

東京湾三番瀬の猫実川河口域における 底泥堆積環境の空間特性とその形成要因

佐々木 淳*・赤枝 耕次**・Hendra Achiari***

埋立の影響による流れの滞留によって環境が劣化したとされる東京湾三番瀬の猫実川河口域を対象として、底泥堆積環境の簡便な調査法を開発することにより、浮泥域や底泥層厚の詳細な空間分布を把握した。その結果、全般的には砂泥質の猫実川河口域には局所的に浮泥が厚く堆積した領域の存在が確認された。泥層下の砂層表面地形を調べると局所的な窪地が存在し、浮泥の堆積はその凹部にのみ見られることが明らかとなった。一方、これらの底質中の有機物起源について炭素安定同位体比を用いて検討したところ、従来言われていたアオサが支配的であるという証拠は得られず、猫実川河川水または海産の植物プランクトンの寄与を示唆する結果が得られた。

1. はじめに

東京湾三番瀬の猫実川河口域は浮泥（ヘドロ）の堆積した劣悪な環境にあるという指摘がある一方、泥質とはいっても細砂も多く、生物が豊富で比較的良好な環境にあるとの主張もあり、千葉県三番瀬円卓会議における争点の一つともなっていた（三番瀬再生計画検討会議，2004；市川市，2003；田久保，2003）。これまで千葉県による補足調査（千葉県土木部・千葉県企業庁，1998）をはじめとして多くの調査がなされてきたが、調査点数が限られることもあって、環境の劣化が著しいとされる猫実川河口域の実態には不明な点が多く残されていた。呉ら（2003）は猫実川河口域に焦点をあてた調査を行うことで、当該海域の底質は全般には砂泥質であり、著しく劣化した環境にあるとはいえないことを示したが、一方で明らかにヘドロ化した底質域の存在が知られており、同じ猫実川河口域におけるこのような底泥環境の相違の原因は不明のままである。浦安の埋立によって猫実川河口域の環境が全体的に劣化したのは明らかであるが、一部に浮泥化という著しい環境劣化が生じた原因を明らかにすることは、過去に行われた埋立による海域環境への影響を総括していく上で有用な情報になると考えられる。

一方、底泥中の有機物の起源については状況証拠からアオサの堆積説が有力視されているが、科学的根拠に基づく議論はほとんどなされておらず、真実は分かっていない。

そこで本研究ではまず、調査手法を工夫することで空間的に密に底泥堆積環境を把握し、底質環境の空間分布特性とその形成要因の解明を試みる。また堆積有機物の起源を調べ、浮泥域の形成要因を総合的に考察する。

表-1 現地調査日および調査内容

調査日	調査内容
2003 年 11 月 29 日	予備調査
2003 年 12 月 4 日	底泥堆積層厚調査
2003 年 12 月 9 日	底泥堆積層厚調査
2003 年 12 月 11 日	底泥堆積層厚調査 底泥コア採取
2004 年 1 月 5 日	底泥堆積層厚調査 底泥コア採取
2004 年 1 月 22 日	底泥堆積層厚調査 底泥コア採取

