

八郎湖および流入河川の水質の時空間変動について

秋田県立大学 名誉教授

片野 登

1. はじめに

秋田県における河川や湖沼および沿岸海域などの公共用水域の水質監視調査は1970(昭45)年から行われており、その測定結果は『環境白書』において公表されている。この調査が開始されて既に50年が経過しており、その結果は文字通りビッグデータになっている。著者は、この調査の結果を多くの方々に理解していただき、秋田県の水質の現状をよりの確に把握していただくために、水質測定結果の“見える化”を考え、1990年に県内約260地点の水質の変動をグラフ化した『図説・秋田県環境白書水質編』(1990)を作成したが、今般さらに八郎湖流域の水質の空間分布を見える化した『八郎湖水質マップ2019』を作成した。これは、水質項目のいくつかについて、年度ごとの平均値を八郎湖流域の地図上に落としたもので、データは便宜的に1984年度～2019年度のものを使用している。これは八郎湖流域の全窒素および全リンの分析について、1984年度より環境庁(現環境省)告示法を採用したことによる。取り上げた地点は、図1に示すように公共用水域測定地点の中の14地点と干拓

地の支線排水路1地点の計15地点で、14地点については八郎湖流入河川の馬踏川(馬踏川橋)、豊川、井川、馬場目川(竜馬橋)、三種川の5地点、湖内の浜口機場、野石橋、大潟橋0m、調整池東部0m(以下東部0m)、湖心0m、調整池西部0m(以下西部0m)、防潮水門0m(以下水門0m)の7地点、それに南・北両排水機場(以下機場)の2地点である。支線排水路については、高濃度リン含有地下水が流下するLDG1排水路(以下LDG1)の1地点である。

本報告では、このマップの一部に加えて平均経月変化も併せて示し、項目毎に八郎湖流域の36年間の水質の変化について俯瞰する。

2. 八郎湖の流入・流出水量

八郎湖の水源は、流域894.3 km²に降った降水で、それが流域の約20本の河川を経て八郎湖に流入し、そこで貯留されたのち防潮水門から日本海へと放出される。その量は毎年10億トン前後にのぼる。湖水は、5～9月のかんがい期には干拓地の周辺19ヵ所に設置された取水場から汲み揚げられ、用水として干拓地の農地に供給される。農地で使用された水は、幹線排水路に集水され、南・北両機場から再び八郎湖へと排出される。八郎湖水は、このように循環的に使用される。

南・北両機場から湖内に、および防潮水門から日本海に排出される水量については秋田県により詳細に記録されているが、流域から八郎湖に流入する河川の水量についてのデータは極めて少ないことから、八郎湖の流入・流出水量については過去に流入河川の水量の推計を行った2007年5月、7月、11月の水量について示す。

図2にかんがい期である2007年5月の各地点における水の流入・流出量を示した。かんがい期には、南・北両機場から大量の水が湖内に排出される。2007年5月の場合、秋田県の資料によると南部機場から4,867万m³、北部機場から4,734万m³の水量が排出された。一方、河川から



図1 調査地点

湖内に流入する水量は、降雨から推計した数値で馬場目川から4,361万 m^3 、三種川から3,763万 m^3 と推定された。このことは、5月には馬場目川や三種川から流入する水量を上回る量が南・北両機場から八郎湖に排出されていることを示しており、八郎湖の汚濁に関してはこの4地点すなわち馬場目川、三種川、南・北両機場からの流入水が大きな影響を与えることを示している。

この中で馬場目川は、湖水の汚濁を希釈させることに大きく寄与している。

図3に同年7月の、図4に11月の流入・流出水量を示した。7月になると河川からの流入量が少なくなり、機場排水の占める割合が大きくなった。非かんがい期の11月では機場排水の量はかなり少なくなり、河川からの水量の割合が大きくなっている。



図2 八郎湖の流入・流出水量(2007年5月)



図3 八郎湖の流入・流出水量(2007年7月)



図4 八郎湖の流入・流出水量(2007年11月)

3. 全窒素 (T-N)

1) 年度平均値

河川における平均T-N濃度が最も低い2006年度の空間分布を図5に、最も高い1996年度を図6に示す。T-N濃度について、2006年度は高濃度リンを含む地下水が流下するLDG1水路の濃度が最も高くして1.59 mgL⁻¹、次いで南部機場が1.21 mgL⁻¹、北部機場が1.01 mgL⁻¹となっている。河川で高いのは馬踏川の0.90 mgL⁻¹で、次いで井川0.71 mgL⁻¹、豊



図5 T-N濃度の空間分布 (2006年度平均)



図6 T-N濃度の空間分布 (1996年度平均)

川と三種川0.62 mgL⁻¹と続く。湖内の平均濃度が0.67 mgL⁻¹に対して馬場目川の濃度が0.42 mgL⁻¹であることから、馬場目川が八郎湖の濃度を希釈する大きな役割を担っていると考えられる。

一方、1996年度で平均濃度が最も高かったのは馬踏川で1.98 mgL⁻¹、次いで南部機場1.67 mgL⁻¹、豊川1.50 mgL⁻¹、野石橋1.44 mgL⁻¹と続く。1996年度の降水量は、年計で1009 mm (アメダス大潟)で、今回扱った36年の中では最も少ない年度であった。

図7に八郎湖のT-Nの経年変化を、図8に各態窒素の構成割合を示した。

八郎湖のT-N濃度は1984年度から2019年度の間で見ると増加傾向を示しており、各態窒素の構成割合を見ると、アンモニア態窒素と硝酸態窒素の割合が減少し、有機体窒素の割合が増加する傾向を示している。この原因については西部承水路の流動促進などの影響が考えられるが、明らかではない。

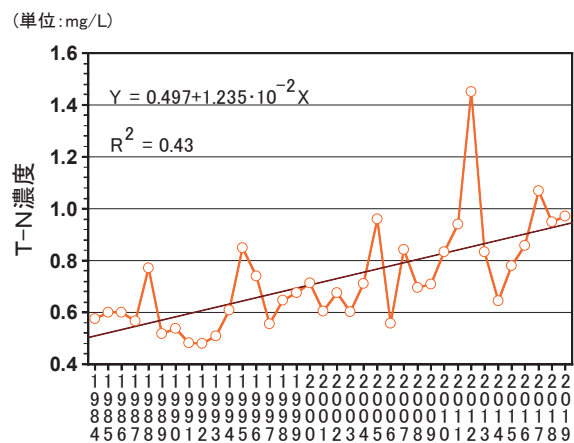


図7 T-N濃度の経年変化 (湖心0m)

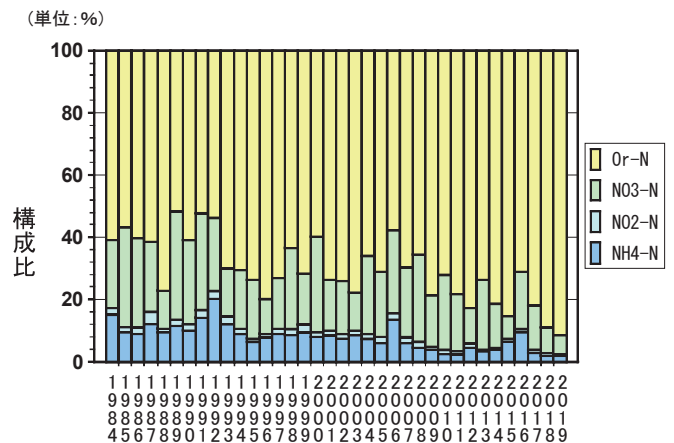


図8 各態窒素の構成比 (湖心0m)

2) 経月変化

図9に流入水におけるT-N濃度の36年間の平均値から得られた経月変化を示す。河川水はいずれも5月に最大を示し、6月以降は徐々に減少する傾向を示したが、馬場目川では水量が多いためか変化の幅が極めて小さかった。

