

## 海岸砂丘の起伏と海岸林の形態による飛砂の捕捉効果

松下, 雄一  
九州大学農学部砂防学講座

長津, 喬  
九州大学農学部砂防学講座

<https://doi.org/10.15017/23560>

---

出版情報 : 九州大学農学部学藝雑誌. 50 (1/2), pp.59-65, 1995-11. 九州大学農学部  
バージョン :  
権利関係 :

## 海岸砂丘の起伏と海岸林の形態による飛砂の捕捉効果

松下 雄一・長澤 喬

九州大学農学部砂防学講座  
(1995年8月5日受理)

### Accumulation Changes Caused by the Profile of Coastal Sand Dune and the Forest Structure of Windbreak

Yuichi MATSUSHITA and Takashi NAGASAWA

Soil and Water Conservation Laboratory,  
Faculty of Agriculture,  
Kyushu University Fukuoka 812-81

#### はじめに

近年、地球の温暖化による内陸の乾燥や人為的な過度の森林伐採や放牧にともない世界各地で砂漠化が進行している (FAO, 1977)。これによって形成された内陸砂丘では飛砂を原因とする土砂災害が多発している (市川, 1988)。わが国は温暖湿潤気候帯にあるため内陸砂丘は存在しないが、汀線が遠浅な砂地であるうえに北西方向からの恒風のため、日本海側では多くの海岸砂丘が分布している。海岸砂丘では飛砂現象が発生し、これによって飛来する砂粒は田畑や家屋などに多くの被害を及ぼしてきた。そのため、これまで飛砂の物理的機構や飛砂の防止対策についての研究が行われてきた (中島, 1979; 末, 1968)。また、海岸砂丘上に生育する海岸林については、飛砂の防止に重要な役割を果たすという観点から、いくつかの先駆的な研究が行われてきた (遠藤ら, 1979; 河合ら, 1985; 田中, 1962)。

海岸林の多くは起伏のある砂丘地形上に生育していることから、地形の起伏が飛砂現象に果たす役割は海岸林とともに大きいものと予測される。そのため飛砂の防止は、海岸林の効果だけではなく、海岸林と砂丘地形との組み合わせ効果に基づいて行われることが必要となる。飛砂に対する海岸林の効果は、樹高と立木密度とによって変化するものと思われる。本研究では、これら海岸林の樹高と立木密度に加えて砂丘の起伏が砂粒の捕捉量に及ぼす影響を明らかにすることを目的

とした。砂粒の捕捉量を表す指標として、砂丘上に植栽された樹齢20年～50年のクロマツの埋没深を用いた。

#### 調査地および方法

調査は、延長10kmにわたる海岸砂丘が形成されている、福岡県遠賀郡岡垣町の玄海灘に面した三里松原において行った。砂丘地形は海拔高で数10mの起伏量を示し、砂丘の尾根線と谷線とは一部を除いて汀線とほぼ平行をなしている。調査は、汀線に直交する主風方向 (南北) に沿って、長さ約300m～450mのライントランセクトを50m間隔で7本設け、それぞれのライントランセクト上でクロマツの樹高、立木密度、砂による埋没深を計測した。また砂丘地形の起伏量は、それぞれのライントランセクトの縦断測量から求めた。

7本のライントランセクトに沿って、それぞれ2～3個の砂丘が含まれ、汀線から内陸に向かって1番目の砂丘を第1砂丘 (いわゆる前砂丘)、2番目の砂丘を第2砂丘、3番目の砂丘を第3砂丘とした。砂丘地帯には、植栽されたクロマツのほかにも天然生のタブ、ヤブニッケイ、トベラ、マサキ等の常緑広葉樹やハゼノキ、イヌビワ、ノイバラなどが生育していた。クロマツ以外の常緑広葉樹は樹齢が若いことから、クロマツ植栽後に自然侵入したものと考えられた。また現在、クロマツが植栽時の地表面から数cm～数10cmの深さまで砂に埋没していることを利用して、この埋没深を現在までの堆積量と侵食量との差の積算値と考えて、通年的な砂粒の捕捉量と定義した。

