	<h2 style="margin: 0;">宍道湖の水質浄化のミステリー(2)</h2> <p style="margin: 0;">—アオコなしの湖へとレジームシフトした宍道湖—</p> <p style="margin: 0;">SCE・Net 西村 二郎</p>	<p style="margin: 0;">R-49</p> <p style="margin: 0;">発行日</p> <p style="margin: 0;">2016年</p> <p style="margin: 0;">11月18日</p>
---	---	---

1. まえがき

先に、2012年8～10月に宍道湖で起きた宍道湖の奇跡的な水質浄化について紹介した¹⁾。溶解性リン・窒素が大量に浮上し、湖底が綺麗になったのである。バクテリアの中には、好気状態でリン酸を摂取してポリリン酸として蓄積し、嫌気状態で排出するものがある(→通性嫌気性バクテリア)。2012年8～10月、下層にCl濃度の異常な高まりがあり、いわゆる塩分躍層が形成され、湖底付近は異常な酸欠状態になった。そのとき、湖底のヘドロの中には、上述のような性質をもつバクテリアがやはり異常に多く存在していたため、大量のポリリン酸が放出され溶解性リンとして浮上してきたものと思われる。複数の異常が重なって起きた異常現象である。2012年9月のCl濃度(下層)は、12年間の値の分布(正規分布と仮定)に対して、 2.8σ 異常であった。このような濃度が次に起きる迄の待ち時間(期待値)は388年と推算される。下層のCl濃度だけで推算して、この値である。他の条件が整う確率を考慮に入れれば、推して知るべしである。このような現象自体は他の湖沼でも起きている。しかし、これほど極端な現象が起きたのは、(昔の水質は良かったらうから)神武以来、2012年の宍道湖が初めてのことでないだろうか。背景には宍道湖の特異性がある。宍道湖の水質汚濁を考える場合、このメカニズムを認識しておく必要がある。

註)前報では、月次データが日次データとしてランダムであると仮定すると 4σ 異常であり、次に同様なことが起きる迄の待ち時間は約80年と推論した。しかし、溶解性リンの浮上は、自然条件が整う毎年9月を中心として起きている。そこで、9月の値の分布に対する2012年9月の異常性を推算する方が明らかに合理的である。この方法によれば、異常性は小さくなったが、年次データなので、待ち時間は長くなる。

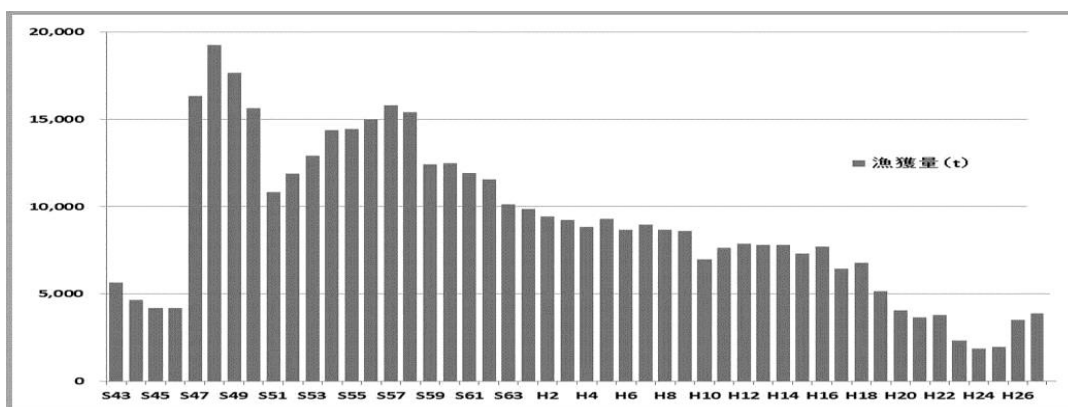


図1 宍道湖におけるシジミ漁獲量の推移

自然の湖底浄化作用によりアオコが事実上姿を消した。2013年の前半は塩水濃度の高まりの影響が残っていて淡水性であるアオコは生育できなかったと考えることができる。しかし塩水濃度が元に戻ってからも、13年後半、14、15、16年とアオコゼロ状態が続いている。名物のシジミも図1のように、2012年の2200トン(注)を底にして、2015年には3800ト

