

## 化学物質の影響把握と分析手法の検討

### － 琵琶湖底質調査結果について －

卯田 隆・津田泰三・佐貫典子・河原 晶・北川典孝・瀧野昭彦<sup>1</sup>・坪田てるみ<sup>2</sup>・居川俊弘<sup>3</sup>

#### 要約

現在も、化学物質の有害性や暴露、環境残留性に関する情報はまだまだ不足しているが、科学的な環境リスク評価等の推進が全国的な課題になっている。このため、本研究では琵琶湖やその流入河川において、実態把握と今後の対策に備えるためにも、現状把握に有効な手法の検討を行い、必要な情報を蓄積することを目的としている。

特に過去に2回、約10年毎に実施している琵琶湖底質調査は、琵琶湖水からはほとんど検出されない重金属や化学物質に関して、その底質への残留性や蓄積性等に着目して、底質の現状把握を目的に実施してきた。今回は平成23年度から平成25年度にかけて、第3回調査として実施した。この重金属や化学物質の追跡調査を過去の結果と比較して報告するとともに、今後の調査の方向性もあわせて提示する。

#### 1. はじめに

琵琶湖水中の重金属・化学物質等を含む有害物質の調査は、水質汚濁防止法第15条に基づく常時監視として実施されている琵琶湖水質調査の中で行われているが、そのほとんどが不検出と報告されている。稀に検出されても極微量、環境基準値等よりも十分に低く、報告下限値付近の値であり、水質には問題はない。

しかし、水質では検出できない極微量であっても、それら化学物質等の底泥への吸着や、土壌粒子等に付着した状態で湖内への流入により底泥に蓄積されることになる。また、底泥中の化学物質等はその特性により、長期間の残留や底泥状況の変化による湖水への再溶出も懸念される。

このため、底質を調査することは湖内の現状把握だけではなく過去や、未来の状況を知る重要な手掛かりとなることから、これまで約10年毎に2回の琵琶湖底質調査を実施してきた。過去の2回の調査(第1回はS61～S63年度、第2回はH11～H13年度に実施。)は水質調査地点と同じ48または46地点で実施したが、今回は分析等の効率化を図るために、各調査地点の第2回調査結果を用いて、調査地点の最適化を行った。

つまり、効率化を図るために、調査物質毎に46調査地点の測定値から、順次調査地点の数を減らして、46地点の測定値を用いた濃度分布と同じような濃度コンタ図が再現可能かにより判断して、必要な調査地点を選択する手法を用いた。具体的には、まず調査物質毎に濃度分布の特異点を残すとともに、さらに調査地点を順次減らして、残さなければ濃度分布が再現できない不可欠な地点を調査物質毎に選び、すべての調査物質に関してそれぞれの不可

欠な地点をあわせ、さらにダイオキシン類調査が実施されている琵琶湖内の水質環境基準点を考慮して、第3回(H23～H25年度)の調査地点26地点を選定した(図1)。

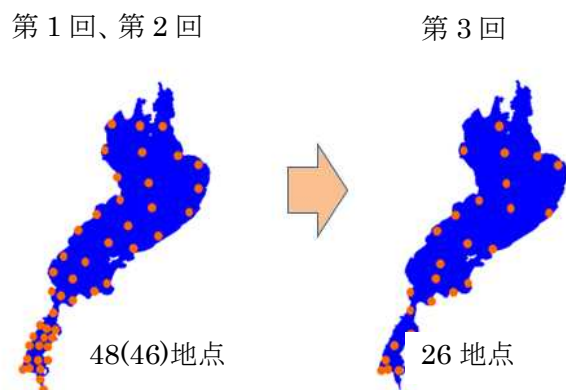


図1. 調査地点の最適化 (調査地点図)

また、これまでの底質採取方法はコア・サンプラーによって、底質表層から5cm(第1回調査。一部は1cm毎に採取。)または1.5cm(第2回調査)を採取して試料としていたが、今回はより多くの項目を調査するために、一度の操作で、ある程度の試料量を確保する必要があり、エクマン・バージ採泥器を用いることとした。採取する底質の厚みは、琵琶湖の年間平均堆積厚みが約2mmであることから、10年分の堆積分として表層から2cmを試料とすることとした。実際に、エクマン・バージ採泥器(図2)を用いて、表層から2cmまでの層を採取することが可能なことを泥質、および砂泥質、砂質の地点で確認できたため、この方法で試料を採取した。

1) 現・滋賀県衛生科学センター、2) 既退職、3) 現・滋賀県環境事業公社

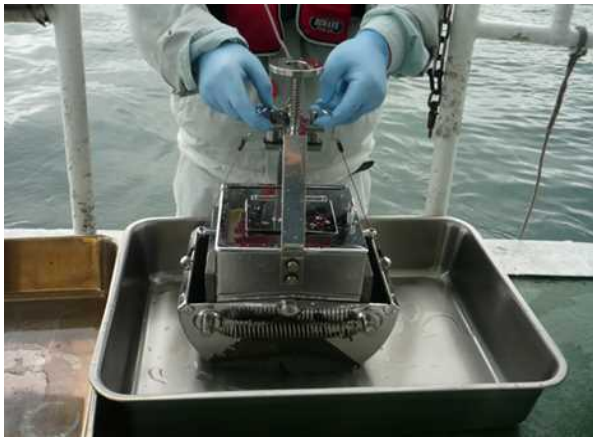


図2. エクマン・バージ採泥器

## 2. 調査項目と分析方法

調査項目は、含水率、強熱減量、泥分率、比重、炭素含有量、窒素含有量、りん含有量、重金属類 13 種（鉛、カドミウム、水銀、ヒ素、クロム、セレン、鉄、マンガン、銅、亜鉛、ニッケル、コバルト、アンチモン）、アルキルフェノール類等 10 物質（p-t-ブチルフェノール、p-n-ペンチルフェノール、p-n-ヘキシルフェノール、p-n-ヘプチルフェノール、p-t-オクチルフェノール、p-n-オクチルフェノール、ノニルフェノール、ビスフェノール A、2,4-ジクロロフェノール、ペンタクロロフェノール）、フタル酸エステル類等 12 物質（フタル酸ジエチル、フタル酸ジ-n-プロピル、フタル酸ジイソブチル、フタル酸ジ-n-ブチル、フタル酸ジ-n-ペンチル、フタル酸ジ-n-ヘキシル、フタル酸ベンジル n-ブチル、アジピン酸ジ-2-エチルヘキシル、フタル酸ジシクロヘキシル、フタル酸ジ-n-ヘプチル、フタル酸ジ-2-エチルヘキシル、フタル酸ジ-n-オクチル）、有機フッ素化合物 19 物質（ペルフルオロブタンスルホン酸、ペルフルオロヘキサンスルホン酸、ペルフルオロヘプタンスルホン酸、ペルフルオロオクタンスルホン酸、ペルフルオロノナンスルホン酸、ペルフルオロデカンスルホン酸、ペルフルオロペンタン酸、ペルフルオロヘキサン酸、ペルフルオロヘプタン酸、ペルフルオロオクタン酸、ペルフルオロノナン酸、ペルフルオロデカン酸、ペルフルオロウンデカン酸、ペルフルオロドデカン酸、ペルフルオロトリデカン酸、ペルフルオロテトラデカン酸、ペルフルオロヘキサデカン酸、ペルフルオロオクタデカン酸）、多環芳香族炭化水素類 8 物質（ベンゾ(a)アントラセン、ベンゾ(a)ピレン、ベンゾ(e)ピレン、ベンゾ(g, h, i)ピリレン、ベンゾ(k)フルオランテン、クリセン、フルオランテン、ピレン)とした。