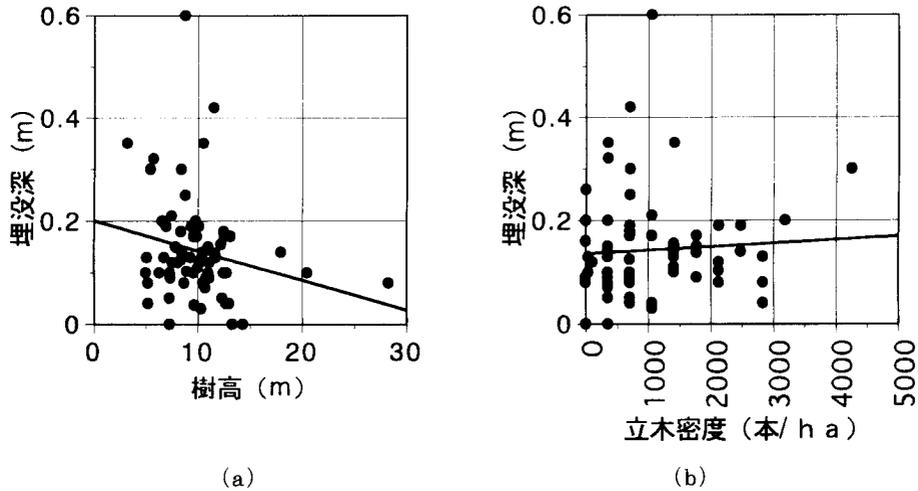


図1 クロマツについての樹高および立木密度と埋没深との関係

本研究では、クロマツ埋没深の汀線からの距離的变化について、1. 砂丘の起伏を考慮しない場合と、2. 砂丘の起伏を考慮した場合とについてライントランセクトごとに解析した。この結果に基づいて、海岸林の形態と砂丘の起伏が飛砂の捕捉量に及ぼす影響を明らかにした。

## 結 果

### 1. 砂丘の起伏を考慮しない場合

図1に、クロマツ林の形態と埋没深との関係を示した。図1-(a)には樹高と埋没深との関係、図1-(b)には立木密度と埋没深との関係をそれぞれ示した。樹高はほとんどが5m~15mの範囲、立木密度は0本/ha~3000本/haの範囲にあるが、直線回帰したときの相関係数はそれぞれ0.21、0.06(5%確率で有意性なし)と低く、ほとんど相関関係がないことがわかった。クロマツは、地表面に平行な流線を描く海風に対して突起物と見なされるから、風速の緩和を引き起こし砂粒を林内に堆積させるものと予測されたが、ここではそのような結果は見られなかった。

次に、クロマツの汀線からの距離と埋没深との関係を図2に示した。縦軸は埋没深を横軸は汀線からの距離を表している。各点はかなりばらついており、直線回帰したときの相関係数は0.45(1%確率で有意性なし)となり、ほとんど相関関係が見られないことが分かった。風速は立木の風下側で減少し、さらに内陸部にいくほど減少すると思われ、また汀線から離れるにしたがって飛砂量は減少するものと予測されたが、そ

