

筑波大学構内兵太郎池における水質の季節変化

遠藤 好和*・佐藤 美穂*・藤岡 正博*

Seasonal changes in water quality of Hyoutarou-ike Pond in Tsukuba Campus of the
University of Tsukuba.

Yoshikazu ENDO*, Miho SATO* and Masahiro FUJIOKA*

目 次

I. はじめに	29
II. 調査地と調査方法	30
1. 調査地の概要	30
2. 調査方法	30
III. 結果及び考察	32
IV. 総合考察	38
謝辞	39
引用文献	40
Summary	40

I. はじめに

筑波大学構内（春日キャンパスを除く、以下同様）は雨水排水等を目的とした5箇所の排水区に分けられている。排水区の末端にはそれぞれ調整池が設けられており、時間差排水をおこなう役割を果たしている。一方、筑波大学構内には敷地の1/3にあたる80haの緑地があり、「筑波大学保存緑地地区」として自然保護緑地、周辺保護緑地、利用緑地の3種類を設定し、それぞれの管理方針が策定され管理されている（筑波大学施設部施設環境計画室1985）。そのうちの一つである筑波大学構内の北側にある「兵太郎緑地」と呼ばれる約6haの利用緑地の中には「兵太郎池」と呼ばれるL字型の調整池がある。兵太郎池は元来の谷津田を広げて造成されたもので、「林に囲まれた中の静かな水面」としてデザインされている（筑波大学施設部施設環境計画室1985）。

* 筑波大学生命環境科学研究科農林技術センター筑波実験林

* Tsukuba Experimental Forest, Agricultural and Forestry Research Center, Graduate School of Life and Environmental Sciences, University of Tsukuba

兵太郎池は通路をはさんで暗渠で繋がった東西2つの池から構成されている。西側の池の周辺では、既存アカマツ林の保存が図られるとともに、コナラ*Quercus serrata*、クヌギ*Quercus acutissima*、ヤマザクラ*Prunus jamasakura*等が植栽されており、東側の池は、農林技術センター筑波実験林が日常的な管理をしている植物見本園の北側部分を占めている。

近年、兵太郎池は夏から秋にかけて水は黒く濁り悪臭がただよい、ヘドロがたまり水深が浅くなってきている。また、観賞用として植栽された園芸品種のスイレン*Nymphaea* sp.が増殖し、水面の大部分を覆ってしまっているほか、アメリカザリガニ*Procambarus clarkii*をはじめとする外来種がはびこっている等の問題も指摘されている。現在、農林技術センターでは環境管理の国際規格であるISO14001の認定を受けており、環境の保全および向上に関する教育と研究を推進することをうたっている。この研究は、兵太郎池全体を筑波大学開学以前にこの地域に点在していた池と湿地性生物の再現の場とすることを最終目標とし、東側の兵太郎池の水質と生物相について現状を把握することを目的としておこなった。今回はその水質について報告する。

II. 調査地と調査方法

1. 調査地の概要

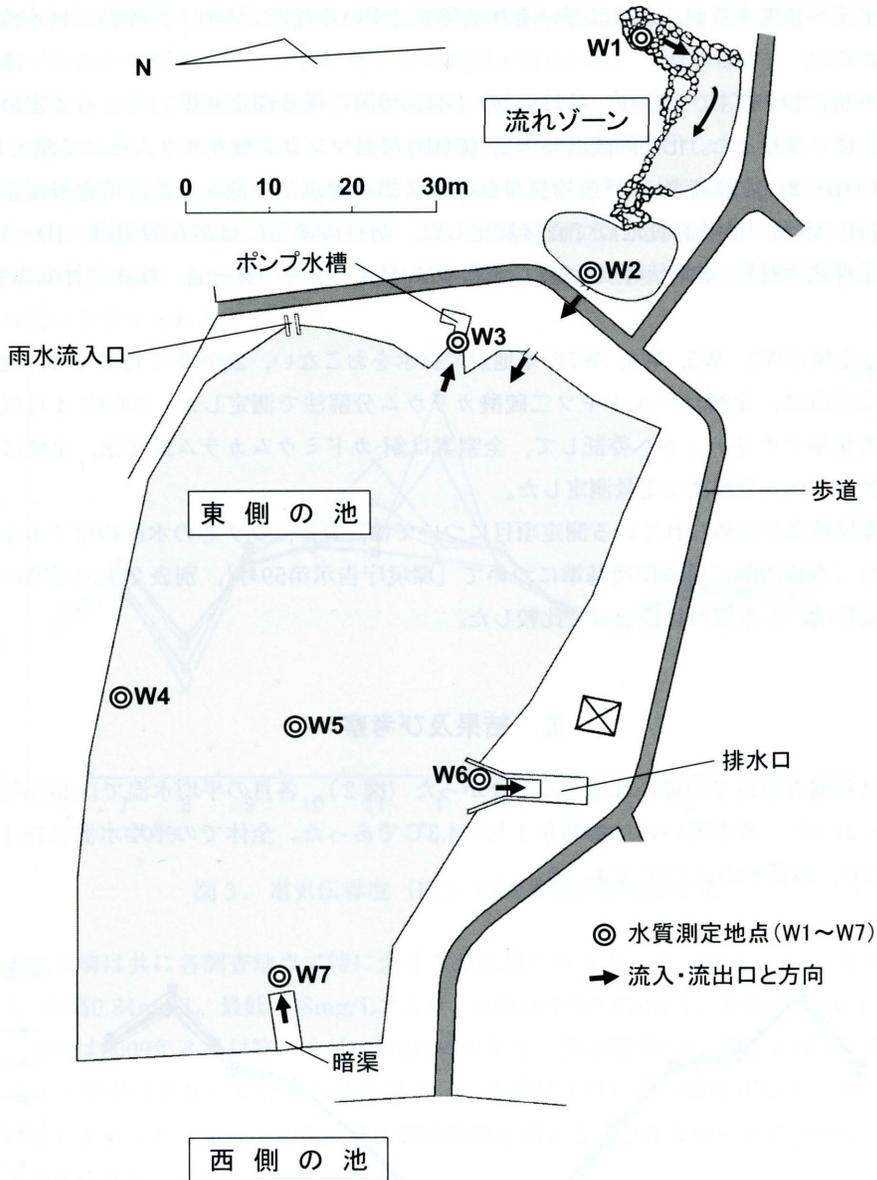
調査地である東側の兵太郎池は、周囲約550m、面積約0.32haである(図1)。池の大部分はスイレンに覆われ、部分的にアシ*Phragmites communis*が生えている。水深は最深部で約110cmであるが、底にはスイレンの根茎がマット状に広がっている。そのため水面から根茎上部までの実質的な水深は約25cm~50cmである。池の北側から西側には帯状にカシ類などが植栽され、西側には幅2.3m、高さ1.1m、長さ30mの暗渠があり、西側の池と繋がっている。南側と東側は植物見本園となっており、池に沿って歩道が設けられている。南側には幅約3mの排水口があり西側も含めた兵太郎池全体の水を約300m離れた河川につながる暗渠排水路へと流している。また、池の東側には池の水を循環させて植物見本園内の「流れゾーン」としている循環施設があり、循環施設の吸水口と排水口が設置されている。

