

4章 水質問題とプランクトンの変化が及ぼす生態系への影響

4-1 琵琶湖南湖における水質の長期トレンドと主な現象について (1979～2012年度)

五十嵐恵子・廣瀬佳則・古角恵美・七里将一・桐山徳也・岡本高弘・田中稔・山中直

Abstract:

琵琶湖における水質調査は、昭和 54 (1979) 年度から現在とほぼ同じ頻度・地点で滋賀県と近畿地方整備局及び(独)水資源機構が共同で月 1 回実施している。その結果からは、南湖における透明度、SS、T-N、T-P は改善傾向にあるが、COD は上昇傾向が見られる。また、COD、T-N 及び T-P の環境基準は未達成の状況が継続している。

平成 6 (1994) 年度の渇水以降は、分布域や現存量を増加させている水草が南湖水質に影響を与えていると考えられている。また、平成 24 (2012) 年度には、7 月に琵琶湖全体において緑藻 *Staurastrum* の大増殖、その後の南湖での藍藻類の増殖の影響により南湖で有機物濃度が上昇する現象が見られた。

南湖の水質には、北湖からの流入負荷量(流入水量・水質)、南湖集水域からの流入負荷量、南湖での滞留時間及び内部生産が影響すると考えられる。長期的には南湖集水域からの流入負荷量の変化(下水道整備、都市化、圃場整備)の寄与が大きく、短期的には気象条件、特に降水量の変化とそれに伴う洗堰放流量調整、植物プランクトンの増減等により水質が変化することがある。

本稿では、昭和 54 (1979) 年度以降の南湖水質の変動について紹介する。

1. 調査の背景と目的

琵琶湖の水質調査は、琵琶湖の水質変動の把握と環境基準の達成状況の確認を目的に、水質汚濁防止法第 16 条の規定に基づき知事が策定する「滋賀県公共用水域・地下水水質測定計画」により、昭和 54 (1979) 年度より現在とほぼ同じ方法で、近畿地方整備局、(独)水資源機構および滋賀県が共同で実施している。

調査地点は、図 1 に示す北湖 28 定点・南湖 19 定点・瀬田川 2 定点の合計 49 定点が設定されており、毎月 1 回調査を実施している。また、平成 21 (2009) 年度に水生生物の保全に係る水質環境基準の類型指定がなされたことに伴い、平成 22 (2010) 年度より北湖 3 定点・南湖 1 定点が追加され、滋賀県で調査を行っている。

これらの調査結果については、近畿地方整備局、(独)水資源機構、滋賀県琵琶湖環境部琵琶湖政策課及び当センターにおいて、集計、解析、評価を行い、滋賀県環境審議会に報告し、公表している。

本報告では、南湖に注目して調査開始以来の水質の長期トレンドについて、主要項目の変動、水質の変化が見られた主な現象について紹介する。

2. 調査の方法

調査地点は、図 1 に示したとおりであり、南湖では 19 定点において、採水、現場での調査及び分析を行った。

調査時期は、採水及び現場での調査は、概ね毎月月上旬(年 12 回)に実施した。透明度や水温等について、現場測定を行うとともに、表層 0.5m において、採水し、速やかに分析に供した。

調査項目及び頻度は、水温、気温及び透明度等の一般項目、pH、溶存酸素飽和度(DO)、浮遊物質(SS)、化学的酸素要求量(COD)、全窒素(T-N)及び全りん(T-P)等の生活環境項目、クロロフィル、塩化物イオン及びTOCなどの特殊項目については、年 12 回(唐崎沖中央では、年 24 回)、カドミウム、全シアン及びクロロホルム等の健康項目及び要監視項目については、年 1~4 回(ただし、硝酸性窒素及び亜硝酸性窒素については、年 12 回)それぞれ調査を行った。