採取試料は、速やかに異物を除き、遠心分離(3,000rpm、20分)で脱水し、湿試料とした。これを用いて乾燥減量と強熱減量を求めた。湿試料と、調整した風乾試料または

乾燥試料を速やかに分析に供した。速やかに分析できない場合は、湿試料は4℃、風乾試料と乾燥試料は密栓できる容器に入れ、冷暗所で保存した。

重金属等の分析方法は概ね、平成24年8月に環境省が改定した底質調査方法（以下、「底質調査方法」という。）に準拠した。炭素含有量と窒素含有量は風乾試料をNCコーダーで定量し、りん含有量、水銀、ヒ素、セレン、アンチモンは湿試料を硫酸-硝酸分解した試料液を適宜希釈して、ICP発光分析計（りん）、無炎原子吸光光度計（水銀）、水素化物発生原子吸光光度計で定量した。鉛、カドミウム、クロム、鉄、マンガン、銅、亜鉛、ニッケル、コバルトは乾燥試料を塩酸-硝酸分解した試料液を適宜希釈して、ICP質量分析計、またはICP発光分析計にて定量した。

アルキルフェノール類等の分析方法は、抽出については「底質調査方法」に従い、湿試料からのアセトン抽出液に5%NaCl水溶液を加え、ジクロロメタン抽出を行い、これをヘキサンに転溶して、5%含水シリカゲルカラムでクリーンアップを行った。その後、「底質調査方法」ではガスクロマトグラフ質量分析計（GC/MS）で定量するが、今回は液体クロマトグラフ質量分析計（LC/MS/MS）にて定量した。そのため、クリーンアップした試料液を濃縮後に窒素吹き付けにより乾固させ、アセトニトリルに溶解した。これに内標準物質を添加し、アセトニトリルで定容して、試験溶液とし、これをESI(-)モードで、LC/MS/MSにて測定した。

フタル酸エステル類等の分析方法は、「底質調査方法」に従い、湿試料からのアセトニトリル抽出液に5%NaCl水溶液を加え、ヘキサン抽出を行い、脱水濃縮後に含水フロリジルカラムでクリーンアップを行った。クリーンアップした試料液を脱水濃縮後に、内標準物質を添加し、ヘキサンで定容して、試験溶液とし、GC/MSにて測定した。

有機フッ素化合物の分析方法は、「底質調査方法」に定めはなく、報告事例に準拠した。湿試料約10gにサロゲートを加えた後、メタノール30mlを加え、超音波抽出10分、遠心分離を3,000rpmで20分、その上澄液を回収した。このメタノール抽出を3回繰り返す、メタノールで100mlに定容した。このうち50mlに酢酸0.5mlを添加した水400mlに加え、攪拌後、メタノールと水でコンディショニングした固相カートリッジに負荷した。その後、水、1%酢酸・メタノール溶液、80%メタノールで洗浄後、固相カートリッジを遠心脱水し、0.1%アンモニア水・メタノール5mlで溶出させ、窒素吹き付けで0.2mlまで濃縮後、80%メタノールで1mlに定容して、試験溶液とした。これをESI(-)モードで、LC/MS/MSにて測定した。

多環芳香族炭化水素類の分析方法は、「底質調査方法」ではなく、抽出方法は高速溶媒抽出装置を用いた事例を参

照し、定量方法は第1回調査と同じ液体クロマトグラフ蛍光検出器にて実施した。湿試料を約 40℃で風乾させた試料 2g を高速溶媒抽出装置により、1:1 アセトン・ヘキサンで100℃、1,500psi で抽出した。濃縮後、シリカゲル固相カートリッジに負荷させて、ヘキサン洗浄し、5%アセトン・ヘキサンで溶出し、濃縮後に窒素吹き付けで乾固させ、アセトニトリルに転溶させ 1ml に定容した。これを液体クロマトグラフ蛍光検出器で測定した。

なお、比重（真比重）の測定方法は「底質調査方法」には定めていないので、ゲーリュサック型比重瓶を用いて JISA1202(2009)に準拠して測定した。

### 3. 調査結果

#### 3.1. 強熱減量、炭素・窒素・りん含有量等

表2に、今回の調査結果を琵琶湖全体（以下、全湖という。）での平均値、最大・最小値と、琵琶湖北湖（以下、北湖という。）西岸、東岸、中央の平均値、および琵琶湖南湖（以下、南湖という。）の平均値を示した。

底質状況をこれまでは目視により、砂質、泥質、砂泥質と区分していたが、今回の底質調査から、泥分率（75μm未満の重量分率）を測定したので、数値で比較して示すことができるようになった。北湖の東岸、西岸では、砂分率が高く（泥分率が低く）、北湖中央部の水深が深いところや南湖で泥分率が高い（砂分率が低い）ことが明らかになった。これは目視状況と一致した。

これまでの調査結果から、強熱減量と炭素含有量の相関は高いことが知られており、今回の調査でも相関関係は確認された。

全湖平均値では強熱減量は増えていないが、泥分率が高い北湖中央部（今津沖中央（17B）や南比良沖中央（12B））、南湖（唐崎沖中央（6B）や浜大津沖（4A））では第1回、第2回、第3回と回を重ねることにより、強熱減量の値が増加していることが確認された（図3参照）。

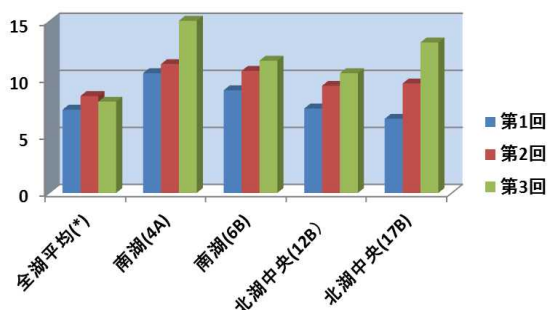


図3 強熱減量（厚み 1.5～2cm），%

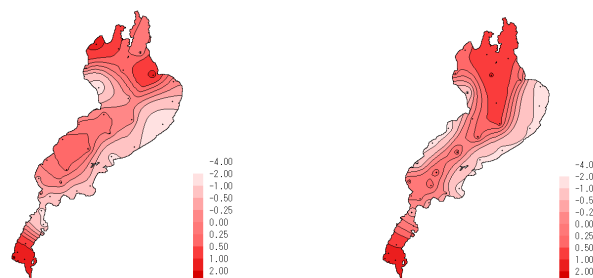
窒素含有量、りん含有量も同じ傾向にあり、これらは強熱減量や泥分率と相関関係があり、有機物（強熱減量、炭素含有量）が多いところは、泥質（泥分率が高い）で窒素、

りんも多く含まれている。

今回の強熱減量、炭素含有量、窒素含有量、りん含有量の調査 26 地点での検出濃度範囲は、それぞれ 0.9～15.2%、4,100～52,600mg/kg-dry、510～5,190mg/kg-dry、240～1,750mg/kg-dry であり、平均値はそれぞれ、8.6%、23,000、2,430、940mg/kg-dry であった。これらの値は、第1回、第2回の値と大きく変動はなかった。

