

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 2 日現在

機関番号：17102

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2012～2015

課題番号：24360200

研究課題名(和文) 諫早湾と北部有明海におけるバロクリニック構造の動的変化

研究課題名(英文) Dynamics of baroclinic structure in Isahaya Bay and the northern Ariake Sea

研究代表者

矢野 真一郎 (Yano, Shinichiro)

九州大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：80274489

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 11,200,000円

研究成果の概要(和文)：2000年のノリ色落ち問題以降環境悪化が続いている有明海を対象に、現地調査と数値モデリングにより淡水影響域の動的な構造の解明と、諫早湾干拓事業が与えた成層構造に対する影響評価を試みた。その結果、出水規模による塩淡成層構造の発達・解消過程、水温成層構造に与える河川水温の影響、干拓事業が与えた成層への影響は貧酸素水塊が発達する小潮期では顕著ではなく、大潮期のみ影響が大きいことなどが、解明された。有明海のバロクリニック構造の基本的特徴が明らかになり、今後の有明海再生、特に成層期に発達する貧酸素水塊の解消に向けた対策を考える上で重要な知見を得ることができた。

研究成果の概要(英文)：Several field measurement campaigns and numerical hydrodynamic modeling in Ariake Sea were conducted to clarify baroclinic dynamics due to freshwater and water temperature inflow from rivers and impact of reclamation project in Isahaya Bay on the structure. As a result of the research, it became clear that i) salinity stratification dynamics can change due to scale of flooding, ii) impact of river water temperature on water temperature stratification is estimated by scale of river discharge, and iii) the reclamation project may affect development of stratification in only spring tide, but not in neap tide when anoxic bottom water can generally develop. From these results, fundamental characteristics of baroclinic structure in the Ariake Sea was understood.

研究分野：環境水理学

キーワード：有明海 諫早湾 淡水影響域 ROFI 乱流微細構造 河川プリューム 物質輸送

1. 研究開始当初の背景

2000年の養殖ノリの色落ち問題から社会的問題となった、いわゆる“有明海異変”については、これまでに国・地方自治体・大学などの研究機関により多数の研究が実施されてきた。その結果、有明海は我が国でも有数の観測データ（特に多点の連続観測データ群）が揃う閉鎖性内湾となり、流動・低次生態系に関する高度な数値モデルの開発も行われている。しかし、有明海異変の原因究明については、多数の学説や主張〔例えば、堤(2011)、高橋(2011)など〕が乱立しているものの、現在でも未だに確定するには至っていない。有明海の環境異変については、これまで研究者間で“一つの仮説”が立てられ、それをもとに原因究明が進められてきた経緯がある。その仮説とは、諫早湾の湾奥に建設された締切り堤により湾内の容積が減少し、さらに有明海の湾軸（湾口から諫早湾へ伸びる軸）が短くなることで共振潮汐が弱まり、有明海内で潮流（バロトロピックな流れ）が弱まったというものである。その結果、鉛直混合能力が低下し、密度成層が強化され、海底付近へ表層からの酸素供給が弱まった結果、貧酸素水塊が多発するようになったと考えられていた。また、嫌気条件下で底質からリンの溶出が促進され、無機栄養塩のソースとなったことから、赤潮の大規模化も進んだとされている。この仮説は、有明海問題に関する研究者の間では、非常に強く意識されてきており、これに沿った説明が多くの論文・解説などで行われてきた〔例えば、日本海洋学会(2005)、宇野木(2006)など〕。

