

植生からみたオーストラリア半乾燥地域の「砂漠化」現象

武内和彦*・大森博雄**

オーストラリア半乾燥地域、とくに南部半乾燥地域で、植生に重点をおいて人為的な環境変化過程を分析した。丘陵地帯では、開墾によって林地が極度に減少し、顕著な土壌侵食、塩類集積・過湿化が進行していた。海岸砂丘地帯では、放牧などによる大規模な砂丘の再活動がみられた。化石砂丘が卓越するマレー・マリー地域でも、砂層の厚いところで、入植・開墾による植生破壊を契機とした砂丘の再活動が活発であった。ここでは、ユーカリのリグノチューバーが残されていれば植生の復元は可能であるが、それが除去された地域では自然植生の再生は困難である。また、植生が回復する場合も本来内陸の乾燥地域に出現するはずの乾生草原やアカシアの妨害極相が出現する。そうした植生が半乾燥地域に出現することは、植生からみた「砂漠化」がこの地域で進行していることを意味する。こうした「砂漠化」現象を緩和させるためには、土地自然の特性を踏まえた適正な植生管理計画の策定が必要である。

I 「砂漠化」と植生の退行

1977年の国連砂漠化会議(United Nations, 1977)が契機となって、「砂漠化」という言葉が、日常会話の中でも用いられるようになった。この用語は当初から狭義と広義の意味を兼ね備えていた(Grantz, 1977, pp. 1~15, 17~38)。狭義の砂漠化 desertization は、塩類集積 salinization, 砂丘再活動 sand dune remobilization などが引き起こされることにより、本来ステップなどの植生で覆われているはずの半乾燥地域で砂漠的景観が拡大し、文字通り砂漠と化すことを意味する。サヘルにおける砂漠化の進行などは、この典型といえる(Goudie, 1981)。

しかし、今日一般にも用いられている広義の砂漠化 desertification (以下本稿では「砂漠化」と表記する)は、「強度の人為的インパクトによって大規模な土地の不毛化・植生の退行 land and vegetation degradation が引き起こされ、疑似的な乾燥・半乾燥景観が出現する過程」を示す言葉である。ここでは、「砂漠化」という言葉が、象徴的な意味で用いられている。

「砂漠化」を植生学の立場で捉えてみよう。植生

学からみた「砂漠化」現象は、典型的には、「その地域の気候潜在力に対応した植生(気候的極相)が、強度の人為的インパクトとそれに伴う土地の劣悪化の影響を受けて、より乾燥した気候帯に出現するはずの植生と置き変わる現象」として捉えることができる。森林のサバンナ化、サバンナのステップ化、ステップの砂漠化といった群系レベルの植生の一連の退行現象は、熱帯雨林地帯と半乾燥地帯を中心に世界各地で報告され、それらにまつわる実証的な研究も徐々に蓄積されつつある(たとえば、Grantz, 1977; United Nations, 1977; Dregne, 1983)。

「砂漠化」現象をみると、植生は原因と結果の両方に深く関与している。開墾などに伴う植生の破壊 vegetation clearance は、土地の劣悪化などの環境変化現象をもたらす直接の契機であるが、同時に、そうした地域では、環境変化を受けて退行遷移が起こり、貧化した植生が広範に出現するようになる。本稿では、植生以外の環境変化現象にも注目しながら、半乾燥地域における植生破壊によってもたらされる植生変化のプロセスを考察し、あわせて植生からみた砂漠化防止策を検討する。

研究地域として取り上げるのは、オーストラリア大陸である。その中でも、とくに筆者らが海外学術

* 東京大学・農学部 **東京大学・理学部

調査を実施したオーストラリア半乾燥地域（大森，1980；Ohmori *et al.*, 1983；Toya *et al.*, 1985）に重点をおいて考察をすすめる。オーストラリア半乾燥地域は，19世紀後半以降のヨーロッパ人入植によって，初めて農牧業が行なわれるようになった地域であり，それまで維持されてきた自然環境は大きく変貌した。それゆえこの地域は，開墾，火入れ，放牧等の人間活動が環境変化に及ぼした影響を理解するうえで，最も適した地域のひとつであるといえる。また，半乾燥地域は，環境変化現象が極めて明瞭に現われるクリティカル・ゾーンであり，人間活動に伴う環境変化を研究する地域として適していると考えられる。

II オーストラリアの植生概観

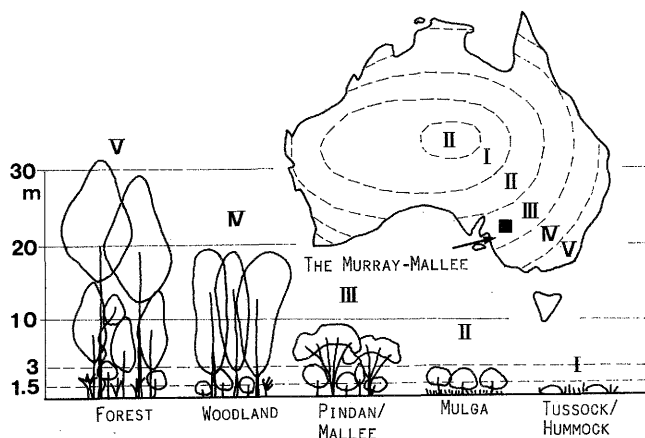
1) オーストラリアの植生分布

オーストラリア大陸の生物は，ユニークな進化の歴史を持つ（Bureau of Flora and Fauna, Canberra, 1981）。ゴンドワナ大陸の分裂以来，地史的スケールで長期にわたって地理的に隔離されたオーストラリアの動・植物相は，固有の種群に富ん

でいる。しかしそうした固有種も，特定の科や属に偏りがちであり，それがオーストラリアの動・植物群集の構造や分布を特徴づけている。生態学的にみれば，オーストラリアは大洋島のような性質をもつ“巨大な海洋島”であるといえる（武内，1984）。

オーストラリアの植生は熱帯雨林から高山植生まで多様である（Moore and Perry, 1969）。しかし，個々の群落は限られた優占属から構成されており，それらが多くの種に分化して異なる環境条件にうまく適応している。優占属の代表的なものとして，乾燥から湿潤に向かって，トリオディア/アストレブラ *Triodia/Astrebra*，アカシア *Acacia*，ユーカリ *Eucalyptus* がある。バンクシア *Banksia*，カリトリス *Callitris* といった属は，土地的な極相としてのみ優占する。

オーストラリアの植生は，乾燥した大陸中央部に向かうほど，低くまた疎になる（Williams, 1975）。大陸スケールで植生分布をみると，同心円状の配列が認められる（第1図）。そうした植生の同心円状の帯状配列は，基本的には，大陸各部の乾燥程度によって決められている。オーストラリア大陸は，全



第1図 オーストラリア大陸の植生タイプとその模式的分布パターン

内陸の乾燥地域から海岸の湿潤地域にかけて，群落高1.5m以下の草原から20m以上の高木林へと，同心円状に配列する。
 Fig. 1 Vegetation types and their schematic distribution in the Australian Continent showing zonal arrangement from hummock/tussock grassland shorter than 1.5m in height in inner arid areas to forest communities higher than 20m in coastal humid areas

一般的に温度条件に恵まれており、それが植物の成長を阻害する要因となることは少ない。ここでは、植生の発達にとって、降水量が最も重要な要因である。降水量とその季節分布が、植物群落の組成と構造を決定するといっても過言ではない。しかし、植生の南北比較を行なう際には、蒸発量を当然考慮する必要がある (Bureau of Meteorology, Australia, 1977; 岩崎, 1983)。大陸南部ではより少ない降水量で、より湿潤型の群落が成立している。

オーストラリア大陸におけるおおまかな植生タイプの違いは、植生高によって表現することができる (第1図)。叢生草原 hummock/tussock の群落高は、通常 1.5 m 以下で、灌木ステップ shrub steppe やマルガ mulga の場合は、1.5 m と 3 m の間である。マルガとは、*Acacia aneura* を優占種とする低木疎林であり、トリオディアやアストレブラから構成される乾生の叢生草原を取り巻いて広く大陸内部に分布する。大陸中心でも、地形性降雨にめぐまれたアリススプリングス付近では、マルガがみられる。

半乾燥地域に分布するピンダン pindan やマリー mallee の群落高は、おおむね 3~10 m である。ピンダンは、*Acacia tumida* を優占種とする植生で、大陸北部のサバンナ地帯に分布する。一方マリーは、地中海性気候下にあるオーストラリア南部半乾燥地域の景観全体を指す言葉としても用いられるが、植生としては、落下傘状の樹形をした複数のユーカリ属の樹種から構成される低木林である。

