

九州山地中央部における降水および樹幹流のpHと溶存成分

井倉, 洋二
九州大学農学部附属演習林

吉村, 和久
九州大学理学部化学科

久保田, 勝義
九州大学農学部附属宮崎演習林

中尾, 登志雄
宮崎大学農学部農林生産学科

他

<https://doi.org/10.15017/10890>

出版情報 : 九州大学農学部演習林報告. 71, pp.1-12, 1994-12-20. 九州大学農学部附属演習林
バージョン :
権利関係 :

九州山地中央部における降水および樹幹流の pH と溶存成分*

井倉 洋 二**・吉村 和 久***・久保田 勝 義****
中尾 登志雄*****・荒上 和 利*****

抄 録

酸性降水物が森林に与える影響を明らかにするための基礎的資料として、降水および樹幹流の pH と溶存成分濃度の通年観測をおこなった。観測地は、九州山地中央部に位置する九州大学宮崎演習林で、当地は日本有数の多雨地域であり、観測をおこなった1991年の年降水量は5000mmを越えた。樹幹流は、当地の天然林の主要樹種であるブナ、モミ、アカマツの3樹種について観測した。

降水の pH は3.1~6.6の範囲で、平均値は4.61となった。この結果は、当地域のような都市圏から離れた空気の清浄な地域においても、全国平均値とほとんど変わらない酸性雨が降っていることを示した。樹幹流の pH では、ブナ、モミ、アカマツの平均値がそれぞれ5.87, 4.55, 4.20で、広葉樹で高く、針葉樹で低い傾向がみられた。溶存成分濃度の季節変化をみると、樹幹流に含まれる成分が9月から12月にかけて高い値を示した。また、降水および樹幹流による林地への物質付加量を算出したが、降水物による外部からの入力物質と、樹体からの溶脱による内部循環物質が、それぞれどの程度の比率を占めるかについては明らかにならなかった。

キーワード：酸性雨、樹幹流、pH、溶存成分

1. はじめに

酸性雨による森林の衰退現象は、欧州や北米大陸を中心に1980年代初頭から顕在化し、その後降水の酸性化の実態とその被害は世界中で広く認識されるようになった(石, 1992)。わが国においては、関東地方におけるスギの衰退が、1960年代から見られるようになり、近年、酸性雨との関連が盛んに議論されている。しかし雨水の酸性化が全国的に観測され

* INOKURA, Youji, YOSHIMURA, Kazuhisa, KUBOTA, Katsuyoshi, NAKAO, Toshio and ARAGAMI, Kazutoshi : pH and Dissolved Components of Rainfall and Stemflow in Mountain Regions of Kyushu.

** 九州大学農学部附属演習林
Research Division of University Forests, Faculty of Agriculture, Kyushu University, Sasaguri, Fukuoka 811-24

*** 九州大学理学部化学科
Department of Chemistry, Faculty of Science, Kyushu University, Ropponmatsu, Fukuoka 810

**** 九州大学農学部附属宮崎演習林
Miyazaki Branch of University Forests, Faculty of Agriculture, Kyushu University, Shiiba, Miyazaki 883-04

***** 宮崎大学農学部農林生産学科
Department of Agriculture and Forest Sciences, Faculty of Agriculture, Miyazaki University, Miyazaki 889-21

ているにも関わらず、関東地方以外では一部の地域を除いては、森林の衰退現象はいまのところ認められていないことなどから、酸性雨だけが関東地方のスギ衰退の原因ではないと考えられている（堀田，1991）。すなわち、森林の衰退現象は、人間活動によって大気中に排出された汚染物質が主要な原因であることは疑いないものの、汚染物質の種類や形態、あるいは被害のメカニズム等について解明されていない部分が多く、いまのところ、さまざまな原因が複合的に関与しているものと考えられている。

図1は、大気汚染物質が森林に与える影響を整理したものである。酸性霧、大気汚染ガスおよび酸性降下物（乾性および湿性＝狭義の酸性雨）と、それぞれの形態の違いによって、樹木への影響の機構も異なるが、樹木に直接接触することによる影響を直接的影響、また、樹幹流・林内雨等を通じて土壤に影響を与え、土壤から樹木へと影響する経路を間接的影響（図1の点線矢印）と呼んでいる。実際の樹木に現れる影響は、汚染物質の側の問題だけでなく、樹木の大きさや樹齢および気象、地形等の立地条件によって大きく異なるので、どの形態の物質がどのようなメカニズムで被害を与えているのかを明らかにすることは容易ではない。