しかし、ここ数年で新たな知見の蓄積が進み、この仮説に大きな疑問が提起されるようになってきている。例えば、田井・矢野(2008)によると、有明海の潮汐の減少は締切り堤などの有明海内部の要因ではなく、外海から入射する潮汐波そのものの減少に起因していることが、80年間程度の長期的な潮汐観測データに関する統計解析により示されている。また、数値モデルにより、締切り堤による潮流の減少は主に諫早湾内で発生し、有明海本体部分では島原半島沿いにやや強い影響範囲が見られるものの、貧酸素化や赤潮の発生が顕著な北部有明海（湾奥部）ではほとんど影響ないことが示されている〔例えば、田井ら(2010)〕。このことは、バロトロピックな潮流について、締切り堤の建設は諫早湾を除いては大きな影響を与えておらず、有明海本体部分においては潮流の減少ということ自体がそれほど強くなかったということの意味するものである。また、密度成層に起因するバロクリニックな物理構造については、浅海定線調査をベースにした研究〔矢野ら(2007)、山口・速水(2009)〕や大規模な一斉現地観測データを解析した研究〔矢野ら(2010)〕により、静的な成層構造（平均的な成層構造）が明らかにされた。しかし、動的な構造、すなわち淡水流入条件や潮汐条件により変化する

成層や密度流・内部潮汐のダイナミックな構造については、数値モデルによるハインドキャスト・シミュレーションである程度再現されているものの、近年の変化を明確に示した研究は存在していない。したがって、締切り堤が有明海に与えた影響についても、諫早湾にのみ限定されるという見解が正しいものであるかについて確定的なことは言えていなかった。

2. 研究の目的

1で述べた研究開始当初の背景において、係争中であった潮受け堤防の開門調査について、3年以内に5年間の長期開門調査を命じる判決が2010年12月に福岡高裁であり、国は最高裁への上告を断念し、必ず調査を実施しなければならない状況になった。ただし、国（農林水産省）は、関係4県（福岡・佐賀・長崎・熊本）の同意を得るため、調査方法について調整を図っており、申請段階では開門を限定的に行い調整池内への海水の流入を押さえた形で実施する方向で動いていた。また、開門調査の開始時期については、当初は平成24年度（2012年度）中と見込まれており、開門前の状況に関しては、平成24年度までに調査を行う必要があった。しかしながら、その後開門に反対する主に干拓地の営農者が開門を阻止するための裁判を起し、開門した場合に国に罰金を支払わせる判決を出した。一方、開門の賛成派は裁判を起し、開門しないことは確定した開門調査を行うことを義務づけた判決に違反すると訴えた結果、こちらは開門を行うよう命令する判決が出され、矛盾した判決が並列する混乱した状態が生み出された。よって、研究開始時（平成24年度）から終了時（平成27年度）の間中は、予定された開門調査が実施されない事態に陥った。

そこで、申請時に予定していた開門前後の比較研究は実施できなかったため、研究目的を修正した。まず、農水省が諫早湾で観測を実施している海洋構造や水質の連続データからは解析できない有明海本体の情報を得るための現地調査を実施することを目的の一つに設定した。これに対応するために、有明海の流入淡水の挙動を評価するための連続データの取得を行うために、北部有明海に定点を設定し、一昼夜連続観測を実施した。

さらに、諫早湾干拓事業に伴うバロクリニック構造の変化について詳細に調べることが目的の一つに設定した。干拓事業に伴う有明海への影響については、堤防締切による潮流の減少がもたらす鉛直混合の弱化、本明川など諫早湾内への淡水供給位置の排水門へのシフト、本明川などの河川から連続供給されていた淡水の排水門操作による間欠的な供給への変化、調整池内淡水の濁りや有毒アオコなどの水質悪化、湾奥部干潟の浄化機能の消失、などが考えられる。から までの物理的な影響については分離

して評価されていなかったため、これらの個別の影響を評価するための数値実験を行った。

3. 研究の方法

主に、現地調査と数値モデルによる数値実験の2つを行った。

まず、現地調査については、長崎大学水産学部所有の「鶴洋丸」を利用して、北部有明海に定点(北緯33度59分54秒, 東経130度18分25秒, 平均水深14m程度)を設けて、一昼夜連続観測を計6回実施した。夏季成層期に3回(小潮2回, 大潮1回), 秋季に1回(大潮), 冬季に2回(小潮1回, 大潮1回)それぞれ行った。主要な観測項目は、以下の通りである。まず、海洋構造(塩分・水温・密度)とDO・濁度などの鉛直分布を測定する目的で多項目水質計によるCTD観測を1時間間隔で行った。次に、小型ボートタイプの浮体に装着したADCPを海面上に係留し、流速の鉛直分布測定を連続して実施した。3つ目は、乱流微細構造プロファイラ(TurboMAP9)により、乱流エネルギー散逸率と渦動拡散係数の鉛直分布を1時間毎に行った。加えて、LISST-100Xにより浮遊懸濁物(SS)の体積濃度と粒径分布の鉛直分布を1時間毎に、また採水によりSS濃度も測定した。

