

広島湾の流況と物質輸送に関する数値解析

陸田 秀実*・内堀 博之**・市位 嘉崇***・土井 康明****

本研究は、広島湾のカキ筏群が流況に及ぼす影響及び広島湾内の物質輸送特性を明らかにすることを目的として、流入河川及びカキ筏群を考慮した沿岸海洋モデルを用い、広島湾及び安芸灘海域の高解像度流況シミュレーションを行ったものである。その結果、広島湾内のカキ筏群は湾内の海水交換を妨げており、その影響範囲はカキ筏群の周辺に留まらず、広島湾全域に及ぶことが分かった。特に、湾奥中央に密集したカキ筏群の影響により、広島湾奥部および江田島湾・呉湾一体の海域では海水交換性が悪いことが分かった。また、広島湾のように特に複雑地形を有する閉鎖性海域では、各海域において滞留率が大きく異なっており、海域特有の物質輸送が明らかとなった。

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上、約 1.2 万台のカキ筏群が配置されており、閉鎖性海域の中でも特に流況が複雑な海域である。また、流入負荷の高い太田川を始めとする複数の河川は、流況のみならず湾内の生態系を支配する主要因の一つである。これまで、川西 (1999) 及び李ら (2001) によって広島湾を対象とした流況シミュレーションがなされてはいるものの、いずれも格子解像度が粗く、カキ筏群を考慮するに至っていない。

本研究では、広島湾の流況モデル及び沿岸生態系モデルを開発する上で無視することが出来ない流入河川及びカキ筏群を考慮した高解像度流況シミュレーションを行い、特にカキ筏群が広島湾の流況に及ぼす影響を明らかにする。また、残差流結果を基にトレーサ粒子群を追跡し、広島湾の物質輸送特性を明らかにすることを目的とする。

2. 数値計算法

(1) 海洋モデルの概要

流況モデルは、海洋モデル POM (Mellor, 1998) に基づき、昨年度、著者ら (2002) が種々の改良によって瀬戸内海に適合した海洋モデルを用いた。但し、密度一定の準 3 次元 Barotropic モデルとして、塩分および水温の影響を無視した。そのため、季節的な変化などは考慮されていない。

(2) 計算領域と計算条件

図-1 に示すように、計算領域は東西 36.6 km、南北 27.8 km とし、水平格子数は 183×139 (約 200 m メッシュ) とした。また、広島湾は複雑な海岸と水深変化を

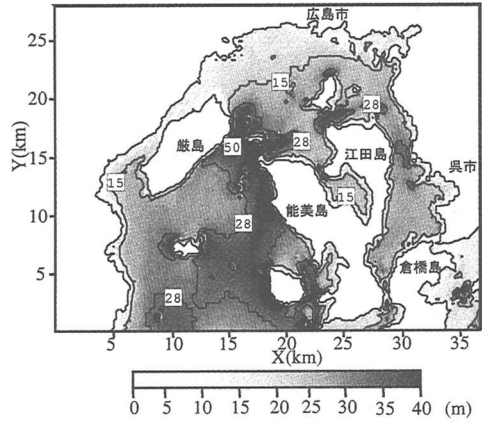


図-1 計算領域と水深分布

有しているため、鉛直方向の格子数は 12 層とした。時刻みは内部モード 1 s、外部モード 12 s とし 7 日間の計算を行った。潮位の境界条件は、瀬戸内海全域 (東西 574 km、南北 277 km、格子間隔 1 km) の潮位計算結果に基づき、ネスティングによって潮位変動を与えることとした。

(3) 流入河川とカキ筏モデル

広島湾を対象とした流況シミュレーションを行う場合、複数の河川およびカキ筏群を無視することは出来ない。本計算では、流量年表を基に一級河川の太田川を始めとする 16 河川の河川流入を考慮することにした。