3. 調査結果

3-1 近年の南湖水質の概要について

3-1-1 季節変動について

南湖水質の一年間の変化は、春の水温上昇とともに植物プランクトンが増殖し、SS や有機物が増加し始め、田植えが始まる 5 月頃に栄養塩濃度の上昇がみられる。黄色鞭毛藻 *Uroglena* 等の増加に伴い、有機物濃度は春季のピークを迎えるが、梅雨に入ると北湖からの流入水の影響が卓越し、有機物や栄養塩の濃度が低下する。夏季になると水草がほぼ南湖全域に繁茂し、透明度は良くなり硝酸態窒素は枯渇する。夏場には藍藻が増殖し閉鎖性の強い湖岸部でアオコが発生する。秋季の台風等で南湖の水が入れ替わると、その後水草が衰退するとともに、緑藻が増える。水温の低下に伴い、透明度の上昇と有機物濃度の低下が見られるが、季節風が強いと底質の巻き上がりなどで、東岸を中心に高濁度の水域が生じる。

最近の南湖におけるクロロフィル a の季節変動を図 2 に示す。

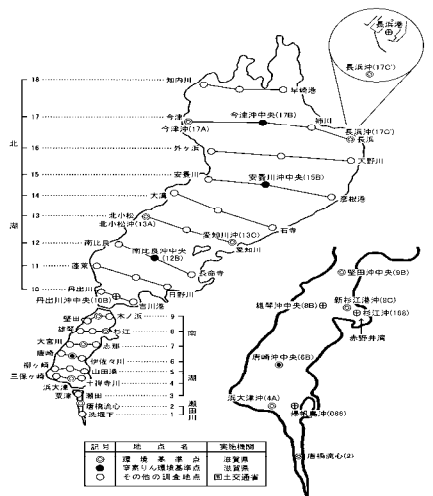


図 1 琵琶湖水質調査地点及び実施機関

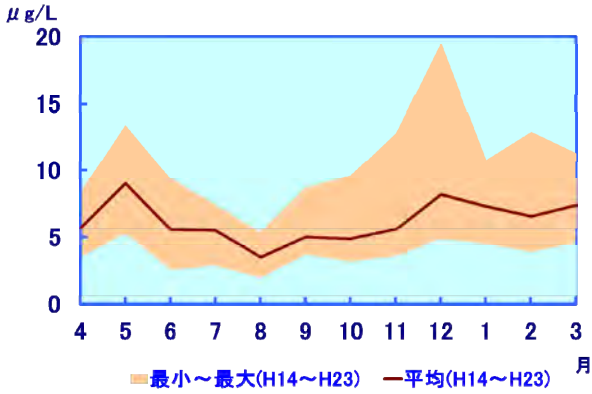


図2 クロロフィルa濃度の季節変動(南湖表層平均)

3-1-2 水質の平面分布について

南湖の水質は、沿岸部は周辺河川等から、湖心部は北湖からの流入水量及び流入負荷に影響を受けるとともに、その内部での滞留時間や水草の有無などにより、平面的に大きく異なる。また、降雨等により大きく変化することもある(図3)。特に富栄養化の状態が継続している赤野井湾周辺では、定常的に汚濁傾向が見られる。

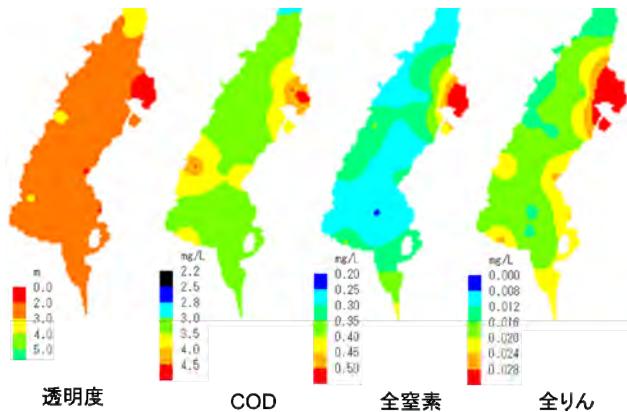


図3 南湖年平均値の平面分布(平成22(2010)年度)

3-2 水質の長期変化について

3-2-1 環境基準の達成状況について(南湖環境基準)

琵琶湖における水質の目標である環境基準について、表1に示した。

表1 琵琶湖水質の目標

生活環境の保全に関する環境基準										
該当水域	利用目的の適応性	項目	基準値					大腸菌数	達成期間	
			pH	COD	BOD	SS	DO		南	北
琵琶湖(南・北湖)	AA	水産1級・水産環境保全および以下の用途に供するもの	6.5以上 8.5以下	1mg/L以下		1mg/L以下	7.5mg/L以上	50MPN/ 100mL以下	南(ハ)	北(イ)
瀬田川	A	水産2級・水産1級・水浴および以下の用途に供するもの	6.5以上 8.5以下		2mg/L以下	25mg/L以下	7.5mg/L以上	1000MPN/ 100mL以下		(イ)

