

希少水生植物保護の取り組み (第4報)

—浅層地下水の池底への湧出他補足調査—

Activities for Conservation of Endangered Aquatic Plants (4)
—Groundwater Discharge and Some Supplemental Survey—

石原 暁	多田 薫	白井 康子	張 志保子
Akira ISHIHARA	Kaoru TADA	Yasuko SHIRAI	Shihoko HARI

要 旨

前3報までの調査研究によって、久米池の水質は他の平野部の池と大差が無く、また底質も池面積の大半では同様であるが、アサザ自生域の東岸部には粗粒質の砂が堆積し、酸素を含む水の透過の良いことが、良好な環境となっていることを明らかにした。しかし南東岸の自生域は落水時にも多湿で還元色を呈しており、地下水湧出の関与が疑われた。満水時にも観測可能なピエゾメーターを用いて、満水時にも地下水の湧出が生じていることを確認した。また採取した地下水と深さ別の池水のEC値の濃度勾配及び水深から、周辺水塊における地下水の混入比率を試算し、地下水の影響を評価した。久米池へ流入する用水・排水の水質、アサザの生育が水質に及ぼす影響などにつき、若干の調査を行い結果を整理した。

キーワード：湧水、ORP、ピエゾメーター、栄養塩

I はじめに

香川県で唯一アサザの自生している久米池の環境を解明すれば、アサザの生育に適した環境条件が明らかとなり、その保護、保全対策に有効な知見となる。環境保健研究センターでは、平成14年度に捨石工で作られたアサザ観察道路の基礎（以後沈水堤と称す）等の建設前と後の水質モニタリング及び底質や地形について調査し、報告している^{1) 2)}。そこでは、久米池の水質と池面積の大半の底質については、県下平野部の他のため池と大差を認めなかった。一方、主たるアサザの自生域である東岸部には、粗粒質の砂が堆積し、酸素を含んだ水の透過の良い底質が、良好な生育環境と成っていることを、根群の分布と還元的土層までの深さから明らかにした。しかし南東岸部では、池底は表層から還元的な灰黒色を呈するのにアサザが生育しており、そこでは落水時にも池底から水のしみ出しがあり、地下水の湧出がアサザの生育に関与しているかもしれないと思われた。湧水は水生植物の生育に好ましいとされており³⁾、池が満水の時にも湧出があるのか、またその水質も知りたいところである。

次に、沈水堤内は水がよどみ易いので、流入する用水、排水の影響は、より生じ易いと思われる。また、アサザ群落が水質に及ぼす影響について、第3報を補足する若干の調査を行ったので結果を報告する。

II 方法

1 地下水湧出調査

2002年の落水時に、露出した池底から水がしみ出すのが見られた南東岸のアサザ自生地に、池の満水時にも池面上で読み取ることの可能なピエゾメーター4本を設置して、管内の水位と池面水位の差から、湧出水の有無を判断した。

(1) ピエゾメーターは、内径13mm、長さ3mの硬質透明塩化ビニールパイプの先端部10cmに、直径1~1.5mmの小孔数十個をあけ、化繊の布を巻いてストレーナーとし、先端はゴム栓で止めた。パイプには1cm刻みの目盛りを付け、管内の水面と管外の池水面の高さを読み取ることが出来るようにした。

