

P2-1

気候変動による我が国の湖沼における水質・生態系の影響評価と 適応策の検討に向けた将来水質予測の課題について

山田 匡¹, 林 誠¹, 渡辺 康生¹, 上原 浩², 松田 尚郎², 佐竹 康孝²

¹環境省大気・水環境局水環境課、²パシフィックコンサルタンツ株式会社国土保全事業本部

キーワード: 気候変動, 湖沼, 水質予測, 生態系, 適応策

抄録

気候変動による我が国における湖沼の水環境への影響は、政府の適応計画において重大性が特に大きいと評価されているものの、各湖沼の水質変化は地域特性によるところが大きいため、具体的な影響を把握するためには湖沼毎に詳細なシミュレーション等が必要である。そこで、環境省では気候変動影響として全循環不全や富栄養化、融雪の変化等の視点から3タイプのモデル湖沼を選定した上で、気候モデルから提供される将来気象条件を設定して、水質予測モデルを用いた将来水質予測を行い、湖沼水質の変化、生態系への影響評価を試みた。その結果、気候モデルによって水質変化の度合いには違いがあり、評価には複数ケースでの予測が必要であることや、湖沼特性に応じて適切な評価項目の設定が必要であること、水質変化の発生頻度の違いにより適応策を見極めて考える必要があることが分かった。

1. はじめに

本報告は、環境省による「気候変動による湖沼への影響評価・適応策検討会(座長:岡田光正放送大学副学長)」(以降、本検討会)における検討の状況を報告するものである。

IPCC 第5次評価報告書¹⁾では、気候システムの温暖化については疑う余地がないとされ、平成27年11月に閣議決定した「気候変動の影響への適応計画²⁾」では、湖沼・ダム湖の水環境への気候変動による影響は、緊急性、確信度は中程度であるが、重大性は特に大きいと評価されている。しかし、湖沼の水質変化は、地域、気象、流域等の条件によって異なるため、各湖沼でどのような影響がどの程度生じるのかを見極めることは難しい。

環境省では、平成25年度から本検討会において湖沼の気候変動影響検討を進めている。さらに、地方自治体等の湖沼担当者等が気候変動による将来の湖沼の水質影響を想定し、適応策を講じる契機とするための「手引き」を今後とりまとめる予定としている。

本報告では、モデル湖沼での気候変動影響のケーススタディ結果と、それを通して気候変動による湖沼の影響検討に当たっての課題を報告する。本検討会では、これらの課題解決に向けて今後検討を進める予定である。

2. 方法

(1)モデル湖沼の選定

気候変動影響予測及び評価を行うにあたり、長期的な観測データが得られた21湖沼(表1)から、気候変動影響の検討が可能な3タイプの湖沼を選定した。

- ① 融雪による影響があり、富栄養化の問題が生じている浅い湖沼 → 八郎湖
- ② 冬季の全循環不全やこれに起因する水質・生態系への影響が検討可能な深い成層化湖沼 → 琵琶湖
- ③ すでに冬季の全循環が停止しており、水質等への影響がデータとして把握できる湖沼 → 池田湖

表1 モデル湖沼の選定表

地域	No.	湖沼	気候変動影響						汽水湖 (海水の 影響を 含む)	(二次選定) モデル 湖沼
			過去水温上昇		結氷 短期化	アオコ・ 淡水赤 潮発生	循環 不全	融雪 出水		
			夏季	冬季						
北海道	1	屈斜路湖	○	—	○					
	2	阿寒湖		—	○					
	3	洞爺湖		—	○					
東北	4	小川原湖			○	○		○	○	
	5	十和田湖	○	—	○			○		
	6	田沢湖		—	○			○		
	7	八郎湖	○		○	○		○		○
関東	8	猪苗代湖		—	○			○		
	9	中禅寺湖		—	○					
	10	霞ヶ浦	○	○		○				
	11	手賀沼	○			○				
中部	12	印旛湖	○			○				
	13	野尻湖	○	○	○					
	14	諏訪湖			○	○				
	15	佐鳴湖				○			○	
	16	河口湖								
近畿	17	琵琶湖北湖	○	○		○	△	○		○
		琵琶湖南湖	○	○		○				
中国	18	中海		○		○			○	
	19	宍道湖		○		○			○	
	20	児島湖				○			○	
九州	21	池田湖	○	○		○	○			○

※過去水温上昇は、過去30年間で水温上昇の地点があった湖沼(「—」冬季結氷のため水温測定無し)

(2) 将来予測・影響評価の流れ

気候変動による将来の湖沼水質は、2100年頃の気象条件を用いて、各モデル湖沼で構築した水質予測モデルにより解析した。気候モデルから得られる将来気象条件(気温、降水量)を入力条件として、流域からの流出、

それを入力条件として湖内の水温及び水質解析を行った。その結果を用いて、水質・生態系の影響評価を行い、影響がある事象に対して適応策の検討を行った。

(3) 湖沼の水質・生態系の影響評価方法

湖沼の水質・生態系に対して、気候変動による影響である「水温の変化」、「融雪期の変化」及び「降雨の変化」に着目して、それに伴う主要な変化と水質・生態系への影響を評価するための項目を、文献調査、自治体へのヒアリング等を踏まえて、表2の通り整理した。

表2 気候変動による影響評価を行うための評価項目

気候変動影響要素	主要変化	水質・生態系への影響
水温変化	冬季全循環不全	①底層水の貧酸素化、底層利用種の酸欠 ②底泥からの窒素、リンの溶出
	水温上昇	③冷水性魚類等の生息適水温とのずれ
		④植物プランクトン量(chl. a)の変化
		⑤魚類の生息水深の変化
		⑥底泥からの窒素、リンの溶出
	藍藻類の変化・増加	⑦魚類生息影響
湖面結氷の短期化	⑧魚類、プランクトンへの影響	
融雪期の変化	融雪時期の変化による栄養塩供給時期の変化	⑨植物プランクトン量(chl. a)の変化
	河川流量変化による湖内流動・循環の変化	⑩春先の栄養塩供給量減少
降雨の変化	増水、渇水、ピーク流量の変化、流入栄養塩の変化	⑪湖底へ貫入する融雪水量の変化
		⑫浮遊物質量の増加、透明度の変化
		⑬植物プランクトン量(chl. a)の変化

(4) 湖沼水質予測モデルの構築と再現性の確認

モデル湖沼での将来の水質予測にあたっては、流域モデル、湖内モデルを連成した水質予測モデルを構築した。また、河川流量や水質、および湖沼の水温・水質の実測データを用いて再現性を確認した。

(5) 将来気象条件の設定

将来気象条件は気候モデルから得られる将来気象データを用いた。ここでは、なるべく高解像度(数 km)程度のメッシュサイズ(100~500m)で、かつ出水を表現するために毎時データを用いることが望ましいが、現状では、不確実性の評価のため複数の気候モデルで同じような高解像度の将来気象データを得ることは難しい。

今回の検討では「MRI-NHRCM20」RCP2.6、8.5を用いることとした。なお、各気候モデルによる影響予測の違いを評価するため、MIROC5 及び GFDL-3CM(RCP8.5)による検討も行っているが、本報告には含めていない。

3. 将来水質予測結果

(1) 将来の気象条件

1) 気温

3 湖沼とも現在と比べて年平均気温で RCP2.6 では 0.5°C 程度の上昇、RCP8.5 では 3~4°C 程度の上昇となった(図1)。

2) 降水量

3 湖沼とも年間降水量は多くなる傾向であった(図2)。八郎湖では増加量は小さいが、池田湖では増加が大き

く、夏での増加が大きい傾向であった。

(2) 将来の水質予測結果

1) 八郎湖

湖水温は、通年で上昇するが、夏期の上昇が大きく、現在に比べて RCP8.5 では 3.6°C の上昇であった(図3上)。また、夏期(7~8月)にクロロフィル a 濃度の最大値が増加する傾向が見られ、RCP8.5 では 10 ヶ年中 6 回、現在の(既往)最大値を超える年が生じた(図3下)。

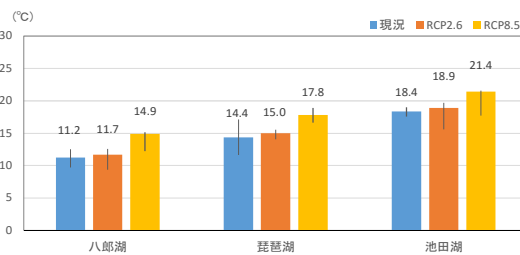


図1 NHRCM20 での将来気温

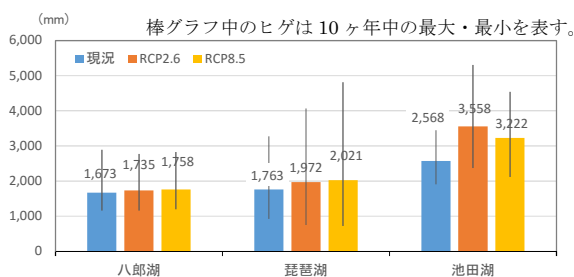


図2 NHRCM20 での将来の年間降水量

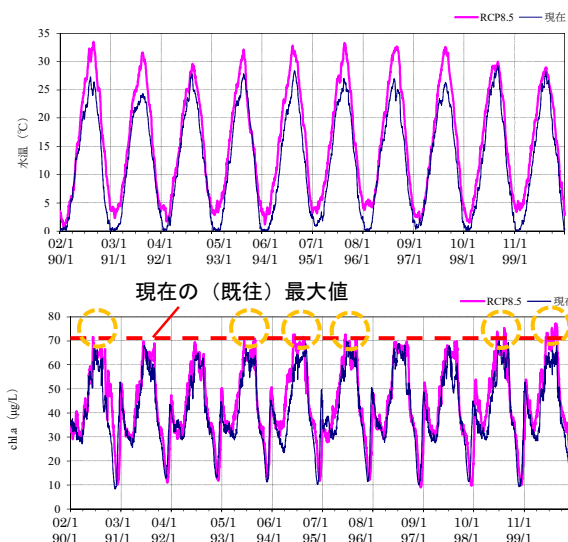


図3 水質予測結果(八郎湖 調整池湖心)

2) 琵琶湖

北湖の今津沖中央地点における、水温鉛直分布と底層溶存酸素量(底層 DO)の予測結果を併せて分析すると、底層 DO が回復していることから RCP2.6 では全循環不全は生じなかったが、RCP8.5 では 2093 年に全循環不全が生じると予測された(図4下)。

底層 DO の変化について、RCP2.6 では全循環不全となる年は生じず最小でも 2mg/L であった。また、RCP8.5

では全循環による底層 DO の回復が十分ではなかった 2093 年の夏にはゼロとなったが(図 5 下)、この状況は予測期間 10 年間で 1 度の発生であった。

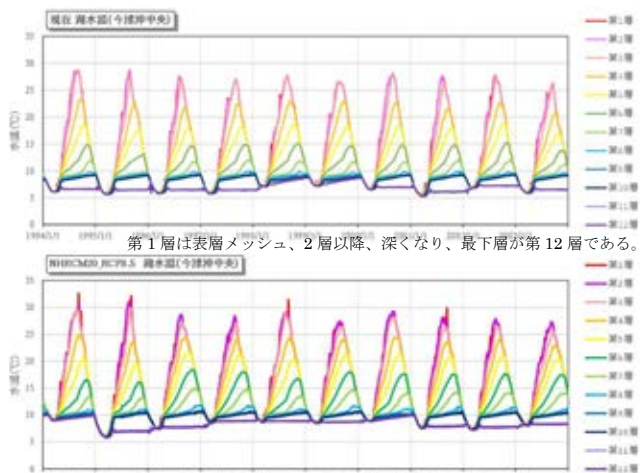


図 4 湖水温度鉛直分布の変化(琵琶湖 今津沖中央)

