

琉球大学学術リポジトリ

[論文] 干潟の堆積物と水質浄化機能に関する一研究：
沖縄島の泡瀬干潟,瀬長干潟,中城モール前海浜を対象
に

メタデータ	言語: 出版者: 沖縄地理学会 公開日: 2018-11-16 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 小浜, 紀子, 廣瀬, 孝 メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/20.500.12000/0002017755

干潟の堆積物と水質浄化機能に関する一研究

——沖縄島の泡瀬干潟、瀬長干潟、中城モール前海浜を対象に——

小浜紀子*・廣瀬孝**

(*〒902-0071 那覇市繁多川5-24-47, **琉球大学法文学部)

I はじめに

1991年現在、日本全国には51,452haの干潟が現存しているが、減少の一途をたどっている。全国で、1978年から1991年の間に消失した干潟面積は4,076haであり、その消滅原因の46%が埋め立てによるものである(環境庁, 1995)。沖縄県においても例外ではなく、1978年から1991年の13年間で242haの干潟が消失した(沖縄県環境保健部自然保護課, 1998)。

このような状況下、干潟が持つ機能が注目され始め、干潟の保護に関する意識が高まってきた。干潟の持つ機能とは、鳥類の餌場・休憩の場としての機能、陸上から流入してくる有機物の浄化機能、貴重な景観機能を持つ場、潮干狩り等のレクリエーションの場としての機能、漁場、教育研究の場としての機能、というものである(たとえば、土屋, 1998)。その中で、浄化機能に着目した研究が盛んになり、自然干潟と人工干潟を比較することによって、自然干潟に近い人工干潟を創造するための研究がなされてきた(たとえば、李ほか, 1997; 木村, 1994a, 1994b)。環境庁自然保護局(1994)によれば、人工干潟の増加と自然堆積物の増加による干潟の拡大は168haにのぼっている。

干潟の持つ浄化機能は、干潟内に生息している生物による働きが大きいとされ、生息している生物を中心とした干潟浄化機能に関する研究が多くなされている(たとえば、清水ほか,

1998; 中田・畑, 1994)。また、生物中心ではなく、干潟堆積物を中心に考察した研究もされている。今岡ほか(1995)は、人工及び自然干潟堆積物の通水実験により、浄化能を比較検討している。三好ほか(1991)は、人工海浜における浄化能力と礫を含む砂の粒径との関係について考察しており、0.15~7mmの範囲では、粒径が大きいほどCODの浄化が進む、と報告している。このように、日本本土に存在している干潟の浄化機能に関する研究は盛んにされているが、干潟浄化機能に関する研究方法が確立されていないため、干潟浄化機能に関しては不明瞭な点が多い。

沖縄県内においては、干潟に生息している生物に関する研究(土屋, 1998)があるが、干潟の浄化機能に関する研究はほとんどない。沖縄島に存在する干潟堆積物にはサンゴ片が含まれ、日本本土の干潟と異なっている。このような干潟堆積物の特性の違い、また、亜熱帯という環境の違いがあるので、本土での研究結果を、そのまま沖縄の干潟に適用できるとは限らない。そこで本研究では、サンゴ礁に囲まれた島嶼である沖縄県における干潟の持ち得る水質浄化能の現状を把握し、干潟の浄化機能と干潟堆積物との関係を明らかにすることを目標に、現地調査および実験的研究からのアプローチを行った。

II 研究対象地域の概要

本研究では、干潟規模と干潟堆積物の特性の

違いを考慮し、泡瀬干潟、瀬長干潟、干潟との比較対象として、干潟の無い中城モール前海浜を研究対象とした。第1図に研究対象地域を示し、以下にそれぞれの地域の概要と選定した理由を述べる。

泡瀬干潟は、沖縄島中部に位置し、中城湾に面している。沖縄県最大の面積（138ha）を有しており、干潟のタイプは前浜干潟に分類される（沖縄県環境保健部自然保護課，1998）。砂礫質の干潟であり、サンゴの破片が目につくのが特徴である。また、干潟内に排水路があり、干潟へ流入した水の水質変化を見ることができると考えた。

瀬長干潟は、沖縄島南部に位置している。泡瀬干潟同様、前浜干潟に分類され、面積は38haの砂泥質の干潟であり、マングローブが生育している。泡瀬干潟と同様に、干潟内に陸域からの汚水が流れこむ排水路があり、排水路からの水質の変化をとらえることができる。泡瀬

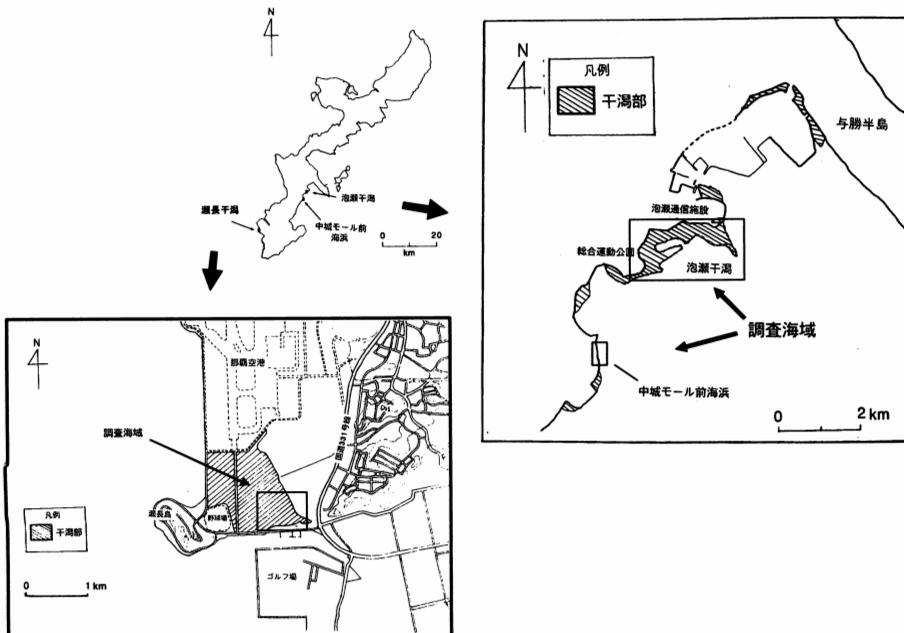
干潟と比較すると、明らかに堆積物の粒径が異なる（細かい）ことが予測されたので、比較対象として選定した。

中城モール前海浜は、泡瀬干潟と同じ中城湾内に位置しており、泡瀬干潟より南側にある。ここでは、水質調査は行わなかったが、中城モール前海浜の砂を、海浜堆積物の持つ水質浄化機能を調べるための通水実験に用いることによって、干潟堆積物との比較対象とした。

