

鳥取砂丘における植生被覆に伴う飛砂量の減少

森井 愛*・小玉芳敬**

A Decrease of Sand Drifting with Vegetation Coverage as Observed at the Tottori Sand Dune

MORII Ai* and KODAMA Yoshinori**

キーワード：鳥取砂丘，飛砂観測，植生被覆，風速鉛直分布

Key Words : the Tottori sand dune, observation of sand drifting, vegetation coverage, wind velocity profile

1. はじめに

鳥取砂丘は，日本海に面した東西16km，南北2.4kmに横たわる海岸砂丘である。一般に鳥取砂丘といわれているのは，千代川河口の東に広がる，面積約545ヘクタールの浜坂砂丘の一部，天然記念物指定の範囲を指す。鳥取砂丘には，コウボウムギ，ケカモノハシ，ネコノシタ，ハマヒルガオ，ウンラン，ハマゴウなど，全部で16種類の砂丘植物が生育している。

風による砂の移動現象を飛砂という。砂が風で運ばれるとき，その運搬形態は大きく分けて，転動，跳躍，浮遊の3つである(金崎，1963)。転動は，砂粒が地面を転がりながら移動するもので，砂が風で持ち上がらない場合に起こる。跳躍は，砂粒が跳ねながら移動するもので，風で持ち上げられた砂粒は弧を描きながら落下する。微小で軽い砂粒が空中に舞い上がり，風に乗って飛んだように移動するのが浮遊である。砂丘地では，浮遊はほとんど起こらず，飛砂の約8割は跳躍，約2割は転動であるといわれている(たとえば，神近，2000；鈴木，1998)。

日本の海岸砂丘砂の大部分は，粒径1.0mm～0.2mmで，1/2mm(0.5mm)～1/4mm(0.25mm)の中粒砂が主体をなしている(たとえば，赤木，1991；鈴木，1998)。Hudson(1971)は，粒子の直径が2.0mm～0.5mmでは葡行(転動)，0.5～0.05mmが跳躍，0.1mm以下は浮遊するとしていて，粒径が0.15mm～0.1mmの粒子が最も跳躍を受けやすいと指摘した。

一般的に，植物が生育し，砂地を覆っているところ(植生被覆地)では，砂地に比べて飛砂量が減ると言われている。植物は，風を遮り弱めると同時に，空気の流れの進路を変える。枝や葉のような透き間が多い遮蔽の場合には，空気の流れをかく乱し，小さな渦が形成されることによって風速が弱められる(神近，2000)。砂面近傍の風速が低下すると，砂の移動も止まり，飛砂は落下して堆積するようになる。

*鳥取大学 教育学研究科 教科教育専攻

**鳥取大学 地域学部 地域環境学科

ところが鳥取砂丘における従来の研究では、植生被覆に伴う飛砂量の変化についての観測データは見あたらない。そこで本研究の目的は、鳥取砂丘において、植生被覆に伴って飛砂量がどのように変化するかを、現地観測によって明らかにすることである。

飛砂量が減少すると、雑草や帰化植物が侵入しやすくなる。植物は、種子から発芽して個体を増やしていくが、風で砂が侵食されると根で体を支えることができない。また、飛砂を受けることで、傷だらけになり枯れてしまう。砂丘植物は、そのような厳しい環境下でも自生することができる。鳥取砂丘景観保全協議会(2004)によると、鳥取砂丘ではメヒシバやコマツヨイグサ、チガヤなどの雑草が侵入している。また近年、外来植物のオオフトバムグラが爆発的に生育し分布を広げている。これらの植物は、比較的、砂の移動がある半安定地にも砂丘植物と共存して出現する。さらに砂地が安定してくると、メマツヨイグサやオオマツヨイグサ、マンテマなどが侵入をはじめ。地形的な条件で、砂の移動が少ない地域は著しく草原化が進んでいる。そのような場所では上記の雑草類のほか、ヒメムカシヨモギ、ヒメスイバ、コバンソウ、ススキなどの草木植物や、ニセアカシヤ、アキグミ、クロマツの本木植物が繁茂し、湿性地ではヨシが侵入してきたことさえあり、社会問題となっている。そのため近年、鳥取砂丘では、ボランティアによる人力除草や除草車による大規模な機械除草が行われている。このような現状の中、飛砂量の観測データは、草原化対策を考える上で基礎的な情報となる。

2. 調査・観測地

飛砂量の観測は、おもに、天然記念物・鳥取砂丘の北西(鳥取砂丘の砂の移動を調査するために設けられた杭の番地でD-3, D-4, E-3, E-4付近)、海岸から約150m内陸で行った(図1)。観測は、砂地と植生被覆地で実施した。観測を行った植生被覆地は、海岸からの斜面の中腹にあり、他の植生被覆地よりも比較的なだらかな傾斜で、ま

