

## 特集

## 砂漠緑化システム

## 砂漠の現状と動向(1)—自然環境から—

## Present Status and Recent Change in Desert Environments

大森博雄\*

Hiroo Ohmori

## 1. はじめに

「さばく」は常用漢字の使用制限により、教科書などでは「砂漠」と書くことが多いが、本来は「沙漠」と書く。砂丘の広がっている土地のみをさす言葉ではなく、水が少なく植生の乏しい荒涼とした状態の土地を意味している。中国では、日本語の「砂漠」に相当する言葉として「荒漠（ホワンモウ）」が使われることが多く、英語の「desert」はラテン語の「desertus」に由来し、ともに「荒涼とした土地」をさす。砂漠（荒漠や desert のいずれも）は、「生物の生存にとって好ましい条件を持っていない土地＝不毛の地」をさし、広い意味での砂漠の中には、高山の山頂付近の局地的な強風・乾燥・寒冷気候によって生ずる砂礫地である「高山砂漠」、火山地域の有毒ガス・砕屑物・火山灰の降下があることや透水性の大きい岩や礫が地表を覆っていることなどの土地条件によって生じた「火山性砂漠」も含まれる。

砂漠は「水環境」が厳しいため、一般に農牧業を営むのが困難であるが、オアシスや砂漠の縁辺部では、農耕や遊牧が行われ、それらの物資の集散地には都市の発達もみられる。現在の砂漠地域には石油資源に恵まれた所が多く、その開発にともなう経済基盤の向上は、深層地下水や海水の淡水化などの水資源の開発を促した。飲料水や工業用水の拡充は都市の経済活動を活発化させ、灌漑や植林などによる砂漠地域の土地利用の発展もみられる。しかし、近年の水環境の変化は、砂漠の自然環境の破壊（「砂漠化」）をも発生させ、砂漠に住む人々の生活・文化・経済・政治の各方面にわたって大きな問題を引き起こしている。

## 2. 砂漠の類型と気候の特徴

「砂漠」と言うと、どこも同じような性格の自然が

展開されていると思われがちであるが、気候・地形・動植物は砂漠ごとに様々な性格を持っている。ここでは水環境と強く関係している気候の共通性や違いの概略を見てみる。

「不毛の地」になる最大の原因は、生物の使い得る水分が少ないことである。「使い得る水分が少ない」のは、「①降水量よりも蒸発量が大きい（蒸発乾燥；一般に降水量自身が少ない）ためか、あるいは、②低温のために水が凍結している（凍結乾燥）ため」である。後者はツンドラ地帯に代表され、「極地砂漠」と呼ばれる。いずれも広い意味での乾燥条件によって形成される不毛の地であるが、普通に「砂漠」と言ったときには、蒸発乾燥に起因する砂漠をさす。

砂漠が学術的に定義されるようになったのは1950年代にはいつてからである。土地の乾燥の度合は、降水量と地面や植物の葉などから空中に放出される水分の量（蒸発散量）との差の大きさによって表される。乾燥や湿潤の度合の計算方法はいろいろあるが、ソーンズウェイト（Thornthwaite）の湿潤指数（moisture index）<sup>1)</sup> が用いられることが多い。湿潤指数が0から-40までの地域は、「半乾燥地」とされ、年降水量がほぼ500から200mmの地域が相当している。湿潤指数が-40から-56までの地域が「乾燥地」で、年降水量が200から25mmの地域がほぼ対応する。湿潤指数が-57以下の地域は「極乾燥地」で、年降水量がほぼ25mm以下の地域である（図-1）<sup>2)</sup>。世界の陸地の中で、極乾燥地は4%、乾燥地と半乾燥地はともに16%ほどを占めている。蒸発乾燥による砂漠を広い意味で用いるときには、湿潤指数がマイナスを示すこれらの乾燥地の総てを砂漠と呼ぶことが多い。

植生景観からみると、砂漠は樹高2m以上の樹木がまばらに生えた疎林からなる「サバナ（ウッドランド）」、樹高0.5～2mの灌木の被覆度が30%以上になる「低木林（シュラップランド）」、灌木の被覆度が10～30%程度で草原の広がる「ステップ（グラスラン

