

苫小牧地域におけるストロブマツ等の 異常落葉に関する考察

吉 武 孝⁽¹⁾・増 田 久 夫⁽²⁾

Takashi YOSHITAKE and Hisao MASUDA : Study on Unusual
Defoliation of *Pinus Strobus* etc. in a Region of Tomakomai.

要 旨：北海道胆振地方に位置する苫小牧市北西部地域の森林地帯では、1960年代後期から、ストロブマツ (*Pinus strobus* L.) が早期に異常落葉する被害が発生した。その後、被害量は1970年代中期をピークに、徐々に減少している。著者らは、この異常落葉被害の原因究明のために、被害林分を調査した。その結果、ストロブマツの異常落葉被害は主として、苫小牧地域に霧の多発する7月～8月に発生し始めることが認められた。そして、針葉の初期被害症状は、当年生葉の葉鞘内未熟組織が褐変壊死することであることが明らかになった。さらに、異常落葉被害は、ストロブマツ以外の針葉樹（ヨーロッパアカマツ、バンクシアナマツ）および広葉樹（ウダイカンパ、シラカンパ、ハリギリ、ドロヤナギ、エゾイタヤ、キタコブシなど）においても、発生していることが確認された。一方、異常落葉被害の発生する地域では、毎年、7月～8月にかけて、 SO_4^{2-} 濃度が高く、pHが4.0以下の強い酸性の霧や雨が降下することが明らかになった。そこで、ストロブマツとシラカンパの苗木に対して、濃度30ppmと100ppmの希硫酸による人工噴霧実験を行ったところ、両処理区とも異常落葉被害木の症状に類似した被害現象が生じた。しかし、酸性の霧および雨水の降下地域における林木の異常落葉被害は、今後さらに検討すべき問題と考えられる。

目 次

ま え が き	2
I 異常落葉被害の実態	3
1. 調査地の位置	3
2. 樹種別被害実態	5
(1) 調査方法	5
(2) ストロブマツ	5
1) 既応の調査結果	5
2) 調査結果	6
(3) その他の針葉樹	9
(4) 広葉樹	10
(5) 考察	10
II 異常落葉発生環境	11
1. 地形・地質	11
2. 気象	12
3. 考察	13
III 降水分析	14
1. 調査方法	14
2. Cl^- ・pH・ SO_4^{2-} 分析	15

(1) 雨水の Cl^- 濃度	15
(2) ガーゼ採集水の Cl^- 濃度	16
(3) 積雪の Cl^- 濃度	16
(4) Cl^- 分析結果の考察	17
(5) 雨水の pH と SO_4^{2-} 濃度	17
(6) ガーゼ採集水の pH と SO_4^{2-} 濃度	19
(7) 葉面付着水および短時間内採集水の pH と SO_4^{2-} 濃度	21
(8) pH・ SO_4^{2-} 分析結果の考察	21
IV 噴霧実験	22
1. 実験方法	22
2. 塩水の噴霧実験結果	23
3. 希硫酸の噴霧実験結果	23
4. 考察	23
V 総合考察	24
VI 摘要	25
引用文献	26
Summary	28
プレート	Plate 1~2

まえがき

苫小牧市の北西部に位置する樽前山山麓に連なる低山地帯では、1950年代までの主な造林樹種はカラマツ、エゾマツ、トドマツであった。しかし、カラマツ造林地の多くは、先枯病が発生蔓延したことにより、1960年代から、生長が早く、しかも耐旱性、耐寒性のあるストローブマツに改植された²⁶⁾。

上記のような経過から、苫小牧、恵庭、白老の3営林署管内には約2000haのストローブマツ林地²⁾が造成された。しかし、1967年頃から、アメリカ合衆国テネシー州のストローブマツの大気汚染による被害木³⁾のように、1年生葉が早期に落葉する被害が発生し、その影響で、生長が著しく阻害される林分が現れた⁵⁾²⁵⁾。

苫小牧営林署管内国有林に隣接する民有のストローブマツ林では、すでに1969年頃から、上記のような異常落葉被害（以下、異常落葉という。）が発生していた²⁴⁾。

ストローブマツの異常落葉に関する調査は、苫小牧営林署によって1971年から始められ、翌年には原田ら²⁾による研究が始められた。その結果では、ストローブマツの異常落葉の発生する地域および被害程度が明らかになった。また、異常落葉の被害原因として、未熟土壌中のK養分不足による栄養障害の疑いのあることが示唆された²⁾。しかし、苫小牧営林署による1970年～1973年までの施肥試験^{25)28)～28)}の結果では、施肥による著しい被害回復効果は認められなかった²⁵⁾²⁹⁾。また、真田ら²²⁾による施肥および被害木の移植試験の結果では、ストローブマツの異常落葉は、土壌養分欠乏によるものではないことが明らかにされた。

ストローブマツの異常落葉が問題にされ始めた1972年頃から、その原因に関しては、K養分不足による栄養障害説のほか、大気汚染害説や寒風害説などが唱えられていたが、いずれも実証段階までの資料は得られなかった。

そこで、著者らはストロブマツの異常落葉防止対策を考えるための基礎資料を得るために、異常落葉発生機構と発生環境について、1977年から研究を始めた。

本研究における試験地調査の結果では、異常落葉がストロブマツ以外の樹種においても発生していること⁴⁴⁾⁴⁵⁾、それらの発生し始める時期は、この地域で霧の多発する7月～8月までの期間であることが明らかにになった⁴⁴⁾。しかも、上記の時期に被害林分内に降下する雨水および海上から移流してくる霧水には、硫酸化合物が含まれており、強い酸性を示すことがわかった。一方、苗木に対する希硫酸の噴霧実験によって、ストロブマツとシラカンパの葉に、両樹種の被害葉ときわめて似た症状が現れることがわかった⁴⁵⁾。以下に、これらの概要を報告する。

本稿を草するにあたり、ストロブマツの生長に関する資料を提供いただいた北海道営林局苫小牧営林署佐々木昌治技官、ならびに試験地設定および調査において、ご便宜を賜った苫小牧営林署の関係係官の方々に心から感謝する。研究を進めるにあたり、参考文献の紹介をいただいた茨城県林業試験場横堀誠研究員と苫小牧市役所齊藤孝氏職員に対して厚くお礼申しあげる。さらに、降水の化学分析の方法について、ご指導いただいた北海道支場育林部土壤研究室西本哲昭室長、真田勝主任研究官、大友玲子技官、試験地調査に、ご協力いただいた林業試験場防災部防災第1研究室工藤哲也室長、同人事課中田賢二事務官、同庶務課佐々木秀喜事務官、室谷邦彦事務官らに対しても厚くお礼申しあげる。

また、本論文の校閲を賜った林業試験場防災部長石川政幸博士に謝意を表する。

なお、本研究は林業試験場北海道支場経営部防災研究室の経常研究であったが、著者のひとり吉武が、現在の勤務場所である林業試験場防災部気象研究室において、取りまとめを行った。ご便宜をいただいた林業試験場防災部気象研究室長荒木真之博士にお礼申しあげる。

I 異常落葉被害の実態

1. 調査地の位置

調査地域は、北海道胆振地方のほぼ中央に位置しており、樽前山、支笏湖、苫小牧市、千歳市に囲まれた海岸から3～20 km以内で、海拔40～250 mの森林地帯である。

異常落葉被害の観察と雨水の採集のために、苫小牧営林署内国有林に1977年6月23日に4か所の調査地(Fig. 1 A, B, C, D₁)を設置した。また、同年7月6日に上記国有林に2か所(Fig. 1 D₂, E)および国有林に隣接する民有林内に1か所(Fig. 1 G)追加した。各調査地のストロブマツの被害程度は、Aが梢端枯死木のある激害区、B, C, D₂は当年生葉の落葉が認められる微害区であった。なお、Bはシラカンパの防風林であり、Cは苫小牧川の1支流沿いの谷底、D₂はトドマツとアカエヅマツからなる防風林帯にはさまれた林分である。D₁はトドマツとアカエヅマツの混交した防風林帯、Eはアカエヅマツ造林地内の上方開放地、Gはストロブマツとバンクシアナマツの混交林で激害区である。対照区は、1977年6月23日に苫小牧市の北西方向へ直線距離で約37 km離れた恵庭営林署管内国有林(Fig. 1 J)に選定した。さらに、1979年7月6日には、新たに苫小牧営林署管内国有林に3か所(Fig. 1 F, H, I)の調査地を選定して、雨水と霧水を採集し、対照区を除く他の既設調査地における雨水の採集を中止した。対照区(J)を除いた他の調査地は、いずれもストロブマツやシラカンパなどにおいて、林木の異常落葉の発生したところである。各調査地の諸元はTable 1に示した。なお、上記調査地以外の数地点で補完調査を行った。

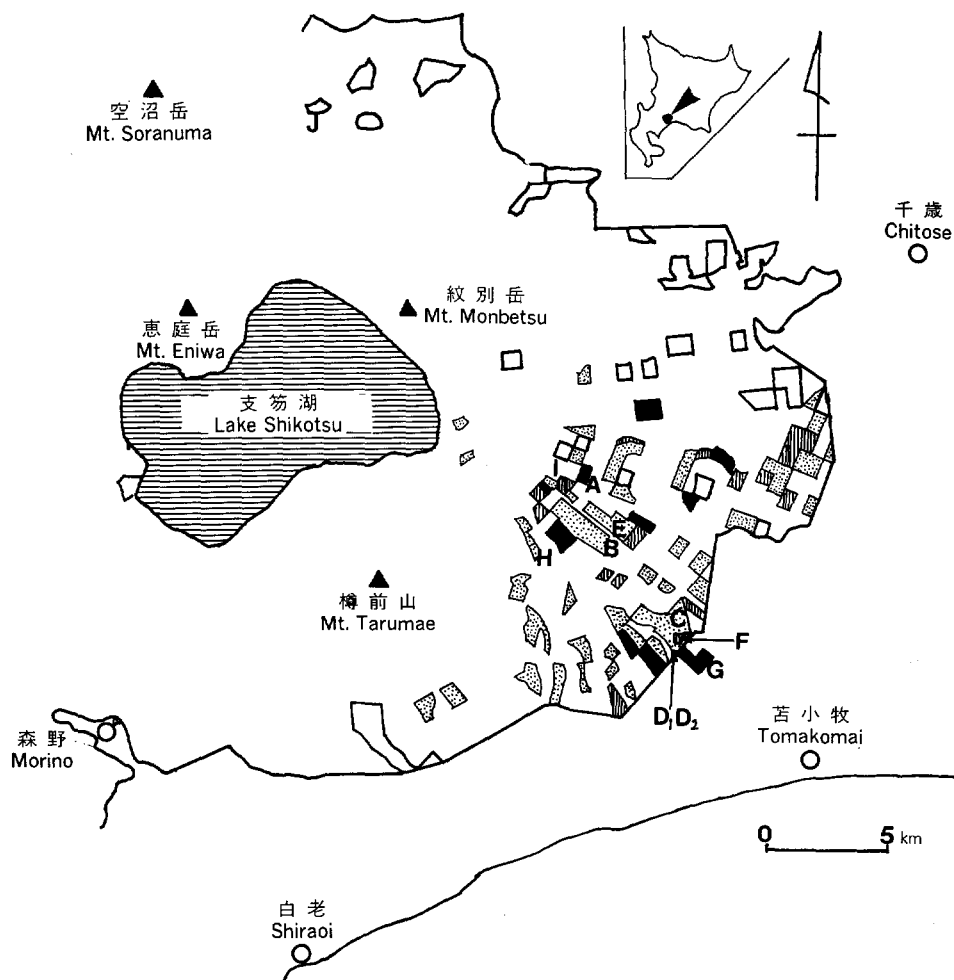


Fig. 1. 調査地位置およびストロブマツ被害林
Location of research stand and distributions of *P. strobus* stand.

Table 1. 調 査 地 概 況

Outlines of each plot.

