

横浜港における底質環境特性に関する現地調査

FIELD SURVEY ON SEDIMENT PROPERTIES IN YOKOHAMA PORT OF TOKYO BAY

佐々木 淳¹・角田 篤²

Jun SASAKI and Atsushi KAKUDA

¹ 正会員 博(工) 横浜国立大学准教授 大学院工学研究院(〒240-8501 横浜市保土ヶ谷区常盤台 79-5)

² 非会員 横浜国立大学大学院 工学府(〒240-8501 横浜市保土ヶ谷区常盤台 79-5)

Field observation on water quality and sediment properties was performed in Yokohama Port of Tokyo Bay in the winter of 2006. We developed an inexpensive method to determine the mud layer thickness efficiently using a cone penetrometer, which method would be a powerful tool to cover the spatial fluctuations of sediment properties as well as to be easily performed by citizens interested in estuarine environmental issues. We obtained detailed spatial variation in sediment quality and made discussion on the causes of its formation. We also found out the waters where high concentrations of sulfide were observed even in winter. The mechanism of the appearance of these polluted waters were attributed to the dredged bottom topography with slack waters, which situation seems to be the result of inappropriate dredging works. In shallower waters with the depth of around 5 m, significant amount of benthic animals were observed. This indicates the importance of the conservation and restoration of shallow waters even in a busy port.

Key Words: *Sediment pollution, sulfide, soft mud layer thickness, Keihin Port, Tokyo Bay*

1. はじめに

横浜港は1859年に開港されて以来、日本を代表する港湾の一つとして整備が進められてきた。特に1945年以降は大規模な埋立によって沿岸部の地形が大きく改変され、こういった人為的影響による底質環境の変化が顕著に見られる海域の一つである。近年は横浜港においても貧酸素水塊が現れるなど、水・底質の劣化が顕著となっている。岡田・古川¹⁾は横浜港を含む東京湾において音響探査と採泥を組み合わせた現地調査を行い、表層底質の現況を明らかにしている。本研究では対象を横浜港および京浜港の一部に絞り、表層底質に加えて貧酸素化等に関わる有機物に富む軟泥の堆積状況の把握を試みる。また、水質の改善する冬季に調査を実施することにより、水底質改善のポテンシャルと空間的な相違について明瞭にとらえることを目的とする。

一方、詳細な空間分布を把握するために比較的簡便な調査手法の導入を試みる。軟泥の堆積層厚に関しては佐々木ら²⁾が東京湾三番瀬に適用した、コーン貫入試験機を用いた手法を改良し、水深が10mを超えるような水域においても適用可能な手法の開発を行う。また、水底質汚濁の著しい海域でしばしば観測される硫化物に関しては、詳細な空間分布を得るために、採泥等に基づく硫化水素臭の強弱から把握する簡便法の

適用を試みる。これらの方法は定量的評価には向かないが、低廉かつ簡便に詳細な空間分布を把握するのに適した方法であると考えられ、市民による調査等でも適用可能なものであると思われる。以上を通じて軟泥の堆積や硫化物の空間分布を含む底質性状の現況を把握し、その形成要因について考察する。

2. 底質調査方法

横浜港のような閉鎖性の強い水域においてはしばしば有機物に富む軟泥が堆積し、貧酸素化をはじめとする水・底質上の問題が顕在化しやすい。このような軟泥の堆積性状を把握する簡便な方法の一つとして、コーン貫入試験機を用いた手法を開発する。また、表層採泥により底質の粒径分布や強熱減量等を把握し、投げ込み式の多項目水質計を用いて水質を測定する。

(1) コーン貫入試験機を用いた軟泥堆積調査

コーン貫入試験は、本来は地盤調査で用いられる試験方法で、粘性土や腐植土などの軟弱地盤に人力でコーンを静的に貫入させることによって、コーン貫入抵抗を求めること目的とした試験である。このコーン貫入抵抗により、軟弱層の厚さ、軟弱土の粘着力などを簡便にかつ迅速に求めることが出来る。本研究では軟泥堆積層厚の簡便な測定を目的として、コーン貫入

