

## 環境教育の資料作成VI : ウキクサによる環境水調べ

著者	佐藤 成哉, 大中正和
雑誌名	熊本大学教育学部紀要 自然科学
巻	47
ページ	1-10
発行年	1998-12-18
その他の言語のタイトル	Teaching Materials for Environmental Education 6 : Lemna test for environmental water
URL	<a href="http://hdl.handle.net/2298/2359">http://hdl.handle.net/2298/2359</a>

## 環境教育の資料作成 VI

—ウキクサによる環境水調べ—

佐藤成哉・大中正和\*

### Teaching Materials for Environmental Education VI

—Lemna test for environmental water—

Shigeya SATO and Masakazu OHNAKA\*

(Received September 1, 1998)

As one of the teaching materials for Environmental Education, the Lemna test has been investigated. Lemna can be easily obtained in various places such as rivers, ponds and paddy fields, and can be cultivated indoors without difficulty. However, it was found that lemna growth was notably affected by acidity, co-existing chemical species and surface-active agents of domestic waste water. These characteristics of Lemna have been applied to the estimation for the pollution of actual environmental water; rain, rivers, ponds, fields and so on. These results obtained support that Lemna test has proved of great value for Environmental Education in compulsory education.

**Key words:** Environmental Education, Lemna test, Water pollution

#### 1. 緒 言

近年の科学技術の飛躍的な進歩に伴う産業・経済の発展は、我々の日常生活をより豊かで快適なものへと変貌させた。しかしその裏側では、都市化現象に伴う人口の過密化やそれに誘発される公害・汚染・廃棄物問題などが顕在化し、今日では、酸性雨、温暖化、オゾン層破壊など単に一国の問題としてだけでなく、国際的な問題としてクローズアップされ、国を超えて環境保全の必要性や生命尊重の重要性が認識・議論されるようになってきた。(例えば、昨年12月に開催された第3回締約国会議—地球温暖化防止京都会議—など)

このような動きの中、文部省においても「環境に対する豊かな感受性を育み、常識に基づいて環境問題の解決に必要な判断力や自分なりの意思決定ができる能力、そして環境に配慮した生活を送る実践力を育成する」ことを目標に「環境教育指導資料(中学・高校編)1991」を発行し<sup>1)</sup>、本格的な環境教育への取り組みを開始した。

本研究室では、子ども達自らが身近な自然や環境に触れることによって、自然の不思議さや素晴らしさを再認識することこそ真の「環境教育」の啓発につながると考え、身近な素材—環境水—を題材とした環境教育の資料集の作成および義務教育課程における実践授業について研究・報告を行ってきた<sup>2-4)</sup>。

ウキクサ科の植物(ウキクサ、アオウキクサなど)は、我々のごく身近な環境の中で見ることができ、その緑色で扁平な体(葉状体)は普通的高等植物に比べると小型で室内で簡単に培養することができる<sup>5)</sup>。しかし、その増え方は、培養条件(光・温度・培養液など)によってかなり影響を

---

\* 熊本大学特殊教育特別専攻科

受けることから、小学校理科の教材〔5年 植物の生長〕として活用されている<sup>6)</sup>。そこで、ウキクサが身近な環境水（河川・土壌・雨水等）の汚染を調べる指標植物として活用できるならば、人間の生活環境についてのさまざまな問題を考えるきっかけ作りとなるのではないかと考え、ウキクサの有効性について調査・研究を行った。その結果、環境教育の教材として十分活用できることがわかったので、ここに報告する。

## 2. 実 験

### 2・1 装 置

日立一堀場（B-112）pH メーターおよびイワキKM式垂直振り混ぜ機を用いた。

### 2・2 試 薬

試薬はすべて市販品（試薬特級）を下記濃度で調製して保存液とし、適宜希釈して実験に用いた。なお、試薬の調製及び希釈水はイオン交換水を用いた。

《陰イオン標準溶液（1000ppm）》

- 硝酸イオン： $\text{NaNO}_3$  [1.37 g / ℓ]                      ○塩化物イオン： $\text{NaCl}$  [1.65 g / ℓ]
- 亜硝酸イオン： $\text{NaNO}_2$  [1.5 g / ℓ]                      ○硫酸イオン： $\text{Na}_2\text{SO}_4$  [1.48 g / ℓ]
- リン酸イオン： $\text{NaH}_2\text{PO}_4$  [1.64 g / ℓ]

