

雷雨性降雨のイオン濃度特性と その降水の土壌への影響について

THE CHARACTERISTICS OF AN ION CONCENTRATION
OF A THUNDERSTORM AND INFLUENCE AGAINST
THE SOIL DUE TO ITS RAINFALL.

長谷部正彦¹・川嶋桂²・桑川高德³

Masahiko HASEBE, Katsura KAWASHIMA, Takanori KUMEKAWA

¹正会員 工博 宇都宮大学教授 工学研究科 (〒321 宇都宮市石井2753)

²学生会員 宇都宮大学工学研究科 (〒321 宇都宮市石井2753)

³正会員 工修 宇都宮工業高校 (320 宇都宮市京町9-25)

Acid rain is caused by raindrops that catch nitrogenous compound of suspension etc in the atmosphere.

In this study, firstly, acidity of rainwater samples which are collected in Tochigi region is investigated. Next, the changes of some ion concentrations in the soil are investigated in thunderstorms.

As a result, although distributions of acidity are influenced by many factors such as atmosphere, topography, climate and so on, it is clear that distribution of pH units is different by the change of climate patterns in this area. And it is shown that pH units at every rainfall roughly classified in to a front type, typhoon type and thunderstorm type. From inspection of ion concentration distributions in the direction of depth, it is shown that pH unites range from 4.6 to 5.4 and it is thought that there is large influence on the plant within a depth of 30 cm from the ground surface.

Key Words : Acid rain, thunderstorm, ion concentration

1. はじめに

酸性降雨は大気中のいろいろな浮遊物質がレインイン及びレインアウトにより雨滴に取り込まれ、地上に降下したものである。降雨の雨滴に取り込まれる物質にはいろいろな物があるが、主に地上での生産活動によるものであり、特に、 NO_x や SO_x などのイオンは酸性化を促している物質である。関東地方でも1974、75年に酸性雨の被害が発生している。また、冬季の降雪・積雪に関して、日本海側でのpHは低く、太平洋側では高いといった傾向も報告⁽¹⁾されている。栃木県でも、降水のpH値をみると、一降雨で $\text{pH} = 3.8$ 程度の厳しい降雨がある。pH値の降雨分布については、降雨パターンによる特性、特に、局地的な降雨である雷雨（北関東地域では多い）や地理的な分布特性の違いにより異なると考えられる。

本研究では、森林内での環境特性の基礎的研究として、地理的に100km程度のメソスケールエリア内での影響について、栃木県の各地点で観測された降雨のイオン濃度分布特性を検討することとする。また、酸性雨降雨の植生等への影響を検討するための第一歩として、特に、雷雨性降雨による土壌への影響について、pH値及び各種イオン濃度の観測から検討することとする。

2. 栃木県内における降水のpH値分布

(1) 観測方法及び観測地点

図1に観測地点一覧を示す。また、図2に栃木県内の主な土地利用の概略を示す。降雨は地形的な影響を受けやすい。観測では、地形的な要因を加味して、降雨観測地点を県内の主要都市と日光及び里山平地が含まれている壬生を含め8地点とした。観測期間は平成2年から平成6年まで観測した。また、林内・林縁部（観測林の外縁部）の降雨に関しては壬生地点で平成9年の観測とした。

(2) 観測結果及び考察

a) 季節変動特性

図3に栃木県内における季節毎のpH値の等値線を示す。図から、栃木県では明確な季節変動が見られ、特に秋期においては県南地方から県北地方にかけてpH値がきつくなっていることが示される⁽²⁾。この時期には前線性降雨や台風の影響などにより、太平洋側から県内への風の吹き込みが原因とみられが、県央での低いpH値の出現の原因としては、都市部（図2）による影響と考えられる。

