

環境教育の資料作成 IV

— 金属の溶出と水生植物の浄化能 —

佐藤成哉・古閑美保子*・中川正義**

Teaching Materials for Environmental Education IV

Metal Elution and Clarification of Aquatic Weeds

Shigeya SATO, Mihoko KOGA* and Masayoshi NAKAGAWA**

(Received September 4, 1995)

As one of the teaching materials for Environmental Education, the metal elution in acidic solution and the influence of metal eluted for the growth of aquatic weeds have been examined by spectrophotometry and titration method. The metals examined are Cu, Fe, Al and Zn, which are utilized as coin, can and dry cell. The increase in acidity causes a large amount of metal elution and has a negative effect on the growth of aquatic weeds. In particular both Cu and Zn give remarkable hindrance. On the other hand, the water hyacinth, a kind of aquatic weed, absorbs some harmful metals and is available for clarification of river water.

Key words : Environmental Education, Metal Elution, Aquatic Weeds, Water Hyacinth, Clarification

1. 緒 言

今日、科学技術及び産業技術の進歩により、私達はより便利で快適な生活を営めるようになってきた。しかし、その便利さの裏側では、環境破壊という人類存亡の危機にも直面している。環境破壊は、水質汚濁や大気汚染のような生活的規模から、地球温暖化・オゾン層破壊といった地球規模まで多種多様に分類される。特に、酸性雨は、森林の立ち枯れや生態系の破壊など我々の身の回りで様々な被害を誘発しており、新聞紙上等に見られるようにその被害報告は後を絶たず¹⁻⁴⁾、日本国内はもとより世界的にも憂慮され盛んに研究・論議されている環境問題の主因の一つである。

このような現状を踏まえ、我が国でも平成元年度改訂の学習指導要領⁵⁻⁶⁾に見られるように、環境教育の重要性を鑑み、義務教育課程における環境教育の啓蒙・推進の一環としての酸性雨に関する記述が教科書の中で数多く見られるようになってきた⁷⁾。

本研究室では、地域の特性を活かした環境教育の副読本・資料集⁸⁻¹⁰⁾（火山灰や生活雑排水の河川への影響及び河川の浄化作用）を作成し、それらを活用した模擬・実践授業を構築することにより、義務教育課程における環境教育の在り方について研究を行ってきた。

* 陸上自衛隊幹部候補生学校

** 熊本大学大学院教育学研究科

そこで、今回は、数々の環境教育のテーマの中から「酸性雨」に焦点を絞り、酸性雨の現状(降雨確率)と環境への影響——重金属の溶出と植物の生育阻害及び水生植物の浄化能——について調べてみた。

その結果、酸性雨によって土壌が酸性化されると土壌中の重金属がより多く溶け出してくるため、液性による直接的な影響と同様、間接的な——溶け出た重金属の——植物生育への影響も無視できないことが分かった。さらに、河川には、ホテイアオイのように河川水中に存在する重金属——特に植物の生育に顕著な影響を与える——を吸着・除去することによって、水質の浄化を図る水生植物も生息していることも分かったので、ここに報告する。

2. 実 験

2・1 装 置

日本分光 UVITEC-660 可視紫外分光光度計、日立一堀場 pH メーター(B-112)、イワキ KM 式垂直振り混ぜ機および日立遠心分離機 (03P) を用いた。

2・2 試 薬

《オキシシ法》——アルミニウム・鉄の定量——

- オキシシ溶液：オキシシ [2g] を氷酢酸 [5ml] で溶解後、水で [200ml] に希釈して用いた。
- 酢酸ナトリウム溶液 (3M)：酢酸ナトリウム [40.8g] を水で [100ml] に溶解して用いた。
- クロロホルム：市販品をそのまま用いた。
- アルミニウム標準溶液 (100ppm)：硫酸アルミニウムカリウム (12 水塩) [1.758g] を水で [1ℓ] に溶解して用いた。
- 鉄標準溶液 (100ppm)：硫酸第二鉄アンモニウム (12 水塩) [0.863g] を水で [1ℓ] に溶解して用いた。