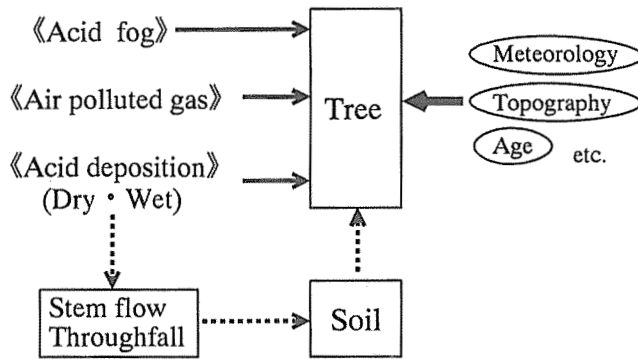


Fig. 1 Influences of air pollutants on forests.

図1 大気汚染物質が森林に与える影響

著者らは、酸性降下物の間接的影響の1プロセスとして、降下物が森林を通過することによりどのように変化するかということ明らかにするため、九州大学宮崎演習林において乾性・湿性降下物と樹幹流の観測をおこなった。本稿では、湿性降下物としての降水と樹幹流のpHおよび溶存成分の観測結果について報告し、当地域におけるこれらの特性を明らかにするとともに、今後必要とされる課題について整理する。

2. 観測地の概要と観測方法

観測地は宮崎県椎葉村の九州大学宮崎演習林である。当地は九州山地中央部に位置し、標高1500m以上の急峻な山が連なる地域である。また、わが国でも有数の多雨地帯であり、演習林庁舎（標高600m）における過去20年の平均年降水量は3319mmである。観測は、演習林庁舎および大藪川森林理水試験地でおこなった（図2）。理水試験地は、一ツ

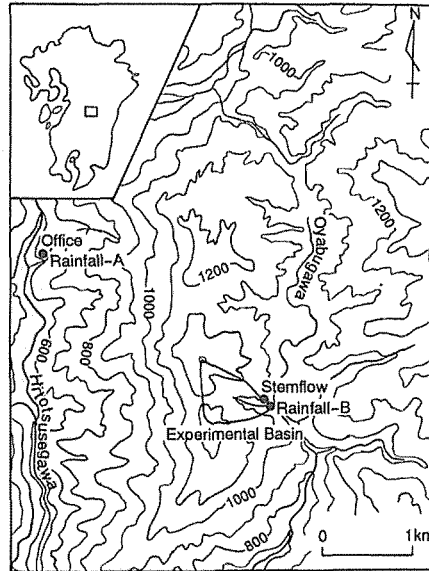


Fig. 2 Location map of observed area.

図2 観測地の位置

瀬川支流の大藪川源流域に位置し、標高1000～1300m、流域面積38.22haの流域で、下流端（標高1000m）での流量と、流域内3ヶ所での雨量の観測がおこなわれている。流域の植生は、落葉広葉樹にモミ・ツガ等の針葉樹が混在する自然林である。観測をおこなった1991年は特に降水量の多い年であり、演習林庁舎で4537mm、理水試験地で5014mmの年降水量を記録している。

降水は、演習林庁舎の屋上および理水試験地の量水堰（標高約1000m）において採取した。方法は、木製の台の上にポリエチレン製の容器を設置して、雨水を採取するものである。また、量水堰の約50m北側の尾根部において、ブナ、モミ、アカマツの3本の樹木の樹幹流を採取した。樹幹流の採取方法は、幹に縦裂きにしたビニールホースをらせん状に巻き付け、幹を伝って流れ落ちる水を捕捉して、ポリエチレン製タンクへ貯留した。また、採取用の樹木とは別に、隣接する同程度の直径のモミの樹幹流量の観測もおこなった。流量の観測には、樹幹流を漏らさぬよう捕捉することが必要なので、図3のようにビニールシートを切り取って樹幹に襟巻状に斜めに巻き付け、樹皮との間をガンタッカーとビニールボンドで接着し、シートの底部にホースを接続して転倒桁流量計で量を測定した。ビニールシートと樹皮の間にはシリコンを充填して水が漏れないようにしているの、降雨時に観察したところ、この方法でほぼ100%樹幹流を捕捉できることがわかった（図4）。