b) 降雨形態の違いによるpH値分布

壬生観測所における1994年7月から10月までの降雨形態別に分類したpH値の結果を図4に示す。この

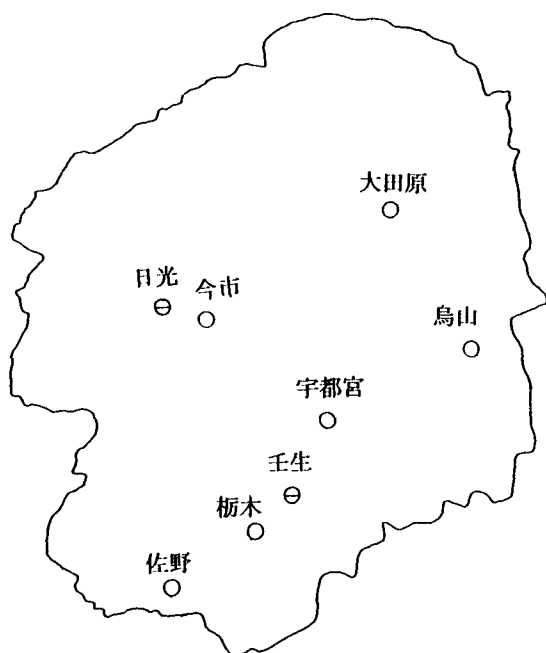


図1 観測地点一覧図

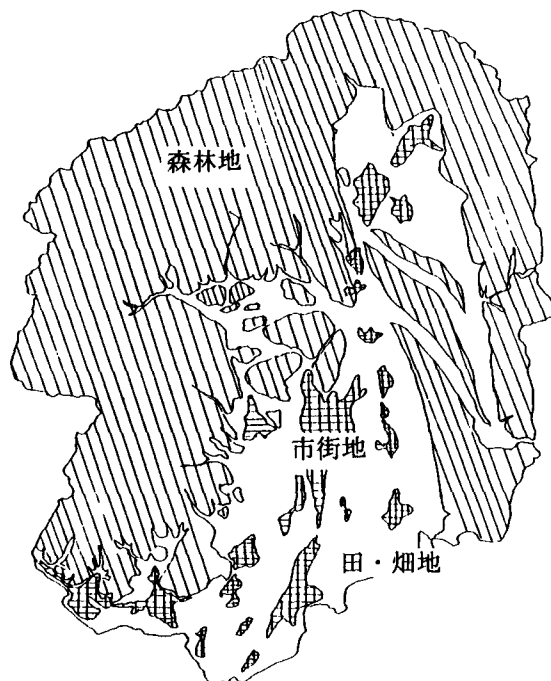


図2 栃木県の土地利用図

