

ノリ養殖漁場を考慮に入れた有明海湾奥浅海域における流動解析

田畑, 俊範

九州大学大学院生物資源環境科学府環境農学専攻生産環境科学教育コース水環境学研究分野 | 九州大学大学院農学研究院環境農学部門生産環境科学講座水環境学研究分野

平松, 和昭

九州大学大学院農学研究院環境農学部門生産環境科学講座水環境学研究分野

原田, 昌佳

九州大学大学院農学研究院環境農学部門生産環境科学講座水環境学研究分野

<https://doi.org/10.15017/18864>

出版情報 : 九州大学大学院農学研究院学芸雑誌. 65 (2), pp.57-72, 2010-10-29. 九州大学大学院農学研究院

バージョン :

権利関係 :

ノリ養殖漁場を考慮に入れた 有明海湾奥浅海域における流動解析

田畑 俊 範¹・平松 和 昭*・原田 昌 佳
九州大学大学院農学研究院環境農学部門生産環境科学講座水環境学研究分野
(2010年6月29日受付, 2010年7月9日受理)

Numerical Simulations of Tidal Currents in the Ariake Sea Coastal Waters by Considering Nori Aquafarming Grounds

Toshinori TABATA¹, Kazuaki HIRAMATSU*
and Masayoshi HARADA

Laboratory of Water Environment Engineering, Division of Bioproduction Environmental Sciences,
Department of Agro-environmental Sciences, Faculty of Agriculture,
Kyushu University, Fukuoka 812-8581, Japan

緒 言

近年、有明海環境異変が懸念され社会問題にまで発展している。有明海は、九州西部に位置し深く入り込んだ閉鎖性の高い九州最大の内湾である。日本最大の潮位差と豊かな干潟を有し、二枚貝を始めとした水産資源が豊富であり、冬季には湾奥部干潟域を中心として広大な海域でノリ養殖が行われている。有明海環境異変とは、二枚貝を中心とする豊かな漁業生産量の減少とノリ養殖生産量の不安定化であり、その要因としては、干潟面積の減少、底泥の細泥化、赤潮の増加、流速の減少、過剰生産、乱獲等々が挙げられている。しかしながら、それらの諸現象について、定量的かつ経年的な状況把握が十分にできていないのが現状である。現在、有明海の漁場環境の再生、安定化についての取組が各地で進められており、水質や底質等の状況を定量的、かつ経年的に把握し、環境変化の要因・メカニズムを解明することが喫緊の課題となっている(九州環境管理協会, 2007)。

本研究では、その第一歩として、ノリの成長を促す

重要な要因(川口ら, 2005)の一つである潮流速について、2次元単層モデルを用いたシミュレーションを行った。2次元単層モデルとは、3次元基礎方程式を水深方向に積分して得られる支配方程式を用いたモデルである。3次元モデルに比べてモデルが簡潔であり、比較的取り扱いやすく、さらに計算に要する時間が格段に短くなるため、潮流の平面的な挙動を知るには実用的なモデルといえる。有明海における潮流解析に関する既往の研究では、干潟域を中心に設置されたノリ養殖施設の影響を正確に考慮に入れた湾奥部での解析は十分とはいえない(例えば、千葉ら, 2003; 宇野木, 2003)。そこで本研究では、ノリ養殖施設の諸元をできる限りシミュレーションモデルに反映し解析を行うことにより、ノリ漁場周辺の潮流場をより正確に再現することを目的とした。さらに、ノリの成長には潮流速が重要な要因の一つとされていることから、本研究では、ノリ養殖施設の配置密度が漁場周辺の潮流速に及ぼす影響を評価するため、ノリ養殖施設の配置や1区画のノリ網の枚数等の変更を想定した5ケースのシナリオを作成し、シナリオ分析を通してノリ養殖施設

¹九州大学大学院生物資源環境科学府環境農学専攻生産環境科学教育コース水環境学研究分野

*Laboratory of Water Environment Engineering, Course of Bioproduction Environmental Sciences, Department of Agro-environmental Sciences, Graduate School of Bioresource and Bioenvironmental Sciences, Kyushu University

*Corresponding author (E-mail: hiramatsu@bpes.kyushu-u.ac.jp)

が潮流に与える影響について考察した。

本研究を進めるにあたり、福岡県水産海洋技術センター・有明海研究所の養殖課、佐賀県有明水産振興センター・のり研究担当の方々には、海底地形、ノリ区画漁場、潮流観測のデータを提供頂きました。また、株式会社アーバントラフィックエンジニアリングの永岩研一氏には、ArcGISによるノリ区画漁場データの作成に協力頂きました。記して謝意を表します。

データと方法

1. 有明海概要

有明海は、九州西部に位置し、福岡県、熊本県、長崎県および佐賀県の4県に囲まれた深く入り込んだ九州最大の内湾である。その大きさは、面積約1,700m²、容積約340億m³、平均水深約20mで最大潮位差は6mにも及ぶ。流域面積は約8,420km²であり、その主な流入河川として筑後川、六角川、菊池川、矢部川、緑川、白川等が挙げられ、淡水流入量は一級河川全体で約8,000×10⁶m³となっている。日本の干潟総面積の約4割に当たる1万9,000ha以上の干潟が残されており、豊饒の海と呼ばれる。そのため、有明海は生物生産性が高く、沿岸閉鎖性海域の典型といえる。ここではアサリ、ハマグリ、アゲマキ、タイラギなどの二枚貝類の採貝漁業が栄え、1970年代には年間に100,000tを超える漁獲量に達した。また、ノリ養殖技術が開発されて後、1990年代にはその生産量は約150,000tを超えている。また、沿岸には約180万人の人々が生活し、様々な社会経済活動が営まれている。ところが、近年、この有明海の生態系に重大な異変が生じている。すなわち、二枚貝漁獲量の経年的な減少とノリ不作問題である。有明海から獲れる二枚貝類で最も漁獲量の多いアサリは、1980年代後半より急激に漁獲量が減少し、1990年代以降10,000tに満たない漁獲量が続けている。2000年度には冬季の養殖ノリの色落ちが社会的に大きな問題として取り上げられ、その年のノリの生産量が約9,000tと出荷量は前年の6割程度にまで落ち込んだ。また、2009年度の冬季にも養殖ノリの色落ちが大規模に発生した。このような環境異変を背景として、有明海の水環境保全は社会問題にまで発展している。今後、有明海の環境を保全し、持続的に漁業活動を展開していくためにも、有明海の流動構造を把握する必要がある。

2. 2次元単層モデル

(1) 概要

本研究で構築したモデルは2次元単層モデルである。

2次元単層モデルは、3次元基礎方程式を水深方向に積分して得られる支配方程式を用いたモデルで、浅い内湾や湖沼のように水深方向の水理量の変化に比べ水平方向の水理量の変化が大きく、水平方向の挙動を解析すれば充分である場合にしばしば用いられる(例えば、千葉ら, 2003; 齋ら, 2006)。以下では、その2次元単層モデルについて述べる。

(2) 支配方程式

2次元単層モデルの支配方程式を誘導するにあたって、東京湾平均海面(T.P.0m)に原点をとり、水平面上に x, y 軸、鉛直上方に z 軸をとる右手系の座標系を採用した。Reynoldsの3次元基礎方程式を水深方向に積分することで2次元単層モデルの支配方程式を求める。このとき、以下の3つの仮定を導入する。すなわち、1) 質量力として重力とコリオリ力を考慮する、2) 圧力は静水圧分布に従う、3) 水平方向と鉛直方向の乱れスケールが異なるため、両方向の渦動粘性係数の異方性を考慮した。これらの過程のもと2次元単層モデルの支配方程式は以下の通りである。

・連続方程式

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left[U(h+\eta) \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[V(h+\eta) \right] = 0 \quad (2.5)$$

・運動方程式

$$\frac{\partial U}{\partial t} + U \frac{\partial U}{\partial x} + V \frac{\partial U}{\partial y} = fV - g \frac{\partial \eta}{\partial x} + \nu_h \left(\frac{\partial^2 U}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial y^2} \right) + \frac{1}{h+\eta} \left(\frac{\tau_{sx}}{\rho} + \frac{\tau_{bx}}{\rho} \right) \quad (2.6)$$

$$\frac{\partial V}{\partial t} + U \frac{\partial V}{\partial x} + V \frac{\partial V}{\partial y} = fU - g \frac{\partial \eta}{\partial y} + \nu_h \left(\frac{\partial^2 V}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial y^2} \right) + \frac{1}{h+\eta} \left(\frac{\tau_{sy}}{\rho} + \frac{\tau_{by}}{\rho} \right) \quad (2.7)$$

