

大阪府内の小・中・高等学校ビオトープ内人工池の水質環境と維持管理法の調査

山本勝博*・橋 淳治*

1. はじめに

近年の急激な都市化の進む大阪府内においては、小・中・高等学校で、多様な生物の生息空間の創造と学校教育への場の活用を意図して、積極的に学校内にビオトープを作ることが多くなってきた。

そもそもビオトープとはドイツ語の生物を表すbioと場所を表すtopeとの合成語で、日本語では野生生物の生息空間と訳されることが多い。一般的には自然が復元された場所や人為的に保全された自然環境のほか、人工的なミニ生態系を創造することを意味することもある。

大阪府内の学校ビオトープの特徴としては、人工池を中心に生物の生息環境を整備しているものが多い。そこで、本研究では、学校ビオトープの人工池の水質環境の把握とその維持管理に焦点を絞り、各種の水質調査をはじめとしてアンケート調査も行った。

2. 調査地点及び方法

2003年2月12日、2月19日、2月25日に、大阪府内の13か所の小・中・高等学校においてビオトープ内人工池の水質調査を行った(図1)。また、調査を行ったビオトープの写真と学校名は図2に示した。

調査項目は、基本項目として天候、気温、水温、人工池の水深、水量、大きさ、池の色、透視度、pH、R-pH、電気伝導度、溶存酸素を、汚濁関連項目としてはCOD(化学的酸素要求量)、BOD(生物化学的酸素要求量)、波長260nmの紫外線吸光度を、主要イオンとしては、ナトリウムイオン、カリウムイオン、マグネシウムイオン、カルシウムイオン、炭酸イオン、塩化物イオン、硝酸イオン、硫酸イオンを、栄養塩類としてはアンモニア態窒素、亜硝酸態窒素、硝酸態窒素、DIP(リン酸態リン)、ケイ酸態ケイ素を、溶存有機物としてはDON(溶存有機窒素)、DOP(溶存有機リン)を、懸濁物

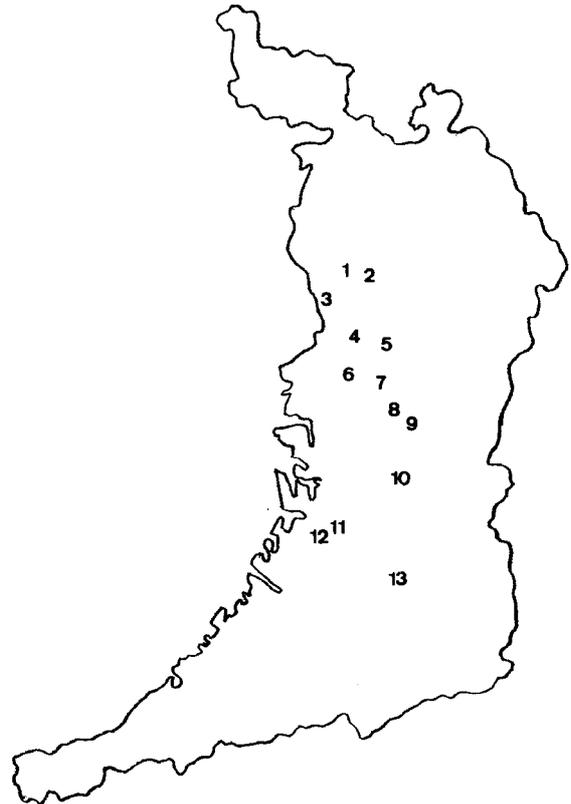


図1 ビオトープ調査地点
各々の地点番号の学校名は図2に示した

としてはPN(懸濁態有機窒素)、PP(懸濁態有機リン)、クロロフィル及びフェオフィチンを、細菌類としては一般細菌、大腸菌群、大腸菌O-157を、金属としてはアルミニウム、六価クロム、全鉄、二価鉄、マンガン、ニッケル、亜鉛を、その他の項目としてはヒ素、残留塩素、シアン、フッ素、ホルムアルデヒド、過酸化水素、フェノール、硫化水素など多項目である。

試水は、ビオトープ内人工池の中央部分の表面水をポリバケツにて採取し、pH、電気伝導度、溶存酸素を測定した。また、試水の一部は化学分析のためにポリエチレンビンに入れて持ち帰り、ワットマン社のガラスファイバーフィルター(GF/C)でろ過し、ろ液及びろ紙は-20にて冷凍保存した。ケイ酸態ケイ素については、TOYOのNo.5Cペーパー

* 大阪府教育センター



- Sta. 1 豊中市立第十五中学校
- Sta. 2 吹田市立山手小学校
- Sta. 3 大阪市立千成小学校
- Sta. 4 大阪市立榎本小学校
- Sta. 5 大阪市立鯉江中学校
- Sta. 6 大阪市立大田小学校
- Sta. 7 大阪市立白鷺中学校

- Sta. 8 大阪市立東田辺小学校
- Sta. 9 大阪市立喜連北小学校
- Sta. 10 大阪府立平野高等学校
- Sta. 11 大阪府立大学
- Sta. 12 堺市立土師小学校
- Sta. 13 大阪狭山市立第七小学校

図2 ビオトープの写真

フィルターでろ過し、分析まで冷暗所に保管した。

pHはガラス電極pH計(堀場製作所:カスターACT pHメータD25)で、電気伝導度は同社のTwin EC計で、溶存酸素は溶存酸素計(島津製作所:MO-128-10M)で測定した。冷凍保存したサンプルについて、アンモニア態窒素はSagi(1966)のインドフェノール法¹⁾で、亜硝酸態窒素はBendschneider and Robinson(1951)のN-1- -ナフチルエチレンジアミン法²⁾で、硝酸態窒素は西条・三田村(1995)硫酸ヒドラジン還元法³⁾で、リン酸態リンはMurphy and Riley(1962)のアスコルビン酸還元法⁴⁾で、尿素態窒素はNewellら(1967)のジアセチル尿素法⁵⁾、溶存有機窒素[DON]と懸濁態窒素[PN]はアルカリ性過硫酸カリウム分解-硫酸ヒドラジン法で、溶存有機リン[DOP]と懸濁態リン[PP]はMenzel and Cowin(1965)の過硫酸カリウム分解-リンモリブデン法⁶⁾で測定した。ケイ酸態ケイ素は、Mullin and Riley(1955)のモリブデン青法⁷⁾で測定した。

