

資料

経年変化から見た夏季三方五湖の水質評価

森山 充^{*1}Water quality of Mikata-goko Lakes in summer
evaluated by long-term observation

Mitsuru MORIYAMA*

Using physicochemical data, such as chemical oxygen demand (COD), and phytoplankton counts, which have been monitored for 26 years by Fukui Prefecture, we showed the usefulness of phytoplankton counts as a water quality parameter and also assessed the water quality of the Mikata-goko Lakes. Surface water samplings have been conducted in August at fixed points established at Lake Mikata, Lake Suigetsu and Lake Kugushi; the levels of physicochemical parameters have fluctuated significantly at Lake Mikata, exceeding environmental standards for most of the parameters. On the other hand, phytoplankton counts have shown similar fluctuation patterns among the three lakes, increasing in the first half and decreasing in the second half of the study period. Phytoplankton counts have recently decreased to the 1988 level after peaking in 2000, when a sewerage system was introduced to the area, and water bloom has not been confirmed since 2001, suggesting that the water quality of the Mikata-goko Lakes has been improving.

キーワード：三方五湖, 水質評価, 経年変化

2014年7月29日受付 2015年1月8日受理

三方湖・水月湖・菅湖・久々子湖および日向湖の総称である三方五湖は福井県西部に位置し、観光資源であるとともにニホンウナギ *Anguilla japonica*, ヤマトシジミ *Corbicula japonica* などを対象とした漁業生産の場としても市民生活に密着した汽水湖群である。現在は水路で結ばれた同一水系であり、海水の遡上程度により湖毎の水質に違いも見られるが、「三方五湖」というように一体化して議論される場合が多い。ハス *Opsariichthys uncirostris* など琵琶湖、淀川水系と三方湖にしか分布していない貴重な固有種も存在し、2005年にはラムサール条約に湿地登録されるなど、保全すべき貴重な自然環境も残されている。

一方、全国の湖沼に見られるような富栄養化などの水質汚染問題も抱えている。三方湖では1990年代にはアオコが大規模発生し、大きな社会問題となった(青木ら1991)。集水域である三方地域では、2000年に下水処理

施設の供用が開始されるなど水質改善に向けた努力はなされてきているが、2012年時点においても化学的酸素要求量(COD)、全窒素(TN)および全リン(TP)の環境基準はほとんど達成されていない(福井県2014)。近年では、三方湖ではヒシ科の1年性水草であるヒシ *Trapa japonica* の繁茂など新たな問題も発生しており、水質環境や生態系の経年的な変化の影響が示唆されている(多田・児玉2011)。富栄養化などの水質環境の変化は漁業生産量の多寡にも影響を与えることが知られており(吉田・堀家2001)、水域内や沿岸で営まれる漁業・魚類養殖業など地域水産業関係者の関心も高いが、当水域の水質環境経年変化の実態を示す科学的な資料は乏しい。

水環境の評価は従来CODやTNおよびTPなど水質環境基準の達成率を指標としてきたが、その評価法は市民の実感とは異なり、CODの指標としての有用性も疑

* 福井県衛生環境研究センター

〒910-8551 福井県福井市原目町39-4

Fukui Prefectural Institute of Public Health and Environmental Science, 39-4, Harame, Fukui, Fukui 910-8551, Japan

m-moriyama-ml@pref.fukui.lg.jp

問視されている（津田ら 2014）。そのような状況で水環境指標に生物学的要素を付け加えるなど、新たな指標作りが検討されてきた（水環境の総合指標研究委員会 2013）。

そこで本研究では、生物学的要素の1つであり、その増殖が富栄養化と密接に関係している植物プランクトンにも注目し、福井県衛生環境研究センターが夏季にモニタリングしてきた植物プランクトン数のデータおよびCODなどの物理化学的要素とのデータを解析することで、三方五湖の水質を評価した。また、水質の変化時期と三方地域に位置する若狭町三方浄化センターの供用開始時期との同調性についても考察を加えた。

方 法

調査水域の概要 三方五湖は汽水湖である三方湖、水月湖（一部を菅湖と呼ぶ）、および久々子湖と、海水湖である日向湖からなる（図1）。三方湖と水月湖および水月湖と久々子湖はおのおの水路で結ばれ、最も下流である久々子湖は水路で日本海と結ばれており、最も上流部にある三方湖まで海水が遡上する。一方、水月湖と日向湖も水路で結ばれているが、水門が閉じており、湖水の交流はない状況にある（日本水環境学会 1999）。日向湖

を除く3湖はCODについては5mg/L以下、TPに関しては0.05mg/L以下、TNに関しては0.6mg/L以下の環境基準が福井県知事により設定されている*。

試料の採取 1988～2013年の26年間、毎年8月に行った。採水は三方湖、水月湖および久々子湖の湖心付近である以下の3地点の表層から行った（図1）。

St.M (N35° 33' 50" E135° 53' 35") 水深 2.5m
 St.S (N35° 34' 50" E135° 53' 10") 水深 26.8m
 St.K (N35° 35' 45" E135° 54' 40") 水深 2.0m

アオコ発生状況の有無 アオコの発生については、本研究におけるアオコを植物プランクトンの大増殖現象による湖面の緑色化と定義し（渡辺ら 1994）、採水時の三方湖湖面全域の目視により判断した。

植物プランクトンの計数 採水した試料を1,000mL取り、5mLのグルタルアルデヒド固定液を加え、上水試験方法に準じて計数した（日本水道協会 2011）。出現細胞数の最も多かった種（または属）を第一優占種（属）とした。ただし、同一属の複数種の同定が困難なものについては、spp.とした。