ここで、 t は時間(s)、 ρ は流体の密度(kg/m³)、 U, V は x, y 方向の単位幅流量(m/s)、 η は水位(m)、 h は水深(m)、 f はコリオリ係数(s⁻¹)、 g は重力加速度(m/s²)、 ν_h は水平方向の渦動粘性係数(m²/s)、 $\tau_s = (\tau_{sx}, \tau_{sy})$ は水面せん断力(N/m²)、 $\tau_b = (\tau_{bx}, \tau_{by})$ は底面せん断力(N/m²)であり、水平方向の渦動粘性係数 ν_h の評価には次式のSmagorinskyモデル(Smagorinsky, 1963)を導入した。

$$\nu_h = \frac{1}{2} S_m A_G \left[\left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 + \frac{1}{2} \left(\frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial y} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (2.12)$$

S_m はSmagorinsky係数(=0.2)、 A_G はメッシュ面積(m²)である。また、風応力による水面せん断力および底面せん断力は以下の式で求めた。

$$\frac{\tau_{xx}}{\rho} = \frac{\rho_a}{\rho} \gamma_s^2 U_{10} \sqrt{U_{10}^2 + V_{10}^2} \quad (2.8)$$

$$\frac{\tau_{yy}}{\rho} = \frac{\rho_a}{\rho} \gamma_s^2 V_{10} \sqrt{U_{10}^2 + V_{10}^2} \quad (2.9)$$

$$\frac{\tau_{bx}}{\rho} = \frac{gn^2 U \sqrt{U^2 + V^2}}{(h+\eta)^{1/3}} \quad (2.10)$$

$$\frac{\tau_{by}}{\rho} = \frac{gn^2 V \sqrt{U^2 + V^2}}{(h+\eta)^{1/3}} \quad (2.11)$$

ここで、 ρ_a は空気の密度(=1.293kg/m³)、 γ_s は海面の摩擦係数、 U_{10} 、 V_{10} は水面上10m高さのx、y方向の風速(m/s)、 n はManningの粗度係数(s/m^{1/3})である。

以上の方程式を用い数値解析を行う。このとき、陽的解法であるLeap Frog法により差分展開を行い、メッシュ系にはスタッガードメッシュ系を用いた。

(3) 干潟処理

計算の過程で、ある格子点に陸域(干潟)が干出すると水深の値がゼロとなり計算が破綻する。そこで本モデルでは、干潟処理(Wetting and Drying Scheme, WDS)を導入した。すなわち、格子点にLand Mask関数(LMF)を定義し、冠水・干出の判定を行った。このLMFは、陸域で0、海域で1の二値を取る関数である。以下が干潟処理のアルゴリズムである。

まず、干潟干出の閾値として最低水深 d_{min} を設定する。本モデルでは0.2mとした。そして、計算ステップごとに各格子点の水深 $D_{m,n}$ (= $h_{m,n} + \eta_{m,n}$) (m)と d_{min} の大小を判定した。ここで、 $D_{m,n} > d_{min}$ の場合、そのメッシュは冠水していると判断し、 $LMF_{m,n} = 1$ とし計算領域に残す。一方、 $D_{m,n} \leq d_{min}$ の場合、さらに以下の3つの条件から構成されるWDSを適用する。

$$\begin{aligned} \text{a) } & \min [\eta_{m+1,n}, \eta_{m-1,n}, \eta_{m,n+1}, \eta_{m,n-1}] \leq \eta_{m,n} \\ \text{b) } & \min [D_{m+1,n}, D_{m-1,n}, D_{m,n+1}, D_{m,n-1}] \leq D_{m,n} \\ \text{c) } & \max [LMF_{m+1,n}, LMF_{m-1,n}, LMF_{m,n+1}, LMF_{m,n-1}] = 0 \end{aligned} \quad (2.13)$$

すなわち、該当メッシュに隣接する周囲4つのメッシュに注目し、それぞれの格子点の値と該当メッシュの格子点の値を比較する。もし上記の条件を1つも満たさない場合、そのメッシュは冠水していると判断し、 $LMF_{m,n} = 1$ とし計算領域に残す。上記の条件のうち少なくとも1つ以上を満足する場合は、そのメッシュは実際に干出していると判断し、 $LMF_{m,n} = 0$ とし、計算領域から除外する(内山, 2004)。

(4) 潮汐計算

本モデルは湾口に潮位の変動を与えることにより計

算を進める。その潮位は観測点における潮汐調和定数により求める。

$$\eta = \sum_{i=1}^{N_b} f_i H_i \cos \left[(V_i + u_i) - \kappa_i \right] + z_0 \quad (2.24)$$

ここで V_i 、 u_i 、 f_i は天文引数、 H_i 、 κ_i は観測地点での調和定数、 N_b は分潮数である(海上保安庁, 1992)。

3. 計算条件および各種データ

(1) 計算対象海域およびシミュレーション期間

計算対象海域は、図1に示す島原新港一熊本港以北の有明海とした。また、シミュレーション期間は後述のようにデータが揃っているため、2008年11月19日14:00(小潮時満潮)から2008年12月4日13:00(小潮時満潮)までとした。

(2) 海底地形データ

海底地形は、福岡県および佐賀県から提供の湾奥100mメッシュデータ、J-EGG500(日本海洋データセンター)の500mメッシュデータ等をArcGIS上で結合し、100mメッシュデータとしたものを用いた。なお、100m間隔の水深の値であるために、見かけ上、局所的に海底地形の凹凸が激しくなる箇所が存在することがあり、計算途中で破綻が発生する箇所や、干潟となるべく場所が干潟とならずに周囲を干潟に囲まれ取り残される箇所が発生するなどの問題が発生する。これらの現象を防ぐため、海底地形の凹凸や急勾配な傾斜の平滑化を行った。図1に平滑化後の海底地形図を示す。

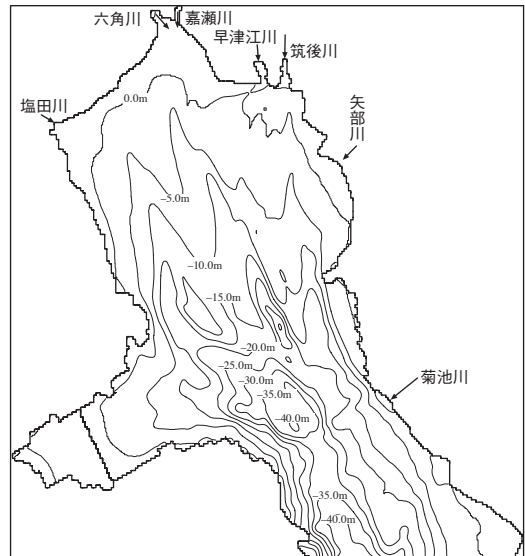


図1 計算領域・海底地形および河川流入地点

(3) 河川流量データ

河川流量は、国土交通省、農林水産省、佐賀県の観測機関から、矢部川、筑後川、早津江川、嘉瀬川、六角川、塩田川、本明川、菊池川における日流量データを入手した。このとき、一般に観測地点と河口地点の位置が異なるため、観測地点と河口地点の流域面積の割合により河口地点での流量データを線形に割り増して決定した。それぞれの河川の流入地点の位置を図1、シミュレーション期間中の日流量を表1に示す。

(4) 湾口における潮汐調和定数

湾口の位置は図1に示す島原港と熊本港を結んだ直線と定義する。本モデルでは、湾口部に潮位の変動を与えることにより計算が進められる。そのため、潮位変動を別途計算し、湾口に与える必要がある。潮位を(2.24)式より計算する際、熊本で60分潮、島原で6分潮の調和定数を使用し、それぞれ求めた潮位の平均

の値を湾口に与えた。図2がシミュレーション期間中の両点の潮位計算結果である。

(5) 風速データ

海域の潮流速シミュレーションにおいては、メッシュごとの風速値が必要となる。そのため、福岡県、佐賀県およびアメダスより風速データが得られている、ななつはぜ、筑後川(沖)、久留米(福岡)、大牟田(福岡)、佐賀(佐賀)、白石(佐賀)、嬉野(佐賀)、島原(長崎)、岱明(熊本)、熊本(熊本)以上の10地点における風向・風速データを用い、Mass consistent Model (Harada *et al.*, 2000) からメッシュごとの1時間間隔の風向・風速場を算定した。一例として図3に2008年11月28日7:00のデータを示す。

(6) ノリ区画漁場データ

ノリ区画漁場データは、福岡県および佐賀県から提

表1 シミュレーション期間中(2008年)の日平均河川流量 (m^3/s)

