

平成 26 年 5 月 18 日現在

機関番号：17102

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2011～2013

課題番号：23656307

研究課題名(和文) 大気・海洋結合モデルによる有明海における筑後川起源水の流動機構の解明

研究課題名(英文) Numerical simulation on the behavior of discharge from Chikugo River in Ariake Sea by using a 3-D flow model with wind shear stress acting on the water surface

研究代表者

松永 信博 (Matsunaga, Nobuhiro)

九州大学・総合理工学研究科(研究院)・教授

研究者番号：50157335

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円、(間接経費) 870,000円

研究成果の概要(和文)：研究代表者は、有明海の環境研究を通して、梅雨期において諫早湾内では、諫早湾全体にわたる大規模な塩淡水成層が形成し、ある時は湾奥部は通常海水の半分まで低塩分化し、ある時は通常海水に回復するという現象を見出した。本研究プロジェクトでは、この塩淡水成層は有明海に流れ込む河川水によって作られ、成層構造の出現と消失プロセスは局地風に起因するという仮説の下、河川からの淡水供給と風応力を組み込んだ3次元流動モデルを開発し、再現計算を行った。その結果、成層構造は主に筑後川からの河川水に起因しており、諫早湾において卓越する北北東の風と南南西の風が成層構造の出現・消失プロセスに寄与することが明らかとなった。

研究成果の概要(英文)：The project leader found that the salinity stratification is formed over the whole region of Isahaya Bay in the rainy season and that the salinity in the deep region of Isahaya Bay decreases to about half value of ordinary sea water in some cases and it recovers in some cases. This project was made under the hypothesis that the salinity stratification might be due to the discharge from the rivers running into Ariake Sea and its appearance and disappearance might be generated by local wind in Isahaya Bay. The obtained results are as follows: 1)The salinity stratification over the whole region of Isahaya Bay is mainly due to the discharge from Chikugo River. 2)The north-northeasterly wind transports the water mass of low density near the water surface from Ariake Sea to Isahaya Bay. 3)The south-southwesterly wind tends to suppress the inflow of the water mass of low density from Ariake Sea to Isahaya Bay and to promote conversely its outflow from Isahaya Bay to Ariake Sea.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学・水工学

キーワード：環境水理学 沿岸海域環境学

## 1. 研究開始当初の背景

沿岸海域において河川からの淡水供給があると、一般に密度の重い海水の上に密度の軽い淡水が重なる塩淡水層が形成される。その成層した流体塊が海上風によってどのように応答するかはあまり知られていない。有明海においても例外ではなく、筑後川をはじめ多くの河川から有明海奥部に大量の淡水が供給されると、軽い淡水が重い海水の上に重なることにより塩淡水層が形成される。また、有明海では夏季において北北東の風と南南西の風が卓越し、数日の周期をもって交互にその向きを変える傾向がある。

研究代表者は、九州農政局が提供している水質データを解析することにより、「北北東の風が連吹する時、表層にある筑後川起源水は諫早湾奥部に輸送される。その結果、湾奥部の塩分は通常の海水の半分まで塩分を低下させる。一方、南南西の風が連吹すると、表層付近の低塩分水は有明海側に押し戻され、諫早湾内の塩淡水層は急速に解消し、全体的に高塩分となることを見出した。このように、沿岸域における塩淡水層構造の形成と風応答特性が明瞭に観察された例は極めて稀であり、その形成機構を流体力学的に解明することは、沿岸海域環境学上新規的であり意義ある挑戦的取組であった。また、諫早湾内におけるこのような風による水質変化特性を明らかにすることは、生物生息環境保全の立場からも意義あるものであった。本研究プロジェクトは、このような視点に基づいて計画された先駆的研究である。

## 2. 研究の目的

本研究プロジェクトの目的は、九州農政局が2003年から2009年にかけて諫早湾内の6地点において測得している水質データを解析し、有明海奥部に流れ込む一級河川(筑後川、六角川、嘉瀬川、矢部川、菊池川、白川、緑川)からの河川水の流動特性を明らかにすることにある。また、大気流動モデルWRFV3.0を用いて有明海上に作用する風応力の時空間分布を解析し、得られた風応力分布を海洋流動モデルに組み込むことにより、有明海および諫早湾における河川水の風応答特性を解析することにある。さらに、解析結果と九州農政局の観測結果を比較することにより、再現性の精度並びに諫早湾内に形成される大規模低塩分水塊の各河川水の寄与率を明らかにし、有明海における塩淡水層の消長プロセスを解明することにある。

