

(34) 蒲生干潟における干潟堆積物一直上水間の懸濁態有機物の輸送特性

Transportation Characteristic of Particulate Organic Matter between Sediment and Overlaying Water in Gamo Tideland

幸福 智*, 坂巻隆史**, 野村宗弘*, 市村 康***, 木村賢史****, 西村 修*

Satoshi KOFUKU*, Takashi SAKAMAKI**, Munehiro NOMURA*

Yasushi ICHIMURA***, Kenshi KIMURA****, Osamu NISHIMURA*

ABSTRACT; Field observation has been carried out to evaluate the relationship between sediment and transportation characteristic of organic matter by calculating the organic carbon flux of sediment per day at the different sediment area of Gamo tideland during November, 2003. From the results, the settling of organic matter per day in sand area was confirmed. The filter feeder was considered to effect the settling of particle matter. The settling of organic matter in mud area and the erosion of organic matter in sand-mud area per day were occurred. As the result, the balance of organic substance in sand-mud sediment area was decreased. In addition, by using Acoustic Doppler Current Profiler (ADCP) for evaluating the transportation characteristic in short time of particle matter, it was found that the erosion was occurred rapidly at the high current velocity of flood tide while the settling was occurred at the low current velocity.

KEYWORDS; Lagoon, Mudflat, Turbidity, ADCP, Bivalve

1. はじめに

干潟は沿岸域の中でも特に生物の多様性と現存量が高く保たれている空間である。干潟生態系内では、微生物から二枚貝やゴカイといったマクロベントス、さらに魚類、鳥類が摂餌と排泄を繰り返して食物連鎖が形成されている。こうした構造の中で、干潟は周辺水域から流入した有機物を同化、ガス化し、沿岸水域から有機物を除去する機能を有している。干潟の機能を評価するうえで、干潟に生息する生物相を定量化することが重要であるが¹⁾、出現生物相に大きな影響を与える因子として土壌有機物量があげられる。したがって、干潟における有機物の動態を把握し、干潟土壌の形成過程や有機物動態と干潟土壌の性状との関係を明らかにすることは、干潟の機能を定量的に評価し、干潟の再生・保全を議論するうえで非常に重要な課題と考えられる。

一般に沿岸海域においては、炭素として溶存態有機炭素 (DOC) が懸濁態有機炭素 (POC) より多いものの、DOC よりも POC は内部生産由来の易分解性有機物の割合が高いことから、DO 消費の観点からは懸濁態有機物の寄与の方が大きく²⁾、さらに物理的な沈降やマクロベントスによる摂食や呼吸といった代謝の対象としても懸濁態有機物の方が重要であることから、ここではベントス群集構造の決定に影響を及ぼす懸濁態有機物に着目して研究を行った。

干潟における現地調査によって物質の動態を測定した例として、栄養塩を対象とした研究がみられる^{3),4)}。

* 東北大学大学院工学研究科 (Graduate School of Engineering, Tohoku University)

** Dept. of Forest Sciences, University of British Columbia

*** 日本ミクニヤ株式会社 (Mikuniya Corporation)

**** 東海大学海洋学部 (School of Marine Science and Technology, Tokai University)

また、干潟における堆積物の形成過程に関する研究例としては、李ら⁵⁾が、干潟における沈降物をトラップ実験により採取、これらの粒径分布を測定し、干潟における土壌中の物理化学的および生物学的な構造を決定する因子として海水流動が重要な役割を果たしていることを明らかにした。また、内山ら⁶⁾は、東京湾盤洲干潟において現地観測を行い、巻き上げに伴う濁度上昇に対する作用外力の影響とその際の浮遊物の粒径特性を明らかにした。干潟における懸濁態有機物を対象として、干潟堆積物一直上水間の輸送量を現地調査によって定量的に把握し、これと堆積物の底質性状との関係を検討した例はみられない。

そこで本研究では、干潟堆積物の底質を継続的に適切な管理を行うため、底質の性状と有機物動態との関係を明らかにすることを目的とし、干潟内の空間毎に異なる底質に着目して現地調査を行った。さらに超音波ドップラー流速計を用いて直上水中の懸濁物質を時空間的に連続観測し、短時間で生じる干潟堆積物一直上水間の懸濁態有機物の輸送特性について検討を行なった。

2. 調査方法

2.1 対象干潟

本研究の対象とした蒲生干潟は、宮城県仙台市を流れる七北田川の河口に位置する干潟で、その規模は、面積約 5ha、奥行き約 800m である。前浜干潟のように干潮時に干潟全面が干出することはなく、干潟中部～奥部にかけては常時冠水しており、潟湖干潟に分類される⁷⁾。蒲生干潟は、かつて七北田川の一部であり、1960 年代後半、仙台新港の造成に伴う河口部変更により人工的に出来た干潟である。また、シギ、チドリ類の飛来地で、絶滅危惧Ⅱ類のコアジサシやコクガンの繁殖地、越冬地としても貴重な干潟である⁸⁾。干潟堆積物の底質は干潟入り口付近で中央粒径 0.3～0.35mm の砂質に分類され、干潟の奥部ほど細かい粒子が増え、奥部では中央粒径 74 μ m 以下の泥質に分類される。干潟入り口には、導流堤が設置されており、1972 年にヒューム管が、その後 1989 年に現在の形の水門が設置され、現在はその水門の通水量を制御しながら干潟の管理が行われている⁹⁾。

