

雛形防風林試験報告（第3報）

防風林による海風中の塩分減少効果に 関する研究（Ⅱ）

玉手三稟寿⁽¹⁾・佐藤正⁽²⁾
檜山徳治⁽³⁾・高橋亀久松⁽⁴⁾

緒言

防風林がその風下の空中塩分を減少する効果についての実験結果は、本報告第1報¹⁾に報告したごとく、その効果が大きく、また雛形林と現実林において防風林付近の空中塩分減少状況が、相似の傾向を示すことが認められた。その後、雛形防風林による風速減少効果試験が続行されたので、その試験のかたわら本実験もあわせて行つた。今回の試験は2部に分かれ、第Ⅰ部は幅の異なる各種雛形防風林の塩分捕捉率を求めて、防風林の幅と塩分捕捉率の関係を明らかにし、また塩分捕捉率と樹種との関係も見ようと試みたものであつたが、後者については実験回数が少なく検討することはできなかつた。第Ⅱ部は現実防風林について、防風林がその付近の土壌塩分量の分布にいかに関与するか、またその原因についての考察を試みたものである。これらの実験は測定回数も少なく、測定の不備の点もあり、予備的実験にすぎなかつたが、測定した諸種のデータとその考察をとりまとめ報告するものである。

本実験を行うにあつては、秋田営林局ならびに当時の鶴岡営林署長 鈴木慶治、酒田営林署長 富樫兼治郎および両署員の方々には多大の御協力を得た。ここに記して謝意を表わす。

Ⅰ 雛形防風林の空中塩分捕捉作用と防風林の幅との関係

1. 実験の諸条件

本実験は野外実験であるから、関係すべき条件はすこぶる多いのであるが、主な条件を記すと次のごとくである。

(1) 実験地および期間

実験を行つた場所は下記2カ所の海岸で、ここに雛形防風林を設け、日本海から陸地へ風の吹く冬期季節風の盛んな2月を選び、昭和25・26年の2冬期実験を行つた。

実験場所	実験期間
(i) 山形県西田川郡袖浦村浜中海岸	昭和25年2月11～21日
(ii) 山形県飽海郡西荒瀬村宮海海岸	昭和26年2月9～22日

(2) 雛形防風林の種類と構造

この実験に用いた雛形防風林の林型は6種で、樹木としては間伐木の樹冠の整形な梢を用い、その幹を

(1) 研究顧問 (2) 好摩分場防災研究室長 (3) (4) 防災部防災第二科風雪研究室員

十分深く地中に差し込み、土壌があまり柔かく風によつて根元まで動揺する場所では、副杭を立てて根元をこれに結び固定した。雛形防風林の幅・長さ・樹高・樹形・樹木の配置等を簡単に表示すれば第1表のごとくである。

第1表 雛形防風林の林型と構造

Table 1. The Types and Their Stand Conditions of the Model Windbreaks.

林型記号 Mark of Forest Type	場 所 Locality	幅 Width (m)	列 数 No. of Row	長 さ Length (m)	枝下高 Clear Length (m)	樹 高 Tree Height (m)	樹 種 Species	樹形および樹木の配置 Tree Form and Arrangement of Tree
a	浜 中 Hama- naka	14.72	18	40	0.7	1.5	スギ Sugi	1m 間隔正三角形千鳥型植栽。周囲3列の樹木は地面まで枝つき。その内部のものは0.7mまで下枝を取り除いたもの。
c	浜 中 Hama- naka	6.93	9	40	0.7	1.5	スギ Sugi	同 上
	宮 海 Miyaumi	6.93	9	60	0.5	1.5	クロマツ Black Pine	同上。ただし下枝を取り除いた高さは0.5m。
d	浜 中 Hama- naka	4.33	6	40	0	1.5	スギ Sugi	1m 間隔正三角形千鳥型植栽。すべての樹木が地面まで枝つき。
d ₁	宮 海 Miyaumi	4.33	6	60	0.5	1.5	クロマツ Black Pine	1m 間隔正三角形千鳥型植栽。風上・風下林縁各1列は地面まで枝つき。その他は0.5mまで下枝を取り除く。
e	宮 海 Miyaumi	4.33	6	60	0.5	1.5	クロマツ Black Pine	植栽法はd型と同じ。樹木はすべて0.5mまで下枝なし。
f	宮 海 Miyaumi	1.73	3	60	0	1.5	クロマツ Black Pine	1m 間隔正三角形千鳥型植栽。すべての樹木が地面まで枝つき。

2. 実験の種類および方法

海風中の塩分の捕捉・検出およびその表わし方などは、前報告¹⁾と同様なので記述を省略し、今回行つた実験の種類を記すれば次のごとくである。

(1) 無林地（海岸砂地）の空中塩分の水平分布

これは防風林の存在によつて空中塩分量の変化を知るために行つたもので、雛形防風林について観測を行つたのち、防風林を取り除き無林地として、前に行つた測定線と同一線上の各点において、空中塩分量を調査したものである。

(2) 海岸における空中塩分の垂直分布

海岸における空中塩分量は、同一地点では地面近くは多く、高さとともに減少する。その状況を見るため浜中海岸において行つた。

(3) 雛形防風林風上および風下の空中塩分測定

浜中実験地においては、スギの雛形防風林の a・c・d の3種の林型について、宮海実験地においては、クロマツの雛形防風林の c・d₁・e・f の4種の林型について行つた。防風林帯は2月の季節風の方角にはほぼ直角になるように設置し、林帯の中央でこれに直角な直線上に、防風林の風上・風下および林内に数カ所ずつ測定点を設け、塩分と風速を測定した。測定個所の海岸および防風林との関係位置を一覧表に示せば第2表のごとくである。

第2表 空中塩分測定個所の海岸および防風林との関係位置
Table 2. Distances from the Beach Line and the Model Windbreaks to the Points of Salt Observation in the Air (h is Tree Height.).

林型 Forest Type	測点番号 No. of Obs. Point	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
浜 中 Hamanaka											
a	(1) 丁線からの距離 Distance from Beach Line (m)	13.00	19.00	27.86	36.72	42.72					
	(2) 防風林との関係位置 Situation as to the Windbreak	$-5h$	$-1h$	林内中央 Middle of Wind-break	$+1h$	$+5h$					
c	(1)	13.00	19.00	23.97 林内中央 Middle of Wind-break	28.93	34.93					
	(2)	$-5h$	$-1h$	林内中央 Middle of Wind-break	$+1h$	$+5h$					
d	(1)	13.00	19.00	22.67 林内中央 Middle of Wind-break	26.33	32.33					
	(2)	$-5h$	$-1h$	林内中央 Middle of Wind-break	$+1h$	$+5h$					
宮 海 Miyaumi											
c	(1)	45.00	52.50	55.50	58.50	61.30 林内の風 上部 Wind-ward Part of Wind-break	63.48 林内中央 Middle of Wind-break	65.66 林内の風 下部 Lee-ward Part of Wind-break	68.46	71.46	74.46
	(2)	$-10h$	$-5h$	$-3h$	$-1h$	林内中央 Middle of Wind-break	$+1h$	$+3h$	$+5h$		
d ₁	(1)	45.00	52.50	55.50	58.50	62.17 林内中央 Middle of Wind-break	65.85	68.85	71.85		
	(2)	$-10h$	$-5h$	$-3h$	$-1h$	林内中央 Middle of Wind-break	$+1h$	$+3h$	$+5h$		
e	(1)	45.00	52.50	55.50	58.50	62.17 林内中央 Middle of Wind-break	65.85	68.85	71.85		
	(2)	$-10h$	$-5h$	$-3h$	$-1h$	林内中央 Middle of Wind-break	$+1h$	$+3h$	$+5h$		
f	(1)	45.00	52.50	55.50	58.50	60.87 林内中央 Middle of Wind-break	63.24	66.24	68.24		
	(2)	$-10h$	$-5h$	$-3h$	$-1h$	林内中央 Middle of Wind-break	$+1h$	$+3h$	$+5h$		
無林地 Unstocked Land	(1)	0	30.00	45.00	55.50	62.17	68.85	79.35	94.35	109.35	124.35

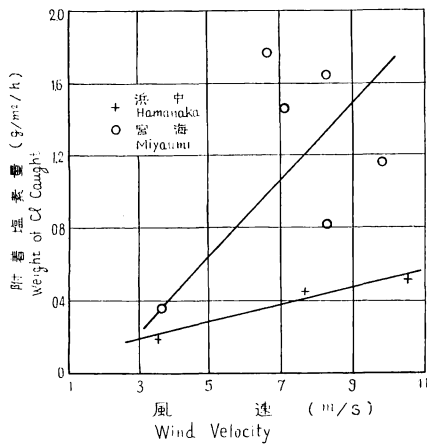
備考: $-1h$ ・ $-3h$ 等は風上林縁から風上の方へ, $+1h$ ・ $+3h$ 等は風下林縁から風下の方への距離を樹高 (h) の倍数をもつて示す。

3. 実験の結果と考察

本報告には今回浜中および宮海で行った結果と、前回北釜および横浜で行った実験結果で今回の実験に関連し、いまだ報告をしていなかったものを加えて記載し、結果についての考察も両回のものをあわせて行つたものである。

(1) 風速と空中塩分量

海岸付近の空中塩分は、海上の波頭の崩れる際に発生した飛沫の微細な水滴と、これが蒸発して固体となつた塩分粒子とが、海風に送られて陸地にきたものであるから、空中塩分量は海面の波の大きさと風速に関係するものと考えられる。ここで空中塩分量と称するものは、風向に垂直な単位断面中を単位時間に通過する塩分量であるが、これを表わす比較値として、ガーゼ捕捉器に付着した塩素量 ($g/m^2/h$) を用いた。これは、ガーゼに付着する塩分量は風速や塩分を含む水滴粒子の大きさなどに関係するが、大略は風速に比例するものと考えて差し支えないからである¹²⁾。



第1図 風速と付着塩素量

Fig. 1 Wind Velocity and Weight of Chlorine Caught.

浜中および宮海海岸の汀線付近において測定した地上高1mのところの付着塩素量とその個所の風速は第3表のごとくである。

この関係を図にプロットしてみると第1図のごとくで、浜中においては3回の観測しかないが、塩素量は各点とも風速とともに直線的に増加している。宮海の方は6回の観測結果であつて、各点が散らばつてゐるが、大体は風速の大きさとともに増加の傾向が認められ、その増加割合が浜中の場合より著しく大きく現われている。これは海岸および海底の地形等の関係で、波の破碎がはげしいためかと思われる。個々の観測値についてみると、風速が比較的弱いのに塩分量の大きいものもある。これは海上の波は風速が衰えても急に静かにはならない

第3表 風速と付着塩素量

Table 3. Wind Velocities and Weight of Chlorine Caught.

浜中 (汀線から 13m の位置) Hamanaka (At the Point 13 m from Beach Line)		宮海 (汀線から 45m の位置) Miyaumi (At the Point 45 m from Beach Line)	
平均風速 Mean Wind Velocity (m/s)	付着塩素量 Weight of Cl Caught ($g/m^2/h$)	平均風速 Mean Wind Velocity (m/s)	付着塩素量 Weight of Cl Caught ($g/m^2/h$)
10.51	0.514	9.86	1.164
7.63	0.453	8.34	0.814
3.56	0.197	8.32	1.639
		7.13	1.458
		6.65	1.768
		3.59	0.350

ので、半日あるいは1日ぐらい前に強風があり、測定当時風速が弱まつたときこのようなことが現われるものと思われる。

第4表 海浜における空中塩素量の水平分布

宮海（昭和26年2月19日、測定高地上1m、汀線における平均風速6.77 m/s）

Table 4. Horizontal Distribution of Chlorine Contents in Sea Wind in the Way of Wind Direction on the Sea Shore Field.

