

盤洲干潟におけるラグランジェ的手法を用いた水質観測

中村由行¹・鵜崎賢一²・三好英一³
井上徹教⁴・細川真也⁵

神尾ら (2005) は, 盤洲干潟の潮間帯が沖合いからの粒状懸濁物のシンクであると同時に無機栄養塩のソースとなっていることを確認するとともに, 無機栄養塩の豊富な干潟直上水が沖合いに流出し, 植物プランクトンを豊富に含んだ外海水と混合することで一次生産を活発にしていることを示唆した。後者の影響について検討を行う場合, 水塊を追跡しながら水質変化を見ることが必要である。そこで本研究では, 漂流ブイを用いてラグランジェ的に水質変化を調べるとともに, 海水を透明なバッグに封入して漂流ブイとともに流し, バッグ内外の海水の水質変化を比較することで, 干潟直上水と外海水の混合が一次生産に及ぼす影響について検討を行った。

1. はじめに

干潟は非常に大きな水質浄化能を有していると言われる (例えば青山ら, 1995)。干潟の水質浄化能は, 底生生態系による生物学的な要因と陸水の供給や潮汐などによる海水交換といった物理的要因とによって決まっており, とくに後者の影響は干潟潮間帯だけでは評価することができない。従って, その水質浄化能を精確に評価するためには, 干潟潮間帯だけでなく潮下帯を含めた検討が必要であるが, そうした研究例は数少ない (例えば児玉ら, 2002)。野村ら (2002, 2003) は東京湾の盤洲干潟における現地観測結果をもとに, 潮汐に伴う水質変動や日射と水質変動の関係を明らかにしているが, 潮間帯と潮下帯の相互作用についての検討が十分になされているとは言えない。中田ら (1994) や佐々木ら (1997) は, 盤洲干潟の潮間帯が沖合いから流入する粒状懸濁物のシンクであると同時に無機栄養塩のソースとなっていることを示している。中村ら (2004) は, 干潟直上水と外海水を混合した水は, 外海水のみの場合と比較して Chla の増殖が著しく大きいことを培養実験によって示している。また, 神尾ら (2005) は, 漂流ブイを追跡しながらブイ付近の採水を行って水質変化を調べる観測を実施した。その結果から, 無機栄養塩の豊富な干潟直上水が沖合いに流出し, 植物プランクトンを豊富に含んだ外海水と混合することで一次生産を活発にしていると示唆している。しかしながら, 単なるブイ周辺の水質変化だけから, 同一水塊の水質が時間的に変化したのか, 周辺と混合したために水質が変化したのかが区別しづらい。そこで本研究では, 漂流ブイを追跡しながら周辺海水の水質観測を行うとともに, 放流開始点での海

水を封入した透明なフッ化ビニール製のテドラ・バッグをブイとともに流し, バッグ内外の水質変化を比較することで干潟直上水と外海水の混合の影響について検討を行った。

2. 観測方法

観測は, 東京湾の盤洲干潟とその周辺海域において行われた。観測内容としては, 漂流ブイを追跡しながら水質観測と採水を行うラグランジェ観測と, 潮間帯から潮下帯にかけての定点において流況と水質を計測するオイラー観測を行った。図-1 に, ラグランジェ観測の追跡範囲とオイラー観測の観測点を示す。

ラグランジェ観測は, 2005 年 8 月 2, 3 日 (中潮, 大潮) と 8 月 10, 11 日 (中潮, 小潮) に行われ, GPS (ポジシク; ㈱ NTT ドコモ) を搭載した漂流ブイ ((株) ゼニライトブイ) を放流し, ブイを追跡しながらその座標をモニターするとともに, 1 時間毎にクロロテック (ADL220-PDK; ㈱アレック電子) を用いて水質観測を, バンドーンを用いて表層 0.5 m の深さの海水の採水を行った。また, 観測開始時の海水を透明なテドラ・バッグに封入してブイとともに流し, 1 時間毎にバッグの中の海水を採水した。採水したサンプルは未濾過