採水は原則として一降雨毎とし、pHの測定は、庁舎においてはガラス電極pHメーター（HORIBA, M-7II型）を用い、理水試験地では簡易pHメーター（HORIBA, Twin-112型）を用いて現場で測定した。採水には、変質を防ぐため0.45μm径のメンブランフィルターを用いてろ過をおこない、ポリエチレン瓶に入れて冷蔵保存した。溶存成分の分析項目および方法は、アンモニウム (NH_4^+)、塩化物 (Cl^-)、硝酸 (NO_3^-) および硫酸 (SO_4^{2-})

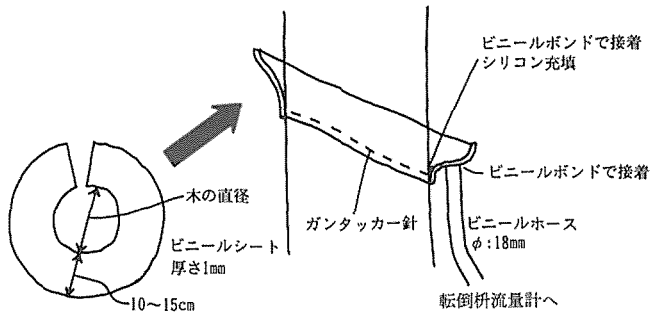


Fig. 3 Method of stemflow sampling for observation of discharge.

図3 樹幹流量測定のための採水方法



Fig. 4 Picture of stemflow sampling equipment.

図4 樹幹流採水装置の設置状況

イオンはイオンクロマトグラフィー（ポンプ：サヌキ DM2M-1024型；分離カラム：陽イオンは TSK IC-Cation，陰イオンは TSK IC-Anion PW（東ソー）；電気伝導度検出器：東ソー CM-8000型；データ処理：SIC クロマトコーダー-11），ナトリウム（ Na^+ ），カリウム（ K^+ ），マグネシウム（ Mg^{2+} ）およびカルシウム（ Ca^{2+} ）イオンは原子吸光法（Nippon Jarrell-Ash, AA-8000型）である。観測期間は，1990年10月から1992年6月までである。

3. 結果と考察

3.1. 降水および樹幹流の pH と溶存成分濃度

図5は，降水および樹幹流の pH の段階別分布である。降水の pH は，庁舎（以下降水 A）では 3.1～6.6 の範囲にあり，平均値（算術平均，以下同様）は 4.61 であった。理水試験地（以下降水 B）では 3.5～5.7 で，平均値は 4.64 である。降水 A の方が試料数が多いため，値の範囲が広がったが，平均値ではほぼ同じ値となった。この値は，佐々木ら（1991）による福岡県内の山間部での観測値 4.9，真田ら（1991）による札幌近郊での観測値 4.60，安田ら（1991）による富山県内での観測値 4.51-4.75，脇ら（1990）の岐阜県内での観測値 4.69 など，日本各地での観測平均値とほぼ同様の値であり，また，玉置ら（1986）による最近10年間の日本全国の平均値 4.5 とほとんど違いがない。玉置らによれば，降水の酸性化傾向は，大都市近郊の大気汚染地域のみでなく，全国的にほぼ平均して認められたが，今回の観測結果は，当地域のような都市圏から離れた空気の清浄な地域においても，また，年降水量が 5000mm 前後という多量の雨が降った年であっても，全国平均値とほとんど変わらない酸性雨が降っていることを示した。図6は，一降雨の雨量と pH の関係を降水 A について表したものである。pH の低い値は雨量の少ない時に記録されており，雨量が少ない場合，大気中に浮遊する酸性物質を高濃度で取り込むことにより，極端な値が観測されやすいことを示している。一般に降雨初期の pH が低いことが知

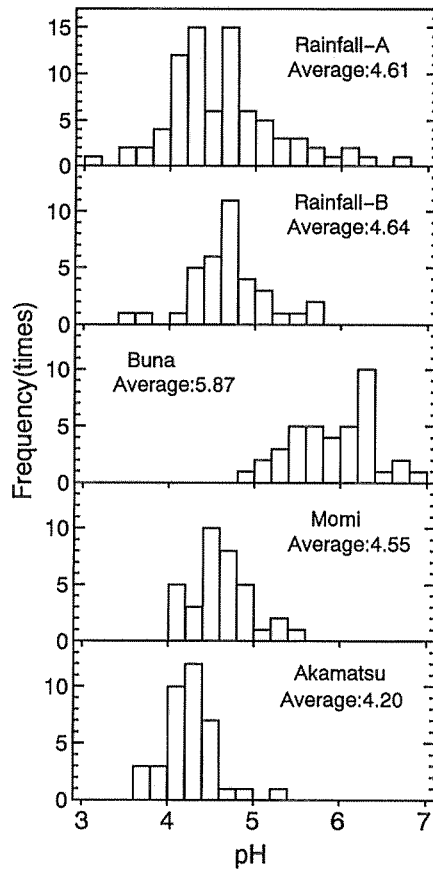


Fig. 5 Distribution of pH values of rainfall and stemflow.