《陽イオン標準溶液（100ppm）》

- アンモニウムイオン： $\text{NH}_4\text{Cl}$  [0.297 g / ℓ]                      ○アルミニウムイオン： $\text{AlK}(\text{SO}_4)_2$  [0.957 g / ℓ]
- ナトリウムイオン： $\text{NaCl}$  [0.251 g / ℓ]                      ○亜鉛イオン： $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  [0.440 g / ℓ]
- カリウムイオン： $\text{KCl}$  [0.191 g / ℓ]                      ○鉄(Ⅲ)イオン： $\text{FeNH}_4(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$  [0.863 g / ℓ]
- カルシウムイオン： $\text{CaCl}_2$  [0.278 g / ℓ]                      ○銅イオン： $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  [0.393 g / ℓ]
- マグネシウムイオン： $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  [1.07 g / ℓ]

《金 属》

- [Fe] 缶：ジュース缶（コーティングなし，2×2cm）                      [Zn] 板：乾電池（マンガン単一）
- [Al] 缶：ジュース缶（コーティングなし，2×2cm）                      [Cu] 板：市販の銅板（2×2cm）
- 硬貨：1円硬貨   箔：アルミ箔（2×2cm）                      硬貨：10円硬貨

### 2・3 標準操作法

(1)試料の前処理

- ①自然水：採取後直ちにろ過（2号ろ紙）して冷凍保存し、適宜解凍して実験に用いた。
- ②土壌：自然乾燥後、ふるいにかけて粒径を統一して用いた。

(2)ウキクサの生育調べ

- ①試料溶液 [25ml] を入れたフィルムケースにウキクサ [20枚] を浮かべ、一定期間放置後のウキクサの葉の増減を調べる。なお、水温を保つためフィルムケースは水を張った発泡スチロール容器中に置き、日当たりのよい窓際に静置する。
- ②土壌溶出液については、フィルムケースに土 [5g] とイオン交換水 [25ml] を入れて10分間振とうする。その後は①に準じて実験を行う。

(3)水質分析法：既存の水質分析法に準じて測定を行った<sup>2~4)</sup>。

### 3. 結果及び考察

#### 3.1 ウキクサの生育条件について

小学校理科教科書（5年）に準じ、ウキクサの生育条件（日光・培養液）について調べてみた。その結果、表1に示すように、日光が当たらないと、たとえ培養液を用いたとしても葉は増加せず黄変してしまった。ところが、日光が当たると培養液を使わなくても葉の増加が観察され（培養液では約7倍に増加）、ウキクサの生育に日光が顕著な影響を与えることが分かった。

培養液としてハイポネックス（市販品）を用い、培養液濃度とウキクサの生育との関係について調べてみた。その結果、表2に示すように、濃度が高いとウキクサの生育阻害が見られたが、希釈と共に生育促進の効果が表れ、その効果は2000倍希釈液で最も顕著であった。

表1 ウキクサの生育と生育条件

日照条件	イオン交換水	培養液
日陰	22	20
日向	37	138

葉20枚, 1週間放置  
培養液: ハイポネックス(2000倍希釈液)

表2 ウキクサの生育と培養液濃度の影響

希釈倍率	枚数	備考
50	0	4日で枯死
500	32	葉が小さい、バラバラ
1000	131	葉の大きさがさまざま
2000	145	良好

培養液: ハイポネックス 1週間静置

#### 3.2 ウキクサの生育阻害因子について

##### (1) 溶液の液性と濃度

環境水の液性や濃度がウキクサの生育に与える影響について詳細な検討を行った。その結果、表3に示すように、弱酸性（pH4）～中性～弱アルカリ性（pH10）領域では何ら生育阻害は認められなかった。しかし pH3 及び pH12 においてはたとえ培養液中であってもウキクサは枯れてしまった。また、アルカリ側では増加した葉が分裂せず、1株に7枚以上もの葉が組み合わさっている傾向が見られた。（表3参照）