(2) 検土杖で池底を穿ち、池底面から30~40cm深

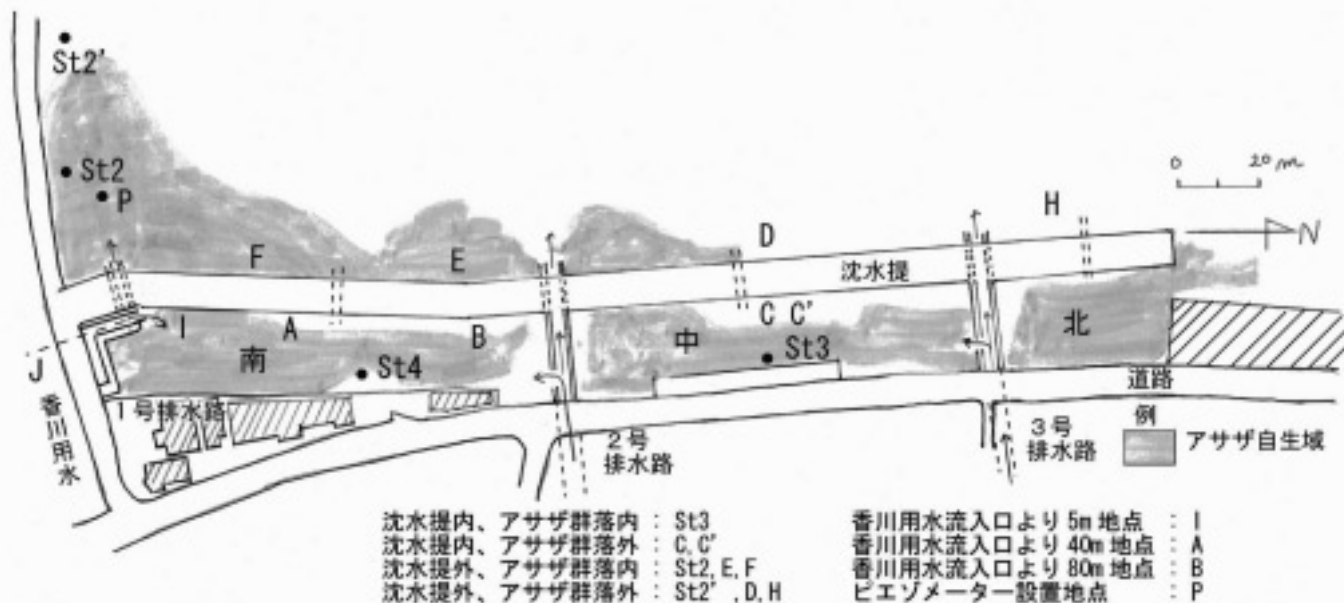


図1 久米池東岸、南東岸のアサザ自生域及び沈水堤取り付け排水路の位置・流入経路と採水・調査地点

にストレーナーが来るように1基、池底面から50~60cm深の砂層にストレーナーが来るように3基のピエゾメーターを、2003年5月4日に設置した。前報⁴⁾のSt-2に近く、図1のPで示した所で、岸から約20m沖で、満水時の水深は1.4m程である。

(3) 水位の読み取りは岸から双眼鏡で行った。また同時に写真を撮り確認した。(以上2003年度)

(4) ピエゾメーター内へ流入する地下水を、岸から採取出来るように、内径2mm、外径4mmの軟質ビニールチューブの先端が、ストレーナー部に来るように管内に差し込み固定し、他端は池底を経て岸まで延した。これに採水ビンをつなぎ、減圧吸引して採水した。なお採水前日に一度吸引して管内のたまり水を排除し、新しい地下水を採取するようにした。

(5) ピエゾメーターに隣接して、池底から5cm、30cmの池水を採取するため、(4)と同様のチューブの先端を池底に打ち込んだ杭に固定し設置した。なお固形物によるチューブのつまりをさけるため、先端部には目の粗い球形ガラスフィルターを付けた。採水法は(4)と同様である。

(6) 採水後ただちにORPを測定した。他にpH、EC、T-N、T-P、NH₄-N、NO₃-N、NO₂-N、PO₄-P等を第3報に準じて測定した。(以上2004年度)

2 流入用水、排水調査、ならびにアサザが水質に及ぼす影響調査

(1) 香川用水と排水路の水は久米池への流入地点で、新川用水は導水路で、2004年6月17日と7月20日に採取した。

(2) 沈水堤の内・外、アサザ生育の有無を考慮して、図1に示す地点で2004年7月20日表層水を採取し、3報と同様分析した。なお採水地点St-2、St-2'、St-3、St-4は、3報のそれと同じ場所である。