備考 達成期間の(ハ)は、直ちに達成、(イ)は、5年を越える期間で可及的速やかに達成

全窒素・全りん環境基準				
該当水域	類型	基準値		達成期間
		全窒素	全りん	
琵琶湖(南・北湖)	II	0.2mg/L以下	0.01mg/L以下	(ニ)

備考 達成期間の(ニ)は、段階的に暫定目標を達成しつつ、環境基準の可及的速やかな達成に努める

南湖における環境基準点での調査結果より、主要な項目であるCOD、T-N及びT-Pの経年変化について、図4に示した。COD、T-N及びT-Pについての環境基準は未達成の状況が継続していた。

CODについては、平成19(2007)年度以降上昇傾向にあった。T-Nは、平成13、14(2001、2002)年度を除き、昭和63(1988)年度から平成17(2005)年度まで横ばい状態であったが、その後低下傾向にあり、T-Pは、平成2(1990)年度から7(1995)年度はやや高かったが、その後は低下傾向にあり、富栄養化項目については、改善の傾向が見られた。

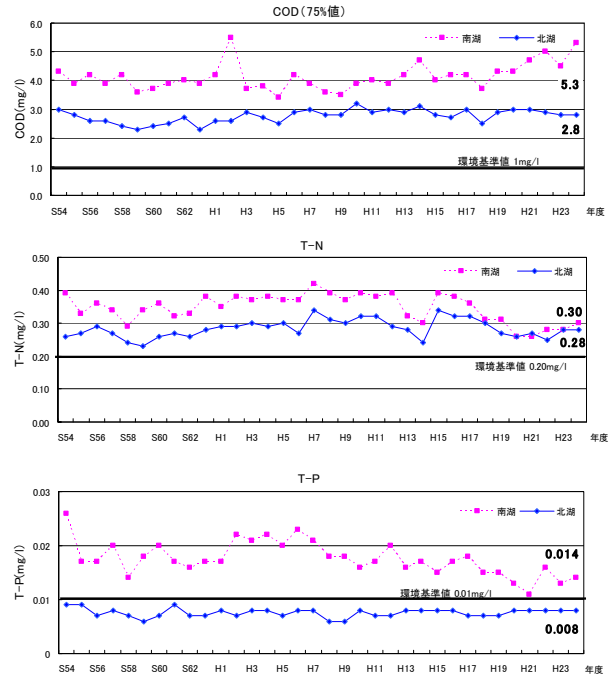


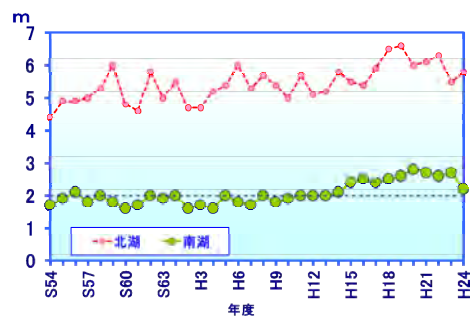
図4 環境基準の達成状況(経年変化)

3-2-2 各項目の状況(南湖全測定点平均)

① 透明度

透明度は、調査開始より2m程度で推移してきたが、平成7(1995)年度ごろより上昇傾向にあった(図5)。なお、南湖は平均水深が4m、調査地点の水深も2~6m(平均3.2m)と浅いため、透明度の上昇に伴い、湖底まで見える頻度が増加すると、平均値が頭打ちとなることに留意する必要がある。

図5 透明度の経年変化(表層平均)



② SS

SSについては、平成6(1994)年度ごろまで6mg/L程度の高い状態で推移していたが、平成7(1995)年度より大幅な低下傾向が見られ、近年は3mg/L程度と当初の概ね50%程度まで低下した(図6)。