2. 調査方法

2008年6月から2009年8月まで毎月下旬に、調査地点を設けて以下のとおり調査した。ただし、厳冬期は変化が少ないと予想されたので2008年12月と2009年2月には調査は行わなかった。

本研究では学生等に広く協力を求めたところ、2年間で著者ら以外に21名の学生と教員4名、技術職員1名、非常勤職員1名が参加し、調査及び作業日数31日に、学生が延べ104人、教職員が延べ79人の合計183人が参加した。

水質については流れゾーンの循環施設周辺や排水口、西側との接続部、中心部にW1~W7の調査地点を設け、化学的酸素要求量(COD)、浮遊物質質量(SS)、溶存酸素量(DO)、電気伝導度(EC)、pH、水温、全窒素、全磷を測定した。化学的酸素要求量と浮遊物質質量のサンプルは各調査地点において上部(水面直下)と下部(水底付近)で採水した。



水の流れと水質調査地点の位置を示す。

図1. 調査地の兵太郎池東側の平面図

調査地点は、水流の有無や強弱とスイレンの有無によってW1～W3とW4～W7の2つに大別できる。W1とW2は流れゾーン内であり、W3は循環ポンプへの流入口であるため、W1～W3では常に一定の強い流れがあり、スイレンが生えていない。一方、W4～W7では水流がないか、もしくは水流が弱く、スイレンが生えている。W4は池の北側、W5は中心部であり水流はほとんどない。W6は兵太郎池全体の排水口付近であり、W7は西側の池からの流入口であり、水量が多い時

のみ強い水流が発生するが、通常は弱い流れが発生しているだけであり、渇水時には水流が止まることもある。

水質の分析については、環境庁（1971）の「水質汚濁に係る環境基準」によって定められた測定方法に従って行った。化学的酸素要求量（COD）は過マンガン酸カリウム法にて測定した（分析キットCOD-2，佐藤商事）。浮遊物質量はガラス繊維濾紙法で測定した。溶存酸素量と電気伝導度，pH，水温，は各調査地点で直接測定した。溶存酸素量には溶存酸素計（ID-100，飯島電子工業株式会社），電気伝導度とpH，水温にはpHメーター（D-54，株式会社堀場製作所）を用いた。

全窒素と全磷はW3，W5，W6，W7の4地点で採水をおこない，2009年3月までは，全窒素は紫外線吸光光度法，全磷はペルオキソ二硫酸カリウム分解法で測定した。2009年4月以降は株式会社三菱化学アナリテックへ委託して，全窒素は銅-カドミウムカラム還元法，全磷はペルオキソ二硫酸カリウム分解法で定量測定した。

湖沼の環境基準が定められている測定項目については，コイ，フナ等の水産物用である水産3級の基準値（水質汚濁に係る環境基準について [環境庁告示第59号]，別表2 生活環境の保全に関する環境基準）を水質の目標として比較した。

Ⅲ. 結果及び考察

水温には各調査地点での違いはほとんどなかった（図2）。各月の平均水温では2008年の7月が最も高く27.5℃，最も低いのは2009年1月の4.3℃であった。全体での平均水温は18.1℃で最高水温28.2℃，最低水温は1.7℃であった。

