

砂漠開発の可能性

Possibility of Making the Desert Environment Inhabitable

前垣内 正 記 (まえがいと まさき)

清水建設㈱技術本部砂漠開発部 課長

清 水 優 (しみず ゆたか)

清水建設㈱技術本部砂漠開発部

1. はじめに

オゾン層破壊, 酸性雨, 砂漠化, 温暖化等地球環境問題に対して社会の関心が高まっている中, 1989年9月に「地球環境保全に関する東京会議」が開催され, 「大気変動問題」および「開発途上国における開発と環境」という二つの世界的関心分野について討議された。この会議は UNEP 管理理事会および「環境と開発に関する世界委員会」が唱えた「環境上健全で持続可能な開発」という概念に対し, 世界が取るべき現実的な方策を模索することを目的として開催された。

地球環境問題の根本的な原因は, 人間の活動があらゆる分野で拡大してきており, しかもその拡大がいびつな形で進行してきたことにある。世界の人口は20世紀初頭の約16億人から現在の約50億人まで3倍以上に増加しており, これに伴いエネルギー消費量もこの100年間で60倍に拡大している。このような人間活動の拡大に伴い, そこから排出される様々な人為的負荷が自然の浄化能力や維持機能を上回りつつあること, つまり, 地球環境への影響という認識を持つことなく経済性や利便性を求めて資源を利用したことが自然界の物質循環の範囲を超えつつあることを考慮にいれておく必要がある。

現在世界の陸地の約3分の1に相当する4800万 km^2 が砂漠化の影響を受けており, その砂漠化のスピードは毎年6万 km^2 を超えていると言われている。また, この地域での人口は約9億人で, その中でも砂漠化の進行が激しい開発途上国における人口増加は著しく, 食糧不足, 土地の不毛化をさらに促進している。

現在, 地球環境問題が世界的にクローズアップされている中で, これだけの人口を養い, 生存し活動

する場を地球上に確保するには, 広大な面積を持ちながら不毛の地として見捨てられている砂漠の開発を行うことが, 残された数少ない手段の一つであろう。

現状の地球環境問題の中で, 砂漠開発のプライオリティは高く, 今後更にその必要性和砂漠環境の利用についての論議が高まるものと予想される。

2. 砂漠と砂漠化現象

2.1 砂漠の定義

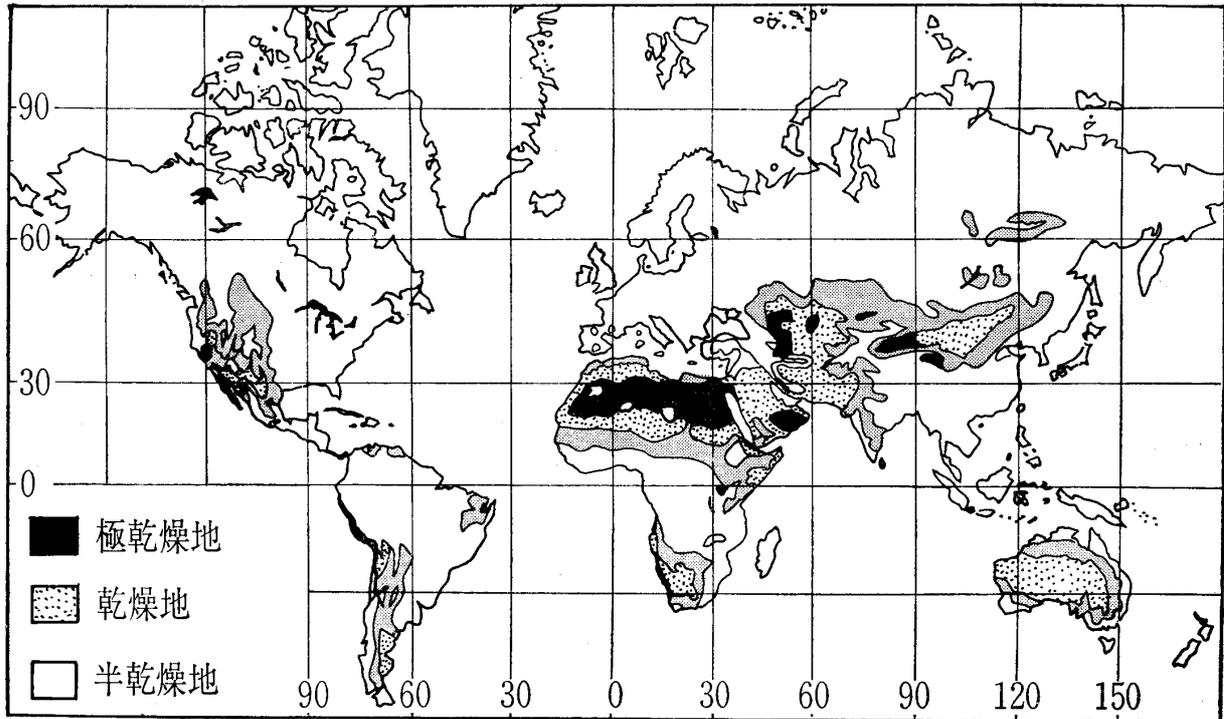
砂漠とは一般に可能蒸発量が降水量を上回り乾燥しているほか, 植生がほとんど見られず岩石や砂に覆われて, 人間活動が制約されている地域のことである。植物にはいくつかの生育環境条件があり, その劣悪な条件にあるところが荒原と言われており, 砂漠は乾燥荒原に相当する。