さらに、同じ液性でも、その水溶液に含まれているイオンの種類や濃度によって、異なる影響を与えるのではないかと考え、5種類の有機酸を用いて調べてみることにした。

その結果、液性がpH3であれば、有機酸の濃度を非常に薄く（ $10^{-5}M$ ）してもウキクサを育てることはできず、1～2日で枯れてしまった。一方、pH5であっても濃度が高い（ $10^{-3}M$ 以上）と生育阻害を誘発すること、及び有機酸の種類も生育に影響を与えることもわかった。（表4参照）

表3 ウキクサの生育と液性

放置 (日)	イオン交換水						培養液		
	3	4	5	8	10	12	3	12	
2	○	×	○	○	○	○	○	×	△
4	○	×	○	○	○	△	◎	×	×
6	◎	×	○	◎	◎	×	◎	×	×

枚数: ◎>40>○>20>△>× (枯死)  
pH調整: 0.1N-H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>; 0.1N-NaOH

表4 ウキクサの生育と有機酸（種類・濃度）

有機酸	pH3			pH4			pH5		
	[M]			[M]			[M]		
	$10^{-5}$	$10^{-3}$		$10^{-5}$	$10^{-3}$		$10^{-5}$	$10^{-3}$	$10^{-1}$
酢酸	×	×	◎	△	×				
クエン酸	×	△	◎	○	×				
シュウ酸	×	△	○	△	×				
酒石酸	×	△	○	△	×				
コハク酸	×	△	△	△	×				

5日間放置 枚数: ◎>40>○>20>△>× (枯死)

## (2)共存イオンの影響

雨は大気中の汚染物質 ( $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_x$  など) を取り込んで河川へ流れていく。また、河川水中にはカルシウムやマグネシウムなど土壌に起因する陽イオンも多く含まれている。そこで、河川に共存していると思われる陰・陽・重金属イオンがウキクサの生育に与える影響について調べてみた。

## &lt;陰イオン&gt;

表5に示すように、硫酸イオンはウキクサの生育にあまり影響を与えず、1000ppm濃度でわずかに負の妨害が見られた。ところが、硝酸イオンとリン酸イオンは、低濃度(10ppm)では肥料として働くが、高濃度(1000ppm)では顕著な生育阻害を与えることがわかった。(なお、1000ppmのリン酸溶液だけがpH4.7を示したが、他の試料溶液はすべてpH5.5~6.3の間であった。)

表5 ウキクサの生育と共存イオンの影響(陰イオン)

放置 (日)	イオン 種類	(ppm)														
		$\text{NO}_2^-$			$\text{NO}_3^-$			$\text{PO}_4^{3-}$			$\text{Cl}^-$			$\text{SO}_4^{2-}$		
		1000	100	10	1000	100	10	1000	100	10	1000	100	10	1000	100	10
1	○	△	○	○	△	○	○	△	○	○	△	○	○	○	○	○
2	○	×	△	○	×	○	○	×	○	○	△	○	○	△	○	○
3	○	×	△	○	×	○	◎	×	○	○	×	○	○	△	○	○
4	◎	×	△	○	×	○	◎	×	◎	○	×	◎	◎	△	◎	◎
5	◎	×	△	○	×	○	◎	×	◎	◎	×	◎	◎	△	◎	◎

枚数：◎>40>○>20>△>×(枯死)

## &lt;陽イオン&gt;

調べた陽イオンは、肥料としてよく散布されるアンモニウムイオン ( $\text{NH}_4^+$ )、河川の硬度に寄与するカルシウム・マグネシウムイオン ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ) および洗剤等に含まれているナトリウム・カリウムイオン ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ) であり、得られた結果を表6に示す。

$\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  はウキクサの生育を促進させる働きが見られた。また、 $\text{Ca}^{2+}$  も同様に正の影響を与えたが、 $\text{Mg}^{2+}$  では、10ppm以下で正、100ppmで負とそれぞれ異なる挙動を示し、自然の神秘さ—生命誕生—に触れたような興味ある結果であった。

