神奈川県
林業試験場

ISSN 0389-1321

神奈川県林業試験場

研 究 報 告

第 19 号

Bulletin of the
Kanagawa Prefecture Forest Experiment Station

No. 19

1992. 3

目　　　次

論　　文

神奈川県のスギ林における林外雨、林内雨、樹幹流の pH と数種の溶存成分調査
尾岸諒一・越地　正・鈴木　清……………………………………………… 1

神奈川県大山のモミ林枯損経緯とその周辺地域の年輪幅の変化
鈴木　清……………………………………………………………………………… 23

他誌掲載論文抄録
(平成元年 7 月～平成 2 年 6 月)…………………………………………………… 43

神林試研報告 19(1992)1-22

神奈川県のスギ林における林外雨、林内雨、樹幹流のpHと数種の溶存成分調査

Investigations on the pH Value and Some Mineral Concentrations of the Rainfall. Throughfall and Stem flow in the plantation of Sugi (*Cryptomeria japonica*) in Kanagawa Prefecture

尾岸諒一・越地　正・鈴木　清

Ryouichi OGISHI ・ Masasi KOSHIJI ・ Kiyoshi SUZUKI

要　旨

酸性雨の森林生態系に及ぼす影響を解明する一方法として、神奈川県山間地の4箇所のスギ林において2年間にわたり、林外雨、林内雨及び樹幹流のpH、EC及び溶存成分を測定した。

pHの年平均値は、林外雨では4.4となり全国で測定された降水pHの平均値とほぼ同じ値であった。林内雨のpHも4.5となり林外雨とはほとんど差がなかったが、樹幹流のpHは3.5でかなり低い値を示した。ECの年平均値は、林外雨30 μS/cm、林内雨53 μS/cm、樹幹流224 μS/cmとなり、樹幹流で高い値を示した。樹幹流は樹体や樹体の付着物質からの溶出により酸性化が促進され、高い値を示すと考えられた。

林外雨、林内雨及び樹幹流のpH、EC及び溶存成分濃度の季節変化をみると、pHは8月又は9月に高まり、冬季から春季にかけて低下する傾向がみられた。EC及び溶存成分濃度は、pHとは逆に8月又は9月に低下し、冬季に高まる傾向がみられた。これらの傾向は樹幹流で顕著に現れた。また、県内の12箇所のスギ林において土壌pHを測定した結果、樹幹周囲の斜面下部方向に顕著なpHの低下が認められた。しかし、スギ林土壌の酸性化には樹種固有のものがあるとされており、今回の調査だけでは酸性雨がどの程度関与していたかを判断することができなかった。

I　はじめに

わが国の降水のpHは環境庁の広域調査により全国的に酸性化していることが報告されている[1]。本県の降水の観測によると、pHは3.9～6.0の範囲にあり昭和49年頃から横ばいで推移し[2]、山間部でも酸性降下物量は、平地部とあまり差がないとの報告がある[3]。

森林は長期間、自然条件の影響を受けるため、酸性雨等により森林衰退を引き起こす可能性がある。最近、都市近郊林のスギ[4)5)6)]や大山のモミ林[7)8)]の枯損衰退が報告され、酸性降下物が原因ではないかとする説もあるが、被害発生のメカニズムについてはまだ不明な点が多い。

健全で良好な森林として保全するには、森林衰退の原因を早急に究明し、適切な対策を講じる必要がある。

本報告は酸性雨の影響を調査する一方法として森林内外での雨水成分の動態を把握するため、山間地のスギ林について林外雨、林内雨及び樹幹流

のpH、EC、溶存成分濃度を測定したものである。

なお、本試験は昭和63年度から平成2年度にかけて「酸性降下物等が森林生態系に及ぼす影響」として林野庁助成による各県共同試験として実施したものである。

調査の実施にあたり御指導いただいた農林水産省森林総合研究所森林環境部立地環境科長 堀田庸氏に感謝します。

本報告は、調査から分析まで尾岸が実施したものを、越地、鈴木がとりまとめたものである。

Ⅱ　調査方法

1　調査地

雨水等の採取地は図1に示すように県中部及び西部の2地域において、それぞれ標高の異なる2地点の計4地点で実施した。各調査地の状況は表1のとおりである。なお、調査林分はスギ林を対象としたが、林試地区はケヤキ林（3本群状植栽）でも調査した。

図1　調査位置図

表1　調査地の地況、林況

No.	地区名	調査地	樹高	地形
1	林 試	厚木市七沢林業試験場内	100 m	丘陵
2	弁天の森	厚木市七沢二の足沢	370	山腹斜面下部
3	21世紀の森	南足柄市内山21世紀の森	540	尾根平坦面
4	大雄山	南足柄市広町大雄山	130	山麓緩斜面

No.	土壌型	林齢	平均樹高	平均直径	本数密度
1	BD	20年	12 m	10 cm	3,000 本/ha
2	BlD	38	13	21	1,200
3	Im	30	16	20	1,440
4	BD	40	19	24	1,100

2　調査期間

調査は1988年8月から1991年3月まで行ったが、本報告は1989年4月から1991年3月までの2年間についてまとめた。

3　林外雨、林内雨及び樹幹流の採取方法

林外雨及び林内雨は、直径20cmのポリ製ロートとポリタンクをセットしたものを用いた。樹幹流は背割りしたビニールチューブを幹に巻き付け、ポリタンクに集水した。樹幹流採取木の状況は表2に示す。

表2　樹幹流採取木の状況

No.	地区名	樹種	林齢	樹高	胸高直径
1	林 試	スギ	20年	12 m	10 cm
2	弁天の森	スギ	38	13	21
3	21世紀の森	スギ	30	16	20
4	大雄山	スギ	40	19	24
5	林 試	ケヤキ	30	13	38

また、林試地区の林外雨は初期 3mm までの雨量についても測定した。弁天の森地区の林外雨は採取せず、林試地区のデータを参考とした。雨水の採取間隔は、一降雨ごとに行った。平成元年度の採取回数は 49 回、平成 2 年度は 45 回である。

4　採取水の分析

採取した試料は直ちに持ち帰り、分析に供した。

分析は、pH、EC 及び Ca^{2+}、Mg^{2+}、K^{+}、Na^{+}、Fe^{3+}、Mn^{2+}の 6 項目について行った。pH はガラス電極法、EC は導電率法、各イオン成分はいずれも原子吸光光度法で行った。

5　スギ林土壌のｐＨ調査

雨水の調査とは別に、県内 12 箇所のスギ林について、土壌 pH を調査した。

土壌の採取は、スギの根元を中心として、斜面下部方向とこれから 120°の左右方向の 3 方向で根元から 10cm、150cm の距離別に、深さは 0 ～ 5cm と 10 ～ 20cm の 2 箇所で行った。

調査地の状況は表 3 に示す。

Ⅲ　結果と考察

1　調査期間中の降雨の状況

調査地の月別降水量は図 2-1、図 2-2 に示した。平成元年度の全地区平均年降水量は 2376 ㎜、平成 2 年度は 1986 ㎜で、樹木の成長期に多く、冬季に少ない降水分布をしている。林内雨は林外雨に近い値を示したが、平成 2 年度の 9 月の降水量は特に差が大きかった。この時期は記録的な大雨、台風があったが、この影響によるものと思われる。

表 3　スギ林土壌調査地の概況

番号	地　区	地形			スギ林の状況		
		標高	方向	位置	平均樹高	平均胸高直径	ha 当たり本数
1	南足柄市大雄山	500 m	W	斜面下部	20 m	26 cm	1,050 本/ha
2	南足柄市地蔵堂	480	E	〃	14	19	2,350
3	厚木市二の足沢	370	S	〃	17	24	990
4	清川村煤ケ谷	280	E	〃	15	20	1,350
5	伊勢原市日向	200	E	斜面中部	15	20	1,550
6	山北町玄倉	470	W	斜面下部	15	21	1,450
7	山北町浅間山	210	−	尾根部	15	17	2,350
8	松田町松田山	230	N	〃	18	21	1,550
9	松田町土佐原	420	SE	斜面下部	12	16	2,800
10	相模湖町若柳	280	NW	〃	19	30	1,000
11	津久井町仙洞寺山	270	NW	〃	16	21	1,700
12	横浜市旭区下川井町	50	−	平坦面	18	22	850

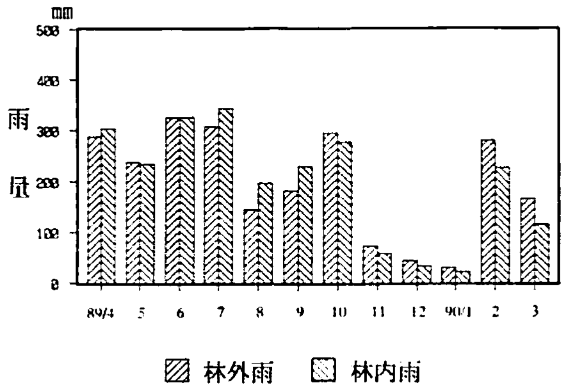


図 2-1 林外雨及び林内雨の季節変化

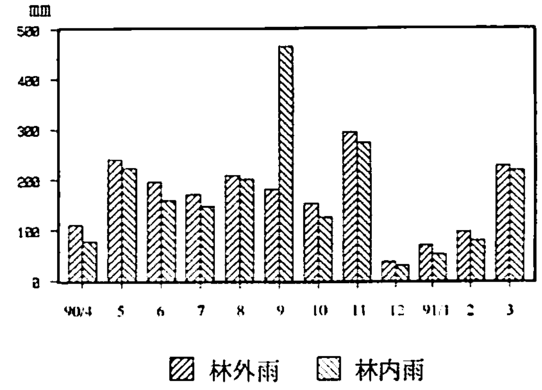


図 2-2 林外雨及び林内雨の季節変化

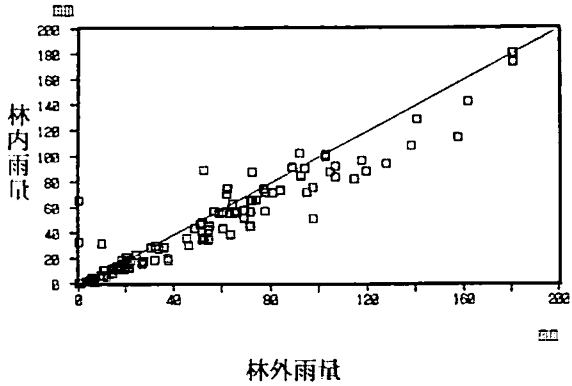


図 3-1 林外雨量と林内雨量の関係 (平成元年度)

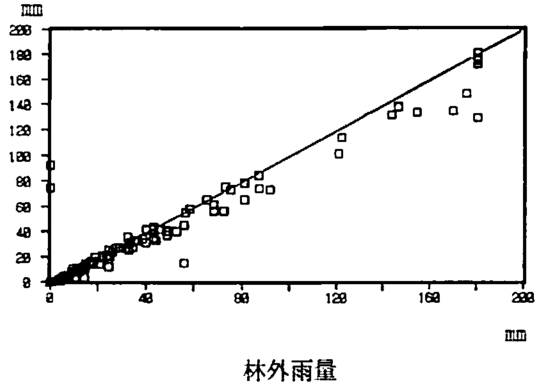


図 3-2 林外雨量と林内雨量の関係 (平成 2 年度)

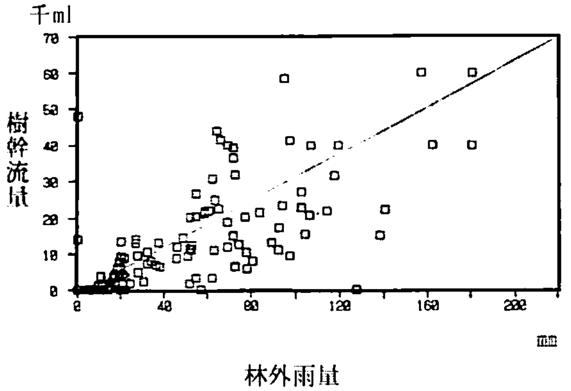


図 4-1 林外雨量と樹幹流量の関係 (平成元年度)

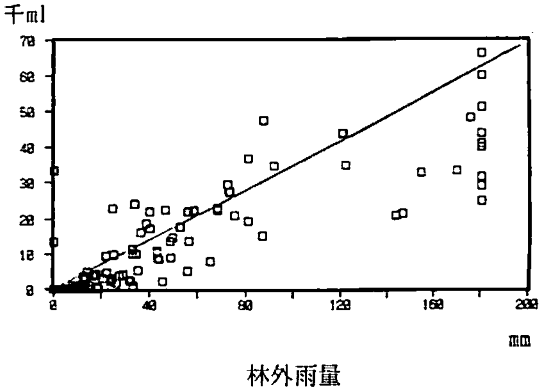


図 4-2 林外雨量と樹幹流量の関係 (平成 2 年度)

調査地に近い「海老名」及び「小田原」の気象観測データ[9]と比較するとそれぞれ2303㎜、2196㎜であり、調査地で測定したデータとほぼ一致した。なお、林外雨及び林内雨は雨量を㎜単位に換算した値を用いたが、樹幹流は貯水量で示した。平成元年度の樹幹流の総貯水量は地区平均で697㍑、平成2年度は652㍑で、林内外で採取した量の5～10倍の量となった。

林外雨量と林内雨量の関係は図3-1、図3-2に示すように正の関係がみられた。また、林外雨量と樹幹流の関係は図4-1、図4-2に示すように雨の降り方の強度差によるものかバラツキが大きかった。

2　林外雨、林内雨及び樹幹流中のｐＨ、ＥＣ及び溶存成分濃度

林外雨、林内雨及び樹幹流中のpH、EC及び溶存成分濃度は付表1～4に示した(一降雨ごとのデータを月別平均値に換算したもの)。

全地区の単純年平均値で､pHは林外雨4.4(最小値3.9～最大値6.2)、林内雨4.5(3.9～5.3)で両者間ではほとんど差がみられなかった。玉置ら[10]によると日本全土の降水の年平均値は、4.54としているが、今回のデータもほぼ同じ値を示した。樹幹流のpHは、3.5(2.8～4.3)と林外雨及び林内雨に比べかなり低い値を示した。

ECは林外雨30μS/㎝(8～84)､林内雨53μS/㎝(16～195)、樹幹流224μS/㎝(24～557)であった。溶存成分濃度もECと同様樹幹流で高い傾向がみられた。成分別の濃度は、

$Ca^{2+} > K^{+} = Na^{+} > Mg^{2+} > Fe^{3+} > Mn^{2+}$

の順であり、Ca^{2+}、K^{+}、Na^{+}各イオン濃度の平均値は林外雨では0.5ppm以下、林内雨1.0ppm前後、樹幹流3.0ppm前後の値であった。

ECや溶存成分濃度は林外雨→林内雨→樹幹流の順に増加する傾向がみられた。佐々ら[11]によると樹幹流のpHは林外雨のpHに直接影響されるのではなく、樹体からの溶出による樹種固有のものがあるとし、スギの樹幹流のpHは林外雨より常に低いとして、3.5～4.1程度の値域に収束するとしている。また、久米ら[12]はスギの枝葉に雨滴中のイオン成分が残留し、樹幹流として数十倍以上のH^{+}量が降下するとしている。

本調査でも、かなり低いpH値を示したが、今回の調査はカチオン成分しか測定していないため、林外雨からの酸性物質が溶出したものか、樹体から溶出したものかを分離して検討することができなかった。

3　林外雨､林内雨及び樹幹流別のｐＨ､ＥＣ､溶存成分濃度の季節変化

林外雨、林内雨及び樹幹流別のpH、EC及び溶存成分濃度の季節変化は図5-1から図7-2に示した(季節変化のデータは月ごとに平均した値)。林外雨及び林内雨のpHの季節変化は4.5前後、樹幹流は3.5前後の値で推移しており、8月又は9月に高まり、冬季から春季にかけて低下した。ECの季節変化はpHとは逆に8月又は9月に最低値がみられた。しかし、樹幹流のECは10月頃から冬季にかけて増加し、そのピークは1月であった。溶存成分濃度の季節変化もECと同様なパターンを示した。これらの冬季の増加は降水量が少ないことが影響していると考えられたが、真田ら[13]によると、春の開葉及び秋の落葉が塩基類を溶脱するために増加すると推定しており、これらの影響も考えられた。

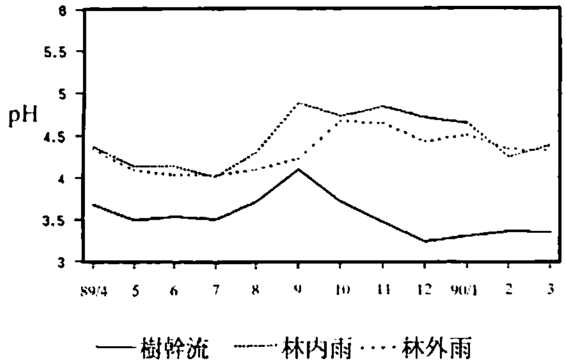


図5-1　pH 値の季節変化

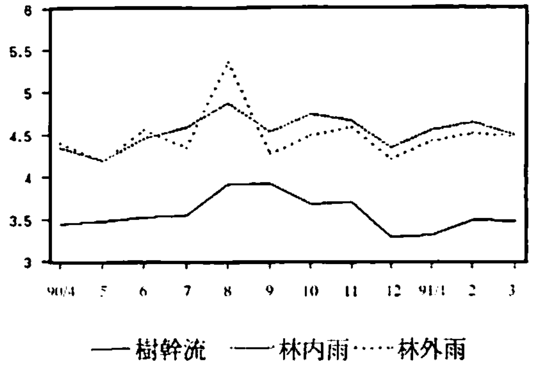


図5-2　pH 値の季節変化

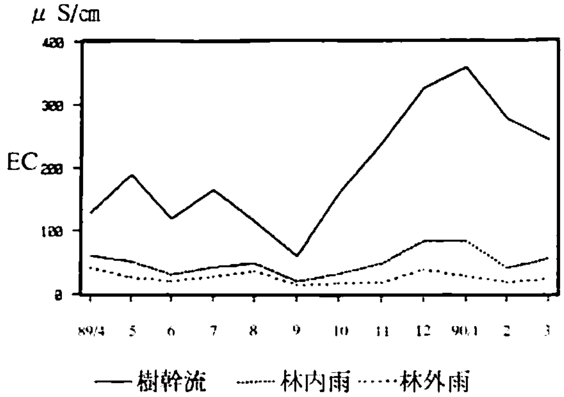


図6-1　EC 値の季節変化

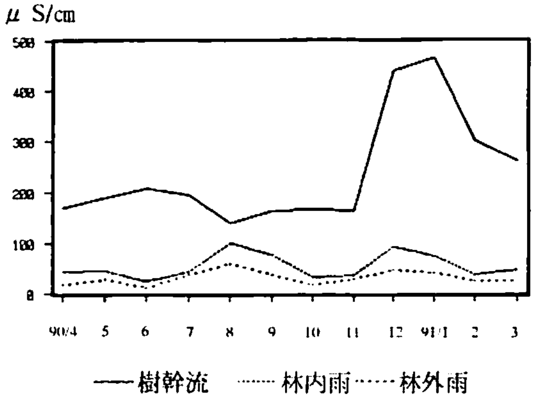


図6-2　EC 値の季節変化

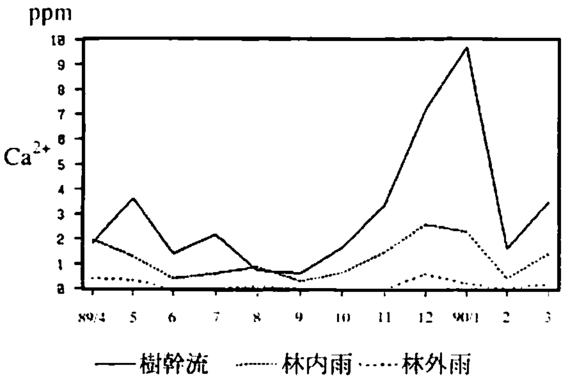


図7-1　Ca^{2+}値の季節変化

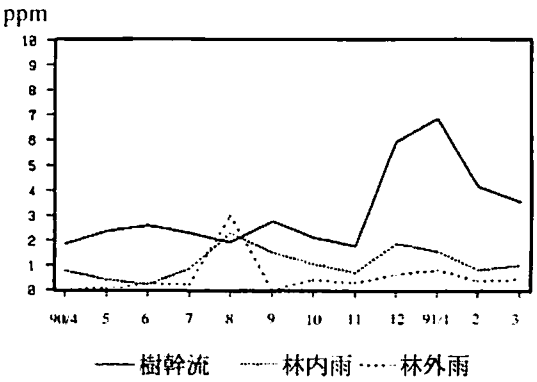


図7-2　Ca^{2+}値の季節変化

4　地域別の林外雨、林内雨及び樹幹流のpHとECの季節変化

地域別の林外雨、林内雨及び樹幹流ごとのpHとECの季節変化は、図8-1から図11-2に示した。

林外雨のpH、ECは、平成2年度の21世紀の森及び大雄山地区でやや高い値がみられたが、地域による差はあまりなかった。

林試地区では初期降水3㎜についても測定した結果、pHはほとんど差がなかったが、初期降水3㎜のECは降水量全体より約2倍の高い値で推移した。ECと同様に溶存成分濃度も高い値を示し、一般にいわれている初期降水の濃度の高いことが確認できた。