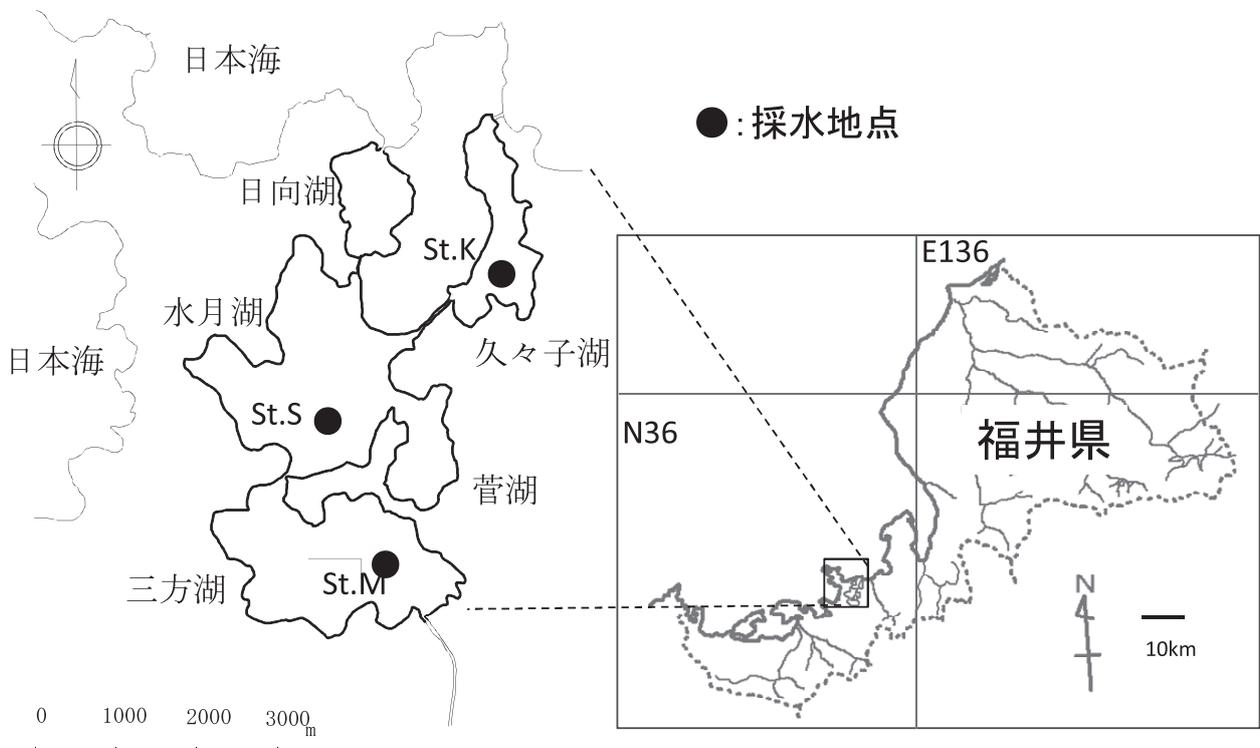


図1. 三方五湖の概略

*昭和52年福井県告示110号および昭和62年福井県告示1037号

pH, COD, TN, TP, 浮遊物質 (SS) の測定 JIS規格に準じて行った (日本規格協会 2014)。

植物プランクトン数, pH, COD, TN, TP および SS の評価 本研究期間内におけるトレンドから経年変化を評価するために、得られた植物プランクトン数, pH, COD, TN, TP および SS の 26 年間データから、2000 年の下水道供用開始を基準とした前期 (1988 ~ 2000 年) の 13 データおよび後期 (2001 ~ 2013 年) の 13 データを抽出し、年を説明変数、植物プランクトン数 (対数値), pH, COD, TN, TP および SS の値を目的変数とした回帰直線の傾きから経年変化を評価した。また、それぞれの項目について各定点の前期群と後期群における統計的な差を U 検定により確認した。

結 果

アオコの発生状況 アオコは 1988 年から 1998 年までは毎年確認されたが、2000 年に確認されたのを最後に、2001 年以降は確認されなかった。1991 年、1993 年および 1997 年には特に発生域範囲の規模が大きかった。

植物プランクトン数 植物プランクトンの計数結果を図 2 および付表に示した。縦軸は対数目盛である。3 地点とも 2001 年頃まで増加し、ピークを示した後減少し、2013 年には 1988 年とほぼ同水準の量となった。St.M で

は 2008 年度に顕著な低下が見られたが、2009 年からは他の湖と同様のゆるやかな減少傾向を示した。

植物プランクトンの主要出現種 (属) について表 1 に示した。St.K および St.S では藍藻類が優占する年が大半であり、前者が 22 回、後者が 24 回であった。

一方、St.M では珪藻類 (4 回) や緑藻類 (5 回) が優占する場合も散見され、藍藻類でも属の交代が多かった。特にアオコの大規模発生が確認された 1993 年は *Anabaena* spp. が、1997 年は *Microcystis aeruginosa* が第一優占種であった。

pH, COD, TN, TP および SS の経年変化 pH の経年変化を図 3 および付表に示した。pH は環境基準として 6.5 ~ 8.5 とされているので (日本規格協会 2014)、図中に基準線を示した。St.K と St.S では基準値超過が半数程度であったが、値は安定していた。一方、St.M は 2006 年まではほとんど基準値を超過していたが、2007 年以降は低下傾向にあり 2011 年以降は基準内で推移した。