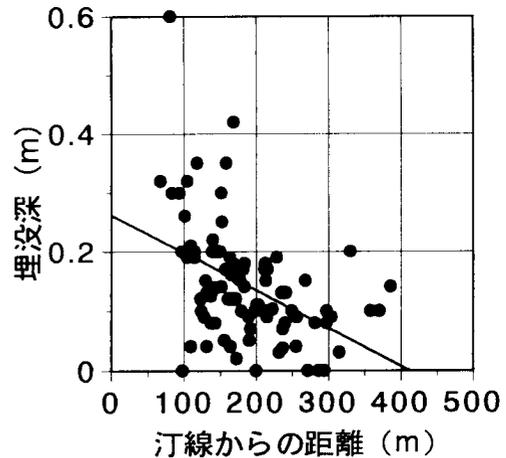


図2 クロマツについての汀線からの距離と埋没深との関係

のような傾向は見られなかった。

### 2. 砂丘の起伏を考慮した場合

クロマツは砂丘の頂部や谷部などの起伏のある場所に植栽されているので、風速緩和に対する影響として海岸林の形態に加えて、これらの砂丘地形の起伏も考慮する必要がある。そこで、それぞれのライントランセクトごとに、砂丘の起伏量の変化(砂丘断面形)と砂丘上に分布するクロマツの樹高および立木密度の変化とを組み合わせ、これと埋没深の変化との関係を検討した。図3-aに砂丘断面形と砂丘上に分布する海岸林の形態とを示した。黒いハッチングは砂丘断面形

