

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年6月12日現在

機関番号：12601

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2010～2011

課題番号：22860018

研究課題名（和文）汚濁物質の沈降・堆積特性及び貴金属の毒性ポテンシャルを考慮した運河の効用評価

研究課題名（英文）Evaluation of the utility of canal with sediment characteristics and its toxicity potential

研究代表者

小島 啓輔 (KOJIMA KEISUKE)

東京大学・大学院工学系研究科・特任研究員

研究者番号：60584399

研究成果の概要（和文）：

東京湾湾奥部運河地帯における底質汚染の状況を把握するため、複数地点の底質調査を行った。運河地帯と内湾、台場を比較すると、運河地帯の方が高い強熱減量、重金属（Cu、Zn、Sb、Pb）含有量を示し、運河地帯の底質が内湾に比べて悪化が進んでいることが示唆された。また、CuとZnについて運河地帯と内湾、台場で存在形態が異なっており、管渠内堆積物中重金属の存在形態と比較したところ、運河内に合流式下水道雨天時越流水由来の汚濁粒子が沈降・堆積していることが示唆された。

研究成果の概要（英文）：

To comprehend the situations of sediment contaminations in Tokyo bay canal zoon, sediment survey were conducted at multiple point. Compare the sediment in canal zoon with bay sediment, sediment in canal zoon indicated higher values of ignition loss, Cu, Zn, Sb and Pb. This result suggested that sediment in canal zoon is more deteriorating. Regarding Cu and Zn, their speciations were different between sediment in canal zoon and bay sediment. Since speciation patterns in canal zoon were similar to those in combined sewer sediment, it was suggested that there are some contaminants from combined sewer overflow in canal zoon.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,260,000	378,000	1,638,000
2011年度	1,120,000	336,000	1,456,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,380,000	714,000	3,094,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学・土木環境システム

キーワード：底質汚染、沈降粒子、堆積粒子、重金属、形態評価、逐次抽出法

## 1. 研究開始当初の背景

内湾に流入する河川に含まれる土砂や懸濁物は、凝集や沈殿を経て底質として堆積し、地盤の構成要素となるとともに化学反応や生物反応を介して物質循環に寄与し、生態系

に影響を与えることが知られている（楠田ら、2008）。東京湾の水質は排水規制により改善されつつあるが、富栄養化した状態を解消できていないのが現状である。年間40-60回の赤潮の発生が、年間3回程度の青潮が発生

しており、生態系に大きな影響を与えている。これらの現象は、底質の汚染状況に密接に関係しており、底質の悪化→底生生物による浄化作用の低下→水質・底質の悪化という悪循環が生じているためと考えられている。この悪循環を止めるためには、水質に加えて、底質への対策も強化することが不可欠である。そのためには、底質汚染の現状を把握することが求められる。

東京湾や大阪湾のような都市域に接する閉鎖性水域には、合流式下水道雨天時越流水由来等の汚濁物質が流れ込んでおり、最終的に底質として沈降・堆積している。このような閉鎖性水域における底質調査は、多くの研究グループが実施しており、底質の汚染状況を報告している。また、国際的にも閉鎖性水域や河口域における底質調査は実施されている。しかしながら、多くの調査では、閉鎖性水域の中央部（湾中央部）等のその水域を代表する地点で調査しており、運河や陸域に近い地点での調査は多くないのが現状である。運河地帯はその形状ゆえ、汚濁物質が堆積し易いと考えられるため、どの場所で、どのような汚濁物質が沈降・堆積しているかを詳細に把握することは大変意義がある。東京都では、護岸や周辺建築物等の緑化、遊歩道の整備、水質浄化等、良好な水域景観を創造することを目的の一つとして運河ルネッサンスが推進されている。運河における水質浄化を行うためにも運河地帯での底質の堆積状況及び汚染状況を把握することは大変意義がある。

