

創生された人工干潟における環境変動のメカニズムに関する研究

滝川 清*・増田 龍哉**・田中 健路***・弥 富裕二****

有明海の疲弊が問題化されている中, その干潟環境の改善に向けての対策法の開発を目的として, 人工干潟を創生し, その人工干潟の環境モニタリングを実施して環境変動の動態把握と変動のメカニズムについての検討を行った。研究の対象とした人工干潟は, 底質の外部からの搬入ではなく, 埋立地の掘削により作り出された, 全国的に例の少ないものである。この人工干潟では, 地盤高, 底質など生物生息環境の多様性を人為的に創生することによって, ごく近傍の干潟では見られないような生物を含む多様な生態系が, 1 年余りの期間でも出現し, マクロ的な評価法ではあるが, 生物が水・底質の浄化に寄与していることを確認できた。

1. はじめに

九州西部に位置する有明海は日本を代表する大型閉鎖性内湾であり, 約 5 m にも達する大きな干満差の条件下, 我国の干潟総面積の 40% に及ぶ広大な干潟 (207 km²) が発達した海域である。この干潟環境は, 潮汐などに起因する流動場や気象条件, 底生生物や微生物の活動状況に応じ, 微妙なバランスを形成しつつ絶えず変化している。これまでは, これらの微妙なバランスが均衡し保持されてきた環境にあり, 底生生物など生態系の生息環境としての基盤となり, アサリを主体とした採貝漁場としても重要な役割を果たしてきた。しかしながら, 近年, 沿岸域の開発や河川からの栄養塩流入の質の変化とともに量の増加など, 人為的インパクトによる内湾への負荷が増大し, 底質や水質の悪化が干潟の本来有する浄化機能の低下につながっているものと考えられる。これらの負荷増大の一端として, 2000 年 12 月から翌年 1 月におけるノリの色落ち被害や, 赤潮の大量発生などに見られる環境悪化に伴う諸現象が顕在化しており, 早急な干潟環境の浄化機能の再生・回復が社会的に強く求められている。著者らは, 海岸線の人工化や干潟の減少, 底

質の悪化が著しい有明海の干潟環境を対象に, その改善工法を開発することを目的として数種の対策法を試みている。本研究ではそのひとつである『人工干潟の創生』の追跡調査結果に基づき, 科学的視点から干潟環境変動のメカニズムについて検討を行った。

2. 調査概要

(1) 調査対象

本調査対象である「熊本港親水緑地公園野鳥の池 (以下野鳥の池)」は (図-1), 広大な干潟上に, 有明海の浚渫土を用いて建設された熊本港の, 約 10 年間放置された埋立地の一角に, 野鳥観察及び環境学習の目的で造成された人工干潟で, 石積護岸によって外海と隔てられ, 池の東側と北側に 2ヶ所ずつ計 4ヶ所設置された通水パイプ (直径 1.0 m) により, 潮汐の干満に応じて海水が出入りしている。池内へ初めて海水が導入されたのは, 2002 年 11 月 4 日の夕刻の上げ潮時であった。「野鳥の池」の面積は, 図-2 に示すように, 垂潮間帯 1,028 m², 潮間帯 4,222 m², 潮上帯 17,750 m² の計 23,000 m² で, 地盤勾配は 1/36 ほどである。野鳥の池の水深は浅く, 干潮時 (水面 DL=3.0 m) で平均水深 0.3 m, 最深部でも 1.0 m 未

