

門池の環境調査：2021年度課題研究

竹口昌之*1・野毛 悟*2・松本祐子*3・植松由美子*1・太田菜々美*1・
市川仁晴*1・町 拓磨*1・岩田みなみ*1・秋山有紗*1・大角寿桜*1・
帯金茉莉花*1・鴨田海怜*1・芳野恭士*1

Environmental Survey of Kadoike-pond: Project Research 2021

TAKEGUCHI Masayuki *1, NOGE Satoru *2, MATSUMOTO Yuko *3, UEMATSU
Umiko *1, OHTA Nanami *1, ICHIKAWA Jinsei *1, MACHI Takuma *1, IWATA
Minami *1, AKIYAMA Arisa *1, OHSUMI Suzaku *1, OBIKANE Marika *1,
KAMODA Mirei *1, YOSHINO Kyoji *1

Abstract: In this study, we conducted an environmental survey of Kadoike-pond in Numazu City during the summer, fall, and winter seasons of 2021, measuring water flow rate, wind, organisms such as plankton, and various water quality indicators. As a result, compared to the case of 2006-2007 when the survey started, improvements were seen in COD, nitrogen values, and transparency, but deterioration in electrical conductivity and phosphorus values and pH was also confirmed, especially in the summer. Blue-green algae belonging to the genus *Microcystis*, which causes freshwater red-tide, were proliferating. Nutrient substances were brought in from the river at the inlet of the pond, and nitrogen in particular was found to accumulate as the pond water stagnated. This survey was conducted by our school's teachers and students in 2021 as part of a subject "Project Research: 2021 Kadoike Environmental Survey Team!" of the National Institute of Technology, Numazu College.

Key Words: Kadoike-pond, Enviromental survey, Plankton survey

1. はじめに

沼津市北部の丘陵地帯にある門池は、江戸時代に農業のための灌漑用ため池として整備され、現在では公園池として再整備されている。門池は、周囲約 1.3 km で深さ 3-4 m であり [1]、図 1 に示すように東西に細長く西側が大きいひょうたん型をしている。その東端では、一級河川の黄瀬川から水が流れ込んでおり、これが主な水源となっている（流入部③）。また、黄瀬川からの流入口のすぐ北側からも、雨水や事業所排水、生活排水による水の流れ込みがある（流入部①）。このほか、流入部②付近にも、少量の周

囲からの排水の流入が認められる。池の水は東から西にゆつくりと流れ、西端に浪人川（流出部②）に流れ出る主要な流出部①と、渡戸川放水路を経て黄瀬川に戻る小規模な流出部（本研究では滞留部④としている）がある。我々はこれまでに、門池の表層の水の流れをシミュレーションし、流入部から流出部までいくつかの流れがあり一定ではなく、また水流が渦を巻くことで水が滞留している部分があることを推測している [1]。

近年、門池では夏季の富栄養化でアオコ（淡水赤潮）が大量に発生し、その悪臭が地域住民の間で問題となった。そこで我々は、地域の自治会等と協力をしながら、主に公開講座「門池環境調査隊！」という形で 2006 年から門池の環境調査を継続してきた [2]。ここでは、例年夏期に実施している公開講座による簡易な環境調査とは別に、2021 年度に沼津工業高等専門学校の科目「課題研究：2021 門池環境調査隊！」として本校の教員と学生が行った詳細な環境調査の結果を報告する。なお、本課題研究は新型コロナウイルス感染症の流行時期に行われたため、途中、遠隔活動になるなど当初の計画の通りに実施することができ