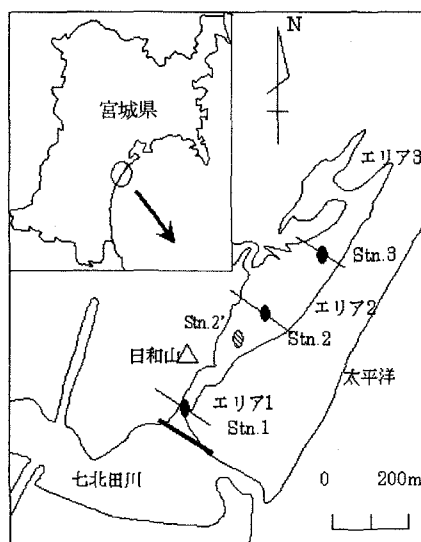


図1 観測地点

2.2 観測方法

現地観測は、中潮にあたる 2003 年 11 月 28 日に、断面形状調査、水理・水質調査、底質調査、干潟堆積物の有機物生産・分解量調査ならびに超音波ドップラー流速計(以下、ADCP:RD Instrument, 1, 200kHz)を用いた散乱強度の測定を行った。観測点は、干潟内を 3 分割し、底質の性状が砂、砂泥、泥となるようにエリアを設定、図 1 に示すように干潟入り口部から奥部に向かいエリア 1, 2, 3 とし、それぞれのエリアの境界面を断面 1, 2, 3 としたうえで、その断面上の常時冠水した水道内に観測点 Stn. 1～3 (図中●印)を設定した。なお、調査当日は曇天であった。

(1) 断面形状調査

断面形状調査は、図 1 に示す断面 1～3 上を 10 分割して測点を設定し、断面 1 においてはレベル測量を、断面 2 および断面 3 においては堆積物の性状からレベル測量が不可能であったため、各測点における水深を測定することにより、断面形状の算出を行った。また、GPS を用いて Stn. 1～3 の詳細な位置を測量した。

(2) 水理・水質調査

現地観測は、水深、流速ならびに採水を図 1 に示す Stn. 1～3 の各点において行った。観測日時は、2003

年11月28日00:00～23:50である。流速は、メモリー式二次元流向流速計（COMPACT-EM, アレック電子）のセンサー部を底面上0.1mに、また、水深はメモリー式水深計（RMD, 離合社）のセンサー部が底面上0mにそれぞれ位置するように設置し、10分毎に計測した。採水は1観測点につき2台の自動採水器（model3700, ISCO）を用い、1台の採水口を干潟底泥から約10cmの位置に固定、もう1台の採水口をボートから水表面から約10cmに垂下させ、干潟堆積物をなるべく巻き上げさせないよう直上水を上下二層で1時間おきに24回採取した。なお、観測期間中、観測点には近づかなかった。採取したサンプルは、実験室に持ち帰った後、SSおよびPOC用としてGF/Cフィルター（孔径 $1.2\mu\text{m}$ ）およびDOC用に $0.45\mu\text{m}$ メンブレンフィルターによるろ過処理をそれぞれ行った。なお、POCは燃焼-非分散型赤外線ガス分析法に従い、TOC-5000A（SHIMADZU）を用いて分析を行った。DOCサンプルは分析まで冷蔵保存し、TOC-5000（SHIMADZU）を用いてNPOC（不揮発性有機炭素）を測定した。

(3) 底質調査

底質調査は、エリア1～3において $\Phi 4\text{cm} \times$ 高さ29cmの亚克力製コアサンプラーを用いて、エリア内の3地点で柱状採泥を行った。サンプルは実験室に持ち帰った後、Chl. *a* 量、有機炭素含有率、強熱減量、粒度の分析に供した。Chl. *a* 以外は、堆積物表面から10cmまでのサンプルを採取し、有機炭素含有率は、TOC-5000A（SHIMADZU）を用い、粒度は、 $74\mu\text{m}$ のふるい目を通して試料の乾燥重量百分率を含泥率として算出した。Chl. *a* 量は直径1.4cmの透明チューブを用いて底質表層1cmまでのサンプルを採取し、メタノール抽出-蛍光光度法により測定を行った。

(4) 干潟堆積物の有機物生産・分解量調査

干潟堆積物における藻類による生産、微生物による呼吸と分解による有機物収支の測定は、エリア1～3において $\Phi 4\text{cm} \times$ 高さ29cmの亚克力製コアサンプラーを用いて各エリア内の3地点で柱状採泥を行い、現地明暗ビン法により行った。このとき、堆積物の層厚は約10cm、後に堆積物中にマクロベントスが存在しないことを確認した。供試水はエリア1で採取し、コアサンプラーを水中でラップと輪ゴムによって密栓し、明条件は堆積物部分のみ、暗条件は全体をアルミ箔で遮光し、これを直上水中に2～3時間放置した。その後、各コアサンプラー内から直上水をフランビンに採取した。DOの測定はウィンクラーアジ化ナトリウム変法に従い、採水後に速やかに固定し、実験室に持ち帰った後、滴定を行った。各エリアの3サンプルについて2回実験を行った。なお、同容量の直上水のみによる空実験も同時に行った。

(5) ADCP による散乱強度測定

散乱強度の測定は、図1に示すStn. 2' においてADCPのセンサーを上向きに本体を干潟堆積物に埋め込み、10分間隔で泥面上17cmから5cm間隔の設定で行った。

