SURE 静岡大学学術リポジトリ
Shizuoka University REpository

麻機遊水地の水質の季節変化

メタデータ	言語: ja 出版者: 静岡大学地球科学教室 公開日: 2017-08-03 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 宗林, 留美, 楠本, 宜史 メールアドレス: 所属:
URL	https://doi.org/10.14945/00010363

静岡大学地球科学研究報告 第44号（2017年7月）1頁～8頁
Geosci. Repts. Shizuoka Univ., no. 44 (July, 2017), 1-8

麻機遊水地の水質の季節変化

宗林留美[1]・楠本宜史[1]

Seasonal variation in the water quality of the Asabata flood control basin

Rumi SOHRIN[1] and Norifumi KUSUMOTO[1]

Abstract Asabata flood control basin located in about 5 km north of the central part of Shizuoka city was constructed for water control of the Tomoegawa River. Monitoring was conducted with regards to water temperature, pH, and concentrations of chlorophyll *a*, suspended solids (SS) and nutrients (nitrate, nitrite, ammonium, phosphate and silicic acid) at three sites in the 3rd building construction area of the Asabata flood control basin every week from April 21, 2014 to January 15, 2015 to record the water quality before improvement works. Silicic acid was highest (86~944μmol L^{-1}) among the nutrients through the observation period, and ammonium (0.52~83.0 μmol L^{-1}) was higher than nitrate (≤ 0.04~46.2μmol L^{-1}) and nitrite (0.06~3.38μmol L^{-1}). Phosphate concentration was relatively low and at constant (≤0.005~2.91μmol L^{-1}) compared to nitrate, nitrite and ammonium that increased after heavy precipitations and in winter. Concentrations of chlorophyll *a* and SS changed little compared with those measured 10 years ago, but their highest values are comparable (SS) or exceed (pH) the environmental limit levels required to the Tomoegawa River.

Keywords: 麻機遊水地，栄養塩，SS，クロロフィル*a*

はじめに

麻機遊水地（静岡県静岡市葵区野丈）は，静岡市の中心市街地から北に約5km，二級河川巴川（幹川流路延長約18km，流域面積約105km^2）の中流部に位置する多目的遊水地である（巴川流域麻機遊水地自然再生協議会，2007）．麻機遊水地は第1工区，第2工区，第3工区，第4工区，第5工区から成り，総面積は約2.06km^2に及ぶ（図1）．麻機遊水地のある地域は，元来低湿地地帯で，第3工区付近には沼地が散在していたが，戦国時代の終わりから新田開発が行われるようになり徐々に沼が消失していった（巴川流域麻機遊水地自然再生協議会，2007）．その後，1974年の七夕豪雨で巴川流域において甚大な水害が発生したことを契機に，巴川は総合治水対策特定河川に指定され，巴川河川施設整備事業の一環として麻機遊水地も治水機能と公園機能を有する多目的遊水地としての整備が進められた．2016年3月現在，治水事業としては第1工区（面積0.217km^2，貯留量20万m^3）と第5工区（0.05km^2，5万m^3）が完了，第3工区（0.55km^2，67万m^3）と第4工区（0.32km^2，53万m^3）が概成し，第2工区（0.93km^2，68万m^3）の工事が進められている（静岡市，2016）．近年では，治水整備により埋土種子が水田から掘り起こされ湿性植物が復活すると共に，掘削され一部湛水した池沼に魚類や水生昆虫が生息するようになり，数多くの昆虫類や野鳥が飛来する生物の貴重な成育・生育の場として注目されている．麻機遊水地は，全国最大級のミズアオイ（*Monochoria korsakowii*）の自生地として，また，タコノアシ（*Penthorum chinense*）などの絶滅危惧種が多いことから，環境省より2001年に「ウエットランド500（日本の重要湿地500）」に指定された．しかし，植生遷移や外来種の移入・異常繁殖により在来種や絶滅危惧種などの生息・生育環境が失われ，また雑排水の流入による水質悪化などに起因して，麻機遊水地の生態系のバランスは崩れつつある（巴川流域麻機遊水地自然再生協議会，2007）．流入する雑排水としては，第1工区には農業水が常時流入し，第3工区には浅

[1]静岡大学理学部地球科学教室，〒422–8529 静岡市駿河区大谷836
[1]Institute of Geosciences, Shizuoka University, 836 Oya, Suruga-ku, Shizuoka, 422-8529 Japan
E-mail: sohrin.rumi@shizuoka.ac.jp（R. S.）



図1 麻機遊水地第3工区の観測点の位置．麻機遊水地地区グランドデザイン（静岡市，2016）中の図を改変．
Fig. 1 Location of the sites in the 3rd building construction area of Asabata flood control basin. Modified after Shizuoka City (2016).

