

ニジェール南西部，固定砂丘地帯における 裸地の分布と土地条件

南 雲 不二男

Bare Ground Distribution and Land Condition in a Fixed Dune Area of South Western Niger

Fujio NAGUMO

Graduate School of Environmental Earth Science, Hokkaido University

Abstract

This study aims to relate phenomena of bare ground distribution with land condition in a fixed dune area in south western Niger. For that purpose, a geomorphological and pedological survey as well as that of the bare grounds were carried out. The results were as follows.

1) The study area was mainly divided into plateau and pediplain, where sand covers distributed with various depth. The soil types of each landform unit were characterized mainly by depth of sandy layers.

2) Four types of bare grounds were recognized in the study area: (1) tiger bush type, (2) termite mound type, (3) wind erosional type, and (4) slope-related type. The former two were considered as naturally-formed bare grounds, while the latter two as mainly human induced ones.

3) The rate of bare ground occupation increased considerably from 1975 to 1992, and their distribution was localized on the areas without sand cover (plateau) and with relatively thin sand cover (pediplain), and on the sloped areas with about 4% of gradient.

4) Depth of sandy layers, which may decide depth of effective layers for plant growth, was considered as one of important factors controlling phenomena of bare ground formation.

Key words: fixed dune area, desertification, bare ground distribution, sandy layer depth

1. はじめに

西アフリカのサハラ砂漠以南では、過去 20 年間続いた小雨傾向と過度の上地利用のために「砂漠化」が進行していると言われている (門村ら, 1991)。これまでの研究では、砂漠化の指標としてよく荒廃裸地の形成があげられるが、裸地の形成は人為による土地荒廃の結果であるばかりでなく、自然発生的現象の場合もある。従って、砂漠化の指標として裸地の拡大を利用するためには、そこに分布する裸地に関する知見を前もって整理しておくことが必要となる。乾燥地から半乾燥地にかけては、もともと裸地の占める割合が高いと同時に、裸地が維持されやすいことが特徴的であり、裸地と裸地化に関する研

究は土地荒廃現象を理解するとともに土地を評価する上できわめて重要である。

本研究の目的は、西アフリカのニジェール南西部の固定砂丘地帯において、裸地を類型化し、その分布、および裸地率の変遷を知ることにより、裸地化しやすい土地条件 (地形・土壌) を考察することである。

2. 対象地域概要

西アフリカのサハラ砂漠以南には、半活動性砂丘地帯、固定砂丘地帯が帯状に分布している (図-1)。この固定砂丘はかつてのサハラ拡大期のなごりで、堆積時期は 4 万年前以前とされている (Gavaud, 1977)。この固定砂丘地帯に含まれるニジェール南西部で、首都ニアメイ

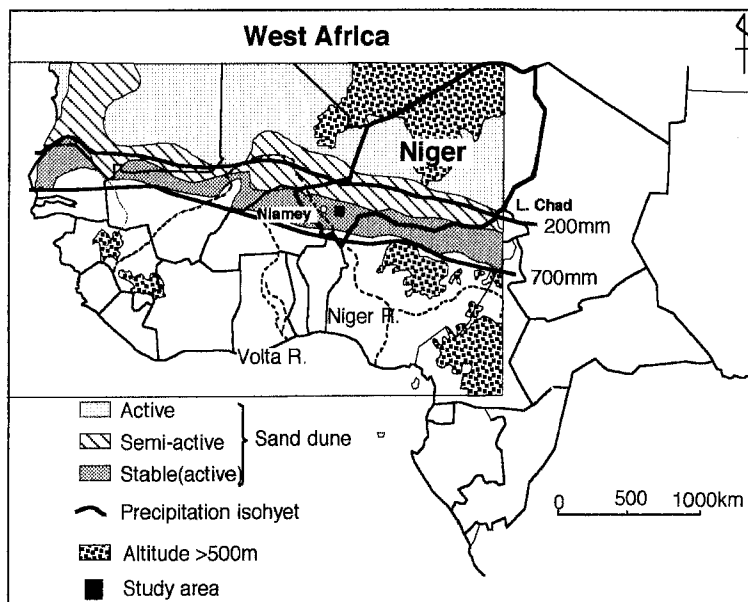


図-1 西アフリカにおける固定砂丘の分布と調査地の位置 (Pieri, 1989 を引用)

Fig. 1 Fixed dune distribution in West Africa and location of the study area (after Pieri, 1989)

から70km東方に位置する農村地帯を対象地域として選んだ。本地域は第三紀末までに堆積したコンチネンタルターミナルと呼ばれる泥質砂岩を母材とする土壤が部分的に砂丘によって覆われた土地であり (Gavaud, 1977), 砂丘の有無に応じて、土壤の特性が異なることが予想される。

調査地域に近いニアメイにおける長期平均年降水量は548 mm (1905-1990) であるが (Sivakumar *et al.*, 1993), 1968年から1984年の間の年降水量をもとにした等雨量線分布図では450 mm-500 mmの間にあり (Resources development associates, 1986), 年降水量が100 mm 近く低下したことになる。

本地域には定着農耕民であるザルマ族が村落を形成して生活を営み、同時に半農半牧の生業形態を持つ少数派のブル族が草原の中で分散して生活を営んでいる。主作物はパールミレットで、ザルマ農家の場合には5年程度の連作を行ない、収量が極端に低下すると5年間程度休閑させる。一方、ブル農家の場合には住居のそばの畑地にはほぼ連作し、家畜糞を利用したより集約的な農業を実施している。