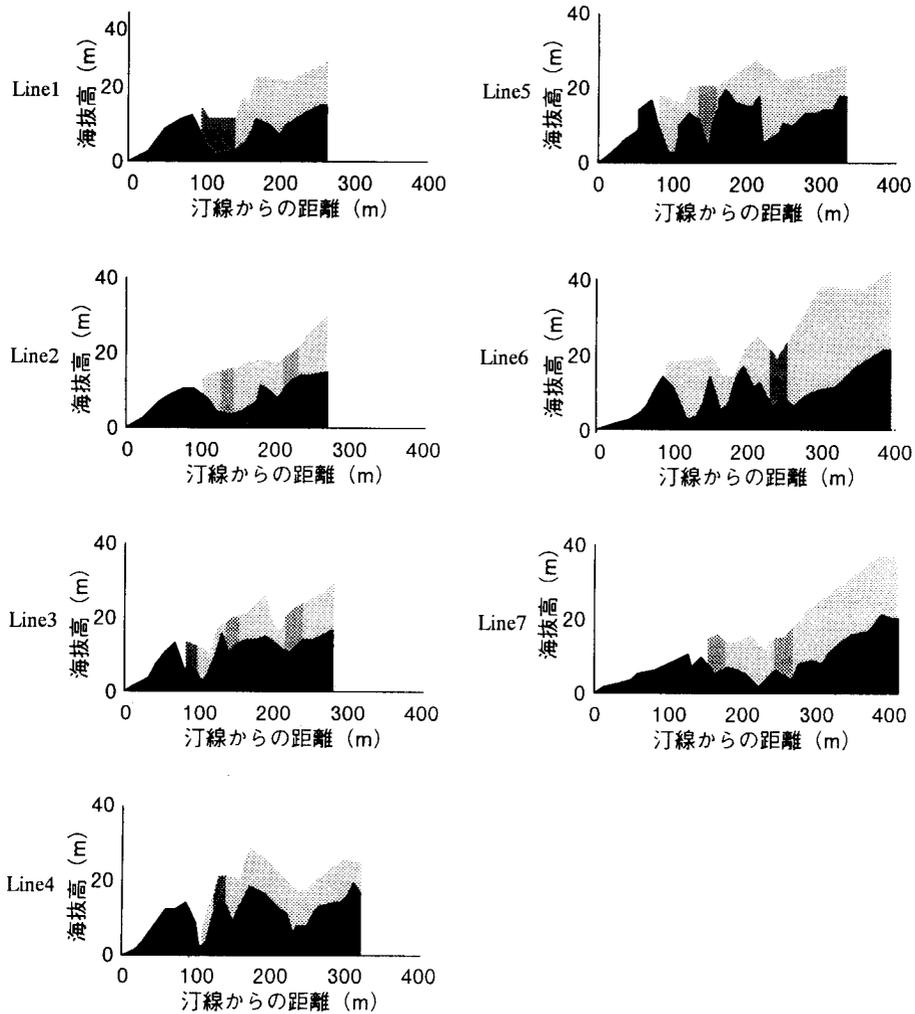


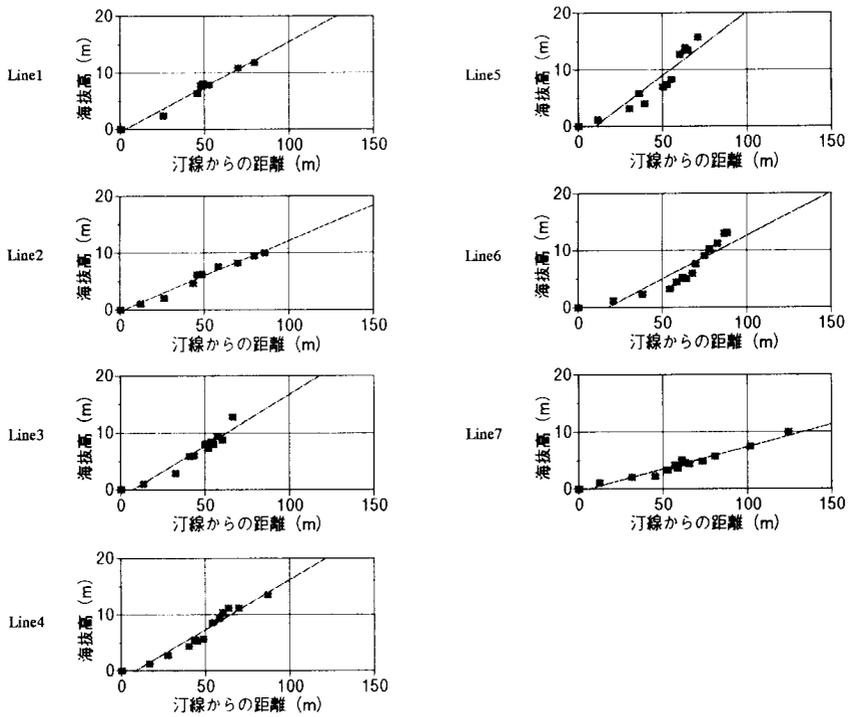
図3 各ライントランセクトにおける樹林の形態と積算埋没深  
(a) 砂丘断面形と砂丘上に分布する海岸林の形態

を表し、灰色のハッチングは海岸林を示している。海岸林は、立木密度の差によって3階級（0本/ha～1500本/ha、1500本/ha～2500本/ha、2500本/ha～4000本/ha）の濃淡で区別しており、色が濃いところほど立木密度が高いことを示している。また、風速緩和に対する砂丘の起伏の影響が汀線に最も近い砂丘において大きいと考え、前砂丘の風向面の傾斜角を示した（図3-b）。