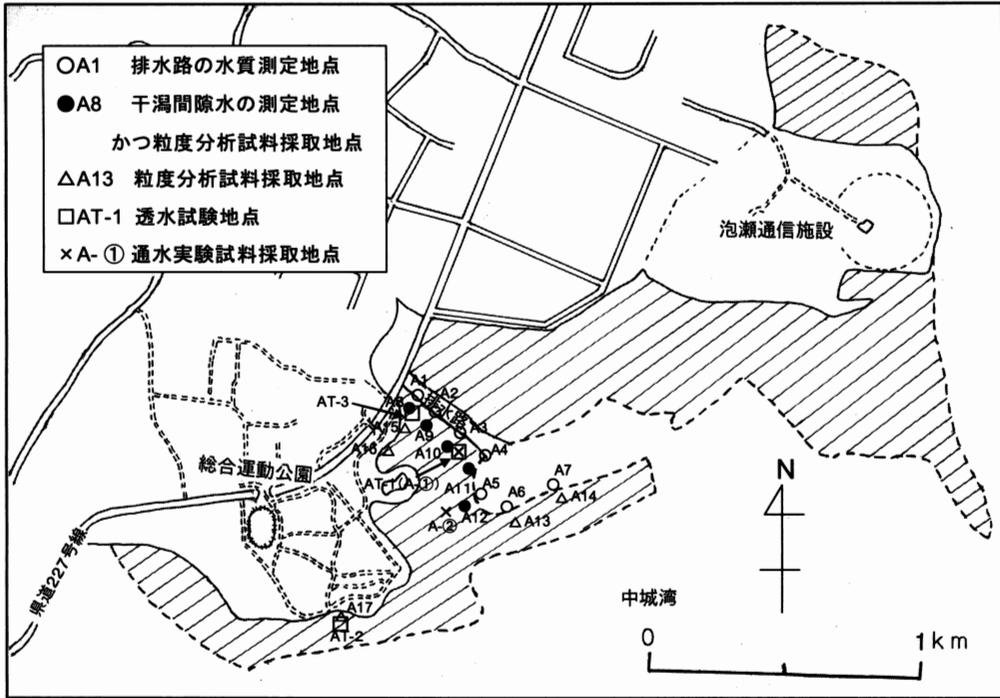
III 干潟堆積物の粒度組成と透水性

1. 干潟堆積物の粒度組成

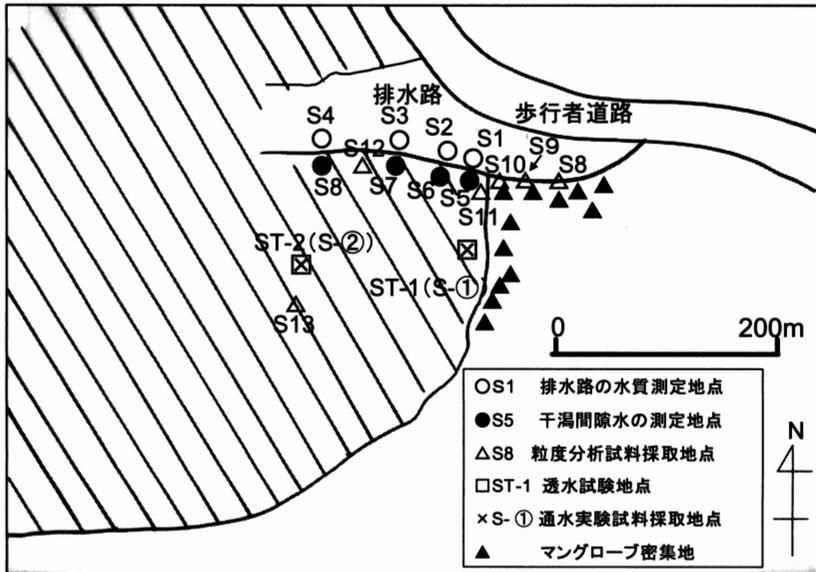
干潟を構成している堆積物の粒度組成を知るため、粒度分析を行った。粒度分析は、泡瀬干潟10地点、瀬長干潟6地点、中城モール前海浜4地点において堆積物を採取し（泡瀬干潟における採取地点は第2図、瀬長干潟は第3図）、ふるい分けで行った。また、後述する透水試験を行った地点の堆積物、および通水実験に用い



第1図 研究対象地域



第2図 泡瀬干潟における水質測定地点，透水試験地点および堆積物採取地点
 (A-①, A-②は透水実験に用いた堆積物採取地点)



第3図 瀬長干潟における水質測定地点，透水試験地点および堆積物採取地点
 (N-①, N-②は透水実験に用いた堆積物採取地点)

た試料も粒度分析を行った。この場合、瀬長干潟の試料は細粒分が多く含まれていたために、沈降法も合わせて行った。

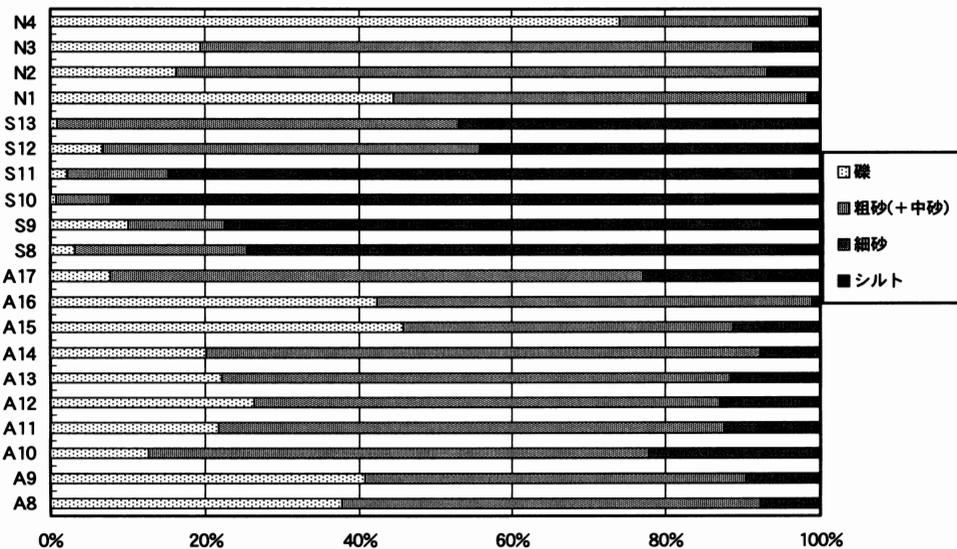
粒度分析の結果を礫 (2mm 以上), 粗砂 (中砂含む) (0.25~2mm), 細砂 (0.063~0.25mm), シルト (0.063mm 未満) の4階級に分け, 第4図に示した。泡瀬干潟の堆積物は, A10, A17地点を除いた全地点において, 礫・粗砂 (中砂含む) が75%以上を占めており, シルト含有率は全地点において, 0.03~0.4%と1%に満たない。瀬長干潟ではS8, S9, S10, S11地点では, 細砂・シルトが70%以上を占めており, このうち, シルト含有率は, 2.8~13.4%であった。これらの地点の礫・粗砂 (中砂含む) の含有率は30%以下であり, S12, S13地点では50%程度と礫・粗砂 (中砂含む) の含有率が高い。シルト含有率はS12地点が1.4%, S31地点が0.8%であった。瀬長干潟堆積物のシルト含有量は0.8%~13.4%であり, 泡瀬干潟堆積物のシルト含有率に比べ高い。中城モール前海浜は, 全地点で礫・粗砂 (中砂含む) の含有率が90

%以上であり, 細砂・シルトの含有率は10%に満たない。このうちシルトの含有率は, 全地点において0.04~0.1%と, 1%にも満たない。

干潟堆積物, 海浜堆積物の粒度組成は, 泡瀬干潟堆積物と中城モール前海浜堆積物がほぼ類似するが, 細砂・シルト含有率は, 泡瀬干潟堆積物の方が中城モール前海浜堆積物より, 若干高くなっている。一方, 瀬長干潟堆積物は, 細砂・シルトの含有率が高く, どの干潟堆積物採取地点においても40%を超えている。また, 礫含有率の高い泡瀬干潟や中城モール前海浜では, 長径5cm程度以上のサンゴ片は多く見られるが, 礫含有率が低い瀬長干潟では, 5cm以上のサンゴ片はほとんど見られなかった。

