



Title	森林内における降雨成分の動態：簾舞試験地における調査例
Author(s)	佐藤, 冬樹; SATOH, Fuyuki; 藤原, 滉一郎 他
Citation	北海道大學農學部 演習林研究報告, 46(4), 829-846
Issue Date	1989-08
Doc URL	<a href="https://hdl.handle.net/2115/21307">https://hdl.handle.net/2115/21307</a>
Type	departmental bulletin paper
File Information	46(4)_P829-846.pdf



# 森林内における降雨成分の動態

— 簾舞試験地における調査例 —

佐藤 冬樹\* 藤原 滉一郎\* 駒崎 里美\*\*

Chemical Compositions of Throughfall and  
Stem Flow under Mixed Forests  
— An Example in Misumai Experimental Site —

By

Fuyuki SATOH\*, Koichiro FUJIWARA\*  
and Satomi KOMAZAKI\*\*

## 要 旨

札幌近郊の北大演習林簾舞試験地において1987年から1988年の2年間にわたり降水・林内雨・樹幹流の成分分析を行い、樹種による降雨成分の変動状態について検討を行った。

測定期間中の降雨pHは5.5~6.0のものが多く、いわゆる酸性雨も少数観測された。また、降雨ECは海からの風送塩の影響を受ける11月を除き30 $\mu$ S以下のものが多かった。林内雨ECは降雨ECよりも高くなっていたが、理由としては葉に付着した大気中の浮遊塵の溶解や葉の成分の浸出等が考えられた。樹種別では広葉樹やカラマツ林内雨では紅葉期に葉体成分の浸出による濃度のピークがみられたのに対し、常緑針葉樹であるトドマツ林内雨ではこの様な濃度上昇は認められず、年間のイオン濃度の変動は少なかった。この他、広葉樹林内雨の長い無降雨期間後の試料には、葉に付着した成分の溶解によるものとみられるイオン濃度の上昇も認められた。樹幹流も林内雨同様イオン濃度は上昇したが、その濃度は幹の表面状態に関連し、表面の凹凸が激しいカラマツ樹幹流はイオン濃度が高く、表面の平滑なトドマツやオニグルミ樹幹流は濃度が低かった。

キーワード： 酸性雨，林内雨，樹幹流，無機成分動態，水質保全。

---

1989年2月28日受理 Received February 28, 1989.

\* 北海道大学農学部演習林

College Experiment Forests, Hokkaido University.

\*\* 日栄不動産株式会社

Nichiei Estate Agent Co., Ltd.

一方、樹幹流や林内雨中には無機成分の他に有機成分も樹体より溶出しており、pHが4前後のカラマツ樹幹流では低pHの原因として有機酸が関与している可能性が考えられた。

## はじめに

近年無計画な伐採と共に、酸性雨あるいはゴルフ場・ダム等の各種の開発の進行による森林破壊の増加に伴う河川水の水質劣化に対する危機感が強まり、森林の水質保全機能というのがその有無も含めて問題となっている。しかし、降雨によりインプットされた成分を始めとする森林内における物質循環に関する研究は、生態学あるいは河川学的見地から循環成分の量的変動に関するものがほとんどであり、質的変動に重点をおいた報告は、堤・岩坪等の研究を<sup>1,7,8)</sup> 除くとほとんど無い。そのため、森林の水質保全機能といっても観念的なものであり具体的な発現機構については依然として未解明な部分が多い。

著者らは森林の水質保全機能の機構を解明することを目的として簾舞試験地において継続的な調査を行っているが、本報告は当試験地における降雨・林内雨および樹幹流に含まれる各種成分の濃度及び季節変動の状況を取りまとめたものである。

### 1. 調査地及び試料の採取・分析方法

簾舞試験地は札幌市の南西約15 kmの豊平川支流の簾舞川沿いに位置している(図-1)。表層地質は安山岩(野の沢溶岩)で構成されているが、試験地の大部分は焼山(標高652 m)山体の崖錐堆積物から成る崩積地形上にあり、土層は薄く下層部は10~60 cmの未風化亜角礫に富んでいる。試料の採取は簡易量水堰の設置されている小沢の流域(19.1 ha)で行った。この小沢の水は源頭部から700 m下流の地点より湧水し、量水堰の下流で再び伏流している。採取地点の土壌型は林業試験場(現森林総研)の分類に従うと乾性褐色森林土(BB型)に分類される。

小沢の流域の樹木は、皆伐後1953~1955年に植栽されたカラマツ(*Larix kaempferi*)と自然侵入によるシナノキ(*Tilia japonica*)・エゾイタヤ(*Acer mono*)・オニグルミ(*Juglans ailanthifolia*)・オヒョウニレ(*Ulmus laciniata*)等より構成されており、林床は主としてクマイザサに覆われている。

試料は降水、樹冠雨および樹幹流に分けて採取した。採取法を以下に記す。

- 1) 降水: 約5 m×5 mの樹冠疎開部の中心に、内径30 cmの塩化ビニール性のろう斗と5 l容量のポリビンから成る簡易降水採取装置を設置して採取。
- 2) 林内雨(樹冠雨): 内径14.9 cm、長さ200 cmの塩ビ製チューブを縦割にして雨樋状の採取器を作り、林床植生の影響を避けるために地上1.2 mの高さに置き、ビニールホースを用いて5 lポリビンに導水した。なお、この採水器はカラマツと広葉樹(オニグルミ・オヒョウニレ・ハリギリ・エゾイタヤ等)樹冠下の2箇所に設置した。

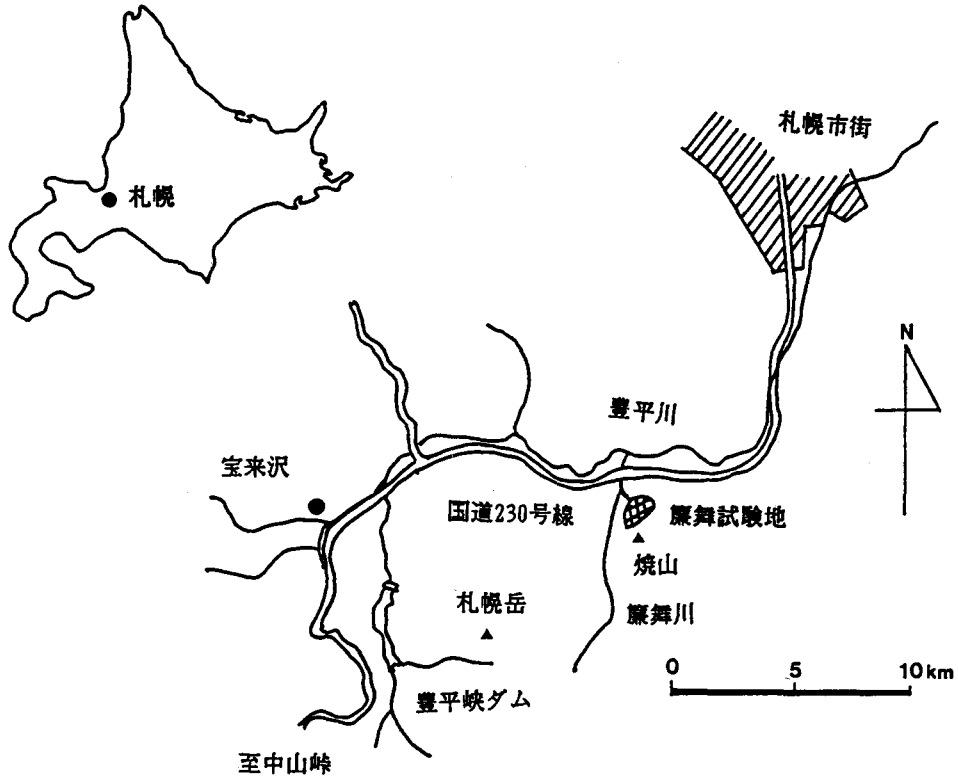


図-1 調査地位図

Fig. 1. location map of investigated area.

