

〔論 説〕

市川市「じゅん菜池」の水環境 —再生・保全に向けた基礎調査報告—

杉 田 文

1. はじめに

千葉県市川市北西端の谷津に位置する「じゅん菜池」は住宅地に囲まれる典型的な都市公園池である(図1)。池面積は約 $2 \times 10^4 \text{m}^2$ と規模は小さいものの、環境省による日本の重要湿地500選の1つに選定されており、絶滅危惧Ⅰ類に分類されるイノカシラフラスコモをはじめ、数多くの絶滅危惧種(オオミクリ、ミズキンバイ)・最重要保護種(ジュンサイ)など希少な水生植物、昆虫の生息域となっている。また、地域住民にとっては都市環境において貴重な自然とふれあいの場、憩いの場となっており、住民と自然の間のネクサスとしても重要な役割を果たしている。

しかし、近年、夏季には高い栄養塩濃度が原因と考えられるアオコなど藻類の過剰繁茂による水面景観の悪化、不快な臭い、ジュンサイ、イノカシラフラスコモをはじめとする在来生物の減少・消滅などが問題となっている。特にジュンサイは貧栄養環境を好むため、その再生には池の富栄養環境を改善する必要がある。千葉商科大学水環境ゼミナールは、2017年度より市川市、市民団体と地域の教育機関が協働し、池の水質改善を目的として活動するプロジェクト(ジュンサイプロジェクト)に参画し、活動している。

プロジェクトでは「じゅん菜池」の水環境の現状に関する基礎調査および池再生に向けた対策の準備および試行を行ってきた。本報告では2018~2019年におこなった「じゅん菜池」水環境の基礎調査結果についてまとめる。

2. 調査方法

湖水面積・流域面積・周辺地形・土地利用は航空写真(国土地理院^{*1})と現地踏査により調査した。気象は、気象庁HP^{*2}より、市川市に隣接する「船橋」の過去51年間

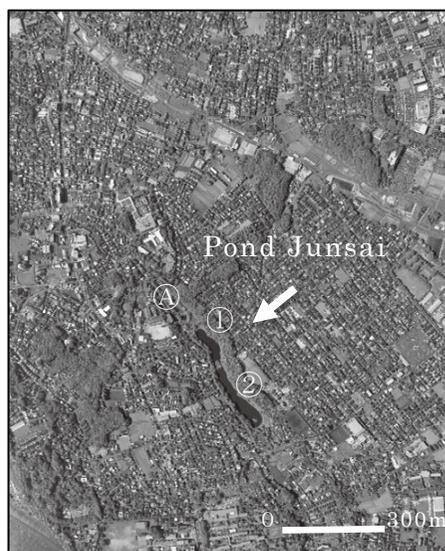


図1 調査地域空中写真

(A)実験ゾーン、①公共ゾーン上流池、②公共ゾーン下流池) 国土地理院 2013年撮影

(1968-2018) のデータを用いた。また、2017年9月～2020年3月までは毎月1回の頻度で水質分析のための採水および生物観察をおこなった。2019年秋季豪雨時には週に2回の頻度で水質および水位のみの観測をおこなった。水質はpH (pHメータ HI98107N Hanna Inst.), EC (ECメータ HI98303N Hanna Inst.), DO (デジタル溶存酸素計 DO-5501, マザーツール) は現地ですべて測定した。NO₃⁻ (デジタルパックテスト, 共立理化学研究所) PO₄³⁻ (デジタルパックテスト, 共立理化学研究所) は試水を実験室に持ち帰り、24時間以内に分析をおこなった。野鳥は飛来が確認される冬季(10月から5月)においては、一週間に1～3回の頻度で種別および全数カウントをおこなった。

3. じゅん菜池概要

人口が集中する千葉県市川市の谷津に位置する「じゅん菜池」は湧水により形成された8つの連続する小池からなる沼沢群である(図2)。池全体ではおよそ幅50m、長さ500mの細長い形状となっており、総面積 $2.0 \times 10^4 \text{m}^2$ (現在は一部が陸化している)、流域面積 $3.9 \times 10^5 \text{m}^2$ を有する。谷津底である池とその周囲は都市公園(じゅん菜池緑地(市川市))となっており、周回路等が整備されている。公園は周辺台地へ続く急峻な斜面林に囲まれ、台地上には住宅地が広がる。

上流に位置する4つの小池(実験ゾーン)は、市川市から委託を受けた市民団体の管理となっており、希少種の育成を含む自然環境保全活動がおこなわれている。公共ゾーンは市川市の直接管理により憩いの場として常時一般に供されている。実験ゾーンを流下した池水は実験ゾーン最下流池から公共ゾーンの最上流池に暗渠を通して流出する。公共ゾーン最上流池と最下流池は2本の短い開水路でつながっている。公共ゾーンの最下流は堰の形状となっていて池水はオーバーフローする形で暗渠へ流出するため、年間を通じて池の水位に大きな変動は生じない。

谷津への湧水量の減少により、現在、池は複数の深度から人工的に揚水された地下水と自然流入する降水により維持されている。本プロジェクトでは、実験、公共両ゾーンで水質測定、水鳥カウントをおこない、水質改善対策は実験ゾーンで試行した。

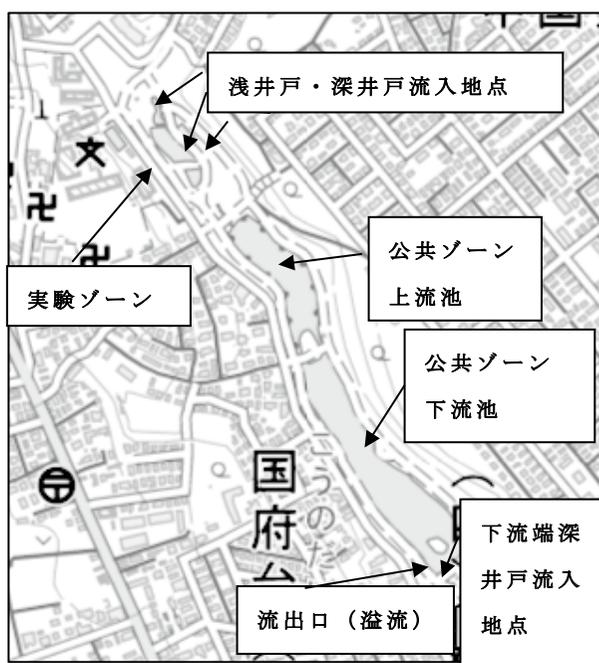


図2 調査地域図(国土地理院地図)