*1 物質工学科

Department of Chemistry & Biochemistry

*2 電気電子工学科

Department of Electrical & Electronics Engineering

*3 制御情報工学科

Department of Control & Computer Engineering
Engineering

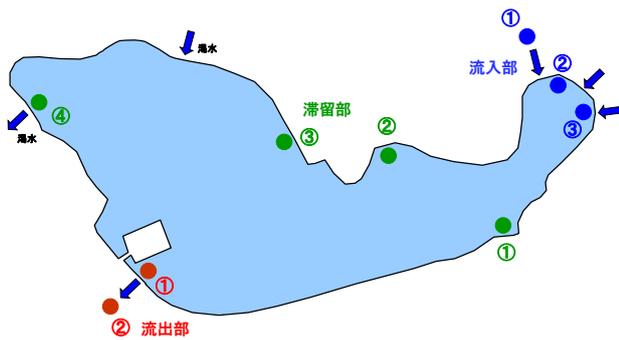


図 1 門池と観測地点

なかった面もあるが、参加学生は終始熱心に本研究テーマに取り組んだ。

2. 材料および方法

2. 1 採水と観察

採水および観察は、夏期、秋期、冬期のそれぞれ以下の日に行った。

夏期：2021年7月9日(金)、雨(前日雨)、気温25.1℃

秋期：同年10月16日(土)、曇(前日晴)、気温22.3℃

冬期：同年12月15日(水)、晴(前日曇)、気温14.5℃

採水および観察の箇所は、図1に示した門池の東側に当たる水の流入部①～③、西側に当たる水の流出部①、②、さらにはその間の水の滞留部①～④とした。なお、滞留部④は本来は水の流出部であるが、当該年の池の水位が低く水の流出がなかったため、滞留部として扱うこととした。観察項目は、各地点の水色、水底の見え易さ、見た目の水量、流れ、泡立ち、油膜、におい、ゴミ、植生、陸生・水生生物、プランクトンとした。プランクトンは、生物顕微鏡を用いて観察した。

また、秋期には流入部③における流入水の流量をケネック社製VR-301/VR3T-2-20N型流速計を用い、さらに流入部②、滞留部③および④における風向と風速を安藤計器製作所社製No.24型風向風速計を用いて、それぞれ測定した。水の流速の測定は1回のみ行った。風向と風速の測定は4回行い、その平均値を算出した。

2. 2 水質等の分析

採取した門池の水について、以下の項目の分析をそれぞれに記載した機材や方法を用いて行った。測定値は、流入部、滞留部、流出部ごとに平均値を算出した。ただし、過去の測定値と比較するにあたり、過去の測定値がない流入部①、②および流出部②については、平均値の算出には加えなかった。また、流入部については、過去の測定値との

比較とは別に、①～③の地点での比較も行った。

水温：夏期のみ測定

透視度：OPTEX社製TP-M100型透視度センサー

電気伝導度：HORIBA社製B-173型導電率計

pH：共立理化学研究所社製パックテストWAK-pH (pH指示薬法)

化学的酸素要求量 (COD)：同社製パックテストWAK-COD-2 (常温アルカリ性過マンガン酸カリウム酸化法)
アンモニウム態窒素：同社製パックテストWAK-NH4-2 (インドフェノール青発色法)

亜硝酸態窒素：同社製パックテストWAK-NO2 (ナフチルエチレンジアミン発色法)

硝酸態窒素：同社製パックテストWAK-NO3 (亜鉛還元ーナフチルエチレンジアミン発色法)

りん酸態りん：同社製パックテストWAK-PO4(D) (4-アミノアンチピリン発色法)

クロロフィルa：メタノール抽出ー吸光度法[3]、秋期のみ測定

2. 3 濁度計の試作

水の透明度を測定するため、透過光法に基づく濁度計を自作し、珪藻土懸濁液および門池の水を使ってその性能評価を行った。作製した濁度計は、光源(高輝度白色LED)、受光器(フォトダイオード)、測定容器(アクリルパイプ製、長さ15cm)、表示器(LEDレベルメーターキット、LED数は10)で構成されており、その概要を図2に示す。また、受光部の増幅回路を図3に示す。受光部で受けた光の強度を可視化するために、オペアンプを用いた簡単な増幅回路を構成した。初段は光強度の変動を抑制するための積分回路とし、後段の増幅回路で電圧を増幅してレベル表示を調整できるようになっている。基準となる試料(例えば濁りのない水や基準測定箇所採取された水など)でレベル値が最大値を示すように、オフセット調整を行って使用する設計で、試料の濁度を相対測定の結果として直感的に表示する仕様となっている。

