

琉球大学学術リポジトリ

海岸保全的見地からの沖縄の飛塩に関する研究(林学科)

メタデータ	言語: 出版者: 琉球大学農学部 公開日: 2008-02-14 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 幸喜, 善福, Koki, Zenfuku メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/20.500.12000/4217

海岸保全的見地からの沖縄の飛塩に関する研究

幸 喜 善 福*

Zenfuku KOKI: Studies on flying salt in Okinawa from
the viewpoint of seashore conservation

目 次

第1章 緒 論	431
第2章 研究方法	431
第1節 付着塩分検出法	432
I モールの銀滴定法	432
II 比電導度法	432
III 両計測法の関係	432
第2節 付着塩分量計測法の検討	434
I 重ね枚数の異なるガーゼおよびろ紙に対する塩分付着量の差異	434
II 重ね枚数の異なるガーゼおよびろ紙による風速減少	436
III 露出時間	439
第3節 試料採取法	441
I ガーゼおよびブラシによる採塩	441
II 付着塩分洗浄法	443
III 気象の観測法	443
第4節 植物の耐塩限界試験	444
I 根部からの塩分に対する耐塩限界試験	444
II 葉幹面付着塩分に対する耐塩限界試験	444
III 葉幹面が損傷した場合の耐塩限界試験	445
第3章 ガーゼに対する付着塩分量分布	445
第1節 海岸付近における付着塩分量の水平分布	445
I 沖縄市泡瀬海岸付近の場合	445
II 宜野湾市大謝名海岸付近の場合	447
III 本部町備瀬崎海岸付近の場合	449
第2節 海岸付近における付着塩分量の垂直分布	452

* 琉球大学農学部林学科

琉球大学農学部学術報告 25: 429 ~ 554 (1978)

I	沖繩市泡瀬海岸付近の場合	452
II	宜野湾市大謝名海岸付近の場合	453
III	本部町備瀬崎海岸付近の場合	455
第3節	付着塩分量分布についての結論	458
第4章	付着塩分洗浄による塩分量および降雨中塩分量分布状態	458
第1節	樹葉への付着塩分量	459
I	針葉樹の葉への付着塩分量	459
II	広葉への付着塩分量	466
第2節	降雨水中の塩分量	471
I	沖繩島南部地域における降雨水の場合	471
II	沖繩島南部地域における連続降雨水の場合	474
III	台風時の降雨水の場合	477
第3節	樹幹流水および樹冠滴下水の含塩量	478
I	沖繩島南部における樹幹流水の場合	478
II	沖繩島南部における樹冠滴下水の場合	480
III	樹幹流水および樹冠滴下水の含塩量に関する考察	481
第5章	付着塩分量と諸気象要因との関連	483
第1節	定点における付着塩分量の長期計測値および解析方針	484
I	計測結果	484
II	解析方針	489
第2節	付着塩分量と気象要因との関連解析	493
I	毎月の付着塩分量と風速との関係	493
II	毎月の付着塩分量と風速その他の要因との関係	499
第6章	植物の耐塩性	500
第1節	フクギ苗木の場合	501
I	根部からの塩分に対する耐塩限界試験	501
II	葉幹面付着塩分に対する耐塩限界試験	504
III	葉幹面が損傷した場合の耐塩限界試験	506
第2節	サトウキビの場合	508
I	根部からの塩分に対する耐塩限界試験	508
II	葉茎面付着塩分に対する耐塩限界試験	510
第3節	植物の耐塩性についての結論	512
I	フクギ苗木の場合	513
II	サトウキビの場合	514
III	植物の耐塩性についての考察	514
第7章	地上付近の空中塩分付着量の制御に関する研究	515
第1節	防潮林による飛塩付着量の制御	515
I	北中城村渡口防潮林の場合	515
II	知念村久手堅防潮林の場合	520
第2節	防風ネットによる飛塩量の制御	525
I	佐敷村津波古海岸における場合	525
II	北中城村伊舎堂海岸における場合	529

第3節 付着塩分量の制御に関する考察ならびに結論	533
I 防潮林および防潮ネットによる風速分布の変化	533
II 防潮林および防潮ネットによる付着塩分量の制御	536
第8章 総括	541
摘要	544
参考文献	546
Summary	550

第1章 緒 論

わが国、特に四面を海洋で囲まれている沖縄は、季節風や台風が強く吹くために、海上から陸上にもたらされる多量の飛塩による災害が著しい。農業が主産業であった旧藩時代から、作物に対する塩害防止に、全国各地に防潮林が営々として造成されてきたことは周知の事実である。近代になってからも重工業や文明の発展にともない、金属類の腐蝕、電気絶縁などの被害が増加しており、海からの飛塩が各種の物体にどのように付着・供給され、それをいかなる手段でどの程度に制御できるかについて究明することは、極めて重大な意義をもつ。

近年になって、この時勢の要求にこたえる飛塩の研究が、応用気象学の領域で急速に進展したが、それがどのように各種の物体、特に植物に付着・供給されているか、また防潮林その他の手段によってどの程度制御できるか、その防潮林の造成にはいかなる条件を考慮すべきかなどについて、海岸保全上の見地からの研究は、断片的なものが数多く発表されていても総合的なものは全く見当たらない。

筆者は海からの風が年中吹いている沖縄の地の利に着目して、その方面の研究を実験的に進めてきた。従ってこの研究に直接使用した資料は、ほとんど沖縄における観測値である。この沖縄の飛塩に関する研究は、従来の国内各地での他の研究とも対比し、一応全国的に適用しうるものとなるように心がけた。すなわち本論文は筆者のこれまでの研究成果に、最近の観測資料を加え、新たな解析・解釈を加えて、なるべく普遍的な法則性を明らかにしようと、とりまとめたものである。

本研究の遂行およびとりまとめにあたり、終始ご懇篤なご指導とご鞭撻をたまわった九州大学農学部末勝海教授、ご懇篤な校閲とご助言をたまわった同学部坂上務教授ならびに宮島寛教授、さらに、研究の当初において種々有益なご助言とご指導をいただいた九州大学農学部熊谷才蔵前教授に対し深甚の謝意を表す。

また、九州大学農学部中尾博美助教授および中島勇喜教官ならびに同砂防工学研究室の各位には有益なご助言と計算のご労苦をいただいた。

なお、琉球大学農学部砂川季昭教授および大宜見朝栄教授はじめ林学科教官各位にはご鞭撻と種々の便宜をいただいた。さらに、九州大学農学部大神又三前講師ならびに琉球大学農学部吉田茂助教授、佐藤一紘教官にはいろいろご助言と測定にご協力いただいた。

これら各方面からのご指導ご鞭撻に対して衷心から謝意を表する次第である。

第2章 研究 方 法

空中塩分計測法には、液体中に空気を通して空気中から塩分を流し出す方法やろ過する方法ならびにジェットインパクトや連続サンプラーなどのようにガラスやプラスチック、金属または特殊フィルム

の表面に粒子を衝突させて採集する衝突法^{51, 59, 82)}や林学関係で広く使用されているガーゼによる採塩法^{8, 15, 21, 40, 73, 74)}などがある。その得失はさまざまであるが、既往の業績との比較検討の便宜上、本研究においては主としてこのガーゼに対する付着塩分量について論究しようとするものであり、その気象因子ことに風速との関係について究明しようとする。

本章においては、付着塩分検出法および付着塩分量計測法を検討し、試料採集法ならびに植物の耐塩限界試験の方法について論述しようとする。

第1節 付着塩分検出法

I モールの銀滴定法

既往の多くの研究はモールの銀滴定法によっている。本研究の当初においても、付着塩分量の検出はモールの銀滴定法によっておこなった。

これはガーゼに付着した塩素を検出するために、ガーゼを蒸留水100 cc中に浸してよく攪拌し、一昼夜以上放置したあと、その試料水を三個の三角フラスコにホールピペットで20 ccずつ吸い上げて入れ、それぞれの三角フラスコに5%クロム酸カリウム(K_2CrO_4)を2~3滴滴下したあと、0.02N硝酸銀($AgNO_3$)液を滴下してクロム酸銀(Ag_2CrO_4)の赤褐色を呈する瞬間をもって終点とし、硝酸銀液の使用量から塩素量を算出する方法である^{13, 57)}。

しかしこの方法は、3回の平均値をとっても赤褐色を呈する終点の判定に多少個人的な相違があり、その点つぎの比電導度法は、直接電気伝導値を数字で読みとれるので個人誤差がなく、迅速に検出できる利点をもっているため、近年はとみに電気伝導度法が使用されるようになってきている。

ただしモールの銀滴定法は塩素量を定量する方法であるのに対し、比電導度法は全塩分量を計測する方法であって、後述するように相互換算は容易であるが、混同しないよう留意しなければならぬ。

II 比電導度法

海水は高度に溶解した多くの塩類を含んでいるので1つの電解液でもあり、塩分が増すと電気伝導度もほとんど直線的に増大する特性をもっている。

長さ l 、断面積 q の導体の電気抵抗 R は、周知のように $R = r \frac{l}{q}$ (OHM)、式中 r は断面1cm²長さ1cmの導体の抵抗である⁵³⁾。

この逆数の $K = \frac{1}{r}$ の値はこの物体の比電導度と呼ばれ、長さ1cm断面積1cm²の立方体の相対する2面の間の導電率に相当し、水溶液の比電導度は水中に溶けているイオンの量と各イオンの電気を運ぶ速さによって支配される¹³⁾。この特性を利用して全塩分量を計測するのが比電導度法である。

本研究における塩分量の計測はほとんどこの方法による。計器は東亜電波工業製のCM-1DB型、数式式電導度計(Na C 68939 G)、測定範囲は0.005~ $10 \times 10^5 \mu S/cm$ 、計測用セルはガラス製投入型、極は白金黒である。

III 両計測法の関係

モールの銀滴定法と比電導度法との関係を明らかにするため、海水を蒸発させて海塩粒子の結晶をつくり、これを少量ずつ秤量して蒸留水100 cc中に投入し、塩分量既知の標準液をつくり、それぞれの標準液の塩分量をモールの銀滴定法と比電導度法によって測定した。

縦軸にモールの銀滴定法による塩素量の測定値を、横軸に比電導度値をとって図示すれば図1のようである。他の場合^{53, 55)}と同様に比電導度値とモールの銀滴定法による塩素量の間には完全な直線関係が成立する。その実験式は次のように示される。

すなわち

$$Y = 0.02692x + 0.2625 \quad (r = 0.9998 \text{ ***})$$

式中、Yはモールの銀滴定法による100 cc中の塩素量 (mg), xはその比電導度法による比電導度の値 ($\mu\text{S}/\text{cm}$) である。この式によってある物への付着塩分量の比電導度値を測定すれば、モールの銀滴定法による塩素量 (mg/100 cc) へ換算することが容易である。

また、各標準液の比電導度値とその実際の塩分結晶量 (mg) の関係を明らかにするため、横軸に比電導度値を、縦軸に実際の塩分結晶量 (mg) をとって図示すれば図2のようである。

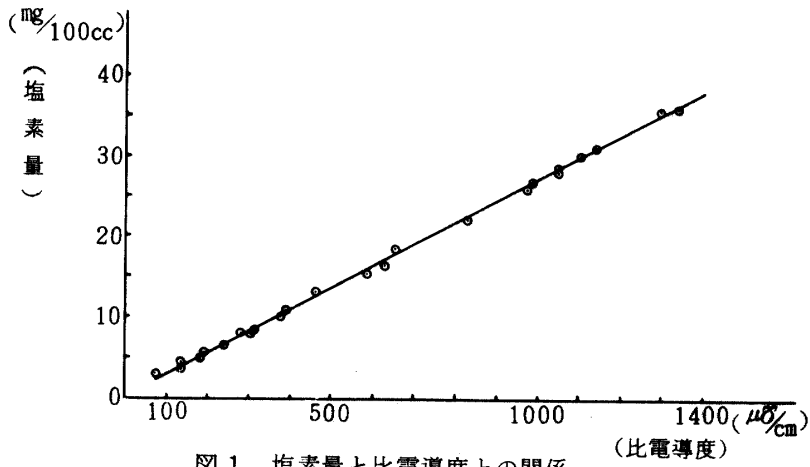


図1. 塩素量と比電導度との関係

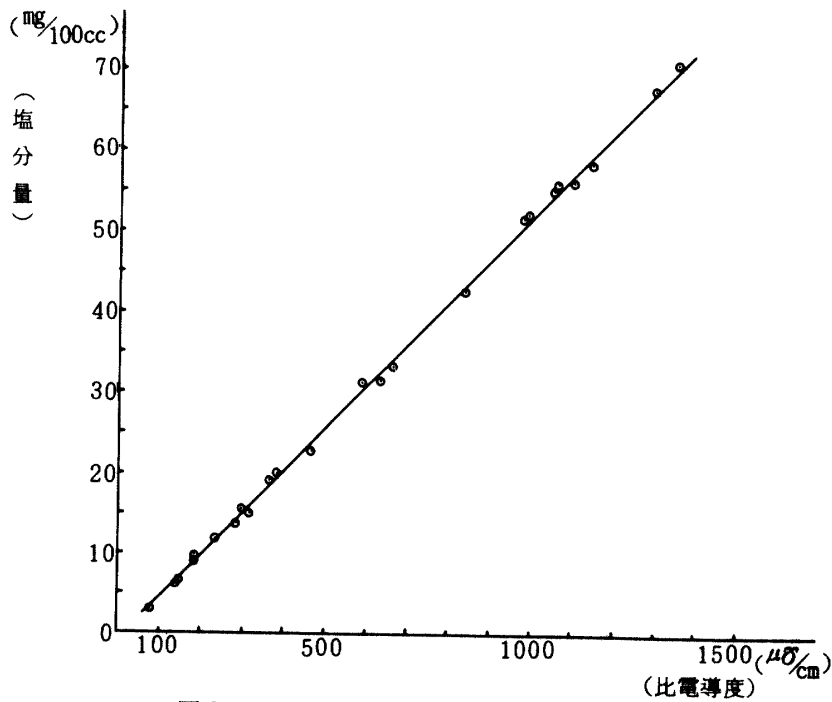


図2. 塩分結晶量と比電導度との関係

*** は0.1%の危険率で高度に有意であることを示す。

この場合も直線的な関係が成立し、次のような実験式で示される。

すなわち

$$y = 0.05274x - 0.6002 \quad (r = 0.9984^{***})$$

式中 y は 100 cc 中の実際の海塩結晶 (mg), x はその比電導度値 ($\mu S/cm$) である。

ある物への付着塩分量の比電導度値を測定すれば、この式によって 100 cc 中に含まれる実際の海塩結晶量 (mg) の値を容易に推算することができる。

節2節 付着塩分量計測法の検討

塩分付着量をガーゼその他に吸着させて測定するとき、重ねる枚数の違うガーゼもしくはろ紙を使用した場合には塩分付着量に差異を生ずると考えられる。また、それが風速によって左右されることも考えられるから、ガーゼ枚数やろ紙による付着塩分量の差異について検討することとする。

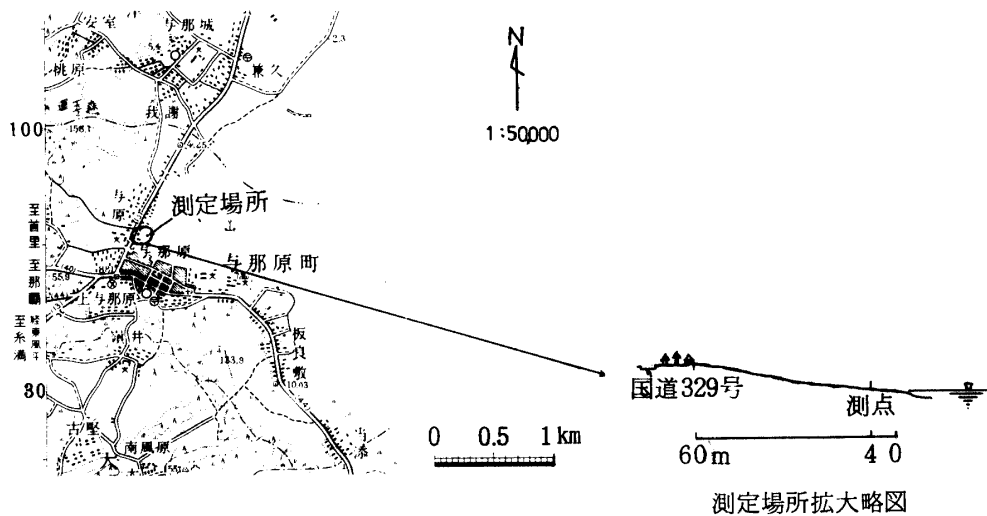
なお、1枚のガーゼへの付着塩素量と風速との関係、ことに付着率との関連については、飯塚らの研究¹⁵⁾に詳しいが、ガーゼの隙間を通り抜ける塩粒子の存在も考えられるから、飛塩と付着率の関係を正確に求めるためには、衝突法により飛塩の計測をしたものとの比較によらねばならないと考えられる。本論文では、付着量そのものを主問題としているから、付着率については深く追求しないですませる。

I 重ね枚数の異なるガーゼおよびろ紙に対する塩分付着量の差異

1 測定場所および測定方法

1) 測定場所

測定地には海上からの風が海岸線に直角に吹くこと、背後の相当の範囲には風に影響を与えるような地物や、地形の凹凸がないことが望ましく、本研究では図3の沖縄島南部の与那原町海岸の自然砂浜を選定した。



*** 0.1%の危険率で高度に有意であることを示す。

2) 測定方法

12番線針金でつくった28cm×28cmの正方形枠に、日本薬局方ガーゼを蒸留水で洗って炉乾燥させたものを1重、2重、3重にはり、またろ紙をはって、これを図4のように木製枠に配列し、風向に直角に2時間さらしたのちに採取して、付着塩分量をモール法と比電導度法で測定した。

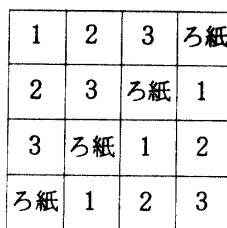


図4. ガーゼ枠の配列図

この木製枠は地上高1.70～2.90mの範囲にあり、据えつけと同時に、隣接してその上方と下方に理工研式小型ロビンソン風速計を設置して風速を測定した。測定は海からの風が吹くときで、1971年4月23日、5月28日、7月13日の3回実施した。

2 測定結果

風速および付着塩分量のモール法による滴定値と電導度法による測定結果を表1にまとめた。

表1. ガーゼ付着塩分量

測定年月日		1971. 4. 23		pm. 2:40～4:40									
風向		東		風速		上方4.26 m/s, 下方3.32 m/s, 平均3.79 m/s							
計測法 ガーゼの枚数など ガーゼ位置	モールの銀滴定法による値				比電導度法による値								
	付着塩素量 mg/m ² /hr				比電導度 μS/cm/hr								
	1枚	2枚	3枚	ろ紙	1枚	2枚	3枚	ろ紙					
上方	3.0672	2.7264	2.8968	1.5336	1.295×10 ²	1.155×10 ²	1.205×10 ²	1.085×10 ²					
上から2段	3.0672	2.8968	2.8968	1.3632	1.235×10 ²	1.160×10 ²	1.210×10 ²	8.635×10					
上から3段	3.5784	3.7488	3.2376	1.3632	1.375×10 ²	1.390×10 ²	1.330×10 ²	9.255×10					
下方	4.6008	3.9192	3.9192	1.7040	1.740×10 ²	1.515×10 ²	1.540×10 ²	1.440×10 ²					
測定年月日		1971. 5. 28		pm. 2:15～4:15									
風向		南東		風速		上方5.23 m/s, 下方4.59 m/s, 平均4.91 m/s							
上方	3.5784	3.2376	3.0672	1.7040	1.490×10 ²	1.400×10 ²	1.335×10 ²	1.005×10 ²					
上から2段	3.4080	3.4080	3.2376	1.5336	1.390×10 ²	1.495×10 ²	1.355×10 ²	1.095×10 ²					
上から3段	3.5784	3.2376	3.0672	1.7040	1.345×10 ²	1.405×10 ²	1.360×10 ²	1.025×10 ²					
下方	3.2376	3.4080	3.0672	1.7040	1.515×10 ²	1.530×10 ²	1.675×10 ²	1.280×10 ²					
測定年月日		1971. 7. 13		pm. 2:10～4:10									
風向		東		風速		上方4.28 m/s, 下方3.63 m/s, 平均3.95 m/s							
上方	9.2016	8.1792	7.3272	2.0448	2.900×10 ²	1.725×10 ²	1.195×10 ²	1.210×10 ²					
上から2段	8.6904	8.5200	7.1568	2.0448	2.970×10 ²	1.785×10 ²	1.120×10 ²	1.170×10 ²					
上から3	9.7128	8.6904	7.3272	1.8744	3.505×10 ²	2.340×10 ²	1.455×10 ²	1.110×10 ²					
下方	9.7128	9.0312	8.1792	2.0448	3.860×10 ²	3.235×10 ²	1.640×10 ²	1.185×10 ²					

表1によれば、いずれの場合もろ紙に最も少なく、ガーゼ1重の場合に最も多くの塩分が付着し、ガーゼ重ね枚数はふえるにしたがって付着塩分量は少なくなる。

この場合、空気中の塩分は海上から風によって運ばれてくるもので⁴⁶⁾、風速が同一ならば風の通過量が多いほど、同一時間内に運ばれてくる塩分量も増えるわけである。すなわち、第2節、IIで述べるようにガーゼを重ねる枚数が多くなると通風は悪くなるので、ガーゼの枚数が少なくなるほど風の通過量が多くなり、したがって付着塩分量は増加するものと考えられる。

また、木製枠の上方と下方では、上方が風速が強いのに付着塩分量は逆に下方が多くなっている。これは汀線近くでは、飛沫などによる大粒のものが下方に多く、風速が比較的弱いときでは、風速の大小による影響よりは地面近くの塩分濃度が高かったことによる影響の方が強く作用したためと考えられる。

付着塩分量がガーゼの重ね枚数を変えたりろ紙を使用したりすることによって、どの程度変化するものであるかは、測定値のちらばりが大きいため、定量的には明らかでない。

II 重ね枚数の異なるガーゼおよびろ紙による風速減少

1 実験方法

実験室内においては、図5のような23 cm×23 cm×45 cmのブリキ製の風洞を試作し、その一方の口にはガーゼが自由にはりかえられるようにした。ガーゼから約30 cmはなれたところから扇風機で送風し、ガーゼから風下側25 cmの風洞内に理工研式小型ロビンソン風速計を据えつけてそのときの風速を測定した。

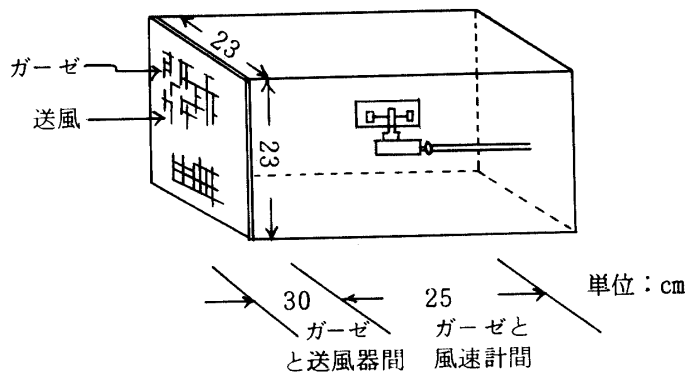


図5. 実験室内用風洞

風速は扇風機によって $4.03 \text{ m/sec} \sim 11.41 \text{ m/sec}$ までを5段階にわけて送風し、ガーゼは日本薬局方のものを用い、1重、2重、3重およびろ紙を風洞にはりつけた場合の風速の変化を測定し、何もはらない場合と比較した。

また野外においては、図6のように自然の風をしぼるような風洞を試作し、沖縄島南部の佐敷村馬天海岸の埋立地において、ガーゼ1枚の場合についての風速の変化を計測した。

なお、ガーゼの燃り糸やその間隙および後述のブラシの毛の直径は顕微鏡と万能透視機で計測した。

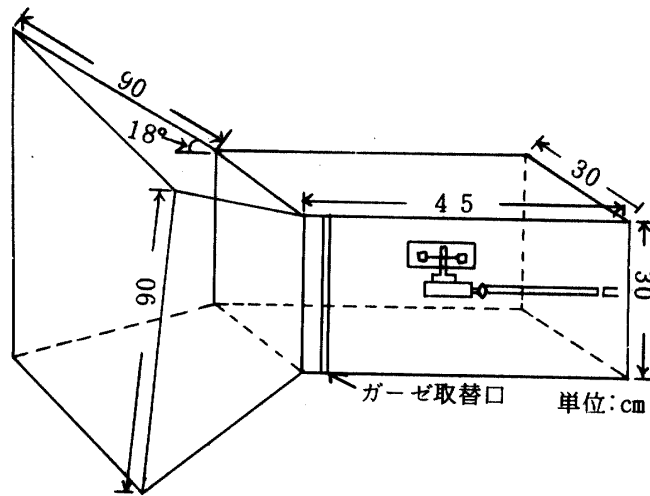


図 6. 野外実験用風洞

2 実験結果

実験室内においては、風洞に何もはらない場合の風速を測定し、その後交互にガーゼを1重、2重、3重ならびにろ紙をはりつけたときの風洞内の風速を測定した。このときの風速が風洞にガーゼやろ紙をはる前の風速に対する比率（通風率）を求め、ガーゼの風速抑制作用を知る目安と考えた。

野外においては、風洞にガーゼをはりつけると同時に風洞内、風洞外の風速を測定し、そのときの風速の比率を求めて、それらの結果を表 2. a. および b. にまとめた。

表 2. a. b. によれば、実験室内においてはガーゼ1重の場合、風速 $4.03 \sim 11.41 \text{ m/sec}$ では通風率は約 36 ~ 39 % (平均約 37 %)、ガーゼ2重の場合は $8.51 \sim 11.41 \text{ m/sec}$ の風速では約 22 ~ 24 % (約 23 %) の通風率が、ガーゼ3重の場合は風速 $8.51 \sim 11.41 \text{ m/sec}$ で約 19 ~ 20 % (約 19.4 %) の通風率になり、ガーゼを重ねる枚数が増えるにしたがって通風率が小さくなるとともにその幅が狭くなる。

$$\text{この場合、減風率} = (1 - V_n/V_0) \times 100$$

V_0 : 風洞にガーゼをはる前の風速 (m/sec)、 V_n : 風洞にガーゼをはった後の風速 (m/sec) である。

表 2. ガーゼの風速抑制作用

a. 実験室内における測定結果

ガーゼなし		ガーゼ1枚		ガーゼ2枚		ガーゼ3枚		ろ紙	
風速 $V_0 (\text{m/s})$	風速比 (V_0/V_0)	風速 $V_1 (\text{m/s})$	通風率 $(V_1/V_0)\%$	風速 $V_2 (\text{m/s})$	通風率 $(V_2/V_0)\%$	風速 $V_3 (\text{m/s})$	通風率 $(V_3/V_0)\%$	風速 $V_4 (\text{m/s})$	通風率 $(V_4/V_0)\%$
4.03	100	1.45	35.98	—	—	—	—	—	—
5.08	100	1.98	38.97	—	—	—	—	—	—
6.42	100	2.35	36.67	—	—	—	—	—	—
8.51	100	3.20	37.16	1.85	21.71	1.61	18.90	—	—
11.41	100	4.16	36.45	2.75	24.11	2.27	19.92	—	—
平均			37.05		22.91		19.41		—

— ……微風のため測定不能

b. 野外における測定結果

測定年月日	風洞外 V_0 (m/s)	風洞内 V_1 (m/s)	通風率 (V_1/V_0)%
'72. 5. 17	6.87	3.20	46.57
6. 14	2.24	0.78	34.82
21	4.41	2.02	45.80
10. 14	4.71	2.39	50.74
14	3.61	1.64	45.42
10. 17	4.97	2.45	49.29
17	5.14	2.35	45.74
17	4.53	1.75	38.63
平均			44.63

野外の測定ではガーゼ1枚の場合、風速2.24~6.87 $\frac{m}{s}$ では通風率は約35~51% (平均約45%)で、通風率の幅が大きい。この場合でも約55%の減風率があり、風速抑制作用が大きい。しかし、実験室内と野外における測定結果にはかなりの差異がある。これは自然の風には乱れがあることや、室内実験の場合には扇風機による風がねじれをもっていること、また図5および図6のように一方は計測状態に近いように風洞の先端にガーゼをはりつけているのに対し、他方には縮流部がついた風洞であるため、風の流線の違いによることが大きかったものと考えられる。

ガーゼ2重、3重およびろ紙の場合、風速4.03~6.42 $\frac{m}{s}$ においては風速の通過は認められたが微風のため測定が不可能であった。

なお、ガーゼの撚り糸の太さは直径210 μ で、糸と糸との間の空間は縦が約710 μ 、横が約720 μ 、28cm \times 28cm内の撚り糸の本数は縦305本、横が302本であった。これらからガーゼ採塩器の糸の占める面積を計算すると35628.18 mm^2 で、採塩器面積の45.44%になり、間隙の面積は54.56%になる。しかし、図7のようにガーゼの撚り糸には多数の細糸がついており、これが間隙に突き出ているので、ガーゼ糸の実際の占有面積はこれよりも大きい値になる^{15, 31)}。ガーゼ1枚の場合にガーゼの間隙の面

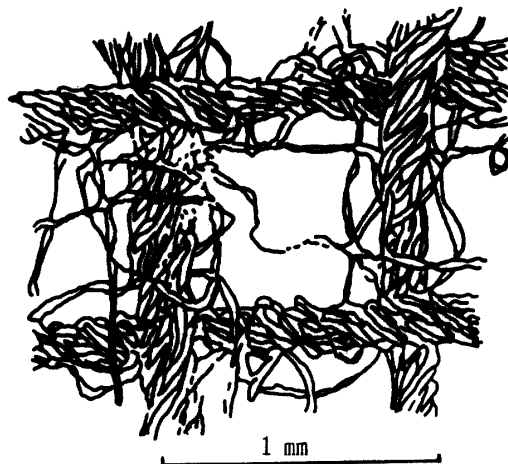


図7. ガーゼの拡大図

積率だけから考えると表2. a. の通風率は小さすぎる値であるが、風がガーゼを通過するにあたってエネルギーを消耗するからであると考えられ、ガーゼの風速抑制作用が大きいことを示している。自然の風では表2. b. における結果の方がガーゼの間隙面積率にも近い値であるが、これは風を縮流圧縮して吹き込むからで風速 7m/sec 以下におけるガーゼ1枚の風速抑制作用はこの場合は50%前後と考えるのが妥当のようである。これは飯塚らの値¹⁵⁾とも近似になっている。

ガーゼ枚数がふえることによる通風率の低下に比較すると、付着塩分量の減少率は少ない。これは通り抜ける塩粒子が少なくなることによるものと考えられる。

III 露出時間

ガーゼ採塩器は自然の風にさらす露出時間を長くすれば付着塩分量も増加することが考えられるが、その付着塩分量の時間経過がどのようなものかを知り、最適露出時間を究明するために露出時間と付着塩分量の関係について実験をおこなった。

1 実験方法

野外実験は、東支那海に面している沖縄島の西側海岸の宜野湾市大謝名で、米軍射撃演習場跡地において実施した。海側には高さ約1.80 mの護岸があり、内陸側は平たんで130 m後方から緩かな上り勾配の地形である。地面には芝生と雑草がはえている程度で、障害物はない。

実験は、1975年12月24日から1976年1月22日の冬季におこなった。このときの風向きは北～北北西で、海からの風である。海岸線から72 mのところ、護岸と平行に測点を設けた。ガーゼ採塩器の高さは2 mとし、風向に直角に据えつけると同時に理工研式小型ロビンソン風速計を同高に隣接して設置し風速を測定した。露出時間は、それぞれ30分、60分、120分、240分、480分とし、くりかえした。

実験室内においては、海水3000 ccをビーカーに入れ、海水温を $17\sim 19^\circ\text{C}$ に保ち気泡をほぼ一定に発生させながら約60 cmはなされたところから扇風機で風速 2.7m/sec および 4.4m/sec の風を送り、ビーカーから約90 cmの風下にガーゼ枠を設置して塩分付着量を測定した。この場合の露出時間は、野外露出時間に更に15分間隔の測定も追加しておこなった。また、ビーカーには海水を順次おぎなう水位を一定に保ったが、塩分濃度を一定にする操作はできなかったため、実験後半の塩分濃度は高くなっていたものと推測される。

2 実験結果

野外および実験室内における測定結果は、表3および表4にまとめた。

また、ガーゼ採塩器の露出時間と付着塩分量の関係において塩分付着量の変化点を見出すため横軸に露出時間を、縦軸に付着塩分量の最高・最低値および平均値を取って図示すれば、図8. a およびbのようである。

図8. a およびbから言えることは、露出時間120分までは付着塩分量は直線的に増加する。最高値の場合は120分のところに第1の変化点があるようにみられ、それ以後はわずかながら勾配が緩やかになり、第2変化点は240分のところにあり、その後は増加率がにぶり、aでは勾配が緩やかになるがbでは急になる。しかし、最小値の場合は240分以降は勾配が急になる傾向が認められ、平均値ではほぼ全域にわたって直線関係が成立している。ただし室内実験ではいずれの場合も240分以後で勾配が急になっているが、これは海水濃度の変化に起因するものと考えられる。

また、各露出時間における平均付着塩分量を平均風速で除した値、すなわち、塩分濃度比⁶⁴⁾は図8. a 中のようになり、この場合は全域にわたって直線的に増加するが120分以後はやや緩勾配になる。すなわち、だんだん付着しにくくなっていくようである。これらのことから、露出時間は15分以上2時間まではいくらでもよいが、野外においては塩分濃度比が薄いので、短時間露出するよりは2時間程度

露出した方がよく、4時間露出してもさしたる問題はない。

表3. 野外における露出時間と風速および塩分付着量の関係

露出時間 (分)	測定 回数	1975. 12. 24		1975. 12. 29		露出 時間 (分)	1975. 12. 30		1976. 1. 22	
		風速 (m/s)	塩分量 ($\mu\sigma/cm$)	風速 (m/s)	塩分量 ($\mu\sigma/cm$)		風速 (m/s)	塩分量 ($\mu\sigma/cm$)	風速 (m/s)	塩分量 ($\mu\sigma/cm$)
30	1	7.25	168.6	7.16	332.6	60	7.16	351.6	6.24	231.0
	2	5.92	106.6	7.98	456.1		7.14	368.6	6.38	240.0
	3	6.47	121.6	6.61	385.6		6.69	289.1	6.65	326.5
	4	7.01	140.1	6.69	273.6		7.12	376.6	7.26	381.0
	5	6.70	142.1	6.32	224.1		6.54	264.6	8.02	392.0
	6	6.66	130.6	6.04	192.6		6.75	345.1	8.36	504.5
	7	7.02	140.1	6.72	251.1		5.27	244.1	8.71	488.5
	8	6.83	115.6	7.35	322.6		6.31	315.1	8.76	496.5
	平均	6.73	133.2	6.86	304.8		6.62	219.4	7.54	382.5
60	1	6.57	266.1	7.45	767.1	120	6.95	605.6	6.29	489.0
	2	6.51	222.6	6.90	616.1		6.73	565.6	6.72	651.5
	3	6.36	278.6	5.93	395.6		6.71	558.6	8.15	883.5
	4	6.54	232.6	6.94	507.1		5.55	530.6	8.73	976.0
	平均	6.50	250.0	6.80	571.5		6.49	565.1	7.47	750.0
120	1	6.42	457.1	7.06	1303.1	240	6.97	1093.1	6.71	1058.0
	2	6.28	477.6	6.36	930.1		6.14	975.6	8.50	1693.0
	平均	6.35	467.4	6.71	1116.6		6.55	1034.4	7.61	1375.5
240	1	6.19	866.1	6.67	2028.1	480	6.31	2128.1	7.50	2648.0

表4. 実験室内における露出時間と塩分付着量の関係

露出時間 風速(m/s)	15分	30分	60分	120分	240分	480分
4.40	125.0	230.5	437.5	850.0	1315.0	2965.0
2.70	40.0	78.0	112.5	174.0	299.0	904.0
平均	82.7	136.9	238.6	440.5	695.2	1934.5

単位： $\mu\sigma/cm$

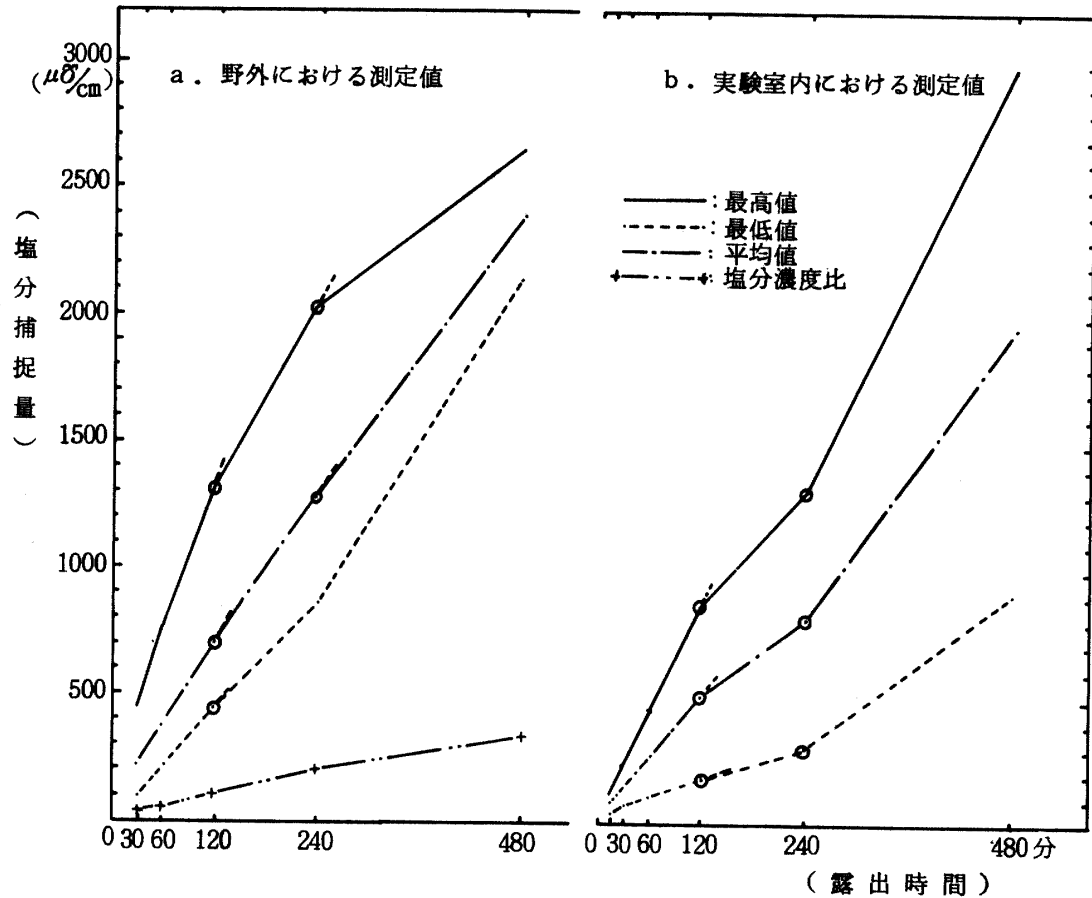


図8. 露出時間と塩分付着量の関係

第3節 試料採取法

I ガーゼおよびブラシによる採塩

沖縄島において東西両海岸線から遠く、ほぼ中央部に位置する琉球大学構内の定点における長期観測は、手すりなどのない、たいらな農学ビル5階の屋上に測点を設け、空気中にガーゼとブラシを常に風向と直角になるように放置し、毎日9時（放置時間は前日の17:00～9:00）13時（9:00～13:00）17時（13:00～17:00）にガーゼ採塩器とブラシを取替えてその付着塩分量を比電導度法で検出した。また、同時に風速、風向、気温、湿度等も測定した。降雨の場合には観測を中止し、降りはじめ当初の雨水約100ccまでを採取するようにしてその含塩量を測定した。

第2節Iで述べたようにガーゼによる付着塩分計測法は、風を多く通過させるほど多量の塩分を付着する。したがって、本研究における塩分付着用ガーゼはすべて1枚とした。

ガーゼ採塩器は、12番線針金で28cm×28cmの正方形枠をつくり、日本薬局方ガーゼを蒸留水で洗って炉乾燥させたのち1重にはったもので、常に風向と直角になるように設置した。

ブラシは、ガラス器具洗浄用のもので平均直径約4.54cm、長さ約6.50cmの円筒状をなし、毛の本数は約2380本、各1本の平均直径は約177μのものを用い、ガーゼ採塩器の設置と同時にその下方につり下げた。

ガーゼやブラシおよび風向、風速計等は屋上床面より約2.50 mの高さに設置して、できるだけ地物の影響をさけるようにした。

ブラシを新たに試用したのは、実際の樹木の葉はガーゼのような吸着性や透風性がなく、したがって付着塩分量もガーゼによる値との間には、大差を生ずる筈だと考えたからで、国内各地で防潮用に主用されているクロマツ (*Pinus Thunbergii* Parl.) の針葉に似た形状で、表面積一定の繰返し使用に耐えるものとして、ガラス器具洗浄用の円筒型のものを利用した。

ブラシとガーゼへの付着塩分量の関係を検討するために、試みに1974年12月の観測値を両対数目盛で図示すると、図9のごとくである。

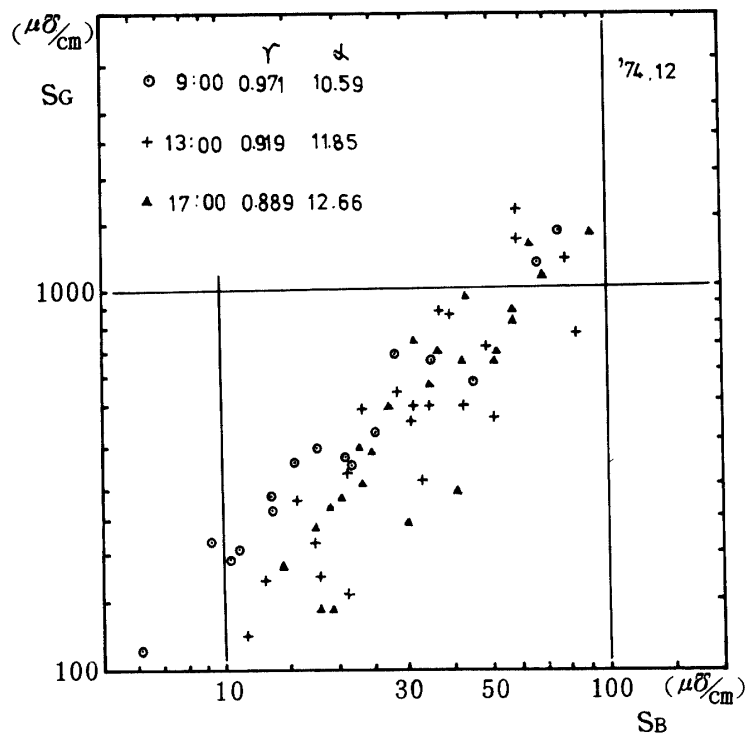


図9. ガーゼとブラシの付着塩分量の関係

両者の相関係数 r は同図中に記入したごとくきわめて大きく、9時のものが最良で13時、17時の順に小さくなっている。直線回帰が成立するとした場合のガーゼへの付着塩分 S_G と、ブラシへの付着塩分 S_B の関係を

$$S_G = \alpha \cdot S_B + \beta$$

であらわした際の α の値も同図中に記入しておいたが、9時の値が最も緩傾斜で13時、17時の順に急傾斜になっている。

全期間について同様な計算をするのは容易ではないし、第5章で述べるように付着塩分量はある程度長期間の観測値について平均的に考えた方が他の要因との関係がよくなるので、1974年8月10日から1976年7月25日までの観測結果を10日平均にして計算した結果は表5のごとくである。ただし、9時の観測値は空气中にさらす時間が他の4倍なので、常にその $\frac{1}{4}$ 値を用いている。

この場合は9時の値が最も急傾斜で、13時、17時の順に緩になっている。相関係数は前例に比較すればかなり低下しているが、資料数が多くなっているため、高度に有意であることには変りはない。右

表5. 10日間平均値による S_G と S_B の関係

観測時刻	相関係数	回帰式 ($\mu\sigma/cm$)
9:00	0.81	$S_G = 17.92 S_B + 114.73$
13:00	0.80	$S_G = 14.35 S_B + 120.45$
17:00	0.66	$S_G = 10.95 S_B + 247.86$
全平均	0.76	$S_G = 13.19 S_B + 171.95$

辺第2項が大きいことは、ブラシには微風速では付着塩分がごく少いことを推測させる。

第5章の表19によって全期間についての実際値の比率で示せば、9時の S_G/S_B は26.87、13時は20.56、17時は21.77となり、ブラシへの付着塩分量はガーゼへの付着塩分量の3.7%~4.9%、全平均では4.5%程度になる。

また短期観測では、東西両海岸付近の約500 mまでに4測点を設定し、地上高6.00 mまでの空中塩分をガーゼ採塩器に付着させてその量を測定した。なお、短期観測における露出時間は2時間とし、長期観測においては4時間とした。

II 付着塩分洗浄法

沖縄島南部地域および久米島地域の海岸線から500 m付近までに生育している針葉樹の葉と広葉樹の葉に付着している塩分量を洗浄法により調査した。

各採取場所ごとに高さによる樹葉への付着塩分量の差異を究明するために選定木の上位、中位、下位から1枝条あるいは数枚の葉を採取して上皿天秤 (Ishida) で秤量した後広口ビンに入れて持ち帰り、1昼夜以上蒸留水100 cc中に浸したのち、蒸留水中の塩分量を測定した。

林帯の幅の広いところでは、その風上側 (海岸側) 林縁部と風下側林縁部における付着塩分量の差異を明らかにするために風上林縁と林内および風下林縁の樹木を選定し、幅の狭いところでは風上林縁木のみを選定した。なお、各選定木からは1週間以上晴天の続いた日に、海岸側に面した枝条および樹葉を採取した。

選定木は針葉状のものとして、リュウキュウマツ (*Pinus luchuensis* Mayr) と沖縄で最も広く防風・防潮林に使用されているモクマオウ (*Casuarina equisetifolia* J. et G. Forst.) とし、広葉のものとしてはオオハマボウ (*Hibiscus tiliaceus* L.), アダン (*Pandanus tectorius* var. *liukuensis* Warb.), サトウキビ (*Saccharum officinarum* L.), フクギ (*Garcinia spicata* Hook. f.), テリハクサトベラ (*Scaevola frutescens* Krause), モンパノキ (*Messerschmidia argentea* Johnst.), アオガンピ (*Wikstroemia retusa* A. Gray), タイワンウオクサギ (*Pre-mna corymbosa* var. *obtusifolia* Flecher), クロヨナ (*Pongamia pinnata* Merr.) とし、細枝条および葉面への付着塩分量を測定した。

なお、この他に降雨水中の塩分、樹冠からの滴下水および樹幹流下水中の塩分についても計測した。

III 気象の観測法

沖縄島で海岸線から遠い距離にある琉球大学構内における長期観測では、5階建の農学ビル屋上の東側縁面より約2.50 mの高さにプロペラ型自記風向風速計 (小笠原計器製作所, PR-250型) を、さらに停電などの非常時にそなえて三杯型ロビンソン風速計および自記記録計 (中浅測器) を隣接して設置

し、風速を測定記録している。また、これらと相隣接してガーゼ採塩器も設置し、つとめて地物の障害をさけるようにした。その他床面より約0.50 mの高さの百葉箱内には自記温、湿度計(中浅測器)を設置して気温、湿度を記録させ、その近くに雨量計(中浅測器)を設置して降雨量を測定するとともに、降雨水中の塩分量も測定するように降りはじめ雨水約100 ccを採取するような自作雨量枴を設置した。

なお、海岸近くにおけるガーゼの付着塩分量測定時における風速測定には、理工研式小型ロビンソン風速計を、地上高6 m, 4 m, 2 m, 1 mおよび0.2 mのガーゼ採塩器と同高に設置して2時間の風速を測定し、これから平均風速(m/sec)を計算した。

第4節 植物の耐塩限界試験

海岸付近の最前線に生育する植物は風害や乾燥害、塩害などのいずれかを、あるいはこの二重の害を、ときにはこの三重の害を同時にうけやすく、常にきわめて不利な環境条件下にある。

沖縄において防風防潮林の最適樹種としてあげられているフクギと主要作物であるサトウキビの耐塩限界値を究明するためにその耐塩試験をおこなった。

I 根部からの塩分に対する耐塩限界試験

1972年に鉢植えした実生フクギ苗と、春季鉢挿し当年生サトウキビをそれぞれ40鉢用い、耐塩性試験をおこなうため、海水を水道水で希釈して、その濃度を100%, 75%, 50%, 25%, 0%としたものを、毎日、3日、7日、15日間隔で、おのおの2鉢ずつの根部にかん水した。かん水量はそれぞれの希釈液が鉢の下方からしみ出る程度で、フクギにおいては200 cc、サトウキビにおいては1100 ccずつとし、根部(土壌)からの塩分の影響を試験した。

この場合、乾燥による害を防止するためにフクギにあってはほぼ3日間隔に、サトウキビにあっては土壌含水量が深さ15 cmのところPF 1.7~2.0位の圃場容水量^{6,7)}になるように予備実験し、毎朝600 ccずつかん水して3時間後からそれぞれの希釈液を根部にかん水した。

土壌は、いずれも琉球大学農学部附属与那演習林内の川から採取した川砂を使用し、試験は屋外でフクギは1974年9月1日から1975年1月8日までの130日間、サトウキビは1975年10月2日から1975年12月30日までの90日間継続した。

土壌含塩量は、試験終了後気乾重にして300 gの土壌を300 ccの蒸留水中に浸してときどき攪拌し、1昼夜以上放置したのちその上澄液約100 ccを吸上げて測定した。根の部分の含塩量は、試験終了後根部の土壌を洗い流して蒸留水でよくすすいだのち、絶乾にして重量を測定してから燃焼してその灰を微粉化して蒸留水100 cc中に浸して攪拌後一昼夜以上放置したあと、ろ紙(No. 2)で上澄液と灰分を分離してその含塩量を測定した。

II 葉幹面付着塩分に対する耐塩限界試験

第4節、Iと同様に鉢植えした実生2年生フクギ苗と鉢挿しした当年生サトウキビを、それぞれ40鉢用いて、第4節、Iと同じ海水濃度の希釈液を毎日、3日、7日、15日間隔で2鉢ずつの葉幹茎部に噴霧した。噴霧量はそれぞれの希釈液を一般に市販されている手動小型噴霧器で葉幹茎部が一様にぬれるまでとし、葉幹茎部付着塩分の影響を試験した。なお噴霧液が葉、幹、茎を流下して土壌面へ浸透するのを防止するために幹茎の地際部分をビニール布で覆った。

この場合も、乾燥による害を防止するために第4節、Iと同量ずつかん水した。使用土壌や試験期間も第4節、Iと同じである。

葉、幹および茎部は、試験終了後蒸留水で洗い、絶乾にして重量を測定したあと燃焼して、それぞれ

の灰を微粉化して蒸留水 100 cc 中に浸して攪拌し、1 昼夜以上放置したあと、ろ紙で上澄液と灰分を分離し、それぞれの部分の含塩量を測定した。フクギの葉面積は正投影面積をプランメーターで測定して 2 倍し、表裏合計面積とみなした。

Ⅲ 葉幹面が損傷した場合の耐塩限界試験

鉢植えした実生 2 年生フクギの葉、幹および葉幹部のそれぞれに傷をつけた場合、第 4 節、Ⅱの無傷のフクギに比較して耐塩限界はどのように変化するかを試験した。

この場合、塩害出現初期限界値を追求するために海水をさらに水道水で希釈してその濃度を 5%、10%、15%、20% および 25% とし、それぞれの希釈液を 2 鉢ずつに、毎日噴霧した。また、前項同様地際部分はビニール布で覆った。

葉および根部は、試験終了後蒸留水でよく洗い、絶乾にして重量を測定したあと燃焼して、それぞれの灰を微粉化して蒸留水 100 cc 中に浸して攪拌したあと 1 昼夜以上放置して上澄液と灰分をろ紙で分離し、上澄液約 50 cc を採取してその含塩量を測定した。

このときの海水の希釈液の平均塩分濃度は、海水 0% のとき、 $3.050 \times 10^2 \mu\text{g}/\text{cm}$ 、5% のとき 4.250×10^3 、10% のとき 7.420×10^3 、15% のとき 1.040×10^4 、20% のとき 1.345×10^4 、25% のとき 1.655×10^4 、50% のとき 3.082×10^4 、75% のとき 4.405×10^4 、100% のとき $5.517 \times 10^4 \mu\text{g}/\text{cm}$ であった。

第 3 章 ガーゼに対する付着塩分量分布

空中塩分は、主として海面に起源を有し^{75, 81, 82, 83, 92)}、海からの風には多かれ少なかれ塩分が含まれている⁹²⁾。それが海岸からへだたるにつれて、また、地面からの高さによって、どう変化するかが、海岸保全林の効果判定上、また育成上重要な問題である。この問題については従来海岸にごく近いところを詳細にしらべた例や海岸から非常に遠くまでをしらべた例が多いが保全林の必要な海岸から数百 m の範囲についての観測例が少ない。

そこで本章においては、太平洋側（東海岸側）に面した沖縄市泡瀬海岸付近と東支那海側（西海岸側）に面した宜野湾市大謝名海岸付近および本部町備瀬崎海岸付近における海岸から 500 m 位までの付着塩分量の水平分布および垂直分布を実測し、他の諸計測例と比較し、その法則性を究明しようとする。

第 1 節 海岸付近における付着塩分量の水平分布

海からの風によってはこぼれてくる塩分は沖縄では、上陸してからいかに減少するか、その水平分布の法則性を明らかにするために、沖縄市泡瀬海岸付近、宜野湾市大謝名海岸付近および本部町備瀬崎海岸付近において付着塩分量の測定を実施した。

各測定場所の各測点には、地面からの高さ 0.2 m、1.0 m、2.0 m、4.0 m および 6.0 m の位置に、ガーゼ採塩器を主風向と直角に設置して、2 時間潮風にさらした後、その付着塩分量を比電導度法で計測した。

