J.Technology and Education, Vol.32, No.2, pp.25−32 (2025)
研究論文

農業かんがい用ため池「門池」の水質とプランクトン

鈴木 雄心，芳野 恭士，竹口 昌之*
沼津工業高等専門学校　物質工学科（〒410-8501　静岡県沼津市大岡 3600）
*takeguch@numazu-ct.ac.jp

Water quality and plankton in agricultural irrigation pond “KADOIKE”

Yushin SUZUKI, Kyoji YOSHINO, Masayuki TAKEGUCHI*
Department of Chemistry and Biochemistry, National Institute of Technology, Numazu College
(3600 Ooka, Numazu, Shizuoka 410-8501, Japan)

(Received May 23, 2025; Accepted July 22, 2025)

Abstract

A survey of the water quality and plankton populations in the agricultural irrigation pond “KADOIKE” was conducted from June 7 to December 24, 2019. An increase in chemical oxygen demand (COD) was observed from early June to early August at the inflow site. Concurrently, the water temperature exceeded 25°C, and there was an increase in sunshine hours after the end of the rainy season. Phytoplankton populations increased significantly from late July to early August, and Microcystis spp. covered the water surface, resulting in reduced transparency. The abnormal growth of phytoplankton is considered to have been caused by the following conditions: (1) eutrophication due to the inflow of high-COD water, (2) increased sunlight hours, (3) water temperatures above 25°C, and (4) increased water-stagnation time in the pond. The daily fluctuations in phytoplankton and zooplankton counts confirmed the predatory relationship of phytoplankton with zooplankton. The survey identified five predominant zooplankton species, suggesting that this pond exhibits a limited diversity of zooplankton species.

Keywords：agricultural irrigation pond, water quality, zooplankton, phytoplankton

1. 緒言

閉鎖系水域である湖沼は，水の滞留時間が長く，汚染物質が蓄積しやすいため，水質汚濁の影響を受けやすい．また，上水道の目的として利用される湖沼では富栄養化に伴い水道のろ過障害や異臭味問題，水産被害などの障害が生じている[1]．湖沼のような閉鎖系水域は，河川に比べて水質の変化が生態系の変化として直接観測される特徴がある．閉鎖系水域の水質は，流入水に含まれる栄養塩によって変化する．栄養塩の増加は植物プランクトンの増殖を促し，アオコなどの藍藻が増加することとなる．アオコの発生は，富栄養化した水域の特徴の一つである．植物プランクトンの増加は透視度の低下をもたらし，水草の生育を阻害する．これにより，水草等が生態系より排除されプランクトンが中心となる生態系がつくられる．このように，停滞水域では有機物増加に伴い植物プランクトンの生育が促進され，多様な生態系が構築できずに，限られた生物による物質循環となる環境問題を誘発する[2]．

門池（静岡県沼津市大岡）は農業用かんがいため池や水と親しむための公園として利用されて

いる．また，釣り人もしばしば見られ，近隣には地区センターが併設されている．元々農業かんがい用ため池であった門池は，周辺地域の市街化に伴いその機能と役割が変わりつつある．沼津市のような中都市のため池ではかんがい機能は保持されつつも，市街化と共に公園機能や防災用水源としての役割が求められ，多機能化が進んでいる．著者らは 2007 年より門池の水質調査を継続して行っている[3]．また，平面流れの数値シミュレーション結果から門池内の水の流れが水質に影響を与えることを示した[4]．本研究では，門池の水質とプランクトン個体数を調査することにより，門池水域の生態系を明らかにすることを目的とした．具体的には，水質調査（水温，化学的酸素要求量（COD），溶存酸素濃度（DO），pH，亜硝酸態窒素量，アンモニウム態窒素量，りん酸態りん量，透視度）およびプランクトン調査を定期的に行い，門池水域の水環境によりもたらされる生態系を考察した．

2. 実験方法

2.1 調査期間と調査場所

調査期間は 2019 年 6 月 7 日から 12 月 24 日とした．水質調査は，週 1 回のパックテスト（共立理化学研究所）を用いた簡易調査と月 1 回の多項目水質計（共立理化学研究所，λ-9000）を用いた定期調査を行った．