3. 結果および考察

3. 1 採水箇所の水および周囲の観察結果

門池における採水と観測の作業の様子を図4に示す。右端の写真は、滞留部④で水面に発生したアオコの様子を示したものである。

各地点での観察の結果を表1に示す。水色については、冬期の流出部で濃くなる傾向が見られた。水底の見え易さは、場所と時期により異なった。見た目の水量は、冬期に

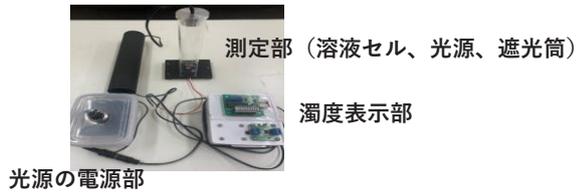
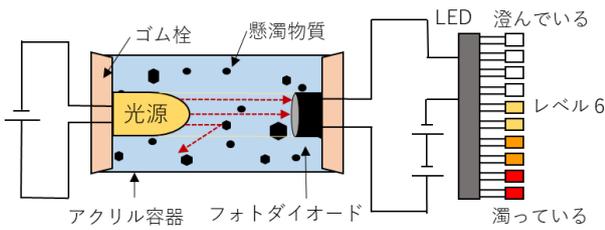


図2 作製した濁度計の概要

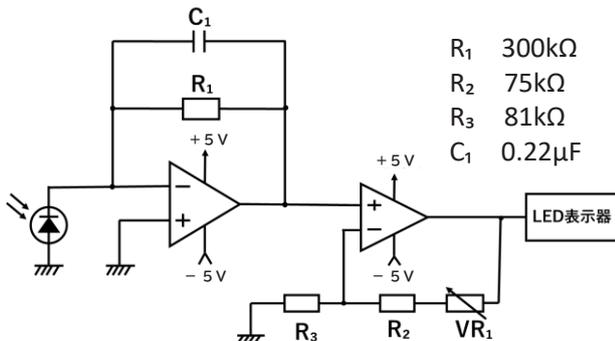


図3 受光部の増幅回路



図4 採水と観察の作業と池面の様子

低下する傾向が見られた。流れの速さは、全体的に緩やかな地点が多かった。水の泡立ちについては、流入部①の秋期にわずかにあったほかは見られなかった。油膜も、どの地点にも見られなかった。においては、秋期と冬季に流出部で強かった。ゴミも、冬季に流出部が多かった。植生は、場所と時期により異なった。陸生・水生生物は、秋期や冬季に魚、鳥、昆虫等がよく見かけられた。

秋期における流入部③から流入している水の量を検討したところ、流入口の断面積は 0.785 m^2 、水の流速は 2.87 m/s であったことから、水の流量は $2.25 \text{ m}^3/\text{s}$ 程度と予測された。水の流れは、池の表層と深部、岸付近と中央部などで異なるものと考えられるが、門池の貯水量を約 54 万 m^3 とするとすべての水が入れ替わるのに、単純計算で 3 日程度かかることになる。

秋期における流入部②、滞留部③および④の風速と風向は、10:20-10:30 の時間帯で 0.25 m/s (南西の風) , 0 m/s , 0 m/s であった。当日の同時刻における気象庁の三島市のデータは、 $0.4\text{-}0.6 \text{ m/s}$ (西～南西の風) と本研究で得られた値と少し異なっているが、観測位置の地面からの高さの違い等によるものと考えられる。

3. 2 プランクトンの観察結果

2021 年に門池で観察されたプランクトンの種とその写真の一部を、表 2 および図 5 に示す。プランクトンは、夏期に植物プランクトン 4 種、動物プランクトン 3 種と最も多くの種が見られ、秋期には植物プランクトン 2 種、動物プランクトン 3 種、冬期には動物プランクトン 1 種と、徐々に減少した。観察されたプランクトンの量も、種の数と同様に夏期から冬期に向かって減少した。

プランクトンは、門池周囲の生態系における食物連鎖の基盤であると考えられるため、我々はこれまでも門池で観察されるプランクトンについて詳細に調査を行ってきた。2006-2019 年間の観察では、今回観察されたもの同様の藍藻類のマイクロキスティス属、多様な珪藻類、緑藻類、ゾウリムシ類、ワムシ類、さらにはミジンコ類の存在が確認されている[4]。また、2019 年に行った詳細な調査では、流入部で 6-8 月に COD が上昇すること、7-8 月にマイクロキスティス属を主とした植物プランクトンが増加すること、主な動物プランクトンは 5 種ほどで 6 月はツボワムシが 7 月以降はケンミジンコが優勢となること、捕食者である動物プランクトンの減少とともに植物プランクトンが増加すること、ケンミジンコ等の動物プランクトンの捕食者であるゲンゴロウブナの捕獲量は 6-8 月で多くなり 9 月以降は動物プランクトンの減少とともに低下すること、など、門池の水生生物の食物連鎖の一部を解明しており[5]、今回の結果からもこのような食物連鎖の季節的循環の一部を確認した。