3. 結果及び考察

3.1 水理及び水質・底質特性

(1) 水理特性

図2にStn. 1～3の水深および流速（絶対値）の時系列変化（定時のデータとして移動平均値（ $N=5$ ））を示す。潮位変化より、Stn. 1では4時から、Stn. 2, 3では5～10時まで、また、13～18時まで上げ潮を示し、午後の潮位が高くなる日潮不等の不規則な潮汐であった。最干潮時の早朝でも全観測点で約20cmの水深が記録された。蒲生干潟の潮位変動は、導流堤の水門や七北田川河口閉塞の影響を受け、外洋の潮汐と異なり不規則な変化を示すことが知られている⁷⁾。各地点の地盤高は、Stn. 1を基

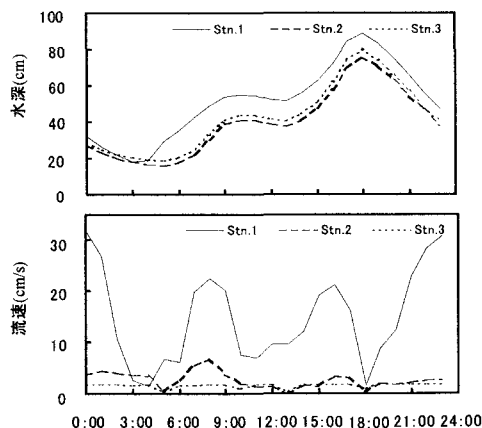


図2 各観測点における水深及び流速の経時変化

準としたとき, Stn. 2 が 12cm, Stn. 3 が 8cm で, Stn. 2 が最も高い。

また, 流速は地点により大きな差がみられた。各観測点における最大値は Stn. 1 : 32.2cm/s, Stn. 2 : 7.4cm/s, Stn. 3 : 2.2cm/s, 平均値は Stn. 1 : 14.8cm/s, Stn. 2 : 2.7cm/s, Stn. 3 : 1.6cm/s を示し, 干潟入り口部で流速が大きく奥部で流速が小さい結果となった。さらに, Stn. 1 における流速は潮汐に連動して大きく変動するが, Stn. 2, 3 はあまり変動しないことがわかった。なお, 同時に測定された水温は, おおむね 9~13℃ で推移した。

(2) 水質特性

図 3 に SS, POC, DOC の観測結果を示す。SS について, 各観測点ともに上下層サンプルに有意な差は認められなかったため平均値として示す。地点間による明確な差は認められなかったが, 採水開始直後の下げ潮時において, Stn. 1 において高く, Stn. 3 で低い傾向が確認された。これは 0~1 時で Stn. 1 においてのみ特に高い流速が観測されていることから, エリア 1 で高流速にともない干潟堆積物が巻き上げられ, 水中における懸濁粒子の濃度が上昇したものと考えられる。Stn. 1, 2 については, 徐々に濃度が減少することが, また, Stn. 3 については, 14~18 時までの上げ潮時に増加することが観測された。

POC について, 各観測点ともに上下層サンプルに有意な差は認められなかったため平均値として示す。各観測点ともに観測開始直後に高い値を示し, 上げ潮とともに急激な濃度低下を示した。これは, Stn. 1 から順に濃度が低下していることから, 干潟内に POC 濃度の低い海水が流入することで希釈されたと考えられる。その後, 各点ともに大きな変動はみられなかった。観測点毎にみると, ほとんどの時刻で奥部の方で高い傾向にあることがわかる。これは直上水が底質の高い有機炭素含有率の影響を受け, SS に対する POC の割合が奥部で高いことが原因と考えられる。

また, DOC は上層サンプルの分析に不備がありデータが得られなかったため, 下層の結果のみを示した。各観測点ともに採水開始直後に比較的高く, 徐々に濃度が下がっていく傾向がみられた。濃度としては 3mg/l を超える高い値を示すこともあったが, 平均 2mg/l で推移し, 観測点間に有意な差は確認できなかった。

(3) 底質特性

表 1 に底質の空間的分布を示す。強熱減量, 有機炭素含有率および含泥率は, 干潟奥部ほど高い値を示した。Chl. *a* は逆に入り口ほど高い結果を示し, 特にエリア 3 においては, Chl. *a* が検出されず, 干潟堆積物における有機物生産はほとんど無いことがわかった。本研究では含泥率が高くなると Chl. *a* が低くなる傾向が認められたが, 含泥率の高い干潟においては Chl. *a* が低いことも高いこともあることから, 明確な関係性は認められない^{10), 12)}。

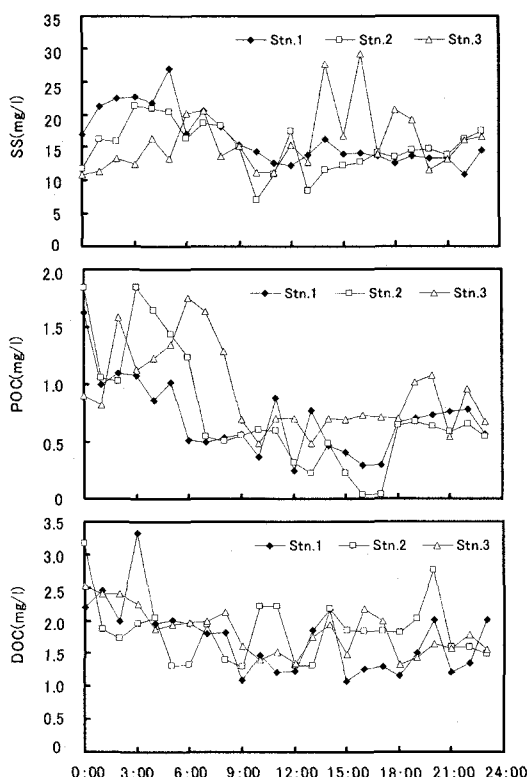


図 3 各観測点における SS, POC, DOC の経時変化

表 1 各エリアにおける底質の性状

	有機炭素含有率(%)	強熱減量(%)	含泥率(%)	Chl- <i>a</i> (mg/m ²)
エリア1	0.25	2.7	2.8	10.7
エリア2	1.63	7.8	40	1.2
エリア3	2.92	11.7	70	0

