

鳥取大学構内の酸性雨について

酸性雨の土壌 — 植物環境に及ぼす影響に関する研究 (I)

飯村康二*・本名俊正*・山本定博*・田中伸一**

平成2年5月31日受付

Acid Rain Observed in the Campus of Tottori University :

Studies on Influences of Acid Rain on Soils and Vegetative Environments (I)

Kōji IMURA*, Toshimasa HONNA*, Sadahiro YAMAMOTO*
and Shin'ichi TANAKA**

Acidity (pH) and ion concentration of the rain at several sites of Tottori University campus were determined from September, 1989 to February, 1990. In open sites pHs were generally low and in many cases below 5.0, while in a cedar wood the pHs were somewhat higher especially from September to October. The rain pHs were lower in the period from November to January of the next year in both sites. The pHs tended to be lower corresponding with the rise of SO_4 and NO_3 concentration in the rain. Among the ions contained in the rain the majority was Na^+ and Cl^- , indicating the influence of sea water spray. When the effects of sea water were eliminated on the basis that regards Na as the standard ingredient, Cl content was still higher than SO_4 and NO_3 . In the cedar wood, the concentration of ions was about three times higher than that of the open sites, and also rich in Na and Cl. Calcium and K were relatively high. This presumably indicates that the adherence of dried acid sources and sea water splash to the leaves and twigs, and dissolution with rain accompanied with release from the plant body.

* 鳥取大学農学部農林総合科学科資源利用科学講座

* *Department of Agricultural Chemistry, Faculty of Agriculture, Tottori University*

** 農林水産省食糧庁岡山食糧事務所

** *Okayama Food Agency Office, Food Agency, Ministry of Agriculture and Forestry and Fisheries*

緒 言

人類の経済活動に伴って深刻化している地球的規模の環境汚染問題の一つに酸性雨があり、特に北ヨーロッパおよび北アメリカ北東部において国際的な問題を引き起こしている¹²⁾。最近、中国における観測により、東アジアの一角に上記2地域と同等の、石炭燃焼に起因する酸性雨地域があることが明らかになり、日本への影響も杞憂といえなくなってきた⁹⁾。日本の発生源による酸性雨発生も勿論考えられる。

わが国でもこの酸性雨の生態系への影響が懸念され^{7,8)}、環境庁⁹⁾で1983年から5カ年計画で酸性雨対策調査を行ったのをはじめ、各地、各機関で多数の調査研究が行われている。

降雨は大気中の炭酸ガスと平衡すればpH5.5~5.6まで下がることが知られている。またその他に海洋や沿岸堆積物あるいは火山から発生する硫黄化合物は地球全体で年間3,500万~1.1億tに達し、その量は人工起源の硫黄化合物約1億tに比肩する¹⁾。このため、局部的にはさらにpHが下がることも予測される¹⁾。

一方上記の北ヨーロッパや北アメリカ北東部地域などで生態系への影響が現実のものとなっている酸性雨は人工起源のSO_xやNO_xによるもので、これらが2,000kmにも及ぶ長距離移動が起こることが知られている¹²⁾。従って、酸性雨の原因と影響を評価するには、広範な実態調査と解析、およびモデル実験等を必要とする。著者

らは鳥取県における実態調査とともに雨水の酸性化の原因の解析や土壌等生態系への影響の研究に着手しており、1989年9月から90年2月にかけて、鳥取大学構内の降雨の予備的な測定と解析を行ったので結果を報告する。

調査および実験方法

1. 調査地点

鳥取大学構内農学部校舎屋上、同中庭、大学生協第一食堂近くのスギ林内で雨水を採取した。屋上は周囲10m以内には何も無いが、中庭は周囲数mの所にあるクロマツに囲まれ、さらにすぐその先に校舎がある。

2. 試料採取法

直径21cmの大型漏斗を約5ℓ容の、ほぼ漏斗と口径の等しいポリエチレン製容器の上に置き、降雨の翌日に雨水を採取した。降雪の場合はこの容器上に積もった雪を持ち帰り、温湯で湯煎して溶かし、試料とした。