砂漠の定義には植物の生育環境, つまり植物景観からいう砂漠地域と気温, 降水量, 蒸発量などの気候的な特徴から分類する砂漠地域があり, 厳密には一致しない。砂漠の特徴の一つはその多様性にある。つまり, 分布は低緯度でも高緯度でも, また内陸部でも海岸部でも, 高地でも低地でも存在する。高地や高緯度にある寒帯砂漠はそれなりの特徴を有しているが, ここでは, 極地や寒帯に属する砂漠は, 乾燥地に見られる特性より, 寒冷地域の特性が著しいため, 砂漠には含めないこととする。

2.2 砂漠の分布

P. Meigs (マイグス) はユネスコが乾燥地計画を開始したとき依頼されて世界の乾燥地地図を作成したが, この地図は今日乾燥地の分布図として広く用いられている (図-1)。

砂漠には, 南北緯30度付近の亜熱帯砂漠と地形的な理由から形成された砂漠とがある。亜熱帯砂漠は



図—1 世界の乾燥地域

佐藤一郎：地球砂漠化の現状，朝清文社，p.5，1985.

南北緯30度を中心として亜熱帯高気圧帯に覆われており，乾燥した下降気流のため雨が降りにくく，乾燥している地域にある。すなわち赤道付近で強烈な太陽の熱により上昇気流が生じる。上昇した空気は上空で冷やされ，蓄えられていた水分は凝結し雨となって赤道付近に降る。水分を失った空気は温度が高くなり高度10kmまで上昇し，気温の低い極方向へ移動し，次第に温度が下がって中緯度地帯に吹きつけ大地を乾燥させる。これに相当する砂漠はサハラ砂漠やインドのタール砂漠，南半球ではカラハリ砂漠やオーストラリア砂漠等である。なお，大陸の東側では，大洋上の高気圧から吹き出す湿った風による降雨があり，砂漠はできにくい。

風が山脈を越える時に，風上側の斜面に降雨をもたらし，風下側の地帯では乾燥する。大山脈の風下側ではこのような理由により，しばしば砂漠が形成される。北米のネバタ，アリゾナの砂漠，パタゴニア砂漠等がこれに相当する。また，大陸内部でも海からの距離が遠い場合には，特に大きな山脈がなくとも水分の補給がないために乾燥する。ユーラシア大陸内部の砂漠地帯はこれに当たる。

2.3 砂漠化の認識

「砂漠化」という言葉は，既に1949年にフランスの生態学者 A. オーブレビルによって提起されてい

る。彼は「人間活動に伴う土壌浸食によって，土地が不毛化していく現象」と定義した。現在でも，その定義は本質的には変わっていないが，砂漠化は複雑な現象を総称したもので，現在でも明確な定義はなく，国連環境計画 (UNEP) でも「気象の変化，人間・家畜による圧力によって生態系が退化していき，土地の生産性が著しく低下していく現象」といったあいまいな定義が用いられている。

