

有明海干潟環境の改善・回復に向けた対策工とその効果

滝川 清* ・田中健路** ・外村隆臣***
増田龍哉**** ・森岡三郎***** ・酒井 勝*****

有明海の干潟環境の改善・回復策として、数種の対策事業を現地で実施し追跡調査を行った。「干潟耕耘」では ORP 値の増加が見られ、空気の強制混入を行うと 1 回の耕耘で約 1 月間の効果があること、底生生物では巣穴数の増加や下層で生物数増加等が確認できた。「人工干潟の創生」では、人工池内で地盤が次第に軟弱化し始めており、冬季にもかかわらず多毛類の生息、エビ、アミ類や海藻の存在等が確認され、野鳥が飛来するなど徐々に生態環境が形成され始めている。「なぎさ線の回復」では、盛砂の地形は H.W.L. を中心に安定してきて「なぎさ線」が創生され、数種の生物の棲息が約 1 ヶ月後には確認されるなど、良好な底質環境が形成されつつある。いずれの干潟改善策も、その効果が期待できる結果が得られた。

1. はじめに

わが国の代表的な閉鎖性内湾であり、広大な干潟と大潮位差など独特の自然環境にある有明海では、近年の生物相の変化とその種と数の激減、赤潮の多発、水質・底質の悪化など、急激な環境悪化の悪循環に陥っているものと懸念され、海域環境の回復と再生方策の実施が緊急かつ大きな課題である。平成 14 年 11 月末には「有明海及び八代海を再生するための特別措置法」が公布・施行され、平成 15 年 1 月には「自然再生推進法」が制定されて、地域自然環境特性、環境容量、生態系等の微妙なバランス等を踏まえ、科学的知見に基づいた自然再生の実施がなされるべきとの基本方針が示された。有明・八代のような閉鎖性の高い海域における海域環境の回復と再生の課題に対して、本研究では、海岸線の人工化や干潟の減少と底質の悪化が著しい干潟環境を対象に、その改善工法を開発することを目的に、有明海の熊本県沿岸域で、「耕耘による干潟改善策」、「人工干潟の創生」、「植栽による干潟改善策」、「なぎさ線の回復」の 4 つの干潟改善策について現地調査を実施し、科学的視点からの干潟改善・回復効果を調べるもので、その経過を報告する。

2. 耕耘による干潟改善策

(1) 調査概要

泥質干潟を耕耘する事により底泥に酸素供給を行い、微生物による硝化・脱窒や底生生物のバイオターベシジョン（滝川ら、2002；原田・滝川、2002）を促進させることによって、干潟の浄化能力を復元、促進させる技術の確立を目指して調査を行った。調査地点は、図-1 に示す熊本港大橋南側に位置する含泥量（粒径 $75 \mu\text{m}$ 未満）約 95% の泥質干潟において、2002 年 9 月 20 日に干潟

耕耘を行った。耕耘は干潮時に行い、耕耘前と耕耘 3 日後、1 週間後、2 週間後、1 ヶ月後に底質、間隙水及び底生生物の追跡調査を行った。なお、底生生物調査は耕耘前と耕耘 1 ヶ月後に行った。耕耘方法は、軟弱な泥質干潟を自由に走行でき、後部に鋤を装備した耕耘機で耕耘を行った。耕耘方法は「鋤入れによる方法（鋤型）」と「空気を混入しながら鋤入れを行う方法（空気混入鋤型）」の 2 つの方法で行った。耕耘面積は鋤型、空気混入鋤型それぞれ 2500 m^2 ($50 \text{ m} \times 50 \text{ m}$) で（図-2）、鋤入れは鋤型で複数回、空気混入鋤型では空気を混入しながら 1 回のみであった。

(2) 耕耘の効果

耕耘調査は現場実験であるため、底質及び間隙水の海象・気象や季節による変化は避けられない。そこで、耕耘を行わない比較対照地点の変化も計測した。以下に述べる底質間隙水の調査結果は耕耘後の変化を明確にするために、測定値（平均値）を耕耘前の値で除し、比較対照区域の変化率で補正した。

a) 底質及び間隙水

底質と間隙水は図-2 中に示すように、14 地点で上層（0～10 cm）と下層（-20～-30 cm）で測定した。測定項目は、底質（粒度分布、COD、含水比、T-S、IL、ORP（現地計測））、間隙水（COD、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 、 $\text{PO}_4\text{-P}$