2. 干潟堆積物の透水性

干潟堆積物の透水性を探るため, 現地において透水試験を行った。泡瀬干潟における透水試験地点はAT-1~AT-3の3地点 (第2図) で, 瀬長干潟ではST-1, ST-2の2地点 (第3図) で行った。また, 比較のために中城モール前海



第4図 干潟および海浜堆積物の粒度組成

(A8~A17: 泡瀬干潟, S8~S13: 瀬長干潟, N1~N4: 中城モール前海浜)

浜でも1カ所 (NT-1) を設定して行った。試験は、直径 10.7cm、長さ 42cm の円筒形の塩ビパイプを、干潟堆積物に垂直に 3cm 程度打ち込み、上から水を注ぎ入れ、浸透していく経過時間と水位を測定する変水位法で行った。

現地で行った透水試験結果を第5図に示す。瀬長干潟においては、泡瀬干潟や中城モール前海浜に比べ透水性が悪く、特に ST-1 地点においては、5400 秒 (90 分) で 5mm の浸透しかなかった。また ST-2 地点では、600 秒 (10 分) で 2cm の浸透であった。また、泡瀬干潟の AT-1 地点と中城モール前海浜の NT-1 地点は、ほぼ同様の傾向で最も浸透速度が速く、75 秒で 30cm 浸透した。泡瀬干潟の AT-2 地点と AT-3 地点も類似しており、150 秒で約 20cm の浸透であった。

透水試験を行った各地点の堆積物の粒径加積曲線を第6図に示した。瀬長干潟の ST-1 地点が最も細粒で、泡瀬干潟の AT-1 地点が最も粗い。中城モール前海浜の NT-1 地点は、粒度組成は AT-2 と類似しているが、透水試験の結果は AT-1 地点と類似している。すなわち、粒度

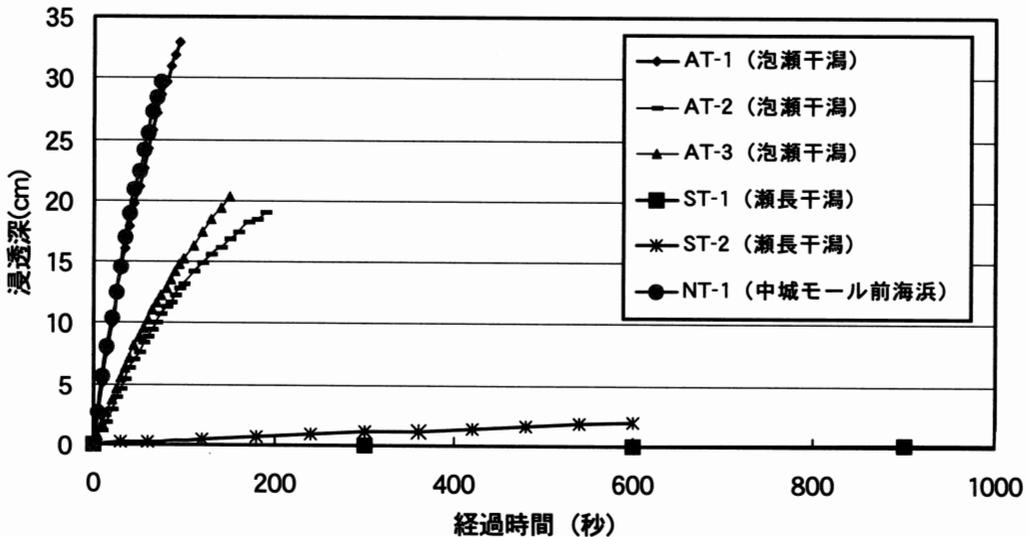
組成が異なっている地点で、透水性が類似している。また、粒度組成が類似する NT-1 地点と AT-3 地点では透水性に差異が見られ、海浜堆積物 (NT-1) より、干潟堆積物 (AT-3) の方が透水性は悪い。瀬長干潟の ST-1、ST-2 地点を比較すると、より粒径の細かい ST-1 地点の方が透水性が悪い、という結果となった。

IV 干潟の水質調査

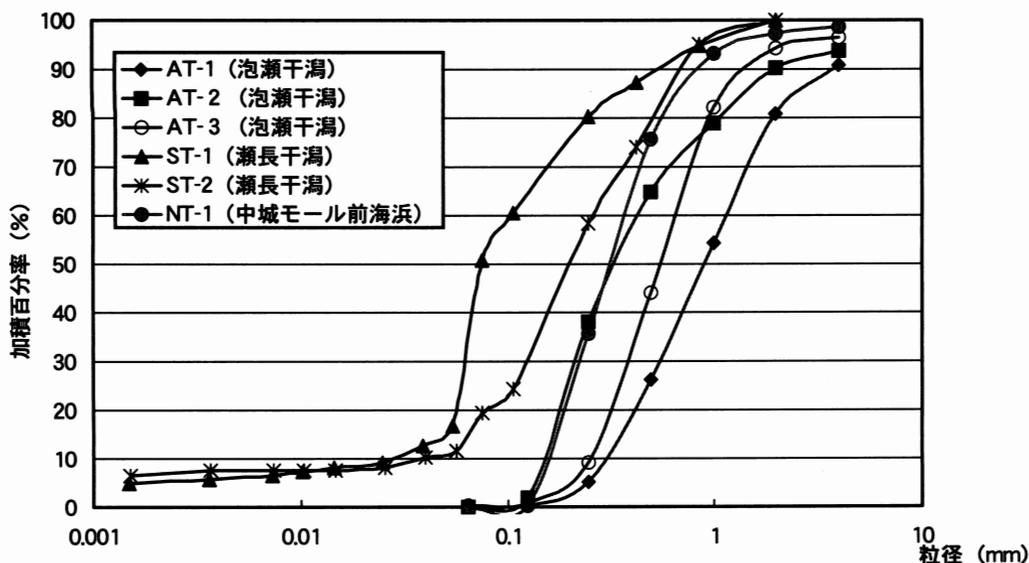
1. 調査方法

干潟の水質浄化機能に関して考察するため、干潟に流れ込んでいる排水路と干潟内部の水質調査を行った。調査は、干潟に流れ込んでいる排水路の水、および干潟堆積物中の地中水 (以後、干潟間隙水と呼ぶ) について行い、水質変化を知るために、護岸のような基準をもうけ、そこからの距離を計測しながら採水した。

2002 年 11 月 8 日に、泡瀬干潟において排水路および干潟間隙水の採水を行った (第2図)。排水路では、護岸を 0m 地点とし、護岸から 40m、90m、150m、220m、300m、400m、600m の7地点で採水した。干潟間隙水は、排水路の



第5図 干潟および海浜堆積物の現場透水試験結果



第 6 図 透水試験を行った地点の堆積物の粒径加積曲線

岸から 5m 離れた地点の干潟堆積物を掘って採取した。2002 年 10 月 25 日に行った排水路における予備調査では、水質は護岸から 150m の間に大きく変化し、150m 地点から先では変化はほとんど見られなかったので、護岸に近い地点では間隔を短く取り、護岸から離れた地点は間隔を長くした。