COD の経年変化を図 4 および付表に示した。COD の環境基準は 5mg/L 以下であるので、図中に基準線を示した。St.K と St.S では基準値である 5mg/L を超過する値が散見されるものの、概ね 5mg/L 以下の値であった。しかし St.M はほとんど全ての年で 5mg/L を超過しており、St.K および St.S と比較すると 1993 年や 2001 年の極大値を示した年は共通していたが、値は大きくなって

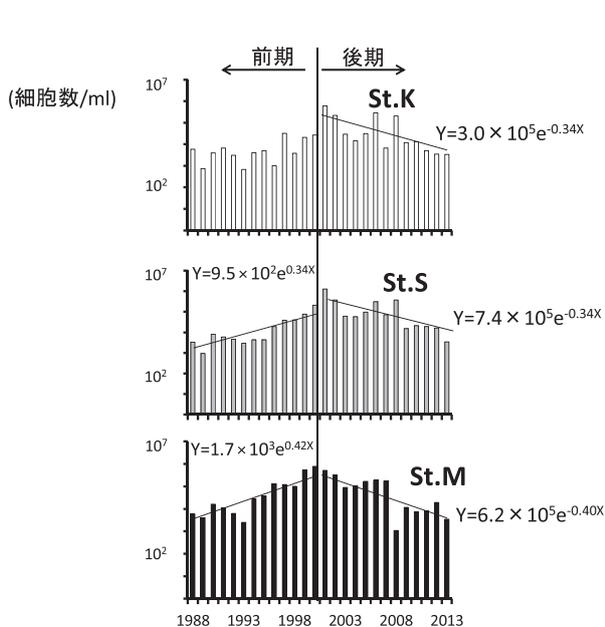


図 2. 植物プランクトン数の経年変化
2000 年の若狭町三方浄化センターの供用開始を区切りとし、それ以前を前期 (~ 2000 年) それ以降を後期 (2001 年~) とした
(図中の直線は有意な回帰直線 : $p < 0.05$)

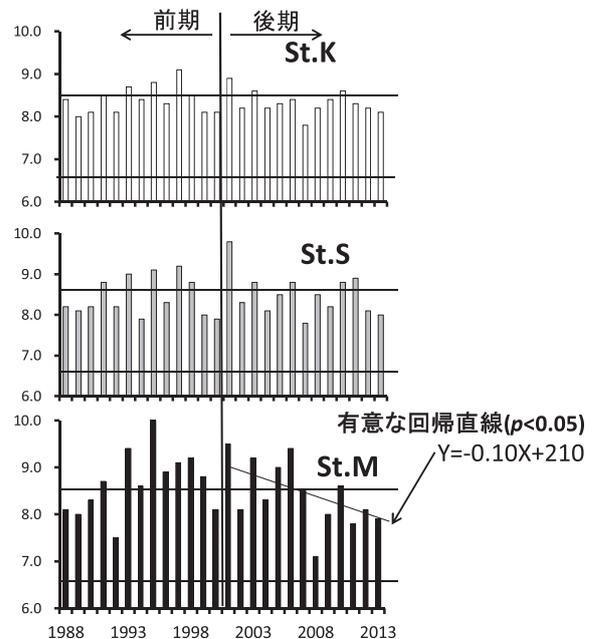


図 3. pH の経年変化
(前期・後期の区分は図 2 に同じ : 6.5 と 8.5 の線は環境基準)

表 1. 各調査地点における植物プランクトン主要出現種 (属), (光学顕微鏡で分類できないものは, 複数種 (属) を含む)

