

3.2.4 インドにおける事例

(1) タール砂漠の概要

タール砂漠 (the Thar Desert) は、インドとパキスタンにまたがる面積約 260 万 km² の熱帯砂漠で、およそ北緯 24 度 30 分 ~ 30 度 00 分、東経 69 度 30 分 ~ 76 度 00 分に位置する。砂質砂漠が優占するために、別名、大インド砂漠 (the Great Indian Sand Desert) ともよばれている。

タール砂漠の特色は、その人口密度の高さにある。インドの人口センサスによると、タール砂漠の主要部を占めるラジャスタン州乾燥地域の人口は、1901 年には 340 万人だったが、1971 年には 981 万人、1981 年には 1348 万人、1991 年には 1744 万人 (推定値) となっている。人口密度は 1 km² あたり、1901 年には 16 人だったが、1971 年には 47 人、1981 年には 64 人、1991 年には 83 人 (推定値) となっており、世界的に見ても、もっとも密な砂漠のひとつとなっている。この間の 10 年あたりの人口増加率は、1960 年以降ほぼ 30% となっており、インド全体の人口増加率よりも高い伸びを示している。また人口の増加とともに、家畜数も増加しつつあり、1987-88 年の値では、約 2500 万頭、家畜密度は 120 頭/km² となっている。

気候的には、冬季 (12 - 2 月)、夏季 (3 - 6 月)、モンスーン季 (7 - 9 月)、ポストモンスーン季 (10 - 11 月) の四つの季節をもち、モンスーン季に降水が得られる。降水量はタール砂漠西部でもっとも少なく、東に向かって、極乾燥 - 乾燥 - 半乾燥地域へと変化していく。パキスタンとの国境に近いジャaisalメールは、タール砂漠の核心部に位置し、もっとも乾燥した、植生の少ない地域がひろがる。年平均気温 25.9 度、年降水量 143mm (チャンダンでの観測値) で、一年を通して雨が少なく、気候ダイアグラムでも降水量の線が気温の線を上回ることがない。ジャaisalメールから東に 200km 行くと、タール砂漠の入り口と言われるジョドプールがある。年平均気温 26.1 度、年降水量 373mm で、ジャaisalメールよりも湿潤で、モンスーン季の 7 ~ 8 月には比較的まとまった雨が降る。

タール砂漠では、伝統的に半農半牧や遊牧の生活が営まれてきた。遊牧はジャaisalメールなどのとくに乾燥度の高い地域においてみられ、その他の地域では広く半農半牧の降雨依存農業がおこなわれていた。高温・乾燥の過酷な自然条件ではあるが、遊牧や半農半牧という限定的な土地利用のもとで、土地への負荷を極力抑えて生活している限りにおいては、持続的な人間生活が維持されてきたとみることができよう。

(2) 砂漠化の現状とメカニズム

近年、以下のような砂漠化現象が報告されている。

ひとつは風食と砂の移動・集積である。風食とは風による土壌侵食のことであり、風食の程度は、風の強さ、地表面の被覆度、土壌の被食度などに関係する。タール砂漠では、4 ~ 6 月に 1 年でもっとも強い風が吹くがこの時期は乾季の終わりに相当し、土壌が乾燥して風に飛ばされやすくなっている上に、地表面を覆う植生が少ないため強い風食作用にさらされる。近年では過放牧や薪炭材の過剰採取、限界地耕作によりさらに風食被害が広

まっている。以下、簡単に説明を加える。

過放牧とは、ある牧草地において適正な頭数（牧養力）以上の数の家畜を飼育するために、家畜による採食量が牧草の再生量を超え、そのため牧草が質的、量的に劣化することをいう。一般的には家畜が好まない種類の植物が増えるといわれている。また植物被覆が減少することにより、土壌は直接、風にさらされる部分が増え、結果として風食が激化する。

薪炭材の過剰採取も、基本的にはこの過放牧と似た現象で、木や草を燃料材として採取する量が、その再生量を超えるために植生が荒廃していく現象である。しばしば村落の周辺に同心円状の裸地化が進行する。

限界地耕作とは、たとえば砂丘地のように本来利用に適さない土地を耕作することである。もともと村の中でも土壌生産力の低い土地や潜在的に風食に対する危険性の高い土地は利用されずに残されてきた。しかし近年では後に述べるような事情でこのような土地においても強度の利用がなされるようになってきており、このことも風食や砂の移動・集積の要因のひとつとなっている。さらにトラクタの導入がこのことを加速させている。もともとはラクダを使った耕起はおこなわれていたが、比較的土壌表層の浅い部分を破碎するにとどめることにより、被食度を高めないような工夫がみられた。一方、トラクタによる耕起は場合によっては深さ 30cm 程度まで土壌を破碎するので被食度は格段に高まる。

