

海岸林の開発における林帯保全に 関する研究

坂 本 知 己⁽¹⁾

Tomoki SAKAMOTO : A Study on the Conservation of Seacoast Shelterbelts
in Relation to Development Areas

要 旨：港湾建設の関連工事が進められている，札幌の近郊，石狩の天然生海岸林を主調査対象地として，海岸林伐開後の林縁部に生じた樹木の折損や枯死並びに環境の変化を調査した。その結果に基づいて海岸林の機能の再評価を行い，林帯の保全に関する考察を行った。海岸林では樹高成長が制限されているが，梢頭部が海風にさらされている度合は，林相や海岸林の動態，着葉塩分量から判断して，内陸ほど少ない。雪・砂の堆積状況，着葉塩分量，風速，風送塩分量を指標として判断すると，伐開後の林縁部の環境は，前縁相当，あるいはそれ以上に厳しい。海岸林の前縁部は，海風に強くさらされるだけでなく，砂・雪が集中して堆積する場所として位置付けられる。海岸林の伐開がもたらした現象は，林帯が地表を樹木で覆うことによって表土（砂）や積雪の移動による荒廢地化を防いでいることを明らかにした。林帯の環境緩和機能のうち，上述の荒廢地化防止を海岸林の最も重要な機能と考え，海岸林は樹高や立木密度以前に地表を覆っている広がりで評価される。林帯の伐開を伴う開発行為に対して林帯の保全を図るために，伐開に先立って伐開後の林縁予定地の林帯を新たな環境に対応した林形に導くことを提案し，開発工事完了後だけでなく，開発工事過程での環境悪化を最小限にとどめるための合理的な開発手順を例示した。

目 次

緒 言	3
1 研究方法	4
1.1 研究小史	4
1.1.1 海岸林の造成方法	4
1.1.2 海岸林の機能	6
1.2 研究の対象と方法	7
1.3 調査対象地	8
2 海岸林の林相	10
2.1 構成樹種	11
2.2 風衝樹形	13
2.3 風衝林形	15

3 海岸林の動態	19
3.1 枝の主軸化の繰り返し —イタヤカエデの事例—	20
3.1.1 調査手順	20
3.1.2 主軸の枯死・生存と海岸からの距離	21
3.2 成長過程	27
3.2.1 供試木として優勢木を選定する意味	27
3.2.2 石狩海岸林の事例 —カシワの成長過程—	28
3.3 風衝林形の形成	37
4 海風環境	38
4.1 雪及び砂の移動	39
4.1.1 積雪の移動	39
4.1.2 砂の移動	41
4.1.3 積雪と堆砂と樹木	44
4.2 着葉塩分量	47
4.2.1 測定方法	48
4.2.2 着葉塩分量の特性	49
4.2.3 海岸からの距離による違い	56
4.3 風速と風送塩分量	56
4.3.1 砂丘・防風柵の影響	58
4.3.2 林帯前線部	61
5 林帯伐開の影響	63
5.1 伐開の概況	63
5.2 林縁木の変化	64
5.2.1 着葉量の減少	64
5.2.2 樹木の折損	66
5.2.3 防風柵の破損	71
5.3 林縁の海風環境	71
5.3.1 伐開地林縁における堆雪及び堆砂	71
5.3.2 伐開地林縁における着葉塩分量	76
5.3.3 伐開地林縁における風速と風送塩分量	76
6 林帯の保全	80
6.1 林帯の評価	80
6.2 林帯維持と更新	83
6.2.1 更新の意味	83
6.2.2 更新の実態	84

6.3 技術的可能性	85
結 言	87
引用文献	87
Summary	93
写 真	1 ~ 8

緒 言

従前は単なる自然現象であったものが、土地利用が進展するに伴い、生活・生産手段、あるいは人命に被害を及ぼし、災害という社会現象として扱われるようになる。また、土地利用の進展に伴う土地の改変は、それまで生じなかった自然現象の発生、あるいはしばらく生じていなかった自然現象の再発生をもたらす、土地を荒廃させる場合がある。つまり、土地利用の進展は二重の意味で災害の可能性を増大させるものであり、土地の新たな利用にあたっては、対象となる場の歴史性・特性の把握が求められるべきではない。しかしながら、必ずしも、場の歴史性・特性が理解されずに土地利用が進められてきたように思われる。

一方、土地利用の多様・高度化という社会的要請は、防災林に対しても例外ではなく、防災林はその新しいあり方を要求される。例えば、昭和10年代にすでに「近時の如く砂丘地の利用の進むに伴ひ、山形県地方に見るが如く能ふ限り砂防施設地を狭め、而も安全にたらしむる必要が痛感せらるるのである」¹¹⁷⁾と報告されている。また、今回、調査対象地とした石狩海岸では、港湾建設のために海岸林が幅約400 m 伐開され林帯が分断された。換言すると、周辺の土地利用が変化すれば海岸林に対する認識も変わり、土地利用形態としての海岸林の位置付けが問い直される。このことは、海岸林の機能の再評価を求めるものである。そして、新しい土地利用との絡みで林帯の一部が伐採される場合、海岸林の保全が技術的な課題となる。

しかしながら、林帯造成初期における植栽木の保護を目的とした対策が、造成の歴史の中で検討され体系化されてきたのに比べ、林帯の伐開に伴って新たに生じる林縁の取り扱いという課題は、その取り組みが遅れている。例えば、林地の開発に伴う伐開行為が残存林帯に影響を与えた事例としては、スキー場の開発¹⁰⁾や道路の開設¹⁰⁸⁾などがあるが、残存林帯に影響を与える重要な環境因子として風が挙げられながら、風環境について効果的な測定がなされず、樹木に現れた影響を調査するにとどまっている。

海岸林を舞台にこの問題を考えることは、海岸林に限らず、例えば亜高山地帯における道路建設のための林帯伐開(带状伐採)の例のように、新たな土地利用の中で環境保全を考える場合に、有益な示唆をもたらすものと思われる。

本論文は、これまで海岸林に関してなされてきた多くの研究や、筆者が海岸林を舞台に進めてきた調査・研究^{88)~98)}をもとに、海岸林の伐開という社会的要請に対する技術的対応を通して、海岸林の保全を検討したものである。

研究を進めるにあたり、北海道大学農学部東三郎教授、藤原滉一郎教授、新谷融助教授には、終始ご指導を賜った。現地調査においては、林業試験場北海道支場（現森林総合研究所北海道支所）増田久夫元防災研究室長、同吉武孝前防災研究室長（現本所企画室長）、並びに斎藤武史防災研究室員をはじめとする森林総合研究所北海道支所の方々の多大なご協力をいただいた。札幌営林署、紋別営林署、浦河営林署、桧山営林署、北海道開発局小樽開発建設部小樽港湾建設事務所、石狩開発株式会社の関係各位にも、現地調査にあたってのご便宜や資料のご提供をいただいた。また、森林総合研究所新田隆三防災科長には、この論文をまとめるにあたり貴重なご意見をいただいた。本論に先立ってこれらの方々に深謝の意を表する。

なお、本論文は、北海道大学審査学位論文「海岸林の保全に関する研究」を改題、補筆したものである。

1 研究方法

1.1 研究小史

海岸林の保全に関する本研究は、林帯の生育する場に関する認識を整理し、林帯の取り扱い方を検討する点において、これまでになされてきた海岸林の造成方法に関する研究と、林帯の機能に関する研究との延長に位置付けられる。研究小史として両研究について概観する。

1.1.1 海岸林の造成方法

北海道における海岸林造成には、本州方面での伝統的な工法がそのままでは通用せず、併せて独自の方法を加えることが求められてきた。これは、富樫¹¹⁷⁾が、「日本海の北部に位する海岸は太平洋或は南方海岸とは其の性質が著しく異なり、太平洋沿岸地方の先進砂防事業を其の仮応用するには困難なるものあり、日本海岸にありては日本海岸としての施行法を必要とし、而も日本海北部に位する沿岸地方における砂防造林は亦自ら異なるものと考へる」と述べたことと通じる。

独自の方法を必要とした原因は、「自然環境の厳しさ」、「積雪寒冷」と簡単に表現されることが多いが、具体的には、本州方面で海岸林造成樹種として伝統あるクロマツが、北海道の郷土樹種ではなく、生育できる地域に限られることである。このことは、一般造林においてスギ、ヒノキの採用が制限され、北海道独自の造林技術を展開しなければならないことと軌を一にしている。さらに、砂地が中心である本州方面と比較して、北海道の海岸林造成では土壌条件が多様であることが挙げられる¹²⁾²⁹⁾。

一般に林帯の造成技術は、大きく基礎工と植栽工とに分けられる。そして海岸林の造成技術は、周到な基礎工と密な植栽間隔によって特徴づけられる。両技術とも、一般の造林技術に、実際の海岸林造成現場の経験が加わり体系化されてきたものである。その過程では、天然生海岸林の解析から得られた示唆が生かされ、技術の評価は、植栽木の成長状態によってなされている。海岸林の今後の取り扱い方を考えていくために、造成方法を整理しながら残された問題点を確認したい。

① 基礎工

基礎工の目的は、植栽木の活着と初期成長とをより確実にすることにあり、地ごしらえと防風工とに分けられる。

地ごしらえの目的は、一般造林と同様、植栽木の根張り空間の確保にある。それは、他植生との競争の排除と、土質（土壌）的な意味とに分けて考えることができる。前者は、先住植生の除去であり、雑木（目的外の木本）、草本、ササなどがその対象となる。除去の方法としては、刈払いが一般的であるが、根系からの先住植生の回復を防止する目的で、より積極的・効果的に地はぎが行われている。一方、後者は、造成予定地が、土壌条件の故に造林不適地である場合に必要とされるもので、土地改良の一種である。具体的な方法としては、耕うん、排水溝設置、盛土、客土、施肥など⁴⁸⁾⁶⁶⁾¹²⁵⁾が挙げられる。一般の造林では、経費の点から海岸林の場合ほど徹底して実施されることはなく、その必要がある場合は、造林の対象外とされている。東¹³⁾¹⁴⁾¹⁵⁾、斎藤⁸³⁾⁸⁵⁾、斎藤ら⁸⁷⁾、小川⁷⁵⁾は、これら地ごしらえの効果を、天然林の成立過程において、火山灰降下堆積や土石流の氾濫堆積といった地表変動が、植生の侵入の場となる裸地を生み出す役割と比較しながら論じた。

防風工は、強風地造林、とくに海岸林造成特有の工法である。それは、風当たりを緩和するためのもので、具体的な工種としては、砂丘・土塁の造成や防風垣・柵の設置がある。一般の造林では、風当たりの緩和のためには保残帯の考え方があるが、地形を変えたり、工作物を用いたりすることはほとんどない。

砂丘の造成は、海岸砂地造林で従来から実施されてきた工種であり、それには二つの目的がある。第1は、地表の不安定な砂地で自然に発達し移動する砂丘の位置を規制することである。人工砂丘は、従来、砂地に堆砂垣を設け、移動する砂を垣の前後に堆積させながら造成された。砂丘の造成に際しては、地形の修正を図り、風の集中による風裂の発生を抑えることが目標となる。富樫¹¹⁶⁾が海岸砂防の側面の中で、「砂防は地形の整理が眼目」と表現し、栗田定之丞翁の言葉、「飛砂を防ぐはなほ水を防ぐが如し。砂を防ぐは先づ砂の曲折を明にすべし。風砂を防ぐは亦宜しく其の方向と風の轉回とを察すべし」を紹介している。また、砂の固定の目的では、砂丘の造成に併せて覆砂工や静砂工が用いられている。安定した砂丘は、後方造林地に対して防風効果を果たす。これが第2の目的である。

これに対して土塁は、地表の安定している砂地以外の造成予定地で土を盛って造成するものである。そのような土地は、地表が安定していたために、当初、砂丘に相当するものは設けられず、防風垣・柵のみが採用されていたが、東¹⁴⁾斎藤⁸⁵⁾は、耐久性の面から土塁の重要性を指摘している。

②植栽（木本導入）方法

基礎工によって根張り空間が確保され風の当たり方が緩和された場に、木本が導入されるわけであるが、導入に際しては、適正樹種の選定が必要となる。適正樹種の選定には、天然生林の構成樹種が参考にされた⁸⁰⁾⁸⁴⁾。また、樹木の耐塩性を中心とした導入樹種選定のための試験¹⁹⁾³⁰⁾¹⁰⁹⁾が実施され、現地植栽試験・造成事業の中²⁾³²⁾⁷⁴⁾¹¹⁰⁾で適正樹種が確認されてきた。

海岸林の植栽方法で特徴的なのは密植である。これは、樹木による相互保護作用を求めたものである。北海道の代表的な造成地では、10 000 ～ 15 000 本/ha 植栽されている。苗木の植栽のほかに、埋枝からの萌芽による木本導入も実践されている。

また、天然生海岸林の実態調査の中から犠牲林（保護林帯）と、それに保護された主林帯の概念³⁰⁾³¹⁾⁸²⁾が提示された。伊藤³⁰⁾によれば、犠牲林は、主林帯との関係によって前衛林と前生林の2種類に

分けられる。前者は、主林帯の海側にあって主林帯に対する海風の当たり方を緩和するものであり、後者は、主林帯予定地に主林帯よりも先行して造成して、その予定地の海風の当たり方を緩和するものである。

以上述べてきた造成の基本は、いずれも樹木に生育可能な場を提供することにある。その意味では通常の造林方法と同じである。この点について富樫¹¹⁷⁾は、「要するに海岸砂防は自然の法則に順應して行ふべき施設であって、決して自然に抗すべき術ではない。若し此処に留意するならば、海岸砂防は左程難しい仕事ではない。或人は『海岸砂防なんか簡単なものだ。常識で出来る。』と言っているが、全く此の一言で盡きてゐると思ふ。」と、述べている。通常の造林との違いは、海岸林造成地では、通常の造林の対象外となるほど立地条件が樹木の生育には厳しいため、生育環境を整えることの重要度が極めて高いことにある。その意味で、これまでの海岸林造成に関する研究は、天然生海岸林の解析から示唆を得ながら、実際の造成事業を野外実験的にとらえ、環境の改善と林帯の成立との関係を抽出してきたものとしてとらえることができる。

一方、以上は造成の初期過程であり、その後の林帯の取り扱いについては必ずしも体系化されていない。例えば密度管理の面では、植栽時に密植を採用しているために過密になりやすいが、林内環境の悪化を恐れ、除伐の実施が遅れる傾向にある。また、既存の間伐理論が経済林における収穫や、間伐後の残存木の成長を対象としたもので、そのままそれをあてはめるわけにもいかない。とくに、1本伐採することによって、その部分については樹木間隔が2倍になること、そして、そのことによる環境変化が樹木に悪影響を与えることは考慮されていない。現在、海岸林の現場では様子をみながらの除伐が実施されている段階である。また、樹種を変えた列状植栽を実施し、植栽時から除伐木を決めておく方法も採られている。また、造成された一斉林を列（帯）状に伐採し、跡地への新たな樹種の導入も実施されており、密度管理・更新技術についても現場経験が集積されつつある。

1.1.2 海岸林の機能

森林が生活環境に与える好影響は、森林の防災機能としてとらえられてきた。それらは、

1. 風速減少作用（防風、防雪、飛砂防備など）
2. 大気中の水分捕捉作用（防霧など）
3. 樹幹部の防護柵としての作用（防潮、洪水防備、雪崩防止など）
4. 樹冠群の障壁としての作用（防火、防音など）
5. 表土固定作用（山崩防止、表面侵食防止など）
6. 落葉落枝の地表面保護作用（表面侵食防止、流量調節：洪水調節・水源かん養など）

などに分類されている¹²¹⁾。

海岸林は、海岸地帯に成立する林帯の総称であり、海岸林に期待される防災機能としては、海岸地帯という場の環境特性に対するものである。海岸林の立地環境としては、砂地であることや塩風の影響⁶⁾が挙げられている。保安林の種類としては、飛砂防備、防風、潮害防備、防霧、航行目標などが該当する。

このうち歴史的にとくに海岸林が価値ある空間の使用形態として認められ、造成・維持されてきたの

は、海岸林の存在によって飛砂が防止されてきたからである。海岸林造成の歴史の浅い北海道においても、海岸林のもつ環境保全効果が高く評価されているのは、風食防止に関するものであり、砂坂海岸林と、えりも海岸林が代表的な例として知られている。

防災林の機能に関する研究に求められたものは、機能の評価と、機能の発揮・維持に必要な林帯幅・林分構造の提示などである。防風機能を研究する場合には、機能・効果を表現するために、現地林帯を対象に林帯からの距離や林況と風速の関係が調査され^{21)23)37)52)55)59)78)79)100)～102)}、同様の関係は模型実験によっても追求された²¹⁾²²⁾⁵²⁾¹⁰⁷⁾¹¹¹⁾。海岸林の場合は、風速のほかに風送塩分量（空中塩分量）⁸⁾¹⁶⁾²⁴⁾³⁸⁾⁴⁰⁾⁴¹⁾⁴⁴⁾⁴⁵⁾⁵⁸⁾⁶⁸⁾¹⁰⁵⁾¹²⁴⁾や飛砂量⁹⁾³³⁾³⁴⁾⁶⁴⁾¹⁰⁵⁾¹¹¹⁾¹¹²⁾¹¹⁷⁾も、立地環境として、あるいは林帯の塩分捕捉効果・飛砂防備効果との関係で測定されている。耕地防風林の場合には、作物の収量との関係で気温や水温、湿度なども調査されている⁵²⁾⁵⁶⁾¹¹⁸⁾¹²⁰⁾。

しかしながら、以上のように多くの測定例はあるが、海岸林の場合は、具体的な目標風速・減風率が提示されることが少ない。これに対し、耕地防風林について、田中¹¹³⁾は、風食防止機能の研究の中で、飛土開始風速と当該地域の瞬間最大風速から、防風垣の具体的な目標として地上1mの風速を50%減少することを挙げている。両者の違いの理由として、海岸林の場合、保全対象が林帯に求める機能を定量的に（絶対量として）表現することが困難なことが挙げられる。それは、保全対象が明確である耕地防風林に比べれば、海岸林の場合には保全対象を特定できないことが多いためである。また、耕地における防風に関しては、網（ネット）の使用も実施されており、それとの比較の中から、泊¹¹⁹⁾が「防風林は防風網と違って生育や繁殖以外にも過大と思われる物理的な防風の役割を与えられている」と示した考え方のように、保全対象を明確にすることによって、耕地防風林の適正規模が提示されるとともに現状の問題点も指摘されている。

以上のように、海岸林の機能をとらえる際、荒廃現象と保全対象との関連において林帯を評価することが重要である。例えば、新井ら¹⁾が、鉄道飛砂防止林の研究で、対象地での30年確率の強風を、林帯内で飛砂発生限界風速に低下させるための林帯幅として50mを示しながらも、「風上の地表面が荒廃している場合には、林分で捕捉される飛砂の蓄積により、やがて飛砂防止林自体が破壊されることになる」と指摘したように、現場においては荒廃地における林帯の存在意義や生存の限界を明確にしておかないと、妥当な林帯の評価はできなくなる。

1.2 研究の対象と方法

環境とは、対象をとりまく諸状況のことで、環境と対象の関係は相対的なものである。例えば、砂の堆積は、植生にとっては環境の一つであるが、砂の移動それ自体に対しては、風や地形、そして植生条件が環境となる。海岸地帯という場を対象に選んだ場合、環境因子の一つとして海風が考えられる。植生の存在しない平坦な海岸地帯を想定し、そのとき海岸地帯に海風がもたらす環境を原海風環境と仮定する。本研究では、現場の環境をこの原海風環境が地形や植生の影響を受けて潜在化したものとして位置付ける。そして、この原海風環境は、実際の海岸地帯から植生を取り除くことによってある程度知ることができると考えられる。

先に、これまでの海岸林造成に関する研究を、実際の造成事業を野外実験的にとらえ、環境の改善と

林帯の成立との関係を抽出してきたものとして位置付けた。これにならって本研究では、石狩海岸林で実施された林帯の伐開を、環境変化の実験的手段として位置付け、一つの野外実験としてとらえなおす。林帯が環境に応じて成立していることは、環境を変化させて、林帯に生じる変化をみると分かりやすいからである。

本論における調査対象は以下のとおりである。

第1は、場の諸環境を総合して反映している海岸林の実態である。実態は時系列の中で静的なものと動的なものに分けてとらえることができる。海風に起因する環境の影響を一番強く受けているのが海岸林前線部であり、林帯後方ほど先に仮定した原海風環境が潜在化していると考えられる。そのような環境に対する樹木の反応結果が海岸林の林相となって現れていると考えられ、これが海岸林の静的な実態である。これに対して、環境に対する樹木の反応の履歴、すなわち海岸林の成長過程は、海岸林の動的な実態としてとらえられる。

第2の対象は、海岸林の生存している場の環境因子としての風速、風送塩分量、堆砂量、積雪量である。これらの因子を選んだ理由は、海岸林における若枝の枯死原因として海風に運ばれた塩分が考えられている^{3) 42)}ことや、林帯前線部や林帯の伐開後新たに生じた林縁において、これらの因子が諸環境条件の中でもとくに樹木の生存に直接影響を与えたと考えられるためである。

具体的には、伐開によって変化がみられた、雪・砂の移動や風送塩分量と、それらの営力となる風を直接測定することに努めた。一方で、気象環境、林分環境等の諸環境が総合された結果である着葉塩分量も、樹木が海風にさらされる度合の指標として調査した。個々の枝・葉に吹きつける風の強さ、風に輸送される塩分の量を、枝・葉の揺れ動く樹冠層で測定することは極めて困難であり、測定したにしても、枝・葉との位置関係によって、測定位置が樹木に近いほど樹木の影響を受けてその値は大きく変わると予想されるからである。

第3の対象は、林帯の伐開後、樹木に生じた折損・枝の枯死などの海岸林樹木の反応と、第2の対象とした環境因子の変化との関連である。すなわち、林帯の存在によって潜在化していた原海風環境が、伐開によって顕在化したことを、林帯に生じた影響によってとらえた。以上の調査結果に基づき、海岸林の機能の再評価を行い、海岸林伐開に対する対応の技術的可能性について検討した (Fig. 1)。

1.3 調査対象地 (Fig. 2)

研究を進めるにあたり対象とした北海道営林局札幌営林署石狩海岸林 (現在は余市営林署管内) は、札幌市に北接する石狩町市街から小樽市銭函にかけて存在する、日本海に面した天然生海岸林である (延長距離: 15km, 林帯幅: 450~750m)。林帯後方の農地は、第3期北海道総合開発計画 (1970年7月策定) の実施に伴って流通・工業基地へと変わっている。さらに、その計画を受けて石狩湾新港港湾計画が策定 (1972年11月) され、基盤整備のための掘り込み水路や埠頭、道路の建設に伴って、林帯の一部が伐開されている (Photo. 1 参照)。土地利用の絡みからも、今後の海岸林の取り扱い方を考えるのにふさわしい林帯である。林帯を構成する主な樹種は、カシワ、イタヤカエデ、ミズナラで、全体の80%を占める。

石狩海岸林のほかに、紋別、えりも、砂坂の各海岸林造成地でも調査を実施した。北海道の海岸林造

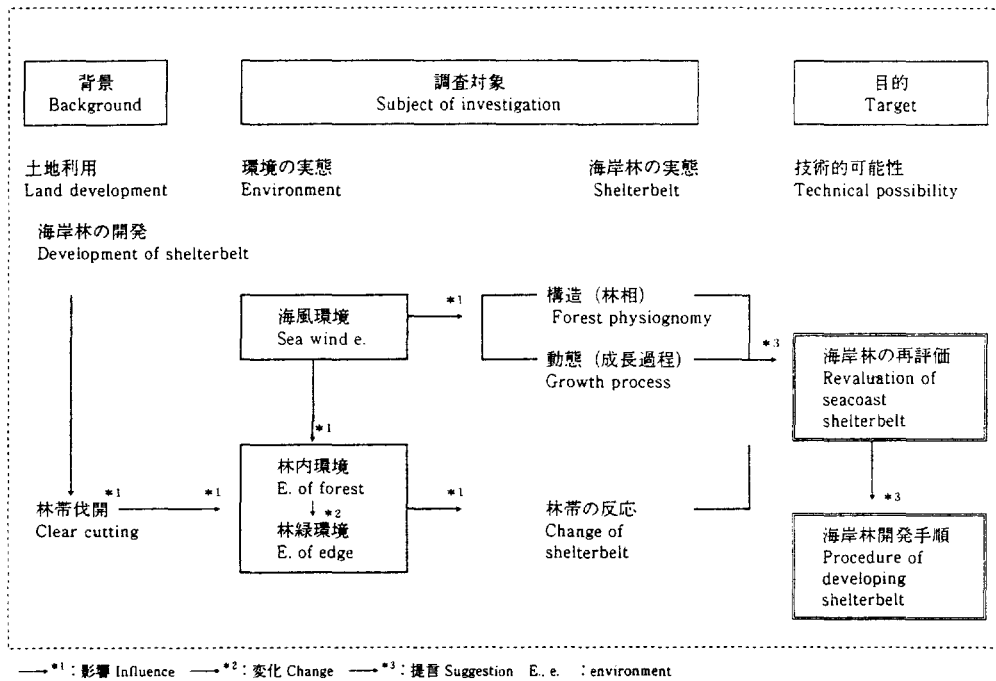


Fig. 1. 研究方法
The method of studies

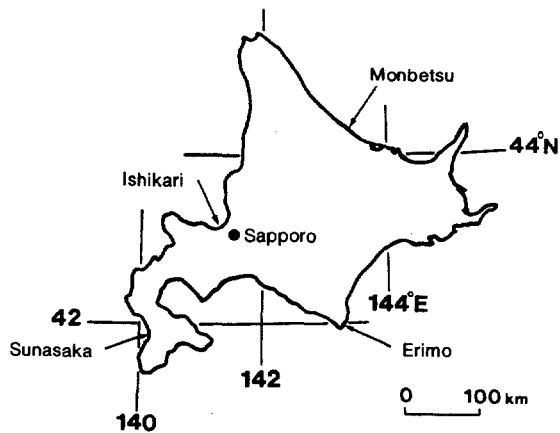


Fig. 2. 調査対象地
The sites of seacoast shelterbelt investigated

成を代表するこれら3か所には、現場経験の中で採用された周到な基礎工をはじめとして、多大な労力が注ぎ込まれている。

北見営林支局紋別営林署紋別海岸林⁶⁷⁾は、アカエゾマツ植栽木の成長が良好な、紋別市元紋別に位置する延長2.2km、平均幅80m、面積16.51haのオホーツク海沿岸を代表する造成林帯である。

北海道営林局浦河営林署えりも海岸林^{18) 20) 123)}は、えりも町えりも岬に位置し、東海岸に沿って幅400～500mで約10kmにわたって北に延びた、クロマツを代表樹種とする海岸林である。海岸林の造成は、1953年にえりも治山事業所を開設したことに始まる。工法の特徴としては、草本緑化の際に採用した、散布した牧草種子や肥料を雑海草で被覆する「えりも式緑化工法」と、植栽に先立って実施した排水工や、木本緑化の際に植栽地を長方形(10m×20m)に区画した防風垣工があげられる。緑化の進展に伴って土砂の飛散、流出がおさまった結果、海水の汚濁が減少し、海産物水揚げ高が飛躍的に伸びるなど、一連の緑化事業が地域振興に果たした役割は高く評価されている。

函館営林支局檜山営林署砂坂海岸林^{17) 106)}は、江差町の中心より北方約8kmに位置する、日本海に面した長さ約1.5km、幅約500mで、林地65ha、砂地等23ha、合計約88haの面積を有する飛砂防備保安林である。1938年から本格的な造成が行われた、北海道の海岸林造成の先駆的位置を占める海岸林である。現在は、厚沢部平野の臨海部のほぼ前線にわたって成林し、後方の集落、穀倉地帯、国道などの生活・生産空間に対するその環境保全機能は高く評価されている。

なお、2章以下、とくに断わらないかぎり、石狩海岸林を対象としている。

2 海岸林の林相

海岸林の林相の特徴は、前線部における風衝樹形や、海岸から内陸にかけて樹高が高くなる風衝林形であり、また海岸から内陸へかけての樹種の変化である。これらはいずれも林帯が存在する場の環境条件を反映したものと考えることができる。

石狩海岸林の存在する石狩海岸平野は石狩低地帯の北西端に位置し、上杉¹²²⁾や松下⁵⁷⁾などの地形発達史的な研究によれば、海岸から順に、石狩砂丘地帯、花畔砂堤列地帯、紅葉山砂丘地帯、泥炭地・扇状地帯と大きく分けられている。そのうち、今回対象とした石狩海岸林が成立しているのは、石狩砂丘地帯と花畔砂堤列地帯の海側よりである(Fig. 3)。地形発達史によれば、形成年代によって石狩砂丘地帯はさらに区分されるが、現況だけにすれば、対象区域の地形は、汀線から内陸側へ大きく三つに分けられる。すなわち、汀線から海食崖まで続く砂浜と、標高8～10mの主砂丘(以下、第1砂丘)、その後方に連なる小砂丘地帯とに区分される。第1砂丘は、海岸に平行に続く尾根と、N60°W方向のリニアメント⁵⁷⁾として報告されている尾根を持っている。尾根には起伏があり、内陸へ風の吹き込みやすい状態の箇所もある。ただし、以上は一つの典型であり、場所によっては海食崖が発達していない区域もある。

石狩海岸林の樽川十線付近に2本の測線(Line-A、Line-B)を設定し、林相調査を実施した。石狩海岸林の林相は一樣ではなく、海岸からの距離に応じて樹形、樹高、樹種が変化することが確認された。また、樹高の変化については、造成された海岸林である紋別海岸林においても調査した。

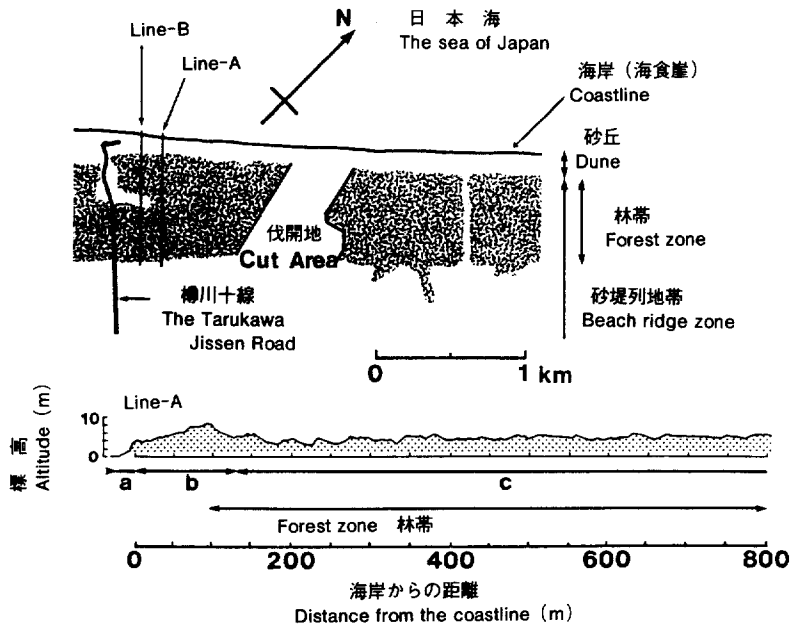


Fig. 3. 調査地概要
Location of study line

- a : 砂浜 Sand beach
b : 第1砂丘 Dune - 1
c : 砂堤列地帯 Beach ridge zone

2.1 構成樹種

石狩海岸林を構成する主な樹種は、カシワ、イタヤカエデ、ミズナラであり、それらは立木本数全体の80%を占める。その他の樹種として、ヤマグワ、イヌエンジュ、ハリギリ、シナノキ、アズキナシ、ハルニレ、エゾノウワミズザクラなどが存在する。

各樹種の出現の様子は、海岸からの距離によって変化する。海岸から第1砂丘までの植生は、草本ではハマニンニク、木本ではハマナスが優占している。第1砂丘の内陸側斜面からはカシワ、イタヤカエデが優占するが、うっ閉状態となるのは第2砂丘の海側斜面からである。Fig. 4は、測線上に出現した主要3樹種の占める割合を、海岸からの距離によって3区間に分けて示したものである。イタヤカエデの占める割合は、前線部から内陸へかけてあまり変化しないが、カシワは前線部、ミズナラは内陸部で多い傾向がある。主要3樹種以外の割合は内陸ほど高くなる。全体として樹種構成は、海側で単純で、内陸ほど多種となっている。

これらの樹種は、必ずしも一様に分布しながら出現率を変化させるのではなく、同一樹種、とくにイタヤカエデの分布は群状をなしている。Fig. 5は、Line-Aについて全出現本数に対する主要3樹種の出現本数割合の変化を、海岸からの距離によって示したものである。各点は、その前後25mの50m区間に出現した本数割合を示す。sp600 (sp: Survey point, 数字は海岸（海食崖）から内陸への距離（m）。

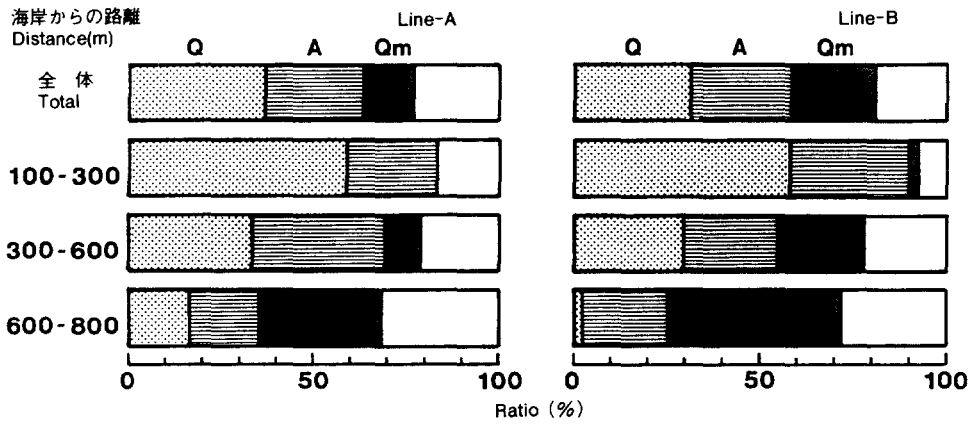


Fig. 4. 石狩海岸林の樹種構成
Tree species composition of the Ishikari seacoast shelterbelt

Q : カシワ *Quercus dentata*
A : イタヤカエデ *Acer mono*
Qm : ミズナラ *Quercus mongolica var. grosseserrata*
白地 blank : その他 Other species

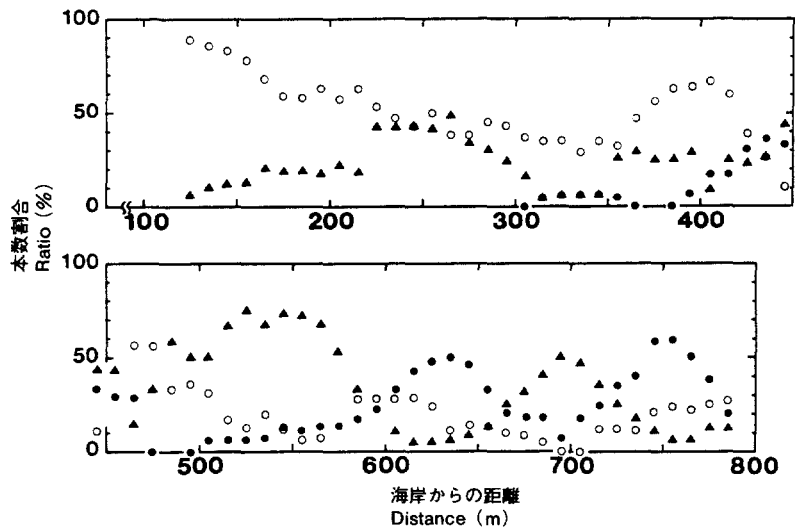


Fig. 5. 海岸からの距離による構成樹種の変化 (石狩海岸林, Line-A)
Fluctuation of tree species composition (The Ishikari seacoast shelter-belt, Line-A)

○ : カシワ *Quercus dentata*
● : ミズナラ *Quercus mongolica var. grosseserrata*
▲ : イタヤカエデ *Acer mono*

sp600は海岸から内陸へ600mの地点を表す。後述するように海岸線は侵食によって後退しているため、海食崖からの距離は時間的に減少している。そこでLine-A、Line-Bについては1981年7月時点での距離で表現した。以下同様）以降で、イタヤカエデとミズナラの出現率が交互に高くなっている。これは、同一樹種が、ある程度まとまった分布をしていることの現れである。

2.2 風衝樹形

一般に樹木は効率的に陽光を利用するために、樹種ごとに合理的な分枝パターンをしていると考えられる⁵⁰⁾が、海岸林の前線部における樹木の梢頭部は内陸部のものと異なる。Fig. 6は、前線部・中央部・最内陸部の代表例として、Line-Aの海岸から130～150m、350～375m、700～725mの樹形を示したものであるが、前線部のカシワは、内陸側のものに比べ樹冠が内陸側へ偏倚したいわゆる風衝樹形をしている。

風衝樹形については、これまでも形態や程度が分類され、風環境の指標として扱われている²⁵⁾⁶⁵⁾⁸¹⁾¹¹⁴⁾¹²⁹⁾。吉野¹³⁰⁾は16世紀の記録「駒ヶ嶽一覽之記」に風衝樹形に関する報告があることを紹介し、また、吉野¹²⁹⁾自身は風衝樹形を、(i) 樹全体の形が風になびいているもの、(ii) 樹幹だけが風下に傾斜しているもの、(iii) 樹幹だけが偏形になっているもの、の3種類に分類している。北海道では、厚岸付近の防霧林帯において館脇¹¹⁴⁾が(i)の形をさらに上幹伏臥型、横臥型、短直幹型、浅傘型に区分している。

上記の分類にあてはめると、石狩海岸林のカシワの風衝樹形は上幹伏臥型に含まれる。これに対し、イタヤカエデは、カシワほど風になびいた形を呈していないが、前線部でその梢頭部は、多数の主軸からなるハウキ状を呈している（Photo. 2 参照）。吉野の分類には入らないが、これも一種の風衝樹形と考えられる。

風衝樹形は、梢頭部の主軸が枯れたあと、それを補う形で側枝が伸びることによって形成されている⁴⁾。石狩での観察を例にイタヤカエデの主軸の枯死と側枝の伸長を模式的に示すと以下ようになる（Fig. 7）。

1981年9月：主軸化した側枝（L-81：1981年に伸長し主軸化した側枝をLeader-81、L-81と呼ぶことにする、以下同様）は、先端部分が枯れた前年の主軸（L-80）から伸長していた。

1982年6月：L-81には上部あるいは全体が枯死しているものがあつた。主軸の生死は、開芽、開葉状況から判断した。

1982年9月：1981年同様、新たに側枝（L-82）が主軸化していた。主軸化した側枝は、前年の主軸から伸長していることが多いが、それ以前の主軸から伸長することもあった。

以上のように風衝樹形を呈する場合には梢頭部に枯死現象がみられるため、樹高に関する用語として到達高、生存高、基部高を導入する（Fig. 7 参照）。到達高は、通常使われる樹高と同様に主軸の先端の地上高を意味する。ただし、調査時点におけるその部分の生死は問わない。とくに断わらない限り、到達高は当年伸長した主軸の到達高を意味する。主軸の先端が欠落している場合は、到達高は残っている高さまでとする。生存高は、生存している最高の部位の地上高であり、生死は着葉の有無によって判断する。到達高と生存高は主軸ごとに決まるが、単木内で最高の到達高と生存高をそれぞれ単木の到達

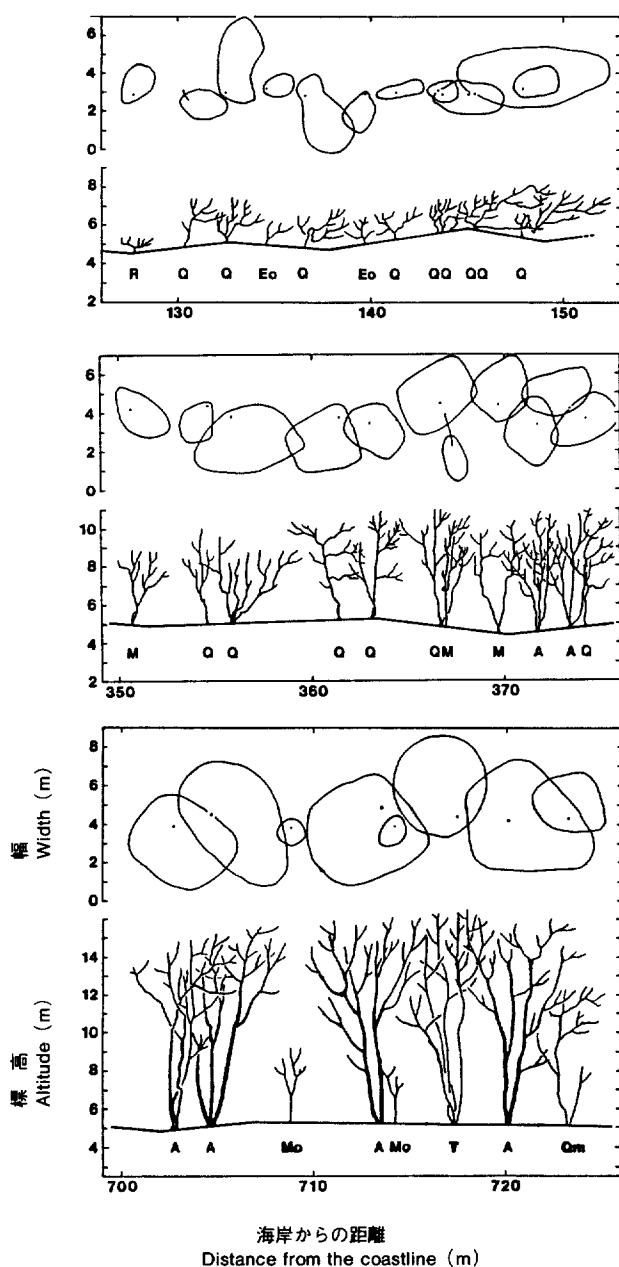


Fig. 6. 海岸からの距離による林相の違い (石狩海岸林, Line-A)
Line-transect between 125~150m, 350~375m and 700~725m from the coastline of Line-A

- | | |
|---|--------------------------------------|
| A : イタヤカエデ <i>Acer mono</i> | T : シナノキ <i>Tilia japonica</i> |
| Q : カシワ <i>Quercus dentata</i> | Mo : ヤマグワ <i>Morus bombycis</i> |
| Qm : ミズナラ <i>Q. mongorica var. grosseserrata</i> | Eo : ツリバナ <i>Euonymus oxyphyllus</i> |
| M : イヌエンジュ <i>Maackia amurensis var. buergeri</i> | R : ハナマス <i>Rosa rugosa</i> |

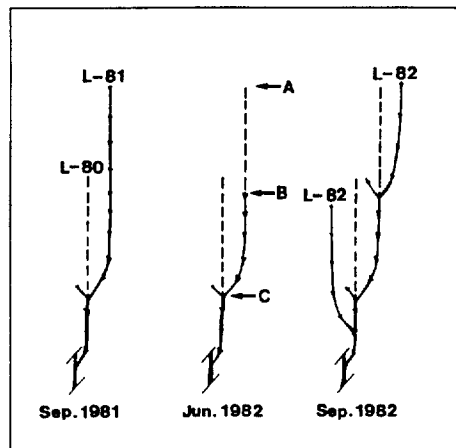


Fig. 7. 前線部におけるイタヤカエデの主軸の交替 (破線は枯死部分)

Change of leaders of *Acer mono* at the front zone (Broken lines indicate the dead parts).

