

酸性雨を素材とした理科における環境教育

谷本盛光・鈴木美咲

(理科教育研究室)

(平成6年4月28日受理)

1. はじめに

ここ数年来、海外だけでなくわが国でもようやく地球規模の環境問題の重要性が強く認識されるようになってきた。同時に環境教育の必要性が説かれているが、環境教育はまだ新しい分野で、十分な検討や教材研究はなされておらず、現場の教師の裁量に任されているのが現状である。

現在、地球規模で生じている環境問題は様々であるが、児童・生徒に認識させたい第一の課題は、地球環境がどのような役割をになっているかをとらえさせることであり、第二の課題は、人間活動にともなう環境破壊の現状を理解させることである。そして、第三の課題は、環境破壊を抑止し環境保全をすすめるため人間のなすべきことは何かを認識させ、実践行動力を育成することである。

このような人間活動と自然とのかかわりの科学的認識、自然環境に対する豊かな感受性、環境保全への実践的能力のどれもが、理科で育てなければならない資質や能力と密接な関わりがある。児童・生徒に「自然を愛し、環境を大切に作る心を育てる」ことや「環境問題に関心を持たせ、自然や環境に対する正しい理解を深めさせる」には、そのための科学的知識を持たせることが必要である。すなわち、多様で複雑な環境問題を教科を越えて取り扱う環境教育を支えているのは、基本的で、確実な理科教育であるといえる。この小稿では、理科教育の立場から、環境問題の教材化について検討する。

2. 酸性雨の採取と pH の測定

様々な地球環境問題の中でも酸性雨は、実際に身のまわりで日常的に起こっている現象であり、その採取は簡単である。また、測定も小、中学生ならば「水溶液の性質」の単元で学習する「酸性」を理解できれば、適切な指示薬や試験紙、pHメーターなどで行うことができ、非常に分かりやすい。また、逆に酸性雨を取り扱うことで、水溶液の性質の学習を深めることもできるため、教材として酸性雨は非常に有意義なものである。しかし、環境教育の必要性・重要性が説かれているにもかかわらず、実際に使われている教科書には、酸性雨をコラム以上に取り上げているものはないし、酸性雨の具体的な研究授業も、あまり例を見ない。以下では、酸性雨を実際に採取し、そのpHを測定することによって、教材化の前段階としての素材研究を行う。

(1) 装 置

酸性雨分取器「レインゴランドAR-8」(堀場製作所製), pHepH 電子ペーパー (ハンナインスツルメンツ株式会社製), 導電率テスターディスト3 (ハンナインスツルメンツ株式会社製) を使用した。

(2) 測定方法

雨が採取できたカップを回転板から取り外し, 校正をした pH メーター, 導電率計を用いて以下の方法で測定する。

①採取した雨水に導電率計を水位レベルまで漬け, ゆっくりと攪拌し, 数秒待つ。表示値が安定したら測定値を読み取る。②その操作を2~3回繰り返す, 測定値が同じになれば, その値を導電率の測定値とする。③導電率が $10\mu\text{S}$ 以上の場合, 採取した雨水を pH 計によって同様にして pH を測定する。但し, 導電率が $10\mu\text{S/cm}$ 未満の場合の雨は, 汚水度が少ないかなりきれいな雨と考えられるので, この場合は pH 値は参考値とする。④③の操作を2~3回繰り返す, 測定値が同じになればその値を pH の測定値とする。

なお, 導電率とは電気の流れやすさを示す量であり, 単位は $\mu\text{S/cm}$ (マイクロジーメンズパーセンチメートル) である。蒸留水の導電率は $1\mu\text{S/cm}$ 以下であり, 通常酸性雨 (汚染されている雨) は数 $10\mu\text{S/cm}$ を示すので, $10\mu\text{S/cm}$ 以下の雨はきれいな (汚染のない) 雨といえる。

(3) 測定結果

雨水の採取場所は, 愛媛大学キャンパス内 (愛媛県松山市) 教育学部2号館屋上とした。また, 雨水の採取は降雨1mmごとに7mmまで及び8mm以降の8段階に分けて行い, 測定した導電率及び pH の結果を表1と図1に示した。また, 酸性雨による森林の枯死が報告されている

