

論文

河川におけるスカムの発生に関する研究（その1）

スカムの起源に関する研究

山崎正夫 津久井公昭

要 旨

いくつかの都市河川の下流域では、底泥がスカムとして浮上し、景観の悪化と悪臭をもたらしている。そこで、神田川などの河川におけるスカムの発生原因について検討し、以下の点を明らかにした。

- ① スカムは、全炭素：～20%，全窒素：～2%，乾燥減量：65～80%，強熱減量：～40%で、これらはいくつかの異なる河川においてほぼ共通していた。
- ② スカムには紙起源と思われる繊維状物質が多量に含まれていた。
- ③ スカムは、底泥のうち有機物の豊富な表層部分が微生物作用により凝集し、強度を得た後、生成ガスにより浮力を得て水面に浮上したものと考えられた。
- ④ 神田川については、余水吐等を経由した生活排水の流入による多量の有機性懸濁物質の供給が、スカムの主な原因物質となっているものと推測された。

1 はじめに

神田川など、いくつかの都市河川の下流域では、底泥が多量の気泡とともに水面に浮上してくる現象が見られる。浮上した底泥は、通常スカムと呼ばれ、景観を著しく悪化させるとともに悪臭の原因ともなっている¹⁾²⁾。しかし、スカムの性状や発生メカニズムの詳細については明らかではなく、発生防止あるいは発生後の対策などに関する検討を行っている例は少ない³⁾。

そこで、スカムの発生が度々認められる東京都内三つの河川においてスカム試料を採取し、元素組成、乾燥減量、強熱減量等の性状を明らかにした。また、これらの河川において底泥試料も採取し、スカムの性状との比較検討を行った。これらにより、スカムの性状の特徴を明確にするとともに、その起源を推定した。

2 実 験

(1) 試 料

スカム及び底泥試料は、神田川、白子川及び呑川で採取した。スカム試料は、いずれの河川においても、浮遊していたものを橋の上あるいは船上よりバケツ等ですくい取った。底泥試料は、白子川及び呑川ではエックマン

バージ型採泥器により、また、神田川ではダイバーにより内径10cmのアクリルパイプを打込むことにより採取した。

(2) 分 析

スカム及び底泥試料は、おおむね底質調査方法⁴⁾に準じて分析した。まず、枯葉、紙屑、生ごみ、小石等の粗大な混入物をピンセットや2mmのふるいにより除去した後、3,000rpmで20分間遠心分離して上澄水を捨て、湿試料とした。湿試料の約5gを秤量し、105～110℃で2時間乾燥後、デシケータ中で放冷し乾燥試料を得た。乾燥試料の重量を測定して乾燥減量を求めた後、600℃で1時間加熱し、デシケータ中で放冷後、重量を測定して強熱減量を得た。

乾燥試料の数mgを採り、柳本社製CHNコーダーで全炭素及び全窒素（以下、「TC」及び「TN」と記する。）を分析した。TNについては、湿試料約2gを用いたケルダール分解法も行ったが、CHNコーダーによる結果とよく一致した。

湿試料約2gを硝酸一過塩素酸分解し、テクニコン社製オートアナライザでりん酸（以下、「TP」と記する。）の分析を行った。

3 結果と考察

(1) 神田川のスカム及び底泥

神田川の白鳥橋下流 (St. 1), 隆慶橋上流 (St. 2), 隆慶橋下流 (St. 3) 及び飯田橋上流 (St. 4), の合計 4 地点 (図 1 参照) において, 10cm 径のコアサンプルを採取した。各コアサンプルは, 表層部分を分析試料とした。ここで言う表層部分とは, コア表面からの深さが 10~20cm (パイプから抜出した際に広がって不正確になるため多少の幅を含む) の層で, それ以深のものとは色, 砂の混入状況等から区別し得る部分とした。また, 当日はスカムが大量に発生しており, 飯田橋及び隆慶橋付近の 2 地点において, 船上より試料を採取した。採取されたスカムの色は灰褐色であり, 後述の呑川で見られたような黒色のものではなかった。臭気も硫化水素臭ではなく, 生下水に近いものであった。

