

環境教育の教材開発

— 植物の大気浄化 —

佐藤 成哉・井上 二夫*・岩崎 ゆかり**

Development of Teaching Materials for Environmental Education

— Air Clarification power of vegetation —

Shigeya SATO, Tsugio INOUE* and Yukari IWASAKI**

(Received October 4, 2004)

As one of the Teaching materials for environmental education, both present condition investigation of the air pollution by nitrogen oxide and sulfur oxide and air clarification power of trees have been widely investigated.

It was found that having influence with remarkable geographical factors (geographical feature, weather, etc.) and the contamination by sulfur oxide were not accepted in the pollution situation by nitrogen oxide. Since it turns out that there is work which adsorbs and absorbs a contaminant in the leaf of a roadside tree, it was found that a leaf can be used for air investigation. Also as for soil and vegetable, it was found that there was work which carried out decomposition removal.

Key Words : environmental education, air pollution, clarification, leaf

I 緒言

近年、科学技術の飛躍的な進歩と産業の活性化により我々の生活は豊かになった。しかしその一方で、人間活動の拡大にともない、地球温暖化、オゾン層破壊、熱帯雨林減少など、地球規模での自然破壊を招き、さらに我々の生活様式の変化にともなうごみの増加、水質汚濁、大気汚染など、我々の身近に感じられる都市（生活）型公害問題をも引き起こしている。したがって、地球規模だけでなく、地域における環境保護・保全の重要性が認識されるようになり、「自然と人間の調和」が、我々に課せられた最重要課題であるように思われる。

このような考えを反映し、文部科学省においても、ますます複雑化する環境問題に対して、環境について豊かな感受性や見識を持つ人づくりこそ環境問題解決の確実な方法であると、「環境教育」の必要性を唱えている。そのため、各自治体の教育委員会が環境教育に関する指導資料や副読本を作成し、刻々と変化する生活環境に対応すべく「環境教育」が行われている。

本研究室では、地域の自然環境を素材とした副読本が、真の環境教育を遂行していくために必要不可欠であると考え、「水」を題材とした環境教育の副読本・資料集の製作を行ってきた。今回は、地球上のすべての生き物にとって「水」とともに必要不可欠なものである「空気」に着目し、窒素酸化物・硫黄酸化物による大気汚染の現状及び自然界（特に植物）の大気浄化作用について詳細な調査・研究を行うこととした。

その結果、硫黄酸化物による汚染はあまり認められなかったものの、窒素酸化物による汚染は交通量（排ガス）が主因であることが確認された。また、その一方で、植物（樹木）はそれら汚染物質を吸着・吸収することで、大気の浄化に携わっているという興味ある結果が得られたので、ここに報告する。

II 実験

II・1 装置

吸光光度計（日本分光 UVTEC-660）、pH メーター（日立一堀場 B-112）、イオンクロマトグラフ（東亜電波 ICA-3000（カラム PCI-201S））、遠心分離機

* 八代郡宮原町及び八代市中学校組合立氷川中学校

** 上益城郡甲佐町立乙女小学校

(日立 CENTRIFUGE 03P), 攪拌機 (イワキ KM式 垂直振り混ぜ機), 定温乾燥器 (TOKYO OGAWA 京用 46) を用いた。

II・2 試 薬

○水: すべてイオン交換水を使用

《窒素酸化物》

<二酸化窒素>

◎ザルツマン法

○10%-TEA 液: トリエタノールアミン (和光純薬) 原液を水で希釈

○ザルツマン液: リン酸 (和光純薬) [30ml] とスルファニル酸 (和光純薬) [5.0g] と N-(1-ナフチル) エチレンジアミン二塩酸塩 (和光純薬) [50mg] を水で溶解し [1ℓ] に調製

<溶存イオン>

●亜硝酸イオン

○0.1N-H₂SO₄: 硫酸 (和光純薬) 原液を水で希釈

○GR 試薬: グリースロミイン亜硝酸試薬 (和光純薬)

○エタノール: 95% エタノール (和光純薬) をそのまま使用・NO₂⁻標準液 [1000ppm]: 亜硝酸ナトリウム (和光純薬) [150mg] を水で [100ml] に溶解

●硝酸イオン

○0.1N-H₂SO₄: 硫酸 (和光純薬) 原液を水で希釈

○GR 試薬: グリースロミイン硝酸試薬 (和光純薬) をそのまま使用

○エタノール: 95% エタノール (和光純薬) をそのまま使用・NO₃⁻標準液 [1000ppm]: 硝酸ナトリウム (和光純薬) [137mg] を水で [100ml] に溶解