採取日	採取カップNo.	1	2	3	4	5	6	7	8mm以降の平均
1993 11/6	導電率	10	140	30	10	20	10	20	30
	pH	7.5	4.6	4.6	4.9	5.2	5.4	4.5	3.8
11/10	導電率	30	30	10	40	30	10	10	—
	pH	5.4	4.4	4.9	5.0	4.9	5.0	5.0	—
11/17	導電率	650	130	70	30	60	30	10	10
	pH	4.4	4.5	4.7	4.9	4.9	4.9	4.8	4.5
12/13	導電率	150	60	40	30	20	10	10	10
	pH	3.8	4.0	4.2	4.1	4.1	4.3	4.4	4.4
12/26	導電率	460	—	—	—	—	—	—	—
	pH	6.1	—	—	—	—	—	—	—
1994 1/19	導電率	100	30	60	—	—	—	—	—
	pH	4.8	4.4	4.5	4.7	—	—	—	—
1/31	導電率	50	20	10	20	10	20	10	30
	pH	4.9	5.2	5.3	6.2	5.3	4.8	4.9	4.6
2/8	導電率	490	310	180	80	—	—	—	—
	pH	4.7	6.3	6.3	6.2	—	—	—	—
2/11	導電率	90	40	30	20	50	40	40	20
	pH	4.8	5.1	5.3	5.3	5.3	5.2	5.2	5.1

表1 降雨順による雨水の導電率及びpH測定結果

採取日		椿の垣根	雨水 (採取カップNo.)							
			1	2	3	4	5	6	7	8 mm以降の平均
1993 12/13	導電率	150	150	60	40	30	20	10	10	10
	pH	4.3	3.8	4.0	4.2	4.1	4.1	4.3	4.4	4.4
1994 1/19	導電率	70	100	30	60	—	—	—	—	—
	pH	5.1	4.8	4.4	4.5	4.7	—	—	—	—
1/31	導電率	210	50	20	10	20	10	20	10	30
	pH	5.5	4.9	5.2	5.3	6.2	5.3	4.8	4.9	4.6

表2 雨水と椿の垣根の葉を伝った雨のpHおよび導電率の比較

ことから、本学キャンパス内の杉の木および椿の垣根の葉を伝って落ちる雨を採取し、それらの pH および導電率の測定も行った。その結果を表2に示す。

(4) 考 察

雨水の汚染の程度の判断は、基本的に溶解している各種有害物質の濃度から総合的に判断されるべきものであるが、一般的には、雨水の酸性度によって評価されている。これは燃焼によって生成される SO_x や NO_x のような気体状あるいは大気中での二次生成物が主に酸性の性質を有していること、動植物に与える総合的な影響と pH がよく一致すること、並びに測定の簡便さから、指標として適当であると考えられているからである。

しかし、雨水の汚染状態の測定を行って pH が7 (中性) 付近を示しても、酸性に傾かない性質の汚染物質が雨水に多く溶け込んでいる場合、この雨水は汚染されているという判断ができない。このようなとき、雨水の導電率を測定すれば雨水に溶け込んでいる汚染物質の濃度をおおまかに推測することができる。したがってこの研究では指標に pH と導電率を併用し、酸性雨の汚染状態の測定を行った。表1に見られるように、ほとんどの降雨で導電率10μS/cm以上、pH 5.7以下を示し、汚染物質を含む酸性雨が愛媛大学付近に日常的に降っていることが分かる。

また、降雨1mm毎に7mm迄および8mm以降の8段階に分けて分取し、導電率と pH を測定した結果、降雨1mmの雨水の導電率が最も高く、pH 値が最も低い傾向があり、降り始めの雨ほど汚染されていることが分かる。この傾向は、図1に示す降雨順による pH および導電率の変化 (1993年12月13日採取) に最もよく現れており、降雨順にしたがって徐々に導電率は下がり、pH 値は中性側に進んでいることが理解できる。これは、大気中の汚染物質が降雨に吸収されて洗い流され、徐々に大気中の汚染が少なくなり、雨水の汚染物質の吸収が少なくなっていくためと考えられる。

また、酸性雨による森林破壊の影響を調べるため、本学キャンパス内の椿の垣根を伝って落ちる雨を採取し、pH および導電率を測定した結果、表2に見られるように、純粋な雨水に

