

牧草地消失に伴う風侵食およびそれを発端とする 砂漠化のメカニズム

福島大介¹・山本美樹²・中井正則³

¹正会員 修(工) 飛鳥建設株式会社 (〒102-8332 東京都千代田区三番町二番地)

²学生会員 東京電機大学大学院理工学研究科建設工学専攻 (〒350-0394 埼玉県比企郡鳩山町石坂)

³正会員 工博 東京電機大学助教授 理工学部建設環境工学科 (〒350-0394 埼玉県比企郡鳩山町石坂)

E-mail:nakai@g.dendai.ac.jp

本研究では、過放牧などに伴う牧草地消失時に生じる風侵食およびそれを発端とする砂漠化に注目し、そのメカニズムについて風洞実験により検討した。実験では、ケース1:牧草密度が密から疎へと徐々に低下していくケース、ケース2:牧草地が風上側から部分的・段階的に消失していくケース、ケース3:牧草地が風下側から部分的・段階的に消失していくケース、の3ケースを取り扱った。その結果、ケース1、3では侵食が支配的な現象が現れたのに対し、ケース2では顕著な侵食と堆積の両方が現れた。以上のように、この場合の砂漠化のメカニズムとして2通りが存在し、ケース2においてのみ砂丘が形成された。また、ケース2では、牧草地消失の途中段階で風上側に形成された砂丘が、その風下側に新たに形成される砂丘を大規模化させ、砂漠化を促進する可能性があることがわかった。

Key Words : desertification, wind-induced soil erosion, disappearance of grassland, land-surface shear stress, sand dune

1. はじめに

地球環境問題の1つである砂漠化現象は、食料問題、気候変動をはじめとした数多くの被害を我々に与え、早急に対処しなければならない事例として存在している。そもそも、砂漠化が本格的に問題視され始めたのは、1967年～1973年にかけてアフリカのサヘル地帯を襲った大干ばつであり、それをきっかけとして1977年には国連砂漠化防止会議(ナイロビ)が開催された¹⁾。また、1992年に開かれた国連環境開発会議(地球サミット:リオデジャネイロ)で採択されたアジェンダ21において、「砂漠化」とは『乾燥、半乾燥および乾燥半湿潤地域における種々の要素(気候の変動および人間の活動を含む)に起因する土地の劣化』という定義づけが行われ²⁾、砂漠化現象はわれわれにとって身近なものとなり、かつ砂漠化防止の重要性が示唆された。

砂漠化の原因は多種多様であるが、人為的要因に限定して代表例を挙げれば、森林の過伐採に伴う降雨侵食、過放牧に伴う風侵食、過耕作による土壌の塩性化などがある³⁾。本研究では、第2番目の原因つまり過放牧に伴う風侵食に注目した。これは、「家畜の過放牧→牧草地植生の減少・消失→地表面の裸地化→激しい風侵食」というプロセスを経て砂漠化に至る現象であり、中国をはじめ

めとして、今や世界中の至る所で発生していると言われている²⁾。しかしながら、この問題は現象自体が大規模かつ複雑であるため、そのメカニズムの解明が十分なされておらず、効果的な対応策が存在しないのが現状である。そこで、本研究では牧草地消失時に生じる風侵食に注目し、実験的に検討を行った。著者らのねらいは、牧草地消失時の風侵食について物理的視点より考察し、それを発端とする砂漠化のメカニズムの自然科学的側面を解明することである。

2. 本研究の概要

本研究では前述のように、牧草地消失時に発生する風侵食およびそれを発端とする砂漠化に注目している。そこで、実験Ⅰとして牧草地が連続的に消失する場合を対象にして、その際の風侵食および砂漠化のメカニズムについて砂丘形成の有無を含めて考察した。なお、牧草地の消失プロセスとして牧草密度が徐々に低下していくケース(シリーズA)と、牧草地が部分的・段階的に消失していくケース(シリーズB)を採用している。また、実験Ⅱ(シリーズC)では、実験Ⅰの結果を踏まえ、風上側に予め小規模砂丘(以後、この砂丘を前砂丘と称す