《ナフチルアゾキシシ滴定法》——銅・亜鉛の定量——

- 緩衝溶液 (pH4.5)：酢酸 [0.1M 200ml] と酢酸ナトリウム [0.1M 100ml] 溶液を用いて pH 調整し、実験に用いた。
- エタノール：市販品をそのまま用いた。
- 指示薬 ($1.0 \times 10^{-3}M$)：ナフチルアゾキシシ [0.407g] を水で [100ml] に溶解し用いた。
- EDTA [$2.0 \times 10^{-3}M$] 溶液：EDTA・2Na [3.722g] を水で [1ℓ] に溶解後、50 倍に希釈して用いた。
- 銅標準溶液 (100ppm)：硫酸銅・五水和物 [0.393g] を水で [1ℓ] に溶解して用いた。
- 亜鉛標準溶液 (100ppm)：硫酸亜鉛 [0.440g] を水で [1ℓ] に溶解して用いた。

《各種緩衝溶液》：下記の溶液を 2 倍に希釈して実験に用いた。

- 混酸塩緩衝液：混酸 [200ml] と水酸化ナトリウム溶液 [0.2N] を用いて各 pH 値を調整 (混酸 [100ml]：リン酸・ホウ酸・酢酸 [各 0.5M 8ml] に水を加えて調製)
- クエン酸塩緩衝溶液：クエン酸ナトリウム溶液 [0.1M] と塩酸 [0.1M] を用いて各 pH 値を調整 [pH2；150ml+350ml] [pH4；275ml+225ml] [pH7；490ml+10ml]
- 酢酸塩緩衝溶液：酢酸ナトリウム溶液 [1M 100ml] に塩酸 [1N] を加えて各 pH 値に調整し

た後、水で 500ml に調製 [pH2; HCl=105ml] [pH4; 80ml] [pH7; 1ml]

2.3 標準操作法

《オキシシン法¹¹⁾》

共栓付試験管(10ml)に試料溶液[4.0ml]、オキシシン溶液[0.4ml]と酢酸ナトリウム溶液[0.6ml]を加え、水で全量を 5.0ml にする。これにクロロホルム [4.0ml] を加えて 5 分間振り混ぜた後、両相を分離(5分)し、得られた有機相の吸光度を測定する(波長 Al: 390nm, Fe: 470nm 対照: クロロホルム)。

[計算]オキシシン法で、390nm および 470nm における吸光度を測定し、次式に従って各金属量を算出する。

$$C(\text{Al}) = \frac{A_{390} - (\text{Fe}_{390}/\text{Fe}_{470}) \cdot A_{470}}{A_{390}}, \quad C(\text{Fe}) = \frac{A_{470}}{\text{Fe}_{470}}$$

ここで A_{390} 、 A_{470} : それぞれ 390nm と 470nm における吸光度

$$A_{390} = 0.304 \quad \text{Fe}_{390} = 0.0344 \quad \text{Fe}_{470} = 0.0364$$

《ナフチルアゾキシシン滴定法¹²⁾》

コニカルビーカー (100ml) に試料溶液 [20ml]、緩衝溶液 [1ml] とエタノール [5ml] を加え、さらに指示薬 (3 滴) を滴下する。得られた溶液を EDTA 溶液 [$2.0 \times 10^{-3}\text{M}$] で滴定する(終点: 黄→赤)。

《金属の前処理》

○前処理(缶の塗装をはがすために、次の 2 種類の方法を用いた。)

剥奪: 濃硫酸に缶を浸ける。

研磨: やすり (120 番) で缶の外側部分を磨く。

《その他》

○PET ボトルの上部を切り取った容器 (容量=1.2ℓ) を製作し、ビーカーの代用品として実験に用い、容器や金属の洗浄は、水道水できれいに洗った後、イオン交換水ですすいで実験に用いた。