ンに回復している。珪藻類の繁茂も目立って多くなっている。これはレジームシフトが起きたためと考えるべきである。アオコに関するレジームシフトは 1999 年の諏訪湖でも起きた。これは、公共下水道の完備・普及と下水処理水を諏訪湖内ながら天竜川への出口直前で放流したお陰である。天竜川流域住民の反対に対する苦肉の策であったが、流れがあれば栄養分が植物性プランクトンに取り込まれ難いことから取られた合理的な施策である。宍道湖の場合は、今少し原因を掘り下げてみる必要がある。

2. 宍道湖の特異性

下図は霞ヶ浦、宍道湖、諏訪湖、琵琶湖(北湖、南湖)の TP(上層)の年次推移である。2012 年の宍道湖が如何に異常であったかがよく分かる。

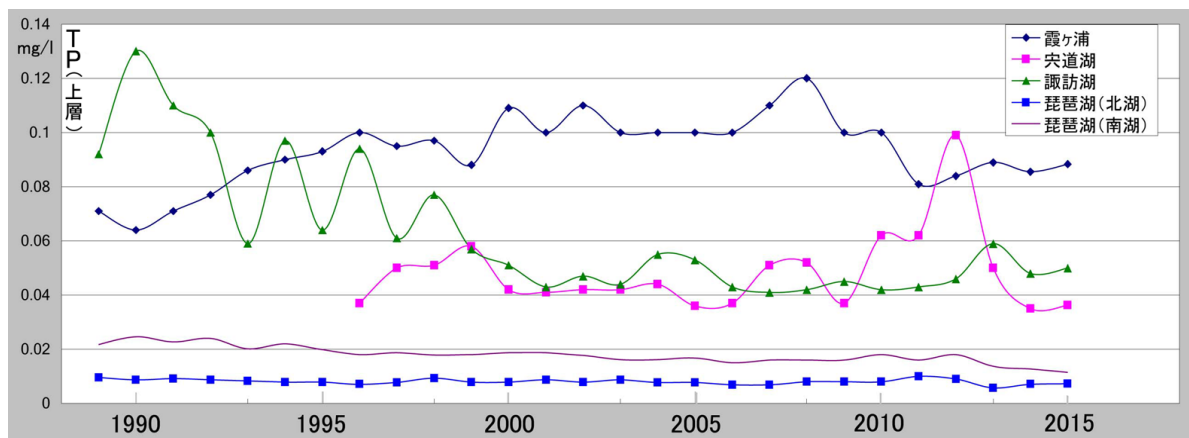


図 2 宍道湖等の TP(上層)の推移

宍道湖の特異性を検証するために、同じ汽水湖である中海と比較してみる(図 3 参照)。中海以外の汽水湖で検証したかったが、肝心のデータがない！

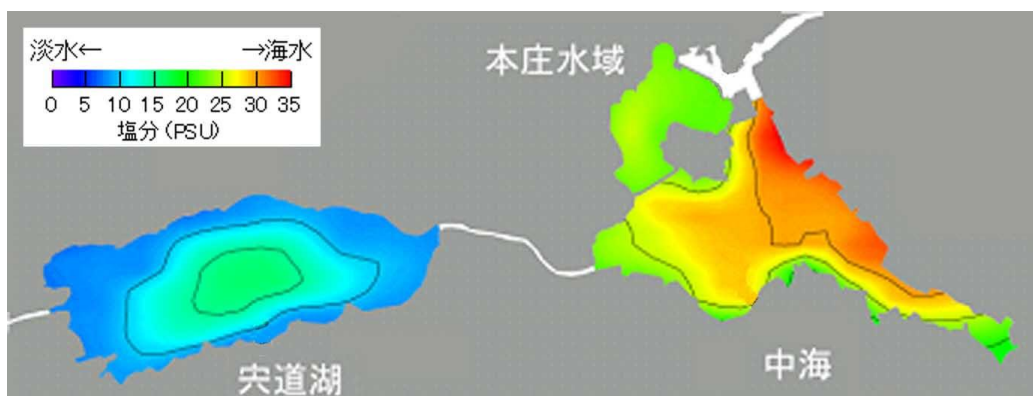


図 3 宍道湖と中海

宍道湖は平均水深が 4.5 m、最大で 6.4 m と遠浅であるのに対して中海は平均水深 5.4 m、最大で 16 m となっている。一般に、汽水湖では、淡水は上層、海水は下層と 2 層になっていると言われている。この塩分濃度が急激に変化する層が塩分躍層である。ところが、遠浅の宍道湖では湖心でも塩分躍層を形成することは稀である(図 4 参照)。