5月になると、干拓地周辺から汲み上げられた湖水が、農地を経て幹線排水路に流れ込む。排水機場のT-N濃度は、5月には代かき排水の影響で高い濃度を示すが、6月から9月にかけては湖水と混合することにより濃度が低下する。

図10に湖内におけるT-N濃度の経月変化を示す。5月に第1のピークが現れるが、これは代かき排水によるものと思われる。第2のピークは8月に出るが、この原因としてはアオコの発生による部分と、5月1日から7月31日まで+1.00 mだった管理水位を8月1日から9月11日の+0.50 mに向けて徐々に下げることから、水門からの放水量が増加し、それに伴って生じた新たな河川水の混入割合が増加し、それによってこのピークが生じたということも考えられる。

また、濃度の高い河川水の混入が増えたことによりアオコの発生が促進されたという考え方もできるかもしれない。6月に濃度が低下して、その後8月にかけて急激に上昇するメカニズムは極めて興味深い。

2月に浜口機場と野石橋でピークを示す。この原因は判明していないが、浜口機場付近に流入する浅内川のT-N濃度は1985-1996年度平均で1.94 mgL⁻¹であることから、浅内川の影響を受けている可能性も考えられる。

図11と図12に浜口機場と大潟橋0 mにおける窒素組成の経月変化を示した。比較すると、大潟橋0 mでは10～3月にかけて硝酸態窒素濃度(NO₃-N)が徐々に上昇し、有機態窒素(Or-N)濃度が徐々に低下するものの、T-N濃度はほぼ横ばいで推移する。一方浜口機場では、9～2月にかけてNO₃-N濃度が急激に上昇し、Or-N濃度は低下するもののT-N濃度としては2月が突出して高くなるという変化を示している。このNO₃-N濃度の上昇が2月に見られるピークの大きな要因になっているが、その原因は明らかではない。

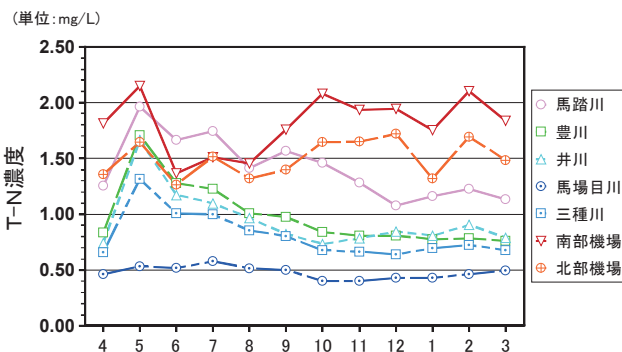


図9 流入水の経月変化 (1984-2019年度平均)

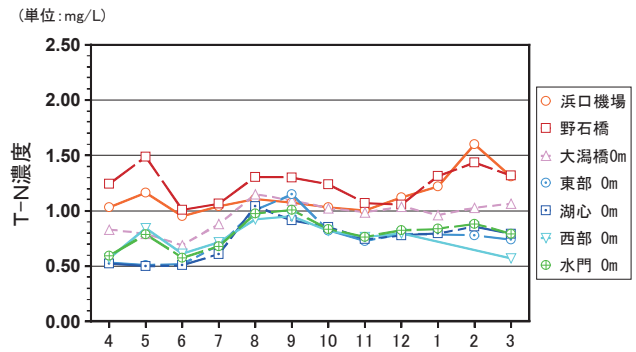


図10 湖内の経月変化 (1984-2019年度平均)

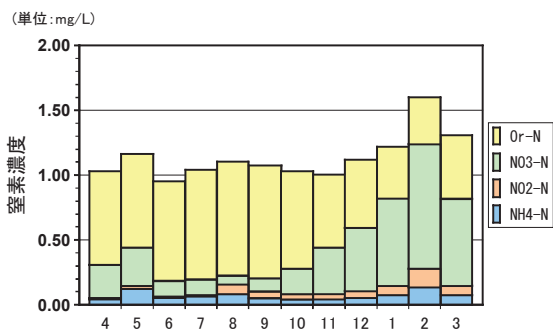


図11 浜口機場の窒素組成 (1984-2019年度)

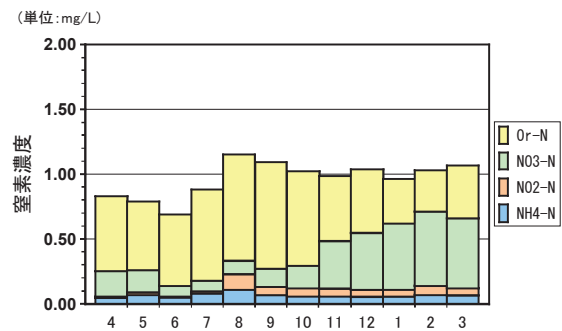


図12 大潟橋0 mの窒素組成 (1984-2019年度)

4. 全リン (T-P)

1) 年度平均値

図13に支線排水路の調査が行われた1986年度の平均濃度分布を示す。支線排水路LDG1のリン濃度が高いのは、その後の調査で干拓地南岸に湧出するリン濃度の高い地下水が流入することによることが明らかにされた(片野ら1998)。

また、LDG1を流下した水は幹線排水路を経て南部機場に至ることから、南部機場のリン濃度が北部機場より高くなる理由も明らかになった。

1986年度のT-Pの平均濃度は、LDG1が1.626 mgL⁻¹、南部機場が0.499 mgL⁻¹、北部機場が0.125 mgL⁻¹、豊川が0.116 mgL⁻¹であった。湖内の平均濃度0.064 mgL⁻¹に比較すると、LDG1は約25倍の濃度であった。

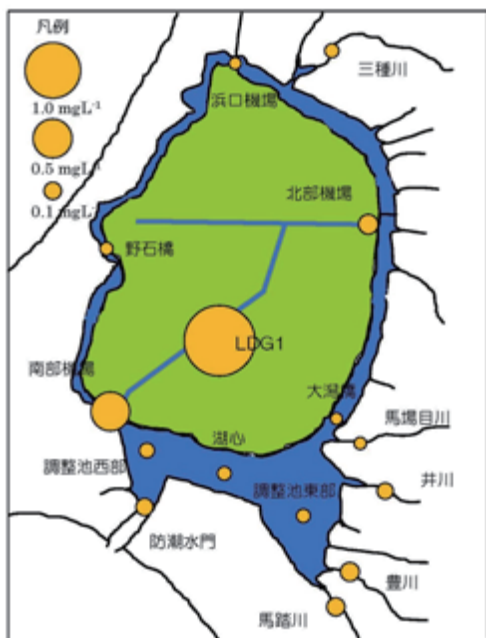


図13 T-P 濃度の空間分布 (1986年度平均)

図14に河川におけるT-Pの平均濃度が最も高い2007年度の空間分布を示す。LDG1の濃度は0.837 mgL⁻¹、南部機場が0.353 mgL⁻¹、北部機場が0.158 mgL⁻¹、馬踏川が0.127 mgL⁻¹、豊川が0.126 mgL⁻¹、井川が0.097 mgL⁻¹であった。2007年度は、気象的には特に大きな特徴は見られなかった。

八郎湖流域を含む秋田県の西側(海側)の河川源流部では、比較的高濃度の溶存無機態リン(DIP)が検出されており、女川層上部から船川層下部、天徳寺層にかけての海成堆積物が現世における渓流水中リンの起源になっている可能性がある(早川ら2015)と報告されている。