3. 調査方法

1) 地形区分図の作成

空中写真の実体視により、主要な傾斜変換線を抽出し

地形分類図を作成した。使用した空中写真の縮尺は1/62, 500 (1975年撮影) である。

2) 土壌調査

地形単位ごとに土壌を類型化することを目的として、対象地域内の流域の谷部を横断するトランセクトに沿って土壌調査を実施した。断面調査点数は150である。また、代表的な土壌断面から採集した土壌サンプルを分析し、各タイプの土壌の理化学性を求めた。本地域の固定砂丘は様々な厚さで堆積したサンドカバーとしてみなすことができる。このサンドカバーの有無を重要視し、便宜的に次のような土壌類型を実施した。すなわち、サンドカバーの有無により土壌タイプを二分し、次に次表層の湿状態での土色によって区分した。その土色の分類は赤褐色 (色相で2.5 YR), 明赤褐色 (5 YR), 明褐色 (7.5 YR), 灰白色 (10 YR) である。ただし、灰白色の土壌は乾燥すると白色を呈するため、白色土壌と呼称する。サンドカバーを母材とする土壌ではさらにその厚さによって細分した。厚さの区分の設定は、便宜的に、薄い (1m未満), 比較的薄い (1m以上2m未満), 厚い (2m以上) とした。

3) 土地被覆分類図の作成

1975年と1992年に撮影された空中写真の目視判読により、土地被覆分類図を作成した。また、画像処理ソフトを用いて地目別面積割合を求めた。

4) 裸地率の変遷調査

本研究における裸地とは「空中写真上で認識できる程度の広がりを持ち，植被がないか，またはきわめて少ないために，土壌表面が連続して露出する土地」と定義する。裸地は空中写真上で周囲よりも明色を有する不定形状の領域として認識される。植被のまばらな畑地の場合にも類似の色調を有する場合があるが，その形状は多角形で，さらに凹凸の無い直線的な輪郭を持つことからおおそ裸地と区分できるとみなした。畑地を除外した裸地域について，1975年と1992年に撮影された空中写真の画像解析により裸地率の変遷を調査した。解析方法は，空中写真の対象領域をスキャナーでコンピューターに取り込み，画像処理ソフトを用いて，画像のコントラストの補正後，植被部と裸地部を二値化処理し，植被率を求めた。

4. 結果と考察

1) 地形・土壌条件および植生景観の概要

対象地域の地形概念図を図-2に，および地形分類図を図-3に示す。対象地域の地形を大きく分けると泥質砂岩からなる台地とそれを開析して形成されたベディプレインからなっていた。そして，サンドカバーはおもにこのベディプレインに数10cmから数mの厚さで堆積し，図-3に示すような様々な地形を形成していた。等斉斜面形の山麓砂丘はそのひとつで，台地縁辺部に分布した。また，ベディプレイン上にはU字型の横断面形をもつ枯渇河川が蛇行して，南北方向に走っているが，降雨時のみに一時的流水があるのみで，その流水も速やかに伏流する。また河川に沿って河岸平坦面が分布していた。

サンドカバーの堆積していない台地では，帯状の低木林と裸地が虎斑状に分布するタイガーブッシュと呼ばれる植生景観となり（写真-1），それに対しサンドカバー上の自然植生は低木の散在する草原となる（写真-2）。このサンドカバー上の草原は広い面積にわたって耕作地として利用されているが，サンドカバーのない台地が耕作地

として利用されることはなかった。このように植生景観はサンドカバーの有無に対応して対照的であるため，空中写真上でサンドカバーの分布域を知ることが可能であった。

主要な地形単位ごとの傾斜，砂層の厚さの日安，土壌タイプ，および植生ないし土地利用を表-1に示す。また，図-4にトランセクト-1（T-1）の地形と土壌の横断面を示し，図-5にそれに沿った土壌断面例を示す。台地上のサンドカバーの覆っていない所では，明赤褐色の礫に富む粘土質土壌からなり（P-1），A層は侵食を受けずでに喪失し，露出した下層土は表面クラストを形成していた。土層は緻密で，深くなるにつれ礫に富む。林地内の土壌は表層には砂の混入が認められ，また孔隙に富んでいた。これらの台地土壌の下層には数10cmの深さに緻密で連続したペトロフェリック層が出現した。一方，砂質土壌は地形的位置によって砂層の厚さ，および次表層の土色が異なった。すなわち，山麓砂丘では（T-1-1，および1-2），砂層が厚く堆積し（3m以上），赤褐色から赤色となり，平坦なベディプレインでは（図-3の凡例：3a，裸地に比較的富むベディプレインに相当），砂層の厚さは1m～1.5m程度と比較的薄く，下層土の土色は明赤褐色だった。この地形単位上には，砂層の下に連続した比較的砂質のペトロフェリック層が出現する場合（T-1-12）と不定形状のノジュール層を介してその下に粘土質層が出現する場合（T-1-6）があった。なお，ペトロフェリック層は小動物起源の管状孔隙に富んでいた。また，別のトランセクトで粘土質層が直接存在する場合も見られた。河岸平坦面の砂層は深く（2m以上），白色の土色を持ち，洗脱を受けた石英砂からなっていた。その他の砂層の厚い地域では，山麓砂丘と同じく赤褐色の土色からなった。地形と土壌に関する詳細な記載，および土壌の理化学的特性については南雲（1995）を参照されたい。