III 結果

1 地下水湧出調査

(1) ピエゾメーターの測定値

池底面から50~60cm下の砂層に埋設したピエゾメーター3基は正常に作動し、池水満水時においてもパイプ内の水位上昇を読み取ることが出来た。また3基の測定値のバラつきは1cm程度と小さかった。測定値の一部を表1に示し、観測時の池水面の標高を付記した。一方、30~40cm深に埋設したものは、2cm以内の変動しか示さなかった。観測される水位差は池水の標高よりも、降水に影響されるようで、台風の大雨後には大きな値となった。また夏期に大きく、冬期に小さい傾向が認められた。

久米池の東岸は雲付山地の西斜面、南岸には久米山等丘陵が位置し、両者間の谷部を南北に延びる県道沿いには丘陵の麓まで水田が開け、引妻池他のため池がある。

水田は深さ60cm以内に砂礫層を持ち排水の過良な粗

粒質灰色低地土と灰色低地土である⁵⁾。したがって丘陵地斜面や水稲作付け期の水田からの浅層地下水流入が、夏期には増加したものと思われる。

図2に地下水と底近くの池水のORP, pH, ECの変化を示した。地下水のORPは年平均121mV, 3~4月には229~273と高まるが、5~12月は101から12mVへと低下傾向を示し、池水の年平均384, 375に比べ低く経過した。E_{NHE}0~100mVは分子状酸素やNO₃の消失、マンガンのはほとんどはMn²⁺まで還元され、鉄のFe²⁺への還元が進行しつつあるレベルでSO₄²⁻の還元、H₂Sの生成には至らない⁶⁾ので、アサザの根を損なう恐れはないものと考えられる。

地下水のpHは6.0~6.6で変動幅は小さく、アサザの生育に問題ないものであった。

地下水のECは年平均54.1mS/mで、池水の約2倍と大きい。年間の変動幅は少なく安定している。

栄養塩類のうちT-Nは年平均0.54mg/lと池水(年平均1.6~1.7)の1/3, T-Pは年平均0.056mg/lで同じく池水の1/2~1/3を示した。

一方、CODは池水とほぼ等しい22mg/l, Clの値55mg/lで、生活排水などの混入が懸念される。雲付山地西斜面に開発された住宅地は、下水道未整備地域である。

NH₄-N, NO₃-N, NO₂-N, PO₄-P等についてはいずれも低く、問題になるものは無かった。

ところで、図2のEC値のグラフにおいて、底上5cmの池水の値は各測定時ともに、底上30cmの池水の値と地下水の値の間にあり、池底から上に向かって濃度勾配が出来ているように思われる。濃度勾配が池の表面まで続くと仮定し、底上5cm, 底上30cm, 表層の3点の値を結んでEC値の濃度勾配曲線を得る。もともと池水は表層から池底まで、表層水と同じ濃度であった所へ、地下水が湧出拡散して曲線のような濃度に変化させたと考えれば、それに要した地下水の量を、池水(付近の水塊)に対する混合比率として求めることが出来る。

例えば2004年8月24日採取の地下水はEC54.0, 底上5cmの池水24.2, 底上30cmの池水23.4mS/m, 表層水は採取していないので、すぐ近くに位置するSt-2の近接した採水日(8月31日)の表層水の値, EC20.9mS/mを代用し、当日のピエゾメーター周辺の水深90cmを用いて計算(例えば面積重量法)すると、水深として2.9cm, 池水(付近の水塊)に対する混合比率3.2%と試算出来る。

年月日	水位差 (cm)	池水位標高(m)
2003.5.19	10	6.56
5.29	9	6.70
7.11	10	6.84
8.11	20	6.88
8.20	30	6.84
2004.6.25	16	6.24
7.21	23	6.18
11.5	20	6.80
12.2	14	6.80