樹幹流のpHの季節変化をみると、21世紀の森地区の樹幹流で低い値で推移したが、全体に地域による差は小さかった。樹幹流のECの季節変化でも21世紀の森地区は2ヶ年にわたり冬季に高く、しかも月別の変動が大きかった。この地区で特に高い原因として樹冠量の多いことが考えられた。

参考として林試地区で測定したケヤキの樹幹流の季節変化をみると、図10-1～図11-2に示すように、pHはスギ林の測定値より高い値で推移した。

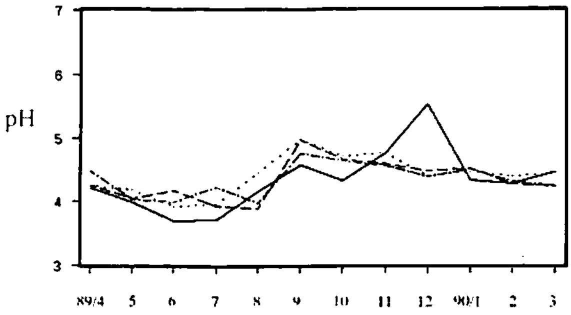


図8-1　地域別林外雨pHの季節変化

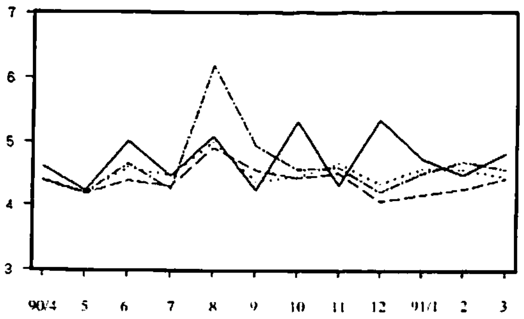


図8-2　地域別林外雨pHの季節変化

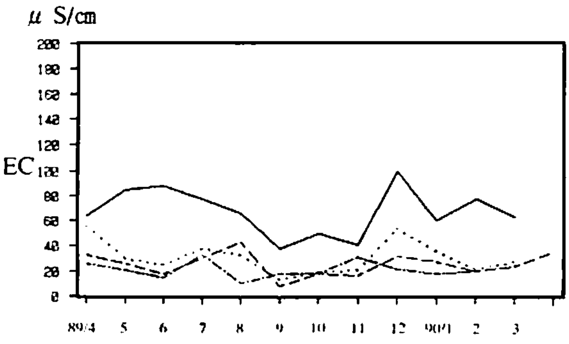


図9-1　地域別林外雨ECの季節変化

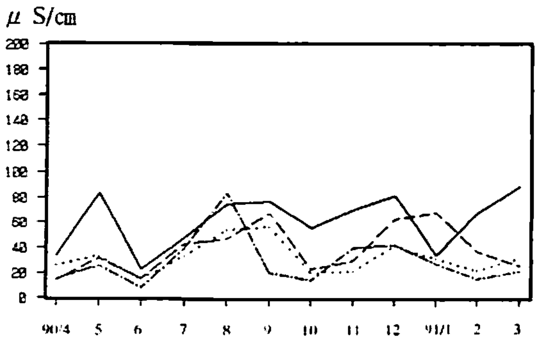


図9-2　地域別林外雨ECの季節変化

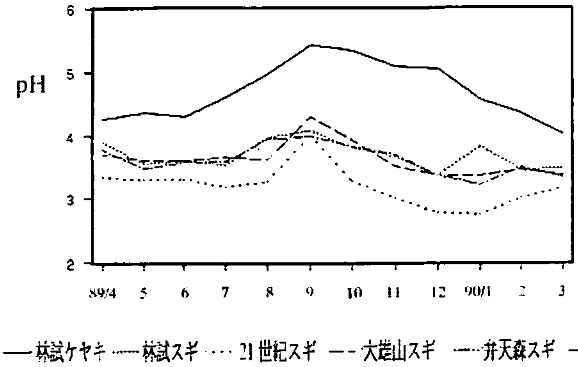


図 10-1　地域別樹幹流 pH の季節変化

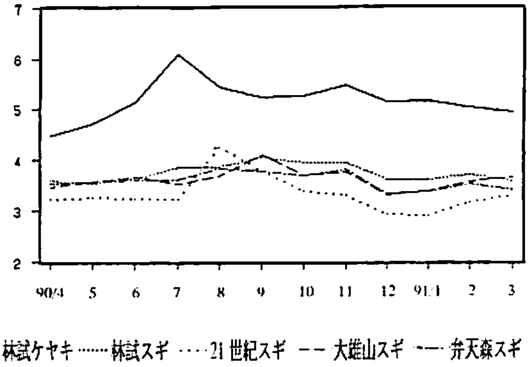


図 10-2　地域別樹幹流 pH の季節変化

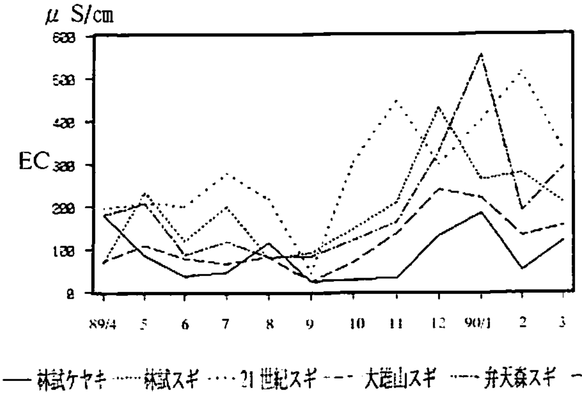


図 11-1　地域別樹幹流 EC の季節変化

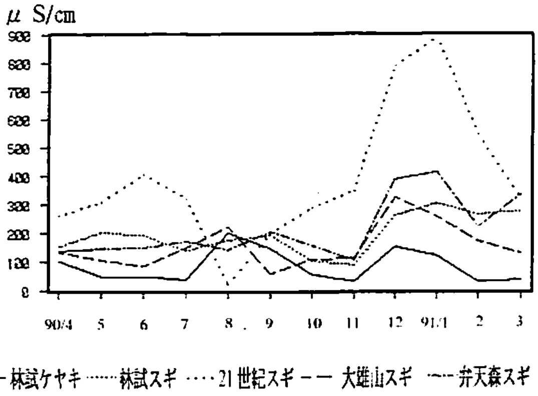


図 11-2　地域別樹幹流 EC の季節変化

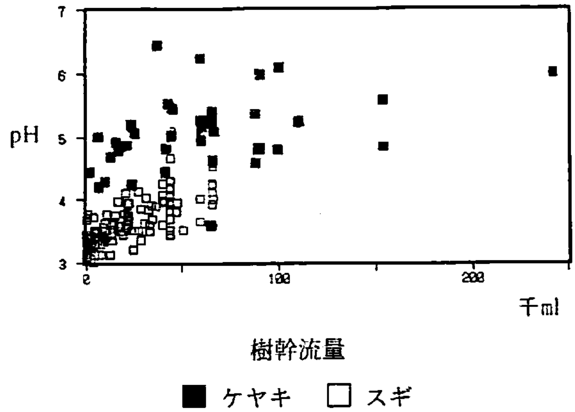


図 12-1　ケヤキの樹幹流量と pH の関係（平成2年度）

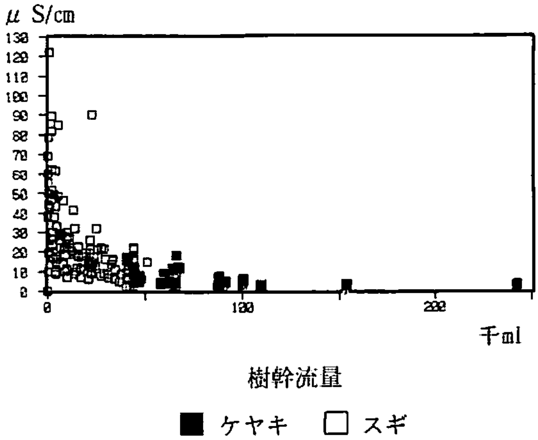


図 12-2　ケヤキの樹幹流量と EC の関係（平成2年度）

しかし、EC は逆に低いレベルで推移した。

また、ケヤキの樹幹流量と pH 及び EC の関係は図 12-1 及び図 12-2 に示す。pH はスギ林の測定値と異なり 5.0 前後と一定の値を示した。ケヤキの樹幹流量はスギ林の 2 倍以上であった。樹幹流の pH はあまり流量に影響されないが、EC は樹幹流量の増加に伴って低下する傾向がみられた。佐々ら[11]が指摘しているように、ケヤキの樹幹流の成分はスギの樹幹流とは異なるパターンを示すといえる。

5 雨量、pH、EC及び溶存成分濃度の相互関係

成分間の全体の傾向を把握するために、雨量、pH、EC 及び溶存成分濃度のデータ (全データを用いた月ごとの平均値) を用いて、その相互関係をみた結果を図 13-1、図 13-2 に示す。

降水量と他の成分間では、pH とはやや正の関係にあったが、EC や溶存成分濃度は大部分が雨量の少ないときに高まる傾向がみられた。

pH と EC 及び各成分濃度の関係については、pH が低いときに高まる傾向がみられたが、平成 2 年度の K^+、Na^+のように一定の傾向を示さない場合も認められた。EC や溶存成分間の関係では、ほぼ正の関係がみられた。しかし、Mn^{2+}については大部分が検出限界以下の低い値であったためかいずれの成分とも関係がみられなかった。

6 林外雨量、林内雨量及び樹幹流量ごとの pH、EC及び溶存成分濃度の関係

一降雨ごとのデータで、林外雨量及び林内雨量ごとの pH 及び EC の関係を図 14-1 および図 14-2 に示す。

pH は雨量が増加してもほぼ 4 ～ 5 の範囲にあり、あまり変化がなかった。EC は雨量の少ないときは増加する傾向がみられたが、雨量の増加に伴って減少し、50 μ S/cm以下で横ばい傾向を示した。

樹幹流量と pH 及び EC の関係は、図 15-1 から図 16-2 に示した。樹幹流の pH は樹幹流量が増加するに伴って上昇する傾向がみられた。しかし、大部分が 3 ～ 4 の範囲にあり大きな変化はみられなかった。樹幹流量と EC の関係も、林外雨や林内雨と同様の関係がみられたが、その値は林外雨量や林内雨量の約 4 倍の 200 μ S/cm以下で横ばいとなった。

EC の高い樹幹流について、樹幹流量と各溶存成分濃度の関係を図 17-1 および図 17-2 に示した。これらの成分濃度も前述の EC の関係と同様に樹幹流量が増加するに伴って成分濃度は減少する傾向を示した。

林外雨の pH と林内雨及び樹幹流の pH との関係は図 18-1 から図 19-2 に示した。林外雨の pH と林内雨の pH とは正の関係がみられたが、林外雨の pH と樹幹流の pH とは明らかな関係はみられなかった。樹幹流の pH は、林外雨以外の要因に影響されると考えられた。

林外雨、林内雨ごとの pH と EC の関係については明らかな関係がみられなかったが、樹幹流では図 20-1 及び図 20-2 に示すように pH が低い場合に EC が高くなる傾向がみられた。

樹幹流の pH と成分濃度との関係を図 21-1 から図 22-2 に示す。この結果からも EC と同様に、pH が低い場合に成分濃度が高くなるといえた。

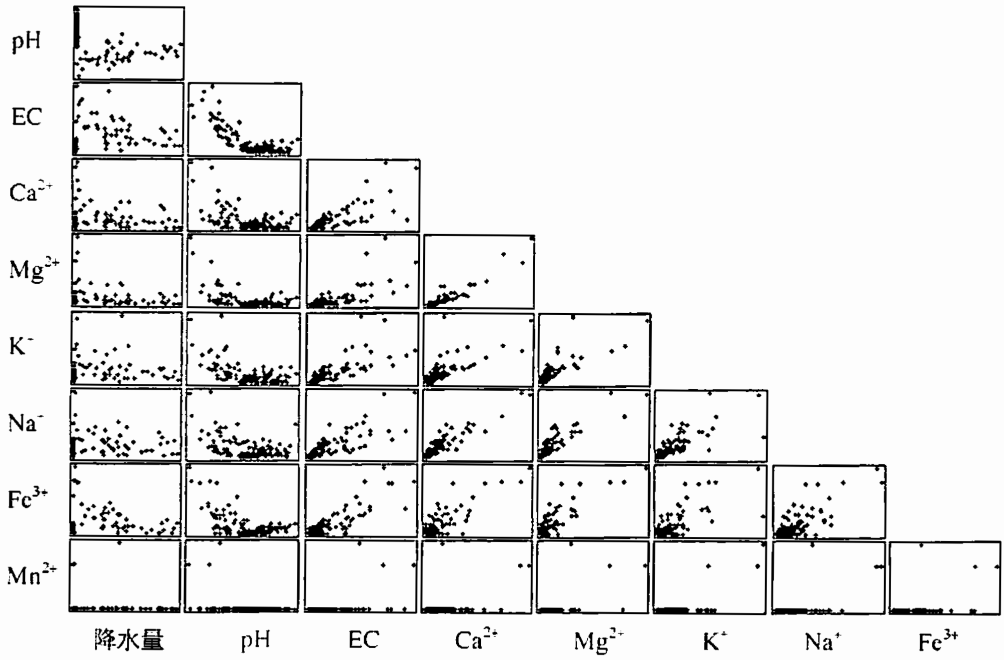


図 13-1　雨量、pH、EC 及び各種イオン濃度の相互関係 (平成元年度)

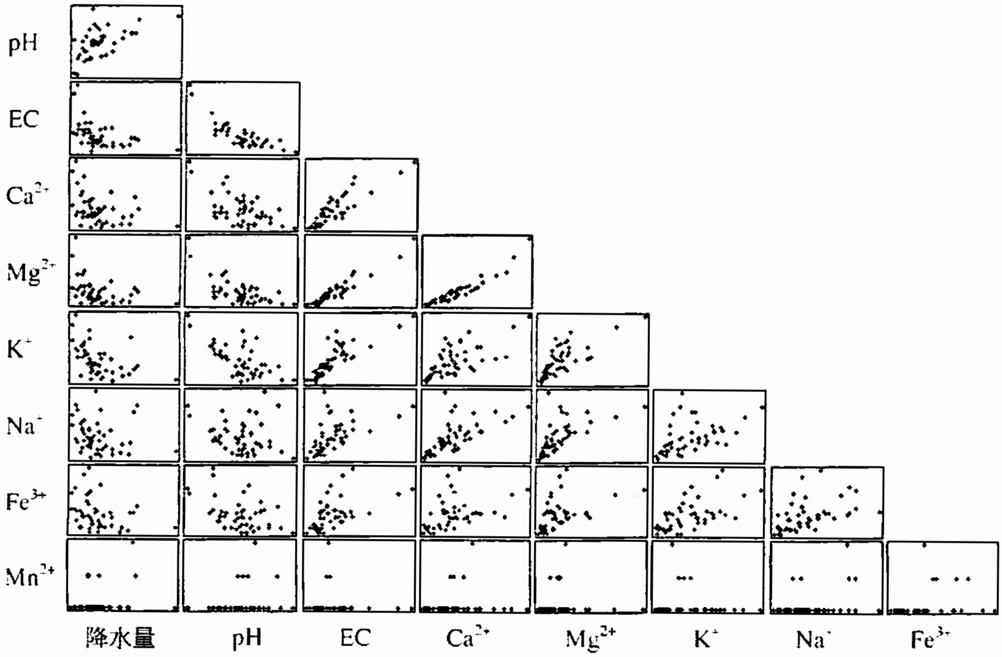


図 13-2　雨量、pH、EC 及び各種イオン濃度の相互関係 (平成 2 年度)

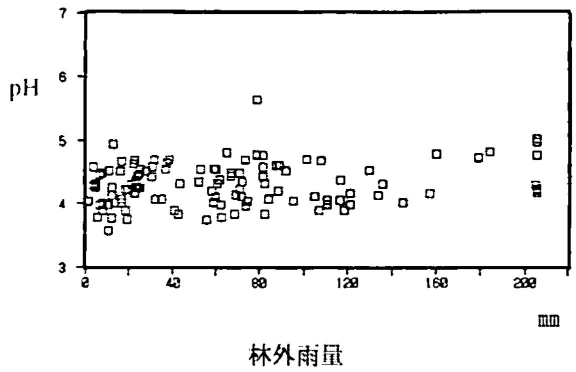


図 14-1　林外雨量と pH の関係
(平成元年度)

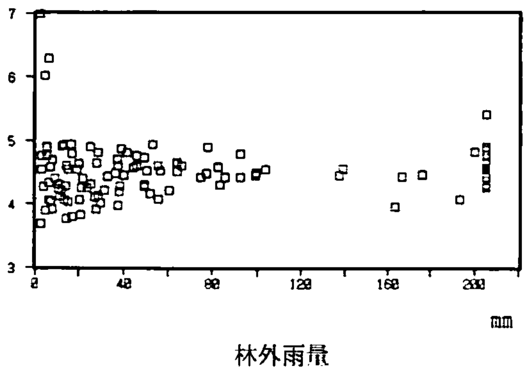


図 14-2　林外雨量と pH の関係
(平成 2 年度)