3) 樹幹流：内径 18 mm のビニールホースを半分に割り、樹幹にらせん状に巻きつけ下端をポリビンに差し込んで採水した。樹幹流の採取は釧路試験地ではカラマツとオニグルミで行った。また、樹種による違いを検討するために近接する豊平川支流薄別川・宝来沢流域にあるトドマツ造林地においてトドマツ (*Abies sachalinensis*) とヤチダモ (*Fraxinus mandshurica* var. *japonica*) の樹幹流とトドマツ林内雨の採取も行った。

試料採取は 1987 年 5 月下旬より 1988 年 11 月の無降雪期間中約 2 週間毎に行った。なお、1987 年 7 月の 1 ヶ月間は一降水毎に採取した。また、樹冠雨・樹幹流の採取と同時に渓流水の採取も行った。

採取試料水は実験室に持ち帰り 0.2  $\mu$  のミリポアフィルターを通した後分析に供した。分析項目および分析方法は以下の通りである。

pH：イオン電極法

EC：電気伝導度法

カルシウムイオン ( $\text{Ca}^{2+}$ )・マグネシウムイオン ( $\text{Mg}^{2+}$ )：原子吸光光度法

カリウムイオン ( $\text{K}^+$ )・ナトリウムイオン ( $\text{Na}^+$ )：炎光光度法

塩素イオン ( $\text{Cl}^-$ )・硝酸イオン ( $\text{NO}_3^-$ )・硫酸イオン ( $\text{SO}_4^{2-}$ )：イオンクロマトグラフィー法

全窒素：紫外線吸光度法

全磷酸：ペルオキシ二硫酸分解法

## 2. 結 果

降水 pH は 4.02 から 6.77 の間で推移し (図-2), 観測期間中の pH の平均値は 5.84 であった。また, pH 5.6 以下のいわゆる酸性雨とされる雨の降下も数回測定された。降雨 EC は 30  $\mu$ S 以下のものが多いが (図-3), 秋から冬にかけて濃度が上昇する傾向を示し降雨ごと

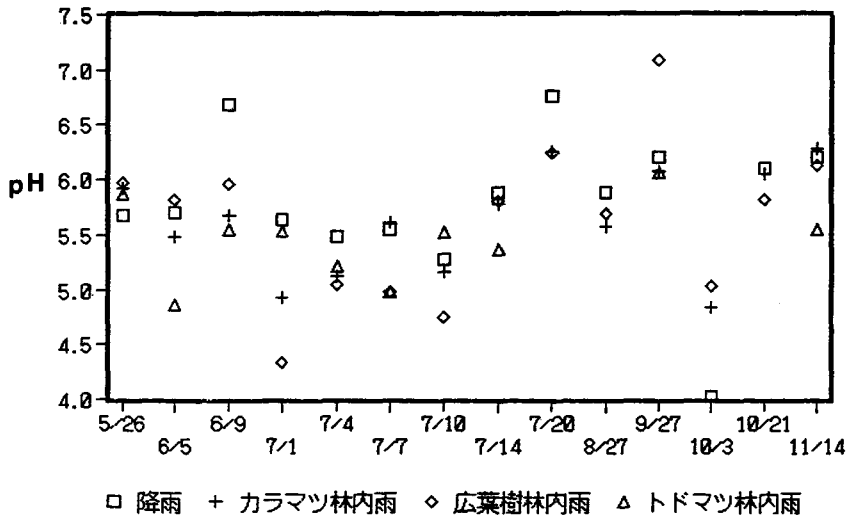


図-2 降雨及び林内雨の pH 変化 (1987)

Fig. 2. pH changes of rains and throughfalls (1987).

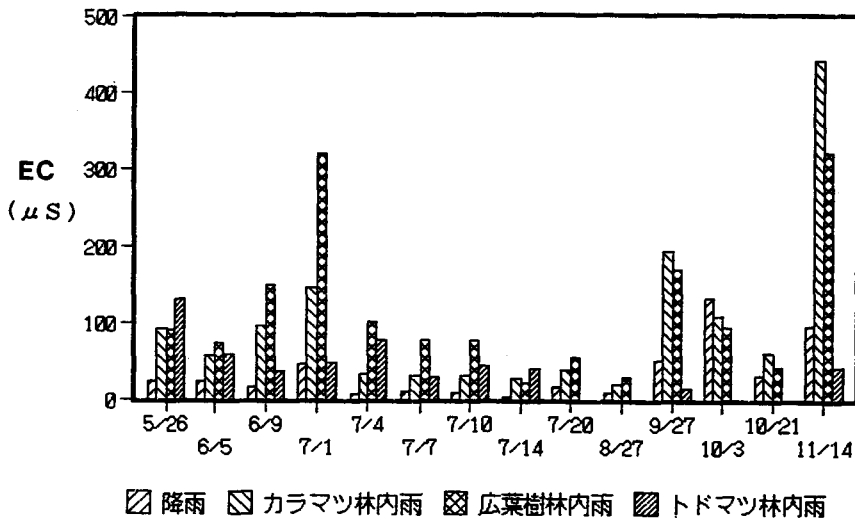


図-3 降雨及び林内雨の EC 変化 (1987)

Fig. 3. EC changes of rains and throughfalls (1987).

の濃度のばらつきも大きい(変動係数約1)。陽イオン濃度(図-4)はECの変動に対応した動きを示し秋から冬にかけて濃度が高くなっており、それは主にカリウムとナトリウムの濃度上昇によるものである。陰イオン濃度も陽イオンと同様な濃度変動を示し、主要陰イオンは塩素イオンであった。この塩素イオン濃度は1987・88年の11月に300 $\mu$ M以上と特に大きな値を示した。同時にナトリウムイオンの濃度も高くなっており、この時期の降雨には海からの風送塩の影響が強い事が示唆されている。

林内雨 pH をみると(図-2)、カラマツと落葉広葉樹の林内雨は落葉期である9月27日と10月3日を除くと降雨 pH よりも低めに経過し、低下度合は広葉樹林内雨で大きかった。特に無降雨期間の長かった7月1日の pH は降雨の5.64 から4.33 と1 ユニット低下していた。トドマツ林内雨 pH も他の林内雨と同様に降雨 pH と比較して低めに経過したが7月1日の