門池におけるサンプルの採水場所を図 2.1 に示す[5]．流入地点，流出地点，湖心地点の計 3 カ所を調査対象とした．流入および流出地点は簡易調査と定期調査を行い，湖心地点は定期調査のみ行った． 流入地点と流出地点の採水は湖面表層（湖面より水深 50 cm 以内）より採取し，湖心地点では湖面表層に加え底部からも採取した．湖面表層の採取はひしゃくを用い，湖心底部の採取は 500 mL 容ハイロート採水器を用いた．湖心における試料採取は救命胴衣を着用の上，レスキューボート EZ4-942（アキレス）を用いて行った．

簡易調査における現地調査とサンプルの採取は概ね 9 時から 14 時の間に行った．湖心地点の定期調査は半日を要して行った．

2.2 水質調査

採水地点では水温計（佐藤計量器製作所，SK-2000MC），透視度計（オプテックス，TP-M100）および溶存酸素濃度計（ハンナ インスツルメンツ・ジャパン，HI98193）を用いて on-site 測定を行った．その他の分析項目については，250 mL または 500 mL 容保存容器に試料水を保管した後，研究室にておいて分析を行った．簡易調査ではパックテストを用いて化学的酸素要求量（WAK-COD-2），亜硝酸態窒素量（WAK-NO_2），アンモニウム態窒素量（WAK-NH_4-2），りん酸態りん量（WAK-PO_4 (D)）について流入および流出地点の水質調査を週 1 回行った．定期調査では多項目水質計用専用キット（共立理化学研究所）を用いて化学的酸素要求量（LR-COD-B-2），亜硝酸態窒素量（LR-NO_2），アンモニウム態窒素量（LR-NH_4-A-2），りん酸態りん量（LR-PO_4）について流入，流出，湖心地点の水質調査を月 1 回行った．定期調査では pH メータ（堀場製作所，D-51）を用いて pH 測定も行った．

2.3 プランクトン調査

動植物プランクトンの調査は，「モニタリングサイト 1000 陸水域調査　湖沼：プランクトン調査マニュアル」および「河川水辺の国税調査基本調査マニュアル【ダム湖版】 動植物プランクトン調査編」を参考にして実施した[6,7]．

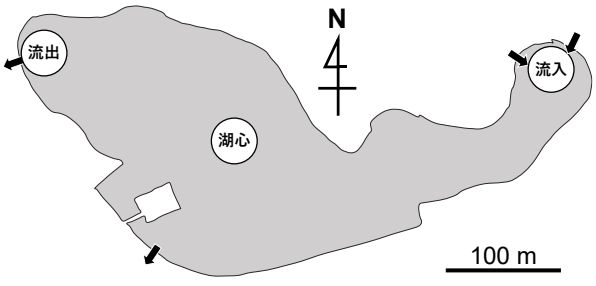

図 2.1 サンプルの採水場所

植物プランクトン個体数の試料は，表層については各地点でひしゃくを用いて採水した．湖心底部ではハイロート採水器を用いて採水した．動物プランクトンは 100 μm 網目状の動物プランクトンネット（離合社，北原式表面プランクトンネット）を湖底から引き上げることで採取した．引き上げ速度は約 0.5 m s^{-1} となるようにした．

試料水中のプランクトンは次のようにホルマリン固定した．植物プランクトン測定では，100 mL の試料水約 37%ホルマリンを 1.5 mL 加え最終濃度 3%とした．動物プランクトン測定では，100 mL の試料に約 0.4 g のスクロースと約 37%ホルマリンを 1.5 mL 加え最終濃度 4%のシュガーホルマリン溶液とした．ホルマリン固定した試料を 100 mL 容メスシリンダーに移した．24 時間以上静置することで，試料中のプランクトンをメスシリンダー底部に沈降させた．その後，試料上澄み 5 mL および底部 10 mL を 10 mL 容ピペットにより回収し，プランクトン濃縮液とした．

植物プランクトン個体数は以下の手順で求めた．プランクトン計算盤（界線 格子線 0.5 mm ピッチ，東新理興）にマイクロピペットを使用して 50 μL 分注した．分注したサンプルに 18 × 18 mm カバーガラスをかぶせ，顕微鏡（OLYMPUS, CX41）下，界線内の個体数を計測した．計測は偏りがないようにらせん状に観察を行った．顕微鏡の倍率は 100 倍率を用いた．全体界線内 20%のマスについて計測を行い，計測値を 5 倍することで 50 μL のプランクトン個体数とした．