試験機を改良することにより船上から測定可能な手法の検討を行った。

まず、全長5mのコーン貫入試験機の中央に錘をのせる台を溶接する。そこに5～10kgの錘をつける。コーン貫入試験機の中央および上端付近には深度計を2台取り付ける。深度計の位置はコーン貫入試験機のロッドを足すことで変えることができる。ここで深度計を2台取り付ける理由はコーン貫入試験機の傾き度合いを確認するためである。そのため、深度計同士は十分な距離離れている必要がある。可変の錘を使うのは、海底ではコーン貫入試験機に力を加えることが出来ないため底泥堆積層厚を測る上で適切な力をかけられるよう可変のものとした。

コーン貫入試験機を用いた底泥堆積層厚調査は水深5m以上の横浜港内で実施するため、様々な困難を伴ったが、試行錯誤の結果、以下のような方法を採用した。まず、準備したコーン貫入試験機に目盛り付のロープをつなげ、海底に向かって降下させた。次に魚群探知機で水深を調べ、貫入試験器の下端が海底から1mの距離を保つよう静止させた。魚群探知機を用いたことにより、その音響画面に映るコーン貫入試験機の外形をとらえることができ、ほぼコーン貫入試験機先端が底質に到達したところで静止させることが可能となった(図-1)。

この静止位置からコーン貫入試験機を自由落下によって落下させ、貫入層厚を測定することとした。このようにすることで、毎回ほぼ同様の条件下で貫入層厚を測定することができること、および、底質に対して垂直に貫入させやすいといったメリットがある。これら一連の作業の間、コーン貫入試験機に設置された2台の自記式の深度計は時々刻々の深度の変化を記録し続けることになる。コーン貫入試験機が垂直を保ったまま貫入した深度、および貫入が止まって傾く様子等をとらえることができる。コーン貫入試験機が垂直から傾いたまま貫入した場合は2台の深度計間の距離より深度の差が小さくなる。このような場合は貫入に失敗したと判断され、データから除外した。

貫入試験後にはコーン貫入試験機に若干の底質が付着することから、その硫化水素臭について強中弱および硫化水素臭なしの4段階で記録した。この方法は定量性には問題があるが、極めて簡便なことから多くの点でデータを取ることができ、硫化水素臭の強弱に関する平面分布を把握する上では有効であると考えられる。

(2) コーン貫入試験機を用いた調査手法に関する考察

まず、コーン貫入試験機を貫入させる際に、手動でゆっくり貫入させていく方法と自由落下させる方法とを比較検討した。手動では5割程度の確率で貫入試験機が貫入の際に傾くのに対し、自由落下の場合は9割方垂直に貫入することが明らかとなった。また、自由落下は取り扱いも極めて容易であり、熟練も要しない。よって、作業の簡便性と値の再現性から自由落下を採用することとした。

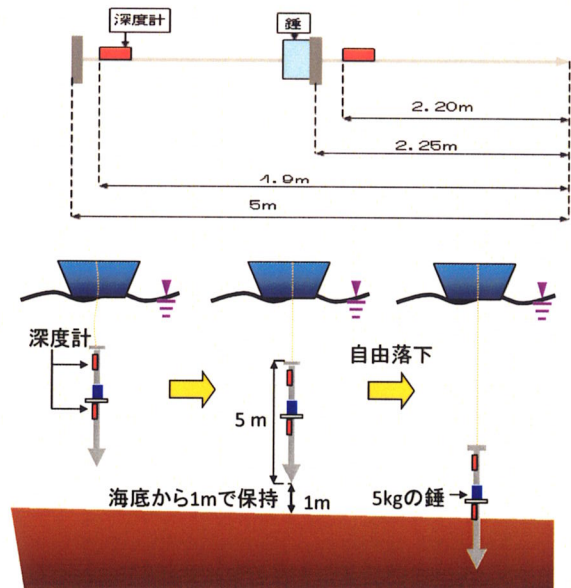


図-1 コーン貫入試験器を用いた底質貫入層厚の測定方法

表-1 5kg と 10kg の錘を用いた場合の手動垂下と自由落下による貫入深度の比較

Case	5kg 手動	10kg 手動	5kg 自由	10kg 自由
1	0.8 m	1.2 m	2.0 m	2.2 m
2	1.0 m	1.1 m	1.9 m	1.8 m

