

(53) 湖沼底泥中の多環芳香族炭化水素類 (PAHs) の存在実態と対策の可能性

Occurrence of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in Lake Sediment and Sedimentation of PAHs with Particle Matter at River Mouth

南山瑞彦*, 鈴木 穰**

MINAMIYAMA Mizuhiko*, SUZUKI Yutaka**

ABSTRACT; Environmental pollution caused by hazardous organic substances has become a problem. The hazardous organic compounds that exist in the watershed concentrate in closed water bodies via rivers. In particular, several papers have reported on the pollution of bottom sediment of closed water bodies with polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs). We are investigating to clarify the status of pollution and fate of sediment with PAHs. In this study, it was revealed that the concentrations of PAHs in the sediment near the river mouth were high because of their sedimentation with particle matter. It was also revealed that we could control the PAHs from the river using an artificial lagoon constructed near the river mouth.

KEYWORDS; Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs), Lake Sediment, Occurrence

1. はじめに

近年、有機性有害物質による環境汚染が懸念されている。閉鎖性水域には、その流域内で発生・使用された有機性有害物質が河川等を経由して集まることが予想されるため、それらの物質による汚染が懸念されている。特に、多環芳香族炭化水素類 (Polycyclic aromatic hydrocarbons、以下、PAHs) による底泥の汚染が指摘されており^{1, 2)}、底泥中でのPAHsの存在実態の解明が必要である。

PAHsは、複数の環が縮合している有機化合物の総称とされている。2～6環の主なPAHsの構造を図-1に示す。PAHsは、オクタノール-水分配係数が大きく、疎水性を示す^{2～5)}。また、大気環境中では2～3環はほとんどがガス状、4環はガス状と粒子状の両方、5環以上は粉塵に吸着した状態で存在している⁶⁾とされている。

PAHsの一つであるBenzo[a]pyrene (以下、BaP) はその発ガン性が古くから指摘されており、図-1に示されている16種のPAHsでは、BaPの他にも、Benz[a]anthracene、Benzo[b]fluoranthene、Benzo[k]fluoranthene、Chrysene、Dibenz[a,h]anthracene、Indeno[1,2,3-cd]pyreneが米国環境保護庁によりB2 (probable human carcinogen) に位置づけられている⁷⁾。また、BaPは内分泌かく乱作用を有すると疑われる化学物質の一つに挙げられている⁸⁾。PAHsは残留性有機汚染物質 (POPs) に位置づけられる場合もある⁹⁾。このように、PAHsは、古くから問題のある物質群として注目されている。

PAHsには、NaphthaleneやAnthracene等のように工業的に用いられる物質もあるが、多くは「コールタール、アスファルト中の成分で、非意図的生成物としてガソリン及びディーゼルの排ガス、たばこの煙、石炭などの燃焼ガスに含まれる²⁾」とされている。そのため、PAHsによる底泥汚染の経路としては、油の漏出による経路とともに燃焼に基づく大気経由の汚染が懸念される。

閉鎖性水域の底泥のPAHsによる汚染状況に関する報告が公表されている。特に、BaPについては、

* 独立行政法人土木研究所リサイクルチーム (現、国土技術政策総合研究所下水処理研究室) (Recycling Research Team, Public Works Research Institute)、** 独立行政法人土木研究所リサイクルチーム (現、独立行政法人土木研究所水質チーム) (Recycling Research Team, Public Works Research Institute)

前述の通り古くから注目されたことから、公的機関でも多くの調査が行われている。主な既往文献中^{1, 10~12)}の、淡水域および汽水域におけるBaPによる底泥の汚染調査結果によると、240ng-BaP/g-dry 程度以下の汚染が報告されており、この約10年では横ばい〜減少傾向が見られる。

環境省の調査^{1, 2)}によると、PAHsは水試料での検出頻度は低い一方で底泥試料からの検出頻度が高く、PAHs全体としてのリスク評価を行うことが必要であるとされている。また、PAHsの中には閉鎖性水域の河川流入部近傍での局所的な高濃度域の存在が報告されている物質もある¹³⁾。これらのことから、閉鎖性水域の底泥におけるPAHsの分布状況の把握等、存在実態を明らかにすることが必要である。

