

ネスティングを導入した2次元単層モデルによる大量 の河川水の挙動追跡

福田, 晃大
九州大学大学院生物資源環境科学府

田畑, 俊範
九州大学大学院農学研究院

平松, 和昭
九州大学大学院農学研究院

原田, 昌佳
九州大学大学院農学研究院

<https://hdl.handle.net/2324/1916214>

出版情報：応用水理研究部会講演集．平成29年度，pp. 15-19，2017-12-02．農業農村工学会応用水理研究部会

バージョン：

権利関係：



ネスティングを導入した2次元単層モデルによる大量の河川水の挙動追跡 Simulation of Large Fresh Water Behavior Using Nested Two-Dimensional Model

○福田晃大^{*1}・田畑俊範^{*2}・平松和昭^{*2}・原田昌佳^{*2}

Akihiro Fukuda, Toshinori Tabata, Kazuaki Hiramatsu and Masayoshi Harada

1. はじめに

九州北部に位置する博多湾（Fig. 1）は、アジアの玄関口として港湾機能を持つ大都市近郊の閉鎖性海域である。数多くのふ頭や東部のアイランドシティと呼ばれる人工島の存在など、大規模開発が進んでおり、湾は複雑な海底地形を有する。その一方で、東部の和白干潟や西部の今津干潟といった豊かな生態系を有する干潟が湾内に存在し、自然保護の観点からも価値の高い海域といえる。この海域では近年、集中豪雨に起因する膨大な淡水流入による環境への影響が懸念されている。特に湾奥部においては豪雨後の赤潮や貧酸素水塊の発生が年に数回観測されている。さらに、淡水とともに流入する大量の土砂による底生動物・魚類のへい死等、干潟の生態系への影響が懸念され、水産資源の保全・確保の観点からこれらの問題に対して検討を行っていくことは重要である。これらに対し、数値シミュレーションを用いた解析が有効であり、密度流を考慮に入れた3次元的な検討が必要であるが、集中豪雨に起因する膨大な淡水流入が沿岸海域に及ぼす影響についての研究例は少ない。過大な流速を伴う大量の河川水を考慮した3次元的な解析を行うには、小さい時間幅と格子幅での計算が必要となり、多大な計算時間を要する。そこで、解析の第一歩として膨大な淡水流入の平面的な挙動を把握するため、2次元単層モデルを博多湾に適用し、解析を行った。

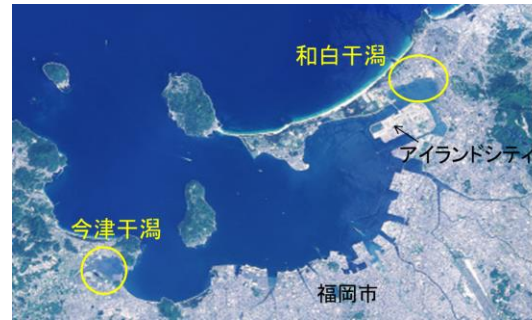


Fig. 1 博多湾（Google より）
Map of Hakata Bay from Google

本研究では、2次元単層モデルにネスティングを適用し、東部のアイランドシティ周辺および西部の今津湾といったより詳細な解析が必要な領域を高解像度に計算した。また、博多湾に流入する各河川にタンクモデルを適用し、集中豪雨時の河川流量を計算した。最後に本モデルを用いて、過去福岡市に甚大な被害を及ぼした集中豪雨を対象とし、降雨前後の塩分分布を比較することにより、河川水の挙動追跡を行った。

2. 2次元単層モデル

本モデルの基礎式は3次元 Reynolds 方程式および塩分の乱流拡散方程式を水面から水底まで鉛直積分して得られる。以下に連続式および運動方程式を示す。

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \{ (h + \eta) u \} + \frac{\partial}{\partial y} \{ (h + \eta) v \} = 0 \quad (1)$$

^{*1}九州大学大学院生物資源環境科学府/Graduate School of Bioenvironmental Sciences, Kyushu University

