

広島湾の水質・生態系モデルとカキ養殖の影響

陸田 秀実*・市位 嘉崇**・土井 康明***・内堀 博之****

本論文は、短期的な水質予測およびリアルタイムモニタリングを目的とした広島湾環境シミュレータ開発の第一段階として、広島湾の大気海洋モデルとカキ養殖モデルを結合した水質・生態系モデルを開発し、現地観測によってその妥当性を検証するとともに、カキ養殖が広島湾の水質・生態系に及ぼす影響を検討したものである。その結果、養殖カキの生物活動が広島湾内の水質・生態系に及ぼす影響は、潮流・吹送流の変化によって広範囲かつ3次元的となるため、時間・空間的に小さいスケールの水質予測及び水環境モニタリングが重要であることが明らかとなった。

1. はじめに

広島湾および安芸灘海域は、大小百以上の島々が点在する複雑な海岸地形を有し、さらには約1.2万台のカキ筏（カキ筏1台につき平均25万個のカキが生息）が設置されているため、詳細な流況を把握するには時間・空間分解能の高い流況シミュレーションを行う必要がある。また、全国有数のカキの生産地である広島湾は、近年の富栄養化に伴って、夏季の貧酸素水塊及び赤潮が頻発し、養殖貝など生物環境への悪影響が懸念されている。このような閉鎖性海域の富栄養化および水質生態系に関わる水環境の保全・管理・回復を図るには、湾内の流況、水質、プランクトン動態のリアルタイムモニタリングを行うとともに、カキの生物生産活動が水質環境に与える影響を評価することが必要不可欠である。

従来、広島湾の水質の季節変動に関わる中長期的シミュレーション及び環境モニタリングは、これまで多くの研究者・自治体によって行われ、様々な研究実績が得られている（例えば、李ら、2001）。しかしながら、時間・空間分解能の高い水質・生態系のリアルタイムモニタリングや赤潮予測において十分な数値モデルの整備がなされていないのが現状である。

本研究は、短期的な水質予測およびリアルタイムモニタリングを目的とした広島湾環境シミュレータ開発の第一段階として、広島湾を対象とした大気海洋モデルとカキ養殖モデルを結合した水質・生態系モデルを開発し、現地観測によってその妥当性を検証する。また、カキ養殖が広島湾の水質・生態系に及ぼす影響を明らかにすることを目的とする。

2. 広島湾の水質・生態系モデル

（1）大気海洋モデル

複雑地形を有する瀬戸内圏の風況シミュレーションには、オクラホマ大学ストーム解析センターが開発した局地気象モデル ARPS を用いた。この大気モデルは非静水圧大気予報モデルであり、鉛直方向には地形に沿った境界適合座標を用いている。一方、複数の灘と瀬戸を有する瀬戸内海の吹送流の数値シミュレーションには、著者ら（2003a）が昨年度開発した POM に基づく海洋モデルを用いた。また、海面境界の風応力は、局地気象モデルより得られた最下層の非定常な風況分布を毎時刻与え、大気と海洋の運動量輸送の結合を行った。なお、その他については陸田ら（2003b）と同様である。

（2）水質・生態系モデル

広島湾のカキ養殖を考慮した水質・生態系モデルを図-1に示す。

従来の水質・生態系モデルを基本として、植物プランクトン、動物プランクトン、デトリタス、溶存態有機物、リン酸塩（DIP）、全無機態窒素（DIN）、溶存酸素（DO）

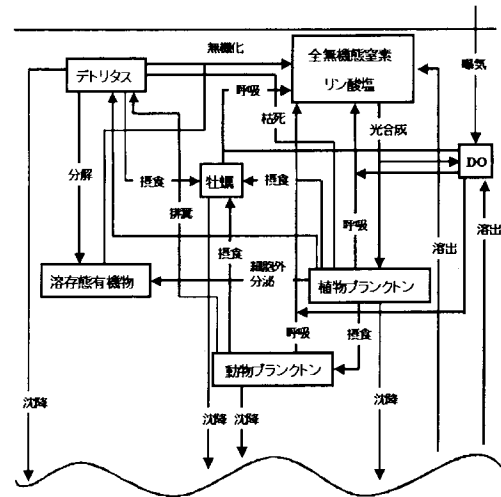


図-1 広島湾の水質・生態系モデル

* 正会員 博(工) 広島大学助教授 大学院工学研究科社会環境システム専攻
** 修(工) ホーコス(株)
*** 正会員 工 博 広島大学教授 大学院工学研究科社会環境システム専攻
**** 広島大学大学院工学研究科社会環境システム専攻

