

八郎湖および流入河川の水質の時空間変動について (2)

—— 経月変化 ——

秋田県立大学 名誉教授

片野 登

1. はじめに

前号において「八郎湖および流入河川の時空間変動について」と題して八郎湖流域の36年間の経年水質変化について空間分布図を用いて報告した¹⁾が、本稿においても秋田県が行っている公共用水域の水質調査結果に基づき1984年度～2019年度の経月の水質変化について空間分布図を用いて報告する。

また、本報告では年4回の調査が行われていた鯉川川、鹿渡川、糸流川、小深見川、鶉川川、浅内川の結果についても併せて報告する。



図1 調査地点

調査地点を図1に示す。調査地点は、八郎湖流入河川については馬踏川（馬踏川橋）、豊川、井川、馬場目川下流（以下馬場目川）、三種川の5地点に上記の6地点を加えた11地点、湖内については浜口機場、野石橋、大潟橋0m（以下大潟橋）、調整池東部0m（以下東部）、湖心0m（以下湖心）、調整池西部0m（以下西部）、防潮水門0m（以下水門）の7地点、排水機場

については南・北両排水機場（以下機場）の2地点、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、計21地点である。新たに加えた鯉川川、鹿渡川、糸流川、小深見川、鶉川川については1985年度～2005年度のデータを用いて、また浅内川については1985年度～2003年度のデータを用いて各月の平均値を求めた。LDG1については2004年度～2008年度のデータを用いて各月の平均値を求めた。

なお、1987年度については1987年8月の八郎湖防潮水門の塗装工事の際に台風の高潮で八郎湖に海水が逆流した²⁾ことにより測定値が平年の値と比較して大きく異なったことから、本報告では1987年度の数値を除外して各月の平均値を求めている。

2. 八郎湖の水位管理

八郎湖の水源は、八郎湖流域への降水である。アメダス大潟のデータより1987年度～2006年度の20年間の毎月の降水量の平均値を求め、図2

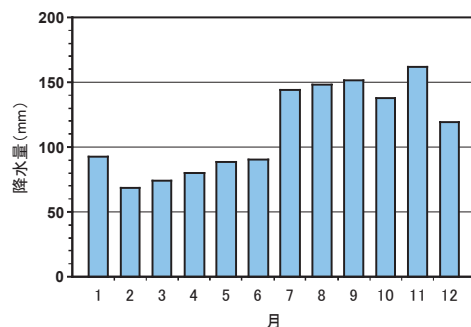


図2 大潟村の降水量（1987～2006年度平均）

に示す。月平均降水量は113.1mmで、前半の1～6月は平均より少ない、後半の7～12月は平均より多い降水となっている。年間の平均降水量は1,356.7mmで、これに流域面積の878km²³⁾を乗じると11億9,120万m³となり、年間約12億m³ほど

の水が八郎湖流域に降下することになる。アメダス大潟は平地に設置されているが、山沿いでは降水も平地に比べて多くなると考えられることから流域の降水量はもっと多いものと思われる。これに加えて杉沢発電導水として流域外から1.26億 m^3 ⁴⁾の水が馬場目川を通過して入っているので、途中で逸散する部分も含めて少なくとも約13億 m^3 余りの水が八郎湖に向けて流下するものと考えられる。

八郎湖では農業用水を確保するために湖面水位が管理されており、低い時期の水位は9月11日～3月31日のT.P.+0.50mで、この水位は4月1日から4月30日の間にT.P.+1.00mまで引き上げられ、以後5月1日～7月31日の間は高水位のT.P.+1.00mが保たれる⁵⁾ (図3)。

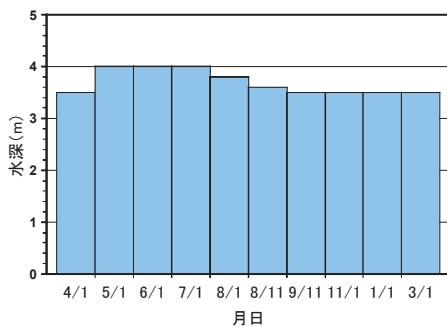


図3 八郎湖の平均水位 (推定)

この水位の調整によって防潮水門から放出される水量にも変化が現れる。放水量が少なくなる5月、6月⁶⁾においては、八郎湖における水の滞留時間が長くなることにより流入河川の河口部に水温躍層が形成され、リンの溶出を招くことになる⁷⁾。八郎湖流入河川におけるリン濃度のピークは6月に表われるが、その原因はこの溶出によるものと思われる¹⁾。

3. 全窒素 (T-N) 濃度

1) 経月変化

八郎湖 (調整池表層) におけるT-N濃度の経月変化を図4に示す。1月から3月にかけて0.73～0.85 mgL^{-1} の範囲で推移したT-N濃度は、3月から4月の間で大幅に低下し東部と湖心では4月から6月の間は0.50～0.53 mgL^{-1} の範囲で推移する。この時期は3月頃から始まる雪解けにより、栄養塩濃度の低い融雪水が河川等から大量に八

郎湖に流入する。一方、八郎湖においては5月から始まる農作業に向けて4月1日から4月30日の間に水位が50cmほど引き上げられ、水位の上昇によって計算上は1割ほど水かさが増すことになる。従って大幅な濃度の低下は、大量の融雪水の流入によって引き起こされたものと考えられる。一方西部では4月に0.57 mgL^{-1} まで低下するが5月には南部機場の排水の影響で0.85 mgL^{-1} まで上昇し、6月に再び0.61 mgL^{-1} まで低下する。

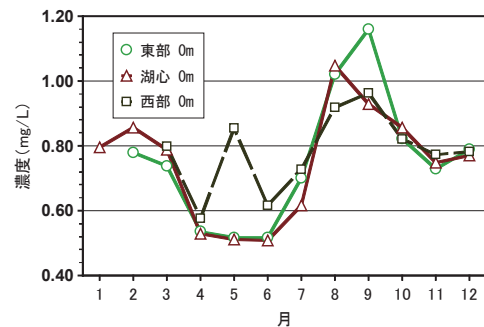


図4 T-N濃度の経月変化 (調整池表層)

八郎湖に流入する機場および河川のT-N濃度の経月変化を図5に示す。機場および各河川のT-N濃度は0.40～2.14 mgL^{-1} の範囲で推移している。いずれにおいても馬場目川を除いて2月から4月の間で濃度の低下が見られるがこの主要因は融雪水の流入に由るものと考えられる。4月の流入水の濃度は0.46 (馬場目川) ～1.81 (南

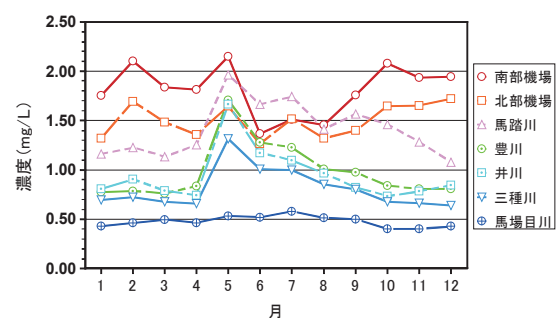


図5 T-N濃度の経月変化 (流入水)

部機場) mgL^{-1} の範囲にあり、馬場目川に次いで低いのが三種川の0.66 mgL^{-1} である。調整池内3地点の濃度が0.52～0.57 mgL^{-1} であることを考えると、この時期の八郎湖においては馬場目川の水質が大きく影響している、換言すれば馬場目川から流入する水量がいかに多いかを示してい

るものと思われる。東部および湖心では6月までこの状態が継続するが、西部では代かき排水等の影響により5月に濃度が大きく上昇する。

5月には流入水の多くで農作業の影響を受けることによりT-N濃度が上昇するが、馬場目川は僅かな変化で推移することから東部および湖心における低濃度の状態は6月まで続き、その後融雪水の流入の減少によるものと思われるが、他の流入水の影響も受けて湖心のT-N濃度は徐々に上昇していく。

調整池内の各地点のT-N濃度について見ると湖心では8月に、東部および西部では9月にピークとなる。ピークの時期の相異については判然としていないが、東高西低の感はある。10月以降は機場排水の量も極めて少なくなることから調整池の水質は流入河川の影響のもとに推移するものと思われる。

2) 空間分布

農作業の影響が比較的少ないと思われる2月の平均T-N濃度の空間分布を図7に示す。最も濃度が高いのが南部機場で2.09 mgL⁻¹、次いで河川では特に濃度が高い浅内川の2.08 mgL⁻¹、北部機場の1.67 mgL⁻¹と続く。

河川の平均濃度は1.00 mgL⁻¹で、最も高いのが浅内川、次いで馬踏川の1.22 mgL⁻¹、鶉川川の1.18 mgL⁻¹、小深見川1.10 mgL⁻¹、鹿渡川の1.00 mgL⁻¹と続く。

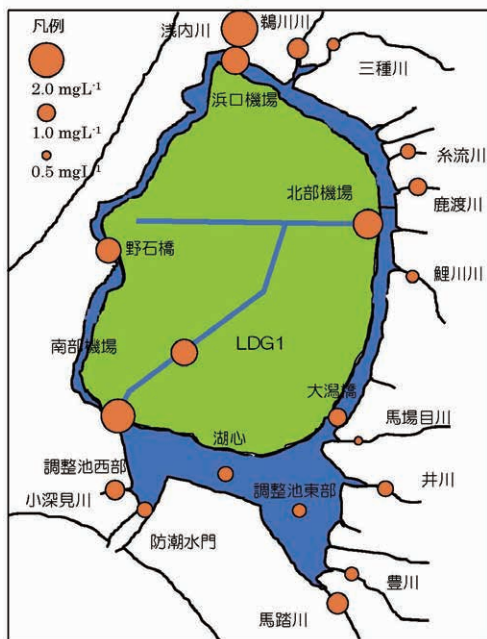


図6 T-N濃度の空間分布（2月平均）

湖内の平均濃度は1.10 mgL⁻¹で河川よりは幾分高く、最も高い地点は浜口機場の1.59 mgL⁻¹、次に野石橋の1.43 mgL⁻¹、大潟橋の1.04 mgL⁻¹となっている。調整池内は0.78（東部）～0.88（水門）mgL⁻¹の範囲にあって、浜口機場（1.59 mgL⁻¹）と野石橋（1.43 mgL⁻¹）は浅内川の影響を受けて濃度が高くなっている可能性がある。