位 置 Loca- tion	林 班 Block	海 抜 Eleva- tion m	傾斜 Slope	土壌型 Type of soil	樹 種 Species	林分被害度 Damage degree of forest stand	植栽年 Planted year	調査期間 Period of reserch
A	苫小牧 247	180	平坦	Im	<i>P. strobus</i>	激 害 heavily damage	1966	1977～1978
B	" 298	140	"	"	"	微 害 slightly damage	1964	"
C	" 364	40	"	"	"	微 害 slightly damage	1964	"
D ₁	" 369	80	"	"	<i>Picea glehnii</i> <i>Picea zezoensis</i>	—	1962	1977～1979
D ₂	" 379	80	"	"	<i>P. strobus</i>	微 害 slightly damage	1962	1977～1978
E	" 298	140	"	"	<i>Picea glehnii</i>	—	1970	"
F	" 379	80	"	"	<i>P. strobus</i>	中 害 moderately damage	1962	1979～1980
G	民有林	70	"	"	<i>P. strobus</i> <i>P. banksiana</i>	激 害 heavily damage	—	1977～1978
H	苫小牧 394	180	"	"	<i>P. strobus</i>	中 害 moderately damage	1966	1979～1980
I	" 269	180	"	"	"	中 害 moderately damage	—	"
J	恵 庭 30	320	"	B _D	"	健 全 healthy	1965	1977～1980

2. 樹種別被害実態

(1) 調 査 方 法

ストロブマツの異常落葉については原田ら⁵⁾の既報があるが、我々は、異常落葉が始まる時期、被害程度の進行状況および被害形態などを、さらに詳細に把握するために、固定調査地を選定した。各調査地は激害区(A, G)2か所、中害区(I)1か所、微害区(B, C, D₂, F, H)5か所に設置した。なお、D₁は針葉樹の防風林下における雨水を採集するために、また、Eは裸地における雨水の採集のために設置した。各調査地において選木した調査木(1か所当たり1～9本)を、1977年5月から翌年4月まで毎月1～2回観察して、異常落葉の有無を調査した。その後、1978年から1980年までは、毎年6月～9月までの生長期の4か月間に月1～8回程度調査を行った。

調査対象樹種は、Table 2 に示したように、苫小牧国有林の主要造林樹種の一つであるストロブマツを初めとして、ヨーロッパアカマツ、バンクシアナマツ、ウダイカンバ、シラカンバ、ハリギリ、ドロヤナギ、ホウノキ、エゾイタヤ、キタコブシの10種類である。

被害葉の損傷部位の観察は、肉眼視および実体顕微鏡によって行った。新葉の展開伸長経過の観察や、枝の方位別落葉量、樹高および苫小牧市からの距離別の枝生長量などの測定は、ストロブマツ1種について行った。

(2) ストロブマツ

1) 既応の調査結果

ストロブマツの異常落葉に関する調査は、1971年から苫小牧営林署³⁸⁾によって開始され、翌年には、

Table 2. 異常落葉発生樹種
Affected tree species

種 名 Species	種 名 Species
ストロブマツ <i>Pinus storobus</i>	ハリギリ <i>Kalopanax pictus</i>
ヨーロッパアカマツ <i>Pinus sylvestris</i>	ドロヤナギ <i>Populus maximowiczii</i>
バンクシアナマツ <i>Pinus banksiana</i>	ハウノキ <i>Magnolia obovata</i>
ウダイカンバ <i>Betula maximowicziana</i>	エゾイタヤ <i>Acer mono maximowiz</i>
シラカンバ <i>Betula japonica</i>	キタコブシ <i>M. K. var. borealis</i>

原田ら⁵⁾によって研究が行われた。その結果、ストロブマツの異常落葉について、次のようなことが明らかにになっている。

ストロブマツ造林地で異常落葉の発生した林地は、樽前山の火山放出物に由来する未熟土地域にあり、主に林齢11年以上の造林地である⁵⁾。

被害症状としては、当年生葉、1年生葉とも、葉長が健全葉に比べて短く、1年生葉が7月頃に落葉し、激害地では当年生葉も7～8月に落葉する⁵⁾こと、また、幹の当年伸長量、直径生長量とも、林齢10年頃から低下して⁵⁾、新梢、側枝が先枯れ状を呈し、枯死するものもある²⁵⁾こと、などが明らかにされている。また、針・広葉樹防風林のある造林地、凹地形の造林地では、被害が進行していないことが指摘されている²⁵⁾。

札幌営林局（現北海道営林局）による1972年の調査では、国有林のストロブマツ造林地の被害面積は、苫小牧、白老、恵庭の3署で、激害37.3 ha、微～中害306.7 haであった。特に、苫小牧営林署管内では、1973年に659.4 haだった被害面積が、翌年には778.3 haに増加して、ストロブマツ造林地の約70%が被害を受け²⁵⁾、年々、被害面積が増加し、かつ、被害程度も悪化していた。

2) 調査結果

ストロブマツの被害地分布は、Fig. 1に示したとおりである。被害地は主として、樽前山、支笏湖、苫小牧市、千歳市に囲まれた地域である。梢端枯れや枯死木の発生した激害地は、苫小牧北西5～10 km付近および樽前山と千歳市を結ぶ線上の位置に多く分布していた。また、林齢と被害の関係では、林齢が若く樹高の低い林分は、無被害か微害の場合が多く、苫小牧営林署の調査と同じ結果²⁵⁾が得られた。

個々の被害林分の特徴をみると、異常落葉は、南東方向からの風が当たる林分に多く発生していた。逆に防風林帯の北西側ならびに、周囲を天然生広葉樹林やカラマツ林で囲まれた林分、東西方向に走る沢や凹地形などにある林分では、少なかった。

調査地（D₁）、（D₂）における防風林帯からの距離とストロブマツの樹高の関係を調べた結果を、Fig. 2に示した。防風林帯の北西側林縁から10 m以内の位置にあるストロブマツは、異常落葉の被害が軽く、防風林の樹高に近い高さを示していたが、10 m以上離れた位置のものは、葉量が少なく枝先枯れの被害木もあり、樹高5 m以下であった。一方、造林地の北西端にある防風林帯の南東側林縁隣接木には、樹高および異常落葉に対する保護効果が認められなかった。

次に、防風林とストロブマツの年次別樹高生長量の関係を、Fig. 3に示した。調査木の生長は、植栽

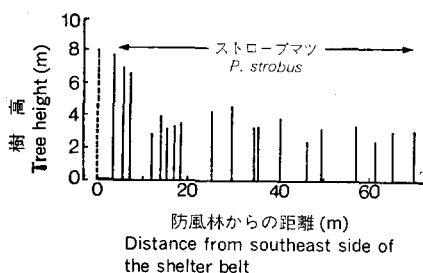


Fig. 2 防風林とストロブマツの樹高
Tree height of *P. strobus* and
shelter belt.
: : 防風林 shelter belt.

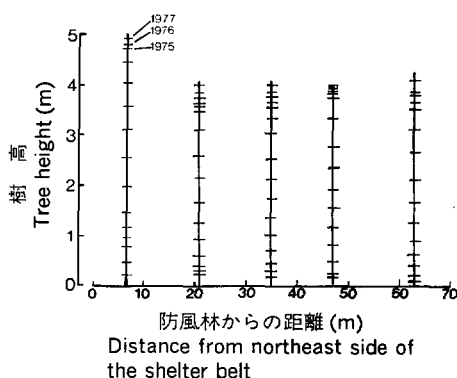


Fig. 3 防風林からの距離別樹高と節間長
Tree height and internode length of
P. strobus at different distances from
northeast side of the shelter belt.

後3～4年頃から良くなっていた。しかし、防風林帯から10 m以上離れた個体は、1971～1973年頃から、10 m以内の位置のものと比べて、生長量が著しく低下していることがわかった。

苫小牧市からの距離と、ストロブマツの枝の生長量の関係をFig. 4に示した。1地点当たり3本の比較的葉量の多い微害木を選木して、各供試木から第1～第5枝階までの輪生枝を調査した結果、苫小牧市から10 km地点における枝の年生長量は、13 km, 16 km地点よりも、明らかに短かった。13 km地点では、16 km地点より、1976年と1977年に生長が悪かった。また、各地点の枝の生長量は、1975年以降漸減する傾向が認められた。

調査地(F)において伐倒した1個体77本の枝の8方位別年平均生長量の調査によれば、生長量の年次別増減傾向は、1972年以降全方位で一致していた⁴⁴⁾。また、8方位別の枝の長さを比較した場合、最も長い北西方向を100とすると、各方位の枝長比

は北が61.3%, 北東66.7%, 東32.3%, 南東69.9%, 南55.9%, 南西23.7%, 西64.5%であった。隣接木と競合していた南西方向の枝を除けば、東および南側の枝の伸びが悪かった。

次に、調査地(A～I)において、新葉展開後の経過を追って観察した結果では、当年生葉基部の褐変壊死による落葉と、カタツムリ的一种による食害およびマツヒメハマキガによる食害など3種類の被害があることがわかった⁴⁴⁾。そして、上記3種類の被害のうち、異常落葉の原因となっているものは、当年生葉の基部褐変壊死であることがわかった⁴⁴⁾。

葉鞘に被覆された当年生葉基部の未熟組織における褐変壊死の初期症状は、毎年苫小牧地方に霧が多発

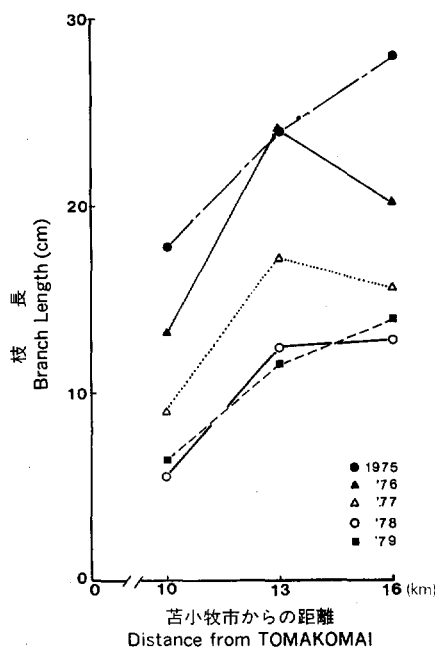


Fig. 4 枝長と苫小牧市からの距離の関係
Relation between branch length and
distance from Tomakomai.

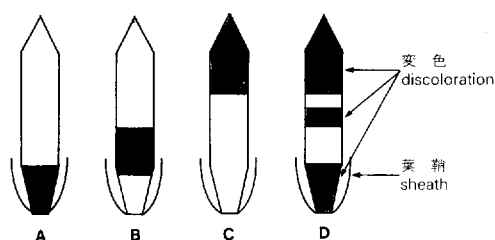


Fig. 5 針葉の変色位置
Position of discoloration on the
needle of pine.

する7月上旬～下旬の間に、葉鞘内基部の未熟組織に透明な樹脂様物質がにじみ出し、次第に褐変していく。その後、葉鞘内の5本の針葉の裏面から葉肉組織内部へ変色域が拡大して、ついには、Photo. 1のような葉基部褐変針葉となり、5本の針葉が葉鞘ごと落下するものである。

被害針葉の葉身の変色位置は、Fig. 5 に示したような4種類がある。そのうち最も多い型は、A型である。A型は毎年発生し、B型とD型は1980年に、また、C型は1979、1980年にそれぞれ多発した。

早期に落葉する型は、A、Dの2型あるいは Photo. 1 左側の被害葉のような数本の全枯れ葉を含むタイプである。しかし、針葉の生長後期に被害を受けた軽度の葉基部褐変針葉 (Photo. 2) は、9月以降、翌年の生長開始時期までの間に徐々に落葉していた。なお、B、C型は早期に落葉しないが、最終的に全枯れ症状へ移行して、展開後2年以上付着している針葉は、きわめて少なかった。

異常落葉がストローブマツの生長に悪影響を及ぼすことは、すでに苫小牧営林署の調査により明らかであったが、著者らは落葉量の程度を把握するために、展開後1年間に落葉する針葉本数を推定した。調査地 (D₂) において、1977年8月19日に樹高3.5m、樹齢14年の微害木1本を伐倒し、枝階別にすべての枝の当年生葉と1年生葉の本数を調べた。供試木の針葉数は約190000本であった。ただし、この値には調査日以前の落葉数は含まれていない。各枝階で当年生葉の占める割合は、平均93%であった。1年枝の本数は当年枝の3分の1の本数とみなし、かつ、枝1本当たりの針葉展開本数は、枝齢に関係なく一定と仮定して、1年生葉の全展開本数を全当年生葉の3分の1として推定した本数は、約59000本であった。しかし、実際には22000本しかなく、展開後1年間のうちに、本数率で60%以上の針葉が落葉していると推定された。

補完調査として、梢端枯死木のある激害区 (303林班) と対照区 (J) において、おのおの3個体の梢端から無作為に採取した当年生葉と1年生葉の葉長を比較した結果を、Table 3 に示した。激害区の当年生葉の葉長は、2.1～5.0 cm の範囲内で、平均葉長は苫小牧営林署による激害木の測定値4.5 cm とほぼ同値であった。一方、対照区では6.1～8.0 cm の範囲にあり、激害区の葉長より1～6 cm 長かった。また、激害区の供試枝では1年生葉がなく、対照区では1年生葉のすべてが8.1 cm 以上あり、しかも、3年分の針葉が着いていた。

早春の被害木の針葉は、寒風害の被害を受けたように赤く変色していた。寒風害の場合、針葉に損傷がなくとも乾燥赤変することが考えられるが、冬期の落葉には葉基部に傷のあるものが多く、その傷が針葉の赤変現象の誘因と考えられた。そこで、2月～4月上旬までの期間内の落葉の被害形態を調査した結果が、Table 4 である。激害地 (A) では、2月、3月の採集葉の全部が葉基部に傷のある針葉であった。これらの葉基部褐変葉は、寒風にさらされた場合、健全葉にくらべて乾燥しやすく、かつ、強風時に葉基部の損傷部位から分離しやすいと推定された。また、(A) から南西へ約1 km 離れている激害地294林班において、3月と4月を比較すると、全枯れ型が微増していた。これは、葉基部褐変葉が全枯れ型へ移行した結果と考えられた。

Table 3. ストロブマツの葉長比較
Comparison of needle length of *P. strobus*.