	St.K			St.S			St.M								
	その他主要出現種			第一優占種			その他主要出現種			第一優占種			その他主要出現種		
	類	種	種	類	種	種	類	種	種	類	種	種	類	種	種
1988	藍藻	<i>Cyclotella meneghiniana</i>	<i>Aphanocapsa</i> sp.	藍藻	<i>Aphanocapsa</i> sp.	<i>Cyclotella meneghiniana</i>	珪藻	<i>Cyclotella meneghiniana</i>	<i>Cyclotella meneghiniana</i>	珪藻	<i>Cyclotella meneghiniana</i>	緑藻	<i>Scenedesmus</i> spp.		
1989	藍藻	<i>Coelosphaerium naegelianum</i>	<i>Lyngbya limnetica</i>	藍藻	<i>Lyngbya limnetica</i>	<i>Coelosphaerium naegelianum</i>	藍藻	<i>Coelosphaerium naegelianum</i>	<i>Coelosphaerium naegelianum</i>	藍藻	<i>Coelosphaerium naegelianum</i>	珪藻	<i>Melosira distans</i>		
1990	藍藻	<i>Lyngbya limnetica</i>	<i>Cyclotella meneghiniana</i>	藍藻	<i>Lyngbya limnetica</i>	<i>Cyclotella meneghiniana</i>	藍藻	<i>Lyngbya limnetica</i>	<i>Lyngbya limnetica</i>	藍藻	<i>Lyngbya limnetica</i>	藍藻	<i>Anabaena flos-aquae</i>		
1991	鞭毛藻	<i>Cryophyceae</i>	<i>Cyclotella meneghiniana</i>	藍藻	<i>Coelosphaerium naegelianum</i>	<i>Anabaena spirroides</i> sp.	藍藻	<i>Anabaena spirroides</i> sp.	<i>Anabaena spirroides</i> sp.	藍藻	<i>Anabaena spirroides</i> sp.	藍藻	<i>Anabaena spirroides</i> sp.		
1992	藍藻	<i>Coelosphaerium naegelianum</i>	<i>Microcystis parasitica</i>	珪藻	<i>Cyclotella</i> spp.	<i>Lyngbya limnetica</i>	藍藻	<i>Lyngbya limnetica</i>	<i>Lyngbya limnetica</i>	緑藻	<i>Scenedesmus</i> spp.	緑藻	<i>Coelastrum microporum</i>		
1993	藍藻	<i>Anabaenopsis raciborskii</i>	<i>Lyngbya limnetica</i>	藍藻	<i>Anabaenopsis raciborskii</i>	<i>Lyngbya limnetica</i>	藍藻	<i>Anabaenopsis raciborskii</i>	<i>Lyngbya limnetica</i>	藍藻	<i>Anabaena</i> spp.	藍藻	<i>Oscillatoria</i> sp.A		
1994	鞭毛藻	<i>Prorocentrum</i> sp.	<i>Cyclotella</i> spp.	藍藻	<i>Lyngbya limnetica</i>	<i>Cyclotella</i> spp.	藍藻	<i>Lyngbya limnetica</i>	<i>Lyngbya limnetica</i>	緑藻	<i>Scenedesmus</i> spp.	藍藻	<i>Merismopedia tenuissima</i>		
1995	藍藻	<i>Microcystis inserta</i>	<i>Merismopedia tenuissima</i>	藍藻	<i>Merismopedia tenuissima</i>	<i>Merismopedia tenuissima</i>	緑藻	<i>Merismopedia tenuissima</i>	<i>Scenedesmus</i> spp.	緑藻	<i>Scenedesmus</i> spp.	藍藻	<i>Merismopedia tenuissima</i>		
1996	鞭毛藻	<i>Prorocentrum</i> sp.	<i>Chroococcus</i> sp.	藍藻	<i>Chroococcus</i> sp.	<i>Chroococcus</i> sp.	藍藻	<i>Chroococcus</i> sp.	<i>Oocystis</i> sp.	藍藻	<i>Oocystis</i> sp.	藍藻	<i>Anabaena spirroides</i>		
1997	藍藻	<i>Microcystis aeruginosa</i>	<i>Anabaena macrospora</i>	藍藻	<i>Anabaena macrospora</i>	<i>Anabaena macrospora</i>	藍藻	<i>Anabaena macrospora</i>	<i>Oscillatoria tenuis</i>	藍藻	<i>Oscillatoria tenuis</i>	藍藻	<i>Oscillatoria tenuis</i>		
1998	藍藻	<i>Lyngbya</i> sp.	<i>Planktothrix</i> sp.	藍藻	<i>Planktothrix</i> sp.	<i>Planktothrix</i> sp.	藍藻	<i>Planktothrix</i> sp.	<i>Anabaena macrospora</i>	藍藻	<i>Anabaena macrospora</i>	藍藻	<i>Anabaena spirroides</i> sp.		
1999	藍藻	<i>Lyngbya</i> spp.	<i>Merismopedia tenuissima</i>	藍藻	<i>Merismopedia tenuissima</i>	<i>Merismopedia tenuissima</i>	藍藻	<i>Merismopedia tenuissima</i>	<i>Planktothrix</i> sp.	藍藻	<i>Planktothrix</i> sp.	藍藻	<i>Microcystis aeruginosa</i>		
2000	藍藻	<i>Lyngbya</i> sp.	<i>Oscillatoria</i> spp.	藍藻	<i>Oscillatoria</i> spp.	<i>Oscillatoria</i> spp.	藍藻	<i>Oscillatoria</i> spp.	<i>Lyngbya</i> spp.	藍藻	<i>Lyngbya</i> spp.	藍藻	<i>Microcystis aeruginosa</i>		
2001	藍藻	<i>Oscillatoria</i> spp.	<i>Anabaena aphanizomenoides</i>	藍藻	<i>Anabaena aphanizomenoides</i>	<i>Anabaena aphanizomenoides</i>	藍藻	<i>Anabaena aphanizomenoides</i>	<i>Lyngbya</i> sp.	藍藻	<i>Lyngbya</i> sp.	藍藻	<i>Microcystis aeruginosa</i>		
2002	藍藻	<i>Lyngbya</i> sp.	<i>Chroococcus</i> sp.	藍藻	<i>Chroococcus</i> sp.	<i>Chroococcus</i> sp.	藍藻	<i>Chroococcus</i> sp.	<i>Lyngbya</i> sp.	藍藻	<i>Lyngbya</i> sp.	藍藻	<i>Phormidium</i> sp.		
2003	藍藻	<i>Planktothrix</i> sp.	<i>Coelosphaerium pusillum</i>	藍藻	<i>Coelosphaerium pusillum</i>	<i>Coelosphaerium pusillum</i>	藍藻	<i>Coelosphaerium pusillum</i>	<i>Lyngbya</i> sp.	藍藻	<i>Lyngbya</i> sp.	藍藻	<i>Planktothrix agardhii</i>		
2004	藍藻	<i>Lyngbya limnetica</i>	<i>Planktothrix</i> sp.	藍藻	<i>Planktothrix</i> sp.	<i>Planktothrix</i> sp.	藍藻	<i>Planktothrix</i> sp.	<i>Lyngbya limnetica</i>	藍藻	<i>Lyngbya limnetica</i>	藍藻	<i>Oscillatoria</i> sp.		
2005	藍藻	<i>Lyngbya limnetica</i>	<i>Planktothrix agardhii</i>	藍藻	<i>Planktothrix agardhii</i>	<i>Planktothrix agardhii</i>	藍藻	<i>Planktothrix agardhii</i>	<i>Lyngbya limnetica</i>	藍藻	<i>Lyngbya limnetica</i>	藍藻	<i>Oscillatoria</i> sp.		
2006	藍藻	<i>Lyngbya limnetica</i>	<i>Phormidium</i> sp.	藍藻	<i>Phormidium</i> sp.	<i>Phormidium</i> sp.	藍藻	<i>Phormidium</i> sp.	<i>Lyngbya limnetica</i>	藍藻	<i>Lyngbya limnetica</i>	藍藻	<i>Anabaena aphanizomenoides</i>		
2007	藍藻	<i>Planktothrix agardhii</i>	<i>Cyclotella</i> spp.	藍藻	<i>Cyclotella</i> spp.	<i>Cyclotella</i> spp.	藍藻	<i>Cyclotella</i> spp.	<i>Planktothrix agardhii</i>	藍藻	<i>Planktothrix agardhii</i>	藍藻	<i>Phormidium</i> sp.		
2008	藍藻	<i>Lyngbya limnetica</i>	<i>Oscillatoria</i> sp.	藍藻	<i>Oscillatoria</i> sp.	<i>Oscillatoria</i> sp.	藍藻	<i>Oscillatoria</i> sp.	<i>Lyngbya limnetica</i>	藍藻	<i>Lyngbya limnetica</i>	藍藻	<i>Oscillatoria</i> sp.		
2009	藍藻	<i>Lyngbya limnetica</i>	<i>Achnanthes</i> sp.	藍藻	<i>Achnanthes</i> sp.	<i>Achnanthes</i> sp.	藍藻	<i>Achnanthes</i> sp.	<i>Lyngbya limnetica</i>	藍藻	<i>Lyngbya limnetica</i>	緑藻	<i>Staurastrum</i> spp.		
2010	藍藻	<i>Lyngbya limnetica</i>	<i>Oscillatoria</i> sp.	藍藻	<i>Oscillatoria</i> sp.	<i>Oscillatoria</i> sp.	藍藻	<i>Oscillatoria</i> sp.	<i>Lyngbya limnetica</i>	藍藻	<i>Lyngbya limnetica</i>	珪藻	<i>Melosira</i> sp.		
2011	藍藻	<i>Lyngbya limnetica</i>	<i>Oscillatoria</i> sp.	藍藻	<i>Oscillatoria</i> sp.	<i>Oscillatoria</i> sp.	藍藻	<i>Oscillatoria</i> sp.	<i>Lyngbya limnetica</i>	藍藻	<i>Lyngbya limnetica</i>	藍藻	<i>Anabaena</i> spp.		
2012	藍藻	<i>Lyngbya limnetica</i>	<i>Anabaena</i> sp.	藍藻	<i>Anabaena</i> sp.	<i>Anabaena</i> sp.	藍藻	<i>Anabaena</i> sp.	<i>Lyngbya limnetica</i>	藍藻	<i>Lyngbya limnetica</i>	藍藻	<i>Anabaena</i> spp.		
2013	藍藻	<i>Lyngbya limnetica</i>	<i>Oscillatoria</i> sp.	藍藻	<i>Oscillatoria</i> sp.	<i>Oscillatoria</i> sp.	藍藻	<i>Oscillatoria</i> sp.	<i>Lyngbya limnetica</i>	藍藻	<i>Lyngbya limnetica</i>	藍藻	<i>Oscillatoria</i> sp.		