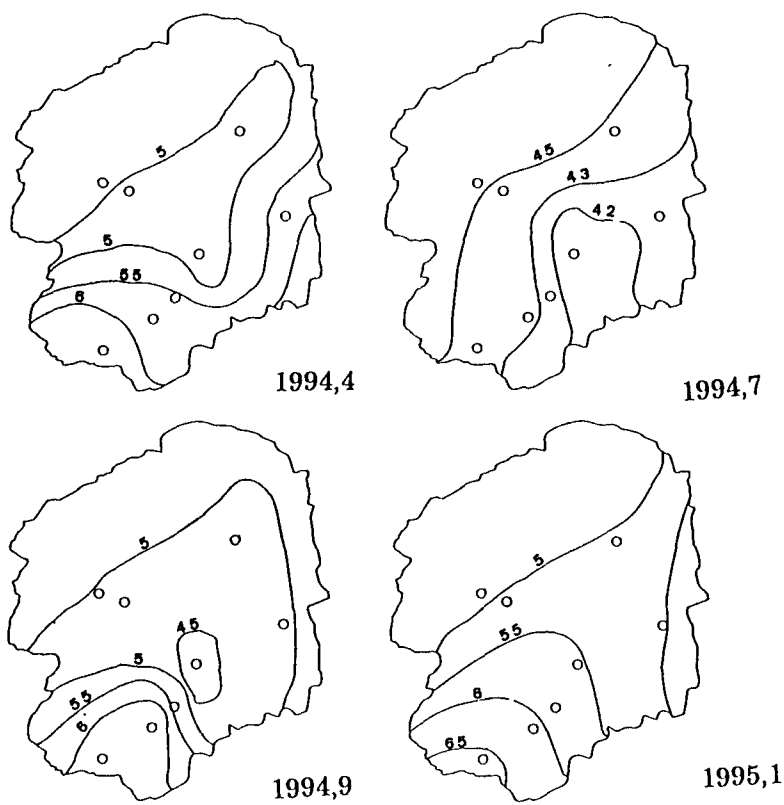


図3 pH値の等値線

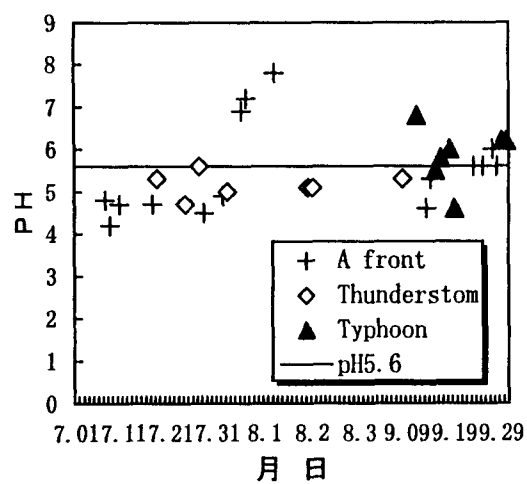


図4 降雨形態別のpH分布図
(壬生)

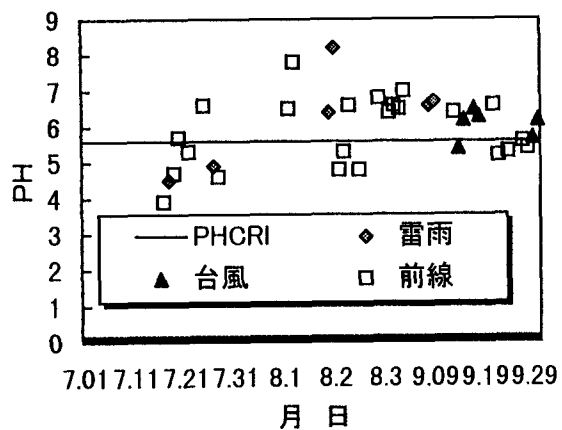


図5 降雨形態別のpH分布図
(日光)

