宍道湖とシジミ

(2)中小河川の汚濁状況

2012 年 10 月 31 日　　西村　二郎

(要　　旨)

①アオコは湖沼の水質悪化の象徴的存在である。何故なら、枯れたアオコは腐って湖底に沈降しヘドロとなり、その分解に酸素を消費する(→BOD(分析が容易な COD で代替))。そのため、湖底に近い下層は貧酸素層となり魚貝類は棲息が困難となる。

②アオコ発生の原因物質は窒素とリンであるが、窒素については、通常の TN 汚染が大気汚染の陰に隠れる状態となっている。また、アオコは窒素不足の状況下では水中に溶け込んでいる窒素ガスを固定する能力がある。従って、アオコの発生を抑えるには、ひたすらリン汚染を抑える必要がある。なお、CODは水質汚濁の結果を示す指標であるが、魚貝類の棲息を困難にする原因の指標であるので、注目すべきである。

③宍道湖の水質は、島根県がH15 年、H20 に策定した「宍道湖に係る湖沼水質保全計画」(5カ年計画)にも係らず年々悪化している。そろそろ実効ある対策を講ずべきであろう。

④とくに、2012 年は異常渇水により宍道湖が淀んでいる上、夏季の高温の影響を受け、アオコの発生がひどかった(この 8、9 月、湖心の TP は 3σ 異常となった。TN は特別な異常とはなっていない。理由はヘドロが溶存酸素により酸化され生成されたリン酸が渇水で逆流してきた塩水に押され上層へ移動したということらしい。同時に生成するアンモニアは蒸散するのだろう)。

⑤宍道湖の水バランスは、斐伊川からの流入が 80%、その他河川から 11%、降雨からが 9%となっている。ところで、宍道湖(湖心)の TP＞斐伊川の TP、となっている。H20 年の値に基づいて、その他河川全体の TP を推定すると、**0.33 (宍道湖の環境基準は 0.03mg/l)**となる。宍道湖を汚している元凶は流量が 11%に過ぎない「その他河川」ということになる。このときのバランスに基づいてリンの量を推算すると、57 トン/Y となる。

⑥その他河川のうち、悪名高い山居川、古曽志川、弘長寺川、同道川、伊志見川を見たが、河口付近は淀んでいて、水は一般にアオコ色であった。風向きによりアオコが流れ去っても、水中にはアオコ粒子が懸濁していた。

⑦対策としては、水質の現状認識から始めなければならない。そして結果を地域住民に知らせ、対策をともに考えることからスタートしなければならない。費用に制約があるなかで実効を上げるには住民の協力が不可避である。

⑧周辺流域が市街地である山居川と田畑である古曽志川では対策が異なる。

⑨下水処理方法、下水道についても基準や設備を見直す必要があるだろう。

⑩緊急対策としては、汚染のヒドイ川の河口で懸濁物質を除去することも必要となろう。

⑪魚貝類や水草が持去るリン(人が採取して持去る)もバカにならない。漁業権の問題もあるが、シジミの養殖を検討するのも一法ではないだろうか。

1. まえがき

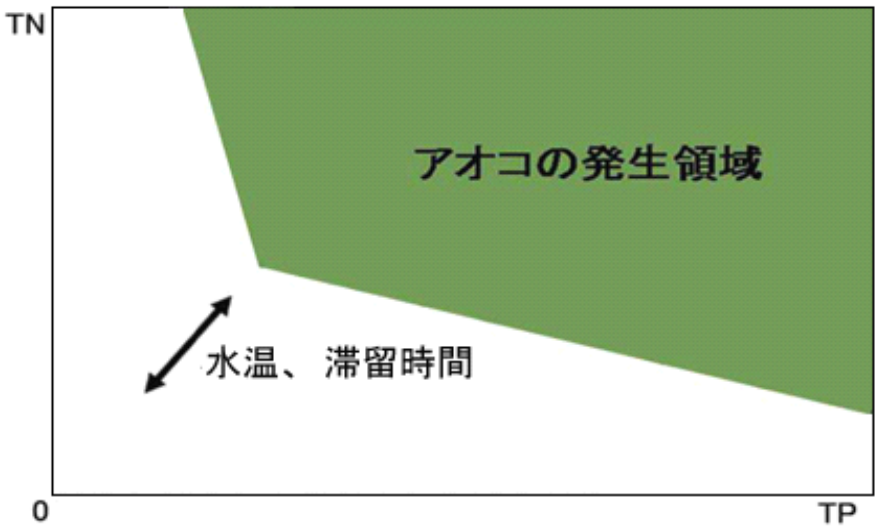
筆者は2009年5月、ホーランエンヤの見物を兼ねた松高6期同期会（松江どげな会）で帰省した際、街中で食べたシジミが余りにも小粒であったことに端を発し、宍道湖の水質について関心を持つようになった。この件についてはすでに「季刊山陰」（2011年9月）とホームページに発表した。その後も帰松する度に、宍道湖の状況を注視していたが、年々悪化しているようで止められなくなった。とくに昨年9月訪問した山居川河口の汚さは衝撃的であった。

本年10月、喜寿のどげな会で帰松したので、宍道湖周りの悪名高い中小河川（山居川、弘長寺川、同道川、伊志見川、古曽志川）および宍道湖、神西湖、それに大粒シジミで有名な鳥取県の東郷池を訪問してみた。本文はそのときの観察結果の紹介と、宍道湖の水バランスとリンバランスに着目した解析結果を示すことにある。大胆なモデルに基づいての考察であるが、緻密な各論よりも、ラフであっても、全体像を掴むことが肝要と考えたからである。