畑川流域の一般家庭からの雑排水と事業排水の一部が未処理のまま同川経由で水量調整時に流入しているほか，遊水地南西部の市街地から集められた水も水量調整時には遊水地に流入すると考えられる（巴川流域麻機遊水地自然再生協議会，2007；静岡市，2016；しずおか河川ナビゲーション http://www.shizuoka-kasen-navi.jp/html/tomoe/free_02.html）．

しかしながら，麻機遊水地の水質については，この10年十分な調査がなされていない（巴川流域麻機遊水地自然再生協議会，2007）．中でも第3工区では，将来的に浚渫などの事業が計画されていることから，第3工区における現在の水質の把握は，改良事業を今後進める上で重要である．そこで本研究では，麻機遊水地の第3工区の水質を特に栄養状態に着目して明らかにすることを目的とした．

方法

試水の採水と水温の測定

麻機遊水地の第3工区の中で浚渫が計画されている北側の池の3か所で，2014年4月21日から2015年1月15日にかけて，約1週間に1度の頻度で採水を行った（図1）．第3工区は，浅畑川流域（集水面積3.0km^2）の一部で，遊水地の集水面積は0.6km^2，南で浅畑川と巴川が合流する．治水整備以前はほとんどが水田であったが，治水整備後にかつての水田表土を覆土したことにより，休耕田のときに生息していたミズアオイなどの貴重な植物が繁茂している（巴川流域麻機遊水地自然再生協議会，2007）．第3工区の池の周りは，成人男子の腰のあたりに達する高さの草本で覆われている箇所が多いため，池へのアクセスのしやすさ，足場の頑強さ，間隔，水の流れを考慮して，観測点A，B，Cを設定した．観測点Aは，背の高い草に囲まれた釣り人がたまに訪れる場所であり，冬には水鳥が多く，鳥の糞などが岸に多量に存在した．観測点Bは，遊歩道から近いものの，ほかの観測点と違い池が草に囲まれ，閉鎖的な環境であった．夏には草が成人男性の身長を超え，秋には刈り取られ，冬にはボート置き場になる最も変化の激しい場所であった．観測点Cは，草が少なく釣り人がよく訪れ，生活ごみが岸に多く存在したが，観測期間を通して最も変化がなかった．採水はロープ付きのEVA樹脂製バケツ（直径21cm，イシグロ）を用いて表面の水を採取し，直径14.8cm，目合2mmのステンレス製ふるいで漉し，500mlのポリエチレン製ボトルに入れて研究室に持ち帰った．採水に用いた器具はすべて3回共洗いを行った．水温は，バケツで試水を汲み直し，棒状温度計で測定した．ただし，棒状温