## &lt;重金属イオン&gt;

重金属イオン ( $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ) についても同様に調べてみた。(表6参照) その結果、重金属イオンに関しては、一転して負の影響(生育阻害)を与えており、特に銅イオンでは、わずか1ppmであっても4日後にはすべて枯死してしまった。鉄イオンに関しては、試料溶液の酸性度が100ppm(2.6) 10ppm(3.5) 1ppm(4.3)であったため、鉄イオン自身だけでなく酸性度の影響も考慮する必要がある。酸性雨による樹木の立ち枯れは、酸性雨によって土壌から溶出した重金属イオンの影響であると記されているが、重金属イオンが植物の生育にとって非常に有害であるということを改めて思い知らされる結果であった。

表6 ウキクサの生育と共存イオンの影響 (陽イオン) (ppm)

放置 (日)	イオン 交換	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>			Na <sup>+</sup>		K <sup>+</sup>		Ca <sup>2+</sup>		Mg <sup>2+</sup>	
		10 <sup>3</sup>	10 <sup>2</sup>	10	1	10 <sup>2</sup>	10	1	10 <sup>2</sup>	10	1	10 <sup>2</sup>
1	○	△	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
4	○	×	○	○	○	○	◎	○	○	◎	◎	△
7	○	×	△	○	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	×

放置 (日)	Al <sup>3+</sup>		Zn <sup>2+</sup>		Fe <sup>3+</sup>		Cu <sup>2+</sup>	
	10 <sup>2</sup>	10	10 <sup>2</sup>	10	10 <sup>2</sup>	10	10 <sup>2</sup>	10
1	○	○	○	○	×	△	○	×
4	△	○	△	△	×	×	○	×
7	×	△	△	×	△	○	×	×

枚数：◎>40>○>20>△>×(枯死)

(3)身の回りの製品

前述したように、ウキクサの生育には重金属イオンが顕著な影響を与えることがわかった。そこで、我々の身の回りにあるごくありふれた製品がどれくらい環境（自然）に影響（被害）を与えているのかを調べてみることにした。

<空き缶、硬貨、乾電池など>

空き缶（鉄、アルミニウム）、硬貨（銅）、乾電池（亜鉛）をイオン交換水中に20日間浸し、得られた溶液を用いてウキクサを培養してみたところ、表7に示すように、硬貨と乾電池でウキクサの生育阻害が認められた。そこで、疑似酸性雨を調整し、同様な実験を試みたところ、表8及び9に示すようにさらに顕著な生育阻害が確認され、銅に至ってはすぐに枯れてしまった。なお、ウキクサの培養に用いた試料溶液の酸性度は、疑似酸性雨（pH4）の場合、20日後に得られたすべての金属溶液のpHは6前後、疑似酸性雨（pH2）では、アルミニウムでpH4前後、その他はpH4.8~5.6であった。

表7 ウキクサの生育と溶出金属の影響 -イオン交換水-

放置 (日)	イオン 交換	Fe		Al		Zn		Cu	
		缶	板	缶	板	板	板	板	板
2	○	○	○	○	○	○	○	△	○
6	○	○	○	○	○	○	○	×	×
10	○	○	◎	○	○	△	×	×	×

枚数：◎>40>○>20>△>10>×(枯死)

表8 ウキクサの生育と溶出金属の影響 -pH4-

放置 (日)	Fe		Al		Zn		Cu	
	缶	板	缶	板	板	板	板	板
2	○	○	○	○	○	△	△	△
6	○	○	○	○	○	×	×	×
10	○	○	△	○	△	×	×	×

枚数：◎>40>○>20>△>10>×(枯死)

表9 ウキクサの生育と溶出金属の影響 -pH2-

放置 (日)	Fe		Al		Zn		Cu	
	缶	板	缶	板	板	板	板	板
2	○	○	○	○	○	×	×	×
6	○	○	△	△	△	×	×	×
10	△	△	△	△	×	×	×	×

枚数：◎>40>○>20>△>10>×(枯死)