3. 結果及び考察

3.1 酸性雨の現状 — 熊本市 —

近年、日本でも酸性雨による森林の立ち枯れの被害が多く見られるようになり、身近な環境問題として認識され始めてきた。また、平成 5 年度には全国の小学生に呼びかけて初めて酸性雨の調査が実施され、都道府県別の平均は pH5.3~5.6 の間で、全国に満遍なくやや弱い酸性雨が降っていると報告されている¹³⁾。そこで、熊本市の酸性雨の降雨状況を把握するために、理科棟屋上(熊大・教育)に雨水分取器を設置し、4月から12月(平成6年)までの雨水を採取し、酸性度を調べてみた。

その結果、表 1 に示すように、酸性雨の降雨確率は 75% もあり、さらに pH4.5 以下は全体の 40% 強の 22 回、最も高い酸性度は pH3.7 であった。また、全体の平均値は 5.1 となったため、全国平均を上回っている結果(より強い酸性の雨)となった。

表 1 雨水の酸性度分布

pH	降雨回数
3.6~4.0	8
4.1~4.5	14
4.6~5.0	7
5.1~5.6	11
5.7~8.3	12

3・2 金属の溶出

酸性雨に起因する環境破壊の一つに、森林の立ち枯れ現象がある。これは、酸性雨によって土壌が酸性化されると、土壌中の重金属が溶出するためと言われている。そこで、酸性雨によって一体どれぐらいの金属が溶出してくるのかを調べてみた。金属としては、身近にあるジュース缶（アルミ・スチール）、10円玉、乾電池に使われている亜鉛を、操作1及び2に従って処理し（下記参照）、得られた各水溶液中の金属イオン濃度を測定した。また、疑似酸性雨としては、酢酸ナトリウム [1M 100ml] に塩酸 [1N] を加えて pH4 に調整した緩衝溶液を希釈して用いた。

〈操作1〉イオン交換水または緩衝溶液（pH4）[1ℓ] の入ったプラスチック容器 [ペットボトル 1.2ℓ] にジュース缶 [1本] を完全に沈めて室温で放置後、各金属の溶出濃度を測定する。

〈操作2〉イオン交換水または緩衝溶液（pH4）[100ml] の入った三角フラスコ [100ml] に金属片を完全に沈めて室温で放置後、各金属の溶出濃度を測定する。

〈各種金属〉

- アルミニウム (Al)：市販のジュース缶 (350ml) 及び短冊状に切断したチップ (4×1.5cm)
- 鉄 (Fe)：市販のジュース缶 (硬・軟質 350ml) 及びチップ (4×1.5cm)
- 銅 (Cu)：硬貨 (10円玉) および市販の銅板を短冊状に切断したチップ (4×1.5cm)
- 亜鉛 (Zn)：マンガン電池 (単3) から分解して取り出した筒 (外側)

《ジュース缶》

(1) イオン交換水 (pH6) への溶出

酸性雨による金属の溶出量を調べる前に、イオン交換水（純水）への金属の溶出について操作1に従って調べてみた。その結果、表2に示すようにアルミ缶はほとんど溶出 (0.1ppm) しなかったが、スチール缶 (硬) ではわずかではあるが溶出 (1.2ppm/20日) してきた。一方、コーティングをはがすと、アルミ缶では約30倍の2.7ppm (20日)、スチール缶では沈殿生成が確認できるほど溶出することが分かった (溶液中の鉄濃度：約200倍の203ppm (20日))。

表2 金属の溶出
—イオン交換水—

放置 (日)	アルミ缶		スチール缶(硬)	
	—	処理	—	処理
1	0.1	0.2	0.4	23(P)
4	0.1	1.5	0.6	83(P)
7	0.1	1.5	0.9	193(P)
10	0.1	2.0	1.2	139(P)
20	0.1	2.7	1.2	203(P)