## 3. 研究の方法

### (1)九州農政局のデータ解析

九州農政局が提供している諫早湾内の6地点で測得された水質データを解析し、塩淡水層の風の応答特性、貧酸素水塊の風の応答特性、表層水中の植物プランクトンの消長プロセスを調べる。

### (2)有明海上に作用する風応力の解析

大気流動モデルとしてWRFV3.0を用いて有明海周辺地域の風のシミュレーションを行い、有明海上の風応力の空間分布を求める。

(3)有明海3次元流動モデルの構干渦の干出モデルを組み込んだ有明海3次元流動モデルを構築する。

### (4)風応力分布の組み込み

大気流動モデルの解析で得られた有明海上に作用する風応力分布を有明海3次元流動モデルに組み込む。

### (5)観測結果と解析結果の比較検討

大気・海洋結合モデルを用いて解析された諫早湾内の塩淡水層構造と九州農政局によって得られた観測結果が一致するように、モデルパラメータをチューニングし、最適モデルパラメータを決定する。風応力分布を組み込んだ有明海3次元流動モデルを用いて、諫早湾内の塩淡水層構造ならびに塩淡水層の発生・発達・消滅過程を再現する。

### (6)塩淡水層構造のシミュレーション

風応力分布を組み込んだ有明海3次元流動モデルを用いて解析し、有明海における一級河川からの流出する淡水の流動特性を調べ、有明海における塩淡水層の消長過程を再現する。諫早湾内に形成される大規模塩淡水層への各河川水の寄与率を明らかにする。シミュレーション結果から、有明海における塩淡水層構造の発生・発達・消滅過程を調べ、有明海の成層構造の風応答特性を明らかにする。

## 4. 研究成果

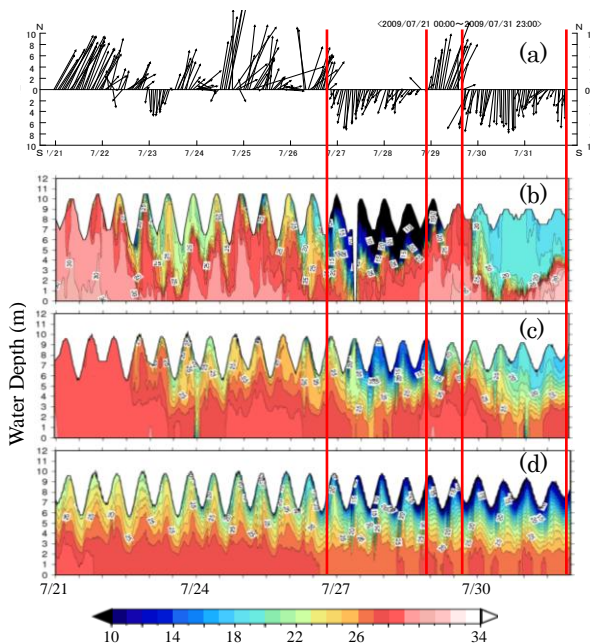
(1)九州農政局が提供している2003年から2008年の水質データを解析し、塩淡水層の発生機構、低塩分水塊の風応答特性、低酸素水塊の発生・発達・消滅プロセス、風による低酸素水塊の応答特性を詳細に調べ、これまでの解析結果の妥当性を確認した。また、有明海奥部に流出する河川水の流動および調整池から南北排水門を通して排水される淡水の動態についても明らかにした。

(2)大気流動モデルとしてメソスケール気象モデル(WRFV3.0)を用いて、解析対象期間における有明海周辺地域の風のシミュレーションを行った。海上風シミュレーションでは、広領域(領域1)として九州を中心とした約1,000km四方の領域を計算領域に設定し、計算領域を約100km四方の狭領域(領域3)まで順次3段階に落とす3重ネストを用いた。また、計算には2ウェイネスティング手法を用いた。領域1の植生、土地利用および標高データの作成には、USG30秒のメッシュ値を用いた。領域2~領域3における植生、土地利用データの作成には国土地理院数値情報1/10細分区画土地利用を、標高データの作成には国土地理院数値情報50mメッシュ値を組み込んだ。得られた解析結果を有明海周辺のアメダスデータと九州農政局が諫早湾中央で計測している海上風データと比較し、解析結果の妥当性が確かめられた。

(3)海上 10m の高さの平均風速から水表面に作用する風応力を算定する経験式を用いて、海表面に作用する風応力の時・空間分布を求めた。その応力分布を既に構築している有明海 3 次元流動モデルの海表面に作用させ、流動シミュレーションを行った。その結果、有明海における物質輸送パターンは風応力を作用させるか否かによって大きく異なることを明らかにした。

