

石垣島アンパル干潟開口部における 浮遊性大型有機物の交換に関する計測

MEASUREMENT OF THE EXCHANGE OF FLOATING ORGANIC MATTER AT THE OUTLET OF AMPARU TIDAL LAGOON

河内敦¹・入江光輝²・石川忠晴³

Atsushi KAWACHI, Mitsuteru IRIE and Tadaharu ISHIKAWA

¹学生員 東京工業大学大学院総合理工学研究科 (〒226-8502 横浜市緑区長津田町4259)

²正会員 博(工) 科学技術振興機構研究員 (〒226-8502 横浜市緑区長津田町4259)

³フェロー 工博 東京工業大学大学院教授 総合理工学研究科 (〒226-8502 横浜市緑区長津田町4259)

The floating organic matter exchange between reef and tidal flat is an important factor to keep the nutrients balance of whole water environment.

In this study, characteristics of floating matter exchange between the reef and the tidal lagoon was investigated based on field experiment and survey. It was found that floating matter accumulation along the shore line makes significant impact on the total organic flux from the reef to the lagoon. The floating matter trap which can be set on fast current was innovated. Flood tide and ebb tide transport different kind of floating matter; marine products and mangrove products respectively. Flooding from the river reduces the sea products transportation during flood tide.

Key Words: Tidal lagoon, Organic matter transportation, Seagrass, Mangrove

1. 序論

(1)はじめに ～研究背景～

石垣島アンパル干潟は名蔵川と名蔵湾の間に位置する潟湖干潟である。アンパル干潟の生物相は非常に多様¹⁾²⁾, それらの摂食活動により有機物や栄養塩が固定化され, 海域の貧栄養状態を適度に保つ役割も担っている。

干潟に生息するベントスによる有機物分解や栄養塩摂取による浄化機能に関する研究は, 近年盛んに行われている³⁾⁴⁾⁵⁾⁶⁾。しかし, その一方で, 干潟生物相の成り立ちには他水域からの有機物等の供給によって支えられていると考えられることから, 外部からの物質供給の仕組みについても同時に考える必要がある。

アンパルの海域への開口部は, 干潟全体の広がりに対してかなり狭窄している。そのため, そこを通過する有機物量は前浜干潟や河口干潟と比較すると把握しやすい。

また, 筆者らが他の目的で行った現地観測⁷⁾⁸⁾の際に観察した限りでは, マングローブのリター(陸起源)やアマモの切れ端(海起源)などが潮汐流に乗って多量に往来していた。さらに干潮時にそれらが干潟に堆積すると, 分解者のキバウミナヤドカリが群がっている様子が見られた(写真-3)。これらのことからリターやアマモ片のような浮遊性の大型有機物の流入流出の特性を把握することが, アンパル干潟の豊かな生物相と物質循環システムを理解する上で重要であろうと筆者らは考えた。

そこで本研究では, 後に述べるように新たに考案した採取装置を用いて, 干潟と海域の狭窄部において浮遊性大型有機物の流入流出の計測を試みた。浮遊性の大型有機物は溶存態あるいは微細懸濁態に比べて計測がかなり困難な対象であることから, 現段階では必ずしも完全な計測とは言えないが, いくつかの興味深い知見が得られたので計測法とともに報告する。

(2)現地の状況

アンパル干潟は北西側に名蔵湾への開口部(St.1), 東側に名蔵川の流入(St.2)を持つ(図-1)。東側にはマングローブ林が広がり, 前述の2点以外にもマングローブ林に続く流入口(St.3,4)があり, 滞りが形成されている。筆者らはSt.1~4に水位・流速計を設置し, 潮汐により干潟を出入りする流量を連続計測した(図-2)。その結果, St.1の流量が最も多く, したがって, 有機物の交換についてもSt.1における流出入量が支配的であると推測された。

そこで, 本研究では名蔵湾への開口部St.1での浮遊性の大型有機物の移動に注目して調査を行い, 海域と干潟の間での交換特性について考察を行った。

このとき, 筆者らは海域から干潟に流入してくる浮遊性大型有機物には大きく分けて2成分あると考えた。海岸線では波の影響で水際に浮遊物が集積されやすい。その集積された浮遊物が上げ潮とともに干潟にも流入してきている可能性がある。一方で, 集積されずに単純に海域に浮遊しているものも当然流入してきている。筆者ら