3. 3 水質等に関する分析結果

本研究では、2021 年における門池の水質等について、夏期、秋期、冬期におけるその変化を検討した。同様の検討は、「門池環境調査隊！」が開始された 2006~2007 年に行われており[6,7]、今回同じ地点で測定された値を流入部、滞留部、流出部ごとに平均して比較した結果を図 6 に示す。

池の水温は、夏期から冬期に向かって低下した。

透視度は、2006-2007 年に比較して 2021 年で改善された。しかし、2021 年でも夏期と秋期の滞留部、流出部の透視度は低く、冬期には改善された。門池から流れ出て浪人川に注いだ水 (流出部②) では、夏期 100 cm 、秋期 91

表 1 門池の採水、観察地点の様子

観察地点	季節	水色*	水底	水量	流れ	におい	ゴミ	植生	動物
流入部①	夏期	40-60	可視(石)	少	緩	不快でない	ほぼ無	少	
	秋期	80-60	可視(土)	多	緩	不快でない	ほぼ無	多	昆虫
	冬期	80-60	不可視	少	緩	不快でない	ほぼ無	少	
流入部②	夏期	80-20	可視(コンクリート)	少	緩	不快でない	ほぼ無	多	鳥、昆虫
	秋期	80-40	不可視	多	速	不快でない	少	多	
	冬期	60-40	不可視	少	緩	不快でない	少	多	
流入部③	夏期	80-40	不可視	多	速	不快でない	多	多	魚
	秋期	100-60	不可視	多	緩	不快	ほぼ無	多	昆虫
	冬期	60-40	不可視	少	緩	不快でない	少	多	
滞留部①	夏期	60-20	不可視	多	ほぼ無	不快でない	ほぼ無	無	鳥
	秋期	60-20	不可視	多	緩	不快	ほぼ無	無	
	冬期	60-60	不可視	少	ほぼ無	不快でない	ほぼ無	無	
滞留部②	夏期	100-20	不可視	少	ほぼ無	不快でない	ほぼ無	少	鳥
	秋期	80-20	不可視	少	ほぼ無	不快でない	ほぼ無	無	
	冬期	60-60	可視(コンクリート)	少	ほぼ無	不快でない	ほぼ無	無	
滞留部③	夏期	80-60	不可視	多	ほぼ無	不快でない	ほぼ無	無	魚、貝
	秋期	80-20	不可視	少	ほぼ無	不快でない	ほぼ無	少	
	冬期	60-40	不可視	少	緩	不快でない	ほぼ無	少	
滞留部④	夏期	60-0	不可視	少	ほぼ無	不快	ほぼ無	無	魚、鳥、エビ
	秋期	80-40	不可視	少	ほぼ無	不快でない	少	多	
	冬期	40-40	可視(土)	少	速	不快でない	少	多	
流出部①	夏期	60-0	不可視	多	ほぼ無	不快でない	ほぼ無	少	鳥、昆虫
	秋期	80-20	不可視	多	ほぼ無	とても不快	少	無	
	冬期	80-60	不可視	少	ほぼ無	不快	多、不快	少	
流出部②	夏期	60-40	可視(石)	少	ほぼ無	不快でない	ほぼ無	多	鳥、カニ
	秋期	80-40	可視(砂)	少	速	不快でない	ほぼ無	無	
	冬期	-	不可視	少	速	不快でない	ほぼ無	少	

* 共立理化学研究所社製「池の色標準色」の値.

cm、冬期 100 cm と透視度は高かった。

pH は、2006-2007 年には冬期になるとアルカリ性が弱まる傾向が見られたが、2021 年では冬期になってもあまり低下せず、一年を通して強いアルカリ性のままであるこ

表 2 門池で観察されたプランクトン

夏期	秋期	冬期
マイクロステイス	マイクロステイス	ケンミジンコ
クロオコックス	ハリケイソウ	
クチビルケイソウ	ヒルガタワムシ	
ハネケイソウ	ツリガネムシ	
ソウリムシ	ツボワムシ	
ツリガネムシ		
ケンミジンコ		