2) 土地被覆の変遷

図6に対象地域の主要部における1975年と1992年の

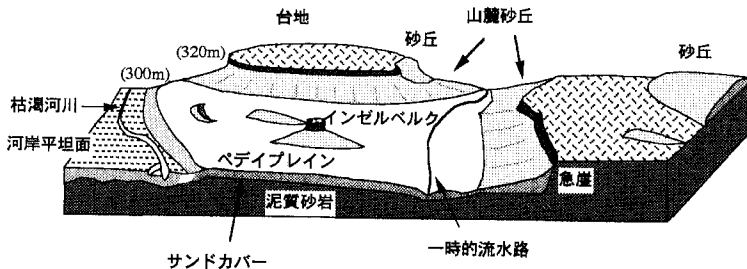
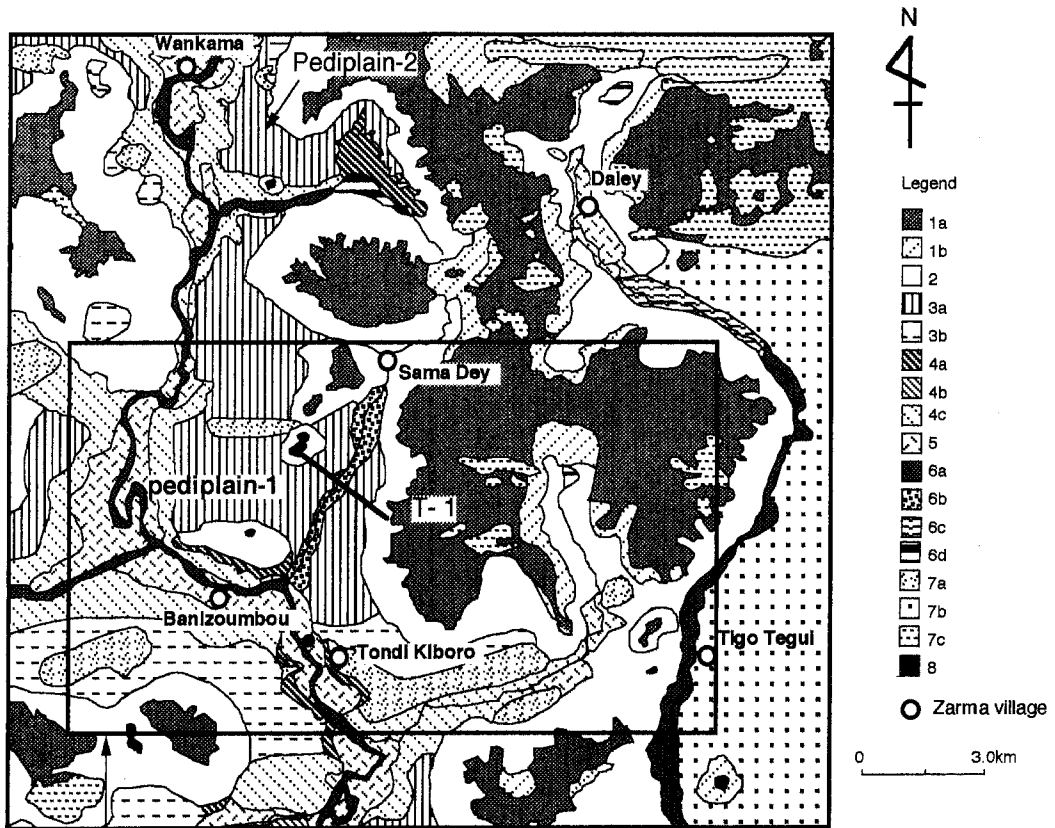


図-2 調査地域の地形概念図

Fig. 2 Schematic landform units in the study area



土地被覆分類調査域

(1) 台地面 1a: 平坦面, 1b: きわめて緩やかな傾斜を持つ台地面, (2) 山麓砂丘, (3) ペディプレイン 3a: 比較的裸地に富む地域, 3b: 裸地の少ない地域, (4) ペディプレインから河岸平坦面へいたる斜面, 4a: 裸地に富むやや急な斜面, 4b: 裸地の少ないやや急な斜面, 4c: 緩斜面, (5) 河岸平坦面, (6) 谷地形 6a: U字型枯渇河川, 6b: 緩斜面を伴う一時的流水路, 6c: 谷床平坦面, 6d: 斜面に囲まれた凹地, (7) 砂丘 7a: ペディプレイン上の砂丘状地形, 7b: 全体にサンドカバーで覆われた波状地形, 7c: 台地上の砂丘状地形, (8) 孤立残丘 (インゼルベルク)

図-3 調査地域の地形分類図

Fig. 3 Geomorphological map of the study area

土地被覆分類図を示し、表2に地門別面積割合の変遷を示す。台地でサンドカバーに覆われていない領域はほとんどタイガーブッシュに分類したが、このうち、1975年と比較して、1992年に低木林の消失した領域を荒廃タイガーブッシュ域として区分した。こうした低木林の完全な消失は伐採による場合が多いと考えられる (Ambouta, 1984)。

その他のサンドカバーで覆われた地域は草地、荒廃草地、および耕作地 (休閒地を含む) に区分した。荒廃草地については裸地に比較的富む領域を抽出した。1975年と1992年の間の顕著な相違として、草地が大きく減少して、耕作地と荒廃草地の領域が拡大したことが注目さ

れる。地形分類図と照合すると、裸地に富む荒廃草地の主な分布域は、台地縁辺部の山麓砂丘斜面上部と、平坦面をなすペディプレインであり、1975年と比較すると後者の拡大が顕著であった。ペディプレインの主要部は未墾地であるが、一部が耕作地に利用されていた。そして、その土壌は砂層の厚さが1mから1.5m前後と比較的薄く、その下にはペトロフェリック層が分布している地域でもある。砂層の厚い地域 (2m以上) では、耕作地が広い面積にわたって分布しており、荒廃草地の分布は山麓砂丘斜面上部などの傾斜地 (4%程度) に限られた。このことは砂層の厚い土地が選択的に利用されてきたことを示している。