本報では、閉鎖性水域のうち、湖沼の底泥中のPAHsの存在実態に関する調査の結果、および、湖沼の底泥のPAHs汚染の対策の可能性に関する検討結果を報告する。

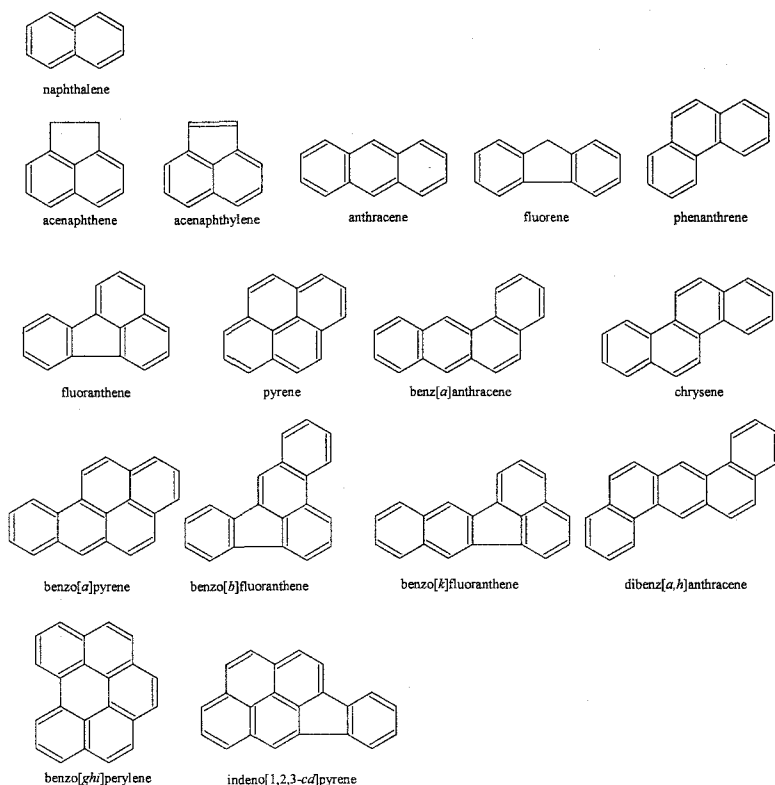


図-1 多環芳香族炭化水素類 (PAHs) の例

2. 湖沼の底泥中の多環芳香族炭化水素類 (PAHs) の存在実態

湖沼の底泥中のPAHsの存在実態の把握のため、比較的人為的な汚染が進んでいる湖沼と人為的な汚染

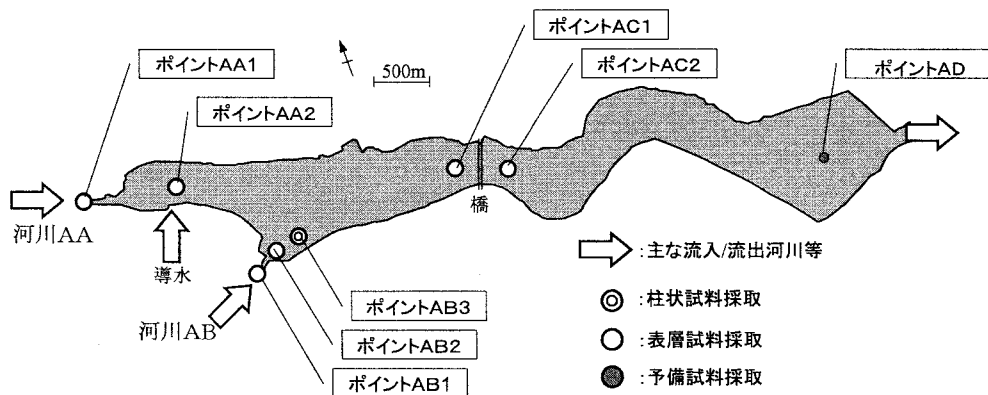


図-2 水域Aにおける採泥点

が進んでいないと予想される湖沼の底泥を採取し、PAHsの含有量を調査した。

2. 1 比較的人為的な汚染が進んでいる湖沼

(1) 調査方法

調査対象とした湖沼は関東地方の平野部にあり、生活排水により汚染が進んでいるとされている水域である(以下、水域A)。水域Aの概略と採泥地点を図-2に示す。水域Aの面積は約410haである。また、水域Aへの大きな流入河川である河川AA、ABの流域面積はそれぞれ3,130ha、3,669haとされている¹⁴⁾。なお、水域Aでは水質浄化対策を目的の一つとして、比較的清澄な河川より導水が行われている。

水域Aでは春期(4月)に予備調査を行った。予備調査ではPAHsの主な流入源となりうる流入河川や橋等から離れた地点(ポイントAD)の底泥表層試料を、ほぼ同じ箇所ですべて3検体採取して測定した。結果を表-1に示す。BaPに関しては、これまでに日本で測定されている値の範囲内であり、より汚染程度が低いと思われる水域と同程度であった。水域Aと同じ関東地方にある手賀沼、印旛沼の値と比較しても、より低濃度であった。BaP以外のPAHsについても、既に報告されている底質の調査結果(河川、海域を含む)²⁾の範囲内の値であった。

予備調査の結果をうけ、水域AへのPAHsの流入源と考えられる流入河川や橋に比較的近い点で試料を採取した。試料採取は春期(3月)に行った。試料は図-2の中で○で示した6点で表層試料を、◎で示した1点ではアクリルパイプを用いて柱状試料を採取した。ポイントAA1~AA2、AB1~AB3は流入河川近傍でのPAHs堆積状況を把握することを目的として設定した。ポイントAA1とAB1は河川の採泥ポイントあり、他は水域Aの中である。ポイントAA2は河川AAの河口から約1kmで導水流入部の近くであり、AB2は河川ABの河口から約200m、AB3は約400mの位置である。また、自動車起源の負荷の流入・降積が予想される橋の上下流約300mの地点にポイントAC1、AC2を設定した。

底泥試料中のPAHsの分析は、環境庁のBaPの分析方法¹⁵⁾を準用した。分析方法の主な流れを図-

表-1 底泥中のPAHs含有量(水域A:予備調査)

	Concentration of PAHs [ng/g-dry]				Reference Concentration Observed in Japan
	Point AD			CV(%)	
Naphthalene	84	61	81	16	
Acenaphthylene	22	19	26	15	
Acenaphthene	6	5	6	15	240 (max) in 1999 *
Fluorene	34	25	41	24	
Phenanthrene	109	81	75	20	260 (max) in 1999 *
Anthracene	12	10	12	10	130 (max) in 1999 *
Fluoranthene	80	62	95	21	
Pyrene	70	54	80	19	540 (max) in 1999 *
Benz[a]anthracene	14	11	16	21	550 (max) in 1999 *
Chrysene	24	18	29	23	
Benzo[b]fluoranthene	17	13	20	19	
Benzo[k]fluoranthene	7	6	8	18	
Benzo[a]pyrene	12	9	14	20	42 (Teganuma Lake), 31 (Inbanuma Lake) in 2002**
Dibenz[a,h]anthracene	1	0	1	31	88 (max) in 1999 *
Indeno[1,2,3-cd]pyrene	24	18	27	20	
Benzo[ghi]perylene	7	4	7	24	420 (max) in 1999 *