3.2 干潟堆積物における有機物収支

(1) 干潟堆積物一直上水間の有機物輸送

ここでは、直上水における有機物濃度変化から干潟堆積物一直上水間の有機物輸送量を推定する。まず、懸濁態有機物(POC)輸送量を算出するにあたり、各断面における流量を式(1)により導出した。 A_i については、干潟内の一部にはアシ原が広がっており、現地では詳細な測量調査が不可能であるため、平面図上で T.P : 0.3m における面積を算出し、これを A_i として用いた。また、 $h_{i(t)}$ について、エリア 1, 2 でエリアを挟む 2 観測点で観測されたデータの平均値とし、エリア 3 では Stn. 3 の観測値を用いた。

$$Q_{i(t)} - Q_{i+1(t)} = A_i \times \frac{dh_{i(t)}}{dt} \quad (1)$$

A_i : エリア i の面積(m^2)

$h_{i(t)}$: エリア i の水深(m)

$Q_{i(t)}$: 断面 i における流量(m^3/h)

ここで、 Q は上げ潮時に正の値をとる。まず、 $i=3$ とすると $Q_{4(t)}$ は存在しないため、常に 0 として(1)を解くと Q_3 が算出される。次に $i=2, 1$ と順に次数を減らし、全ての断面における流量を算出した。

さらに、直上水から堆積物への有機物の輸送量を式(2)、(3)によって算出した。このとき、 $i=3$ とした時、 $Q_{i+1(t)}$ に相当する $Q_{4(t)}$ は存在しないため、常に 0 として扱った。

$$F_{i(t)} = Q_{i(t)} \times C_{i(t)} \quad (2)$$

$$\int A_i B_{i(t)} dt = \int F_{i(t)} dt - \int F_{i+1(t)} dt + \int (p - d) A_i h_{i(t)} dt - \int \frac{dA_i h_{i(t)} C_{area,i(t)}}{dt} dt \quad (3)$$

$B_{i(t)}$: エリア i における干潟堆積物一直上水間の有機物輸送量($g/m^2/h$)

$F_{i(t)}$: 断面 i を通過する単位時間あたりの有機物量(g/h)

$P_{i(t)}$: 直上水における単位体積あたりの生産速度($g/m^3/h$)

$D_{i(t)}$: 直上水における単位体積あたりの分解速度($g/m^3/h$)

$C_{area,i(t)}$: エリア i における有機物濃度代表値(g/m^3)

$C_{i(t)}$: 観測点 i における有機物濃度(g/m^3)

ここで、 $C_{area,i(t)}$ はエリア 1, 2 でエリアを挟む 2 観測点で観測されたデータの平均値とし、エリア 3 では Stn. 3 の観測値を用いた。また、 p, d の値は、直上水を用いた明暗ビン実験を行い、呼吸商 $\Delta C / \Delta O_2 = 1$ (モル比) として炭素換算した結果、それぞれ $p: 12.2 \text{ mg-C}/m^3/h$ ($2.2 \sim 22.3 \text{ mg-C}/m^3/h$)、 $d: 3.59 \text{ mg-C}/m^3/h$ ($-7.5 \sim -14.6 \text{ mg-C}/m^3/h$) であった。さらに一日・面積あたりの干潟直上水における生産・分解量を算出すると、エリア 1: $18.7 \text{ mg-C}/m^2/d$ ($-63.2 \sim 100.6 \text{ mg-C}/m^2/d$)、エリア 2: $11.5 \text{ mg-C}/m^2/d$ ($-58.2 \sim 81.3 \text{ mg-C}/m^2/d$)、エリア 3: $12.9 \text{ mg-C}/m^2/d$ ($-58.2 \sim 84.0 \text{ mg-C}/m^2/d$) となった。

ここで、 $B_{i(t)}$ は、正の値の時に有機物が直上水から干潟堆積物へ移動したこと(沈降)を意味する。図 4 に $B_{i(t)}$ の経時変化を示す。エリア 1, 2 においては、上げ潮後半の流速が大きい時に巻き上げが生じていることがわかる(図 4 矢印 i)。エリア 3 に関してもわずかに時間は遅れるが、同様の傾向を示した。また、エリア 2, 3 においては、巻き上げ直後に大きな沈降がみられ、これは直前に巻き上がった懸濁粒子の沈降によるものと考えられる。各エリアでそれぞれ流速は大きく異なるが、懸濁態有機物の輸送量のオーダーに明確な相違は認められなかった。これは流速の小さいエリアは微細粒子が多く、干潟堆積物が低流速でも巻き上げられやすいことが要因として考えられる。