葉 長 (cm) Needle length	303	J
	current 1-year	current 1-year
2.1 ~ 3.0	1	
3.1 ~ 4.0	13	
4.1 ~ 5.0	116	
5.1 ~ 6.0		8
6.1 ~ 7.0		23
7.1 ~ 8.0		
8.1 以上		45
標 本 数 (本) Sample number	130 0	31 45

303 : severe injury J : no injury

Table 4. ストロブマツ落葉の被害型別本数率
Percentage suffering by each type of injury on previous
year needle of *P. strobus*.

林 班 Block	調 査 本 数 needles	基 部 枯 base-burned	先 端 枯 tip-burned	全 枯 dead	調 査 日 date
247 (A)	340 本	100 %	0 %	0 %	Feb. 8
247 (A)	87	100	0	0	Mar. 9
294	113	90.3	0	9.7	Mar. 9
294	167	88.0	0	12.0	Apr. 10

一方、対照区では、上記のような異常落葉は一度も観察されなかった。被害地域内のストロブマツは、6月中旬～下旬頃から新梢を伸長させ、8月下旬頃には生長を終わる。そして、この地域内の被害木には、前年生葉と当年生葉の2年分の針葉しか着いていなかった。

(3) その他の針葉樹

ストロブマツ以外の針葉樹において、異常落葉が観察された樹種は、ヨーロッパアカマツと、バンクシアナマツの2樹種であった⁴⁶⁾。そのほか、リギダマツの葉身に数個の褐斑が発生する現象や、カラマツの葉の黄葉化が恵庭や札幌などの造林地のものより早いこと、などが観察された。以下、ヨーロッパアカマツとバンクシアナマツの調査結果を述べる。

苫小牧市の北北西約12 kmの位置に、ヨーロッパアカマツの造林地がある。1977年から3年間の観察によって、Fig. 5のストロブマツの場合と同様に、針葉の葉基部や葉身の一部分に褐変が生じることや、2年生葉の葉量がきわめて少ないこと、がわかった。ヨーロッパアカマツは、ストロブマツと異なり、展開直後の新葉の落下現象は少なく、前年葉の落葉が多いのが特徴である。針葉の変色時期は、ストロブマツと同じ時期の苫小牧地方に霧が多発する7～8月に始まっているが、すぐには落葉せず、翌年の生長開始時期までの1年間に、徐々に落下しているものと推定された。

ヨーロッパアカマツは、ストロブマツと比較して、葉身が太く針葉の展開伸長の時期も遅いこと、などから判断して、異常落葉に対する感受性は、ヨーロッパアカマツがストロブマツより低いようである。

一方、苫小牧営林署管内国有林に隣接する民有林（G）には、バンクシアナマツの造林地がある。この林地は、苫小牧市の北西約 5 km の位置にある。林内にはストロブマツも植栽されており、両種の生長状態はきわめて不良で、特にストロブマツは激害であった。バンクシアナマツの被害状況は、ストロブマツやヨーロッパアカマツに似ており、2 年生葉の葉量の少ない被害木が多かった。針葉の初期被害症状の特徴は、前記の 2 樹種と同様に、当年生葉の葉身の葉鞘内基部組織や先端部分の褐変壊死が主であった。

ヨーロッパアカマツとバンクシアナマツの両樹種の異常落葉は、葉鞘内基部組織に変色壊死が認められたことで、ストロブマツマツと同じ原因による被害を受けたものと考えられた。

（4） 広 葉 樹

広葉樹の異常落葉は、Fig. 1 に示したストロブマツの被害林とほぼ同一地域内において、毎年 7 ～ 8 月頃発生していた。特に、防風林帯や造林地に多くみられたシラカンバの被害は、苫小牧市に近い所ほど、枝枯れ症状が多かった。なお、広葉樹 7 種の観察木のうち、シラカンバとドロヤナギは造林木を含むが、他の 5 種は調査地（A ～ I）周辺の天然生木であった。以下、各樹種の症状について論ずる。

ハリギリ（Photo. 4）、キタコブシ（Photo. 5）、ホオノキなどの被害形態は、いずれもよく似た大きな環状の褐色、あるいは灰白色の斑紋が特徴である。キタコブシは 7 月中旬頃、ハリギリ、ホオノキは 8 月中旬以降落葉し始めた⁴⁵⁾。上記 3 種の落葉開始時期は、1977 年～1980 年までの 4 生長期間中、毎年同じであった。

シラカンバは、葉の縁辺部分や葉脈間に褐変が生じて落葉する場合と、Photo. 6 のような小さい黒点が葉の表面に多数現れて落葉する場合があった⁴⁵⁾。前者は、霧口数が少なくなった 8 月下旬頃に、調査地（D₂）、（F）において多発していた。一方、後者は被害地のほぼ全域で、7 月上旬頃から発生した。その被害の特徴は、小雨か霧の日に緑色のまま落葉していることであった。ウダイカンバの被害は、シラカンバと同種の被害形態で、被害地全域において発生していた。イタヤカエデは、葉脈間の褐変が生じて、9 月中旬に落葉が始まった。また、8 月頃、直径 5 mm 程の円形小黒点が葉の表面に多数発生して、こやう病によく似た症状を呈する場合があった。

ドロヤナギは、葉の表面にすす状のしみが無数に発生し、その後、葉色が黄色や黒色に変化して、8 月中旬頃から落葉した⁴⁵⁾。調査地（E）にあるドロヤナギの天然生木は、Photo. 7 のように、9 月中旬にはほとんど落葉してしまった。

一方、林道の路肩や林床上のかん木や草本類においても、早期に異常変色が発生しており、枯死するのも早いことがわかった。

（5） 考 察

LINZON¹⁸⁾ は、ストロブマツには 3 年分の針葉が着いており、生長に最も重要な針葉は 1 年生葉であると述べている。しかし、本報のストロブマツの被害木は、2 年分の針葉しかなく、しかも、重要な 1 年生葉がきわめて少ないうえに、展開直後の当年生葉も多量に落葉した。このようなストロブマツの被害は、本邦の他の地域では報告例がない。しかし国外では、以下に述べるような類似の被害例がある。まず、Fig. 5 に示した B 型の症状は、LINZON が針葉の半熟組織が葉身の枯損の発生点であると指摘している SNB (semimature-tissue needle blight)¹⁸⁾ に類似している。また、C 型は米国テネシー州で発生した PECT (post emergence chronic tipburn)²⁾ とよく似た症状である。PECT の発生地域は、米国でも

霧の多い所であり⁴²⁾、ストロブマツの生長期の気象条件が、苦小牧地方とよく似ている。

落葉量が多いことから、著者らが最も重要視している当年生葉基部褐変の初期症状を、SNB、PECT、およびストロブマツの萎黄病³⁾などの病徴と比べると、葉身上における発生点の位置が異なっていることがわかった。しかし、大気汚染害の疑いの強いSNBやPECTの被害に似た症状があることと、ストロブマツ以外のマツ2種で類似の被害があったこと、などから、苦小牧地方において発生したマツ3種の異常落葉は大気汚染の関与している可能性があると考えられた。

広葉樹の異常落葉の形態から考察すると、亜硫酸ガスに対する感受性が大きい¹⁹⁾シラカンバとドロヤナギの場合の落葉は、SO₂ガスの曝露による変色によく似ていた²⁸⁾。一方、ハリギリ、キタコブシ、ホオノキ、イタヤカエデの症状は、大気汚染による被害症状に似ているほかに、褐斑病やこうやく病などにもよく似ていた。

苦小牧市北西部の大面積の森林内において、ストロブマツその他の林木の異常落葉が、毎年霧の多発する7～8月に発生していることが明らかになり、異常落葉と霧がなんらかの関係にあるものと推察された。

II 異常落葉発生環境

1. 地 形・地 質

調査地域は、樽前山（1024 m）の北東から南東側山麓に連なる森林地帯である。主な河川は苦小牧川と小糸魚川で、両河川とも樽前山々麓の北東側に源を発して、南東ないしは南へ流れている。苦小牧川の流域は、異常落葉発生地域のほぼ中央に位置し、苦小牧市に向かって広がっている。

広葉樹類において異常落葉が発生する地域は、ストロブマツの被害林が分布する地域とはほぼ一致していた。Fig. 6に、苦小牧市の北と西、および北西の3方向への縦断面図を示した。異常落葉発生地域の中央を横ぎる北西方向の縦断面図では、苦小牧市からの水平距離が約3 kmで海拔40 mの民有林から、水平距離14 km、海拔190 mの国有林まで、なだらかな上昇斜面である。

一方、西と北の2方向の縦断面図では、北西方向より海拔高が低く、これらの方向と交叉している谷の数は、北西方向のそれよりも多い。

調査地域の地質は、樽前山の火山放出物の堆積した未熟土で、A層の厚さは3～10 cmで、その下は栄

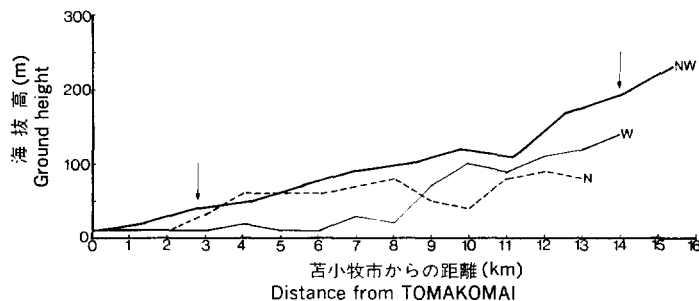


Fig. 6 苦小牧市からの方位別縦断面図

Longitudinal section in each direction from Tomakomai.

↓↓: NW 方向の異常落葉発生範囲

Area of unusual defoliation of trees at NW direction.

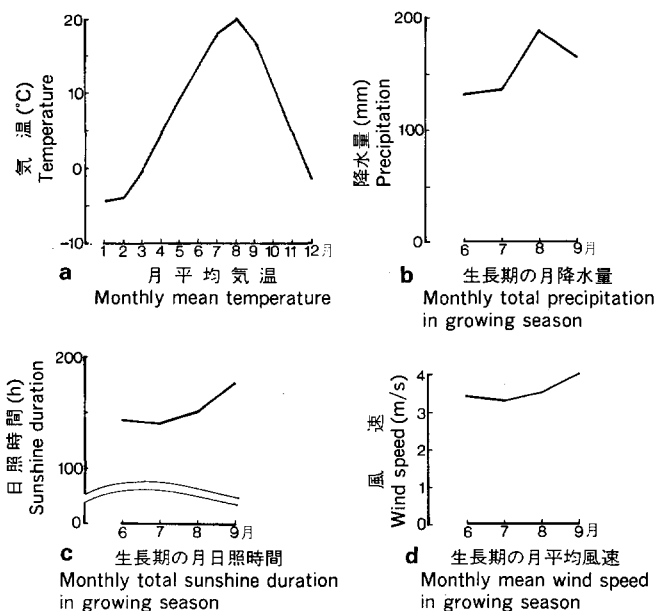


Fig. 7 苫小牧の気象
Weather of Tomakomai.