湿潤地域の自然植生は、一般にユーカリ属を中心に構成され、群落高は 10 m を超える。そのうちウッドランド woodland タイプはおおよそ 20 m 以下、フォレスト forest タイプは 20 m 以上である。大陸北東部の湿潤熱帯・亜熱帯に分布する降雨林 rain forest や季節風林 monsoon forest は、ユーカリ属をまったく含まない高密度の植生で、典型的なインド-マラヤ Indo-Malaysia 降雨林に匹敵す

るような、多様な樹種から構成される。

2) 人為による植生の退行

オーストラリアの植生の特徴は、群落構造が単純であるために、外的影響に対して非常に敏感に反応することである。たとえば、群落構造のすきをねらって帰化植物が異常に繁茂することなどがあげられる。総じて人間活動のインパクトは、オーストラリアの植生の構造と種の多様性に根本的な変化をもたらしてきた。南部半乾燥内陸域の植生変化については次章で述べるが、ここではそれ以外の地域の植生の退行についての事例をいくつか報告する。

オーストラリア大陸北部における植生へのさまざまな人為的影響の中で、野火 bushfire は、おそらく最も広範な人為的影響であり (Luke and McArthur, 1978)、それはアボリジニーズ (Aborigines)、ヨーロッパ人の区別なく行なわれてきた。数万年も前から居住を続けてきたといわれるアボリジニーズの火入れは、主にハンティングのためである。またヨーロッパ人のそれは放牧のためであるが、大火を未然に防止するために定期的に野焼きをすることも多い。

アボリジニーズによる野火が砂丘形成に寄与したかどうかは疑問である (Wasson, 1986) が、植生は火の影響を直接受け、とくに林床は急激かつ不可逆的に変化してきた。しかし低緯度地帯では、植生が明らかに野火に対して適応し、多くの種が野火の後にすみやかな再生を可能とする種子の形態やリグノチューバー lignotuber の発達を促してきた。このリグノチューバーは、幹の基部に生じる塊状の貯蔵器官で、草本における塊茎と相同である。ここから不定芽が多数生じるため、干ばつなどの被害を受けた後も驚くべき再生能力を示す (Beadle, 1981, p. 84)。

大陸北部の湿潤“モンスーン”地域、半乾燥“サバンナ”地域では、アボリジニーズとヨーロッパ人による火入れが、自然植生の顕著な変化を引き起こ

している。たとえば、ダーウィン付近では、熱帯季節風林とユーカリ・ウッドランドという2つの植生タイプがみられる。このうち地形の境界や水系に沿ってわずかに分布する季節風林が、本来の気候的極相であり、ウッドランドは、アボリジニーズが狩猟等のために火入れを繰り返すことにより形成された、野火極相であろうと考えられている (Gillison, 1983; 武内, 1984)。

また、グレート・サンディー砂漠付近の乾燥地域に分布するトリオディアや群落高 1.5 m に満たないアカシアの低木群落は、羊など移入された動物の過放牧によってもたらされたものである。この地帯、とくにピンダンの地域では、禾本収穫性シロアリ harvest termite の塚が至るところにみられるが、それは火入れによって大量の禾本科草本が供給されることにも一因がある。この地域では、植生の退行が、土壌侵食と結びついており、シート・エロージョンによる顕著な地表面の低下が認められる。

海岸砂丘域では、オープン・ウッドランドが本来の自然植生である。ただし、入植以前にもアボリジニーズによってもたらされたであろう砂丘活動がパッチ状にみられたことが、当時の航海日誌などに記録されている。18世紀後半以降のヨーロッパ移民による放牧や、最近のサンドバギーを用いたの野外レクリエーション活動は、広範囲の自然植生を破壊し、砂丘の再活動を著しく増大させた (大森ほか, 1986)。しかし、再活動が活発であるために放置され、人為的な影響がなくなったところでは植生の回復がみられる。といっても、それはもとの自然植生ではなく、アカシアを主体とする妨害極相 disclimax である。こうしたアカシア林は、約 30 年周期の偏向的群落環を形成しており、短期的には、もとの自然植生への回帰は考えられない。

III 南部半乾燥地域の自然環境変化

1) 開拓の進行と環境の変化

次に、オーストラリア南部の半乾燥地域 (内陸部) に焦点をあてて、自然環境変化の実態をみていくことにする。ここでは、開墾に伴う植生破壊そのものが、植生退行を引き起こす最大の要因である。破壊のインパクトは、砂丘再活動、塩類集積、ガリー侵食のような二次的現象の発現を伴って、いっそう加速化される。

こうした環境変化が引き起こされたのは、主にヨーロッパ人の入植後である。イギリスを含むヨーロッパからオーストラリアに移住した農民の開拓前線は、19世紀後半には南部半乾燥地域に達した。ヨーロッパ文化の“刷り込み”を図ろうとした彼らの意図は、湿潤地域では、ヒースや土壌侵食の発生などの副次的産物を生み出したものの (Twidale, 1976)、ヨーロッパ型景観の出現によってほぼ達成されたといえる。主たる移民の母国であったイギリスの牧野景観には、過放牧によってもたらされたヒースや人為的侵食地形が広くみられ、オーストラリア南部湿潤域のそれに非常によく似ている。オーストラリアの湿潤地域に、イングリッシュ・ランドスケープがまるごと持ち込まれたと云ってよいであろう。

しかし、そうした開拓方式の半乾燥地域への画一的な適用は、許容限度をはるかに超えたインパクトを土地自然に与え、自然的背景を異にするいくつかの大規模環境変化現象をもたらした。こうした現象が大規模に発生するきっかけとなったのは、ローラーを用いた大規模なマリー植生の破壊である。それまでは植生に覆われ、かろうじて均衡を保っていた地表が、急速に不安定となったのである。

2) さまざまな環境変化

サウス・オーストラリア北部半乾燥丘陵地帯のペキナ流域 Pekina catchment では、1873年以降の開墾によって入植以前には全域を覆っていた林地が流域のわずか7%にまで減少し、自然林下ではみられなかった顕著な土壌侵食、とくに大規模なガリー

侵食が、波状地やペディメント上部を中心に発生した。ここでは、ガリー侵食は表流水によって発生するのではなく、ペディメント堆積物中に埋没した古い谷地形に中間流や地下水が集中することにより発生することが明らかにされ、また入植以降何回か侵食と堆積の繰り返しのあったことが確認できた。そのサイクルの中でもっとも新しい現在のガリーは、深さが7mにも達することがあり、またその成長速度も大規模なものでは毎年5~10 mに及んでいる(Ohmori *et al.*, 1986)。

またウエスタン・オーストラリア丘陵地帯では、植生破壊に伴う塩類集積と道路建設による低地の過湿化が進み、自然植生の退行が急速に進展した(Toya *et al.*, 1986)。塩類集積は、自然植生下では認められないが、農耕地では、土壌の表層部でリンおよび塩類の集積が顕著である。農耕地における塩類集積の度合いは、平坦なほど大きく傾斜地では小さい。また土壌侵食の発生は塩類の集積した部分で顕著であり、表層の塩類の集積した部分が削剥されている。塩類集積は丘陵を刻む浅い谷でも発生して

いる。谷底を横断する道路によって、上流側が湿地化すると、水位が上昇するとともに、塩類が集積し、谷底沿いの植生が破壊される。ここでは、ユーカリの自然林から、メルルーカ *Melaleuca* 低木林、野生化した大麦草地へと植生が退行的に遷移し、ついには無植生となって不毛地化する。同様の現象は、土壌侵食により土砂が谷底に堆積した場合にも発生する。排水良好な谷底沿いにはこのような現象はみられない。

サウス・オーストラリアを流れるマレー川流域のマリー景観域、マレー・マリー Murray-Mallee では、化石砂丘(線状砂丘やパラボラ砂丘)が卓越し、かつてはその大部分がマリー植生群によって覆われていた(写真1; Specht, 1972; Heyligers *et al.*, 1978; Noble and Mulham, 1980)。ここでは、1900年代初期の入植によるマリーの破壊をきっかけに、パッチ状の砂丘の大規模な再活動が始まった(写真2)。入植当時の伐採と火入れの影響がいかに大きかったかは、農牧地内の砂丘砂層中に、当時の木片・炭に富む層が広く分布することから容易に推

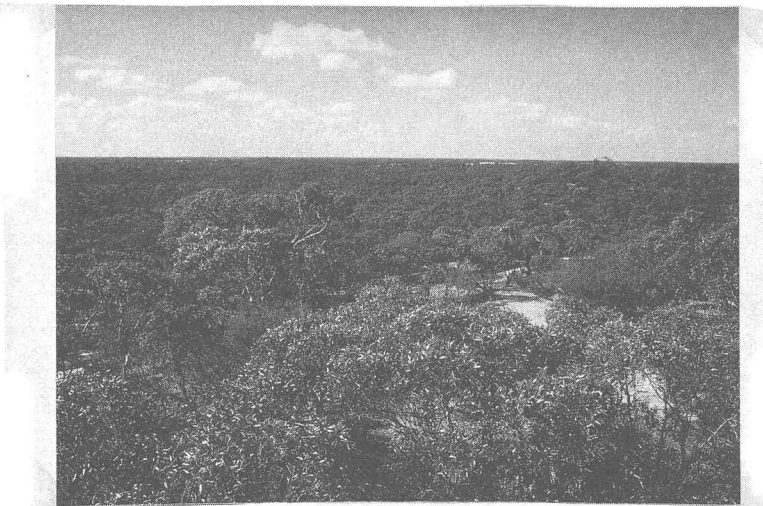


写真1 マレー・マリーのユーカリ低木林

数種のユーカリからなる低木林で、いずれも落下傘形をしている。マリー mallee は、ユーカリの個々の種の俗称(イエローマリー、ツモーサマリーなど)、植生景観名、および地域名として用いられる。

Photo 1 Natural mallee scrub dominated by Eucalypt trees with canopies shaped like parachute

The term "mallee" is used both for individual Eucalypt trees (for example, "yellow mallee" for *E. incrassata*, "dumosa mallee" for *E. dumosa*) and for a landscape covered with mallee vegetation.