世界が「砂漠化」の脅威に気づいたのは，1969～1973年にかけてアフリカサヘル地方を襲った大旱魃^{かんぼつ}であった。

サハラ砂漠に連なるチャド，ニジェール，マリ，ブルキナファソ，セネガル，ガンビアといった国々で多くの人々が飢えにさらされた。さらに，1980年代のはじめにアフリカ全域に拡大した旱魃では21か国で3500万人が食糧危機にみまわれ，この結果国連は，1977年ナイロビに国連砂漠化会議を招集，世界的な関心を集めるところとなった。

2.4 砂漠化の要因

砂漠化とは土地の荒廃の究極の姿である。砂漠化といっても新しい現象ではなく，その進行は3000年前から始まり，農地や農村を呑み込んでいった事実が知られていた。しかしそれらは自然の砂漠化であり，数百年から千年単位での地表の変化であった。

表—1 世界の乾燥地の地域別面積

佐藤一郎：地球砂漠化の現状，朝清文社，p.5, 1985.

(単位：km²)

地域名	全面積	半乾燥地		乾燥地		極乾燥地		全乾燥地	
		面積	%	面積	%	面積	%	面積	%
北米	21 280 000	2 340 800	11.0	1 489 600	7.0	425 600	2.0	4 256 000	20.0
中南米	18 637 000	1 602 360	9.5	1 420 400	8.0	355 100	2.0	3 377 860	19.5
アフリカ	29 797 000	5 546 490	18.5	7 325 560	24.5	4 527 240	15.0	17 309 290	58.0
アジア	42 365 000	6 354 750	15.0	8 049 350	19.0	1 270 950	3.0	15 675 050	37.0
オーストラリア	7 703 850	2 234 120	29.0	3 928 960	51.0	0	0	6 163 080	80.0
ヨーロッパ	10 032 100	752 500	7.5	200 500	2.0	0	0	953 000	9.5
計	129 814 950	18 741 020	14.5	22 414 370	17.0	6 578 890	5.0	47 734 280	36.5
その他の陸地*	23 418 050	0	0	0	0	0	0	0	0
陸地合計	153 233 000	18 741 020	12.2	22 414 370	14.6	6 578 890	4.2	47 734 280	31.0

*グリーンランド，北極，インドネシア，ニュージーランド，南極，大洋州の島等 (Hagcdorn et al.)

現在，地球的規模で問題となっている砂漠化は人為的なものであり，十年単位での目にみえる土地の荒廃である。

雨のほとんど降らない砂漠には人は住んでいないが，隣接する半乾燥地には生産性の高い土地もあり，遊牧民や農民が巧みに生活していた。しかし，そうした肥沃な土地が，急激な人口増加に起因する自然生態系の破壊と収奪にさらされた結果，森林が焼かれ乱伐されてサバンナとなり，サバンナが過剰な農耕や遊牧でさらに乾燥性の強いステップに変化し，そのステップのわずかな植生が人間の薪集めや家畜によって姿を消し，砂漠へと追いやられていった。

このように，アフリカを始めとして各地で問題となっている砂漠化の要因は，人為的要因すなわち人口増加に伴う過放牧，過伐採，過耕作によるところがほとんどである。

2.5 砂漠化による被害

砂漠化の進行は，そこに住む人々の生活に重大な影響をもたらす。まず，食糧生産が影響を受けることにより飢餓や栄養不足が問題化する。FAOやUNEPによる調査結果でみると，アフリカにおける食糧不足の著しい地域と砂漠化が進行している地域とはかなりの一致がみられる。また，薪炭エネルギーの供給不足も周辺住民の生活を脅かしており，この薪炭不足は乾燥地，半乾燥地において顕著となっている。FAOによれば1980年時点で約2930万人が薪炭不足の深刻な影響を受けている。このほか，砂漠化と関係が深い問題として土壌浸食がある。人口増加等を背景として，農地として適さない急傾斜

地において農地開発が行われることにより土壌浸食が発生し，アフリカだけではなくアジアや中南米でも農地に壊滅的被害をだしている。

砂漠化の影響を最も強く受けている国はアフリカであるが，砂漠化はインド西部のラジャスタン，中国の北部および西部，南米のチリやアルゼンチンなどでも起きている。タイ，フィリピン，インドネシアでも熱帯林の破壊により，雨期には洪水，乾期には旱魃などの被害が急増している。さらにエチオピアやヒマラヤ各地の急峻な斜面でも段々畑が崩れ落ち，大量の土砂がガンジス川，インダス川に流れ込み，河口のインドやバングラディッシュに大きな水害をもたらした。また，南米のアンデス山脈でも高地の砂漠化から，ペルー，コロンビアなどで大規模な土砂崩壊や鉄砲水の被害が年々増加している。