動物プランクトン個体数は以下の手順で求めた．プランクトン計算盤（界線 格子線 1 mm ピッチ 枠付き，松浪硝子工業）にディスポーザブルピペットの先端を広く加工したものを使用して 1 mL 分注した．分注したサンプルに 24 × 50 mm カバーガラスをかぶせ，顕微鏡下，界線内の個体数を計測した．計測は偏りがないようにらせん状に観察を行った．顕微鏡の倍率は 40 倍率を用いた．全体界線内 10%のマスについて計測を行い，計測値を 10 倍することで 1 mL のプランクトン個体数とした．動物プランクトン同定のための顕微鏡観察倍率は原則 40 倍を用い，必要に応じて 100 倍率まで倍率を上げた．動物プランクトン同定は，日本淡水産動植物プランクトン図鑑およびやさしい日本の淡水プランクトンを参照し行った[8,9].

3. 結果と考察

3.1 門池の水質

a. 気象

調査期間における門池近隣の三島特別地域気象観測所での 7 月から 9 月まで平均気温は 25.0℃以上であった[10]．また，令和元年台風第 19 号（2019 年 10 月 11・12 日）の影響により，同月の降水量は 570.0 mm に達し[10]，静岡県東部地区に甚大な被害をもたらした[11,12]．この台風により門池の流入水源である黄瀬川の水量が急激に増加し，牧堰用水（門池と黄瀬川を接続する用水）の決壊を防ぐため黄瀬川-牧堰用水取水口は閉門され，門池への流水は停止した．この閉門は黄瀬川の水位が安定するまで継続されたことから，この期間，門池は閉鎖系の水域となった．

b. 水温

図 3.1a に流入地点，流出地点，湖心における湖水表層の水温日変動を示す．すべての測定地点において水温の日変動は同様の傾向を示した．湖心地点では 8 月 26 日に最高水温 27.1℃, 12 月 23 日に最低水温 8.7℃となり，調査期間の水温度差は 18.4℃であった．

湖心地点における水深方向に対する水温変動を図 3.2 に示す. 測定は 7 月 30 日と 10 月 30 日の 2 回行った．門池の湖心における水深は 4 m 程度である．7 月に行った測定では，湖心では水深 0.5 m までは表層とほぼ等しい水温 27.5℃であったが，水深 0.5 m から 1.5 m にかけて水温が 24.6℃まで低下した．湖心の水深 4 m における水温は 23.1℃であり，表層との温度差は 4.4℃であった．10 月に行った測定では，湖心では水深 0.5 m までは表層とほぼ等しい水温 17.2℃であったが，