図5 降水および樹幹流の pH の段階別分布

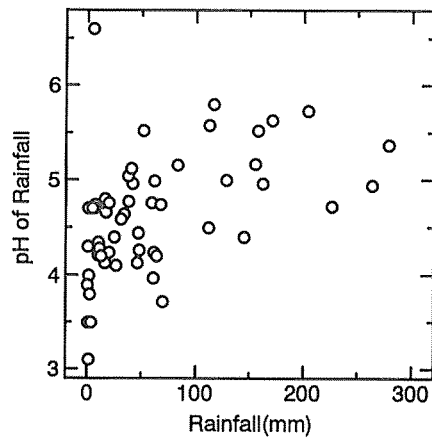


Fig. 6 Relation between rainfall and rainfall pH

図6 雨量と降水の pH の関係

られているが、同様の現象とみなすことができる。

樹幹流の pH では、各樹種とも降水と比べて分布範囲が狭く、明らかに樹種による違いが見られた。平均値は広葉樹のブナが 5.87 で降水よりも高いのに比べて、針葉樹のモミは 4.55、アカマツは 4.20 と降水よりも低くなった。樹幹流や林内雨の pH は、針葉樹で低く広葉樹で高い傾向が見られることについては、佐々ら (1991)、脇ら (1990)、藤井 (1990) をはじめ既に多くの報告があり、本観測結果も同様であった。佐々らの盛岡市周辺の観測では、ブナの pH は 5.9 ~ 6.5、アカマツは 4.5 ~ 5.2 の範囲にあったが、この結果と比較すると、ブナではほぼ同じ値が、アカマツではやや低めの値が得られた。佐々らは、樹幹流の pH が、降水の pH に関係なく樹種毎に一定の値に収束するという観測結果から、樹幹流の pH の決定要因は、樹木に付着した降下物ではなく、樹皮から溶脱した物質であると推定している。本観測では、季節により値のばらつきはあるものの、平均値で見れば、このような推定と矛盾しない結果が得られた。

次に降水および樹幹流の溶存成分濃度については、表 1 のような平均値が得られた。比較のため、玉置ら (1991) による日本全国の降水の平均値も示している。降水の溶存成分濃度は、全国平均値と比較するといずれの成分も低濃度であることがわかる。降水中に含まれる溶存成分の起源は、主に海水 (主に Na^+ 、 Cl^-) や都市圏の大気汚染物質 (主に NO_3^- 、 SO_4^{2-}) であると考えられる (井倉ら, 1992) が、本地域は内陸部であり、また都市圏からも離れているため、pH の値は全国的な平均値と変わらないにも関わらず、溶存成分濃度は全般的に低くなっているものと考えられる。一方樹幹流の溶存成分濃度は、 NH_4^+ と NO_3^- を除くと、いずれも降水の濃度よりもかなり高い値になっている。樹幹流の溶存成分濃度の測定は佐々ら (1991)、森貞ら (1991)、真田ら (1992)、岩井 (1993) など多くの報告があるが、その値は樹種や地域によってまちまちである。樹幹流に含まれる溶存成分の起源は、1) 降水、2) 樹木に付着した乾性降下物、3) 樹体からの溶脱物質の 3 つが考えられるが、1) は前述のように地域性が大きく、3) は樹種間の差が大きい。また、2) は乾性降下物の降下量という地域性とその捕捉能力という樹種特性の両者に依存しているが、これら 3 つがそれぞれどの程度寄与しているかは明かにされていない。

表 1 降水および樹幹流の溶存成分濃度の平均値 (算術平均)
Table 1 Average of concentration of dissolved components in rainfall and stemflow.

	pH	Na^+ (ppm)	K^+ (ppm)	NH_4^+ (ppm)	Mg^{2+} (ppm)	Ca^{2+} (ppm)	Cl^- (ppm)	NO_3^- (ppm)	SO_4^{2-} (ppm)
Rainfall- A	4.61	0.17	0.03	0.09	0.04	0.20	0.39	0.22	1.34
Rainfall- B	4.64	0.23	0.12	0.11	0.05	0.18	0.44	0.34	1.70
Buna	5.87	0.58	5.16	0.11	0.49	2.28	2.50	0.06	6.84
Momi	4.55	1.71	4.55	0.14	0.82	2.40	5.71	0.56	8.82
Akamatsu	4.20	0.77	1.58	0.00	0.43	2.10	2.10	0.82	6.20
National average of rainfall		1.97	0.18	—	0.26	0.52	3.82	0.96	2.64