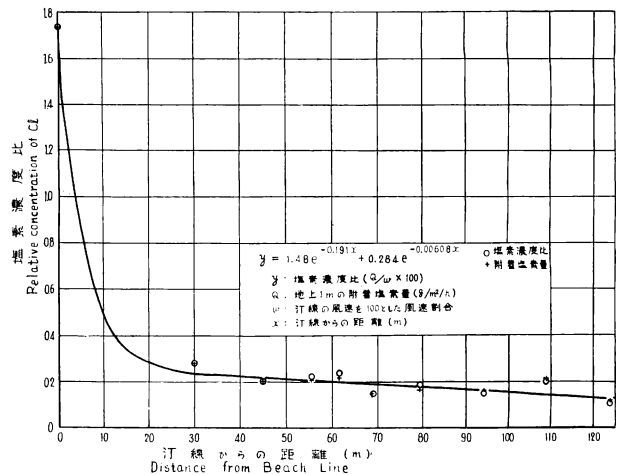
Miyaumi (1 m Height above the Ground, Mean Wind Velocity at Beach Line 6.77 m/s, 19. Feb. 1951).

測 点 番 号 No. of Obs. Point	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
汀線からの距離 Distance from Beach Line (m)	0	30.00	40.00	55.50	62.17	68.85	79.35	94.35	109.35	124.35
付着塩素量 (Q) Weight of Cl Caught (g/m ² /h)	1.768	0.277	0.203	0.203	0.220	0.147	0.170	0.153	0.215	0.107
風 速 Wind Velocity (m/s)	6.77	6.65	6.65	6.25	6.05	6.52	6.25	6.65	7.18	7.12
風 速 比 (w) Relative Wind Velocity	102	100	100	94	91	98	94	100	108	107
塩素濃度比 (Q/w×100) Relative Concentration of Cl	1.734	0.277	0.203	0.216	0.242	0.150	0.180	0.153	0.199	0.100

(2) 海浜における空中塩素量の水平分布

海浜において防風林などの障害物のないときは、海風中の塩分量は汀線から陸内に入るに従つてしだいに減少する。宮海の家海岸において防風林のない状態の場合、風向が汀線にはほぼ直角のとき風向の方向にとつた直線上で汀線から各距離に測点を取り付着塩素量を測定した。この測定結果を示すと第4表のごとくである。表中の塩素濃度比は、ガーゼの捕捉率は風速には関係なく一定と考え、付着塩素量を風速で割り単位容積の塩素量の比較値としたものである。もつとも、あとに述べるように、ガーゼの捕捉率は約2 m/s以下の微風のときは風速による変化がやや大きい、5 m/s 以上ではこの変化がきわめてわずかで、一定と考えても実用上は差し支えない。

海面から発生した塩分水滴粒子の小さいものは陸内遠くへ運ばれるが、大粒のものは速やかに落下する。また陸内にはいるにしたがつて粒子が拡散して塩分濃度が減少する。汀線では塩分濃度最も大で、すこし陸内にはいると急に減少し、その後はすこぶるゆるやかに減ずる。この変化は海風の強さに関係し、海風が強いほど塩分の多い風が陸内深く達する。宮海の実験のときは汀線



第2図 汀線からの距離と空中塩素濃度比（宮海海岸）

Fig. 2 Relative Concentration of Chlorine Contents in Sea Wind as to the Distance from Beach Line.

(O: Relative Concentration of Cl, +: Weight of Cl Caught) Miyaumi Sea-shore, 19. Feb. 1951,

における風速が 6.77 m/s で、海岸では普通の強さの風であつたが、汀線から陸内各点への付着塩素量および塩素濃度比をみると、汀線で最大で、汀線から $30 \sim 40 \text{ m}$ までは急に減少し、その後はゆるやかに減じていく。塩素濃度比の汀線からの距離による変化を図示すると第2図のごとくである。付着塩素量の変化もほとんどこれと同様なので、同図には印しだけを記入した。なお、この塩素濃度比の変化はほぼつぎの実験式で表わすことができる。

$$y = 1.48 e^{-0.191x} + 0.284 e^{-0.00608x}$$

y : 塩素濃度比 ($Q/w \times 100$) x : 汀線からの距離 (m)

(3) 浜における空中塩素量の垂直分布

浜中海岸において汀線より 38 m のところに、長さ約 10 m の太い丸太を立てた。同所は汀線からゆるやかな上り斜面の砂原で、周囲にはなんら障害物がなく、海から吹く自然の風が流れるところであつた。この丸太にガーゼ捕捉器5個を地上高 $1.0 \cdot 2.0 \cdot 4.0 \cdot 6.0 \cdot 8.0 \text{ m}$ のところに取り付け、ガーゼの面を主風に直角に固定した。捕捉器を2時間放置してガーゼに捕捉された塩素量を検定した。また各点の風速は、捕捉器を装置する前と捕捉器を取り外した直後に各点において測定し、前後2回のものを平均した。同様な実験は、前回青森県上北郡横浜村海岸においても行つたが、測定箇所は汀線より 5 m で、測点は地上 $1.0 \cdot 2.5 \cdot 4.0 \cdot 6.0 \cdot 8.0 \text{ m}$ の5カ所であつた。この両所の測定結果を示すと第5表のごとくである。

表に明らかに示されているとおり風速は高さとともに増加するが、付着塩素量および塩素濃度比の高さによる変化をみると、地面近くでは大で、高さとともに最初は急に減じ、のちしだいに緩やかに減少する

第5表 浜における空中塩素量の垂直分布

Table 5. Vertical Distribution of Chlorine Contents in Sea Wind on the Sea-shore.

浜 中 Hamanaka						
測点地上高 Height of Obs. (m)	1.0	2.0	4.0	6.0	8.0	備 考
付着塩素量 (Q) Weight of Cl Caught (g/m ² /h)	(0.789)	0.772	0.500	0.346	0.232	昭和25年2月21日測定。 測点1.0mのガーゼの面が セット後動いて風向に直角 な面から約30°傾いていた ので、風向に直角な場合の 値にするため1/cos 30°を かけて補正し、これに() をつけてある。
風 速 Wind Velocity (m/s)						
風 速 比 (w) Relative Wind Velocity						
塩素濃度比 (Q/w×100) Relative Concentration of Cl						
横 浜 Yokohama						
測点地上高 Height of Obs. (m)	1.0	2.5	4.0	6.0	8.0	備 考
付着塩素量 (Q) Weight of Cl Caught (g/m ² /h)	0.164	0.015	0.013	0.013	0.010	昭和23年11月4日測定。
風 速 Wind Velocity (m/s)						
風 速 比 (w) Relative Wind Velocity						
塩素濃度比 (Q/w×100) Relative Concentration of Cl						

分布を示している。海岸の空中塩分は、主として海岸で崩れる波頭から発生したものが大部を占めるものと考えられるが、微細な粒子は拡散によつて上方に運ばれ、比較的大粒のものは高く上らないし、なお大きいものは速やかに落下するので、地面近くにおいては高さによる塩素量の変化は大きくなるものと思われる。高さによる塩素濃度の分布状況は、主に海岸からの距離および風速に関係し、汀線ではその変化が最もいちじるしい。浜中における測定の結果の風速・付着塩素量および塩素濃度比の垂直分布を図に示すと第3図のごとくである。風速は付着塩素量を増加するように作用するものであるが、高くなるにつれて付着量の減少することは、高さによる塩素濃度の減少作用のほうが風速の作用よりもいちじるしく勝つていていることを示している。

第3図をみると、塩素濃度の垂直分布は一つの曲線で示されるようにみえるので、実験式を作りつぎの関係を得た。

$$y = 1.05 e^{-0.232x}$$

y : 塩素濃度比 x : 地上高 (m)

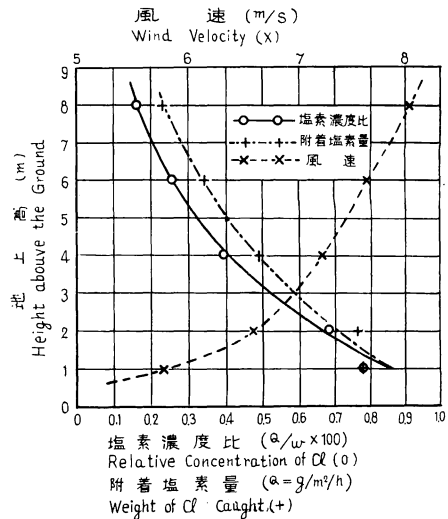
図中地上1mの点のみが実験式の曲線からすこし離れすぎているが、これは測定に不備がありのちに測定値を補正したものであつたが、補正の値が過小であつたかと思われる。

(4) 雛形防風林の幅と空中塩分の捕捉率

防風林のごとき粗大不整形にして厚みの大きなものの捕捉率を正確に求めることは、不可能に近いものと思われるが、前回の実験においては、現実防風林について風上および風下の付着塩素量と風速から捕捉率を推算してみた。今回はガーゼの捕捉率を一定のものとし、これを各風速についてその値を推算して雛形防風林の捕捉率を求め、防風林の幅と捕捉率の関係を検討したものである。しかし、この実験は野外の実験で、実験の不備もあつて測定精度が低いのみならず、ガーゼ捕捉器は各個全く同じものではなく多少の差があり、また水滴の大きさによつても捕捉率は変化するのであるが、これらの条件を無視して、測器の捕捉率は単に風速のみに関係するとした。このような程度の実験なので、詳細な検討を加えることはできないが、概略の考察を試みたものである。

浜中および宮海において測定した各雛形防風林の風上・風下および林内中央の付着塩素量と風速を示せば第6表のごとくである。

付着塩素量は防風林の風上側では、無林地と同様に汀線からの距離にしたがつて減ずるが、防風林にはいると急に減少し、防風林の風背直後のところで最小を示し、防風林を遠ざかるに従つてわずかながら増加する。防風林を出たところは、防風林の塩分濾過効果の最も大きく現われるところで、これより遠ざかると防風林の上方を越した気流が下降してきて濾過された空気に混ざるので塩分量が増加するのであるが、



第3図 空中塩素量および風速の垂直分布
(浜中海岸)

Fig. 3 Vertical Distribution of Chlorine Contents in Sea Wind as well as Wind Velocities at Hamanaka Sea-shore.

第6表 雛形防風林の風上および風下における付着塩素量と風速

Table 6. Weight of Chlorine Caught in Sea Wind on the Windward and the Leeward Field as well as in the Model Windbreaks.

防風林に対する位置 Situation as to Windbreak	-5h		-1h		林内中央 Middle of Windbreak		+1h		+5h		備 考
林 型 Forest Type	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	

浜 中 (スギ)

Hamanaka (Sugi, *Cryptomeria japonica* D. DON)

a	0.197	3.56	0.182	2.83	0.010	1.38	0.016	0.94	0.032	1.94	
c	0.514	7.65	0.464	5.47	0.040	1.91	0.008	0.91	0.032	1.25	
d	0.453	10.51	0.367	9.91	0.045	2.70	0.005	1.32	0.025	1.99	

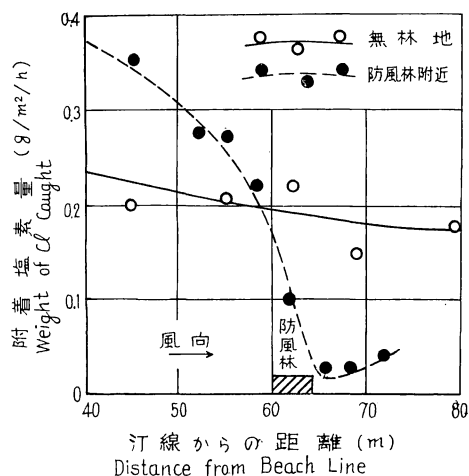
宮 海 (クロマツ)

Miyaumi (Japanese Black Pine, *Pinus Thunbergii* PARL.)

c	0.599	8.34	0.424	7.51	0.058	(2.73)	0.034	0.67	0.045	2.09	c型の林内中央の 風速欠測。浜中c 型の林内中央の風 速は-1hと+1h の風速の和の1/3 に近似しているの で7.51と0.67の 和の1/3と推定し て()を付す。
d _i	0.938	8.75	1.017	9.36	0.497	3.68	0.136	3.68	0.226	4.55	
e _i	0.277	3.12	0.220	2.96	0.102	1.59	0.028	1.03	0.040	1.44	
e _{ii}	1.441	6.92	1.158	6.50	0.407	4.98	0.147	2.15	0.288	2.98	
f	1.300	7.30	1.119	6.50	0.599	6.50	0.429	3.43	0.277	5.04	

注: (1) 付着塩素量 ($g/m^2/h$), (2) 風速 (m/s)

Notes: Weight of Cl Caught Wind Velocity

e_i・e_{ii} は同じ e 型林について2回の測定を行ったことを示す。

第4図 防風林付近の空中塩素量の水平分布
Fig. 4 Horizontal Distribution of Chlorine
Contents in Sea Wind 1 m above the
Ground on the Unstocked Land (O)
and near the Windbreak (●).