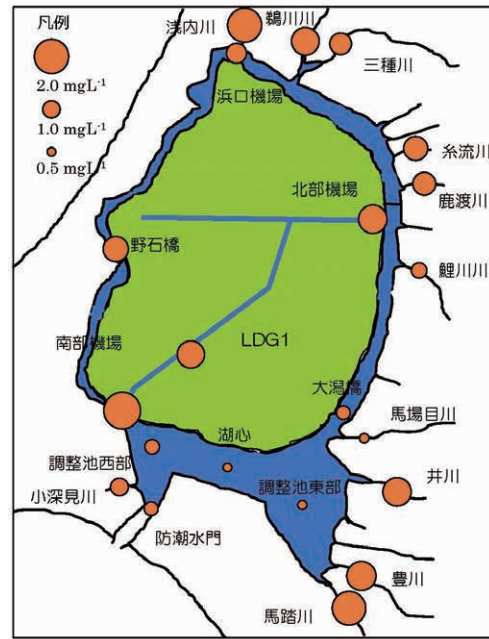


図7 T-N濃度の空間分布（5月平均）

農作業が活潑に行われる5月のT-N濃度の空間分布を図7に示す。5月には干拓地周辺の19ヵ所にあるポンプ場で湖水が汲み上げられ、干拓農地に供給される。農地で使用された排水は、排水路を経て南北の排水機場に集められ、機場から八郎湖へと排出される。農繁期中には八郎湖から農地へ、そして農地から再び八郎湖へという湖水の大循環が繰り返される。

T-N濃度が最も高い地点は南部機場で2.13 mgL⁻¹、次いで浅内川の1.97 mgL⁻¹、馬踏川の1.95 mgL⁻¹と続き、北部機場は1.64 mgL⁻¹であった。

河川の濃度は0.54（馬場目川）～1.97（浅内川）mgL⁻¹の範囲にあり平均濃度は1.39 mgL⁻¹で、2月に比較して4割ほど高くなっている。高い方から浅内川、馬踏川、次いで豊川1.70 mgL⁻¹、井川1.66 mgL⁻¹、鶉川川1.59 mgL⁻¹、糸流川1.39 mgL⁻¹、鹿渡川1.32 mgL⁻¹と続く。いずれも農作業の影響で高い濃度を示しているものと考えられる。

湖内の濃度は0.51（湖心）～1.46（野石橋）

mgL⁻¹の範囲にあり平均濃度は0.87 mgL⁻¹で、2月に比較して2割ほど低い。この時期は湖内に融雪水が大量に流入していると考えられるので、河川の濃度の影響が及びにくかったのではないかと考える。湖内で最も濃度が高かったのは野石橋で1.46 mgL⁻¹、次いで浜口機場1.17 mgL⁻¹、大

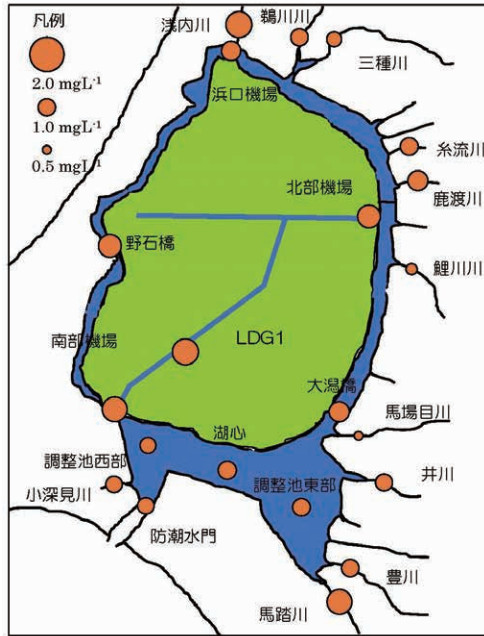


図8 T-N濃度の空間分布（8月平均）

潟橋0.79 mgL⁻¹と続く。調整池内は0.51（湖心）～0.84（西部）mgL⁻¹と比較的低い濃度であった。

八郎湖内の水温が最も高くなる8月のT-N濃度の空間分布を図8に示す。8月で最も濃度が高かった地点は浅内川で1.52 mgL⁻¹、次いでLDG1の1.51 mgL⁻¹、南部機場の1.45 mgL⁻¹、野石橋の1.33 mgL⁻¹と続き、北部機場は1.32 mgL⁻¹であった。

河川の濃度は0.51（馬場目川）～1.52（浅内川）mgL⁻¹の範囲にあり平均濃度は1.01 mgL⁻¹で、2月とほぼ同等の濃度である。最も高いのが浅内川で、次が馬踏川の1.44 mgL⁻¹、以下鹿渡川1.16 mgL⁻¹、系流川1.03 mgL⁻¹、豊川1.01 mgL⁻¹、鶺川1.00 mgL⁻¹と続く。

湖内の濃度は0.92（西部）～1.33（野石橋）mgL⁻¹の範囲にあり平均濃度は1.08 mgL⁻¹で、2月とほぼ同等の濃度である。湖内で最も濃度が高かったのは野石橋で、次に大潟橋1.17 mgL⁻¹、浜口機場1.12 mgL⁻¹と続く。調整池内は0.92（西部）～1.05（湖心）mgL⁻¹で2月の濃度をやや上回った。

4. 全リン（T-P）濃度

1) 経月変化

八郎湖（調整池表層）におけるT-P濃度の経月変化を図9に示す。1月から3月にかけて0.038～0.079 mgL⁻¹の範囲で推移したT-P濃度は、八郎湖に融雪水が大量に流れ込む3月から4月の間で大幅に低下し4月には0.044～0.053 mgL⁻¹となって湖心および西部では最小となり、東部ではさらに低下して5月に0.057 mgL⁻¹となって最小となった。

5月になり農作業が活発に行われ八郎湖に濁水が流入するようになると、南部機場に近い西部のT-P濃度は一気に0.093 mgL⁻¹にまで上昇するが、東部および湖心のT-P濃度は融雪水の影響から7月までは0.052～0.062 mgL⁻¹の範囲で推移する。そして7月以降は各地点とも濃度が上昇し、9月には0.105（湖心）～0.120（東部）mgL⁻¹の範囲で各地点とも最大となる。

流入水のT-P濃度の経月変化を図10に示す。流入水の多くが農作業の活発になる5月から7月の間でT-P濃度の上昇を示している中で、南部機場のみがこの間に濃度を低下させている。これは農繁期に入って用水として干拓地周辺のポン

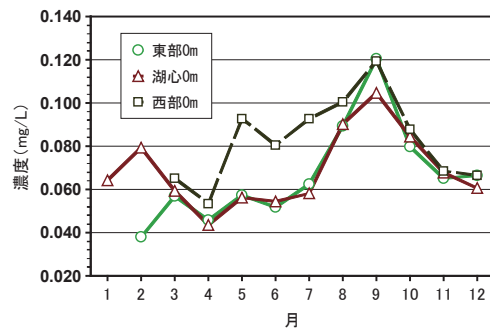


図9 T-P濃度の経月変化（調整池表層）

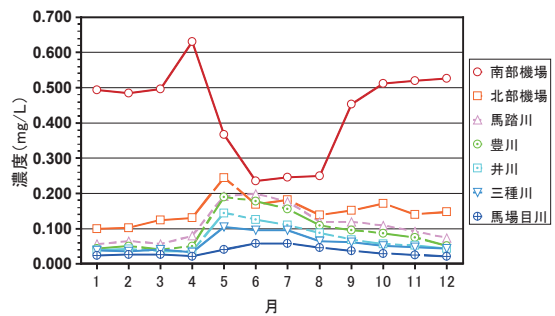


図10 T-P濃度の経月変化（流入水）

プ場から汲み上げられた湖水が高濃度リン含有地下水の流入でT-P濃度の高い南部機場に流入することにより機場のT-P濃度が希釈されたことによるものと思われる。

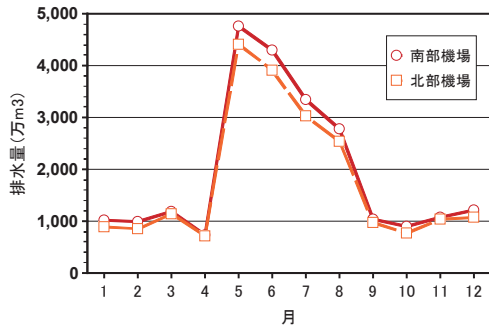


図11 機場排水量 (1978-2007年度平均)

南・北機場の月別の排水量を図11に示す。南部機場のT-P濃度は9月になると再び上昇するが、これは9月に機場排水量が大幅に減少することから推察して用水の汲み上げ量が減少したことによりT-P濃度が回復したものと考えられる。

図12に著者らが2005年に行った調査の結果を示す。八郎湖では8月には水温躍層が形成されたことにより-7m以深で無酸素状態となり、

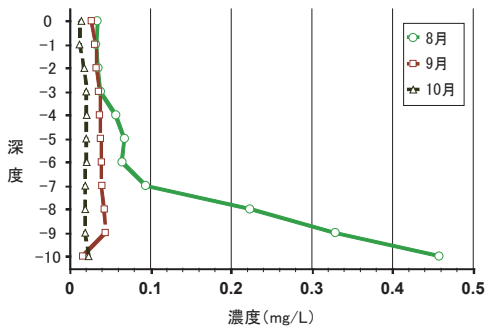


図12 八郎湖の深度別T-P濃度 (湖心)

底質からの溶出によると思われるT-P濃度の明らかな上昇が観察された。しかし9月には水温躍層が壊されたことによると思われるが上下層のT-P濃度の差は極めて小さくなった。

調整池における9月のT-P濃度のピークは8月の溶出や9月の南部機場のT-P濃度の回復によってもたらされるものではないかと推察するが今後の調査にその解明を期待するものである。

2) 空間分布

2月のT-P濃度の空間分布を図13に示す。最も濃度が高い地点は、干拓地南岸に湧出するリン濃度の高い地下水が流下しているLDG1で、その平均濃度は 0.739 mgL^{-1} と高い。農閑期は、LDG1に流入する農業排水の影響が少ないことにより地下水の高い濃度が維持されたものと考えられる。次いで濃度の高い地点は南部機場で、 0.481 mgL^{-1} を示した。南部機場にはLDG1から排出される水も流入しており、その影響を受けて濃度