た、海からの風をさえぎるものがないため、観測地点に選んだ(図2)。この植生被覆地は、南北の長さが140m、東西の幅が80mである。ここにはおもに、高さが10cm前後のコウボウムギ(図3)が生えており、ところどころに高さ40cm~50cmのケカモノハシが観察された。

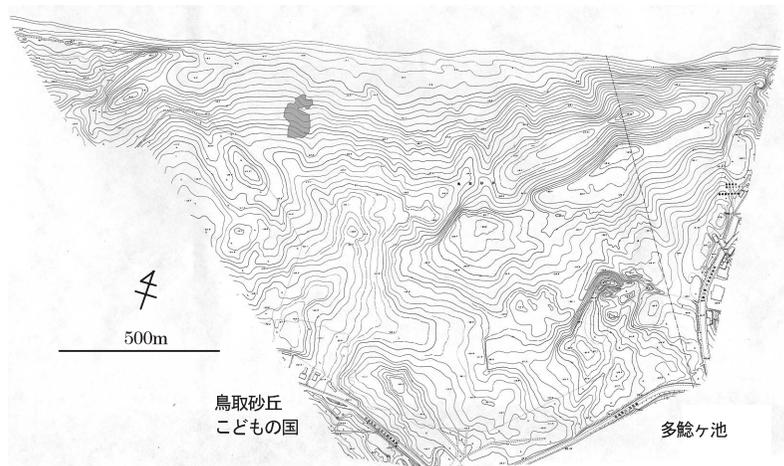


図1. 調査対象の植生被覆地

天然記念物・鳥取砂丘の地形図中に網かけした範囲が、観測を行った植生被覆地である。現地で植生被覆地の周囲を測量して地形図におとした。鳥取砂丘景観管理協議会、鳥取砂丘現況平面図(1996年撮影, 1997年測図)に加筆。



図2．観測地の植生被覆斜面を下から撮影した写真



図3．コウボウムギの写真

3．調査方法

3 - 1．飛砂量の鉛直分布計測

本研究では、飛砂量を測る装置を安価な材料で自作した(図4)。内径4.4cm、長さ25cm、厚さ2mmの塩化ビニル管の片側に、長さ19cm～38cm、幅10cm～19cmの捕砂袋を取り付けたものを捕砂装置とした(図5)。捕砂袋には、事前にいくつかの材料で実験し、風はなるべく通してしかも微小な砂を捕らえることのできる、目開きが57 μ mのナイロンメッシュシートを採用した。これらの捕砂装置を、長さ2m、直径28mmのイレクターパイプ(鉄パイプにプラスチックをコーティングしたもの)に、捕砂装置(塩化ビニル管)の円の中心が、地面から5cm、10cm、20cm、40cm、80cm、160cmの高さになるようにそれぞれ取り付け、飛砂量測定装置とした。鉛直方向の風速分布は、一般に対数分布をなしていることと、飛砂量の80～90%が地表面からの高さで、30cm～50cm以下に集中していることから(吉崎, 2005)、捕砂装置を取り付ける高さを決めた。

飛砂量の観測は、この装置を風上に向けて設置し、基本的には各地点で30分間実施した。その間に捕砂袋に捕捉された砂の乾燥重量を計測し、飛砂量の鉛直分布を求めた。同じ装置を2つ作り、同時に観測を行うようにした。

3 - 2．風速の鉛直分布計測

飛砂量の観測と同時に風速を計測した。測定には、AS ONE製風速温度計TA-361を使用した。16秒間のサンプリング後、それらの平均値が2秒毎に更新されるもので、これらの値を約1分間目視し、平均値を記録した。それぞれの観測地点で、5cm、

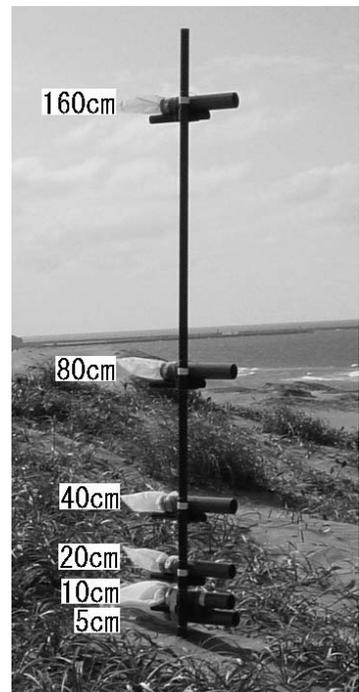


図4．飛砂量測定装置



図5．捕砂装置

10cm, 20cm, 40cm, 80cm, 160cmの6つの高さで風速を計測した。

4. 調査結果

4-1. 観測期間の気象状況と観測日

9月末から12月のはじめの期間で、強い風が吹き、かつ雨の降っていない日を選んで調査を行い、合計11回の飛砂観測を実施した。気象庁鳥取地方気象台の観測データから、飛砂観測期間の9月か