日	本明川	塩田川	六角川	嘉瀬川	早津江川	筑後川	矢部川	菊池川
11/19	0.00	1.23	3.34	9.91	13.07	39.20	3.42	18.18
11/20	0.00	1.29	3.52	10.04	12.97	38.92	3.73	18.05
11/21	0.00	1.11	3.02	10.33	12.91	38.73	3.73	17.97
11/22	0.00	0.99	2.69	10.59	13.01	39.02	3.42	18.10
11/23	0.00	0.98	2.66	10.54	12.79	38.36	3.11	17.79
11/24	0.00	2.99	8.15	14.05	15.94	47.81	3.11	22.18
11/25	0.00	1.83	4.99	11.23	14.47	43.41	5.13	20.14
11/26	0.00	1.41	3.84	10.54	13.63	40.89	3.73	18.97
11/27	0.00	1.40	3.80	10.56	13.38	40.14	3.42	18.62
11/28	0.00	2.31	6.28	11.67	14.91	44.72	5.13	20.74
11/29	0.00	1.69	4.59	10.56	13.82	41.45	4.40	19.23
11/30	0.00	1.34	3.66	9.99	13.41	40.23	3.73	18.66
12/1	0.00	1.19	3.23	10.41	13.19	39.58	3.38	18.36
12/2	0.00	1.28	3.48	10.20	13.35	40.04	3.11	18.57
12/3	0.00	1.56	4.24	10.51	13.10	39.30	3.11	18.23
12/4	0.00	2.83	7.72	12.21	14.07	42.20	2.81	19.57

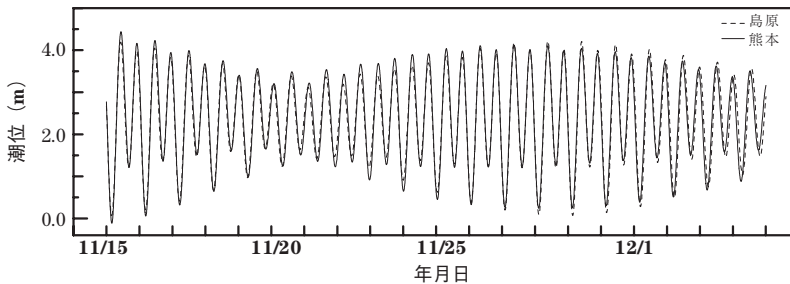


図2 湾口における潮位計算結果

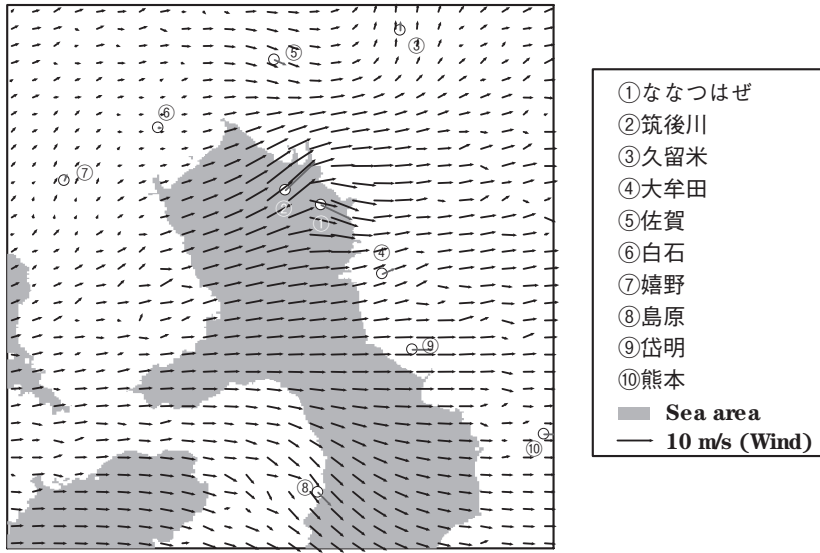


図3 2008年11月28日7:00の風速場

供のノリ区画漁場のデータを ArcGIS 上でデータベース化したものを用いた。ノリ区画漁場は、福岡県側が農区 38 区画、有区 57 区画、佐賀県側が農区 17 区画、有区 285 区画と分かれている。ここで農区とは農林水産大臣の所轄、有区とは県知事の所轄の区画漁場を指す。図4はノリ漁場の様子で、図中央の1つのまとまりを小間と呼び、図中は1小間に5枚のノリ網が配置されている。図5が有明海に広がるノリ区画漁場の分布図である。ノリ養殖施設の流体抵抗は、ノリ網とそれを支える支柱の抵抗から構成されている。ノリ網による単位面積あたりの流体抵抗 τ_L と支柱による抵抗力 D_p は次式により算定できる。

$$\tau_L = \frac{D}{A} = \frac{1}{2} \rho C_f U^2 \quad (3.10)$$

$$D_p = \frac{1}{2} \rho C_d d \Delta z U^2 \quad (3.11)$$

ここで、 D は全流体力 (N)、 A はノリ網面積 (m^2)、 ρ は流体密度 (kg/m^3)、 C_f はノリ網抵抗係数、 U は流速 (m/s)、 d は支柱の直径 ($=0.05m$)、 Δz は支柱の水中長 (m)、 C_d は円柱抵抗係数である。ノリ網抵抗係数はノリの葉長により異なり、葉長 85mm では 0.01、葉長 280mm では 0.021 となる (八木ら, 2004)。しかし、その時々ノリの成長度合いや、刈り取り時期は各生産者により大きく異なる。そのため、本研究ではシミュレーション期間中に福岡県水産海洋技術センター・有明海研究所のノリ養殖課が 19 調査点で各 5 回実施した調査結果の平均値 160mm を採用した。その値を



図4 ノリ漁場の様子 (5列張り)

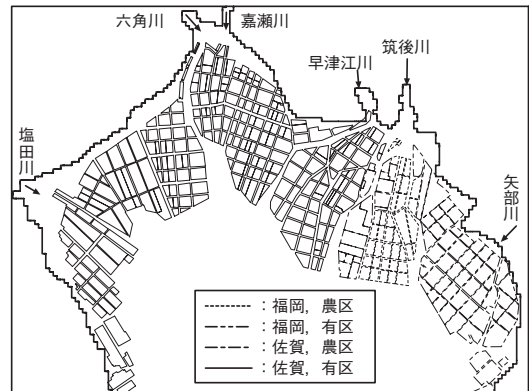


図5 ノリ区画漁場

用いて、線形補間によりノリ網抵抗係数を0.014と設定した。一方、円柱抵抗係数は、レイノルズ数との関係により、 $C_d=1.1$ と設定した。

表2 解析条件の数値設定

変数	値
γ_s	0.0015
n ($m^{-1/3}/s$)	0.02
Δt (s)	1.0
Δx (m)	100
Δy (m)	100
S_m	0.2
d_{min} (m)	0.2

(7) 解析条件の数値設定

海面の摩擦係数, Manningの粗度係数, 計算時間間隔, メッシュサイズ, Smagorinsky定数, WDSの最低水位の設定数値を表2にまとめる。

(8) 実測値データ

シミュレーションモデルの再現の妥当性について検討を行うために、図6に示す福岡県および佐賀県提供の、ななつはぜ、筑後川沖（福岡県側）、矢部川沖、大牟田沖、早津江川沖、筑後川沖（佐賀県側）の6地点の実測値を用いて、実測値と計算値の潮流の方向と流速について比較した。

4. シナリオ分析

図7は有明海に広がるノリ区画漁場の小間、ノリ網、支柱の配置密度を示した図である。ノリ区画漁場の密度が非常に高くなっている箇所があることが分かる。密度の高い箇所のノリ区画漁場は図4で示したように1小間5枚張りが主流となっている。これに対し、密度の低い箇所では1小間4枚張りが多くみられる。ノリ養殖施設の配置密度が高くなると、潮流への抵抗が大きくなり、潮流速が減速してしまう。ノリが成長するための重要な要因として潮流速の確保と栄養塩の供給が挙げられるため、河口から離れたノリ養殖施設にもできるだけ十分な潮流速と栄養塩が確保されるノリ養殖施設の配置が望まれる。しかし、より多くの生産

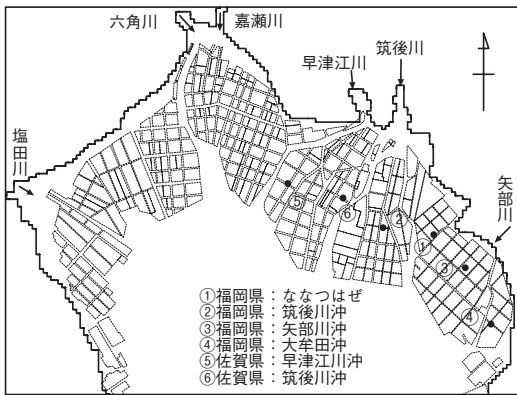


図6 実測値観測地点

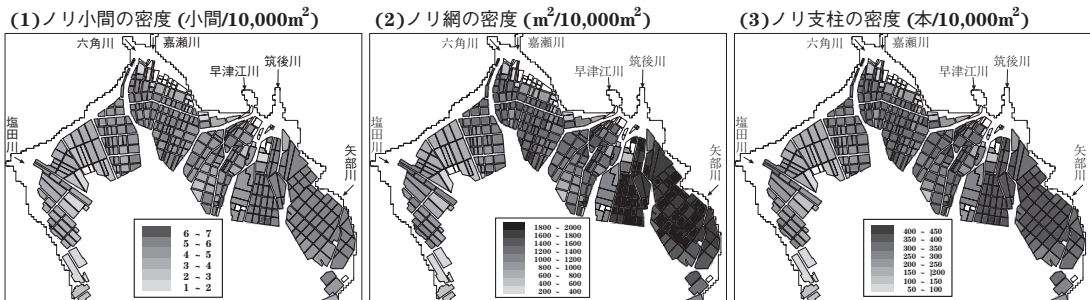


図7 ノリ養殖施設の密度

表3 設定シナリオ

ケース	対象域	シナリオ
Case1	福岡有区	ノリ区画配置換え
Case2	福岡農区・有区	ノリ網5枚張り⇒4枚張り
Case3	福岡農区・有区	ノリ小間数10%削減
Case4	福岡有区50間潮通し以南	ノリ小間数30%削減
Case5	福岡有区20間潮通し以南	ノリ小間数30%削減