*:文献2(河口、港湾等の底泥が対象)、**:文献12

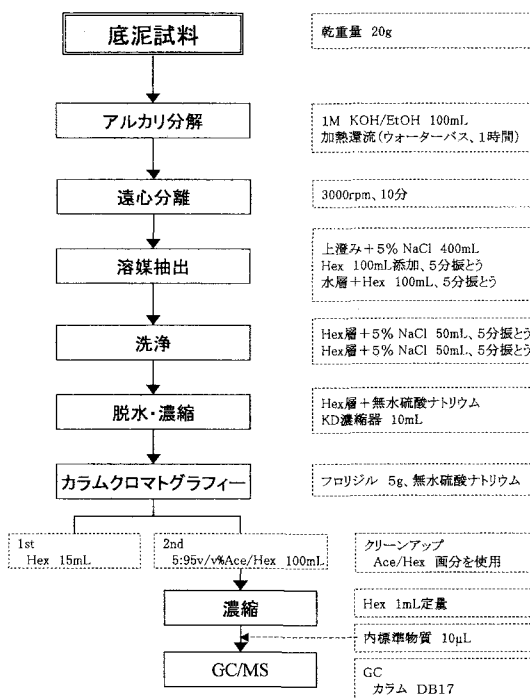


図-3 底泥中PAHs分析の主な流れ(水域A)

3に示す。この方法は、底泥試料を加熱還流アルカリ分解し、液々抽出した後、クリーンアップし、ガスクロマトグラフ質量分析計(GC/MS)で検出する方法である。クリーンアップにはフロリジルを用いた。

定量対象物質は図-1に示した16種のPAHsとした。

(2) 調査結果

表層におけるPAHsの測定結果を表-2に示す。全体的な傾向として、2~3環のPAHsの濃度は低かった。

流入河川からの流入負荷の影響を比較すると、河川ABでは、流入河川の底泥(AB1)と比べて水域Aに入った後の底泥(AB2、AB3)はPAHsの含有量が高かった。特に、4環以上のPAHsの含有量が高くなっており、流入河川からもたらされるPAHsが、粒子に吸着した状態で河口近傍で沈積している可能性が示唆された。一方、河川Aについては、流入河川の底泥(AA1)と比べ底泥AA2のPAHs含有量はほぼ同程度か、低くなっていた。これは、ポイントAA2がやや河口から離れていたこと、また、導水の影響により明確な傾向が得られなかったものと考えられる。

ポイントAB3における鉛直分布の測定結果を図-4に示す。深さは、柱状試料から切り出した各試料の中央の深さを用いた。今回の調査では、4環以上のPAHsの含有量が、表層から60cm程度までは増加する傾向にあった。独立行政法人土木研究所水質チームが、同じ地点で採取した柱状試料について実施した²¹⁰Pbによる年代測定によると、表面から20cm程度まではかく乱されている可能性があり、40cmで1960年代後半、60cmで1950年代、90cmで1930年頃との結果が得られた¹⁶⁾。この結果から、1960年代からPAHsの蓄積が減少傾向にある可能性があることが示唆された。また、かく

表-2 底泥中のPAHs含有量(水域A表層)

Sampling Points	Concentration of PAHs [ng/g-dry]						
	River AA and Near the River		River AB and River Mouth			Near the Bridge	
	AA1	AA2	AB1	AB2	AB3	AC1	AC2
Naphthalene	7	0.9	0.5	0.3	4	0.3	1
Acenaphthylene	3	4	2	10	6	0.7	5
Acenaphthene	2	0.8	0.9	0.9	5	1	23
Fluorene	8	8	7	10	41	3	28
Phenanthrene	33	32	29	144	203	7	63
Anthracene	7	11	6	7	22	2	14
Fluoranthene	59	65	62	336	256	15	185
Pyrene	65	59	54	268	238	15	154
Benz[a]anthracene	29	14	24	88	80	3	45
Chrysene	45	30	37	192	146	8	95
Benzo[b]fluoranthene	30	17	32	148	113	6	76
Benzo[k]fluoranthene	15	7	12	71	46	2	31
Benzo[a]pyrene	29	11	18	110	87	3	43
Dibenz[a,h]anthracene	3	1	2	13	9	0.4	5
Indeno[1,2,3-cd]pyrene	38	18	40	163	122	7	81
Benzo[ghi]perylene	11	6	10	36	32	2	25

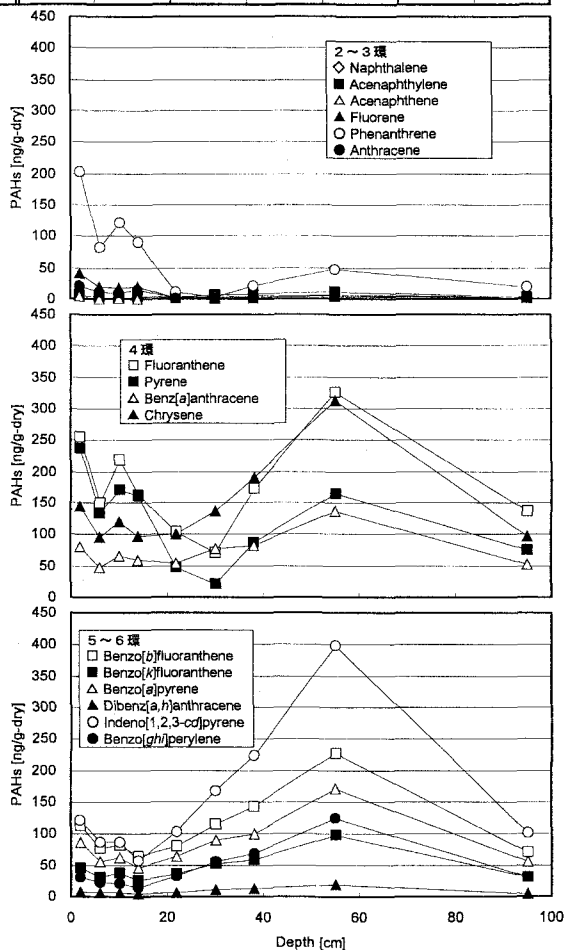


図-4 底泥中のPAHs含有量(水域A鉛直)