2. 観察結果

宍道湖にはあちこちにアオコがあり漂流していた。10月11日には大橋川北岸にもあった[写真1)]。上記中小河川の河口の水は概ね黄緑色をしていた[写真2-7)]。そうでなくても、湖水中には無数の緑色浮遊物が懸濁していた[写真8)]。流れはなく中には逆流している川もあった。大橋川の流れも風によりさざ波が立っているだけで、本質的に流れているとは思えなかった。宍道湖は大きな溜池と化しているという印象である。アオコの発生は図1のように窒素濃度（→TN）とリン濃度（→TP）が高い場合に生じると言われている。水温の高さと長い滞留時間が助長する。今年の異常渇水と地球温暖化による夏季の異常高温はアオコ発生をもろに促したに違いない。

図1 アオコの発生条件（概念図）



東郷池にはアオコそのものは見られなかったが枯れて褐色となったアオコの残骸が懸濁していた（最悪期にはアオコが池全面に発生していたとのことであった）。神西湖には発生していなかった。神西湖はちょっとした雨が降ると、周辺の田畑が冠水するほど斐伊川水系から水が流れこむとのことである。このことは、田畑に施肥された肥料が流れこむ危険性を意味するが、流

れこむ水量が豊かだから、流れ出すのも早いということだろう。

東郷池と神西湖は海に近く、容易に海水が逆流するので、アオコが枯れるのは早いようだ。東郷池のシジミが大きいのは、三年寝かせてから採っていることと、ジョレン（シジミ採りの道具）の目が14ミリと大きいせいであろう。宍道湖は11ミリで毎年採っている。東郷池のシジミが大きいのは当初考えていたような水質が良いためではなさそうである。

3. 宍道湖の水バランスとリンバランス

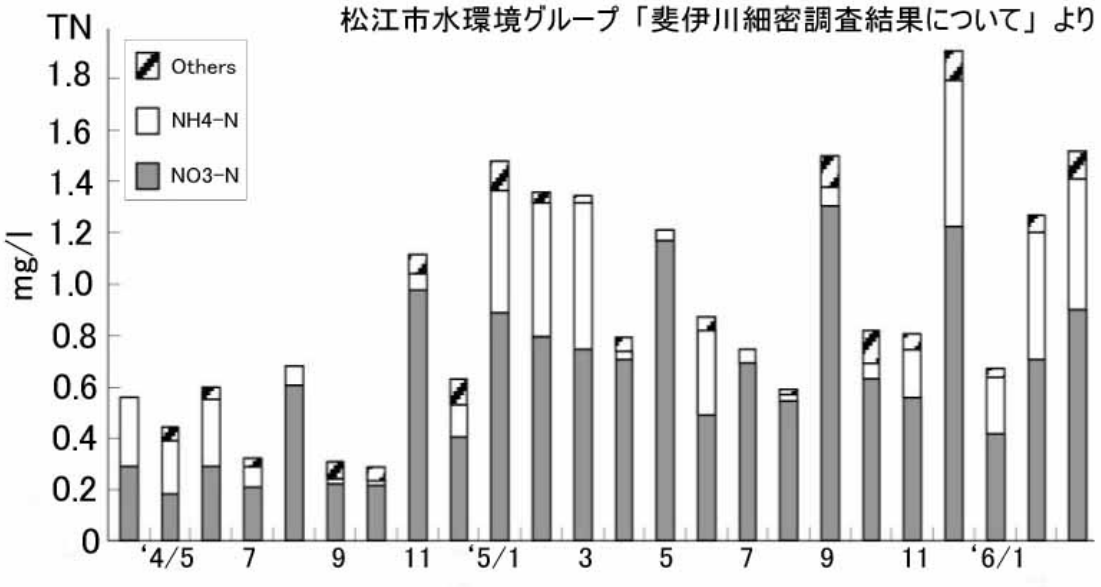
前報をベースにした宍道湖の緒元と水バランスは次のようになっている。

表1 宍道湖の諸元と水バランス

面積	82 km^2	斐伊川からの流入量	1281×10^6 m^3/Y (80%)
周囲	47 km	中小河川からの 〃	172×10^6 m^3/Y (11%)
水深（平均）	4.5 m	降雨量	148×10^6 m^3/Y (9%)
水深（最大）	6.4 m	流入量合計	1601×10^6 m^3/Y (100%)
貯水量	366×10^6 m^3	滞留時間	0.3 Y

窒素（→TN：全窒素）とリン（→TP：全リン）はアオコやプランクトン発生の原因物質である。ところが普通、雨水中に含まれているTNは中国大陸などからやってくる大気汚染のせいで、一般に、宍道湖や斐伊川等の河川のTNよりも高い（図2参照）。つまり、TNは水質管理をする者にとって、どうすることも出来ない面がある。

図2 雨水中のTN



また、水に溶けたNOXやアンモニアは分解や蒸散し得る。さらにアオコを形成する藍藻は窒素分が不足すると、水中に溶解している窒素分子を取り込むと言われている。従って水質を考える上でTNバランスを取ることは現実的ではない。重要な因子はTPということになる。