(ppm) 処理：剥奪 P：沈殿

(2) 疑似酸性雨への溶出

疑似酸性雨を使って金属の溶出量を調べた結果、表3に示すように酸性雨は金属の溶出 (特に Al) に顕著な正の影響を与え、コーティングをはがさなくても約500倍の50.6ppmの溶出が認められた。一方、スチール缶 (硬) でも約15倍の17ppmが溶出してきた。また、アルミ缶もスチール缶 (硬) も、10日目から20日目にかけての方が高い溶出濃度を示したし、スチール缶に関しては、材質の違いも溶出量に影響を与える (硬い缶のほうが軟らかい缶よりも溶けやすい) ことが分かった。

表3 金属の溶出
—疑似—

放置 (日)	アルミ缶		スチール缶	
	—	(硬)	(硬)	(軟)
1	0.6	0.5	0.4	
4	4.1	0.9	0.6	
7	8.0	0.5	0.6	
10	8.0	4.1	1.1	
20	50.6	17.0	1.2	

(ppm)

《金属片》

(1) イオン交換水 (pH6) への溶出

ジュース缶 (スチール) で得られたように、金属の処理・加工の仕方や表面積の違いによって溶出量は異なってくる。そこで、表面積・大きさを一定にした各金属片 (チップ) を用いて、イオン交換水に対する金属の溶出濃度を調べてみることにした (操作2参照)。その結

果、表4に示すように、Alでは10日間で0.1ppmとほとんど溶出してこなかったのに対し、FeとZnではそれぞれ11.2ppmと9.1ppmも溶出してきた。さらに、Cu(10円玉)でも2.5ppm(10日)溶出してきた。

(2) 疑似酸性雨 (pH4) への溶出

疑似酸性雨を用いると、表5に示すようにイオン交換水を用いたときよりも明らかに金属の溶出濃度が多く、10日目の結果では、Znで約35倍、Feで約80倍、Cuで約250倍が、またAlに関しては173ppmと約1700倍も高い数値が得られた。

3・3 金属の溶出と酸性度との関係

金属の溶出量には溶液の酸性度がかなり顕著な影響を与えるように思われるので、さらに詳しく金属の溶出量と酸性度との関係进行操作2に準じて調べてみることにした。

その結果、表6に示すようにpHの影響を一番顕著に受けたのはZnで、酸性溶液(pH1.7)では1113ppmも溶出してくるのに対し、弱酸性溶液(pH3.7)ではその1/5量の225ppm、さらに中性溶液(pH6.9)では19ppmしか溶出してこなかった(7日間放置)。また、Fe、Cu、Alでは、酸性・弱酸性溶液への溶出濃度に対して中性溶液への溶出はほとんど認められなかった。いずれの金属についてもいえることは、酸性度と金属の溶出量には、顕著な正の相関が存在する。

表4 金属の溶出
—イオン交換水— (ppm)

放置 (日)	金 属 片			
	Fe	Zn	Cu	Al
1	1.2	1.6	0.3(0.3)	0.1
4	3.6	3.4	1.3(0.9)	0.1
7	4.3	4.4	2.5(1.6)	0.1
10	11.2	9.1	2.8(2.5)	0.1

(): 10円玉

表5 金属の溶出 —疑似酸性雨—

放置 (日)	金 属 片			
	Fe	Zn	Cu	Al
1	35	113	38	6
4	231	162	244(P)	47
7	529	225	375(P)	112
10	828	325	700(P)	173

(ppm) P: 沈殿生成

表6 金属の溶出 (ppm) と酸性度 (pH)

放置 (日)	Zn			Fe		
	pH1.7	pH3.7	pH6.9	pH2.1	pH4.0	pH7.1
1	755(3.4)	113(4.0)	6(7.3)	46(2.2)	35(4.0)	1.0(7.1)
3	952(3.7)	143(4.0)	13(7.5)	184(1.9)	143(3.4)	3.9(6.8)P
5	1069(4.1)	180(4.0)	19(7.8)	405(2.6)	319(3.9)	5.3(7.0)P
7	1113(3.8)	225(4.1)	19(7.8)	616(2.9)	529(4.0)	6.6(7.1)P