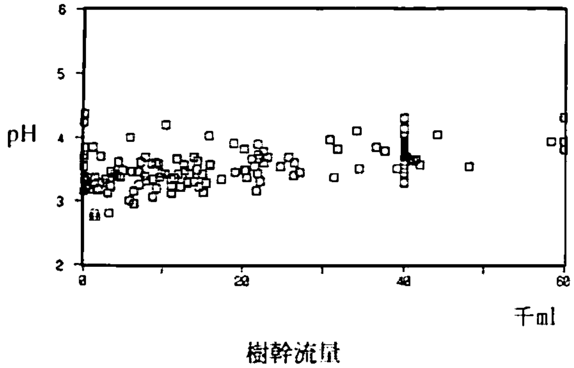


図 15-1　樹幹流量と pH の関係
(平成元年度)

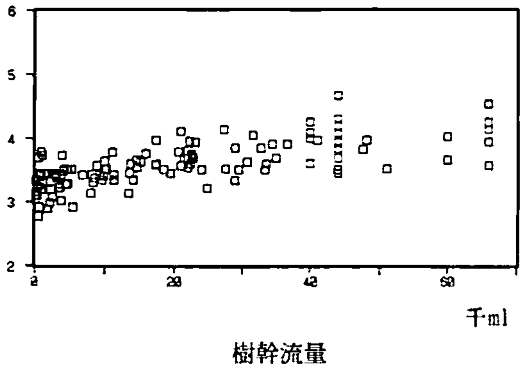


図 15-2　樹幹流量と pH の関係
(平成 2 年度)

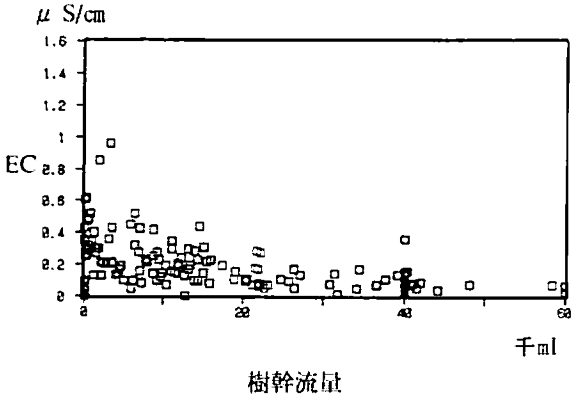


図 16-1　樹幹流量と EC の関係
(平成元年度)

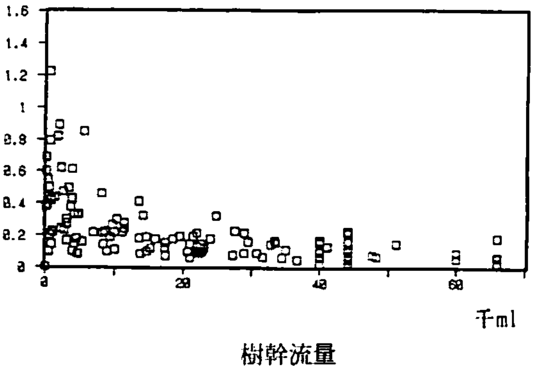


図 16-2　樹幹流量と EC の関係
(平成 2 年度)

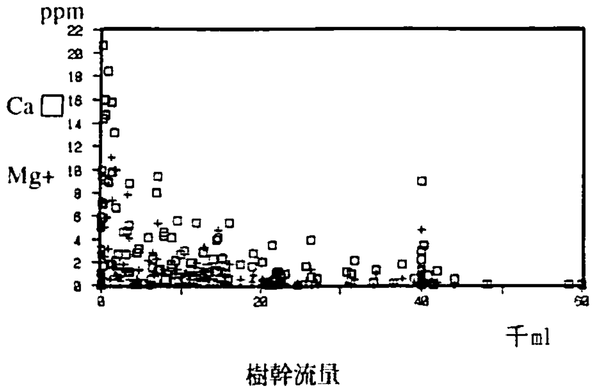


図 17-1 樹幹流量と Ca^{2+}、Mg^{2+}の関係
(平成元年度)

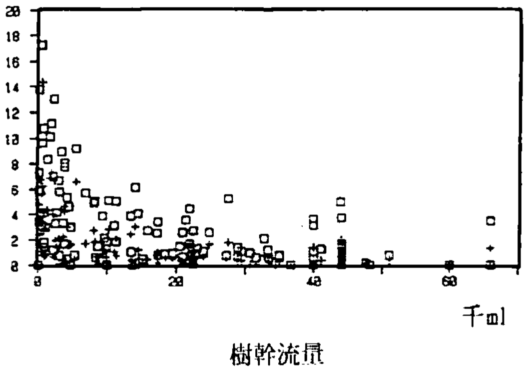


図 17-2 樹幹流量と Ca^{2+}、Mg^{2+}の関係
(平成 2 年度)

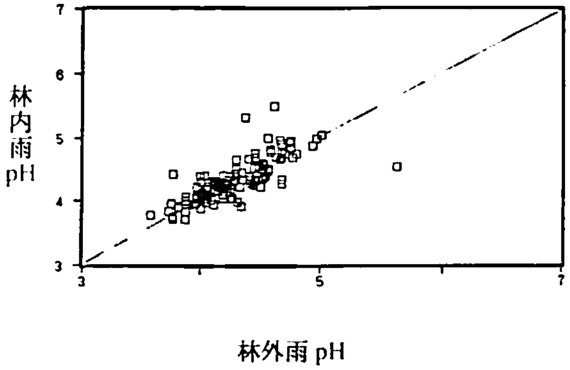


図 18-1 林外雨の pH と林内雨の pH との関係
(平成元年度)

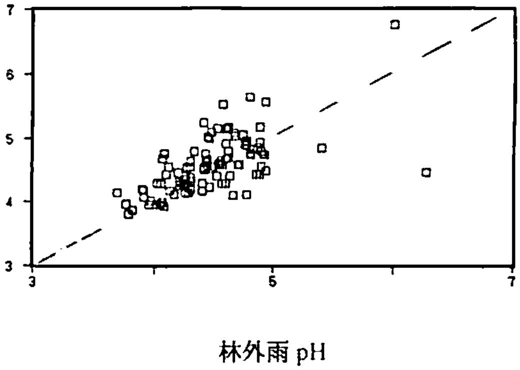


図 18-2 林外雨 pH と林内雨 pH との関係
(平成 2 年度)

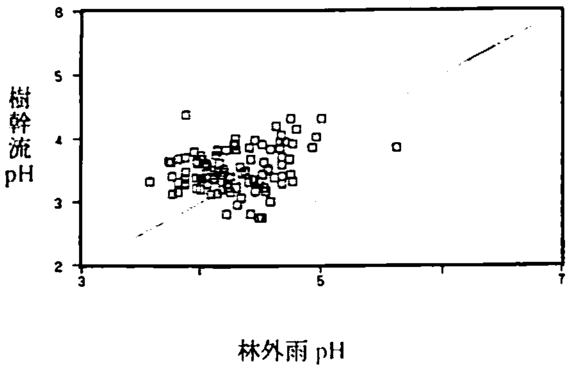


図 19-1 林外雨 pH と樹幹流 pH との関係
(平成元年度)

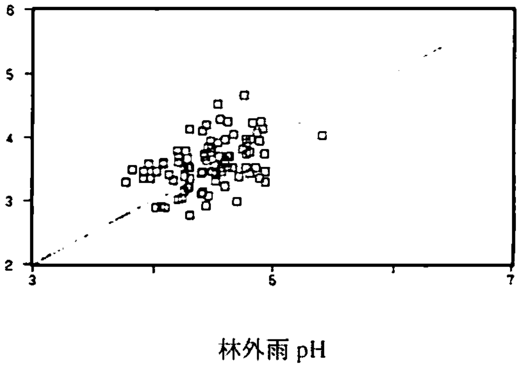


図 19-2 林外雨 pH と樹幹流 pH との関係
(平成 2 年度)

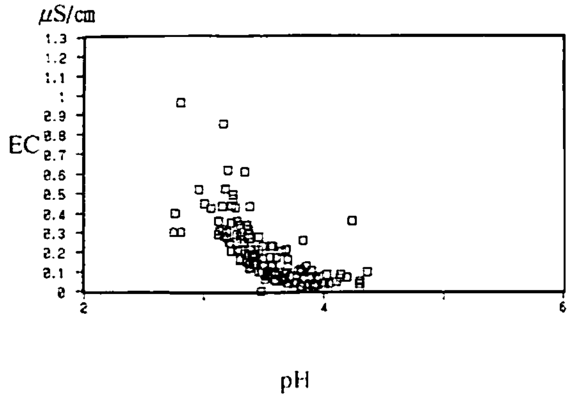


図 20-1 樹幹流の pH と EC の関係
(平成元年度)

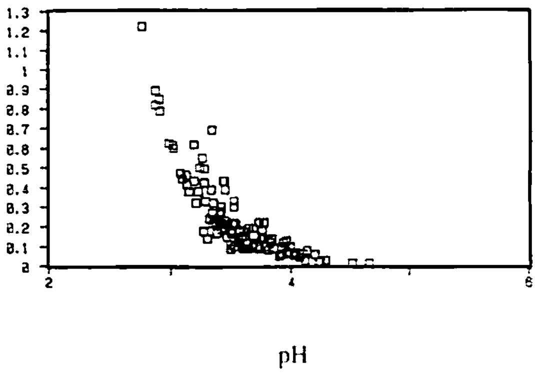


図 20-2 樹幹流の pH と EC の関係
(平成 2 年度)

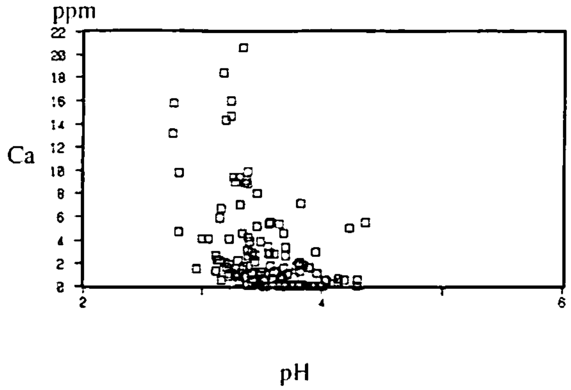


図 21-1 樹幹流の pH と Ca^{2+}の関係
(平成元年度)

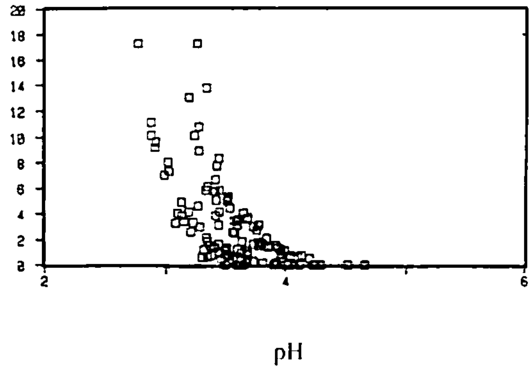


図 21-2 樹幹流の pH と Ca^{2+}の関係
(平成 2 年度)

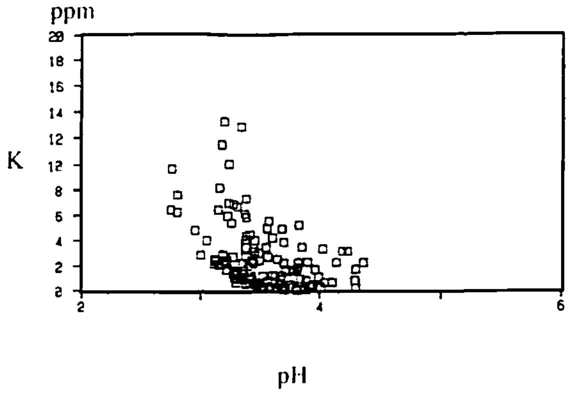


図 22-1 樹幹流の pH と K^{+}の関係
(平成元年度)

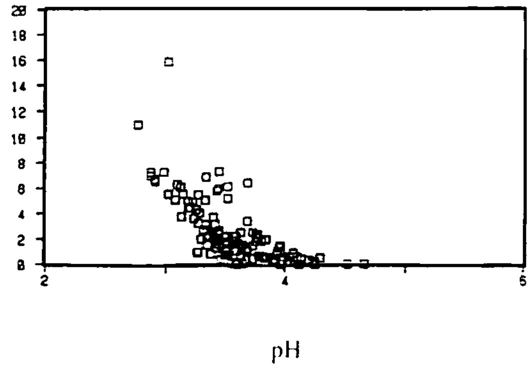


図 22-2 樹幹流の pH と K^{+}の関係
(平成 2 年度)

7　スギ林の樹幹周囲の土壌pH

林外雨に比較してスギ林の樹幹流はpHが低く、溶存成分濃度も高いことから土壌への影響も大きいと考えられた。

このため、県内の12箇所のスギ林土壌を採取し、pHを測定した。その結果を表4、表5に示した。

表4　スギ林土壌のpH (採土の深さ5 cm)

番号	地区名	根元より10 cmの距離			根元より150 cmの距離		
		左側	下部	右側	左側	下部	右側
1	大雄山	5.6	5.3	6.7	6.2	5.3	6.5
2	地蔵堂	5.9	5.5	5.8	5.9	6.0	5.9
3	二の足	5.6	5.4	5.4	5.6	5.7	5.8
4	煤ケ谷	6.0	5.7	6.1	6.1	5.9	6.0
5	日向	5.7	4.7	5.9	5.9	5.4	6.0
6	玄倉	6.0	5.8	6.0	6.2	6.1	6.5
7	浅間山	6.3	4.7	6.2	6.2	5.7	5.9
8	松田山	5.6	4.9	6.0	5.9	5.9	6.0
9	土佐原	5.7	5.5	6.1	6.1	6.0	6.1
10	仙洞寺	5.1	4.6	5.1	4.7	4.9	5.0
11	若柳	5.4	5.4	5.7	5.7	5.7	5.8
12	下川井	4.1	3.9	4.7	4.8	4.4	5.2

表5　スギ林土壌のpH (採土の深さ10 cm)

番号	地区名	根元より10 cmの距離			根元より150 cmの距離		
		左側	下部	右側	左側	下部	右側
1	大雄山	6.1	5.6	6.7	6.4	6.2	6.5
2	地蔵堂	6.1	5.8	6.0	6.1	6.1	6.1
3	二の足	6.0	5.8	5.7	6.2	6.2	6.1
4	煤ケ谷	5.9	5.9	6.1	6.1	6.1	6.1
5	日向	6.0	5.6	6.1	6.1	6.1	6.1
6	玄倉	5.9	6.0	6.2	6.3	6.1	6.3
7	浅間山	6.4	5.4	6.0	6.3	6.2	6.0
8	松田山	5.7	5.0	6.2	5.9	6.0	6.1
9	土佐原	5.9	5.9	6.2	6.2	6.1	6.0
10	仙洞寺	4.8	5.0	5.3	5.5	5.2	5.2
11	若柳	5.5	5.6	5.5	5.7	5.7	5.8
12	下川井	4.6	4.3	4.6	4.8	4.5	5.5

根元より 10 cmの距離で採土した pH は、大部分の地区で根元下部側が、根元の左右側で採取したものに比較して pH が低くなる傾向が認められた。この傾向は、深さ 5 cmの部分で顕著に現れた。特に、日向地区と浅間山地区の pH は 1.0 以上の差が認められた。

松浦ら[14]もスギ林の根元周辺の土壌 pH の分布を調べ、樹幹流の影響により樹幹周囲で pH の低下する現象を明らかにしている。

根元より 150 cmの距離で採土した pH は、根元下部側と左右側とでは 2 ～ 3 の地区を除き、ほとんど差がなかった。

樹幹流はスギの根元下部付近に集中して局部的に土壌の酸性化が認められたが、これらに酸性雨がどの程度関与しているか、またスギの生育に障害となる置換性アルミニウムの溶出があったかについては、今回の調査では明らかにできなかった。

Ⅳ まとめ

酸性雨の森林生態系に及ぼす影響を解明する一方法として、神奈川県山間地の 4 箇所のスギ林において、2 年間にわたり、林外雨、林内雨及び樹幹流の pH、EC 及び溶存成分濃度を測定した。

(1) pH は単純年平均値で林外雨 4.4、林内雨 4.5 となり、両者間ではほとんど差がなかった。しかし、樹幹流では 3.5 とかなり低い値を示した。

EC の年平均値は、林外雨 30 μ S/cm、林内雨 53 μ S/cm、樹幹流 224 μ S/cmとなり、樹幹流で高い値を示した。

Ca^{2+}、K^{+}、Na^{+}の各成分濃度は、林外雨 0.5ppm 以下、林内雨 1.0ppm 前後、樹幹流 3.0ppm 前後となり、EC と同様、樹幹流で高い値を示した。

林外雨の pH は全国で測定された降水 pH の平均値とほぼ同じ値であったが、樹幹流は樹体や樹体の付着物質からの溶出により顕著な酸性化と溶存成分濃度の負荷が認められた。

(2) 林外雨、林内雨及び樹幹流中の pH、EC 及び溶存成分濃度の季節変化を 2 年間にわたり調査した結果、pH は 8 月又は 9 月に高まり、冬季から春季にかけて低下する傾向がみられた。

EC 及び溶存成分は、pH とは逆に 8 月又は 9 月に低下し、冬季に高まる傾向がみられた。これらの傾向は樹幹流で顕著に現れた。

(3) 樹幹流が土壌に及ぼす影響をみるため、県内の 12 箇所のスギ林において土壌 pH を測定した。その結果、樹幹周辺の斜面下部方向に顕著な pH の低下が認められ、樹幹流を通じて樹幹周囲の表層土壌に局部的な酸性化現象が認められた。

しかし、スギ林土壌の酸性化には樹種固有の影響もあるとされており、今回の調査だけでは土壌の酸性化に対して酸性雨がどの程度関与しているかを判断することはできなかった。

