

高等学校における酸性雨とそれに関連した現象についての学習の試み

——地学クラブの調査データを活用して——

荻原 彰*

1. はじめに

近年、環境教育の必要性が注目されるのに伴い、水質汚濁、地球温暖化など環境問題が教材化されつつある。とりわけ、酸性雨は地球規模の大きな問題であるとともに、身近な問題でもあることから、多くの学校で取り上げられている。たとえば長野県教育委員会の環境教育資料集(1994)には、学区のさまざまな場所から採取した雨水を使ったpH測定を高校の理科の授業で行っている例が取り上げられている。

ところで、授業で酸性雨あるいはそれに関連した現象を扱う場合には、授業時間の制約、交通手段の不足やかなりの人数を連れてゆかなければならないことによる手不足など野外調査に伴う困難があるために、生徒の手による調査はpH測定などの限定されたものにならざるを得ない。一方、理科クラブの活動ではそうした制約は少なく、ある程度専門的な調査が可能である。またクラブ活動では、地域の自然を対象としていることが多く、同じ学校の生徒が調査していることもあり、その調査結果を授業に使用することは、教材への生徒の親近感を増すことにつながる。

そこで本研究では、須坂高校地学部気象班(以下、地学部と記す)がこれまで調査してきた酸性雨に関する調査結果を活用した教材開発を行い、それにもとづく授業実践と教材評価をおこなった。

2. 教材化の基礎となった調査結果について

(1) 酸性雨の実態

地学部では1991年及び1992年の春～夏にかけて、須坂高校での降水(初期降雨)の酸性度をpHメーターで調査した。降雨はすべて採取できたわけではなく、断続的になっているが、表1(1992年のデータ、授業

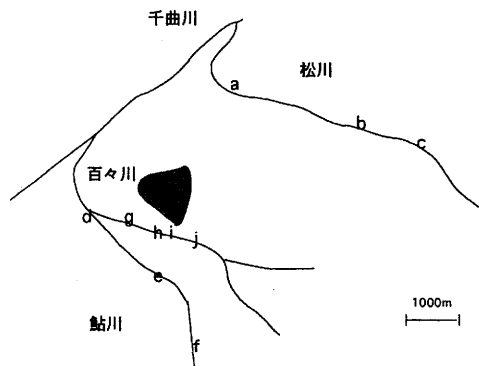
ではこのデータを使用した)のように採取した雨についてはすべて酸性雨であることがわかる。

また、山本(1989)は上越から菅平(須坂も含まれる)までの地域において雪の酸性度を調べているが、それによると須坂ではpH4.47の雪が降っている。

酸性雨は植物に被害を与えていることが多い。しかし植物の場合は台風被害、微生物との関係、土壌による中

月日	pH	月日	pH
4/24	5.0	6/6	4.4
5/1	5.4	6/13	4.9
5/2	5.3	6/14	5.1
6/2	5.0	6/27	4.0
6/3	5.4		

表1 雨水のpH(1992)



酸性つららが5個以上の橋を表示、川についてもそれらの橋に関係のある部分だけを描いてある

- a 松川橋 b 不動岩橋 c 高山大橋 d 落合橋
- e 大宮橋 f 栃倉上橋 g 市川橋 h 高南橋
- i 臥電橋 j 百々川橋

影がついているのは須坂の市街地

図1 橋の位置

* 長野県須坂高等学校

1994年10月5日受付 1995年5月6日受理

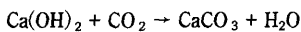
松川		鮎川		百々川	
松川橋	24	落合橋	16	新百々川橋	1
下松川橋	0	九反橋	0	百々川新橋	1
不動岩橋	9	中鮎川橋	2	市川橋	30
高山大橋	14	上鮎川橋	0	米持橋	3
		冬宮橋	0	高甫橋	11
		下八町上橋	0	臥竜橋	18
		羽子板橋	0	百々川橋	7
		午橋	0	大日向二号橋	3
		久保山橋	0	夏端橋	6
		大宮橋	5	大日向一号橋	0
		栃倉下橋	0	下河原橋	0
		栃倉上橋	19	豊里橋	0
		小峽橋	1	和合橋	0