斐伊川および宍道湖（湖心）等のTPは図3、4のようになっている。

図3 斐伊川の TP

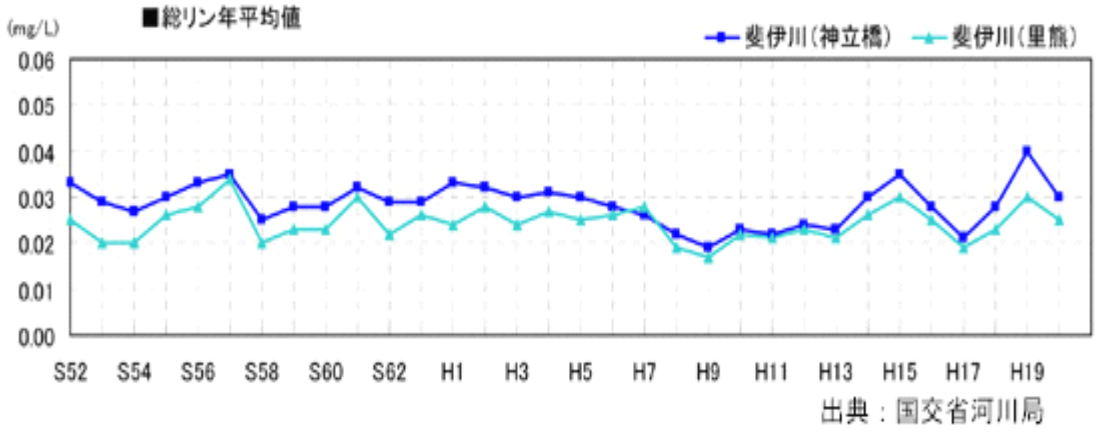


図4 宍道湖等の TP

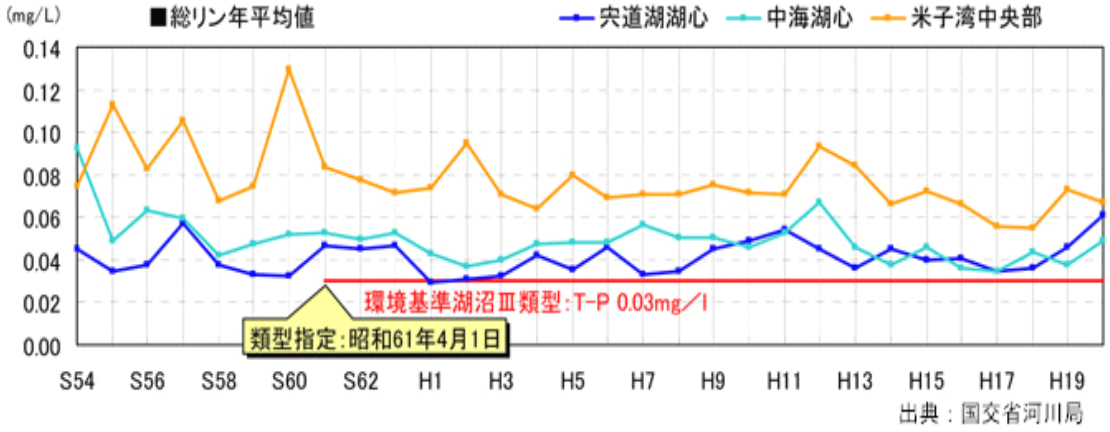
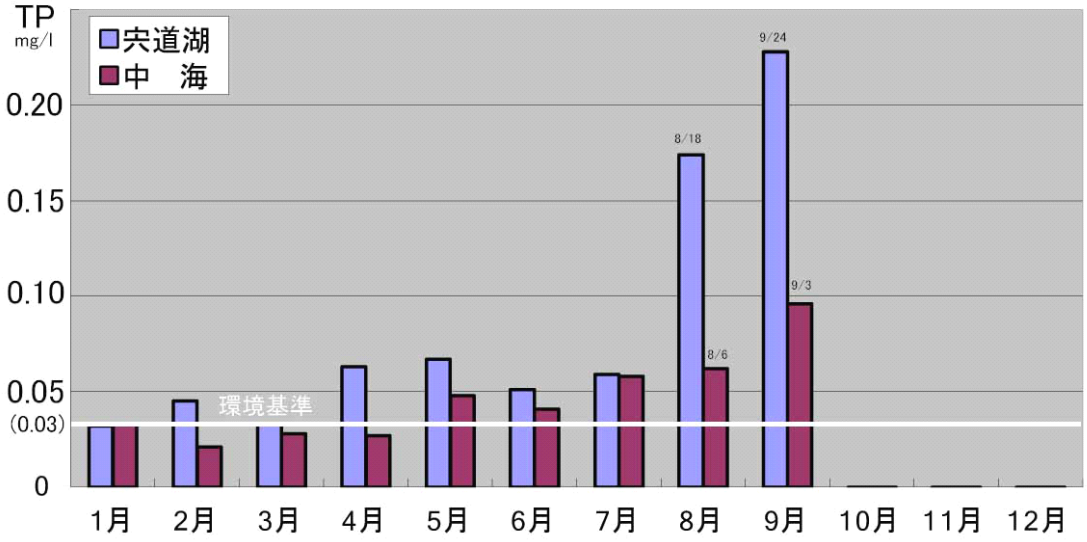


図3、4から、概して、斐伊川の TP＜宍道湖の TP、となっている。雨水中の TP = 0 だから、宍道湖の TP を増加させているのは流入量が11%しかない中小河川ということになる。

ここで、H20年の斐伊川、宍道湖の TP を0.03、0.06 とすし、リンバランスから中小河川を十羽一からげにした「川」の TP を推算すると、**0.33** となる[参考1)]。これは一見して驚くべく数字であるが、前報で紹介したように、大雨が降った後、山居川大桁橋付近の水質検査で0.572 という値がある(H15、松江市水環境グループ)ので筆者は驚かない。ただし、TP 値自体よりも、この計算に用いた中小河川からの流出量にこの濃度を掛けて得られる57ton/Y(←$172\times10^{6}m^{3}/Y\times0.33gr/m^{3}$)というリンの流出量により意味があると考えるべきであろう。