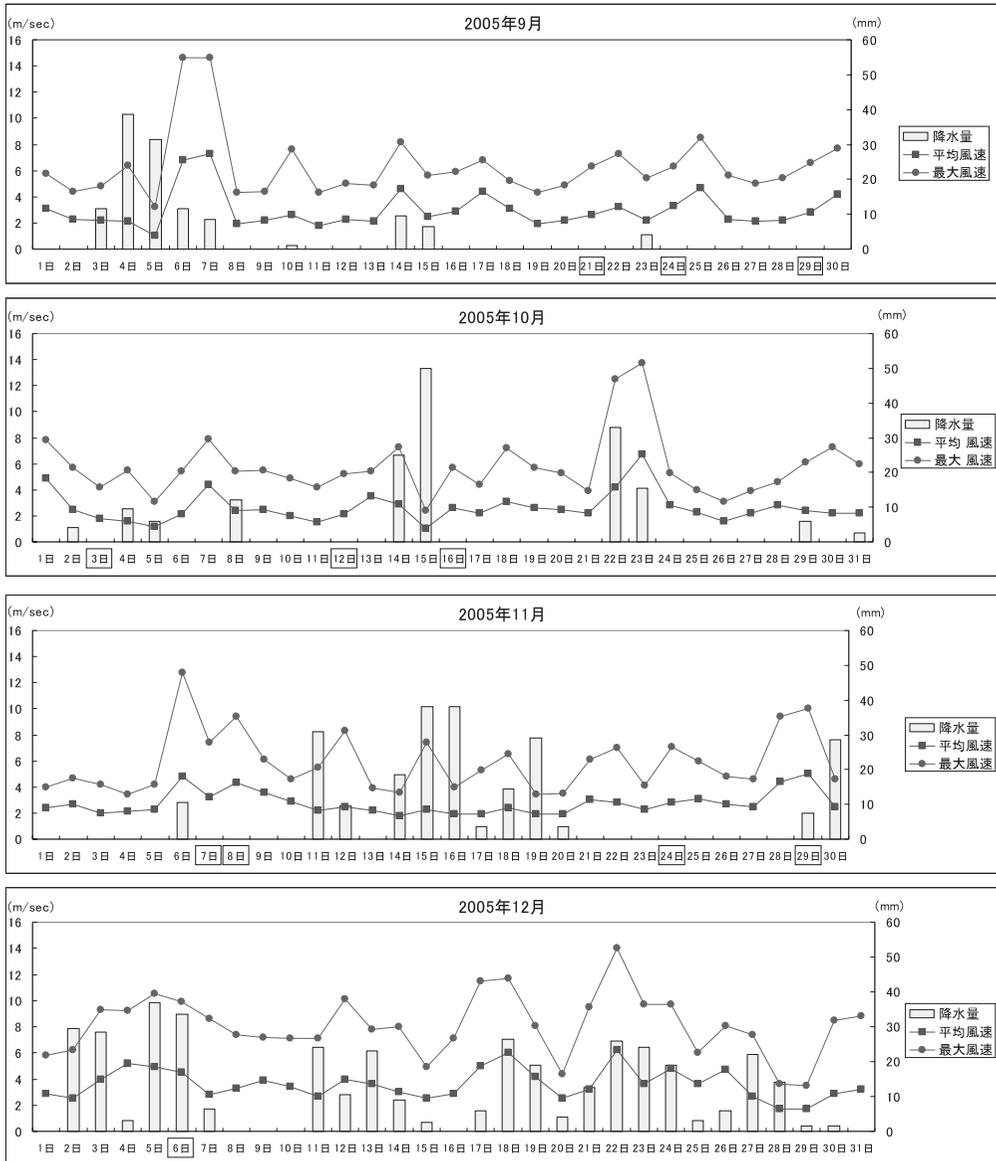


図6. 2005年9月～12月の降水量，平均風速，最大風速(気象庁鳥取地方気象台の気象観測データより作成)

ら12月までの日平均風速，日最大風速，日降水量の変化図を作成した(図6)。なお鳥取地方気象台は，鳥取市街地に位置する。図6の横軸で日付を四角で囲った日に，飛砂観測を行った。10月22，23日は，10月中では最大風速が約14m/secととびぬけて大きく，平均風速も約7m/secあったものの，強雨が降っていたため飛砂観測はできなかった。同様に12月は他の月と比べて全体的に風が強いが，植物は枯れてしまい，降雨日が多く雪も積もり，飛砂観測はできなかった。

