

赤潮・底泥対策技術開発事業

底泥の堆積過程の解明と堆積抑制手法の開発

清水康弘

目的

英虞湾における底泥の堆積過程は、河川等から流入する陸域起源物質の影響を強く受けていると考えられる。しかし、実際に湾内でどのような影響を受けているのかはあまり明らかにされていない。なお、堆積物の表層には、未分解の有機物が多く含まれており、これが分解されて栄養塩として溶出することで、赤潮プランクトンの動態に大きな影響を及ぼしていると考えられる。そこで、英虞湾に堆積する有機物の分解特性により河川の影響を検討するとともに、夏季における堆積物の除去厚が栄養塩の溶出フラックスにどのような影響を与えるのかを調べた。

また、湾内に繁茂するアマモは、夏季に一部分が枯死脱落し、浮上草体として湾内を漂った後、沈降して難分解性有機物として底泥に堆積していると考えられる。一方、近年におけるナマコの需要拡大により、漁業者のナマコ増殖への関心が高まっている。そこで、湾内のアマモ藻場においてナマコを増殖させることで、堆積するアマモの分解、除去の促進が可能かどうかを検討するため、アマモを餌料としたナマコの飼育試験を行った。

1. 有機物分解特性による河川の影響

方法

英虞湾に堆積する底泥に対する河川の影響を把握するため、英虞湾に流入する最大河川である前川河口付近 (St.1) から湾央 (St.7) までの河口域調査ラインと、大きな河川の流入が無い神明小才庭 (St.8) から湾央までの湾奥域調査ラインの2つのラインを設定した。そして、それぞれのライン上に11ヶ所の測点を設けた (図1)。この測点において、平成20年5月、8月、11月、平成21年2月に、潜水作業によりアクリルコア (内径11cm) を用いて柱状採泥を行い、表層堆積物 (0~2cm) を不攪乱の状態で採取した。採取した堆積物は目合い0.5mmの篩で濾して異物を取り除いた後、CODとTOC、TN含量の分析を行った。分析はCODをアルカリ分解法にて、TOC、TN含量は底泥を105℃、24時間で乾燥した後、すり潰して6Nの塩酸で酸処理した後、CNコーダー (エレメンタル社, vario-MAX) にて測定した。

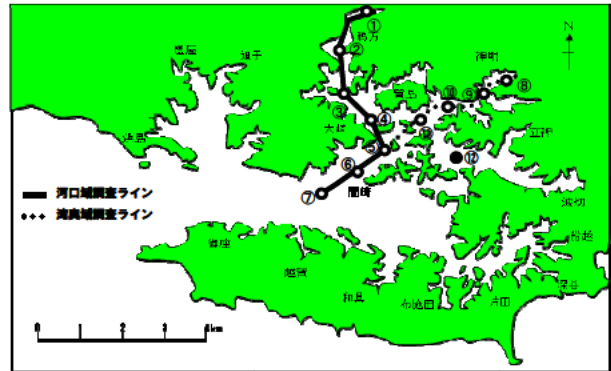


図1 測点の位置

結果及び考察

1. 有機物分解特性による河川の影響

河口域ラインと湾奥ラインの各測点のCODの推移を図2に、各測点のTOC、TNの推移を図3、図4に示す。

CODは各測点で22.8~94.1 mg O₂/g-dryの範囲で推移していた。また湾奥部、特に河口付近の測点で高い傾向がみられ、11月に最大値を示した。これは河川からの易分解性物質の流入、堆積の影響と考えられ、河口付近では河川の影響を強く受けていることが示唆された。