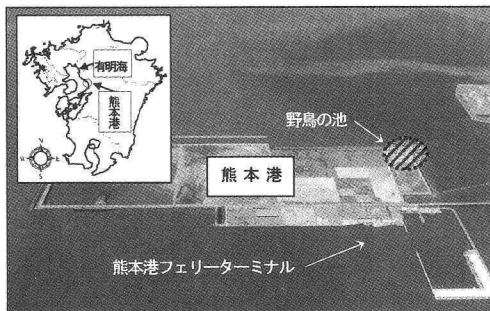


図-1 調査位置図

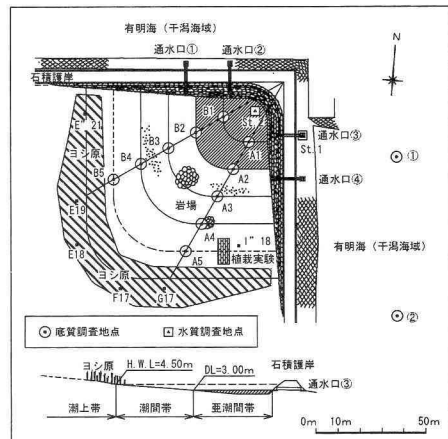


図-2 「野鳥の池」における調査地点

* 正会員 工博 熊本大学教授 沿岸域環境科学研究センター

** 正会員 アジアプランニング(株) 水環境部

*** 正会員 理修 熊本大学助手 工学部環境システム工学科

**** 学生会員 工修 熊本大学大学院自然科学研究科

満である。池内の底質は含泥量 70%前後のいわゆる泥質干潟である。

(2) 調査方法

「野鳥の池」及び池の東側に位置する泥質干潟（以下比較対照干潟）において、2002年10月（通水前）から2004年3月まで計21回、地形、水質、底質及び底質間隙水、生物、植生及び植栽実験について調査を実施した。

地形調査は目盛付きの杭を2測線計10地点に設置して定点観測を行い、詳細な地形変動を把握するため、2003年7月と2004年1月に5~10m間隔で深浅測量を実施した。

底質調査は、コアサンプラーにより深さ約30cmの柱状試料を採泥し、表層（0~0.5cm）、上層（-9~-11cm）、中層（-19~-21cm）、下層（-29~-31cm）の4層で粒度分析、含水比、COD_{sed}、IL、T-S、ORP、pHについて分析した。上層（-0.5~-9cm）、中層（-11~-19cm）、下層（-21~-29cm）の3層から吸引濾過法により底質間隙水を抽出し、NO₃-N、NO₂-N、NH₄-N、PO₄-Pについても分析を行った。

水質調査は毎月1回、大潮時に流入海水、流出海水、流入直前海水について採水し、SS、T-N、NO₃-N、NO₂-N、NH₄-N、T-P、PO₄-P、Chl-aについて分析を行い、採水時に水温、DO、pH、電気伝導度、濁度、塩分を測定した。

生物調査は潮間帯生物（マクロベントス）を中心に、種類数、個体数、湿重量、巣穴数を調査し、亜潮間帯に生息する魚類等も投網・タモ網を用いて捕獲調査を実施した。

植生調査は「野鳥の池」に自生する塩生植物の定性調

査を実施し、植栽実験は池内の大潮満潮時に水没する、高潮帯から潮上帯付近で、表-1に示す8種類を植栽した。また、植生の活着には地盤の安定処理が必要な為、地盤支持および植生補助材として中央部に孔がある植生基盤材（セラミックス平板）を使用した。

3. 調査結果と考察

調査時の気温、熊本地方気象台による月間平均気温、泥温（泥深5.0cm）及び池内の水温を図-3に示す。池内の水温は年間を通じて気温とほぼ同じ値を示し、泥温は夏場に気温よりも低く、冬場に気温よりも高い値を示した。

(1) 地形及び底質変動メカニズム

「野鳥の池」の地形は、通水後の春先までに亜潮間帯と水際で約10cmの堆積が見られ、5月から7月の梅雨時期を過ぎると、約25cmの堆積が見られた（図-4）。これは、池外からのSS負荷によるものも考えられるが、池内潮間帯のところどころ侵食され、水道ができていことから、「野鳥の池」の背後地である緑地公園からの雨水の流れ込みや潮汐変動によって底泥が侵食され、亜潮間帯、水際に堆積したと考えられる。

