

## 9227 海洋からの塩分が樹木の成長に及ぼす影響

助成研究者:深沢 和三(北海道大学 農学部)

共同研究者:船田 良(北海道大学)

:佐野 雄三(北海道大学)

**1. 研究目的** 海岸線に近接する森林において、台風等により強風を受けた後、樹木の葉が褐色化したり、枝が早期に枯れ落ちたりする現象がしばしば認められる。この現象は、常風では褐変を引き起こすほどではない塩分が、海洋から強風により短時間でかつ大量に森林に送られたため起こると考えられている。海洋からの塩分量の変化に伴う、このような葉の褐変という樹木の外見上の変化については、現地調査等により報告されてはいるが十分ではない。また、この変化が樹木の内部状態や樹木全体の成長状態、特に樹木の肥大成長(我々が木材と呼んでいる部分の成長)にどのような影響を与えているかについてはほとんど調べられていない。本研究では、過去に海洋からの塩分により樹木樹冠の褐変が認められた林分の状態を調査し、さらにそれらの林分に生育する樹木の年輪解析を行い、海洋からの塩分が海岸近くに生育する樹木の成長やその材質に与える影響を検討した。

**2. 研究方法** 試験地として、北海道大学農学部附属苫小牧演習林を選定した。当演習林は、太平洋岸から約4 kmのところの位置し、1981年8月23日に大型台風に襲われ、多くの樹木風倒被害と共に、残された林木に樹葉の変色が認められた。年輪解析用試料は、変色が観察された林地に成育する樹木樹幹より、成長錐で採取した。本研究では主に、ヨーロッパトウヒ、カラマツなど針葉樹造林木を用いた。得られた試料を調整後、軟X線デンストメトリー法(試料の軟X線写真を撮り、それをマイクロ・デンストメータでトレースし、それをコンピューター処理することにより年輪からの情報を得る方法)により、一年輪ごとの年輪幅や比重の変動を測定した。さらに、その結果を統計解析法の一つであるResponse function 法により検討した。

**3. 結果及び考察** 大型台風の通過後、樹葉が何らかの変色をおこした林分は、調査全面積の80%以上を占め、塩風の被害がほぼ全域に達していることを示した。しかしながら、被害状況を樹葉の変色状態から判断したところ、その程度は海岸からの距離や方向など林分の位置や林分の構成樹種などで様ではなかった。このことは、森林の造成法により、海洋から飛来する塩分の樹木への影響を人工的にある程度制御できることを示唆している。一方、現在では樹葉が変色した林分は外観上では特定できなくなっており、変色が1981年の台風による一時的なものであったことを示している。

年輪解析の結果、1981年より後、1985年にかけて、年輪幅の落ち込みが各供試木ほぼ共通に認められた。短期間に大量の塩分が葉や枝に付着したため、これら諸器官の正常な生理機能を妨げ、肥大成長が抑制されたと考えられる。また、一年輪の平均密度も若干落ち込んでいることがわかる。これらの結果を、統計解析により検討してみると、この期間の年輪幅は、Response function 法で求めた気候変動のみで説明できる年輪幅の予測値に比べ大きく落ち込んでいることがわかる。一方、年輪幅は1985年以降は回復傾向にあり、これは樹冠の活性が時間を経るにつれて回復したためと思われる。しかしながら、一部の樹木ではその回復度は鈍く、現在側枝が枯れ上がっていたり、樹冠頂端の枝が先枯れしており、また木部細胞の形成量も抑制されており、樹木活力の衰退が認められた。



9227 海洋からの塩分が樹木の成長に及ぼす影響

助成研究者: 深沢 和三(北海道大学 農学部)

共同研究者: 船田 良(北海道大学)

: 佐野 雄三(北海道大学)