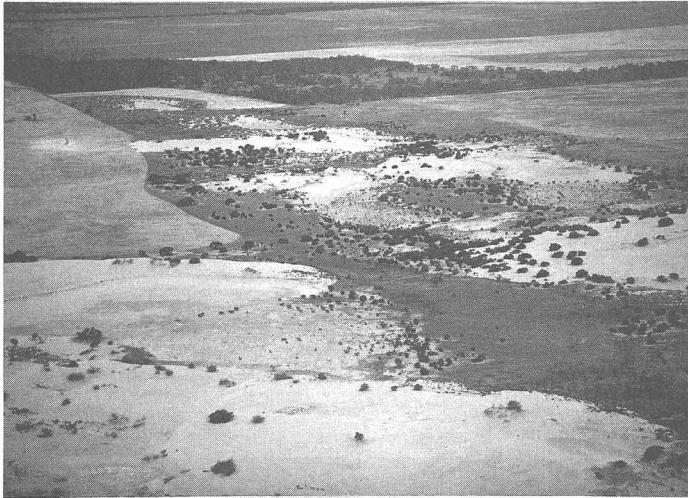


写真2 マレー・マリーのロクストン付近の再活動砂丘

斜め写真の手前から中央にかけての再活動砂丘には、本来内陸の乾燥地域に分布しているアカシア低木林が妨害極相として成立している。写真上部の左右に連なる樹林は、農耕地の中に残されたユーカリ低木林。

Photo 2 Remobilized dunes near Loxton in the Murray-Mallee

Acacia low open scrub on active dunes in the lower part of the oblique air photo is considered as disclimax. The scrub crossing the upper part is the mallee vegetation preserved in farmlands.

察できる。また、開墾されない土地においても植生の退行が引き起こされた。人為的な地表の攪乱（火入れや放牧）により本来内陸の乾燥地域に分布するはずのトリオディアやアカシアが、マリー植生の低木層や林床に進入している。

短期的な気候の変動とも関連する飛砂現象は、輪作体系が確立された1940年代から緩和されたが、完新世砂丘砂層が厚く堆積した地域では今日も活発な飛砂現象が続いており、土壌保全上問題となっている。そこでマレー・マリーを対象に、砂丘砂層序を含む土地自然の特性、開拓の歴史、砂丘の再活動と植生の変化過程などを調査した(Toya *et al.*, 1985)。次章では、植生の変化過程を中心に、その結果を報告する。

IV マレー・マリーの自然環境変化

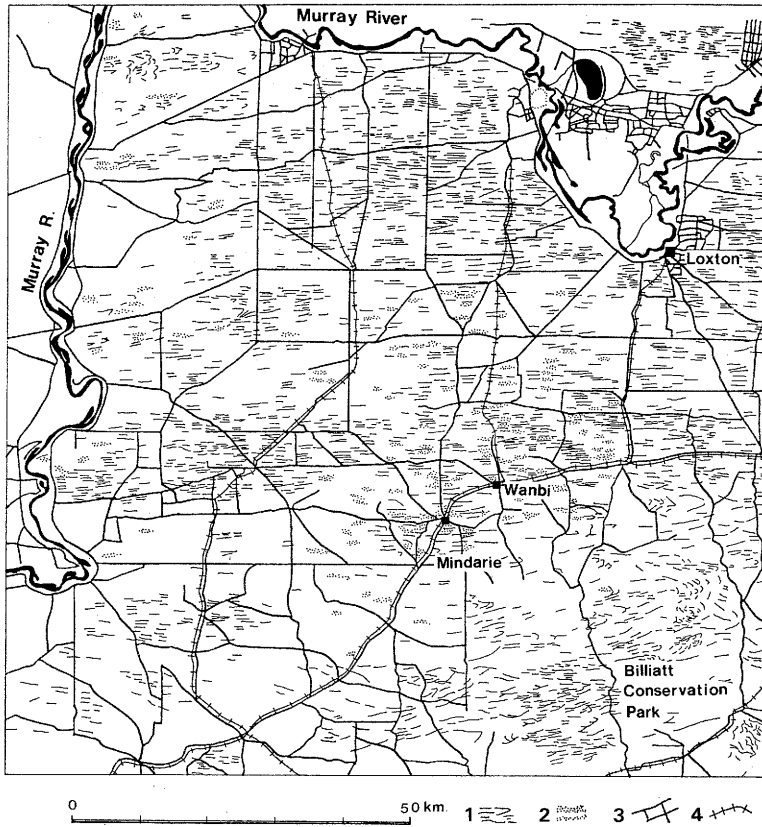
1) マレー・マリーの土地自然

内陸砂丘域の自然環境と植生変化を詳細に検討するために、1983年9～10月に、マレー・マリーの北東部、ロクストン Loxton 付近で調査を実施した

(第1図、第2図)。この地域を選んだのは、予備調査の結果、オーストラリア半乾燥地域の中で、年平均降水量が300～400 mm 前後と半乾燥地域の北限に近く、また砂丘の再活動に伴う環境変化と、農業被害が最も大きい地域のひとつであるからである。

この地域の地形は、4つに類型化される。古いものから順に、更新世風成砂からなるカルクリート(石灰質砂層が露出して固結したもの)凹地 calcrete depression(Twidale *et al.*, 1978; Wetherby, 1980; Bowler and Magee, 1978)、後期更新世の古期砂丘(約3～2万年前)、新期砂丘(約2～1万年前)および完新世砂丘(約7,000～1,000年前)である(Suzuki *et al.*, 1982; Toya *et al.*, 1985)。

完新世砂丘をつくる砂層は、石英質の砂粒からなる、葉理の発達した未固結の砂層で、厚さは2 mあるいはそれ以下のことが多い。表層約30 cmは、暗灰色ないし褐色の腐植質砂層からなり、多数の木片・炭を含む。これらの木片や炭から、 210 ± 30 y. B. P. (KSU-838; 第3図)という ^{14}C 年代が得られ、また、農民からの情報により、ヨーロッパ人による



第2図 マレー・マリー地域のロクストン付近の砂丘地形の分布

再活動砂丘は、未固結軟砂層の厚いところで発生し、パッチ状の分布を示す。とくに、ワンビ、ミンダリーおよびピリアット保全緑地一帯は軟砂層の厚い砂丘が広範に分布し、農耕地の開発が行なわれたワンビ、ミンダリー付近では、降水量変動（干ばつのあるなし）にかかわらず、ここ数十年間継続的に活動している再活動砂丘が多くみられる。

1. 砂丘頂 2. 飛砂 3. 道路 4. 鉄道

Fig. 2 Distribution of sand dunes, stable and remobilized, near Loxton in the Murray-Mallee Region

The remobilized dunes show distribution corresponding with the sporadic distribution of thick loose sand layers overlying calcrete, limenodules, and red sand which upon exposure are not subject to erosion. Many remobilized dunes near Wanbi and Mindarie, where the loose sand is relatively thicker, have continued drifting for some tens of years regardless of rainfall fluctuations.

