

特集 「快適な都市環境をめざして」

ビオトープの自然環境保全機能

— 生き物の生息，雨水貯留と水質浄化 —



寺井 学



辻 博和

(本社土木技術本部
環境技術第二部)



杉本 英夫



小宮 英孝

Environmental Improvement Functions of Biotope

— Wildlife Habitat ,RainWater Outflow Control and Water Purification —

Manabu Terai

Hirokazu Tsuji

Hideo Sugimoto

Hidetaka Komiya

Abstract

Dragonfly ponds was made in the institute in 2000 as a biotope for natural environmental preservation. Three were made, each with a depth of about 50cm and an area of 40m², and with several trees around them. Four years later, we evaluated the environmental improvement functions of biotope, in relation to (1) wildlife habitat, (2) rain water outflow control, and (3) water purification. 12 kinds of dragonflies, *Anas poecilorhyncha* (spotbill duck), *Turdus naumanni* (dusky thrush), *Nyctereutes procyonides* (raccoon dog), etc., were observed. We thus conclude that the ecological potential has increased. Moreover, the ponds can temporarily stock rain water outflow and purify the water quality of underground water with a high nitrate density.

概 要

2000年に技術研究所構内の自然環境保全のためのビオトープとしてトンボ池を造成した。トンボ池は、水深約50cmで面積40m²の池が3つとその周囲の樹木で構成される。トンボ池造成後4年を経過し、ビオトープの環境保全機能として、(1)生き物の生息環境、(2)雨水貯留、(3)水質浄化、についてこれまでの調査結果をまとめた。結果、トンボ池をはじめとするビオトープ整備により、12種類のトンボ、カルガモ、ツグミ、タヌキなどが確認され、生き物の生息環境が豊かになった。また、トンボ池は、雨水を一時貯留し流出抑制を図ること、硝酸性窒素濃度の高い地下水の水質浄化が可能であることが分かった。

1. はじめに

ビオトープとは、本来ドイツ語で“生き物(bio)のいる場所(tope)”を意味し、“特定の生き物(動植物)が生育生息するあるまとまりをもった空間”のことを言う。

日本においては1980年代にドイツにおけるビオトープの概念やその整備手法が紹介され、1990年代に入って、失われた自然環境を復元・再生させるビオトープづくりがさかんに行われるようになった¹⁾²⁾。

当社技術研究所においても、ビオトープづくりの企画、設計、施工、維持管理の手法を確立させるために、2000年にトンボ池等を造成した。本論文では造成後のモニタリング調査の結果に基づき、次の3つのビオトープの環境保全機能について報告する。

- 1) 生き物の生息環境を提供する。
- 2) 雨水を貯留し流出抑制を図る。
- 3) 水質(硝酸性窒素)を浄化する。

2. ビオトープ整備の概要

技研構内のビオトープ整備として、トンボ池を新規造成し、既存雑木林の保全を行っている。

2.1 トンボ池

2.1.1 なぜトンボ池か ビオトープづくりは、通常、水辺や植栽などの生き物の生息空間を整備することに留め、原則として小動物の移入は行わない。したがって、移動能力の高いトンボを対象とした池や湿地のビオトープ整備事例が多い。

1998年～99年にかけて、技研および技研の西方約1kmに位置する金山緑地公園、金山調節池のトンボ相を調査した結果、Table1に掲げた16種のトンボが技研に誘致可能であると考えられた。

そこで、技研構内に水辺を創出し、自然環境をより豊かにするために、トンボ池を造成することになった。

2.1.2 トンボ池の設計 トンボ池に必要な条件を以下に整理した。

- ・湿地～ため池の環境で大きさは50㎡もあればよい。
- ・水深は30～50cm以上あり、干上がらないこと。
- ・産卵場所や羽化場所として水生植物が生育している。
- ・水際には土や石があり、かつ開放水面もあること。
- ・平常時、水の流れはほとんどなくてよい。
- ・周辺には樹林や草地があること
- ・動物プランクトンが発生し食物連鎖が成り立つこと。

計画地は10m×58mの細長い敷地であり、3つの池を計画した。池には、夏季、蒸発散により減少する水を補給する水源が必要である。水源には、約1,000㎡の雨水排水が集まるU字溝と、地下水を起源とする水道が利用可能であった。U字溝に集まる雨水は、容量13.5トンの貯留槽を地下に設けて溜め置き、2つのトンボ池の補給用とした。地下水は硝酸性窒素の濃度が高いので、1つの池の水源とした。