次に、数値モデルによる数値解析については以下の通りである。汎用型沿岸域流動モデルであるDELFT3Dにより作成された有明海と八代海を結合した計算領域を持つ3次元数値モデルにより流れと成層構造の数値解析を実施した。2000年以降で最も貧酸素水塊の発達規模が大きいといわれている2006年を対象とした解析を行った。以下のケースについて条件設定を行い、諫早湾干拓事業が与えた有明海の成層状況に対する影響を評価することを試みた。(1)締切堤防がなく、本明川から淡水が連続流入する締切堤建設前の条件、(2)堤防があり、南北排水門から不定期に排水されている現在の間欠的な淡水流入の条件、ならびに、(3)堤防があり、北部排水門位置から本明川の流量を連続流出する条件、すなわち淡水流入位置を移動した条件、である。塩淡成層の計算結果から、については(1)と(3)の比較から、については(2)と(3)の比較からおおむね評価可能となる。また、については評価のための計算ケース(1)'(1)の条件で本明川からの流入なし、と(2)'(2)の条件で排水門からの流入なしの2つも行った。

4. 研究成果

まず、現地調査から得られた主な成果は以下の通りである。

1) 中小規模の出水時における塩淡成層の発達と解消の過程についてトレースできる詳細な調査結果を得た。これから、出水規模により成層の時間スケールが変化する様子が捉えられた。

2) SSの粒度分布特性について、淡水の輸送に伴う塩淡成層の発達との関係性が示された。

3) クロロフィルa(植物プランクトン)の分布特性については、淡水の輸送・混合による成層の消長とは異なる機構が確認された。

4) 有明海の水温成層形成については、河川水温と比べると海面からの冷却効果が支配的であった。河川流量が多くなれば淡水影響域の水温分布に対する河川水温の影響は大きくなり、観測時の3.5~6倍規模(小規模出水相当)となると河川水の影響が支配的になると推定された。

次に、数値モデルによる数値解析から得られた主な結果は以下の通りである。

5) これまでの有明海異変の原因究明において、底層水の貧酸素化強化の主因として締切堤による鉛直混合の弱化が考えられていたが、貧酸素水塊が主に小潮期に発達することを考えるとその強化には寄与していないとの解釈を示せた。

6) 諫早湾内で干拓事業が与えた塩淡成層への影響は が支配的であると結論づけられる。

7) 成層が元々強い小潮期に対して、淡水流入が排水門の人為的操作による間欠的なパターンとなっていることが成層を強化した。これは、貧酸素水塊の助長につながっている可能性を示唆している。

以上の成果により、有明海のバロクリック構造の基本的特徴が明らかになり、今後の有明海再生、特に成層期に発達する貧酸素水塊の解消に向けた対策を考える上で重要な知見を得ることができた。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計23件)

矢野真一郎, 北川洋平, 田井明, 金相擘, 多田彰秀: 北部有明海における出水に起因する塩淡成層の消長過程と乱流構造の関係についての現地調査, 土木学会論文集B1(水工学), Vol.72, No.4, pp.1_943-1_948, 2016.

田井明, 大庭卓也, 速水祐一, 小松利光, 矢野真一郎, 多田彰秀(2015): 多点連続観測データに基づく諫早湾の流動構造の解明, 土木学会論文集B2(海岸工学), Vol.71, No.2, pp.1_433-1_438, 2015.

矢野真一郎, 西村圭右, Camilla Ranlund: 諫早湾干拓締切堤による鉛直混合能の変化が有明海の塩淡成層構造に与えた影響, 土木学会論文集B2(海岸工学), Vol.71, no.2, pp.1_1243-1_1248, 2015.