クロロフィルはSCOR and UNESCO(1966)及びLorenzen(1968)の吸光光度法⁸⁾⁹⁾、一般細菌及び大腸菌群は寒天培地による平板培養法¹⁰⁾¹¹⁾で、大腸菌O-157はWakoの金コロイド抗原抗体反応法を用いた検査キットで測定した。

主要イオンはイオンクロマトグラフ(島津製作所:PIA1000型)で、金属及びその他の水質については、簡易水質検査キットのパックテストを用いて測定した。

学校での利用を考えて、ピオトープにおける簡易的な水質指標の検討を行った。

また、ピオトープの調査時に資料に示したアンケート用紙で回答を依頼し、学校におけるピオトープ活用の目的、教育的活用、維持管理法、生物相や周辺環境などについて調査を行った。

3. 結果と考察

(1) 水質調査結果

調査したピオトープ内人工池は大阪府の北から南に向かってSta.01からSta.13とした人工池の概要は表1に示したが、大きさや水深も様々であった。人工池の水質基本項目を表2、表3に示した。透視度は水深の浅い関係もあって小さいものが多かった。池の色は、簡易水質調査用として市販されている池の色標準色表を用いたが、春先の季節でもあり茶色系統のものが多かった。pHは中性からアルカリ性、

EC(電気伝導度)は河川水に比べてやや高い傾向であった。DO(溶存酸素)は飽和しているものが

表1 ピオトープ内人工池の概要

調査地点	調査日	天候	気温	水温	水深 cm	大きさ m	水量
Sta.01	2003.2.25	晴	14.5	9.2	100	5×12	多い
Sta.02	2003.2.25	晴	12.6	8.4	32	3×4	多い
Sta.03	2003.2.25	晴	9.5	5.7	18	4×5	多い
Sta.04	2003.2.19	曇	12.0	8.2	45	4×7	多い
Sta.05	2003.2.19	晴	13.3	9.2	20	3×4	多い
Sta.06	2003.2.19	曇	12.0	8.4	20	3×8	多い
Sta.07	2003.2.25	晴	13.3	8.2	25	1.5×10	多い
Sta.08	2003.2.19	晴	13.6	11.5	30	5×12	多い
Sta.09	2003.2.19	晴	8.6	10.7	30	2×20	多い
Sta.10	2003.2.25	晴	12.0	10.7	70	6×150	多い
Sta.11	2003.3.11	晴	4.5	7.2	50	5×30	多い
Sta.12	2003.2.12	曇	12.4	8.0	30	5×3	中
Sta.13	2003.2.12	曇	10.1	7.7	30	3×8	少ない

表2 ピオトープ内人工池の水質基本項目(1)

調査地点	透視度 cm	池の色	表面色 (L*)	表面色 (a*)	表面色 (b*)
Sta.01	38.0	60-60	63	28	-26
Sta.02	32.0	80-60	58	23	-37
Sta.03	28.5	60-60	63	28	-26
Sta.04	30.0	60-60	63	28	-26
Sta.05	82.0	40-40	73	18	-16
Sta.06	100	20-40	81	23	-5
Sta.07	56.5	80-60	58	23	-37
Sta.08	60.0	60-60	63	28	-26
Sta.09	19.0	80-60	58	23	-37
Sta.10	11.5	60-40	71	14	-22
Sta.11	87.0	80-60	58	23	-37
Sta.12	57.8	40-40	73	18	-16
Sta.13	22.0	80-60	58	23	-37

表2 ピオトープ内人工池の水質基本項目(1)

調査地点	pH	RpH	EC μs/cm	DO mgO ₂ /L	COD-PT mgO ₂ /L	BOD mgO ₂ /L	UV ₂₅₄
Sta.01	7.4	7.5	199	5.5	15	10.4	0.139
Sta.02	8.0	7.8	390	10.6	70	70.4	0.319
Sta.03	7.6	7.7	173	9.8	10	8.8	0.116
Sta.04	8.0	7.8	320	10.2	10	11.2	0.120
Sta.05	8.3	7.6	270	15.0	15	8.0	0.114
Sta.06	7.4	7.5	240	10.2	1	0.8	0.001
Sta.07	9.0	8.1	290	8.4	8	5.6	0.075
Sta.08	8.9	7.8	230	10.9	3	1.6	0.008
Sta.09	8.0	7.6	250	11.7	5	2.4	0.028
Sta.10	8.9	8.3	540	12.3	8	13.6	0.135
Sta.11	7.7	7.7	153	10.3	-	9.7	0.101
Sta.12	6.9	7.1	132	8.0	10	9.6	0.131
Sta.13	7.5	7.6	191	8.4	50	27.8	0.196

表3 ピオトープ内人工池の水質基本項目(2)

多く、BODは様々であった。また、後で述べるようにUV₂₆₀(波長260nmの紫外吸収の吸光度)とBODには相関がみられた。

人工池の主要陽イオン及び陰イオンの測定結果を、表4、表5に示した。

主要イオンは地質の影響、地下水の影響、流入水の影響を反映しているため、ビオトープ内人工池の水の起源を知る手がかりとして重要である。

雨水を主な水源としているSta.03, Sta.06, Sta.13では主要イオンは低い傾向であり、地下水などを水源としているSta.02, Sta.10では高い傾向であった。

表4 ビオトープ内人工池の主要陽イオン

調査地点	Na+ mg/L	K+ mg/L	Mg ²⁺ mg/L	Ca ²⁺ mg/L	陽イオン総量 mg/L
Sta.01	9.30	3.23	2.34	17.6	32.4
Sta.02	6.61	4.51	3.00	33.7	47.8
Sta.03	2.35	1.77	1.08	17.7	22.9
Sta.04	9.80	3.59	1.85	26.2	41.5
Sta.05	9.76	2.60	2.54	22.6	37.5
Sta.06	12.13	2.18	1.75	12.0	28.0
Sta.07	7.06	2.25	1.44	25.4	36.1
Sta.08	10.01	1.85	1.60	10.9	24.3
Sta.09	11.26	1.69	1.58	10.8	25.4
Sta.10	4.93	0.73	5.63	52.4	63.7
Sta.11	19.11	3.13	2.57	15.4	40.3
Sta.12	5.86	2.82	1.71	17.6	27.9
Sta.13	8.17	3.64	2.87	20.6	35.3

