

奥日光地域の環境と生物

奥日光環境観測所資料

(1988-1990)

Environments and biota of the Nikko area :
Reports from Okunikko Field Station
(1988-1990)

THE NATIONAL INSTITUTE FOR ENVIRONMENTAL STUDIES

環境庁 国立環境研究所

は し が き

現在、環境問題が地球規模で拡大しつつある。環境汚染が遠く離れた地域に起因することもある。環境汚染がどの程度進行しているのかを明らかにするためには、汚染された地域での研究だけではなく、汚染の少ない地域での比較研究も必要とされる。また近年自然環境保全に関心が向けられるとともに、そのモニタリング手法の開発と保全に関する基礎的知見の蓄積の必要性が高まりつつある。

この様な情勢の中、当研究所では、昭和63年に奥日光環境観測所を栃木県日光市奥日光に開設した。同時に特別経常研究「奥日光地域における環境の長期変動及び生物に関する研究」として、環境観測所における気象、大気、河川・地下水質のモニタリングとここを拠点とした森林、河川、湖沼の生物調査を開始した。この研究の目的は、比較的人為の影響の少ない奥日光地域を対象として、大気・水質・土壌環境を長期にわたり調査し、より自然に近い地域における環境の変動特性を把握すること、森林、河川、湖沼の各種生態系の構造を明らかにすること、及びその地域の保全に関する基礎的な知見を得ることにある。

本研究資料は主に昭和63年度から平成2年度に環境観測所を利用して行なわれた研究の一部と、環境及び生物のモニタリングデータをまとめたものである。前半は気象・大気環境の特性（資料1）、外山沢川の河川水質の変動特性（資料2）と生物相（資料3、4）、湯の湖の生物相（報文5、6、7）及び森林及び蘚苔類の植生（資料8、9）、後半は環境観測所の概要（資料10）とその周域の水理地質データ（資料11）及び3年間の環境計測データ（資料12）を収めている。本研究資料が、環境問題、自然環境保全に携わる方々のお役に立てば幸いである。

本研究の実施に当たり、以下の関係各位ならびに地元の皆様には多大なる協力を賜った。ここに厚くお礼申し上げる。建設省関東地方建設局宇都宮営繕工事事務所、林野庁前橋営林局宇都宮営林署、水産庁養殖研究所日光支所、栃木県衛生環境部、栃木県公害研究所、日光市、草加市教育委員会、中禅寺湖漁業協同組合、全国内水面漁業協同組合連合会日光支所、湯の湖レストハウス、環境庁日光国立公園管理事務所（順不同）。

平成 3 年 3 月

国立環境研究所

生物圏環境部長 菅原 淳

目 次

1. 奥日光地域の気象・大気環境について	1
藤沼康実	
2. 奥日光外山沢川の水質変動特性	13
河合崇欣・野尻幸宏・藤沼康実・岩熊敏夫	
3. 奥日光外山沢川の底生動物	21
多田 満・上野隆平・岩熊敏夫	
4. 奥日光外山沢川のユスリカ相	35
上野隆平・多田 満・岩熊敏夫	
5. 湯の湖の水生植物	41
野原精一・花里孝幸・大森牧子	
6. 湯の湖における動物プランクトンの季節変動	53
花里孝幸・野原精一・大森牧子	
7. 湯の湖の底生動物、特にユスリカ個体群について	59
岩熊敏夫・上野隆平・野原精一	
8. 奥日光地域における蘚苔類の生長と遷移 - 倒木上の植生変化と微環境	71
清水英幸・樋口正信・中坪孝之・中村俊彦・宮脇博巳・岩月善之助	
9. 奥日光環境観測所周辺地域の植物相	93
清水英幸・樋口正信・中坪孝之・中村俊彦・宮脇博巳・岩月善之助	
10. 奥日光環境観測所の概要	107
藤沼康実・土屋重和	
11. 奥日光環境観測所周域の水理地質について	113
藤沼康実	
12. 奥日光環境観測所の環境計測結果(1988~1990)	127
藤沼康実	

奥日光地域の気象・大気環境について

藤沼康実¹

1. はじめに

奥日光環境観測所は、森林生態系に及ぼす環境汚染の影響及び環境汚染に対する非汚染地のバックグラウンド値を長期にわたって計測することを主目的としている。そのために、施設では、気象要因、大気成分、降水・河川水・地下水の水質などを自動計測している。

施設は1986～1987年にかけて建設され、稼働後約3か年を経過した。現在では、若干の環境データが収集・蓄積されてきた。ここでは、これらの環境データを基にして奥日光地域の環境特性の一部を紹介する。