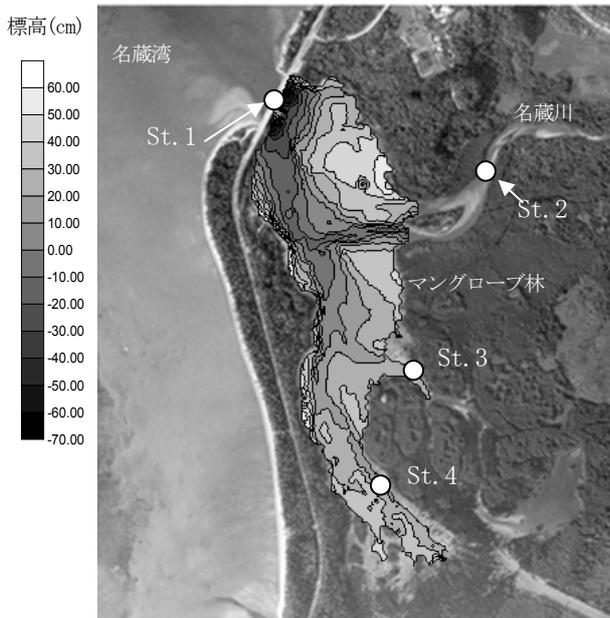


図-1 アンバル干潟の概要(干潟内は地形コンタが示してある)

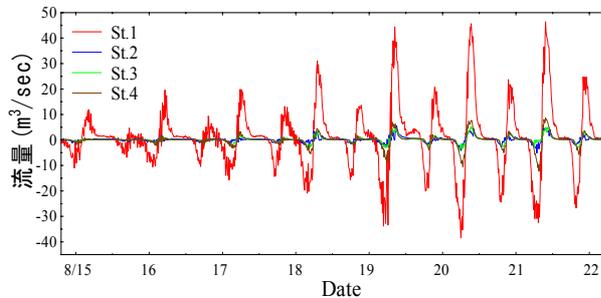


図-2 St. 1~4の流量時系列(水路⇒干潟⇒海域を順流)

はこれら浮遊性有機物の動態をモデル化し、将来的に流動数値シミュレーションにより干潟内の底床有機物濃度分布の形成とそれに準じた生物分布の説明をしようとしている。それを視野に入れ、これら2成分を分離してそれぞれの輸送特性の把握を試みた。

以下ではまず初めに、海側に広がるリーフにおいて集積された浮遊物の流入特性を把握するために、リーフにトレーサーを散布して観測を行った。さらに狭窄部における有機物通過量を把握するための捕捉装置を考案し、比較的高い時間分解能で浮遊物の流出入量を捉え、それと水量との関係性について考察を行った。

2. 海域のリーフにおける浮遊有機物の動態

干潮時のリーフ内にトレーサーをばら撒き、上げ潮時に名蔵大橋上からそのトレーサーの干潟への流入状況を観察した。以下にその観測方法の概略と結果・考察について述べる。

(1) トレーサーの散布と当日の状況

2004年11月13日13:00~14:00の干潮時にトレーサーと



写真-1 マングローブのリター(落ち葉, 胚芽種, 花卉等)



写真-2 海域から流れ込む有機物の中心となるアマモ



写真-3 干潮時に有機物に群がるキバウミナとヤドカリ

して着色した割り箸を干出しているリーフの底面の図-3に示す地点に散布した。なお、位置の同定には、DGPS(Trinble社製: Asset Surveyor TSC1)を用いている。その後、名蔵大橋(St.1)上に移動し、上げ潮時間帯(15:00~18:00)にトレーサーが流入してくる時刻を記録した。また、散布地域ごとに色を違え、どの地帯のトレーサーがいつ流入してきたか把握できる。この期間、水路中央に水位計(Diver: 大起理化学工業社製)と流速計(Compact-EM: アレック電子社製)を設置し、連続計測している。