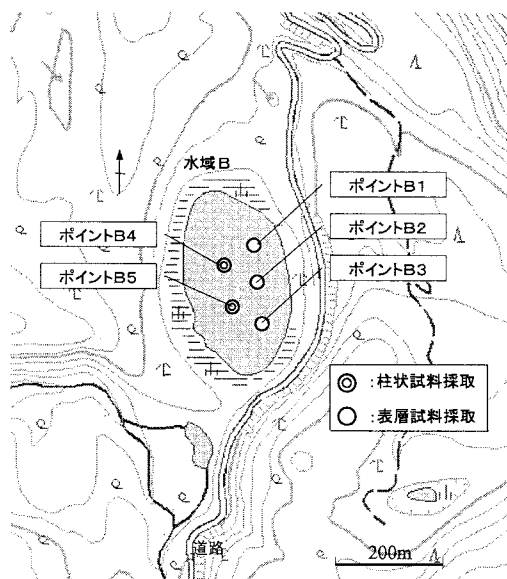


図-5 水域Bにおける採泥点

乱されている可能性の高い層においては、底泥表面に近いほどPAHs含有量が高くなる傾向にあった。かく乱されている可能性の高い表層では、底泥表面に近いほど粒径が小さい粒子が多いと考えられる。PAHsは小粒径の粒子に多く含有されていると報告されている¹⁷⁾ことから、底泥表面近傍のPAHsが高めの値を示したのと考えられる。

自動車起源の負荷の流入・降積が予想されるため、橋の近くで採取した試料についてはPAHsが相当高い含有量で検出されると考えていたが、下流側に相当するポイントAC2でのPAHs含有量が高かったものの、河川流入部のAB3での値と同等以下であった。これは、ポイントAC1およびAC2が橋から300m程度離れていたことにより、PAHsの含有域をとらえきれていないものと考えられた。自動車起源の負荷の把握に関しては、橋の直下での採泥等、より詳細な調査が必要である。

2.2 比較的人為的な汚染が進んでいないと予想される湖沼

(1) 調査方法

調査対象とした湖沼は北陸地方の山間部(標高 1,100m 程度)にあり、比較的人為的な汚染が進んでいないと考えられた水域である(以下、水域B)。水域Bの概略と採泥地点を図-5に示す。水域Bは、交通量の少ない道と山林に囲まれている。人家、工場等は流域内に存在しない。図-5によると、水域Bの面積は5ha、流域面積は

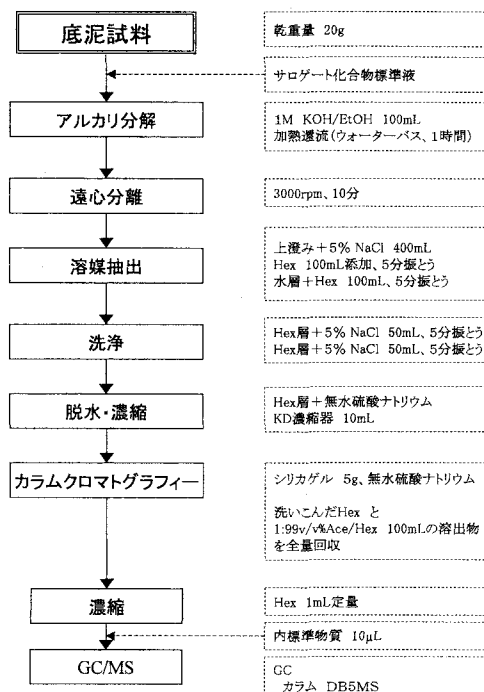


図-6 底泥中PAHs分析の主な流れ(水域B)

表-3 底泥中のPAHs含有量(水域B表層)

Sampled Depth from Sediment	Concentration of PAHs [ng/g-dry]				
	Approx. 0 - 5cm, Scooped by a Diver			Layer of 0.5 - 1cm of Core Sample	
	B1	B2	B3	B4	B5
Naphthalene	13	14	24	42	123
Acenaphthylene	2	7	3	3	37
Acenaphthene	tr	tr	2	2	7
Fluorene	5	3	10	7	21
Phenanthrene	27	25	65	59	121
Anthracene	2	2	4	3	7
Fluoranthene	39	40	104	84	178
Pyrene	19	20	56	48	103
Benz[a]anthracene	7	7	22	16	34
Chrysene	39	42	102	81	162
Benzo[b+k+j]fluoranthene	24	27	68	51	108
Benzo[a]pyrene	20	20	55	43	107
Dibenz[a,h]anthracene	4	3	11	6	14
Indeno[1,2,3-cd]pyrene	30	36	140	68	145
Benzo[ghi]perylene	25	32	78	58	131

tr: 定量下限未満

36ha程度と推定される。試料採取は夏期（7月、梅雨期）に行い、表層試料を3ヶ所（ポイントB1～B3）で、柱状試料を2ヶ所（ポイントB4～B5）で採取した。採取はダイバーが行い、柱状試料はアクリルパイプを貫入して、また表層試料は直接すくいとることによって行った。水深は1.5～2mであった。