3.2. 降水および樹幹流の pH と溶存成分濃度の季節変化

図7は、降水Bと樹幹流の pH の季節変化を1991年の1年分について表したものである。降水に含まれる成分は、降水をもたらす気団によって異なるので、降水の pH にはかなりのばらつきが見られるが、季節による明瞭な傾向は認められない。一方樹幹流の pH においても、季節による傾向は見られず、降水の変化に伴った変化が認められるが、降水のばらつきと比べると変化幅は小さい。いずれの季節においても、pH の値はブナが最も高く、アカマツが最も低かった。

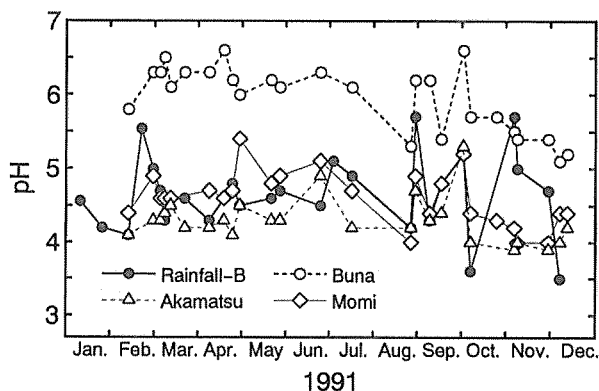


Fig. 7 Seasonal change in pH of rainfall and stemflow.

図7 降水および樹幹流の pH の季節変化

図8には、降水と樹幹流の溶存成分濃度の季節変化を示す。降水の溶存成分は、いずれも pH 同様に季節による明瞭な傾向は見られない。これに対して樹幹流では、9月以降に特に高い値が観測された。真田ら (1991) による札幌近郊のトドマツとエゾマツの観測結果では、林内雨・樹幹流の塩基濃度は夏季に低く、春と秋に高い傾向があり、春は開葉、秋は落葉に対応して樹体から塩基類の溶脱が促進されるものと考えられたが、本結果では、特に春に濃度が高くなる傾向はいずれの成分でも見られなかった。岩坪 (1989) によると、落葉樹林での林内雨・樹幹流の季節変化では、落葉期の溶脱による K^+ の濃度増加が著しく、ついで Ca^{2+} 、 Mg^{2+} にもこのような傾向が見られるとしている。図8をみると、いずれの成分も林外雨に比べて樹幹流の濃度が高いが、特に K^+ は樹幹流と降水の濃度差が大きく、また、樹幹流の濃度も一年を通じて樹種間の違いが明確であり、ブナ、モミ、アカマツの順で濃度が高い。すなわち、樹幹流中の溶存成分の中では最も溶脱物質の寄与が大きい成分であると考えられる。また、 Ca^{2+} と Mg^{2+} も、降水との濃度差が大きく、樹種によって程度の違いはあるが溶脱物質の寄与が大きい成分と考えられる。これに対して Na^+ 、 Cl^- および SO_4^{2-} では降水で低いものの、 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} に比べると樹幹流との差は小さく、降水の濃度が上回る場合もある。前述のように Na^+ と Cl^- は主に海水が、 SO_4^{2-} は人為的大気汚染物質が起源として考えられるので、これら3成分は前3者と比べて溶脱物質の寄与が小さく、雨水に溶けて供給されるものと、乾性降下物として樹木に付着した成分が、樹幹流とともに洗脱されるものが考えられる。