さらに図4の結果を一日間で積算して、一日あたりの有機物輸送量をPOCならびにDOCとして図5に示した。有機物はエリア1で沈降、エリア2では巻き上げ、エリア3では沈降の傾向を示した。さらにPOCについて潮汐毎に分離すると、エリア1, 2では下げ潮時に沈降、上げ潮時には巻き上げが卓越し、エリア3では逆に下げ潮時に巻き上げ、上げ潮時には沈降するという結果を示した。エリア1, 2においては、上げ潮時に干潟外からPOC濃度の低い水が流入してくることから水中の懸濁物質が減少し、沈降量が小さくなることで相対的に巻き上げが卓越したと考えられる。また、エリア3では流速が極端に小さいため、エリア2から輸送されたPOCがそのまま沈降することで上げ潮時の沈降が卓越した結果と考えられる。

さらに一日あたりではエリア3で有機物が沈降し、エリア2で有機物が巻き上がっていたが、両者に流速など水理的環境に関して、エリア1との差ほど明確な違いは認められない。そこで両者の輸送特性の相違を生んだ要因は水の交換特性と考えた。すなわち、エリア3はエリア2よりも地盤高が低く潟湖になっており、エリア3の干潟堆積物は最干潮時にも干出ししない。このことから下げ潮時にエリア3の水の大部分は干潟の外まで流出せず、次の上げ潮時に再び奥部まで押し戻されている可能性がある。実際、調査地点での最高潮位と最低潮位を比べると満潮時にエリア3にあった水のうちの約1/4の水が干潮時でもエリア3内に残っていると試算された。また、Stn. 3からStn. 2までの距離を210m、Stn. 2からStn. 1までの距離を380mとして、流速データからStn. 3の水塊が干潟入り口まで移動する時間を概算した結果、Stn. 3からStn. 1まで水が移動するのに要する時間は約3.2時間となり、満潮時にエリア2に存在した水はほとんど干潟外に排出される。つまり、エリア3は水の交換が悪く、有機物が干潟堆積物として徐々に蓄積していく傾向が強いと考えた。一方、エリア2では、上げ潮時に干潟外の水が新たに流入するなど比較的水の交換は行われやすく、エリア3と比較して有機物が蓄積しにくい環境であることがわかる。

また、エリア1については、有機物の沈降が卓越する結果となった。エリア1には砂質を好んで生息する二枚貝イソシジミのろ過摂食者が高密度に生息している⁹⁾。エリア1におけるイソシジミの生息密度を500個体/m²、成体のろ過水量を0.5L/個/h(平均的なアサリの場合、ろ過水量は約1L/個/h)¹¹⁾、イソシジミの成体の割合を1/4、水温低下に伴う活性を0.5、エリア1の平均POC濃度を0.7mg/lとして、イソシジミによる懸濁態有機物の干潟堆積物への輸送量を見積もった結果、525 mg-C/m²/dとなり、式(3)によって求めたエリア1の水中一堆積物間の有機物輸送量と比較して大きいことがわかる。

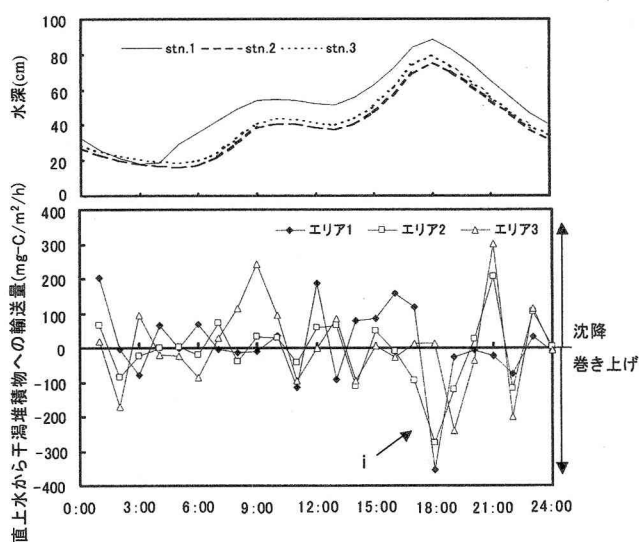


図4 直上水から干潟堆積物へのPOC輸送量の経時変化

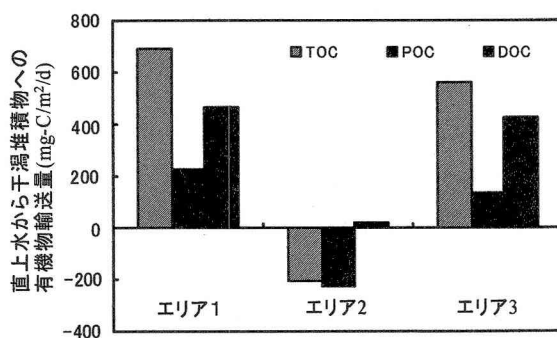


図5 1日あたりの直上水から干潟堆積物への有機物輸送量

この試算は、過大評価とならないよう値を決定した。このことから、エリア1では二枚貝による作用によって懸濁態有機物が水中から堆積物へ輸送され、水理学的因子によって懸濁態有機物が干潟堆積物から水中へ輸送されている可能性が示唆された。今後、干潟の有機物フローを明らかにするためには、沈降や巻き上げといった物理的な因子に加え、生物学的因子も考慮する必要があることがわかった。