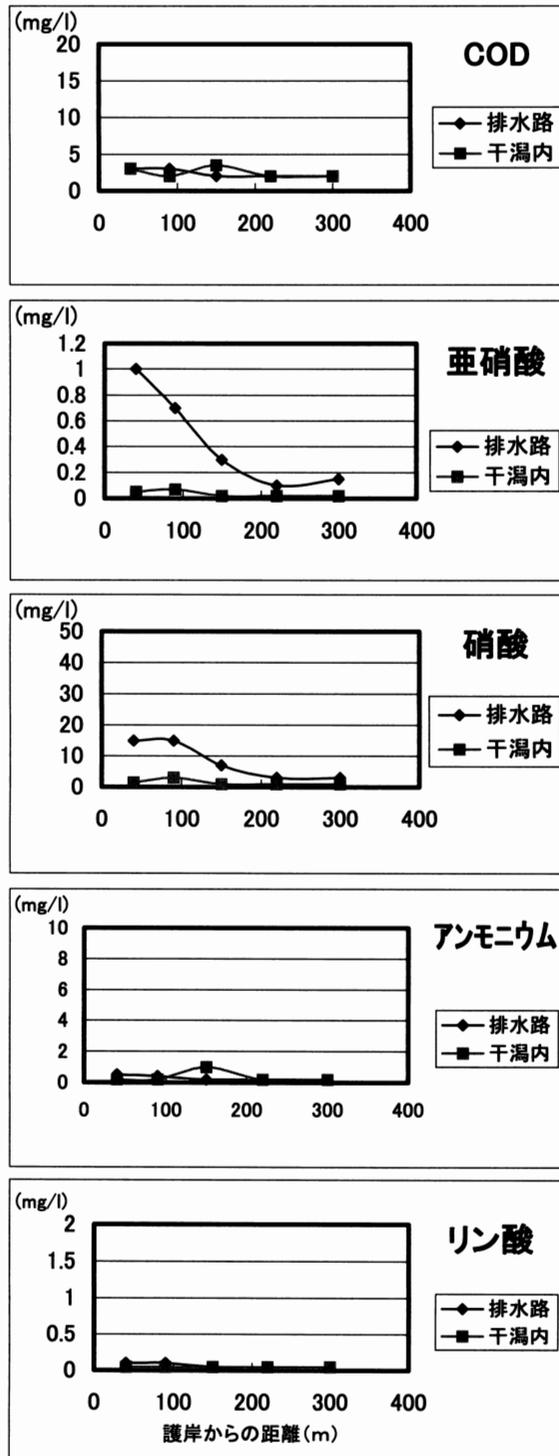
瀬長干潟においては、2002 年 12 月 23 日に、排水路と干潟間隙水の採取を行った（第 3 図）。排水路において、マングローブ密集地の海側の端を 0m (S1) とし（排水口からは約 63m の距離にある）、そこから海側へ 6m (S2)、25.5 m (S3)、50m (S4) の所で採水した。干潟間隙水は、それぞれの地点から南側の干潟に向かって 5m の地点 (S5~S8) でそれぞれ採取した。

採水は 100ml のポリ瓶を使用し、できるだけ密閉した状態で行った。間隙水は、地下水が現れるまで堆積物を掘り、その水を採取した。採取した水を、実験室へ持ち帰り、バックテスト（共立理化学研究所）を用いて水質測定を行った。測定項目は、pH、COD（化学的酸素要求

量）、硝酸 (NO_3)、亜硝酸 (NO_2)、アンモニウム (NH_4)、リン酸 (PO_4) の 6 項目である。また、バックテストによる測定以外に、溶存酸素 (DO)、電気伝導度を適宜測定した。

2. 泡瀬干潟における水質測定結果

泡瀬干潟における 2002 年 11 月 8 日の水質測定結果の内、排水路と干潟間隙水両方のデータがある 300m 地点までについて第 7 図に示した。これを見ると、COD の濃度は、90m 地点から 150m 地点にかけて排水路では 3（水質測定結果の単位は全て mg/l ）から 2 へ減少しているが、干潟間隙水では、逆に 2 から 3 へ増加している。干潟間隙水の COD 濃度は、150m 地点から 220m 地点にかけて 3 から 2 へ減少し、排水路の COD 濃度と同じ値となっている。アンモニウムも COD と同様に、90m 地点から 150m 地点にかけて排水路では 0.5 から 0.2 へ減少したが、干潟間隙水は 0.2 から 1 へと 5 倍に増加した。220m 地点では排水路、干潟間隙水ともアンモニウムは 0.2 である。排水路の亜硝酸は、護岸近くでは 1 であるが、護岸から離れ



第7図 泡瀬干潟における排水路と干潟間隙水の水質

るにつれて減少し、220m地点では0.02未満となる。干潟間隙水の亜硝酸は、護岸からの距離によって大きな差は見られず、どの地点でもほぼ0.02~0.07の値を示している。排水路の測定結果と比較すると、干潟間隙水の亜硝酸はどの地点でも排水路より小さな値を示し、特に護岸からの距離が短い地点で、その差が大きい。硝酸は、排水路では護岸近くで15であるが、護岸から離れるにつれて大きく減少し、220m地点から海側では1未満となる。干潟間隙水の硝酸の値は、護岸からの距離によって大きな差は見られず、ほぼ1.0~3の値を示しており、どの地点でも排水路の硝酸の値より小さい。特に、護岸からの距離が短い地点でその差が大きい。このことは、硝酸と同様な傾向となっている。排水路のリン酸は、90m地点から220m地点にかけて0.1から0.05未満に減少している。干潟間隙水のリン酸は、護岸からの距離によって変化が見られず、全ての地点において0.05未満の値を示している。

排水路では、護岸から離れるにつれて測定した全成分の減少傾向が認められ、特に90m地点から220m地点にかけての減少が最も大きかった。一方、干潟間隙水では、排水路の成分で見られた距離とともに減少する傾向は認められず、CODとアンモニウムでは増減が見られ、それ以外の成分は護岸からの距離によらず、ほぼ一定の水質を示している。また、硝酸、亜硝酸、リン酸の濃度は、どの地点でも干潟間隙水の方が、排水路より低い。

3. 瀬長干潟における水質測定結果

2002年12月23日の瀬長干潟における水質測定結果を第8図に示す。CODの値は、排水路が10~20であるのに対し、干潟間隙水は4~6と、干潟間隙水の水質が明らかに低い。亜硝酸は、排水路で0.1~0.2であるのに対し、干潟間隙水は0.02未満であった。硝酸は、排

水路で2~5であるが、干潟間隙水は1未満と、ほとんど含まれていなかった。アンモニウムは、排水路で2~5であったのに対し、干潟間隙水は0.2~0.5であった。リン酸は、排水路で0.5であったが、干潟間隙水は0.05~0.1と低い値を示した。