## 1. 研究目的

近年、地球規模での森林の保護・育成が求められているが、健全な森林環境を維持するためには、樹木の成長と生育環境要因との関係について多くの知見が必要である。そのような背景から、これまでも両者の関係について研究を遂行してきたが、海洋からの塩分も樹木の成長に与える大きな環境要因と考え、本研究を行った。

海岸線に近接する森林において、台風等により強風を受けた後、樹木の葉が褐色に変化したり、枝が早期に枯れ落ちたりする現象がしばしば認められる。この現象は、常風では褐変を引き起こすほどではない塩分が、海洋から強風により短時間でかつ大量に森林に送られたため起こると考えられている。すなわち、強風により運ばれた塩の粒子が、樹木の葉等に付着し葉の気孔をふさぎ樹木の呼吸作用を阻害したり、葉の気孔以外の、風による損傷部から塩粒子が侵入するため樹木内の塩濃度が上昇し、樹木の正常な生理作用が乱された結果、葉の変色や枯れが引き起こされたと思われる。海洋からの塩分量の変化に伴う、このような葉の褐変という樹木の外見上の変化については、現地調査等により既にいくつか報告されているが十分とはいえない。また、個々の樹木に与える塩分の生理学的影響などについては報告されているが、林分全体を対象とするようなこのような変化が樹木の内部状態や樹木全体の成長状態、特に樹木の肥大成長（一般に我々が木材と呼んでいる部分の成長）にどのような影響を与えているかについては調べられていない。樹木の成長状態が、光合成生産物や植物ホルモン等の生成場所である樹冠（芽、葉、枝の着生部）の活性状態に大きく制御されていることを考慮すると、海洋からの塩分の変化に伴う葉の活性状態の変化が、樹木の肥大成長に影響を及ぼすことは、十分予想される。

そこで本研究では、過去に海洋からの塩分により樹木樹冠の褐変現象が認められた林分の状態を追加調査すると共に、それらの林分に生育する樹木の年輪解析を行い、海洋からの塩分が海岸近くに生育する樹木の成長や材質に与える影響を検討した。

## 2. 研究方法

2. 1 試験地 試料採取試験地として、北海道大学農学部付属苫小牧演習林を選定し

た。当演習林は、太平洋岸から約4 kmのところに位置し、標高約5 - 90 mの台地で面積は2, 715 ha、年平均気温は、6. 4度、雨量1, 200 mmである。1981年8月23日に大型台風(台風15号)に襲われ、多くの樹木風倒被害と共に、海洋からの塩分による樹葉の変色が観察されている。これについては、結果のところできさらに詳しく述べる。

2. 2 年輪解析法 供試木は、当演習林に植栽された針葉樹、主にヨーロッパトウヒ(*Picea abies* Karst.)を用いた。年輪解析用試料は、1992年5月に、変色が観察された林地に成育する樹木樹幹より、樹木にとってよりダメージの少ない成長錐で採取した。得られた試料を厚さ2 mmに製材し、調整・乾燥後、軟X線デンシトメトリー法により、褐変が認められた年(1981年)を含む過去数十年輪における、一年輪ごとの年輪幅や比重(細胞密度)等を算出し、樹木の肥大成長状態の指標とした。軟X線デンシトメトリー法を簡単に説明すると、以下の通りである。まず、観察試料とあらかじめ比重のわかっている標準クサビ(シナノキ)の軟X線写真を撮影(撮影条件; 管電流 5 mA, 管電圧 15 kV, 照射距離 1. 5 m, 照射時間 240 sec.)し、現像後そのネガフィルムをマイクロ・デンシトメータで濃度解析しトレース曲線を得る。それをパーソナルコンピューターに取り込み、年輪解析プログラムで処理することにより、年輪幅や年輪内密度などの年輪からの情報を解析する。密度解析は、標準クサビの濃度データとその密度の実測値から求めた回帰式にもとずいて計算する。この方法は、年輪解析を行うに当たり精度の高い計測値を得る上で、またコンピューターに直接データを取り込むため、解析後さらに各種統計解析を行う上で有効な手法といえる。今回得られたデータも、統計解析法の一つであるResponse function法によりさらに解析した。Response functionとは、樹木の成長に影響を与える気候要素が年輪情報に及ぼす相対的な影響を示す指標で、回帰式で表される。この回帰式に気候データを代入すると年輪から得られる情報の推定値が計算出来、この値は気候変動にのみ対応した変動結果といえる。したがって、もしある年でこの値と実測値とが大きく異なる場合、気温や降水量など通常の気候変動要素以外の影響、例えば大型台風、山火事や火山噴火など突発的な環境変動がその年の年輪情報に大きく寄与したことが評価される。このResponse functionの計算行程を簡単に説明すると以下のようになる。まず、各年の月別の気候変数について主成分分析を行い、少数の主成分、固有ベクトルにまとめる。採用された主成分を説明変数、年輪から得られた情報データを被説明変数として変数増減法による重回帰分析を行う。その際、年輪から得られた生の情報データは、予めその傾向曲線を指数式や多項式で近似させておき、実測値との比を求め標準化しておく。この分析の結果求められる、採用された主成分の標準回帰係数と、各主成分に対応する固有ベクトルとの積を計算してResponse function 指数とする。このような解析から得られた指標値を詳細に比較し、1981年8月23日の大型台風がもたらした、海洋からの大