約1年間の粒度分布変動をみると、潮間帯では地盤高の変動がないため、顕著な変動はみられなかったが、亜潮間帯の表層はシルト分が多く堆積しているのが分かる（図-5）。

秋本ら（2004）の有明海底質調査によると、有明海においても、「野鳥の池」同様にシルト分の堆積が確認されていることから、有明海でも「野鳥の池」同様の負荷が陸域より供給されていることが示唆される。

含水比は池内亜潮間帯で49~173%、池内潮間帯で28~64%、比較対照干潟で71~222%という値を示し、池内亜潮間帯の表層で高くなった。これは、シルト分の堆

表-1 植栽実験に用いた塩生植物

科名	種名	種類	自生地底質			備考
			砂泥質	粗砂質	砂礫質	
アカザ科	1 ハママツナ	1年草			○	
	2 ホシバノハマアカザ	1年草			○	
イソマツ科	3 ハマサジ	2年草			○	絶滅危惧II類
	4 ウラギク	越年草	○			絶滅危惧II類
キク科	5 フクド	越年草			○	
	6 ナガミノオニシバ	多年草		○		
カラツリグサ科	7 シオクグ	多年草	○			危急種
シバナ科	8 シバナ	多年草	○			絶滅危惧II類

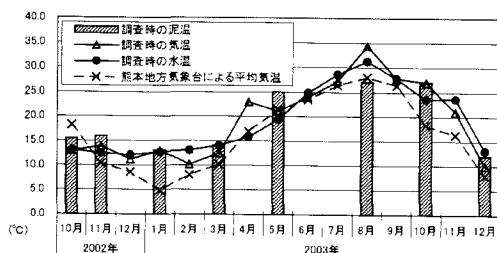


図-3 調査実施時の気温・水温・泥温

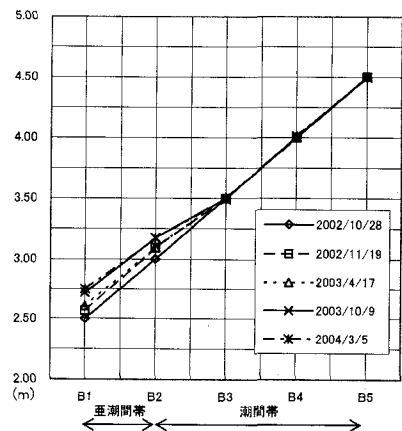


図-4 「野鳥の池」の地形変動

積によるものと考えられる。池内潮間帯では亜潮間帯との境界で土砂の堆積により若干増加した以外に大きな変動はなかった。

池内潮間帯における T-N は $0.15 \sim 0.42 \text{ mg/g}$ で、徐々に減少傾向にあり、T-P は $0.01 \sim 0.72 \text{ mg/g}$ で、季節変動の傾向は見られず、分析層等による差が大きい結果となった。

図-6、図-7 はそれぞれ池内の亜潮間帯、潮間帯における IL, CODsed, T-S の時系列変化を示したものである。

IL は池内亜潮間帯で $3.7 \sim 8.8\%$ 、池内潮間帯で $2.6 \sim 11.7\%$ 、比較対照干潟で $4.1 \sim 10.9\%$ という値を示し、池内亜潮間帯の表層は増加し、他の層は減少傾向にある。表層の増加は有機物を含んだ土砂の堆積によるもので、他の層は生物の活性が高い夏場に有機物が分解され、生物の活性が低い冬場に増加したのと考えられる。この現象は比較対照干潟においても同様の傾向がみられた。

CODsed は池内亜潮間帯で $2.6 \sim 13.8 \text{ mg/gdry}$ 、池内潮間帯で $1.4 \sim 13.6 \text{ mg/gdry}$ 、比較対照干潟で $4.8 \sim 22.0 \text{ mg/gdry}$ という値を示し、池内亜潮間帯、潮間帯ともに増加傾向にあった。比較対照干潟の値に近づいていることから、池内の底質が自然の状態へ形成されていることが示唆された。