(2) 結果と考察

写真-4に流入してくるトレーサーを大橋上から撮影したものを示す。このように、トレーサーの周囲には浮遊性有機物とともに波打ち際でタンパク質のススキミングによってできた気泡も見られる。このことからトレーサーは上潮時の水際線の上昇とともに波打ち際の浮遊物集積に含まれていき、集積された他の浮遊物とともに干潟に流入してきたと考えられる。これらのフロックは干潟に流入する際には流心部を帯状に連なりながら流れ込んでいた。図-4にトレーサーの流入状況と水位および流速時系列を示す。潮位が30cmに達したときに北岸側の大部

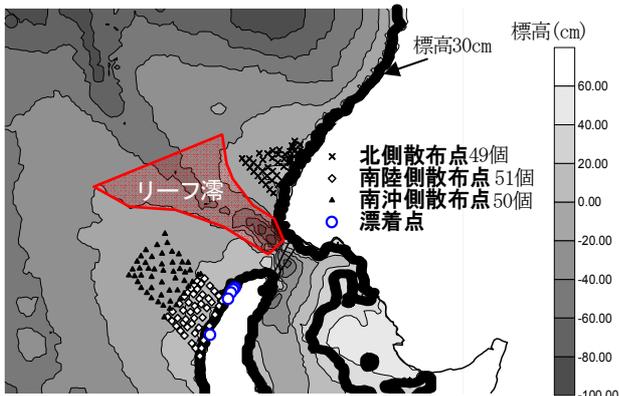


図-3 海側リーフ地形図と浮遊物トレーサー散布状況

分のトレーサーが流入してきている。図-3に太線で標高30cmの等高線を示す。これより海水が干潮時に干出していたリーフをほぼ完全に覆った時にトレーサーが干潟に流入していると考えられる。

図-4において干潟に流入した大部分が北岸側のトレーサーであった。上げ潮時のリーフに生じる流れは、(i)風による吹送流と、(ii)底床地形による流れの二つが考えられる。当日の石垣島気象台では南風9mが観測されていたが、それによる吹送流の影響は小さく、南岸側のトレーサーの大部分(計34本)は開口部より南の砂浜に打ち上げられた。したがって、(ii)の流れが卓越して北岸側のトレーサーを藩筋に輸送し、干潟に流入させた可能性が高い。開口部からリーフに掛けての流れ場については、今後、現地観測や数値計算により検討していきたいと考えている。

3. St. 1における浮遊有機物の捕捉

(1) 浮遊有機物捕捉装置

赤松ら⁹⁾はマングローブ林と河道間のリター輸送に注目して河道内に簡易な捕捉装置を設置して河道通過量を観測している。しかし、St.1の狭窄部では河道と比較して数倍の水量が出入りし、最大流速は1m/secに達するので、同様の装置を設置しても流されると考えられた。

そこで、大流速にも耐えうる図-5に示す浮遊物捕捉装置を考案した。フレームの材質は市販の塩ビパイプ(VP16)で、ブイを固定した縦軸の下部に各々約1kgの鉛の錘をつけ、水中でフレーム全体が縦になる。このフレームをアンカーで固定するが、接合部を拡大図のようにして水位が変化しても流れの中でフレームが常に縦になるように工夫した。

このフレームに塩ビパイプに網(ナイロン製4mm正方形目)を取り付けたものをバックルで取り付け、容易に着脱できるようにした。ネットおよびフレームの大きさは幅5m×高さ50cmで、ネットをフレームに設置した際には下部30cmが水中に水没し、表層30cmまでの浮遊物を捕捉することができる。