表5 ビオトープ内人工池の主要陰イオン

調査地点	HCO ₃ ⁻ mg/L	Cl ⁻ mg/L	NO ₃ ⁻ mg/L	SO ₄ ²⁻ mg/L	陰イオン+ HCO ₃ mg/L	総イオン mg/L
Sta.01	75.6	32.6	ND	19.5	127.6	160.0
Sta.02	162.9	25.0	ND	4.8	192.8	240.6
Sta.03	69.5	11.3	ND	9.2	90.0	112.9
Sta.04	109.2	25.1	ND	21.5	155.8	197.3
Sta.05	102.5	29.4	ND	14.1	146.1	183.6
Sta.06	42.1	25.4	6.58	36.3	110.4	138.4
Sta.07	117.7	21.9	ND	6.9	146.6	182.7
Sta.08	40.3	23.0	5.64	33.7	102.6	309.6
Sta.09	41.5	27.1	4.56	42.0	115.2	140.6
Sta.10	112.9	79.6	1.51	85.9	279.9	343.6
Sta.11	38.4	15.5	4.31	23.8	82.1	122.4
Sta.12	64.7	14.3	ND	12.9	92.0	119.9
Sta.13	86.6	18.9	ND	10.2	115.7	151.0

さらに、主要イオン間の相関を計算したものを表6に示した。

カルシウムイオンと炭酸水素イオン、塩化物イオン、マグネシウムイオン、およびマグネシウムイオンと塩化物イオン、また、塩化物イオンと硫酸イオンとのそれぞれの間には相関がみられた(相関係数

表6 主要イオン間の相関係数行列

表6 主要イオン間の相関係数行列

	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	Mg ²⁺	Ca ²⁺	K ⁺	Na ⁺
Na ⁺	0.24	0.0021	0.042	0.0094	0.20	0.040	
K ⁺	0.15	0.49	0.23	0.020	0.010		
Ca ²⁺	0.57	0.19	0.61	0.69			
Mg ²⁺	0.17	0.42	0.73				
Cl ⁻	0.092	0.72					
SO ₄ ²⁻	0.033						
HCO ₃ ⁻							

R² = 0.57 ~ 0.73 の範囲)。

また、電気伝導度と主要イオン総量との関係を調べたものを図3に示した。電気伝導度は水中のイオン総量と対応関係があり、今回のビオトープ内人工池の水質においても相関係数が0.6程度で、相関がみられた。

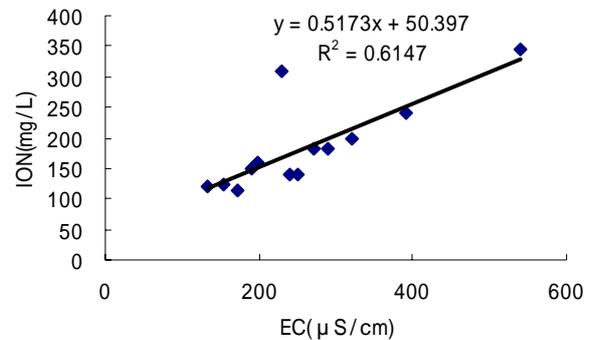


図3 電気伝導度と主要イオン総量との相関

人工池の窒素の分析結果を表7に示した。また、DIN(無機態全窒素)に占める各態の無機態窒素の割合と、TN(全窒素)に占める各態窒素の割合とを計算したものをそれぞれ図4、図5に示した。

表7 ビオトープ内人工池における窒素

調査地点	アンモニア µg-at/N/L	亜硝酸 µg-at/N/L	硝酸 µg-at/N/L	DIN µg-at/N/L	DON µg-at/N/L	PN µg-at/N/L	TN µg-at/N/L	尿素 µg-at/N/L
Sta.01	3.00	0.09	5.9	9.0	13.1	14.9	37.0	4.4
Sta.02	2.89	0.17	21.3	24.4	29.3	30.5	84.2	9.8
Sta.03	2.49	0.32	16.6	19.4	27.9	48.7	96.0	5.9
Sta.04	2.84	0.43	10.5	13.8	32.7	25.7	72.2	7.9
Sta.05	4.01	0.19	12.6	16.8	24.7	15.7	57.2	6.0
Sta.06	3.86	0.13	9.2	13.2	11.7	8.2	33.1	2.8
Sta.07	2.79	0.35	13.2	16.3	18.8	16.5	51.6	3.9
Sta.08	3.91	0.26	23.4	27.6	19.5	13.8	60.9	4.5
Sta.09	2.74	0.15	7.7	10.6	25.4	18.0	54.0	6.6
Sta.10	6.09	1.41	38.3	45.8	24.4	34.6	104.8	8.8
Sta.11	1.68	0.19	14.3	16.2	15.6	11.8	43.6	3.1
Sta.12	2.84	0.11	16.3	19.3	18.4	9.4	47.1	3.1
Sta.13	3.76	0.11	18.8	22.7	25.9	44.4	93.0	5.6

DIN: 溶存無機態全窒素, DON: 溶存有機窒素, PN: 懸濁態窒素
TN: 全窒素

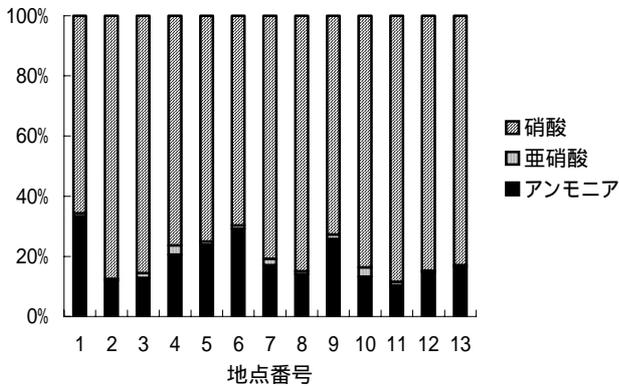


図4 無機態全窒素に占める各態窒素の割合

DIN (溶存無機態全窒素)の値は人工池により様々であったが、DINの大半は硝酸態窒素で占められていた。これは、春先の水温の低い時期でもあり、また、溶存酸素が高い結果とも合わせて考えると、硝化が比較的順調に進行しているためであると考えられる。