T-S は池内亜潮間帯で $0.001 \sim 0.187 \text{ mg/gdry}$ 、池内潮間帯で $0.000 \sim 0.063 \text{ mg/gdry}$ 、比較対照干潟で $0.002 \sim 0.407 \text{ mg/gdry}$ という値を示し、池内亜潮間帯では夏場に増加傾向にあり、池内潮間帯では下層から徐々

に増加してきていることから、池内底質での硫酸還元菌の存在が示唆される結果となった。

以上より、「野鳥の池」の地形及び底質は海水の出入りや気象条件、微生物の働きなどによって、徐々に自然干潟に近づきつつあることが分かった。

(2) 水質変動メカニズム

「野鳥の池」の水質調査では、季節変動を繰り返す流入海水の影響を大きく受ける結果が得られた。そこで、「野鳥の池」に流入する海水が、池内のたまり水と十分に混ざり合うものと仮定し、流入海水と流出海水における SS, T-N, T-P 濃度をもとに、流入量と流出量との差から物質収支量を求めた。出入りする海水体積は調査時の最大潮位と地形条件から、干潟 1 m^2 あたりの海水体積を加算して求め、 S : 物質収支量 (g), Q : 満潮時の海水体積 (m^3), C_1 : 流入海水の濃度 (mg/l), C_2 : 流出海水の濃度 (mg/l) として式で表すと、 $S = Q(C_2 - C_1)$ となる。夏季の水質調査結果では流入海水の SS が 71.6 mg/l 、T-N が 0.34 mg/l 、T-P が 0.10 mg/l 、流出海水の SS が 87.0 mg/l 、T-N が 0.21 mg/l 、T-P が 0.09 mg/l 。冬季の水質調査結果では流入海水の SS が 74.0 mg/l 、T-N が 0.41 mg/l 、T-P が 0.22 mg/l 、流出海水の SS が 76.5 mg/l 、T-N が 0.32 mg/l 、T-P が 0.18 mg/l であった。

以上を用いて物質収支量を計算した結果 (図-8)、夏季と冬季ともに SS は池外へ排出され、窒素、リンは池内へ固定された。SS が池外へ排出されるのは、地形及び底