池の満水面の標高 6.84m

表1 ピエゾメーターで観測された水位差の例

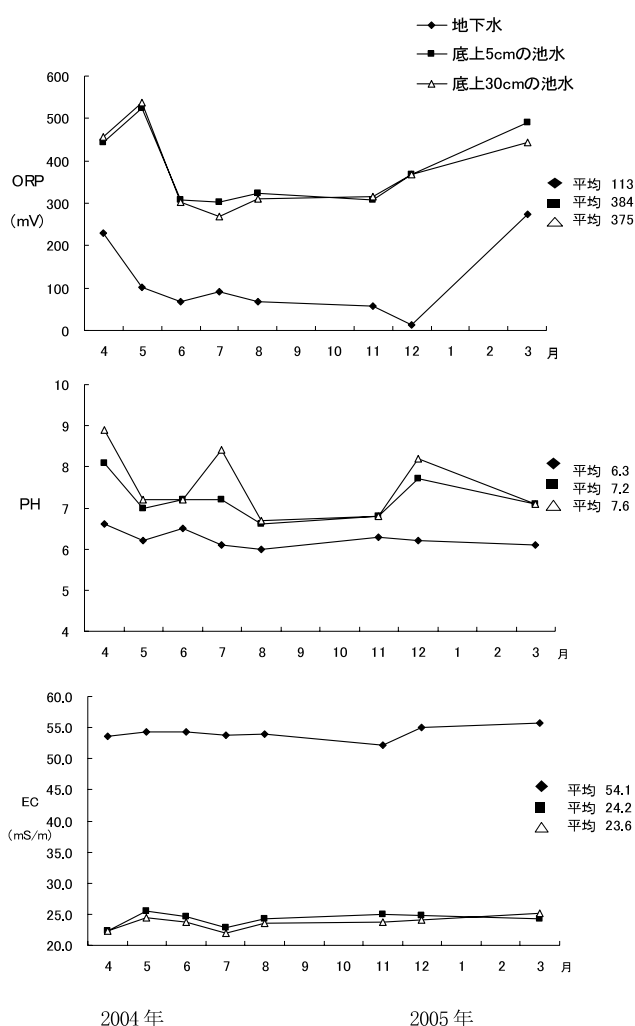


図2 地下水と池水(底上5cm, 30cm)のORP, pH, ECの変化と平均値

ECと水深の年平均値を用いれば、地下水54.1底上5cmの池水24.2, 底上30cmの池水23.6, 表層水22.1mS/m

と年平均水深 110 cmより、地下水は水深 2.2 cm, 混合比率 2.0%と試算出来る。

2 流入する用水と排水の性質ならびにアサザが水質に及ぼす影響

久米池へ流入する用水と排水の性質の一例を表 2 に示した。

新川用水は流入水の主体を成すが、新川水系上流地区との取り決めで、工事など特別な場合を除き、取水は 1~2 月に限定されている。栄養塩に関してみると、T-N 1.9mg/l で $\text{NO}_3\text{-N}$ がその約 50% を占めることは、農業用水の水質規準を越えるものの、比較的低い値である⁷⁾。また T-P 0.44, $\text{PO}_4\text{-P}$ 0.24mg/l は、やや多いが、問題の生じない濃度である。pH, COD, SS についても同様である。香川用水は全項目で基準値を満たし、6~9 月に流入するので、アサザには好ましい影響を及ぼしているものと思われる。

東岸のアサザ自生域の中央部へ流入する 2 号排水路の水質は、栄養塩が T-N 7.3mg/l, 水溶性 N 5.9, うち $\text{NH}_4\text{-N}$ 1.6mg/l, T-P 1.4mg/l と高い含量である。EC, COD, SS の値も大きい。流量は明確でないが数十~百 m^3 /日程度はある模様である。そのため 2002 年度の整備に当たっては、沈水堤内側のアサザを保護するため、東岸からの取り付け排水路を沈水堤まで延し、堤外へ直接排出可能な造作が成されている。そのため図 1 に示すように、堤内側は 3 つのブロックに分断された。取り付け水路には堤内に向けても開口部が作られて、せき板で開閉が出来る。久米池水利組合では EM 菌で排水を浄化しようと、培養液を滴下しつつ、2 号排水路の水をここから南ブロックに向け流入させている。(図 1 参照)