(2) 干潟堆積物の有機物生産・分解

干潟堆積物の有機炭素含有率を決定する因子は、3.2(1)において述べた干潟堆積物—直上水間の有機物輸送の他に干潟堆積物中における底生動物

物による分解と干潟堆積物に生息する底生藻類の生産が挙げられる。そこで、干潟堆積物中における有機物の収支を算出し、干潟堆積物の有機物収支に与える影響を把握するため、干潟堆積物における生物による生産・分解量を推定する。

コアサンプラー内における直上水の DO 変化から干潟堆積物の有機物生産および分解量を評価する。式(4)により干潟堆積物—直上水間の DO 交換フラックスは算出される。

$$FX = \frac{\{(O_{end} - O_{st}) - (O'_{end} - O_{st})\} \cdot V}{T \cdot S} \quad (4)$$

FX : 酸素の交換フラックス ($\text{mg-O}_2/\text{m}^2/\text{h}$)

O_{st} : 直上水の初期 DO 濃度 (mg/l)

O_{end} : 直上水の終了時 DO 濃度 (mg/l)

O'_{end} : 空実験 (堆積物を含まない) における終了時 DO 濃度 (mg/l)

T : 実験時間 (h)

V : 直上水体積 (l)

S : コアサンプラーの底面積 (m^2)

次に明暗ビン法に基づき、式(5)より有機物の生産および消費フラックスを算定した。明条件における DO 変化量は、光合成によって増加した総生産量から微生物の呼吸・分解による酸素消費量を差し引いた純生産量を示す。暗条件における DO 変化量は、微生物の呼吸・分解による酸素消費量を表す。

$$P = FX_l - FX_d \quad (5)$$

P : 総生産フラックス ($\text{mg-O}_2/\text{m}^2/\text{h}$)

FX_l : 明条件での DO フラックス (= 純生産) ($\text{mg-O}_2/\text{m}^2/\text{h}$)

FX_d : 暗条件での DO フラックス (= 分解) ($\text{mg-O}_2/\text{m}^2/\text{h}$)

上述した沈降、巻き上げに関する有機物フラックスと比較するため、ここでは呼吸商 $\Delta C/\Delta O_2=1$ (モル比) とし、酸素フラックスに 12/32 を掛けることで炭素フラックスに変換した。このとき、 O_{st} は 6.97~8.40 mg/l であり、初期 DO 濃度からの変化量を直線近似し各フラックスを求めた。

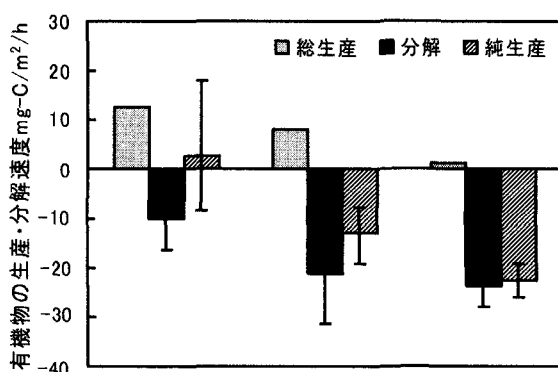


図6 各エリアにおける干潟堆積物の有機物生産・分解速度

各エリアにおける単位面積あたりの有機物生産・分解量を図6に示す。干潟入り口部から奥部に進むにつれて、有機物分解量が高くなっていくことがわかる。生産量は逆に入り口部で最も大きく、奥部に進むに従って減少することが確認された。

分解については、有機物含有量の高いエリアほど有機物分解量が高くなっており、これは有機物含有量の高い底質で細菌類の現存量もしくは活性が高いことが考えられる¹²⁾。生産について、含泥率の高い干潟堆積物での底生藻類による生産が小さくなる可能性は小川ら¹⁰⁾の研究でも報告されて

いるが、その他、堆積物が砂質より泥質において底生藻類による総生産が大きくなるという結果も示されており¹²⁾、明確な関係は不明である。

一日のうち、十分に生産が行える光量のある時間帯を9時間（日出6:30、日没16:17）、分解は一日中行うものとし、一日あたりの干潟堆積物における有機物生産・分解量を算出した。一日あたりで評価すると、エリア1で129 mg-C/m²/d、エリア2で435 mg-C/m²/d、エリア3で562 mg-C/m²/d、それぞれ有機物が減少することがわかった。さらにここで求めた堆積物自体の有機物の増減と先に求めた一日あたりの直上水から堆積物への有機物輸送量とを合わせてエリア毎の有機物収支の結果を図7に示した。両者のオーダーはほぼ等しく、エリア毎に両者のバランスから干潟堆積物における有機物量が支配されている可能性が示唆された。つまり、エリア1では、二枚貝のろ過作用および底生微生物による有機物生産の影響により、堆積物の有機物は増加する傾向が、また、エリア2では、巻き上げによる有機物輸送および底生微生物による有機物分解の作用で堆積物の有機物は減少、さらにエリア3では、底生微生物による有機物分解と沈降による輸送が同程度で、堆積物の有機物量は変化しないことが明らかとなった。しかし、底泥の含泥率を平成54年と平成7～10年で比較した結果⁹⁾、エリア1では砂質化が、エリア2では泥質化が進んでいるという結果と矛盾することもあり、季節や潮時の違い、出水時などの条件においてエリア1では堆積物から水中へ、エリア2では水中から堆積物への有機物、微細粒子の輸送が行なわれている可能性が考えられる。