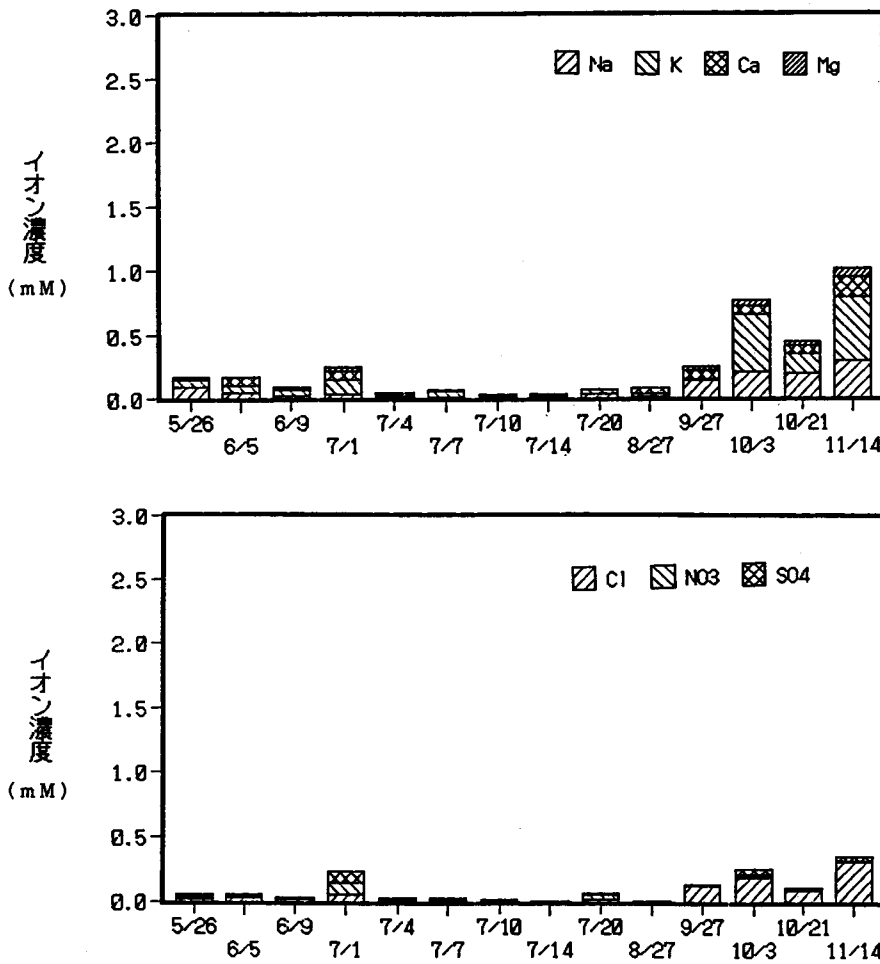
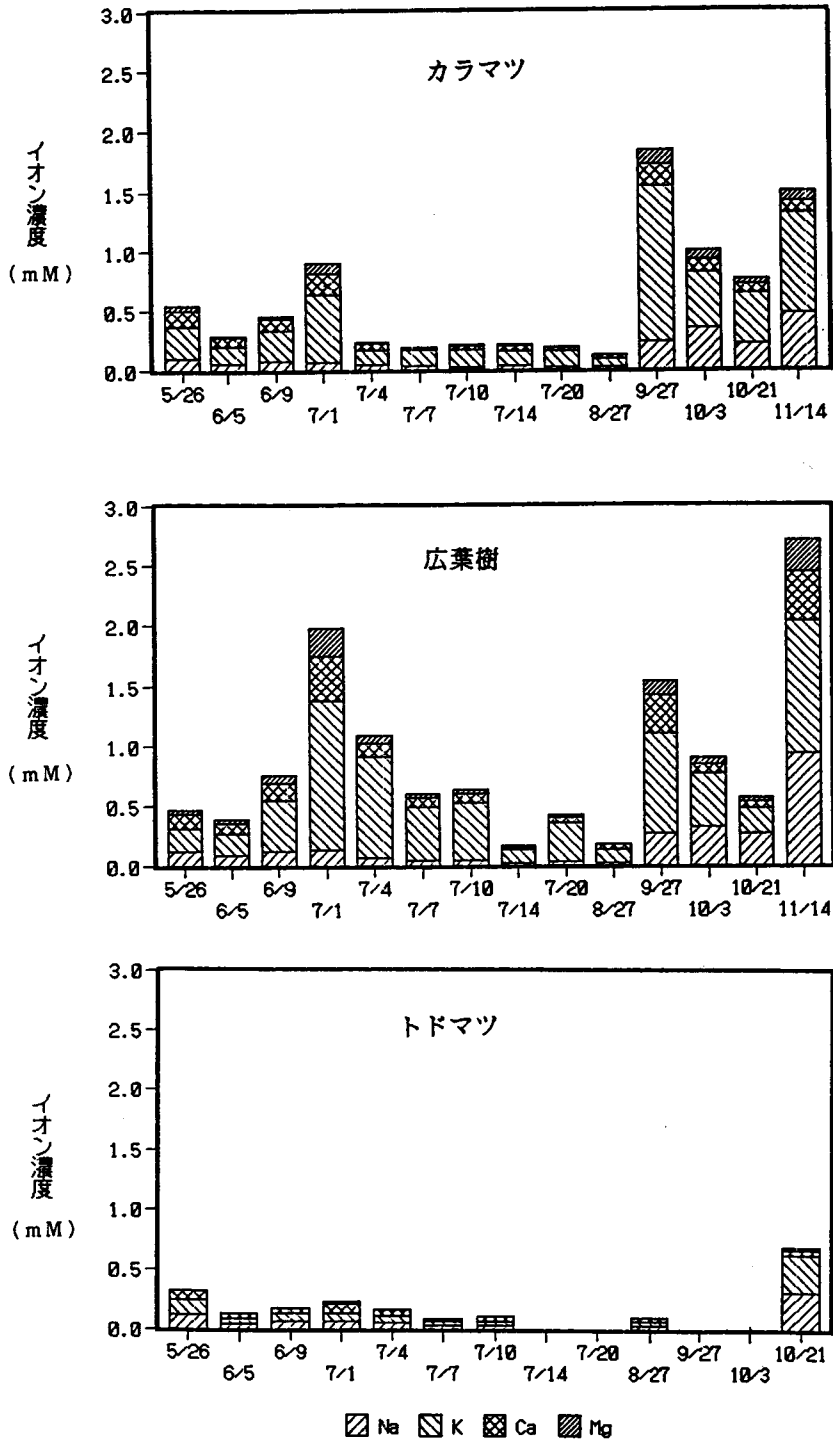


図-4 降雨のイオン組成 (1987)

Fig. 4. Ion compositions of rains (1987).



図一5 林内雨の陽イオン組成 (1987)

Fig. 5. Cation compositions of throughfalls (1987).

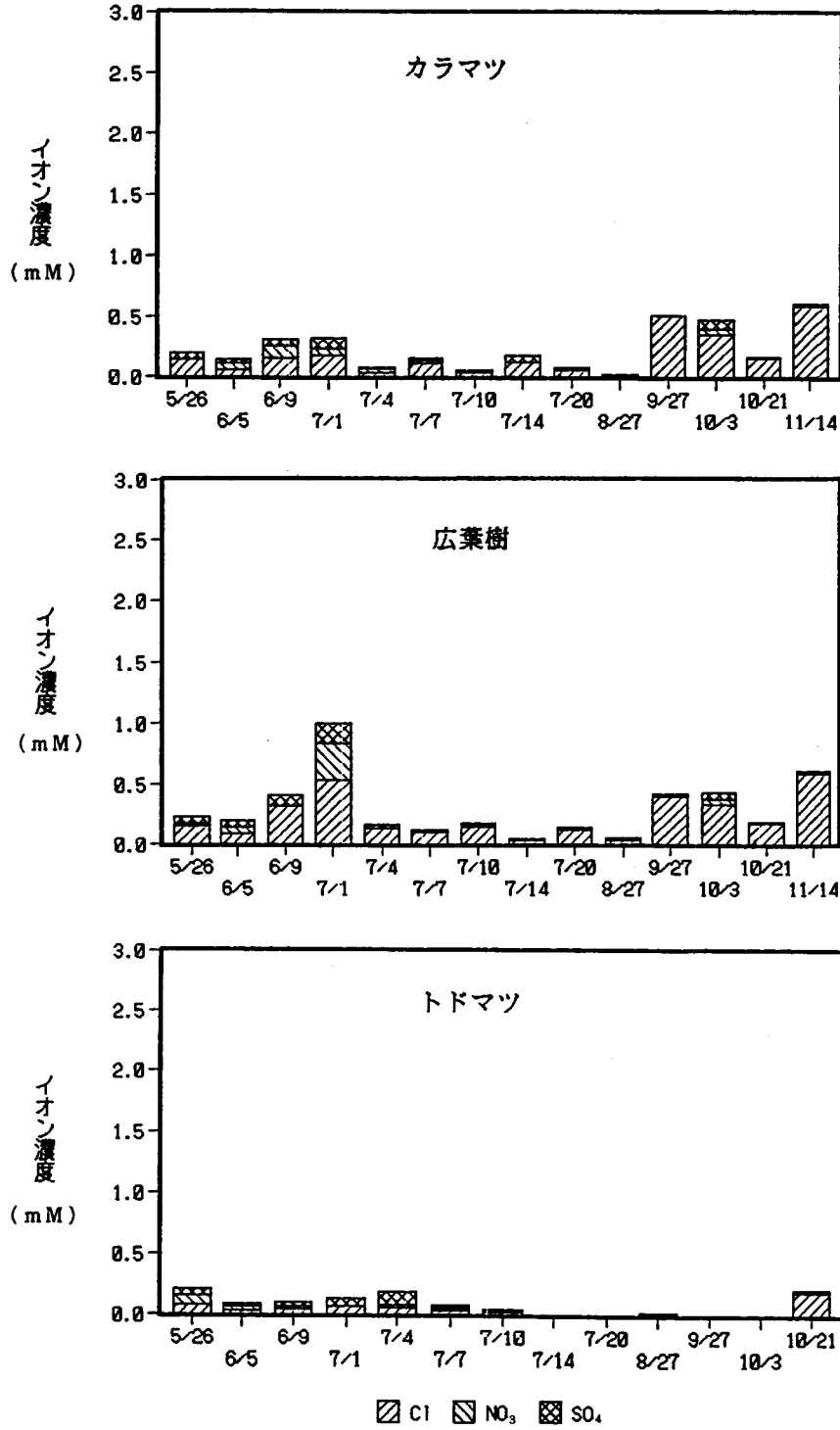


図-6 林内雨の陰イオン組成 (1987)