これらの問題については、今後森林生態系の物質循環の観点から総合的に検討していきたい。

文　献

1) 酸性雨対策検討会大気分科会：酸性雨対策調査報告書, 1990

2) 神奈川県環境部大気保全課：平成 2 年度の酸性雨対策調査結果について. 1991

3) 神奈川県公害センター：神奈川県西部地域における山間部の酸性降下物量について 大気汚染調査研究報告 30, 1989

4) 環境庁・林野庁：昭和 60 年度関東地方におけるスギ林の衰退と酸性降下物の影響に関する緊急実態調査報告書, 1986

5) 高橋啓二ほか：関東地方におけるスギの衰退と酸性降下物による可能性. 森林立地 28. 11 ～ 17, 1986

6) 鈴木清ほか：大気汚染と樹木衰退に関する研究(1) スギの樹勢推移と年輪幅の変動. 神林試研報 14, 15 ～ 25. 1987

7) 杉本龍志ほか：森林衰退の現状－丹沢大山モミ林の場合－. 第30回大気汚染学会講演要旨集, 364. 1989

8) 鈴木清ら：神奈川県大山のモミ林枯損経緯と年輪幅の変化, 日林関東支論 42, 193 ～ 194, 1992

9) 横浜地方気象台編：神奈川県気象月報. 1989・4 ～ 1991・3

10) 玉置元則ほか：わが国各地における雨水pH の年平均値. 環境技術 15. 188 ～ 220, 1986

11) 佐々朋幸ほか：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

12) 久米一成ほか：スギ、ヒノキの樹幹を流れる雨水成分の性質 (第2報). 静岡県衛生環境センター報告 32, 51 ～ 57, 1988

13) 真田勝ほか：札幌近郊におけるトドマツ、エゾマツ人工林の樹幹流・林内雨及び林外雨について, 森林立地 33 (1), 8 ～ 15. 1991

14) 松浦陽次郎ほか：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, 1990

付表1

月別の降水量および pH，ECの平均値（平成元年度）　　EC：μS/cm　林外雨・林内雨：mm　樹幹流：ml

番号				1989.4	1989.5	1989.6	1989.7	1989.8	1989.9	1989.10	1989.11	1989.12	1990.1	1990.2	1990.3	合計	平均	最大値	最小値
No.1	厚木市 林業試験場	林外雨	降水量	244	244	293	438	232	192	237	69	42	25	249	106	2,371			
			pH	4.26	4.19	3.91	3.96	4.44	4.98	4.71	4.75	4.40	4.47	4.40	4.44		4.41	4.98	3.91
			EC	56	30	25	37	33	14	19	21	53	35	22	27		30.9	55.5	13.6
		林外雨 初期 3mm	降水量	18	20	10	10	10	5	10	2	6	7	13	8	119			
			pH	4.21	4	3.69	3.72	4.15	4.58	4.32	4.75	5.53	4.33	4.28	4.47		4.34	5.53	3.69
			EC	63	85	88	77	66	38	49	40	99	60	78	63		67.2	99.0	38.0
		林内雨	降水量	252	204	262	266	192	183	209	52	33	17	183	88	1,942			
			pH	4.41	4.24	4.04	4.01	4.56	4.95	4.72	4.92	5.04	4.58	4.33	4.41		4.52	5.04	4.01
			EC	89	65	35	53	66	28	45	50	89	104	53	84		63.3	104.4	27.8
		樹幹流	貯水量	117,023	72,815	74,700	53,915	57,741	41,170	47,010	11,900	3,540	61	63,120	29,280	572,275			
			pH	3.88	3.55	3.60	3.54	3.98	4.08	3.80	3.65	3.38	3.83	3.46	3.47		3.68	4.08	3.38
			EC	69	233	118	200	81	92	146	208	432	261	277	205		193.5	432.0	69.0
No.2	厚木市七沢 弁天の森	林内雨	降水量	460	356	440	538	451	373	326	67	25	11	198	69	3,313			
			pH	4.46	4.11	4.27	4.16	4.64	4.77	4.76	4.63	4.81	5.18	4.21	4.24		4.52	5.18	4.11
			EC	78	59	30	44	35	28	41	73	105	116	45	67		60.2	116.4	28.0
		樹幹流	貯水量	120,196	115,767	6,360	93,615	81,570	42,220	127,660	40,310	21,400	810	136,030	61,953	947,891			
			pH	3.77	3.47	3.58	3.60	3.95	4.00	3.82	3.70	3.38	3.22	3.51	3.34		3.61	4.00	3.22
			EC	178	207	86	116	82	83	121	162	329	557	189	291		199.9	556.5	81.6
No.3	南足柄市 内山 21世紀の森	林外雨	降水量	293	239	333	308	105	181	282	78	45	24	271	202	2,361			
			pH	4.26	4.05	4.17	3.93	3.88	4.97	4.67	4.59	4.47	4.52	4.27	4.24		4.33	4.97	3.88
			EC	32	26	18	30	43	8	18	17	32	27	20	23		24.5	43.0	8.0
		林内雨	降水量	261	212	307	292	87	181	308	72	43	31	269	150	2,213			
			pH	4.30	4.07	4.13	3.94	3.96	4.98	4.67	4.81	4.42	4.29	4.18	4.23		4.33	4.98	3.94
			EC	44	38	26	36	46	11	25	32	67	70	39	42		39.6	70.2	11.0
		樹幹流	貯水量	61,391	37,983	69,430	49,720	15,560	40,000	46,630	5,870	3,145	1,260	42,597	27,552	401,138			
			pH	3.35	3.30	3.32	3.19	3.29	4.01	3.27	3.00	2.78	2.76	3.02	3.17		3.20	4.01	2.76
			EC	194	208	200	278	218	45	304	447	300	400	514	327		286.2	513.8	45.0
No.4	南足柄市 広町 大雄山	林外雨	降水量	326	233	346	181	98	181	367	72	47	46	321	188	2,406			
			pH	4.47	4.03	3.99	4.22	3.98	4.76	4.63	4.57	4.39	4.50	4.32	4.24		4.34	4.76	3.98
			EC	35	26	21	15	33	10	18	18	31	22	17	20		22.1	34.7	10.0
		林内雨	降水量	247	162	295	278	51	181	268	45	29	30	255	149	1,989			
			pH	4.27	4.09	4.06	3.93	4.03	4.84	4.74	5.00	4.57	4.52	4.23	4.60		4.41	5.00	3.93
			EC	31	44	31	38	48	13	18	38	74	48	27	34		36.9	73.5	13.2
		樹幹流	貯水量	133,160	99,900	73,210	122,120	41,230	60,000	140,240	39,230	27,420	11,980	67,865	53,960	870,315			
			pH	3.70	3.61	3.61	3.67	3.62	4.30	3.92	3.51	3.37	3.38	3.45	3.38		3.63	4.30	3.37
			EC	71	108	77	67	83	24	69	135	239	220	131	152		114.6	239.0	24.0

付表２－１
雨水のイオン成分濃度（平成元年度）

単位：ppm

地区名	雨水の種類	採取時期	1989.4	1989.5	1989.6	1989.7	1989.8	1989.9	1989.10	1989.11	1989.12	1990.1	1990.2	1990.3	計	平均
No.1 林試	林外雨	Ca	0.61	0.74	0.01	0.07	0.29	0.03	0.04	0.00	1.10	0.34	0.09	0.39	3.72	0.31
		Mg	0.07	0.03	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.18	0.02	0.05	0.03	0.41	0.03
		K	0.04	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.08	0.00	0.00	0.16	0.01
		Na	0.63	0.36	0.06	0.26	0.47	0.43	0.41	0.45	1.24	1.27	0.42	0.81	6.81	0.57
		Fe	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.04	0.04	0.05	0.06	0.01	0.00	0.00	0.23	0.02
		Mn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	林外雨 初期 3 mm	Ca	0.99	1.23	0.65	0.75	0.95	0.38	0.32	0.35	2.88	0.66	1.05	2.16	12.35	1.03
		Mg	0.22	0.24	0.14	0.04	0.10	0.06	0.09	0.03	0.61	0.18	0.46	0.30	2.47	0.21
		K	0.10	0.14	0.05	0.00	0.23	0.00	0.00	0.00	2.17	0.22	0.30	0.78	3.98	0.33
		Na	2.19	1.12	1.58	1.12	1.33	1.83	1.81	1.36	3.40	2.36	2.54	2.06	22.68	1.89
		Fe	0.00	0.00	0.02	0.02	0.04	0.04	0.05	0.07	0.08	0.04	0.02	0.00	0.38	0.03
		Mn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	林内雨	Ca	2.54	1.54	0.36	0.78	1.46	0.58	0.85	1.53	2.56	2.68	0.65	1.96	17.50	1.46
		Mg	0.60	0.38	0.08	0.13	0.49	0.17	0.31	0.91	0.97	0.69	0.43	0.58	5.72	0.48
		K	1.99	2.26	0.38	0.64	1.35	0.10	0.72	1.41	3.08	1.49	0.78	3.11	17.31	1.44
		Na	2.86	1.45	0.36	0.46	1.71	0.98	1.22	1.18	1.87	2.67	1.17	2.91	18.85	1.57
		Fe	0.00	0.00	0.00	0.01	0.03	0.04	0.05	0.07	0.08	0.08	0.01	0.00	0.37	0.03
		Mn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	樹幹流	Ca	1.33	6.24	2.56	4.72	0.86	1.20	2.76	5.42	8.85	7.11	2.55	3.90	17.50	3.96
		Mg	0.28	1.60	0.61	1.58	0.14	0.29	0.78	1.91	4.03	3.40	3.23	1.09	18.93	1.58
		K	2.32	7.00	3.25	6.48	1.33	0.63	1.16	2.84	5.09	3.54	13.57	2.77	49.97	4.16
		Na	1.99	4.69	1.31	1.21	2.21	2.59	2.94	2.54	4.06	5.14	3.45	4.66	36.79	3.07
		Fe	0.00	0.12	0.07	0.22	0.10	0.13	0.20	0.28	0.48	0.35	0.17	0.14	2.26	0.19
		Mn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.03	0.00
No.2 弁天の森	林内雨	Ca	3.22	1.84	0.69	0.95	0.55	0.63	1.12	2.49	3.70	3.18	0.60	2.12	21.08	1.76
		Mg	0.87	0.55	0.21	0.34	0.18	0.21	0.51	1.78	2.23	1.30	0.50	0.67	9.33	0.78
		K	1.74	1.16	0.46	0.47	0.32	0.08	0.85	2.16	3.11	1.64	0.35	1.58	13.91	1.16
		Na	1.19	1.46	0.31	0.40	1.33	1.14	0.91	1.51	1.97	5.22	0.73	2.38	18.52	1.54
		Fe	0.00	0.03	0.00	0.00	0.02	0.04	0.04	0.09	0.09	0.09	0.01	0.02	0.43	0.04
		Mn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	樹幹流	Ca	4.39	5.51	1.29	1.91	0.88	1.36	2.20	3.37	6.69	14.51	1.78	6.29	50.18	4.18
		Mg	1.19	1.77	0.40	0.66	0.19	0.42	0.69	1.19	3.51	7.27	1.54	3.65	22.47	1.87
		K	2.57	2.54	1.18	1.92	0.67	0.44	0.64	1.56	3.17	6.38	1.95	3.00	26.01	2.17
		Na	3.08	3.88	0.93	0.66	2.25	2.33	2.27	2.23	4.23	10.11	2.67	5.33	39.97	3.33
		Fe	0.10	0.00	0.03	0.05	0.07	0.12	0.12	0.19	0.22	0.50	0.05	0.18	1.62	0.14
		Mn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.02	0.00

付表２－２

雨水のイオン成分濃度（平成元年度）

単位：ppm

地区名	雨水の種類	成　分	1989.4	1989.5	1989.6	1989.7	1989.8	1989.9	1989.10	1989.11	1989.12	1990.1	1990.2	1990.3	計	平均
No.3 21世紀の森	林外雨	Ca	0.38	0.09	0.01	0.02	0.00	0.00	0.02	0.00	0.42	0.31	0.02	0.19	1.46	0.12
		Mg	0.04	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.02	0.12	0.01
		K	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		Na	0.32	0.35	0.09	0.21	0.27	0.07	0.23	0.45	0.65	0.66	0.19	0.56	4.05	0.34
		Fe	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.02	0.04	0.05	0.06	0.00	0.00	0.00	0.19	0.02
		Mn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	林内雨	Ca	1.41	0.62	0.04	0.31	0.62	0.00	0.23	0.57	1.55	1.76	0.30	0.95	8.36	0.70
		Mg	0.33	0.15	0.06	0.03	0.09	0.00	0.04	0.23	0.59	0.58	0.30	0.23	2.62	0.22
		K	0.50	0.79	0.49	0.42	0.29	0.00	0.18	1.22	0.98	0.74	0.40	1.22	7.22	0.60
		Na	0.83	0.75	0.21	0.35	0.46	0.24	0.38	0.86	1.57	1.84	0.55	1.30	9.33	0.78
		Fe	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.04	0.05	0.07	0.06	0.02	0.01	0.01	0.30	0.02
		Mn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	樹幹流	Ca	1.40	1.43	1.50	1.92	1.08	0.00	1.57	4.11	11.49	15.77	2.05	3.07	45.39	3.78
		Mg	0.44	0.57	0.73	0.80	0.35	0.00	0.73	2.11	8.69	11.03	3.15	1.57	30.16	2.51
		K	3.15	3.74	2.27	2.49	2.78	0.70	2.44	3.50	7.36	12.85	5.55	6.23	53.06	4.42
		Na	1.54	2.46	1.80	1.65	1.03	0.29	1.87	2.90	6.34	9.70	4.23	3.57	37.37	3.11
		Fe	0.00	0.05	0.06	0.29	0.16	0.05	0.20	0.48	0.50	0.63	0.24	0.26	2.92	0.24
		Mn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.02	0.00
No.4 大雄山	林外雨	Ca	0.22	0.15	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.30	0.00	0.00	0.06	0.75	0.06
		Mg	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00
		K	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		Na	0.22	0.27	0.08	0.39	0.18	0.13	0.20	0.41	0.51	0.37	0.12	0.27	3.15	0.26
		Fe	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.02	0.04	0.05	0.05	0.00	0.00	0.00	0.18	0.02
		Mn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	林内雨	Ca	0.72	1.12	0.54	0.51	0.87	0.03	0.47	1.33	2.49	1.59	0.28	0.65	10.61	0.88
		Mg	0.18	0.25	0.19	0.08	0.22	0.00	0.12	0.70	1.25	0.47	0.15	0.12	3.74	0.31
		K	0.27	0.92	0.55	0.07	0.00	0.00	0.19	0.89	1.30	0.40	0.22	1.79	6.59	0.55
		Na	0.48	0.69	0.24	0.29	0.57	0.37	0.44	0.78	1.40	0.63	0.32	0.68	6.89	0.57
		Fe	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.04	0.04	0.07	0.07	0.02	0.01	0.00	0.26	0.02
		Mn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	樹幹流	Ca	0.11	1.24	0.31	0.11	0.14	0.00	0.08	0.58	1.69	1.39	0.18	0.81	6.64	0.55
		Mg	0.04	0.24	0.15	0.00	0.02	0.00	0.00	0.25	1.02	0.78	0.33	0.24	3.07	0.26
		K	0.94	1.82	0.73	0.78	1.10	0.00	0.07	0.28	1.25	1.14	0.43	0.69	9.22	0.77
		Na	0.40	0.99	0.35	0.21	0.77	0.22	0.53	0.67	1.23	0.83	0.53	0.91	7.64	0.64
		Fe	0.00	0.00	0.02	0.03	0.06	0.04	0.09	0.17	0.15	0.08	0.04	0.06	0.73	0.06
		Mn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

付表３

月別の降水量およびｐＨ，ＥＣの平均値（平成２年度）　　ＥＣ＝μＳ／cm、林外雨、林内雨：mm、樹幹流：ml

番号				1990.4	1990.5	1990.6	1990.7	1990.8	1990.9	1990.10	1990.11	1990.12	1991.1	1991.2	1991.2	合計	平均	最大値	最小値
No.1	厚木市 林業試験場	林外雨	降水量	199	151	134	155	232	455	143	261	43	63	75	207	2,119			
			pH	4.40	4.19	4.60	4.46	4.99	4.37	4.45	4.67	4.35	4.58	4.57	4.45		4.51	4.99	4.19
			EC	26	33	15	33	54	56	20	21	41	31	23	32		32.1	56.3	14.7
		林外雨 初期 3 mm	降水量	13	13	10	2	10	15	5	7	7	13	5	7	108			
			pH	4.61	4.23	5.01	4.46	5.09	4.25	5.32	4.32	5.34	4.73	4.48	4.81		4.72	5.34	4.23
			EC	33	83	23	47	74	77	56	70	82	34	68	89		61.3	89.3	23.0
		林内雨	降水量	166	121	110	134	225	419	134	253	38	51	72	189	1,912			
			pH	4.42	4.34	4.52	4.98	5.34	4.62	5.16	5.00	4.83	5.13	5.14	4.81		4.86	5.34	4.34
			EC	72	55	37	43	196	114	43	38	112	113	58	65		78.8	195.6	37.4
		樹幹流	貯水量	47,394	34,975	41,560	32,820	52,140	138,475	43,470	70,990	1,166	17,300	26,170	36,070	542,530			
			pH	3.58	3.54	3.62	3.84	3.87	4.05	3.93	3.94	3.61	3.60	3.69	3.58		3.74	4.05	3.54
			EC	154	203	192	141	175	192	104	90	264	307	265	274		196.7	306.5	90.0
No.2	厚木市七沢 弁天の森	林内雨	降水量	39	238	138	153	211	365	87	242	26	35	50	136	1,720			
			pH	4.39	4.20	4.35	4.63	4.65	4.38	4.63	4.57	4.26	4.45	4.49	4.40		4.45	4.65	4.20
			EC	51	49	33	39	84	116	40	34	92	57	35	54		57.1	116.4	33.2
		樹幹流	貯水量	40,095	86,590	52,740	40,000	54,510	132,426	56,600	108,650	11,980	24,390	43,900	83,666	735,547			
			pH	3.53	3.55	3.59	3.61	3.82	3.77	3.69	3.81	3.33	3.37	3.51	3.40		3.58	3.82	3.33
			EC	136	147	151	173	143	206	156	105	389	414	222	334		214.6	414.0	105.2
No.3	南足柄市 内山 21世紀の森	林外雨	降水量	63	273	221	181	192	514	153	307	30	66	105	181	2,285			
			pH	4.39	4.19	4.39	4.30	4.90	4.54	4.43	4.50	4.07	4.16	4.26	4.41		4.38	4.90	4.07
			EC	14	32	15	43	47	67	23	30	63	68	37	26		38.7	68.1	14.1
		林内雨	降水量	48	259	189	172	184	502	149	302	23	59	99	273	2,260			
			pH	4.32	4.11	4.49	4.38	4.67	4.59	4.58	4.49	4.13	4.34	4.47	4.42		4.41	4.67	4.11
			EC	25	42	16	40	60	27	26	36	90	67	34	32		41.3	90.2	16.3
		樹幹流	貯水量	8,575	33,910	36,070	24,880	40,000	126,840	23,320	68,182	656	6,105	21,470	57,470	447,478			
			pH	3.23	3.25	3.23	3.21	4.25	3.77	3.38	3.30	2.92	2.90	3.17	3.29		3.32	4.25	2.90
			EC	259	309	406	321	25	199	291	349	789	890	546	314		391.4	890.3	24.6
No.4	南足柄市 広町 大雄山	林外雨	降水量	70	296	233	181	200	582	164	317	37	80	109	293	2,562			
			pH	4.39	4.20	4.66	4.26	6.20	4.93	4.56	4.59	4.21	4.51	4.69	4.57		4.65	6.20	4.20
			EC	14	26	8	39	84	20	14	40	42	27	15	22		29.3	83.6	8.3
		林内雨	降水量	54	274	195	129	185	570	130	297	28	61	95	270	2,286			
			pH	4.26	4.07	4.44	4.34	4.83	4.54	4.58	4.59	4.15	4.26	4.46	4.29		4.40	4.83	4.07
			EC	26	38	18	51	67	51	28	36	84	69	30	40		44.8	84.0	18.0
		樹幹流	貯水量	17,750	86,890	62,883	51,030	60,160	222,000	64,000	121,820	10,770	23,110	57,300	104,640	882,353			
			pH	3.46	3.57	3.65	3.52	3.68	4.10	3.71	3.75	3.30	3.38	3.58	3.65		3.61	4.10	3.30
			EC	134	105	86	148	222	59	111	113	325	258	174	128		155.3	325.0	59.2

