

サヘル地帯の砂漠化防止と地下貯水システム計画

Desertification Control and Subsurface Water Storage System in Sahel Region

大塚 義之 (おおつか よしゆき)

清水建設㈱技術研究所

桑原 徹 (くわばら とおる)

㈱大林組技術研究所

中尾 健児 (なかお けんじ)

大成建設㈱技術研究所

1. はじめに

筆者らは、数社の企業グループからなる研究プロジェクトを組織し、植林と農業生産力の回復によって砂漠化を防止することを目的とした開発プロジェクト、サヘルグリーンベルト計画を企画した。この計画を実施に移すため、西アフリカのサヘル地域、特にニジェール国、マリ国を対象に現地調査を含む調査検討を1989年から1991年にかけて行った。以下に述べる報告は、本プロジェクトの水資源について行った現地調査に関するものである。

2. サヘル地帯の水資源の現状

2.1 概要

サヘル地帯は、砂漠地帯と半湿潤地帯の間を占める地帯で、陸の海ともいわれる砂漠からみてちょう

ど岸边のようなところに相当する(図-1)¹⁾。サヘル地帯の代表的な植生景観は、アカシア属など、刺のある灌木が散在する「ステップ」である。年間降水量は、150~500 mm であり、本来は、遊牧やミレット栽培などを主とした農牧地帯である²⁾。砂漠化は、気候変動のほか人口や家畜の集中する地点で飛び地的に生じることもある。このことは、住民の生活基盤崩壊を意味し、難民化するなど当事国だけでは解決のできない深刻な社会的・経済的な問題となっている。先進国も国際協力の観点から国際連合の場などにおいて砂漠化防止の問題に取り組まざるを得なくなっているのが現状である³⁾。