表2 酸性ツララの数

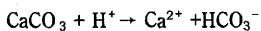
和など複雑な要素がからんでおり、酸性雨と特定地域の植物の被害との因果関係を示すのは、必ずしも容易ではない。そこで地学部では比較的調査しやすく、因果関係もわかりやすい酸性つらら（橋や建物などのコンクリートが雨水によってとけだし、再結晶して形成されたつらら状のもの）を研究テーマとして選び、須坂を流れる百々川、鮎川、中野を流れる松川の橋について酸性つららの調査を行った。その結果を表2に示す。各橋の位置については酸性つららが5個以上の橋を図1に示す。

酸性つららは、小林・宇野（1991）によると次のような過程をへてつくられると考えられる。

①コンクリートの微小な割れ目をとおって入りこんできたCO₂とコンクリート成分中のCa(OH)₂が反応

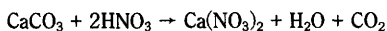
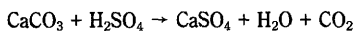


②酸性雨がコンクリートの割れ目から入り込んでくると、われめの中のpHが低下し、H⁺が増える。そのため



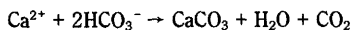
の反応が進み、CaCO₃が溶解してゆく。

③上記②の反応と同時に、酸性雨中の硫酸(H₂SO₄)や硝酸(HNO₃)とCaCO₃の反応が進行する。



この反応でできたCO₂はCa(OH)₂がCaCO₃に変化する①の反応をさらにすすめる。

④②の反応でできたCa²⁺とHCO₃⁻を含む溶液がコンクリート中のひびわれを通して下降し、大気に接すると②の反応の逆反応が起こり、CaCO₃が結晶し、CO₂は大気中に逃げてゆく。



この反応でできたCaCO₃がつららをつくる。

表2からわかるように多くの橋で酸性つららが観察される。

なお酸性つららは必ずしも酸性雨の影響によるものではなく、中性の雨であってもつららは生成するという実験結果もあるが（渡辺ほか、1992）少なくとも酸性雨によってその成長が促進されると考えられる。

(2) 酸性雨の原因となる物質について

地学部では1987年に酸性雨をもたらす原因物質の一つである窒素酸化物について、須坂市における濃度分布を調査している。この調査は筆者が指導したものではないが、当時の資料が残っており、授業ではこの資料を利用した。その概要を述べる。

測定方法はトリエタノールアミン濾紙法を用

いて、比色定量を行った。

①須坂市内におけるNO₂濃度分布の調査

須坂市街地を中心とした南北1.5km、東西2kmの範囲を500m間隔でそれぞれメッシュに区切り、その交点においてNO₂濃度の調査を行った。結果を図2に示す。このことから次のことがわかる。

(a) 須坂市内の中心部における濃度が高い。

(b) 市中心部から南東方向に濃度の高い部分が伸びている。ここは菅平へ伸びる幹線道路（国道406号線）沿いであり、しかも谷沿いに道路が走っており、排気ガスが逃げにくい地形である。

②須坂市（一部長野市も含む）における交通量とNO₂濃度の関係

この調査は交通量とNO₂濃度の関係を調べた調査である。NO₂濃度と交通量は表3のとおりである。なおNO₂を測定した日時を明記すべきであるが、資料に記載がなく、特定できない。

交通量とNO₂濃度は養堂トンネルを除くと大きな正の相関がある（相関係数は0.97）。ここから須坂にお

	交通量	NO ₂ 濃度
18号線と406号線合流点	23829	74
村山駅前	12352	51
塩川	9378	27
養堂トンネル	933	51
ショッピングセンター前	4962	13
春木町交差点	9641	34
立町交差点	4347	12

