

環境教育の資料作成 VII : 土壌の働き

著者	佐藤 成哉, 村上 佳代, 松永 ゆかり
雑誌名	熊本大学教育学部紀要 自然科学
巻	48
ページ	1-10
発行年	1999-12-10
その他の言語のタイトル	Teaching Materials for Environmental Education VII : Capability in Soil
URL	http://hdl.handle.net/2298/2370

環境教育の資料作成 VII

— 土壌の働き —

佐藤成哉・村上佳代*・松永ゆかり**

Teaching Materials for Environmental Education VII

— Capability in Soil —

Shigeya SATO, Kayo MURAKAMI* and Yukari MATSUNAGA**

(Received September 1, 1999)

In spite of the fact that most of the rainfall in Kumamoto City is acid rain, there are no reports of notable damage caused by it. As one of the teaching materials for environmental education, an interesting capability of soil, especially its buffer capacity, has been investigated. It was found that the buffer capacity results from both putrefaction under the action of microorganisms and the elution of Al^{3+} in soil. Moreover, soil has been found to be effective in the removal of interference metal ions for plant growth. These results support the idea that soil is of great value for environmental education in compulsory education.

Key words: Environmental education, Capability in soil, Buffer capacity, Acid rain

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てきた。しかし、こうした消費生活の裏側には、生活排水による水質汚濁、ゴミ、自動車による大気汚染などの都市・生活型公害が顕在化しており、やがては温暖化やオゾン層破壊といった地球規模での環境破壊へと進展しているのが現状である。

このような現状を踏まえ、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、本格的な環境教育への取り組みを開始した¹⁻²⁾。

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、身近な素材を題材とした環境教育の資料集の作成及び授業実践に関する研究に取り組んでいる³⁻⁷⁾。

熊本市内(熊本大学構内)で観測される雨の大部分は酸性雨であり、時にはpH4以下のかかなり強い酸性雨も観測されている。酸性溶液は植物の発芽・生育に多大な影響を与えるにもかかわらず、熊本県内での深刻な酸性雨の被害例はまだ報告されていない。そこで、自然(土壌)は「酸性雨に対する抵抗力—自然治癒力—」を持っているのではないかと考え、土壌の持つさまざまな能力を解明する目的で研究を行った。その結果、自然界において多種多様な生物を育む土の素晴

* 玉名郡天水町立玉水小学校

** 熊本市立武蔵中学校

らしさを体感することができ、また環境教育の教材としても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

- 吸光光度計（日本分光 可視紫外分光光度計 UVTEC-660（10mm ガラスセル））
- イオンクロマトグラフ（東亜電波 ICA-3000（カラム PCI-201S））
- 恒温槽（タイテック サーモミンダー Mini80）（タイテック COOLPUMP CP-150）
- pH メーター（日立－堀場 B-112）
- 導電率計（日立堀場 B-173）
- DO メーター（堀場 ハンディー-溶存酸素メーター OM-14）
- イワキ KM 式垂直振り混ぜ機
- 日立遠心分離機－03P

2.2 試 薬

試薬はすべて市販品（試薬特級）を下記濃度に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。

《陽イオン標準溶液（ $10^{-1}M$ ）》

- 鉄(III)イオン： $FeNH_4(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$ [48.11g/ℓ]
- 銅イオン： $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ [22.94g/ℓ]
- アルミニウムイオン： $AlK(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$ [47.30g/ℓ]

《陽イオン標準溶液（100ppm）》

- 鉄(III)イオン： $FeNH_4(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$ [0.863g/ℓ]
- 銅イオン： $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ [0.393g/ℓ]
- アルミニウムイオン： $AlK(SO_4)_2$ [0.957g/ℓ]
- 亜鉛イオン： $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ [0.440g/ℓ]

《オキシシ法》－Al・Fe 定量法－

- オキシシ溶液：試薬[2g]を酢酸[5ml]で溶解後、水で 200ml に希釈
- 酢酸アンモニウム溶液[2M]：試薬[15.416g/100ml]