2. 環境計測データの収集及び整理

本施設で計測された環境データは、筑波研究学園都市に所在する研究所本所のデータ受信・集録システムで一括管理されており、各計測項目ごとに通常、時間値として日報の形式で帳表されている。ここでは、1988年1月～1990年12月までの3か年間に収録された環境計測データを基にして、検討した。なお、本施設の環境計測システムは、別章「奥日光環境観測所の概要」、環境計測データについては、同じく「奥日光環境観測所の環境計測結果(1988～1990年)」を参照されたい。

3. 奥日光地域の環境特性

3.1 気象概況

奥日光地域の気象特性を、筑波研究学園都市に所在する当研究所別団地実験ほ場で過去5か年間計測結果(山口・藤沼、1987)と比較検討した。

図1に、施設内の露場で計測した各月の平均気温と3か年間に記録された各月の最高・最低気温を示した。月平均気温は、最低が2月の-4.2℃、最高が8月の18.1℃であった。年間の平均気温は1988、89、90年それぞれ、5.1、6.2、6.8℃であった。また、この3か年間の最高気温は1990年8月24日に記録した29.4℃であり、最低気温は1990年1月25日に記録した-17.7℃であった。これらのデータを、つくばの平均気温と比較すると、年平均気温、最高・最低気温共に、筑波より8～9℃低い。寒暖日数でも、奥日光では真冬日、真夏日が1989年にはそれぞれ42日、0日であるのに対し、つくばでは0日、35日であり、奥日光地域は関東地方でも最も冷涼な地域の一つであろう。

1 国立環境研究所生物圏環境部 〒305 茨城県つくば市小野川 16-2

光条件として、施設内の観測塔上(32m^H)に設置されている全天日射計で計測した日射量を図2に示す(1988年1~9月間は機器の調整のため欠測)。年積算日射量は、1989年で約4400MJ・m⁻²となり、ほぼ筑波と同程度の値であり、季節的な変動も同様なパターンである。しかし、本計測位置の立地条件は、西方にそびえる外山(標高2460m)の稜線により、午後になると日が陰るので、実際の日射量より、若干低いものと考えられる。