(3) ADCP による干潟堆積物—直上水間の懸濁物質輸送量の算定

ここまでは、採水調査によって懸濁態有機物としての干潟堆積物—直上水間の懸濁物質の輸送や生物学的要因も含めた干潟堆積物における有機物収支に関して検討を行ってきた。懸濁態有機物の物理輸送に着目した場合、巻き上げや沈降という現象は、有機物に限らない懸濁粒子の巻き上げ・沈降と同様の機構で生じると考えられる。そこで、ADCPによる散乱強度を利用した時間的スケールが密な観測結果を用い、懸濁粒子の挙動について考察を行った。散乱強度は濁度の測定に代用できることから¹³⁾、ここでは、懸濁物質の濃度とみなし、懸濁物質の短期的な輸送特性について検討を行った。

干潟堆積物—直上水間の輸送量を式(6)によって算出した。このとき、巻き上げや沈降は観測点周辺で一様に生じるものとし、水中に浮遊する懸濁物質の変化量を輸送量とした。そのうえで潮汐に伴って生じる浮遊懸濁物質質量の変化の中には、移流に伴うものもあるため、時刻 t と時刻 $t-1$ における水深を用いて補正した。また、散乱強度は懸濁物質濃度を示すものであり、それに対して水中での生産・分解される懸濁態有機物量の割合は十分小さく、無視できるものとした。

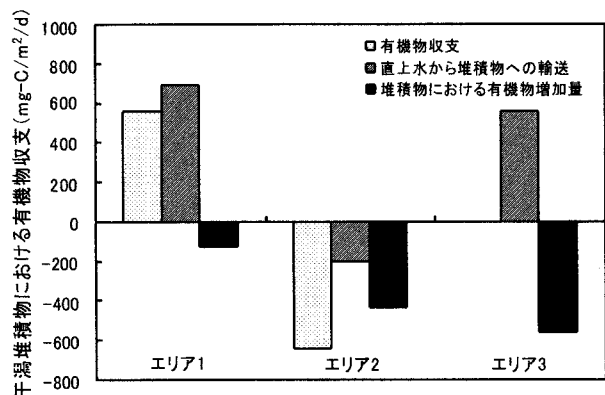


図7 各エリアにおける1日あたりの干潟堆積物の有機物収支

$$T_{(t)} = \frac{h_{(t-1)} + h_{(t)}}{2} \times (I_{(t)} - I_{(t-1)}) \quad (6)$$

$T_{(t)}$: 時刻 t における水中から堆積物へ輸送される濁質量 (散乱強度) (dB)

$I_{(t)}$: 時刻 t における濁質濃度 (散乱強度) (dB)

$h_{(t)}$: 時刻 t における水深 (m)

直上水から干潟堆積物へ輸送される濁質量の経時変化を図 8 に、流速との関係を図 9 に示す。これらの図の縦軸は、正の値で沈降、負の値で巻き上げを意味する。図 9 において横軸の絶対値は流速を、正負はそれぞれ上げ潮と下げ潮を示している。

図 8 をみると、巻き上げ、沈降ともに短時間のスケールで生じる現象であることがわかる。また、図 9 からは、特に上げ潮の流速の大きい条件で巻き上げが起り、その後に流速が低下し、流速が 0 になる直前に沈降が生じ、その後再び下げ潮に流速が増加すると巻き上げを生じる様子が示された (図 9 矢印)。さらに、水の停滞時には巻き上げ、沈降ともに生じないことが時間スケールの密な観測により明らかとなった。

巻き上げが継続しない理由は、増加した流速によって巻き上げられた粒子が、堆積物表層に存在する粒子のうち、巻き上げ可能な比較的粒度の細かい粒子のみで、さらにそれらは巻き上げに関する限界流速に達した場合、ほぼ全てが巻き上げられることを示唆している。また、流速が 0 になる直前で沈降が生じ、0 に近い条件で巻き上げや沈降が生じていなかった理由は、浮遊粒子のうち比較的粒度の粗いものが、流速が 0 になる前に沈降して、粒度の細かい懸濁粒子の沈降速度が非常に小さいことが原因として考えられる。また、中川¹⁴⁾の報告の中で、SS と堆積物の粒径分布の関係が示されており、特に中央粒径の大きな砂の地点で SS の粒径が堆積物の粒径よりも小さくなる傾向がみられる。これも粒度の異なる粒子の輸送特性の相違に起因するものであると考えられ、粒度毎の輸送特性を定量的に把握する必要性を示唆している。

また、上げ潮時における収支は -391dB となり巻き上げが、また、下げ潮時における収支は 408dB となり沈降がそれぞれ卓越していた。これは上げ潮の方で最大流速、高い流速を記録した頻度ともに下げ潮を上回ったことが要因と推測される。また、一日あたりの収支は 17dB となり、ほとんど収支は釣り合っていたか、もしくは堆積する傾向にあった。

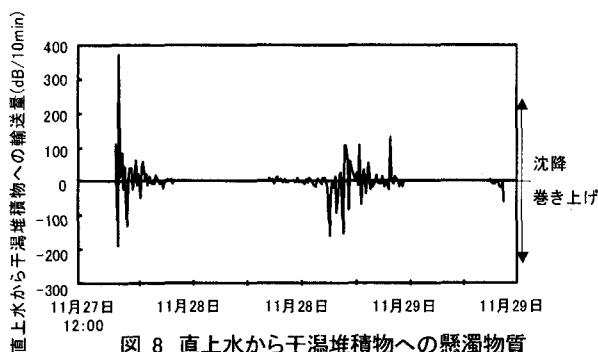


図 8 直上水から干潟堆積物への懸濁物質輸送経時変化

4. おわりに

2003 年冬季、蒲生干潟において水質調査および ADCP による連続観測を行い、干潟堆積物-直上水間の有機物輸送量に関して検討を行った。その結果、次の結論が得られた。