^{*2}九州大学大学院農学研究院/Faculty of Agriculture, Kyushu University

キーワード：2次元移流分散モデル，エッジネスティング，タンクモデル，集中豪雨，博多湾

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + fu = -g \frac{\partial \eta}{\partial y} + A_H \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) - \frac{\gamma_b^2 v \sqrt{u^2 + v^2}}{h + \eta} \quad (2)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} - fv = -g \frac{\partial \eta}{\partial x} + A_H \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) - \frac{\gamma_b^2 u \sqrt{u^2 + v^2}}{h + \eta} \quad (3)$$

ここで, u , v はそれぞれ x , y 方向の流速 (m/s), h は水深 (m), η は水位 (m), f はコリオリ係数 (1/s), g は重力加速度 (m/s²), A_H は渦動粘性係数 (m²/s), γ_b は底面摩擦係数である. 運動方程式中の右辺第 4 項に当たる風応力項は, その影響が小さいものとして無視した.

さらに, 以下に塩分の移流分散方程式を示す.

$$(h + \eta) \frac{\partial S}{\partial t} + u(h + \eta) \frac{\partial S}{\partial x} + v(h + \eta) \frac{\partial S}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} \left\{ (h + \eta) K_H \frac{\partial S}{\partial x} \right\} + \frac{\partial}{\partial y} \left\{ (h + \eta) K_H \frac{\partial S}{\partial y} \right\} \quad (4)$$

ここで, S は塩分 (psu), K_H は移流分散係数 (m²/s) である. A_H と K_H の評価には Smagorinsky モデルを用いた. 以下にモデルの式を示す.

$$A_H = K_H = (C_s \Delta)^2 \left\{ 2 \left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} \right)^2 + 2 \left(\frac{\partial v}{\partial y} \right)^2 \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (5)$$

ここで, C_s はモデル定数で, 0.10 とした. Δ は格子幅 (m) である. 数値解法には, 連続式と運動方程式に leapfrog 法を, 移流分散方程式の移流項に風上差分, 拡散項に ADI 法を適用した.

博多湾には, 大きいメッシュスケールでは捉えることが難しいほど面積が小さい干潟域や, ふ頭や人工島といった構造物などで地形が複雑になっている領域が存在する. このような領域の詳細な計算および計算時間の短縮を両立するため, 本モデルにネスティングを適用した. 本研究ではエッジネスティングという, Fig. 2 に示すような大メッシュの計算領域 (大領域), 小メッシュの計算領域 (小領域) それぞれの計算結果をタイムステップごとに他領域へ境界条件として与える方法を開発した. この方法は, 大領域と小領域を同一のタイムステップで計算する場合, 他のネスティング手法と比べ, プログラムが簡便で取り扱いが容易であるという特徴を持つ. Fig. 3 に示す計

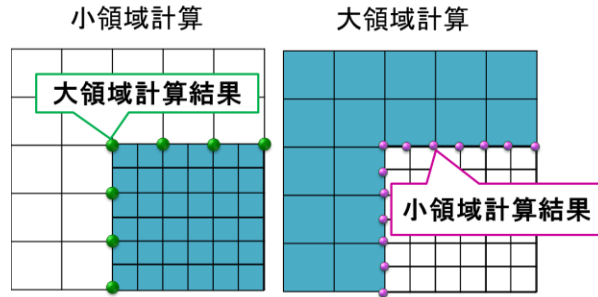


Fig. 2 エッジネスティング概要図
Scheme of Edge Nesting

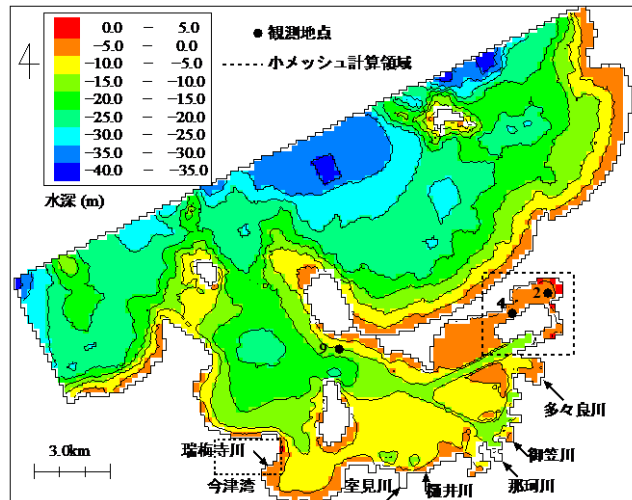


Fig. 3 博多湾の海底地形 (大領域)
Bathymetry of Hakata Bay

算領域において，博多湾全域を100m メッシュの大領域，**Fig. 4**に示す東部のアイランドシティ，西部の今津湾をその4分の1である25m メッシュの小領域として計算した．タイムステップは0.25 sとした．