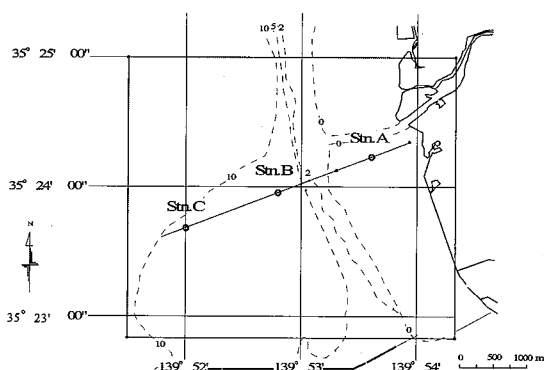


図-1 ラグランジェ観測の追跡範囲とオイラー観測の観測点

1 正会員 工博 (独法) 港湾空港技術研究所
2 正会員 博(工) (独法) 港湾空港技術研究所
3 (独法) 港湾空港技術研究所
4 正会員 博(工) (独法) 港湾空港技術研究所
5 正会員 修(工) (独法) 港湾空港技術研究所

水と濾過水にわけ、直ちに冷暗保存して実験室に持ち帰った。未濾過水はTN, TPの分析に用いた。濾過水は孔径 $0.70 \mu\text{m}$ のGF/F濾紙で濾過し、栄養塩分析装置 (TRAACS800; プラン・ルーベ (株)) を使った形態別の窒素, リンの分析に用いた。濾紙はChlaとフェオ色素の分析に用い、90%のアセトンで抽出した後、Lorenzenの吸光光度法によって分析を行った。なお、本論文では、全窒素 (TN) と溶存態全窒素 (DTN) の差を粒状態有機窒素 (PON), DTNと三態窒素 ($\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_2\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$) の差を溶存態有機窒素 (DON) と定義した。

オイラー観測は8月1~18日の期間において、潮間帯から潮下帯にかけての岸沖3点において行われた。潮間帯のStn.Aでは底面上、潮下帯のStn.B, Cでは表層0.5mにおいて、水温、塩分、流向・流速、Chla濃度・濁度、溶存酸素濃度、光量子量を測定した。

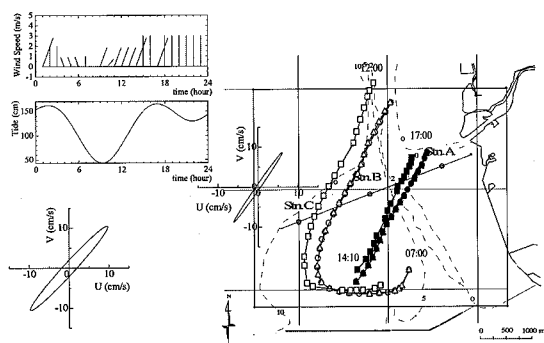
3. 観測結果ならびに考察

(1) 漂流ブイの軌跡

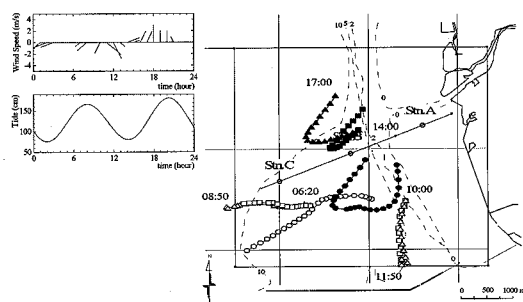
図-2(a)~(c)に、8月2日と11日、および冬季の1月16日 (大潮) における漂流ブイの軌跡と木更津アメダスによる風向・風速のスティック・ダイアグラムおよび潮位変化を示す。(a)においては、HFレーダーを用いた表層流速の観測結果 (日向ら, 2005) から得られた潮流楕円もあわせて示す。漂流ブイは3個用い、○, △, □印が午前中、●, ▲, ■印が午後の軌跡である。また、水質観測ならびに採水は□と■印が示すブイを追跡して行われた。(a)において、ブイははじめ下げ潮にのって南から西向きに流出するが、やがて南よりの風と上げ潮にのって北東方向に流れる。午前中の後半と午後のブイの流向は、風向ならびに潮流楕円の長軸方向と一致する。(b)においては、潮流の弱い早朝は東よりの風によって西向きに流れ、潮流が強くなると南向き、午後には転流によって南西から西、北東へと向きを変える。(c)においては、やや強い北よりの冬季季節風によってほぼ南西方向へと流れる。図-3に、ブイの座標から求めた流速ベクトルならびに潮位変化と風向・風速のスティック・ダイアグラムを示す。ブイの流速ベクトルは、基本的には風向・風速のベクトルと一致するが、一部で潮流の影響と思われる転流が見られる。これらの結果から、漂流ブイは風が弱い場合には潮流、風が強まると吹送流によって動くものと考えられる。