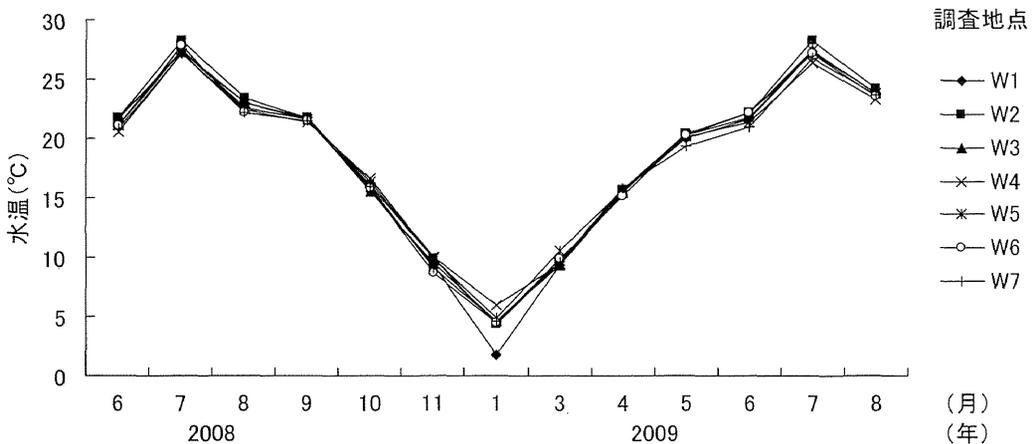


図2. 水温の調査地点別季節変化

水中のイオン濃度を反映する電気伝導度は各調査地点で大きな差は見られなかった（図3）。季節変動では春から夏にかけては少し低下する傾向が見られた。1月にはW1, W2で他より高い値が測定された。W1, W2は流れゾーン内であり、普段は他の地点よりも強い水流が発生している場所であったが、1月の調査時点では循環施設のポンプが故障していたために水流が停滞していたことが高い電気伝導度につながったと推測される。全体での平均は0.141mS/mで最大は0.277mS/m、最低は0.063mS/mであった。これらの値は雨水の電気伝導度の目安とされる1～3mS/cm（中澤2000）より低いので、雨水以外の汚染源から溶解性の無機物が供給されている可能性は低いと考えられる。

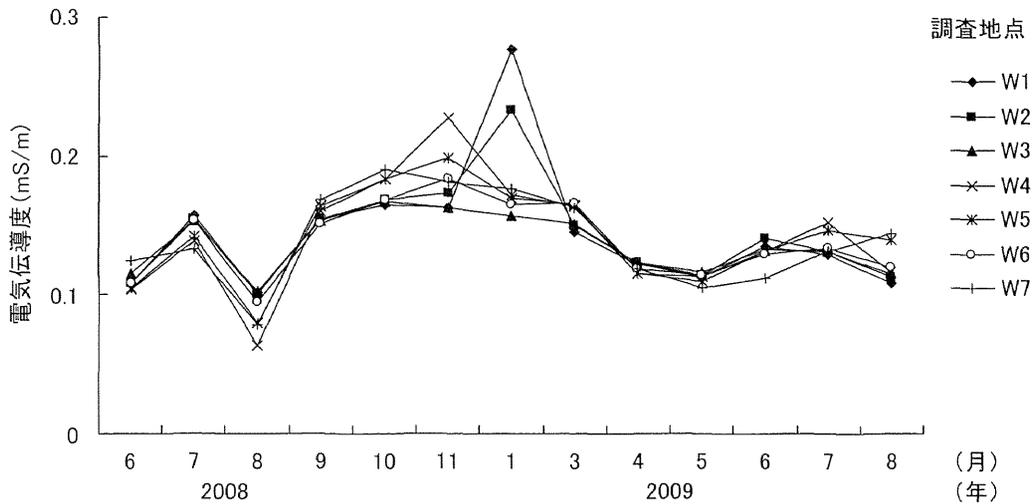


図3. 電気伝導度 (EC) の調査地点別季節変化

全窒素、全磷は共に各調査地点で特に大きな差は見られなかった（図4、5）。全窒素は平均0.4mg/L、最高0.84mg/L、最低0.08mg/Lであり、全磷は平均0.02mg/L、最高0.09mg/Lであった。ただし、全磷は2009年3月以降、6月のW5以外の全てで測定限界の0.02mg/L以下であった。季節変化では全窒素は9月から11月の秋に低下し、全磷は1月に高い値を示している。環境基準は年平均値と定められており、平均値では環境基準を越えることはなかったことから、兵太郎池では富栄養化は進んでいないと考えられる。

浮遊物質量はW1, W3, W4の3地点で極端に高い値を示した月もあったが、大部分は環境基準値を下回った（図6、7）。極端に高い値は、採水時に調査者の歩行によるヘドロの巻き上げの影響があったためと思われる。上部の平均は9.5mg/L、最高44mg/L、最低は0.1mg/Lであった。下部の平均は16.1mg/L、最高154mg/L、最低0.2mg/Lであった。

pHは環境基準値の範囲（6.5以上8.5以下）を越えることはほとんどなかった（図8）。調査地点間の比較では、流れゾーン側のW1～W3の調査地点でW4～W7の調査地点よりも常に高かった。全体での平均値は7.2、最高値は8.4、最低値は6.3であった。季節変化では、春から夏にかけて低下し、秋から冬にかけて高くなる傾向が見られた。