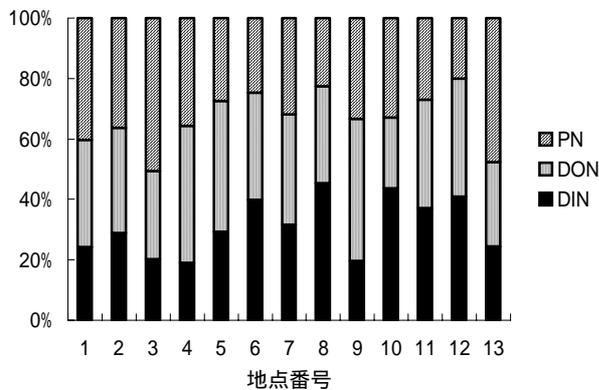


図5 TN (全窒素) に占める各態窒素の割合

DON (溶存有機窒素)やPN (懸濁態窒素)がTN (全窒素)に占める割合が高い結果であったが、これは人工池内の生物量が高く、その生物自身や生物の排泄物(分解物)などが多いためと考えられる。

動植物の排泄物や植物の窒素源としても重要な尿素態窒素も天然の湖沼に比べて高い結果であった。これも、ビオトープ内人工池の生物量(密度)が高いためであろうと思われる。

人工池のリンとケイ酸の分析結果を表8に示した。また、全リンに占める各態リンの割合を計算したも

のを図6に示した。

DOP(溶存有機リン)の値は人工池による差はあまり見られなかったが、DIP(リン酸態リン)、
表8 ビオトープ内人工池におけるリンとケイ酸

調査地点	DIP μg-at.P/L	DOP μg-at.P/L	PP μg-at.P/L	TP μg-at.P/L	ケイ酸 μg-at.Si/L
Sta.01	0.56	0.36	1.32	2.24	112
Sta.02	2.28	0.51	1.04	3.83	547
Sta.03	0.46	0.40	4.80	5.66	109
Sta.04	0.46	0.40	2.56	3.42	44
Sta.05	0.51	0.38	0.67	1.56	238
Sta.06	0.46	0.21	0.24	0.91	224
Sta.07	1.02	0.42	0.88	2.32	85
Sta.08	0.46	0.36	0.90	1.72	204
Sta.09	0.51	0.44	1.78	2.73	279
Sta.10	0.61	0.38	3.79	4.78	167
Sta.11	0.23	0.21	0.22	0.66	102
Sta.12	0.46	0.26	0.96	1.68	51
Sta.13	0.91	0.46	3.34	4.71	88

DIP: リン酸態リン, DOP: 溶存有機リン, PP: 懸濁態リン,
TP: 全リン

PP(懸濁態リン)は池により様々であった。特に濁度の高い(透視度の低い)Sta.02, Sta.09, Sta.10, Sta.13などではDIP, PP共に高い傾向であった。

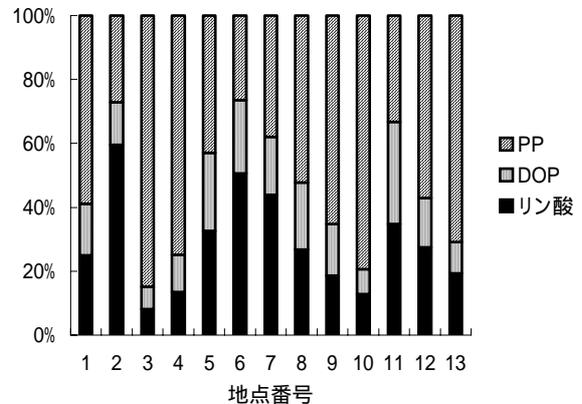


図6 PP (全リン) に占める各態リンの割合

ケイ酸態ケイ素は、地下水を主な水源としているSta.02や水を砂礫層を通して循環させているSta.06, Sta.08, Sta.09で高い傾向であった。

さらに、DINとDIPとの比、DONとDOPとの比、PNとPPとの比、全窒素と全リンの比をそれぞれ計算したものを表9に示した。

DIN/DIPは11~70(平均36), DON/DIPは36~82(平均61), PN/PPは9~54(平均19) TN/TPは17~66(平均28)であった。

水圏におけるTN/TPの平均は16程度であるた

め、これに比較するとピオトープ内人工池のTN/TPは高い傾向であり、リンに比べて窒素が過剰に存在していた。

表9 ピオトープ内人工池の窒素とリンの比

調査地点	DIN/DIP	DON/DOP	PN/PP	TN/TP
Sta.01	16.1	36.4	11.3	16.5
Sta.02	10.7	57.5	29.3	22.0
Sta.03	42.2	69.8	10.1	17.0
Sta.04	29.9	81.8	10.0	21.1
Sta.05	32.9	65.0	23.4	36.7
Sta.06	28.7	55.7	34.2	36.4
Sta.07	16.0	44.8	18.8	22.3
Sta.08	59.9	54.2	15.3	35.4
Sta.09	20.8	57.7	10.1	19.8
Sta.10	75.1	64.2	9.1	21.9
Sta.11	70.3	74.3	53.6	66.0
Sta.12	41.8	70.8	9.8	28.0
Sta.13	24.9	56.3	13.3	19.7

DIN: 溶存無機態全窒素, DON: 溶存有機窒素 PN: 懸濁態窒素, TN: 全窒素, DIP: リン酸態リン, DOP: 溶存有機リン, PP: 懸濁態リン, TP: 全リン

人工池のクロロフィルの分析結果を表10に示した。人工池に存在する植物プランクトンの組成を推定するためにクロロフィルa, クロロフィルb, クロロフィルcの定量と共にその割合を計算した。さらに, 植物プランクトンの活性を推定するために活性のあるクロロフィルa (CHL.A) とフェオ色素 (PHAEO.A) を定量し, これらの合計に対する活性のあるクロロフィルaの割合を計算した。この結果は表11に示した。

表10 ピオトープ内人工池のクロロフィル量

調査地点	Chl.a	Chl.b	Chl.c ($\mu\text{g/L}$)	CHL.A	PHAEO.A
Sta.01	3.67	3.02	7.27	2.14	3.84
Sta.02	1.66	1.03	4.14	0.53	2.08
Sta.03	37.69	10.41	25.68	28.84	11.53
Sta.04	15.02	7.97	4.26	12.28	4.91
Sta.05	2.52	0.89	12.87	2.14	1.98
Sta.06	1.65	1.99	6.99		6.27
Sta.07	1.33	1.05	2.83	2.14	
Sta.08	2.4	2.34	6.16	4.01	
Sta.09	1.93	1.29	4.42	0.36	2.63
Sta.10	6.24	4.09	7.62	4.27	5.07
Sta.11	1.69	0.89	1.58	1.05	1.29
Sta.12	1.43	1.11	4.25	2.14	0.11
Sta.13	24.22	6.83	22	19.76	7.53

chl.a: クロロフィルa, chl.b: クロロフィルb, chl.c: クロロフィルc, CHL.A: 活性のあるクロロフィルa, PHAEO.A: フェオフィチン