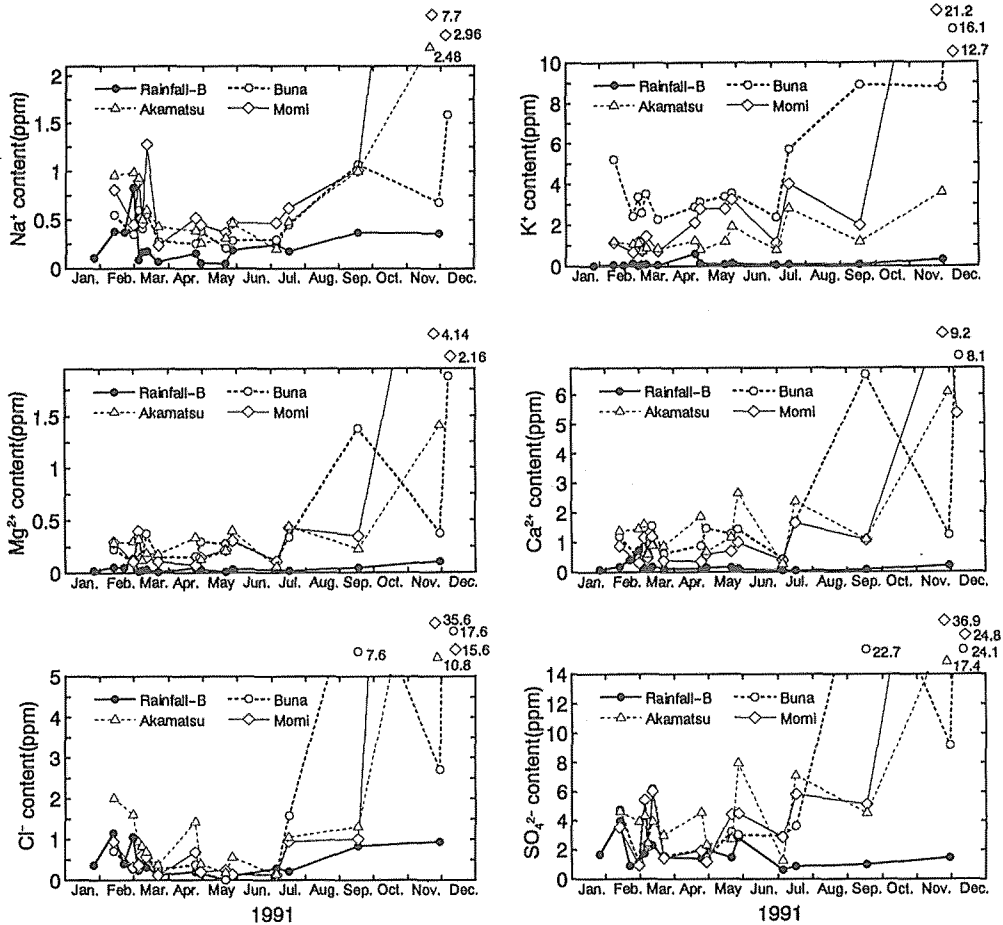


Fig. 8 Seasonal change in concentration of dissolved components of rainfall and stemflow.

図8 降水および樹幹流の溶存成分濃度の季節変化

溶存成分濃度の季節変化では、いずれの成分も9月以降にきわめて高い値が観測された。前述のように溶脱物質の濃度は落葉期に高くなるが、本結果では溶脱物質の寄与が比較的小さいと考えられるNa⁺、Cl⁻およびSO₄²⁻においても同様であった。このことは、溶脱物質以外の要因も考慮すべきであることを示している。真田ら(1991)は、秋季に樹幹流の濃度が高くなることの要因として、溶脱物質以外に10月から11月にかけて北西の季節風が卓越することにより、23km離れた石狩湾からの海塩の影響が考えられるとしている。当地は内陸の山間部であり、海塩の飛来は比較的小さいものと思われるが、観測をおこなった1991年9月、台風17号(14日)、19号(27日)が九州地方を襲い、大きな風倒木被害を与えている。この台風の強風によって特に海塩起源の物質が大量に樹木に付着した可能性も考えられる。このような付着物質の影響が大きいとすれば、樹幹流に含まれる溶存成分には、樹皮からの溶脱成分が必ずしも支配的とはいえず、さらに詳しい検討が必要である。

3.3. 林外雨および樹幹流による溶存成分の年間付加量

1991年の一年分のデータから、降水および樹幹流によって林地に供給される物質質量（付加量）を算出した。その結果を表 2 および図 9 に示す。樹幹流による単位面積当たりの付

表 2 降水および樹幹流による林地への物質付加量
Table 2 Annual addition of dissolved components to forest land through rainfall and stemflow (kg/ha·y).

