

論文

人為的影響が少ないため池における水質の季節変化の解析

—大洞池（愛知県犬山市）での事例研究—

大屋 渡¹⁾・石神 昇¹⁾・山田遊子¹⁾・久保 敦¹⁾

Analysis of seasonal changes in water qualities in a pond under the less artificial influence - A case study in Ohbora-ike (Inuyama Aichi) -

Wataru OHYA¹⁾, Noboru ISHIGAMI¹⁾, Yuko YAMADA¹⁾ and Atsushi KUBO¹⁾

摘 要

ため池の水質形成過程における、降雨、森林生態系、及び池内での生物地球化学的作用の影響を解析するために、集水域の全域が雑木林であり、水質に影響を及ぼすような人為的汚染源が存在しない「大洞池」（愛知県犬山市）を対象に、週1回の水質調査を4年間にわたり実施した。大洞池は、丘陵地の谷戸に設置され、地下水を主要な水源としている面積0.5 haの農業用ため池である。得られた $n=209$ のモニタリングデータを解析したところ、透明度は最小0.9 mから最大3.9 mまでの範囲で、全有機炭素（TOC）は最小 0.26 mg L^{-1} から最大 1.65 mg L^{-1} までの範囲で、それぞれ季節的に大きく変動した。この季節的な変動については、流出量が小さくなると透明度は低下し、TOCは高くなる傾向が認められた。全窒素（TN）はTOCほど明瞭な季節変動ではないものの、TOCが高くなった時にはTNが低くなる（C/N比が高くなる）傾向が見られた。このような水質変動について、浮遊物質（SS）と化学的酸素要求量（COD）の関係、地下水の湧出状況とその水質に関するデータ、鉛直観測結果、クロロフィル a 濃度の測定結果等を併せて検討したところ、流入水の水質変化や池内でのプランクトンの増殖ではなく、池底の堆積物や池に流入したリター等の影響が、水質変動の主要因であると推定された。

キーワード：週1回モニタリング、水質変動、透明度、全有機炭素、生物地球化学的要因

(2013年1月11日受付；2013年6月20日受理)

はじめに

ため池は、灌漑用水の整備が進む中で存在意義を低下させ、宅地開発などに伴ってその数を減らしてきた。しかし、それに対して身近な水辺環境としてのため池の価値の見直しの動きも生じ、1990年代にはその保全の意義についての議論が本格化し（ため池の自然談話会，1994）、近年は「ため池シンポジウム」が各地で開催されるようになるなど（朝日新聞，2006）、ため池の自然環境の保全に向けた機運が高まりつつある。

ため池の大部分は「浅く小さな水域」として特徴付けられ（土山，2003）、その水質は、集水域からの流入水の直接的な

影響によって大きく変動し、とりわけ人為的汚染の影響による「富栄養化」現象は、ため池の水質保全における最重要課題として認識されてきた（村上，1994）。しかし、降雨として集水域に供給された水が森林生態系を通過する過程において枝葉や幹からの洗脱、土壌表層微生物の分解活動による溶脱、森林植物による根からの吸収、土壌層でのイオン交換・吸着といった影響を受けること（田中ら，2003）、あるいはため池内部で滞留している水が、その間にプランクトンの増殖といった生物地球化学的な要因による影響を受ける可能性を考えれば、ため池の水質は、たとえ人為的汚染の影響がなかったとしても、天候の影響その他に伴い記述に値するような変動を生じているものと考えられる。さらに、ため池（と

¹⁾ 株式会社 愛研 〒463-0037 愛知県名古屋守山区天子田 2-710, Aiken Co. Ltd., Moriyama-ku, Nagoya, Aichi 463-0037, Japan

りわけ「谷池」)が、ダム湖において特徴的に認められる現象(村上, 2013)と同様に、時間的変動として、水位が保たれ流入水も少ない時には湖のような性質を有する一方、大雨の後などの時には川ようになってしまうことも考え併せれば、ため池の水質変動を詳細に調査し解析することは、陸水の水質形成過程を考察する上で、大変興味深い材料を提供するものと考えられる。

東海地域におけるため池の水質変動については、これまでもいくつかの報告があり(大沼, 2004)、その中には入鹿池のような湖に近い大きさの水塊を対象に通年のモニタリングを実施した結果を含む報告もある(例えば、大沼, 2003; 丹羽・大沼, 2005)。しかし、「浅く小さな水域」としてのため池は、降水量による影響の他にも、灌漑利用等の影響も併せ、結果的に水質が比較的短時間に大きく変動すると考えられる。これまでのような通常の月1回あるいは季節ごとに年4回といった頻度のモニタリングでは、その水質変動に対応するのは困難と考えられる。

そこで、本研究では、「浅く小さな水域」としてのため池の一つであり、集水域が森林で、事業所や集落等、定常的な人為的汚染源がない「大洞池」(愛知県犬山市)において、池の流出水(ないし流出部に近い場所の水)を週1回の頻度で採取、分析するモニタリングを行い、4年間の長期間にわたって継続することにより、人為的影響のない条件下での水質の形成過程にとって重要となる要因は何であるか考察することを試みた。

方 法

大洞池の概要

大洞池は、犬山市ため池台帳の記載によれば、流域面積51.4 ha、満水面積0.5 ha、貯水量15000 m³、堰堤高さ9 m(ただし、土砂や樹木が堆積しているため、実測の堰堤部水深は3~4 m程度で、底部取水口のある池の中央付近の水深は満水時6 m程度)のため池である(図1)。1933年頃に砂防ダムとして築造されたという記載があり(宮川ら, 1983)、主にチャートの地質から成る山地のすその侵食谷を塞ぎ止めていることから「谷池」に分類される。大洞池の周辺には、事業所や集落等、定常的な人為的汚染源が存在せず、集水域は、池の周辺の比較的狭い平地状の範囲を中心にコナラ林(コナラ・アベマキ群集)、その他の傾斜地を中心にアカマツ林(アカマツ・モチツツジ群集)となっている。現在は、農業用ため池として利用されているとともに、水質と景観が良好なため池と一般にも認識され、散歩や魚釣りの場として市民に親しまれている。