2. 現地調査と分析方法

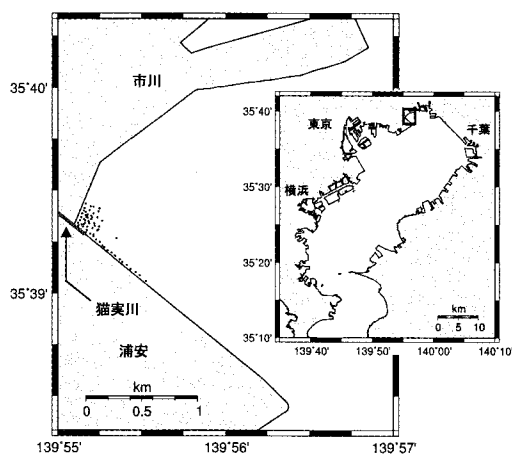
(1) 概要

現地調査は東京湾三番瀬の猫実川河口域の図-1に示す点において実施した。調査地点の選定にあたっては浮泥の堆積領域を可能な限り網羅するよう注意を払い、砂質域は調査地点からはずしてある。調査は2003年11月から2004年1月にかけて表-1に示す通り、計6回実施した。調査内容は大きく3つに分けられ、1)簡易コーン貫入試験器（誠研社 DO-10）を用いた底泥の層厚分布調査、2)コアサンプリングによる含水比等の底質分析、および3)底質、アオサ、河川水等の各種試料中の炭素安定同位体比分析から構成される。調査は備船により行い、調査地点の位置出しはGPS（GARMIN eTrex Legend）を基本としながら、微細な空間分布の把握を目的としているため、精度1mのレーザー距離計（Nikon LASER 800）を用いて、護岸からの距離を出しながら位置決めを行った。その後、船をアンカーで固定した後、超音波式水深計（HONDEX PS-7）を用いて水深を測定し、次項以降に示す通り、各種調査分析を行った。

(2) 底泥の堆積層厚調査

本研究の主題の一つである底泥堆積層厚の調査においては、浮泥（ヘドロ）の堆積層厚と定着泥や砂泥を含む砂泥層の層厚分布の計測を試みた。調査に際しては空間的に密な計測を迅速に行う必要性から、簡易コーン貫入

* 正会員 博(工) 横浜国立大学助教授 大学院工学研究院システムの創生部門
** 横浜国立大学大学院 工学府社会空間システム学専攻
*** M. E. 横浜国立大学大学院 工学府社会空間システム学専攻

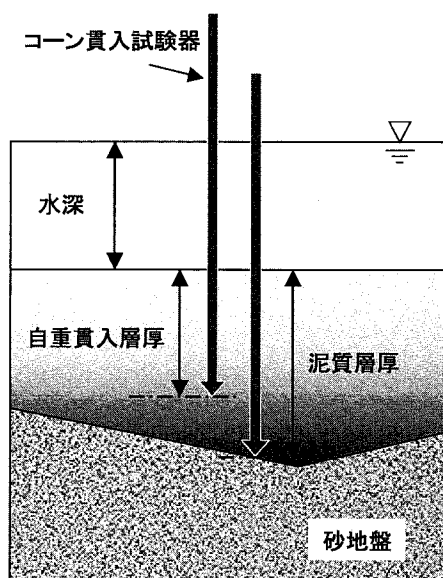


図一 現地調査位置

試験器を用いた簡便な手法を考案した。その概略を図一2に示す。

調査の手順はまず、水深計により水深を測定した後、全長5 mの簡易コーンを人力を加えることなく自重のみで底泥に貫入させた。このとき簡易コーンは本体と底泥との摩擦抵抗と自重が釣り合う深度まで貫入して静止することになる。このときの泥質中の貫入層厚を自重貫入層厚と呼ぶことにする。簡易コーンは泥の含水率が高く軟弱であればあるほどより深部まで貫入することは容易に想像がつき、一方、定着泥や砂泥の場合は自重のみによる貫入はほとんど起こらないことを確認している。そのため、自重貫入層厚は浮泥の堆積層厚を見積もるための一つの尺度になりうると考えられる。もっとも、本手法では貫入層厚が大きくなればなるほど簡易コーンと底泥との摩擦は大きくなり、また、含水比の差異によっても貫入深度は変わってくるため、定量的な評価に使えるものではない。しかしながら、各調査点における底泥の軟らかさの度合いや浮泥の相対的な堆積層厚の大小を見るための指標としては、その簡便性と相まって有効な指標であると考えられる。なお、本手法では貝殻や石等の異物によって貫入が阻害されるといったことが起こるため、1地点につき1 m程度ずらしながら3回以上測定し、また、貫入が停止した際には異物の感触がないか確認し、異物の疑いのある場合は測定結果から除外した。

このようにして自重貫入層厚を把握した後、次は人力を加えることにより可能な限り簡易コーンを貫入させ、それ以上の貫入が不可能な限界時の貫入層厚を測定し、これを最終貫入層厚と呼ぶことにする。この貫入限界時は何らかの壁のようなものに突き当たった感触が得られ、コーンを回転させるとじわりじわりとした感触が得られることから、硬い砂層の表面に到達したものと確信され



図二 簡易コーン貫入試験器を用いた浮泥および底泥層厚の調査手法の模式図

た。

以上の測定が終了した後簡易コーンを引き上げ、ロットに付着した浮泥の色や臭気を確認した。これら一連の作業は5分程度で完了するため、所与の調査を極めて効率的に実施することが可能となった。