《ナフチルアゾキシシ法》－Zn 定量法－

- EDTA 溶液[$2 \times 10^{-3}M$]：試薬[3.722g]を水で溶解後、50 倍に希釈
- ナフチルアゾキシシ指示薬($1 \times 10^{-3}M$)：試薬[0.407g/100ml]

《TA α NDS 法》－Cu 定量法－

- TA α NDS 溶液：試薬[0.067g/100ml]

《金 属》

- アルミニウム：市販のジュース缶及び短冊(5x5cm)・(1.5x4cm)
- 鉄：市販のジュース缶及び短冊(5x5cm)・(1.5x4cm)
- 銅：市販の銅板を短冊(5x5cm)・(1.5x4cm)に切ったもの
- 亜鉛：使用済みの乾電池から取り出し、短冊(1.5x4cm)に切ったもの

2.3 試料の前処理

- ・空き缶：缶の上ぶたを切り取り、濃硫酸を使ってコーティングを剥がした後、表面をサンドペーパーでよく磨いて実験に用いる。
- ・銅板：表面をサンドペーパーでよく磨いて実験に用いる。

- ・土 壤：一週間風乾した後、分析ふるいにかけて粒径を統一する。

2・4 標準操作法

〈オキシシ法〉

共栓付き試験管 (10ml) に試料 [4ml]，オキシシ溶液 [0.4ml]，酢酸アンモニウム [0.6ml] と水 [1ml] を加える。これにクロロホルム [3ml] を加えて5分間振り混ぜる。両相を分離後、得られた有機相の吸光度を測定する。(波長：Al³⁺=390nm Fe³⁺=470nm)

〈ナフチルアゾキシシ法〉

コニカルビーカー (100ml) に試料 [20ml] と緩衝溶液 [3ml] を加える。これにエタノール [5ml] とナフチルアゾキシシ液 [3滴] を加え、EDTA 標準液で滴定する。(終点：黄色→赤色)

〈TAαNDS 法〉

共栓付き試験管 (10ml) に試料 [1ml]，緩衝溶液 [1ml] と試薬 [0.3ml] を加え、水で全量を 3ml に調製する。その後、有機溶媒 (DMSO) [2ml] を加え、吸光度を測定する。(波長：540nm)

〈緩衝能〉

コニカルビーカー (100ml) に試料 [10ml] を加え、メチルオレンジ [5滴] を指示薬として硫酸で滴定する。(終点：黄色→橙色)

3. 結果及び考察

3・1 酸性雨と河川の酸性度

ここ数年熊本市内では、表1に示すように、ほとんどの雨が酸性雨であり、時には pH4 以下の強い酸性雨も観測されている。ところが、表2に示すように、むしろ河川や湖沼はどちらかといえば pH7 以上の中性～アルカリ性を示している。雨は大部分が大地を流れて河川へと流れていく。従って、酸性の雨水をアルカリ性に変える土壤の働きについて詳細な検討を行った。

表1. 酸性雨の降雨確率

年度	日数	確率(%)	平均pH
1992	71	92	4.7
1995	64	94	4.8
1996	62	94	4.4
1997	28	96	4.4
1998	51	94	4.8

表2. 河川・湖沼の酸性度

白川			河川			江津湖			緑川		
pH			pH			pH			pH		
採水地	'91	'94 '97	河川	'95	'99	採水地	'91	'94 '97	採水地	'92	'94 '98
白川水源	7.9	7.5 7.0	白川	7.5	7.5	加勢橋	7.4	7.3 7.0	千滝川橋	7.9	7.6 7.9
皆瀬川	7.4	8.3 7.5	藻器堀川	7.8	7.8	中之島	7.5	7.5 7.2	通潤橋	8.0	7.5 8.0
瀬田	7.0	8.5 7.7	健軍川	7.8	8.1	湖東橋	7.1	7.3 7.1	内大臣橋	-	8.1 8.4
小碓橋	8.0	8.5 7.8	坪井川	7.6	7.7	面図橋	7.7	7.2 7.1	緑川ダム	9.7	9.7 9.2
八城橋	8.0	9.6 7.6	井芹川	7.9	8.0	荘口橋	7.5	8.2 7.7	鵜ノ瀬堰	8.4	7.5 8.3
						秋津橋	7.4	8.7 8.5			