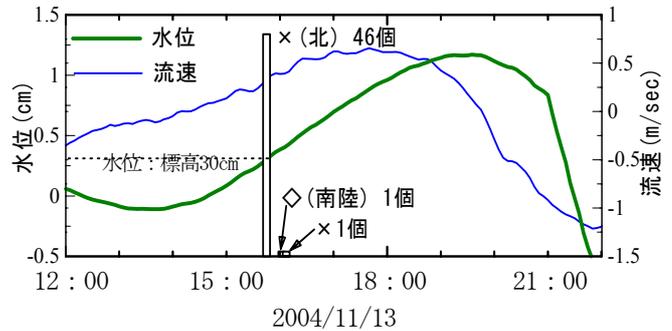


図-4 トレーサーの流入と水位及び流量の時間変化



写真-4 一過的に干潟に流入してくる有機物

この装置2セットをSt.1の主流部に図-6に示す位置に設置した。最大流速時付近の流れの中の装置の状況を写真-5に示す。観測の際に網をフレームから着脱して交換するが、2名の水面作業者が外した網を橋上から3名の陸上作業者が引き上げ、橋上から新しい網を下ろして水面でフレームに固定するという作業工程を取った。なお、水面作業者は別途設けたアンカーに掴まりながら作業を行ったが、1m/sec前後の流れの中でも問題なく作業できた。計測間隔は15~30分とし、一回の計測で網を入れる時間は、捕捉した有機物が網目を埋め、スクリーン化して抵抗が大きくなるため、捕捉状況によって5~20分とした。また、前章同様に水位・流速を連続計測するとともに塩分計(Compact-CT:アレック電子社製)を設置した。

陸上作業者は引き上げた有機物を順次梱包し、一日の現地作業終了後、それぞれ天日干した。その後、研究室に輸送し、乾燥炉にて完全乾燥させ、海起源(アマモおよび他種海藻等)と陸起源(マングローブリター、胚芽種等)に分別して計量した。

(2) 観測結果

図-7, 8に捕捉された浮遊性有機物の時系列を起源別に示す。観測は2004年8月18~22日の上げ潮を対象に3回、下げ潮を対象に1回行った。なお、同一日に上げ潮下げ潮の両観測を行うことは浮遊物を捕捉した影響が後の観測結果に影響を及ぼすと考えて避けている。8/18は17:50ごろに捕捉装置に異常が生じて観測を停止している。また、8/19は観測前に降雨があつて少量ではあるが河川からの出水があり、その影響で上げ潮時の浮遊有機物流入の傾向が異なっている。8/19,20は日没により19:30で

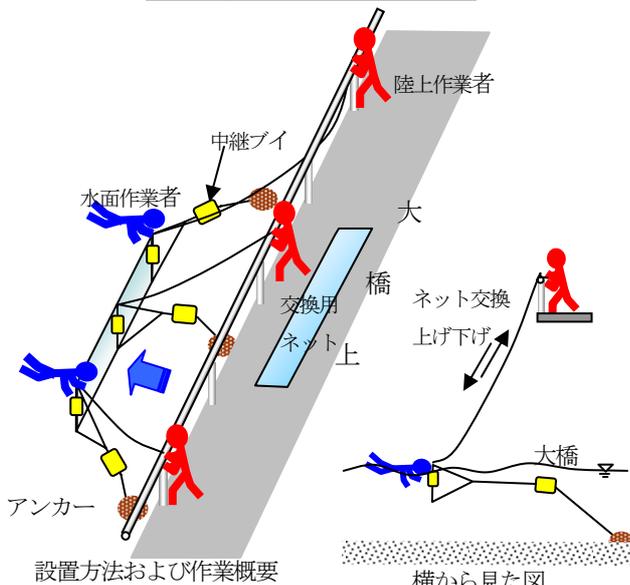
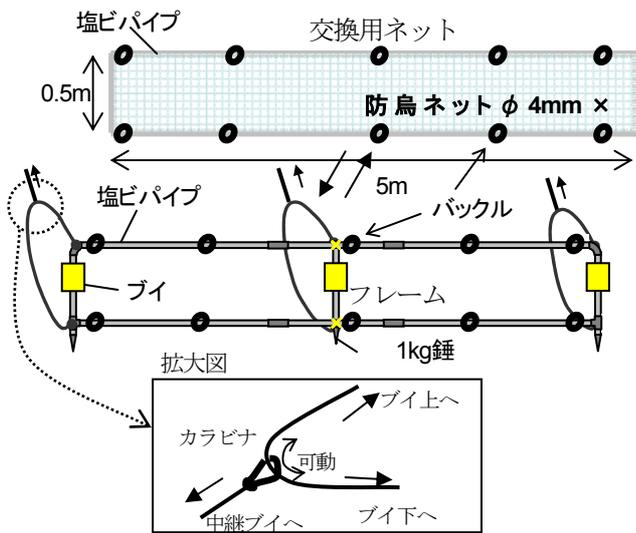