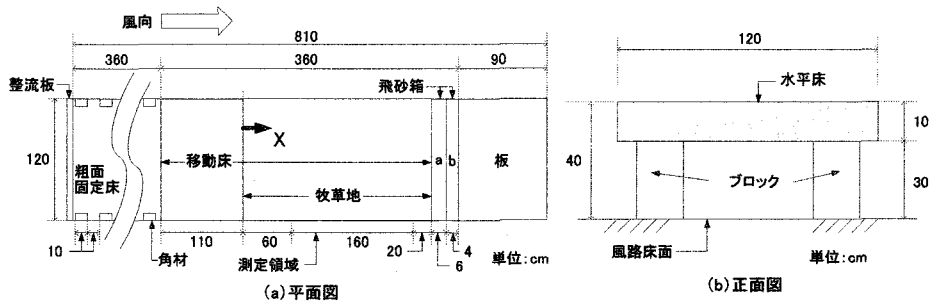


図-1 実験装置

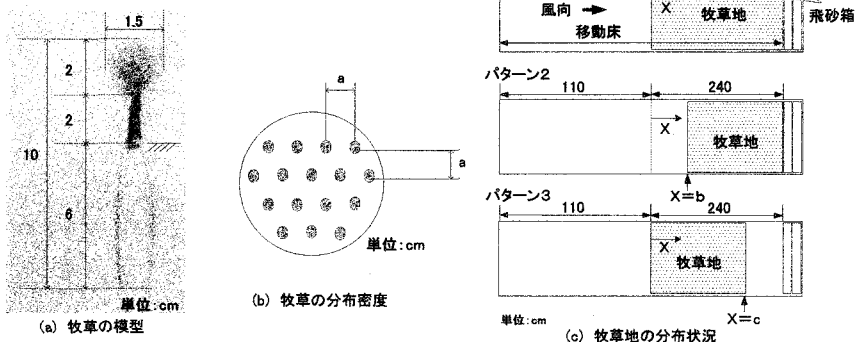


図-2 牧草地の分布状況

表-1 実験ケース一覧 (実験 I)

シリーズ	ケース	風速 (m/s)	送風時間 (min)	牧草地				
				牧草地の分布状況	牧草地の消失形態			
A	A-1	7.35	各90	a=4 パターン1	牧草密度:密→疎			
				b=8 全域裸地				
				a=6 パターン1				
				b=12 全域裸地				
	A-2			a=4 パターン1	牧草密度:密→疎			
				b=16 全域裸地				
				a=6 パターン1				
				b=24 全域裸地				
B	B-1	7.35	各90	a=4 パターン1 パターン2 b=75 パターン2 b=150	風上側からの部分的・段階的消失(堆積部分の牧草も抜き取る)			
				150 全域裸地				
				a=4 パターン1 パターン2 b=75 パターン2 b=190		風上側からの部分的・段階的消失(堆積部分の牧草を残す)		
				150 全域裸地				
	B-2		各90	a=4 パターン1 パターン2 b=75 パターン2 b=190	風上側からの部分的・段階的消失(堆積部分の牧草を残す)			
				150 全域裸地				
				B-3		各90	a=4 パターン1 パターン3 c=150 パターン3 c=75	風下側からの部分的・段階的消失
							150 全域裸地	

* a(cm), b(cm), c(cm), パターン1, 2, 3は図-2を参照

る)が形成されている場合を対象にして、風下側に牧草地が存在する場合の風侵食および砂漠化について考察した。

3. 実験方法

(1) 実験 I

実験 I では、東京電機大学理工学部建設環境工学科所有のゲッチング型境界層風洞を使用した。風路の寸法は長さ 19(m)×幅 1.2(m)×高さ 1.2(m)であり、風路内の風速は 0.4(m/s)~25(m/s)の範囲で連続的に変化させられる。また、風路底部から 0.4(m)の高さに合板を用いて、長さ 8.1(m)×幅 1.2(m)の水平床を設置した。この水平床の風上側 3.6(m)の領域を粗面固定床(砂を板に貼り付けたもの)とし、また、その風下側 3.5(m)の領域を移動床として、中央粒径 $d_{50}=0.38(\text{mm})$ の珪砂を厚さ 10(cm)で敷き詰めた。さらに、移動床領域のすぐ後ろには、長さ 6(cm)×幅 1.18(m)の飛砂箱 a と長さ 4(cm)×幅 1.18(m)の飛砂箱 b を 2 個並べ、そこから風下側→水平床を 90(cm)延ばした。なお、移動床領域での風の安定化を図るために、粗面固定床領域の両側壁面に 5(cm)×10(cm)の角材を 10(cm)間隔で取り付け、さらに最前部に整流板(10(mm)メッシュの金網)を設置した(図-1 参照)。また、牧草の模型には、針金にポリプロピレン製の紐を取り付け、細かく裂いたうえで下部を束ねたものを