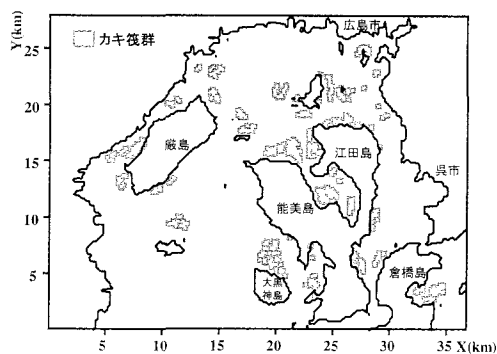


図-2 衛星センサ ASTER によるカキ筏群の抽出

および養殖カキのコンパートメントから構成されている。なお、植物プランクトン及び動物プランクトンの種の同定は行っていない。

(3) カキ養殖モデル

養殖カキの数理モデル化には、中村ら (2003) が提案した個体群動態モデルを適用し、カキの生活史の諸過程を考慮したパラメータ調整を行った。また、図-2 に示すように、衛星センサ ASTER のリモートセンシング画像を基に、Sakuno ら (2002) の画像解析法を用いて、2003 年度観測期間中のカキ筏群を抽出し、対応する計算格子にカキ筏抵抗を水深 10 m まで与えた。その際、カキ垂下連の流体抵抗を把握するための水槽試験 (土井ら, 2001) を行い、カキの抗力係数を算定した。

(4) 計算領域と計算条件

大気モデルの計算領域は西日本全域とし、瀬戸内圏の複雑な地形変化を考慮するため、格子は水平方向約 4 km メッシュ、鉛直 14 層 (最小間隔 100 m) とし、時間刻みは 6 s とした。一方、海洋モデルの計算領域は広島湾全域とし、格子は水平方向約 200 m メッシュ、鉛直方向 6 層とし、時間刻みは外部モード 1 s、内部モード 10 s とした。計算時間は現地観測にあわせて 2003 年 9 月 18 日 AM 6:30~PM 14:30 の 8 時間とし、生態系コンパー

トメントの初期値は観測開始時刻のものを用いた。また、潮汐変動は瀬戸内海全域の数値計算結果を基にネスティングによって広島湾南部境界より与えた。さらに、流量年表を基に一級河川の太田川を始めとする 18 河川の流入を考慮することにした。なお、観測当日は、正午過ぎから北北東~北東の風が強まったため、これによる吹送流が広島湾の水質及び流況に及ぼす影響についても検討した。

3. 数値計算結果と考察

図-3 及び図-4 は、DIP、DIN および DO の時間的変化について、本数値モデルと現地観測結果を比較したものである。観測点は広島湾奥部の厳島北東海域である。図より、観測値にばらつきは見られるものの、全体的な傾向はいずれも概ね良好であり、本数値モデルの妥当性が確認できる。図-5 は、カキ筏抵抗を考慮した広島湾の流況を示したものであり、昨年度、潮流楕円による精度検証がなされている (陸田ら, 2003a)。

図-6 及び図-7 は、観測開始時および終了時における DIP、DIN および DO の空間分布を示したものである。表層の DO 濃度は、広島湾全体で上昇傾向にあるものの、カキ筏及びその周辺において、その傾向は緩やかとなっており、養殖カキの生物活動による影響が顕著となっている。