1) 一日あたりの干潟堆積物-直上水間の懸濁態有機物輸送量を算出した結果、干潟奥部の泥質エリアでは水中から堆積物へ、中間部の砂泥質エリアでは堆積物から水中へ、入りの砂質エリアでは水中か

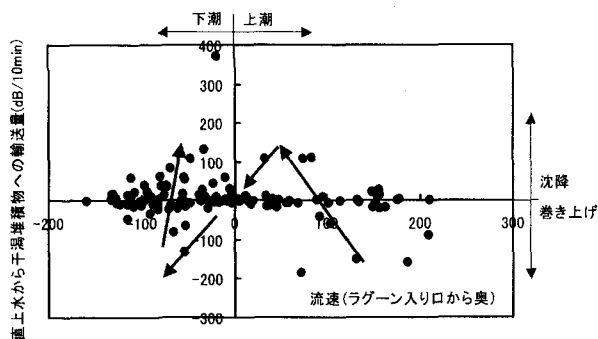


図 9 直上水から干潟堆積物への懸濁物質輸送と流速の関係

ら堆積物へ輸送されていた。

2) 干潟堆積物における底生微生物による有機物生産・分解フラックスの算出結果から、生産フラックスは砂質エリアで最大となり、泥質エリアで最小となった。また、分解フラックスは生産フラックスと逆の傾向を示した。

3) 砂質エリアでは、水中から干潟堆積物への輸送および底生微生物による有機物生産の影響により、堆積物の有機物は増加する傾向が、また、砂泥質エリアでは、巻き上げによる有機物輸送および底生微生物による有機物分解の作用で堆積物の有機物は減少、さらに泥質エリアでは、底生微生物による有機物分解と沈降による輸送が同程度で、堆積物の有機物量は変化しないことが明らかとなった。このうち、砂質エリアの水中から干潟堆積物への有機物輸送には、二枚貝のろ過作用が大きく寄与している可能性が示された。

4) ADCP を用いた観測により、上げ潮時に巻き上げ、下げ潮時に沈降が卓越することがわかった。また、粒径の異なる粒子毎に輸送特性が異なる可能性が示された。

謝辞：本研究は、平成 15 年度国土交通省建設技術研究開発助成研究：研究課題「環境修復機能の高い人工干潟設計システム開発に関する研究（研究代表：西村 修）」の一環として実施した。また、平成 17 年度科学研究費補助金（基盤研究 B、#17360252 代表 西村 修）ならびに（若手研究 B、#17760437 代表 野村宗弘）の補助を受けて実施した。さらに、現地観測を実施するにあたり同研究室の諸氏には多大なるご尽力をいただいた。ここに記して、深く感謝致します。

参考文献

- 1) 木村賢史，土屋隆夫，稲森悠平，奥富重幸，西村 修，須藤隆一：東京都内湾における付着動物の分布と水質浄化機能，水環境学会誌，21(1)，pp. 35-40，1998.
- 2) 福島武彦，石橋敏昌，今井章雄，尾崎則篤，西井祥則：広島湾における溶存有機物の動態，水環境学会誌，23(6)，pp. 360-366，2000.
- 3) 野村宗弘，小沼 晋，桑江朝比呂，三好英一，中村由行：盤洲干潟における潮汐に伴う栄養塩収支に関する現地観測，港湾空港技術研究所資料，No. 1020，2002.
- 4) 児玉真史，松永信博，水田健太郎，徳永貴久：和白干潟における水質の動態に関する現地観測，土木学会論文集，720/VII-25，pp. 53-61，2002.
- 5) 李 正奎，鄭 正朝，西嶋 渉，岡田光正，馬場栄一：干潟の土壌構造に及ぼす海水の流動の影響，水環境学会誌，22(8)，pp. 677-682，1999.
- 6) 内山雄介，加藤一正，栗山善昭，古川恵太：東京湾盤洲干潟の漂砂特性について，海岸工学論文集，47，pp. 521-525，2000.
- 7) 栗原 康：干潟は生きている，岩波新書，1980.
- 8) 蒲生を守る会：蒲生海岸鳥類生息調査結果 1971-2003，34p.，2004.
- 9) 宮城県：蒲生干潟環境保全対策基礎調査報告書，2001.
- 10) 小川菓子，坂巻隆史，野村宗弘，中野和典，西村 修：底質有機物量の異なる干潟における微生物学的炭素収支，第 39 回日本水環境学会年会講演集，p. 104，2005.
- 11) 小倉紀雄編：東京湾 -100 年の環境変遷，恒星社厚生閣，91p.，1993.
- 12) F. B. Van Es: Community Metabolism of Intertidal Flats in the Ems-Dollard Estuary, Marine biology, 66(1)，pp. 95-108，1982.
- 13) 川西 澄，山本洋久，余越正一郎：超音波流速計と散乱光式濁度計を用いた懸濁粒子の濃度，粒径，フラックスの測定，水工学論文集，42，pp. 559-564，1998.
- 14) 中川康之：有明海における底泥輸送現象のモデル化，港湾空港技術研究所報告，42(4)，pp. 25-42，2003.