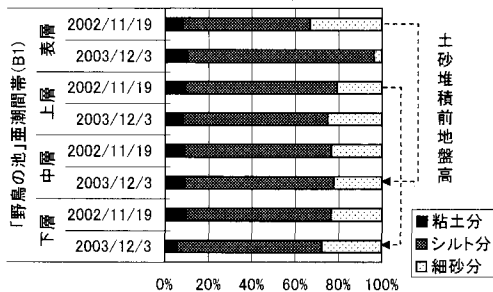


図-5 「野鳥の池」亜潮間帯の粒度分布変動

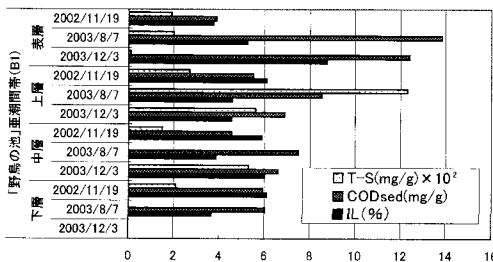


図-6 「野鳥の池」亜潮間帯の底質変動

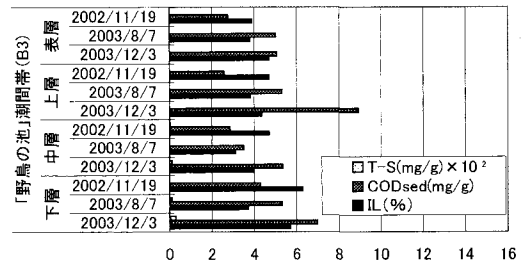


図-7 「野鳥の池」潮間帯の底質変動

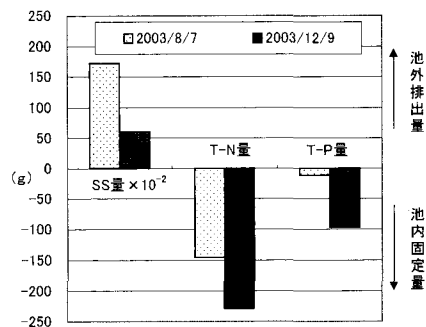


図-8 「野鳥の池」の物質収支量

質調査の結果からも分かるように、「野鳥の池」が竣工から1年目であり、池内潮間帯の侵食によるもので、窒素、リンが池内へ固定されているが、「野鳥の池」潮間帯の底質において窒素、リンの増加は認められておらず、逆に窒素は減少傾向にある事から、池内潮間帯において硝化脱窒が効果的に行われたものと考えられ、「野鳥の池」における水質浄化機能が示唆される結果となった。

(3) 生物変動メカニズム

比較対照干潟の生物相は多毛類(イトゴカイ.sp)と甲殻類(ヤマトオサガニ)を主として、トビハゼやムツゴロウも普通に見受けられ、確認された総出現種は11種であった。比較対照干潟は含泥量80%以上の泥質干潟であるため、種類数は少ないものの、ムツゴロウやムツバリアケガニなどの泥質干潟にしか生息しない種が確認された。池内干潟では造成工事途中(通水前)には雨水がたまり、昆虫が生息する程度であったが、2002年11月の調査でヤドカリが確認されて以来、垂潮間帯付近から徐々に生物が増え始め、ゴカイ.sp、カニ類、トビハゼという順序で増加していき、2003年10月の調査では総出現種類数が比較対照干潟を上回った(図-9)。それらの生物は地盤高によって棲み分けていることから、池内干潟の地盤勾配が1/36で、連続性のある干潟環境が創生されていることが1要因として考えられる。池内干潟では個体数も増え続けていることから、干潟が有する「生物生息機能」や「生物生産機能」が形成されたことが認められた。

種の多様性・優占性を示す代表的なものとして、Simpsonの多様度指数とShannon-Weaverの多様度指数との2つが挙げられる。この2つの指数を用いて、池内干潟と比較対照干潟での底生生物の種類数の豊富さ、優占種への集中度、衡平性の度合いなどの種類組成の特性を数量化し、池外と池内の環境の移り変わりを底生生物の多様度の観点から把握することを試みた。Simpsonの多様度指数は、優占種への集中の度合いによって、多様性を表すものである。それぞれの生物種*i*に対する個体数 n_i 、総個体数を N とすると、多様度指数 $1/\lambda$ は、 $\lambda = \sum n_i(n_i - 1)/N(N-1)$ と定義される。つまり、少数種による独占的傾向が強いほど、指数は大きく多様度指数が小さいことを意味している。また、Shannon-Weaverの多様度指数は、種の多さと種組成の衡平度(優占種が相互に類似している場合)に基礎を置いており、標本の中から生物種*i*が次に取り出される確率を示しているとみなし、その予測の不確実さの程度を $H' = -\sum (n_i/N) \ln(n_i/N)$ という形で定義し、多様性を表現する指数である。指数 H' が大きいほど、ランダムに生物を取り出したときにどの種にあたるか予測が難しい状態が強まること、すなわち多様度が大きくなることを意味している。一般的に広く用