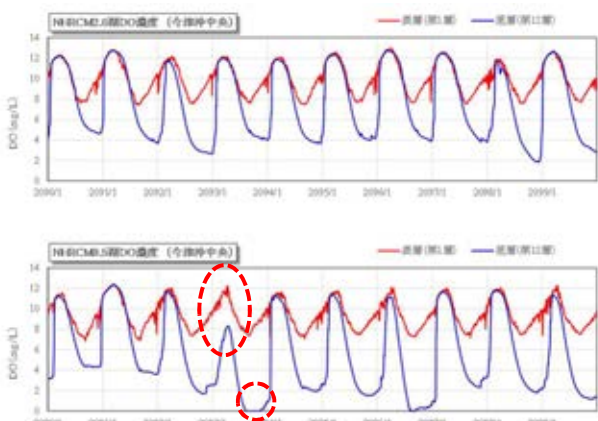


図 5 DO 鉛直分布の変化(琵琶湖 今津沖中央)

4. 気候変動による水質・生態系影響に関する考察

(1) 八郎湖における影響評価

植物プランクトンが存在すること自体は問題ではなく、異常増殖することがアオコ等の水質問題につながることから、クロロフィル a 濃度の最大値に着目した。予測結果(図 6)から、現在の(既往)最大値は $70 \mu\text{g/L}$ であり、将来これを上回る頻度は、RCP8.5 では 6 回生じ、最大濃度は $76 \mu\text{g/L}$ 、約 1.1 倍になると予測された。

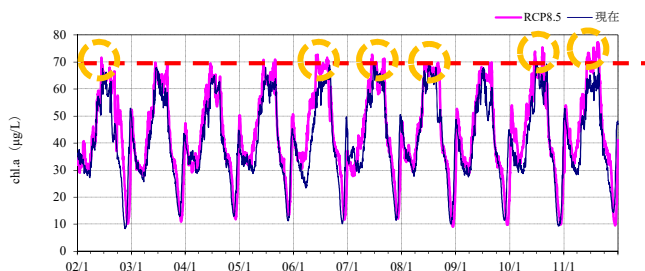


図 6 クロロフィル a 濃度の変化(八郎湖 調整池湖心)

(2) 琵琶湖における影響評価

底生魚であるイサザを対象に、底層 DO の予測結果を用いて生態系の影響評価を行った。北湖において、イ

サザの貧酸素耐性評価値(2.5mg/L :12h-LC5 と仮定)を下回る状態となる範囲の面積を整理した(図 7)。この結果、10 年間で現在の最大値を超える状況が RCP2.6 では 4 回、RCP8.5 では 8 回生じると予測された。

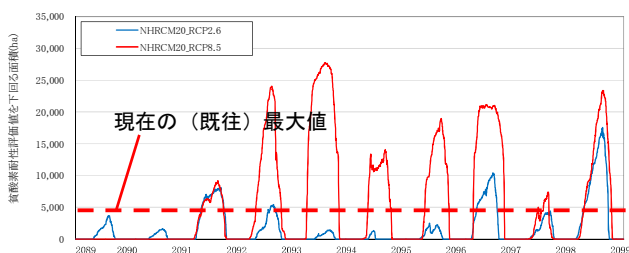


図 7 貧酸素耐性評価値を下回る面積(琵琶湖 北湖)

(3) 将来予測結果を踏まえた適応策の検討方法

まず、用いる気候モデルによって予測結果が異なることへの留意が必要である。例えば、琵琶湖では底層 DO への影響が大きい冬期の全循環不全について、気候モデルによって生じたり、生じなかったりという結果となるため、複数ケースでの検討、評価が必要と思われる。

また、発生頻度は低い底層 DO の枯渇等、顕著な影響が生じると予測された場合、既往の対策では非現実的な実施量になる。このような場合の適応策としては、影響の規模や継続時間等を考慮し、被害の最小化、代替等の視点も含めて検討する必要があると考えられる。

一方で、比較的発生頻度が高い水質変化に対しては、既往の対策による対応も可能と考えられる。例えば、毎年のような夏期の植物プランクトン量の増加への対応としては、汚濁負荷削減対策の上積み等が考えられる。

以上より、発生頻度と影響度合いに応じて対策の方向を見極めて適応策を検討する必要があると考える。

5. 結論

本報告での現時点での結論は次の通りである。

- 将来予測で用いる気候モデルについては、水質予測モデルの時間・空間解像度に応じて適切な時空間スケールのデータを用意する必要がある。
- 気候モデルによって湖沼の水質変化は様々であり、幅がある。複数の気候モデル、排出シナリオを設定し、変化の幅等を把握した上で影響評価を行い、各湖沼の特性に応じて適応策を検討する必要がある。
- 発生頻度の違いと影響度合いに応じて対策の方向を見極めて、適応策を検討する必要がある。

引用文献

- [1] IPCC : Climate Change 2014 : Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Conduction of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 2014.
- [2] 環境省 : 気候変動の影響への適応計画、平成 27 年 11 月

河口域における人為起源有機物ビスフェノール A の塩分濃度に伴う動態

山根 美幸¹, 中國 正寿¹, 瀬川 秀平¹, 長山 美紗紀¹, 山本 修一¹¹ 創価大学工学研究科, ² 創価大学理工学部

キーワード: 化学物質による汚染, BPA (bisphenol A), 河川水, 河口域, 塩析効果

抄録

河口の汽水域では溶存する人為起源有機物が塩析効果によって濃縮や沈殿が起こっていることが考えられるが、実際の現場での観察例はほとんど知られていない。本研究では、相模川の河口域においてビスフェノール A (BPA) の塩分濃度の増加に伴う動態把握を、溶存態有機物 (DOM)、懸濁態有機物 (POM) および堆積物試料を用いて試みた。DOM と POM 中の BPA 濃度の比は、塩分濃度 5–10 ‰にて、顕著に小さくなる傾向を示した。これは BPA が塩析効果により、DOM 画分から粒子の大きい POM 画分などに移行していることを示唆している。この塩分範囲 (5–10 ‰) を経験する河口域の場所は、最河口域のやや上流になる。そこにおける堆積物中 BPA 濃度は、その上流・下流行きの堆積物よりも顕著に高い値を示したことから、塩析効果によって、BPA の濃縮・蓄積が実際の現場環境でも引き起こしていることが明らかになった。

1. はじめに

これまでの河口域における堆積物中有機物の平面分布を調べたいくつかの研究結果では、汽水域 (感潮域) において、上流域から輸送される有機物濃度が高くなる傾向を示していた^[1, 2]。この現象の要因の一つとして、河川水と海水が混合することによって起こる塩析効果によって説明されてきた。塩析効果とは、河川水と海水が混合することで、河川水中の有機物の溶解度が低くなることで析出する現象である。実際に、この効果は、特定の有機物をつかった室内実験によっても確認されており、それは現場環境でも十分に起こりえることが指摘されている^[3, 4]。しかしながら、現場の汽水域などで塩析効果と特定の化合物濃度との関係を観察した例はほとんど無い。

河川水中の人為起源の有機物は、人間活動の活発化に伴い、年々増加する傾向にあり、これらの自然環境に与える影響は無視できない^[5]。これら人為起源有機物は、溶解度が比較的低い疎水的な特徴を持つ化合物が多いため、河川水中では単体で存在しているのではなく、溶存態有機物 (DOM) や懸濁態有機物 (POM) といった浮遊粒子に吸着していると考えられている^[6]。これら有機物に塩析効果が働くとすると、DOM から POM へ、また POM から沈降物 (もしくは堆積物) へと、さらに粒子の大きい画分に移行すると考えられる。したがって、汽水域における河川水中の人為起源有機物に対する塩析効果は、上流から運ばれてきたこれらの有機物を優先的に堆積物に蓄積させる“濃縮効果”のように働き、底生

物などに対する影響が懸念される。

以上のことから本研究では、人為起源有機物であるビスフェノール A (BPA) を対象として、河口の汽水域において塩濃度の変化に伴う人為起源有機物の動態を明らかにすることを目的とした。具体的には、河口の汽水域で塩濃度が大きく変化する時間帯で水試料の採取を行い、塩濃度の変化と DOM 中や POM 中の BPA 濃度の変動を追跡・解析した。

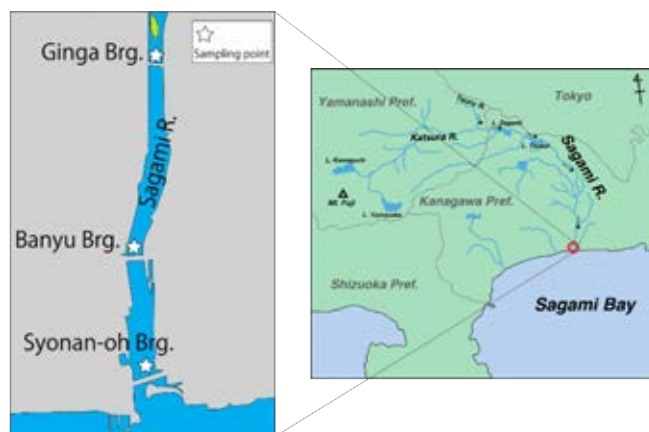


Fig. 1 試料採取地点

2. 方法

水試料の採取地点は、相模川汽水域の馬入橋と湘南大橋の 2 地点を選定した (Fig. 1)。水試料の採取は塩濃度の変化が大きいと予想される大潮の日 (2016 年 6 月 4 日)、小潮の日 (同年 10 月 23 日)、中潮の日 (同年 11 月 23 日) を選定し、満潮時前後 2 時間、1 時間おきに 2 地

点で同時刻に採水(計 5 回ずつ)をし、塩濃度、水温、pH を測定した。堆積物試料は、2017 年 12 月 2 日に、銀河橋、馬入橋および湘南大橋にて、エクマンバージ採泥器を用いて採取した (Fig. 1)。

水試料の処理は、0.7 μm のガラスファイバーフィルター (GF/F) で濾過し、フィルター上に残ったものを懸濁態有機物 (POM) として回収した。次にろ液に塩酸を加え pH 2 に調整後、DAX-8 樹脂カラムに圧力ポンプを用いて試料水を通し、有機物を吸着させた。吸着させた有機物は 100 mL のメタノールで溶離し、エバポレーターで濃縮したものを溶存態有機物 (DOM) 試料とした。堆積物試料は、採取後、凍結乾燥させ、すりつぶし、粉末試料とした。有機化合物の分析は Online TMAH-GC-MS 法を用いて、人為起源有機物の分析・解析を行った。

3. 結果および考察

3.1. 河川水 DOM および POM 中の BPA 濃度

Fig. 2 に相模川汽水域中の DOM および POM 中の BPA 濃度と塩濃度の関係を示す。BPA は工業用可塑剤として広く利用されており、内分泌かく乱化学物質と考えられている有機化合物である^[7]。河川水中の DOM と POM 中の BPA 濃度は、画分で大きく異なり、POM 中よりも DOM 中の BPA は、平均値で 8 倍ほど高い値を示した。したがって、BPA は、基本的に、河川水の DOM 画分に多く存在しているといえる。他の研究においても、フェノール類は DOM 画分に比較的に見られることが知られており、このような傾向は、BPA の化学的特性によるものと思われる。それぞれの画分における BPA 濃度は、塩濃度が高くなるにつれて、DOM 中 BPA 濃度が低くなる傾向がみられ、POM 中 BPA 濃度は高くなる傾向が見られる。これは、DOM 中から、POM や堆積物へ、BPA の画分の移行が起きている可能性がある。さらに興味深いことに、DOM 中の BPA は、20 % を超える高い塩分濃度では、ほとんど検出されなかった。