水域Bは人為的な汚染が進んでおらず、沈殿物の堆積が非常に遅いことが予想されたので、表面近傍の極薄い層に最近数十年の底泥が堆積していることが予想された。そのため、柱状試料については、深さ30mmまでは5mm毎に、30～50mmは10mm毎、50～110mmは20mm毎、110mmからは40mm毎に試料を切り出し、一部を分析試料とした。

底泥試料中のPAHsの分析方法は、本調査の底泥試料に水域Aの試料で用いた方法を適用したところ回収率が不安定であったため、クリーンアップにシリカゲルを用いるように変更した。また、分離カラムをDB17から分析対象物質に関する既往のデータが多いDB5に変更した。分析フローの概略を図-6に示す。

定量対象物質は図-1に示した16種のPAHsとした。なお、分離カラムを変更したことにより、ベンゾ[b]フルオランテン、ベンゾ[k]フルオランテン、ベンゾ[j]フルオランテンが分離できなくなったため、これらは一括して定量した。

（2） 調査結果

表層におけるPAHsの測定結果を表-3に示す。水域Aと同様に、全体的に、2～3環のPAHsの濃度は低かった。また、水域AのポイントAA2とポイントB1、B2を比較すると、ほぼ同程度のPAHs含有量であった。

水域Bは流入河川がないため、PAHs濃度の平面分布は小さいものと予想されたが、B1～B3で得られた結果によると、4倍程度の差があるPAHsが存在した。

ポイントB4、B5における鉛直分布の測定結果を図-7に示す。深さは、柱状試料から切り出した各試料の中央の深さを用いてプロットした。表層から7～9cmの試料より深い箇所から採取された試料で、含有量が減少したPAHsが多かった。

^{210}Pb と ^{137}Cs による年代測

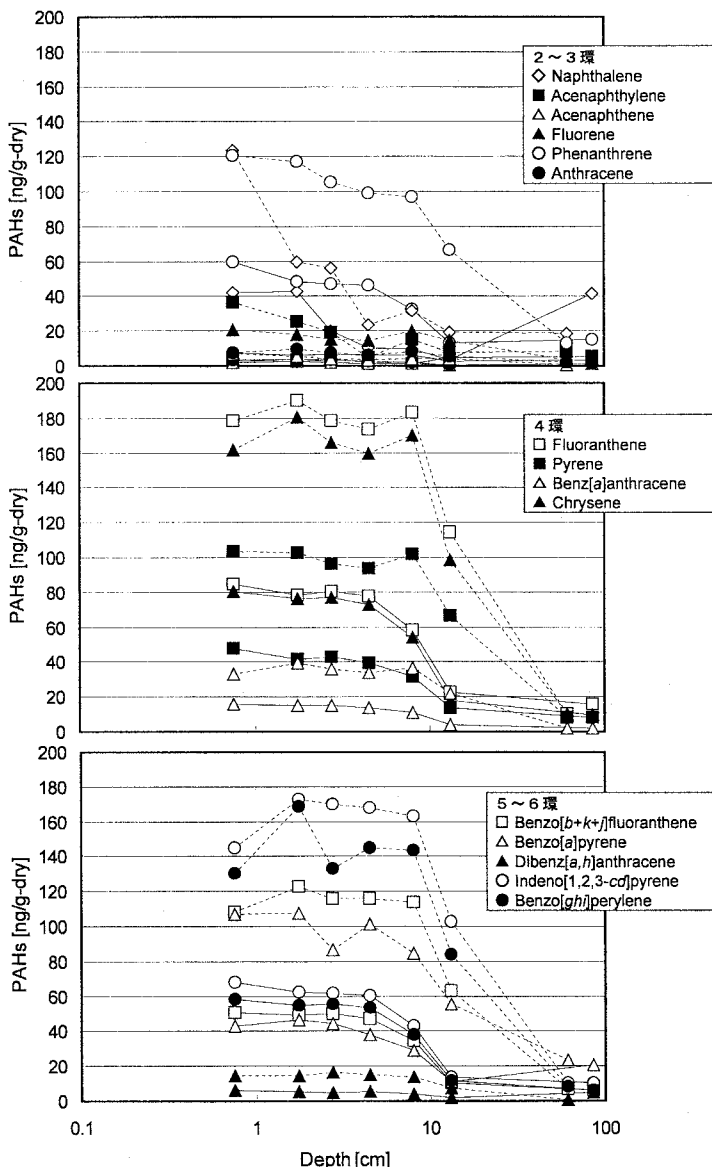


図-7 底泥中のPAHs含有量（水域B鉛直）
実線：ポイントB4、点線：ポイントB5

定によると、底泥の堆積速度は、ポイントB4で 0.3cm/year、ポイントB5で 0.337cm/year と算出された。これらの値を用い、PAHs 堆積速度を堆積年代で整理し、水域AのポイントAB3での結果とともに図-8、9に示す。図-8については全データを、図-9については、堆積年代1800年以降のデータのみを示した。なお、試料採取時の観察によると、水域Bの底泥表面近くは植物の根等によるかく乱を受けている可能性があるが図-9では考慮していない。また、堆積速度の算出にあたり、土中の4環以上のPAHsの微生物分解は遅く¹⁸⁾、底泥中で確認されているPAHs分解微生物の多くは好気性菌である¹⁹⁾ことから、底泥中でのPAHsの分解速度が非常に遅いと考えられるため、堆積したPAHsの分解は考慮していない。