《硫黄酸化物》

<全硫黄酸化物>

◎クロラニル酸バリウム法

○40%-K₂CO₃溶液: 炭酸カリウム (和光純薬) [40g] を水で [60ml] に溶解

○CLB: クロラニル酸バリウム (同仁化学) をそのまま使用

○30%-H₂O₂: 過酸化水素 (和光純薬) をそのまま使用

○1%-HNO₃: 硝酸 (和光純薬) 原液を水で希釈

○緩衝液: 0.1N-酢酸 [24ml] と酢酸ナトリウム [74mg] を水で [100ml] に溶解 (pH3.7)

○2, 5-ジニトロフェノール溶液: 2, 5-ジニトロフェノール (和光純薬) [0.1g] をエタノール [50ml] で溶解後, 水で [100ml] に希釈調製

<溶存イオン>

●硫酸イオン

○2-AP・HBr 溶液: 2-アミノペリジン臭化水素酸塩 (同仁化学) [264mg] を水で [100ml] に溶解

○緩衝液: 0.1N-酢酸 [3ml] と酢酸ナトリウム [787mg] を水で [100ml] に溶解 (pH6)

・SO₄²⁻標準液 [1000ppm]: 硫酸アンモニウム (和光純薬) [138mg] を水で [100ml] に溶解

・SO₃²⁻標準液 [1000ppm]: 亜硫酸ナトリウム (和光純薬) [156mg] を水で [100ml] に溶解

<その他>

◎イオンクロマト法—各種陰イオンの同時定量—

○溶離液 [pH4]: 10mM-フタル酸 [250ml] と 0.1M-トリスヒドロキシメチルアミノメタン [24ml] を水で [1ℓ] に溶解 (メンブランフィルター (0.22 μm) で吸引ろ過後, 脱気 (30~60分) して用いた)

●アンモニウムイオン

○フェノールプルシッド液: フェノール [5g] とニトロプルシッド Na [25mg] を水で [500ml] に溶解

○次亜塩素酸溶液: 次亜塩素酸 Na [20ml] と NaOH [10g] を水で [1ℓ] に溶解

II・3 標準操作および分析操作法

【大気汚染物質分析法】

<二酸化窒素>

◎ザルツマン法

フィルムケース (捕集管)

└ろ紙 (2×9.5cm).

└10%-TEA 液 0.5ml

大気暴露 (24時間)

回 収

└ザルツマン試薬 5.0ml

放 置 (15分)

試験管 (10ml) に移す

分 離 (5分)

吸光度測定 (541nm 対照: 水)

<全硫黄酸化物>

◎クロラニル酸バリウム法

(a) アルカリろ紙の作成

シャーレ

└40%-K₂CO₃適量,

└ろ紙 (5×13cm)

浸 す (1分)

乾 燥 (100℃ 5~6時間)

(b) 大気暴露および試料液の生成

350ml 空缶 (捕集管)

└アルカリろ紙

大気暴露 (30日間)

回 収

- ビーカー (200ml)
 ↳水 100ml
 煮沸 (15 ~ 20 分)
 ↳水 適量 (全量 100ml)
 20ml 採取、三角フラスコ (100ml) に移す
 ↳30%-H₂O₂ 0.2ml
 放置 (30 分)
 ↳指示薬 (2,5- ジニトロフェノール溶液) 0.2ml
 滴定 (1%-HNO₃ 終点 黄→無色)
 煮沸 (5 ~ 10 分)
 メスフラスコ (25ml) に移す
 水 適量 (全量 25ml)
- (c) 測定法
- 試験管 (10ml)
- | | | |
|---|-------|-------|
| ↳ | 試料液 | 2.5ml |
| ↳ | エタノール | 5.0ml |
| ↳ | 緩衝液 | 2.5ml |
| ↳ | CLB | 50mg |
- 振とう (20 分)
 分離 (5 分)
 吸光度測定 (534nm 対照: 水)

・硫酸イオン (2.0 ~ 50ppm)

- 試験管 (10ml)
- | | | |
|---|------------|-------|
| ↳ | 試料液 | 1.0ml |
| ↳ | 緩衝液 | 1.0ml |
| ↳ | 2-AP・HBr 液 | 2.0ml |
- 吸光度測定 (600nm 対照: 水)

・亜硝酸イオン (0.25 ~ 10ppm)

・硝酸イオン (0 ~ 25ppm)