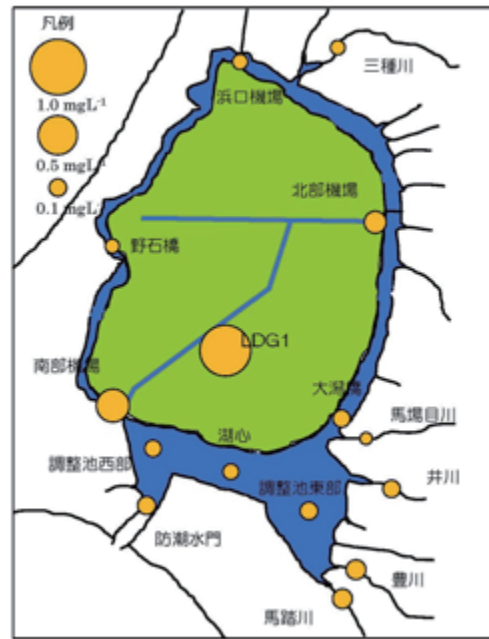


図14 T-P 濃度の空間分布 (2007年度平均)

図15に南・北両排水機場の1984年度から2019年度までのT-P濃度の経年変化を示す。T-P濃度は南部機場では減少傾向を、北部機場では増加傾向を示している。X軸において1983年度を0、1984年度以降を1、2、・・・としてx軸を変換し、y軸の濃度との近似曲線を求め、方程式から両線が交わる点を求めると、x = 68.34となった。すなわち今の傾向が続けば、南・北排水機場のT-P濃度は2051年に同じ濃度になると推測される。

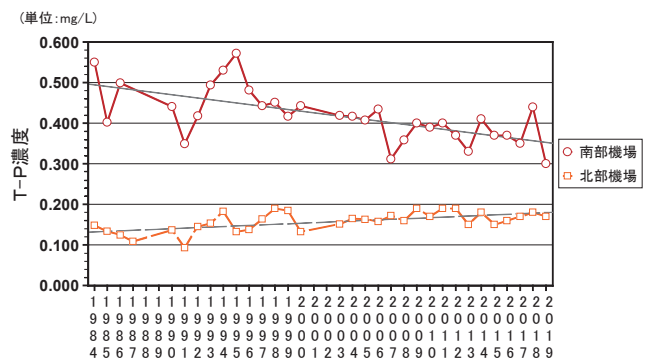


図15 南北排水機場のT-P濃度の経年変化

2) 経月変化

図16に流入水におけるT-P濃度の経月変化を示す。5月に干拓地周辺の取水場から汲み上げられた大量の湖水が幹線排水路に流れ込むことによって、南部機場では大幅な濃度の低下が見られ、濃度の低い状態は8月まで続く。北部機場

では、5月にピークを作って以降徐々に濃度を減じながら、7月、10月、12月に小さなピークを示す。

流入河川では、5月に急激な濃度の上昇が見られ、その状態が7月まで維持されて8月頃から漸次低下する。八郎湖では4月1日から5月1日の間に管理水位を+0.50 mから+1.00 mまで引き上げる。+1.00 mの管理水位は7月31日まで継続される。その結果、湖内における水の滞留時間は、1995～2008年の平均が44.8日であるのに対して5月は70.8日、6月は137.4日、7月は46.5日になる。5月の滞留時間は平均の1.58倍、6月は3.07倍の長さになる。この結果、流入河川の河口部では水温成層が形成され、リンの溶出が起これと考えられる (Hayakawa et al. 2015)。この溶出によって5月のピークが7月まで持続するものと考えられる。

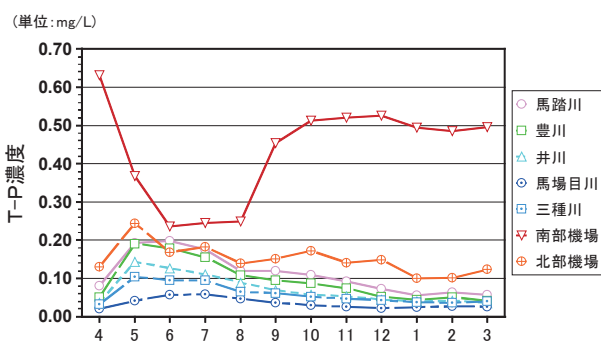


図16 流入水の経月変化 (1984-2019年度平均)

図17に湖内におけるT-P濃度の経月変化を示す。5月に代かき排水によるピークができた後、6月にやや低下して9月に向かって上昇する。8、9月は流入水では濃度が一旦低下した時期であるが、湖水ではピークとなる。T-Nでは8月

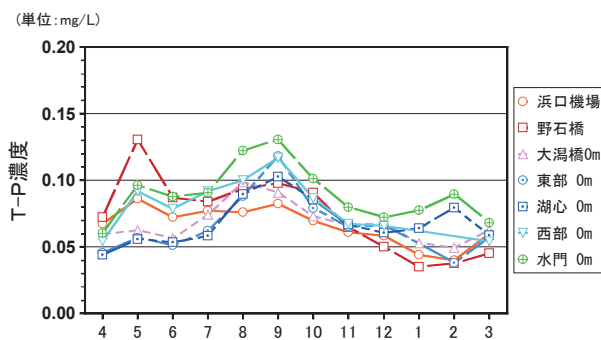


図17 湖内の経月変化 (1984-2019年度平均)

にピークを形成するが、T-Pでは9月にピークを作るところに窒素とリンの相異が出ている。またT-Nでは浜口機場と野石橋で1、2月に大きなピークが現れたが、T-Pでは1、2月は最も濃度の低い時期になっている。浜口機場付近に流入する浅内川のT-P濃度を見ると1985～1996年度の平均値は0.085 mgL⁻¹であり、図17における浜口機場の0.066 mgL⁻¹、野石橋の0.074 mgL⁻¹をやや上回る濃度であった。

5. 全窒素/全リン比 (T-N/T-P比)

海洋のプランクトンの平均的組成として、しばしば (CH₂O)₁₀₆(NH₃)₁₆H₃PO₄ という分子式が用いられる (宝月欣二 1974)。この式でCとNとPの元素比は106:16:1になっており、これはレッドフィールド比を示している。海洋のプランクトンは、これらの元素をこの比率で体内に取り込んで栄養にしている。各元素の組成比は、Cは35.8%、Hは7.4%、Oは49.5%、Nは6.3%、Pは1.0%を占めているが、一方、淡水産植物プランクトンではNについて8.3～9.3%程度の値が普通であるという。また、タンパク質、アミノ酸などの生物体中の含窒素有機体は、植物の合成したアミノ酸に直接あるいは間接に依存しているという (宝月 1974)。

そこで、淡水産植物プランクトンの平均組成を求めるために、上記の分子式を (CH₂O)₁₀₆(NH₃)_xH₃PO₄ とし、Nの割合を8.3～9.3%の中間値である8.8%としてXの値を求めた。その結果X=23の時にNの割合が8.8%になったので、淡水産植物プランクトンの平均組成を (CH₂O)₁₀₆(NH₃)₂₃H₃PO₄ としNとPの組成比を求めることにした。

NとPの元素の比23:1を質量の比で見ると、(14.008×23):(30.975×1)=10.40:1になる。つまり、N:Pの質量の比が10.40よりも大きい場合は淡水植物プランクトンの栄養摂取にとって窒素が過剰・リンが制限因子(リン制限)になり、逆に10.40よりも小さい場合はリンが過剰・窒素が制限因子(窒素制限)となる。

今回はそれぞれの地点の全窒素/全リン比を求め、上記の数値10.40を境に図中の円の色分けをして全窒素/全リン比の分布を示した。

1) 年度平均値

図18に湖内におけるT-N/T-P比について、平均値が最も低い1989年度の空間分布を示す。1989年度はT-N/T-P比について4地点が10.40未満で窒素制限・リン過剰の状態、8地点が10.40より大きくリン制限・窒素過剰の状態にあった。値が最も大きかったのは浜口機場の18.78、最も小さかったのは防潮水門の5.61で、調整池内の4地点はいずれも10.40未満となり、調整池内が窒素制限・リン過剰の状態であることを示している。数値は西部6.35、湖心8.15、東部10.39となっていることから、南部機場から排出される高濃度リン含有地下水の影響が大きいと思われる。