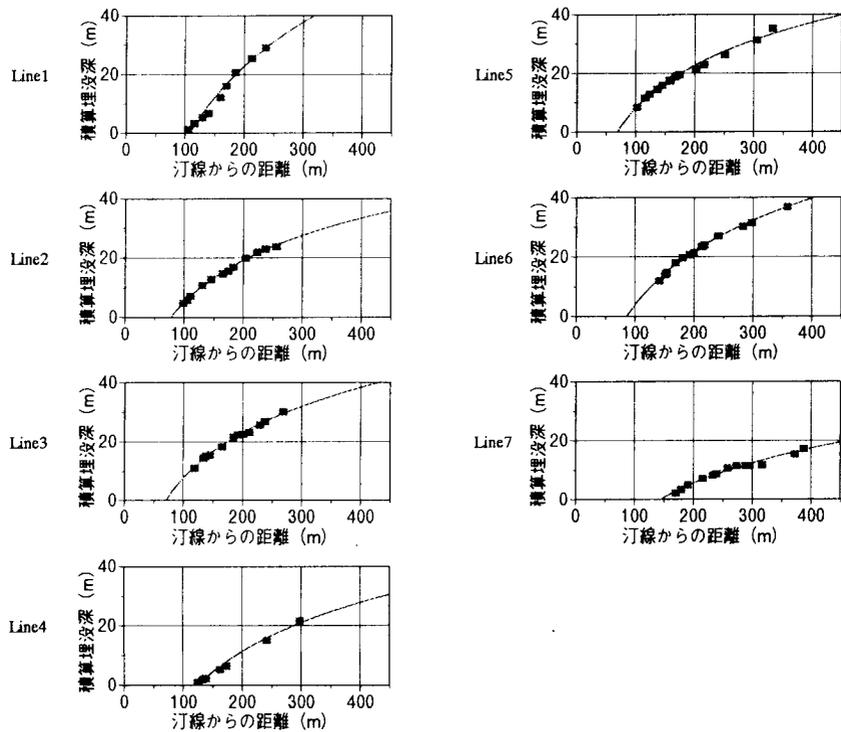
さらに、図3-cには積算埋没深（積算飛砂捕捉量）について汀線からの距離の変化を示した。7本のライントランセクトは近接しているので、海側から内陸側への飛砂の供給量がどのライントランセクトにおいて

も一定と仮定すれば、ライントランセクト上での埋没深を海側から内陸側へ積算すると一定の上限值に達することになる。しかし、上限値に達するまでの増加率にはそれぞれのライントランセクトでの堆積特性が反映されると考えて、その特性値を求めるために積算埋没深の変化を指数関数によって近似した。このうち最も相関係数の高い曲線を飛砂捕捉量曲線とし、この指数を積算飛砂捕捉量曲線指数と定義する。

海風が地表面に平行な流線を描くとすれば、前砂丘の風向面から飛び出した砂粒が、飛び出した後は風の影響を受けないとすると、その速度は



(b) 前砂丘の風向面の傾斜角



(c) 積算埋没深 (積算飛砂捕捉量) の距離的变化

表1 各ライントランセクトにおける前砂丘の風向面の勾配と積算飛砂捕捉量曲線指数

	Line 1	Line 2	Line 3	Line 4	Line 5	Line 6	Line 7
勾配	0.159	0.152	0.177	0.18	0.223	0.123	0.078
積算飛砂捕捉量曲線指数	0.027	0.049	0.045	0.042	0.047	0.039	0.059

表2 各ライントランセクトにおける前砂丘, 第2砂丘, 第3砂丘の砂粒移動エネルギー (水理学における損失水頭に相当する)

	Line 1	Line 2	Line 3	Line 4	Line 5	Line 6	Line 7
前砂丘	0.22	0.19	0.31	0.37	0.48	0.32	0.19
第2砂丘	0.16	0.12	0.41	0.36	0.25	0.11	0.01
第3砂丘			0.07	0.33	0.8	0.34	0.01

$$L_h = V_0 \cdot \sin \theta t - (1/2)gt^2 \quad (1)$$

$$L_x = V_0 \cdot \cos \theta t \quad (2)$$

ただし,  $V_0$ ; 前砂丘風向面に沿って飛ぶ砂粒の速度 (風速),  $L_h, L_x$ ; 着地位置の垂直成分と水平成分,  $\theta$ ; 前砂丘の傾斜角,  $g$ ; 重力加速度,  $t$ ; 時間.

で表される. これより,  $t$  を消去すれば

$$L_h = (\tan \theta)L_x - \frac{g}{2V_0 \cdot \cos^2 \theta} L_x^2 \quad (3)$$

となり,  $L_h = 0$  とおくと,

$$L_x = 2V_0^2 \cdot \sin \theta \cdot \cos \theta \cdot (1/g) \quad (4)$$

であるから,

$$\frac{dL_x}{d\theta} = 2V_0^2 \cdot \cos(2\theta) \cdot (1/g) = 0 \quad (5)$$

となり,  $\theta = \pi/2$  すなわち前砂丘の風向面の勾配  $\tan \theta = 1$  ( $45^\circ$ ) に近いほど, 砂浜から供給される飛砂は遠くまで飛び, 前砂丘の内陸側風背面には堆積しにくいと考えられる.