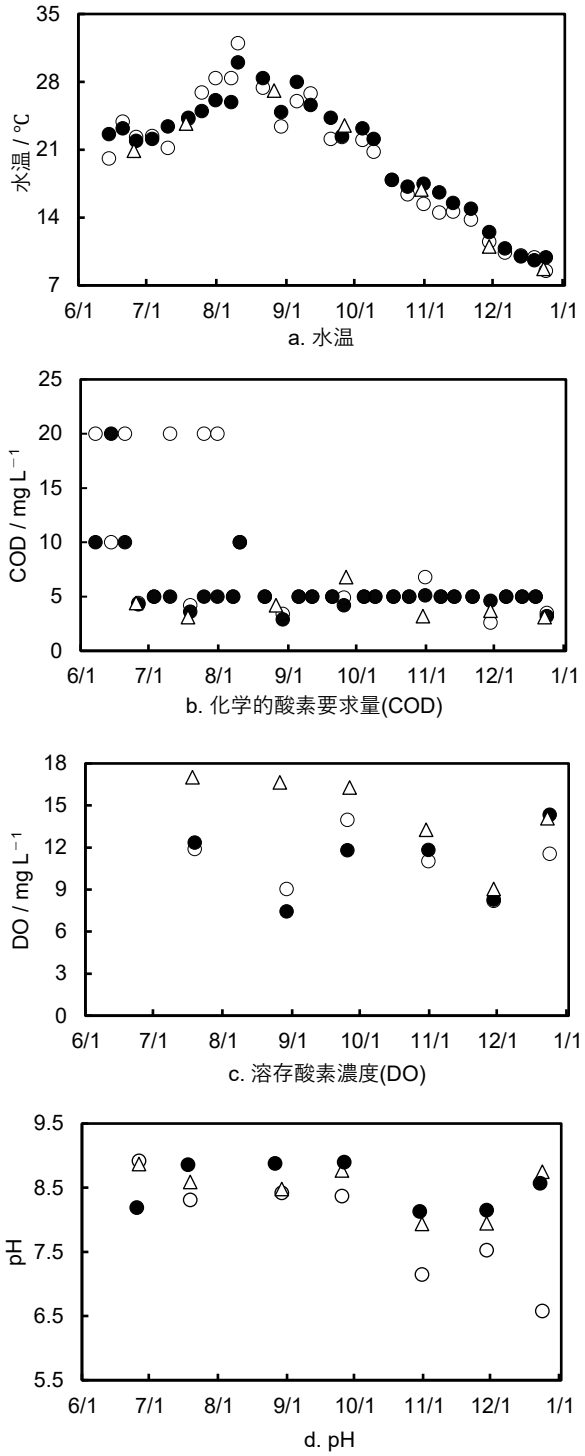

図 3.1 水質の経時変化
○：流入地点，　●：流出地点，　△：湖心地点

水深 1.5 m では 15.9℃まで低下し，水深 4 m までほぼ同一水温の 15℃であった．湖心地点における水深方向に対する水温変動は水の流れによる対流伝熱によると考えられる．門池における水の流れは表層から水深 1.5 m までの間で生じており，湖心底部は停滞していると考えられる．

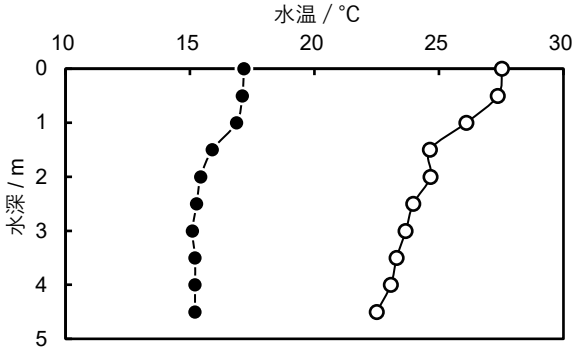

図 3.2 湖心における水深方向に対する水温変動
○：2019 年 7 月 30 日，●：同年 10 月 30 日

c. 化学的酸素要求量

図 3.1b に流入地点，流出地点，湖心における湖水表層の COD の日変動を示す．流入地点では 6 月から 8 月にかけて COD は 20 mg L^{-1} と最も高い値を示した．湖心地点では調査期間を通じて COD が 5 mg L^{-1} 程度であり，流入地点のように 6～8 月に COD が高くなることはなかった．流出地点では 6～8 月に COD が高い値を示すこともあったが，7 月以降は湖心と同様に COD は 5 mg L^{-1} 付近であった．これより，黄瀬川-牧堰用水から門池に供給された有機物は，湖沼内を滞留することで減少することがわかった．

d. 亜硝酸態窒素量およびアンモニア態窒素量

亜硝酸態窒素量は，台風の影響により流入口が閉門された期間を除き，調査期間を通じてすべての測定点において 0.03 mg L^{-1} 以下であった．湖心地点における表層・底部では，亜硝酸態窒素量の差異はなかった．

アンモニア態窒素量は，調査期間を通じてすべての測定点湖面表層において 0.2 mg L^{-1} 以下であった．湖心地点底部では，7 月と 9 月にわずかに増加し 0.3 mg L^{-1} を示した．

e. りん酸態りん量

りん酸態りん量は，調査期間を通じてすべての測定点の湖面表層において 0.06 mg L^{-1} 以下であった．湖心地点底部では 7 月に 0.08 mg L^{-1} を示した．

f. 溶存酸素濃度

図 3.1 c に流入地点，流出地点，湖心地点における湖水表層の DO の日変動を示す．流入と流出地点は同様の傾向を示し，年間を通して 11 mg L^{-1} 前後で推移した．湖心地点は 7 月から 9 月にかけて流入および流出地点よりも高かった．台風の影響により流入口が閉門された 10 月以降は，すべての地点で DO が低下した．

湖心底部では 7 月から 9 月の期間，DO は 7.5 mg L^{-1} となり，表層に比べ低い値であった．夏季において湖心底部では溶存酸素濃度が低く，さらにアンモニア態窒素とりん酸態りんの濃度が高かったことから，動植物プランクトンや魚類等の死骸が堆積していることが考えられる．

g. pH

図 3.1d に流入地点，流出地点，湖心地点における湖水表層の pH の日変動を示す．すべての地点において 6 月から 10 月は pH 8.5 程度であった．水質調査は日差しのある昼間に行ったことから，植物プランクトンの光合成により炭酸水素イオンが消費され，pH が上昇したものと考えられる．