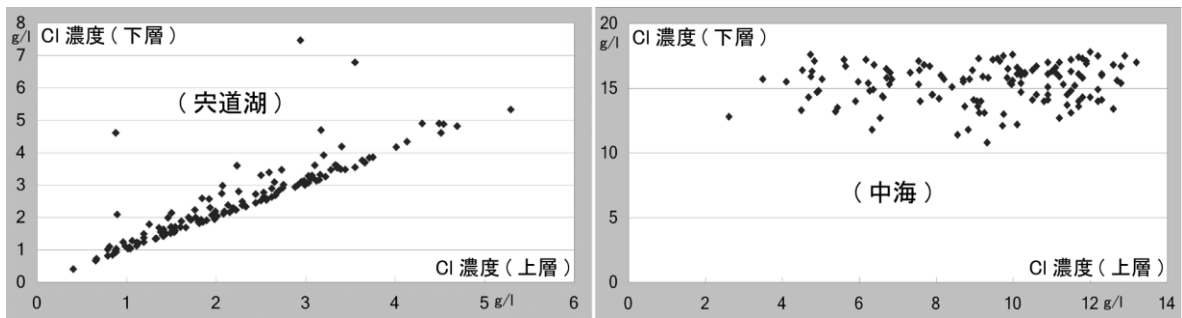


図4 Cl濃度の上下層差(宍道湖々心 vs 中海湖心)

湖沼では生育した動植物の残骸や排泄物の多くは分解されずに湖底に沈降し滞積する。水温が高い時期には、残骸等の有機物は好気性バクテリアによって分解される。このとき、湖水の上下層の循環が不十分な場合、溶存酸素が消費された湖底は「貧酸素」状態となる。貧酸素状態で有機物は腐敗しヘドロとなる。塩分躍層を形成する湖沼では、上下層が混合しないので、低層水は貧酸素状態が続きヘドロが形成されやすい。ヘドロは嫌気性バクテリアによって分解され窒素等を発生する。溶解性リンの増加、浮上は通性嫌気性バクテリアが排出したことによるものと思われる。

図5はCl濃度上下層差が付き難い宍道湖では下層のDOは概ね6 mg/l以上であるのに対して中海湖心では6 mg/l以下が大勢を占めていることを表している。

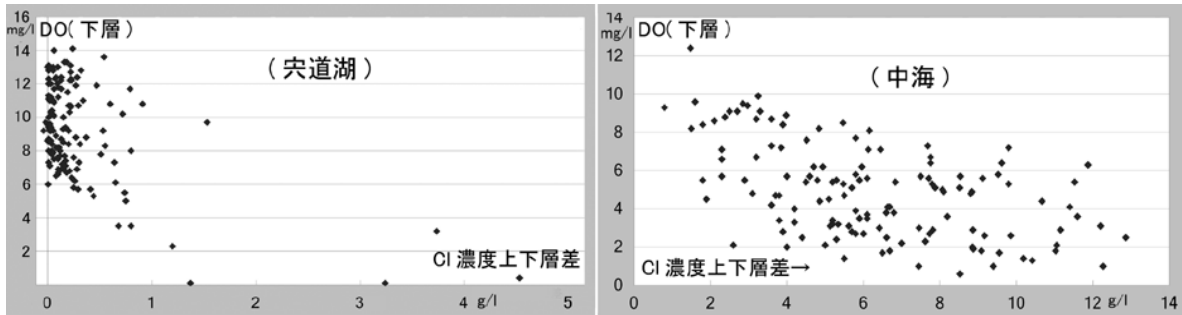


図5 DO(下層)のCl濃度上下層差依存性(宍道湖々心 vs 中海)