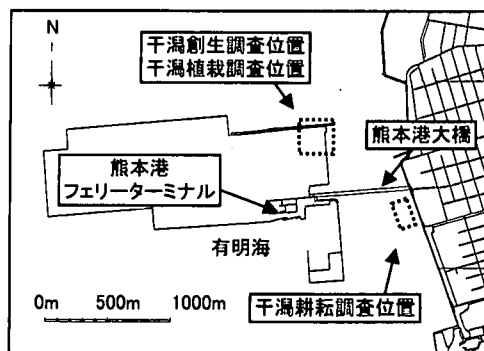


図-1 調査位置図

* 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 理修 熊本大学助手 工学部環境システム工学科
*** 正会員 熊本大学技官 工学部環境システム工学科
**** アジアプランニング(株) 水環境部
***** 農林水産省九州農政局玉名横島海岸保全事業所
国土交通省九州地方整備局熊本港湾空港整備事務所

等)である。

粒度分布に顕著な変化は見られなかったが、これは本調査地は含泥量が多く、仮に波浪や潮流で動きやすい泥分量が変化しても、これが数字に表れないためと考えられる。

含水比は耕耘前にほぼ100%であったが、耕耘後に下層で約20%低下し、1ヶ月後も持続していた。これは耕耘後に土粒子が自沈して締め固まったためと推察される。

図-3に示す酸化還元電位(ORP)は耕耘後に上下層とも大きく増加し、その持続期間は1週間から2週間で、空気を混入したほうで効果が持続した。底泥内部に酸素が溶存していると思われる値は見られなかったことから、底泥が空気に触れて還元的雰囲気緩和されたといえる。

図-4に示す COD_{Mn} は下層で減少し、その持続期間は1週間から2週間の間であった。硫化物は耕耘1週間後に下層で増加がみられ、2週間後にはまだ高い値を保持していたが、1ヶ月後には耕耘前ほどに落ち着いた。これは酸化還元電位の低下と対応する事から、底泥の還元的雰囲気が高まり、硫酸還元菌による有機物分解によって、硫化物が増加したものと推察される。

硝酸態窒素は耕耘前に0.01から0.04 mg/lとわずかに存在していたが、耕耘後には0.01 mg/l以下であった。図-5の NH_4-N は上層で減少したが、2週間後には耕耘前とほぼ同じ値を示した。これは酸化還元電位が高い場合に NH_4-N に低下傾向が見られる事から、「耕耘によって硝化脱窒が効果的に行われた。」「土粒子に吸着された。」等が原因として考えられる。また、図-5中に示す PO_4-P は上層で1週間後に増加がみられたが、2週間後には耕耘前とほぼ同じ値を示した。これは PO_4-P の増加が硫化物の生成時期にほぼ一致する事から、リンの解離が起こったと推察される。

b) 底生生物

底生生物調査結果を図-6及び表-1に示す。調査地点は図-2中の6地点で、上層(0~10 cm)、中層(10~20 cm)、下層(20 cm~30 cm)でマクロベントスの種、個体数、湿重量、巣穴数の計測を行った。耕耘後に種類数及び総個体数の減少が見られたが、比較対照区域でも同じ現象が見られることから、季節的なものと推察される。鉋型区域で減少率が小さいのは環形動物(多毛類)があまり減少していないためで、これを除くと全体的に個体数が減っている。総個体数のみで判断すれば、鉋型区域は個体数の減少率が小さく、耕耘による効果が見られたといえるが、他の調査区域と比べて、節足動物(甲殻類)1個体当たりの湿重量は減少している。