なお、今回（第3回調査）の結果を、第1回と第2回調査結果と比較する上で、採取試料の表層からの厚みが問題となってくる。今回調査分は試料厚みが 2cm であるが、第2回調査分は試料の厚みは 1.5cm であるため、補正はせずに調査地点が重複する 26 地点データとして比較した。第1回調査分は、12 地点で 1cm 毎に採取したため、地点の測定値を 0～1cm と 1～2cm の 2 層の測定値を 0～2cm 層の測定値に換算した値があり、継続して調査地点となっている 11 地点データとして比較した（表1、表2、表3）。

また、採取試料厚みが異なっても、琵琶湖内での各調査地点の濃度  $x_i$  を平均値  $\bar{x}$  と標準偏差  $\sigma$  を用いた標準化データ ( $\mu = (x_i - \bar{x}) / \sigma$ ) を用いて、濃度コンタ図を作成して比較することで、湖内の中で比較的濃度が高い調査地点を把握することが可能なため、測定値としての数値の比較と濃度コンタ図による比較から、過去の底質調査結果と比較することとした（図4）。



単位：%	第2回	第3回
平均値(範囲)	8.5(3.9～14.0)	8.1(0.9～15.2)
標準偏差	2.31	4.14

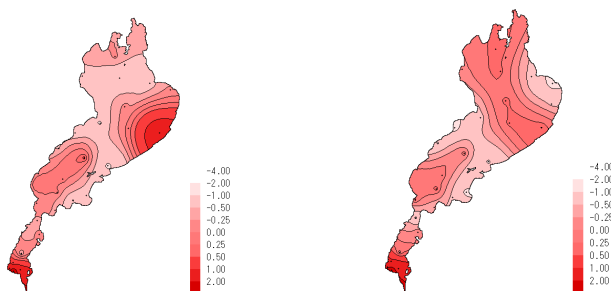
図4 強熱減量コンタ図（標準化）

比重（真比重）は、全湖で 2.49～2.69 g/cm<sup>3</sup>、平均で 2.60g/cm<sup>3</sup> であった。平均値は砂の比重と同じ値であった。平均比重値が求められたため、今後は沈降法での底質粒子の粒度分布が測定可能となった。

#### 3.2. 重金属類

これまでの調査結果（第1回、第2回）と比較して、最も変化が確認されたのは、水銀濃度が琵琶湖全域で減少したことである。特にこれまで琵琶湖の他の地点より濃度が高かった彦根沖、浜大津沖等の南湖で濃度が下がり、琵琶湖内での地点差がほとんどなくなった。琵琶湖全湖での水

銀平均検出濃度は、26 地点平均で 0.27mg/kg-dry から 0.15mg/kg-dry に低下しており、3 回の調査結果が比較可能な 11 地点での平均値も、0.36、0.26、0.14mg/kg-dry と減少している。これは琵琶湖流域からの流入量が全域で減ったためと推定される。一般に水銀は有機物に吸着されやすく、比較的移動が確認されにくい重金属である。水深が深く、有機物を多く含む泥質である北湖中央部では濃度がほとんど変わらないことから、系外への排出が増えたのではなく、系内への流入が減ったものと考えられる。



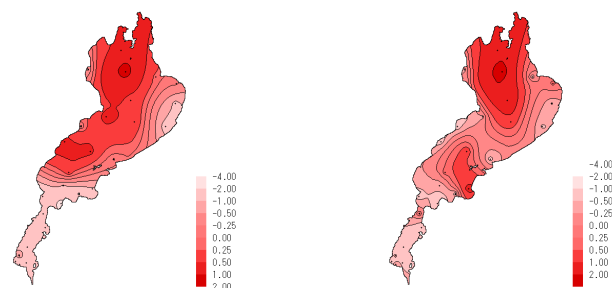
単位:mg/kg	第 2 回	第 3 回
平均値(範囲)	0.27(0.08~0.80)	0.15(0.01~0.42)
標準偏差	0.168	0.101

図 5 水銀濃度コンタ図 (標準化)

次に、ひ素は第 1 回調査でマンガン、りん等と同様に、酸化還元反応によって、底質表層に集積しやすく、より表層に近い部分の濃度が高いことが確認されている。また、琵琶湖全体では北湖中央部の水深が深いところでの濃度が他の地点より高いことも確認されている。これは、湖底での溶存酸素量の低下により酸化還元電位が下がり、底質中の鉄水酸化物と共沈していたひ素等が、鉄の溶出と共に溶け出し、底質表面で再酸化されて、底質表層近くでひ素等が鉄水酸化物と共沈することで、底質表層に濃縮、または集積したものと推定される。また、水深が深い北湖中央部ほど底層の溶存酸素量が低下しやすいため、水深が深い北湖中央部でのひ素濃度が高くなったものと推測される。

なお、ひ素の全湖平均検出濃度を第 1 回と第 3 回調査結果が比較できる 11 地点で求めると、それぞれ 39mg/kg-dry と 33mg/kg-dry であり、ほとんど変動がなかった。また、第 1 回 (試料厚み 5cm)、第 3 回 (試料厚み 2cm) 調査での 26 地点の標準化データによるひ素濃度コンタ図からも湖底表層での濃度分布に変化はなかった (図 6)。

セレンとアンチモンは、今回初めて琵琶湖底質での分布状況を確認したが、ひ素と同様に水深が深い北湖中央部での濃度が高いことを確認した。セレンは南湖南部 (浜大津付近) でも濃度が高く、アンチモンは天野川流域にかつてあった発生源の影響が、同河川沖等では確認できず、ひ素とセレン同様に北湖中央部の水深が深い地点での濃度が高いことを確認した。



	第 1 回	第 3 回
平均値(範囲)	23(4~79)	29(8~92)
標準偏差	16.8	22.0

図 6 ひ素濃度コンタ図 (標準化)

また、琵琶湖底質のカドミウム濃度は、他の湖や河川の底質と比較して濃度が低いことが知られているが、今回の検出濃度も過去の検出濃度と大きく変動はなかった。この底質表層の検出濃度の変動が小さいもの (濃度変化が見られないもの) のグループに、前述のひ素、カドミウムの他に、鉛、クロム、コバルト、鉄、マンガンが含まれる。

逆に、底質表層の検出濃度が大きく変動して、今回の検出濃度が過去の検出濃度より下がったものには、前述の水銀の他に、銅、亜鉛、ニッケルが含まれる。なお、検出濃度が上昇したものはなかった。

重金属類は一般に、強熱減量が大きく (有機物が多く含まれる)、粒子が細かい (泥分率が大きい) ところにより多く吸着・含有することが知られている。琵琶湖底質での重金属の濃度分布も、比較的湖内で検出濃度が高い地点は、北湖中央部の水深が深い、泥分率の高いところと、南湖南部の水深が浅い、泥分率が高いところが中心になっていることが認められた。しかし、調査した重金属類については、過去の調査結果と比較して今回の検出濃度は全体として横ばい、または減少傾向にあり、新たな課題は見つからなかった。

しかし、湖内底層の溶存酸素が今後、さらに低下が進むおそれが高く、底質からの鉄水酸化物の溶出と、再酸化による再沈殿が今後も繰り返されることから、ひ素、マンガン、りん等の物質の底質表面への濃縮・集積がさらに進むことも推測される。

第 1 回調査では 12 地点で鉛直方向の重金属類の濃度分布を調査しており、北湖中央 (今津沖中央 (17B)) と南湖中央 (唐崎沖中央 (6B)) を例に、表層 0~20cm 層の平均濃度を基準にして、表層 0~1cm 層の濃度と比較すると、特にひ素、マンガンは表層 0~1cm に表層 0~20cm の平均濃度のそれぞれ約 2.0~2.7 倍、約 1.5~1.8 倍の濃度で濃縮・集積していることが確認されている (図 7)。