表3 交通量とNO₂濃度（交通量は自動車の12時間あたり通行台数、NO₂濃度はμg/100cm³・day）

地点名	NO ₂ 濃度	地点名	NO ₂ 濃度	地点名	NO ₂ 濃度
A	22.4	G	35.2	M	8.0
B	17.6	H	19.2	N	24.0
C	38.4	I	9.6	O	17.6
D	32.0	J	24.0	P	14.4
E	12.8	K	27.2	Q	28.8
F	40.0	L	17.6	R	6.4

表4 NO₂の測定地点とNO₂濃度
(濃度は $\mu\text{g}/100\text{cm}^3 \cdot \text{day}$)

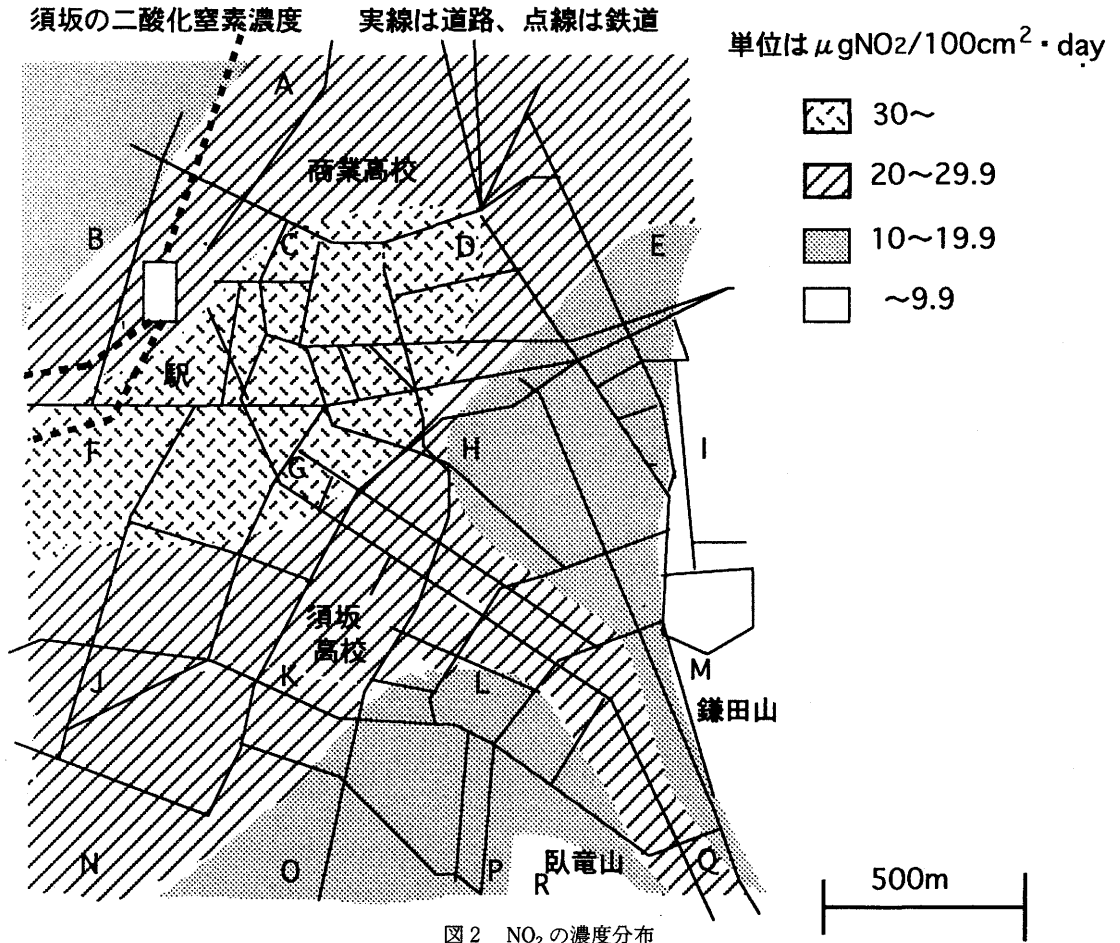


図2 NO₂の濃度分布

るNO₂の主要発生源は自動車であることが推定できる。一方トンネル内は空気の循環が滞りやすいことから、NO₂が滞留してしまい、交通量の少ないわりにはNO₂が高濃度になると考えられる。