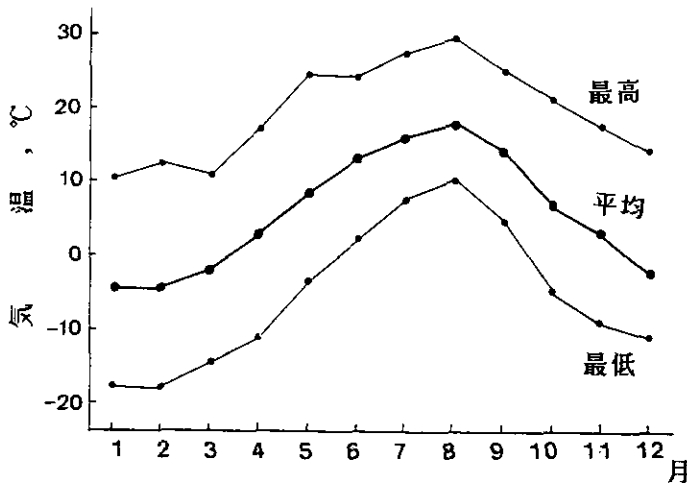


図1. 最高・最低及び平均気温の季節変化

最高・最低気温は、それぞれ1988年~1990年の3か年間の月最高・最低気温を示す。
平均気温は、1988年~1990年の3か年間の月平均値を示す。

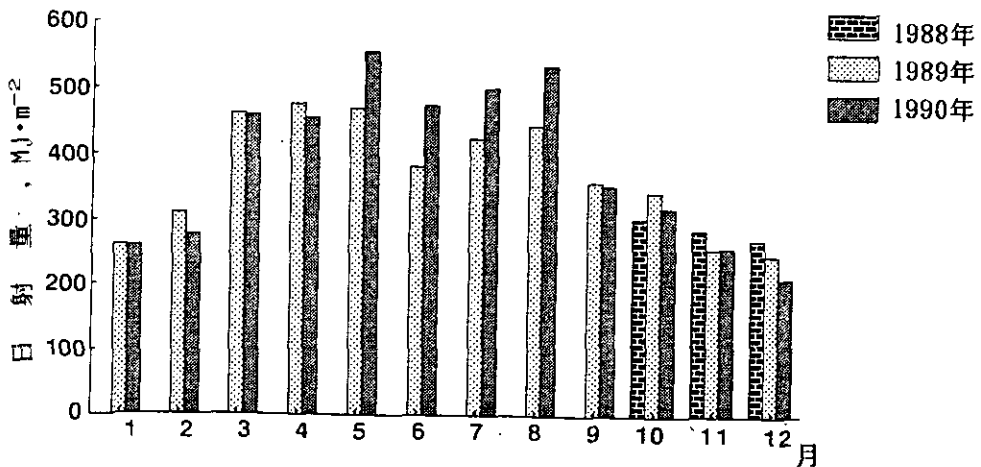


図2. 日射量の季節変化

数値は月積算値を示す。

1988年1月~9月は調整中につき欠測。

露場で計測した月別の降水量を図3に示した(1988年1~9月間は機器の調整のため欠測)。1989年には約2000mmに達する年間降水量があり、筑波と比較して約1.7~1.8倍になる。また、山岳地帯特有の天候のため、変動が大きく、1990年8月10日には1日で238mmの豪雨を記録している。なお、奥日光では11月中旬に降雪があり、11月下旬~12月上旬にかけて根雪になり、雪解けは4月中~下旬であるが、積雪深は約60~80cmと少ない。

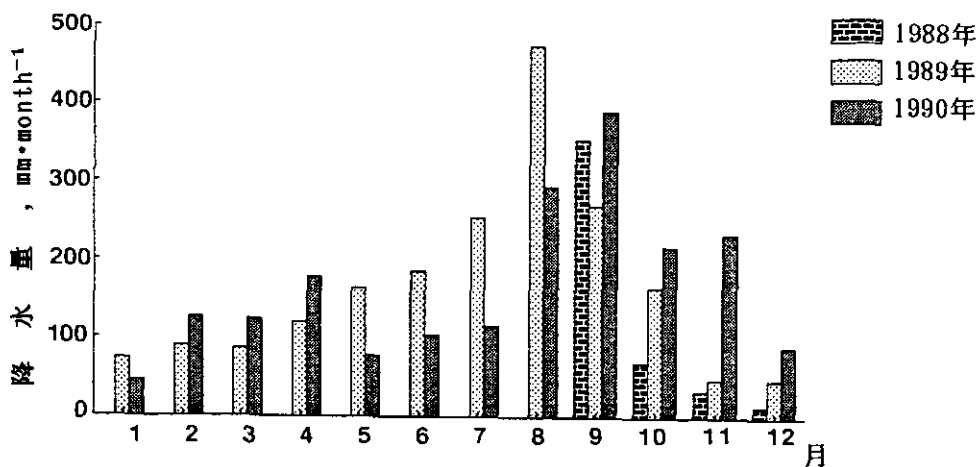


図3. 降水量の季節変化
 数値は月積算値を示す。
 1988年1月~9月は調整中につき欠測。

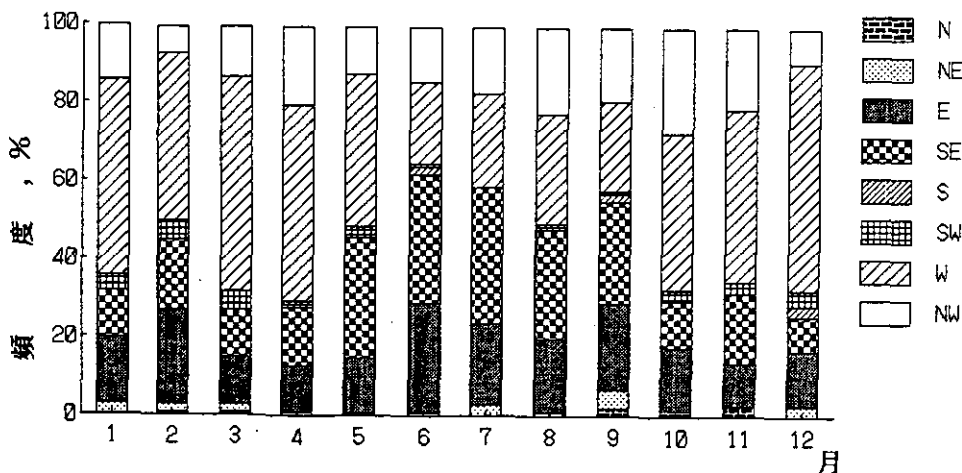


図4. 風向の季節変化
 数値は1989年~1990年の3か年の月別の相対頻度を示す。

風向(8方位)の3か年の月別の平均頻度を図4に示した。風向・風速は、日射量と同様に観測塔上(32m²)で計測した。筑波では四季に応じて、関東平野で一般に計測されるように風向が変化するが、奥日光では年間通してほぼ東～南西と、西～北西の全く方向が逆になる2種類で代表される。しかし、冬期間には西～北西の風向が主となり、夏期間にはその逆に、東～南西の風向が主となっている。これは、本施設の地形が西北西から東南東に流れる外山沢の北面の緩斜面に所在するために、外山沢を昇降する風が常時吹いていると考えられる。また、風速は、年間を通じて常に1.5～2.5m・s⁻¹である。