表-2 自由落下 1m と 2m の場合の貫入深度の比較

Case	1m:地点 1	2m:地点 1	1m:地点 2	2m:地点 2
1	1.3 m	2.0 m	1.1 m	1.6 m
2	1.8 m	1.8 m	1.5 m	1.3 m
3	1.3 m	1.1 m	1.2 m	1.0 m

次にコーン貫入試験機の錘を5kgと10kgの2ケースについて底泥堆積層厚を測定した。その結果、10kgの錘を用いた時の方が5kgの錘を用いた時よりも若干貫入深度が大きくなる傾向にあるが、同時にばらつきも大きくなることが判明した(表-1)。10kgの錘は作業面からも負担が大きく、作業の簡便性と結果の解釈の利便性を考え、5kgの錘を用いることとした。

さらに自由落下を開始する海底からの高さについて検討した。この位置として、海底から1mおよび2mについて比較検討した。表-2より自由落下距離を2mにすると1mに比べ結果のばらつきが大きくなることが判明した。よって、ばらつきの少ない自由落下距離1mをここでは採用することとした。以上より、本調査では海底から1mの位置から5kgの錘をつけて自由落下させることにより貫入層厚を測定する方法を採用することとした。

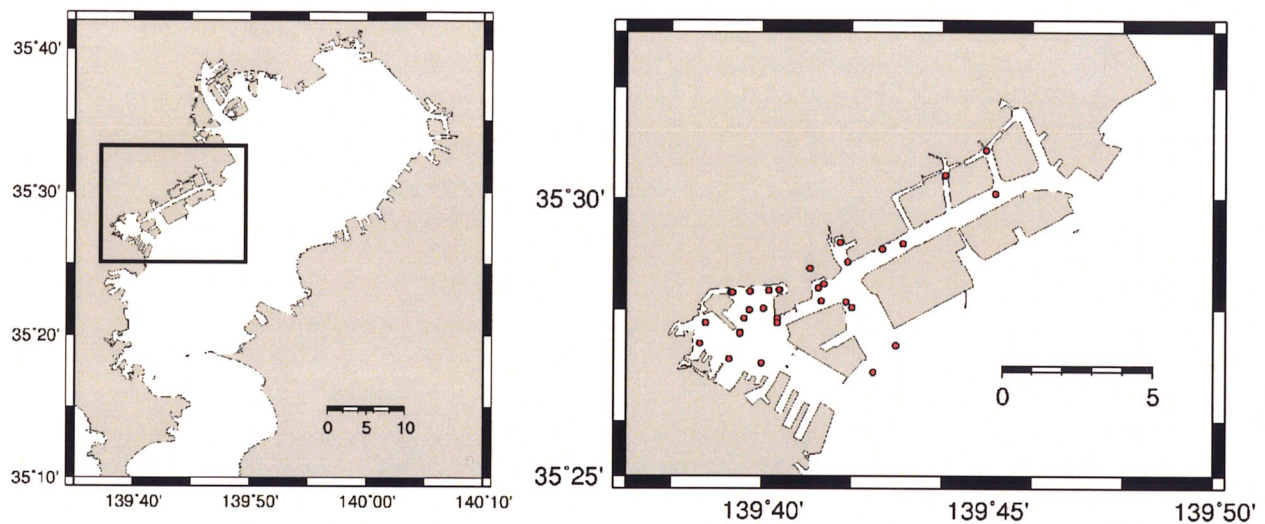


図-2 横浜港における調査点。左図は東京湾全体を示し、矩形枠部分の横浜港を拡大したものが右図。スケールは km。

(3) 底質分析

現地における採泥にはドレッジ型採泥器を用いた。これにより底泥に加えて貝殻や砂地の底質であっても採泥が可能となった。採取した底質は横浜国立大学水理実験棟へ持ち帰り、直ちに強熱減量およびレーザー回折式粒度分布測定装置（島津製作所 SALD-3100）を用いて粒度分布を測定した。