集まるトンボの種類は、池と周囲の植生の状況により異なると予想されたので、Table 2 のような仕様の異なるA、B、Cの3つの池を計画した。3つの池はそれぞれ、面積約40㎡、水量約12トンである。

2.1.3 トンボ池の施工 トンボ池の造成を2000年5～9月に行った。池の止水方法は、不織布に膨潤性のベントナイトを含んだシートを用い、荒木田土を30cm厚で覆土し、転圧を行い締め固めた。水際部に玉石や板柵による土止めをおこない傾斜部の土の安定を図った。

池の止水状況の確認を行った後、10月に植栽を行った。A池、C池には、高茎の抽水植物としてマコモ、フトイ、中茎の抽水植物としてコガマ、サンカクイ、カンガレイ、低茎の抽水植物としてオモダカ、セリ、コナギ、ハリイなど、浮葉植物としてヒルムシロ、沈水植物としてキクモ、フサモ、湿性植物としてアカバナ、シロバナサクラタデ、ミソハギを植栽した。B池は抽水植物のマコモ、フトイ、コガマ、サンカクイ、カンガレイ、ゴウソ、ハリイのみの植栽とした。池の周囲には、雑木林の構成種から選んだクヌギ、コナラ、エノキ、ミズキ、エゴノキなどをA池の周りに61本、C池の周りに30本植栽した。

2.1.4 雑木林の復元 将来、樹林と一体となったトンボ池になるように、トンボ池東側の約80㎡のエリアに、雑木林を復元するための植栽を2000年10月に行った。樹種は技研内の雑木林の構成種から、コナラ、クヌギ、エゴノキ、エノキ、イヌシデ、ヤマザクラを選んだ。エリアの南側半

分には、樹高0.8mの苗木を43本、北側半分には、樹高2.5mの木を22本植栽した。植栽5～8年後には間引きを行い樹高5m本数20本、植栽15～20年後には、樹高10m本数7、8本の林を目標としている。

2.2 雑木林の保全

2.2.1 キンランの保全 雑木林には貴重種のキンラン（ラン科、絶滅危惧Ⅱ類）が多数生育している。キンランの保全のため下草刈りは冬期にのみ行っている。

2.2.2 稚樹の育成 構内の林は、40年以上更新作業が行われず、壮齢化している。そこで、林の隣接地においてコナラ、クヌギのドングリ播種による稚樹の育成を試みている。

2.2.3 エコスタック ビオトープの手法の1つとして、小動物の生息場所となる枯れ草、枯れ枝、丸太、石を積んで配置することをエコスタックという。

2001年から林内で発生した立ち枯れ木、落ち枝、構内の緑化樹木の剪定枝葉を破碎したウッドチップを林縁にエコスタックとして集積している。

Table 1 誘致対象のトンボ
List of Dragonflies Attracting Biotope

(I) 生息条件が広く誘致しやすいトンボ	シオカラトンボ、ウスバキトンボ
(II) 水田や湿地を好むトンボ	ナツアカネ、アキアカネ、コノシメトンボ
(IIIa) 水草の多い湿地や池を好むトンボ	クロイトトンボ、アジイトトンボ、ギンヤンマ、コフキトンボ、ショウジョウトンボ
(IIIb) 木陰の多い池沼を好むトンボ	モノサシトンボ、オオアオイトトンボ、オオシオカラトンボ、コシアキトンボ
(IIIc) 水草と木陰の多い池沼を好むトンボ	マルタンヤンマ、クロスジギンヤンマ

Table 2 3つのトンボ池の仕様
Specification of Three Ponds

	基本方針	水源	水深	水草 植栽	周囲 樹木	護岸形状
A池	理想的な池	雨水	約50cm	19種	61本	緩やかで曲線的
B池	やや単調な池	雨水	約50cm	7種	なし	やや緩やかで直線的
C池	栄養塩の多い池	地下水(窒素多い)	約50cm	19種	30本	緩やかで曲線的