3・2 土壌の働き

(1) 空き缶の腐食

土壌中でのアルミ缶やスチール缶の挙動（腐食）について調べてみた（操作①参照）。その結果、表3に示すように、花壇ではアルミ缶は2カ月間埋めていても缶の表面には全くなんの変化も見られなかったが、スチール缶では1週間で表面が錆び始め、1ヶ月でかなり表面がぼろぼろになった。また、スチール缶の軟質と硬質では、硬質の方が早く錆び始めたが、1カ月後には両者の違いは認められなかった。次に、阿蘇地区の土壌で同様の実験を行って見たところ（操作②及び表4参照）、アルミ缶の腐食は全く認められなかった。一方、スチール缶は埋めた場所によって腐食の程度にかなりの違いが見られたが、酸性度が低い立野（pH5.4）の方が酸性度が高い瀬ノ本（4.7）より腐食が進んでいることから、土壌の酸性度がスチール缶腐食の主因ではないように思われる。しかしながら、pHが高くてもスチール缶は腐食することより、ポイ捨てされた空き缶から溶出する金属の植物生育への影響は今後無視できなくなるのではないだろうか。

〈操作①〉空き缶を地表すれすれに一定期間埋めた後、取り出して缶表面の腐食を観察する。

〈操作②〉フィルムケースに土壌 [1g] と塩化カリウム溶液 [1M 5ml] を加えて振り混ぜる（10分）。その後、遠心分離して得られた上澄み液の pH を測定する。

(2) 土壌の酸性度と緩衝作用

降った雨は、当然地表から河川へと流れていくし、一部は土壌に浸透していく。同程度の酸性雨が降っているにも関わらず、土壌の酸性度が降っている雨水よりも高い pH 値を示していることから、酸性雨に対する土壌の働き—緩衝作用—について調べてみた（操作③参照）。その結果、表5に示すように、わずか30gの花壇の土を用いただけで、1リットル近くの溶離液（pH3：かなり強い酸性雨を想定）を流しても、得られる溶出液の pH は5.9までしか下がらなかった。しかし、酸性が強い溶離液（pH1）を流せばわずか50mlでpH=4.4となるが、土の量を増やせば、600ml流してもpH=3.5を維持できることがわかった。花壇と同様な現象は腐葉土でも観測することができたが、海砂では全く認められなかった（表6参照）。実際に観測されている雨水のここ数年の年平均 pH 値は4.5前後なため、酸性雨が多量に降ったとしても土壌によって十分緩衝されるため、地下水や河川などの急激な酸性化は起こらないものと思われる。

〈操作③〉ろ紙と脱脂綿で口を詰めたペットボトルに一定量の土を入れ、上から溶離液（硫酸）を流す。得られる流出液を50mlずつ採取し、各溶液の pH を測定する。

(3) 土壌の緩衝作用と金属イオンの溶出

酸性雨による森林被害は、「土壌中の重金属イオンの溶出」が誘因といわれている。そこで、土壌の緩衝作用と金属イオンの溶出との関係について調べてみた。その結果、表7及び表8に示すように、花壇では酸性度の増加とともにアルミニウムの溶出量が増えていくことがわかった。また、山砂や海砂からはわずかししかアルミニウムが溶出してこなかったことより、土壌中のアルミニウムが土壌の緩衝能と密接に関係しているのではないかと思われる。鉄に関しては、花壇からは検出されてこなかったが、砂からは多く溶け出してきた。鉄イオンは植物の発芽に負の影響を与えるので、今測定されている以上の酸性雨が砂地に降り続けば溶出する鉄イオンが植物の発芽・生育に多大な影響を与えるものと思われる。

(4) 土壌による金属の吸着と遊離

土壌から金属が溶け出してくるということは、言い換えれば金属を保持する能力があるということであり、土壌は植物の発芽・生育に影響を与える金属を吸着・除去して影響を与えないよう

