

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 6 日現在

機関番号：27401

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25281031

研究課題名(和文) 諫早湾における海水流動の変化が有明海奥部海域の環境と生態系に及ぼす影響の評価

研究課題名(英文) The impact on the environment and ecosystem of the inner part of Ariake Bay caused by the changes of the tidal current in Isahaya Bay

研究代表者

堤 裕昭 (Tsutsumi, Hiroaki)

熊本県立大学・環境共生学部・教授

研究者番号：50197737

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,100,000円

研究成果の概要(和文)：有明海奥部海域の海底の環境および生態系の調査を実施し、東側海域の泥底で泥分が減少し、西側海域の砂底で泥分が減少していることが判明した。このことは、有明海に1990年代まで存在していた東西方向の潮流の非対称性が崩れ、奥部海域の潮流速が均一化していることを示し、有明海に元来存在する赤潮の発生を抑制する潮流のメカニズムが衰退していることを示している。また、この現象には、諫早湾干拓地における潮受け堤防締め切りによって、上げ潮の諫早湾への侵入が抑制されたことが一因となっていることが演繹される。

研究成果の概要(英文)：The benthic environment and ecosystem in the inner part of Ariake bay was assessed, and the decrease of the mud content of the sediment on the mud bottom in the western side of the bay and the increase of the mud content of the sediment on the sandy bottom in the eastern side of the bay were found by the assessments. These facts indicate that asymmetric velocity of the tidal current between the western and eastern sides of the bay was markedly changed in the past two decades in the bay, which was the one of the most important mechanisms to control the increase of phytoplankton in the water. We deduced that these changes were mainly caused by the decline of the intrusion of the tidal current to the innermost areas of Isahaya Bay at the flood tide with the results of this study.

研究分野：海洋生態学

キーワード：有明海 諫早湾 潮流 赤潮 海底環境 堆積物 泥分

1. 研究当初の背景

有明海奥部海域は、富栄養な河川水が大量に流入しているにもかかわらず、目立った赤潮が発生してこなかった。しかしながら、1990年代後半より、海域への栄養塩負荷量に大きな変化が起きていないにもかかわらず赤潮が頻発するようになり、2000年代には夏季に大規模な貧酸素水も発生するようになった。この原因として疑われたのが、1997年4月に有明海の内湾である諫早湾で敢行された干拓地潮受け堤防の締め切りが、有明海奥部海域の潮流に及ぼす影響である。漁民による潮受け堤防の水門開放を求める裁判所への訴訟に至り、H25年12月までに干拓地の潮受け堤防の水門を開き、堤防を挟んで潮流を回復させ、5年間その状態を維持することが、裁判の判決として確定している。

諫早湾への海水流動を回復させると、有明海奥部海域の海水流動や外海水との交流・混合にどのような変化が生じるかを明らかにすれば、諫早湾干拓地の潮受け堤防の締め切りが、諫早湾および有明海奥部海域の環境ならびに生態系にどのような影響を及ぼすのかを明確にできることが期待される。また、学術的にも、栄養塩負荷量の増加を伴わない赤潮頻発という世界に例を見ない赤潮発生のメカニズムの解明に大きな関心が払われてきた。

2. 研究の目的

本研究では、諫早湾干拓地の潮受け堤防の水門開放によって諫早湾の潮流がどのように回復し、諫早湾および有明海奥部海域の海水構造、海底環境ならびに海底生態系にどのような変化をもたらすかについて、詳細な現場調査をもとに明らかにすることを研究の目的とした。しかしながら、本研究期間が終了する2016年3月までに、同潮受け堤防の水門は開放されず、待望される潮受け堤防を挟んだ海水流動が未だに回復されていない。

そこで、研究計画を変更し、潮受け堤防の水門が閉じられた状態が継続するなかで、2001年より継続してきた諫早湾および有明海奥部海域の環境や生態系の変化を精密に捉える調査を継続するとともに、1950年代からの同海域における同様な調査結果との比較を再検討した。その再検討過程を通して、1997年4月の諫早湾潮受け堤防の締め切りによって生じた諫早湾および有明海奥部海域における潮流の変化を推定し、1990年代以降の赤潮および貧酸素水の発生という海洋生態系に非調