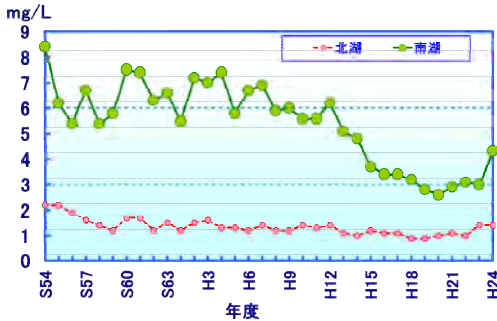


図6 SSの経年変化(表層平均)

③ COD

CODについては、昭和54(1979)年度の調査開始後5年間は、3.4mg/Lから2.6mg/Lへ急激な低下傾向が見られたが、その後、昭和59(1984)年度以降漸増傾向にあり、平成24(2012)年度の平均値は3.5mg/Lと過去最高の濃度に達した(図7)。

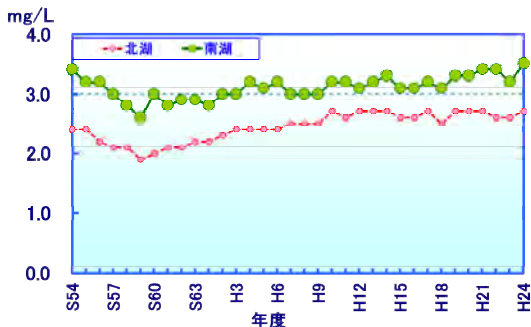


図7 CODの経年変化(表層平均)

④ クロロフィルa

植物プランクトンの現存量の指標とされるクロロフィルaについては、年度により変動が大きく、調査期間を通して一定の傾向を見出すのは困難であった。その中でも調査開始以来10μg/L前後で推移していたが、平成6(1994)年度以降急激な低下が見られた。しかし、平成21(2009)年度から上昇し、平成24(2012)年度には再び低下前のレベルに達した(図8)。

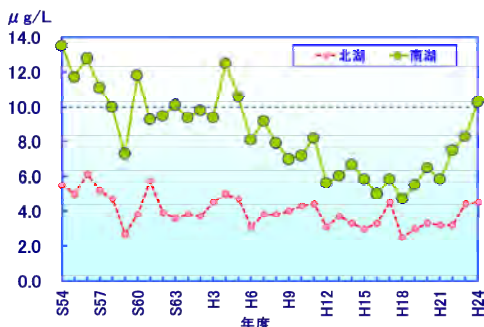


図8 クロロフィルaの経年変化(表層平均)

⑤ T-N、T-P

T-Nについては、測定開始後約20年間、概ね0.40mg/Lの濃度で推移していたが、平成13(2001)年度より低下傾向にあり、北湖との濃度差がほとんど見られなくなった(図9)。T-Pについては、調査開始時には、0.03mg/Lを超える高い濃度が見られたが、富栄養化防止条例(昭和54(1979)年公布)等の施行に伴う流入負荷低減の効果により、低下傾向にあり、近年は0.02mg/L以下の低濃度で推移していた(図10)。

南湖への流入負荷量は、昭和60(1985)年度より平成22(2010)年度までに、T-Nは約1/2、T-Pは約1/3に減少している。(サイエンスレポート2-3参照)このことが、T-N及びT-Pの経年変化に反映されていると考えられた。

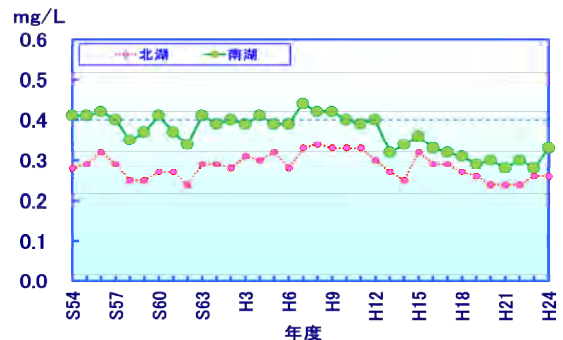


図9 T-Nの経年変化(表層平均)

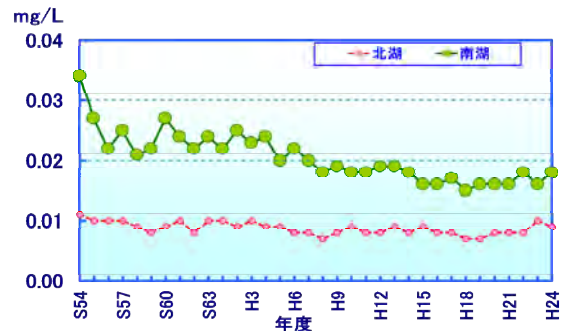


図10 T-Pの経年変化(表層平均)