本年8月、宍道湖(湖心上層)における TP 値が0.174(mg/l)という3σ異常を示し、さらに9月には0.228となった。実に環境基準の7倍である(図5参照)。9月の水質で注目すべきは、湖心(下層)の Cl 濃度が急増していることである。中海からの逆流の大きさを物語るものである。同時に、中海の TP が急増している。これは、宍道湖の TP 異常が中海に伝播してきたためと考えられる。

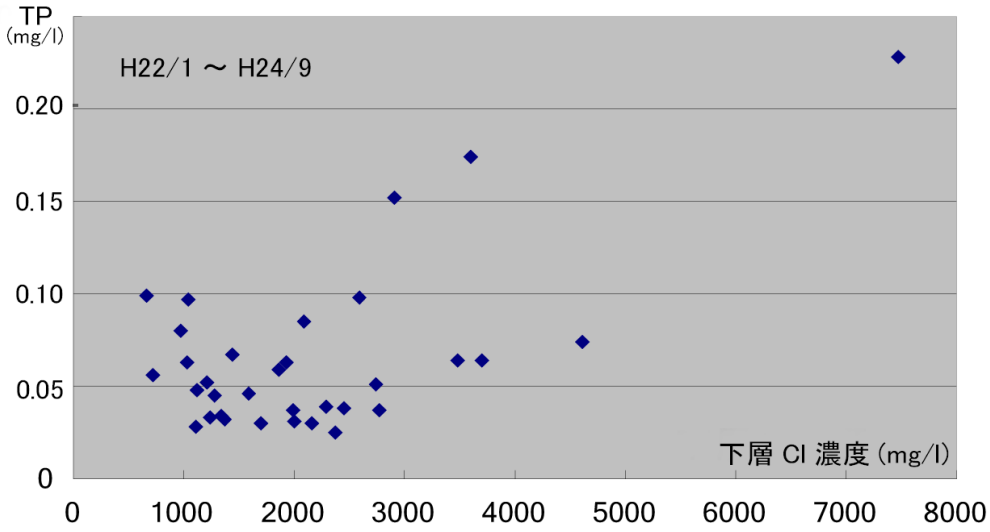
図5 宍道湖(湖心上層)における TP 異常(H24年8月)



過去5年間の最大の異常値は H22年10月の0.12 であった。今年の値は事故としか言いようがないほど異常である。しかし、リンの漏洩事故など起きていない。また、奇妙なことに、TP が異常値を示しているにも拘らず、TN はとくに異常をしめしていない。

この TP 異常の理由について、国交省河川局の実際の担当者の見解を間接的に訊いたところ、異常渇水のため中海から塩水濃度の高い水の逆流が増え、下層に多く存在している水溶性リンが上方に押し上げられた、との見解であった。この考えは TN が異常を示していないことの説明にもなる。湖底に滞積しているヘドロが酸素によって分解されれば、窒素(→アンモニアなど)や、リン(→リン酸)となる。8、9月のデータを用いると、塩水濃度と TP の間に相関があることが分かる(図6参照)。逆流があっても、下層にリン酸が存在しなければこうはならない。

図6 Cl 濃度と TP の相関



水質検査用の水は、水面より0.5m 下から汲み上げられるとのことである。したがって、もろにアオコをサンプリングすることはない。しかし、懸濁しているアオコ粒子は避けようがない。という

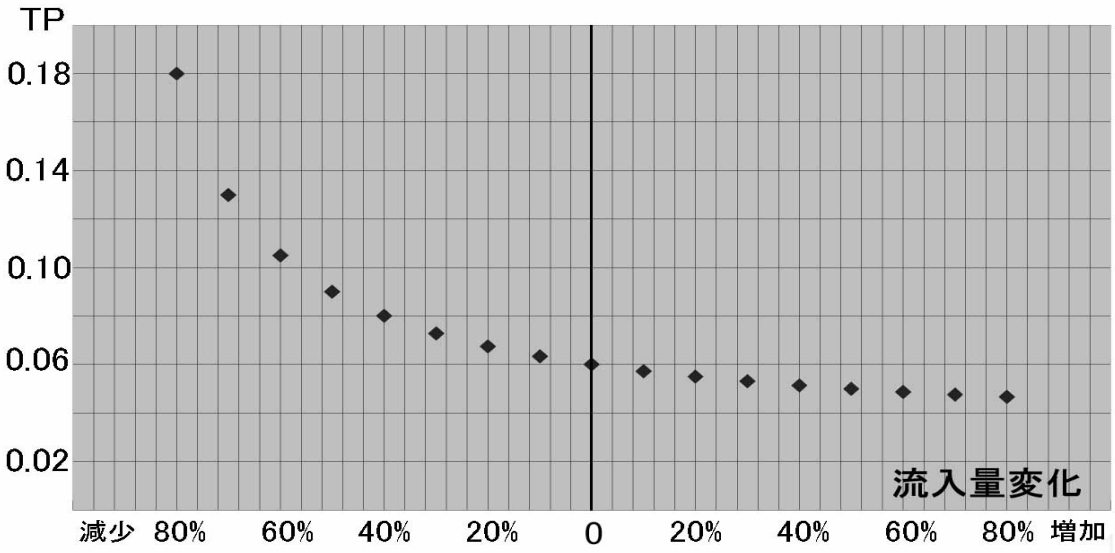
より避けてはならない。そしてアオコはそれ自身濃厚な懸濁液であり、その周辺には多くのアオコ粒子が懸濁しているに違いない。そしてアオコが解れるにしたがって懸濁物は増え広範囲に拡散し、最終的には、湖底に滞積するのであろう。事実、今回観察した宍道湖の湖水中にはいたるところ(透明なところでも)懸濁物が見受けられた。それらは、どの程度、分析値としての TP に寄与しているのであろうか。例年、10月前後に宍道湖(湖心上層)の TP 値が高くなる理由の一因はその辺にもあると考えられるのではなかろうか。