3.2. 塩分濃度と BPA 濃度の関係

塩濃度と BPA 濃度の動態を見るために、DOM 中 BPA 濃度と POM 中 BPA 濃度の比 ($\text{BPA}_{\text{DOM}}/\text{BPA}_{\text{POM}}$ 比) と塩濃度の関係を Fig 3 に示した。この比は、DOM から POM への移行が大きい時、その値が小さくなると解釈される。 $\text{BPA}_{\text{DOM}}/\text{BPA}_{\text{POM}}$ 比は塩濃度が 5-10 % あたりで顕著に高い値を示し、これ以上の塩濃度では、小さい値を示した。このことは、BPA が塩濃度 5-10 % あたりで DOM から POM に移行し始め、それ以上の塩濃度では、

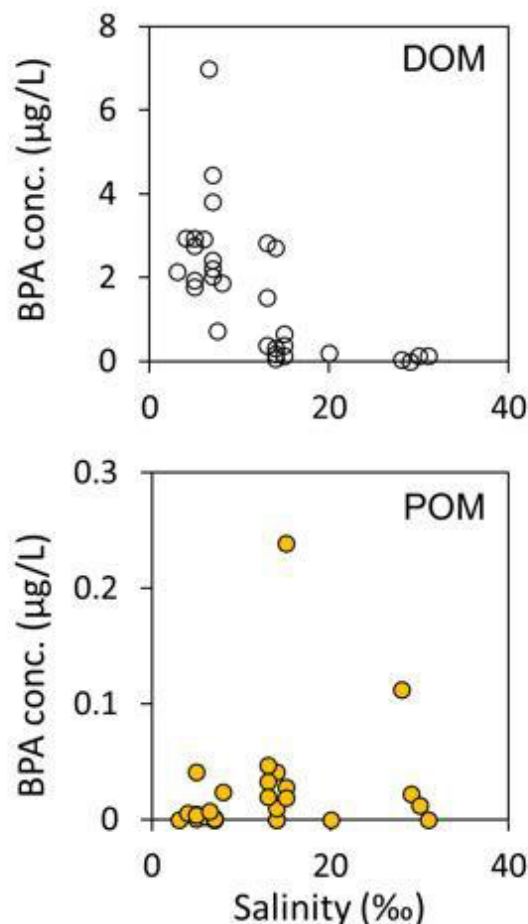


Fig. 2 相模川汽水域における DOM および POM 中のビスフェノール A (BPA) 濃度と塩濃度。

塩析効果により BPA が DOM から POM へ移行したことを示唆している。この結果は、塩が添加されることで BPA の溶解度が急激に低下する室内実験の結果^[4]からも支持される。したがって、現場の低塩濃度環境下で塩析効果は、有機物の動態に顕著な影響を与えると考えられる。一方で、> 10% の POM 中の BPA 濃度を見ると、高い濃度を示してはならず、これは、高塩分 (> 10 %) 環境下では塩析効果によって、速やかに DOM から POM に、そして堆積物に移行したためであると考えられる。

3.3. 汽水域の堆積物中 BPA 濃度の分布

水中での動態結果から、DOM 画分の BPA は、塩析効果によって、POM のみならず堆積物への移行が生じていることが考えられた。これは、塩析効果によって選択的に堆積物中に BPA が蓄積され、濃縮効果のような働きをしている可能性が高い。Fig. 4 に、相模川河口の異なった地点 (銀河橋、馬入橋および湘南大橋) における堆積物試料中 BPA の濃度を示す。

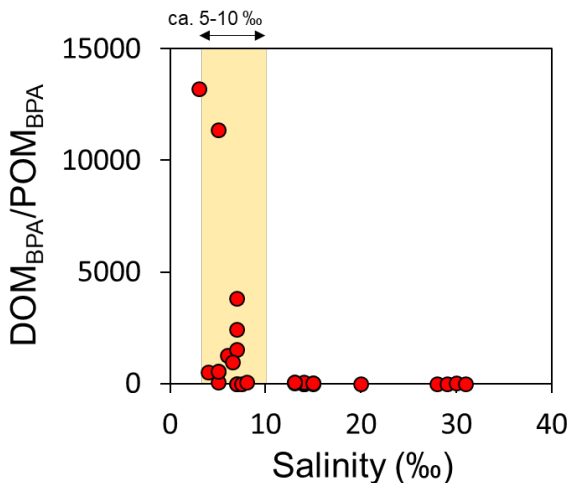


Fig. 3 河川水中の DOM 中 BPA 濃度に対する POM 中 BPA 濃度比(BPA_{DOM}/BPA_{POM} 比)と塩分濃度.

銀河橋における塩分濃度は低く、0-2 ‰ (Ave. 1‰, n=2) 程度をとる。馬入橋では、平均 8.63 ‰ (n=15) をとり、潮の満ち引きに伴い 4-15 ‰のレンジで変化した。湘南大橋では、最も海に近いいため、塩分濃度は、4-31 ‰と最も高い範囲で変動した (Ave. 15.9 ‰)。

堆積物中の BPA 濃度は、馬入橋で最も高い値を示した。Fig. 3 に示した結果から塩濃度 5-10 ‰で DOM から POM への BPA の移行が見られた。この塩分濃度を潮の満ち引きで経験するのは、馬入橋付近であり、この結果は、人為起源有機物は、塩析効果によって、選択的に沈降し、堆積物中に濃縮・蓄積されることを示している。

塩濃度が常時高い場所である湘南大橋付近よりも上流の堆積物中(馬入橋)で BPA 濃度は高い値を示したことは、10 ‰程度の塩分濃度で BPA が沈殿・堆積してしまい、さらに高塩分の場合ではすでに沈殿・堆積した後であると考えられる。

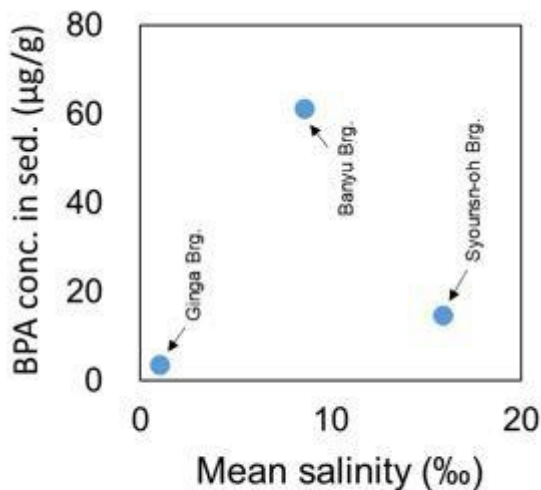


Fig. 4 相模川の各地点における堆積物中の BPA 濃度。地点は Fig. 1 を参照。

4. 結論

DOM 中 BPA 濃度と POM 中 BPA 濃度比は塩濃度が 5-10 ‰へ増加するにつれて上昇し、10-30 ‰に増加するにつれて比の値は減少する傾向を示した。このことは、DOC と POC が共に塩濃度が 5-10 ‰あたりで塩析効果の影響を受けることを示唆した。以上のことから、現場河川水中においても塩濃度の変化に伴って人為起源有機物 (BPA) の濃度動態は変化することが明らかとなった。

堆積物においては、相模川汽水域にある 3 つの橋 (銀河橋、馬入橋、湘南大橋)において、塩濃度の分布と堆積物中の有機化合物の濃度分布を比較した。結果、つねに塩濃度が高い地点よりも 5-10 ‰を経験する採泥地点において BPA は堆積しやすい傾向が示された。これは、水中の塩析効果が生じている塩分濃度範囲と一致しており、BPA は塩析効果によって、堆積物中に濃縮・蓄積していることが本研究によって示された。

引用文献

[1] 高田 秀重: 陸域から沿岸海域への物質フラックス, 沿岸海洋研究 Vol. 34, pp. 111-117, 1997.
 [2] 石渡 良志: 東京湾における有機物質の堆積, 月刊海洋 Vol. 23, pp. 217-224, 1991.
 [3] J. Bišćan and u. Dragčević: Electrokinetics of model mineral suspension, Marine Chemistry, Vol. 43, pp. 127-135, 1993.
 [4] A. Turner and M.C. Rawling: The influence of salting out on the sorption of neutral organic compounds in estuaries, Water Research, Vol. 35, pp. 4379-4389, 2001.
 [5] E.A. Canuel and A.K. Hardison: Sources, ages, and alteration of organic matter in estuaries, Annual review of marine science, Vol. 8, pp. 409-434, 2016.
 [6] 高田 秀重: 河口・沿岸域における微量有機化合物の動態, 海の研究 Vol. 2, No.5, pp. 369-381, 1993.
 [7] Borriukwisitsak et al., (2012) Int. J. Environ. Sci. Dev., Vol.3, No.5, 460-464.

水月湖の淡水湖から汽水湖への歴史的な変化:

ステロール指標からみた貧酸素環境

中国 正寿¹, 北野 純一¹, 上村 仁², 山本 修一¹¹創価大学, ²神奈川県衛生研究所

キーワード: 水月湖, 汽水湖, 貧酸素, 有機地球化学, 指標

抄録

水月湖は、洪水などを防ぐための江戸時代に始まる治水工事に伴い半永続的な貧酸素水塊が形成された湖である。ステロールは、還元的環境下でバクテリアの作用によってスタノールへと変化する。したがって、スタノールに対するステロールの比(スタノール/ステロール比)は、貧酸素環境下で高くなる。本研究では、水月湖堆積物に記録されたスタノール/ステロール比を用いて、過去のから現在にかけての水月湖における貧酸素水塊が形成史復元を試みた。堆積物中のスタノール/ステロール比および緑色硫黄細菌に由来するファルネソールは、治水工事を境に、還元的環境の始まりを、確かに記録していた。一方で、それらの指標は、再表層で最も高い値を示し、最も近代に行われた治水工事(1935年)以降に形成されたことを示した。これらの結果は、人為的な活動が、湖沼の環境を大きく変える要因として働くことを明確に示している。

1. はじめに

人間活動の湖沼環境に与える影響は、富栄養化や汚染物質の流入、生物圏の規模の縮小など、多岐にわたる。このような人為的な湖沼環境の変化は、近年的な事例のみならず、人間活動の始まった時代からすでに存在していた。その一例として、福井県の水月湖は、17世紀は江戸時代を境として、当時行われた治水工事に伴い湖の環境が大きく変化した場所としてよく知られている。

水月湖は、若狭湾近くに位置する湖で、現代では、久々子湖および日向湖を介して、海水が流入してくる汽水湖である (Fig. 1)。この汽水環境は、水月湖に貧酸素水塊を形成し、上層が酸化的で、下層部がほぼ無酸素状態の半永続的な 2 層構造を作り上げている。さらに、貧酸素水塊には、緑色硫黄細菌などの光合成細菌が生息している^[1]。

このような貧酸素水塊が形成される以前の水月湖は、淡水環境であった。1664年(江戸時代)に、頻繁に起こる洪水対策として、湾に水を逃がすために久々子湖と水月湖の間に水道(浦見水道)が開通した。これにより、若狭湾から海水が水月湖に流れこみ、塩分躍層が形成され、淡水から汽水環境となった。その後、1800年には、日向湖と水月湖の間に、嵯峨トンネルが建設(1835年に再建設)され、1935年の両水路の拡大工事が行われている。しかしながら、貧酸素水塊の形成史は、1920年代からのモニタリング^[2]を除いて、よくわかっていない。

ステロールは、真核生物のもつ特徴的な脂質成分で、湖沼や海洋の堆積物中に広く検出されている。さらに、ステロール類は、貧酸素環境下で、バクテリアの作用により、5位のところの二重結合が還元され、スタノールへと変化する (Fig. 2)。したがって、スタノールに対するステロールの比(スタノール/ステロール比)は、貧酸素環境下で高くなる。さらに、堆積物中のスタノール/ステロール比は、昔の貧酸素環境および酸化環境の復元に利用可能であることが、先行研究によって示されている^[3]。これは、水月湖の貧酸素水塊の形成史の復元にも応用できると期待される。