\*東京大学理学部地理学教室助教授  
〒113 東京都文京区本郷7-3-1

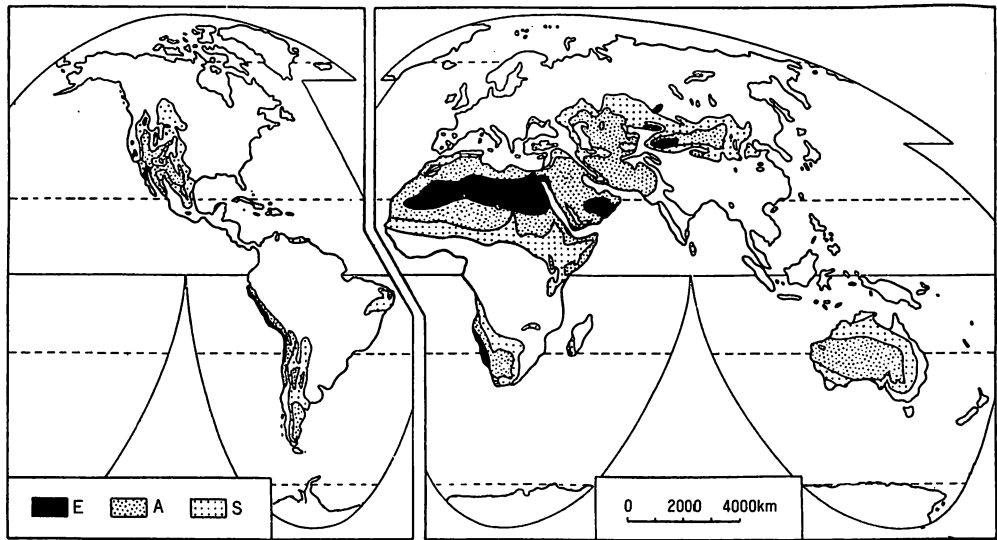


図-1 世界の砂漠の分布 E: 極乾燥地 A: 乾燥地 S: 半乾燥地

ド)」、多年性植物の被覆度が10%以下の「真砂漠」、多年性植物はワジ周辺に限られる「極砂漠」などに分類される<sup>3)</sup>。極砂漠は極乾燥地に、真砂漠は乾燥地に対応し、サバナやステップは「半砂漠」とも呼ばれ、半乾燥地に相当する。

いずれの地域も一年中高気圧に覆われ、安定した天候が継続し、降水量が少なく、蒸発量が多いのであるが、降水量が少なくなる原因や雨をもたらす原因によって幾つかに類型化される<sup>4)</sup>。「亜熱帯砂漠」は亜熱帯(中緯度)高気圧の支配下にあり、一年中安定した天候が続く。多くの砂漠が亜熱帯高気圧の影響下にあるが、北アフリカのサハラ砂漠からアラビア半島、イラン高原を経て、インダス川流域のタール砂漠にかけての砂漠地帯やオーストラリアの砂漠が代表である。年降水量は周縁部で100mmを越すが、中央部では10mm以下の部分が多い。夏の月平均気温は25から35℃前後であるが、月平均最高気温は40℃を越えることが多い。冬の月平均気温は15から20℃前後で、月平均気温の年較差は8から17℃である。相対湿度は年平均で40から50%を示す。熱帯の海洋性気流が侵入してきたときや熱帯性低気圧(台風)がやってきたとき、また、局地的に発生した上昇気流によって豪雨が発生する。

「寒冷海岸砂漠」は海洋性の亜熱帯高気圧に覆われて降水量が少ないのであるが、この砂漠の特徴は、南アフリカのナミブ砂漠がベンゲラ海流の、南アメリカのアタカマ砂漠がペルー海流の影響を受けているよう

に、海岸近くに冷水塊や寒流が流れているため、緯度の割には気温が低いことである。夏季の月平均気温は20℃前後、冬季の月平均気温は15℃前後である。特に、夏季の気温が低いため、月平均気温の年較差は5℃前後と小さい。降水量は10から20mmと著しく少なく、極乾燥地となっていることが多いが、海からの湿った気流が霧となって砂漠を覆い、相対湿度は年平均で70%以上を示し、「湿潤砂漠」と呼ばれることもある。

雨をもたらす水蒸気は一般に海洋から運ばれる。海洋からの気流が山脈に阻まれると、水蒸気を含んだ空気は上昇気流となって、山脈の風上側に雨を降らす。山脈の風下側には乾燥した下降気流が生じ、砂漠を形成する。このような成因を持つ砂漠を「雨影砂漠」と呼ぶ。北アメリカ・ロッキー山中、南アメリカ・アンデス山脈東麓の諸砂漠やアフリカ南西部のカラハリ砂漠がこれに相当する。緯度が比較的には高いため、平均的には気温は高くはない。夏季の月平均気温は25から30℃、冬季の月平均気温は10から15℃である。

「内陸砂漠」は海洋からの距離が大きく、水蒸気もたらされないために生じた砂漠で、アジア大陸内部のソ連南部から中国北東部にかけて広がっている。亜熱帯砂漠と大きく異なる点は、冬季に極気団やシベリア気団に覆われて気温が著しく低くなることで、「寒冷砂漠」とも呼ばれる。日最低気温はアラル海付近で-42℃、アシハバードでも-26℃を記録している<sup>5)</sup>。夏季の月平均気温は25から30℃、冬季の月平均気温は0から-10℃、月平均気温の年較差は30℃前後を示し、