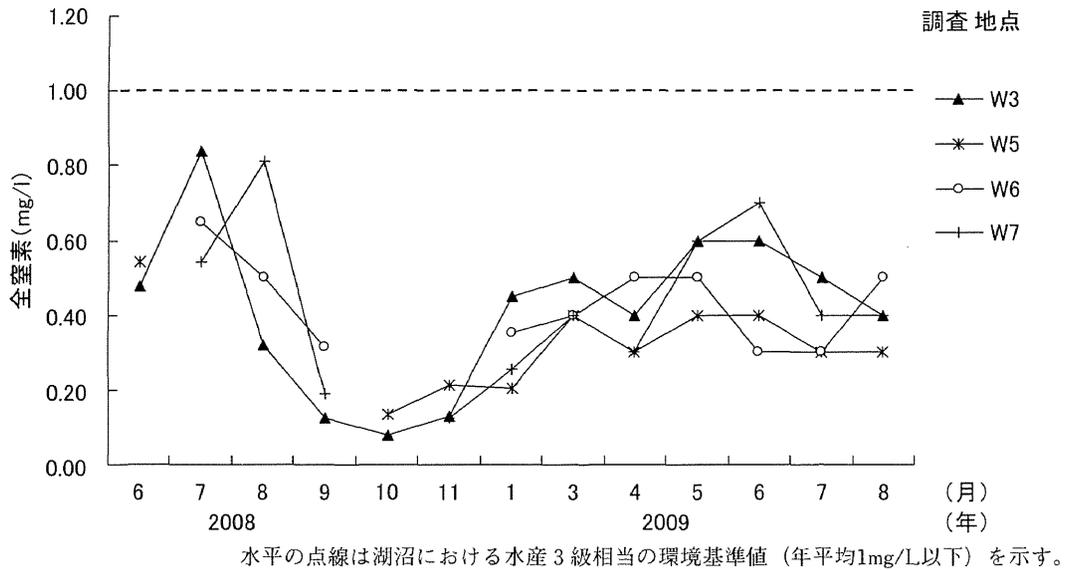


図4. 全窒素の調査地点別季節変化

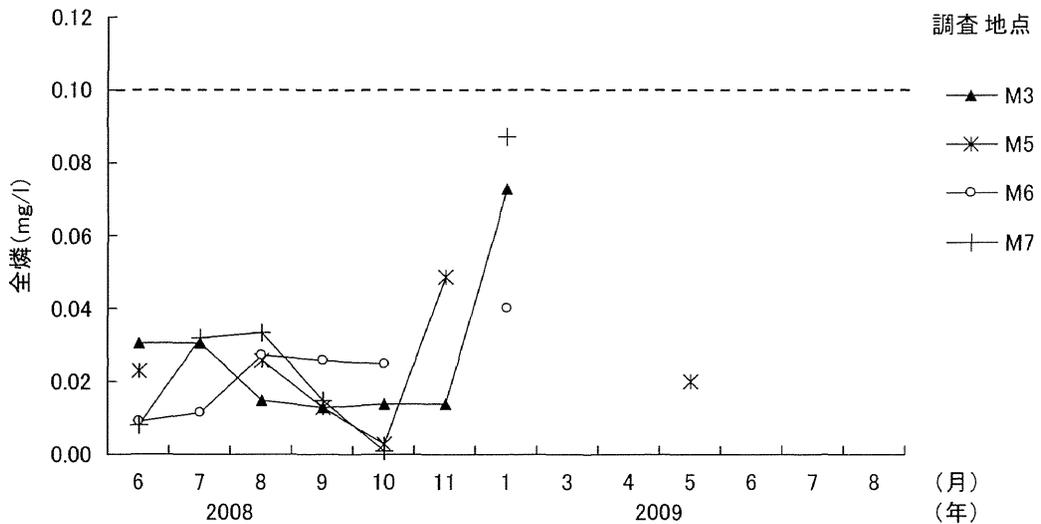


図5. 全燐の調査地点別季節変化

筑波大学構内兵太郎池における水質の季節変化

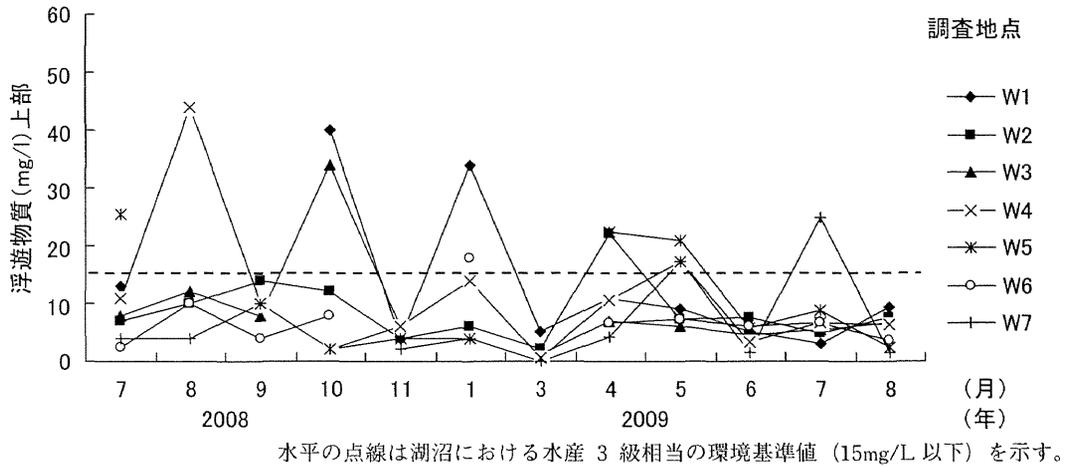


図 6. 水面近くにおける浮遊物質の調査地点別季節変化

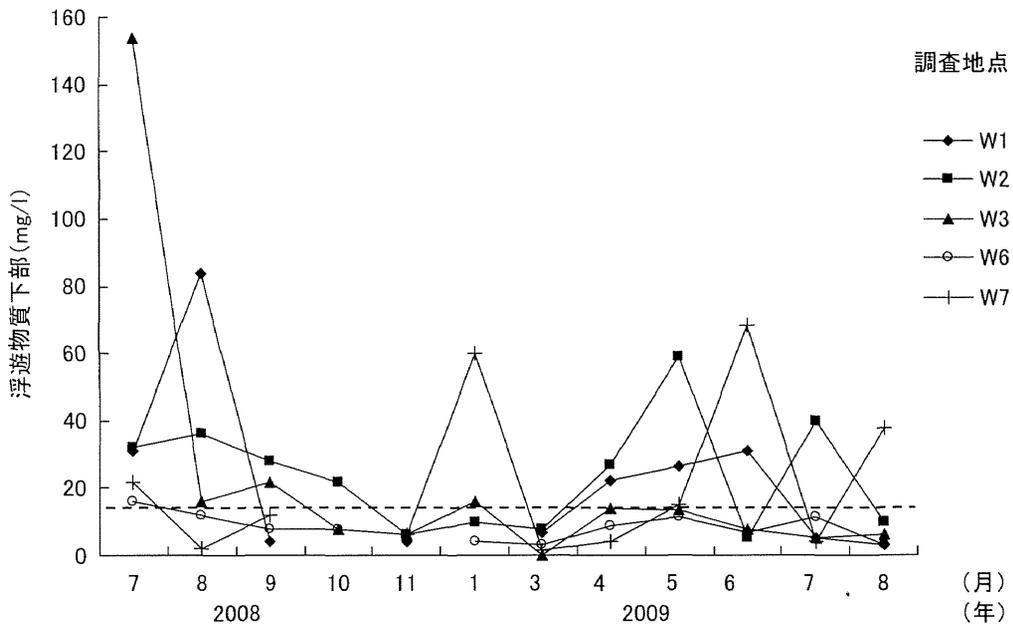
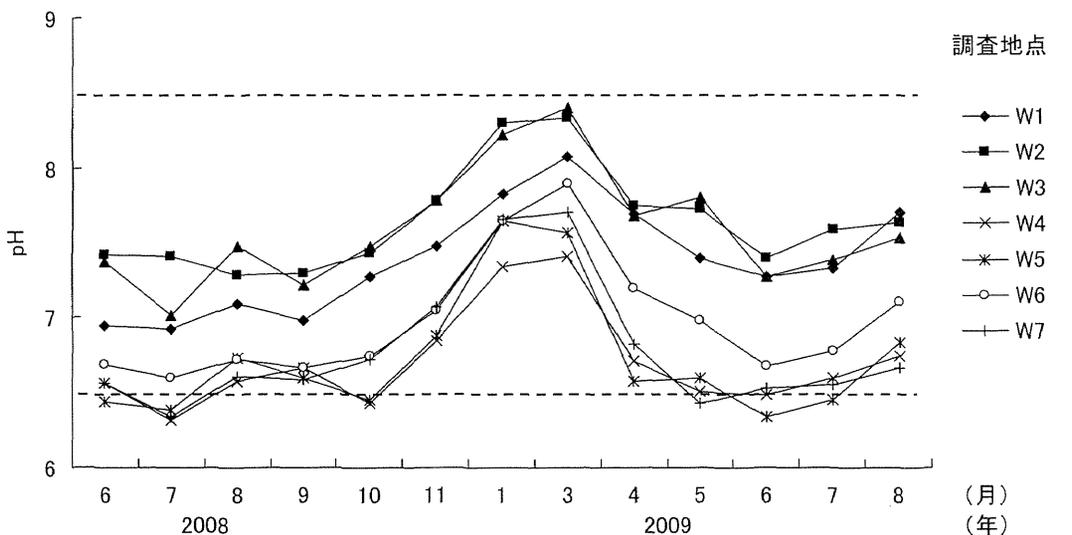


図 7. 底面近くにおける浮遊物質の調査地点別季節変化

魚類等の水生生物にとって重要な溶存酸素量 (DO) は、各調査地点間での差が大きく、特に W1~W3とW4~W7の間で大きな差が出ている (図9)。W1~W3はほぼ環境基準を満たしているが、W4~W7では環境基準を満たすことはほとんどなかった。季節変動も大きく、W4~W7では5月から9月にかけては著しい低下が見られた。いずれの地点においても10月から翌年の4月までは比較的高い値で推移した。平均は3.65mg/L, 最高11.1mg/L, 最低0.03mg/Lであった。W3では、2009年1月のポンプ故障による水流停滞により値が大きく低下したと考えられる