耕耘前は鉋型、空気混入鉋型とも下層では生物は採集されなかったのに対し、耕耘後は下層でも採取された

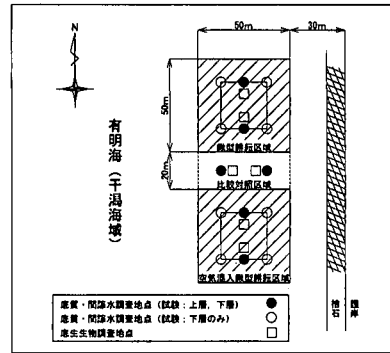


図-2 干潟耕耘調査地の概要

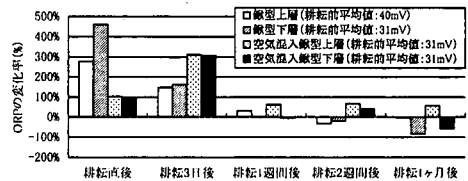


図-3 耕耘後の ORP の変化率 (%)

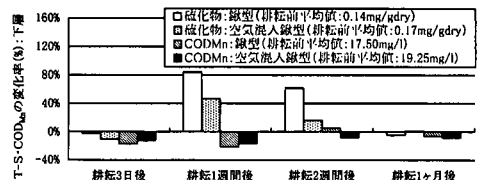


図-4 下層における耕耘後の T-S, COD_{Mn} の変化率 (%)

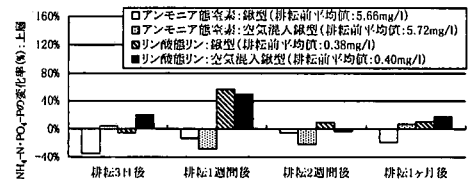


図-5 上層における耕耘後の NH_4-N , PO_4-P の変化率 (%)

(表-1)。これは耕耘後に土粒子が自沈した影響で土が締め固まり、巣穴を掘りやすい環境ができたためと推察される。このように深い場所に底生生物が棲むようになると、その巣穴を通して酸素が下層まで供給されるようになり、干潟の浄化作用には望ましい。

3. 人工干潟の創生

(1) 調査概要

図-1に示した熊本新港親水緑地公園の一角に、通水パイプを通じて、潮汐の干満に応じた海水を導入する池(「野鳥の池」)を人工的に造り、ここに創生される「新た

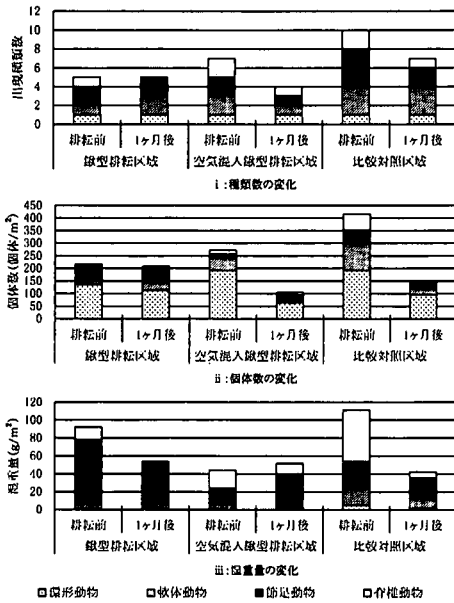


図-6 耕耘後の底生生物の変化

表-1 底生生物調査結果一覧

項目	鉄型耕耘区域				空気混入鉄型耕耘区域				比較対照区域			
	耕耘前		耕耘1ヶ月後		耕耘前		耕耘1ヶ月後		耕耘前		耕耘1ヶ月後	
総種数	5		5		7		4		10		7	
総個体数(個体/m ²)	216		208		272		104		416		152	
総湿重量(g/m ²)	92.0		53.5		44.0		51.5		111.2		42.3	
巣穴数(1/m ²)	25		31		30		43		27		37	
主な生物(%)	深さ	門	個体数	湿重量	個体数	湿重量	個体数	湿重量	個体数	湿重量	個体数	湿重量
			55	2	59	3	77	2	70	2	57	8
			環形動物									
			10	8	12	11	5	**	10	1	22	18
	10cm~18cm		軟体動物									
			30	67	29	86	9	47	10	64	13	35
			節足動物									
			3	67	29	86	9	47	10	64	13	35
	18cm~20cm		容椎動物									
			5	23	—	—	9	51	10	33	9	39
			環形動物									
			86	**	66	13	58	**	50	33	53	4
	20cm~30cm		軟体動物									
			—	—	17	23	42	100	50	67	12	8
			節足動物									
			14	100	17	64	—	—	—	6	2	33
	30cm~38cm		容椎動物									
			—	—	—	—	—	—	—	29	87	—
			環形動物									
			—	—	—	—	—	100	100	17	—	—
	38cm~48cm		軟体動物									
			—	—	33	6	—	—	—	50	27	—
			節足動物									
			—	—	67	94	0	0	0	25	54	—
	48cm~58cm		容椎動物									
			—	—	—	—	—	—	—	8	19	—