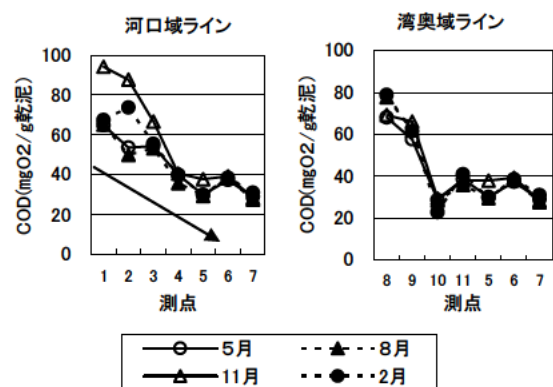


図2 各測点におけるCODの推移

TOCは各測点で1.0~4.4 mg/g-dry、TNは0.1~0.5 mg/g-dryの範囲で推移しており、TOC、TNとも湾奥部で変動が大きい傾向が認められた。なお、湾央域では、5月のタコノボリ (St.7) を除いて、各測点とも季節的な変化はあまり認められず、比較的安定していた。

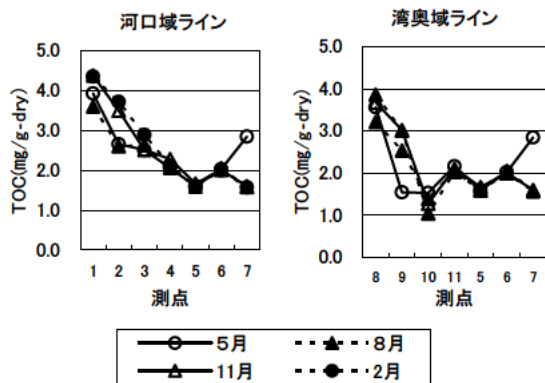


図3 各測点における TOC の推移

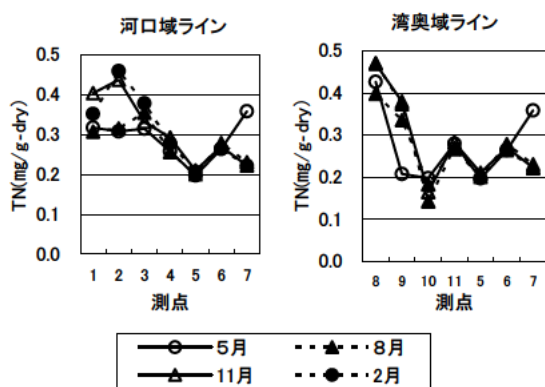


図4 各測点における TN の推移

CN比は、各測点とも同じ比率で非常に安定しており、St.1のみ他の測点と異なる傾向を示していた(図5, St.1のみ白抜きで表示)。CN比は、St.1を除いた測点で 7.7 ± 0.4 , St.1で 11.8 ± 0.7 (いずれも平均値±標準偏差)であった。これにより、St.1は他の測点とは異なり、陸域起源の有機物の影響を強く受けていると考えられた。

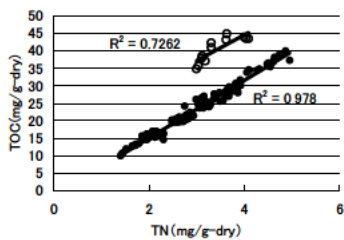


図5 全測点の TOC と TN の関係

ここで、TOCで示される炭素が分解され、全て CO_2 となると仮定し、必要となる酸素量を TOC 換算値として算出した。そして TOC 換算値から COD の酸素要求量を差し引いた残りの酸素量を難分解性酸素要求量とみなし、TOC 換算値に占める難分解性有機物として、その割合(%)を求めた(図6)。なお COD に占める硫化物等の金属性還元性物質の酸素要求量は考慮していない。

その結果、2月を除いて湾奥から湾口にかけて難分解性有機物の割合が増加する傾向が認められた。また、河口域調査ラインと湾奥域調査ラインで比較すると、河口域調査ラインでは、河口に近い測点において、大きく変化していると判断された。2月は St.1 が 48.4 (%) と高い値を示した他は、いずれの測点も 26.9~37.5 (%) の範囲となっていた。これらの結果から、湾内で堆積している有機物は陸域起源の河口に近い測点や沿岸に近い測点ほど、堆積している有機物中の易分解性の割合が多くなっており、易分解性有機物の堆積は陸域、とくに河川からの流入の影響が強いと推察された。なお、2月において難分解性有機物の割合が低くなった理由として、TOC濃度は周年でほぼ安定していることから、TOCに占める難分解性物質の分解が進んだ結果と推測されたが、詳細は不明である。