1. sand dune ridge 2. drifting sand 3. road 4. railway

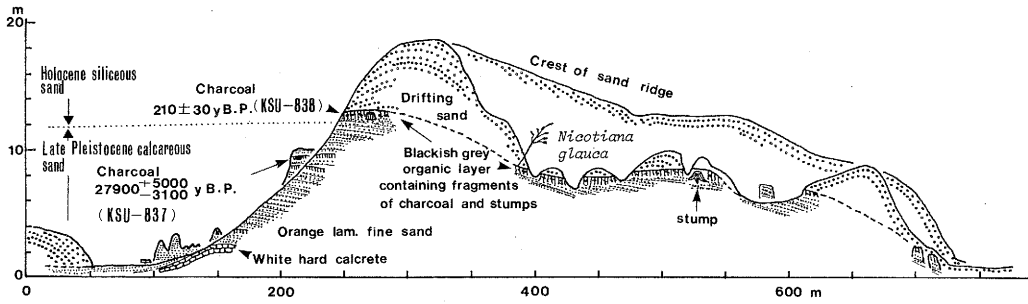
開墾のための火入れの結果によることが判明した。

現在移動している砂丘の砂は、古い砂丘の風上側が侵食され風下側に堆積したものであるが（第3図）、風食域の局地的基準面は古い砂丘の固結層の層準に一致することが多い。この固結層準の上位の未固結砂層は、主として完新世砂丘砂層からなるが、その厚さは地域的に大きく変化し、そのため再活動

砂丘もパッチ状分布を示している（Ohmori *et al.*, 1983）。

2) マレー・マリーの開拓史

この地域の農業開発は、1900年代の初頭に始まり、マレー川沿い（とくにロクストン付近）から南へと開拓が進展していった。開拓のプロセスとその後の離村を含む土地利用動向についての分析結果



第3図 再活動砂丘の縦断面図

活動砂丘の堆積域では、更新世砂丘砂層、完新世砂丘砂層、現成砂丘砂層が次々と重なって、砂丘が上方に重なって発達している場合も多い。再活動は、ヨーロッパ人入植後のユーカリ林の伐採・火入れ後に発生した。

Fig. 3 Longitudinal profile of a remobilized dune showing stratigraphic section of Pleistocene dune sand, Holocene dune sand and Present drifting sand

The remobilization started after the vegetation clearance associated with the introduction of agriculture by Europeans.

(Williams, 1976; 金田, 1980; 片平, 1987) では、この地域の開拓は、たび重なる干ばつと飛砂現象によって、困難を極めた。ただし開拓開始時以降の農家数の減少によって、一戸当たりの経営耕地面積は逆に拡大した。

この地域では、1926年末から顕著な乾燥期に入り、その傾向は今世紀半ばまで続いた(岩崎, 1984; Toya *et al.*, 1985)。とくに、1938年には大干ばつが起り、当時から開発の進んでいたロクストンを中心に深刻な飛砂現象がみられた。飛砂現象は、完新世砂丘砂層の厚いワンビ Wanbi やミンダリー Mindarie でも顕著であった。

その後、1940年代になって地力の低下を防ぎ、砂丘活動を鎮静化するとともに農業生産性を高める目的で、放牧、耕作、休耕 fallow を繰り返す輪作方式がとられ始めた。この輪作方式の導入に伴って、飛砂の現象は大幅に緩和された。しかし、その後も飛砂のみられる農耕地が存在し、土壌保全上の問題となってきた(Birch and Blencowe, 1952; Wood, 1976)。

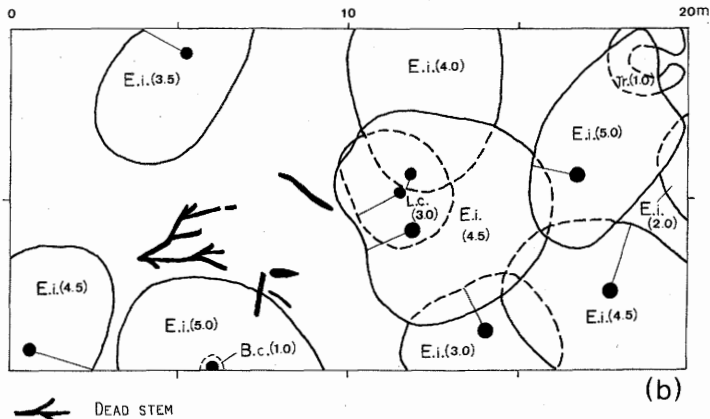
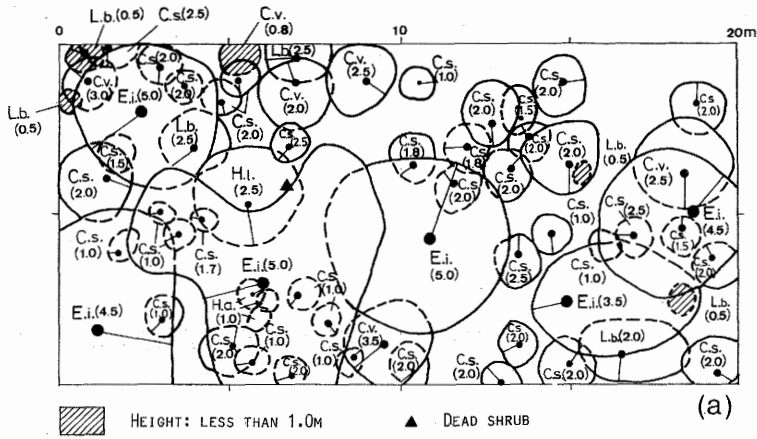
3) 自然植生への人為的影響

マレー・マレー地域において、群落構造を調査した。限られた時間で植生と人為の関係を解明するた

めに、砂丘頂部 dune crest に限定して、群落の特徴をみることにした。ロクストン周辺で植生を概観するとともに、人為的条件の異なる18カ所について全植物種をリストアップし、樹冠投影図を作成した。

マレー低木林 mallee scrub はこの地域のヨーロッパ人入植以前の植生であり、現在も、人為的な砂丘再活動が引き起こされていない保全緑地に残存している(写真1; Specht, 1972; Noble and Mulham, 1980)。ロクストン南部のピリアット保全緑地 Billiat Conservation Park に残存するマレー林(第4図-a, 第5図-a)は、ユーカリ *Eucalyptus incrassata* が優占するほか、低木層をカジュアリナ *Casuarina stricta*, カリトリス *Callitris verrucosa*, ハケア *Hakea leucoptera* など多種が占める。

また、かつての自然景観を構成していたと考えられるマレー林が、農耕地の中に残存していることもある。しかし低木層の主要構成種は、放牧の影響を受けて消滅してしまっている(第4図-b, 第5図-b)。火入れ等によって人為の影響がさらに強まると、今度は、低木層にトリオディア属(写真3)やアカシア属が林床に進入してくる(第5図-c; Jacobs, 1980)。人為がますます強まると、アカシアが優占



第4図 保全緑地 (a) と農耕地 (b) のユーカリ低木林の樹冠投影図
農耕地内の林地では、放牧のため低木層が消滅している場合が多い。

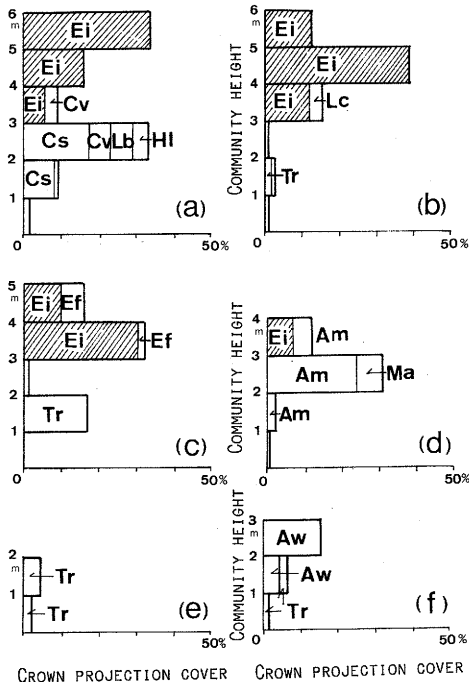
Fig. 4 Crown projection diagrams showing the difference in community structure between the mallee scrub of nature conservation area (a) and the mallee scrub remaining on farmland (b)

The latter shows that the lower shrub layer has disappeared through continuous grazing by stock.
E. i. : *Eucalyptus incrassata* C. s. : *Casuarina stricta* C. v. : *Callitris verrucosa* H. l. : *Hakea leucoptera* P. b. : *Phebalium bullatum* L. b. : *Lasiopetalum behrii* H. a. : *Hibbertia aspera* L. c. : *Leptospermum coriaceum* B. c. : *Billardiera cymosa*

種になる (第5図-d), しかし、マリーのリグノチューバー (写真4) が残存している限り、自然植生への回復が可能であると考えられる。

干ばつ時に地上部が枯れてもやがてマリーが再生しうるのは、このリグノチューバーが生き続けるためであり、その生存年数が800年に達する場合 (*E. botryoides*) があることが、¹⁴C年代測定で確かめられている (pers. comm.). こうした半乾燥地域

の自然環境に適応した生理的特性を持つリグノチューバーが残されていれば、干ばつや野火により植生が破壊されても、回復は比較的容易であり、10~100年で自然植生が復元する。リグノチューバーから萌芽・再生し、林床植生の回復を伴ってやがてもとの植生に戻るからであり、野火の跡地で一斉にユーカリが萌芽している現象は各地で観察される (写真5)。この点でアボリジニの火入れを伴う



第5図 人為的インパクトの異なる地点における植生の階層構造と種組成の違い (いずれも砂丘頂部)

a: 保全緑地のユーカリ低木林 b: 農耕地内に比較的広面積に残されたが、放牧のために低木層が失われたユーカリ低木林 c: 火入れなどが行なわれたため地表が乾燥化し、トリオディア属が進出したユーカリ低木林 d: 火入れや一部の樹木の伐採が行なわれたためアカシアが混入した低木林 e: 伐採後飛砂が活発なため放棄され、その後成立したトリオディア草地 f: 同じく放棄後約25年を経たアカシア低木疎林

斜線の部分は軟砂層の厚い砂丘頂部で優占する *Eucalyptus incrassata* の割合。

Fig. 5 Layer diagram of vegetation for sites of different human impacts

a: Mallee scrub in nature conservation area b: Mallee scrub under continuous grazing in farmlands c: Mallee scrub invaded by *Triodia* after bushfire by European settlers d: Remnant mallee scrub invaded by *Acacia* after bushfires and vegetation clearance e: *Triodia* colony on an eroded and abandoned dune surface f: *Acacia* low open scrub of ca. 25 yrs old on an eroded dune

Shaded area shows the percentage covered with *Eucalyptus incrassata* dominating on dune crest with deep loose sands.