** : 1%未満

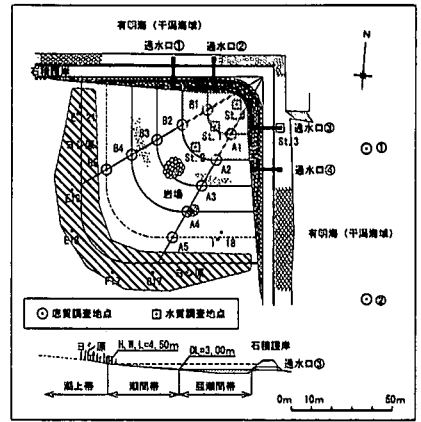


図-7 干潟創生調査地の概要

析, 含水比, COD, IL, T-S, ORP, pH; 地盤高, コーン支持力), 水質(COD, SS, NO₃-N, NO₂-N, NH₄-N, PO₄-P, DO, pH, 電気伝導度, 濁度, 塩分濃度), 間隙水(水質項目に準ずる), 底生生物(マクロベントスの種, 個体数, 湿重量, 巣穴数), 魚類, 植生について調査を行った。なお, 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。

(2) 追跡調査の経過報告

2003年5月現在までに計8回の調査を実施した。「野鳥の池」内の干潟は形成過程初期段階であるため, 池内に大きな変化は見られなかったが, 変化の現れた結果を紹介する。

a) 底質調査

図-8に示すように潮間帯高部で通水後にコーン支持力が低下した。これは海水の導入によって地盤の軟弱化が進んだものであるが, 池内全ての地点において池外干潟ほどには軟弱化していない。通水後に亜潮間帯で約10cmの堆積が見られた。池内潮間帯のところどころ侵食され水道ができていいることから, 雨水の流れ込みによって底泥が侵食され, 亜潮間帯に堆積したと考えられる。

b) 底生生物, 魚類及び植生調査

池外干潟の生物相はヤマトオサガニを主として, ムツゴロウも見受けられ, 確認された総出現種類数は21種であった。本調査地は泥質干潟であるため, 種類数は砂質干潟と比べると少ないものの, ムツバアリアケガニなど泥質干潟にしか生息しない種が確認された。

池内の底生生物は2002年11月19日(通水15日目)の調査でヤドカリが確認されて以来, 2003年1月17日(通水74日目)には多毛類が確認され, 2003年4月17日(通水164日目)の調査までの総出現種類数は11種にまで増えた。

魚類は2003年3月17日(通水133日目)の調査まで,

な干潟と生命活動”を追跡調査し, 自然環境の創生過程を把握する事を目的としている。この「野鳥の池」の面積は, 図-7に示すように, 亜潮間帯1028m², 潮間帯4222m², 潮上帯17750m²の計23000m²である。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ヶ所通水パイプ(直径1.0m)があり, 潮汐の干満に応じて海水が出入りしている。水深は浅く, 干潮時(水面DL=3.0m)で平均水深0.3m, 最深部でも1.0m未満である。池内の底質は含泥量80%以上のいわゆる泥質干潟で, 潮間帯に2ヶ所岩場が設置されている。2002年10月(通水前)より毎月1回, 大潮の日に底質(粒度分

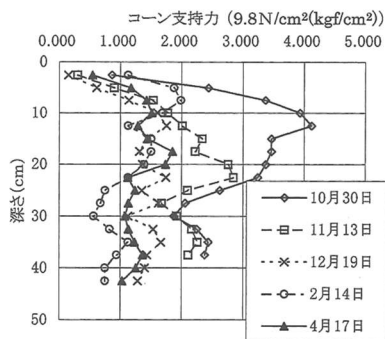


図-8 コーン支持力の変化



写真-1 ハマサジの新芽 (2003/5/17)