Fig. 6. Anion compositions of throughfalls (1987)

pH 低下は観測されなかった。林内雨 EC は降雨と比較してはるかに高く、イオン濃度が上昇していることを示唆していた(図-3)。季節的な変動を見ると樹冠の種類別に違いが認められ、カラマツ林内雨の EC 値は秋以降に比較的値が高くなり、特にカラマツの落葉期である11月のサンプルの値が高くなっている。一方、広葉樹林内雨は秋にも高い値を示すが他の林内雨と比較するとむしろ夏(6月から7月)に高い値を示すのが特徴的である。トドマツ林内雨は測定した3種類の中で値が最も小さく、かつ測定期間中の値の変動は最少であったが、春(5月から6月)に他よりも高い傾向がうかがえる。

林内雨の陽イオン組成(図-5)を見ると、イオン濃度の高いカラマツと落葉樹の林内雨中の主要陽イオンはカリウムであり、9月以降の林内雨の濃度増加もカリウムの増加によるものである。また、陽イオン総量に占めるカリウムの割合は、カラマツ林内雨で6・7月は40パーセント台で推移するが、9月から11月のサンプルでは50~60パーセントに増加している。一方、広葉樹林内雨では逆に6・7月では60パーセントを占めるが、秋にはカルシウムやマグネシウムの占める割合が増加しカリウムの割合は30~40パーセントに低下している。また、トドマツ林内雨はこれら二者と比較してカリウム濃度は著しく低く、このことがイオン濃度の低い主な原因となっている。

陰イオン(図-6)では塩素イオンが主要イオンとなっている。カラマツと広葉樹の林内雨陰イオン濃度・組成は、無降雨期間の長かった7月1日における広葉樹林内雨の濃度がカラマツ林内雨の約2倍となっている以外は、ほぼ類似した傾向を示した。トドマツ林内雨の陰イオン濃度は陽イオン同様に低く経過しており、際だった濃度変化はみられなかった。組成についてみると塩素イオン濃度が低いために、相対的に硫酸イオン濃度の割合が増加し主要イオンと

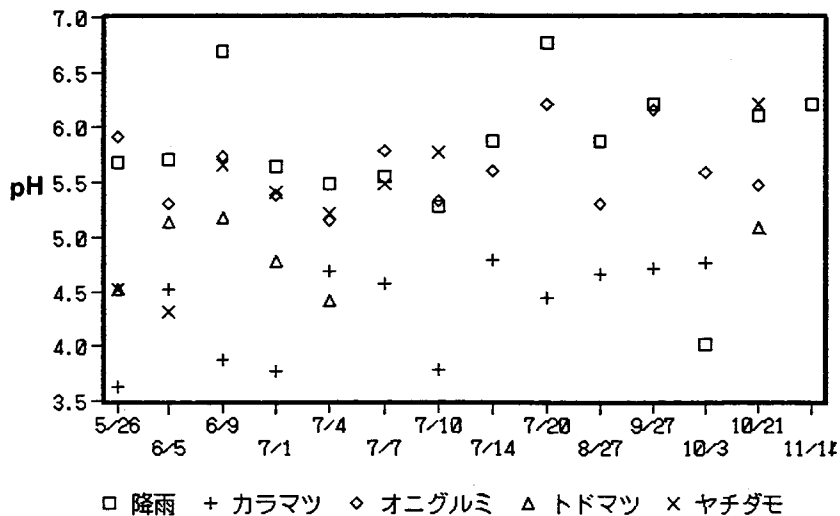


図-7 樹幹流の pH 変化 (1987)

Fig. 7. pH changes of stem flows (1987).

なっていた。

図-7に樹幹流 pH の変動を示したが、林内雨同様、降雨 pH に比較して低いものがほとんどであった。中でもカラマツ樹幹流 pH は他の樹幹流のものと比較して極端に低く、5以上のものはなく逆に4以下に下がるものも数点観測された。同じ針葉樹であるトドマツ樹幹流 pH は4.4~5.4の間で推移し、カラマツほどではないが他の広葉樹樹幹流 pH に比較すると

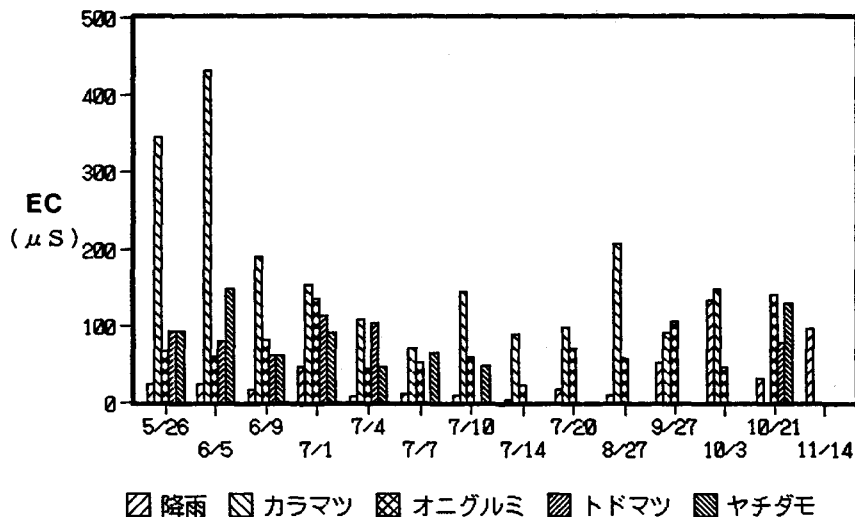


図-8 樹幹流の EC 変化 (1987)  
Fig. 8. EC changes of stem flows (1987).

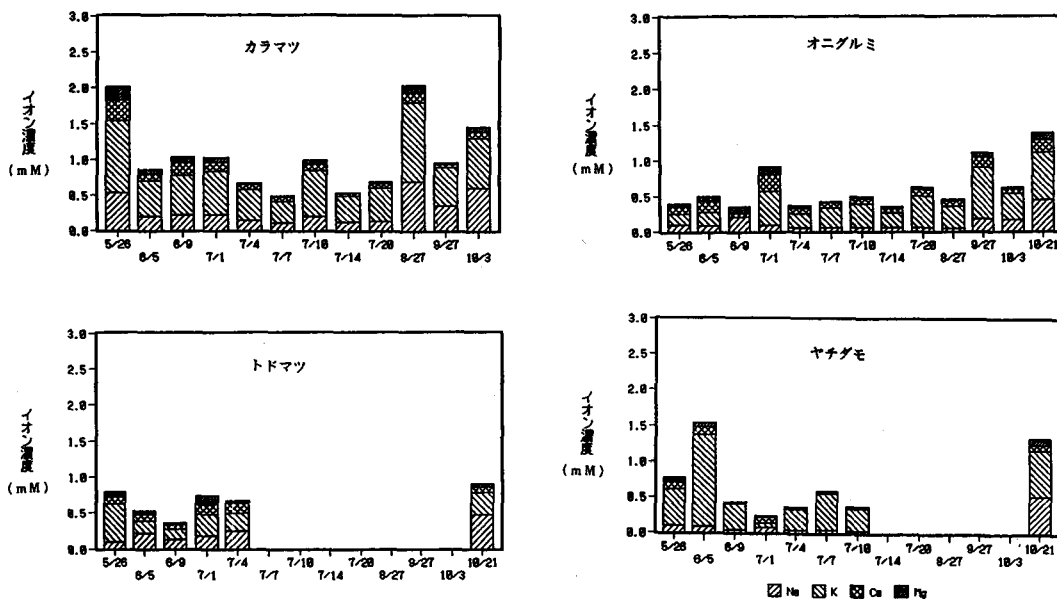


図-9 樹幹流の陽イオン組成 (1987)  
Fig. 9. Cation compositions of stem flows (1987).