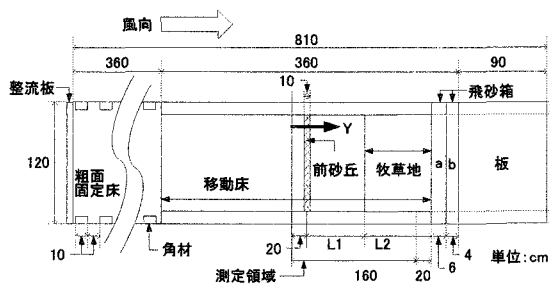


図-3 実験装置 (平面図)

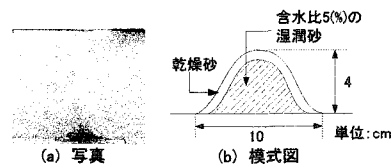


図-4 前砂丘

表-2 実験ケース一覧 (実験II)

シリーズ	ケース	風速 (m/s)	送風時間 (min)	前砂丘	L ₁ (cm)	L ₂ (cm)
C	C-1	7.35	45	全域裸地		
	C-2			無	30	130
	C-3			有	30	130
	C-4			無	90	70
	C-5			有	90	70

* L₁(cm), L₂(cm)は図-3参照

使用した (図-2 参照)。

実験 I は, シリーズ A, B の 2 つに大別される (表-1 参照)。両シリーズともに, 牧草地は移動床領域の風上端から 110(cm) の点より飛砂箱の手前までの 240(cm) の領域とした。また, シリーズ A では牧草地の牧草密度が密から疎へと 3 段階にわたって低下し, 最終的に全域裸地に至るケースを採用した。一方, シリーズ B では牧草地が部分的・段階的に消失し, 最終的にはやはり全域裸地に至るケースを採用した。両シリーズともに牧草地の消失プロセスと風侵食との関係について調べ, また, 砂丘の形成・成長にも注目した。

実験では両シリーズともに, 牧草除去のたび (初期状態を含める) に風速 7.35(m/s) (風路の断面中心) で送風し, 実験データとして地表面形状と飛砂量を取得した。地表面形状の測定では, 送風開始前, 45 分後, 送風終了後に, 独自に作成した器材を用いて X (牧草地の風上端からの距離: 図-1 参照) = 60~220(cm) における地表面の凹凸を, 両側壁付近 20(cm) の領域を除いて 5(cm) 間隔で格子状に測定した。また, 飛砂量については, 飛砂箱 a, b (図-1 参照) を用いて 15 分ごとに測定した (飛砂箱 a, b に堆積する砂の質量を M_a, M_b とすると, 全飛砂量 (= 跳躍量 + 匍行量), 跳躍量, 匍行量はそれぞれ M_a, M_b, M_a - M_b で与えられる)。

(2) 実験 II

実験 II においても, 実験装置のセットアップの概略は実験 I と同様である (図-3 参照)。実験ケース (シリーズ C) の一覧を表-2 に示す。図-3, 表-2 のように,

移動床領域の風下部分に牧草地を配置し, また, 風上部分には図-4 に示すような前砂丘 (移動床領域の風上端から 190(cm) の位置) を予め配置し, 前砂丘が風侵食に与える影響を検討した (比較検討のために, 前砂丘がないケースおよび全域裸地のケースも実験を行っている)。なお, 前砂丘は含水比 5% の湿潤砂を用いて基本形を整えたうえで, その表面に乾燥砂を散布して作成した。実験では, 風速 7.35(m/s) で 45 分間送風した。また, 送風開始前, 15 分後, 送風終了後に Y (前砂丘の 20(cm) 風上側の点からの距離: 図-3 参照) = 0~160(cm) の領域の地表面形状を, 側壁付近 20(cm) の領域を除いて 5(cm) 間隔で格子状に測定した。さらに, 15 分ごとに飛砂量の測定を行った。