このように、山地に所在する本施設での気象観測は、その地形の影響を大きく受けており、気象要因が関与する現地調査などに際して、当地の気象特性を十分把握する必要がある。

3.2 大気成分

本施設では、主要な大気汚染質及び二酸化炭素(CO₂)などの大気成分を計測している。ここでは、それらの中から、その挙動に特徴あるものについて報告する。

3.2.1 二酸化炭素

大気中のCO₂は、地球温暖化の主因物質として、その濃度上昇が世界的な社会問題となっている。一方で、CO₂は、植物の物質生産の主原料であり、緑地の持つCO₂のシンク機能が期待されている。

図5に施設内の実験棟屋根上でサンプリングしたCO₂濃度の月平均値を示した。

冬期間に低く、夏期間に若干上昇する変動パターンを示し、年間の平均濃度は約365 ppmであった。しかし、濃度の日変動は、冬期間は少なく、安定しているが、夏期間には昼間に低下し、夜間に上昇し、その濃度差は100ppmにも及んでいた。これは、夏期間の林地内の植物の物質生産及び植物や土壤微生物の呼吸によるCO₂の出入りが大きく影響しているものと考えられる。

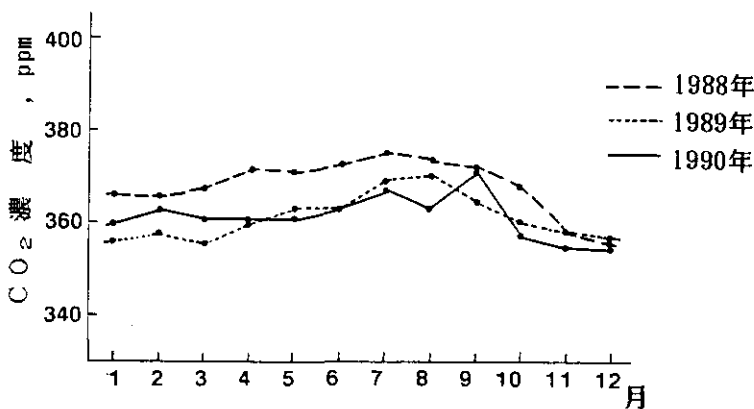


図5. CO₂濃度の季節変化
数値は月平均値を示す。

また、本施設では露場での計測に加えて、林地内のCO₂の挙動を解析するために、観測塔を用いて、林地の樹冠(31m^H)と林床のCO₂濃度を計測している。図6に晴天日の濃度の日変化を樹冠と林床の濃度差として月別に示した。昼間に濃度差が小さく、夕方にピークを持ち、夜間に大きくなった。5月から8月になるに従いが、濃度差が大きくなった。当地では5月が雪解け後の芽吹き時期であり、7月中旬～8月末までが植物の生産活動が最大になる時期である。このことから、林地内外のCO₂濃度差は、植物の物質生産量が大きく関与していることが考えられた。

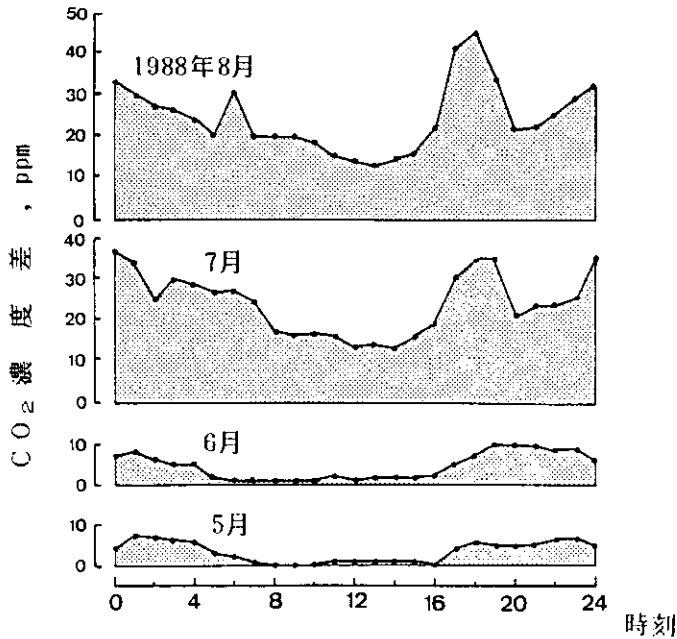


図6. 林地内外のCO₂濃度落差の日変化
各月の晴天日に計測した樹冠(31m^H)と林床(0m^H)の濃度落差の平均を示す。

3.2.2 大気オゾン

大気オゾン(O₃)は、その起源から2種類に大別できる。その一つは、最近その減少が危惧されている成層圏O₃に起源し、バックグラウンドとして存在しているO₃であり、他は主要な大気汚染物質である光化学オキシダントの主成分としてのO₃である。