低い値であった。これに対し、オニグルミとヤチダモの樹幹流 pH は 5~6 の間に分布し、降雨 pH よりも若干低い値を示すものがほとんどであった。

樹幹流 EC (図-8) も林内雨同様に降雨と比較するとはるかに高い値を示したが、濃度変化の状態は樹種により異なっている。カラマツ樹幹流 EC は他の 3 種に比較してはるかに高く、11月を除きカラマツ林内雨 EC よりも高い値を示した。また、特に高い値は春 (5月から6月) に顕著に認められた。これに対し、オニグルミ樹幹流 EC は広葉樹の林内雨 EC と同様の変動をするが、その値はかなり低くまた7月1日や11月14日に見られるような大きな値の上昇は認められなかった。トドマツ樹幹流 EC はカラマツ樹幹流と同様な変動傾向を示し、林内雨 EC よりも高かった。また、ヤチダモ樹幹流 EC は  $150 \mu\text{S}$  以下で推移し、オニグルミと類似した値を示し大きな濃度変化は認められなかった。

EC 値から推定されるようにカラマツ樹幹流の陽イオン濃度 (図-9) は、測定を行った樹幹流の中で最も高く  $700 \sim 2,000 \mu\text{M}$  の間で変動し、カラマツ林内雨同様カリウムイオンの寄与が大きい。オニグルミ樹幹流は無降雨期や落葉期において陽イオン濃度の上昇幅が小さく、 $500 \mu\text{M}$  以下のものが多くなっている。イオン組成では林内雨と異なり、濃度が低い分カリウムイオンの総陽イオン濃度に占める割合は低下している。トドマツ樹幹流の陽イオン濃度は  $500 \sim 1,000 \mu\text{M}$  の間にあり、林内雨の濃度よりも高く、カリウムイオンばかりではなくナトリウムイオンやカルシウムイオンなど他の陽イオン濃度も同様に上昇していた。ヤチダモ樹幹流の陽イオン濃度はオニグルミと同様の濃度レベルであるが、カリウムイオンの占める割合が特異的に高く、陽イオン総量の 80 パーセントを越えるものもあった。

樹幹流の陰イオン濃度は陽イオンと類似した樹種の差が認められた。図-10 にカラマツ樹幹流の陰イオンの濃度変化を示したが、林内雨同様塩素イオンが主要イオンとして存在して

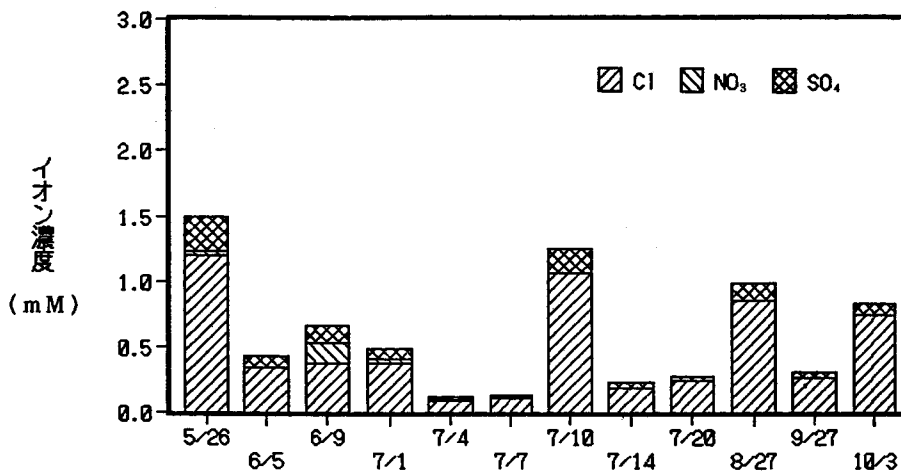


図-10 カラマツ樹幹流の陰イオン組成 (1987)

Fig. 10. Anion compositions of larch stem flows (1987).

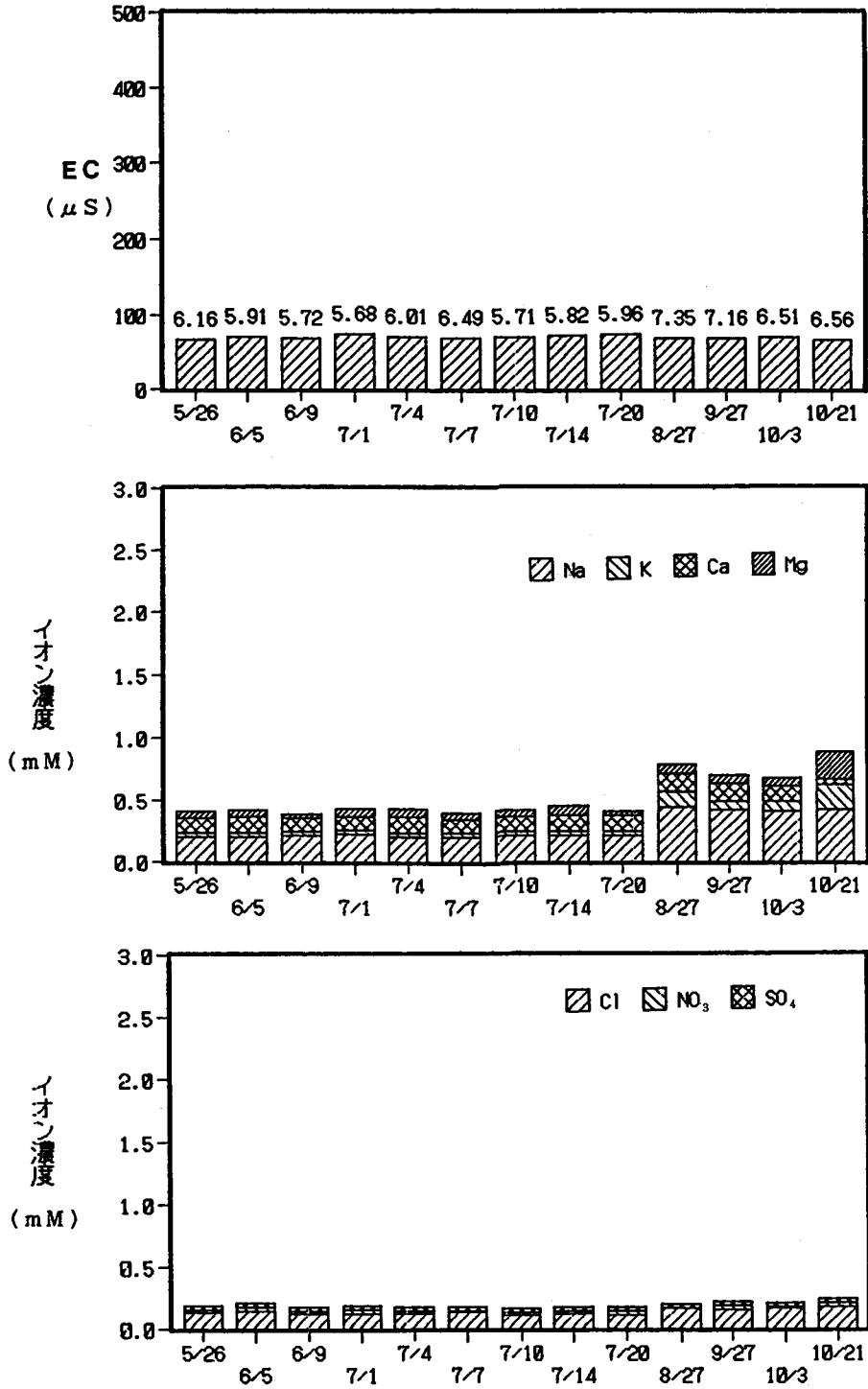


図-11 渓流水の pH・EC 変化とイオン組成 (1987)

Fig. 11. pH, EC changes and ion compositions of upper stream flows (1987).