(3) 底質の採取と分析

含水比や強熱減量等の底質緒言を測定するため、コアサンプリングを実施した。船上からのコア採取を実施するため、水深や底泥層厚によって長さを調節可能なジョイント式コアを(有)河野製作所に依頼して作製した。たとえば水深1.5 m程度の地点であれば上部2 m、下部2 mのジョイント式コアを用いることにより、最大2 m弱のコアを採取することが可能となる。また、採取後はジョイント部で切り離すことにより、2 mのコアを持ち帰ればよいことになる。

取得したコアは直ちに横浜国立大学水理実験棟へ持ち帰り、コア試料は深度30 cmまでは3 cm間隔で、以深は5 cm間隔でスライスして袋分けにし、分析にかけるまで冷蔵保存した。採取した試料を用いて含水比および強熱減量を測定した。

(4) 炭素安定同位体比分析

炭素・窒素安定同位体比は食物連鎖の解析に広く用いられているが、特に炭素安定同位体比は栄養段階を通じてほとんど変化せず、かつ一次生産者間での変動が大きいため、底泥中有機物の起源の推定に有効であると考えられている(Deniro・Epstein, 1978)。そこで本研究では底泥中有機物の起源と考えられる、アオサ、植物プラン

クトン、猫実川の河川水中有機物それぞれの炭素安定同位体比を測定し、底泥中の有機物の値と比較することにより、底泥中の有機物起源に関する情報を得ることを目的とする。着目しているのが炭素の安定同位体比のみであるため、起源が3種類以上ある場合にはその構成割合を出すことは不可能であるが、主要な起源が存在するかどうかの推定には有効であると考えられる。

分析に用いた試料は底泥、アオサ、猫実川の河川水である。底泥試料は表層植物の混入を防ぐため、コアの表層から3 cmと6 cmの間の底泥を用い、110°Cで24時間乾燥させた後、乳鉢を用いて粉碎した。アオサは常温で自然乾燥させ、河川水は約5 Lをガラス繊維濾紙を用いて濾過し、常温で自然乾燥させた。これらの試料の炭素安定同位体比分析を前処理の一部も含め（株）総合環境分析に依頼した。

3. 調査・分析結果

(1) 底泥の堆積層厚

図-3に自重貫入層厚の平面分布を示す。自重貫入層厚の大きな地点ほど浮泥化が著しいと考えられ、図-3は浮泥域の分布を表しているとみなすことができる。これによると、著しい浮泥化は図-3中のAおよび浦安護岸に沿った領域Bに見られ、共に局所的領域に限られることがわかる。このことは簡易コーン引き上げ時に硫化水素臭の見た海域がこれら2カ所のみであったことも符合する。すなわち猫実川河口域は局所的に浮泥（ヘドロ）化した海域が存在するが、全般的には猫実川の河口直近を含めて砂泥域であるとみるのが妥当である。