表3. 空き缶の腐食 -花壇-

放置日	アルミ缶		Fe(軟)		Fe(硬)	
	あり	なし	あり	なし	あり	なし
7	×	×	×	△	×	△
14	×	×	×	△	×	△
28	×	×	×	○	×	△
120	×	×	×	○	×	△

腐食(%):◎>80>○>50>△>×=0
なし:前処理せず

表4. 土壌と空き缶の腐食

缶	大津		立野		的 石		瀬ノ本	
	アルミ	スチール	アルミ	スチール	アルミ	スチール	アルミ	スチール
アルミ	×	×	×	×	×	×	×	×
スチール	△	◎	○	△	○	△	○	△

土壌pH 5.8 5.4 5.7 4.7
腐食(%):◎>80>○>50>△>×=0
コーティング無 放置日数:2ヵ月

表5. 土壌の緩衝作用

流量 (ml)	溶 離 液	
	pH3	pH1
50	6.5	4.4
150	6.2	3.4
250	6.0	2.0
350	6.0	1.7
550	5.9	1.6

土=花壇(30g)

表6. 土壌 (g) の緩衝作用

流量 (ml)	花 壇		腐 葉 土		山 砂		海 砂	
	30	90	30	90	30	90	30	90
50	4.4	6.4	4.4	-	2.3	2.2	1.1	1.2
150	3.4	5.7	3.4	5.8	1.9	1.5	0.8	0.8
250	2.0	4.0	2.0	4.9	-	1.5	0.7	0.8
350	1.7	3.6	1.7	3.8	-	1.5	0.7	0.6
600		3.5	1.5	3.5			0.7	0.7

溶離液:0.1N-硫酸

表7. 土壌からの金属の溶出
-アルミニウム (ppm)-

流出液 (ml)	土 (30g)			土 (90g)		
	花壇	山砂	海砂	花壇	山砂	海砂
50	26	170	114	-	15	16
150	324	305	85	-	272	155
250	645	-	58	62	351	159
350	729	-	30	353	391	110

溶離液:0.1N-硫酸

表8. 土壌からの金属の溶出
-鉄 (III) (ppm)-

流出液 (ml)	土(30g)		土(90g)	
	山砂	海砂	山砂	海砂
50	38	86	1	77
150	79	144	26	103
250	-	149	41	234
350	-	82	58	236

溶離液:0.1N-硫酸 -;検出されず
花壇の土からは検出されなかった

表9. 土壌への金属の吸着とイオン水への溶出

土 壤	吸 着 量				遊 離 量			
	Al ³⁺		Fe ³⁺ +Cu ²⁺ +Zn ²⁺		Al ³⁺		Fe ³⁺ +Cu ²⁺ +Zn ²⁺	
採集地	pH1	pH6	pH1	pH6	pH1	pH6	pH1	pH6
大津	862	1000	991	820	1	0.1	2	101
立野	994	1000	924	748	18	0.3	19	221
的 石	998	1000	999	750	0	0.7	2	94
瀬ノ本	651	1000	870	267	88	0.4	12	297

金属濃度:1000ppm (ppm)

表10. 土壌からの金属の溶出 (ppm)

土 壤	Al ³⁺		Fe ³⁺		Cu ²⁺		Zn ²⁺	
	pH1	pH6	pH1	pH6	pH1	pH6	pH1	pH6
採集地	pH1	pH6	pH1	pH6	pH1	pH6	pH1	pH6
大津	118	0.4	1.1	0.1	6	0.9	267	46
立野	8	0.0	6.6	0.1	160	5.4	173	102
的 石	6	2.0	1.1	0.9	4	0.8	270	33
瀬ノ本	-	-	4.5	0.5	88	18.1	345	136