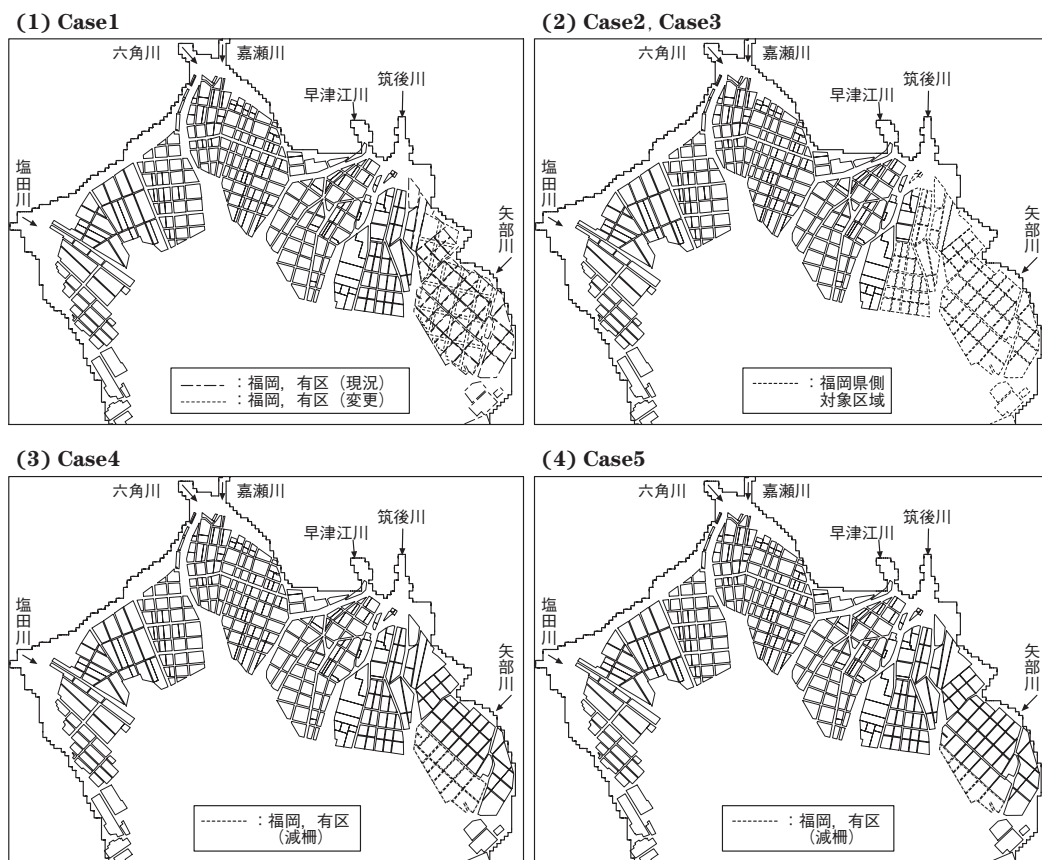


図8 各ケースノリ区画漁場変更区域

量を得るためにノリ養殖施設を密に配置すればするほど、潮流に与える影響が大きくなり、潮流速が減少し、その結果、ノリの成長を阻害し、生産量の低下につながる恐れがある。以上のことを考慮し、本研究では、ノリ養殖施設の配置やノリ網等の設置方法に関して5つのシナリオを設定し、シナリオ分析を通してノリ養殖施設の潮流への影響や、潮流への影響が少ないノリ養殖施設配置について検討を行った。

設定したシナリオを表3に、シナリオの対象区域を図8にそれぞれ示す。Case1は、福岡有区の一部を図8に示すような配置に変更し、潮通しの間隔を広くとるとともに、筑後川からの河川水の流入方向に潮通しの方向を合わせる配置とした。Case2は、福岡農区および有区において1小間5枚張りのノリ網を4枚張りにした場合、Case3では、Case2と同じ範囲における小間数を一律10%減少させた場合、Case4は、福岡有区50間潮通し以南の範囲において、小間数を30%減少さ

せた場合、Case5は、福岡有区20間潮通し以南の範囲において小間数を30%減少させた場合について、それぞれ計算を行った。

結果と考察

1. 現況の有明海解析

シミュレーションモデルの再現性を確認するため、解析結果の検討を行った。図9～11は、シミュレーションモデルにより解析を行った2008年11月29日0:00(大潮下げ潮最強流速時)、2008年11月29日3:00(大潮最干潮時)、2008年11月29日3:00(大潮上げ潮最強流速時)における有明海湾奥部の潮流ベクトルである。図中の灰色の部分は干潟となっている箇所である。図1の海底地形と図10の最干潮時を比べると、等高線に平行に、水深の浅い箇所が干潟となっていることが分かる。三池において、モデルにより求めた潮位の値は1.7mであり、これは海底地形の水深0m～5m