4. 流入水の水源と水量

4.1 じゅん菜池流域の年間浸透量

国土地理院が公開している1946年以降の航空写真を用いて調査地を含む流域の土地利用を判定し、流域内の浸透可能面積率を算出した。流域境界の位置は国土地理院地形図および現地踏査により判断した。第2次世界大戦直後の1946年に95.6%であった流域内降水浸透可能面積の割合は都市化の進展とともに低下し、2008年に30.5%、2013年には28.7%と減少した(図3)。

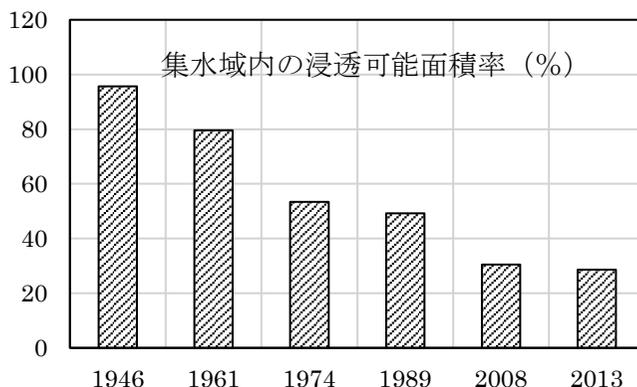


図3 流域内の浸透可能面積率の変化

浸透可能面外に降った降水は地下浸透せず下水に流入して系外に出るため、地域の水循環には寄与しないと見做し、流域内浸透量を推定した。流域の降水量は気象庁 AMeDAS の船橋の降水量データをもちいて、月平均気温からソーンスウエイトによる可能蒸発散量^{*3}を算出し、その値の80%を実蒸発散量と仮定した。流域に河川は存在しないため河川流入、流出量はゼロである。

降水量から実蒸発散量を減じた値に流域面積を乗じたものを流域の浸透可能量とした。流域の浸透可能量に浸透可能面積率を乗じて流域内浸透量(実浸透量)を算出した。流域内浸透量は年毎の降水量と蒸発散量の値によって、増減し、浸透可能面積率の減少とは異なる経年変化を示す(図4)。年毎の気象条件による浸透量の変動は浸透可能面積率の減少の影響より大きく、特に1989年は多雨の影響により流域内浸透量が大きくなっている。

2019年の浸透可能面積を空中写真より判読し、浸透可能面積率の経年変化を内挿して

過去50年間の浸透可能量および推定実浸透量を算出した(図5)。浸透可能量は信頼度水準90%で統計的に有意に、わずかな増加傾向を示した。調査地に最も近い AMeDAS 測定地点である船橋の年平均気温は1988年以降上昇傾向(+4.7℃/100年、信頼度水準99%で統計的に有意)を呈する一方、年降水量の経年変化には統計的に有意な変

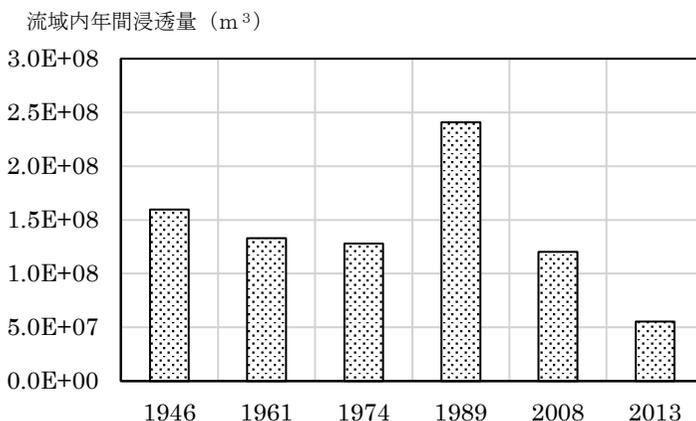


図4 流域の推定実浸透量の経年変化

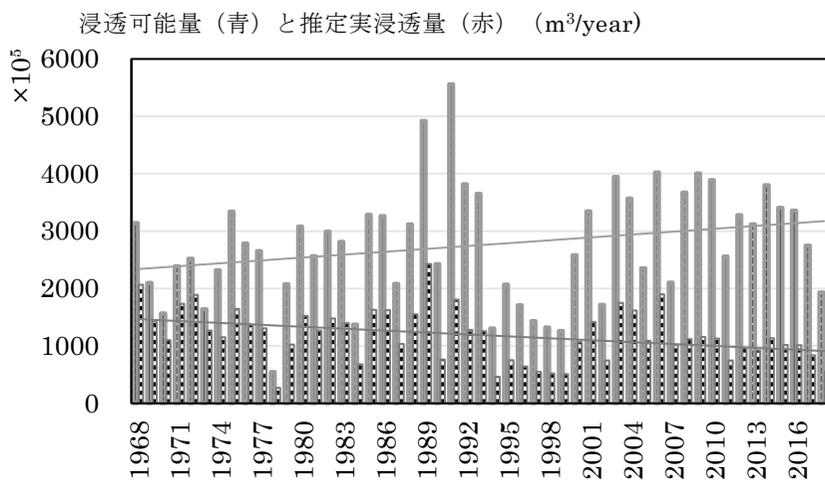


図5 流域の浸透可能量と推定実浸透量の経年変化

化傾向はみられなかった^{*4}。浸透量の増加傾向は降水量が多い年の蒸発散量が少なく、降水量が少ない年の蒸発散量が多かったことによる複合的な影響の結果である。降水量の多い年は少ない年よりも蒸発散量が少ない傾向にあり、降水量と蒸発散量の残差である浸透量は増加傾向が降水量のそれより顕著にみとめられた。以上の結果は、わずかではあるが、気候変動の水循環への影響は降水量への直接的影響より大きくなることを示唆している。

一方、実浸透量は信頼度水準 99% で統計的に有意に減少傾向を示した。すなわち、浸透可能量は増加傾向であるにもかかわらず浸透可能面積の減少により、流域内浸透量は減少していることになる。