3-3 南湖水質の変動にかかる主な現象

3-3-1 平成6(1994)年度大渇水とその影響

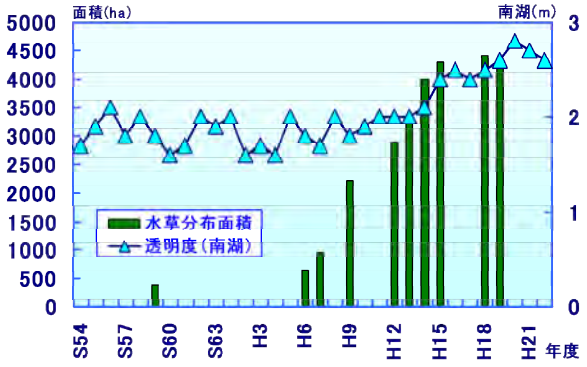
平成6(1994)年は全国的に高温、少雨であったが、琵琶湖集水域のほぼ中央に位置する彦根地方気象台でも、年降水量は平年比の69%しかなく、琵琶湖の水位は、6月初めにマイナスとなって以降低下を続け、9月15日には観測史上最低のB.S.L.(琵琶湖基準水位)-1.23mを記録した。この間、琵琶湖・淀川水系において様々な取水制限が行われるなど、社会生活に大きな影響を与えた。

南湖湖心部の水質は、降水減少に伴い北湖や河川からの流入水量が少なくなったことから、6月後半より硝酸態窒素が低下し、7月には枯渇状態になり、クロロフィルaも低い濃度で推移した。その後一転して、8月後半からCOD、クロロフィルa等の濃度が上昇し、10月ごろまで高い濃度で推移した。

また、9月の降雨により、栄養塩が供給されたことに

より、珪藻 *Aulacoseira granulata* が大增殖した。

この大濁水を起点とし、南湖では水草が急激に増加し、平成 12 (2000) 年度には南湖面積の 50% を超え、その後も増加傾向が見られた。水草の増加につれて、前述のとおりに、南湖のSS・クロロフィル濃度は平成 6 (1994) 年度を境に急激な低下傾向になり、透明度は良くなった。図 11 に示す透明度と水草分布面積の経年変化から、水草の分布面積の増加と透明度の上昇が関連しているようにみえる。しかし、下水道普及による汚濁負荷量の減少も同時期に進んでおり、透明度の上昇の原因については、さらに詳細な解析が必要である。



データ：滋賀県立大学 環境医科、国土交通省近畿地方整備局琵琶湖河川事務所、水資源機構、滋賀県琵琶湖環境科学センター

図 11 透明度・水草分布面積経年変化(南湖)

これらの要因について、滋賀県および国土交通省が設置した学識者による水草繁茂に係る要因分析等検討会がまとめた報告では、湖水中の栄養塩濃度に大きな変化がないため富栄養化対策の進行だけでは説明できず、水草繁茂そのものが植物プランクトンに起因するクロロフィルの減少を引き起こしたと考えるのが妥当であるとされている。また、水草が増えることで透明度が上昇して湖底の光条件が向上し、これにより水草の分布がさらに拡大するというスパイラルが形成されたためと考えられている。

なお、平成 7 (1995) 年度には年間 19 万 m³ であった南湖中央部の砂利採取事業が段階的に縮小され、平成 20 (2008) 年度には廃止された。南湖中央部から南部における透明度の上昇要因には湖中砂利採取量の減少もあったものと考えられる。

3-3-2 近年の南湖水質変動の特徴

～平成 24 (2012) 年度の有機物濃度の特異的な増加を中心に～

近年の南湖水質変動の特徴を見るために、月 2 回調査を実施している唐崎沖中央における平成 20～24 (2008～2012) 年度の 5 年間のデータと放流量、水位をグラフに示した(図 12-1、12-2、12-3、12-4)。平成 20～22 (2008～2010) 年度前半までは透明度も高く、変動は小さかったが、その後、透明度が悪化し、内部生産に起因すると考えられる有機物量の増加が見られた。