なお試料に葉やゴミ等が入っている場合はろ紙でろ過してポリエチレン製試薬ビンに保存した。

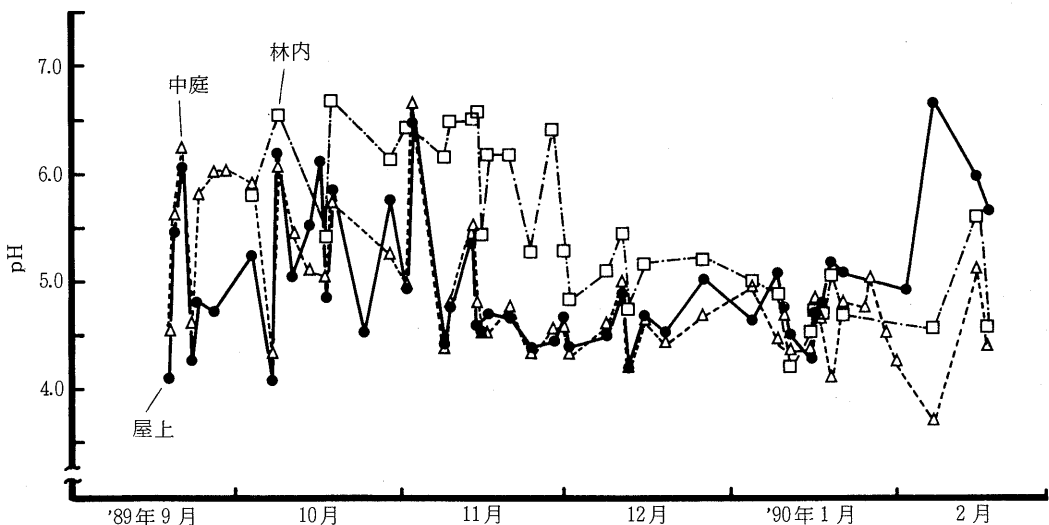
3. 分析方法

(1) pHの測定

ガラス電極pHメーター(岩城硝子製670型)を用いて測定した。

(2) 陰イオンの測定

イオンクロマトグラフ分析計(島津製作所製HIC-6A自動システム)を用いて測定した。



第1図 雨水のpHの推移

(3) 陽イオンの測定

適当に希釈して原子吸光光度計(島津製作所製AA670型)を用いて測定した。Caについては SrCl_2 溶液をSr濃度が1,000ppmになる様に添加した。

結 果

1. 雨水のpHについて

測定3地点のpHの経時的变化を第1図に、また各月の平均値を第1表に示した。1989年9、10月は比較的高く経過し、時に6前後になることもあり、特にスギ林内では他の2地点よりやや高く経過している。11月中旬からは、1990年2月に入って高くなる傾向を示したのを除いて概ね5.0以下となっている。最低値は2月7日の中庭の3.69、最高値は10月18日のスギ林で、6.68を示した。第1図にみるかぎり、スギ林内を除けばpH5.6以下の降雨がほとんどであり、大半が5.0以下になっている。

第1表 各月の降雨の平均pH

| | 屋 上 | 中 庭 | スギ林 |
|------|------|------|------|
| 9 月 | 4.89 | 5.54 | — |
| 10 月 | 5.36 | 5.34 | 6.34 |
| 11 月 | 4.82 | 4.85 | 6.09 |
| 12 月 | 4.59 | 4.55 | 5.07 |
| 1 月 | 4.77 | 4.58 | 4.71 |
| 2 月 | 5.80 | 4.39 | 4.80 |

雨量とpHの関係を第2図に示した。雨量が少ない時にはpHが低くなる傾向がみられる。この期間の降水量は約1,000mmに達している。なお、89年10月から90年1月にかけてのスギ林採取期間の雨量を他の2箇所と比