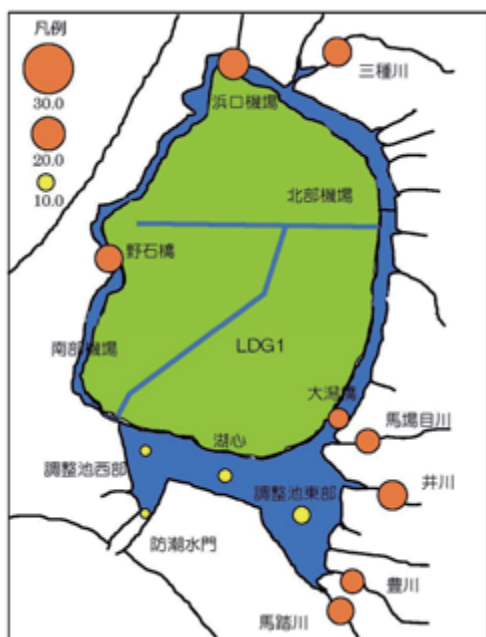


図18 T-N/T-P比の空間分布 (1989年度平均)

よび湖内ともにT-P濃度は大幅な低下を示すことになるが、翌1988年度及び1989年度には湖内のT-P濃度は大幅な上昇を示した。この結果はT-N/T-P比にも反映し、1988及び1989年度は調整池内の4地点ではいずれもT-N/T-P比は10.40未満の5.61~10.39の範囲にあって、窒素制限・リン過剰の状態となった。

図20にT-N/T-P比の平均値が最も高かった1995年度の分布を示す。野石橋が38.8、浜口機場が26.8、馬踏川が23.7、馬場目川が21.7で、南部排水機場と防潮水門を除く地点が10.40を超えてリン制限・窒素過剰の状態にあった。1995年度は36年間で最も日照時間が短い年であった。

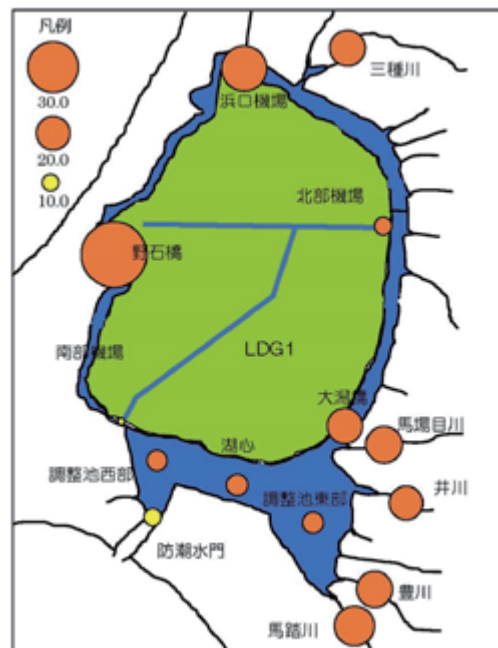


図20 T-N/T-P比の空間分布 (1995年度平均)

図19にT-Pについて流入河川と湖内の平均濃度を比較したものを示す。1987年には八郎湖に海水が流入するという事故が発生し、流入河川お

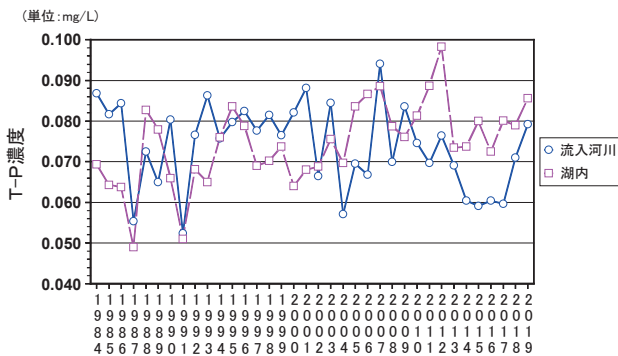


図19 平均T-P濃度の経年変化の比較

2) 経月変化

図21に流入水におけるT-N/T-P比の経月変化を示す。流入水のT-N/T-P比について見ると、南部機場を除いて4月に高かったT-N/T-P比が5~7月の間は低い状態で推移し、8月頃から3月に向けて再び上昇するという動きになっている。流入河川の河口域では5月は代かき排水の影響で、6、7月は八郎湖での滞留時間が長くなることから水の交換が少なくなり、成層が形成されてリンの溶出を招き、リンの濃度を増すことからT-N/T-P比が低下したと思われる。南部機場ではリン濃度が高いことからT-N/T-P比の変動も少なく、ほぼ年間を4~7の間で推移した。

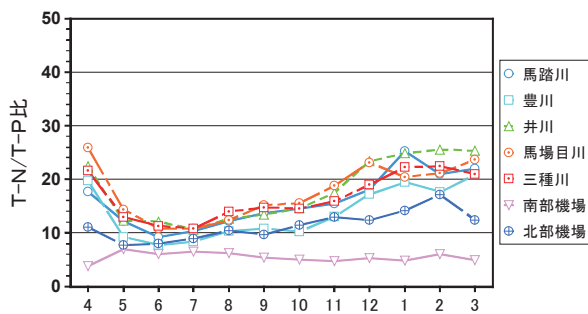


図21 流入水の経月変化 (1984-2019年度平均)

図22に湖内におけるT-N/T-P比の経月変化を示す。湖内のT-N/T-P比は4～11月まではほぼ横ばいで推移するが、冬季になるとやや数値が高くなり、調整池西部と防潮水門を除いて2月にピークを作る。調整池内の冬季の調査事例は極めて少ないので確たることは言えないが、浜口機場と野石橋については冬季においても調査を行っているので、結果の信頼度は高い。その中で1月と2月に極めて高いピークを作ることは、異様に思われる。T-Nの経月変化においてもこの2地点で1.4～1.6 mgL⁻¹の濃度が記録されていることから、窒素濃度の上昇によりT-N/T-P比が高くなったことは間違いないが、なぜT-N濃度が高くなるかについては、まだ何も究明されていない。

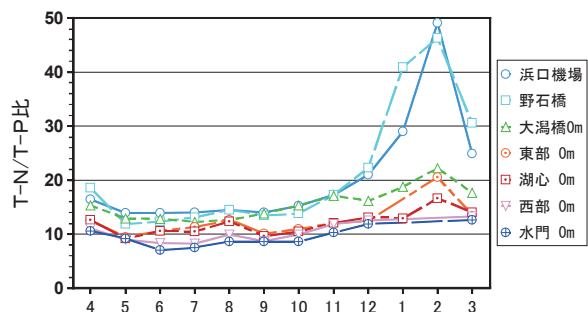


図22 湖内の経月変化 (1984-2019年度平均)

6. クロロフィルa (Chl. a)

Chl.aは植物に含まれる主要な光合成色素で、水中におけるその濃度は植物プランクトン量の目安となる。Chl.a濃度のデータについては、流入河川では1984～2000年度、湖水および排水機場では1984～2019年度のデータを使用している。

1) 年度平均値

図23に湖内におけるChl.aの平均濃度が10.8 μg/L⁻¹と最も低かった1989年度の空間分布を示す。湖内で最も高い濃度を示したのが野石橋で26.9 μg/L⁻¹、