植物プランクトンの現存量の目安になるクロロフィルaは1.3~37.7(平均7.8 $\mu\text{g-chl.a/L}$)であり, この値は水温の低い時期の一般の湖沼と比較して高い値であった。また, クロロフィル全体に占めるクロロフィルa, クロロフィルb, クロロフィルcの割合は平均するとそれぞれ31%, 18%, 51%であった。クロロフィルcの割合が高いのは, ケイ藻類が優占している結果と考えられる。

表11に示した活性のあるクロロフィルaの割合は20%~95%(平均55%)であった。

調査したピオトープ内人工池については, 日当りの良い場所にある人工池ほど活性のあるクロロフィルaの割合が高い傾向であり, これは日当たりの良い所ほど光合成が盛んに行われ, 植物プランクトンが増殖しているためと考えられる。

表11 ピオトープ内人工池のクロロフィルの割合

調査地点	Chl.a(%)	Chl.b(%)	Chl.c(%)	活性クロロフィル(%)
Sta.01	26	22	52	36
Sta.02	24	15	61	20
Sta.03	51	14	35	71
Sta.04	55	29	16	71
Sta.05	15	5	79	52
Sta.06	16	19	66	
Sta.07	26	20	54	
Sta.08	22	21	57	
Sta.09	25	17	58	12
Sta.10	35	23	42	46
Sta.11	41	21	38	45
Sta.12	21	16	63	95
Sta.13	46	13	41	72
平均	31	18	51	52

人工池の細菌類の測定結果を表12に示した。

一般細菌は $5.9 \times 10^3 \sim 8.8 \times 10^4$ 個/ml程度であり, 有機汚濁の指標であるBODや栄養塩類の高い人工池ほど一般細菌は多い傾向であった。大腸菌群も0~130個/ml程度であったが, ピオトープ内の人工池は, 一般のため池などとは異なり, 生物の住みかの提供や学校教育を目的とするため, 水源としては地下水, 雨水のほか水道水などを用いており, 下水などの流入が無い。そのため, 定量された大腸菌群の多くは糞便性大腸菌群ではなく, 大腸菌に性質のよ

く似た *Klebsiell neumoniae* などの土壌細菌が主であるとされる。また、最近問題となっている病原性の大腸菌 O-157 は検出されなかった。

表 12 ビオトープ内人工池の細菌類

調査地点	一般細菌 個/ml	大腸菌群 個/ml	大腸菌 O-157 個/ml
Sta.01	29,000	41	ND
Sta.02	68,000	11	ND
Sta.03	22,000	35	ND
Sta.04	7,400	10	ND
Sta.05	19,000	21	ND
Sta.06	3,200	0	ND
Sta.07	88,000	30	ND
Sta.08	5,900	2	ND
Sta.09	14,000	15	ND
Sta.10	81,000	130	ND
Sta.11	15,200	16	ND
Sta.12	11,000	9	ND
Sta.13	42,000	31	ND

ND:検出されず

簡易法で測定した金属などについては、Sta.06 で全鉄が、Sta.10 で全鉄、二価鉄、マンガン、亜鉛が少量検出されたが、重金属、有害物質などは検出されなかった。

(2) ビオトープにおける水質指標

公定法による多項目の化学的な水質調査を行うことにより、ビオトープ内人工池の水質実体は明らかになると期待される。しかしながら、学校においては設備面、操作面や費用面において公定法を実施するのは困難である。また、教科の授業や環境教育関連で児童生徒に公定法で調査を行わせることは難しい。そこで、公定法に代わる簡易的な方法を選択したり、水質指標を見いだすことが重要になってくる。ここでは、測定の容易な項目と窒素やリンなどの汚濁物質と関連の深いものについて検討を行った。

透視度は水中の懸濁物量によって低下すると考えられ、透視度が低いほど動植物プランクトンやこれらの分解途上であるデトリタスなどの有機物や粘土を主とする無機物が多いと考えられる。

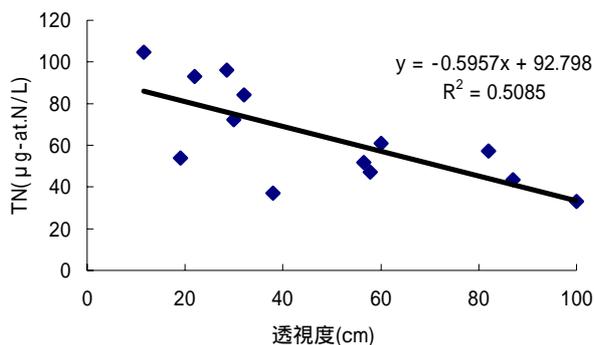


図 7 透視度と全窒素の相関

透視度と TN (全窒素) の関係を図 7 に示した。透視度と TN (無機態全窒素、溶存有機窒素、懸濁態窒素の合計) には相関係数が 0.51 の相関がみられた。

透視度と全リンの関係を図 8 に示した。透視度と全リン (リン酸態リン、溶存有機リン、懸濁態リンの合計) との間には相関係数が 0.71 の相関がみられた。

河川や湖沼での有機汚濁指標として全リンと全窒素が使われており、これらはビオトープ内人工池においては透視度との相関が認められたので、有機汚濁の水質指標として透視度は有効と考えられる。

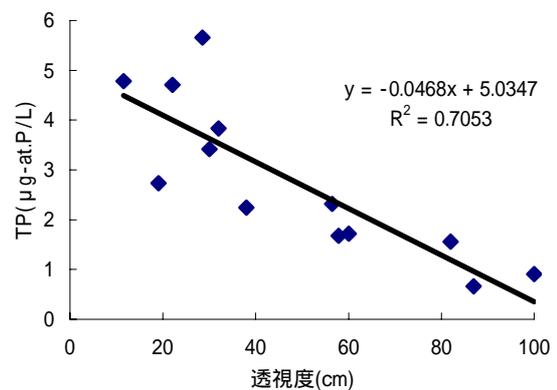


図 8 透視度と全リンの相関

BOD や COD は、微生物や酸化剤を用いて水中の有機物を酸化するときに必要な酸素の量を示すもので、水中の有機物量が多いほど、これらの値は高くなるものである。

特に湖沼の有機汚濁の指標としては BOD が用いられているが、BOD は測定までに 5 日間の時間を要する上に、試水の希釈操作や溶存酸素計またはウインクラ法によって溶存酸素を測定する必要があり、学校で行うには困難な点が多い。