ため池を中心とする水の流れに関しては、池の南側に位置する堰堤直下の用水路に対してほぼ常時、水が取水されている。取水設備としては、堰堤上面から1 m下がったところの



図1. 大洞池周辺の航空写真(国土交通省から国土画像情報として配信、大きな池が大洞池で、堰堤は最も南にあり、北西に隣接するやや小さな池が大洞第二池)。

上部取水口(ただし、上部取水口に板をはめこむことで貯水量を増やすことができ、満水時の水位は上部取水口の高さからさらに0.7 m高い)のほかに、堰堤部からやや池の中央寄りに複数の取水栓を階段状に配置した取水施設(「杓」といわれる)があり、低水位時の取水を可能にしている。また、図1に示すように、大洞池は、堰堤により隔てられた北西側の「大洞第二池」と隣接している。大洞池より小さいこの池は、集水域は大洞池と共通で、水質に大きな差はない。しかし、「大洞第二池」の越流用の放水路が大洞池の上部取水口の北西に接続されているため、降雨出水時には放水までの滞留時間が短い水が上部取水口付近に直接供給される状況となる。

大洞池は、常時流入する河川のような明確な水の供給経路を持っておらず、まとまった降雨がない限り地表流がほとんど認められない。それにも関わらず定常的な流出を維持しているため、通常は降雨が森林土壌に浸透して生じる地下水によって涵養されていると考えられる。なお、この地下水の湧出に関しては、2012年11月以降の池の水を完全に抜いた「池干し」の状態、普段は池の内部となっている山側の側面(谷頭)部から湧出していることを確認することができた。

調査方法及び項目

モニタリングのための調査地点は原則として侵食谷を塞ぎ止める堰堤の中央付近とした。これは本研究が基本的には池の流出水を採取するという意図であるため、堰堤西端近くにある上部取水口に近く、しかも上部取水口の北西に放出される「大洞第二池」からの越流水が混合せず、かつ安定した作

業が遂行できる場所として選定した。ただし、「大洞第二池」からの越流水の混合がなく作業上適切な場合は、上部取水口そのものを調査地点とした。また、水位が低下して上部取水口からの流出が認められない場合は取水栓の極力近くを調査地点とした。

現地調査の頻度は週1回として土、日、月曜日のいずれかに行った。現地調査では水の状況や流出量を目視で確認し、水温、気温、透明度を測定すると共に、ポータブル pH 計（本体 D-22 及び電極 #9621-10D、堀場製作所製）で pH を測定した。この際、流出量は目視確認ないし放水路の写真記録をもとに図2のように8段階の流出量として数値化した。この数値化は、今回の調査では流量を長期間計測するための設備等を設けることが出来なかったが、流量の大まかな解析を行う目的で考案したものである。また、大洞池から直線距離1 km 程度に位置する個人宅でガラス容器等に直接受けて雨水を採取し概ね1週間分を測定試料とした。なお、降水量は上

記地点で計測したが、測定値の信頼性を検証するために大洞池から直線距離6 km 程度に位置するアメダス美濃加茂の公表データと比較したところ、局所的豪雨などの際に1日の降水量に一部大きな差が生じることはあったものの、比較検証を行なった2010年の年間降水量はアメダス美濃加茂2548.5 mm に対し2650 mm とよく一致した。しかし2009年の雨量計測については信頼性向上のため計測方法の変更と検証を繰り返したため、アメダス美濃加茂の降水量データを採用した。

この現地調査と同時に、実験室に持ち帰る試料を池の表層から採取し（水面にはデトリタスや膜がある場合も多かったため、水面からの採取は避けた）、全有機炭素計（TOC-V CPH、島津製作所製）によって全有機炭素（TOC）を、アルカリ性ペルオキシ二硫酸カリウム分解—紫外線吸収吸光度計測定法（2011年10月まで）及び銅・カドミウムカラム還元吸光度法（2011年10月以降、オートアナライザー SWAAT、BL-TEC 社製）によって全窒素（TN）を毎回測定した。雨水についても分析可能なまとまった量の試料が得られた場合には同様の測定を行った。本研究は流出水及び雨水のモニタリングが主体であるが、池への流入水についても一部測定した。さらに、池の最深部での鉛直方向の水質調査も2012年8月25日（第4週）に実施し、TOC、TNに加え溶存酸素量（DO）を測定した。以上のTOCとTNの測定に関しては、一部の試料についてはメンブランフィルター（HA孔径0.45 μm、ミリポア製）でろ過し、溶存態有機炭素（DOC）及び溶存態窒素（DN）の測定を追加した。また、持ち帰った池の水について2009年11月以降、原則として月に1回の頻度で電気伝導率（EC）、化学的酸素要求量（COD）、全りん（TP）、浮遊物質（SS）を追加測定した。

本研究における流出水等のこれらの分析は、基本的に環境基本法に基づく公共用水域水質の通常の方法として規定されている方法（日本工業規格、1998）によって行い、一連の試料は検査機関として日常的に依頼を受けて分析をしている検体の一部として扱った。