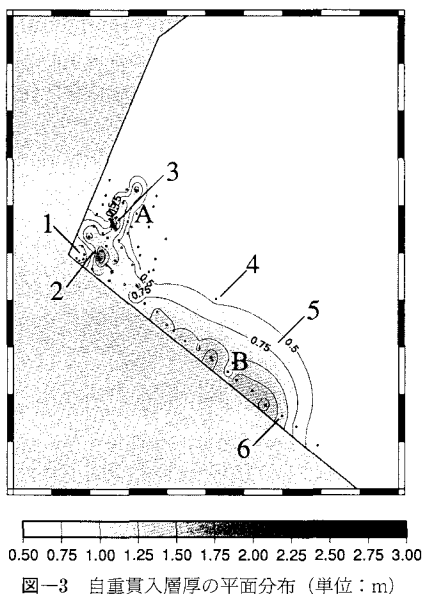


図-3 自重貫入層厚の平面分布（単位：m）

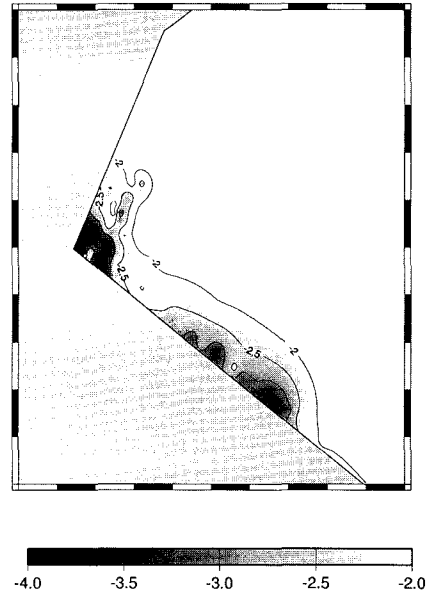


図-4 底泥層厚の平面分布（単位：m）

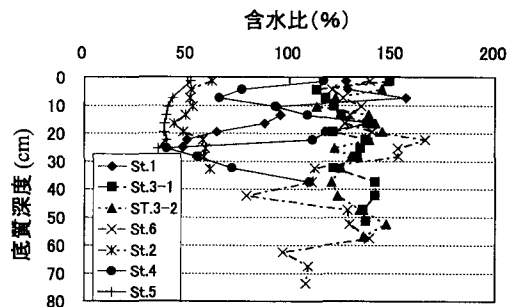


図-5 含水比の鉛直分布（%）

次に最終貫入層厚の平面分布を図-4に示す。最終貫入層厚は砂泥を含む泥質層の全層厚であり、砂質の原地盤の上に底泥が厚く堆積した結果を反映しているものと考えられる。底泥の厚く堆積している海域は浮泥の見た海域に加え、猫実川の河口直近を含むかなりの広範囲にわたっていることがわかる。

(2) 底泥の含水比と強熱減量

図-5に図-3の調査点1から6における底泥の含水比を示す。まず、地点間の相違に着目すると、浮泥域において含水比が高く、それ以外の地点とは値が大きく異なることがわかる。一方、鉛直方向の変化はばらつきは大きいものの、平面的な地点間の相違と比較すると比較的一様である。このことは含水比は底泥の代表粒径を反映して決まり、底質粒径は鉛直方向に比較して水平方向の変化が大きいことを意味している。図-6に示す強熱減量も同様の分布をしており、やはり浮泥域では著しく高いといった水平方向の変化が大きく、鉛直方向の変化

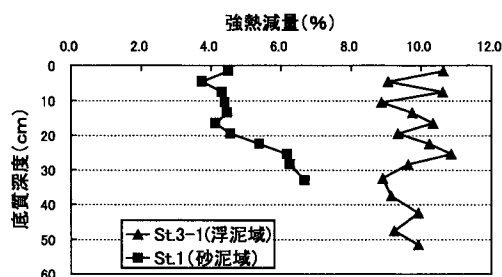


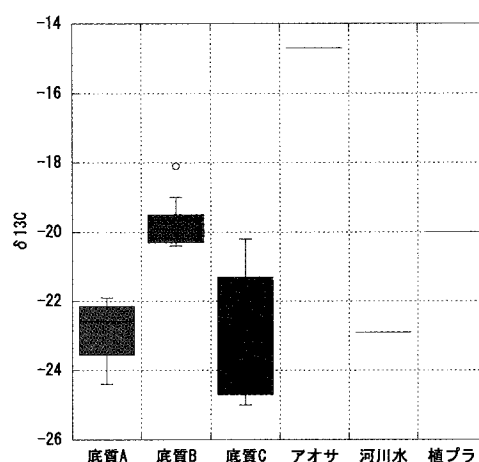
図-6 河口と浮泥域における強熱減量の鉛直分布 (%)

はややばらつくものの一様に近い。なお、1981年から1990にかけて下水の暫定放流が行われていたが、本調査で得られた結果からはその影響ははっきりしなかった。

(3) 炭素安定同位体比

図-7に猫実川河口域の底泥(底質 A)、三番瀬のアオサ、および猫実川河川水中懸濁物の炭素安定同位体比($\delta^{13}\text{C}$)を示す。同図中には環境庁水質保全局(1992)により測定された、東京湾内湾の底質(底質 B)および東京湾河口域の底質(底質 C)の炭素安定同位体比と和田(1988)による平均的な海産植物プランクトンの炭素安定同位体比を併せて示してある。ただし、各ボックスはデータの50%を囲み、バーは許容範囲内にあるデータの最大値と最小値を示している。ボックス内のラインは全データの中央値であり、データ数が一つしかない項目についてはその値をラインで示してある。