- A : 到達高 Yearly maximum height of leader
 B : 生存高 Remaining living height of leader
 C : 基部高 Base height of leader
 A-C : 伸長量 Leader length
 A-B : 枯死長 Dead length
 B-C : 生存長 Living length

高, 生存高とする。とくに断わらない場合は, 到達高, 生存高は単木の到達高, 生存高を意味する。枯死が発生しなければ, 単木の到達高と生存高は一致し, その高さはいわゆる樹高にはかならない。基部高は, 新しい主軸の分枝位置の地上高である。ホウキ状を呈する梢頭では, 基部高は元の主軸の生存高と一致することが多い。また, 基部高～到達高の長さを伸長量, 基部高～生存高の長さを生存長, 生存高～到達高の長さを枯死長とする。なお, 枝の「主軸化」は, 斎藤⁸⁶⁾の整理した形態用語では, 「幹化」に相当するが, 1年生の主軸がホウキ状を呈している状態は幹の持つ一般的イメージに合わないため, ここでは枝の「主軸化」と表現する。

石狩海岸林の前線部では, 風になびいた幹のほかに地際をはったような幹や複雑に屈曲した幹がみられる。これらには, 海風の直接の影響より, 後述する堆雪や堆砂の影響が考えられる。

石狩海岸林の樹形の変化をおおまかにとらえると, Line-A の付近で, イタヤカエデのホウキ状が目立つのは sp150までであるが, 単木的には sp350でもみられる。カシワの幹は, sp175付近から傾きがなくなり始めるが, 単木的には sp250でも根元曲がりは観察される。Line-B の付近では, イタヤカエデのホウキ状が目立つのは sp240までである。カシワの幹は, sp165付近から立ち始めるが, sp300でも単木的に根元曲がりは観察される。

2.3 風衝林形

風衝樹形が, 枝・幹の特異な単木の形態であるのに対し, 風衝林形は, 単木の集合である林帯が全体として呈する林冠の形態である。風衝林形の実態を述べるに先立ち, 修正樹高⁴³⁾と林冠曲線との二つの

用語を導入する。修正樹高は、基準とした標高から梢端までの比高である。林冠曲線は、距離変化に対応した修正樹高の変化を示す曲線で、林冠の輪郭を表現する。

Fig. 8 は、Line-A の全長、Line-B の380m 地点までについて、地形の変化と樹高の変化を示したものである。sp100 前後には標高 9～10m の第 1 砂丘があり（測線は砂丘の最高部を通っていない）、sp150には標高約 6 m の砂丘（第 2 砂丘）がある。その後方には、比高 2 m ほどの小砂丘が続いている。樹高は、前線で 2～3 m、内陸部の高いところでは 10m を超えるものもある。Line-A で sp350、Line-B では sp280で、梢頭の高さが標高 10m（砂丘の最高部の高さに相当）を超える。小砂丘の凸部背後では、地盤高の減少を樹高の増加が補う形で林冠の比高を維持する傾向がみられる。

Fig. 9 は、Line-A、Line-B について、海食崖の上端、標高約 4 m を基準とする修正樹高の、各 10m 区間の最大値とその 50 m 区間の重みつき移動平均値、並びに実際の樹高に関して同じく 50 m 区間の重みつき移動平均値を示したものである。sp100～sp160では、修正樹高と実際の樹高の差に第 1 砂丘の地盤高の影響が大きく出ている。修正樹高の重みつき移動平均値で示される林冠曲線は、第 1 砂丘の内陸側斜面で減少するが、全体としてみれば徐々に高くなる風衝林形を呈している。

風衝林形が造成された海岸林でもみられることを、紋別海岸林で調査した。Fig. 10は、紋別海岸林を代表する横断模式図（海岸－内陸）である。砂浜に比高 10～20m の海食崖が続き、海岸林は海食崖上に造成されている。この海食崖は強風時に波浪浸食をうけ、場所によっては海食崖とともに植栽木の崩落も生じている。造成地のほぼ中央を通る作業道の海側には、25～50m の幅で、1963年からカラマツが植栽されている。1975年からは、これを列状に伐採し、アカエゾマツが植栽されている。作業道内陸側にはアカエゾマツが1958、1959年に植栽されている。そのほかにもコバノヤマハンノキ、カラマツ、ト

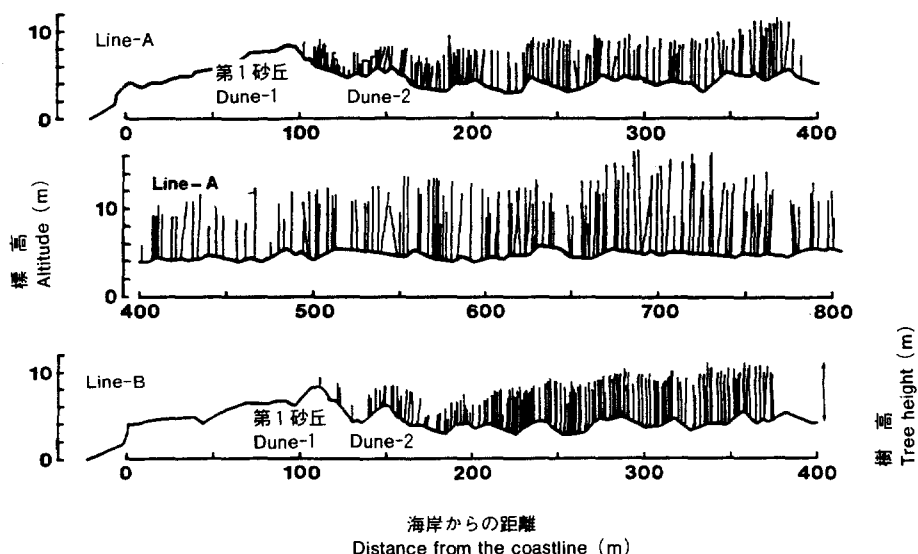


Fig. 8. 地盤高と樹高 (1981年)
Outline of a series of dunes and tree height

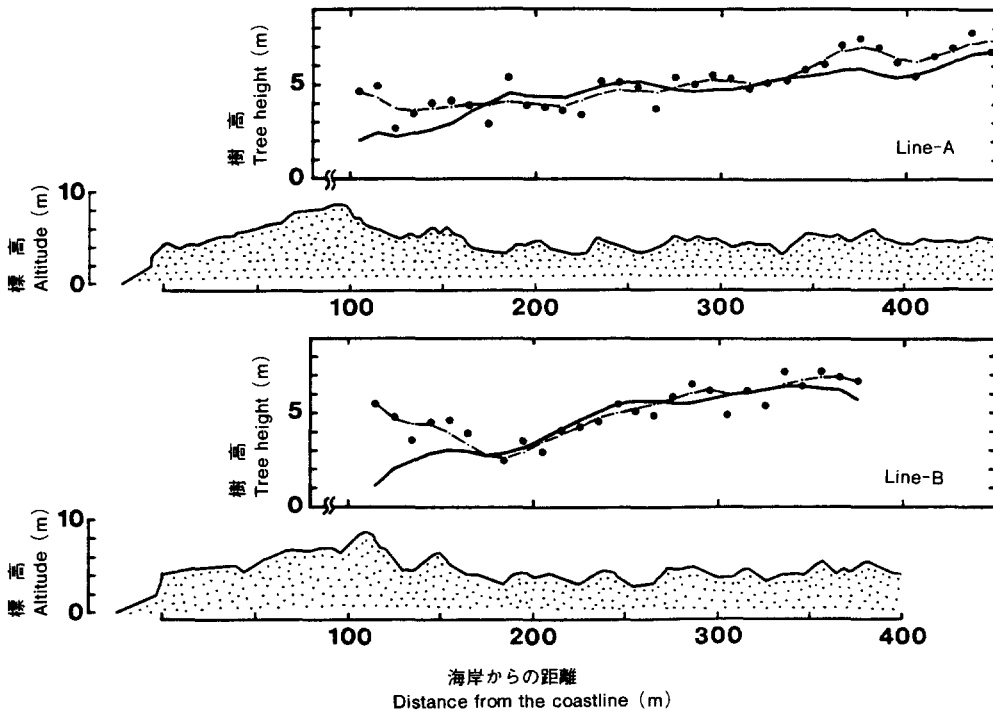


Fig. 9. 海岸からの距離と樹高の変化
Gradual increase of tree height in relation to the distance.

- : 修正樹高 Correction tree height
- : 修正樹高の重み付き移動平均値
Weighted moving average of the correction tree height
- : 樹高の重み付き移動平均値
Weighted moving average of tree height

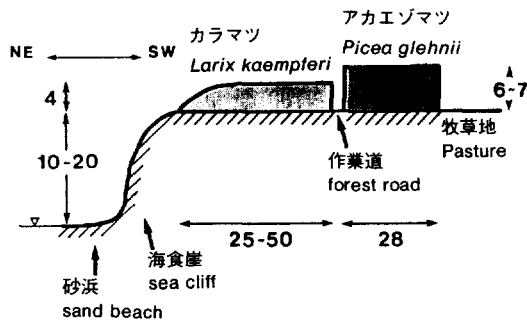


Fig. 10. 紋別海岸林の概況 (単位: m)
Outline of the Monbetsu seacoast shelterbelt (scale: m).

海岸線に直角な断面を示す
The profile shown is that at a right angle to the coastline.

ドマツなどが植栽されており、アカエゾマツ植栽地の一部には、植栽記録のないカシワも成長している。

Fig. 11は、作業道海側のカラマツ林帯の林冠曲線である。このカラマツ林帯を保残帯としてアカエゾマツが列状に植栽されている。カラマツの伐採方向は海岸線に直角のものと平行のものがある。伐採幅は3～4 mである。カラマツの梢頭は、毎年枯死と枝の主軸化を繰り返したホウキ状になっている。そこで、林冠曲線は過去最高到達高と当年到達高、生存高の3種類によって示した。2例とも林冠曲線は、風衝林形を呈し、樹高上限値は約4 mであった。なお、伐採方向が海岸線に平行の場合の方が全体に樹高が高い。

Fig. 12aは、作業道内陸側のカラマツの林冠曲線である。作業道側（海側）林縁の樹高は、作業道の海側のカラマツの樹高上限値より低く、作業道海側の林帯とは不連続な風衝林形を呈している。上限値に達する距離は、海側の林帯より短い。樹高上限値は同様に4 m程度である。

Fig. 12bは、作業道内陸側のコバノヤマハンノキの林冠曲線であるが、梢頭部には枯れが目立ち、典型的な風衝林形をなしている。後方の樹高は7 mに達するが、全体に樹勢は弱く枯死木も目立つ。

Fig. 12cは、作業道内陸側に1958年に植栽されたアカエゾマツ林の一角に存在する、植栽記録のないカシワの林冠曲線である。梢頭部の枯死は目立つものではないが、風衝林形をなしている。なお、部分的に突出したカシワも存在したが、上限は6 mであった。また、突出しているアカエゾマツが目立ったが、逆にカシワ林内で被圧されているアカエゾマツもあった。

以上のように、作業道の両側、あるいは樹種によって、林冠曲線の形は異なるが、造成された紋別海岸林においても風衝林形が形成されている。

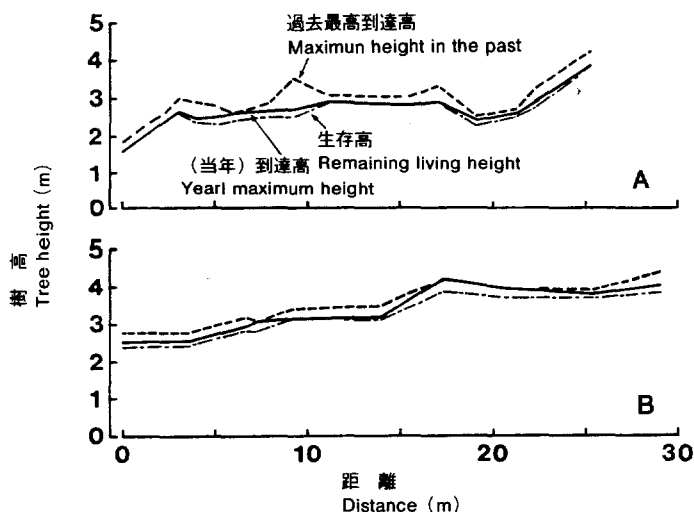


Fig. 11. 作業道海側のカラマツ林冠曲線（紋別海岸林）
Gradual increase of tree height of *Larix kaempferi* in relation to the distance
(Monbetsu seacoast shelter belt, in front of the forest road).

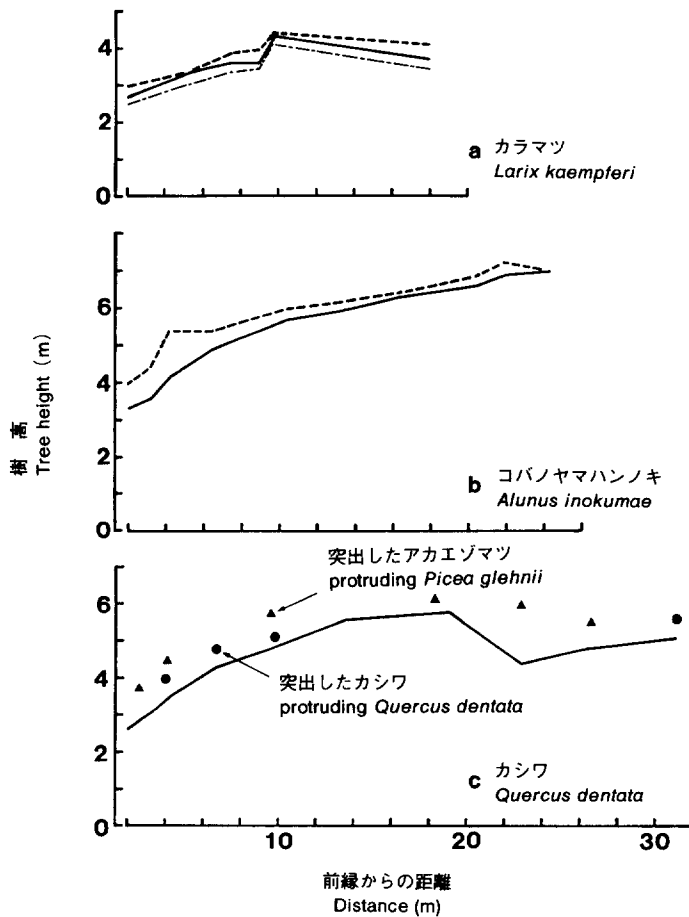


Fig. 12. 作業道内陸側のカラマツ、コバノヤマハンノキ、カシワの林冠曲線（紋別海岸林）
Gradual increase of tree height of *Larix kaempferi*, *Alnus inokumae* and *Quercus dentata* in relation to the distance (Monbetsu seacoast shelterbelt).

-: 過去最高到達高 Maximum height in the past
- : (当年) 到達高 Yearly maximum height
- · - ·: 生存高 Remaining living height

3 海岸林の動態

本章では、前縁の梢頭部に毎年のように生じる枯死現象と、それを含めた樹木の成長過程とを、海岸林の動態としてとらえる。これは、2章で述べた林況のうち、樹形、林形の空間的变化に時間軸を入れたものとして位置付けられる。対象とする時間範囲は、最高樹齢に相当する期間を考える。対象とする空間の範囲（広がり）は、石狩海岸林の場合、第1砂丘後方背後の前縁から後方700mの内陸側林縁まで樹高の増加傾向は続いていることから、海岸から内陸の方向に数百mを考える。なお、海岸から内陸への距離が等しければ樹高も等しいと単純化して扱う。初期状態としては萌芽更新の開始を想定し、既

存林帯の部分的破壊、いわゆるギャップの形成¹²⁶⁾、それに伴う木本の侵入、分散などの分布拡大、あるいは海岸から内陸へかけての樹種構成に違いが生じる過程については、対象とする時間範囲が異なるため本研究では扱わない。

3.1 枝の主軸化の繰り返し ——イタヤカエデの事例——

海岸林の動態の一側面として、毎年観察されるイタヤカエデの梢頭部の枯死現象と側枝の主軸化 (Fig. 7 参照) を定期的に調査した。前線部に出現する主要樹種のうちイタヤカエデを対象樹種とした理由は、カシワに比較して主軸化した側枝の梢頭部における伸長量が大きく、主軸の交替の実態がとらえやすいからである。

3.1.1 調査手順

主軸交替の繰り返しをとらえるための継続調査を、Line-A に沿った海岸からの距離の異なる4地点で実施した (Fig. 13)。Point-1 は、第1砂丘 (sp100 相当) の内陸側斜面である。第1砂丘の海側は、ほとんど無立木状態である。Point-2 は、第2砂丘 (sp150 相当) と第1砂丘の間の凹地である。第1砂丘と第2砂丘の間の立木密度は低く、Point-1、Point-2 の対象木は孤立木に近い。Point-3 は第2砂丘上である。この砂丘の海側斜面から林帯はうっ閉している。Point-4 は第2砂丘後方約20m の凹地である。各地点の地盤高は異なり、地盤高が最低の Point-4 を基準とすれば、Point-1 は2.6m、Point-2 は1.3m、Point-3 は、2.1m それぞれ高い。樹高が徐々に高くなるのは、第2砂丘の後方からである。

調査は、1981年9月上旬に、各地点からそれぞれ20本程度の枯れた主軸を選び、それを補う形で典型的に主軸化した枝 (L-81) をマーキングすることによって始めた。対象となったイタヤカエデの個体数は、各地点で1~2本である。個体本数が少ないのは、イタヤカエデが根元で分かれた多幹形を呈しているためである。その後の調査は、1985年9月まで毎年6月上旬と9月上旬の年2回実施した。開葉が明瞭になる6月上旬には、前年に伸長した枝の枯死した長さ (枯死長) と生存している長さ (生存長) を測定した (Fig. 7 参照)。9月上旬には、6月上旬の測定項目に加え、成長期間中に新たに発生した枝をマーキングし、その長さ (伸長量) と基部高を測定した (Table 1)。

以上のように、L-81に対するL-82、そのまたL-83と順に主軸の交替を追跡したが、前年の主軸の枯死長が短い場合のL-82以降には、必ずしも典型的に主軸化した枝だけではなく通常の側枝と区別がつかないものも含まれている。両者が含まれる場合は枝と表現する。側枝の主軸化は、1年生の主軸からだけでなく、2年生あるいはそれより古い主軸の短枝が長枝化して生じたり、斎藤⁸⁶⁾の挙げたロング

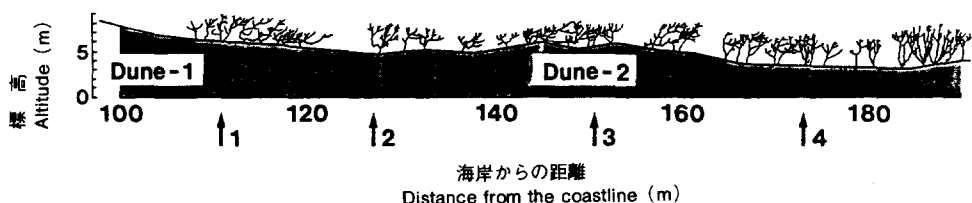


Fig. 13. イタヤカエデの主軸交替の調査地点
Survey point for leader-change of *Acer-mono*.

Table 1. イタヤカエデの主軸の交替調査項目 (1982.6~1983.9の例)

Investigating schedule for the leader change of *Acer mono.* (example of Jun 1982-Sept. 1983)

Date	1982.6	1982.9	1983.6	1983.9
L-81	枯死長 Dead length 生存長 Living length	枯死長 Dead length 生存長 Living length	(枯死長) (Dead length) (生存長) (Living length)	(枯死長) (Dead length) (生存長) (Living length)
L-82	—	マーキング Marking 伸長量 Leader length 基部高 Base height	枯死長 Dead length 生存長 Living length	枯死長 Dead length 生存長 Living length
L-83	—	—	—	マーキング Marking 伸長量 Leader length 基部高 Base height

バット起源の可能性もあるが、とくに区別せず、すべて枝の主軸化として扱う。

3.1.2 主軸の枯死・生存と海岸からの距離

① 枯死発生本数

Table 2は、L-81~L-84について、枯死発生率と、そのうちの着葉期間に枯死した割合とを示したものである。この場合の対象期間は、枝をマーキングした9月上旬から翌年の同時期までであり、枯死発生とは枝の一部ないし全部が枯死した場合をさす。着葉期枯死発生とは、6月上旬には開葉が確認された部位に、同年9月上旬には着葉がみられなかった場合をさす。

枯死発生率は、L-81で95~100%、L-82で74~100%、L-83で77~97%、L-84で69~100%と、ほとんどの枝に枯死現象が観察されている。また、そのうちの着葉期の枯死発生は、おのおの、3~17%、9~31%、6~24%、5~19%であり、枯死の大部分は落葉期に発生している。

Fig. 14には、対象とした枝のうち分枝位置から梢端までの全長が枯死した枝の本数割合を示した。L-81についてはPoint-2での全長枯死本数割合が最も多く、80%以上が全長枯死している。Point-1での全長枯死本数割合は52%、Point-3では30%、Point-4では6%となっている。L-81と比較して、L-82の全長枯死本数割合はPoint-2で減少しているが、他では増加している。Point-2では、枯死したL-81を補う形で伸長したL-82の多くはL-81から分枝、伸長したのではなく、L-81の全長枯死後にL-81の基部高より低い位置の古い枝・幹から発生している。そのため、L-81に比較しL-82の生育している地上高は低く、海風の影響が少ないうことが全長枯死本数の減少をもたらしたと考えられる。すなわち、前年の枝の枯死状況が当年の枝の生存に影響を与え、ひいては、全長枯死本数割合の変動する一因をなすと考えられる。逆にPoint-3、Point-4でのL-82の中には、L-81の生存長が長く、L-81を補う形というよりもL-81から通常の枝のように伸長したものが含まれるために、L-81が2年生の主軸とし

Table 2. マーキングした枝の枯死発生率 (イタヤカエデ)
Number of dead leaders (*Acer mono*).

Point	1		2		3		4	
	本 Number	%	本 Number	%	本 Number	%	本 Number	%
L-81								
マーキング枝本数 Marked leaders	41		38		37		32	
枯死発生本数 Dead leaders	39		38		36		31	
枯死発生率 Dead leaders (%)		95		100		97		97
着葉期枯死発生本数 Leaders dead in summer	5	(13)	1	(3)	6	(17)	1	(3)
L-82								
マーキング枝本数 Marked leaders	64		41		94		107	
枯死発生本数 Dead leaders	64		36		91		79	
枯死発生率 Dead leaders (%)		100		88		97		74
着葉期枯死発生本数 Leaders dead in summer	6	(9)	11	(31)	10	(11)	10	(13)
L-83								
マーキング枝本数 Marked leaders	22		70		38		94	
枯死発生本数 Dead leaders	18		58		37		72	
枯死発生率 Dead leaders (%)		82		83		97		77
着葉期枯死発生本数 Leaders dead in summer	1	(6)	12	(21)	3	(8)	17	(24)
L-84								
マーキング枝本数 Marked leaders	37		74		47		89	
枯死発生本数 Dead leaders	37		68		45		61	
枯死発生率 Dead leaders (%)		100		92		96		69
着葉期枯死発生本数 Leaders dead in summer	2	(5)	13	(19)	6	(13)	3	(5)

() : 枯死発生本数に占める着葉期枯死発生本数の割合

The ratio between number of leaders dead in summer and in all season.

て枯死した際、同時に枯死し、全長枯死本数が多くなった。以上の関係は、L-83、L-84においても同様である。

② 生存長

Fig. 15は、L-81～L-84の伸長量とそれらの翌年9月までの枯死長を、枝1本あたりの平均値で示したものである。なお、L-82～84は、伸長量がL-81に比較して少なかったため、縦軸の尺度を変えて示してある。L-81の伸長量はPoint-2で最高であるが、全長枯死本数割合の高いPoint-2では枯死長も最高であり、枯死長は伸長量の95%を超えている。つまり、1年後の生存長は、前年の伸長量の5%に満たず3cm/本で、4地点中最低となっている。Point-1とPoint-3との伸長量に大差はなく、両地点の生存長の差は枯死長による差である。Point-3とPoint-4と枯死長は同程度であり、生存長の差は伸長量による差である。L-82～84では、内陸ほど伸長量と枯死長が少なく、生存長は、同等か内陸の方が多い傾向がみられる。

L-81に比較してL-82～84の伸長量が少なくなった理由は、L-81から分岐した枝を毎年追跡する過程で、先述のように萌芽枝的な伸長をした枝のほかに、通常の側枝に近い枝も含まれているためである。この傾向は、時を経るほどに、また、内陸ほど強くなっている。従って、典型的な主軸化した枝のみを選んだL-81に比較してL-84の伸長量の平均は内陸ほど少ない。

③ 到達高と生存高

これまでに述べた梢頭部における伸長と枯死の繰り返しは、樹高の変動としてとらえることができる。Fig. 16は、各地点における主軸の到達高（1980～1984年）と生存高（1981～1985年）を示す。

海岸林造成並びにその維持管理において検討すべきは、平均的な成長よりも、条件をととのえた場合どの程度成長するかという、成長・生存の可能性であるから、ここでは各地点の最高値と、上位10番目までの平均値と同じく最低値（10番目の値）で示した。ただし、測定した枝本数は、Table 2に示したように調査地点あるいは調査年によって異なっている。

各地点の生存高は、冬期間の梢頭枯死の結果であるから、海風の影響を同程度に受けた地上高を示すと考えることができる。すなわち、最高値で比較すれば、Point-1の地上高220～250cm、Point-2の225～260cm、Point-3の250～270cm、Point-4の320～370cmが同程度の影響を受けた高さとなる。これに対して到達高は、夏期の伸長量に左右されるから、到達高が高いことが、必ずしもその地点での冬期間の海風の影響が少ないことを示すわけではない。

Point-1～Point-3間の生存高の差に比較し、到達高の差が大きい。すなわち、前述の枯死長の差は、生存高以上の空間に伸長した枝の長さの差によるものである。Point-2においてL-82の全長枯死本数割合がL-81に比べ少なかった理由として、生育している地上高が違うことを考えたが、そのことがFig. 16では、到達高の変動としてとらえられる。全体的に、Point-4と比較するとPoint-1、Point-2では、枯死長が長いので、到達高と生存高との差が大きく、落葉樹が毎年葉を落とすように枝を枯らしている。

④ 生存期間と梢頭部の形状

ここでは主軸の生存期間と梢頭部の形状について考える。枝の主軸化の繰り返しを調査するために当初対象とした枯れた主軸は、1年生のものと2年生のものに区分できた。この場合、1年生の主軸とは、

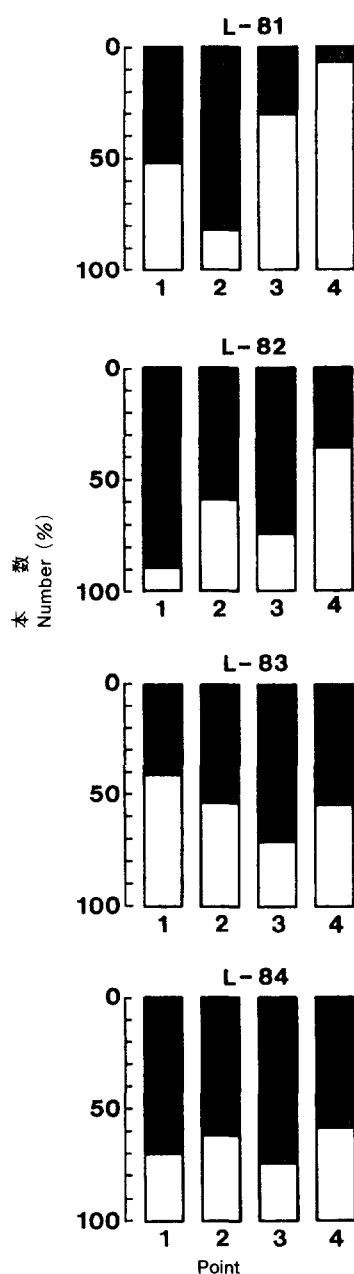


Fig. 14. イタヤカエデ梢頭部における枝の全長枯死本数割合
Number (%) of leaders or shoots whose whole parts died in winter (*Acer mono*).

網点: 全長にわたって枯死している
dotted totally dead
白地: 少なくとも一部は生存している
blank partially or totally living

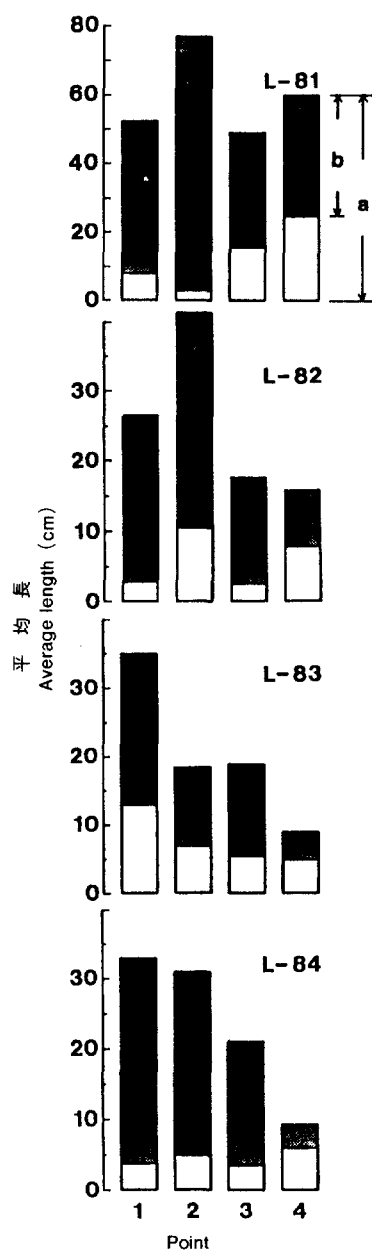


Fig. 15. イタヤカエデ梢頭部における伸長量と枯死量
Average living length of leaders or shoots
Acer mono.

a: 伸長量 Average leader length in summer
b: 枯死長 Average dead length in winter
a-b: 生存長 Average living length after winter

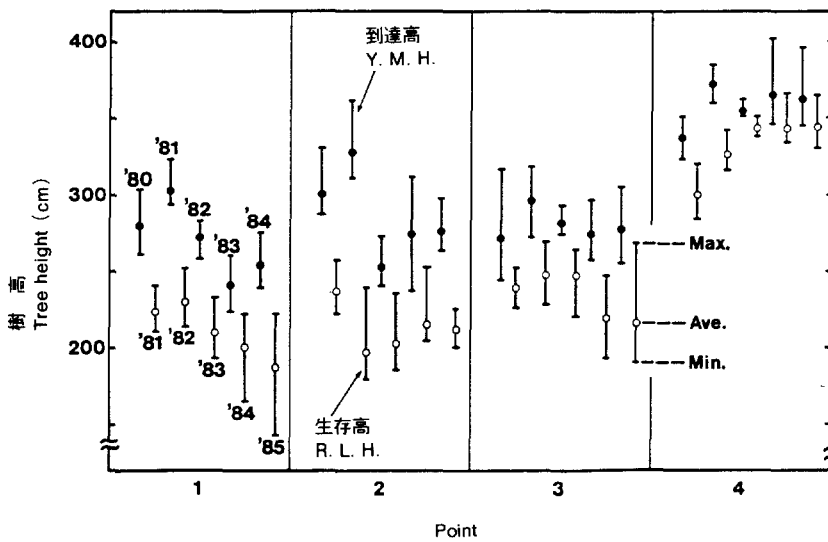


Fig. 16. イタヤカエデの到達高と生存高 (上位10枝による)
Y. M. H. and R. L. H. of leaders of *Acer mono* about top 10 at each point.

Y. M. H. : 到達高 (生育期間中に達した高さ)

Yearly maximum height is the height the leader reached in summer.

R. L. H. : 生存高 (翌春の最高開葉位置)

Remainig living height is the height above which the leader died in winter

冬芽の痕跡のみで分枝・伸長の形跡のない主軸のことであり、2年生の主軸とは、過去に伸長後、1度分枝あるいは再び伸長した主軸のことである。

主軸が、1年生であることは、生存期間が1生育期間であり越冬できなかったことを、2年生であることは、生存期間が2生育期間にわたり1度越冬したことを意味する。一例として、当初対象とした枯れた主軸のうち2年生の主軸の割合を地点ごとに求めると、最低は Point-2 の0.17, 最高は Point-4 の0.50となる (Table 3)。逆に言えば、主軸化した枝の生存期間に差があることが、梢頭の形状に違いをもたらしている。(補足: 枯れた主軸のうち n 年生の本数を N_n とすると、平均越冬回数は $\sum |(n-1) \times N_n| / \sum N_n$ となり、2年生以下のものだけのときは先に示した2年生枝の本数割合となる。)

梢頭部の形状と枝の生存期間との関係を確認するために、Line-A の sp110 と sp250 からそれぞれ標準的な梢頭部分の3年生枝1本を選び、それから派生した2年生枝、1年生枝の伸長量、枯死長、生存長を測定した。測定は1982年4月24日に実施したので、3年生枝は1979年に伸長したものである。開葉前であり、生死の区分は着葉痕跡によって行った。この時の生死の区分は、1981年の伸長終了時点のものとなる。つまり、ここで1年生とは前年(1981年)に伸長したものである。sp110の3年生枝幹は97.2cmの伸長量があったものであるが、測定時には68.8cmが枯死していた。sp250の方は、44.8cmあったものが15.2cm枯死していた。

測定結果を Fig. 17, Fig. 18 に示す。Fig. 17 は、両地点について、伸長量 5 cm 以上の 1 年生枝、2

Table 3. イタヤカエデ L-81 の元枝の年齢
Age of base leaders of L-81 (*Acer mono*).