また、カキ筏群は、衛星センサ ASTER の画像を基に、Sakuno ら (2002) が画像解析によって抽出したものを利用し、対応するメッシュ毎に下記に示すカキ筏抵抗 F_D を水深 10 m まで与えた (土井ら, 2001)。

$$F_D = -\frac{\rho C_D U^2 D d}{2 S_z^2 S_x}$$

ここで、 U : 一様流速、 ρ : 海水密度、 C_D : 抵抗係数、 S_z : 鉛直方向のカキ間隔、 S_x : 垂下連の水平方向間隔、 D : 1 本の垂下連の直径、 d : 1 本の垂下連の長さである。

* 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
** 広島大学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
**** 正会員 工 博 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

図-2は、河川およびカキ筏群の配置を示したものである。図に示すとおり、広島湾は厳島、似島、江田島、能美島、倉橋島等の島々が点在する上、島周辺にカキ筏群が散在しており、特に波浪影響の少ない広島湾奥中央部において、その密集度が高くなっていることが分かる。

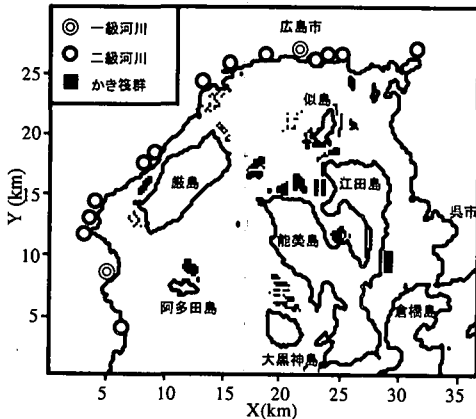


図-2 河川およびカキ筏群の配置

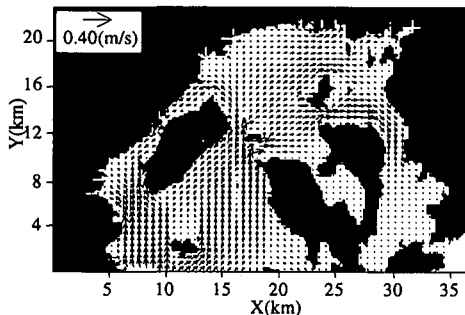
3. 数値計算結果

(1) カキ筏群が広島湾の流況に与える影響

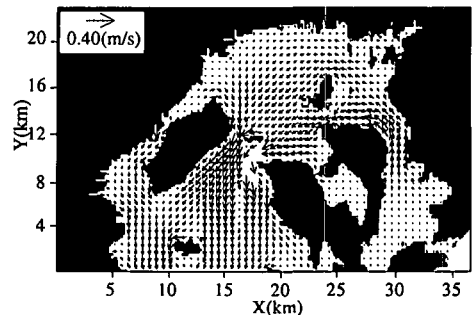
図-3及び図-4は、カキ筏群の有無による上げ潮及び下げ潮最強時の表層の潮流を示したものである。広島湾の流況は、湾中央に位置する厳島海峡及び奈佐美瀬戸において最強流速が発生し、その後、江田島北部を迂回し、呉湾へと向かう大局的な流れのパターンが存在する。しかしながら、この傾向はカキ筏群の有無によって、大きな相違は見られない。

図-5は、広島湾奥部の2測点において、カキ筏群有りの場合の残差流結果を現地観測結果と比較したものであり、概ね良い一致を示している。また、川西(1999)及び李ら(2001)の湾全体の残差流結果とも比較を行ったが、概ね一致していた。しかしながら、本数値計算は、高分解能な格子でカキ筏群を考慮しているため、細部の一致を得るには至っておらず、現在のカキ筏群の配置による現地観測を実施し、厳密な比較を実施する必要がある。