にしていると考えられる。そこで、濃度既知の金属溶液と土を一緒に振り混ぜ、得られた上澄み液中の金属濃度を測定することにより、土壌の種類と金属の吸着量との関係について調べてみた（操作④参照）。その結果、表9に示すように、金属の中でも特に鉄はどの土でもよく吸着されることがわかった。一方、植物の生育に負の影響を与える金属（銅や亜鉛）はあまり吸着されなかった。しかし、吸着されないといってもアルミニウムと銅は8割近くが吸着されている。また、同じ土でも場所によって吸着能にかなりの差があることもわかった。特に、的石は阿蘇山麓の森林地帯で落ち葉などが自然に朽ちて土になったような場所（原野）であり、土壌もあまり酸性化していない。この土は、亜鉛以外の金属をほとんど吸着した。ところが、瀬ノ本（久住高原）では、鉄以外の金属の吸着率は他の土壌に比べて悪く、亜鉛は2割程度しか吸着しなかった。また、土壌の緩衝能に関しても低い結果しか得られなかった。瀬ノ本の酸性土壌（地理的に見て火山に起因する酸性雨の降雨確率が高いため）が一因であろうと思われる。土壌の金属保持力についても調べてみた。その結果、亜鉛は簡単に土壌から溶出してきた。また、土壌の緩衝能が低かった瀬ノ本では溶出する金属量も多かった。金属の種類と土壌の特性の二つの要因が、金属の吸着量に寄与しているものと思われる（表10参照）。

〈操作④〉ポリ容器（100ml）に土〔30g〕と金属溶液〔1000ppm 50ml〕を加えて振り混ぜる（15分）。その後、遠心分離により得られた上澄み液中の金属濃度を比色法で測定する。

〈操作⑤〉操作④で得られた土壌（金属を吸着させた土）にイオン交換水（又は硫酸）〔50ml〕を加えた後、操作④と同様の処理を行い、得られた上澄み液中の金属濃度を測定する。

(5) 土壌の緩衝能と植物の分解（腐敗）

土壌の働きの一つに微生物による植物の分解（腐敗）がある。高い緩衝能を示した土壌は花壇や腐葉土であり、山砂や海砂では緩衝能を示さなかった。土は、土壌中の微生物の働きによって養分を蓄え、その結果植物の生育を促進し、豊かな生態系を創造している。また、その土壌を通る水は様々なミネラルを土から貰いながら出てくる。従って、土壌が緩衝能を示すのは、土壌中の微生物による生分解（植物の分解）のため—分解生成物が土壌の緩衝能の原因—であり、もしそうならば土壌から滲出して来る自然水（土壌浸出液）にも土壌と同じような緩衝作用があるのではないかと考え、土壌の分解（腐敗）能と緩衝能との関連性についてさらに詳細な検討を行った。

〈土壌の緩衝能—分解前—〉

いろいろな土壌（畑土、黒土、山砂、川砂、園芸用、腐葉土、鹿沼土、校庭）の緩衝能を操作⑥に従って調べてみた。その結果、硫酸の滴下量に顕著な違いが認められた。畑土と腐葉土を比較すると、どちらも同じpH値（6.9, 7.0）であるが、緩衝能は腐葉土の方がかなり高く、これは植物の分解生成物が多く含まれているためではないかと考察される（表11参照）。また、校庭で高い値を示したのは凍結防止用の薬品の混入のためと思われる。

〈操作⑥〉一定量の土（畑土の30g分の体積量）を塩ビ管に詰め、上からイオン交換水（100ml）を流し、得られた浸出液（10ml）を硫酸〔 10^{-3}M 〕で滴定する。

〈土壌の緩衝能—分解後—〉

次に試料分解（腐敗）後の土壌の酸性度と緩衝能について調べてみた（操作⑦参照）。その結果、表12に示すように、土壌の酸性度は試料の分解とともに増加（アルカリ側に移動）する傾向にあるように思われる。一方、緩衝能に関しては顕著な相関性が認められた。分解が全く見られ

表 11. 土壌の種類と緩衝能

	畑土	黒土	山砂	川砂	鹿沼	園芸	腐葉	校庭
pH (ろ液)	6.9	6.1	6.0	6.3	6.2	6.5	7.0	7.7
滴下量(ml)	3.4	0.9	1.0	1.5	1.3	2.1	14.5	15.2
試料10ml	硫酸 $10^{-3}M$		園芸：パーミキュライト					