Point	1	2	3	4
a : 1 年生本数 Number of 1-year-old leaders	17	19	14	10
b : 2 年生本数 Number of 2-year-old leaders	5	4	7	10
c : 合計本数 (a + b) Total	22	23	21	20
2 年生元枝数 (b / c) Ratio of 2-year-old leaders	0.23	0.17	0.33	0.50

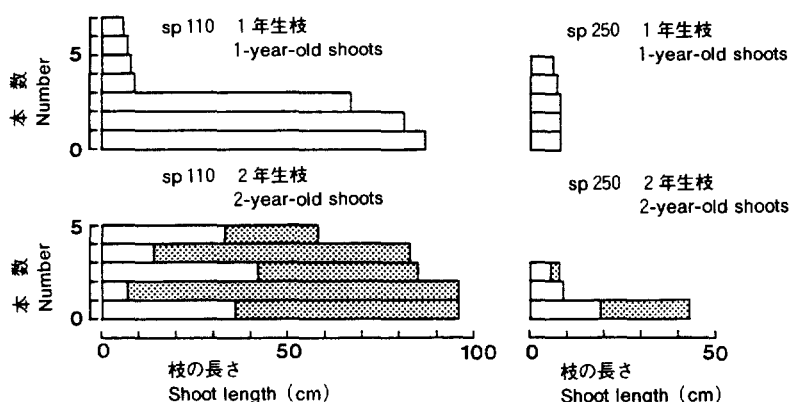


Fig. 17. sp 110 と sp 250 におけるイタヤカエデの枝の長さの比較

(1 本の 3 年生枝から展開した枝長 5 cm 以上の枝について)

Difference of shoot length between sp110 and sp 250 about the shoots, 5 cm and over, which elongated from a 3-year-old leader, at each point.

sp 110 : 前縁部 the point at the front edge

sp 250 : 林内 the point in the shelterbelt

網点は枯死部分 Dotted parts indicate the dead parts

1 年生枝の生死は未確認 Life or death of 1-year-old shoots were unknown

年生枝を伸長量の順に並べたものである。Fig. 18は、5 cm 未満の枝まで含めて伸長量と枯死長の合計を 1 年生枝と 2 年生枝に分けて両地点で比較したものである。

1 年生枝で比較すると、sp110では60cmを超えるものが3本あるが、sp250では10cmを超えるものはない。2 年生枝で比較すると sp110では伸長量58~96cm の5本からなるが、合計伸長量の約70%は枯死している。一方、sp250では10cmを超えるものは43cmのもの1本のみで、枯死長の合計も合計伸長量の35%と sp110に比べ少ない。また、sp110では1981年の着葉はすべてその年に発生した主軸化した枝上に生じたが、sp250では1980年に伸長した主軸に短枝を形成し着葉したものもみられた。

以上のように、主軸化した枝が目立つ梢頭部ほど枯死長が長く、主軸そのものの寿命が短い。逆に、例えば sp350のイタヤカエデの梢頭部の形 (Photo. 3 参照) に表現されるように、内陸ほど梢頭部分の

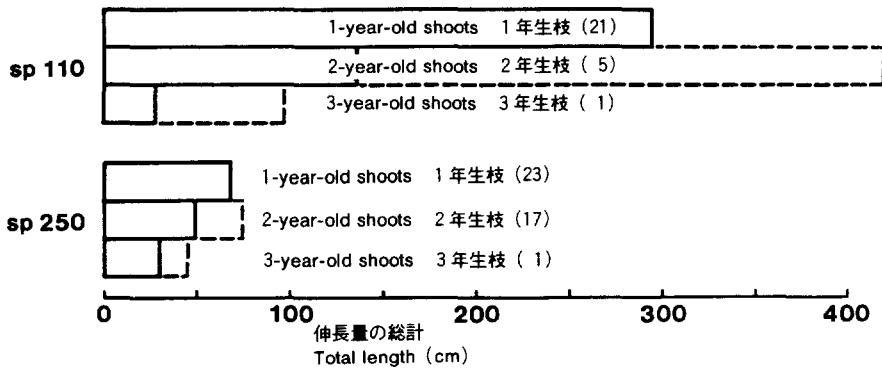


Fig. 18. sp 110と sp 250におけるイタヤカエデの枝の長さの比較
（1本の3年生枝から展開した枝の総伸長量）

Total length of the living parts of shoots in relation to age, about all the shoots which elongated from a 3-year-old leader, at each point.

破線は枯死部分 Broken lines indicate the dead parts of the shoots
()は枝本数 (): Numerals indicate numbers of branches

単位長さあたりの分枝数が前線部（Photo. 2 参照）に比較して多いことは、主軸の寿命が長いことを示している。

なお、先の継続調査の中では、短枝が1年おいて長枝化した例もみられた。

3.2 成長過程

3.2.1 供試木として優勢木を選定する意味

成長過程の調査のための供試木には、成長状態や樹高が平均的な樹木ではなく、優勢木を選んだ。その理由は、海岸のように生育条件の良好とはいえない地帯においては、すべての個体が順調に育つわけではないからである（Fig. 19）。例えば、海岸林造成において、植栽木の枯死があいつぎ、多い場合には補植本数が初期植栽本数を超えることもある。その場合、残存木の平均樹高は植栽木全体の樹高を代表しているとはいえない。天然生海岸林においても、例えば今回の調査対象地である石狩海岸林のカシワの場合、毎年の落下種子数あるいは発芽数に対する現在の立木本数はわずかである。つまり、植栽木あるいは落下種子全体の中であって、活着、生育している個体は、すでにそれだけで優勢木とみなさなければならない。

以上のように、枯死木が多く生じる樹木集団の中では、残存木の中の平均的な個体が集団の何を代表しているのか不明確である。また、とくに天然生林では、隣接木に被圧され成長が制限されている場合もあり、生育している個体であっても同等の条件下にはない。これらの点において、優勢木はその位置付けが明確である。すなわち、優勢木とは、対象とする場におけるその樹種の成長可能な程度を示している個体と位置付けられる。そして、海岸林における成長調査の目的は、場の条件を整えたときの成長の可能性を探ることであるから、供試木として優勢木を選定する意味もそこにある。

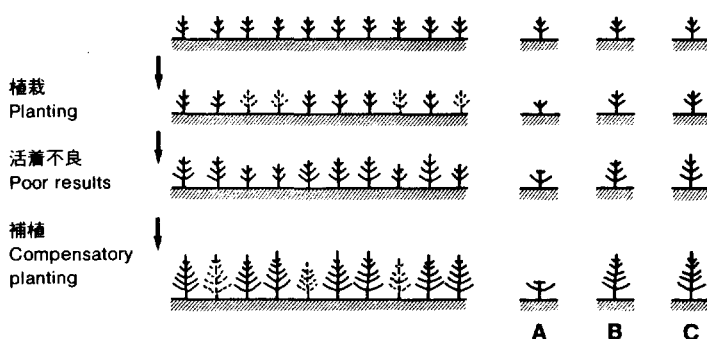


Fig. 19. 優勢木の樹高と平均樹高の比較（植栽における例）
Comparison between the height of dominant trees and the average tree height in the case of planting.

- A：当初の植栽木の平均樹高（枯死木も本数に含める）
The average height of initial planted trees with dead ones.
B：生存している植栽木の平均樹高（枯死木は本数に含めない）
The average height of all planted trees without dead ones.
C：優勢木の樹高
The height of dominant trees.

3.2.2 石狩海岸林の事例 —カシワの成長過程—

① 調査地と供試木の選定

樹幹解析用の供試木を、石狩湾新港中央水路予定地のほぼ中央で、第1砂丘から内陸側約320mまでの林分から採取した。供試木は、中央水路造成工事期間中の1984年1～2月に、伐開作業に伴って一時的な林縁となった箇所幅1～2mの範囲から11本伐採、採取した（Fig. 20）。供試木の樹種はカシワで、優勢木を得るように、林冠形成木の中でも胸高直径の大きいものを選定した。供試木の樹高はおおむね内陸ほど高く、最高はNo.10の8.6mである。胸高直径の最大は、No.11の19.8cmである。地際の年輪数は、No.2が24、No.7が35であったが、残りのものについては、71～76とほぼ一定であった（Table 4）。

供試木が優勢木として周辺林分を代表していることを確認するために、融雪後、供試木を中心に円形プロット（プロットの番号は供試木の番号に等しい）をとり、プロット内で立木の残っている側については、樹高1.3m以上のすべての立木の樹高、胸高直径を、すでに伐開されている側については、主として大きめの伐根の根元径と年輪数を測定した。また、付近にプロット内のものよりも大きな伐根があれば、採取、測定した。ただし、造成工事との関係で、No.6とNo.9～No.11の周囲の林分調査が実施できず、後者については、その付近で海岸からの距離が同程度の類似林分に、円形プロットplot 12を設け代用した。プロットの半径は、plot 1、plot 3が10m、plot 12が20m、他は5mである。

Fig. 21は、各プロットにおける立木の胸高直径と樹高とを示したものである。plot 12を除き、各プロット内のほとんどの立木は林冠形成木であり、各プロットは単層林分となっている。なお、内陸のプロットほど樹高、胸高直径ともに大きい。plot 4ではplot 3よりも樹高が低くなっているが、これは、plot 4が林内の砂丘の頂部に存在し、地盤高が周囲よりも高いことの影響と考えられる。また、plot 1で

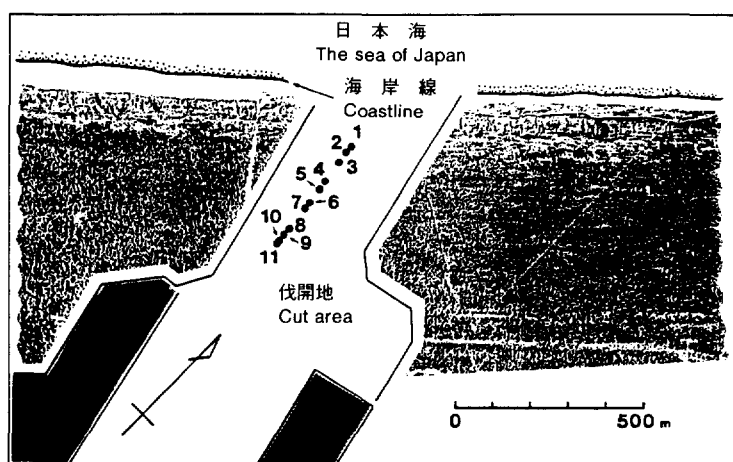


Fig. 20. 伐開地とカシワ供試木採取位置

Cut-area and stem analysis tree No.

数字はカシワ供試木 No.

Numerals indicate stem analysis tree No.

網点は埠頭建設予定地

Dotted areas indicate planned wharves

Table 4. 供試木 (カシワ) の概要

Data of stem analysis trees (*Quercus dentata*).

No.	海側林縁からの距離 Distance from the front edge (m)	樹 高 H (m)	胸高直径 DBH (cm)	地際年輪数 Tree annual ring number at ground level	測定円盤数 Number of cross sections measured
1	0	2.7	8.7	74	11
2	16	2.5	6.1	24	8
3	42	4.5	10.9	71	10
4	93	4.3	10.9	71	10
5	113	4.4	11.0	71	10
6	148	5.2	12.7	76	11
7	164	6.4	15.4	35	13
8	218	6.7	12.5	71	16
9	235	6.7	17.9	76	16
10	251	8.6	17.1	76	19
11	260	8.2	19.8	76	18

胸高直径に比較し樹高が低いのは、海風と雪圧の影響によって樹幹が内陸側に傾いた樹形を呈しているからである。

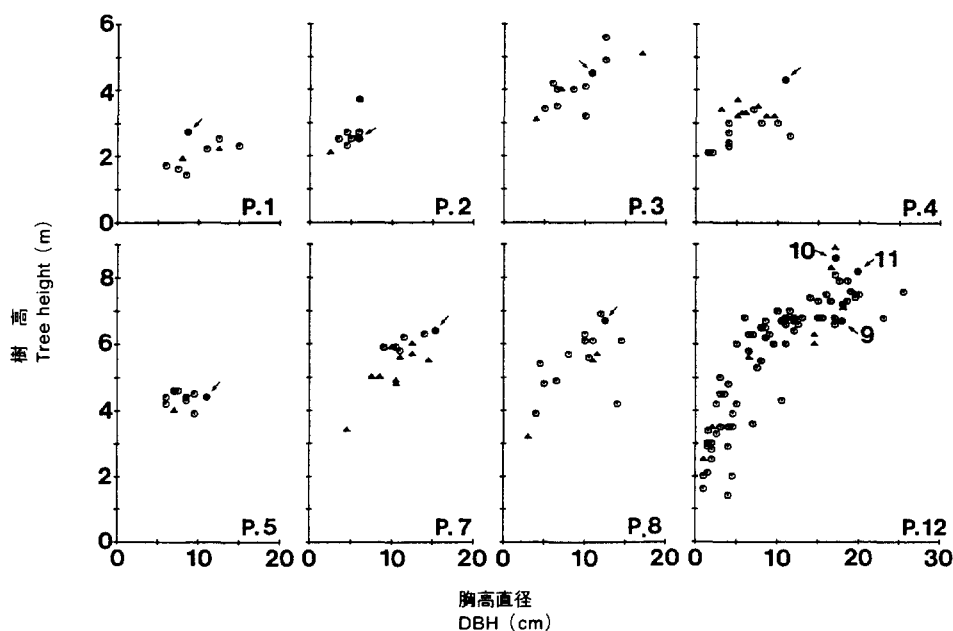


Fig. 21. 各プロットにおける樹高と胸高直径
Tree height and DBH in each plot

○：供試木 Stem analysis tree
▲：プロット外 Tree near the plot

Fig. 22は、供試木の周囲の伐根の年輪数と地際直径を示したものである。年輪数の最高は76であり、年輪数に海岸からの距離による差はない。また、伐根は、年輪数が70を超える高齢グループと、20～30の若齢グループに分けられる。供試木は、No. 2, No. 7を除き高齢グループに属する。No. 7は、幹の地際の部分に過去の根株が取り込まれていた（Photo. 4参照）。その影響で、地上15cmの直径は18cmであったが、根元直径は26cmと極端に肥大していた。

なお、供試木周辺の根株には、外観的には単木であっても、複数の幹が癒着したものが多くみられた。

② 成長過程における枯れもどり

年輪幅に影響を与える因子としては、一般に成長期の気温、地温、降水量を中心とする気象条件が考えられるが、この場合、同一地域においては同様のパターンが現れることになる⁷⁾。また、風倒、伐採などで林分が疎開した場合、それ以降、下層木や残存木の年輪幅が急に肥大し、逆に林分がうっ閉すれば年輪は密になる。その他、傾斜地などの立木にみられるアテが生じた場合にも年輪の肥大は観察される⁷⁾¹⁵⁾。今回問題とするのは成長過程における枯死現象であるから、年輪幅の狭い部分に着目する。

Fig. 23は、採取した円盤の年輪数を各採取部位別に示したものである。なお、採取部位は、地際からの幹に沿った長さ（樹長）によって表されている。傾きの大きいNo. 1と、No. 2では、樹高と樹長とに2.6m, 1.2mのずれがある。その他の供試木はほぼ直立しており、No. 8, No. 9の0.8mが最大の

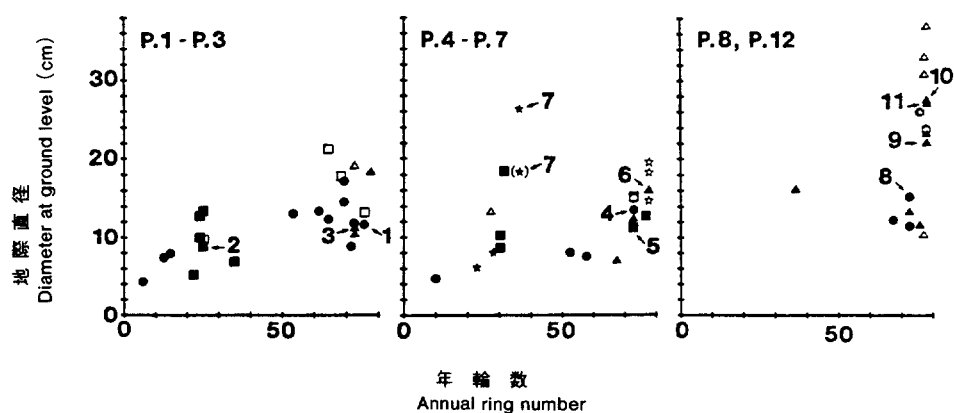


Fig. 22. 各プロットにおける地際直径と年輪数
Diameter at ground level and tree age in each plot

←: 供試木 Stem analysis tree
数字は供試木 No. Numerals indicate stem analysis tree No.
同じ印は同一プロット内 Same marks indicate trees in the same plots
白ヌキ White marks : プロット外 Stump outside the plots
(★): 地上15cm の直径 The diameter at 15 cm above the ground

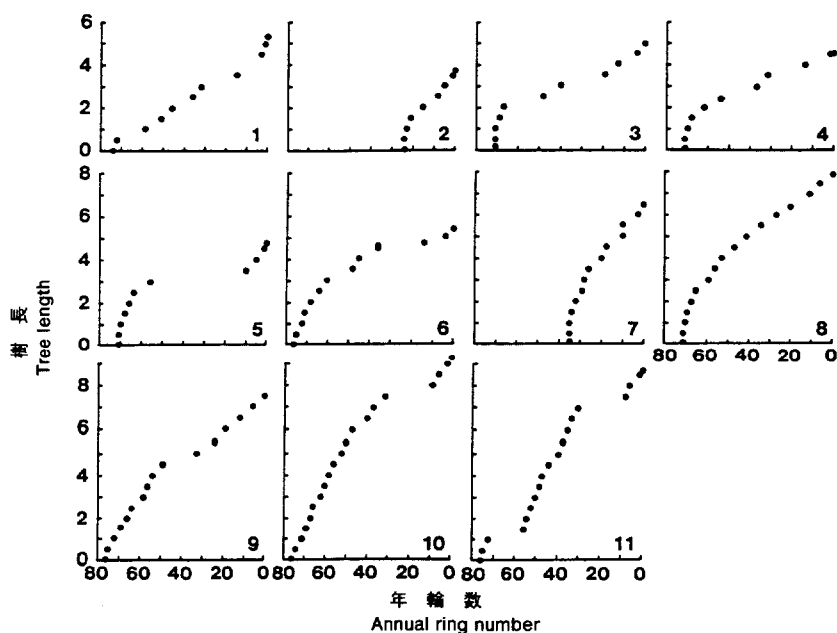


Fig. 23. カシワ供試木の樹長別年輪数
Tree length and annual rings

数字は供試木 No.
Numerals indicate stem analysis tree numbers

ずれであった。そこで、No. 1, No. 2 以外は、地際からの長さで地上高として扱うことにした。ある高さの年輪数がNということは、N年前に少なくともその高さには達していたことを意味する。つまり、Fig. 23は、およその樹高成長を表現している。いずれも初期成長の良さが目立っており、ほとんどの供試木が地上0.5 mに1~2年で達し、地上1 mに遅くとも5年で達している。No. 8を除いて、それ以上の高さの伸長には、10~45年ほどの不連続期間がみられる。この不連続が単純な成長の停滞を意味するのか、以下に解析をすすめる。

Fig. 24は、供試木の肥大成長の過程を、地上1.5 mにおける年輪幅の変動で示したものである。いずれも初期の5年から10年くらいまでの年輪幅は、相対的に広い。年輪数の少ないNo. 2, No. 7を除くと、1960年以前の数年間、成長のよい時期があるが、その後の変動パターンは、2種類に分けられる。一つは、それ以降の年輪幅が0.5 mm以下の密になっているもので、No. 1~No. 8がこれにあてはまる。もう一つは、その後も1 mm前後で変動を繰り返したもので、No. 9~No. 11がこれにあてはまる。

Fig. 25は、一例として供試木 No. 3 について、Fig. 23における樹長別の年輪数を、年輪幅の変動 (Fig. 24) と重ねたものである。供試木 No. 3 では、2.0~2.5 m と 3.0~3.5 m の間で樹高成長が停滞しているが、この期間には、それぞれ年輪幅の狭い期間の開始時期、1929年と1959年が含まれている。1929~33年に年輪幅が狭くなっているのは、No. 3 だけであるから、気象条件によるものとは考えられず、少なくとも1929~30年に数年分の伸長に相当する梢頭部分が枯死したことが考えられる。一方、1959年以降続いた密な部分は、No. 9~No. 11には認められないことから、これも気象条件によるもの

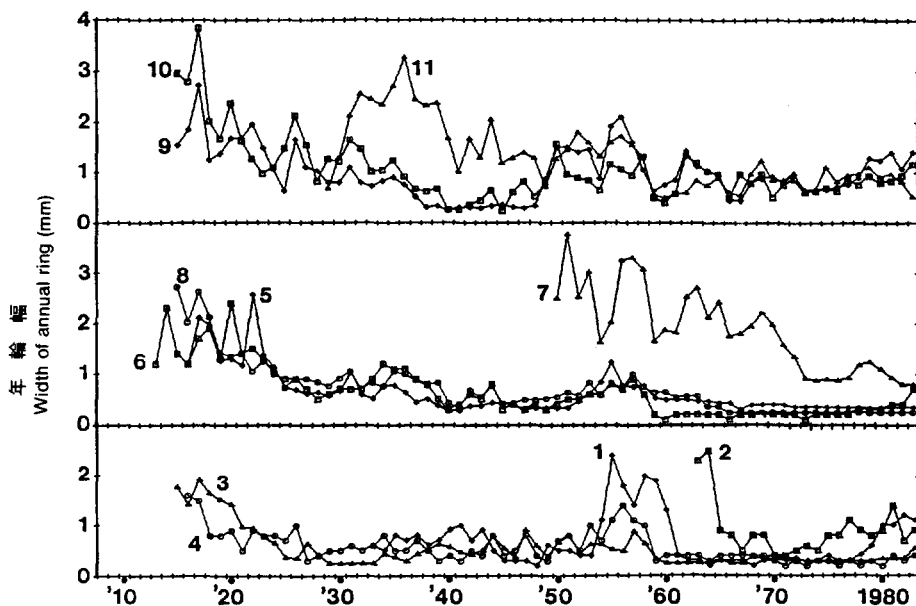


Fig. 24. カシワ供試木の年輪幅の変動

Fluctuation of annual ring width

数字は供試木 No.

Numerals indicate stem analysis tree numbers

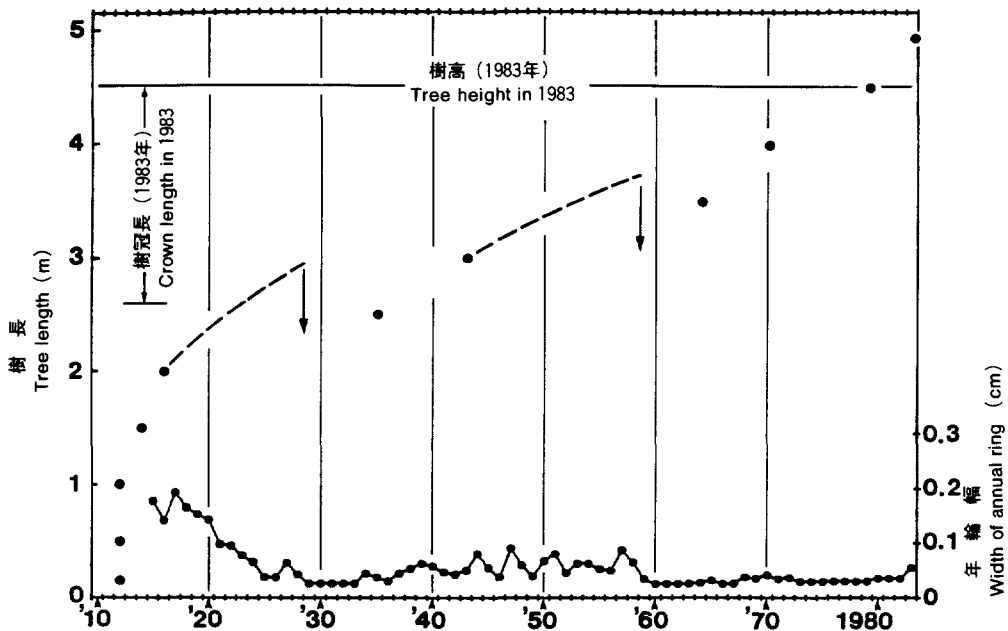


Fig. 25. 石狩海岸林のカシワの成長過程の例 (供試木 No. 3)
 Typical example of growing process of *Quercus dentata* (stem analysis tree No. 3)

ではないと考えられる。こちらは先述のように、樹齢の若い No. 2, No. 7 を除く No. 1 ~ No. 8 のいずれにも認められる。この時期に対応する高さは、現在 (採取時) の樹冠層に含まれる。

Table 5 は、主軸の寿命を示したものである。ここで寿命とは、分枝してから主軸が交替するまでの生育期間数である。採取時の主軸を対象とし、それが分枝した元の枝についても調べた。従って、過去の枝に関しては、必ずしも当時も樹木全体からみて中心的な主軸であったとは限らない。Table 5 には側枝の主軸化による主軸の交替のほか、側生頂芽からの伸長による主軸の交替までの期間数も示した。No. 1 では現在 (採取時) の主軸の決定が困難であったので、二例について示してある。主軸の寿命は、前線部では 1 ~ 2 年であるが、内陸部の No. 8, 10, 11 では 6 ~ 8 年あり、主軸の交替の頻度が少なくなっている。また、No. 4 では年輪数 19 の枝 (No. IV) が分岐した元の枝 (No. V) は、年輪数が 32 以上 (不明瞭) あり、折損している。No. 6 で年輪数 14 の枝 (No. I) が分岐した元の枝 (No. II) は、年輪数が 36 あり、先は折損しており、分岐部には巻き込みが生じていた。No. 4 と No. 6 の例を先に示した Fig. 24 と比較すると、これらの不連続性が生じた時期は、年輪幅の密な部分が始まる 1959 年に対応していることが考えられる。このような成長過程における不連続性について、工藤ら⁴⁶⁾は、樹高成長の過程において若枝の伸長と枯死が繰り返された時期があったことを想定したが、今回の例では、むしろ十数年の成長に相当する部分が枯死した (枯れもどった) ことを想定した方が理解しやすい。

以上述べたように、石狩海岸林のカシワは、良好な初期成長をするが、成長過程において、数年から十数年分の伸長に相当する部分が枯死することがある。そして、ある程度の樹高に達すると、主軸の寿命は、前線で 1 ~ 2 年、内陸部では数年となっている。

Table 5. 主軸の寿命 (イタヤカエデ)
The duration of life of leaders (*Acer mono*).

供試木 No Stem analysis tree No.	単位 scale: 年 year										
	1-a	1-b	2	3	4	5	6	7	8	9	10 11
I [最新の主軸] Newest leader	1	2	1	(2,3)	1	(3~5)	(2,3,5,9~12)14	1	(4)6	8	6 1
II [I の元枝] Base leader of leader-I	(1)2+	(1)2+	2		(2)6			(5,8)	2	(3+)6+	3+ 3
III [II の元枝] Base leader of leader-II			(2)		(3+)4+			(3)			2+
IV [III の元枝] Base leader of leader-III					(2,3,5,7)8						
V [IV の元枝] Base leader of leader-IV					4+						

+ : 以上を示す 例えば2+は2年以上

Or more, ex. 2+ means 2 years or more.

() : 前回の側枝の主軸化から側生頂芽による主軸の交替までの年数

Duration from the last leader change by lateral bud to the leader change by terminally lateral bud.

なお、Fig. 23では、年輪数を便宜的に梢頭がその高さに達した年を表現するものとして扱った。従って、伐採・採取時の点を除けば、各時点の実際の樹高はもう少し高かったことになる。また、石狩海岸林のカシワの樹冠層では分枝が多く幹は明瞭でなくなるため、円盤は採取時点で中心となる枝から採取した。ただし、それらはあくまで採取時点のことであり、成長過程において常に中心的な枝であったとは限らず、それらよりも良好な成長をした幹・枝が過去において生存し、枯死したことも想定できる。従って、とくに梢頭部における樹長の推定には、実際とのずれが考えられる。そこで、梢頭部の伸長過程は、供試木梢頭部の分枝過程より求めた。

③ 伐採木根株からの萌芽

先の樹幹解析の結果は、石狩海岸林のカシワの初期成長が優れていたことを示している。カシワの初期成長に関して、実生のものと萌芽のものとは差があることについて、新島⁷³⁾は、「カシワは下種又は植樹に由り成立せしめ之を適当に発育せしむれば萌芽には及ばざるも之に近づけしむることが出来ると云ひ得る」としながらも、「著しき生長の差違が下種及植樹によりて生じたるものと萌芽樹との間にあることを認めるのである。例せば第8年に於て下種及植樹の上長生長が未だ0.5mに達せざるに萌芽は既に3mに達して居る。尚ほ図によって12年を見れば萌芽樹が4mを過ぐるに他は1mに止まるのみである」と報告している。

Table 6は、1981年10月に石狩海岸林で採取し、播種したカシワの翌年の稚樹高を示したものである。播種した場所は、第1砂丘の内陸側斜面の草本を剥ぎ取った砂地 (sp100)、林帯内の孔状ササ地を刈り払った砂地 (sp450) 並びに林業試験場北海道支場 (現森林総合研究所北海道支所、札幌市羊ヶ丘) の苗畑である。各50粒播種したうちの上位5本の稚樹高は、5~15cmであった。また、石狩の稚樹は、翌年必ずしも順調に伸長したわけではなく、多くは1983年の開業時点で、地上部の一部ないし全

Table 6. カシワの播種試験結果 (50粒播種したうち上位5本)
Results of sowing *Quercus dentata* (about top 5 among 50 acorns sown).

石 狩 海 岸 林 The Ishikari seacoast shelter-belt						札幌市羊ヶ丘 Hitsujigaoka, Sapporo		
sp 100 第1砂丘内陸側斜面 Landward slope of Dune-1			sp 450 林帯内孔状ササ地 Sasa bamboo bush in the forest			苗 畑 Nursery		
伸長量 Increment 1982年 (cm)	生存長 Survival 1983年 (cm)	伸長量 Increment 1983年 (cm)	伸長量 Increment 1982年 (cm)	生存長 Survival 1983年 (cm)	伸長量 Increment 1983年 (cm)	伸長量 Increment 1982年 (cm)	生存長 Survival 1983年 (cm)	伸長量 Increment 1983年 (cm)
9.5	3.0	2.0	9.0	7.0	3.0	14.0	14.0	1.0
9.0	0	2.0	9.0	3.0	4.0	10.5	10.5	2.0
8.0	2.0	2.5	8.0	1.0	6.5	10.0	10.0	5.0
7.0	3.0	3.0	7.0	7.0	2.0	8.5	8.5	2.0
6.5	0	2.5	5.0	5.0	2.0	8.5	8.5	1.5

体が枯死しており、その年の伸長は、新たに地下部あるいは地上の生存部分から萌芽枝的に発生した。

カシワ実生苗の播種翌年の伸長にはいくつかの調査例があり、例えば、伊藤³⁰⁾は、実生1年生苗の生育試験例として、平均で9~13cm、最大で17~37cmをあげ、播種造林試験1年目の成績として5~10cmをあげている。長谷川¹¹⁾が石狩海岸林で行った林床播種試験では、播種翌年の伸長量14.2~16.0cm、2年目は1年目の1/2以下であり、苗畑における庇陰試験で、9.2~14.1cmとなっている。また、小川⁷⁵⁾の実施した播種試験では、1年目で10~15cm伸長するが、2年目に良好なものでも20cmに達していない。

以上のことから、石狩海岸林のカシワの初期成長が良好なのは、長谷川¹¹⁾が指摘しているように、萌芽による更新の結果と考えられる。また、このことは、樹幹解析木の地際から採取した円盤の最内側の年輪の直径が、実生稚樹のものに比べ、明らかに大きいことから推定される。ただし、長谷川の報告は、「樹齢40年以上の古いグループは実生タイプ」としており、この点は今回の調査結果と異なる。

石狩海岸林において、カシワの根株からの萌芽力を確認するために、現地伐採木の根株を調査した。新港建設に伴う伐開跡地(1983年12月伐採)に、1984年8月17日に方形区を設け、伐採木根株からの萌芽を調査した。方形区は、海岸から250m (Fig. 19, 供試木 No. 7 の位置に相当) の位置に Plot A, B の2か所設定した。その大きさは、おのおの、海岸線に平行に長さ10m、幅2mである。調査は、方形区内のすべての根株について実施した。

方形区内の根株の大部分はカシワであったので、カシワについて調査結果を Table 7 に示した。方形区外には萌芽の見られない根株もあったが、両区での萌芽率は、ともに100%であった。90%の根株において、一つの根株からの萌芽本数が10本を超えた。ちなみに、先の樹幹解析木 No. 7 からは、87本(うち3本枯死)の萌芽枝がみられた(1984年7月2日現在)。各根株からの最高萌芽長は、最低でも

42cm あった。小川⁷⁵⁾も、石狩放水路の施工に伴う立木伐採跡地での調査から、「萌芽の生長は速く、年間70cm 程度生長し、3～4年で樹高は1.0～2.0m にまで達している」と報告している。これらのことは、先述の供試木の年輪解析において、高さ0～100cm の年輪数に差が少なかったことと対応する。なお、plot B では癒着株（2～4本株）が3株あった。

萌芽更新については、矮林施業における造林学的見地から樹種、樹齢、伐採季節、伐採高などとの関連で、萌芽力が調査されている^{35)60)～63)70)71)}。Table 8 は、カシワを対象とした新島⁷³⁾の行った調査

Table 7. 石狩湾新港中央水路予定地におけるカシワ根株からの萌芽の実態
Sprouts from stumps of *Quercus dentata* at the cut area of the Ishikari seacoast shelterbelt.

Plot	根株数 Number of stumps (本)	萌芽率 Sprout rate (%)	萌芽数10本以上の根株率 Number (%) of stumps with ten or more sprouts (%)	根株の地際直径 Stump diameter at ground level (cm)			萌芽枝長* Sprout length* (cm)			イタヤの根株数 Number of <i>Acer mono</i> in the plot (本)
				min	max	ave	min	max	ave	
A	10	100	90	11	16	13.4	45	99	75.1	2
B	11	100	91	7	19	14.4	42	134	74.6	1

方形区 Plot size: 10 m × 2 m

伐採 Cutting: Dec. 1983

調査 Measurement: Aug. 1984

*: 各根株における最大値 Maximum sprout length from each stump.

Table 8. カシワ萌芽試験結果（新島⁷³⁾より作成）
Sprouts from stumps of *Quercus dentata* surveyed by Nijima⁷³⁾

	株 Stump				萌芽枝 Sprout		
	胸高直径 DBH (cm)	樹高 H (m)	樹齢 Age	調査株数 Number	萌芽数 Number	萌芽枝の全長 Total length of sprouts	
						1年目 First year (cm)	2年目 Second year (cm)
幼齢期 Juvenile	— 1.5～6.1* ¹	— 2～4* ¹	— ～3* ¹	63	5.8 —	— —	99.2 —
壮齢樹 Middle	9.3 1.5～20.6	— 9～11* ¹	27.8* ² 7～50	69	19.6 3～52	— —	102 —
老齢期 Gerontic	26.8 18.2～33.3	18.7* ² 16.9～20.9	74.6* ² 69～81	7* ³	40.7* ² 6～91	40.4 24.2～60.6	104.4 75.5～145.5

* 1: 試験地の一般的林相より

based on typical forest physiognomy of the experimental area

* 2: 不明のものを除いて算出

calculated except unexplained ones

* 3: 当初調査した13株のうち萌芽枝が枯死した6株を除いた

6 stumps whose sprouts were dead were excluded from 13 stumps measured at the beginning

を元に作成したものであるが、幼齡樹からの萌芽数は平均5.8本、萌芽2年後の平均全長99.2cm、同様に壯齡樹では19.6本、102cm、老齡樹では40.7本、104cmとなっている。この結果と比較して、石狩海岸林においてカシワのもつ萌芽力（萌芽本数、初期伸長量）は、劣っていない。

ただし、以上のことは、必ずしも石狩海岸林のカシワが萌芽更新によって世代交替を繰り返してきたことを示していない。なぜなら、実生により発生したカシワ稚苗の地上部が、枯死し、萌芽枝の伸長をした可能性が考えられるからである。とくに、稚苗の地上部が枯死と伸長とを繰り返しながら地下部を成長させ、ある時、伸長した萌芽枝が枯死せず成長を続けたと考えられるからである。

3.3 風衝林形の形成

3.1で述べた主軸の交替や、3.2で述べた成長過程における枯れもどりの結果として形成されたものが風衝樹形であり、環境を反映した樹木の形としてみるができる。一方で、海岸林は全体としては風衝林形を呈しており、これは樹木集団として環境を反映したものとしてとらえることができる。本節では、個々の樹木の成長過程を風衝林形の形成過程としてとらえなおす。

Fig. 26は、高さ別の年輪数から求めた萌芽から5年ごと（実線は10年ごと）の樹齢別樹長を示したものである。萌芽当初の伸長は、多い場合には50~100cm/年で、少なくとも萌芽後5年以内に1m以上に達した。これは、雪圧の影響の大きい前線木を除き、ほぼ全体で同じように生じたと考えられる。その後、萌芽枝に特有な良好な成長は鈍化した。個体によっては、成長過程において数年~10数年分の成長に相当する梢頭部分が枯死する（枯れもどる）こともあった。毎年あるいは数年に1度発生する梢頭部分における主軸の交替は海側ほど早く始まり、そのときの樹高は海側ほど低かった。主軸の交替は、前線では毎年であったが、内陸へ入るほどその頻度は減少する。また、いずれにおいても、数年分の成長に相当する部分が枯死する場合がある。

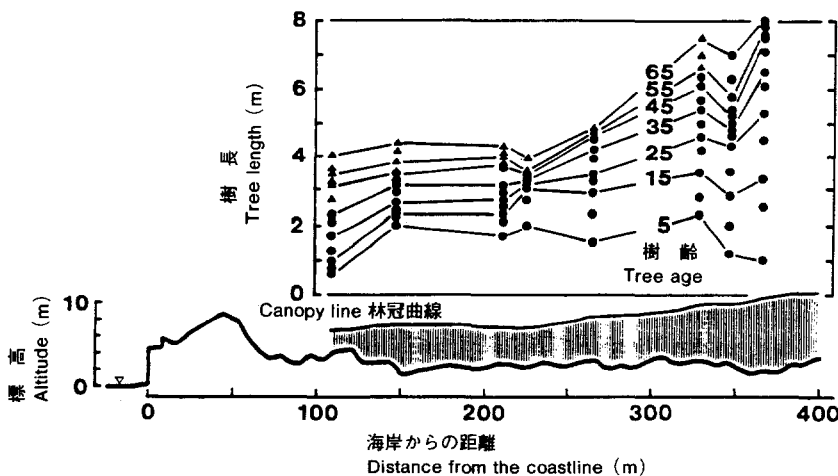


Fig. 26. 風衝林形の形成過程
The formation process of a gradually increasing canopy line

▲: 年輪幅が密になっている部分 with narrow annual rings

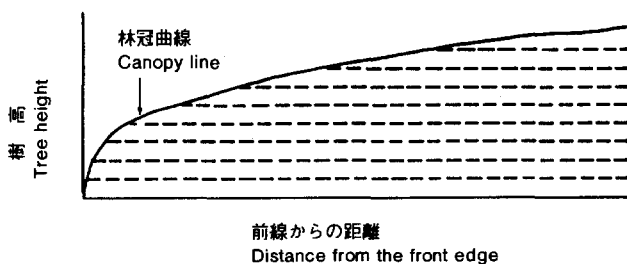


Fig. 27. 風衝林形の形成過程 (模式図)
The formation process of a gradually increasing canopy line (Model)

破線は等樹齢線

Broken lines indicate the same tree age.