気流が完全に混合するところまでが防風林の効果距離となるものである。第4表に掲げた宮海海岸の無林地の汀線からの距離による空中塩素量の変化の測定は、汀線から45.0~55.5mの範囲で宮海における全測定を通じて付着塩素量の最も少なかった場合であつて、汀線から55.5mの付着塩素量は $0.203 (g/m^2/h)$ であり、同所の雛形防風林e_i型の実験においては、55.5mの付着塩素量は $0.271 (g/m^2/h)$ で前記のものに塩素量が最も近いので、両者の防風林付近に相当する部分の付着塩素量の分布を図によつて比較してみると第4図に示すごとくで、塩素量は防風林の背後でいぢるしく減じ、防風林の塩分濾過効果が明らかに現われていることがわかる。

つぎに本実験の主要点である防風林の捕捉率についての検討に移るのであるが、まず捕捉率の求

めかたについて、前回の報告のものと多少異なるので説明を加える。前回は防風林の風上および風下における空中塩素量の濃度比から捕捉率を求めたのであるが、今回は風速の異なるごとにガーゼの捕捉率を推算して、防風林の風上・風下における 1 m^2 の面積を1秒間に通過する塩素量を求め、その差を風上の値をもつて割り捕捉率を求めた。すなわち、捕捉率 B は次の式で求めた。

$$\beta_{(1-1)} = 1 - \frac{n_{+1}}{n_{-1}}$$

$\beta_{(1-1)}$ ：防風林の -1 h と $+1\text{ h}$ における測定資料から求めた捕捉率

$n_{-1} \cdot n_{+1}$ ： -1 h ・ $+1\text{ h}$ における 1 m^2 を1秒間に通過する塩素量 ($\text{g/m}^2/\text{s}$)

この方法としては、防風林にできるだけ接近した風上および風下の2個所で空中塩素量を求め、その差を防風林による塩分の捕捉量とし、これを風上塩素量で割って捕捉率を計算するのであるが、測定の際防風林にあまり接近すると風の乱れが大きいので、小数の測点では的確な測定値が得られない。この実験では、風上・風下とも測点は数箇所にしたが、測点の地上高が 1 m で、雛形林の高さの割合に高いので、風下も $+1\text{ h}$ 付近まで接近して差し支えないと思われたので、 -1 h と $+1\text{ h}$ の測定資料を用いて捕捉率を求めることとした。

測定資料から塩素量 $n_{-1} \cdot n_{+1}$ を求めるためには、捕捉器ガーゼの捕捉率を決めなければならない。捕捉率は捕捉物体（円柱体として）の半径、捕捉される水滴の大きさ、水滴が捕捉物体にあたるときの相対速度に関係する。今井一郎³⁾によれば、水滴流が円柱体に直角にあたる場合、その円柱体の捕捉率 α はつぎの式で表わされる。

$$\alpha = f\left(\frac{V}{KR}\right)$$

V ：風速 R ：円柱体の半径

$$K = \frac{9}{2} \frac{\eta}{\rho a^2} \quad a: \text{水滴の半径} \quad \eta: \text{流体（空気）の粘性率} \quad \rho: \text{水滴の密度}$$

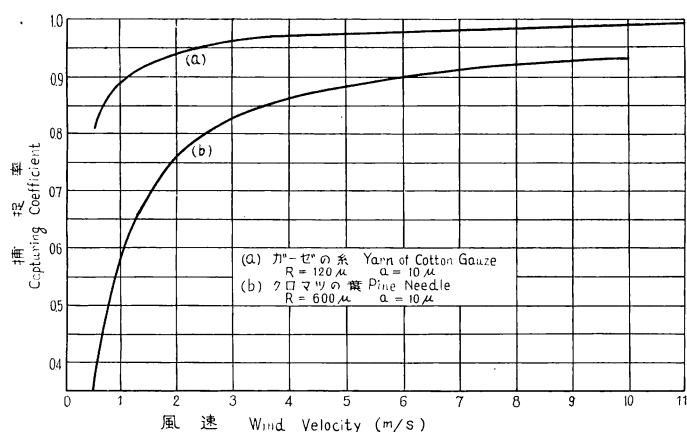
しかして同氏は、 α と V/KR の関係を理論的に一つの曲線で示している。

いま塩分水滴の半径を $10\text{ }\mu$ 、ガーゼの糸を円柱体とみなし、その半径を $120\text{ }\mu$ 、ガーゼの間隙率を 47% 、すなわちガーゼ布はこの円柱体が 47% の間隙をもつて平面上に集まつたものとする。塩分水滴粒子の大きさは、この実験の際には測定を行わなかつたが、他の海岸で数回行つたものがある。その一つに、本実験地と条件の似た秋田県由利郡西目村西目川川口左岸の海岸において行つたものがある。汀線から 10 m ごとに陸内の方へ 70 m まで、汀線を加えて8地点において地上約 1 m の空中塩分水滴粒子を採取した。採取の方法は、薄いデツキグラスを幅 5 mm に細断して一端にシダーオイルをわずかに塗り、この面を風向に直角になるようにして支え、8カ所同時に5分間放置した。測定時は昭和31年3月19日正午頃、風速は 6.1 m/s で海上から陸へ吹いていた。塩分水滴粒子はシダーオイルによつて捕えられ、オイル中に懸垂しているので、速やかにこれを顕微鏡下で見ると水滴の大きさを測定することができる。この測定の結果は、水滴の大部分のものは直径 $15\text{ }\mu$ 以下で、汀線では大粒のものが混入しているが、汀線からの距離が遠くなるにつれて、大粒のものがしだいに減じている。すなわち汀線では直径 $60\sim 40\text{ }\mu$ のものが少数混じり、 $30\sim 20\text{ }\mu$ のものが相当多数混入する。汀線から 10 m の点では $40\text{ }\mu$ 以上のものは全く見られず、 $30\sim 20\text{ }\mu$ のものがわずかに混じている。汀線から 40 m にいたれば $30\sim 20\text{ }\mu$ のものはきわめてわずかなり、ほとんど $15\text{ }\mu$ 以下のものであつた。この結果は、前に行つた宮城県北釜海岸・神奈川県鶴沼海岸

第7表 風速とガーゼの糸およびガーゼの捕捉率

Table 7. Capturing Coefficients of Cotton Gauze and its Yarn for Salt in Sea Wind as to Wind Velocities.

風速 Wind Velocity (m/s)	ガーゼの糸 Yarn of Gauze	ガーゼ Gauze	風速 Wind Velocity (m/s)	ガーゼの糸 Yarn of Gauze	ガーゼ Gauze
0.5	0.81	0.43	6.0	0.98	0.52
1.0	0.88	0.47	7.0	0.98	0.52
2.0	0.94	0.50	8.0	0.98	0.52
3.0	0.96	0.51	9.0	0.99	0.53
4.0	0.97	0.51	10.0	0.99	0.53
5.0	0.97	0.51			



第5図 風速と捕捉率との関係

Fig. 5 Capturing Coefficients for Salt in Sea Wind as to Wind Velocities.

が大きかったと考えるべきであるが、ここでは両地とも同じとし、捕捉される水滴粒子の平均半径を 10μ と仮定した。

V/KR の値を、 $\eta = 1.72 \times 10^{-4} \text{ g/cm} \cdot \text{s}$ (気温 $2 \sim 3^\circ \text{C}$) $\cdot \rho = 1 \text{ g/cm}^3 \cdot a = 10 \mu$ として各風速ごとに求め、前記今井の曲線にこれをあてはめて、風速に対するガーゼの糸の捕捉率を求めると第7表のごとくなる。

この風速と糸の捕捉率の関係を図示すると第5図(a)のごとくである。捕捉率は風速とともに増大し、風速 2 m/s ぐらいまでは急に増大し、 2 m/s になると捕捉率は 0.94 となり、その後の増加割合はしだいに小さくなる。

つぎに、ガーゼの捕捉率は、間隙率が 47% であるから、(糸の捕捉率) $\times (1 - 0.47)$ より求められる。ガーゼの捕捉率も第7表に掲げた。これをみると、風速 0.5 m/s の捕捉率は 0.43 、風速 10 m/s の場合は 0.53 で、風速による捕捉率の差があまり大きくないことがわかる。なお、福富孝治・須川 明¹⁾ の実験によると、風速 0.48 m/s のとき海霧のガーゼによる捕捉率は $0.2 \sim 0.5$ であつた。この結果と比べると、前表の数字はこれと大差のない値を示している。

風向に直角な断面の 1 m^2 を1秒間に通過する塩素量 n は、付着塩素量とガーゼの捕捉率から、つぎの式で求められる。

のものに比べると、粒径が小さく現われている。水滴の粒径分布がガウス分布の型であるとすれば、粒径別捕捉水量の最大は、粒径分布の最大よりも粒径の大きい方にずれるはずであるが、ここではこのような詳細な測定は行わなかつた。浜中実験地の雛形防風林の海側林縁は汀線から 20.5 m 、宮海は 60.0 m であつたので、防風林に入る水滴粒子の大きさは平均して浜中の方

$$n = \frac{\text{付着塩素量 (g/m}^2\text{/h)}}{3\,600 \times (\text{ガーゼの捕捉率})}$$

実験した各雛形防風林の $-1h$ および $+1h$ における塩素量を求めると第8表のごとくである。この塩素量を用いて求めた防風林の捕捉率 $\beta_{(1-1)}$ は同表に示すごとくである。

第8表 雛形防風林の塩分捕捉率
Table 8. Capturing Coefficients of the Model Windbreaks for Salt in Sea Wind.