図-5 浮遊物捕捉装置の概略および設置方法と作業概要

終了し、満潮位までの観測は行っていない。

網の交換等に時間を要するため、計測結果が間欠的であるが、棒グラフの幅が観測時間を、長さがその間の浮遊有機物の平均捕捉量を、面積が一回の計測で捕捉された浮遊物の総乾燥重量を示す。図-7, 8には各期間の水位・流量及び塩分濃度時系列も示している。上げ潮時には主に海起源の浮遊物が流入(平均時間通過量39.4g/min)している。一方、下げ潮時には主に陸起源の浮遊物が多く流出しており、海起源の浮遊物は下げ潮の前半には上げ潮と同程度見られる(34.1g/min)が、後半は激減している(3.14g/min)。これは、下げ潮前半は、上げ潮後半に干潟に流入した海起源の浮遊物が干潟中央付近で沈降せず、下げ潮に乗って再び流出するが、上げ潮前半に流入したものは、干潟奥の浅瀬部に到達し、下げ潮時に干潟面上に残されていくため、その後半では流出が見られないものと考えられる。すなわち、海域で生産された浮遊物は干潟へ、干潟およびマングローブ林で生産された浮遊物は海域へと移動し、移動後、それぞれの場で拡散もしくは沈降し逆方向への移動量は比較的少ないことがわかる。

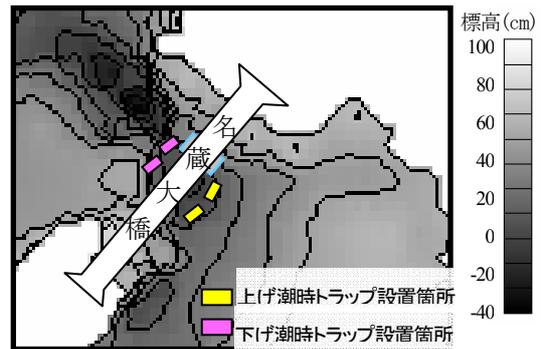


図-6 浮遊物捕捉装置の設置箇所



写真-5 設置の様子(左:遠景 右:拡大)

(3) 波により集積された成分の分離と水量との関係

前章の結果から波打ち際で集積された浮遊物は水位が標高30cm前後に達した時に一過的に流心部を帯状に連なって流入する。したがって水路中央に設置した捕捉装置にもこの成分が捕捉されていると思われる。

そこで、今回の浮遊物捕捉結果についても水位が25cm~35cmの間に捕捉された結果は除外し、その他の結果は集積を受ける前後の海面付近を浮遊しているものであると考えた。そして、これらの観測結果と水量との関係性について考察することとした。なお、図-7, 8中、黒矢印で示したデータが集積効果を受けた浮遊物を含むとして除外したデータである。

集積効果を受けた浮遊物を除外した分について、St.1で計測された流量との相関を調べた(図-9)。以下では平水時上げ潮(8/18,20), 出水後上げ潮(8/19), 平水時下げ潮(8/22)に分けて考察する。平水時上げ潮時の単位時間あたりに開口部を通過した海域起源有機物乾燥重量と流量は優位な相関を見せ(決定係数 $R^2=0.768$)ほぼ線形関係となった。このとき近似直線の傾きが浮遊物含有率を示すが、その値はほぼ一定であった。このことから波による集積を受けた成分を除くと、遠浅のリーフにはほぼ均等に浮遊物が浮遊しており、それが上げ潮とともに干潟に流入してきていると思われる。

出水後上げ潮時は陸起源、海起源共に流量と有意な相関は得られなかった。これは、出水によってリーフに浮遊している有機物が沖側に押し出されたためであると考えられるが、出水の影響については次節で別途述べる。