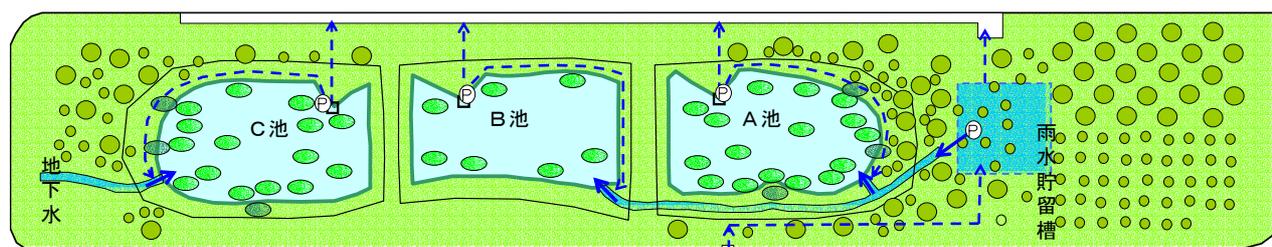


Fig. 1 トンボ池平面図
Plan of Dragonflies' Ponds and Tank of Rain Water

3. 生き物の生息環境

3.1 鳥類

ビオトープ整備前の1998-99年にラインセンサス法による鳥類の調査（夏季5日，冬季5日）を行ったところ，技研内では15種の鳥類が確認された。Table 3 はその結果に，ビオトープ整備後に確認されたカルガモとツグミを加えたものである。水鳥であるカルガモと冬鳥のツグミが確認されたことは，大きな成果である。また，アオゲラが確認されていることは，注目すべきことである。アオゲラはまとまった規模の樹林を好み，雑木林の環境が良好であることを示す。そのほかは，都市鳥と呼ばれる種であった。

3.2 昆虫類

2002年10月に行った調査では，A池で29種，B池で9種，C池で27種，池全体で43種確認され，シバ地で33種，雑木林で57種類確認された（Fig. 2）。全体で確認された104種のうち，41.3%がトンボ池で確認された。トンボ池が昆虫相の多様性を高めていることが分かった。またB池での確認種数が少なく，池の周りの草花や樹木が昆虫の生息に重要であることが分かった。

2001年～2004年の間，トンボ池で確認されたトンボの一覧をTable 4に示す。合計12種確認でき，誘致対象16種のうち，10種類を確認することができた。誘致対象のうち確認できなかったコシアキトンボ，コフキトンボ，クロイトトンボ，モノサシトンボは腐食栄養型の池を好む種であり，池の自然環境に応じたトンボ相が形成されたといえる³⁾。

3.3 動物

トンボ池の周囲で，タヌキ，ハクビシンを確認することができた。タヌキ，ハクビシンは雑食性で，カキ，アケビなどの植物の実を好むほか，ネズミ，カエル，昆虫などの

小動物も食べる。その行動範囲は2,3kmを超えと言われており，トンボ池の周りには餌となる動植物が豊富であることから，技研に訪れるようになったと考えられる。

3.4 ゼフィルス（ミドリシジミの仲間）

2005年6月に技研内で，アカシジミ，ウラナミアカシジミ，ミズイロオナガシジミの3種を確認することができた。この3種はミドリシジミの仲間でゼフィルスと呼ばれる。卵で越冬しクヌギやコナラの若木を幼虫は好んで食べ，成虫は6～7月のわずかな期間にのみ見られる。豊かな雑木林のシンボルであり，技研の林の状態が良いことを示す。

3.5 カブトムシ

エコスタックとして集積していたウッドチップにカブトムシの幼虫が多数生息していた。粉碎後堆肥化が進んだウッドチップは，カブトムシの良い産卵場所となったと考えられる。