3. 砂漠化防止への取組み

3.1 砂漠化防止対策の実施状況

厳しい砂漠環境の中での砂漠化防止プロジェクトは世界各地で行われているものの，砂漠化防止を専門としている機関・人員が少ないこと，受入側の社会・経済が不安定なこと，などによりうまくいっていないのが現状である。

一般的な傾向として，失敗例の多くは自然立地の厳しい発展途上国でのプロジェクト，複雑な計画・管理運営を必要とする大規模プロジェクト，地域住民との密着性に欠けるプロジェクト等にみられる。逆に成功例としては，先進国等（北米，オーストラリア，ソ連，中国等）で行われるプロジェクト，小

表—2 プロジェクトの実施例と問題点

国際機関名	プロジェクトの種類	内容および問題点	成果(注)
世界銀行	地下水利用開発	事前の調査不足による地下水量不足の問題やコストがかかり効率的でないなどの問題。	×
	植林事業	住民のやる気のなさ、国家の管理運営能力の欠如など問題が複合化しているが、個人ベースの小規模なものは成果をあげている。	△
国連開発計画 (UNDP)	砂丘固定プロジェクト	砂丘を止めるための植林プロジェクトであり、地域住民のプロジェクトとして施設のメンテナンス、市場調査を行っている。	○
	UNDP-OPSを通じたイタリアの援助	チャドにおける道路建設、地下水供給プロジェクト、ダム建設、乾燥地むけ種子増殖および配布コンポーネントの設置、スーダンむけ灌漑プロジェクトなどを行っている。	△
	エチオピア食糧増産プロジェクト	4千万ドルを出資し行われたが、政府が食糧を安く配布するため、農民の作付け意欲が減退し、自給率を下げる結果となった。	×
国連国際農業開発基金 (IFAD)	Chitral area development プロジェクト	パキスタンにおいて行われた砂漠における総合農村開発プロジェクトで、1987年に融資承認されたが、砂漠開発の概念と手法をもって計画に当たっているとは言いがたい。	×
	灌漑・地下水開発プロジェクト	水がおもうように分配されていない、水価を払えないなどの問題があり、特に、大規模プロジェクトは効果的でないとしている。	×
国連砂漠化会議 (UNCOD)	PACD (砂漠化に対して戦う行動計画)	1978年から着手され、1984年に UNEP によってレビューされた。それによると、国家レベルの情報不足、既存の部局に対応を委ねた、砂漠化防止の多面的側面を調査する簡易な方法が標準化されていないなどの問題が提起された。	×
	灌漑を中心とした総合開発	中央アジア、中国西部ではオアシス灌漑を復旧させ、砂漠化防止の鍵となったが、ナイジェリアでは伝統的耕システムを混乱させた。	△
	地下水開発と管理	過剰汲上げによる地下水の枯渇、井戸建設過多による海水の侵入とそれによる塩害を招き、さらに農業と都市の間での地下水資源の競合が、都市近郊での砂漠化を促進した。涵養と移送には失敗している。	×
	砂漠化した草地の回復	商業的なもの、しかも環境条件の好ましいところ(ソ連、中国、南米)では政府の大規模な関与によって成功しているが、全体的には進んでいない。	△
国連教育科学文化機関 (UNESCO)	砂漠化の多様な過程とその原因を明らかにするケーススタディ	UNESCO の指導のもとに、FAO と WMO が行ったもので、各国がそれぞれ異なる砂漠化防止の努力の中で、問題の重要性および共通性を明らかにし、国際協力をおこす意義を示した。	△
	IPAL PROJECT	UNESCO と UNEP によるケニア北部マルサビト地方における乾燥地関連分野の研究・訓練パイロットプロジェクトである。開発計画作成段階で生態系を考慮したアプローチは適切であり、IPAL は1984年に正式に終わったが、引き続きケニア政府により「ケニア乾燥地試験場 (KALRES)」が設立され運営されている。	○
	灌漑による砂漠化防止プロジェクト	灌漑に伴う塩害の発生、上流下流の利害対立、農民の未熟さと水管理の不適切さ、高額な事業費等の問題が顕在化している。ソ連では、必要多数の技術者を集め成功しているが、北米、オーストラリアでは灌漑農業が環境問題に広範囲にわたり影響するという認識があり政治問題となっている。	△
Agence Francaise Pour LA Maitrise de L'Energie (AFME)	地下水資源調査	1970年にサハラ地下水調査を実施した。これにより地下水開発における施設の寿命が判明した。	○
	太陽電池ポンプ事業	マリ国の San 地区において1977—1986年にかけて50箇所に太陽電池ポンプを設置し農村総合開発を行ったもので、これにより、地域住民3000人と彼らの家畜に水を供給した。このプロジェクトが成功したのは①住民参加が得られた。②システムの維持管理の指導を徹底した。③プロジェクトを単なる太陽電池の供給から、農民のニーズにあわせた農村総合開発とした事などがあげられる。	○
Chronar France	農村電化プロジェクト	UNESCO と協力して各国に distributor system を確立し、ソーラーパネルを導入、農村電化を行った。クリスタルシリコン PV によりコストダウンできる見通しをたてた。	○
アメリカ国際開発局 (USAID)	大規模機械化プロジェクト	むしろ環境破壊を招く結果となっている。	×