砂漠化防止は、砂漠化した地域の農牧業の生産性向上が課題となる。そのためには、「水・土・植生」

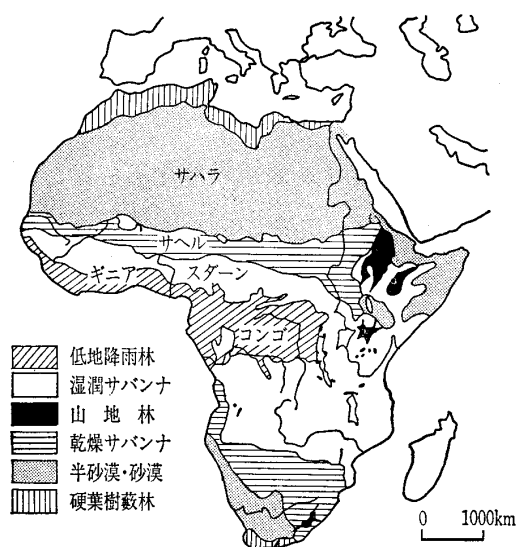


図-1 アフリカの植生帯と西アフリカでの自然地域の呼び方

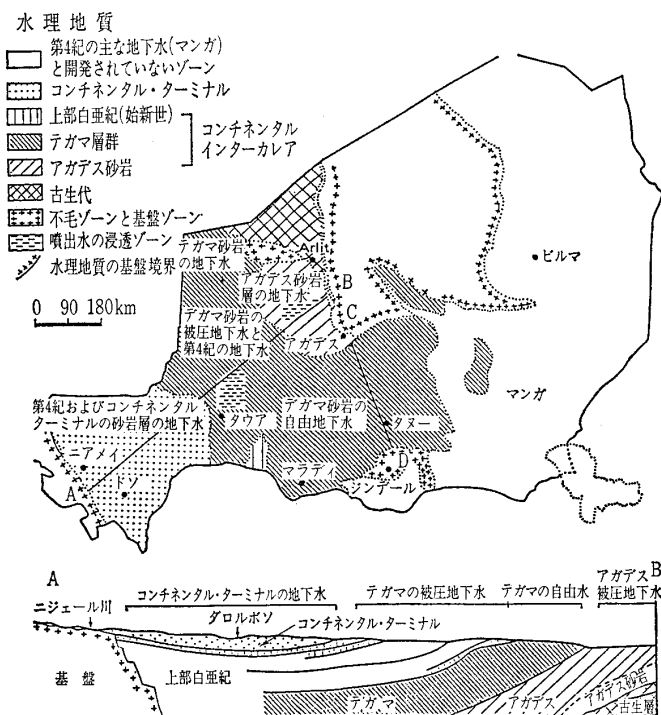


図-2 ニジェールの地質と地下水

事例報告

の回復が必要であり、中でも「水」の安定的な確保は第1に考えなければならない問題といえる。

2.2 地下水

サヘル地帯の水資源のうち、地下水についてその現状を簡単にのべる。

(1) 深層地下水

図—2⁴⁾にサヘル地帯の例として、ニジェール国の地質図を示す。これらの滞水層に含まれる地下水は、一般に地下30m以下に分布し、深層水として何千年もの間に貯わえられた地下水資源である。

(2) 浅層地下水

雨期には水が流れ、乾期に涸れてしまう河川を一般にはワジ(Wadi)という。ワジは、サハラの大潤期に流れていた河川(旧河川)に沿ってできやすい。これらの河川は、その後の砂丘の移動などによって埋め立てられ、現在に至ったものである。このような埋め立てられた河川を化石谷(Fossil Valley)とよんでいる。雨期にワジを流れる表流水は、地下に浸透して化石谷の堆積物中に地下水として貯留されるほかは大部分が蒸発する。

化石谷の堆積物中に貯留された地下水を有効に利用できれば水資源として利用価値が高くなる。

3. 地下貯水システム建設の可能性の調査・検討

3.1 地下貯水池サイト選定の条件

地下貯水池の候補地点の選定には、地形的に比較的明りょうな化石谷を選定した。すなわち、上流域の集水面積が大きく、締切り地点の両岸に基盤が露出しており、距離が1~2kmと比較的両岸が接近している場所を衛星画像などから探索し、選定した。

3.2 水理特性と水収支

地下貯水池の年間貯水量の推定にあたり、以下のような概算を行った。

化石谷は表流水を集水した地下河川として機能しているとすれば、この河川を止水して貯水池とした場合の貯水量は、貯水域の降雨浸透量、集水域から貯水域に流れ込んだ表流水の浸透量、集水域から貯水域への地下浸透量の合計として試算される。降雨量などの数値はTAMS報告⁵⁾を使用した。

ここに、降雨量： R 、蒸発散量： E 、地表流出量： D 、地下貯水量： S とすれば、(1)式が成り立つ。

$$R=E+D+S \cdots \cdots (1)$$

地下貯水池の集水域である台地部の面積を P 、貯水域となる化石谷部の面積を Q 、その比を C とする。

$$P/Q=C \cdots \cdots (2)$$

地表流出率： X と地下浸透率： Y との間には、(3)、(4)式の関係がある。すなわち、集水域： P と貯水域： Q において、

$$X_P+Y_P=1.0 \cdots \cdots (3)$$

$$X_Q+Y_Q=1.0 \cdots \cdots (4)$$

集水域： P では、 $R_P-E_P=D_P+S_P$ が(1)式より成り立っているので、

集水域から化石谷への地表流出量 D_P は、

$$D_P=(R_P-E_P) \times X_P \cdots \cdots (5)$$

集水域から化石谷への地下流入量は、

$$S_P=(R_P-E_P) \times Y_P \cdots \cdots (6)$$

貯水域： Q においても、地表流出量、地下流入量が(7)、(8)式により求められる。

$$D_Q=(R_Q-E_Q) \times X_Q \cdots \cdots (7)$$

$$S_Q=(R_Q-E_Q) \times Y_Q \cdots \cdots (8)$$

したがって、地下貯水池では全体として貯留量は、次の(9)、(10)式から得られる。

$$D=D_Q+D_P \times C \times X_Q \cdots \cdots (9)$$

$$S=S_Q+S_P \times C \times Y_Q \cdots \cdots (10)$$

X_P 、 X_Q をそれぞれ0.95、0.80と仮定し、貯留層の平均間隙率15%から有効間隙率を5%、滞水層の平均厚さを20mと仮定して算出した貯留量を表—1に示す。貯留量は、算定した貯留量がすべて利用されるとは限らないためその10%を「有効再生可能貯留量」としている。