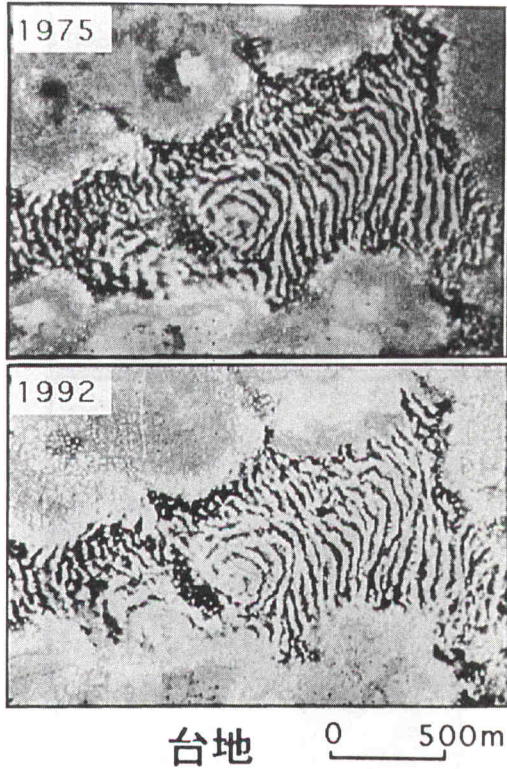


写真-1 台地のタイガーブッシュの変遷

Plate 1 Evolution of tiger bush on the plateau

3) 裸地の分布および変遷

主要な地形ごとの裸地の分布およびその変遷は次の通りであった。

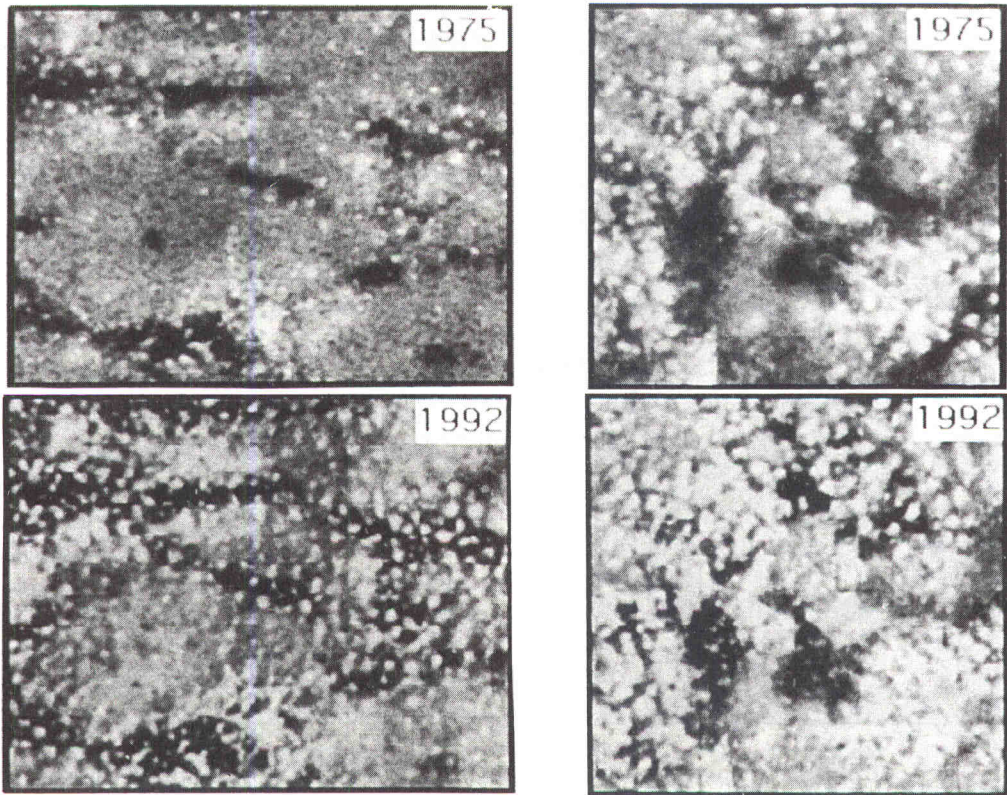
台地：写真-1に示すようにタイガーブッシュを構成する低木林の植被帯(写真上で暗色領域)と裸地帯(明色領域)は虎斑状に分布し、裸地の形成はもともと自然発生的なものと考えられる。1975年と1992年に撮影された空中写真を比較すると、植被帯のやせ細りが認められ、画像解析の結果、植被率の平均はそれぞれ41%と28%で、裸地帯の拡大が確認された。この植被帯の減少は带状低木林地の幅の縮小によるものであるが、伐採を全体にわたってこのような形で行うことは考えにくい。解析した二つの空中写真の撮影年の間は、年平均降水量が100mm近く低下していた少雨傾向の時期にほぼ相当することから、樹木生育の衰退による植被帯の縮小であると考えられる。Ambouta (1984)は、ニジェール南西部の降水量が異なる地域でのタイガーブッシュの植被状態について、降水量の低下に伴い植被率もまた低下することを示した(表-3)。さらに、タイガーブッシュの植被および裸地の状態を詳細に調査し、降水量の低下が同一

地点においても、植被帯の縮小と裸地帯の拡大をもたらすことにより、植被率の低下を招くことを仮定している。本調査結果はこの仮定と一致する。しかし、表3に示された植被状態の地理的変異と比較すると、植被率についてはほぼ整合性があるものの、植被帯の幅については違いが認められた。すなわち、降水量の低下につれて表-3の植被帯の幅は、裸地帯との比率を変えつつ広くなるのに対して、本調査結果では1975年から1992年にかけて植被帯の幅が逆に細くなっていた。このことは同一地点における降水量の低下によるタイガーブッシュの植被状態の変化をその地理的変異から単純には推定できないことを示唆している。

山麓砂丘：4%程度の傾斜を有する山麓砂丘斜面上部では台地縁辺部に沿って带状に裸地が分布しており、その分布域が1975年から1992年にかけて拡大した。現地調査によると、裸地では表層が喪失し、細粒画分に富む下層の赤褐色層が露出しており、その表面にはクラストが形成されていた。さらに、斜面に沿ってガリーが発達しており、土壌侵食が起きていることがわかる。