報告の対象とした期間

モニタリングは2008年12月末から開始し現在も継続しているが、本研究において報告するモニタリング期間は2009年1月から2012年12月までとした。なお、測定機材等の都合により、現地調査のうち、透明度は2009年6月から、pHは2010年5月から測定を開始し、流出量を目視確認については2010年4月からは記録が連続しているが、それまでは現地観察時に特徴が認められた場合を中心とした断続的な記録である。

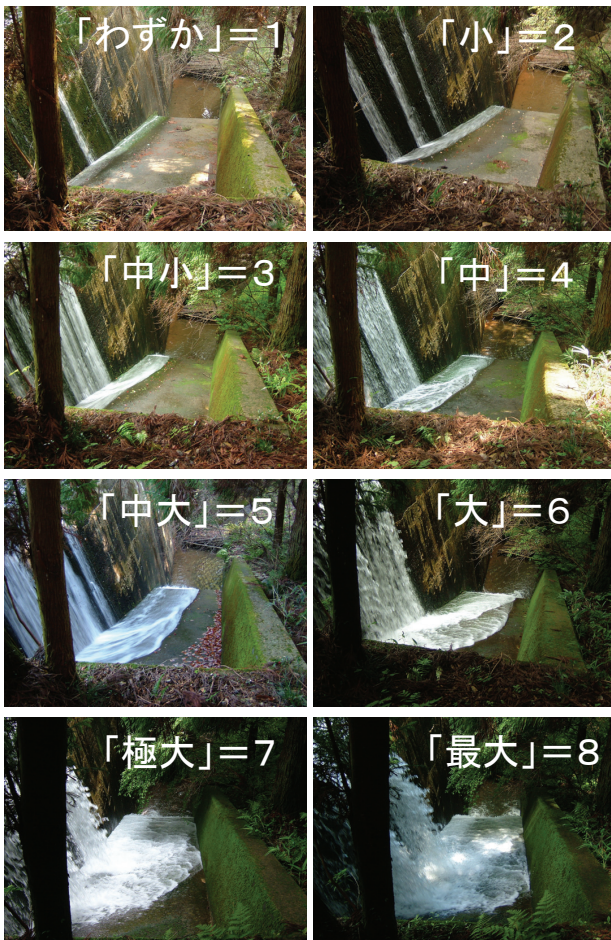


図2. 目視ないし写真による流出量の記録の8段階表記への変換例（写真と目視観察記録の両方が残っている観測で検証した結果、状況を書き残す際の「誤差」は±1段階であり、写真が残っている場合は写真を優先させて数値化した）。