較すると、スギ林の林内雨量は林外雨量の約72%であった。

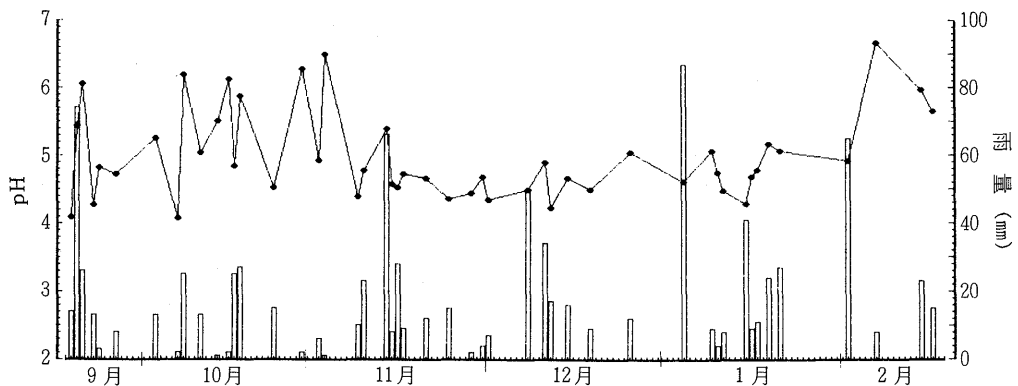
2. 雨水中のイオン組成とpH

第3図に屋上における降雨ごとの試料中の陰イオン濃度とpHの推移を示した。雨水のpHの低下が陰イオンとくに SO_4 、 NO_3 濃度の上昇と対応することが多いことが示されている。雨水のpHの低下する11月から1月にかけてこれらのイオン濃度もやや高く経過する。塩素イオンはこれらの陰イオンと異なり、pHとの対応はあまり明らかではない。

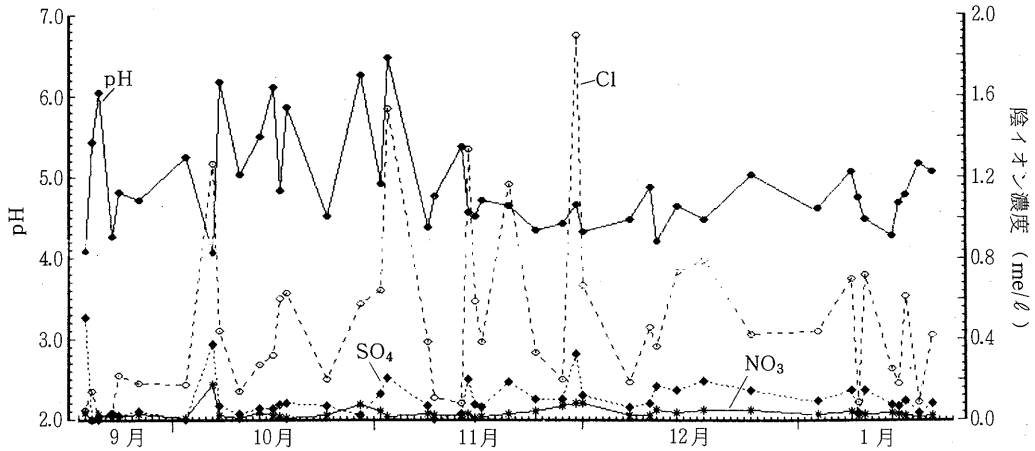
イオン組成は降雨ごとに測定したが、第4図にその結果を、降雨全体のイオンバランスとして総括的に示した。単位は個々の降水中濃度(me/l)に降水量を乗じた積の総和を総降水量で除したものである。ここでは測定していないが、 NH_4^+ と H^+ が加わって陰陽両イオンがバランスを保つと考えられる。

通常の降雨、スギ林の林内雨ともに陰イオンではCl、陽イオンではNaの割合が高く、海水の影響が大きいことを示している。

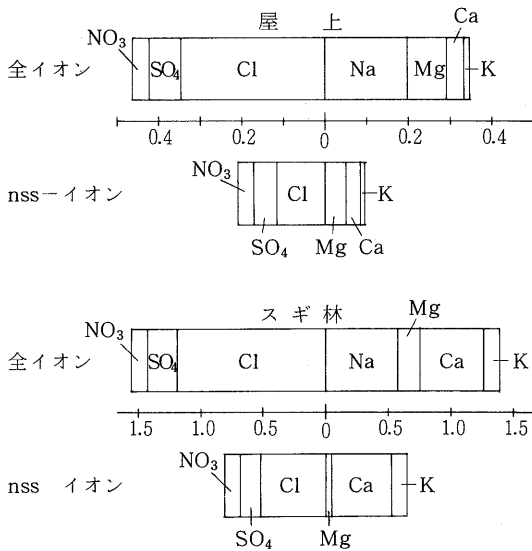
各降雨中の各イオンの濃度とNaのそれとの間の回帰式と相関係数を第2表に示した。またその一部、すなわち屋上とスギ林のClおよびKとNaの関係を第5図に示した。屋上においては、NaとClの相関が高く、Na-Kのそれもかなり高いがスギ林においてはいずれも低くなっている。この場合、Naとの間の相関係数が小さいものは陸上起源のものが多いことを示すと考えられるが、Clについてはかなり高い相関が見られ、Mgがこれについている。 SO_4 は陸上起源のものをかなり含んでいると考えられる。スギ林においてはNaとClの相関もかなり低い。