排水路の水質と干潟間隙水の水質は、どの項目においても値に距離による変化は見られなかったが、どの項目も排水路より干潟間隙水の値が、明らかに低くなっている。

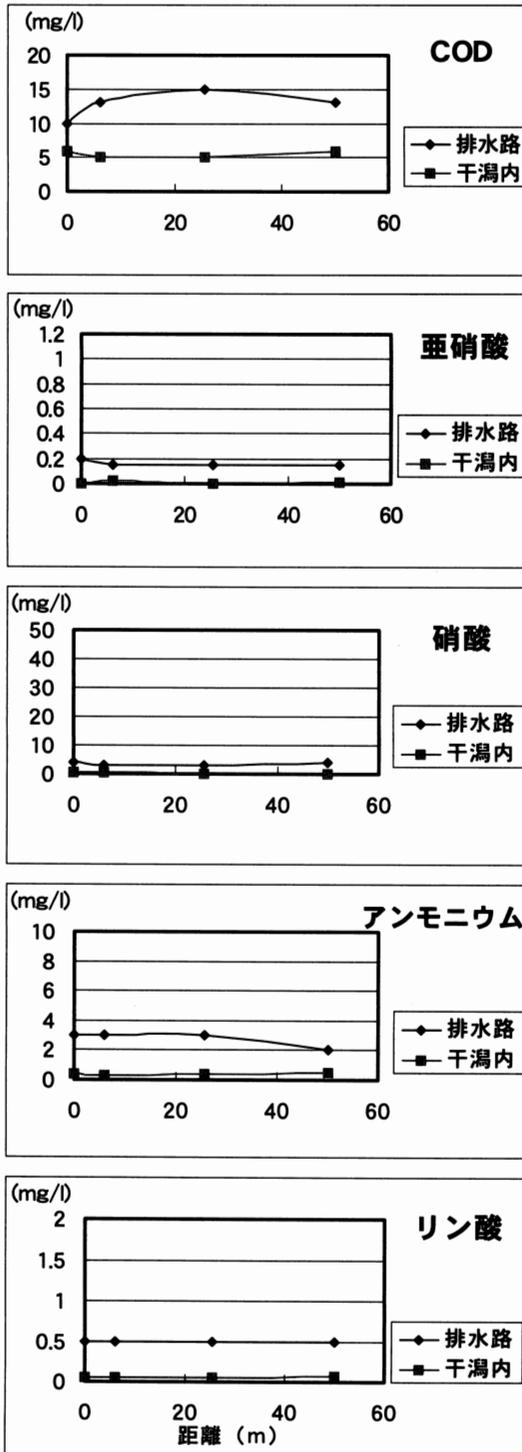
V 通水実験

1. 実験方法

干潟堆積物そのものが持つ、水質浄化機能を探るため、調査地において採取した堆積物を用いて、通水実験を行った。実験に用いた試料は、泡瀬干潟はA-①とA-②（採取地点は第2図）で、瀬長干潟はS-①とS-②（第3図）で、比較のため、中城モール前海浜でN-①とN-②と、それぞれの対象地域で2試料ずつを用いて行った。このうち、A-①、S-①、S-②、N-①は、透水試験を行った地点の試料である。通水実験の手法は以下のとおりである。

容積500cm³、直径7cm、長さ13.5cmの円筒状の容器に、直径2.5mmの穴をドリルで12個あけ、この容器の底にろ紙を敷き、堆積物を5cmの厚さで詰めた。同じ容器に直径1.5mmの穴を30個あけたものを、先に示した堆積物を詰めた容器の上に乗せ、人工海水を流し入れ、堆積物に浸透させた。通水開始からの経過時間と、堆積物を通過して底から染み出てくる海水の量および水質を測定した（写真1）。これを4回繰り返し、5回目以降は人工汚水を使って同様の通水実験を4回繰り返し、計8回の通水実験を行った。そして、通過前と通過後の水質を比較した。水質は、現地では採水した水の水質測定と同様に、バックテストを用いて測定した。人工海水は、蒸留水に人工海水の素を混ぜたも

干潟の堆積物と水質浄化機能に関する一研究



第 8 図 瀬長干潟における排水路と干潟間隙水の水質

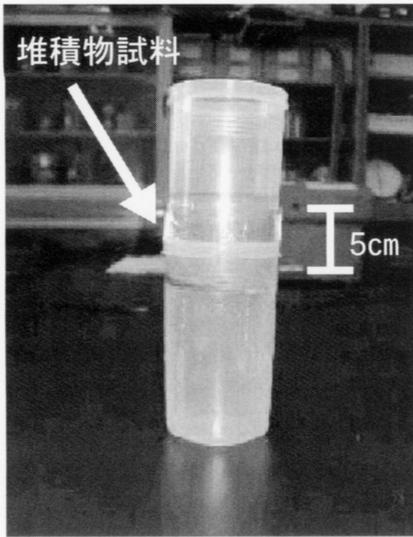


写真1 通水実験の様子

第1表 人工海水および人工汚水の水質

	pH	COD (mg/l)	亜硝酸 (NO ₂) (mg/l)	硝酸 (NO ₃) (mg/l)	アンモニウム (NH ₄) (mg/l)	リン酸 (PO ₄) (mg/l)
人工海水	8.43	6.0	0	0	0.2	0
人工汚水	8.21	16.5	45<	1<	2~5	0.1

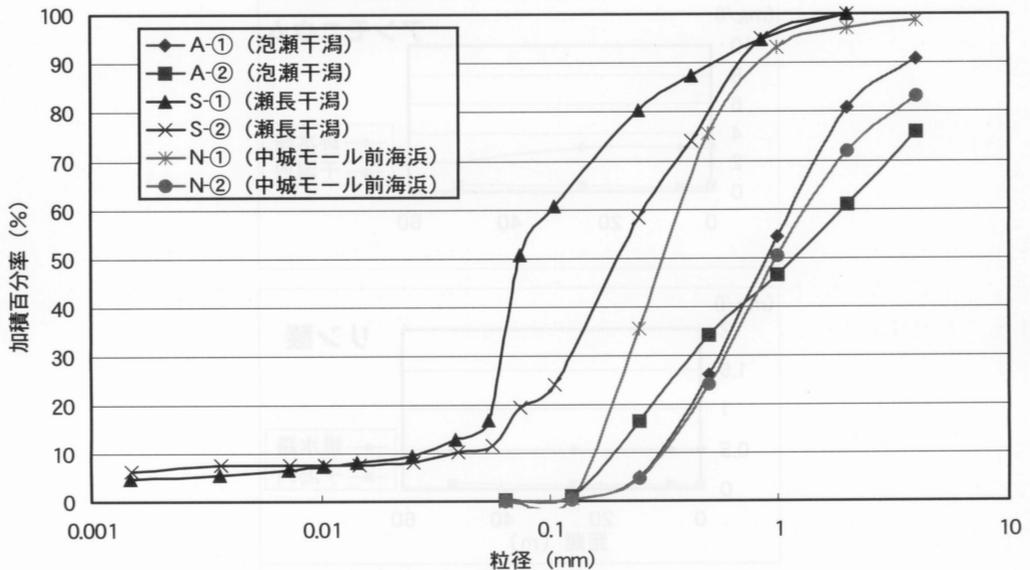
2. 実験に用いた試料の性質

第1表に、通水実験に用いた、試料通過前の人工海水と人工汚水の水質を示す。人工海水では、COD、アンモニウム以外は含まれないが、人工汚水では、全ての成分が含まれ、特に亜硝酸、硝酸の濃度が高い。また、通水実験に使用した堆積物試料について、第9図に粒径加積曲線を示す。瀬長干潟のS-①が最も細粒で、泡瀬干潟のA-①が最も粗い。中城モール前海浜のN-②は、泡瀬干潟のA-①と粒度組成が類似している。