平水時下げ潮時は流量がある値を越えると陸域有機物の

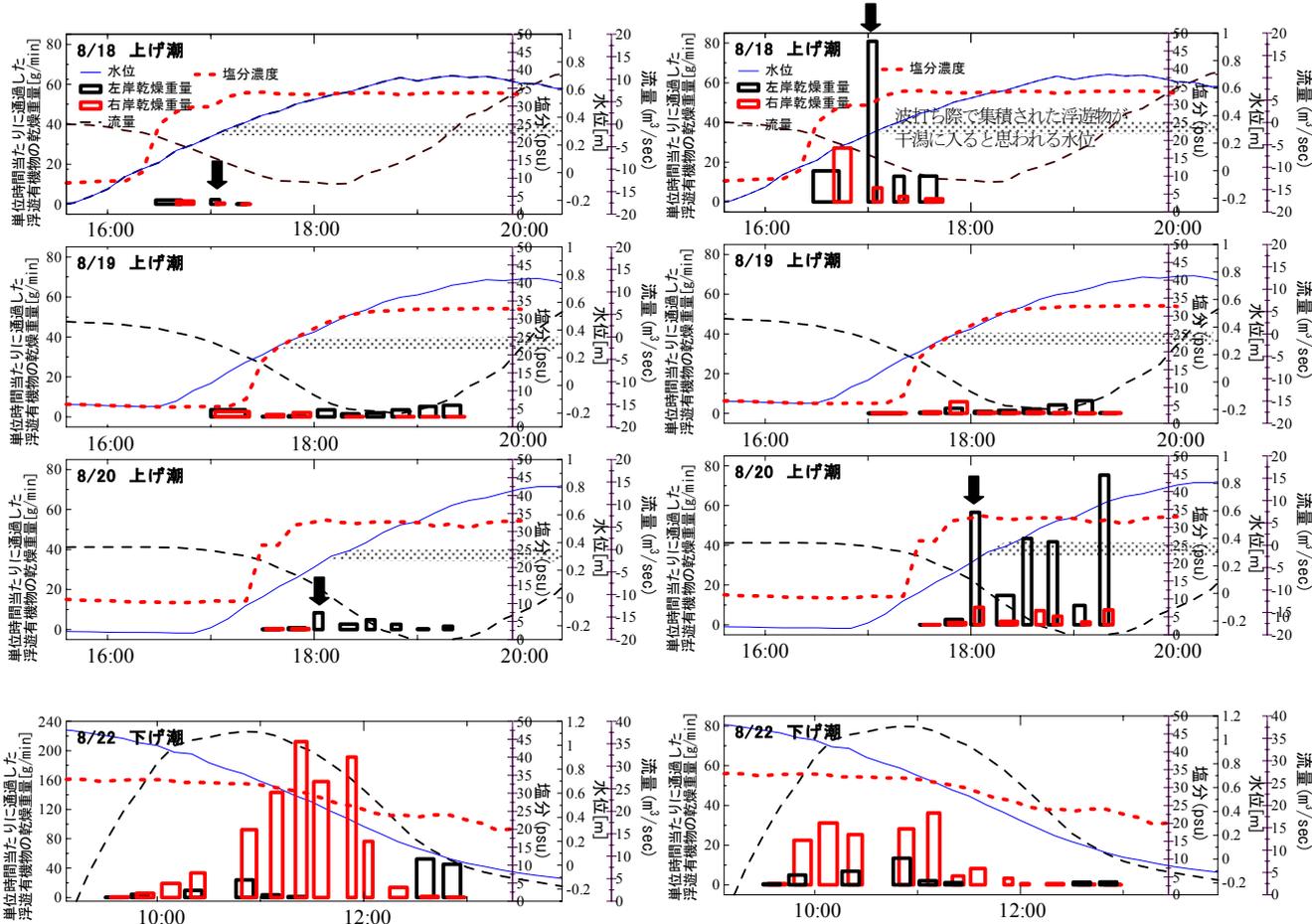


図-7 陸起源浮遊物流入時系列(流量は干潟→リーフが正)

図-8 海起源浮遊物流入時系列(流量は干潟→リーフが正)