前線ほど早く樹高が制限される

The fronter the trees are, the earlier the tree height is restricted.

なお、Fig. 26 からは樹齢の若い No. 2, No. 7 は除いてある。1960年からの主軸の交替の反復によって、年輪が密になっている期間については、▲で示した。ただし、No. 1 については、樹長が樹高と 2.6m ずれるため、▲を樹高の位置まで下げた。

以上のことから、地形的に平坦（水平）な場では、Fig. 27 に模式的に示したように、風衝林形を呈する海岸林（同齢林の場合）は、水平な等樹齢線を持ち、前線ほど樹高の制限は早く始まるために結果として前線ほど樹高が低くなると考えられる。ただし、実際には風衝林形の形成過程において数年～10 数年分の成長に相当する枯れもどりが生じるために、等樹齢線に乱れがみられると考えられる。

4 海風環境

1 章で述べたように、海岸林造成の際、各種基礎工によって環境条件は整えられるが、成立している林帯の開発に伴う伐開に際しては、海岸林の造成段階と異なり、樹木が生育するための土壌条件は整えられていると考えられる。一方、海風が林帯成立後も樹木の生育を阻害していることは、2, 3 章で述べた海岸林の実態が示している。本章では、樹木の生育に悪影響を与えられとされる海岸地帯の環境の主要な因子として、風速と風に起因する雪や砂あるいは海塩粒子¹¹⁵⁾の移動現象を取り上げる。これらの移動現象は、それぞれ地吹雪、飛砂、飛塩⁴⁰⁾などと呼ばれるが、いずれも風による物質の輸送現象であることから、本研究では「風送」現象と総称し、風の営力で移動することを風送されると表現する。風送現象は、輸送（移動）開始にあたる風食と、輸送（移動）終了にあたる堆積あるいは付着と、その間の輸送（移動）過程に分けられる。調査の対象は、個々の風送現象ではなく、風送現象がもたらす風食区域、堆積区域の発生であり樹木の葉への海塩粒子の付着である。なお、風送現象による環境を海風環境と総称する。また、風送される海塩粒子を風送塩分、風送塩分が葉に付着したものを着葉塩分と呼ぶ。本章では、まず堆砂、堆雪、着葉塩分について述べ、それらの現象の裏付け的な意味で風速、風送塩分量について述べる。

4.1 雪及び砂の移動

本節では、風による雪及び砂の移動を、風食・堆積現象として同列に扱うことにし、現地で調査した実態について述べる。なお、雪や砂の堆積状態は、風向・風速によって時間的に変動しながら一定の傾向を示すと考えられる。そのため、とくに積雪については降雪後から測定時までの時間が短い場合などに、風送現象の結果である風食域と堆積域の区分が、堆積状態（積雪分布）に明瞭には現れないことも考えられる。

4.1.1 積雪の移動

海岸林における積雪分布の特徴は、海岸から林帯前縁までの積雪が林内に比較して少なく、林帯前縁部に積雪深のピークが現れることである。Fig. 28は、石狩海岸林における積雪分布の例（Line-A：1986年2月6日，3月14日測定）である。なお、この時点では、海岸浸食のため海食崖は1981年時点（前出Fig. 8参照）より内陸側約50mの地点にある。3月14日の測定でsp200より後方にみられる積雪深100cm前後の変動は、地表の凹凸に伴うもので、積雪深は凸部では少なく凹部で多い。全体を通じて凹地形の影響が最もよくみられるのは第1砂丘（sp100）と第2砂丘（sp150）の間であり、2月6日の積雪深は178cmあった。これに対して、凸部でありながら第2砂丘にみられる同じく積雪深200cmのピークは、林帯前方から風送された雪を前縁の樹木が捕捉したものである。第1砂丘より海側は、原則的には風食区域であって、部分的には地表が現れている。ただし、微小地形の影響で風食の程度の少ない

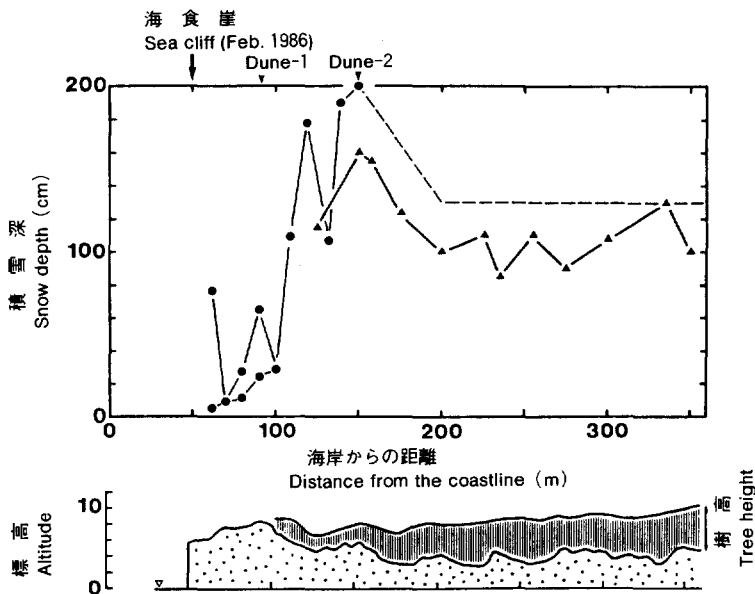


Fig. 28. 積雪分布（石狩海岸林 Line-A）
Distribution of snow deposit along Line-A at the Ishikari seacoast shelterbelt

● : Feb. 6, 1986

▲ : Mar. 14, 1986

箇所（積雪深：76cm）もあった。なお、1986年2月6日における林内での平均的な積雪深は130cmであった。

Fig. 29は、同じく石狩海岸林の例（1987年2月19日）であるが、場所は伐開地（中央水路予定地）の花畔側で、林内防風柵より20m 林内に入った地点に相当する。海食崖の海側で積雪深約80cm の箇所は、海食崖下部の吹きだまりである。第1砂丘までの間では、地表の凹凸によって積雪深に変動がみられた。第1砂丘の内陸側斜面から林帯前線部は吹きだまりとなっており、最深部では積雪深266cmであった。その影響は第2砂丘後方の140m 地点にまで及んでいた。それより内陸側の積雪深は、100～120cm で安定していた。なお、降雪直後に調査を実施したため、海食崖から第1砂丘までの間にも積雪がみられたが、そのうち積雪深20～30cmの箇所は、降雪期間中の別の日には地表が露出していることもあった。

Fig. 30は、砂坂海岸林における事例である（1985年2月19日測定）。林内の平均的な積雪深が約50cmのときに前縁の海側では132cmの積雪があった。また、後述する（4. 3）えりも海岸林の連続した防風柵の内部には30～40cmの積雪が残っていたが（1986年3月12日）、柵外地では地表が現れていた。

以上の事例のように、林帯がない場合海岸地帯は、地形的な風陰を除いて、雪が積もりにくい、あるいは積雪が風食される場として位置付けられる。

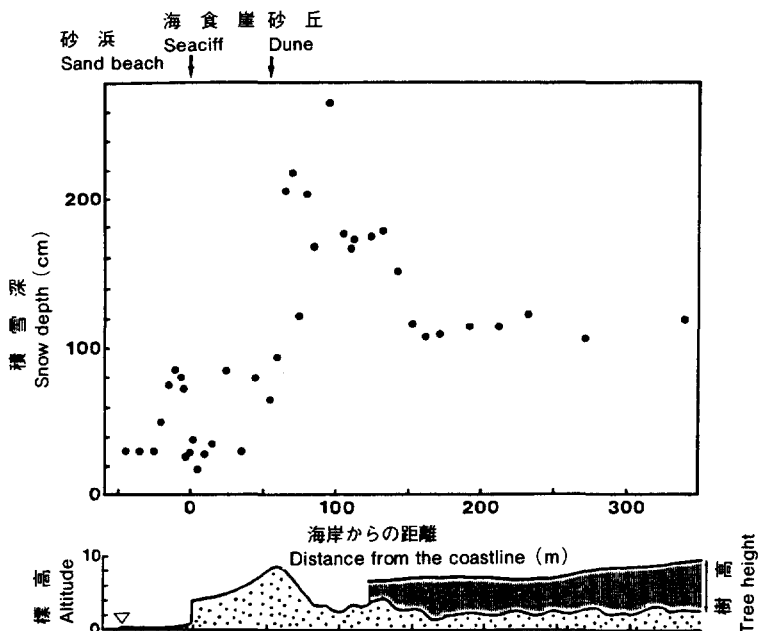


Fig. 29. 積雪分布（石狩海岸林伐開地付近 1987年2月19日）
Distribution of snow deposit near the cut area (Feb. 19, 1987)

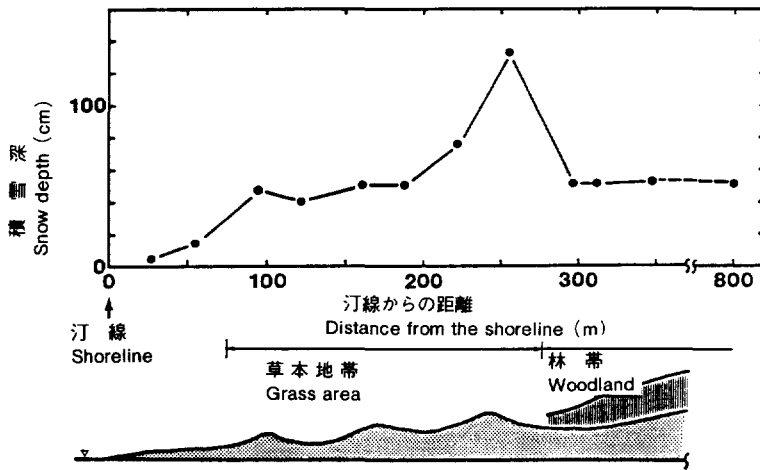


Fig. 30. 積雪分布 (砂坂海岸林 1985年2月19日)
Snow depth at the Sunasaka seacoast shelterbelt on Feb. 19, 1985

4.1.2 砂の移動

① 海岸侵食

風送される砂の供給源 (風食区域) となっているのは、海食崖から汀線までの砂浜と海食崖である。海食崖は、強風時に表面が風食される際、とくに、波浪によって海食崖が崩落する際に、風送される砂の供給源となっている。

石狩海岸線について、1916～1965年は前進傾向があり、とくに石狩川河口の spit (砂嘴) では年に約 6 m 汀線が前進していると報告されている³⁹⁾が、ここ数年、新港東埠頭から西側の Line-A, Line-B を含む一帯で海食崖の後退が著しく、1981年と1986年とを比較すれば、Line-A 付近で約50m 後退している (Fig. 31, Photo. 5 参照)。1984～86年の継続調査によると冬期間の後退量が多い。風食された砂がすべて内陸へ風送されているわけではないが、海食崖は、砂浜と同様、砂の供給源として位置付けられる。とくに、砂浜が凍結したり積雪に覆われる可能性のある冬期間は、重要な位置付けが必要である。

なお、第1砂丘の海岸側の海食崖近くでは、風食が生じ、部分的にハマニンニクなどの草本の根が露出している箇所があるが、基本的には、海食崖から林縁までは草本によって被覆され、砂の移動路にはなっていない砂の供給源 (風食区域) にはなっていない。

② 堆砂の形態

堆砂現象は、雪や草本によって被覆された地表、すなわち砂地以外に生じると確認しやすい。第1砂丘海側斜面でトクサなど比較的丈の低い草本によって被覆された部分では、移動する砂が草本を埋めて草地を砂地に変え、堆砂区域を舌状に内陸へ拡大していくのが観察された。舌状の堆砂区域は、部分的には第1砂丘の鞍部を越え、砂丘の内陸側斜面に達していた。舌状の堆砂とは別に散布されたような堆砂形態も観察された。その様子は、白い雪面上に堆砂範囲が暗色の広がりとなって現れるので、容易に観察することができる。第2砂丘上及びその内陸側斜面では、とくに雪面上に出た樹木の海風の風下側



Fig. 31. 石狩海岸林 Line-A 付近における海岸侵食の例 (1981年 7 月～1987年 4 月)
Actual condition of beach erosion near Line-A at the Ishikari seacoast from Jul. 1981～Apr. 1987

に堆砂が觀察された。

降雪期間中に堆積した砂は積雪層内に残留し、比較的含砂量の多い場合には積雪断面に堆砂層として観察することができる (Photo. 6 参照)。Table 9 は、スノーサンプラー (断面積: 20cm^2) によって採取した積雪中に含まれていた砂の量である (1985年3月11日採取)。No. 1~4 は、Line-A において第1砂丘の鞍部及び内陸側斜面で、No. 5 は、第2砂丘の内陸側斜面で林縁から10~20mの地点である。いまこれを堆砂厚に換算すると、1.0~9.2mmの砂が積雪層内に残留していたことになる。第3砂丘の位置に相当する sp200 から内陸では、積雪層内に砂の層は観察されなかった。

③ 堆砂量の分布

i) 測定方法

堆砂量を測定するために、第1砂丘鞍部から林内においては正方形の容器（以下採砂容器）を配置して砂を採取した。採砂容器は地表に置いた。容器の口の大きさは、 190.2cm^2 、 127.1cm^2 の2種類で、縁の高さはおおの6.7cm、4.7cmである。また、第1砂丘の海側では、レベル測量を実施して地盤高の変化から数年間の堆砂量を測定した。

採砂容器は、積雪期間中と春～秋に分けて設置した (Table 10)。積雪期間中に採砂容器を設置した箇所は、地表が積雪に覆われており砂の供給源となっていない。融雪後、採砂容器には融雪水と積雪層内に蓄積されていた砂が捕捉された。春～秋においても、砂の供給源となっていない林内あるいはササ地や草地に設置した。なお、春～秋に採砂容器の設置箇所に舌状の堆砂区域が達した形跡はなかった。

ii) 第1砂丘から内陸側の堆砂量

Fig. 32は、採砂容器によって測定された堆砂量を海岸からの距離によって示したものである。堆砂量は夏期より冬期の方が多い。第2砂丘後方のsp180より内陸側では堆砂はほとんどなく、量にして $1 \times 10^{-2} \text{g/cm}^2$ 以下となる。また、海岸から同程度の距離であっても場所による差は大きく、例えば、1984/85冬期の第1砂丘付近（sp90～sp100）では、 $6 \times 10^{-2} \sim 160 \times 10^{-2} \text{g/cm}^2$ （堆砂厚0.4～11mm相当）と大きな差がある。

Table 9. Line-A 付近における積雪層の含砂量の例（スノーサンプラーによる採取）

Sand contained in snow cover near Line-A,

Mar. 11, 1985

No.	海岸からの距離 (sp) Distance from the coastline (m)	積雪深 Snow Depth (cm)	採雪量 (水量) Measured amount (mm)	含砂量 Sand content		
				乾燥 Dry weight (g)	堆砂厚換算値 Equivalent depth (mm)	乾重/採雪量 Dry weight Measured amount (g/100mm)
1	100	63	194	4.23	1.5	2.18
2	100	63	187	5.28	1.9	2.82
3	110	175	812	26.21	9.2	3.23
4	120	113	506	2.60	1.0	0.51
5	160	180<	144*	14.44	5.1	10.03

*：上層69cmのみ採取

69 cm in depth from the top was measured.

Table 10. 採砂容器の設置期間

Duration of sand collection with containers.

季 節 Season	設 置 日 Placement	回 収 日 Recovery
積雪期間 Snow covered period	1984. 11. 22 1985. 12. 4	1985. 4. 1~ 4. 16 1986. 3. 27~ 4. 18
春~秋 Spring -Autumn	1985. 6. 17	1985. 11. 5

融雪過程で確認された堆砂区域は、第1砂丘の海側から内陸側斜面につながっており、1984/85冬期で sp100 付近で $100 \times 10^{-2} \text{g/cm}^2$ を超えている。また、第1砂丘の内陸側斜面で、融雪時期に雪面上に層状に堆積していた砂の量を測定したところ、30mm あった（1986年3月27日）。この砂層を持ち帰り、絶乾状態にして測定したところ、採取地点による違いはあるが、堆砂厚は20~29mm となった。これに対して、 $147 \times 10^{-2} \text{g/cm}^2$ （堆砂厚10mm 相当）採取された sp164 の堆砂区域は、先のものとは連続しておらず、堆砂量の分布では、第2砂丘（sp150相当）後方にピークを生じている。この堆砂には、地形の影響とともに、最深積雪期でも雪面上に出ている樹木の影響が大きいと考えられる。

iii) 第1砂丘海側の堆砂状況

Fig. 33a は、1981年の Line-A 付近の第1砂丘の海側斜面を示したものである。その後の砂の移動で地形に変化が生じている。砂丘頂部から海側への25m×30m の区画について、1981年と1986年（融雪後）の微地形の違いを示した（Fig. 33b）。風食のため標高が低下した箇所はないが、ほとんど堆砂していない箇所から最大では171cm 地表が高くなった箇所まで差がある。堆砂量が多い箇所は、舌状に堆砂区域が拡大している箇所である。砂の移動方向は、おおむね WNW → ESE を中心としている。

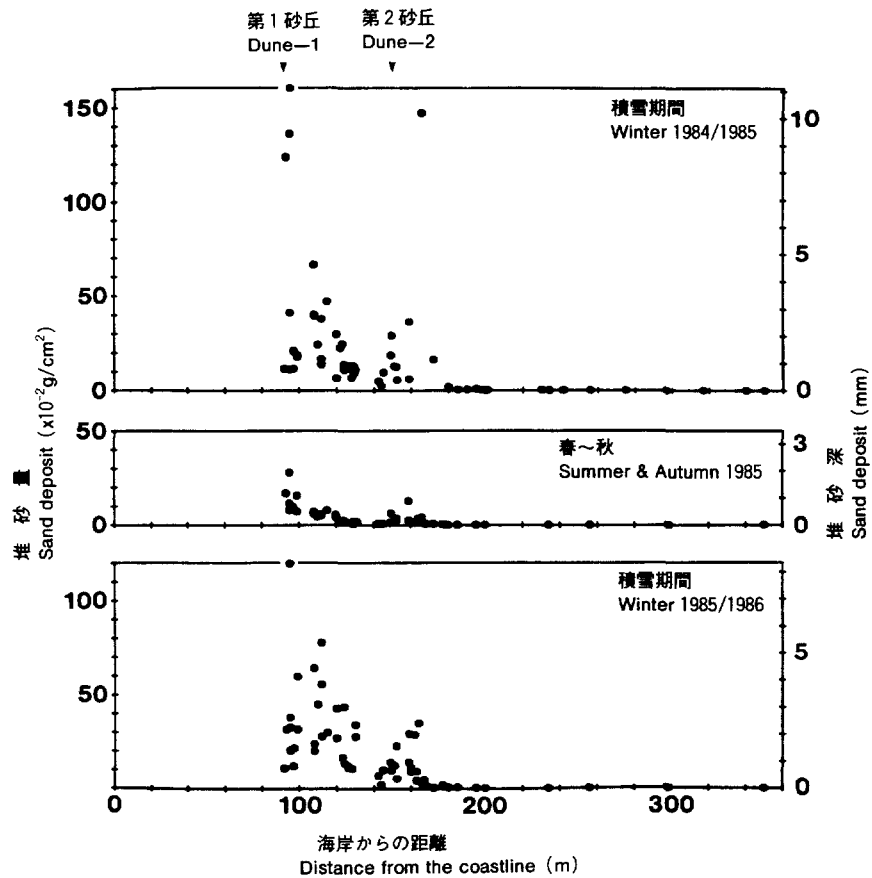


Fig. 32. 第1砂丘後方の堆砂量
Distribution of sand deposit behind the Dune-1

また、砂丘前面の植生としては、ハマニンニク、トクサ、ハマナス、ススキ、ナガハグサ、カモガヤ、チガヤなどがみられるが、今回の測定で、堆砂量30cm以上の箇所の植生はほぼ100%ハマニンニクであった。

以上のように、通常の石狩海岸林における積雪期間中の砂の移動は、地形や植生の影響を受けるため一定していないが、第1砂丘（sp100相当）の内陸側斜面までは堆砂厚にして数cm、第2砂丘（sp150相当）の内陸側斜面の多いところで1cmであり、それより内陸では、堆砂層を形成する量には至らない。

4.1.3 積雪と堆砂と樹木

Fig. 34は、1986年の融雪後に、第1砂丘内陸側斜面でみられたカシワの枝の埋砂例である。Aの例では、小枝が2本と大枝の先10cmが砂に埋もれているが、大枝の大部分は地表に横たわっているだけである。Bの例では、枝先40cmが砂面下にあるが、分枝位置は、地上40cmのところに位置する。いずれの場合も砂を取り除くと枝は起き上がり、Aの例では、分枝位置から120cmのところまで40cm、先端で

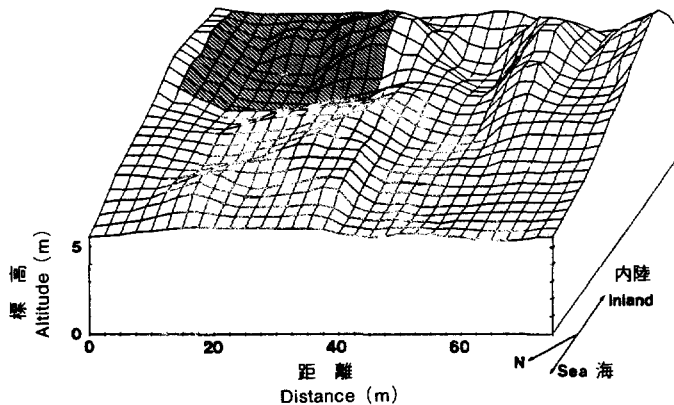


Fig. 33a. 石狩海岸林第1砂丘海側の地形 (Line-A 付近)
Bird's-eye view of Dune-1 near Line-A at the Ishikari seacoast
(格子幅 grid size : 2.5 m)

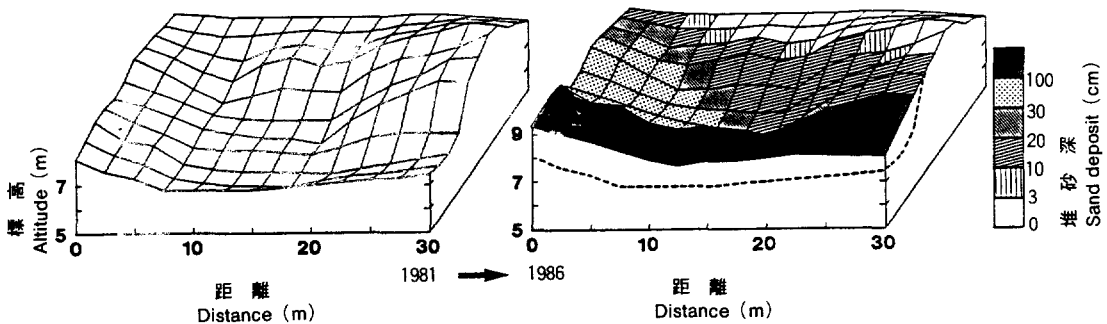


Fig. 33b. 堆砂による砂丘地形の変化 (1981年~1986年)
Deformation of sand dune caused by sand deposit (1981~1986)
Fig. 33a. の斜線を施した部分について
This figure shows the hatched area of Fig.33a.

は80cm上がった。この現象は、砂の移動だけでは説明できず、積雪によって倒伏した枝が、融雪とともに沈降する砂に埋められた結果と考えられる。すなわち、以下のように、雪と砂の関係は、樹木に対する相互の影響を増大させる¹¹⁷⁾ (Fig. 35)。

まず、積雪の存在は、地表を被覆することによって砂の移動の発生を抑える一方で、砂の移動が発生した場合には移動距離を増加させる。積雪面は、植生に被覆された地表に比較して粗度が少ないため、地表風速を減少させるはたらきが少ないからである。さらに、積雪上を移動する砂は、草地上を移動する砂が草地を砂地に変えるために必要とするような堆砂厚を必要としないからである。

また、枝葉への着雪は、枝を押し下げたり幹を傾けて積雪による樹体の倒伏を助長する。融雪過程では、積雪層内に蓄積された砂が集積され、倒伏した幹、枝、葉の上に高い位置から層状に沈降する。積雪の沈降現象によって上載の砂に加えて周囲の砂の重量までもかかる。融雪過程では砂が十分に湿って

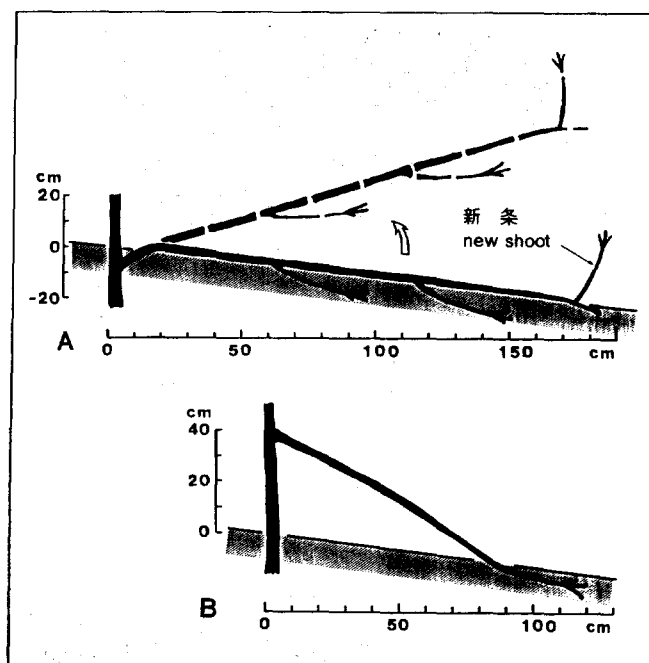


Fig. 34. 積雪層内で倒伏した枝が融雪過程で埋砂されて融雪後も倒伏したままの状態
(砂を取り除くと枝は立ち上がる)

Branches were depressed downward by the pressure of snow layer and were lying by being covered with sand layer even after snow melted

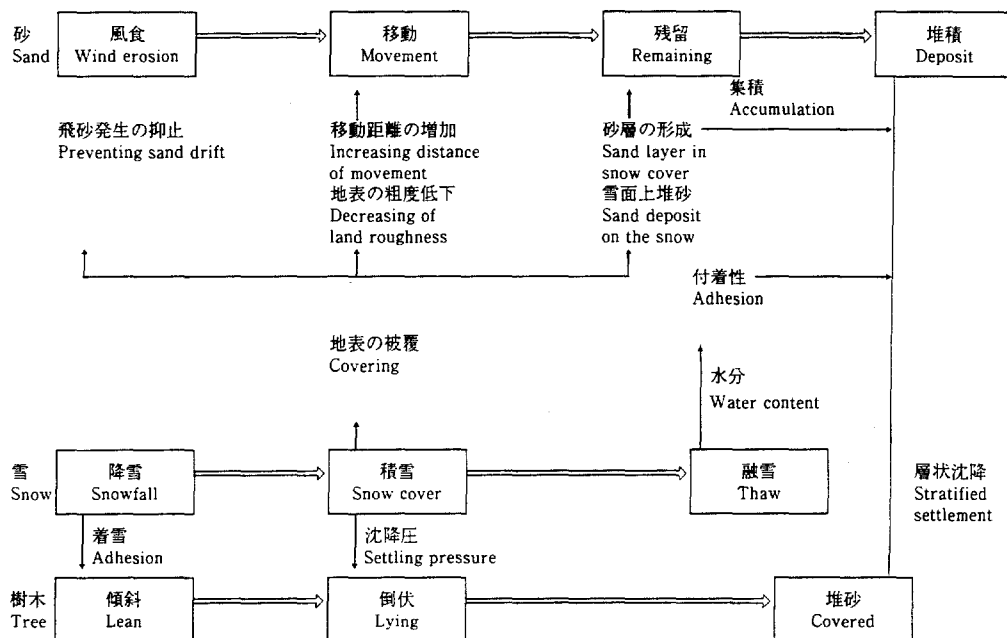


Fig. 35. 積雪と樹木の埋砂の関係
Trees covered with sand layer caused by snow cover

いるため、枝・葉への砂の付着性が高くなる。倒伏し接地した枝先や梢頭は、少量の砂によっても埋砂されやすく、融雪後必ずしも倒伏状態から回復できるわけではない。

なお、埋砂された幹・枝は枯死するとは限らず、融雪後伸長する枝が主軸化するのが観察された。Fig. 36は、Line-A の sp100付近で埋砂された幹の生存例である。Fig. 36は1987年融雪後の状態で、当年生の枝・幹は除いてある。数字は年輪数を示す。この例の場合、10年以上前に何度か数年分の成長に相当する部分が枯死するような障害をうけたことと、10年前から4年前までの間は、途中で巻き込みもみられるが、比較的順調に成長したことが推定される。3年生幹の伸長前に埋砂状態となり、枝の主軸化が生じたと思われる。その後も埋砂が生じているが、伸長し生存している。このような埋砂現象が、前線部にみられる匍匐した幹の要因と考えられる。

4.2 着葉塩分量

本節では、着葉塩分量を樹木が海風にさらされる度合の指標として利用できる可能性と、その場合の留意点を確認したうえで、林帯の広がり着葉塩分量との関係を示す。着葉塩分量の測定結果は、これまでも防災林の塩分捕捉効果・機能の把握^{24) 36) 40)}、あるいは、樹木の生育障害・枯死原因、すなわち耐塩性との関連^{4) 30) 40) 47) 49)}で報告されている。その中で、例えば幸喜⁴⁰⁾は、防潮林の効果を明らかにするために、モクマオウ、リュウキュウマツ、オオハマボウ、アダンなどの針・広葉樹について調査し、「当然のことながら海岸線から内陸に入るにつれて付着塩分量は減少し、防潮林の風上林縁と風下

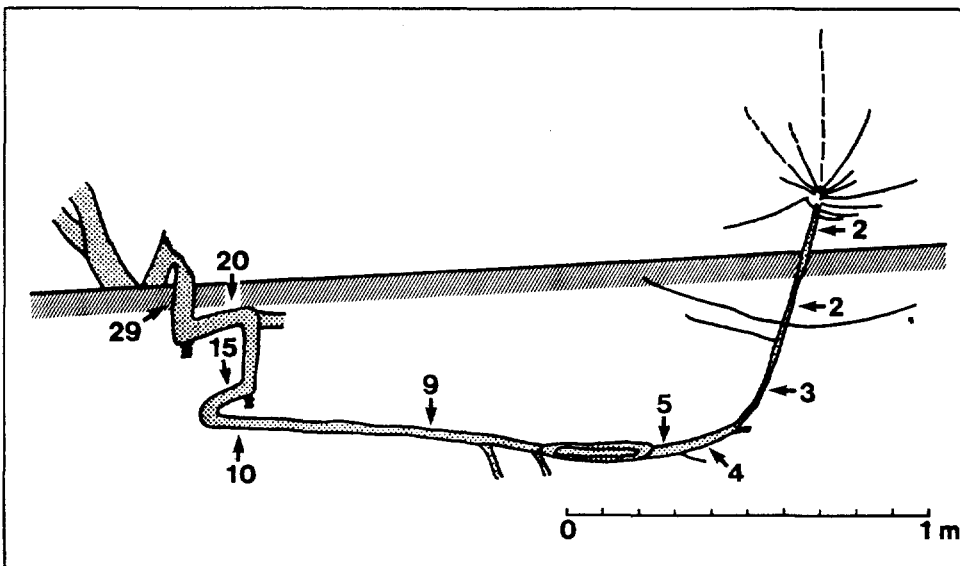


Fig. 36. 埋砂されたカシワの生存例 (石狩海岸林 Line-A sp 100付近)
Survival of a broken trunk of *Quercus dentata* covered with the sand layer
(The Ishikari seacoast shelterbelt, near the Line-A sp 100)

数字は年齢を示す Numerals indicate age

林縁では前者に多い。各樹木については高いところほど付着塩分量が多くなるが、吹きぬけのある場合は地面近くにも多くなる部分が出る。要するに風が強く（多く）吹きつける部分に付着塩分量が多くなっている傾向がある。」と報告している。また、伊藤³⁰⁾は、クロマツ、ヨーロッパアカマツ、モンタナマツに生じた葉の変色と着葉塩分量の関係を調査し、両者には深い関係があることを報告している。すなわち、これまでの報告からも、着葉塩分量の環境指標としての可能性はうかがえる。

4.2.1 測定方法

カシワを対象木として着葉塩分量を測定した。海岸林でみられる枯死現象は、海風の頻度が高く風速の強くなる晩秋から初冬にかけて発生する⁴²⁾¹⁰³⁾ことから、着葉塩分量を測定する対象樹種の条件としては、冬期間にも着葉していることが不可欠で、さらに、対象海岸林の主要樹種であることが望ましい。カシワは以上の条件を満足している。

着葉塩分量の測定は洗浄法によった。その手順は以下のとおりである。

1. 現地でカシワの葉を採取し、持ち帰る。
2. 2～3枚の葉を脱イオン水100mlに浸し、密閉する。
3. 時々、容器を十分に振り、葉全体を水に浸す。
4. 24時間後、洗浄液を得る。
5. 洗浄液のCl⁻イオン濃度を測定する。測定には、デジタルイオンメーター（IM-20B：東亜電波工業）を使用した。
6. 洗浄液濃度から、カシワの単位葉面積（乾燥状態）あたりの塩素量（mg/cm²）を求め、着葉塩分量とする。葉面積（片面の面積）は葉面積計によって求めた。

ここで、洗浄法で測定された塩分が、葉の表面に付着していた塩分か、あるいは葉内に侵入した塩分が抽出されたものかという問題がある。しかし、後述するように、測定された塩分量は季節的に一度増加し、最大値を記録したのち極めて少量まで減少した。もし、測定された塩分量に葉内からの抽出塩分量が多く含まれているのであれば、季節的に大きく減少することは考えにくく、葉内塩分の抽出は、あったとしても無視できる範囲の量と推定される。従って、上述の方法によって測定された塩分量を着葉塩分量として扱うこととする。

着葉塩分量測定のための洗浄液は、各箇所について2個以上調製し、樹木が海風にさらされる度合をみるという立場から、高い方の値をその箇所を代表する着葉塩分量とした。どの葉にも塩分が同量付着するとは限らず、実際に測定した結果、同じ日にはほぼ同一の地点で採取した葉の付着塩分量がずれる場合があったが、一定の傾向を示した。Fig. 37は、その一致具合を示したものである。x軸に高濃度の方の値を、y軸には、もう一方（洗浄液を3個以上調整した場合は、最低のもの）の値をとってある。過半は、 $y/x > 0.8$ の範囲に含まれている。この傾向は、着葉塩分量が多くなるほど顕著である。

採取地点は、Line-A（前出 Fig. 3, 前出 Fig. 8 参照）に、7地点、8か所設定した。sp100で対象としたカシワは、第1砂丘の鞍部から内陸側斜面にかけて存在し、樹高は0.5～2.2mであるが、砂丘鞍部より上に出ている部分の高さは高いところで約1mである。sp110は、第1砂丘頂部とその後方の凹部との中間に位置する。カシワの樹高は約2.5mで、梢頭の位置は第1砂丘の鞍部より低い。sp150は、

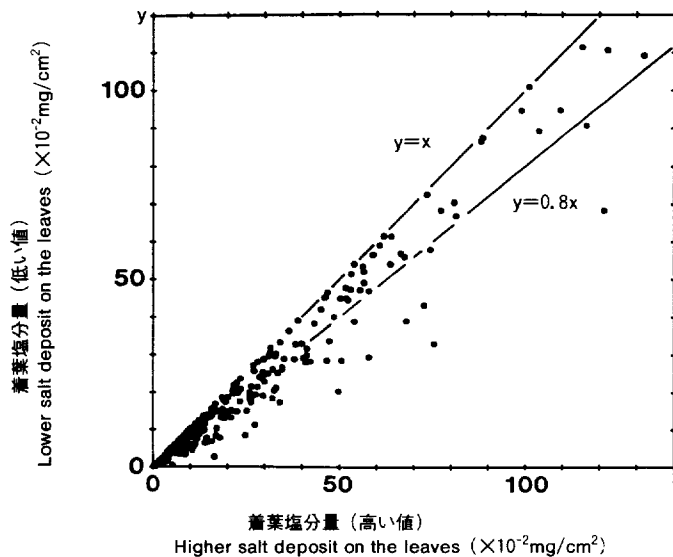


Fig. 37. 着葉塩分量のばらつき（同一箇所から同じ日に採取した葉の付着塩分量の比較）
Comparison of salt deposit on leaves picked at the same point, at the same time