本施設では、紫外線吸収方式のO₃計を用いて、大気O₃を計測している。図7に過去3か年にわたって計測したO₃の平均濃度を示した。冬季間にはO₃濃度の変動が少なく、安定しているが、春季には濃度が上昇し、4～5月には最大となる。その後、夏にかけては次第に濃度が低下し、7～8月には最小になり、秋から冬にかけて再び濃度が上昇した。このような変動パターンは中緯度地域のバックグラウンド地における典型的なものであり、成層圏O₃の挙動が関与しているものと考えられる。

一方、 O_3 の日変化は、季節によって大きく異なっていた。図8に代表的な月別に晴天日の O_3 の日変化を示した。冬期(1987年12月)や春期(1988年4月)の大気 O_3 濃度には顕著な日変化は認められず、ほぼ一定である。しかし、夏期(1988年8月)には午後3時前後にピークを持つ日変化を示した。

一般に、バックグラウンド地の O_3 濃度はほとんど日変化を示さず、昼間やや低くなり、夜間にやや高くなる日変化を示すのが特徴とされているが、当地の夏期には逆に昼間に高くなった。また、そのピークは、つくばでは午後1~2時に観察されるが、汚染源(東京地区)より約150km離れた奥日光では、つくばより1~2時間遅れて観察される。この日変化パターンは、通常大気汚染地で見られるものであり、夏期には当地でも関東平野部で発生した光化学オキシダントが移流してきているものと考えられる。

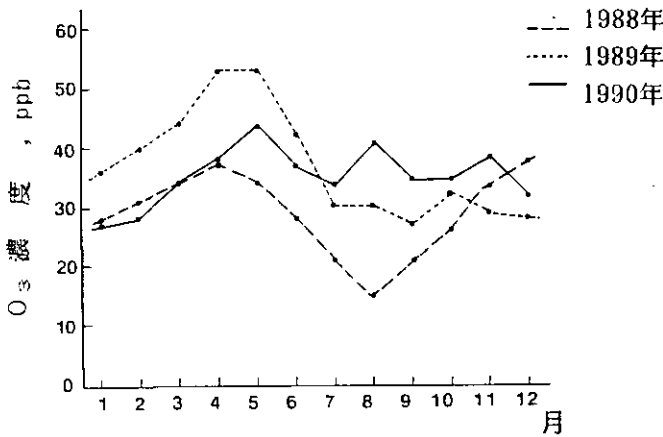


図7. O_3 濃度の季節変化
数値は月平均値を示す。

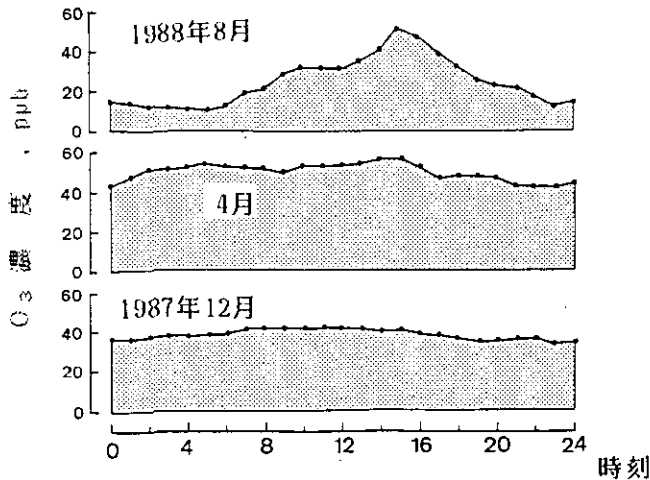


図8. O_3 濃度の日変化
各月内の晴天日に計測した平均時間値を示す。

当地の O_3 の年平均濃度は35ppb前後であり、100ppbを超える瞬時値を観察する時もある。この濃度域の O_3 は、植物に顕著な障害を与え得るものである。例えば、著者らが行った実験では、ハツカダイコンに50ppbの O_3 を播種後21日間連続暴露すると可視障害が発現し、乾物生長量も対照区の約1/2に低減した。しかし、4月下旬の当地では、まだ「冬」の時節で植物も休眠状態にあり O_3 の影響が発現しにくい条件にあると考えられる。その上、植物の生育が旺盛な夏季には、 O_3 も植物にその影響が発現しない程度の濃度域に低下している。このことから、現時点では O_3 が当地の植物生育にまだ害作用を与えているとは考えられない。