このため、ひ素を中心に底質表層に集積しやすい重金属

等や毒性の強い重金属については、今後も継続的な調査による監視が必要と考えられる。

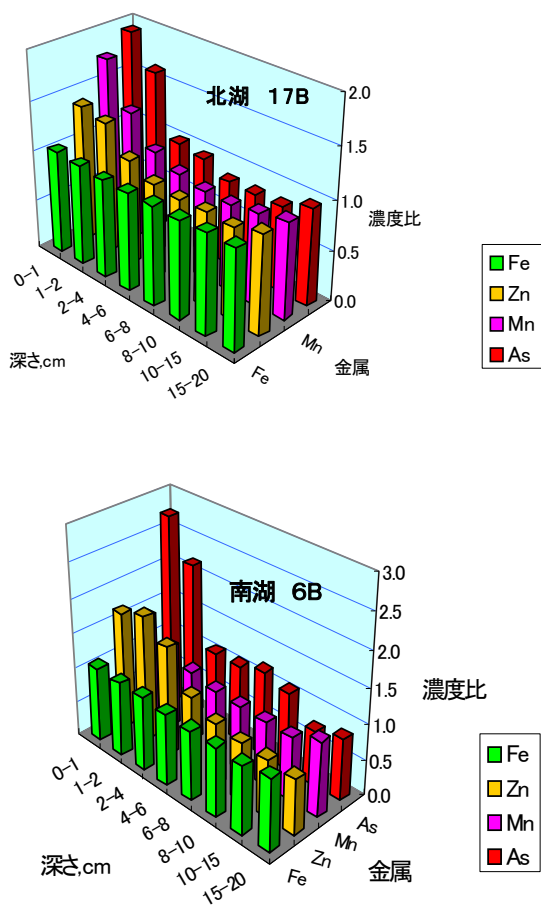


図7 鉄、亜鉛、マンガン、ひ素の鉛直濃度分布図

### 3.3. アルキルフェノール類

今回の調査では、p-t-オクチルフェノール、ノニルフェノール、ビスフェノールAが検出された。p-t-オクチルフェノール、ビスフェノールAの検出濃度、検出頻度にも大きな変化はなかったが、ノニルフェノールの検出濃度の平均値、最大値ともに増加し、調査26地点全てで検出された。

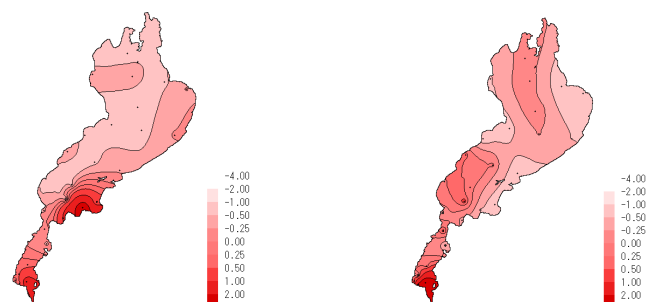
前回（第2回調査）では、ノニルフェノールは北湖南部の東岸で検出濃度が高かったが、今回（第3回調査）では北湖南部東岸での検出濃度が低下し、南湖南部での検出濃度が上昇した。同時に、北湖中央部での検出濃度も上昇した。このため、ノニルフェノールの全湖での平均検出濃度（26地点）は29ng/g-dryから70ng/g-dryに上昇した。

なお、ノニルフェノールは平成24年8月に水生生物の保全に係る水質環境基準項目として追加され、琵琶湖では平成25年度から水質環境基準点で毎月調査を実施している。琵琶湖表層水質からの平均検出濃度は0.00006mg/L程度で報告下限値と同程度であった。水質に関しては北湖と南湖の検出濃度の差異は特になく、底質の南湖南部での

検出濃度の上昇の原因は南湖集水域にあると推定される。

また、特定化学物質の環境への排出量の把握等及び管理の改善の促進に関する法律（PRTR法）によるこの約10年間（平成13年～平成24年）の届出の県内統計データから、県内での使用量・生産量としての指標となる排出量・移動量について、ノニルフェノール原体として最も多い平成15年に約1.7トン、工業用界面活性剤等の原料で水環境中等での分解によりノニルフェノールを生じるポリオキシシレンノニルフェニルエーテルでは最も多い平成17年に約53.6トン程度であり、最近はそれぞれ、約0.02トン、約1.7トンに減少している。底質でのノニルフェノールの濃度変化は最近の約10年の県内の排出量・移動量の影響を受けている可能性が推定される。

今後もノニルフェノール等については、底質濃度がPRTR法の排出量・移動量を受けて減少するかどうかについて、継続的な調査による監視が必要である。



	第2回	第3回
平均値(範囲)	29(ND~190)	70(7~340)
標準偏差	39.4	72.1

図8 ノニルフェノール濃度コンタ図（標準化）

### 3.4. フタル酸エステル類

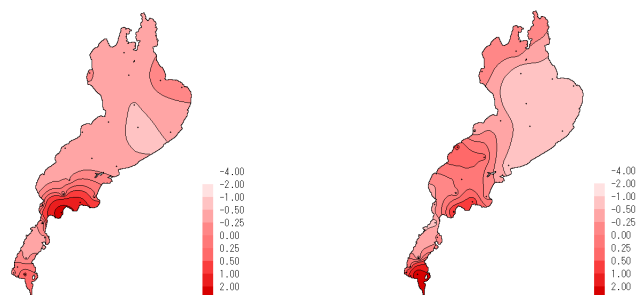
今回の調査では、フタル酸エステル類等は、8項目が検出された。調査26地点のうち、半数以上で検出されたのは、フタル酸ジ-2-エチルヘキシル（DEHP）とフタル酸ジ-n-ブチル（DBP）である。検出された8物質の濃度総和の範囲は、ND~1,373ng/g-dryで、平均値は279ng/g-dryであった。

DEHPは、前回には北湖南部の東岸で検出濃度が高かったが、今回は北湖南部東岸での検出濃度が低下し、南湖南部での検出濃度が上昇した。また、北湖中央部での検出濃度も上昇したが、全湖平均検出濃度（26地点）では、前回は236ng/kg-dryで、今回は222ng/g-dryであり、ほとんど変動はなく、濃度分布のみが変化した。この濃度分布の変化は、発生源からの流入経路や、発生源の場所が変わったためと推測される。

また、DBPは前回では南湖南部2地点と北湖南部東岸1

地点で検出されていたが、今回は南湖南部と北湖西岸を中心に 17 地点で検出されるようになった。

PRTR 法によるこの約 10 年間（平成 13 年～平成 24 年）の届出の県内統計データから、県内での DEHP の排出量・移動量が最も多い平成 16 年は約 1,361 トン、最近では約 507 トンに減少している。DBP も平成 17 年の約 17.3 トンから最近の 0.88 トンに減少している。



	第 2 回	第 3 回
平均値(範囲)	236(ND~1900)	222(ND~1265)
標準偏差	373	262

図 9 DEHP 濃度コンタ図（標準化）

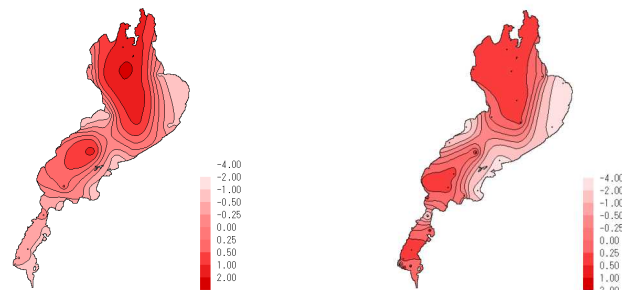
DEHP とノニルフェノールの全湖平均検出濃度（26 地点）を前回と今回で比較すると、横ばい傾向と上昇傾向で異なるが、検出濃度が高い地点は前回は北湖南部東岸、今回は南湖南部で同じ傾向の分布を示した。この 2 物質の各調査地点での検出濃度の相関係数は高く、同様な平面分布を示すことが確認された。これらの物質の用途は異なるが、発生源からの流入経路や、発生源の場所が同じように変わったものと推測される。