	Rainfall A	Rainfall B	Buna	Momi	Akamatsu
Na ⁺	14.0	11.9	3.8	6.3	5.3
K ⁺	1.6	5.2	33.2	17.7	9.2
NH ₄ ⁺	2.4	4.4	0.9	0.8	0.0
Mg ²⁺	1.8	2.1	3.3	2.6	2.0
Ca ²⁺	7.3	9.3	15.4	7.7	10.2
Cl ⁻	25.3	21.5	13.7	12.4	9.3
NO ₃ ⁻	6.3	13.6	0.4	0.7	0.0
SO ₄ ²⁻	41.1	77.4	49.0	33.0	31.8

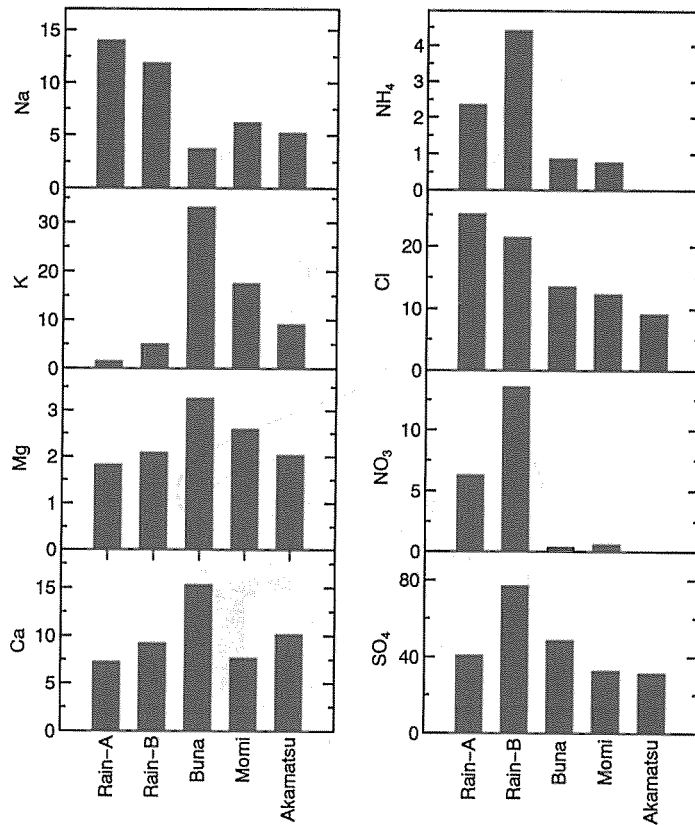


Fig. 9 Annual addition of dissolved components to forest land through rainfall and stemflow (kg/ha·year).

図 9 降水および樹幹流による林地への物質付加量

加量を求めるためには、樹幹流量のデータが必要である。ここでは、採水用の樹木に隣接する別のモミで測定した樹幹流量を、樹幹投影面積で除して、降雨量に対する樹幹流量の平均割合を求めたところ、15%となった。ここでは、3樹種とも樹幹流量の割合は等しいと仮定して計算している。したがって今回は観測していないが、残りの85%は林内雨によって溶存成分が林地に付加されていることになり、その点を考慮すると大部分の成分は、林外よりも林内の方が付加量が多い。溶脱物質の寄与が大きい K^+ 、 Mg^{2+} 、 Ca^{2+} は、樹幹流のみでも降水よりも付加量が大きく、特に K^+ では降水との差が著しい。しかもその濃度はpHが高い樹種ほど高くなっており、樹種に固有のpHの値には、溶脱物質としての K^+ の寄与が大きいことが示唆される。

4. おわりに

今回は、酸性降下物が森林を通過することによりどのように変化するかという観点から、樹幹流のpHおよび溶存成分の観測結果を降水と比較検討した。これらの結果についてはさらに検討が必要であるが、今後の課題としてあげておきたいのは、本文中でも述べたように、樹幹流における降下物の付着成分と樹木からの溶脱成分の分離の問題である。酸性降下物の間接的影響としての土壌への影響を明らかにするうえで、分離は不可欠と考えられる。図10は森林通過による酸性降下物の量的配分の変化を模式的に表したものである。降下物の土壌への単位面積当たりの付加量は、乾性降下物の樹木への付着を考えると、林内と林外では異なっている可能性がある。したがって林内雨と樹幹流による溶存成分の合計付加量から林外の降水の付加量を差し引いたものが、樹木からの溶脱量であるとは、単純にはいえない。今後は、このような分離方法の確立を含めた検討が必要である。