有機物による汚染度合を示す化学的酸素要求量 (COD) は水面近くの上部と水底近くの下部のいずれでも季節変動が大きく、また調査地点間の差も見られた (図10, 11)。主にW1~W3とW4~W7の間で差があった。特にW4, W5, W7では環境基準値を大きく超える著しく高い値を示した月もあったのに対して、W1~W3では環境基準を超えることは、10月と11月を除いてなかった。上部の平均は5.7mg/L, 最高19.0mg/L, 最低は1.0mg/Lであった。下部の平均は6.5mg/L, 最高は24.0mg/L, 最低は1.0mg/Lであった。春と秋にCODの値が上昇する要因として、スイレンや周辺樹木の生育が関連していると考えられる。春には周辺のシイ・カシ類が古い葉を落葉させ、秋には植物見本園内の落葉広葉樹が落葉する。またスイレンも秋には枯れてしまう。これらの植物の死骸が兵太郎池内へと入り底部へと溜まっていく。兵太郎池では上述のように低酸素状態のため、有機物の分解が進みにくいと考えられる。また、水温が高いほど分解は進みやすい。これらが複雑に関連してCODに影響を与えていると思われる。そのため、著しく低酸素状態になるW4~W7では、季節により著しく高いCOD値が計測されることが多かったのかもしれない。しかし、これらの要因だけでは短期的で極端な変動は説明できず、採水の際にヘドロや有機物が巻き上がってサンプルに混入した可能性もある。また、6月と9月も低いことから、降水量の影響も考えられる。