3. 教材の内容

本教材のねらいは、生徒が地域の実態に即して酸性雨を理解し、さらに地球的規模で酸性雨対策を考えられるようになることにある。そのために次のような構成と時

間配分をとった。

第1次 酸性雨の実態とその影響

酸性雨の世界的な実態と生徒自身の住んでいる地域にもその影響が及んでいることを知る。

第2次 酸性雨の原因となる物質

イオウの燃焼実験を行い、イオウを含む化石燃料を燃やすと酸性雨の原因物質(イオウ酸化物)が生じることを知り、また各種の酸性雨がでるしくみを知る。

第3次 原因物質の発生源

学習内容	学習指導の展開
〈導入〉	・VTR「地球と環境No.2酸性雨」(日本原子力文化振興財団製作)の酸性雨の被害に関する部分を視聴する
〈講義〉	・須坂(本校のある地域)においても酸性雨が降っていることを地学部の調べたデータより知る。 ・酸性つららの産状を写真より知り、酸性つらが須坂地域でみられることを地学部調査によるデータより知る。
〈観察とスケッチ〉	・酸性つららを採取したものを2方向からみてスケッチを行い、その形、色などの特徴を観察し発表する
〈まとめ〉	・酸性つららのできるしくみを化学式により知りまたその形態の特徴よりつららの成長するしくみを知る。

表5 第1次の学習指導

酸性雨の原因物質の一つである窒素酸化物についての地域のデータから自動車が汚染源になっていることを知る。

第4次 原因物質の移動と酸性雨対策

酸性雨の原因となる物質は広域を移動することから、国際的対策が必要であることを知り、そのために日本が何をできるかを考える。

以下、具体的な内容を述べる。

(1) 酸性雨の実態とその影響

ここでは酸性雨が世界各地、また自分達のすんでいる地域にも降っていること、そして酸性雨の影響の一端とも考えられる酸性つららを通して酸性雨の影響が身の回りで見られることを理解することをねらいとしている。

これらの目標を達成するため、表5のように学習指導を行う。

なお酸性つららについては、酸性雨がその成長を促進させ、コンクリートを劣化させる可能性があるという考えだけでなく、酸性つららができるのはコンクリートの中性化の過程で起きる通常現象で、構造物の強度には影響を与えないという考えもあることも扱う。

(2) 酸性雨の原因物質

ここでは酸性雨のできるしくみを理解することをねらいとし、表6のような学習指導を行う。

(3) NO₂濃度と自動車交通量の関係

ここでは、地学部の調査したデータにもとづき、生徒自身も受益者になっている自動車が、環境汚染源になっていることを実感させることを目標とし、表7のような

学習内容	学習指導の展開
〈生徒実験〉 イオウの燃焼実験	・イオウを燃焼させ、それによって生じるSO ₂ を水に溶かすと強い酸性を示すことを理解する。 燃焼サジで燃やしたイオウを集気ビン中の水に溶かし、pHを測定して強酸性を示すことを知る
〈考察〉	・石油・石炭等の化石燃料はイオウを含むことから、このような燃料を使い、二酸化イオウの発生源となるものを考える。
〈講義〉	・酸性雨の原因物質となるイオウ酸化物、チッソ酸化物の排出源の種類と排出量の動向を知り、また乾性沈着や湿性沈着でどのような物質が降下してくるかを調べる。またその排出量が日本においては特にチッソ酸化物を中心にその削減が進んできていることを理解させる。