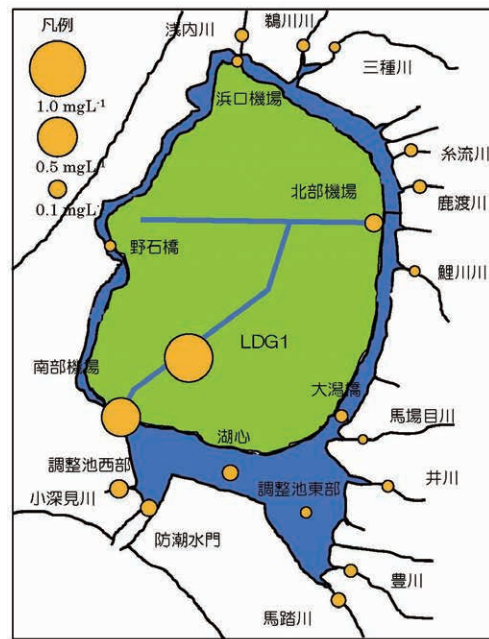


図13 T-P濃度の空間分布 (2月平均)

が高くなっているものと考えられる。一方北部機場の濃度は 0.102 mgL^{-1} で、南部機場の4分の1を下回る濃度であった。

河川の平均T-P濃度は 0.027 (馬場目川) ~ 0.107 (小深見川) mgL^{-1} の範囲にありその平均値は 0.051 mgL^{-1} であった。河川の中で2番目に濃度が高いのは馬踏川の 0.064 mgL^{-1} で、逆に2番目に低いのが鯉川川の 0.033 mgL^{-1} であった。

八郎湖内の平均T-P濃度は 0.038 (東部) ~ 0.090 (水門) mgL^{-1} の範囲にあり、その平均値は 0.056 mgL^{-1} で河川の平均値とほぼ同じ濃度であった。

農作業が活発に行われる5月の平均T-P濃度の空間分布を図14に示す。LDG1の濃度は 0.578 mgL^{-1} で2月に比較して大きく低下したが、これはLDG1に農業排水等が混入したことからリン濃度の高い地下水の濃度が押し下げられたものと

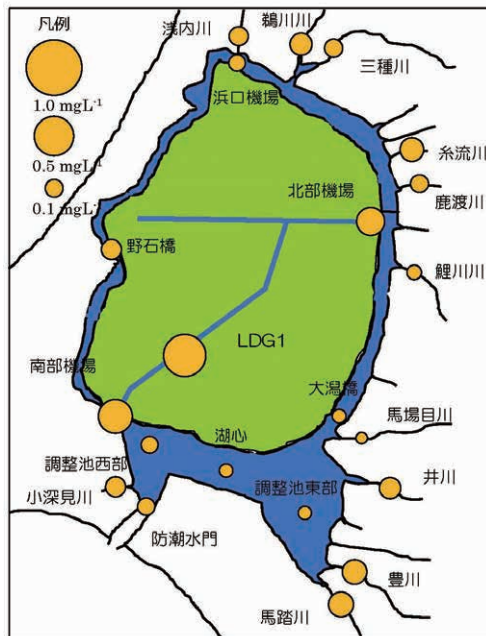


図14 T-P濃度の空間分布（5月平均）

思われる。南部機場の濃度は 0.367 mgL^{-1} でやはり2月に比較して低下しているが、これはLDG1の濃度が低下したことによる影響が大きいと思われる。一方、北部機場の濃度は 0.251 mgL^{-1} で2月と比較して倍以上に上昇しているが、これは農作業による農業排水流入の影響によると思われる。

河川の平均T-P濃度は 0.041 （馬場目川）～ 0.197 （馬踏川） mgL^{-1} の範囲にあり平均濃度は 0.130 mgL^{-1} で、これは2月の2倍以上の濃度である。周辺の農地においても農作業が活発に行われ、その排水の流入が濃度を押し上げたものと考えられる。

湖内の濃度は 0.056 （湖心）～ 0.129 （野石橋） mgL^{-1} の範囲にあり、平均濃度は 0.083 mgL^{-1} で、河川に比較して濃度の上昇幅が小さい。これは3月から4月にかけて流入する水には栄養塩濃度が比較的低い雪解け水が多く混入することが考えられ、加えて水位が上昇したことによりその量的な割合も多くなっていると考えられるので、河川ほどの濃度の上昇に至らなかったのではないかと推察する。

八郎湖においてアオコの発生が顕著になる8月の平均T-P濃度の空間分布を図15に示す。

LDG1の濃度は 0.598 mgL^{-1} で5月と同程度であり、依然として農業排水流入の影響を受けていると思われる。

南部機場の濃度は 0.247 mgL^{-1} で2月の濃度の半分程度、5月の2/3ほどの濃度である。南部機場のT-P濃度の経月変化（図10）を見ると、6～8月は低い濃度で推移していることから農業・排水が大量に流入する時期であることに起因していると思われる。

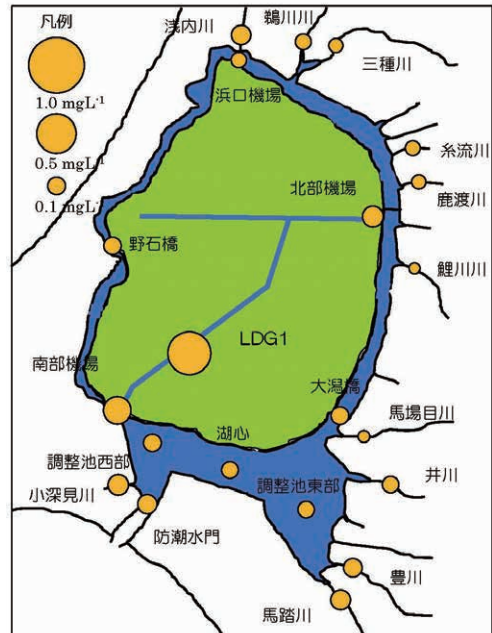


図15 T-P濃度の空間分布（8月平均）

河川の平均T-P濃度は 0.038 （鯉川川）～ 0.136 （小深見川） mgL^{-1} の範囲にあり平均濃度は 0.086 mgL^{-1} で、これは2月と5月の中間ほどの濃度であった。

湖内の濃度は 0.078 （浜口）～ 0.121 （水門） mgL^{-1} の範囲にあり平均濃度は 0.096 mgL^{-1} で、5月の濃度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）

1) 経月変化

八郎湖（湖心）におけるT-N/T-P比の経月変化を図16に示す。淡水産植物プランクトンではNとPの質量の比が $10.40 : 1$ の割合で取り込まれている⁷⁾と考えられることから、質量のT-N/T-P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）となると考えられる⁷⁾。

T-N/T-P比は、水域のNとPの割合が植物プ

ランクトンによって取り込まれる質量の比N 10.40 : P 1 の割合からどの程度離れているかもしくはずれているかを知るための指標となるものと考えられる。N : P=10.40 : 1 以外の場合はNもしくはPのいずれかが制限物質になるわけであるが、制限物質とはいえその物質が存在する限りは植物プランクトンが生長できるのであるから、植物プランクトンの生長にとっては比よりもむしろNおよびPの存在量（濃度）の方が重要になると思われる。

T-N/T-P比は、むしろ植物プランクトンの個体群を管理する際に有効な数値で、個体群を増やす場合には制限物質を補給して比の値を10.40に近づけることが有効と思われるし、減らす場合には逆に制限物質を削減して比の値を10.40からさらに遠ざけるように対策することが有効と考える。

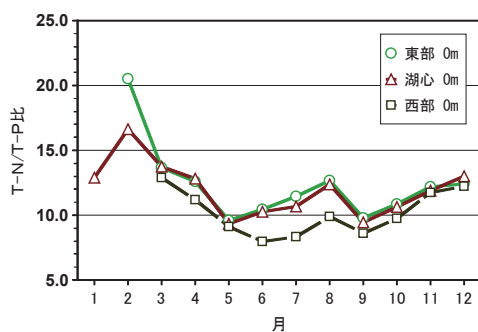


図16 T-N/T-P比の経月変化（調整池表層）

八郎湖（調整池表層）のT-N/T-P比の経月変化を図16に示す。これを見ると、1～4月では10.40よりも高い値で推移するので窒素過剰の状態であるが5～10月では10.0付近を推移し、東部および湖心では8月にはやや窒素過剰のまた9月にはややリン過剰の状態を呈す。そして11月以降ではいずれの地点においても比の値は10.40を超えて窒素過剰状態に戻る。

西部は南部機場に近いことから機場からの排水量が多い5月から10月までの農繁期にはリン過剰の状態に推移した。

流入水のT-N/T-P比の経月変化を図17に示す。高濃度リン含有地下水が流入する南部機場はリン過剰のまま年間を推移するが、その他の流入水は概ね窒素過剰の状態に推移して、5～7月の間は値が低下し一部はリン過剰状態に陥る

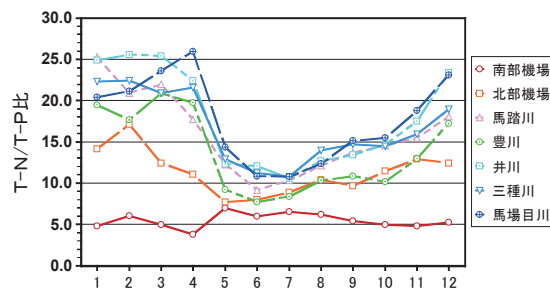


図17 T-N/T-P比の経月変化（流入水）

所も見られるが、その後また上昇して11月から4月の間は窒素過剰状態に推移する。

2) 空間分布

2月のT-N/T-P比の空間分布を図18に示す。全般にT-N/T-P比が10.40以上で窒素過剰状態であるが、高濃度リン含有地下水が流れ込んでいるLDG1と南部機場のみが10.40以下の値でリン過剰状態であることを示し、それぞれ2.28および6.01であった。最も値が大きかったのは浜口機場の48.49で、次が浅内川の45.19、3番目が野石橋の44.07で、この3地点が40台の値を示した。

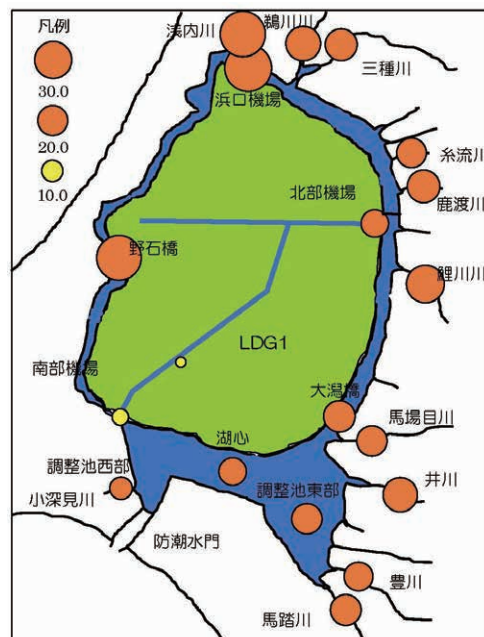


図18 T-N/T-P比の空間分布（2月平均）

河川の値は11.07（小深見川）～45.19（浅内川）の範囲にあり平均値が24.09であったが、湖内の値は16.62（湖心）～48.49（浜口）の範囲にあり平均値が30.31とやや河川の値を上回っていて、河川と比較してやや窒素が過剰状態であること