3.2.3 その他の大気汚染質

二酸化硫黄(SO_2)、二酸化窒素(NO_2)は年平均値で1~3ppb程度であり、ほぼ測器の検出限界に近い低濃度であり、大気汚染の影響は少ないと考えられる。また、炭化水素に関しては、 CH_4 濃度が年間通して175~180ppb程度であり、 $N-CH_4$ は10ppb前後であったが、やや夏期間濃度が高くなる傾向が見受けられた。粒子状浮遊物質(SPM)は積雪時期には $10\mu g \cdot m^{-3}$ 以下であるが、夏期間には $20\sim 25\mu g \cdot m^{-3}$ と倍増している。

3.3 降水の水質

森林衰退との関連で、降水の水質が問われているが、本施設には3台の降水の自動計測システム(電気化学計器製)が設置されている。それらのシステムでは、降水量別に水質(pH、EC、水温)が自動計測できるほか、自動採水装置により、0.1mmの降水量でも100mlの試水が自動採取・保存できる。表1に降雨雪自動計測装置の仕様を示した。装置Cはハウチワカエデ(*Acer Sieboldianum* Miq.; 樹高約25m、胸高直径80cm)の樹冠下に設置され、夏季には装置の上部に葉面積指数が4程度の葉が繁る。

表1 降雨雪自動測定装置の仕様

装 置	A	B	C
形 式	DRM-200W	DRM-200E	←
設 置 場 所	露場	露場	樹木下
設 置 高	4.0m ^H	1.5m ^H	←
計測項目	pH	←	←
	EC	←	←
	水温	←	←
降水計測精度	0.1mm	0.5mm	←
受水ロート径	φ447mm	φ200mm	←
自 動	フローセル 洗のみ	フローセル、 受水ロート	

3.3.1 水質の特徴

図9に0.1mm降水ごとに計測した一降水のpH、ECの経時変化例を示した。この例では、0.2 mmまでの降水量でpHが4.0以下であり、降水初期には酸性が強い。しかし、降水が続くにしたがってpHは5.0を越し、ECも $10 \mu S \cdot cm^{-1}$ 以下となり、降水量が10mmを超すと水質は純水に近くなり、降水初期と終了時とでは、水質が顕著に異なっていた。

また、同時に自動採水装置により、採水した試水のイオン(6成分)濃度をイオンクロマトグラムで計測した。その結果、降水中のイオン濃度も降水量と共に大幅に低下していた。