一般に陸起源の有機物中の $\delta^{13}\text{C}$ は -27‰ 程度の値をとり、海産の植物プランクトンの場合には -20‰ 程度と言われている(和田, 1988)。そのため、河口域の底質は陸域起源の有機物の影響が大きいために、河口から離れた内湾底質に比べて $\delta^{13}\text{C}$ 値が低くなると考えられている。このことは図-7に明瞭に示されており、猫実川河口域の底質は陸域起源有機物の影響がかなり大きいことを示唆する結果となっている。次に植物プランクトンについて見ると、夏期の東京湾では高い光合成活性のために二酸化炭素律則となるため、植物プランクトンの $\delta^{13}\text{C}$ 値は -15‰ 程度の値を示すことが報告されている(環境庁水質保全局, 1992)。底質中ではこのような高い $\delta^{13}\text{C}$ 値は見られないことから、夏期の植物プランクトン起源の有機物は速やかに分解され底質への寄与は小さく、秋から冬にかけて生産された有機物の寄与が大きいとの示唆が得られている。一方、アオサの $\delta^{13}\text{C}$ は底質のそれと比較してかなり高い値となっている。これはヘドロ中有機物の主要な起源は腐敗したアオサの堆積によるものであるとする従来の見解を支持する結果とはなっていない。

図-7 猫実川河口域底質(底質 A)、東京湾内湾の底質(底質 B)、東京湾河口域の底質(底質 C)、三番瀬のアオサ、猫実川河川水、および平均的な海産植物プランクトンの炭素安定同位体比($\delta^{13}\text{C}$)

4. 考察

(1) 浮泥域の形成要因

本研究により浮泥化した底質域は猫実川河口域の中でも局所的な領域に限られることが明らかとなった。

このように猫実川河口域の大半の領域では浮泥化が見られないことは、埋立地形による流れの滞留が浮泥化の主因ではないことを示唆している。ところで本調査で得られた底泥の全層厚と水深を足し合わせ負号を付けた値は埋立前(あるいは底泥堆積がまだ見られない時点)の砂層表面の標高を表していると考えられ、これを図示すると図-8のような地形が得られる。また、図-8において、猫実川河口部を拡大した鳥瞰図を図-9に示す。これらより、浮泥の堆積域は砂層の窪地地形と重なることがわかる。すなわち何らかの理由で窪地が存在あるいは形成され、その凹部が著しい滞留域となるために浮泥が堆積したと考えるのが自然である。埋立以前の当該海域は干潟・浅瀬であったことからこのような窪地が自然に形成されていたとは考えにくく、埋立用の土砂を採掘した跡地である可能性も示唆されるが、現時点では不明である。一方、猫実川河口直近は大規模な窪地が形成されていたと推測されるが、現状は比較的砂分に富んだ砂泥域となっており、浮泥化は見られない。この成因についても猫実川河口部が形成された際の市川側の埋立は浦安側よりも古く、埋立時に土砂の採掘が行われた可能性が考えられるが、今のところ不明である。また、その後、砂分に富む砂泥が堆積した原因についても猫実川整備時その他における人為的な影響やそれ以前の時期を含む過去の洪水時の土砂堆積の可能性が考えられるが、今のところ

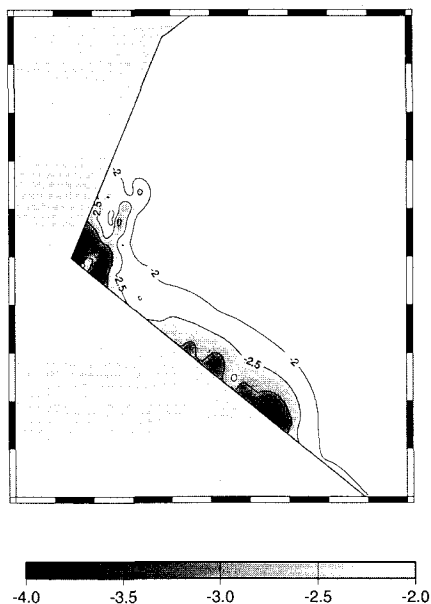


図-8 砂層表面の標高分布 (単位: m)