ベディプレイン：ベディプレインの平坦部では1975年から1992年にかけて小円状の裸地の数が増加していた(写真-2)。小円状裸地は蟻塚の崩壊に伴い、その構成物質が周囲に散布され、その周囲を直径10mから20m程度の円状に裸地化したものである。そこでは比較的緻密な表面クラストが形成されていた。蟻塚の形状はドーム型で大きい場合には高さ3m以上になり、崩壊が進行すると数10cm程度の起伏が名残りをとどめている状態となる。ベディプレイン-1では、植被率は1975年の92%から1992年の69%へと低下し、孤立した蟻塚性裸地の数の増加も認められた。一方、ベディプレイン-2では1975年の平均82%から、1992年の47%に低下し、そこでは、蟻塚性裸地同士が結合し、広域裸地に変化しているように見受けられた。こうした蟻塚性裸地の形成は基本的には自然発生的現象と考えられ、様々な地域で観察されている(たとえば、Janeau *et al.*, 1987)。タイガーブッシュの場合と同じく、蟻塚の分布域の拡大もまた気候変動と対応した自然現象と考えられる。ただし、蟻塚の崩壊を促進する要因については、人為的要因をあげている報告もある(松本ら, 1991)。

ベディプレイン上の傾斜4%程の一時的流水路に沿った緩斜面付近では1975年の時点において部分的な裸地が観察されるのみであったが、1992年にはそれが連続するようになり(写真3)、植被率は1975年の78%から1992年の24%へと植被率が低下した。この連続した裸地は傾斜地に付随する裸地という意味では山麓砂丘斜面上部のそれと類似しており、水食の影響と考えられる。



ベディプレーン-1 0 400m ベディプレーン-2

写真-2 ベディプレーン上の裸地の変遷

Plate 2 Evolution of bare grounds on the pediplains

表-1 地形単位ごとの土壌および植被タイプ

Table 1 Main landform units and their corresponding soil type, and vegetation

地形単位	傾斜	砂層厚	土壌型	植生景観/土地利用
台地	平坦	nil	赤褐色, 粘土質	タイガーブッシュ
ベディプレーン (裸地に富む)	1-2%	1-2m	明赤褐色, 砂質	低木を伴う草地, 畑地
山麗砂丘	2-4%	2m<	赤褐色, 砂質	低木を伴う草地, 畑地
その他の砂丘地帯	1-2%	2m<	赤褐色, 砂質	畑地, 低木を伴う草地
河岸平坦面	平坦	2m<	白色, 砂質	畑地, 低木を伴う草地

注2) 砂層厚は土壌断面調査にもとづくおよその目安である。

また、流水路河岸の斜面だけでなく、縁辺部の傾斜が緩い (1-2%) 領域にも裸地が拡大していた。その裸地の中、あるいは周辺部に数10cmから1m程度の起伏が存在する微地形がしばしば観察され、ネブカ (茂み砂丘) に類似するものと考えた。ネブカは風食によって剥離した砂が植被のある領域に捕獲されたり、低木などの樹木の基部に集積したもので、その存在は風食の指標とされ

る (Tengberg, 1995)。また、ネブカほど起伏が明瞭でなくとも、植被域が裸地域に比べて数cm高くなっていることが多く、本地域においても風食と関連した裸地の形成が起きていると考えられた (風食性裸地)。