3. 現地調査結果

(1) 現地調査の概要

現地調査は2006年の1月19日、2月9日、および2月15日に傭船により実施した。調査は図-2に示した測点において、水質測定、採泥、およびコーン貫入試験機を用いた底質の堆積厚調査を行った。また、魚群探知機を用いて水深を測定した。調査時期が冬季であるため、基本的には水質は良好であり、貧酸素水塊もほとんどみられなかった。しかし、後述するように底質の硫化水素臭はかなり広範囲で見られ、一部に底質直上水の貧酸素化が見られた。

(2) 結果

a) 水深

水深は魚群探知機を用いて測定した。この水深は200 kHzの超音波を用いているため、軟泥の表面に対応していると考えられる。横浜港および京浜港内における水深分布を図-3に示す。横浜港、京浜港沖は東京湾内湾でも比較的水深が大きく、少し沖へ出ると水深が30mを超える。一方、横浜港内の水深は10m程度であり、港外における海底勾配は比較的大きい。瑞穂埠頭、大黒埠頭、山下埠頭に囲まれた横浜港は水深8m前後の比較的水域となっており、山下埠頭前面と瑞穂埠頭右側奥部に相対的に深い海域がある。一方、京浜港は横浜港より全般に水深が大きくなっており、

浚渫の影響と思われる不連続が見られる。同時に両港共に水深が5m程度の浅い水域も残されており、これらの保全拡大は、生物生息環境の再生という意味合いで重要な海域であると考えられる¹⁾。

b) 粒径分布

底質粒径は底生生物の生息環境や底質の有機汚濁との関係から重要な指標である。図-4に横浜港、京浜港における中央粒径の平面分布を示す。中央粒径は20 μ m前後となっており、シルト分が主体となっている。瑞穂埠頭奥部をはじめとして、閉鎖性が強く比較的水深の大きい海域で粒径が小さくなる傾向が見られる。港外に向かうにつれ、中央粒径は若干大きくなる傾向にあることから、閉鎖性の地形や水深が底質粒径分布の支配要因であることが示唆される。一方、鶴見川河口域は相対的に砂分が多く、河川水の影響による特徴が現れていると考えられる。

c) 強熱減量

横浜港、京浜港内における強熱減量の平面分布を図-5に示す。港外に近い沖合の測点では強熱減量の値は10%未満となっており相対的に有機物含量が小さいと考えられる。これは波・流れによる底面せん断応力が相対的に大きいことが影響していると考えられる。横浜港内では山下埠頭から山之内埠頭にかけて強熱減量が14%を超える特に高い値を示している。また、瑞穂埠頭東側奥部や鶴見川河口においても相対的に高い値を示している。

d) 硫化水素臭

硫化水素臭は既述のように「強」、「中」、「弱」、および「なし」の4段階に分け、それぞれ4, 3, 2, 1の数値を割り当て、数値化したものを図-6に示す。この値そのものに意味はないが、底質における硫化物量の空間分布の詳細を簡便に把握する上では有効である。本調査は冬季になされたものであることから、沖合を含めかなりの測点では硫化水素臭は確認されなかった。しかし、横浜港の最奥部である瑞穂埠頭の東側および