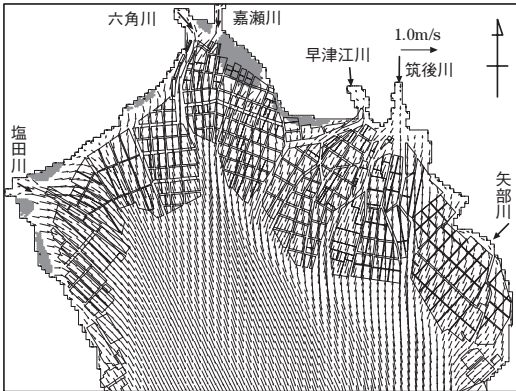


図9 2008年11月29日0:00 (下げ潮最強流速時)の潮流ベクトル図

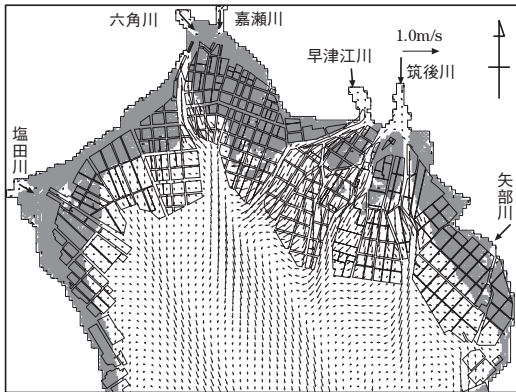


図10 2008年11月29日3:00 (最干潮時)の潮流ベクトル図

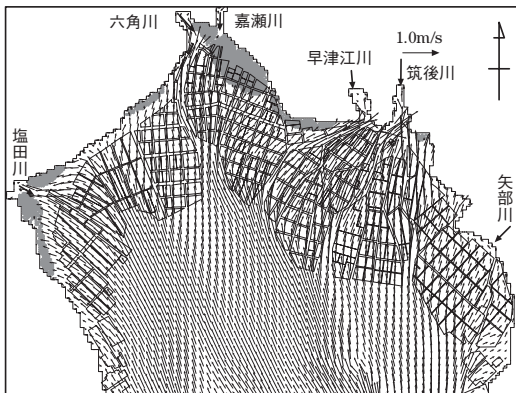


図11 2008年11月29日7:00 (上げ潮最強流速時)の潮流ベクトル図

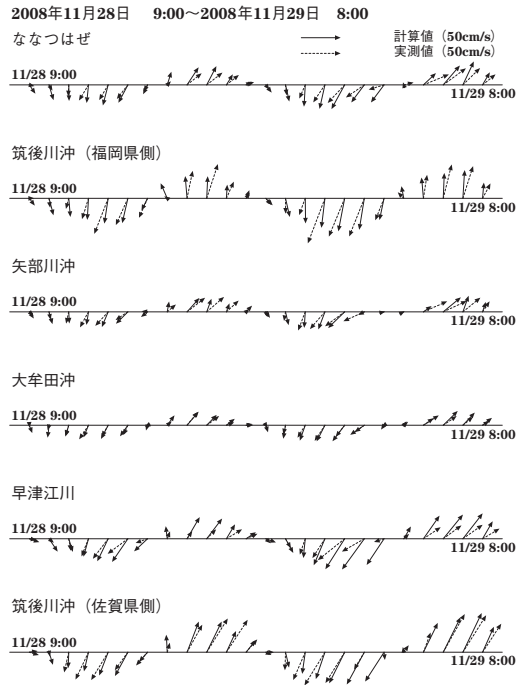


図12 流速・流向の実測値と計算値の比較

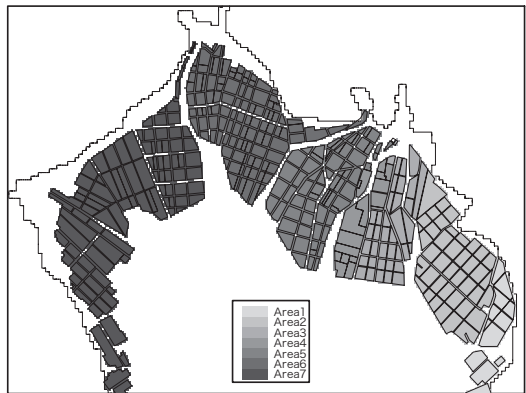


図13 エリア区分

に含まれており正確な値が出ているといえる。さらに、再現の妥当性を得るために、実測値との比較を行った。期間は2008年11月28日9:00から同年の11月29日8:00まで(大潮時)とした。図12がななつはぜ、筑後川(福岡県側)、矢部川沖、大牟田沖、早津江川沖、筑後川沖(佐賀県側)の6地点における実測値と計算値の比較である。黒のベクトルが計算値を、点線のベクトルが実測値を表し、長さが流速、方向が潮流の方向をそれぞれ表現している。潮流速計を支持するため

の構造物や潮流速計設置箇所周辺の構造物の影響で、実測値の流向は測定誤差が比較的大きく、その一方、潮流速値はこれらの構造物の影響を受けにくいという特徴がある。このことを考慮すると、図1では概ね良好な再現性が得られているといえる。特に、大牟田沖

においては、ほとんど誤差が見受けられない。以上より、このモデルの再現性は妥当であることが分かる。

2. シナリオ分析

(1) 計算結果

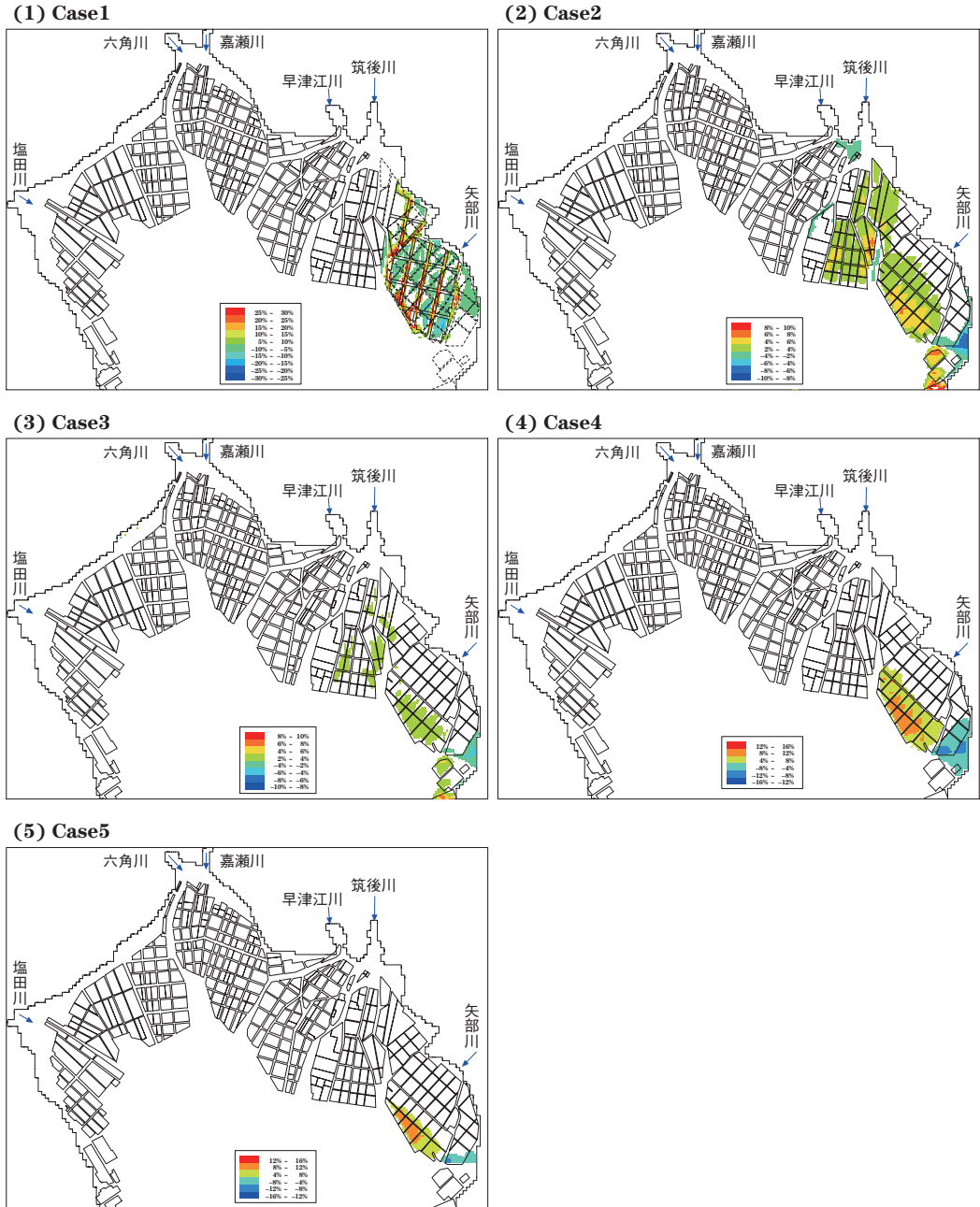


図14 各ケース潮流速増加率（上げ潮最強流速時）

表3に示したCase1～Case5の各ケースの計算結果を、以下の2つの方法により比較検討した。なおその際、潮流速への影響がどの箇所に生じているかを明確にするため、湾奥海域を図13に示す7つのエリアに区分した。

先ず、評価法1では、変更を行ったノリ区画漁場が存在するエリアにおける、現況の流速と各ケースの流速の差分を求め(変更後流速-現況流速)、その増加・減少の割合をパーセントで求める。その割合の分布を図示し、影響の度合いを視覚的に判断する。なお、比較対