第2砂丘海側斜面の上部で、林帯がうっ閉しはじめる位置である。樹高は1.8～2.3mである。sp175は、第2砂丘と第3砂丘の間にある凹部に位置し、カシワの樹高は3～4mで、梢頭の位置は第2砂丘の鞍部より高いが第1砂丘より低い。sp200, sp235, sp350は、林内に存在する砂丘の頂部である。樹高は、それぞれ、3.7m, 4.1m, 5.1mである。なお、sp110は先述した（3.1）イタヤカエデの主軸の交替を継続調査した Point-1 に相当し、sp150は Point-3 に、sp175は Point-4 に相当する。

葉の採取は、いずれの地点においても梢頭部海側より行った。sp175では、梢頭部の他に下層からも採取した。なお、全測定期間を通して葉は同じ状態にあったわけではなく、積雪量によって雪面から採取した葉までの高さは異なる。とくに、第1砂丘～第2砂丘間では、積雪量が多く採葉高の変化は著しい。sp100の一部やsp110では、樹木が雪面下にあり、葉の採取が不可能な期間もあった。また、sp175の下層の採葉位置が積雪によって採取不可能になった場合は、雪面から出ている葉の中で下層のものから採取した。

4.2.2 着葉塩分量の特性

① 年変動

着葉塩分量を海風のあたる度合を表現するものとして利用するにあたり、その年変動（季節変化）をとらえることとした。梢頭部の枯死時期が冬期であることから、着葉塩分量が冬期間の気象条件を反映したものであることを確認するためである。また、その際、着葉塩分量の季節変化を、海風と降水との関係でとらえることとした。着葉塩分の原因となる風送塩分が海風の頻度・強さに応じて増加し、着葉塩分は降雨によって減少すると考えられるからである。

気象データは、最寄のアメダス（石狩）のものを利用した。従って、日最大風速・日最高気温とは、

毎正時の値の最大値である。また、海岸線がSW-NEであるので、以下、海風とは風向W-Nの風をいう。カシワの葉は、1984年8月24日～1985年5月20日にかけて16回、1985年7月2日～1986年5月19日にかけて26回採取した。

梢頭部における着葉塩分量は、7か所ともほぼ同様の年変動を示した。Fig. 38には、代表例としてsp100とsp150の結果を示した。1984～85年（Fig. 38a）については、9月下旬から徐々に増加し、1～2月にピーク（ $31 \times 10^{-2} \text{mg/cm}^2 \sim 76 \times 10^{-2} \text{mg/cm}^2$ ）に達した。3月に入ると減少し、5月には最低値（ $0.53 \times 10^{-2} \text{mg/cm}^2 \sim 0.86 \times 10^{-2} \text{mg/cm}^2$ ）を記録した。なお、sp175の下層では、最高値が $26 \times 10^{-2} \text{mg/cm}^2$ 、最低値が $0.35 \times 10^{-2} \text{mg/cm}^2$ で、着葉塩分量は常にどの採葉地点の梢頭部と比較しても少なかった。

1985～86年の着葉塩分量の年変動（Fig. 38b）は、基本的には1984～85年の変化と同じであるが、冬期間の着葉塩分量が前年より多い。最高値は、1986年2月20日のsp100における $131 \times 10^{-2} \text{mg/cm}^2$ であった。

風速は、日最大風速のうち、海風のものを示したが、1984～85年、1985～86年とも着葉塩分量が増加する時期と、海風の強さ・頻度の高まる時期とが一致している。

また、降水については日降水量で示したが、1～2月にも降水は記録されているものの、着葉塩分量は他の月に比較して明らかに高くなっている。この原因は、海風の頻度が高く、また風速が強いこと、あるいは着葉量が減少したために、残った葉に対する風当たりが強くなったことが考えられる。そのほかの原因として、冬期間の降水が降雪の形をとることが考えられる。すなわち、着葉塩分量は降雨によって減少することが報告されている⁴⁰⁾⁴⁹⁾⁷⁶⁾¹²⁸⁾¹³¹⁾が、降雪は、降雨ほどに着葉塩分を洗い流さないと考えられるからである。着雪が生じた際も、着雪が融解でなく昇華すれば、降雨の場合ほど着葉塩分量は減少しないと考えられる。これらの傾向は、気温が低いほど顕著と考えられる。

そこで、Fig. 39では、11～3月について、着葉塩分量と海風の日最大風速（8 m/s以上）、日最高気温（石狩、札幌：札幌は任意時刻の最高値）、日降水量（石狩）、及び、札幌で降雨（みぞれを含む）が記録された日との関係を示した。着葉塩分量は、降水が降雨から降雪に変わり真冬日が続く12月中旬より一段と増加し、1～2月に高濃度を保っている。

以上のように、厳冬期の着葉塩分量は高濃度を維持しており、樹木が海風にさらされる度合の指標として扱うことが可能と考えられる。

② 樹木の部位（地上高、風上・風下）による違い

樹木は、その部位によって風当たりが異なる。そのことが着葉塩分量に反映されていることを確認するために、sp175においては、梢頭部と下部の2か所において採葉した。下部からの採葉は、胸高相当の高さで行ったが、積雪深が胸高を超える時期には、雪面上に出ているもののうち最下部から採取した。

Fig. 40は、sp175の梢頭部並びに下部と、梢頭から採葉したものの中では採葉期間全体を通じて着葉塩分量が最も少なかったsp350の梢頭部とにおける着葉塩分量の年変動を示したものである。先述のように、3か所の着葉塩分量は互いに関連した変化を示しているが、常に梢頭部の着葉塩分量の方が多

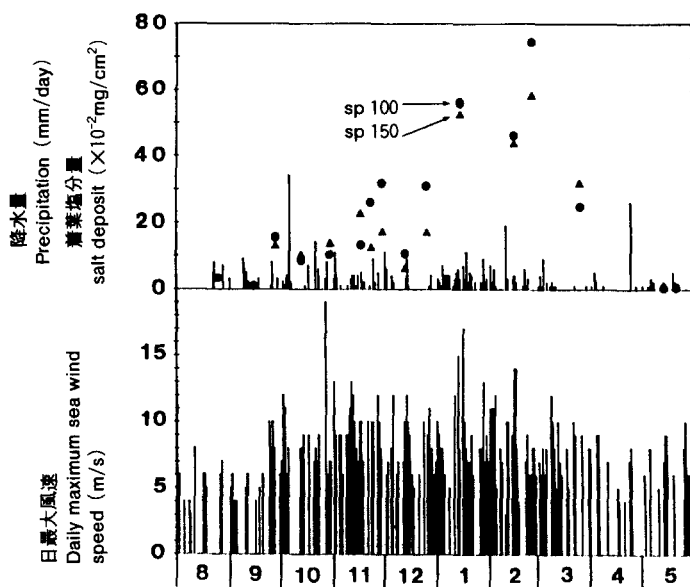


Fig. 38a. 着葉塩分量 (●, ▲) の季節変化 (1984年 8月～1985年 5月)
Seasonal variation of salt deposit (●, ▲) from Aug. 1984～May. 1985

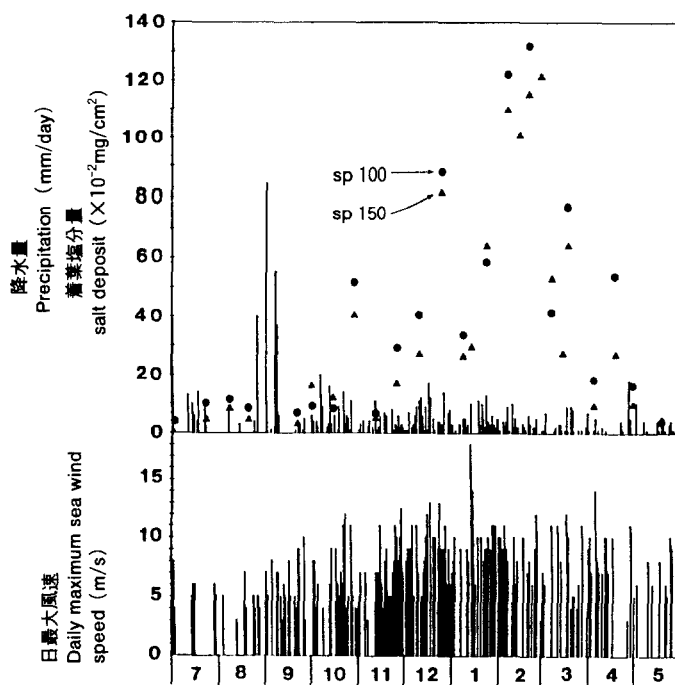


Fig. 38b. 着葉塩分量 (●, ▲) の季節変化 (1985年 7月～1986年 5月)
Seasonal variation of salt deposit (●, ▲) from Jul. 1985～May. 1986

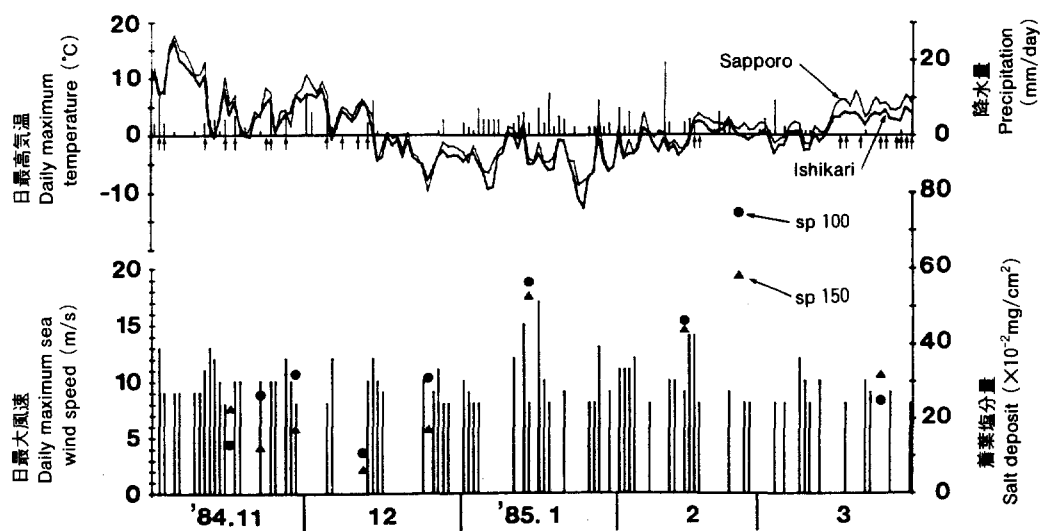


Fig. 39a. 冬期間の気象と着葉塩分量の変動 (1984年11月～1985年3月)

Weather conditions in winter and salt deposit fluctuation

↑ : 降雨 (札幌) Rainfall in Sapporo

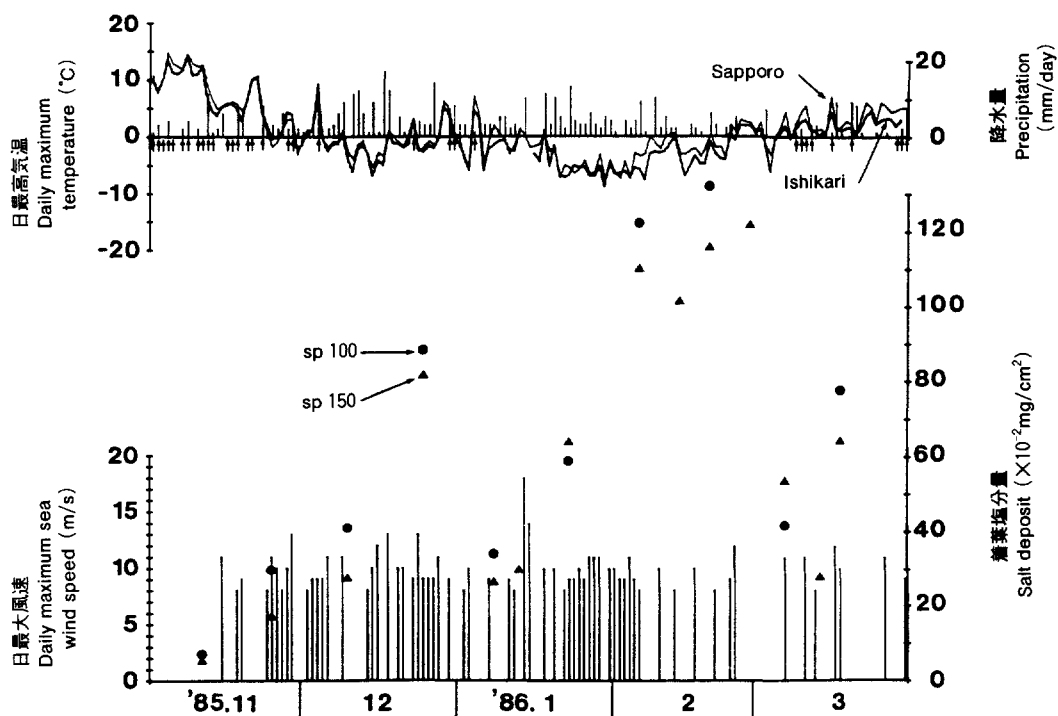


Fig. 39b. 冬期間の気象と着葉塩分量の変動 (1985年11月～1986年3月)

Weather conditions in winter and salt deposit fluctuation

↑ : 降雨 (札幌) Rainfall in Sapporo

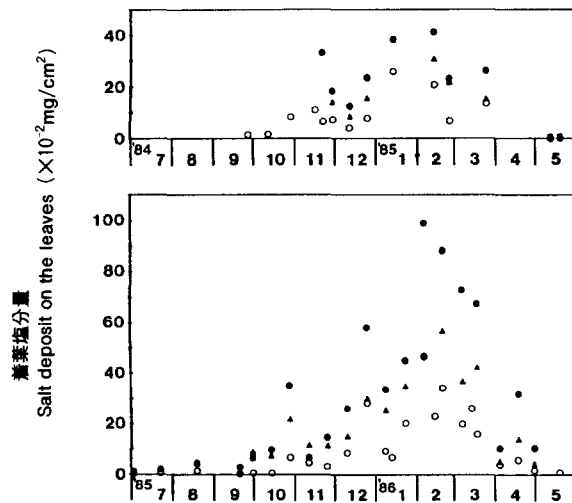


Fig. 40. 梢頭部と下層での着葉塩分量の比較
Comparison of salt deposit on the leaves between canopy-top and low layer

- : 梢頭部 (sp 175) Canopy-top at sp 175
- : 下層 (sp 175) Low layer at sp 175
- ▲ : 梢頭部 (sp 350) Canopy-top at sp 350
- sp : 海岸からの距離 (m) を示す survey point, distance from the coastline (m)

く、着葉塩分量は海風の当たり具合を反映しているものと考えられる。

同様の目的で、1986年1月8日、2月6日、2月20日に、単木の数箇所から採葉し測定した (Table 11)。sp235の林内木では、樹冠の海側から葉を採取した。梢頭部の着葉塩分量は中・下層に比べて多い。

Fig. 41は、Table 11のうち、前線部における風衝樹形を呈する単木からの採取位置と着葉塩分量を示したものである。供試木は、いずれも林帯の前線に位置し、疎林状態にある。1986年1月8日の例 (A) についてみれば、海風に対する風衝部 (A-1) の着葉塩分量が多い傾向を示している。なお、このときの着葉塩分量は、 $10.2 \times 10^{-2} \sim 27.3 \times 10^{-2} \text{mg/cm}^2$ で全体に少ないが、これは札幌で1985年12月29日、30日、1986年1月4日に降雨が記録されていることから、着葉塩分量が一度減少したのち新たに増加したものと考えられる。2月6日の例 (B) は、高濃度の着葉塩分量が記録されているが、梢頭部に比較して樹冠内のものが少なくなっている。以上の例では、着葉塩分量が海風の当たり具合を反映していることが確認された。

これに対して、2月20日の例 (C) は、いずれも梢頭部の枯死が繰り返されている樹冠上部から採ったものであるが、海側からみれば比較的風陰の部分 (C-5, C-6) であっても、必ずしも着葉塩分量は少なくない。これは、繰り返し吹いた海風の方向が一定していないために、側方からの海風の影響も含まれているためと考えられる。その意味では、単木の風衝部間で、海風にさらされる度合を着葉塩分量によって区分することは困難である。

Table 11. 樹木の部位による着葉塩分量の違い
Salt deposit on the leaves in relation to the position.

地 点 Point	調査日 Date	積雪深 Snow depth (cm)	No.	雪面上の高さ Tree height above snow cover (cm)	着葉塩分量 Salt deposit ($\times 10^{-2}$ mg/cm ²)	区 分 Position
sp 110	1986. 1. 8	70	1	150	27.3	風衝部 Wind-blown
			2	150	16.9	風 陰 Leeward
			3	130	16.8	〃 Leeward
			4	95	10.2	〃 Leeward
sp 235	1986. 1. 8	51	1	405	18.0	梢頭部 Canopy top
			2	365	9.3	樹冠内 in the canopy
			3	305	10.3	〃 in the canopy
			4	245	9.3	〃 in the canopy
			5	190	7.3	〃 in the canopy
sp 145	1986. 2. 6	195	1	120	108.8	風衝部 Wind-blown
			2	90	83.0	風 陰 Leeward
sp 130	1986. 2. 20	147	1	75	94.3	風衝部 Wind-blown
			2	105	90.6	〃 Wind-blown
			3	150	135.4	〃 Wind-blown
			4	160	100.1	〃 Wind-blown
			5	130	105.2	風 陰 Leeward
			6	130	90.4	〃 Leeward

③ 着葉塩分量の環境指標的位置付け

着葉塩分量を樹木が海風にさらされる度合を示す環境指標として利用するのであれば、各地点における着葉塩分量の相対関係が安定したものでなければならない。Fig. 42は、sp150における着葉塩分量を基準（x 軸）とした場合の、各地点の着葉塩分量（y 軸）を示したものである。各箇所における最大値は、厳冬期に記録されている。単回帰における決定係数は、0.768（sp175下部）～0.951（sp100）であり、全体に高い相関を示している。

着葉塩分量が風向と地形的な条件によって変化することからも、着葉塩分量によって場の環境を表現するためには、風送塩分が蓄積されている厳冬期のものが望ましい。ただし、着葉塩分量は、当該年の気象条件に左右されるものであるから、年による違いが考えられる。また、着葉塩分量と樹木の枯死につながる生理現象との関係は、定量的には明確にされていない。そのため、着葉塩分量を、場の環境条件を表現する絶対的な量として扱うことには無理があるが、同じ海岸林における複数の地点で海風にさらされる度合を比較する場合など、相対値的な取り扱いが可能であろう。例えば、後述するような伐採

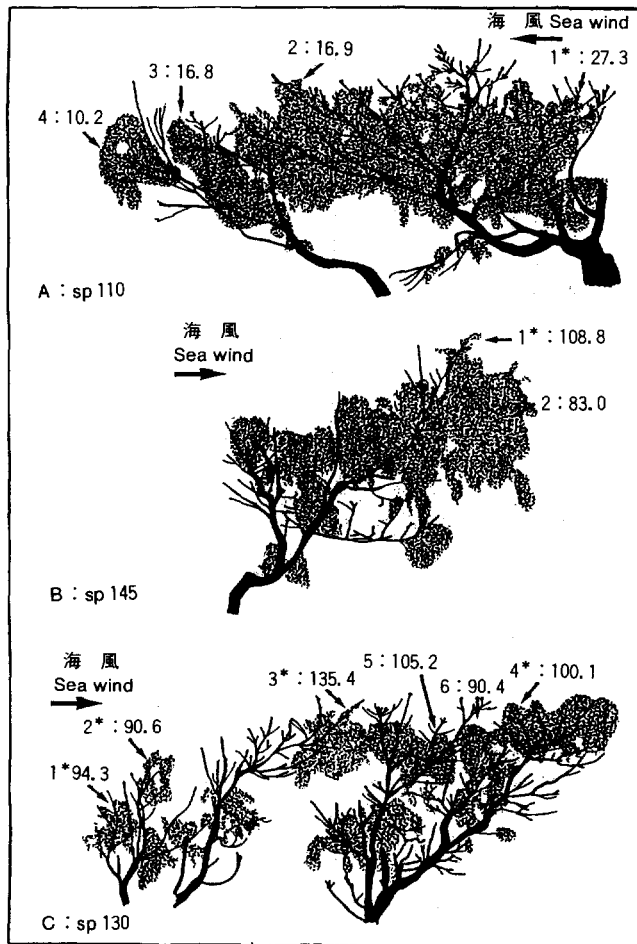


Fig. 41. 部位別の着葉塩分量
Salt deposit on the leaves in relation to the position (scale : $\times 10^{-2} \text{ mg/cm}^2$)

* : 風衝部 Wind-brown position

雪面からの樹高 Tree height above snow cover

A : 150 cm (Jan. 8, 1986)

B : 120 cm (Feb. 6, 1986)

C : 160 cm (Feb. 20, 1986)

によって新たに生じた林縁部の環境を前縁部や林内と比較する場合に、指標の一つとして利用することが可能と考えられる。

なお、Fig. 42で sp110において sp150の着葉塩分量に対する割合が他の地点に比較してばらつくのは、第1砂丘の内陸側斜面に位置するためと考えられる。すなわち、砂丘頂部には凹凸があるため風向によって海風の当たり方に差が出やすく、また、風を伴った雨の当たり方も一様でなかった結果と考えられる。逆に、sp350の着葉塩分量の sp150に対する割合にばらつきが少ないのは、内陸に十分入ったことによって風の当たり方が安定しているためと考えられる。

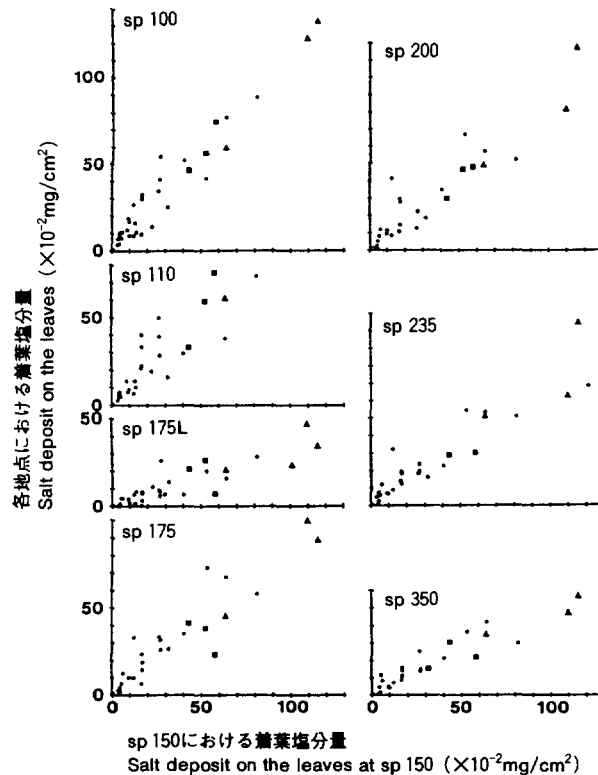


Fig. 42. sp 150 の着葉塩分量 (x 軸) に対する各地点の着葉塩分量 (y 軸)
Salt deposit on the leaves at each point (y-axis) in relation to that at sp 150 (x-axis)

■ : 1985年の厳冬期の測定値 Measured in the high salt deposit season in 1985
▲ : 1986年の厳冬期の測定値 Measured in the high salt deposit season in 1986

4.2.3 海岸からの距離による違い

Fig. 43は、高濃度の着葉塩分量が記録された場合について、海岸からの距離に伴う梢頭部の着葉塩分量の変化を示したものである。着葉塩分量は、内陸ほど減少する傾向がみられる。また、Fig. 43Bの1986年2月の例のように、着葉塩分量が多いときは海側の着葉塩分量と内陸側の着葉塩分量とに差が出ている。

なお、Fig. 43からは、sp110の値が一部除いてある。それは、最深積雪期前後に、樹木全体が雪面下にある特殊な条件下になっているためである。例えば、1986年3月18日のsp110は、 $38 \times 10^{-2} \text{mg/cm}^2$ で、他の採葉地点に比べ着葉塩分量が少ない。この時採取された葉は、雪面下にあったものが、融雪過程で採取可能になったもので、雪面下にあった期間は海風を受けていないこと、融雪過程で葉表面の塩分が減少したことが考えられる。

4.3 風速と風送塩分量

本節では、林帯の存在している場の環境因子として、風速、風送塩分量を取りあげる。それは、前節

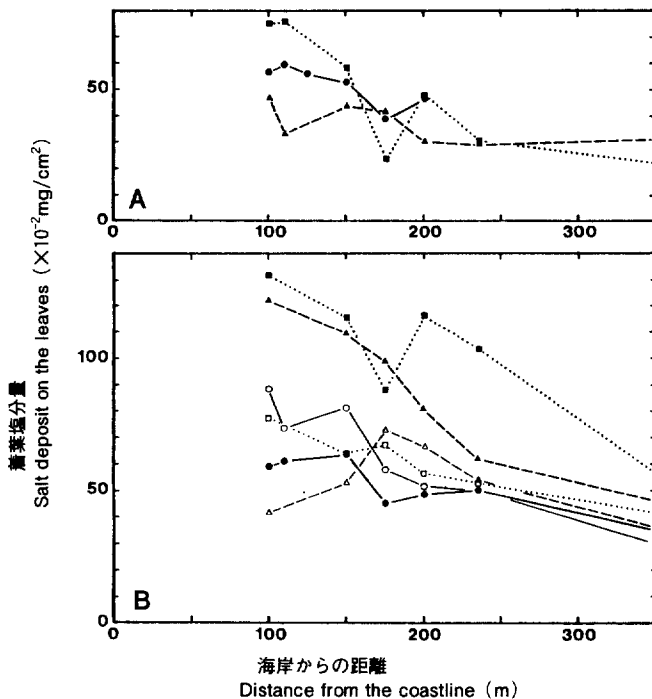


Fig. 43. 海岸からの距離に対する着葉塩分量の変化
Salt deposit in relation to the distance from the coastline

A ● : Jan. 14, 1985 ▲ : Feb. 14, 1985 ■ : Feb. 25, 1985
B ○ : Dec. 25, 1985 ● : Jan. 23, 1986 ▲ : Feb. 6, 1986
■ : Feb. 20, 1986 △ : Mar. 17, 1986 □ : Mar. 18, 1986

までで述べた地表の砂や雪、海塩粒子を輸送しているのが風だからである。海岸の風環境は海岸地形等の特徴に基づくものである。風に対する海岸地形の特徴は、風に対する海面の抵抗性が低いことであり、一般に風速は内陸へ向かうほど地形や地表状態の影響で減少する。

調査では、風速、風送塩分量に対する防風工や砂丘などの地形的要素による影響を対象とした。それは、以下のことによる。樹木の生育が困難なほど海岸の環境が厳しい場合、林帯が成立するためには、海風がある程度緩和されなければならない。そのことを目的として、海岸林の造成にあたっては防風工が施工される。防風工の代表が、防風柵や人工砂丘、土塁の配置である。これらは、人為的に地形・地表状態を改変させる手段として位置付けられる。その意味では、石狩海岸の標高約10mの第1砂丘は、後方の林帯に対して防風工の役割を果たしていると考えられる。

順序として、防風柵、砂丘周辺の基本的な風速分布を風洞実験によって確かめ、その結果に基づいて現地において林帯の影響のない状態での風速並びに風送塩分量の測定を実施した。つづいて、林帯によって風速・風送塩分量が減少する実態をとらえるために、林帯前線部で風速・風送塩分量を測定した。

風速の測定には、理工研式小型ロビンソン風速計（佐野屋鉄工所製）とマイクロアナネモ（牧野応用測器研究所製）を使用した。また、記録計としては、電卓を利用したパルスレコーダー⁵³⁾を用いた。測定

高は、原則として地上1.5mとした。風速計の固定には、防風柵に取り付けた場合を除き、写真用の三脚を利用した。

風送塩分は、木枠（内寸：14cm×14cm）にはめたガーゼを海風に向けて捕捉した。木枠は上部に矢羽根を持ち、自動的に風向の変化に追従できるようになっている。捕捉塩分量は、捕捉時間が15～120分の場合、捕捉時間に比例するとされており⁴⁰⁾、適当な捕捉塩分量があった方が後の濃度の測定がしやすいことから、捕捉時間は1時間とした。

ガーゼに付着した塩分量の測定手順は以下のとおりである。

1. ガーゼを脱イオン水100mlに浸し、密閉する。
2. 容器を十分に振り、ガーゼ全体を水に浸す。
3. 24時間後、洗浄液を得る。
4. 洗浄液のCl⁻イオン濃度を測定する。測定にはデジタルイオンメーター（IM-20B：東亜電波工業）を使用した。
5. 洗浄液のCl⁻イオン濃度から、ガーゼの単位時間、単位面積あたりの塩素量（g/m²・hr）を求め、これを風送塩分量とする。

4.3.1 砂丘・防風柵の影響

① 風洞実験

工作物とくに防風垣の風速に与える影響については、これまでも多くの調査例があるが、ここでの風洞実験の目的は、現地測定結果の参考にするために、工作物周囲の基本的な風速分布を求めることである。

使用した風洞は、農林水産省林業試験場（現森林総合研究所、筑波）の主風洞で、主要仕様は以下のとおりである²⁷⁾。

形 式	エッフェル型吸込式
測 定 部 断 面 (m)	1.2×1.6×10.0 (幅・高さ・長さ)
縮 流 比	4.6
風 速 (m/s)	2.7～40.0
風 速 分 布 (%)	±1以下*
乱 れ の 強 さ (%)	1以下*

*：風速40m/sの場合を示す

防風柵の模型は、長さ21cm、幅約2mmに割った竹を垂直に並べ、防風柵の模型とした。間隙率（透過率）は45%である。砂丘模型は、建築用断熱材で製作した。断面は、台形（上底：10cm、下底：50cm、高さ：20cm）の下面に厚さ1cmの板を付けた形である。風洞風速は、防風柵模型については5m/s、10m/s、砂丘については10m/s、20m/sのおおの二通りの風速で行った。測定位置は、-5H（H：模型高、5Hとは模型高の5倍の距離、負号は模型から風上への距離を示す。ここではH＝21cm）から25Hの間で、模型の周囲を重点的に21点、各地点において高さ方向に10～13点の測定点を

設けた。

Fig. 44は、砂丘模型前後と柵模型前後について、風洞風速10m/sのときの風速比の分布を示したものである。風速比の基準値を-3Hの最高点（底面上52.5cm）にとっている。この位置は、模型の影響範囲にあり風速が風洞風速より強くなっている。砂丘後方と柵後方の風速分布について大きな違いは2点ある。第1点は、20%以下の風速比になる位置が、砂丘では背面部のみであるのに対し、柵では8H~17Hの底面付近にも生じることである。

第2点は、60%以下の風速比になる位置が、砂丘では18Hまでであるのに対して、柵の場合は25H後方でも60%の等風速比線が底面に達していない。そして、砂丘の方が、10Hまでであれば模型高より上方における風速比の値が低くなっていることである。以上の差は、模型の形状の違いと間隙率の差によるものと考えられる。

共通している点は、模型上端（砂丘の場合は上面の風上側上端）では風速の減少はみられず強風域となっていることである。なお、以上の風速比の分布は、測定した各風洞風速に共通しているものであった。

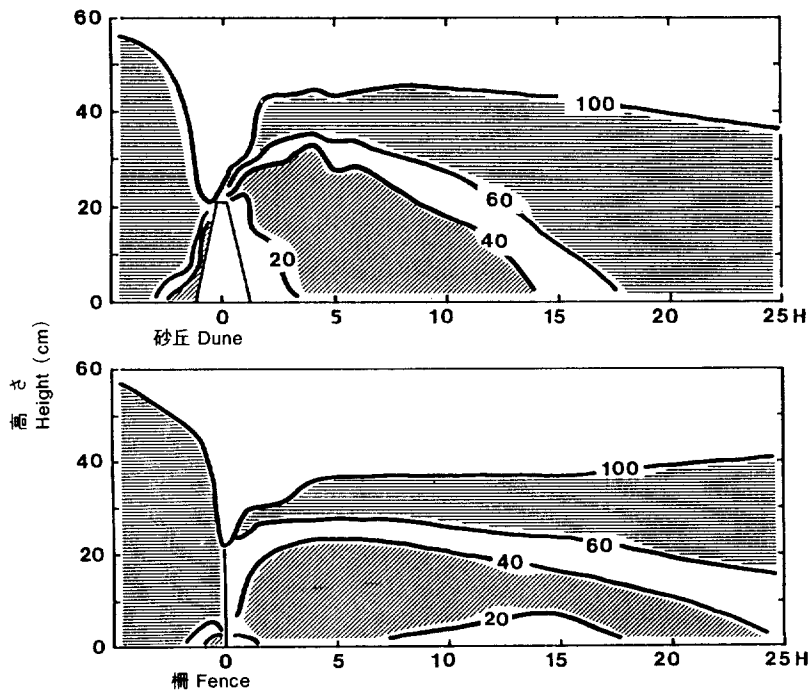


Fig. 44. 風洞における砂丘及び柵前後の風速分布
Wind speed distribution around dune and fence in a wind tunnel
scale : %

基準風速 Base wind speed : 砂丘 Dune 10.7m/s
(-3H, 52.5cm) : 柵 Fence 11.1m/s
H : 模型高 Height of the dune or the fence.

② 現地における測定例

i) 石狩海岸の第1砂丘

風の流れは、地形並びに植生の影響を受ける。そのため、林帯が存在している現地の風速、風送塩分量は、林帯が存在することによって変化しており、林帯の影響を受けていない状態での風速、風送塩分量は、林帯を除去しなければ測定できない。今回、新港建設に際して林帯が幅300mほど伐採された時点で、林帯が除去された状態での風速と風送塩分量を調査することができた。測定時の地表状態は砂地である。

風速と風送塩分量は、砂丘に直交する測線（NW：海—SE：内陸）を設定し調査した。風向は、冬期間に頻度の高いW～NWを対象とした（Table 12）。測定高はいずれも地上1.5mである。Fig. 45では、各測点における風速、風送塩分量を、海食崖上に設けた海岸基準点（図中の測定地点1）における値を100とする相対値で示した。風送塩分量は、続けて2回測定した（海岸基準点での値： $2.1\text{g/m}^2\cdot\text{hr}$ 、 $1.8\text{g/m}^2\cdot\text{hr}$ ）。各測点での2回の測定における風送塩分量（基準点に対する相対値）はほぼ等しく、図上で表現されるほどの差はなかった。

風速は、第1砂丘の内陸側で半減し、その後方では、海岸基準点（測点1）のほぼ60%の値で一定している。風送塩分量は、第1砂丘上（測点2）で海岸基準点の30%、砂丘の80m後方（測点5）で18%、360m後方（測点12）では11%まで減少している。

Fig. 45には、風洞実験の結果についても、模型砂丘高を現地の比高に対応させて、地上1.5m相当の風速比を示してある。その際、模型砂丘上の風速比が、現地砂丘上測定点における平均風速比になるよう係数を乗じて換算した。換算された風速比は、砂丘背面で10%程度まで激減後、50%前後へ漸増している。現地観測の結果を風洞実験の結果と比較した場合、砂丘背面で風速比が高いが、その理由としては、砂丘の断面が相似でないこと、また、現地砂丘の頂部に凹凸があり、凹部から吹き込みが生じていることが考えられる。

ii) えりも海岸林の連続防風柵

えりも海岸林は、草本緑化の際、雑海草を地表の被覆に用いて種子・表土の移動を抑えた、いわゆる

Table 12. 測定時の風環境の概要
Condition of the measurements.

測定日 Date	風 向 Wind direction	平均風速（測定時間） Average of wind speed (time) m/s (min.)	風速の範囲 Range of wind speed			
			(10分間平均) (Ave. in 10 min.)		(5分間平均) (Ave. in 5 min)	
			Min. m/s	Max. m/s	Min. m/s	Max. m/s
1984. 9.26	W	7.4 (60)	5.9～10.2		5.4～10.4	
9.27	NW	15.2 (20)	15.1～15.4		14.7～16.1	
10. 4	W～WNW	9.4 (130)	8.2～10.7		6.7～10.7	

海岸基準点地上1.5 m

1.5m above the ground at the base point.