和的現象の発生とどのような因果関係で結ばれるのかを明らかにすることとした。

3. 研究の方法

2013年～2015年に、諫早湾および有明海奥部海域に合計28調査地点を設置し、年2回(春季および夏季)の水質、海底環境および底生生物群集の分布に関する調査を実施した。また、2013年～2014年には、有明海奥部海域の中央を縦断する調査地点4調査地点(Stn S2～Stn D)で、精密な海水構造に関する調査、海底の物理化学環境の調査、ならびに底生生物群集に関する定量調査を、冬季を除いて毎月1回(年間10回程度)実施した(図1)。

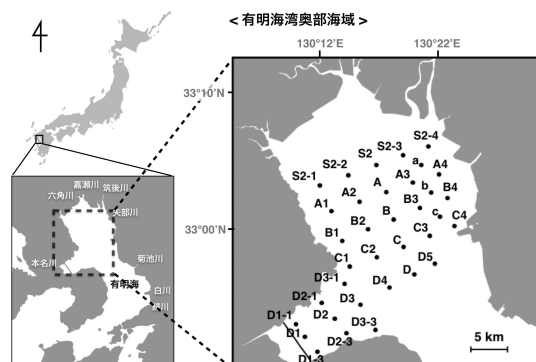


図1 諫早湾および有明海奥部海域の調査地点

これらの調査結果と過去の研究例における同様な調査結果との比較について再検討し、諫早湾干拓地潮受け堤防が締め切られた1997年4月をはさみ、諫早湾および有明海奥部海域においてどのような海洋環境の変化が生じたのか、またそのことが同海域の海洋生態系にどのような変化をもたらしたのか、そのメカニズムを再検証する。

4. 研究成果

① 海底堆積物の分布の長期変化

本研究の水質、海底環境ならびに底生生物群集に関する研究成果でもっとも注目したのは、海底堆積物の粒度組成の分布の変化である(図2)。諫早湾および有明海奥部海域における海底堆積物の泥分について、1989年～2005年の既発表文献の調査結果、2011年の未発表データ、本研究の2013年および2014年の調査結果を示し、その変化を解析した。

1989年には、有明海奥部海域の西側半分の海底では泥分率70～90%以上の泥底が広く分布し、東側半分の海底には泥分40%未満の砂底が広く分布していた。ところが、2000年、