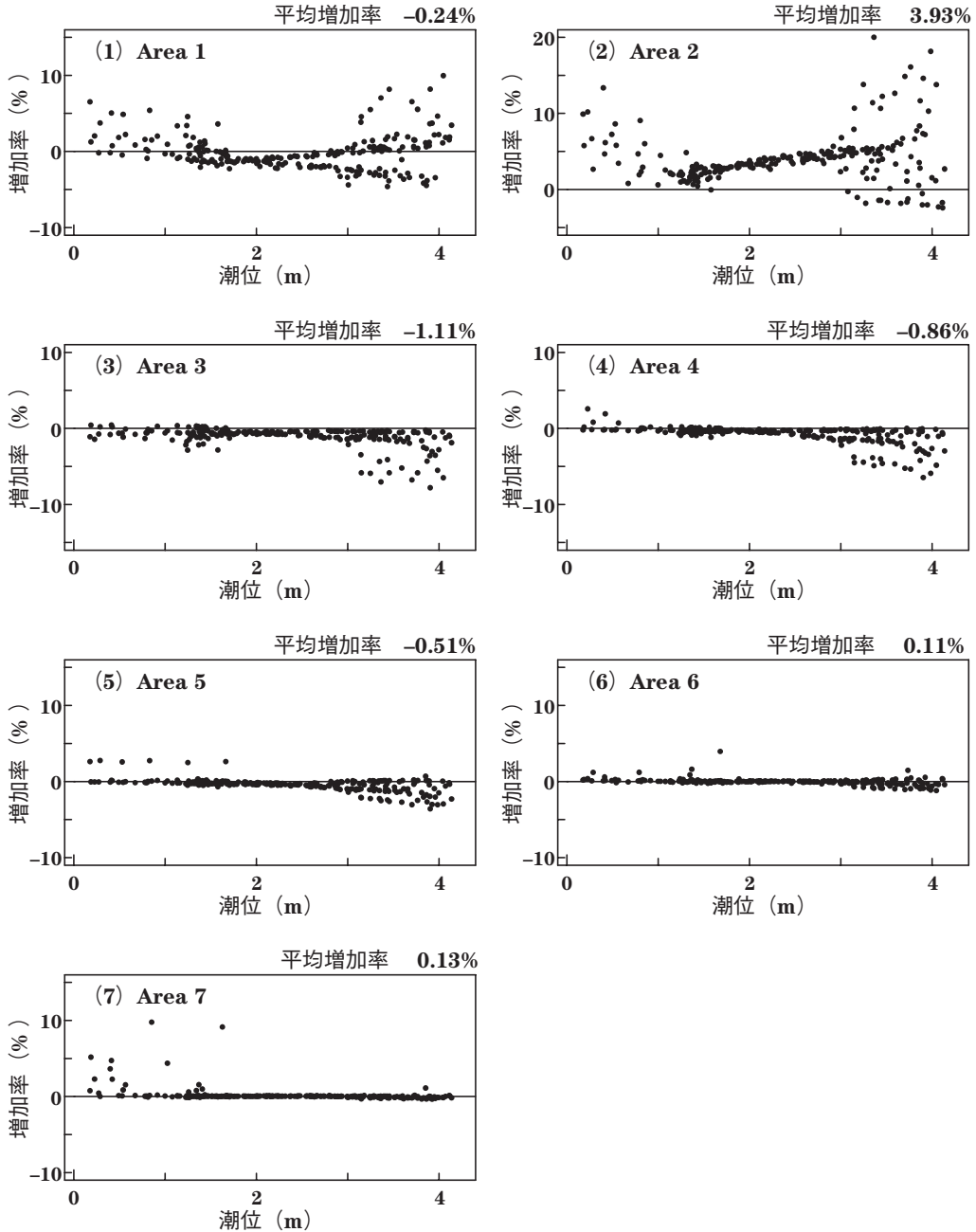


図15 Case1各エリア潮流速増加率

象とする時間は、影響がどのケースでも最大となった2008年11月29日7:00(大潮上げ潮最強流速時)とする。一方、評価法2では、1時間ごとの潮流速の増加率の平均をエリア別に計算する。そして、その値と潮位の値をプロットしたグラフを描く。さらに、そのエリアでの対

象期間の増加率の平均値を求める。対象期間は、2008年11月20日0:00から同月29日23:00までとする。

図14に評価法1の結果を、図15～19、表4に評価法2の結果をそれぞれ示す。各ケースの結果を以下にまとめる。

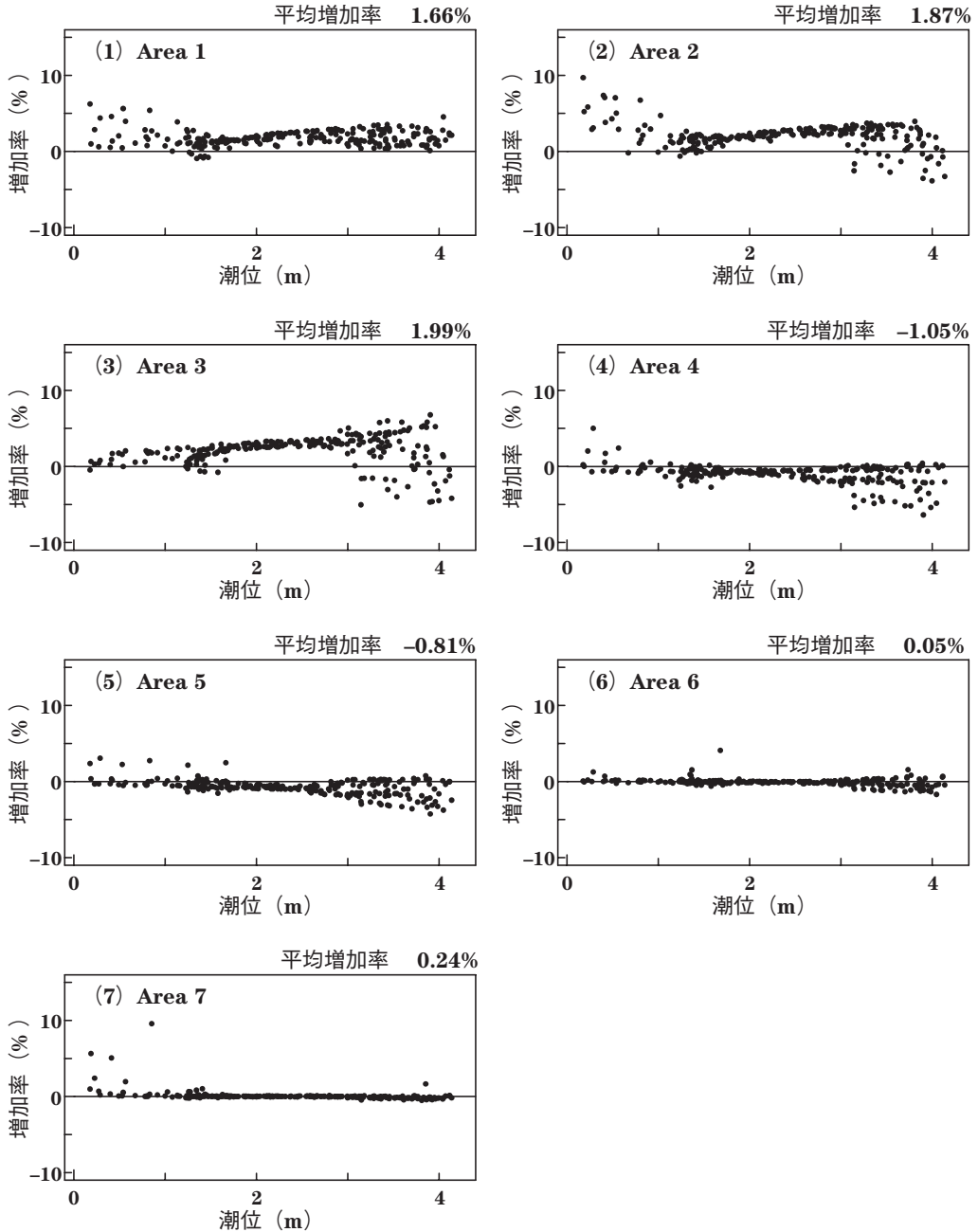


図16 Case2各エリア潮流速増加率

1) Case 1

このケースはノリ養殖施設の配置自体を大きく変更しているため、他のケースに比べ潮流速の増加・減少が大きく変化した。また、図15に注目すると、エリア2に関しては平均で潮流速が約3.93%増加した。しか

し、エリア3では、平均で約1.11%の潮流速の減少が見られた。そして、すべてのエリアでの増加率の平均は0.39%となった。

2) Case 2

このケースはエリア1、2および3の3つのエリアの

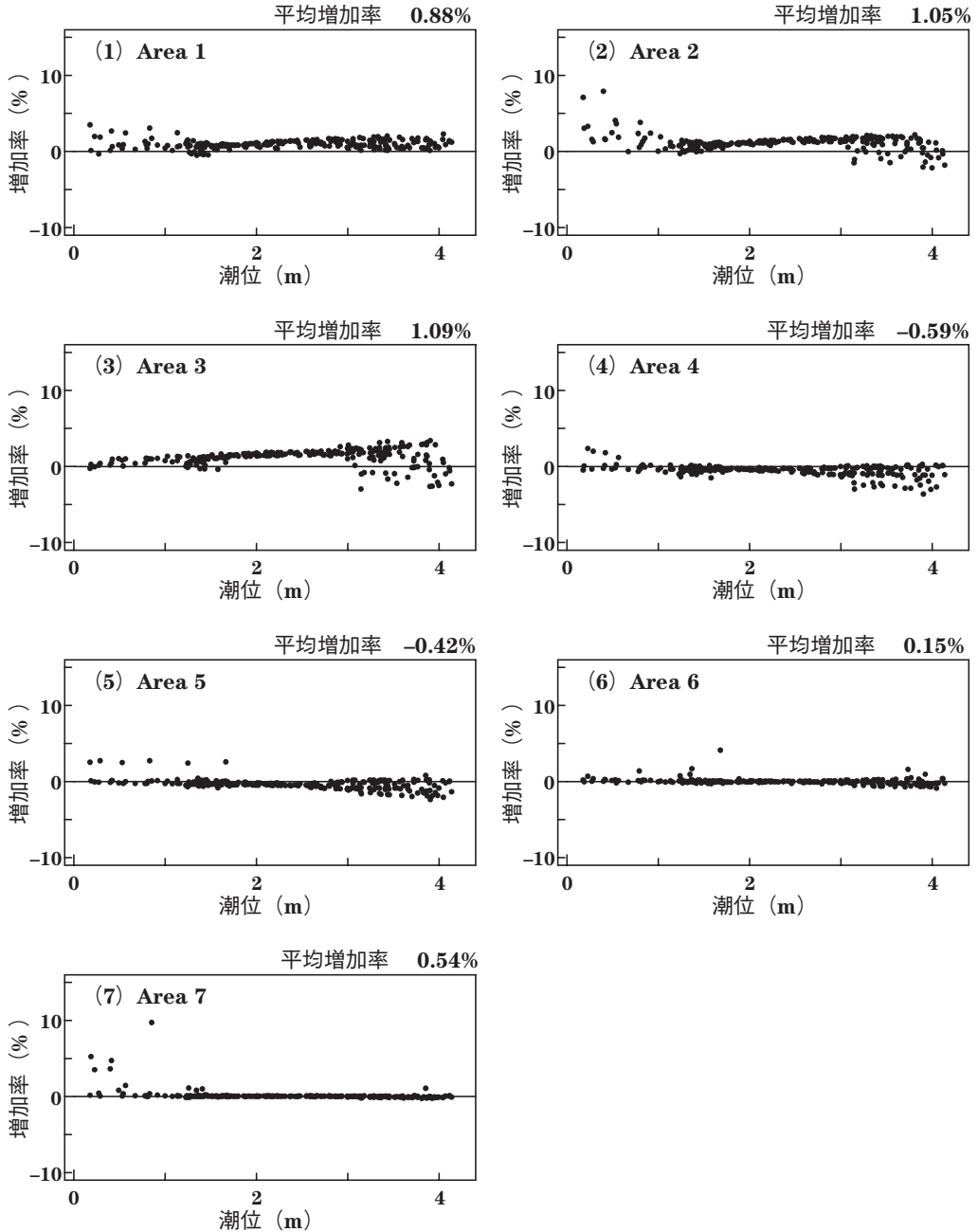


図17 Case3各エリア潮流速増加率

網の枚数を減らしたため、その3つのエリアでは潮流速のプラスの影響が生じており、図16では、3つのエリアで増加が多く生じているのが見てとれる。また、それぞれの増加率は1.66%、1.84%、1.99%となり、すべてのエリアでの増加率の平均は0.46%であった。