Shinichiro YANO, Yohei KITAGAWA, Camilla RANLUND, Akira TAI, Sangyeob KIM and Akihito TADA: IN-SITU MEASUREMENT ON PHYSICAL PROCESS DURING DEVELOPMENT OF

SALINITY STRATIFICATION DUE TO FLOOD EVENTS IN THE NORTHERN ARIAKE SEA, JAPAN, Proc. of the 2nd Makassar International Conference on Civil Engineering, CD-ROM, pp.553-557, MICCE2015, Makassar, Indonesia, 2015.

SHINICHIRO YANO, YOHEI KITAGAWA, AKIRA TAI, AKIHIRO TANIGUCHI, SANGYEON KIM and AKIHIDE TADA: IN-SITU MEASUREMENT ON DEVELOPMENT PROCESS OF SALINITY STRATIFICATION DUE TO FLOOD EVENTS IN THE NORTHERN ARIAKE SEA, JAPAN, Proc. of 2015 IAHR World Congress, 4p, 2015.

矢野真一郎・北川洋平・谷口弘明・西村圭右・堂園俊多：有明海流木漂流シミュレーションによる各河川の流出木量の推定，土木学会論文集 B1（水工学），Vol.71, No.4, pp.1_721-1_726, 2015.

矢野真一郎・西村圭右・北川洋平・Abdul N. Arifin：出水パターンがもたらす有明海のバロクリニック構造への影響についての検討，土木学会論文集 B2（海岸工学），Vol.70, No.2, pp.1_436-1_440, 2014.

Yano, S. and Nishimura, K.: NUMERICAL ANALYSIS ON THE EFFECT OF LARGE RECLAMATION ON THE BAROCLINIC STRUCTURE IN THE ARIAKE SEA, JAPAN, Proc. of 19th APD-IAHR Congress, Hanoi, Vietnam, CD-Rom, 6p, 2014.

矢野真一郎・西村圭右：諫早湾干拓事業が与えた有明海の塩淡バロクリニック構造への影響に関する検討，土木学会論文集 B3（海洋開発），Vol.70, No.2, pp.1_1134-1_1139, 2014.

Tai, A., Saita, T., Yano, S., and Komatsu, T.: Spatio-Temporal Variations of Turbulent Energy Dissipation Rate during Stratification Period in Ariake Bay, Japan, Proc. of 2013 IAHR World Congress, A11779, 8p., 2013.

〔学会発表〕(計 31 件)

北川洋平，矢野真一郎，田井明，金相曄，多田彰秀：北部有明海における成層の発達・減衰過程と乱流散逸率の変動特性について，平成 27 年度土木学会西部支部研究発表会，2016 年 3 月 6 日，九州産業大学（福岡県）。

矢野真一郎，西村圭右，Camilla Ranlund：有明海の塩淡成層構造に与えた諫早湾干拓締切堤の影響評価，日本流体力学会年会 2015，2015 年 9 月 27 日，東京工業大学（東京都）。

北川洋平，矢野真一郎，田井明，Camilla Ranlund，金相華，多田彰秀：北部有明海における出水による塩淡成層の消長過程における物理環境の変化に関する現地調査，土木学会第 70 回年次学術講演会講演概要集 2015 年 9 月 18 日，岡山大学（岡山県）。

西村圭右，Abdul Nasser，矢野真一郎：平成 24 年 7 月九州北部豪雨による出水が有明海のバロクリニック構造に与えた影響，土木

学会第 69 回年次学術講演会講演概要集 2014 年 9 月 12 日，大阪大学（大阪府）。

西村圭右，矢野真一郎：諫早干拓事業による有明海のバロクリニック構造への影響に関する数値解析による一検討，平成 25 年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集，2014 年 3 月 8 日，福岡大学（福岡県）。

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕
出願状況 (計 0 件)

取得状況 (計 0 件)

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

矢野 真一郎 (Shinichiro Yano)
九州大学大学院工学研究院・教授
研究者番号：80274489

(2) 研究分担者

田井 明 (Akira Tai)
九州大学高等研究院・助教
研究者番号：20585921

杉原 裕司 (Yuji Sugihara)

九州大学大学院総合理工学研究院
研究者番号：70243970