図-8 は、同時刻における表層の植物プランクトンの空間分布を示したものであり、カキの摂食によって植物プランクトン濃度が低下していることが分かる。このような養殖カキの水質・生態系に及ぼす影響を明らかにするため、カキ筏ありの場合とカキ筏なしの場合について、植物プランクトンの空間分布の差を調べた (図-9)。図より、午後 14:30 において、カキ筏周辺の植物プランクトンの低濃度水塊 (負値) が、移流・拡散の影響によって周辺海域に拡がっていることが分かる。昨年度の研究において、カキ筏群の湾内流動に及ぼす影響は、カキ筏群周辺に留まらず湾全域に及ぶことが分かっている。こ

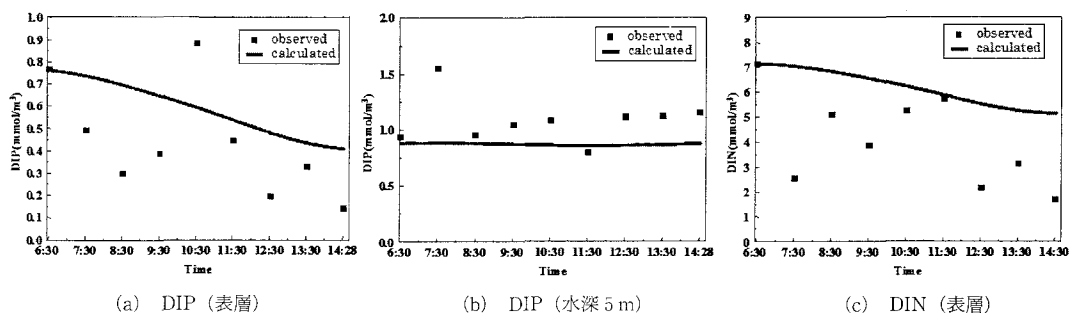


図-3 DIP 及び DIN の時間的変化の比較

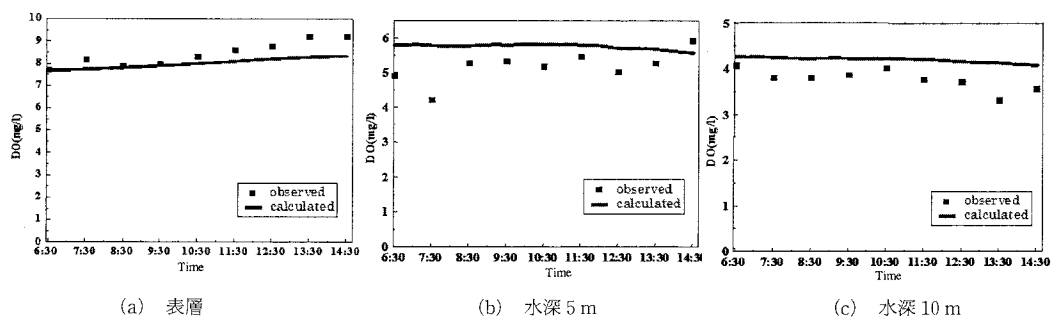


図-4 DO の時間的変化の比較

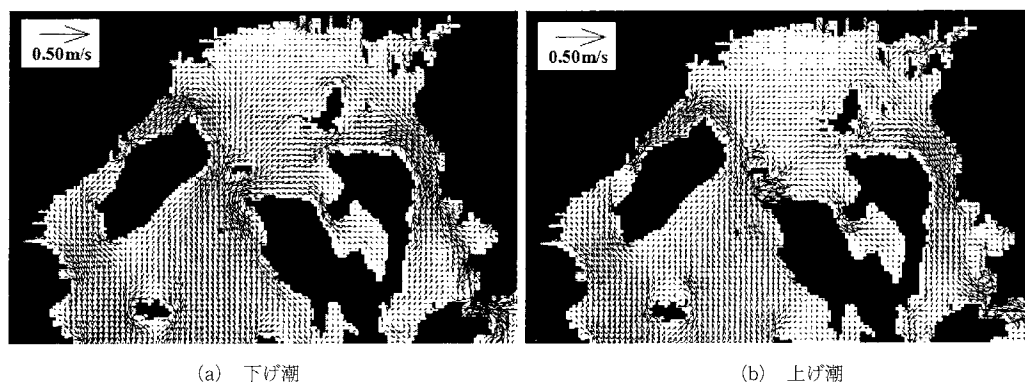


図-5 表層の流況分布

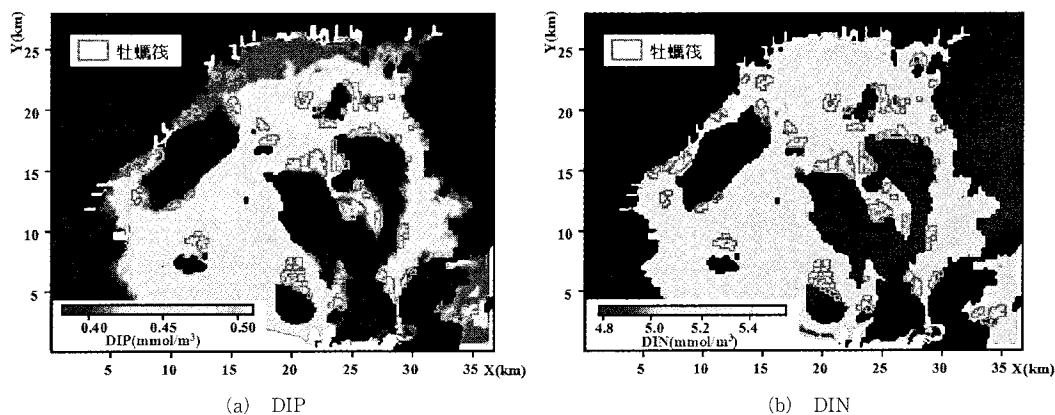