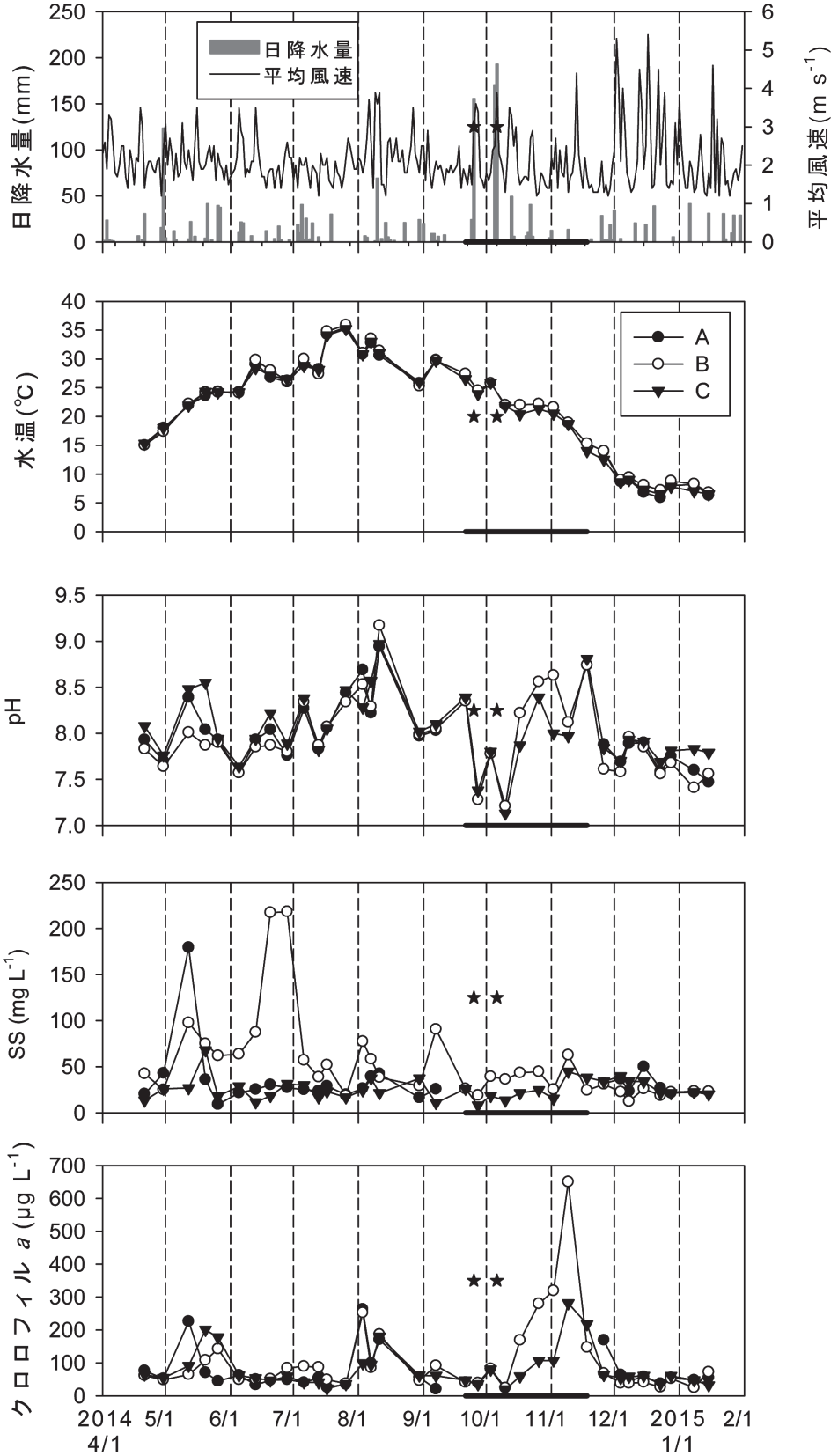


図2 静岡地方気象台における日降水量と平均風速，麻機遊水地第3工区の観測点A～Cにおける水温，pH，SS濃度，クロロフィル*a*濃度の経時変化．図中の★は台風と台風から変わった低気圧の最接近日を示し，横軸上の横棒は観測点Aでの観測がない期間を示す．

Fig. 2 Changes in daily precipitation and mean wind speed at Shizuoka Local Meteorological Observatory, and water temperature, pH, concentrations of SS and chlorophyll *a* at Site A ～ C in the 3rd building construction area of Asabata flood control basin. Stars indicate the date of the closest approach of low. Horizontal bars on the x—axis show the period without samples at Site A.

度計が途中で破損したため，2015年1月8日の観測からは，別の棒状温度計で測定した．観測点Aにおいては，2014年9月21日から11月18日の間，台風等により周囲が冠水して辿り着けなかったため，観測を行っていない．

浮遊物質（SS）の測定

浮遊物質（SS）は，霞ヶ浦データベースのSS測定方法（国立環境研究所，2012）に従って測定した．試水100mlまたは50mlを直径25mmのGF/Fガラス繊維ろ紙（GEヘルスケア）で吸引ろ過し，ろ紙を測定まで冷凍保存した．また、ろ紙単体の重さを求めるためのコントロールとして，超純水200mlを試水と同様にろ過したろ紙を各観測日に3枚作成し，冷凍保存した。冷凍保存しているろ紙の枚数がある程度まとまった段階で，ろ紙をホットプレートにより105～110℃で2時間（コントロールについては1時間）加熱し，デシケーター中で30分間放冷した後，精密天秤を用いて秤量した．SSの濃度は，試水をろ過したろ紙の重さからコントロール3枚の重さの平均値を差し引き，試水のろ水量で割って求めた．