水域AでのPAHs 堆積速度は、1960年頃がピークとなる傾向にあり、特に5環以上のPAHsでこの傾向が顕著にあらわれた。一方、水域Bでは1960年頃から堆積速度が上昇する傾向があり、1950年代以前ではほぼ $1\mu\text{g/year/m}^2$ 程度であったものが、2000年代では $10\mu\text{g/year/m}^2$ 程度となっていた。水域BへのPAHsの流入は主に大気からであると考えられるため、水域Bでは1960年代のPAHs汚染を経験していない一方で、1960年代以降、大気由来のPAHs 負荷が上昇している可能性が示唆された。また、堆積速度の絶対値は流域面積、流達率、水域内の堆積分布等の違いがあるため単純には水域AとBを比較できないが、水域

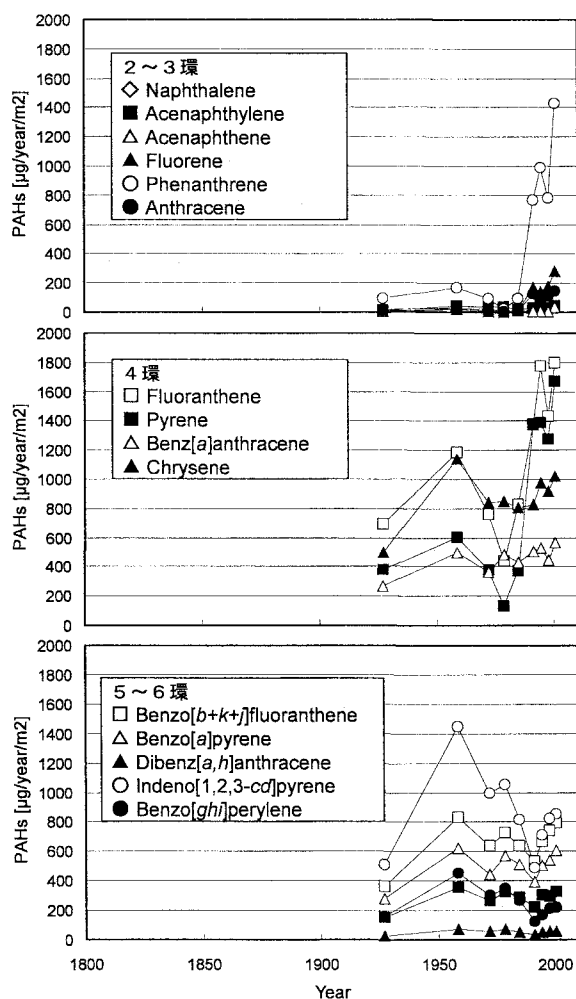


図-8 底泥へのPAHs堆積速度(水域A)
ポイントAB3、年代は土木研究所調査¹⁸⁾に基づき算出

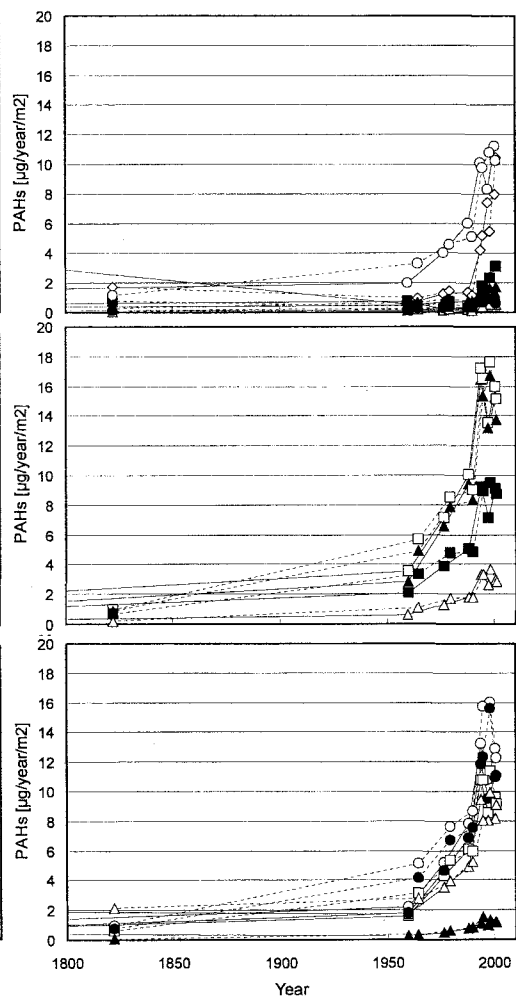


図-9 底泥へのPAHs堆積速度(水域B)
実線：ポイントB4、点線：ポイントB5

BのPAHs堆積速度を日本全国に基底的に存在する大気由来負荷と仮定すると、都市域にある水域Aにおいてはこれを上回る負荷が流域、大気から流入したものと考えられ、結果的に堆積速度は2桁ほど大きな値となっていた。