4.2 平常時における池への流入水量

本調査地域の空中写真 (国土地理院)^{*1}によると、1947年には池水面が確認できるが、1961年には池は水田と化している。1970年に政府の減反政策をうけ、水田は休耕田となった^{*5}とされる。1974年の空中写真では休耕田とみられる土地が広がり、水面は確認できないことから、この時点で湧水はほぼ枯渇していたと推定される。市川市が住民からの要請を受けて人工揚水により池を再生させたのが1979年^{*5}であるため、1989年の空中写真では2020年の池と同じ形状をした池水面が確認できる。すなわち、湧水が水田や池を維持できないほどに減少したのは1970年以降と推定される。

じゅん菜池には流入河川は無い。したがって1979年に池が人工的に再生されて以降の池の水源は地下水、水面に直接降る降水、池内湧水および周辺から強雨時に流入する降水である。

池脇には水供給のための深度約 10m の浅井戸と深度約 30m の深井戸 (図 2) が複数存在し、実験ゾーン、公共ゾーン (上流池) に直接流入する。実験ゾーンに流入した地下水は池に直接入った降水と共に公共ゾーンの上流池に流出する。公共ゾーン上流池では公共ゾーンに直接供給された地下水および池に直接入った降水が実験ゾーンからの流入水と合流して公共ゾーン下流池へと流れる。公共ゾーン下流池の最下流端には池への水供給が目

的ではない深井戸があり、この井戸から揚水された地下水は公共ゾーン下流池の南端から池に流入している。この流入水の流入地点は池最下流端にある流出口の近傍に位置するためにその影響は実験ゾーンおよび公共ゾーン上流池にはおよばない。公共ゾーン最下流にはオーバーフローする形で暗渠につながる流出口があり、池の水位は年間を通じて大きく変動しないように保たれている。

じゅん菜池は地形的に地下水の流出域にあたる谷津の谷頭に位置するが、池底には有機質の粘土層が堆積しており、池底からの地下水の湧出は生じにくいと考えられる。池脇に掘削した観測井内の地下水位は平常時には池水面より数十 cm 低いが、降水時には地下水位が池水面より高くなる。よって、平均的には池は周辺地下水とほぼ平衡状態にあり、池内における水の出入りは年間ではゼロとした。また、公共ゾーンの池への流入水量推定において、池の水面は部分的に池岸の樹木からの落ち葉に覆われたり、水面が確認できないほどに抽水植物が密生しているため、池からの蒸発散により失われる水の量は可能蒸発散量の 80% と仮定した。

2018～2019 年における実験ゾーン、公共ゾーン上流池および公共ゾーン下流池の流入水の水量と水源の割合を図 6 (1(a), 1(b), 2(a), 2(b), 3(a), 3(b)) に示す。2019 年 6 月に実験ゾーンおよび公共ゾーン上流池に水を供給していた深井戸 (30 m) が故障により給水を停止したため、2019 年 6 月より前 (給水停止前) および 2019 年 6 月以降 (給水停止後) 別に示した。

実験ゾーンでは 2019 年 6 月より前は深井戸からの地下水に供給水の 64% を依存していたため、給水停止後には水供給総量が大きく減少するとともに、池水面に直接降る降水による供給の割合が 27% と増加した。公共ゾーン上流池でも 2019 年 6 月まで深井戸からの供給水に 57% と大きく依存していたため、給水停止以降は降水の寄与率が増加するとともに供給水総量が大きく減少した。供給水の減少に伴い。実験ゾーンでは平均 16.1 日であった池水の平均滞留時間が 2019 年 6 月以降、50.3 日と 3 倍以上に長期化し、公共ゾーン上流池においても流入量の減少にともない、2019 年 6 月以前は 30.0 日であった平均滞留時間は 78.1 日になり 2 か月以上の長期にわたって滞留するようになったことがわかった。

一方、公共ゾーン下流池においては最下流地点に流入する深井戸からの地下水量が大きいため、上流深井戸水の供給停止による影響は大きくない。また、公共ゾーン下流池では最下流より供給される深井戸水は供給口の約 10m 西に位置する流出口へほぼ直接流出する形となっており、この池の平均滞留時間を推定することは困難である。

池水の滞留は微生物等の増殖を有利にするため、水質悪化につながる恐れがある。池水面の一部は池岸の樹木からの落ち葉に覆われたり、抽水植物が密生している。池から地下水への浸透が無視できるとすると下流への流出以外に池からは蒸発散のみにより水が失われることになる。落ち葉と植生のため実蒸発散量をソーンスウェイトの可能蒸発散量の 80% とした場合、池から蒸発散により失われる水の量は流入水量に比し、実験ゾーンでは 2019 年 6 月より前は 4.4%、以降は 12.3% と増加し、公共ゾーン上流池では 3.8% から 13.5% と深井戸供給停止により大きく増加した。一方、公共ゾーン下流池では 1.7% から 2.1% と大きな変化はなかった。深井戸からの供給水の停止は実験ゾーンおよび公共ゾーン上流池の水収支に大きな影響を与えた。