特に、平成 24 (2012) 年度の上半期は、北湖を含めて琵琶湖水質に大きな変動がみられた。平成 24 (2012) 年度の気象の特徴としては、平均気温は夏季に高く、冬季

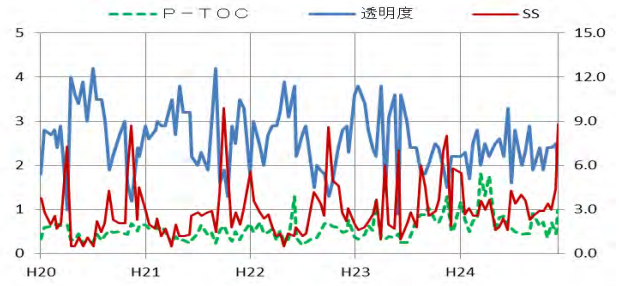


図 12-1 唐崎沖中央表層における主要項目の経時変化
P-TOC: 左軸 (mg/L)、透明度: 左軸 (m)、SS: 右軸 (mg/L)

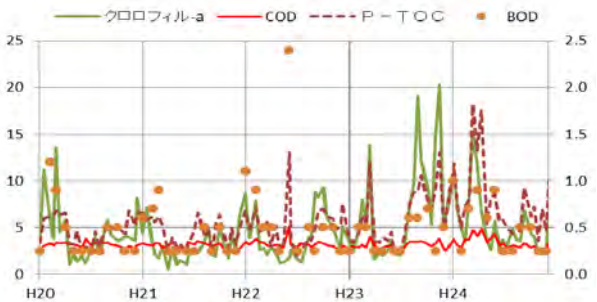


図 12-2 唐崎沖中央表層における主要項目の経時変化
クロロフィル a: 左軸 (μg/L)、COD: 左軸 (mg/L)、
P-TOC・BOD: 右軸 (mg/L)

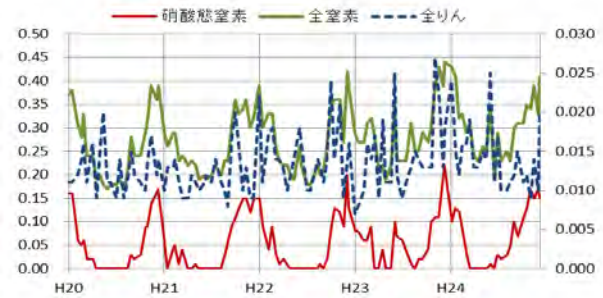
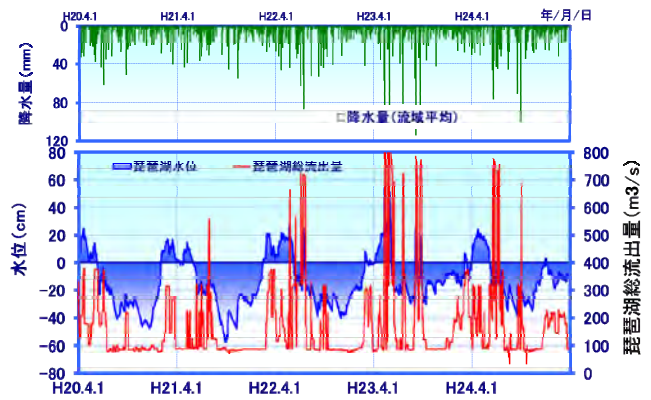


図 12-3 唐崎沖中央表層における主要項目の経時変化
硝酸態窒素・T-N: 左軸 (mg/L)、T-P: 右軸 (mg/L)



データ：国土交通省近畿地方整備局琵琶湖河川事務所 (水位・流量は午前6時現在)

図 12-4 琵琶湖の水位、流量及び流域降水量の変動

に低く推移した。

降水量は、5月の少雨の後、6月は一転して多雨であり、9月末に台風17号の影響で大雨が降ったが、記録的な降水量等、特異的な月は見られなかった。水象の特徴としては、水温は気温と同様、夏季に高く、冬季は低めで推移した。放流量は少雨であった5月後半と8月前半にかなり減少したが、それ以外は降水量に対応した小刻みな変動であった。