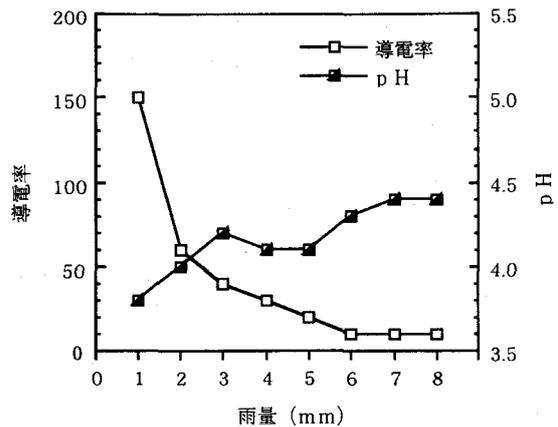


図1 降雨順による雨水のpHおよび導電率の変化 (採取日1993年12月13日)

比べて pH は特に差異が認められないが、導電率はかなり高い値を示していることが分かった。この結果、極めて汚染の高い雨水が木を伝って土壌に入っていることが推測され、雨が降るたびに、このような汚染された雨が土壌中に入れば、立木が枯れるという現象が起こることも当然のことと考えられる。

3. 酸性雨の教材化に向けて

酸性雨の採取と pH の測定を行った結果を踏まえ、その教材化にあたっての検討を行う。

①酸性雨の採取について

酸性雨は金属と反応を起こしやすく、導電率や pH 値が変化することが考えられるので、酸性雨の採取に用いる容器は金属製ではなく、プラスチック製またはガラス製のものが適している。また、初期降雨ほど汚染の程度が高く、酸性の性質が得られやすいので、天気予報などで雨が降ることをあらかじめ確かめ、降雨直前に採取容器を設置する。用意する採取容器は広口のものにするか、プラスチック製またはガラス製の広口のじょうご（ロート）から受けるようにする。その際、少数の容器で長時間をかけて雨水を採取するのではなく、採取容器を多数設置して短時間で初期降雨のみを多量に採取するなどの工夫が必要である。なお、これら採取に使用する容器やじょうご（ロート）等は、測定の支障となる不純物が雨水に混入しないように、使用前に純水でよく洗って乾かし、ほこりをかぶらないように保管して準備しておく必要がある。また、容器の設置場所は木の枝、電線、屋根などからのしずくや、地面からの跳ね返りのないところを選んで設置する。跳ね返りが予想される場合は、容器を椅子などの上において高くするか、ビニールシートを敷いてその上に容器を置くなどして、泥などの混入を防ぐ工夫が必要である。冬期の採取においては、予期せず雪やあられなどを採取することがあるが、これらが溶けた水は酸性雨のように酸性の性質は見られないので、通常の雨水と同一視してはならない。

②採取した酸性雨の測定について

酸性雨の測定については、pH 試験紙または、pH 指示薬、場合によっては pH メーターを使うことが望ましい。このとき不純物が雨水に混入しないように、雨水に指や純水で洗浄していない pH メーター等を漬けたりしないよう注意をうながす必要がある。特に、容器を移すときには、純水できれいに洗浄したプラスチック製またはガラス製のカップを乾かしたものに移す。これは純水によって、不必要に濃度が変化することを防ぐためでもある。

このようにして酸性雨の pH が測定されるわけであるが、測定結果の判断については重要な注意がある。それは、雨水が大気中に落ちてくるあいだに大気中の二酸化炭素等を吸収し、汚染されていない雨水もある程度の酸性を示すので、一般的に酸性雨と評価されるのは、pH 5.7以下であるということである。pH 試験紙や pH メーターなどでは精密な pH 値が得られるが、その値が酸性であっても pH 5.7以上の場合、酸性雨とは評価されない。このことは純水タンク中の純水の pH 値が 7 以下であることと比較するなどしてこの評価方法に理解を求めなければならないだろう。