量の塩分を含む風により誘導された樹葉の変色が、その後の樹木の成長状態にどのような影響を与えたか検討した。

### 3. 研究結果

#### 3. 1 試験林分の状態調査結果

1981年8月23日の大型台風により、苫小牧地方演習林では深刻な樹木の風倒被害（15、000m<sup>3</sup>）を受けたが、それとともに、残された極めて多くの樹木が広範囲にわたり樹葉の様々な変色をおこした。その状態に関しては、菱沼ら（北海道大学農学部）が台風発生20日後に撮影したリアルカラー空中写真の判読により明らかにしている。今回、その結果をさらに検討するとともにその後に残された演習林記録台帳の調査や昨年に現地調査をしたところ、塩風害によると思われる樹葉の変色程度に関して以下のことが明らかになった。

空中写真の詳細な調査から、被害面積（樹葉が何らかの変色を示している林分）は調査全面積の80%以上を占め、塩風の被害がほぼ全域に達していることを示している。しかしながら、被害状況を樹葉の変色状態から判断したところ（例えば、灰褐色に変色した林分を最も被害の大きい林分とし、緑色に近い林分を被害の小さい林分とした）、その程度は市街地や海岸からの距離や方向で、また林分を構成する樹種などで違いが認められ一様ではなかった。最も変色が顕著な林分は、海岸から近い距離に位置する林縁部や若干台地になった場所において多く認められ、林縁部から離れるにしたがい少なくなる傾向がみられた。これは、海洋から運ばれた空中塩分量の違いによるものと菱沼（北海道大学農学部演習林研究報告、第46号（1）、111-124（1989））は結論づけている。また、変色の程度はヨーロッパトウヒ、トドマツ、カラムツなどの針葉樹造林木で高かった。

一方、これらの変色は台風発生の翌年の1982年9月の調査では殆ど認められず、また現在では樹葉が変色した林分は特定できなくなっており、変色が1981年の台風による一時的なものであったことを示している。したがって、現在当演習林に生育している樹木は、外観上からは過去に台風による塩害をうけたことは判断できなくなっている。しかしながら、樹葉の一時的な変色が引き金になり、樹木の成長状態に影響を与えたことは十分予想できる。もし影響を受けているとしたら、今後長期間に渡って育林を続けて行くうえで、そして将来製材等で利用する上で大きな障害になると予想される。そこで、変色の程度が高かった林分に生育する樹木、とくに針葉樹の肥大成長や年輪構造の変動を年輪解析により調査した。