底泥の色, 混入物, 臭い等は採取地点により特徴的であった。以下にそれらを列挙する。

① St. 1 のコアは, 40cm ほどの長さで採取されたが, 上部 20cm は, ほとんど生ごみ状 (野菜屑, 紙類, 木の葉, 髪の毛, 糸状藻類など) で灰褐色, 強い下水臭を呈して

いた。その下層は, 完全な黒色を呈していたが, 上層と同じく生ごみ状で色は黒色, 強い下水臭であった。

② St. 2 のコアは, 長さ 75cm で, 全体に黒色であった。砂の混入が認められ, 臭気も少なくほぼ均一な状態であった。

③ St. 3 のコアは, 長さ 90cm で, 上層 20cm が灰褐色で強い下水臭を持つ生ごみ状, それ以深は砂混じりの黒色で上層より弱い下水臭を呈していた。

④ St. 4 のコアは, 長さ 30cm ほどで, 全体に黒く表層 5cm は柔らかい浮泥状で, 下層は砂が主体で木の葉などの混入が認められた。

分析結果を表 1 に示す。スカムの分析結果を見ると, 乾燥減量が約 70% と大きく, 軽い成分が主体であることがわかる。また, TC (~19%), 強熱減量 (~38%) などの値から, 有機物含量の高いことが分かる。

底泥の表層部分の結果を比較すると, TC, TN, TP などの濃度は, St. 1 (白鳥橋下流) で最も高く, St. 2 (隆慶橋上流) で最も低い値となっており, 単純に上流から下流にかけて低くなっているわけではなかった。例えば, 隆慶橋の上下で, 90m ほどしか離れていない St. 2 及び St. 3 の 2 地点で採取した試料において, 各分析項目について 7~60 倍近い濃度差が見られる。このような結果は, 河川底の堆積状況は一様ではなく, かなり複雑であることを示している。

いずれの分析項目についても, St. 1 及び St. 3 の表層底泥の分析値は, スカムのものと酷似している。この事実は, スカムが河川底泥の表層部分が水面に浮上してきたものであることを明確に示すものと考えられる。とくに注目されるのは, スカム及び St. 1, St. 3 の表層

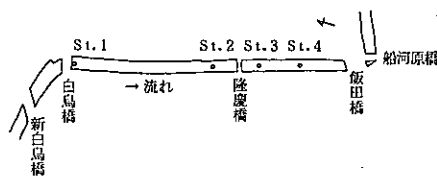


図 1 神田川のスカム及び底泥試料採取地点

表 1 神田川のスカム及び表層底泥試料の分析結果

試料 *1	TC (mg/kg)	TN (mg/kg)	TP (mg/kg)	TC/TN	TN/TP	乾燥減量 (%)	強熱減量 (%)
スカム (飯田川)	191000	18400	4270	10.4	4.3	70.0	38.6
スカム (隆慶橋)	192000	17600	3240	10.9	5.4	66.5	37.7
表層底泥 (St. 1)	184000	18400	4140	10.0	4.4	71.4	39.8
表層底泥 (St. 2)	3500	480	536	7.3	0.9	26.6	2.0
表層底泥 (St. 3)	180000	17000	3840	10.6	4.4	65.5	35.3
表層底泥 (St. 4)	25300	2230	1720	11.3	1.3	39.2	7.3

*1 1989年6月1日採取

底泥試料では、共通して乾燥減量が60~70%と大きい点である。底泥が浮上するためのひとつの条件として、比重が小さいことが考えられるが、乾燥減量が大きかった、すなわち乾燥物の重量が小さかったのは、砂のような比重の大きな成分含有量が小さかったため、乾燥減量60~70%程度の底泥は、スカムとして浮上し得るための、一つの条件を満たしているものと考えられる。