異常渇水が続いているなかで、中小河川から通常のリン流出が続いていれば TP は高まる。その辺の状況を示したのが図7である[参考2)]。くどいが、これも定常状態を仮定しているので、長期間、流入量が減り、中小河川から高濃度のリンが流出すればこうなる、ということである。

なお H24年10月現在、斐伊川放水路分流堰が工事中である(予定では3月完成予定だったが、まだ工事中)。しかし、これは治水目的の堰であり、大雨のとき溢流する以外は流れない。

異常渇水などで水バランスが狂えば、下図のようにリンバランスが狂う、と理解して頂きたい。

図7 宍道湖への流入量の増減が TP 値に与える影響



水質管理指標として TP、TN のほか COD が重要である。アオコやプランクトンが発生すれば COD が高くなる。TN、TP は水質汚染の原因を示す指標であり、COD は結果を示す指標である。しかし、アオコ等が枯れるとヘドロとなり湖底に滞積する。その分解に水中の酸素が消費され、周辺が貧酸素となり、魚貝類の生存が脅かされる(本来ならば、生物学的に要求される酸素量(BOD)が用いられるべきであるが、分析が容易な化学的に要求される酸素量(COD)で代用されることが多い)。COD は、魚貝類の漁獲量低下に関しては、原因を表す指標なのである。もっとも、富栄養化は魚貝類の生育にプラスになるという反論もある。しかし、それは必要な酸素があっての話であろう。

地球温暖化のなか、異常渇水(その裏返しの大雨)、異常気温はこれからはますます頻発するものと思われる。環境が変ったのだ。可及的速やかに対策を取らなければ、淀み易い宍道湖はシジミの漁獲量が減るばかりか、観光資源としての価値も失う。

4. 再度の5ヶ年計画でも悪化傾向にある宍道湖の水質

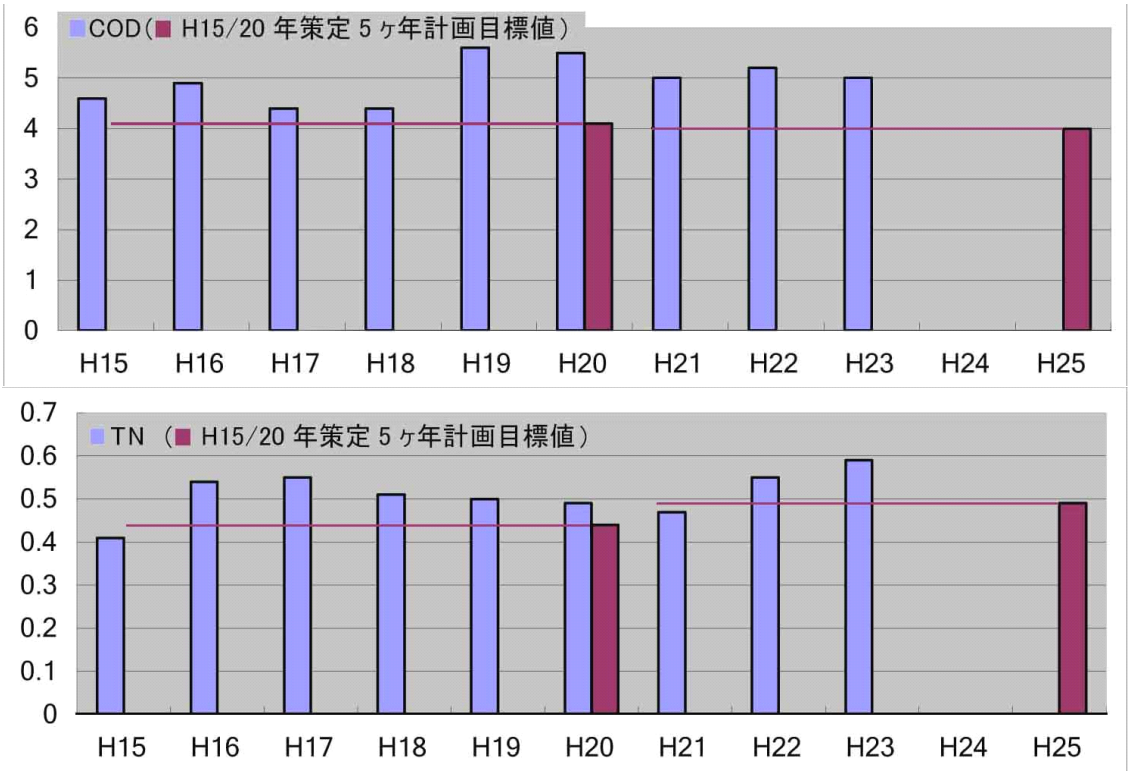
島根県は H15年に「宍道湖に係る湖沼水質保全計画」(5ヶ年計画)を策定した。5年後の H20年の水質は計画値どころか、H15年の値よりも悪化している(表2参照)。