③酸性雨の測定方法（手段）について

このような酸性雨の測定方法を実施するに当たって、中学校以上では、様々な指示薬、pH 試験紙などが理科学習用に導入され、その科学的な意味を理解できているために特に問題はな

pH測定方法(手段)	試料の酸性雨の測定結果	適性についての考察
リトマス試験紙	ほとんど反応は見られない。中性。	不適
紫キャベツ液	中性とほとんど区別できない	不適
B T B 溶液	酸性色を示す。	B T B 溶液の変色域がpH6.0~7.6であるため、全ての降雨に対して酸性色を示す。注意が必要。
pH試験紙 (a) (0~14用)	pH 4 ~ 5 付近を示す。	適
pH試験紙 (b) (3.8~5.5用)	pH4.6~4.9付近を示す。	適

表3 酸性雨のpH測定方法(手段)の比較

い。しかし、小学生にとっては、酸やアルカリについての学習は初歩的な段階なので、pH（酸性やアルカリ性という性質には強さの程度の違いがあること）については授業で触れられていないし、溶液の性質を確かめる試験方法も、現段階ではリトマス試験紙と紫キャベツ液（紫キャベツを煮出した汁）しか取り入れられていないために、酸性雨の測定方法（手段）に問題を残す。そこで、リトマス試験紙と紫キャベツによる酸性雨測定の可能性と、その他の指示薬による測定の必要性を検討するため以下の実験を行い、その結果を表3にまとめた。

〈実験 酸性雨の測定方法(手段)の検討〉

pHメーターにより測定したpH 4.7の酸性雨を(1)リトマス試験紙、(2)紫キャベツ液、(3)B T B 溶液、(4) pH 試験紙のそれぞれで酸性雨であることが判断できるか確かめる。

(1) リトマス試験紙

リトマス紙を試料の酸性雨につけた結果、赤色リトマス紙も、青色リトマス紙も、全く変化・反応はみられなかった。このテストでは、この雨水は中性であるとは判断できない。

(2) 紫キャベツ

紫キャベツ液は、酸性は赤色、中性は紫色、アルカリ性は黄色を示す指示薬としての働きを持つ。試料の酸性雨に、紫キャベツ液をスポイドで数滴入れた結果、中性の紫色とあまり違いが見られなかった。さらに数滴追加して、指示している色を濃くしても、あまり違いがはっきりしない。試料の酸性雨が酸性であることを判断するのは困難である。

(3) B T B 溶液

B T B 溶液は、酸性が黄色、中性が緑色、アルカリ性が青色を示す指示薬である。試料の酸性雨に、B T B 溶液をスポイドで数滴入れた結果、酸性の黄色を示し、水道水はほぼ中性を示した。しかし、同時に純水も酸性を示す。これは純水が空気中の二酸化炭素を含んで、pH 5.4程度の酸性になっているからである。前述したように、空気にさらされて純水が酸性に傾いているのと同様、雨水も空気中を落下する際に、ある程度の二酸化炭素を含み、汚染されていない雨でも、pH 5.7程度の酸性の性質をもっている。これに対して、B T B 溶液の変色域はpH 6.0~7.6であるから、汚染されていない雨水であっても、B T B 溶液による測定では、雨水すべてが酸性雨と評価される危険がある。したがって、乱暴に水道水の呈色と比較して、試料の酸性雨を酸性と評価することもできるが、より厳密に酸性雨を測定するには、純水や長時間放置した水道水の呈色と比較するなどの細かい工夫が必要とされる。

(4) pH 試験紙

pH 試験紙は(a) TOKYO ROSHI 社製 pH 試験紙 (0~14用), (b) WATTMAN 社製 pH 試験紙 (3.8~5.5用) の2種類用いた。(a)では, pH 試験紙を雨水につけた結果, ほぼ pH 4~5 付近の色を示し, 試料の雨水が酸性雨であることが確かめられた。一方, (b)では, pH 試験紙を雨水につけた結果, ほぼ pH 4.6~4.9 付近の色を示し, 試料の雨水が酸性雨であることが確かめられた。

表3の結果から, 現在小学校で水溶液の性質を判断する試験紙・指示薬として使われているリトマス試験紙・紫キャベツ液は, 酸性雨の測定には適していないことが分かる。また, BTB 溶液も酸性雨の測定に用いるには, 注意が必要である。児童に雨水が酸性であることを簡単に測定させるためには, 酸性雨の測定に適した範囲の pH 試験紙, pH 指示薬あるいは pH メーターを, 小学校に導入することを検討するべきではないかと思われる。