大屋 渡ほか

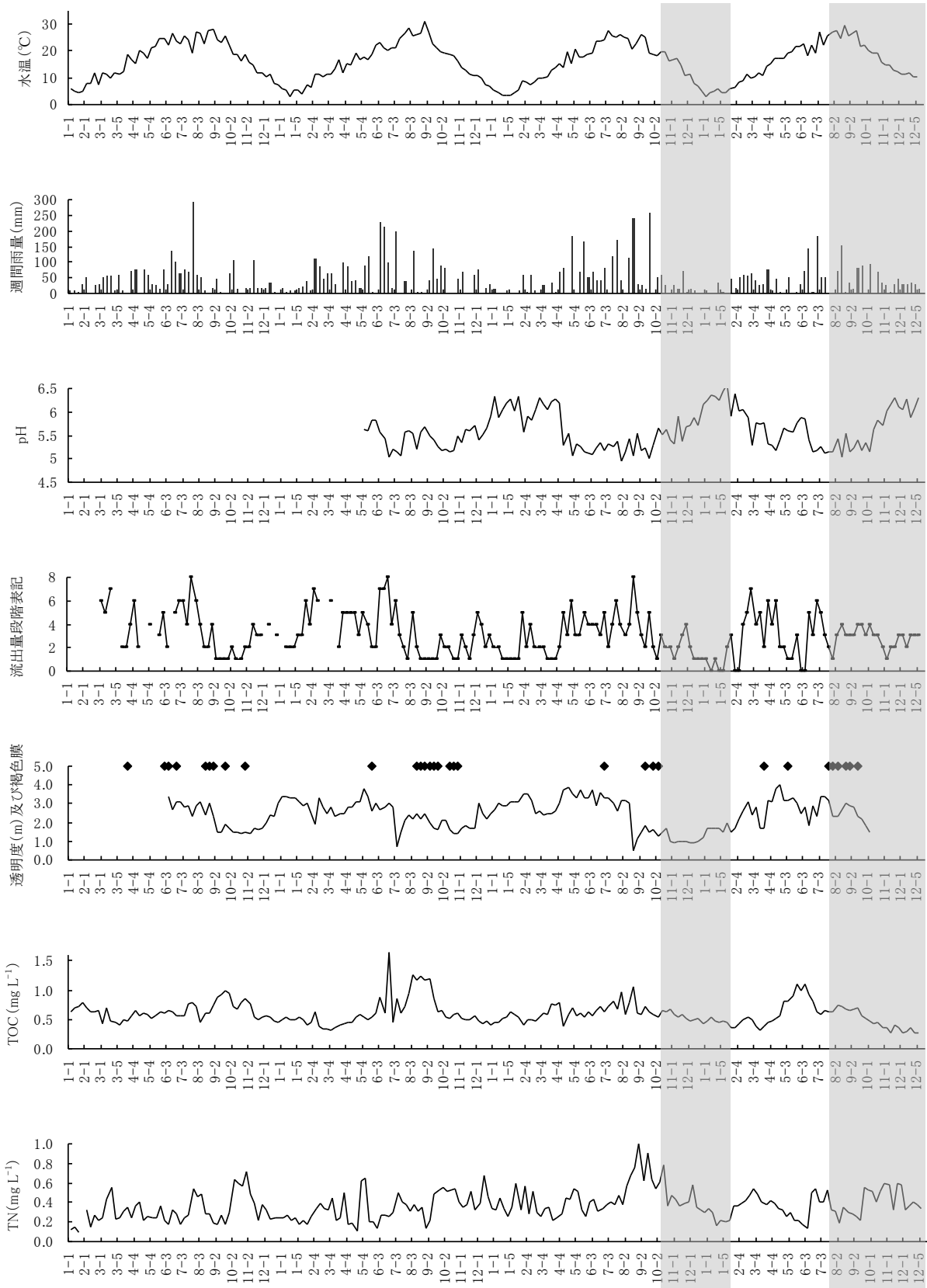


図3. 大洞池の水質データ（水温、週間降水量、pH、流出量、透明度及び褐色膜生成、TOC、TN）の変動（2009年1月～2012年12月、なお水位を低下させる目的で流出量を増加させるなど人為的操作が行われていた期間を網掛けによって識別した）。

結果及び考察

水質の季節変化とその要因

大洞池の水質は季節によって大きく変動した(図3)。とりわけ透明度の変動は外観上で明らかであり、記録的な集中豪雨(アメダス美濃加茂の観測で1時間あたり最大40mmの降水量を記録した2010年7月第3週と、1時間あたり最大51mmの降水量を記録した2011年8月第4週の雨)による直接的な影響や、池干し直前の極端な低水位状態を除いても、0.9mから3.9mまでの変動が観測された。一般に、河川や湖沼の濁りは、降雨出水時に認められるが、大洞池の透明度は、大雨の直後など一部のデータにその傾向が認められたものの、全般には、流出量が少ない時期に濁りが増し、流出量が多くなると透明度が回復する傾向が認められた。すなわち、全観測期間を通して、流出量が明らかに少ない状態といえる流出量段階表記が1以下であった観測日($n=40$)の透明度が、平均値2.0m、中央値1.7m、標準偏差0.68mであるのに対し、流出量が明らかに多い状態といえる段階表記が6以上であった観測日($n=17$)の透明度は、平均2.8m、中央値2.8m、標準偏差0.47であった。この2つの平均値についてウェルチのt検定を適用したところ、有意水準0.001でも有意差が存在していた。その一方で、この全般的な傾向とは逆に流出量が低下しても透明度が上昇する傾向も、例年、12月から2月にかけて観測された(測定を実施していなかった2009年を除く)。

ここで流出量に関して述べると、降雨の影響等が少なく比較的安定した状態であった2013年2月8日に、目視での流量段階表記2の状態では流出量を実測したところ毎秒約8Lであった。これは1日あたり691m³となり、池の貯水量を犬山市ため池台帳にしたがい15000m³と仮定すると、滞留時間として約22日間と試算された。大洞池は「浅く小さな水域」

であることから、流出量が増すと水位も下がりやすく滞留時間はより短くなる傾向がある一方、流出量が小さくなると水位も下がらず滞留時間はより長くなる傾向があるため、流出量の大小が滞留時間の長短を規定する最も大きな要因になっていると推定された。

流出量は、季節的な降水量の変動に基本的に連動するため、透明度の変動も季節的なものとして認められた。具体的には、2009年と2010年の2年間については、夏前くらいまでは透明度は概ね高く、夏から秋にかけて低下し、低い流出量が継続した期間の終わり頃にあたる10月下旬に最低を示した。一方、2011年は10月頃から、2012年には8月頃から、流出量を大幅に増やす人為的操作が行なわれ、さらに2011年は8月から9月にかけての降水量がそれまでより多かったことも重なり、秋に低い流出量が継続する傾向が観測されなかった。なお、この人為的操作は、取水施設の大規模改修工事の予備調査ないし本工事実施に備えて水位を下げることを目的に行なわれたもので、2012年11月以降は完全に水を抜いた「池干し」の状態となった。結果的に、その人為的操作が行われた期間は滞留時間が短くなると同時に、低水位状態に伴う水塊の攪乱も強く影響したものと推定され、透明度の変動はそれまでのように季節的であるとは言い難い状態となった。

大洞池の透明度の変化をもたらしている物質に着目すると、基本的に濁りは茶褐色の物質によりもたらされており、透明度の高い場合の池の水色は基本的に青色であった。濁りの性状の観察から、流出量が少ない時期の透明度の低下と降雨出水時の原因物質は、いずれもこの山地を形成している赤褐色ないし灰褐色のチャートが風化して生じた無機成分によってもたらされていると推定された。図4に透明度とSS、透明度とCODの相関を示した。SSが高いと透明度が低くなる傾向が認められる一方で、CODについてはそのような傾

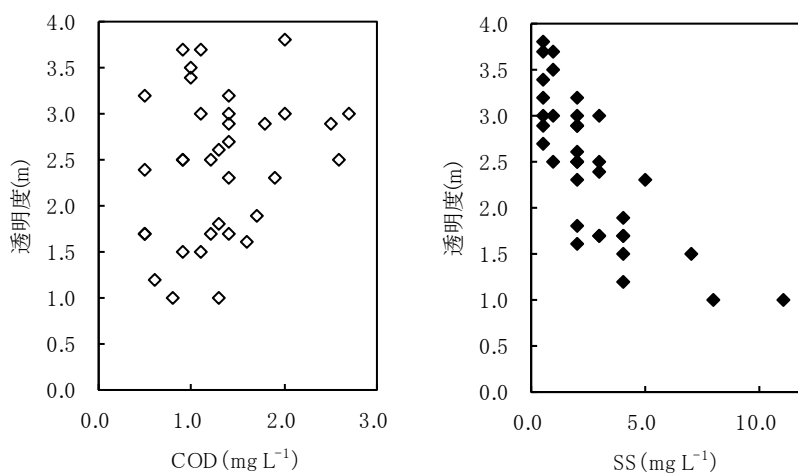


図4. 透明度とCOD及び透明度とSSの関係(CODないしSSが定量下限未満であった観測データについては、定量下限値の1/2の数値を仮定してCODで0.25mgL⁻¹、SSで0.5mgL⁻¹として図にプロットした)。