西側奥部では強い硫化水素臭が確認され、このうち後者は特に硫化水素臭が強く、冬季であるにもかかわらず、底層水の貧酸素化も唯一みられた。京浜港奥部の海芝浦西側海域は堀こまれた形状の港湾であるが、ここでも強い硫化水素臭が確認された。

e) 軟泥の堆積層厚

コーン貫入試験機を用いて計測した軟泥の堆積層厚の平面分布を図-7に示す。ここでいう軟泥の堆積層厚はあくまで本研究で採用した調査手法に依存するものであり、実際の軟泥の堆積層厚を示すものではないが、本調査方法が比較的簡便で多点での調査が可能であることから、軟泥が各測点においてどの程度堆積しているかを比較する上では有用な指標であると考えられる。横浜港および京浜港内ではほぼどこでも1m以上の堆積が見られ、全般的には横浜港内の方が京浜港内よりも堆積層厚が大きくなっている。瑞穂埠頭の西側と東側では2mを超える堆積が見られ、特に後者では3mを超えるような場所もある。また、京浜港内の海芝浦西側や鶴見川河口においても軟泥の著しい堆積が確認された。

4. 考察

まず、横浜港内の底質環境を見てみると山下埠頭と瑞穂埠頭で囲まれた水域が横浜港内最も高い強熱減量の値を示している。そこでさらに平均粒径に着目してみると、3点全てが20 μm 以下で横浜港でも最も小さい海域である。瑞穂埠頭は震災後、山下埠頭は大戦後にできていることから考えて、このあたりは長い間流れの影響を受けない静穏な環境であったと考えられ、その影響を反映していると考えられる。