3) Case3

このケースはCase2と同じエリアにおいて、小間数を10%削減したため、Case2と同様の潮流速への影響が見られ、3つのエリアの増加率はそれぞれ0.88%、1.05%、1.09%となった。すべてのエリアでの増加率

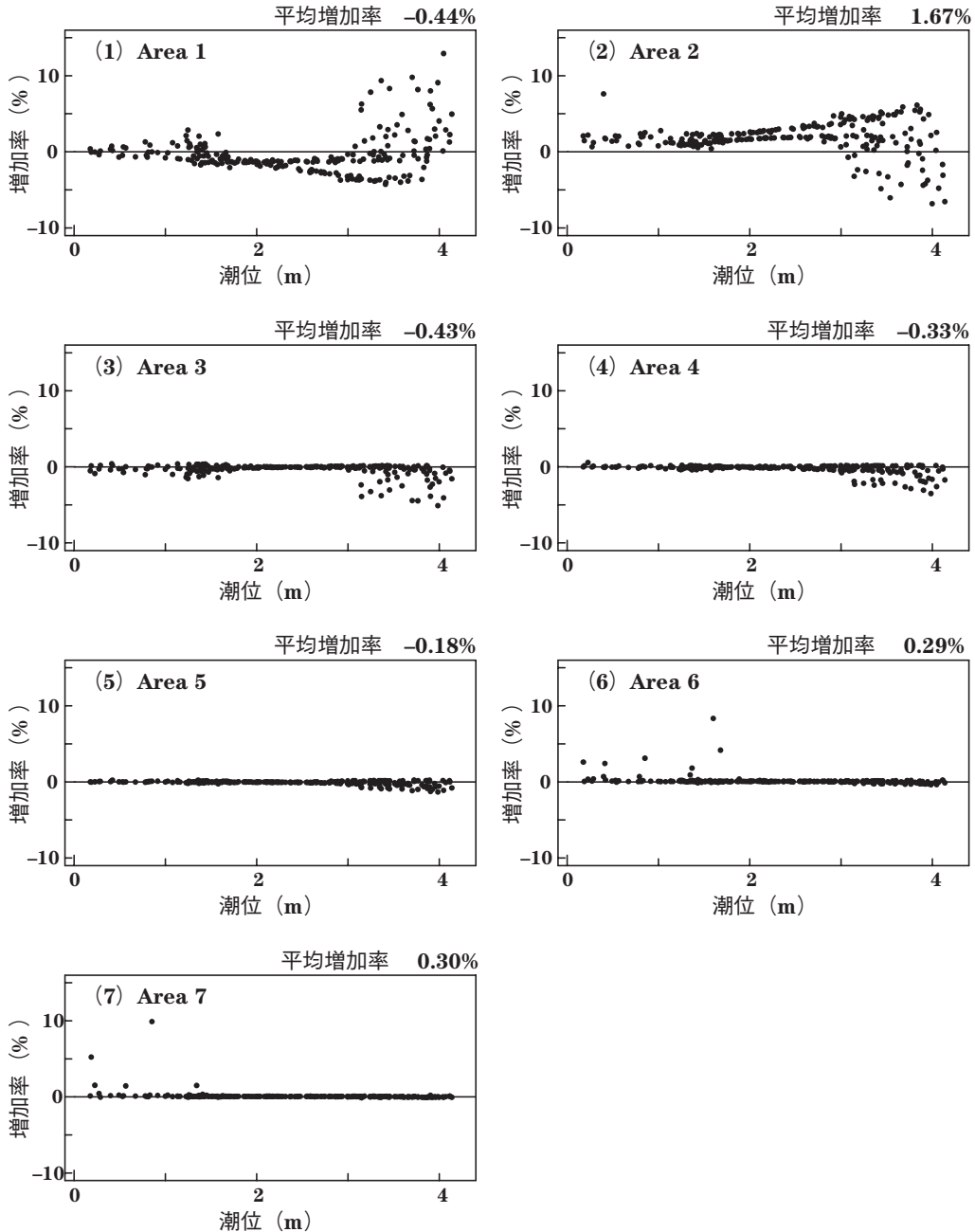


図18 Case4各エリア潮流速増加率

の平均は0.41%であった。

4) Case 4

このケースは福岡有区50間潮通し以南の小間数を30%も削減したため、図14を見るとその影響が顕著に生じているのが分かる。しかし、削減の範囲が小さい

ため、エリアごとの増加率に注目すると、一番増加率が高いエリア2で1.67%と影響も小さくなっている。すべてのエリアでの増加率の平均は0.29%である。

5) Case 5

このケースはCase 4よりもさらに小さい範囲で、20

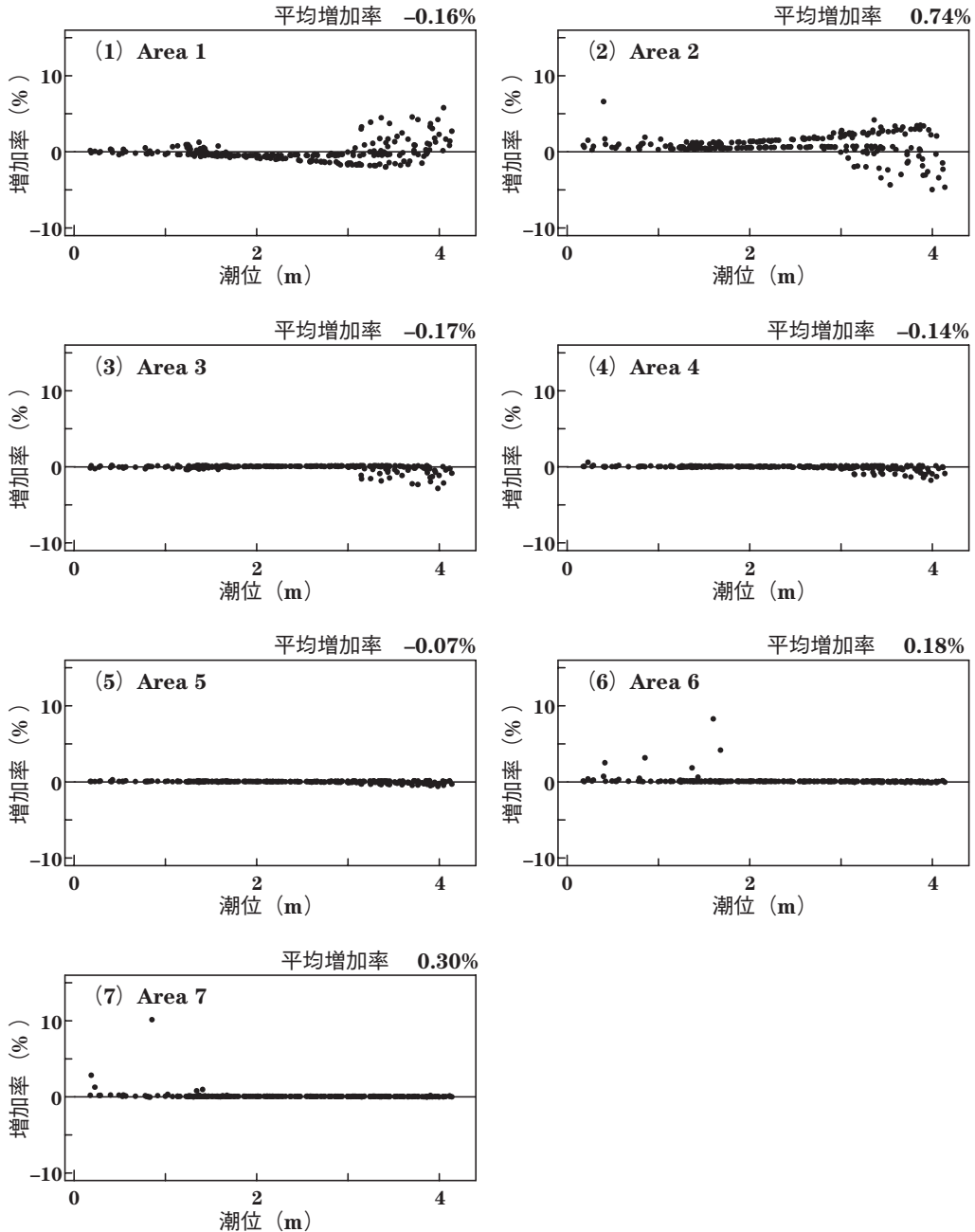


図19 Case5各エリア潮流速増加率

表4 各水域における潮流速増加率

	Case1	Case2	Case3	Case4	Case5
Area1増加率	-0.24%	1.66%	0.88%	-0.44%	-0.16%
Area2増加率	3.93%	1.87%	1.05%	1.67%	0.74%
Area3増加率	-1.11%	1.99%	1.09%	-0.43%	-0.17%
Area4増加率	-0.86%	-1.05%	-0.59%	-0.33%	-0.14%
Area5増加率	-0.51%	-0.81%	-0.42%	-0.18%	-0.07%
Area6増加率	0.11%	0.05%	0.15%	0.29%	0.18%
Area7増加率	0.13%	0.24%	0.54%	0.30%	0.30%
全エリア平均増加率	0.39%	0.46%	0.41%	0.29%	0.20%

間潮通し以南の小間数を30%削減した。そのため、図14では同様に、削減を行った範囲において顕著な影響が見られる。また、同様にエリアごとの影響では小さく、エリア2では0.74%となっている。すべてのエリアでの増加率の平均は0.20%である。

(2) 比較検討

ここでは、分析結果について検討した。図15～19において、潮位4m付近と0m付近の増加率が極端に大きくなっている点や小さくなっている点が見受けられ、増加率の急激な変化は干潮と満潮の前後に発生しているのが分かる。これは、ノリ養殖施設の変更により、潮止まりの時間帯が微妙に前後することで、変化率が大きくなっているためであると考えられる。さらに、潮止まり前後の時間帯における潮流速は極めて遅い。そのため、変化率が大きくとも、必ずしも実際の潮流速が大きく変化している訳ではないと考える。よって、これらの値は実際には影響が少なく、逆に潮流速が速いところ（潮位2m付近）では影響が大きいといえる。以上を踏まえると、変更対象外のエリアでのマイナスの増加率は、ほぼ干潮・満潮付近で発生しているため、影響が少ないといえる。

全ケースを比べると、Case2とCase3の増加率の平均がそれぞれ0.46%、0.41%となり、大きく出ている。また、これら二つは同じ範囲の区画の変更であり、Case2は1小間の網の枚数を5枚から4枚に、Case3は小間数を10%削減したものである。このことから、小間数を10%削減するよりもノリ網の枚数を5枚から4枚に変更するほうが影響は大きいといえる。また、Case1の配置の変更ではエリア2の周辺のエリアに多少の減少は見られるものの、エリア2においては全ケースの全エリア中で一番高い増加率となり、現況から改善された配置方法といえる。一方、Case4およびCase5では、それぞれ30%の小間数を減少させたが、

減少させた範囲では影響が顕著に現れていたものの、全体としては影響が大きい。

以上より、Case1およびCase2が有効なノリ養殖施設の配置といえる。しかし、これらの変更が実際にノリの成長にどの程度影響するかというのは、栄養塩の収支も考慮しなければならないので、一概には判断できない。しかしながら、潮流速に関して言えばこれらの配置は有効であるといえる。また、これらの結果は、ノリ養殖施設は潮流に対し影響を与えているということも示唆している。

結 論

本研究では、有明海を対象としたシミュレーションモデルを構築した。そのモデルを用いて、有明海で盛んに行われているノリの養殖について、潮流への影響評価のためのシナリオ分析を行い、ノリ養殖施設が潮流に与える影響について検討した。

まず、シミュレーションモデルの構築を行った。モデルは2次元単層モデルとし、基礎方程式には連続方程式およびReynoldsの3次元運動方程式を用い、それぞれを水深方向に積分することにより2次元単層モデルの支配方程式を求めた。浅海域の解析の際に問題となる干潟の処理には、Land Mask関数を導入することにより、移動海岸線の追跡を行った。そして、海底地形、河川流量、風速および潮位を与え、ノリ養殖施設の抵抗をモデルに組み込みシミュレーションを行った。さらに、ななつばぜ、筑後川沖（福岡県側）、矢部川沖、大傘田沖、早津江川沖、筑後川沖（佐賀県側）の6地点において、モデルの再現性を確かめるため、実測値と計算値の潮流の流向・流速を比較した。その結果、上記6地点において、流向・流速ともに良好な一致が見られ、このモデルの再現性が良好であることが示された。

有明海に広がるノリ養殖施設には、密度がかなり高

くなっている箇所が見られる。そのため、本研究ではこのことが潮流に影響を与え、多少なりともノリの成長に影響を及ぼしていると想定し、影響を減少させるためのシナリオ分析を行った。その結果、ノリ区画間の潮通しの幅の確保およびノリ網の5列張りから4列張りへの変更の二つが特に潮流への影響緩和に有効であることが分かった。また、これはノリ養殖施設が潮流に対し影響を与えているということを示している。

ノリの成長への影響について検討を行うためには、栄養塩の収支を考慮に入れる必要がある。そのため、拡散方程式の導入、シミュレーションモデルの3次元化および生態系モデルの構築が今後の研究課題とされる。

文 献

- 千葉 賢, 武本行正 2003 2次元数値モデルによる有明海湾奥部の潮汐流の流動特性, 四日市大学環境情報論集, 6(2), pp.181-205