表 12. 土壌浸出液の緩衝能—分解土—

	畑土	黒土	山砂	川砂	鹿沼	園芸	腐葉	校庭
分解%	○	△	×	△	×	×	×	×
pH (ろ液)	7.2	6.5	6.5	6.9	6.0	6.7	7.3	6.9
滴下量(ml)	19.0	5.9	2.4	12.0	1.1	2.4	13.0	21.2
試料10ml	硫酸 $10^{-3}M$		園芸：パーミキュライト					

表 13. 土壌の酸性度と緩衝能

	pH	滴下量
畑土	6.8	2.1
+EM菌	6.5	32.5
+EM菌+試料	7.2	90.0
試料10ml	硫酸 $10^{-3}M$	

なかった土壌ではほとんど緩衝能は変化しなかったのに対し、一番分解が進んだ畑土では 16ml の増加が、多少分解が認められた黒土と川砂ではそれぞれ 5ml と 10ml と滴下硫酸量の増加が認められた。このことから、緩衝能は微生物が植物（有機物）を分解することによって作り出されるものであり、自然界における分解者の役割は極めて重要であるということがわかった。さらに、EM 菌を使って試料を完全に分解させた後の畑土の酸性度と緩衝能について調べてみた。その結果、表 13 に示すように、試料の分解（腐敗）が土壌の緩衝能の主因であることが確信できた。

〈操作⑦〉シャーレに土壌（畑土 30g 分の体積量）と試料（キュウリ 1cm 輪切り 2 個）を入れて暗所放置（1 週間）する。得られた土を塩ビ管に詰め上からイオン交換水（100ml）を流し、得られた浸出液（10ml）をメチルオレンジを指示薬として硫酸 [$10^{-3}M$] で滴定する。

3.3 微生物の働きの教材化

教室や理科実験室で土壌中の微生物の働きを視覚的に観察できるようにするために、農業や一般家庭で話題になっている EM 菌の活用を検討してみた（操作⑧参照）。EM 菌とは、有用微生物群の略でその中身は光合成細菌や酵母菌、乳酸菌、こうじ菌、放線菌などの 80 余りで構成されているものであり、今回は市販されている EM ぼかし（EM 菌と米ぬかの混合物）を用いた。

〈操作⑧〉シャーレに土 30g、EM 菌 3g、試料（キュウリ 1cm 輪切り 2 個）をそれぞれ重ねて入れ、ラップをかけて一定条件化で放置後、腐敗の程度を観察する。

〈明るさ〉

明暗による EM 菌の働き方について調べてみた結果、どちらもきれいに試料は分解されていたが、表面の菌の生え方に顕著な違い—暗=表面にびっしり、明=全く生えていない—が見られ、日光が微生物の働きに顕著な影響を与えることがわかった。

〈温度〉

分解時の温度の影響について調べた結果、低温（5°C）では全く分解が見られなかった。外気温が低くても土壌中にはある程度の温度が保持されているので微生物は十分働くことができると思われる。

〈水分と熱〉

土壌中の水分の影響について調べてみた（下記土壌の前処理参照）。

その結果（表 14 参照），風乾した土ではあまり分解が進んでいなかったし，加熱した土では全く分解が認められなかった。したがって土壌の水分は微生物の活動に影響を与え，熱は微生物を死滅させることがわかった。EM 菌も土壌中の微生物と同様，水分がないと働きが鈍くなるが，菌自体は乾燥や熱に対しては比較的強いことがわかった。

〈土壌の前処理〉風乾：土や EM 菌を二日間放置し十分に水分を飛ばしたのもの

加熱：3 時間乾燥器（80～90℃）内で放置した後，水分を補給する

〈酸性度の影響〉

(1) 硫酸・酢酸・灰汁の影響

土壌の酸性度と微生物の働きについて調べてみた結果（操作⑨参照），硫酸（pH1.1）と灰汁（10.9）ではカビも生えてかなり分解が進んでいたが，酢酸（2.3）ではカビは全く生えずほとんど分解は見られなかった。土壌の pH はどれも分解前後で約 1 の違いが認められた（表 15 参照）。酢酸は菌の繁殖を押さえる働きがあるので，ほとんど分解されなかったものと思われる。また，強酸を添加した土でも EM 菌の働きは衰えなかった。