- 試験管 (10ml)
- | | | |
|---|---------|-----------|
| ↳ | 試料液 | 2.0ml |
| ↳ | 0.1N-硫酸 | 0.5ml |
| ↳ | GR 試薬 | スパーテル 1 杯 |
- 加熱 (60℃ 30 分)*
 冷却 (5 分)
 ↳エタノール 2.5ml

吸光度測定 (532nm 対照: 水)

* 硝酸イオンの測定では、加熱しない

・アンモニウムイオン (0 ~ 10ppm)

- 試験管 (10ml)
- | | | |
|---|-------------|-------|
| ↳ | 試料液 | 1.0ml |
| ↳ | ニトロプルシッド Na | 1.0ml |
| ↳ | 次亜塩素酸 Na | 1.0ml |
- 放置 (1 時間)
 吸光度測定 (630nm 対照: 水)

<その他>

◎イオンクロマト法 (陰イオン)

流速: 1.0ml / min.
 注入量: 100 μ l

Ⅲ 結果と考察

大気 (低層) 中では、2 種類の窒素酸化物 (一酸化窒素 (NO) と二酸化窒素 (NO₂)) が汚染の主因と言われているが、この 2 種類は紫外線により互に変換する性質を有しているため、一般的には両者を併せた窒素酸化物 (NO_x) として記述される¹⁾。

そこで今回は、窒素酸化物の中で特に人体への影響が顕著である二酸化窒素に着目し、学校現場でも簡単に測定可能な定量法の開発をめざした。二酸化窒素の定量法に関しては、亜硝酸イオンとザルツマン試薬とのジアゾ化反応を利用した比色法が報告されているので²⁾³⁾、これをもとに測定を行った。

また、NO₂とならんで主要大気汚染物質とされているのが硫黄酸化物で、一般に SO_x と呼ばれている。SO_xの主な発生源は、有機物のバクテリアによる分解、火山からの噴出などの自然源と、石炭・石油の燃焼、石油精製、金属精錬、つまり火力発電や工場を由来とする人工源がある²⁾。発生量としては人工源からの方が断然多く、高度成長期には工場地帯を中心にひどい公害を引き起こした。

現在は、脱硫装置の発達のおかげで排出量が大幅に減ったと言われる SO_x だが⁵⁾、この定量法として、クロラニルバリウム (CLB) 法²⁾³⁾⁴⁾ というものが報告されている。これは、硫酸イオンが CLB と反応すると硫酸バリウムの沈殿を生じるとともにクロラニル酸イオンの遊離が起きる。この遊離したクロラニル酸イオンは硫酸イオンと当量関係にあり赤紫色を呈しているので、530nm 付近で吸光度測定することで間接的に硫酸イオンを定量するものである。そこで、この CLB 法をもとに測定を行った。

Ⅲ・1 二酸化窒素による大気汚染の現状—熊本市— ◎月別変動

熊本市内に 5 カ所の定点を設置し、5 月下旬より測定を行った。その結果、理科棟屋上は常に一番低い数値を示し比較的汚染されていないことがわかった。他の 4 点は数値の変動が激しく汚染状況にあまり差はない (9 ~ 10 月を除けば) と言えよう。

また屋上だけに注目すると、冬場になるにつれてだんだんと高い数値が得られる (汚染の進行) 傾向が見られた。これは、冬場の方が日差しが弱いので NO₂ が分解されにくく、さらに上空に気温の逆転層ができや

表 1. 二酸化窒素の月別変動 (μg)

| 測定月 | 熊大前 (屋上) | 熊本駅前 | 藤崎宮 | 保田窪 |
|-----|-------------|------|------|------|
| 5月 | 7.8 (2.5) | 12.0 | 11.7 | 8.0 |
| 6月 | 10.8 (2.9) | 10.0 | 12.1 | 11.9 |
| 7月 | 7.2 (4.0) | 7.9 | 7.7 | 9.6 |
| 8月 | 6.5 (2.2) | 5.8 | 6.9 | 7.1 |
| 9月 | 7.8 (4.2) | 9.5 | 13.3 | 19.3 |
| 10月 | 8.1 (5.0) | 10.4 | 11.8 | 17.0 |
| 11月 | 7.7 (7.1) | 10.9 | 8.5 | 11.0 |
| 12月 | 12.1 (10.3) | 12.9 | 12.3 | 17.2 |