を示していた。

農作業が始まった5月のT-N/T-P比の空間分布を図19に示す。5月ではT-N/T-P比が10.40未満であるリン過剰状態の地点がLDG1と南北両機場に加えて調整池内の4地点と馬踏川、豊川、小深見川の計10地点に増加した。やはり代かき等による濁水の影響が表われてリン濃度がやや上昇した結果と思われる。

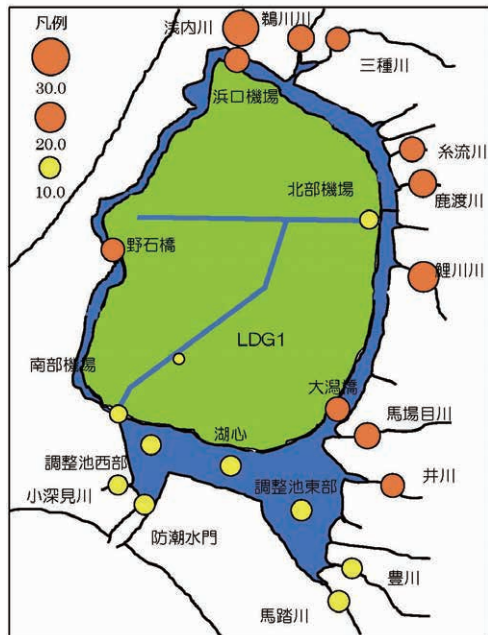


図19 T-N/T-P比の空間分布（5月平均）

河川の値は8.08（小深見川）～27.90（浅内川）の範囲にあり平均値は14.55に対して湖内では9.02（西部）～13.82（浜口）の範囲にあり平均値は10.84であった。

8月のT-N/T-P比の空間分布を図20に示す。8月には調整池の東部および湖心そして馬踏川では窒素過剰状態になり、リン過剰状態地点は7地点となった。8月における河川のT-N/T-P比は8.31（小深見川）～21.62（浅内川）の範囲にあり平均値は14.29に対して湖内では8.73（水門）～14.58（野石橋）の範囲にあり平均値は12.22であった。

6. クロロフィルa (Chl.a) 濃度

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た。

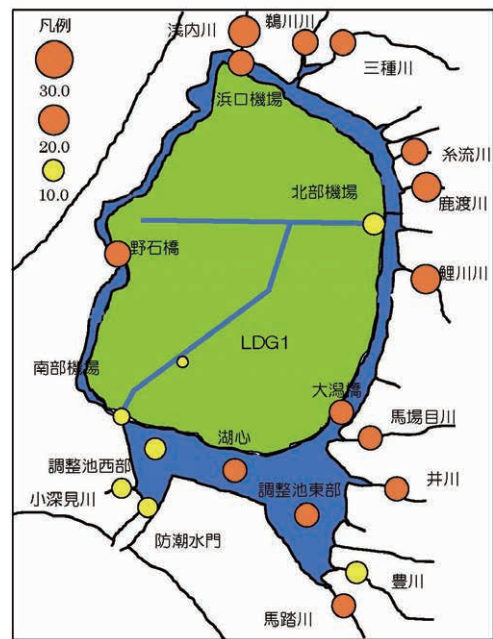


図20 T-N/T-P比の空間分布（8月平均）

1) 経月変化

八郎湖（調整池表層）におけるChl.a濃度の経月変化を図21に示す。年間を通して3地点ともほぼ同様の軌跡で推移した。濃度のピークは2～3月と8～9月に見られた。2～3月のピークについては珪藻の増殖による可能性があるものの明確ではない。8～9月のピークについてはアオコ（シアノバクテリア）の増殖によるもの

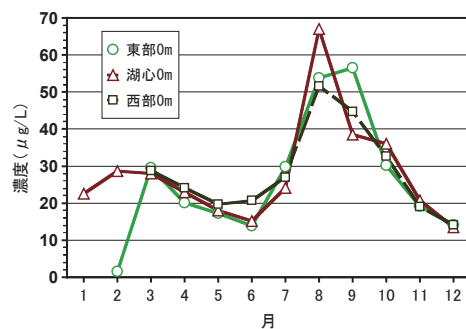


図21 Chl.a濃度の経月変化（調整池表層）

のと思われる。Chl.aの濃度については2～3月では1.5（東部）～29.5（東部） μgL^{-1} の範囲に、8～9月では38.5（湖心）～67.1（湖心） μgL^{-1} の範囲にあって極めて高い濃度を示した。

流入水におけるChl.a濃度の経月変化を図22に示す。河川に比較して機場の濃度は大幅に高く、

4月と9月にピークを形成した。ピーク時の濃度は、南部機場および北部機場それぞれ4月は $69.4 \mu\text{g/L}^1$ と $50.0 \mu\text{g/L}^1$ 、9月は $122.0 \mu\text{g/L}^1$ と $79.4 \mu\text{g/L}^1$ で、南部機場が北部機場を上回って推移した。

一方、河川では濃度のピークが5月と8月に出現し、それぞれ2.0（馬場目川）～14.6（三種川） $\mu\text{g/L}^1$ と17.4（馬場目川）～37.3（井川） $\mu\text{g/L}^1$ の範囲であった。濃度の最大ピークが河川と機場の間で1カ月の違いが見られた。機場において9月に最大ピークが形成された要因の一つとして機場排水量の低下により、水の変動が小さくなったことが藻類の繁殖を促した可能性も考えられる。

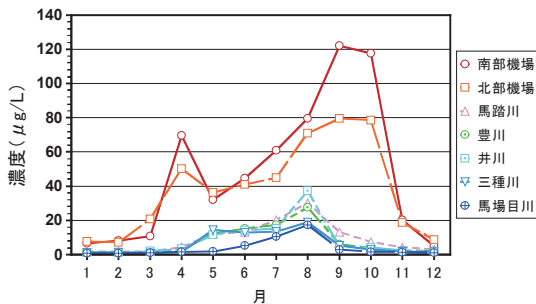


図22 Chl. a濃度の経月変化（流入水）

2) 空間分布

2月のChl. a濃度の空間分布を図23に示す。2月の濃度は河川では 0.9 （馬場目川）～ 4.1 （鵜川） $\mu\text{g/L}^1$ の範囲にあり、平均値は $1.8 \mu\text{g/L}^1$ で極めて低い濃度であったが、湖内については 1.5 （東部）～ 26.4 （湖心） $\mu\text{g/L}^1$ の範囲にあり平均値は $11.6 \mu\text{g/L}^1$ で湖心の濃度が極めて高かった。しかし湖心については2月の調査回数が6回と少ないのでさらに検討を加える必要がある。

5月のChl. a濃度の空間分布を図24に示す。5月になると水温の上昇とともに2月に比較してChl. a濃度が河川・湖内とも高くなる。最も濃度が高いのは野石橋で $59.8 \mu\text{g/L}^1$ 、次いで北部機場の $35.6 \mu\text{g/L}^1$ 、南部機場の $31.1 \mu\text{g/L}^1$ 、浅内川の $30.1 \mu\text{g/L}^1$ と続く。

河川の濃度は 1.8 （馬場目川）～ 30.1 （浅内川） $\mu\text{g/L}^1$ の範囲にあり平均濃度は $12.3 \mu\text{g/L}^1$ であるのに対して湖内の濃度は 16.8 （東部）～ 59.8 （野石橋） $\mu\text{g/L}^1$ の範囲にあり平均値は $26.0 \mu\text{g/L}^1$ であった。

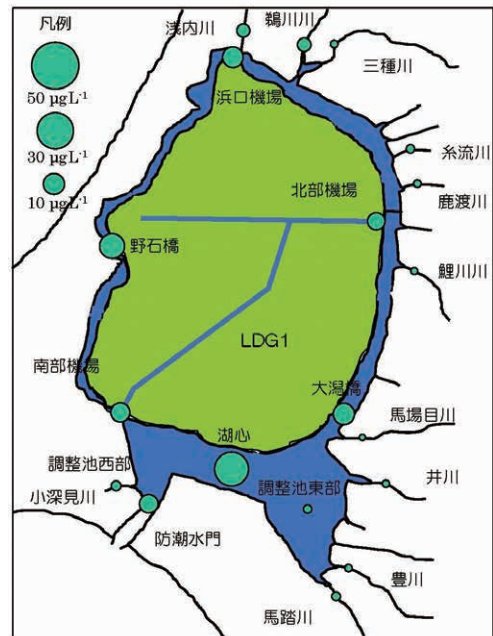


図23 Chl. a濃度の空間分布（2月平均）

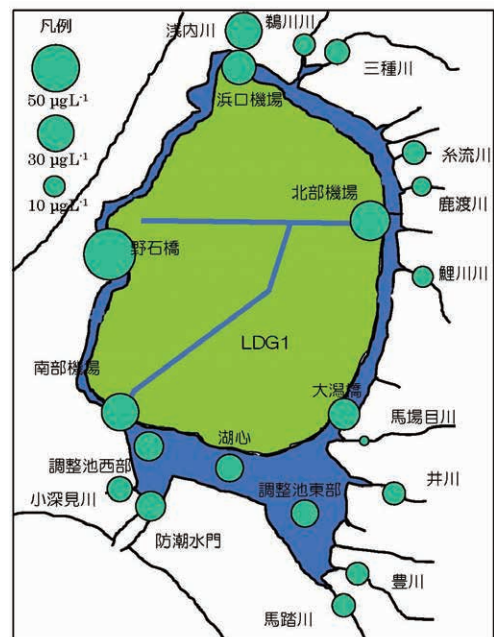


図24 Chl. a濃度の空間分布（5月平均）

8月のChl. a濃度の空間分布を図25に示す。8月は経月変化に示されている如くアオコの発生によってChl. a濃度が極めて高くなる月で、河川・湖内ともに高い濃度が示されている。中で最も高いのは野石橋で $97.5 \mu\text{g/L}^1$ と断然高く、次いで南部機場の $79.3 \mu\text{g/L}^1$ 、北部機場の $70.4 \mu\text{g/L}^1$ 、湖心の $67.8 \mu\text{g/L}^1$ 、大潟橋の $61.1 \mu\text{g/L}^1$ と続く。