次に瑞穂埠頭と大黒地先埋立で囲まれた水域を見てみると、大黒町地先埋立は第二次大戦直後に実施され

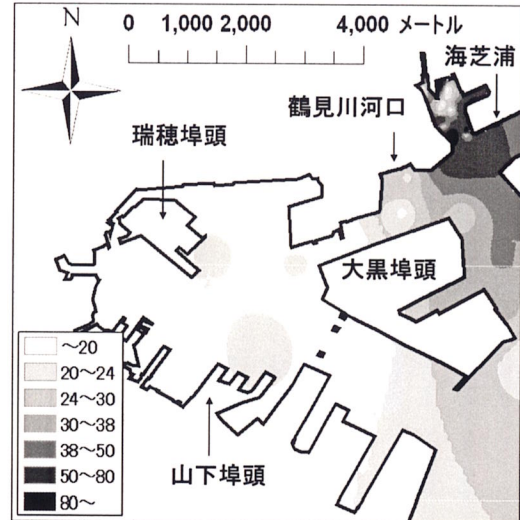


図-4 横浜港、京浜港における中央粒径の平面分布（単位： μm ）

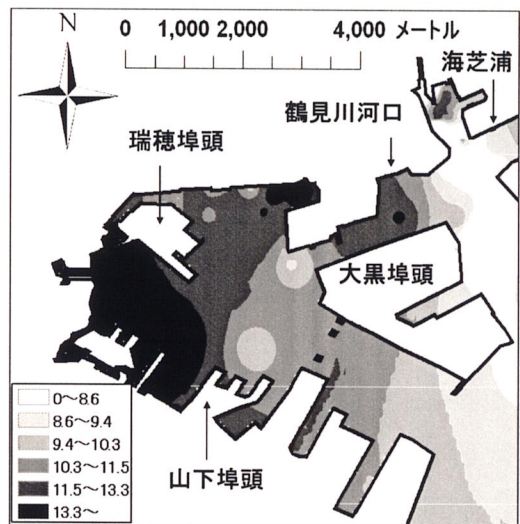


図-5 横浜港、京浜港における強熱減量の平面分布（単位：%）

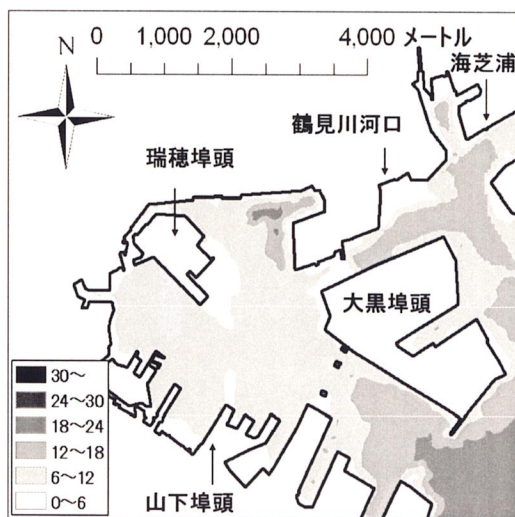


図-3 横浜港、京浜港における水深分布（単位：m）

ており、ここも長い間流れの滞留域であったと考えられる。強熱減量も横浜港において比較的高い値を示している。さらに平均粒径で見ると領域Aの地域と同じく細かい粒径を示している。この海域は平均的には12~13mの水深であるが、18~20mあたりまで掘り下げられている窪地海域が存在する（図-3）。この窪地の境界部における鉛直断面を図-8に示すが、その形状から浚渫等により人為的に掘り下げられた海域であると推察される。このことは窪地内の貫入層厚が周辺部と比較して小さいことと整合する。窪地内は冬季に

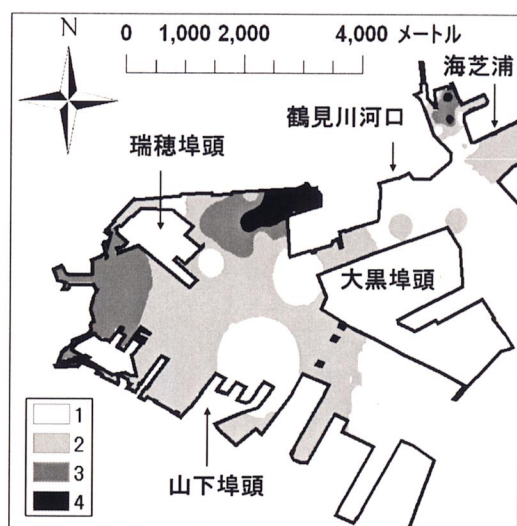


図-6 横浜港、京浜港における硫化水素臭強度の平面分布
(凡例の数字は強度を表し、4 が最強)

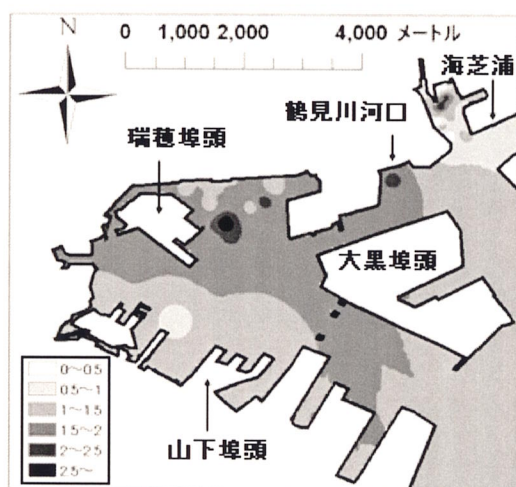


図-7 横浜港、京浜港における軟泥の堆積層厚の平面分布
(単位：m)

においても著しく強い硫化水素臭が観測され、底層直上水のDOは1mg/L程度の値を取っていた。このことは浚渫を行う際には海底地形の不連続を可能な限り除去することが重要であることを示唆している。

また、鶴見川河口域を見てみると、大黒埠頭があるものの四方に運河などがあるため他の2地域より流れの影響が大きいと考えられる。強熱減量を見てみると比較的高い値をとっている。これは鶴見川から流れてくる堆積物に植物などの有機物が含まれるからだと考えられる。さらにこの地域は平均粒径も横浜港内の他の地域に比べて高くなっている。これも鶴見川から