表 2. 二酸化窒素の日別変動 (μg)

| 10月 | 熊大前 | 屋上 | 立田山 |
|-----|------|-----|-----|
| 6日 | 12.6 | 8.1 | 4.8 |
| 7日 | 7.9 | 7.2 | 2.7 |
| 8日 | 8.3 | 6.2 | 6.7 |
| 9日 | 7.1 | 4.8 | 3.8 |
| 10日 | 14.4 | 8.0 | 6.6 |
| 11日 | 10.8 | 7.6 | 6.1 |
| 12日 | 9.3 | 7.3 | 7.4 |
| 13日 | 15.9 | 7.9 | 6.5 |
| 14日 | 15.2 | 9.4 | 8.8 |
| 15日 | 10.0 | 7.6 | 6.0 |
| 16日 | 8.9 | 6.1 | 5.2 |
| 17日 | 11.8 | 7.5 | 6.8 |
| 18日 | 10.8 | 8.4 | 5.9 |
| 19日 | 13.0 | 7.9 | 7.2 |
| 20日 | 14.8 | 6.3 | 7.2 |

表 3. 二酸化窒素の時刻別変動 (μg)

| 時刻 | 熊大前 | 屋上 |
|-------|------|------|
| 02:00 | 0.70 | 0.66 |
| 04:00 | 0.70 | 0.55 |
| 06:00 | 0.79 | 0.66 |
| 08:00 | 1.42 | 0.75 |
| 10:00 | 1.25 | 0.80 |
| 12:00 | 1.08 | 0.78 |
| 14:00 | 0.79 | 0.30 |
| 16:00 | 0.75 | 0.65 |
| 18:00 | 0.74 | 0.66 |
| 20:00 | 0.75 | 0.67 |
| 22:00 | 0.92 | 0.79 |
| 24:00 | 0.70 | 0.66 |

すいたため NO_2 が上昇気流によって拡散されにくいから
だと思われる。この傾向は他の4点でも見られるが変
動幅が大きいためはつきりとは言及できない。ともか
く、各地点で夏場(8月)に最低値を記録し、冬場にか
けては数値の上昇傾向がみられるので、大気中の
 NO_2 濃度は季節的変動をしているものと思われる(表
1 参照)。

◎日別変動

次に日別でどの程度の濃度変動をしているのか調べ
るため15日間連続測定した。

その結果、日によっても比較的大きな変動があるこ
とがわかった。これは日射量や風の有無、気温などの
気象条件の変化が影響しているためと思われる。また、
変動幅の大きさは熊大前(R57)で最も大きいことか
ら、 NO_2 を排出している車の影響を直接受けやすい交
通量の激しい場所ほど、日別変動が顕著であると考え
られる(表2 参照)。

◎時刻別変動

次に NO_2 が24時間中でどんな変動をしているか調
べるため、2時間おきの採取による測定を行った。

表 4. 二酸化窒素による汚染状況 (μg)

| 阿蘇・大津地区 | | | | | | | 八代地区 | | | | | |
|---------|------|------|------|-------|------|-------|------|------|------|-------|------|------|
| | 赤水 | 料金 | 入口 | 赤橋 | ミルクロ | 大津 | 工場裏 | 水無川 | 大瀬 | 八代城 | 坂本村 | 氷川 |
| 11月 | 6.05 | 1.74 | 6.16 | 10.30 | 8.16 | 11.74 | 8.19 | 4.74 | 2.08 | 6.94 | 4.12 | 2.08 |
| 12月 | 7.24 | 0.90 | 7.50 | 10.42 | 8.08 | 11.49 | 8.10 | 5.03 | 2.15 | 7.46 | 4.50 | 2.15 |
| 1月 | 5.80 | * | 4.55 | 8.05 | 9.30 | 15.70 | 9.85 | 7.20 | 4.95 | 10.85 | 6.05 | 4.25 |

| 熊 本 地 区 | | | | | | | | | |
|---------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 水道町 | 元三町 | 金峰山 | 松橋 | 熊大前 | 保田窪 | 熊本駅前 | 藤崎宮 | 屋上 |
| 11月 | 20.37 | 7.71 | 1.64 | 8.37 | 8.38 | 16.77 | 10.60 | 12.37 | 5.14 |
| 12月 | 19.90 | 7.54 | 1.96 | 5.09 | 8.11 | 12.95 | 10.84 | 10.74 | 4.27 |
| 1月 | 23.55 | 13.45 | 3.25 | 11.20 | 11.55 | 17.55 | 17.15 | 18.10 | 10.05 |