ので、人工汚水は、糸満市西崎にある排水口から排出されている下水に、人工海水の素を混ぜたものである。

3. 通水後の水質変化

それぞれの回における通水完了後の、堆積物試料を通過した水の水質測定結果を第2表に示



第9図 通水実験に使用した堆積物の粒径加積曲線

第2表 通水実験における水質測定結果

測定項目	試料	通水前の水質	人工海水通水後の水質				通水前の水質	人工汚水通水後の水質			
		(人工海水)	1回目	2回目	3回目	4回目	(人工汚水)	1回目	2回目	3回目	4回目
COD (mg/l)	A-①	6	10	4	6	1	16.5	5	6	13	13
	A-②	6	2	3	1	1	16.5	2	6	10	6
	S-①	6	6	4	11	4	16.5	×	16.5	30	15
	S-②	6	4	×	×	×	16.5	×	×	×	×
	N-①	6	2	6	6	2	16.5	3	14	6	7
	N-②	6	6	3	2	2	16.5	3	6	6	13
亜硝酸 (mg/l)	A-①	0	0.2	0.1	0.02	0.05	1<	0.35	1<	1<	1<
	A-②	0	<0.02	<0.02	<0.02	0.02	1<	0.5	1<	1<	1<
	S-①	0	0.15	0.2	<0.02	<0.02	1<	×	<0.02	<0.02	<0.02
	S-②	0	0.1	<0.02	<0.02	<0.02	1<	×	0.1	1	0.2
	N-①	0	0.02	<0.02	<0.02	<0.02	1<	0.2	1<	1<	1<
	N-②	0	0.02	<0.02	<0.02	<0.02	1<	0.4	1<	1<	1<
硝酸 (mg/l)	A-①	0	15	5	1	2	45<	10	45<	45<	45<
	A-②	0	<1	<1	<1	0.5	45<	15	45<	45<	45<
	S-①	0	2	5	<1	0.5	45<	×	×	×	×
	S-②	0	2	<1	<1	<1	45<	×	2	45	3.5
	N-①	0	2	<1	<1	<1	45<	10	45<	45<	45<
	N-②	0	2	<1	<1	0.5	45<	15	45	45	45
アンモニウム (mg/l)	A-①	0.2	1.5	0.2	0.2	0.2	3.5	0.5	2	3.5	3.5
	A-②	0.2	0.2	0.2	0.2	0.5	3.5	1	2	2	3.5
	S-①	0.2	1	3.5	0.5	1	3.5	0.2	0.2	0.5	2
	S-②	0.2	0.5	0.2	0.2	0.2	3.5	0.2	0.2	0.35	0.35
	N-①	0.2	1	0.2	0.2	0.2	3.5	0.5	3.5	3.5	3.5
	N-②	0.2	0.5	0.2	0.1	0.1	3.5	0.5	2	2	2
リン酸 (mg/l)	A-①	0	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	0.1	<0.05	<0.05	—	<0.05
	A-②	0	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	0.1	<0.05	<0.05	—	<0.05
	S-①	0	<0.05	<0.05	—	<0.05	0.1	<0.05	<0.05	—	<0.05
	S-②	0	<0.05	—	<0.05	<0.05	0.1	<0.05	<0.05	—	0.35
	N-①	0	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	0.1	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
	N-②	0	0.05	<0.05	—	0.05	0.1	<0.05	0.05	—	0.05

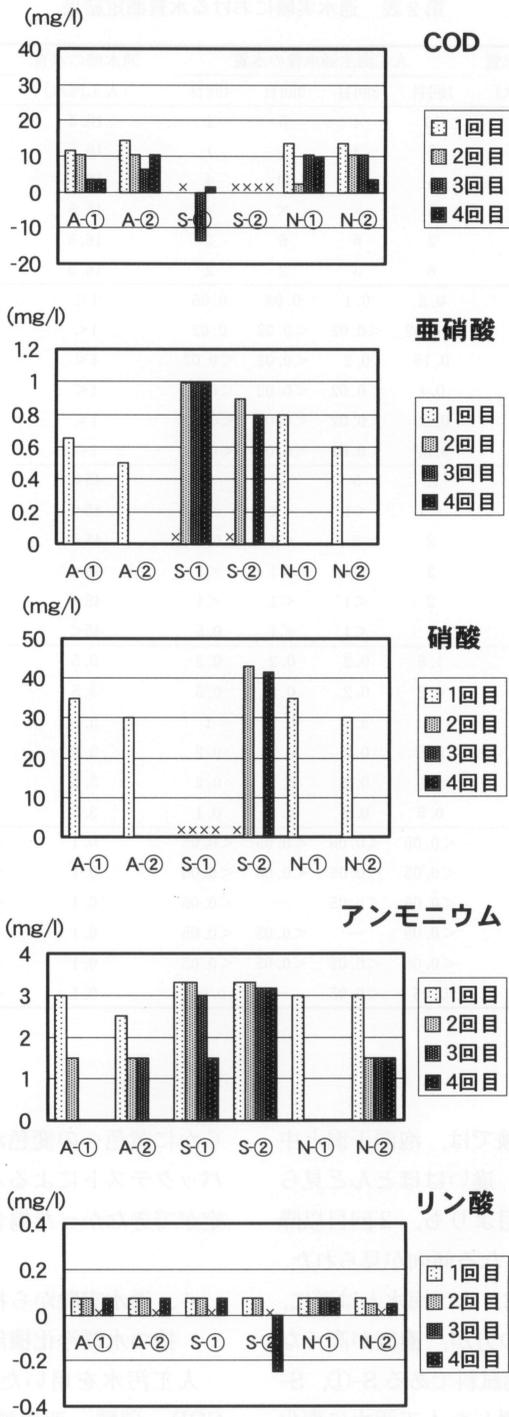
×：測定不可能，—：測定せず

す。人工海水を用いた実験では、泡瀬干潟と中城モール前海浜において、違いはほとんど見られなかった。また、1回目よりも、2回目以降の通水の方が、濃度が低くなる傾向が見られた。人工汚水を用いた実験では、人工海水とは逆に、1回目よりも2回目以降の方が、濃度が高くなる傾向であった。瀬長干潟試料であるS-①、S-②の実験では、試料を通過した人工汚水に変化が見られた。通過前の人工汚水は、多少濁っているように見えるだけであったが、通過後は明

らかに黄色への変色が確認できた。そのため、パックテストによる水質測定は困難を極め、測定ができなかった場合もあった。

4. 通水実験から推定される干潟堆積物が持つ水質浄化機能

人工汚水を用いた実験において、通過前のCOD、硝酸、亜硝酸、アンモニウム、リン酸の濃度と、堆積物通過後の測定値との差を減少量、すなわち浄化量と考え、第10図に示した。



第 10 図 通水実験における試料通過後の濃度の減少量 (×は測定不可能などで計算不可能のため値無し)

A-①において、CODは、1回目の通水による減少量が11.5と最も大きく、2回目10.5の減少、3、4回目ともに3.5の減少と、回を重ねる毎に減少量は小さくなる傾向があった。亜硝酸は、1回目に0.65の減少が見られたが、2回目以降の減少量は0であった。硝酸は、1回目は35の減少量で、2回目以降の減少量は0であった。アンモニウムは、1回目3の減少、2回目は1.5の減少で、3、4回目ともに0.5の減少量であった。リン酸は、3回目に計測しなかった以外の全ての回で0.08の減少であった。

A-②において、CODは、1回目の通水による減少量が14.5と最も大きく、2回目10.5の減少、3回目6.5の減少、4回目10.5の減少であった。亜硝酸は、1回目に0.5の減少が見られたが、2回目以降の減少量は0であった。硝酸は、1回目は30の減少、2回目以降の減少量は0であった。アンモニウムは、1回目2.5の減少、2、3回目ともに1.5の減少で、4回目3の減少量であった。リン酸は、3回目に計測しなかった以外の全ての回で0.08の減少であった。

S-①において、CODは、1回目は測定不可能で、2回目0であった。3回目は13.5増加した。4回目は1の減少であった。亜硝酸は、1回目は測定不可能で、2回目と4回目の減少量は0.99であった。硝酸は、4回全ての回で測定できなかった。アンモニウムは、1、2回目とも3.3の減少、3回目は3.0の減少で、4回目は1.5の減少量であった。リン酸は、3回目に計測しなかった以外の全ての回で0.08の減少であった。

S-②において、CODは、4回とも測定不可能であった。亜硝酸は、1回目は測定不可能で、2回目0.9の減少、3回目は減少は見られず、4回目は0.8の減少であった。硝酸は、1回目は測定不可能で、2回目43の減少、3回目は減少は見られず、4回目42.5の減少であった。アンモニウムは、1、2回目とも3.3の減少、3、4