河川の濃度は 5.7 （鯉川）～ 48.5 （浅内川） $\mu\text{g/L}^1$ の範囲にあり平均濃度は $22.5 \mu\text{g/L}^1$ であるの

に対して、湖内の濃度は47.0（水門）～97.5（野石橋） μgL^{-1} の範囲にあり平均濃度は61.7 μgL^{-1} であった。

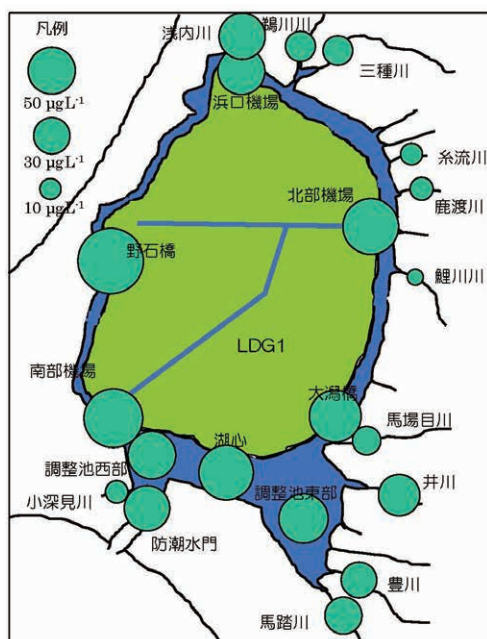


図25 Chl. a濃度の空間分布（8月平均）

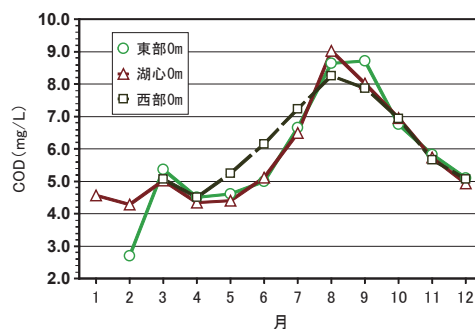


図26 CODの経月変化（湖心）

月に13 mgL^{-1} 付近でピークを作る。

一方河川においては、いずれの河川も6月にピークを作り、その範囲は4.9（馬場目川）～15.0（馬踏川） mgL^{-1} の範囲であった。河川におけるChl. a濃度のピークが8月に出現したのに対してCODのピークが6月に表われたことについては極めて興味深いものがある。馬踏川におけるCODと溶存態COD（dCOD）の経月変化を図28に示す。6月にはdCODの値も最大になっており、CODの70%を占めるものであった。

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⁵⁾。

1) 経月変化

八郎湖（調整池表層）におけるCODの経月変化を図26に示す。3月に小さなピークが、8～9月に大きなピークが見られる。3月のピークの要因としては珪藻の増殖が考えられるが、判然としたものではない。一方8月のピークはアオコの発生によるものと考えられ、年間を通しての変化がChl. a濃度の変化と呼応しているように思われる。

3月のCOD値は5.0（湖心、西部）～5.3（湖心） mgL^{-1} の範囲にあり8～9月は7.8（西部）～9.0（湖心） mgL^{-1} の範囲であった。

流入水におけるCODの経月変化を図27に示す。CODの経月変化は、機場と河川では全く異なる様相を呈していた。機場では3月から4月の間で急激な上昇が見られ、4月以降7月まで12 mgL^{-1} あたりを推移して8月に一旦下降した後10

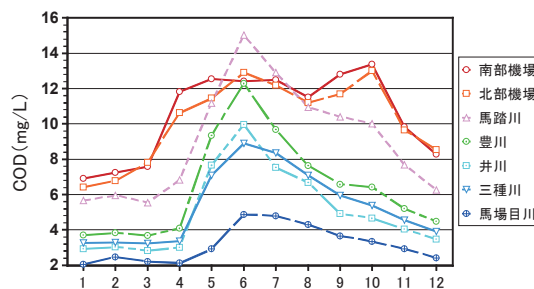


図27 CODの経月変化（流入水）

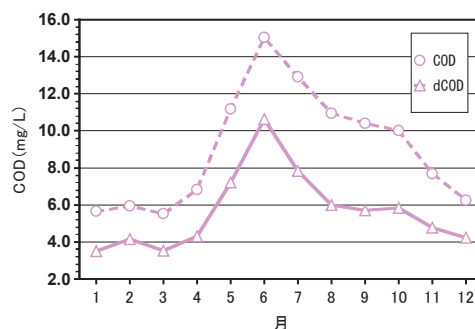


図28 CODとdCODの経月変化（馬踏川）

2) 空間分布

2月のCODの空間分布を図29に示す。2月のCODは全体的に見ると2.4（馬場目川）～7.2（南部機場）mgL⁻¹の範囲にあって低い値を示した。中で最も高かったのは南部機場で、次いで北部機場6.7 mgL⁻¹、小深見川5.9 mgL⁻¹、馬踏川5.8 mgL⁻¹、浜口機場5.5 mgL⁻¹、浅内川5.2 mgL⁻¹となっている。農作業の影響が極めて少ない中でもこれらの地点では八郎湖の環境基準である3 mgL⁻¹を大きく上回っている。



図29 CODの空間分布（2月平均）

5月のCODの空間分布を図30に示す。調整池内はちょうど水位が最高位になって融雪水を十分に蓄えている時なのでCODの値も4.3（湖心）～5.3（水門）mgL⁻¹とやや低いが、湖内の他の地点の値は野石橋10.1 mgL⁻¹、浜口機場7.2 mgL⁻¹、大潟橋5.3 mgL⁻¹と比較的高かった。

河川のCODは2.9（馬場目川）～11.1（馬踏川）mgL⁻¹の範囲にあり平均は7.4 mgL⁻¹であった。CODの高い地点は、南部機場12.4 mgL⁻¹、北部機場11.5 mgL⁻¹、馬踏川11.1 mgL⁻¹、野石橋10.1 mgL⁻¹などであった。

8月のCODの空間分布を図31に示す。8月は図26に示すように湖心のCODが最も高くなる月である。湖内のCODは8.2（西部）～12.2（野石橋）mgL⁻¹の範囲にあり平均値は9.4 mgL⁻¹で5月の1.5倍ほどになっているが、河川のCODは4.0（鰻

川）～12.2（浅内川）mgL⁻¹の範囲にあり平均値は7.3 mgL⁻¹で、5月の7.4 mgL⁻¹とほぼ同程度であった。

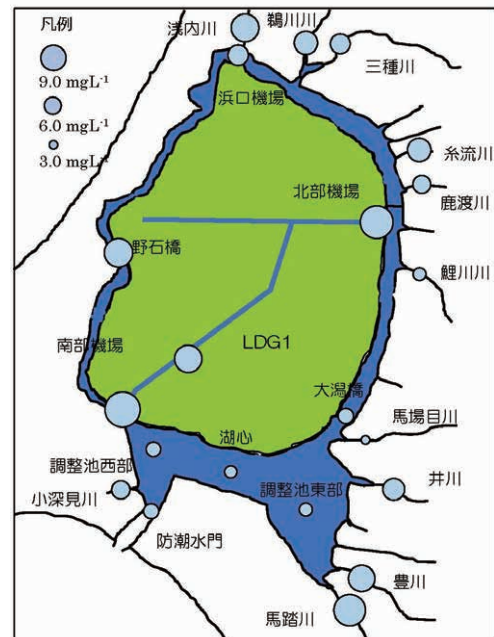


図30 CODの空間分布（5月平均）

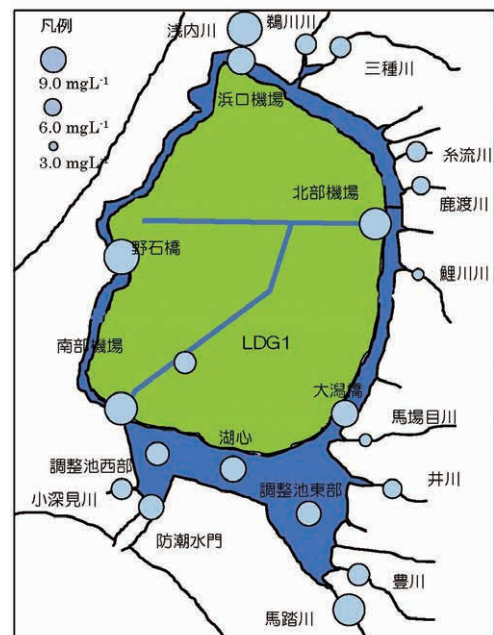


図31 CODの空間分布（8月平均）

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以下ものを指す¹⁾。

1) 経月変化

八郎湖（調整池表層）におけるSS濃度の経月

変化を図32に示す。SS濃度は3月、5月、9～10月にピークが見られるが、3地点のそれぞれが特有な推移を示している。3月のピークは11.1(西部)～12.7(東部) mgL^{-1} の範囲にあり比較的小さいものであるが、5月のピークは代かき排水によるものと思われるが12.6(湖心)～23.7(西部) mgL^{-1} の範囲にあり、南部機場に近い西部の濃度が年間で最も高い濃度になっている。7月に全地点で濃度の低下が見られた後8月から東部の濃度が上昇して9月には16.1 mgL^{-1} となって年間の最大値を記録するが、この原因は明確ではない。湖心と西部は10月に小さなピークを作った後除序に低下する。東部の2月の2.0 mgL^{-1} については調査回数が少ないので原因は不明だが、確認には更なる調査が必要と思われる。

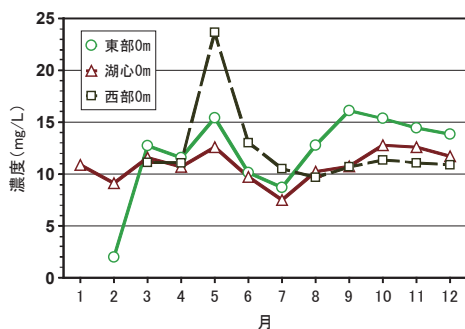


図32 SS濃度の経月変化 (調整池表層)