図-6 表層における DIP 及び DIN の空間分布 (14:30)

これらの結果から、広島湾の養殖カキの流況・水質生態系に及ぼす影響は、時間・空間分解能の密なスケールにおいても顕著であることが分かる。

図-10 は、大気観測結果に基づく局地気象モデルによる風況解析を行い、その結果を風応力として与えた場合の表層の流況分布を示したものである。表層の流況は、上げ潮時であるにも関わらず、吹送流によって岸から西南方向へ向かう流れが卓越しており、特に湾奥部におい

て顕著である。また、底層の流況は、これを補償する北向きの流れとなっていることが分かる。

図-11 および図-12 は、この風況下における植物プランクトンおよび DO の空間分布を示したものである。図より、先に示した北北東風による湾奥部の 3 次元流動によって、岸側底層の DO の低濃度水塊が湧昇し、その後、吹送流によって南下していくことが分かる。同様の結果は、植物プランクトンの分布においても現れており、吹

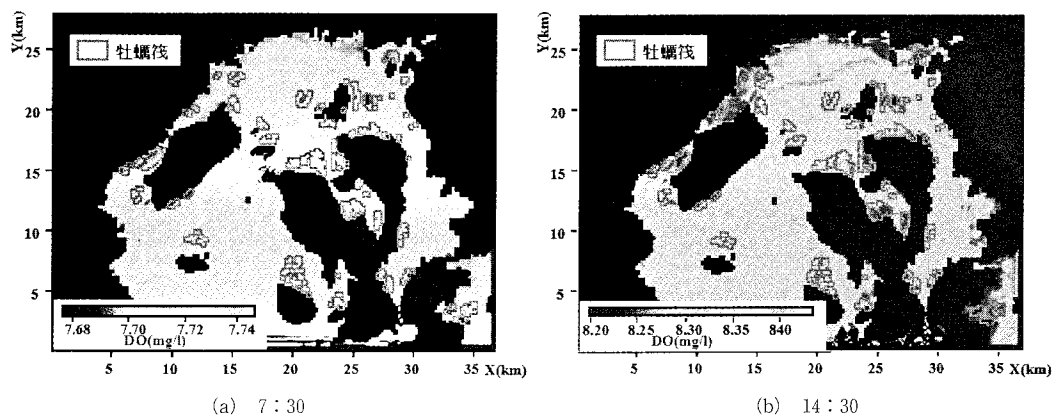


図-7 DOの空間分布(表層)