そこで、本研究では、水月湖の底泥を柱状(コア状)

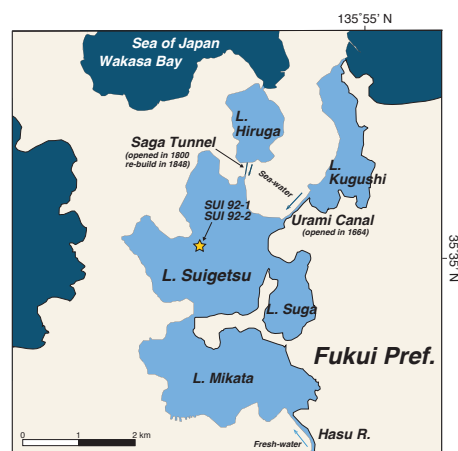


Fig. 1 福井県の水月湖^[4]。若狭湾から海水が、水月湖へ、久々子湖から浦見水道を通して、嵯峨トンネルから日向湖を通して流入してくる。淡水の主な流入源は、三方湖を通して水月湖に流れ込む、はず川である。

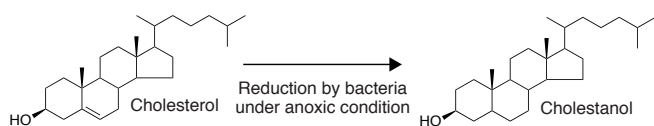


Fig. 2 貧酸素水環境下で生じるバクテリアによるステロールからスタノールへの還元反応。

に掘削し、堆積物中のスタノール/ステロール比から、過去の水月湖における貧酸素水塊形成の変遷史を追うことを目的とする。

2. 方法

水月湖の湖心(水深 34m)から 2 つのコア試料(SUI92-1 と SUI92-2)を 1992 年に採取した。コアの長さは、SUI92-1 が 80cm で、SUI92-2 が 85cm である。両コア試料は、表層から 50cm までを毎 2cm ごとに、50cm 以降を毎 5cm ごとにカットした。分けられた試料は、凍結乾燥し、粉末状にした。

堆積物試料中の有機物分析は、TMAH GC-MS 法を用いた。約 25mg の堆積物試料をアンプル管にとり、水酸化テトラメチルアンモニウム(TMAH)試薬とインターナルスタンダードとして nanodecanoic-d₃₇ acid を入れ、真空下で栓をし、オーブンで 300°C 30 分加熱した。加熱後、速やかに室温にまで冷却し、生成物は、酢酸エチルを用いて抽出、バイアルに回収した。回収された試料は、溶媒を乾燥後、再び 50μl の酢酸エチルに溶解し、GC-MS にて分析を行った。TMAH 法によって得られるステロール類のスペクトルパターンは、先行研究^[5]を参考にされたい。

3. 結果

水月湖堆積物中からは、24-nordehydrocholesterol (24-norcholesta-5,22E-dien-3β-ol)、22-dehydrocholesterol (cholesta-5,22E-dien-3β-ol)、brassicasterol (24-methylcholesta-5,22E-dien-3β-ol) とそれらスタノールが検出された。これらスタノール類は、40cm より浅い所から検出され始め、それ以深ではほとんど検出されなかった。スタノールが貧酸素環境下におけるバクテリアの還元によって生成されることから、40cm あたりより水月湖の還元環境が始まったことを示している。さらに、これらのステロール類より求められたスタノール/ステロール比は、いずれも類似した傾向を示し、40cm 以深では、"0"に近い値を、最表層では、最も高い値を示した(Fig. 3)。特に、最表層で最も高い値を示したことは、近代になって貧酸素水塊が広がったことを示唆している。

ステロール類とスタノール類のみならず、堆積物からはファルネソール (3,7,11-trimethyl-2,6,10-dodecatrien-1-ol) も検出された。ファルネソールは、貧酸素水塊に

生息する緑色硫黄細菌に由来するバイオマーカーである^[6]。ファルネソールは、40cm を境に、表層から 40cm では検出され、ファルネソールもステロール組成の結果同様、40cm から還元環境の開始を示唆した(Fig. 3)。さらに、ファルネソールは、18cm より浅い深度で、高い濃度傾向をとり、表層 5cm で最も高濃度を示した。最表層で高くなる傾向は、スタノール/ステロール比の傾向と類似していた。加えて、このファルネソールの傾向は、他のコアより得られたファルネソールの深度分布^[7]とも一致していた。

4. 考察

スタノール/ステロール比およびファルネソールの両指標は、いずれも、40cm を境に、還元的な環境の開始を示した(Fig. 3)。したがって、深度 40cm は、水月湖と久々子湖を繋ぐ浦見水道が開通した時期にあたりと考えられる。実際に、他の水月湖堆積物中の珪藻種の遷移を見た先行研究^[8]では、約 40cm を境として、それより深いところでは、淡水種の珪藻主が優先したのに対して、それより浅い堆積物からは海水種の珪藻主が優先して検出されたことを示しており、約 40cm が 1664 年の治水工事の時期に当たるとしている。これらのことから、本研究では、この 40cm を基に、表層から 40cm にかけての大きく堆積速度が変わらなかったとか仮定し、年代を求めたこととした。

40cm が治水工事にともなう汽水環境および貧酸素水塊の形成の始まりであると考えられた一方で、いずれの指標も、1848 年の嵯峨トンネルの再建設までは、小さな値を示していた(Fig. 3)。さらに、これら指標が高くなるのは、いずれも 1935 年の浦見水道と嵯峨トンネルの両水路の拡大工事にあたる深度で、この工事が、近代のような水月湖の半永続的な貧酸素水塊の形成を最も進めたと考えられる。実際に、1926 年から 1967 年まで行われていた水月湖での貧酸素水塊のモニタリング結果では、1935 年の両水道の工事に伴い、貧酸素環境の水深が 2 倍になったとの報告をしている^[2]。これは、本研究および先行研究で見られた堆積物試料中の酸化-還元記録の指標から鑑みるに、少なくとも、今回分析された堆積物深度にあたる年代では、最も大きな還元環境の形成要因であったことが伺える。

総じて、人間活動に伴う湖沼への影響は、湖沼の環境を大きく変える要因として働き、それは、近代的な大きな人間活動でなくとも、環境変化を与えるには十分であることを水月湖の堆積物記録から見る事ができた。一方で、近代的なスケールの大きな人間活動(この場合は、

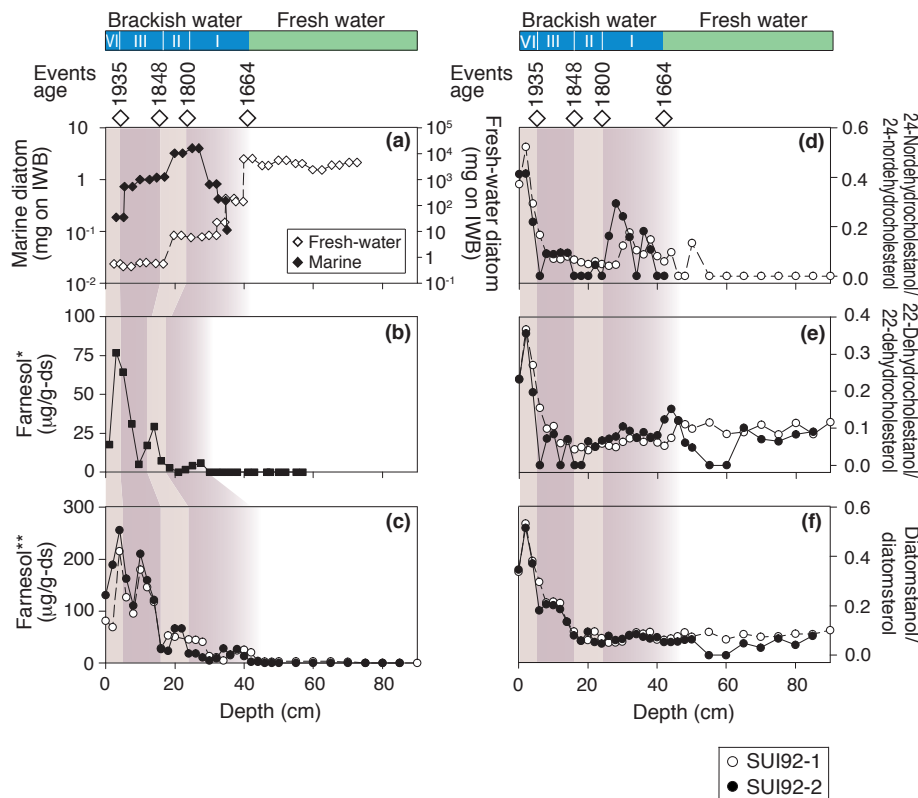


Fig. 3. 水月湖堆積物中に記録された珪藻種の遷移、ファルネソール濃度、スタノール/ステロールの深度分布。(a) 海洋に生息する珪藻種(*Coscinodiscus lacustris* [◇])および淡水種(*Stephanodiscus carconensis* [◆])の数 (mg on a weight basis after ignition [mg on IWB]) (増澤と北野, 1982^[8]); (b) ファルネソール濃度 (µg/g-ds; 上村ら (1992)^[7]); (c) ファルネソール濃度 (µg/g-ds; 本研究); (d) 24-nordehydrocholestanol/24-nordehydrocholesterol 比; (e) 22-dehydrocholestanol/22-dehydrocholesterol 比; (f) brassicastanol/brassicasterol 比. SUI92-1 と SUI92-2 は、それぞれ○と●で示されている。*Uemura et al. (1992). ** 本研究。

治水工事)は、湖沼環境をこれまでに経験し得なかった規模で、変化させることがあることあるという可能性を考える必要があると言える。

引用文献

- [1] Y. Mori, T. Kataoka, T. Okamura and R. Kondo: Dominance of green sulfur bacteria in the chemocline of the meromictic Lake Suigetsu, Japan, as revealed by dissimilatory sulfite reductase gene analysis, *Archives of Microbiology*, Vol. 195, pp. 303-312, 2013.
- [2] M. Matsuyama: Changes in the limnological features of a meromictic Lake Suigetsu during the years, 1926–1967, *Journal of Oceanography*, Vol. 29, pp. 131-139, 1973.
- [3] M. Nakakuni, C. Dairiki, G. Kaur and S. Yamamoto: Stanol to sterol ratios in late Quaternary sediments from southern California: An indicator for continuous variability of the oxygen minimum zone, *Organic Geochemistry*, Vol. 111, pp. 126-135, 2017.
- [4] M. Nakakuni, J. Kitano, H. Uemura and S. Yamamoto: 2018. Modern sediment records of stanol to sterol ratios in Lake Suigetsu, Japan: An indicator of variable lacustrine redox conditions. *Organic Geochemistry* 119, 59-71.
- [5] 山本 修一, 大木 千恵子, 島田 学, 中國 正寿, 海洋堆積物中ステロールの GC/MS 分析: メチルエーテル誘導体化, *Researches in Organic Geochemistry* Vol. 31, pp. 69-86, 2015.
- [6] M.B. Caple, H. Chow and C.E. Strouse: Photosynthetic pigments of green sulfur bacteria. The esterifying alcohols of bacteriochlorophylls c from *Chlorobium limicola*, *Journal of Biological Chemistry*, Vol. 253, pp. 6730-6737, 1978.
- [7] 上村 仁, 清水 賢一, 石渡 良志: 水月湖柱状堆積物中の脂質成分, *Researches in Organic Geochemistry* Vol. 8, pp. 79-81, 1992.
- [8] 増澤 敏, 北野 康: 歴史的な部分循環湖水月湖の堆積物中の硫酸塩還元と硫黄の固定, *日本海洋学会誌*, Vol. 38, pp. 21-27, 1982.