クロロフィル*a*濃度の測定

水中の植物プランクトンバイオマスを見積もる目的で，植物全般が有する光合成色素であるクロロフィル*a*の濃度をWelschmeyer法（Welschmeyer, 1994）により測定した．試水50mlまたは10mlを直径25mmのGF/Fガラス繊維ろ紙で吸引ろ過して植物プランクトンを含む粒子をろ紙上に集め，N, N-ジメチルホルムアミド（DMF）7mlにより冷凍庫内で24時間以上静置し，クロロフィル*a*を抽出した．その後，抽出液をDMFで2～15倍に希釈し，クロレラ由来クロロフィル*a*（034-21361，和光純薬工業株式会社）のDMF溶液で検量したクロロフィル測定装置（Trilogy Laboratory Fluorometer, Turner Designs）でクロロフィル*a*の蛍光強度を測定し，クロロフィル*a*濃度を算出した．

栄養塩分析

栄養塩は，硝酸イオン，亜硝酸イオン，アンモニウムイオン，リン酸イオン，ケイ酸について，比色法（Koroleff & Grasshoff, 1983）により測定した．SSの試料調整で得たろ液，または試水を直径25mm，孔径0.22μmのPES製シリンジフィルター（Starlab Scientific）でろ過したろ液を測定まで冷凍保存し，測定日に自然解凍してオートアナライザー（TRAACS 2000, Bran + Luebbe）により測定した．希釈が必要な場合は超純水で1.5～30倍に希釈した．本研究では栄養塩の検出限界を求めていないため，2015年1月に海水試料の測定時に求めた検出限界の値を適用した．この検出限界は，3.4%NaCl水溶液を5回連続して測定し，その濃度の標準偏差をIUPAC Recommendations 1995（Currie, 1995）に従い3.29倍した値とした．検出限界は，硝酸イオンで0.04μmol L^{-1}，亜硝酸イオンで0.02μmol L^{-1}，アンモニウムイオンで0.1μmol L^{-1}，リン酸イオンで0.005μmol L^{-1}，ケイ酸で未定量である．

pHの測定

pHは，上記のろ過を行った残りの試水を用いて採水後4時間以内にpHメーター（SevenCompact，Mettler ToredoまたはD-52，堀場製作所）で測定した．pHメーターはpH4.01とpH6.86のpH標準溶液（堀場製作所）により校正してから使用した．ただし，2014年9月7日の試水は，pHメーターの電極の故障により測定が採水の約24時間後になった．

気象データ

2014年4月～2015年1月の静岡地方気象台（34°58’ 5” N，138°24’ 2” E）における日降水量，平均風速，最大瞬間風速を気象庁のホームページ（http://www.data.jma.go.jp/gmd/risk/obsdl/index.php）より入手した．

結果

水温，pH

静岡地方気象台における気象データ（日降水量，平均風速）と，麻機遊水地第3工区の観測点A～Cにおける水温，pH，SSとクロロフィル*a*濃度の経時変化を図2に示した．水温は観測期間を通じて観測点A，B，Cで似ており，5.9℃（2014年12月23日）～35.9℃（7月26日）だった．pHも観測点A～Cで値が似ており，7.13（10月10日）～9.17（8月11日）の範囲だった．pHが特に低かった9月27日と10月10日は，それぞれ台風16号から変わった低気圧による暴風雨（9月25日，日降水量155.5mm，最大瞬間風速10.7m s^{-1}）と，台風18号の静岡市最接近（10月6日，193.0mm，20.2 m s^{-1}）の後に相当し，直前の値と比べてpHが0.74～1.07低下していたが，どちらも翌週には回復傾向にあった．台風16号と18号に次いで日降水量が高かった4月30日（123.5mm）においてもpHは直前の観測値より約0.2低下した．

栄養塩

栄養塩濃度の経時変化を図3に示した．栄養塩は，春から夏に各観測点で散発的に高濃度となった以外は全観測点で比較的値が似ていた．硝酸イオンとリン酸イオン以外の栄養塩は観測期間を通して全観測点で検出された．硝酸イオンは観測点AとCで2014年8月7日に，リン酸イオンは主に台風の接近直後（観測点Bで9月27～10月10日，Cで9月21～10月3日）に検出限界以下であった．9月21日は台風16号の接近前であったが，観測点Aの周囲は既に冠水しており，池が増水していた．栄養塩の中では亜硝酸イオンとリン酸イオンが低濃度であり，リン酸イオンは2014年6月28日の観測点Aで2.91μmol L^{-1}と突出して高かった以外は常に0.9 μmol L^{-1}を下回っていた．6月28日は溶存無機窒素（硝酸イオン，亜硝酸イオン，アンモニウムイオン）の濃度も観測点Aで高かった．溶存無機窒素の中ではアンモニウムイオンの濃度が最も高く（0.52～83.0μmol L^{-1}），次いで硝酸イオン（≤0.04～46.2μmol L^{-1}），亜硝酸イオン（0.06~3.38μmol L^{-1}）の順であった．これらの溶存無機窒素の経時変化の傾向は