表6 第2次の学習指導

学習内容	学習指導の展開
〈実習〉	・本校地学部の集めた須坂市の18地点のデータからNO ₂ 濃度の分布図を描く。
〈考察〉	・分布図からどんなことがいえるか考察する。 なぜ市の中心地域ではNO ₂ 濃度が高いのか。 市南東部に向かって帯状にNO ₂ 濃度の高い地域が伸びているが、なぜか。
〈実習〉	・地学部の調べたデータから交通量とNO ₂ 濃度の関係をグラフ化する。
〈考察〉	・NO ₂ 濃度と交通量の関係を考える。 また交通量が増えればNO ₂ 濃度が増えるという一般的な関係からはずれた場所(葦堂トンネル)についてその原因を考える

表7 第3次の学習指導

学習指導を行う。

(4) 酸性雨の原因物質の移動と酸性雨対策

ここでは次のことをねらいとする。

酸性雨をもたらす物質は排出源近傍だけでなく、風によって遠方へ運ばれて、そこでも酸性雨をもたらすこと

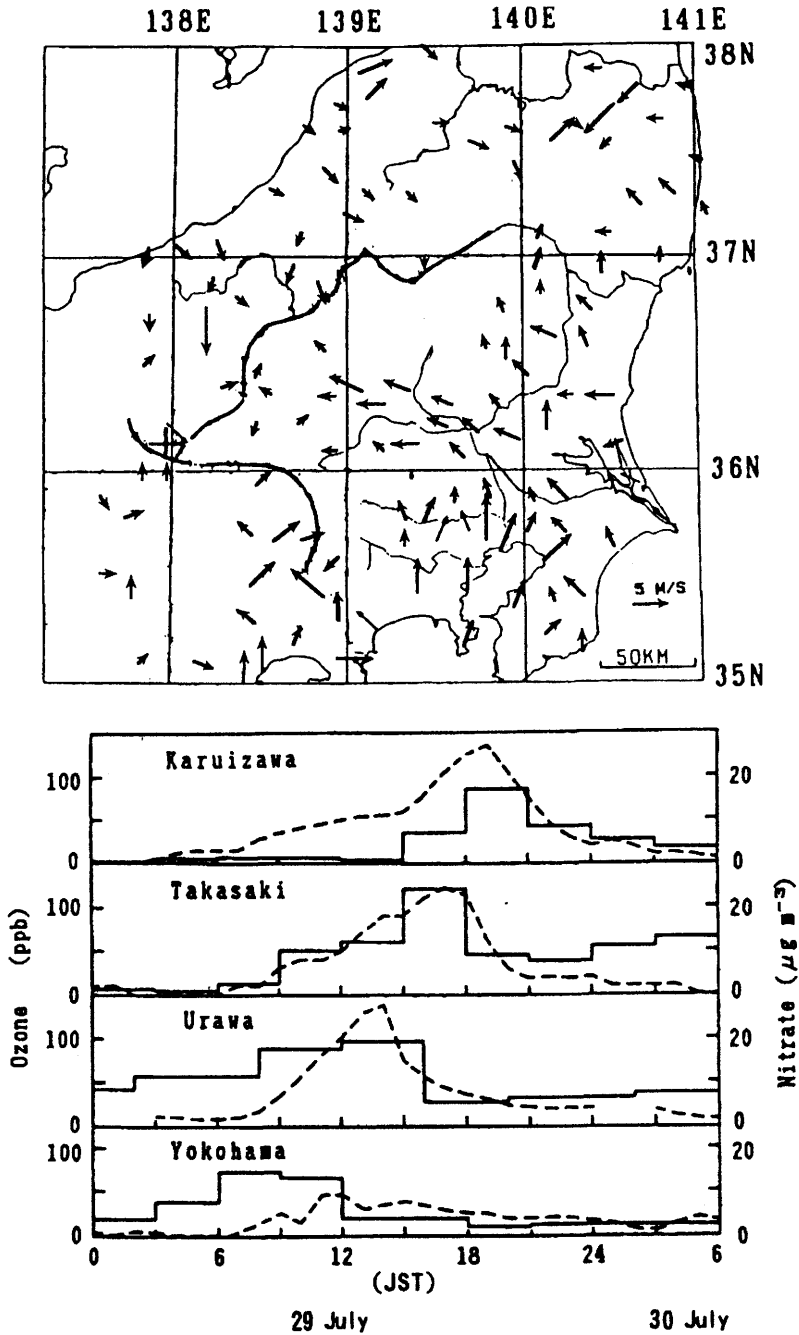


図3(上) 1983年7月29日日本標準時15:00における地上風

太い線は日本海からの風と太平洋からの風の収束する場所を表す。十字線は低気圧の中心を表す。(引用は SATSUMABAYASHI H., KURITA H., 1992 Diurnal Variation of OH Radical and Hydrocarbons in a Polluted Air Mass during Long Range Transport in central JAPAN. Atmospheric Environment, Vol. 16, No. 15 より)

図3(下) 1983年7月29日の日中におけるオゾンと硝酸の濃度の変化

オゾンは点線, 硝酸 (HNO₃ と NO₃⁻) は実線で表す。(引用は SATSUMABAYASHI H., KURITA H., 1992, Diurnal Variation of OH Radical and Hydrocarbons in a Polluted Air Mass during Long-Range Transport in central JAPAN. Atmospheric Environment, Vol. 16, No.15 より)

学習内容	学習指導の展開