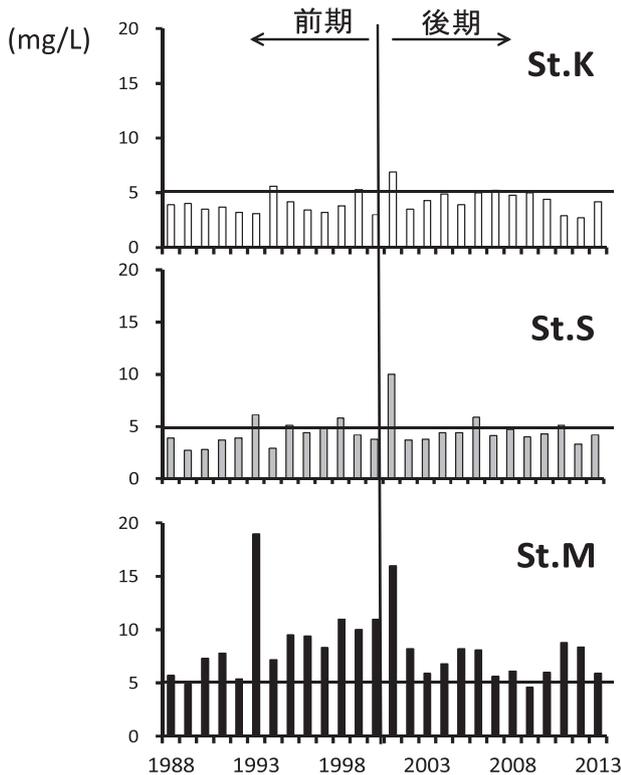


図 4. COD の経年変化
(前期・後期の区分は図 2 に同じ:5mg/L の線は環境基準)