#### 3. 2 年輪解析の結果

苫小牧地方演習林第312林班に生育する約60年生ヨーロッパトウヒにおける、19

49年から1991年まで過去約40年間の年輪幅（肥大成長量）の変動をFig. 1に示す。

これをみると、年輪幅は各年毎に変動があるものの、全体的な傾向には共通点がいくつか認められる。どの供試木も1965年前後から年輪幅は一般的に減少傾向にある。そして、1981年より後の1982-85年にかけて、年輪幅の落ち込みが各供試木ほぼ共通に認められた。いくつかの供試木では、年輪幅は0.5mm以下にまで減少した。その後、年輪幅（肥大成長の程度）は回復したが、No. 3やNo. 10では回復度は低く、現在の肥大成長量、すなわち木部細胞の分裂能力は供試木間で違いが顕著である。

これらの生データを基に、年輪情報を統計解析の手法を用いて指標化した（Fig. 2）。実線が実測値の標準化値を示しており、点線がResponse function法で求めた気候変動のみで予測される標準化値を示している。これをみると、1982-1985年において、年輪幅の実測値が予測値に比べ大きく落ち込んでいることがわかる。したがって、方法の項でも述べたが、この2つの曲線の傾向が大きくことなるこれらの期間は、林分において共通で、さらに通常の気候変動のみでは説明できない環境変動がおこったことが予想できる。この期間においては、樹木の成長に影響を及ぼす特別な林業施業は行っておらず、また異常低温や干ばつも記録されていないことから、先ほど述べたような大型台風による大量の塩分の飛来が樹冠の活性に影響を及ぼし、木部細胞の形成能力（肥大成長量）を抑制したものと考えられる。

また、樹木を木材として使用する際の材質に大きく寄与する比重値も実測値の標準化と予測値を求め、Fig. 3に示した。これをみると、1982-83年において、年輪平均密度（RD）の実測値の標準化値が予測値より落ち込んでいることがわかる。早材（成長前半期に形成される細胞径の大きな細胞壁の薄い細胞）と晩材（成長後半期に形成される細胞径の小さな細胞壁の厚い細胞）に分けてみると、特に晩材の実測値の標準化値がその時期に落ちこんでおり、これが平均密度の低下に寄与したといえる。光学顕微鏡用切片を作成し、予備的に観察してみると、その時期では晩材細胞の細胞壁が若干薄く、これが比重の低下につながったと考えられる。これについては、さらに分解能の高い顕微鏡を用いて詳細に観察することが必要である。

#### 4. 考察

近年、葉量の減少やシュートの先枯れ、さらには立ち枯れに代表される森林の衰退がいくつか報告されている。その原因として大気汚染や酸性雨、気候災害、土壌条件の変化、病虫害など生育環境の変化が考えられているが、特定されておらず、またいくつかの原因が複合効果を及ぼしていることも考えられる。北海道大学苫小牧演習林においても、ヨーロッパトウヒを中心として針葉樹造林木の活力が著しく低下していることが、現地調査により報告されているが、その直接的な原因はやはり特定されていない（例えば、小林 修

ら、北海道大学農学部演習林研究報告、49（1）、37-58（1992）。この原因を特定するためには、小林らが提言しているように、長期間の年輪情報データを集積し、これを統計解析することにより個々の環境因子の影響を抽出したり、また一方明らかに林分の環境状態に影響を及ぼすと予想される突発的な出来事が起こった年、すなわち特異年における年輪情報データを詳細に検討することが必要である。今回、海岸線に近接する森林において、大型台風が海洋より短期間に大量の塩分を送りこみ、これにより樹葉が褐色化する現象を観察する機会に恵まれたので、さらに現地調査を行い、また樹冠状態の変化が樹木の肥大成長や年輪構造に与える影響を調べ知見を得た。

大型台風の通過後、樹葉の褐色化は調査地の大部分（80%以上）の林分でおこった。一方、褐色化の程度は、林分の位置や構成樹種により異なった。このことは、森林の造成法により、海洋から飛来する塩分の樹木への影響を人工的にある程度制御できることを示唆している。