(2) 水温、塩分ならびにChla濃度の鉛直分布のラグランジェ的变化

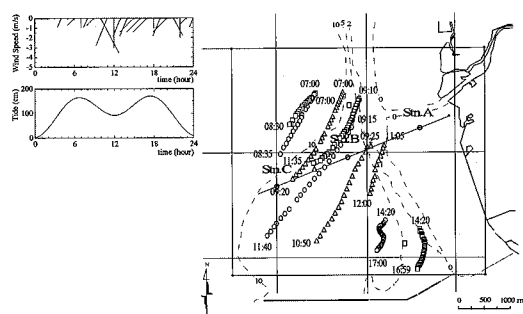
図-4(a), (b), 図-5(a), (b)に、8月2日における水温および塩分の鉛直分布のラグランジェ的变化を示す。午前中は上層において陸水と海水が混合した高温・低塩



(a) 8月2日 (中潮)



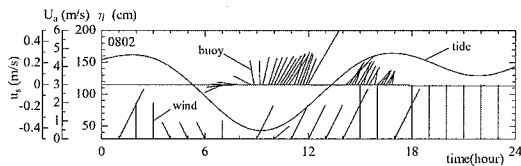
(b) 8月11日 (小潮)



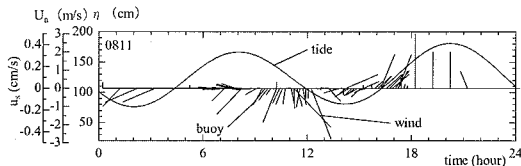
(c) 1月16日 (大潮)

図-2 漂流ブイの軌跡と風向・風速ならびに潮位変化

分水, 8m以深の下層では低温・高塩分の外海水が存在し、明瞭な成層構造が認められる。午後になると風も潮流も強まるために成層が崩れ、鉛直方向にほぼ様な分布となる。表層近傍では、早朝の急峻な密度勾配が時間の経過につれて深くなだらかな勾配へと変化し、陸水と海水の混合が生じていることがわかる。図-6(a), (b)に、Chla濃度の鉛直分布のラグランジェ的变化を示す。濃度の値はウラニン基準である。Chla濃度は午前中上層で高く、下層で低い傾向を示す。その鉛直分布は水温や塩分の成層構造とほぼ一致する。午後になると鉛直方向にほぼ一様で高い値を示す。図-7に、8月2, 3日に



(a) 8月2日



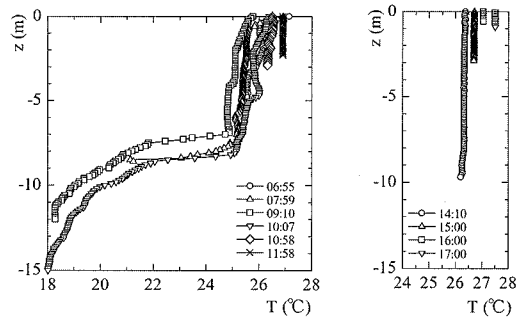
(b) 8月11日

図-3 漂流ブイの流速ベクトルと潮位変化ならびに風向・風速

における水面下0.5 mでの水温 T と塩分 S のラグランジェ的变化を示す。表層の T は、2, 3日の午前中ならびに2日の午後に見られるように、岸に近づくとも上昇する傾向にある。一方 S は岸に近づくとも低下する傾向にある。これは高温・低塩分の岸側の水塊と低温・高塩分の外海水とが混合することを示しているものと推察される。