St. 3の試料については、底泥の深さによる成分濃度の違いを見るため、表層底泥(0-20cm)に加え、表面からの深さ20-25, 35-40, 45-55及び80-90cmの各部分についての分析を行った。結果を表2に示す。コアサンプルについての結果から、TC, TN, TPのいずれも、表層における濃度が最も高いことが分かる。これは、強熱減量の値、すなわち有機物濃度と対応している。深度とともにこれらの値は低下する傾向にあるが、最深部の試料では表層に次ぐ値となっており、ひとつの地点においても堆積状況は一様ではないことが分かる。

(2) 白子川及び呑川のスカムと底泥

白子川では最下流の落合橋でスカム試料を、また、当日スカム発生の最上端部であった人道橋①で底泥試料を採取した(図2参照)。また、呑川では大平橋においてスカム及び底泥試料を採取した(図3参照)。いずれの地点も、スカムのよく浮上する地帯に位置している。

スカムは、橋の上よりバケツを降ろして採取した。白子川のスカムは、活性汚泥の色に近い灰褐色で黒化しておらず、比較的均質であった。これに対し、呑川のスカムは、完全な黒色を呈しており、木の葉、髪の毛、緑藻等、未分解の成分が多く含まれていた。

底泥はエックマンバージ型採泥器により採取し、できるだけ混合しないようにバット上に移した。白子川の試料では、ごく表面の褐色部分、そのすぐ下の灰褐色の部分(スカムと同一色でユスリカの幼虫が多数見られた)、及び砂混じりの黒色の下層部分が明確に分かれていたため、上の2層を合わせて表層試料とし、下層はそのまま別試料とした。一方、呑川の試料では、全体的に黒色で

表2 神田川隆慶橋下流(St. 3)におけるコアサンプルの分析結果

深 さ (cm)	TC (mg/kg)	TN (mg/kg)	TP (mg/kg)	TC/TN	TN/TP	乾燥減量 (%)	強熱減量 (%)
0 - 20	180000	17000	3840	10.6	4.4	65.5	35.3
20 - 25	31800	2820	1600	11.3	1.8	38.6	8.4
35 - 40	27600	2380	1820	11.6	1.3	37.5	8.5
45 - 55	11800	1450	1090	8.1	1.3	32.3	4.9
80 - 90	56900	5840	3530	9.7	1.7	47.6	14.4

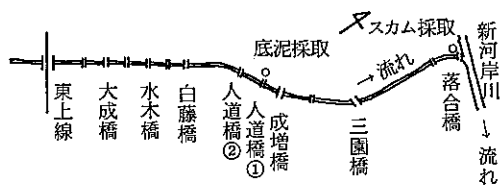


図2 白子川におけるスカム及び底泥試料採取地点

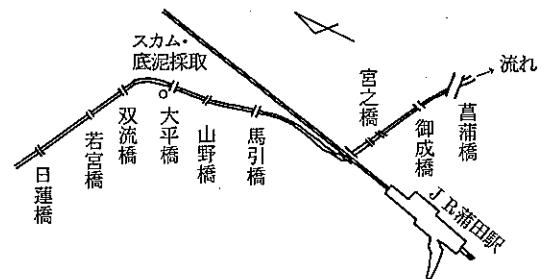


図3 呑川におけるスカム及び底泥試料採取地点

砂も少なく、髪の毛等は見られるものの比較的均質であったが、上層と下層の明確な差が認められなかった。そこで、まず表面の一部を採取し表層試料とし、次に残り全体を混合した後、その一部を採取し混合試料とした。

スカム及び底泥の分析結果を表3に示す。スカムの乾燥減量は、両河川とも70%以上で底泥に比べて高く、砂などの比重の大きな成分が少ないことがうかがえる。また、TC (~20%)、TN (~2%) 及び強熱減量 (~40%) も底泥より顕著に高いことから、スカムは有機物に富んでいることが分かる。

白子川の表層底泥の分析値は、下層底泥とスカムの分析値の中間的な値である。スカムが底泥のごく表層部分の浮上したものであることを示唆する結果と考えられる。

呑川の表層底泥と混合底泥との分析値の差は小さく、また、これらの値は同地点で採取されたスカムの分析値と顕著に異なっている。したがって、この地点の底泥からのスカム生成の可能性は少なく、ここで採取されたスカムは、有機物を多量に含む堆積物がより多く沈積した、他の上流地点で生成したのものであると推定される。