褐色化は、短期間に大量の塩分が葉や枝に付着し、これら諸器官の正常な生理機能を妨げることでおこる。したがってこれらの変化は、樹木の成長に不可欠な葉や芽内での物質生成などを阻害することが予想され、このことにより1982年以降の肥大成長が抑制されたと考えられる。また、一年輪の平均密度も、一時的に低下していた。これは、細胞壁の肥厚程度が若干低かったためといえる。細胞壁成分の生成量は、樹木の光合成能力に制御されるといわれており、おそらく樹冠の褐色化がこの能力を低下させたと考えられる。尚、1981年の年輪形成は、台風到来の8月末にはほぼ終了しており、年輪構造などには影響は、ほとんどなかったと思われる。一方、樹葉の褐色化が翌年にはほとんど認められなかったことでも明らかのように、一時的な影響にみえ、樹冠の活性は時間が経るにつれて回復したと思われる。それに合わせて、年輪幅も1985年以降は回復傾向にある。しかしながら、一部の樹木ではその回復度は鈍く、現在Fig. 4の写真に示すように側枝が枯れあがっていたり、樹冠頂端の枝が先枯れしており、また木部細胞の形成量も抑制されており、今後これらの樹木は立ち枯れまで至る可能性が高い。海洋からの塩分による樹冠活性の変化が、直接的に樹木活力の衰退を引き起こしたか、または以前より何らかの障害を受けていた樹木の衰退を促進したと考えられる。

## 5. 今後の課題

樹木の成長期間は非常に長いことなどから、その成長状態を制御する環境因子を特定することは困難を伴う。しかしながら、健全な森林を維持していくためには多くの基礎的知見を集積していくことが不可欠である。大気中の塩分量と樹木の成長との関係を明確にすることは、海洋近辺での防風林を含めた樹木の植林・育林を続けて行く上で重要である。また、北海道のような豪雪地帯の都市部では、車両のスパイクタイヤ規制に伴う融雪剤（塩

化ナトリウム）散布が盛んになることが予想されており、これらの都市林への影響が心配されている。今後、大気中の塩分量の測定や塩分が葉に付着し気孔などの組織をふさぐ状態を電子顕微鏡などで観察し、その結果と樹木の成長状態とを結び付ける必要がある。また、今回の研究は主に針葉樹から得られた結果であり、広葉樹において同様な挙動を示すか知見は得られていない。北海道においては、ほとんどの広葉樹は落葉性である。したがって、空中の塩分の影響を受けたそれらの葉は、最終的にはその年の秋には地上に落ちてしまう。よって、針葉樹と広葉樹では飛来する塩分に対する生理的な反応が異なる可能性が高い。この違いを明確にすることは、造林樹種の決定など海岸近くで健全な森林を育成する際の貴重な情報になるとも期待でき、今後の課題である。