林型 Forest Type	付着塩素量 Weight of Cl Caught (g/m ² /h)		風 速 Wind Velocity (m/s)		捕 捉 率 Capturing Coefficient				塩素量 (n) Weight of Cl (g/m ² /s (×10 ⁻⁴))		防風林の 捕 捉 率 Capturing Coefficient of Windbreak β ₍₁₋₁₎	塩素濃度 Concent- ration of Cl in Sea Wind (g/m ³ (×10 ⁻⁴))
	-1h	+1h	-1h	+1h	糸 Yarn		ガーゼ Gauze		-1h	+1h		
					-1h	+1h	-1h	+1h				

浜 中 (スギ)

Hamanaka (Sugi, *Cryptomeria japonica* D. DON)

a	0.182	0.016	2.83	0.94	0.955	0.882	0.506	0.467	1.020	0.096	0.906	0.365
c	0.464	0.008	5.47	0.91	0.980	0.877	0.519	0.465	2.480	0.048	0.981	0.452
d	0.367	0.005	9.91	1.32	0.990	0.917	0.525	0.486	1.945	0.029	0.985	0.197

宮 海 (クロマツ)

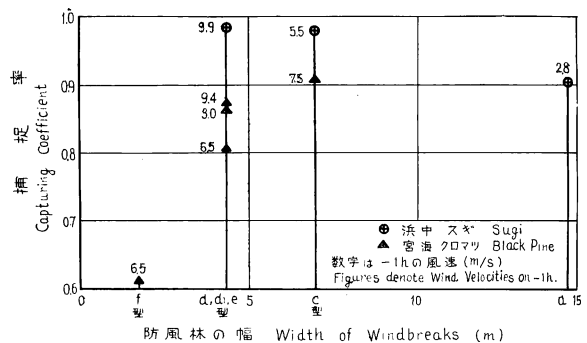
Miyaumi (Japanese Black Pine, *Pinus Thunbergii* PARL.)

c	0.424	0.034	7.52	0.67	0.982	0.842	0.520	0.446	2.270	0.212	0.907	0.315
d _I	1.017	0.136	9.36	3.68	0.990	0.970	0.525	0.514	5.380	0.736	0.863	0.578
e _I	0.220	0.028	2.96	1.03	0.960	0.902	0.509	0.478	1.205	0.163	0.865	0.400
e _{II}	1.158	0.147	6.50	2.15	0.980	0.945	0.519	0.501	6.220	0.814	0.817	0.960
f	1.119	0.429	6.50	3.43	0.980	0.967	0.519	0.513	6.010	2.330	0.612	0.927

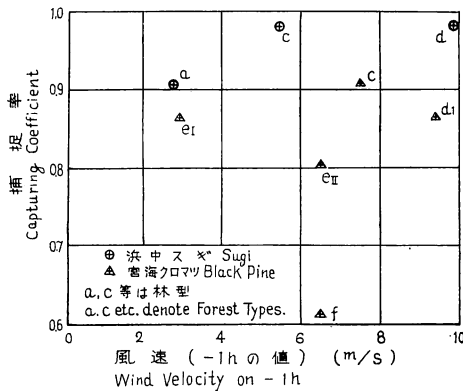
防風林の捕捉率と幅との関係を検するには、空中塩素濃度 ($n \div (\text{風速})$) と風速がほぼ等しい状態のとき、幅の異なる防風林について比較実験を行うことが必要なのであるが、この実験は野外実験で、実験回数も少ないので、実験のときの空中塩素濃度も風速も不揃いであった。この測定結果から、防風林の捕捉率と幅との関係を概観するため、第8表の捕捉率と幅との関係を図に示してみると、第6図のごとくである。図中各点のかたわらに記してある数字は、それぞれ $-1h$ における風速である。図の各点は相当ばらついているが、捕捉率は防風林の幅の大きさにしたがって大きくなることがだいたい認められる。これを

浜中と宮海の分とに区別してみると、宮海のはうは捕捉率と幅の関係は相当密接な関係を示すが、浜中のほうはその関係はほとんどみられず、むしろ捕捉率は風速に関係があり、風速が大きくなると捕捉率が增大するように見られる。

それで、つぎに第8表に示した捕捉率と $-1h$ の風速の関係をプロットしてみると第7図のごとくである。これを概観すると、風速と捕捉率の関係のあることはほとんど認められない。しかし浜中と



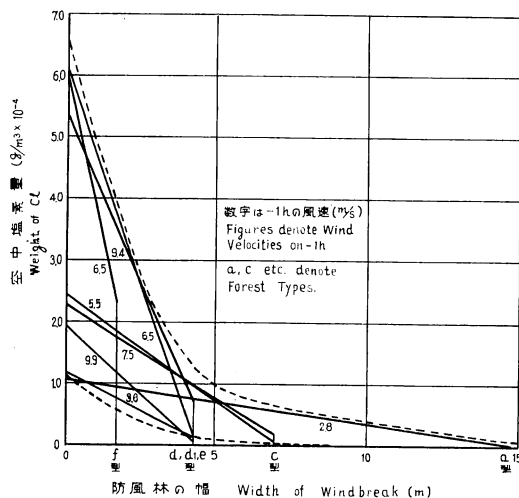
第6図 雛形防風林の幅と空中塩分捕捉率
Fig. 6 Capturing Coefficients of the Model Windbreaks for Salt in Sea Wind as to Their Widths,



第7図 防風林の空中塩分捕捉率と風速
Fig. 7 Capturing Coefficients of
Windbreaks for Salt in Sea Wind
as to Wind Velocities.

あるが、風速との関係をさらに考察してみるに、宮海の実験5回の風速は、3.0 m/s から 9.3 m/s の間にあつたが、3.0 m/s の弱風は1回で、その他は 6.5~9.3 m/s の間にあり、風速の差は少なかった。浜中の実験3回の風速は 2.8・5.5 および 9.9 m/s で、差は相当大きい。このことから考えて、防風林の捕捉率と風速の間にも正の関係が存在するが、これは幅との関係のごとく大きいものではなく、風速の差が大きい場合、たとえば 2 m/s と 5 m/s あるいは 10 m/s のごとく数倍の風速が現われたときで、幅の差があまり大きくないときは、風速の関係のほうが大きく現われることがあるものと解せられる。しかし実際に捕捉効果を考える場合には、同じ場所にある防風林は、常に風速・空中塩分量等も同じ条件の下にあるわけであるから、現実には防風林の捕捉率は幅にのみ関係するものと考えて差し支えない。

また別の観察から防風林の捕捉率と幅の関係についてみるに、直交軸の縦軸に空中塩素量 (n)，横軸に



第8図 防風林の -1h と +1h とにおける空中塩素量
Fig. 8 Chlorine Contents in Sea Wind on -1h
and +1h of the Windbreaks.

宮海の分とを区別してみると、宮海においては全く関係が認められないが、浜中においてはすこしく風速と捕捉率との関係があることが認められる。

防風林の捕捉率と幅、および捕捉率と風速との相関係数を求めてみるとつぎのごとくである。

捕捉率と幅との相関係数 $r = 0.494 \pm 0.180$

同 (宮海のみについて) $r = 0.908 \pm 0.053$

捕捉率と風速との相関係数 $r = 0.00848 \pm 0.237$

すなわち、相関係数は前記のことを示している。浜中の測定回数が少ないので、風速との相関係数は求めなかつたが、図からみても正の関係のあることは明らかである。

捕捉率と防風林の幅とが関係のあることは明らかで

鑑形防風林の幅をとり、幅の0点を通る縦軸上に -1h の塩素量、防風林の幅の長さを示す点を通る縦軸上に +1h の塩素量をとつて、両点を結ぶと第8図を得る。これを見ると、-1h の塩素量が大きいときは林によつて捕捉される塩素量が多く、林内における塩素量の減少が急激であり、-1h の塩素量の小さいときは林内における塩素量の減少は割合に少ない。また -1h の塩素量は大体風速に関係しているので、風速の大なるときは林内の塩素量の減少が大きいことになる。同図の2つの破線は、-1h の塩素量が防風林を通過することによつて減少する状況を現わすもので、幅の広い防風林ほど減少量が多いことを示すとともに、これら2線はこの実験

に現われた範囲を示すもので、上部の曲線は $-1h$ の塩素量がおよそ $6.5 \times 10^{-4} g/m^2/s \cdot \text{風速 } 6 \sim 9 m/s$ のとき、下部の曲線は $-1h$ の塩素量がおよそ $1.0 \times 10^{-4} g/m^2/s \cdot \text{風速 } 3 m/s$ 前後のとき、それぞれ $+1h$ における塩素量が防風林の幅を増すに従つて減少する状況を示すものである。この曲線ははじめは急にのち漸次緩やかに減少する傾向を示すが、 $+1h$ の塩素量は防風林の幅とともに減少している。このことは、防風林の幅が大きくなると、塩分の捕捉量(したがつて捕捉率も)が大となることを示すものである。

以上は防風林の風上・風下の塩素量から間接に防風林の捕捉率を求め、捕捉率と幅の関係を検討したのであるが、つぎに宮海で実験したクロマツ林について、クロマツの葉の捕捉率を推算し、これより防風林の捕捉率の比較値を求め、捕捉率と幅との関係をさらに検討してみる。

クロマツの葉は大体半円柱体であるが、細いのでこれを円柱体と考え、その半径を 600μ 、塩分水滴の半径を 10μ と仮定し、葉の長さの方向が気流に直角であるものとして、前述の今井の図から風速とマツ葉の捕捉率の関係を求めてみると第9表の値をうる。この関係を図に示すと第5図(b)のごとくである。捕捉率は $0.5 m/s$ ぐらいの微風のときは小さいが、これより風速を増すと急に大となり、風速 $3 m/s$ 付近までは急増する。これより以上では風速の増加にともなう捕捉率の増加割合はしだいに小さくなる。

ここで、クロマツの葉の捕捉率から防風林の捕捉率比較

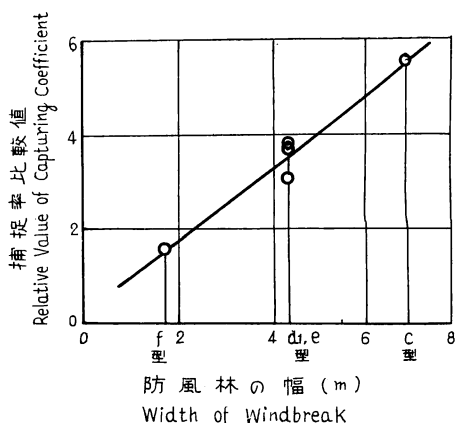
第9表 風速とクロマツの葉の塩分捕捉率
Table 9. Capturing Coefficients of Japanese Black Pine Needle for Salt in Sea Wind.

値を推算するのに、葉は全部風の方向に直角の位置にあり、風向からみて葉の重なり合いがなく、林内の風速は林の中央の風速で平均して吹いている、空中塩素量も風上林縁から林を出るまで変らない、また防風林の葉の数は林

風速 Wind Velocity (m/s)	捕捉率 Capturing Coefficient	風速 Wind Velocity (m/s)	捕捉率 Capturing Coefficient
0.5	0.34	7.0	0.91
1.0	0.58	8.0	0.92
2.0	0.76	9.0	0.93
3.0	0.83	10.0	0.94
5.0	0.88	15.0	0.95
6.0	0.90	20.0	0.97

の幅に比例するものと仮定する。測定で得た各防風林の中央風速に相当する捕捉率を、第5図(b)曲線を用いて求め、これに防風林の幅を乗ずれば、各防風林の捕捉率の比較値が得られる。これを第10表に示した。これをみると、各防風林の林内風速は相当差があるが、捕捉率比較値は第9図に示すように防風林の幅の大きさに伴つてほとんど直線的に増大している。

またこの防風林の捕捉率比較値に $-1h$ における空中塩素量を乗ずれば、防風林によつて捕捉される塩素量の比較値が得られるので、これを同表末尾の欄に掲げた。これをみると、防風林による塩素捕捉量は林内風速のわずかな違いによつて著しい差を示し、たとえば同じ林型の e 型で、林内風速が $1.6 m/s$ のときの捕捉率比較値が 3.71 で、風速 $5.0 m/s$ のときの比較



第9図 防風林の幅と空中塩分捕捉率比較値
Fig. 9 Relative Values of Capturing Coefficients of Windbreaks for Salt in Sea Wind as to Their Widths.

第10表 防風林の幅と塩分捕捉率比較値 (宮海)
Table 10. Relative Values of Capturing Coefficients of Model Windbreaks for Salt in Sea Wind as to Their Widths (Miyauimi).