Ei: *Eucalyptus incrassata* Ef: *Eucalyptus foecunda*
 Cv: *Callitris verrucosa* Cs: *Casuarina stricta* Lb: *Lasiopetalum behrii* Hl: *Hakea leucoptera* Lc: *Leptospermum coriaceum* Tr: *Triodia* spp. Am: *Acacia microcarpa* Aw: *Acacia wilhelmiana* Ma: *Melaleuca acuminata*

移動ハンティングは、植生の性質とうまく調和した方法であったといえる。

このようにユーカリのリグノチューバーが残っている場合の植生変化は、いわば可逆的な変化であり、そのプロセスは、第6図(上半部)のようにまとめることができる。ここでは、林床植生の種組成の変化が顕著であり、人為が加わると自然林を特徴づける構成種が消滅し、さらに人為が加わると乾燥地域に特有な種が侵入する。また放置されると、逆のプロセス(進行遷移)を経て、比較的短期間で自然林に戻ると考えられる。

4) 開墾に伴う植生変化

一方、開墾時にマリーのリグノチューバーが除去された場合には、まったく異なった植生変化がもたらされる(第6図;下半部)。すなわちリグノチューバーの有無が、植生変化に対して“閾値”的役割を果たすのである。リグノチューバーがヨーロッパ人により除去された地域では、マリーの実生からの成長がほとんど期待できないため、かりに人為的インパクトが排除されたとしても原植生の回復は短期的には不可能である。著者らの調査結果では、200カ所程度のマリーの群落調査地点のすべてでユーカリの実生を発見することができなかった。その結果、地表面の安定性が失われ、次章で述べるように完新世軟砂層の厚いところを中心にして、砂丘の再活動が活発化したのである。

現在農耕地として利用されているところでは、飛砂防止のために輪作方式がとられ、また、最近では高い砂丘列に、ライ麦 *Secale cereale* が植え付けられ、よく成長して飛砂活動を食い止めている。このような努力が行なわれているにもかかわらず、ワンビやミンダリーを中心として依然として砂丘再活動がみられる。こうした現在の再活動砂丘の分布は、次章で述べるように、完新世砂丘砂層の厚い地域に対応している。

リグノチューバーが除去された後に砂丘の再活動



写真3 入植による乾燥化によってマリー内に侵入したトリオディア群落
禾本科の乾生草本植生で、成長するに従って、株の内側が枯れ、環状に広がる。

Photo 3 *Triodia* colony invasion into the mallee, suggesting that the surface has been more arid after European settlement

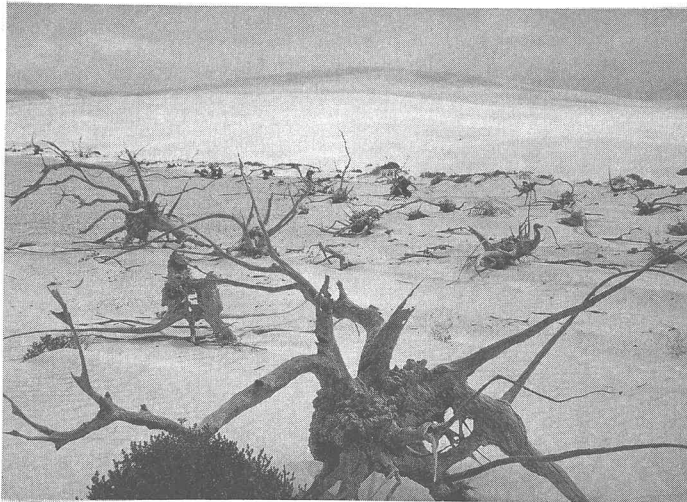


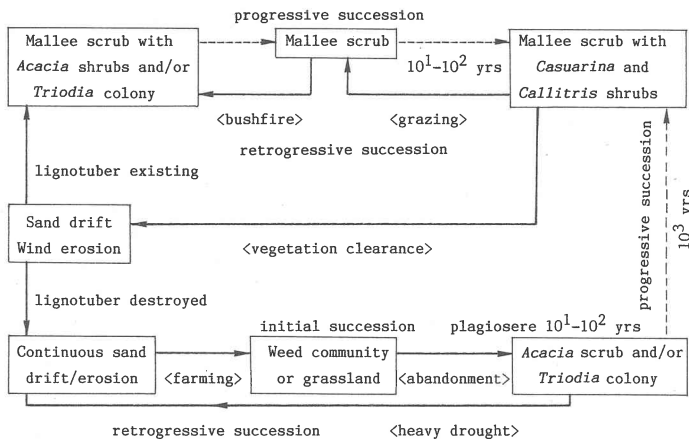
写真4 表層の未固結軟砂層が風食されて露出したユーカリのリグノチューバー
Photo 4 Exposed mallee roots (lignotuber) caused by wind erosion

などによって放棄された一部の農牧地では、植生の遷移が始まっている。裸地には、外来種を含む草本植生が侵入し、放置が長いと10年前後でトリオディアの草地(第5図-e)やアカシアの低木林(写真2; 第5図-f)に変化する。こうした草地や低木林は、偏向遷移上の妨害極相と考えられ、通常は30~50年持続する。その間他の植物の進入は著しく阻害さ

れるため、遷移は進行せず、大干ばつなどで地表が不安定になると、第6図に示したように、草地、低木林とも元の裸地にもどり、サイクリックな更新を繰り返している。このようにして、トリオディア草地やアカシア林が、マレー・マリーで長期にわたって維持されているのである。また、もし地表が安定したままでこれらの群落が長期間放置され、自然林



写真5 野火の後、リグノチューバーから萌芽したユーカリ
 Photo 5 Shoots of mallee species sprouting from lignotuber after previous branches have been killed by bushfire



第6図 人為的インパクトの強度の違いによる植生変化のプロセス
 リグノチューバーが残されているかどうかで、プロセスが大きく異なる。

Fig. 6 Schematic processes of vegetation changes according to the magnitude of human impact
 Process differs whether lignotuber is remained or destroyed.

に向かって進行遷移が始まる場合でも、地表の土壌層の発達が前提になると考えられ、再活動砂丘域では、自然林への回復に1,000年のオーダーの時間を要すると推定される。

人為的影響によって出現するトリオディアやアカシアは、本来、オーストラリア内陸部乾燥地域に特有の植生の主要構成種である。こうした植生が半乾

燥地域に出現し、林床構成種になり、また群落を長期にわたって形成することは、植生からみた「砂漠化」がこの地域でも進行していることを示している。

5) 砂丘砂層厚と植生の安定性

以上述べてきたような人為的インパクトによる砂丘の再活動を防止するためには、基礎データとして、どのような場所のどのような条件で飛砂現象がみら

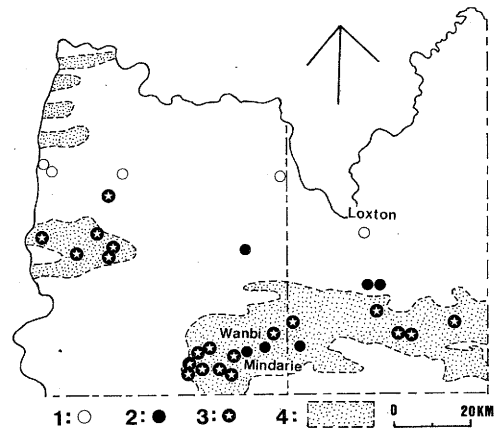
れるかを詳細に調査する必要がある。ここでは、まず再活動砂丘の分布を概観し、その特徴を探る。次に、砂丘列を横断する道路沿いで、砂丘を個別的に調査した結果をもとに考察を行なう (Toya *et al.*, 1985)。