以上の結果から、英虞湾の底泥堆積は河川の影響を強く受けており、前川の影響として、河口から鶴方までの測点において、易分解性有機物が流入、堆積していることが示唆された。

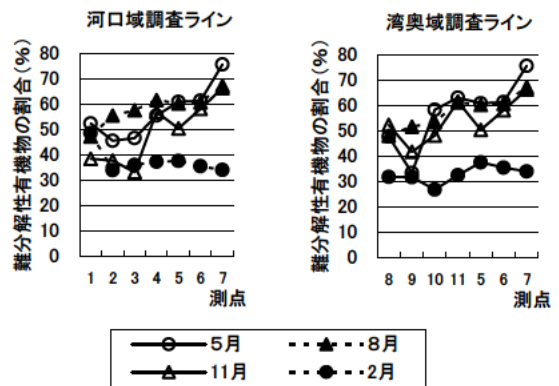


図6 各測点における難分解性有機物の割合 (%)

2. 表層泥が DIN, $\text{PO}_4\text{-P}$ の溶出フラックスに与える影響方法

調査は英虞湾奥部の立神(図1, St.12)で平成20年8月21日に、湾奥付近のタコノボリ(図1, St.7)で平成20年9月17日に実施した。各測点において潜水作業により、アクリルコア(内径11cm)を用いて、不攪乱状態の底泥コアを10~20cmの厚みで採取した。この底泥コアを室内に持ち帰り、直上水を静かに抜き取った後、底泥の表層部分をスプーン等で0, 2, 5, 10cmの厚さで除去し、残りの泥厚が10cmになるように調整した底泥コアを各試験区について作成した。

DIN, $\text{PO}_4\text{-P}$ の溶出フラックスは直上水の溶存酸素条件が大きく影響することから、溶出試験区は好気区と嫌気区を設定した。酸素飽和区では、エアレーションで酸素を飽和状態とした濾過海水を直上水として満たした後、

底泥を巻き上げない程度にスタラーで攪拌し、エアレーションを行いながら培養した。嫌気区では、窒素ガスで溶存酸素を除去した濾過海水で満たした後、酸素飽和区と同じ方法で直上水を攪拌しながら、密閉した状態で培養した。培養は底泥採取時の底-1m 層水温と同じ温度に調整したウォーターパス内で5日間、行った。

サンプリングは培養開始時、1, 3, 5日目に実施した。直上水の溶存酸素濃度をDOメーター(YSI-model158)にて測定した後、直上水をプラスチック製シリンジにて抜き取り、GF/Fフィルター(Whatman製, PURA DISK, 目合 0.7 μ m)で濾過してから-30 $^{\circ}$ C凍結保存した。DIN, PO₄-P濃度は自動栄養塩分析装置(BRAN+LUEBE製, TRAACS2000)にて測定し、DIN, PO₄-Pの溶出フラックス(1日あたりの平均値)を求めた。なおサンプリング後に減量した直上水は、好気区、嫌気区別に溶存酸素濃度を調整した清浄な濾過海水で補充した。また、培養とは別に採取した底泥コアを、表面から1cmの泥厚で切り出し(立神は0~14cm, タコノボリは0~15cm)、層毎にAVSを検知管法、CODをアルカリ法で分析した。

結果及び考察

底質分析結果を図7に示す。AVS, CODとも立神とタコノボリで大きく異なっていた。AVSでは立神では表層(0-1cm層)の1.7 mg S/g-dryから、最深層(13-14cm層)の0.3 mg S/g-dryまで徐々に減少していたのに対し、タコノボリでは表層の0.1 mg S/g-dryから、6-7cm層の0.3 mg S/g-dryまで徐々に増加し、それ以降は最深層(14-15cm層)までほぼ同程度となっていた。

CODにおいては、立神では表層の56 mg O₂/g-dryから、最深層の33 mg O₂/g-dryまで徐々に減少していたのに対し、タコノボリでは表層から最深層まで29~31 mg O₂/g-dryの範囲でほぼ一定の濃度となっていた。