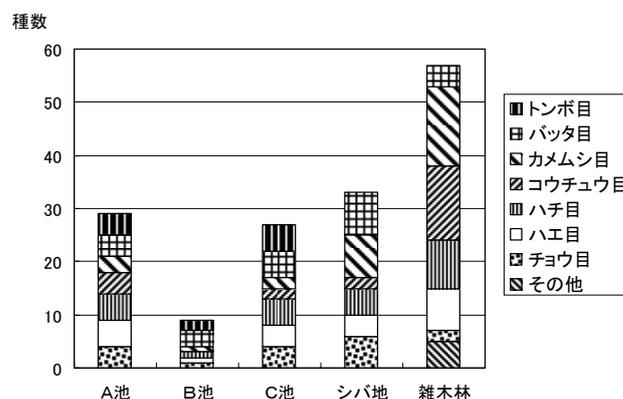


Fig. 2 確認された昆虫種数（2002年）
Species Number of Insects in 2002

Table 3 技研で確認された鳥類
Birds in the Institute

ガンカモ科	カルガモ	<i>Anas poecilorhyncha</i>	※
ハト科	キジバト	<i>Streptopelia orientalis</i>	
	ドバト	<i>Columba livia</i>	
キツツキ科	アオゲラ	<i>Picus awokera</i>	
	コゲラ	<i>Dendrocopos kizuki</i>	
ツバメ科	ツバメ	<i>Hirundo rustica</i>	
セキレイ科	ハクセキレイ	<i>Motacilla alba</i>	
ヒヨドリ科	ヒヨドリ	<i>Hypsipetes amaurotis</i>	
ツグミ亜科	ツグミ	<i>Turdus naumanni</i>	※
シジュウカラ科	シジュウカラ	<i>Parus major</i>	
メジロ科	メジロ	<i>Zosterops japonica</i>	
アトリ科	カワラヒワ	<i>Carduelis sinica</i>	
ハタオリドリ科	スズメ	<i>Passer montanus</i>	
ムクドリ科	ムクドリ	<i>Sturnus cineraceus</i>	
カラス科	オナガ	<i>Cyanopica cyana</i>	
	ハシブトガラス	<i>Corvus macrorhynchos</i>	
	ハシボソガラス	<i>Corvus corone</i>	

※ビオトープ整備後に確認された種

Table 4 トンボ池で確認されたトンボ
Dragonflies in the Biotope

イトトンボ科	アジアイトトンボ	<i>Ischnura asiatica Brauer</i>
ヤンマ科	マルタンヤンマ	<i>Anaciaeschna martini (Selys)</i>
	ギンヤンマ	<i>Anax parthenope julius Brauer</i>
	クロスジギンヤンマ	<i>Anax nigrofasciatus nigrofasciatus Oguma</i>
トンボ科	シオカラトンボ	<i>Orthetrum albistylum speciosum (Uhler)</i>
	オオシオカラトンボ	<i>Orthetrum triangulare melania (Selys)</i>
	ショウジョウトンボ	<i>Crocothemis servilia mariannae Kiauta</i>
	アキアカネ	<i>Sympetrum frequens (Selys)</i>
	マイコアカネ	<i>Sympetrum kunckeli (Selys)</i>
	ノシメトンボ	<i>Sympetrum infuscatum (Selys)</i>
	コノシメトンボ	<i>Sympetrum baccha matutinum Ris</i>
	ウスバキトンボ	<i>Pantala flavescens (Fabricius)</i>



Photo 1 タヌキ
Nyctereutes procyonoides (Raccoon Dog)



Photo 2 ハクビシン
Paguma larvata (Masked Palm-civet)



Photo 3 ウラナミアカシジミ
Japonica saepestriata



Photo 4 エコスタックとカブトムシ幼虫
Eco-Stuck and Larva of Beetle

4. 雨水の流出抑制機能

4.1 貯留槽の仕様

A池, B池の2つの池は雨水で維持するために, 補給用の貯留槽を地下に設けた。容量は夏季2週間の無降雨日の蒸発量を補うえるように計画した。計算式は, 1日の蒸発量を10mm, 池の面積を80㎡として,
 $0.01\text{m/day (蒸発量)} \times 80\text{㎡ (池面積)} \times 14\text{day} = 11.2\text{m}^3$
 少し余裕をみて13.5トンの貯留槽を計画した

貯留槽は大きさ4.32m×4.32m×高さ0.78m, ポリプロピレン製のシートとポリプロピレン製の籠状のブロック体(空隙率95%)で構成し地下に築造した。貯留槽にはポンプを設置し, 週に1度, 夏期は約4トン, 夏期以外は約2.8トンの溜めた雨水をA池, B池に補給している。