また連作による土壌生産力の減少も報告されている。すなわちもともとは耕作と休閑を交互に繰り返し地力を保全するような農法がおこなわれていたが、近年では休閑せず毎年耕作をおこなう連続的な耕作が増加している。このような連続的な耕作は、有効態リンなどの土壌養分が急速に消費され、とくに有効土壌厚の薄い土地ではそのような影響が顕著であることが明らかにされている (Tsunekawa et al., 1997)。

以上、砂漠化のプロセスとその直接的な要因を述べてきた。すなわち砂漠化のプロセスとしては、風食や砂の移動・集積、長期にわたる植生の減少、連作による土壌生産力の低下がみられること、その直接的な要因としては、過放牧、樹木の過剰採取、限界地耕作、連作、トラクタによる耕起を指摘した。

それではこのような直接的要因はどうして引き起こされるのだろうか。トラクタによる耕起は、高収量品種の導入、化学肥料および殺虫剤の使用などとともに近代的な農業技術の導入にともなう農法の変化としてとらえられよう。基本的には労働負担を軽減しつつ、土地生産力をあげることを目的としたものと考えられる。一方、前者四つの背景には人口の増大があると思われる。

国立環境研究所の砂漠化研究グループは、ジョドプール県オシアン郡カブラカラン村において砂漠化のプロセスと要因に関する調査をおこなってきた。このカブラカラン村では、降雨依存農業を主体に、十数頭のヤギやヒツジを飼うという、この地域の典型的な農業形態がみられる。人口センサスによると、カブラカラン村の人口は 401 人(1951 年)、527 人(1961 年)、687 人(1971 年)、922 人(1981 年)、1253 人(1991 年)となっており、およそ 10 年間で約 3 割、年増加率にして 3.1 % (1981 ~ 1991 年) の割合で増加している。このよ

うな人口の増加はエネルギー需要を増大させ、村落周辺での樹木の過剰採取を招く。また人口の増加に応じて家畜数も増加し、過放牧が生じる。またこの調査によると、1戸あたり平均土地所有面積は祖父の代 44.0ha、父の代 17.8ha、現在の家長の代 10.1ha と、1世代ごとに約半分に減っている。そのようななかで従来と同じような生産を得るためには、休閒期間を減少したり（連作の増加）、これまで使われずにいた砂丘などの限界地も利用に供されるようになり（限界地耕作）、結果として土地荒廃を加速すると考えられる（Miyazaki and Tsunekawa, 1996）。

（３）砂漠化対策

この地域では、以下のような砂漠化対策がとられている。

植林

植林は移動砂丘を固定する手段として用いられており、以下の五つの段階で実施される。

- 1) 動物からの保護：動物による採食を避けるため、フェンスや石壁、あるいは生け垣がつくられる。
- 2) 微少な風避けの設置：砂丘表面の風速を減らすため、風向を横切る向きに障害物をおく。砂丘頂部では 2m ほどの間隔にしてあり、下部に近づくにつれ徐々にその間隔を 5m から 10m に増やす。風避けの材料としては、*Crotolaria burhea*、*Aerva persica*、*Leptadenia pyrotechnica*、*Ziziphus nummularia*、*Prosopis cineraria*、*Calotropis procera* などが用いられる。
- 3) 植林：樹木の植栽。樹種としては *Acacia tortilis*、*Acacia senegal*、*Prosopis juliflora*、*Colophospermum mopane* などが用いられる。
- 4) 草本植物やマメ科作物の種子の播種、あるいは苗木の移植
- 5) 10 年から 15 年間の継続的で適切な管理

保護ベルト植生

保護ベルト(shelter belt)の設置により、風速が減少し、耕作地や幹線道路、鉄道、運河を砂による埋没から保護することができる。保護ベルトの理想的な形は、中心部に成長が早く樹高の高い木を、その両側にはやや樹高が高く枝が横に伸びる樹木を、さらにその外側には多枝型の低木を植え、全体としてピラミッド形になるのが望ましい。保護ベルトから最大の効果が得られるのは、中央列の樹高の 10-15 倍の距離に、互いに平行した保護ベルトの列が設置される場合である。保護ベルト植生に適した植物種の基準としては、(a) 風害に対する耐性が高く、成長が早いこと、(b) 防風効果が高いこと、(c) 密度の濃い樹冠を形成すること、(d) 深く発達した根系を持つこと、(e) できればマメ科（根瘤菌による窒素固定効果）、(f) 鳥がとまらないように枝を発達させること、(g) 果実が鳥や虫を寄せ付けないこと。中央乾燥地研究所(CAZRI)による保護ベルトが作物生産に与える影響に関する研究の結果、横の列には、*Acacia tortilis*、*Cassia siamea*、*Prosopis juliflora* を植え、中央の列には *Albizia lebbek* を植えた 3 列の防風壁が提案されている（Venkateswarlu, 1993）。