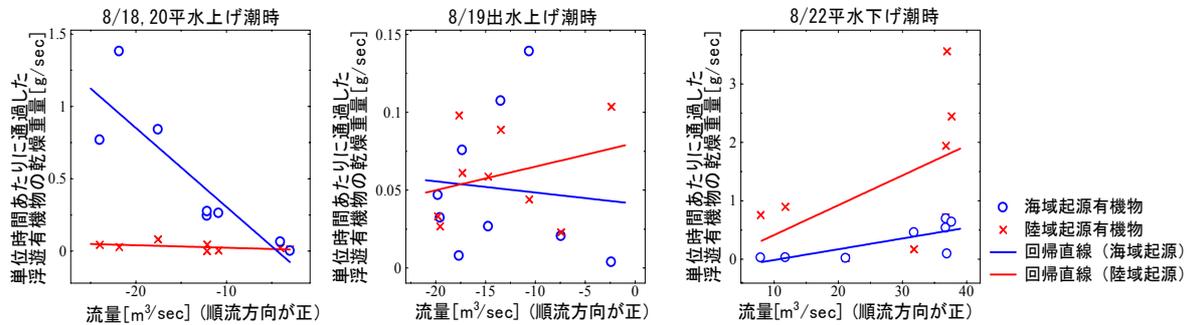


図-9 浮遊有機物別乾燥重量と流量の相関

流出が急激に増加している。図-7において流量上昇期には浮遊物の流出量は少なく、中盤の大流量の安定した時間帯に多量に流出し、後半はまた流出量が減少する。前半に浮遊物量が少ないのは上げ潮後期に干潟に流入した分がすぐに戻ったためと考えられる。その後、一度名蔵川に遡上してマングローブ林内の氾濫原に広がっていた水が河道を通じて干潟に出てくる中盤には、林内から多量のリターが輸送されてくる。終盤には水位が低下して氾濫原の地盤高以下になり、リターの河道への輸送が停止してSt.1における浮遊物量が減少したと思われる。

(4) 出水による影響

8/19の9:00~15:00に20mm程度の降雨があり、名蔵川流域からの小さな出水があった。図-8に示したように8/19

の海起源浮遊物流入量は他の日に比べて少ない。このとき、出水した水が海水とあまり混合せず再遡上し、海起源浮遊物があまり輸送されなかった可能性がある。

出水と海水の混合を抑制する要因として、リーフ濤の地形的効果が考えられる。干潮時にはリーフは陸地化し、濤部だけが水路状になる。したがって出水した水はこの水路に海水と混合しないまま貯留され再遡上してくる。図-8においても8/19は水位上昇に対して塩分上昇が遅れている。そこで、上げ潮時の流量と塩分の時系列から淡水の再遡上量を求め、濤部の貯留量と比較した。表-1の(i),(ii)にその結果を示す。(i)は干潮位(標高-12cm)時を想定し、リーフ濤部分(図-3)の体積を求めた。(ii)は潮位の上げ始めからSt.1で計測した塩分の立ち上がりまでの間の流量を時間積分した。両者は概ね一致し、リーフ濤に

表-1 リーフ濬部貯留量と出水量及び干潟容量

	[m ³]
(i)リーフ濬への干潮時貯留量	3,616
(ii)上げ潮初期のSt1への淡水流入量	3,786
(iii)降雨時総出水量(8/19)	48,302
(iv)上げ潮 総流入量 (8/19 17:10~20:00)	130,636
(v)総河川遡上流量 (同上)	36,726
(vi)満潮時 (8/19 20:10) 干潟内総水量(干潟容積)	103,129

よる淡水貯留により海水との混合が抑制されたと考えられる。上げ潮前半で浮遊物が流入しなかった理由はこの淡水貯留の効果であると考えられる。

次に、この濬に貯留された淡水量を、出水全体水量および満潮時の干潟の貯留量と比較する。濬部に貯留された淡水量は(iii)総出水量の1割以下で、残りの9割程度は濬部に貯留されずに先の海域に流れ出ている。上げ潮時の流入塩分時系列を見ても、貯留分の淡水が遡上した後は海水とほぼ同等の濃度の塩水が遡上していることから、この大量の淡水は海水と混合していると考えられる。また、(iii)出水量は(vi)干潟容積の約半分程度であり、出水の影響を全く受けていない海水も相当量流入しているはずであるから海起源の浮遊物が流入してもよいと思われる。しかし、一方で海水が流入してくるフェーズにあっても海起源浮遊物は観測終了時まで増加しなかった。この理由は以下のように推察される。