## 2. 研究の目的

本研究では、都市域由来の汚濁負荷の影響を大きく受けていると考えられる東京湾湾奥部運河地帯を対象として、底質汚染の現状を把握することを目的とした。また、運河地帯と湾中央部の両地点で複数地点の底質を採取し、底質の性状の違いを検討した。さらに底質中の重金属がどのような存在形態変化をしているのかを評価した。

## 3. 研究の方法

### (1) 試料の採取

調査は、2010年11月26日に運河地帯16地点（C1-C16）、内湾2地点（S1、S2）、台場1点（D1）の合計19地点について行った（図1）。底質コアの採取は、コアサンプラー（内径11 cm×長さ50 cm、アクリル製）を装着した不攪乱柱状採泥器（離合社）を用いて行った。2007年11月10日に（C17、S0-S2）にエッグマンパージ採泥器で採取した底質につい

ても測定を行った。いずれも採取後は暗所にて保管、当日中に実験室に持ち帰り、前処理に供した。

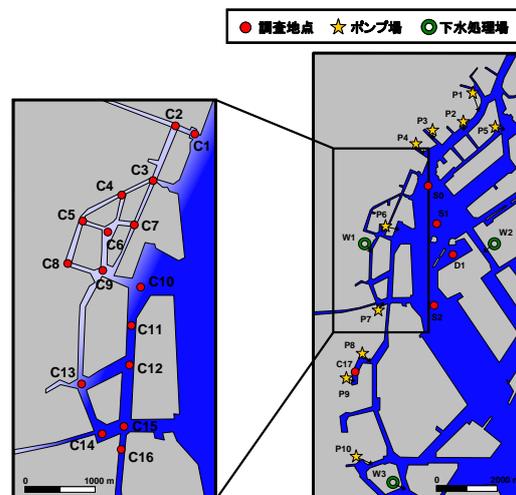


図1 調査地点

### (2) 試料の前処理

底質コアは、コアごとに1 cmの層に切り分けた。試料を切り分けた後、各層ごとに均質にし、試料の半分を冷凍保存した。残りの試料の一部で含水率及び強熱減量の測定をした。さらに残りの試料は遠心分離器を用いて、3500 rpm、20 minの条件で遠心分離を行い、底質と間隙水に分離した。間隙水については冷凍保存した。遠心分離を行った試料の一部は、粒度分布の測定に使用した。残りの底質は、凍結乾燥させて保存した。

### (3) 測定方法

含水率と強熱減量については、全地点の全層で測定を行った。粒度分布に関しては、全地点の第2層まで（0-1 cm、1-2 cm）に対して測定を行った。東京湾での堆積速度は報告例（清水ら、2005）があり、0.69-1.13 cm/yearとなっている。ただし、本報告における東京湾は東京都と神奈川県、千葉県に囲まれた広域で地点である。本研究で対象としている運河は、東京湾の奥部であり既往の報告より大きな堆積速度が予想される。したがって、第1層と第2層の測定結果を平均することにより、概ね過去一年の内に堆積した底質を評価した。含水率と強熱減量の測定は、土質試験—基本と手引き（地盤工学会、2001）の方法に従って行った。粒度分布の測定には、レーザー回折式粒度分布測定装置（島津製作所社製、SALD-3100）を利用した。

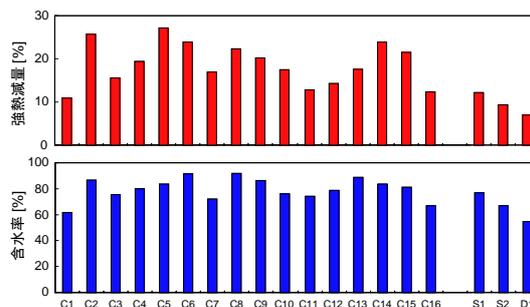
重金属の存在形態は逐次抽出法を用いて評価した。試料約200 mg (dry weight) に対し