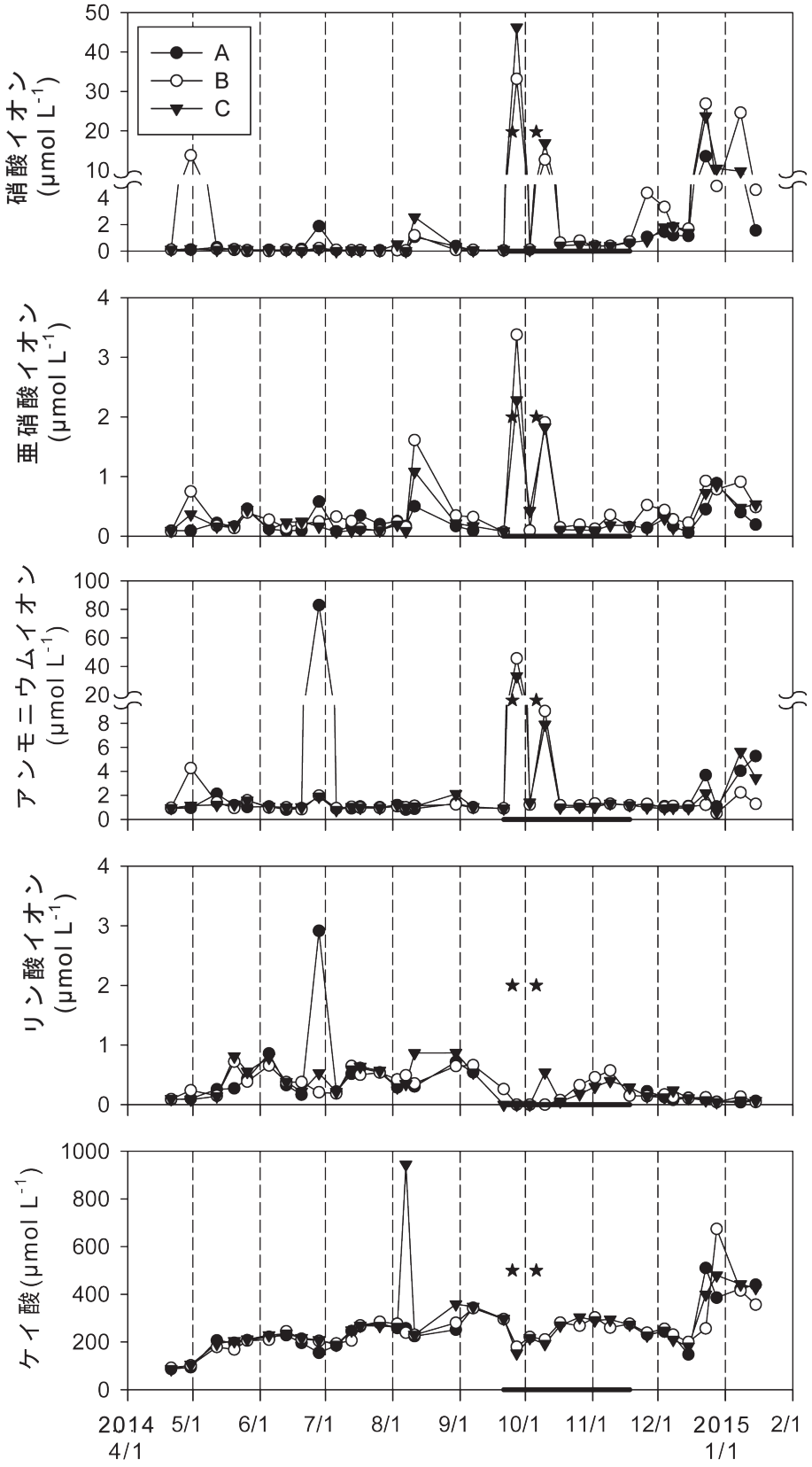


図3 麻機遊水地第3工区の観測点A～Cにおける栄養塩濃度の経時変化．図中の★は台風と台風から変わった低気圧の最接近日を示し，横軸上の横棒は観測点Aでの観測がない期間を示す．

Fig. 3 Changes in nutrients concentrations at Site A～ C in the 3rd building construction area of Asabata flood control basin. Stars indicate the date of the closest approach of low． Horizontal bars on the x—axis show the period without samples at Site A.