水平の点線は湖沼における水産 3 級相当の環境基準値の範囲 (6.5 以上 8.5 以下) を示す。

図 8. 水素イオン濃度 (pH) の調査地点別季節変化

筑波大学構内兵太郎池における水質の季節変化

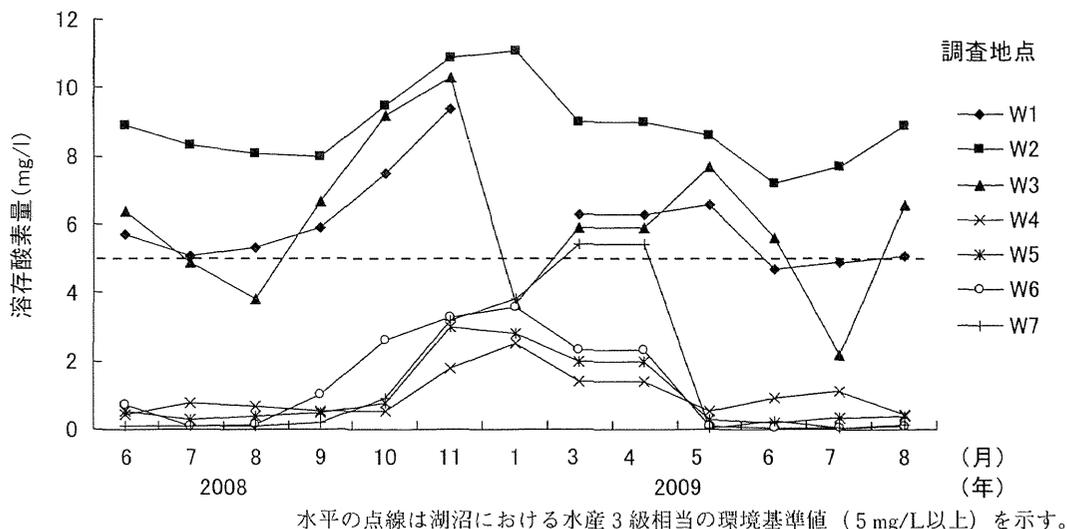


図9. 溶存酸素量 (DO) の調査地点別季節変化

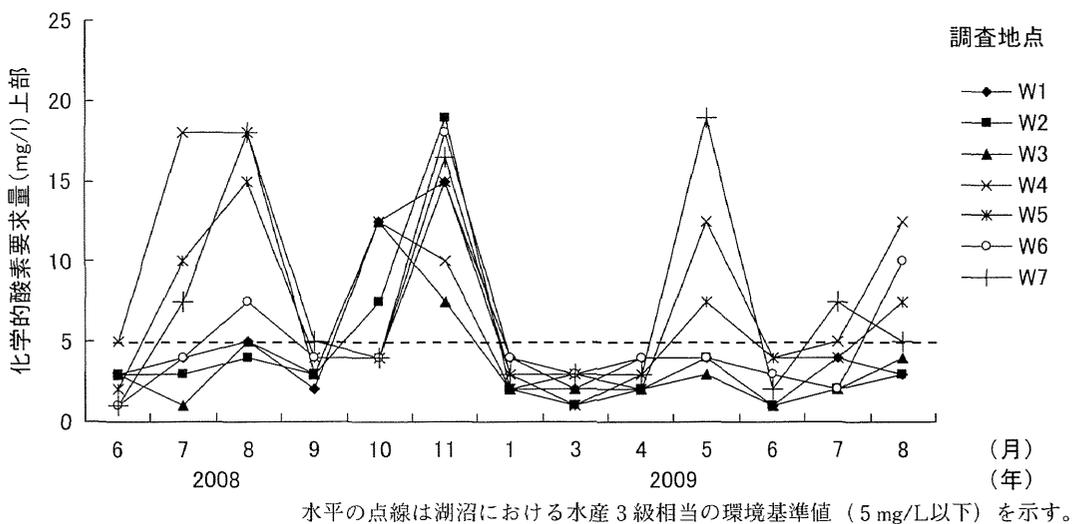
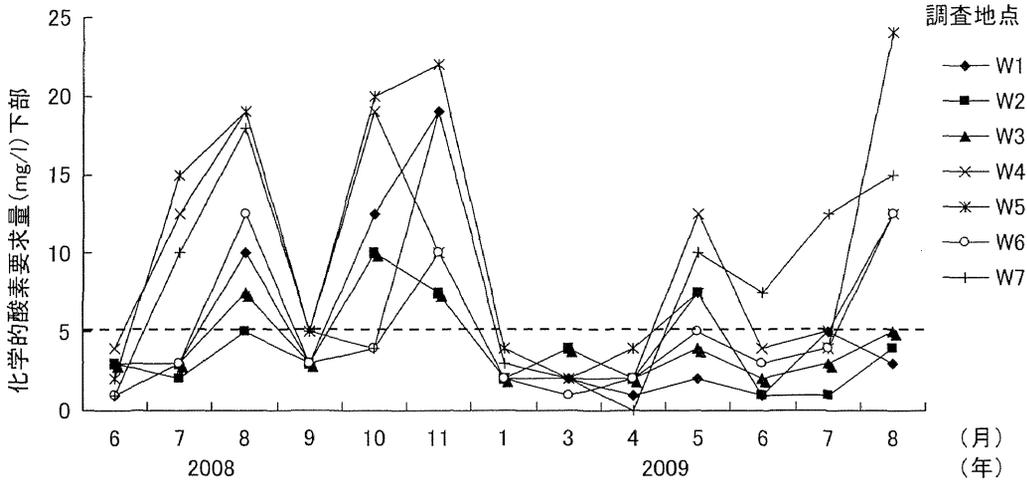


図10. 水面近くにおける化学的酸素要求量 (COD) の調査地点別季節変化



水平の点線は湖沼における水産3級相当の環境基準値（5mg/L以下）を示す。

図11. 底面近くにおける化学的酸素要求量（COD）の調査地点別季節変化

IV. 総合考察

今回の調査ではpH、溶存酸素量および化学的酸素要求量において、調査地点W1～W3とW4～W7の間で差が見られた。W1～W3はスイレンがなく、常に水流も発生しているため水質はほぼ良好な状態が保たれていた。一方、W4～W7では、特にスイレンが繁茂する夏には極端な貧酸素状態となった。秋から冬にはスイレンが枯れて空気との接触面積が増えることや、水温低下にもなって飽和溶存酸素濃度が高くなったためにW4～W7でも溶存酸素量は回復した。また、2009年1月の調査時に流れゾーンのポンプが故障していたさいに、流れゾーンの吸水口にあるW3の溶存酸素値がW4～W7と同程度まで低下したことから、溶存酸素量には水流が大きく関係していると推察される。水中への酸素の供給としては植物プランクトンや水生植物の光合成によるものと、空気中から水中へ溶け込むものがある。空気中の酸素は水流や風によって波が発生し、空気との接触面積がふえることで酸素の供給量が増大する。こうした水面での曝気（水を空気にさらし、空気を供給すること）による酸素の供給は、植物プランクトンの光合成によるそれより大きいとされる（森ら2001）。また、水深の浅い閉鎖性水域では、季節変動による水温躍層（温度差により形成される水の層）は一般に存在しないが、日サイクルでの水温成層化および水温混合層など熱対流の形成（熱的擾乱）が、溶存酸素濃度に影響を及ぼすと考えられている（森ら2001）。しかし、浮葉植物が過度に増殖し水面を覆ってしまうと空気との接触面が減少し、風を遮ってしまう。また、日射を遮ることで、水温混合層の発達速度を減少させ、水中から空気への熱輸送を阻害するなど、熱的擾乱に影響をおよぼすという報告もある（濱上ら2008）。さらに、日射をさえぎり植物プランクトンや他の水生植物の生育を阻害してしまうため、貧酸素状態になりやすい。

化学的酸素要求量もW4～W7で環境基準を超えて極端に高い値を示すことがあった。また、大

きな季節変動が見られた。化学的酸素要求量は、水中の主には有機物などの汚濁物質を示す指標であり、落葉や枯死した植物などの有機物によって左右される。上述したように、兵太郎池ではスイレンや周辺樹木などによって、池の内外から有機物の供給がある。水中に入った有機物は生物によって分解されるが、貧酸素状態では生物の活動は制限され、分解作用も低下することから、兵太郎池では有機物が分解されず蓄積されていると考えられる。一般的に有機物の多い水では、有機物の分解に酸素が消費されて少なくなる。また、化学的酸素要求量は溶存酸素量が多いと減少する傾向にあるといわれている（佐々木2005）。このように化学的酸素要求量と溶存酸素量の間には相互関係がある。こうしたことから溶存酸素量やスイレンと周辺植物の生育サイクルなどが関連して、化学的酸素要求量の季節変化や調査地点の差となっていると考えられる。