表3には、大阪府の平野川水系のスカム及び底泥の分析値も参考として示した。平野川水系のスカムは黒色のものであったとされるが、そのTN、TP、乾燥減量、強熱減量は底泥に比べて明らかに高く、TP以外は都内3河川で採取されたスカムのものと近い値である。このような事実は、スカムがどの河川でも共通の性状を持つ、すなわち、例えば供給源はおおむね同じであることを示唆するものと考えられる。

(3) スカム中の繊維状物質に関する検討

スカム及びスカムに近い性状を持った底泥試料を乾燥すると、紙粘土のような塊りとなる。これを引裂いてみると、切り口の面上に多量の細かい繊維状物質の毛羽立ちが見られた。これに対し、明らかに砂の混入が認められた底泥を乾燥すると、軽く触れるだけでさらさらした細粒になった。繊維状物質を顕微鏡観察すると、白色がかかった半透明で、長さは数mm程度、太さは均一でなく、細胞壁などは見られなかった。糸状藻類や髪の毛とは明らかに異質のものであった。このような繊維状物質の起源として、まず考えられるのは紙である。そこで実験室で使用しているパルプ100%のペーパータオルをほぐして顕微鏡観察すると、スカム中の繊維状物質と極めて類似した繊維が見られた。そこで、スカム中の繊維状物質は紙に由来するものと考え、木質繊維の主要成分であるセルロースの分解実験を試みた。分解が定量的に行われれば、スカム中の繊維状物質がパルプ起源であることが判明するとともに、この方法がその定量手段となることが期待されたからである。

神田川のスカムとSt. 3の表層底泥及び十条キンバリー社製キムワイプを試料とした。各乾燥試料100mg前後を三角フラスコに採り、SIGMA CHEMICAL社製セルラーゼ (5.1 unit/mg) 100mg、pH 5の酢酸緩衝液30mlを加えて密栓し、37°Cの恒温水槽で1時間かく拌した。反応終了後、あらかじめ重量を測定しておいたWhatman GF/Cろ紙でろ過し、水洗、乾燥後重量を測定した。セルラーゼを添加しない試料についても、同様の処理を行っ

表3 白子川及び呑川のスカム、底泥試料の分析結果

試料	TC (mg/kg)	TN (mg/kg)	TP (mg/kg)	TC/TN	TN/TP	乾燥減量 (%)	強熱減量 (%)
白子川*1 スカム	170000	21000	11800	8.1	2.2	80.4	41.6
表層	72500	7710	4740	9.4	1.8	62.6	27.0
下層	15100	2080	1730	7.3	1.1	34.8	6.5
呑川*2 スカム	200000	21200	10900	9.4	1.7	71.0	38.3
表層	81800	6440	6350	12.7	1.0	47.7	17.6
混合	58000	5250	6390	11.0	0.8	47.0	17.6
平野川							
水系*3 スカム	—	17700	9300	—	1.9	89.5	40.6
底泥	—	5350	3700	—	1.4	53.9	14.4

*1 1989年6月20日採取

*2 1989年6月21日採取

*3 参考文献2)より抜粋 (スカムは年平均、底泥は異なる6地点の平均)

た。試料中にセルロースが存在すれば、セルラーゼの作用によって可溶化し、ろ別されるはずである。

実験の結果、キムワイブに関してはセルラーゼの添加により35%の重量の減少が認められたが、スカム及び底泥試料についてはセルラーゼ添加の効果はほとんど見ることはできなかった。セルラーゼ添加量(100mg)はスカム、底泥試料100mg中のTCがすべてセルロース起源であったと仮定したときの必要量の約2倍量である。この結果が正しいとすれば、スカム中の繊維状物質は、パルプ起源のものではないことになる。しかし可能性として、実験に供したスカム及び底泥中の繊維状物質の絶対量が少なすぎたこと、あるいは繊維状物質以外の砂、シルト、粘土などの共存物が多量に含まれていたことによる酵素反応の妨害なども考慮する必要がある。供試量を増やす、もしくは繊維状物質のみを取り出して実験を試みるなど、検討の余地がある。