林型 Forest Type	防風林の幅 Width of Windbreak (m)	林内中央の風速 Wind Velocity at Middle of Windbreak (m/s)	マツ葉の捕捉率 Capturing Coefficient of Pine Needle	防風林の捕捉率 比較値 Relative Value of Capturing Coefficient of Windbreak	-1hの空中 塩素量 Weight of Cl in Sea Wind at -1h ($g/m^2/s \times 10^{-4}$)	防風林の塩素 捕捉率比較値 Relative Value of Cl Caught by Windbreak
c	6.93	2.7	0.805	5.58	2.270	13.10
d ₁	4.33	3.7	0.855	3.70	5.380	19.92
e _I	4.33	1.6	0.710	3.07	1.205	3.71
e _{II}	4.33	5.0	0.875	3.79	6.220	23.57
f	1.73	6.5	0.905	1.57	6.010	9.41

値が 23.57 で約7倍となる。また d₁ 型林で風速 3.7 m/s のときの比較値が 19.92 であるが、これより幅の広い c 型林が風速が 2.7 m/s で、わずか 1 m/s 風速が小さいだけで、比較値が 13.10 (d₁ 型林に比べて葉の重なり合いが多いことなどで、あとに述べるようにこれよりも小さく修正すべきものである。) となり、d₁ 型林よりも小さい値を示している。このように、防風林の塩素捕捉量は林内風速によって大きい違いをきたすものであることがわかる。

第9図によつて、防風林の捕捉率比較値は幅に対してほぼ直線的に増加することが示されたが、この点についてはさきに述べた仮定とともに検討する必要がある。マツ林の樹冠は多数の針葉からなっており、針葉の長さの方向は、風向に対して垂直にあるもの、平行にあるもの、その中間の角度をなしているものがあるが、実際の林の葉数はきわめて多いことから、葉の数を無限大と考え、各種の角度をなしている葉数の全葉数に対する割合は等しいとし、この割合は防風林の幅の大小には関係がないと考えてさしつかえない。葉の方向が風向に直角な場合は葉の捕捉率が最大を示すときで、平行の場合は最小でほとんど0に近くなる。それで防風林全体としての葉1本あたりの平均捕捉率は最大と最小の間のある決つた値をもつものと考えられるので、捕捉率比較値を求めるのに葉の捕捉率の最大値を用いてもさしつかえないわけである。また防風林の幅を葉の捕捉率に乗じて防風林の捕捉率比較値を求めたことは、幅は葉の総数をあらわすものとしたもので、これもさしつかえないと考えられる。つぎに防風林の葉が風向からみて重なり合いがないと仮定したのであるが、重なり合いは当然あるべきもので、幅が広くなるにしたがつて重なり合いが多くなり、その結果葉1本あたりの平均捕捉率の値が低下することとなる。また林内の空中塩素量は一様なものではなく、風上から風下林分に行くに従つて減ずる。それで葉によつて捕捉される塩素量は風下に進むにしたがつて漸次減少するので、防風林全体としてみれば、これも幅が広くなるに伴つて葉1本あたりの平均捕捉率の値を小ならしめる原因となる。第9図に防風林の捕捉率は幅とともに直線的に増加するごとく示されたが、これは仮定の一部に不合理な点があり、実際は前記2つの条件によつて捕捉率の増加は直線的ではなく、幅に伴う増加の割合は漸次減少し、捕捉率1.0の線を漸近線とする曲線の形をとるべきものと思われる。

また林内の風速も林内で一様ではなく、大体風上林内では大で、すこしく林内にはいと急に減少し、

その後は徐々に減少する変化をとるので、かりにこの平均風速を求めたとしても、その風速に対する捕捉率は防風林の捕捉率に一致するものではなく、防風林各部の捕捉率は異なるので、その平均捕捉率に該当すべき風速を林内一カ所で求めることは困難である。ここで用いた林内中央風速も防風林の平均捕捉率に該当すべき風速とはいえないが、これが林内風速測定のための唯一の資料であつて、各防風林の比較数値として用いても大差ないと考えられる。しかし実際に防風林の平均捕捉率を求めべき風速としてはすこし過小ではないかと思われる。この林内風速の分布と林分の捕捉率の関係は主要な問題であるので、今後詳細な研究が必要と思われる。

最後に、捕捉率と樹種との関係について、この実験ではスギとクロマツの2種で行われたが、第6図をみるとスギ林がクロマツ林より捕捉率が大体大きいように現われているが、実験の条件が多少異なるうえに実験回数がありにも少ないので、スギ林のほうが捕捉率が大きいと推断することはできない。この点も今後の研究にまつべきものである。

Ⅱ 海岸防風林が土壌塩分量に及ぼす影響

1. 実験および実験地の概要

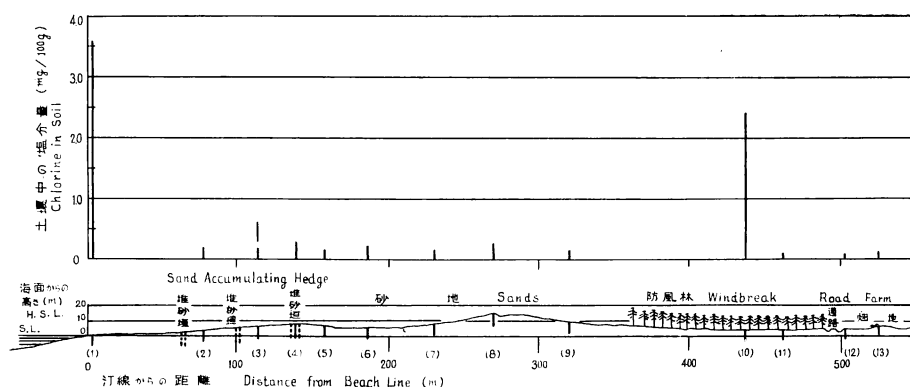
海岸にある防風林は海風中の塩分を濾過して、風下の空中塩分量を減少するので、地上に落下する塩分量は風上に比べると著しく少ない。また防風林内の空中塩分量は無林地より少ないが、樹冠に付着した塩分が降雨の際洗い落されるので、結局の落下量は無林地より多くなり、林内の土壌塩分量を増加する作用をする。一つの防風林でも風上林分と風下林分とでは樹冠に捕捉される塩分量が著しく異なるので、風上林分と風下林分では土壌塩分量にも差を示すべきである。この関係を明らかにせんと試み、浜中および宮海の離形防風林実験地の近傍に適当な現実防風林を求め、予備的実験を行つたのであるが、今後の研究のためここに測定結果の概要と考察とを述べるものである。

実験に供したのはクロマツ現実防風林で、幅・樹高・胸高直径・海岸からの距離等は第11表のごとくである。

実験地の地形は第10図(a)・(b)に示したように、汀線から防風林までは両地とも多少の起伏はあるが、大体ごくゆるやかな上り斜面の砂原である。浜中は汀線から370mで防風林に達し、汀線から250m

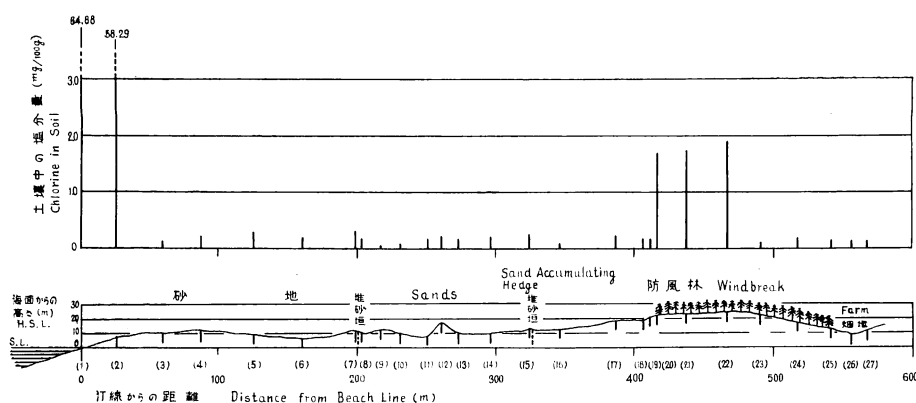
第11表 クロマツ防風林の構成
Table 11. Stand Conditions of the Japanese Black Pine Windbreaks.

場 所 Locality	樹 種 Tree Species	汀線から海側 林縁までの 距離 Distance from Beach Line to the Windward Edge of Windbreak (m)	汀線から陸側 林縁までの 距離 Distance from Beach Line to the Leeward Edge of Windbreak (m)	防風林の幅 Width of Windbreak (m)	平均樹高 Mean Tree Height (m)	平均胸高直径 Mean Diameter Breast High (cm)	立木本数 Number of Standing Trees (per ha)
浜 中 Hama- naka	クロマツ Black Pine	370	485	115	9.00	21.0	646
宮 海 Miyaumi	クロマツ Black Pine	416	540	124	8.06	12.3	1,464



第 10 図 (a) 海岸砂地と防風林の土壌塩分量の分布 (浜中)

Fig. 10 (a) Distribution of Chlorine Contents in the Beach Soil for the Points in and out of the Windbreak at Hamanaka Sea-shore.



第 10 図 (b) 海岸砂地と防風林の土壌塩分量の分布 (宮海)

Fig. 10 (b) Distribution of Chlorine Contents in the Beach Soil for the Points in and out of the Windbreak at Miyaumi Sea-shore.

ぐらゐの所に高さ約 10 m の第 1 砂丘があり、その後方はやや下り気味で防風林に達する。汀線と第 1 砂丘の間には 2～3 の堆砂垣が設置されてあるが、すでに完全に埋没してやや高所をなし、汀線から第 1 砂丘までの緩斜砂原は 1～2 の小凹凸地形を有するのみである。この砂原には植生は全くなく、完全な飛砂地である。砂丘の後方防風林までの間もほとんど植生がなく、ただ防風林の近くにわずかに草や小灌木が生じている程度の砂原である。それで防風林の前方の飛砂地からは、普通の風では飛砂が林内に吹き込むことはほとんどなく、ただ非常に強い風があるときは風上林縁付近には少しく飛砂が吹き込むものとみられる。

宮海は汀線から 416 m で防風林に達し、汀線から 250 m ぐらゐのところに小砂丘があり、砂原中で最も高い凸所となっている。その前方汀線から 200 m 付近およびその後方汀線から 320 m 付近に埋没した堆砂垣があり、やや高所をなしている。汀線から 320 m の堆砂垣付近からゆるやかな上り斜面となり、斜面の中ごろから防風林となり、防風林の中央付近が最高になつて、その後ゆるやかな下り斜面となる。防風林の前の砂原にはほとんど植生がなく、ただ風上林縁の砂地には幅 30～40 m の間に小灌木が疎生している。林内への飛砂の吹き込みはきわめて少ないものと思われる。

2. 土壌の採取

土壌中の塩分量を検出するための資料は、汀線から防風林帯にほぼ直角な直線上に土壌標本採取点を設け、浜中においては汀線から 525 m すなわち防風林後方 50 m までの間に 13 点、宮海においては汀線から 566 m すなわち防風林後方 25 m までの間に 27 点標本採取箇所をとつた（第 10 図参照）。土壌資料は、浜中では地表から深さ 20 cm、宮海では 30 cm までの土壌をよく混合して取つた。

3. 測定結果

土壌塩分量の定量方法は、まず供試土壌を室内にて十分に空気乾燥し、このなかから 100 g を取り振盪ビンに入れて 300 cc の蒸留水を加えてときどき振盪して 48 時間放置したのち、定性濾紙 No. 2 をもつて振盪液を濾過し、その濾液より 50 cc を取つて Mohr の滴定法により塩素量を定量した。これを気乾土壌 100 g 中の塩素量 mg をもつて表わした。この測定は 1 測点の資料について 3 回行い、3 回の測

第 12 表 土 壌 塩 素 量
Table 12. Salt Contents in the Beach Soil.