なお、フタル酸エステル類等は、プラスチックの可塑剤、特に塩化ビニル樹脂の可塑剤として用いられることが多く、今後も継続的な調査による監視が必要である。

### 3.5. 有機フッ素化合物

今回調査した 19 物質の有機フッ素化合物のうち、ペルフルオロオクタンスルホン酸（PFOS）、ペルフルオロオクタノ酸（PFOA）、ペルフルオロノナン酸（PFNA）、ペルフルオロデカン酸（PFDA）、ペルフルオロウンデカン酸（PFUnDA）、ペルフルオロドデカン酸（PFDoDA）、ペルフルオロトリデカン酸（PFTrDA）、ペルフルオロテトラデカン酸（PFTeDA）の 8 物質が琵琶湖底質から検出された。琵琶湖表層水から検出される C7 以下のペルフルオロアルキルスルホン酸とペルフルオロカルボン酸は底質からは検出されず、表層水では有機フッ素化合物 19 物質の総検出濃度での比率が低い C10 から C14 のペルフルオロカルボン酸が占める 19 物質の総検出濃度での比率が高い（約 7～8 割）ことがわかった。検出された 8 物質の濃度総和の範囲は、0.36～4.58ng/g-dry で、平均値は 1.83ng/g-dry であった。

琵琶湖底質表層での有機フッ素化合物の総検出濃度は、強熱減量が大きく（有機物が多く含まれる）、粒子が細かい（泥分率が大きい）北湖中央部や南湖南部で比較的、湖内では高いことが認められた。また、PFUnDA は検出される有機フッ素化合物の中で最も総検出濃度中の比率が高く、特に水深が深い北湖中央部での検出濃度が高いことが確認された。



	第 3 回(PFUnDA)	第 3 回(泥分率)
平均値(範囲)	0.688(ND~2.6)	70.7(5.3~99.8)
標準偏差	0.649	33.5

図 10 PFUnDA 濃度と泥分率コンタ図（標準化）

なお、PFOS は化学物質の審査及び製造等の規制に関する法律（化審法）の第 1 種特定化学物質に平成 22 年 4 月 1 日に指定されており、半導体用のエッチング剤、レジスト、業務用写真フィルムの 3 用途のみ、環境汚染のおそれがない場合に限って、例外的にその使用が容認されているだけであり、実質的には製造も使用もできないため、代替物質への転換が進められている。

このため、PFOS やその代替物質を含めた有機フッ素化合物の環境中での残留性や毒性の観点からも、継続的な調査による監視が必要である。

### 3.6. 多環芳香族炭化水素類

今回の調査では、多環芳香族炭化水素類は調査した 8 物質すべてが調査 26 地点で検出された。

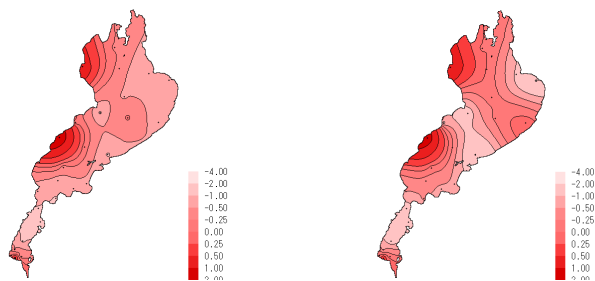
前回調査していない 2 物質、ベンゾ（k）フルオランテンと、ベンゾ（e）ピレンを除けば、全湖での平均検出濃度は前回とほぼ同様な値であった。また、検出された 8 物質の検出濃度の総和範囲は、24～2,002ng/g-dry で、平均値は 626ng/g-dry であった。

多環芳香族炭化水素類 8 物質の琵琶湖底質表層での分布は、図 11 に示すベンゾ（a）ピレンと同様に、おおむね北湖西岸で検出濃度が高い傾向にあり、今回と過去 2 回を含めて全 3 回の調査結果は大きくは変わらなかった。このことは、汚染源が以前とほとんど変わらないことを示していると推測される。

なお、多環芳香族炭化水素類は化石燃料や炭素を含む物質の不完全燃焼によって生成する。この物質には親油性が

あり、分子量が大きくなると水に溶けにくく、不揮発性となり、環境中では主に堆積物や油性物質中に存在することが認められている。

このため、今後多環芳香族炭化水素類等については、継続的な調査による監視が必要である。



	第2回	第3回
平均値(範囲)	64(1~291)	61(8~390)
標準偏差	59.3	77.4

図 11 ベンゾ(a)ピレン濃度コンタ図(標準化)

## 4. まとめ

### 4.1. 測定項目の底質表層分布状況パターン

測定した調査項目に関して、各項目同士の相関係数を求め、あわせて底質表層での濃度コンタ図を参照すると、次の4つの底質表層分布状況パターンに分類することができた。

①北湖北部と南湖の検出濃度が高い(強熱減量)パターン(以下、「パターンⅠ」と呼ぶ。)には、強熱減量、炭素含有量、窒素含有量、鉛、カドミウム、水銀、クロム、セレン、銅、ニッケル、亜鉛、コバルト、鉄、泥分率、比重が分類され、相関係数は0.617~0.955を示し、比重については-0.812であった。

この「パターンⅠ」には、有機物(強熱減量と炭素含有量)と、濃度が高い鉄を含めたほとんどの重金属類があてはまるため、自然(地質)的由来と人為的由来の両方の影響を受けているものと推定される。

②北湖中央部の検出濃度が高い(水深)パターン(以下、「パターンⅡ」と呼ぶ。)には、水深、りん含有量、ひ素、マンガン、アンチモン、PFUnDA等の有機フッ素化合物(PFOSを除く。)が分類され、相関係数は0.705~0.812を示した。また、フタル酸エステル類のうち、DBP、フタル酸ベンジルn-ブチル(BBP)、アジピン酸ジ-2-エチルヘキシル(DEHA)はこの分布パターンに近い分布である。

この「パターンⅡ」には、酸化還元反応によって、底質表層に集積しやすいりん、マンガン、ひ素などと、疎水性が高く、難分解性で残留性も高いC10~C14のペルフルオロカルボン酸があてはまり、湖底での溶存酸素の枯渇の影響を受けやすいものや、残留性が高い化学物質であり、特

に継続的な監視が必要な物質が該当すると考えられる。

③南湖が高い(ノニルフェノール・DEHP)パターン(以下、「パターンⅢ」と呼ぶ。)には、アルキルフェノール類、フタル酸エステル類の多くが分類される。特に、DEHPとp-t-オクチルフェノール、ノニルフェノール、ビスフェノールAの相関係数は高く、0.755~0.832を示した。

この「パターンⅢ」には、人口集積地が取り囲み、水深の浅い南湖が高いため、人為的影響を最も受ける物質が該当すると考えられる。特に、ノニルフェノールとDEHPは第2回調査から今回の調査の間のこの10年で、同じように(濃度中心が北湖南部東岸から南湖南部に)分布を変えて、このパターンⅢの分布を示すようになっており、今後特に注視しながら、継続的な調査による監視が必要である。