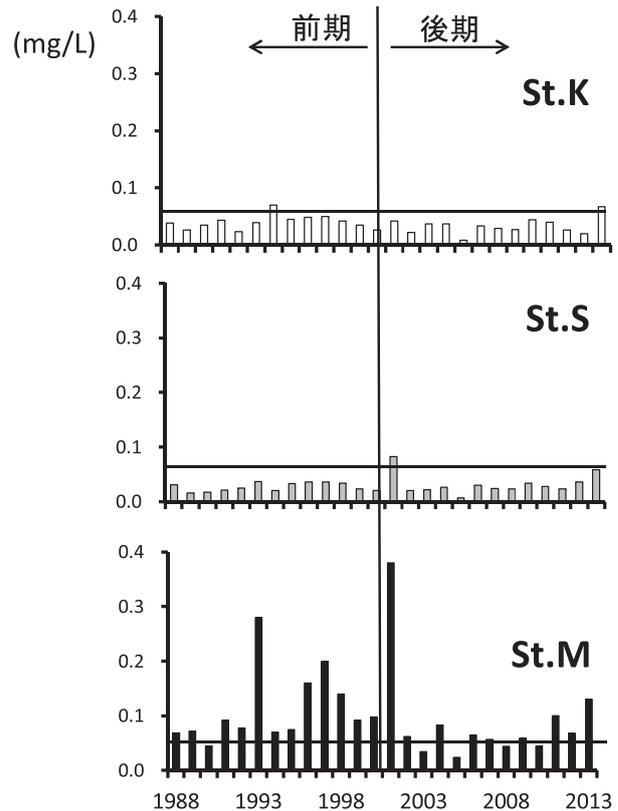


図 5. TP の経年変化
(前期・後期の区分は図 2 に同じ:0.05mg/L の線は環境基準)

TP の経年変化を図 5 および付表に、TN の経年変化を図 6 および付表に示した。TP に関しては 0.05mg/L 以下、TN に関しては 0.6mg/L 以下が環境基準であるので、図中に基準線を示した。TP および TN は pH、COD と同様に、St.M はほとんど全ての年で環境基準値を超過していたが、St.K と St.S では環境基準値を超過することがほとんどなかった。St.M においては TN が 1993 年に極大値を示し、その後増減しながら徐々に低下した。

SS の経年変化を図 7 および付表に示した。St.M は 2001 年にピーク (39mg/L) を示し、その後低下した。St.S においても 2001 年にピーク (17mg/L) を示したが、他の年は 10mg/L 以下の低い値であった。St.K においては常に 10mg/L 以下の低い値であった。

植物プランクトン数, pH, COD, TN, TP および SS の評価 植物プランクトン数で、St.K 前期を除く前期後期別のいずれの定点でも $p < 0.05$ で有意に傾きが 0 ではなく、傾きは St.M 前期が 0.42 で後期が -0.40 であった。同様に St.S 前期が 0.34 で後期が -0.34 であり、St.K 後期が -0.34 であった。pH では St.M 後期でも $p < 0.05$ であり有意に傾きが 0 ではなく、傾きは -0.10 であった。

一方、COD、TN、TP および SS の全定点、前期・後期いずれも $p > 0.05$ でありトレンドが見られなかったも

の、SS では、St.M において前期群の方が後期群よりも有意に大きかった ($p < 0.05$)。

考 察

本研究期間内で植物プランクトン数に変化傾向が認められたことから、従来の物理化学的要素では検知出来ない水質の変化を植物プランクトン数の推移から検知出来る可能性が示唆された。特に上・中流域に位置する三方湖、水月湖では、前期の増加と後期の減少の両方の変化が統計的に有意であり、より鋭敏に水質の状態を反映するので有用であると考えられた。

植物プランクトン数の減少時期である後期は、アオコの発生およびアオコ現象の主な原因生物のひとつである *Microcystis aeruginosa* が優占種として確認されていない。また、2008 年におけるヒシの繁茂などと連動した植物プランクトン数の減少とも同調しており、植物プランクトン数の変化とアオコの発生やヒシの増減といった生態学的な事象との連動性 (Sugimoto *et al.* 2014) も認められた。植物プランクトン数の減少が大きかった St.M では、細胞数の減少に伴う光合成活性の低下が pH の減少傾向として反映されたと考えられた。

一方、社会的環境変化についても 2000 年には三方地

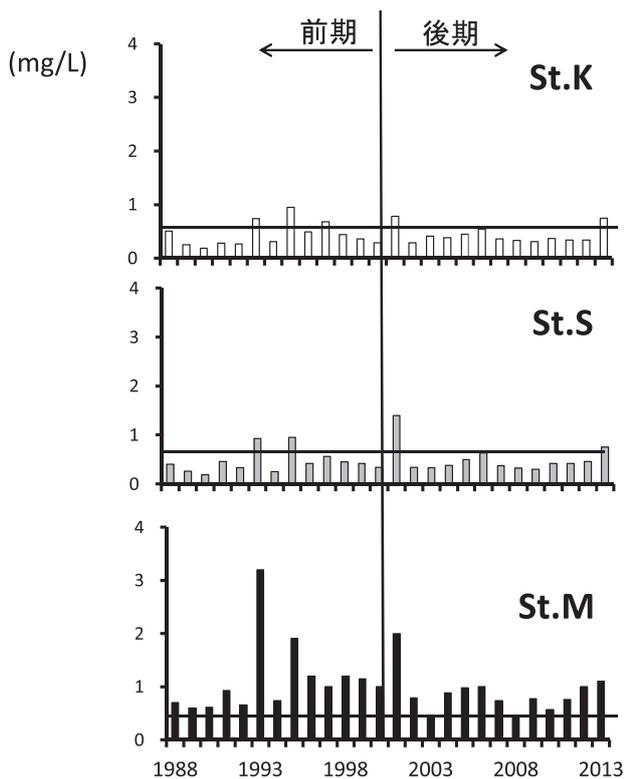


図 6. TNの経年変化
(前期・後期の区分は図2に同じ:0.6mg/Lの線は環境基準)

区において若狭町三方浄化センターが供用開始となった。このセンターでは、三方湖に流入する最大の河川であるハス川流域の下水を引き込み処理・放出しており、2,600m³/日の処理能力を有する。この処理により窒素の97%以上、リンやSSの99%以上を低減させる効果があるとされている。しかし本研究の結果からはSSへの効果しか認められず、窒素やリンに関しては上流域以外からの供給も考えられた。