付表４－１

雨水のイオン成分濃度（平成２年度）

単位：ppm

	雨水の種類	成　分	1990.4	1990.5	1990.6	1990.7	1990.8	1990.9	1990.10	1990.11	1990.12	1991.1	1991.2	1991.3	計	平均
No.1 林試	林外雨	Ca	0.10	0.09	0.00	0.00	1.64	0.94	0.32	0.23	0.63	0.50	0.42	0.93	5.80	0.48
		Mg	0.02	0.00	0.00	0.05	0.27	0.20	0.00	0.07	0.01	0.03	0.03	0.04	0.70	0.06
		K	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.04	0.27	0.02
		Na	0.28	0.11	0.07	0.62	2.11	1.35	0.15	1.15	0.78	0.44	0.17	0.31	7.53	0.63
		Fe	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00	0.01	0.03	0.04	0.00	0.00	0.12	0.24
		Mn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	林外雨 初期３㎜	Ca	0.47	0.85	0.09	1.09	2.18	0.91	1.16	1.30	1.68	0.49	2.19	2.08	14.48	1.21
		Mg	0.05	0.20	0.00	0.05	0.30	0.20	0.19	0.32	0.43	0.08	0.28	0.62	2.71	0.23
		K	0.09	0.00	0.04	0.00	1.44	0.08	0.92	0.14	5.86	2.75	0.21	0.90	12.42	1.04
		Na	1.70	1.62	0.28	0.35	2.30	1.25	1.39	2.99	1.21	0.35	1.62	3.85	18.90	1.58
		Fe	0.00	0.05	0.00	0.00	0.06	0.04	0.00	0.04	0.03	0.02	0.00	0.01	0.25	0.50
		Mn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	林内雨	Ca	1.24	0.31	0.35	0.91	4.47	2.37	1.56	0.80	2.31	2.32	1.36	1.61	19.59	1.63
		Mg	0.39	0.09	0.15	0.28	2.39	1.39	0.58	0.30	0.77	0.98	0.32	0.48	8.12	0.68
		K	1.51	0.13	0.33	0.44	5.75	1.90	1.66	1.34	5.06	7.92	4.01	5.03	35.06	2.92
		Na	2.16	0.27	0.56	0.94	6.87	4.03	0.77	1.61	3.15	1.79	0.93	1.31	24.38	2.03
		Fe	0.00	0.00	0.00	0.00	0.09	0.05	0.00	0.01	0.06	0.06	0.00	0.00	0.27	0.02
		Mn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00
	樹幹流	Ca	2.58	4.36	3.19	2.10	2.15	3.28	1.73	1.04	3.82	5.55	4.34	4.65	38.78	3.23
		Mg	0.51	1.45	0.97	0.72	0.73	1.60	0.57	0.27	2.11	2.39	2.31	2.50	16.12	1.34
		K	1.92	2.62	2.12	2.00	1.92	1.75	1.22	1.18	4.74	4.17	3.60	5.90	33.11	2.76
		Na	3.27	2.69	1.98	1.78	9.49	7.42	2.56	1.84	4.65	4.82	3.47	4.07	48.03	4.00
		Fe	0.08	0.26	0.38	0.29	0.21	0.24	0.07	0.05	0.21	0.20	0.14	0.15	2.28	0.19
		Mn	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00
No.2 弁天の森	林内雨	Ca	1.26	0.78	0.56	0.94	1.99	2.42	1.18	0.76	1.90	1.38	0.77	1.38	15.30	1.28
		Mg	0.34	0.27	0.19	0.29	1.18	1.26	0.46	0.33	0.76	0.46	0.22	0.51	6.26	0.52
		K	3.46	0.05	0.23	0.00	1.02	0.86	0.97	0.72	0.97	0.75	0.63	1.39	11.04	0.92
		Na	1.13	0.36	0.30	0.54	5.46	4.33	0.50	1.05	3.17	1.24	0.55	1.36	19.97	1.66
		Fe	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.12	0.00	0.01	0.05	0.05	0.00	0.00	0.28	0.02
		Mn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00
	樹幹流	Ca	2.38	3.14	3.36	3.63	2.62	5.26	3.31	1.88	7.57	8.73	4.96	6.17	52.99	4.42
		Mg	0.49	1.05	1.15	1.34	0.81	2.18	1.07	0.55	3.81	4.19	1.95	2.92	21.49	1.79
		K	0.98	0.96	0.83	1.65	1.07	1.35	1.08	0.69	2.87	3.06	1.75	2.60	18.87	1.57
		Na	2.21	1.43	1.26	1.58	5.03	6.64	3.82	2.12	6.83	5.48	3.07	4.04	43.49	3.62
		Fe	0.03	0.13	0.20	0.13	0.20	0.19	0.05	0.04	0.20	0.15	0.10	0.18	1.60	0.13
		Mn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00

付表４－２

雨水のイオン成分濃度（平成２年度）

単位：ppm

	雨水の種類	成分	1990.4	1990.5	1990.6	1990.7	1990.8	1990.9	1990.10	1990.11	1990.12	1991.1	1991.2	1991.3	計	平均
No.3 21世紀の森	林外雨	Ca	0.03	0.14	0.71	0.64	3.98	5.20	0.88	0.63	1.06	1.78	0.72	0.24	15.99	1.33
		Mg	0.00	0.00	0.00	0.02	0.12	0.23	0.00	0.00	0.02	0.07	0.01	0.00	0.45	0.04
		K	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.63	0.00	0.03	0.00	0.09	0.00	0.00	0.75	0.06
		Na	0.11	0.08	0.03	0.22	1.04	1.10	0.00	0.24	0.99	0.68	0.26	0.35	5.08	0.42
		Fe	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.02	0.04	0.06	0.00	0.00	0.14	0.01
		Mn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	林内雨	Ca	0.30	0.25	0.00	0.50	1.39	0.29	0.56	0.54	1.69	1.29	0.66	0.45	7.91	0.66
		Mg	0.06	0.09	0.00	0.17	0.86	0.14	0.12	0.15	0.65	0.42	0.17	0.16	2.97	0.25
		K	0.54	0.05	0.00	0.47	1.16	0.11	0.88	0.76	1.53	0.99	0.75	1.05	8.27	0.69
		Na	0.26	0.28	0.07	0.27	3.67	0.55	0.28	0.62	2.71	1.90	0.54	0.48	11.61	0.97
		Fe	0.00	0.00	0.07	0.00	0.08	0.02	0.00	0.02	0.05	0.05	0.00	0.00	0.29	0.02
		Mn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	樹幹流	Ca	1.98	1.69	3.85	2.61	0.00	2.20	2.72	3.49	9.57	11.23	6.07	2.73	48.14	4.01
		Mg	0.91	0.98	2.23	1.61	0.00	1.22	1.42	2.15	6.18	8.58	3.91	1.69	30.88	2.57
		K	3.76	3.12	4.86	4.48	0.25	5.17	4.27	3.15	6.48	7.75	4.24	3.15	50.67	4.22
		Na	2.87	2.99	4.30	2.61	0.25	2.30	4.19	3.23	6.04	7.47	4.09	2.56	42.90	3.57
		Fe	0.21	0.36	0.60	0.53	0.00	0.18	0.16	0.15	0.37	0.41	0.19	0.10	3.25	0.27
		Mn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
No.4 大雄山	林外雨	Ca	0.00	0.00	0.00	0.00	3.37	0.30	0.04	0.05	0.24	0.16	0.01	0.15	4.31	0.36
		Mg	0.00	0.00	0.00	0.00	0.85	0.12	0.00	0.00	0.02	0.02	0.01	0.03	1.03	0.09
		K	0.00	0.00	0.00	0.00	2.38	0.12	0.00	0.00	0.00	0.07	0.34	0.43	3.33	0.28
		Na	0.14	0.02	0.05	0.23	3.14	0.55	0.04	0.17	0.95	0.23	0.07	0.28	5.84	0.49
		Fe	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.02	0.03	0.04	0.00	0.00	0.12	0.01
		Mn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	林内雨	Ca	0.29	0.33	0.00	1.00	1.23	1.00	0.78	0.68	1.63	1.24	0.46	0.61	9.24	0.77
		Mg	0.00	0.08	0.01	0.25	0.96	0.60	0.19	0.28	0.63	0.39	0.13	0.21	3.71	0.31
		K	0.18	0.06	0.10	0.49	2.52	0.64	0.82	0.70	1.26	1.44	0.43	0.90	9.54	0.79
		Na	0.23	0.07	0.06	0.37	3.55	2.28	0.18	0.53	2.20	0.95	0.31	0.41	11.14	0.93
		Fe	0.00	0.00	0.00	0.00	0.06	0.05	0.00	0.02	0.05	0.06	0.00	0.00	0.24	0.02
		Mn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	樹幹流	Ca	0.47	0.24	0.00	0.75	2.92	0.27	0.65	0.64	2.76	1.87	1.16	0.69	12.41	1.03
		Mg	0.07	0.12	0.08	0.45	1.76	0.16	0.20	0.23	1.75	1.20	0.69	0.37	7.08	0.59
		K	0.56	0.14	0.18	0.77	2.66	0.29	0.50	0.79	3.65	2.86	1.90	1.69	15.98	1.33
		Na	0.83	0.58	0.51	0.62	6.78	1.13	1.34	0.68	2.40	1.68	0.76	0.82	18.12	1.51
		Fe	0.04	0.06	0.08	0.19	0.44	0.05	0.06	0.02	0.10	0.04	0.00	0.00	1.08	0.09
		Mn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00

神林試研報 19(1992)23-42

神奈川県大山のモミ林枯損経緯とその周辺地域の年輪幅の変化

鈴木　清

Fluctuation of Momi (*Abies firma*) dead standing trees and change of annual ring width at Mt. Ohyama and the around areas in Kanagawa Pref.

Kiyoshi SUZUKI

要　旨

神奈川県大山のモミ林枯損木の発生経過を1954年から1985年まで30年間に5年毎に撮影された6回の空中写真で調査した。その結果、モミの新しい枯損は1954年の時点で1ha当り5.2本であったものが、1964年には新しい枯損木が1954年の約3倍に急増し、1980年頃まで枯損木の発生が多くみられた。また、モミ及びスギの年輪幅の経年変化は、大山および周辺地域ともに1960年頃から1970年頃にかけて減少したが、その後1980年頃にかけて回復増加の傾向がみられた。モミの枯損が多く発生した時期と年輪幅の減少した時期は、ほぼ同じであった。この年輪幅の変化と気温、降水量の月別経年変化にはかなり相関がみられ、年輪変動の多くは気象要因によって説明されることがわかった。しかし、1960年以後の気象要素に対する年輪指数の偏差が多くなる傾向のものがあり、このことについては気象以外の要因が関与している可能性が考えられた。この要因として、1960年代から1970年代にかけて、主として京浜臨海工業地帯から高濃度で発生していた大気汚染物質、特に硫黄酸化物が考えられたが、断定することは出来なかった。

I　はじめに

神奈川県大山の標高700 m付近で酸性度の強い霧が測定されていることから、その地域のモミ林の枯損が酸性雨による被害ではないかと懸念されている。もし、モミの枯損が酸性雨によるのであるならば、酸性雨が発生するようになった時期と枯損発生の時期には関係があるはずである。そこで、神奈川県がこれまでに撮影してきた最も古い1954年から最近の1985年まで6回分の空中写真を用いて、約30年間のモミの枯損経緯を調査した。また、モミ枯れが発生するような酸性雨などの外的要因があった場合、現在枯損を免れて生育しているモミの年輪幅の変化等にも、なんらかの影響があると考え枯損経過と年輪幅の関係についても検討を試みた。

なお、年輪資料の採取にあたっては、一部、山根正伸、横内広宣研究員の協力を得た。また、年輪資料の表面加工については、池上栄治技能員の協力を得た。ここに記して謝意を表する。

本論文の一部は1990年の42回日本林学会関東支部大会、および1991年の43回同大会で発表した。

Ⅱ　大山のモミ林の概要

1　大山のモミ林の植生

大山のモミ林は、神奈川県の丹沢山塊東端の孤立峰である大山(1251.7 m)の南東斜面、およそ標高400 m～1000 mの範囲に存在し、その生育区域面積は約100haである。杉本[14]の調査では上層木の樹高は16 m～26 m、胸高直径は50 cm～90 cmであるが、樹高38 m、胸高直径185 cmの大木も存在している。上層木のモミの樹齢は、成長錐で得た年輪試料の半径成長曲線から逆算して200年から250年前後と推定され、かなり高齢の域にある。このモミ林には標高約700 m以下で常緑広葉樹のアラカシ、ウラジロガシ、アカガシが混じり、標高700 m以上の高所ではツガや落葉広葉樹のブナが混生している。モミ林の下層植生としては、アオキ、シキミ、アセビ、スズダケ等が存在する。また、モミ林には天然生のスギが混在しており、植栽されたスギ林も一部にみられる。

大山のモミの稚樹は、表土の少ない岩石地のようなところに多くみられ、浜名ら[5]は大山のモミの天然更新状況について調べ、上木が倒れてギャップが出来たところに稚樹の発生が多いことを報告している。これらの稚樹は、日照不足の林内では、成長がかなり抑制されている。また、林内に生息する野生鹿による若木の樹皮の摂食被害が目だっているが、1991年4月の時点では大径木にまで被害は及んでいない。

2　大山モミ林の枯損衰退の状況

1990年現在のモミ林の状況は写真1に示すように、枯死したモミはすでに枝が失われて柱状になったものが大半を占め、枯れ枝の残っている新しい枯損木は非常に少ない。

写真1　大山モミ林の外観（1990．11）

枯死後かなりの年月が経過しているため枯損木に小枝、大枝がほとんど見られない

写真2　札掛のモミ林の外観（1990．11）
枯損はあまり目立たない

1989年の杉本[14]の調査では、モミの枯損木が目だつ標高約700 m以上の中央から東側尾根寄りの区域で、調査木343本のモミのうち衰退度小37%、中30.9%、枯死寸前の衰退度大は32.1%で、健全なモミは少ない。モミの生育域に混生しているスギは、葉量も多く、葉色も正常で衰退している兆候はみられない。大山の裏側に位置する清川村札掛には考証林として保存されている写真2のようなまとまったモミ林があるが、ここでは大山のモミ林ほどの枯損木はみられない。

なお、モミ枯れは大山以外では、丹沢山地の丹沢山、檜洞丸、大室山、蛭釣山を結ぶ稜線から南側の標高約600 m以上の標高の高い地域で発生しており、標高約900 m以上では、枯損木がモミからウラジロモミ、ハリモミに移っている。

1) モミの枯損形態

大山でみられるモミの枯損の形態は次のように区分出来る。

(1) 慢性衰弱的枯損

写真3に示すように、枝葉が樹幹の上部から部分的に長年月をかけて枯れていき、最後に全体が枯損するものである。これらには、枝に瘤が発生しているものや、樹幹の先端が折損しているもの、幹の内部が腐朽しているものなどが多い。以下これを「慢性枯損木」と呼ぶ。

(2) 急性の枯損

写真4に示すように、樹形も正常で枝葉が多くありながら、単木的に突然枯死するものである。5月頃には緑の葉であったものが11月下旬には既に枝が透けて見えるようになるのが観察された。これらの急性枯損木のなかには根元の周囲に、落下した針葉が異常に多いものがある。また、写真5のようにモミに着生しているツタ類まで枯れているものがあった。

モミの急性枯損木の年輪の変化を図1に示す。この年輪幅は、枯死5年前から急激に減少しており、

樹勢の低下あるいは枯死に至るなんらかの原因が数年前に発生していたことを示している。

写真3　慢性衰弱木の樹形

小枝の着生が少なく、長い年月をかけて衰弱枯死する

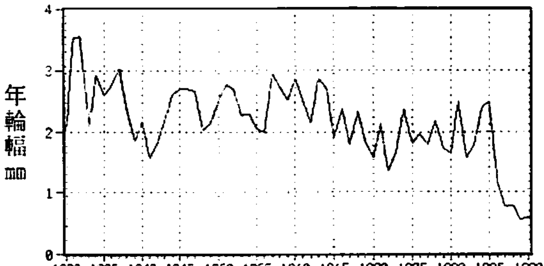


図1　急性モミ枯れの年輪変化

札掛考証林（1990．12）

枯死5年前から急に年輪幅が減少している

写真4　急性枯死木の樹形（大山）

小枝の着生が多いまま急に枯れる

写真5　急性枯損木に巻きついたツタ（矢印）も同時に枯れている（札掛考証林）

2) モミの樹勢

一般に、樹勢の評価は外観的な枯れ枝の発生状況、正常な樹形に対する枝葉の着生割合、葉色、枝の伸長量、着葉の葉齢等によって行われており、モミの場合にもこのような評価基準が当てはまる。このうち樹勢衰退の初期兆候としてとらえやすいのは、葉色、葉齢および枝の伸長量である。大山のモミでは部分的にみられる衰弱した枝で2,3年の葉齢までしかないものもあるが、健全なモミの下枝では6,7年までの葉齢が数えられる。また、モミの枝は先端部に1年毎に側枝が発生し、1年毎の枝の伸び量を比較するのはスギやヒノキに比べて容易である。しかし、この枝の伸長量に最近の5～6年間では顕著な変化は見られなかった。

一方、これらの総合したものは年輪幅の変化にもあらわれる。

図2に現在の着葉量の多い個体と、着葉量の少ない個体の年輪幅の経年変化を示す。着葉量の少ない個体は、1960年頃から樹勢が低下して現在までその状態が継続していることを示している。また、調査時点で着葉量が多い個体でも、1960年から1970年頃にかけて樹勢の減退期があったことがうかがわれる。このように年輪幅の変化からは、樹勢の長期間の経過を知る手がかりを得ることが出来る。

図2　モミの着葉の多少と年輪幅の変化
着葉量の少ない個体は年輪幅もせまい

3　大山の大気及び土壌の酸性度

三村ら[13]の1978年の調査によると、大山の降水の組成は平地との差がなく、霧水中には高濃度の NO_3^-、NH_4^+、Cl^-などが含まれていることが明らかになった。井川ら[6]も1988年から2ヶ年間、同じ場所で酸性霧の調査を行い、霧のpHが2.61～7.00、平均3.96の酸性度の強い霧が発生していることを報告している。また、神奈川県環境部が1990年に行った調査では、雨水のpHは4.1前後で低地の平塚と山地の大山、札掛で差はなく、窒素酸化物、二酸化硫黄濃度は山麓より低く、オキシダント濃度は低地より高い値であった。このように、大山のような山地でも高い酸性降下物がもたらされていることが明らかになっている。しかし、上記のような酸性度の強い降下物がありながら、杉本[14]はモミ林の表層土壌のpHは5.77～5.92の範囲にあり、普通の褐色森林土と比較して特に酸性化が進行していないことを報告している。

Ⅲ　空中写真からみた大山のモミ林の枯損経過

1　調査方法

1) 供試した空中写真

供試した空中写真は1954年、1964年、1969年、1974年、1980年、1985年の30年間に約5年毎に撮影された6回分である。空中写真は立体視できるように、原版の3倍ないし4倍(約5千分の1の縮尺)に引き伸ばした。