表-1 降水・林内雨・樹幹流・渓流水の有機成分 (1988)

Table 1. Organic matters in rains, throughfalls, stem flows and upper stream flows (1988)

月日	pH	E260	全窒素	無機窒素	有機窒素	全炭酸	無機磷酸	有機磷酸
降 雨								
0713	6.27	0.14	2.96	0.32	2.64	0.58	0.36	0.22
0812	6.59	0.34	7.83	0.01	7.82	4.93	2.82	2.11
0826	6.31	0.10	0.35	0.13	0.22	0.27	0.13	0.14
0905	5.17	0.03	0.78	0.26	0.52	0.05	0.00	0.05
0922	5.19	0.06	0.26	0.15	0.11	0.20	0.00	0.20
0930	5.69	0.04	0.17	0.21	0.00	0.13	0.00	0.13
1024	6.21	0.09	0.04	0.01	0.03	0.14	0.00	0.14
1115	5.99	0.14	0.61	0.32	0.29	0.17	0.12	0.05
広葉樹林内雨								
0812	5.74	0.48	2.91	0.00	2.91	0.74	0.23	0.51
0826	5.99	0.67	6.13	0.00	6.13	0.53	0.42	0.11
0905	5.62	0.20	0.61	0.17	0.44	0.05	0.12	0.00
0922	5.94	0.12	0.70	0.09	0.61	0.15	0.00	0.15
1024	6.33	0.34	0.78	0.07	0.71	0.57	0.00	0.57
1115	5.49	0.34	0.78	0.00	0.78	0.04	0.00	0.04
カラマツ樹幹流								
0713	5.38	1.56	3.39	0.00	3.39	0.49	0.00	0.49
0812	4.22	4.06	6.78	0.87	5.91	0.40	1.21	0.00
0826	4.17	3.21	2.52	0.09	2.43	1.25	0.77	0.48
0905	4.23	2.46	1.65	0.06	1.59	0.47	0.23	0.24
0922	4.61	0.96	1.22	0.00	1.22	0.39	0.22	0.17
0930	6.51	0.63	2.96	0.10	2.86	0.54	0.28	0.26
1024	4.71	1.04	0.87	0.00	0.87	0.63	0.28	0.35
1115	4.49	0.74	0.22	0.60	0.00	0.11	0.08	0.03
オニグルミ樹幹流								
0713	5.94	1.14	1.74	0.01	1.73	0.27	0.37	0.00
0812	5.81	1.14	3.13	0.22	2.91	1.10	0.59	0.51
0826	5.86	1.22	2.35	0.27	2.08	0.99	0.25	0.74
0905	6.11	0.72	0.96	0.01	0.95	0.22	0.08	0.14
0922	6.29	0.50	1.22	0.00	1.22	0.22	0.10	0.12
0930	6.41	0.70	2.26	0.00	2.26	0.38	0.17	0.21
1024	6.35	1.06	0.78	0.00	0.78	0.32	0.00	0.32
1115	5.91	0.42	0.78	0.00	0.78	0.07	0.00	0.07
渓 流 水								
0713	6.66	0.09	0.78	0.49	0.29	0.10	0.00	0.10
0812	6.68	0.16	1.30	0.88	0.42	0.12	0.00	0.12
0826	6.66	0.12	0.96	0.73	0.23	0.11	0.00	0.11
0905	6.77	0.01	0.26	0.38	0.00	0.05	0.00	0.05
0922	7.16	0.06	0.96	0.40	0.56	0.05	0.00	0.05
0930	7.09	0.05	0.17	0.64	0.00	0.07	0.00	0.07
1024	7.22	0.09	0.26	0.62	0.00	0.05	0.00	0.05
1115	7.01	0.06	0.43	0.71	0.00	1.20	0.00	1.20

いた。一方、硝酸イオンがほとんど検出されず、この事が林内雨や降雨の陰イオン組成とは大きく異なっていた点である。他の樹種における樹幹流中にも硝酸イオンはほとんど認められなかった。

観測期間中の渓流水の pH と EC の変化を図-11 に示した。EC 値は 70 前後でほとんど変化しなかったが、渓流水 pH は 5.6~7.4 の間で変動し、8 月以降 pH が上昇していく傾向を示した。陽イオン濃度 (図-11) は秋から増加し、カリウムイオンとナトリウムイオンの濃度が高くなっている。陰イオン濃度は測定期間中ほとんど変化はなく、塩素イオンが主要イオンとなっていたが、同時に 20~60  $\mu\text{M}$  の硝酸イオンが常に流出していた。

これまで無機態のイオン組成について述べてきたが、採取した林内雨や樹幹流は褐色に着色しており有機態の成分もかなり含まれていることが推察された。表-1 にいくつかの有機成分の分析結果を示した。水溶性有機物総量の指標とされる 260 nm の紫外吸光度は、降雨、林内雨、樹幹流の順で上昇し、カラマツ樹幹流で最も高い値を示した。また、季節的には夏場に高くなる傾向にあった。有機態窒素濃度は紫外吸光度と同様の傾向を示し、樹幹流中で高い値を示した。渓流水中の有機態窒素濃度は 0~0.56 PPM と少なく、溪流に流入する窒素の多くが無機態の成分であった。

全磷酸イオン濃度も樹幹流中で高く、形態別にみると無機態磷酸は 7・8 月を除くと降水・林内雨にはほとんど含まれず有機態磷酸が主な磷酸の形態であった。一方、樹幹流中には無機態磷酸も有機態磷酸とほぼ同程度含まれていた。また、渓流水では無機態磷酸は観測されず、ほとんどが有機態の形で存在していた。

### 3. 考 察

これまで簾舞試験地における降水・林内雨・樹幹流の観測結果について述べてきたが、その濃度・イオン組成にはいくつかの特徴が認められた。それらについて以下に考察を加えていく。

1987 年から 1988 年にかけての 2 年間の測定期間中、降雨 pH は 5 以下に低下することはほとんどなく、程度の弱い酸性雨が数例観察されたのみであった。これを、酸性雨が多く観測された苫小牧演習林における降雨データ<sup>4)</sup>と比較すると、両者ともに同程度の EC 値で総イオン濃度にはあまり差が無いにもかかわらず、硫酸イオン濃度については苫小牧演習林のほうが平均値で約 2 倍高くなっている。この苫小牧演習林における酸性雨の出現には工場廃棄物などに由来する硫酸イオンの寄与が大きいことが推察されており<sup>5)</sup>、今回の簾舞試験地では硫酸イオン濃度の低いことが酸性雨の出現頻度の少なかった理由の一つとして考えられる。しかし、降水 pH と降水 EC の関係 (図-12) を見ると、EC 値が 0~20  $\mu\text{S}$  の雨では pH の変動幅が大きく、電解質濃度が低い緩衝力の弱い降雨ほど pH は外的因子の影響を受けやすいことを示している。簾舞試験地よりも郊外にあり、より大気中の汚染物質の影響を受けにくい豊平峡ダムに