3.3 化石谷の地形および地質

(1) 分布

サヘル地帯に発達する大規模な化石谷は、図—3のようにマリ、ニジェール両国に発達している。これらの化石谷の位置および規模はランドサット画像のスペクトル解析などから確認が可能である。

(2) 地形および地質

化石谷の両岸は、高さ10~30mの崖をなしていることが多い。崖の上は、砂丘が規則的に配列している場所、基盤岩が露出している場所などがある。

化石谷の地質構成を図—4に示す。図中のシルト質粘土と記載されている部分は、難透水性の基盤に相当する。また、上部の砂丘堆積物の下部には、一

表-1 水収支解析結果一覧

地点	集水域 (km ²)	貯留域 (km ²)	滞水層厚 (m)	貯留容量 (m ³)	水位上 昇量 (m)	有効再生可能 貯留量	
						m ³ /年	m ³ /km ² ・日
①	4 360	250	20(調査)	250・10 ⁶	6.6	83・10 ⁶	900
②	3 600	112	20(調査)	112・10 ⁶	7.6	43・10 ⁶	1 040
③	450	140	20(推定)	140・10 ⁶	0.6	0.4・10 ⁶	8
④	2 290	68	10(推定)	34・10 ⁶	9.1	31・10 ⁶	1 250
⑤	4 980	310	20(調査)	310・10 ⁶	2.7	40・10 ⁶	315
⑥	2 500	150	20(推定)	150・10 ⁶	10.0	75・10 ⁶	1 350

地点①～⑥は、図-3に示す。

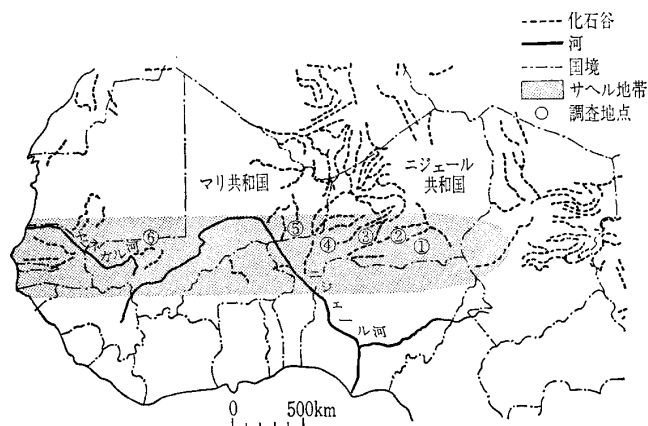


図-3 サヘル地帯における化石谷の分布 (①～⑥は調査地点, ⑥は本報記載の調査地)

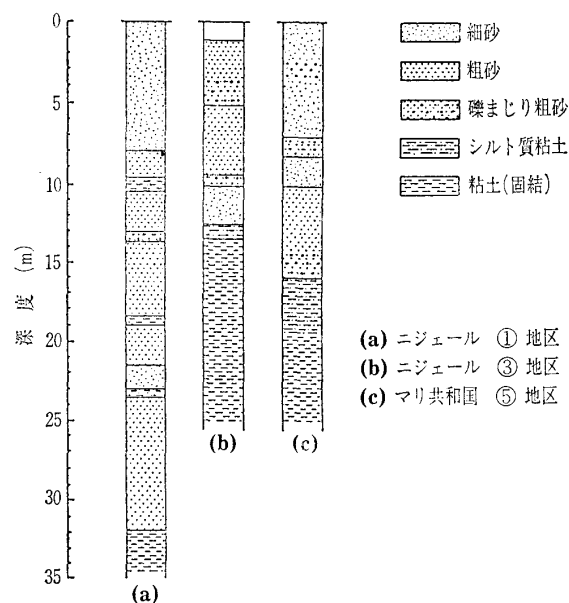


図-4 化石谷の地質構成

部に層理を持った河川性堆積物がある。河川性堆積物の透水係数は、 $1 \times 10^{-2} \sim 1 \times 10^{-3}$ cm/s 程度、間隙率は35～40％程度の地層である。