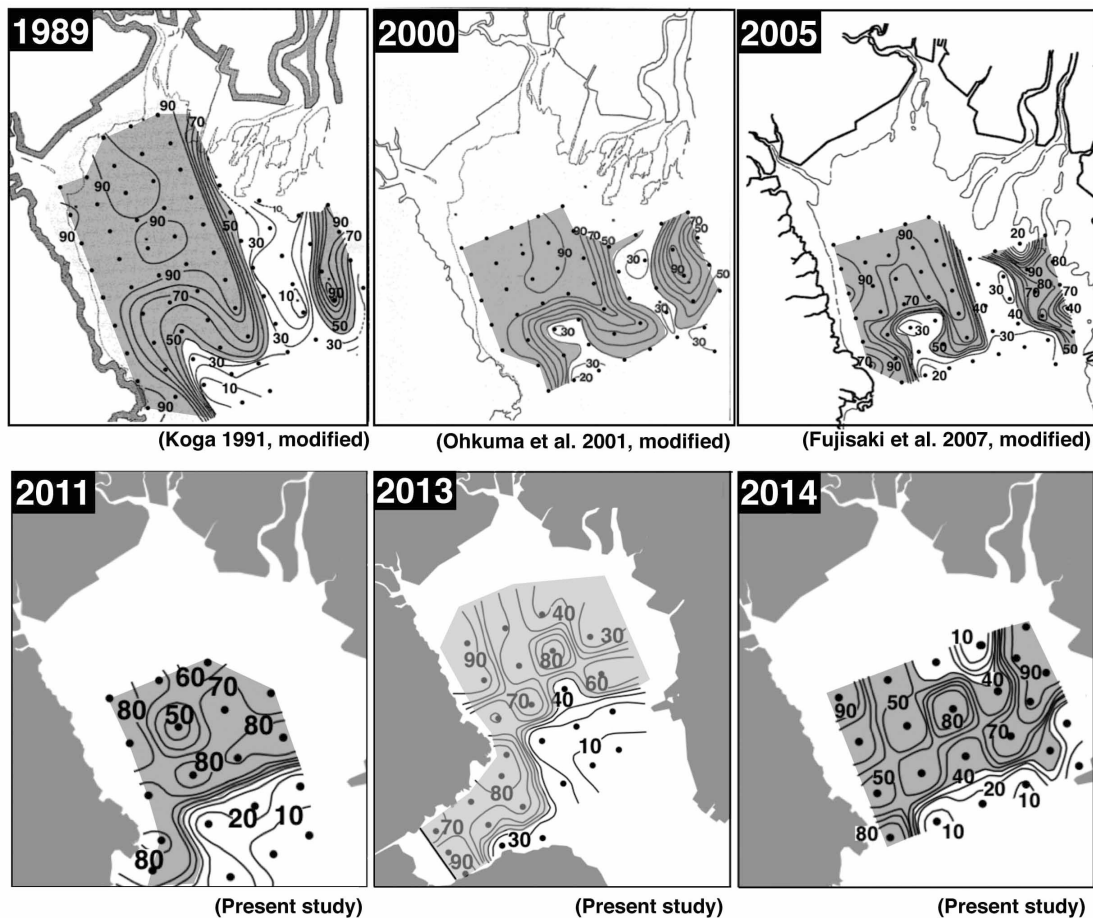


図2 諫早湾および有明海奥部海域における堆積物の泥分の分布(暗部:泥分40%以上)いずれも8月ないし9月の調査結果を示している。

2005年と東側海域の泥底の泥分減少と西側海域の砂底の泥分増加が徐々に進み、2011年～2014年にはその傾向がさらに顕著となり、泥底と砂底の境界が有明海奥部海域を横断するように変化したことが判明した。

海底への泥や砂の粒子の沈降過程はストークの法則に従う。水中を沈降する粒子の粒径が小さくなるほど、つまり砂粒からより細かな泥粒になるほど、その粒子は流れの遅い条件の下でしか沈降しなくなる。海底堆積物の粒度組成の調査結果は、その場所の潮流の長期間にわたる作用の結果を表している。つまり、1989年当時には、有明海奥部海域西側には、泥の粒子だけが静かに海水中を沈降して堆積する止水のような状態が長期間継続していたと考えられる。一方、同東側には速い潮流速が存在し、泥の堆積量は少なく、砂が多く沈降して砂底を形成していたと推測される。

2011年～2014年の同海域における堆積物の分布パターンは、東側海域の粗粒化(泥分

減少)と西側海域の泥化(泥分増加)が起きることにより、堆積物の粒度組成の均質化が起きていることが判明し、潮流速が均一化したことも示している。

② 過去の潮流の特徴

1989年の有明海奥部海域の海底堆積物の分布パターンから推定される東西方向に非対称な潮流速は、その実在を示す研究例の存在を検証した。その結果、井上(1980)の1977年7月の潮流調査に、合致する結果を見出した。この調査では有明海奥部海域の61地点に船を定置し、漂流板で表面水の流向と移動速度が同時に観測した。その結果を再検討すると、下げ潮の最強流速では、東側海域と西側海域の地点の平均値間に統計学的な有意差が認められなかったが、上げ潮最強流速では、東側地点(毎秒 66.1 ± 19.5 cm)に対して西側地点では約半分の流速(毎秒 31.0 ± 5.7 cm)しか発生していないことが判明した(表1)。

表1 有明海奥部海域の西側および東側の下げ潮と上げ潮の最強流速（調査実施日：1977年7月30日）（cm/秒）

潮流速	西部海域 (10地点)	東部海域 (17地点)
下げ潮最強	50.2 ± 12.0*	60.0 ± 15.8
上げ潮最強	31.0 ± 5.7**	66.1 ± 19.5

* p=0.088, マン・ホイットニ検定, 有意差無

** p<0.01, マン・ホイットニ検定, 有意差有

このような潮流速の特徴は、諫早湾および有明海奥部海域の地形的な要因が大きく影響していると考えられる。下げ潮は東側でも西側でも湾口に向けて一斉に移流し、潮流速に大きな差が生じない。一方、上げ潮では、東側では湾中央から湾奥へそのまま流入できるが、西部では奥部海域へ向かう流れと諫早湾へ向かう流れの2つの流れが発生し、奥部海域へ向かう潮流は東側と比較して大きく減速すると考えられる。これが下げ潮と上げ潮の差（潮汐残差流）を生じさせ、有明海奥部海域に反時計回りの恒流が発生する原因の1つになる。