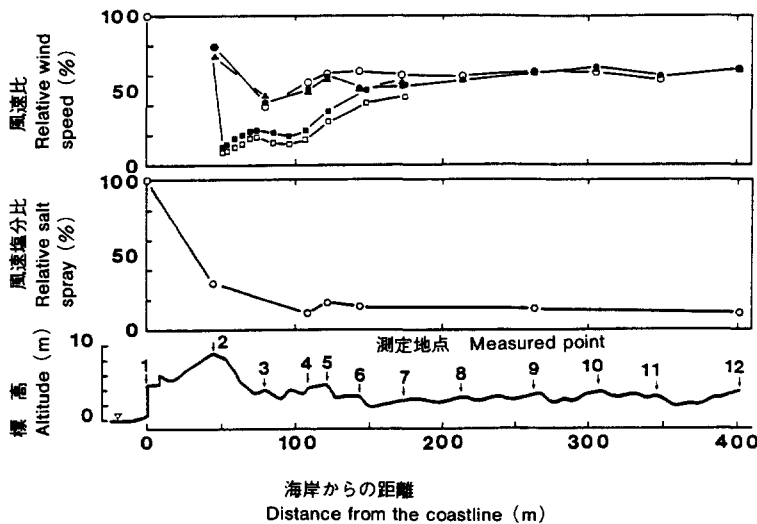


Fig. 45. 伐開地における風速と風送塩分量 (地上1.5m)

Wind speed and salt spray distribution at the cut-area (1.5m above the ground)

- : Sept. 26, 1984
- : Sept. 27, 1984
- ▲ : Oct. 4, 1984 (Salt spray was measured)
- : 風洞実験結果による (風洞風速: 10m/s) Measured value of the wind-tunnel (10m/s)
- : 風洞実験結果による (風洞風速: 20m/s) Measured value of the wind-tunnel (20m/s)

“えりも式緑化工法”と、10m×20mの矩形に造成地を分割した、比較的低め(地上1.2m)の防風柵の配置方法とが効を奏したと評価されている。ここでは、連続した防風柵工が風速に与える影響をとらえることとした。調査は、1986年3月12日に実施した。柵の内部には、30～40cmの積雪が残っていたが、柵外にはなかった。

測定対象地は、219林班い小班で、1982年から順次造成された箇所である。風速の測定高は柵高に等しい地上1.2mで、クロマツ植栽木は柵高よりも十分に低く、クロマツ植栽木が測定高の風速に与える影響は無視した。防風柵施工区間では、風速計は防風柵で囲まれた矩形の中央に設置した。測定時の風向はNEで、海岸林の造成にあたって考慮された主風方向に等しく、防風柵に直角である。風の吹走方向には、平坦地に防風柵が10m間隔で250mにわたって設置してある。

Fig. 46は、防風柵施工区間の風上側10mの地点の風速を基準として、各地点の風速比を示したものである。測定中の基準点の風速は、3.7～5.1m/s(10分間平均)であった。防風柵施工区間の内部に入るに従い、風速の変化は緩やかになるが減少をつけ、施工区間内135m地点で基準点の52%まで低下し、その風下の施工区間ではその値を保った。施工区間後方5mでは54%、10mで55%、20mで73%、40mでは85%まで風速比は回復した。すなわち、防風柵を一定の範囲内の間隔で連続して設置することは、単独で用いるよりも効果的であることが確かめられた。

4.3.2 林帯前線部

林帯前線部を中心に風速・風送塩分量を測定した。風速や風送塩分量が、樹木の影響によって林帯の

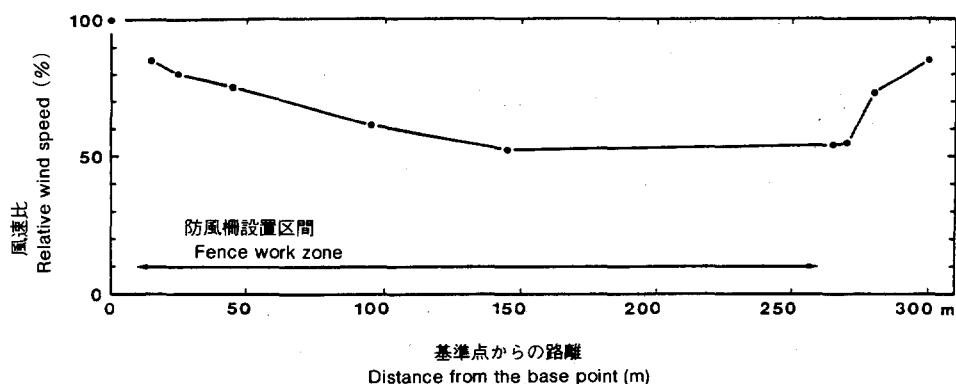


Fig. 46. 10m間隔で防風柵が連続する区間における風速分布 (えりも海岸林)
 Wind speed distribution at the fence work zone, where parallel fences,
 10 meters apart, are arranged at the Erimo seacoast shelterbelt
 (基準点の10分間平均風速: 3.7~5.1m/s)
 (10minute mean wind speed at the base point: 3.7~5.1m/s)

前線付近で大きく変化すると考えられ、また逆に、前線部の樹木ほどそれらの影響を強く受けていると考えられるからである。測定高は、地上1.5mと梢頭に相当する高さである。なお、林縁に直角に吹く風の林内での減衰については、単純な林形の場合の関係式^{(28) (27)}も提案されているが、その場合にも式に必要な係数は林分状態から求めるのではなく、風速を現地で実測して求める必要がある。

Fig. 47は、Line-A 付近において、梢頭部の風と樹冠下の風を比較したものである (測定日: 1986年11月14日)。林外並びに樹冠下については、地上1.5mで測定した。測定時の風向はNWで、ほぼ海岸線に直角の海風であり、海食崖上の基準点における60分間平均風速は19.2m/s、最大10分間平均風速は21.2m/sであった。風向は、第1砂丘後方の測点3、4ではNWを中心として激しく振れたが、他の測点では安定していた。

風速は、第1砂丘上 (測点2) で基準点 (測点1) の66%に減少し、第1砂丘の後方75m区間の梢頭部では26~43%、林内地上1.5mでは4~19%であった。一方、風送塩分量は、第1砂丘で48%に減少し、梢頭部では8~20%の値であった。

林帯に入ってから、梢頭部、地上1.5mのいずれにおいても、地形の影響によると思われる風当たりの違いが測定された。すなわち、測点3から測点4にかけては、第1砂丘後方における風速の回復が測定された。また、第2砂丘上 (測点5) に比較して、その背後の凹地 (測点6) では梢頭部の風速が約60%となっていた。風速では増減が測定されたのに対して、風送塩分量 (梢頭部) は漸減している。

なお、林内の地上1.5mの風速に関して、測点7で増加がみられるのは、測点7が第3砂丘の海側肩部に位置し、樹冠層下に風の吹き込みが生じているためと考えられる。

以上のように、風速・風送塩分量は第1砂丘背後までに大きく減少し、林帯がなければ林帯の前縁相当位置とそれより内陸側とは大きな違いはない。すなわち、後方ほど梢頭の着葉塩分量が減少したり、第1砂丘から前縁にかけて堆雪区域や堆砂区域が出現するのは、第1砂丘と同時に林帯の影響が大

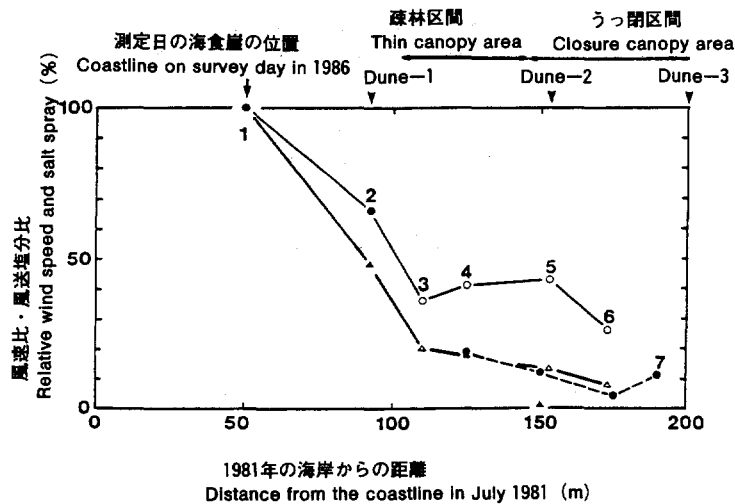


Fig. 47. 前線における風速と風送塩分量
Wind speed and salt spray at the front zone

数字は測定地点番号を示す。

Numerals indicate the survey points

● : 地上1.5mの風速 (%) Wind speed (%) 1.5m above the ground

○ : 梢頭部の風速 (%) Wind speed (%) at the canopy-top

▲ : 地上1.5mの風送塩分量 (%) Salt spray (%) 1.5m above the ground

△ : 梢頭部の風送塩分量 (%) Salt spray (%) at the canopy-top

きく、もし林帯がなければ全体が風食区域になっていると推定される (Fig. 48)。

5 林帯伐開の影響

本章では、石狩海岸林で行われた伐開を、林帯の存在によって潜在化していると考えられる海風環境を顕在化させるための野外実験としてとらえ、伐開後林縁部に生じた変化について述べる。なお、海風環境とは、4章で述べた風送現象によってもたらされる環境の総称である。

5.1 伐開の概況

石狩海岸林では、石狩湾新港中央水路 (計画、水深: 7.5~10m, 幅員: 300m, 水面積: 160ha) 建設工事のため、林帯が幅約400m伐開された (1986年現在, Fig. 49)。札幌管林署から北海道開発局への土地の所管替えは、3回に分けて実施された (Table 13)。A区は1983年末の冬期に大部分が伐採され、翌84年の夏期には残されたC区沿いの部分が伐採された。B区は1984年夏期に、C区は1985年夏期に伐採された。伐開後の新しい林縁の方位は、ほぼNNW-SSEである。

新しい林縁を保護するため、金属製の有孔板 (厚さ: 1.6mm, 幅: 25cm) を使用した防風柵 (高さ: 3~4m, 支柱間隔: 3m) と防風土塁 (高さ: 1.2m, 上底: 1.5m, 下底: 5.1m) が築設された (Photo. 7 参照)。Fig. 50は防風柵の配置を示す。防風柵は、林縁沿いに設置されたもの (林縁防風柵

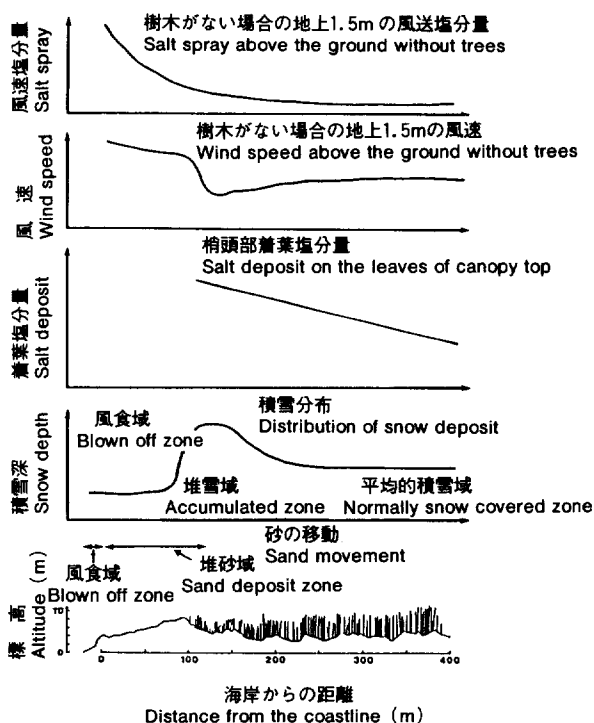


Fig. 48. 海風環境の特徴
Seacoast environment due to sea wind

：Edge-fence）と、それから林内へ原則として海岸線に平行に設置されたもの（林内防風柵：Inner-fence, F-1～F-31）とに分けられる。林内防風柵の基準間隔は20mである。海側の防風柵（F-1）から第1砂丘までの距離は、林縁防風柵の延長上約80mである。防風土塁は、林縁防風柵の林内側に築設された。

5.2 林縁木の変化

林縁部では、積雪の集中によって樹木の折損並びに林内防風柵の破損が発生した（Photo. 8参照）。いずれも伐開直後からみられたものであるが、1985/86年の冬期に発生したものは著しいものであった。また、林縁木では着葉量の減少が観察された（Photo. 9参照）。これも、とくに目立ち始めたのは、1986年融雪後の開葉期からである。

5.2.1 着葉量の減少

伐開後の林縁では、イヌエンジュの梢頭部や、カシワやイタヤカエデの小枝の先が枯れるような状態がみられたが、カシワの着葉量が大幅に減少したのが観察されたのは、1986年の開葉期である。着葉量の減少は、冬期間の海風方向に面した花畔側林縁（Fig. 49参照）で、樽川側にはみられなかった。

最も海寄りでは着葉量の減少が観察されたのは、F-7～F-8間である。樹種はイタヤカエデで、樹冠の伐開地側の部分が開葉しなかった。F-8～F-9間では、着葉量の減少は、カシワの枝についてもみられた。着葉量の減少は、林内防風柵の範囲までの樹木にだけ生じ、それより林内では発生していな

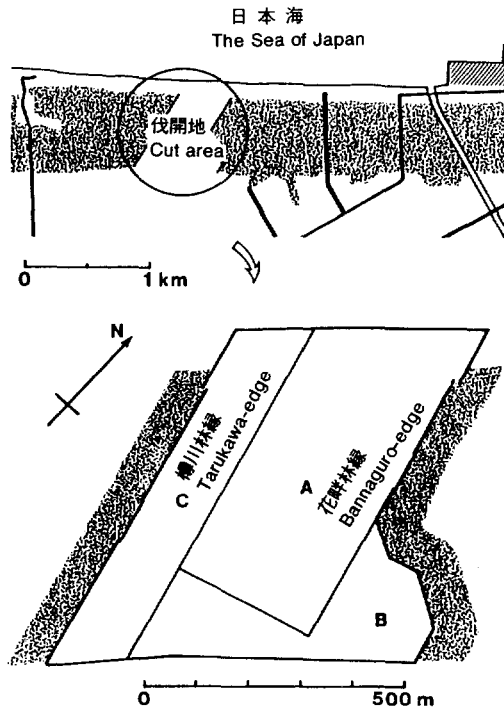


Fig. 49. 伐採時期による伐開地の区分

Partition of the clear-cut area according to the time of cutting

A : 1983, 1984

B : 1984

C : 1985

Table 13 伐開地の所管替え時期

Jurisdiction change of the cut area.

区 Partition	所管替面積 Area (m^2)	所管替月日 Date of Jurisdiction change	立木販売月日 Date of the sale of stumpage
A	176 117	1983. 11. 15	— *1
B	111 573 *2	1985. 1. 23	1984. 7. 18
C	99 076	1985. 11. 21	1985. 5. 28

* 1 : 立木を含めて所管替えされた。

Jurisdiction change with stumpage

* 2 : 後方の耕地防風林の面積を含む

Containing the area of farm land shelterbelt behind.

い。樹冠部において着葉量の減少が目立ち始めるのは、F-9より内陸側である。F-9より内陸側では、林縁防風柵の上に樹冠が2m以上出ている。着葉量の減少は、F-16までは後方ほど目立つが、F-16より内陸側では林縁方位との関係で直接は海風が当たらない箇所では目立たない。1枚の開葉も

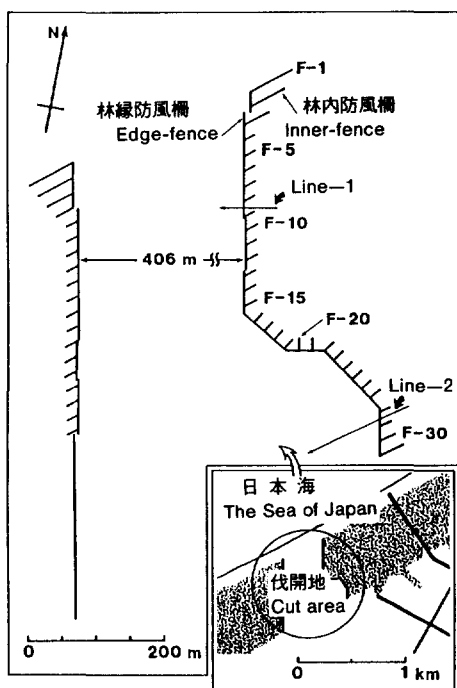


Fig. 50. 防風柵の配置
Arrangement of fences

観察されなかったカシワは、F-13～F-14にあった一例だけである（1986年時点）。

5.2.2 樹木の折損

樹木の折損の調査は、1986年の融雪後に実施した。雪圧による樹木の折損は、形態的に幹折れと大枝（幹から出ている枝）の折れ、そして、小枝の折れに区分できたが、小枝の折れについては、それまでの冬期間に、伐開とは関係のない林内でも発生しているので、以下に述べる折損には含めていない。

折損は、林内防風柵 F-5 付近の一例を除いて、すべて林縁防風柵から林内防風柵の林内側の端までの間約20m で生じた。調査にあたって、林内防風柵 F-3 から F-15 までの各防風柵間を一つのプロットとして扱った。プロットの番号は、海側の林内防風柵の番号を使用した。F-3 より海側は、伐開前から林縁（前縁）であったため今回の調査からは除外した。plot 4～plot 7 について、林内防風柵間の中央に林内防風柵と平行な幅5m の帯状調査区を設け、樹木の折損状況を調査した。plot 3, plot 8, plot 13 は全木を調査対象とした。plot 10～12 は、

全木を対象に被害形態のみを調査した。なお、Table 14 は、樹高の分布を、Table 15 は枝下高の分布を示したものである。樹高は内陸側ほど徐々に高くなっているが、plot 8 から plot 9 にかけてはとくに樹高が高くなっている。

林内防風柵間においては、林縁防風柵より離れるほど、また、海側の林内防風柵から離れた方が、無折損木が増加する傾向がみられた。このことを確認するために、plot 8 に、林内防風柵と林縁防風柵とに平行な辺をもつ16の小区画を設定した（Fig. 51）。伐開地側の小区画（ $y = 1$ ）の伐開地側1/4ほどは土塁の法面になっている。Table 16 は、plot 8 における折損の実態を、幹折れ木並びに無折損木の分布で示したものである。林縁側に相当する $y = 1$, $y = 2$ の小区画では、ほとんど壊滅状態となっている。なお、林内防風柵設置の際、支障木が伐採されているため、林内防風柵付近（ $x = 1$, $x = 4$ の小区画）の樹木本数が少なくなっている。

Fig. 52 は、plot 8 と同様に（ $x = 1 \sim 4$, $y = 1$ ）と（ $x = 1 \sim 4$, $y = 2 \sim 4$ ）に分けて、plot 3～plot 13 の被害率を示したものである。幹と枝の両方に折損がみられた場合は、幹折れとして扱った。plot 9 より内陸側で無折損木の割合が50%を超えている。とくに、plot 10～plot 12 の $y = 2 \sim 4$ の範囲では折損がみられず、折損が生じたのは林縁防風柵の背後数m の範囲に限られている。 $y = 1$ の区画で、plot 9 までは健全なものは plot 5 の3本である。なお、この3本は斜立木であり、根元の形態

Table 14. 伐開地林縁における樹高の分布 (本数)

Tree height along the cut area

樹 高 階 Range of tree height 以上 未満 (cm)	Plot							
	3	4	5	6	7	8	9	13
100～300	2	6	16	5	3	6		1
300～500	12	6	28	19	21	48	8	
500～700					4	5	20	7
700～900								16
不 明 Unknown		2						
調査本数 Total	14	14	44	24	28	59	28	24
最低樹高 Tree height (Min.)	204	232	160	252	223	250	360	238
最高樹高 Tree height (Max.)	489	410	464	484	551	542	643	840

Table 15. 枝下高の分布 (本数)

Crown height along the cut area

枝 下 高 階 Range of tree crown height 以上 未満 (cm)	Plot							
	3	4	5	6	7	8	9	13
0～100		1	5		1	1		
100～200	7	10	30	19	12	19	9	3
200～300	6	3	9	5	14	34	11	6
300～400						2	8	10
400～500					1			5
不 明 Unknown	1					3		
調査本数 Total	14	14	44	24	28	59	28	24
最低枝下高 Crown height (Min.)	110	76	67	110	53	84	130	130
最高枝下高 Crown height (Max.)	257	250	240	280	408	328	384	467

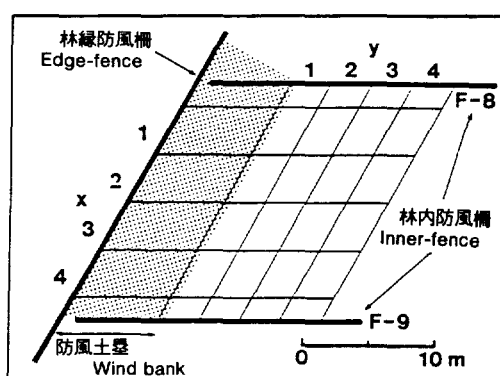


Fig. 51. 調査小区画の配置
Arrangement of quadrates (plot 8)

Table 16. 林縁部における雪圧被害の分布 (plot 8)

Trees damaged caused by snow pressure along the cut area (example of plot 8).

		伐開地 Cut area				林 内 Shelterbelt	幹折れ率 Trunk broken (%)
		← y →					健全率 Normal trees (%)
		1	2	3	4		
海岸 Seacoast	x	● ●	● ○	○	—		60 40
		●	● ● ● ● ◎ ◎ ◎	● ◎ ○	● ○ ○ ○	47 27	
		● ● ◎ ◎	● ● ● ● ● ◎	◎ ◎ ◎ ○ ○ ○	● ◎ ◎ ◎ ◎ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	27 33	
		● ●	◎	◎ ○ ○	○ ○ ○	22 56	
内 陸 Landward							
幹折れ率 Trunk broken (%)		78	63	8	10		34
無折損率 Normal trees (%)		0	6	54	62		36

● : 幹折れ木

Trunk broken tree

◎ : 枝折れ木

Branch broken tree

○ : 無折損木 (各1本を示す)

Normal tree (Each mark indicates a tree)

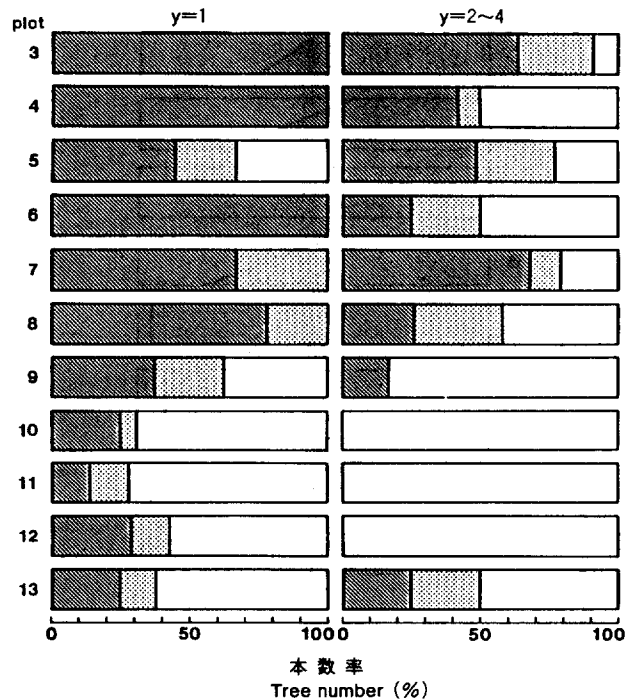


Fig. 52. プロット別被害率
Distribution of damage ratio

斜線 hatched : 幹折れ trunk broken
網点 dotted : 枝折れ branch broken
白地 blank : 折損なし undamaged

は、一度屈曲したもののようにみられた。

Fig. 53は、折損の時期について示したものである。時期は、1985/86年冬期(1986)と、それ以前、並びにその複合に分けた。複合というのは、すでに部分的に折れていた箇所が、1985/86年冬期にさらに折れた場合である。plot 3, plot 4, plot 6では、半数に1986年以前に折損の履歴をみるが、その他のプロットの樹木に関しては、折損のうち80%以上が1985/86年冬期の折損である。なお、それ以前の折損と分類されたものについても、その折れ口の様子から、ほとんどのものが林帯伐開後のものと判断された。

Table 17は、幹折れ高の分布を示したものである。幹折れ高が300cmを超えたものは、plot 13での308cmだけであり、その他の幹折れは、すべて300cm以下で発生している。

以上のように、伐開によって生じた林縁部のうち花畔側林縁直線部(F-3~F-15)の樹木には、着葉量の減少と、雪圧によると考えられる幹・枝の折損が観察された(Fig. 54)。折損木の発生はF-3~F-9に集中しており、防風柵高と比較して樹高・枝下高が高くなるにつれ発生率は低下している。逆に着葉量の減少は、後方ほど顕著になる。

なお、林内防風柵F-3の海側の箇所では、4.1.3で述べたような積雪層内に倒伏したカシワの

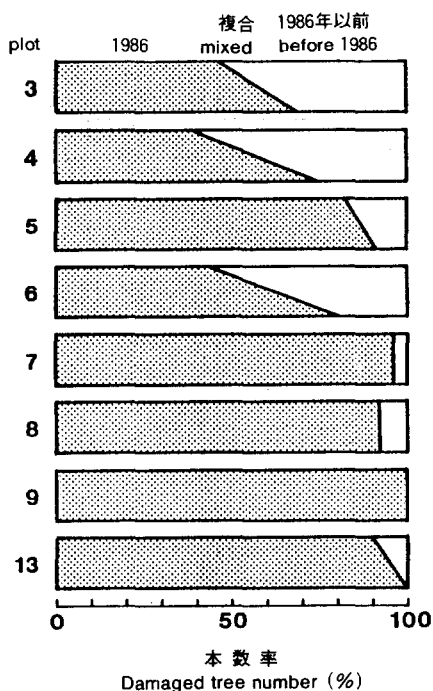


Fig. 53. 折損の時期

Distribution of the time of damage

斜線部は2年以上にわたって発生したことを示す

Slopes indicate overlapping

Table 17. 幹折れ高の分布 (本数)

Trunk broken height along the cut area

幹折れ高階 Range of trunk broken height 以上 未満 (cm)	Plot							
	3	4	5	6	7	8	9	13
0~100			5	6	1		2	
100~200	2	5	8	5	12	7	3	2
200~300	8	2	8	1	6	13	3	3
300~400								1
無折損木 (幹) Unbroken (trunk)	4	7	23	12	9	39	20	18
調査本数 Total	14	14	44	24	28	59	28	24
最低折れ高 Broken height (Min.)	160	110	40	0	58	150	50	130
最高折れ高 Broken height (Max.)	279	266	265	234	229	282	286	308

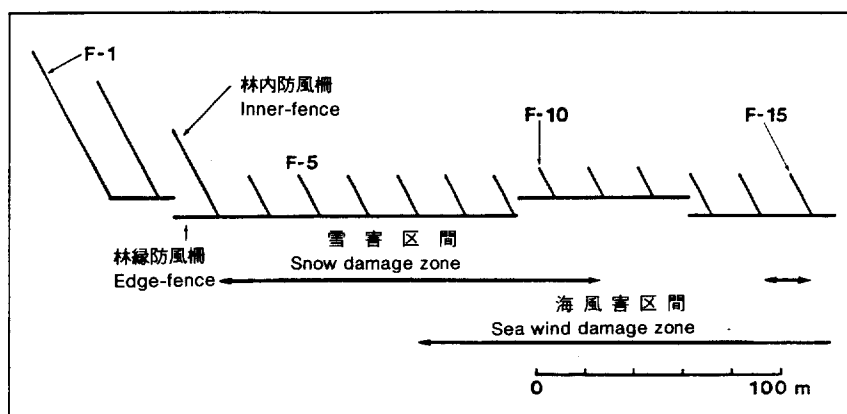


Fig. 54. 要因別林縁木の被害発生区間

Partition of zone according to the difference of the damage factor in edge trees

幹・枝や梢頭部が埋砂され、融雪後も立ち上がれない状態も生じている（Photo. 10参照）。

5.2.3 防風柵の破損

防風柵の破損の調査は、樹木の折損調査と同様、1986年の融雪後に実施した。雪圧による防風柵の破損は、花畔側防風柵のうち前線からの直線部分（Fig. 49, 50参照）の林内防風柵で発生した。樽川側の防風柵と花畔側も林縁防風柵では発生しなかった。

Fig. 55は、前線からの直線部分について、雪圧による林内防風柵の破損状況を示したものである。林内防風柵の多くは林縁防風柵と等しい高さであるが、後方のものでは有孔板3～5枚分（約80～140cm）林縁防風柵より高くなっている。防風柵の破損は有孔板に生じ、支柱は変化しなかった。有孔板の破損の程度は様々であったが、変形だけのもの（まがり）と、中央部あるいは支柱との接合部に切れ目が入ったもの（ちぎれ）との2種類に区分した。有孔板の破損は、防風柵F-2からF-10まで連続して発生し、林内防風柵が林縁防風柵より高いF-11より内陸側では、例外的に林縁防風柵より低いF-14を除いてちぎれは生じていない。また、まがりもF-14以外では、F-15で一枚生じただけである。このことについては、林縁防風柵の林内側に形成された雪丘の高さとの関連で次節（5.3）で述べる。

5.3 林縁の海風環境

本節では、伐開によって生じた林縁の海風環境について述べる。それは、林帯を伐開することによって種々の環境因子が変化することが考えられるが、そのうちとくに積雪の移動、樹木が海風にさらされる度合に関する変化は、前節で述べた着葉量の減少や樹木の折損、防風柵の破損をもたらしたと考えられるからである。

5.3.1 伐開地林縁における堆雪及び堆砂

林帯伐開後、林縁防風柵前後には、伐開後裸地となった区域の積雪が風送され集中した。この林縁部への積雪の集中が、前節で述べた林縁木の折損、林内防風柵の破損をもたらした。積雪の集中は、形態

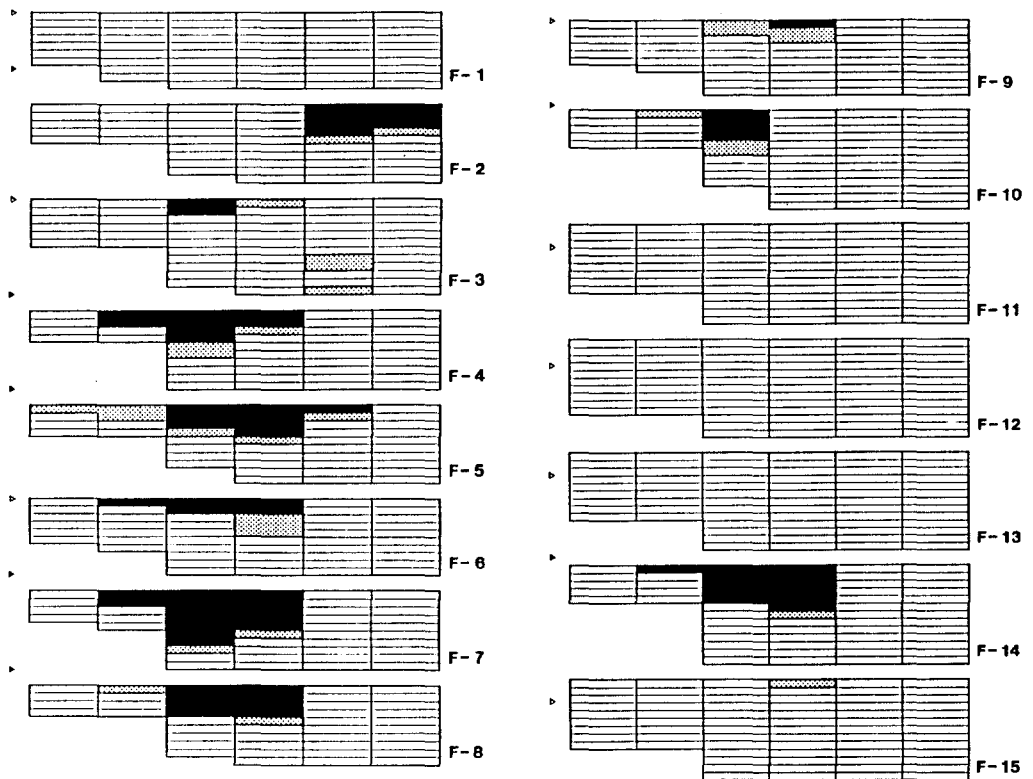


Fig. 55. 林内防風林の破損区分
Distribution of the damaged panels of inner-fences

黒地 painted : ちぎれ torn off 白地 blank : 破損なし undamaged
網点 dotted : まがり bent ▶ : 林縁防風柵の上端 Tops of the edge-fences

的には雪丘の形成 (Photo. 11参照) と着雪とに分けてとらえることができた。

雪丘の形成を把握するため、積雪深の調査を実施した (1986年2月14日, Fig. 56)。Line-1は、林縁防風柵と林内防風柵F-8とF-9の中間で交差する林縁防風柵に直角な測線である (Fig. 50参照)。林縁防風柵の外側には幅6～7mの道路があり、それから先は、平坦な掘込地で道路より約4m低くなっていた。掘込地での測線上の積雪深は32cmであったが、測線より海側の部分では地表が出ている箇所もあった。道路上の積雪深80cmは、ガードレールの高さに相当し、ガードレールがなければ積雪はさらに風送され、積雪深は少なかったと考えられる。林縁防風柵の林内側には、林縁防風柵とほぼ同じ高さの雪丘が形成されていた。林縁防風柵から20～30m林内側に入ると、積雪深は約120cmで一定となった。

Line-2は、林縁防風柵とは林内防風柵F-28とF-29の間に交差する林内防風柵に平行な測線である (Fig. 50参照)。林内側の積雪深についてはLine-1と同様であるが、Line-1と異なり、Line-2では海風が直接は林縁防風柵に当たらないために、林縁防風柵の伐開地側に林内より積雪の多い区間が続く。そして、測線が海風の吹き抜ける区域に出る220m地点で積雪深は激減し、230m地点では地表が現れて

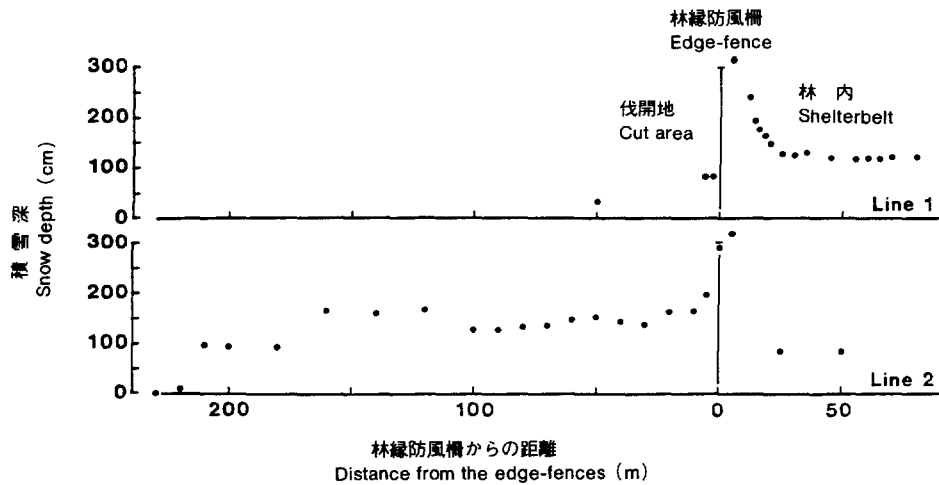


Fig. 56. 林縁防風柵周辺の積雪分布 (1986年2月14日)

Snow deposit around the edge-fences (Feb. 14, 1986)

Line-1 : at F-8~F-9

Line-2 : at F-28~F-29 (See Fig. 50)

いた。

雪丘の形成は、風上側が開けた林縁に特徴的なものである。Fig. 57は、林縁防風柵前後の積雪深について、風下に向いた林縁（以下風下林縁：樽川側）と風上に向いた林縁（以下風上林縁：花畔側）とで比較したものである（1987年2月19日測定）。測線は、花畔側のF-7とF-8の間に、樽川側についても花畔側と海岸からの距離がほぼ等しい位置に設定した。林内の積雪深はいずれも約100cmではほぼ等しいが、風下林縁では林縁防風柵の背後に雪丘は形成されていない。なお、Fig. 57の土塁設置箇所については、雪丘の形を表現するため、積雪深に土塁による地面の盛り上がり加えられている。風下林縁の伐開地側の積雪深の変化は、地形の凹凸の影響であり、積雪面は柵から離れるに従い低くなっている。

開放地に接する林縁部分に、集中的に雪の堆積が生じ雪丘が形成されることは、防雪林の機能として調査されてきた。また、その雪丘によって林帯に幹折れなどの被害が生じることについては、耕地防風林（カラマツ林）での報告⁵⁴⁾などがある。その場合は、林縁から10~50mの位置に雪丘が形成されている。今回の場合は、林縁防風柵から林縁部分にかけて形成された。すなわち、前者の例では、堆雪が生じる程度に風速が減衰するには林帯幅10mほど要したのに対し、今回の例では、林縁防風柵がその10m分に相当する影響を与えたことになる。ただし、両者の比較は、伐開地での風速などの条件が比較されていないため厳密なものではない。

Fig. 58は、林縁防風柵の林内側5m、林内防風柵（F-7）の内陸側50cmにおける積雪プロファイル（1987年2月19日）である（Photo. 12参照）。砂が層状に混入しているのが観察された。例年になくザラメ層が多くなっているのは、2月上旬に4月上旬並みに気温が上がったためである。新雪層が123cmあるのは、林内防風柵に布団状にかかった新雪層の垂れ下がり部分に相当するためである。雪丘部の平均

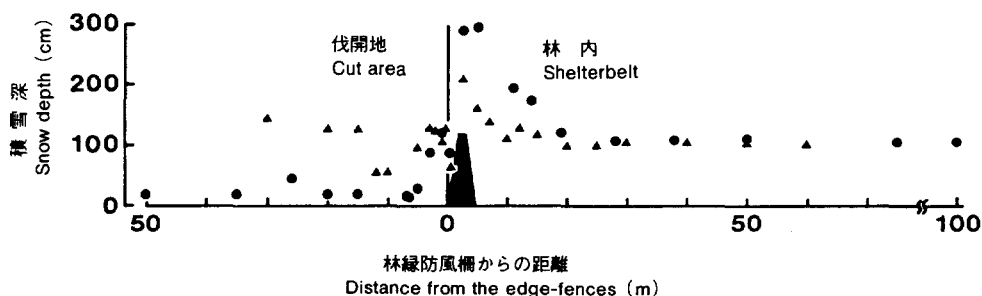


Fig. 57. 風上林縁(●)と風下林縁(▲)での積雪分布の比較 (1987年2月19日)
Comparison of snow depth between windward edge(●) and leeward one(▲) (Feb. 19, 1987)

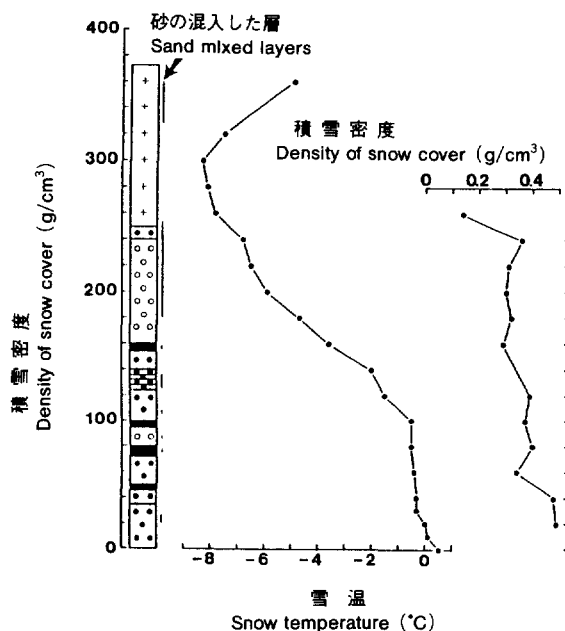


Fig. 58. 雪丘部における積雪断面
Snow profile at a snow dune (Feb. 19, 1987)
気温 Air temperature: -5.3°C
+: 新雪 New snow ●: ざらめ雪 Granular snow
○: しまり雪 Compact snow —: 氷 Ice

積雪密度は $0.35\text{g}/\text{cm}^3$ で、林内50m地点の $0.26\sim 0.27\text{g}/\text{cm}^3$ (積雪深: $98\sim 100\text{cm}$) より高く、雪丘部は単に積雪深が多いだけではなく密度も高い。このことについて、先の耕地防風林の例⁵⁴⁾では、林内の積雪密度 $0.144\sim 0.288\text{g}/\text{cm}^3$ に対し、雪丘部 $0.426\text{g}/\text{cm}^3$ と報告されている (補足: 同耕地防風林における1988年3月23日の調査では、林内 $0.14\sim 0.22\text{g}/\text{cm}^3$, 雪丘部 $0.31\sim 0.36\text{g}/\text{cm}^3$ であった)。