表 5. 硫酸化物による汚染状況 ($\text{mg}/100\text{cm}^2 \cdot \text{day}$)

| 阿蘇・大津地区 | | | | | | | 八代地区 | | | | | |
|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 赤水 | 料金 | 入口 | 赤橋 | ミルクロ | 大津 | 工場裏 | 水無川 | 大瀬 | 八代城 | 坂本村 | 氷川 |
| 11月 | 0.161 | 0.191 | 0.224 | 0.138 | 0.220 | 0.135 | 0.155 | 0.243 | 0.178 | 0.201 | 0.141 | * |
| 12月 | 0.255 | * | 0.071 | 0.084 | 0.103 | 0.391 | 0.119 | 0.118 | 0.415 | 0.451 | 0.356 | 0.088 |

| 熊 本 地 区 | | | | | | | |
|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 保田窪 | 熊大前 | 熊本駅前 | 藤崎宮 | 元三町 | 金峰山 | 松橋 |
| 11月 | 0.188 | * | 0.269 | 0.207 | 0.296 | 0.168 | 0.243 |
| 12月 | 0.518 | 0.489 | 0.312 | 0.211 | 0.156 | 0.062 | 0.119 |

その結果、交通量が減少する夜には NO_2 も減少している。そして、朝になるにつれてだんだんと数値は上がっていき、熊大前では通勤時の午前 8:00 に最大の値を示した。このことから 1 日の中だけでも NO_2 は比較的大きな変動をしていることがわかった (表 3 参照)。

Ⅲ・2 二酸化窒素及び硫酸化合物による大気汚染の現状—熊本県内—

11 月 (八代地区のみ 10 月) より NO_2 の測定に加えて SO_x の測定も同時に行った。その結果を表 4、5 に示す。 NO_2 については表 4 より、予想通り交通量の多い地点 (熊本市内: 水道町) で高い数値が得られた。また、八代の工場裏では交通量が少ないにも関わらず、工場近くの「水無川」と比べてかなり高い数値が観測され、工場からの排ガスが一因ではないかと推測される。一方、国道 3 号線沿いにもかかわらず氷川の数値が低いのは、その辺り一面が地形的に開けており (平野部) 大気循環・風の影響があるのではないかとと思われる。同様な傾向が交通量の多い熊本市内 (金峰山や立田山) でも観測されており、 NO_2 による大気汚染は地理的条件にかなり影響されることがわかった⁶⁾。

一方、大気中の硫酸化合物に関しては、表 5 に示すように、測定回数、大気中の硫酸化合物の量的問題・気象条件 (一ヶ月の暴露期間) などにより、何らかの傾向を認めるまでには至らなかった。また、硫酸化合物の排出源としてこれまで言われていた工場付近からでさえも、一度も異常値が観測されなかった。

Ⅲ・3 樹木や土壌を利用した大気汚染物質の測定—樹木 (葉) の場合—

植物は光合成によって二酸化炭素を取り入れ酸素を生み出すことから、我々人間にとって大変身近なものである。今回、主題として行ってきた大気汚染物質の定量法の確立は、そのこと自体大変意味のあることだが、身の回りにある樹木 (葉) を使って、大気汚染について何か言及できるならば、これを利用することは教材として十分な利用価値があると思われる。

最近、マツやスギの立ち枯れが目立ってきた⁷⁾ と言われ、その原因の一つとして酸性雨が挙げられているが、 NO_2 や SO_x も葉に付着、吸着する形で何らかの影響を与えているものと思われる。そこで、視覚に訴えることのできる比色法を用いた定量⁸⁾ を中心に、操作 A に従い、葉に付着している大気汚染物質の測定を行った。なお、葉は下記の地点から採集して実験に用いた。

(a) 東バイパス沿い (大気汚染がひどい):

サンゴジュ、カイヅカイブキ、マツ、枯マツ

(b) 大学構内 (大気汚染が比較的少ない):

カイヅカイブキ、マツ

操作 A: 容器 (500ml) に葉 [20g] と水 [10ml] を入れて激しく振とう (30 分) し、吸引ろ過する。再度水 [10ml] を加えて振とうする。この作業を計 5 回繰り返した後、得られたろ液を一つにまとめて試料液とし、pH と溶存陰イオン (亜硝酸イオン、硝酸イオン、硫酸イオン) 量を比色・比濁法により測定する。

その結果、表 6 からわかるように、東バイパスの方が大学構内よりも明らかに大気汚染物質の葉への付着が認められ、より汚染がひどいことが証明された。また、マツ葉 (生) よりもマツ葉 (枯) から異常に多い汚染物質が検出 (約 2 倍) されたのは、葉の水分量 (枯れ葉と生葉それぞれ 20g 中の含水量: 7.14g と 12.24g) のためと思われる。一葉の表面積は、枯れ葉の方が倍近くある。なお、亜硝酸イオンはほとんど検出されてこなかった。