世界で最も年較差の大きな地域の一つとなっている。

### 3. 砂漠の環境変化の諸相

砂漠の自然は、例えば、5～6千年前にはサハラは湿潤であったというように、長い地球史の中で大きく変化してきた。現在砂漠となっている土地の気候・地形あるいは動植物も大きく変化してきたことになる。しかし、ここ100年間をみると、「砂漠化」と呼ばれる人為による急激な環境変化が引き起こされている。

自然は、土、水、大気、植物、動物の間で互いに作用し合い、一つの‘系’として存在している。この一連の相互作用の系が広義の「生態系」である。特に砂漠の生態系は厳しい水環境のもとで、微妙なバランスの上に成り立っている。人為的インパクトによって、このバランスが壊されると、地形・土壌・水質や動植物の変化として、「砂漠化」は発生する。

人為的インパクトとしては、開墾・燃料・用材のための樹木の伐採、耕作、放牧、灌漑、道路建設、鉱山開発、あるいは、レクリエーションの一つであるサンドバギーなどが指摘され、オーストラリアでは入植時に不用意に持ち込まれたヨーロッパアナウサギの活動なども人為的インパクトに加えられている。

乾燥・半乾燥地で水道が普及すると、ペルシャ湾岸の諸都市で見られるように、漏水などにより地下水位が上昇し、都市域内に塩類集積地や塩分濃度の高い湿地が形成されたりもする。また、熱帯雨林を切り開くと、激しい雨のため土壌は速やかに侵蝕され、下位のラテライトが露出し、当分の間元の森林には復帰しない状態が続いてしまう。これらの環境変化も「砂漠化」と呼ばれている<sup>6)</sup>。特に、乾燥・半乾燥地では、「砂漠化」の典型的な現象と言われる「塩性化」、「土壌侵蝕」、「砂丘の再活動」が広域的に発生し、「砂漠の拡大」と表現されることもある。いずれも基本的には水環境の変化によって発生させられる。以下にその発生過程の概略を見てみる<sup>7)</sup>。

#### 3.1 塩性化

近代的灌漑施設をもった灌漑農業において、通年通水が行われると、多量の水が継続的に供給されたり、灌漑水路からの漏水などにより、排水量より多い水が供給されること（「過灌漑」）が多く、地下水位の上昇が引き起こされる。上昇した地下水面からの毛管現象による水の地表への上昇、水の移動にともなう地中の可溶塩類の上昇、水分の蒸発による地表での塩類の集積という過程で、土壌の塩性化が発生する。

天水（非灌漑）農地でも土壌の塩性化が生じている。乾燥・半乾燥地の自然林を構成する樹木は数mあるいはそれ以上の深さにまで根を伸ばし、蒸散を行い地下水位を低く保つ。こうした機能を持つ樹木が伐採され、根の浅い外来植生（作物など）に置き替えられると、従来通りの降水量でも、水の「過剰」が生じ、地下水面が上昇し、塩類集積が発生する。また、降雨時に地表直下を流れる中間流は斜面下方に地中の塩類を運搬・堆積し、そこに高濃度の塩類集積地を形成する。天水農地は人為的に水の量をコントロールできない上、面積的には灌漑地よりもはるかに広いので、問題は一層深刻である。

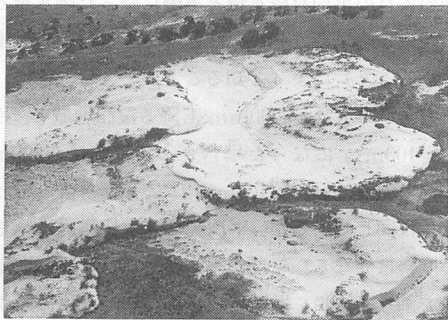
“河川水の塩性化は土壌の塩性化より深刻である”と言われることがある。河川の流域が開発され樹木がなくなると降水時の流出量は増加する。地表付近に集積した塩類はこの増加した流出水によって多量に運び出される。これらの原因によって生ずる河川水の塩性化は河川沿岸の農耕地や植生を荒廃させるが、それ以上に、“人間の生存をも左右する飲料水の悪化”として問題視されている。

#### 3.2 土壌侵蝕

土壌は岩石の風化物と植物遺体の混合した地層で、植物が根を張り水分や養分を吸収する重要な土台である。この土壌が水（流水）や風によって侵蝕されることを広く「土壌侵蝕」と呼ぶが、一般には、土壌侵蝕と言うと流水によって侵蝕されることをさす場合が多い。長年かかって形成された土壌層といっても、砂漠の土壌は薄い場合が多く、土壌の保水機能は湿潤地域のそれに比べれば劣っている。それゆえ、樹木の伐採、耕作、家畜の食糞などにより植生がなくなった地表は、豪雨に洗われ、土壌が流出しやすい。特に、ガリー侵蝕は深い溝ができ、農作業や交通に大きな支障をもたらすばかりでなく、その復旧工事に多額の経費がかかるため深刻な問題となっている。