第7図は、ロクストン付近における1975年時点で飛砂現象が顕著であった農耕地の分布と、1983年時点での植生の回復状況を示したものである。この間降水量が増加した事実はないことから、植生の回復は、輪作方式の徹底化、ライ麦の導入などの土壌保全対策の効果によるものと考えられる。

一方、現在も活発な砂丘活動のみられる農耕地は、砂丘砂層の厚い土地単位 land unit 上に集中している。土壌保全技術が進んだ結果、かえって土地条件の差が明確になってきたのである。こうした土地条件下では、集約的な管理があって初めて飛砂の防止が可能である。ミンダリーにみられる植生の回復した農耕地のうち2カ所は、実は農業試験場の敷地であり、一般の農民がこうした管理を行なうことは、技術面、経済面で一般に困難である。こうした砂丘砂の厚い地域では小麦の収穫量も少なく (片平, 1987)、採算性でも問題が大きい。

個々の砂丘の飛砂現象を観察すると、風上側風食域では砂丘砂層中の白色石灰質層 lime layer, カルクリート層 calcrete layer や赤色固結砂層 red sand より上位の未固結軟砂層が風食され、飛砂となっている。石灰質層は露出すると容易に固結し、それ以下には風食が進まない (写真6)。カルクリート層や赤色固結砂層の層準は、層序上の層位とは必ずしも対応せず、石灰分の含有量、地下水位の違いなどを反映して、個々の砂丘ごとに、また砂丘の部位によっても異なる。石灰質層や赤色砂層の層準は砂丘砂層の断面調査によって容易に確認できる (Toya *et al.*, 1985)。

個々の砂丘列について、未固結軟砂層と砂丘の活動度との関係を個々に調査した結果を第8図に示す。



第7図 ロクストン周辺において1975年時点で活発に活動していた砂丘の活動状態の変化

1975年に活発に活動していたことが確認されている砂丘域 (Wood, 1976) について、1983年に活動状態を調査して比較。1. 1983年以前に飛砂現象がおさまった農耕地 2. 1983年現在植生の侵入が認められ、飛砂現象が不活発になった農耕地 3. 1983年時点においても飛砂現象が継続している農耕地 4. 未固結軟砂層の厚い地域
未固結軟砂層の薄いところでは農法の改善による飛砂の抑制効果が顕著に現われるが、未固結軟砂層が厚い砂丘地域では効果が現われにくくなる。

Fig. 7 Rehabilitation of farms with drifting sands near Loxton

Improved farming systems between 1975 and 1983 have helped to stabilize sand but areas with deep sands are difficult to control (1975 data by Wood (1976), 1983 data by field observation).

1. already recovered farms 2. now recovering farms 3. still drifting farms 4. areas where loose sand layers are very thick

この図から風食を受けやすい未固結軟砂層の厚さが厚いほど、砂丘の再活動が活発であることがわかる。砂層厚が50 cmを超えると活動がみられ、とくに80 cm以上で顕著である。また砂層厚が50~200 cmの範囲では、砂層が厚いと同時に植生の高さが低いほど、砂丘の再活動も活発であることがわかる。群落高は、大陸全体の植生分布でみてきたように、いわば植生の発達程度の指標であり、群落高が高いほど砂丘の安定化に寄与していると考えられる。

ヨーロッパ人によってオーストラリア大陸に持ち込まれたアナウサギ *Olyctolagus cuniculus* も飛砂現象の加速化に大きな役割を演じた。ウサギが営

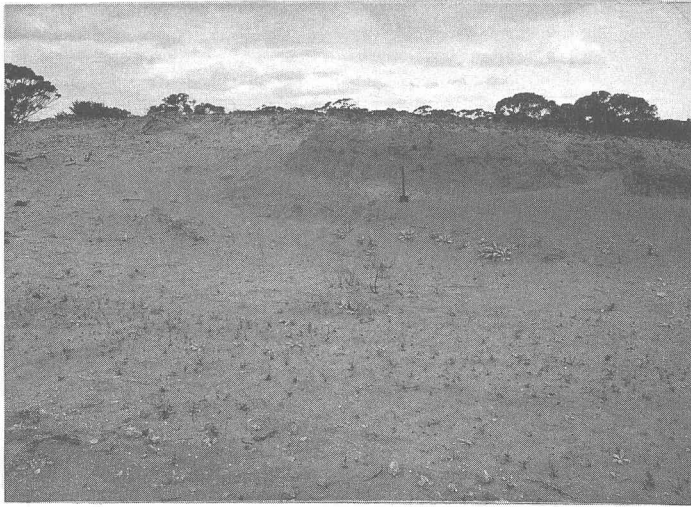
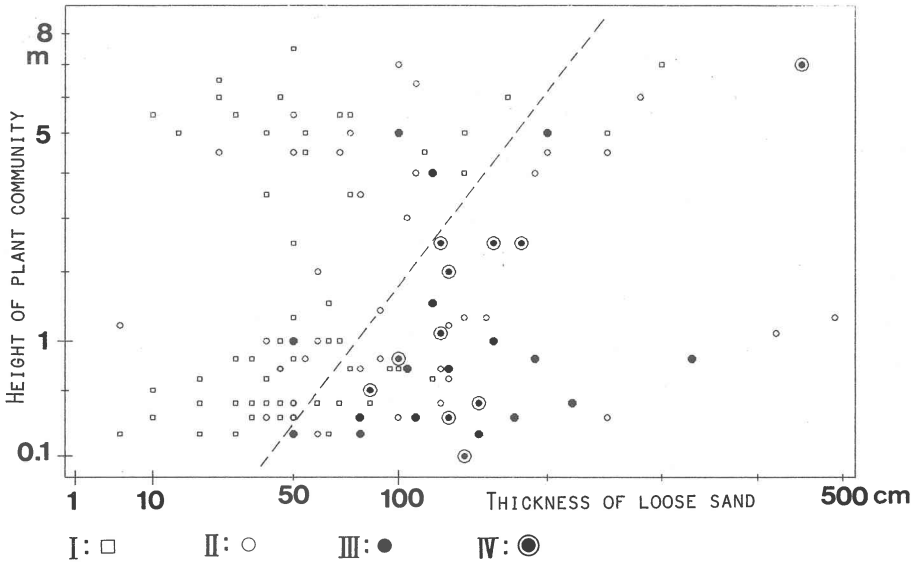


写真6 再活動砂丘の風上側風食域

写真手前の平坦地は石灰質層が露出して固結し、風食の局地的基準面となっている。スコップの地点の白色石灰質層の上位の未固結軟砂層が風食され飛砂となる。

Photo 6 Wind-ward side of remobilized dune, showing a layer of hard lime nodules exposed by erosion and now acting as a stable, resistant surface



第8図 未固結軟砂層の厚さ、群落高および飛砂活動の関係

未固結軟砂層の厚さが80 cmを超すと飛砂活動の活発な砂丘が急激に多くなるが、群落高が大きいほど飛砂活動の発生は抑制される。

砂丘の活動度； I：飛砂発生なし II：飛砂が発生したが植生によって固定 III：干ばつときには飛砂発生
IV：継続的な飛砂現象

Fig. 8 Relationships between thickness of loose sand, vegetation height, and the mobility of sand, showing marked increase in mobility in the areas with loose sand thicker than 80 cm, and effect of vegetation height on preventing remobilization

Activity of sand drifting ; I: no significant disturbance of dune surface II: revegetation has stopped drifting
III: temporarily vegetated with drift during droughts IV: unvegetated bare sand

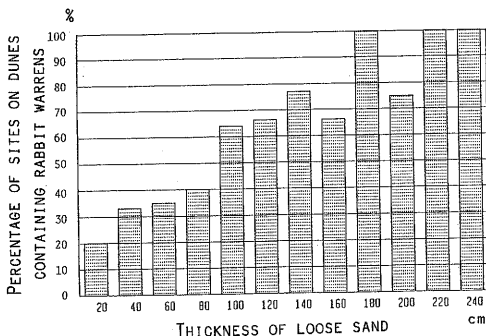
巢のために未固結軟砂層を掘るからである。先と同様の砂丘列における調査結果によれば、未固結軟砂層が厚いほどウサギの営巣は活発になり、砂丘再活動を促進させていると判断された（第9図；Matsumoto, 1985）。

一方、環境変化に伴ってシロアリのポピュレーションも大きく変化している。開墾直後は、枯れ枝やリグノチューバーが多量に生産されるため、シロアリも急激に増加するが、そうした木片が除去されるとその数は再び減少する。このように、植生破壊に伴う環境変化は動物生態系にも大きな影響を与えている。

V 植生管理と砂漠化防止策

塩類集積、土壌侵食、砂丘の再活動などの「砂漠化」現象を緩和させるためには、土地自然の特性を踏まえた適正な土壌保全・植生管理計画を策定することが必要である。

塩類集積の発生しやすい地域では、塩類を運搬する地表流、中間流を遮断する吸水堤 absorption bank の設置（大森, 1986）などの技術的対策がと



第9図 未固結軟砂層の厚さとヨーロッパアナウサギの営巣のみられる砂丘の割合との関係
未固結軟砂層の厚い砂丘ほどアナウサギが営巣している割合が高い。

(Matsumoto, 1985).