各ライントランセクトにおける前砂丘の風向面の勾配と積算飛砂捕捉量曲線指数とを表1にまとめた. Line 3, 4, 5, 6については, 前砂丘の風向面の勾配が急であるほど, 積算埋没深は大きいという予想通りの結果が得られたが, Line 1, 2, 7についてはあてはまらなかった. これは各ライントランセクトにおける砂丘の起伏と樹林の形態との組み合わせ効果によるものと考えられた.

## 考 察

### (1) 砂丘の起伏による飛砂捕捉機能

前砂丘より内陸側 (風背面を含む) に堆積した砂は, 強風時にさらに内陸部へ移動するものと思われる. しかし, 第2砂丘, 第3砂丘を乗り越えてさらに内陸部へ移動するために必要とされるエネルギー (以下, 砂粒移動エネルギー; 水理学における損失水頭に相当する) が前砂丘の砂粒移動エネルギーに比べ大きければ, 砂粒は第2砂丘, 第3砂丘より内陸部への移動が困難となり, これらの砂丘上に停止堆積しやすくなるものと考えられる. 砂粒移動エネルギー ( $\lambda I_e$ ) を次式で表した (Yaline, 1964).

$$\lambda I_e = \frac{v_m^2}{gh} \cdot \left\{ \frac{H^2}{2h} + \lambda' (6.0 + 5.75 \log_{10} \frac{h}{d_m})^{-2} \right\} \quad (6)$$

ただし  $\lambda$ ; 砂丘長 (m),  $I_e$ ; エネルギー勾配,  $v_m$ ; 平均風速 (4.7m/s),  $H$ ; 砂丘比高 (m),  $h$ ; 飛砂の移動する平均高 (m),  $\lambda'$ ; 砂丘風向面の水平距離 (m),  $d_m$ ; 平均粒径 (0.025cm).

式 (6) を用いて, 各ライントランセクトにおける前砂丘, 第2砂丘および第3砂丘上の砂粒の移動に必要な砂粒移動エネルギーを求め, 表2にまとめた. 表より, Line 1, 2を除くすべてのライントランセクトにおいて, 第2砂丘または第3砂丘における砂粒移動エネルギーの方が前砂丘における砂粒移動エネルギーよりも大きいことがわかった. このことより Line 1, 2を除くすべてのライントランセクトにおいて, 前砂丘の内陸側で最も砂粒がしにくいことが示唆された.

しかし、図3-aと図3-cとを比較すると、積算埋没深の大きいLine 1, Line 6でのみ第2砂丘の風向面において埋没深が大きいことがわかった。

#### (2) 海岸林の飛砂捕捉機能

Line 1, 3, 4, 5, 6では砂丘地形上に分布するクロマツの樹冠海拔高は汀線からの距離にしたがって急激に変化し、Line 2, 7では緩やかに変化している。図3-cのグラフで、傾きが急な区間つまり埋没深が増加する区間では、砂丘上のクロマツの樹冠海拔高が風上から急激に高く変化する区間とほぼ一致していることがわかった。このために、砂丘上に分布するクロマツの樹冠海拔高の変化が緩やかなLine 2, 7では積算捕捉量が小さく、また砂丘上に分布するクロマツの樹冠海拔高の変化が激しいライントランセクトにおいて積算飛砂捕捉量は大きかったものと考えられた。

Line 1で特に積算飛砂捕捉量が大きかったのは、(6)式より砂粒が堆積しやすいとされる第2砂丘風向面と前砂丘風背面との間の谷部に立木密度の高い樹林が長い距離にわたって成立しており、さらに第2砂丘風向面上の樹林が、これらの樹林よりもさらに樹高が高いためと考えられた。