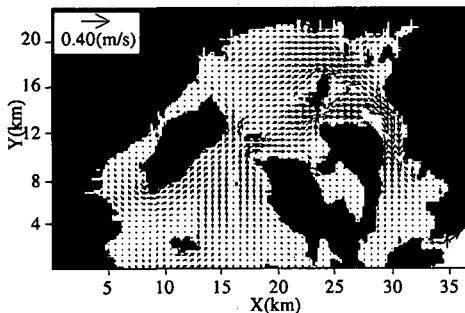
図-6は、カキ筏群の有無による表層の残差流ベクトルを比較したものである。また、南北方向および東西方向の残差流の差を示したものが図-7である。なお、それぞれ、北向き及び東向きを正としている。これらの図が



(a) カキ筏群無し

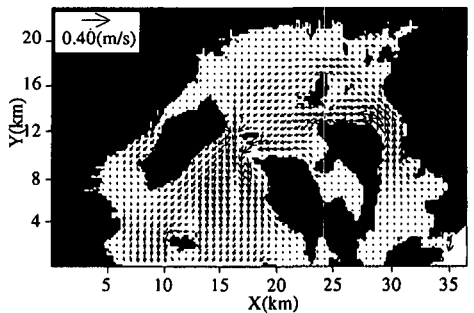


(a) カキ筏群無し



(b) カキ筏群有り

図-3 上げ潮



(b) カキ筏群有り

図-4 下げ潮

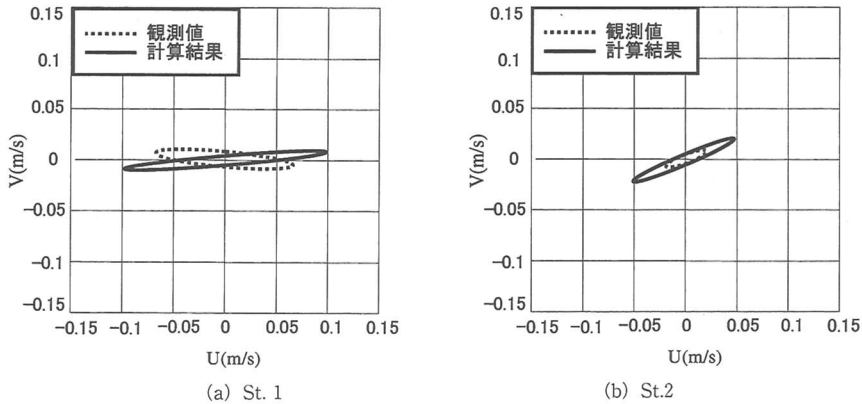


図-5 広島湾奥部の測点における潮流楕円の比較

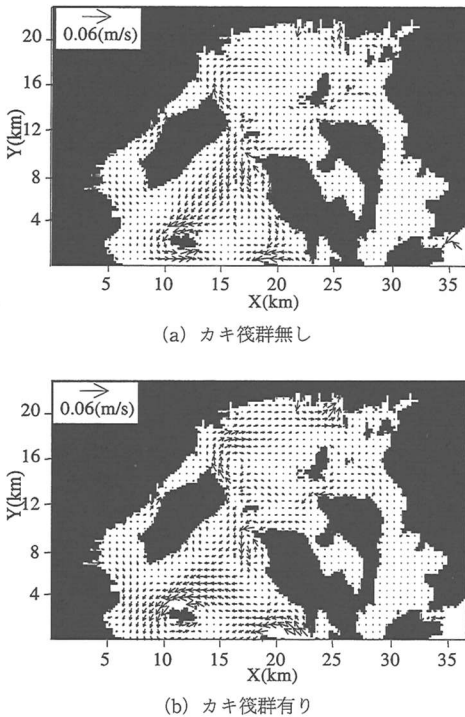


図-6 カキ筏群の有無による残差流の比較

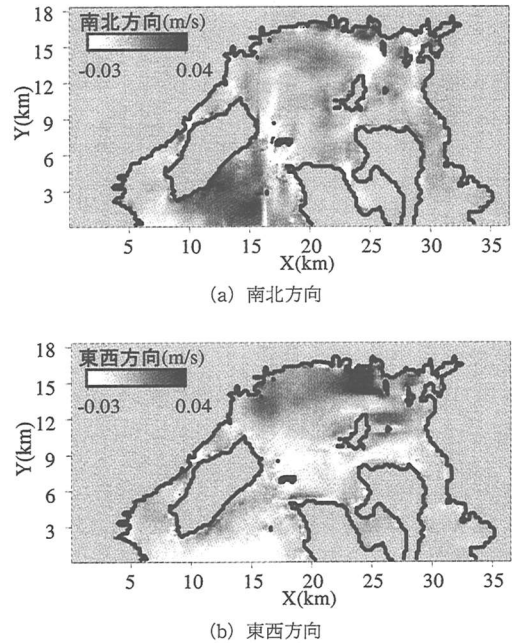


図-7 かき筏群の有無による残差流の差

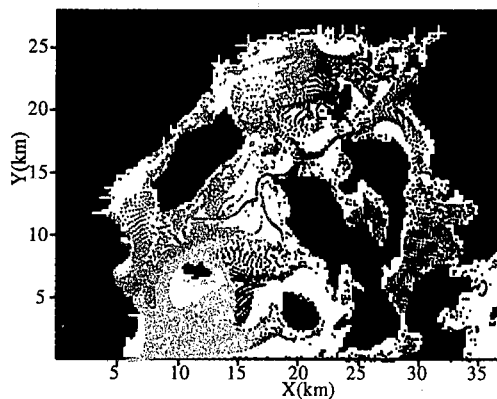