濬部を抜けた淡水は、成層化して表層を流れて海域に広がる。海水表層付近に元々浮遊していたアマモや他の海藻の破片はこの淡水の流入によって沖側に押し出される。その後、波浪や風などの影響で成層が崩れ、上げ潮時にはほぼ海水化して海起源浮遊物を含まない水が干潟に遡上する。成層化の影響により出水時の淡水による海起源浮遊物の沖への押し出しの影響は面的に非常に大きく、したがって、出水量以上の水が干潟に遡上してきても浮遊物はあまり含まれていなかったと思われる。

以上は一つの推測であるが、今後出水時の淡水の挙動について詳細に把握、検証していきたいと考えている。

4. 結論

本研究ではアンパル干潟とその周辺海域の間の浮遊性有機物輸送に関する観測を行い、以下の結果を得た。

(1) 干潮時にリーフにトレーサーを散布し、干潟へのトレーサーの流入を観測したところ、水位が標高30cmに達したところで多くのトレーサーが一過的に流入した。このことから、波打ち際にできる浮遊物のフロックが上げ潮に乗って水際線とともに這い上がり、その一部がまとまって干潟へと流入すると考えられる。

(2) 最大流速1m/sec程度でも計測可能な浮遊物捕捉装置を考案し、アンパル干潟出口で観測を行った。その結果、海起源の浮遊物が干潟に入るとその大部分は干潟内で沈降等により定着し、再度海域に戻る割合は少ない。

(3) 海域から流入する浮遊物量は流量との相関が高かった。したがって、遠浅のリーフにはほぼ均等に浮遊物が浮遊し、上げ潮とともに干潟に入ると考えられる。

(4) 事前に出水があった場合の上げ潮時には海域から流入する海起源の浮遊物量が著しく減少した。これは海域に流れ出た淡水が表層付近を成層化して流れ、海起源有機物を沖側に押し出したためであると推測された。

謝辞：本研究は河川環境管理財団の河川整備基金の助成のもとで行われた。記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 環境庁自然保護局：平成11年度名蔵川河口地域自然環境保全調査報告書、2000
- 2) 諸喜田茂充、藤田喜久ほか：石垣島名蔵川マングローブ域と流入河川における甲殻類の生態分布と現存量、内閣府委託事業マングローブに関する調査研究報告書、亜熱帯総合研究所、pp.97-111, 2002.
- 3) 木村賢史、三好康彦、嶋津暉之、赤沢 豊：人工海浜の浄化能力について (2)、葛西人工海浜及びその地先における底生動物の現況とその浄化能力の検討、東京都環境科学研究所年報、pp. 141-150, 1991.
- 4) 松川康夫：内湾域における物質輸送機構と窒素、磷の収支と循環に関する研究。中央水産研究所研究報告、1, pp. 1-74. 1989.
- 5) Baretta, J. and P. Ruardij ed. : Tidal flat estuaries simulation and analysis of the Ems Estuary, 中田喜三郎訳、沿岸生態系の解析II、干潟の生態系モデル。生物研究社、東京、pp. 373. 1995.
- 6) 青山裕晃・鈴木輝明：干潟上におけるマクロベントス群集による有機懸濁物除去速度の現場測定、水産海洋研究、61, pp. 265-274, 1997.
- 7) 石神卓美、入江光輝、石川忠晴：石垣島アンパル干潟における巣穴数計測によるカニ類の生息分布の評価と考察、水工学論文集、第49巻、pp.1489-1494, 2005
- 8) 入江光輝、河内敦、石神卓美、石川忠晴：石垣島アンパル干潟に優占して生息する数種類のカニの生息環境について、環境システム研究論文集、Vol.33, 2005.(掲載予定)
- 9) 赤松良久、池田駿介、中嶋洋平、戸田祐嗣：現地観測に基づくマングローブ水域における有機物・栄養塩輸送に関する研究—大潮期に着目して—、土木学会論文集、No.698/II-58, pp.69-80, 2002.

(2005. 9. 30受付)