以上のように海岸林の形態と埋没深との間には一定の関係が見られなかったが、海岸林の形態に砂丘の起伏を組み合わせて解析すると一定の関係が見られた。また、多量の砂粒を海岸林内に捕捉させるためには、(5)式と(6)式より、砂粒が捕捉されやすい区間を想定して、海岸林に補植を加え立木密度を高めることによって、ライントランセクト上に樹冠海拔高や立木密度の異なる樹林帯を造成することが有効であることが示唆された。

今回の調査では、各ライントランセクトにおける風向、風速や飛砂量といった物理量はすべて等しいとしたため、実地に具体的に適用できるような結論は得られなかった。しかし、砂丘地形と異なる形態の海岸林を組み合わせることによって、より多くの砂粒の捕捉が可能であることが示唆された。今後は、現象論に基づく考察にとどまらず、これら物理量を広域で計測し、砂粒の捕捉に対する地形起伏と海岸林の影響とを定量

的に明らかにする必要がある。

## 要 旨

本研究では、海岸砂丘の起伏と海岸林の形態(樹高、立木密度)とが飛砂の捕捉に及ぼす影響について検討した。長期間の飛砂の捕捉量は計測できないので、20年~50年生のクロマツの埋没深を指標として推測した。調査は、汀線と直交する7本のライントランセクトを設定し、それぞれのライントランセクトにおける砂丘起伏量の変化、樹高と立木密度の変化をクロマツの埋没深とともに計測した。その結果、樹高、立木密度、汀線からの距離それぞれと埋没深との単独の関係は認められなかったが、砂丘の起伏量の変化も考慮すると一定の関係が認められた。すなわち、砂丘地形としては、前砂丘風向面および第2砂丘より内陸側の砂丘風向面の勾配が大きくこれらの砂丘間隔が短い区間に高密度の樹林を造成することが砂粒の捕捉に有効であることが示唆された。

## 文 献

- 市川正巳 1988 世界における砂漠化とその研究の現状。地理評, 61(2): 89-103
- 遠藤治郎・金内英司 1974 海岸砂防林内の丘砂の性質について。日林東北支誌, 25: 103-104
- FAO/UNESCO/WMO 1977 World map of desertification at a scale of 1:25,000,000 with explanatory text. UN Conference on Desertification, UNEP
- 河合英二・竹下 幸・大谷義一・細山田典昭・菅 道教 1985 一ツ葉海岸林の環境保全機能(Ⅱ) 一前砂丘の破壊と飛砂の実態一。日林九支研論集, 38: 327-328
- 中島勇喜 1979 飛砂制御に関する基礎的研究。九大農演報, 51: 125-183
- 末 勝海 1968 海岸砂防工に関する基礎的研究。九大農演報, 43: 1-120
- 田中一夫 1962 海岸防災林の飛砂固定に関する実験的研究。砂丘研究, 8(2): 69-124
- Yaline, M. S. 1964 On the velocity of the flow over a movable bed. La Houille Blanche, No.1

## Summary

Amount of the blown sand transported from sea coastal has burried the forest stand on undurating coastal dune. Accumulation changes caused by the profile of coastal sand

dune and the forest structure of windbreak were investigated at Sanri-Matsubara located in Fukuoka prefecture.

To describe the profile of coastal sand dune, space of top-to-top of dunes and slope of the windward surface were measured, and forest density and tree height were measured as indicator of the forest structure of windbreak along seven line transects. Also depth of the sand buried trees (artificial black pine) was measured as the accumulation volume on forest stand.

The forest density and the tree height have independently no effect on the accumulation of blown sand. In section of higher in slope of windward surface of 1st and 2nd dunes from the sea, and shorter in space of the top-to-top of dunes, the accumulation volume increased. Moreover in the case of higher in forest density and tree height, the accumulation of blow sand was tend to still more proceed.