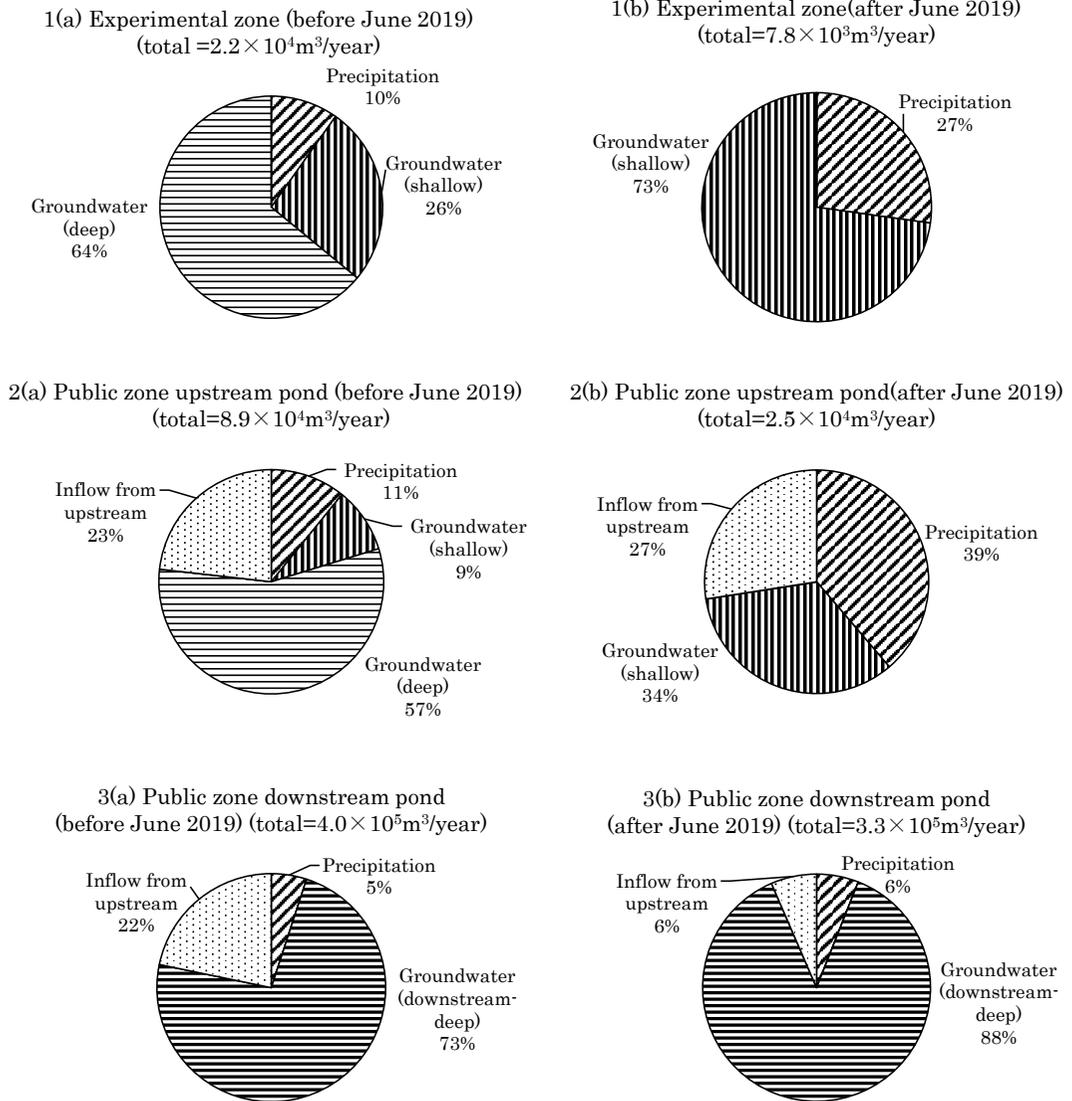


図6 供給水の水源と水量

1(a)実験ゾーン (2019年6月以前), 1(b)実験ゾーン (2019年6月以降) 2(a)公共ゾーン上流池 (2019年6月以前), 2(b)公共ゾーン上流池 (2019年6月以降) 3(a)公共ゾーン下流池 (2019年6月以前) 3(b)公共ゾーン下流池 (2019年6月以降)

5. 栄養塩の供給源と収支

5.1 栄養塩流入負荷量の推定

池の供給水である降水, 浅井戸および深井戸からの地下水の年平均栄養塩濃度を表1に示す。降水に含まれる栄養塩は低濃度であるが, 浅井戸水は硝酸態窒素濃度が高く, 深井戸水はリン酸態リン濃度が比較的高いという特徴を持つ。深井戸水の供給停止は池へのリン供給量を減少させたことになる。

各池への栄養塩供給量の推定において、最上流にあたる実験ゾーンの池については池水面に直接降る降水、浅井戸地下水および深井戸地下水の供給量に各々の濃度を乗じた値を池への供給量とした。実験ゾーンからは蒸発散により失われた量を減じた水量が公共

表 1 流入水の栄養塩濃度平均値

(mg/l)	NO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻
降水	1.0	0.06
地下水（浅井戸）	25.7	0.08
地下水（深井戸）	0.4	0.34

ゾーンの上流池に流入する。実験ゾーンにおいて降水、浅井戸水、深井戸水が十分に混合し、水は蒸発散のみにより失われるものとし、実験ゾーンの最下流池における濃度値に流出量乗じた値を公共ゾーン上流池への流下流入量とした。したがって公共ゾーンの上流池の栄養塩の総流入量は池水面に直接降る降水および直接池へ供給される各深度の地下水の供給量に濃度を乗じた値に実験ゾーンからの流下流入量を加えた値となる。

公共ゾーン上流池の池水は直接下流池へ流出している。公共ゾーン下流池への栄養塩流入量は池に直接降る降水、上流池の蒸発散を考慮した上流池からの流入量に栄養塩濃度を乗じた値と下流端から流入する深井戸水による負荷を合算した値とした。深井戸水は公共ゾーン下流池の最下流端から流入しており、池内で十分な混合が行われているとは考えにくい。

池への栄養塩の供給は供給水以外に冬季に池に数多く飛来する水鳥の糞による供給量も無視できない可能性がある。池に棲む魚類等その一生を池の中で過ごす生物の場合には長期的視野にたち、栄養塩の吸収と排泄がほぼつり合うとした。一方、水鳥は池内の有機物を採餌し排泄する場合もあるが、本池の場合、休息や睡眠をとることを目的に池に飛来することも多い。その場合には水鳥は池の系外で採餌し、池内で排泄をすることになり、栄養塩の負荷源となる。

公共ゾーンにおける 2017 年秋季から 2019 年 12 月末日までの水鳥の種別カウントによる飛来数を図 7 に示す。水鳥のカウントは主に田中（ジュンサイを残そう市民の会、2019）^{*6} により、千葉商科大学水環境ゼミナール生によるカウント結果を追記した。後者においては種が同定できなかった場合が多く、unknown と分類した。

2017 年から 2019 年の間において水鳥は 9 月の末から 10 月にかけて飛来が確認され、冬季における最大カウントは 350 羽を越す。3 月頃からその数は減少し、5 月の初旬にはわずかなカルガモ以外は飛び去る。主な種は年や日により異なるが、ヒドリガモ、カルガモ、オナガガモ、キンクロハジロの羽数が多く、池でよくみられる種となっている。またハシビロガモも数は多くはないが頻繁に確認された。

Fleming と Heather (2001)^{*7} によると渡り鳥が水系の主要な栄養塩負荷源になるか否かは主に水鳥の種、水鳥の密度、採餌行動、水体の希釈容量、季節に依存する。じゅん菜池の場合、池サイズが小さく、水深も 1m 程度と浅いため希釈容量が小さい、さらに、9 月から 5 月初旬までの 7 か月以上の滞在が確認されており、水鳥が栄養塩負荷源となっている可能性が高い。そこで、2018 年の水鳥の糞尿による栄養塩の負荷量の推定を試みた。