2) 調査範囲

図3に調査の位置を示す。撮影時期の一番古い1954年の写真上に、モミが生育している範囲で5㎝方形の基準区画を設け、以後の写真もこれに合わせ区画を設定した。1区画の面積は4ha前後であるが、各区画の面積はオルソ図をもとに補正した。

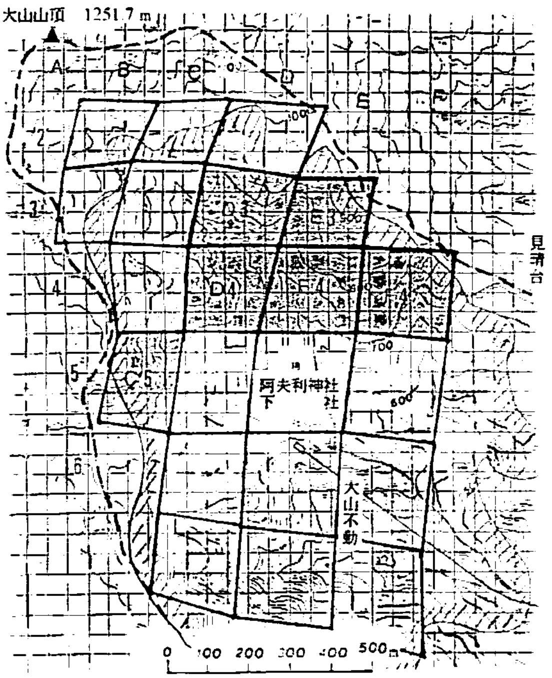


図3 空中写真によるモミ枯損経過調査の位置

斜線の区画は追跡調査の区

3) 枯損樹形区分

最初に反射式実体鏡で多くのモミを個体毎に見ながら樹形判定基準を作成した。樹形判定基準を図4に示す。樹冠が黒く生存が明らかなものは「生存木」とした。小枝が多く着生して樹冠が整っており白く反射しているものを「急性枯損木」、樹冠量が減少しており部分的に小枝が白く反射しているものを「慢性枯損木」とし、これを合わせて「新しい枯損木」とした。枯死して太枝だけが残っているもの、幹だけのもの、幹折れしているもの、根株だけのものを合わせて「古い枯損木」とした。

4) 枯損木の測定

上記の区画をもとに、一番古い1954年の写真でモミ枯れが多い標高700 m以上の範囲の12区画について樹形区分別本数比率を調べ、以後の写真ではモミの比較的多い6区画(図3)を選び「古い枯損木」と「新しい枯損木」の枯損木本数だけ数えた。なお、枯損木のうち幹だけのものと、根株状のものは樹種の特定はできないが、モミ以外ではツガおよびマツが多少含まれる可能性がある。

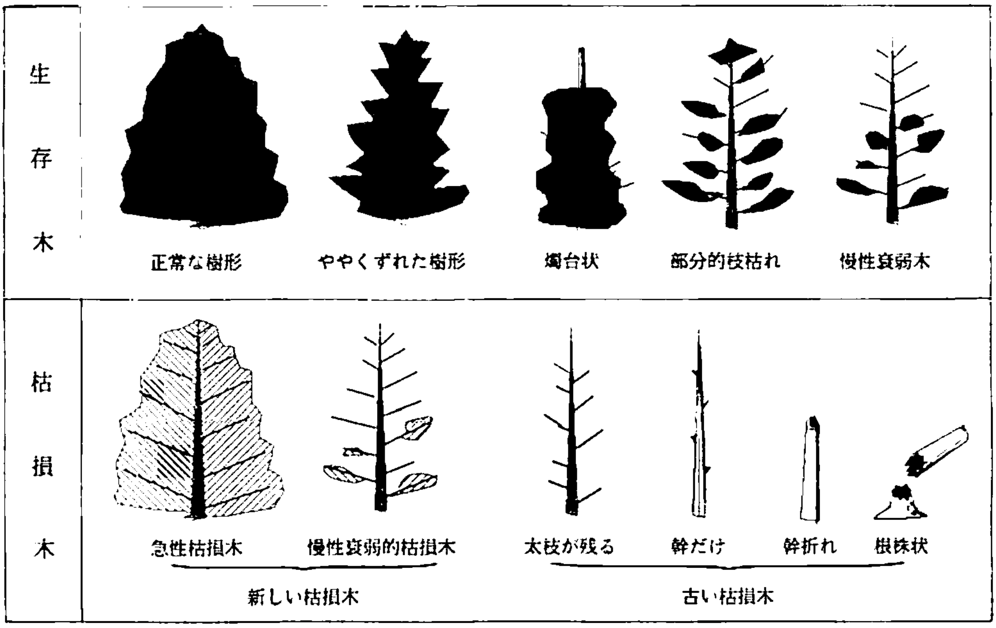


図4 空中写真にみられるモミ枯損衰退樹形

2　調査結果

1) 空中写真による初期の枯損形態

図5に1954年撮影の空中写真によるモミ樹形本数比率を示す。枯損木は「新しい枯損木」6.2%、「古い枯損木」30.8%、計37%であった。生存木は、健全なもの49.2%、先端損傷13.8%、計63%であった。この時点の古い枯損木には枝が失われて、枯死後少なくとも10年以上経過したと考えられるものが多く、高齢に達したモミ林の自然的な枯損と推測された。

1954年の時点で枯損木の平均値より多い区は、図3のA2,B2,F3,F4,D4,C5の区であり、枯損木はモミ生育域の辺縁部、即ち東側と西側の尾根寄りに多く見られた。

2) モミの枯損経過

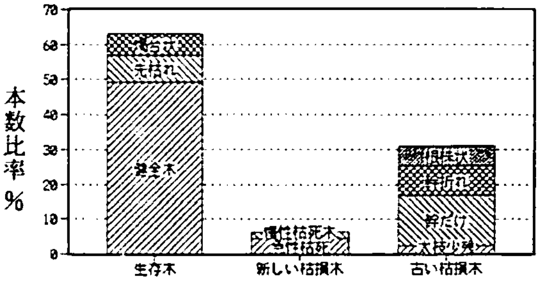
図6に代表6区画の1954年から1985年までの「古い枯損木」及び「新しい枯損木」の出現経過を示す。「新しい枯損木」は1964年に1954年の3倍近くに急増し、特にD3,D4の区で急性枯損木が多くみられた。新旧合わせた枯損木が最も多く数えられたのは1969年で、以後徐々に減少し、1985年には最多時期の38%にまで減少した。これは、新しい枯損木の発生が減少したことと、古い枯損木が次第に倒伏し周囲の生存木の樹冠に隠れ、見えにくくなったためである。

「新しい枯損木」の減少の理由としては、枯損のなんらかの原因が緩和されたこと、多くの枯損木の発生により上層にあるモミの絶対数が減少したこと、各種環境圧に対する抵抗力の少ない個体から優先的に枯死し、比較的抵抗力のある個体が残っていることなどがあげられる。

なお、各年次の「新しい枯損木」には枯れ枝の着生が長く、何割かは前回の写真で数えたものを次回の写真で重複して数えている可能性がある。したがって、各年次の写真で数えられた「新しい枯損木」の合計数は、1954年以降に発生した実枯損数より過大になっている。

3　空中写真によるモミ枯れ調査のまとめ

撮影時期のもっとも古い1954年の空中写真でも37%の枯損木が見られたが、樹形区分から見ると枯死して10年以上経過したと思われるものがほとんどであった。枯損木のうち「新しい枯損木」は6.2%で、これは高齢に達しているモミ林の自然的な枯損と考えられる。しかし、1964年以後に急増した枯損木については、自然的なもの以外になんらかの枯損原因が加わったものと考えられる。



樹形区分

図5　1954年の空中写真によるモミ樹形比率

調査区　A2、B2、C2、D2、B3、C3、D3、E3、F3、D4、F4、C5の平均

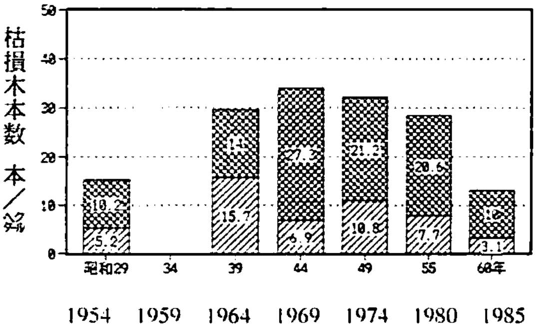


図6　大山のモミ枯損経過

▨ 新しい枯損木　▩ 古い枯損木

なお、1971年頃神奈川県南足柄市大雄山社寺林のモミがハラアカマイマイ (*Lymantria fumida*) の異常発生により急激に枯損しており (写真6)、大山の場合にも1974年の空中写真に多くみられる「急性枯損木」には、このような虫害、あるいは病害の影響も考えられる。

Ⅳ 年輪による成長変動、衰退経過の解析

年輪幅の経年変化の情報は、気象、自然災害、汚染環境などの長期の変化の記録計として評価されている。もし、モミ枯れに環境的な要因が加わっていたならば、枯損を免れたモミの年輪のなかになんらかの生育の変化が記録されていると考えられる。

1 調査方法

1) 供試材料

供試樹種は、モミ及び比較樹種としてこれまでにいくつかの年輪幅の調査事例があるスギをを用いた。

2) 年輪試料採取地

図7に試料採取地を、表1に採取試料の基礎資料を示す。

3) 年輪試料の採取方法

供試材料は樹齢60年生以上の年輪とし、胸高位置 (地上1.2 m) あるいは根株から、円板または成長錐で採取した。また、1調査木について2方向以上から試料を採取した。成長錐による年輪試料採取にあたっては、出来るだけ幹に凹凸の少ない場所を選んだ。

写真6 大雄山のモミ急性枯死 (ハラアカマイマイの被害) (1971. 4)
樹冠が白くなっているのが枯死木 (矢印)、小枝が多くついたまま急激に枯死した

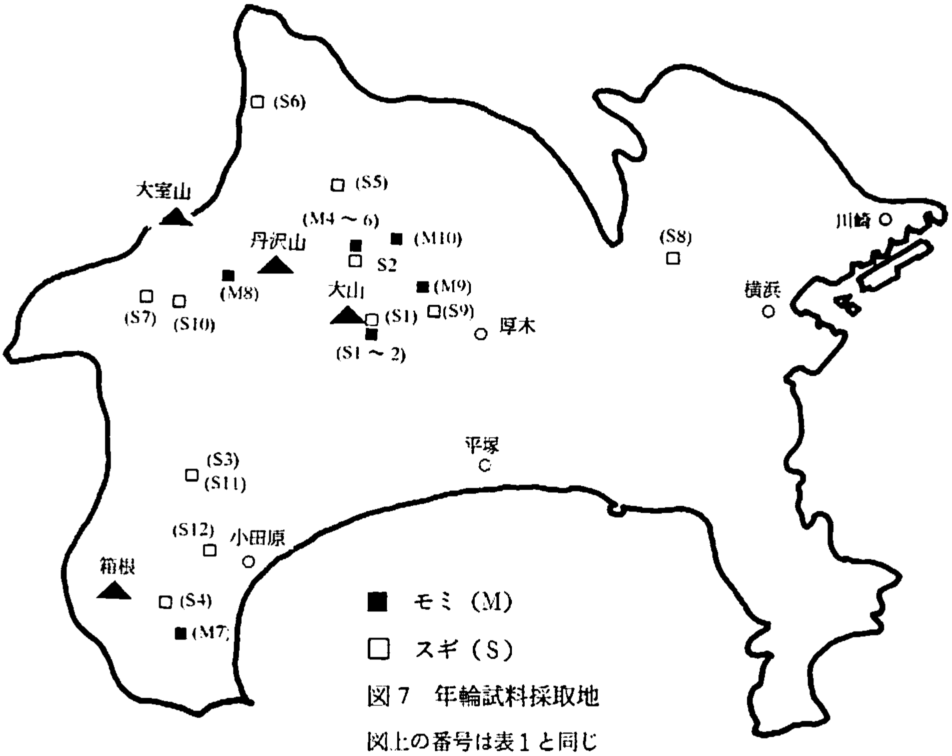


図7　年輪試料採取地

図上の番号は表1と同じ

4) 試料の測定法

年輪試料の表面を平滑にした後、万能投影機によって年輪を拡大投写し、リニアスケールで100分の1㎜の精度で計測した。

5) 年輪幅の標準化

測定した各年輪幅は各個体毎に平均し、1地域2本以上の試料がある場合、地域ごとの平均値を求めた。さらに、各調査地間の比較を行うにあたり、個体差及び樹齢の影響を少なくする目的で、最近60年間の年輪幅の経年変化に指数曲線式をあてはめ、実際の年輪幅との比を求めて年輪幅の標準化[2),3)]を行った。

指数曲線式　$y_t=ae^{-bt}$

y_t は t 年の期待値

e は自然対数の底

標準化(指数化)式　$I_t=w_t/y_t$

I_t は t 年の年輪指数

w_t は t 年の年輪幅実測値

また、それぞれの長期的変動を比較する際、1年毎の変化では見にくいため、5年毎に移動平均し年変化を滑らかにした。

図8に標準化の例を示す。

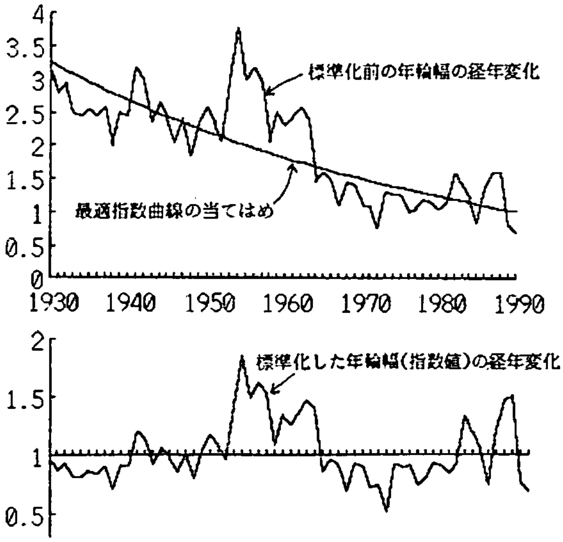


図8　年輪変動の標準化の例

表1 年輪の調査位置と調査木の概要

調査地 No.	名称	標高 (m)	地形	樹齢 (推定)	胸高直径 (cm)	年輪資料 採取方法	調査木 本数	生立形態	樹勢
(モ ミ)									
(伊勢原市大山)									
M1	大山A (東尾根)	850	南斜面上部	250	90	成長錐	5	天然林	やや不良
M2	大山B (雷山)	560	西斜面中部	250	90	〃	5	〃	良
M3	大山C (不動寺)	450	東斜面上部	200	80	〃	3	〃	やや不良
(清川村札掛)									
M4	札掛A (考証林)	480	南西斜面中部	250	127	成長錐	5	天然林	やや不良
M5	札掛B (考証林)	550	北傾尾根	200	94	〃	5	〃	やや良
M6	札掛C (考証林)	500	北斜面	150	50	〃	3	〃	良
(その他)									
M7	箱根 (ターンパイク沿い)	900	北西斜面	95	53	円盤	10	天然林	やや良
M8	西丹沢 (山北町)	1,400	南斜面上部	75	70	成長錐	4	〃	やや不良
M9	厚木 (厚木市七沢)	150	北斜面上部	100	110	円盤	1	2次林	やや良
M10	清川 (清川村法論堂)	250	尾根	90	77	〃	1	〃	良
(ス ギ)									
(高齢天然・社寺林)									
S1	大山A (伊勢原市)	850	南斜面上部	250	90	成長錐	5	天然林	やや不良
S2	札掛 (清川村)	450	北傾尾根	200	95	〃	1	〃	良
S3	大雄19 (南足柄市)	200	南斜面	350	100	円盤(伐採)	2	〃	やや不良
S4	畑宿 (箱根町)	400	斜面下部	200	100	成長錐	2	〃	やや良
S5	鳥屋 (津久井町)	300	〃	300	100	〃 (伐採)	2	社寺林	不明
S6	名倉 (藤野町)	250	〃	330	115	〃	2	〃	不良
S7	箒スギ (山北町)	500	〃	1,000	353	〃	1	天然記念物	やや不良
(壮齢人工林)									
S8	横浜 (横浜市下川井)	30	緩斜丘稜	55	25	成長錐	2	人工林	やや不良
S9	七沢 (厚木市)	150	丘稜北面	80	30	〃	6	〃	やや良
S10	大正 (山北町西丹沢)	600	南緩斜面	75	44	〃	8	〃	良
S11	大雄1 (南足柄市)	250	東緩斜面	115	50	〃 (伐採)	6	〃	良
S12	久野 (小田原市)	300	東斜面	75	40	円盤(伐採)	2	〃	良

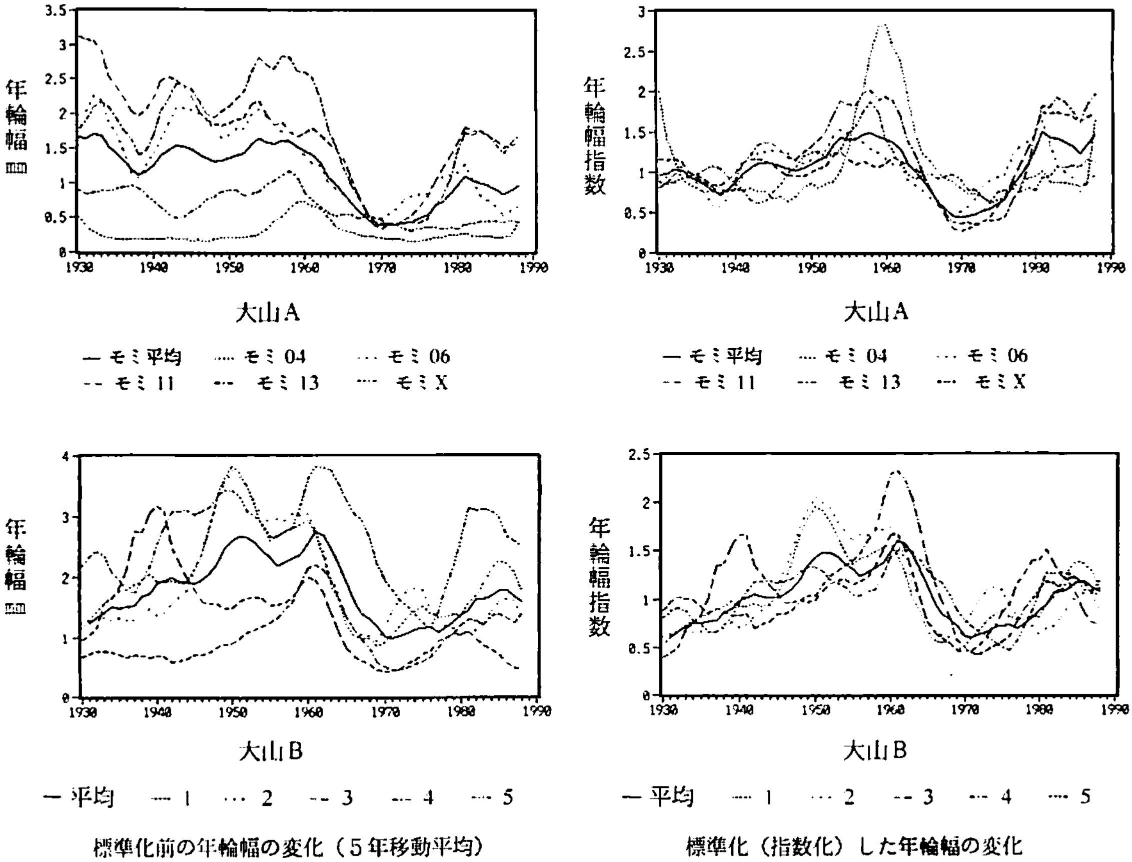
注. 樹勢順位 1) 良 2) やや良 3) やや不良 4) 不良

2　調査結果

1) 年輪幅変動の傾向

図9に大山のモミの標準化前と標準化後の年輪変動を示す。標準化前は年輪幅の広狭に個体差があり一様ではないが、標準化後は樹齢や立地条件によるばらつきが補正され、年輪変動はより集束したパターンを示すようになる。