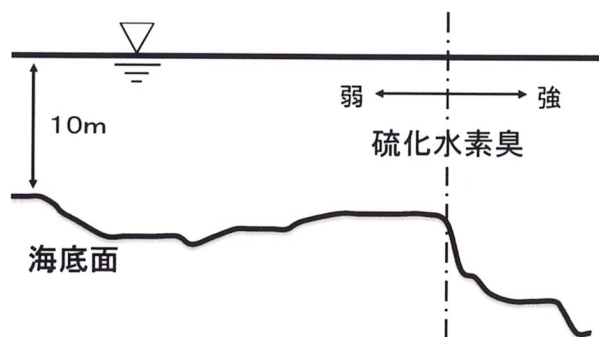


図-8 海底地形と硫化水素臭強度の関係

の土砂供給によるものだと考えられる。さらに、底泥堆積層厚について見ると全体の傾向として港内に入るほど底泥堆積層厚は大きくなり、港口側では小さくなっていることもわかる。

今回の現地調査において、ベントスを何点かの調査点で見ることができた。まず、瑞穂埠頭沖の堤防沿いの水深5m程度の海域においてムラサキイガイや海藻類が見られた。このように冬季の水深の比較的浅い水域においては現状でも光合成植物の棲息が可能であり、多くの底生動物が見られる。

5. まとめ

本研究では横浜港および京浜港の一部を対象とし、底質の現況調査を実施した。調査は底質の粒度分布や強熱減量に加え、軟泥の堆積層厚や硫化水素臭を対象とした。調査に先立ち、低廉かつ簡便な調査手法として、コーン貫入試験機を用いた軟泥堆積層厚の把握と硫化水素臭の強弱に着目することで、これらの詳細な空間分布を把握する手法を検討した。現地調査は2006年1月から2月の冬季に実施し、水深、多項目の水質、底質粒径、強熱減量、硫化水素臭の強度、および堆積層厚の空間分布を把握した。

港内の多くの測点では強熱減量が12%を超えており、底質の有機汚濁が著しいことがわかった。山下埠頭と瑞穂埠頭で囲まれた海域に着目すると、ここは横浜港内で最も高い強熱減量の値を示していた。そこでさらに平均粒径を見てみると、横浜港でもこの海域の平均粒径が最も小さい値となっていた。瑞穂埠頭は震災後、山下埠頭は戦後にできていることから考えて、このあたりは長期間にわたり滞留した環境であったことを反映していると考えられる。一方、瑞穂埠頭沖の堤防沿いの水深5m程度の海域においてはムラサキイガイや海藻類が見られた。このように水深の比較的浅い水域においては現状でも光合成植物の棲息が可能であり、多くの底生動物が見られた。

底泥堆積層厚および硫化水素臭強度の平面分布からは、全般的に1m以上の層厚で軟泥が堆積していることがわかった。堆積層厚には空間的な変化が見られるが、必ずしも底質粒径や強熱減量と相関が高いわけで

はなく、音響による底質探査結果からは、浚渫によると思われる窪地においては強熱減量が高く、強い硫化水素臭が確認されたにもかかわらず底泥堆積層厚は相対的に小さくなる傾向が認められた。このことは浚渫によって一部の軟泥が除去されたことに加え、窪地は相対的に静穏なため、有機物に富む新たな軟泥が堆積しやすいことによると考えられる。その結果、冬季においても高濃度の硫化水素の発生がみられる等、横浜港内の他の海域と比較しても著しい底質環境の劣化が見られたものと推察された。このことは浚渫を行う際には海底地形の不連続を可能な限り除去することが重要であることを示唆している。

謝辞：本研究の一部は2003年度～2006年度日本学術

振興会科学研究費補助金基盤研究(B)（課題番号：15360263，代表：横浜国立大学佐々木淳助教授）の補助によるものである。

参考文献

- 1) 岡田知也，古川恵太：東京湾沿岸域における音響装置を用いた詳細な底質分布図の作成とベントス生息状況，海岸工学論文集，Vol. 52，pp. 1431–1435，2005.
- 2) 佐々木 淳，赤枝耕次，Hendra Achiari：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，海岸工学論文集，Vol. 51，pp. 996–1000，2004.