また、ガーゼ採塩器の設置と同時に、隣接して同高に理工研式小型ロビンソン風速計を設置して、風速分布を測定した。

I 沖縄市泡瀬海岸付近の場合

1 測定場所

沖縄本島の太平洋側（東海岸側）に面した通称、中部の沖縄市泡瀬海岸の埋立地で、図 10 のように海

岸線には高さ約1.80mの護岸があるが、内陸側は草丈0.10m位の雑草が点在する平たん地である。

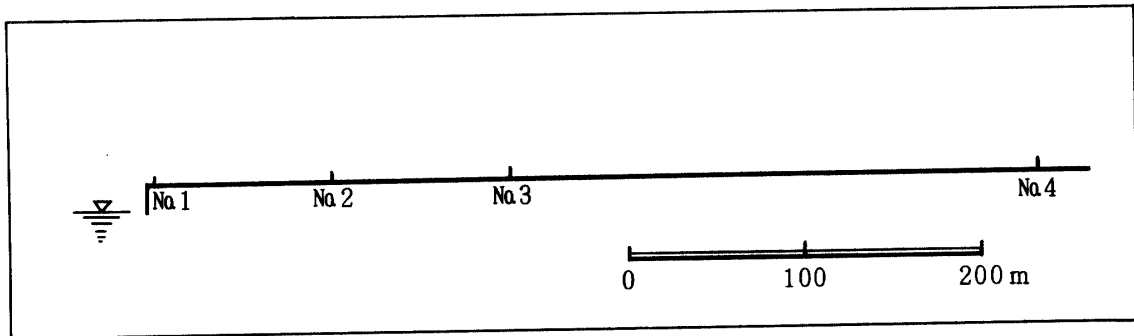


図10. 泡瀬海岸付近における測点の略図

No. 1 点は護岸より内陸側へ2.0 mのところへ設け、No. 2 点、No. 3 点およびNo. 4 点はNo. 1 点からそれぞれ100 m、200 mおよび500 mのところへ設置した。

ここにおける海からの風は南東の風向のときである。測定は、1976年12月から1977年1月の間に実施した。

2 測定結果

各測点における付着塩分量および風速の測定結果について算術平均した値を、その点における付着塩分量および風速と考え、その水平分布を明らかにするため各測点を横軸に、付着塩分量および風速を縦軸にとって図示すれば、図11および図12のようになる。

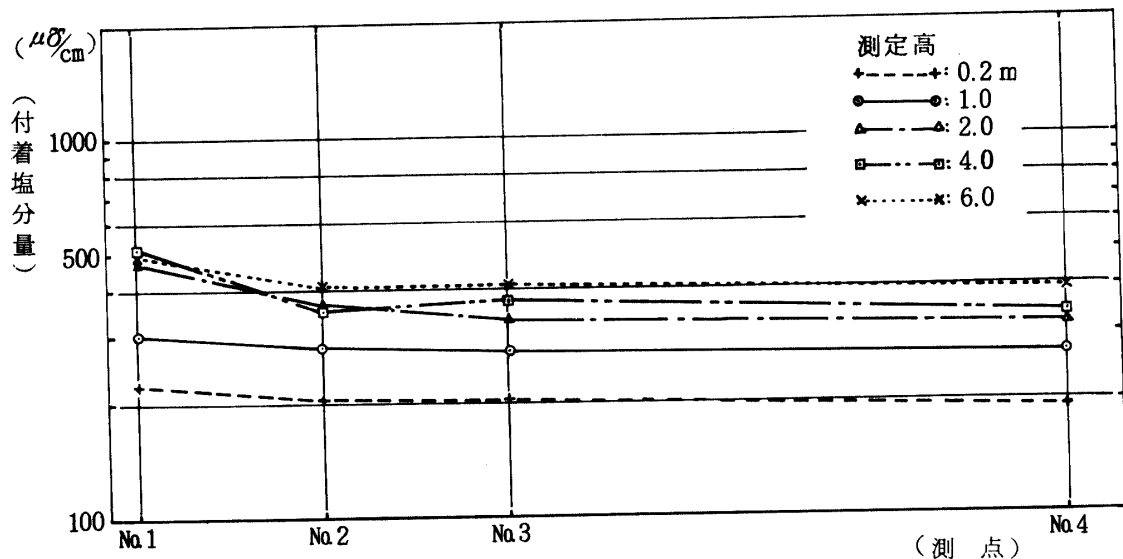


図11. 泡瀬海岸付近における付着塩分量の水平分布

図11によれば、各高さともNo. 1 点すなわち、海岸線近くが最も多く、No. 2 点では急に減少し、以後漸減している。このことは特に高さ2.0 m以上で明確である。No. 1 点において地上高1.0 mおよび0.2 mの付着塩分量が比較的少ない。これは海岸線にある護岸工による影響と考えられる。No. 3 点から内陸側では測定高度が高くなるにつれて付着塩分量が増加している。

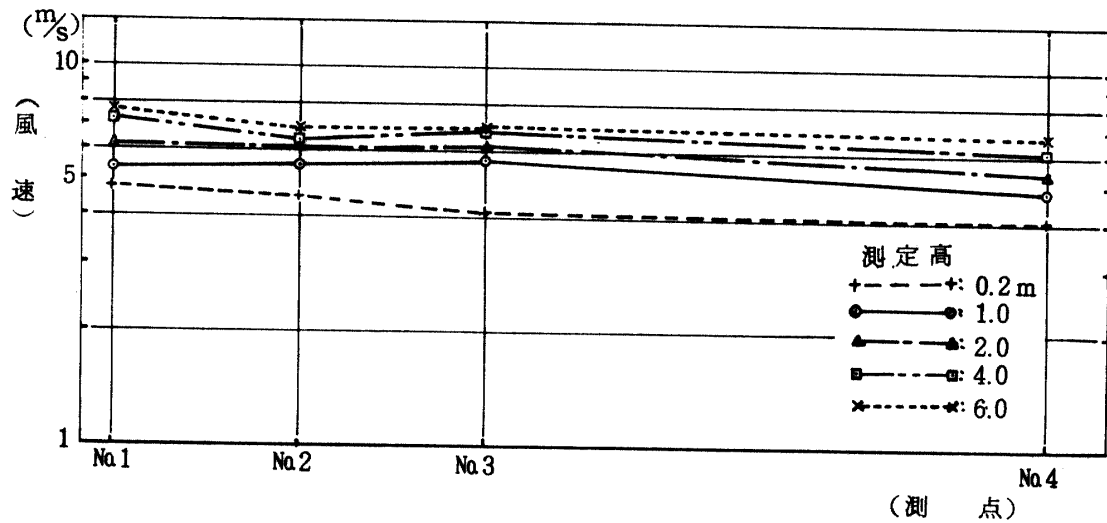


図 12. 泡瀬海岸付近における風速の水平分布

No. 1 点に対する各測点の減塩割合を算出すれば、全体的な平均値はNo. 2 点で 80.44%，No. 3 点では 79.42%，No. 4 点において 74.98%である。海上および海岸で発生した海塩粒子は、地物への付着と沈降によって、そのほとんどが海岸から 300 m 以内で失なわれ、約 $\frac{1}{5}$ がエアロゾルとなって陸地深く輸送されていく⁹⁾とされている。この場合は、海岸から 100 m 付近でそのほとんどが失なわれ、あとは漸減することから、一様に浮遊して分布しているものと考えられる。

図 12 によれば、風速は、全体的には内陸に入るにつれて漸減している。しかし、No. 1 点において高さ 0.2 m および 1.0 m の風速が減少しているのは護岸工による影響があったものと考えられる。

この場合、No. 1 点に対する各測点の減風割合の全体的な平均値は、No. 2 点で 97.51%，No. 3 点で 99.66%，No. 4 点で 92.52%で内陸 500 m のところにおいてもわずかな減少である。

II 宜野湾市大謝名海岸付近の場合

1 測定場所

本測定地は、通称沖縄島の中中部で、西海岸側に面し、1972 年沖縄の復帰にともなう返還跡地の一部で図 13 のような地形である。海岸線には高さ約 1.30 m の護岸の上に高さ 0.70 m の胸壁があり、北北西の風向のとき海からの風が護岸に直角である。

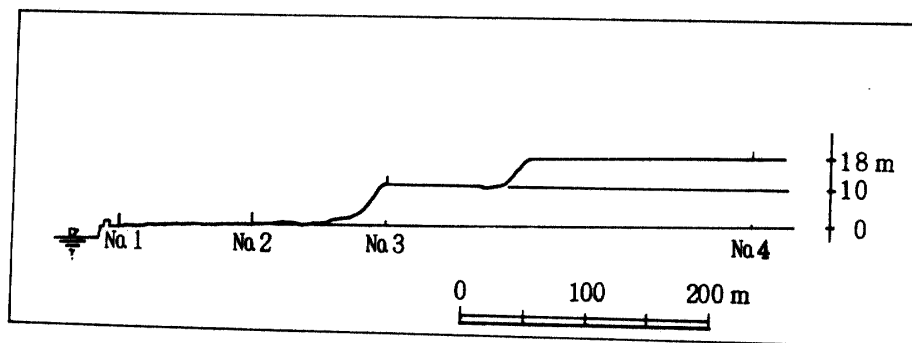


図 13. 大謝名海岸付近における測点の略図

No. 1 点は護岸から 11 m のところに設け、No. 2 点、No. 3 点および No. 4 点は No. 1 点からそれぞれ 100 m、200 m および 500 m のところに設定した。

No. 1 点は胸壁頂より約 0.70 m 低く、No. 1 点から No. 2 点間はほとんど水平であるが湿地帯で、雑草が 0.5 ~ 1.0 m 位の高さまで繁茂している。No. 2 点から No. 3 点間は緩勾配で水田であるが、No. 3 点の海側 10 m 付近からは急勾配で段丘状になっている。No. 3 点の内陸側約 100 m までは植生もなくほとんど水平であるが、その後方 30 m は急勾配で段丘状になり草丈 0.3 ~ 0.5 m 位の雑草がはえ、あとは No. 4 点の後方 250 m 付近までは芝生などが点在し平坦地で、その直後には国道 58 号線が北へ走っている。

2 測定結果

各測点における高さごとの付着塩分量および風速の算術平均値を、前同様に図示すれば図 14 および図 15 のようである。

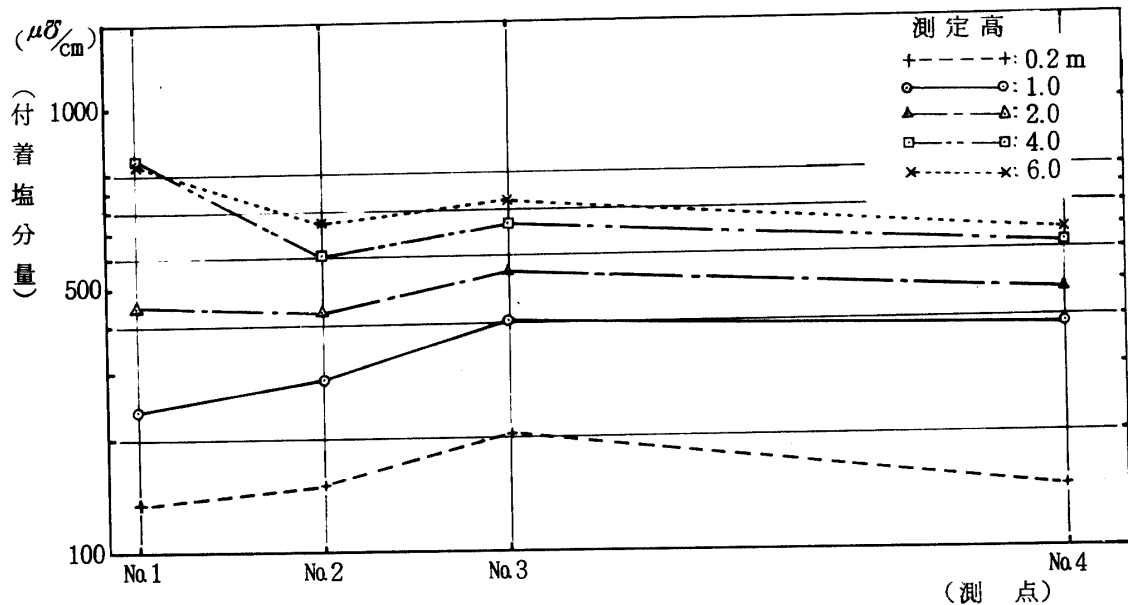


図 14. 大謝名海岸付近における付着塩分量の水平分布

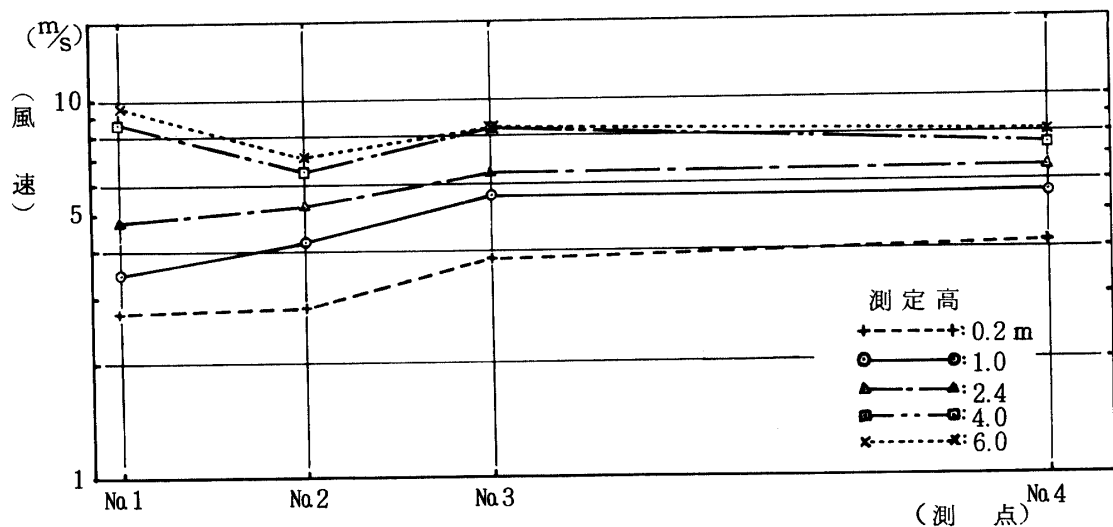


図 15. 大謝名海岸付近における風速の水平分布

図14によれば、測定高度が高くなるにつれて付着塩分量が増加する。高さ4.0mおよび6.0mにおいてはNo.1点が最も多く、No.2点では急減しているがNo.3点では多少増加し、以後漸減している。しかし、高さ2.0m以下においてはNo.1点で最も減少し、しかも低くなるほど減少量が多いようである。このことは海岸線にある胸壁が大きく影響して飛沫などを防止したためであると考えられる。

この場合、No.1点に対する各測点の付着塩分量の比率を全体平均で算出すれば、No.2点において71.41%、No.3点で87.88%、No.4点において76.27%であり、No.3点およびNo.4点では海岸線に近いNo.2点よりも増加している。これはNo.2点においては地形や植生の影響による風速の減少にともなう付着塩分量の減少が考えられ、No.3点においては逆に地形の影響のため風速の増大にともなう付着塩分量の増加が考えられる。

そこで各測点における風速に対する付着塩分量の百分率を示せば、No.1点においては108.31%、No.2点では88.57%、No.3点では87.05%、No.4点においては79.49%で、海岸近くが最も多く、内陸へ入るにつれて漸減する。

図15によれば、風速と付着塩分量の水平分布曲線は比較的良好に対応している。各測点とも高くなるにつれて風速が増大している。しかし高さ2.0m以下ではNo.1点すなわち、海岸近くで風速が最も減少している。これは護岸および胸壁による風速の抑制が大きかったものと考えられる。

No.1点の風速に対する各点の風速比率の全体的な平均値を算出すれば、No.2点においては87.33%、No.3点では109.35%、No.4点では104.00%であり、内陸側が増大している。これはNo.3点およびNo.4点では、それぞれその風上にある段丘の影響で風速比率が増大したものと考えられる。

III 本部町備瀬崎海岸付近の場合

1 測定場所

通称沖縄島の北部に位置し、西海岸側に面している。

図16のようにNo.1点は海面より高さ7mの断崖が隆起珊瑚礁上に設け、No.2点、No.3点、No.4点はNo.1点からそれぞれ50m、150mおよび310mのところを設定した。

No.2点付近は台地状で高さ約2m、幅約10mの主としてアダンが生育しているが、その約3m幅は伐開して測点を設けた。No.1点からNo.3点間には高さ1.0m～1.5mの琉球石灰岩塊が散存し、No.3点からNo.4点間は多少下り勾配で、周辺は甘蔗畑である。No.4点以後は平坦な畑地である。

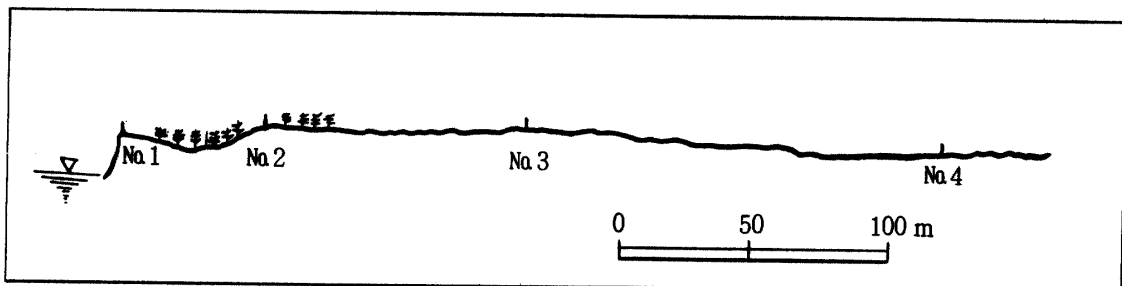


図16. 備瀬崎海岸付近における測点の略図

ここにおいては北北西の風向のとき海からの風が海岸線と直角にふく。測定は1974年2月に実施した。

2 測定結果

各測点における測定結果を前同様に図示すれば、図17および図18のようである。

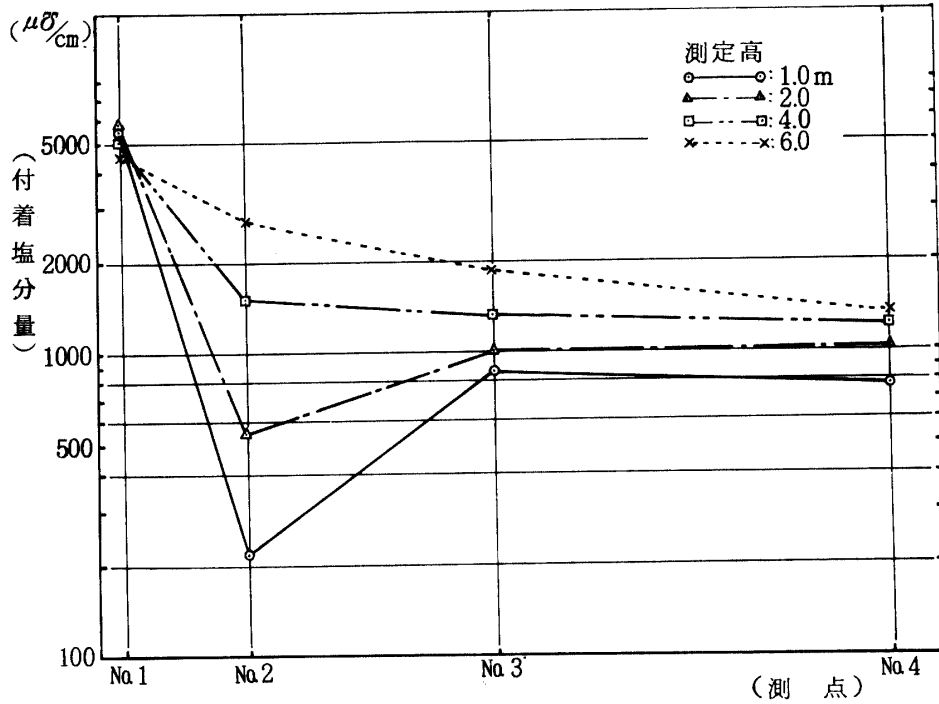


図17. 備瀬崎海岸付近における付着塩分量の水平分布

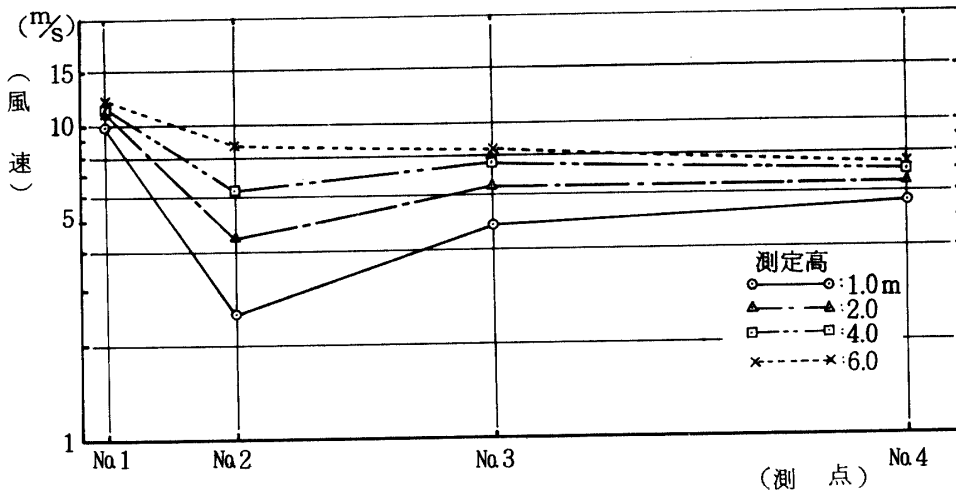


図18. 備瀬崎海岸付近における風速の水平分布

図17によれば、No.1点すなわち、海岸近くにおいては付着塩分量が顕著に多く、測定高度が低くなるにつれて増加するが、高さ2.0 mのところでも最も多い。No.2点以後の内陸側では測定高度が高くなるにつれて付着塩分量は増加するが、その量は内陸側に入るにつれて漸減する。また、各高さともNo.2点では急激に減少し、特に高さ2.0 m以下では減少量が大きい。しかし、高さ6.0 mでは海岸線から150 mのNo.3点においても比較的急に減少している。

これらを通じて推定されることは、空中塩分には海岸近くの砕波に由来する海水の飛沫の比較的大粒のもの、海からの風に浮遊している極く微細のものがあり、前者は海岸近くの地上付近に分布するのに対して、後者は内陸深く、上空までもかなり一様に分布するということである。

ところが、No.1点においては断がいの影響で飛沫の抑制や風速の減少などがあって高さ2.0 m以下では付着塩分量が減少したものと考えられる。また、海塩粒子の個数分布は海岸からの距離が増すにしたがって減少し、その減少率は海岸に近いところが大きく内陸に入るにしたがい小さい⁹²⁾ こと、No.2点以後の内陸側では飛沫がほとんどないこと、このようなところでは測定高度が高くなるほど、地表の影響が少なく、風速も大となることなどから上空ほど付着塩分量が増加するものと考えられる。

この場合、No.1点に対する各測点の付着塩分の比率を全体的な平均値で算出すれば、No.2点において24.41%、No.3点では24.35%、No.4点では21.28%で、内陸側に入るにつれて減少し、海岸線から310 mのところでは約 $\frac{1}{5}$ に減少している。

図18によれば、風速は、各測点とも測定高度が高くなるにつれて増大している。この場合もNo.1点が一番強く、No.2点で急激に減少し、あとは内陸に入るにつれて漸減している。しかし、高さ1.0 mにおいてはNo.3点よりはNo.4点が多量増加しているが、これはNo.3点付近までは地表に岩塊が散在し、地表物の影響があったものと考えられる。

また、No.1点に対する各測点の風速の比率は全体的な平均値で算出すれば、No.2点では48.70%、No.3点では59.95%、No.4点においては58.34%で、No.2点よりは内陸側で増大している。これはNo.2点においては、周辺の植生や地形などの影響が高さ4.0 m位まで強くおよんでいるため、平均風速の減少が著しかったことによるものと考えられる。

以上の結果によれば、付着塩分量は備瀬崎海岸付近が顕著に多く、ついで大謝名海岸付近で、最も少ないのは泡瀬海岸付近であり、沖縄において特に冬季は、東海岸側に面した地域よりは西海岸側に面した地域に多量の付着塩分がある。

これを国内各地での測定値^{24, 25, 74, 93)}と比較すると表6のようである。

表6によれば、沖縄の場合は県外各地にくらべて海岸線付近における付着塩分量は少ない。しかし、内陸部への飛塩量の減少割合が小さく、海岸線から180~200 m以後では沖縄の方が顕著に多い。すなわち、国内各地の砂浜海岸より海水の飛沫による付着塩分量が少なく、エロゾル状態のものが比較的が多いという特色がある。

これは、島の周辺にサンゴ礁が発達し、海岸へ直接大波がうちよせることが少なく、砕波は沖合い遠くに発生すること、海水温が高く、平均風速も高いためエロゾル状態の飛塩が他の地域のものより多いことに起因すると考えられる。

表6. 国内各地における付着塩分量 ($\frac{g}{m^2/hr}$)

海岸線からの距離 (m)	宮城県		山形県		福岡県			沖縄県		
	相の釜海岸 $\bar{v}=6.5$		十里塚 $\bar{v}=11.3$		波津 $\bar{v}=5.8$	福岡 $\bar{v}=4.9$	古賀 $\bar{v}=3.3$	泡瀬 $\bar{v}=6.2$	大謝名 $\bar{v}=5.9$	備瀬崎 $\bar{v}=9.8$
汀線付近					2.282	2.705	1.239	0.197		1.745
10~20	2.1403		1.250	0.200	2.480	1.515			0.130	
40~50	2.2073				0.829	1.563	0.773			
60~100			1.200	0.280			0.421	0.158	0.141	0.426
120~130	0.4005				0.365	0.627	0.195			
165	0.0060									
180~200	0.0039		0.660	0.093				0.156	0.115	0.425
300	0.0060		0.290	0.042				0.		
420	0.0039		0.050	0.010						
440	0.0006									
475~500	0.0006							0.147	0.103	0.371
535	0.0006									
630	0.0006									

\bar{v} = 汀線付近の平均風速 ($\frac{m}{s}$)

第2節 海岸付近における付着塩分量の垂直分布

海からの風によって運ばれてきた塩分は沖縄では、海岸から500 m付近まで、高さ6.0 mの間ではどのような垂直分布をするかを明らかにし、国内各地の測定例と比較して、法則性を知ろうとするものである。

測定場所、測定方法ならびに測定日時は、第1節と同じである。つまり前節の測定値について垂直分布を明らかにすることになる。

I 沖縄市泡瀬海岸付近の場合

各測点における高さごとの測定結果について算術平均した値をその高さにおける付着塩分量および風速と考え、垂直分布状態を明らかにするため付着塩分量および風速を横軸に、測定高度を縦軸にとって図示すれば、図19および図20のようである。

図19によれば、付着塩分量の垂直分布は両対数目盛上ではほぼ直線状になっており、指数法則がなり立つと考えられ、No.1点が最も多く、内陸側に入るにつれて減少し、No.4点が最も少ない。また、海岸側のNo.1点においては高さによる付着塩分量の差異が大きいが、内陸側ではその差がいくらか小さい。しかし、塩分は全体的な傾斜はほぼ一様で比較的一様な分布をしているといえよう。

各測点における高さごとの変化を明確にするために、各点の高さ1.0 mにおける付着塩分量に対する各測定高の付着塩分量の比率を算術平均値で示せば、表7のようである。

すなわち表7によれば、各測点とも高さ1.0 m~2.0 mの間の変化量大きい。特に海岸線に近くなるほどそれが著しい。これは海岸線に近くなるほど、しかも高さが低くなるほど大粒の塩粒子が多く分布し、測定高度が低くなるにつれて付着塩分量の増加率が大きくなるわけであるが、地面近くでは地形や地物の影響が大きくなり、したがって高さ1.0 m~2.0 mでその最大値になったものと考えられる。

図20によれば、各測点とも測定高度が高くなるにつれて風速が増加し対数法則がほぼなり立っている。この場合も、各点の高さ1.0 mにおける風速に対する各高さごとの風速の比率を算術平均値で算出し、また各高さの風速比に対する付着塩分量をその高さにおける塩分濃度比とし、表7中にまとめた。

図20および表7によれば、風速の垂直分布曲線の変曲点はNo.1点では地上1.0 mであるが、No.2点より内陸側では2.0 mのところ移動しているようにみられる。

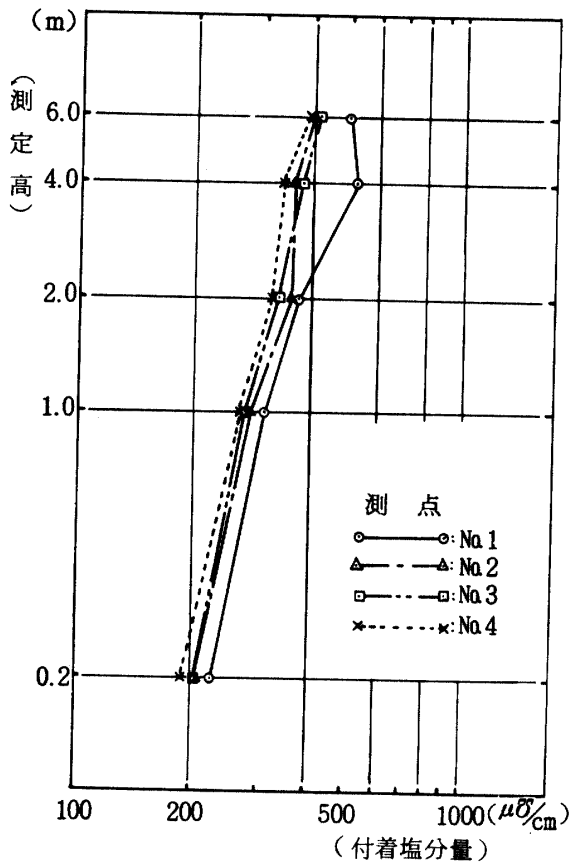


図 19. 泡瀬海岸付近における
附着塩分量の垂直分布

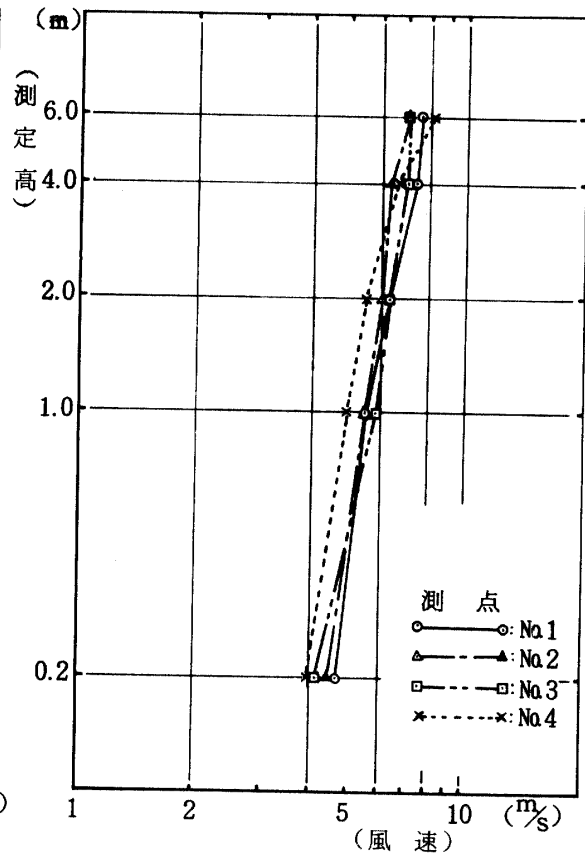


図 20. 泡瀬海岸付近における
風速の垂直分布

表 7. 高さ 1.0 m の附着塩分量および風速に対する各測定高の変化比率 (泡瀬の場合)

測点 測定高(m)	No. 1			No. 2			No. 3			No. 4		
	附着塩分 (%)	風速 (%)	塩分濃度比 (%)	附着塩分 (%)	風速 (%)	塩分濃度比 (%)	附着塩分 (%)	風速 (%)	塩分濃度比 (%)	附着塩分 (%)	風速 (%)	塩分濃度比 (%)
1.0	100	100	306	100	100	281	100	100	274	100	100	266
2.0	154	114	413	130	110	332	120	109	303	120	111	286
4.0	168	133	387	128	115	313	138	120	314	128	125	271
6.0	182	139	356	146	124	331	151	122	339	150	139	287

II 宜野湾市大耐名海岸付近の場合

各測点における高さごとの測定結果を前同様に図示すれば、図 21 および図 22 のようである。

図 21 によれば、全体としては泡瀬の場合と同様指数法則がなり立っている。しかし No. 1 点では測定高によって附着塩分量に著しく差があり、ことに高さ 2.0 m 以下では急激に減少し、海岸線の護岸工の影響が大きかったと考えられる。また、内陸側に入るにしたがってその差が小さくなる傾向があるよう

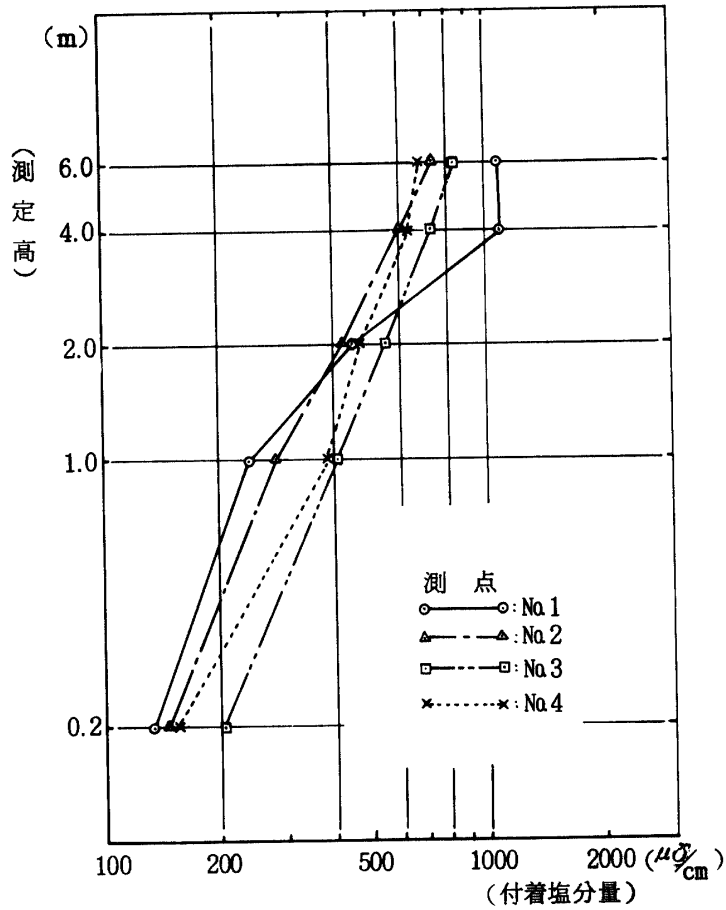


図 21. 大謝名海岸付近における付着塩分量の垂直分布

に見られる。

この場合、垂直分布の変化量をわかりやすくするために各測点の地上1.0 mの付着塩分量に対する各測定高の付着塩分量の比率を算出すれば、表8のようである。

表 8. 高さ1.0 mの付着塩分量および風速に対する各測定高の変化比率(大謝名の場合)

測点 測定高(m)	No. 1			No. 2			No. 3			No. 4		
	付着塩分 (%)	風速 (%)	塩分濃度比 (%)	付着塩分 (%)	風速 (%)	塩分濃度比 (%)	付着塩分 (%)	風速 (%)	塩分濃度比 (%)	付着塩分 (%)	風速 (%)	塩分濃度比 (%)
1.0	100	100	242	100	100	285	100	100	410	100	100	388
2.0	186	135	333	152	125	347	134	114	481	124	115	419
4.0	458	246	451	212	155	390	178	152	480	164	131	487
6.0	443	268	400	255	167	435	204	152	550	176	141	484

すなわち表8によれば、ここにおいては地表物の影響があったためか、高さ0.2~1.0 mの間で比率の変化量が最も大きいように見られる。また、比率の変化量は海岸付近が最も大きく、内陸側に入るにつれて小さくなっている。このことは海岸線に近くなるほど大粒の飛沫が分布し、内陸側に入るにつれてそれが減少して一様な分布状態になることを意味するものと考えられる。

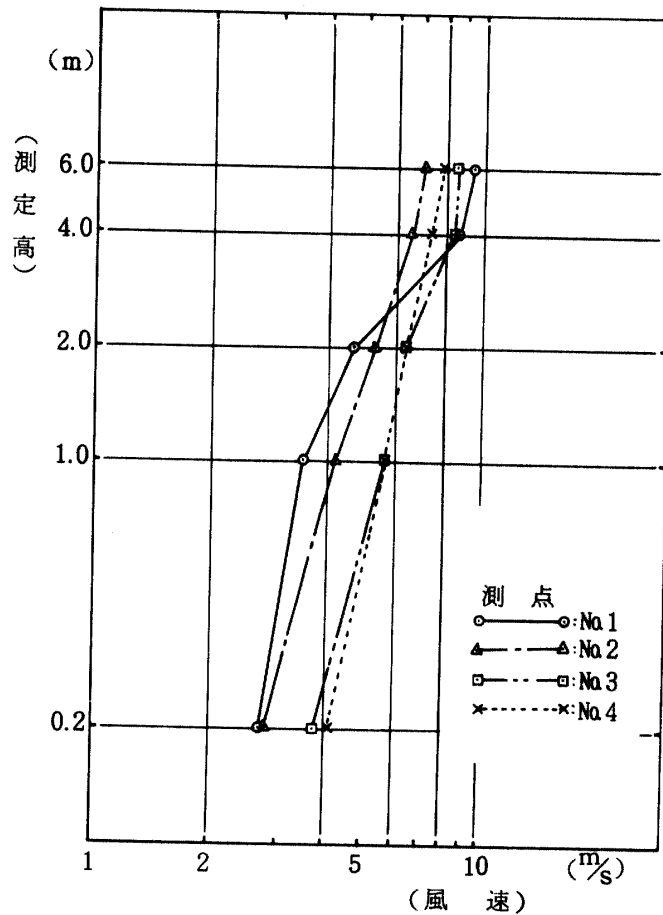


図 22. 大謝名海岸付近における風速の垂直分布

図 22 によれば、各測点とも測定高と風速間に対数法則が成立している。また、海岸線に近くなるほど測定高度による風速の差が大きく、内陸側に入るほどその差が小さくなっている。No 1 点の高さ 2.0 m 以下では他の測点にくらべて風速が著しく減少し、海岸線にある護岸の影響を受けていることが明らかである。また、No 3 点では高さ 4.0 m のところで風速が急に増大しているが、これは地形こと段丘による影響で、高さ 4.0 m 付近は加速領域⁷⁴⁾になったため増大したものと考えられる。

この場合も、各測点における高さごとの風速の変化を明らかにするために、各測点の高さ 1.0 m のところの風速に対する各測定高の風速の増加割合を算出すれば、表 8 のようである。

図 22 および表 8 を詳細にみれば No 1 点、No 2 点では地上 1.0 m で風速の垂直分布は変曲しており、No 3 点で 2.0 m、No 4 点で 4.0 m と移行している。これは海面と陸上の粗度の違い⁷⁴⁾によるものと考えられる。

III 本部町備瀬崎海岸付近の場合

各測点における高さごとの測定結果を前同様に図示すれば、図 23 および図 24 のようである。

図 23 によれば、No 1 点以外は各点とも測定高と付着塩分量の間に指数法則があり、内陸側に入るとしてその差が小さくなる。これは内陸側へ進むにつれてほぼ一様な分布状態になることも示しているものと考えられる。ただし No 2 点においては、測定高によって顕著な差があり、特に高さ 2.0 m 以下では

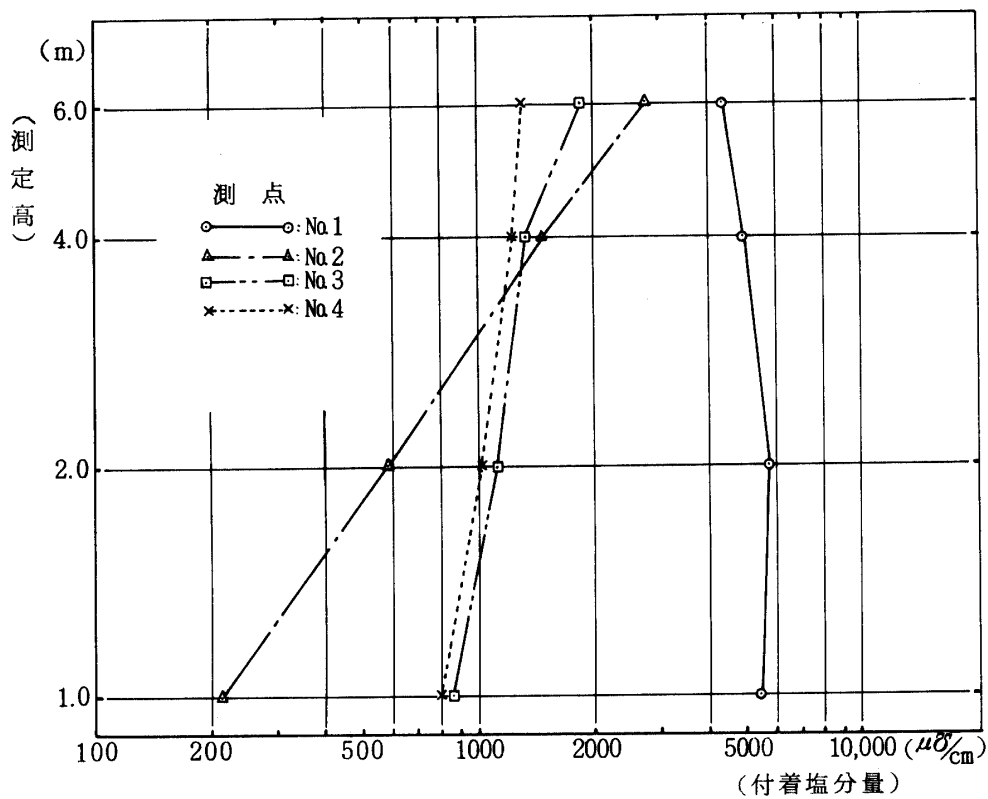


図23. 備瀬崎海岸付近における付着塩分量の垂直分布

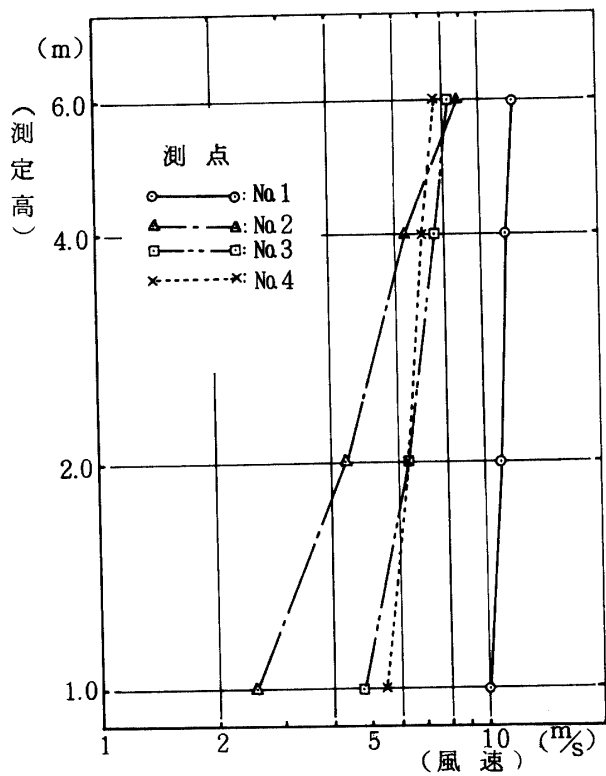


図24. 備瀬崎海岸付近における風速の垂直分布

他の点にくらべて著しく減少し、No.2点周辺の地表物ことに植生による影響が大きかったものと考えられる。

No.1点においては、他の測点に比較して付着塩分量が顕著に多く、他の測点とは逆に測定高が高くなるにつれて付着塩分量は増加し、高さ2.0 mのところまで最大になっている。

これは、海岸近くのNo.1点においては、砕波に由来する大粒の飛沫があり、下方ほど多く分布することが考えられるが、測定高が低くなるにつれて地被物などの影響が大きくて1.0 m以下の高さのところでは付着塩分量の増加が鈍り、結果として高さ2.0 mのところまで最大になったものと考えられる。

各測点における高さごとの変化を明確するために、各測点の高さ1.0 mにおける付着塩分量に対する各測定高の付着塩分量の比率を算術平均値で表示すれば、表9のようである。

表9. 高さ1.0 mの付着塩分量および風速に対する各測定高の変化比率（備瀬崎の場合）

測点 測定高(m)	No. 1			No. 2			No. 3			No. 4		
	付着塩分 (%)	風速 (%)	塩分濃度比 (%)	付着塩分 (%)	風速 (%)	塩分濃度比 (%)	付着塩分 (%)	風速 (%)	塩分濃度比 (%)	付着塩分 (%)	風速 (%)	塩分濃度比 (%)
1.0	100	100	5456	100	100	231	100	100	858	100	100	788
2.0	104	109	5230	253	174	336	131	132	849	131	113	916
4.0	91	113	4397	658	249	610	156	157	851	157	124	996
6.0	82	120	3712	1187	347	790	217	174	1069	168	132	1001

すなわち表9によれば、No.1点およびNo.2点では、これまでの例とは著しく異なる数値を示している。つまりNo.1点では上下の増加率に逆転が認められ、No.2点では上下の差が極端に著しい。これは海岸に直接波がうちよせること、断がいのあること、地被の植生が大きく影響したことが原因と考えられる。

図24によれば、各測点とも対数法則が一応成立しているとみられる。また、海岸線に近くなるほど測定高度による風速の差が大きく、内陸側に入るにつれてその差が小さくなっている。No.1点では他の点に比較して著しく風速が増大し、No.2点においては測定高度による風速の差が顕著である。これは高さ4.0 m以下では急な減少を示し、周辺の植生に影響されたことがうかがわれる。また、風速分布の変曲点は高さ4.0 mに認められる。

この場合も各測点における高さごとの風速の変化を明らかにするために、各測点の高さ1.0 mのところの風速に対する各測定高の風速の増加割合を算出すれば、表9のようである。

すなわち表9によれば、No.1点およびNo.2点で特異な値を示しているが、これは地形および植生によるものであると考えられる。

以上のような各地における測定結果を総合すれば、付着塩分量は、地域によって大差があるが、高さとの関係では常に指数法則が成立する。ただし高さ1.0～4.0 mのところに変曲点のある場合が大部分で、その高さはおおむね海岸からへだたるにしたがって大きくなるが、地形や地被の影響も強くうける。これは主に、風速分布に支配されているようにみられるが、砕波の大きな飛沫と海面からくる微細な塩粒子の分布も強くこれに関与していると考えられる。

また、海岸線近くにおいては測定高度によって付着塩分量に大きな差異を生ずるが、内陸側へ入るにつれてその差が小さくなり、高さ1.0 mの値に対して150～200%位の範囲におさまる。

表7～9でみると、ほとんどの場合で風速の垂直分布の差より付着塩分のそれが大きい。ことに海岸近くでのこの差が著しくなっている。上述の結論を数的に明らかに示していることになる。

第3節 付着塩分量分布についての結論

海岸からの距離と付着塩分量の間には指数法則がなり立つ^{74, 93)}とされているが、沖縄ではそれがほとんど適合していない。わずかに備瀬崎の地上6mの分布でそれらしき傾向が認められるが、泡瀬や大謝名ではその高さでも地形地物に影響されて、海岸から約100mの地点で一度低下している。

また、ごく海岸に近い地点での付着塩分が国内各地の値に比較して少なく、これに対して内陸に100m以上入った地点では、その逆の傾向があるのも沖縄の特色である。

地面からの高さで付着塩分量の間には対数法則がなり立つ⁹³⁾とされているが、沖縄の場合は指数法則が適合する。それも高さ1.0~4.0mのところに変曲点があり、その高さは一般に内陸に進むにつれて高くなっていく。

沖縄の付着塩分量分布にこのような特色を生ずる理由については、第1節、第2節でも触れておいたが、付着塩分には岸辺の砕波に由来する海水の飛沫で、比較的大径な粒子と、沖合いで発生するエアロゾル状態の微細塩粒子との両方が混在しており、前者は砕波点から150m位の間に急速に減少して皆無に近くなるのに対し、後者は海岸から数十kmも内陸まで⁹²⁾流入することと、沖縄の海岸にはサンゴ礁が発達していて大径の粒子は陸上に到達し難いこと、また海水温が高く強風が持続するため微細粒子の量が非常に多いことなどを合せ考えれば納得できる。

以上の結果から結論的に言えることは、海岸からの距離と付着塩分量の間には指数法則があるらしいが、砕波点から150m位で皆無に近くなる大径の海水粒子と、海岸から数十kmも流送される微細塩粒子の分布が混在しているから係数の異なる二つの指数法則の合計値を用いるべきであろう。さらに地形、地物による風速分布の変動に支配されて局部的な差異、すなわち風速の強いところは多く、弱いところに少ないという結果を生ずる。

地面からの高さで付着塩分量の間には指数法則がなり立ったが、これは微細塩粒子によるものであって、ごく海岸線に近い海水粒子が大多数を占める部分では対数法則が適合しているかもしれない。地上1.0~4.0mに変曲点があるのは主として風速分布に支配されたもので、海上と陸上の粗度の差によって生じたものと考えられる。

したがって沖縄での付着塩分量の研究は、微細塩粒子の動向に重点が指向せられるべきであろう。また海岸第一線の防潮林の造成は、塩分に関する限り、国内各地に比較してむしろ容易であろうと推察される。

第4章 付着塩分洗浄による塩分量および降雨中塩分量分布状態

空気中に含まれる固体や液体の微粒子をエアロゾル(aerosols)といい、大気中のエアロゾルはその起源によって、(1)海面でのしぶきやあわが原因となって生成した海塩粒子、(2)陸の表面からの土壌粒子(3)燃焼生成物など人類が大気中に放出したものなどがあげられており^{4, 51, 53, 62, 82, 84)}、これらが大気中から取り除かれる主な機構としては、(i)降水による除去、(ii)自然落下による除去、(iii)樹木、建物などへの衝突(付着)による除去がある^{51, 53, 82, 84)}。

本章では樹木による除去、すなわち樹葉への付着塩分量および降雨による除去、すなわち降雨水の含塩量ならびに樹木への付着塩分が降雨によって滴下ないし流下する場合の含塩量を調べ、沖縄島南部を東海岸側斜面と西海岸側斜面に二分して考えた場合、また季節的に分けた場合これらの塩分量に異なる差異があるか明らかにしようとする。

第1節 樹葉への付着塩分量

海岸近くに生育する樹木の葉に付着する塩分は、海上から風によって運ばれてきたものであり、その付着量の分布を究明することは防潮林の効果を明らかにし、その地方に適したより堅固な防潮林を造成する上で重要な根拠となるから、沖縄島南部一帯と久米島の海岸近くに生育する針葉および広葉の数種の樹木の葉に付着する塩分量を洗浄法により計測した。

I 針葉樹の葉への付着塩分量

針葉樹の葉として、リュウキュウマツ (*Pinus luchuensis* Mayr) と沖縄で最も広く防風防潮林に利用されているモクマオウ (*Casuarina equisetifolia* J. et G. Forst) を対象とした。モクマオウは植物分類上は双子葉植物綱、離弁花類に属する¹²⁾が、茎状葉の外形は針葉状であるので、便宜上ここにおいて述べる。

1 試料採取位置および計測法

1) 試料採取位置

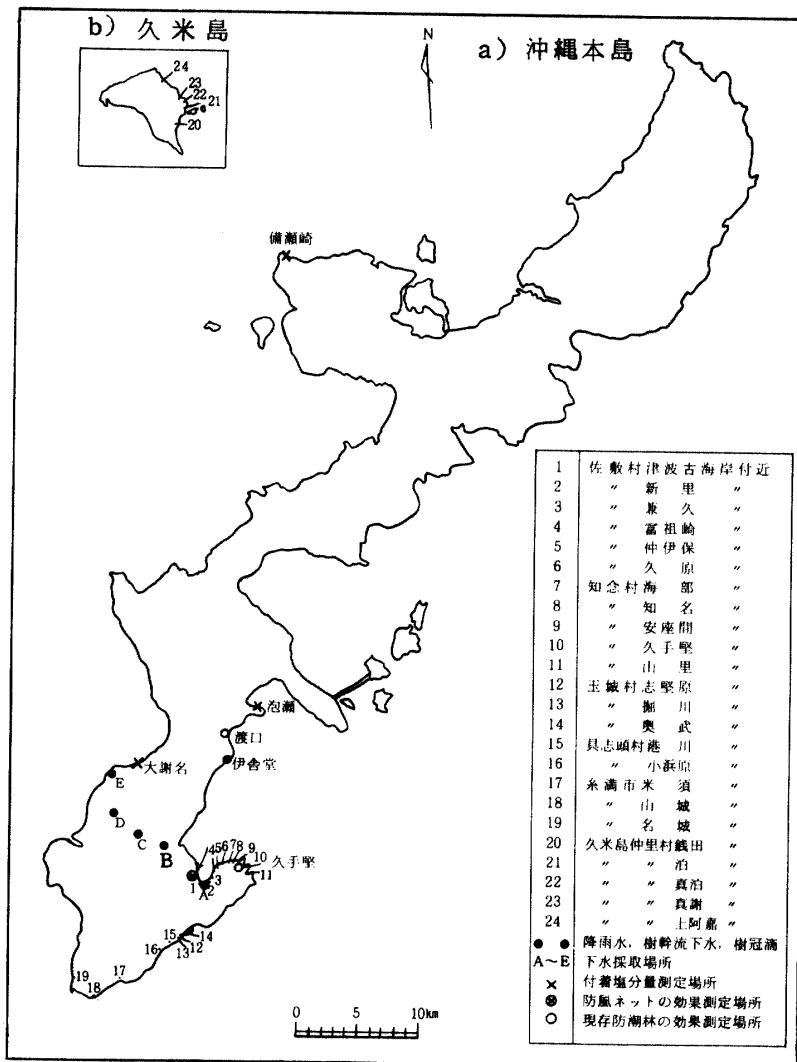


図25. 沖縄本島および久米島における試料採取場所

試料の採取地は、図25 a) および b) に示すように沖縄島南部一帯では佐敷村、知念村、玉城村、具志頭村、糸満市の1市4村における27箇所、そのほか久米島の12箇所で、海岸線から約800 mまでに生育している樹木を選定し、その葉に付着した塩分量を測定した。