3. タンクモデル

集中豪雨時の河川流量を算定するために，博多湾に流入する38の河川にタンクモデルを適用した．タンクの段数は3段とし，タンクモデルの各パラメータは試行錯誤的に決定した．一例として，今津湾に流入する瑞梅寺川におけるタンクモデルおよび2002年4月からの1年間の実測値と計算値との比較を**Fig. 5**に示す．計算値が実測値と概ね一致していることが分かる．以上のンクモデルを用いて，河川流量を算定し，淡水流入量の入力値として与えた．

4. モデルの検証

本モデルの検証のために，2007年7月10日～8月3日を計算期間としてシミュレーションを行った．7月30日における1時間ごとの潮流速および塩分の実測値と計算値との比較を**Fig. 6**に示す．計算値は実測値と概ね一致しており，アイランドシティ周辺の局所的に狭くなっている領域の再現性も高い．したがって，本モデルの有用性が示された．

5. 集中豪雨の影響解析

本モデルを用いて，日雨量163.5mmを記録し福岡市に甚大な被害をもたらした2002年9月16日の集中豪雨を対象に解析を行った．計算期間を2002年9月11日～21日とし，タンクモデルにて算定された集中豪雨時の河川流量を入力値として，海域に流入する淡水の挙動を追跡した．博多湾全域における降雨前後の塩分分布の計算結果を**Fig. 7**に示す．湾奥のほとんどが河川からの淡水によって覆われていることが分かる．また，博多湾の湾口

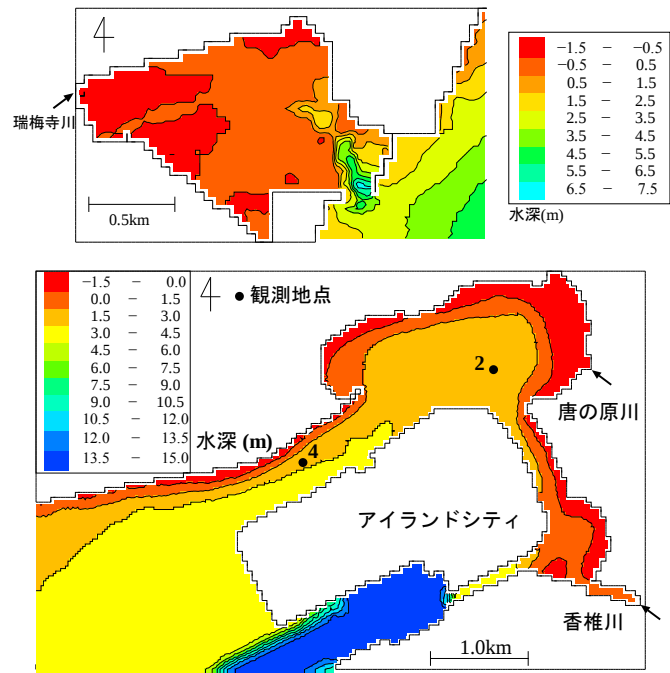


Fig. 4 今津湾およびアイランドシティ周辺の海底地形（小領域）
Bathymetry of Imazu Bay and the region around “Island City”.