3.2 門池のプランクトン

a. 植物プランクトン

図 3.3 に流入・流出地点における水温，COD および植物プランクトン個体数の日変動を示す．流入地点では 7 月下旬（7 月 25 日と 31 日）に植物プランクトン *Microcystis* 属の異常増殖が観測された．この地点では 6 月上旬から 8 月は気温の上昇とともに水温が上昇し，8 月 29 日を除いた 7 月 25 日から 9 月 11 日まで期間は 25℃以上の水温となった．加えて，この地点では 8 月上旬まで COD が 20 mg L^{-1} となり，富栄養化流入水となっていた．また，これまでの研究より門池流入地点では表層水が滞留することが明らかとなっている[3]．そのため，流入地点では 25℃以上の水温と栄養に富む流入水が滞留することにより，植物プランクトンが異常発生したものと考えられる．

流出地点では植物プランクトン個体数は流入地点ほど多くはなかった．この理由として，この地点は流入地点と比較し COD が低く，植物プランクトン生育の栄養素となる有機成分が少なかったことが考えられる．一方，流入地点と流出地点において 10 月 4 日に植物プランクトンの異常増殖が観測されている．この原因として，令和元年台風第 19 号による黄瀬川-牧堰用水取水口の閉門の影響が考えられる．門池への流入水が途絶え，水の流れが滞留していたことから，門池では水が滞留した場合に植物プランクトンの異常増殖が生じることがわかった．

湖心では流入地点および流出地点のような COD の大幅な上昇は観測されず，調査期間を通じて約 10 mg L^{-1} であった．また，植物プランクトンについても流入地点および流出地点のように 7 月ごろに一時的に増加することはなかった．その理由として，湖心は流出地点と同様に植物プランクトン生育の栄養素となる有機物が少ないことが考えられる．

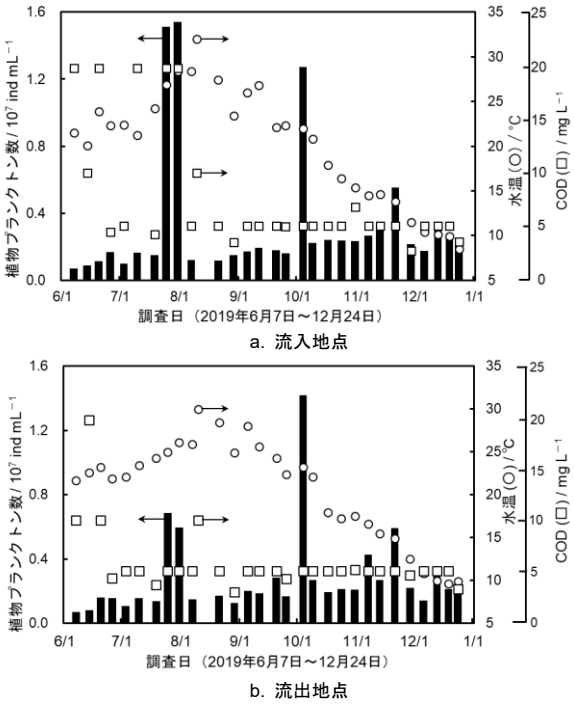

図 3.3 流入・流出地点における水温，化学的酸素要求量および植物プランクトン個体数
■：植物プランクトン個体数，○：水温，□：化学的酸素要求量（COD）

流入地点の透視度は 6 月から 8 月にかけて低下し，最も低い時では 6.4 cm であった．一方で，流出地点と湖心地点ではほぼすべての調査日で 40~60 cm となっており，著しく透視度が下がることはなかった．透視度の日動変化は植物プランクトン数の結果と一致しており，門池における透視度はほぼ植物プランクトン濃度に依存しているものと考えられる．夏季における植物プランクトンの増加は透視度の低下をもたらし，水草の生育を阻害し，門池の水辺環境を悪化させている．門池の植物プランクトン異常増殖への対策としては，門池内の適切な場所に流出口を増設することで水の流れをつくることが有効と考える．

b. 動物プランクトン

図 3.4 に湖心地点における植物プランクトン数および動物プランクトン数の日変動を示す．湖心地点における動物プランクトン個体数は 6 月下旬が最も多く 3.3×10^4 individuals・mL^{-1} であったが，12 月にかけて個体数は 1.3×10^4 individuals・mL^{-1} まで減少した．動物プランクトンの減少に伴い，植物プランクトンは増加しており，動物プランクトンによる植物プランクトンの捕食が行われているものと考えられる．