#### 3.3 砂丘の再活動

現在の乾燥・半乾燥地の多くは最終氷期（その極相期は約18,000年前）の頃、現在よりも乾燥していて砂漠となっており、これらの地域の多くの場所で砂丘が形成された。半乾燥地では、これらの砂丘は「化石砂丘」として、現在は植生に覆われ固定している。こうした地域で樹木の伐採が行われると、砂層の地表面は乾燥する。また風が地表を直接吹くことになり、砂粒が風によって吹き飛ばされることになる。砂粒が風に吹き飛ばされ移動することを「飛砂」と言うが、多く



写1 マレー・ダーリング盆地の砂丘の再活動のため放棄された牧草地。一つの砂丘が活動を始めると、50ha以上の農地がだめになる。

の場合、化石砂丘が再び活動するので、「砂丘の再活動」とも呼ばれる。再活動砂丘の風上側では侵蝕（風蝕）により、風下側では砂が堆積して、農耕地や林を埋めていく（写1）。風下側では薄いが広く砂層が堆積するので、広範囲にわたって土地が荒廃する。

#### 4. 砂漠の潜在的拡大

以上に見たように、「砂漠化」の発生には、水環境の変化が関係しているが、特に、人為的インパクト（開発に伴う樹木伐採や地形改変など）によって引き起こされた「蒸発散量の変化」、「地下水量の変化」、「流出水量の変化」という「水の動態」の変化が強く関係している。そして、この「水の動態」を最も強く規定している自然の要素は「降水量」である。

砂漠の降水量は年ごとにみると大変気まぐれである。乾燥気候が続いた後、大雨にみまわれ、干ばつとは逆に、洪水災害に襲われることも珍しくはない。大きな変動を繰り返すが、降水量の減少傾向が大局的には継続的に続き、砂漠の「ポテンシャル的拡大」が進行している地域もある。以下に、古くから農業が行われてきたアフリカのサヘル地域と、ここ200年ほどの間にヨーロッパの近代農業が導入されたオーストラリアのマレー・ダーリング盆地の最近の降水量変動と環境変化の中でも最も明瞭な現象の一つである「砂丘の再活動」との関係を見てみる。

##### 4.1 サヘル降水量変化

アフリカでは、年降水量150mm以下の地域が活動砂丘の分布する地域となっている（図-2）<sup>8)</sup>。サハラ砂漠の南に広がるサヘルは広い意味での砂漠であるが、現在は、ステップ～サバナ地帯となっており、氷期に形成された砂丘は植生に覆われて固定している。しか

し、1968年から1973年にかけて、大干ばつに襲われ、天水に頼る農牧業が行われているこの地帯の人々は湿潤な南部へ移動し、その過程で数十万人の人と一千万頭以上の家畜とが飢えと渇きとで死亡し、南部の都市には「環境難民」があふれた。この時サヘルでは、河川は干上がり、井戸水は涸れた。耕地は強い日射と風によって乾燥し、一部は風に吹き払われ、一部は砂に埋められた。この災害は「砂漠化」として新聞・テレビなどのマスコミに大きく報道され、「砂漠化」という言葉は市民権を得ることになった。

1974年、サヘルには前年より多い雨が降り、裸地化した土地では土壌侵蝕などの災害が発生したが、一部には緑が回復し、「砂漠化はおさまった」との報道もされた。しかし、降水量は平年値まで回復しないまま今日に至っている（図-3）<sup>8),9)</sup>。いったん裸地化した畑地や牧草地は雨による侵蝕でますます荒廃し、動き出した砂丘はその後も活動を続けている。

サヘルでは砂丘が動き始める限界は年降水量150mmの線とほぼ一致するが、150mm等値線の位置を、1930年代と1980年代とで比較すると、この間に乾燥地域が200～500kmも拡大した（図-2）<sup>10),11),12)</sup>。遊牧が行

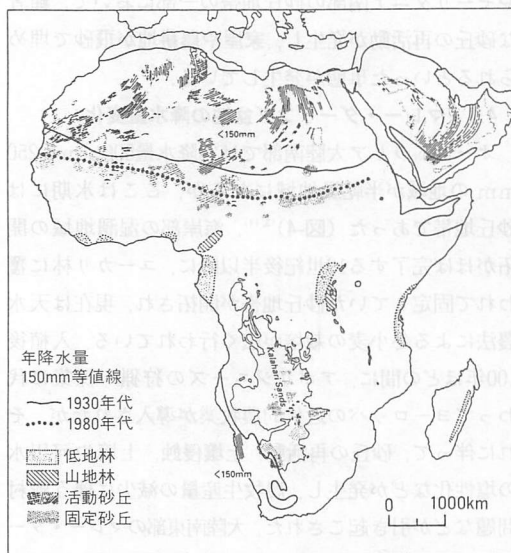


図-2 アフリカ大陸の砂丘の分布。150mm等降水量線の外側に分布する砂丘は氷期に形成され、現在は植生に覆われて固定している。年降水量が150mm以下になると、砂丘の再活動が発生し得ると言われる。サヘルでは、1930年代から1980年代にかけて150mm等降水量線が200から500km南下した。