各採取場所における樹高差による付着塩分量の分布を明らかにするために、選定木を上部、中部、下部に区分し、各部位から1細枝3 gを採取した。

各場所における選定木は、海岸側の最先端のものを選び、各選定木からは海側に面した最先端の細枝を採取するようにした。防風防潮林の幅の広いところでは、その位置による付着塩分量の差異をみるために、風上林縁部と風下林縁部の樹木の細枝を採取した。

調査は、1969年11月から1971年7月まで実施した。

2) 試料計測法

試料は広口ビンにいれてもち帰り、蒸留水100 ccを注入して1昼夜以上放置したのち、蒸留水中に浸出した付着塩分量を測定した。久米島における採取は葉重を測定せず1細枝とし、付着塩分測定後、葉の表面積を算出した。

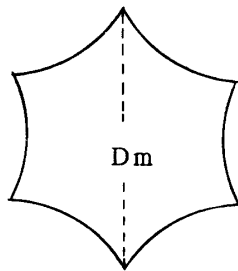
リュウキュウマツおよびモクマオウの葉の直径は顕微鏡で測定した。リュウキュウマツの断面は図26 b) のような半円状を呈し^{26, 77)}、通称モクマオウの葉といわれている茎状葉は図26 a) のような六角の形状を呈し²⁶⁾ それぞれの葉の先端部、中間部、下端部の3箇所の長径方向の長さを測定してその算術平均値を平均直径 D_m とし、葉の長さを ℓ とし、葉の表面積 A を次式によって算出した。

$$\text{リュウキュウマツ } A = D_m \left(1 + \frac{\pi}{2}\right) \times \ell$$

$$\text{モクマオウ } A = \pi D_m \times \ell$$

リュウキュウマツの場合は、半円周に直径を加えたものを平均周長としているが、モクマオウでは凹入弧長の合計は図26 a) 中に示したようにほぼ円周長に等しくなるものとして平均周長を求めた。

a) モクマオウの葉の横断面



b) リュウキュウマツの葉の横断面

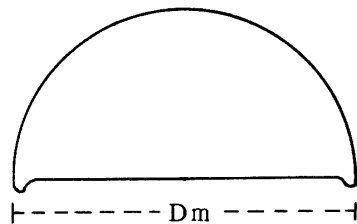


図26. モクマオウの葉およびリュウキュウマツの葉の断面形状

2 測定結果

各採取地からもち帰った試料の付着塩分量の測定結果を表10にまとめた。葉面積を求めてないものは、相当するところが空欄になっている。

また単位葉面積当りの平均付着塩分量を採取位置ごとに整理すれば表11 のようである。

これらの結果から言えることは、ガーゼへの付着塩分には指数法則が適合したのに樹木の場合には一般にそうはなっていない。しかし防風林の風上林縁や林内の個々の樹木においては、上部の枝に多くの塩分が付着する場合が大部分であり、また孤立木においても、単位葉面積当り付着塩分量は上部が多く、これは海岸付近の樹木へ付着する塩分は海から風によって運ばれてくるものであり、主として風速に支配され、自然の風の垂直分布は一般に上方ほど高風速であること^{23, 25, 26, 40, 58, 72)}、また風が防風林など

表 10 (1). 各採取地における樹葉への付着塩分量 (針葉の場合)

採取年月日	採取場所	樹種名	海岸線からの距離(m)	採取枝高(m)	付着塩分量 (mg)	葉面積 (cm ²)	単位葉面積当り付着塩分量 (mg/cm ²)	備考	
'69.11.7	1	モクマオウ	450	上枝	7.00	1.917×10		孤立木	
				中"	3.50	1.776×10			
				下"	1.80	7.668×10			
'69.11.7	7	"	50	上"	5.00	1.079×10		孤立木	
				中"	3.00	2.159×10			
				下"	1.60	1.874×10			
'71.6.15	7	"	50	上"	6.50	1.167×10		"	
				中"	4.50	1.987×10			
				下"	3.00	5.224×1			
7.12	7	"	50	上"	6.00	1.318×1		"	
				中"	5.00	1.586×1			
				下"	3.00	8.649×10 ⁻¹			
'69.11.7	7	リュウキュウマツ	150	上"	7.00	8.946×1	120.744	7.409×10 ⁻²	孤立木
				中"	5.00	9.798×1	138.206	7.089×10 ⁻²	
				下"	3.00	3.834×1	128.885	2.974×10 ⁻²	
6.15	7	"	150	上"	4.60	6.992×1			"
				中"	4.00	5.324×1			
				下"	3.40	2.884×1			
7.12	7	"	150	上"	4.60	1.034×1			"
				中"	4.00	2.665×1			
				下"	3.40	1.669×1			
'69.11.7	9	モクマオウ	100	上"	5.00	2.825×10	119.492	2.364×10 ⁻²	"
				中"	3.00	1.419×10			
				下"	1.30	4.061×10			
11.7	10	リュウキュウマツ	400	上"	3.50	6.680×1			孤立木
				中"	3.30	5.046×1			
				下"	2.50	3.971×1			
'69.11.7	11	モクマオウ	450	上"	6.00	3.114×1			孤立木
				中"	3.50	6.816×1			
				下"	2.00	3.834×1			
'69.12.23	12	リュウキュウマツ	60	上"	4.00	2.982×1			孤立木
				中"	3.00	3.408×1			
				下"	2.00	3.119×1	140.539	2.219×10 ⁻²	
12.23	14	モクマオウ	100	上"	2.50	7.379×1	109.342	6.748×10 ⁻²	"
				中"	2.00	3.971×1	137.562	2.886×10 ⁻²	
				下"	1.50	4.124×1			

注) 採取場所の番号は図 25 における採取場所を示す。

表10 (2). 続

採取年月日	採取場所	樹種名	海岸線からの距離(m)	採取枝高(m)	付着塩分量(mg)	葉面積(cm ²)	単位葉面積当り付着塩分量(mg/cm ²)	備考
'69.12.5	18	モクマオウ	50	上枝4.00	2.727×1	98.943	2.756×10 ⁻²	風上林縁
				中" 2.50	3.408×1	138.811	2.491×10 ⁻²	
				下" 1.00	3.698×1			
12.5	18	"	60	上" 3.00	3.272×1			"
				中" 2.00	2.982×1			
				下" 0.50	3.272×1			
12.5	19	"	30	上" 6.00	7.668×1			"
				中" 3.50	9.628×1	133.961	7.187×10 ⁻²	
				下" 2.50	6.254×1	97.614	6.407×10 ⁻²	
12.5	17	"	70	上" 2.00	2.982×1			"
				中" 1.50	3.118×1			
				下" 0.50	3.727×1			
12.5	19	リュウキュウマツ	450	上" 8.00	3.544×1	137.389	2.580×10 ⁻²	郡落林縁
				中" 6.00	4.397×1	117.471	3.743×10 ⁻²	
				下" 2.50	3.408×1	102.989	3.309×10 ⁻²	
12.5	19	"	500	上" 8.00	3.442×1			"
				中" 6.00	4.652×1			
				下" 3.00	4.090×1			
'69.12.29	20	モクマオウ	20	上" 4.50	3.119×1	116.980	2.666×10 ⁻²	風上林縁
				中" 3.00	2.556×1	83.704	3.054×10 ⁻²	
				下" 2.00	2.556×1	95.828	2.667×10 ⁻²	
12.29	20	"	70	上" 4.00	2.556×1	168.235	1.519×10 ⁻²	林内
				中" 1.70	1.278×1	101.783	1.256×10 ⁻²	
				下" 0.50	1.415×1	134.953	1.048×10 ⁻²	
'69.12.29	20	"	30	上" 4.00	4.550×1	151.480	3.003×10 ⁻²	風上林縁
				中" 2.00	6.953×1	205.491	3.383×10 ⁻²	
				下" 1.70	2.130×1	130.315	1.634×10 ⁻²	
12.29	20	"	50	上" 3.00	2.556×1	161.120	1.586×10 ⁻²	林内
				中" 1.50	1.568×1	137.372	1.141×10 ⁻²	
				下" 0.30	1.278×1	120.887	1.057×10 ⁻²	
12.29	21	"	70	上" 2.50	1.079×10	187.345	5.758×10 ⁻²	風上林縁
				中" 1.30	6.527×1	130.666	4.995×10 ⁻²	
				下" 1.00	8.946×1	187.598	4.769×10 ⁻²	
12.29	21	"	100	上" 2.50	3.272×1	99.793	3.278×10 ⁻²	林内
				中" 1.80	8.520×10	111.100	7.670×10 ⁻³	
				下" 0.50	1.568×1	222.939	1.275×10 ⁻²	

表10 (3). 続

採取年月日	採取場所	樹種名	海岸線からの距離(m)	採取枝高(m)	付着塩分量(mg)	葉面積(cm ²)	単位葉面積当り付着塩分量(mg/cm ²)	備考	
'69.12.29	22	モクマオウ	40	上枝 1.80	1.590×10	101.109	1.572×10 ⁻¹	風上林縁	
				中" 1.00	4.686× 1	67.245	6.969×10 ⁻²		
				下" 0.20	7.379× 1	107.776	6.846×10 ⁻²		
12.23	15	"	40	上" 7.00	1.179×10	129.911	9.076×10 ⁻²	孤立木	
				中" 3.00	3.119× 1	114.791	2.717×10 ⁻²		
				下" 1.00	3.545× 1	145.667	2.433×10 ⁻²		
12. 5	18	"	500	上" 4.00	3.118× 1			"	
				中" 2.50	3.834× 1				
				下" 1.50	3.272× 1				
12. 5	19	"	50	上" 7.00	3.544× 1	104.197	3.402×10 ⁻²	"	
				中" 5.00	5.930× 1				
				下" 3.00	5.248× 1	112.935	4.647×10 ⁻²		
12.30	24	"	800	上" 1.80	1.206×10	292.328	4.127×10 ⁻²	"	
				中" 1.20	8.657× 1	233.788	3.703×10 ⁻²		海拔高100m
				下" 0.80	3.834× 1	132.836	2.886×10 ⁻²		
11. 7	11	"	3	上" 5.00	7.378× 1			風上林縁	
				中" 3.00	6.816× 1				
				下" 2.50	1.065×10	108.673	9.800×10 ⁻²		
11. 7	11	"	4	上" 4.00	4.397× 1	126.714	3.470×10 ⁻²	"	
				中" 2.50	3.843× 1				
				下" 0.80	2.420× 1				
'69.12.23	12	モクマオウ	30	上" 2.50	4.260× 1	132.765	3.209×10 ⁻²	風上林縁	
				中" 2.00	7.668× 1				
				下" 0.50	4.260× 1				
12.23	13	"	30	上" 3.50	8.810× 1			林内	
				中" 2.50	2.693× 1				
				下" 1.80	2.982× 1				
12.23	13	リュウキュウマツ	30	上" 6.00	1.278× 1	109.045	1.172×10 ⁻²	"	
				中" 5.00	4.686× 1				
				下" 3.50	1.704× 1	126.462	1.347×10 ⁻²		
12.23	16	モクマオウ	80	上" 2.00	7.498× 1			風上林縁	
				中" 1.00	3.119× 1				
				下" 0.50	2.240× 1				
12.23	16	"	400	上" 4.00	6.527× 1			"	
				中" 2.50	5.112× 1				
				下" 1.80	3.970× 1				

表10(4). 続

採取年月日	採取場所	樹種名	海岸線からの距離(m)	採取枝高(m)	付着塩分量(mg)	葉面積(cm ²)	単位面積当り付着塩分量(mg/cm ²)	備考
69.12.5	17	モクマオウ	50	上枝 2.50	2.692×1			風上林縁
				中" 1.20	1.278×1			
				下" 0.50	1.990×1			
12.29	23	"	40	上" 2.00	4.260×1	134.406	3.169×10 ⁻²	"
				中" 1.20	5.112×1	98.741	5.167×10 ⁻²	
				下" 0.80	5.112×1	151.150	3.382×10 ⁻²	
12.29	23	"	100	上" 2.50	2.101×10	98.380	2.136×10 ⁻¹	"
				中" 2.00	1.888×10	119.447	1.581×10 ⁻¹	
				下" 1.00	6.262×1	147.690	1.240×10 ⁻²	
12.29	23	リュウキュウマツ	300	上" 3.00	1.874×10	280.877	6.673×10 ⁻²	"
				中" 2.00	3.621×10	383.615	9.439×10 ⁻²	海拔高50m
				下" 1.70	3.522×10	250.935	1.404×10 ⁻¹	
12.29	23	"	600	上" 3.00	1.590×10	304.257	5.225×10 ⁻²	"
				中" 2.50	7.958×1	215.158	3.699×10 ⁻²	海拔高80m
				下" 1.50	1.363×10	355.346	3.836×10 ⁻²	

表11. 樹葉の採取部位による単位葉面積当り平均付着塩分量 (mg/cm²)

樹種名	採取位置	平均付着塩分量	備考	樹種名	採取位置	平均付着塩分量	備考
リュウキュウマツ	上枝	5.7680×10 ⁻²	孤立木	モクマオウ	上枝	1.0716×10 ⁻²	孤立木
	中"	5.3960×10 ⁻²	"		中"	2.8015×10 ⁻²	"
	下"	2.6930×10 ⁻²	"		下"	3.1000×10 ⁻²	"
"	上"	4.8260×10 ⁻²	風上林縁	"	上"	6.7901×10 ⁻²	風上林縁
	中"	2.7953×10 ⁻²	"		中"	5.9813×10 ⁻²	"
	下"	2.8497×10 ⁻²	"		下"	4.9681×10 ⁻²	"
"	上"	1.1720×10 ⁻²	林内	"	上"	2.1277×10 ⁻²	林内
	中"		"		中"	1.0547×10 ⁻²	"
	下"	1.3470×10 ⁻²	"		下"	1.1267×10 ⁻²	"

の障害物を越える際には、空気の流線が隆起する結果^{40, 46, 58}), 上方ほど高風速で、それにもなって空中塩分の通過量が増加し^{4, 84}), そのために塩分付着量も増加し^{24, 38, 41, 72}), したがって樹木の葉に付着する塩分量も上部に多くなることが考えられる。これに下部の多いところもあるが、これは海水の飛沫が影響したため、あるいは植被が疎で吹きぬけがあったためと考えられる。

樹木に付着する塩分量は、風速、風向のほかに海面の状態、波高、地形、海岸線からの距離によって差異を生ずることが考えられるが、本調査結果から単位表面積当り付着塩分量を算出すれば、リュウキュウマツが $4.750 \times 10^{-2} \text{ mg/cm}^2$ で、モクマオウは $5.920 \times 10^{-2} \text{ mg/cm}^2$ であり、モクマオウの方が多少付着塩分量が多い。モクマオウの葉の断面形状、表面の粗度がリュウキュウマツより塩分を付着しやすくするのであろう。

個々の樹葉の単位表面積当りの付着塩分量は、同じ地域で、同樹種ならば海岸線から内陸へ進むにしたがって減少する。また、各採取場所における樹葉の単位表面積当り付着塩分量を各採取木の生育斜面方位ごとに示せば図27のようである。

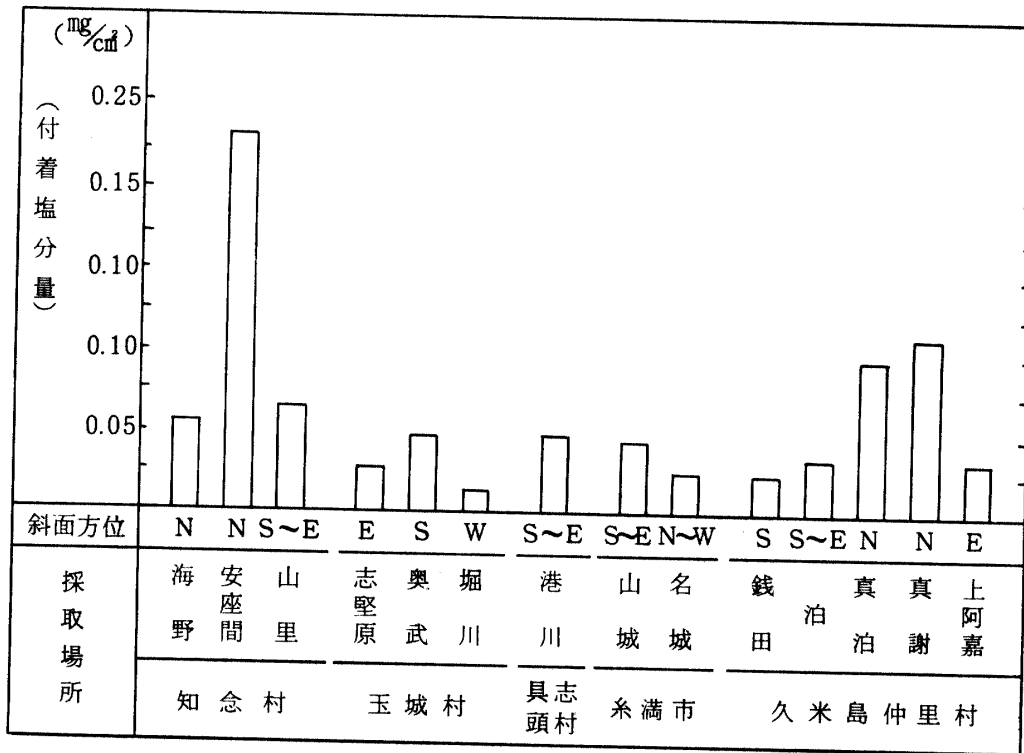


図27. 採取場所ごと単位葉面積当り付着塩分量

図27によれば、知念村安座間と久米島仲里村真泊および真謝などの北斜面は顕著に多く、次いで東側斜面に生育している樹木の針葉への付着塩分量が多く、玉城村堀川のように西側に面した斜面に生育している樹木の針葉への付着塩分量は少ないようである。

このことは樹木の葉へ付着する塩分量は、生育場所の地形や樹葉の採取方位などによっても差異を生じ⁴¹), また季節によっても差があるようで、一般に夏期よりは冬期に多くの塩分が付着するが、全体的には北ないし東からの付着塩分量が多いことを示している。沖縄の海岸の防潮林が、北東岸に多いこともそれを裏付けているようにみられる。

II 広葉への付着塩分量

広葉の試料採取木としては、オオハマボウ (*Hibiscus tiliaceus* L.), アダン (*Pandanus tectorius* var. *liukiuensis* Warb.), フクギ (*Garcinia spicata* Hook.f.), テリハクサトベラ (*Scaevola frutescens* Krause.), モンパノキ (*Messerschmidia argentea* Johnst.), アオガンピ (*Wikstroemia retusa* A. Gray.), タイワンウオクサギ (*Premna corymbosa* var. *obtusifolia* Flecher.), クロヨナ (*Pongamia Pinnata* Merr.), ゲットウ (*Alpinia speciosa* K.Schum.) およびサトウキビ (*Saccharum officinarum* L.) の10種を選定した

1 試料の採取位置および計測法

1) 試料採取位置

太平洋側に面した沖縄島南部の佐敷村新里, 同兼久, 同富祖崎, 同仲伊保および知念村久原, 同海野, 同知名, 同安座間海岸付近に生育する10種の広葉を採取した。

この場合も, 第4章, 第1節, Iと同様に各採取場所ごとに高さによる付着塩分量の差異をみるため選定木を上部, 中部, 下部に区分した。なお, 防風防潮林の幅の広いところでは, その風上側林縁部と風下側林縁部において付着塩分量の差異を明らかにするため防風防潮林の風上林縁, 林内および風下林縁の樹木を選定し, 防風防潮林の幅の狭いところでは, 風上林縁木を選定した。

2) 試料計測法

第4章, 第1節, Iと同様に, 各選定木からは, 1週間以上晴天の続いた日に, 海側に面した最先端の樹葉を採取するようにした。

各部位から1細枝あるいは数枚の葉を採取し, 直ちに秤量して広口ビンに入れてもち帰り, 蒸留水100ccを注入して1昼夜以上放置したのち, 蒸留水中に溶出した付着塩分量を測定した。

2 測定結果

各選定木から採取した樹葉は, 付着塩分量を測定したのち, 点格子法とプランニメーター法によって葉面積を求め, 付着塩分量ならびに単位葉面積当り付着塩分量を算出し, 表12に結果をまとめた。

表12 (1). 各採取地における樹葉への付着塩分量 (広葉の場合)

採取場所	樹種名	海岸線からの距離 (m)	採取枝高 (m)	付着塩分量(mg)	葉面積 (cm ²)	単位葉面積当り付着塩分量 (mg/cm ²)	備考
4	テリハクサトベラ	1	上枝 0.25	0.4771	727.266	6.5605×10 ⁻⁴	孤立木
			中 " 0.20	0.4516	608.000	7.4270×10 ⁻⁴	
			下 " 0.10	0.4260	527.766	8.0718×10 ⁻⁴	
4	アダン	2	上 " 2.20	0.3498	251.508	1.3550×10 ⁻³	"
			中 " 1.80	0.3067	249.000	1.2318×10 ⁻³	
			下 " 1.00	0.3664	380.000	9.6411×10 ⁻⁴	
4	オオハマボウ	2	上 " 2.50	1.0224	804.000	1.2716×10 ⁻³	"
			中 " 1.80	0.7924	962.000	8.2366×10 ⁻⁴	
			下 " 0.50	0.3919	760.764	5.1517×10 ⁻⁴	
6	アダン	3	上 " 2.00	0.4004	411.000	9.7431×10 ⁻⁴	"
			中 " 1.00	0.3664	418.502	8.7541×10 ⁻⁴	
			下 " 0.20	0.6220	361.264	1.7216×10 ⁻³	

注) 採取場所の番号は図25における採取場所を示す。

表12 (2). 続

採取場所	樹種名	海岸線からの距離 (m)	採取枝高 (m)	付着塩分量 (mg)	葉面積 (cm ²)	単位葉面積当り付着塩分量 (mg/cm ²)	備考
8	テリハクサトベラ	4	上枝 1.50	0.7668	532.266	1.4406×10^{-3}	孤立木
			中" 1.00	0.4771	471.504	1.0119×10^{-3}	
			下" 0.50	0.3919	474.506	8.2595×10^{-4}	
3	オオハマボウ	5	上" 2.60	1.5336	736.000	2.0837×10^{-3}	"
			中" 1.90	1.3632	645.504	2.1118×10^{-3}	
			下" 1.10	0.7668	692.506	1.1073×10^{-3}	
4	"	5	上" 1.50	1.4228	490.508	2.9007×10^{-3}	"
			中" 1.00	—	—	—	
			下" 0.40	0.5112	417.000	1.2259×10^{-3}	
6	"	5	上" 3.50	4.5156	656.502	6.8783×10^{-3}	風上林縁
			中" 2.00	2.1300	542.000	3.9299×10^{-3}	
			下" 0.70	3.1524	795.000	3.9653×10^{-3}	
8	台湾ウオクサギ	5	上" 0.50	1.0480	576.744	1.8170×10^{-3}	"
			中" 0.30	0.7072	590.262	1.1980×10^{-3}	
			下" 0.10	0.5112	531.200	9.6235×10^{-4}	
8	アダン	6	上" 2.00	0.5424	245.000	2.2137×10^{-3}	林内
			中" 1.50	0.4516	283.504	1.5928×10^{-3}	
			下" 1.00	0.5368	275.000	1.9518×10^{-3}	
8	台湾ウオクサギ	7	上" 1.00	—	—	—	風上林縁
			中" 0.40	0.9368	503.800	1.8594×10^{-3}	
			下" 0.15	0.9372	370.762	4.7600×10^{-3}	
8	オオハマボウ	7	上" 1.50	0.5368	112.764	4.7600×10^{-3}	"
			中" 1.00	—	—	—	
			下" 0.50	1.3291	244.000	5.4472×10^{-3}	
2	"	8	上" 4.50	4.1748	379.264	1.1008×10^{-2}	"
			中" 2.00	3.3484	342.566	9.7733×10^{-3}	
			下" 1.00	4.4900	464.000	9.6768×10^{-3}	
7	"	10	上" 1.00	0.4004	563.504	7.1062×10^{-4}	"
			中" 0.50	0.3664	617.502	5.9329×10^{-4}	
			下" 0.20	0.4228	422.264	1.0014×10^{-3}	
7	モンパノキ	10	上" 5.00	—	—	—	"
			中" 2.50	1.2084	310.000	3.8981×10^{-3}	
			下" 1.00	—	—	—	

注) — : は測定不能

表 12 (3). 続

採取場所	樹種名	海岸線からの距離(m)	採取枝高(m)	付着塩分量(mg)	葉面積(cm ²)	単位葉面積当り付着塩分量(mg/cm ²)	備考
7	オオハマボウ	10	上枝 1.20	10.3944	1215.504	8.5515×10^{-3}	孤立木
			中〃 0.80	8.5768	1016.762	8.4354×10^{-3}	
			下〃 0.30	6.5320	791.264	8.2551×10^{-3}	
8	アダン	10	上〃 3.50	0.5368	320.502	1.6747×10^{-3}	風上林縁
			中〃 2.30	0.5112	247.108	2.0687×10^{-3}	
			下〃 1.80	0.4856	214.000	2.2693×10^{-3}	
8	オオハマボウ	10	上〃 1.90	3.4080	916.000	3.7205×10^{-3}	〃
			中〃 1.50	2.4367	678.502	3.5913×10^{-3}	
			下〃 0.80	2.0874	1123.504	1.8579×10^{-3}	
7	アダン	12	上〃 2.50	0.4260	358.266	1.1891×10^{-3}	孤立木
			中〃 1.50	0.3664	352.102	1.0405×10^{-3}	
			下〃 0.50	0.5112	354.000	1.4441×10^{-3}	
7	モンパノキ	12	上〃 5.40	4.7712	394.264	1.2102×10^{-2}	〃
			中〃 4.00	4.9075	439.764	1.1159×10^{-2}	
			下〃 2.40	6.6200	583.262	1.1350×10^{-2}	
7	アオガンピ	12	上〃 0.50	0.3664	384.502	9.5282×10^{-4}	風上林縁
			中〃 0.30	0.5368	383.400	1.4000×10^{-3}	
			下〃 0.10	0.4260	411.504	1.0352×10^{-3}	
2	アダン	15	上〃 1.80	0.4252	291.000	1.4613×10^{-3}	孤立木
			中〃 1.20	0.5964	346.762	1.7199×10^{-3}	
			下〃 0.30	0.4516	302.000	1.4952×10^{-3}	
7	テリハクサトベラ	15	上〃 2.00	0.4516	263.502	1.7137×10^{-3}	風上林縁
			中〃 0.90	0.5112	302.264	1.6912×10^{-3}	
			下〃 0.50	0.5774	357.504	1.6152×10^{-3}	
8	サトウキビ	15	上〃 1.30	0.5964	249.000	2.3952×10^{-3}	風上側
			中〃 1.00	0.4260	255.000	1.6706×10^{-3}	
			下〃 0.50	0.4516	243.502	1.8544×10^{-3}	
8	〃	16	上〃 1.70	0.4771	424.000	1.1253×10^{-3}	〃
			中〃 1.30	0.4516	405.264	1.1142×10^{-3}	
			下〃 0.50	0.4771	380.522	1.2539×10^{-3}	

表 12 (4). 続

採取場所	樹種名	海岸線からの距離 (m)	採取枝高 (m)	付着塩分量(mg)	葉面積 (cm ²)	単位葉面積当り付着塩分量 (mg/cm ²)	備考
3	オオハマボウ	17	上枝4.00	1.2184	643.762	1.8926×10^{-3}	風下林縁
			中〃 2.50	0.5368	761.504	7.0487×10^{-4}	
			下〃 0.80	0.7668	752.000	1.0197×10^{-3}	
2	フクギ	18	上〃 5.00	0.3664	332.362	1.1023×10^{-3}	孤立木
			中〃 3.50	0.3408	283.000	1.2042×10^{-3}	
			下〃 2.50	0.3408	281.000	1.2128×10^{-3}	
3	サトウキビ	19	上〃 2.20	0.4260	722.502	5.8962×10^{-4}	風上側
			中〃 1.80	0.3919	696.504	5.6270×10^{-4}	
			下〃 1.20	0.3480	459.000	7.5817×10^{-4}	
2	〃	20	上〃 1.50	0.6816	263.000	2.5916×10^{-3}	〃
			中〃 1.00	0.5623	277.502	2.0264×10^{-3}	
			下〃 0.50	0.4004	151.766	2.6385×10^{-3}	
2	アダシ	25	上〃 4.50	0.4856	360.502	1.3471×10^{-3}	林内
			中〃 2.00	0.4260	298.200	1.4286×10^{-3}	
			下〃 0.50	0.4516	283.766	1.5913×10^{-3}	
5	〃	25	上〃 2.20	0.4516	396.000	1.1403×10^{-3}	孤立木
			中〃 1.70	0.5368	524.502	1.0233×10^{-3}	
			下〃 0.80	0.5112	427.506	1.1958×10^{-3}	
5	サトウキビ	27	上〃 3.00	0.4771	361.762	1.3189×10^{-3}	風上側
			中〃 2.00	0.4260	320.262	1.3302×10^{-3}	
			下〃 1.50	0.4260	322.000	1.3230×10^{-3}	
2	〃	50	上〃 1.50	0.7327	362.800	2.0196×10^{-3}	風下側
			中〃 1.00	9.5112	298.260	1.7139×10^{-3}	
			下〃 0.50	0.3664	399.000	1.1856×10^{-3}	

ここでいう葉面積とは、前述のように葉の正投影面積で、表裏両面の面積である。

また、各採取木の単位葉面積当り平均付着塩分量を採取位置ごとに整理すれば表13のようである。

表13. 樹葉の採取部位による単位葉面積当り平均付着塩分量 (mg/cm²)

樹種名	採取位置	平均付着塩分量	備考	樹種名	採取位置	平均付着塩分量	備考
テリハクサトベラ	上葉	1.0483×10^{-3}	孤立木	オオハマボウ	上葉	1.8926×10^{-3}	風下側
	中	8.7730×10^{-4}			中	7.0487×10^{-4}	
	下	8.1657×10^{-4}			下	1.0197×10^{-3}	
"	上	1.7137×10^{-3}	風上林縁	タイワンウオクサギ	上	1.8170×10^{-3}	風上林縁
	中	1.6912×10^{-3}			中	1.5287×10^{-3}	
	下	1.6152×10^{-3}			下	1.7451×10^{-3}	
アダン	上	1.2327×10^{-3}	孤立木	モンパノキ	上	1.2102×10^{-2}	"
	中	1.2126×10^{-3}			中	7.7441×10^{-3}	
	下	1.3442×10^{-3}			下	1.1350×10^{-2}	
"	上	1.4319×10^{-3}	風上林縁	サトウキビ	上	1.8118×10^{-3}	風上側
	中	1.5546×10^{-3}			中	1.5274×10^{-3}	
	下	1.8567×10^{-3}			下	1.3741×10^{-3}	
"	上	1.7804×10^{-3}	林内	フクギ	上	1.1023×10^{-3}	孤立木
	中	1.5107×10^{-3}			中	1.2042×10^{-3}	
	下	1.7716×10^{-3}			下	1.2128×10^{-3}	
オオハマボウ	上	4.4213×10^{-3}	孤立木	アオガンピ	上	9.5282×10^{-4}	風上側
	中	4.6269×10^{-3}			中	1.4000×10^{-3}	
	下	3.3321×10^{-3}			下	1.0352×10^{-3}	
"	上	4.8602×10^{-3}	風上林縁				
	中	4.0001×10^{-3}					
	下	3.8427×10^{-3}					

これらの結果から言えることは、一般的に樹木は広葉の場合も上部の葉に多くの塩分が付着する。また表13によれば、防風林の風上林縁と風下林縁における付着塩分量は前者に多く、後者が少ない。同じ樹種でも生育している場所によって付着塩分量に大きな差異がある。

サトウキビの葉は、海岸側に面した葉に多くの塩分が付着し、上部ほど多くなるようである。また、生育している地域によって差があり、防風林の後方は少ない。

表12によれば、モンパノキとオオハマボウの葉には多量の塩分が付着し、他の樹種に比較して著しく多い。ついでタイワンウオクサギ、サトウキビで、あとはアダン、テリハクサトベラ、フクギ、アオガンピの順に付着塩分量が少なくなっている。

一般に海岸近くに生育する常緑の葉は、いずれも表皮のクチクラ層が発達して光沢がある⁴³⁾。本調査において顕著に塩分が付着しているモンパノキやオオハマボウは葉の表面に短柔毛があり⁷⁾、また葉面は葉脈による凹凸が顕著であり、同じ葉面積でもそれだけ葉の表面積がふえることや塩分が付着しやすいことが考えられる。

しかしフクギやアダン、テリハクサトベラなどの葉面は、短柔毛がないばかりでなく、葉脈による凹凸面もほとんどなく、葉の表面に光沢があり、塩分付着量が少なくなると考えられる。

これらのことから、表皮のクチクラ層の発達と塩分付着量とは逆の関係にあるようで、クチクラの発

達した樹葉は塩分が付着しにくく⁶⁰⁾，したがって塩分付着量が少なくなるものと考えられる。

海面から空中へ射出される微滴は，湿度の高い大気中では比較的大きな溶液滴の状態にあるが，湿度が低くなると，より小さな，あるいは乾いた海塩の微粒子となる⁸²⁾。付着した塩分は湿度70%以上では潮解して液体となり，それ以下では結晶となるといわれており^{10, 43)}，本調査のように1週間以上晴天が続いたときには，空中塩分は微細な結晶の粒子で浮遊し，一般にクチクラ層の発達した葉の表面は平滑で，光沢がある^{27, 29, 43)} ために，風に運ばれてきた塩分粒子は葉面から滑落し，あるいは付着力が弱いために風速の小さい風でも樹葉からふり落されるため，塩分付着量は少なくなるものと考えられる。

このことはモンパノキやオオハマボウなどの葉面への塩分付着塩量が高低や生育場所によって大きな差異があるのに対して，フクギやアダン，テリハクサトベラなどの葉面への塩分付着量が高低による差異や生育場所による差異の小さいことから察知することができる。

モンパノキやタイワンウオクサギ，林内のアダン，風下林縁のオオハマボウなどはその樹木の上部，下部，中部の順に塩分付着量が減り，防風林やサトウキビ畑では風上側が多く，ついで風下側で，林内が最も少なくなる傾向は針葉の場合と同様である。

これら針葉の場合と同様な理由ないし風速の垂直分布は林内では樹冠の上空部が強く，樹冠内が最も弱い風速になること^{50, 58)} などに起因すると考えられる。

一般的に同じ地域で，同樹種ならば海岸線から内陸に入るにしたがって塩分付着量は減少する。

第2節 降雨水中の塩分量

降雨水の塩分濃度は1~10mg/lを中心にした大きな変動があり，変動を与える因子として考えられているのはサンプリングの場所，季節，方法および風向，風速，雨量，降雨強度などの気象条件である⁸⁴⁾。

また，雨は大気圏から地表に物を運ぶよい運搬者で，雨があがって晴れわたったとき，すがすがしく感じられるのは雨が大気中の塵埃を洗いながしたためとされている^{51, 84)}。

ここでは沖縄島南部の太平洋側の東海岸から東支那海側に面した西海岸までを横断して降雨水を採取し，その含塩量を測定した。また，連続降雨の場合および台風時の降雨水の含塩量を測定し，その差異についても検討した。

I 沖縄島南部地域における降雨水の場合

1 雨水の採取位置および計測法

1) 雨水採取位置

太平洋側に面した佐敷村から東支那海側に面した浦添市にいたる5箇所に図25のように設置したA~E点とした。各測点はつぎのような概況である。

A点：東海岸側の馬天港に面した佐敷村兼久で，海岸線（護岸）から約10m内陸側に入った地点である。海岸側にはオオハマボウ（*Hibiscus tiliaceus* L.）の防風林帯があり，内陸側はサトウキビ（*Saccharum officinarum* L.）畑である。

B点：与那原町大見武で，琉球大学と与那原海岸のはほぼ中間のところである。ここは比較的小起伏の多い地形で，測定点はその小高いところになっており周囲はサトウキビ畑である。全体的には東側斜面の地形で，海岸線からの最短距離は約2kmである。

C点：琉球大学構内で，地形的には他の場所より最も高く，東西両海岸からほぼ中間に位置し，両海岸線からの最短距離は東西海岸から約4.2kmである。

D点：那覇市古島町で，松島中学校の南側である。その近郊では高所で，周囲は住宅が多い。地形的

には西側斜面になり、海岸線からの最短距離は約2.8 kmである。

E点：浦添市港川で、西海岸より約0.5 km入ったところで採草地である。平坦地ではあるが周囲は狭い盆地状の地形である。

各測点に採水ビン受口の地上高が0.5～1.0 mになるように設置した。

2) 試料計測法

内径200 mmのエスロンパイプを使用して降雨受口をつくり、雨水マスとしては広口ビン(120 cc)にピンポン玉を入れこみ、雨水が約100 ccになるとピンポン玉が浮上して広口ビンの口を塞ぐような採取ビンを試作使用した。

降雨ごとに雨水採取ビンを取りかえてその含塩量を比電導度法で測定した。

2 測定結果

1976年6月から1977年2月までのそれぞれの場所における各月の降雨水中の平均塩分量を表14にまとめた。

表14. 各地点における降雨水の月平均含塩量 ($\mu\text{S}/\text{cm}$)

測点 測定年月	A	B	C	D	E	平均	採取平均 降雨水(cc)
'76. 6	3.862×10	3.582×10	4.000×10	4.403×10	6.213×10	4.376×10	93.29
7	1.100×10^2	5.249×10	7.026×10	6.373×10	7.641×10	7.458×10	98.02
8	1.049×10^2	1.191×10^2	1.768×10^2	1.053×10^2	1.965×10^2	1.407×10^2	107.50
9	6.121×10^2	1.803×10^2	2.436×10^2	2.371×10^2	5.739×10^2	3.690×10^2	99.08
10	6.418×10	8.324×10	7.832×10	7.066×10	9.981×10	7.981×10	100.93
11	3.236×10^2	2.071×10^2	1.673×10^2	2.025×10^2	3.953×10^2	2.592×10^2	87.77
12	1.590×10^2	1.675×10^2	1.876×10^2	2.109×10^2	5.819×10^2	2.614×10^2	104.14
'77. 1	1.105×10^2	8.904×10	1.130×10^2	1.343×10^2	2.363×10^2	1.366×10^2	94.67
2	2.579×10^2	1.712×10^2	1.631×10^2	2.377×10^2	4.785×10^2	2.617×10^2	100.14
平均	1.977×10^2	1.229×10^2	1.378×10^2	1.451×10^2	3.001×10^2	1.807×10^2	98.39

月ごとの各点における降雨水の含塩量を見やすくするために縦軸に含塩量を、横軸に月をとって図示すれば図28のようになる。また、各点における降雨水の平均含塩量を図示すれば図29のような結果をうる。

表14、図28および図29から言えることは、一般にどの場所においても降水量が多ければ含塩濃度は減少するという法則性^{75,84)}が、この場合もなり立つということである。また、個々の計測結果は省略したが、俄雨のような一時的降雨水は、一般的に含塩量が多い。

全体的にみた場合には7月から9月の台風にもなる降雨水には多量の塩分が含まれているが、台風をともしない降雨水は比較的含塩量が少ない。太平洋側では風の強いとき、すなわち台風のとときには一度に大量の海塩が運ばれるといわれ^{75,84)}図28において9月(特に両海岸側)が極端に多いのは台風17号が沖縄本島に最も接近したときの降雨水の含塩量が極端に多かったことによる影響である。

わが国では、一般にシベリアからの北西風が強く吹きつける冬季には、日本海側が空中塩分量が多く、風のおだやかな太平洋側はその量が少ないこと^{13,75)}、平均して塩分量の多い雨の降るところは、概して空中塩分も多いこと⁷⁵⁾が認められている。沖縄も台風にもなる降雨水の含塩量を除くと、空中塩分付着量の多い11月頃から翌年の2月頃までの冬季の季節風(ミーニシ)の吹くころの降雨水が多量の塩分を含んでいる。

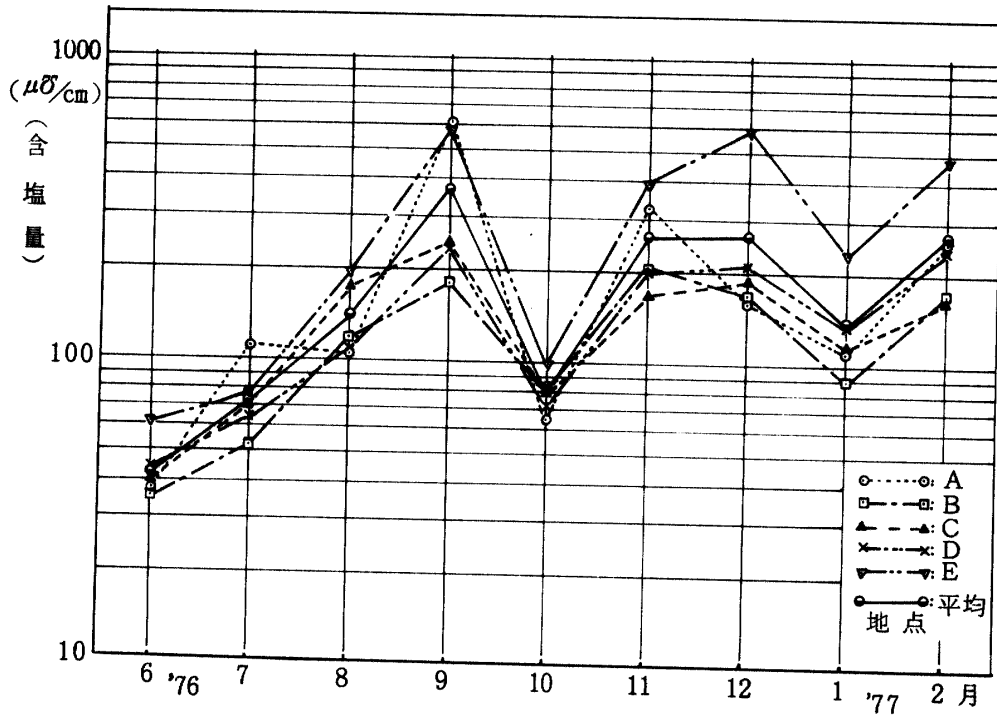


図28. 各月における降雨水の含塩量

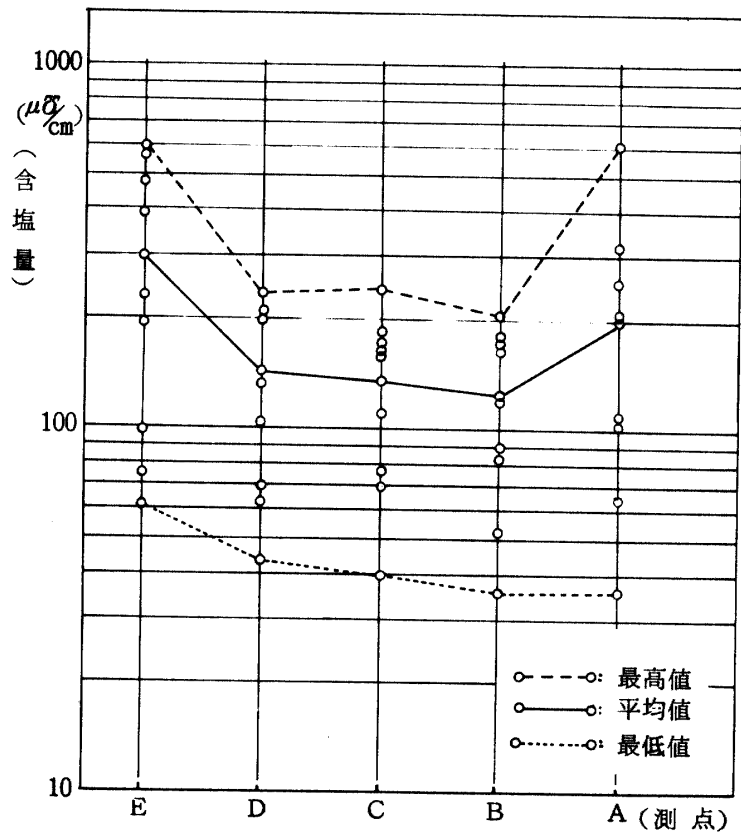


図29. 各地点における降雨水の含塩量

本章当初に述べたように大気中のエアロゾルの起源の1つに海塩粒子があり、大気圏からこれを除くものの1つに降雨水による除去があげられており、それらの結果として空中塩分量の多いときの降雨水は、それだけ含塩量が増加することが考えられる。

図29によれば、東西両海岸側の降雨水は含塩量が多く、内陸側は少ない。どちらかといえば西海岸に近いところは多く、東海岸に近いB地点における降雨水は含塩量が最も少ない。

両海岸側は含塩量のばらつきが大きく、特にA地点はばらつきが大きい。内陸側はほぼ同じ程度のばらつきである。このことは、海岸側は飛塩に由来する大粒の粒子による影響があったことが考えられる。特に1976年9月10日の台風17号のような比較的大型な台風が沖縄島に接近して通過した場合には海岸近くは相当多量の塩分があり、降雨による除去も大きいことを意味するものと察知される。

また、表14を6月から8月までの夏季と、12月から2月頃までの冬季にわけて比較してみると、東海岸に近いA、B地点においては2倍程度、C地点では1.6倍、D地点では2.8倍、E地点では5.3倍と冬季の降雨水の方が多くの塩分を含んでいる。すなわち、沖縄においても冬季の降雨水は夏季に比較して多量の塩分を含んでいる。

西海岸に近い方が冬季の塩分が多いことは、前節の樹葉付着塩分の場合の傾向と矛盾するようであるが、9月の台風接近時の降雨水に極端に多量の塩分を含むこと、それは多くの場合、東海岸に強く吹きつけることを考慮すれば、矛盾ではないことが納得できる。

II 沖縄島南部地域における連続降雨水の場合

1 雨水の採取位置および計測法

降雨水の採取位置および計測法は、1976年6月から1977年2月までは第4章、第2節、Iのときと同様に、同場所において、別に1974年8月から1976年5月までと1977年3月は、琉球大学構内の一定点において連続降雨水を約100ccごとに採取し、その含塩量の変化について比電導度法で計測した。

2 測定結果

佐敷村兼久から浦添市港川間の5地点においては2回以上採取できた連続降雨の場合を、琉球大学構内の定点においては主として4回以上採取した場合の連続降雨水の含塩量を測定し、その結果を表15にまとめた。

表15(1). 連続降雨水の含塩量 ($\mu\text{g}/\text{cm}$)

測定回数 年月日	1 回	2 回	3 回	4 回	5 回	6 回
'74. 10. 11~13	2.555×10^2	1.405×10^2	9.050×10	5.780×10	4.290×10	
12. 17~19	5.980×10^2	2.205×10^2	1.580×10^2	1.470×10^2		
'75. 1. 26~27	1.080×10^2	9.325×10	8.095×10	6.200×10	4.565×10	
2. 14	2.655×10^2	1.870×10^2	8.080×10			
3. 12~15	1.590×10^2	1.105×10^2	1.150×10^2	1.040×10^2	6.475×10	6.455×10
5. 8~10	1.885×10^2	1.005×10^2	5.660×10	4.645×10	2.815×10	
5. 24~26	3.430×10^2	1.395×10^2	1.010×10^2	9.960×10	9.045×10	6.880×10
6. 9	5.420×10	2.035×10	0.875×10			
6. 13~14	1.380×10^2	8.785×10	2.910×10	2.295×10		

表 15 (2). 続

測定 年月日	測定回数					
	1 回	2 回	3 回	4 回	5 回	6 回
'75. 7. 2~ 3	8.820×10	3.985×10	2.825×10	3.360×10		
7. 5~ 6	4.325×10	2.750×10	2.295×10	2.410×10		
8. 10~11	2.155×10 ²	1.280×10 ²	1.090×10 ²	5.365×10		
8. 29~31	1.735×10 ²	1.185×10 ²	7.560×10	5.375×10	5.135×10	
9. 23~25	2.330×10 ²	1.345×10 ²	1.285×10 ²	1.045×10 ²	6.025×10	
10. 12~15	3.250×10 ²	1.715×10 ²	1.570×10 ²	1.210×10 ²		
11. 6~ 7	7.075×10 ²	2.835×10 ²	2.105×10 ²			
11. 27~28	4.900×10 ²	1.825×10 ²	1.385×10 ²	1.005×10 ²		
'76. 2. 22~23	2.265×10 ²	1.240×10 ²	1.200×10 ²			
3. 22~23	6.125×10 ²	1.530×10 ²	1.100×10 ²	1.015×10 ²		
3. 26~28	3.815×10 ²	2.035×10 ²	1.200×10 ²	6.660×10		
4. 6~ 7	2.945×10 ²	1.615×10 ²	1.190×10 ²			
5. 4~ 6	2.660×10 ²	1.185×10 ²	1.035×10 ²	1.050×10 ²	1.010×10 ²	6.960×10
6. 11~14	6.739×10	3.140×10	1.921×10	1.658×10	1.447×10	
6. 17	4.578×10	2.578×10				
7. 6	2.969×10	1.554×10				
7. 7~ 8	2.322×10	1.086×10	0.785×10			
7. 30	3.546×10	1.686×10				
10. 1~ 2	1.626×10 ²	6.122×10				
10. 19~20	4.473×10	2.401×10	2.258×10			
11. 9~10	4.306×10 ²	2.190×10 ²	1.726×10 ²			
'77. 1. 10~12	1.310×10 ²	9.976×10	8.297×10			
1. 26~27	1.435×10 ²	4.793×10				
2. 1~ 2	1.073×10 ²	4.044×10				
2. 16~18	9.360×10	8.800×10	5.955×10	4.730×10		
3. 30~31	7.245×10 ²	3.780×10 ²	3.455×10 ²	1.455×10 ²	1.010×10 ²	9.220×10
平均 値	2 回	8.739×10	3.463×10			
	3 回	2.420×10 ²	1.256×10 ²	9.167×10		
	4 回	2.986×10 ²	1.302×10 ²	9.324×10	5.972×10	
	5 回	1.710×10 ²	1.031×10 ²	7.523×10	5.685×10	4.046×10
	6 回	3.731×10 ²	1.866×10 ²	1.663×10 ²	1.135×10 ²	8.930×10

また、それぞれの測定回数対数を横軸に、平均含塩量の対数を縦軸にとって図示すれば図30のようになる。

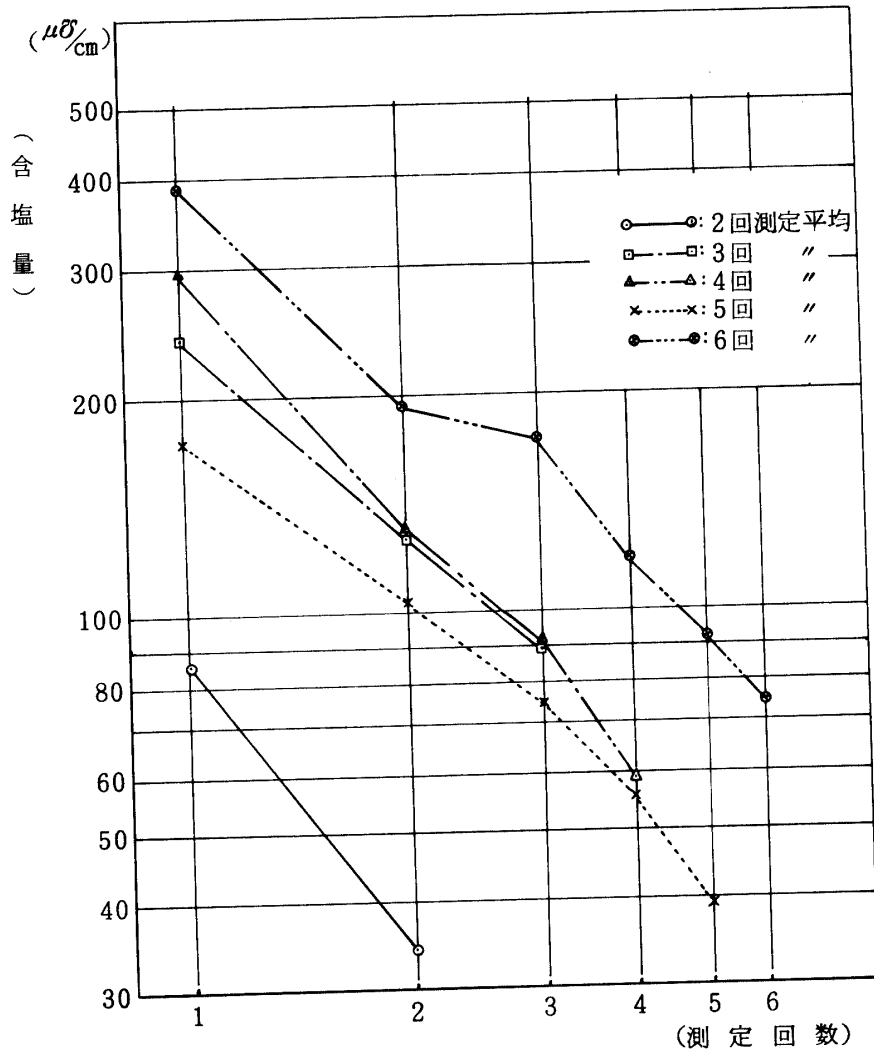


図30. 連続降雨水の含塩量

降雨水の塩分溶存成分は、空中塩分を洗浄してきたものであるから、雨量の多いときの雨は塩分が少なく、また一般に降りはじめの雨には塩分が多い^{75, 84)}とされている。

表15および図30から言えることは、降りはじめの降雨水は多量の塩分を含み、含塩量のばらつきの幅も大きい、2回目は急激に減少し、あとは測定回数をかさねるにつれて指数曲線的に含塩量が減少して、最初の値のいかにかわらずはば一定の割合(勾配)で減少していく。

雨滴とエアロゾルとの衝突は、粒子を雨滴の上に付着させ雨はとくに空気中から粒子を大量に洗い落とす。このような衝突による洗浄過程の有効性は、雨滴や粒子の大きさに影響され、粒子の直径が大きくなるほど、雨による捕捉は有効になる^{51, 84)}という。このように考えるならば、降りはじめの雨は空中の微粒子を大きいものから多量に洗い落とし、つきからつきへ洗浄すると空気中のエアロゾルは次第に小さく、少なくなり、量的にもはじめは急激に、時がたつにつれて徐々に少なくなることが推定され、図