養分に乏しい浮石層が厚く堆積している⁵⁾。また、ストロブマツの被害林分土壌のA層のpHは、4.4で、健全林の6.0より低い値である⁵⁾。さらに、被害林分は健全林分に比べA₀層のCaO濃度が低い⁵⁾。

Fig. 1の対照区(J)は、空沼岳山麓から流下するラルマナイ川の左岸に位置し、褐色森林土地帯に属している。

2. 気 象

苫小牧地方の気候は、苫小牧測候所の資料によると、年平均気温7.1°C、年降水量1241 mm、年平均湿度78%、年平均風速3.6 m/s、1年間の霧日数は39.7日である¹⁰⁾。

苫小牧市の月平均気温は、Fig. 7 aに示すように、1月に最低、8月に最高となり、12月から翌年3月までは氷点下を推移する。このため、寒さが厳しく土壤凍結深が深い。苫小牧営林署の調査^{20)~32)}によれば、異常落葉発生地域の土壤凍結深は20 cm以上あり、土壤凍結期間は12月上旬から翌年の4月中旬頃までである。林木の生長期である6月~8月までの月平均気温は、13.2°C~20°Cで、同じ時期の札幌に比べて、1.3°C~2.7°Cほど低温である。

林木の生長期中の月降水量は、Fig. 7 bのように、8月が最大であるが、霧が最も多く発生する月は7月である。このため、7月の日照時間は、Fig. 7 cに示したように、生長期中最低である。風速10 m/s以上の風の月別平均風速は、6月に最大、7月に最小値が出現する傾向にある¹⁰⁾が、月平均風速は、Fig. 7 dのように、3.3 m/s~4.0 m/sで比較のおだやかである。この地域の気象的な特徴としては、次のようなことが指摘できる。

まず最初に、5月~8月までの4か月間は霧の多い季節といえる。この地域に発生する霧は、海上からの移流によるものと、放射冷却によるものがある²⁷⁾。

次に風向の特徴としては、暖候期における風向は東から南東の偏東風(やませ)が多く、寒候期には、

北よりの風が多い¹⁾⁴⁹⁾ことを指摘できる。一方、対照区Jは石狩地方に属し、7～8月は気温が高く、霧の発生はほとんどない。

3. 考 察

原田ら⁵⁾は、ストローブマツの異常落葉発生地の分布と、火山性未熟土壌の分布がほぼ一致することから、異常落葉と土壌養分の関係を重視している。著者らは、ストローブマツ以外のマツや広葉樹などにおいても、異常落葉が発生した点を重視して、異常落葉とその発生地域の環境との関係を検討した。その結果、ストローブマツほかの異常落葉が発生した地域は、Fig. 8 に示した霧の分布域と一致していること、被害地に方向性が認められること、および、異常落葉と霧の発生時期が一致していること、などがわかった。さらに、苫小牧市で南東寄りの風のときには、Fig. 8 の波線で示した位置で気流が収れんして、雨や霧雨が降りやすい⁹⁾が、この位置はストローブマツ造林地の中～激害地の多い地域でもある。なお、苫小牧測候所の午前6時から午後6時までの観測によると、1980年7・8月の霧日数は、それぞれ9日と3日であった。しかし、視呈10 km未満の煙霧日数は、それぞれ15日と20日に及び、7・8月は月の大部分が、霧または煙霧日であることがわかった。霧の厚さは200～300 mに達する¹⁶⁾ため、海拔6 mの苫小牧市上空で層雲であっても、海拔100～200 mの被害地では霧や霧雨となっている場合が少なくない。札幌管区気象台の勇払原野における霧の調査²³⁾では、6月下旬～7月上旬の間、苫小牧地方のどこかで、毎日霧が発生していたことが報告されており、異常落葉発生地域の霧の発生日数は、苫小牧市のそれより多いと推定された。

ところで、原田ら⁵⁾は、ストローブマツ被害林のA₀層のpHが健全林のpHより低い理由を、異常落

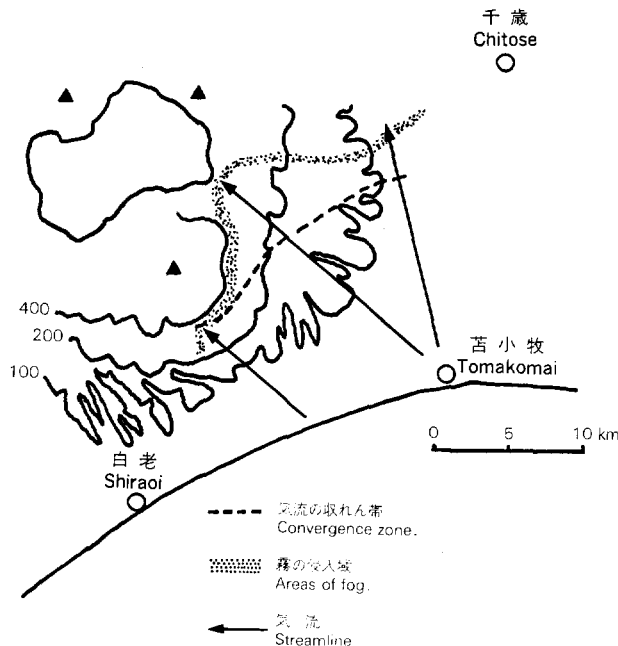


Fig. 8. 気流および霧の分布
Streamline and distributions of fog.

葉被害のため新鮮落葉が大量に堆積した結果と推定している。しかし、被害林の A₀ 層の pH が低い理由として、著者らは低 pH の降水が林地に降ったためではないかと推定した。

Ⅲ 降 水 分 析

異常落葉の原因としては、当初、土壤中の K 欠乏のほかに、寒風害、塩害および大気汚染などが考えられていた。そこで、著者らは降水の pH および降水中に含まれる Cl⁻, SO₄²⁻ の分析を行った。

1. 調 査 方 法

雨水は、直径 18 cm のポリエチレン製漏斗を付けた容量 2000 ml のポリエチレン製細口びんを、直径 20 cm、高さ 30 cm のブリキ缶に入れ、底部を 10 cm 地中に埋め込み、固定して採集した。各調査地における雨水の採集期間は、Table 5 に示した。

霧水は、Fig. 9 に示すようなガーゼトラップを使って、1979 年は地上 3 m と 6 m において、また、1980 年には 3 m の高さにおいて採水した。各採集水は、毎回の調査時点に回収した。さらに、雨か霧雨の天気のとときには、霧粒などの付着した枝葉をゆすって落とした水滴をビニール袋で採集した。

積雪は、調査地 (A) および (E) で、1978 年冬期に採雪面積 20 cm² のスノーサンプラーで採集した。(A)、(E) 両地点間は、直線で約 2 km 離れており、高度差は 40 m である。

Cl⁻ の分析は Volhard 法およびイオンメーターを使用して行った。pH についてはガラス電極法により、また、SO₄²⁻ 濃度は硫酸バリウム比濁法⁶⁾ によって分析した。

Table 5. 雨 水 の 採 集 期 間
Gathering period of rainwater

Year	1977	1978	1979	1980
Location				
A・B・C・D ₁	Jun. 23~Nov. 25	Apr. 10~Oct. 20	—	—
D ₂ ・E	Jul. 6~Nov. 25	Apr. 10~Oct. 20	—	—
F	—	—	Jul. 4~Sep. 21	Jun. 24~Sep. 17
G	Jul. 6~Nov. 25	Apr. 10~Oct. 20	—	—
H・I	—	—	Jul. 4~Sep. 21	Jun. 21~Sep. 17
J	Jun. 23~Nov. 25	Apr. 10~Oct. 20	Jul. 27~Sep. 21	—

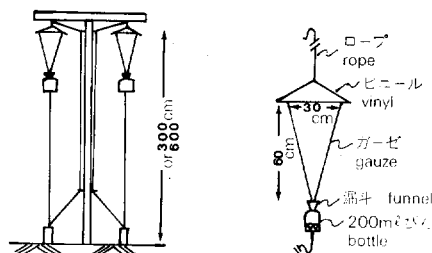


Fig. 9. ガーゼトラップ
Gauze trap for gathering fog water.

2. $\text{Cl}^- \cdot \text{pH} \cdot \text{SO}_4^{2-}$ 分析

(1) 雨水の Cl^- 濃度

異常落葉と塩風害の関係を調べるために、各調査地において、1977年6月～1980年9月までに採集した雨水の Cl^- 濃度の分析を行った。Fig. 10 は 1977 年、Fig. 11 は 1978 年における各調査地点での採集雨水の Cl^- 濃度を示している。採水地点間における平均 Cl^- 濃度は、内陸ほどわずかに低くなる傾向があった。被害発生地における 6 月下旬～9 月上旬までの生長期間内の Cl^- 濃度の最大値は、1977 年が 7 ppm (C) で、1978 年は 12 ppm (C) であった。

調査地 (C) は、苫小牧川の 1 支流沿いの谷底に位置しており、採集水のなかに落葉の混入が最も多い所であったために、他の場所より Cl^- 濃度がやや多めになったようである。雨水の Cl^- 濃度は、1977 年、1978 年ともに、4 月～5 月までの北寄りの風が卓越している時期には、南東風の卓越する 6 月～8 月までの期間の濃度より、少なくなる傾向があった。ところで、1978 年の 9 月 13 日～10 月 20 日までの採集水は、対照区も含めて 10 ppm 以上 40 ppm 以下で、2 年間の採集水のなかで最大であった。これは、採集

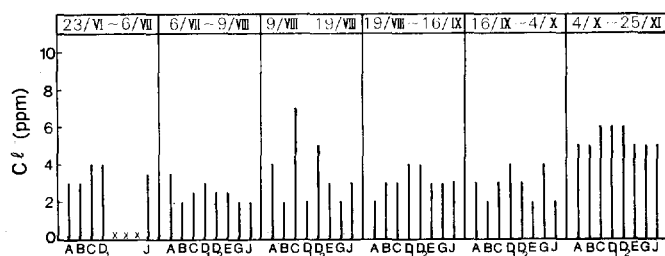


Fig. 10. 雨水の Cl^- 濃度 (1977)
Concentration of Cl^- in rainwater.
× : 欠測 Unmeasured.

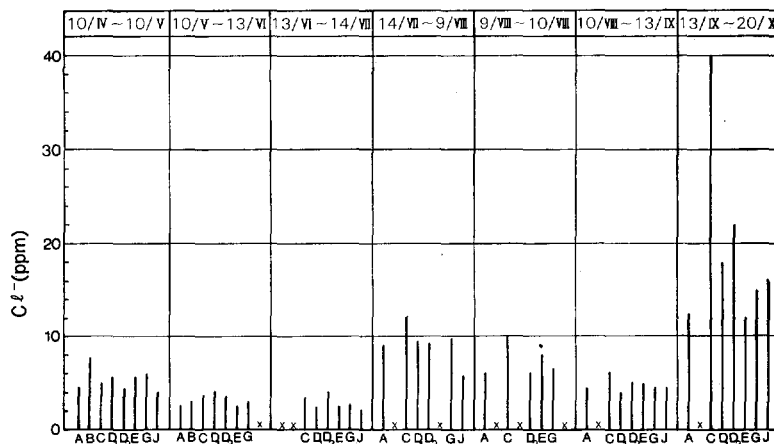


Fig. 11. 雨水の Cl^- 濃度 (1978)
Concentration of Cl^- in rainwater.
× : 欠測 Unmeasured.