通水口③の出口に仕掛けたプランクトンネットに、アキアミなどが捕獲される程度であったが、2003年4月の調査では、ボラの稚魚が群れを成して泳いでいるのが確認された。4月の調査までに、池内の水中では9種の生物が確認された。

鳥類調査は行ってはいないが、通水3日後の調査で野鳥（シギの一種）の飛来が確認され、池内の水際には大小さまざまな鳥の足跡が見受けられることから、池内には鳥類が飛来してきていると思われる。

2、3月の調査ではヨシの新芽が見えはじめたことから、今後はヨシの分布、密度に変化が起これと予想される。1月の調査で通水口③池側にのみ海藻が確認された。同種海藻は亜潮間帯の堆積状況測定杭でも確認され、その後、海藻は池内の亜潮間帯で増え続けているようである。なお、海藻は緑藻類アオサの一種と思われる。

4. 植栽による干潟改善策

干潟の生態系を軸とした自然環境のもつ機能については十分に把握されていないが、自生していた塩生植物が、この海域から数多く喪失したことは（田淵・滝川ら、2001）、干潟の浄化機能、生物生息機能、生物生産機能等さまざまな環境機能に影響を与えている。そこで、沿岸域の生態系を復元し改善する方法の1つとして、潮干帯に塩生植物を植栽して永続的生育を行うことを目的とする。塩生植物に期待される干潟環境改善としては、植物の根茎付近に微生物や小動物が棲息し、それらをエビ、カニ類が捕食し良好な生物育成場の形成が挙げられる。また、塩生植物による汚濁物質や窒素、リンの吸収と植生基盤及び干潟部に吸着する微生物が有機物を分解、硝化、脱窒等を行うので、水質浄化にも大いに寄与すると期待される。現地の調査は、上述した“野鳥の池”の中に、セラミックス製の植生基盤を、H.W.L.(D.L.)(+)4.5 m)を中心として標高D.L.(+).4.73 m～(+).4.40 mの間に設置して植栽した。植栽した塩生植物は、有明・八代

海の干潟域で確認されている12種類の中から、永続植生管理のしやすいハマサジ、フクド、シオグク、ナガミノオニシバ、ハママツナ、ハマアカザ、ハマギク、シバナ等を植栽し生育状況を2002年11月より調査中である。今回は冬季のみの期間しかなく、年間を通じた調査が必要であるが、冬季にもかかわらず多年草、越年草の根は植生基盤に活着し、5月にはハマサジの新芽が多数、発芽（写真-1）してきており、これからの生育が期待される。

5. なぎさ線の回復による干潟改善策

(1) 調査概要

干拓堤防護岸前面に「押え盛砂工」としての“なぎさ線”を創造し、防災機能と環境保全の機能を有する新しい海岸保全事業の開発を目指した調査・研究である。熊本県玉名横島海岸（図-9）の干拓堤防の前面に50 m×10 mの石積み囲いの中に、1) 盛砂のみ、2) 下部を透過層にした盛砂工、の2つの区域を設け、底質環境の相違による影響を調べた（図-10）。2002年8月より開始し、地形測量、底質調査および底生生物調査を、定期的に継続調査した。

(2) 底生生物と地形変化調査

横島堤防の前面には消波ブロックが設置され、その前面に押え盛石工が堤防から35 mの区間に敷設されている。この押え盛石工前面の標高T.P.(+).0.0 m～標高T.P.(+).1.0 mの約10 mの沖方向区間に、幅50 mにわたって、今回の「押え盛砂工」の試験地を設置した。この地点のH.W.L.はT.P.(+).2.28 m、L.W.L.はT.P.(+).2.47 mである。地形測量は約2週間に1度、2002年8月から2003年1月まで16回行い、盛砂の移動状況を追跡した。図-11は、地形標高の平面分布を主な調査時期ごとに図示したものである。(a)図の施行当初は平坦であった盛砂が、(b)図の台風15号通過直後に沖側砂止め石積み部で侵食され岸の消波ブロック側に移動堆積した。地形変化は、(c)図の約70日後にはほぼ収まり、(d)図の約6ヶ月後には、H.W.L.を中心とした位置に安定化