Fig. 9 Percentage of sites having rabbit warrens in relation to thickness of loose sand in the Loxton area

(Matsumoto, 1985).

られている。今後は、保全効果が最も高い水系上流部の植生回復に努めるなど、計画的対策がとられる必要がある。ガリー侵食の場合も、ガリーの埋め戻しと排水溝の設置などの技術的対策とならんで、等高線耕作の実施や輪作方式の採用などソフトな対策が重要である (Laybutt and Willcox, 1980)。

次に、本稿で重点的に取り上げた砂丘再活動地域についての「砂漠化」防止対策を考えてみよう。ここでは、飛砂の供給源である完新世砂丘砂層の厚い部分に対する対策が必要である。ロクストンの例にみるように、完新世砂丘砂層の非常に厚い地域では、農牧業的土壌保全には限界がある。これまでの保全緑地の指定にみるように、砂層の厚い地域の植生を保護すれば、砂丘の再活動は大幅に緩和される。オーストラリアでは土地自然調査 land system survey (たとえば, Rowan and Downes, 1963; Land conservation Council, Victoria, 1974; Laut *et al.*, 1977) が進んでいるので、それを活用したマクロな土地利用ゾーニングが有効と考えられる。

すでに活発な活動のみられる農耕地では、群落高1 m前後のライ麦などを用いた、早期緑化が有効なのは、第8図が示すとおりであり、フィールドでも確認された事実である。また、長期的な視野で、飛砂防止に最も効果的な自然植生の回復を図るためには、土壌条件の改善とともに自然条件下で実生成長の難しいマリー構成種の苗木植栽が有効であると考えられる。

逆に、今後新たに農牧業開発を行なおうとする場合には、第8図に示した未固結軟砂層の厚さ、群落高と砂丘の活動度の関係を、あらかじめ十分評価すべきである。砂層厚についていえば、80 cm が、健全な農耕地の限界となる (大森, 1986)。また、その前後の砂層厚の地域では、砂丘活動を引き起こさない群落高を維持するためにどういった土地利用形態が有り得るかを十分検討すべきである。第8図

で示したクリティカルな値は、降水量などにより地域差があると思われるが、こうした関係をみていくことが重要であることは認められよう。

半乾燥地域におけるこれからの農牧業は、マリー植生の再生過程が示すように干ばつの発生にも十分耐えうる構造を持ったものでない限り、その永続性を保障することは困難であろう。トリオディア草地やアカシア低木林は、本来内陸乾燥地域にあって干ばつなどのインパクトに対応して、 $10^0 \sim 10^1$ 年オーダのサイクルで維持されてきたのに対し、半乾燥地域のマリー低木林は $10^2 \sim 10^3$ 年のオーダで維持されてきた。

これまでの半乾燥地農牧業は、乾燥地植生と同様の生態構造を持って営まれてきたのであり、短期に訪れる干ばつによって被害を被るのは必然的なことであった。今後は、より長期的なオーダで土地と植生の退行を引き起こさない土地利用のあり方が模索されるべきであろう。かつてアポリジニーズが火入れをしながらも半乾燥地域の自然と共存してきたことを思い起こし、新たな人間と自然の共存方策を探っていく必要があると考えられる。

VI ま と め

オーストラリア半乾燥地域では、人為的な環境変化過程の中でさまざまな植生からの反応が認められる。極端な場合には、植生は完全に除去され、土壌は攪乱され、土地の肥沃度が減少して人工肥料を大量に使わざるを得なくなる。こうした立地では、もはや元の植生は回復しない。火入れや放牧などのインパクトが比較的軽微なところでは、植生の構造や種の多様性が変化する。たとえば、前述のように、季節風林はユーカリ・ウッドランドになり、ユーカリの低木林は、アカシアの低木林に、さらにアカシア低木林は、トリオディアの草地に変化するのである。

第 I 章で述べたように、人為的な環境変化の結果

として、植生は群系レベルでより乾燥した条件下において典型的にみられる植生へと変化する。オーストラリア半乾燥地域の場合、まず乾燥地域に分布する優占種が林内に進入し、それが「砂漠化」のプロセスの第一歩となる。

オーストラリア半乾燥地域では、ガリー侵食、塩類集積、砂丘再活動など典型的な「砂漠化」現象がみられる。こうした「砂漠化」の防止は、土地自然の特性と、植生を中心とする人為的環境変化過程を十分把握したうえで行なわれるべきである。しかし、これまでは科学的裏づけのないまま「砂漠化」問題が巷間に流布し、時には誤ったデータや保全対策が一人歩きしてきた (Carder, 1981, 大森, 1986)。今後は、十分な自然科学的基礎にたった「砂漠化」防止対策の確立が望まれる。

本研究は、1982~83年に実施した文部省科学研究費補助金海外学術調査(研究代表者: 戸谷 洋, 課題番号 5804 1060)の一環をなすものである。研究代表者の戸谷 洋教授(現、帝京大学)はじめ研究分担者の諸氏、ならびに現地で協力いただいた C. S. I. R. O. 土地資源管理部、サウス・オーストラリア州農業省の関係各位に対して御礼申し上げる。なお、本稿の骨子は1986年度秋季学術大会(「砂漠化」の地理学・シンポジウム)において発表した。

(投稿 1987年5月25日)

(受理 1987年7月20日)

文 献

- 岩崎一孝(1983): オーストラリアの気候 I —— 平均値からみた気候地域——。地理 28-1, 15~29。
岩崎一孝(1984): オーストラリアにおける降水量の長期傾向の地域差。地学雑, 93, 15~29。
大森博雄(1980): オーストラリアにおける砂丘の再活動とその気候上の意義について。地学雑, 89, 19~30。
大森博雄(1986): オーストラリアにおける砂漠化の現状と防止対策。国際農林業協力, 9-3, 68~81。
大森博雄・遠藤邦彦・上杉 陽・堀越増興(1987): サウスオーストラリア州南西部ミリセント付近の海岸における完新世砂丘の層序と地形発達史。地学雑, 96, 1~22。
片平博文(1987): 南オーストラリア半乾燥地域における土地利用の進展——マレーマリー地域を例として——。立命館文学, 499, 64~95。
金田章裕(1980): 南オーストラリアの村落に関する覚え書き。追手門学院大学オーストラリア研究紀要, 6, 175~206。