### <生活雑排水>

我々の家庭から日頃何気なく流されている生活雑排水（嗜好品や洗剤など）の影響について調べてみた。試料は日常生活を想定した濃度を原液とし、適宜希釈して実験に用いた。

- ①嗜好品 濃度が高いと負の影響を与える傾向にあるが、その程度はさまざまで、特にラーメン、醤油、ソース、味の素では顕著な阻害が観察され、醤油やソースでは1000倍に希釈してもなお枯れてしまった。意外だったのは、味の素で、1000倍に希釈しても生育阻害が認められた。なお、サラダ油の生育阻害は、液面に膜を張ったためであり、牛乳（濃）は、放置中に固化してしまっただけと思われる。茶やコーヒーや味噌汁はあまり顕著な影響を与えなかった。

表10 ウキクサの生育と生活雑排水（嗜好品）の影響

放置 (日)	イオン		牛乳		茶		コーヒー		味噌汁		ラーメン		醤油		ソース		味の素		サラダ油	
	濃	薄	濃	薄	濃	薄	濃	薄	濃	薄	濃	薄	濃	薄	濃	薄	濃	薄	5滴	1滴
2	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	△	○	×	△	△	○	△	○
6	○	×	○	△	○	○	△	○	×	○	×	△	×	×	×	×	×	△	×	○
10	○	×	○	△	○	○	△	○	×	○	×	×	×	×	×	×	×	△	×	△

濃：原液を10倍希釈 [注] 味の素：1g/ℓ  
薄：原液を1000倍希釈 サラダ油：フィルムケースに数滴

- ②洗剤 生活雑排水の多くの割合を占めている洗剤の影響について調べてみた。表11に示すように、食器用や洗濯用洗剤の標準使用量に近い1g/ℓでは、顕著な生育阻害が観察されたが、100倍まで希釈すると、ウキクサの生育阻害は見られなかった。

表11 ウキクサの生育と洗剤の影響

洗剤	1		0.01		洗剤	1		0.01		洗剤	1		0.01	
	1	0.01	1	0.01		1	0.01	1	0.01					
<食器用>				<シャンプー>				<ホビー用>						
フレッシュ	△	○	シーブリーズ	△	○	ノエビア	×	○						
ラムズ	×	○	ソフトin1	×	○	牛乳石鹸	×	○						
チャーミーグリーン	×	○	ラックス	×	○	<手洗い用>								
ジョイ	×	○	ノエビア	×	○	ナイーブ	×	◎						
<洗濯用>				クリームシャンプー				植物物語						
パームホワイト	△	○	メリット	×	○	<浴槽用>								
トップ	×	◎	<リンス>		ルック				×	◎				
アタック	×	○	ジエヌ	×	○	<粉石鹸>				×	○			
液体アタック	×	○	サロスタイル	×	○									
<柔軟仕上げ剤>				菌のおくりもの				△				◎		
ハミング1/3	×	○	エッセンシャル	○	○									

1週間放置 枚数：◎>40>○>20>△>10>×(枯死)

そこで、洗剤の主成分である界面活性剤（陰・陽・非イオン性）に注目し、ウキクサの生育に与える界面活性剤の影響について調べてみることにした。その結果、表12に示すように、すべての界面活性剤において生育阻害（濃度依存）が認められた。しかし、阻害の程度は活性剤の種類によって異なり、特に陽イオン性で顕著な寄与（わずか10ppmでも枯死）が観察された。この

原因は界面活性剤の構造（陽イオン性：四級アンモニウム塩）に起因しているものと推察される（アンモニウムイオンは生育阻害の影響を与える）。

このようにウキクサを用いれば、身近な生活雑排水による自然環境汚染を実際に目で確かめることができると思われるので、教材として十分価値があるものと推察される。

表12 ウキクサの生育と界面活性剤の影響 [濃度：ppm]

放置 (日)	イナ 水	LAS			AS			OL			LA			トリトン			OECD			Zeph			CTAB		
		10 <sup>3</sup>	10 <sup>2</sup>	10	10 <sup>3</sup>	10 <sup>2</sup>	10	10 <sup>3</sup>	10 <sup>2</sup>	10	10 <sup>3</sup>	10 <sup>2</sup>	10	10 <sup>3</sup>	10 <sup>2</sup>	10	10 <sup>3</sup>	10 <sup>2</sup>	10	10 <sup>3</sup>	10 <sup>2</sup>	10	10 <sup>3</sup>	10 <sup>2</sup>	10
1	○	△	△	○	△	○	○	△	○	○	×	△	○	△	△	○	△	△	○	×	△	△	×	△	△
3	○	×	△	○	×	○	○	×	○	○	×	×	△	△	△	○	△	△	○	×	×	△	×	△	△
7	○	×	△	○	×	△	○	×	○	○	×	×	△	△	△	○	×	×	○	×	×	×	×	×	×