(4)有明海奥部には筑後川をはじめ、六角川、嘉瀬川、矢部川、菊池川、白川、緑川の 7 つの一級河川が流れ込んでいる。夏季に諫早湾全域で形成される大規模で強い塩淡水成層は、南北排水門からの淡水排水というよりはむしろ有明海に注ぐこれら一級河川からの淡水供給によって形成されることを見出した。また、大規模成層の形成に最も大きな影響をもつ河川は筑後川であり、筑後川起源の淡水は、諫早湾に輸送される淡水の約 61%を占めることを明らかにした。

(5)本研究では、風応力分布を組み込んだ有明海 3 次元流動シミュレーションモデルを構築し、2009 年 7 月 1 日～31 日を対象に各河川から供給された淡水粒子の流動特性を解析した。九州農政局が取得した塩分データを解析し、計算結果の再現性を確認するとともに各河川から流出した淡水がどのような割合で諫早湾内に流入・滞留するかについて調べた。その結果、卓越風の存在に関係無く、筑後川からの寄与率が最も大きく、32～46%を占め、ついで排水門からの寄与が 21～30%を占めることが明らかとなった。

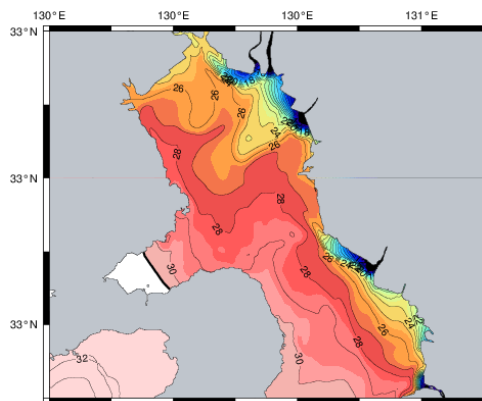


諫早湾内における (a) 風向・風速の分布と塩分の時空間分布 ((b) 観測結果, (c) 現況再現計算結果, (d) 風を止めた仮想計算結果)

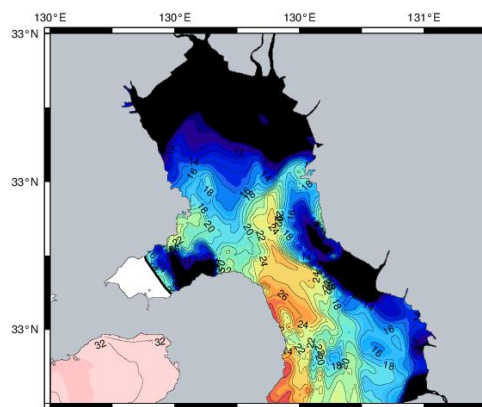
(6) 有明海に流出した河川水の諫早湾への流入は、基本的に潮汐運動のみによって引き起こされることを明らかにした。しかしなが

ら、海表面に作用する風応力は諫早湾内に流入する淡水量に大きな影響を与えることを明らかにした。北北東の風の連吹は有明海に流出した河川水を諫早湾に輸送し、諫早湾奥部に集積させる。一方、南南西の風の連吹は、有明海に流出した河川水の諫早湾への流入を抑制するとともに、諫早湾内の表層付近の淡水塊を有明海川に輸送することを明らかにした。

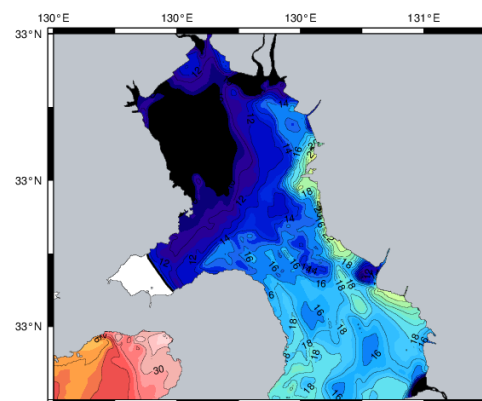
(7)卓越風向を北北東と南南西に固定した仮想計算を行い、卓越風向の違いによって諫早湾内への淡水流入プロセスがどのように変化するかについても検討した。さらに、諫早湾内に形成される大規模塩淡水成層の要因について調べた。



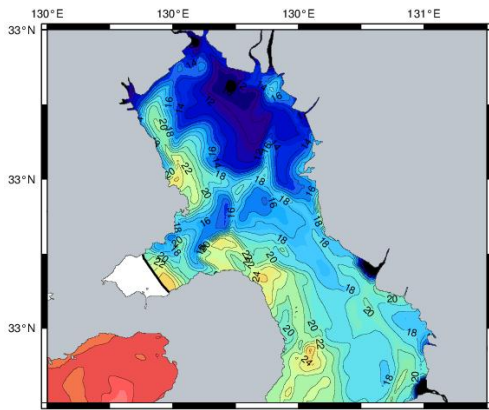
(a) 2009 年 7 月 21 日 7 時



(b) 2009 年 7 月 27 日 0 時



(c) 2009 年 7 月 29 日 1 時



(d) 2009年7月29日13時  
有明海に流出する河川水の空間分布特性

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計11件)