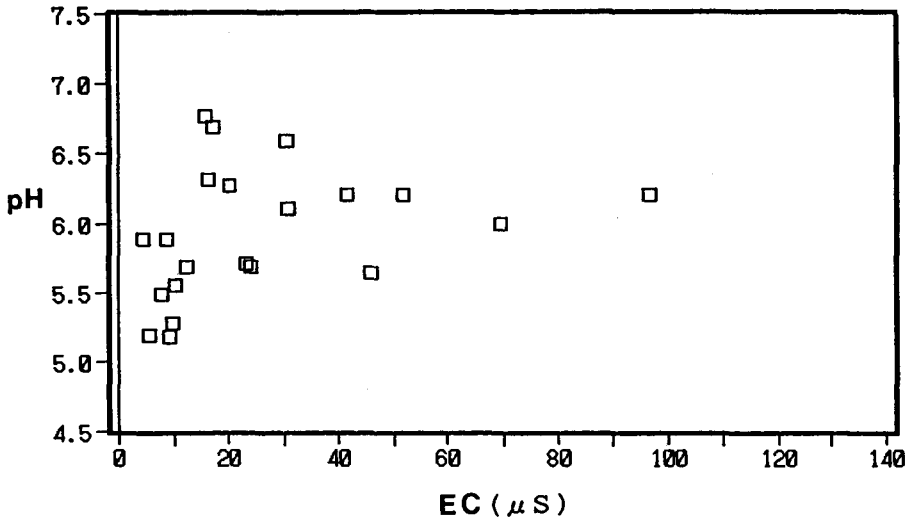


図-12 降水の pH・EC 関係

Fig. 12. Relation between pH and EC of rains.

においても酸性雨の降下が報告されていることから考えると<sup>3)</sup>、酸性雨が降っても試料を採取するまでの数日間に大気中の炭酸ガスにより中和されて pH の値が変化した可能性も考えられる。大都市では自動車の排気ガスなどに含まれる窒素酸化物に由来する硝酸イオンが、硫酸イオンに比較して少量でも雨水の酸性化に大きく寄与するという報告もあり<sup>2)</sup>、大都市である札幌の近郊にある簾舞試験地においても、交通量の増加などによって酸性雨の降下する可能性は増加して行くものと思われる。

森林の水質保全機能を考える場合、降水中の成分が林内においてどのような変化をして地表に到達するのか把握しておくことが重要である。しかし、北海道の森林は針広混交林でありそれを構成している樹種は多種多様であるため、成分変動のパターンが一様であるとは考え難い。従って、樹種ごとに降水の変化状態を押えておくことは北海道における森林の水質保全機能を考えていくうえにおいて基礎的試料となると考えられる。本調査では、林内雨3種、樹幹流4種の試料を採取したが、樹種による濃度・組成の違いがある程度認められた(図-3・8)。

林内雨についてみるとイオン濃度は降水に較べて上昇しておりその割合はカラマツと広葉樹で大きかった。これらは落葉性の樹種であり、広葉樹が紅葉する9月から10月とカラマツが紅葉する11月に濃度のピークが共通して認められた。この秋季に各イオン濃度が高くなる傾向は、岩坪<sup>1)</sup>・佐久間<sup>4)</sup>等の報告と同じであり、落葉樹林の特色とみられ、樹体の生体としての活動によるものと考えられる。

広葉樹林内雨には7月1日にも大きなピークが認められたが、これには無降雨期間の長さが関係していると思われる。すなわち、この雨は約2週間にわたる無降雨期間の後で降ったも

のであり、断続的に雨が降り続いた7月4日から7月20日までの林内雨濃度に比較して数倍のイオンを含んでいた。なかでも硫酸イオンのような大気中の汚染物質由来と関係するものの濃度も高く、無降雨期間中葉に付着した物質の洗脱によるイオン濃度の上昇である可能性が高い。

一方、カラマツ林内雨は同様の無降雨期間がありながら広葉樹のようなイオンの上昇は認められなかった。両者のイオン濃度を季節的にみて行くと広葉樹の葉が余り大きくなっていない5月26日はほぼ同程度の値であるが、以降葉が紅葉する時期までは常に広葉樹林内雨の濃度が高く推移していた。この違いは大気中の浮遊塵を吸着する能力が葉面積の大きい広葉樹において高い事によるもので、主に広葉樹と針葉樹の葉の形態による差異であると考えられる。また、9月以降は広葉樹とカラマツで林内雨の濃度が逆転している。この理由としては、葉が紅葉することにより葉に付着している成分よりも葉から浸出してくる成分の方が多くなり、それが遅くまで葉量の多いカラマツの林内雨に反映されていることが考えられる。

落葉針葉樹であるカラマツと常緑針葉樹であるトドマツの林内雨を比較すると、トドマツのほうはカラマツに較べてイオン濃度が低く、また濃度の変化も小さい。特に落葉期の11月の試料を比較すると約10倍の差となっていた。これはトドマツが明瞭な落葉期を持たないために、葉中からの成分浸出による濃度上昇効果がカラマツに比較してはるかに小さいことに起因していると推定される。また、葉が硬葉型なので葉に付着する浮遊塵によるイオン濃度の増加も小さいことも低いイオン濃度で推移する理由の一つとなっていると考えられた。

樹幹流も林内雨同様降水よりも濃度は上昇したが、林内雨とは異なるいくつかの点も見受けられた。カラマツの樹幹流と林内雨を比較すると、イオン濃度は樹幹流の方が高く推移し、また濃度のピークは林内雨では秋にあったのに対し、樹幹流では春に観察された。これに対し、広葉樹林内雨と広葉樹の樹冠を形成している樹種の一つであるオニグルミの樹幹流では、樹幹流のイオン濃度が観測期間を通じて林内雨よりも低く、紅葉時に認められたようなイオン濃度の上昇も小さかった。この様な濃度の違いが生じる理由としては、林内雨とは異なり樹幹流は木の幹を経由するために樹体との接触時間が長く、幹の表面状態が濃度や組成に大きく影響することがあげられる。つまり、カラマツの幹の樹皮は表面の凹凸が多く、樹幹流はその表面に沿って流れるために樹皮が平滑なオニグルミの幹を流れるときよりも樹体との接触時間が長く、かつ接触面積も大きいと考えられる。そのために、カラマツ樹幹流はより多くのイオンを樹皮より取り込んでその濃度を増加させると推定される。また、凹凸の激しいカラマツの樹幹は浮遊塵の付着にも適していると考えられ、この事もカラマツ樹幹流のイオン濃度の高い一因となっていると思われる。

カラマツ樹幹流のもう一つの特徴としてpHが著しく低く、時には4以下になることがあげられる(図-7)。このpH低下の理由としてまず酸性の硫黄あるいは窒素酸化物の付着が考えられる。しかし、窒素酸化物と関係のある硝酸イオンは、降水あるいは林内雨には含まれて

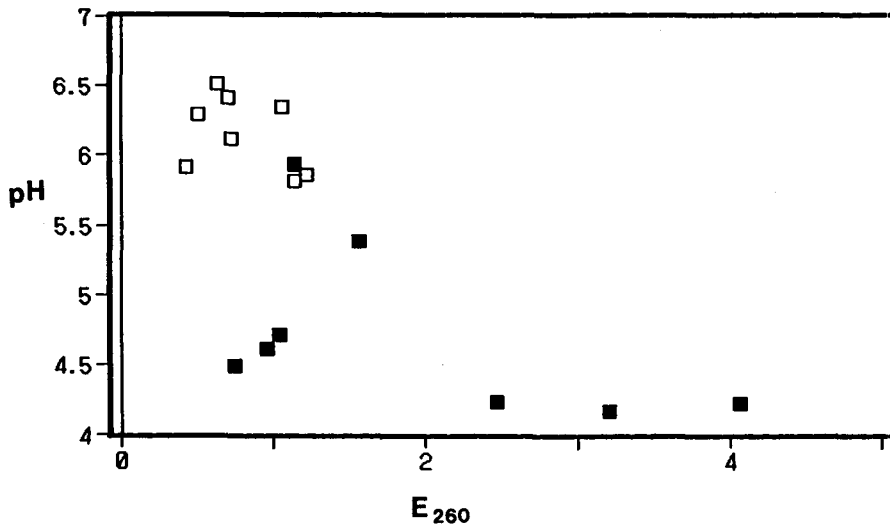


図-13 樹幹流のE<sub>260</sub>とpHの関係 (□:オニグルミ, ■:カラマツ)

Fig. 13. Relation between E<sub>260</sub> and pH of stem flows.