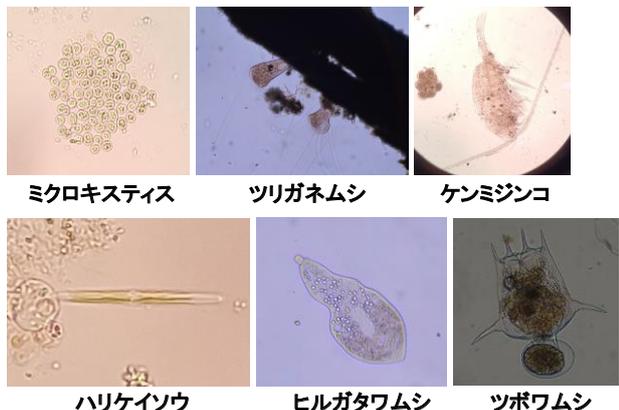


図 5 観察されたプランクトンの顕微鏡写真

とがわかった。池のアルカリ化は、藍藻による光合成やその繁殖と関わりがあると考えられ、アオコの発生し易い環境にあると思われる。浪人川の水では、夏期 pH9.0、秋期 pH9.5、冬期 pH9.0 であり、池の中と同様に冬期でもアルカリ性が強かった。

水中の電解質の量を示す電気伝導度は、2006-2007 年に比較して 2021 年の夏期と冬期で高かった。浪人川の水では、夏期 130 μS/cm、秋期 350 μS/cm、冬期 137 μS/cm であり、池の中とは異なり秋期で少し高かった。

水中の被酸化物質の量を示す COD は、2006-2007 年に比較して 2021 年では特に夏期と秋期に低かった。浪人川の水では、夏期 5 mg/L、秋期 13 mg/L、冬期 0 mg/L であり、池の中と同程度か低かった。

動植物や肥料などから生じると考えられるアンモニウム態窒素の値は、2006-2007 年と 2021 年で大きな違いはなく、秋期の流出部が高かった。また、2021 年では滞留部で高い傾向が見られた。浪人川の水では、夏期 0.5 mg/L、秋期 0.5 mg/L、冬期 0.2 mg/L であり、夏期と秋期は池の中よりも高かった。

アンモニウム態窒素の酸化で生じると考えられる亜硝酸態窒素の値は、2006-2007 年は冬期の特に流出部が高くなったのに対し、2021 年はいずれの時期も低かった。浪人川の水では、夏期 0.02 mg/L、秋期 0.02 mg/L、冬期 0.05 mg/L であり、池の中と同程度であった。