て逐次抽出を行った。第1画分は、酢酸アンモニウム(1 M、酢酸で pH4.5 に調整)で抽出を行い、交換態+炭酸塩結合態として扱った。交換態は遊離し易く、環境に影響を及ぼす可能性が高い画分であり、炭酸塩結合態は弱酸に溶解し、環境中で比較的溶解し易い画分とみなした。なお、交換態と炭酸塩結合態と同時に抽出することとしたのは、堆積物は水中に存在しており、堆積物中には交換態の画分はほとんど存在していないと考えたためである。第2画分は、シュウ酸アンモニウム(0.2 M、シュウ酸で pH3 に調整)で抽出を行い、鉄酸化物結合態として扱った。この画分は、酸化状態で安定に存在するが、還元状態で不安定になり、可溶化する画分とみなした。第3画分は、過酸化水素水(30%)で抽出し、硫化物態+有機態として扱った。この画分は化学的に安定であるが、酸化状態で長時間かけて徐々に溶出する画分とみなした。最後の第4画分は、硝酸(60%)を用いて Microwave 酸分解を行い、残渣態として扱った。この画分は化学的に安定であり、環境に影響を及ぼす可能性は低い画分とみなした。

#### 4. 研究成果

##### (1) 底質の含水率及び強熱減量

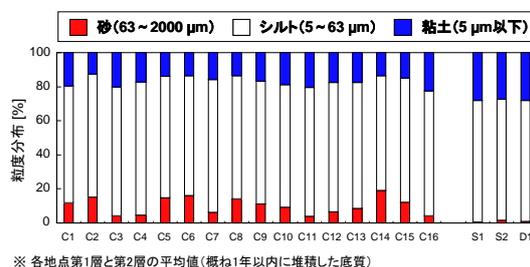
運河地帯における含水率は、61.6 - 91.9 % (以降、第2層までの平均値)の範囲であった(図2)。一方、内湾や台場では、66.9 と 76.9%、54.6%の値であり、台場では運河地帯と比較して小さい含水率を示す傾向がうかがえるが、明確な違いは見られなかった。次に強熱減量に関しては、運河地帯、内湾、台場でそれぞれ 10.9 - 27.1%、9.4 と 12.2%、7.0%であった(図2)。運河地帯と内湾、台場を比較すると、C1の1地点を除き、運河地帯の方が高い強熱減量を示した。含水率と強熱減量には良好な相関関係 ( $R^2=0.7$ )が見られ、これは既往の調査結果(国土交通省、2009)と一致している。この既往の研究では、含水率と強熱減量の関係には、含水率が 40 - 50%の箇所に変局点が見られ、それ以上の含水率では強熱減量が急に高くなる傾向がみられることから、含水率 40 - 50%が底質悪化の目安となる可能性があるとして報告している。この報告を踏まえると、東京湾湾奥部では、親水空間であるお台場でさえ、底質悪化が進んでいることを示唆している。



※各地点第1層と第2層の平均値(概ね1年以内に堆積した底質)  
図2 運河地帯、内湾及び台場における含水率及び強熱減量

##### (2) 底質の粒度分布

粒度分布は沿岸環境調査マニュアルに従い、5 μm以下を粘土、5 - 63 μmをシルト、63 - 2000 μmを砂と分類した。全地点でシルトが 67.4 - 78.0%と優占的であった(図3)に砂に関しては、運河地帯、内湾、台場でそれぞれ 4.0 - 19.0%、0.8 と 1.8%、1.1%であった。これらの粒度分布を元に中央粒径を算出すると、運河地帯、内湾、台場でそれぞれ 12.3 - 26.7 μm、8.9 と 9.5 μm、9.9 μmであり、運河地帯において粒径の大きな粒子が沈降・堆積していることが示唆された。底質の中央粒径と強熱減量の関係を見ると、両者には良い相関関係 ( $R^2=0.8$ )が見られ、中央粒径が大きくなるにつれて強熱減量の値が増加した。一般に粒径が小さな粒子ほど、高い強熱減量を示すと考えられているが、本調査では異なる結果となった。運河地帯では、道路排水や合流式下水道雨天時越流水由来等の砂が沈降・堆積しやすい。一方内湾では、合流式下水道雨天時越流水等以外に、上流河川から流入してくる粒子も存在している。したがって、質の異なる粒子が堆積しているという違いが強熱減量と粒径の関係を反映していると考えられる。