採取点番号 No. of Sample	汀線からの 距離 Distance from Beach Line (m)	海面からの 高さ Height above Sea Level (m)	塩 素 量 Weight of Cl in Soil (mg/100g)	塩素量平均値 Mean of Weight of Cl (mg/100g)	備 考
浜中海岸 Hamanaka Sea-shore					
1	3.8	1.7	3.834	—	埋没堆砂垣の上
2	78	4.8	0.162	—	
3	114	6.7	0.570	0.224	
4	139	8.3	0.258		
5	158	7.3	0.138		
6	186	6.1	0.162		
7	230	9.0	0.138		
8	270	14.9	0.246	0.066	
9	320	10.0	0.114		
10	437	4.7	2.394		
11	460	4.5	0.054		
12	503	5.2	0.054		
13	525	6.2	0.078		
宮海海岸 Miyaumi Sea-shore					
1	0	0	64.884	—	堆砂垣（ほとんど埋没）の前 同 後
2	26	8.0	58.290	—	
3	60	11.6	0.114	0.171	
4	87	13.6	0.210		
5	125	9.8	0.282		
6	160	6.4	0.162		
7	198	12.6	0.294		
8	202	11.6	0.162		
9	216	13.2	0.066		
10	230	10.2	0.114		
11	250	7.6	0.150		
12	260	18.0	0.198		1.774
13	270	10.2	0.150		
14	296	11.4	0.198		
15	324	12.4	0.234		
16	346	12.6	0.054		
17	386	18.4	0.210		
18	406	18.4	0.150		
19	411	21.2	0.150		
20	416	22.8	1.674		
21	437	22.8	1.746		
22	466	25.2	1.902	0.138	防風林内風上部 同 上 防風林内風下部
23	490	23.2	0.102		
24	516	18.0	0.174		
25	540	13.2	0.138	0.138	防風林背後の畑地 同 上
26	555	9.2	0.138		
27	566	12.0	0.138		

定値の平均を求めたものである。測定の結果は第12表に示すごとくである。

塩分量調査線の地形縦断面図の測定点に相当する位置に、縦太線で塩素量を記入したものは第10図(a)・(b)の各上部に示した。これによつて地形および防風林と塩素量分布の関係がみられ、大体つぎのようなことが観察される。

(i) 汀線付近は土壌塩素量は著しく大である。ここは満潮時には海水の達する部分で、波打ちぎわの地形が緩斜の所ではこの範囲が長く、急斜の所では短い。これより陸にはいと急に塩素量を減ずる。浜中では汀線から78m、宮海では60m付近から急に減じ、防風林までの間は約300mで距離があまり長くない関係かもしれないが、この間は汀線からの距離と塩素量の間にはほとんど関係がみられず、むしろ塩素量は地形に支配されることがみられる。

(ii) 地形の関係でみると、堆砂垣の前面(海に面する側)および砂丘の頂上は塩素量が多く、その背面は少ない。浜中海岸では堆砂垣の上・第1砂丘の頂上ではその前後の個所の約2倍の塩素量を示し、宮海海岸でも堆砂垣の前面および砂丘の頂上ではその近傍より明らかに大きな値を示している。

(iii) 砂地から防風林にはいと、第10図にみるように土壌塩素量は急に増加する。しかしこれは風上林分に限られ、風下林分へ進むと著しく減じて、宮海では防風林背後地の土壌塩素量と同じくらい、浜中ではそれよりもやや少ないくらいの値を示している。防風林の前の砂地・防風林の風上部分・同風下部分および防風林背後地における土壌塩素量の平均値をかかげてみると第13表のごとくである。

第13表 土壌塩素量(mg/土壌100g)の比較
Table 13. Comparison of Chlorine Contents in the Beach Soil
(mg/100g of Dry Soil).

場 所 Locality	防風林前砂地 Windward Field of Windbreak	林内風上林分 Windward Part of Windbreak	林内風下林分 Leeward Part of Windbreak	防風林背後地 Leeward Farm of Windbreak
浜 中 Hamanaka	0.224	2.394	0.054	0.066
宮 海 Miyauimi	0.171	1.774	0.138	0.138

この測定では、土壌塩素量の特に多量である部分は、両防風林とも風上林縁から70~80mまでの風上林分である。

(iv) 防風林の背後地においては、防風林林前の砂地よりは塩素量が著しく少なく、防風林風下林縁付近とはほぼ同じ程度である。

4. 測定結果についての考察

この実験は気候・地形・林相等よく以た山形県海岸2カ所において行つたものであるが、いずれも冬季2月の観測である。この実験は場面の広さに比べて塩分量の測定点が少なく、深さ別の調査も欠けている。また土壌の物理的性質・気象条件・現実防風林の塩分捕捉量などの調査も必要であり、詳細な検討を行うには資料不十分であるが、この測定によつて得られた結果と他の研究者の調査結果などを借りてすこしく考察を加えてみる。

(I) 海岸地帯における落下塩分量

海岸地帯における土壌塩分の給源は、海水の進入のない普通の砂原では、主として海風によつて陸内に送られてきた塩分が地面に落下したものである。しかし土壌塩分は雨水によつて溶解されて下層に滲透するので、浅層の土壌塩分量は滲透した残留分と雨後落下した塩分である。また海風はすこし強くなると飛砂を起し、汀線付近の多量に塩分を含んだ砂粒を陸内の方へ吹き送り、砂地の塩分を増加する。したがつて、砂地の塩分の供給主体は落下塩分であるけれども、その塩分量は降水量・降水回数・飛砂量・土壌の滲透性等の物理的性質・地形などが関係して諸種の条件に作用され、たえず変化するもので、場所によりまた同じ場所でも時により相当変化のあるものと思われる。

海岸地帯における塩分の落下量については、内田茂男が青森県横浜海岸において行つた実験結果がある⁵⁾。これによると、落下塩分量は海風の強さに比例して増加し、汀線において最も大で、汀線から離れるに従つて最初は急に、後しだいに減少する。また防風林内では著しく減少し、防風林の背後地においてわずかに増加し、+10 h 付近まで増加の傾向をたどり、+10 h より遠くはしだいに減少する。同氏の横浜海岸における実験結果の一部を示すと第14表のごとくである。

第14表 落下塩分量 ($\times 10^{-6} \text{g/m}^2/\text{s}$)
 Table 14. Amount of Salt Falling on the Sea-shore Field.

標準風速 Standard Wind Velocity (m/s)	汀線からの距離 (m) Distance from Beach Line								
	防風林前地 Windward of Windbreak						防風林内 In Wind- break	防風林後地 Leeward of Windbreak	
	22.8	30	70	75	120	240	335	420	520
8.64	—	133.10	38.61	—	20.69	6.31	1.20	2.10	2.72
5.99	—	8.30	2.95	—	2.06	1.13	0.47	0.39	1.63
3.54	0.64	—	—	0.79	0.62	0.94	—	—	—

備考：標準風速は汀線から 15 m・地上高 1.5 m の風速。

落下塩分量は1秒間に1平方 m の地面上に落下する塩分量を g をもつて表わす。

風速 3.54 m/s は海風としては弱い方で、この程度の風のときは落下量は非常に微量で、汀線からの距離と落下塩分量との関係は見られない。風速が 5.99 m/s になると、これは海風では普通の風速であるが、汀線からの距離と落下塩分量との関係は明らかとなり、また林内に入つて落下量が減少し、防風林の直後でもつとも減じ、防風林を出るとすこし増加する傾向が明らかとなる。これより風速が大きく 8.64 m/s になるとこの関係は一層著しく現われてくる。

風速 5.99 m/s のとき汀線から 120 m の所の落下塩分量に対し、林内の落下量の割合は約 23% で、風速 8.64 m/s になるとその割合は約 6% となり、風速が大きくなると、林前落下量に対する林内のその割合は著しく小さくなり、防風林の塩分濾過効果が大きく現われる。

風速 5.99 m/s のとき汀線から 120 m の所の落下量は $2.06 \times 10^{-6} \text{g/m}^2/\text{s}$ であるから、これを 2×10^{-6} として単位を $\text{mg}/100 \text{cm}^2/\text{日}$ に換算すると 1.728 となる。林内の落下量をその 23% とすれば、面積 100cm^2 に落下する1日量は 0.397 mg となる。

(2) 海岸砂地の土壌塩分量とその分布

海岸砂地の土壌塩分の汀線から防風林までの分布をみると、汀線に近く海水の影響のある所を除けば、汀線からの距離との関係はほとんどみられない。土壌塩分は堆砂垣の前面・砂丘の頂上付近に多く、その背面に少なく、むしろ小地形に関係していることが認められる。これは塩分を比較的多量に含む下層の潮風が、海側に面する斜面に強く吹きつけて、地面に塩分を吸着せしめること、強風時には塩分を多量に含む汀線近くの砂粒が陸内の方へ吹き送られるが、堆砂垣の前面や砂丘頂上付近に堆積するものが比較的多いことなどが原因になるかと思われる。要するに砂原の塩分の給源は落下塩分で、その分布はだいたい汀線からの距離とともに減ずるのであるが、実際の土壌塩分の分布は砂原の局所地形や落下後の塩分の移動に支配されることが認められる。

この測定で、汀線からの距離が 120 m 付近の土壌塩素量として 120 m 付近 3 カ所の平均値をとると、浜中では $0.330 \text{ mg/土壌 } 100 \text{ g}$ 、宮海では $0.274 \text{ mg/土壌 } 100 \text{ g}$ となり、その土壌の容積重を 1.478 g/cm^3 とすると、海岸砂地の土壌 100 g の容積は約 67.66 cm^3 となり、容積 1 cm^3 の土壌中の塩素量は、浜中は 0.00488 mg/cm^3 、宮海は 0.00405 mg/cm^3 で、両地の平均では 0.00447 mg/cm^3 となる。それで面積 100 cm^2 ・深さ 1 cm の土壌中の塩素量は 0.447 mg となるので、これは前に求めた風速 5.99 m/s すなわち平常の風速のときの汀線から 120 m の所の 1 日の落下塩分量 $1.728 \text{ mg}/100 \text{ cm}^2/\text{日}$ の約 $1/3.9$ にあたり、深さ約 40 cm までの分を加算すると 10 日分の落下塩分量に相当する。これをみると、砂地に落下した塩分は比較的速やかに滲透して下層に沈み、上層にはわずかしかなかったものと考えられる。しかも海風は時に 10 m/s あるいはそれ以上の強風が吹き、このときは $5\sim 6 \text{ m/s}$ の風のときの数十倍の塩分量を落下せしめるのであるから、砂地における塩分の滲透は相当に速やかなものとみられる。

(3) 防風林内土壌中の塩分量と防風林の塩分捕捉量

林内の土壌塩分は風上林縁から $70\sim 80 \text{ m}$ までの間は著しく大で、それより風下の部分では急に減少していることが明らかにされた。林内の落下塩分量はきわめて微量であるから、常時の落下塩分量だけを考えると、林内の土壌塩分量は林前の砂地よりずっと少なくなるべきであり、また同一林分で風上林分と風下林分の土壌塩分量の差が大きすぎるように思われる。この原因としては一応つぎのことが考えられる。すなわち風上林分では強風のとき砂原から塩分の多い砂が吹き込むこと、土壌の滲透性が悪く水分が停滞すること、樹冠に捕捉された塩分が降雨の際洗い落されることなどである。この林地は非常な強風のときは飛砂が林内に多少侵入することもあると思われる。これが風上部・風下部の林地土壌塩分量の差をきたす一原因となるであろうが、防風林の前の砂地よりも塩分が多くなる原因とはなり得ないことは明らかである。また林内の土壌滲透性は砂原よりは小さいと思われるが、防風林も砂地上にあり、滞水もなく、風上・風下林分によつて滲透性に大きい差があるとは思われない。もし滲透性に差があるとしても、風下林分が平坦地に近くなつていて滲透性がいくぶん小さいかと考えられるので、この場合土壌の滲透性の関係はあまりないと思われる。結局は、樹冠に捕捉された塩分が降雨の際落下するものが主なる原因かと考えられる。