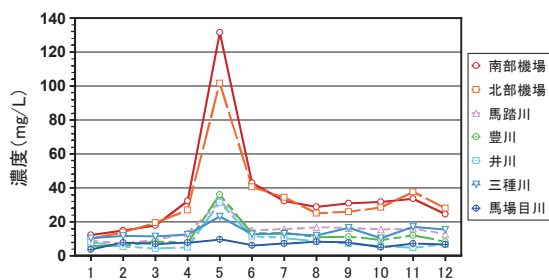


図33 SS濃度の経月変化 (流入水)

流入水におけるSS濃度の経月変化を図33に示す。流入水における年間の変化は極めて明確で、いずれにおいても5月に最大のピークを示し、濃度は131.7(南部機場)～9.3(馬場目川) mgL^{-1} の範囲にあった。

八郎湖(調整池表層)における透視度の変化を図34に示す。東部の2月を除けば概ね5月に極小を示し、7月に最大のピークを示す点においてはSS濃度と真逆の挙動を示し、よく呼応し

ている。南部機場に近い西部においては5月の透視度が24.6cmと極めて汚濁したことを示している。また夏季のアオコが発生する時期に、比較的透視度が高いという点については些か驚きであった。

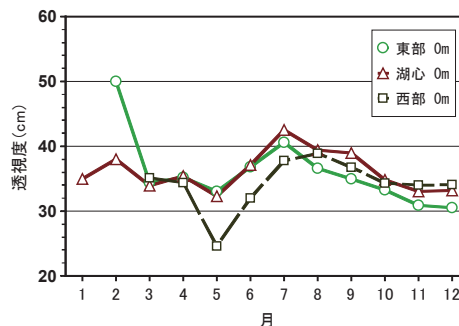


図34 透視度の経月変化 (調整池表層)

2) 空間分布

2月のSS濃度の空間分布を図35に示す。降雪期であり農業活動が少ない時期のため、いずれの地点においてもSS濃度は低く、その中で最も高かったのは鯉川川と鹿渡川の15.8 mgL^{-1} であった。LDG1は9.7 mgL^{-1} であった。

5月のSS濃度の空間分布を図36に示す。5月は代かき等により濁水が多くでる時期であることから、各地点のSS濃度が最も高くなる月である。濃度が最も高かった地点はLDG1で159.8

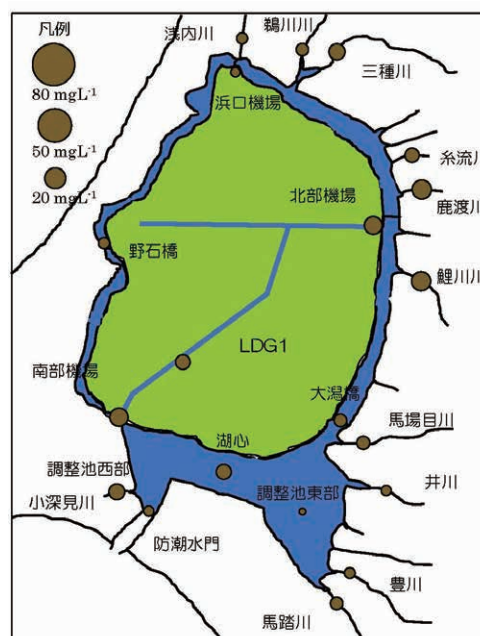


図35 SS濃度の空間分布 (2月平均)

mgL⁻¹、南・北機場がそれに次いでそれぞれ131.7 mgL⁻¹と102.1 mgL⁻¹であった。LDG1の濃度は、この時期には周辺の田んぼから多くの濁水が入り込むことにより2月と比較して極めて高い濃度になっている。

湖内のSS濃度は12.5（湖心）～38.1（野石橋）mgL⁻¹の範囲にあって平均値は21.4 mgL⁻¹であるのに対して、河川のSS濃度は9.4（馬場目川）～48.6（糸流川）mgL⁻¹の範囲にあり平均値は27.2 mgL⁻¹で湖内に比較してやや高い濃度になっている。

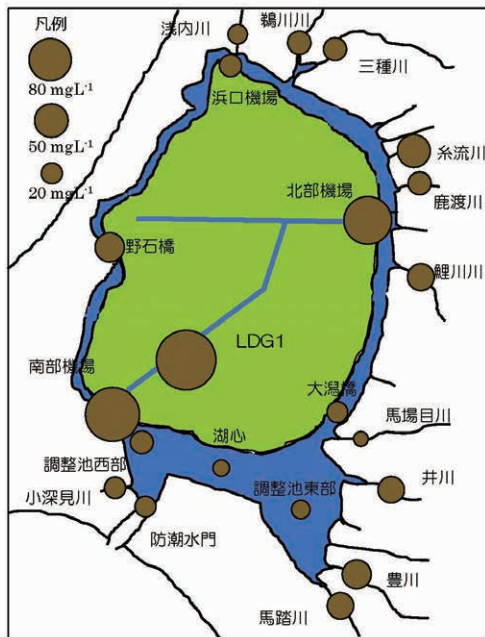


図36 SS濃度の空間分布（5月平均）

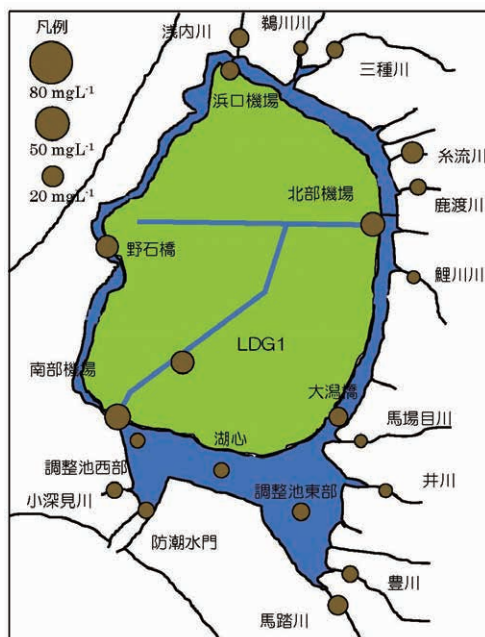


図37 SS濃度の空間分布（8月平均）

8月のSS濃度の空間分布を図37に示す。8月はアオコの発生によりChl. a濃度が極めて高くなる月であるが、SS濃度はそれほど高くはない。

LDG1および南・北機場の濃度は22.8（LDG1）～28.8（南部機場）mgL⁻¹の範囲にあり、2月の9.7（LDG1）～15.1（南部機場）mgL⁻¹に比較してやや高くなっているが5月に比較すると大幅に低下している。

湖内のSS濃度は9.7（西部）～21.8（野石橋）mgL⁻¹の範囲にあって平均値は13.8 mgL⁻¹であるのに対して、河川の濃度は7.2（鯉川川）～20.4（糸流川）mgL⁻¹の範囲にあり平均値は11.7 mgL⁻¹で湖内の方がやや高い濃度になっている。

9. 塩化物イオン (Cl⁻) 濃度

1) 経月変化

八郎湖（調整池表層）におけるCl⁻濃度の経月変化を図38に示す。年間を通してみると、濃度は4月に最小となり10～11月に最大を示している。最も変化の大きい地点が南部機場に近い西部で4月の41.4 mgL⁻¹から10月の69.1 mgL⁻¹にまで上昇する。一方、変化の小さい東部は4月の38.0

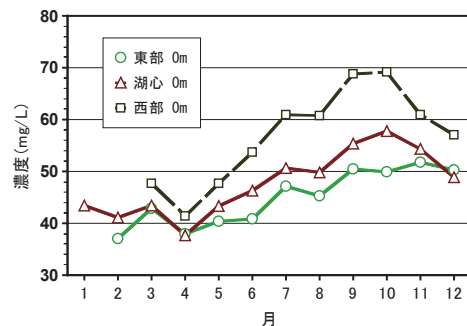


図38 Cl⁻濃度の経月変化（調整池表層）

mgL⁻¹から11月の51.8 mgL⁻¹にまで上昇した。傾向としては東高西低で南部機場の影響が大きいと思われる。

流入水におけるCl⁻濃度の経月変化を図39に示す。流入水においては、機場と河川水で変動パターンを異にする。機場におけるCl⁻濃度は1月から4月までは154.1（北部機場）～252.1（北部機場）mgL⁻¹の範囲で推移するが、大循環が起こる5月から8月までの間は低下して74.5（南部機場）～101.1（南部機場）mgL⁻¹の範囲で推移し、その後農業用水の取水が減少する9月から再び

上昇して10月に220 mgL⁻¹でピークを作る。

一方、河川においては概ね横ばいで推移するが、馬踏川と三種川では5月から11月まで濃度がやや高い状態が継続する。

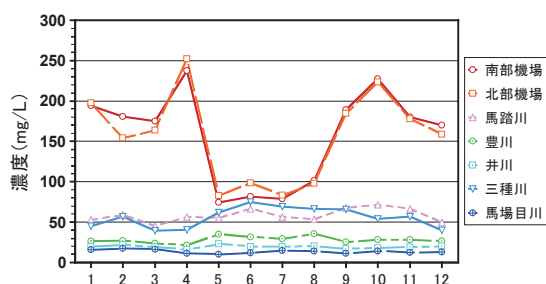


図39 Cl⁻濃度の経月変化（流入水）

2) 空間分布

2月のCl⁻濃度の空間分布を図40に示す。2月は農業活動が少なく、湖水の大循環もないことから干拓農地に入る湖水が極めて少ない。従って幹線排水路の水はほとんど希釈されることがないことから排水路独自の濃度を維持している。南・北機場の濃度はそれぞれ178.7 mgL⁻¹および154.4 mgL⁻¹で高い濃度を示しているが、これは干拓農地からの溶脱によるところが大きいと思われる¹⁾。

湖内のCl⁻濃度は37.0（東部）～74.7（水門）mgL⁻¹の範囲にあり平均値は50.3 mgL⁻¹であるのに対して、河川の濃度は17.3（馬場目川）～64.8（馬踏川）mgL⁻¹の範囲にあり平均値は33.3 mgL⁻¹で湖内の方がやや高い濃度になっている。

5月のCl⁻濃度の空間分布を図41に示す。5月になって農業活動が活発に行われるようになると、干拓地周辺から湖水の取水が行われ、湖水の大循環が始まる。南・北機場にも多くの湖水が流れ込み、機場のCl⁻濃度は一気に希釈される。5月の南・北機場のCl⁻濃度はそれぞれ73.8 mgL⁻¹および82.0 mgL⁻¹で2月に比べて半減する。