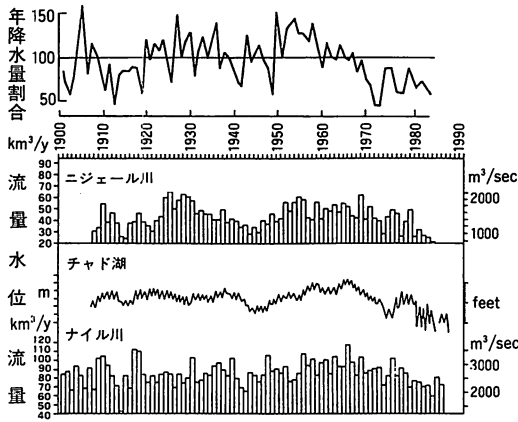


図-3 サヘル降水量変動(平年値を100とする)、ニジェール川、ナイル川の流量およびチャド湖の水位変化。1960年代以降乾燥化の傾向が強くなった。

われていた時代には、こうした降水量変化に伴う自然草地の変化に応じて、放牧地を比較的には自由に変えることができ、人々は干ばつ災害から身を護り、結果として、「砂丘の再活動」などの顕著な「砂漠化」の発生は回避されてきた。しかし、定住化政策によって農耕が行われるようになった1960年代の干ばつ以降は、スーダン西部、チャド湖周辺、ニジェール・マリ中部やモーリタニア南部の砂丘地帯の一部において、顕著な砂丘の再活動が発生し、家屋や農耕地が飛砂で埋められるといった事態が発生している。

4.2 マレー・ダーリング盆地の降水量変化

オーストラリア大陸南部では年降水量500mm~250mmの地域が半乾燥地域になるが、ここは水期には砂丘地帯であった(図-4)<sup>13,14</sup>。海岸部の湿潤地域の開拓がほぼ完了する19世紀後半以降に、ユーカリ林に覆われて固定していた砂丘地帯が開拓され、現在は天水農法による冬小麦の栽培が広く行われている。入植後100年ほどの間に、アボリジニーズの狩猟・採集に代わってヨーロッパの近代的農牧業が導入されたが、それに伴って、砂丘の再活動、土壌侵蝕、土壌や河川水の塩性化などが発生し、農牧生産量の減少に伴う離村問題などが引き起こされた。大陸南東部のマレー・ダーリング盆地はその代表的な地域の一つで、そこでは顕著な「砂丘の再活動」が発生している。

砂丘の再活動が起こるかどうかは、砂丘表面の乾湿や植生の状態が関係するが、このような地表の状態に影響を及ぼすのは、一日や二日といった短い乾燥ではなく、数カ月以上におよぶ乾燥である。こうした乾燥がどの位続いたか、また、どの位厳しかったかは、その

土地の各月の平均月降水量と実際に降った降水量との差(残差)を求め、それをたし合わせる(残差和を求めること)によって知ることができる。

一方、年降水量が2000mmも降る湿潤地域で、残差和が-100mmになった場合と、年降水量が200mmしかない乾燥地域で-100mmになった場合とでは、残差和は同じであるが、平均的な降水状態に対する乾燥の度合は異なる。そこで、月づきの残差を平均年降水量で割り、1000を掛けた値(平均年降水量に対する千分率)の和を求めることにする。こうして求めた各月の値を「月降水量残差和」と言い、それをグラフに表した曲線を「月降水量残差和曲線」と呼んでいる。

マレー川流域や19世紀前半からのデータが得られるアデレードの月降水量残差和曲線を描き、曲線が顕著な右下がりを示す「降水量減少期」を抜き出すと、この140年間に12回ほど数えられる(図-5)<sup>14,15</sup>。マレー川流域が開発され始めた19世紀末期以降の砂丘活動史や新聞などに記録された飛砂現象の発生期を記入すると、飛砂の発生は降水量減少期と一致している(図-5)。すなわち、月降水量残差和が継続して減少し、その総和が平均年降水量の500~600%を越えるような干ばつ時期に砂丘活動は活発になり、それは10年に一回ほどの割合で襲ってくるのがわかる。

図-6には、気象観測が行われるようになった19世紀後半から20世紀前半にかけての気候区界の変化を示した<sup>16</sup>。1910年代から1940年代にかけて、乾燥地域は50