30 はこのことを示す実証とみられる。

Ⅲ 台風時の降雨水の場合

1 雨水採取位置および計測法

1974年9月の台風18号、1975年8月の台風3号および9月の台風12号にともなう降雨水は琉球大学構内の一定点において採取し、1976年9月の台風17号にともなう降雨水の含塩量についても同地点で試料を採取した。

1976年7月の台風7号ならびに9月の台風17号にともなう降雨水は第4章、第2節、Iと同様に佐敷村兼久から浦添市港川間の5地点において採取した。

1974年9月から1975年9月までは、内径200mmのエスロンパイプを利用して約100ccの降雨水を採取するように雨量マスを試作し、試料を採取した。1976年7月および9月の採取法は、第4章、第2節、Iのときと同様である。

2 測定結果

台風が沖縄本島に接近した場合および近海を通過したとき、これにともなう降雨が3回以上採取できた降雨水の含塩量の測定結果を図31に示した。A～Eの5地点での計測値は平均値で示している。

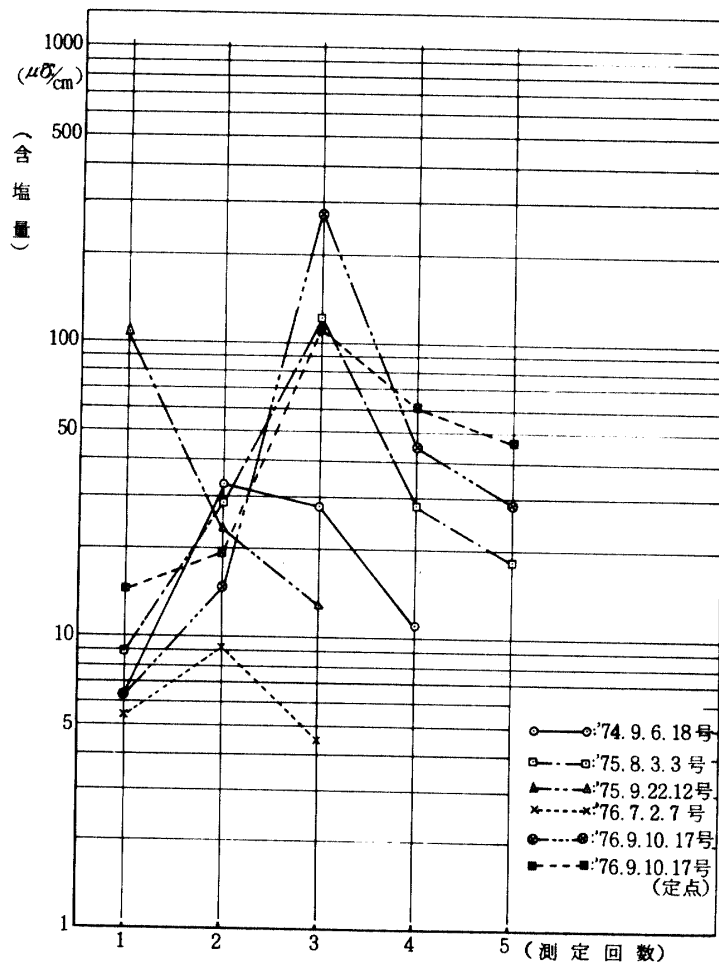


図31. 台風時における降雨水の含塩量

図31によれば、いずれの場合も台風時の降雨水の含塩量は、台風が接近するにつれて増加し、最も接近したときに極大に達し、通過して沖縄本島から遠ざかるにつれて減少する。

1975年9月の台風12号の場合は接近する前には降雨がなく接近時に降雨をともない通過後1日で晴れたもので、台風の最接近時の降雨水に最大の含塩量があり、遠ざかるにつれて含塩量も次第に減少している。

一般に含塩量の極大値は、台風が沖縄本島に近づいて通過するほど大きく、沖縄本島からはなれて通過するほど小さくなる。しかし、いずれを通過しても沖縄本島に最も近いときの降雨水の含塩量が最大になる。

また、台風が接近する前の降雨水は、台風が通過したあとの降雨水より一般的に含塩量が少ない。これは台風の接近前より台風の通過後の方が余波で荒れた海面を風が長く吹きわたってくることに影響されているものと考えられる。

第3節 樹幹流下水および樹冠滴下水の含塩量

大気中からエアロゾルを除く機構の1つに樹木や建物などとの衝突による除去がげられている^{51, 82, 84)}。すなわち、これは樹木や建物に付着した塩分は雨によって洗い流されて地上に達することを意味し、これは自然落下による除去よりもはるかに大きく、降水による除去よりも大きいとされている^{13, 51, 53, 82, 84)}。

そこでその実状を知るために、沖縄島南部の佐敷村から浦添市までを横断するようにして5地点をえらび、樹幹流下水および樹冠滴下水を採取して含塩量を測定し、その解析によって比較検討した。

I 沖縄島南部における樹幹流下水の場合

1 試料採取位置および計測法

1) 試料採取位置

樹木としては、沖縄において海岸近くや内陸部でも比較的生育がよい広葉樹で孤立木を対象とした。前述の第4章、第2節、Iと同じ場所で、佐敷村兼久から浦添市港川間の5地点に生育しているものとしてオオハマボウを選定した。

しかし、A地点の佐敷村兼久だけは防風樹列中のもので、その海岸側の樹幹を選んだ。樹冠流下水をもたらず樹冠投影面積は10.60 m²で、樹高は6.80 mであった。

B地点の与那原町大見武における樹冠投影面積は10.05 m²で、樹高は6.10 mであった。

C地点の琉球大学構内における樹冠投影面積は8.01 m²で、樹高は6.20 mであった。

D地点の那覇市古島における樹冠投影面積は17.34 m²で、樹高は6.10 mであった。

E地点の浦添市港川における樹幹流下水に加わる樹冠投影面積は8.47 m²で、樹高は5.20 mであった。

2) 試料計測法

各地点における選定木には、樹幹流下水を採取するために、地ぎわ0.50～1.00 mの高さのところに適当な勾配をつけてパテで深さ約2 cmの溝をつくり、試料受には広口ビンにピンポン玉を入れこんだ採水ビンを設置し、降雨ごとに取りかえて、樹幹流下水約100 ccまでを採取するようにした。樹幹流下水が100 cc以上の連続降雨の場合は採水ビンが一杯になるごとに採水ビンを取りかえた。

また、樹冠投影面積は $\pi/4 \cdot a \cdot b$ (a = 樹冠正投影の長径, b = 樹冠正投影の短径)によって求めた。

2 測定結果

各地点における降雨ごとの樹幹流下水の含塩量を月ごとに平均すると表16のような結果になる。各地点における樹幹流下水中の塩分量の変動を見やすくするために縦軸に塩分量を、横軸に各月をとって図示すれば図32のようになる。

表16および図32から言えることは、10月および1月に少なくなる特徴が降雨の場合と似ている。特に10月以後の変動のしかたは降雨のときとよく似ている。また、東西両海岸側の樹幹流下水は多量の塩分を含んでいる。

降雨水の場合と同様に樹幹流下水には2つのピークがある。すなわちその1つは8月、9月のいわゆる夏季のピークで、台風起因するものと考えられ、他の1つは11月、12月のいわゆる冬季のピークであり、季節風に起因するものと考えられる。

夏季から冬季の変化点は10月頃にあるようで、7月から9月の夏季は東海岸側のA地点が多いのに対し、10月には下降し11月から2月の冬季には西海岸側のE地点の樹幹流下水に多量の塩分が含まれる。つまり本章第1節、第2節の結果が総合されて、樹幹流下水の特色となってあらわれている。

表16. 各地点における樹幹流下水および樹冠滴下水の含塩量 ($\mu\text{g}/\text{cm}$)

測定年月	測点	A		B		C	
		流下	滴下	流下	滴下	流下	滴下
'76. 6		1.310×10^2	1.883×10^2	1.734×10^2	1.488×10^2	4.303×10^2	1.721×10^2
7		8.375×10^2	1.026×10^3	2.469×10^2	3.466×10^2	3.039×10^2	3.259×10^2
8		6.048×10^3	1.628×10^3	—	1.151×10^3	3.220×10^3	—
9		6.672×10^3	3.489×10^3	1.345×10^3	1.261×10^3	1.576×10^3	7.947×10^2
10		8.597×10^2	5.411×10^2	4.153×10^2	4.290×10^2	1.193×10^3	3.104×10^2
11		3.910×10^3	3.602×10^3	1.397×10^3	1.375×10^3	1.168×10^3	7.266×10^2
12		2.641×10^3	1.867×10^3	9.291×10^2	7.939×10^2	2.142×10^3	7.185×10^2
'77. 1		7.453×10^2	1.119×10^3	4.442×10^2	3.909×10^2	4.695×10^2	4.404×10^2
2		3.458×10^3	1.975×10^3	1.035×10^3	8.675×10^2	3.825×10^2	5.271×10^2
平均		2.811×10^3	1.715×10^3	7.482×10^2	7.515×10^2	1.209×10^3	5.020×10^2

測定年月	測点	D		E		平均	
		流下	滴下	流下	滴下	流下	滴下
76. 6		2.890×10^2	1.865×10^2	4.334×10^2	2.048×10^2	2.914×10^2	1.801×10^2
7		4.125×10^2	3.570×10^2	5.007×10^2	2.953×10^2	4.603×10^2	4.701×10^2
8		1.043×10^3	1.097×10^3	1.321×10^3	8.303×10^2	2.908×10^3	1.176×10^3
9		2.216×10^3	1.062×10^3	3.485×10^3	2.026×10^3	3.059×10^3	1.726×10^3
10		5.240×10^2	3.451×10^2	5.087×10^2	5.519×10^2	7.002×10^2	4.355×10^2
11		1.135×10^3	9.699×10^2	3.793×10^3	2.551×10^3	2.280×10^3	1.845×10^3
12		8.685×10^2	6.200×10^2	5.738×10^2	2.388×10^3	2.464×10^3	1.277×10^3
'77. 1		4.179×10^2	4.682×10^2	2.123×10^2	1.454×10^3	8.400×10^2	7.745×10^2
2		8.943×10^2	6.620×10^2	4.619×10^2	3.273×10^3	2.078×10^3	1.461×10^3
平均		8.667×10^2	6.409×10^2	2.502×10^2	1.508×10^3	1.657×10^3	1.038×10^3

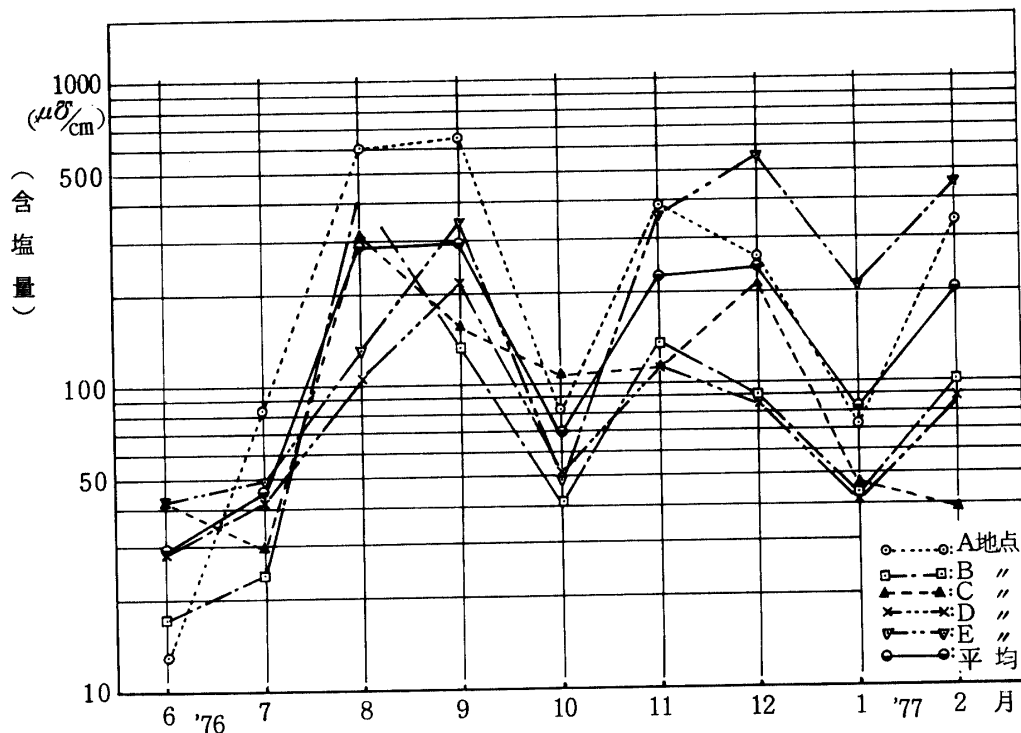


図32. 各月における樹幹流下水の含塩量

II 沖縄島南部における樹冠滴下水の場合

1 試料採取位置および計測法

ブリキ板で縦横30 cm×40 cm、深さ10 cmの受口の、底面に片勾配をつけてその低いほうに小穴をあけ、樹冠滴水滴が集まって流下するように製作した試料採取器を第4章、第3節、Iの場合と同じ樹木の、樹冠が繁茂してうっ閉度の密な枝の下方につるした。集水受にはピンポン玉を入れこんだ採取ピンを設置して降雨ごとに採取ピンを取りかえて樹冠滴下水約100 ccを採取するようにした。

樹冠滴下水が100 ccを越すような連続降雨の場合には採取ピンが1杯になるごとに取りかえた。

2 測定結果

各地点における降雨ごとの樹冠滴下水の含塩量を月ごとに平均すると前掲の表16のようである。樹冠滴下水の月ごとの変化を明らかにするため、縦軸に含塩量を、横軸に月をとって図示すれば図33のようになる。

表16および図33によれば、樹冠滴下水の含塩量にも2つのピークがある。すなわち、夏季の台風期の9月のピークと季節風の吹きはじめころの11月のピークである。

この場合も10月は減少し、変化点になるようで夏季は東海岸側のA地点が多いのに対し、冬季は西海岸に近いE地点における樹冠滴下水の含塩量が増加する。

1976年6月から1977年2月までの樹冠滴下水の含塩量は、樹幹流下水の場合と同様に全期間を通しては東海岸側のA地点が多少多い。

これはA地点における8月、9月の台風時の樹冠滴下水の含塩量が、樹幹流下水のときと同様に極端に多いことによるもので、台風の場合に樹木にいかに多量の塩分が付着するかを察知することができる。

一般に樹冠滴下水よりは樹幹流下水に多量の塩分が含まれている。

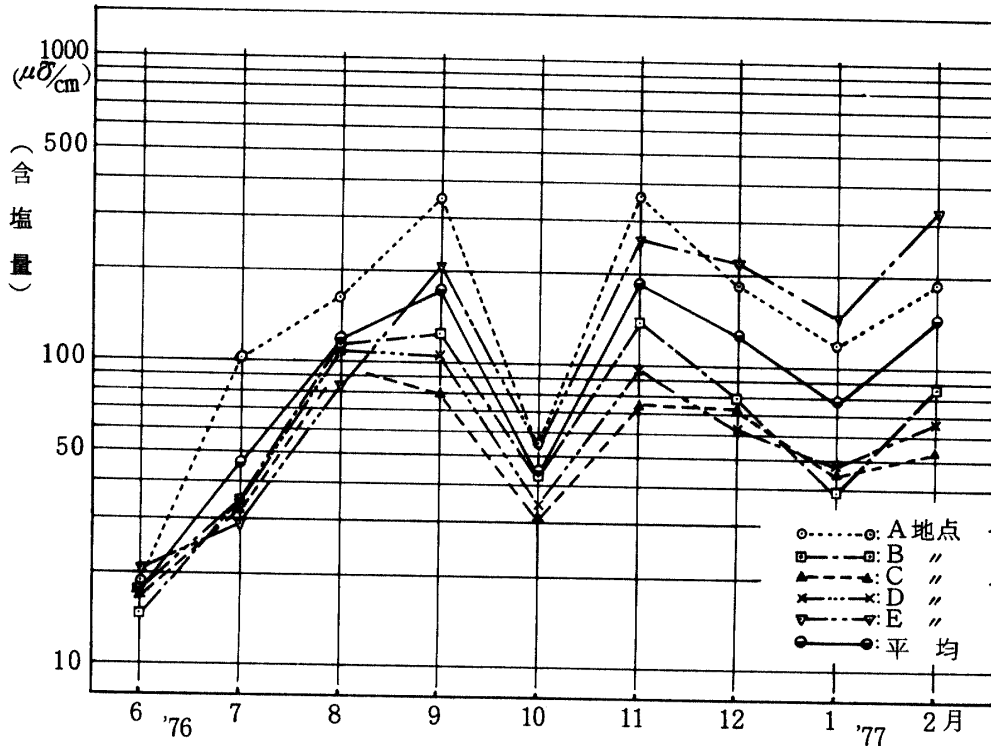


図 33. 各月における樹冠滴下水の含塩量

III 樹幹流下水および樹冠滴下水の含塩量に関する考察

表 16 および図 28, 図 32 ならびに図 33 を比較して検討するため, 降雨水を 100 とした比率を求めると表 17 のようになる。

各地点における降雨水にくらべて, 樹幹流下水および樹冠滴下水の含塩量が多い。また, 樹幹流下水は樹冠滴下水にくらべて一般に各月とも含有量が多い。

ちなみに 1976 年 6 月から 1977 年 2 月までの降雨水や樹幹流下水および樹冠滴下水の含塩量を平均して比較してみると, 樹幹流下水は降雨水の約 9 倍の含塩量があり, 樹冠滴下水は約 5.7 倍である。特に台風時の海岸近くの樹幹流下水は含塩量が顕著に多い。

本章当初に述べたように空気中のエアロゾルを除くものとして, 降雨水, 自然落下および樹木, 建物などとの衝突(付着)などがあげられる^{4, 51, 84})。一般に海岸近くの塩分は, 海面で生成され, 風によって陸上にはこぼれてくるもので³³), 空中塩分をこしとる役目をする樹木の多いところでは降下量が多く, 裸地では少ない^{13, 75, 90})とされている。また, 降雨水にくらべて樹木などによる除去は大きく^{13, 75, 82, 84, 88, 90}), 防風林や樹木は無降雨時には樹冠に塩分を付着して降雨時にはこれを林地に落下させ, 降雨のたびにそれをくりかえし, 林内雨水は林外雨水の 3~5 倍の塩分を含んでいるとされている⁸⁴)。表 17 では樹冠滴下水は降雨水の含塩量の約 5.7 倍であり, 樹幹流下水は 9 倍で国内での測定例に比較していかにその量が多いかがわかる。

樹木へ付着した塩分は, すでに大気中でエアロゾルと衝突してそれを含んだ降雨水によって洗浄されるのであるから, 樹幹流下水や樹冠滴下水の含塩量が降雨水の含塩量よりも増加するのは当然で, 中でも樹幹および樹冠に付着した塩分の両方を洗い出す樹幹流下水は, 一般に樹冠滴下水より含塩量が増加するのが当然と考えられる。

表17. 各地点における樹幹流下水, 樹冠滴下水の降雨水に対する含塩比(%)

測定年月	測点	A		B		C		D		E		平均	
		流下	滴下	流下	滴下	流下	滴下	流下	滴下	流下	滴下	流下	滴下
'76.	6	356 (3.682×10 ²)	511 (3.582×10 ²)	484 (3.582×10 ²)	415 (4.000×10 ²)	1076 (4.403×10 ²)	430 (6.213×10 ²)	656 (6.213×10 ²)	424 (6.213×10 ²)	698 (6.213×10 ²)	330 (4.376×10 ²)	666 (4.376×10 ²)	412 (4.376×10 ²)
	7	761 (1.100×10 ²)	933 (5.249×10 ²)	470 (7.025×10 ²)	660 (6.373×10 ²)	433 (7.641×10 ²)	464 (7.641×10 ²)	647 (7.641×10 ²)	560 (7.641×10 ²)	655 (7.641×10 ²)	386 (7.641×10 ²)	617 (7.458×10 ²)	630 (7.458×10 ²)
	8	5765 (1.049×10 ²)	1552 (1.191×10 ²)	—	966 (1.768×10 ²)	1821 (1.053×10 ²)	—	991 (1.965×10 ²)	1042 (1.965×10 ²)	672 (1.965×10 ²)	423 (1.965×10 ²)	2067 (1.407×10 ²)	836 (1.407×10 ²)
	9	1090 (6.121×10 ²)	570 (1.803×10 ²)	746 (1.803×10 ²)	699 (2.436×10 ²)	647 (2.371×10 ²)	326 (2.371×10 ²)	935 (2.371×10 ²)	448 (2.371×10 ²)	607 (5.739×10 ²)	353 (5.739×10 ²)	828 (3.694×10 ²)	469 (3.694×10 ²)
	10	1340 (6.418×10 ²)	843 (8.324×10 ²)	500 (8.324×10 ²)	515 (7.832×10 ²)	1523 (7.832×10 ²)	396 (7.066×10 ²)	742 (7.066×10 ²)	488 (7.066×10 ²)	510 (9.981×10 ²)	553 (9.981×10 ²)	884 (7.924×10 ²)	550 (7.924×10 ²)
	11	1208 (3.236×10 ²)	1113 (2.071×10 ²)	675 (2.071×10 ²)	664 (1.673×10 ²)	698 (1.673×10 ²)	434 (2.025×10 ²)	560 (2.025×10 ²)	479 (2.025×10 ²)	960 (3.953×10 ²)	645 (3.953×10 ²)	880 (2.592×10 ²)	712 (2.592×10 ²)
'77.	12	1661 (1.590×10 ²)	1174 (1.675×10 ²)	555 (1.675×10 ²)	474 (1.876×10 ²)	1142 (1.876×10 ²)	383 (2.109×10 ²)	412 (2.109×10 ²)	294 (2.109×10 ²)	986 (5.819×10 ²)	410 (5.819×10 ²)	943 (2.614×10 ²)	489 (2.614×10 ²)
	1	674 (1.105×10 ²)	1013 (8.904×10 ²)	499 (8.904×10 ²)	439 (1.130×10 ²)	415 (1.130×10 ²)	390 (1.343×10 ²)	311 (1.343×10 ²)	349 (1.343×10 ²)	898 (2.363×10 ²)	615 (2.363×10 ²)	615 (1.336×10 ²)	567 (1.336×10 ²)
	2	1341 (2.579×10 ²)	766 (1.712×10 ²)	605 (1.712×10 ²)	507 (1.631×10 ²)	235 (1.631×10 ²)	323 (2.377×10 ²)	376 (2.377×10 ²)	279 (2.377×10 ²)	965 (4.758×10 ²)	684 (4.758×10 ²)	794 (2.617×10 ²)	558 (2.617×10 ²)
平均	1422 (1.977×10 ²)	867 (1.229×10 ²)	609 (1.229×10 ²)	611 (1.378×10 ²)	878 (1.378×10 ²)	364 (1.451×10 ²)	597 (1.451×10 ²)	442 (1.451×10 ²)	834 (3.001×10 ²)	503 (3.001×10 ²)	927 (1.807×10 ²)	574 (1.807×10 ²)	

() は降雨水中の含塩量 ($\mu\text{g}/\text{cm}$)

なお、各月の樹幹流下水や樹冠滴下水の含塩量は、降雨水の含塩量に比較してちらばりが大きい。つまり最高値と最低値のひらきが大きく、海岸側と内陸側ではその含塩量に大差があることを意味する。海岸近くでは波の飛沫に由来する比較的大粒の塩分粒子付着の影響が考えられる。図32および図33において、特に9月以後は両海岸側と内陸側に大差のあることから、海岸側と内陸側の樹幹流下水や樹冠滴下水の含塩量に差異のあることが有意差の検定をするまでもなく明らかである。

一般に落塩量は、海岸線近くで最も多く、海岸線からはなれるにしたがって急に、その後はしだいに減少し、比較的大きな海塩粒子は海岸近くで樹木などによって除去される^{28,103})。これらのことから海岸側の樹幹流下水や樹冠滴下水の含塩量が内陸側よりも増加することが予測される。

連続降雨のときの樹幹流下水および樹冠滴下水の含塩量は表18のようであり、連続降雨水の含塩量の場合と同様に、初回の樹幹流下水および樹冠滴下水は多量の塩分を含み、2回目は急減し、あとは測定回数をかさねるにつれて含塩量は徐々に減少する。試料が少ないのではっきりはしないが、これには連続降雨水の場合のような指数法則は適合せず、対数法則がなり立っているようである。空中塩分は風によってつぎつぎと補給されるのに対し、付着塩分量は長時日に蓄積されたものが洗い流されるばかりであるから、降雨水中の場合よりは急速に減少するものと考えられる。

表 18. 連続降雨のときの樹幹流水および樹冠滴下水の含塩量 ($\mu\text{g}/\text{cm}$)

測定 年月日	1 回		2 回		3 回	
	流下水	滴下水	流下水	滴下水	流下水	滴下水
'76. 6. 11~14	4.631×10^2	3.146×10^2	3.256×10^2	1.344×10^2	2.220×10^2	9.396×10
6. 17	2.950×10^2	2.256×10^2	9.008×10	7.359×10		
7. 6	2.455×10^2	1.396×10^2	1.455×10^2	7.649×10		
7. 7~ 8	2.976×10^2	1.431×10^2	2.109×10^2	7.711×10	6.684×10	4.550×10
7. 30	4.705×10^2	3.374×10^2	2.861×10^2	2.191×10^2		
10. 1	1.198×10^3	1.065×10^3	8.451×10^2	3.735×10^2		
10. 19~20	4.531×10^2	3.143×10^2	2.829×10^2	1.668×10^2	1.583×10^2	1.081×10^2
'77. 1. 26~27	2.041×10^3	1.097×10^3	4.877×10^2	3.569×10^2		

測定 年月日	4 回		5 回	
	流下水	滴下水	流下水	滴下水
'76. 6. 11~14	1.436×10^2	7.817×10	6.841×10	3.513×10
6. 17				
7. 6				
7. 7~ 8				
7. 30				
10. 1				
10. 19~20				
'77. 1. 26~27				

第 5 章 付着塩分量と諸気象要因との関連

これまでの研究によって、ガーゼへの付着塩分量からは、海岸近くの水平、垂直分布の法則性が明らかにされ、沖縄では砕波による海水飛沫に由来する大粒の塩粒子の上陸は国内各地より少なく、海水中の気泡が水面で破裂する際に生ずるエアロゾル状態の微細塩粒子^{4,53,81,82,84}がいちじるしく多い特色のあることが明らかにされた。各種の植物への付着塩分量や、降雨水、樹幹流水、樹冠滴下水中の塩分量からは、季節的に8、9月と11、12月に2つのピークがあること、前者は主として台風によって東海岸側に、後者は北西季節風によって西海岸側に、それぞれ多量の塩分がもたらされたものであること、植物や降雨水がいかに多量の空中塩分をろ過し、また、洗浄しているかを明らかにしてきた。

しかしながら、その付着塩分量が季節や日時によって、どうしてそのように大きく変化するのかという理由は、定性的に台風や季節風などの強い風によってもたらされると推定したが、定量的に風速その他の諸気象要因とどのように関連しているか、その法則性によって任意の時点における付着塩分量が推算できるようにはならないのか、といった諸問題については、まだ明らかにされていない部面が残されており、この方面の研究例は従来ほとんど見られない。

そこで本章では、沖縄で特に多いエアロゾル状態の塩分について、沖縄島中心部の定点における長期間連続の付着塩分量計測値と諸気象要因との関連を解析して、これらの諸問題の究明につとめることと

する。すなわち琉球大学農学ビル屋上の定点で、ガーゼおよびブラシに付着する塩分の長期計測をおこない、同時に風向、風速、気温、湿度の4気象要因を継続的に求め、両者間の法則性を解析して、気象要因から付着塩分量を推算しようようにすることを目標とする。

第1節 定点における付着塩分量の長期計測値および解析方針

前述の目的を達成するために第2章、第3節、I、IIIで述べた方法によって、1974年8月から1977年4月までの33ヶ月間の計測をおこなった。ただし降雨の場合はガーゼおよびブラシの付着塩分量は洗い流される部分が多くなるので計測をおこなわなかった。

I 計測結果

計測値の中で比較的降雨の少なかった部分の、夏と冬のほぼ1ヶ月の計測値を図示すれば、図34のごとくである。

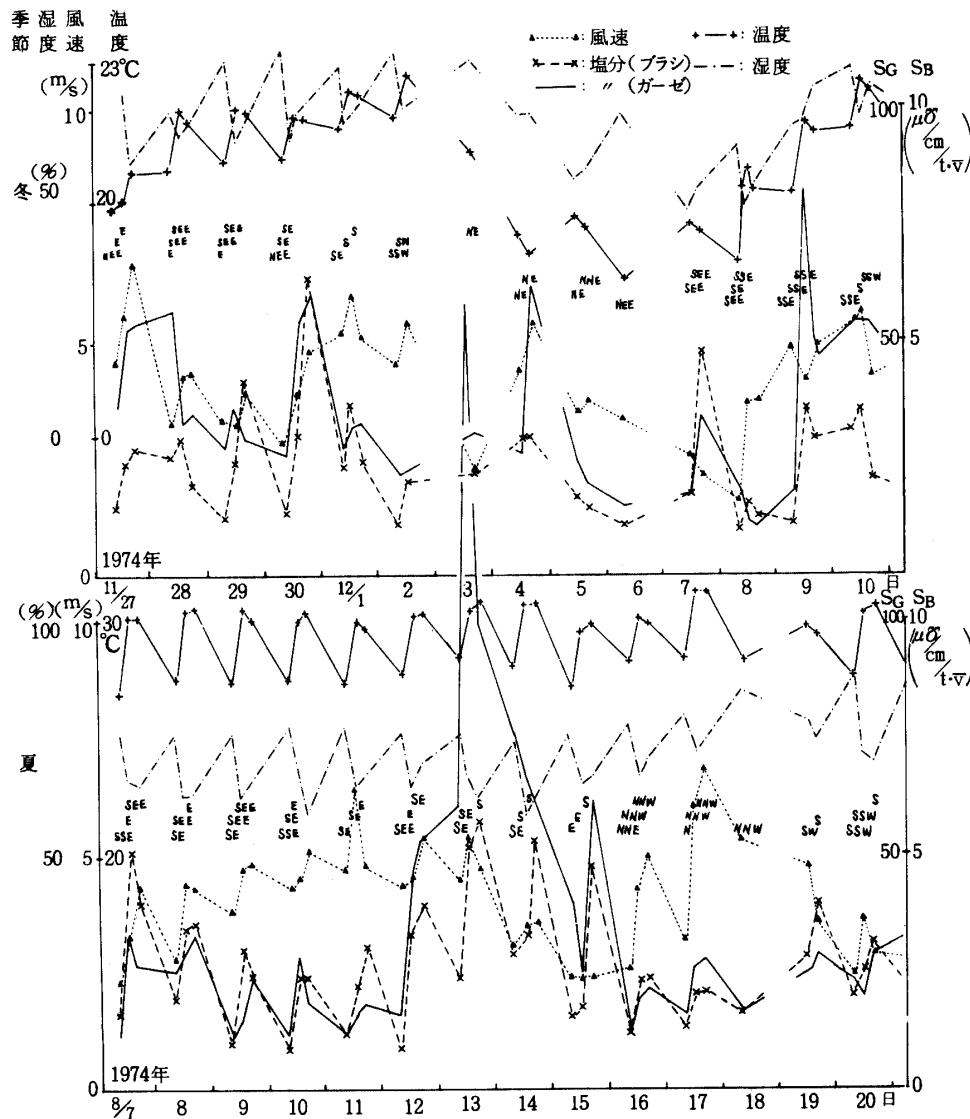


図34(1). 定点長期観測値の変動状態

風向、風速、気温、湿度は9時の場合は過去16時間の、13時、17時の場合は過去4時間の平均値で示しており、9時の付着塩分量は他との比較の便宜上4で割って、4時間値に改算してある。また、付着塩分量は平均風速と時間の積で除して、いわば単位空気中の濃度と考えられるものに換算している。

一見して気象観測値には日周期のあることがわかり、付着塩分濃度にもそれらしいものが見られるが、相互の関係は単純なものではなく、ことに塩分には数日ないし10数日周期の大きな変動が見られるようである。そこで日周期と長期周期の両方が見られるように、計測時刻毎の毎月の合計値ないし平均値を示すと表19のごとくなる。9時の付着塩分量は相互比較の便宜上、前同様4で除した。

付着塩分量のブラシのガーゼに対する百分率は、9時で3.7%、13時で4.9%、17時では4.6%となり、観測時刻によって多少の差がある。9時の値に対する13時および17時の百分率は表20のごとくなる。

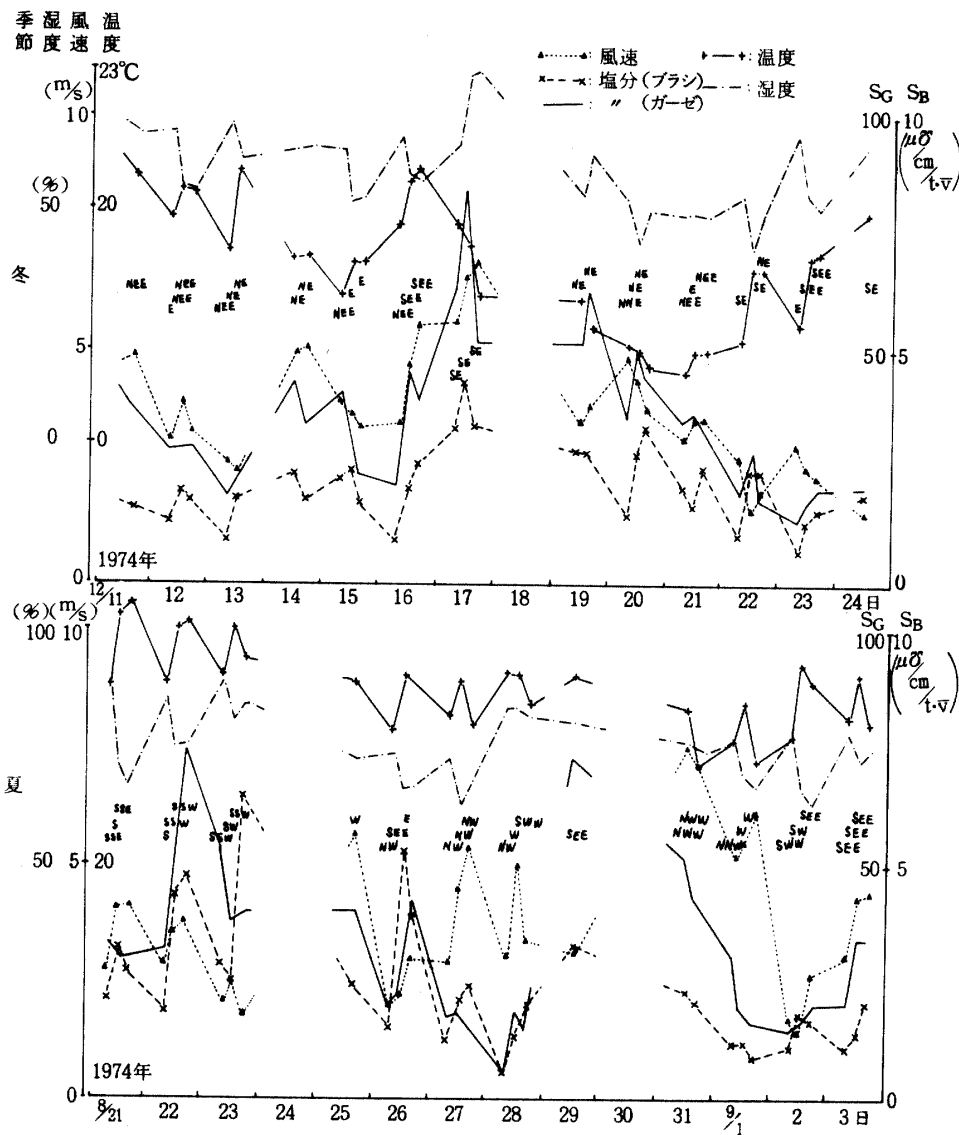


図 34 (2). 続

表 19 (1). 琉球大学構内(首里)における測定結果

測定時間		9:00		9:00						
測定年月	付着塩分量 ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$) ガ-ゼ ブラシ	風速 (m/s)	気温 ($^{\circ}\text{C}$)	湿度 (%)	測定年月	付着塩分量 ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$) ガ-ゼ ブラシ	風速 (m/s)	気温 ($^{\circ}\text{C}$)	湿度 (%)	
'74					'76					
8	3.311×10^2	2.087×10	3.363	27.50	79.11	3.195×10^2	1.306×10	2.847	14.95	46.70
9	1.623×10^2	0.745×10	2.237	25.31	80.70	5.170×10^2	1.062×10	3.530	18.34	61.68
10	3.577×10^2	3.132×10	2.898	24.70	79.93	2.890×10^2	1.093×10	2.919	19.10	58.87
11	6.819×10^2	2.499×10	3.533	19.97	68.38	1.742×10^2	0.422×10	2.532	22.24	62.34
12	4.634×10^2	2.499×10	3.724	18.92	69.21	5.754×10^2	3.459×10	4.194	23.82	62.93
'75										
1	4.616×10^2	1.772×10	3.823	15.39	58.10	1.163×10^2	0.404×10	2.260	27.99	65.97
2	5.264×10^2	2.394×10	3.807	15.50	62.39	1.586×10^2	0.508×10	2.363	28.44	72.29
3	4.048×10^2	1.970×10	3.291	16.30	62.74	1.830×10^2	0.425×10	2.251	25.42	62.39
4	2.388×10^2	1.206×10	3.045	20.90	69.42	2.944×10^2	0.898×10	2.647	25.99	67.38
5	1.987×10^2	0.707×10	2.575	23.98	70.97	6.456×10^2	1.600×10	3.643	22.29	53.46
6	2.595×10^2	0.916×10	3.212	26.97	71.62	2.654×10^2	0.812×10	2.904	20.84	58.01
7	1.707×10^2	0.636×10	2.400	28.28	66.80					
8	2.449×10^2	0.590×10	2.922	27.81	70.33	3.368×10^2	1.144×10	3.286	18.08	59.06
9	1.325×10^2	0.305×10	1.827	27.92	66.82	4.205×10^2	1.107×10	3.331	15.43	54.64
10	3.892×10^2	0.656×10	2.383	26.36	66.56	2.565×10^2	0.796×10	2.478	19.25	67.76
11	5.862×10^2	1.323×10	3.609	21.51	56.30	3.243×10^2	0.800×10	3.268	21.77	65.46
12	2.578×10^2	0.988×10	2.812	17.76	53.42					

表 19 (2). 続

測定時間		13:00		測定時間		13:00					
測定年月	付着塩分量 ($\mu\sigma/cm$)	風速 (m/s)	気温 ($^{\circ}C$)	湿度 (%)	測定年月	付着塩分量 ($\mu\sigma/cm$)	風速 (m/s)	気温 ($^{\circ}C$)	湿度 (%)		
	ガ-ゼ	ブラシ				ガ-ゼ	ブラシ				
'74					'76						
8	6.923×10^2	5.040×10	4.323	29.62	69.90	1	4.278×10^2	1.759×10	3.136	17.21	41.81
9	2.851×10^2	2.404×10	3.233	27.75	72.01	2	5.885×10^2	2.271×10	3.838	20.93	50.64
10	6.257×10^2	2.911×10	3.625	27.24	64.94	3	4.517×10^2	1.980×10	3.859	20.02	51.81
11	9.518×10^2	5.418×10	4.190	22.74	61.31	4	2.695×10^2	1.125×10	3.170	25.13	50.47
12	7.212×10^2	4.341×10	4.010	20.76	64.11	5	6.341×10^2	2.205×10	4.452	26.17	52.70
'75						6	3.935×10^2	1.377×10	4.560	29.13	58.18
1	6.453×10^2	3.846×10	4.383	17.28	53.14	7	3.174×10^2	1.338×10	3.571	29.47	52.96
2	5.506×10^2	2.885×10	4.145	18.07	56.37	8	5.276×10^2	3.428×10	3.757	30.09	58.88
3	6.269×10^2	3.918×10	3.986	19.28	53.93	9	4.841×10^2	1.682×10	3.230	27.17	50.86
4	4.027×10^2	2.650×10	3.949	24.00	59.29	10	4.402×10^2	1.509×10	3.283	25.97	48.95
5	2.903×10^2	1.733×10	3.021	25.81	56.38	11	7.243×10^2	3.015×10	3.916	22.70	47.36
6	3.893×10^2	2.809×10	4.202	29.40	60.66	12	3.883×10^2	1.597×10	3.517	21.82	50.93
7	1.823×10^2	1.665×10	3.000	30.39	57.46	'77					
8	5.493×10^2	1.590×10	4.441	29.98	60.87	1	5.757×10^2	1.948×10	3.798	18.65	53.30
9	2.988×10^2	1.054×10	2.679	30.54	54.19	2	5.556×10^2	2.139×10	4.169	16.28	48.55
10	4.281×10^2	1.309×10	2.676	28.67	55.04	3	5.208×10^2	2.313×10	3.712	19.27	55.60
11	7.753×10^2	3.357×10	4.103	24.14	46.32	4	5.996×10^2	2.294×10	4.106	22.58	54.07
12	4.028×10^2	2.388×10	3.390	19.44	45.30						

表 19 (3). 統

測定時間		測定時間								
17:00		17:00								
測定年月	附着塩分量 ($\mu\text{g}/\text{cm}$)		風速 (m/s)	気温 ($^{\circ}\text{C}$)	湿度 (%)	風速 (m/s)	気温 ($^{\circ}\text{C}$)	湿度 (%)		
	ガ	ゼ							ブ	ラ
'74										
8	6.571 $\times 10^2$	5.808 $\times 10$	4.395	29.67	69.40	4.945 $\times 10^2$	2.165 $\times 10$	3.414	16.79	42.25
9	3.981 $\times 10^2$	2.260 $\times 10$	3.519	27.74	71.75	5.744 $\times 10^2$	1.594 $\times 10$	4.071	20.46	53.63
10	6.249 $\times 10^2$	2.840 $\times 10$	3.678	26.75	68.48	4.887 $\times 10^2$	2.459 $\times 10$	4.166	20.30	49.23
11	9.498 $\times 10^2$	5.684 $\times 10$	4.387	22.58	63.92	3.490 $\times 10^2$	1.177 $\times 10$	3.382	24.58	53.04
12	6.114 $\times 10^2$	3.810 $\times 10$	4.072	20.32	66.53	6.483 $\times 10^2$	2.281 $\times 10$	4.420	25.98	54.91
'75										
1	6.288 $\times 10^2$	3.471 $\times 10$	4.226	17.22	53.58	4.826 $\times 10^2$	1.487 $\times 10$	4.359	28.86	60.05
2	6.116 $\times 10^2$	3.079 $\times 10$	4.484	17.60	57.68	4.052 $\times 10^2$	1.405 $\times 10$	3.826	29.63	53.78
3	7.331 $\times 10^2$	3.875 $\times 10$	4.331	19.00	53.08	3.498 $\times 10^2$	2.290 $\times 10$	3.654	30.30	59.14
4	4.258 $\times 10^2$	2.836 $\times 10$	4.334	24.06	62.36	3.718 $\times 10^2$	1.299 $\times 10$	3.133	26.09	47.37
5	3.292 $\times 10^2$	1.877 $\times 10$	3.236	26.08	60.17	5.127 $\times 10^2$	1.646 $\times 10$	3.188	26.03	49.36
6	3.599 $\times 10^2$	2.976 $\times 10$	4.064	29.69	60.22	8.942 $\times 10^2$	2.402 $\times 10$	4.198	23.07	51.17
7	2.472 $\times 10^2$	1.733 $\times 10$	3.684	26.25	55.16	4.303 $\times 10^2$	1.753 $\times 10$	3.755	21.06	54.28
8	7.005 $\times 10^2$	1.708 $\times 10$	2.770	29.91	62.74	1	4.470 $\times 10^2$	3.692	18.85	54.81
9	2.111 $\times 10^2$	0.822 $\times 10$	2.654	30.74	47.68	2	5.234 $\times 10^2$	4.324	16.85	49.75
10	7.375 $\times 10^2$	1.478 $\times 10$	3.790	27.86	57.65	3	3.759 $\times 10^2$	3.854	19.76	55.28
11	6.112 $\times 10^2$	2.172 $\times 10$	3.848	23.39	39.61	4	3.973 $\times 10^2$	3.989	22.87	55.19
12	4.495 $\times 10^2$	2.457 $\times 10$	3.745	19.12	48.34					

表 20. 計測時刻による計測値差 (%)

時 間	付 着 塩 分 量		風 速	気 温	湿 度
	ガ ー ゼ	ブ ラ シ			
13 : 00	153	200	124	108	85
17 : 00	156	192	128	107	86

II 解析方針

前項の計測結果は付着塩分量と、それを風速と時間の積で除した付着塩分濃度とでも称すべきものの両方で示したが、そのいずれが解析に好都合であるかを見るため、風速を横軸に、付着塩分量および塩分濃度を縦軸にとった図上に、夏の値として1974年8～9月の9時、13時および17時の計測値を、冬の値として同年11～12月の9時の値を例示すると図35～38のようになる。各図の左半分は付着塩分量、右半分は付着塩分濃度、上半分はガーゼに付着したもので、下半分はブラシのものである。

いずれの結果もかなり広範囲にちらばっているが、付着塩分濃度に改めてみても計測値のちらばり具合に大差はなく、むしろ付着塩分量そのままの方が風速との間の対数法則が成立しているように見られる。また、9時の計測値が13時、17時の計測値よりもちらばりが少ないようにも見られるので、この関係を数値的に明らかにするために相関係数を求めてみる。この場合単純な直線関係つまり一次法則、あるいは指数法則がより適合のよいこともありうるので、それらも含めて計算した結果は表21のごとくなる。

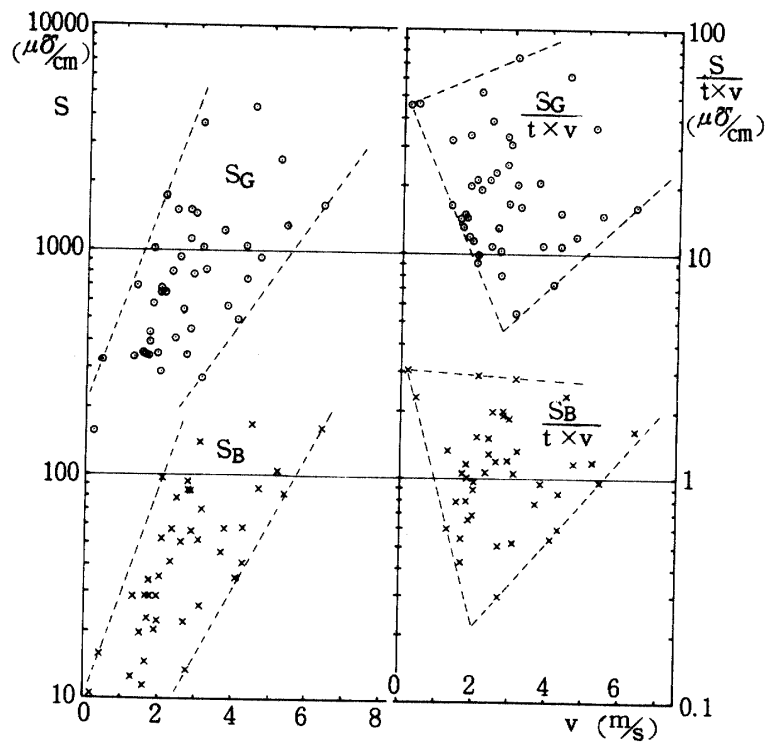


図 35. 付着塩分量と風速との関係 ('74. 8～9. 9:00 の場合)

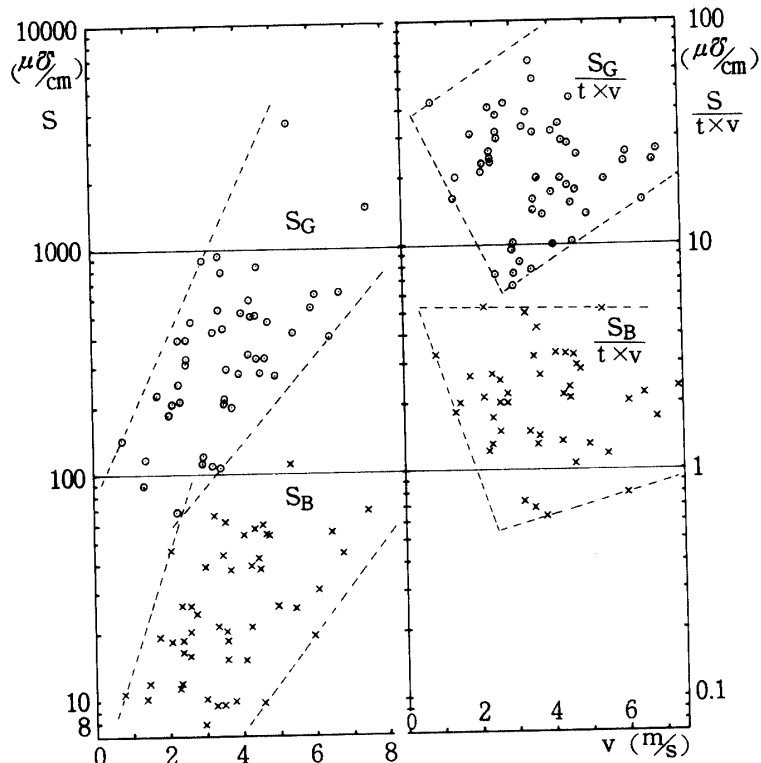


図 36. 付着塩分量と風速との関係 ('74. 8 ~ 9. 13:00 の場合)

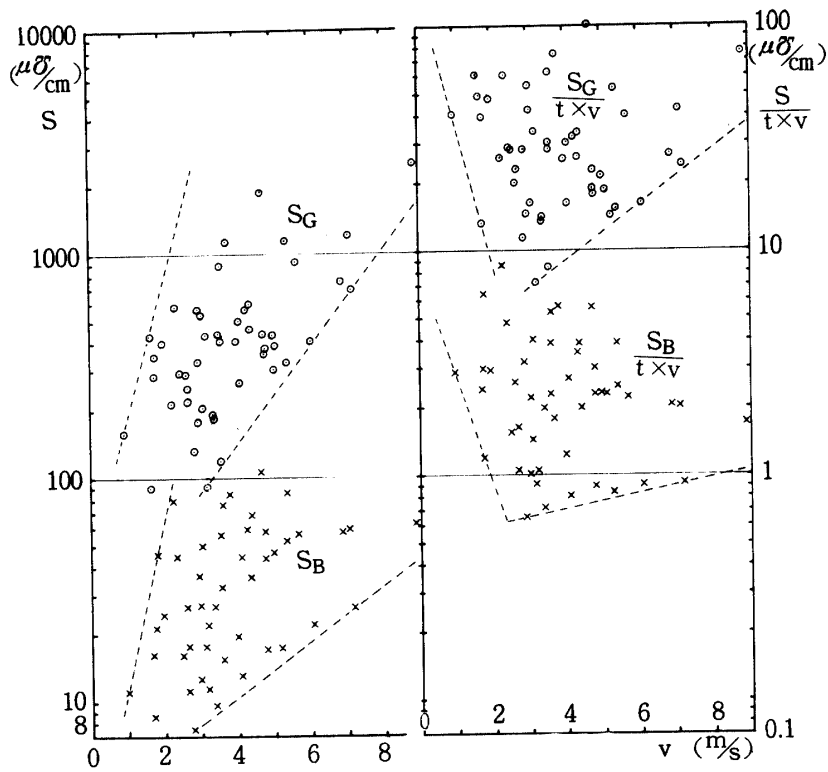


図 37. 付着塩分量と風速との関係 ('74. 8 ~ 9. 17:00 の場合)

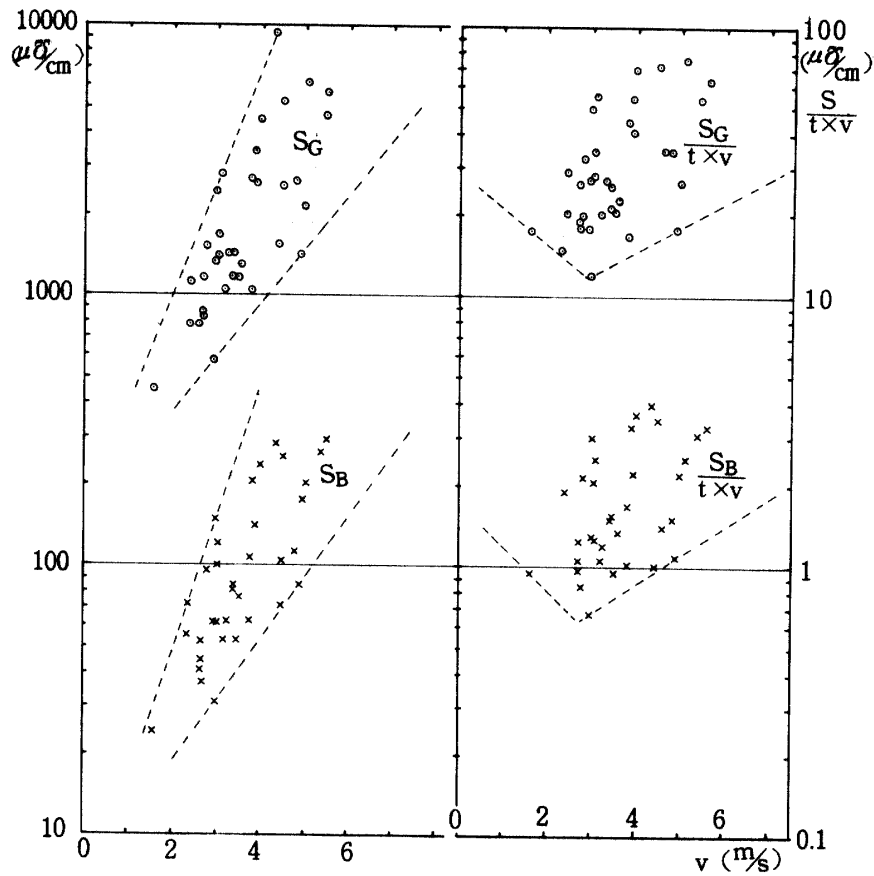


図38. 付着塩分量と風速との関係 ('74.11~12 9:00の場合)