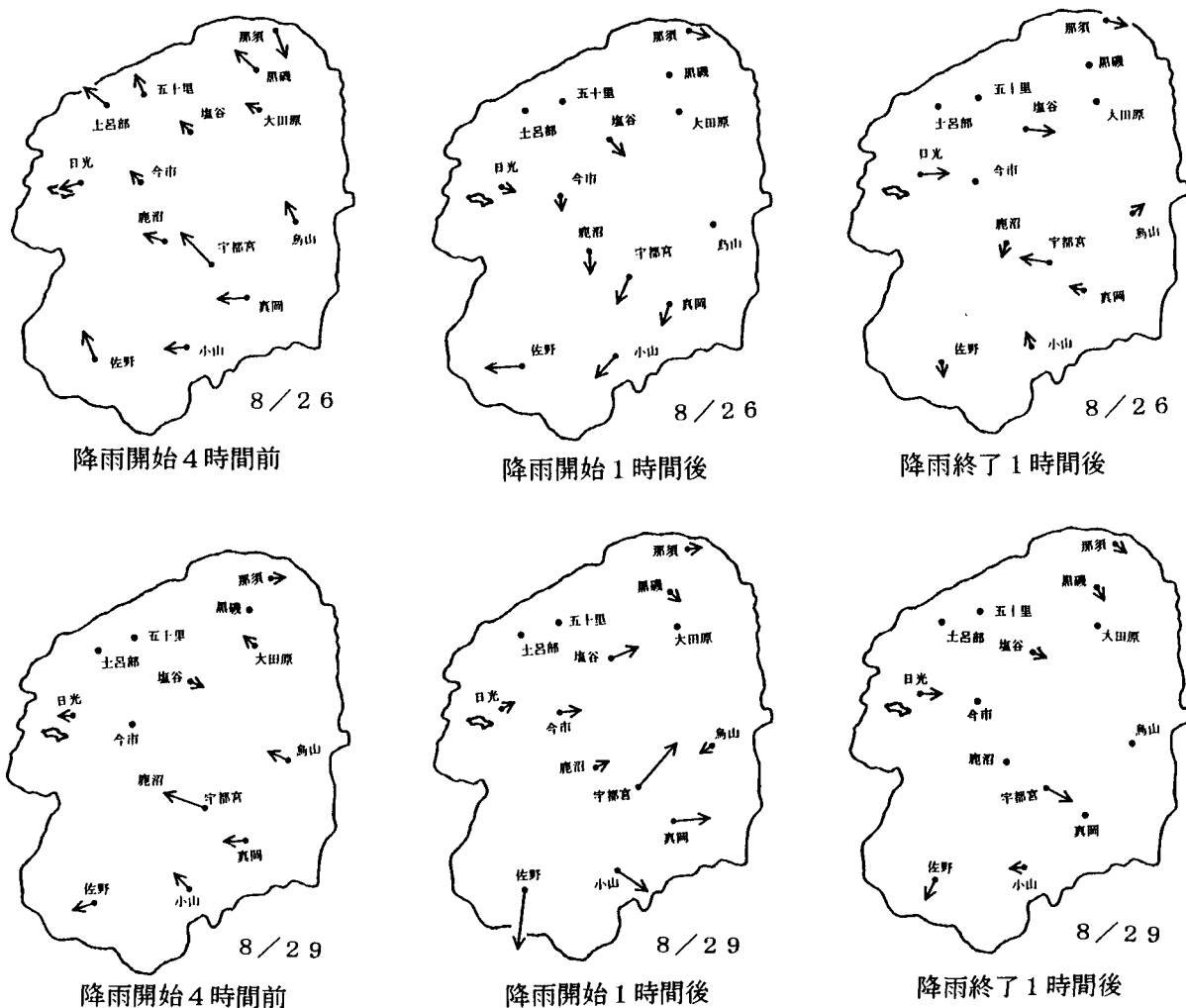


図6 雷雨性降雨の風向図
(雷雨発生前・後)

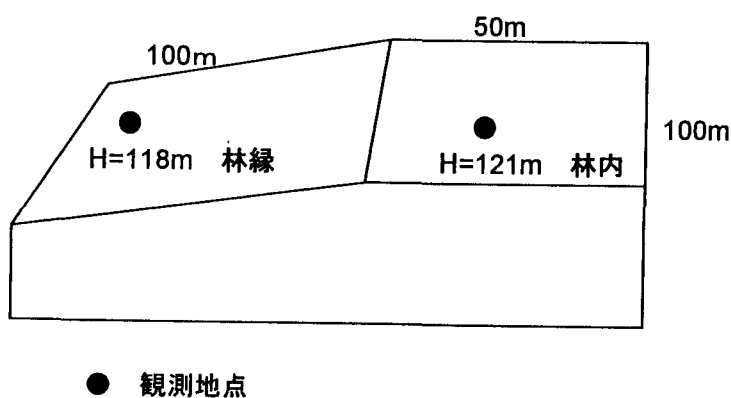


図7 林内・林縁部観測林概況図
(壬生)

図では、一降雨毎の降雨を大きく前線性降雨、台風、雷雨に分類してある。図4から、雷雨性降雨は押しなべて、酸性雨であることがわかる。台風及び前線性降雨の場合には、pH4.5から7までのばらつきがみられる。台風や前線性降雨は、栃木県にいたるまでの前線の移動経路によりpH値分布の違いが出ているものと推定される。しかし、雷雨性降雨に関しては、内陸性の雷雨を取り上げているので、地形