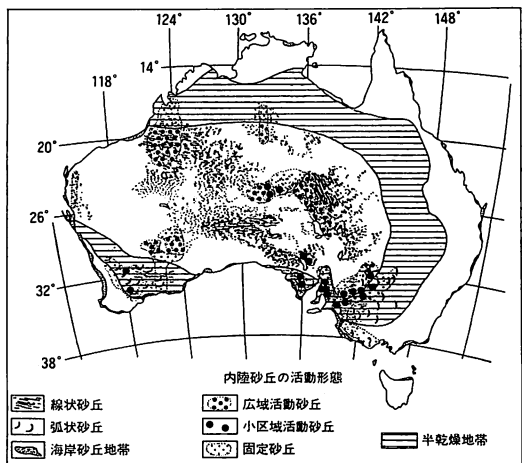


図-4 オーストラリアの気候区界と砂丘の分布。半乾燥地では水期に形成された砂丘が植生に覆われて固定している。小区域活動砂丘が「再活動砂丘」で、半乾燥地で分布密度が高い。

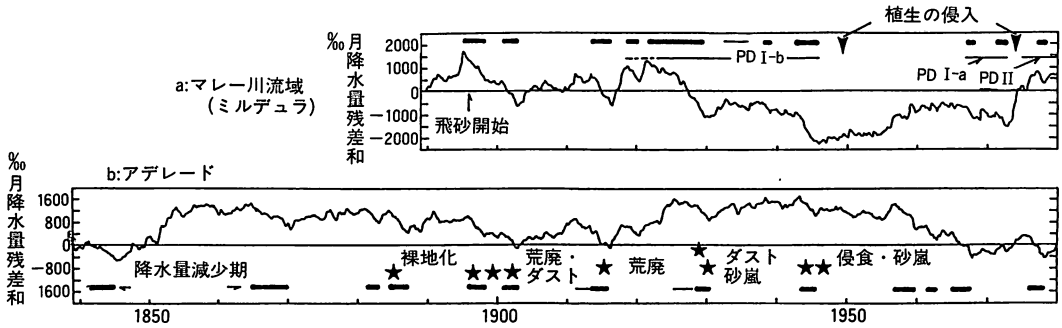


図-5 降水量変動と飛砂活動との関係。曲線が継続的に右下がりになる「降水量減少期」に飛砂が活発に発生する。PD I-b, PD I-a および PD II はそれぞれ、砂丘の一連の活動期を示す。

～100km 以上拡大したことを示している。1970年代前半に、一時的に降水量が回復したが、現在も乾燥化の傾向は基本的には続いている。

5. 降水量変動の地域的な違い

サハラ砂漠は亜熱帯砂漠で、ここでは1960年代以降、大局的には乾燥域が拡大してきた。一方、赤道を挟んで南に位置するカラハリ砂漠は雨影砂漠であるが、ここでは、1960年代以降、継続的に乾燥化してきたわけではない(図-7)<sup>17)</sup>。降水量の多い時期や少ない時期も、サヘルとは必ずしも一致していない。東アフリカやカラハリでは、降水量の振幅および継続期間の長さにお

いて、比較的大きな乾燥と湿潤の繰り返しが顕著になってきていると言える。乾燥化と同様に、降水量変動が大きくなる傾向は動植物や人間の生活にとって好ましい方向への環境変化ではない。しかし、乾燥化が進行する場合とは異なった対応が求められる。

オーストラリア砂漠も亜熱帯砂漠である。大陸南西部のバース東方にも半乾燥地域が広がり、南東部のマレー・ダーリング盆地とともに、オーストラリアの穀倉地帯を形成している。いずれも、オーストラリア砂漠の南部を占め、かつ、ともに冬雨地帯である。しかし、南東部と南西部とは、乾燥気候の現れ方が異なる