表 21 (1). 付着塩分量と風速との相関

観 測			相 関 係 数 r					
季節	年 月	時 間	一 次 法 則		対 数 法 則		指 数 法 則	
			S _G	S _B	S _G	S _B	S _G	S _B
夏	'74. 8	9:00	0.2195	0.5202	0.2531	0.4505	0.2436	0.4715
		13:00	0.3554	0.4563	0.4378	0.4871	0.3345	0.5141
		17:00	0.3708	0.2407	0.4220	0.2967	0.4123	0.3236
	'75. 7	9:00	0.9187	0.8280	0.9216	0.7577	0.9196	0.6578
		13:00	0.8728	0.3815	0.8995	0.4273	0.8851	0.4493
		17:00	0.8522	0.5638	0.8301	0.3024	0.7741	0.2572
	8	9:00	0.8277	0.8547	0.8796	0.8968	0.8690	0.9148
		13:00	0.5185	0.3987	0.6619	0.4543	0.6856	0.5093
		17:00	0.5956	0.4688	0.7337	0.5228	0.7173	0.5060
季	'76. 7	9:00	0.8613	0.2143	0.8555	0.2276	0.8256	0.1509
		13:00	0.7197	0.3280	0.7903	0.4081	0.7484	0.3875
		17:00	0.8108	0.3201	0.8037	0.3460	0.7743	0.2365
	8	9:00	0.8211	0.7437	0.8805	0.7309	0.8742	0.6686
		13:00	0.8786	0.7696	0.9086	0.8255	0.8815	0.6734
		17:00	0.8550	0.6997	0.8942	0.6789	0.7950	0.5470

表 21 (2). 続

観測	相 関 係 数 r									
	季節	年 月	時 間	一 次 法 則 S _G	一 次 法 則 S _B	対 数 法 則 S _G	対 数 法 則 S _B	指 数 法 則 S _G	指 数 法 則 S _B	
冬	'74.	12	9:00	0.8014	0.8215	0.8779	0.8894	0.8615	0.8646	
			13:00	0.7130	0.8329	0.7984	0.8987	0.7907	0.8716	
			17:00	0.7460	0.7692	0.8016	0.7622	0.7965	0.7210	
	'75.	2	9:00	0.9372	0.9090	0.9230	0.8601	0.9242	0.8361	
			13:00	0.8777	0.8592	0.8949	0.8518	0.8457	0.8018	
			17:00	0.7994	0.8166	0.7793	0.7764	0.7183	0.7002	
	12	9:00	0.8272	0.7288	0.8984	0.8068	0.8880	0.7906		
		13:00	0.5220	0.1901	0.5857	0.3049	0.4001	0.0985		
		17:00	0.6280	0.7068	0.7963	0.7654	0.8071	0.7215		
	季	'76.	2	9:00	0.8822	0.7861	0.8511	0.8072	0.8924	0.7583
				13:00	0.8974	0.7254	0.8689	0.8138	0.8105	0.7176
				17:00	0.7790	0.7852	0.6939	0.7155	0.5513	0.5588
12		9:00	0.8481	0.6311	0.7646	0.7082	0.7233	0.4797		
		13:00	0.5949	0.5005	0.5561	0.5968	0.6130	0.5750		
		17:00	0.7938	0.7482	0.7836	0.6744	0.7762	0.6176		
'77	2	9:00	0.9429	0.9186	0.9158	0.8851	0.9011	0.9010		
		13:00	0.7952	0.7411	0.8788	0.7926	0.8744	0.7362		
		17:00	0.7085	0.6172	0.7107	0.6018	0.7186	0.5880		
平 均		9:00	0.8079	0.7233	0.8201	0.7295	0.8111	0.6764		
		13:00	0.7041	0.5621	0.7528	0.6237	0.7252	0.5760		
		17:00	0.7217	0.6124	0.7499	0.5856	0.7128	0.5252		

注) S_G=ガーゼ, S_B=ブラシ

表 21 によれば, 月により計測時間により相関係数は大幅に変動しているが, そして1974年8月のように全体的に相関のよくない特異例もあるが, 一般にガーゼによる付着塩分量 S_G の方がブラシによる値 S_B より相関がよく, その逆の場合は33例中6~8例にすぎない。また, 平均的に見ると一次法則よりは指数法則, それよりは対数法則の方が相関がよく, 計測時間では17時より13時, それより9時の方が相関がよい。つまり風速との関連を追求して, 法則性を明らかにするためには, 風速の対数値との関連を, 9時の計測値, それもガーゼへの付着塩分量を主用するのが, 好結果をうる事ができるものと推測される。

以上の結果から, 付着塩分量は風速との間に高い相関のあることがわかっているが, その他の気象要因との関連も含めた多元解析をした方が, 一般により高い精度のえられる場合が多い。ところがこの種の解析は大型電算機の利用を考えなければ, 早急な演算ができないので, 計測資料の電算カード化をはかり, 1974年8月の計測開始時から1976年2月までの19ヶ月分だけが実行できた。

そこでカード化された全期間についての毎日の計算値から, 付着塩分量, 気象諸要因間の単純相関を

求めてみると表22のごとくなる。この場合風向との関連は前章の研究である程度明らかにされてはいるものの、どう数量化するかまではわからないために、計算から除外した。

表22. 付着塩分量および気象要因相互の相関

項目 時間	ガーゼ付着塩分量 S _G				ブラシ付着塩分量 S _B			風速 v		温度 t		個数 n
	風速 v	温度 t	湿度 h	ブラシ S _B	風速 v	温度 t	湿度 h	温度 t	湿度 h	湿度 h		
9:00	0.766	-0.249	-0.145	0.855	0.706	-0.268	-0.130	-0.249	-0.145	0.680	341	
13:00	0.710	-0.180	0.120	0.765	0.618	-0.214	0.137	-0.180	0.120	0.457	427	
17:00	0.688	-0.200	0.102	0.704	0.566	-0.192	0.160	-0.200	0.102	0.102	431	

表22によれば、ガーゼがブラシより風速との間の相関が常によく、全体として高度に有意の相関があることが、この場合にも明らかである。ところが付着塩分量と温度との間には負の相関で0.2内外、湿度との間には9時では負、その他では正の相関で0.1程度であるから、温度、湿度ともに有意の相関があるとはいえない。

ガーゼとブラシによる付着塩分量の間に高度の相関があることは第2章、第3節Iにおいても述べたが、この場合も最高の相関関係にあることを示した。気象要因相互では温度と湿度との間にかなり高い相関が認められたが、その他に有意の相関があるとはいえない。

これを要するに解析の方針としては前同様、それも風速との関連を追求すべきことが示された。

第2節 付着塩分量と気象要因との関連解析

前節において、測定結果の概要と解析方針が示されたので、本節においては具体的にそれらの解析をおこなう。

これまでの結果から付着塩分量と風速の間には対数法則が最もよく適合すること、他の気象要因との相関は有意とはいえないこと、ガーゼへの付着塩分の方がブラシへのものより風速との相関がよいこと、9時の計測値と風速との相関が他の計測値よりはよいことが示された。そこでこれらを念頭において解析を進める。

I 毎月の付着塩分量と風速との関係

9時における過去16時間の平均風速の毎月の合計値 $\Sigma \bar{v}$ と、付着塩分量を4で除してその対数値を合計したものを、ガーゼとブラシの場合 ΣS_G 、 ΣS_B について示せば表23のようである。

表23 (1). 9時における毎月のガーゼおよびブラシによる付着塩分量と風速との関係

年月		$\Sigma \bar{v}$	$\log S$	n	a	b	r
'74. 8	G	63.89	45.9675	19	0.0638	2.2049	0.25309
	B	"	24.2856	"	0.0750	1.0261	0.45045**
9	G	51.44	48.8578	23	0.1654	1.7544	0.74365***
	B	"	18.5503	"	0.1502	0.4706	0.76353 "

** 1%, *** 0.1%水準有意

表 23 (2) 続

年 月		$\Sigma \bar{v}$	log S	n	a	b	r
'74. 10	G	52.16	41.6968	18	0.3465	1.3125	0.92853***
	B	"	16.9957	"	0.2990	0.0778	0.91909 "
11	G	76.12	51.7575	19	0.3053	1.6454	0.76217 "
	B	"	27.1757	"	0.2157	0.6683	0.68160 "
12	G	59.59	40.9570	16	0.2295	1.7050	0.87806 "
	B	"	20.4749	"	0.2453	0.3661	0.88937 "
'75. 1	G	76.46	51.7081	20	0.1577	1.9824	0.87522 "
	B	"	24.6322	"	0.1252	0.7529	0.72727 "
2	G	60.91	40.1673	16	0.1694	1.8656	0.92314 "
	B	"	19.0791	"	0.1508	0.6184	0.86010 "
3	G	55.94	42.9950	17	0.1820	1.9302	0.86675 "
	B	"	20.7758	"	0.1813	0.6255	0.88250 "
4	G	60.89	45.4836	20	0.2083	1.6370	0.81452 "
	B	"	20.1644	"	0.1471	0.5694	0.69463 "
5	G	33.48	27.8704	13	0.3209	1.3174	0.82445
	B	"	9.9849	"	0.1151	0.4717	0.38686
6	G	48.18	34.3285	15	0.3318	1.2230	0.95465***
	B	"	13.6325	"	0.1312	0.4873	0.57968**
7	G	38.40	30.9944	16	0.3001	1.2170	0.92160***
	B	"	11.2264	"	0.1414	0.3622	0.75766 "
8	G	29.22	22.1519	10	0.1652	1.7324	0.77021 "
	B	"	6.9773	"	0.1178	0.3535	0.89684 "
9	G	41.02	42.6763	23	0.3808	1.1764	0.85813 "
	B	39.12	10.1411	22	0.1591	0.1780	0.83658 "
10	G	28.60	26.3137	12	0.3842	1.2771	0.96765 "
	B	"	7.9996	"	0.1858	0.2237	0.87685 "
11	G	79.39	57.3745	22	0.2399	1.7424	0.86913 "
	B	"	21.0969	"	0.2091	0.2043	0.81017 "
12	G	50.61	41.2718	18	0.3513	1.3052	0.89841 "
	B	"	16.3079	"	0.2622	0.1689	0.80680 "
'76. 1	G	62.63	51.7793	22	0.2691	1.5876	0.91684 "
	B	"	20.2505	"	0.2783	0.1283	0.87668 "
2	G	74.12	52.2694	21	0.3213	1.3548	0.89258 "
	B	"	15.8070	"	0.2902	-0.2714	0.80718 "
3	G	46.71	36.7363	16	0.2745	1.4946	0.92313 "
	B	"	12.8809	"	0.2601	0.0457	0.79324 "

表 23 (3). 続

年 月		$\Sigma \bar{v}$	$\log S$	n	a	b	r
'76. 4	G	53.18	45.0123	21	0.2101	1.6114	0.80370***
	B	"	12.2398	"	0.1040	0.3194	0.60703 "
5	G	79.68	50.6848	19	0.2441	1.6441	0.82959 "
	B	"	19.8029	"	0.2864	-0.1587	0.85963 "
6	G	62.95	41.1461	18	0.3003	1.2357	0.71199 "
	B	59.73	11.6768	"	0.2177	-0.0780	0.85236 "
7	G	33.90	24.3756	15	0.6391	0.1806	0.85552 "
	B	"	8.4737	"	0.0484	0.4555	0.23426 "
8	G	56.70	47.5046	24	0.2923	1.2888	0.88088 "
	B	"	15.0195	"	0.1496	0.2724	0.73095 "
9	G	36.02	34.2814	16	0.3614	1.3289	0.84763 "
	B	"	9.6207	"	0.1114	0.3506	0.70853 "
10	G	47.65	44.0344	19	0.3921	1.3344	0.84737 "
	B	"	14.7945	"	0.3866	0.3506	0.70853 "
11	G	68.28	49.6131	18	0.2112	1.9550	0.57431 "
	B	"	18.7453	"	0.2749	-0.0015	0.51940**
12	G	52.28	41.7737	18	0.2916	1.4739	0.76470***
	B	"	14.1569	"	0.2624	0.0243	0.70813 "
'77. 1	G	42.72	31.7558	13	0.2644	1.5739	0.44101
	B	"	12.6933	"	0.1794	0.2425	0.48286
2	G	53.30	39.6116	16	0.2280	1.7162	0.91577***
	B	"	14.8587	"	0.2008	0.2598	0.54616**
3	G	56.99	52.9013	23	0.2404	1.7045	0.82628***
	B	"	18.5436	"	0.1635	0.4036	0.61767 "
4	G	64.67	45.3761	20	0.2456	1.4746	0.79443 "
	B	"	14.9009	"	0.1625	0.4036	0.55548**
合 計	G	1789.08	1381.4203	33	0.5628	11.3502	0.76687
	B	1783.96	525.9127	"	0.2927	0.1113	0.71308

\bar{v} : 平均風速, S : 付着塩分量, n : 個数, G : ガーゼ, B : ブラシ

同表中の n は計測回数で、降雨中および降雨直後のものは省いたために 10 ~ 23 回の範囲になっている。a, b は、

$$\log S = a \Sigma \bar{v} + b \dots\dots\dots (5 \cdot 1)$$

なる関係が毎回の計測値について成立するとした場合の毎月の係数で、r は相関係数である。1974年 8 月、1975 年 5 月および 1977 年 1 月の計測値以外は、相関係数はいずれも高度に有意である。

合計欄には毎月の値の 33 ヶ月分の計を求め

$$\Sigma \log S = a \Sigma \bar{v} + b \dots\dots\dots (5 \cdot 2)$$

なる関係が毎月の計測値について成立するとした場合の a・b を示した。すなわち、

$$\Sigma \log S_G = 0.5628 \Sigma \bar{v} + 11.3502 \quad (r = 0.7669) \dots (5 \cdot 3)$$

$$\Sigma \log S_B = 0.2927 \Sigma \bar{v} + 0.1113 \quad (r = 0.7131) \dots (5 \cdot 4)$$

この回帰式によって求めた計算値と実測値の関係を図示すると図39のごとくなり、かなりよく適合しているが、1ヶ月おきの小起伏が目につく、そこでもし移動平均をとれば全体がなだらかな曲線になって通年の傾向が見やすくなるのではないかと考えた。

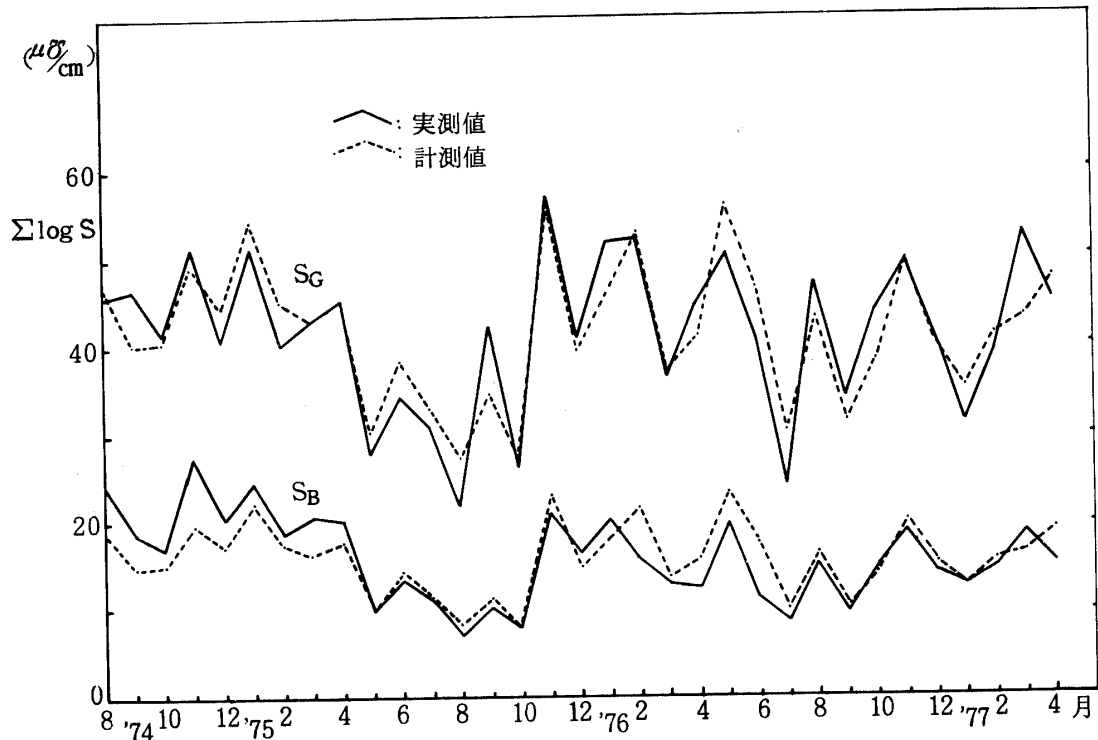


図39. 付着塩分量の実測値と計算値の関係(1ヶ月平均の場合)

また2ヶ月の移動平均であるが、毎月の計測回数は等しくないから単純に合計を2等分して平均を求めることには問題があるので、2ヶ月毎の合計値を用いることとし、これによってその月の後半と、つぎの月の前半の部分に適合するものと考えたと表24ならびに図40のようになる。かなり相関関係はよくなったが、全体がなだらかな曲線になるとの期待はあまり達せられなかった。この場合の回帰式はつぎのようになる。

$$\Sigma \log S_G = 0.5397 \Sigma \bar{v} + 25.3159 \quad (r = 0.8813) \dots (5 \cdot 5)$$

$$\Sigma \log S_B = 0.3568 \Sigma \bar{v} - 6.8213 \quad (r = 0.8158) \dots (5 \cdot 6)$$

3ヶ月以上の移動平均では相関がかえって悪くなったので、ここには省略する。

以上の諸式によって毎日の9時の平均風速および、その1ヶ月の合計と付着塩分量の関係は一応求められるようになったが、毎日の計算値から $\log S_G$, $\log S_B$ を求めることは、毎月の係数が不規則に変化して、その法則性が明らかではないから、実際に計測してその欠測値を推定する程度にしか役に立たない。

ただ諸種の塩害はある程度長期間の付着塩分量によって発生する機会が多いから、毎月の9時の付着塩分量の合計が、風速の計測値さえ得られれば推算できるようになったのは、一応の成果といえるであろう。

表 24 (1). 9 時における 2 ヶ月毎のガーゼおよびブラシによる付着塩分量と風速との関係

年 月		$\Sigma \bar{v}$	log S	n	a	b	r
'74. 8	G	115.33	94.8253	42	0.1473	1.8532	0.6109
	B	"	42.8359	"	0.1744	0.5410	0.7072
9	G	103.60	90.5546	41	0.2475	1.5832	0.8336
	B	"	35.5460	"	0.2475	1.5832	0.8336
10	G	119.28	93.4543	37	0.3643	1.3513	0.8791
	B	"	44.1714	"	0.3223	0.1549	0.8281
11	G	126.71	92.7145	35	0.2434	1.7678	0.7492
	B	"	47.6506	"	0.2251	0.5464	0.7518
12	G	136.05	92.6651	36	0.1806	1.8914	0.8622
	B	"	45.1071	"	0.1625	0.6387	0.7689
'75. 1	G	137.37	91.8754	36	0.1646	1.9239	0.8975
	B	"	43.7113	"	0.1402	0.6793	0.8038
2	G	116.85	83.1623	33	0.1672	1.9279	0.8884
	B	"	39.8549	"	0.1530	0.6660	0.8427
3	G	116.83	88.4786	37	0.2069	1.7380	0.7935
	B	"	40.9402	"	0.1700	0.5696	0.7463
4	G	94.37	73.3540	33	0.2389	1.5396	0.8108
	B	"	30.1493	"	0.1561	0.4673	0.6118
5	G	81.66	62.1989	28	0.3164	1.2986	0.8984
	B	"	23.6174	"	0.1354	0.4485	0.5346
6	G	86.58	65.3229	31	0.3217	1.2087	0.9364
	B	"	24.8589	"	0.1500	0.3829	0.7300
7	G	67.62	53.1463	26	0.2368	1.4283	0.8391
	B	"	18.2037	"	0.1258	0.3730	0.7951
8	G	70.24	64.8282	33	0.2562	1.4191	0.7996
	B	68.34	17.1184	32	0.1429	0.2298	0.8759
9	G	69.62	68.9900	35	0.3924	1.1905	0.9185
	B	67.72	18.1407	34	0.1841	0.1670	0.8631
10	G	107.99	83.6882	34	0.3053	1.4918	0.9181
	B	"	29.0965	"	0.2053	0.2038	0.8631
11	G	130.00	98.6463	40	0.2823	1.5486	0.8815
	B	"	37.4048	"	0.2006	0.2637	0.7868
12	G	113.24	93.0511	40	0.2943	1.4930	0.9003
	B	"	35.5584	"	0.2734	0.1399	0.8994

表 24 (2). 続

年 月		$\Sigma \bar{v}$	log S	n	a	b	r	
'76. 1	G	136.75	104.0487	43	0.2893	1.4966	0.8980	
	B	"	36.0575	"	0.2476	0.0512	0.7410	
2	G	120.83	89.0057	37	0.3024	1.4182	0.9052	
	B	"	28.6879	"	0.2581	-0.0676	0.5099	
3	G	99.18	81.7486	37	0.2572	1.5200	0.9404	
	B	"	25.1207	"	0.1873	0.1769	0.3903	
4	G	132.86	95.6971	40	0.2590	1.5320	0.8917	
	B	"	32.0427	"	0.2185	0.0755	0.8302	
5	G	142.63	91.8309	37	0.3002	1.3246	0.7993	
	B	139.41	31.4797	36	0.2927	-0.2592	0.8434	
6	G	96.85	65.5217	33	0.4985	0.5226	0.8468	
	B	95.63	20.1505	"	0.1172	0.2867	0.5680	
7	G	90.60	71.8802	39	0.3882	0.9412	0.7771	
	B	"	23.4932	"	0.1244	0.3135	0.6917	
8	G	92.72	81.7860	40	0.3092	1.3280	0.8369	
	B	"	24.6402	"	0.1382	0.2957	0.7214	
9	G	83.67	78.3158	35	0.3801	1.3289	0.8493	
	B	"	24.4152	"	0.2292	0.1498	0.6855	
10	G	115.93	93.6475	37	0.3118	1.5441	0.8090	
	B	"	33.5398	"	0.2759	0.0420	0.6703	
11	G	120.56	91.3868	36	0.3053	1.5160	0.7546	
	B	"	32.9022	"	0.2734	-0.0018	0.6379	
12	G	95.00	73.5295	31	0.2875	1.4910	0.6578	
	B	"	26.8502	"	0.2754	-0.0222	0.6646	
'77. 1	G	96.02	71.3674	29	0.2318	1.6935	0.7661	
	B	"	27.5520	"	0.2044	0.2734	0.7630	
2	G	110.29	92.5129	39	0.2306	1.7200	0.8776	
	B	"	33.4023	"	0.1790	0.3502	0.7610	
3	G	121.66	98.2774	43	0.2148	1.6778	0.8776	
	B	"	33.4445	"	0.1348	0.3965	0.7610	
						平均	G	0.8368
							B	0.7233

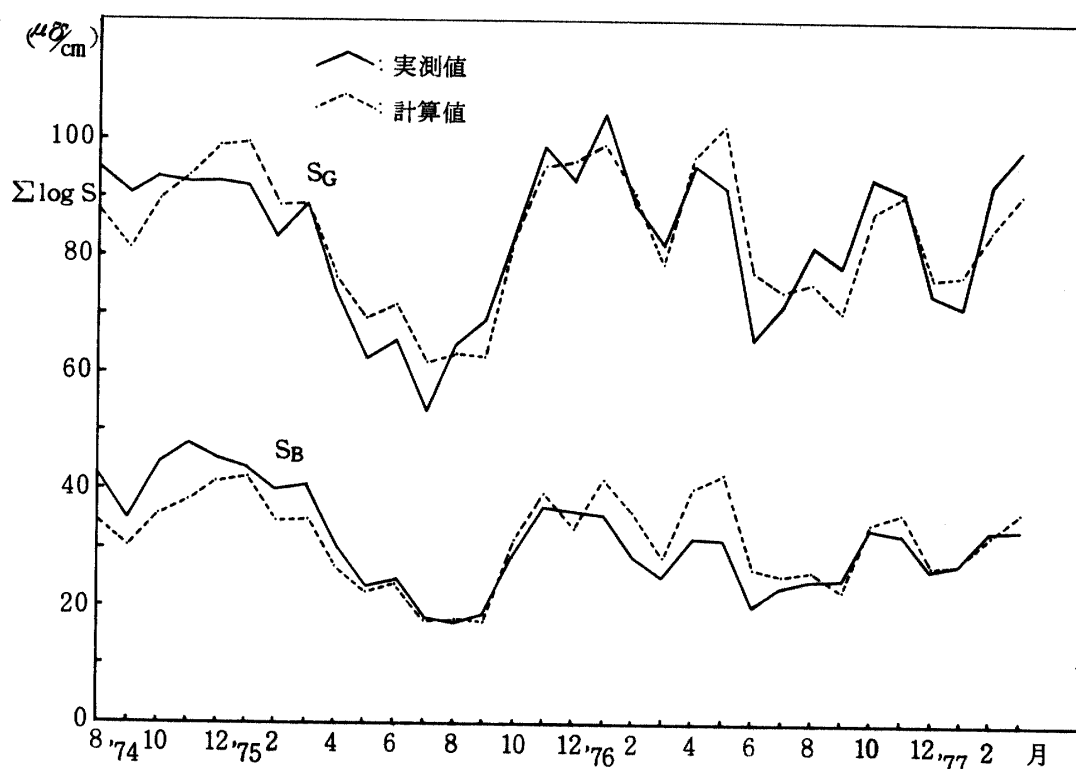


図 40. 付着塩分量の実測値と計算値の関係 (2ヶ月平均の場合)

II 毎月の付着塩分量と風速その他の要因との関係

解析方針で示したように風速以外の要因の付着塩分量との相関は良好ではなかった。しかし2つ以上の要因との重相関を求めれば、単相関の場合よりは良好な結果をうることがしばしば見られる。そこで風速、気温、湿度の中の2要因を組み入れた重相関を求めてみたが、相関係数は表 25 に例示したようにごくわずかしが改善されなかった。同表中には比較の便宜のため単相関係数も再表示している。

表 25. ΣS_G と気象諸要因の相関係数

年月	時刻	$r_{s.v}$	$r_{s.t}$	$r_{s.h}$	$r_{v.t}$	$r_{v.h}$	$r_{s.v.t}$	$r_{s.v.h}$
'74. 8	9:00	0.2531	0.3787	0.0163	0.3942	-0.2954	0.3952	0.2666
	13:00	0.4379	0.0687	0.0694	-0.0971	0.0744	0.4561	0.4395
	17:00	0.4220	0.1680	-0.1378	-0.0966	0.5260	0.4712	0.5975
'74.12	9:00	0.8780	0.4299	0.2342	0.6189	0.4395	0.8899	0.8942
	13:00	0.7984	0.1086	0.5395	0.3380	0.5614	0.8165	0.8060
	17:00	0.8017	-0.0212	0.5064	0.1188	0.4272	0.8102	0.8219
'75. 7	9:00	0.9216	-0.6535	0.2930	-0.4626	0.0651	0.9566	0.9507
	13:00	0.8995	-0.3186	0.0868	-0.2327	0.0111	0.9065	0.9028
	17:00	0.8304	-0.2254	0.0063	-0.3320	0.1631	0.8321	0.8406
'76. 2	9:00	0.8926	0.0016	0.0290	-0.0540	-0.0282	0.8940	0.8942
	13:00	0.8688	-0.2266	0.0702	-0.0734	0.0878	0.8841	0.8689
	17:00	0.6929	-0.3412	-0.1548	-0.2353	0.0510	0.7177	0.7196

s : 付着塩分量, v : 平均風速, h : 湿度, t : 温度

電算カード化できた分については風速、気温、湿度の3要因を組み入れた回帰式を電算機で求めてみたが、(5・1)式の場合と同様、その係数は毎月いちじるしく変動して法則性も認められず、相関関係もさして改善されなかったため、ここには省略する。

毎月の合計値については9時のガーゼへの付着塩分量の場合、風速と湿度の合計値との間には重相関係数がいちじるしく良好となることがわかり、次の式がえられた。

$$\sum \log S_G = 0.484 \sum \bar{v} + 0.011 \sum h + 2.7745 \dots \dots (5 \cdot 7)$$

$$(r \sum \log S_G \cdot \sum v \cdot \sum h = 0.9321)$$

本式による計算値と実測値の関係は図41のごとくで、かなりよく適合していることが示されている。

湿度がガーゼの場合に効いてきたのは、高湿度になればガーゼおよび塩粒子がしめるために、付着しやすくなるからであろうと考えられる。

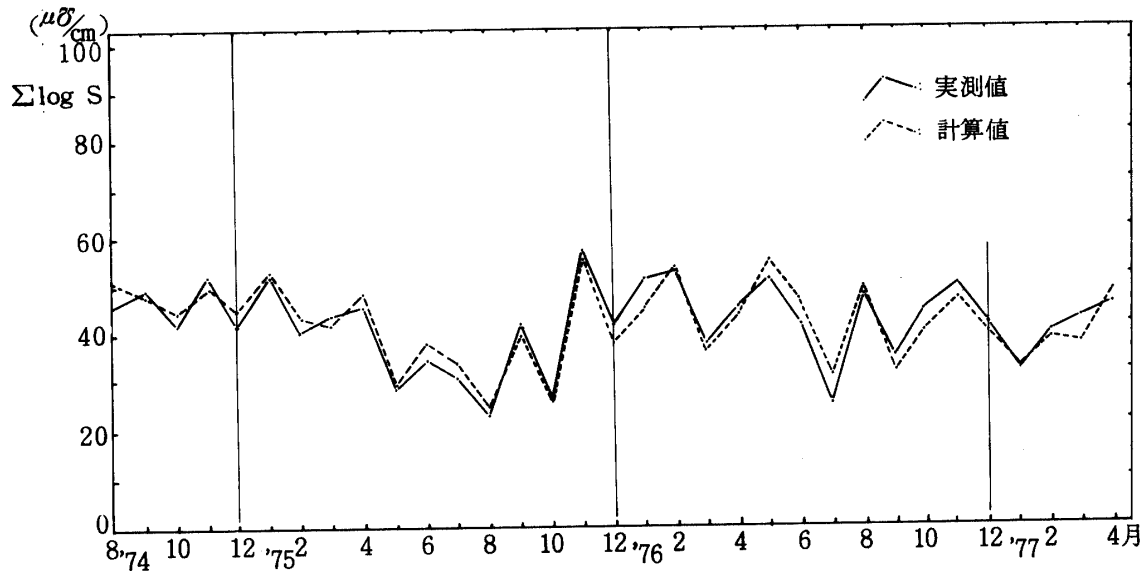


図41. 風速・湿度の重回帰式による計算値と実測値との関係

第6章 植物の耐塩性

塩害という現象は、海面で風と波の作用によって生成された海塩の微粒子が、風と乱流拡散によって陸上に輸送され、地上物体に付着することによって発生するものであり⁵⁹⁾、塩分が樹木や農作物などに害をおよぼすことは広く知られている^{5, 14, 18, 22, 34, 35, 36, 37, 41, 44, 60, 61, 64, 72, 79, 80, 86, 87, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 103)}。海岸付近の最前線に生育する植物は、風害や乾燥害、塩害などのいずれかを、あるいはその二重の害を、ときにはその三重の害を同時にうけやすく、常にきわめて不利な環境条件下にある。この著しく不利な環境にうちかつたためには、どの樹種をどのように育成すればよいか、つまり樹種選定やその育成方法は海岸林造成にあたっての一つの重要な課題であろう。

本章では、沖縄において防風・防潮林の最適樹種としてあげられているフクギ (*Garcinia spicata* Hook. f.) および沖縄の基幹作物であるサトウキビ (*Saccharum officinarum* L.) の耐塩性について試験をおこない、被害などの過程も観察しながらその耐塩限界を究明しようとする。

第1節 フクギ苗木の場合

フクギは沖縄において防風・防潮林の最適樹種にあげられている。その耐塩性について究明するために実生2年生フクギ苗木を用い、海水を水道水で希釈してその希釈液を根もとにかん水した場合、すなわち根部からの塩分吸収によるもの、葉幹部に噴霧した場合、すなわち葉幹部付着塩分によるもの、さらに葉幹部に傷をつけた場合、すなわち飛砂などによって葉幹部に傷がついたときのものの3種の場合について、塩害の発生ないし耐塩限界試験をおこなった。

I 根部からの塩分に対する耐塩限界試験

1 材料および試験方法

1本ずつ鉢植えされた実生2年生フクギ苗を40本準備し、その根部からの塩分吸収の影響をみるために、水道水で希釈した海水濃度100%、75%、50%、25%、0%のものを毎日、3日、7日、15日間隔で根部にかん水した。かん水量は200ccずつで、それぞれの希釈液が鉢の下方からしみ出る程度である。ただしそれだけではかん水間隔の長いものでは、干ばつによる害を生ずるので、かん水間隔7日以上のもものでは3日ごと約200ccずつ水道水をかん水して、塩水かん水はその3時間後におこなうようにした。

この場合の土壌は、琉球大学農学部附属与那演習林内の川から採取した川砂である。試験は屋外で1974年9月1日から1975年1月10日までの130日間継続した。土壌含塩量は、試験終了後、気乾重で300gの土壌を、300ccの蒸留水に投入して攪拌したのち1昼夜以上放置し、その上澄み液100ccを吸上げて溶存含塩量を電導度計で計測した。また根・幹・葉の中の塩分量はそれらの燃焼後、その灰を微細粉化して蒸留水100cc中に投入攪拌し、一昼夜放置後計測した。葉面積は正投影をプランメーターで計測して2倍し、葉および根幹の重量は絶乾にして測定した。

2 試験結果

かん水用の希釈液の塩分濃度は海水0%のとき $3.050 \times 10^2 \mu\text{g}/\text{cm}$ 、25%で $1.655 \times 10^4 \mu\text{g}/\text{cm}$ 、50%で $3.082 \times 10^4 \mu\text{g}/\text{cm}$ 、75%で $4.405 \times 10^4 \mu\text{g}/\text{cm}$ 、100%のとき $5.517 \times 10^4 \mu\text{g}/\text{cm}$ であった。

それぞれのかん水日間隔における被害の状況は、15日間隔でかん水した場合は、75%液までは被害がないが、100%液では下葉先端に被害がでた。7日間隔でかん水すると50%液から下葉先端に多少被害があらわれ、75%液では被害が明確であった。3日間隔でかん水すると25%液から被害の兆候があり、50%液では著しく被害をうけほとんど枯死状態で、75%液で完全に枯死した。毎日かん水では25%液から被害があらわれ、50%液では枯死した。

いずれの場合も被害は、下方の葉から中、上方の葉へと、また、葉先きや葉の縁から葉の中央や葉柄に向かって進行し、黄緑色から灰白色を呈して脱水状態を呈するようにみられる。また、同じ海水濃度でも葉の形状や特徴などによって被害のでかたに差があり、一般に葉形が細長く葉肉が薄く単位葉面積当りの葉重が小さいものは葉が円形に近く葉肉が厚く単位葉面積当りの葉重が大きいものに比較して被害がやすい傾向があった。

被害の大きさはかん水日間隔によって違い、当然のことながら毎日>3日>7日>15日の順であり、海水濃度においては100%>75%>50%>25%>0%液のような順となり、かん水日間隔が短くなるほど、海水濃度が濃くなるほど被害が増大した。

以上のような結果から、フクギ2年生苗木の耐塩限界を明らかにするため、土壌含塩量ならびに単位葉面積・単位葉重および苗木1本の単位重量当り含塩量を横軸に、海水濃度およびかん水日間隔を縦軸にとって被害との関係を図示すれば図42から図45のようであり、それぞれにおける被害出現初期限界ならびに枯死出現初期限界を点線および実線で示した。

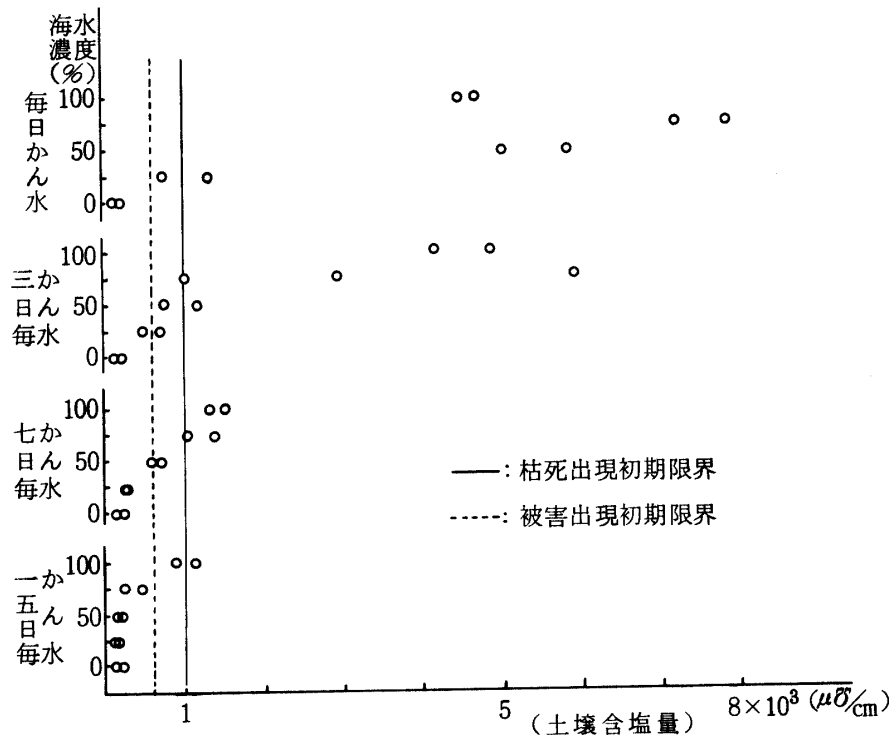


図 42. 土壌含塩量と被害との関係

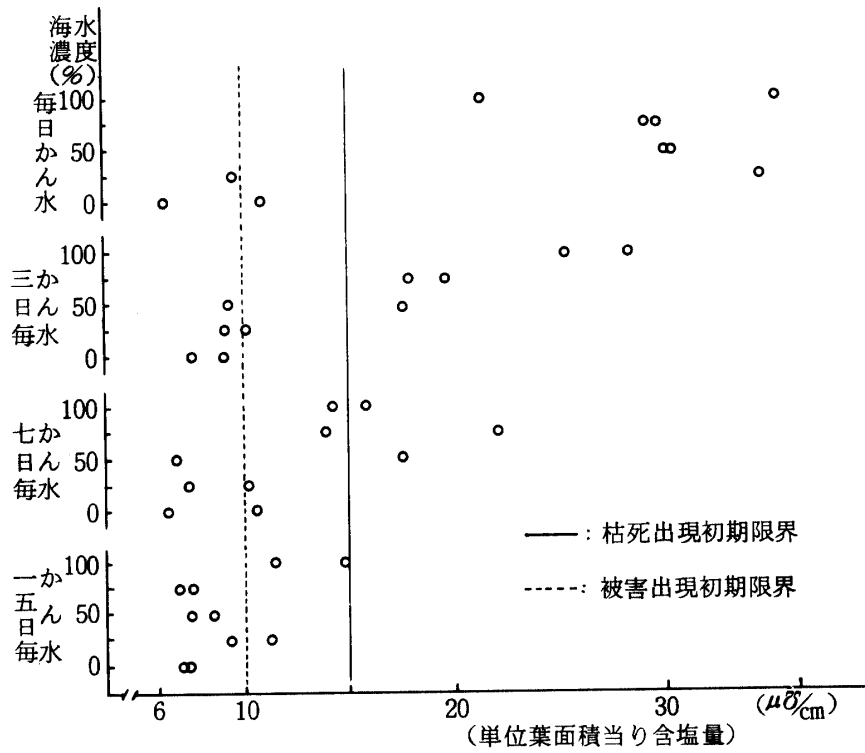


図 43. 単位葉面積当り含塩量と被害との関係

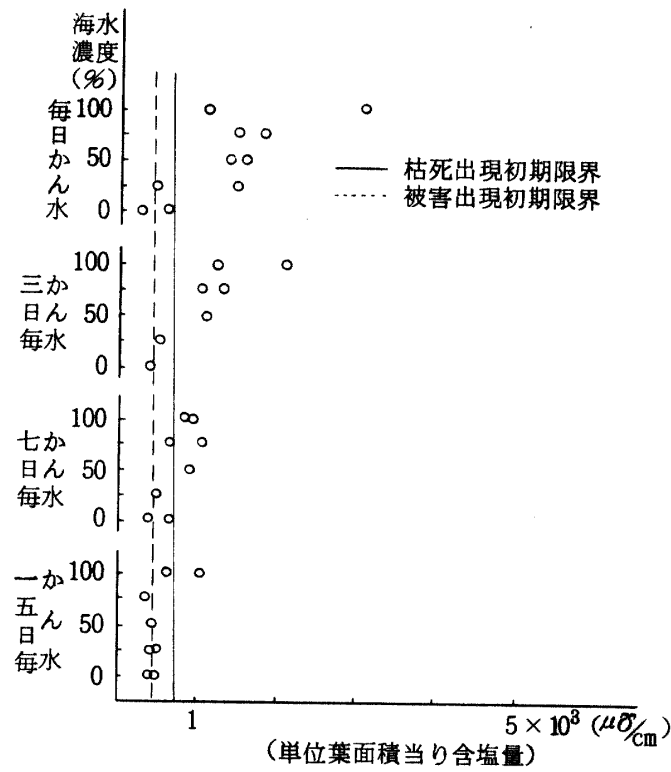


図44. 単位葉面積当り含塩量と被害との関係

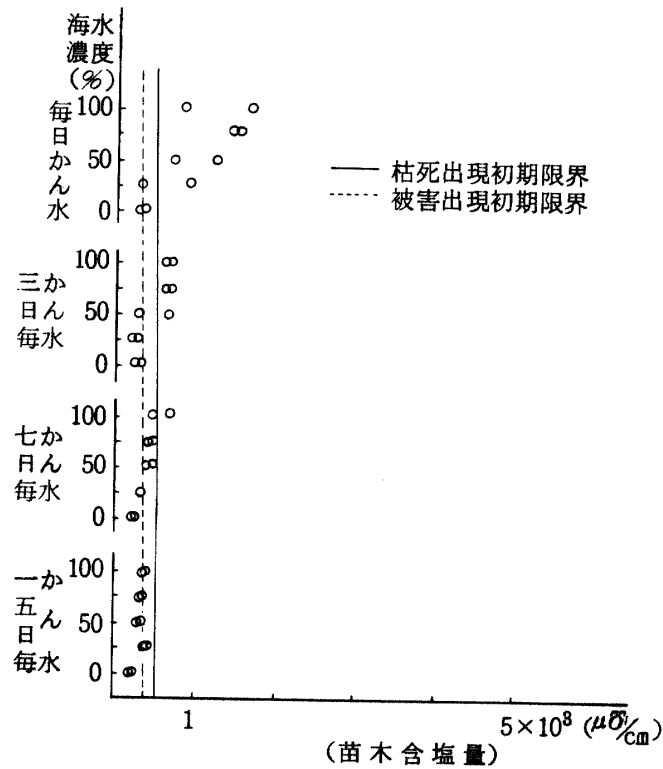


図45. 苗木の単位重量当り含塩量と被害との関係

図42から図45によれば、それぞれにおける含塩量はかん水日間隔が短くなるにつれて、海水濃度が濃くなるにつれて増加している。

土壌含塩量および単位葉面積当り含塩量と観察による被害との関係は比較的明確であり、常にある一定値で被害を生じた。その耐塩限界値は土壌含塩量においては、 $600 \sim 700 \mu\text{S}/\text{cm}$ 程度になると被害があらわれ、 $1000 \sim 1100 \mu\text{S}/\text{cm}$ 程度になると枯死するのに対し、単位葉面積 (cm^2) 当りの含塩量においては $10 \sim 12 \mu\text{S}/\text{cm}$ 程度になると被害があらわれ、 $15 \sim 18 \mu\text{S}/\text{cm}$ 程度になると枯死していた。また、単位葉重当り含塩量においては $480 \sim 530 \mu\text{S}/\text{cm}$ 程度で被害があらわれ、 $700 \sim 800 \mu\text{S}/\text{cm}$ 程度で枯死する。苗木1本の単位重量 (g) 当り含塩量では $400 \sim 450 \mu\text{S}/\text{cm}$ 程度で被害があらわれ、 $500 \sim 550 \mu\text{S}/\text{cm}$ 程度になると枯死する。

海水濃度およびかん水日間隔と被害出現の関係は図46にまとめられ、枯死領域、被害領域、無害領域に区分される。

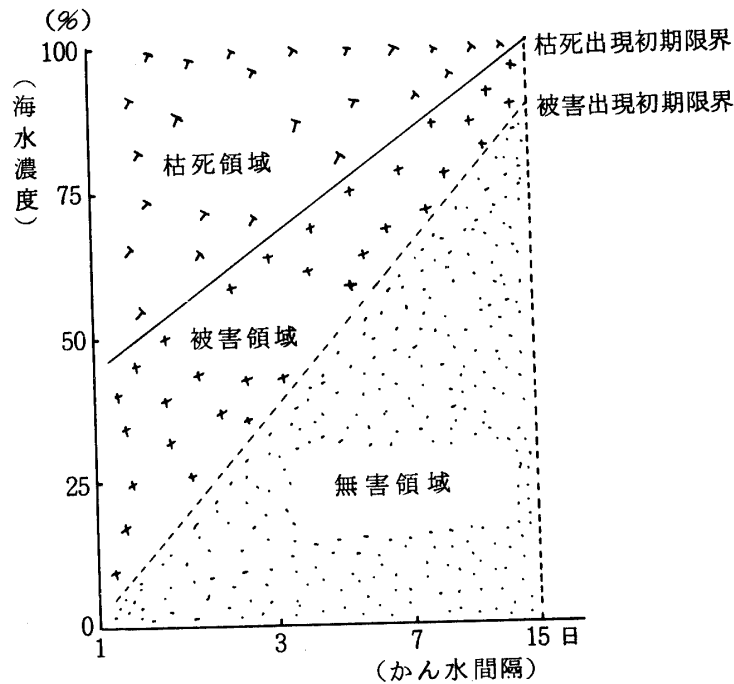


図46. 海水濃度・かん水日間隔と被害出現との関係

図46によれば、海水濃度は低くてもかん水日間隔が短かければ被害木や枯死木がふえて被害領域、および枯死領域が大きくなり、また、かん水濃度は高くてもかん水日間隔が長ければ枯死木や被害木は減少して枯死領域および被害領域が小さくなり無害領域が大きくなる。両方の関係はかん水間隔日数を対数でとった場合同図のような直線で示され、対数法則がなりたつようである。

II 葉幹面付着塩分に対する耐塩限界試験

1 材料および試験方法

鉢植えされた実生2年生フクギ苗木40本を用い、その葉幹面からの耐塩限界試験をおこなうため海水を水道水で希釈して、第6章、第1節Iと同様の濃度、噴霧日間隔で葉幹部に噴霧した。噴霧は、それぞれの希釈液を一般に市販されている手動小型噴霧器で葉幹部が一様にぬれるまでおこない、葉幹部からの塩分の影響をみた。噴霧液が葉幹を流下して土壌へ達するのを防ぐために幹の地ぎわ部分を幅

の広いビニールでおおった。

この場合も土壌は、琉球大学農学部附属与那演習林内の川から採取した川砂を用い、試験は屋外で1974年9月1日から1975年1月10日までの130日間続けた。試験終了後の土壌含塩量は前述のIと同様に計測した。また、試験終了後のフクギ苗木は水道水でよく洗った後、蒸留水で充分洗い流し、絶乾状態にしてから葉および根部を別々に測定した。葉および根部の含塩量は、前述と同様な方法で計測した。葉面積は正投影面としてプランメーターで測定し2倍した値を用いた。

2 試験結果

噴霧用のそれぞれの希釈液の塩分濃度は第6章、第1節、Iの場合と同じで、葉幹部にそれぞれの希釈液を噴霧した場合、外観的な被害はあまり認められず、75%液の毎日噴霧において新芽先端に被害の兆候があらわれ、100%液でのみ新芽および下葉先端に多少の被害があらわれた。3日間隔の噴霧では100%液においてのみ被害の兆候が認められる程度であった。

この場合の土壌含塩量、単位葉面積および単位葉重当りの含塩量、苗木1本の単位重量当りの含塩量の測定結果を表26にまとめた。

表26. フクギ苗木の含塩量および海水濃度と含塩量の相関関係（無傷葉の場合）

	海水 濃度 含塩量	0%	25%	50%	75%	100%	相関係数	回 帰 式
		毎日噴霧	U. L. A	5.55	8.70	10.47		
	U. L. W	345.67	459.40	488.40	502.53	546.01	0.865**	$y = 379.87 + 1.77x$
	U. R. S	197.23	204.79	243.12	292.48	300.35	0.940***	$y = 188.81 + 1.88x$
	U. A. T	256.85	303.29	341.23	354.14	360.27	0.891***	$y = 271.62 + 1.03x$
三日毎噴霧	U. L. A	4.74	7.46	9.71	10.54	11.71	0.947***	$y = 5.43 + 0.07x$
	U. L. W	282.15	440.55	429.17	459.55	494.84	0.741**	$y = 332.38 + 1.78x$
	U. R. S	167.39	228.56	265.58	254.70	294.50	0.852**	$y = 186.07 + 1.12x$
	U. A. T	200.77	302.46	339.87	373.25	398.67	0.911***	$y = 229.69 + 1.87x$
七日毎噴霧	U. L. A	4.24	5.94	7.21	7.30	7.70	0.857***	$y = 4.82 + 0.03x$
	U. L. W	221.46	300.05	425.24	412.23	401.74	0.716*	$y = 257.60 + 1.89x$
	U. R. S	172.46	204.10	251.06	300.97	316.56	0.979***	$y = 172.02 + 1.54x$
	U. A. T	196.35	223.52	252.69	236.19	289.80	0.824**	$y = 199.80 + 0.80x$
一五日毎噴霧	U. L. A	4.75	5.43	6.07	6.87	7.39	0.997***	$y = 4.76 + 0.03x$
	U. L. W	277.77	310.81	377.63	457.45	411.24	0.800**	$y = 284.26 + 1.65x$
	U. R. S	141.17	216.75	221.79	237.28	292.66	0.888***	$y = 157.23 + 1.29x$
	U. A. T	161.43	197.42	232.60	238.73	299.70	0.951***	$y = 162.41 + 1.27x$

U. L. A : 単位葉面積当り含塩量 ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$)

U. L. W : 単位葉重当り含塩量 ($\mu\text{g}/\text{g}$)

U. R. S : 単位根幹重当り含塩量 ($\mu\text{g}/\text{g}$)

U. A. T : 全樹単位重量当り含塩量 ($\mu\text{g}/\text{g}$)

* 10%水準, ** 1%水準, *** 0.1%水準で有意, 自由度 $n=8$

表26によれば、それぞれの含塩量は、海水濃度の増加にともなうてふえ、噴霧日間隔が長くなるにつれて減少するが7日と15日の間は差が少ない。また、単位根幹重当り含塩量には噴霧日間隔による差がほとんどない。

ミカン、その他の植物では葉面からの塩分の浸入が認められている^{43, 61)}。フクギの幹内の含塩量 ψ と海水濃度 α との関係は一次式で示され、その高い相関係数とともに表26中に示した。すなわち、このことは葉幹面から塩分の浸入があったことを意味し、しかも海水濃度が高いほど、また噴霧日間隔が短くなるにつれて含塩量が増加しており、したがって海水濃度が高いほど、噴霧日間隔が短くなるほど多くの塩分が葉幹内に浸入するものと考えられる。

第6章、第1節、Iのフクギ内部の含塩量における被害出現初期限界値によれば、毎日噴霧では50%液から被害の可能性があり、75%液では被害の兆候がでて、100%液においては明確な被害が出現する。3日間隔で噴霧すると75%液では被害の可能性があり、100%液では被害が出現するわけである。

本試験では、根幹部ないし全苗木の単位重量当り含塩量が第1節の場合より少ないことが目につく、附着塩分量は根からの場合にくらべて根幹部にあまり浸入せず、葉の部分の含塩量がある限界値に達すれば、被害を生ずることが示されている。

III 葉幹面が損傷した場合の耐塩限界試験³⁵⁾

1 材料および試験方法

鉢植えされた実生2年生フクギ苗木の葉、幹および葉幹部に傷をつけた場合、葉幹部が無傷の場合と比較して噴霧による被害はどう変化するか、その差異を明らかにするために試験をおこなった。海水を水道水で希釈して噴霧用液とし、その海水濃度を100%、75%、50%、25%、0%として毎日噴霧した。さらに葉幹部に傷をつけた場合の被害の下限值を明らかにするために海水を水道水で5%、10%、15%、20%、25%に希釈して毎日噴霧した。

噴霧は、それぞれの希釈液を手動小型噴霧器で葉幹部が一様にぬれるまでおこない、噴霧液が葉幹部を流下して土壌面に達するのを防ぐために幅の広いビニールで地面をおおってから噴霧するようにした。土壌は第6章、第1節、Iと同じ川砂で、試験は屋外で1974年9月1日から1975年1月10日までの130日間継続した。

試験終了後のフクギ苗木は水道水でよく洗ったのち、蒸留水で充分洗い流した。葉および根幹は絶乾重を別々に測定した。含塩量は、それらを燃焼してそれぞれの灰を微細粉化し、蒸留水100ccにひたして攪拌し、一昼夜放置後溶存含塩量を電導度計で計測した。葉面積は正投影面積としてプランメーターで測定し、2倍して表裏面積とした。

2 試験結果

無傷の葉幹部にそれぞれの希釈液を噴霧した場合は、外観的な被害はほとんど認められず、ただ100%液の毎日噴霧においてのみ新芽および下葉先端に多少明確な被害があらわれるのに対し、葉幹部に傷をつけて噴霧した場合は、15~20%の海水濃度で傷部や葉先きのほうに被害の兆候が認められ、25%液では明らかに被害があらわれた。