アグロフォレストリシステム

Deb Roy(1993)は、将来的に有望なアグロフォレストリシステムとして3つのシステムをあげている。

1) シルビパストラルシステム (Silvipastoral system): とくに降水量 250mm 以下の地域に適し、高木植物 (Prosopis cineraria、Acacia sp.) を 10-50 本/ha の低密度で植え、低木植物 (Ziziphus nummularia、Calligonum polygonoides) と草本植物 (Sehima nervosum、Panucum turgidum) を組み合わせる。

2) アグリ - シルビカルチュラルシステム (Agri-Silvicultural system): 降水量 250-400mm の地域では、このシステムが 150-200 本/ha の樹木密度で成立する。伝統的なアグロフォレストリシステムとほとんど変わらず、耕作地に高木種 (Prosopis cineraria) の植え、さらに Acasia albida などを導入する。また保護ベルトや風避け植栽も効果的である。

3) ホーティ - アグリ - シルビカルチャ (Horti-Agri-Silviculture): 降水量のより多い地域では、horti-agriculture か horti-agri-silviculture が有効で、とくに後者は砂漠化を防止するのに最も適している。風避け植栽と保護ベルトは生産を向上させることばかりでなく砂漠化を防止するのにも重要な役割を果たす。降水量の少ない地域でも生育可能な果樹としては、Pomegranate と Datepalm がある。複合的なアグロフォレストリシステムにおいては成長が速く窒素固定能力のある樹木が果樹に沿って列状に植えられる。

耕作技術

風食を抑制する耕作技術として、最小耕起、根株マルチ、帯状耕作、灌漑水の適切利用がある (Venkateswarlu et al., 1992)。

(a) 最小耕起: 乾燥下で過度の耕起を行うと、安定していない土は壊れ、風の営力に土がさらされる。とくにモンスーン前の過度の耕起は土壌の構造を破壊し、著しく風食を激化させる。最初の降雨後の耕起を制限し土壌水分含量を保つことで、土壌構造が形成され、地表面が粗になり、風食が最小化される。耕起の適正な頻度は土壌や気候、作物により異なる。

(b) 根株マルチ: 作物残滓は乾季の土壌を風食から守る。すなわち刈り取り・収穫後の作物の残滓を地上に残すことにより、風速が減少し、風食作用が緩和される。2-5t/ha の作物残滓、あるいは 45cm の高さのパールミレットの根株は、砂質土における砂の飛散防止に効果的である。

(c) 帯状耕作: これは風食害を受けやすい作物と風食に耐性をもつ作物を交互に、卓越風向に対して垂直に植えることである。

(d) 灌漑用水の適切な利用: 灌漑水を適切に利用することにより、植物の成長は促進される。一方、過剰な灌漑水の投与は地下水位を上昇し、塩類化を引き起こすことにより、作物生産を減少させる。

太陽エネルギーの利用システム

この地域では、いまだにエネルギーの多くを薪炭材や家畜糞に依存しており、太陽エネルギーを効率的に利用できれば、生活水準を向上させることができると同時に、砂漠化の防止にも役立つ。現在、下記のような技術が実用化されている。(a) ソーラー湯沸かし器 (b) ソーラー乾燥機：野菜や果物などの食料の他に、煉瓦などにも使われる。(c) ソーラー浄水器：太陽光を利用して蒸留水をつくる。(d) ソーラー調理器

以上のように、インド・タール砂漠では中央乾燥地研究所(CAZRI)を中心として、種々の砂漠化対策技術が開発されてきている。その多くは経済的なコストにも配慮されており、他の貧困な砂漠化地域においても利用することが可能であろう。また(2)でも述べたように、究極的には村落レベルでの人口の安定化が砂漠化の防止には不可欠である。実際、ここではあげなかったものの家族計画に関する啓蒙・教育プログラム、避妊手術の奨励などがおこなわれており、それらを含めた総合的な取り組みを推進していく必要がある。

恒川 篤史