この浄化センターの供用開始以降は大規模なアオコの発生が三方湖で確認されていないこと、2000年あたりをピークとした植物プランクトン数が減少していること、前期と後期でSSに有意差が認められること、ヒシの繁茂が問題となったことから判断すると、富栄養化した三方湖の水質は近年改善に向かっていると考えられた。水質転換の同調性を考慮すると諏訪湖と同様に(花里2012)、社会的な環境変化である下水道供用開始が三方五湖水環境改善に寄与していることが示唆された。

今後も水質改善に向かっている当該水域において、今回有用と判断された生物学的指標を含めた継続的な水質監視を実施し、水産業への影響や課題を引き続き検討していく必要がある。

謝 辞

三方湖に流入する下水処理水の現状について、情報提

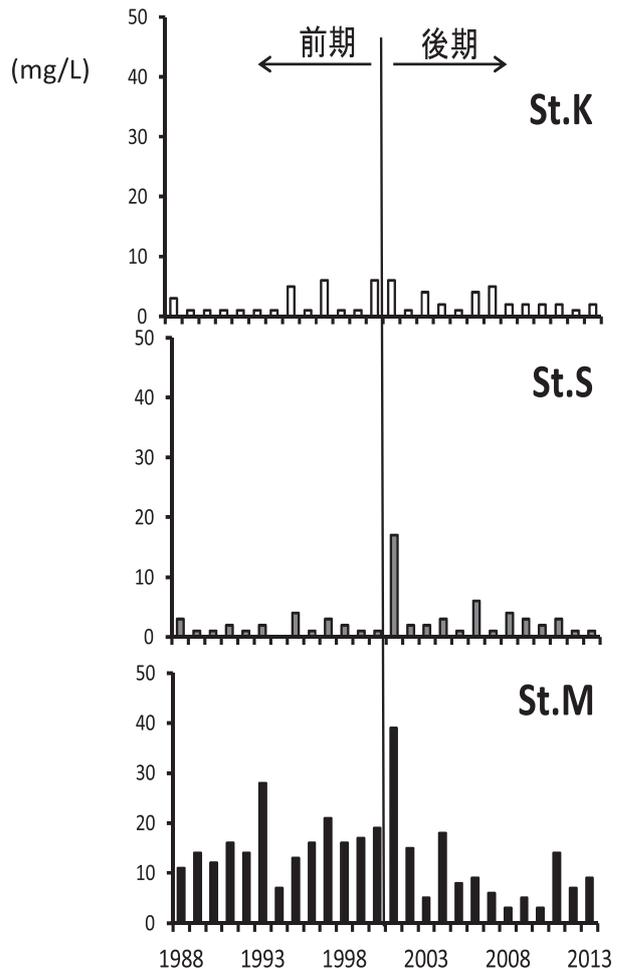


図 7. SSの経年変化(前期・後期の区分は図2に同じ)

供いただいた福井県若狭町水道課に深謝します。

文 献

- 青木啓子・石田敏一・宇都宮高栄・林隆一郎(1991) 福井県三方湖で発生したアオコ(1991年の事例). 福井県環境センター年報, 21, 78-84.
- 福井県(2014) 平成25年度版環境白書. 福井県, 福井, 87-118 pp.
- 花里孝幸(2012) 諏訪湖学. 地人書館, 東京, 76-101 pp.
- 水環境の総合指標研究委員会(2013) 水環境に関する総合指標の展開と今後. 水環境学会誌, 36, 439-445.
- 日本規格協会編(2014) JISハンドブック環境測定Ⅱ水質. 日本規格協会, 東京.
- 日本水環境学会編(1999) 日本の水環境. 技報堂出版, 東京 36-40pp.
- 日本水道協会編(2011) 上水試験方法2011年版・生物編. 日本水道協会, 東京, 120-131pp.
- Sugimoto R., T. Sato, T. Yoshida and O. Tominaga (2014) Using stable nitrogen isotopes to evaluate the relative importance of external and internal nitrogen loadings on phytoplankton production in a shallow eutrophic lake (Lake Mikata, Japan), *Limnol. Oceanogr.*, 59(1), 37-47.

三方五湖の水質評価

多田雅充・児玉晃治 (2011) 三方五湖水域の魚類相とその特性.
 福井県自然保護センター研究報告, 16, 45-61.
 津田久美子・早川和秀・岡本高弘 (2014) 有機汚濁と環境基準.
 用水と廃水, 56, 59-72.

渡辺真利代・原田健一・藤木博太編 (1994) アオコーその出現
 と毒素-. 東京大学出版, 東京, 1-3 pp.
 吉田陽一・堀家健司 (2001) 日本における湖沼の富栄養度と水
 産生物. 日水誌, 67(3), 422-428.