葉に傷をつけて噴霧すると25%液で被害の兆候があらわれ、50%液では明確な被害があらわれ落葉を生じ、75%液では重症な被害またはほとんど枯死状態で、100%液では枯死した。

幹に傷をつけると全体的に葉が黄色に変化し、25%液から被害の兆候があり、50%液では下葉先端に被害があらわれ、75%液では落葉が多く、100%液ではほとんど枯死した。

被害の大きさは、いずれの場合も海水濃度が濃いほど大きく、噴霧日間隔が短いほど大きかった。

この関係を数量的にみやすくするため葉幹部に傷をつけたときの単位葉面積および単位葉重当りの含塩量、単位根幹重当り含塩量と苗木1本毎の単位重量当り含塩量をそれぞれ表27にまとめた。

表 27 フクギ苗木の含塩量（葉幹部に傷をつけた場合）

海水濃度 含塩量	0 %		25 %		50 %		75 %		100 %		相関係数	回 帰 式
	回数	1	2	1	2	1	2	1	2			
葉 傷	U. L. A	6.77	6.76	11.89	9.93	11.95	11.99	19.80	16.04	20.79	17.95	0.958*** y = 6.95 + 0.13x
	U. L. W	412.45	453.26	644.78	663.68	722.19	946.40	1125.23	1157.22	1244.35	1138.61	0.970** y = 449.97 + 8.02x
	U. R. S	322.63	256.88	364.39	328.28	371.20	384.09	393.74	384.94	390.50	398.38	0.852** y = 309.03 + 1.01x
	U. A. T	353.91	321.49	436.43	441.63	533.30	377.12	541.86	470.52	599.18	498.61	0.915*** y = 363.49 + 1.80x
幹 傷	U. L. A	9.11	8.12	11.56	9.27	12.52	19.66	15.99	19.10	16.70	22.13	0.946*** y = 8.67 + 0.11x
	U. L. W	469.48	488.82	556.97	423.80	788.50	998.47	922.99	1845.46	696.25	1218.44	0.616* y = 458.87 + 7.56x
	U. R. S	161.10	285.80	310.48	290.93	325.41	293.68	353.69	342.93	382.10	362.44	0.921*** y = 241.01 + 1.38x
	U. A. T	252.99	354.58	422.45	326.19	464.81	505.70	528.44	573.71	580.60	604.58	0.977*** y = 310.54 + 3.02x
葉 幹 傷	U. L. A	8.05	9.89	8.64	9.19	9.96	9.94	9.94	11.11	12.18	11.74	0.835** y = 7.79 + 0.15x
	U. L. W	492.85	485.69	488.73	523.76	557.57	499.40	666.18	666.10	648.03	682.10	0.856** y = 417.60 + 10.23x
	U. R. S	359.81	347.83	380.44	329.95	335.02	408.79	355.33	397.43	362.86	441.78	0.900*** y = 336.47 + 2.36x
	U. A. T	272.78	287.99	237.91	277.44	341.42	357.43	417.24	413.35	418.13	452.11	0.878*** y = 207.46 + 9.34x

U. L. A : 単位葉面積当り含塩量 ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$) U. R. S : 単位根幹重当り含塩量 ($\mu\text{g}/\text{cm}/\text{g}$)
 U. L. W : 単位葉重当り含塩量 ($\mu\text{g}/\text{cm}/\text{g}$) U. R. T : 全樹単位重量当り含塩量 ($\mu\text{g}/\text{cm}/\text{g}$)

* 10%水準, ** 1%水準, *** 0.1%水準で有意, 自由度 n=8

表27によれば、いずれに傷をつけた場合でも含塩量は海水濃度の増加にともなって直線的に増加するが、傷をつける部位によって差は少ない。しかし、葉、幹および葉幹部に傷をつけて噴霧した場合は、葉幹部が無傷のものに比較していずれも含塩量が多く、被害が顕著にあらわれた。

第2節 サトウキビの場合

沖縄におけるサトウキビの作付面積は23,791 ha(昭和49年)で、全作付延面積の61.3%を占めており⁶⁵⁾、主要基幹作物である。

狭長で、他県のように奥地のない沖縄においては、農作物の耐塩性を明らかにすることは塩害防止をどの程度にする必要があるかを究明する面から重要である。

本節ではサトウキビの耐塩限界を明らかにするために、鉢植えした当年生サトウキビを用い、海水を水道水で希釈してその希釈液を根部にかん水した場合および葉幹部に噴霧したときの塩害の発生など、その耐塩限界値を究明するため試験をおこなった。

I 根部からの塩分に対する耐塩限界試験³⁶⁾

1 材料および試験方法

5月下旬から6月上旬に鉢ざしした当年生サトウキビ(NCo 310)を40鉢用い、その耐塩性を明らかにするために海水を水道水で希釈して、その濃度を100%、75%、50%、25%、0%とし、毎日、3日、7日、15日間隔で根もとにかん水した。

かん水量は、それぞれの希釈液が鉢の下方からしみでる程度で1100 ccずつとし、根部(土壌)からの塩分の影響をみた。この場合の土壌は、琉球大学農学部附属与那演習林内の川から採取した川砂で、干ばつによる害を防ぐために土壌含水量がPF価で1.8~2.0位(圃場含水量)になるように^{6,70)} 毎朝600 ccずつ水道水をかん水し、3時間後から各種の濃度の塩水をかん水した。

試験は屋外で、1975年10月2日から12月30日までの90日間続けた。試験終了後のサトウキビは水でよく洗ったのち蒸留水で充分洗い流してから絶乾状態にし、葉、茎、根の部分を別々に計重して燃焼し、それぞれの灰を微粉化し、蒸留水100 ccにひたして攪拌後、一昼夜放置したのち上澄み液を吸いあげてその含塩量を電導度計で計測した。

土壌含塩量は、試験終了後、気乾状態にし300 gの土壌を300 ccの蒸留水にひたして攪拌したのち一昼夜以上放置し、その上澄み液100 ccを吸いあげて計測した。

2 試験結果

かん水用の希釈液の塩分濃度は、第1節の場合と全く同様である。

それぞれの希釈液をかん水すると、15日間隔では75%液から被害の兆候が認められ、100%液では穂をはらみながら出穂できない状態であった。7日間隔では、25%液から被害の兆候があり出穂したが穂が小さく、50%以上の液では海水濃度が高くなるにつれて下葉先端から赤褐色に変化するのはいやく生じて、被害の状態が明確であった。3日間隔においては、25%液では穂をはらみながら出穂できないものや出穂したが穂が小さいなどの被害が認められ、50%液では、被害が明確であり、75%液では、被害が顕著にあらわれ重症な被害で、100%液では枯死した。ところが、毎日かん水では、25%液でも被害が明確であり、50%液では、顕著に被害があらわれ、重症またはほとんど枯死状態であった。75%液では、被害がさらにはやく5日目位から新芽の先端部からその兆候があらわれ、7日目頃には葉にロール現象が起きて葉の中心線となす角度が次第に鋭角になり、葉が立つようになる。葉色の変化はまだ起らないが被害は明確であり、時日の経過とともに被害も進行し30日目頃にはほとんど枯死状態となり、40日目頃で枯死した。

サトウキビの塩水による被害では、被害出現初期に葉にロール現象が起き、上方の葉先きから中、下方の葉へと被害が進行して葉が立ち、その後の葉色の変化は下方の葉先きから中、上方の葉へと移っていった。かん水による被害は、噴霧による場合に比較して被害初期兆候の出現は遅いがその後の被害進行速度がはやく、萌芽もなく打撃が大きく完全に枯死した。

被害の大きさや速度は、かん水日間隔においては、毎日>3日>7日>15日の順で、海水濃度においては100%>75%>50%>25%>0%液の順で小さくなり、当然のことながらかん水日間隔が短かいほど、海水濃度が濃いほど被害が増大した。

以上の結果などから、サトウキビの耐塩限界を明らかにするため、横軸に単位葉重、単位茎重および単位根重、ならびに1本の単位重量当り含塩量を、縦軸に海水濃度およびかん水日間隔をとって被害出現との関係を図示すれば図47のようである。

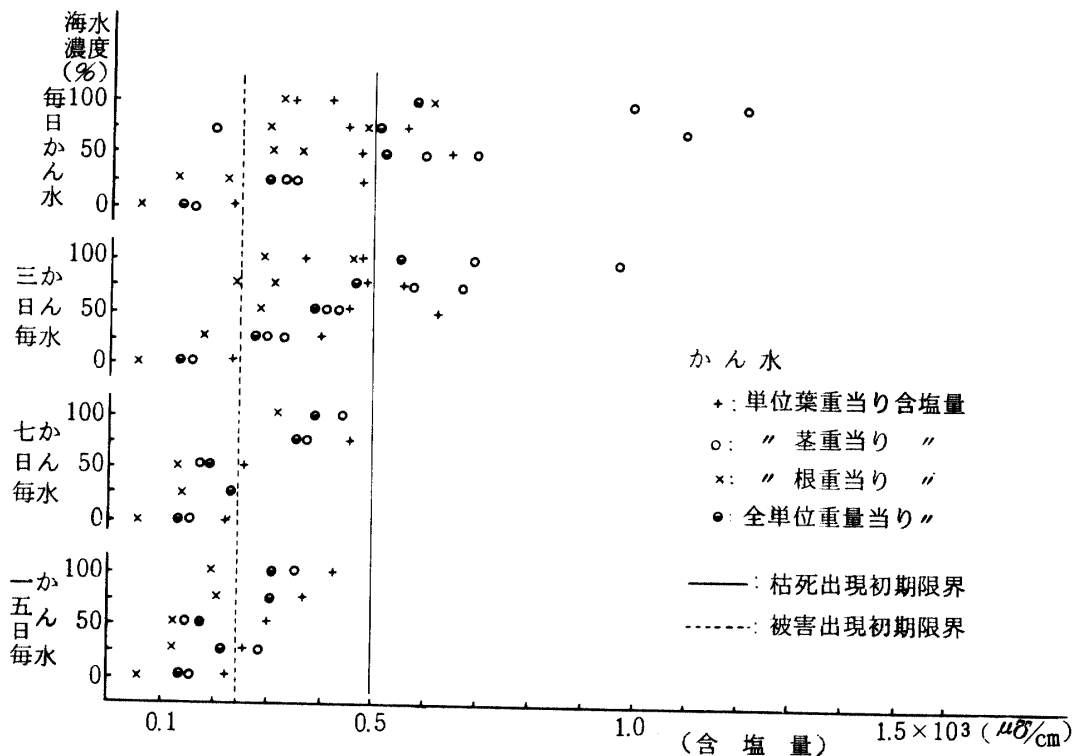


図47. サトウキビのかん水による単位葉重・茎重・根重当りおよび全体の単位重量当り含塩量と被害出現との関係

図47によれば、一般にサトウキビの含塩量は、葉茎部に多く根部は少ない。葉茎部では、かん水間隔が長い間は葉の含塩量が多いが、かん水間隔が短くなるにつれて茎部の含塩量が著しく多くなる。なお、かん水間隔が短くなるほど、また、海水濃度が高くなるほど含塩量は増加するが、そのばらつきは、かん水間隔が長くなるにつれて狭く、海水濃度が高くなるにつれてひろがる。

このことは、サトウキビへの塩分の影響（浸入速度）に差があることを意味し、海水濃度が高くなるほど塩分の浸入する速度がはやくなり、その結果として含塩量が増加するものと考えられる。

かん水日間隔とサトウキビの含塩量との相関々係は表28のようであり、かん水日間隔と含塩量は高い相関を示し、かん水日間隔が短くなるにつれて塩分の影響が大きいことがわかる。

表28. かん水日間隔とサトウキビ全体の含塩量の相関

相関係数	かん水日間隔			
	毎日	3日毎	7日毎	15日毎
0.94	0.99	0.86	0.80	

またこの場合の、平均土壌含塩量は表29のようであり、海水濃度の増加とともに土壌含塩量も増加し、かん水日間隔が長くなるにつれてその含塩量は減少する。試料数が少ないので明確とはいえないが、土壌含塩量とかん水日間隔の間には双曲線関係が認められるようで、毎日かん水の場合の土壌含塩量を基準とすると、表29中に記入した式がえられる。

表29. かん水日間隔と土壌含塩量の関係

海水濃度(%)	毎日かん水	3日毎かん水	7日毎かん水	15日毎かん水	回帰式
100	9.068×10^3	3.738×10^3	2.750×10^3	1.580×10^3	$9.068 \times 10^3 D^{-0.648}$
75	5.575×10^3	2.758×10^3	2.225×10^3	1.095×10^3	$5.575 \times 10^3 D^{-0.556}$
50	3.155×10^3	1.993×10^3	1.225×10^3	9.500×10^2	$3.155 \times 10^3 D^{-0.455}$
25	2.350×10^3	1.113×10^3	1.115×10^3	7.840×10^2	$2.350 \times 10^3 D^{-0.437}$
0	1.863×10^2				

単位： $\mu\text{g}/\text{cm}^3/\text{g}/\text{cc}$ D：かん水日数

II 葉茎面付着塩分に対する耐塩限界試験

1 材料および試験方法

サトウキビの葉茎面へ付着した塩分の耐塩試験のため、第6章、第2節、Iと同品種、同海水濃度の希釈液を用い、毎日、3日、7日、15日間隔で葉茎部に噴霧した。

噴霧量は、それぞれの希釈液を一般に市販されているスプレーで葉茎部が一様にぬれるまでとし、葉茎面からの塩分の影響をみた。

この場合の土壌も第6章、第2節、Iと同じ川砂で、干ばつによる害を防ぐために土壌含水量がPF値で1.8~2.0位になるように、毎朝水道水を600ccずつかん水し、3時間後から海水噴霧試験を開始した。

試験は屋外で、1975年10月2日から12月30日までの90日間継続した。噴霧液が葉部を流下して土壌面へ達するのを防ぐために、幅の広いビニールで地面をおおってから噴霧するようにした。

試験終了後のサトウキビは、水道水でよく洗ってから蒸留水で充分洗い流し、絶乾状態で葉、茎、根の部分を別々に重量を測定したのち燃焼して、それぞれの灰を微細粉化し、それに蒸留水100ccを注入して攪拌後、一昼夜放置してから上澄液を吸いあげてその含塩量を計測した。土壌含塩量は試験終了後、気乾重にして300gの土壌を300ccの蒸留水に浸し、攪拌して一昼夜放置後、その上澄液100ccを吸いあげて計測した。

2 試験結果

それぞれの希釈液を葉部に噴霧すると、15日間隔においては、100%液でも被害は出ないが、7日

間隔では、75%液から被害が認められ、穂をはらみながら出穂できない状態となった。3日間隔においては、50%液から被害の兆候があり、75%液では明らかに被害が認められた。毎日噴霧においては、25%液から被害があらわれ穂をはらみながら出穂できない状態であり、50%以上の液では重症な被害が顕著にあらわれ、ほとんど枯死状態であり、完全にいためつけられた。

サトウキビの噴霧とかん水による被害は、外観的形態で明確に区別された。噴霧による被害は、かん水による被害とは別で、葉のロール現象はないが、葉にハリがなくなって萎れるような状態となり、葉の茎軸となる角度が次第に鈍角になって被害が進むにつれてそのひろがりが大きくなり、だんだん赤褐色を呈し、ついには、葉のハリが全くなって、葉身が折れて下にたれ、茎に接し、まきつくようになる。被害は下方から中、上方の葉へ、また、葉先や葉の縁側から葉柄や葉の中央へ向って進行した。

噴霧による被害は、かん水による被害にくらべて被害出現初期の葉色の変化がはやく、外観的には兆候が目立つが茎の途中や地ぎわ部分から萌芽したりして完全に枯死することはないものの、生長はとまる。

被害の大きさや進行速度は、かん水の場合と同様に、噴霧日間隔においては、毎日>3日>7日>15日の順で、海水濃度においては、100%>75%>50%>25%>0%の順に小さくなり、噴霧日間隔にはほぼ反比例し、海水濃度に比例して被害は増大した。

以上のような結果から、サトウキビの耐塩限界を明らかにするために、横軸に単位葉重・茎重および根重当りの含塩量を、縦軸に海水濃度および噴霧日間隔をとって被害出現との関係を図示すれば図48のようである。

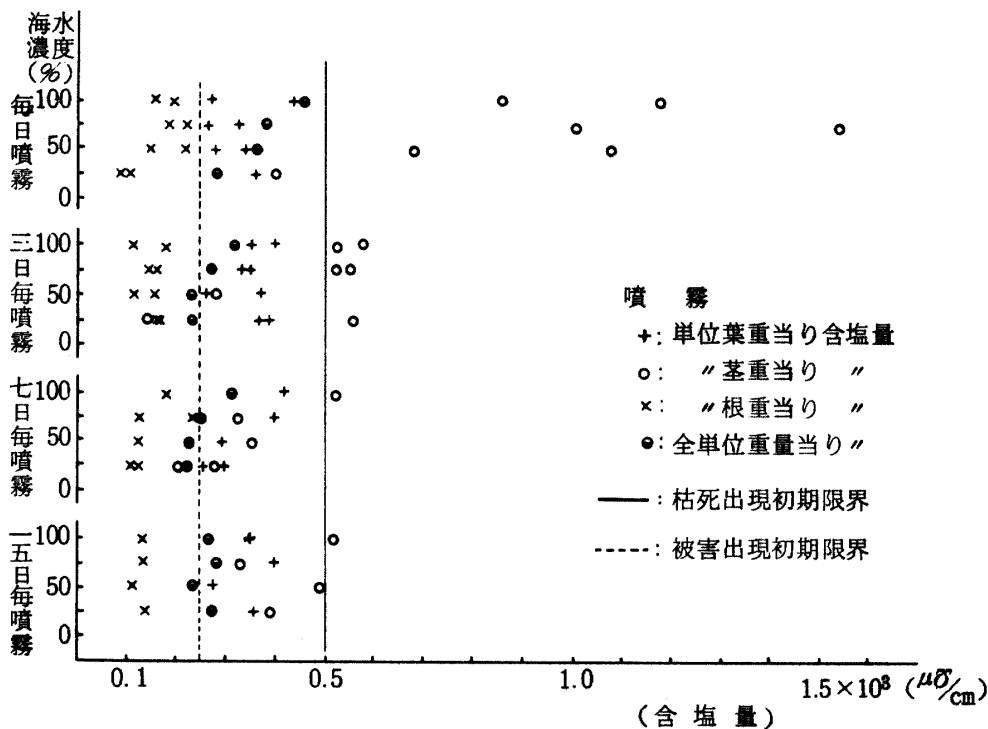


図48. サトウキビの噴霧による単位葉重・茎重・根重当り含塩量および全体の単位重量当り含塩量と被害出現との関係

図48によれば、サトウキビの含塩量は、噴霧の場合もかん水のとくと同様に茎部に多く根部は少ない。そして葉基部では茎部の方が多く、噴霧日間隔が狭くなるにつれて差が大きくなる。全体的には噴霧

の場合はかん水のとよりやや少なく、噴霧日間隔が短くなるほど、また、海水濃度が高くなるにつれて含塩量は増加し、そのばらつきの範囲は、噴霧日間隔が短かく、海水濃度が低くなるにつれて狭くなる。

このことは、葉茎面からの塩分の浸入に差異のあることを推測させ、海水濃度が高く、噴霧日間隔が短くなるほど塩分の浸入速度がはやくなり、その結果、含塩量が増加するものと考えられる。一般的に含塩量は、海水濃度が濃くなるほど増加し、噴霧日間隔が長くなるほど減少するようである。

噴霧日間隔とサトウキビの含塩量の相関々係は表30のようであり、15日間隔の噴霧以外は一次の高い相関々係を示し、サトウキビに噴霧した場合も葉茎面、特に葉面からの塩分の浸入があったものと考えられる。

表30. 噴霧間隔と含塩量の相関

相 関 係 数	噴 霧 間 隔			
	毎 日	3 日 毎	7 日 毎	15 日 毎
	0.99	0.96	0.94	0.03

この場合の土壤含塩量は表31のようであり、かん水の場合の土壤含塩量に比較して著しく少なく、海水0%の毎日かん水の場合の土壤含塩量よりも少ない位である。この場合も噴霧日間隔との間に双曲線関係があるものとして実験式を同表中に記入しておいた。かん水の場合に比較してちらばりが大きく、ことに75%と25%の場合の冪指数が著しく小さいのが目立つ。

表31. 噴霧の場合の土壤含塩量

間 隔 海水 濃度(%)	回 帰 式				
	毎日噴霧	3日毎噴霧	7日毎噴霧	15日毎噴霧	
100	3.735×10^2	1.425×10^2	2.150×10^2	8.435×10	$3.735 \times 10^2 D^{-0.549}$
75	1.703×10^2	1.230×10^2	1.165×10^2	9.205×10	$1.703 \times 10^2 D^{-0.227}$
50	3.058×10^2	1.810×10^2	1.230×10^2	8.720×10	$3.058 \times 10^2 D^{-0.548}$
25	2.405×10^2	8.835×10	9.110×10	5.280×10	$2.405 \times 10^2 D^{-0.173}$

単位： $\mu\text{g}/\text{cm}/\text{g}/\text{cc}$ D：噴霧日間隔

第3節 植物の耐塩性についての結論

植物の耐塩限界は、その植物の生育している状態や生育過程、土壤条件や気象条件などによっても差異を生じ、一概には論ぜられないであろう。しかし高等植物の生育に対する必須元素以外の無機物質の影響として特に問題視されているのは、高濃度の塩類ことにNaClの作用であり、これによる被害は主として植物の水分吸収が塩分によって妨げられるために生じ、その障害の程度は塩類の種類よりは、むしろ存在する塩類の総濃度によって決定される⁵⁾という。そこで沖縄で防潮林に主用されているフクギの苗木と、基幹作物であるサトウキビとについて試験した結果と、在来の他の研究例から、つぎのことが結論される。

I フクギ苗木の場合

土壌中の含塩量が、気乾単位重量の土壌を単位容積の蒸留水に投入した場合の値にして、 $600\sim 700\mu\text{g}/\text{cm}$ に達すると外観的な被害が明白になり、 $1000\sim 1600\mu\text{g}/\text{cm}$ に達すると枯死する。被害出現ならびに枯死出現の初期限界を、かん水間隔とかん水に用いた海水濃度との関係で示せば図46のごとくで、対数法則が成立している。

フクギ造林にあたってやむなく海水を混入したかん水をおこなう場合、高潮その他によって海水が冠水した場合、その計画もしくは対策をたてることが同図を参考にすればできる。また、土壌中の含塩量を計測すれば、フクギ造林の可能性ないし難易を判断する基準とすることができる。フクギ苗木内に含まれる塩分と被害の関係を総括すれば表32のようになる。

表 32. フクギ苗木塩害初期限界 ($\mu\text{g}/\text{cm}$)

		被害初期限界		枯死初期限界	
根系から吸収した塩分によるもの	U. L. A	10 ~ 12		15 ~ 18	
	U. L. W	480 ~ 530		700 ~ 800	
	U. A. T	400 ~ 450		550	
葉	無	U. L. A	10 ~ 12		枯
	傷	U. L. W	470 ~ 490		死
		U. R. S	270 ~ 290		せ
		U. A. T	350 ~ 400		ず
葉	無	U. L. A	10 ~ 11		18 ~ 21
	傷	U. L. W	640 ~ 660		1100 ~ 1200
		U. R. S	330 ~ 360		390 ~ 400
		U. A. T	430 ~ 440		500 ~ 600
幹	無	U. L. A	9 ~ 12		17 ~ 22
	傷	U. L. W	420 ~ 560		700 ~ 1200
		U. R. S	290 ~ 310		360 ~ 380
		U. A. T	330 ~ 420		580 ~ 600
の	無	U. L. A	10 ~ 11		未
	葉	U. L. W	500 ~ 600		試
		U. R. S	340 ~ 400		験
		U. A. T	340 ~ 420		

いずれの方法によっても葉の単位面積当りの含塩量が $10\mu\text{g}/\text{cm}$ 程度に達すると外観上の被害がらわれはじめ、 $15\sim 17\mu\text{g}/\text{cm}$ 程度が枯死初期限界になる。その他の場合は処理方法によって多少の相違はあるが、葉の単位重量当りでは $500\mu\text{g}/\text{cm}$ 程度、根幹部の単位重量当りでは $300\mu\text{g}/\text{cm}$ 程度、苗木全体の単位重量当りでは $400\mu\text{g}/\text{cm}$ 程度で被害を生じ、おおむねその1.3~1.9倍で枯死初期限界に達する。

表27および表28によれば、噴霧する海水濃度と、フクギ含塩量との間には直線回帰が成立し、根幹部の含塩量が比較的少ないことから考えると、主として葉面からの塩分浸入がおこなわれていると推測

される。温州みかんや茶、その他の植物では葉面からの塩分浸入が認められており^{3, 43, 61, 63, 86)}、葉中へ塩分が浸入する速度は、葉の表面より裏面がはやく、また、傷部からの浸入がはやく、昼間より夜間がはやい傾向にある^{61, 86)}ことなどが知られているが、本研究では噴霧海水濃度に比例してフクギ苗木の含塩量が大きくなることが実証された。

II サトウキビの場合

かん水によって根系から塩分を吸収させた場合、土壌中に残存する塩分量は表29に示されたようにかん水海水濃度にほぼ比例し、かん水間隔日数との間には双曲線関係が成立している。

土壌残存塩分量では、気乾単位重の土壌を単位容積の蒸留水に投じた場合700~800 $\mu\text{g}/\text{cm}$ 付近から兆候があらわれ1000 $\mu\text{g}/\text{cm}$ で被害が明確になり3000 $\mu\text{g}/\text{cm}$ で枯死する。

かん水によって根系から塩分を吸収させる場合は、フクギに比較して被害の兆候のあらわれ方がはやいが、干ばつによる被害を防ぐために多量の水道水を別に供給するためか、枯死を生ずる限界はフクギの場合より海水濃度は高く、かん水間隔は短くなる。しかしながらサトウキビ体内の含塩量を単位葉重、単位茎重、単位根重および単位全重量当りのものにしてみると250 $\mu\text{g}/\text{cm}$ 位で被害出現初期限界に達し、500 $\mu\text{g}/\text{cm}$ 程度で枯死出現初期限界に達するから、フクギよりは少ない体内塩分で被害を生じ、枯死する限界は大差ないことになる。

噴霧によって葉幹面に付着させた塩分による被害限界は、根系から塩分を吸収させた場合と全く同様に250 $\mu\text{g}/\text{cm}$ が被害出現初期限界、500 $\mu\text{g}/\text{cm}$ が枯死出現初期限界となっているが、サトウキビ体内の含塩量は同濃度の海水をかん水した場合より幾分多くなっている。

III 植物の耐塩性についての考察

植物は外見上の変化があらわれなくても生長障害があつて、こうした試験によって限界を示しても、耐塩性のすべてを明らかにしたことにはならない。しかしながら海岸保全上はどこまで造林が可能かの極限が問題であり、また、後背地の作物はどこまで生存しうるかの限界が保全計画上の目安となるから、以上のような試験方法が用いられた。

植物は環境に応じて自らをまもるために、たとえば気孔の開閉によって蒸散を調節する。したがって外部からの塩分に対しても、有害の状態になれば何らかの調節作用によってその浸入を阻止するような機能の働く場合もありうると考えられ、たとえばクチクラ層の厚くなったものが、そうでないものに比較して塩分が付着し難い傾向があり、そのような植物は一般に海岸近くでも生長できる。しかし個々の植物ではかん水や噴霧の海水濃度、つまり塩分濃度に比例して、体内の塩分も増加することが実証された。これは塩分濃度差による浸透圧によって、土壌中のものを含めた全水系にあるバランスが生ずるためと考えられ、たとえば噴霧によって土壌に直接塩分が供給されぬような配慮しても、土壌に残存する塩分に変化を生じているのは、この理由によると考察される。

土壌中の残存塩分量は、植物による吸収がなければ、かん水される海水の濃度およびかん水回数に比例するわけである。ところがかん水回数と逆数の関係にあるかん水間隔と土壌残存塩分との間には双曲線関係が成立して、直線関係にはなっていない。これはかん水間隔の短いものでは、外見的には被害がなくても生長障害を生じており、植物体の全重量が少ないために、吸収される塩分量が残ることが原因であると考えられる。

被害出現初期限界がサトウキビではフクギより低いのは、葉茎の構造の差によるものと考えられるが、枯死出現初期限界が単位重量当りにすると500 $\mu\text{g}/\text{cm}$ あたりに一致するのは興味深い。

図46によれば、被害出現ならびに枯死出現の初期限界は、海水濃度とかん水間隔との間に対数法則が成立している。したがってたとえば25%液では3日間かん水で被害出現初期限界に達するが、その3

倍の75%液の場合は3日の3倍の9日で等量の塩分が供給される計算になるのに、12日間隔にすることを要し、100%液では実に25日間隔とすることが必要であると推定される。7日間隔以上では干ばつを防ぐための水道のかん水もおこなっているから、かん水計画にはこれらを考え合わせることを要する。100%液のかん水試験の結果は、高潮、津波などで冠水した場合の被害を推定し、また、その被害を軽減させるための対策をどのように実施すべきかについて考える根拠になる

第7章 地上付近の空中塩分付着量の制御に関する研究

空気中の塩分は、主として海面に起源を有し、大気と海洋との局所的な相互作用の結果、海面で海水の微滴が生成され、これは湿度の高い大気中では比較的大きな溶液滴の状態にあるが、湿度が低くなると、より小さな乾いた海塩の微粒子となり、大気の運動や乱れによって数千mの上空や大陸の奥地までも運ばれていく^{58, 82)}とされている。海塩粒子生成の最も有効な機構は海面で気泡が破裂する際に、ごく小さい水滴が空气中に射出される現象であって、これは気泡が割れたあとの空洞をうめるために周囲の水が中央へ突進し、そのエネルギーが集中してできる噴射が、いくつかの微水滴に分裂することで、気泡の直径が2mm程度より大きくなると、急に膜の部分が水面上に突き出し、これが破裂したときの噴出高はおよそ19cmにも達することが示されている^{4, 58, 81, 82)}。

特に海岸近くの地上付近の空気中の塩分量は、海面の状態や気象因子や空気の乱流拡散および海岸からの距離や高度、海岸付近の地形などに影響され、またその挙動は、海塩粒子を含んだ空気の流れが地表物の間を通過するさい、地表物による海塩粒子捕捉作用によっても影響をうける^{45, 52, 72)}。

ところで沖縄は、海にかこまれているばかりでなく、海岸線からの距離も短かく、東海岸から西海岸までの距離は短かいところでわずかに約4km、長いところでも17km位であり、他県のような奥地がない。一方、島の周辺はサンゴ礁が発達していて長いリーフを形成している。このために波がリーフに衝突して、多くの砕波が生じ、また、温暖なため海面上に気泡が発生しやすいことなどの条件から、多量の空中塩分が島全体に広く分布していることが考えられる。

したがって海岸付近の前線に防潮林、ネットなどの障害物があればそれだけ減塩効果も大きいものと考えられる。

本章においては、海岸付近に防潮林などの障害物がある場合、および一般に農業用に使用されているビニール製の防風ネットを海岸近くにはった場合、その背後における地上付近の空中塩分付着量はどのように減少するか、それが風速分布とどのように関連しているかについて究明しようとするものである。

第1節 防潮林による飛塩付着量の制御

本節では、海岸沿いに現存する防潮林を利用して、その飛塩付着量の制御効果を究明するために、防潮林の内陸側と、隣接した防潮林のない対照区について付着塩分量を計測し、同時に双方の風速分布も観測して、比較検討しようとする。北中城村渡口では厚さ100m以上の林帯の場合、知念村久手堅では厚さ10m程度の林帯の場合についてそれぞれに実験を反復した。

I 北中城村渡口防潮林の場合

1 測定場所および測定方法

1) 測定場所

太平洋側（東海岸）に面した、通称、沖縄島中部に属する北中城村渡口の沿岸にある現存防潮林で、

図49のように防潮林区と対照区を設けて、その背後の飛塩付着量および風速を測定し、その結果によって減塩機能について比較検討し、防潮林の飛塩付着量制御効果を明らかにしようとする。

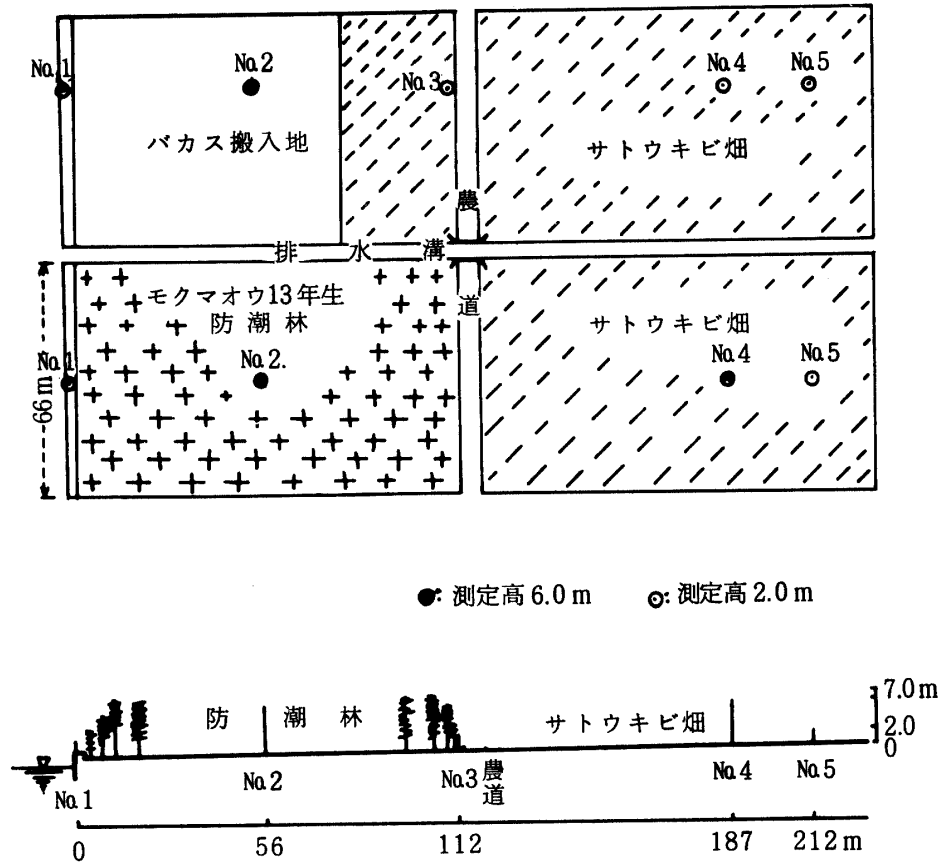


図49. 北中城村渡口海岸における測定地略図

この防潮林の樹種は護岸直後にアダン (*Pandanus tectorius* var. *liukiensis* warb.), オオハマボウ (*Hibiscus tiliaceus* L.) の樹列があり、その後方はモクマオウ (*Casuarina equisetifolia* J. et G. Forst.) が約2 m間隔で植栽されて主林木をなしている。モクマオウは13年生位で樹高は平均約7 mである。同地はレクリエーションの場としても利用され、林帯の中央部のモクマオウは折損などがあり樹冠は薄くなっていたが、後方には補植がおこなわれて樹冠も密であった。この地域は海岸線に沿って連続した防潮林であったようであるが両側は開墾されてサトウキビ畑になっている。周囲のサトウキビの高さは0.5~0.8 m位であった。ここにおける海からの風は、東から南西の風向きのときに相当する。測定は、1973年5月5日から5月29日の間に実施した。

2) 測定方法

付着塩分量は、防潮林の風上側直前と風下側において図49のように各測点にガーゼ式採塩器を高さ1 m, 2 m, 4 m, 6 mに設置して試料をとり、比電導度法で計測した。風速分布は、ガーゼ採塩器の設置と同時に各採塩器に隣接して理工研式小型ロビンソン風速計を、高さ2 mにはさらに中浅式三杯自記風速計を設置して観測した。

2 測定結果

各測点における付着塩分量および風速を縦軸に、海岸線からの距離を横軸にとって図示すれば図 50 および図 51 のようである。

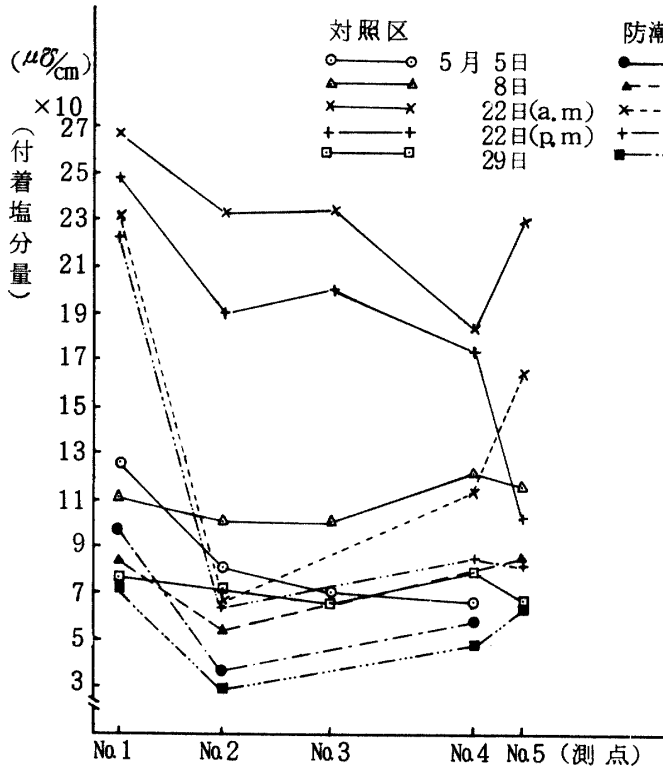


図 50. 現存防潮林による飛塩付着量の制御

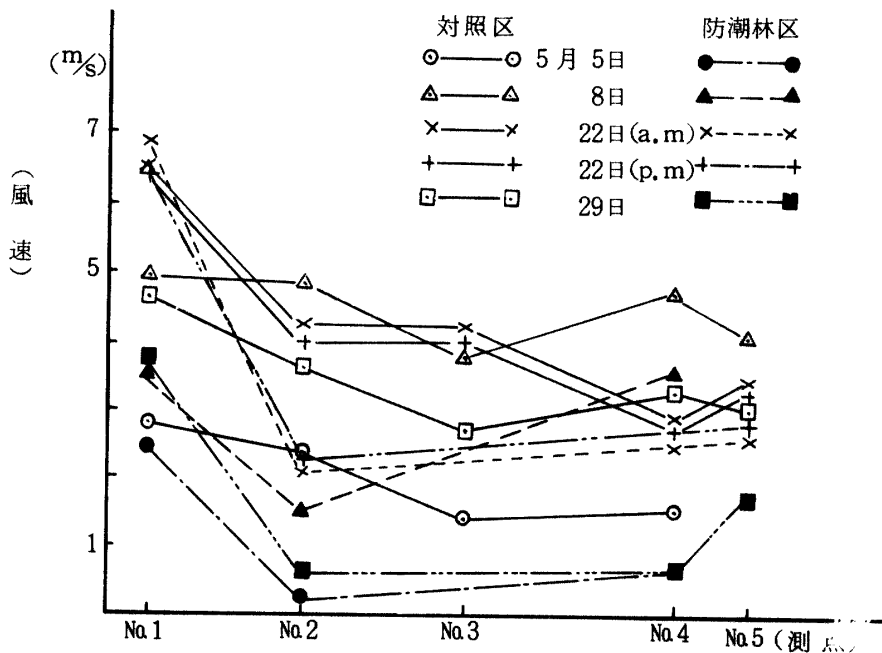


図 51. 現存防潮林による風速分布の変化

また、対照区の各測点における付着塩分量を Q_s 、風速を V_s とし、これに対応する防潮林区の各測点における付着塩分量を Q_i 、風速を V_i とすれば、防潮林区の各測点における減塩減風率は次式で示される。

すなわち、

$$\text{減塩率} = \left(1 - \frac{Q_i}{Q_s}\right) \times 100 \dots\dots (7 \cdot 1)$$

$$\text{減風率} = \left(1 - \frac{V_i}{V_s}\right) \times 100 \dots\dots (7 \cdot 2)$$

これらの式によって減塩減風率を計算すれば表33および表34のような結果になる。

表33. 北中城村渡口海岸における現存防潮林による飛塩量の制御

測定年月日	測 点		塩分付着量 ($\mu\text{g}/\text{cm}$)		減塩率 (%)
	対照区	防 潮 林 区	対 照 区	防 潮 林 区	
'73. 5. 5	No. 1	防潮林の風上側直前	1.265×10^2	0.985×10^2	22.13
	No. 2	防潮林内	0.810×10^2	0.385×10^2	52.45
	No. 4	防潮林の風下側75 m	0.650×10^2	0.585×10^2	10.00
5. 8	No. 1	防潮林の風上側直前	1.110×10^2	0.840×10^2	24.32
	No. 2	防潮林内	1.025×10^2	0.545×10^2	46.83
	No. 4	防潮林の風下側75 m	1.215×10^2	0.715×10^2	41.15
	No. 5	防潮林の風下側100 m	1.165×10^2	0.855×10^2	26.61
5. 22 a. m	No. 1		2.695×10^2	2.320×10^2	13.91
	No. 2		2.320×10^2	6.805×10^2	70.67
	No. 4		1.815×10^2	1.150×10^2	36.64
	No. 5		2.290×10^2	1.650×10^2	27.95
5. 22 p. m	No. 1		2.485×10^2	2.255×10^2	9.26
	No. 2		1.905×10^2	6.475×10	66.01
	No. 4		1.735×10^2	7.515×10	56.68
	No. 5		1.025×10^2	7.450×10	28.29
5. 29	No. 1		7.690×10	9.980×10	-29.78
	No. 2		7.130×10	3.035×10	57.43
	No. 4		7.065×10	4.835×10	31.56
	No. 5		6.630×10	6.555×10	1.13

表 34. 北中城村渡口海岸における現存防潮林による風速分布の変化

測定年月日	測 点		風 速 (m/s)		減 風 率 (%)
	対 照 区	防 潮 林 区	対 照 区	防 潮 林 区	
'73. 5. 5	Na 1	防潮林の風上側直前	2.74	2.54	7.30
	Na 2	防潮林内	2.34	0.20	91.45
	Na 4	防潮林の風下側 75 m	1.57	0.72	54.14
5. 8	Na 1	防潮林の風上側直前	4.86	3.44	29.22
	Na 2	防潮林内	4.79	1.48	59.10
	Na 4	防潮林の風下側 75 m	4.69	3.55	24.31
	Na 5	防潮林の風下側 100 m	4.02	2.72	32.33
5. 22 a. m	Na 1		6.52	6.79	- 4.14
	Na 2		4.23	2.10	50.35
	Na 4		2.92	2.48	15.06
	Na 5		3.39	2.64	22.12
5. 22 p. m	Na 1		6.50	6.49	0.15
	Na 2		3.94	2.30	41.62
	Na 4		2.78	2.75	1.08
	Na 5		3.29	2.78	15.50
5. 29 p	Na 1		4.70	3.72	20.85
	Na 2		3.61	0.63	82.55
	Na 4		3.33	0.77	76.88
	Na 5		2.98	1.72	42.28

1) 防潮林による風速分布の変化

これまでの研究によって飛塩付着量は、風速との間に密接な関連のあることが明らかであるから、まず防潮林による風速分布の変化について述べる。

図 51 および表 34 によれば、風速分布は、防潮林の風上側直前においても変化しており、風下側においては防潮林区は対照区に対して、いずれの測点でも風速は著しく減少している。

各測点における防潮林の風速分布に与える影響は、防潮林の直前で 10.68% の平均減風率であり、防潮林内が最大で平均減風率は 65.01% に達し、防潮林の後方 75 m では 34.30%、100 m 後方における平均減風率は 28.06% で、防潮林から離れるにつれてこの程度に風速に与える影響は小さくなる。例外的に 5 月 22 日午前では、防潮林の風上側直前の減風率が負になっている。これは防潮林の風上側直前の風速が対照区の風速よりも増大していることを意味する。風が障害物を越えるさいには、その直前で渦動が起りやすく⁵⁸⁾、また測定中に多少の風向の変動があると、防潮林直前を横方向に風が走るために風速が増大することもありうると考えられる。

2) 防潮林による飛塩付着量の制御

図 50 および表 33 によれば、減塩効果も減風効果と同様に防潮林の風上側直前において平均 8% 位、防潮林内が最大で平均 59% 位、防潮林から風下に離れるにつれて小さくなって、風下 75 m では平均 35% 位、風下 100 m では平均 21% 位、それぞれ防潮林区の値が対照区の値に比較して付着塩分量を減少する。

5 月 29 日の測定において、防潮林の風上側直前で減塩率が負になっている。これは防潮林区の風上

側直前が、これに対応する対照区の測点よりも付着塩分量が多かったことを意味する。海岸近くにおける障害物付近の付着塩分量は、海からの風が上陸直前に前述のごとく、加速される場合のあること、碎波に由来する大粒の飛沫の影響があることなどによって防潮林直前で増加することもありうるものと考えられる。

II 知念村久手堅防潮林の場合

1 測定場所および測定方法

1) 測定場所

太平洋側に面した沖縄島南部の知念村久手堅海岸沿いにある防潮林を選定した。海岸線は北東～南西に走り、海岸線には高さ1.50 mのコンクリート護岸があり、護岸直後には幅員4 mの車の往来の少ない農道がある。この道路に沿ってオオハマボウを主林木としアダンの点在する厚さ(幅)9 m、長さ115 mの防潮林帯がある。平均樹高は6 mで、うっ閉度の密な林である。

図52のように、地形は林帯後方40 mまでは平坦であるが、その後方80 mの地点で約0.5 m、120 m地点で1.0 m、140 mの地点では約2.5 mの高低差のある緩勾配のサトウキビ畑をなしている。さらにその後方50 m位からは比較的急勾配のチガヤ(*Imperata cylindrica* var. *koenigii* Benth.)を主とする原野となっている。

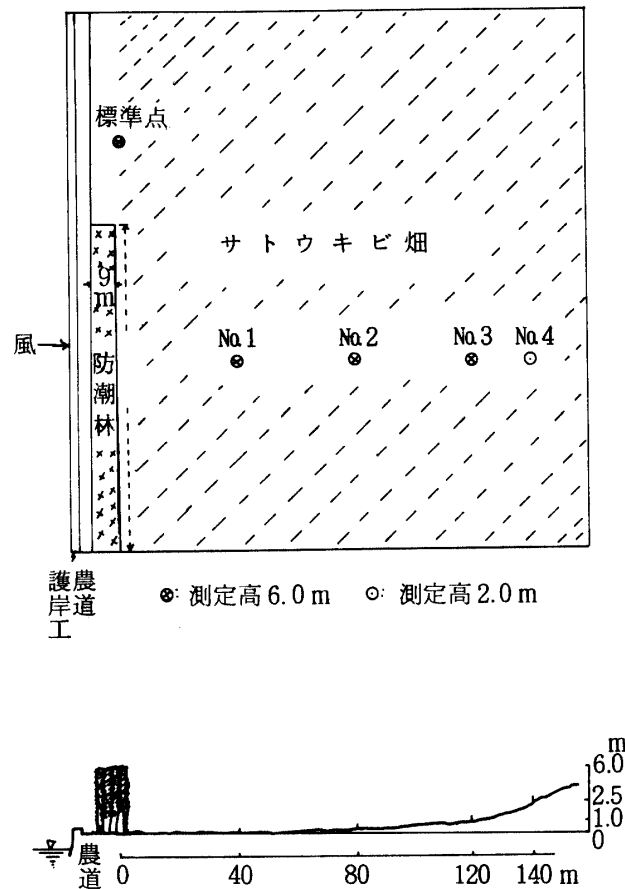


図52. 知念村久手堅海岸における測定地略図

2) 測定方法

付着塩分量は、第7章第1節、Iの場合と同様、図52のように標準点および防潮林区のNo.1点からNo.3点には高さ1m、2m、4m、6m、No.4点には高さ2mにガーゼ採塩器を設置して飛塩を付着させ、比電導度法で塩分量を計測した。

風速は、ガーゼ採塩器に隣接して理工研式小型ロビンソン風測計を設置して計測したが、No.4点だけは中浅式三杯自記風測計によった。

付着塩分量は、風速計の設置と同時に各風速計に隣接してガーゼ採塩器を設置して付着させ、その量を電導度計法で計測した。

2 測定結果

図52のように海岸近くに標準点を設け、防潮林後方の各測点における付着塩分量および風速の測定結果を表35および表36にまとめた。また、防潮林の減塩減風作用を明らかにするために、各測点における付着塩分量および風速を縦軸に、各測点を横軸にとって図示すれば図53および図54のようである。

また、この場合の減塩減風率を前同様に式(7・1)および(7・2)で算出して、表35および表36中にまとめた。

表35(1). 知念村久手堅における現存防潮林による飛塩量の制御

測定回数	標準点 ($\mu\sigma/cm$)	防潮林区 ($\mu\sigma/cm$)				減塩率 (%)				
		No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	
6m	1	3.210×10^2	2.110×10^2	1.745×10^2	2.030×10^2					
	2	3.635×10^2	2.165×10^2	1.700×10^2	1.925×10^2	34.27	45.64	36.76		
	3	7.010×10^2	4.905×10^2	4.950×10^2	4.900×10^2	40.40	53.23	47.04		
	4	1.370×10^3	6.340×10^2	5.740×10^2	5.130×10^2	30.03	29.39	30.10		
	5	1.100×10^3	6.400×10^2	4.915×10^2	4.140×10^2	53.72	58.10	62.55		
	6	5.545×10^2	3.425×10^2	2.660×10^2	2.175×10^2	41.82	55.32	62.36		
	7	5.265×10^2	2.715×10^2	2.325×10^2	2.260×10^2	38.23	52.03	60.78		
	8	2.060×10^2	1.300×10^2	1.410×10^2	1.205×10^2	48.43	55.84	57.08		
平均	6.248×10^2	3.670×10^2	3.181×10^2	2.971×10^2	36.89	31.55	41.50			
					41.26	49.09	52.45			
4m	1	3.715×10^2	1.565×10^2	1.435×10^2	1.595×10^2	57.87	61.37	57.07		
	2	2.920×10^2	1.515×10^2	1.320×10^2	1.685×10^2	48.12	54.79	42.29		
	3	7.850×10^2	3.945×10^2	3.770×10^2	4.015×10^2	49.75	51.97	48.85		
	4	1.265×10^3	4.775×10^2	4.445×10^2	4.275×10^2	62.25	64.86	66.21		
	5	1.125×10^3	5.160×10^2	3.815×10^2	3.400×10^2	54.13	66.09	69.78		
	6	5.445×10^2	2.825×10^2	2.045×10^2	1.795×10^2	48.12	62.44	67.03		
	7	4.495×10^2	2.255×10^2	1.825×10^2	1.800×10^2	49.83	59.40	59.96		
	8	1.925×10^2	1.150×10^2	1.700×10^2	1.105×10^2	40.26	11.69	42.60		
平均	6.281×10^2	2.899×10^2	2.544×10^2	2.459×10^2	53.84	59.50	60.85			
2m	1	2.250×10^2	9.355×10	8.300×10	1.130×10^2	1.520×10^2	58.42	63.11	49.78	32.44
	2	2.200×10^2	8.635×10	9.040×10	1.150×10^2	1.565×10^2	60.75	58.91	47.73	28.86
	3	7.425×10^2	1.905×10^2	2.395×10^2	2.500×10^2	3.430×10^2	74.34	67.74	66.33	53.80
	4	9.350×10^2	2.515×10^2	2.845×10^2	2.555×10^2	3.520×10^2	73.10	69.57	72.67	62.35
	5	8.890×10^2	2.575×10^2	2.625×10^2	2.345×10^2	3.030×10^2	71.03	70.47	73.62	65.92
	6	4.235×10^2	1.595×10^2	1.435×10^2	1.150×10^2	1.870×10^2	62.34	66.12	72.85	55.84
	7	3.580×10^2	1.230×10^2	1.420×10^2	1.290×10^2	1.565×10^2	65.64	60.34	63.97	56.28
	8	1.760×10^2	6.660×10	7.570×10	7.715×10	1.005×10^2	62.16	56.99	56.16	42.90
平均	4.961×10^2	1.536×10^2	1.651×10^2	1.611×10^2	2.188×10^2	69.04	66.72	67.53	55.90	

表35(2). 続

測定回数	標準点 ($\mu\sigma/cm$)	防潮林区 ($\mu\sigma/cm$)				減塩率 (%)			
		No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4
1	1.745×10^2	5.235×10	5.645×10	4.900×10		70.00	67.65	71.92	
2	1.535×10^2	4.875×10	6.195×10	4.150×10		68.24	59.64	72.96	
3	4.870×10^2	5.835×10	1.235×10	6.495×10		88.02	74.64	86.66	
4	6.465×10^2	6.190×10	1.645×10	5.155×10		90.43	77.34	92.03	
1m 5	5.870×10^2	4.665×10	1.230×10	7.245×10		92.05	79.05	87.66	
6	3.010×10^2	6.215×10	8.430×10	8.090×10		79.35	71.99	73.12	
7	2.555×10^2	3.055×10	9.060×10	6.935×10		88.04	64.54	72.86	
8	1.850×10^2	4.180×10	4.370×10	4.865×10		77.41	76.38	73.70	
平均	3.488×10^2	5.031×10	9.125×10	5.979×10		85.58	73.84	82.86	