③ 赤潮が頻発しないしくみ

有明海奥部海域の東西方向に非対称な潮流速の分布は、1990年代前半までの赤潮が発生しにくい水質条件の形成に大きな影響を及ぼしてきたと考えられる。有明海奥部海域の地形的な特徴の1つに、最奥部東側に九州最大の河川である筑後川をはじめ5つの一級河川の河口が集中していて、同海域へのもっとも大きな栄養塩負荷源となっている。しかしながら、前述の同海域東側の速い潮流速が存在すれば、海水との鉛直混合による栄養塩濃度の希釈が促進され、赤潮は発生しにくい。一方、泥底の広がる西側では、このような海水の鉛直混合力を想定できないが、二級河川の河口が1つしかなく、河川からの直接的な栄養塩負荷量が非常に限られている。

④ 近年の有明海奥部海域における赤潮頻発のしくみと諫早湾干拓地潮受け堤防の影響

本研究における海底堆積物の泥分の分布調査結果ならびに過去の潮流調査に対する再検討より、諫早湾干拓地の潮受け堤防締め切りが、諫早湾および有明海奥部海域の潮流に対する影響について、海洋学的な説明が可能となった（図3）。1997年4月の潮受け堤防締め切り以前の状態では、上げ潮で諫早湾に流入する潮流の効果により有明海奥部西側へ流入

する潮流に遅れが生じ、東側ではその遅れを海北部湾内水として補完し、東側と西側で大きな差が発生していた（表1）。有明海奥部東側の潮流が速いことで、東側から流入する大量の栄養塩を含む河川水が海水とよく混合され、栄養塩濃度が赤潮発生を抑制できるレベルまでに希釈されていた。

潮受け堤防締め切り後には、上げ潮時に諫早湾への潮流の侵入が制限され、その分、有明海奥部海域西側への上げ潮が増加した。一方、東側では西側の潮流の遅れを補完する必要が少なくなり、その分潮流が減速した。これらのことは、本研究で近年同海域の海底堆積物の泥分の西側での減少と東側での増加より演繹される。

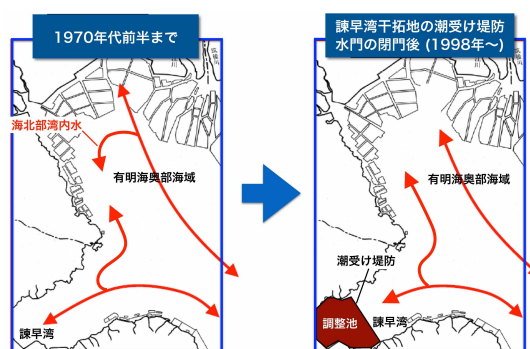


図3 諫早湾干拓地潮受け堤防の締め切りの有明海奥部の潮流への影響

5. 引用文献

- 藤崎 博・大隈 斉・山口忠則・有吉敏和 2007. 有明海湾奥部の底質. 佐賀県水産試験場報告 23: 37-40.
- 井上尚文 1980. 有明海の物理環境. 沿岸海洋研究ノート 17: 153-165.
- 古賀秀昭 1991. 有明海北西海域の底質及び底生生物. 佐賀県水産試験場報告 13: 57-79.
- 大隈 斉・江口泰蔵・河原逸郎・伊藤史郎 2001. 有明海湾奥部の底質およびマクロベントス. 佐賀県水産試験場報告 20: 55-62.

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計5件)

- ① 小森田 智大、梅原 亮、田井 明、高橋 徹、堤 裕昭、諫早湾調整池から排水された高濁度水の湾内における短期的な挙動の解明. 海の研究, 査読有, 23巻, 2014, 1-12.
- ② Orita R, Umehara A, Komorita T, Choi J-W,

Montani S, Komatsu T, Tsutsumi H
Contribution of the development of the stratification of water to the expansion of dead zone: a sedimentological approach. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 査読有, Vol.164, 2015, 204-213.