《講義》	1983年7月29日におけるオゾンおよび窒素酸化物濃度の横浜、高崎、浦和、軽井沢での経時の変化のグラフと当日の関東～長野県の風系から汚染物質が東京湾岸から遠く長野県まで輸送されてきていることを知る。また中国や朝鮮半島からの季節風による汚染物質輸送もあることを知る。
《討論》	酸性雨を防ぐため、我々日本人はなにをなすべきかを、班別に討論する。その際、化石燃料にかわる代替エネルギーやエネルギーの節約、脱硫・脱硝装置について記した資料(使用したのは村野健太郎「酸性雨と酸性霧」(1993)と広瀬弘忠「酸性化する地球」(1990))を参考とする

表8 第4次の学習指導

を知る。またこのような酸性雨の特性から、酸性雨対策は国際的協力が必要であることを理解し、日本の果たすべき役割を考えられるようにする。この目標実現のため次のことに配慮する。

①公害は遠くの都会のことで、本校の立地するような田園地帯には関係ないという先入観を打破するため、東京湾岸からの汚染物質の長野県内への輸送という事象を扱う。なお使った資料は Satsumabayasi & Kurita (1989) から引用する (図3)。

②季節風による大陸からの汚染物質の輸送に触れ、中国の工業化に伴う汚染は日本にとっても重大なことであり、国際協力による汚染防止が必要という観点を強調する。学習指導は表8のように行う。

4. 授業に対する生徒の反応

「3. 教材の構成」の授業計画に従って、授業を実践してみた。4時間の予定だが、交通量とNO₂の関係については一部を自習時間の課題にしたため実際にかけた時間は4時間よりやや多い。実施の対象としたのは長野県須坂高校の選択地学受講者29名で、実施時期は1993年10月上旬である。生徒はpHについては履修済みである。

生徒の反応を見たのは酸性つららの観察、NO₂濃度と交通量の関係の推測、酸性雨の対策についての3つなので、それぞれについて述べる。授業の評価としては事前・事後の知識調査などが考えられるが、教材の目的が知識を得ることだけではなく、自分自身の意見を形成するきっかけをつくることにもあるため、生徒の記述か

ら、授業の目的が達せられたかどうか判断した。

(1) 酸性つららの観察について

酸性つららの観察については

- ・中に空洞ができています
- ・もろい
- ・酢のようなにおいがある
- ・層がいくつもかさなり、形成されている
- ・穴の中に粒状の細かいものがある
- ・軽い
- ・中は真っ白で貝殻のようだが、表面は薄暗い色
- ・うずをまいているようだ
- ・うすくて硬いまくのようなものが何枚も重なっている

