として貴重な存在であることを明らかにした。また、過去の航空写真からはこのカキ礁が10年以上にわたって安定的に存在していることを明らかにした。

謝辞：航空写真は京葉測量（株）の撮影によるものである。本研究の一部は2005年度、2006年度（財）国土技術研究センター研究助成および2007年度～2010年度日本学術振興会科学研究費補助金基盤研究（B）課題番号19360220の補助による成果である。

参考文献

- 1) 東京都港湾局：東京都HP, <http://www.metro.tokyo.jp/INET/EVENT/2007/08/21h8k100.htm>, 2007.
- 2) 三番瀬市民調査の会：市民による三番瀬生物調査 - 報告書（生物調査班暫定版） -, 10p, 2004.
- 3) 千葉県環境研究センター：千葉県HP, 三番瀬に係る平成18年度自然環境保全基礎調査の結果について, http://www.pref.chiba.jp/syozoku/b_soukei/sanbanze/conference/conference/07/pdf, 2007.
- 4) 赤繁 悟, 平田 靖, 高山恵介, 空本季里恵：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, 2005.
- 5) 鎮西清高：牡蠣は黙って進化する, 貝のミラクル, 東海大学出版会, pp. 20 - 38, 1997.
- 6) 佐々木 淳, 前田周作：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, 2006.
- 7) 高柳和史, 坂見知子：沿岸海域の重金属汚染モニタリングに向けた指標生物候補としての二枚貝の特性-総説-, 水研センター研報, 第2号, pp. 35 - 46, 2002.
- 8) 広島市：平成18年度広島湾内産かきの重金属試験結果, 広島市衛研年報, 26, pp. 61 - 61, 2007.
- 9) 千葉県企業庁：海生物環境調査（その4）, 1997.
- 10) 千葉県土木部・千葉県企業庁：「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）, 千葉県環境財団, 336p, 1998.
- 11) 三番瀬市民調査の会：三番瀬市民調査報告会 - 資料集：猫実川河口域編 -, 16p, 2004.