放置 (日)	Cu			Al		
	pH1.5	pH3.7	pH6.9	pH2.1	pH4.0	pH7.1
1	44(1.8)	38(3.8)	0(6.9)	5(2.2)	6(4.0)	0.1(7.1)
3	230(2.2)P	175(3.9)P	0(7.1)	37(2.3)	29(3.5)	0.5(6.6)P
5	348(3.5)P	287(3.9)P	0(7.2)	71(3.1)	65(4.0)	0.5(7.1)P
7	400(3.3)P	375(4.0)P	6(7.0)	115(3.1)	112(4.1)	0.9(6.9)P

溶液: 酢酸塩緩衝溶液 P: 沈殿生成 (): 放置後のpH

3・4 水生植物への影響

《ウキクサ》

酸性雨によって溶出した金属が、植物の生育にどのような影響を与えるのかを、身近な水生植物であるウキクサを用いて調べてみることにした。操作法は、教科書⁷⁾に記載の方法に準じて行った(操作3参照)。その結果、表7に示すように、ウキクサの生育には、Alは何ら影響を与えな

った。これは Al の溶出量が少ないことに起因するかも知れない。また、Fe も溶出量が 11.2ppm になるまで (10 日目) 影響は認められなかった。一方、Zn では 1 日目の溶出濃度 (1.6ppm) で枯れ始めており、さらに Cu ではわずか 0.3ppm の溶出濃度 (1 日) で枯れ始め、1.3ppm になった 4 日目には完全に枯れてしまった。これらのことから、Cu や Zn の極微量の共存はウキクサの生育に多大な影響を与え、一方 Fe や Al はあまり影響を与えないことが分かった。

さらに、Al と Fe 濃度の影響をさらに詳しく調べるために、Al と Fe の金属溶液を金属片の代わりに用いて、操作 3 に準じて実験を行った。その結果、表 8 に示すようにやはり Fe の 10ppm 溶液では 3 日目でウキクサは枯れ始めており、4 日目には枯れてしまっている。しかし、Al は 100ppm 溶液でも 4 日目で枯れ始めているもののその影響はあまり受けていないようである。したがって、ウキクサは Cu>Zn>Fe の順で影響を強く受けるが、Al に対してはかなり耐性があるように思われる。

〈操作 3〉豆腐の入ったプラスチック容器にイオン交換水 [100ml] を入れ、その中に金属片を〈操作 2〉に準じて入れる。その溶液にウキクサ [10 個] を浮かべて室温放置し、ウキクサの様子を観察する。

《ホテイアオイ》

ウキクサと同じ水生植物にホテイアオイがある。本研究室では毎月一回、熊本と八代で河川を採水し、COD や BOD の水質調査や Al・Fe・Cu・Zn などの金属イオン濃度を測定している。

その結果、表 9 に示すように、ホテイアオイの生息している河川と生息していない河川水で特定の金属イオン濃度に有為な違いが認められた。すなわち、Al

と Fe 濃度に関してはほとんど差は見られなかったが、Cu と Zn 濃度に関しては、ホテイアオイの生息している河川では 1ppm 未満であるのに対して、ホテイアオイの生息していない河川では 1ppm より大きく常に高い値が得られた。この結果は、従来から言及されているホテイアオイには水質汚濁に対する大きな適応性—金属を吸収・除去する能力—があり、河川の浄化に有益であることと矛盾していない。そ

表 7 ウキクサの生長と金属の溶出濃度 (ppm)

(日)	水	Cu	Zn	Fe	Al
1	○	△ 0.3	△ 1.6	○ 1.2	○ 0.1
4	○	× 1.3	× 3.4	○ 3.6	○ 0.1
7	○	× 2.5	× 4.4	○ 4.3	○ 0.1
10	○	× 2.8	× 9.1	△ 11.2	○ 0.1