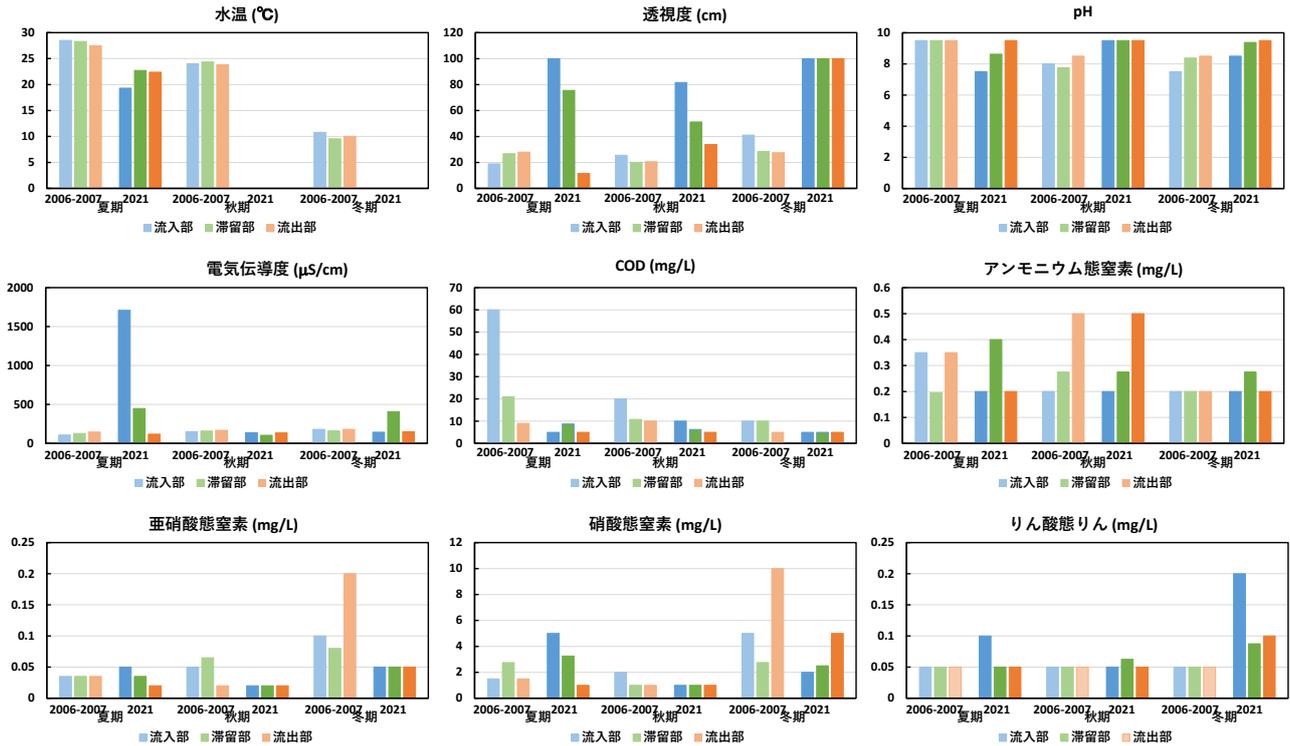


図6 2006-2007年と2021年の門池の水質

亜硝酸態窒素の酸化で生じると考えられる硝酸態窒素の値も、2006-2007年では冬期の特に流出部で高かったが、2021年は夏季と冬期で高めではあったものの、特に冬期は2006-2007年に比較して低かった。浪人川の水では、夏期2 mg/L、秋期1 mg/L、冬期5 mg/Lであり、池の中と同程度であった。

窒素と同様に動植物や肥料などから生じると考えられるりん酸態りんの値は、2006-2007年に比較して2021年では、特に夏期と冬期の流入部で高くなった。浪人川の水では、夏期0.1 mg/L、秋期0.1 mg/L、冬期0.1 mg/Lであり、池の中に比較して高めであった。

クロロフィル a の値は、2021年秋期のみ測定したが、流入部②で53.8 µg/L、滞留部①～④の平均値で70.1 µg/L、流出部①で122.3 µg/Lとなり、池の中での水の移動とともに増加する傾向が見られた。クロロフィル a の量と透視度との相関係数は $r = -0.785$ で負の相関が見られたが、F検定による有意性は認められなかった。

以上の結果から、2006-2007年に比較して2021年では、COD や窒素の値および透視度が改善された一方、電気伝導度やりんの値およびpHは悪化したことがわかった。また、池の中で水が滞留することで窒素の量が上昇するのに対し、りんの量や電気伝導度は低下することもわかった。

門池の中の栄養物質は流入部から入ってきていると考えられるので、2021年の流入部について平均する前のそれぞれの場所ごとの電気伝導度、COD、三態の窒素の合計、

およびりん酸態りんの値を図7に示す。夏期はCOD、窒素、りんの値が流入部②で高く、秋期はCODが流入部③で、また、窒素とりんの値は流入部①で高かった。冬期はCODは流入部③で、窒素の値は流入部①で、さらにはりんの値は流入部②と③でそれぞれ高かった。電気伝導度は、3つの流入部で大きな差は認められなかった。これらの結果から、栄養物質は季節ごとに異なる水源から門池に流入していることが予想されたが、水の流入量の多さから流入部③の黄瀬川からの水の影響が大きいものと考えられる。なお、門池の水の流入部周囲の地域は、2023年4月にお