④北湖西岸が高い(多環芳香族炭化水素類)パターン(以下、「パターンⅣ」と呼ぶ。)には、多環芳香族炭化水素類が分類される。8物質間の相関係数は0.782~0.985を示した。

この「パターンⅣ」に含まれる物質の分布は、過去の2回の調査結果と今回ではほとんど変化は見られないため、これらの物質には固定化された発生源の存在や、難分解性・残留性を持つという特性が影響しているものと推定される。

このように底質表層での分布状況をパターン別に分類することで、自然的(地質)な影響が大きいもの、人為的影響が大きいもの、自然的・人為的影響を両方受けるもの、水深が深いところの底質に集積するもの、難分解性・残留性を持つものなど、それぞれの検出物質が持つ特性がより明らかになり、当該検出物質の流入経路や汚染源等を解析する上で、それらの推定がしやすくなるものと考えている。

今回確認されたノニルフェノールやDEHPの例のように湖底表層での濃度分布の中心が北湖南部東岸から南湖南部へと、分布パターンに変化が見られた時は直近の約10年で大きな変化があったものと推定される。これは約10年間隔での底質調査では、この変化の過程が十分に捉えられなかった例と考えられる。また、この例は最終的には「パターンⅢ」に分類される分布(南湖の検出濃度が高い)となったことから、南湖は水深が浅いため底質の濃度変動も、濃度分布の変化も大きいとも考えられる。このことから、「パターンⅢ」に分類される検出物質については、約10年毎から5年毎等へ調査間隔の短縮の必要性も検討する必要があると考えられる。

また、この用途が異なるノニルフェノールとDEHPで発生源からの流入経路や、発生源の場所が同じように変わったと推定される事例は、流入経路や汚染源等を解析する上

で、今後、これらの推定を進める際の代表例となり、役に立つものと考えている。

以上より、今後も定期的で継続的な調査による監視として、琵琶湖底質調査の実施が必要である。

また、調査物質の底質表層での分布をパターン別に捉えることで、当該物質の特性がより明らかになり、その分布パターンによる分類により、約10年毎の調査で実態把握が可能な物質と、それより短い間隔での定期的な調査が実態把握には必要とされる物質に分けられることができると考えている。

#### 4.2. 底質状況の主成分分析について

琵琶湖の底質状況は流入河川からの流入土砂等の影響を大きく受けている。琵琶湖流域では河川改修や砂防対策が進み、流入土砂が減少し、また波浪によって北湖東岸や北湖西岸の砂浜海岸の一部が浜欠けを起こし、南湖では水草等の堆積による底質の泥質化が進んでいる。

今回、調査26地点で測定した水深、含水率、強熱減量、炭素含有量、窒素含有量、りん含有量、泥分率、比重の8項目の測定値を、平均値と標準偏差によって基準化したものを説明変数、x、y、z、s、t、u、v、wとして主成分分析を行ったところ、第1主成分  $p = 0.21x + 0.39y + 0.38z + 0.38s + 0.39t + 0.31u + 0.35v - 0.37w$ 、第2主成分  $q = -0.76x + 0.09y + 0.23z + 0.22s + 0.21t - 0.51u + 0.03v + 0.04w$  と表示することができた。第1主成分と第2主成分の直交座標系に、調査26地点の散布図を作成したところ、図12のとおりとなった。第1主成分と第2主成分の寄与率は0.75および0.14となり、累積寄与率は0.88となり、第1主成分と第2主成分でおおむね88%が説明可能ということになる。

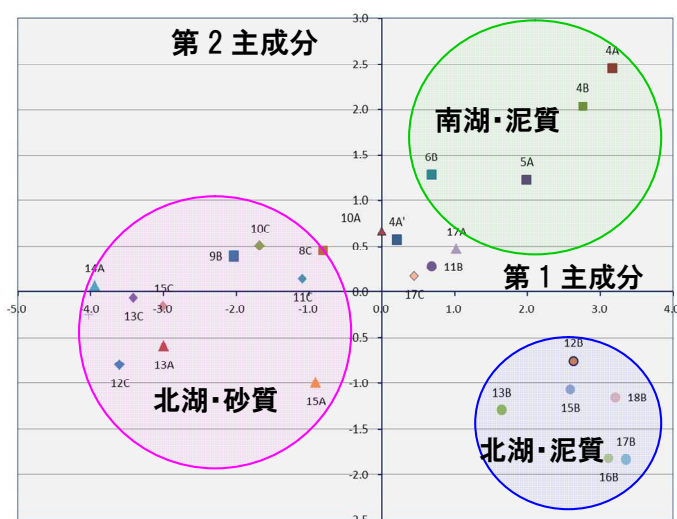


図12 琵琶湖底泥の分類（散布図）

また、この散布図では南湖の泥質が多い地点のグループ、北湖中央の泥質が多い地点のグループ、北湖西岸東岸の砂質が多い地点のグループに分けることが可能と確認できた。このことは、強熱減量と泥分率の高い北湖中央と南湖の底質状況を8つの説明変数により区分することが可能であることを示唆する。あわせて、南湖においても強熱減量と泥分率の高い、つまり有機質が多いとされる調査地点をさらに区分できることが可能と考えられる。

琵琶湖南湖では現在、繁茂する水草の刈取りや浚渫、覆砂などの底質改善等が進められているところであり、南湖の底質状況を二枚貝の生息状況と底質の化学的な分析値により把握しようとする研究も当センターで進めているところである。

この調査では、調査地点の底質について比重（真比重）を測定していることから、保存している底質試料を用いた粒度分布の測定も可能となり、平均粒子径を説明変数とすることが可能となる。今後、この底質の泥質化に関する主成分分析結果も踏まえて、二枚貝の生息に適する底質状況等についても、これまでの底質調査結果とあわせて評価が可能か検討していく予定である。

#### 5. 結論

今回の琵琶湖底質調査により、水銀の検出濃度が湖内全域で前回より低下したと、琵琶湖底層での溶存酸素の低下により、溶出が懸念されているひ素、マンガン、りんの検出濃度も前々回とほとんど変わらなかったことが確認できた。

また、ノニルフェノールとフタル酸ジ-2-エチルヘキシルの湖内での高濃度地点が北湖南部東岸から南湖南部に揃って移動し、同じような汚染源・流入経路等の変化（移動を含む）が推測された。

今回初めて調査した有機フッ素化合物のうち、炭素数が多いペルフルオロウンデカン酸等は有機物の多い水深の深いところに蓄積しやすいことが判明した。

今回の調査で、琵琶湖における化学物質や重金属類についての現状を把握するためには、約10年毎に底質調査を実施することで、おおむね可能と確認することができた。

なお、ノニルフェノールとフタル酸ジ-2-エチルヘキシルはこの約10年で濃度分布状況が大きく変化し、南湖での検出濃度が上昇したことから、南湖の検出濃度が高い物質等については、補足的に調査地点を絞って、5年程度の間隔で調査することも必要である。