表36(1). 知念村久手堅における現存防潮林による風速分布の変化

測定回数	標準点 (m/s)	防潮林区 (m/s)				減風率 (%)			
		No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4
1	5.08	3.98	3.47	4.15		21.65	31.69	18.31	
2	5.47	3.79	3.40	4.26		30.71	37.84	22.12	
3	5.02	4.23	3.53	4.17		15.74	29.68	16.93	
4	5.35	3.80	3.85	4.38		28.97	28.04	18.13	
6 m 5	4.93	4.00	3.86	4.20		18.86	21.70	14.81	
6	4.03	3.68	3.11	3.62		8.68	22.83	10.17	
7	3.88	3.72	2.86	3.03		4.12	26.29	21.91	
8	2.78	2.26	2.49	2.87		18.71	10.43	-3.24	
平均	4.57	3.68	3.32	3.84		19.47	27.35	15.97	
1	4.12	3.13	2.47	3.66		24.03	40.05	11.17	
2	4.48	2.98	3.04	3.70		33.48	32.14	17.41	
3	4.46	3.07	3.22	3.47		31.17	27.80	22.20	
4	4.85	3.34	3.50	3.72		31.13	27.84	23.30	
4 m 5	4.54	3.52	3.59	3.60		22.47	20.93	20.70	
6	3.79	3.23	3.16	3.12		14.78	16.62	17.68	
7	3.60	2.81	2.61	2.62		21.94	27.50	27.22	
8	2.64	1.98	2.07	2.55		25.00	21.59	3.41	
平均	4.06	3.01	2.96	3.31		25.86	27.09	18.47	
1	3.01	2.28	2.48	3.09	2.98	24.25	17.61	-2.66	1.00
2	3.23	2.17	2.22	3.09	2.97	32.82	31.27	4.33	8.05
3	3.88	1.89	2.44	2.86	2.51	51.29	37.11	26.29	35.31
4	4.21	2.43	2.75	3.12	2.74	42.28	34.68	25.89	34.92
2 m 5	4.05	2.53	2.80	2.99	2.67	37.53	30.86	26.17	34.07
6	3.60	2.32	2.49	2.65	2.13	35.56	30.83	26.39	40.83
7	3.34	1.78	1.98	2.16	1.43	46.71	40.72	35.33	57.19
8	2.62	1.53	1.84	2.26	1.79	41.60	29.77	13.74	31.68
平均	3.49	2.12	2.38	2.78	2.40	39.26	31.81	20.34	31.23

表 36(2). 続

測定回数	標準点 (m/s)	防潮林区 (m/s)				減風林 (%)			
		No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4
1	2.73	1.51	2.01	2.35	44.69	26.37	13.92		
2	2.79	1.15	1.85	2.28	58.78	33.69	18.28		
3	3.16	1.02	1.81	2.30	67.72	42.72	27.22		
4	3.49	1.17	2.02	2.50	66.48	42.12	28.37		
1 m 5	3.34	1.14	2.05	2.29	65.87	38.62	31.44		
6	2.95	1.05	1.80	2.08	64.41	38.98	29.49		
7	2.75	0.92	1.33	1.84	66.55	51.64	33.09		
8	2.28	1.08	1.33	1.87	52.63	41.67	17.98		
平均	2.94	1.13	1.78	2.19	61.56	39.46	25.51		

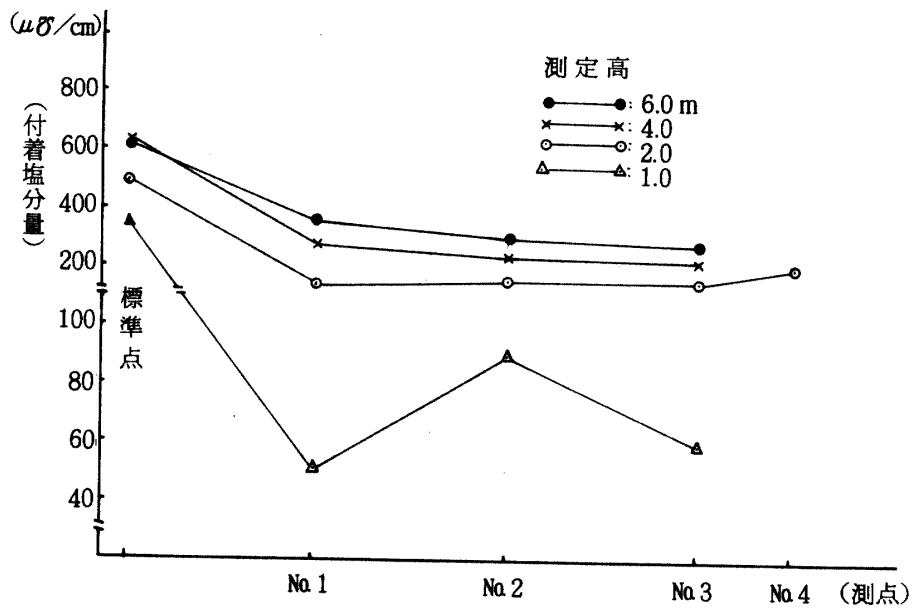


図 53. 知念村久手堅における現存防潮林の飛塩付着量制御

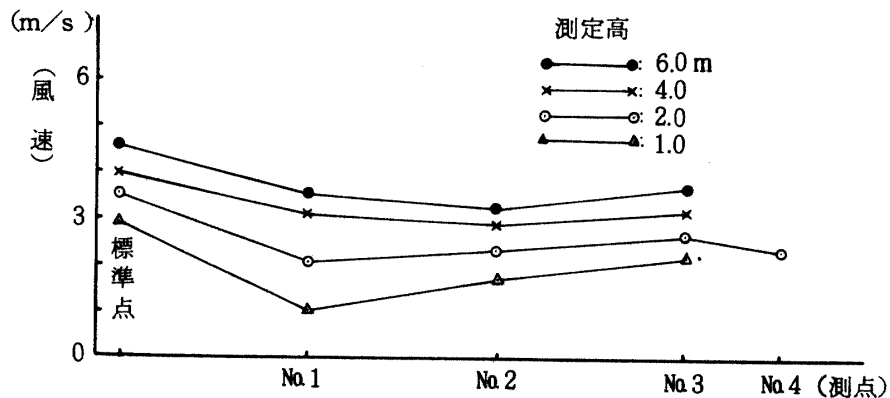


図 54. 知念村久手堅における現存防潮林の風速制御

1) 防潮林による風速分布変化

表36および図54によれば、防風林区は、各測点において高さ1 m, 2 m, 4 m, 6 mのいずれの高度においても標準点より風速が減少している。

測定高度による減風率の差異を明らかにするために縦軸に減風率を、横軸に防風林からの距離を樹高の倍数でとって図示すれば図55のようである。

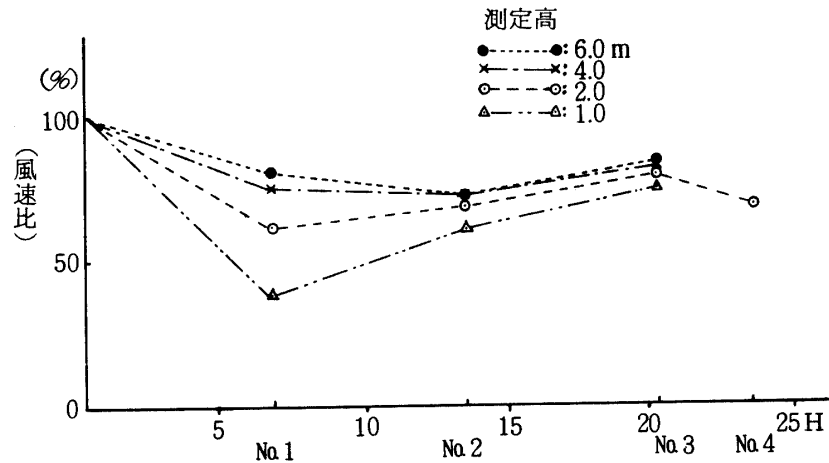


図55. 知念村久手堅における現存防風林による減風率

図55によれば、減風率は測定高度が高い4 m, 6 mでは防潮林からはなれて遠いNo. 2点にその最大値があり、測定高が低い1 m, 2 mではその最大値は防潮林に近いNo. 1になる。一般にどの測点においても測定高度が低くなるにつれて減風率が大きくなる。防潮林の後方140mの測点(樹高の約23倍)の高さ2 mにおいても30%以上減風率が認められる。

2) 防潮林による飛塩付着量の制御

表35および図53によれば、防潮林による減塩効果は各測点において認められ、標準点に対する防潮林区の各測点の減塩率は、測定高度が低くなるほど大きくなる。また、測定高度による減塩率の最大値は、高さ4 m, 6 mではNo. 3, 1 m, 2 mではNo. 1で減風率よりも防潮林からはなれた遠い距離でその最大値があらわれる傾向があり、測定高度が低くなるにつれて防潮林に近いところで減塩率の最大値があら

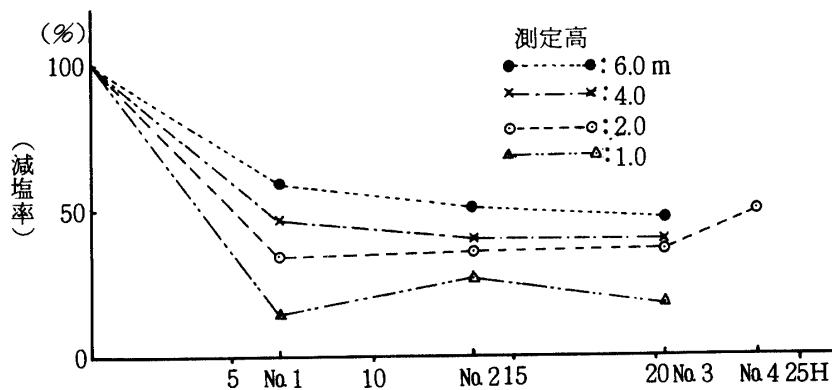


図56. 知念村久手堅における現存防潮林による減塩率

われるようである。

各測定高さにおける減塩率の変化を明らかにするために縦軸に減塩率を、横軸に防潮林からの距離を防潮林の高さの倍数でとって図示すれば図56のようである。減塩率は、減風率よりも大きくて、前述の北中城村渡口における実験結果と矛盾するようであるが、この点については第3節で考察することにする。

第2節 防風ネットによる飛塩量の制御

海岸沿いの埋立地において、一般に農地の防風用に利用されているビニール製の防風ネットを立てて、その風下側における飛塩量および風速を測定し、また、それぞれの測点に対応して防風ネットの影響をうけないところにおける飛塩量および風速を測定して、それらの結果を比較検討して防風ネットの減塩減風作用について考究し、防風ネットによる飛塩量の制御について究明しようとするものである。

I 佐敷村津波古海岸における場合

1 測定場所および測定方法

1) 測定場所

測定値をより正確にするためには、測定地背後のある区間には空気の流線に乱れを生じさせるような地物および地形の凹凸がないことが必要であり、また、海上からの風が海岸線に直角に吹くことが望ましい。

そこで防風ネットの減塩減風作用については、佐敷村津波古（通称、馬天）海岸の埋立地において測定した。ここは図57のように海岸線から平坦な埋立地であり、そこへ防風ネットを2列に配置した場合および3列に配置した場合に、その背後の減塩減風作用にどのような差異があるかを測定した。防風ネットとしては一般に農業用に使用されているビニール製の高さ4 m、長さ15 mのものを海からの風と直角にはり、その背後の付着塩分量および風速を測定した。これに対応して防風ネットの影響のないところにおける付着塩分量および風速も同時に測定し、それらの結果から防風ネットの減塩減風効果について検討し、防風ネットによる飛塩量の制御および風速分布の変化について究明しようとする。ここにおける海からの風は北東の風の場合であり、1972年7月16日から7月19日間に測定を実施した。

2) 測定方法

付着塩分量は、図57のように防風ネットの風上測30 m、ネット間およびネットの風下測のそれぞれの測点に地上高0.2 m、2.0 m、4.0 m、6.0 m となるようにガーゼ採塩器を設置して、付着塩分を比電導度法で計測した。

風速は、ガーゼ採塩器を設置すると同時に、それらに隣接して理工研式小型ロビンソン風速計を、高さ2 mには中浅式三杯風速計を設置して観測した。

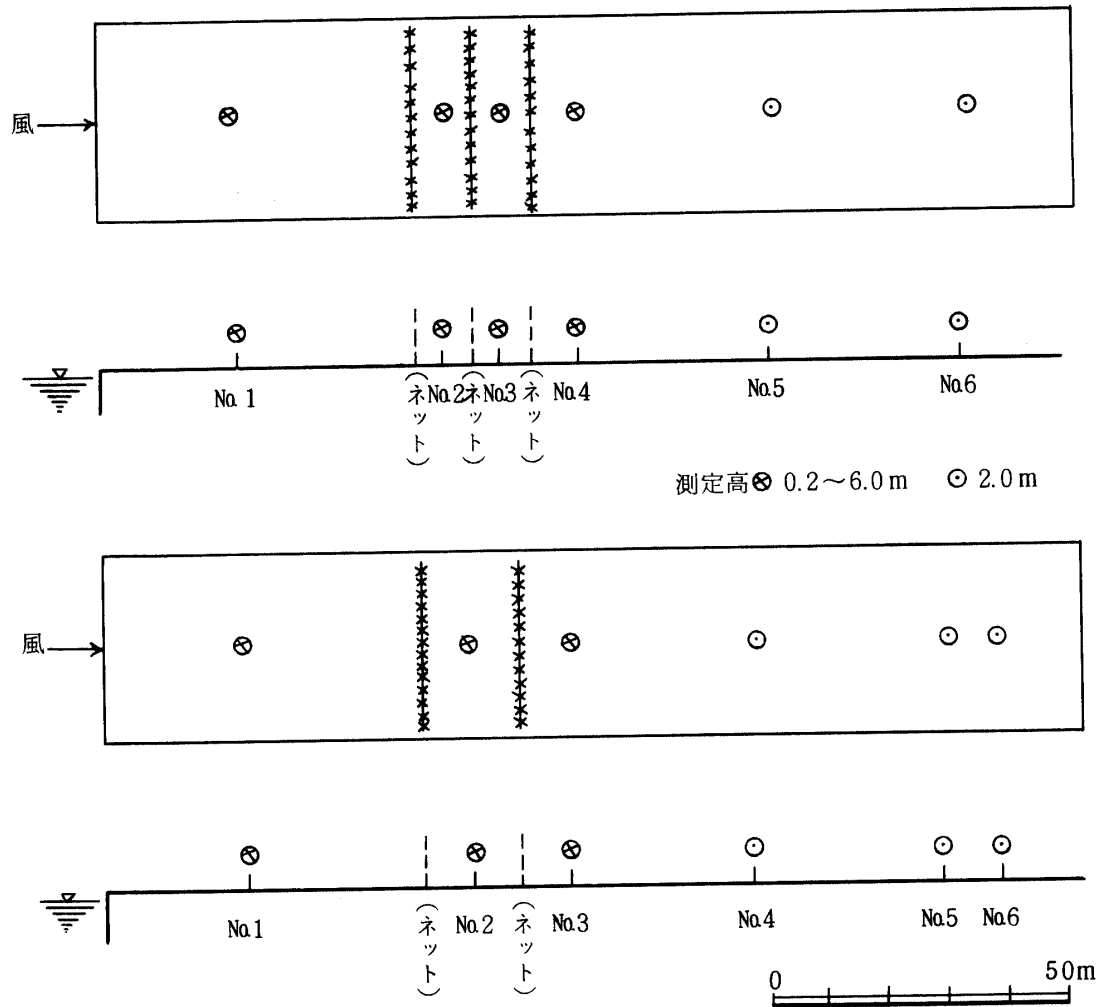


図57. 佐敷村津波古海岸における測定地略図

2 測定結果

1) 防風ネットを3列および2列に配置した場合の風速分布の変化³³⁾

防風ネットを3列および2列に配置したとき、その背後における風速を測定した結果から、風速分布の変化を明らかにするために縦軸に風速を、横軸にネットからの距離をとって図示すれば図58. a) および b) のような結果をうる。

図58. a) および b) によれば、防風ネットを3列にはった場合も2列にはった場合も、各測点においてネットによる風速の減少が認められる。高さ6.0 m および 4.0 m では風速の減少は小さいが 2.0 m および 0.2 m では風速の減少が大きい。

測定高が低くなるほど風速の制御作用が大きくなり、したがって減風量が大きくなる。防風ネットを3列にはった場合は、2列にはった場合に比較してネット直後の減風量は大きい。風速がもとへ回復する速度がはやく、ネット風下の減風域が狭い。ところが、防風ネットを2列にはった場合は、ネット直後の減風量は小さいが、その後の風速がもとへもどる速度が遅く、ネットの風下側における減風域が広くなるのが認められる。

また、防風ネットの風上側30 mで、ネットの影響を受けないNo. 1点を基準にしてその点に対する各測点の高さ2.0 mにおける減風率を算出してみると、図58. a) および b) のようになる。防風ネットを

3列にはった場合はNo 2点で15%, No 3点で31%, No 4点で56%, No 5点で32%, No 6点で25%である。防風ネットを2列にはった場合はNo 2点で30%, No 3点で44%, No 4点で41%, No 5点で29%, No 6点で28%であり、いずれの場合も、ネットに近いほど減風率が大きくネットから離れるに

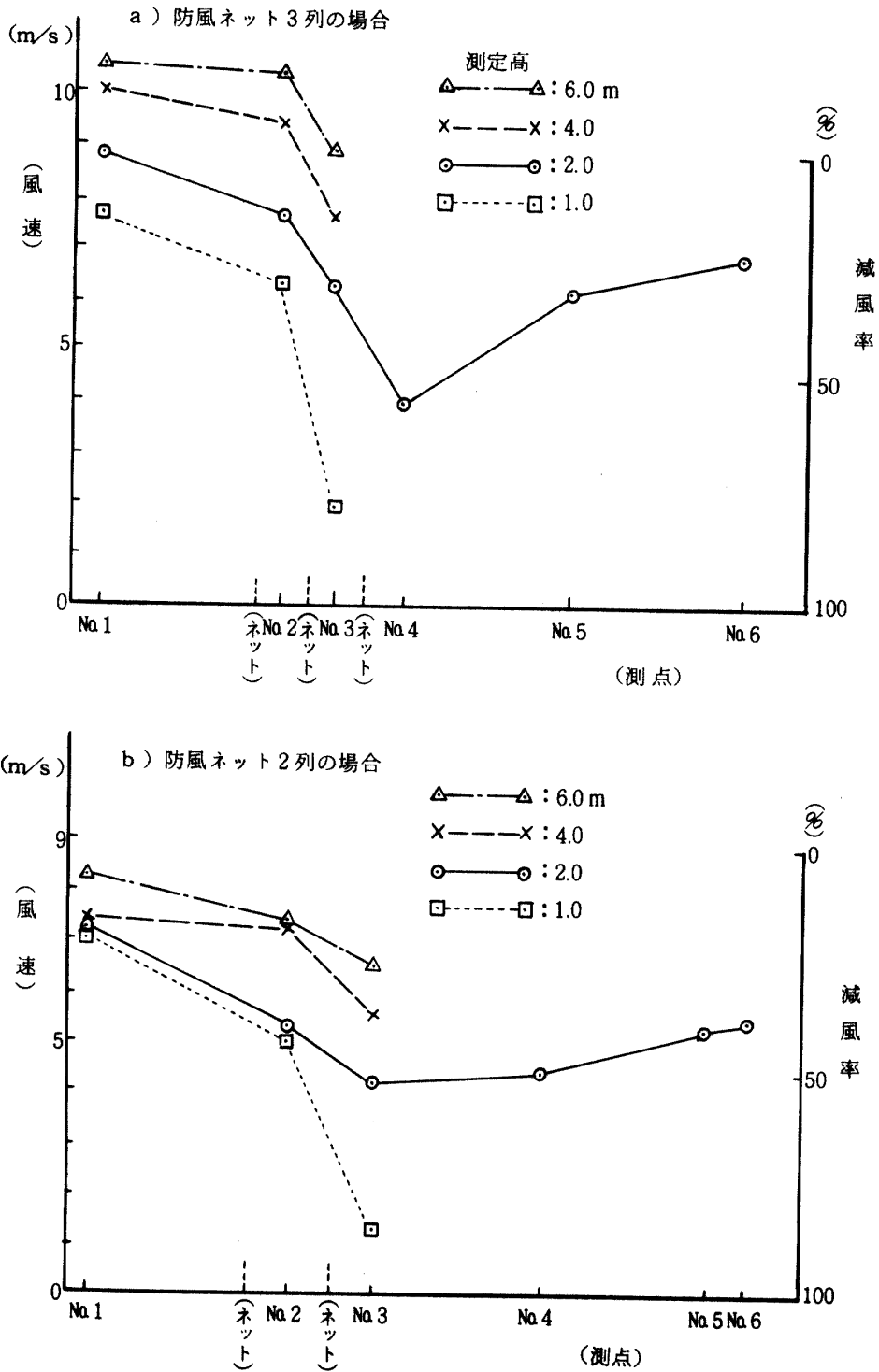


図58. 防風ネットによる風速分布の変化

つれて減風率が小さくなる。すなわち、防風ネットを2列にはった場合も、3列にはった場合も防風ネットに近いほど風速の減少効果は大きく、ネットから離れるにつれて風速の制御作用は小さくなることが示されている。

2) 防風ネットを3例および2例に配置した場合の付着塩分量の制御³³⁾

防風ネットを2列および3列にはった場合、その背後の減塩効果を明らかにするために縦軸に付着塩分量を、横軸に防風ネットからの距離をとって図示すれば図59. a) および b) のような結果をうる。

図59. a) および b) によれば、ネットによる減塩効果は各測点において認められ、測定高度が低くなるほど減塩効果は大きくなる。しかし、高さ6.0 mおよび4.0 mにおいてはネット間とネット直後で多少付着塩分量が増加する傾向にある。

ネットによる飛塩量の制御状態を明らかにするために、防風ネットの影響をうけない風上側30 mのNo. 1点の付着塩分量を基準として、各測点の高さ2.0 mにおける減塩率を算出すれば、防風ネットを3列にはった場合はNo. 2点で35%、No. 3点で53%、No. 4点で57%、No. 5点で51%、No. 6点で41%であ

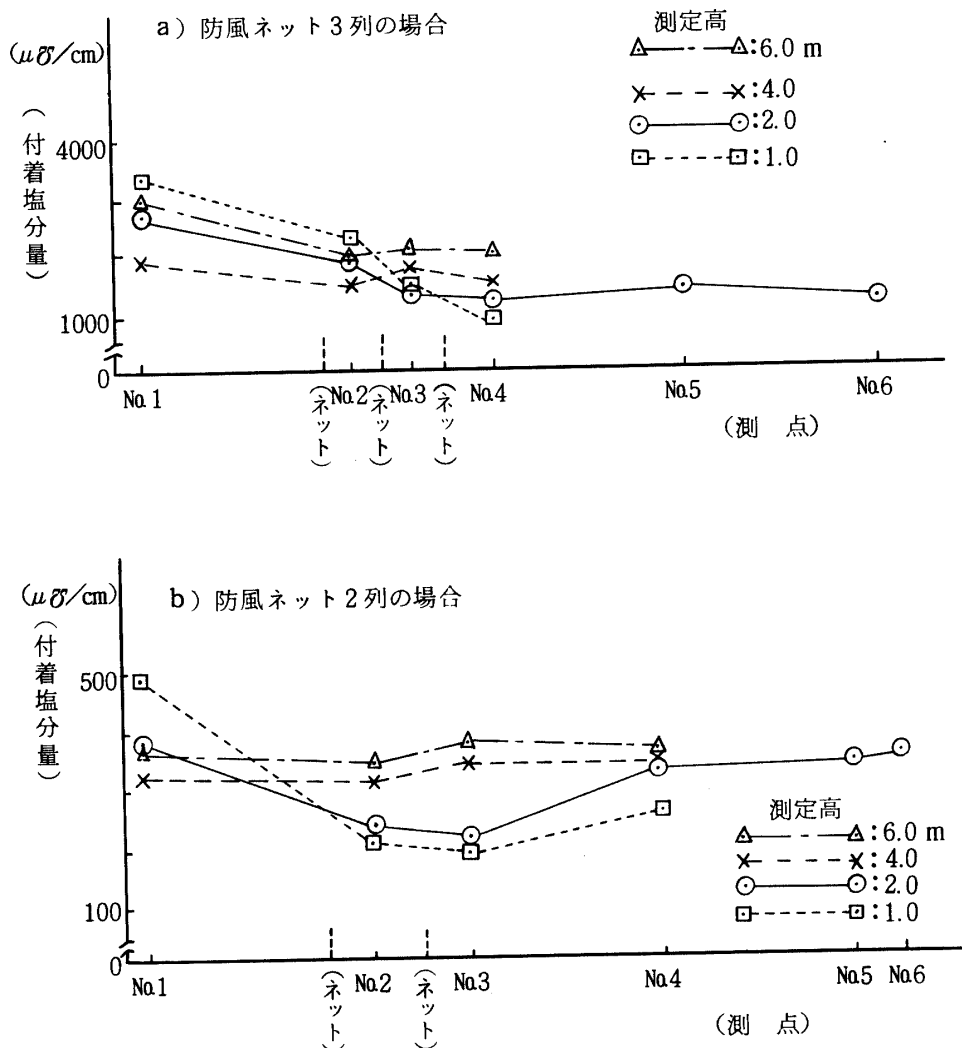


図59. 防風ネットによる飛塩付着量の制御

るのに対し、防風ネットを2列にはった場合はNa 2点で38%、Na 3点で41%、Na 4点で13%、Na 5点で12%、Na 6点で8%とほとんどもとへ回復してしまい、防風ネット2列に対し1列増設して3列に配置することは減塩作用に大きな効果があるようである。

減塩効果も減風効果と同様に防風ネットに近いほど大きく、ネットから離れるにつれて小さくなる。

防風ネットを3列にはった場合は、2列にはった場合に比較して風下側における減塩域が広く、もとへ回復する速度も遅い。しかし、防風ネットを2列にはった場合は、もとへ回復する速度がはやく、ネットの風下側における減塩域が狭い。

II 北中城村伊舎堂海岸における場合

1 測定場所および測定方法

1) 測定場所

太平洋側に面した北中城村伊舎堂海岸の埋立地で、平坦な場所において図60のように、前と同様の目的で実験した。ネットの影響をうけないところに対照区を設けた。

ネット区には、高さ4 m、長さ15 mの一般に農業用に使用されている防風ネットを3列に風向きと直角にはり、その中央部においてネットの風上側 20 mおよびネットの風下側 60 m、80 m、88 m のところにそれぞれNa 2、Na 3、Na 4の測点を設けた。対照区にも、それぞれの測点と対応して測点を設け、それらの各測点において飛塩付着量および風速を測定した。海からの風は東北東の風向で、この風向の場合に測定をするようにし、1973年6月9日、10日に実施した。なおネットの風下側40 mのところでは風速のみ測定した。

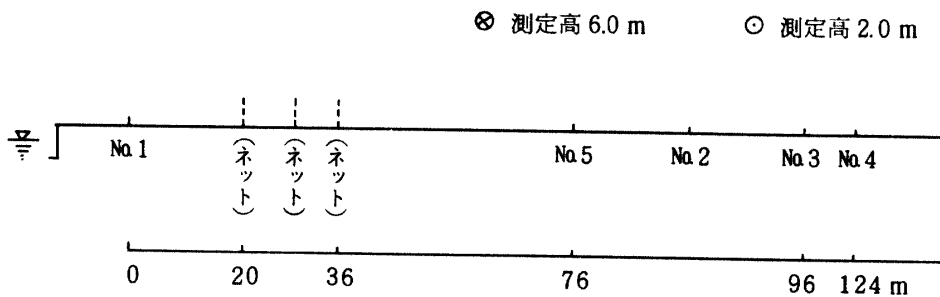
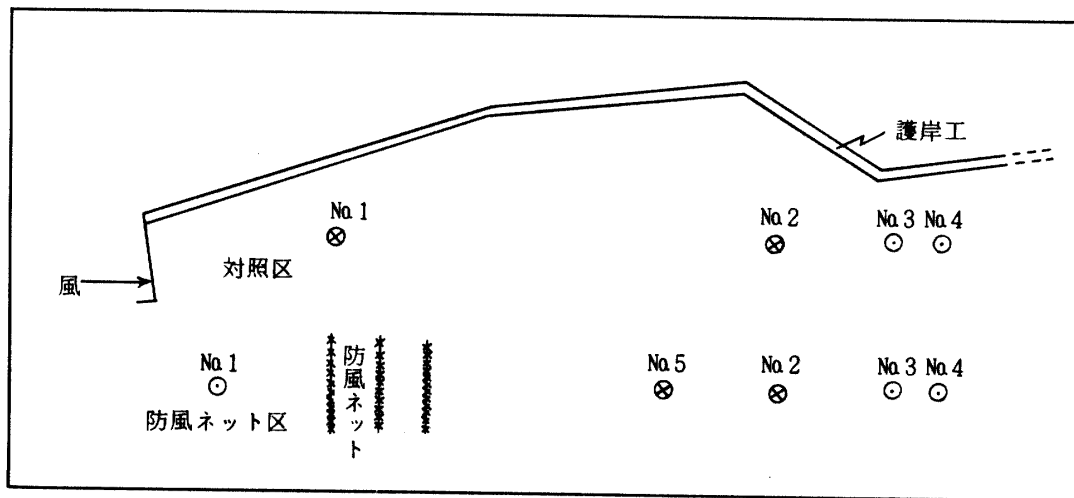


図60. 北中城村伊舎堂海岸における測定地略図

2 測定結果

こゝでは、防風ネットによる飛塩量および風速の制御機能を明らかにするために、ネット区とネットの影響をうけない対照区を設けて付着塩分量を測定した結果、対照区のNo.1点における結果は表37のようであり、これに対する各測点の減塩減風率は次の考えにしたがって整理し、検討した。

表37. 対照区No.1点における風速および付着塩分量

測定 年月日	測定 高(m)	風速(m/s)		付着塩分量($\mu\sigma/cm$)	
		a · m	p · m	a · m	p · m
'73.6.9	6	11.14	11.11	9.440×10^2	8.480×10^2
	4	10.94	10.65	9.430×10^2	8.450×10^2
	2	10.07	9.81	6.185×10^2	6.290×10^2
	1	9.54	9.07	3.805×10^2	3.135×10^2
'73.6.10	6	11.93	11.71	—	1.580×10^3
	4	10.54	10.04	7.230×10^2	1.490×10^3
	2	10.02	9.93	4.760×10^2	9.495×10^2
	1	9.08	8.99	3.195×10^2	6.160×10^2

すなわち、対照区のNo.1点の付着塩分量（あるいは風速）を V_0 、ネット区のネットのない状態で対照区No.1点に対応する測点の付着塩分量（あるいは風速）を V_1 、対照区の各測点の付着塩分量（あるいは風速）を Q_i 、ネット区の各測点の付着塩分量（あるいは風速）を W_i とすれば、

$$\text{塩分（あるいは風速）比} = \frac{Q_i}{V_0} \text{ および } \frac{W_i}{V_1} \dots\dots\dots (7 \cdot 3)$$

$$\text{減塩（あるいは減風）率} = \left(\frac{\frac{Q_i}{V_0} - \frac{W_i}{V_0}}{\frac{Q_i}{V_0}} \right) \times 100 \dots\dots\dots (7 \cdot 4)$$

であるが、 V_1 はネットをはった状態では測定が不可能である。しかし、対照区とネット区は同地で、同地形であり、しかも相隣接しているので $V_0 = V_1$ とすれば、(7・3)式および(7・4)式は次のようになる。

$$\text{塩分（あるいは風速）比} = \frac{Q_i}{V_0} \text{ および } \frac{W_i}{V_0} \dots\dots\dots (7 \cdot 5)$$

$$\text{減塩（あるいは減風）率} = \left(1 - \frac{W_i}{Q_i} \right) \times 100 \dots\dots\dots (7 \cdot 6)$$

により、(7・6)式にしたがって各測点における減塩減風率を算出して表38および表39にまとめた。なお、この(7・6)式は前述の(7・1)(7・2)と同じ意味のものになっている。

表38. 北中城村伊舎堂海岸における防風ネットによる飛塩量の制御

測定 年月日	測定 高 (m)	付着塩分量 ($\mu\sigma/cm$)		減塩率 (%)
		対照区	ネット区	
ネット前方20 m (No.1)				
'73. 6. 9 a・m	2	6.185×10^2	4.830×10^2	21.91
p・m		6.290×10^2	3.325×10^2	47.14
6. 10 a・m		4.760×10^2	2.110×10^2	55.67
p・m		9.495×10^2	5.590×10^2	41.13
ネット後方60 m (No.2)				
6. 9 a・m	6	8.095×10^2	7.255×10^2	10.38
p・m		8.070×10^2	7.615×10^2	5.64
10 a・m		1.155×10^3	1.015×10^3	12.12
p・m		1.275×10^3	1.120×10^3	12.16
6. 9 a・m	4	7.785×10^2	7.090×10^2	8.93
p・m		7.410×10^2	6.925×10^2	6.55
6. 10 a・m		1.015×10^3	8.930×10^2	12.02
p・m		1.325×10^3	1.005×10^3	24.15
6. 9 a・m	2	7.030×10^2	6.030×10^2	14.22
p・m		6.620×10^2	6.040×10^2	8.76
6. 10 a・m		9.740×10^2	7.550×10^2	22.48
p・m		1.180×10^3	8.100×10^2	31.36
6. 9 a・m	1	6.375×10^2	5.260×10^2	17.49
p・m		6.010×10^2	5.160×10^2	14.14
6. 10 a・m		8.135×10^2	6.170×10^2	24.15
p・m		9.025×10^2	7.045×10^2	21.94
ネット後方80 m (No.3)				
6. 9 a・m	2	6.795×10^2	6.220×10^2	8.46
p・m		6.735×10^2	6.035×10^2	10.39
6. 10 a・m		9.490×10^2	7.125×10^2	24.92
p・m		9.575×10^2	7.955×10^2	16.92
ネット後方88 m (No.4)				
6. 9 a・m	2	6.185×10^2	5.855×10^2	5.34
p・m		5.835×10^2	5.810×10^2	0.43
6. 10 a・m		9.265×10^2	8.690×10^2	6.21
p・m		9.105×10^2	8.090×10^2	11.15

表39. 北中城村伊舎堂海岸における防風ネットによる風速分布の変化

測 定 年 月 日	測 定 高 (m)	風 速 (m / s)		減 風 率 (%)
		対 照 区	ネ ッ ト 区	
ネット前方20 m (No.1)				
'73. 6. 9 a.m	2	10.07	6.36	36.84
p.m		9.81	4.67	52.40
6. 10 a.m		10.02	5.14	48.70
p.m		9.93	5.20	47.63
ネット後方60 m (No.2)				
6. 9 a.m	6	10.81	9.63	10.92
p.m		10.15	9.08	10.54
6. 10 a.m		11.47	8.67	24.41
p.m		11.08	7.36	33.57
6. 9 a.m	4	10.02	9.64	3.80
p.m		9.65	8.81	8.70
6. 10 a.m		10.01	8.36	16.48
p.m		9.45	7.34	22.33
6. 9 a.m	2	9.02	7.92	12.20
p.m		8.49	7.40	12.84
6. 10 a.m		9.92	7.87	20.67
p.m		9.63	7.16	25.65
6. 9 a.m	1	8.42	6.74	19.95
p.m		7.64	6.22	18.59
6. 10 a.m		8.93	6.86	23.18
p.m		8.52	6.05	28.99
ネット後方80 m (No.3)				
6. 9 a.m	2	6.49	6.77	2.45
p.m		6.41	6.16	3.90
6. 10 a.m		7.62	6.87	9.84
p.m		6.94	6.37	8.21
ネット後方88 m (No.4)				
6. 9 a.m	2	6.59	6.26	5.01
p.m		6.05	5.68	6.12
6. 10 a.m		6.94	6.54	5.76
p.m		6.08	5.81	4.44
ネット後方40 m (No.5)				
6. 10 a.m	6	11.47	7.30	36.36
p.m		11.08	5.90	46.75
6. 10 a.m	4	10.01	6.20	38.07
p.m		9.54	5.65	40.78
6. 10 a.m	2	9.92	5.18	47.78
p.m		9.63	5.07	47.35

1) 防風ネットによる風速分布の変化

表39によれば、防風ネットの風上側においても著しい風速の減少が認められる。これはNo 1点の位置がネット区と対照区では、海からの距離に差があることにも影響されていると考えられる。また、ネット区の風速は常に対照区の風速より小さいが、減風率は佐敷村での実験値よりは小さい。防風ネットの風下側40 mのところでは減風率が42%であったのに対し、80 mのところでは約6.1%と急激に減少し、88 m付近からは風速はほとんどとへもどっている。減風率は測定日によってかなりの差異があり、これは風速の乱れの差異や風速の強弱、ことに側方からの吹きこみなどによって左右されているものと考えられる。

2) 防風ネットによる飛塩量の制御

表38からいえることは、防風ネットによる飛塩量の制御機能もネットの風上側において認められる。ネット区はいずれの測点においても対照区に比較して付着塩分量が少なくなっている。

防風ネットによる飛塩量の制御効果も、ネットに近くなるほど大きく、ネットから離れるにつれて小さくなる。日時によって差異はあるが、ネットの風下側88 m (ネット高の22倍)の測点においても認められた。また、測定高度が低くなるほど減塩量は大きくなる。

第3節 付着塩分量の制御に関する考察ならびに結論

前章までの研究によって、飛塩の付着量は風速に強く支配されることが明らかとなっているので、本章では防風林および防風ネットによって付着塩分量がどの程度制御できるかを、風速分布と関連させながら検討した。そこでまず風速分布の変化から考察し、あとに塩分量の制御について論ずる。

I 防潮林および防風ネットによる風速分布の変化

一般に森林や垣の防風効果は、樹高や垣高を基準としてその何倍の範囲の前後におよぶかということを示されるが、それはその範囲までは無林地もしくは平坦地と比較して有意差があるとの意味の場合が大部分である。しかしながら、防潮や防砂を目的とする場合は、予測される強風時の計測値は、現状の何分の一に減少させる必要があるかということと考えなければならぬから、防風効果があるとされている範囲とは、おのずから差を生ずることがありうる。この点については次項で具体的に論ずることとする。

いま同じ防潮林について、最も多く反復して計測がおこなわれた知念村久手堅の場合の表36を、標準点の風速を横軸に、減風率を縦軸にとって図示すると図61のようになる。各計測値で極端にはなれた値は、実験式の相関係数なるべく高くなるように棄却し、残された5～7個の直について求めた実験式を記入しておいた。

ほとんどの相関係数は有意水準以上に達したから、各測点における減風率は標準点の風速の増大に比例して増加する傾向があるということになる。在来のこの種の研究の大部分のものは、標準点や対照区の観測値を基準として、それらとの比率で防風効果を示しているが、その減風率が風速によって変動するのではないかとしている例⁷⁴⁾はあっても、いかに変動するかを究明している例は見当たらないようである。これは確認するためには、他の観測例についても検討すればよいが、いずれも反復回数が4～5回にすぎず、それも平均値をとる都合で風速もほぼ一樣なときに観測しているから、明確な傾向はつかめなかった。そこで本論文では、定量的には平均値を用いているが、風速に比例して減風率が増減するという傾向は、知念村久手堅における観測に関しては、かなりの有意水準で明確であり、これは新知見といえるかもしれない。今後各地で、各種の方法で確認につとめたい。

さて防潮林や防風ネット周辺の風速分布については、標準点の風速に対する減風率と、対照区におけ

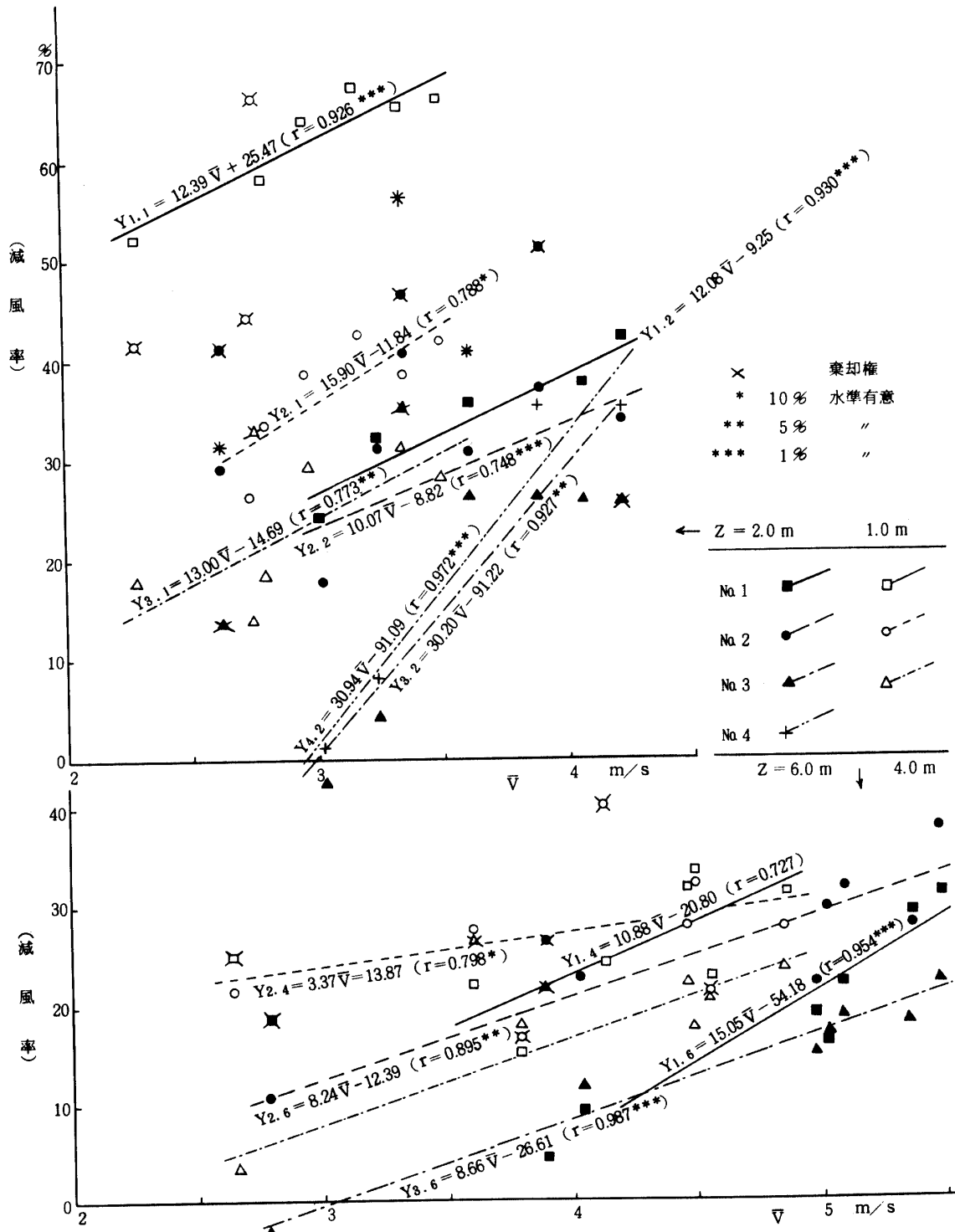


図61. 風速と減風率

る風速に対する減風率の、2通りの方法で示している。それらの効果をなるべく厳密に論ずるには後者がすぐれている。しかしそれには多大の労力、器材を必要とするので、やむをえなく前者によっている事例が多い。そこで本研究における両者の関係を見やすくするために、本章ならびに第3章での観測値の比較しうるものを整理すると、表40のようになる。

表40. 防潮林および防風ネットの減風率一覧表(%)

沖繩市泡瀬 (平たん地)							北中城村渡口 (防潮林)			
D (m)	Z=6.0m	4.0 m	2.0 m	1.0 m	0.2m	mean	D	H	対照区	防潮林区
0	0	0	0	0	0	0	0	林前	0	15 ± 13
100	9	8	2	-4	6	4 ± 5	56	林内	23 ± 15	76 ± 12
200	8	7	0	-8	12	4 ± 8	187	10.7	30 ± 19	61 ± 21
500	12	15	13	8	15	12 ± 3	212	14.3	38 ± 15	56 ± 8

知念村久手堅 (防潮林)							佐敷村津波古 (ネット) Z = 2.0 m			
D (m)	H	Z=6.0 m	4.0 m	2.0 m	1.0 m	mean	D	H	ネット3列	ネット2列
0	0	0	0	0	0	0	-30	7.5	0	0
40	6.7	18 ± 9	25 ± 6	39 ± 8	61 ± 8	36 ± 19	1, 2列ネット間		15	30
80	13.3	26 ± 8	23 ± 11	32 ± 7	40 ± 7	30 ± 8	2, 3列ネット間		31	
120	20	15 ± 8	18 ± 8	19 ± 13	25 ± 7	19 ± 4	8	2	41	44
140	23			30 ± 18			40	10	32	41
							72	18	25	29
							80	20		28

北中城村伊舎堂 (ネット)							対照区	
D(m)	H	Z=6.0m	4.0 m	2.0 m	1.0 m	mean	Z=2.0 m	2.0 m
-20	-5		46					
0	0	0	0	0	0	0		
40	10	41 ± 9	42 ± 2	49 ± 0		44 ± 4	2 ± 1	
60	15	24 ± 10	19 ± 6	24 ± 3	30 ± 4	24 ± 5	7 ± 6	
80	20	28 ± 30	18 ± 8	34 ± 3	25 ± 4	26 ± 7	31 ± 4	
88	22		39 ± 4			36 ± 6		

D：海岸線およびネットからの距離，Z：地上高，H：障害物高さの倍率

表40では各測点における、地表からの種々の高さにおける減風率の求められているものを左半分に、地上2mの値だけがわかるものを右半分に整理し、観測回数が多いものは平均値とその標準偏差を求めている。すべての減風率は、海岸近くの標準点とみなせる位置の同高の観測値に対するものに統一してある。したがって対照区との比較も表中でおこなうことができる。

障害物のない平たんな埋立地では、海岸線にある護岸の影響とみられる加速部分が一部にあるが、200m風下で5%、500m風下で10%程度の減風率である。防潮林区も渡口の場合のように厚さ100m以上もあるものでは、林内で75%、林帯の風下100m(樹高13.3倍)で55%位の減風率が地上2mの値でえられているが、久手堅のように厚さ10mもないものでは風下80m(樹高の13倍位)で30%程度である。ところが対照区としたサトウキビ畑では、同じ地上2mの値で海岸から50mはなれて20%、

200 mはなれると35%位の減風率があるから、この分を考慮に加えなければならない。そのサトウキビ畑も障害物のない平坦地の場合の減風率をさしひいて考えなければならないであろう。防風ネットの実験は平坦な埋立地でおこなっているから、障害物のない場合の地上2 mの風速と比較すれば、少なくとも25%、条件によっては45%、平均35%位の減風率が風下40 m(ネット高の10倍)程度の範囲に期待され、防潮林と大差ない防風効果がある。ただしネットは2重もしくは3重にはっている。なお、伊舎堂のネット風上20 mの測点では異常な値が示されているが、これは他の地物の影響と考えられ、しかもネットの全長は15 mしかないから、風下40 m以上では側方からの吹きこみもかなりあったものと考えられる。

森林の一般的な防風効果は、風上側では樹高の3倍、風下側では樹高の20~25倍とされている^{42, 45, 46, 58, 69, 88, 94}。中には樹高が高くなるほど大きくなるとの説⁴²もあり、北海道の防風林の風下側の有効距離Y(樹高Hの倍数)は次式によって示されるという。

$$\text{すなわち、 } Y = 1.42H + 12.8$$

ただしH(m)は、10 m以下の場合であるとされている。透風性のある種々の垣についての実験⁷⁴によれば、高さ1 m位の垣では、その高さの10倍を越すと防風効果の認められなくなる例が示されているから、障害物の高さによって有効範囲は変化する傾向があるのかもしれない。本論文は、防風効果を究明することは目的としていないので、これ以上の追求はしないが、以上の諸説によって防風効果のおよぶ範囲を求めれば表41のようになる。本研究では、それらと矛盾はない。

表41. 防風効果のおよぶ範囲

地名	樹高(H)	風上3H	風下20H	風下25H	(1.42H+12.8)×H
北中城村渡口	7 m	21 m	140 m	175 m	156.38 m
知念村久手堅	6	18	120	150	127.92

II 防潮林および防風ネットによる付着塩分量の制御

付着塩分量の制御については、砕波の飛沫を源とする比較的大径で湿った塩粒子と、主として海水中の気泡が水面で破裂することによって生ずる比較的小径で乾いた塩粒子との、両方に由来するものについて考慮しなければならない。前者は第3章で明らかにしたように、海岸から100~150 m位の距離でごく少なくなり、沖縄のようにサンゴ礁でかこまれた島ではあまり上陸しないが、海岸にごく近い計測値では無視できない。これまでの実験結果によれば、1,000 $\mu\text{g}/\text{cm}$ を越す値には前者が含まれており、それ以下のものはほとんど後者のみによっているものと考えられる。

再々述べてきたように、付着塩分量は風速の強弱に強く支配されていることが明らかである。同一点における計測値では、付着塩分量の常用対数値と風速が正比例し、対数法則が成立している。そこでまず本章における実験結果を風速との関連で整理して図示すれば、図62のようになる。

知念村久手堅の場合は、地面からの高さの異なる計測値を、各測点ごと一括して図示したが、全計測値を1集団とみなした対数回帰式が0.1%水準で有意となった。空中塩分のガーゼへの付着率が、この実験風速範囲ではほぼ一定であると仮定すれば、この結果は空中塩分濃度が地上1 mから6 mの間ではほとんど差がなく、付着塩分量は主として風速分布に支配されていることを示している。ただしどちらかといえば、上空のものが薄く、地面に近いものが濃いという傾向がみられる。回帰式右辺第1項の定乗数は内陸に入るにつれて増加し、同第2項の定加数はその逆になるという、一定の傾向を示している。

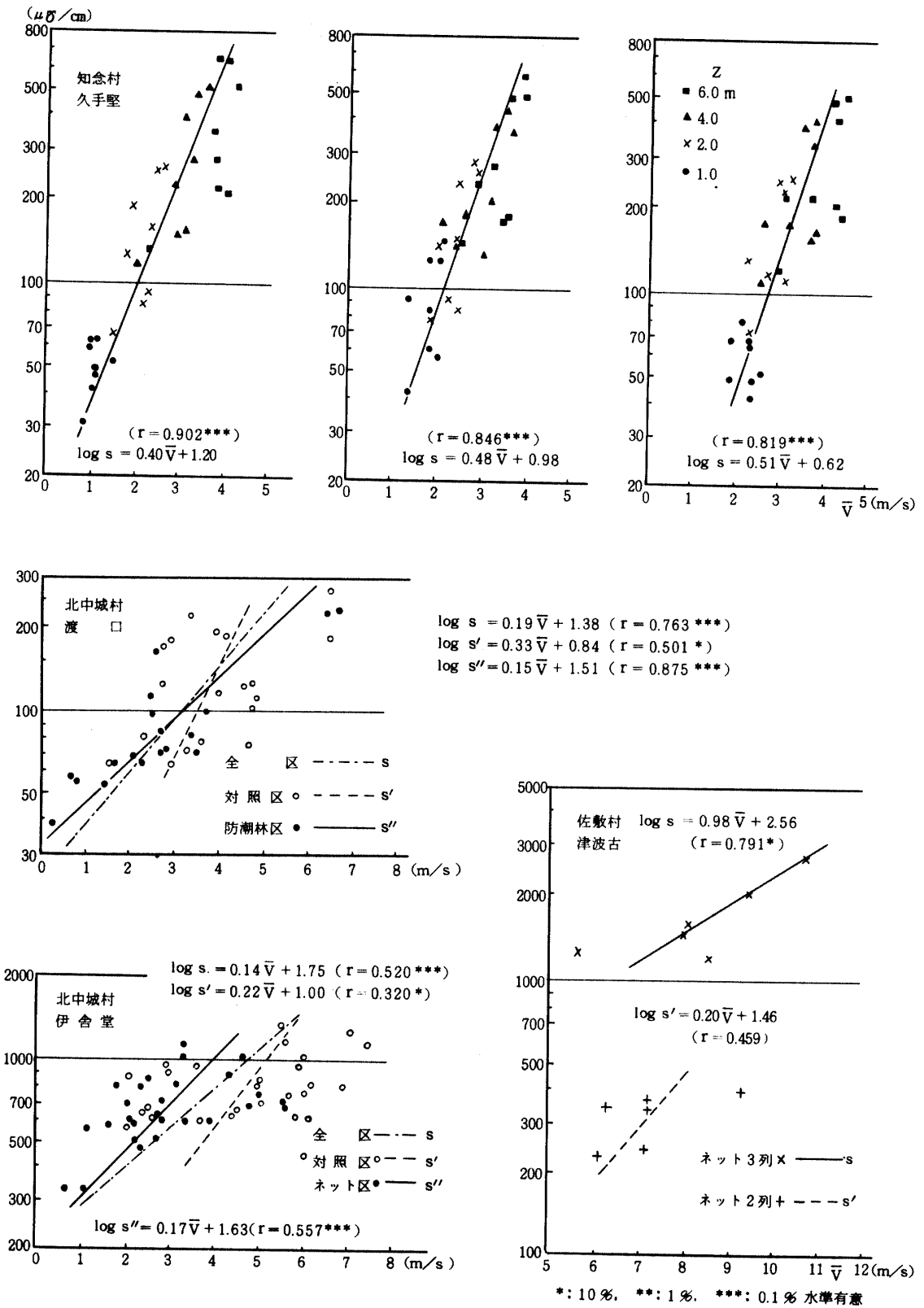


図62. 付着塩分量と風速

北中城村渡口の場合は、全体を1集団とみなして計算したが、対照区と防潮林区の差異をみるためそれぞれの回帰式も求めた。しかし、対照区の相関係数の有意水準が低いので、両区間に有意差があるかどうかは疑わしい。海岸からの距離の異なる全測点の値を一括して示しているから、久手堅の場合より相関が悪くなっているのは当然のことであるが、各測点ごとでは試料数が少なくなると、しかも広範囲に分散し、相関は極端に悪くなってしまう。ただし、どちらかといえば海岸に近いほど高濃度であるという傾向は認められたが、これについては具体的に後述する。

佐敷村津波古では、試料数がごく少ないので、相関の有意性は悪くなっているが、それでも付着塩分量と風速との間には対数法則があることをうかがわせる結果になっている。防風ネット3列の場合と2列の場合の間には大きなひらきがあるが、前者には風速10 m/sec を越える強風による護岸工での碎波が大きく影響したものと考えられる。

北中城村伊舎堂でも渡口の場合と同様な3回帰式を求めたが、この場合も、対照区の相関係数の有意水準が低くなった。それも同一風速では対照区の塩分の方が少なくなるという奇妙な結果になっているが、ネット区の風上側の付着塩分量も異常であることを合わせ考えると、この実験は一応の成果を示しているが、あまり信頼しない方がよいかもかもしれない。

試料数の関係で測点の異なるものまで一括してしまったものが多いが、いずれにせよ付着塩分量と風速との間には、この場合も対数法則が成立し、付着塩分量の制御には風速分布に着目して、その制御を考えると有効であることを示している。