これらに見られるように、酸性つららの特徴である中空で結晶成長の跡が観察されている。

観察に先立ち、観察を促進するねらいからスケッチも行った。酸性つららの写真とスケッチを図4に示す。

(2) NO₂濃度と自動車交通量の関係

NO₂濃度分布図における各測定点での測定値の変化に関する考察については次のような記述が見られた。

- ・NO₂濃度の高い場所というのは、須坂市の中心地で、車の交通量も多い。そのため排出されるNO₂濃度も高くなる。
- ・道路にそって濃度の高くなっているのは自動車の排気ガスによるものだろう、市街地が特に濃度が高くなっているのは、車が通り過ぎるだけでなく、市内をめぐるからだろう
- ・というように市街中心地での交通量の多さに原因が求められている。また

・須坂市はまわりが山で囲まれているため、市街地で発生したNO₂がまわりに発散されず、停滞するからと地形的要因をあげる生徒も見られた。

一方交通量とNO₂濃度との関係の考察については

- ・交通量が多くなると、それだけ排気ガスが多くなるので、それに比例してNO₂濃度も増す

に代表されるように交通量とNO₂濃度に正の相関を認めた意見がほとんどであった。しかしトンネルを例外的な場所と考えず、相関を認めなかった生徒が2人だけだったので、須坂地区ではNO₂を大量に排出するような事業所はなく、交通量の影響でほぼ濃度が決まってくることを各班による討論後、教師側で補足した。交通量とNO₂の一般的な関係からははずれた例外的な場所(菴堂トンネル)が見られる理由についての考察については

- ・トンネルによって、車から放出されたNO₂が拡散されないため

- ・ 空気の循環があまりないので、NO₂がたまってしまっていると思う
 - ・ ように、トンネル内外の空気の交換の悪さに注目する意見が多かったが、
 - ・ トラックなどの大型車がよく通るという意見も見られた。
- 以上を総括すると NO₂ 濃度と自動車についての関係はほぼ理解されたといえる。

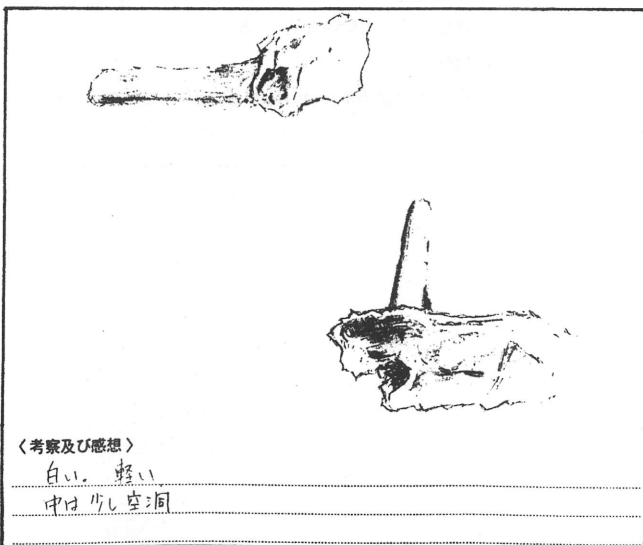


図4 酸性つららの写真とスケッチ

(3) 酸性雨をふせぐために日本人が何をすべきかについて

この部分については意見が多岐にわたり、目的の達成度について一概に言えないが、大きくわけて、具体的対策を求める意見、意識啓発を求める意見、国際協力を求める意見の3種類があった。以下それを例示する。

《具体的対策を求める意見》

- ・ 水素で走る車を開発すべきだ
- ・ SO₂ や NO₂ が発生する過程において、それらを安全な気体に変えるような技術を開発すべきだ
 - ・ 省エネルギーに努める
 - ・ 電気や車の節約
 - ・ バスや電車などの交通網をより発達させ、マイカーでの移動をなるべく少なくして、排気ガスをおさえ、燃料を節約する
 - ・ 排気ガスなどの法的規制をもっと厳しくする
 - ・ 火力発電を減らし、原子力や自然の力を利用した発電を進める