- Harada, M., S. Hayasaki and K. Wakimizu 2000 Introduction of a Genetic Algorithm to a Mass-consistent Model, *Journal of the Faculty of Agriculture Kyushu University*, 44(3・4): pp.403-418
- 海上保安庁 1992 日本沿岸調和定数表: pp.94, 217, 238-252
- 川口 修, 山本民次, 松田 治, 橋本俊也 2005 有明海におけるノリと浮遊珪藻の栄養塩競合におよぼす環境諸因子の影響評価, 海の研究, 14(3): pp.411-427
- 九州環境管理協会有明研究会 2007 漁業生産の回復に向けて: pp.1-12
- 齋幸 治, 原田昌佳, 吉田 勲, 平松和昭, 森 牧人 2006 ADI法を用いた2次元単層モデルによる湖山地湖流の数値解析, 九大農学芸誌, 61(2): pp.281-288
- Smagorinsky, J. 1963 General Circulation Experiments with the Primitive Equations, *Monthly Weather Review*, 3, 91(3): pp.99-163
- 内山雄介 2004 海底面の力学過程を考慮した冠水・干出スキームの開発と三次元 σ 座標海洋流動モデルへの適用, 海岸工学論文集, 51: pp.351-355
- 宇野木早苗 2003 有明海の潮汐減少の原因に関する観測データの再解析結果, 海の研究, 12(3): pp.307-313
- 八木 宏, 石田大暁, 高橋垂依, 灘岡和夫, 田村 仁, 小谷正幸 2004 ノリ養殖施設の流体抵抗と潮流・浮遊泥輸送への影響, 海岸工学論文集, 51: pp.1026-1030

Summary

A numerical simulation model has been developed to evaluate the effect of nori aquafarming grounds on the tidal currents in the Ariake Sea coastal waters. The Ariake Sea, a typical semi-closed bay located in the Kyushu Island in Japan, is very rich in many marine products, including nori. Numerous nori aquafarming grounds are installed in the coastal waters of the Ariake Sea during winter. A two-dimensional depth-integrated model developed by integrating the three-dimensional continuity equation and momentum equations has been used to simulate tidal currents in the Ariake Sea. Because the maximum tidal variation in the Ariake Sea is approximately 6m, a wetting and drying scheme is incorporated in the model in order to simulate the emergence and disappearance of tidal flats. Numerical simulations have been carried out using the data pertaining to the actual water depth, observed river inflow rates, wind fields calculated by using a mass-consistent model, sea-water levels calculated at open boundaries, and the actual distribution of the aquafarming grounds and installation density of aquafarming equipment. To validate the model, the simulation results are compared with the observed data at six points in the coastal waters. The velocities and directions of the simulated tidal currents are in good agreement with those observed data.

Nori layers growing in the aquafarming attach themselves to nets supported by rods at the sea surface in the Ariake Sea; sufficient tidal current velocity and nutrients supply are absolutely essential for obtaining high quality of nori products. The optimum arrangement of the aquafarming grounds and optimum installation density of the aquafarming equipments have been investigated by numerical simulations performed using the developed simulation model in various assumed scenarios. On the basis of the simulation results, the optimum aquafarming ground arrangement and installation density are decided from the viewpoint of the tidal current velocity.