4 - 2 . 植生被覆地における植生被砂状況の変化

図7は，11月2日に撮影した植生被覆地のコウボウムギの写真を，風上側()から風下側()の順にならべたものである。10月22，23日の西北西の強い風と雨の影響で，植生被覆地の大部分は砂で覆われたが，風上側と風下側とで被砂の状況が違ってくる。風上側では，植物がほとんど砂に埋まっているが，風下側に進むにつれて被砂は減少しており， には植物は砂にほとんど埋もれていない。この現象は，植生被覆境界付近から風下側に向かうに従って，植生被覆に伴って飛砂量が減少したことの反映と考えられる。

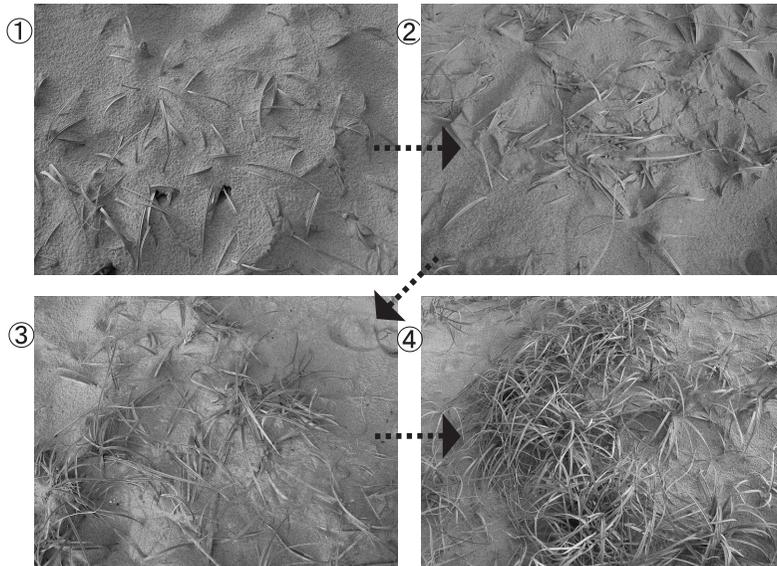


図7．観測地にみられたコウボウムギの被砂状況(2005年11月2日撮影)

4 - 3 . 飛砂量と風速の観測結果

植生被覆地の風上側での飛砂の状況，植生被覆地における風下方向への変化を捉えるために，砂地と植生被覆地でそれぞれ観測を行った。

砂地は原則として植生被覆地の風上側で観測し，植生被覆地はその日の状況に応じて観測地点を決めた。一例として，11月8日の観測結果を次に示す。

【11月8日】

砂地は植生被覆地の風上側で1地点，植生被覆地は5地点で，それぞれ30分間の観測を行った。植生被覆地は，植生境界付近から7m風下側で，そこから風下方向に11m離れた地点，同じように6m，5m，4.5mの間隔で，地点で各々観測を行った(図8)。観測は，砂地，植生

被覆地 , , , の順に行い、すべての観測を終えるのに2時間半かかった。その間、風速は絶えず変化していた。

1) 風速(図9)

高さ160cmで9~11m/secと強風であり、特に植生被覆地 での観測値がどの高さでも一番大きかった。この地点での観測が、強風の時間帯に一致したためである。砂地の風速は、高さ5cmで4.46m/secと3番目に大きい、高さ160cmでは9.35m/secと2番目に小さかった。植生被覆地 と植生被覆地 は、高さ5cmと10cmでは他の地点と比べて1.55~2.62m/sec小さいが、高さ160cmでは他の地点と同じくらいである。

2) 飛砂量(図10)

高さ5cmの飛砂量は、砂地で9.1g/min、植生被覆地では0.03~2.63g/minと、砂地のほうが圧倒的に多かった。砂地と植生被覆地 は、高さ5cmの飛砂量には大きな差がみられるが、高さ10cmでは大差はなかった。また、高さ20cm, 40cmの飛砂量は、砂地よりも植生被覆地 のほうがわずかに多く、さらに高さ80cmの飛砂量は、砂地よりも植生被覆地のほうが弱冠多かった。高さ160cmでは、どの地点でも飛砂は観測されなかった。

植生被覆地の飛砂量は、植生境界付近から風下方向に進むにつれて少なくなった。植生被覆地 から植生被覆地 で、飛砂量が1~5割減少し、植生被覆地 から植生被覆地 では、4~