<陰イオン性界面活性剤>

- LAS:ラウリルベンゼンスルホン酸ナトリウム
- AS:ラウリル硫酸ナトリウム
- OL:オレイン酸ナトリウム
- LA:ラウリン酸ナトリウム

<非イオン性界面活性剤>

- トリトン:ポリオキシエチレングリコール-p-イソオクチルフェニルエーテル
- OECD:ペプタエチレングリコールデシルエーテル

<陽イオン性界面活性剤>

- Zeph:テトラデシルジメチルベンジルアンモニウムクロリド
- CTAB:セチルトリメチルアンモニウムブロミド

3.3 環境水への応用

これまで、「ウキクサの生育阻害因子」について詳しく調べてきた。そこで、実際の環境水に本研究を応用することにより、環境指標としてのウキクサの有効性について検討してみた。

<水質汚染の指標として>

表は、河川水を試料水として用いた場合の、水質分析値とウキクサの生育状況を要約したものである。

白川水源を基準（導電率、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>及びNO<sub>2</sub><sup>-</sup>から）に考えると、COD値が0.2以下では比較的ウキクサの生育がよく、0.5以上だと生育が悪いように思われる。また、前述したように、アンモニウムイオンは生育阻害、亜硝酸イオンは生育促進に働くため、ウキクサの生育が悪い河川からはアンモニウムイオンが多く検出されてくるようである。しかし坪井川のようにアンモニウムイオン濃度が高いにも関わらず生育阻害があまり見られないのは、まさにこの亜硝酸イオンの促進効果によるものと考察できる。そう考えると、COD値が非常に高い水無川（最も汚染が進行している）でウキクサの生育が最もよいという予想外の結果も推察できる。また、坪井川や大鞆川や藻器堀川は、市街地を流れているため、生活雑排水（洗剤など）の影響も考察する必要があるものと思われる。このように、実際の河川水には多種多様な物質が混在しているものと思われるため、ウキクサの生育状況から特定の物質による河川の汚染度を認識するこ

表13 ウキクサの生育と水質分析値

採取地点	pH	導電率	COD	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	ウキクサ
水無川(八代)	6.7	0.84	8.9	2.85	0.43	72
球磨川下流	7.2	0.09	0.16	0.14	0	61
下江津湖	6.7	0.21	0.06	0.20	0.04	58
白川水源	7.0	0.02	0.12	0	0	50
白川(渡鹿)	6.5	0.31	0.74	0.28	0.14	46
坪井川	7.2	0.28	0.56	3.27	1.36	37
大鞆川	6.9	0.14	1.07	0.61	0.18	34
藻器堀川	6.8	0.27	0.79	0.28	0.14	33

葉20枚, 2週間放置



とはできないように思われる。

＜酸性雨の指標として＞

熊大屋上で採取した雨水を使ってウキクサの生育状況を調べてみたが、かなりの酸性雨（pH4 付近）であればウキクサの生育が阻害されることがわかった。従って、かなりの酸性雨かどうかの判断基準には十分ウキクサが活用できることがわかった。（表 14 参照）

＜土壌汚染の指標として＞

水は地球上をさまざまな形で循環している。河川は、地上に降り注いだ雨水が土壌を介して一つの流れになったものである。土壌は河川水に計り知れない影響を与えていると思われる。そこで、さまざまな土壌（12 種類）を採取し、得られた土壌溶出液とウキクサの生育状況との関係について詳細な検討を行った。（表 15 参照）