3.4 現地試験結果

以下に述べる事例は、マリ北部⑥地区において実施した現地試験の結果の一部である。

3.4.1 可能揚水量

地下貯水システムの可能揚水量を推定するため、揚水試験を行った。調査を実施したサーパントバレー (Serpent Valley) は、マリ北東部のナラ地区にあり、谷に沿って点々と集落が分布している。試験を行った揚水井戸の構造と諸元の1例を図-5に示す。

可能揚水量 (m³/day) の算出に当たり、次のような仮定をした。すなわち、①試験時の初期水位を静水位とみなす。②試験実施日が乾期の始まり (10月初旬) であることから試験井の水位は年間の最大水位に達しているとみなした。③年間の予想水位変動量は、聞き取り調査により2.0mから7.0mとした。

表-2に各井戸の揚水試験結果を示す。

T-2試験井は、集水能力の低下を補うため井戸枠の下端部に最近になって横穴を開けたといわれており、試験中もその付近からの地下水の湧出を確認している。T-1試験井は、集水部の目づまりがはなはだしかった。

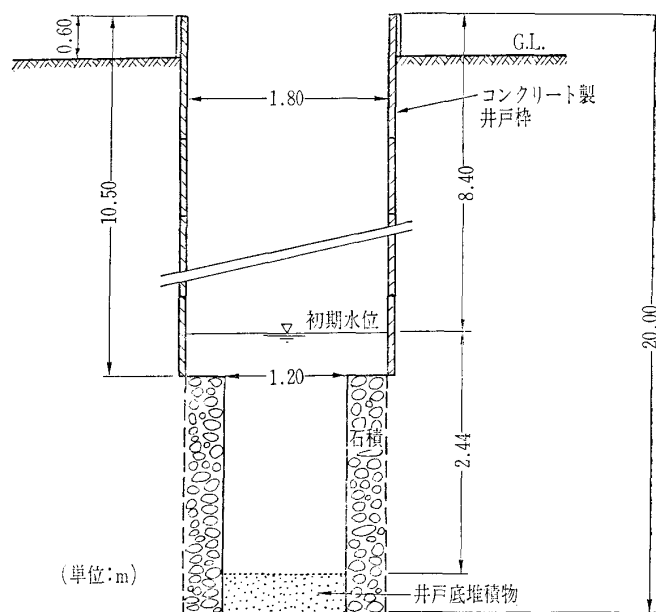


図-5 試験揚水井戸の構造と諸元例 (T-2) (井戸深さ 20.00m は聞き取りによる)

表-2 揚水試験結果一覧

	T-1	T-2	T-3	T-4
乾期始めの水位 (H_0): [m]	7.19	8.46	4.57	6.18
予想水位変動 (ΔH): [m]	7.00	2.44	2.13	1.82
井戸の比容量 (V_s): [m ³ /m]	2.30	2.01	1.13	1.54
水位回復速度 (R_2): [m/h]	0.10	0.44	1.84	0.71
瞬間湧出量 (Q_T): [m ³ /h]	0.23	0.88	2.08	1.09
水位低下量 (S_T): [m]	2.85	2.00	1.84	1.49
比湧出量 ($C_e = Q_T/S_T$)	0.08	0.44	1.13	0.73
揚水可能量 (V_e): [m ³ /day]	10	230	100	190

事例報告

3.4.2 化石谷の断面形状

締切り予定地点における地下水位と不透水層(基盤岩)の分布を把握し、化石谷の形状を把握するために電気探査を実施した。この結果に基づいて、化石谷の地質構造と水理地質について検討した。

次に、予定地点の化石谷を横断する代表的な測線について考察する。解析結果を想定断面図として図-6に示す。図-6では、計測点が必ずしも断面に直線的に存在しないためにいくつかの点を投影して作成してある。