※各地点第1層と第2層の平均値(概ね1年以内に堆積した底質)  
図3 河地帯、内湾及び台場における底質の粒度分布

##### (3) 底質汚染の平面分布

図4は運河地帯における強熱減量及び中央粒径を示したものである。強熱減量が 20%以上と高い値を示したのは、C2、C5、C6、C8、

C9、C14、C15 の 7 地点である。C5、C6、C8、C9 は運河の奥部に位置しており、船舶による海水の混合も少なく海水が滞留しやすい地点である。そのため有機物分解が抑制され高い強熱減量を示したと考えられる。

一方、C2、C14、C15 については、流入してくる合流式下水道雨天時越流水由来が主な要因であると考えられる。C14 では雨水ポンプ場の吐け口が存在している。C2 では、渋谷川・古川が流入しており、C14、C15 では目黒川が流入している。どちらの河川にも上流に多数の雨水吐きが存在している。したがって、C2、C14、C15 は合流式下水道雨天時越流水の影響を大きく受けていると考えられ、粒径が大きいながらも高い強熱減量を示す粒子が C2、C14、C15 で沈降・堆積していると推測される。C1 については、船舶の離岸の際に海水が大きく混合されることから、底質の性状が明らかに C2 と異なっていた。

C3、C10、C11、C12、C16 については、船舶の往来による混合が小さな強熱減量を示す要因のひとつとなっていると考えられる。これらの地点では、潮汐によって海水交換がしやすい事に加えて、比較的ジェットスキーや船舶の往来が存在しており、海水混合が生じている。そのため C5、C6、C8、C9 に比べて良好である。

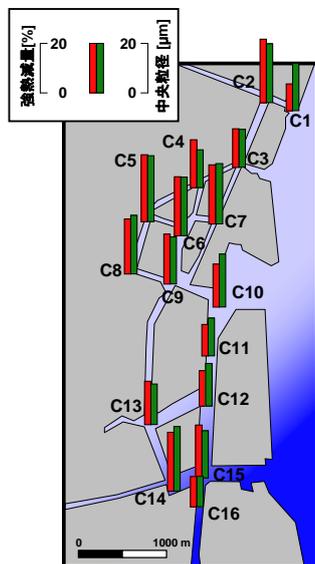


図 4 熱減量及び中央粒径の平面分布

#### (4) 底質汚染の平面分布 (重金属)

運河地帯と東京湾湾部、お台場における底質中重金属含有量 (表層) を比較すると、重金属の種類により異なる傾向を示した。Cu や Zn、Sb、Pb については運河地帯の方が高い含有量を示した。一方、Mn や Fe については東京湾湾部、お台場の方が高い含有量を示

した。その他の重金属 (Ti、V、Cr、Co、Ni、Sr) については、有意な差は見られなかった。道路交通由来の重金属 (Cu、Zn、Sb、Pb) が運河地帯で高い値を示したことより、運河地帯の底質が東京湾湾部に比べて人為的汚染の影響を受けていることが示唆された。

Cr および Cu、Zn、Pb については、運河地帯と東京湾湾部の境界の 1 点において特異的に高い重金属含有量をしめした。強熱減量と重金属含有量を比較が、有機物が高い地点で重金属含有量も高いといった関係は見られなかった。