4. 実験結果と考察

(1) 実験 I (シリーズ A) の結果

シリーズ A は牧草密度が密から疎の状態へと徐々に低下していき, 最終的には全域裸地に至るケース (ケース A-1, A-2) である。これらのケースの結果を図-5~8 に示す。図-5~7 は横断平均した地表面変位の分布であり, 横軸は牧草地の風上端からの距離 (X) を, 縦軸の地表面変位は + と - がそれぞれ堆積と侵食を表している。また, 図-8 は全飛砂量の時間変化であり, 横軸は各小ケースにおける送風開始からの経過時間を, 縦軸は 1 分間に対する風向方向 1(cm) 当たりの飛砂量を表している。

まず, ケース A-1, A-2 の各小ケース (①~④, 表-1 参照) ごとに結果を検討し, 牧草密度と砂移動の関係について考察する。図-5 は各小ケースごとの地表面変位の結果であるが, 同図のように, 牧草間隔 a = 4, 6, 8(cm) のケースでは牧草地の風上側 (X ≤ 140(cm)) において砂の堆積が確認される (a = 4(cm) のケースについては図-5 より確認できないが, 測定領域よりさらに風上側 (X = 10~20(cm)) において砂の堆積が見られた)。また, それ

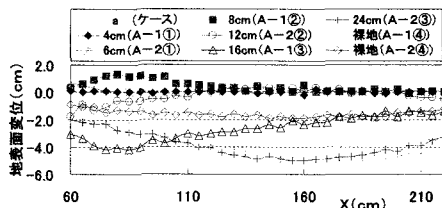


図-5 地表面変位 (各小ケースごと)

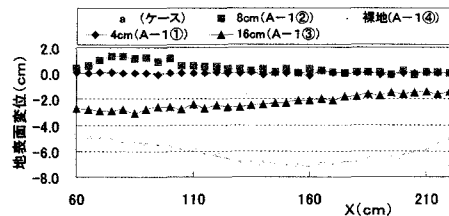


図-6 地表面変位 (ケースA-1)

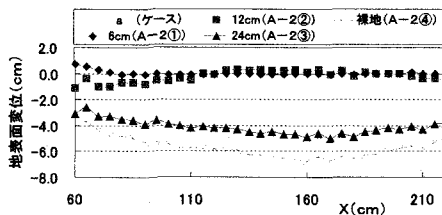


図-7 地表面変位 (ケースA-2)

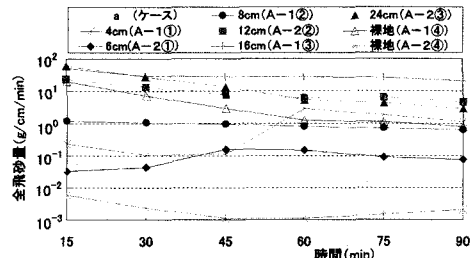


図-8 全飛砂量の時間変化

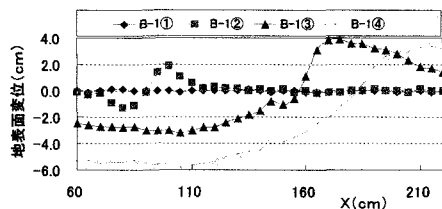


図-9 地表面変位 (ケースB-1)

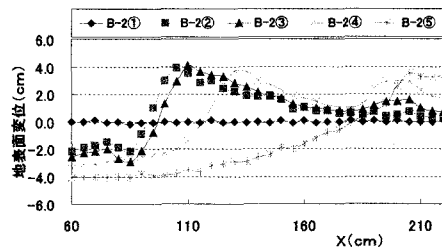


図-10 地表面変位 (ケースB-2)

より風下側では地表面形状がほとんど変化していない。この牧草地風上側の砂の堆積は、牧草地風上端付近における局所的な地表面せん断応力の増大によってその砂粒子が移動し、(地表面せん断応力が低下する)その風下側で停止するために生じたものであり、牧草密度が小さいほど堆積位置は風下側へ移動している。これは、牧草密度が小さくなると、牧草地風上端付近の地表面せん断応力の増大率は抑えられるものの、その風下側のそれも相対的に大きくなり、結果的に侵食領域が広がるからである。

この他の現象として、個々の牧草の周囲に生じている局所的な侵食が挙げられる。しかし、この侵食の程度はそれほど大きいものではないため、移動床領域全体の侵食・堆積にはあまり関与しておらず、現象の考察に当たって特に重視する必要はないと考えられる。また、図-8に示した各小ケースごとの全飛砂量の結果では、この3ケースともに全体的に飛砂量は少ない。これに対して、