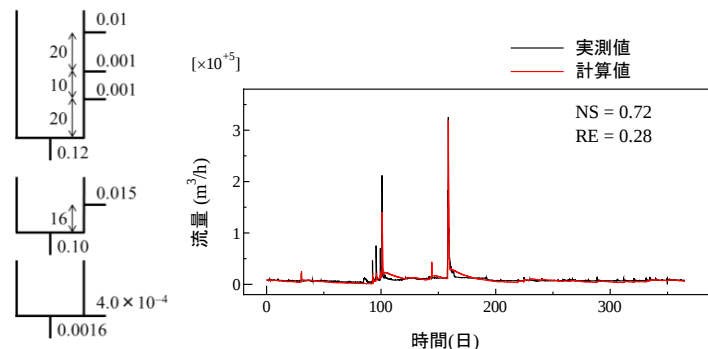


Fig. 5 瑞梅寺川におけるタンクモデルおよび実測と計算値の比較

Tank model of Zuibaiji River and comparison of observed and calculated river discharges

にまで低塩水が広がっており，このことから集中豪雨による大量の河川流入は博多湾のほぼ全域に影響を及ぼすことが考えられる．次に，アイランドシティ周辺の領域における降雨前後の塩分分布の計算結果を **Fig. 8** に示す．降雨前後の分布を比較すると，降雨後は和白干潟全体が淡水に覆われていることが分かる．また，アイランドシティよりも西に位置する河川の淡水流入により，低塩水がアイランドシティ周辺にまで及んでいる．このことから，アイランドシティ周辺では降雨前後で湾内環境が著しく変化することが考えられる．さらに，今津湾における降雨前後の塩分分布の計算結果を **Fig. 9** に示す．今津湾における降雨前後の分布を比較すると，淡水が湾内全域および湾外へ広がっている．膨大な河川流量は，大量の浮泥を運ぶため，淡水の挙動と同じく湾内に広範囲にわたって堆積する可能性がある．今津干潟には，アサリをはじめとした多くの底生動物が生息することから，大量の淡水や浮泥の流入による干潟の生態系への影響が大きいと示唆される．以上のように，アイランドシティ周辺の領域や今津湾では，ネスティングによる高解像度計算により，降雨前後の淡水の挙動を詳細に検討することができた．

6. まとめ

本研究では，ネスティングを導入した2次元単層モデルを博多湾に適用し，集中豪雨が海域に及ぼす影響について検討した．潮流速と塩分における本モデルのシミュレーション結果と実測値との比較により，モデルの高い再現性が確認された．特に，ネスティングの導入により，構造

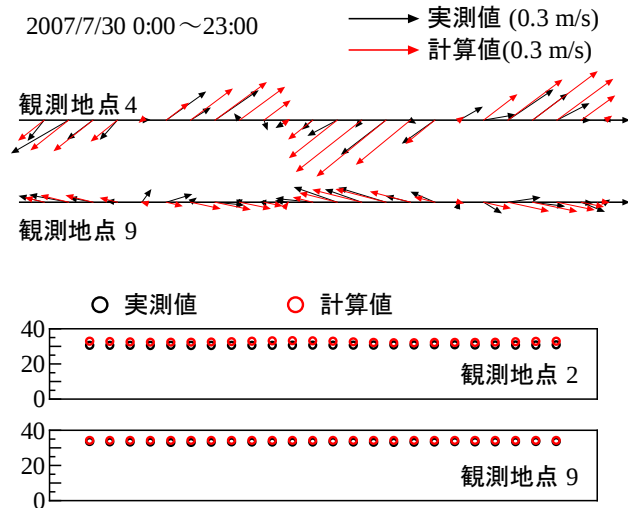


Fig. 6 観測地点 2, 4, 9 における潮流速・塩分の実測と計算値の比較
Comparison of observed and calculated tidal current velocities and salinities at station 2, 4 and 9.