(3) 栄養塩のラグランジェ的变化

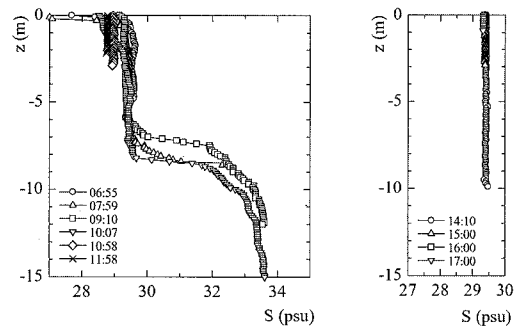
図-8(a), (b)に、8月2, 3日における TN , TP のラグランジェ的变化を示す。図中の破線は、観測を中断したことによりバッグ内の海水を入れ替えたことを示している。図から、 TN , TP は観測期間を通じて大きな変動がなく、バッグ内外でも大きな差がないことがわかる。図-9(a), (b)に、 PON と溶解態無機窒素 DIN のラグランジェ的变化を示す。図から、とくに2日と3日の午前中において、 PON が増加すれば DIN が減少し、 PON が減少すれば DIN が増加する傾向がわかる。また、 PON , DIN とともに、生海水とバッグ内の海水とは類似した変化傾向を示すが、とくに2日の午前中において、生海水の変化率の方が大きいことがわかる。神尾ら(2005)の結果から、 PON の変動は $Chl.a$ 濃度の変動によるものと考えられる。従って、無機栄養塩の豊富な干潟直上水とプランクトンの豊富な外海水が混合して $Chl.a$ が増加するために PON が増加すると考えられる。図-10に、8月2, 3日における $Chl.a$ 濃度のラグランジェ的变化を示す。図中の×印はクロロテックで計測した結果である。図から、 $Chl.a$ 濃度は PON と類似した変化を示し、沖合いへ流出すると上昇し、岸に近づくとも低下する傾向を示す。また、とくに2日の午前中において、生海水のほうがバッグ内の海水よりも増加率が大きいことがわかる。従って、水塊の混合が $Chl.a$ の増加に影響を及ぼしていることがわかる。図-11に、8月2, 3日における三態窒素のラグランジェ的变化を示す。図から、



(a) 8月2日午前

(b) 8月2日午後

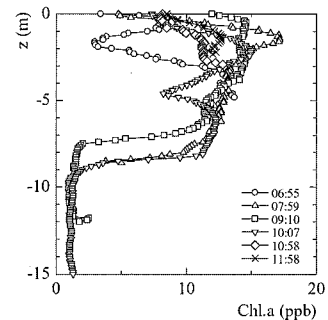
図-4 水温の鉛直分布のラグランジェ的变化



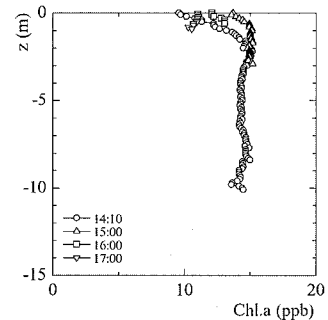
(a) 8月2日午前

(b) 8月2日午後

図-5 塩分の鉛直分布のラグランジェ的变化



(a) 8月2日午前



(b) 8月2日午後

図-6 $Chl.a$ の鉛直分布のラグランジェ的变化

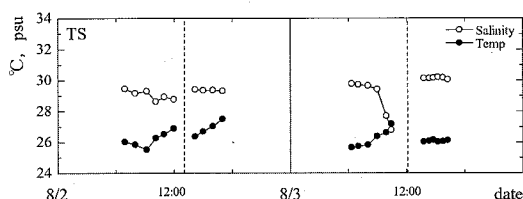


図-7 表層の TS のラグランジェ的变化 (8月2, 3日)

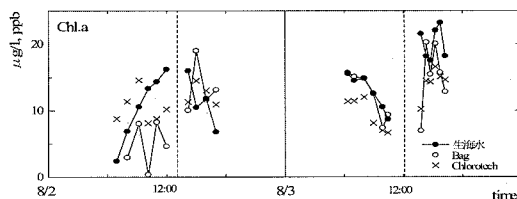
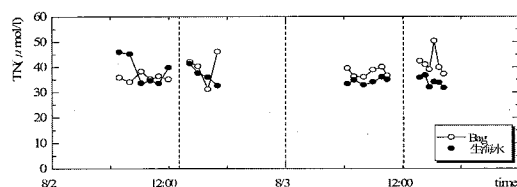
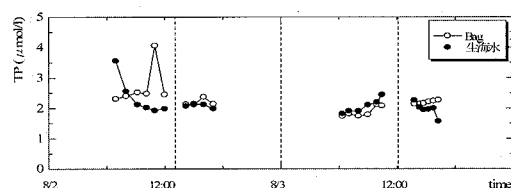