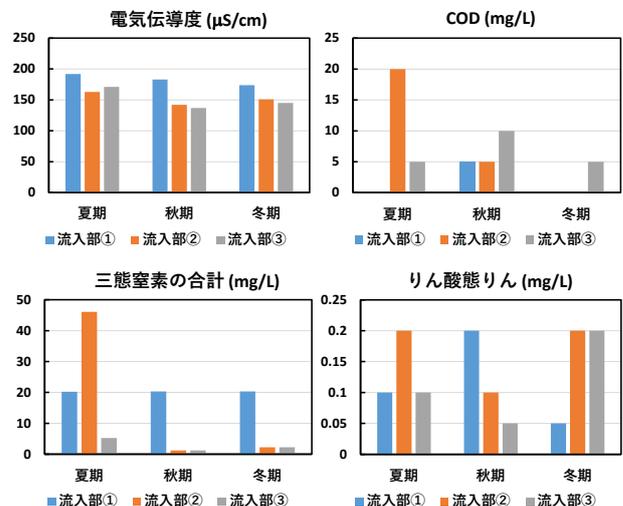


図7 門池の流入部の水質

いて沼津市の下水道計画区域となっているものの、下水道の敷設はまだ行われていないものと考えられる。

3. 4 濁度計の作製と性能評価

濃度の異なる 4 種類の珪藻土懸濁液を作製し、その透視度を市販の透視度計で測定した。一方で、同じ懸濁液を今回作製した濁度計で 2-4 回測定したときの、そのレベルメーターの発光数の平均値を算出し、市販の透視度との関係を検討した結果を図 8 に示す。作製した濁度計のレベルメーターの値は、透視度に対して対数関数的に増加した。そのため、作製した濁度計では透視度が低い場合には感度が良いが、透視度が高くなるとその違いを詳細に示せない可能性がある。

実際に、透視度が 100 cm であった冬期の滞留部②～④の 3 つの地点の水についてこの濁度計で測定したところ、図 8 に示すように、そのレベルメーターの値の平均値が 6.3 となり、透視度が高い場合には正確な値を得られないことからさらに改善が必要であると考えられる。

4. まとめ

本研究では、門池の 2021 年の夏期、秋期および冬期における環境調査を行った。その結果、調査を開始した 2006-2007 年に比較して COD や窒素の値および透視度の改善が見られた一方で、電気伝導度やりん値および pH の悪化も確認され、特に夏期ではアオコの原因となるミクロキスティス属の藍藻が繁殖していた。栄養物質は池の流入部の川から運ばれてきて、特に窒素が池の水の滞留とともに蓄積していることがわかった。

アオコの発生が顕著な夏期の門池の環境調査は、2021 年の後も 2023 年の現在まで門池環境調査隊！として続けられている。2021 年より後の状況としては、水温はほぼ変化がなく、電気伝導度、COD、窒素およびりんの量は

少し増えたものの、透視度や pH は改善されている地点が多くなっている。今後も門池の環境が悪化しないよう、調査、観察を継続する必要があるものと考えられる。また、植物を活用するなど[8]、低予算で池の景観を損ねない方法での水質浄化にも取り組むことが望まれる。

参考文献

- [1] 竹口昌之, 高橋駿平, 他 (2019) : *J. Techcol. Educ.*, **26**, 1-9.
- [2] 竹口昌之, 蓮実文彦, 他 (2009) : 沼津高専研究報告, **43**, 283-286.
- [3] 篠原 梓, 今井章雄, 他 (2008) : 水環境学会誌, **31**, 447-454.
- [4] 芳野恭士, 鈴木 猛, 他 (2020) : 沼津高専研究報告, **54**, 44.
- [5] 竹口昌之, 鈴木雄心, 他 : 投稿準備中.
- [6] 芳野恭士, 芳野文香, 他 (2013) : *J. Technol. Educ.*, **20**, 21-29.
- [7] 芳野恭士, 竹口昌之, 他 (2021) : 沼津高専研究報告, **55**, 19-24.
- [8] 芳野恭士, 蔭山夏美, 他 (2010) : 沼津高専研究報告, **44**, 293-298.

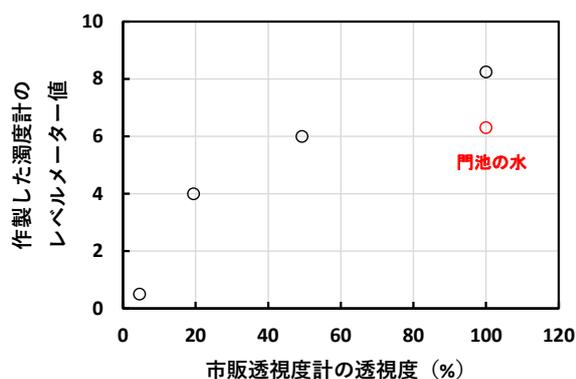


図 8 作製した濁度計の性能評価