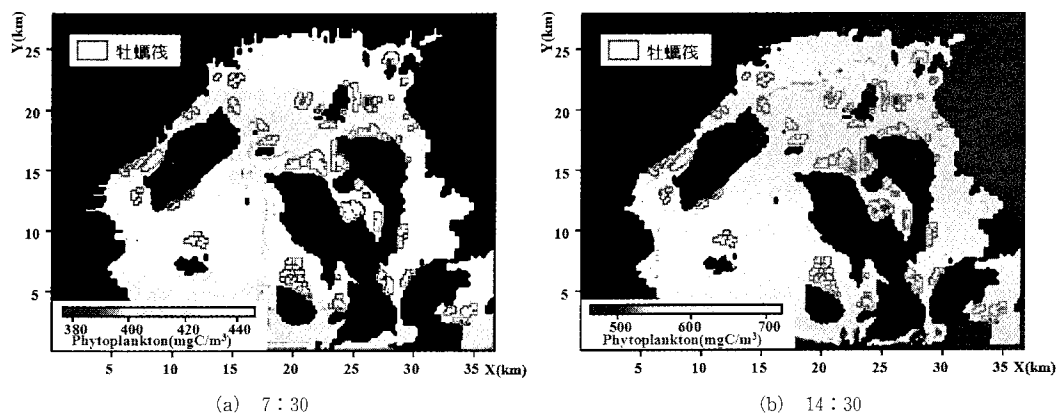


図-8 植物プランクトン分布の時間的変化(表層)

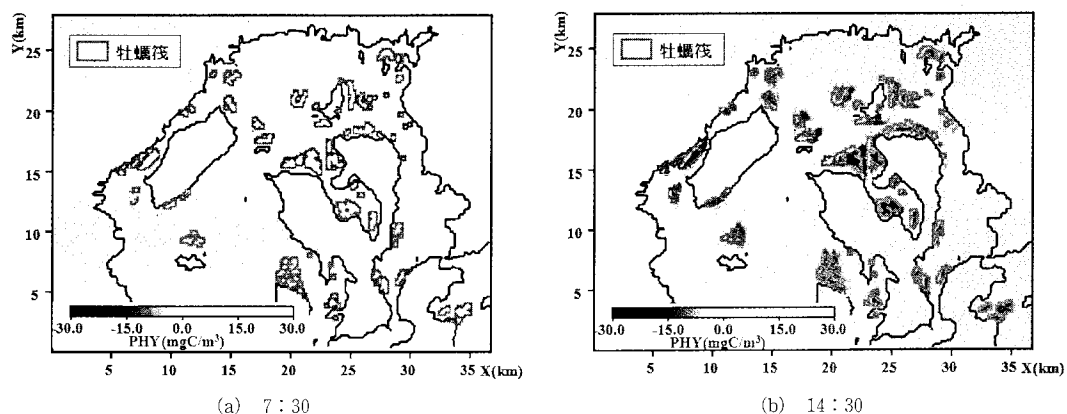


図-9 植物プランクトン分布に及ぼすカキ筏の影響(表層)

送流によって湾奥部の水質の鉛直混合が促進されたものと考えられる。なお、現地観測において、岸側観測点のDOおよびクロロフィル濃度の鉛直分布が一様になっていることを確認している。