図 5 に S0、S1、S3 及び C17 における底質中 Zn 含有量を、逐次抽出法で分画化した存在形態ごとに示す。重金属含有量としては、C17 ( $1300 \text{ mg kg}^{-1}$ ) > S2 ( $570 \text{ mg kg}^{-1}$ ) > S3 ( $360 \text{ mg kg}^{-1}$ ) > S4 ( $280 \text{ mg kg}^{-1}$ ) の順に高いことが分かる。C17 が高い含有量を示した要因としては、C17 が CSO の影響を受けているためと考えられる。本調査では、CSO 汚濁の重要な負荷源として合流式下水道管渠内堆積物を考えており、Kojima et al.(2010)の結果から合流式下水道管渠内堆積物中の Zn 含有量は  $200\text{-}1200 \text{ mg kg}^{-1}$  範囲であった。合流式下水道管渠内堆積物中の重金属は、粒径の小さな粒子ほど重金属含有量が高いこと、CSO 中には合流式下水道管渠内堆積物のうち粒径の小さな粒子が多く存在していると考えられることから、C17 の高い重金属含有量は、CSO の影響が大きいと推測される。

存在形態についてみると、全ての地点で、交換態 + 炭酸塩結合態の画分が優占的 (55-69%) であった。さらに、S0-S2 までは、鉄酸化物結合態の含有量が硫化物態 + 有機態の含有量より高かったが、C17 においては、硫化物態 + 有機態の方が高い含有量を示した。CSO 由来の懸濁態が沈降・堆積していることにより、有機態の画分の含有量が増加していると推察される。さらに、C17 は滞留し易い環境にあり、底泥はなかなか攪拌されることがなく、嫌氣的になっていることが予想される。したがって嫌氣的な環境下では金属の硫化物化が進行していることが考えられる。長谷川ら(2009)の調査においても、東京湾の芝浦運河の底泥で、重金属が安定な硫化物や水酸化物として固定されていることを報告しており、本調査による見解と一致する。

C17 における Zn の存在形態割合を、Kojima et al.(2010)の合流式下水道管渠内堆積物の粒径別重金属の存在形態割合と比較すると、それぞれ粒径の小さな画分の存在形態割合と類似しており、合流式下水道管渠内堆積物のうち粒径の小さな粒子が C17 に堆積している

ことが推測された。

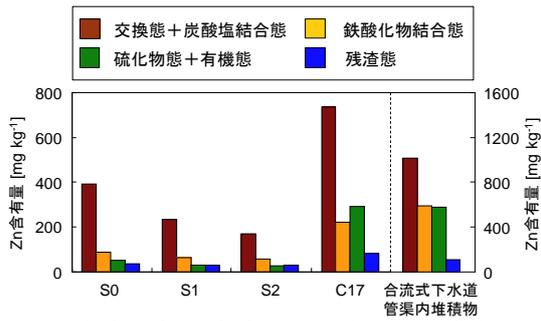


図5 存在形態を考慮した底質中 Zn 含有量

#### (5) 重金属毒性に関する運河の効用評価

重金属の存在形態を逐次抽出法を用いて評価したところ、Cu と Zn について硫化物態+有機態の画分が運河地帯の方が東京湾湾部・お台場より高い傾向が見られたが、他の重金属については重金属の存在形態に有意な差は見られなかった。元素分析の結果では、運河地帯の方が硫黄(S)の含有率が高く、硫化物態+有機態の重金属が優越すると想定されたが、顕著な重金属の存在形態の違いは見られず、運河地帯において重金属の毒性ポテンシャルが低減していることは示せられなかった。しかしながら、運河地帯の方が底質の中央粒径が大きいことから、運河地帯において粒子が堆積しやすく、湾部への流出を低減している可能性が考えられる。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表] (計1件)

- ① 小島啓輔、古米弘明、東京湾運河地帯における汚濁物質の堆積特性評価、第48回土木学会環境工学研究フォーラム、2011.11.25-27、大同大学(愛知県)

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

小島 啓輔 (KOJIMA KEISUKE)

東京大学・大学院工学系研究科・特任研究員

研究者番号：60584399