向は認められず、この推定を支持した。

降雨出水時等に底泥として堆積しているシルトの巻き上げにより濁りが発生するのは自然な現象であるが、本研究のように、流出量が少ない、物理的攪乱が乏しい状況で堆積シルトの巻き上がりによって透明度が低下しているとすれば、その駆動力が必要となる。それについては谷池内部で湧出した地下水が池の水温よりも低い水温となる夏期には底層に潜り込み、それが駆動力となって停滞した水塊の中で濁りを含む底層水が表層まで押し上げられるというプロセスが考えられた。このプロセスに基づけば、流出量が多いと透明度が回復するのは、地下水の増加や地表流（現地観測では、森林域の谷部に一般に認められることの多い濁りが少ない水流であった）の供給による希釈効果であり、また12月から2月にかけて観測された流出量が少なくても透明度が回復する現象は、供給された地下水が底層に潜り込むことなく直接的に表層に供給されるためであると説明できる。図3に示した池の表層水温からも、地下水の水温として一般的に想定し得る17℃のラインを上回る期間と、透明度の低下傾向が認められる時期が概ね一致していることから、このプロセスが存在している可能性は高いと考えられる。

透明度の低下のほかに特筆すべき外観上の変化として、4月から11月にかけて、主に高水温期に褐色膜がよく生成し、特に透明度の低下する8月末から11月はじめにかけては厚く発達し、泡も消えにくくなり景観を著しく悪化させることがあった（図5）。この褐色膜は、透明度や後述するTOCとは直接の関係はなく、流出量が多いと生成が抑制され、流出量が少ないと生成が促進される傾向が認められた。顕微鏡観察の結果からはこの褐色膜は鉄バクテリアが生成に関与した



図5. 池の水面で発達した褐色膜の状況（2010年9月25日撮影，階段状に設置された取水設備の取水栓周辺）。

ものであると推定され、図5の膜をろ紙上に捕集し、乾燥して酸で溶出することで鉄分の含有率を測定したところ3.8%（酸化鉄（II））とすると5.4%の含有が認められた。この褐色膜の生成プロセスについては、特に8月末から11月はじめにかけては流出量が少なく（人為的操作等の影響が大きかった2011年と2012年を除く）、表層水温も上昇しやすいことから、池の水に鉛直方向の温度勾配が生じて底層が貧酸素状態となり、底泥から Fe^{2+} が溶出されやすくなって（住友・津野，1990）池内に供給され、鉄バクテリアの繁殖に有利な条件が揃うことが推定された。池の最深部での鉛直観測は、この推定の検証を目的の一つとして行なわれたものであるが、図6に結果を示したように、弱い温度勾配が形成され

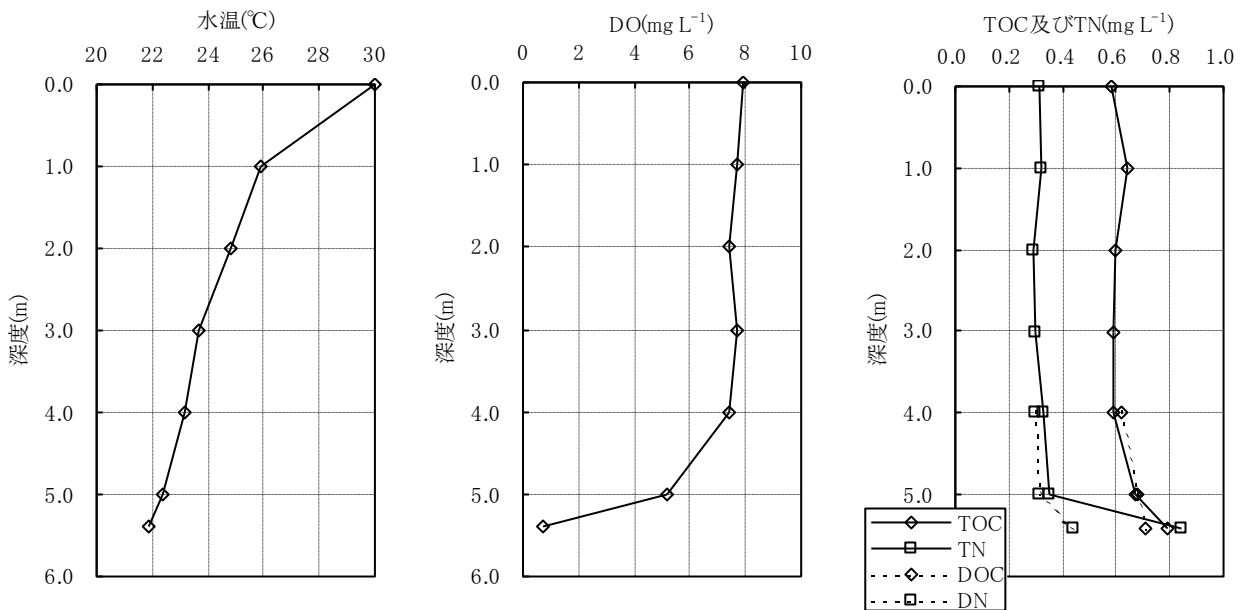


図6. 大洞池最深部の水温，DO，TOC及びTNの鉛直方向の濃度変化（2012年8月25日観測）。

ると共に、底泥直上の DO は 0.7 mg L^{-1} と貧酸素状態であることが確認されたことから、この推定が裏付けられた。

集水域からの炭素 窒素の供給と池内での形態変化

大洞池の集水域は全域が雑木林であるが、一般に森林に降った雨水は、樹冠を通過したり、樹幹を伝わって地表に到達した後、有機物の蓄積した A₀ 層から A 層、B 層へと土壤中を浸透する過程において、物質の溶脱、イオン交換、植物の根による吸収等による水質変化を受け、さらに深部へ浸透することにより母材となる岩石と長期間接触したものが湧水や渓流水として水系に流出してくると考えられる。