(注) ○：成果をあげているもの、×：成果をあげていないもの、△：どちらとも言えないもの

規模プロジェクト、さらに住民参加の持続するものなどが上げられる。

3.2 砂漠化防止プロジェクトの実施例と問題点

以下に、主な国際機関により実施された砂漠化防止プロジェクトの概要とその成果および問題点について、表—2に示す。

3.3 今後の課題

これまで世界各地で行われてきた砂漠化防止の活動の中からも、砂漠化防止の今後の方向性として、開発活動、国際協力の強化と協調、世界レベルでの砂漠化防止の重要性の認識と広範な協力の獲得、さらにプロジェクトの意義と地域住民のインセンティブの明確化など、様々な課題が考えられる。以下に示すのは、サヘルクラブ/CILSSにおいて指摘された砂漠化防止活動の留意点である。

- 地方政府の真のニーズに沿ったプロジェクト、地域ぐるみ、農民中心のプロジェクトとする。
- サヘルに適した技術開発が必要。
- サヘルに適した農業技術の適用。
- 環境を保全・改善し、人口増加を抑制し、持続性をもたせる。
- 在来のR&D、技術、管理システムを外来のものと結びつける。また、より地方の特性を考慮した研究戦略をたて、少資源農民と遊牧民をターゲットとする。
- 地域で活動している多くの国際研究機関がより調整し、組織的に運営する。
- 地域住民参加を得て管理運営組織を作り、簡単な管理、少ない運営費で便益性をめざす。
- 長期的な観点を有したプロジェクトとする。
- 草の根指導者の育成および、組織管理能力の強化。

4. 砂漠利用の可能性

砂漠域は地球上の陸地の約3分の1を占め、さらにその面積は年々拡大しつつあり、人類の存在の将来にかかわる重要な問題として国際的に認識されている。こうした背景からも、現状の砂漠特性をなんらかの形で利用する試みは急務である。この試みは、砂漠のもつ広大な未利用地、乾燥気候、豊富な太陽エネルギー、地下資源、景観などを積極的に利用するもので、具体的にはリゾート地等の観光開発、農

業開発、地下資源開発、地上スペース基地などがあり、既に実施されているものも多くある。

これらのアプローチに最も必要なものは水の確保であり、ローコストの水を有効に利用することが課題である。オアシスのような地下水資源が確保できるような小都市では、省エネルギー、節水型の街造りが必要である。また、砂漠の環境は人間の生活に適したものではないため、ある一定の地域の気温や湿度を変化させ、目的にあった環境を造りだそうといういわゆる環境改善の考えも必要である。これには人工の湖や山脈の建設、大規模な植林、人工降雨計画などが考えられる。

その一例として、イラクの砂漠地帯で灌漑を行ったことによって、周辺の気候環境が変化した事をはじめ、人間活動が地域の気候環境に影響を及ぼすことは以前より知られている。しかし、これらのアプローチには、十分な環境に対する配慮と検討が必要である。