回目は約3.2の減少量であった。リン酸は、1、2回目とも0.08の減少で、3回目は計測せず、4回目は0.65の減少であった。

N-①において、CODは、1回目の通水による減少量が13.5最も大きく、2回目は2.5の減少、3回目10.5の減少、4回目ともに9.5の減少であった。亜硝酸は、1回目に0.8の減少が見られたが、2回目以降の減少量は0であった。硝酸は、1回目は35の減少量で、2回目以降の減少量は0であった。アンモニウムは、1回目3の減少、2回目以降の減少量は0であった。リン酸は、4回全ての回で0.08の減少であった。

N-②において、CODは、1回目の通水による減少量が13.5と最も大きく、2、3回目10.5の減少、4回目3.5の減少であった。亜硝酸は、1回目に0.6の減少が見られたが、2回目以降の減少量は0であった。硝酸は、1回目は30の減少量で、2回目以降の減少量は0であった。アンモニウムは、1回目3の減少、2回目以降の減少量は1.5であった。リン酸は、1回目は0.08の減少で、2回目は0.05減少、3回目は計測せず、4回目は0.05の減少量であった。

水質測定項目別にみていくと、CODに関しては、泡瀬干潟試料よりも、中城モール前海浜試料の方が、減少量は大きいという結果となった。瀬長干潟では逆に増加傾向が見られた場合がある。泡瀬干潟、中城モール前海浜における亜硝酸は、1回目の通水で減少したのみで、2回目以降は減少が見られなかった。N-④の減少量が最も多く0.8であった。S-①は1回目の通水後の水は計測不可能で、2~4回目ともに1の減少量であった。硝酸に関しては、亜硝酸と同様の結果になった。アンモニウムは、各地点でばらつきがあり、A-①やN-①では1回目では2.5の減少、2回目以降は1の減少が確認できた。S-①では、3回目の通水まで2.5以上の減少量であったが、4回目は1の減少量であっ

た。リン酸についてみると、N-②以外は同様の結果で、下水人工海水に含まれているリン酸はほとんど除去された。通水回数による変化は、ほとんど見られなかった。N-②は2回目、4回目0.05未満と、減少量が半分に減少した。

VI 考 察

1. 通水実験に関する考察

実験に用いた人工海水には、硝酸、亜硝酸は含まれていないが、干潟堆積物・海浜堆積物通過後の水には含まれていた。このことは、干潟堆積物・海浜堆積物中に含まれていた硝酸、亜硝酸が溶出したものと考えられる。

人工汚水を用いた実験では、泡瀬干潟堆積物と中城モール前海浜堆積物を比べると、測定した全水質の減少量に差異が認められなかった。亜硝酸、硝酸、アンモニウムは、瀬長干潟で最も大きな値を示した。窒素の分解過程である脱窒素反応は、脱窒素菌とよばれるバクテリアが、酸素の少ない環境で硝酸の酸素を酸素の代わりに利用して、不用になった窒素を窒素ガスとする反応である（佐々木，1990）。したがって、酸素供給の乏しい環境にある瀬長干潟堆積物では、窒素の減少量は多くなると考えられる。その結果、瀬長干潟において、硝酸、亜硝酸の減少量が多くなったものと考えられる。

また、瀬長干潟堆積物を用いた実験では、CODの値が通水後、増加したことがある。瀬長干潟堆積物と泡瀬堆積物・中城モール前海浜堆積物を比較すると、粒径が大きく異なっている。泡瀬干潟堆積物と中城モール前海浜堆積物の粒径は類似しているが、瀬長干潟の粒径は際立って細かく、透水性も悪い。これらのことが、酸素供給の状態に影響し、それが、CODの値に反映したのではないかと考える。

次に、透水速度の違いを考慮してみると、瀬長干潟堆積物は透水性が極めて悪い。堆積物を通過する透水速度が、泡瀬や中城モール前海浜

堆積物の18倍以上遅く、そのため、生物の働きを大きく（長く）受けたのではないかと推測される。泡瀬や中城モール前海浜堆積物は、2時間以内に通水は完了し、2時間の通水時間では、生物が水に反応する時間として短いと思われる。したがって、CODの減少量が、泡瀬と中城モール前海浜で多いのは、生物の影響よりも、堆積物への吸着によるものであると考えられる。

リン酸の減少量は、どの堆積物を用いた実験においても大きな差異は見られなかった。リン酸の浄化は生物による影響はほとんど受けず、堆積物粒径に左右される（三好ほか，1991）ので、リン酸の減少は堆積物への吸着によるものであると考えられる。本実験では、N-②（中城モール前海浜堆積物の一地点）だけリン酸の減少量が少なくなっているが、類似した粒径を持つA-①（泡瀬干潟堆積物）のリン酸の減少量は一定であった。従って本実験からは、リン酸の堆積物への吸着と堆積物粒径との関係は見出せなかった。

2. 水質測定からみた干潟の水質浄化機能

ここでは、泡瀬干潟と瀬長干潟の粒径の違いと、排水路、干潟間隙水の水質との関係を考察する。

データは示していないが、瀬長干潟で2002年11月3日に行った調査では、排水口から海側へ離れるに従い、硝酸、亜硝酸以外の水質の値は減少していた。瀬長干潟排水路の硝酸は、海側で排水口の約1.3倍、亜硝酸は海側で排水口の3倍になり、窒素に関する水質は、排水口から海側へ増加する傾向が見られた。一方、泡瀬においては全ての項目が減少していた。排水口での値を干潟への供給量と考え、泡瀬では、硝酸の供給量は瀬長干潟の6倍以上、亜硝酸の供給量は5倍であり、窒素の供給量は高いが、排水口から海洋へ離れるに従い、硝酸は海側で

排水口の15分の1、亜硝酸は海側で排水口の50分の1に減少している。このことから、泡瀬干潟堆積物のほうが、窒素に関する浄化能力が優れているのではないかと見える。今岡ほか(1995)によれば、浄化量は、汚れの度合いが大きくなればなるほど増加するという。瀬長干潟では、排水口から海側へ増加してしまっているため、窒素の浄化能力は、瀬長干潟と泡瀬とでは泡瀬の方が明らかに高い浄化能力を持っているといえ、粒径の粗い干潟堆積物のほうが窒素を浄化する能力があると示唆される。佐々木(1990)によれば、干潟堆積物内における窒素の交換は、全て生物学的プロセスであるという。したがって、粒径の大きな泡瀬干潟堆積物に、硝酸や亜硝酸の分解に関わる生物が多く存在していると推測される。

しかし、窒素を分解する生物は酸素の少ない還元層(嫌気層)に存在する。瀬長干潟は粒径が細かく、透水性が悪いため、酸素が多い酸化層が薄い。そのため、表層近くに嫌気性生物が多く生息する還元層が形成され、酸素の供給がされにくい瀬長干潟の窒素浄化能力は高くなると思われる。このことは通水実験で認められ、通水実験からは、瀬長干潟で窒素に関して高い浄化能力を持っていることが示唆された。

このように窒素の浄化能力は、干潟の水質結果と通水実験の結果とで、逆となった。瀬長干潟堆積物は透水性が悪いため、上述したように、酸化層が薄く、透水性の高い泡瀬干潟や中城モール前海浜堆積物は、酸化層が厚いと考えられる。通水実験に使用した堆積物採取は、地表面から2~5cmの深さで行った。そのため、窒素分解に関わる生物の生息する還元層が、瀬長干潟では含まれたが、酸化層の厚い泡瀬干潟や中城モール前海浜堆積物では、含まれなかったとも考えられる。実際に生息している生物量はわからないが、現場の水質測定結果からは、泡瀬干潟で窒素分解に関与している生物量が多いと考えら