ろわかっていない。これらの不明点は今後、埋立前の状態、埋立工事の過程や地盤沈下の影響を含め総合的な調査を行うことにより検討していきたい。

(2) 底泥有機物の起源

次に浮泥を含む底泥中の有機物の起源について見ると、炭素安定同位体比分析の結果からはアオサが支配的であるとする証拠は得られなかった。むしろ底泥中有機物の $\delta^{13}\text{C}$ は猫実川の河川水中懸濁物（陸起源有機物）の値に近く、植物プランクトンの値からもそれほど遠くはないという結果であった。猫実川の河川水には未処理の生活排水が含まれ、その有機物含量は相当に高いと考えられる。また、三番瀬は湾奥に位置するため常時比較的高濃度の植物プランクトンを含む海水が流入し、底生動物による摂餌によって三番瀬の底質に速やかに輸送されていると考えられる。これらの結果は底泥中有機物の起源としては、猫実川河川水や植物プランクトン起源によるものがアオサよりも支配的であることを示唆するものであるが、今後データ数を増やしていくと共に、各有機物の負荷量を見積もることでさらに検討を進めていく必要がある。

5. 結 論

浮泥および底泥の堆積層厚の簡便な調査法として簡易コーン貫入試験器を用いる方法を開発することにより、猫実川河口域における浮泥の堆積域と底泥の全層厚分布を明らかにした。その結果、浮泥の堆積域は猫実川河口域の局所的な領域に限られ、他は砂泥質であることが判

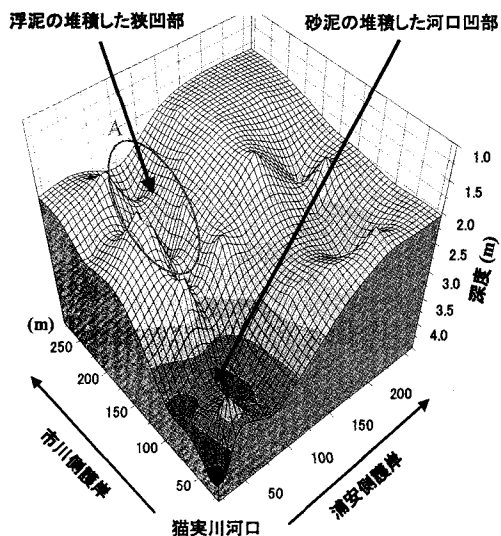


図-9 河口部における原地盤（砂地盤）の地形

明した。また、この浮泥は砂層に局所的に形成されていた窪地地形の凹部に堆積したものであることが示唆された。一方、これらの底質中の有機物起源については炭素安定同位体比の測定結果から、アオサが支配的であるという証拠は得られず、むしろ猫実川河川水や海産植物プランクトンが主因であるという可能性が示唆された。

謝辞：備船に際しては市川市行徳漁業共同組合にご協力いただいた。本研究は2002年度昭和シェル石油環境研究助成（代表：横浜国立大学佐々木助教授）および2003年度～2006年度日本学術振興会科学研究費基盤研究(B)(2)一般（代表：横浜国立大学佐々木助教授）の補助によるものである。

参 考 文 献

- 市川市 (2003): 三番瀬の再生に向けて—地元市川市の挑戦—, 327 p.
- 呉 海鍾・磯部雅彦・佐藤慎司・渡辺 晃 (2003): 東京湾三番瀬の猫実川河口における底質環境の現地調査, 海岸工学論文集, Vol. 50, pp. 1046-1050.
- 環境庁水質保全局 (1992): 青潮発生機構解明調査, 35 p.
- 三番瀬再生計画検討会議 (2004): 三番瀬再生計画案, 238 p.
- 田久保晴孝 (2003): ヘドロと三番瀬, 千葉の干潟を守る会 HP, <http://www.005.upp.so-net.ne.jp/sanbanze/>.
- 千葉県土木部・千葉県企業庁 (1998): 「市川二期地区・京葉港二期地区計画に係る環境の現況について」(要約版), 千葉県環境財団, 336 p.
- 和田英太郎 (1988): 化学構造よりみた食物連鎖—窒素・炭素安定同位体分別を中心として—, 河口・沿岸域の生態学とエコテクノロジー, 東海大学出版会, pp. 77-84.
- DeNiro, M. J. and S. Epstein (1978): Influence of diet on the distribution of carbon isotopes in animals, *Geochim. Cosmochim. Acta*, Vol. 42, pp. 495-506.