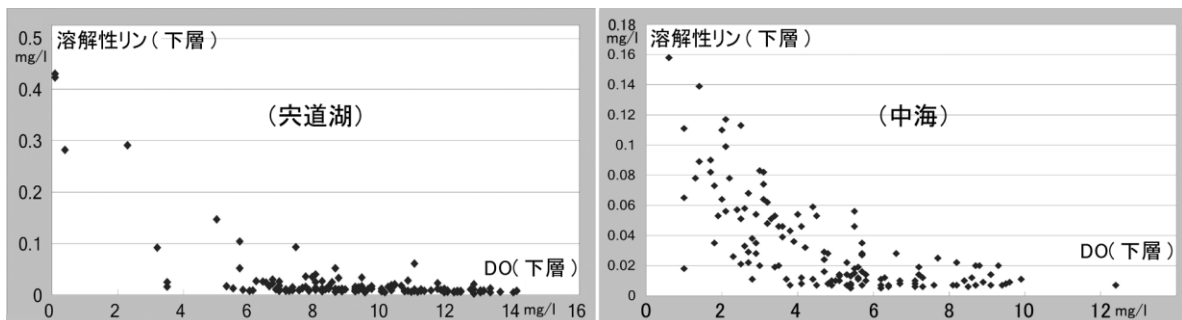


図6 溶解性リン(下層)のDO(下層)依存性(宍道湖々心 vs 中海)

図6によれば、宍道湖でも中海でも溶解性リンはDOと反比例的関係にあるが、宍道湖ではDO>6 mgでは、殆ど発生していない。逆の言い方をすれば、何らかの原因で湖底が極端に貧酸素化し、そしてそのとき湖底に大量の通性嫌気性バクテリアがいれば、溶解性リンの爆発的な浮上があり得るということになる。リンの沈降>浮上、である限り湖底にリンは蓄積されるが、諸条件が整う確率が小さいので通常は目立たない。

3. アオコ発生条件

一般的には、淡水湖・汽水湖において、①水温が高いこと、②栄養塩(窒素、リン)が豊富であること、③ただし、窒素が多くなり過ぎてもアオコは生存できない。つまり、リンと窒素を横軸と縦軸とするグラフにおいてアオコが生育可能な領域があるということである。

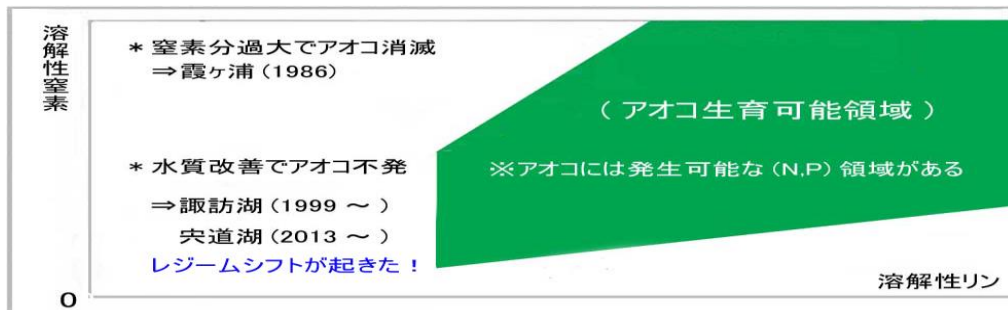
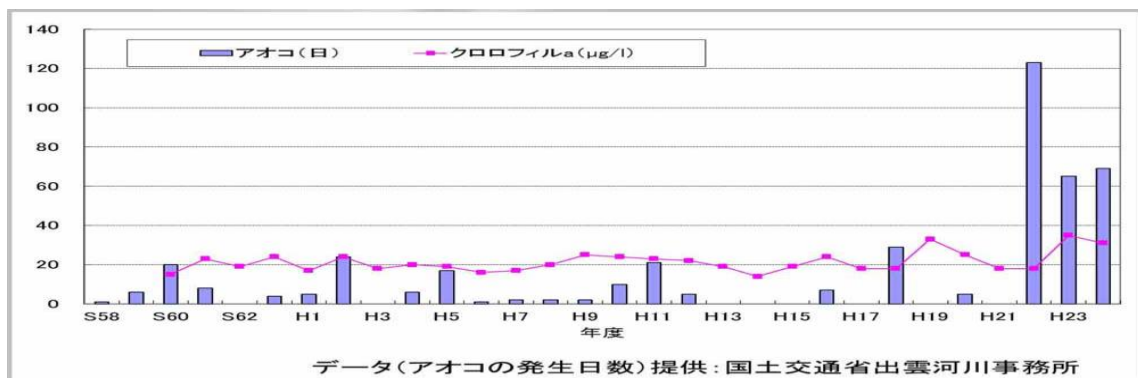