ら、広島湾奥部に高気圧性循環渦が形成されており、湾奥部の海水交換を妨げていることが分かる。また、カキ筏群有りの場合、広島湾中央部の厳島海峡及び奈佐美瀬戸において南向き残差流が弱まる一方で、その他の海域では北向き残差流が強まる事が分かる。さらに、厳島北部から広島湾奥部への北東・東向きの残差流が強化されるとともに、そのすぐ南側海域において西向き残差流が強化されていることが分かる。以上のことから、広島湾内のカキ筏群は湾内の海水交換を妨げており、その影響範囲はカキ筏群の周辺に留まらず、広島湾および安芸

灘北部海域に及ぶことが分かった。

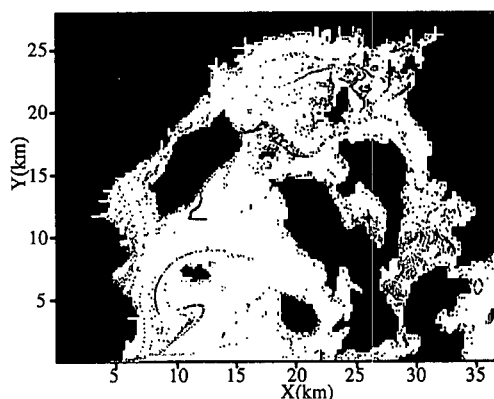
(2) 広島湾の物質輸送特性

図-8は、残差流結果を基に広島湾全域に約1万個のトレーサ粒子を投入し、約1ヶ月間追跡した結果を示したものである。図より、安芸灘海域は海水交換が活発であるため、この海域のトレーサ群はほとんど流出してしまう。しかしながら、厳島の周辺、広島湾奥中央部、江田湾内及び呉港周辺海域では、多数のトレーサ群が滞留し続けており、各海域で滞留率が大きく異なることが分かる。

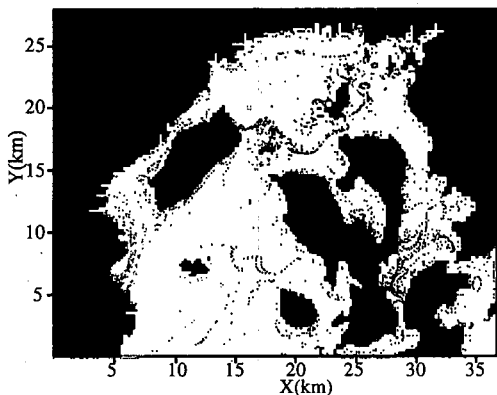
このことをさらに詳しく調べるため、トレーサ群を各海域に配置し、その移動過程を示したものが図-9であ