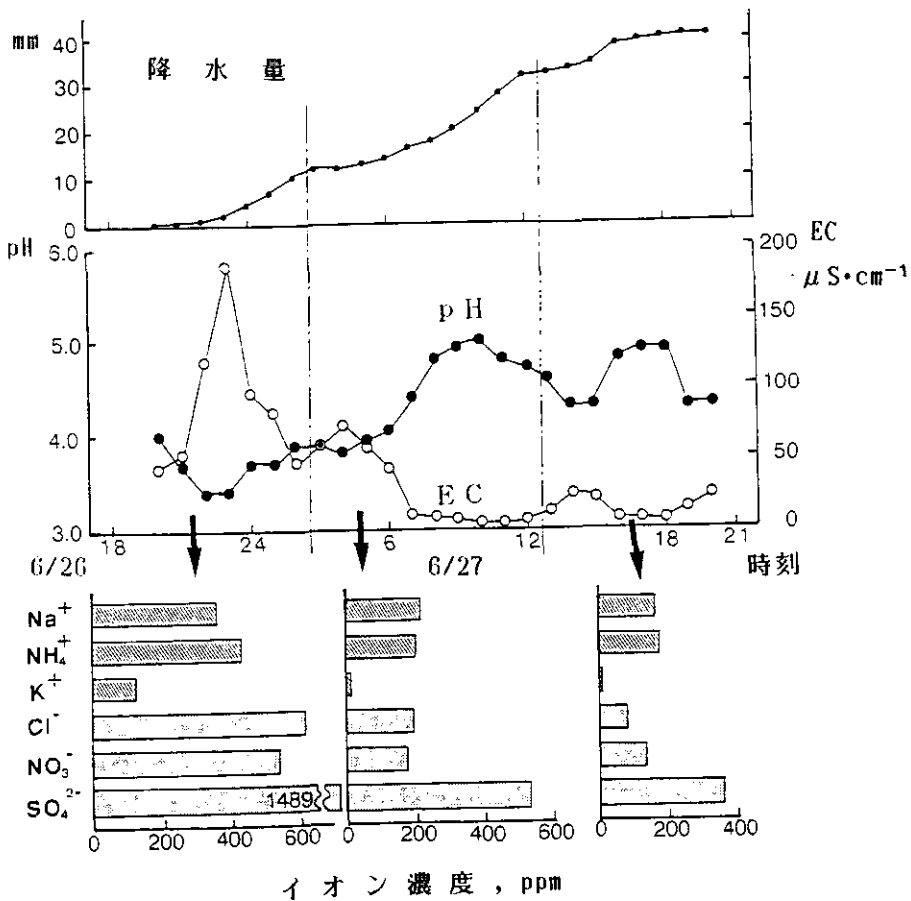


図9. 降水量からみた水質の変化

1989年6月26~27日の降水について計測した。

上図；降水量

中図；装置Aで計測したpH、EC

下図；イオンクロマトグラフで計測した降水量別の降水のイオン濃度

左：0.1~10mm、中：12~30mm、右：32~42mm

これを1988年5～10月間に2.0mm以上の降水量があった降水(n=55)について総括してみると(図10)、pHが4.0以下の酸性の強い降水が、0.5mmの降水初期には約30%あったのに対して、降水終了時には1例しかなかった。また、ECは降水が続くにしたがって低下し、降水終了時には $10\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ 以下となった降水が約80%あった。したがって、当地域の降水は、降水初期には強い酸性を示すが、降雨終了時には純水に近い水質になると推察できる。なお、降水の水質に直接関与する大気中の SO_2 、 NO_2 は、当地域ではそれぞれ日最大濃度で10、5ppb以下で、乾性大気汚染質と降水の水質との関連については解析できなかった。

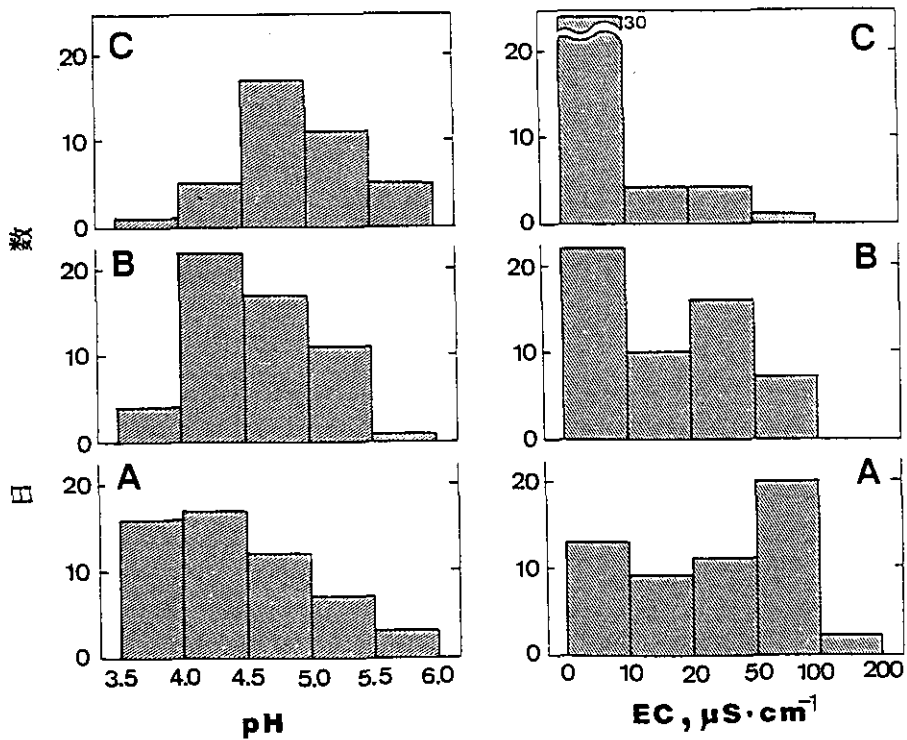


図10. pH、ECから見た降水の頻度分布

1988年5月16日～10月15日の間の2mm以上の降水量のものを装置Bで計測した。図中のA、B、Cは、それぞれ降水0.5mm、5.0mm、降水終了時の値を示した。ただし、Bには2mm～5mmの降水の降水終了時のものも含む。