期間が38日と長期であったため蒸発による濃度増加があったこと、および、この期間内に低気圧が通過して、南東（海風）の強風が吹いた¹⁸⁾こと、に起因していると思われる。しかし、この時期はすでに異常落葉の最盛期を過ぎており、この期間内雨水の Cl^- は被害と関係ないと考えられた。

(2) ガーゼ採集水の Cl^- 濃度

表面積 3371 cm^2 のガーゼトラップを使用して捕捉した1979年の被害地（F, H, I）のそれぞれの採集水（雨水と霧水を含む）の Cl^- 濃度は、Fig. 12に示したように、8月3日～9月4日まで10 ppm以上の濃度で、最大値は140 ppmであった。ガーゼ採集水は、地上3 mと6 mの高さで捕捉した水滴で、ガーゼトラップに付着するまで、霧粒または霧雨として空中を浮遊していたものである。なお、ガーゼ採集水は、ガーゼに付着したあとポリ容器に到達するまでに、水分蒸発に伴い濃縮された可能性がある。

(3) 積雪の Cl^- 濃度

調査地（A）および（E）で1978年1月24日～4月10日までの期間に、スノーサンプラーを使って5回採雪した。持ち帰った雪を融かして測定した Cl^- 濃度は、Fig. 13に示したように、降雪期の1月24日と2月8日は、（A）より（E）が若干多く、融雪期の3月9日と4月10日は、逆に（A）が（E）より若干多かった。この理由としては、降雪期においては、調査地域の林分に塩分を含んだ南東の強風が吹くときがあるために、海岸に近い（E）で Cl^- 量が多くなることが考えられる。一方、融雪期は上層木の少ない（E）の方が早く融雪が始まるため、積雪中の Cl^- が融雪水とともに溶出するのが、（A）より早いからであろう。

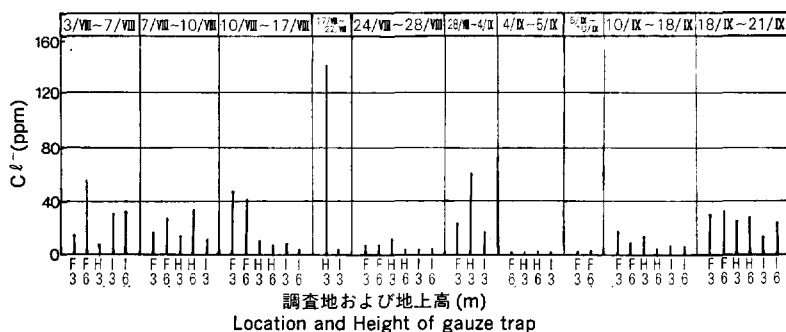


Fig. 12. ガーゼ採集水の Cl^- 濃度 (1979)
Concentration of Cl^- in fog or rain water.

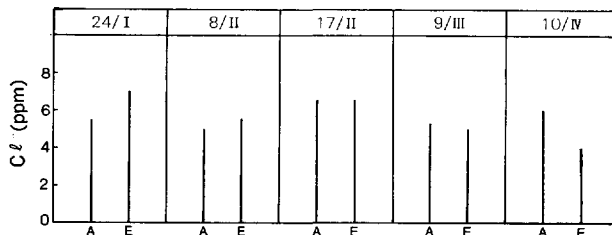


Fig. 13. 積雪の Cl^- 濃度 (1978)
Concentration of Cl^- in snow cover.

(4) Cl^- 分析結果の考察

北海道沿岸部を台風や低気圧が通過する場合に、数 10 km 内陸部で塩風害の発生することがある。著者らは、苫小牧地方で霧の多発する時期において、風速 10 m/s 以上の強風が吹いたときに、塩風害が生じるのではないかと考え、降水中の Cl^- 濃度を測定した。その結果、林木の生育期間中に採集された雨や霧水に含まれている Cl^- 濃度の最大値は、調査地 (H) における 1979 年 8 月 17~22 日の期間の 140 ppm であった。また、おのおのの採集水の Cl^- 濃度は 10 ppm 以下の濃度が多く、林木に塩風害をもたらす濃度としては低い値と考えられた。

なお、積雪中の Cl^- 濃度は、雨水の Cl^- 濃度に近い低濃度であるが、早春の雪融け時期は、土壤の凍結層が不透水層となって、 Cl^- を含んだ融雪水が停滞し、その位置は漸時低下していく。このときに、林木の根系に生理的な影響を与えることが考えられる。しかし、異常落葉が、土壤凍結が融解して数か月後の林木の生長期間中に生じる現象から考えると、積雪中の Cl^- は、異常落葉の直接的な被害要因ではないと思われる。

(5) 雨水の pH と SO_4^{2-} 濃度

雨水の pH の測定については、1978 年~1980 年までの採集水について行い、 SO_4^{2-} 濃度の測定は 1979 年と 1980 年の試料について行った。対照区 (J) では 1980 年に雨水採集を中止したため、被害地と対照区との pH および SO_4^{2-} の濃度の比較は、1979 年までの採集資料によって行った。

Fig. 14 に示した 1978 年の雨水の平均 pH と最低 pH から、対照区と被害地との差は認められなかった。また、Fig. 15 に示すように、1979 年の雨水の pH は、調査地 (F), (H), (I) の 3 か所では、pH 3.8~7.1 の範囲にあって、pH 4.5 以下の値が 11 回測定された。一方、対照区の雨水の pH は 4.0~7.0 の範囲にあり、pH 4.5 以下の値は 1 回測定されただけであった。また、 SO_4^{2-} 濃度は明らかに対照区のほうが低かった。対照区は気候的には石狩地方に属するため、雨水の pH 低下は札幌や江別市などの大気環境の影響を受けている可能性がある。pH 値の変化する原因としては、次のように考えられる。一つは、

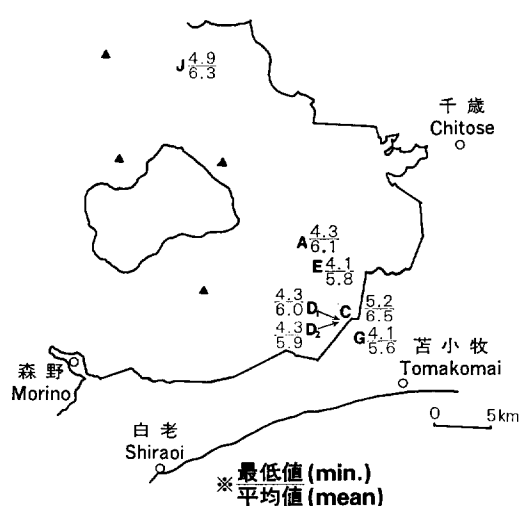


Fig. 14. 雨水の平均・最低 pH
(May. 10~Oct. 20, 1978)
Mean and minimum pH in rain water.

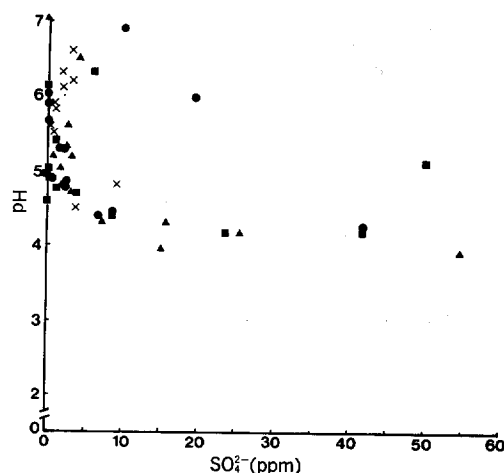


Fig. 15. 雨水の pH と SO_4^{2-} 濃度 (1979)

pH and concentration of SO_4^{2-} in rain water.

▲: F ■: H ●: I ×: J

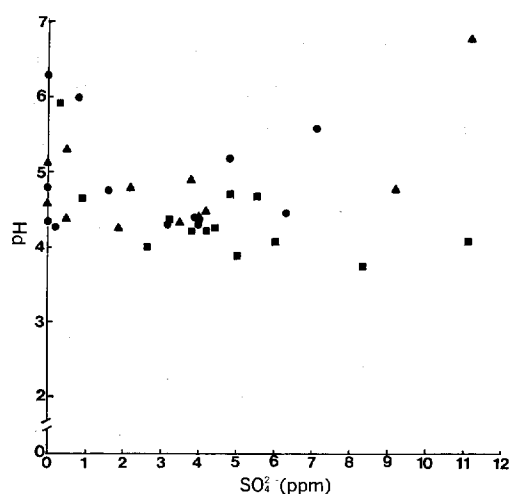


Fig. 16. 雨水の pH と SO_4^{2-} 濃度 (1980)
pH and concentration of SO_4^{2-} in
rainwater.

▲ : F ■ : H ● : I

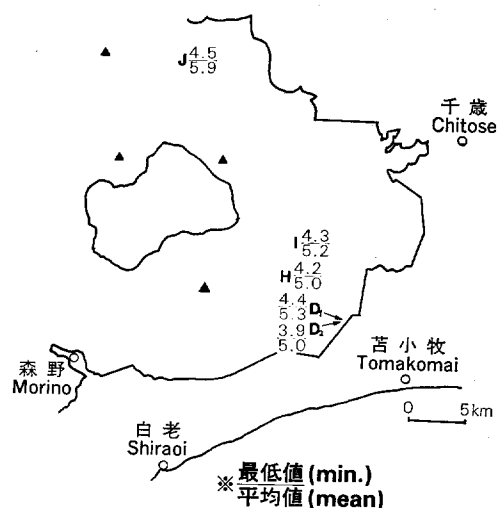


Fig. 17. 雨水の平均・最低 pH
(Jul. 4~Sep. 21, 1979)

Mean and minimum pH in rain water.

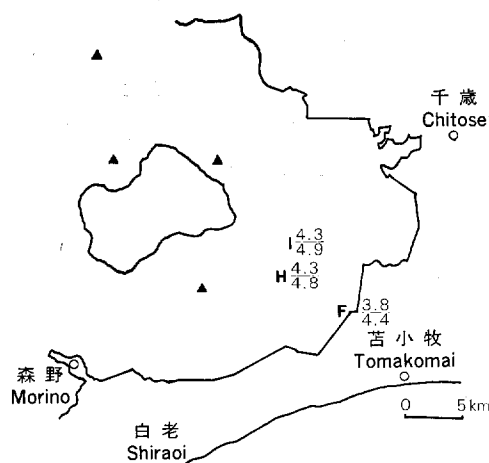


Fig. 18. 雨水の平均・最低 pH
(Jun. 24~Sep. 17, 1980)
Mean and minimum pH in
rainwater.

採水間隔が2日～9日と幅があったため、酸性雨水に混入したごみや、小動物などの腐敗によって、 NH_4^+ などのアルカリ性のイオンが生成されて中和される場合がある。また、降雨時の風向が、北西あるいは北東方向のときには、苫小牧市上空の汚染大気が太平洋側へ流れるために、調査地上空では汚染大気による降雨のpH低下が起きにくく、逆に南東風のときは、汚染大気を含んで低pHとなった雨水や霧水が調査地周辺に降下する可能性が高いと考えられる。ただ、西または南西風のときは、樽前山の火山性噴出ガスの影響もありうることを否定しきれないが、樽前山では火山性噴出ガスによる林木の被害は報告されておらず、本報で取り扱った異常落葉には関与していないと思われる。そのほかには、雨水中の陽イオンと陰イオンのバランスの差異による変化が考えられる⁴⁾。1979年の測定試料の82%は、

SO_4^{2-} の濃度が10 ppm以下であったが、(F)では7月6日～9日までの期間の雨水で、54.9 ppmの最高値を検出している。40 ppm以上の濃度が検出された雨水は4検体あり、それらは、いずれも7月中の雨水であった。

被害地(F)、(H)、(I)では、前年に続き1980年にも雨水を採集してpHと SO_4^{2-} 濃度を測定した。

Fig. 16 はその結果である。この年の pH は 1979 年と比較して全体的に低下していたが、 SO_4^{2-} 濃度は、前年の同じ時期と比べて、かなり減少していた。異常落葉の発生時期 および被害程度は、被害地域内で毎年若干変動する。そこで、降水の pH や SO_4^{2-} 濃度と被害の関係を正確に把握するために、被害地域内 3 地点 (F), (H), (I) の各測定値を比較した。その結果、Fig. 17 と Fig. 18 に示したように、1979・1980年の両年における雨水中の平均および最低 pH については、3 地点間に差がなく、また、前述の不純物等の混入の影響のためか、pH と SO_4^{2-} の間には明瞭な関係は認められなかった。

(6) ガーゼ採集水の pH と SO_4^{2-} 濃度

雨水の pH, Cl^- , SO_4^{2-} などに関する分析のほかに、1979 年からは、(F), (H), (I) の 3 調査地において採集したガーゼ採集水について、 Cl^- と pH および SO_4^{2-} の分析を行った。 Cl^- に関しては前項で述べたので、ここでは、pH と SO_4^{2-} の分析結果について述べる。

Fig. 19 は 1979 年 7 月 6 日～9 月 21 日まで 16 回 測定した ガーゼ採集水の pH の経時変化を示している。3 地点間の採水期間内平均 pH 値に差はなく、各調査地にも、ガーゼ採集水の pH に関しては、同一条件下にあることがわかった。この年は (A) で 7 月 24 日にシラカンバの変色葉を確認したが、ストロブマツの異常落葉の発生は、4 年間の調査のなかで最も遅かった。ストロブマツの葉鞘内基部褐変壊死の発生を確認したのは、8 月 3 日 (C) が最初で、8 月 10 日には (F), (H), (I) の 3 地点でも確認した。

7 月 27 日～8 月 3 日までのガーゼ採集水の pH は、3.8～4.6 とかなり低下しており、被害発生前の 7 月 24 日から被害発生後の 8 月 22 日までは、(I) における 7 月 24 日～8 月 3 日までの試料 (pH 4.6) を除けば、全て pH 4.0 以下の強い酸性であることが判明した。なお、(H) における 7 月 9 日～17 日までの pH は、4.0 以下であったが、異常落葉は観察されなかった。この年の苦小牧の 4, 5, 7 の各月の月平均気温は、平年より $0.8^\circ\text{C} \sim 1.3^\circ\text{C}$ 低かったためか、被害地全域のストロブマツ新葉の展開時期が前年より遅かった。そのため、(H) においても 7 月上旬頃は新葉が十分に展開していなかったために、被

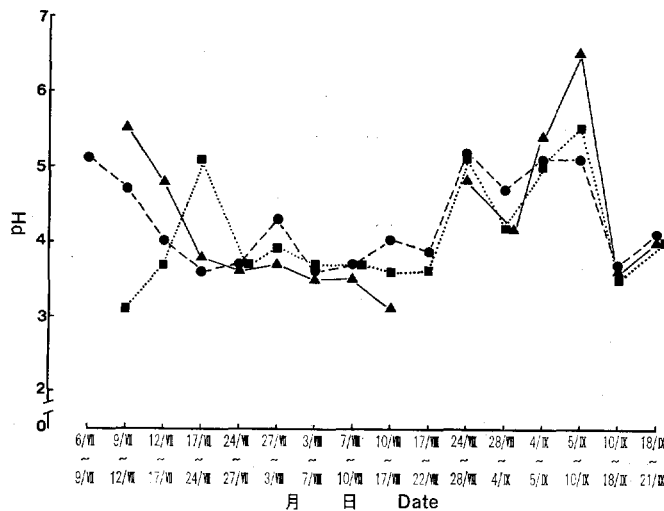


Fig. 19. ガーゼ採集水の pH (1979)

Temporal variation of pH in fog or rain water.