黄と磯部 (2007)^{*8} によると水鳥の糞尿による栄養塩負荷は以下の式により推定可能である。

$$BL=C_r \times N \times D_w \times NC$$

waterfowl number

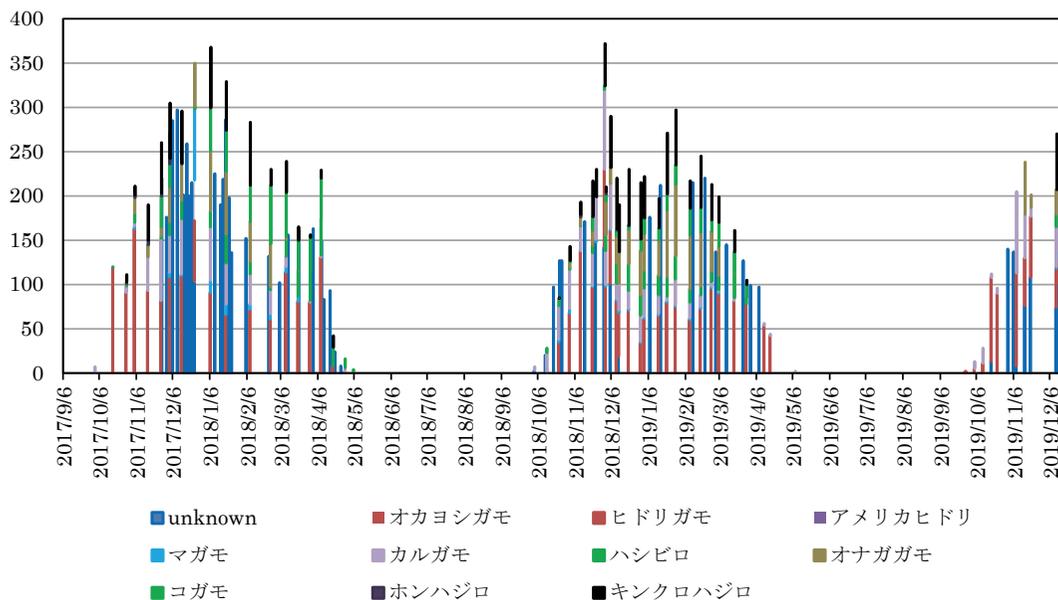


図7 カウントによる水鳥数 (田中直義, 2019 私信^{*6} をもとに作図)

ただし, BL : 水鳥の糞による負荷, C_r : 帰着率, N : 水鳥数, D_w : 水鳥の1日の糞の乾重, NC : 水鳥の排泄物中の N (NC_N) または P (NC_P) の含有率である。

カウントを行わなかった日の池に滞在する水鳥数は, 前後で最も近いカウントを行った日の結果から内挿した。また, 水鳥の体重は表2に示す通りと仮定した^{*8,*9,*10}。表2に種名が示されない少数のカモおよび種が同定できなかった鳥はその他および不明とした。また, 水鳥の一日の糞の乾重は $D_w = \text{体重} \times 0.0225$ ^{*9} とし, 水鳥の糞中の N の割合は $NC_N = 1.46\%$, P の割合は $NC_P = 0.33\%$ ^{*10}, 帰着率 (1日の内, 池に滞在する時間の割合) は3分の1とした。

各池への窒素の推定流入量と負荷源を図8に, リンの推定流入量と負荷源を図9に示す。水鳥カウントは池ごとにはおこなっていないため, 水面面積に比例した数で水鳥が各池に滞在したと仮定した。上流の深井戸水供給の停止に伴い流入量に変化したため, 給水停止前後に分けて示した。

表2 計算に使用した水鳥の体重値

マガモ	カルガモ	コガモ	ヒドリガモ	オナガガモ	キンクロハジロ	ハシビロカモ	その他および不明
1095g	1050g	325g	680g	700g	700g	610g	770g

5.2 窒素の流入負荷源と硝酸態窒素の収支

池には地下水や降水によりもたらされる硝酸態窒素のほか、プランクトンなど生物の遺がいや落ち葉により有機態の窒素が供給される。有機態窒素は分解されるとアンモニア態窒素となり、その一部は植物性プランクトン等に吸収されるが残りは池水中に溶存する。本池は比較的深度が浅く（各池の最大深度0.45～1.4m）、池水の溶存酸素濃度（DO）が夏季のアオコ発生による高濃度時期をのぞいても年間をとおして5.6～8.6mg/lと高い酸化的環境である。したがって、アンモニア態窒素はバクテリアにより酸化され、硝酸態窒素となると推定される。池底近辺など部分的あるいはスポット的に嫌気的な環境が池内には存在するが、本研究では硝酸態窒素が主な窒素の存在形態とし硝酸態窒素のみを測定項目とした。浅井戸地下水の年平均硝酸態窒素濃度が5.8mg/lと比較的高濃度であるのに対し、深井戸地下水の硝酸態窒素濃度は0.1mg/lと低い。また、深井戸地下水のアンモニア態窒素は検出限界（0.2mg/l）以下である。したがって実験ゾーンへの窒素の主な供給源は浅井戸となっており、その全供給量に占める割合は深井戸の給水停止前では90%、停止後では95%である。深井戸水は窒素濃度が低いため、給水停止による実験ゾーンの窒素供給量への影響は小さい。また、実験ゾーンは水面面積が公共ゾーンに比べ小さいため、水鳥による負荷は4%程度と小さい。年総量として約35kgの窒素が系外から実験ゾーンに供給されていると推定された。

公共ゾーンの上流池にはおもに浅井戸から直接流入する水、および実験ゾーンからの流出水により窒素が供給される。深井戸水供給の停止前（図8-2(a)）と停止後（図8-2(d)）を比較すると水鳥による供給割合は停止前9%、停止後11.0%と大きな変化はないが、停止後には上流に位置する実験ゾーンからの窒素供給量の割合が減少し、浅井戸による供給量割合が57%から74%へ増加している。浅井戸による供給絶対量にはほぼ変化がない。したがって、上流にあたる実験ゾーンからの流入水量およびその硝酸態窒素濃度の減少によって負荷割合が変化したことになる。

2019年6月上旬に発生した深井戸からの給水停止は地下水から池への窒素の供給量に大きな変化はもたらさなかったが、停止後、実験ゾーンにおいては谷頭から38.5m下流の採水地点では硝酸態窒素濃度の顕著な低下が認められた。流下に伴う顕著な硝酸性窒素の濃度の低下は少なくとも2019年9月の台風による降雨イベントまで継続した。