図7 アオコの生育可能領域(イメージ)

前報ではリンとして TP、窒素として TN を採用したが、湖水に溶けていなければアオコの栄養分にはならない。ここでは、溶解性リン、溶解性窒素と改める(図7参照)。

湖の富栄養化は長い歳月をかけて進行するが、アオコの異常発生は、ある年から突然起きるようになると、言われている。消えるときも劇的に消える。

ここで、前報でも紹介したアオコの観測データを再録する(図8参照)。このデータは年次のアオコ発生件数であるが、月毎の溶解性リン(下層)とアオコの相関を表すと、図9のようになる。溶解性リンの値として上、中、下、3層の中で、下層を選んだのは溶解性リンの発生源に近いからである。



データ(アオコの発生日数)提供: 国土交通省出雲河川事務所

図8 アオコ発生日数の推移

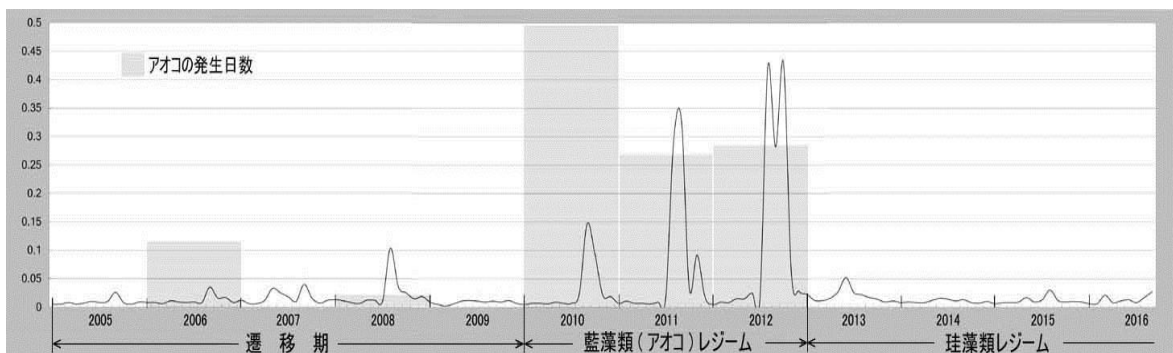


図9 溶解性リン(下層)とアオコの発生の関係

図 9 から言えることは、①溶解性リンとアオコの発生の間にはかなり強い相関関係がある：アオコが発生した年は 9 月前後に溶解性リンのピークがある、②そうは言うものの、2009 年以前の相関は弱く、2013 年以降では、ピークはあってもアオコは発生していない。これらの現象を矛盾なく説明するために次のように解釈する：①溶解性リンが浮上するときアオコが発生するか否かは、水温が適合している場合、浮上量の多さおよびベースとなる宍道湖の水質条件によってきまる。水質条件に若干の余裕がある場合は、発生したりしなかったりする。これは珪藻類と藍藻類が競合している状態で、言わば、遷移期である。水質条件に余裕がない場合は、僅かな溶解性リンの浮上で発生する。とくに活発に浮上する 8~10 月には大量に発生する。これは藍藻類優勢のアオコレジームである。宍道湖は少しづつ蓄積したリン等の汚濁物質により、遷移領域を経てアオコレジームに入っていた。発生し、成長したアオコは枯れて沈降して腐食し再び溶解性リン、窒素の発生源となる。この場合、アオコの発生は毎年のように繰り返されることとなる。