牧草間隔 $a=12, 16, 24(\text{cm})$ 、および全域裸地のケースでは、地表面侵食量および全飛砂量(図-5, 8参照)ともに先の3ケースと比べて格段に増大しており、激しい侵食が生じている。また、風侵食の特徴である風漣が確認されている。以上のことから、牧草地の持つ風侵食防止機能は牧草密度に強く依存しており、十分大きい牧草密度を持つ牧草地のみが高い風侵食防止機能を発揮すると言える。

つぎに、ケースA-1, A-2をそれぞれ小ケース①→④の順に連続的に見ることにする。図-6, 7は初期からのトータルの変位を表わしているが、両ケースともに徐々に侵食が激化し、それに伴って地表面変位が一様化している。このことから、牧草地全域にわたって牧草密度が徐々に低下していくケースでは、牧草地の地表面せん断応力が(裸地との境界付近を除いて)空間的一様性を保ちながら徐々に増大するため、全体的にほぼ様な侵食が発生し、砂丘は形成されないと考えられる。

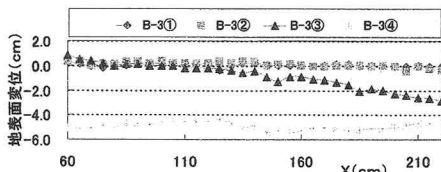


図-11 地表面変位 (ケースB-3)

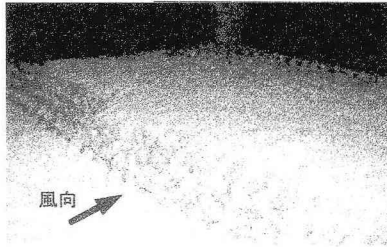


図-12 砂丘の様子 (ケースB-1③)

(2) 実験 I (シリーズB) の結果

シリーズBは牧草が部分的・段階的に消失していき、最終的にはやはり全域裸地に至るケース (ケース B-1, B-2, B-3) である。なお、ここでの牧草間隔 a はシリーズAの結果をもとに、十分な侵食防止効果を持つと考えられる $a=4(\text{cm})$ に固定した。これらのケースの横断平均した地表面変位 (初期からのトータルの変位) の分布を図-9~11 に示す (両軸の定義は、図-5~7 と同様である)。

ケース B-1 は、牧草が風上側から順に部分的・段階的に消失するケースである。なお、砂の堆積によって除去できない牧草はそのまま放置し、堆積部分の砂が風下方向へ移動することによって牧草の姿が明確に現れた段階で除去した。図-9 よりわかるように、1 回目 (ケース B-1①) の送風終了時には目立った地表面変位がないのに対し、2, 3 回目 (ケース B-1②, ③) の送風終了時には裸地と牧草地との境界 (それぞれ $X=75, 150(\text{cm})$) のすぐ風下側に明瞭な砂の堆積が生じている。また、ケース B-1③では、その風上側の裸地に激しい侵食を伴っている (図-12 参照)。さらに、4 回目 (ケース B-1④) の送風終了時には、移動床領域の風下端 ($X=220(\text{cm})$) 付近に砂の堆積が生じており、また、風上側の侵食も激化している。これらの侵食・堆積の規模 (高低差) は先のシリーズAのそれを大きく上回っており、ここではこれを「砂丘」と定義した。

この砂丘形成の直接的な原因は、牧草地風上側の裸地が激しく侵食され、風下側へ移動した砂粒子が、牧草地に入ってからすぐに地表面せん断応力の大幅な低下により、一気に停止したと考えられる。ただし、ケース B-1

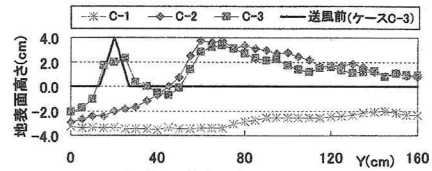


図-13 地表面高さ (ケース C-1~C-3)

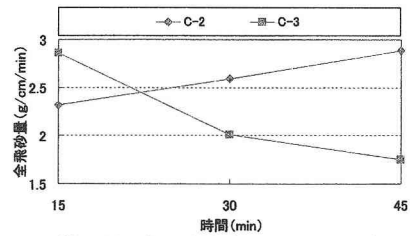


図-14 全飛砂量 (ケース C-2,C-3)