次いで大潟橋0 mが14.8 μg/L⁻¹、次が浜口機場で14.3 μg/L⁻¹、流入河川で高かったのが井川で10.4 μg/L⁻¹、調整池内の各地点は3.6～5.9 μg/L⁻¹と極めて低い濃度であった。

1989年度はT-N/T-P比においても湖水の平均値が最も低い年で、年平均では調整池内4地点が窒素制限を示した年であった。Chl.aの濃度分布は、T-N/T-P比を反映したような分布となった。

1989年度の気象に特に際立った特徴は見られなかった。



図23 Chl. a濃度の空間分布 (1989年度平均)

図24に湖内における平均濃度が54.6 μg/L⁻¹と最も高かった2015年度の濃度分布を示す。

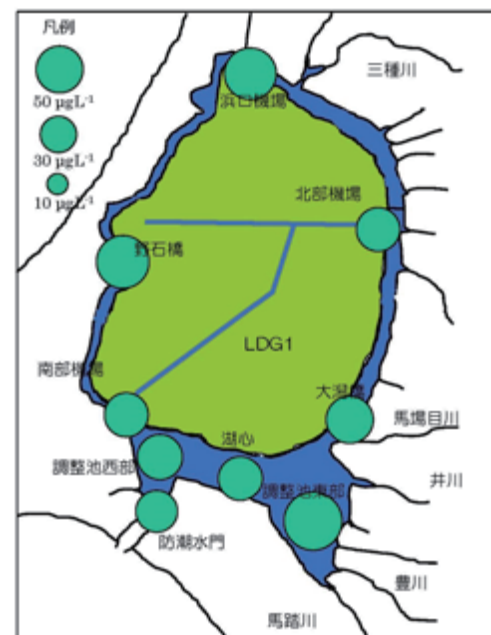


図24 Chl. a濃度の空間分布 (2015年度平均)

気象について見ると、2015年度は36年の中で平均気温が上から3番目、日照時間が上から5番目、降水量が下から2番目の年で、藻類の増殖には極めて適した年であったと思われる。

2) 経月変化

図25に流入水におけるChl.a濃度の経月変化を示す。両機場では9月と10月の濃度が高く、南部機場では北部機場に比較してより高い濃度を示した。これはリンが豊富に存在することによるものであろうか。流入河川ではいずれも8月にピークが見られた。

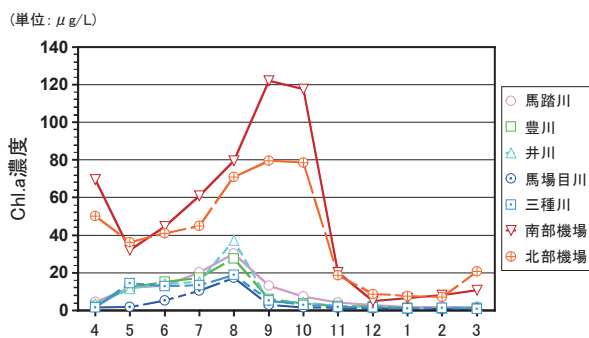


図25 流入水の経月変化 (1984-2019年度平均)

図26に湖内におけるChl.a濃度の経月変化を示す。水温が高くなる8月に概ねピークが見られたが、これはアオコ(シアノバクテリア)の発生によるものと思われる。東部0mと浜口機場は9月も高い濃度を示した。一方、珪藻の増殖によるとみられる第2のピークが4月に見られたが、野石橋では4月よりも5月の方が高い濃度を示した。野石橋のChl.a濃度が群を抜いて高いのは、窒素濃度が高いことによるものだろうか。

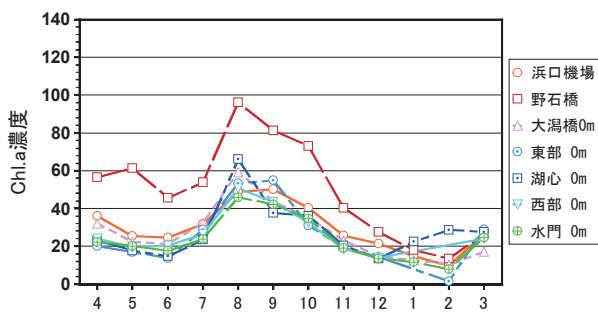


図26 湖内の経月変化 (1984-2019年度平均)

7. 化学的酸素要求量 (COD)

CODは水中にある有機物の量を表すもので、湖沼と海域においては汚濁の指標とされている。八郎湖の水質環境基準はCODが 3 mgL^{-1} 以下とされているが、未だ達成はされていない。

1) 年度平均値

図27に湖内における平均値が 5.2 mgL^{-1} と最も低かった1990年度のCOD分布を示す。数値の高い地点は、南部機場 9.5 mgL^{-1} 、北部機場 9.0 mgL^{-1} 、馬踏川 8.5 mgL^{-1} 、野石橋 7.1 mgL^{-1} などである。

気象についてみると、1990年度は平均気温が上から5番目であり、降水量が上から14番目であるが、9月の降水量については 346 mm で2番目に多い量となっている。



図27 CODの空間分布 (1990年度平均)

図28に湖内における平均値が 8.8 mgL^{-1} と最も高かった2019年度のCOD分布を示す。高い地点としては、北部機場 11.3 mgL^{-1} 、南部機場 11.2 mgL^{-1} 、浜口機場 11.0 mgL^{-1} 、馬踏川 10.6 mgL^{-1} 、野石橋 10.2 mgL^{-1} などである。

気象についてみると、2019年度は平均気温が36年間で最も高い年で、日照時間が上から4番目であった。これにより藻類の増殖が促進され、COD値の上昇に結びついた可能性が考えられる。



図28 CODの空間分布 (2019年度平均)

2) 経月変化

図29に流入水におけるCODの経月変化を示す。南・北機場は4～10月の間高い値を示すが、11月以降低下して1月に最小となる。流入河川はいずれも5月にピークを示し、以降徐々に低下して1～4月に最小となる。

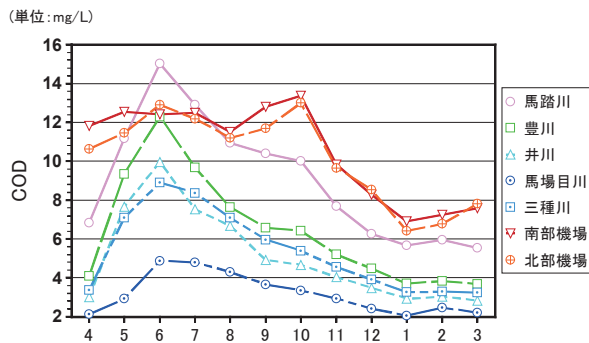


図29 流入水の経月変化 (1984-2019年度平均)

図30に湖内におけるCODの経月変化を示す。

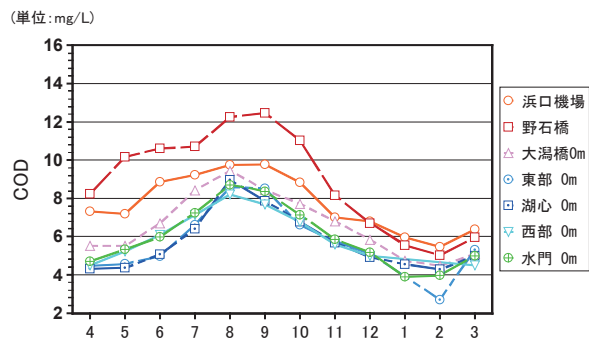


図30 湖内の経月変化 (1984-2019年度平均)

湖内のCODは8～10月にかけてピークとなり、2月に最小となる。承水路では4月から値が高くなるが、調整池内の4点では4月の値は極めて低い。

8. 懸濁物質 (SS)