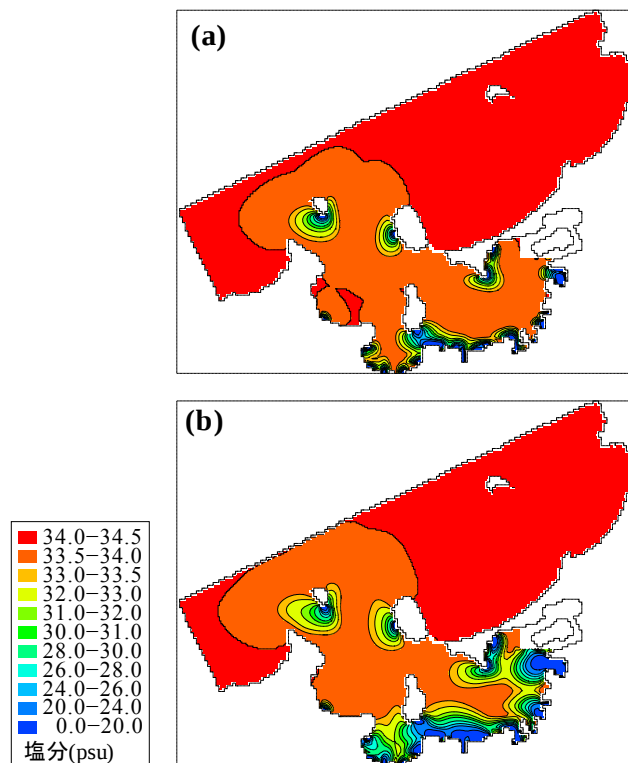


Fig. 7 博多湾全域における塩分分布
(a) 16日 8:00 (b) 19日 22:00
Distribution of salinity in Hakata Bay.
(a) at 8:00 on 16th (b) at 22:00 on 19th

物などの影響で局所的に狭くなっている領域が高精度で再現されていることが分かった。また、タンクモデルによって算定された集中豪雨時の河川流量をモデルの入力値として、淡水の挙動のシミュレーションを行った。その結果、ネスティングによる高解像度計算により、降雨前後の塩分分布の著しい変化を詳細に検討することができた。

今後は、モデルを3次元に拡張することで密度流の効果を考慮に入れるとともに、浮泥の輸送も考慮に入れることでさらなる海域への影響評価を目指す。

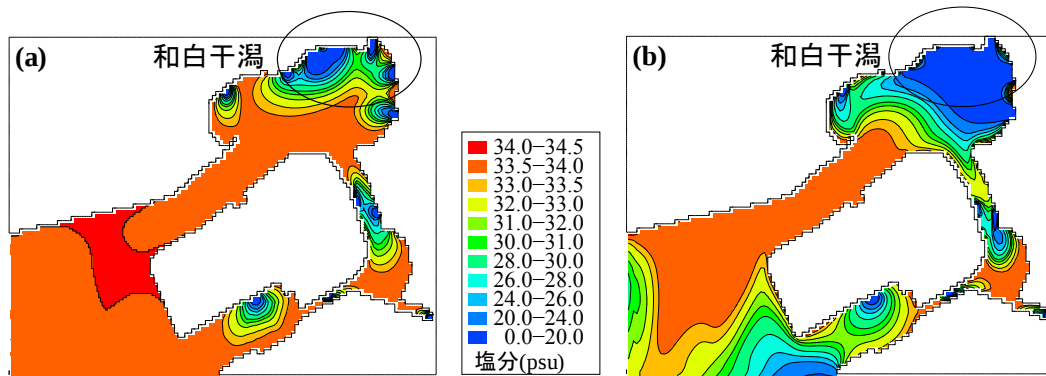


Fig. 8 アイランドシティ周辺における塩分分布 (a) 16日 8:00 (b) 19日 22:00
Distribution of salinity around Island City. (a) at 8:00 on 16th (b) at 22:00 on 19th

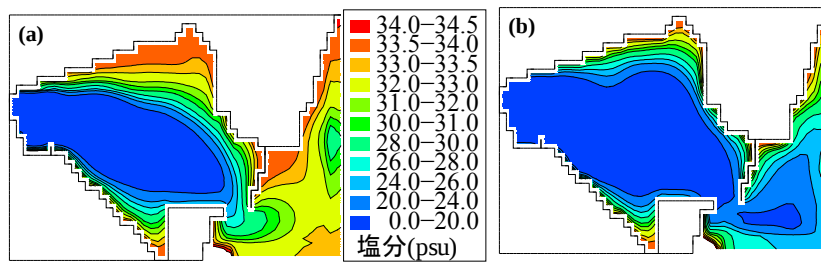


Fig. 9 今津湾における塩分分布 (a)16日 8:00 (b)18日 6:00
Distribution of salinity in Imazu Bay. (a) at 8:00 on 16th (b) at 6:00 on 18th