▲: F ■: H ●: I

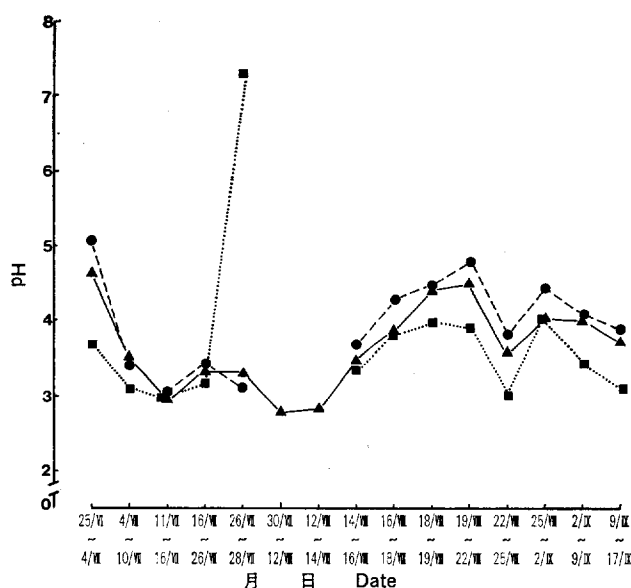


Fig. 20. ガーゼ採集水の pH (1980)

Temporal variation of pH in fog or rain water.

▲: F ■: H ●: I

害が発生しなかったと考えられた。ガーゼ採集水の pH 4.0 以下のときに異常落葉が発生している傾向は、翌年のガーゼ採集水の分析結果においても同様にみられた。

Fig. 20 は 1980 年の ガーゼ採集水の pH の経時変化を示している。この年は調査地 (F) において、前年よりストローブマツで約 20 日早い 7 月 10 日に針葉の変色が発生している。ガーゼトラップによる霧水などの採集を開始した 6 月 25 日以後、(H) では、すでに pH 4.0 以下になっており、7 月 4 日～7 月 26 日までの 3 地点の試料すべてが pH 4.0 未満であった。(F) では、7 月 4 日～8 月 18 日まで、(H) では、欠測期間と pH 7.3 であった 7 月 26 日から 28 日の間を除いて、6 月 25 日～9 月 17 日まで、pH 4.0 以下であった。

次にガーゼ採集水に含まれる SO_4^{2-} 量について検討してみる。Fig. 21 は 1979 年のガーゼ採集水の 1 日当たりの SO_4^{2-} 濃度を示したものである。(F) が他の 2 地点より濃度が高いが、(H) と (I) においても異常落葉は発生した。また、この 2 地点間には SO_4^{2-} の濃度に差がなかった。また、各調査地の 3 m と 6 m の高さ別 SO_4^{2-} 濃度には差が認められず、各調査地点とも、ガーゼで捕捉した霧や雨水に関しては、樹冠の上下層の位置とも、その濃度は同一条件下にあることがわかった。なお、7 月 27 日から異常落葉を確認した 8 月 3 日までの試料の SO_4^{2-} 濃度は、9.1 ppm～31.2 ppm であった。7 月 9 日～12 日までは、3 地点とも 100 ppm を越えており、特に 7 月 17 日～7 月 24 日までに、(F) の地上 3 m の位置で採集した試料では、862.6 ppm という異常に高い値が測定された。しかし、同地点 6 m 高の採集水は 50.2 ppm であったことから推定すると、この 3 m 高の値は、水分の蒸発による濃縮作用が強く働いたためとみられた。ちなみに、この期間中の苫小牧の天気は、晴天 4 日、曇 2 日、霧か霧雨が 2 日で、降水量は 1 mm であった。

ストローブマツの異常落葉を確認した 8 月 3 日の 11～23 日以前には、ガーゼ採集水の SO_4^{2-} 濃度が 100

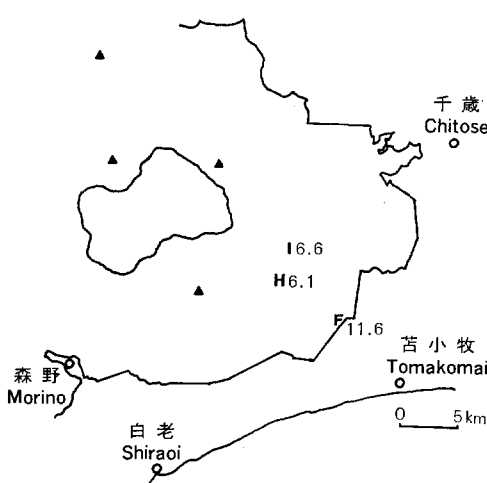


Fig. 21. ガーゼ採集水の平均 SO_4^{2-} 濃度 (ppm/日) (Jul. 6~Sep. 21, 1979)
Concentration of mean SO_4^{2-} in fog and rain water.

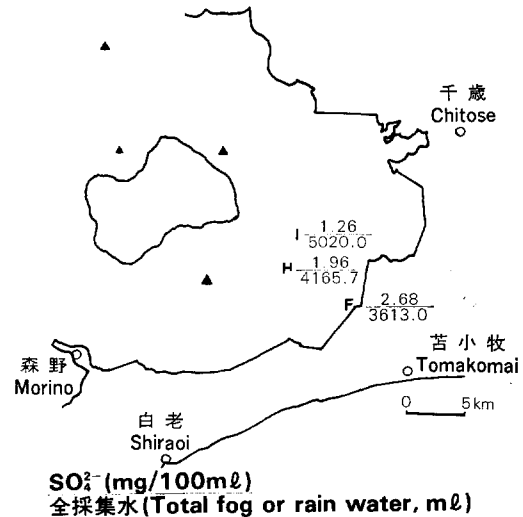


Fig. 22. ガーゼ採集水の SO_4^{2-} 量と全水量 (Jun. 25~Sep. 17, 1980)
Content of SO_4^{2-} and total fog or rain water.

ppm 以上の高い値を検出した試料が 6 個あった。1980 年の被害は、前記したように、苫小牧市に 1 番近い (F) で、7 月 10 日にすでに発生していた。この年の (F), (H), (I) におけるガーゼ採集水の全量は、それぞれ 3613.0 ml, 4165.7 ml, 5020.0 ml であった。また、そのなかに含まれていた SO_4^{2-} 量の採集水 10 ml 当たりの量を、Fig. 22 に示した。3 地点間の SO_4^{2-} 量は、苫小牧市に近いほど多くなる傾向があり、全採集水量はその逆の傾向にあることがうかがえた。

(7) 葉面付着水および短時間内採集水の pH と SO_4^{2-} 濃度

霧や雨水中に含まれる物質によって、葉に生理的な障害が生じるか否かを確かめるためには、まず、実際に葉の付着水中の化学物質を解明し、その定量を行い、次にその物質による曝露試験を行う必要がある。そこで、ストロームマツの針葉に付着している霧水の pH と SO_4^{2-} 濃度を調べた。

針葉に付着していた水滴は、Fig. 23 に示したように、pH は 5.0 以下で、明らかに酸性雨であり、 SO_4^{2-} 濃度は 12 ppm 以下であった。また、ビニールシートを使って、一降雨中に 1~2 時間かけて採集した雨水は、針葉付着水滴とほぼ同様の pH 値であった。各試料の pH と SO_4^{2-} 濃度の相関は高くないが、 SO_4^{2-} 濃度が高くなると pH が低くなる傾向のあることがわかった。しかし、 SO_4^{2-} を含まない試料が 3 個あった。この場合には、pH 値低下に関与している物質として、 NO_3^- 、 Cl^- や大気中の CO_2 が水に溶けてできる HCO_3^- などが考えられる。

(8) pH・ SO_4^{2-} 分析結果の考察

対照区と被害地の 1979 年の雨水の pH で 5.0 以下の試料は、それぞれ 2 個と 21 個で、被害地における酸性雨の回数が対照区のその 10 倍に及んでいた。対照区の雨水の酸性化の原因は、さきに述べたように、札幌市や江別市など石狩地方の大気環境に影響された結果ではないかと考えた。また、雨水中の SO_4^{2-} 濃度は、Fig. 15 より、明らかに被害地のほうが対照区より多かった。

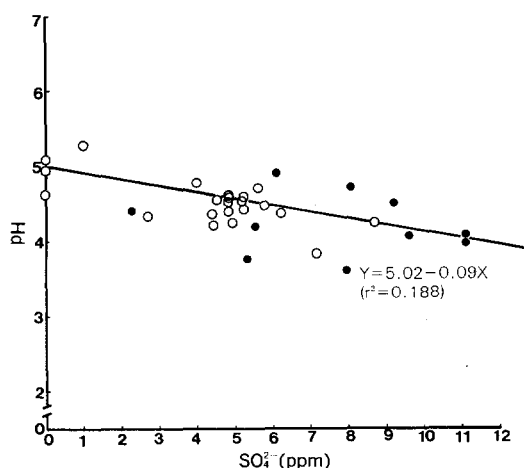


Fig. 23. 針葉付着水とビニールシート採集水の pH と SO_4^{2-} 濃度

pH and Concentration of SO_4^{2-} in rain water
on vinyl sheets and fog water on needles. (1980)

●針葉付着水 ○ビニール採集水
fogwater on needles. rainwater on vinyl sheets.