4. おわりに

広島湾を対象とした大気海洋モデルとカキ養殖モデルを結合した水質・生態系モデルを開発し、現地観測との

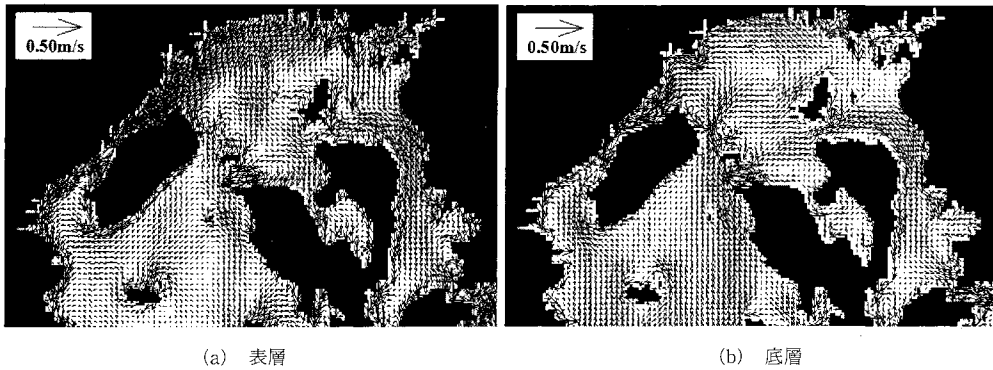


図-10 北北東風による流況分布の変化

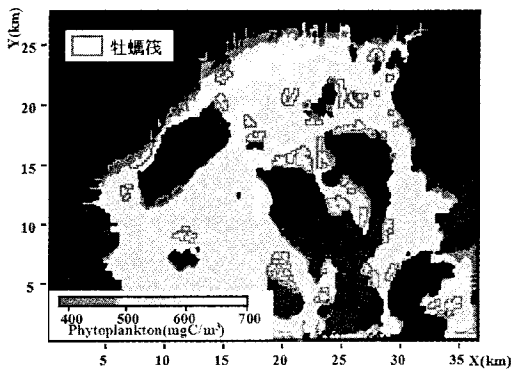
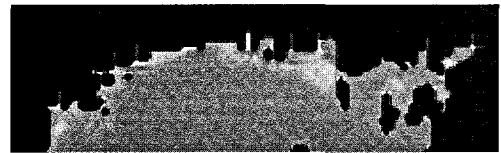
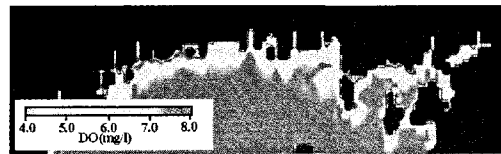


図-11 沿岸湧昇流による植物プランクトン分布の変化（表層）



(a) 北北東風なしの場合



(b) 北北東風ありの場合

図-12 沿岸湧昇流による DO 濃度の変化（表層）

比較によってその妥当性を検討した。その結果、モデルパラメータの設定において問題が残されているものの、観測結果と概ね良好な結果が得られた。また、カキの生物活動が広島湾内の水質・生態系に及ぼす影響は、潮流・吹送流の変化によって広範囲に及ぶため、時間・空間的に密な水質環境予測の重要性が明らかとなった。今後の課題としては、観測によって明らかとなった広島湾の動植物プランクトン種の短期的変動、養殖カキのパラメータ同定、栄養塩および水質のデータ同化が挙げられる。

参 考 文 献

- 李 寅鐵・藤田健一・高杉由夫・星加 章 (2001): 広島湾における残差流および物質輸送過程の数値実験, 海の研究, 10(6), pp. 495-507.
- 土井康明・森下 圭 (2001): 養殖カキ筏がある閉鎖性海域の流

況計算, 西部造船論文集, 第 102 巻, pp. 57-62.

中村義治・奥出 壮・寺沢知彦・関根幹男・三村信男 (2003): CO₂ 固定評価にかかわる貝類代謝モデルの開発—養殖カキ—, 海岸工学論文集, 第 50 巻, pp. 1166-1170.

陸田秀実・内堀博之・市井嘉崇・土井康明 (2003a): 広島湾の流況と物質輸送に関する数値解析, 海岸工学論文集, 第 50 巻, pp. 381-385.

陸田秀実・市井嘉崇・秋山佳明・土井康明 (2003b): 局地気象モデルを用いた瀬戸内圏の風況解析と吹送流の応答特性, 海岸工学論文集, 第 50 巻, pp. 436-440.

Sakuno, Y., T.Matsunaga, T.Kozu and K. Takayasu (2002): Preliminary study of the monitoring for turbid coastal waters using a new satellite sensor, "ASTER", Proc. of 12 th ISOPE, Vol. II, pp. 341-347.