(4) 神田川におけるスカムの起源について

神田川のスカムと表層底泥の性状がほとんど同一であったことから、スカムの直接の起源は河川に沈積した底泥の表層部分で、それがガス発生により浮力を得て水面に浮上したものであることは、ほぼ間違いないと考えられる。さらに、スカムの起源となる表層底泥の供給源については、次の2点から推定することができる。

① スカム及びスカムに近い性状を持つ底泥中に、木片、枯葉などの他、明らかに野菜屑、人毛、紙の繊維と思われる物質などの、いわゆる生活排水中に一般的に存在すると考えられる成分が多量に含まれていたこと。

② スカムの大量発生が、強降雨のあった数日後に起こり易いという経験的事実。

すなわち、調査地点上流域における、晴天時の生下水の流入は現在ほとんどない状況であることも考慮すると、表層底泥(比重の小さい有機性底泥)は、強降雨時に余水吐からの流入水、あるいは終末処理場からの簡易処理放流水などに含まれていた有機性の懸濁物質が河川底に沈積したものと推定される。これらの有機物の供給からスカム発生までの機構は、図4のようになるものと考えられる。

4 ま と め

都内3河川におけるスカム等の性状に関する検討を行った結果、以下の点が明らかになった。

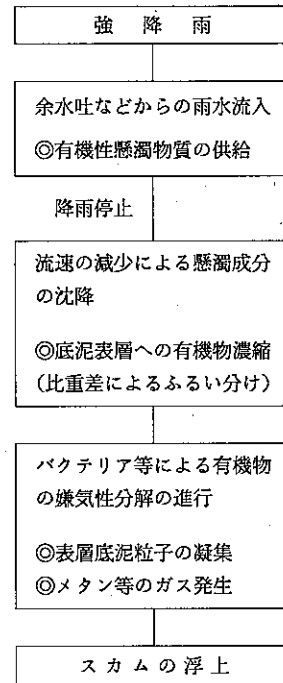


図4 神田川に関して推定されるスカム発生機構

① スカムには完全に黒色のものとそうでないものがあるが、いずれの場合でもTCは~20%、TNは~2%、乾燥減量は65~80%、強熱減量は~40%であった。このように、スカムの性状は、河川の違いによらずほぼ共通したものである可能性がある。

② 底泥の表層部分のうち、その性状が極めてスカムに近いものの存在することが判明した。スカムは、その有機物の豊富な表層部分が微生物作用により凝集し、強度を得た後、生成ガスにより浮力を得て水面に浮上したものと考えられる。

③ スカム及びスカムに近い性状を持った表層底泥中には、多量の繊維状物質が含まれていた。セルラーゼを用いた実験では明らかにすることができなかったが、顕微鏡観察からは紙起源の繊維と考えられた。

④ 神田川については、スカム、表層底泥中の内容物などから、余水吐等を経由した生活排水の流入により多量の有機性懸濁物質が供給され、スカムの主な原因物質となっているものと推測された。

本研究に当たり、神田川のスカム及び底泥調査につい

ては、千代田区、文京区、新宿区の協力を得た。関係各位に深く感謝する。

参 考 文 献

- 1) 菊 博文：白子川河口の悪臭実態調査とその対策について、東京都環境行政交流会誌第12号, p.99~104 (1988).
- 2) 大阪府寝屋川水系改修工営所：寝屋川水系（平野川・平野川分水路）浮上汚泥調査委託報告書, (1986).
- 3) 大阪府寝屋川水系改修工営所：一般河川平野川他平野川水系浮上汚泥発生対策検討委託報告書, (1988).
- 4) 環境庁水質保全管理課編：改定版 底質調査方法とその解説, (社)日本環境測定分析協会, (1988).