ガーゼトラップによって採集した霧や雨水は、水滴がガーゼに付着したあと、ポリ容器に到達する間に蒸発作用により濃縮されるためか、 SO_4^{2-} 濃度が雨水より高かった。そして、ガーゼ採集水の pH が 4.0 以下のときに、異常落葉が発生しやすいようであった。さらに、異常落葉が発生している被害地内 3 地点の 1980 年における採集水中の全 SO_4^{2-} 量は、苫小牧市に近い場所ほど多いことがわかった。この全 SO_4^{2-} 量の分布は、被害の程度別分布を説明するには不十分な結果であるが、I 章で述べたストロブマツの枝の生長量とシラカンバの枝枯れ木の分布が、苫小牧市からの距離に関係していることを示すものであろう。

ストロブマツ針葉の付着水滴の SO_4^{2-} 濃度は、ガーゼ採集水ほど高濃度ではなかったが、pH 値からみれば、明らかに酸性雨に属していた。被害木針葉の付着水滴は、付着したあと、徐々に針葉の基部方向へ流下し、最後に葉鞘内に到達する。そして、日中、日射や風によって水分が蒸発濃縮される。このようにして、 SO_4^{2-} を含んだ水滴が付着・蒸発を繰り返すことにより、葉鞘内の SO_4^{2-} 濃度が増加することは十分に考えられる。

IV 噴霧実験

1. 実験方法

著者らは、異常落葉の原因が塩害によると急性被害ではないかという仮説を、検討するために、塩水の噴霧実験を 1980 年 6 月 5 日に開始した。塩水濃度は、1979 年 8 月の最高濃度 140 ppm を参考にして、100 ppm とした。試料枝は実験開始 1 年前に鉢植えしたストロブマツとシラカンバの苗木の切り枝である。切り枝を使用した理由は、塩風害の可視被害は 24 時間ほどの短時間で現れるため、切り枝でも十分に被害症状を観察できると考えたからである。

希硫酸の噴霧実験は、温室においてポリエチレンで被覆した木枠に、前年に鉢植えにしたストロブ

マツとシラカンバの苗木のおの3本を入れ、木枠の開口部に接続した市販の加湿機（噴霧能力0.30～0.40 l/hr）を使って、1980年6月5日から開始した。対照区として、鉢植えしたストローブマツ、シラカンバのおの1本を温室内実験台上に置いた。

希硫酸の濃度は、1979年の異常落葉発生前のガーゼ採集水の分析値から100 ppmを、また、異常落葉が確認された頃の値から30 ppmを選定した。噴霧時間は、霧の発生が日没から夜明けまで続くと想定して、1日当たり10～13時間とした。また、噴霧した霧水の結露を早めるため、噴霧中は床に水を流して床温度を下げた。毎回、噴霧終了後に供試木の枝葉に付着した水滴が乾いたあと、鉢を装置外に取り出した。実験期間中の温室の最高気温は、ルサフォード型最高温度計により、また、湿度は過巻き自記湿度計によって測定した。実験は、供試木の葉に異常な変色、または落葉が確認された時点で終了した。

2. 塩水の噴霧実験結果

塩水（100 ppm）の噴霧実験では、処理後24時間経過しても、葉の異常は認められなかった。また、塩害の症状の経過観察を行うために、濃度5%の塩水を噴霧したストローブマツとシラカンバの処理枝は、処理後24時間以内に葉が褐変した。しかし、変色葉はすぐに落葉しなかった。

3. 希硫酸の噴霧実験結果

ストローブマツの実験では、濃度100 ppm処理木で、噴霧開始15日後（のべ噴霧時間195時間）に、Photo. 3のような当年生葉が褐変する症状が観察された。この間の温室内の日最高気温の平均値は28.5℃で、日平均最高湿度は91.2%であった。なお、噴霧装置内の気温は温室内と同じとみなした。その後、噴霧開始21日目（のべ噴霧時間266時間）には、当年生葉においてFig. 5のB, D型および全枯症状の被害葉が現れた。そして、この時点で生長が停滞して5本の緑色針葉が開かずに一束になっているものは、葉鞘内基部の褐変壊死が生じていた。一方、濃度30 ppm処理試験では、噴霧試験開始25日後（のべ281時間噴霧）に、針葉先端部の褐変現象が観察できた⁴⁵⁾。

シラカンバに対する噴霧実験では、1日12時間の噴霧を行った。実験期間の日平均最高気温は33.3℃、日平均最高湿度は91.6%であった。実験開始から16日目（のべ192時間）に、100 ppm処理木の葉では、異常落葉の形態の一種である縁辺部分の褐変現象が生じた⁴⁶⁾。しかし、30 ppm処理木では、実験終了時まで異常が認められなかった⁴⁵⁾。なお、葉齢の若い葉より古い葉で異常変色が生じていた。また、ストローブマツ・シラカンバの対照木では、上記の噴霧処理木のような異常は生じなかった。

4. 考 察

塩水の噴霧実験では、100 ppmの濃度でストローブマツとシラカンバに異常変色が生じなかった。しかし、被害地域では、降水分析から明らかなように、異常落葉が発生している時期に、100 ppmを越すCl⁻濃度の雨や霧水はほとんど降っていないため、塩害が発生したとは考えられない。たとえ、強風に伴う塩害が生じたとしても、ストローブマツやシラカンバの被害葉は、変色してから、すぐに落葉しないため、異常落葉との区別が可能であろう。

ストローブマツに対する希硫酸の噴霧実験の結果、針葉先端の褐変現象が最初に現れた。最終的には、著者らが最重要視している葉基部褐変葉を再現できた。なお、葉基部褐変葉の再現が最もおくれた理由としては、次のように考えた。すなわち、針葉は生長初期に、5本一束で葉鞘に包まれているが、その成熟に伴って展開していく段階で、水滴の付着位置が微妙に変わるために、変色位置も変化するようである。実験中の観察によれば、供試木の枝葉は皆生長良好であったため、枝長、葉長とも被害木より長く、水滴

が付着すると、当年枝が湾曲して、針葉全体が下垂するのが多かった。そのために、毎回の噴霧処理終了時には、水滴は葉鞘の先端部分より上部の葉身に付着している場合が多かった。噴霧実験によって再現された葉基部褐変葉は、すべて針葉が一束になったままであったが、それは、葉鞘内分裂組織が希硫酸によって障害を受けたために生長が止まった結果と考えられた。また、葉基部褐変の生じた針葉は、付着水滴の加重で下垂した枝の上向側に位置したものが多かった。つまり、付着水滴が針葉先端から葉鞘の方へ流下する場合には、葉基部の褐変が発生するようである。このことから推察すると、被害地域のストロブマツは毎年被害を受けるため、枝や針葉が短くなり、付着水滴が葉基部へ流下集中しやすい樹形になっている。そして、毎年ストロブマツの被害の程度や発生時期が変動する一つの理由として、被害を受ける側であるストロブマツ針葉の生長が、その年の気象や前年の被害程度などによって、変化するためではないかと推定された。

シラカンバに対する希硫酸の噴霧試験では、葉の縁辺部分の褐変する被害型を再現した。しかし、葉面全体に多数の小黒点が現れる症状は再現できなかった。

以上の塩水および希硫酸によるストロブマツとシラカンバの噴霧実験の結果から、雨や霧水中の Cl^- より SO_4^{2-} の方が林木の異常落葉に関係あることが示唆された。そして、異常落葉発生時期に被害地域内に降下する雨や霧水に含まれる SO_4^{2-} の含有量は、ストロブマツの異常落葉と、シラカンバの変色葉を生じさせる程度の濃度ではないかと考えられた。

なお、本報で論じた異常落葉と酸性雨あるいは酸性霧の問題については、今後さらに SO_4^{2-} の域値の解明、あるいは Cl^- や SO_4^{2-} 以外の物質との関係について、調べる必要がある。

V 総 合 考 察

ストロブマツの異常落葉については、原田ら⁵⁾による未熟土壤中のK欠乏に由来しているとする考えのほかに、寒風害、塩風害、病害、土壤凍結害、大気汚染害などに起因しているとする意見があった。

土壤中のK養分欠乏に起因する栄養障害説に対しては、前述のように真田ら²²⁾の施肥および被害木の移植試験により、異常落葉の直接の原因ではないことが明らかにされた。

寒風害の疑いに対しては、防風林帯の北西側に、健全ないし、微害木が多い点、すなわち、寒風害を引き起こす北西風とは逆の南～東よりの風に対して、保護効果が認められること⁴⁴⁾、および異常落葉の発生時期が、7月～8月の生長期間中である⁴⁴⁾こと、などから、異常落葉の原因とは考えられない。

塩風害に対する調査結果によれば、異常落葉の発生する時期の雨水や霧水には、ストロブマツに対して異常を生じさせる程度の塩分濃度は検出されなかった⁴⁴⁾。

病害に対する佐々木ら²⁴⁾の研究結果では、被害木より分離された土壤病原菌 (*phytophthora cinnamomi*)、*Pythium* 菌、線虫、および糸状菌などのストロブマツに対する接種試験において、異常落葉や生育障害現象は認められなかった。

また、土壤凍結が根系へ及ぼす影響については、生長量の低下の一因子であるかもしれないが、寒風害同様に、異常落葉の発生時期が7～8月という点からみて、直接の原因とは考えられない。

一方森田¹⁵⁾は、苫小牧市内において、バンクシアナマツやクロマツなどのマツ類の枝の伸張量の測定と、ソバの葉の異常と相対生長率の測定を行い、マツとソバの生育異常に、大気汚染が関与している疑いが、かなり強いことを示唆した。

また、前田は¹⁴⁾、金属板を被害地に放置したあと、その腐蝕状態をX線マイクロアナライザーによって分析し、被害地の空気中の硫黄酸化物の存在を明らかにした。

苦小牧地域における大気中の SO_2 濃度分布の解析によれば、苦小牧市の北から北西にかけての地域は、夏季に濃度が高く、冬季に低くなる地域である⁷⁾¹¹⁾。異常落葉が発生している森林の位置は、市内から数 km～20 km ほど離れた上記の夏季において SO_2 濃度の高くなる地域の後背地にある。

ガーゼトラップにより捕捉した採集水の pH は、4.0 以下の強い酸性の試料が多かった。しかも、それらの SO_4^{2-} 濃度の経月変化は、苦小牧市内の大気中における 6 月～9 月までの SO_2 濃度の経月変化⁷⁾ と対応する傾向が認められた。

苦小牧市の大気汚染は産業型の汚染形態を示すと⁷⁾ いわれており、市内上空に浮遊する煙霧中の NO_x や SO_2 などは大気汚染源となっている。さきにも述べたように、苦小牧地域は 5 月～8 月までは、霧の発生する日が多く、特に 7・8 月は霧か煙霧の日が多いため、この時期に排煙に含まれる亜硫酸ガスは空気中で酸化され、さらに、霧水と結びついて硫酸となり¹⁷⁾、酸性のスモッグが生じると思われる。一方、ストロブマツの葉の養分分析⁴⁰⁾ によれば、健全木と被害木とを比較した場合、被害木では Ca と Mn がかなり減少し、Mg も減少している。これは、土壤中に SO_4^{2-} が加えられると、 Ca^{2+} や Mg^{2+} が土壤中から溶脱する⁴¹⁾ため、被害林地の土壤には、 Ca^{2+} はもともと少なくなっているために、そこにある被害木の吸収した Ca 量が少ないものと考えられる。原田ら⁶⁾ の報告でも、当年生葉と 1 年生葉中の CaO と MgO の養分現存量は、健全木に比べて被害木の方が 1/3～1/4 ほど少なく、また、被害林分の A_0 層は健全林に比べて、CaO 濃度が低いことが明らかになっており、上記の SO_4^{2-} と Ca^{2+} 、 Mg^{2+} との反応を裏づけるものと考えられる。

異常落葉が霧と関係あるとする根拠には、次のような点があげられる。まず第一に、霧の侵入する範囲内において、被害が発生していることである。次に、防風林帯の北西側にある造林地、ならびに、周囲を天然生広葉樹林やカラマツ林で囲まれた造林地など、霧の侵入しにくい場所で被害が少ないことである。原田ら⁶⁾ が指摘している林道沿いの林縁木が健全で、林内は激害であった 147 林班の 11 年生ストロブマツ林は、林道をはさんで南側に天然林の保残林帯があり、その防霧効果が林道沿いのストロブマツに及んだものと思われる。このような被害分布は、霧の影響以外のものは考えにくい。防風林帯北西縁側に健全、または、微害木が多いことは、空中写真によっても観察できた。298 林班では、カラマツ (1952 植) とストロブマツ (1968 植) が交互に造林してあるが、ストロブマツの生長が良い植栽列は、カラマツ林帯の北西側林縁に隣接している 1～2 列だけであった。

濃度 100 ppm の希硫酸の人工噴霧試験によって、ストロブマツに被害木と類似した異常な変色と落葉が生じ、また、シラカンパでは被害葉の一形態と同じような変色が生じたことから、異常落葉には酸性霧や酸性雨に関係していると考えられるが、今後、さらに検討すべき問題であらう。

VI 摘 要

近年、ヨーロッパや北アメリカでは、酸性雨による森林生態系への影響が、深刻な環境問題となっている⁸⁾¹¹⁾。

わが国においても、雨水の pH の観測点の増加に伴い、酸性雨の存在が知られるようになった。しかし、わが国の場合は気象や立地条件が、ヨーロッパや北アメリカと異なることもあって、現在まで、酸性

雨と森林被害についての報告例は、ほとんどないといわれている⁸⁾。

本報は、北海道胆振地方の苫小牧市北西部に位置する、樽前山々麓に連なる森林地帯において発生している林木の異常落葉について、研究したものを取りまとめたもので、本文の内容を要約すると、以下のようである。