栄養塩濃度が顕著に上昇していないにもかかわらず、大型緑藻の *Staurastrum* の増殖による有機物濃度の特異的な上昇が琵琶湖全域で見られ、7月には北湖平均のCOD濃度が過去最高値となる4.6mg/Lを記録し、南湖平均でも4.8mg/Lに達し、近年の傾向とは異なる状況が確認された。また、水草の繁茂状況については、北湖、南湖とも前年度までに比べ、年度当初からかなり少ない状況であった。

このうち、南湖における事象について、以下に示す。

① 植物プランクトンの大増殖

平成24(2012)年6月中旬から7月にかけて、琵琶湖全域において、植物プランクトン *Staurastrum* (大型緑藻) の大増殖が見られた。

その後、南湖の東岸域では8月に入り、藍藻類の増加が見られ、8月後半には南湖のほぼ全域に広がり、透明度の低下及びSSの上昇等を引き起こした。

② CODの上昇

上記の植物プランクトンの大増殖を受け、さらに夏季の高温による水温の上昇・少雨による放流量の減少により、南湖内での滞留時間が長くなるとともに、さらに藍藻類が増殖し、有機物濃度の大幅な増加が見られた。結果、CODは下半期には平成並み以下で推移したものの、年度平均で3.5mg/Lの過去最高値を記録した。

③ 水質悪化の影響（南湖での泡立ち）

平成24(2012)年8月後半、南湖全体で大規模な泡立ちの発生が見られた(図14)。夏季の泡成ちは、過去にも確認はされているが、この泡は下流の京都市鴨川でも確認され、周辺住民からの問合せもあり、新聞記事への掲載も行われるほどの大規模なものであった。泡を含む試料のIR分析の結果、タンパク質と糖類由来とみられるピークがあり、生物由来の可能性が高いことが考えられた。

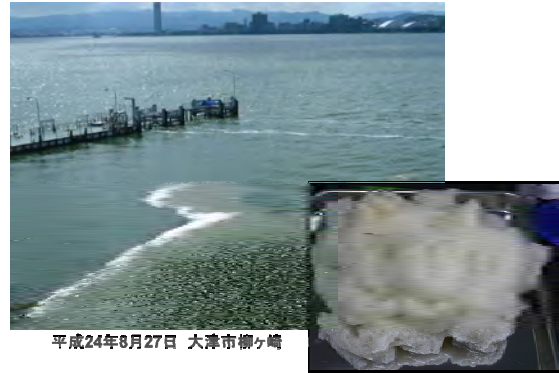


図14 南湖における泡立ち現象

3-3-3 赤野井湾

赤野井湾(杉江港沖)は南湖の北東部に位置する内湾で、面積は約1.4km²、水深1.5~2mで、湾口部の消波堤(昭和61(1986)年3月建設)により閉鎖性の強い水域となっている。そのため、赤野井湾は、南湖において有機物による汚濁や栄養塩の濃度が特異的に高く、富栄養化が進行した水域になっていることから、赤野井湾集水域は、湖沼水質特別措置法に基づく流出水重点対策地域にも指定され、発生源対策や底泥の除去など各種の改善対策が進められてきた。

定期調査においては、消波堤ができたことにより湾内の湖内滞留が懸念されたことから、湾内の杉江沖に加え、平成元(1989)年度より新杉江港沖の調査を開始し、環境基準点についても平成4(1992)年度に新杉江港沖の地点へ変更された。

前述のとおり、大渇水となった平成6(1994)年度においては、夏季の水位低下時に、赤野井湾でT-P濃度等が上昇し、アオコがのべ27日間というかつてない規模で発生した。同年9月の降水以降、水の入替わりが起これ、その後アオコを形成する藍藻類の発生は抑えられた。

琵琶湖全域で有機物濃度の上昇が見られた平成24(2012)年度においても、赤野井湾も例外ではなく、8月7日にCODが13.6mg/Lと特異的に高くなり、T-N、T-P及びクロロフィルaも突出した高濃度を記録した。平成6(1994)年度と24(2012)年度の南湖水質の平面分布の変動から、赤野井湾の水質が、南湖の有機物濃度や、栄養塩濃度の上昇に影響を及ぼしていることが示唆されたが、この関係を明らかにするためには、赤野井湾から流出した物質の追跡などのさらなる調査が必要である。