生長：○(生存)>△>×(死滅)

表 8 ウキクサの生長と金属の影響

放置 (日)	水	Fe ³⁺			Al ³⁺		
		1	10	100	1	10	100
1	○	○	○	△	○	○	○
2	○	○	○	×	○	○	○
3	○	○	△	×	○	○	○
4	○	△	×	×	○	○	△
5	○	△	×	×	○	○	△
6	○	△	×	×	○	○	△
7	○	△	×	×	○	○	△

生長：○(生存)>△>×(死滅)

金属溶液：AlK(SO₄)₂ FeNH₄(SO₄)₂・12H₂O

表 9 河川の水質分析 (ppm)

採水場所	<ホテイアオイの生息地>			採水場所	<ホテイアオイの非生息地>		
	Al	Fe	Cu+Zn		Al	Fe	Cu+Zn
江津湖	0.1	0.3	0.3	健軍川	0.1	1.0	1.3
無田川	ND	1.4	0.6	井芹川	0.1	1.2	2.0
大無田川	ND	0.3	0	水無川	0.4	0.8	2.5

ND：検出されなかった

表 10 ホテイアオイの生長と残存量 (ppm)

放置 (日)	水	Cu ²⁺		Zn ²⁺		Al ³⁺	
		100	100	100	100	100	100
1	○	○	69	○	75	○	87
4	○	×	56	△	69	○	87
7	○	×	50	×	63	○	78
14	○	×	44	×	50	△	72
20	○	×	19	×	44	×	64

○(生存) △(葉が枯れた) ×(浮が枯れた)

金属：AlK(SO₄)₂ ZnSO₄・7H₂O CuSO₄・5H₂O

ここで、ホテイアオイの金属に対する吸収・除去能について操作4に従って詳しく調べてみることにした。

その結果、表10に示すようにホテイアオイもウキクサと同様、Alには強く、CuやZnには顕著な影響を受けることが分かった。さらに金属の吸収量(20日間)を見てみると、影響を受けないAlでは約35%しか吸収していないのに対し、Zn(4日目に枯れ始める)では約55%の吸収量を示した。しかしながら、Cuに関しては4日目で枯れてしまっているにもかかわらず約80%ものCuを溶液から吸収・除去していることが分かった。CuとZnの吸収に関しては、ホテイアオイの葉や浮きの部分が枯れてしまっても、根は生きているためなのか、枯れてからでもかなりの吸収力があり、溶液から取り除いていると推測される。

〈操作4〉ペットボトルに金属溶液[1ℓ]を入れ、その溶液によく洗浄したホテイアオイ(全長20~30cm)をつける。ホテイアオイによる水分の吸収・蒸散と、水の蒸発が考えられるので、一定時間室温で放置後、標線まで水を補給してから各金属濃度を測定する。また、ホテイアオイの生育もあわせて観察する。

次に、ホテイアオイがどの部分に吸収した金属を保持しているのかを調べるため、河川のホテイアオイを採集・乾燥・灰化し、灰1g当たりの金属量を測定してみた(操作5参照)。その結果、表11に示すように、ホテイアオイは葉や浮きの部分よりも根に吸収した金属を多量に保持していることが分かった。ホテイアオイはCuとZnを合わせて、江津湖産で38.1mg、無田川産で25.6mg、Feに関しては無田川産で74.0mg吸収していた。河川水の水質分析の結果(表9参照)から推測すると、無田川でFeが多く存在していることと相関があるのかも知れない。以上の結果より、ホテイアオイは自身に影響を及ぼすCuやZnを特によく吸収し、またその吸収能はホテイアオイの葉・浮きが枯れてからも根において行われており、かなり大きな吸収力を有しているように思われる。また、Alのように自らの種の生育にあまり影響を及ぼさない共存イオンに関しては、あまり積極的な働きかけ——吸収・除去——はしないように思われる。