SSは、水中にある懸濁物質 (濁り) のうち粒径 2 mm以下のものを指す。

1) 年度平均値

図31に両機場におけるSSの平均濃度が22.5 mg/Lと最も低かった1991年度の空間分布を示す。1991年度に高い濃度を示した地点は、南部機場22.4 mg/L、北部機場22.6 mg/L、野石橋20.2 mg/Lなどで、全般に低い濃度であった。

気象については、降水量が上から16番目とほぼ平均値に近い量であったし、日照時間は下から5番目で比較的少ない年であった。



図31 SS濃度の空間分布 (1991年度平均)

図32に南・北両機場の平均濃度が57.1 mg/Lと最も高かった2009年度の空間分布を示す。南・北機場ではそれぞれ59.3 mg/Lと55.0 mg/Lで極めて高い濃度を示し、湖内でも東部 0 mで24.1 mg/L、水門 0 mで19.8 mg/Lと高い濃度が示された。気象については、降水量が平均値では上から9番目であったが、7月の降水量は333.0 mmと7月としては2番目に多い年であった。

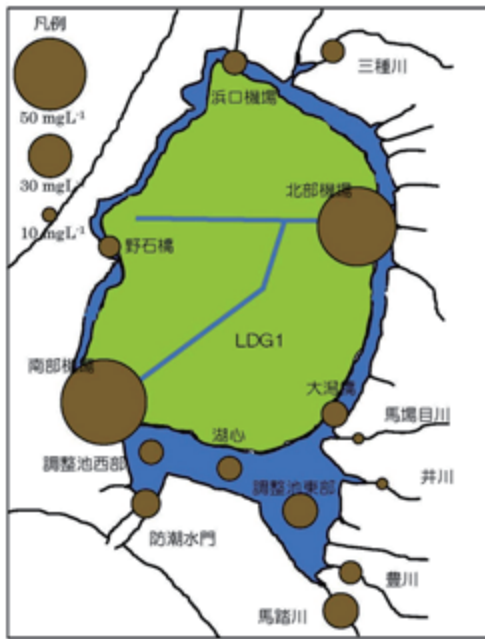


図32 SS濃度の空間分布 (2009年度平均)

2) 経月変化

図33に流入水におけるSSの経月変化を示す。馬場目川を除いていずれも5月にピークを示し、とりわけ南・北機場の濃度は極めて高く、南部機場は131.4 mg/L、北部機場は101.6 mg/Lであった。その後11月に小さなピークが現れて、以降濃度は低下し、1月に最少になる。

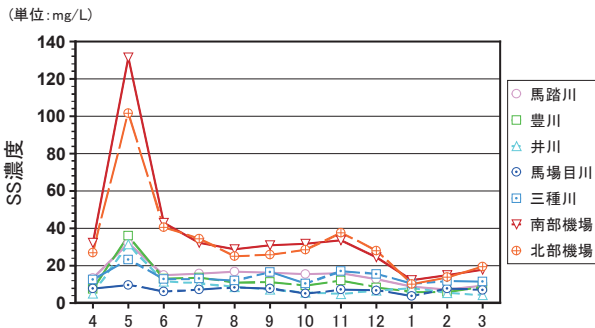


図33 流入水の経月変化 (1984-2019年度平均)

図34に湖内におけるSSの経月変化を示す。湖内においても流入水同様に5月に最大のピーク

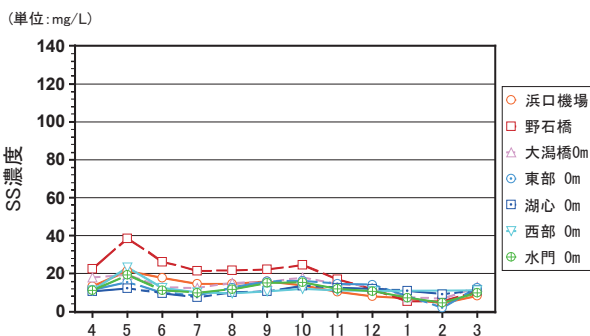


図34 湖内の経月変化 (1984-2019年度平均)

が見られたあと夏季は濃度が低下し、10月に第2のピークが見られ、その後濃度は大幅に低下して2月頃ほぼ最小となる。中では野石橋の濃度が群を抜いて高くなる。

9. 塩化物イオン (Cl)

1) 年度平均値

図35に湖内におけるClの平均濃度が32 mg/Lと最も低かった2017年度の空間分布を示す。2017年度の降水量は年計で1721.5 mmであり、多い方から数えて5番目であった。平均濃度の最も高い南部機場の濃度は113 mg/L、次いで北部機場が106 mg/L、その次が防潮水門で36 mg/Lと両機場に比較して格段に濃度が低下する。八郎潟は汽水湖だったことからその湖底であった干拓地は長い間塩水に浸漬しており、その間に蓄積された塩分が現在溶脱して機場のCl濃度を押し上げている。



図35 Cl濃度の空間分布 (2017年度平均)

図36に南・北両機場および調整池東部0 mにおけるCl濃度の1985年度から2019年度までの経年変化を示す。調整池東部0 mについては、海水の流入があった1987年度のデータは異常値として除いた。また両機場については、1987年度には水質測定が行われていない。両機場のCl濃度は1985年度から2019年度までの間でともに低下傾向を示し、回帰式の傾きは南部機場が-2.029、北部機場が-2.221となっており、両機場

とも同じような傾向でかなり急激に濃度を減じている。このことは溶脱が確実に進行していることを示していると考えられる。また東部0mの回帰式の傾きは-0.7821で、ゆっくりではあるが着実に淡水化が進んでいることを示している。

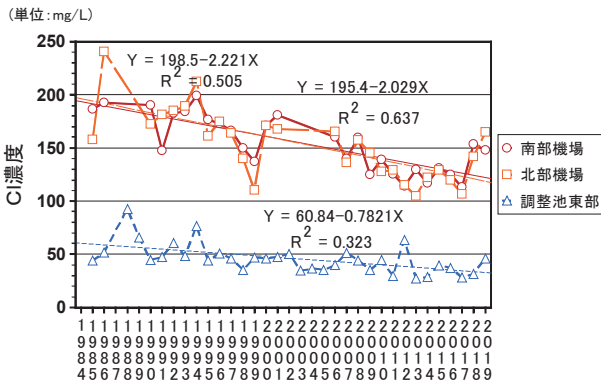


図36 機場と東部の経年変化（1985-2019年度平均）

図37に湖内におけるClの平均濃度が830 mgL⁻¹と最も高い1987年度の濃度分布を示す。1987年度は八郎湖へ海水が流入するという事故が起こったことから、Clの平均濃度が特段に高くなった。

海水流入の経緯を、新聞の記事から拾ってみる。1987年度は10年に1度行われる防潮水門の塗装の塗り替え年度に当たっていたので、8月下旬から9月下旬まで9門ある防潮扉を順番に開け、塗装工事を行っていた。八郎湖の湖面は海水面より約80 cm高いことや淡水と海水の比重差などから、普通は水門を開けても海水が八郎