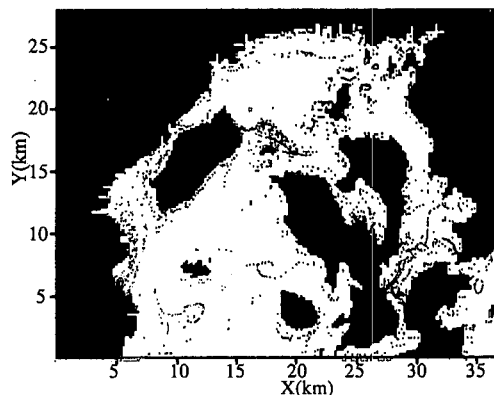
(a) 4日後



(b) 13日後



(c) 22日後



(d) 31日後

図-8 約1ヶ月間の物流輸送過程

る。なお、いずれの図も、初期（左図）及び4日目（右図）のトレーサ位置を示している。図より、広島湾奥部のトレーサ群は、厳島海峡及び奈佐美瀬戸の潮流の通り道に移動するのではなく、南南西の厳島方面へ移動する傾向にある。また、厳島周辺海域では、島南部のトレーサ群は南下傾向にあるものの、島北部のそれは湾奥の河口域へと北上傾向にあることが分かる。さらに、江田島湾及び呉湾のトレーサ群は、ほとんど移動していない。以上のことから、広島湾奥部および江田島湾・呉湾一体の海域では、海水交換性が非常に悪くなっており、閉鎖性を益々強める傾向にあることが分かる。これらは、湾奥中央海域に密集したカキ筏群の影響によるものと考えられる。

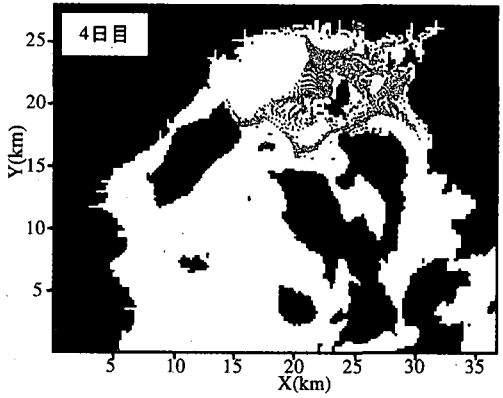
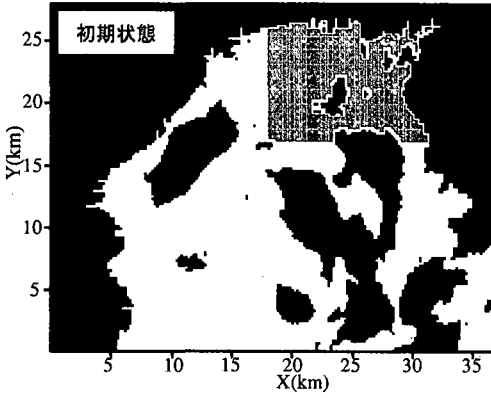
4. おわりに

本研究では、流入河川および多数のカキ筏群を考慮した流況シミュレーションを行った。その結果、広島湾内のカキ筏群は湾内の海水交換を妨げており、その影響範囲はカキ筏群の周辺に留まらず、広島湾全域に及ぶこと