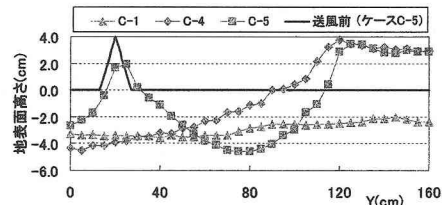


図-17 地表面高さ (ケース C-1,C-4,C-5)

③, ④の砂丘はケース B-②のそれに比べてその規模が明らかに大きく、この点に別のメカニズムが存在していることが示唆される。ケース B-③,④の砂丘はいずれも、風上側にすでに砂丘 (前述のように、これを前砂丘と称する) が存在している状況下で形成されたものであり、前砂丘が砂粒子の匍行を跳躍に変換し、砂粒子をより遠方 (風下側) へ輸送する役割を果たしていると考えられる。すなわち、前砂丘が存在しない場合の砂丘形成は主として匍行に依っているのに対し、存在する場合のそれは跳躍 (前砂丘より風上側の砂) と匍行 (前砂丘より風下側の砂) の両方に依っている。その結果、後者のケースでは前砂丘の存在によって、風下側への砂の供給量が増大し、より大規模な砂丘が新たに形成されたと推察される。なお、前砂丘は新たな砂丘の形成に伴って風下側へ移動しながら消失した。

ケース B-2 もケース B-1 と同様に、牧草が風上側から順に部分的・段階的に消失していくケースである。このケースでは先のケースと異なり、2 回目 (ケース B-2②) の送風終了時に形成された砂丘 (前砂丘) を維持するために、この領域 (長さ $40(\text{cm})$) の牧草を除去せず、前砂丘の風下側の牧草を $75(\text{cm})$ 分だけ除去した。図-10 よりわかるように、2, 3 回目 (ケース B-2②, ③) の送風終

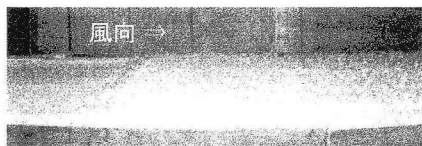


図-15 実験終了時の様子 (ケースC-2)

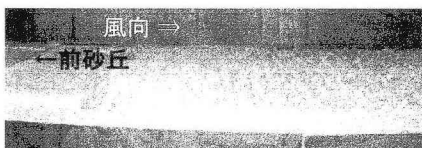


図-16 実験終了時の様子 (ケースC-3)

了時において、裸地と牧草地との境界(それぞれ $X=75$, $190(\text{cm})$)付近から風下側にかけて砂丘が形成されている。特に、ケース B-2②における砂丘はケース B-1②のそれに比べて大きいものとなっている。これは(図-10では確認することができないが)、1回目(ケース B-2①)の送風終了時においてシリーズ A のケースと同様に、牧草地の風上側($X=10\sim 20(\text{cm})$)に砂の堆積が生じており、この影響を受けたためと考えられる(つまり、風上側の砂の堆積が前砂丘の役割を果たしている)。一方、ケース B-2③では、裸地と牧草地との境界($X=190(\text{cm})$)のすぐ風下側に形成されている砂丘の規模は極めて小さい。これは、前砂丘の風下側にはく離領域が形成され、そこからの匍行による砂の供給が抑制されたからと推察される。このように、前砂丘はその風下側の砂丘形成を抑制する働きをすることもある。

以上のように、ケース B-1、B-2においては砂丘が形成された。砂丘の形成には、裸地の風下側に地表面せん断応力を大きく低下させられる、十分大きい牧草密度を持つ牧草地が必要であり、このことは砂丘近傍の牧草を除去すると、砂丘が消失してしまうことから明らかである。また、両ケースともに砂丘風上側の裸地には風漣が形成されており、砂丘の形成には風上側からの十分な砂の供給も重要と考えられる。

ケース B-3は、牧草地が風下側から順に部分的・段階的に消失していき、最終的に全域裸地に至るケースである。図-11より、2回目(ケース B-3②)の送風終了時には、風下側の裸地に侵食がほとんど発生していないことがわかる。これは、この領域が牧草地の風下側に形成される渦領域に入っており、その大規模組織渦が地表面侵食を抑制したためと考えられる。一方、3回目(ケース B-3③)の送風終了時には裸地の風下部分($X\geq 110(\text{cm})$)に侵食が生じているが、これはこの領域が渦領域の風下側であり、大きな地表面せん断応力が作