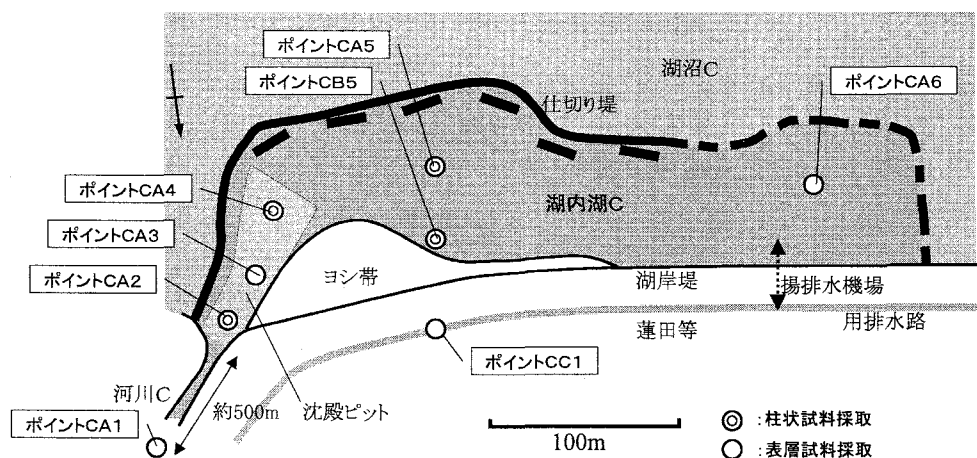
3. 人工内湖における多環芳香族炭化水素類（PAHs）の存在実態

PAHsによる湖沼の底泥の汚染経路としては、流入河川からの流入、大気からの降積等が考えられる。これらのうち、流入河川からの流入については、河口部における粒子の沈殿にともなうPAHsの沈殿除去により、湖沼本体の汚染を防ぐことが可能であると考えられる。そこで、閉鎖性水域に流入する河川の河口に設置された人工内湖を調査対象として、底泥のPAHsによる汚染状況およびPAHsの沈殿除去の可能性について調査した。

3. 1 調査方法

調査対象とした人工内湖（以下、湖内湖C）は関東地方にある湖沼Cに流入する河川Cの河口部に設置されている人工内湖である。湖内湖Cの概略と採泥地点を図－10に示す。既往の文献²⁰⁾では、湖内湖Cの流域は、蓮畑を主体とする水田・田畑が42%、山林・原野が39%を占め、流域人口1,300人であり、家畜負荷とノンポイント負荷が主たる汚濁原因であるとされている。湖内湖Cは、流入河川Cの河口近傍での流入負荷の沈殿除去を意図して設置された水深の深い沈殿ピットと、それ以外の水深の浅い一般沈殿池に分かれている。ポイントCA1は流入河川C、ポイントCA2～4は沈殿ピット、ポイントCA5～6、CB5は一般沈殿池に設定し、採泥を行った。ポイントCB5は陸化したヨシ帯の近傍に設定した。ポイントCC1は近辺の農業用排水路に設定した。水深はポイントCA1が35cm、CC1が40cm、他は50cm～1mであった。調査時点では沈殿ピットに泥や砂が貯まっていたため、一般沈殿池と比較し、必ずしも深いということではなかった。なお、湖内湖Cに流入した河川水の流出先である湖沼Cでは、湖内湖C近辺に泥が堆積していなかったため、PAHs分析用の底泥試料の採取は行わなかった。試料採取は冬期（12月）にダイバーにより、水域Bと同様の方法で行った。

底泥試料中のPAHsの分析には、水域Bで用いた方法を使用した。また、定量対象物質も水域Bでの調査と同様とした。



図－10 湖内湖Cにおける採泥点

3. 2 調査結果

表層におけるPAHsの測定結果を表－4に示す。湖内湖Cは建設されて日が浅く、過去の蓄積に関する

情報が得られないため、分析対象試料は表層の試料のみとした。柱状試料については表面から 2cm の層を分析対象とした。

流入河川のポイント CA1 から湖内湖 C の沈殿域のうちポイント CA5 まではほぼ同程度の PAHs 含有量を示したが、ポイント CA6 では含有量が減少していた。これは、湖内湖 C 内の上中流部で比較的 PAHs 含有量の高い粒子が沈積し、ポイント CA6 まで到達していない、または、波浪にともなう湖沼 C との交換により希釈されている可能性があることを示している。なお、湖沼 C に関しては BaP に関する調査結果があり¹⁾²⁾、湖心付近では BaP が検出されていない。湖沼 C は比較的面積が広い湖沼であり、全体的には PAHs の流入負荷の影響を受けにくいものと考えられる。

ヨシ帯近傍に設定したポイント CB5 では、流れが比較的遅いと予想されたため、PAHs 含有量が比較的多いと考えられる小粒径の粒子が堆積することが予想されたが、必ずしも PAHs 含有量が多いわけではなかった。これは、湖内湖 C のポイント CA5 程度まではほぼ全幅にわたり、同様の粒子の堆積傾向があることを示唆しているものと考えられる。

また、蓮田の中を流れる農業用排水路に設定したポイント CC1 では、3 環以上のほとんどの PAHs 含有量が高くなっており、耕耘機等の原動機の利用等が PAHs 発生源の一つである可能性が示唆された。

これらの結果から、河川河口部近傍に湖内湖等を設け、PAHs を含む粒子の沈降をすすめ、湖内湖に PAHs を集積させることにより、閉鎖性水域本体への PAHs の流入負荷を減少させるとともに、湖内湖に集積させた PAHs を対象とした除去、分解等の対策を施す可能性が示唆された。今後、河川流入負荷にしめる湖内湖での沈殿除去割合等、より詳細な沈殿効果の把握と、制御のための堆積底泥の管理手法の検討、光や沿岸に生育する植物を用いた湖内湖内での分解の可能性の検討等を行う必要がある。

表－4 底泥中の PAHs 含有量（湖内湖 C 表層）

Sampling Points	Concentration of PAHs [ng/g-dry]							
	River	Sedimentation Pit				Shallow Zone Following the Pit	Near the Shore	Canal in the Lotus Field
	CA1	CA2	CA3	CA4	CA5	CA6	CB5	CC1
Naphthalene	95	116	50	117	161	34	132	91
Acenaphthylene	32	40	16	37	48	12	39	28
Acenaphthene	6	8	3	9	7	3	6	18
Fluorene	19	29	11	30	21	10	15	48
Phenanthrene	90	190	89	259	190	41	98	312
Anthracene	14	18	7	80	18	7	13	27
Fluoranthene	117	228	104	267	223	58	136	423
Pyrene	90	191	83	217	182	49	99	329
Benz[a]anthracene	29	44	20	40	44	14	29	109
Chrysene	59	109	44	125	110	27	58	215
Benzo[b+k+j]fluoranthene	34	57	23	57	54	15	33	110
Benzo[a]pyrene	25	52	21	48	48	15	32	118
Dibenz[a,h]anthracene	8	11	5	7	8	4	6	26
Indeno[1,2,3-cd]pyrene	98	126	40	58	67	37	50	237
Benzo[ghi]perylene	36	60	24	56	55	18	37	105