このことから、立神ではタコノボリと比較して底質が悪化しており、溶出試験において、いずれの除去厚の底泥においても、AVS, CODとも立神の方がタコノボリよりも高かったことが伺えた。

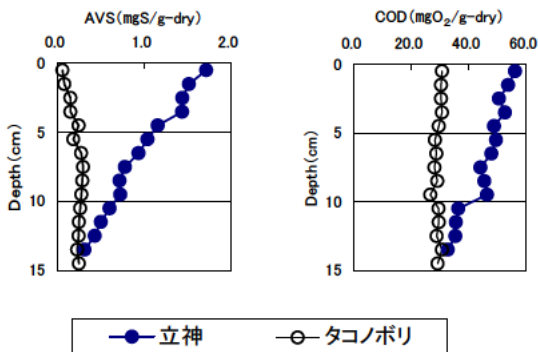


図7 底泥のAVSとCODの鉛直分布

各試験区のDINとPO₄-Pの溶出フラックスの状況を図8, 図9に示す。DINの溶出フラックスは、各除去厚とも好気区では立神0.5~2.7mM/m²/day, タコノボリ0.0~1.3mM/m²/day, 嫌気区では立神7.8~46.7mM/m²/day, タコノボリ0.0~53.4mM/m²/dayとなり、好気区より嫌気区の方が各除去厚の泥で約1.5~11倍、高かった。好気区では一部、NO₃-N, NO₂-Nの溶出が認められたものの、ほとんどがNH₄-Nであった。嫌気区での溶出は全てNH₄-Nであった。嫌気区ではNO₃-Nの減少が認められたことから、脱窒反応による窒素の系外への放出もわずかながら生じていると考えられる。

好気区では除去厚が大きいく程、溶出フラックスが減少しており、立神の方がタコノボリより2倍程度大きかった。一方、嫌気区では0, 2cm除去厚の泥で、立神よりタコノボリの方が高い値となった。この原因として、タコノボリの嫌気区では、立神の嫌気区と較べて、多数のベントス(ゴカイ類, ヒトデ類)の死がいがある底泥上に認められたことから、ベントスの死がいのからのNH₄-Nの溶出の影響と推測された。

PO₄-Pの溶出フラックスは、各除去厚において好気区では立神0.0~1.0 μ M/m²/day, タコノボリ0.0~0.7 μ M/m²/dayであった。好気区より嫌気区の方が各除去厚の泥で約5~65倍、高い値となっており、いずれの除去厚の泥でも立神の方がタコノボリより溶出フラックスが大きい値となっていた。なお、サンプリング時における好気区と嫌気区の溶存酸素濃度は、立神では好気区で5.5~6.5 mg O₂/L, 嫌気区で0.4~1.1 mg O₂/L, タコノボリでは好気区で5.3~6.2 mg O₂/L, 嫌気区で0.1~0.3 mg O₂/Lであった。

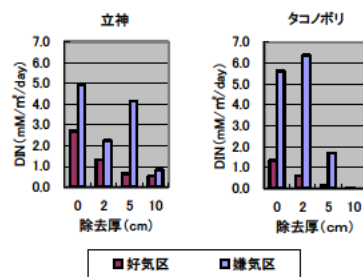


図8 DIN溶出フラックスの状況

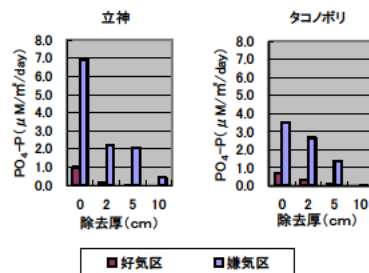


図9 PO₄-P溶出フラックスの状況

以上の結果から、立神、タコノボリのいずれの測点においても底泥の表層部分を除去することにより、栄養塩の溶出フラックスが減少した。立神では底泥を 2cm の厚さで除去することで、好気条件では DIN が約半分に、P O₄-P が約 5 分の 1 にまで減少し、嫌気条件では DIN が約半分に、PO₄-P が約 3.5 分の 1 にまで減少していた。タコノボリでは、立神ほど大きな減少は認められなかった。このことは、タコノボリでは立神と比較して分解しにくい有機物が堆積していると考えられ、先項の 1. 有機物分解特性による河川の影響で述べた、難分解性の割合の調査結果を裏付ける結果と考えられた。