- 1) 異常落葉の発生する地域は、樽前山、支笏湖、苫小牧市、千歳市に囲まれた海岸から 3～20 km 以内で、海拔 40～250 m の森林地帯である。
- 2) 異常落葉が始まる時期は、林木の生育期間中の 7～8 月である。一方、この時期は、苫小牧地域に霧の発生する季節である。
- 3) 異常落葉の発生する樹種は、外来樹種のストロブマツ、ヨーロッパアカマツ、バンクシアナマツのマツ類と、在来種のウダイカンパ、シラカンパ、ハリギリ、ドロヤナギ、ホウノキ、エゾイタヤ、キタコブシなどの広葉樹である。また、下層植生のかん木類や草本植物にも、異常落葉や異常変色が認められた。
- 4) マツ 3 種の針葉における初期被害症状は、当年生葉の葉鞘内基部の未熟組織の変色が主であった。また、広葉樹の落葉には、どの樹種においても、葉の全面、あるいは、縁辺部分に変色が生じ、カンパ類やドロヤナギでは、SO₂ ガスの曝露による被害²⁸⁾によく似た形態が現れていた。
- 5) 異常落葉の発生している時期のガーゼ採集水には、pH 4.0 以下の強い酸性のものがあり、それらのなかに、硫酸酸化物の存在していることがわかった。
- 6) ガーゼ採集水中の SO₄²⁻ 濃度の実測値に基づき、30 ppm と 100 ppm の希硫酸液による人工噴霧試験を実施した。ストロブマツは 30 ppm、281 時間噴霧で当年生葉の先端褐変が、また、100 ppm、195 時間処理で当年生葉の先端褐変現象が観察された。さらに、100 ppm、266 時間処理で当年生葉の葉鞘内基部の褐変現象が現れた。

シラカンパでは、30 ppm 処理で異常が起きず、100 ppm、192 時間で葉の縁辺部分の褐変現象が生じた。

引用文献

- 1) 新谷栄吉：苫小牧市内における風について。研究時報，18，74～77，(1966)
- 2) BERRY, C. R. and G. H. HEPTING : Injury to Eastern White Pine by unidentified atmospheric constituents. For. Sci., 10, 2～13, (1964)
- 3) DOCHINGER, L. S. and C. E. SELISKAR : Air pollution and the chlorotic dwarf disease of Eastern White Pine, For. Sci., 16, 46～55, (1970)
- 4) 古明地哲人・小山功・渡辺のお子・京田三恵・石黒辰吉：降水の酸性化と大気汚染について。大気汚染学会要旨，19，208，(1978)
- 5) 原田 洸・真田 勝・藤村好子・渡辺富夫・高橋邦秀・大友玲子：樽前地域のストロブマツ幼齡造林地に発生した異常落葉の被害（予報）。林試北支年報，1972，48～59，(1972)
- 6) 平野四蔵：無機応用比色分析—IV。396～397，共立出版 (1975)
- 7) 北海道生活環境部：北海道環境白書 53 年版。北海道，366 pp., (1978)
- 8) 井上徹雄：酸性雨による森林被害。林業技術，496，27～30，(1983)
- 9) 柿崎英一：胆振は大雨の多い所 (2)。北海道の気象，6，12，5～7，(1962)
- 10) 気象庁：地点別月別平年値 (1951—1980)。日本気候表，31～32，(1982)
- 11) LIKENS, G. E. : 酸性雨。ブリタニカ国際年鑑，255～258，(1984)

- 12) LINZON, S. N.: The effect of artificial defoliation of various ages of leaves upon White Pine growth. *For. chron.*, **34**, 50~56, (1958)
- 13) LINZON, S. N.: Histological studies of symptoms in semimature-tissue needle blight of Eastern White Pine. *Canad. J. Bot.*, **45**, 133~145, (1967)
- 14) 前田 満: 大気汚染に関する 2, 3 の実験. 生研談ノート, **32**, 7~14, (1978)
- 15) 森田弘彦: 苫小牧市内のマツ類の生育と大気汚染. 北方林業, **28**, 120~122, (1976)
- 16) 守田康太郎・大川 隆・佐々木和子: 移流霧の消散に及ぼす熱効果について. 林試北支業務報告, 特別報告 1, 30~44, (1954)
- 17) MYERS, J. N. (山下晃訳): 霧. '77 サイエンス別冊, 6~15, (1977)
- 18) 日本気象協会北海道本部: 北海道の気象. **22**, (1978)
- 19) 小川 章・松平 昇: 亜硫酸ガス及びオキシダントに対する樹種別感受性比較. 王子製紙林木育種研報 1976, 142~153, (1976)
- 20) 大喜田敏一・太田幸雄・原 宏: 大気中のガス・エアロゾル成分の変動及び雲水の pH について. 大気汚染学会要旨, **19**, 9263, (1978)
- 21) 齊藤 孝・奥山信孝: 苫小牧地域の PbO_2 測定網の統計解析. 大気汚染学会要旨集, **19**, 100, (1978)
- 22) 真田 勝・大友玲子: 樽前地域のストロブマツ異常落葉被害と土壌との関係. 北方林業, **34**, 8~10, (1982)
- 23) 札幌管区気象台: 勇払原野における霧の調査報告. 研究時報, **16**, 2, 1~15 (1964)
- 24) 佐々木克彦・松崎清一・魚住 正: 苫小牧地区ストロブマツ造林木の生育障害における病理学的検討. 日林北支講, **28**, 173~175 (1976)
- 25) 佐々木昌治・大友末治・秋山 誉: ストロブマツ造林地の被害について (中間報告). 札幌局業研集録, 52~66, (1974)
- 26) 佐々木昌治・大友末治・秋山 誉: 苫小牧事業区における造林の歩止りについて. 札幌局業研集録, **21**, 101~107, (1975)
- 27) 佐藤厚司: 苫小牧地方における天気的地域性について. 研究時報, **21**, 691~695, (1969)
- 28) 大気汚染研究全国協議会第 7 小委員会編: 大気汚染植物被害写真集. 日本公衆衛生協会, 221 pp., (1973)
- 29) 苫小牧営林署: 冬期における造林地の気象調査(第 1 報). 造林実験営林署研究報告, **1**, 242~252, (1969)
- 30) —————: 冬期における造林地の気象調査 (第 2 報). 同上, **2**, 122~131, (1970)
- 31) —————: 同上 (第 3 報). 同上, **3**, 136~142, (1971)
- 32) —————: 同上 (第 4 報). 同上, **4**, 121~125, (1972)
- 33) —————: ストロブマツの保育試験(第 1 報), 造林実験営林署研究報告, **4**, 92~97, (1972)
- 34) —————: ストロブマツの保育試験—I (第 2 報). 同上, **5**, 81~91, (1973)
- 35) —————: ストロブマツの保育試験—II (第 1 報). 同上, **5**, 92~96, (1973)
- 36) —————: ストロブマツの保育試験—I (第 3 報). 同上, **6**, 42~49, (1974)
- 37) —————: ストロブマツの保育試験—II (第 2 報). 同上, **6**, 50~54, (1974)
- 38) —————: ストロブマツの保育試験—I (最終報告). 未印刷
- 39) —————: ストロブマツの保育試験—II (最終報告). 同上, 未印刷
- 40) 津田耕治: 葉分析の結果 (2). 生研談ノート, **32**, 19~21 (1978)
- 41) ULRICH, B. and J. PANKRATH: Effects of accumulation of air pollutants in forest ecosystems.. D. Reidel publishing company. 389 pp., (1982)
- 42) VISHNER, S. S.: Atlas of the United States. Harvard University Press., 403 pp., (1954)
- 43) 山内義敬: 苫小牧における降雨予報. 研究時報, **18**, 165~170, (1966)
- 44) 吉武 孝: 樽前地域のストロブマツ造林地に発生した異常落葉の形態について. 林試北支年報, 1978, 70~75, (1978)
- 45) 吉武 孝・増田久夫: 樽前地区の造林地に発生した異常落葉について. 日林北支講, **29**, 113~115 (1980)

**Study on Unusual Defoliation of *Pinus Strobis* etc.
in a Region of Tomakomai.**

Takashi YOSHITAKE⁽¹⁾ and Hisao MASUDA⁽²⁾

Summary

We would like to introduce the unusual defoliation of *P. strobis* etc. in a region of Tomakomai in Hokkaido, northern Japan.

There is an approximately 2000 hectare plantation of *P. strobis* in the area of Tomakomai in Hokkaido. Current needles of *P. strobis* in this area have been shed in the growing season every year since 1969. In the Tomakomai area there are several industrial installations.

The affected tree species are *P. strobis*, *P. sylvestris*, *P. banksiana*, *Betula maxymowicziana*, *Betula japonica*, *Kalopanax pictus*, *Populus maximowiczii*, *Magnolia ovobata*, *Acer mono.* and *M. k. var. borealus*. Moreover, herbaceous plants and bushes are damaged on the forest floor.

An unusual defoliation of leaves has been seen during the growing season, July and August, every year. This period is about the same as foggy season in Tomakomai area.

In the case of *P. strobis*, the incipient symptoms of shedding needles appeared in immature tissues covering the leaf sheath of the current year's needles, and the orange-red lesions then spread acropetally throughout adjacent, more mature, tissues. The first cells to break down in blighted immature tissue occur in the mesophyll region of the needle base and then, the affected needles shed.

Fertilizing and transplanting sometimes brought about improved vigor, but did not affect the occurrence of the unusual defoliation of *P. strobis* needles by SANADA and OHTOMO (1982).

Needles, root and stem of *P. strobis* isolations yielded no primary pathogens by SASAKI *et al.* (1976).

Leaves of broad leaved tree discolored region of the leaf margin or whole on surface of the leaf. For example, the affected leaves of *Betula* spp. and *Populus maximowiczii* are similar to injury caused by SO₂ gas.

Fog and rain water in the affected area in July and August contains sulfuric acid and its pH is less than 4.0.

The tip of current *P. strobis* needles are discolored red brown with 281 hours value of 30 ppm sulfuric acid solution sprayed and a phenomenon of needle base discoloration appeared with 266 hours value of 100 ppm sulfuric acid solution sprayed.

From the facts described above, we may conclude that we need to study of the relationship between acid fog or acid rain water concentrating sulfur dioxide and the unusual defoliation of trees in Tomakomai region.

Received April 9, 1985

(1) Forest Influences Division

(2) Hokkaido Branch Station

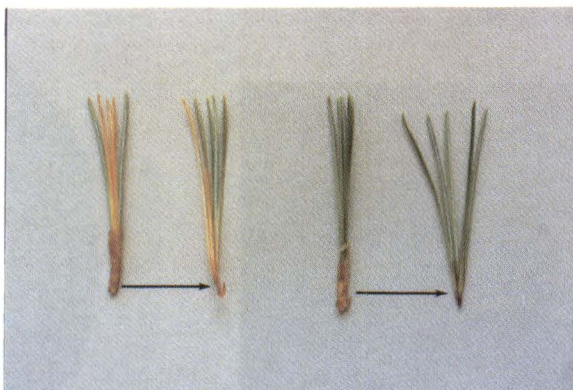


Photo. 1 ストロブマツ未成熟葉の被害
Injured semimature needles of *P. strobus*.

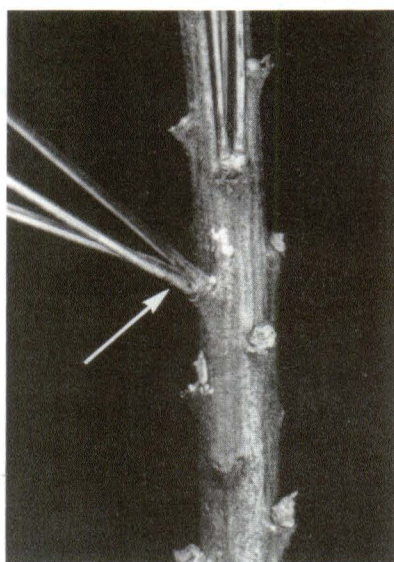


Photo. 2 ストロブマツ成熟葉の基部褐変
Base-burn of mature needle of *P. strobus*.



Photo. 3 希硫酸の噴霧によるストロブマツ被害葉
Discoloration needles of *P. strobus* by spray
of weak solution of sulfuric acid (100 ppm, 195 hr.)



Photo. 4 ハリギリ被害葉
Injured leaves of *Kalopanax*.
left : the reverse side, right : the surface.



Photo. 5 キタコブシ被害葉
Injured leaf of *M. K. var. borealis*.



Photo. 6 シラカンバ被害葉
Injured leaf of *Betula japonica*.



Photo. 7 ドロヤナギ被害木 (Sep. 16)
Affected *Populus maximowizii*.