4. まとめ

閉鎖性水域には、その流域内で発生・使用された有機性有害物質が河川等を経由して集まることが予想されるため、それらの物質による汚染が懸念されている。特に、PAHs による底泥の汚染が指摘されており、底泥中での PAHs の存在実態の解明が必要である。湖沼内の底泥における PAHs の分布状況の把握等、存在実態を明らかにすることを目的とした調査および、湖沼底泥中の PAHs 汚染の対策の可能性に関する検討を行った。

- ① 比較的人為的な汚染が進んでいる湖沼（水域A）の底泥中のPAHsの定量を行ったところ、4環以上のPAHsの含有量が高くなっていた。また、流入河川からもたらされると考えられるPAHsが、河口近傍で沈積している傾向が見られた。
- ② 水域Aと、比較的人為的な汚染が進んでいないと予想された湖沼（水域B）のPAHs堆積速度の傾向を比較したところ、1960年代以降、大気由来のPAHs負荷が上昇している可能性が示唆された。
- ③ 河川河口部近傍に湖内湖等を設け、PAHsを含む粒子の沈降をすすめ、湖内湖にPAHsを集積させることにより、閉鎖性水域本体へのPAHsの流入負荷を減少させるとともに、湖内湖に集積させたPAHsを対象とした除去、分解等の対策を施す可能性が示唆された。

参考文献

- 1) 環境庁環境保健部保健調査室：化学物質と環境，平成2年版，1990.12.
- 2) 環境省環境保健部環境安全課：化学物質と環境，平成12年度版，2001.3.
- 3) Agency for Toxic Substances and Disease Registry：Toxicological Profile for Naphthalene, 1-Methylnaphthalene, and 2-Methylnaphthalene, pp.117-119, 1995.8.
- 4) Agency for Toxic Substances and Disease Registry：Toxicological Profile for Polycyclic Aromatic Hydrocarbons, pp.209-221, 1995.8.
- 5) Oak Ridge National Laboratory：Toxicity and Chemical-Specific Factors - Nonradionuclides, Risk Assessment Information System, as of April 2003.
- 6) 木津良一，鳥羽陽，早川和一：多環芳香族炭化水素（PAH）の環境残留とヒトへの曝露，内分泌かく乱物質研究の最前線，季刊化学総説，No.50, pp.187-192, 2001.9.
- 7) U.S.Environmental Protection Agency：Integrated Risk Information System, as of April 2003.
- 8) 環境庁：内分泌攪乱化学物質問題への環境庁の対応方針について－環境ホルモン戦略計画 SPEED'98－，1998.5.
- 9) UNECE：Annex III, The 1998 Aarhus Protocol on Persistent Organic Pollutants (POPs).
- 10) 環境省（旧環境庁）：化学物質と環境，平成4年版～平成13年版.
- 11) 環境省（旧環境庁）：水環境中の内分泌攪乱化学物質（いわゆる環境ホルモン）実態調査（平成10年12月）、平成11年度水環境中の内分泌攪乱化学物質（いわゆる環境ホルモン）実態調査結果、平成12年度水環境中の内分泌攪乱化学物質（いわゆる環境ホルモン）実態調査結果、平成13年度水環境中の内分泌攪乱化学物質（いわゆる環境ホルモン）実態調査結果の概要.
- 12) 国土交通省河川局：平成13年度水環境における内分泌攪乱物質に関する実態調査結果（資料集），2002.12.
- 13) 原田淳，山敷庸亮，山下尚之，清水芳久，松井三郎：湖沼底質中の微量有機汚染評価のための指標物質の検出－琵琶湖赤野井湾を対象として－，環境工学研究論文集，Vol.33, pp.341-348, 1996.12.
- 14) 中村栄一，田中宏明，高島英二郎：閉鎖性水域における栄養塩負荷削減の効果評価に関する調査，平成2年度下水道関係年次報告書集，pp.109-116，建設省土木研究所，1991.10.
- 15) 環境庁水質保全局水質管理課：外因性内分泌攪乱化学物質調査暫定マニュアル（水質、底質、水生生物），pp.VI-1 - VI-8, 1998.10.
- 16) 田中宏明，小森行也，津森ジュン：都市排水由来の化学物質の水環境中での挙動に関する研究，平成15年度重点プロジェクト研究報告書，pp.90-98，独立行政法人土木研究所，2004.3.
- 17) 村上道夫，中島典之，古米弘明：多環芳香族炭化水素類（PAHs）含有率とそのプロファイルに基づく粒径画分ごとの道路・屋根堆積塵埃の識別，水環境学会誌，Vol.26, pp.837-842, 2003.12.
- 18) Agency for Toxic Substances and Disease Registry：Toxicological Profile for Polycyclic Aromatic Hydrocarbons, pp.252-254, 1995.8.
- 19) Hohzoh Kiyohara, Noboru Takizawa, Kazutaka Nagao：Natural Distribution of Bacteria Metabolizing Many Kinds of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons, J. Fermentation and Bioengineering, Vol.74, pp.49-51, 1992.1.
- 20) 中村圭吾，森川敏成，島谷幸宏：河口に設置した人工内湖による汚濁負荷制御，環境システム研究論文集，Vol.28, pp.115-123, 2000.10.