3. アマモを餌料としたナマコの飼育試験

方法

餌料として投与したアマモは、英虞湾の湾奥の底泥上に堆積していた枯死体のアマモを採取し、ホヤ等の付着生物を取り除いて使用した。ナマコは、近海で漁獲された後、4 日間程度、無給餌で飼育された活ナマコ（アカナマコ、平均体重 200g）を使用した。ナマコの体重は 1 尾ずつ水揚げして容器に入れ、5 尾分の重量をまとめて測定した。

試験区は、対照として海藻（購入した生ヒジキと生モズクの混合物）とナマコ 5 尾を収容した 1 区と、アマモとナマコ 5 尾を収容した 2 区の計 2 区とした。飼育期間は 8 日間で、屋内に設置したアクリル水槽（容量 40L）に約 27L の海水を入れ、湿重量を測定したナマコ、アマモ、海藻を収容し、止水条件でエアレーションを行いながら飼育した。換水は 1 日に 1 回行い、飼育水の半量（13L 程度）を 100 μメッシュのタモ網で濾しながらサイホンにて抜き取り、流出した海藻、アマモを水槽に戻した後、新鮮な濾過海水で補充した。

試験終了時において、残存していた海藻とアマモを糞と共に、換水時に使用したタモ網を用いて回収し、湿重量を測定した。なお、使用したアマモの状態を判断するため、試験開始時と終了時のアマモの TC（総炭素）、TN（総窒素）含量を測定した。また 2 区で使用したナマコにおいて、体重測定後にアマモ由来と思われる糞を排泄していたことから、この糞を採取し、TC、TN 含量を測定した。アマモ、糞の TC、TN 含量の測定には先述の CN コーダーを用いた。飼育水温の測定は棒状水温計を使用し、1 日に 1 回、換水後に測定した。

結果と考察

飼育期間中の水温は、各試験区とも 11.7～14.2℃の範囲で推移していた。飼育期間中、ナマコの異常行動、へい死は認められなかった。また試験開始の翌日以降、各区ともナマコの糞が観察された。外観から 1 区の糞は明

らかに海藻由来の糞と思われたが、2 区の糞はアマモ由来か否かは不明瞭であった。

飼育期間中のナマコの体重（湿重量）の変化は 2 区、3 区とも 0.1kg/5 尾の減少がみられ、海藻、アマモによる違いはあまり認められなかった。

アマモ、海藻の全湿重量の変化を表 1 に、アマモの TC、TN 含量の変化、試験終了時のナマコ糞の TC、TN 含量を表 2 に示す。

海藻、アマモの全湿重量は、海藻 44.7g、アマモ 6.0g の減少が認められ、海藻と較べてアマモはナマコによる摂食量が少ないと判断された。

試験に使用したアマモの TC、TN 含量は、TN 16.6 mg/g-dry、TN 1.2 mg/g-dry で、CN 比は 13.8 であった。また、試験終了時に回収したアマモ由来と推測されたナマコの糞は、TC 5.8mg/g-dry、TN 0.7 mg/g-dry で CN 比は 8.3 であった。アマモと比較して、糞の TC、TN 含量が減少していたことから、ナマコの摂食により、アマモの炭素、窒素成分がナマコに消化吸収されて減少したと推測された。

以上の結果から、ナマコはアマモを摂食して、アマモの成分を消化吸収することが可能と推測されるものの、海藻と比較すると、ほとんど摂食しないことから、アマモ藻場において、ナマコの増殖による枯死アマモの分解、除去の促進は難しいと判断された。

表1 各区における海藻、アマモの湿重量(g)の変化

	開始時	終了時	減少量
1区(海藻)	106.2	61.5	44.7
2区(アマモ)	228.8	222.8	6.0

表2 TC、TN含量の分析結果

	TC	TN	CN比
アマモ	16.6	1.2	13.8
ナマコ糞	5.8	0.7	8.3

単位:mg/g-dry