図-9 横島海岸位置

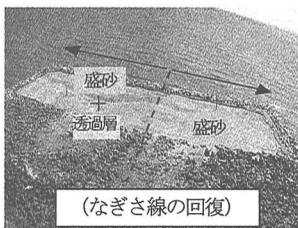
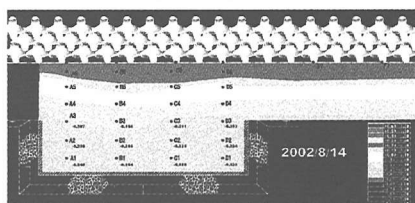
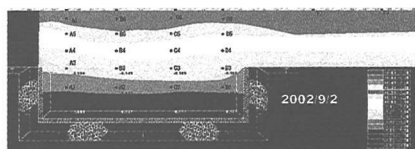


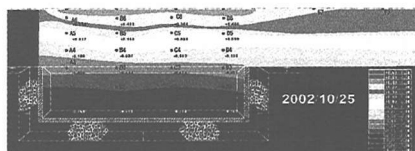
図-10 押え盛砂工



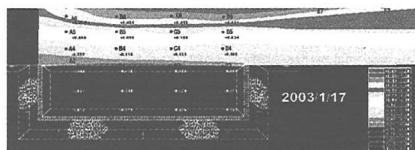
(a) 施行当初 (2002/8/14)



(b) 台風15号直後 (2002/9/2)



(c) 約70日後 (2002/10/25)



(d) 約6ヶ月後 (2003/1/17)

図-11 地形変化

している。この海岸の潮流は上げ潮時にはESEからWNW方向で、下げ潮時はこの逆方向となっている。海岸の西側は菊池川河口に接し砂質の干潟、また東側は唐人側河口に接し泥質の干潟が発達しており、適切な工法の工夫によっては、“自然のなぎさ線”の創生が期待される個所である。

2003年9月から12月までの4ヶ月間での、採泥による底生生物の出現種数は、環形動物門7種(チロリ、ゴカイ等)、節足動物門5種(スナホリムシ、アキアミ等)、扁形

動物門種1種の合計13種であった。盛砂工の試験地内で毎月1回調査を行ったが、調査日別・地点別の出現種数は2~5種、出現個体数は37~144個体/m²で出現種数・個体数ともに透水層の区画の方が多かった。なお底質調査の結果からも、透水層を設置した方が含水比及びORPともに高い傾向にあり、生物棲息に適しているようである。主な出現種は扁形動物門の多岐腸目、節足動物門のヒメスナホリムシであった。また、目視観察による干潟表面の主な出現種は、軟体動物門のイシダミガイ、タマキビガイ、節足動物のシロスジフジツボ、タテジマフジツボ等であった。盛砂施工から約1ヵ月後には底生生物の生息が確認され、冬季においても出現の種数、個体数ともに維持されており、底生生物に良好な底質環境が形成されつつあるものと思われる。

6. おわりに

有明海の干潟環境機能を調べ、その回復・改善策を提言することを目的に、現地で数種の調査研究を実施した。いずれの調査研究も調査開始から約半年間の冬季であり、生物活動が低い時期でもあり、顕著な効果は明確ではないが、改善効果は期待できる結果を得ることができた。今後ともに追跡調査を行い、定量的にも改善効果、改善策を明らかにしていきたい。なお今回の調査研究に際して、「干潟耕耘」は国土交通省九州地方整備局熊本港湾空港整備事務所、「人工干潟の創生」はアジアプランニング㈱及び熊本県、「植栽による干潟改善」は㈱テトラ、「なぎさ線の回復」は農林水産省九州農政局玉名横島海岸保全事業所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

- 田淵幹修・滝川 清・外村隆臣 (2001): 熊本県の海浜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・鈴木敦巳・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), 453 p.
- 原田浩幸・滝川 清 (2002): 有明海干潟底泥の水質浄化機能と物理的攪乱による能力強化に関する研究, 海岸工学論文集, 土木学会, 第49巻, pp. 1121-1125.