林縁部における着雪現象は、林縁木と林内防風柵に観察された (Photo. 13, 14参照)。林内防風柵の

場合は、柵に沿って雪庇状に着雪が発達し、布団を掛けたような雪の層が生じた。この現象は、防風柵の高さが雪丘と同程度かそれ以下の場合に顕著であった。そのため、前節(5.2)で述べたようなF-11から内陸側の、林縁防風柵より高い林内防風柵では破損がほとんど生じなかったと考えられる。逆に、林縁防風柵より低い林内防風柵の、雪丘の中に入った部分では、積雪の沈降圧がかかったために破損程度が著しかったと考えられる。なお、地吹雪に起因すると考えられる樹木への着雪は、とくに防風柵より低い位置に観察された。

雪丘断面に砂層が観察されたように、伐開地林縁部には、雪と同様に砂の集中も生じた。Fig. 59は、林縁防風柵に直角に林内側へ延長した測線上の冬期間の堆砂量を示したものである。1986年12月2日に設置した採砂容器に、融雪後堆積していた砂の量で示してある。採砂容器は、1測線あたり5～10か所に設置した。雪丘が形成された部分では、融雪が遅れ、採砂容器の回収も遅くなった。最初の回収は、1987年4月10日に行ったが、遅い箇所では5月19日になった。

第1砂丘と林内防風柵F-1の間の測線や、F-1とF-2の間の測線においても、伐開地から離れるほど堆砂量は減少しており、伐開地を経路とする砂の移動が示されている。F-1前後の測線を除いて、堆砂の大部分は林縁柵から土塁の前後にみられ、少ない測線でも堆砂量は厚さにして1cmはあった。林内へ10m以上入ると、堆砂量は大幅に減少して1mmにも満たない。なお、風下林縁(樽川側)においても、海岸からの距離がF-5～F-6に相当する位置に採砂容器を設置したが、土塁の前後においても、堆砂量は風上林縁(花畔側)の林内10m以上入った地点より少なかった。

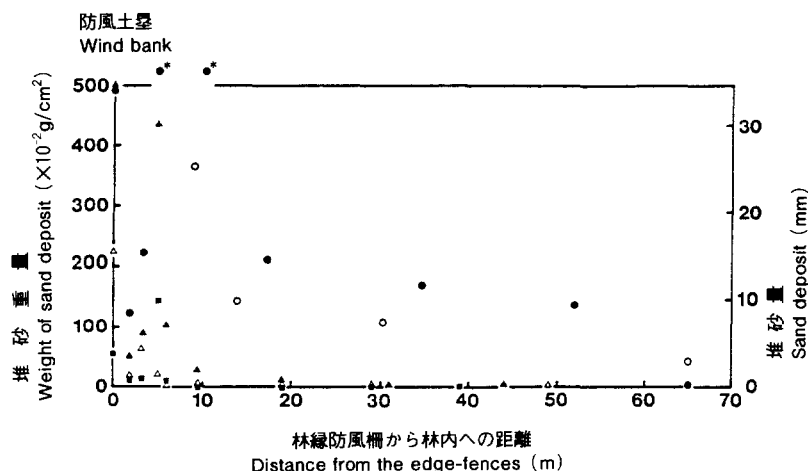


Fig. 59. 積雪期間中における林縁防風柵内の堆砂量
 Sand deposit inside the edge-fence during snow cover season
 採砂容器の設置 Placement: Dec. 2, 1986
 回収 Collection: Apr. 10~May 19, 1987
 ○: Dune-1~F-1 ▲: F-5~F-6 ■: F-14~F-15
 ●: F-1~F-2 △: F-9~F-10
 *: 堆砂厚が採砂容器の容量を超えた場合
 beyond the height of the sand sampling container

Fig. 60は、海岸からの距離と Fig. 59で示した各測線での最高堆砂量の関係を示したものである。また、Fig. 60には、風上林縁において林縁防風柵の伐開地側（1987年4月7日、Photo. 15参照）と林内側（1987年4月10日）の残雪上の砂の厚さを合わせて示してある。林内側については、林内防風柵の海側と陸側それぞれ1mの地点で測定した。先の採砂容器による測定では、設置箇所が必ずしも最大堆砂箇所であるとは限らないが、残雪上の測定では、堆砂量の多い箇所を選んだ。ただし、測定時に残雪上の砂は水分を含んでおり、真の堆砂量より厚めに測定されている。堆砂量は、内陸ほど少なくなる傾向がみられる。これには、砂の供給源である海岸から離れることと、内陸側ほど伐開地の風上（樽川側）に残された林帯の風下の区域に入ることが考えられる。

なお、融雪過程における砂層の集積が10～20cmに達した林内防風柵F-3の海側では、6月下旬（1987年）においても砂層の下に15cmほどの積雪層が観察された（Photo. 16参照）（補足：1988年の融雪時には残雪上の砂の厚さは60cmを超えた）。

以上のように、伐開による影響として、伐開前、前線部を除いて林帯内にはほぼ一様に堆積していた雪が、伐開後、前線部と同様に林縁部に風送され集中したことをあげることができる（Fig. 61）。また、海岸からの砂が伐開地を経路として風送される現象が生じ、雪と同様林縁部に集中した。なお、内陸風が卓越する夏期には、伐開地側から海岸へ砂が風送され、海食崖の海側へ新たな堆砂区域を生じる現象も観察された。

5.3.2 伐開地林縁における着葉塩分量

伐開によって生じた林縁の樹木が海風にさらされる度合を着葉塩分量を指標として把握するために、林縁木の着葉塩分量を測定した。葉の採取は、林内防風柵F-1～F-15までの各林内防風柵間において風当りの強いと推定されるカシワから実施した（1987年1月29日、2月9日）。参考のため、Line-Aのsp150においても同じ日に採取した。Fig. 62は、その結果を示したものである。両測定結果とも、海側ほど着葉塩分量が多いということではなく、むしろ後方ほど多く、F-9以降（内陸側）でその傾向は強まっている。この結果は、先に示した（4.2.3）伐開のされていないLine-Aにおいて、海岸から離れるほど梢頭部の着葉塩分量が減少したと対照的である（Fig. 63）。この違いは、風送塩分が、林帯があれば各梢頭部に補足され距離とともに減少するのに対し、伐開地ではあまり減少することもなく直接林縁部の梢頭に達することを示している。

なお、1987年1月29日の着葉塩分量が2月9日と比較して低くなっているのは、1月23日の降雨（石狩の降水量：5mm）の影響と考えられる。また、Line-Aのsp150における参考値、 $54.5 \times 10^{-2} \text{mg/cm}^2$ （1月23日）、 $73.6 \times 10^{-2} \text{mg/cm}^2$ （2月9日）と比較して各地点の割合が低くなっているのは、海岸からの距離や防風柵の影響のほか、伐開地沖合いに防波堤が延長されたために、参考用の葉を採取したLine-Aの海上と波の立ち方が異なり、その結果、海塩粒子の発生量に差が生じたためと考えられる。

5.3.3 伐開地林縁における風速と風送塩分量

伐開地林縁において、風速と風送塩分量を測定した。Table 18は、伐開地林縁における風速、風送塩分量を測定したときの、海食崖上の基準点（地上1.5m）における風の概要である。基準点における60分間平均風速は、10.4～12.8m/sであった。対象とした測定時間の風速について、10分間平均風速で

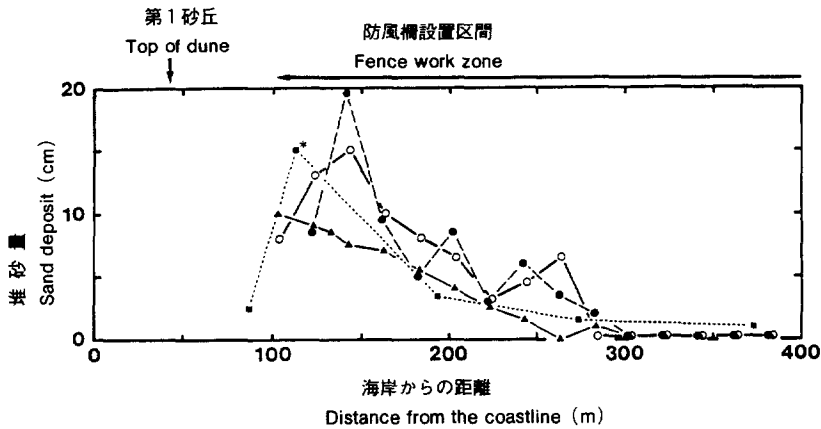


Fig. 60. 林縁防風柵沿いの堆砂量
Sand deposit along the edge-fence

- : 林内防風柵の1 m 海側 (1987年4月10日)
on the snow layer 1 m in front of the inner-fence on Apr. 10, 1987
- : 林内防風柵の1 m 陸側 (1987年4月10日)
on the snow layer 1 m in back of the inner-fence on Apr. 10, 1987
- ▲ : 林縁防風柵の1.3m 伐開地側 (1987年4月7日)
on the snow layer 1.3 m outside the edge-fence on Apr. 7, 1987
- : 林縁防風柵の林内側に設置した採砂容器内 (1987年融雪後)
in the sand sampling container inside the edge-fence after the thaw in 1987
- * : 採砂容器の容量を超えた場合には、草の上の砂の厚さを測定した
Height of sand deposit measured on the grass when the height of sand deposit was more than the height of the container

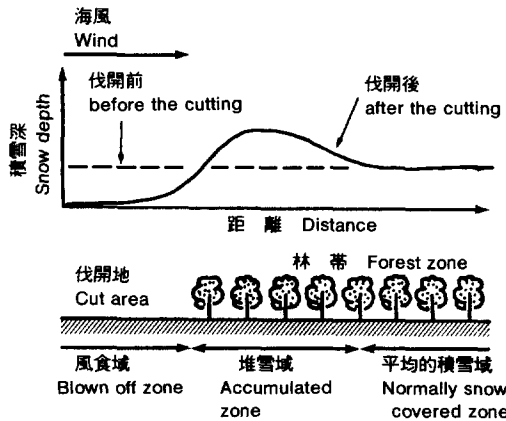


Fig. 61. 林帯伐開による風食域と堆雪域の出現 (模式図)

Appearance of blown off zone and accumulated zone of snow cover due to the clear cutting

は、1.5～2.5m/s、5分間平均風速では、1.7～2.9m/sの変動がみられた。1月17日測定のものだけが、林縁防風柵に対して林帯側から吹いた海風である。その他の例は、伐開地側から吹いた海風であ

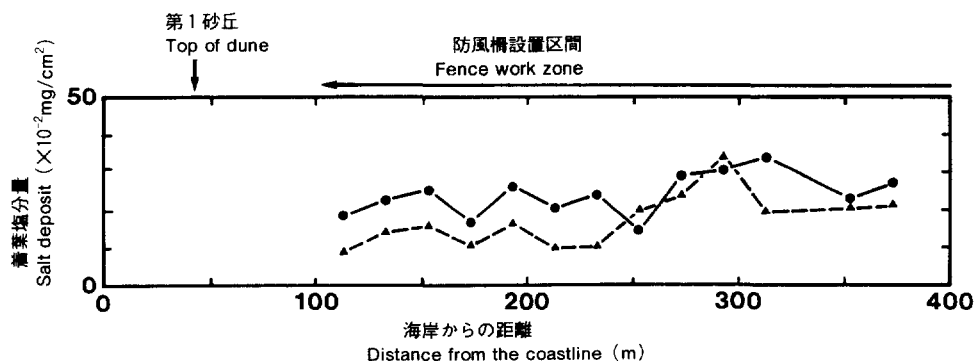


Fig. 62. 伐開地林縁沿いの着葉塩分量

Salt deposit on the canopy-top leaves along the edge of the cut area

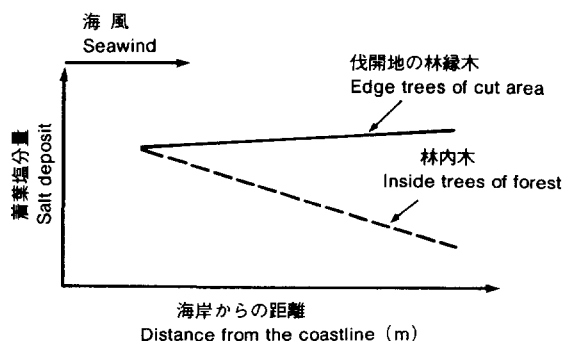
▲ : Jan. 29, 1987 (sp 150 on Line-A : $54.5 \times 10^{-2} \text{ mg/cm}^2$)● : Feb. 9, 1987 (sp 150 on Line-A : $73.6 \times 10^{-2} \text{ mg/cm}^2$)

Fig. 63. 梢頭部着葉塩分量の比較 (模式図)

Comparison of salt deposit on the leaves of canopy top (Model)

る。

Fig. 64は、各地点の風速を基準点に対する相対値で示したものである。ただし、1985年2月4日の測定の際には、新港建設工事との関係で海食崖上には測器が設置できなかったため、各測点における相対値は、第1砂丘における相対値を3月18日、11月5日の2回の測定における相対値の平均(90%)とし、換算して求めた。防風柵設置区間の風速は、柵上0.5mで測定した。

1月17日測定 of 海風は、林帯上を吹走後、林縁防風柵に達している。その点では、伐開前の環境に近いものが測定されていると考えられる。ただし、このとき、防風柵F-11の林内側の端における風速比は12%であり、林縁防風柵における風速比28%の半分以下である。これは、伐開地側ほど林帯が疎になることと、林縁防風柵の風下に林帯がないことから、林縁ほど風の吹き抜けがよくなっているためと考えられる。従って、実際に伐開前に同じ箇所測定していれば、1月17日の伐開地林縁における測定値より小さな値が得られたと考えられる。

Table 18. 測定時の風環境の概要

Condition of the measurements.

測定日 Date	風 向 Wind direction	平均風速(測定時間) Average of wind speed (time) m/s (min.)	風速の範囲 Range of wind speed			
			(10分間平均) (Ave. in 10 min.)		(5分間平均) (Ave. in 5 min.)	
			Min. (m/s)	Max. (m/s)	Min. (m/s)	Max. (m/s)
1985. 1.17	N~NNE	12.8 (60)	11.6~13.8		11.4~14.3	
2. 4*	WSW~NW	11.6 (60)	10.5~13.0		10.3~13.2	
3.18	NW	12.6 (60)	11.8~13.3		11.6~13.3	
11. 5	WNW~NW	10.4 (60)	9.5~11.8		9.3~11.8	

海岸基準点地上1.5 m 1.5 m above the ground at the base point of coastline

*: 第1砂丘上1.5 m 1.5 m above the ground at Dune-1

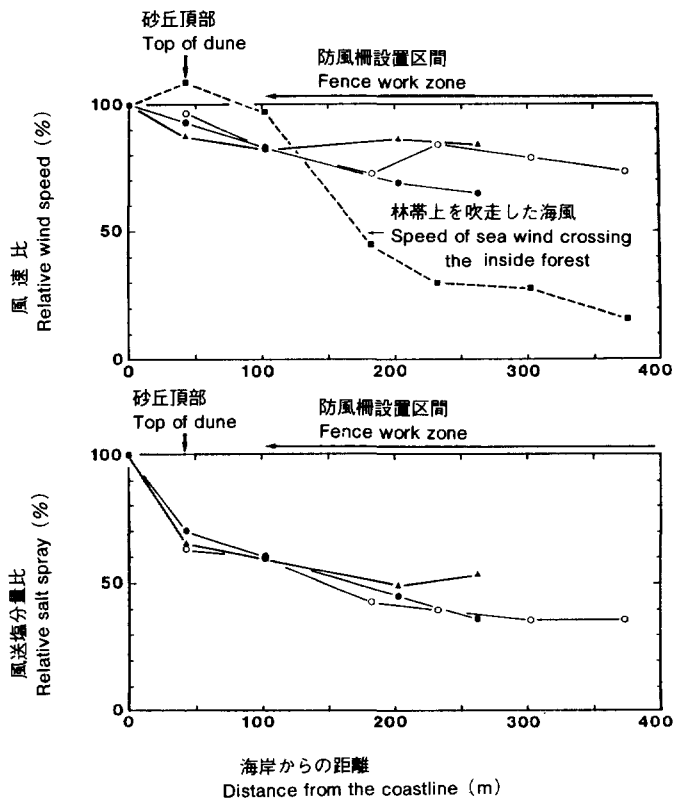


Fig. 64. 伐開地林縁における海風の風速と風送塩分量

Distribution of sea wind speed and salt spray along the edge-fence

■ : Jan. 17, 1985 ○ : Feb. 4, 1985
 ● : May. 18, 1985 ▲ : Nov. 5, 1985

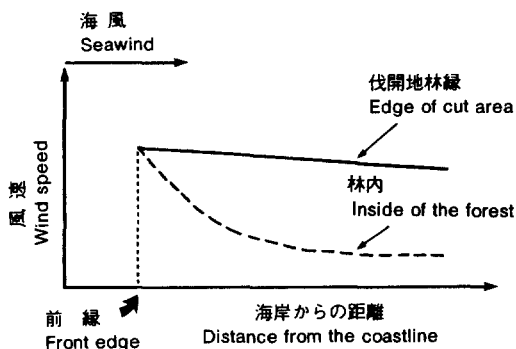


Fig. 65. 伐開地林縁における風速（地上3.5m，模式図）
Comparison of wind speed 3.5m above the ground between the
edge of the cut area and the inside of the forest (Model).

林帯側から吹いた1月17日の例に比べて、伐開地側から吹いた他の3例は林縁部分の風速比が高い。第1砂丘上（地上1.5m）では基準点の90%程度に減少し、さらに林縁防風柵の最も海側では80%前後にまで減少したが、それ以降の内陸側では必ずしも減少しておらず、海岸基準点の65～85%の風速が測定された。

以上のことから、地上3.5m（柵上0.5m）の風速について、伐開の影響を模式的に示せばFig. 65のようになる。すなわち、伐開前は、林帯上を吹走した風を測定することと、内陸ほど測定位置が相対的に樹高より低くなることから、前縁から内陸へかけての風速は内陸ほど低下する。それに比較して伐開後は、海風が直接当たるために前縁からの距離による風速の差はほとんどなくなる。

風送塩分量の場合も、1985年2月4日の測定については、風速と同様、第1砂丘における相対値を3月18日、11月5日の2回の測定における相対値の平均（67.5%）とし、各測点における相対値は換算して求めた。風送塩分量は、風速よりも低下率が高く、第1砂丘上で海岸基準点の65～70%に減少した。その後も漸減傾向がみられるが、第1砂丘後方300mでも40%程度の値となっている。

先にFig. 45, Fig. 47で砂丘背後の風速、風送塩分量に関して、林帯がない場合の地上1.5mと林帯がある場合の梢頭部について示したが、Table 19は、このときの測定値に基づいて風速、風送塩分量によって伐開後の林縁の海風環境を前縁と比較したものである。このTable 19では、前縁として第1砂丘の背後から第2砂丘までを対象とした。同一測線でも同時測定でもないため厳密ではないが、各基準点を100とする相対値で示すと、風速の前縁値が39～61、伐開部林縁値が65～86、風送塩分量の前縁値が11～20、伐開部林縁値が36～53となり、伐開後の林縁梢頭部は、前縁木以上に海風にさらされることを示している。

6 林帯の保全

6.1 林帯の評価

本節では、林帯の保全を論じるにあたり、樹木の集まりとして林帯を評価することを試みる。それ

Table 19. 前縁部と伐開地林縁の海風環境の比較

Comparison of seawind environment between front edges and the edge of the cut area.

測定日 Date	海岸基準点 Base point at the coastline 地上1.5 m 1.5 m above the ground	前 縁 Front edge		伐 開 地 林 縁 The edge of the cut area			
		地上1.5 m 1.5 m above the ground	梢頭部 Canopy top	防風柵上0.5 m (地上3.5 m) 0.5 m above the fence (3.5 m above the ground)			
				F- 6		F- 9	
				林縁 Edge	林内 20 m 20 m inside the forest	林縁 Edge	林内 20 m 20 m inside the forest
風 速 Wind speed	(m/s) (%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
1984. 9.26	7.4 100	39~61					
1984. 9.27	15.2 100	42~59					
1984.10. 4	9.4 100	46~56					
1985. 3.18	12.6 100			69	50	65	28
1985.11. 5	10.4 100			86	31	84	10
1986.11.14	19.2 100		39~45				
風送塩量 Salt spray	(g/m ² hr) (%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
1984.10. 4	1.8 ~2.1 100	11~18					
1985. 3.18	0.54 100			45	25	36	11
1985.11. 5	0.51 100			49	13	53	7
1986.11.14	3.42 100		13~20				

は、前章までに述べた海岸林の実態や伐開後の林縁部に生じた現象が、次のことを示唆するからである。すなわち、個々の樹木の生育が可能なのは樹木が集団として存在しているからである。

例えば、梢頭部の着葉塩分量が内陸ほど減少するという傾向に対応させて主軸の交替を比較すれば、前縁部では毎年交替が生じているのに対し、内陸に入ればその頻度が低下していた。すなわち、成長阻害をうけ樹高成長が制限されている梢頭部においても、後方ほど樹木が海風にさらされる度合が緩和されていることが推定された。

また、林帯の存在している場の海風環境について、風速と風送塩分量を指標に林帯を取り除いた状態で比較すると、第1砂丘の背後の林帯前縁部相当位置とその後方内陸側とは同程度の海風にさらされていた。そして、それらと比較して伐開地林縁に設けられた防風柵上(地上3.5 m)が海風にさらされる度合は厳しいと考えられた。さらに、着葉塩分量を指標とすれば、伐開地の風上林縁の梢頭部が海風にさらされる度合は、内陸側においても緩和されていなかった。

以上のことから、林帯前線と内陸側を比較した場合、梢頭部が海風にさらされる度合の差は、海岸からの距離よりもその間に存在する樹木の集まりによってもたらされていると考えられる。これまで防風効果は、主に個別の防風林や少数の防風柵が対象とされ、それらの集合が全体として風に対する地表面粗度を高めていることはあまり評価されなかった⁵⁾が、後方ほど樹高が高いにもかかわらず、後方の梢頭部ほど海風にさらされる度合が緩和されていることから、樹木が連続した場合の防風効果は、樹木の背後に陰をつくることによる遮蔽物・障害物としての働きよりも、林帯が地表面粗度（粗度定数⁷⁷⁾・粗度長¹⁰⁴⁾・aerodynamic roughness⁵¹⁾）を増加させる働きとしてとらえられる。

数値としての地表面粗度は、地表状態に適合した大気の流れから求めるために、十分に広い均質で水平な地表を必要とする。このことは逆に、海上あるいは草地からより地表面粗度の高い林帯へと大気が移動するとき、大気の流れは新しい地表状態に適合するまでに吹走距離（前縁からの距離）を要する⁷⁷⁾ことを意味する。すなわち、吹走距離によって海風が林帯の地表面粗度に適合した程度が異なるために、前述のような梢頭部の海風にさらされる度合の差が生じていると考えられる。なお、この地表状態の風に対する抵抗性を表現する特性値は、均質とみなし得る地表に関して有効なもので、林帯については必ずしもあてはまらない⁵¹⁾と言われているが、林帯を風の流に摩擦抵抗の影響を与える面的な広がりとしてとらえることによって、林帯の場合にも有効な概念と考えられる。

一方、海岸林の伐開は裸地を出現させ、そこは風食の場となった（Fig. 66）。そして、新たに生じた林縁は、風送塩分の他に砂、雪などの風送物が集中（堆積、付着）する場となり、林縁木には着葉量の減少の他に幹折れや枝折れが生じた。すなわち、樹木の集りが風食を防止することによって、個々の樹木の生育が可能な場を作り出していると考えられる。

以上是个々の樹木の生育に関する林帯の評価であるが、林帯に被覆された場の風食が防止される点で、同じ樹木の集まりは、生活・生産空間に対する防災林として評価される。すなわち、林帯は、移動

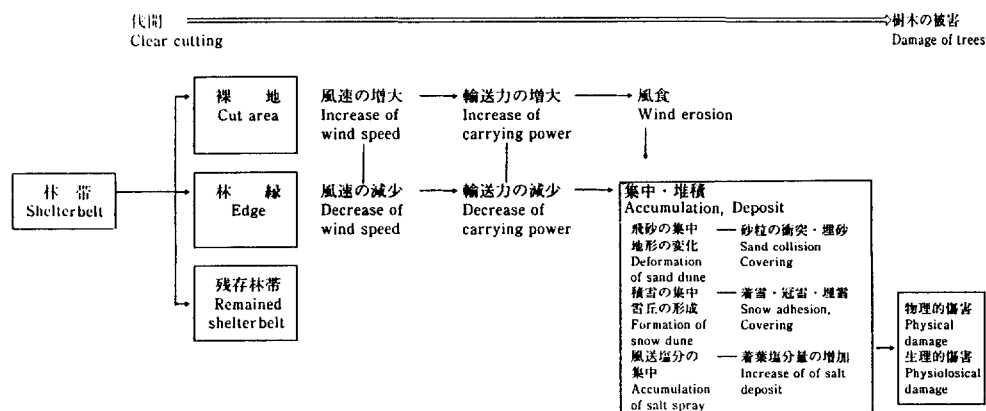


Fig. 66. 海岸林伐開が樹木に与える影響
Damage of trees caused by clear cutting of seacoast shelterbelt

してきた雪・砂を捕捉することよりも、林帯で被覆された土地が保全対象に対して積雪・飛砂の供給源とならないことによって評価される。

海岸林の保全対象は、耕地防風林と比較して述べる。耕地防風林で評価されている林帯の防風機能は、林帯後方に減風域をつくる機能としてとらえられており、第一義的な保全対象は耕地そのものである。しかしながら、耕地は生産空間であると同時に、そのままでは近接する空間にとって飛土あるいは地吹雪の材料を供給する点で荒廃地にはかならない。これに対して、防風林に区画された耕地は安定した空間になり得る。そして、耕地を区画するように配置されている防風林の集合は、耕地だけではなくその周辺地域の荒廃化を防ぐ空間を作り出していると評価することができる。同様に、海岸林の保全対象は、林帯が除かれた場合に風食される砂や雪が風送されて堆積する区域である。

以上のように、林帯の存在する場に砂や雪を固定することによる、風下の保全対象までを含めた広い範囲の荒廃化の防止を、基本的な海岸林の機能として評価できる。逆に、極端に言えば、海岸までの砂地に諸施設が立ち並び、砂地が被覆されて飛砂が発生せず、積雪期間中も地吹雪が発生しないようになった場合、上述の意味に限定すれば海岸林の価値は代替されたことになる。

6.2 林帯維持と更新

本節では林帯の保全を論じるにあたり林帯の維持と更新について整理する。海岸林の樹木は、劣悪な海風環境のために、単に伸長するだけでなく部分的な枯損を生じながら生存している。従って、海岸林の維持を考える際、樹木の部分的な枯損が避けられないとするならば、樹木の側面からは枯損からの回復、人為的には復元、あるいは、双方に共通する更新という概念が不可欠になる。

6.2.1 更新の意味

海岸林で扱う更新の概念は、一般の用材林の場合と少し異なる。一般に、更新は伐期に達した林を切ってその跡継ぎを仕立てること、すなわち林の代がわりとされるが⁷²⁾⁹⁹⁾、海岸林には伐期に達しているという概念があてはまらないからである。なぜなら、伐期とは一般に、「林木が生産目的を完全に満しうる状態に達した時期」²⁶⁾をいうが、海岸林の林木にとって木材の生産は第1の目的ではないからである。海岸林の目的は、防災・環境保全である。従って、海岸林における更新技術の概念は、海岸にあって林帯が発揮している防災・環境保全的機能を維持し続けることを目的としたものとなる⁹⁾⁷⁵⁾⁸⁵⁾。すなわち、海岸林における更新の目的は林帯を維持すること、換言すれば、更新させる対象物は林帯（森林空間）そのもの、より具体的には連続した林冠である。これに対し、木材生産を目的とする場における更新の対象は、具体的には幹である。

また、跡継ぎの概念も用材林と海岸林では異なる。最近の林業・林学では、跡継ぎの存在としては稚樹の存在を意味し、更新とは稚樹の発生・導入を意味することが多い。しかしながら、海岸林の目的において林冠形成木と稚樹では差がありすぎる。海岸林の場合、後継樹としては5～10年以内に林冠木となれる程度に成長している樹木を求めるべきである。稚樹の存在はそれ以前の問題である。この考え方は、天然林施業における森林を維持するための後継樹の考え方⁶⁹⁾に共通するものである。両者の違いは、木材の収穫を目的とするかどうかにある。すなわち、上層林冠木が人為的に取り除かれるか、自然環境によって枯損するかの違いによるのである。

以上のように、海岸林における更新とは林帯を維持し続けることであり、更新技術とは林帯を維持するための行為の体系と位置付けられる。従って、更新の対象期間も林冠の消失から林冠形成までとなる。

6.2.2 更新の実態

① 前生林への基本林樹種導入

北海道の海岸林の更新問題については、これまでも造成された海岸林を対象として報告されている。その中で更新の必要性としては、樹木に寿命があること、クロマツが郷土樹種ではないことや単一樹種一斉林であることからの不安があげられている⁷⁵⁾⁸⁵⁾⁸⁸⁾。そこで更新の方向は、新たな樹種の導入による複樹種化が考えられ、導入樹種としては周辺の天然生林構成樹種や道内の天然生海岸林構成樹種が考えられている⁷⁵⁾⁸⁵⁾⁸⁸⁾。具体的な方法としては、造成林帯を列状に伐採し、そのあとに植栽や播種による更新樹の導入が実施されている⁶⁷⁾⁷⁵⁾⁸⁵⁾¹⁰⁶⁾。すなわち、従来扱われてきた海岸林造成地での更新の概念は、前生林への基本林樹種導入としてとらえ直すことができ、造成林帯を天然生海岸林の林形へ近づけるための一つの段階として位置付けることができる。換言すれば、当初の植栽木による成林はかならずしも海岸林造成の最終目標とならず、海岸林造成において、更新は一連の造成過程の中に含めて考える方が妥当である。

② 樹冠の回復・林冠の維持

石狩海岸林の前線部では、梢頭部は毎年のように枯死し、萌芽枝の発生や枝の主軸化によって樹冠が維持されている。枯死部分が数年分の成長に相当する場合においても同様の現象が生じ、多くの場合、数年後には樹冠が回復している。用材林の取扱いでは、梢頭部における萌芽枝の発生は更新として扱われていないが、先述のように海岸林の場合、更新を林冠の維持と考えると、梢頭部の枯死と成長の回復も更新の概念に含まれる。

一方、枯死部分が地上部全体に及ぶとき、根株からの萌芽枝の発生によって地上部の存続がなされている。これはいわゆる萌芽更新と言われるものである。しかし、根株から発生した萌芽枝が林冠を形成するまでには時間を要するため、林冠を維持するには、先述のようにある程度成長した後継樹を必要とする。その点からみると、海岸林造成の目標となる天然生海岸林において、必ずしも林冠維持の体制ができていないわけではない。それは、林冠の多くが単層であるからである。

Fig. 67では、3.2で述べた、石狩海岸林のカシワの樹幹解析木を採取した各プロットについて、縦軸に樹高を、横軸にその樹高以下の樹木本数割合を示した。株立ちをしている幹については、優勢な幹で代表させた。ただし、plot 12については、その他の株立ち幹を含めた場合も示した。plot 1～plot 8の樹高範囲は狭く、林冠は単層となっている。樹冠の様子から個々の立木を林冠を形成する優勢な樹冠をもったもの（林冠形成木）、樹冠は必ずしも優勢ではないが林冠に達しているもの（準林冠形成木）、その他に区分すると、林冠形成木を持つ株の割合が50%を超えており、準林冠形成木を持つものまで含めると75%を超える。

plot 12の場合は、他のプロットと比べると複層林的な林相を示しているが、林冠形成株の占める割合は42%、準林冠形成株を含めると64%になり、次代の林冠木となるべき中下層木の占める割合が少な

い。このことは、同根株からの優勢幹以外を含めた場合にも大差はなく、林冠形成幹は37%、準林冠形成幹を含めると61%となる。すなわち、同一の根株から数本の幹がみられる場合、おのおのが林冠形成幹あるいは準林冠形成幹となり、中下層を形成する幹はほとんどない。換言すれば、同一根株からの幹によって、林冠を更新させる構造にはなっていない。

以上のように、石狩海岸林では、林冠層の控えとなる後継樹は用意されておらず、地上部全体が失われた場合、林冠の回復には根株からの新たな萌芽を待たなければならない状態にある。ここに天然生海岸林においても、単に今ある林帯を保護するだけではなく、林帯保全のための一技術として更新技術の重要性を認めることができる。

6.3 技術的可能性

前節で天然生海岸林においても更新技術が重要なことを述べたが、通常は天然生海岸林に積極的に手を加える必要性は認められない。しかし、海岸林が開発の場となった場合にその必要性が端的に現れる。開発行為に伴う海岸林伐採の際、残された林帯を存続させる

ためには、従来、土木的な林縁保護の手段で対応してきた。しかし、これまで述べてきたように、防風柵で保護された場合であっても、林縁木は、積雪の集中や柵上の海風の当たり方の点で、海岸林前縁に相当する厳しい環境にさらされる。これは、防風柵の効果範囲に、規模に応じた限界があるからである。そこで、林縁木を保護するだけではなく、積極的に新たな林帯を作り出す意識が必要となる。すなわち、林帯を伐開する場合の新たな林縁部保全の基本は、林縁となる箇所を、あらかじめ更新させ新たな環境に応じた前縁林帯に変えることである。ここでいう前縁林帯とは、独立した林帯ではなく、一般の森林の林套・林衣に相当する、林帯全体のうちのある幅をもった風上側林縁部をさしている。

そして、開発手順は、更新時の生育環境の悪化を回避するために重要である。開発手順の基本は、伐開後の裸地が目的の利用空間に変わるまでの間、荒廃地とならないようにすることである。荒廃地の出現が避けられない場合は、荒廃地を分断し、ひとまとまりの荒廃地を狭くすることを考える。つまり、残存林帯の保全は、林縁予定部分だけではなく、伐開予定地も含めて考えなければならない。

なお、ある程度林帯が形成されていれば、海岸林の更新を考える際、稚樹の発生・初期成長段階に関しては一般の林地と大差はなく、海風環境よりも、地表条件や陽光条件が問題となる¹¹⁾⁸⁸⁾ことは実例が示している。例えば、砂坂海岸林では、ある程度林帯が形成された段階で造成木からの種子散布や鳥獣などの持ち込みに起因する稚樹が発生するようになった¹⁷⁾⁷⁵⁾⁹⁰⁾。また、クロマツ林内に植栽された

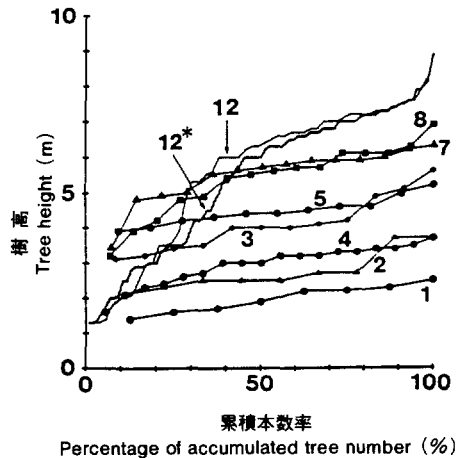


Fig. 67. 樹高累積曲線

Tree height accumulation curve

数字は調査プロットを示す (3.2, Fig. 20参照)

Numerals indicate survey plots (ref. Fig. 20)

測定対象は樹高1.3m以上

Trees above 1.3m in height were measured

株立している場合は胸高直径最大のもので代表させた

Dominant trunks represented other trunks

from the same stumps

*: すべての株立幹を含めた場合

containing all trunks

トドマツは、良好な成長を示している⁸⁵⁾⁸⁸⁾。石狩海岸林においても、小動物による食害を回避すれば、カシワの落下ドングリ、あるいは播種により稚樹が発生することは、現地観察、現地試験より確認されている¹¹⁾⁷⁵⁾。

以上のことから海岸林の開発手順をモデル的に示すと以下のようになる (Fig. 68)。伐開予定地のう

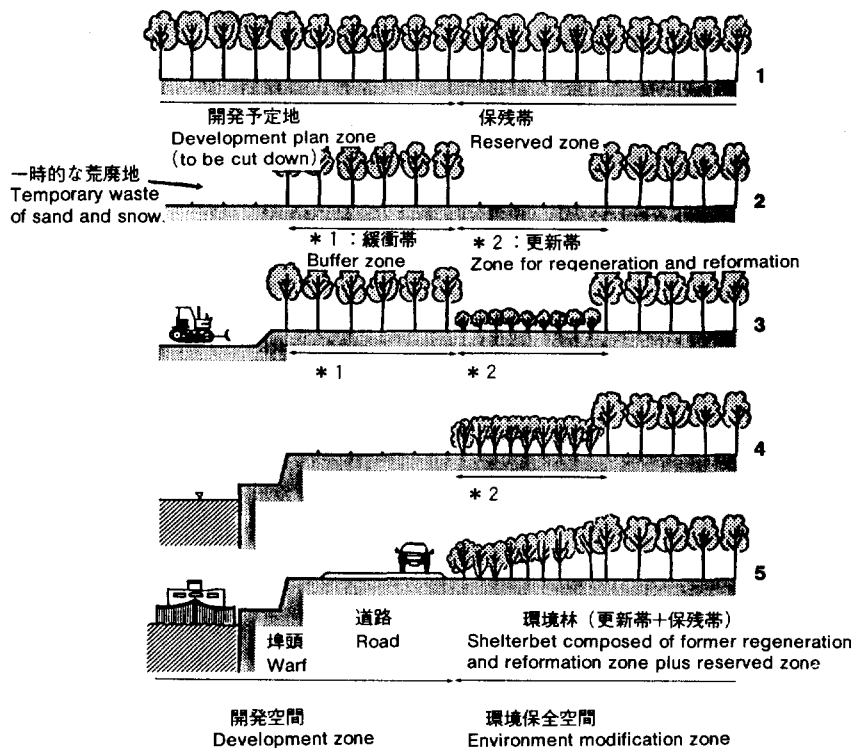


Fig. 68. 海岸林開発の手順 (港湾開発の例)