その結果、くすのき会館横、理科棟、水田でウキクサの生育が非常によく、ビニルハウスの土においてもかなりの生育促進効果が認められた。一方、立田山 1（腐葉なし）や 2 種類の火山性の土壌では明らかな生育阻害が観察された。生育阻害の見られた 3 種類の土は、どれも酸性度が高く、また経時変化もあまり見られなかったことから、土壌の酸性度がウキクサの生育阻害の主因であると思われる。しかしながら、①さらに酸性度が高い立田山 2 の土壌（pH4.1）からは顕著な生育阻害が見られなかったこと、及び②東バイパスの土壌では酸性土が低いにも関わらずあまり生育していないことから、酸性度だけでなく土壌の種類（溶出成分）も生育に大きな影響を与えるものと推察される。（注：立田山 2 = 腐葉土 東バイパス = 交通量と相関のある亜硝酸・硝酸イオン濃度）

次に、イオン交換水の代わりに疑似酸性雨（pH4）を使うことにより、土壌からの溶出液とウキクサの生育との関係について調べてみた。（表 16 参照）

その結果、疑似酸性雨（pH4）を用いたにもかかわらず、振とう直後の pH はイオン交換水の場合とあまり変わらなかった。しかしウキクサの生育に関しては明確な違い—効果の増大—が認められ、生育が促進される場合と、逆に阻害が進行する場合があることがわかった。これは、疑似酸性雨によって土壌から溶出する物質が増加したためと思われる。また、土壌は各種物質を溶出させることによって土壌の酸性化を防いでいるように思われる。

そこで、次に土壌の緩衝能を調べてみることにした。（表 17 参照）その結果、ウキクサの生育と土壌の緩衝能には相関があるように思われ、生育を促進する土壌は高い緩衝能を示す傾向にあった。これは、土壌が多く物質を含んでいると、疑似酸性雨によって溶け出す物質が多くなり、結果的に溶出成分がウキクサの生育を促進することになるためと思われる。非常に高い緩衝能を示す水田で、ウキクサの生育がよいのもそのためだと思われる。逆に、緩衝能が低いということは、土壌は酸（酸性雨）による影響を顕著に受ける—すなわち、土壌中の有害物質（例えば重金属など）が酸によって多く溶け出す—ため、結果的にウキクサの生育を阻害するためと思われる。

このように、ウキクサを使えば、土壌汚染度の総合的な評価だけでなく、土壌に対する酸性雨の影響をも簡単に証明することができるため、ウキクサは土壌指標として十分活用できるものと思われる。

表14 ウキクサの生育と酸性雨

放置 (日)	イオン 交換水	雨水の pH					
		4.2	4.4	4.8	5.3	5.4	5.7
1	○	○	○	○	○	○	○
3	○	△	○	○	○	○	○
10	○	△	△	○	○	◎	○
枚数	30	14	16	33	25	53	38

表15 ウキクサの生育と土壤溶出液 -イオン交換水- (枚数)

放置(日)	くすのき	理科棟	ビニル	水田	立田1	立田2	武夫原	東ハ	火・黒	火・赤	川砂	海砂
振とう、酸性度	5.9	6.1	4.8	6.0	4.5	4.1	6.8	6.7	4.3	4.2	7.9	8.8
直後、導電率	0.18	0.13	2.1	0.15	0.12	0.10	1.8	0.31	0.09	0.07	0.03	1.1
1	21	22	21	22	21	20	21	22	21	22	22	22
4	26	25	26	25	23	20	23	24	21	21	21	25
7	34	32	28	29	23	18	25	25	13	14	23	26
14	74	67	46	81	31	8	34	29	×	4	27	30
放置後、pH	6.9	7.0	5.4	6.8	5.9	4.9	6.9	7.5	4.6	4.4	7.4	7.6
直後、導電率	0.13	0.08	3.5	0.22	0.10	0.16	2.3	0.46	0.13	0.10	0.10	1.6

導電率(ms/cm) ×: 枯死

表16 ウキクサの生育と土壤溶出液 -pH4 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>- (枚数)