よく似ており，台風後に一桁（亜硝酸イオン，アンモニウムイオン）から二桁（硝酸イオン）濃度が上昇し，また，降水量が多かった4月30日にも観測点Bで濃度が上昇したほか，12月23日以降に比較的高濃度だった．冬季に高濃度を維持する傾向はケイ酸でも見られた．ケイ酸は栄養塩の中で最も高濃度で86～944μmol L^{-1}の範囲だった．溶存無機窒素の濃度が台風後に上昇したのに対し，ケイ酸は若干（10～146μmol L^{-1}）であるが台風後に濃度が低下した．一方，溶存無機窒素とケイ酸が台風接近前の濃度に戻った10月17日以降にリン酸イオン濃度は緩やかに約1カ月間上昇した．

SS，クロロフィル*a*

SS濃度は8.0～218mg L^{-1}だった（図2）．観測点AとBでそれぞれ5月と6月に179～218 mg L^{-1}と一時的に高い値を取った以外は32 ± 18 mg L^{-1}（平均 ± 標準偏差，n = 93）で，観測点AとCで低く，Bで高い日が多かった．また，11月下旬以降はどの観測点でもSS濃度は比較的低かった．クロロフィル*a*濃度は19.6～651μg L^{-1}で，SSと同様に観測点A（20.4～263 μg L^{-1}）とC（19.6～282μg L^{-1}）で値が似ていた（図2）．春と夏に一時的に高かった以外は，台風後のリン酸イオン濃度が上昇していた期間に107～651μg L^{-1}と著しく高かった．

SSとクロロフィル*a*の経時変化を比較すると，クロロフィル*a*が極大を取った日はSSも極大を取ることが多く，植物プランクトンの繁茂時は植物プランクトンバイオマスが水中の懸濁態粒子に対して大きく寄与することを示した．しかし，観測点BでSS濃度が突出した6月は同観測点におけるクロロフィル*a*濃度が低く，植物プランクトン以外の寄与が大きいことを示した．

考察

天候と水質の関係

窒素とリンは，様々な生態系でその不足により生物生産を制限しているが，本研究で最も興味深い結果は，降水が多く遊水地の貯水量が多い時期と，貯水量が少ない時期（冬季）の両方で，溶存無機窒素が増加したにも関わらずリン酸イオンが増加しなかった点である．この内、降水が多かった時期は，日降水量が100mmを超えた2014年4月30日と，静岡市が台風の被害を受けた2014年9月25日（台風16号）と10月6日（台風18号）の後で，どちらもpHの顕著な低下を伴ったが，SS，クロロフィル*a*，ケイ酸には目立った変化はなかった．一方、冬季はpHがほぼ変化せず，ケイ酸が増加したことから，降水が多かった時期とは溶存無機窒素の供給過程が異なっていたと考えられる．降水の多かった時期の水質の変化の要因として，大雨時は巴川の氾濫を防ぐために麻機遊水地に河川水の一部を引き込むことから，流入水の寄与が考えられる．第3工区への流入水の水質については，2003年8月～2004年3月に調査が行われ，第3工区内の水質（pH7.3～8.6，全窒素濃度43～157μmol L^{-1}，全リン濃度3.2～17μmol L^{-1}）と比べて，pHが低め（7.0～7.5）で全窒素（121～857μmol L^{-1}）と全リン濃度（4.8～35μmol L^{-1}）が高いことが報告されている（巴川流域麻機遊水地自然再生協議会, 2007）．10年前の値であり，無機態以外の窒素とリンが含まれ，且つ，豊水時以外のデータも含んでいることから，本研究の結果との直接的な比較は難しいが，観測点B，Cにおける台風前後のpHの変化（約8.4→7.13～7.38）と硝酸イオンおよびアンモニウムイオンの濃度変化（0.05～0.92μmol L^{-1}→33～46μmol L^{-1}）は流入水による影響と考えても矛盾しない．ただし，リン酸イオンは観測点B，Cで検出されていないことから，流入水中のリンの多くが有機態リンや無機塩粒子などのリン酸イオン以外の化学種であった可能性や，リン酸イオンが池に付加された後に金属元素と無機塩粒子を形成し水柱から除去された可能性がある．ここで注目すべきは，台風後に溶存無機窒素濃度が上昇から減少に転じ，台風前の値にまで低下した後に，クロロフィル*a*濃度とリン酸イオン濃度が約1カ月間上昇し続けた点である．この結果は，池に付加された溶存無機窒素が植物プランクトンにより吸収され尽くした後も，リン成分からのリン酸イオンの放出が約1カ月間続いたことを示唆する．同様のpH，溶存無機窒素，リン酸イオン，クロロフィル*a*の濃度の変化は4月30日の大雨後にも観測されており，豊水時における流入水が低pH，高溶存無機窒素濃度，低リン酸イオン・高全リン濃度（または高リン酸イオン除去能）で特徴づけられることを示唆する．