④採取した雨水の保管について

採取した雨水をすぐに pH 測定できれば良いが, 授業の都合などで, すぐには測定できない場合も考えられる。このようなとき, どのように保管するのが良いのか, 以下の実験で検討した。

〈実験 雨水の保管方法と時間による pH および導電率の変化〉

pH 5.1の酸性雨を, 室温でフタなし, 室温でフタあり, 冷蔵庫でフタありの3つの方法で保管し, 時間の経過による pH および導電率の変化を pH メーターおよび導電率計によって測定する。

なお, それぞれの試料は約30mlずつ100mlビーカーに入れ, フタには, 富士フィルム社製シーロンフィルムを使った。図2に示された結果から, 時間の経過によって, pH 値はだんだんと低くなり, 導電率は高くなること分かる。これは水分の蒸発によって雨水中の汚染物質の濃度が高くなるためと考えられる。実際, 水分の蒸発を防ぐことのできない室温フタなしの状態が最も変化が大きく, 室温フタあり, 冷蔵庫でフタありの順に変化は小さくなっている。

このようなことから, やむなく採取した雨水を保存するには, ふたをして冷蔵庫に保存することが望ましいといえる。しかし長期の保存は, 雨水の性質が大きく変化させやすいので, そ

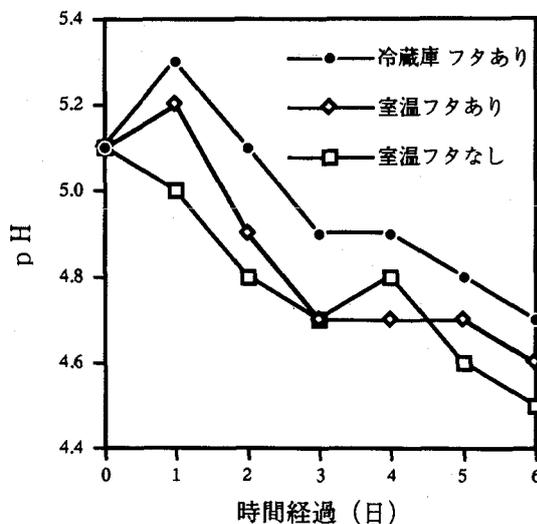


図2 (a) 雨水の保管方法と時間経過による pH の変化

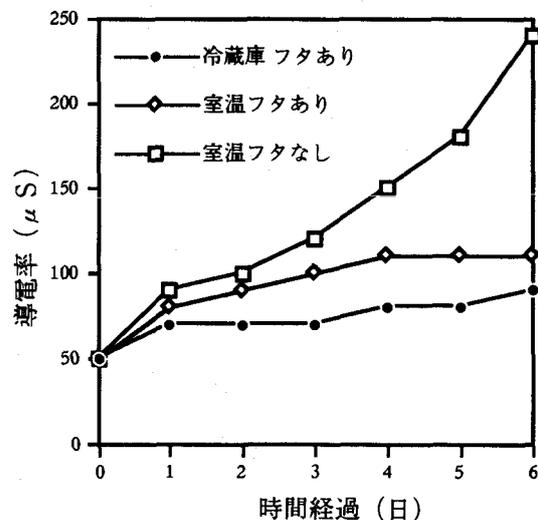


図2 (b) 雨水の保管方法と時間経過による 導電率の変化

のために児童・生徒に誤った知識を与えることのないように、できる限り避けるべきであろう。

4. 水質汚染と大気汚染との関連

(1) 水質汚染

現在、松山市周辺での川や池の水質調査では、酸性雨による影響は見られないが、今後何等かの影響が現れることも考えられ、水質調査は重要な意義を持つと思われる。

水質汚染の問題は、現行教科書の中でも環境調査の実践例として、最も多く取り上げられている。しかし、水質調査の指標となる植物や動物の説明はあっても、具体的な調査の方法については述べている教科書は少ない。このため水質調査を行うにあたっては、教師自身が実際に地域の川や池などを観察・調査して、それぞれの川や池の教材としての適性を熟知し、児童・生徒に取り組みせたい観察・調査のポイントを見いだしておかなければならない。この研究では、松山市内および近郊の10ヶ所の池における水質調査（採取した池の水の pH および導電率の測定並びに周辺環境の観察）を実際に行ったが、その調査結果から、調査したすべての池の水の pH 値は7.1～9.3で、ややアルカリ性に傾いていることが分かった。この理由として、生活排水による汚れと、土中のアルカリ性イオンが溶け出していることなどが考えられるが、いずれも推測の域を出ない。また、導電率は80～230 μ S/cmであったが、これらの値から水の汚染の程度を判断するためには、より広範囲かつ継続的な測定を行って、川や池の水の伝導率の平均的な値を得ることが必要である。