れる。

泡瀬干潟における排水口のCODは 3mg/l 、瀬長干潟では 20mg/l と、泡瀬と瀬長干潟とで大きな差異が認められる。前述したように、汚れの度合いが大きいほど、浄化量も増加する。瀬長干潟では、CODは排水口から海側へ20から9に減少するのに対して、泡瀬干潟では、CODは排水口から海側へ3から2への減少であり、瀬長干潟と比べ浄化量は小さい。CODは酸素の供給量の影響を大きく受けることを考えれば、透水性の高い泡瀬干潟のCODの浄化能力は、瀬長干潟と比べ高いことが推測される。このことは、通水実験の結果に反映している。しかし、現場では、干潟への供給量の違いもあり、瀬長干潟の方が、浄化能が高いという結果になった。

一つの干潟でも、地点によって堆積物の粒径は異なり、粒径の異なった地点における間隙水の水質に差異が見られた。たとえば、2002年11月8日の泡瀬での調査では、アンモニウムとCODが、護岸から150m海側へ離れたA10地点の干潟間隙水において、排水路よりも高い値を示した。A10地点以外の地点では、アンモニウムの値が 0.2mg/l であるが、A10地点のみアンモニウムの値が 1mg/l であり、A10地点以外の地点の5倍の値を示す。A10地点の粒度組成は、それ以外の地点と比べ、細砂が多く含まれており、粒径が細かい。粒径が細かいと、透水性が悪いと推測され、そのため、酸素の供給量が少ないと考えられる。このように、堆積物の粒径が関係しているのではないかと考える。

本調査では、干潟間隙水の流動については見ておらず、従って、同一の水の水質変化をとらえたとは言えないかもしれない。しかし、一つの側線上での干潟間隙水の水質の状態を把握することはできた。泡瀬干潟と瀬長干潟の干潟間隙水の水質には、大きな差異はなく、両干潟とも干潟間隙水の水質が、排水路の水質と比べ低

い値を示した。また、海岸に近い地点でも、海岸から離れた地点においても干潟間隙水における水質に、大きな差異は認められなかった。

Ⅶ おわりに

本研究では、面積が大きく砂質な泡瀬干潟と、面積が小さく泥質な瀬長干潟、および比較対象として、中城モール前海浜を研究対象として、水質浄化能に関する調査を行った。本研究から明らかになった結果は以下の通りである。

1. 粒径の大きい砂質の泡瀬干潟堆積物の方が、粒径の細かい瀬長干潟堆積物に比べて、透水性は非常に良い。また、中城モール前海浜の堆積物は、粒径、透水性ともに泡瀬干潟と同程度である。ただし、粒径が大きければ透水速度が速いとは必ずしもならず、密度、間隙率、生物量などによる粒子の固着の程度など多くの要因が関係していると思われる。

2. 排水路における水質調査では、排水口よりも海側の方が、汚染指標の濃度は低い。また、干潟間隙水の方が、排水路よりも汚染指標の濃度は低い。海水と混じることによる拡散効果も考慮する必要はあるが、現場の干潟において、実際に水質浄化機能が働いていることが確認されたといえる。

3. 人工汚水を用いた通水実験によると、泡瀬干潟や中城モール前海浜では、1回目では、浄化能が作用したが、2回目以降、その働きはあまり確認できなかった。一方、瀬長干潟では、2回目以降も浄化能の働きが、確認できた。したがって、瀬長干潟の堆積物の水質浄化能が大きいという結果が得られた。これは、オーダーが大きく異なる透水性の悪い瀬長干潟では、試料中に長く水が滞留し、そのため浄化作用が長く働いたためと思われる。ここで得られた浄化能は、堆積物そのものが持つ単位体積当たりの浄化能と考えられる。しかし、大きく異なる通水速度に関しては考慮しておらず、浄化速度は

求めていない。

実際の浄化能を考える場合、堆積物の持つ浄化能力と、そこを通過する水の速度も考慮される（すなわち浄化速度を知る）必要がある。しかし、本研究では、干潟内の水の流動については考慮しておらず、今後の課題である。

また、今回行った通水実験では、同じ濃度の人口汚水を4回全ての通水に使用した。供給される汚れの度合いが大きくなれば、浄化量も大きくなる（今岡ほか、1995）。つまり、浄化量は供給水質によって大きく左右されるので、水質を変えての通水実験を試す必要がある。更に、本研究では、干潟堆積物中に生息している生物に関する調査はできなかった。干潟の浄化機能は、干潟堆積物中に生息している生物量と深い関係があるので、生物量も合わせて計測し考察をすれば、泡瀬干潟と瀬長干潟の通水実験における浄化量の違いに関して、より説得力のある考察ができたと思われる。

はじめに述べたように、干潟の浄化機能は注目されており、自然干潟が埋め立てられている一方で、人工干潟の造成が目立ってきた。人工干潟は自然干潟と比較するとバランスのとれた生態系が成立しないため、自然干潟と比べ浄化能は劣るという（今岡ほか、1995）。人工干潟の創造も大切だが、自然干潟を保護することが最も重要なことではないだろうか。

本研究を進めるに当たり、琉球大学法文学部地理学教室の前門 晃教授には、多くの有益な助言をいただき、また、現地調査の協力や参考資料の提供をしていただきました。琉球大学法文学部地理学教室学部生の平山静香氏、林 賢太郎氏には、現地調査に協力していただきました。また、地理学教室の先生、学生、院生の方々には、多くの助言をいただきました。心よりお礼申し上げます。なお、本研究は著者の一人である小浜紀子が2003年に琉球大学法文学部に提出した卒業研究を骨子

に加筆・修正したものである。

文 献

今岡 務・塩谷隆亮・亀井幸一（1995）：人工干潟の水質浄化能に関する実験的検討。用水と廃水，**37**，978-985。

沖縄県環境保健部自然保護課（1998）：『自然環境の保全に関する指針（沖縄島編）』沖縄県，893ページ。

環境庁（1995）：『平成6年版 環境白書 総説』。

環境庁自然保護局（1994）：『第4回自然環境基礎調査 海岸調査報告書 全国版』。

木村賢史（1994a）：人工干潟（海浜）の水質浄化機能（1）。水，**36**，23-36。

木村賢史（1994b）：人工干潟（海浜）の水質浄化機能（2）。水，**36**，20-29。

佐々木 克之（1990）：干潟を活用した窒素・リンの除去。用水と廃水，**32**，38-43。

清水 徹・平岡 喜代典・李 正奎・西嶋 渉・向

井徹雄・滝本和人・岡田光正（1998）：広島湾における干潟の水質浄化能に関する研究——有機物の分解特性について——。水環境学会誌，**21**，421-428。

土屋 誠（1998）：『沖縄の干潟生態系の環境機能評価に関する研究』平成7年～平成9年度科学研究費補助金（基盤研究）研究成果報告書。

中田 喜三郎・畑 恭子（1994）：沿岸干潟における浄化機能の評価。水環境学会誌，**17**，158-166。

三好泰彦・大島 奈緒子・木村賢史・嶋津暉之・紺野良子（1991）：人工海浜の浄化能力について（その3）——底質による水質浄化能力の相違——。東京都環境科学研究所年報，1991-2，117-123。

李 正奎・西嶋 渉・向井徹雄・滝本和人・清水 徹・平岡 喜代典・岡田光正（1997）：自然および人工干潟における構造と有機物分解能の比較——広島湾におけるケーススタディ——。水環境学会誌，**20**，175-184。