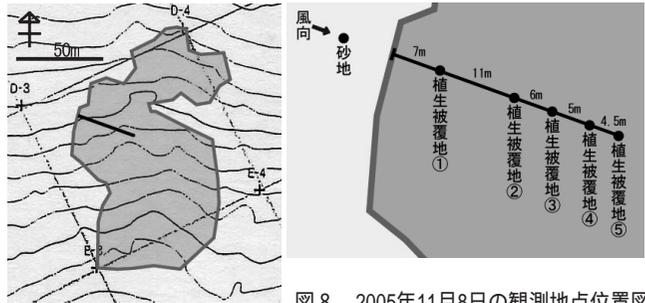


図8 . 2005年11月8日の観測地点位置図

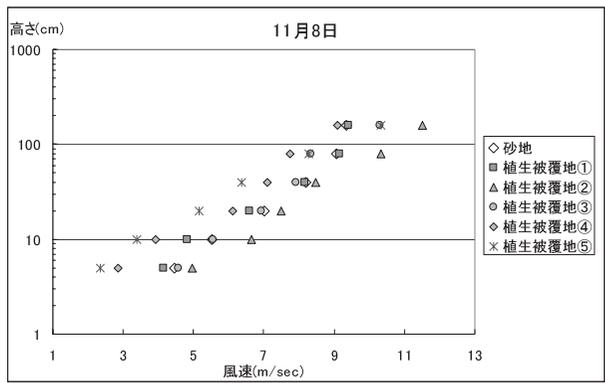


図9 . 2005年11月8日の風速観測結果

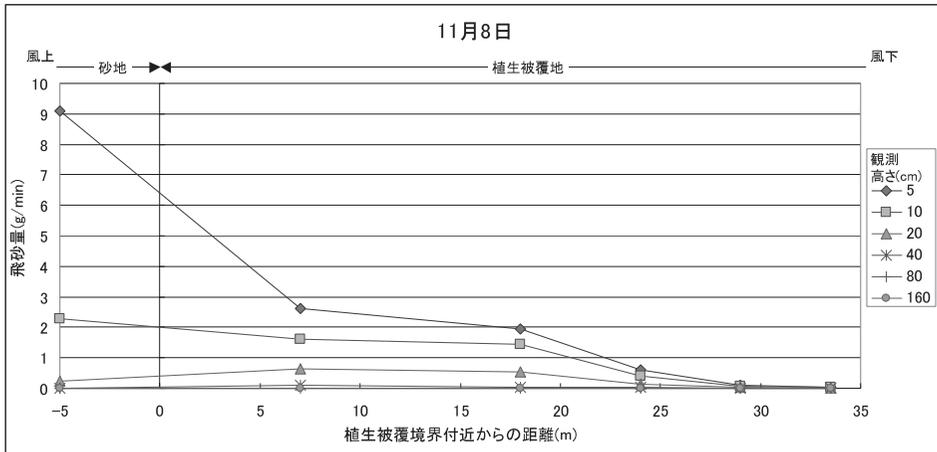


図10 . 2005年11月8日の植生被覆境界付近からの距離に応じた飛砂量の変化

7割減少した。

5 . 考察

5 - 1 . 摩擦速度と飛砂量との関係

砂表面に、風の剪断力(引きちぎろうとする力)が作用することによって、砂表面の砂粒子間に剪断応力(剪断力に対抗する力、引きちぎられまいとする力)が働き、それがある限界値を超えると飛砂が生じる(吉崎, 2005)。風速が大きくなると、引きずり速度(摩擦速度)は増加し、砂面に露出する砂粒に大きな剪断力を与える(鈴木, 1998)。摩擦速度は、乱流の強さを表すスケールで速度の次元をもつ(吉崎, 2005)。河田(1951)によって、地上100cmの高さの風速 U_{100} と摩擦速度 U_* との関係として、次の経験式が提示されている。

$$U_* = 0.053 U_{100}$$

ここで、 U_* ：摩擦速度(cm/sec)

U_{100} ：砂表面から高さ100cmの風速(m/sec) である。

そこで、それぞれの地点での風速の観測データから近似曲線をつかって、地面から高さ100cmの風速を算出した。その値を上記の式にあてはめて摩擦速度を求め、摩擦速度と飛砂量の関係を、砂地と植生被覆地にわけて、それぞれ図11に示す。

2つの図を見比べてわかるように、飛砂量は砂地のほうが圧倒的に多かった。砂地では、摩擦速度が大きくなるほど、飛砂量も多くなる傾向があらわれている。特に高さ5cmと高さ10cmの飛砂量を図12に抜き出してみると、飛砂量が摩擦速度の増加に伴って多くなる傾向が明瞭である。これらの結果は、自作した装置で飛砂量の観測がうまく機能していることを示している。

一方、植生被覆地では、摩擦速度が大きく、飛砂量が多い地点が3地点あるが、摩擦速度と飛砂量との間に明瞭な関係は認められなかった。

一般に、飛砂量は摩擦速度の3乗に比例するといわれている。本研究で行った現地観測結果からも、高さ5cmの飛砂量は、摩擦速度の3乗に比例することがわかった。また、高さ10cmの飛砂量も、高さ5cmほど顕著ではないものの、同じよ