一方，冬季は第3工区への流入量が少ない（巴川流域麻機遊水地自然再生協議会，2007）．第3工区は集水面積が狭く，遊水地周囲の堤防により周辺の沢水が遊水地ではなく浅畑川に流れ込むため，元々流入量が少なく，湿地の乾燥化が懸念されている（巴川流域麻機遊水地自然再生協議会，2007）．従って，冬季における溶存無機窒素とケイ酸の増加は流入水の影響ではなく，池で生じた過程が要因となっていると考えられる．すなわち，図2が示唆するように表面水温の低下と風により対流が生じ，光量不足などのために一次生産で利用されずに下層の水中に蓄積していた栄養塩が水面付近に運ばれた可能性が考えられる．しかし，リン酸イオンは増加していないため，下層まで低濃度であった可能性がある．その要因については，仮説の段階であるが，堆積物中の成分に吸着することで有機態リンの生分解速度が遅くなっている可能性や，金属元素とリン酸イオンによる粒子の形成が考えられる．後者については，洪水時や対流時に水酸化鉄が供給され，水柱からリン酸イオンが除去される例がノルウェーの湖で報告されている（Hongve，1997）．リン酸イオンは酸化的条件で鉄の酸化物や水酸化物と塩を形成しやすく，これらの塩からのリン酸イオンの解離は嫌気的条件で進行する（Dijkstra *et al.*, 2014）．また，有機物が堆積物中の鉱物粒子と吸着した場合にも嫌気的条件で脱着や分解が進行する（Ahlgen *et al.*, 2006；Skoog & Arias-Esquivel, 2009）．従って，底層水でリン酸イオンが低濃度であるとすると，池の水柱全体が好気的であったと考えられる．2014年7月17日に蛍光式溶存酸素計（ProODO，YSIナノテック）を用いて採水点A，B，Cの溶存酸素濃度を鉛直的に測定したところ飽和値に近い値が得られており，この結果は仮説を支持する．しかし，

吸着や粒子の形成とその後のリン酸イオンの放出や解離には，溶存酸素や酸化還元電位だけでなく，pH，金属元素，リンの化学種が関係することから（Baldwin *et al.*, 2001），仮説の検証には，底層付近の溶存酸素濃度，酸化還元電位，pHの定期的測定とリンおよび金属元素の定性分析が必要である．

文献値との比較

巴川流域麻機遊水地自然再生協議会（2007）によると，2003年8月から2004年3月にかけて第3工区で水質調査が行われ，そのときの測点△1が本研究の観測点Cに最も近いことから，本研究における2014年8月から2015年1月の観測点Cの結果と比較し，表1にまとめた．クロロフィル*a*濃度の最大値において観測点Cの値（282μg L^{-1}）が10年前の値（96μg L^{-1}）を大きく上回ったが，これは台風18号による特異的な結果と考えられる．台風による影響と考えられる値を除いた観測点Cのクロロフィル*a*の最大濃度は99μg L^{-1}で，10年前の値と極めて近かった．pH，SS濃度についても，10年前の値とほぼ同じ範囲であり，この10年間で第3工区の水質はほぼ変わっていないと言える．一方，麻機遊水地の周辺地域ではこの10年間で自動車の交通量が増加しており（静岡県交通基盤部道路局道路企画課，2010年），特に2012年の新東名高速道路の供用開始以降はその傾向が進み，大気から麻機遊水地への窒素酸化物などの酸性物質の沈着量が10年前より増えている可能性が高い．それにも関わらず，第3工区の水質が保たれている要因の一つとして，10年前には第3工区の流域を含む浅畑川流域が属する静清処理区の下水道普及率が66.9%だったのが2017年現在で89%まで上昇していることから（巴川流域麻機遊水地自然再生協議会，2007；静岡県交通基盤部都市局生活排水課，2017），流入水の水質向上が考えられる．しかし，麻機遊水地の池の水が流出する巴川は環境基準で河川C類型に指定されており，その基準値と比較すると，10年前と本研究は共にpHの最大値が基準値を上回り，SS濃度の最大値が基準値に匹敵している（表1）．従って，巴川とその流出先である駿河湾への影響を考えると，麻機遊水地の水質管理に対する更なる取り組みが求められる．