《意識啓発を求める意見》

- ・ 一人一人の酸性雨に対する認識を高める
- ・ 一人一人が省エネルギーに協力すれば、かなり大きな抑制体策になる
- ・ 日本人すべてが汚染源であることを認識し、政府を中心にもっと意識の向上をめざすべきだ
- ・ 環境に関する教育をもっと多くすべきだ
- ・ 学校で酸性雨についての勉強を必須にすべきだ

《国際協力を求める意見》

- ・ (日本の) 世界最高水準の技術を少しでも多く地球を守る方向へ応用し、世界各国と協力すべきだ
- ・ 日本はもっと発展途上国に対して技術援助をすべきだ
- ・ 周辺各国と協力し、有害物質の排出を少なくすべきだ
- ・ 日本のような先進国が環境保護のために途上国を援助するのは義務だ
- ・ 日本の技術は高いので、お金だけでなく、技術や技術者の援助も行えば良いと思う
- ・ 日本は発展途上国と同じこと(酸性雨)をくりかえさせないように技術補助だけでなく、公害についてのアドバイスをしたらよい

以上をまとめると、参考文献をうのみにしている面も見受けられるが、生徒の酸性雨防止への認識はかなり深まったと思われる。

5. おわりに

酸性雨について酸性雨の実態、原因物質、原因物質の一つであるNO₂と自動車との関係、原因物質の移動と酸性雨対策の各項目について地学部の調査結果を利用した教材を作成し、またその実線を行った。生徒の反応からこの教材は酸性雨の理解に有効であったといえる。

高等学校においては何らかの形で理科クラブが存在し、地域の自然を研究の対象としている事が多い。その貴重なデータを利用することにより、より地域の自然に密着した授業が可能であろう。本研究では酸性雨を題材としたが、その他にも川の汚染や地域の地質などいろいろな題材が考えられ、それらを教材化してゆくことを考えている。

謝 辞

本論文は原子力文化振興財団のクロスカリキュラムプロジェクトの一環として行われた実践をまとめたものであり、実践を行うにあたり、信州大学教授飯利雄一氏には終始懇切なご指導をいただいた。また信州大学教授干

川圭吾氏、元神戸大学教授恩藤知典氏、元東京大学教授綿抜邦彦氏には有益な助言をいただいた。財団職員の方々には様々な便宜をはかっていただいた。ここに記してこれらの方々に謝意を表する。

参考文献

- 小林一輔・宇野祐一, 1991, 酸性雨によるコンクリート構造物の劣化機構に関する研究. コンクリート工学年次論文報告集, 13巻, 1号, 615-620.
- SATSUMABAYASHI H., KURITA H., 1992, Diurnal Variation of OH Radical and Hydrocarbons in a Polluted Air Mass during Long-Range Transport in central JAPAN. *Atmospheric Environment*, Vol. 16, No. 15, 2835-2844.
- 長野県教育委員会, 1994, 環境教育指導資料集, 99 p
- 広瀬弘忠, 1990, 酸性化する地球. N H K ブックス, 214 p
- 村野健太郎, 1993, 酸性雨と酸性霧. 裳華堂, 179 p
- 山本豊, 1989, 降雪中に含有される化学組成の地理的分布とその教材化. 地学教育, 42巻, 6号, 243-250.
- 渡辺博志・河野広隆・堤博文, 1992, コンクリート構造物に及ぼす酸性雨の影響に関する研究. コンクリート工学年次論文報告集, 14巻, 1号, 909-914.

荻原 彰: 高等学校における酸性雨とそれに関連した現象についての試み, 地学教育, 48巻, 4号, 139~146, 1995.

キーワード: 酸性雨, 大気汚染, 高等学校地学, クラブ活動, 教材開発

要約: 高等学校の地学クラブの研究結果を使い, 酸性雨に関して地域の実態に即した形での教材開発を行った。

扱っている内容は雨水の酸性度, 酸性つらら, 市街地を中心としたNO₂濃度などである。

生徒の反応からみて酸性雨の理解に有効な教材であったと思われる。

Akira OGIWARA: The trial of learning material about Acid rain and relating things in High school. Using the study of school science club. *Educat. Earth Sci.*, 48(4), 139~146, 1995.