そこで減塩率と減風率の関係について多少疑問のある伊舎堂以外のものを一括して図示すると図63のようである。津波古は試料数が少ないのでそのまま全部記入したが、他は平均値のみを示した。そして回帰計算もその平均値を用いている。防風林についての渡口および久手堅の実験の場合は、ごく高水準の直線回帰が成立している。この場合、これまでは付着塩分量と風速の間には対数法則が成立しているのであるから、減塩率と減風率の間にも対数法則が成立することが考えられるが、繰返し実験のおこなわれた久手堅の場合について相関係数を求めたところ、この範囲では直線回帰の方が対数回帰より一般に高い値を示すので、その理由は明らかではないが、直線回帰を用いることにした。

北中城村渡口の場合は、付着塩分量と風速との関連を示した図62中でも、対照区と防潮林区の差が明らかではなかったが、この場合も全体が1つの回帰直線に乗っている。

知念村久手堅の場合は、計測回数が多いので、各測点ごとの減塩率と減風率の関係が求められた。内陸に進むにつれて回帰直線が急傾斜になり、僅かな減風率でも大きな減塩率となるが、これは防潮林による減風率は林帯から風下にはなれるにつれて比較的急速に低下するのに対し、減塩率は大差がないことに起因すると考えれば理解できる。

佐敷村津波古における防風ネットの場合は、風下40m付近からの異常値を棄却すれば、直線回帰が成立する。

渡口や久手堅の防潮林の場合については、念のため平均しない前の全計測値についての回帰計算も試みたが、平均値によるものとほとんど差はなかった。

それぞれの関係を数値的に比較しやすいようにまとめると表42のようになる。図63とともに各地の結果を比較してみると、渡口だけは減塩率の方が減風率より小さいが、他はその逆になっている。伊舎堂の値は表中にのみ示したが、どちらかといえば渡口タイプである。

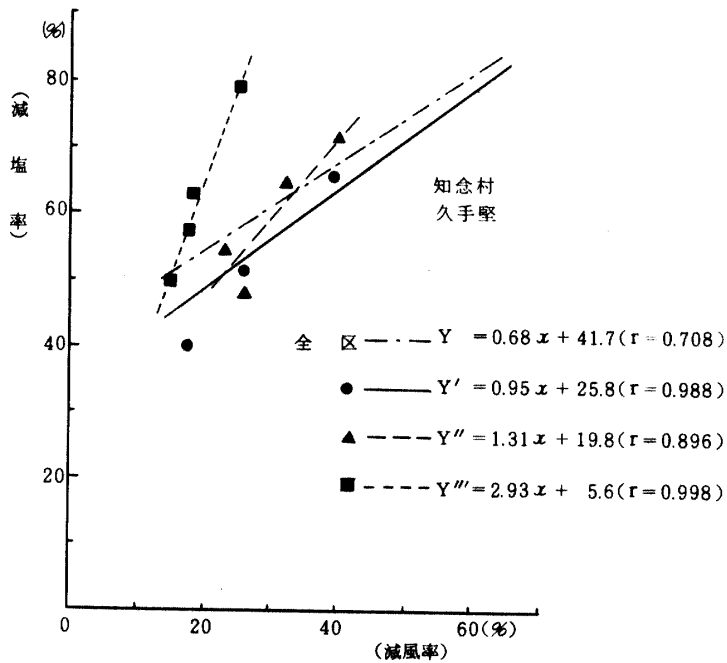
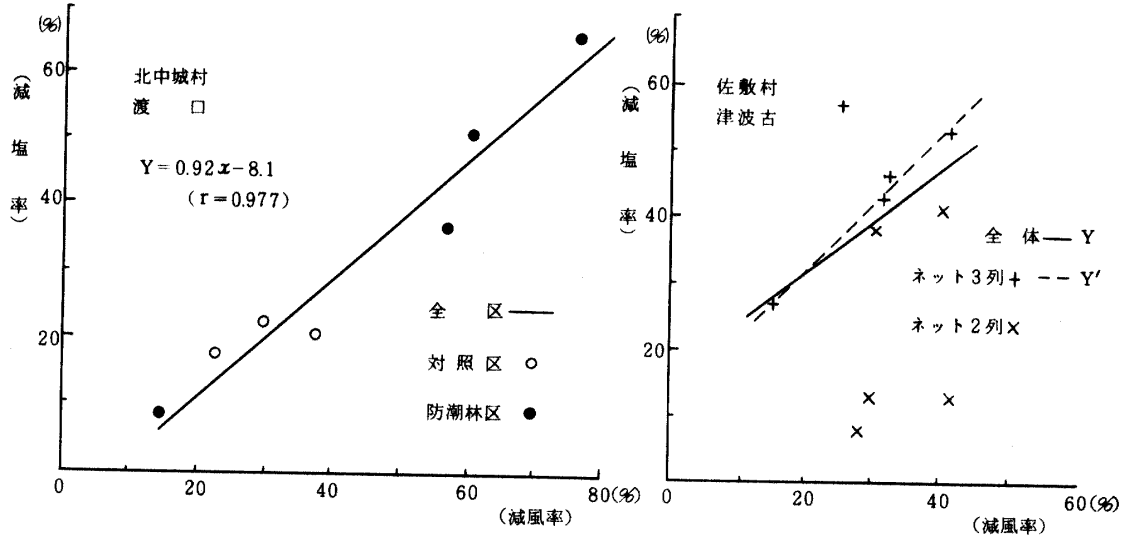


図63. 減塩率と減風率の関係

表42. 防潮林および防風ネットによる付着塩分の制御(%)

沖縄市泡瀬(平たん地)												北中城村渡口(防潮林)						
D(m)	Z=6.0m	4.0m	2.0m	1.0m	0.2m	mean		D(m)	H	対照区	防潮林区							
0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0					
100	16	9	33	8	22	2	8	-4	8	6	18	4	56	18	23	66	76	
200	15	8	29	7	30	0	10	-8	8	12	18	4	187	10.7	22	30	51	61
500	19	12	35	15	32	13	11	8	15	15	22	12	212	14.3	21	38	37	56

知念村久手堅(防潮林)										佐敷村津波古(ネット), Z=2.0m						
D(m)	H	Z=6.0m	4.0m	2.0m	1.0m	mean		D(m)	H	ネット3列	ネット2列					
0		0	0	0	0	0	0	0	0	-30	-7.5	0	0	0	0	
40	6.7	40	51	26	66	39	82	61	60	36	1.	2列ネット間	27	15	38	30
80	13.3	48	54	23	64	32	71	40	59	30	2.	3列ネット間	43	31		
120	20	50	57	18	63	19	79	25	22	19	8	2	53	41	41	40
140	23				50	30					40	10	46	32	13	41
											72	18			8	28
											80	20				

北中城村伊舎堂(ネット)														
D(m)	H	Z=6.0m	4.0m	2.0m	1.0m	mean		対照区						
-20	-	5			37	46								
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	左列は減塩率	
60	15	21	13	19	7	24	35	30	24	44	14	7	右列は減風率	
80	20				6	34							6	31
88	22				9	39							8	36

D: 海岸線およびネットからの距離, Z: 地上高, H: 障害物高さの倍率

防潮林や防風ネットのない場合でも、海岸から100mもはなれば20%、200m以上となれば20~30%の減塩率が期待されるから、防潮林や防風ネットの厳密な減塩率はそれをさし引いて考えるべきであろうが、計測値のままですと防潮林直後から樹高の10倍位までは60%の減塩率が期待され、防風ネ

ットでは、それが40～50%になる。前述した各章の成果とくみ合わせれば、防潮林造成上に必要な基礎知識は、塩分に関する限りは一応究明されたことになるであろう。

第8章 総 括

本論文は塩害の原因となる飛塩が、地表物体にいかにつ着し、供給されているのかその実態と、これをどのように制御しうるかについて、主として沖縄における計測値によってとりまとめ、防潮林造成上に必要な基礎的諸問題の解明をはかったものである。

第1章では本研究の必要性、意義について述べ、飛塩そのものよりは付着塩分量を重視した理由を示している。

第2章では研究の方法論を取扱っている。

最初に付着塩分検出法としてモールの銀滴定法と、比電導度法の特質を述べ、両者の関係がつぎのようになるとしている。

$$Y = 0.02692x + 0.2625 \quad (r = 0.9998)$$

$$y = 0.05274x + 0.6002 \quad (r = 0.9984)$$

式中 $Y = 100$ cc の蒸留水中に溶出した塩素量 (mg), y : 同塩分量 (mg), x : 同比電導度の値 ($\mu\sigma/\text{cm}$) である。

つぎにガーゼへの付着塩分量について、その重ね枚数は少ない方が多量の塩分が付着することを、簡易風洞による通風率実験を裏付けとして明らかにし、露出時間は2時間を最適とし、4時間まではさして問題がないことを、野外および室内実験の結果によって示した。さらに針葉への実際の付着塩分量に近い直を求める方法として、洗浄用円筒型ブラシの試用を提案し、ガーゼへの付着塩分量との間に良好な相関の成立すること、付着塩分量はその4.5%位になることを示している。その他にも植物体への付着塩分量計測法、気象諸要因の観測法について述べている。

最後に防潮林に主用されているフクギと、基幹作物であるサトウキビについて、各種濃度の海水をかん水または噴霧することにより、耐塩限界を試験する方法について説明している。

第3章ではガーゼに付着する塩分量が、海岸から500mまでの範囲でどのように分布しているかを沖縄島の各地で実測し、国内各地の値と比較して、法則性や沖縄の特色を明らかにしている。

沖縄南部の東海岸の泡瀬では地上1mの風速が海岸で5.3 m/sec. 6mの高さで7.7 m/sec. のとき、付着塩分量は500 $\mu\sigma/\text{cm}$ 以下で、500m内陸に入っても15%位しか減少しなかった。沖縄中部の西海岸の大謝名では、前記の風速がそれぞれ3.5 m/sec. と9.6 m/sec. の場合、付着塩分量は最高1,000 $\mu\sigma/\text{cm}$ 位で、護岸やその上の胸壁の影響で一時は30%も低下するが、500m入った地点では台地上に隆起していたこともあって、12%の減少率にとまった。沖縄北部の西海岸の備瀬崎では、高さ7mの断がい上で5,000 $\mu\sigma/\text{cm}$ にも達し、内陸では40%位の減少が認められたが、海岸近くの林帯内では75%もの減少があった。

国内各地での測定結果と比較すれば、海岸線近くでは備瀬崎だけが2 g/m²/hr程度で、国内各地の砂浜での値と似たオーダーであるが、泡瀬、大謝名では完全に1桁小さい。しかし、180～200m以上内陸に入れば0.1 g/m²/hr オーダーになって、国内各地より1桁ないし2桁も大きくなる。沖縄ではエロゾル状態の飛塩が多く、碎波による大粒の湿った飛塩は、沖のサンゴ礁で発生するのが多いため、海岸に到達する部分が少ないことに起因すると考えられる。

海岸からの距離と付着塩分量の間には指数法則がなり立つとされているが、海岸線が砂浜ではなくて、いずれも護岸や断かいがあったためか、沖縄ではほとんど適合しない。

付着塩分量と地面からの高さの間には対数法則が成立するとされているが、沖縄では指数法則の方

が適合性が良好で、それも高さ1~4mのところに変曲点があり、内陸に進むにつれて変曲点は高くなっていく。これは大粒の湿塩粒子と小粒の乾塩粒子の混在、および風速分布に支配されて生ずるものと考えられ、沖縄では微細乾塩粒子の動向が主問題になり、塩害に関する限り防潮林造成は国内各地より容易であろうと結論した。

第4章では植物体に付着し、また降雨水中に溶解されている塩分を取り扱っている。

単位葉面積当りの付着塩分量の平均的な値は、針葉状のものではモクマオウで $5.92 \times 10^{-2} \text{ mg/cm}^2$ 、リュウキュウマツで $4.75 \times 10^{-2} \text{ mg/cm}^2$ 、広葉のものではオオハマボウが $3.17 \times 10^{-3} \text{ mg/cm}^2$ 、タイワンウオクサギ、サトウキビ、アダン、テリハクサトベラ、フクギの順に $1.70 \times 10^{-3} \text{ mg/cm}^2$ から $1.13 \times 10^{-3} \text{ mg/cm}^2$ に少なくなる。針葉状のものは広葉に比較して5~50倍も多く付着するが、広葉のものでは葉の表面に短柔毛があり、しかも葉脈による凹凸の多いモンパノキとオオハマボウが1桁多くなっている。

当然のことながら海岸線から遠ざか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できる。要するに風が強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。

降雨水中に含まれる塩分については、月平均では9月が最高で $3.7 \times 10^2 \mu\text{g/cm}^3$ に達するが、11月から2月までは $2.6 \times 10^2 \mu\text{g/cm}^3$ の状態が続く。最低は6月で $4.4 \times 10 \mu\text{g/cm}^3$ と1桁近く低下し、7月、10月は $7 \sim 8 \times 10 \mu\text{g/cm}^3$ 位、年平均は $1.8 \times 10^2 \mu\text{g/cm}^3$ 位となる。沖縄本島を横断しての分布は西海岸で $3.0 \times 10^2 \mu\text{g/cm}^3$ 、東海岸でその2/3、内陸部では1/2~1/3位の平均値になり、東海岸では夏に、西海岸では冬に多くなる傾向がある。台風と北西季節風に大きく支配されている。(表14参照)

連続降雨については測定回数目盛の対数と含塩量の対数が逆比例し、当初の含塩量の多少にかかわらずほぼ一定に減少し、3~4回目に半減、7~9回目で1/10位になる。したがって降雨量が少ないほど含塩量は大となる。(図30参照)

これに対し台風時の降雨では、一般に台風が接近するほど含塩量が急増し、当初の2~17倍にも達し、その後漸減する。(図31参照)

樹幹流下水、樹冠滴下水中の含塩量の月別変化も、降雨の場合と相似であり、その平均値は前者で降雨の9倍、後者で5.7倍になる。また海岸では内陸の3倍位になる。(表16参照) 連続降雨で1/2~1/3になる。

第5章ではガーゼおよびブラシへの付着塩分量と気象諸要因との長期定点観測値によって、相互の関連を明らかにし、気象要因から付着塩分量を推算する方法を求めている。

付着塩分量には数日ないし十数日周期の変動があるので、観測結果は観測時刻ごとに毎月の平均値もしくは合計値で示した。(表19参照) 全体の平均では13時の計測値は9時の値に対して、ガーゼ付着塩分量で50%、ブラシ付着塩分量では100%の増になる。風速は24%、気温は8%の増となるが湿度は15%の減となり、17時の計測値も大同小異である。

付着塩分量は風程で除して単位空気量中の塩分濃度に換算する機会が多いが、この資料ではそうすると分散が大きくなり、付着塩分量をそのまま分析すれば風速との間に対数法則が成立するようにみられた。そこで任意に選んだ11ヶ月について付着塩分量と、露出時間中の平均風速の相関係数を、毎日のデータについて計算してみた。その結果として直線・対数・指数の3回帰中では、対数回帰の相関が最もよく、ガーゼへの付着塩分の方がブラシへのものよりすぐれ、9時の計測値が他の時刻のものより相関のよいことが示された。そこで9時の計測値について対数回帰が成立するものとして、回帰係数ならびに相関係数を求めたが、3ヶ月の特例以外は相関係数は高度に有意であった。(表23参照) ただし、

これらの回帰係数についての法則性は明らかでなかったため、予測には使えない。電算カード化できた19ヶ月分の資料については、風速、湿度、気温の3要因を入れた多元解析を、九州大学計算センターFACOM 230-75によって試みたが、その係数は毎月大幅に変動して、相関係数もたいして改善されなかった。

また、毎月のそれぞれの計算値の合計の間にも対数法則が適用されるとして次式をえた。
すなわち

$$\Sigma \log SG = 0.5628 \Sigma \bar{V} + 11.3502 \quad (r = 0.7669)$$

$$\Sigma \log SB = 0.2927 \Sigma \bar{V} + 0.1113 \quad (r = 0.7131)$$

2ヶ月の移動平均では相関がややよくなる。

すなわち

$$\Sigma \log SG' = 0.5397 \Sigma \bar{V} + 25.3159 \quad (r = 0.8813)$$

$$\Sigma \log SB' = 0.3568 \Sigma \bar{V} - 6.8213 \quad (r = 0.8158)$$

式中、SGはガーゼへの付着塩分量、SBはブラシへの付着塩分量、 \bar{V} は平均風速である。毎月の合計値については、ガーゼへの9時の付着塩分量と、風速V、および湿度hとの重相関のよいことが見いだされ、次式がえられた。

すなわち、

$$\Sigma \log SG = 0.484 \Sigma \bar{V} - 0.011 \Sigma h + 2.7745 \quad (r_{s \cdot v \cdot h} = 0.9321)$$

第6章では植物の耐塩限界を明らかにするために、フクギとサトウキビについてポット試験した結果を述べている。

フクギの場合、各種の海水濃度のかん水による被害は下方から中、上方へ、また葉の先端や周辺から葉の中央や葉柄に向かって進行し、ついには枯死する。海水の噴霧による被害は軽微であるが、葉幹部に傷をつけると、かん水時と同様の結果になる。

かん水間隔と海水濃度の関係では、間隔日数を対数でとったグラフ上で限界線が直線となり、被害は3日間隔25%、15日間隔90%を結ぶ直線より高濃度、短間隔側に発生し、毎日かん水45%、15日間隔100%を結ぶ直線が枯死限界になる。土壌を単位容積の蒸留水に投入した場合で600~700 $\mu\sigma/cm$ で被害が明白になり、1,000~1,500 $\mu\sigma/cm$ に達すると枯死する。

いずれの試験方法でも葉の単位面積当りの含塩量が10 $\mu\sigma/cm$ 程度に達すると被害があらわれ、15~17 $\mu\sigma/cm$ が枯死限界となる。葉の単位重量当りでは500 $\mu\sigma/cm$ 、根幹部の単位重量当りでは300 $\mu\sigma/cm$ 、苗木全体では400 $\mu\sigma/cm$ 程度で被害を生じ、その1.3~1.9倍で枯死する。

サトウキビの場合では、被害初期に葉にロール現象が起き、上方の葉先から中、下方の葉へと被害が進行して葉が立ち、その後の葉色の変化は下方から上方に進行する。

土壌中の塩分量では700~800 $\mu\sigma/cm$ から被害の兆候があらわれ、1,000 $\mu\sigma/cm$ で被害が明白になり、3,000 $\mu\sigma/cm$ で枯死する。フクギの場合と同様な各種の試験結果では、単位葉重、単位茎重、単位根重および単位全重量当りのいずれでも250 $\mu\sigma/cm$ で被害が出現し、500 $\mu\sigma/cm$ で枯死する。土壌中と植物体内の塩分量の差が著しいが、サトウキビの場合は乾燥害を防ぐため、海水以外に多量の水道水も補給するので、このような結果になる。

以上の結果は海水冠水による被害予測ならびにその軽減、海水混用かん水などに応用できる。

第7章では、海岸沿いに防潮林が存在する場合および防風ネットをはったとき、付着塩分量がどのように制御されるかを、風速分布との関連で論じている。

防潮林としては、沖縄島中部の東海岸の北中城村渡口における樹高7m位のモクマオウを主林木とする、厚さ110m程度のもの、沖縄島南部の東海岸の知念村久手堅における樹高6m位のオオハマボウを主林木とする、厚さ10m程度のものを用いた。防風ネットは高さ4m、幅15mのものを、佐敷村津波古

と北中城村伊舎堂の海岸埋立地で2列ないし3列にはって実験した。

同一条件で8回の実験を反復した久手堅の場合については、海岸近くの標準点の同高の風速との比較によって減風率を求めたところ、風速に比例して減風率が変化する傾向が見出された。しかし、これは未確認の法則性なので、相互比較は平均値によった。(図61参照)

各地での実験結果によれば、この場合も付着塩分量と風速の間には対数法則が成立する。観測点や測定高の異なるものを一括しても、かなり良好な相関係数になる。これは付着塩分量の制御には風速分布にまず着目すべきことを示している。

減塩率と減風率との間には直線回帰が成立した。この場合は対数回帰によるより直線回帰の方が相関が良好になる(図63参照)。やはり風速分布、その減風率で減塩率を推測できることになる。

防潮林や防風ネットによる付着塩分量制御は、その高さの10倍位までは防潮林で60%、防風ネットで40~50%の減塩率が期待されうる。ただし、平たん地でも海岸から100mはなれば20%位の減塩率、200m以上となれば30%程度の減塩率にはなるから、制御効果はそれをさし引いて考えなければならぬ。前章までの成果とあわせ考えれば、防潮林造成の計画に必要な基礎的資料は示されたことになる。

摘 要

本論文は、塩害の原因となる飛塩が、地表物体にいかにつ着し、供給されているのかその実態と、これをどのように制御しうるかについて、主として沖縄における測定値によってとりまとめ、防潮林造成上に必要な基礎的諸問題の解明をはかったものである。

1) モールの銀滴定法と比電導度法の関係は次式によって示される。

$$Y = 0.0269x + 0.2625 \quad (r = 0.999)$$

$$y = 0.0527x + 0.6002 \quad (r = 0.998)$$

式中Y: 100ccの蒸留水中に溶出した塩素量(mg), y: 同塩分量(mg), x: 同比電導度の値($\mu S/cm$)である。

2) ガーゼへの付着塩分は、ガーゼの重ね枚数は少ないほうが多量の塩分が付着する。また、野外および室内実験によってガーゼの露出時間は2時間が最適であるが、4時間まで露出してもたいした問題にはならない。

3) なお、ガーゼへの付着塩分量とブラシへの付着塩分量の間には良好な相関関係があり、ブラシはガーゼの約4.5%の付着塩分量である。

4) ガーゼに付着する塩分量が、海岸から500mまでの範囲でどのように分布しているか沖縄島の本部町備瀬崎、宜野湾市大謝名、沖縄市泡瀬の各地で実測し、国内各地での測定結果と比較すれば、海岸線近くでは備瀬崎だけが $2 g/m^2/hr$ 程度で、国内各地の砂浜での値と似たオーダーであるが、大謝名、泡瀬では完全に1桁小さい。しかし、180~200m以上内陸に入れば $0.1 g/m^2/hr$ のオーダーになって、国内各地より1桁ないし2桁も大きくなる。沖縄ではエロゾル状態の飛塩が多く、砕波による大粒の湿った飛塩は、沖のサンゴ礁で発生するのが多いため、海岸に到達する部分が少ないことによるものと考えられる。

5) 植物体に付着する塩分量においては、単位葉面積当り付着塩分量の平均的な値は、針葉のものではモクマオウで $5.92 \times 10^{-2} mg/cm^2$ 、リュウキュウマツで $4.75 \times 10^{-2} mg/cm^2$ 、広葉のものではモンバノキが $3.12 \times 10^{-2} mg/cm^2$ 、オオハマボウが $3.17 \times 10^{-3} mg/cm^2$ 、タイワンウオクサギ、サトウキビ、アダン、テリハクサトベラ、フクギ、アオガンピの順に $1.70 \times 10^{-3} mg/cm^2$ から $1.13 \times 10^{-3} mg/cm^2$ に少なくなる。針葉のものは広葉に比較して5~50倍も多く付着するが、広葉のものでは葉の表面に短柔

毛があり、しかも葉脈による凹凸の多いモンパノキとオオハマボウが顕著に多くなっている。

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できる。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。

6) 降雨水に含まれる塩分については、月平均では9月が最高で $3.7 \times 10^2 \mu\sigma/cm$ に達するが、11月から2月までは $2.6 \times 10^2 \mu\sigma/cm$ の状態が続く。最低は6月で $4.4 \times 10 \mu\sigma/cm$ 位と1桁近く低下し、7月、10月は $7 \sim 8 \times 10 \mu\sigma/cm$ 位、年平均は約 $1.8 \times 10 \mu\sigma/cm$ となる。沖縄本島を横断しての分布は西海岸で $3.0 \times 10^2 \mu\sigma/cm$ 、東海岸でその2/3、内陸部では1/2から1/3位の平均値になる。東海岸では夏季に、西海岸では冬季に多くなる傾向がある。台風と北西季節風に大きく支配されている。

連続降雨については、測定回数目盛の対数と含塩量の対数が逆比例し、最初の含塩量の多少にかかわらずほぼ一定に減少し、3～4回目に半減し、7～9回目で約1/10になる。したがって降雨量が少ないほど含塩量は大となる。

これに対し台風時の降雨では、一般に台風が接近するほど含塩量が急増し、最初の2～17倍にも達し、その後漸減する。

また、樹幹流下水および樹冠滴下水中の塩分量の月別変化も、降雨の場合と相似であり、その平均値は前者で降雨の9倍、後者で5.7倍になる。海岸線近くでは内陸の約3倍になる。連続降雨では3回目で1/2ないし1/3になる。

7) ガーゼおよびブラシへの付着塩分量には数日ないし十数日周期の変動があるので、観測結果は観測時刻ごとに毎月の平均値もしくは合計値で示した。全体の平均では13時の観測値は9時の値に対して、ガーゼ付着塩分量で50%、ブラシ付着塩分量では100%の増になる。風速は24%、気温は8%の増となるが湿度は15%の減少となった。17時の観測値も大同小異であった。

付着塩分量と平均風速との関係を任意に選んだ11ヶ月の毎日のテーターを用いて直線・対数・指数の3つの相関係数を求めた結果、対数回帰の相関が最もよく、ガーゼへの付着塩分のほうがブラシへのものよりすぐれ、9時の観測値が13時、17時のものより相関のよいことが示された。そこで9時の全観測値について回帰係数ならびに相関係数を求めたが、3ヶ月の特例以外は相関係数は高度に有意であったが、その法則性は明らかでなかったため、毎日のテーターを予測に用いることは妥当でないことがわかった。

毎月のそれぞれの観測値の合計においても対数関係が適用されることから次式をえた。

$$\Sigma \log S_G = 0.5628 \Sigma \bar{V} + 11.3502 \quad (r = 0.767)$$

$$\Sigma \log S_B = 0.2927 \Sigma \bar{V} + 0.1113 \quad (r = 0.713)$$

2ヶ月の移動平均では相関がややよくなり、

$$\Sigma \log S'_G = 0.5397 \Sigma \bar{V} + 25.3159 \quad (r = 0.881)$$

$$\Sigma \log S'_B = 0.3568 \Sigma \bar{V} - 6.8213 \quad (r = 0.816)$$

式中、 S'_G : ガーゼへの付着塩分量、 S'_B : ブラシへの付着塩分量、 \bar{V} : 平均風速である。

ところが毎月の合計値については、9時観測のガーゼへの付着塩分量 (S) と、風速 (V) および湿度 (h) との重相関のよいことが見いだされ、次式がえられた。

すなわち、

$$\Sigma \log S_G = 0.484 \Sigma \bar{V} - 0.011 \Sigma h + 2.7745 \quad (r_{s \cdot v \cdot h} = 0.932)$$

で示され、観測値とよく適合することが明らかにされた。

8) 植物の耐塩限界においては、フクギとサトウキビについて試験した。

フクギの場合、各種の海水濃度のかん水による被害は下方から中、上方へ、また葉の先端や周辺から

葉の中央や葉柄に向って進行し、ついには枯死する。海水の噴霧による被害は軽微であるが、葉幹部に傷をつけると、かん水時と同様の結果になる。

かん水間隔と海水濃度の関係では、かん水間隔日数を対数でとった図上において限界線が直線となる。被害は、3日間隔では25%のところ、15日間隔では90%のところを結ぶ直線より海水濃度の高いところで発生し、また短い間隔のところで発生する。毎日かん水では45%のところ、15日間隔では100%のところを結ぶ線が枯死限界になる。土壌中の塩分量では、 $600 \sim 700 \mu\text{g}/\text{cm}$ で被害が明白になり、 $1,000 \sim 1,500 \mu\text{g}/\text{cm}$ に達すると枯死する。いずれの試験方法でも、葉の単位面積当りの含塩量が $10 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ 程度になると被害があらわれ、 $15 \sim 17 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ に達すると枯死した。葉の単位重量当りでは $300 \mu\text{g}/\text{cm}/\text{g}$ 、苗木全体では $400 \mu\text{g}/\text{cm}/\text{g}$ 程度で被害を生じ、その1.3～1.9倍で枯死した。

サトウキビの場合では、被害初期に葉にロール現象が起き、上方の葉先きから中、下方の葉へと被害が進行して葉が立ち、その後の葉色の変化は下方から上方に進行する。

土壌中の塩分量が $700 \sim 800 \mu\text{g}/\text{cm}$ で被害の兆候があらわれ、 $1000 \mu\text{g}/\text{cm}$ 程度で被害が明白になり、 $3,000 \mu\text{g}/\text{cm}$ 程度で枯死する。

単位葉重、単位茎重、単位根重および単位全重量当り含塩量のいずれでも $250 \mu\text{g}/\text{cm}$ で被害が出現し、 $500 \mu\text{g}/\text{cm}$ 程度で枯死する。

9) 海岸沿いに防潮林が存在する場合および防風ネットをはったとき、付着塩分量がどのように制御されるか、風速との関係はつぎのようである。

防潮林としては、沖縄島中部の東海岸の北中城村渡口における樹高7 m位のモクマオウを主林木とする、厚さ110 m程度のもの、沖縄島南部の東海岸の知念村久手堅における樹高6 m位のオオハマボウを主林木とする、厚さ10 m程度のものを用いた。

防風ネットは高さ4 m、幅15 mのものを、佐敷村津波古と北中城村伊舎堂の海岸埋立地で2列ないし3列にはって実験した。

同一条件で8回の実験を反復した久手堅の場合については、海岸近くの標準点の同高の風速との比較によって減風率を求めたところ、風速に比例して減風率が変化する傾向が見出された。しかし、これは未確認の法則性なので、相互比較は平均値によった。

各地での実験結果によれば、この場合も付着塩分量と風速の間には対数法則が成立する。観測点や測定高の異なるものを一括してもかなり良好な相関係数になる。これは付着塩分量の制御には風速分布にまず着目すべきことを示している。

減塩率と減風率との間には直線回帰が成立した。この場合は対数回帰によるより直線回帰のほうが相関が良好になる。やはり風速分布、その減風率で減塩率を推測できることになる。

防潮林や防風ネットによる付着塩分量制御は、その高さの10倍位までは防潮林で60%、防風ネットで40～50%の減塩率が期待されうる。ただし、平たん地でも海岸から100 mはなれば20%位の減塩率、200 m以上となれば30%程度の減塩率になるから、制御効果はそれをさし引いて考えなければならぬ。

参 考 文 献

1. 阿部友三郎 1956 海水の泡沫性の研究 第11報, 日本気象学会誌, 34 (3): 45～51
2. Abe Tomosaburo and Watanabe A. 1956 In situ formation of stable foam in sea water to cause salt wind damage (II), paper in Meteorology and Geophysics, 16(2): 77～83

3. 青野英也・築瀬好充・杉井四郎 1974 茶園の潮風害発生機構, 農業気象, 30 (3): 131~140
4. Blanchard D. C. 1971 From raindrops to volcanoes. 鳥羽良明訳 海と大気 雨滴から火山まで, 河出書房 東京
5. Bonner James and Galston Arthur W. 1972 Principles of Plant Physiology. 高宮篤・小倉安之訳 植物の生理, 岩波書店 東京
6. 土壤物理性測定法委員会編 1976 土壤物理性測定法, 養賢堂 東京
7. Egber H. Walker 1954 Important trees of the Ryukyu Islands, United states civit administration of the Ryukyu Island, 281~282
8. 藤原滉一郎・梅島嗣郎 1962 海岸段丘上における潮風中の塩分分布について, 北海道大学農学部演習林研究報告, 21 (2): 453~464
9. Hama Kouich and Takagi Noboru 1970 Measurement of sea-salt particles on the coast under Moderate wind, paper in Meteorology and Geophysics, 21 (4): 449~458
10. 荻原晰二・大喜多敏一 1951 海塩滴の大きさの分布及び湿度と視程との関係, 日本気象学会誌, 29 (4): 119~128
11. 東盛良夫 1971 塩害事故の概要および理論, 琉大理工学部紀要, 4: 99~117
12. 本多静六 1964 森林家必携, 林野弘済会 東京
13. 半谷高久 1967 水質調査法, 丸善 東京
14. 堀江保夫 1966 植物の耐塩水性(2), 農林省林業試験場報告, 186: 113~133
15. 飯塚肇・玉手三稜寿・高桑東作・佐藤正 1950 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, 農林省林業試験場報告, 45: 1~20
16. 飯塚肇 1952 防風林の幅(厚み)について, 農林省林業試験場報告, 56: 1~128
17. 石川栄助 1970 新統計学, 槇書店 東京
18. 門田正也・田崎忠良 1949 防潮林の生態学的研究(1), 東大立地自然科学研究報告, 3: 38~51
19. 門田正也 1949 防潮林の潮害濾過について, 日林誌, 31 (5): 25~28
20. _____ 1951 防潮林の生態学的研究(6), 東大立地研報告, 8: 37~41
21. 工藤哲也・鈴木孝雄 1973 留萌海岸で観測した冬季の空中塩分量と波浪との関係, 日林北海道支部講集, 22: 184~186
22. 科学技術庁 1960 伊勢湾台風における防潮林の効果について, 科学技術庁資源調査会報告, 17
23. 小倉義光 1975 大気科学, 日本放送出版協会 東京
24. 幸喜善福・長沢喬 1968 海岸付近の塩分量について(I), 日林九支研究論文集, 22: 147~149
25. _____・_____ 1969 海岸付近の塩分量について(II), 日林講集, 80: 315~317
26. _____ 1970 海岸付近の樹木の付着塩分量について(I), 琉大農学報, 17: 177~183
27. _____ 1970 海岸付近の樹木の付着塩分量について(II), 沖縄農業, 9 (2): 32~38
28. _____ 1970 海岸付近の空中塩素量に関する研究(I), 琉大農学報, 17: 162~175
29. _____ 1970 沖縄の海岸付近に生育している広葉植物の塩分付着量について, 日林九支研究論文集, 24: 254~257
30. _____ 1971 海岸付近の空中塩分量について(I), 沖縄農業, 10 (2): 41~43
31. _____ 1973 海岸付近の空中塩分量について(II), 沖縄農業, 11 (1, 2): 55~57
32. _____ 1974 防風ネットの減風減塩作用の一測定例, 日林九支研究論文集, 27: 213~214

33. _____ 1975 海岸付近の空中塩素量に関する研究(Ⅱ), 琉大農学報, **22**: 721~736
34. _____ 1975 植物の耐塩性について(1), 日林講集, **86**: 423~424
35. _____ 1976 植物の耐塩性について(2), 日林九支研究論文集, **29**: 293~294
36. _____ 1976 植物の耐塩性について(3), 日本砂丘研究誌, **23**(1): 1~5
37. _____ 1976 沖縄における農林作物の塩風害の発生, 文部省自然災害特別研究報告書(昭和48, 49, 50年度): 49~53
38. _____・城間理夫 1976 沖縄における防風林の必要性 _____: 42~44
39. _____ 1977 沖縄における空中塩素付着量に関する研究(Ⅰ), 日林九支研究論文, **30**: 140~141
40. 熊谷才蔵 1956 静砂垣内部の空中塩素捕捉量の水平並びに垂直分布, 九大農演習林集報, **7**: 1~9
41. _____ 1956 クロマツの葉の塩分捕捉量, 日林講集, **65**: 249~250
42. Komabayasi M. and Gonda T. 1974 Concentrations of chloride and Deuterium in Rainwater as a Function of Raindrop Diameter and their Relation ship to Rain-fall, Intensity Journal of the Meteorological Society of Japan, **42**(6): 354~361
43. 倉内一二 1956 塩風害と海岸林, 日本生態学会誌, **5**: 123~127
44. _____ 1956 新田植物群落の海水浸入に対する抵抗, 日本生態学会誌, **5**(4): 168~171
45. 栗原孝行・末永昌久・阿部友三郎 1974 防風林による海塩微粒子の捕捉について, 天気, **21**(2): 39~44
46. 檜山徳治 1967 内陸防風林, 林業技術, **309**: 23~26
47. _____ 1968 沖縄の防風林の現状と問題点およびその対策, 琉球政府農林部技術指導報告書, **9**
48. 岸根卓郎 1969 理論・応用統計学, 養賢堂 東京
49. 檜山徳治・高橋啓二・土井恭次・坂上幸雄 1974 林木の気象被害, 日林技術協会 東京
50. 川口武夫 1962 森林物理, 地球出版 東京
51. Louis J. Battan 1974 The unclean sky 森田実訳 汚された空, 河出書房 東京
52. 三原義秋 1961 農業気象, 地人書館 東京
53. 増沢謙太郎編 1973 海洋物理Ⅰ, 東海大学出版会 東京
54. 松岡広雄・檜山徳治 1967 海岸防風林と砂地塩分の関係(Ⅰ), 日林講集, **78**: 319~320
55. _____・_____ 1969 海岸防風林と砂地塩分の関係(Ⅱ), 日林講集, **80**: 317~319
56. _____・_____ 河合英二 1971 海岸防風林と砂地塩分の関係(Ⅲ), 日林講集, **82**: 267~269
57. 三宅泰雄・北野康 1968 水質化学分析法, 地人書館 東京
58. 農業気象ハンドブック 1967 養賢堂 東京
59. 中島暢太郎・鳥羽良明・田中正昭 1968 塩害に関する基礎的研究(第2報), 京大防災研年報, **11**, B: 19~28
60. 西村五月 1973 長崎地方の森林生産力の生態的基礎, 長崎県総合農林試験場研究報告, **4**: 23~40
61. 小笠原佐代市 1973 カンキツの潮風害防止技術, 農業気象, **29**(1): 41~45
62. Okita T. 1962 Concentration of Large and Giant Hygroscopic Particles in the Atmosphere, Published bimonthly by the Meteorological Society of Japan, **40**(3):

163～169

63. 大後美保 1967 農林防災, 共立出版 東京
64. _____ 1973 農作物の塩害に対する研究(第1報), 日本気象集誌, 第2輯: 33～39
65. 沖縄県庁 1974 沖縄概観 P 113
66. 大神又三・幸喜善福 1973 沖縄における農地防風林造成の基礎的研究(I), 日本砂丘研究誌, 20(1): 74～80
67. _____・_____ 1973 沖縄における農地防風林造成の基礎的研究(II), 日本砂丘研究誌, 20(1): 81～86
68. _____・_____ 1976 沖縄における農地防風林造成の基礎的研究(III), 日本砂丘研究誌, 22(1): 1～11
69. 林野庁 1959 治山計画と実行, 日本治山治水協会 東京 585～614
70. 林業百科辞典 1971 丸善 東京
71. 林野庁監修 1971 北海道の防風・防霧林, 水利科学研究所 東京
72. 末勝海・谷口栄一 1954 山形県海岸砂丘の塩分(1), 日林東北支部講集, 6: 62～64
73. _____・_____ 1955 山形県海岸砂丘の塩分(2), 日林東北支部講集, 7: 69～71
74. _____ 1968 海岸砂防工に関する基礎的研究, 九大農学部演習林報告, 43: 1～120
75. 菅原健・半谷高久 1964 地球化学入門 丸善 東京
76. 杉浦吉雄 1973 海洋と化学, 共立出版 東京
77. 島袋俊一・諸見里秀宰 1970 琉球松針葉の形態学的研究, 琉大農学報, 17: 162～175
78. 下関地方气象台 九州および山口県における塩害と塩風について, 九州管区気象時報, 9(11): 685～830
79. 城間理夫 1973 沖縄における農作物の気象災害について, 文部省自然災害特別研究(昭和47年度) 沖縄の自然災害の調査報告書: 14～18
80. _____ 1976 沖縄における農作物の風による被害, 文部省自然災害特別研究(昭和48, 49, 50年度) 沖縄の台風災害の研究報告書: 39～41
81. 鳥羽良明 1961 海面における気泡の破裂による海水滴の生成について(III), 日本海洋学会誌, 17(4): 169～178
82. 鳥羽良明 1966 海塩粒子-大気と海洋との相互作用の一要素として-海と空, 41(3, 4): 1～48
83. Toba Y. and Tanaka M. 1963 Study on Dry Follut and Its Distribution of Giant Sea-Salt Nuclei in Japan, Journal of the Meteorological Society of Japan, 41(3): 135～144
84. 角皆静男 1972 雨水の分析, 講談社 東京
85. 田口亮平 1975 植物生理学大要, 養賢堂 東京
86. 高橋啓二・堀江保夫 1965 植物の耐塩水性(1), 農林省林業試験場報告, 183: 131～152
87. 高江洲重一 1970 防風林の効果, 農林水産だより 琉球政府: 23～29
88. 玉手三葉寿・佐藤正・檜山徳治・高橋亀久松 1957 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), 農林省林業試験場報告, 100: 58～82
89. 田中一夫 1962 海岸防災林の飛砂固定に関する実験的研究, 日本砂丘研究誌, 8(2): 69～124
90. 田中正昭・鳥羽良明 1969 塩害に関する基礎的研究(第3報), 京大防災研年報, 12 B: 201～212

91. _____ 1970 塩害に関する基礎的研究(第4報), 京大防災研年報, 13, B:445~456
 92. _____ 1971 塩害に関する基礎的研究(第5報), 京大防災研年報, 14, B:449~510
 93. 内田茂男 1950 海岸における空中塩分の測定について, 治山事業参考資料, 第II輯:56~64
 94. 若江則忠 1961 日本の海岸林, 地球出版 東京
 95. 山田三朗・植木九州男・金子義春・村山博一 1959 塩じん霧害の気象予測について, 九州電力総合研究所 研究期報, 12:133~170
 96. _____ 1961 塩塵霧害の研究 電力と気象, 12(3,4):214~222
 97. 山田藤吾・伏見知道 1968 瀬戸内海沿岸花崗岩地帯のマツ林土壌の塩素量とPHならびマツの材および葉中の塩素量について, 愛媛大農演習林報, 6:9~18
 98. 山本孜・糸数昌丈・城間理夫・幸喜善福・光田寧 1973 沖縄の風災害について, 文部省自然災害特別研究(昭和47年度), 沖縄の自然災害の調査報告書:8~11
 99. 米田茂男 1958 塩害と土壌(1), 農業と園芸, 33(7):14~18
 100. _____ 1958 塩害と土壌(2), 農業と園芸, 33(8):13~16
 101. _____ 1958 塩害と土壌(3), 農業と園芸, 33(9):23~28
 102. 吉田重幸・浅野二郎・四手井綱英 1966 アカマツおよびクロマツの耐塩性に関する研究, 日林講集, 77:153~155
 103. 吉野正敏・大和田道雄 1970 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, 地理学評論, 43(1):347~356

Summary

The present paper is concerned with how flying salt causing salty damage attaches to the objects on the surface of land, how it is carried and how it can be controlled. This study has been worked out through the measurements taken at Okinawa in the hope that basic, essential problems might be solved for the purpose of planting salty wind protection forests.

1) The relationship between the Mohor method and the Electric Resistance method is shown by the formulas below:

$$Y = 0.0269x + 0.2625 \quad (r = 0.999)$$

$$y = 0.0527x + 0.6002 \quad (r = 0.998)$$

Where Y is the amount of chlorine dissolved in 100cc distilled water (mg), y is its salinity content (mg), and x is the value of its electric resistance method ($\mu\delta/cm$).

2) As to the attached salt to gauzes, the fewer the layers, the more salt attaches. The best exposure time of gauzes used for the experiment outside and indoors was two hours, however, we found it makes no difference, even if gauzes were exposed more than four hours.

3) There is a close correlation between the salinity amount attached to gauzes and that attached to the brushes used for cleaning bottles. The salinity amount on the brushes is about 4.5% of that to the gauzes.

4) A testing was done so that we might grasp how the salt attached to gauzes was distributed within the limits of 500 meters from the seashore such as, at Bisezaki,

Motobucho of Okinawa Mainland, Ojana of Ginowan city and Awase of Okinawa city. The testing results were compared with those measured figures on the Japan Mainland. So long as the place near the coastline, only the result at Bisezaki was at a level of $2\text{g}/\text{m}^2/\text{hr}$, which was almost the same as those of other prefectures. However, the figures at Ojana and Awase were completely one place down. When we entered as far as 180 to 200 meters inside the land, the figure became $0.1\text{g}/\text{m}^2/\text{hr}$ and the figure got one or two places higher. Most flying salt is in the state of aerosols in Okinawa and great round drops of flying salt wet with broken waves are produced at coral reefs off the shore. Therefore, less salt is considered to reach the coast.

5) The salinity amount attached to plants is found in average values per the unit of area of leaves. As to needleleaved trees, *Casuarina equisetifolia* J. et G. Forst is $5.92 \times 10^{-2}\text{mg}/\text{cm}^2$, *Pinus luchuensis* Mayr $4.75 \times 10^{-2}\text{mg}/\text{cm}^2$.

In the case of broad leaved trees, *Messerschmidia argentea* Johnst. shows $3.12 \times 10^{-2}\text{mg}/\text{cm}^2$, *Hibiscus tiliaceus* L., $3.17 \times 10^{-3}\text{mg}/\text{cm}^2$. From the order of *Premna corymbosa* var. *obtusifolia* Flecher, *Saccharum officinarum* L., *Pandanus tectorius* var. *liukuensis* Warb., *Scaevola frutescens* Krause, *Garcinia spicata* Hook. f. to *Wikstroemia retusa* A. Gray, the figures get smaller from $1.70 \times 10^{-3}\text{mg}/\text{cm}^2$ to $1.13 \times 10^{-3}\text{mg}/\text{cm}^2$.

Needle leaf trees absorb about two to fifty times as much salt as broad leaf trees, while broad leaves have short, soft wood fiber on the surface of leaves. Such trees as *Messerschmidia argentea* Johnst. and *Hibiscus tiliaceus* L. having many ridges gather more salt conspicuously.

Obviously the salinity amount attached to objects decreases as one enters from the seaside to the inner land. The windward forest edges of salty wind protection forests gather much salt in comparison with leeward forest edges.

Generally speaking, the higher part of trees gathers more salinity, however, more salt is found even near the surface of the earth open to all winds. In short, there is a tendency that the stronger and the larger the wind is, the greater the salinity to the part where the wind blows.

6) The salinity amount contained in the rainfall reaches the maximum in September at a level of $3.7 \times 10^2 \mu\sigma/\text{cm}$ and $2.6 \times 10^2 \mu\sigma/\text{cm}$ from November to February. The lowest amount is $4.4 \times 10 \mu\sigma/\text{cm}$ in June, which is one place down. July and October gather 7 to $8 \times 10 \mu\sigma/\text{cm}$. The annual average figure is about $1.8 \times 10^2 \mu\sigma/\text{cm}$. The distribution of salinity crossing over southern part of the Okinawa Mainland is shown in a representative example as follows:

West coast; $3.0 \times 10^2 \mu\sigma/\text{cm}$

East coast; $2/3 (3.0 \times 10^2) \mu\sigma/\text{cm}$

Inland section; $1/2$ to $1/3 (3.0 \times 10^2) \mu\sigma/\text{cm}$

The salinity has a tendency to increase its amount in summer on the east coast and in winter on the west coast, which is greatly influenced by typhoons and the northwest monsoons.

In the case of continuous rainfall, the logarithm on graduated testing times and that of salinity amount are not in a fixed relation. That is to say, the more testing is done, the less the salinity amount becomes. Irrespective of the salinity amount at the first stage, its amount constantly decreases. At the third or fourth attempt, salinity falls to half as that of the first time, which becomes about 1/10 at the seventh to the ninth attempt. Hence we may assume that the less rainfall, the more the salinity amount is.

On the contrary, the rainfall at the time of typhoons contains more salt. Namely, the nearer a typhoon approaches, the more salinity increases all of sudden, which amounts to two to seventeen times as much as that the first time, followed by the later gradual decrease.

As to stem flowing water and crown flowing water, the change of salinity amount per every month is the same as in the case of rainfall. Stem flowing water amount gets nine times as much as that of rainfall and crown flowing water, 5.7 times. Near the coast line, the amount increases about three times as much as that of inland. But, under conditions of continuous rainfall, it goes down from 1/2 to 1/3 at the third time.

7) The salinity amount attached to gauzes and brushes shows periodical changes between several days and more than ten days. The results mentioned below indicate every month's average amount or total amount at each testing time. The measured amount at 1:00 p.m. in comparison to that at 9:00 a.m. is 50% increased as to the salinity attached to gauzes and 100%, to brushes. On the other hand, wind velocity is 24% increased and temperature 8% increased with a 15% decrease in humidity. Almost the same results were obtained at the 5:00 p.m. testing.

Concerning the relation between attached salinity amounts and average wind velocity, three coefficients of correlation in a straight line, logarithm and exponent were sought, using daily data for eleven months selected voluntarily. As a result, the correlation of logarithm regression was found best. The salinity attached to gauzes is better than that of brushes and the tested amount at 9:00 a.m. showed better correlation than those of 1:00 and 5:00 p.m. Then thirty-three months measured figures at 9:00 a.m. were checked so as to find the coefficient of regression and correlation. As a result, with three months exception, the remaining thirty months brought good results. It has become clear to us, however, that neither a rule can be given on this matter nor is it proper to use daily data in order to forecast. On the contrary, a rule has been found as to changes in the average figures every month.

It is clear that even in each total of measured figures every month the logarithm relation can be applied, thereby obtaining the following formulas:

$$\sum \log S_G = 0.5628 \sum \bar{v} + 11.3502 \quad (r = 0.767)$$

$$\sum \log S_B = 0.3568 \sum \bar{v} + 0.1113 \quad (r = 0.713)$$

Even in the moving average of two months, correlation improves considerably.

$$\sum \log S'_G = 0.5397 \sum \bar{v} + 25.3157 \quad (r = 0.881)$$

$$\sum \log S'_B = 0.3568 \sum \bar{v} - 6.8213 \quad (r = 0.816)$$

Where S'_G is the salinity amount attached to gauzes, S'_B is brushes, and \bar{v} is average wind velocity.

In addition, the following formula was discovered as to total amount every month.

This indicates that there is a multiple correlation amount the salinity amount attached to gauzes (S_G), wind velocity (\bar{v}) and humidity (h).

$$\Sigma \log S_G = 0.484 \Sigma \bar{v} - 0.011 \Sigma h + 2.7745 \quad (r_{s.v.h} = 0.932)$$

This formula has been found to agree with the measured figures.

8) Plants salt proof limit was examined by using *Garcinia spicata* Hook. f. and *Saccharum officinarum* L.,

In the case of *Garcinia spicata* Hook. f., the damage caused by watering trees with various seawater densities went forward from the lower part to the middle, then to the upper section. On the leaves, damages progressed from the edges of leaves, circumferential part to the middle of leaves, next to leaf-stalks, followed by the death of the plants at the final stage. The damage caused by spraying seawater was trivial. However, when sprayed to leaves and trunks, the same damage was caused as in the case of watering.

As shown in the figure 38, watering intervals are graduated on the axis in logarithm. This is for the purpose of grasping the relation between watering intervals and sea water density. In this graph, a limit line (damage limit, wither limit) shows itself to be a straight line. Under conditions of watering every three days, damages start from density 25% and in every fifteen days, from density 90%. When a straight line is drawn by connecting these two points of 25% and 90%, the damage comes out at a higher density rate and at shorter interval points. The straight line connecting 45% daily watering points and 100% of fifteen days interval points indicates the dying limit of plants.

As to the salt amount in soil, damages are evident from the amount of 600 to 700 $\mu\delta/cm$ and plants die at a level of 1000 to 1500 $\mu\delta/cm$. In either case of testing methods (by watering or spraying), damages appeared when salinity amount per the unit of area of leaves came at a stage of 10 $\mu\delta/cm/cm^2$ and plants died at 15 to 17 $\mu\delta/cm/cm^2$. In case salinity amount per weight unit of leaves reached a stage of 300 $\mu\delta/cm/g$ and the salinity of the whole seedlings came to a level of 400 $\mu\delta/cm/g$, those damages appeared and plants died at a level of 1.3 to 1.9 times more than the damage amounts.

In case of *Saccharum officinarum* L., a rolling phenomenon appeared in the leaves at the first period of damage and the damage advanced from the upper edges of leaves to the middle, then to the lower part of leaves. Then the salinity amount in soil reached 700 to 800 $\mu\delta/cm$, the damage showed itself. Then at a level of 1000 $\mu\delta/cm$, the damage seemed evident and at 3000 $\mu\delta/cm$, plants died.

In conclusion, it may be said that when the salinity amount per weight unit of leaves, of stems, of roots and of the whole parts of plants reaches 250 $\mu\delta/cm$, damages appear and plants die at a level of 500 $\mu\delta/cm$.

9) The following testing was done so that we might clarify how the salinity amount

attached to gauzes can be controlled:

In the case of salty wind protection forests existing along the seashore and windbreak nets being spread, the investigation was made with relation to wind velocity.

As to salty wind protection forests, seven meters high, 110 meters wide dominantly trees of *Casuarina equisetifolia* J. et G. Forst. were used at Toguchi, Kitanakagusukuson, on the east coast of the central Okinawa Mainland. Also six meters high, 10 meters wide dominantly trees of *Hibiscus tiliaceus* L. were used at Kudeken, Chinenson, on the east coast of the southern part of the Okinawa Mainland.

On the other hand, four meters high, 15 meters wide windbreak nets were spread in two or three rows at the reclamation lands of Tshako, Sashikison and Isado, Kitanakagusukuson. Under the same conditions, testings were repeated eight times at Kudeken. wind velocity was compared with the same height standard points near the seaside in order to find wind velocity reduction rates. As a result, there was a tendency that wind velocity reduction rates seemed to change regularly in keeping with wind velocity. This is, however an unidentified rule, therefore, the comparative figures were obtained from the average figures.

According to the results of experiments at each place, a logarithm rule is established even in this case between attached salinity amount and wind velocity. Even if different values obtained from different observatories and measured amounts are summarized, a considerably better correlation is discovered. Hence we may well assume that we should, first of all, pay more and more attention to the distribution of wind velocity so that attached salinity might be controlled.

Also a straight line regression was established between salt reduction rates and wind velocity reduction rates. Under these conditions, we found better correlation in a straight line regression rather than in a logarithm regression.

Accordingly it is the writer's sincere belief that we can assume salt reduction rates by wind velocity distribution or through its wind velocity reduction rates.

As to the control effect of salinity amount by salty wind protection forests and by windbreak nets, 60% salt reduction can be expected by the forests and 40 to 50% by the nets positioned, when these are positioned up to ten times as distant as the height of those objects. However, if separated 100 meters from the seashore, only 20% reduction can be expected even on flat ground and if more than 200 meters, the reduction rates decrease at a level of 30%. Therefore such reduction rates should be taken into consideration, as far as the control effect of salinity amount is concerned.