これまでの事例においては、TOC については主に樹幹や表層土壌との接触によって付加され、土壌中を深度方向に浸透していく過程で濃度が減少し、最終的に地下水や渓流水に至る段階ではもとの降水と大きな差がないことが報告されている(川崎ら, 2002; 田中ら, 2003)。本研究でも降水の TOC は、雨量による過重平均値が 0.69 mg L^{-1} 、中央値が 0.70 mg L^{-1} であるのに対し、大洞池の TOC は平均値が 0.60 mg L^{-1} 、中央値が 0.57 mg L^{-1} と、若干低い程度であり、基本的に上記の過程を経た結果であると推定される。

一方、TN については森林生態系によって窒素源として利用されるものと考えられ、これまでに愛知県内の都市近郊林において、降雨が森林を通過して生じた渓流水の TN が雨水の概ね3分の1になるほど低下することが報告されている(田中ら, 2003)。しかし研究での降水の TN は、雨量による過重平均値が 0.55 mg L^{-1} 、中央値が 0.58 mg L^{-1} であるのに対し、大洞池の TN は平均値が 0.37 mg L^{-1} 、中央値が 0.34 mg L^{-1} と、半分にもならない程度の低下であった。これは、大洞池の集

水域の主要な森林がチャート母岩とする貧弱な土壌に発達するアカマツ林であることや、ため池内部で水質変化が生じ得ることが、この TN の低下についての差をもたらした要因である可能性が考えられる。

以上のような代表値に関する検討を踏まえた上で、大洞池の TOC の変動状況を見ると、2012 年 12 月(「池干し」後)の最小 0.26 mg L^{-1} から 2010 年 7 月の最大 1.65 mg L^{-1} までの広い範囲を変動し(図 3)、流出量が急増した際に認められる一時的な変動のほかに、流出量が少なくなる時期に、TOC 濃度が比較的短期間で増加して、その後比較的短時間で減少する変動(以下、このような濃度変動を「ピーク」と表現する)が認められた。この TOC ピークが比較的明瞭な 4 つの期間(2009 年 8 月第 4 週～11 月第 2 週、2010 年 8 月第 1 週～9 月第 4 週、2011 年 3 月第 3 週～5 月第 1 週、2012 年 5 月第 1 週～7 月第 2 週)について、流出量と TOC の関係を図 7 左に示した。この期間では、TOC が高い時には流出量は少なくなっており、流出量が大きくなると TOC が低くなる傾向が見られた。一方、この期間以外(図 7 右)では TOC が高くても流出量は少なくなっておらず、特に関係性は見られなかった。なお、2009 年と 2010 年には夏から秋にかけての流出量の減少と TOC ピークが比較的明瞭であったが、2011 年と 2012 年には前述のとおり人為的放水操作等により秋に流出量が少なくなる傾向が観察されず、明瞭な TOC ピークも認められなかった。

このように流出量が少なくなると池の TOC が増加する要因として、まず、集水域からの炭素の供給の増減が直接的に影響している可能性を検討する。大洞池は「浅く小さな水域」であるため、その水質は、基本的に流入水による影響を受け

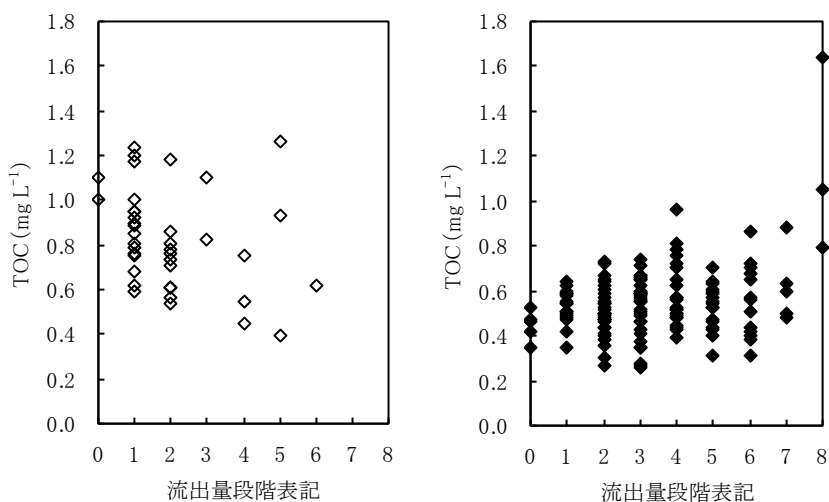


図 7. TOC と流出量の関係。

左図: TOC ピークが比較的明瞭な期間 (2009 年 8 月第 4 週～11 月第 2 週、2010 年 8 月第 1 週～9 月第 4 週、2011 年 3 月第 3 週～5 月第 1 週、2012 年 5 月第 1 週～7 月第 2 週)。