深井戸水の給水停止に伴い池の流量が減少し、実験ゾーンにおいては滞留時間が16.1日から50.3日に増加した。滞留時間の増加は植物による窒素吸収の水質への影響を大きくしたほか、植物プランクトンも増殖しやすい環境となり、実験ゾーンにおいて植物による吸収が一因となり、流下とともに顕著な窒素濃度の低下が観察されたと考えられる。また滞留時間の増加は池底における脱窒作用の影響を大きくした可能性もあり、今後、これら各要因の影響の大きさを定量的に明らかにする必要がある。

夏季の水温上昇期には日照時間・日射量も増加し、滞留時間の増加によってアオコの発生条件が複数整ったが、実験ゾーンにおいて2018年には顕著なアオコの発生はみられなかった。一方イチョウウキゴケなどの浮遊植物やハスなどの抽水植物が新たに発現し、窒素の吸収の一旦を担ったと推定された。

公共ゾーン上流池では深井戸給水停止前は年間85.2kg、停止後は71.1kgの窒素が流入したと推定された。公共ゾーンの下流池には下流端より深井戸の水が流入しており、上流

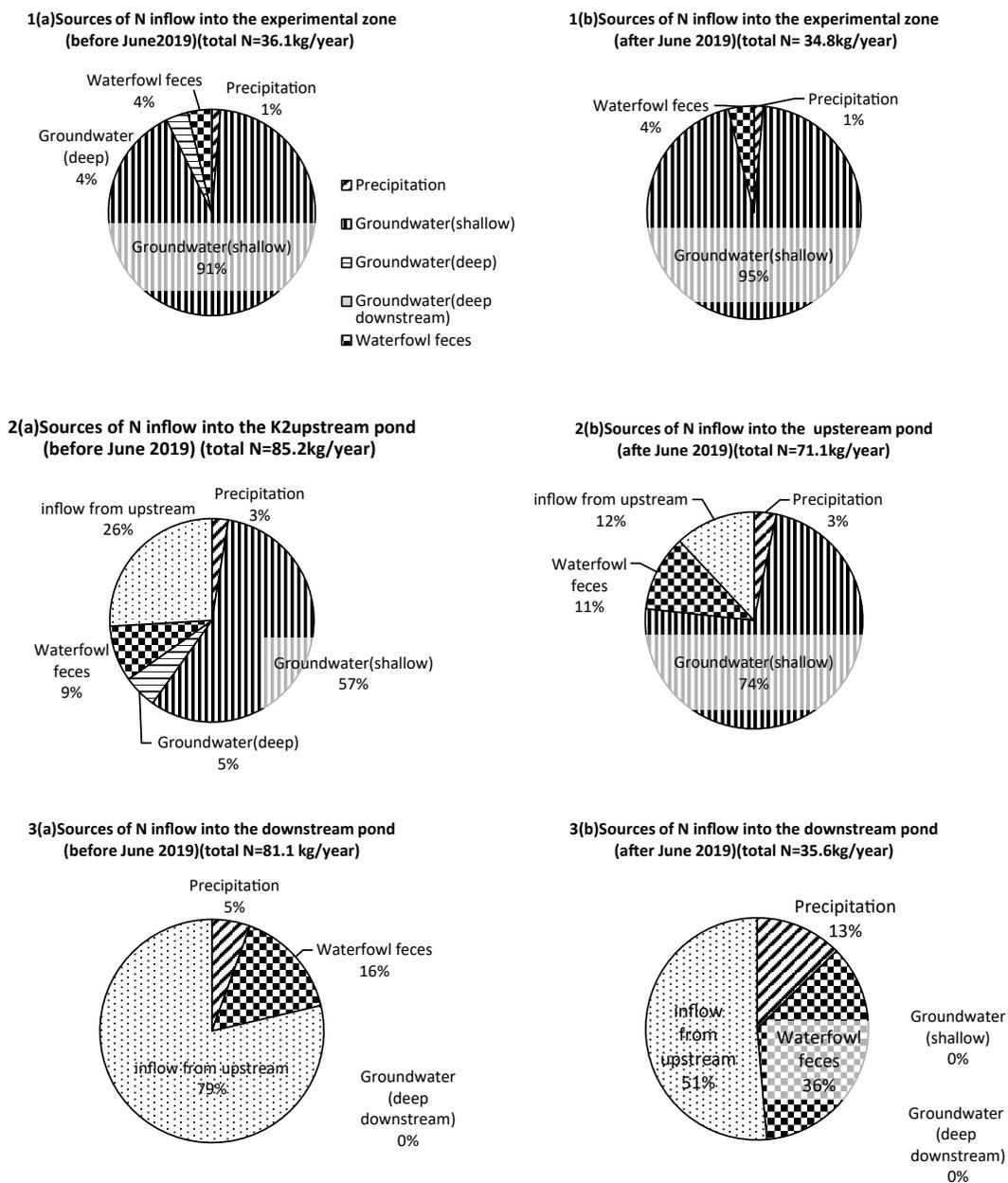


図8 推定された窒素供給源割合

1(a)実験ゾーン (2019年6月以前), 1(b)実験ゾーン (2019年6月以降), 2(a)公共ゾーン上流池 (2019年6月以前), 2(b)公共ゾーン上流池 (2019年6月以降), 3(a)公共ゾーン下流池 (2019年6月以前), 3(b)公共ゾーン下流池 (2019年6月以降)

池からの池水と十分な混合が生じることなく、溢流により流出口を経て暗渠へ流出している。深井戸水の硝酸態窒素およびアンモニア態窒素はともに検出限界以下であるため、窒素源としての深井戸の寄与率は0%である。下流池に直接流入する浅井戸水は存在せず、

下流池への主な窒素源は上流池からの流入水と水鳥である。深井戸の給水停止は上流池からの流入水量およびその窒素濃度を低減させ、結果として下流池では水鳥による寄与率が増加した。窒素の流入総量は深井戸の停止により生じた上流池からの流入量の低下にともない、深井戸の停止前におよそ 81.1kg/年流入していた硝酸態窒素は 35.6kg/年に減少したと推定された。すなわち、深井戸停止後に公共ゾーン上流池から下流池へ流入する窒素量が大きく減少したことになる。

実験ゾーンではおよそ年間 35kg の窒素が流入し、深井戸停止前は 22kg、停止後は 8kg が流出したと推定された。したがって、実験ゾーンの流下過程において深井戸停止前は 13kg、停止後は 27kg の窒素が失われていることになる。