クロマツ林の葉による塩分捕捉量については門田正也⁴⁾ および熊谷才蔵⁷⁾ の測定結果がある。門田の測定結果によると、神奈川県湘南海岸の樹高 3 m のクロマツ林の海風中の塩分捕捉量は、30 日間晴天つづきのとき、海側第 1 列目の樹木には松葉生重量 1 g につき 2.73 mg 、第 3 列目のものは 0.66 mg であった。また熊谷の測定結果によると、福岡県雁巣海岸において汀線から 70 m ・地上 1.5 m のクロマツの葉の塩分捕捉量の測定結果は、2 回の台風の場合次のとおりであった。

クロマツの葉の長さ 1 cm あたり塩分付着量 (mg)

	(1)	(2)
風向側の葉	0.1570	0.1030
反対側の葉	0.0338	0.0383

また晴天 13 日連続のとき、風上・風下の葉の平均付着量は 0.0305 mg/cm 、晴天 17 日連続のときは 0.0265 mg/cm の結果を得ている。これらの結果によつて、台風時のような強風のとき海岸林の塩分捕捉量は、風に面する部分は著しく多くなるが、直接風にあたらない部分は平常のときよりわずかに多い程度であり、また海側林縁木の捕捉量は非常に多く、林内にはいと急に減少することがわかる。

浜中の現実防風林内に土壌塩分測定線と平行して幅 10 m の林分調査帯を設け、その中において標準木 2 本を取り、その生葉の重量を測定した結果は、1 本あたり 17 438 g であつた。この調査帯の面積は $1\,300 \text{ m}^2$ 、立木本数は 84 本であつたから、林地 100 cm^2 あたり生葉重量は 11.27 g となる。前記の門田による葉に付着する塩分量の測定結果を用いて、 100 cm^2 あたりの葉に付着する塩分量を計算すると、

第 1 列目は	$30.77 \text{ mg}/100 \text{ cm}^2$
第 3 列目は	7.44 "
平均	19.11 "

となる。

つぎに熊谷の測定結果を用いて、この林分の塩分捕捉量を計算してみると、まず実験地は海岸の強風地帯であるから、松葉の成長も大きくないものと考え、葉の平均長を 11 cm、生葉 1 本あたりの重量を 165 mg と仮定すると、生葉 1 g あたりの葉の長さの合計は 66.67 cm となり、浜中調査帯の 100 cm^2 あたりの生葉の総長は約 751.4 cm となる。熊谷の測定結果から平常状態の生葉の塩分捕捉量を 0.025 mg/cm と仮定して、 100 cm^2 あたりの捕捉量を求めると $18.79 \text{ mg}/100 \text{ cm}^2$ となる。あたかもこの数値は門田の測定結果を用いて計算した林縁木と第 3 列目の樹木との付着量の平均値 $19.11 \text{ mg}/100 \text{ cm}^2$ に近似している。それで $18 \sim 19 \text{ mg}/100 \text{ cm}^2$ の値は浜中防風林程度の樹冠密度を有する防風林の風上林縁から 2 ～ 3 列付近の塩分捕捉量とみて大差ないと思われる。捕捉量は風上林縁から林内にはいと従つて減ずるので、この捕捉量は風上 70 ～ 80 m までの林分の平均捕捉量よりも相当大きい数値とみななければならないが、この付着塩分は降雨量 3 ～ 5 mm に達すると零とともにほとんど全部落下して土壌塩分となる。防風林は雨のないときは樹冠に塩分を捕捉し、降雨のときはこれを林地に落下し、降雨のたびにこれを繰り返すので、樹冠の付着塩分の多い風上林分では、落下塩分が蓄積されて土壌塩分を多くするものと考えられる。

また、菅原 健・半谷高久が三重県菅島において林内と林外の雨水中の塩分量を測定した結果によると、林内雨水には林外の雨水の 3 ～ 5 倍の塩分量を含んでいることが認められた³⁾。これは海岸の林は潮風を濾過して枝葉に塩分を捕捉し、降雨のとき零と共に林地に落下するためであると両氏も認めている。一般に海岸地帯の降水中には塩分が多く、菅島では 1 年間の露天の雨水中の塩分量は約 $70 \text{ mg}/100 \text{ cm}^2$ となるので、林内降雨の塩分量をこの 5 倍とみれば 1 年間に約 $350 \text{ mg}/100 \text{ cm}^2$ となる。この測定が行われた森林の林相が明らかでないので、この数字をわれわれの実験した防風林の方へ応用することはできないが、この結果からも海岸の森林では降雨のときは林地に多量の塩分が落下することがわかる。

(4) 防風林内風下林分の土壌塩分量

防風林の風下林分において土壌塩分量の少ないのは、防風林によつて空中塩分が濾過されて、空中落下

塩分量が非常に少なくなるためである。実験に用いた幅 100m 以上の幅広い防風林になると、風下側林縁付近の土壌塩分量は非常に少なくなる。これは空中落下塩分量がきわめて少なくなるため、風下林分でも多少は樹冠滴下塩分量があるわけではあるが、これも微量であり、空中落下塩分量は防風林直後の空地よりも少ないので、土壌塩分量は防風林外風下の土壌塩分量とはほぼ同じ程度の値を示すものと思われる。

(5) 防風林内土壌塩分量の分布と防風林の幅

以上の考察から、防風林の風上林分の土壌塩分量が著しく多量となるのは、樹冠が常時空中塩分を捕捉蓄積し、降雨の際雪とともに林地に滴下するためと推察される。土壌塩分の著しく多いのは風上林縁から 70～80m までの間で、それより風下林地の土壌塩分量は著しく減少する。これは浜中・宮海両防風林とも同じ傾向を示している。これによつて樹冠による空中塩分の捕捉も林縁から 70～80m までの林帯で主に行われ、それより風下の林分ではきわめて少量の捕捉しか行われぬものとみられる。これらの防風林は、幅 115m と 124m、林相は中庸のクロマツ林であつたが、海岸の平坦地にある幅の異なる防風林について、このような測定を繰り返すことによつて、林地の土壌塩分量の分布から海風の塩分濾過に働く林帯の幅が帰納的に判明し、海岸防風林造成の参考資料となるものと思われる。

摘 要

雛形防風林による風速減少に関する実験が本報告第 1 報・第 2 報ののち、また続いて行われたので、その実験とともに今回報告の実験を行い、ここにその結果の概要を述べたものである。実験地は山形県西田川郡袖浦村浜中海岸と同県飽海郡西荒瀬村宮海海岸の 2 カ所で、昭和 25 年および 26 年のいずれも 2 月に行つた。第 1 報においては防風林の海風中の塩分の濾過効果および防風林の塩分捕捉率について検討したものであつた。今回の報告は 2 つの実験測定にわかれ、第 I 部は空中塩分の捕捉率を各種雛形防風林について求め、防風林の幅と捕捉率との関係を検討し、第 II 部では、海岸のクロマツ現実防風林について、防風林によつて土壌中の塩分量がいかに影響されるかを明らかにし、その原因等について検討を試みたものである。

I. 雛形防風林の空中塩分捕捉作用と防風林の幅との関係

1. 浜中海岸（スギ林）においては a 型（幅 14.72m）・c 型（幅 6.93m）および d 型（幅 4.33m）の 3 種、宮海海岸においては c 型・d₁ 型（幅 4.33m）・e 型（幅 4.33m）および f 型（幅 1.73m）の 4 種について実験を行つた。

2. まず海岸における空中塩分の分布状況を明らかにするため、(i) 風速と海風中の塩分量（付着塩素量）の関係、(ii) 防風林のない砂原における汀線より陸内への空中塩分量の水平分布、(iii) 空中塩分量の垂直分布等を調査した。

(i) 海風中の塩分量は風速の増大とともに増加する。これは、空中塩分は主として海岸における波の荒さによるものであるためである。しかし、風が弱まつてもなお波の荒い特別のときは、風速が弱くても空中塩分量が比較的多い例もある。

(ii) 海岸線に直角な方向（風向が海岸線にほぼ直角のとき）の空中塩分量の水平分布は、汀線において最大で、陸内にすすむにしたがつて最初は急に、のちしだいに緩やかな減少を示す。この減少状況は風速によつて異なり、強風のときは濃い塩分が遠く陸内まで進入する。

(iii) 空中塩分量の垂直分布は、高さとともに塩分量が減少し、汀線近くにおいては高さ 8m の所では

1m の高さの塩分量の 20~30% となる。

3. 雛形防風林の風上・風下および林内において空中塩分量を測定し、防風林による塩分濾過効果を明らかにした。これは第1回報告において述べたと同様の結果を得ているので、測定の1例だけを掲げるとどめた。

4. 防風林の塩分捕捉率を求めるのに、前報告においてはガーゼの捕捉率は風速に関係なく一定のものとして、防風林の風上および風下の測点の付着塩素量と風速から推算したが、ガーゼの捕捉率は風速によつて多少差があるので、今回は各風速についてその値を推算して、防風林の風上および風下における風向に直角な地上高 1m の断面の $1m^2$ を 1 秒間に通過する塩素量を求め、これより前回と同様な方法によつて防風林の捕捉率を求めた。

5. まずガーゼの糸を円柱体とし、その半径を 120μ 、塩分水滴の半径を 10μ と仮定して、糸の捕捉率と風速との関係を今井一郎の研究結果を用いて求め、つぎにガーゼの間隙率を 47% としてガーゼの捕捉率と風速との関係を求めた。この捕捉率を用いて空中塩素量 n ($1m^2$ を 1 秒間に通過する塩素量) を次の式で求めた。

$$n = \frac{\text{付着塩素量 (g/m}^2\text{/h)}}{3600 \times (\text{ガーゼの捕捉率})}$$

次に防風林の捕捉率 β を次の式で求めた。

$$\beta_{(1-1)} = 1 - \frac{n_{+1}}{n_{-1}}$$

$\beta_{(1-1)}$: 防風林の $-1h$ と $+1h$ における測定資料から求めた捕捉率。 h は防風林の樹高。

$n_{-1} \cdot n_{+1}$: $-1h \cdot +1h$ における $1m^2$ を 1 秒間に通過する塩素量 ($g/m^2/s$)。

防風林の捕捉率を求めるには、防風林にできるだけ接近した風上および風下各 1 点の空中塩素量を用うべきであるが、実際には測点が防風林にあまり接近すると風の乱れが大きく、風速および付着塩素量を的確に測定することができないので、ここでは $-1h$ および $+1h$ の点における測定値を用いることとした。

6. 防風林の捕捉率と幅との関係を見るに、浜中 3 回、宮海 5 回、計 8 回の測定結果によつて、捕捉率と幅との相関係数を求めると次のごとく両者の間に関係があることが認められる。

$$\text{捕捉率と幅との相関係数 } r = 0.494 \pm 0.180$$

なお宮海の 5 回の測定のみについて相関係数を求めてみると $r = 0.908 \pm 0.053$ で、きわめて密接な関係があることが認められる。

7. 上記 8 回の測定結果から捕捉率と風速との間の相関係数を求めると $r = 0.00848 \pm 0.237$ で、捕捉率と風速との関係はほとんど認められない。しかし浜中のみの測定結果についてみると、捕捉率と風速との関係が存在することが認められる。浜中は 3 種の幅の異なる防風林についての測定で、各測定時の風速には数倍程度の大差があつた。このような場合は幅との関係よりも風速との関連性が大きく現われるものと思われる。しかし実際問題として同じ場所にある現実林は同時に同じ気象条件のもとに置かれて比較が取られるものであるから、風速との関係は考える必要はなく、幅との関係のみが問題となるわけである。