図10に大山、札掛およびその他の地域のモミの標準化した年輪変動を示す。いずれも1960年頃から1970年にかけて大きく減少し、1970年頃から1980年にかけて回復する傾向を示す年輪変動がみられる。変動の度合は大山ではA地区が最も大きい。このA地区は古い枯損木がB.C地区より多く、生育本数密度もB.C地区に比較して少ない。最近の年輪変動を大山と札掛で比べると、大山は1980年以後の減少の度合が札掛に比べて少ないことが指摘できる。むしろ、大山では大山Aのように上向きになるものもあるのに対して、札掛ではいずれも最近急激に下降している。また、大山、札掛以外の4地域でも1970年前後の落込みは同様に起こっている。ただし、この4地域の1980年付近の年輪指数は、落ち込む前の1960年付近の値より大きくなっている。



標準化前の年輪幅の変化（5年移動平均）　　標準化（指数化）した年輪幅の変化

図9　標準化前と標準化後の年輪変動

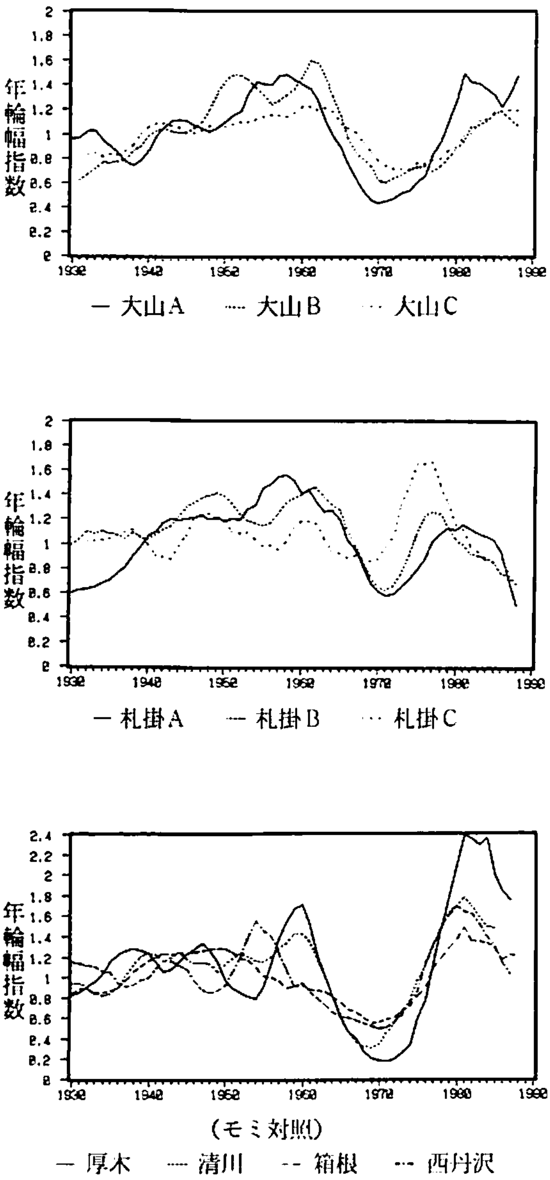


図10　標準化したモミの年輪幅変動

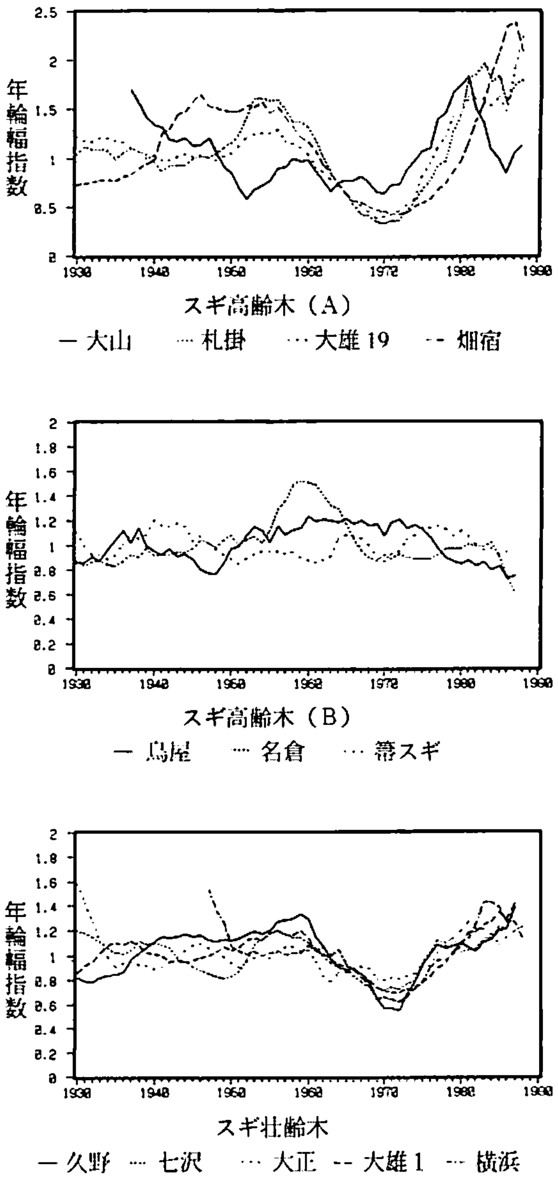


図11　標準化したスギの年輪幅変動

図11に標準化したスギの年輪変動を示す。

高齢木(A)では、大山のスギで1960年から1970年にかけての年輪幅の減少は少ないが、札掛、大雄19、畑宿の3地域ではモミと同様な変動パターンを示している。1970年前後の年輪幅の減少が少ないのは、高齢木の箒スギ、鳥屋、名倉であり、壮齢人工林では大正があげられる。

このような1970年付近に年輪幅が減少するスギの年輪変動パターンは、神奈川県内では箱根杉並木[15]や低地のスギ[16]でもすでに確認されており、亀岡ら[11]の関東平野の調査とも類似しておりかなり広域的な現象といえる。

2) 年輪変動と気象要因の関係

年輪幅の変動に影響を及ぼす気象要因としては降水量、気温（最高、最低、平均）、日照時間などがあるが、ここでは月平均気温及び月降水量との関係について検討した。横浜地方気象台の1930年から1990年まで60年間の気象資料を用い、月毎の経年変動を年輪と同様に標準化し、各月の気象指数と年輪指数との経年的な相関を求めた。

図12に各月の気温指数と各年輪指数の相関係数の変化を示す。

大山、札掛のモミでは共通した高い相関はみられないが、概ね4月、5月、9月、10月は正の関係がみられる。その他の対照地域では5月、8月に負の相関、10月に正の相関が共通的に見られる。

スギ高齢木では5月、8月で比較的負の相関が高く、大山と箒スギで10月に正の相関が高い。スギの壮齢人工林では、5月と8月に高くはないが共通した負の相関がみられる。

図13に各月の降水指数と年輪指数の相関係数の変化を示す。モミでは、大山、札掛で2月は負の相関、5月は正の相関が共通している。札掛Cでは、11月に高い正の相関がみられる。対照としたモミでは3月、9月に正の相関が、1月、12月は負の相関がみられる。

スギでは3月、9月に正の相関が、1月は負の相関が比較的高い。

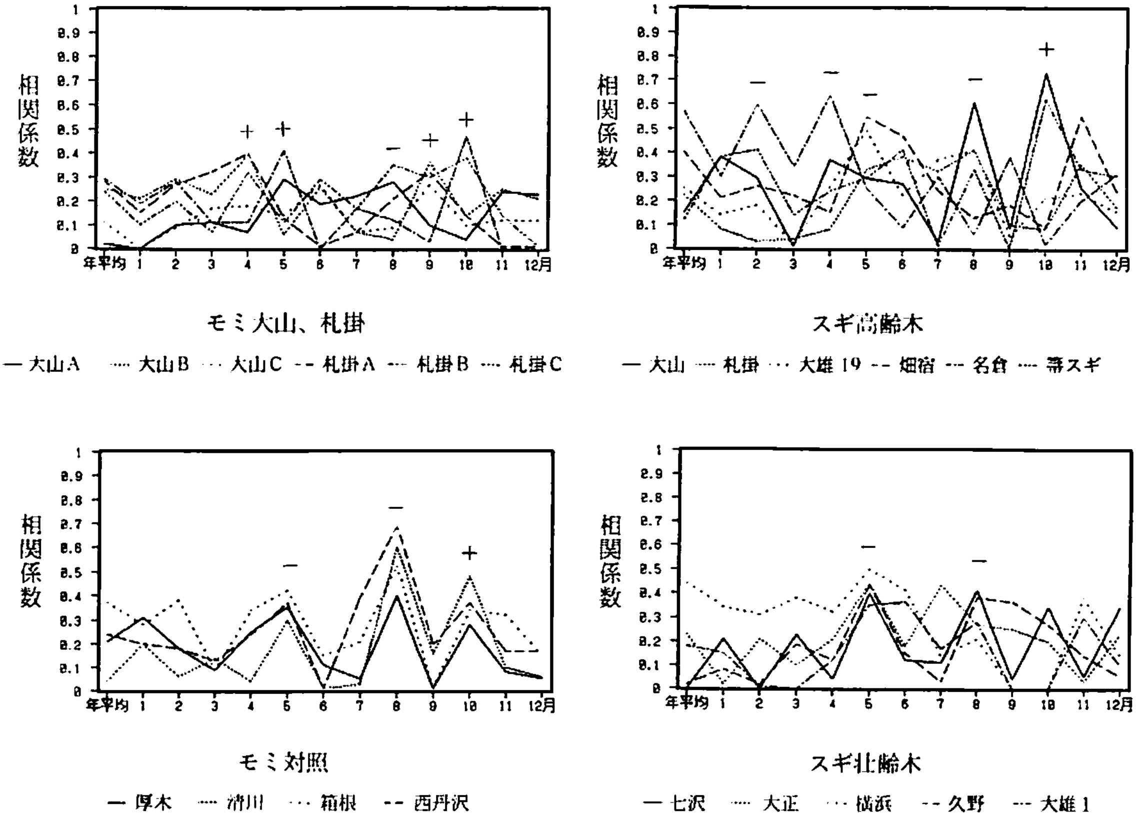
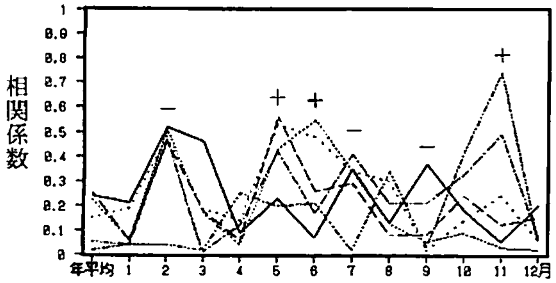


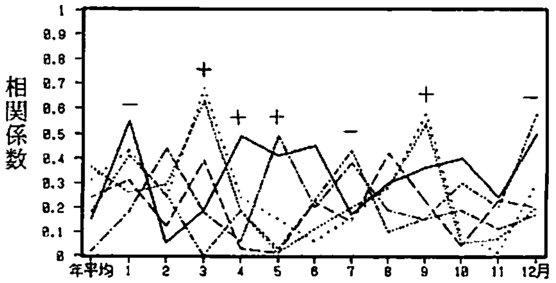
図12　月別気温指数と年輪幅指数の相関

注　図中の＋は正の相関、－は負の相関を意味する。



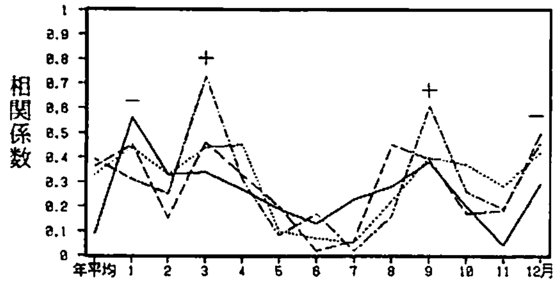
モミ大山、札掛

— 大山A　…… 大山B　‥‥ 大山C　-- 札掛A　--- 札掛B　---- 札掛C



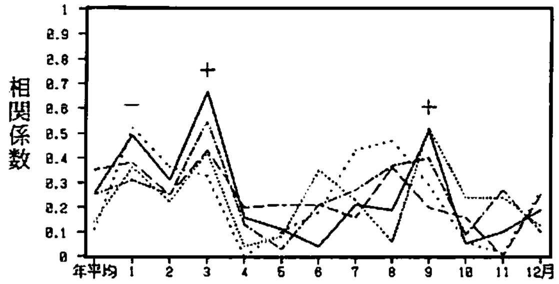
スギ高齢木

— 大山　…… 札掛　‥‥ 大雄19　-- 畑宿　--- 名倉　---- 箒スギ



モミ対照

— 厚木　…… 清川　-- 箱根　--- 西丹沢



スギ壮齢木

— 七沢　…… 大正　‥‥ 横浜　-- 久野　--- 大雄1

図13　月別降水量指数と年輪幅指数の相関

注　図中の＋は正の相関、－は負の相関を意味する。

3) 気象指数に対する年輪指数の変動

年輪指数と相関の高い月の気温または降水量に対して年輪指数が経年的にどの様に対応しているか、気象指数に対する年輪指数の偏差を求めてその経年変動をみた。なお、高温期(月)の気温指数は変動幅が小さく、年輪指数の変動幅に近づけるために変動幅を増幅し修正気温指数とした。修正気温指数は次式によった。

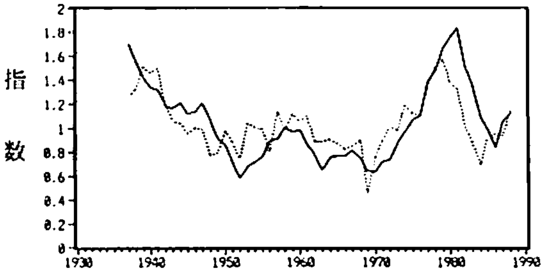
正の相関の場合、1+(Ay-1) × |k|

負の相関の場合、1+(1-Ay) × |k|

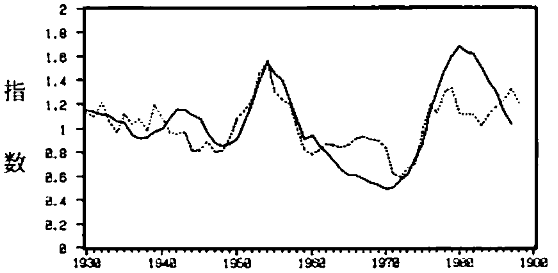
Ayは A月の気温変動の y年の指数値、k は回帰係数。

図14に相関の高い気象指数と年輪指数の変動パターンおよび気象指数に対する年輪指数の偏差の例を示す。

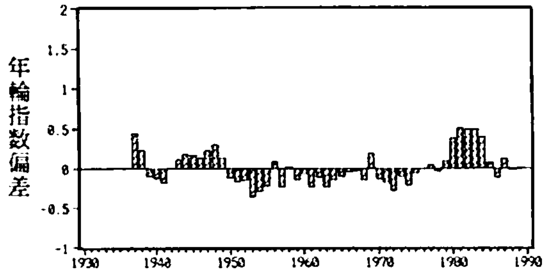
図15にモミの相関の高い気温または降水指数に対する年輪指数の偏差の経年変動を示す。1930年から1960年頃までの偏差に対して1960年以後の偏差が大きくなるのは、大山A、札掛B、厚木、清川、箱根、西丹沢である。札掛および西丹沢では、1980年後半にマイナスになっているが、それ以外では1980年代は気象指数に対してプラスの偏差を示している。厚木、清川のモミは1960年以後の変動は他に比べて大きい。



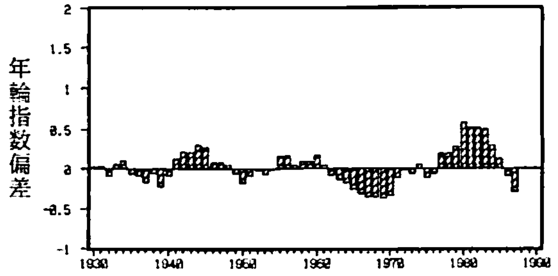
修正気温指数：1+(Ay-1) × 13.9
— 大山スギ　…… 気温指数
10月の修正気温指数と年輪指数の＝変動パターン



— 西丹沢モミ　…… 降水量指数
3月の降水指数と年輪指数の変動パターン



修正気温指数に対する年輪指数の偏差



降水指数に対する年輪指数の偏差

図 14　相関の高い気象要素と年輪変動のパターン（上 2 図）および
気象要素に対する年輪指数の偏差の例（下 2 図）

この両者は、大山の東山麓に位置した尾根部に単木的に生育していたもので都市にも近い立地環境にある。

図 16 に同じくスギの年輪指数偏差の経年変動を示す。高齢木では、降水量より気温との相関が高いが、1960 年以後の偏差は大きくなる傾向がみられる。人工壮齢林では降水量と相関が高く、偏差はきわめて小さいが、横浜と大雄 1 でやや 1960 年以後の変動が大きくなっている。札掛、大雄 19 および畑宿のような高齢木で、モミと同様に 1960 年以後の偏差が壮齢木より大きくなることについては、気象要因だけでは説明がつけにくい。

3　年輪変動のまとめ

モミの年輪幅は、大山を含めていずれの調査地でも大小の差はあるものの、1960 年から 1970 年にかけて減少し、1980 年にかけて増加する傾向がみられた。

この年輪幅の変動は気温及び降水量との関係が見られたが、1960 年以後の変動に対しては気象要素だけでは説明しきれないものがあった。

また、スギでも年輪幅の変動はほぼモミ同様であった。1960 年以後の壮齢木の変動は高齢木に比較して小さく、壮齢木の年変動はほぼ気象要因で説明される範囲にあると思われる。