また、公共ゾーン上流池では深井戸停止前には約 85kg の窒素が流入し 64kg が流出、深井戸停止後は 71kg の窒素が流入し、18kg が流出したと推定された。深井戸停止前は公共ゾーン上流池において年間約 21kg、停止後は 53kg の窒素が吸収または脱窒により除去されたことになる。滞留時間の増加は流出量の減少にともなう窒素の系外への流出量を減少させる一方、窒素の吸収・脱窒を助長し、池内における吸収量の増加を引き起こしたことがあきらかとなった。

5.3 リン流入負荷源と収支

池水中のリンの起源は、池に流入する井戸水と降水による無機態リンの直接的な供給のほか、底泥からの溶出や動植物の死骸や排せつ物中の有機態リンである。池に供給される浅井戸水の年平均リン酸態イオン濃度 (0.026mg/l) は比較的低いが高井戸水は高い濃度 (0.11mg/l) を有する。したがって、池への主なリンの供給源は深井戸水および水鳥の糞と推定された。池水中においてはその pH が夏季の藻類が繁茂する時期を除き、年間を通して 7 付近であることから、水中のリンはオルトリン酸態の形態で存在すると考えられ、オルトリン酸態リン濃度を測定した。

深井戸水の供給停止前は実験ゾーンへのリンの流入源はおもに深井戸であったため、停止後、その流入量は 4 分の 1 に減少した。同様に、公共ゾーン上流池も深井戸水の直接流入による寄与率が大きかったため、深井戸給水停止後は流入総量がおよそ 3 分の 1 に減少した。公共ゾーン下流池には下流端から流入する深井戸からの地下水が主なリンの流入源となっている。下流端深井戸からの流入水は公共ゾーン上流池からの流入水と十分に混合しないため、下流池における物質収支は池の環境を代表しない。

深井戸の停止前は実験ゾーンにおいては年間約 2kg のリンが流入し、1.2kg が流出、停止後は 0.49kg のリンが流入、0.43kg が流出したと推定された。一方公共ゾーン上流池では深井戸停止以前には 7.2kg のリンが流入、10.6kg が流出、停止後は 2.5kg が流入、3.0kg が流出したと推定される。すなわち、流下過程において実験ゾーンではリンの量が井戸停止前には -0.8kg、停止後は -0.06kg とわずかに減少した。一方、池面積の大きい公共ゾーン上流池では流出リン量が停止前には +3.5kg、停止後には +0.5kg と流入リン用より多い。公共ゾーンの上流池においては池内部で流下中にリンが底泥から溶出しているかまたは生産されていることが示された。

6. まとめ

千葉県市川市北西部の谷津底に位置するじゅん菜池は人工的に揚水された地下水により維持される典型的な都市公園池である。近年、夏季には高い栄養塩濃度が原因と考えられるアオコなど藻類の過剰繁茂による水面景観の悪化、不快な臭い、在来生物の減少・消滅などが問題となっている。市民団体、市川市および教育機関が協働して池の再生と保全を目的とする「ジュンサイプロジェクト」により2018～2019年に本学がおこなったじゅん菜池の水環境に関する基礎調査により以下の結果を得た。

- ① じゅん菜池流域が得る年間浸透可能水量は年毎の降水量と蒸発量により変動するが、1979年以降微増傾向（信頼度水準90%で統計的に有意）にある。一方、実浸透量は流域内の浸透可能面積の減少にともない、減少傾向（信頼度水準99%で統計的に有意）にある。本流域では降水量の多い年の蒸発量は少なく、降水量の少ない年の蒸発量は多い傾向にあるため、流域が年間に得る水量へ気候変動の影響が顕著に認められる。
- ② 流入河川を持たないじゅん菜池に水を供給する浅井戸水は比較的高い窒素濃度を有し、深井戸水は高いリン濃度を有する。一方、降水、強雨時にもみ見られる湧水の栄養塩濃度は低い。
- ③ 池水の滞留時間の増加にともない、流下に伴う硝酸態窒素濃度の低下がみられた。滞留時間の増加は池内における植物による窒素吸収および脱窒の影響を増大させ、顕著な濃度低下と池内における植生の繁茂が生じたと推定された。一方、リン濃度に滞留時間の増加の明らかな影響は認められなかった。
- ④ 水鳥の糞による池水への栄養塩負荷の寄与率は、各池の面積および流量に依存し、池面積の大きな公共ゾーンでは窒素は16～36%、リンは7～67%と推定された。水鳥の糞は本池における主要な栄養塩負荷源の一つであることが明らかとなった。

本池周辺の地下水位は池水面に近傍を上下変動しており、強雨時には池内に栄養塩濃度の低い湧水が認められる。よって、流域が受ける浸透可能水量の増加により地下水面が上昇すれば、池における恒常的な湧水の回復につながる可能性がある。一方、滞留時間の増加は栄養塩の形態変化および系外へ排出量減少をおこし、生物を含む池の水環境への影響が大きい。本池は人工的に揚水された地下水で維持されていることから、ある程度、滞留時間の制御が可能である。今後、種々の生物活動が強く関与する池内における栄養塩濃度変化とその要因について、季節ごとに調査し、池の栄養塩濃度の制御の可能性を明らかにしたい。