4) 裸地化の原因

以上のように、裸地のタイプを (1) タイガーブッシュ性、(2) 蟻塚性、(3) 風食性 (微起伏を伴う)、および (4) 斜

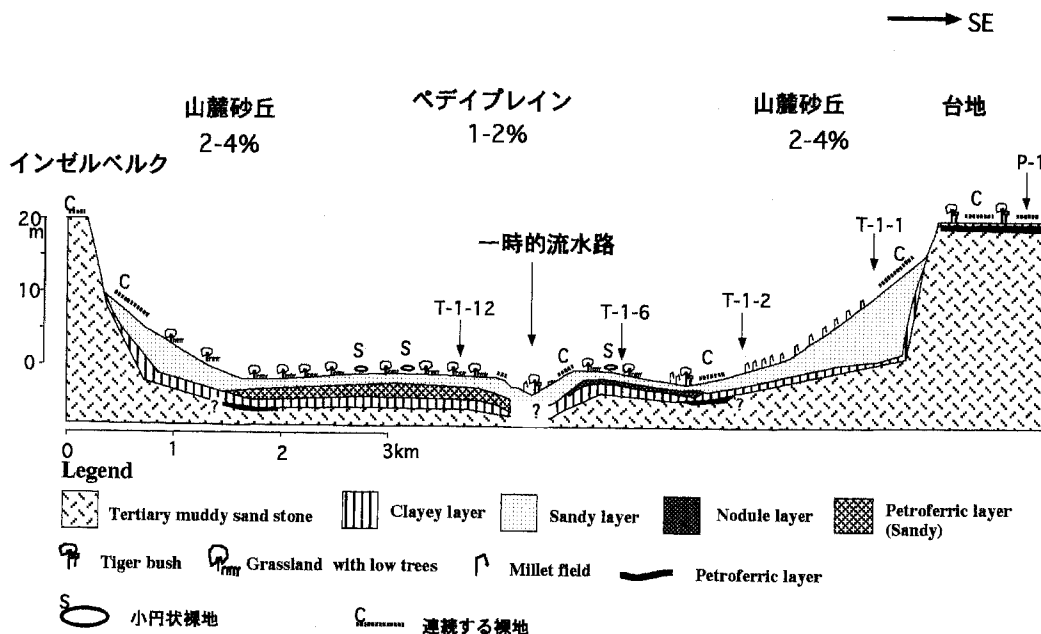


図-4 トランセクト-1に沿った地形と土壌

Fig. 4 Landforms and soil layers along Transect-1

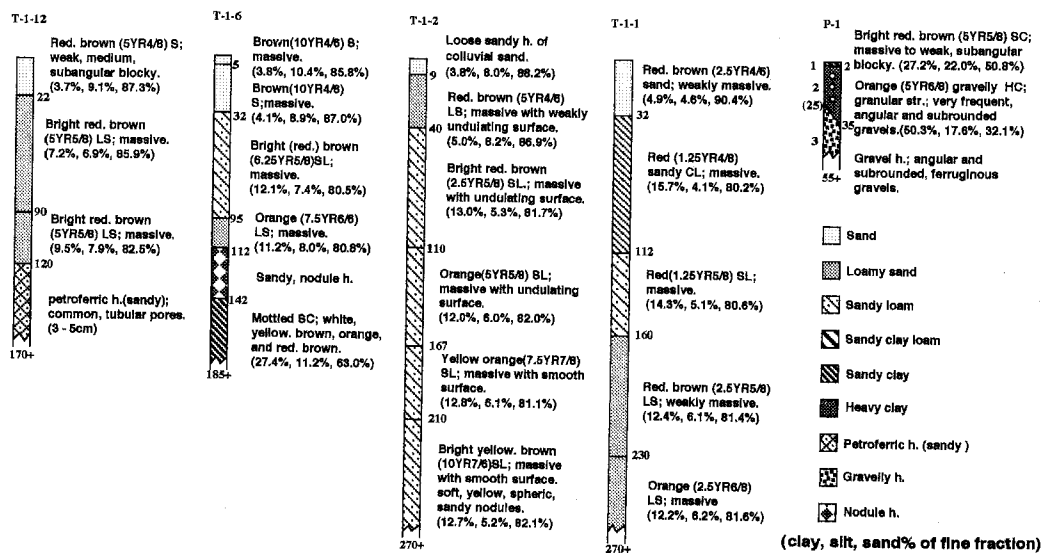


図-5 トランセクト-1に沿った土壌断面例

Fig. 5 Examples of soil profile descriptions along Transect-1

面性（山麓砂丘斜面上部，一時的流水路）に区分した。これらの内，タイガープッシュ性裸地と蟻塚性裸地は自然現象とみなすことができる。その拡大の原因については，1960年代末からの少雨傾向との関係が考えられた。一方，風食性裸地および斜面性裸地については，風食と

水食が関与している。土壌侵食の程度は一般に植被の除去による裸地化の影響を強く受けることが知られており（Morgan, 1986），開墾，樹木の伐採，家畜の踏みつけなどによって形成された一時的な裸地が土壌侵食を受けた後，植生が回復していないものと考えた。しかし，開墾

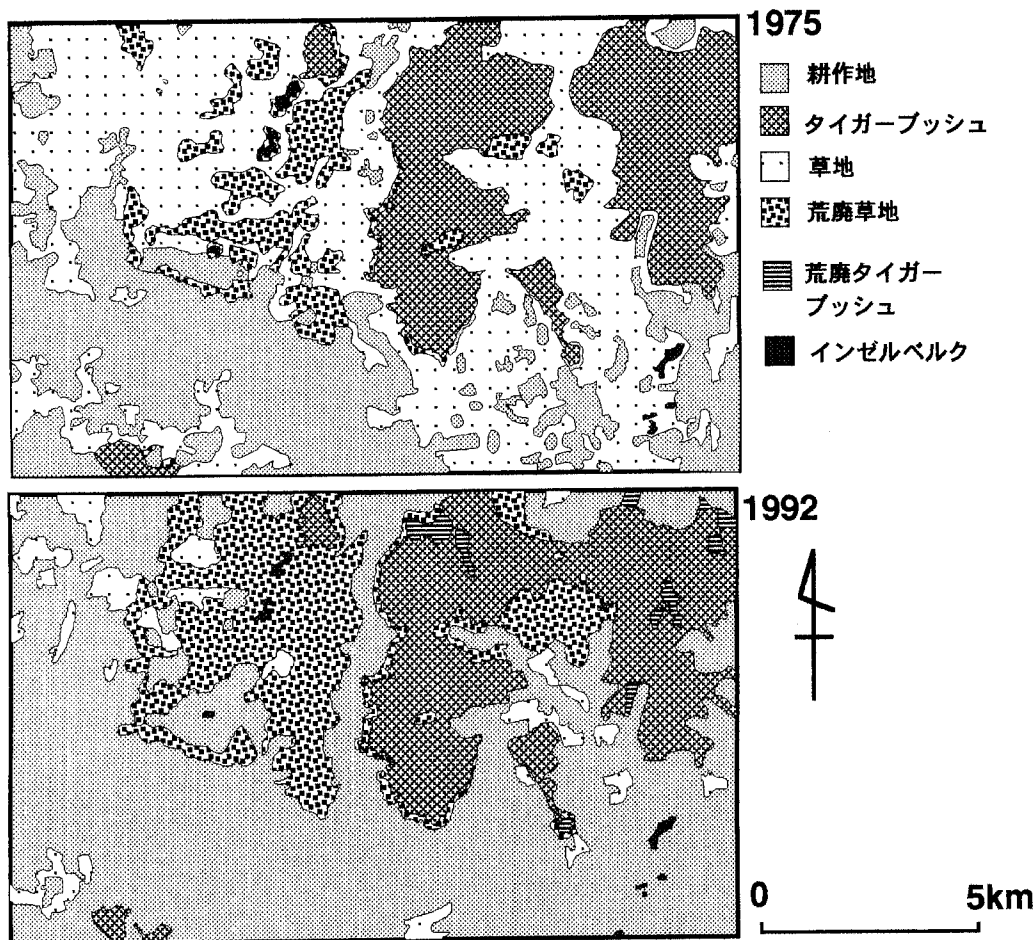


図-6 土地被覆分布の変遷

Fig. 6 Evolution of land occupation distribution

すればどこでも裸地化するというわけではなく、サンドカバー地域での裸地の分布は傾斜4%程度の傾斜地と、砂層の比較的薄いペディプレインに局在していた。それに対して、傾斜が弱く、砂層の厚い土地では広く耕作地に利用されているにもかかわらず、明らかな裸地を認めることができない。