〈操作⑨〉ペットボトル（500ml）の底を切り取り口には脱脂綿とろ紙を被せ，その中に畑土 [30g] を入れ，上から溶液 [300ml] を流して一晩放置する。ポリ容器（100ml）に得られた土と EM ぼかし [3g] で試料（キュウリ）を挟むようにして入れ，1 週間暗所放置し，試料の分解を観察する。なお，pH はフィルムケースに土 [1g] と水 [5ml] を入れて 10 分振り混ぜた後，得られた上澄み液を測定する。

(2) 身近な水溶液の影響

身近な溶液として酢酸，食酢，レモン汁，蜜柑汁，ポッカレモン，食塩水（5，20%）を選び，微生物への直接的影響を調べてみた。（操作⑩参照）その結果，酢酸（1.2%），レモン，蜜柑，食塩水（5%）ではかなり分解が進んでいたが，食酢（酢酸 4.2%）と食塩水（20%）ではほとんど分解されていなかった。食塩も濃度が高いと微生物の働きを抑制する効果があることがわかった。

微生物が分解するものとししないものを分類してみると，天然のものは分解されやすく，人工のものは分解され難いように思われる。

〈操作⑩〉シャーレに土 [30g]，EM 菌 [3g]，試料（キュウリ）をそれぞれ入れる。土・

表 14. 水分と熱の影響

	なし	EM菌		
		未処理	風乾	加熱
土 未処理	○	◎	◎	○
風乾	△	○	△	—
壤 加熱	×	◎	—	△

分解%：◎>80≧○>60≧△>40≧×

表 15. 酸性度の影響

水溶液(pH)	分解%	加 ^レ	pH変化
硫酸(1.1)	○	少し	2.7→4.1
酢酸(2.3)	△	なし	3.9→5.0
灰汁(10.9)	○	多い	7.1→6.3

分解%：◎>80≧○>60≧△>40≧×

表 16. 身近な溶液の影響

	水	酢酸	食酢	レモン	蜜柑	ポッカ	5%	20%
分解%	◎	△	×	○	○	△	○	×
溶液のpH	5.7	2.6	2.5	2.2	3.9	2.4	5.5	9.8
分解後の土のpH	6.8	6.2	6.1	6.8	5.8	6.5	6.3	7.0

ポッカ=ポッカレモン 5,20%=食塩水
分解%：◎>80≧○>60≧△>40≧×

表 17. 金属溶液の影響

	分解%		
	Al ³⁺	Fe ³⁺	Cu ²⁺
10 ⁻¹	○	△	×
10 ⁻³	◎	◎	◎

EM 菌・試料・EM 菌と重ねたら目的溶液 [10ml] をかけて土を被せ暗所に放置 (1 週間) 後、試料の分解を観察する。

〈金属の影響〉

身の周りにある空き缶 (Al, Fe) や銅板 (Cu) の影響について調べてみたが、銅板だけあまり分解が進んでいないように思われた。そこで、金属溶液を調製して実験を行った結果、 10^{-3}M では何ら影響は認められなかったが、銅と鉄溶液 (0.1M) では分解があまり進んでおらず、微生物の働きを抑制する傾向が高いことがわかった。

〈微生物による身近な植物 (葉・種・実) の分解〉

身の周りにあるキュウリ以外の植物 (桜の枯葉と生葉, 雑草の葉) の土壌での分解について調べてみたが、葉 (枯葉と生葉) はどちらも分解されなかった。EM 菌を添加 (暗所 10 日放置) すれば、草はほとんど全部きれいに分解されてすじや皮などが薄く残っている程度だったが、枯れ葉はほとんど原形のままだった。水分が比較的多く柔らかいものであれば EM 菌によって十分分解されてしまうことがわかった。木の種類をかえたり葉を小さく切って分解の実験を行ってみたが、どれもほとんど分解されなかった。したがって、木の葉を短時間で分解させることは困難であることが改めて分かった。分解し難いということは外界からの影響を受け難くするために丈夫に作られているとも考えることができる。実際葉で光合成を行い自分の栄養を作りだし年々生長をし続ける木にとって、葉は大切な役割をもつものであるから丈夫につくられているのであろう。