8. 次にクロマツの葉を円柱体と見なし、その半径を 600μ 、塩分水滴の半径を 10μ と仮定して、マツ葉の捕捉率と風速との関係を求め、これにより宮海のクロマツの各雛形林について、測定時の条件のときの捕捉率比較値を求めてみると、捕捉率と幅とは密接な関係のあることが認められる。捕捉率は幅とともに増大し、その増加割合は直線的ではなくしだいに減少し、捕捉率 1.0 に漸近する傾向の増加曲線の形

で増加する。これは防風林の幅の増大とともに塩分水滴を捕捉する葉数が増加するが、捕捉率はこれに比例して増加するのではなく、幅の増加とともに葉の重なり合いが増加し、また林内風速の減少、塩分濃度の林内における減少などによつて、防風林の葉 1 本あたりの平均捕捉率がしだいに減少するので、防風林の捕捉率の増加割合は林の幅とともに漸次減少することとなる結果のためである。

9. 防風林による塩素捕捉量は林内風速と高度な関係があり、たとえば e 型雛形林が風速 1.6 m/s のときの塩素捕捉量比較値が 3.7 であるのに、同型の雛形防風林で風速 5.0 m/s のときは 23.6 と約 7 倍の捕捉量を示す。捕捉量については幅よりもむしろ林内風速に関係するところが大きい。

10. 塩分捕捉率と防風林の樹種との関係については、スギとクロマツの 2 種が実験に用いられたが、測定結果から見るとスギの方の捕捉率がやや大きいように見えるが、測定回数があまりにも少ないので、スギの方が大きいと推断することはできないと思う。

II. 海岸防風林が土壌塩分量に及ぼす影響

1. この測定は浜中および宮海海岸雛形防風林実験地の近傍のクロマツ現実林について行つたもので、浜中の防風林は平均樹高 9.00 m・幅 115 m、宮海の防風林は平均樹高 8.06 m・幅 124 m で、林帯の方向は汀線にはほぼ平行であつた。

防風林帯にはほぼ直角な測線を汀線から防風林を横断して設け、その線上に土壌標本採取点を取つた。浜中では汀線から 525 m（防風林の背後 50 m まで）の間に 13 点、宮海では汀線から 566 m（防風林の背後 25 m まで）の間に 27 点を設け、土壌中（浜中では表面から 20 cm、宮海では 30 cm まで）の含有塩分量を求めた。

2. 土壌塩分量は海水の到達する汀線付近では著しく大である。それより防風林までの砂原においては減じ、防風林内にはいと風上林分では急に増加し、風下林分にゆくと著しく減少する。防風林の背後地においても塩分量は著しく少なく、大体防風林内風下林縁付近と同じ程度である。砂原から防風林を通り背後地までの塩分量の大体の変化は第 13 表に示すごとくである。

3. 土壌塩分の給源は主として空中からの落下塩分量と考えられるが、内田茂男の調査によれば、落下塩分量は風速に関係し、また汀線からの距離によつて減少する。しかし林内に入ると落下量は著しく減少する。これは林木の樹冠が空中塩分を捕捉するためである。防風林の風下地はその風上地に比べるとはなはだ少ない。これは空中塩分が防風林によつて捕捉濾過されて、林の風下地上では著しく減少するからである。しかし、この塩分も林内の落下量よりは少しく多い。林内では平常は樹冠によつて捕捉される空中塩分量がそれほど多いのである。

土壌塩分量の測定結果を見ると、防風林の風上の砂原における分布は汀線からの距離には関係なく、すなわち距離と土壌塩分量との関係はほとんどなく、小地形と関係があることを示し、堆砂垣の頂上のごとき高所や海側に面した斜面に多い。これは汀線近くの塩分を多く含む砂が強風によつて飛ばされてここに堆積し、また突出部は塩分を含む潮風によつて塩分を海側に面する斜面に吸着せしめられることによるものと思われる。

4. 防風林内の落下塩分量の少ないのにかかわらず、風上林分では土壌塩分量の著しく多いのは、樹冠によつて捕捉され多量に蓄積された塩分が降雨の際に雨滴とともに落下して土壌塩分となるもので、風下林分においては空中塩分を捕捉することが少ないので、土壌塩分量も少ないものと思われる。

5. 林内土壌塩分量の測定結果は、両防風林とも風上林縁から 70~80 m までは土壌塩分量が著しく多

く、それより風下林分は著しく少なくなっている。これら防風林は幅 120 m 前後の中庸林相のクロマツ林であつたが、このような防風林では海風中の塩分の捕捉は風上 70~80 m の林分でその大部分が行われ、風下林分でははなはだ少ないものと思われる。これは風下林分では林内風速の減少することと、空中塩素量が減少することによるものと考えられる。それで、このような実験を幅の異なる防風林について行つてみれば、防風林の空中塩分濾過にはたらく林帯の幅を帰納的に解明することができるかと思われる。

文 献

- 1) 飯塚 肇・玉手三葉寿・高桑東作・佐藤 正：雛形防風林試験報告（第1報），防風林による海風中の塩分減少効果に関する研究，林業試験場研究報告，45，（1950）p. 1~15.
- 2) 松平康男：御前崎に於ける“潮風”の調査，海と空，20，1，（1940）p. 24~33.
- 3) 今井一郎：物体による気流中の微粒子の捕捉，気象集誌，第2輯，19，6，（1941）p. 13~22.
- 4) 福富孝治・須川 明：携帯用硫酸発熱式霧水量計の試作，低温科学，物理篇，第11輯，（1953）p. 7~18.
- 5) 内田茂男：海岸における空中塩分の測定について，防災林に関する調査報告，治山事業参考資料第II輯，林野庁，（1950）p. 56~64.
- 6) 門田正也：防潮林の潮風濾過について，日本林学会誌，31，7，（1949）p. 1~5.
- 7) 熊谷才蔵：クロマツの葉の塩分捕捉量，第65回日本林学会大会講演集，（1956）p. 249~250.
- 8) 菅原 健・半谷高久：菅島の地球化学的研究（第3報），菅島の雨水及び潮風の化学的組成並に流水中の塩素イオンの供給源について，日本化学雑誌，71，（1950）p. 120~123.

Experiment on Model Windbreak (3rd Report)

Effect on salty wind (II)

Sankiji TAMATE, Tadashi SATO, Tokuji KASHIYAMA and Kikumatsu TAKAHASHI

(Résumé)

In the first report of the same title, the filtering effects and the capturing coefficients of the windbreaks for salt in sea wind were discussed. Thereafter the experiments were continued in 1950 and 1951 on the seashore in Yamagata Prefecture. In this report two experiments are included, in the first part of which the relations between the capturing coefficients of model windbreaks for salt in sea wind as to their widths, and in the second part the influences of the windbreaks upon the salt contents in the beach soil about the actual windbreaks are studied respectively.

I. Relations between the capturing function of the model windbreaks for salt in sea wind and their widths.

The experiments were carried out in two places on the seashore, Hamanaka near Tsuruoka city and Miyaumi near Sakata city. The trees of the model windbreaks used were the top of stem and the species of trees taken were sugi (*Cryptomeria japonica* D. DON) on Hamanaka and Japanese black pine (*Pinus Thunbergii* PARL.) on Miyaumi respectively. The widths of the windbreaks have four classes, namely, 14.72 m, 6.93 m, 4.33 m and 1.73 m, and the height of trees is 1.5 m in each windbreak. Both experiments were carried out on the coast of the Japan Sea, and observations were held in February, therefore during this period the excellent NW monsoon prevailed.

To catch the salt contained in sea wind we used the capturing instruments made by one sheet of cotton gauze. At the measurement the plane of each gauze was kept vertically and nearly at right angles to the wind direction 1 m high above the ground. Assuming that the radius of yarn of the gauze is 120 μ , mean radius of salt water particles in sea wind 10 μ , and that the open space of the gauze is 47%, the capturing coefficients of gauze as to various wind velocities were computed theoretically. The capturing coefficients of the windbreaks are calculated by using the following formula:

$$\beta_{(1-1)} = 1 - \frac{n_{+1}}{n_{-1}}$$

where,

$\beta_{(1-1)}$: Capturing coefficient calculated by the data of measurements on $-1h$ and $+1h$ of the windbreaks. The mark of $(-)$ denotes the windward and $(+)$ the leeward side of the windbreak and h is the tree height.

n_{-1} , n_{+1} : Weight of chlorine contents in the air passed through the vertical plane 1 m high at the distance $-1h$ and $+1h$ from the windbreak ($g/m^2/s$).

$$n = \frac{\text{Weight of Cl caught by gauze (g/m}^2\text{/h)}}{3\,600 \times (\text{Capturing coefficient of gauze})}$$

Capturing coefficients of the model windbreaks are shown in table 8 in the previous Japanese report. It will be seen from the results in the table that generally the values of capturing coefficients increase as the widths of the windbreaks become wider. From the eight data in table 8 the correlation coefficient between the capturing coefficient and the width of windbreak is calculated, that is $r=0.494 \pm 0.180$. It can be recognized that a fair correlation exists between them, but there is no noticeable correlation between the capturing coefficient and the wind velocity.

Next, the same procedure was tried in the case of the Japanese black pine windbreaks alone. Each pine needle has in fact a half cylindrical form, but as it is very small, we considered its form to be as a cylinder. And we assumed that the needle has 600μ of radius and the mean radius of salt water particles 10μ . The capturing coefficients of pine needle as to the wind velocities were calculated as shown in table 9 in the Japanese report. Assuming the capturing coefficients of the windbreaks will be proportional to the products of capturing coefficient of needle and width of windbreak, we got the relative values of capturing coefficients of the windbreaks as shown in table 10 in the Japanese report.

It will be seen at a glance that there is a tendency in which the capturing coefficient increases according as the width becomes wider. The increasing rate of this tendency goes up rapidly in the beginning and slowly later on, and the curve asymptotically approaches to the line of capturing coefficient being 1.0. But the quantities of salt caught by the windbreaks have little reference to the widths of windbreaks and relate mostly to the wind velocity in the windbreak.

II. Influences of the windbreaks to the salt contents in beach soil.

These experiments were carried out on two actual windbreaks of Japanese black pine (*Pinus Thunbergii* PARL.) on the seashore of Hamanaka and Miyaumi. The stand conditions of the windbreaks are shown in table 11 in the Japanese report. The direction of the windbreaks was nearly parallel to the beach line. The line on which soil samples were picked was set from the beach line to the leeward field across the windbreak, and the direction of the line was kept nearly at right angles to the windbreak. On this line the soil samples were picked from several points respectively on the windward and leeward side of the windbreak as well as in the windbreak. The distributions of salt contents in the soil along the line are shown in table 12 and 13 in the Japanese report. In those tables we can see a remarkable fact namely, that the chlorine contents of soil are found very much more on the windward stands than in other places. It may be considered from this result that there are most important questions to be considered about the filtering effect of the windbreak for salt in the air. Usually in clear weather the crown of the windbreaks catches plenty of salt in the air on the windward stands, and in rainy weather the salt caught drops down from the crown onto the ground with rain water. On the contrary, at the leeward stands the salt quantity caught by the crown is very scanty, consequently the amount of falling salt becomes very little.

By the filtering effect of the windbreak the salt content in the air becomes very little on the leeward field, so the salt content in the soil is exceedingly little but slightly exceeds the amount in the leeward stands.

In these windbreaks which widths are about 120 *m*, excellent salt in soil was found in a zone from the windward edge to 70~80 *m* inner part of the windbreaks, therefore we considered that the salt capturing function of the crown was very active on the windward part and not so on the leeward part. But it must be remembered that the leeward stands give some effect against the windward stands, and by the existence of the former the capturing function of the latter will be kept.