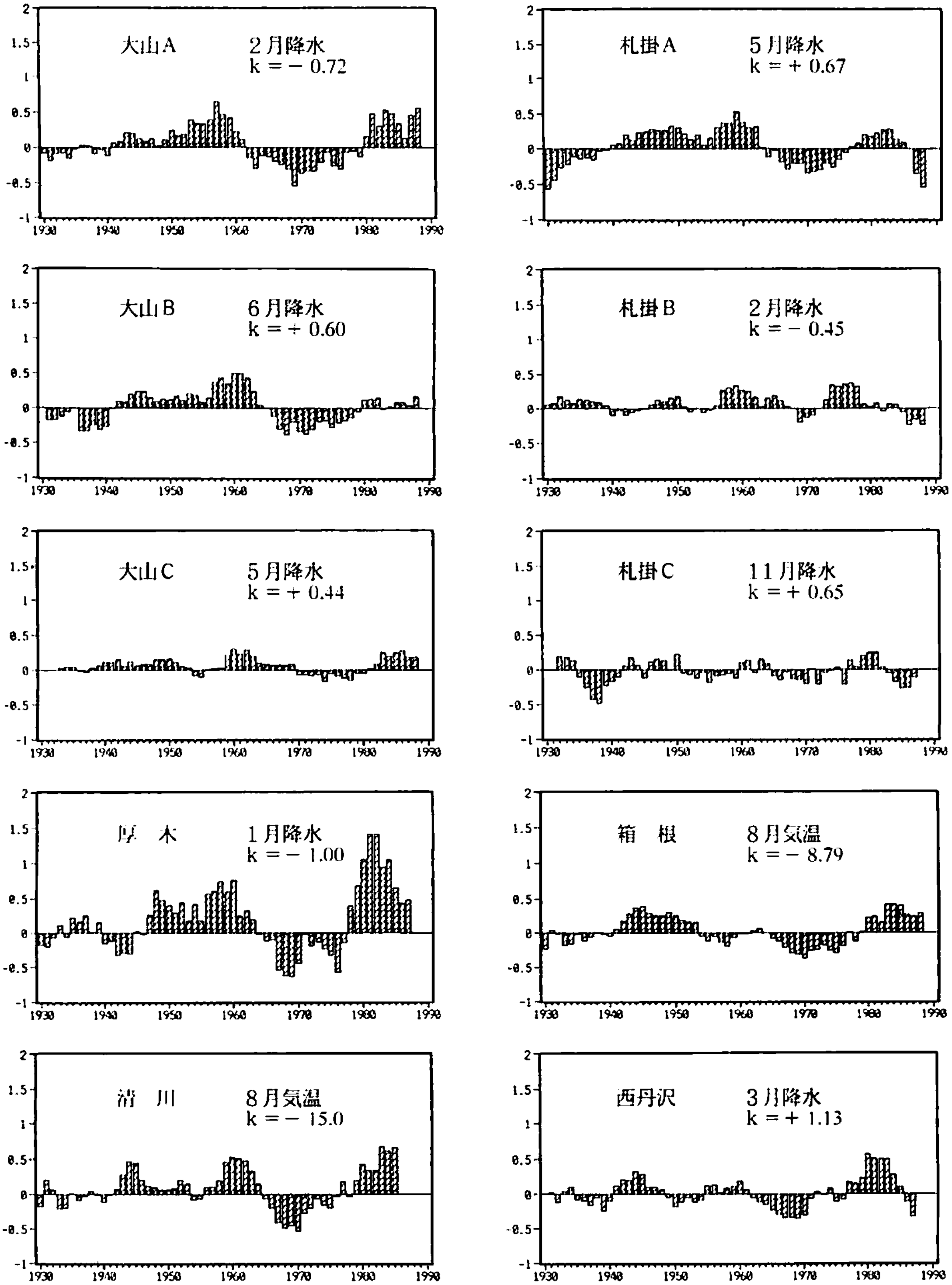


図15　相関の高い気象要素に対するモミの年輪指数偏差

上6図は大山、札掛、下4図はその他の対照モミ

kは回帰係数

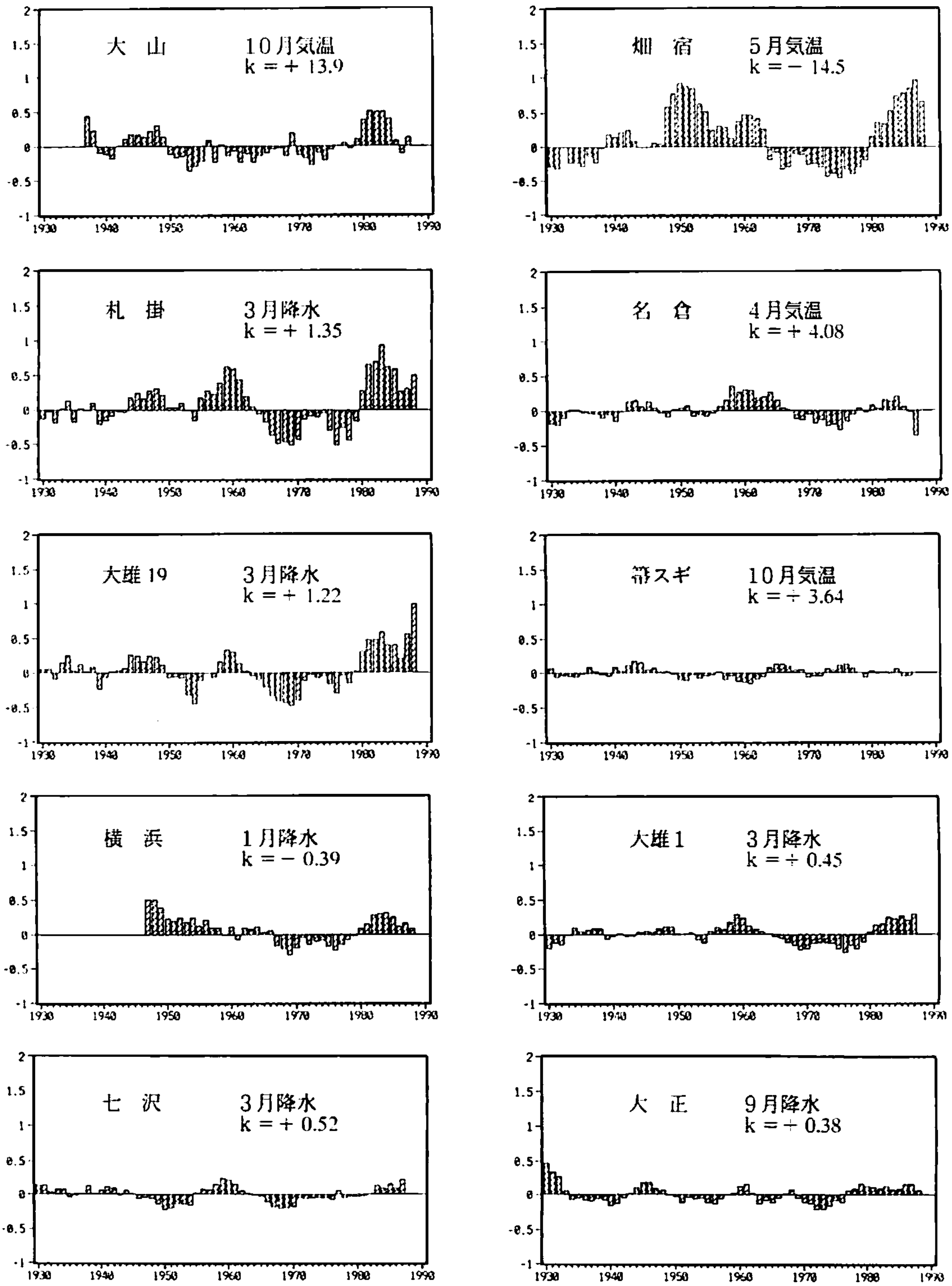


図 16　相関の高い気象要素に対するスギの年輪指数偏差

上6図は高齢木、下4図は壮齢木

kは回帰係数

V 考　察

大山のモミ林の枯損木は空中写真による追跡調査の結果、1964年には1954年の新しい枯損木の3倍に急増したことが明らかになった。この時期とモミ及びスギの年輪幅の減少の時期はほぼ一致しており、モミの枯損木の増加にはなんらかの樹勢低下をもたらす環境要因が関与していたと考えられる。森川[20]は、年間雨量は1950年代に比べ1960年以降は減少しておりこれは、スギの生育にとって少ない雨量で、降水量の減少による乾燥化が平地のスギの衰退と関係があるとしている。本調査でも、多くの年輪幅の変動はこの降水量の減少など気象要素との相関がみられたが、1960年以後の大きな年輪変動は気温および降水量の気象要因では説明がつかないものがあった。同様なことを、亀岡ら[11]は関東平野のスギの調査で指摘しており、その要因としてSO_2はじめとした大気汚染由来の酸性降下物など、大気2次汚染物質の影響が十分考えられるとしている。

大山の大気汚染の状況はII－4で述べたように降水及び霧水の酸性度は低地よりも強い値を示していることが明らかになっている。しかし、1970年以前の大山の大気環境については全く観測資料がないので、若干の推測を試みなければならない。

川崎、横浜などの臨海工業地帯では1960年代は高濃度の硫黄酸化物が排出されたが、1970年以降良質な燃料への切り替え、脱硫装置の設置などの結果、1980年代に入り大気中の濃度は0.01ppm前後まで低下した[9]。二酸化硫黄の排出量を神奈川県の川崎、横浜など主な地域の値でみると、1970年の27万1千t/年[8]から、1989年には1万1千t/年[9]と、約25分の1に減少している。このように、1960年代の硫黄酸化物の排出量は現在に比べて非常に多かったことは明らかである。

高濃度の二酸化硫黄が排出されていた年代は、発生源付近の樹木に多様な被害が発生し、1960年から1970年半ばにかけ、首都圏周辺のスギ枯れが多発した[7,17]。この地域に生育していたスギには、枯れないまでも枝葉の減少や生育の減退が認められ、当時の年輪幅の減少も認められている[16,18]。

年輪幅が減少から増加への傾向を示した1970年頃は、硫黄酸化物濃度が急激に低下を始めた時期にあたる。加藤ら[10]は、スギの標準化年輪指数の変動に対し、SO_2およびNO_2の年平均値が関与していることを指摘した。また、横堀[18]は、茨城県鹿島地区のアカマツで着葉量の変化が二酸化硫黄の経年変化と良く対応することと、着葉量が回復するにつれて年輪幅が広くなることを指摘している。

ところで、1960年代に高濃度で排出されていた京浜工業地帯からの大気汚染物質が汚染源から40km以上離れた大山に、どの程度の量をもたらしたのかは明らかでない。相原ら[1]のパイロットバルーンおよびヘリコプターによる大気汚染物質の移動追跡調査により、京浜工業地帯で発生した大気汚染物質は相模湾に移流した後、光化学的反応しながら相模湾海風により県西部地域から北部山岳地にまで送り込まれることが突き止められている。また、大気汚染物質が遠距離に輸送されることは栗田ら[12]の報告にもある。このような大気の流れを考慮すると、1960年代の高濃度の大気汚染物質の一部は大山にも移送されていた可能性が大きいと思われる。

この可能性を前提にすると、1960年以後の年輪幅の変動はある程度説明がつけられる。すなわち、二酸化硫黄由来の高濃度の大気汚染物質がもたらされていた時期と年輪幅の低下の時期には関連が大きいためである。

しかし、大山のモミ枯れと大気汚染の関係でや

や矛盾が感じられることは、1970年代に低地ではスギの枯損衰退が起こっていたのに対し、大山ではモミだけが枯損してスギは外観的に異常がみられないことである。この理由としては、大山では夏場のスギの生育期に霧がかかりやすく、低地に比べて空中湿度などの水分条件がスギに好ましい環境であることがあげられるが、スギ以外の樹種もあわせて、今後さらに検討の必要がある。

一方、酸性雨についてみると、神奈川県下の降水pHが低い時期は、1975年から1982年頃で、近年は若干上昇から横ばい(pH4.5前後)の傾向にあるものの、改善されてはいない。したがって、1970年代の年輪幅の減少、あるいは1980年代の年輪幅の回復とは明らかな関連は認めにくい。むしろ、1980年代の年輪幅の増加については井上[21]が指摘しているように降水中に含まれる過剰な無機態窒素の養分的影響についても検討が必要である。

また、モミ枯れの場合、酸性雨あるいは、それを含む大気汚染でも、それによって直接枯死することは考えられない。むしろ酸性雨など大気汚染による環境変化が高齢木の生理的低下を引き起こし、二次的な病害虫の被害を受けるというのが一般的な枯損の過程と考えられる。

今回の調査からは、モミ枯損が多く発生した時期と年輪幅の減少した時期はほぼ同じ時期であること、1960年以後の気象要素に対する年輪指数の偏差が多くなる時期が1960年以後に多くみられること、京浜工業地帯での大気汚染物質、特に硫黄酸化物の発生量は1960年から1970年にかけて多い時期であったことなどから、大山モミ林の1960年代以後の枯損には大気汚染を主とする環境変化の影響がある程度関与していた可能性が指摘される。

摘　要

大山のモミの枯損衰退の原因について、空中写真による枯損木の発生経過と、モミの年輪幅の経年変化について検討した結果、次のようなことが明らかになった。

(1) 空中写真の調査では、大山のモミ枯れは1954年にもみられたが、1964年には新しい枯損木が1954年の約3倍に増加し、モミ枯損の多発は1980年まで続いた。1954年の枯損はクライマックスに達したモミ林の自然的な枯損水準とみられるが、1964年以後の枯損については、なんらかの環境変化の影響が考えられた。

(2) 大山のモミの年輪幅では、1960年頃から1970年にかけて減少し、1970年から1980年頃にかけて年輪幅は増加する傾向がみられた。このような年輪幅の変動は大山ばかりでなく周辺地域のモミ、及びスギにも認められた。

(3) 年輪幅の変動と相関の高い気温または降水指数に対する年輪指数の偏差は1960年以後に大きくなる傾向のものがあり、これらの年輪幅の変動には、気象以外の要因も考えられた。

(4) モミの枯損木が多くなった時期は、年輪幅の減少した時期と同時期であることが分かり、その時期の年輪幅の低下をもたらす要因は気象ばかりでなく大気汚染、特に硫黄酸化物の影響を受けていた可能性が指摘された。

引用文献

1) 相原敬次ほか8：神奈川県西部地域の光化学大気汚染の発生機構に関する調査研究. 神奈川県公害センター研究報告. No. 4,1-13,1982

2) Fritts. H. C. : Tree Rings and Climate. ACADEMIC PRESS, p567, 1976

3) 深沢和三 編：樹木の年輪が持つ情報. 北大農.

p141, 1991

4) 福井県：福井平野部におけるスギの樹勢衰退要因に関する調査報告書. 福井県公害技術会議, p171, 1986

5) 浜名成之・高橋啓二：丹沢大山におけるモミの天然更新について. 42回日林関東支論, 42, 195-197, 1991

6) 井川 学・補伽栄一・細野哲也・岩瀬光司・長島 律：酸性霧の科学組成と洗浄効果. 日本化学会誌, 5, 481-487, 1991

7) 茨城県林業試験場：偕楽園スギ枯損原因調査. 森林防疫, 18, 79-85, 1969

8) 科学技術庁資源調査会：高密度地域における資源利用と環境保全の調和に関する勧告. p108, 1972

9) 神奈川県：大気汚染調査研究報告. №32, 1991

10) 加藤輝隆・河野昭一：スギの年輪解析による過去の大気汚染状況の推定. 第2回樹木年輪研究会, 25-30, 1988

11) 亀岡喜和子・三沢 彰・ナスルラフ：年輪幅成長からみた関東平野におけるスギの衰退に関する研究. 日本緑化工学会誌, Vol.16, №3, 1-10, 1991

12) 栗田秀實・植田洋匡：傾斜度風が弱い場合の大気汚染物質の長距離輸送と熱的低気圧および総観気象の関係. 大気汚染学会誌, №20, 251-260, 1985

13) 三村春男・篠崎光夫：酸性雨に関する調査研究(第3報). 神奈川県公害センター研究報告, 6号, 8-16, 1984

14) 杉本龍志：丹沢山塊モミ原生林の衰退に関する環境科学的研究. 筑波大学大学院修士論文, p24, 1990

15) 鈴木 清：箱根杉並木の近年における年輪幅の推移. 日林関東支論, 37, 33-34, 1986

16) 鈴木 清・尾岸諒一：大気汚染と樹木衰退に関する研究(1)−スギ樹勢推移と年輪幅の変動−. 神奈川県林業試験場研究報告, №14, 15-25, 1987

17) 山家義人：都市における環境悪化の指標としての樹木衰退と微生物相の変動. 林業試験場報告, №301, 119-129, 1978

18) 横堀 誠：茨城県内でのスギ樹勢衰退とその要因に関する研究. 茨城県林業試験場研究報告, №13, 1-33, 1981

19) 野上孝子：丹沢山塊モミ林の衰退について−大山と札掛の比較−. 玉川大学農学部卒業論文, p83, 1983

20) 森川 靖：日本の森林衰退と酸性雨問題. 山林 89, 6, 10-17, 1989

21) 井上敞雄：森林・林木の衰退と酸性雨の影響「酸性雨−生態系に与える影響−」, ゴルファーの緑化促進協力会, p342, 1990

他誌掲載論文抄録

平成元年7月～平成2年6月

都市近郊林保全のための林地所有者の行動についての実証的研究

青柳みどり・山根　正伸. 造園雑誌54(4)：266～272, 1991

都市近郊林所有者に有効なインセンティブ施策を行うためにインタビュー調査を行い、その行動把握を試みた。その結果、①林地管理の主な担い手は農業労働力である、②林地からの収入はほとんど無く、維持管理費を補う程でない、③相続税はかなりの額を予想しており、林地を含む固定資産の処分によって納税せざるを得ない例が多い、④余裕資産の有無や固定資産税の多少により環境保全的な利用への提供が左右される、等の結果を得た。

スギノアカネトラカミキリによる林分内被害量調査手法

山根　正伸・横内広宣. 日林誌73：264～269, 1991

スギノアカネトラカミキリ（*Anaglyptus subfasciatus* Pic）による被害が本州各地で広がりをみせるなかで、被害状態の把握や発生要因の解明が急務となっている。そこで本論文では林分内の被害量を一定精度で簡便に調査できる方法、具体的には幼虫孔道密度を推定し、それにもとづいて被害頻度率を推定する逐次抽出法を提案した。神奈川県で実施された調査で得られたスギノアカネトラカミキリの樹間分布の特性を票す母数値をあてはめて、シミュレーションを行った結果、良好な推定値が得られた。

森林の利用と保全の面からみた都市近郊林の現状と課題

山根　正伸. 森林科学4：36～40, 1992

都市近郊林の利用保全の方向を探るため現状を点検し、その課題について整理した。まず、都市近郊林の定義を既往研究から整理した。さらに、市街地周辺部、都市近郊の丘陵地、都市近郊林外縁部の現状を具体的に紹介し、利用保全を図る制度施策、森林経営の課題にふれた。

CONTENTS

Articles

Ryouichi OGISHI ・ Masasi KOSHIJI ・ Kiyoshi SUZUKI

Investigations on the pH Value and Some Mineral Concentrations of the Rainfall, Throughfall and Stem flow in the plantation of Sugi (*Cryptomeria japonica*) in Kanagawa Prefecture 1

Kiyoshi SUZUKI

Fluctuation of Momi (*Abies firma*) dead standing trees and change of annual ring width at Mt. Ohyama and the around areas in Kanagawa Pref. 23

Abstracts of original papers by the research staffs (July, 1991 – June, 1992) 43

平成４年３月　印刷
平成４年３月　発行

編集・発行　神奈川県林業試験場
厚木市七沢６５７
TEL.(0462)48－0321
〒243-01

印刷　(有)嵐コピーサービス
愛甲郡愛川町中津791-2
TEL.(0462)85－3174
〒243-03