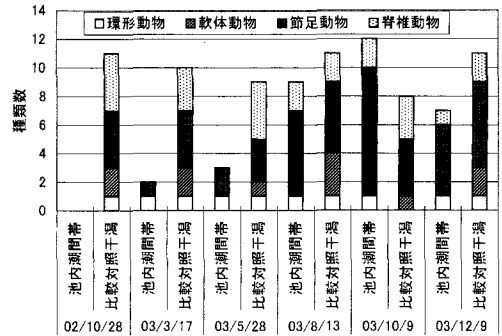


図-9 出現種類数の変動

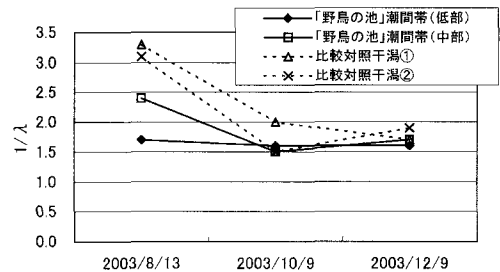


図-10 Simpsonの多様度指数の変動

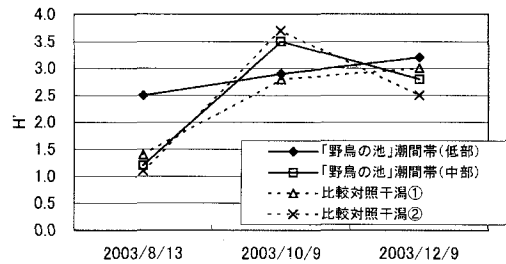


図-11 Shannon-Weaverの多様度指数の変動

いられているShannon-Weaverの多様度指数ではあるが、環境の悪化により種類数、個体数が共に減少した場合に推定の偏りが大きくなるなどの注意点が挙げられているため、人工的に創られた環境条件の中でいかに適用しうかの判断基準として、Simpsonの多様度指数と併用して計算を行った。Simpsonの多様度指数、Shannon-Weaverの多様度指数ともに、池内干潟中部では比較対照干潟とほぼ同様の傾向を示し、低部では夏場から冬場にかけて多様度が高くなる傾向を示した(図-10、図-11)。これは、池内干潟中部は種類数、個体数ともに少なく、池内干潟低部は夏場に種類数が少ないわりに個体数が多かったため図のような傾向を示した。本研究で実施した調査は、期間が竣工から1年目であり、内部の生態系が構築段階初期であったと位置付けられ、種の衡平性に欠けていたためであると考えられる。また、比較対照

干潟においても季節変動による環境条件の変化に伴い、それに耐えうる種が減少し平衡性に欠けた結果であるといえる。

(4) 植生変動メカニズム

造成当初、野鳥の池には自生する塩生植物は存在しなかったが、通水半年後の春には、ハママツナ、ハマサジの自生が確認された。これは、塩生植物の種子が潮間帯で発芽したものであるが、現段階では群落が形成されていないことから、群落を形成させるためには、人為的に群落を形成させやすい環境の創出が必要となると考えられる。

一方、植栽実験の生育状況調査では、対象とした8種類には冬季に枯れるものが多いが、春から夏季にかけて全て緑葉状態となり、順調に生育していた。なお、夏季から秋季にかけて一、二年草は開花・結実し世代交替を行い、多年草は地下茎を発達させ増殖し、群落を形成していた。このように塩生植物が定着し、群落を形成すると植物による「水質浄化機能」が有効に働き、干潟環境の改善には望ましい効果が期待できる。また、植生基盤下の根圏付近では、表-2に示すような準絶滅危惧に指定されているウモレベンケイガニ二等が確認され、本対象水域では干潟に植栽することによって「生物生息機能」の強化が図れるなどの波及効果も期待できる結果が得られた。

表-2 植栽実験地における生物の変動

調査月	種数	門	綱	種名	個体数	湿重量(g)
2003年6月	1	軟体動物	腹足	ムユズラタマキビガイ	1	1.01
	2	節足動物	甲殻	カクベンケイガニ	1	0.02
	3	"	"	ウモレベンケイガニ	3	0.04
9月	1	節足動物	甲殻	アシハラガニ	1	0.83
	2	"	"	カクベンケイガニ	3	0.02
11月	1	節足動物	甲殻	ヒメハマトビムシ	0.3	0.003
	2	"	"	クロベンケイガニ	2.7	0.4
	3		昆虫	アブラムシ科	0.3	0.0
	4		"	ハンミョウ科	0.3	0.003
2004年2月	1	節足動物	甲殻	ニホンヒメハマトビムシ	1.5	0.03
	2		"	コメツキガニ	0.5	0.105
	3		昆虫	ゴミシ科	0.5	0.0