- ③ Umehara A, Komorita T, Tai A, Takahashi T, Orita R, Tsutsumi H. Short-term dynamics of cyanobacterial toxins (microcystins) following a discharge from a coastal reservoir in Isahaya Bay, Japan. Marine Pollution Bulletin, 査読有, Vol.92, 2015, 73-79.
- ④ 小森田智大、梅原 亮、田井 明、高橋 徹、折田 亮、堤 裕昭、諫早湾調整池からの高濁度排水が諫早湾内の短期的なアンモニア態窒素の挙動に与える影響、水環境学会誌、査読有、38 巻、2015、75-80.
- ⑤ Tsutsumi H, Takamatsu A, Nagata S, Orita R, Umehara A, Komorita T, Shibamura S, Takahashi T, Komatsu K, Montani S. Implications of changes in the benthic environment and decline of macro-benthic communities in the inner part of Ariake Bay in relation to seasonal hypoxia. Plankton and Benthos Research, 査読有, Vol. 10, 2015, 187-201.

[学会発表] (計 8 件)

- ① 折田 亮、小森田智大、堤 裕昭、異なる底質環境下の底生生物群集に対する貧酸素化の影響、2013 年日本ベントス学会・日本プランクトン学会合同大会、東北大学農学部、仙台市、2013 年 9 月
- ② 折田 亮、小森田智大、一宮睦雄、堤 裕昭、貧酸素強度の違いがヒメカノコアサリの個体群動態へ及ぼす影響、2014 年度日本プランクトン学会・日本ベントス学会合同大会、広島大学、東広島市、2014 年 9 月
- ③ 堤 裕昭、有明海奥部海域の水質および海底環境の変化と諫早湾干拓事業との関係、2014 年度日本プランクトン学会・日本ベントス学会合同大会、広島大学、東広島市、2014 年 9 月
- ④ Tsutsumi H, The dike construction in Isahaya Bay causes the changes of the water structure and bottom environment in the inner part of Ariake Bay through the decline of tidal current? The 2nd

Asian Marine Biology Symposium, Jeju, Korea. 2014 年 10 月

- ⑤ Orita R, Umehara A, Komorita A, Tsutsumi H, Impact of seasonal occurrence of hypoxia on the spatial distributions of bottom environment and macro-benthic communities, The 2nd Asian Marine Biology Symposium, Jeju, Korea. 2014 年 10 月
- ⑥ 折田亮、小森田智大、一宮睦雄、堤 裕昭、攪乱強度に伴う優占二枚貝の機能の変化、第 62 回日本生態学会大会、鹿児島大学、鹿児島市、2015 年 3 月
- ⑦ 石松将武、小森田智大、折田亮、堤 裕昭、有明海湾奥部における底生生物の餌利用の変化：餌資源としての浮遊珪藻類の寄与、2015 年度日本プランクトン学会、日本ベントス学会合同大会、北海道大学、札幌市、2015 年 9 月
- ⑧ 岩瀬史和、折田 亮、一宮睦雄、堤 裕昭、小森田智大、鈴木利一、有明海における珪藻現存量および沈降の季節変化、2015 年度日本プランクトン学会、日本ベントス学会合同大会、北海道大学、札幌市、2015 年 9 月

[図書] (計 1 件)

- ① 堤 裕昭、小松利光、有明海奥部海域の海底堆積物と潮流速の関係、有明海漁民・市民ネットワーク、諫早湾の水門開放から有明海の再生、93-107

6. 研究組織

(1) 研究代表者

堤 裕昭 (TSUTSUMI, Hiroaki)
熊本県立大学・環境共生学部・教授
研究者番号：5 0 1 9 7 7 3 7

(2) 研究分担者

門谷 茂 (MONTANI, Shigeru)
北海道大学大学院・環境科学院・教授
研究者番号：3 0 1 3 6 2 8 8

一宮睦雄 (ICHINOMIYA, Mutsuo)
熊本県立大学・環境共生学部・准教授
研究者番号：3 0 6 0 1 9 1 8

小森田智大 (KOMORITA, Tomohiro)
熊本県立大学・環境共生学部・講師
研究者番号：1 0 5 5 4 4 7 0