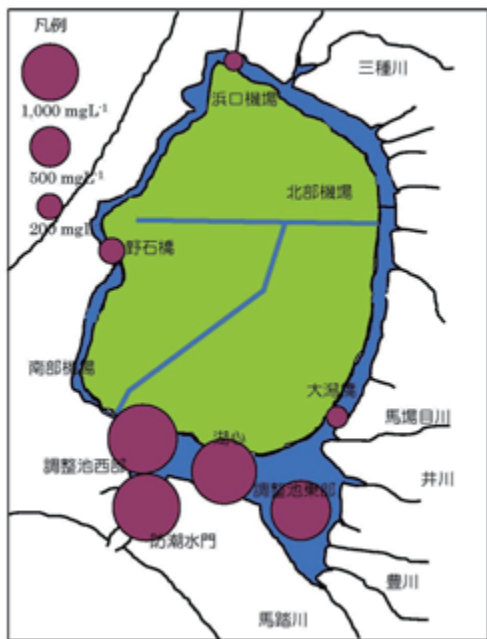


図37 Cl濃度の空間分布（1987年度平均）

湖に流れ込むことはない。しかし、8月31日夜半、日本海を通過した台風12号による高潮と高波の影響で海水が逆流し、開けていた2門の防潮扉から9月1日の午前中にかけて海水が八郎湖に流れ込んだ（秋田魁新報 1987）。湖内表層部の各地点におけるCl濃度は、10月に最も高い濃度を示した。10月の濃度は、水門0mで4837 mgL⁻¹（1982-86年度平均75 mgL⁻¹）、西部0mで5329 mgL⁻¹（同59 mgL⁻¹）、湖心0mで4999 mgL⁻¹（同52 mgL⁻¹）、湖心-5mで7998 mgL⁻¹（同51 mgL⁻¹）、東部0mで4212 mgL⁻¹（同47 mgL⁻¹）となっている（加藤ら 1989）。

当初、八郎湖に海水が流入したことは一般的には認識されていなかったが、それが顕在化したのは11月に入ってからである。新聞報道によると、大潟村の水道水は、馬場目川河口の南側の堤防から浸透してくる水をパイプ管で浄水場へ送水しているが、その水道水が塩辛くなってきたのは11月20日ごろからで、水道水の塩分濃度は12月初旬の最も高い時点で400~500 ppmを記録、村民からは「せっけんが溶けない」などの苦情が相次いだという。現在（12月中旬）は300 ppm前後に落ち着いたが、それでも毎日若美町から4トン車で10台分、40トンの飲料水をもらい、浄水場で”村の水”と混ぜて希釈する措置を続けているという（秋田魁新報 1987）。

さらに、翌1988年には八郎湖で海水流入が原因と考えられるヤマトシジミの稚貝の大繁殖が確認され（秋田魁新報 1988）、以後数年間は八郎湖でヤマトシジミの豊漁が続くことになる。

2) 経月変化

図38に流入水におけるCl濃度の1987年度分を除いた経月変化を示す。南・北機場はほぼ1年

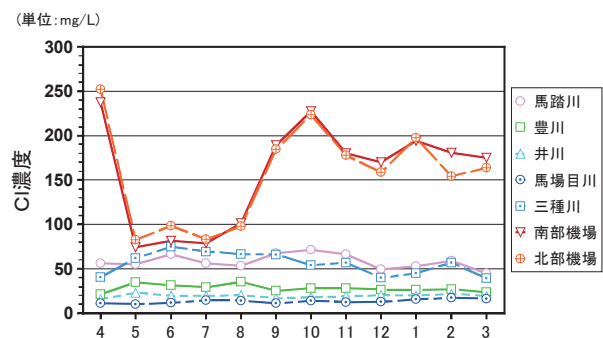


図38 流入水の経月変化（1985-2019年度平均）

を通して同じ様な変化を示した。4月に最も高い濃度を示した両機場のCl濃度が5月に急激な低下を示すが、これは八郎湖から揚水された農業用水が機場に流入したことによるもので、8月までClは低濃度で推移し、9月から回復する。流入河川についてみると、三種川と馬踏川の濃度が高く、次いで豊川、井川、馬場目川の順になっている。

図39に湖内におけるCl濃度の1987年度分を除いた経月変化を示す。浜口機場と野石橋は6月にピークを示し、以降低下する。これは5、6月に南部機場排水の影響を受けたことによるものであろうか。

防潮水門0mでは、7～12月の間で時々ではあるが150 mgL⁻¹を超えるCl濃度が観測されている。月毎にみたその回数は、1987年度分を除いた34年の間で7月1回、8月3回、9月6回、10月3回、11月2回、12月1回で、この結果がグラフの9月のピークになっていると思われる。

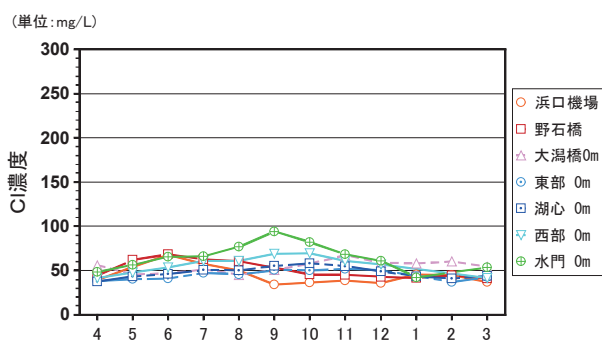


図39 湖内の経月変化 (1985-2019年度平均)

10. 導電率 (EC)

ECは水中にある電解質の量を示すもので、電解質の量が多くなるほどECの値は高くなる。特に前述のCl濃度については、よくECに反映している。

1) 年度平均値

図40に湖内におけるECの平均値が187 μScm^{-1} と最も低かった2017年度の空間分布を示す。2017年度は前述のとおり降水量が比較的多い年であった。ECの値はCl濃度の場合と同様に両機場で高く、南部機場が584 μScm^{-1} 、北部機場が563 μScm^{-1} で、続く馬踏川の値は221 μScm^{-1} であった。

図41に湖内におけるECの平均値が2588 μScm^{-1} と異常に高くなった1987年度の空間分布を示す。この年度は海水流入があった年度で、ECが最も高い値を示した10月には水門0mで13500 μScm^{-1} (1982-86年度平均は476 μScm^{-1})、西部0mで13750 μScm^{-1} (同359 μScm^{-1})、湖心0mで13200 μScm^{-1} (同314 μScm^{-1})、湖心-5mで19900 μScm^{-1} (同316 μScm^{-1})、東部0mで11950 μScm^{-1} (同287 μScm^{-1}) が記録されている (加藤ほか1989)。



図40 ECの空間分布 (2017年度平均)

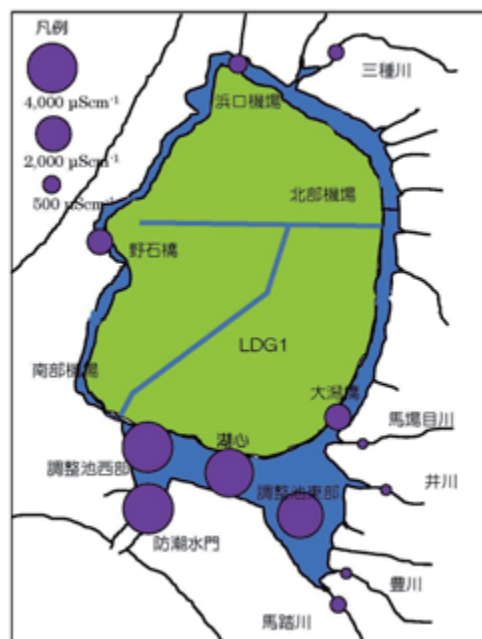


図41 ECの空間分布 (1987年度平均)

2) 経月変化

図42に流入水におけるECの1987年度分を除いた経月変化を示す。変化のパターンとしては、図35のCl濃度の場合とほぼ同一であることから、Cl濃度が大きく影響していることを示す。

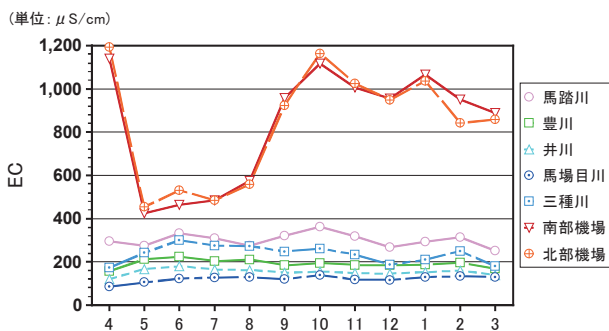


図42 流入水の経月変化 (1984-2019年度平均)