湖内のCl⁻濃度は39.9（東部）～61.3（野石橋）mgL⁻¹の範囲にあり平均値は49.4 mgL⁻¹で、河川の濃度は9.8（馬場目川）～61.6（三種川）mgL⁻¹の範囲にあり平均値は39.3 mgL⁻¹で湖内および河川ともに2月の濃度とほぼ同等である。河川においてCl⁻濃度が最も高いのは三種川で、次いで馬踏川の55.2 mgL⁻¹、小深見川の53.5 mgL⁻¹がこれに続く。

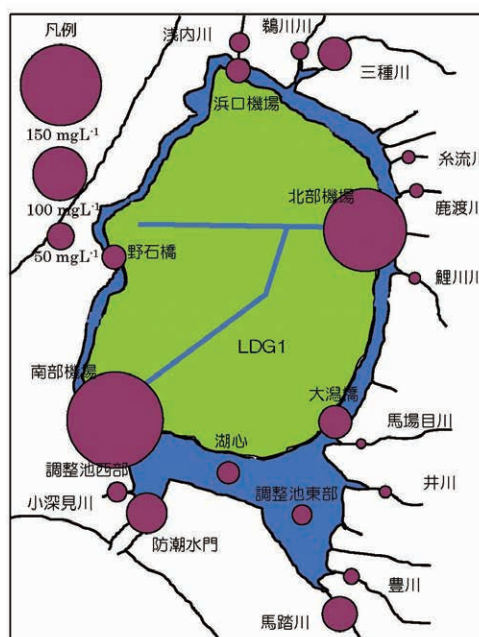


図40 Cl⁻濃度の空間分布（2月平均）

8月のCl⁻濃度の空間分布を図42に示す。8月になると幾つかの地点でCl⁻濃度が5月よりやや上昇する傾向を示した。南・北機場から放出される排水量は、5・6月をピークに8月にはほぼ半減するが、これは八郎湖からの取水量が減少したことによると考えられることから、南・北機場のCl⁻濃度の上昇は、湖水の混入が減少したことによりCl⁻濃度が回復したものと考えられる。8月の南・北機場のCl⁻濃度はそれぞれ99.4

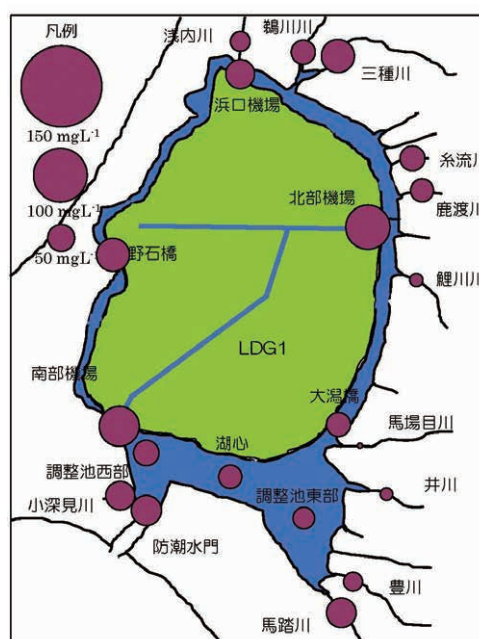


図41 Cl⁻濃度の空間分布（5月平均）

mgL⁻¹ および96.8 mgL⁻¹であった。

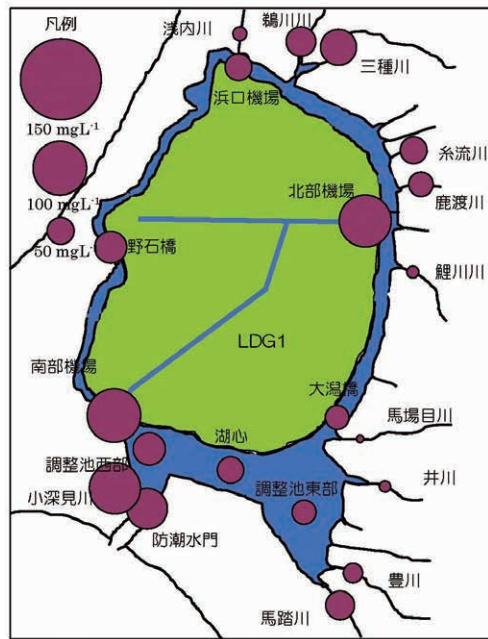


図42 Cl⁻濃度の空間分布（8月平均）

湖内のCl⁻濃度は44.1（大潟橋）～75.7（水門）mgL⁻¹の範囲にあり平均値は54.7 mgL⁻¹で、河川の濃度は14.1（馬場目川）～95.4（小深見川）mgL⁻¹の範囲にあり平均値は43.9 mgL⁻¹で湖内および河川ともに5月の濃度とほぼ同等であった。

10. 導電率（EC）

導電率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導電率の値は高くなる⁵⁾。

1) 経月変化

八郎湖（調整池表層）におけるECの経月変化を図43に示す。調整池表層のECは4～5月に最小となり5～7月の間で大幅な上昇を示して10月・11月に最大となる。その後12月と1月の間で大きく値が低下する。5月から7月の間の上昇は、代かき排水の流入による影響が大きいと思われる。3～4月の間の低下は雪解け水の流入によるものと思われる。

流入水におけるECの経月変化を図44に示す。

ECの年変動は、機場および河川ともにCl⁻濃度とほぼ同様のパターンで推移している。調整池表層のECの変化で11～12月に見られる値の低下は10月のピークも含めて機場排水の影響に依るところが大きいと思われる。

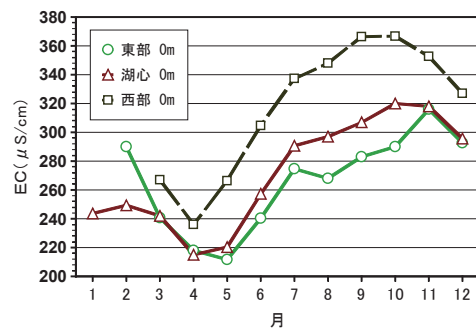


図43 ECの経月変化（調整池表層）

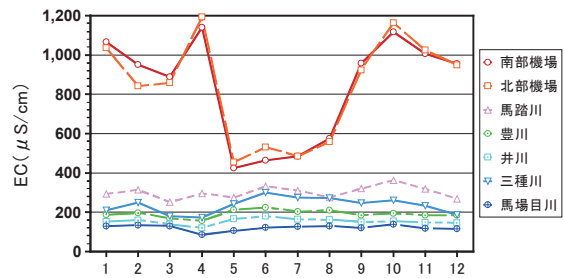


図44 ECの経月変化（流入水）

2) 空間分布

2月のECの空間分布を図45に示す。Cl⁻濃度のところで述べたように、LDG1および南・北機場のECは、湖水による希釈がほとんど無いことからECもそれぞれ1,222 μScm⁻¹、940 μScm⁻¹、839 μScm⁻¹と高い値を示した。

河川のECは133（馬場目川）～309（馬踏川）μScm⁻¹の範囲にあり平均値は200 μScm⁻¹であるのに対して湖内のECは242（湖心）～457（水門）μScm⁻¹の範囲にあり平均値は316μScm⁻¹で湖内の方がやや高い値を示した。

5月のECの空間分布を図46に示す。5月になると湖水の大循環が始まることから、LDG1や南・北機場の水は湖水による希釈によってECの値を低下させる。LDG1および南・北機場の値はそれぞれ513 μScm⁻¹、422 μScm⁻¹、451 μScm⁻¹と2月の半分ほどの値であった。

一方、河川においては農作業の影響でECの値は2月に比べてやや高くなる。河川のECは104（馬場目川）～373（小深見川）μScm⁻¹の範囲にあり平均値は237 μScm⁻¹で、2月をやや上回った。湖内のECは210（東部）～367（野石橋）μScm⁻¹の範囲にあり平均値は272 μScm⁻¹で2月よりもやや低く河川と同等の値を示した。

8月のECの空間分布を図47に示す。ECの値は

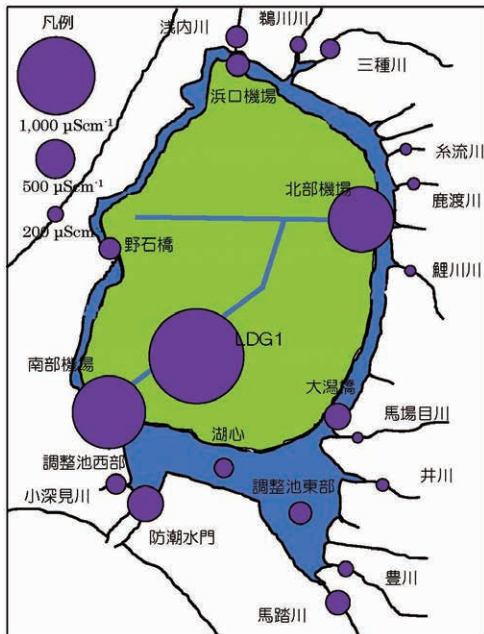


図45 ECの空間分布（2月平均）

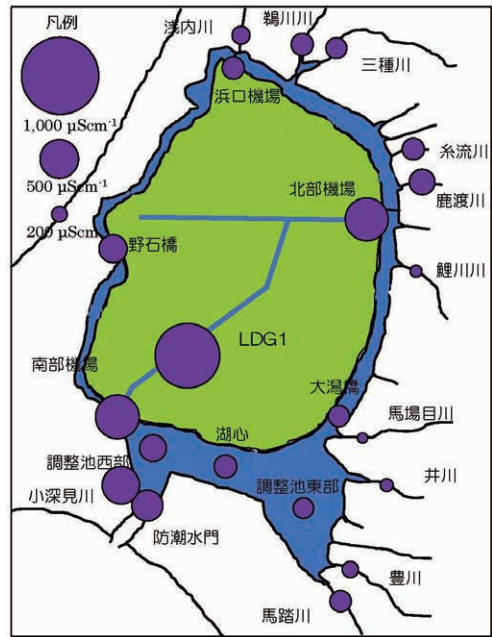


図47 ECの空間分布（8月平均）

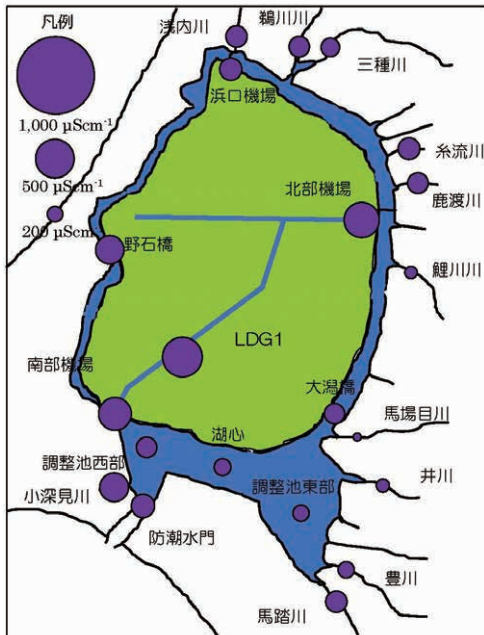


図46 ECの空間分布（5月平均）

全般に5月に比較して高くなっている。LDG1および南・北機場の値はそれぞれ833 μScm^{-1} 、566 μScm^{-1} 、554 μScm^{-1} と5月に比べてやや高い。