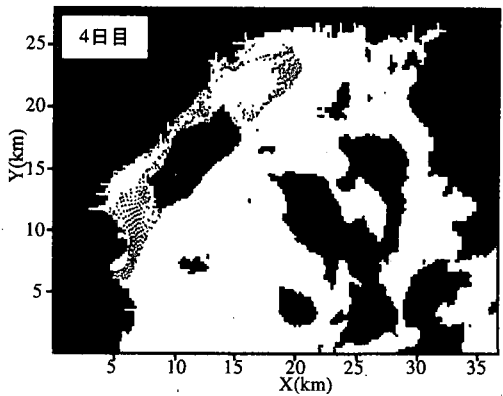
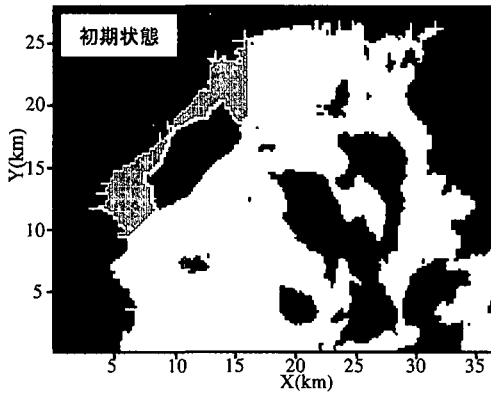
が分かった。特に、湾奥中央に密集したカキ筏群の影響により、広島湾奥部および江田島湾・呉湾一体の海域では海水交換性が悪いことが分かった。また、広島湾のような複雑地形を有する閉鎖性海域では、各海域においてトレーサ群の滞留率が大きく異なっていることが明らかとなった。

参考文献

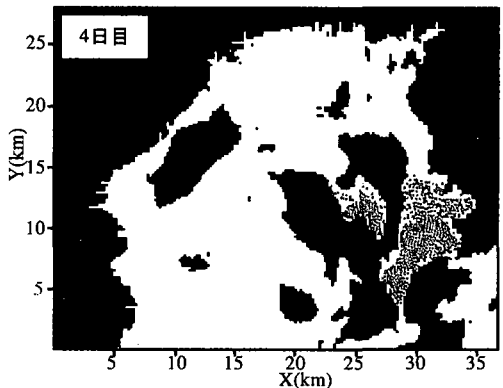
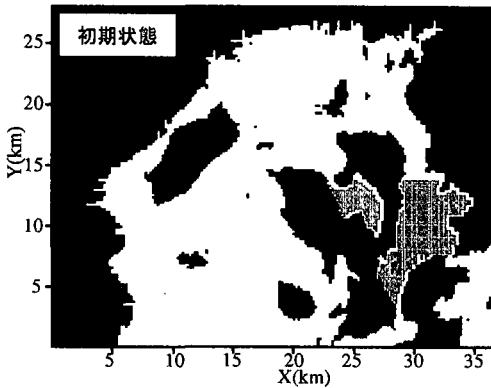
- 川西 澄 (1999): 広島湾北部海域の流動構造と海水交換特性, 海岸工学論文集, 第46巻, pp. 1041-1045.
- 土井康明・森下 圭 (2001): 養殖カキ筏がある閉鎖性海域の流況計算, 西部造船論文集, 第102巻, pp. 57-62.
- 陸田秀実・土井康明・市位嘉崇 (2002): 沿岸海洋モデルによる来島海峡の潮位分布と潮流の3次元構造の解明, 海岸工学論文集, 第49巻, pp. 376-370.
- 李 寅鐵・藤田健一・高杉由夫・星加 章 (2001): 広島湾における残差流および物質輸送過程の数値実験, 海の研究, 10(6), pp. 495-507.
- Mellor, G. L. (1998): USERS GUIDE for A THREE-DIMENSIONAL PRIMITIVE EQUATION NUMERICAL OCEAN MODEL, Princeton University.
- Sakuno, Y., T. Matsunaga, T. Kozu and K. Takayasu (2002):



(a) 湾奥中央部



(b) 厳島周辺



(c) 江田島湾及び呉湾

図-9 海域別の物質輸送過程

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.