釧路湿原自然再生事業における土砂流入対策のモニタリング調査

山本 太郎¹, 石田 憲生², 小澤 徹³, 稲垣 乃吾³

¹一般財団法人北海道河川財団, ²株式会社ドーコン, ³国土交通省北海道開発局釧路開発建設部

キーワード: 自然再生, 湿原, 細粒土砂, 旧川復元

抄録

釧路湿原は一級河川釧路川の下流域に広がる国内最大の湿原であり, 高度成長期に農地拡大や宅地開発などにより湿原が減少したことから自然再生事業で湿原の保全・再生が進められている. この一環で久著呂川では土砂調整地の整備, 釧路川茅沼地区では旧川復元が実施され, 湿原流入部で洪水を氾濫させ土砂を湿原の辺縁部に堆積させることにより湿原中心部への土砂流入を抑制させる取り組みが始まっている. それぞれの実施箇所での土砂の堆積効果についてモニタリング調査が実施されており, 河道の流量と浮遊砂量, 河道周辺での堆積土砂量を観測し, 久著呂川土砂調整地では洪水時の土砂量の約 10%が調整地内に堆積する結果が得られた. また釧路川茅沼地区では洪水流量の約 50%, 浮遊砂量の概ね 70-90%が旧川復元区間で氾濫している結果が得られた.

1. はじめに

釧路湿原では自然再生事業により湿原の保全・再生が進められている. 釧路湿原は一級河川釧路川の下流域に広がる面積 248.9km² の国内最大の湿原であり, 1960 年代の高度経済成長期に農地拡大や宅地開発などにより湿原が減少した. また釧路湿原に流入する河川では, 特に湿原流入部で農地排水の促進や洪水被害の軽減などのため河道の直線化が進められ, 農地の広がりや森林伐採などによる土砂流出の増加と河道の直線化による掃流力の増加が相まって湿原への流入土砂量が増加し, これにより湿原中心部でヨシやスゲなどの草本からハンノキ林への植生の変化が進んだ. このような背景から釧路湿原ではラムサール条約登録, 国立公園指定, 自然再生推進法制定などの流れを経て, 2003 年に釧路湿原自然再生協議会が設立され, 地域の取り組みとして自然再生が進められることとなった^[1]. 自然再生事業のうち釧路川と釧路川支川久著呂川の湿原流入部で, 洪水を氾濫しやすくさせる等, 洪水時の土砂を湿原辺縁部で堆積させることで, 湿原中心部に流入する細粒土砂を減らし, ハンノキ林の広がりを抑え湿原植生を回復に向かわせる取り組みが行われている. 久著呂地区では土砂調整地の整備が進められ^[2], 釧路川茅沼地区では直線化された河道を蛇行した旧川に復元する事業が進められた^[3]. ここではこれらの事業のモニタリング調査結果を整理することで, 各事業による土砂の流入抑制効果について現時点の結果を示す.



図 1 釧路湿原自然再生実施箇所位置図

2. 久著呂地区土砂調整地での土砂流入対策

釧路湿原への流入河川のひとつである釧路川支川久著呂川では, 当河川の下流域にあたる湿原流入部で土砂調整地の整備を進めている. これは河道から氾濫した洪水を土砂調整地内で滞留させ流水中の土砂を沈降・堆積させることにより, 湿原中心部への土砂流入量を軽



図2 久著呂地区湿原流入部土砂調整地(2016.8 出水時の状況, 2016.8.24 撮影)

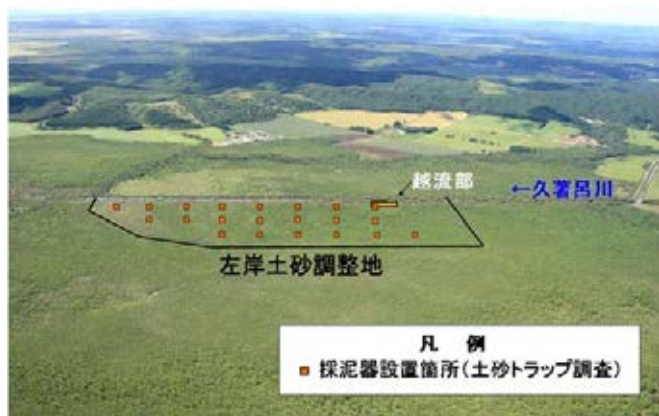


図3 久著呂地区土砂調整地(上:左岸土砂調整地での堆積土砂調査位置, 左下:人工ケルミ, 右下:堆積土砂調査のための採泥器 0.22m×0.22m)

減させるものである。2016年8月の北海道豪雨時では左岸調整地は長期間冠水状態となった(図2)。土砂調整地は河道の左右岸に整備する計画で、土砂調整地の外周は木杭と木板を用いた囲い(通称「人工ケルミ」:図3)を設置している。2012年に左岸調整地が完成し、現在は右岸土砂調整地の整備を進めるとともに、完成した左岸土砂調整地での土砂堆積効果をモニタリング調査しているところである。モニタリング調査は、河道での浮遊砂量調査及び土砂調整地内に採泥器を複数設置し(図3)土砂の堆積厚から土砂調整地内の堆積土砂量を推定する方法としている。

左岸調整地完成後の2013年から2017年までのモニ

表1 久著呂地区土砂調整地土砂観測結果

観測年	期間	河道流下土砂量 m ³	左岸土砂調整地堆積土砂量 m ³	河道流下土砂量軽減割合
2013	7/22-10/10	1,900	240	0.13
2014	8/9-9/2	1,600	120	0.08
2016	8/3-11/18	26,000	2,400	0.09
2017	9/17-10/18	750	5	0.01

2015は欠測

タリング調査結果について、河道流下土砂量、左岸土砂調整地堆積土砂量とこれらによる河道流下土砂量の軽減割合を表1に示す。河道流下土砂量は土砂調整地上流側で流量観測と濁度自動計測及び採水による浮遊砂量観測をもとに算出し、堆積土砂量は採泥器での堆積厚と各採泥器の区分面積との積として算出している。河道流下土砂量軽減割合を見れば、河道流下土砂量のうち10%程度が左岸土砂調整地に堆積していることになり、これが土砂調整地による湿原中心部への土砂流入量の軽減割合となる。ただし、土砂調整地の整備による土砂流入量の軽減効果は、モニタリング期間以外の軽減効果量も考慮した場合との比較となるため数値計算により検証することとしており、現在検証計算を進めているところである。また2017年は河道流下土砂量軽減割合が1%と著しく低いが、この年の洪水が小規模であり河道水位があまり上昇しなかったために、河道から氾濫する水の量が少なかったためと考えられる。

3. 茅沼地区旧川復元での土砂流入対策

茅沼地区は釧路川の河口から約30km地点で、過去に河道が直線化された際に残されていた旧川に河道を切り替える旧川復元事業を実施した場所である。茅沼地区も久著呂地区と同様に釧路湿原の辺縁部であり、旧川接続点で流下能力を下げることで洪水がこの区間で氾濫しやすくなり、洪水とともに流水中の浮遊砂を氾濫・堆積させることで湿原中心部に流入する土砂を軽減させるものである。なお、旧川復元では土砂流入量の軽減のほか、魚類の生息環境の改善、河道周辺の地下水位の上昇による湿原植生の回復、河川景観の回復の効果を事業の目標にしている。

2016年8月出水時、茅沼地区でも大規模な氾濫が生じた(図4)。この洪水を含め2010年2月の旧川への通水後、2011年から事業実施後のモニタリング調査を行っており、図5に示す五十石地点と茅沼地点で観測している河道の流量と浮遊砂量の差から、旧川復元区間での流量と浮遊砂量の軽減量がわかる。

2011年から2017年の洪水時の流量・浮遊砂量の観測結果と低減割合を表2に示す。概ね流量の50%、浮



図4 茅沼地区旧川復元実施箇所(2016.8 出水時の状況, 2016.8.24 撮影)



図5 茅沼地区流量・浮遊砂量観測地点位置図

遊砂量の 70-90%が旧川復元区間で氾濫していることがわかる。ただし、一旦氾濫した水が茅沼地点より下流側で河道に戻ることがあり、氾濫した浮遊砂の全てがこの区間で堆積するとは限らないが、氾濫する水のごく一部とみなしてここでは考慮していない。2016 年 8 月出水時の流量を図 6、流量 Q と浮遊砂量 Q_s の関係を図 7 に示す。旧川復元区間の上流側でピーク流量約 $500\text{m}^3/\text{s}$ が旧川復元区間では約 $100\text{m}^3/\text{s}$ 程度に軽減している。Q- Q_s の関係から旧川復元区間で洪水時の浮遊砂濃度が高まっていることがわかる。河道を流下する洪水のうち比較的濃度の薄い水面に近い部分が氾濫し、浮遊砂濃度が高い河床面に近い水が下流に流下するためと推察されるが、流量が大幅に減少するために流下する浮遊砂量は減少する。

4. 結論

鉦路湿原自然再生事業で久著呂地区及び茅沼地区で進められている湿原中心部への土砂流入対策について、モニタリング調査結果から現状での効果を整理した。湿原辺縁部で洪水を氾濫させることにより湿原中心部への土砂の流入量を軽減させていることが確認された。長期的にはこれらの効果により鉦路湿原の中心部で植生がハンノキからヨシ・スゲに回復する変化が現れることが目標であり、引き続きモニタリング調査で追跡していく必要がある。

表2 茅沼地区旧川復元箇所での流量・浮遊砂量の軽減割合

■流量					
洪水	五十石 $\Sigma Q (\text{m}^3)$ A	茅沼 $\Sigma Q (\text{m}^3)$ B	流量低減量 $\Sigma Q (\text{m}^3)$ A-B	流量 軽減割合 (A-B) / A	
2011 9月22日出水 (96時間)	21,775,331	11,664,555	10,110,775	0.46	
2012 10月1日出水 (72時間)	16,956,066	9,558,856	7,397,209	0.44	
2014 8月11日出水 (66時間)	38,655,886	19,569,069	19,086,817	0.49	
2015 8月10日出水 (51時間)	23,625,934	17,893,593	5,732,342	0.24	
2016 8月出水 (768時間)	500,392,468	250,567,665	249,824,803	0.50	
2013は欠測					
■土砂					
洪水	五十石 $\Sigma Q_s (\text{m}^3)$ A	茅沼 $\Sigma Q_s (\text{m}^3)$ B	浮遊砂低減量 $\Sigma Q_s (\text{m}^3)$ A-B	浮遊砂 軽減割合 (A-B) / A	
2011 9月22日出水 (96時間)	1,624	241	1,383	0.85	
2012 10月1日出水 (72時間)	840	47	793	0.94	
2014 8月11日出水 (66時間)	9,449	2,118	7,331	0.78	
2015 8月10日出水 (51時間)	4,665	2,664	2,002	0.43	
2016 8月出水 (768時間)	198,929	52,026	146,904	0.74	
2013は欠測					

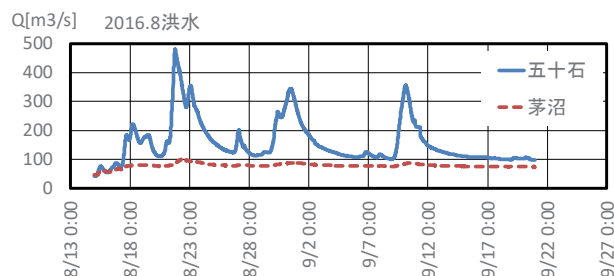


図6 流量観測結果(2016.8 洪水)

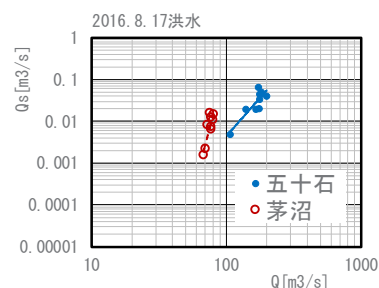


図7 流量 Q-浮遊砂量 Q_s (2016.8 洪水)

参考文献

- [1] 鉦路湿原自然再生協議会：鉦路湿原自然再生全体構想, 2003.
- [2] 国土交通省北海道開発局鉦路開発建設部他：鉦路湿原自然再生事業 土砂流入対策実施計画〔久著呂川〕, 2006.
- [3] 国土交通省北海道開発局鉦路開発建設部：鉦路湿原自然再生事業 茅沼地区旧川復元実施計画, 2006.