や地域性の違いが出ていると推定される（日光・今市では、壬生、宇都宮に比べて大気の空気が清浄な状態であるために）。図5に日光での観測結果を、図6に雷雨性降雨における風向図の例を示す。同時期の日光観測所でのpH値は、雷雨性降雨に関してはばらついている（図5）。内陸性雷雨はこの地方で主に奥日光の山間部で発生し、日光・今市等を経過し、宇都宮などの県央部へと移動するが、その移

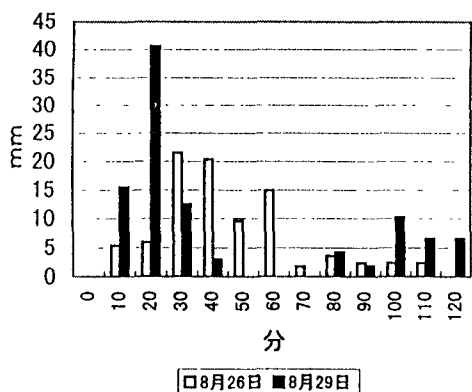


図8 雷雨性降雨の降雨強度分布図

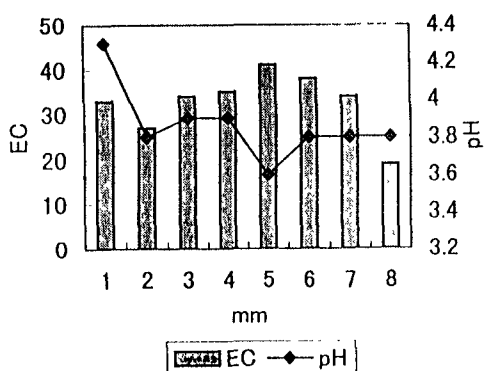


図9 1 mm毎のpH値とECの関係図

動距離は40 kmから60 km程度である。図6の風向図から、雷雨発生前の風向は北西向きであるが、雷雨降雨中は南東向きとなっており、雷雨の移動と同じ向きとなっていることが示される。これらのことから、壬生における雷雨のpH値は移流の影響があるものの、壬生に至るまでの経路の影響を取り込んでいる可能性が大きいことが推測される。

3. 雷雨性降雨のイオン濃度特性と土壌への影響

次に、雷雨性降雨に注目して、降水のイオン濃度特性とその降水が土壌を含めた生態系に与える影響を調べる。

(1) 観測方法及び観測地点

降雨観測地点及び土壌採取地点を林内・林縁部をもつ壬生地点とした。観測地点の概況を図7に示す。この地点は平地林であり、主な樹林は小ナラが多く、松、桜などを含めた広葉樹林であり、土壌は表層から130 cmは黒ぼく土である。観測期間は降雨水採取が平成9年8月26日と8月29日の雷雨である。土壌採取が降水の影響がない（前期降雨ない状態）場合と降水の影響があると思われる場合、観測項目はそれぞれ、降雨に関しては環境庁指定項目の各イオン濃度（SO_x, NO_x, Cl, K, Na, Ca, Mg, pH, EC）と降雨量である。土壌の分析は、土壌を採取し、乾燥させ、その後、アルミニウム、硫酸、硝酸、カルシウムの各イオンとpH, EC

（電気伝導度）を計測した。降雨水採取時の気象は8月26日では、天候雷雨、気温19.3℃、湿度97%、北北東の風2.5m。8月29日が、天候雷雨、気温18.6℃、湿度95%、南西の風8.7mであった。土壌採取は林内部、林縁部の6地点であるが、ここでは、林内と林縁部の2地点での表層下10cmから深さ方向に20cmごとの90cmまでの土壌を採取した。