次に植物は子孫を残すために実や種を地上に落下させていることから、種などの分解の難易度を調べてみた。その結果、カキの実では柔らかい果肉の部分が分解されやすく固い種やへたの部分はほとんど分解されなかった。(分解を促進させる EM 菌の存在下でも同じような結果が得られた。)このことから、種は子孫を残すために丈夫で分解されにくく、果肉や皮は種を発芽させるために柔らかくなっていると考えられる。すなわち、植物を構成する各部分は意味を持って形成されているように思われる。

4. 結 語

熊本市の酸性雨の降雨確率はここ数年 90%以上であり、pH3~4の強い酸性雨も実際に降っている。にもかかわらず、現実には酸性雨による樹木の立ち枯れなどの被害はまだ報告されていない。「自然 (土壌や河川水) には治癒力があり、酸性雨から自分 (自然) を守る術を持っている」のではないかと考え、「土 (土壌)」を主題とした環境教育の教材化を目的に研究を行った。

その結果、土にはすばらしい緩衝能があり、わずかな量の土 (30g) であっても、強い酸性雨 (pH3~4) を中性付近まで、もっと強烈的な酸性雨 (pH1) でさえも弱酸性付近 (pH3~4 程度) にまで緩衝してしまう能力があることがわかった。当然土の量を増やせば、緩衝能はさらに大きくなる。この緩衝能は土壌中の微生物による分解 (腐敗) と密接な関係にあり、微生物や分解物が多く混在する土壌ほど高い緩衝能を示すことがわかった。さらに、土には重金属イオンの溶離や吸着能力もあり、土壌に酸性雨が降り注ぐと土壌中から重金属イオン—特にアルミニウム—を溶出させて土壌の酸性化を防いでいる。しかし多量のアルミニウムイオンは植物の生育に多大な影響 (立ち枯れ) を与えることになる。土壌の吸着能を調べた結果、金属溶液 (1000ppm) の 80%以上 (鉄では 100%) を吸着してしまうが、この吸着能も酸性雨によって土壌の酸性化が進むと 20%程度にまで落ちてしまうこともわかった。

河川や湖沼の酸性度に経時変動があまり観察されないのは(しかも常に中～弱アルカリ性)、土壌の持つ緩衝能のためであることが確認できた。しかし、酸性雨などの外的要因で土の酸性化が進んで多量の金属が溶け出すことになると、土壌中の分解者である微生物自体が危険にさらされる。土は周りの環境が悪化してもその場を離れることができないので、初めは土に異常が見られなくても内部では徐々に被害が拡大し深刻化している可能性は大きい。そして一度土が破壊されてしまうとその影響は植物はもちろん土を浸透して出てくる水にまでおよび、自然界(生態系)全体が危うくなる。

今回の研究を通して、すばらしい土壌の働き(自然の治癒力)を再認識させられるとともに、自然の偉大さ・奥深さー自然界には無駄なサイクルが一つもないーに改めて感動した。「土壌」の主役である微生物は、環境教育の中でもあまり注目されない分野の一つであると思われるが、この土(自然環境)のすばらしさを実験・観察を通して学習することにより、子ども達が自分の生活を見直し、自然との関わり方を自分たちで考えていくことが「環境教育で一番必要なこと」ではないだろうか。

本研究の一部は、文部省科学研究費補助金(No.07680288)によって実施したものです。

参 考 文 献

- 1) 文部省：平成元年度学習指導要領・指導要録
- 2) 文部省：環境教育指導資料(中学校・高等学校)
- 3) 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)
- 4) 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)
- 5) 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, 33-40 (1995)
- 6) 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, 45, 1-9 (1996)
- 7) 佐藤成哉, 大中正和：熊本大学教育学部紀要, 自然科学, 47, 1-10 (1998)