図-18 実験終了時の様子 (ケースC-4)

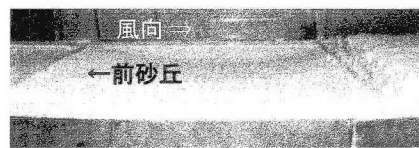


図-19 実験終了時の様子 (ケースC-5)

用するからである。また、最終的に全域裸地に至ると(ケース B-3④)、全域にわたる激しい侵食が発生している。このように、牧草地が風下側から消失する場合には、風上側から消失する場合に比べて風侵食の程度が初期には大きく軽減されるものの、最終的にはほぼ同程度になる。なお、このケースでは砂丘は形成されなかった。

(3) 実験Ⅱ(シリーズC)の結果

シリーズCでは、ケース B-2の結果を踏まえて、前砂丘がその風下側の砂丘形成に果たす役割について検討した。ケース C-1~C-3の実験結果を図-13~16に示す。

図-13は横断平均した地表面形状であり、横軸は前砂丘の $20(\text{cm})$ 風上側の点からの距離(Y)を、縦軸は地表面高さを示している。なお、同図中の実線はケース C-3における送風前の地表面高さである(ケース C-1、C-2のそれは全域にわたってほぼ0である)。また、図-14は全飛砂量の時間変化であり、図-8と同様のものである。

まず、ケース C-1の結果について述べる。ケース C-1は移動床領域に牧草地がないケース(全域裸地)である。このケースの特徴として、風の抵抗となる牧草地が存在しないために地表面侵食が激しく、また、地表面せん断応力が空間的にほとんど変化しないため、全域にわたってほぼ様な侵食が発生することが挙げられる。この結果は、シリーズ A の結果と定性的によく一致しており、地表面せん断応力の空間的变化がない場合には砂丘が形成されないことを再確認できる。

つぎに、ケース C-2、C-3の実験結果について検討する。ケース C-2は移動床領域に前砂丘を設置しないケースである。このケースでは、裸地と牧草地との境界($Y=50(\text{cm})$)付近から風下側牧草地にかけて砂丘が形成されている(図-13、15参照)。また、全飛砂量が時間とともに増大している(図-14参照)。これは、砂丘の成長に伴って牧草地が埋没し、牧草地の持つ砂移動抑制効果

が徐々に小さくなるからである。

一方、ケース C-3 は予め前砂丘を設置したケースである。このケースにおいても、裸地と牧草地との境界 ($Y=50(\text{cm})$) 付近から砂丘が形成されているが (図-13, 16 参照)、全飛砂量はケース C-2 とは逆に時間とともに減少している (図-14 参照)。この飛砂量の結果には、以下のように前砂丘の変形が大きな影響を与えていると推察される。送風開始から時間が経過するにつれて、前砂丘の風上側斜面の傾斜が徐々に緩やかになり、一方、風下側斜面の傾斜は急になる。そして、前者は風上側斜面における匍行から跳躍への変換を抑制し、後者は風下側のはく離渦を安定化するため、時間とともに飛砂量が徐々に減少していく。

また、両ケースの比較においてより重要な点として、ケース C-3 の砂丘の方がケース C-2 のそれよりも規模が小さいことを指摘できる (図-13, 15, 16 参照)。ここで、この結果について考察してみる。ケース C-3 では、前砂丘の風上側斜面から跳躍した砂粒子は飛行距離が長く、その大部分が牧草地を飛越していく。また、前砂丘の風下側にははく離領域が形成されているため、匍行による牧草地への砂の供給がほとんどない。さらに、砂丘前方部の高さがケース C-2 のそれよりも小さい。これらの要因が複合的に作用した結果、ケース C-3 では相対的に小さい砂丘しか形成されなかったと考えられる。このように、ケース C-3 では前砂丘がその風下側の砂丘形成を抑制しているが、その直接的な原因は前砂丘から風下側牧草地までの距離が短いことである。