図43に湖内におけるECの1987年度分を除いた経月変化を示す。変化のパターンとしては、図36のCl濃度の場合とほぼ同一となっている。

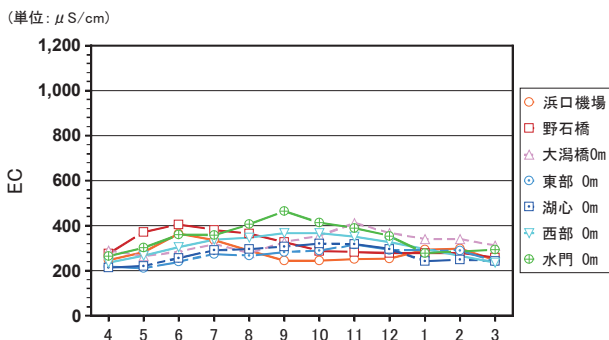


図43 湖内の経月変化 (1984-2019年度平均)

11. ケイ酸 (SiO₂)

ケイ酸はわずかに水に溶け、水中のケイ酸はケイ酸鉱物からばかりでなく、ケイ酸塩鉱物が風化の過程で分解することによっても供給される。このため地表を流れる河川の水はかなりのケイ酸を溶存していて、その量は12~15 ppmに達している (水谷 1979)。ケイ酸は植物の栄養として有用で、農業分野では作物が遭遇するさまざまな環境ストレスに耐性を付与する養分であることが認識されている (高橋 2007)。

SiO₂の測定は、1985~2001年度に行われた。

1) 年度平均値

図44に流入河川におけるSiO₂の平均値が9.4 mgL⁻¹と最も低かった1993年度の空間分布を示す。測定を行った17年間の流入河川の平均濃度が17.5 mgL⁻¹であることを考えると、9.4 mgL⁻¹は極めて低い濃度である。気象的には、1993年度

は平均気温が36年間で最も低い年度で、降水量は上から21番目であった。



図44 SiO₂の空間分布 (1993年度平均)

図45に流入河川におけるSiO₂の平均値が21.0 mgL⁻¹と最も高かった1985年度の空間分布を示す。中で最も高かったのは豊川で24.8 mgL⁻¹、次が井川の22.5 mgL⁻¹、三種川が22.0 mgL⁻¹、馬踏川が19.7 mgL⁻¹、馬場目川が15.9 mgL⁻¹と続く。南・北両機場の濃度はそれぞれ18.4 mgL⁻¹と17.0 mgL⁻¹であった。

気象をみると、1985年度は日照時間が36年の中では一番多い年度で、平均気温は下から6番目、降水量は下から15番目であった。



図45 SiO₂の空間分布 (1985年度平均)

2) 経月変化

図46に流入水におけるSiO₂の経月変化を示す。馬場目川を除いた河川では5月、6月と濃度が低下し、6月に最小となって後7月に急激な上昇に転じて、3月まで高い濃度で推移する。5月、6月の濃度の低下には雪解け水の混入によるものではないかと推察するが、確たる証拠はない。馬場目川では5月に濃度が最小になり、6月、7月と濃度が上昇して、その後はほぼ横ばい状態で3月まで推移する。両機場の濃度についてみると、6月に最小になるのは河川に見られるのと同様であるが、7月から濃度が上昇して11月、12月に最大になり、1月～4月にかけて濃度が大きく低下するところが河川と異なっている。非かんがい期には水の動きも少ないことからケイ酸の供給がなくて濃度が低下することも考えられるが、明確な証拠は無い。

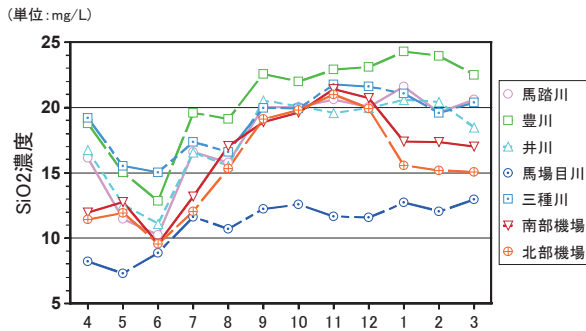


図46 流入水の経月変化 (1985-2001年度平均)

図47に湖内におけるSiO₂の経月変化を示す。全体には6月に濃度が低下し、11月から12月に濃度が高くなる傾向が見られる。大潟橋は三種川や北部機場からの流入水の影響で高い濃度になっていると思われる。西部承水路の浜口機場と野石橋の月毎の変化は似通っているが浜口機場の濃度が常に上回っていることから、SiO₂の供給源は明確ではないが浜口機場側から供給されているものと思われる。

2月から4月にかけて濃度の低下が見られる

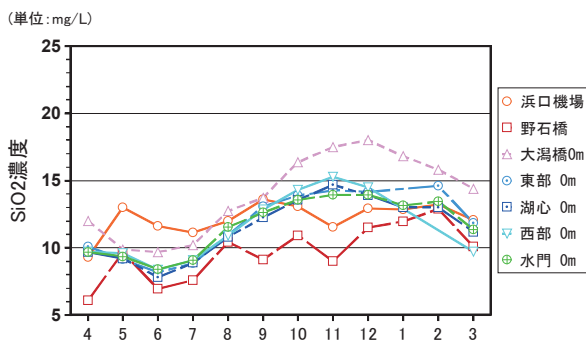


図47 湖内の経月変化 (1985-2001年度平均)

が、この時期にChl.a濃度の上昇がみられることから要因の一つとして春と秋に増殖する珪藻の影響も考えられる。

12. 終わりに

八郎湖の水質の変化について主に公共用水域の水質調査で得られたデータをもとに11の項目について雑駁ながら概略を説明させて頂いたが、八郎湖の水質変化についてその概容を把握していただければ幸いである。八郎湖の水質については今後更に詳細に調査・研究を進めていただき、流域の水質形成のメカニズムをより明らかにしていただくことを心より切望するものである。

謝 辞

『八郎湖水質マップ2019』及び本報告をまとめるにあたって、水質データを提供いただいた秋田県八郎湖環境対策室並びに秋田県健康環境センターに心より御礼を申し上げる。

参考文献

- 1) 秋田魁新報, 1987年12月17日付.
- 2) 秋田魁新報, 1988年9月17日付.
- 3) 片野登・加藤潤・佐藤敦 1998. 八郎潟干拓地の南・北排水機場から排出されるリン酸負荷の相異とその原因について. 土肥誌, 第69巻, 第5号, p.516-523.
- 4) 加藤潤・高田熙・片野登・組谷均・鈴木雄二・石郷岡晋 1989. 八郎湖への一時的な海水流入について (昭和62年8月の台風12号通過にともなう影響), 秋田県環境技術センター年報, 第17号, p.104~119.
- 5) 高橋英一 2007. 作物にとってケイ酸とは何か. 農文協, 189pp.
- 6) 早川敦・石川祐一・日高伸 2015. 河川源流域におけるリン濃度分布: 研究レビューと秋田県の事例, 地球環境 Vol.20, No.1, p.17-26.
- 7) Hayakawa A., Ikeda S., Tsushima R., Ishikawa Y., and Hidaka S. 2015. Spatial and temporal variations in nutrients in water and riverbed sediments at the mouths of rivers that enter Lake Hachiro, a shallow eutrophic lake in Japan. Catena 133, 486-494.
- 8) 宝月欣二 1974. 水界生態学、生態学講座 3. 共立出版, 131pp.
- 9) 水谷伸治郎 1979. 地球表層の物質と環境、地球科学 5. 岩波書店, 318pp.