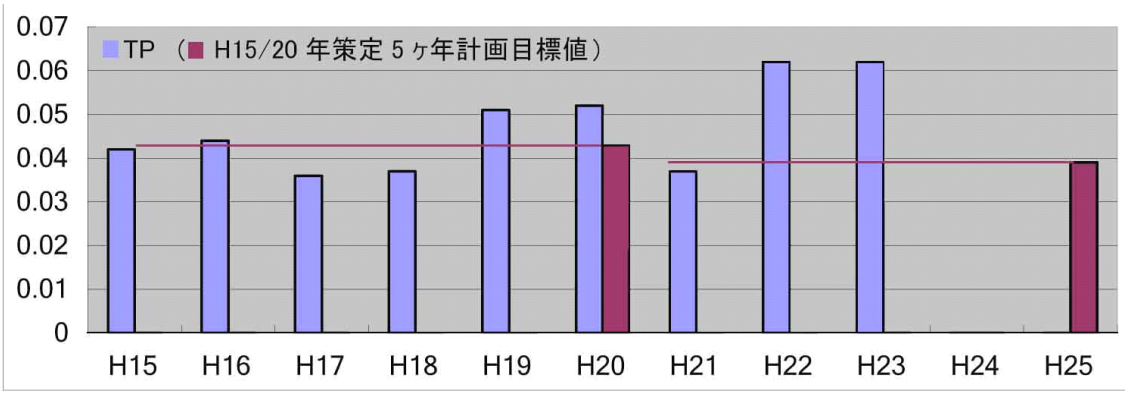
表2 「宍道湖に係る湖沼水質保全計画」

	H15年策定5ヶ年計画		H20年策定5ヶ年計画	
	現状(H15年)	計画(H20年)	現状(H20年)	計画(H25年)
COD	4.5	4.1	5.4	4.0
TN	0.47	0.44	0.49	0.49
TP	0.047	0.043	0.056	0.039

H20年策定の5ヶ年計画の状況を知るために H23年までの推移を紹介する。

図7 宍道湖の水質保全に関する再度の5ヶ年計画と水質の推移





上図は途中経過ではあるが、達成できる状況にはない、と言っても過言ではあるまい。とくに、H24年は異常渇水の影響もあり、とんでもない値になることは想像に難くない。ここら辺りで、本当に実効ある対策を立てなければ手遅れになる。

5. 対策

宍道湖の水質については、いろいろ言われている。なかには、水草が増えていること(つまり透明度が増している)から良くなりつつあるという説もある。山居川の上流(大桁橋上流)の水がきれいになっていることから山居川全体がきれいになったかの如き印象を与える新聞報道もあった。水質が悪くなりつつあるというのは厳然たる事実なのだ。

対策についても、複雑な各論に捉われていれば収拾がつかなくなる。生態系が変わってきていることも指摘されている。しかし、窒素とリンが植物プランクトンの生育に欠かせない栄養分であることは普遍の真実である。そして、窒素は大気汚染が重大な汚染源と化していること、アオコが(窒素分欠乏時)水中に溶けている窒素ガスを固定する能力を有していることを考えると、リンを減らさなければならない、という単純な結論に帰結する。

″言うは易く行うは難い″が、中小河川からのリンの流出防止に本腰を入れなければならない。そのためには実態を把握・公表・説明し、地域住民の協力を得なければならない。周囲が市街地である山居川等流域では不用意な生活排水、個人商店や零細企業の排水などに注目する必要があろう。周囲が田畑である古曽志川等流域では肥料・農薬の排水、家畜の糞尿対策等であろう。とにかく、汚染源を特定し、当事者と一緒になって対策を考えなければ進展しないだろう。下水の処理方法や排出基準あるいは下水道についても不備がある可能性がある。処理済みということで安心してはならない。

悪名高い中小河川は、降雨時以外は流量が少なく滞留時間が長い。非常事態対策としては、流出防止以外に瀬戸際(つまり中小河川の河口)でアオコ粒子懸濁物(→BOD)を除去することが望ましい。アオコの効率的な凝集剤も発売されているという。