- ①李洪源・松永信博；諫早湾における筑後川起源水の風応答特性，土木学会論文集B1(水工学)，第67巻，2011，86-91. (査読有)
- ②李洪源・馬場歩・松永信博・千葉賢；諫早湾における低塩分水塊の風応答特性，土木学会論文集B2(海岸工学)，2011，I\_366-370. (査読有)
- ③李洪源・榎藤直道・松永信博・千葉賢・清水康弘；諫早湾潮受け堤防排水門背後の底泥中における物質循環の解析，土木学会論文集B2(海岸工学)，第67巻，2011，I\_891-895. (査読有)
- ④宮原淳也・李洪源・松永信博；諫早湾における低酸素水塊の動態，土木学会論文集B1(水工学)，第68巻，2011，I\_1609-1614. (査読有)
- ⑤李洪源，李騫，松永信博，千葉賢；諫早湾内の塩淡成層構造に及ぼす南北排水門からの排水の影響評価，土木学会論文集B2(海岸工学)，第68巻，2012，I\_986-990. (査読有)
- ⑥馬場歩，李洪源，松永信博，千葉賢；諫早湾における大規模塩淡成層の形成要因，土木学会論文集B1(水工学)，第69巻，2013，I\_1381-1386. (査読有)
- ⑦李洪源，李騫，馬場歩，松永信博，千葉賢；諫早湾における大規模塩淡成層の消失プロセス，土木学会論文集B1(水工学)，第69巻，2013，I\_1387-1392. (査読有)
- ⑧千葉賢；2010年と2011年の伊勢湾の水質と流動の再現計算と海水交換特性について，土木学会論文集B2(海岸工学)，第69巻，2013，I\_1071-1075. (査読有)
- ⑨千葉賢；浮遊生態系・海底堆積物結合モデルによる英虞湾の環境応答解析，四日市大学環境情報論集，第17巻，2013，25-58. (査読なし)
- ⑩千葉賢；一般曲線座標系を用いた沿岸域用3次元流動モデル，四日市大学環境情報論集，第17巻，2013，77-114. (査読なし)

- ⑪Zaizen, A., Li, H., Sugihara, Y. and Matsunaga, N.; Characteristics of hypoxic water mass in Isahaya Bay, J. Japan Society of Civil Engineers, Ser. B1 (Hydraulic Engineering), Vol. 70, 2014, I\_1207-1212. (査読有)

〔学会発表〕(計8件)

- ①馬場歩(松永信博)；諫早湾における筑後川起源水の流入特性，平成22年度土木学会西部支部研究発表会，2011年3月5日，九州工業大学戸畑キャンパス.
- ②宮原淳也(松永信博)；諫早湾における低酸素水塊の発達，土木学会西部支部研究発表会，2012年3月3日，鹿児島大学.
- ③松永信博；これから有明海はどうなる，諫早湾潮受け堤防開門調査と有明海異変問題シンポジウム(招待講演)，2012年3月17日，佐賀大学.
- ④松永信博；潮受け堤防建設前後における諫早湾内の底質環境変化と水質底質環境の現状，NPO法人有明再生機構開門調査総合検討部会(招待講演)，2012年3月24日，佐賀大学.
- ⑤Miyahara, J.(松永信博)；A study of hypoxic water mass in Isahaya Bay, Cross Straits Symposium, 2012年11月23日，九州大学筑紫キャンパス.
- ⑥財前亜美(松永信博)；諫早湾における赤潮の経年変化，平成24年度土木学会西部支部研究発表会，2013年3月9日，熊本大学.
- ⑦李騫(松永信博)；諫早湾における低酸素水塊の形成特性；平成24年度土木学会西部支部研究発表会，2013年03月09日，熊本大学.
- ⑧李洪源；諫早湾における低酸素水塊の空間特性，有明海地域共同観測キックオフシンポジウム，2013年7月6日，佐賀大学.

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

松永 信博 (MATSUNAGA, Nobuhiro)  
九州大学・大学院総合理工学研究院・教授  
研究者番号：50157335

### (2) 研究分担者

千葉 賢 (CHIBA Satoshi)  
四日市大学・環境情報学部・教授  
研究者番号：90298654