## 6. 参考文献

- 卯田隆(2011):これまでの琵琶湖底質調査報告書から;平成23年度滋賀県琵琶湖環境科学研究センター研究成果報告会びわ湖セミナーポスター発表資料
- 卯田隆他(2012):琵琶湖底質調査について;第39回環境保全・公害防止研究発表会講演要旨集,56
- 卯田隆他(2013):琵琶湖底質の比重,泥分率について;第40回環境保全・公害防止研究発表会講演要旨集,92-93
- 卯田隆他(2014):琵琶湖底質調査結果について;第41回環境保全・公害防止研究発表会講演要旨集,84-85
- 環境省:化学物質環境実態調査におけるLC/MSを用いた化学物質の分析方法とその解説;平成18年3月
- 環境省:底質調査方法;平成24年8月
- 環境省:[http://www.env.go.jp/policy/kenkyu/suishin/kadai/syuryo\\_report/pdf/B-1002.pdf](http://www.env.go.jp/policy/kenkyu/suishin/kadai/syuryo_report/pdf/B-1002.pdf)
- 佐藤祐一・原口和也他(2011):多目的を考慮した琵琶湖水質モニタリング地点の最適配置;滋賀県琵琶湖環境科学研究センター研究報告書(6),85-95
- 滋賀県立衛生環境センター:琵琶湖底質調査報告書(昭和61年度~昭和63年度);平成2年3月
- 滋賀県立衛生環境センター:琵琶湖底質調査報告書(平成11年度~平成13年度);平成14年3月
- 田原るり子・尾原裕昌他(2006):北海道内底質から検出された多環芳香族炭化水素についての考察;北海道環境科学研究センター所報(32),37-42
- 玉利祐三:水素化物生成原子吸光法による岩石中のセレンの定量(2002);分析化学(51),4,235-241
- 保倉明子・小栗佐知子他:誘導結合プラズマ質量分析法及び誘導結合プラズマ発光分析法による野菜試料の多元素定量分析(2000);分析化学(49),6,387-396
- 涌井良幸・涌井貞美:初歩からしっかり学ぶ 実習多変量解析入門(2011);樹技術評論社

表 1. 第 3 回調査結果 (26 地点データ)

調査項目	単位	第3回(H23~H25)								
		全湖			南湖	北湖西岸	北湖東岸	北湖中央	26地点中の	
		平均値	最大値	最小値	平均値	平均値	平均値	平均値	検出地点数	
一般項目	含水率	%	50.9	71.1	23.3	60.2	39.4	34.5	66.4	26
	強熱減量	%	8.6	15.2	0.9	11.7	6.1	4.6	11.2	26
	炭素含有量	mg/kg	23019	52600	4100	28914	17620	12629	31371	26
	窒素含有量	mg/kg	2431	5190	510	3131	1758	1180	3461	26
	りん含有量	mg/kg	940	1748	236	817	606	729	1513	26
	泥分率	%	70.7	99.8	5.3	77.0	64.2	42.2	97.3	26
	比重	g/cm3	2.60	2.69	2.49	2.57	2.63	2.66	2.54	26
重金属類	鉛	mg/kg	39	72	11	48	31	21	55	26
	カドミウム	mg/kg	0.48	0.92	0.13	0.53	0.34	0.30	0.70	26
	水銀	mg/kg	0.15	0.42	0.01	0.23	0.09	0.08	0.18	26
	ヒ素	mg/kg	29	92	8.4	18	15	24	55	26
	セレン	mg/kg	0.52	1.1	0.06	0.68	0.36	0.24	0.75	26
	クロム	mg/kg	45	74	8.7	42	39	34	62	26
	鉄	mg/kg	38909	53177	20363	38106	34377	33224	48635	26
	マンガン	mg/kg	1616	7071	401	1111	778	860	3474	26
	銅	mg/kg	56	101	7.4	56	44	36	83	26
	亜鉛	mg/kg	208	451	22	282	173	129	237	26
	ニッケル	mg/kg	34	52	8.8	35	29	24	45	26
	コバルト	mg/kg	20	28	6.7	20	15	18	25	26
	アンチモン	mg/kg	1.3	3.1	0.20	1.2	0.78	0.79	2.3	26
アルキルフェノール類	p-tert-ブチルフェノール	ng/g	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	0
	p-n-ペンチルフェノール	ng/g	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	0
	p-n-ヘキシルフェノール	ng/g	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	0
	p-n-ヘプチルフェノール	ng/g	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	0
	p-tert-オクチルフェノール	ng/g	3	41	<2	8	<2	<2	<2	2
	p-n-オクチルフェノール	ng/g	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	0
	ニルフェノール	ng/g	70	340	7	133	40	22	75	26
	ビスフェノールA	ng/g	3	15	<2	6	2	2	2	13
	2,4-ジクロロフェノール	ng/g	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	0
	ペンタクロロフェノール	ng/g	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	0
フタル酸エステル類	フタル酸ジエチル	ng/g	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	0
	フタル酸ジ-n-プロピル	ng/g	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	0
	フタル酸ジイソブチル	ng/g	<10	13	<10	<10	<10	<10	<10	3
	フタル酸ジ-n-ブチル	ng/g	47	130	<25	52	54	27	56	17
	フタル酸ジ-n-ペンチル	ng/g	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	0
	フタル酸ジ-n-ヘキシル	ng/g	<10	93	<10	<10	23	<10	<10	2
	フタル酸ベンジル-n-ブチル	ng/g	10	32	<10	<10	13	<10	<10	10
	アジピン酸ジ-2-エチルヘキシル	ng/g	<10	19	<10	<10	<10	<10	<10	7
	フタル酸ジシクロヘキシル	ng/g	<10	16	<10	<10	<10	<10	<10	1
	フタル酸ジ-n-ヘプチル	ng/g	<10	12	<10	<10	<10	<10	<10	2
フタル酸ジ-2-エチルヘキシル	ng/g	222	1265	<30	363	183	182	150	19	
フタル酸ジ-n-オクチル	ng/g	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	0	
有機フッ素化合物	ペルフルオロブタンジカルボン酸・PFBS	ng/g	<0.015	<0.015	<0.015	<0.015	<0.015	<0.015	<0.015	0
	ペルフルオロヘキサフルオロブタンジカルボン酸・PFHxS	ng/g	<0.019	<0.019	<0.019	<0.019	<0.019	<0.019	<0.019	0
	ペルフルオロヘプタフルオロブタンジカルボン酸・PFHpS	ng/g	<0.014	<0.014	<0.014	<0.014	<0.014	<0.014	<0.014	0
	ペルフルオロオクタフルオロブタンジカルボン酸・PFOS	ng/g	0.23	0.57	<0.041	0.20	0.20	0.11	0.39	25
	ペルフルオロノナンフルオロブタンジカルボン酸・PFNS	ng/g	<0.0062	<0.0062	<0.0062	<0.0062	<0.0062	<0.0062	<0.0062	0
	ペルフルオロデカフルオロブタンジカルボン酸・PFDS	ng/g	<0.044	<0.044	<0.044	<0.044	<0.044	<0.044	<0.044	0
	ペルフルオロドデカフルオロブタンジカルボン酸・PFDBA	ng/g	<0.042	<0.042	<0.042	<0.042	<0.042	<0.042	<0.042	0
	ペルフルオロペンタフルオロエタンジカルボン酸・PFPeA	ng/g	<0.014	<0.014	<0.014	<0.014	<0.014	<0.014	<0.014	0
	ペルフルオロヘキサフルオロエタンジカルボン酸・PFHxA	ng/g	<0.038	<0.038	<0.038	<0.038	<0.038	<0.038	<0.038	0
	ペルフルオロヘプタフルオロエタンジカルボン酸・PFHpA	ng/g	<0.025	<0.025	<0.025	<0.025	<0.025	<0.025	<0.025	0
	ペルフルオロオクタフルオロエタンジカルボン酸・PFOA	ng/g	0.076	0.200	<0.024	<0.024	0.092	0.048	0.077	22
	ペルフルオロノナンフルオロエタンジカルボン酸・PFNA	ng/g	<0.10	0.20	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	4
	ペルフルオロデカフルオロエタンジカルボン酸・PFDA	ng/g	0.17	0.44	0.039	0.15	0.14	0.10	0.29	26
	ペルフルオロウンデカフルオロエタンジカルボン酸・PFUnDA	ng/g	0.69	2.6	<0.18	0.42	0.42	0.23	1.6	21
	ペルフルオロドodeカフルオロエタンジカルボン酸・PFDoDA	ng/g	0.25	0.62	<0.068	0.31	0.16	0.16	0.36	19
	ペルフルオロトリデカフルオロエタンジカルボン酸・PFTeDA	ng/g	0.27	0.74	<0.078	0.24	0.19	0.12	0.52	20
	ペルフルオロテトラデカフルオロエタンジカルボン酸・PFTeDA	ng/g	<0.074	0.23	<0.074	0.091	<0.074	<0.074	0.082	9
ペルフルオロヘキサデカフルオロエタンジカルボン酸・PFHxDA	ng/g	<0.032	<0.032	<0.032	<0.032	<0.032	<0.032	<0.032	0	
ペルフルオロオクタデカフルオロエタンジカルボン酸・PFODA	ng/g	<0.035	<0.035	<0.035	<0.035	<0.035	<0.035	<0.035	0	
多環芳香族炭化水素類	ベンゾ(a)アントラセン	ng/g	54	257	2	41	104	31	52	26
	ベンゾ(a)ピレン	ng/g	64	291	1	52	109	39	68	26
	ベンゾ(e)ピレン	ng/g	114	375	5	94	126	69	170	26
	ベンゾ(ghi)ヒリルン	ng/g	86	189	2	81	98	47	123	26
	ベンゾ(k)フルオランテン	ng/g	44	134	2	42	58	27	50	26
	クリセン	ng/g	78	295	3	59	121	43	100	26
	フルオランテン	ng/g	91	340	5	75	155	61	93	26
	ビレン	ng/g	96	408	4	76	161	52	114	26