地下水汚染実態把握調査結果及び地下水汚染の未然防止の対策について

久喜 真吾¹, 中堀 靖範¹

¹環境省水・大気環境局土壌環境課地下水・地盤環境室

キーワード: 水質汚濁、モニタリング体制

抄録

環境省では、毎年度、地方自治体の協力を得て、全国の地下水汚染事例に関する調査を実施している。平成 28 年度の調査結果によると、全国の自治体で把握されている地下水汚染事例のうち、VOC 事例、重金属事例、複合汚染事例については、工場・事業場起源や自然的要因と推測される汚染が多い。工場・事業場からの地下水汚染の未然防止を図るため、平成 23 年に水質汚濁防止法が改正され、施設の構造等に関する基準の遵守と定期点検の実施等の義務付けが行われている。環境省としては、地下水汚染の実態調査等を踏まえ、引き続き、都道府県等と連携して、水質汚濁防止法の適切な施行に努めることとしている。

1. はじめに

環境省では、毎年度、47 の都道府県及び水質汚濁防止法に基づく 111 の政令市(以下、「都道府県等」という)の協力を得て、全国の地下水汚染事例に関する調査を実施し、調査結果をとりまとめ「平成 28 年度地下水質測定結果」[1]として公表している。

本報告では、調査結果の中から工場・事業場を原因とする汚染事例について報告するとともに、環境省の地下水の水質保全に係る最近の取り組みについて報告する。

2. 調査について

(1) 調査対象事例

平成 28 年度末(平成 29 年 3 月 31 日)までに都道府県等が把握している、環境基準を超える値が検出されたことがある地下水汚染事例(以下、「事例」という)の全てとしている。

なお、都道府県等が実施する調査によって判明した事例のみならず、事業者による調査の報告等によって判明した事例も全て対象としている。

事例は、原則として、汚染原因を同じとする一まとまりの範囲を 1 事例としている。広範囲に及ぶ汚染や汚染原因が不明である汚染の範囲は、調査結果等をもとに、各事例を担当する都道府県等によって判断されている。また、以下のことに注意を要する。

- ・同一井戸であっても原因が異なる汚染が存在する場合は、別の事例としている。ただし、汚染項目が同じで明確に分離できない場合は除く。

- ・同一工場・事業場の複数種類の原材料による汚

染、廃棄物による汚染、揮発性有機化合物の分解生成物が存在する汚染など、原因が同じであって複数の項目にわたる事例がある。

- ・1つの事例に複数の井戸が含まれる場合がある。

(2) 事例の分類の定義

ア. 環境基準超過状況による分類

この調査では、各事例を環境基準超過状況に応じて表 1 に示す 4 つに分類している。このうち「調査不能事例」は、現在の状況を把握できないことから「3. (2)」以降の集計では集計対象外とした。

表 1 環境基準超過状況による分類

事例分類	内容
超過事例	平成 28 年度末現在、いずれかの項目で環境基準を超過している事例
一時達成事例	最新年度のデータはいずれの項目も環境基準を超過していないが、一時的な達成の可能性があり、恒久的な改善確認はできていない事例
改善事例	過去は環境基準を超過していたが、現在はいずれの項目も超過しておらず、将来的にも環境基準を超過することはないと判断できる事例
調査不能事例	井戸の廃止等により調査できなくなった事例

注: 「一時達成」と「改善」の分類は、各事例を担当する都道府県等の判断による。

イ. 項目による分類

集計においては、各事例をその汚染物質によって表 2 に示す VOC 事例、重金属等事例、硝酸・亜硝酸等事例、複合汚染事例の 4 つに項目分類している。

表2 項目による分類

項目分類名称	説明
VOC事例	次の項目の、単独又は複数項目による事例 ジクロロメタン、四塩化炭素、塩化ビニルモノマー、1,2-ジクロロエタン、1,1-ジクロロエチレン、1,2-ジクロロエチレン、1,1,1-トリクロロエタン、1,1,2-トリクロロエタン、トリクロロエチレン、テトラクロロエチレン、1,3-ジクロロプロペン、ベンゼン、1,4-ジオキサン
重金属等事例	次の項目の、単独又は複数項目による事例 カドミウム、全シアン、鉛、六価クロム、砒素、総水銀、アルキル水銀、PCB、チウラム、シマジン、チオベンカルブ、セレン、ふっ素、ほう素
硝酸・亜硝酸事例	次の項目の、単独による事例 硝酸性窒素及び亜硝酸性窒素 (以下、「硝酸・亜硝酸」という。)
複合汚染事例	上の3分類のうち、複数分類にわたる項目による汚染事例 (例) 工場・事業場のVOCと重金属等の複数種類の原材料による事例や、廃棄物による事例 など

3. 結果

(1) 事案件数(平成28年度末時点)

環境基準超過状況による4分類の全事案件数は7,993件であった。

VOC事例は2,544件で、その内訳は「超過」が947件(37%)、「一時達成」が409件(16%)、「改善」が949件(37%)、「調査不能」が239件(9%)であった。

重金属等事例は2,153件で、その内訳は「超過」が1,338件(62%)、「一時達成」が261件(12%)、「改善」が338件(16%)、「調査不能」が216件(10%)であった。

硝酸・亜硝酸事例は3,148件で、その内訳は「超過」が1,780件(57%)、「一時達成」が628件(20%)、「改善」が523件(17%)、「調査不能」が217件(7%)であった。

(2) 汚染原因の把握状況

地下水汚染が判明した場合は、都道府県等によって、継続的な監視のためのモニタリング調査が行われている。その対象となる超過事例、一時達成事例、改善事例の合計7,308件について、汚染原因の把握状況を取りまとめた。

汚染原因が「特定又は推定」されているのは、4,353件であり、各項目分類別の主な汚染原因は、以下のとおりであった。

(VOC事例)

・「工場・事業場」(1,218件)

注:工場・事業場における排水・廃液・原料等による汚染。

・「廃棄物」(169件)

(重金属等事例)

・「自然的要因」(1,127件)

・「工場・事業場」(157件)

(硝酸・亜硝酸事例)

・「施肥」(1,530件)

・「家畜排せつ物」(664件)

(複合汚染)

・「工場・事業場」(87件)

表3 汚染原因(項目分類別)

汚染原因 (複数回答有り)	件数				
	合計	VOC	重金属等	硝酸・亜硝酸	複合汚染
工場・事業場	1,462 (916)	1,218 (731)	157 (122)	0 (0)	87 (63)
廃棄物	211 (127)	169 (97)	33 (23)	3 (2)	6 (5)
家畜排せつ物	664 (596)	0 (0)	0 (0)	664 (596)	0 (0)
施肥	1,531 (1,340)	0 (0)	1 (1)	1,530 (1,339)	0 (0)
生活排水	666 (588)	0 (0)	2 (2)	664 (586)	0 (0)
自然的要因	1,149 (1,016)	0 (0)	1,127 (1,004)	20 (11)	2 (1)
その他	69 (43)	41 (23)	23 (15)	5 (5)	0 (0)
母数	4,353 (3,412)	1,289 (764)	1,335 (1,161)	1,638 (1,421)	91 (66)

注1:括弧内の数値は、平成28年度末時点の「超過事例」及び「一時達成事例」の合計数。(内数)

注2:無回答があるため、各件数の和と母数は必ずしも一致しない。

(3) 工場・事業場からの汚染に係る原因施設等の種別

(2)において工場・事業場が汚染原因と特定又は推定された事例1,462件について、その汚染に係る原因施設等の種別を表4、原因の種別を表5に示す。原因施設は有害物質使用特定施設(564件)、原因行為は汚染原因物質の不適切な取扱いによる漏洩(252件)が最も多かった。

表4 工場・事業場からの汚染に係る原因施設等の種別

有害物質使用特定施設	564
特定施設(有害物質使用特定施設を除く)	49
有害物質貯蔵指定施設	10
貯油施設	173
油水分離槽	5
上記以外の施設、設備等	67
上記以外の場所	4
その他	31
経緯不明	571
母数	1,462

表 5 工場・事業場からの汚染に係る原因行為の種別

施設の破損等による汚染原因物質の漏洩事故	138
施設・設備の劣化・老朽化、破損等による漏洩	60
廃液貯留設備、保管容器の亀裂等からの漏洩	8
施設の構造上の欠陥による漏洩	3
施設更新時の漏洩	1
施設の故障等による漏洩	2
詳細不明	68
汚染原因物質の不適切な取扱いによる漏洩	252
設備等の操作ミスや汚染物質の不適切な取扱いによる漏洩	61
通常の作業工程(洗浄など)中の漏洩(滴り落ちなど)	44
溶剤や廃液等の移し替え作業時の漏洩	22
溶剤等を使用する施設の不適正な管理による漏洩	6
詳細不明	131
汚染原因物質を含む排水の地下浸透	120
廃棄物処理法施行前の廃棄物の処理	13
廃棄物処理法施行後の廃棄物の処理	21
残土の処理	2
排ガス、排気中の汚染原因物質の降下、沈着等	6
その他	22
不明	964
母 数	1,462

4. 環境省の地下水の水質保全にかかる対策について

平成元年の水質汚濁防止法の改正により有害物質の地下浸透規制等に関する規定を整備するなど、地下水の水質の保全を推進してきた。しかし、近年においても、工場・事業場が原因と推定される有害物質による地下水汚染事例が毎年継続的に確認されていること等から、こうした地下水汚染を未然に防止するため、「水質汚濁防止法の一部を改正する法律」(以下、「改正法」という。)が、平成23年6月22日に公布され、平成24年6月1日に施行された。

改正法においては、有害物質を貯蔵する施設等を届出の対象に追加するとともに、有害物質を使用、貯蔵等する設置者に対し、有害物質の地下浸透防止のための施設の構造、設備及び使用の方法に関する基準の遵守、定期点検の実施、結果の記録及び保存を義務付ける規定等が新たに設けられた。

改正法の円滑な施行を図るため、環境省では構造等に関する基準や定期点検に係る事項の解説等を盛り込んだ運用のためのマニュアルを、平成24年6月に策定した(平成25年6月改定)。また、平成27年3月には、地下水汚染未然防止のための管理要領等策定の手引きを策定するとともに、管理要領や点検記録表について、作成例を策定し、環境省ホームページにて公開している。

5. 結論

今回の地下水汚染事例に関する調査の結果より、全国の自治体で把握されている汚染事例のうち、VOC事例、重金属事例、複合汚染事例については、自然的要因や工場・事業場が起源と推測される汚染が多いことが分かった。

環境省としては、地下水汚染の実態調査等を踏まえ、引き続き、都道府県等と連携して、水質汚濁防止法の適切な施行に努めることとしている。

引用文献

[1] 環境省：平成28年度地下水質測定結果 平成29年12月。

Regime shifts of Yangtze subtropical shallow lakes

Haijun Wang and Hongzhu Wang

State Key Laboratory of Freshwater Ecology and Biotechnology, Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences

Email: wanghj@ihb.ac.cn (HJ Wang), wanghz@ihb.ac.cn (HZ Wang)

Keywords: regime shifts, subtropical lakes, thresholds, multiple stressors

ABSTRACT

Regime shifts between macrophyte-dominated clear-water state and phytoplankton-dominated turbid-water state have been widely reported. On the alluvial plain of the Yangtze River with a dominance of subtropical climate, there are hundreds of shallow lakes. This major geographical area with its well-developed water system and fertile soil was one of the “cradles” of Chinese civilization. However, many lakes in the basin have suffered for decades from cultural eutrophication and fishery over-exploitation, causing increased phytoplankton, deteriorated vegetation and lowered clarity. In this talk, I’d like to introduce our study on regime shifts in these subtropical shallow lakes. Based on a combination of multi-lake comparisons and long-term monitoring, we analyzed the existence of alternative states, thresholds of total phosphorus and turbidity for the regime shifts, potential effects of intensive aquaculture and high ammonia concentration, maintenance of alternative states.