- 武内和彦 (1984) : オーストラリアの植生——植生記列と環境条件——. 地理, 29-1, 99~106.
- Ash, J. E. and Wasson, R. J. (1983) : Vegetation and sand mobility in the Australian desert dune-field. *Z. Geomorph. Suppl.-Bd.* 45, 7~25.
- Beadle, N. C. W. (1981) : *The vegetation of Australia*. Cambridge Univ. Press, 690 p.
- Birch, A. R. and Blencowe, J. P. (1952) : *The badly drifting farm report of Murray Mallee District Soil Conservation Board, 1948-1952*. Soil Branch Rept., 12 p.
- Bowler, J. M. and Magee, J. W. (1978) : Geomorphology of the Mallee region in semi-arid northern Victoria and western New South Wales. *Proc. Roy. Soc. Vic.*, 90, 5~26.
- Bureau of Flora and Fauna, Canberra (1981) : *Flora of Australia. Vol. 1 Introduction*. Australian Government Printing Service, Canberra, 200 p.
- Bureau of Meteorology, Australia (1977) : *Climatic atlas of Australia*. Australian Government Printing Service, Canberra.
- Carder, D. J. (1981) : Desertification in Australia—a muddled concept. *Search*, 12 (7), 217~221.
- Dregne, H. E. (1983) : *Desertification of arid lands*. Harwood Academic Publishers, 242 p.
- Gillison, A. N. (1983) : Tropical savannas of Australia and the Southwest Pacific. Bourlière, F. ed.: *Tropical savannas*. Elsevier, Amsterdam, 183~217.
- Goudie, A. (1981) : *The Human impact*. Basil Blackwell, Oxford, 45~50.
- Grantz, M. H., ed. (1977) : *Desertification—environmental degradation in and around arid lands*. Westview Press, 346 p.
- Heyligers, P. C., Laut, P. and Margules, C. (1978) : *Vegetation cover and land use maps for the agricultural districts of South Australia*. Tech. Memo., 78/1, C. S. I. R. O., 16 p.
- Jacobs, S. W. L. (1980) : Pyric cycles in Triodia mallee. Storrier, R. R. and Stannard, M. E. eds.: *Aeolian landscapes in the semi-arid zone of south eastern Australia*. Australian Soc. Soil Sci., Riverina Branch, 145~146.
- Land Conservation Council, Victoria (1974) : *Report on the Mallee study area*. Land Conservation Council, Victoria, 263 p.
- Laut, P., Heyligers, P. C., Keig, G., Löffler, E., Margules, C. and Scott, R. M. (1977) : *Environments of South Australia, handbook*. Div. Land Use Research, C. S. I. R. O., Canberra, 72 p.
- Laybutt, P. J. and Willcox, R. E. (1980) : Returning eroded land to productivity. *Jour. Soil Cons. Serv. N. S. W.*, 36 (2), 83~86.
- Luke, R. H. and McArthur, A. G. (1978) : *Bushfires in Australia*. Dept. Primary Industry, Forestry and Timber Bureau, CSIRO Div. Forest Res., Australian Governmental Printing Service, Canberra, 359 p.
- Matsumoto, T. (1985) : Animal activities in relation to the environment in the Murray-Mallee, South Australia. Toya, H., Takeuchi, K. and Ohmori, H. eds.: *Studies of environmental changes due to human activities in the semi-arid regions of Australia*. Dept. Geogr. Tokyo Metropol. Univ., 302~310.
- Moore, R. M. and Perry, R. A. (1969) : *Vegetation of Australia, 1: 12,000,000*. C. S. I. R. O., Canberra.
- Noble, J. C. and Mulham, W. E. (1980) : The natural vegetation of aeolian landscapes in semi-arid Southeastern Australia. Storrier, R. R. and Stannard, M. E. eds.: *Aeolian landscapes in the semi-arid zone of south eastern Australia*. Australian Soc. Soil Sci., Riverina Branch, 125~139.
- Ohmori, H., Iwasaki, K. and Takeuchi, K. (1983) : Relationship between the recent dune activities and the rainfall fluctuations in the southern part of Australia. *Geogr. Rev. Japan*, 56, 131~148.
- Ohmori, H., Speight, J. G. and Takeuchi, K. (1986) : Stratigraphic background of gully development of the Pekina catchment in the Mt. Lofty Ranges, South Australia. *Geogr. Rep. Tokyo Metropol. Univ.*, 21, 65~84.
- Rowan, J. N. and Downes, R. G. (1963) : *A study of the land in north-western Victoria*. Soil Conservation Authority, Victoria, 116 p.
- Specht, R. L. (1972) : *The vegetation of South Australia (second edition)*. Handbook of the flora and fauna of S. A., Branch of the British Science Guild Handbooks Committee, 328 p.
- Suzuki, H., Uesugi, Y., Endo, K., Ohmori, H., Takeuchi, K. and Iwasaki, K. (1982) : *Studies on the Holocene and recent climatic fluctuations in Australia and New Zealand*. Dept. Geogr., Univ. Tokyo, 166 p.
- Toya, H., Takeuchi, K. and Ohmori, H. eds. (1985) : *Studies of environmental changes due to human activities in the semi-arid regions of Australia*. Dept. Geogr. Tokyo Metropol. Univ., 317 p.
- Toya, H., Takeuchi, K., Ohmori, H., Katahira, H., McArthur, W. M., Matsumoto, T., Iwasaki, K. and Okazaki, M. (1986) : Land and vegetation degradation by soil erosion and salinization in the Western Australian Wheat Belt. *Geogr. Rep. Tokyo Metropol. Univ.*, 21, 49~64.

- Twidale, C. R. (1976) : Landforms related to the activities of organisms, including man. *Analysis of landforms*. John Wiley & Sons, 501~528.
- Twidale, C. R., Lindsay, J. M. and Bourne, J. A. (1978) : Age and origin of the Murray river and gorge in South Australia. *Proc. Roy. Soc. Vic.*, **90**, 27~42.
- United Nations, ed. (1977) : *Desertification: its causes and consequences*. Pergamon Press, 448 p.
- Wasson, R. J. (1986) : Geomorphology and Quaternary history of the Australian continental dune-fields. *Geogr. Rev. Japan*, **59** (Ser. B), 55~87.
- Wetherby, K. (1980) : Shallow stratigraphy and dry land use of the northern Murray Mallee, S. A.
- Storrier, R. R. and Stannard, M. E. eds.: *Aeolian landscapes in the semi-arid zone of south eastern Australia*. Aust. Soc. Soil. Sci., Riverina Branch, 179~195.
- Williams, M. (1976) : Planned and unplanned changes in the marginal lands of South Australia. *Aust. Geogr.*, **13**, 271~281.
- Williams, O. B. (1975) : Ecosystems of Australia. Godall, D. W. ed.: *Arid-land ecosystem: structure, functioning and management, Vol.1.*, Cambridge Univ. Press, 145~212.
- Wood, R. M. (1976) : *A study of eroded farms in the Murray Mallee—1975*. Soil Branch Rept., S 8/7-6, Dept. Agr. and Fish., 21p.

VEGETATION-ECOLOGICAL ASPECTS OF "DESERTIFICATION" IN THE SEMI-ARID REGIONS OF AUSTRALIA

Kazuhiko TAKEUCHI* and Hiroo OHMORI*

In the Australian Continent, in those areas occupied by Europeans during the past 200 years, the natural environment has been modified; the change are most severe in the semi-arid regions. Prior to European settlement, for some tens of thousands years of Aboriginal occupation, there were slow changes mainly due to occasional burning of vegetation so that the Australian flora was gradually moved towards fire-resisted species. With the introduction of agriculture and grazing drastic changes in the density, floristics, and structure of native vegetation occurred. Disturbance or removal of vegetation has also affected surface and sub-surface hydrology. These changes have resulted in water or wind erosion and salinization. Where vegetation has been regenerated the species established are often those which are unpalatable to grazing stock or can withstand frequent burning. This leads to "desertification".

The concept of "desertification" is ecologically defined as follows: The natural vegetation in equilibrium with the potentiality of regional climate (climatic climax) is replaced by the vegetation which grows naturally and originally in more arid region due to environmental stress directly induced by man and the accompanying land degradation.

The Murray-Mallee Region in the southern part of Australia, where the late Pleistocene and Holocene sand dunes are widely distributed, is a semi-arid region with annual rainfall of 250-400 mm; it is wholly covered with mallee (*Eucalyptus* spp.) scrub. The sand dunes which were stable covered totally with such vegetation during the pre-European days have become unstable at many sites due to vegetation clearing, farming and grazing associated with European settlement since the late 19th Century. The remobilization of sand dunes is one of the typical events of "desertification" and, in extreme cases, the surface remains unvegetated. Various stages in vegetation

change can be observed showing "desertification" or regeneration process. The authors describe the processes involved in land and vegetation degradation, and discuss the measures to prevent "desertification" based on the examination of the relationships between activity of sand drifting, thickness of loose sand overlying the stable substrata, floristic composition, community height, and activity of rabbits (*Olyctolagus cuniculus*).

The natural mallee scrub in the conservation park is dominated by *Eucalyptus* spp. accompanied by rich lower shrub layer species such as *Casuarina stricta*, *Callitris verrucosa* and *Hakea leucoptera*. The mallee scrub remaining on farmland, however, is very poor in understory resulting from grazing. *Triodia* spp. and *Acacia* spp. invade in the understory of the mallee scrub after bushfires. *Acacia* spp. regenerate easily and are dominant on the land where the surface is disturbed by vegetation clearance and/or wind erosion. Natural mallee scrub will regenerate through sprouting from so-called mallee roots (lignotuber) persisting after surface disturbance. When the lignotuber is exposed by wind erosion or covered by sand accumulation, the recovery to natural mallee scrub becomes very difficult. On such sites, *Triodia* colonies and/or *Acacia* scrub stand as disclimax communities with a life cycle of 30 to 50 years (Figs. 6 and 7).

The thicker the loose sand is, the more active and continuous is the sand drifting (Fig. 8). In particular, on many dunes with loose sand thicker than 80 cm, serious drifting has continued for recent tens of years exacerbated by the large amount of mobile sands and the difficulty of vegetation invasion. At the sites with thick loose sands, the population of rabbit introduced from Europe is larger, suggesting that the reactivation and acceleration of sand drifting is induced by rabbit infestation (Fig. 9). On the other hand, where vegetation height is greater than the line shown in Fig. 8, suggesting a minimum height of vegetation for erosion control, sand dunes tend to be stabilized.

The results of investigation as mentioned above show the various processes of vegetation changes according to the combinations of local difference in natural conditions and the importance of human impacts, and imply many stages of "desertification". The remobilization of sand dunes is regarded as an extreme stage of "desertification" caused by a combination of many factors. The soil conservation and the vegetation management based on detailed survey of physical and ecological characteristics of land will identify the factors contributing to landscape instability and "desertification" and so provide a framework for reversing the processes of land and vegetation degradation.

(Key words : desertification, land and vegetation degradation, semi-arid region, vegetation change, Australia)