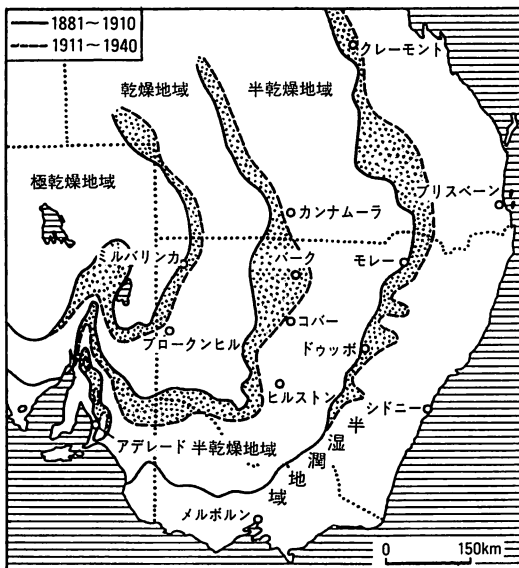


図-6 オーストラリア大陸南東部における乾燥域の拡大。潜在的に「砂漠化」が発生しやすくなっている。

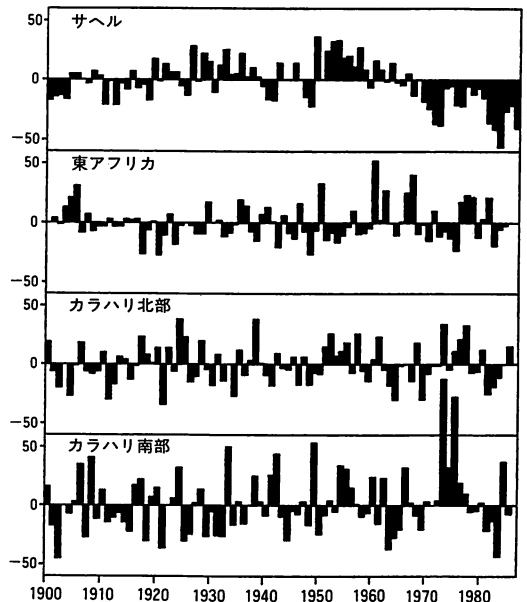


図-7 アフリカの各地域の降水量変動(平年値を100とする)。地域ごとに変動の量および時期が異なる場合が多い。

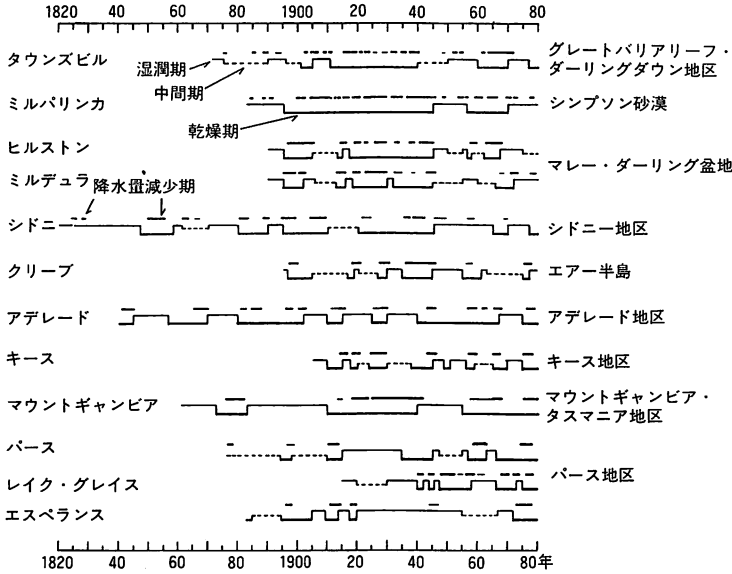


図-8 オーストラリア南部の気候地域ごとの湿潤期・乾燥期の変動。マレー・ダーリング盆地とパース地区がオーストラリア小麦地帯の代表。

っている(図-8)<sup>14,15)</sup>。ヨーロッパ人入植以降において、マレー・ダーリング盆地で最も顕著な乾燥気候が見られたのは、1900年頃から1940年にかけてである。内陸部への開拓が始まったばかりの時期で、生活基盤も充実していなかったこともあり、農業の継続を諦め、離村した農家が続出し、農村が廃虚化した。

一方、パース地区では1940年頃までは顕著な乾燥気候は現れず、1940年以降に干ばつが頻発するようになった。西オーストラリア小麦地帯は丘陵地からなるが、ここでは、干ばつは時々襲う豪雨とペアとなって、土壌侵蝕と河川水の塩性化を引き起こしている。

以上のように、ここ100年ほどの間、砂漠の自然についての観測資料が集積し、気候をはじめ地形や動植物の変化が激しく行われていることが次第にわかってきた。しかし、降水量変動一つ見ても、各地で異なった現れ方を示す。そうした意味でのきめ細かい知見は、現在でも余り得られていないのが実状である。

## 6. まとめ

人間は生きていくために自然に働きかける。この時、必然的に本来の自然の生態系を破壊することになるが、自然への働きかけが「適切」であれば、人間活動と自然との間には一定の平衡状態ができると考えられる。「不適切」な自然への働きかけが行われると、「砂漠化」と呼ばれる「生産性が低下する方向への生態系の変化」

が発生する。この生態系の変化は、自然条件下でそれまでみられたものとは異質な生態系を生み出し、元の生態系に戻すのはきわめて困難となる。

「砂漠化」による環境変化は、結果としては、降水量が減少した時に顕著に現れる。しかし、同じように降水量が減少した地域でも適切な土地利用が行われている場所では「砂漠化」は発生していない。「砂漠化」と言うとき、地域全体が荒廃したかの印象を受けやすいが、広大な乾燥・半乾燥地において、不適切な土地利用が行われている場所を選んだかのように、パッチ状に砂丘の再活動などが発生する。また、降水量が減少していない場合でも、飛砂、土壌侵蝕、塩性化の発生している土地が多い。降水量の減少は「砂漠化」を発生させやすくはするが、それをもって、「砂漠化」の原因を“自然”に押し付けるべきではなからう。