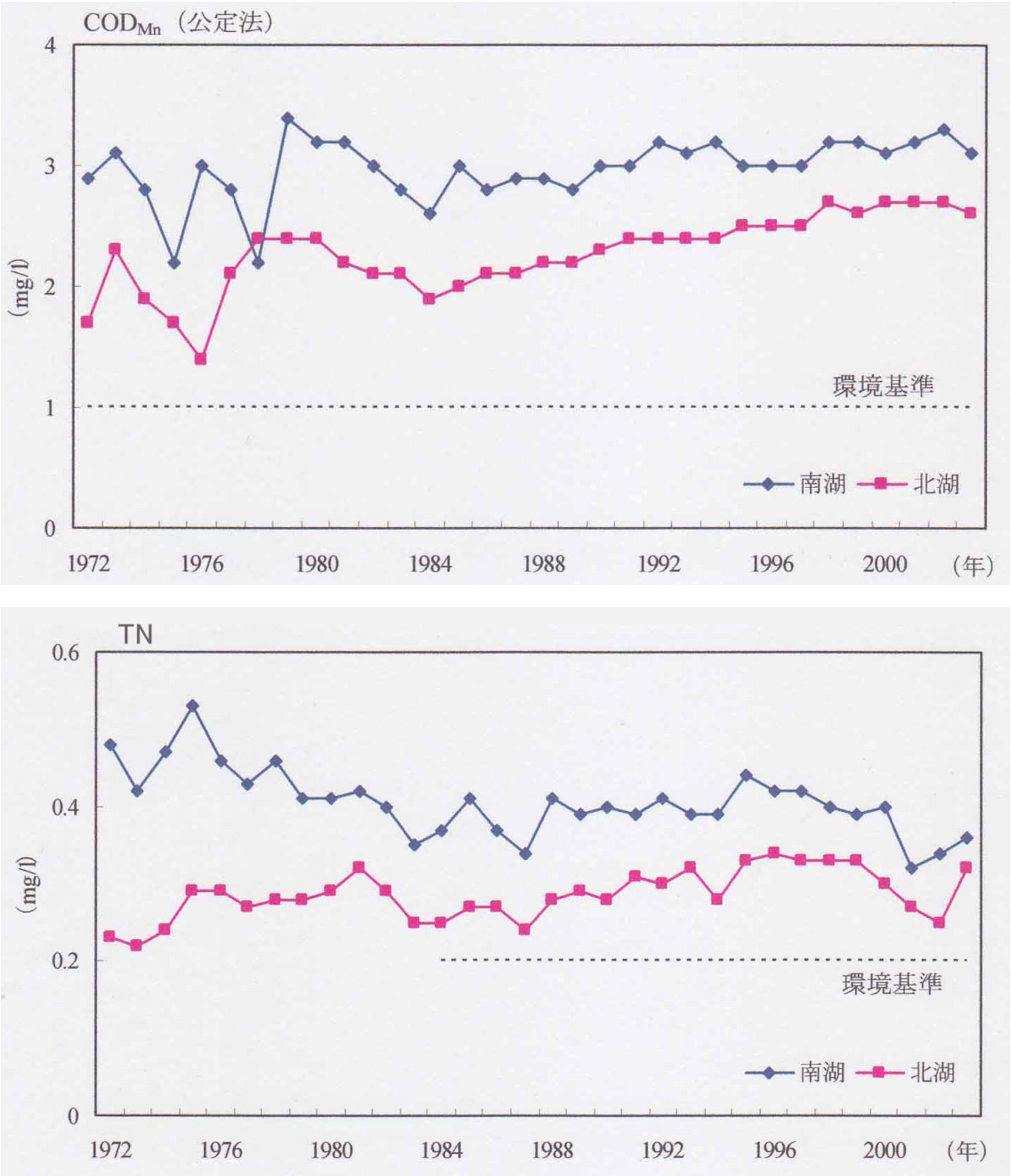
湖底に滞積しているヘドロは宍道湖の水深が浅いので、大雨が降ればかなりの程度流されるものと思われる(期待する)。そうでない場合はエアレーションをしてヘドロを分解し、水溶性のリンにして流出を待つべきなのかと思う。覆土は水深をさらに浅くしするし大変だ。

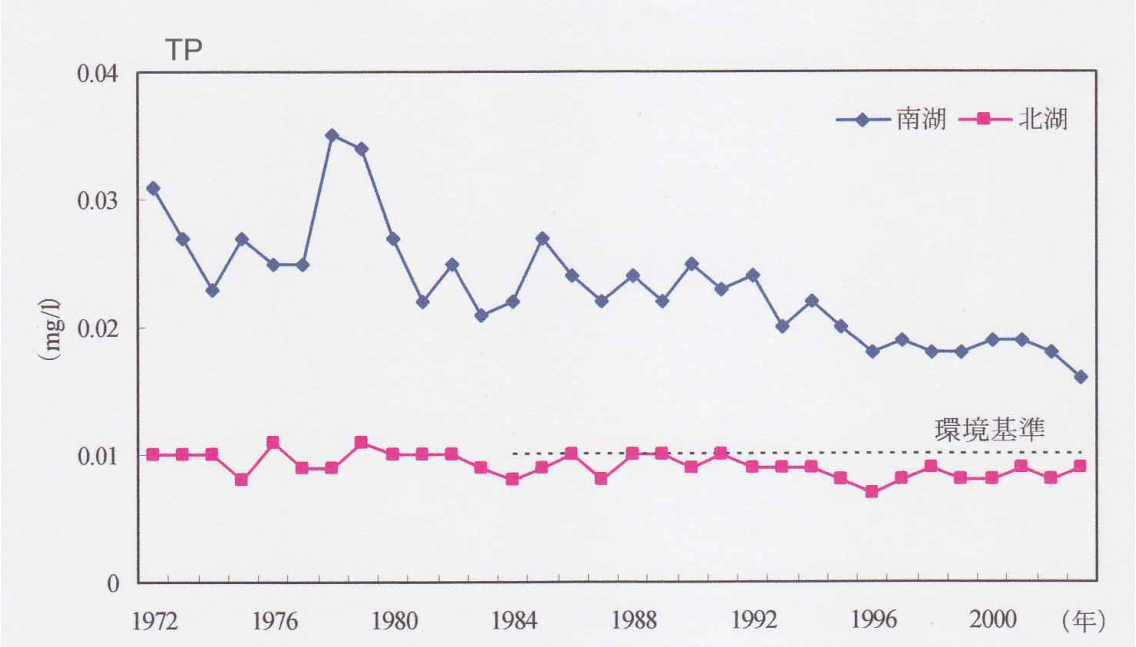
今年の惨状をみて、周辺住民を初めとして、関係者は肝を冷やしたに違いない。そして、何

とかしなければならないという意識を強く持ったはずである。しかし、宍道湖は濁水で汚れ易く、大雨で綺麗になり易い。そして濁水期の後には大雨が降りがちである。「咽喉元過ぎれば」にならないようにしたいものである。

琵琶湖の水質の推移は図8のようになっている。水質改善の希望の星は琵琶湖である。

図8 琵琶湖の水質





琵琶湖は飲料水の水源でもあるので、環境基準は宍道湖より厳しくなっている(TP は0.01)。図8によれば、外乱因子に影響される TN は別にして、TP はきちんとコントロールされている。COD が上昇傾向にあるのは地球温暖化に伴う水温上昇のせいで、プランクトン等の活動が活発になっているためであろうか(？)。