Procedure of developing shelterbelt for new purpose

- 1 : 林帯の区分 (開発予定地と保残帯)
Dividing the shelterbelt into development plan zone and reserved zone
- 2 : 保残帯の前線部を前縁林形に変えるために更新帯として伐採する
開発予定地の保残帯側を一時的な荒廃地からの緩衝帯として残し、
その残りを伐採する
Clearing the front of reserved zone to regenerate for reformation and
clearing the development zone with remaining buffer zone for protecting
the zone for regeneration and reformation behind it from temporary waste
- 3 : 開発工事, 更新作業を進める
Progressing the construction work and reformation
- 4 : 前縁林帯が完成した段階で, 緩衝帯の開発を始める
Developing the buffer zone after the completion of the reformation
- 5 : 開発の完了と環境保全空間の設定
Completion of the development and the environment modification zone

ち残す林帯に接する部分に、一定幅の林帯を緩衝林帯として確保する。開発予定地を伐採し、目的とする生産空間の造成を進める。同時に、開発終了後の前縁林帯予定域（更新帯と呼ぶ）では、前縁林形へ更新させる。元の樹種が、カシワなどの萌芽性に富み前線に多く出現するものであれば、萌芽更新を図る。前生樹種が前線には存在しない内陸性のものであれば、カシワなど海岸林適性樹種を植栽・播種することによって更新させる。あるいは、萌芽性に富む樹種を使い、埋枝によってブッシュ状に仕立てる。前縁木に必要な特性は、上部が枯れても全体が枯死することなく主軸を交替させながら生存し続けることである。前縁林帯が完成した時点で、緩衝林帯の伐採準備完了とする。緩衝林帯は、伐採準備完了後、開発予定地の伐開跡地が整備され荒地でなくなった時点で伐採、開発する。なお、目的とする利用空間が新たな林縁に厳しい環境をもたらすものでなければ、前縁林帯を新たに作る必要はなく、緩衝林帯を設けた２段階の伐採で十分であろう。

すなわち、伐開手順は、残す予定の樹木あるいは林帯に対する開発過程における環境悪化を最小限にするものであることが望まれる。とくに、樹木が保護を必要とする造成初期・更新初期と、開発過程における環境悪化の期間を一致させないことが重要である。その意味では、石狩湾新港関連の開発において、海岸林の伐開に先駆けて一連の遮断緑地の造成に着手したことは高く評価される。また、沖合い防波堤の設置などが風送塩分量を減少させる場合には、伐採前に整備されることが望まれる。

以上のような林帯保全の考え方は、海岸林の開発に限らず、開発後、林帯を必要とする多くの開発行為にあてはまるものと考えられる。

結 言

これまで述べてきたように、森林の開発行為は、潜在化していた環境を顕在化させることでもあるので、開発計画・設計には、単に緑地・林地のスペースを確保するだけではなく、開発によってもたらされる環境変化に応じて、開発に先立って残される森林を保全する概念が不可欠である。このことは、環境変化の程度が少ない一般の森林地帯における道路建設などの場合は明瞭でないにしても、海岸など環境条件が樹木にとって厳しい場では無視できない。開発の結果、荒地が生じ、防災林の造成という形で森林の復元が必要とならないためにも、今後の各種の国土開発にとって、既存の林帯、あるいは残される林帯を、開発・利用しない空間としてではなく、環境保全のための緩衝空間として、開発計画の空間設計の中に積極的に位置付けることによって森林の保全を計ることが重要と思われる。

引 用 文 献

- 1) 新井秀雄・今井篤雄：飛砂防止林の機能調査—山陰本線・湖山～末恒間にて—，鉄道技研所速報，No.72-220，70pp.，(1972)
- 2) 新井利三郎：海岸段丘風衝地帯の防災林造成地におけるトドマツの植栽成績，治山と保全，5，21～26，(1966)
- 3) 浅井達弘・新村義昭・薄井五郎：北海道北部の天然生カシワ・ミズナラ海岸林の冬芽枯死の原因，日林誌，68，368～374，(1986)

- 4) BOYCE G.S.: The salt spray community, *Ecological Monographs*, **24** (1), 29-67, (1954)
- 5) CABORN J.M.: Landscape roughness and shelter. Great plains agricultural council publication No.117, 111-112, (1986)
- 6) 遠藤泰造: サロマ湖海岸林の保全と修復, 北海道の林木育種, **19** (1), 26-30, (1976)
- 7) FRITTS H.C.: Tree rings and climate, Academic Press, 567pp., (1976)
- 8) 藤原晃一郎・梅島嗣郎: 海岸段丘上における潮風の塩分分布について, 北大農演報, **21** (2), 453-464, (1962)
- 9) 原 勝: 砂丘造林ニ関スル研究, 鳥取高等農業学校学術報告, **1** (3), 99-274, (1932)
- 10) HARRINGTON, T.C.: Growth decline of wind-exposed red spruce and balsam fir in the White Mountains, *Can.J.For.Res.*, **16**, 232-238, (1986)
- 11) 長谷川 榮: 北海道における天然生海岸林の保全に関する基礎的研究, 一石狩海岸におけるカシワ林の構造と更新一, 北大農演報, **41** (2), 313-422, (1984)
- 12) 東 三郎: 北海道における防災林の造成と問題点, 北海道林業の諸問題, 三島教授退職記念行事会編, 日本林業調査会, 250-264, (1968)
- 13) 東 三郎: 海岸砂丘の火山灰層と林帯造成について, 日林北支講, **17**, 105-109, (1968)
- 14) 東 三郎: 環境林を作る, 北方林業叢書, **55**, 205pp., (1975)
- 15) 東 三郎: 地表変動論, 北大図書刊行会, 280pp., (1979)
- 16) 平野政治・塚本喜一: 留萌沿岸における冬季の塩分分布について, 昭和47年度林業研究発表大会論文集, 125-128, (1974)
- 17) 檜山営林署: 砂坂海岸林, 林野弘済会函館支部, 49pp., (1981)
- 18) 本間久吉: エリモ治山事業の経過とその効果について, 札幌営林局業務研究発表集録, 267-276, (1969)
- 19) 堀江保夫: 植物の耐塩水性 (2) —防潮林構成植物選定のための実験—, 林試研報, **186**, 113-133, (1966)
- 20) 猪原俊夫: エリモ治山事業レポート (第1報) 襟裳岬国有林とは, 第3回造林研究発表会講演集, 札幌営林局, 15-28, (1957)
- 21) 飯塚 肇: 防風林の幅 (厚み) に就いて, 林試研報, **56**, 1-218, (1952)
- 22) 飯塚 肇: 防風林の幅 (厚み) の算定に関する研究, 三重大農演報, **2**, 1-43, (1954)
- 23) 飯塚 肇: 海岸林の基準の厚みについて, 日林誌, **39**, 169-171, (1957)
- 24) 飯塚 肇・玉手三楽寿・高桑東作・佐藤 正: 雛形防風林試験報告 (1報) 防風林による海風中の塩分減少効果に関する研究, 林試研報, **45**, 1-16, (1950)
- 25) 井上 桂・高田岩次・鶴田武雄・信田順子: カラマツの育成におよぼす風の影響 (I), 林試北支年報1961, 97-110, (1962)
- 26) 井上由扶: 森林経理学, 地球社, 298pp., (1974)
- 27) 石川島播磨重工業技術本部技術研究所: 農林水産省林業試験場風洞装置の概要, 石川島播磨技報, **18** (5), 451-458, (1978)
- 28) 石崎健二・太田路一: 帯状伐採による林縁部の風, 北大農演報, **44** (2), 715-722, (1987)
- 29) 伊藤重右衛門: 防災林を考える, 治山と保全, **7**, 19-23, (1968)
- 30) 伊藤重右衛門: 北海道における海岸林造成に関する基礎的研究, 北海道林試研報, **23**, 1-108, (1985)
- 31) 伊藤重右衛門・今 純一: 犠牲林の造成に関する一, 二の考察, 日林北支講, **17**, 96-101, (1968)
- 32) 伊藤重右衛門・斎藤新一郎: 防災林に用いられる樹種について, 北海道林業技術研究論文集 (昭

- 和45年), 331~338, (1971)
- 33) 金内英司・中島勇吉: 庄内海岸砂丘地における海岸砂防工と海岸林 (I), 水利科学, 167, 15~64, (1986)
 - 34) 金内英司・中島勇吉: 庄内海岸砂丘地における海岸砂防工と海岸林 (II), 水利科学, 168, 38~63, (1986)
 - 35) 菅野高穂: 広葉樹林の施業に関する基礎的研究—主として北海道における広葉樹林の分析—, 北大農演報, 41 (1), 1~91, (1984)
 - 36) 檜山徳治: 海岸防災林, 林業技術, 308, 18~21, (1967)
 - 37) 勝見精一・遠藤泰造・工藤哲也・鈴木孝雄: 保護林帯の防風効果, 北方林業, 24 (4), 110~111, (1972)
 - 38) 北田健二: 酒田地域の海岸林における微気象調査, 日林東北支誌, 32, 146~149, (1980)
 - 39) 小池一之: 砂浜海岸線の変化について (予報), 地理評, 47 (11), 719~725, (1974)
 - 40) 幸喜善福: 海岸保全的見地からの沖縄の飛塩に関する研究, 琉球大農演報, 25, 429~554, (1978)
 - 41) 工藤哲也: オホーツク海常呂海岸における空中塩分量と流水との関係, 日林講, 86, 425~426, (1975)
 - 42) 工藤哲也・鈴木孝雄: 北海道における海岸林の枝枯の原因, 北方林業, 24 (9), (1972)
 - 43) 工藤哲也・鈴木孝雄・遠藤泰造: 海岸林の林冠上縁が描く曲線の形状について, 日林北支講, 21, 21~22, (1972)
 - 44) 工藤哲也・鈴木孝雄: 留萌海岸で観測した冬季の空中塩分量と波浪との関係, 日林北支講, 22, 184~186, (1973)
 - 45) 工藤哲也・鈴木孝雄・増田久夫: 汀線付近における塩分の垂直分布, 林試北支年報1972, 43~47, (1973)
 - 46) 工藤哲也・遠藤泰造・増田久夫・鈴木孝雄・吉武 孝: 環境緑化法—海岸緑化風致防災林造成技術の確立, 昭和51年度国有林野事業特別会計技術開発試験成績報告書, 林業試験場, 169~197, (1977)
 - 47) 熊谷才蔵: クロマツの葉の塩分捕捉量, 第65回日林講, 249~250, (1956)
 - 48) 倉重登美千世: 海岸防災林造成事業における一考察について, 第25回旭川営林支局業務研究発表集録 (昭和53年度), 9~13, (1979)
 - 49) 倉内一二: 塩風害と海岸林, 日生態会誌, 5 (3), 123~127, (1956)
 - 50) LEOPOLD, L.B.: Trees and stems: The efficiency of branching patterns, J.theor.Biol., 31, 339~354, (1970)
 - 51) LETTAU H.: Note on aerodynamic roughness-parameter estimation on the basis of roughness-element description, J. Appl. Met., 8, 828~832, (1969)
 - 52) LINDE, R.J. VAN DER.: Trees outside the forest, Forest influences, FAO Forestry and forest products studies, 15, 139~208, (1962)
 - 53) 増田久夫: 電卓を利用した気象調査用パルスレコーダー, 北海道の農業気象, 35, 23~25, (1983)
 - 54) 増田久夫・遠藤泰造・工藤哲也・吉武 孝: カラマツ防風林の雪害について, 88回日林論, 363~364, (1977)
 - 55) 増田久夫・工藤哲也・吉武 孝・高橋光治: 耕地等に対する防風保安林の造成法, 昭和55年度国有林野事業特別会計技術開発試験成績報告書, 林業試験場, 225~262, (1984)
 - 56) 松岡広雄: 防風林と収穫量—ソ連邦の場合—, 北方林業, 17 (4), 123~126, (1965)

- 57) 松下勝秀：石狩海岸平野における埋没地形と上部更新～完新統，第四紀研究，**18** (2)，67～78，(1979)
- 58) 三島 懋・石川政幸：天塩海岸防風林の周辺に於ける風速の垂直分布及空中塩分の測定，日林北支講，**1**，53～55，(1952)
- 59) 三島 懋・増田久夫・勝見精一・高島富雄：天塩海岸防風林の防風効果について，日林北支講，**1**，56～62，(1952)
- 60) 三島 懋・谷口三佐男・菱沼勇之助：萌芽薪炭林施業試験（第3報）萌芽について（2），日林北支講，**7**，39～41，(1958)
- 61) 三島 懋・菅野高穂・谷口三佐男・山口定一・菱沼勇之助：萌芽薪炭林施業試験（第6報）萌芽について（3），日林北支講，**12**，7～10，(1963)
- 62) 三島 懋・菅野高穂・谷口三佐男・山口定一・菱沼勇之助：萌芽薪炭林施業試験（第7報）萌芽の成長について（3），日林北支講，**12**，11～14，(1963)
- 63) 三島 懋・菅野高穂・谷口三佐男：萌芽薪炭林施業試験（第8報）萌芽の成長について（4）—試験設定10年後の成績報告一，日林北支講，**14**，64～66，(1965)
- 64) 三寺光雄・根本 茂・沼田 真：海岸クロマツ林の生態学的研究Ⅲ—成長阻害要因の検討（2）—，千葉大文理学部紀要，**4** (3)，277～288，(1965)
- 65) 水口弘一：風衝樹形による風と林木成立との関係，光珠内季報，**17**，23～29，(1973)
- 66) MOEHRING, D.H.：耕うん地拵え（斎藤新一郎訳），光珠内季報，**7**，21～24，(1971)
- 67) 紋別営林署：紋別海岸林，林野庁北見営林局紋別営林署，23pp.，(1978)
- 68) 森本英一：海岸防災林の保全についての一考察，第16回治山研究発表会論文集，23～35，(1977)
- 69) 向出弘正：天然更新とは？．天然林を考える，北海道営林局，66～69，(1985)
- 70) 長池敏弘：北海道におけるぼう芽更新について，札幌林友，**103**，32～47，(1963)
- 71) 長池敏弘：北海道におけるぼう芽更新について，札幌林友，**104**，47～64，(1963)
- 72) 中村賢太郎：更新，新版林業百科事典，日本林業技術協会編，丸善，p.224，(1971)
- 73) 新島善直：カシハの造林学的研究，北海道林業試験場報告，**13**，104pp.，(1940)
- 74) 野呂田勝洋：海岸防災林におけるトドマツの成績調査について，昭和45年林業研究発表会大会論文集，345～356，(1971)
- 75) 小川紀一郎：強風地帯の海岸林造成法に関する研究，北大大学院農学研究科修論（手記），149pp.，(1982)
- 76) 岡本金夫：防風林の塩分調査，林試九支年報，**12**，64～66，(1970)
- 77) Oke T.R.：オーク 境界層の気候（斎藤直輔・新田 尚 共訳），朝倉書店，324pp.，(1981)
- 78) 小野寺 卯・増田久夫・石川政幸：天塩海岸防風林の防風効果について，日林北支講，**2**，34～36，(1952)
- 79) 小野寺 卯・増田久夫・石川政幸：防風林周辺の防風効果について，林試研報，**80**，53～75，(1955)
- 80) 尾内清一：道北海岸防風林樹としてのハリギリに関する考察，北方林業，**21**，209～212，(1969)
- 81) 大和田道雄・吉野正敏：石狩平野の卓越風の分布について，地理評，**44** (9)，639～652，(1971)
- 82) 斎藤新一郎：北海道北部における天然生海岸林の解析，旭川営林局，20pp.，(1968)
- 83) 斎藤新一郎：林帯造成技術の体系化に関する一考察—特に地拵えについて—，日林北支講，**21**，23～27，(1972)
- 84) 斎藤新一郎：防災林造成におけるトドマツの適性—日本海沿岸北部のトドマツ天然生林の解析か

- ら一, 89回日林論, 331~332, (1978)
- 85) 斎藤新一郎: 寒冷地方の海岸平野における防災林の造成方法に関する研究, 北海道林試研報, 22, 131~235, (1984)
- 86) 斎藤新一郎: 海岸風衝地におけるイタヤカエデの枝と冬芽の形態用語, 北方林業, **39**, 216~221, (1987)
- 87) 斎藤新一郎・東 三郎: 天北地方における海岸砂丘の火山灰層と天然林成立の関係, 北大農演報, **28** (2), 422~471, (1971)
- 88) 坂本知己: 砂坂海岸林の更新に関する研究, 北大農学部卒論 (手記), 80pp., (1979)
- 89) 坂本知己: 海岸林の伐開に伴って生じる林縁の保全について, 林試場報, 279, 2~3, (1987)
- 90) 坂本知己・東 三郎: 砂坂海岸林の天然更新に関する考察, 日林北支講, 27, 120~122, (1979)
- 91) 坂本知己・増田久夫: 海岸林における着葉期と落葉期の防風効果の比較—石狩海岸林の事例一, 94回日林論, 603~604, (1983)
- 92) 坂本知己・増田久夫・斎藤武史: 紋別海岸林におけるアカエゾマツの生長, 日林北支講, 32, 240~243, (1984)
- 93) 坂本知己・増田久夫・斎藤武史: イタヤカエデ梢頭の枯死現象—石狩海岸林の事例一, 緑化工技術, **10** (3), 16~22, (1984)
- 94) 坂本知己・斎藤武史・増田久夫: 石狩海岸林におけるカシワの生長に関する考察, 日林北支講, 33, 182~184, (1985)
- 95) 坂本知己・斎藤武史・増田久夫: 風速と風送塩分量からみた海岸林成立環境に関する砂丘の評価, 96回日林論, 577~578, (1985)
- 96) 坂本知己・斎藤武史・増田久夫: 海岸林前線部において積雪が飛砂害を助長する現象について, 96回日林論, 579~580, (1985)
- 97) 坂本知己・斎藤武史・増田久夫: 海岸林前線部におけるカシワ着葉塩分量の季節変化, 日林北支論, 34, 175~177, (1986)
- 98) 坂本知己・斎藤武史・吉武 孝: 海岸林伐開による積雪分布の変化とその影響, 日林北支論, 35, 178~180, (1987)
- 99) 佐藤大七郎: 造林ならびに更新 (概説), 造林学, 朝倉書店, 96~100, (1965)
- 100) 清水周治・篠田 茂: 海岸防風林の研究 (I) 現況と林帯の風速減少効果, 新潟県林試研報, 18, 45~59, (1975)
- 101) 清水周治・篠田 茂: 海岸防風林の研究 (II) クロマツ林の除間伐施業と風速減少効果, 新潟県林試研報, 19, 95~108, (1976)
- 102) 清水周治・篠田 茂: 海岸防風林の研究 (III) ニセアカシア林帯の風速減少効果, 新潟県林試研報, 21, 71~83, (1978)
- 103) 新村義昭・浅井達弘・薄井五郎: 道北地方の天然生海岸林の生育と生存条件—カシワ・ミズナラ新条が形成される部位と芽の死亡時期—, 北方林業, **34** (4), 274~276, (1982)
- 104) 塩谷正雄: 強風の性質, 開発社, 201pp., (1981)
- 105) 末 勝海: 海岸砂防工に関する基礎的研究, 九大農演報, 43, 1~101, (1968)
- 106) 水利科学研究所: 砂坂海岸林における環境保全基礎調査, 函館営林支局, 172pp., (1977)
- 107) TAKAHASHI Hidenori: Wind tunnel test on the effect of width of windbreaks on the wind speed distribution in leeward, J. Agr. Met., **33** (4), 183~187, (1978)
- 108) 高橋啓二: 道路開設が植物群落に与える影響, 昭和49年度 道路建設に伴う森林伐採の生態系に与える影響に関する研究, 環境庁, 53~84, (1975)

- 109) 高橋啓二・堀江保夫：植物の耐塩性（1）—防潮林構成植物選定のための実験—，林試研報，183，131～151，（1965）
- 110) 高橋俊一：海岸林の造成と其樹種，北海道林業会報，27（5），328～331，（1929）
- 111) 田中一夫：海岸防災林の飛砂固定に関する実験的研究，砂丘研究，8（2），69～124，（1962）
- 112) 田中一夫・宮前和憲：海岸防災林の飛砂固定に関する実験的研究，砂丘研究，16（2），32～39，（1970）
- 113) 田中貞雄：風蝕防止に関する農業気象学的研究，群馬県林試特別報告，132pp.，（1965）
- 114) 舘脇 操：防霧林帯の樹形，生態学会報，2（4），162～169，（1953）
- 115) 鳥羽良明：海面境界過程，海洋科学基礎講座1 海洋物理Ⅰ，東海大学出版会，145～263，（1970）
- 116) 富樫兼治郎：海岸砂防の側面，林曹会報，244，74～77，（1937）
- 117) 富樫兼治郎：日本海沿岸地方に於ける砂防造林，秋田営林局，198pp.，（1937）
- 118) 泊 功：昭和55年の北海道冷害を考える 冷害堆砂の立場から，北海道の農業気象，33，55～60，（1981）
- 119) 泊 功：北海道における防風林の機能と改善法，北海道の農業気象，37，43～58，（1985）
- 120) 豊田倫明：防風林の効果試験について，11回治山研論集，70～75，（1972）
- 121) 塚本良則：森林の防災機能，新版林業実務必携，朝倉書店，272～275，（1978）
- 122) 上杉 陽・遠藤邦彦：石狩海岸平野の地形と土壌について，第四紀研究，12（3），115～124，（1973）
- 123) 浦河営林署・北海道営林局：えりも岬の緑化，38pp.，（1982）
- 124) 薄井五郎・清水 一：北海道石狩海岸における飛来塩分の高度分布，96回日林論，571～574，（1985）
- 125) 渡辺次郎：海岸砂地におけるクロマツ植栽法に対する一考察—海岸クロマツ植栽木に対する木質系資材（木炭・おがくず堆肥）の施用効果について—，緑化工技術，11（1），8～12，（1984）
- 126) 山本進一：極相林の維持機構—ギャップダイナミクスの視点から—，生物科学，33（1），8～16，（1981）
- 127) 吉田順五：林に吹込む風，防霧林に関する研究，北海道林務部，101～105，（1951）
- 128) 吉田重幸・浅野二郎・四手井綱英：アカマツおよびクロマツの耐塩性に関する研究—海岸林地のマツ針葉に対する着塩量について—，77回日林講，153～155，（1966）
- 129) 吉野正敏：小気候—局地気象学序説—，地人書館，274pp.，（1961）
- 130) 吉野正敏：新版 小気候，地人書館，298pp.，（1986）
- 131) 吉野正敏・大和田道雄：伊良湖岬付近における風とクロマツの塩風害の小気候学的調査，地理評，43（6），347～356，（1970）

**A Study on the conservation
of seacoast shelterbelts in relation
to development areas**

Tomoki SAKAMOTO⁽¹⁾

Summary

I The author has considered the technological possibilities of managing a seacoast shelterbelt when its land development has reached a high level. Clear-cutting which was done at a seacoast shelterbelt was studied as an experimental work for changing environmental conditions. The purpose of the experimental work in this study is to make clear whether the situation of the spread of seacoast shelterbelts mollify the seawind environment, or not. Changes in environment and trees which had occurred after the clear-cutting at the shelterbelt were compared with the normal conditions of environment and trees. From the results of the above, the author re-evaluated the seacoast shelterbelt and considered the ways of keeping the shelterbelt in a good condition.

II Forest conditions were surveyed because they seem to indicate the environmental effects on shelterbelts. As for the trees in front, windblown tree forms were clearly visible. The canopy line from the seacoast going inland makes an increasing slope, which is called the windblown forest-form. The formation of the main trees also changes when going inland from the seacoast; that is, from the *Quercus dentata*-*Acer mono* type to the *Q. mongolica* var. *grosseserrata*-*A. mono* type. Various tree species could be seen in the zone that was further inland more than in the front one.

III Vertical growth of *Acer mono* was investigated continuously, twice a year for 5 years, at the front zone where the vertical growth is limited. It became clear that most parts of the leaders die, and then the change of branches to trunks and the elongation of dwarf shoots occur. The frequency of this process becomes higher when the zone is nearer to the coast.

The growing process of *Q. dentata* was investigated by stem analysis for the purpose of grasping how tree height difference had arisen. The growth of sprouts from stumps was 50–100cm/year at the youngest stage, in both the front zone and the inland one. Most of the sample trees had traces that indicated past death in tree trunks that were a few years old. Death sometimes occurred in the trunks of trees that were a few years old in both zones. New shoots changing into trunks, which occurs every year, or once in a few years, began earlier in the front zone than in the more inland one, and the tree height was lower in the front zone at that time.

IV Movement of snow and sand, salt deposit on the leaves, wind speed, and salt spray were measured, because they were considered important factors in a seawind environment, especially in cases where there is a forest whose site(soil) preparation is not so important any more.

The front zone of the seacoast shelterbelt was considered a snow and sand-accumulation site. The pressure of the snow layer had injured trunks and branches, or had pressed them downward. Sand deposit, on top of the snow cover or in the snow layer, had disturbed the recovery of trunks and branches that were forced downward after the thaw. On the other hand, new shoots from the buried trunks and branches had become trunks, which was considered one of their ways of spreading themselves.

Received March 19, 1989

(1) Hokkaido Research Center

The characteristics of the salt deposit on the leaves were investigated in order to determine the possibility of using salt deposit measurement as an index of the seawind environment. It became clear that the salt deposit on the leaves has a seasonal fluctuation, and rainfall decreased it, but snowfall, especially in mid-winter, did not. Likewise, it was ascertained that the ratio between the salt deposit on the leaves which were gathered at the various sites at the same hour is stable. As a result, the salt deposit on the leaves can be used as an index of seawind environment.

Salt deposit on the leaves of the canopy tops decreased going from the seacoast front zone toward the inland one. This means that the seawind environment around the canopy tops of the inland zone, where vertical growth is as limited as in the front one, is less severe than at the front.

Wind speed and salt spray ratios were measured where a part of the shelterbelt was removed, in order to grasp the seawind environment of the place where the shelterbelt had stood. The wind speed ratio decreased to 50% of the base point at the back of Sand-dune-1, where the front edge trees had stood, and after that, it increased to 60%. The salt spray ratio behind Sand-dune-1 decreased gradually. The wind speed did not recover, and decreased gradually along the fence work zone, where parallel fences 10m apart are arranged.

V After the clear-cutting, with the construction of the central channel, the amount of leaves on the edge trees decreased, and their branches and trunks were broken due to snow pressure. The influence of snow pressure broke the metal panels of the windbreak fences, too.

The environment around the crown of edge trees was not less severe than that in the front zone, as the result of the deposit of snow and sand, salt deposit on the leaves, and wind speed and salt spray. Therefore, the clear-cut revealed the seacoast environment which had remained latent due to the existence of the shelterbelt.

VI It can be considered that the mollifying of the environment by the shelterbelt depends on terrain roughness, increased by the existence of the shelterbelt; this is based on the fact that salt deposit on the leaves of the canopy top and leader-change frequency decreased in the more inland zone.

The revealed seacoast environment showed that the seacoast forest, which is the shelterbelt in this case, prevented the land from changing into a waste of sand and snow, and that the shelterbelt should be evaluated in relation to its extent.

Based on the above, the author proposed that the seacoast shelterbelt should be not only protected with structures such as windbreak fences, but also regenerated and reformed before development work that makes environmental conditions worse. The procedure of shelterbelt development should be considered for minimizing the deterioration of the environmental conditions, not only after the development is completed, but also during it.

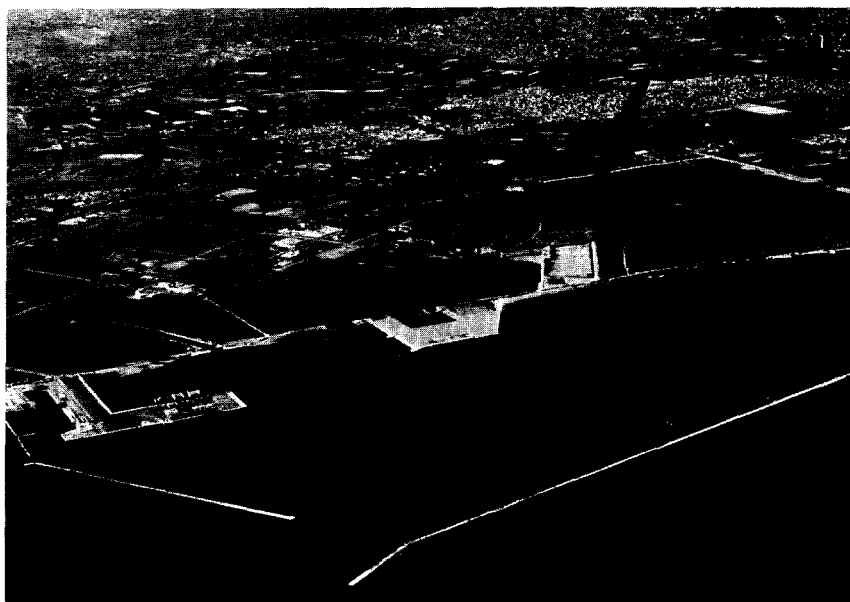


Photo. 1. 石狩海岸林 (石狩開発株式会社撮影)
石狩湾新港の建設に伴って中央水路予定地の伐開が進められている
A bird's eye view of the Ishikari seacoast shelterbelt, part of
which was clear cut for the construction of the central channel.

Photo. 2. 前線部ではハウキ状を呈するイタヤカエデの梢頭部 (1982年4月23日撮影)
Bushy treetops of *Acer mono* at the front. (taken in Apr. 1982)

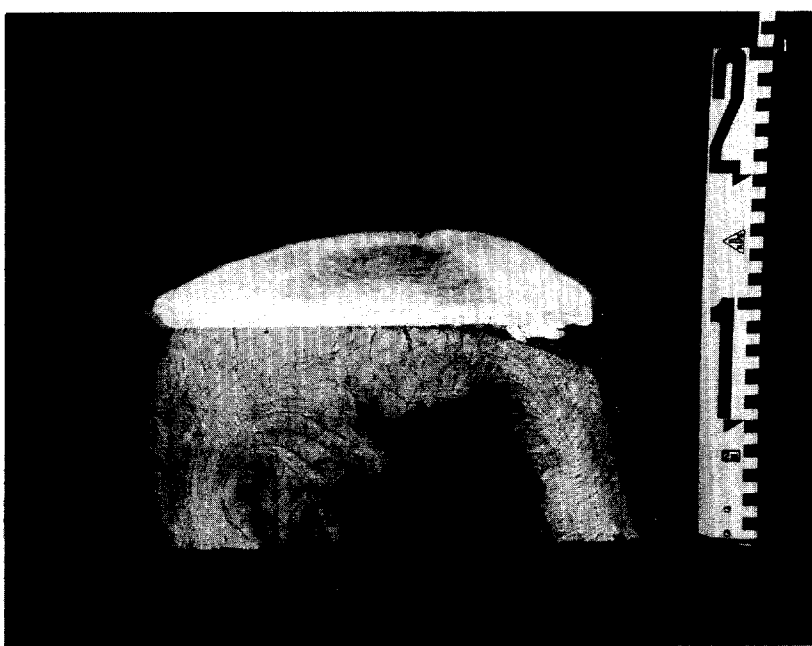


Photo. 3. 前線のものに比較し単位長あたりの分枝数が多い内陸部のイタヤカエデの梢頭部
(海岸より350m, 1982年10月29日撮影)
Treetops of *Acer mono* 350m from the coastline. (take in Oct.1982)

Photo. 4. 萌芽枝に包み込まれた元の根株 (1984年7月7日撮影)
Enlarged stem containing an old stump. (taken in Jul. 1984)

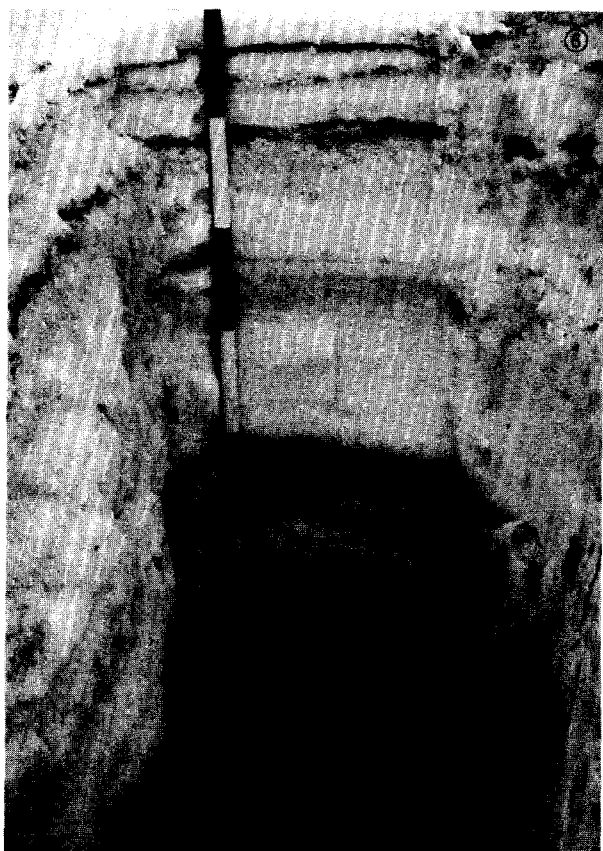


Photo. 5. 波浪によって崩落する海食崖 (1984年12月25日撮影)
Beach erosion.
(taken in Dec. 1984)

Photo. 6. 積雪層内に形成された砂層
(1985年3月11日撮影)
Snow containing sand layers.
(taken in Mar. 1985)

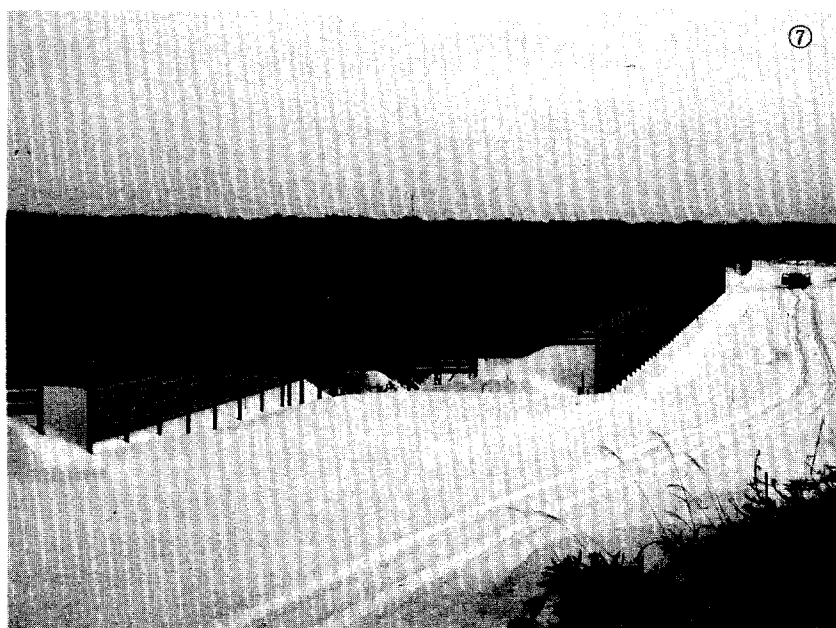


Photo. 7. 伐開地林縁の防風柵（花畔側林縁，1984年1月10日撮影）
Fence arrangement at the Bannaguro-edge. (taken in Jan. 1984)

Photo. 8. 樹木と防風柵の雪圧害（1986年4月18日撮影）
Damage of inner-fences and trees caused by snow pressure. (taken in Apr. 1986)



Photo. 9. 林縁木の着葉量の減少 (林縁防風柵 F-13付近, 1986年 6 月26日撮影)
Decrease of leaves along the edge near the inner-fence F-13. (taken in Jun. 1986)

Photo.10. 梢頭部の埋砂, 雪圧によって倒伏した梢頭が, 融雪過程で砂層に埋り, 融雪後も起き上がれない (1987年 6 月 8 日撮影)
Buried treetops in the sand layer. Treetops, which were forced down by snow pressure, were covered with sand in the snow deposit and could not recover their standing position even after the thaw. (taken in Jun. 1986)



Photo.11. 雪丘の形成 (1986年1月23日撮影)

A snow dune inside the edge-fence.

(taken in Jan. 1986)

Photo.12. 雪丘の断面 (林内防風柵 F-7 の内陸側, 1987年2月19日撮影)

Cross section of a snow dune with sand layers, behind the inner-fence F-7. (taken in Feb. 1986)



Photo.13. 伐開地林縁における樹木への着雪 (1987年1月13日撮影)
Adhesion of snow to trees. (taken in Jan. 1987)

Photo.14. 林内防風柵への冠雪 (1987年1月29日撮影)
A snow layer hanging over an inner-fence. (taken in Jan. 1987).

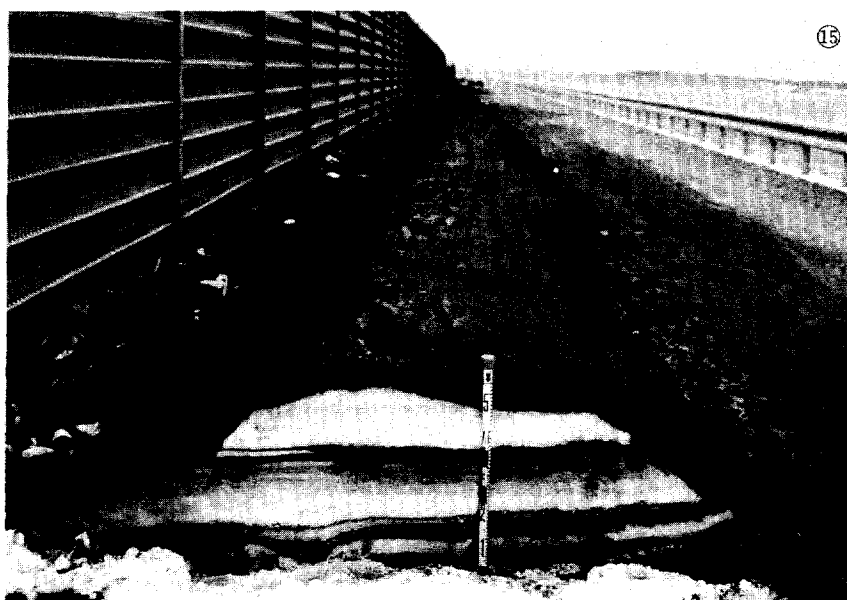


Photo.15. 林縁防風柵の伐開地側の残雪を覆う砂層 (1987年4月7日撮影)
Remaining snow, covered with a sand layer outside the edge-fence. (taken in Apr. 1987)

Photo.16. 砂層に覆われて残存している積雪層. 伐開地林縁には飛砂と積雪の集中堆積が生じ、砂層に覆われた雪丘は融雪が遅れた (1987年6月26日撮影)
Remaining snow, covered with a sand layer in front of the inner-fence, F-3, on early summer. (taken on Jun. 26, 1987)