図-10 Chl.a のラグランジェ的变化 (8月2, 3日)

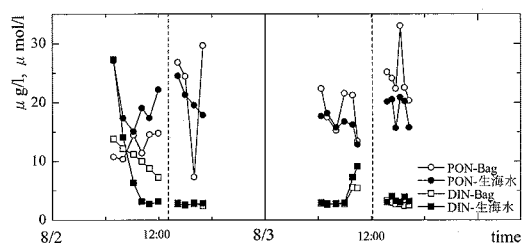


(a) TN

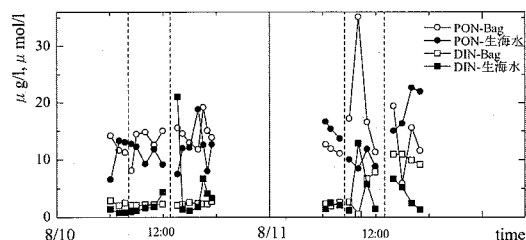


(b) TP

図-8 TN, TP のラグランジェ的变化 (8月2, 3日)



(a) 8月2, 3日



(b) 8月10, 11日

図-9 PON, DIN のラグランジェ的变化

バッグ内外の海水ともに $\text{NH}_4\text{-N}$ がもっとも高く、DIN の推移と同様に、一度沖合いに出たら岸へと向かう2日午前では濃度が低下し、単純に沖から岸に向か

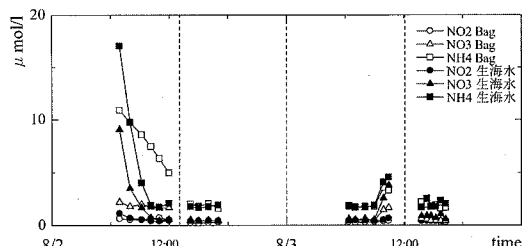


図-11 三態窒素のラグランジェ的变化 (8月2, 3日)

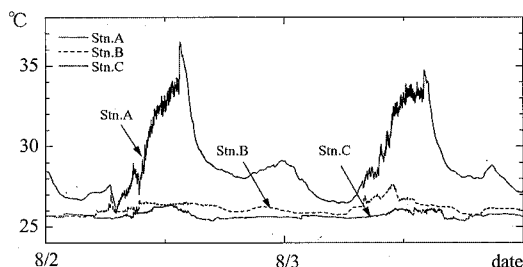


図-12 水温の時間変化 (8月2, 3日)

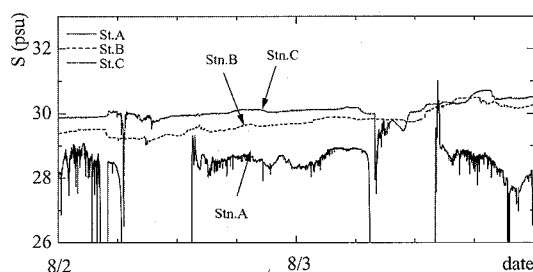


図-13 塩分の時間変化 (8月2, 3日)

う3日午前では濃度が上昇する。 $\text{NH}_4\text{-N}$ が大きな値を示すことは、潮間帯での生物代謝の影響があることを示していると考えられる。

(4) オイラー観測

図-12に、8月2, 3日における水温の時間変化を示す。図から潮下帯では観測期間中に大きな水温変化はないことがわかる。また、Stn.A からCへと沖に向かうにつれて水温が低下する傾向が認められる。図-13に、塩分の時間変化を示す。図から、潮下帯では観測期間中に大き

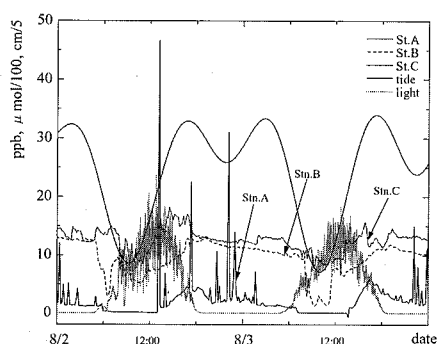


図-14 濃度ならびに光量子量の時間変化と潮位変化 (8月2, 3日)