降雨後に採集した葉から検出される各イオン量は晴れの場合と比較して明らかに減っていることから、雨は葉 (表面) を洗浄していることがわかる。逆に考えれば晴れのときでも大気中には酸性物質が浮遊しており、葉に付着する酸性物質は必ずしも酸性雨からだけではない (乾性沈着が大きく起因している) ということがわかった。同様なことが酸性度からも言及することができる (降雨後に採集した葉の洗浄液の pH は、晴れの時と比べて高い数値を示す) (表 7 参照)。

表 6. 葉洗浄液中のイオン量 (μg)

| | | 硝酸イオン | | 硫酸イオン | |
|-----------------------|---------|-------|-----|-------|-----|
| | | 晴れ | 雨 | 晴れ | 雨 |
| 東 バ イ パ ス | サンゴジュ | 284 | 91 | 349 | 250 |
| | カイヅカイブキ | 535 | 162 | 478 | 117 |
| | マツ (生) | 328 | 71 | 120 | 113 |
| | マツ (枯) | 776 | 258 | 563 | 257 |
| 大 学 | カイヅカイブキ | 189 | 143 | 34 | 33 |
| | マツ (生) | 250 | 62 | 121 | 112 |

表 7. 葉洗浄液の pH 値

| | | 晴天時 | 雨天時 |
|-----------------------|---------|-----|-----|
| | | | |
| 東 バ イ パ ス | サンゴジュ | 6.8 | 7.0 |
| | カイヅカイブキ | 6.5 | 6.9 |
| | マツ (生) | 5.0 | 5.6 |
| | マツ (枯) | 4.9 | 5.5 |
| 大 学 | カイヅカイブキ | 6.1 | 6.8 |
| | マツ (生) | 5.7 | 6.1 |

このように葉洗浄液の分析結果は大気汚染に関する様々な事象を物語っており、環境教育における教材として“樹木（葉）”は十分に利用できることがわかった。

ー土壤の場合ー

前述したように、葉の洗浄液から大気汚染の状況を推論することができた。そこで、大気中の浮遊物質がやがて付着し堆積する「土壌」は、本目的に利用できないかどうか調べてみることにした。そこで、操作Bに従って試料液の調製を行い、土壌表面中の無機陰イオンの量変化、および窒素の循環（窒素同化）をみるため、アンモニウムイオンの定量も同時に行った⁹⁾。

操作B：土壌中の細菌を殺すため耕作土壌を乾燥器（200℃）の中に丸一日入れて乾燥させた。そうして得られた乾燥土と、何もしていない普通土を別々に、小さな容器に小分けして熊大前（R57 沿い）に大気暴露し、これを1日おきに採取してくる。採取してきた土を2gずつ計りとり、水を[10ml]加えて1時間振とうし、ろ過した。その後、土にさらに水を[10ml]加えて振とう、ろ過する。この作業を5回行い試料液を得て比色・比濁法で各イオン量の測定を行う。

その結果、硝酸イオンは普通土において、日毎に吸着量の増加がみられ、乾燥土では検出量に変化はないように思える（表8参照）。これは、土壌への窒素酸化物の吸着量は土そのものではなく、土壌中の細菌の存在が大きく影響しているためと考えられる。なお、普通土において増加した硝酸イオンは土壌中の細菌による硝化作用が起因とも考えられるので、すべての増加した硝酸イオンが大気から直接もたらされたとは断定できない。また、乾燥土において硝酸イオンは検出量が大幅に減少する傾向が確認されたが、一方、アンモニウムイオンは逆に乾燥土の方が多量に検出されているので高温時では土壌中の硝酸イオンはアンモニウムイオンに変換する反応機構があるのかもしれない。

硫酸イオンは乾燥土で吸着量の増加が見られ、普通土では変化していないようであった。また、ここでも普通土と乾燥土でその検出量に大きな差が認められた。調べた大気汚染物質の中では硫酸イオンが一番多く検出され、硫酸イオンが土壌に保持されやすい性質があることを示しているのではないだろうか。また、亜硝酸イオンは絶対量が少ないために大きな変動を示しているものと思われる。