表1　麻機遊水地第3工区の水質における本研究と文献値との比較．
Table 1　Comparison of pH, concentrations of SS and chlorophyll *a* between this study and literature.

対象	pH	SS（mg L^{-1}）	クロロフィル*a*（μg L^{-1}）
文献値[a]（2003年8月～2004年3月）	7.3～8.6	11～39	15～96
本研究（2014年8月～2015年1月）	7.13～8.97	8.0～44.7	19.6～282（19.6～98.8）[b]
環境基準値	6.5～8.5	≤50	—[c]

[a] 巴川流域麻機遊水地自然再生協議会（2007）．
[b] 台風による影響と考えられるデータを除いた範囲．
[c] 設定なし．

謝辞

本研究を進めるにあたり，静岡県静岡土木事務所河川改良課，巴川流域麻機遊水地自然再生協議会，静岡市都市局都市計画部緑地政策課の方々から多くの御教示を賜った．栄養塩の測定では静岡大学のベアトリス・E・カサレト研究室のオートアナライザーを借用した．また，査読者と編集委員の方々には貴重なご意見・ご指摘をいただいた．深く感謝の意を表する．

引用文献

Ahlgen J., Reitzel K., Tranvik L., Gogoll A. & Rydin E. (2006), Degradation of organic phosphorus compounds in anoxic Baltic Sea sediments: A ^{31}P nuclear magnetic resonance study. *Limnology and Oceanography*, **51**, 2341-2348.

Baldwin D. S., Beattie J. K., Coleman, L. M. & Jones D. R. (2001), Hydrolysis of an organophosphate ester by manganese dioxide. *Environmental Science and Technology*, **35**, 713-716.

Currie L. A. (1995), Nomenclature in evaluation of analytical methods including detection and quantification capabilities (IUPAC Recommendations 1995). *Pure and Applied Chemistry*, **67**, 1699-1723.

Dijkstra N., Kraal P., Kuypers M. M. M., Schnetger B. & Slomp C. P. (2014), Are iron-phosphate minerals a sink for phosphorus in anoxic Black Sea sediments? *PLoS ONE*, **9**, e101139. doi:10.1371/journal.pone.0101139.

Hongve D. (1997), Cycling of iron, manganese, and phosphate in a meromictic lake. *Limnology and Oceanography*, **42**, 635-647.

国立環境研究所 (2012)，霞ヶ浦データベース，72p.

Koroleff F. & Grasshoff K. (1983), Determination of nutrients. *In*: Grasshoff K., Ehrhardt M. & Kremling, K. (eds.) *Methods of Seawater Analysis*, Verlag Chemie, Weinheim, 125-187.

静岡県交通基盤部都市局生活排水課 (2017)，静岡県の下水道，132p．

静岡県交通基盤部道路局道路企画課 (2010)，平成22年度一般交通量調査報告書，112p．

静岡市(2016)，麻機遊水地地区グランドデザイン，25p.

Skoog A. C. & Arias-Esquivel V. A. (2009), The effect of induced anoxia and reoxygenation on benthic fluxes of organic carbon, phosphate, iron, and manganese. *Science of The Total Environment*, **407**, 6085-6092.

巴川流域麻機遊水地自然再生協議会 (2007)，巴川流域麻機遊水地自然再生全体構想，60p.

Welschmeyer N. A. (1994), Fluorometric analysis of chlorophyll *a* in the presence of chlorophyll *b* and pheopigments. *Limnology and Oceanography*, **39**, 1985-1992．