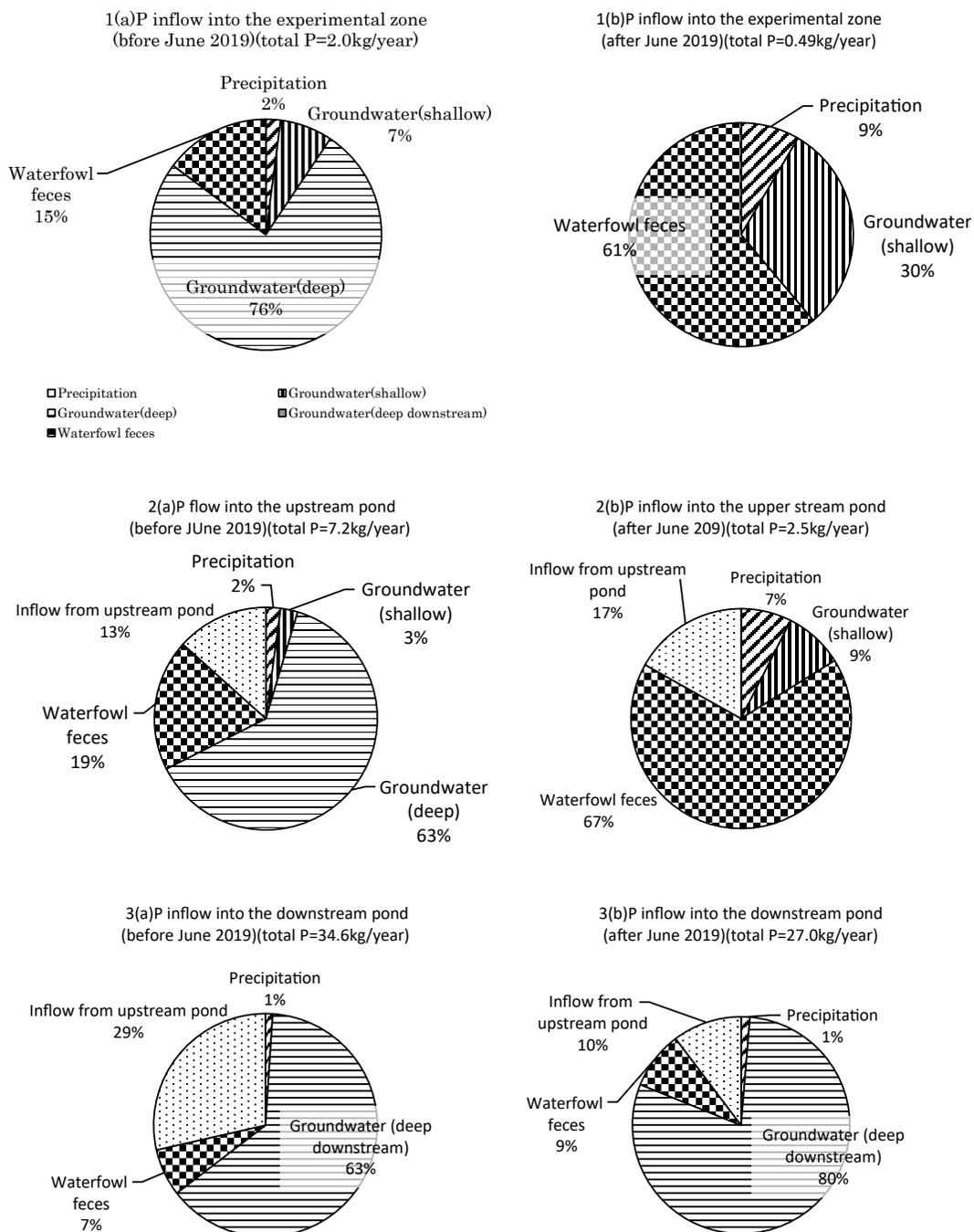


図9 推定されたリンの供給源割合

1(a)実験ゾーン (2019年6月以前), 1(b)実験ゾーン (2019年6月以降), 2(a)公共ゾーン上流池 (2019年6月以前), 2(b)公共ゾーン上流池 (2019年6月以降), 3(a)公共ゾーン下流池 (2019年6月以前), 3(b)公共ゾーン下流池 (2019年6月以降)

謝辞

本研究の一部は千葉商科大学地域志向研究助成金および千葉商科大学学術研究助成金の補助を受けておこなった。現地調査ではジュンサイを残そう市民の会の禿雅子会長をはじめ会員の諸氏にお世話になった。野鳥調査データはジュンサイを残そう市民の会の田中直義氏に提供していただいた。2019年度千葉商科大学水環境ゼミナールの学生諸氏には観測井の設置および採水等に協力していただいた。ここに記して感謝します。

〔参考文献〕

- * 1 国土地理院 <https://www.gsi.go.jp/tizu-kutyu.html>
- * 2 気象庁 <http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php>
- * 3 Thornthwaite C.W. (1948) *Geographical Review*, 38, 55-90.
- * 4 山本和輝・杉田文 (2021) 千葉県における強雨発現特性と経年変化傾向, 千葉商科大学紀要 (印刷中)
- * 5 市川市 <https://www.city.ichikawa.lg.jp/gre04/1521000002.html> (2020年9月)
- * 6 田中直義 (2020) じゅん菜池：カモの個体数 (2017年～2019,03,28), 私信
- * 7 Fleming, R. Fraser, H. (2001) The impact of water fowl on water quality- Literature Review, Ridgetown College University of Guelph, 1-14
- * 8 黄光偉・磯部雅彦 (2007) 渡り鳥集団飛来による閉鎖性水域の栄養塩負荷推定に関する研究, 土木学会論文集 B, vol. 63, No 3, 249-254 (CD-ROM)
- * 9 Manny, B.A., Johnson W.C. & Wetzel R.G. (1994). Nutrient additions by waterfowl to lakes and reservoirs: predicting their effects on productivity and quality. *Hydrobiologia*279/280: 121-132. DOI: 10.1007/BF00027847
- * 10 中村雅子 (2002)：ガンカモ類が水質に及ぼす影響—冬期湛水水田の施肥効果の可能性—, 第2回冬期湛水水田シンポジウム講演要旨集, pp. 26-29.

(2020.11.11 受稿, 2021.3.5 受理)

〔抄 録〕

千葉県市川市北西部に位置する都市公園池、「じゅん菜池」において池の再生と保全を目的とした水環境基礎調査をおこなった。本池流域が得る年間浸透可能水量は1968年以降微増傾向（信頼度水準90%で統計的に有意）にある一方、実浸透量は浸透可能面積の減少により、減少傾向（信頼度水準99%で統計的に有意）にある。気候変動の浸透量への影響は、降水量よりも顕著にあらわれる。池の主な水供給源である浅井戸水は高い窒素濃度、深井戸水は高いリン濃度を有する。一方、降水および強雨時に観察される湧水の栄養塩濃度は低い。池の地下水への依存度を減少させることにより、栄養塩濃度低下が見込まれる。池水の滞留時間は調査期間中に発生した井戸故障により、実験ゾーン池では16.1日から50.3日、公共ゾーン池では30.0日から78.1日と増加した。滞留時間の増加は池内における植物による窒素吸収および脱窒の影響を増大させ、窒素濃度の低下と植生繁茂をひきおこした。水鳥の糞による池水への栄養塩負荷の寄与率は、窒素で16～36%、リンは7～67%と推定され、水鳥の糞は本池における主要な栄養塩負荷源の一つであることが明らかとなった。