動物プランクトンの同定を行った結果，主に観察された動物プランクトンは節足動物門顎脚綱カイアシ亜綱キクロプス目ケンミジンコ，節足動物門顎脚綱カイアシ亜綱カラヌス目ヒゲナガミジンコ，節足動物門鰓脚綱鰓脚亜綱枝角目オナガミジンコ，輪形動物門輪虫綱単性殖単類綱ワムシ目ツボワムシ，輪形動物門輪虫綱単性殖単類綱フクロワムシの 5 個体種であった．特に，6 月はツボワムシが優勢であったが，7 月以降はケンミジンコが優勢となった．前述のように，植物プランクトン個体数は動物プランクトン個体数の減少とともに増加している．動物プランクトンであるツボワムシとケンミジンコは植物プランクトンを摂食することから，動植物プランクトン個体数の変化は捕食の関係を示していることがわかった．

門池釣り愛好会に協力を頂き，動物プランクトン個体数とプランクトン食魚であるヘラブナ捕獲重量の関係について調査した．ヘラブナ捕獲重量は 6 月から 8 月が最も多く，動物プランクトン個体数の減少とともに 9 月以降は減少した．ヘラブナは動物プランクトンであるケンミジンコを摂食することから，6 月以降の動物プランクトン個体数とヘラブナ捕獲量の減少は，動物プランクトンとプランクトン食魚の捕食の関係を示しているものと考えられる．

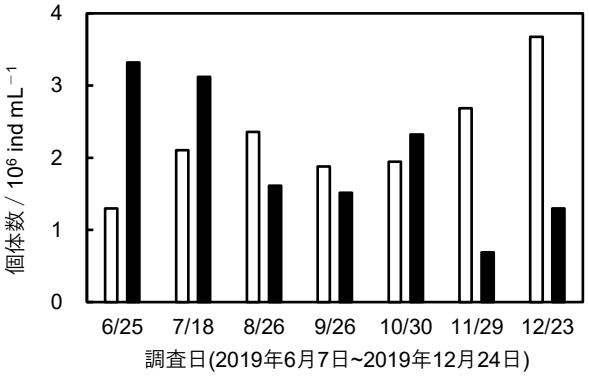

図 3.4 湖心における動植物プランクトンの関係
□：植物プランクトン，　■：動物プランクトン

4. 総括

本研究では門池水域の生態系を明らかにすることを目的に，2019 年 6 月 7 日から 12 月 24 日までの期間に門池の水質とプランクトン個体数調査を実施した．流入地点では 6 月上旬から 8 月上旬にかけて COD が 20 mg･L^{-1} と高い値を示し，9 月以降は 5 mg･L^{-1} 以下となった．梅雨明け後から日照時間の増大とともに気温も上昇し，水温は 25℃以上となった．植物プランクトン個体数は 7 月下旬から 8 月上旬にかけて著しく増加し，特に *Microcystis* 属が水面を覆い尽くし，透視度が低下した．また，植物プランクトンの異常増殖は流出地点では観測されず，湖水の滞留時間が長い流入地点でのみ観測された．以上の結果より，門池における植物プランクトンの異常増殖は 1) 黄瀬川-牧堰用水流入水中の栄養塩による富栄養化（高

COD)，2) 日照時間の増加，3) 25℃以上の水温，4) 湖水の滞留時間の増加, の 4 条件が満たされることで生じたものと考えられる.

湖心地点における植物プランクトン数および動物プランクトン数の日変動より，動物プランクトンによる植物プランクトンの捕食関係を確認することができた．また，動物プランクトンを同定した結果, 主に確認されたのは 5 種程度であり，門池は動物プランクトンの多様性が低い閉鎖系水域の特徴を示した.

本研究の結果に基づき，門池の水質と生態系を図 4.1 にまとめた．記載されている生物は門池にて釣り人を対象とした現地調査およびプランクトン調査において顕微鏡観察された生物を示す.