有機汚濁の指標として確立されたものではないが、水域を特定すると UV₂₆₀ (260nm の紫外外部吸収) が水中の有機物量と相関が高いことが報告されている¹²⁾¹³⁾。

UV₂₆₀ は分光光度計を必要とするが、試水を無処理で紫外外部吸収を測定すれば結果が得られる。最近では分光光度計を用いなくても安価な紫外外部吸収装置が市販されているので、学校においても利用が可能である。

ビオトープ内人工池の BOD と UV₂₆₀ との関係について考察を行った。Sta. 2 と Sta. 13 のように極端に BOD の高い地点の試水は、懸濁物が多いため、本法のように溶液の紫外外部吸光度を計る方法では、

溶存性の有機物の吸光度は得られても懸濁性の有機物の吸光度が過小に評価される可能性が考えられる。事実、今回の結果においても、BODとUV₂₆₀との関係を調べてみると、両地点のUV₂₆₀は低い結果であった(図9)。

懸濁物の多い試水中の有機物を推定するためにUV₂₆₀を測定するには、試水に予め分解剤を加えるなどの前処理をして懸濁物中の有機物を溶かしておく必要があると考えられる。

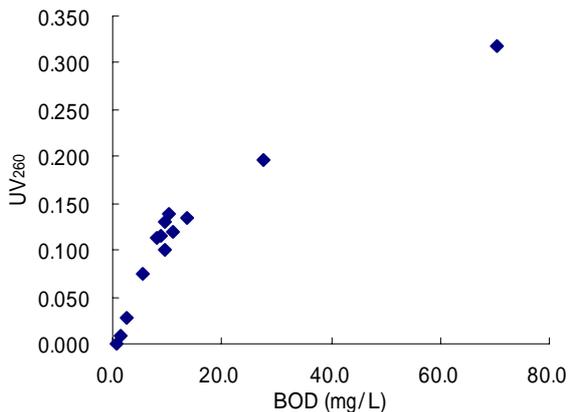


図9 BODとUV₂₆₀の関係

そこで、懸濁物の多いSta. 2とSta. 13を除いて、BODとUV₂₆₀との相関を調べてみると、相関係数が0.91の強い相関が認められ、グラフも原点付近を通過していた(図10)。このことから、ビオトープ内人工池においてもUV₂₆₀はBODに代わる水質指標として使える可能性が考えられる。

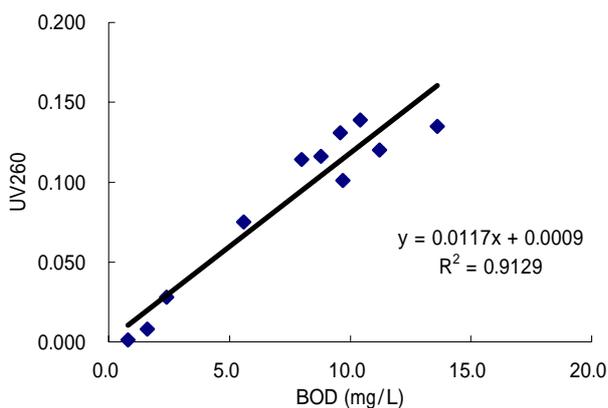


図10 BODとUV₂₆₀の相関

次に、簡易水質検査キットとして以前から学校で広く使われているパケットによるCOD(以下COD-PTと呼ぶ)とBODとの関係、COD-PTとUV₂₆₀の関係についてそれぞれ調べた。パケ

テストはポリエチレンチューブ内に試薬が入っており、そのチューブに差し込まれているプラスチック製のピンを抜いて穴を空け、試水を吸い込んで比色定量するもので、多くの水質項目に対応するものが市販されている。パケットは安全かつ簡易で使いやすく、しかも公定法に準じた試薬や分析法を採用しているため比較的正確なデータが得られるが、難点としては、多くのサンプルを測定する場合にはコストが高くなる。

COD-PTとBODの相関を図11に示した。

COD-PTとBODとの相関は、相関係数が0.89の強い相関が認められた。また、グラフも原点付近を通過しており、BODに代わる指標として使える可能性がある。

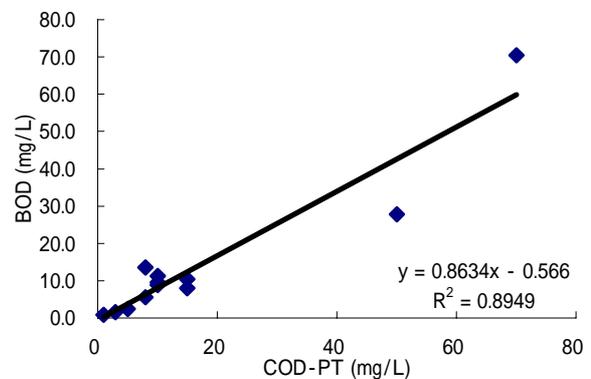


図11 COD-PTとBODの相関

COD-PTとUV₂₆₀との相関を図12に示した。これもBODとUV₂₆₀との相関と同様の理由で、懸濁物の多い(CODの高い)Sta. 2とSta. 13を除いてCOD-PTとUV₂₆₀との相関関係を調べてみると、0.73の相関が認められた。

UV₂₆₀はCODに代わる水質指標としても使える可能性が考えられる。

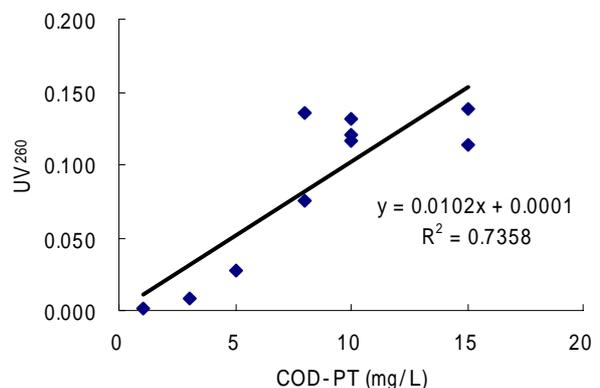


図12 COD-PTとUV₂₆₀の相関

(3) 学校ビオトープに関するアンケート調査結果

今回の調査に当たって、各学校ビオトープの担当者から資料に示したアンケートに対する回答を得た。その結果は以下の通りである。但し、解答が複数校から得られた場合はその数を()内に示した。