このように土壌の場合もNO_xやSO_xから生じる大気汚染物質を検出・確認することはできたが、“樹木（葉）”の場合のような大気汚染との明確な関連を断言

するまでには至らなかった。しかし土壌の働きには興味深いものが多く、自然から学ぶ環境教育の教材としては十分に価値があると思われる。

表8. 土壌表面中のイオン量

| 硝酸イオン (μg) | | | 硫酸イオン (μg) | | |
|------------|-----|-----|------------|-----|-----|
| 放置(日) | 乾燥土 | ー | 放置(日) | 乾燥土 | ー |
| 0 | 50 | 91 | 0 | 219 | 31 |
| 3 | 43 | 209 | 3 | 320 | 67 |
| 5 | 82 | 142 | 5 | 515 | 171 |
| 7 | 33 | 120 | 7 | 311 | 138 |
| 9 | 58 | 133 | 9 | 542 | 152 |
| 11 | 32 | 362 | 11 | 373 | 168 |
| 13 | 27 | 185 | 13 | 568 | 130 |
| 17 | 42 | 119 | 17 | 450 | 141 |
| 19 | 32 | 258 | 19 | 458 | 172 |
| 21 | 42 | 241 | 21 | 522 | 167 |
| 23 | 33 | 320 | 23 | 470 | 151 |
| 25 | 70 | 276 | 25 | 609 | 118 |

| 亜硝酸イオン (μg) | | | アンモニウムイオン (μg) | | |
|-------------|------|------|----------------|-----|----|
| 放置(日) | 乾燥土 | ー | 放置(日) | 乾燥土 | ー |
| 0 | 1.1 | 4.0 | 0 | 255 | 7 |
| 3 | 3.9 | 15.9 | 3 | 286 | 20 |
| 5 | 8.1 | 10.5 | 5 | 275 | 9 |
| 7 | 11.8 | 17.2 | 7 | 298 | 23 |
| 9 | 1.9 | 4.1 | 9 | 271 | 18 |
| 11 | 4.0 | 17.4 | 11 | 288 | 18 |
| 13 | 8.3 | 24.2 | 13 | 295 | 10 |
| 17 | 4.5 | 30.9 | 17 | 298 | 11 |
| 19 | 4.7 | 32.0 | 19 | 299 | 23 |
| 21 | 8.7 | 29.8 | 21 | 300 | 18 |
| 23 | 9.9 | 25.7 | 23 | 319 | 12 |
| 25 | 9.7 | 17.8 | 25 | 320 | 10 |

Ⅲ・4 土壌による大気汚染物質の分解・除去

ー人工酸性雨による土壌浸出液のイオン種変化ー

雨に大気の洗浄効果があるということは、先の実験結果において述べた。つまり地上に降り注ぐ雨は大気を洗浄した結果の汚水と言い換えることができよう。特に酸性雨は大気汚染の集合体のようなものである。この“汚水”が地上に降ったあと、おもに染み込んでいく土壌中においてどのような変化を起こすのか調べるため、操作Cに従い実験を行った。

操作C：底にキリで小さな穴を50個あけた2個のプラスチック容器（直径7cm、高さ13cm）を用意し、ふるいにかけて粒の大きさをそろえた耕作土壌を高さ10cmまで入れて、一方には、野菜（かいわれ大根と小松菜）の種を15粒ずつ撒く。その後、土壌の粒の間隔を均一にするために人工酸性雨を150mlずつ流す。

こうしてできた2個の容器を実験室（日の当たる場所）にセット（容器の下に受け皿をおく）し、翌日から1日おきに人工酸性雨を30mlずつ与えていく。こうして得られた土壌浸出液をろ過し、その中に含まれている各イオン量を比色法、比濁法およびイオンクロマト法で測定を行う。また、pHの測定も併せて行う。なお、用いた人工酸性雨（硫酸イオン、硝酸イオンと塩化物イオン）の濃度はすべて10ppmでpHは3.0であり、（濃硫酸、濃硝酸、濃塩酸を0.6ml、1.0ml、2.4mlずつ混ぜて全量を10mlにした液を100倍に希釈して用いる）。1回に与える量は各イオンとも300 μg となる。

その結果、硝酸イオンと塩化物イオンは、野菜による吸収が確認された。また、土壌のみの容器からは、与えた硝酸イオン量よりも多くの流出量が認められた。これは雨が土壌を洗い流したためと思われる。これと同じことは塩化物イオンでも言える。しかし、硫酸イオンは反対に、浸出液中に与えた硫酸イオン量よりも少なく検出された。これは、土壌に吸着したためと思われる。亜硝酸イオンは野菜の有無に関わらず、日が経つにつれて減少していくようである。これは、土壌中の硝酸細菌による硝化作用が原因だと思われる。これより窒素酸化物は植物や硝化細菌によって浄化されている傾向は見られたが、硫黄酸化物については土壌に吸着されることはわかったが、硫酸イオンそのものの分解、除去については今後の検討課題である。