5) 砂層の厚さの効果

傾斜の効果については、土壤侵食におよぼす要因の類推から比較的理解しやすい。一方、砂層の厚さの効果については、降水の挙動とその有効利用という観点から、台地上の粘土質土層の露出する場合を含めて、図-7のように考察した。すなわち、砂層の堆積のなかった台地の粘土質土層では、透水性が低いために、わずかな傾斜に応じて、表面流去水の発生・移動と低木林地帯への水の局在化が起こる。それによって、低木林が維持されている。砂層が厚く堆積した場合には透水性が良好なため、

水は下方浸透しつつ砂層に一樣に取り込まれ、弱い水分張力で保持され植物に利用される。しかし、砂層が薄いために土壤表面から浅い位置に粘土質土層があると、浸潤した水はその下層に強く保持され非有効化してしまうか（浸潤水量の少ない場合）、粘土質層上面に沿って側方浸透を起こして非有効化してしまう（浸潤水量が多い場合）と考える。ペトロフェリック層が出現する場合にも、側方浸透による水の非有効化が考えられるが、層中に分布する粗大な管状孔隙が水道となって下方浸透を促進する時には、水がより深層に移動することによっても根が利用しにくくなると考えられる。実際に、土壤断面観察の結果では、植物根の分布は砂層の厚い場合2m程度に達するが、緻密な粘土質土層中には分布せず、ペトロフェリック層がある場合には、その上部の粗大孔隙内にわずかに観察されるのみだった。これらのことから有効土層は砂層に限られると考えると、厚い砂層を有する土

表-2 土地被覆割合の変化

Table 2 Evolution of land occupation rate

地 目	1975 (%)	1992 (%)
タイガーブッシュ	20.2	19.3
荒廃タイガーブッシュ	0.0	0.9
草 地	43.6	4.8
荒廃草地	6.3	15.7
耕 作 地	29.6	59.0
インゼルベルク	0.3	0.2
計	100.0	100.0

対象面積：175 km²

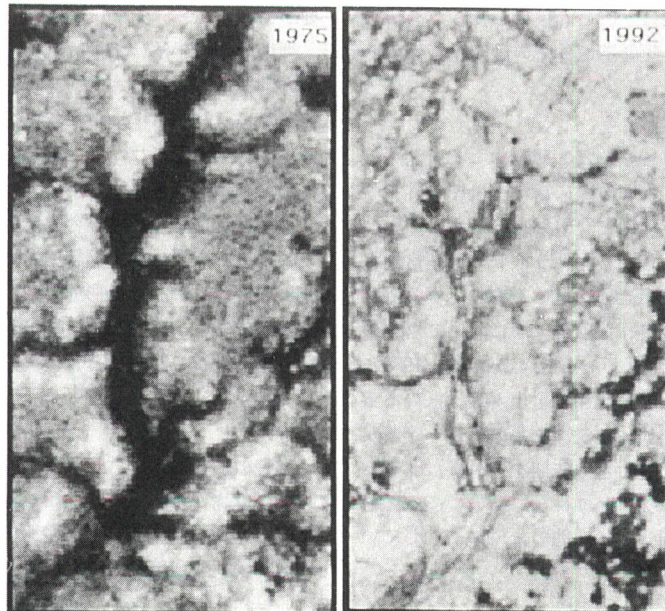
壤で有効土層厚はより厚くなり、有効水分保持容量も砂層の厚さに依存することになる(約 100 mm/1 m, 南雲, 1995)。干ばつなどの土壤水分が不足しがちな小雨年の植物生育へ影響は、砂層が薄いため有効水分保持容量が小さい土壤で顕著に現れるであろう。一時的に裸地化した後の植生の回復もこうした土地では遅れると考えられる。従って、砂層の薄い土壤は砂層が厚い土壤と比較すると植物の生育環境としてはより不適で、裸地化しやすい条件を持つと考えた。砂層の厚い土地を選択的に地元農家が利用してきたということがこのことを裏付けていると思われる。

以上のことから、裸地化の起き易さ、そして、裸地の維持され易さは、粘土質な土壤で大きく、厚い砂層を持

表-3 台地上における裸地帯と植被帯の幅におよぼす降水量の影響 (Ambouta, 1984 を引用)

Table 3 Influence of precipitation on bare and plant cover bands on the plateau (After Ambouta, 1984)

北緯 (度)	降水量(mm)	植被帯の幅	裸地帯の幅	植被率
14.5~15.0	450~400	35 (m)	75 (m)	30 (%)
13.5~14.5	600~450	25	30	45
12.5~13.5	800~600	21	18	50