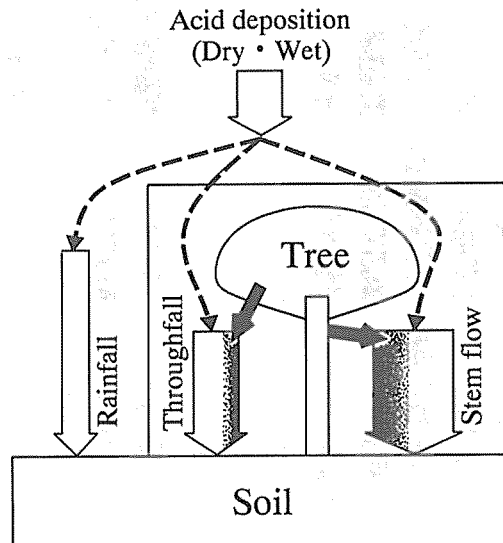


Fig. 10 Change of distribution of acid deposition throughout forests.
図10 森林通過による酸性降下物の量的配分の変化

謝 辞

本研究を進めるうえで、宮崎演習林の職員の方々には、観測においてさまざまご協力をいただいた。厚く感謝申し上げる。

引 用 文 献

- 堀田 庸 (1991)：酸性雨と関東地方のスギの衰退。森林科学 1：11-18
- 藤井國博 (1990)：雨水の酸性化の実態と地域性。酸性雨 土壤・植生への影響，公害研究対策センター，pp.3-11
- 井倉洋二・吉村和久 (1992)：山地小流域における濁水期の流出特性と水質特性。九大演習林報告 66：31-44
- 石 弘之 (1992)：酸性雨。岩波書店，東京，242pp.
- 岩井宏寿 (1993)：千葉県のスギ衰退地と非衰退地における林外雨，林内雨，樹幹流の成分比較。日林論 104：377-380
- 岩坪五郎 (1989)：物質の動きと環境要因。堤 利夫編 森林生態学。朝倉書店，東京，pp.124-148
- 松浦陽次郎・堀田 庸・荒木 誠 (1991)：関東地方におけるスギ林表層土壌の pH 低下。森林立地 32 (2)：65-69
- 森貞和仁・河室公康・川添 強・長友忠行 (1990)：コジイ林における土壌の化学的性質に及ぼす樹幹流の影響。日林論 101：247-248
- 真田 勝・太田誠一・大友玲子・真田悦子 (1991)：札幌近郊におけるトドマツ，エゾマツ人工林の樹幹流。林内雨および林外雨について。森林立地 33 (1)：8-15
- 真田 勝・大友玲子・真田悦子・太田誠一 (1992)：札幌近郊の造林地における林内外雨の樹種特性について。日林論 103：257-258
- 佐々朋幸・後藤和秋・長谷川浩一・池田重人 (1991)：盛岡市周辺の代表的森林における林外雨，林内雨，樹幹流の酸性度ならびにその溶存成分。森林立地 32 (2)：43-58
- 佐々木重行・高木潤治・西尾 敏 (1991)：福岡県の山間部における降水および渓流水の pH と数種の成分について。森林立地 33 (1)：1-7
- 玉置元則・平木隆年 (1986)：わが国各地における雨水 pH の年平均値(2)。環境技術 15：215-220
- 玉置元則・小山 功 (1991)：地上からみた日本の酸性雨—酸性調査・研究で得られた成果と今後の課題—。大気汚染学会誌 26 (1)：1-22
- 脇 孝介・車戸憲二・松橋達也 (1990)：山地地域における雨水の酸性化の実態について。日林論 101：253-254
- 安田 洋・藤井國博・岡本玲子 (1991)：富山県における降水中の酸性降下物質の特徴。森林立地 32 (2)：59-64

(1994年7月1日受付；1994年8月15日受理)

Summary

In order to evaluate the influence of acid deposition on forests, pH and dissolved components of rainfall and stemflow were observed throughout one year. The observed area is a part of the Miyazaki Forests of Kyushu University, located in the north of Miyazaki prefecture. It is a mountainous rainy area, with precipitation registering over 5000mm in the observed year, 1991. The observed stemflow species are Buna (*Fagus crenata*), Momi (*Abies firma*) and Akamatsu (*Pinus densiflora*), major natural forests species in this area.

The observed values of rainfall pH were from 3.1 to 6.6 with an average of 4.61, which is almost the same as the national average. The average pH of stemflow of Buna, Momi and Akamatsu were 5.87, 4.55 and 4.20 respectively. This indicates a tendency for stemflow acidity of needle-leaved trees to be higher than for broad-leaved trees. the addition of dissolved matter to forest land by rainfall and stemflow was calculated.

Kye words : acid deposition ; rainfall ; stemflow ; pH ; dissolved components.