河川のECは130（馬場目川）～485（小深見川） μScm^{-1} の範囲にあり平均値は256 μScm^{-1} 、湖内のECは266（東部）～401（水門） μScm^{-1} の範囲にあり平均値は318 μScm^{-1} でいずれも5月をやや上回った。

11. ケイ酸 (SiO_2) 濃度

ケイ酸は植物の栄養として有用で、農業分野において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¹⁾。

SiO_2 の測定は、1985～2001年度に行われた¹⁾。

1) 経月変化

八郎湖（調整池表層）における SiO_2 濃度の経月変化を図48に、流入水における SiO_2 濃度の経月変化を図49に、馬場目川上流の杉沢発電所における SiO_2 濃度の経月変化を図50に示す。

調整池内の SiO_2 濃度は3地点でほぼ同様の軌跡を辿って推移し、2月から6月にかけて濃度が低下し6月に最少となった後11月にかけて濃度が上昇して11月が最大となった。

流入水の SiO_2 濃度も3月から濃度が低下し、馬場目川では5月に、他の流入水は6月に最小となって以後濃度が上昇し、概ね11月に最大となった。調整池および流入水とも馬場目川を除いて6月に濃度が低下し、最小となっている。ケイ酸の濃度低下は珪藻類の増殖を連想させるが、調整池のChl.a濃度も6月に最小となっていることから、この6月に SiO_2 濃度が減少することの原因が見つからない。参考までに馬場目川上流の杉沢発電所における SiO_2 濃度の変化を見ると、4月に最小となって以降5月から上昇を続け9月

に最大となるまで濃度が低下することなく推移している。SiO₂濃度が6月に低下する現象の原因については、今後の検証を待たねばならない。

2) 空間分布

2月のSiO₂濃度の空間分布を図51に示す。一般的にみると、河川で高く湖内で低い傾向を示した。河川におけるSiO₂濃度は9.7(鯉川川)～23.9(豊川) mgL⁻¹の範囲にあり平均値は17.3 mgL⁻¹で、湖内の濃度は12.8(野石橋)～17.3(南部機場) mgL⁻¹の範囲にあつて平均値は14.4 mgL⁻¹であった。

5月のSiO₂濃度の空間分布を図52に示す。河川の濃度は2月に比較してやや低くなり、湖内も水位が最高位になって融雪水を十分に蓄えている時なので、2月に比較して低くなっている。河川のSiO₂濃度は7.2(馬場目川)～15.5(三種川) mgL⁻¹の範囲にあり平均値は12.4 mgL⁻¹で、湖内の

濃度は9.3(東部)～12.9 mgL⁻¹(浜口)の範囲にあり平均値は10.5 mgL⁻¹であった。

8月のSiO₂濃度の空間分布を図53に示す。河川および湖内ともに濃度は5月に比較してやや上昇している。河川のSiO₂濃度は8.9(鯉川川)～19.1(豊川) mgL⁻¹の範囲にあり平均値は13.7 mgL⁻¹で、湖内の濃度は10.4(大潟橋)～17.0(南部機場) mgL⁻¹の範囲にあつて平均値は12.4 mgL⁻¹であった。



図51 SiO₂ 濃度の空間分布 (2月平均)

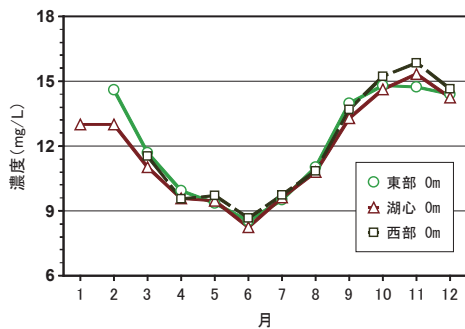


図48 SiO₂ 濃度の経月変化 (調整池表層)

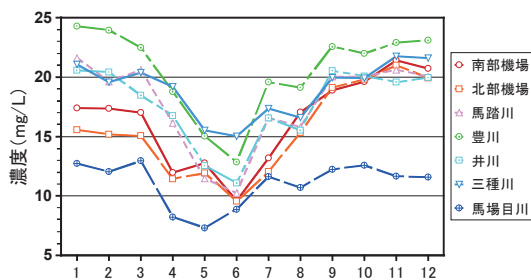


図49 SiO₂ 濃度の経月変化 (流入水)

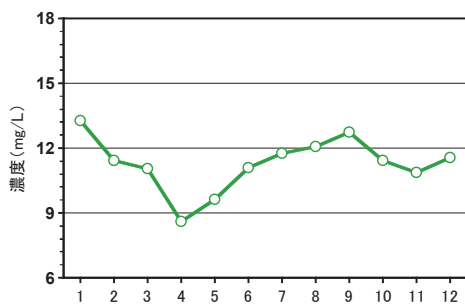


図50 SiO₂ 濃度の経月変化 (馬場目川上流)

考察

八郎湖およびその周辺における水の動きを見てみると、積雪期を経て3月後半ころから本格的な融雪が始まると思われる。その融雪水は八郎湖に集まることになるが、八郎湖の水位は4月1日から4月30日の間で農繁期に備えて0.5 m高くなるように調節される。栄養塩濃度の低い融雪水が八郎湖に貯留されることから、多くの水質分析項目で数値の低下が見られ、数値の低い状態は概ね6月まで継続する。

5月になると農業活動が活発になることから、干拓地周辺にあるポンプ場では八郎湖水からの取水が始まり、農地に農業用水として供給される。用水は排水路を経て後、南北の排水機場から再び八郎湖へと排出される。機場における水質の数値は湖水に比較して格段に高いことから、農業排水と混合した機場の水質は数値を低下さ

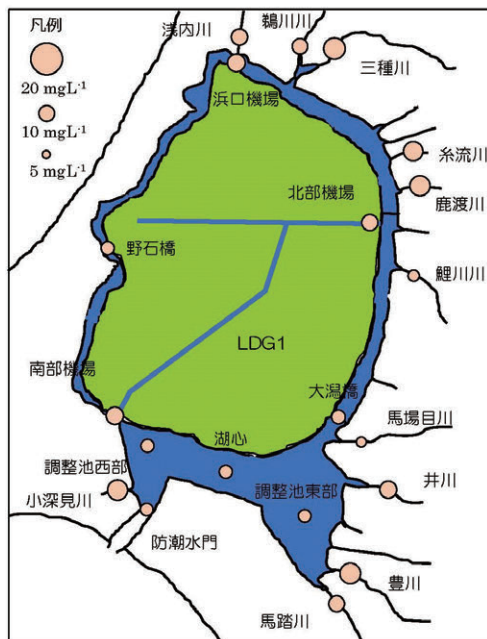


図52 SiO₂ 濃度の空間分布（5月平均）



図53 SiO₂ 濃度の空間分布（8月平均）

せることになる。この現象はT-N、T-P、Chl.a、Cl、ECにおいて顕著に表われる。

また機場から八郎湖へ排出された排水は、南部機場に近い西部においてT-N、T-PおよびSSなどの項目で数値を著しく高めることになるが、東部および湖心では水質項目について大きな変化は表れず、融雪水の混じった湖水に緩衝された形になる。河川においては、5月に多くの項目で農業活動によると思われる数値の上昇が見られた。

6月になると、河川のCODがピークを作り最大となる。流入河川の河口部に水温躍層が形成され、リンの溶出を招く⁷⁾ ことについては既に述べたが、この溶出の原因は酸素の消失である。好気性微生物が底層・底質の有機物を分解する際に酸素を消費する⁸⁾ が、水温躍層の形成によって水の循環が停止し酸素の供給がなくなると、無酸素層が形成され溶出が起こるようになる。また、馬場目川を除いた河川および機場のSiO₂濃度は、6月に最小となる。6月における河川のCODのピークと、河川および機場のSiO₂濃度の低下の原因については判然としていない。

7月以降、八郎湖においては融雪水の減少等により各項目の数値が徐々に上昇し、Chl.a濃度は水温の上昇に相まって8月に最大となり、それに伴ってCODも最大となる。

9月になると機場の数値が上昇する。図11に示すように、機場の排水量は9月以降大幅に減少することから、八郎湖からの取水量も大幅に減少しているものと思われる、このことによって湖水による希釈効果がなくなった機場排水はその数値を回復させるに至ったと思われる。機場排水の数値の上昇は湖水の数値にも反映し、7月以降上昇してきた数値は9月以降更に上昇することになり、10～11月のピークを迎える。かくて3月後半の融雪から始まった八郎湖の水質の変化は、10～11月のピークを迎えて一段落するものと思われる。

八郎湖流域における水質形成のメカニズムについてはまだまだ未解明の部分が残されているので、今後更に詳細に調査・研究を進めていただいで、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

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、また水量データを提供いただいた秋田県八郎湖基幹施設管理事務所に心より御礼を申し上げます。

参考文献

- 1) 片野登 2022. 八郎湖および流入河川の水質の時空間変動について, 八郎湖流域管理研究 第

- 6号, p.10-24.
- 2) 秋田魁新報, 1987年12月17日付.
 - 3) 石井公人他 2022, 八郎湖に係る第3期湖沼水質保全計画の概要について, 八郎湖流域管理研究 第6号, p.1-9.
 - 4) 秋田県資料 (2006年度～2012年度平均)
 - 5) 秋田県 1985, II 八郎湖の概要. 八郎湖水質汚濁機構解明調査総合報告書, p.2-32.
 - 6) 大竹玄人 2015. 高濃度酸素溶解水の供給が河川水質に及ぼす影響, 2014年度生物環境科学科卒業論文概要, 秋田県立大学.
 - 7) 片野登・金裕史・小薔春菜・氏家典子, 2013. 八郎湖に流入する汚濁負荷量, 八郎湖流域管理研究 第2号, p.11-19.