(5) まとめ

『人工干潟の創生』の追跡調査から、「地形及び底質」「気象及び水質」「生物及び植生」の変動について検討した結果、通水後に潮汐に伴う海水の出入りによって新たな生命が「野鳥の池」にもたらされ、降雨などの気象条件や潮汐変動により地形が変動し、地形条件に適したさまざまな生物や植物の生息、定着が確認された。さらに、そういった新たな干潟と生命活動に伴う物質変化が明らかにされた(図-12)。「野鳥の池」は竣工後まだ1年という事もあり、形成初期段階の干潟であるため、今後も「地形及び底質」「気象及び水質」「生物及び植生」の3つ

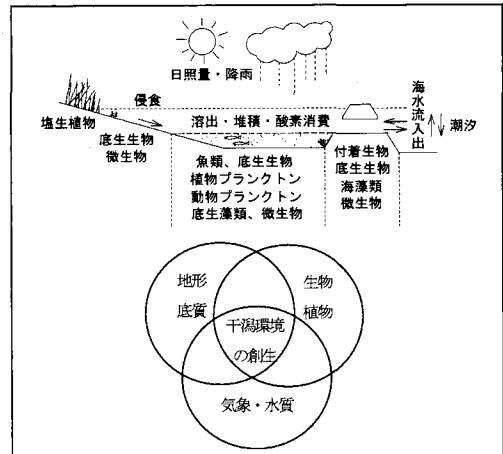


図-12 「野鳥の池」における環境変動モデル図

が相互に影響しながらバランスを保ち、「水質浄化機能」「生物生産機能」「生物生息機能」「親水機能」等の環境機能を有する独自の干潟環境が創生されていく事が期待できる。

4. おわりに

約1年半の調査結果から、野鳥の池の干潟環境の創生過程及び干潟環境変動メカニズムに対して、マクロ的に捉えることができた。今後はデータを蓄積するとともに、それらの事象に対して、物質収支等について詳細に調査を進め、有明海の干潟環境変動のメカニズムについて、評価手法の開発も含めて追究していきたいと考えている。なお今回の調査研究は、NPO法人みらい有明・不知火、アジアプランニング(株)、熊本県、(株)テトラとの共同研究のもとに実施されたものである。また、本研究の一部は、日本学術振興会科学研究費補助金基盤研究(A)(2)(代表:滝川清;課題番号14208072:平成14~17年度)および平成14年度文部科学省地域貢献特別支援事業費の補助によるものであり記して謝意を表します。

参考文献

- 秋元和實・滝川 清・島崎英行ら(2004):「がらかぶ」が見た有明海の風景—環境変化をとらえるための表層堆積物(底質)データベース—, 熊本大学沿岸域科学教育研究センター, NPO法人みらい有明・不知火, pp. 14-18.
- 田淵幹修・滝川 清・外村隆臣(2001): 熊本県の海岸植物分布と海岸環境, 第9回地球環境シンポジウム, 土木学会地球環境委員会, pp. 33-40.
- 滝川 清・古川憲治・鈴木敦己・北園芳人・原田浩幸・田中健路・柿本龍治・山下隆男(2002): 有明・八代海沿岸域の自然環境評価と環境共生型社会基盤整備に関する研究, 平成10~13年度科学研究費補助金(基盤研究(A)(2))研究成果報告書, (課題番号10308026), 453p.
- 古川憲治・高木啓太(2002): 粗粒セラミックスを活用する水際植栽に関する研究, 土木学会西部支部研究発表会.