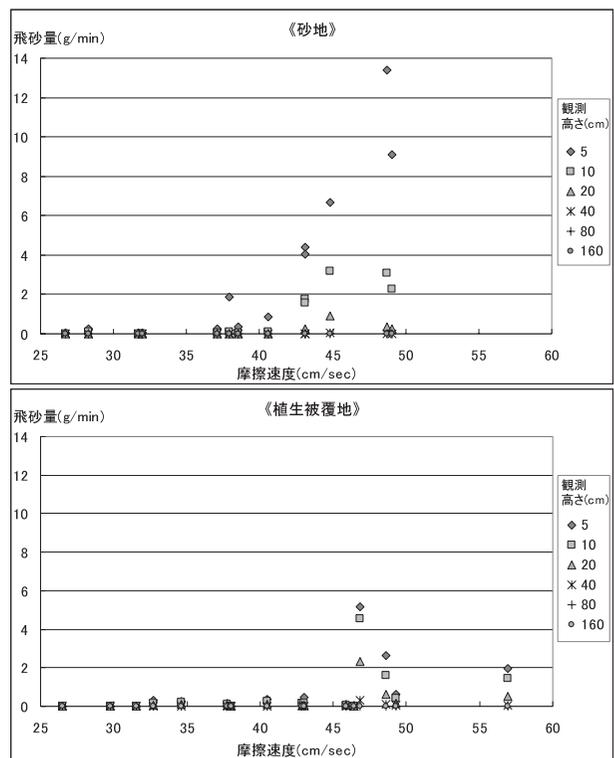


図11 . 摩擦速度と飛砂量との関係

うに摩擦速度の3乗と比例していた。そのほかの高さでは，そのような比例関係は認められなかった。

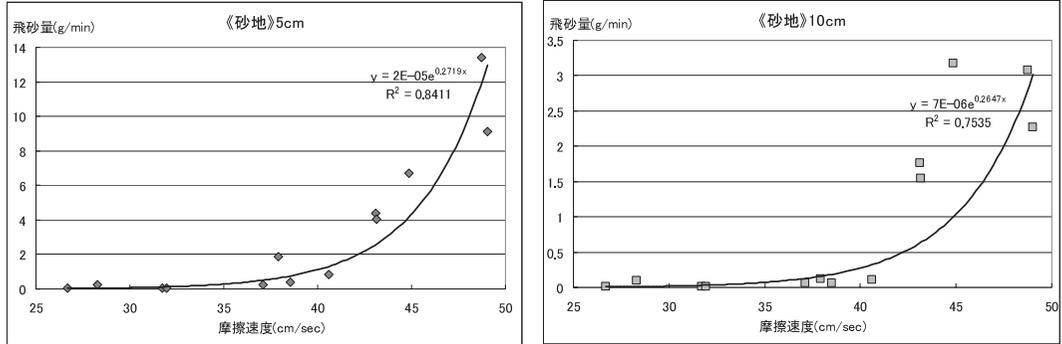


図12．摩擦速度と砂地の飛砂量(高さ 5 cm, 10cm)との関係

5 - 2 . 植生被覆境界付近からの距離と摩擦速度，飛砂量との関係

植生被覆境界付近からの距離と摩擦速度，飛砂量(各観測地点の高さ 5 cm)との関係を図13に示した。砂地と植生被覆地で，摩擦速度は同じくらいかまたは植生被覆地のほうが大きい日でも，飛砂量は砂地のほうが多く，植生被覆地では減少していることがわかる。植生被覆境界付近から風下方向に 5 ~ 15m離れたところで，飛砂量は大きく減少している。また，摩擦速度が38cm/sec以下の地点では，観測される飛砂量は極めて少ないことがわかる。