第2図 雨量とpHとの関係



第3図 雨水のpHと陰イオン濃度との関係



第4図 雨水中のイオンバランス

$$\frac{\sum (\text{各降雨中濃度} \times \text{雨量})}{\text{総雨量}} \text{ me/l}$$

(nss : non sea salt, Naを基準に計算)

第4図中の海水起源が考えられるイオンのうち、最も比率の小さいNaを基準にして、海塩の組成が変化しないと仮定して濃縮比を計算して第3表に示した。この場合には表中の濃縮比の大きいイオンは海水以外の起源の比率が高いと考えられるものである。NO₃は明らかにすべて陸上起源のものと考えられるので省略した。

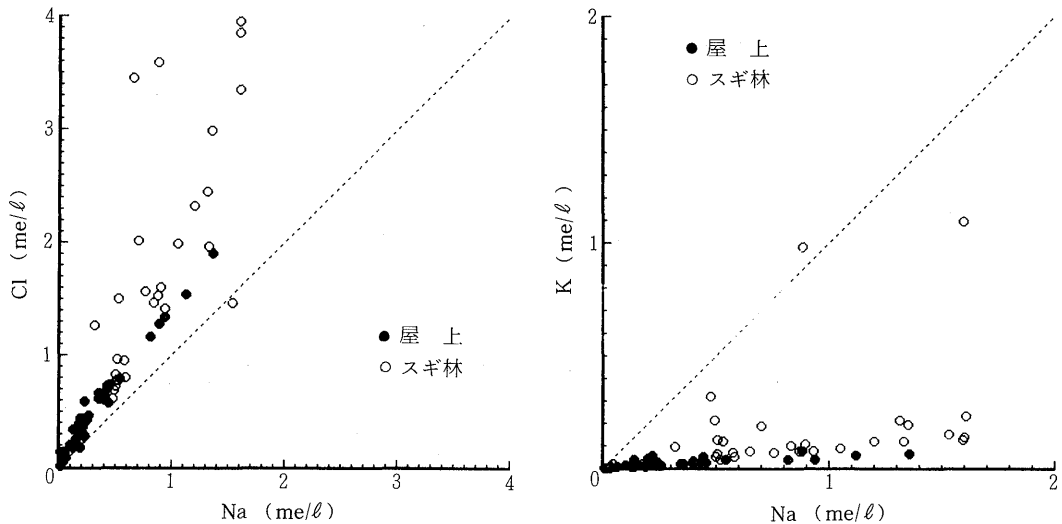
第4図には海水起源と考えられる部分を除いたイオン

第2表 雨水中のNa濃度と各イオン濃度との関係

| | Y | (X = Na) | R |
|-----------------|-----|-------------------|--------|
| 屋 上 | | | |
| Cl | Y = | 0.0606 + 1.378X | 0.9867 |
| SO ₄ | Y = | 0.0445 + 0.2069X | 0.6121 |
| NO ₃ | Y = | 0.0178 + 0.0446X | 0.4595 |
| Mg | Y = | -0.0256 + 0.3394X | 0.9527 |
| Ca | Y = | 0.0268 + 0.1212X | 0.7522 |
| K | Y = | 0.0083 + 0.0471X | 0.7970 |
| スギ 林 | | | |
| Cl | Y = | 0.3671 + 1.517X | 0.6055 |
| SO ₄ | Y = | 0.0282 + 0.3540X | 0.8039 |
| NO ₃ | Y = | 0.0370 + 0.1132X | 0.4162 |
| Mg | Y = | -0.0388 + 0.3476X | 0.8979 |
| Ca | Y = | 0.3498 + 0.2719X | 0.6218 |
| K | Y = | 0.0234 + 0.1783X | 0.3258 |