— 一時的流水路

0 200m

写真-3 ベディプレーン上の一時的流水路河岸の裸地の変遷

Plate 3 Evolution of bare grounds along temporal water way on the pediplain

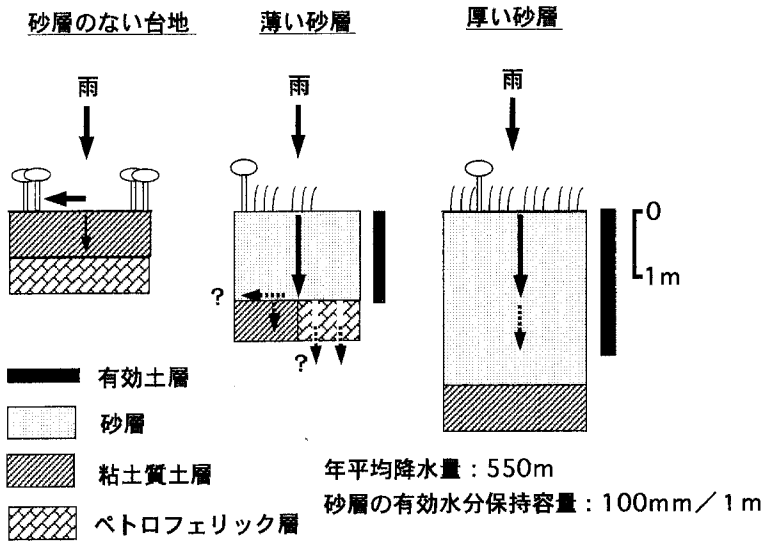


図-7 土壌中および土壌表面における雨水の挙動に及ぼす砂層の厚さの効果

Fig. 7 Effect of sandy layer depth on movement of rain water in and on the soils

つ土壌で小さく、砂層の薄い土壌でその中間になったものと思われた。そして、砂層が薄くとも農耕が可能であることから、砂層の薄い土地での土地利用が砂漠化に結びつく危険性ももっとも大きいと考察した。逆に考えるならば、厚い砂層の被覆は、広い面積にわたって農耕を可能にしてきたと共に、傾斜地以外での砂漠化を抑える働きを持つといえる。

6) 表面クラストの影響

いずれの裸地においても細粒質な薄層による表面クラストが形成されていた。台地の礫に富む土壌を除外するとその表面は凹凸のない平坦で、亀裂もほとんどの場合観察されなかった。こうした表面クラストの存在は雨水の下方浸透を遅らせ、表面流去を起しやすくする働きをもつ。本来、透水性の良い砂質土壌においてもその効果が観察されている (Casenave et Valentin, 1989)。また、表面クラストが植物の発芽を阻止する働きのあることも知られている (田中, 1995)。種子の落下・定着から始まる草本植物の生活史のどの時期をどの様なプロセスで阻止しているのかは明らかではないものの、表面クラストの形成がそれに関与し、裸地の維持に寄与していることが示唆される。

5. 終わりに

これまで、ニジェール南西部の固定砂丘地帯における裸地の形態、分布、およびその変遷を地形・土壌条件と関連づけて考察してきた。特に、裸地の分布が土地条件、特にサンドカバーの厚さの分布と関連していることを示

し、そのメカニズムを降水の挙動と結びつけ考察した。また、裸地が維持される理由が表面クラストの存在と関わっていることが示唆された。分布と観察のみにもとづいたこれらの考察は、現地試験によってさらに検証する必要がある。

裸地の観察手法は画像解析によったが、空中写真上での裸地類型は、特徴的形態をもつものに限られたことは否めない。詳細な裸地の形状と分布を把握するために、カイトフォトグラフィーによる低高度から撮影した空中写真の利用も今後検討していきたい。

裸地は現地での観察が容易であり、空中写真上でも比較的抽出しやすい地表面状態である。裸地のタイプが明確に類型化され、その形態、成因、およびその特徴を整理することにより、その土地で起きている現象とその土地が持つ性質を評価するための有効な指標となり得る。

謝 辞

発表の機会を与えて頂きました土壌物理研究会の方々へ深く感謝いたします。また、本論文を御校閲して頂きました北海道大学農学部波多野隆介教授、同大学大学院地球環境科学研究科倉茂好匡助手に感謝いたします。

引用文献

- Ambouta, K. (1984): Contribution à l'édaphologie de la brousse tigrée de l'Ouest Nigerian, Thèse Docteur Ingenieur, 116 p, Nancy.
- Casenave, A. and Valentin, C. (1989): Les États de

- surface de la zone Sahélienne, Influence sur l'infiltration. Collection "Diactiques". 229 p, ORSTOM, Paris.
- Gavaud, M. (1977): Les grands traits de la pédogenèse au Niger méridional. Collection Travaux et Documents, No. 76, p102, ORSTOM, Paris.
- Janeau, J.I. et Valentin, C. (1987): Relations entre les terminières Trinervitermes s.p. et la surface du sol: réorganisations, ruissellement et érosion. Rev. Écol. Sol., 24 (4): 637~647.
- 門村 浩・竹内和彦・大森博雄・田村俊和共著 (1991): 環境変動と地球砂漠化, p276, 朝倉書店, 東京.
- 松本栄次・池田 浩・振動静夫 (1991): タンザニア中部におけるシロアリの水文地形学的役割, 地形, 12 (3): 219~234.
- Morgan, R.P.C. (1986): Soil erosion and conservation, p. 298, Longman.
- 南雲不二男 (1995): 西アフリカ, ニジェールの固定砂丘地帯における地形・土壌環境と土地荒廃, 地学雑誌, 104 (2): 239~253.
- Pieri, C. (1989): Fertilité des terres de savanes: Bilan de trente ans de recherche et de la développement agricoles au sud du Sahara, p444, CIRAD, Paris.
- Resources development Associates. (1986): Agroecological zonation study, Niamey department. Report of USAID, Niger.
- Sivakumar, M.V.K., Maidoukia, A. and Stern, R.D. (1993): Agroclimatology of West Africa: Niger, second edition, p108, ICRISAT, Niamey.
- 田中 樹 (1995): 土壌クラストの形成機作とそれに影響を及ぼす諸条件, 土壌の物理性, 71: 17~21.
- Tengberg, A. (1995): Nebkha dunes as indicators of wind erosion and land degradation in the Sahel zone of Burkina Faso. J. of Arid Environment, 30: 265~282.

受稿日平成8年1月16日
受理日平成8年2月13日