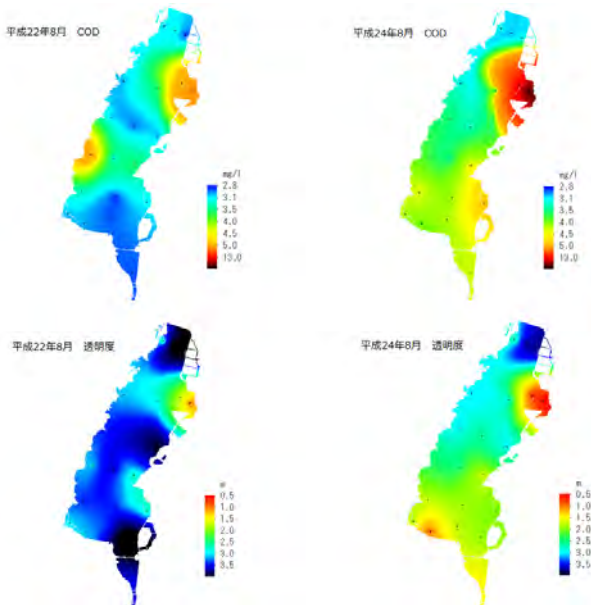


図13 南湖における8月のCOD及び透明度の変化

4. まとめ

南湖の水質は、長期的にはCODを除いて概ね改善傾向にあるが、気象条件等の影響を受け、大きく変化する年がある。

観測史上最低の水位を記録した平成 6 (1994) 年度においては、北湖や河川からの流入水量、汚濁負荷量等の変化により、特異的な水質変動が確認され、水草の急増のきっかけとなり、その後の南湖水質に影響を与えていると考えられる。

近年、南湖の水質は安定していたが、平成 24 (2012) 年度において、北湖も含め琵琶湖全体で植物プランクトンの大増殖が起こり、それに起因して、特異的な有機物濃度の上昇が生じるなど、大きな変化が見られた。

琵琶湖において、北湖と南湖では地形的、水質的に大きく状況が異なる。南湖の水に比べて清澄な北湖の水は、南湖の水質に対しては、通常は希釈する効果があるが、赤潮や大型緑藻のブルーム時には大きな負荷量として影響を及ぼす。また、南湖の集水域から流入する負荷が高い水の流入量及び南湖内での滞留時間の変化が、南湖での内部生産に影響し、南湖固有の現象を引き起こすと考えられる。

琵琶湖南湖は、生活の場に近接しており、さらに種々のレジャーや産業にも活用されていることから、その水質や状況には、大きな関心が寄せられている。また、琵琶湖からの流出水は、下流域も含めた貴重な水資源でもあることから、南湖の水質把握は今後もの確に実施していく必要がある。

引用文献

- 各年度 琵琶湖水質調査報告書
各年版 滋賀県環境白書、同資料編
藤原直樹・津田泰三・一瀬諭・若林徹哉・原良平・岡本高弘・水嶋清嗣 (2007) 2003～2004 年度における琵琶湖水質調査の結果から—南湖の透明度上昇および北湖深層部溶存酸素等の状況について—。滋賀県琵琶湖・環境科学研究センター試験研究報告 (平成 16 年度) : 67-72
佐貫典子・中村忠貴・一瀬諭・若林徹哉・藤原直樹・岡本高弘・津田泰三・原良平 (2007) 琵琶湖南湖赤野井湾周辺における水質の長期変化について。滋賀県琵琶湖・環境科学研究センター試験研究報告 (平成 16 年度) : 73-77
浜端悦治 (2005) 琵琶湖の沈水植物群落。琵琶湖研究所記念誌 (所報 22 号) : 105-119
滋賀県立衛生環境センター (1996) 平成 6 年度渇水時琵琶湖水質詳細調査
滋賀県 (2003) 滋賀県骨材需給基本計画に関する行動計画
滋賀県、国土交通省 (2008) 水草繁茂に係る要因分析等検討会検討のまとめ
北川典孝・奥村陽子・一瀬諭・岡本高弘・坪田てるみ・古田世子・大野達雄・南真紀・青木眞一・藤原直樹・古角恵美・池田将平 (2011) 平成 21 年度 (2009 年度) 琵琶湖水質環境基準点調査。滋賀県琵琶湖環境科学研究センター研究報告書 (平成 21 年度) : 111-119