この結果、以下に記すような特性が認められる。
①層：比抵抗値 $1\,000\sim6\,000\,\Omega\cdot\text{m}$ の最上位の地層は、砂丘堆積物、河川堆積物など化石谷を埋めた堆積物に対応していると考えられる。②層：①層の下位に比抵抗値、 $60\sim200\,\Omega\cdot\text{m}$ の地層が存在するが、これは基盤が地上に露出してラテライト化した層に対応している。③層：その下に比抵抗値の小さい地層($8\sim40\,\Omega\cdot\text{m}$)が連続する。これは基盤中の滞水層と判断される。このことは、井戸の水位観測によっても確認されている。④層：③層の下に、比抵抗値 $350\sim900\,\Omega\cdot\text{m}$ を示す地層が探査深度の限界(90m)まで存在する。これは基盤岩の新鮮部を反映したものと推察される。④層の上面は、北側で -10m 程度の深さであるが中央では $-30\sim-50\text{m}$ に達し、南側では、 $-10\sim0\text{m}$ となり、埋没した谷地形が連続する。

以上のことから、基盤岩が谷地形をなして分布していること、地表面下 $6\sim10\text{m}$ に地下水面があり、化石谷全域に分布していることが明らかになった。

4. 結び：今後の技術課題

化石谷の浅層地下水を地下ダム方式により地下に貯留させ、太陽光発電などによるエネルギーを用いて揚水して灌漑に利用するシステムについて検討した。その結果、次のようなことが確かめられた。

- ① サヘル地域の化石谷では、雨期に $6\sim7\text{m}$ の地下水位上昇が認められる。
- ② 化石谷の地形・地質的状況から地下ダムの建設に適した場所の探索は可能であり、現地調査の結果、候補地を提案できる。
- ③ 必要な貯水量を確保できる規模の集水域が存

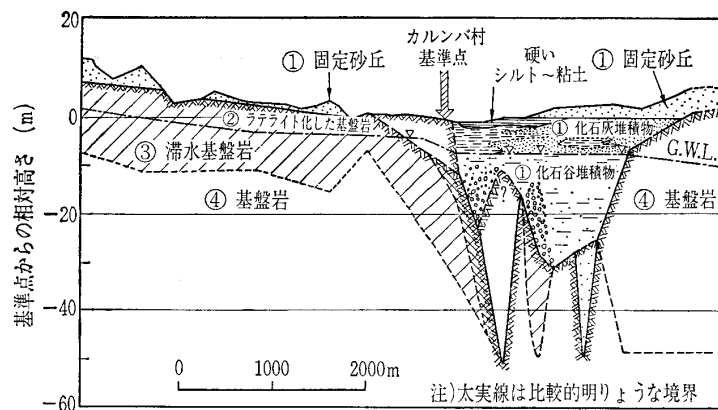


図-6 電気探査による化石谷の地質断面図(図-3の⑥地点)

在する。

施工技術のうえで、乾燥地という理由から問題となることは少ない。次の設計段階までに明らかにしておくべき問題の一つは、集水域における表流水の地下浸透率の把握であろう。これによって貯水池の規模が大きく変動する恐れがある。

今後、実現に向けての詳細な検討がなされることを期待する。

謝辞：本報告の作成に当たっては多くの方々の協力と助言をいただいている。特にサヘルグリーンベルト計画研究会のメンバーである、トーネン(株)、クボタ(株)、大林組、大成建設(株)、清水建設(株)の関係者には数々の困難にあいながらプロジェクトを遂行し成果をあげたことについて、感謝を表明する。また、受入れ国のマリ、ニジェール両国の水理資源省をはじめとする関係者の協力に対しても感謝し、お礼を申し上げる次第である。

参 考 文 献

- 1) 門村 浩：アフリカの環境変動，創造の世界，No. 57, 1986.
- 2) 門村 浩・勝俣 誠編：サハラのほitori，第I部，TOTO出版，pp. 46~78, 1992.
- 3) 国連事務局（環境庁・外務省監訳）：アジェンダ21 [持続可能な開発のための人類の行動計画]，海外環境協力センター，12章，pp. 135~153, 1993.
- 4) 国際建設技術協会：西アフリカの水資源開発，1985.
- 5) TAMS Ingenieur: Le Ressources Terrestres au Mali, U.S. AID Grant Agreement, pp. 688~0105, 1985.
- 6) 中尾健児・大塚義之・桑原 徹：サヘル地帯の水資源とその利用システム，応用地質，Vol. 33, No. 6, pp. 355~366, 1993.

(原稿受理 1993.9.1)