(2) イオン濃度特性

a) 降雨強度分布

雷雨性降雨の10分間ごとの降雨強度分布を図8に示す。この観測例では（栃木県では、一般的な雷雨であるが）、降雨強度のピークは20分から30分程度の短い期間にあり、降雨開始から一時間程度で降雨が終息している。

b) pH値

1997年8月26日における雷雨性降雨の初期降雨から8mmまでの降水（1 mm毎）のpH値とECの関係を図9に示す。初期降雨1から2 mmにおけるpH値は低くなり、中期に高くなり、さらに、8 mmの頃にはまた低くなる傾向が見られる。雷雨性降雨の場合、降雨全量は一降雨で、40 mmから70 mm程度であり、その中では、8 mm程度の降雨は全体としての初期降雨と考えられるが、この区間ではかなりきつい酸性雨となっている。また、ECは1 mmで高く、2 mm以降低くなり、8 mmの方では低く一定値となっている。

c) 時間別における各イオン濃度とpH値

1997年8月29日における雷雨性降雨の10分ごとに時間別の各イオン濃度の結果を図10に示す。各イオン濃度は降雨初期において高い濃度を示したあと、急激に減少する。これは、大気中に含まれている各種のイオン濃度粒子が降雨初期に降水に付着して大部分が降下するためではないかと推察される。図11にpH値とECの時間別の推移を示す。pH値は初期にpHが高く、中期から末期にかけて次第に低下し、最終的には一定値に近づくことがわかる。ECは初期に小さく、末期にかけて大きくなることを示している。降雨水中のイオン量が多いにもかかわらずECが少ない現象が見られたが、この理由については今後検討していく必要がある（他のイオンや不純物等の影響）。

(3) 降水の土壌への影響

a) 降雨前後における土壌中のイオン濃度とpH、ECの変化

1997年8月29日に発生した雷雨性降雨における降雨前・後の土壌イオン濃度結果を図12に示す。図12の左側から順番に説明すると、硝酸イオンは、雷雨後に林内土壌、林縁土壌ともに減少した。カルシウムイオンは林内土壌で減少し、林縁土壌では増加している。これに反して、硫酸イオンは林内土壌

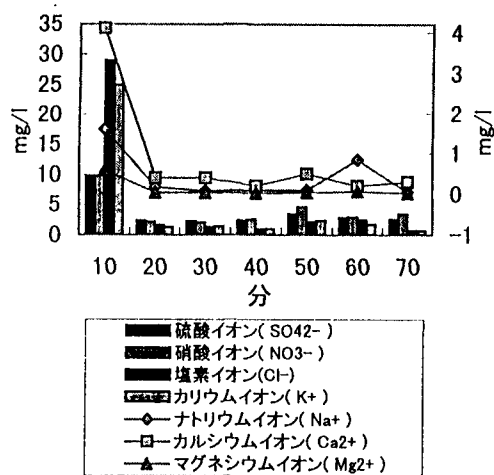


図10 10分間毎の降雨イオン濃度

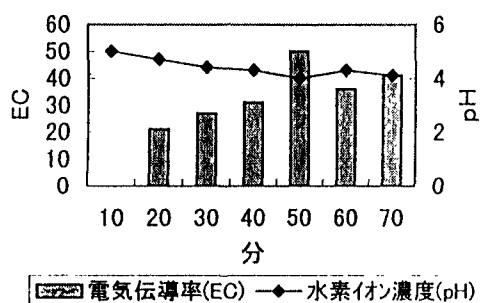


図11 10分毎のpH値とECの関係図

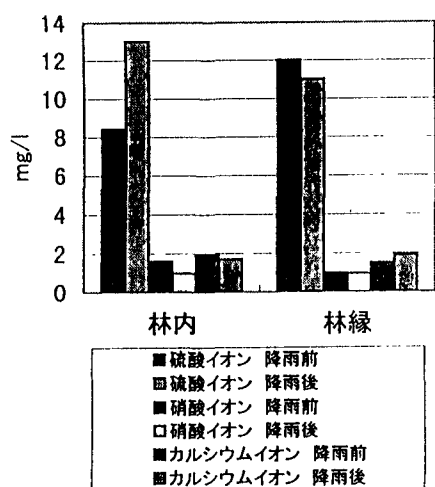


図12 雷雨前後の降雨前後のイオン濃度

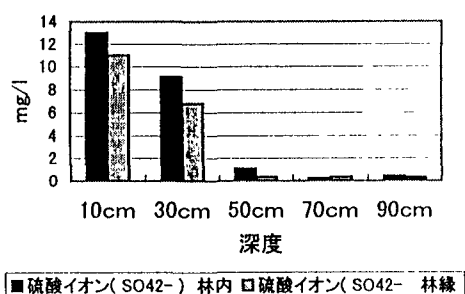


図13 深度の違いによるイオン濃度
(硫酸イオン)