いるものの樹幹流中にはほとんど存在していなかった。このことは、降水中の硝酸イオンは雨水が樹皮表面を流下する時に樹体中に取り込まれてしまったことを示しており<sup>6)</sup>、硝酸イオンがpH低下の要因となっているとは考えられない。これに対し、硫黄酸化物に由来する硫酸イオンはpHが4以下の試料で特に濃度が高くなっており、硫酸イオンとpHの低下には何等かの関連性があると推定される。しかし、それ以外の試料についてはpHが4と低いにもかかわらず、硫酸イオン濃度はpHの比較的高いオニグルミ樹幹流の濃度と余り差はなかった。陽イオンと陰イオンのイオンバランスを見ても陽イオン濃度が陰イオン濃度を上回っており、硫黄酸化物から発生した硫酸はカリウムなどの塩基によって中和されていると考えても差し支えなく、低pHの原因は硫酸イオン以外にもあると考えることもできる。図-13にカラマツとオニグルミ樹幹流のpHと水溶性有機物の存在を示す紫外吸光度の関係を示した。試料点数は少ないが両者にはある程度の相関関係が認められ、樹皮の腐朽にもなって生じる有機酸やフェノール類の溶出がpH低下と関連している可能性も考えられ、樹皮から樹幹流中に溶出してくる有機物の内容の検討も必要であろう。

他の樹皮が平滑な3樹種の樹幹流のイオン濃度はカラマツと較べて低かったが、林内雨との関連を見ると樹種ごとに違いが認められた。針葉樹であるトドマツ樹幹流では葉の付着物による濃度上昇の効果が小さく、カラマツほどではないが樹体との接触時間の長い樹幹流の濃度が相対的に高い傾向にあった。逆に広葉樹のオニグルミでは葉に大気中の付着物が付いて林内雨の濃度が上昇するために、樹幹流は林内雨と比較して濃度が低くなっていたと思われる。一方、樹種間によるイオン組成の差異も認められ、同じ広葉樹であるオニグルミとヤチダモの樹幹流を較べてみると、融雪期と紅葉の時期を除くとヤチダモ樹幹流においてカリウム含量が特

に高くなっていた。この他、トドマツ樹幹流のイオン濃度の季節変動を見ると5月26日のイオン濃度は特に高くカラマツに匹敵する値を示していた。このような春先に樹幹流濃度が上昇する傾向はカラマツ樹幹流にも見られ、今回は特定できなかったもののこの高濃度な樹幹流の出現が針葉樹の生理的なものに由来する可能性も考えられ、樹幹流の特性について調査樹種を広げるとともに、樹木の年間のライフサイクルとの関わりについても検討して行く必要がある。

### おわりに

降水は森林内にはいと樹冠や幹を通して地表に達するが、その過程において様々な物質を取り込んで濃度は上昇する。この事は樹木の養分環境を考える上でも重要である。一例として必須養分の中で最も重要な成分の一つである磷酸は、土壌による固定作用のために無機イオンとして高濃度で土壌溶液中に存在できない。しかし、樹幹流・林内雨に含まれている有機態の磷酸は比較的土壌に固定されにくく、森林における樹木の磷酸供給にとっても大きな役割を演じているものと思われる。特に樹幹流の場合、量は少ないものの流入地点が樹木の根の周囲に効果的に集中するため、樹木への養分供給といった点からの評価も今後必要となろう。一方、これまでに述べてきたように、林地表層では降雨を通じて大量の物質の流入が起こっているものの、河川水の水質は流域面積が小さいにもかかわらず年間を通じて大きな変化はなかった。この事は表層のドラスティックな活動により、水が地表から河川にいたる過程で中和されていることを示しており、森林土壌中において大きな緩衝能力が働いていることを暗示している。このプロセスを明らかにすることが森林の水質保全機能を理解する上でも重要であり、またこのプロセスは土壌の発達様式とも密接に関連していることから、森林と土壌を総合した系における物質の動態に関するデータの蓄積が望まれる。

### 謝 辞

この研究は、「河川の水質に及ぼす水源林の機能に関する研究」(1986~1988)の一部として行ったものであり、研究代表者の北海道大学工学部 岸 力 教授をはじめ、関係者の皆様から心からお礼を申し上げます。

また、本研究を行うにあたり、試料水の採取・分析に御協力いただいた北海道大学農学部 土壌学講座の佐久間敏雄教授・波多野隆介助教授はじめ同講座の皆様および木材理学講座の管家生子氏・演習林研究部笹木重和技官に深く感謝の意を表します。

### 参 考 文 献

- 1) 岩坪五郎・堤 利夫：森林内外の養分量についてII, III. 京大演報, 39, 110-124, 1977, 40, 140-156, 1978.
- 2) MCCOLL, J. G and BUSH, D. S: Precipitation and throughfall chemistry in the San Francisco Bay

- Area. J. Environ. Qual., 7(3), 352-357.
- 3) 太田幸雄；降水成分，大気粉塵及びガス状成分の測定，河川の水質保全に及ぼす水源林の機能に関する研究。代表者 岸 力，昭和62年度報告書，119-140，1988.
  - 4) 佐久間敏雄・佐藤冬樹：広葉樹下の土壌中における無機元素の動態（第1報）。北大演研報，44(2)，537-552，1987.
  - 5) 佐久間敏雄・佐藤冬樹：広葉樹下の土壌中における無機元素の動態（第2報）。北大演研報，44(2)，553-565，1987.
  - 6) 杉本龍志：都市公園樹林におけるNO<sub>2</sub>の吸収に関する研究。北大農学部林学科卒論，1988.
  - 7) 堤 利夫：森林と流出水の性質。文部省「環境科学」研究報告集，森林管理のあり方とその科学的基礎，9-16，1987.
  - 8) 堤 利夫：森林の物質循環。東京大学出版会，124pp，1987.

### Summary

The chemical composition of precipitation, throughfall and stem flow was investigated at the Misumai Experimental Site near Sapporo. Three kinds of throughfalls (that from *Larix kaempferi*, *Abies sachalinensis*, and deciduous woods) and four kinds of stem flows (that from *Larix kaempferi*, *Abies sachalinensis*, *Juglans ailanthifolia*, and *Fraxinus mandshurica* var. *japonica*) were sampled to compare their ionic concentration and chemistry.

The pH of precipitation at this site was in the range from 4.02 to 6.77 and the frequency of acid rains was rare. The EC of precipitation was lower than 30 $\mu$ S except for the samples from November, whose EC levels were about 100 $\mu$ S due to the wind-borne salt originating from sea water.

The ionic concentration of throughfall was higher than that of rainfall owing to the leaching of ion from the leaves and/or the dissolution of dry-deposits accumulating in the crown. As for the throughfall of deciduous trees and *Larix*, the ionic concentration increased in fall due to the leaching of ions from the autumn leaves which had changed colors. In case of the throughfall of *Abies*, however, such an increment could not be observed. A distinct peak indicating a high ionic concentration was also recognized in the throughfalls of deciduous trees after a long dry spell which was attributed to the accumulation of dry-deposits on the surface of broad leaves.

The ionic concentration of stem flow was also higher than that of rainfall. But the magnitude of the increment depended upon the status of the stem surfaces on which the stem flows ran down. The stem flow of *Larix*, which passed down the rough surface of the stem and had a long contact time, had the highest ionic concentration among the stem flows examined.

Potassium, sodium and chlorine were the most important inorganic elements in the throughfalls and stem flows examined. Besides inorganic substances, many organic substances leached from trees were also included. The low pH of the *Larix* stem flow was closely related to the organic acids included with the other organic substances.