付表 本研究で用いたデータ

	植物プランクトン数(細胞数/mL)			pH			COD (mg/L)			TP (mg/L)			TN (mg/L)			SS (mg/L)		
	St.K	St.S	St.M	St.K	St.S	St.M	St.K	St.S	St.M	St.K	St.S	St.M	St.K	St.S	St.M	St.K	St.S	St.M
1988	5.8 × 10 ³	3.3 × 10 ³	5.9 × 10 ³	8.4	8.2	8.1	3.9	3.9	5.7	0.038	0.031	0.069	0.51	0.40	0.70	3	3	11
1989	7.4 × 10 ²	9.5 × 10 ²	4.0 × 10 ³	8.0	8.1	8.0	4.0	2.7	4.9	0.026	0.016	0.072	0.25	0.26	0.60	1	1	14
1990	3.9 × 10 ³	7.9 × 10 ³	1.6 × 10 ⁴	8.1	8.2	8.3	3.5	2.8	7.3	0.035	0.017	0.045	0.19	0.19	0.61	1	1	12
1991	6.6 × 10 ³	5.9 × 10 ³	1.1 × 10 ⁴	8.5	8.8	8.7	3.7	3.7	7.8	0.043	0.021	0.092	0.28	0.46	0.93	1	2	16
1992	3.1 × 10 ³	4.6 × 10 ³	6.2 × 10 ³	8.1	8.2	7.5	3.2	3.9	5.4	0.023	0.025	0.078	0.27	0.33	0.66	1	1	14
1993	6.8 × 10 ²	2.9 × 10 ³	2.5 × 10 ³	8.7	9.0	9.4	3.1	6.1	19.0	0.039	0.037	0.280	0.74	0.93	3.20	1	2	28
1994	4.1 × 10 ³	4.4 × 10 ³	2.8 × 10 ⁴	8.4	7.9	8.6	5.6	2.9	7.2	0.070	0.020	0.070	0.31	0.25	0.74	1	0	7
1995	5.1 × 10 ³	4.4 × 10 ³	3.8 × 10 ⁴	8.8	9.1	10.0	4.2	5.1	9.5	0.045	0.033	0.075	0.95	0.95	1.91	5	4	13
1996	1.0 × 10 ³	1.9 × 10 ⁴	1.3 × 10 ⁵	8.3	8.3	8.9	3.4	4.4	9.4	0.048	0.036	0.160	0.49	0.42	1.20	1	1	16
1997	3.2 × 10 ⁴	3.9 × 10 ⁴	1.2 × 10 ⁵	9.1	9.2	9.1	3.2	4.8	8.3	0.050	0.036	0.200	0.68	0.56	1.00	6	3	21
1998	3.8 × 10 ³	4.1 × 10 ⁴	1.0 × 10 ⁵	8.5	8.8	9.2	3.8	5.8	11.0	0.042	0.034	0.140	0.44	0.45	1.20	1	2	16
1999	2.1 × 10 ⁴	7.6 × 10 ⁴	5.3 × 10 ⁵	8.1	8.0	8.8	5.3	4.2	10.0	0.035	0.023	0.092	0.36	0.42	1.15	1	1	17
2000	2.7 × 10 ⁴	2.1 × 10 ⁵	7.6 × 10 ⁵	8.1	7.9	8.1	3.0	3.8	11.0	0.026	0.020	0.098	0.29	0.34	1.00	6	1	19
2001	6.1 × 10 ⁵	1.3 × 10 ⁶	5.1 × 10 ⁵	8.9	9.8	9.5	6.9	10.0	16.0	0.042	0.082	0.380	0.78	1.40	2.00	6	17	39
2002	2.2 × 10 ⁵	3.8 × 10 ⁵	3.2 × 10 ⁵	8.2	8.3	8.1	3.5	3.7	8.2	0.022	0.020	0.062	0.29	0.34	0.79	1	2	15
2003	2.9 × 10 ⁴	6.2 × 10 ⁴	9.0 × 10 ⁴	8.6	8.8	9.2	4.3	3.8	5.9	0.037	0.022	0.034	0.41	0.33	0.43	4	2	5
2004	1.4 × 10 ⁴	5.8 × 10 ⁴	1.0 × 10 ⁵	8.2	8.1	8.3	4.9	4.4	6.8	0.037	0.026	0.083	0.38	0.38	0.88	2	3	18
2005	3.1 × 10 ⁴	9.5 × 10 ⁴	1.6 × 10 ⁵	8.3	8.5	9.0	3.9	4.4	8.2	0.008	0.007	0.024	0.45	0.50	0.98	1	1	8
2006	2.9 × 10 ⁵	3.1 × 10 ⁵	1.8 × 10 ⁵	8.4	8.8	9.4	5.0	5.9	8.1	0.033	0.030	0.065	0.54	0.63	1.00	4	6	9
2007	6.7 × 10 ³	7.2 × 10 ⁴	1.6 × 10 ⁵	7.8	7.8	8.5	5.2	4.1	5.6	0.029	0.024	0.057	0.36	0.37	0.74	5	1	6
2008	2.0 × 10 ⁵	3.7 × 10 ⁵	1.1 × 10 ³	8.2	8.5	7.1	4.8	4.7	6.1	0.027	0.023	0.044	0.33	0.32	0.43	2	4	3
2009	1.1 × 10 ⁴	1.5 × 10 ⁴	1.1 × 10 ⁴	8.4	8.2	8.0	5.0	4.0	4.6	0.044	0.034	0.059	0.31	0.30	0.77	2	3	5
2010	1.3 × 10 ⁴	2.0 × 10 ⁴	7.1 × 10 ³	8.6	8.8	8.6	4.4	4.3	6.0	0.040	0.028	0.045	0.37	0.42	0.57	2	2	3
2011	5.0 × 10 ³	1.9 × 10 ⁴	7.9 × 10 ³	8.3	8.9	7.8	2.9	5.1	8.8	0.026	0.023	0.100	0.34	0.42	0.76	2	3	14
2012	3.4 × 10 ³	1.6 × 10 ⁴	1.9 × 10 ⁴	8.2	8.1	8.1	2.7	3.3	8.4	0.020	0.036	0.068	0.34	0.46	1.00	1	1	7
2013	3.3 × 10 ³	3.4 × 10 ³	3.4 × 10 ³	8.1	8.0	7.9	4.2	4.2	5.9	0.067	0.058	0.130	0.75	0.75	1.10	2	1	9