〈操作5〉ホテイアオイを6時間定温乾燥させ、完全に乾燥したホテイアオイをろ紙に入れ、10分間蒸し焼きにする。ビーカー(200ml)に、この灰[1.0g]と水[100ml]を入れて溶かし、硝酸[6N 0.4ml]を加え酸性溶液にしスターラーで30分間攪拌する。この液をろ過(2号ろ紙)し、ろ液を測定する。

表11 ホテイアオイ中の金属濃度(mg/灰1g)

採水場所 分析箇所	江津湖			無田川			大無田川		
	葉	浮	根	葉	浮	根	葉	浮	根
Al	0.02	ND	9.00	0.04	0.06	8.00	0.02	ND	16.3
Fe	0.73	1.20	1.90	1.60	4.70	74.0	0.77	1.80	43.2
Cu+Zn	0.63	1.90	38.1	1.30	1.90	25.6	1.30	0.63	9.40

ND: 検出されなかった

4. 結 語

今回、森林の立ち枯れや樹木の衰退の原因といわれている“酸性雨”に着目し、酸性雨の現状と酸性雨によって誘発される土壌中の金属の溶出と溶け出した金属の植物への影響について研究を行った。その結果、熊本市内での酸性雨の降雨確率は75%と非常に高く、pH3.7の雨水も確認さ

れた。酸性雨による金属の溶出量を調べたところ、中性溶液では、少量ではあるが金属の溶出が認められ、弱酸性溶液ではかなりの量の金属が溶出してくることが分かった。したがって、我々が日常使用しているジュース缶(アルミ・スチール)や乾電池などからも酸性雨によってかなりの量の金属が溶出してくるものと思われるし、それら金属は植物に対してかなりの影響を与えているものと推測される。

そこで、ウキクサやホテイアオイなどの水生植物への重金属の影響について調べてみたところ、銅や亜鉛は植物を死滅させる結果となった。が一方で、ホテイアオイにはすばらしい浄化能——植物(陸生・水生)の生育に顕著な負の影響を与える金属を取り込み、河川を浄化する力——があること、およびこの浄化能にも限界があることを認識することができた。

環境教育が叫ばれている今日、金属が植物に及ぼす影響などを子供たちが自分自身の目で見ることができれば、子供たちの環境問題への興味は高まり、空き缶のポイ捨てなどの環境破壊もなくなるのではないだろうか。

参考文献

- 1) 谷山鉄朗; 恐るべき酸性雨 合同出版(1989)。
- 2) 熊本日日新聞・朝刊; 社説 酸性雨被害——懸念される大陸からの影響——('94. 7. 6)。
- 3) 京都新聞・朝刊; 擬宝珠緑変無残 三条大橋 酸性雨で腐食進み('92. 3. 3)。
- 4) 京都新聞・朝刊; 酸性雨ジワリ—校舎のひさしに不気味なつらら——('92. 5. 19)。
- 5) 文部省; 環境教育資料(中・高等学校編)(1991)。
- 6) 文部省; 環境教育資料(小学校編)(1992)。
- 7) 例えば 中学校理科1分野(下)2分野(下)大日本図書(1994)。
- 8) 佐藤成哉, 正元和盛, 吉田和親, 河内敏博; 熊本大学教育学部紀要, 自然科学, 42, 9-16(1992)。
- 9) 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, 42, 13-18(1993)。
- 10) 佐藤成哉, 青井弘毅, 中川正義; 熊本大学教育学部紀要, 自然科学, 43, 7-14(1994)。
- 11) 無機応用比色分析編集委員会; 無機応用比色分析1・2 共立出版株式会社(1974)。
- 12) 上野景平; キレート滴定法 南江堂(1960)。
- 13) 熊本日日新聞・朝刊; 小学生4万7000人酸性雨を調査('94. 1. 9)