最後に、ケース C-4, C-5 の結果について説明する。これらのケースはケース C-2, C-3 よりも牧草地が短く、替わりにその風上側の裸地が長くなったケースである。その実験結果を図-17~19 に示す (図-17 は図-13 と同様のものである。なお、比較のためにケース C-1 の結果も挿入されている)。ケース C-4 の結果は、定性的にはケース C-2 のそれと同様であり、裸地と牧草地との境界 ($Y=110(\text{cm})$) 付近から砂丘が形成されている (図-17, 18 参照)。一方、ケース C-5 の結果について見ると、前砂丘のすぐ風下側 ($Y=25-50(\text{cm})$) ではなく離渦の影響を受けて砂粒子があまり移動していない。しかし、はく離領域の風下側では地表面せん断応力の増大によって匍行が見られるようになり、激しい侵食が生じている (図-17, 19 参照)。この侵食による変位はケース C-1 (全域裸地) のそれよりも大きい。これは風上側からこの領域への砂の供給がないからである。そして、この侵食領域はその風下側の堆積へ連続的につながっているため、結果として前面傾斜角の大きい大規模な砂丘となっている。なお、風下側の堆積は前砂丘による匍行から跳躍への変換の影響を強く受けている。このように、ケース C-5 では前砂丘がその風下側の砂丘形成を促進して

いるが、これは前砂丘から風下側牧草地までの距離が長いためである。

以上の実験結果より、前砂丘が果たす役割についてまとめると、前砂丘はその風下側に新たに砂丘が形成される位置までの距離 L (表-2 の L_1 にほぼ対応する) が相対的に小さい場合には砂丘形成を抑制し、 L が大きい場合には促進すると言える。これは、 L が大きい場合に前砂丘風上側における匍行を跳躍へ変換する効果が顕著になり、逆に前砂丘風下側のはく離渦の影響が相対的に小さくなるためである。ただし、 L は前砂丘の高さ H との相対的關係において考えるべき値であり、ケース C-3, C-5 の実験結果より、前砂丘が砂丘形成に対して抑制・促進のいずれの働きをするかは、概ね $L/H=10\sim 20$ 程度を境にして分けられると考えられる。

5. まとめ

本研究では、牧草地消失時の風侵食およびそれを発端とする砂漠化のメカニズムについて実験的に考察した。以下に、本研究における主要な結論を列挙してまとめる。

- 1) 牧草地の消失形態として牧草密度が徐々に低下していく場合 (シリーズ A) には、地表面せん断応力が全体的に徐々に増大するものの、空間的にはほぼ一様な状態が保たれる。したがって、この場合には侵食が支配的な砂漠化となる。
- 2) これに対して、牧草地が風上側から順に部分的・段階的に消失していく場合 (シリーズ B: ケース B-1, B-2) には、地表面せん断応力の空間的な変化が大きく、地表面に激しい侵食と堆積の両方が現れ、砂丘形成へとつながっていく。これが、この場合の砂漠化のメカニズムである。
- 3) 一方、牧草地が風下側から順に部分的・段階的に消失していく場合 (シリーズ B: ケース B-3) には、牧草地の風下側に形成される渦領域によって初期の侵食が軽減されるものの、最終的には激しい侵食が発生する。なお、この場合には砂丘は形成されず、シリーズ A と同様に侵食が支配的な砂漠化となる。
- 4) 前砂丘は、風上側において砂の移動を匍行から跳躍へ変換するとともに、風下側でははく離渦の形成を通じて砂の移動を抑制する役割を持っていることが明らかになった。前者の効果は、前砂丘から一定程度風下側に存在する牧草地の風侵食において、砂丘を大規模化させるなど、砂漠化を促進する可能性が大きいと考えられる。

参考文献

1) 木村真人：土壌圏と地球環境問題，名古屋大学出版会，
pp.130-147，1997.

2) レスター・ブラウン：エコ・エコノミー時代の地球を語る，
家の光協会，pp.5-30，2003.

The mechanisms of the wind-induced soil erosion due to disappearance of grassland
and the resultant desertification

Daisuke FUKUSHIMA, Miki YAMAMOTO and Masanori NAKAI

A wind tunnel experiment was carried out to investigate the mechanisms of wind-induced soil erosion due to disappearance of grassland and the resultant desertification. The following three cases were adopted as the conditions of the disappearance; the density in existence of grass gradually decreases in Case1, and grassland gradually changes to bare land from an upwind side and from a downwind side in Case2 and Case3, respectively. In Case1 and Case3, erosion greatly occurred over the whole region and characterized desertification. In Case2, in contrast, both erosion and deposition clearly emerged and produced a sand dune. In this case, in addition, it was suggested that a sand dune initially appeared in an upwind side and accelerated the formation of a new sand dune in a downwind side and the resultant desertification under certain conditions.