3.3.2 降水の水質に及ぼす樹木の影響

図11に落葉広葉樹(ハウチワカエデ)の樹間透過雨の水質を、ハウチワカエデの季節的生長過程を追って示した。当地域では、ハウチワカエデは5月下旬に芽吹き、9月下旬から紅葉が始り、10月中には落葉する。芽吹き前の5月中旬では、樹間透過雨のpHは、降雨初期には露場と同様に4.0~5.0であったが、降雨終了時には6.0以上になった。しかし、葉が展開すると共にpHは、降雨初期から高くなり、酸性の降雨が樹間を透過することにより中和されていた。なお、その傾向は紅葉時期まで続いた。また、樹間透過雨のECは紅葉前までは露場と差がないが、紅葉して葉の生理活性が衰える時期には顕著に高くなった。このことから、樹間透過雨は枝葉表面の付着物質を溶解すると共に、葉成分の溶脱の影響を強く受けていることが分かった。

当地域では、いわゆる『酸性雨』の影響による森林衰退、樹木の枯損を確認していないが、降水の水質が酸性化しているのは明らかである。また、関東地方の北部に位置する当地域にも、関東平野部の大気汚染質が移流拡散している。したがって、今後、乾性大気汚染質共に降水の酸性化が森林生態系に及ぼす影響に関して、森林生態系の特性を十分に把握して調査検討する必要がある。

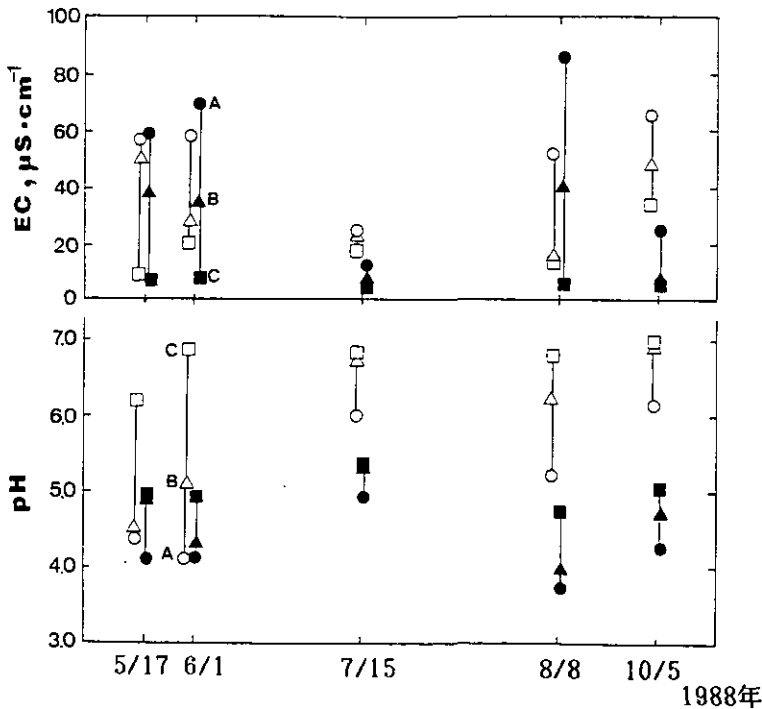


図11. 降水の水質に及ぼす樹木の影響
 1988年夏期間の30mm以上の降水量の降雨を計測した。
 図中のA(●,○)、B(▲,△)、C(■,□)は、それぞれ降水0.5mm、5.0mm、
 降雨終了時の値を示し、●,▲,■は露場、○,△,□は樹木下を示す。

4. おわりに

1988～90年にかけて、奥日光環境観測所で計測した環境データの一部を紹介したが、その他の河川水・地下水の水質などのデータについては、改めて別の機会に紹介したい。

引用文献

- 山口武則・藤沼康実 (1987): 国立公害研究所実験ほ場の土壌及び気象に関する調査資料集(Ⅳ). 国立公害研究所研究資料、B-32-'87.
- 溝口次夫 (1986): グローバルスケールにおける対流圏オゾンの動態. 国立公害研究所研究報告 102, 79-92.
- 藤沼康実・大政謙次 (1988): 国立公害研究所奥日光環境観測所について. 日本農業気象学会関東支部会誌、14, 16-20.
- 藤沼康実・功力正行・菅原淳 (1989): 奥日光樹林帯における大気オゾンの季節変動について. 日本生物環境調節学会第27回大会講演要旨集.
- 藤沼康実・河合崇欣・菅原淳 (1990): 奥日光地域における降水の水質. 日本生物環境調節学会第28回大会講演要旨集.