4.2 雨水流出抑制のしくみ

13.5トンの貯留槽に, 集水面積1000㎡の雨水が集められる。流出係数を0.7とすると, $13.5 \div 0.7 \div 1000 = 0.0193\text{m}$, 約20mmの降水量で, 貯留槽は満杯になり, 貯留槽が雨水流出抑制機能を果たすことはできない。そこで, 大雨時に地下貯留槽からトンボ池へ, 雨水の流れを切り替えて, トンボ池に雨水流出抑制機能をもたせることを考えた。

具体的には, 貯留槽が満水になり, 配管中の雨水の流れが滞るようになったときに, トンボ池へ雨水がオーバーフローするように, 会所柵の上部に池へ吐出する配管を設けた。

4.3 効果の確認

2005年4月1日~6月12日の降水量と貯留槽の水位変化をFig. 3に示す。4月4日(降水量27.5mm), 5月30日(32.5mm), 5月31日(26mm), 6月4日(33.5mm)は, 貯留槽は満水になり, 雨水が池へオーバーフローして一時貯留され, 雨水流出抑制機能を果たしたことを確認した。

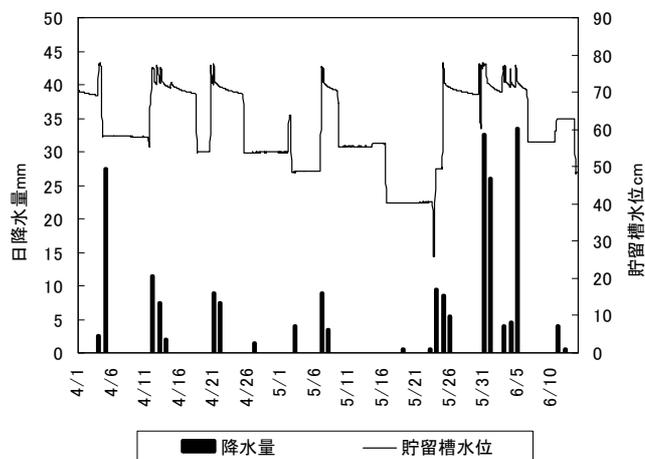


Fig. 3 降水量と貯留槽水位の変化
Precipitation and Water Level of Rain Tank

5. 水質浄化機能

5.1 窒素除去の発見

造成後1年半の間、月1回程度の水質調査のモニタリングを行ったところ、地下水を水源とするC池の窒素量が、夏期に著しく減少していることが分かった (Fig. 4)。

C池への地下水の補給はA池、B池への補給量と同等で毎週1.5~2トン程度であり、降雨による希釈作用では説明がつかなかった。

そこで2004年に硝酸性窒素濃度の高い地下水を連続的に通水し、池の水質浄化効果を確認する実験を行った。

5.2 水生植物の管理と生産量

池に植栽した水生植物は、2年目から夏期に全面を繁茂するようになった。水生植物の管理は、3つの池とも、毎年冬期に水位を下げ、枯れた部分を刈り取って搬出している。

刈り取った植物体は、生重を計測し、一部を種類別に80℃で乾燥し、乾重/生重比を計測した。そして池ごとに植物の乾燥重量を計算した。結果をFig. 5に示す。

雨水で維持しているA池、B池は20kg程度の乾燥重量であった。池の面積は40㎡であり、約0.5kg/㎡/年の生産量となる。硝酸性窒素濃度の高い地下水を補給したC池は2003年に32kgの乾燥重量になり、実験のため大量の地下水を通水した2004年には、97kgもの値になった。

5.3 実験方法

C池において2004年8月9日~11月25日の間、約9.5mg/Lの硝酸性窒素濃度の地下水を連続的に通水した。水質の概要をTable 5に示す。そして、流入水量を一定期間ごとに变えて、窒素負荷量を変化させた (Table 6)。

流入水量、流出水量、水温の連続計測を行い、降雨等の影響を考慮して、採水を行い硝酸性窒素濃度についてイオンクロマトグラフによる分析を行った。流入水と流出水の濃度差から窒素除去量を計算し、水質浄化の評価を行った。なお流入水、流出水の窒素成分は、ほとんど硝酸性窒素であった。