右図: 上記以外の期間。

やすいと推定される。現に池の pH をみると、図 3 に示したように、降雨による影響を比較的強く受けていることが示唆される。しかし、TOC ピークが認められる流出量の少ない時期の流入水は、降水量が少ない状況で森林に供給された水が森林土壌層を通過して地下に浸透し湧水してきたものと考えられ、地下に浸透するほど有機物濃度が低下することが複数の研究において観測されており（吉田ら、2003；大手ら、2004）、本研究での TOC の増加傾向は流入水の影響では説明できない。この点に関して、降水量の少なかった 2010 年 1 月第 3 週に池の上流側のり面に設けられた土管から僅かに池に流れ込む水（池の水温 3.2 °C に対して水温 13.0 °C であったことから地下水と判断）を採取して TOC を測定したところ 0.17 mg L⁻¹ と低く、降水量が少ない時期に地下水となって池に供給される水の TOC は低いことを支持した（なお、TN は 0.22 mg L⁻¹ であった）。また、2012 年 11 月以降の試料は、山側側面部に面的に湧出している地下水が池底堆積物と接触しながら取水口まで流下集合したものを採取しており、その平均値は 0.32 mg L⁻¹（範囲 0.26 ~ 0.41 mg L⁻¹、n=9）と低値であった。以上のことから、流出量が少なく水が停滞する時期の TOC 増加は、集水域からの炭素の供給が影響したものではないと考えられる。

次に、池の TOC が増加する要因として池内での炭素の形態変化を検討する。一般に流入水の直接的な影響以外に池内の TOC が増加する要因としては、池内でのプランクトンの増殖が考えられる。しかし、大洞池の検鏡結果ではプランクトンはほとんど認められなかったほか、検証のため 2012 年 4 月から 10 月まで 1 ヶ月に 1 回採水してクロロフィル *a* 濃度 (n=7) を測定したところ、3 回のデータで検出されず (1

μg/L 未満)、検出された 4 回のデータの平均は 1.74 μg/L (最大は 1.92 μg/L) と低い数値を示した。また 2009 年には、透明度の低かった 10 月第 2 週を含むいくつかの試料について DOC を測定したが、TOC に対する DOC の割合は平均 95 % (範囲 85 ~ 103 %, n=5) であり、濁りの有無に関わらず TOC の大部分が溶存態であった。このようなことから、大洞池では TOC 増加の主要因がプランクトンの増殖であるとは考えられなかった。

そこで、流出量が少なく滞留時間が長い時期に TOC が増加する要因をプランクトンの増殖以外に検討すると、森林から大洞池に流入したリター等が池底に堆積したことによる影響が考えられる。すなわち、池内でのリター等の分解により、水中に有機成分が供給されるプロセスである。この有機成分の供給は、池の底層で比較的穏やかに生じると考えられるものの、夏から秋にかけて水の滞留時間が長くなる時期には、前述したように、地下水の流入によって濁りを含む底層水が表層まで押し上げられるプロセスが機能し、表層水の TOC も高くなると考えられる。このような水質変動機構に基づくと、TOC ピークは、水温が高い時期に分解に伴う有機成分の供給が促進されて TOC の急激な上昇が生じ、その後分解プロセスが収束する、あるいは流出量が増加し滞留時間が短くなることに伴って、TOC が速やかに減少した結果と考えられる。

このような水質変動機構を踏まえて、大洞池の TN の変動状況について考察する。大洞池の TN は全般に変動が激しく、TOC のような季節変動は認められなかったものの、TOC ピークが比較的明瞭な 4 つの期間においては、TOC が高い時には TN が低くなっており、TOC が低くなると TN が高くな

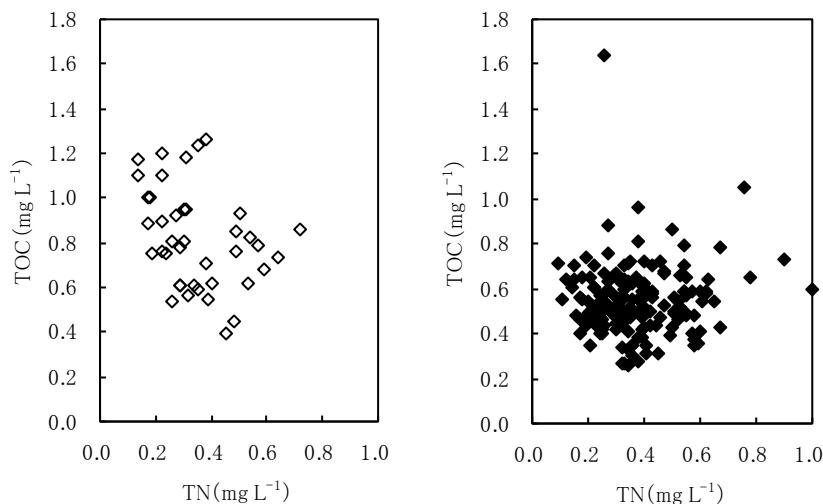


図 8. TOC と TN の関係。

左図: TOC ピークが比較的明瞭な期間 (2009 年 8 月第 4 週 ~ 11 月第 2 週, 2010 年 8 月第 1 週 ~ 9 月第 4 週, 2011 年 3 月第 3 週 ~ 5 月第 1 週, 2012 年 5 月第 1 週 ~ 7 月第 2 週)。

右図: 上記以外の期間。

る傾向が見られた(図8左)。すなわち、TOCがピーク状に高くなる時にはTNが低くなる(TOCピークの頂点付近ではC/N比が高くなる)傾向が見られた。これは水温勾配により底層に貧酸素水層が形成され脱窒が生じてTNが減少する(多田ら, 2004), もしくは池の内部に堆積したリターが分解される初期にはC/N比の高い成分が優先的に水系に溶出される(大屋, 1997)といったプロセスが寄与している可能性が考えられる。