人為的インパクトの「適切・不適切」の基準は地域によって異なり、未だ解明されていない場合が多い。砂漠の生態系は脆弱であるだけに、砂漠の開発を行うに当たっては、それぞれの砂漠の特質を把握しておく必要がある。また、自然のポテンシャル的環境が「砂漠化」を発生させやすい状況に変化してきている今日、砂漠へのアプローチには一層慎重な態度で臨むことが要請される。

田村三郎東京大学名誉教授を代表とする日中共同による黄土高原緑化の研究では、土壌改良による雨水の

有効利用による生産性向上と水土保持実験, 寒冷・乾燥環境下での多収量草本や小麦の選抜試験が行われ, それぞれの地域が持つ土地・生態系と共生する砂漠の緑化方法の開発が試みられている<sup>18, 19, 20)</sup>. 砂漠開発には「水」問題が基本となるが, たんに「水を持ち込む」という技術的方法だけでなく, 自然環境とそこに生活する人々の文化環境との調和を目指した多様な方策を模索すべきであろう.

#### 引用文献

- 1) Thornthwaite, C. W. ; An Approach Toward a Rational Classification of Climate, *Geographical Review*, Vol. 38(1948), 55~94.
- 2) Meigs, P. ; World Distribution of Arid and Semi-arid Homoclimates (1953), UNESCO.
- 3) Goodall, D. W., Perry, R. A. ; Arid-land Ecosystems 1 and 2, *International Biological Programme*, Vols. 16, 17(1979), Cambridge Univ. Press.
- 4) Cloudsley-Thompson, J. ; *The Desert* (1977), Orbis Publishing Ltd.
- 5) Petrov, M. P. ; *Deserts of the World* (1976), John Wiley Sons.
- 6) 高村弘毅, 門村 浩, 大森博雄 ; 「砂漠化」の地理学—日本地理学会1986年度秋季学術大会シンポジウム I—, *地理学評論*, 60A巻 (1987), 93~108.
- 7) 大森博雄 ; 人間がひきおこす砂漠化, 齊藤 功, 野上道男, 三上岳彦 (編) : *環境と生態*, 古今書院, 156~185.
- 8) Grove, A. T. ; *The Changing Geography of Africa* (1989), Oxford Univ. Press.
- 9) Nicholson, S. E. ; Sub-Saharan Rainfall 1981-1984, *Jour. Climate and Applied Meteorology*, Vol. 24 (1985), 1388~1391.
- 10) 門村 浩, 武内和彦, 大森博雄, 田村俊和 ; *環境変動と地球砂漠化* (1991), 朝倉書店.
- 11) Mensching, H. G. ; *Die Grenzen der Sahara in Raum und Zeit : Geomorphologische Bemerkungen zum Paläoklima der nordafrikanischen Wüste vom Tertiär bis heute*, *Nova acta Leopoldina*, NF. 53, Nr. 244(1987), 169~184.
- 12) Mensching, H. G. ; Aktuelle morphodynamische Prozesse im Einzugsbereich des unteren Atbara (Nile Province, Rep. Sudan) und im westlichen Vorland des Jebel Marra (Darfur, Rep. Sudan) (1989), Akademie der Wissenschaften in Göttingen.
- 13) 大森博雄 ; 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, *地学雑誌*, 89巻(1980), 167~178.
- 14) Suzuki, H., Uesugi, Y., Endo, K., Ohmori, H., Takeuchi, K., Iwasaki, K. ; *Studies on the Holocene and Recent Climatic Fluctuations in Australia and New Zealand* (1982), Department of Geography, Univ. Tokyo.
- 15) Ohmori, H., Iwasaki, K., Takeuchi, K. ; Relationship between the Recent Dune Activities and the Rainfall Fluctuations in the Southern Part of Australia, *Geographical Review of Japan*, Vol. 56(1983), 131~148.
- 16) Gentili, J. ; *Climates of Australia and New Zealand* (1971), Elsevier.
- 17) Nicholson, S. E. ; *African Drought : Characteristics, Causal Theories and Global Teleconnections*(1989), In Berger, A., Dickson, R. E., Kidson, J. W.(eds.) : *Understanding Climate Change*, American Geophysical Union, 79~100.
- 18) 田村三郎ほか12名 (1989) ; 中国黄土高原緑化に関する基礎的研究, 昭和63年度文部省科学研究費補助金・特定研究・研究成果報告書.
- 19) 田村三郎ほか15名 (1990) ; 中国黄土高原緑化に関する基礎的研究, 平成元年度文部省科学研究費補助金・総合研究(A)・研究成果報告書.
- 20) 田村三郎ほか16名 (1991) ; 中国黄土高原緑化に関する基礎的研究, 平成二年度文部省科学研究費補助金・総合研究(A)・研究成果報告書.