表2. 第2回調査結果 (26地点データ)

調査項目	単位	第2回(H11~H13)								26地点中の 検出地点数
		全湖			南湖	北湖西岸	北湖東岸	北湖中央		
		平均値	最大値	最小値	平均値	平均値	平均値	平均値		
一般項目	含水率	%	64.7	74.6	39.0	67.0	64.7	55.0	72.1	26
	強熱減量	%	8.8	14.0	3.9	10.1	8.8	7.2	9.0	26
	炭素含有量	mg/kg	23500	44000	9200	27600	24800	19200	22700	26
	窒素含有量	mg/kg	2100	3700	840	2400	2140	1520	2310	26
重金属類	鉛	mg/kg	47	78	24	60	42	32	52	26
	カドミウム	mg/kg	0.61	1.1	0.32	0.67	0.48	0.55	0.71	26
	水銀	mg/kg	0.29	0.80	0.08	0.42	0.18	0.23	0.29	26
アルキル	p-tert-ブチルフェノール	ng/g	<2	2	<2	<2	<2	<2	<2	1
	p-n-ベンチルフェノール	ng/g	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	0
	p-n-ヘキシルフェノール	ng/g	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	0
	p-n-ヘプチルフェノール	ng/g	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	0
	p-tert-オクチルフェノール	ng/g	2	9	<2	3	<2	3	<2	7
	p-n-オクチルフェノール	ng/g	<2	3	<2	<2	<2	<2	<2	1
	ノニルフェノール	ng/g	29	190	<5	43	11	53	5	21
	ビスフェノールA	ng/g	3	9	<2	3	2	4	<2	14
	2,4-ジクロロフェノール	ng/g	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	0
	ベンゾクロロフェノール	ng/g	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	0
フタル酸エステル類	フタル酸ジエチル	ng/g	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	0
	フタル酸ジ-n-プロピル	ng/g	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	0
	フタル酸ジイソブチル	ng/g	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	0
	フタル酸ジ-n-ブチル	ng/g	<25	78	<25	25	<25	<25	<25	3
	フタル酸ジ-n-ペンチル	ng/g	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	0
	フタル酸ジ-n-ヘキシル	ng/g	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	0
	フタル酸ベンジル-n-ブチル	ng/g	<10	12	<10	<10	<10	<10	<10	2
	アジピン酸ジ-2-エチルヘキシル	ng/g	<10	14	<10	<10	<10	<10	<10	1
	フタル酸ジシクロヘキシル	ng/g	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	0
	フタル酸ジ-n-ヘプチル	ng/g	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	0
	フタル酸ジ-2-エチルヘキシル	ng/g	236	1900	15	221	118	504	67	25
	フタル酸ジ-n-オクチル	ng/g	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	0
多環芳香族炭化水素	ベンゾ(a)アントラセン	ng/g	48	370	6	32	125	21	35	26
	ベンゾ(a)ピレン	ng/g	61	390	8	51	138	28	49	26
	ベンゾ(e)ピレン	ng/g	57	250	11	51	98	31	59	26
	ベンゾ(ghi)ピレン	ng/g	65	240	10	68	100	28	77	26
	クリセン	ng/g	81	470	16	51	172	48	79	26
	フルオランテン	ng/g	89	540	16	53	200	53	83	26
	ビレネ	ng/g	88	510	12	54	185	52	90	26

表3. 第1回、第2回、第3回調査結果 (比較可能な11地点データ)

調査項目	単位	第1回(S61~S63)厚み2cm換算			第2回(H11~H13)厚み1.5cm			第3回(H23~H25)厚み2cm			
		全湖			全湖			全湖			
		平均値	最大値	最小値	平均値	最大値	最小値	平均値	最大値	最小値	
一般項目	含水率	%	68.0	78.1	51.5	65.2	74.6	46.3	48.7	68.2	23.3
	強熱減量	%	7.3	10.5	4.9	8.5	11.3	5.4	8.0	15.1	1.6
	炭素含有量	mg/kg	23800	40200	15300	22400	34000	10000	22800	52600	4100
	窒素含有量	mg/kg	2450	3240	1280	2070	3000	850	2440	5190	510
	りん含有量	mg/kg	1010	1360	750			920	1700	260	
重金属類	鉛	mg/kg	48	85	19	46	75	28	38	72	11
	カドミウム	mg/kg	0.68	1.16	0.41	0.58	0.87	0.33	0.46	0.92	0.13
	水銀	mg/kg	0.36	1.17	0.13	0.26	0.80	0.08	0.13	0.42	0.01
	ヒ素	mg/kg	39	112	13.0				33	92	8.4
	クロム	mg/kg	46	73	8.6				42	66	9.8
	鉄	mg/kg	40300	49200	26400				38100	53200	20400
	マンガン	mg/kg	1560	4520	760				1600	5100	400
	銅	mg/kg	82	123	62				53	91	8.3
	亜鉛	mg/kg	232	586	146				193	451	22
	ニッケル	mg/kg	74	108	56				32	51	8.8
	コバルト	mg/kg	15	20	9.0				19	28	6.7

11地点 : 浜大津沖 (4A)、唐崎沖中央 (6B)、新杉江港沖 (8C)、南比良沖中央 (12B)、長命寺沖 (12C)、北小松沖 (13A)、  
愛知川沖 (13C)、安曇川沖中央 (15B)、今津沖 (17B)、今津沖中央 (17B)、長浜沖 (17C)