水質の自浄作用には物質の循環が必要である。特に水の出入りが少ない閉鎖性水域では、河川と違い水の滞留時間が長く栄養塩類等の負荷量が多いことが水質悪化に繋がるとされている（中井ら2004）。また、閉鎖性水域で水生植物や植物プランクトンの水質浄化能力が効率的に機能するためには、機械的擾乱（風による吹送流や波）や熱的擾乱（日射や放射冷却による熱対流）によって水が循環することで、底層の栄養塩類等の物質が上層に運ばれることが必要とされる（中井ら2004）。しかし、スイレンの葉が水面を覆うことで、空気中からの酸素の供給や、水の擾乱を阻害していると考えられる。また、秋には大量の葉が枯れることで、有機物の供給源となっている。こうしたことから、兵太郎池で問題視されている低溶存酸素状態などの原因の一つに、過度に増殖したスイレンが疑われる。

しかし、過度に増殖した浮葉植物による水質悪化が指摘される一方で、適度に浮葉植物が生育し、熱的擾乱のみが作用する場合には、浮葉植物が、光合成により酸素供給に寄与している可能性が報告されている（炭元 2004）。また、浮葉植物、抽水植物、沈水植物を組み合わせ管理し、水生植物を利用した水質改善への試み（杉山 1999）もおこなわれていることから、スイレンの適切な管理や、その他の水生植物の計画的な導入と管理をすることで、兵太郎池の水質の改善が見込まれる。過去には筑波大学構内の池や周辺にも在来種の水生植物や湿生植物が自生しており、その中には現在では希少となった植物も含まれていることから、それらの希少植物を育成できる可能性もある。そうした植物の導入の可能性を模索することも、植物見本園の役割として有意義なものであると考えられる。

謝辞

本研究において調査方法に関する助言をいただいた生命環境科学研究科生物圏資源科学専攻の上條隆志准教授、清野達之講師、門脇正史助教、加藤盛夫助教、全窒素・全磷の分析を指導していただいた生命環境研究科生命産業科学専攻の内海真生准教授、大慶一路氏に厚くお礼申し上げます。また、筑波実験林の上條さち子氏には原稿の点検、図表の作成を手伝っていただき、2年間の調査においては諸澤崇裕氏や宮野晃寿氏をはじめとした21人の学生が協力してくれた。これらの方々にも感謝します。

本研究は農林技術センターの環境関連研究助成（平成20年度および21年度）を受けて実施したものである。

引用文献

- 濱上邦彦・井上寿人・森健・平井康丸（2008）水生植物の繁茂する閉鎖性水域の水面境界に関する考察. 九州大学農学芸誌63:187-194.
- 環境庁（1971）水質汚濁に係る環境基準について. 環境庁告示第59号. <http://www.env.go.jp/kijun/mizu.html> [最後のアクセス日：2010/02/16]
- 森健・四ヶ所四男美・平松和昭（2001）浅い閉鎖性水域における溶存酸素の日サイクル運動. 水産工学38:53-59.
- 中井正則・丸山治郎・有田正光（2004）浮葉植物（ガガブタ）が繁茂するため池の現地調査. 水工学論文集48:1339-1344.
- 中澤 港（2000）保健学実験検査法実習：環境：水：マニュアル. <http://phi.med.gunma-u.ac.jp/humeco/labometh.htm> [最後のアクセス日：2010/02/16]
- 佐々木利夫（2005）環境教育推進に関する研究－河川の水質調査を通して. 愛媛県総合教育センター平成16年度研究紀要, 49-51.
- 杉山和廣（1999）静岡市中島下水処理場のビオトープ. ビオトープ7:11-12.
- 炭元祥生（2004）閉鎖性水域における短期水質挙動. 九州大学修士論文.
- 筑波大学施設部施設環境計画室（1985）筑波大学の施設・環境計画, pp. 110-178.

Summary

Water quality was evaluated in Hyoutaro-ike Pond located in the main campus of the University of Tsukuba every month from June 2008 to August 2009 (except December 2008 and February 2009), bearing in mind that we plan a new environmental improvement scheme of the pond in the near future. The pond is separated into two parts by a pedestrian road and we concentrated on the eastern part, about 0.32 ha, of which water surface is mostly covered by introduced water lilies (*Nymphaea* sp.). Water depth is mostly 25-50 cm, with the maximum of 110 cm. At the eastern side of the pond an artificial stream and pools are maintained by pumping water up from the pond. We sampled water at 7 sites: 3 in and near the stream-pool complex and 4 in the main pond. Few variations were found between sampling sites in water temperature, electrical conductivity, total nitrogen, and total phosphorus. Most of these measurements did not violate the environmental water-quality standard for aquaculture of Cyprinidae fish. Mean values were 18.1 centigrade for water temperature, 0.141 mS/m for electrical conductivity, 0.4 mg/L for total nitrogen, and 0.02 mg/L for total phosphorus.

Suspended solids were 9.5 mg/L on average and were occasionally beyond the standard. Hydrogen ion concentration index (pH) was 7.2 on average and rarely beyond the standard. Dissolved oxygen showed clear difference between the stream-pool complex and main pond. It was usually better than the standard (5 mg/L) in the former, but was mostly worse than that in the latter, especially during summer. Chemical oxygen demand (COD) showed large variations between surveys and sampling sites; it was often far beyond the standard (5 mg/L) in the main pond. COD was higher in spring and autumn, with the average of 5.7 mg/L. These results suggest that improvement of dissolved oxygen and chemical oxygen demand is necessary to restoring the pond to a biodiversity-rich pond.

(2010年2月16日 受理)