Research into the underlying mechanisms and thresholds for regime shifts between contrasting states is important from theoretical and practical perspectives. The shifts in shallow lakes between a clear-water state dominated by submersed macrophytes and a turbid-water state dominated by phytoplankton, or back, are a well-known example of a regime shift. To explain regime shifts in shallow lakes, the classic research presented a graphical model on the basis of three assumptions: (1) turbidity increases with nutrient levels; (2) vegetation reduces turbidity; and (3) vegetation disappears when a critical turbidity is exceeded and recovers when turbidity drops below the threshold. Much evidence from north temperate shallow lakes has been presented to support this theory, but its validity for lakes in other climatic zones remains uncertain. Furthermore, the assumption that submersed vegetation disappears and recovers at the same critical turbidity requires direct field evidence. Published research suggests that the total phosphorus (TP) thresholds for the regime shifts between a clear-water state dominated by submersed macrophytes and a turbid-water state dominated by phytoplankton in shallow lakes vary

with forms of lake basins and climates. However, such hypotheses remain untested by direct field evidence.

The subtropical Yangtze River floodplain is a mosaic of numerous shallow lakes with different nutrient levels, providing excellent opportunities for research into regime shifts. All the lakes studied (E 113°10'-121°00', N 29°30'-32°00') are located in the mid-lower Yangtze Basin, characterized by a dominant warm, humid subtropical monsoon climate, annual mean air temperature ranging between 14-18 °C, and precipitation between 1000-1400 mm. All the lakes in this basin are shallow floodplain lakes, isolated from the Yangtze River by embankments and sluice gates, with elevations generally lower than 50 m ASL. A dataset of 76 lake-years from 30 lakes was used for multi-lake analyses. 57 lake-years of 28 lakes were investigated by this study during 2002-2012, and 19 lake-years of 10 lakes were gathered from the literature. Long-term investigations (1987-2012) were done in two adjacent sub-areas (Shuimiao, 1.6 km², 2.3 m; Changlingtou, 1.5 km², 1.9 m) of Lake Bao'an (40.0 km²).

TP thresholds were found to vary little at moderate depths, but to decrease notably when depth exceeds a level of probably 3-4 m, and increase sharply when depth is below a level of around 1-2 m. TP thresholds were found to be nearly equal in shallow lakes ($1-2 \text{ m} < \text{mean depth} < 3-4 \text{ m}$; $\text{ca. } 0.1 \text{ km}^2 < \text{area} < \text{at least } 350 \text{ km}^2$) from temperate to subtropical (probably to tropical) zones, being $80-120 \text{ mg m}^{-3}$ for the forward shift from a clear-water state to a turbid-water state and $40-60 \text{ mg m}^{-3}$ for the backward shift. The threshold of turbidity for the forward shift was found to be higher than that for the backward shift, amending the previous hypothesis of the equality of turbidity thresholds for both shifts.

Regime shift is reflected in their macroinvertebrate assemblages, which thus may serve as good indicators of long-term changes of lake ecosystems. Hence, we conducted a survey on benthic macroinvertebrates in 20 lakes located within the Yangtze floodplain but disconnected from the river channel in order to reveal invertebrate response patterns along a gradient of eutrophication. In parallel to the observed regime shift of a subgroup of those lakes due to eutrophication, macroinvertebrate assemblages changed. Most abundant groups were epiphytic invertebrates (e.g. Bithyniidae) in the macrophyte-dominated lakes but pollution-tolerant invertebrates (e.g. Tubificidae, *Tanypus*) in the phytoplankton-dominated lakes. Planktonic chlorophyll *a* concentration and wet biomass of submersed macrophytes were demonstrated as the key factors structuring macroinvertebrate assemblages. Along the eutrophication gradient, taxa richness of macroinvertebrates decreased, while their density exhibited a minimum at a moderate eutrophication level, and then increased again. However, scrapers (e.g. Bithyniidae) showed an abrupt drop of their density at the same moderate eutrophication level. In contrast, collector-gatherers (mainly Tubificidae and Chironomidae) and predators (e.g. *Tanypus*) increased continuously along the eutrophication gradient. We conclude that during the regime shift the abrupt disappearance of macrophytes means the loss of the key habitat for biota associated with aquatic plants, which then reduced to a much lower level of population density. Therefore, in ecological restoration projects, the nutrient concentration of floodplain lakes should be reduced enough to allow the re-establishment of aquatic macrophytes for a

stable macrophyte-dominated equilibrium of a clear-water lake ecosystem.

The Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis* (H. Milne Edwards, 1854)), is a highly invasive species and poses a great threat to endemic species and infrastructure in Europe and North America. Although it is partly herbivorous and prefers to live in lakes with abundant submersed macrophytes, little is known about its effect on macrophytes. We used its native range, the mid-lower Yangtze Basin where the species has been cultured intensively for decades, as our study site to test the hypotheses that (1) high crab densities weaken the positive feedback between macrophytes and water transparency, and that (2) the effects of crabs become apparent only on decadal timescales and (3) are density dependent. We used correlative analyses based on 12 years of monitoring and multi-lake comparisons among 20 sub-areas in 4 lakes. High crab densities were found to cause negative effects on submersed macrophytes and transparency, and to weaken the positive relation between macrophytes and transparency. High densities of macrophytes showed resilience to disturbance from crabs. This resilience, however, reduced with continuous presence of high crab densities. Crab densities were strongly positively related with total phosphorus and negatively with transparency and total nitrogen. Phosphorus concentrations and transparency were not related with phytoplankton chlorophyll *a*, suggesting that crab's bioturbation strongly influences water quality. The apparent resilience of the dense macrophyte stands should however, not delay attempts to eradicate the invasive crab as this becomes more difficult once they have become established. When macrophyte abundance is already low at the time of invasion, however, immediate loss of macrophytes may occur.

Loss of submersed macrophytes and higher turbidity has been attributed to excessive loading of phosphorus (P), but recently the role of nitrogen (N) in causing the recession of macrophytes has received increasing attention. Due to the close relationship between N and P loading, it has often been difficult to disentangle the specific effects of these two nutrients and some controversy still exists as to the effects of N. We studied the effects of N on submersed macrophytes represented by *Vallisneria spiralis* in pots positioned at three depths (0.4 m, 0.8 m, and 1.2 m to form a gradient of

underwater light conditions) in 10 large ponds having moderate concentrations of P and five targeted concentrations of total nitrogen (TN) (0.5, 2, 10, 20, and 100 mg L⁻¹) with two ponds for each treatment. To study the potential shading effects of other primary producers, we also measured the biomass of phytoplankton (Chl_a_{Phyt}) and periphyton (Chl_a_{Peri}) expressed as chlorophyll *a*. We found that leaf length, leaf mass, and root length of macrophytes declined with increasing concentrations of TN and ammonium, while shoot number and root mass did not. All the measured growth indices of macrophytes declined significantly with Chl_a_{Phyt}, while none were significantly related to Chl_a_{Peri}. Neither Chl_a_{Phyt} nor Chl_a_{Peri} were, however, significantly negatively related to the various N concentrations. Our results indicate that shading by phytoplankton unrelated to the variation in N loading and perhaps toxic stress exerted by high nitrogen were responsible for the decline in macrophyte growth.

Based on our analyses, we present a diagrammatic model to explain the mechanisms and processes of regime shifts in Yangtze subtropical shallow lakes (Fig. 1A). The model is based on three assumptions: (1) algal turbidity (Chl *a*) increases with TP, and levels off when TP approaches a high level probably due to self-shading effects caused by excessive algae growth (Stauffer, 1991) (Fig. 1a₁); (2) submersed macrophytes reduce non-algal turbidity (Fig. 1a₂); and (3) macrophytes disappear when Turb exceeds a critical level K_f , and recover when Turb is lower than K_b (Fig. 1a₃). Combining Fig. 1a₁ and Fig. 1a₂ produces two curves as presented in Fig. 1A, showing separate TP-Turb relationships for the contrasting cases with and without vegetation; the curve is steeper for the vegetated state because non-algal turbidity decreases with the increase in macrophytes. When $TP > TP_f$ and $Turb > K_f$ (Fig. 1a₃), macrophytes disappear and the lake shifts to a turbid-water state dominated by phytoplankton (the upper equilibrium line) (Fig. 1A). When $TP < TP_b$ and $Turb < K_b$ (Fig. 1a₃), macrophytes recover and an opposite shift takes place (the lower equilibrium line) (Fig. 1A). In the shifting processes, TP varies because macrophytes reduce TP. When $TP = TP_b \sim TP_f$, two states exist: the lake tends to be in a clear-water state when $Turb < K_b$ and in a turbid-water state when $Turb > K_f$; when $Turb = K_b \sim K_f$, the lake tends to be in a clear-water state when forward

shifting and in a turbid-water state when backward shifting.

Our findings suggest that, according to the subequality of TP thresholds, similar target concentrations for in-lake TP can be set in most shallow lakes world-wide to mitigate eutrophication.

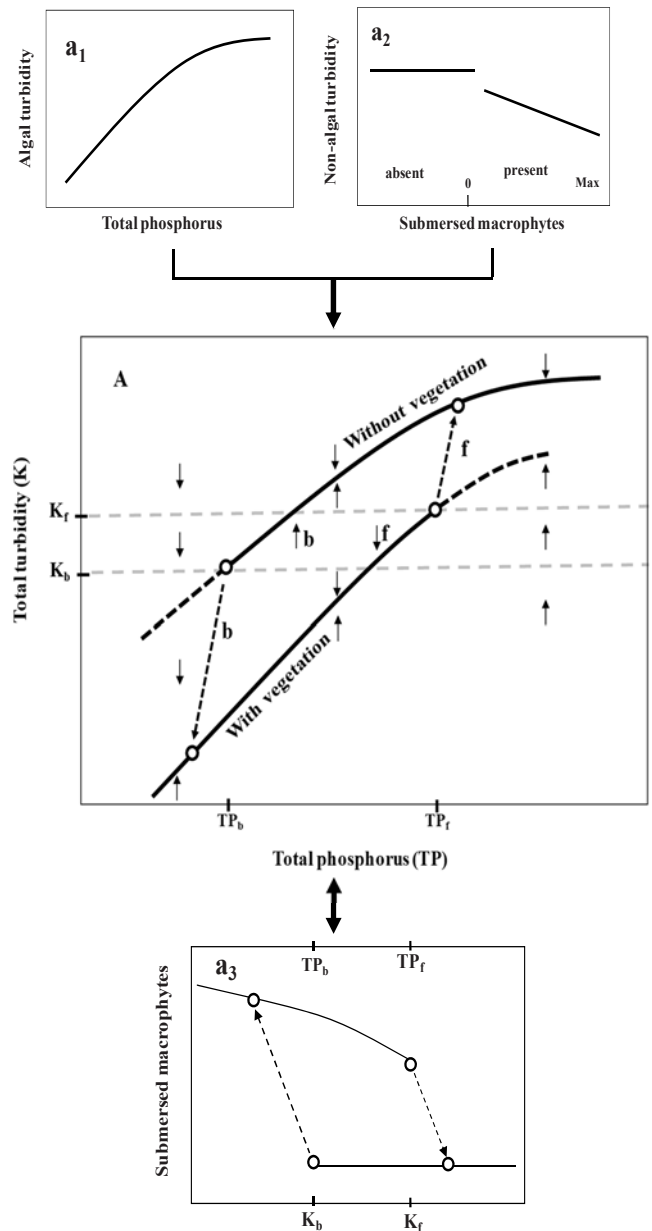


Fig. 1 Schematic diagram interpreting the triggering of regime shifts and maintenance of alternative stable states in subtropical shallow lakes. **f**, forward shifts from a clear-water state to a turbid-water state; **b**, backward shifts from turbid-water state to a clear-water state.