な濃度変化はないことがわかる。また、Stn.A から C へと沖に向かうにつれて塩分が上昇する傾向が認められる。図-14 に、Chl.a 濃度と潮位ならびに光量子量の時間変化を示す。Chl.a 濃度はウラニン基準の値である。図から、とくに Stn.A において、Chl.a 濃度は干潮時に低下し、潮位が高い時間帯、とくに光量子量も高い時間帯に増加することがわかる。また、Stn.A から C へと沖に向かうにつれて Chl.a 濃度が上昇する傾向が認められる。従って、Chl.a 濃度の高い外海水が上げ潮時に干潟上に侵入し、二枚貝などに捕食されるものの、日射と豊富な栄養塩を得て植物プランクトンがさらに増殖することがわかる。こうした結果はラグランジェ観測の結果と一致する。

4. 結 論

干潟潮間帯および周辺の海域における水質は、顕著な空間的構造を有しながら時間的にも変動している。本研究では、漂流ブイによる水塊の追跡調査を行うことにより、同一水塊の時間的な水質変動と、混合による変動を分離することを試みた。無機栄養塩の豊富な干潟直上水は、潮流と風の影響を受けて移動し、Chl.a の豊富な外海水と混合して PON が増加し DIN が低下した。一方、外海水は岸に近づくとも PON が低下し、DIN が上昇した。外海水との混合のないバグ内の海水よりも、生海水の

方が濃度変化の割合が大きいため、外海水と干潟直上水の混合が PON の増減とそれに伴う栄養塩の増減に大きな影響を及ぼしている。

謝辞：現地観測を行うにあたり、久津間漁業協同組合ならびに江川漁業協同組合の方々には多大なるご協力をいただいた。また、(独法) 港湾空港技術研究所海洋・水工部の内村真之氏、(株) 若築建設東京本社技術部の村上晴通氏には、観測時に多大なるご協力をいただいた。ここに記して感謝の意を表する。本研究の一部は、鉄道建設・運輸施設整備支援機構からの助成および環境省地球環境保全等試験研究費の補助を受けて行われたことを付記する。

参 考 文 献

- 青山裕晃・今尾和正・鈴木輝明(1995)：干潟域の水質浄化機能—一色干潟を例にして—, 月刊 海洋, Vol.28, No.2, pp.178 - 188.
- 神尾光一郎・中村由行・三好英一・桑江朝比呂・細川真也(2005)：ラグランジェ及びオイラー的手法を併用した干潟潮間帯—潮下帯の水質応答特性に関する現地観測, 海岸工学論文集, 第 52 巻, pp. 996 - 1000.
- 児玉真史・松永信博・水田健太郎・徳永貴久(2002)：和白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, No.720/Ⅶ- 25, pp. 1011 - 1015.
- 佐々木克之(1997)：内湾および干潟における物質循環と生物生産 [22]夏季の盤洲干潟の窒素, リンおよびクロロフィル a の収支, 海洋と生物, 第 19 巻, 第 3 号, pp. 244 - 248.
- 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, 第 17 巻, 第 3 号, pp. 158 - 166.
- 中村由行・野村宗弘・神尾光一郎(2004)：盤洲干潟周辺海域における底生系と浮遊系のカップリングに関する研究, 港湾空港技術研究所報告, 第 43 巻, 第 2 号, pp. 35 - 71.
- 野村宗弘・中村由行(2002)：盤洲干潟における潮汐に伴う水質変動に関する現地観測, 水環境学会誌, 第 25 巻, 第 4 号, pp. 217 - 225.
- 野村宗弘・中村由行(2003)：盤洲干潟の大潮・小潮における水質観測と栄養塩収支, 用水と廃水, 第 45 巻, 第 11 号, pp. 1053 - 1061.
- 日向博文・金津伸好・佐藤建治・松岡健志・藤井智史・高尾敏幸(2005)：HF レーダーによる東京湾の M2 潮流観測, 沿岸海洋研究, 第 43 巻, 第 1 号, pp. 51 - 60.