2013 年以降 16 年現在に至るまでアオコの発生がないのは、2012 年の自然現象による湖底浄化作用によって、一挙にアオコが生育できない領域に入ったと思われる。図 2 から宍道湖の TP が異状であった 2012 年の後、若干ではあるが、低位に落着いた様子が覗える。では、宍道湖のアオコゼロ状態は何時まで続くのであろうか。

3. レジームシフト(アオコなし)の持続可能性

とくに何もしない場合について考えてみる。水質改善でレジームシフトが起きた場合、生態系にも変化がある。水草は藍藻類優位から珪藻類優位となる。諏訪湖でも珪藻類の繁茂がみられ、逆に問題となっているようだ。昔は肥料として利用されていたが、今は採る人がいないのである。宍道湖の湖水には塩分が含まれているため、肥料として利用されることは一般的ではなかったようだ。宍道湖にはアオコ回収の船があるという。タイミングを見計らって、水草を除去すればリンの排除効果に繋がる。

シジミが獲れるようになってきたのも生態系の変化の一つだろう。出雲河川事務所の西村明技官らの推算によると、シジミ 1000 トンの漁獲でリン 1 トンの排除効果があるという。これは水質改善にとって明るい材料である。願わくば、青森県の十三湖や鳥取県の東郷池のようにジョレンの目を 14 ミリ(宍道湖は 11 ミリ)にして稚貝保護に努めて欲しい。

ほかの魚類の漁獲量も増えているはずである。出世魚のスズキは湖底に棲息する魚ではない。したがって、湖底近くの貧酸素(夏季)の影響を受け難い。にも拘らず、近年、漁獲量は少なくなっていた。セイゴはウヨウヨしているが、出世できなかったのである。最近はどうなっているか？富栄養化は魚貝類にとって、原理的には、望ましい。しかし、アオコが発生しない場合の話である。

シジミの漁獲量の増加、水草の除去以外とくに何もしなくても、アオコゼロ状態は暫く続くのかもしれない。しかし、それでは余りにも寂しい。それに、図 9 には、小さいながらも、溶解性リンの不気味なピークが出現している！

4. まとめ

宍道湖は遠浅のお陰で、塩分躍層が形成され難い湖である。日光は湖底まで到達し易い。有機物が分解され易い湖である。そして、栄養分は生態系の食物連鎖により魚貝類に捕捉

され、人によって湖外へ持ち出される。水草が人間にとって有用ならばそれに加わる。

島根県が行ってきた水質改善策(主として、公共下水道整備)の効果は、諏訪湖ほど顕著ではないが、ゆっくりと効果を現していたのかも知れない。最近の公共下水道による水洗化率は松江市では73%(2015年3月)と高くなっている。しかも、処理水は宍道湖外(宍道湖東部浄化センター→意宇川→中海、西部浄化センター→大社湾→日本海)に流されている。しかし、アオコ発生が常態化するレジームに入れば様相は一変する。日光は底まで届かなくなり湖底の貧酸素化を加速する。アオコは集合体を形成する上に毒素を持っていて食物連鎖の体系を大きく乱す。また、湖底への沈降・腐食/分解・浮上によりTNやTPの外乱となり、地道な水質改善効果は霞んでしまう。

アオコ発生とともに減ったシジミ漁獲量の回復策として、覆砂の是非が、宍道湖保全再生協議会に諮問されている。水質改善策としての覆砂はやはり県が委託した汽水湖汚濁メカニズム解明調査ワーキンググループの報告²⁾の論理的帰結でもある。

このレポートの論理的帰結は、汚濁物質の湖底への蓄積があるのかないのか、明らかにすべきであるということと、原因究明を待たずに対策に踏み込むことである。発生源を抑えなければ、またぞろ汚濁物質の湖底蓄積により、ある年の夏、突然、アオコレジームにシフトする危険性がある。

琵琶湖、諏訪湖など先達にも学び、実行可能なことは即、実行して、せっかく起きたアオコなしへのレジームシフトを持続させたいものである。あと僅かな発生源対策を付加することで可能なのではなかろうか。

(参考資料)

1)宍道湖の水質浄化のミステリー(2015年12月):「窓」(SCE・Net)

2)汽水湖汚濁メカニズム解明調査ワーキンググループ報告書(2014年8月)

以上