最後になりましたが、今回研究助成をして戴いたことに、心より深謝致します。



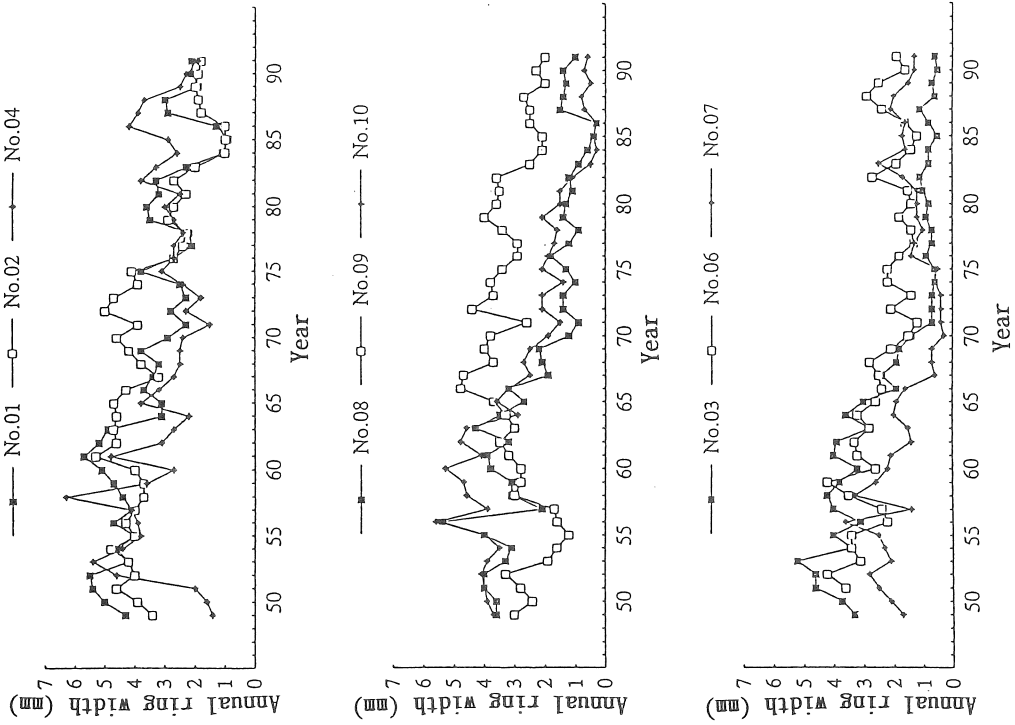


Fig. 1. Annual ring widths at breast height in *Picea abies*.

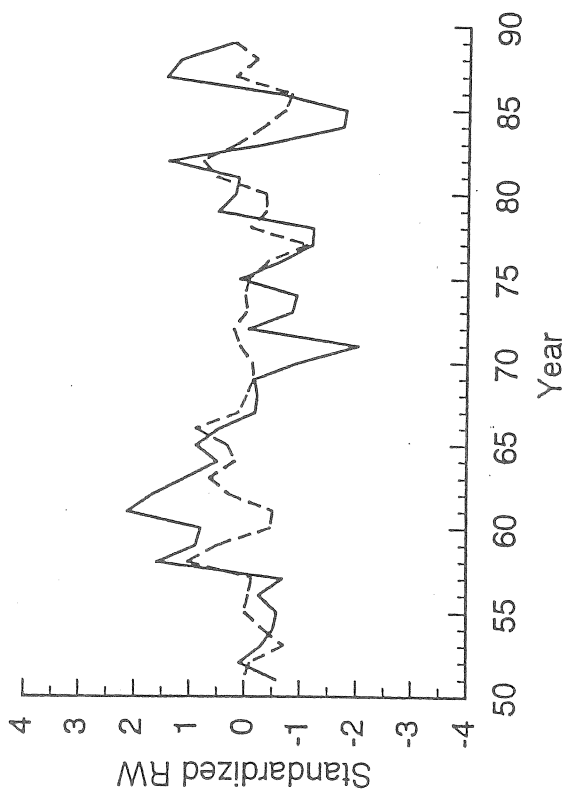


Fig. 2. Original and predicted tree ring index for annual ring width.