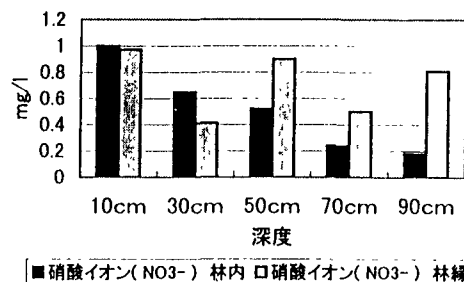


図14 深度の違いによるイオン濃度
(硝酸イオン)

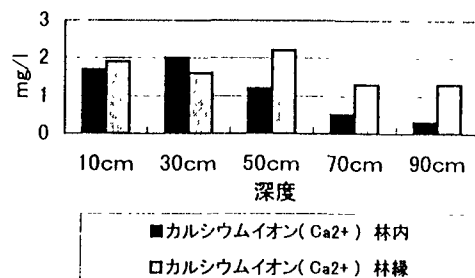


図15 深度の違いによるイオン濃度
(カルシウムイオン)

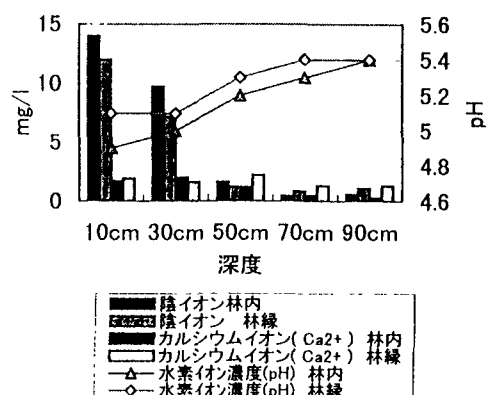


図16 深さ方向による各イオン濃度とpH値

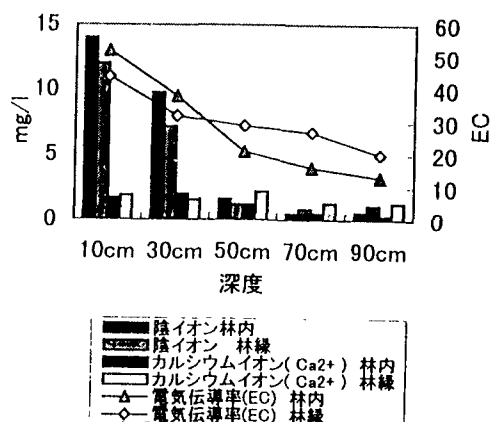


図17 深さ方向による各イオン濃度とEC

で増加し林縁土壌で減少している。pH値については顕著な変化は見られなかった。これらの違いは、今後検討する余地がある。

b) 降水による土壌の深度によるイオン濃度、pH、ECの変化

土壌の深度の違いによる各イオン濃度とpH値とECの違いを林内土壌と林縁土壌の違いを図13、14、15に示す。図16、17に、これらのイオン濃度とpH及びECとの関係を示す。林内においては各イオンとも深度が増すにつれ減少していくが、林縁においては硝酸イオンとカルシウムイオンにおいては深度の変化によるイオンの濃度変化は見られない。これは林内において降雨水の林縁への移動が起こり林縁部にイオンが集積した結果か、あるいは大気中の酸性粒子が風向きの方角（実際に調べてみると、この時期には、この方向の風向き）で林縁部の樹木に捕らえられ蓄積し、この高濃度の酸性物質が降雨によって地表に降下することによることや林縁部の樹体に集積している酸性粒子が降雨により洗い流されることの可能性が考えられる。この点に関しては、解析結果を増やして今後検討したい。pH値は林内、林縁ともに深さが増すにつれ大きくなっているが、平均して林内のほうが低い。これは深さが増すにつれ水素イオン量が他のイオンと共に小さくなっているためだと考えられる。ECは深度が増すにつれ減少している。この理由としては、深さが増すにつれイオン量が減少しているために、ECが減少していると思われる。また林縁部のほうがなだらかに減少しているのは林縁部が林内に比べて深いところまでイオン量が多いためである。深度30cmまでの硫酸濃度が高い。硫酸はpH値を下げる大きな要因となっている物質であり、この程度の深さでも生育する植物の根茎への影響が考えられる。