一方、南ブロックの南端 J からは香川用水が流入しており、そこから地点 I は 5m, A は 40m, B は 80m の距離にあり、B 地点は排水流入部に近い。南ブロックにはほぼ全面にアサザが生育している。上記の 3 地点の採水では T-N 1.2, 1.2, 3.7mg/l, $\text{NH}_4\text{-N}$ <0.01, 0.01, 0.46mg/l, $\text{NO}_3\text{-N}$ <0.01, 0.01, 0.30mg/l, T-P 0.16, 0.14, 0.56mg/l, $\text{PO}_4\text{-P}$ <0.003, 0.004, 0.078 mg/l と大きな差が出ており、特に無機イオンの分布で差が大きい。なお 1 号排水路の流量は少なく、3 号排水路は雨後の地表流出水以外は、ほとんど流出を見ない(図 1 の取り付け水路の堤内への開口部の向き注意)。したがって中ブロックに対しては沈水堤の捨て石の間を透過する水に

	②新川用水	①香川用水	③2号排水路	④地下水
透視度	50<	30	13	-
EC (mS/cm)	6.6	25	49	54
pH	7.3	7.9	6.7	6.3
SS (mg/l)	4.1	22	57	-
COD (〃)	1.1	11	32	22
T-N (〃)	0.2	1.9	7.3	0.54
水溶性T-N (〃)	0.2	1.4	5.9	-
T-P (〃)	0.013	0.44	1.4	0.056
水溶性T-P (〃)	0.003	0.28	0.87	-
$\text{NH}_4\text{-N}$ (〃)	<0.01	0.11	1.6	0.02
$\text{NO}_3\text{-N}$ (〃)	0.18	0.96	0.62	<0.01
$\text{NO}_2\text{-N}$ (〃)	<0.01	0.09	0.16	<0.01
$\text{PO}_4\text{-P}$ (〃)	<0.003	0.24	0.21	0.006
Cl ⁻	-	-	61	55

注) ①②③は2004年6月17日と7月20日採水の平均値

④はピエゾメーター内より2004年4月~2005年3月間8回採水 (Clは2回) の平均値

表 2 久米池へ流入する水の性質

よる他には、栄養塩などの流出、流入はきわめて少ないものと思われる。

表 3 に沈水堤の内と外、アサザ群落の内と外を組み合わせた 4 種類、9 地点 (図 1 参照) において 2004 年 7 月 20 日採水・分析した結果を、各々の平均値で示した。また達観して大づかみに同等或いは大小を記号で示した。

アサザ群落が水質に及ぼす影響で最も注目されるのは、被陰による植物プランクトンの抑制であろう。ところが沈水堤外についてみると、植物プランクトンの光合成活性を示す pH は群落内外で同等、プランクトンの量に係る COD, SS, 懸濁態 N, 懸濁態 P は、すべて群落内の方が大きく、そのことを総合的に示す透視度は群落内が小さくなり、まったく影響されないようである。

沈水堤内について見ると、群落内の pH は少し低く、光合成にともなう CO_2 消費の低下傾向がうかがえる。しかしプランクトンの量に係る COD, SS, 懸濁態 N は同等で、やはり被陰による影響は認め難い。次に群落外で沈水堤の内と外を比較すると、pH, COD, SS, 懸濁態 N につき堤外が大きく、懸濁態 P は同等で、総合的指標である透視度は堤外が大差で小さく、沈水堤外では植物プランクトンの増殖と活動が活発なことを示している。