なお、ネットで調べる限り、滋賀県立大学(環境科学部)の活動が印象的であった。

6. あとがき

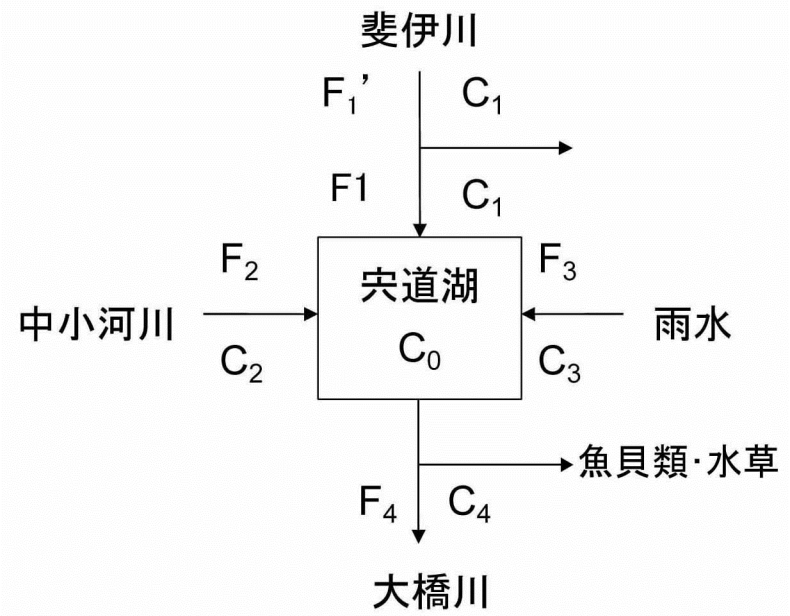
筆者は水バランスとリンバランスを考えることが宍道湖の水質を考える上で有効であると判断した。しかし、定常状態を仮定していること、湖心上層の TP で宍道湖全体の TP を代表させるなどいささか乱暴なモデルに基づく考察であることは否めない。ラフであってもまずは全体像を掴むことが先決なので御容赦頂きたい。

リンバランスを考える場合、湖外に持去られる魚貝類や水草を考慮すべきであるが、シラウオを除く宍道湖七珍が激減しているので無視した。NPO 等の手で細々と行われている水草の除去についても同様である。魚貝類の漁獲量が回復すれば、かなりの量のリンと窒素が持去られるはずだ。たとえば、シジミの漁獲量が昭和48年並(19,000t)とすれば、シジミ中のリンの含有量を0.086%として、16t/Y となる。これは筆者が推定したリンの流入量の28%に相当する。魚貝類全体では如何ほどになるのだろうか？

水質の悪化が魚貝類を減らし、漁獲量の減少がまた水質を悪くする。現在は負のサイクルに陥っていることは疑いない。漁獲量を増やすには、シジミの養殖方法の検討も必要であろう(漁業権絡みの話なので、公的機関に期待せざるを得ないのだろうか？)。

（参考1）

図8 宍道湖の水バランスとリンバランス（模式図）



上図は宍道湖の水バランス、P（リン）バランスを表わす模式図（F_k：流量、C_k：TP）である。

定常状態では、水バランス：$F_1 + F_2 + F_3 = F_4$ ･･･(1)、

リンバランス：$C_1F_1 + C_2F_2 + C_3F_3 = C_4F_4$ ･･･(2).

$F_1 = 0.80$、$F_2 = 0.11$、$F_3 = 0.09$、$F_4 = 1$；$C_1 = 0.03$、$C_3 = 0$、$C_4 = C_0 = 0.06$ とすると、

$C_2 = 0.33$ となる。

(参考2)

流入量の変化をΔF、それにともなう湖心の TP の変化をΔC とすると、リンバランスは次のようになる。 $C_1(F_1 + \Delta F) + C_2F_2 + C_3F_3 = (C_0 + \Delta C)(F_4 + \Delta F)$ ･･･(3)、

上式に(2)式と各量の値をすれば次式が得られる：

$$\Delta C = -0.03\,\Delta F/(1 + \Delta F) \quad \cdots(4).$$

(4)式において、流入量を増減させれば図6のような結果が得られる。

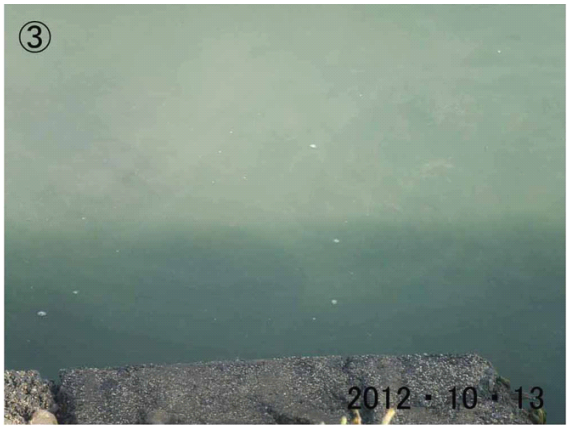
(写真)

アオコは風の吹くままに異動している。10月11日、新大橋北詰め付近で見受けられたアオコも15日には姿を消していた。

アオコ群が去れば（山居川河口）透明度はかなりの程度回復するが、湖水中にはアオコ粒子が浮遊している。山居川は河口よりも、すぐ上流の新山居橋～山居橋間の方が汚かった。

大橋川北岸（新大橋付近）

山居川河口



弘長寺川河口（宍道湖側）

同道川河口付近

伊志見川河口付近

古曽志川河口

古曽志川支流

アオコ状懸濁物（山居川河口付近の宍道湖）

以上