放置(日)	くすのき	理科棟	ビニル	水田	立田1	立田2	武夫原	東ハ	火・黒	火・赤	川砂	海砂
振とう、pH	5.9	6.0	4.8	5.9	4.3	4.0	6.5	6.5	4.1	4.2	7.7	8.3
直後、導電率	0.16	0.11	2.5	0.11	0.06	0.12	1.8	0.31	0.11	0.07	0.03	0.90
1	23	21	23	21	21	20	22	22	21	21	23	20
4	24	28	29	24	24	20	23	25	23	21	25	22
7	36	39	32	30	25	18	24	27	19	15	24	24
14	83	84	54	70	29	5	30	37	×	×	25	26
放置後、pH	6.6	7.0	5.4	6.9	6.0	5.0	6.7	7.3	4.4	4.4	7.2	7.2
直後、導電率	0.13	0.08	3.5	0.25	0.10	0.16	2.2	0.39	0.18	0.10	0.07	1.4

導電率(ms/cm) ×: 枯死

表17 土壤の緩衝能

土 壤	添加量	土 壤	添加量
くすのき	4.7	武 夫 原	4.6
理科棟前	4.7	東ハ <sup>ス</sup> イ <sup>ス</sup>	11.6
ビニルハウス	3.6	火山性・黒	1.7
水 田	17.2	火山性・赤	1.6
立田山1(腐葉土)	1.4	川 砂	2.0
立田山2(腐葉なし)	1.3	海 砂	3.7

緩衝能: 硫酸(10<sup>-3</sup>M)添加量(ml)

[注]土壤採取地点一覧

熊大構内: くすのき会館横(腐葉土)	花壇: 教育学部理科棟前
畑 土: 植木町(ビニルハウス内)	水田: 植木町(水田)
立田山1・2: 腐葉・腐葉なし	グラント: 熊大構内
ハ <sup>ス</sup> イ <sup>ス</sup> : 帯山交差点	黒土・赤土: 阿蘇
川 砂: 白川(小碓橋)	海 砂: 大矢野(天草)

## 5. 結 語

学校現場で身近な環境を調べるための教材開発の一環として、「環境指標としてのウキクサの活用」を主題として研究を遂行した。その結果、ウキクサの生育には、日光や温度だけでなく液性（酸性度）や溶存イオン濃度も大きな要因であることがわかった。そこで、ウキクサを雨水の酸性度測定に用いてみたところ、かなり強い酸性雨（pH4 前後）の認識には十分活用できることがわかった。また、水質分析（河川水）の数項目（COD、亜硝酸・硝酸・アンモニウムイオン）とは相関があるように思われるが、実際の河川水中にはいろいろな物質（栄養分や有害成分など）が混在しており、ウキクサの生育結果だけから直接水質を判断するのはやや難があるように思われる。しかし、分析結果と照らし合わせて考察すれば、もっと違った観点—自然環境を基準とした—から水質評価が下せるのではないだろうか。さらに、ウキクサと生活雑排水（嗜好品や洗剤など）との関係を活用すれば、自然と人間との関係や自然の自浄作用（河川の浄化能）を教示する有効な教材実験へと発展させることができるのではないかと思われる。

土壤汚染の指標としては、銅イオンだけが顕著な負の妨害を与えたことより、ウキクサの生育から土壤汚染物質を特定・断定することは難しい。しかし、土壤の酸性度や酸性雨による土壤の被害及び土壤の不思議さ（土壤の成分や緩衝能など）を体験させる教材としては十分活用できるものと思われる。

ウキクサは身近で見ることができ、またその生育は非常に簡単なため、学校現場で児童・生徒とともに身近な環境を調べる手段として十分に活用できる素材であることがわかったし、自分達の目で環境を調べることが環境に対する意識の高揚に繋がるものと確信している。

## 参 考 文 献

- 1) 文部省；環境教育指導資料（事例編）
- 2) 佐藤成哉，青井弘毅，井上二夫；熊本大学教育学部紀要，自然科学，43（1994）
- 3) 佐藤成哉，古閑美保子，中川正義；熊本大学教育学部紀要，自然科学，44（1995）
- 4) 佐藤成哉，中川正義，立石真理子；熊本大学教育学部紀要，自然科学，46（1996）
- 5) 梅埜國夫・下野洋・松原静郎；身近な環境を調べる 東洋館出版社（1994）
- 6) 例えば，新版楽しい理科（5上）大日本図書（1994）