(nss (non sea salt⁶⁾)イオンの組成を示したが、この計算でも陰イオンでは依然としてClの割合が大きい。

スギ林の林内雨は屋上と比べて約3倍のイオン濃度がみられる。海水や人工起源の酸性物質がエアロゾル或いはミストとして大気中に浮遊していたものが、葉や枝にかなり大量に付着し、これが雨水によって溶出したことを示している。またCaやKの比率が高く、植物からの溶出も考えられる。



第5図 雨水中Na濃度と他のイオン濃度との関係例

第3表 Naを基準としたCl, SO₄, K, Mg, Caの濃縮比

| イオン | 雨水濃度 A | 海水を基準とした理論濃度 B | nss イオン A-B | 濃縮比 A/B | nss | |
|-------------|-----------------|-------------------|-------------------|------------|------------------|----|
| | | | | | イオンの比 (A-B)/A | |
| | me/l | me/l | me/l | | % | |
| 屋 上 | Cl | 0.9468 | 0.2300 | 0.1668 | 1.51 | 34 |
| | SO ₄ | 0.0772 | 0.0230 | 0.1168 | 3.36 | 70 |
| | Na | 0.1972 | 0.1972 | 0 | 1 | 0 |
| | K | 0.0133 | 0.0041 | 0.0092 | 3.24 | 69 |
| | Mg | 0.0938 | 0.0442 | 0.0496 | 2.12 | 53 |
| ス ギ 林 | Ca | 0.0423 | 0.0082 | 0.0341 | 5.16 | 81 |
| | Cl | 1.1895 | 0.6752 | 0.5143 | 1.76 | 43 |
| | SO ₄ | 0.2339 | 0.0675 | 0.1664 | 3.47 | 71 |
| | Na | 0.5787 | 0.5787 | 0 | 1 | 0 |
| | K | 0.1305 | 0.0121 | 0.1184 | 10.79 | 91 |
| 林 | Mg | 0.1737 | 0.1302 | 0.0435 | 1.33 | 25 |
| | Ca | 0.5118 | 0.0241 | 0.4877 | 21.2 | 95 |

考 察

今回の調査では、この地域の降雨のpHが5.0を下回ることが多く、酸性雨となっている可能性が大きいことを示した。宮原ら⁹⁾、佐藤ら¹³⁾、林田ら³⁾も県内4地点の調査を行っている。pHの季節的推移や、その結果ともほぼ一致していると考えられる。

海岸に近いこの地域では海水の影響が大きいことが予

測されたが、測定結果もそのことを示した。周知のように海水は平均pH約8.15のアルカリ性であり、これによる酸性の中和が考えられるが、それでもなお多くの試料はpH5.0以下の酸性を示したことになる。

雨水に含まれるイオンのうち、海水起源のもの寄与率を求めることは困難である。上述のように最も濃縮比の小さいNaを基準にして海塩の組成を不変と仮定して海水の寄与率を求めた。Naについても、Clを基準にして1.8倍に濃縮されているというデータも得られており⁴⁾、一部地上起源も考えられるが、ここではNaを基準にとるのが最も妥当な方法と考えられる。

第2表、第3表および第5図に示された結果は、NO₃は勿論、SO₄の一部のほか、Ca, K, Mg, 等のイオンのかなりの部分とともに、Clの一部も陸上起源である可能性があることを示した。またnssイオンのバランスを計算した結果(第4図)も陰イオンとしてClの割合が大きいことを示している。

この地域が海塩の影響の大きいことを考えると、塩素イオンの起源を含めた海水起源のイオンの寄与、酸性の原因物質とその起源、さらにその影響を明らかにするには、なお条件の異なる広範な地域の調査と解析が必要であろう。