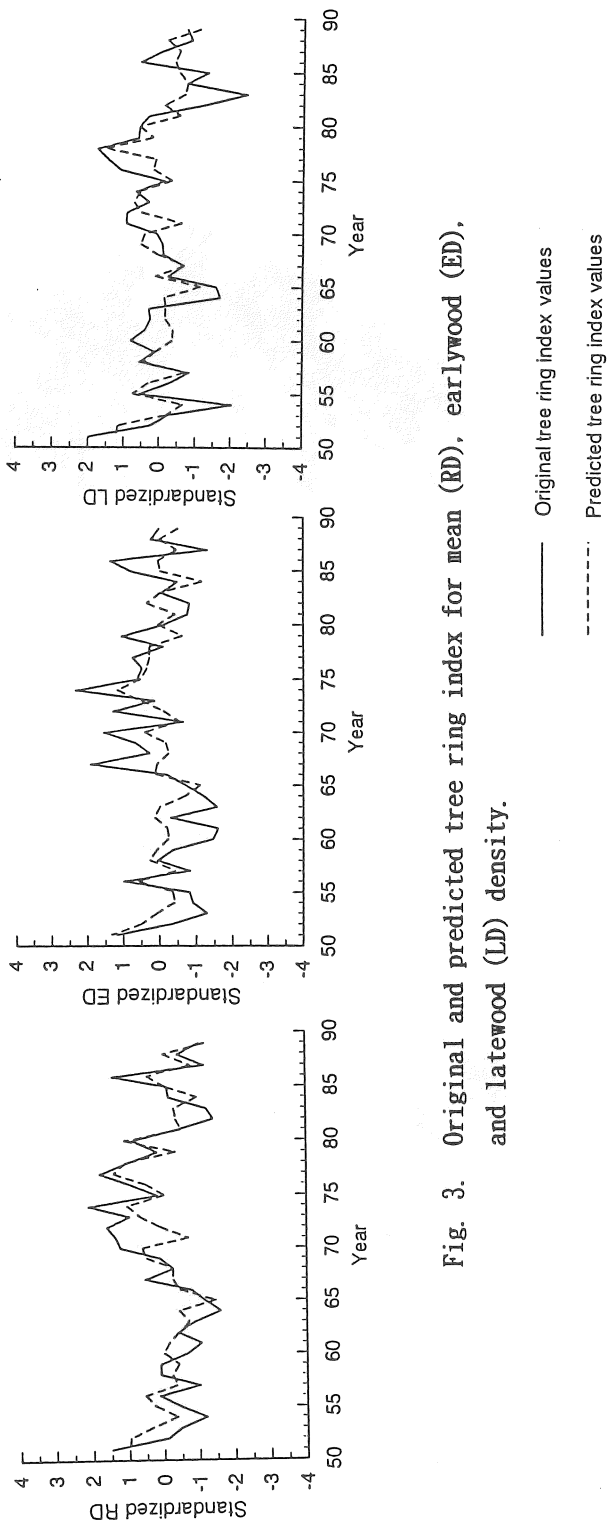


Fig. 3. Original and predicted tree ring index for mean (RD), earlywood (ED), and latewood (LD) density.