5.4 結果

流入量、流出量の計測結果をFig. 6に、水温の計測結果を設定水量のグラフと合わせてFig. 7に示す。

降雨のない晴天の日の流出量は、流入量より少なかった。水生植物の蒸散作用によるものである。

窒素負荷量と硝酸性窒素除去量の関係をFig. 8に、水温と硝酸性窒素除去量の関係をFig. 9に示す。図中両括弧の数字は、いずれもTable 6の期間を表す。

9月23日の秋分の日を境に水温は低下し、水温の高かった期間(1)~期間(5)の間は、窒素負荷量の増加に追従して窒素除去量も増加した。期間(5)の窒素負荷量2.23g/㎡/dayのとき、硝酸性窒素除去は最大で1g/㎡/dayであった。

その後さらに窒素負荷を高めたが、除去量が増えることはなかった。

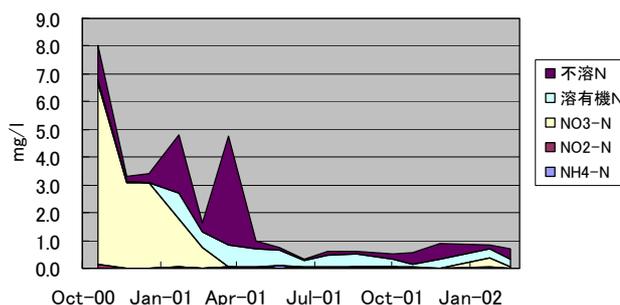


Fig. 4 C池の窒素成分(2000.10~2002.2)
Nitrogen Concentration in the Pond C

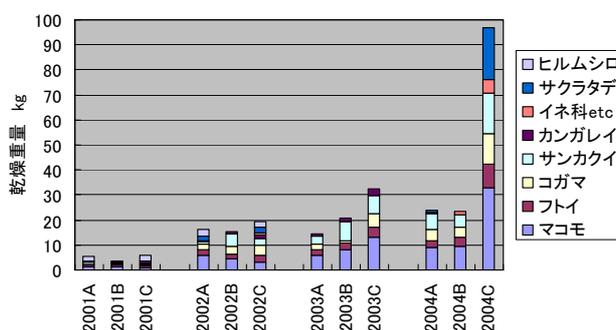


Fig. 5 水生植物の乾燥重量
Dry Weight of Aquatic Plants in the Biotope

Table 5 流入水質
Underground Water Quality

pH	6.8~7.2
EC	26~28mS/m
SS	0mg/L
COD	<0.5mg/L
TN	9~10mg/L
NO ₃ ⁻ -N	9~10mg/L
NO ₂ ⁻ -N	<0.01mg/L
NH ₄ ⁺ -N	<0.1mg/L
TP	<0.03mg/L
PO ₄ ³⁻ -P	<0.03mg/L

Table 6 流入水量と窒素負荷量の設定
Cases of Inflow Volume and Nitrogen Load

期間	流入量 m ³ /day	窒素負荷量 g/㎡/day
(1) 8/9 ~ 8/17	1.8	0.43
(2) 8/18 ~ 8/23	2.8	0.67
(3) 8/24 ~ 8/31	3.7	0.88
(4) 9/1 ~ 9/7	6.7	1.59
(5) 9/8 ~ 9/16	9.4	2.23
(6) 9/17 ~ 10/7	11.9	2.83
(7) 10/8 ~ 10/22	12.9	3.06
(8) 10/23 ~ 10/29	6.7	1.59
(9) 10/30 ~ 11/6	6.8	1.62
(10) 11/7 ~ 11/17	7.4	1.76
(11) 11/18 ~ 11/25	7.2	1.71