スギ林の林内雨のpHについては、樹冠雨は地表雨と変わらないか、やや高いという藤井²⁾の報告とも一致している。

日本における降雨の年間樹冠遮断率は巨視的にみて10

~20%, 樹幹流下率は約5%といわれる¹¹⁾。この調査では樹幹流は測定していないが、林内雨量は約72%で、上記の結果とほぼ一致する。一方、雨水のイオン含量は林外雨の約3倍と高い。海水や酸性原因物質が、エアロゾルやミストとして付着し、雨水によって流出したことが考えられる。また林内雨中にはCaやKが多く含まれ、植物体からの溶出も考えられることを示している。スギ苗によるSO₂の吸着とSO₄²⁻およびこれに伴う陽イオンの溶脱が実験的に明らかにされている¹⁰⁾。また、特に雨量の少ない場合に酸性物質のかなりの部分が遮断によって樹冠に保持され、蒸発によって乾燥状態で保たれることの寄与も考えられる。このような機構による森林植物への影響についても今後さらに詳しく検討される必要がある。

要 約

鳥取大学構内において、1989年9月~1990年2月の降雨のpHおよびイオン濃度を測定し、解析を行った。結果は次の通りである。

- 1) 屋上や中庭の雨水のpHは5.0以下の酸性を示すことが多かったが、杉林内ではとくに9~10月にややpHが高く経過した。11月中旬から翌年1月にかけてはどの地点でも低く経過した。pHは雨量が多いと高くなる傾向を示した。
- 2) 雨水のpHは含有陰イオンのSO₄²⁻、NO₃⁻の濃度の上昇と対応する傾向を示した。Cl濃度とpHとの対応はこれに比べて明らかでなかった。
- 3) 含有イオンのうち、NaとClが多く、海水の影響が大きい。Naを基準にして海水の影響を除き、地上部起源と考えられるイオンの組成を求めると、陰イオンではやはりClの比率が高くSO₄²⁻とNO₃⁻がこれに次ぎ、陽イオンではMgとCaが高かった。
- 4) スギ林の林内雨のイオン濃度は屋上等の3倍も高く、イオン組成もClとNaが多かったが、陽イオンではCaとKの濃度も高かった。海水や大気中の酸性物質がエアロゾルやミストとして枝や葉に付着し、降雨の際に植物からのKやCaとともに溶出すると考えられた。

文 献

- 1) Charlson, R. J. and Rodhe, H. : Factors controlling acidity of natural rain water. *Nature*, **295** 683~685 (1982)
- 2) 藤井国弘：雨水の酸性化と地域性。環境庁水質保全局土壌農業課監修 酸性雨—土壌—植物への影響。公害研究対策センター発行 3~11 (1989)
- 3) 林田博通・洞崎和徳・尾田喜夫・佐藤白：酸性雨成分分析調査(昭和63年度)。鳥取県衛生研報, **29** 63~69 (1989)
- 4) 一国正巳：無機地球化学。培風館, 東京 (1972) pp.43~50, 107~134
- 5) 石 弘之：アジアに広がる酸性雨。現代化学, No208 33~37 (1988)
- 6) 環境庁：第1次酸性雨調査結果について (1989)
- 7) 金野隆光：酸性雨—農業生態系への影響。化学と生物, **24** 591~599 (1986)
- 8) 金野隆光：酸性雨の陸上生態系への影響—研究の現状と問題点。研究ジャーナル, **11** (9) 3~15 (1988)
- 9) 宮原典正・佐藤 白・稲村正博：酸性雨成分分析調査(予報)。鳥取県衛生研報, **27** 76~78 (1987)
- 10) 三宅 博・横田 太・伊豆田 猛・戸塚 績：スギにおける二酸化硫黄の乾性沈着と雨水によるイオンの溶脱。酸性雨が陸上生態系に及ぼす影響の事前評価とそれに基づく対策の検討, 1987/89年度研究成果報告(文部省「人間環境系」重点領域研究N11-01「酸性雨」研究班) (1990) 26-32
- 11) 中野秀章：森林水文学。共立出版, 東京 pp.55~72 (1976)
- 12) 大喜多敏一：酸性雨。環境情報科学, **13** (4) 11~20 (1984)
- 13) 佐藤 白・畦崎俊敬・稲村正博：酸性雨成分分析調査(第2報)。鳥取県衛生研報, **28** 65~71 (1988)