水溶性 N はどの地点も同等、無機態 N は、どの地点で

採水地点 項目	沈水堤内		沈水堤外	
	アサザ群落内	群落外	群落外	アサザ群落内
透視度	21 <	27 >>	16 >>	13
pH	7.8 ≤	8.7 <	9.9 =	9.9
COD(mg/l)	16 =	17 <	26 <	36
SS(〃)	30 =	28 <<	48 <	72
T-N(〃)	1.6 =	1.8 <	2.5 <	3.6
T-P(〃)	0.29 >	0.21 =	0.20 <	0.32
懸濁態N(〃)	1.1 =	1.2 <	1.9 <	2.9
懸濁態P(〃)	0.24 >	0.17 =	0.17 <	0.29
水溶性N(〃)	0.55 ≤	0.63 =	0.66 =	0.67
水溶性P(〃)	0.040 ≤	0.048 >	0.024 =	0.023
無機態N(〃)	0.03 =	0.03 =	0.03 =	0.03
PO ₄ -P(〃)	0.015 =	0.012 >	[<0.003] =	[<0.003]
懸濁態N/P	4.4 <	7 <	10.8 =	10.0
採水地点 点数	St-3 1点	C,C' 2点平均	St-2',D,H 3点平均	St-2,E,F 3点平均

注) 採水日 2004年7月20日

各地点共にNH₄-N≤0.01,NO₃-N≤0.01,NO₂-N<0.01

表3 アサザ群落と沈水堤が水質に及ぼす影響

も検出限界値まで低下して、全般に植物プランクトンの体を構成するNが不足気味であることを示している。夏期無機態のN不足が植物性プランクトン増殖抑制的に作用することは、第2報²⁾においても指摘されており、池水の流通が少ない中区画にあるSt-3においては、その影響が大きかったと思われる。アオコを生成するマイクロキスティスのN/P比は14程度であるが、窒素不足、リン過剰の諏訪湖ではN/P比11⁸⁾と紹介されているのに習い、主に植物プランクトン(この時期マイクロキスティスが主である)より成る懸濁態のN/P比を求めると、沈水堤外で10.8~10.0、沈水堤内4.4~7.0で、沈水堤内は著しく窒素欠乏、リン過剰であったことが知られる。

IV 考察

流入や流出が無い時にも、池の水は吹送流や沿岸流として動かされている。ピエゾメーターを設置した久米池南東部のアサザが生育している地下水湧出域の水塊は、ゆっくり池の他の部分へ移動して行き、新たに(池の表層水に近い濃度の)水塊が供給される。それに対して地下水が湧出、拡散し続けて、先に測定された濃度勾配が出来、混合比率年平均2.0% (水深表示2.2cm) が保たれている。このアサザ生育域の面積は、久米池のわずか1%ほどに過ぎない(30×40m程)ので、その交換は、かなり速やかなものと思われる。例えば、一昼夜で水塊の交換が成されたと仮定すると、地下水の流出量は2.2ℓ/日/m²と見積もられる。こ

れは丸山¹³⁾が紹介している小林の琵琶湖での実測値0~270ℓ/日/m²に桁としては近いものである。

先のオニバス生育地の調査⁹⁾で、底泥のORPは各池、各時期ともに-60~-160mV、インキュベート実験では、直上水のORP-50~-60mV、底泥のORPは-150mV程度を示した。これはS²⁻が生成する範囲に相当し、植物の根はH₂Sによる生育阻害作用をこうむるところである。

このような底泥の中をORP 0mV以上ある地下水が通り、間隙水と交換すれば、アサザの根に対し、良い環境を作り出しているものと思われる。

アサザ群落の被陰によるアオコの生成抑制効果は、今回は明確にできなかった。アオコの生成が著しく、SSとCODの高かったため池で、オニバス植被の形成に伴って表層水のSSが低下、CODも減少傾向を示した事例¹⁰⁾やオニバス浮葉の覆う池の相対照度は開水面の6~28%、植物プランクトンの光合成による酸素の放出は開水面の36%に減少した報告¹¹⁾もあり、更なる調査が必要と思われる。