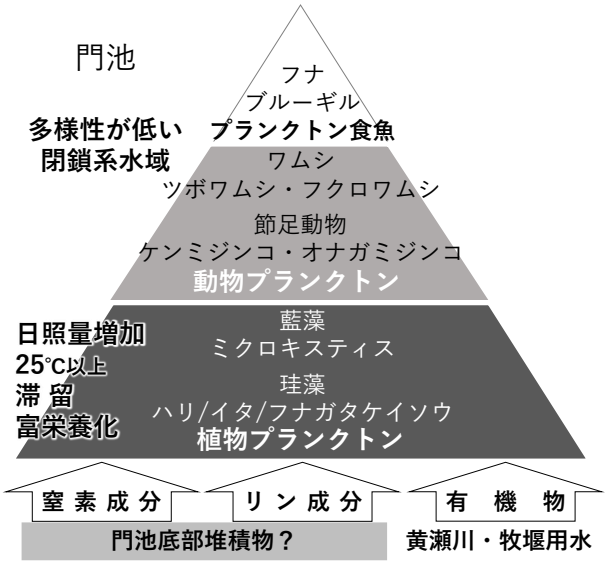

図 4.1 門池の水質と生態系

門池の気象および水質により 7 月から 8 月にかけて植物プランクトン個体数が異常発生することがわかった．また，植物プランクトン，動物プランクトンおよびプランクトン食魚が生息しており，それぞれの捕食の関係から個体数が季節により変動することがわかった．動物プランクトンの個体種は限られており，多様性は確認されず，閉鎖系水域特有の特徴が確認された.

謝辞

本研究の水質調査にあたり，ボートの漕艇方法のご指導やボートを貸してくださった加藤愛夫様に深甚なる感謝の意を表します．本研究の魚種およびヘラブナの個体数の調査にあたり，有意義なご助言および貴重なヘラブナの釣果量の調査についてご支援いただいた三輪史郎氏をはじめとする門池釣り愛好会の方々に深く感謝いたします．門池の調査にあたり，快く許可をして頂いた沼津市に感謝いたします.

参考文献

1 環境省，環境経済情報ポータルサイト「環境経済基礎情報」『河川，湖沼，閉鎖性海域および地下水』, https://www.env.go.jp/policy/keizai_portal/A_basic/index.html，2025.1.17 参照
2 大垣眞一郎, 河川の水質と生態系 -新しい河川環境創出に向けて-, 技報堂出版, 2007 年, p.66
3 芳野 恭士，芳野 文香，芳野 広起，竹口 昌之，2007 年~2011 年における門池の水質の変化，J. Technology and Education, Vol.20, No.1, pp.21-29，2013
4 竹口 昌之，髙橋 駿平，芳野 広起，鈴木 裕貴，渡辺 彩夏，勝又 俊貴， 松下 真太郎，三輪 史朗，松本 祐子，芳野 恭士，門池の水質と水深，J. Technology and Education, Vol.26, No.1, pp.1-9，2019
5 門池公園，静岡県沼津市ホームページ, https://www.city.numazu.shizuoka.jp/kurashi/sumai/park/kouen/kobetu/kadoike.htm，2025.1.4 参照
6 環境省自然環境局生物多様性センター，特定非営利活動法人日本国際湿地保全連合，モニタリングサイト 1000 陸水域調査湖沼調査マニュアル（第 5 版），2013, https://www.biodic.go.jp/moni1000/manual/lake_manual.pdf，2025.1.11 参照
7 国土交通省国土技術政策総合研究所, “動植物プランクトン 調査編,” 2016
8 田中正明，日本淡水産動植物プランクトン図鑑，名古屋大学出版，2002
9 一瀬諭，若林徹哉監修，やさしい日本の淡水プランクトン図解ハンドブック，合同出版，2005
10 国土交通省気象庁　気象観測データ, https://www.data.jma.go.jp/stats/etrn/view/monthly_s1.php?prec_no=50&block_no=47657&year=201

9&month=&day=&view=p1，2024.12.28 参照
11 令和元年台風第 19 号に関する静岡県気象速報，静岡地方気象台，https://www.data.jma.go.jp/stats/data/bosai/report/2019/20191012/pdf/2019_3_shizuoka_1.pdf，2024.12.28 参照
12 『令和元年 10 月 台風第 19 号』出水概要，国土交通省 中部地方整備局，https://www.cbr.mlit.go.jp/kawatomizu/shussuijyoukyou/pdf/indexR01_taihu19/chubu-gaiyou.pdf，2024.12.28 参照