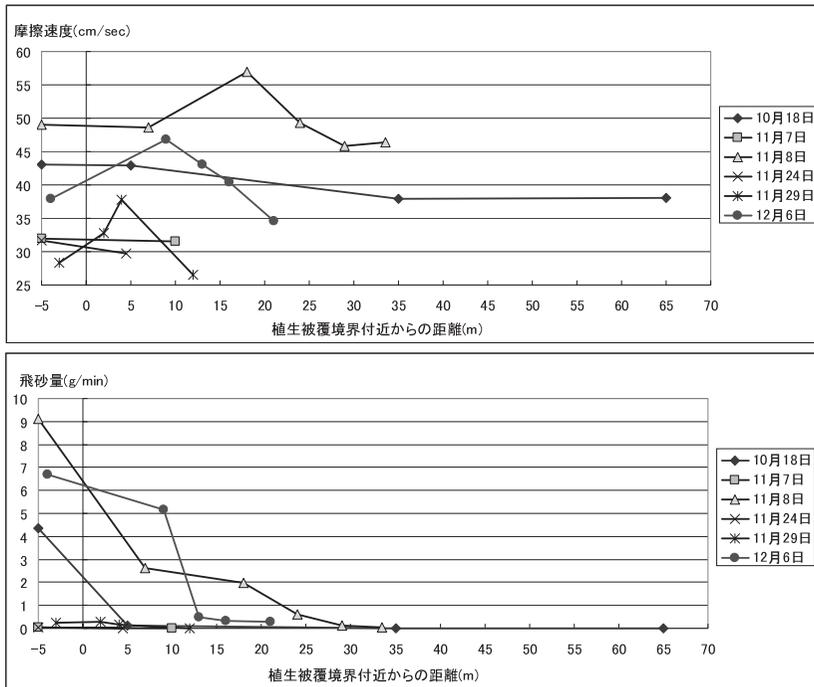


図13．植生被覆境界付近からの距離と摩擦速度，飛砂量(高さ 5 cm)との関係

摩擦速度の大きい、10月18日と11月8日、12月6日を比較すると、まず3日間とも砂地の飛砂量が多く、植生被覆地に入ると大きく減少している。10月18日は、摩擦速度は40cm/sec程度とやや大きいですが、植物が青々と生えていたため、飛砂量は植生被覆境界から5mの地点ですでに急激に減少して、極少量になっている。11月8日は、どの地点においても摩擦速度は50cm/sec前後と大きいにもかかわらず、砂地から植生被覆地に入ると飛砂量は大きく減少している。しかし、10月18日に比べて、植物が砂で埋もれていたことと、摩擦速度が大きかったことで、境界から7m程入った植生地点でも2g/min弱とやや多くの飛砂が観測された。12月6日は、摩擦速度が砂地より植生被覆地のほうが大きいにもかかわらず、飛砂量は砂地のほうが多い。植物の大部分が砂で埋もれ、枯れていたことで、境界から9m風下側の植生地点でも、5g/min程と多くの飛砂が観測された。

5 - 3 . 植生被覆地の飛砂の特徴

砂地と植生被覆地では、鉛直方向での飛砂量の変化に違いがあった。図14は、それぞれの地点での、地面からの高さが5cmの飛砂量を100%としたときの、他の高さの飛砂量の割合をプロットしたものである。高さ160cmでは、飛砂量が観測されなかったためプロットしていない。

砂地では、高さ5cmの飛砂量に対する高さ10cmの飛砂量の割合は平均28%であり、すべての地点が50%以下であった。一方、植生被覆地では平均が62%で、ほとんどの地点で50%以上であった。同様に、高さ20cmの飛砂量に関しては、砂地で平均4%，一方植生被覆地では平均24%であった。高さ40cmと80cmでも、砂地より植生被覆地のほうが平均値が高かった。また、高さ10cmの飛砂量に対する、20cm、40cm、80cmの飛砂量の割合の平均値も、砂地より植生被覆地のほうが高かった。

砂地では、地面からの高さが高くなると飛砂量が一気に減少するが、植生被覆地では、砂地と比べてその減少率が低い。高さ5cmでは砂地のほうが飛砂量は多いが、それより高いところでは植生被覆地の飛砂量のほうが多いことが何地点かで観測された。植生被覆地では、飛砂が植物にぶつかり、その勢いで跳ね上がり、地表面よりも強い風に吹かれることによって、5cmよりも高いところに砂粒が飛んでいくことが原因ではないかと考えられる(図15)。この現象を筆者らは、飛砂観測中に観察した。