P2-7

Public participation in social auditing and eco-politics of water quality and ecological health of the freshwater lake Ujjani, India

Anil Patil

Chairman, Maharashtra Vikas Kendra,

A/p – Warwade, Tal. Madha , Dist. Solapur

Email – anilpatilmadha@gmail.com

Keywords: water quality, eco-politics, safe water

ABSTRACT

Deterioration of water quality of Ujjani Lake, the tail end reservoir on Bhima river – a known World Lake Vision water body – is the result of upstream unmatched, rapid urbanization and industrial growth in last two decades. This huge water body in South Maharashtra is under pollution stress which is affecting its quality and ecology. Constant efforts for wide spread awareness from a decade have consolidated the participatory action plan by involving students of schools and colleges in the region for social auditing and biomonitoring of water quality and ecological status of the Ujjani Lake. The feedback of public participation has led to raising the issues of water quality improvement in Ujjani catchment leading to eco-politics of impact of pollution on community health. A careful assessment of socioeconomic and health issues among the population along the shoreline downstream of urban development has documented that the people have become attentive and responsive of their natural and human right of safe drinking water. People's movement for water security has outlined the political agenda in the region leading to planning and investments for urban and industrial wastewater treatment plants in upstream cities. In this paper, the outcomes of surveys have been discussed articulating the demands of villagers for sustainable, protected and pollution – free water source for agriculture, pisciculture and secured life.

Introduction

There are twenty-two dams in a series built on Bhima River of which the Ujjani Dam (an Earth-fill cum Gravity dam)¹ located near Ujjani village of Madha Taluk Solapur district in Maharashtra state of India. It is the terminal dam on the river and is the largest in the valley having catchment of 14,860 km². Construction of the dam project including the canal system on both banks was started in 1969 at an initial estimated cost of INR 400 million (\$ 6.67 million at current exchange rate) and at the time of completion dam wall construction, in June 1980 it was INR 3295.85 million (about \$55 million). Now it has become INR14000 million and project is still not completed.

The project was supposed to provide multipurpose benefits of irrigation, hydroelectric power, drinking and industrial water supply and fisheries development. But the pollution from upstream urban and industrial development has severely contaminated the rivers in the lake basin and has reduced the potential of lake as freshwater supply for drinking and irrigation purposes³. Now it is quoted in the media that Ujjani lake has become cesspool of pollution⁴. Therefore, to create mass awareness various initiatives were taken from last 12 years including organizing the

meetings of ILEC functionaries. In the present paper, the initiative of public rally of 2011 and its subsequent outcomes are discussed in detail in the context of changing perceptions, upstream – downstream conflicts and co-operations with regional eco-politics.

Pollution Scenario

In a decade, water quality of 7 rivers of Pune – namely Mula, Mutha, Pawana, Indrayani, Ram, Ambil and Nagzari deteriorated over the period of time with respect to two critical parameters – Dissolved Oxygen (very important of life in water body) and Fecal Coli forms (very important for indication of human pathogens). Dissolved oxygen in the above mentioned rivers reduced to zero from last 7 years in non-monsoon period and fecal coliforms have increased ten thousand times from zero to more than millions in the river waters up to Ujjani Reservoir. Risk of water borne diseases has increased several times in the downstream of Pune city.

Organic pollution is mostly attributed to upstream urban growth where untreated sewage is thrown into the rivers before the Ujjani Lake. Industrial pollution more of toxic in nature has damaged the ecosystem severely downstream

of Pune city. Wastewater discharge (untreated or partially treated) into the rivers carrying water to Ujjani Lake has almost doubled in last 10 years. In 2000, wastewaters discharged from Pune-Pimpri-Chinchwad and industries were about 700 MLD but in 2011, it is about 1500 MLD. There is severe problem of leachate from unscientifically developed and managed solid waste dumping sites viz. Urali Devachi, Moshi etc.

Many villagers noticed that the hazardous gases (including methane, hydrogen sulphide etc) erupting from Ujjani Lake many times in the year indicating the deteriorated ecological health of the water body. It is estimated in one study that about 5000 tons of methane gas is generated annually due to accumulation of pollution in the Ujjani Lake. Villagers (of about 200 villages) along the polluted stretches of rivers in Ujjani Basin downstream of Pune city are compelled to drink tubewell water which has high concentration of hardness (a cause of kidney stone). Concentration in the tubewells / wells along ranged from 400 – 800 mg/L while the drinking water standard for hardness is 300 mg/L. It is also noticed that brittleness of bones, dental problems among the children and aged groups were prevalent.

The movement (“Abhiyan”)

This movement (“Abhiyan”) was organised and designed by Jal Pradushan Virodhi Kriti Samiti, Solapur under the guidance of Maharashtra Vikas Kendra, Pune to create awareness about the health and environmental impacts of pollution amongst the thousands of victims of Ujjani Lake water deteriorating quality during the 21st – 23rd Aug. 2011.in Solapur District. Shri Anil Patil (President of Maharashtra Vikas Kendra) has taken initiative for this *Abhiyan*. In this programme, Dr. Rajendra Singhji, President of National Jal Biradari, distinguished water scientists and activists interacted with various educated and ignorant sections of the rural society including school children, women, teachers, lawyers, doctors, senior citizens, industrialists and volunteers reaching to about 1 million population.

The major objective of this *Abhiyan* was to understand the dilapidated conditions of villagers due to severe Ujjani pollution. This pollution is an impact of insensitive upstream urban development and industries which are discharging untreated or partially treated wastewaters into the tributaries of Bhima River violating all environmental laws and natural justice

Observations during the *Abhiyan*

1. Bhima river downstream of Ujjani Lake does not have ecological flow to maintain its biodiversity and to provide sufficient water to the villages along the bank. Whatever water flows in the river, the pollution levels are very high with foul odours.
2. Bhima River at Pandharpur is laden with sewage from the city and open defecation. On 21st Aug. 2011, the river water was tested for Dissolved Oxygen (DO), Total Hardness and Nitrates using simple test kits. DO was 2 – 3 mg/L, hardness 300 mg/L and nitrates 10 mg/L. This implies that the water is not potable. Both the banks of the river were very dirty, people have thrown enormous wastes.
3. River and well-water samples were tested in Pandharpur, Sangam, Babhulgaon, Wafegaon, Malinagar, Patwardhan Kuroli, Akluj, Modnimb, and Madha. Except Madha, at every location hardness of the river water was in the range of 300 – 400 mg/L and hardness of well water and tube well water ranged between 350 – 750 mg/L. Concentration of nitrates of the river was 10 – 50 mg/L. Near Patwardhan Kuroli the concentration of nitrates was highest.
4. River was highly eutrophicated with algal blooms near Patwardhan Kuroli. People of this village complained about the miscarriages of cows, buffellows due to dirty, unclean, non drinkable and polluted water. Children were found to be anaemic. About 200 patients due to water-borne diseases visit 5 doctors’ dispensary every day in a village of 4500 population.
5. At many places, villagers complained about direct discharge of spent wash in the river. At many places including Nira-Narsinhapur, the river was found to be polluted with foul odours. People have deep fear about pollution in river.
6. Fear of the river pollution is compelling the people to drink the hard well or bore well water which the cause of kidney stones. Higher nitrates in the water are leading to anaemic conditions. Algal Growth is responsible for toxic releases in the river water. Many of the villages don’t have adequate water treatment facilities.
7. It can be concluded that the urban pollution from upstream metros, excessive use of fertilizers and discharges of sugar-distillery wastewaters are affecting the health and agro-economy severely. Lot peoples complained about that, There is no control by State Govt’s senior officials on civic bodies, i.e. PMC, PCMC, OTHER Nagarpalika & MIDC etc those which are responsible for water pollution.
8. Incessant sand mining despite of legal bans is a major cause of accidental death of women and children who are mistakenly approach deeper stretches of river for washing

or bathing.

Impacts of the Ujjani/Bhima River Pollution

1. Deterioration of public health – unhealthy life – severe and long term impact on babies and children...
2. Deterioration of agricultural production – loss of economy, decreasing yield from agriculture sector and from cash crops also, like cane sugar...
3. Deterioration of groundwater – future loss of health and economy, problems occurred in front of livestock...
4. Ecological loss of biodiversity...
5. Everyone should understand and confirm that “River “is common property and its belongs to all peoples; State Govt has to act as his “trusty “not owner of river..Its peoples responsibility to keep it clean and continuous watch on pollution of river.

Immediate actions proposed in *Abhiyan*

1. Cleaning of ghats on Chandrabhaga (Bhima) River at Pandharpur, control on use of plastic materials and bags, provision of dust bins, permanent, dedicated staff for cleaning of river banks and maintaining the sufficient river flow round the year
2. Regular detailed monitoring and analysis of river water quality at every kilometre by involving local people
3. Protection of ancient, heritage temple of Narsimha at Nira-Narsinhapur
4. Pandharpur is to be declared as “Divisional Centre for MPCB, Maharashtra. It will help to create confidence in the people of Bhima-Sina River Basin.

Recommendations

1. Solapur Municipal Corporation and Z. P. Solapur must create a Task Group for eradication of pollution from the water used for drinking, livestock and agriculture purposes.
2. Upstream metros – Pune and Pimpri-Chinchwad must recognize the natural and constitutional right of downstream people of clean and pure water for drinking, livestock and agricultural applications.
3. Immediate actions to clean up 200 nallahs in Pune / Pimpri-Chinchwad through adoption and public participation; to convert dirty Nallah into clean water stream
4. Demonstration of Governance Environmental Accountability and Responsibility by diverting funds to purification of rivers through taking up Nallahs to eradicate pollution

5. Adoption of downstream village (victims of pollution) by upstream Pune/Pimpri-Chinchwad cities (polluters) to cater the drinking water requirements

Impact of *Abhiyan* among the upstream and downstream population

1. Rural population started using advanced water purifications systems with traditional systems.
2. This programme has culminated into expansion of water market for commercial water purifier systems.
3. Maharashtra Government has commenced commercial community RO systems from last two years despite of unavailability of sufficient electrical supply for the same.
4. Awareness campaign has caused rise in water expenses and wastages per capita in the rural area.
5. This campaign has reduced water borne diseases to some extent in rural literate class.
6. Upstream city corporations and authorities developed detailed project reports for the mechanised sewage treatments to be completed in next ten years.
7. Upstream awakened responsible urban citizens has taken up action plan to reduce solid waste load into rivers through action of about 0.1 million students of schools and colleges.

Conclusions

Not single action proposed or recommendation has been implemented by local and state government agencies till date. It can be concluded as common man took over actions to reduce his water problems, administrators and politicians turned blind eye to the root cause analysis and initiate the corrective actions to eliminate pollution from the water resources in the Ujjani Basin.

It seems that though government agencies and departments are reaping the benefits from water resources but the responsibility of conservation, protection and corrective actions in total is not fixed yet on any one agency. Activities like water abstraction, distribution and quality monitoring are delegated to many agencies but there is lack of integrated approach for restoration of ecological health of water resources and protection of water quality for consumptive and non-consumptive uses. The *Abhiyan* has highlighted this short-sighted plan which needs level-playing consultative platform like Integrated Lentic-Lotic Basin Management (ILLBM).

==