1. 学校ビオトープを活用する主な目的は何ですか、という問については、「観察、理科の授業で使う教材、環境教育、環境教育教材、トンボ池、生徒の身近に水辺や自然に近い植物のエリアを置くことで、通常の生活では見ることのない生物や風景を体験できること、学校の学習、地域のいこいの場、環境教育、理科、生活科の学習、クラブ活動(科学工作クラブ)、委員会活動(緑化委員会)、環境コースの授業、多様な生物の共生を体験、総合的な学習の一環として(環境教育)、自然の一部にふれる」などの回答が得られた。

2. 学校ビオトープには、どのような方が関わっておられますか、という問については、「校長、教頭、理科専科教諭、教諭、担任、生徒指導主事、技術職員、事務職員、自然観察クラブの児童、児童・生徒・学生、PTA、地域の方々」などの回答が得られた。

3. 学校ビオトープを整備、活用していく中で子どもたちの意識に変化がみられますか、という問については、「自然に関心を持つようになってきた。校区に自然が少ないため、貴重な自然観察の場となっている。休み時間などに水辺周辺で時間を過ごすなどするうちに、自ずと生物に関心をもつ者が増え、理科などでの発問への反応も増えている。自然環境について意識するようになってきた。自然園での学習では、常に新しい発見がある。自然とのふれあいを楽しむようになった。身近な植物や昆虫に興味を持つようになった。自然を意識する入り口として、見方の変化。」などの回答が得られた。

4. 学校ビオトープの維持・管理はどのようにされていますか、という問については、「PTAの協力を得ながら、校長を中心に管理している。子どもの委員会。児童の出入り自由、水生植物。主に、自然科学部生徒による水草の除去、落葉などの除去、水の補充。日常の管理は学校、機械の管理メンテナンスは地域、清掃はPTA。常時行う整備などは、年間計画に基づき、係または教職員全体で行う。清掃活動、委員会、クラブでの活動、作業もその活動時間に行う。全体的には、まだ造成中。水生植物を利用した水質浄化。4年生が『池保安員』としてチェックしている。教諭による維持・管理。」などの回答が得られた。

5. 水辺、樹木、草地の維持・管理の方法について、の問については以下の回答が得られた。

水辺の維持管理については、「PTAの委員を中心に、教職員で環境整備。ごみなどをとる。雨水パイプの点検。水草、落葉除去。ビオトープ委員会の児童と教職員。秋に落葉などの除去、ヨシ、ヒメガマなどの刈り込み。全体的には、まだ造成中。農学部事務室、農学部研究室および学生。湯水時に水道水を入れる。適宜管理。」などの回答が得られた。

樹木の維持管理については、「校務員が定期的に剪定、草刈り。そのまま。剪定。落葉を根元に集め、むやみに下草を刈ったりしない。校務員。数年に一度剪定する。全体的には、まだ造成中。特になし。伸びてきた枝は剪定。整枝。」などの回答が得られた。

草地の維持管理に関しては、「校務員が定期的に剪定、草刈り。そのまま。雑草抜き。ビオトープ委員会の児童と教職員。年に2、3回草取りを行う。年間数回草刈りを実施。現状維持。年に数回業者による刈り取り。草刈り。」などの回答が得られた。

6. 学校の立地条件、という問については、「市街地6校、新興住宅地(3)、農村地帯、埋立地、その他として住宅地(3)」という回答が得られた。

7. 学校ビオトープを整備されたのは、何年度ですか、という問については、「1993年、1998年、1999年、2000年、2006年完成予定」という回答が得られた。

8. 整備前はどのような環境でしたか、という問については、「グラウンド、学校農園、植え込み(3)、中庭(2)、その他として空き地、池、雑草園」という回答が得られた。

9. 学校ビオトープはどのような要素で構成されていますか、という問については、「池・湿地(10)、小川(3)、樹木(7)、草地(6)、生け垣、水田、その他として畑、園芸地」という回答が得られた。

10. 関連施設にはどのようなものがありますか、という問については、「雨水利用施設(2)、井戸、植え込み(3)、田畑(2)、飼育小屋、コンポスト(2)、その他として温室、東屋、植物による浄化設備」という回答が得られた。

11. 場所の選定で留意されたのはどのような点ですか、という問については、「子どもが気付きやすい場所。校門近くの前庭で校舎の北側、日当たりは悪いが、教室に近いことを重視した。学習園を残す。周りに草木がたくさんあり、比較的児童の出入りが

少ない所。広場がそこにしかなかった。」などの回答が得られた。

12. 種類が確認できた動物名と植物名，という問については，以下の回答が得られた。

動物名については，「メダカ（４），ブルーギル，ヤゴ（２），ヒルムシロ，イトトンボ類（２），シオカラトンボ（３），トンボ類，ドジョウ，ゾウリムシ，ワムシ，ミズムシ（２），オニヤンマ，シジュウカラ，フナ，コイ（２），モツゴ，アメリカザリガニ，ムクドリ（２），ウグイス（２），カラス，ハト，ヒヨドリ（３），ハクセキレイ（３），スズメ（２），ナミアゲハ，モンシロチョウ，ゴマダラシジミ，アオスジアゲハ，イチモンジセセリ，ツマグロヒョウモン，クロアゲハ，ルリタテハ，キタテハ，ヒメアカタテハ，コシアキトンボ，アキアカネ，オオカマキリ，コカマキリ，ハラビロカマキリ，クログキブリ，ナナホシテントウ，ニジュウヤホシテントウ，クマゼミ，イガラ，ガの仲間，ドバト，キジバト，アオサギ（２），コサギ，ゴイサギ，ハシブトガラス，メジロ，ジョウビタキ，カワラヒワ，ツグミの仲間，ホトトギス，ヤモリ，トカゲ，アマガエル，カエル，アオダイショウ（２），ダンゴムシ，ヤスデ，ムカデ，ナメクジ，アメンボ，ユスリカ，イトミミズ，ハイイロゲンゴロウ，マツモムシ，フタバカゲロウ」などの回答が得られた。