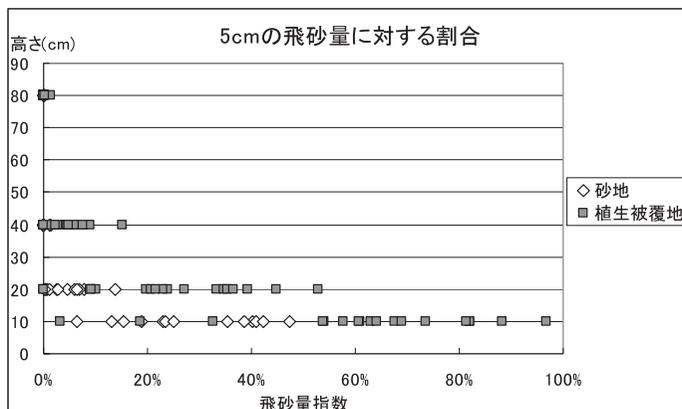


図14．高さ5cmの飛砂量に対するそれぞれの高さの飛砂量の割合

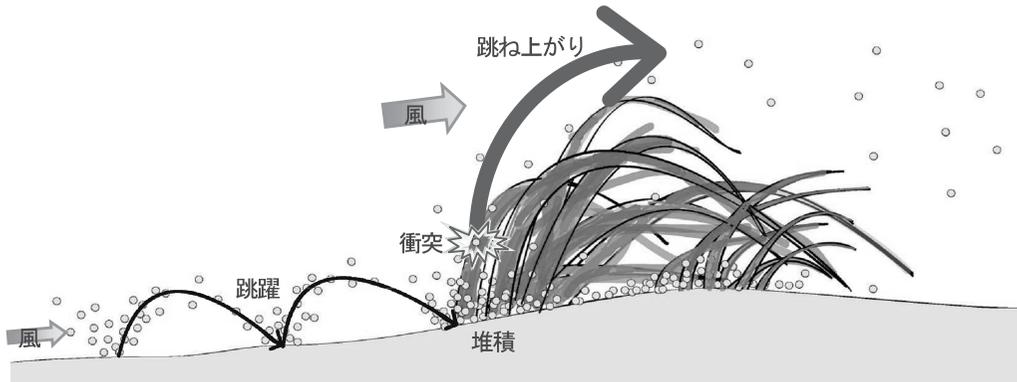


図15．砂地と植生被覆地における飛砂の違いを示す模式図

6．おわりに

本研究では、安価な材料で自作した飛砂量測定装置で飛砂量の観測ができたことが、ひとつの大きな成果である。少ないデータではあるが、一般にいわれているように砂地での飛砂量は、摩擦速度の3乗に比例することが観測で捉えられた。しかし、植生被覆地ではそのような関係は認められなかった。鳥取砂丘において、植物が砂面を覆うことによって、飛砂量は大きく減少する。植生被覆境界付近から風下方向に5m～15m離れたところで、飛砂量が大きく減少した。植生被覆地では、摩擦速度が大きくても植物が砂面を覆っていると、飛砂量は少量しか観測されない。しかし、植物が枯れたり砂で埋まっていたりして、砂面を覆う密度が小さくなると、摩擦速度が大きくなれば飛砂量は多くなる。また、植生被覆地では、高さ5cmの飛砂量に対する上方への飛砂量の減少割合が、砂地での割合よりも小さいことが明らかになった。これは、植生被覆地における飛砂の特徴である。飛砂が植物にぶつかることによって、砂粒が5cmより高いところに跳ね上がる。飛砂は、植生被覆によって風が弱められ、落下して堆積するだけでなく、植物に衝突してその勢いで跳ね上がるという特徴をもつことがわかった。

本研究での観測は、植生が盛りをすぎ、次第に砂で埋まり枯れていく時期に相当した。春先から植生が芽生え始めて成長し、盛りに達する段階での飛砂観測が当面の課題である。

謝辞

本研究を行うにあたって、同じ研究室の田代圭佑さんや榎本夕華さんには、現地観測の手伝いや相談にのっていただいた。その他にも多くの方々の支えがあって、研究を進めることができた。心より御礼申し上げます。

なお本稿は、森井愛の平成17年度鳥取大学教育地域科学部卒業研究「鳥取砂丘における植生被覆に伴う飛砂量の減少について」の一部を加筆修正したものである。

文献

赤木三郎（1991）『砂丘のひみつ』青木書店，170pp．

神近牧男（2000）第5節 砂丘の微気象．日本砂丘学会編，『世紀を拓く砂丘研究 - 砂丘から世界の砂漠へ - 』農林統計協会，62 - 73．

金崎肇 訳（1963）R.A.Bagnold 著『飛砂と砂丘の理論』創造社，304pp．

河田三治（1951）海岸砂地造林に関する調査報告 治山事業参考資料第4号．林野庁

気象庁 気象統計情報 気象観測(電子閲覧室) 地点ごとのデータ．<http://www.jma.go.jp/jma/index.html>

砂防学会（1992）『砂防学講座 第7巻 - 2 土砂災害対策 - 崩壊・地すべり・落石・飛砂対策(2) - 』山海堂，246pp．

鈴木隆介（1998）『建設技術者のための地形図読図入門 第2巻 低地』古今書院，354pp．

鳥取砂丘景観保全協議会（2004）『鳥取砂丘景観保全調査報告書』78pp．

吉崎真司（2005）乾燥・半乾燥地域における風食のメカニズムと治砂緑化法．武蔵工業大学 環境情報学部紀要，第6号，113 - 122．

Hudson.N.（1971）『Soil Conservation』B.T. Batsford Limited，320pp．

(2006年5月10日受付，2006年5月11日受理)