IV 結 語

一般に雨は、大気中を降下していく間に様々な水溶性物質を溶かし込んで地上へと降り注いでいる。例えば我々が呼吸で吐き出す二酸化炭素も雨に溶け込んでいるわけであるが、二酸化炭素はどんなに溶け込んでも雨のpHを5.6以下にすることはない。しかし、大気汚染物質である窒素酸化物や硫黄酸化物が雨に溶け込むと、それぞれ硝酸イオンと硫酸イオンに変化し、さらに多量に雨に溶け込むと、ひどいときはpH3近くまで下がることもある。マスコミなどで問題として取り上げられてから久しい“酸性雨”の定義はpH5.6以下の雨とされているが、まさに今回の研究の対象となった窒素酸化物や硫黄酸化物は酸性雨の生成に最も関与している汚染物質であると考えられる。

そこでこれらの酸性物質の測定を中心に研究を行ったが、その結果、二酸化窒素は主要幹線道路沿いを中心に汚染が認められたものの、その汚染状況には地理的条件（地形、気象など）がかなり影響を与えることがわかった。また、硫黄酸化物は現在では熊本県内に

表9. 土壌浸出液中のイオン量

| 硝酸イオン (μg) | | | 硫酸イオン (μg) | | |
|-------------------------|-----|-----|-------------------------|-----|-----|
| 放置(日) | — | 野菜 | 放置(日) | — | 野菜 |
| 0 | 304 | 209 | 0 | 71 | 89 |
| 3 | 510 | 327 | 3 | 115 | 159 |
| 5 | 251 | 199 | 5 | 145 | 208 |
| 7 | 363 | 168 | 7 | 130 | 192 |
| 9 | 282 | 39 | 9 | 83 | 180 |
| 11 | 439 | 64 | 11 | 137 | 218 |
| 13 | 596 | 31 | 13 | 140 | 106 |
| 17 | 500 | 81 | 17 | 135 | 136 |
| 19 | 406 | 98 | 19 | 181 | 127 |
| 21 | 222 | 90 | 21 | 88 | 70 |
| 23 | 267 | 40 | 23 | 217 | 85 |
| 25 | 196 | 42 | 25 | 192 | 80 |

野菜：小松菜・カブ大根

| 亜硝酸イオン (μg) | | | 塩化物イオン (μg) | | |
|--------------------------|-----|-----|--------------------------|-----|-----|
| 放置(日) | — | 野菜 | 放置(日) | — | 野菜 |
| 0 | 3.8 | 2.7 | 0 | 312 | 306 |
| 3 | 1.1 | 1.5 | 3 | 470 | 384 |
| 5 | 2.3 | 1.0 | 5 | 399 | 207 |
| 7 | 3.4 | 3.4 | 7 | 431 | 212 |
| 9 | 0.7 | 2.5 | 9 | 300 | 197 |
| 11 | 1.1 | 2.3 | 11 | 438 | 190 |
| 13 | 1.4 | 0.7 | 13 | 361 | 108 |
| 17 | 1.2 | 0.8 | 17 | 397 | 122 |
| 19 | 1.6 | 1.2 | 19 | 418 | 132 |
| 21 | 0.9 | 1.3 | 21 | 384 | 82 |
| 23 | 1.4 | 0.9 | 23 | 534 | 67 |
| 25 | 1.1 | 1.6 | 25 | 545 | 203 |

野菜：小松菜・カブ大根

おいては無視できる程度の汚染状況であった。

自然界の浄化作用については、植物や土壌に大気汚染物質を吸着、吸収する力があることがわかった。環境教育の実践には、知識のみの概念を教授するだけでなく、それ以上に我々の生活の中に自然の働きの素晴らしさを体験できる学習活動——自然から学ぶ——を積極的に取り入れることが重要である。そうすることで児童・生徒は自分たち一人一人が環境保全のためにやらなければならないこと、できることは何か、を本当に見つけ出せるのではないだろうか。

V 参 考 文 献

- 1) 東京化学同人；環境汚染物質の生体への影響9
- 2) 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）
- 3) 菅野三郎・福井昭三；環境公害学，廣川書店（1978）

- 4) 同人化学研究所；DOJINDO LABORATORIES 第18版
／総合カタログ
- 5) 山根靖弘・高島英伍・内山充；環境汚染物質と毒性 無機
物質，南江堂（1980）
- 6) 平成5年度 熊本県公害白書
- 7) 谷山鉄郎；恐るべき酸性雨，合同出版（1989）
- 8) 日本分析化学会北海道支部 編；水の分析 ― 第3版 ―，
化学同人
- 9) 日本化学会誌；地球環境および地域環境と化学（1991）