c) アルミニウムイオン濃度

アルミニウムが多くの植物にとって有害であることは知られているが、森林の衰退がこの原因によって生じていることの確証は得られていない。本研究では、降水の影響のない土壌と雷雨性降雨後の土壌に関して、採取した土壌を分析した結果、アルミニウム濃度イオンは、いずれからも検出されなかった。しかし、アルミニウムの含有率は、両者とも同じような値であり、このことは、今回の雷雨性降雨からは、アルミニウムが溶出されなかったことを示していると思われる。しかし、pH値がpH4程度以下になるとアルミニウムイオンが溶出してくる⁽³⁾という報告がある。

4. 結論

以上の観測結果から栃木県内における雷雨性降雨のpH値分布及び各種イオン濃度の土壌への影響について、今回の観測から得られた主な結論を示す。

(1) 降雨形態別のpH値は、台風及び前線性降雨には、ばらつきがあるが、夏季に発生する内陸性の雷雨に関しては酸性雨降雨が多い。

(2) pH値は初期降雨よりも、2mm、3mm経過後の降雨に強いpH値が現れ、後期に平均的なpH値となっている。また、雷雨の降雨強度は、降雨開始から一時間以内にピークが現われ、20分から30分程度の短い時間でピークは終了する。

(3) 林内、林縁部のイオン分布特性は異なる。この理由としては、森林内・外の水の移動や樹体に集積したドライフォールの降雨による洗い流しによる効果等の影響が原因と考えられる。

(4) 雷雨性降雨の場合、深度変化による土壌イオン濃度の変化は 林内、林縁部共に表層30cmを境に、それより上部の土壌では、酸性化を促す原因であるイオンの量が多く、この深度程度で生育する植物の根茎等への影響が考えられる。

おわりに

今回観測されたpH4程度の酸性雨やその他の酸性降下物が、長期間にわたって土壌に負荷されれば土壌が酸性化し植物の生育に悪影響を及ぼすことが懸念される。そのため各降雨採水地点における酸性降下物の年間総負荷量についてデータを作る必要がある。また今回の調査においては降雨量が多いほど降雨のpH値が強かった。今後は、この調査結果にもとづいて定量的な手法を開発し検討していくつもりである。

最後に、降水及び土壌のイオン濃度の分析は、環境生物化学研究所である。ここに、謝意を表します。

参考文献

- (1) 北野大他；人間・環境・地球、共立出版、1994
- (2) 桑川高德、長谷部正彦；酸性降雨の栃木県内における降雨分布特性について、水資源シンポジウム、1997
- (3) 加藤秀正・川嶋桂；土壌・植物系における酸性アルミニウム種の特性とその支配要因、平成6～平成7年度化学研究報告書1997
- (4) 栃木県公害研究所年報、1989～1994
- (5) 村野健太郎；酸性雨と酸性霧、朝倉書店、1993
- (6) 左藤徳人他；酸性雨について、開発土木研究所月報、No476、1993
- (7) 中津川誠；地球温暖化の水環境への影響、開発土木研究所月報、No473、1992、10月号
- (8) 田口洋司他；酸性雪・雨の科学的特性と森林への影響、新潟大学災害研年報、第18号、p19～32、1996
- (9) 飯田俊彰他；融雪初期における酸性汚染物質を高濃度に含む融雪水の流出現象、農業土木学会論文集、第166号、p55～61、1993

(1997.9.30受付)