植物名については，「ハス（２），ガマ，コウホネ，オギ，アオミドロ（２），セリ（２），ミゾソバ，ツツミモ，クロモ，ヨシ（４），クスノキ（２），モミジ，ソメイヨシノ，ツバキ，マツ，モクレン，フキ，ハナショウブ，ホテイアオイ，フトイ，オモダカ，ヒツジグサ，ヨモギ，コオニタビラコ，オニタビラコ，セイヨウタンポポ（２），ノゲシ，ハルジオン，ヒメジオン，ハハコグサ，チチコグサ，チチコグサモドキ，ウラジロチチコグサ，ホトケノザ，カラスノエンドウ，スズメノエンドウ，カスマグサ，コメツブツメクサ，レンゲ，シロツメグサ，ナズナ，オランダミナグサ，ハコベ，キュウリグサ，キキョウソウ，オオイヌノフグリ，タチイヌノフグリ，スマレ，コナスビ，オオバコ，ヤエムグラ，ニワゼキショウ，ネズミムギ，スズメノテッポウ，スズメノカタビラ，カモジグサ，ナガハグサ，ヒメコバンソウ，イヌムギ，スギナ，スズメノヤリ，シラスゲ，アオスゲ，ヒトモトススキ，セイバンモロコシ，エノコログサ，オオエノコログサ，オヒシバ，メヒシバ，ニワホコリ，ホソムギ，コマツヨイグサ，イヌホオズキ，クララ，クサイ，ネジバナ，ヘクソカズ

ラ，コゴメカヤツリ，クグカヤツリ，テンツキ，タマガヤツリ，メリケンガヤツリ，シロザ，ツユクサ，ドクダミ，スベリヒユ，ツメクサ，コニシキソウ，エノキグサ，イヌガラシ，コモチマンネングサ，トキワハゼ，ヤブガラシ，ヨウシュヤマゴボウ，スイレン（２），ヒメガマ，キショウブ，ノハナショウブ，ミカン」などの回答が得られた。

13. 移植された動物名，という問については，「メダカ（４），ブルーギル（２），ウズバキトンボ，カダヤシ，ゲンジボタル，コイ（２），ヤゴ（プールから採ったもの），ウサギ，アヒル，カモ」などの回答が得られた。

14. 移植された植物名，という問については，「ハス（３），水草数種，カキツバタ，クロモ（２），ヨシ（２），フトイ，オモダカ，コブシ，ツバキ，ビワ，スギ，ガマ，パピルス」などの回答が得られた。

上記の学校ビオトープに関するアンケート結果から，次のようなことが分かった。

【子どもたちの意識に変化】として，自然に目が向くようになってきた。自ずと生物に関心をもつ者が増え，理科などでの発問への反応も増えている。

自然園での学習では，常に新しい発見がある。などの回答が得られ，ビオトープ活用の効果が表れている。

【学校ビオトープの整備】は，1998年以降が多く，近年整備されている。

【学校ビオトープの構成要素】には，ほとんど池・湿地が含まれ，樹木や草地も多い。

【場所選定での留意事項】としては，「子どもの目にふれやすい場所，教室に近いことを重視した。」という積極的な意見と「広場がそこにしかなかった。」や「特に理由はない。」といった消極的な意見があった。

【移植された動植物】は，現在，種類が確認された動植物に対して非常に少ないことも分かった。

4. まとめ

学校ビオトープ内人工池の水質はそのビオトープごとに様々であり，BODに代表される有機汚濁が進行していたり，窒素やリンなどの栄養塩類が高く富栄養化の傾向が見られたが，有害となる物質や細菌類はほとんど存在しなかった。また，多くの学校ビオトープ内人工池は比較的浅く，全体の水量に対する水面の面積の割合が大きいため大気中の酸素が溶け込みやすい。また，人工池の中に抽水植物，浮

葉植物や沈水植物など植えることも多い。これらの結果、池の水の溶存酸素量が多く、良好な酸化的環境に維持されており、生物の活性や多様性が高く、環境教育の場としても活用が期待される。

本研究を進めるあたり、調査に協力を頂いた各学校の皆様にお礼を申し上げます。

引用・参考文献

- 1) Sagi, T. : The Oceanographical Magazine, 18, 43 (1966)
- 2) Bendshneider, K and Robinson, R : J. Mar. Res., 11, 87 (1952)
- 3) 三田村緒佐武・西条八束 : 新編湖調査法, 第2刷, 講談社サイエンティフィック (1995)
- 4) Murphy, J. and Riley, J. : Analytica Chemica Acta., 27, 31 (1962)
- 5) Newell, B. S. , Morgan, B. and Cundy, J. : J. Mar. Res., 25, 201. (1967)
- 6) Menzel, D. W. and Corwin, N. : Limnol. Oceanogr., 10, 280. (1965)
- 7) Mullin, J. and Riley, J. : Anal. Chem. Acta, 12, 162. (1955)
- 8) S C O R and U N E S C O : Monographs on oceanographic methodology , U N E S C O Publication Center, 66. (1966)
- 9) Lorzen, C. J. : Limnol. Oceanogr., 13, 202. (1968).
- 10) I shida, Y . : Arch. Hydrobiol., 88, 450 (1980)
- 11) 大阪府教育センター : だれにでもできる水質調査ガイドブック, 44 (1997)
- 12) 山本勝博 : 化学と教育, 47, 338. (1999)
- 13) 山本勝博・中井精一 : 化学と教育, 49, 655. (2001)

〔資料〕

学校ビオトープに関するアンケート調査

学校名()

0. 学校ビオトープはありますか。
(有 ・ 無) 学校ビオトープが有る場合のみ以下の1～14にご回答下さい。
1. 学校ビオトープを活用する主な目的は何ですか。
2. 学校ビオトープには、どのような方がかかわっておられますか。
3. 学校ビオトープを整備、活用していく中で子どもたちの意識に変化がみられますか。
4. 学校ビオトープの維持・管理はどのようにされていますか。
5. 維持・管理の方法
(1) 水辺

(2) 樹木

(3) 草地
6. 学校の立地条件 [該当するものに をつけて下さい。]
(市街地, 新興住宅地, 郊外住宅地, 里山, 農村地帯, 臨海地, 埋立地, その他())
7. 学校ビオトープを整備されたのは、何年度ですか。
8. 整備前はどのような環境でしたか。 [該当するものに をつけて下さい。]
(グラウンド, 学校農園, 植え込み, 中庭, 屋上, その他())
9. 学校ビオトープはどのような要素で構成されていますか。 [該当するものに をつけて下さい。]
(池・湿地, 小川(流れ), 樹木, 草地, 生け垣(石積み), 水田, その他())
10. 関連施設にはどのようなものがありますか。 [該当するものに をつけて下さい。]
(雨水利用施設, 井戸, 植え込み, 田畑, 飼育小屋, コンポスト, その他())
11. 場所の選定で留意されたのはどのような点ですか。
12. 種類が確認できた動物名と植物名
13. 移植された動物名。
14. 移植された植物名。