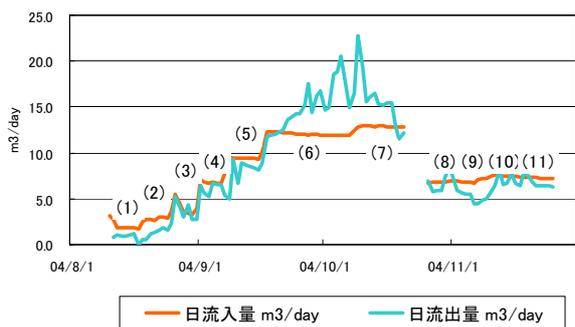


Fig. 6 流入量, 流出量の計測結果
Results of Amount of Inflow and Outflow

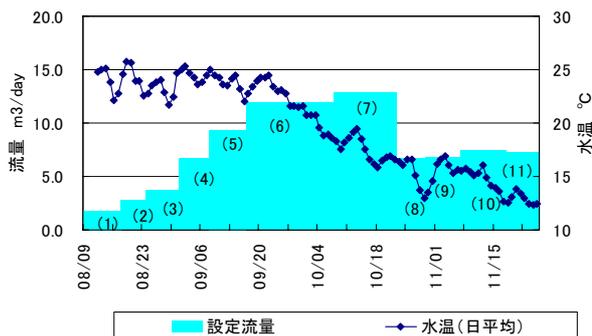


Fig. 7 設定水量と水温計測結果
Settings of Inflow and Measurement Results of Water Temperature

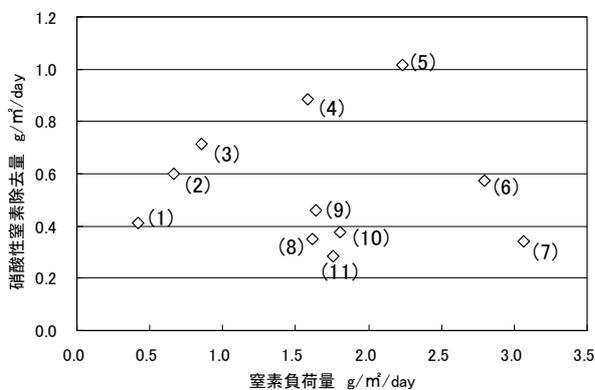


Fig. 8 窒素負荷量と硝酸性窒素除去量の関係
Relation between Nitrogen Loads And Amount of Nitric Removal

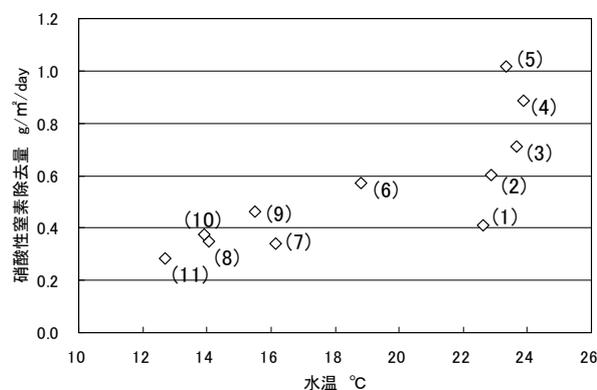


Fig. 9 水温と硝酸性窒素除去量の関係
Relation between Water Temperatures And Amount of Nitric Removal

実験終了後の2005年2月に刈り取った水生植物の窒素成分を分析し、乾燥重量と掛け合わせて、水生植物による窒素吸収量を求めたところ、池全体で1085gの窒素量になった。池の面積を40m²、生育期間を180日とすると、0.15g/m²/dayになる。水生植物による窒素吸収量は文献値でも0.2 g/m²/day程度であり⁵⁾、植物による吸収量以上の窒素除去量が確認できた。

窒素の除去量は、水温との相関が認められ、水中での脱窒素作用によるものと示唆された。

6. おわりに

トンボ池をはじめとした生き物の生息環境を整備するビオトープの取り組みによって、技研の自然環境が豊かになっていることが確認できた。

また、生き物の生息環境としての機能のほかに、トンボ

池は雨水の流出抑制を図ることができ、硝酸性窒素濃度の高い地下水の水質浄化が可能であることが分かった。

これらのトンボ池の機能を、都市の水環境を改善するために提案し役立てていきたい。

参考文献

- 1) 武内和彦・横張真, 農村生態系におけるビオトープの保全・創出, 農村環境とビオトープ, 養賢堂 5-16(1993)
- 2) 勝野武彦, 水辺環境整備におけるビオトープ保全, 農村環境とビオトープ 養賢堂 67-91(1993)
- 3) 石田昇三・石田勝義・小島圭三・杉村光俊, 日本産トンボ幼虫成虫検索図鑑 17-133 東海大学出版会(1988)
- 4) 寺井学・丸山清, 人工湿地(水生植物帯)における硝酸性窒素の除去量評価, 第39回日本水環境学会年会講演集 129 (2005)
- 5) 桜井善雄, 水辺の緑化による水質浄化, 公害と対策, 24, 899-909 (1988)