TOCとTNに関する鉛直観測の結果では、水深5mまでは大きな変化は認められず、TOCは底泥直上の5.4mでそれまでの平均 0.61 mg L^{-1} に対して 0.79 mg L^{-1} と約1.3倍に増加したのに対し、TNはそれまでの平均 0.32 mg L^{-1} に対して 0.84 mg L^{-1} と2.6倍に増加し、底泥直上ではC/N比が0.94まで著しく低下した。このTOCとTNの増加に関し、DOCとDNを測定したところ、DOCは約1.1倍の増加、DNは約1.4倍の増加であったことから、TNの著しい増加は、低いC/N比をもった粒子状物質が底泥直上に存在することを示す結果であると言える。この粒子状物質は、リター等の分解が充分進行してC/N比の高い成分が放出された残渣であると考えたと上記プロセスと矛盾しない。

また、2012年11月以降の試料($n=6$)は、前述のとおり地下水が池底堆積物と接触しながら取水口まで流下集合したものであるが、このC/N比を求めると平均で0.75と低かった。これも分解が充分進行してC/N比が低くなった有機物の影響を受けていると考えることができる。図3で認められたTOCピークも、それが収束した段階では、TNが増えてTOCが減少する傾向(図8左)を反映して低いC/N比の水質となっており、この低いC/N比の水質は、陸上から供給された新鮮なリター等の分解プロセスが池の中で収束したことを示しているのかもしれない。

なお、大洞池での調査を今後も継続することで、池干し等ため池の管理作業が堆積物の状態を変化させることによって水質がどう影響されるか、長期的に考察することも可能になると期待される。

謝 辞

本研究は、名古屋女子大学の村上哲生教授と弊社役員であった田中庸央氏の助言を得て実現しました。ここに記して両博士に厚く御礼申し上げます。また本研究のモニタリングを通常業務の一環として実施することを許可され、かつ激励をいただいた株式会社愛研代表取締役鎌田務氏をはじめ経営陣の皆さんに謝意を表したい。さらにこの論文化にあたっては編集委員はじめとする関係者の皆様から並々ならぬ親身なご助言とご指導を賜りましたことに感謝します。とりわけ匿名の査読者の深い洞察に基づいたご助言がなければ、本研究

の持つ意味をここまで整理して提示することはできなかったことを申し添えなければなりません。最後に、大洞池を管理し、このような調査研究の実施に格別の理解をいただいております地元、犬山市善師野伏屋地区の皆様にも深く感謝申し上げます。

文 献

- 朝日新聞(2006):ため池の役割を知ろう 県立大 専門家を招き10・11日シンポ, 11月8日兵庫県地方版。
- 川崎雅俊・大手信人・南部桂・保原達・岡崎亮太・勝山正則・金秀珍(2002):森林流域の水文過程における溶存有機態炭素の動態. 陸水学雑誌, **63**: 31-45.
- 宮川芳照・横山住雄(1983):写真集 明治大正昭和 犬山 42. 国書刊行会, 東京。
- 村上哲生(1994):2章-1ため池という環境. 身近な水辺ため池の自然学入門, ため池の自然談話会(編):16-17. 合同出版, 東京。
- 村上哲生(2013):第1章 ダム、ダム湖とは何か?ダム湖の中で起こること-ダム問題の議論のために:19-32. 地人書館, 東京。
- 日本規格協会(1998):JIS K0102 工場排水試験法。
- 丹羽智子・大沼淳一(2005):入鹿池とその集水域の水質特性. 愛知県環境調査センター所報, **33**: 27-32.
- 大沼淳一(2003):犬山ため池群の集水域環境と水質特性. ため池の自然, **37**: 1-4.
- 大沼淳一・丹羽智子(2004):入鹿池の水の華(第2報)ー発生原因と水質管理方法に関する考察ー. 愛知県環境調査センター所報, **32**: 19-30.
- 大手信人・川崎雅俊(2004):森林流域からの炭素流出のメカニズムと水文過程. 地球環境, **9**: 101-111.
- 大屋渡(1997):陸上高等植物の海水中で分解に伴う有機態炭素同位体組成の変化. 北海道大学大学院修士学位論文: 29-33.
- 住友恒・津野洋(1990):第二部3章-3-3化学・生物学的変化と沈殿. 湖沼工学, 岩佐義朗(編著): 288-295. 山海堂, 東京。
- 多田明夫・畑武志・田中丸治哉(2004):ため池と小型貯水池の水文・水質特性ー小型貯水池が下流域に与える影響. ため池の評価と保全への取り組み, 高村典子(編): 41-46. 独立行政法人国立環境研究所, つくば。
- 田中庸央・中村建次・佐野方昂・青山幹・森谷昭・服部嘉治・川崎邦博・西沢きみ子・岡田登・大沼淳一・高田文子・酒井祥亘・山野内隆英・伊藤賢次・吉田恭司・坂井田稔・鈴井恵美子・岩田杉夫・小川敏幸・丹羽智子(2003):里山(都市近郊林)流域圏における生態系機能のモデル化に関する技術開発. 愛知県・名古屋市地域結集型共同研究事業平成

14年度研究報告書，循環型環境都市構築のための基盤技術開発：189-195.

ため池の自然談話会(1994)：身近な水辺ため池の自然学入門，合同出版，東京.

土山ふみ（2003）：ため池という水環境．水環境学会誌，**26**：246-251.

吉田恭司・坂井田稔・丹羽智子・田中庸央・朴昊澤（2003）：都市近郊林における降水及び流出水の水質特性．陸水学雑誌，**64**：52-54.

（担当編集委員：松本嘉孝，国立豊田工業高等専門学校）