(2) 大気汚染

大気汚染は、酸性雨に関係して非常に重大な問題であるが、児童・生徒の健康に直接関わる身近な問題でもある。その主な原因は工場からの排煙や自動車等からの排気ガスであることは明確となっている。工場からの排煙は主に硫黄酸化物(SO_x)を、自動車からの排気ガスは主に窒素酸化物(NO_x)を大気に放出しているが、これは目に見える現象でないことと、このような問題に実践的に取り組む機会がまだ用意されていないために、児童・生徒は教科書等から知識として理解はしても、実際に排煙や排気ガスがどのような有毒性を持ち、どのような環境破壊をもたらすのかについては、思い及ばないと考えられる。そのため、児童・生徒が大気汚染をもっと身近なものとしてとらえ、この問題の重要性を認識できるように、排煙および排気ガスによる大気汚染問題の教材化について検討することも必要である。とりわけ、硫黄酸化物(SO_x)および窒素酸化物(NO_x)の水溶液の性質を調べる実験は、酸性雨の原因(酸性雨の成立)を調べることの基礎となる。この実験を通して、児童・生徒は、実際に排煙や排気ガスなどによる大気汚染が、直接酸性雨につながっていることを予想し、環境問題の複雑な関係について、理解の糸口を得ることが可能になるとと思われる。

5. 今後の課題とまとめ

この研究では、環境問題の教材化にあたって、酸性雨の問題に焦点をあてて取り組んだ。酸性雨の問題は水質汚染や大気汚染と深い関わりを持っており、酸性雨という重大な地球環境問題を軸として、広がりのある教材化が望まれる。このためには以下の三点が重要であることを

指摘したい。①酸性雨の採取・測定によって、酸性雨そのものについての理解が可能である。②大気汚染の原因である硫黄酸化物(SO_x)および窒素酸化物(NO_x)を水溶液にして、その性質を調べ、酸性雨の形成課程について理解を得る必要がある。③水質調査によって、酸性雨による湖沼への影響を調べる。これらの問題は、切り離して取り上げるよりも、それぞれを組み合わせて、学校教育の場で実践することで、児童・生徒が複雑な環境破壊のメカニズムの一端を知る最良の素材になる可能性を持っていると思われる。

しかし、酸性雨について総合的に取り組む教育実践を行うためには、一連の素材の他に、酸性雨の生態系への影響についての教材化を行わなければならないが、これは課題として残されている。

今後、理科教育を通して子供たちに自然や、自然と人間のかかわりを見抜くための基礎学力を形成し、地球環境保全のために行動を起こす子供たちを育成していくことが必要とされる。

本研究での pH 測定方法に助言と協力をいただいた愛媛大学教育学部河淵計明先生、佐野栄先生に感謝致します。

参 考 文 献

- 「今日の地球環境～科学者からの警告～」
泉邦彦 秋本実 森泉 広井敏男 岩田進午 川崎健 新日本出版社
- 「ゆらぐ地球環境～地球・生物・人の持続的共生をめざして～」
内嶋善兵衛 「理科教室」1990年7月号通巻414号
科学教育研究協議会編集 新生出版刊
- 「理科教室」1992年5月号通巻438号
科学教育研究協議会編集 新生出版刊
- 「理科教室」1992年8月号通巻441号
科学教育研究協議会編集 新生出版刊
- 「理科教室」1993年11月号通巻457号
科学教育研究協議会編集 新生出版刊
- 「理科の教育」1993年7月号通巻492号 東洋館出版社
- 「環境教育指導資料(小学校編)」 文部省
- 「環境教育指導資料(中学校・高等学校編)」 文部省
- 「小学校指導書理科編 平成元年6月」 文部省
- 「中学校指導書理科編 平成元年7月」 文部省
- 「理科年表(1993)」 東京天文台編纂 丸善株式会社