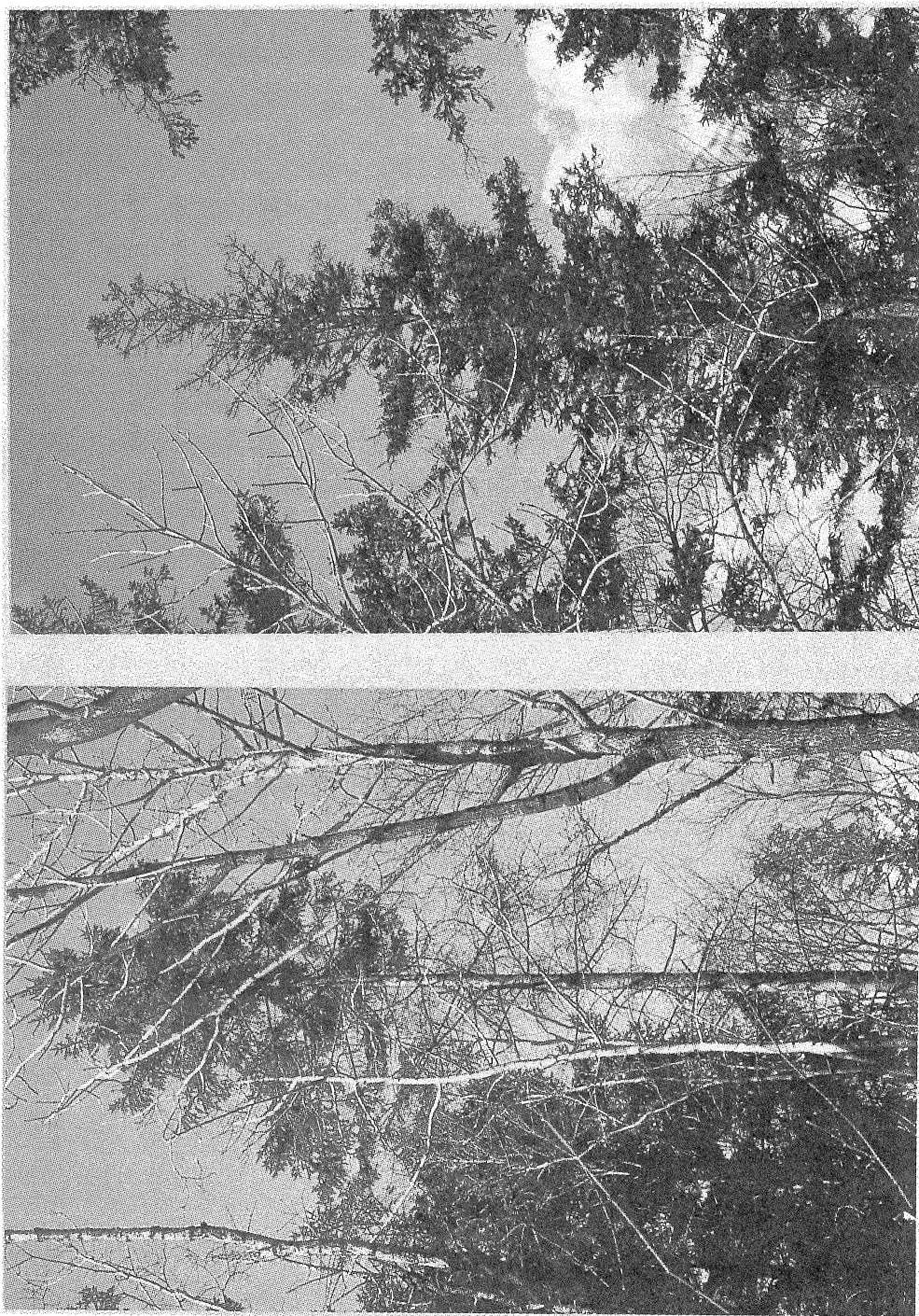


Fig. 4. Declining *Picea abies* at Tomakomai Experimental Forest.

The Effect of Salt from the Ocean on the Growth of Trees.

Kazumi FUKAZAWA, Ryo FUNADA and Yuzou SANŌ

Faculty of Agriculture, Hokkaido University

SUMMARY

The typhoon on 23 August in 1981 damaged 15,000 m<sup>3</sup> of trees and also resulted in the discoloration of leaves in almost areas at the Tomakomai Experimental Forest of Hokkaido University being close to the ocean (about 4 km). The degree of discoloration (green to brown), however, varied with the distance from the ocean, the topographic condition, and the forest structure such as tree species and ages. These indicate possibilities that the effect of salty wind from the ocean would be controlled by the course of plantation. On the other hand, the discoloration disappeared gradually in the following season, showing this being temporary phenomenon by the typhoon in 1981.

The tree-ring analysis using the soft X-ray densitometric method revealed that the annual growth suppression in conifers occurred in the years during 1982-85 after the typhoon had visited. The statistical analysis also showed that the original tree-ring index for annual ring growth was lower during this period than the predicted one estimated by the response function method. The numerous salt carried rapidly with the strong wind of the typhoon probably inhibited the crown activity and thus the annual ring increment. After 1985, the cambial activity recovered, but in some trees the symptoms as declining trees, namely a thinning of the foliage with the loss of needles and branches and narrow annual rings, are now seen.