現在の技術革新の速さを考慮すれば、砂漠開発の可能性は今後著しく拡大することが予想される。そのためには、物理現象の解明等の基礎的な研究を行うための施設を充実させ、砂漠地の環境状態を十分に把握しておくことが必要不可欠である。

5. デザート・アクア・ネット構想

ここに紹介するデザート・アクア・ネット構想は、既存の考えにとらわれず、思い切って広大な面積の開発および利用方法を取り入れた砂漠の有効利用構想であり、砂漠環境利用と砂漠環境改善を融合させた、将来的な砂漠開発の一つの形である。その場合でも、水の確保の問題が一番の課題であった。地下水や河川水では量に限りがあり、同一水系にあるほかの地域との関連も考慮しなければならず、とても広大な面積には対応できない。そこでほぼ無尽蔵にある海水を利用することとした。これは砂漠の中に海水を引き入れ、巨大な海水湖をいくつか建設し、この人工湖を運河で結んで各湖をネットワークさせ、最後には海水を再び海に戻すというものである。引き入れた海水が地域外の土壌や地下水に直接影響を与えないように、湖の周囲には止水壁を設け、運河はコンクリートライニングを施すこととした。

デザート・アクア・ネット構想の概要は次のとお

報告—1983

りである。

- ・不透水層まで達する連続地中壁に囲まれた複数の人工湖。
- ・海水ポンプによる圧送と自然流下による水の循環システム。
- ・各々の湖を結んだ水のネットワーク。
- ・湖の中に設けられる人工湖。
- ・陸上交通と水上交通を中心とした交通体系。

このようにしてできた砂漠の中の空間利用方法であるが、海水湖では漁業や海洋バイオマスなどの資源利用および研究開発、マリンスポーツなどが考えられる。また、人工島は研究開発施設や国際公共施設、オールシーズンのリゾート地など科学と自然が融合した空間として、様々に利用できるハイテクオアシスとして位置づけたい。

これらの施設で使用する淡水は、湖の海水を淡水化したり、湖より蒸発した水分を夜間にトラップすることも考えられる。また、運河沿いのハイウエーを利用すれば人工湖間を日帰りで連絡することも可能であろう。さらに将来は運河や湖から支線が伸び、小さな湖ができ、回りに衛星都市ができるなど、デザート・アクア・ネット構想によって空間利用の可能性は無限に広がる（口絵写真—7）。

6. おわりに

砂漠化問題に対して世界が立ち上がることを国連砂漠化会議（UNCOD）で決議されたのが1977年である。以来それまでもまして世界各地および各種研究機関により、様々な砂漠化防止プロジェクトが実施されるようになった。しかし、UNEPのドルバ

事務局も「問題の大きさに比べて、進展はあまりにも遅い」と認めているように、いまだ成功したプロジェクトの事例は少なく、将来的なテーマとしての研究プロジェクトが推進され、成果をあげているにとどまっている。

基本的な問題としては、砂漠地域における生活形態さえ十分に解明できない状況下では、砂漠における環境条件に関する把握が各機関とも十分には行われていない。そのため、各プロジェクト実施以前の問題として、砂漠にかかわる様々な要素に関するデータベースの確立が望まれている状況下にある。

一方、新エネルギー・新素材・特殊工法・環境制御・バイオテクノロジー等の、砂漠開発に関連する要素技術の進歩には目覚ましいものがあり、将来的な砂漠開発の可能性に大きな影響を及ぼすことは明らかである。

砂漠開発と一言にいても、じつに多分野にわたる知識と技術が必要とされ、今後は、これらの要素技術を融合させていかに砂漠環境・社会に適合させるかが課題となろう。砂漠化防止を含めた砂漠開発の必要性は、地球環境問題の見地からも誰もが認めるところであるが、その実践には地道で長期的な取り組みが必要とされるため、各国、各民間企業が取り組みにくい分野でもある。しかしながら、その広大な面積とすべてがゼロである、言いかえれば常にゼロからの出発が可能である砂漠は、実に魅力的な場でもある。このことを念頭において、慎重かつ大胆に砂漠開発に取り組めば、必ずや新しい可能性を見出すことができると確信する。

（原稿受理 1989.10.18）