アサザの葉は薄く小型であり、オニバスに較べ池面の被覆や遮光が不十分であったためかもしれない。

今回St-3において、底質からの溶出によると思われるPO₄³⁻の溶出は見られたが、NH₄-Nの溶出は認められなかった。霞ヶ浦の底泥を用いた実験では、直上水のDOが2.8mg/ℓでPO₄³⁻の溶出が進むのに対し、NH₄⁺の溶出はDO1.5mg/ℓ以下を要するという¹²⁾。St-3の下層水のDOは、2004年6月28日には0.69mg/ℓに低下したが、NH₄-Nの溶出はわずかで、8月31日のDO2.6mg/ℓ、9月27日のDO1.8mg/ℓに至って、かなりのNH₄-Nが溶出している。一方、PO₄-Pは6月から溶出が見られ、有機物含量の少ないSt-3の底質の特性かもしれない。

沈水堤が堤の内側のアサザに及ぼす影響は、そこに流入する用水、排水との関係で異なる。2004年の例では、中ブロック(St-3を含む)では栄養不足に、2号排水路が流入する南ブロックでは富栄養化を助長しているようである。2005年夏の観察では、南ブロックの排水流入部近くでは、広くアサザの後退が認められた。

V まとめ

池底の表面から還元的な灰黒色を呈し、良好な根圏環境と思われぬのにアサザが自生している久米池南東岸部分を調査した。

- 1) ピエゾメーターによる観測で、池水満水時にも地下水の池底からの湧出は生じている。この地下水の水質は、さほど良質なものではないが底泥の間隙水と交換しつつ湧出するので、底泥の ORP をアサザの根に障害の生じない程度に保持していると思われる。
- 2) 地下水と池水の EC 値の濃度勾配と水深から、周辺水塊に対する地下水の混入比率を試算し、地下水の湧出を評価した。
- 3) 久米池へ流入する用水・排水の水質分析、アサザが池水の水質に及ぼす影響などを調査し、結果を整理したが被陰によるアオコの生成抑制効果は不明確であった。
- 4) 沈水堤等の構造物がアサザ自生地の生育環境に及ぼす影響を調べたが、なお追跡調査が必要と考えられる。

文献

- 1) 白井康子, 石原暁, 土取みゆき, 田中さと子, 吉本政輝, 上野正樹: 希少水生植物保護の取組み (第1報) - 香川県で唯一アサザの自生する久米池の環境について -, 香川県環境保健研究センター所報, 2, 64-71, 2003
- 2) 張志保子, 多田薫, 白井康子, 石原暁: 希少水生植物保護の取組み (第2報) - 久米池における整備工事後の環境モニタリングについて -, 香川県環境保健研究センター所報, 3, 94-101, 2004
- 3) 鷺谷いづみ, 飯島博編: よみがえれアサザ咲く水辺, 36-37, 1999
- 4) 白井康子, 張志保子, 多田薫, 石原暁, 田中さと子, 岡井隆: 希少水生植物保護の取組み (第3報) - アサザの成長過程と水質の関係及び花型 -, 香川県環境保健研究センター所報, 4, 57-64, 2005
- 5) 土地分類基本調査, 高松南部, 香川県, 1974
- 6) 高井康雄等: 水田土壌学, 川口桂三郎編, 講談社, 23-44, 1978
- 7) 平成13年度水質測定結果, 香川県
- 8) 沖野外輝夫: 諏訪湖 - ミクロコスモスの生物, 八坂書房, 63, 1990
- 9) 石原暁, 白井康子, 笹田康子: ため池の富栄養化とオニバスの生育 (第4報) - ため池底泥の富栄養化の実態 -, 香川県環境研究センター所報, 25, 45-49, 2000
- 10) 石原暁, 川波誉大, 白井康子, 小山健, 笹田康子: ため池の富栄養化とオニバスの生育 (第1報) - た

め池水質の季節変化 -, 香川県環境研究センター所報, 23, 41-49, 1998

- 11) 前田修, 中島徹, 高橋義三郎: 宍塚大池のオニバス, 筑波の環境研究, 7, 1983
- 12) 細見正明, 須藤隆一: 霞ヶ浦底泥からの窒素及びリンの溶出について - 高浜入を中心として -, 国立公害研究所報告, 51, 191-217, 1984
- 13) 丸山利輔: 地下水による汚濁負荷, 河川汚濁のモデル解析, 国松孝男・村岡浩爾編著 78-81, 1994