

砂 漠 と 水 資 源

桑 形 久 夫 (海 外 地 質 調 査 協 力 室)

はじめに

陸地の30%を占める乾燥 半乾燥地帯は 未だ人間の立ち入りを厳しく拒んでいる部分も多く 陸地最後のフロンティアともいえよう。 その中でも 極乾燥地帯—「砂漠」と呼ばれる—は温帯森林気候帯に属する日本には無縁の存在ゆえか 理解が非常にうすい。 たとえば砂漠はすべて砂丘の連なる砂の海 オアシスは椰子の生

えた大きな池 ラクダのコブは水で満されている等々の大きな誤解にみちみちている。

本稿では知られざる砂漠の形状と水資源についてその一端を紹介し 正しい理解への一助にしてみたい。

砂 漠 陸 地 最 後 の フ ロ ン テ ィ ア

I 砂 漠 の 成 因

土地が砂漠化するにはいろいろの原因が考えられる中で乾燥 高温 風の3つが欠かせぬ条件といえる。 降水量よりも蒸発量が優れば土地の砂漠化は必然的に進行して行く。 ところが乾燥地帯における統計上の平均降水量には信頼し難い点がある。 というのは200ミリ降る年もあれば 数年間一滴も降らないこともあり(第1表) 平均降水量より水収支の計算ができがたいことが多いためである。 また植生 土壌の不足から折角の降雨も保持できず ただちに消滅してしまう。

温度に関しては高温地帯が比較的多いなかで 中国のゴビ タクラマカン砂漠などはむしろ寒冷地帯に属する。

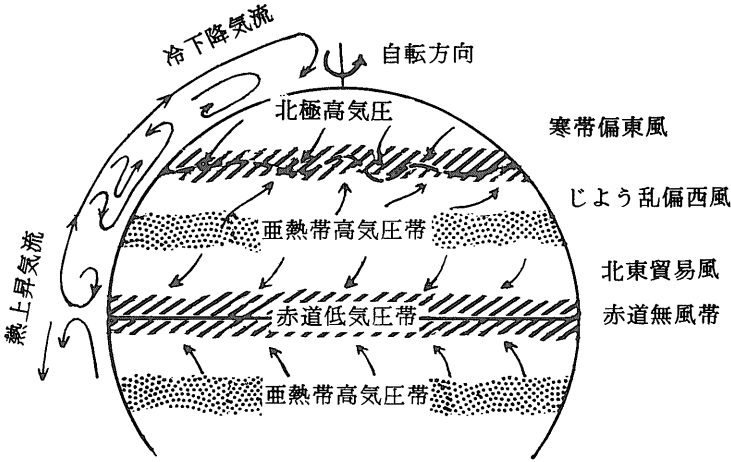
しかし乾燥地帯に共通するものは一日の気温差の異状な大きさである。 この現象は湿度の不足から日中は太陽熱を水蒸気というフィルターなしで ほぼ100%地上にうけ 夜間はまたそのほとんどを放出してしまうために生じ 日中30度 夜間0度ということも通常で 極端な温度差は 岩石の崩壊 風化の促進の最大の要因となっている。

風は砂漠における主役を演じ 岩石の風化 運搬 よりわけ 砂丘の形成などプロデューサーからイラストレータまで引きうけている。 台風は通常どの地域においても限られた季節に限られた回数しか訪れないが 世界最悪の砂漠といわれるアラビア半島南部のルブアルハリ砂漠では 夏期の4月より9月までほとんど連日15メートル以上の砂嵐が吹きまくることを経験している。 強風は日中の場合だけでなく 砂嵐の間は砂漠の主ラクダさえも身動きができなくなり 砂丘上にたてられた筆者の天幕も風上側が掘られて 毎夜埋め戻さないといわれてしまうほど激しく砂が移動していた。

エジプトでは6月初めより「ハムスイーン」(50日間の意)と呼ばれるサハラよりの熱風に全市は2ヶ月間ほりに閉ざされてしまう。

第1表 サウジアラビアにおける降雨日数および降水量 (1967~1973)

測定場所	年 次							
	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	
① カシーム	降雨日数	27	39	23	18	14	31	
	降水量	97.7	83.6	114.4	113.6	96.8	215.0	
② ヤンプー	降雨日数	2	112	0	0	0	2	
	降水量	12.0	106.0	—	—	—	2.4	
③ アルワジ	降雨日数	3	7	1	3	3	2	
	降水量	22.0	68.5	7.8	11.8	33.0	8.8	
④ ヘイル	降雨日数	12	18	16	10	18	30	
	降水量	60.8	107.4	192.0	26.5	55.7	133.7	
⑤ タブーク	降雨日数	6	9	2	3	6	7	
	降水量	107.0	127.3	74.0	127.0	22.8	35.2	
⑥ ジザン	降雨日数	3	2	2	12	8	51	
	降水量	24.2	22.0	4.0	15.0	14.1	8.5	
⑦ タイフ	降雨日数	25	29	22	18	15	32	
	降水量	126.0	453.2	28.9	108.7	260.3	213.0	
⑧ メジナ	降雨日数	2	14	5	4	9	11	
	降水量	3.7	72.0	82.9	14.3	103.8	39.5	
⑨ ダハラン	降雨日数	17	32	18	4	11	18	
	降水量	33.2	92.4	174.1	4.4	47.2	77.1	
⑩ ジェッダ	降雨日数	8	11	6	5	7	5	
	降水量	34.0	173.0	129.2	67.5	106.3	103.9	
⑪ リヤド	降雨日数	32	27	27	9	16	36	
	降水量	216.2	107.4	172.5	14.8	131.7	229.7	
東 京		1931~60年までの平均						115
								mm
								1563.0



第1図 地球の自転と風のしくみ (Depositional Sedimentary Environments より)

さて砂漠の分布はかなり限定された範囲にあり 両半球ともそれぞれ南・北回帰線に沿い ほぼ赤道より15度から45度以内に位置していることに気がつく。地球の自転により大気が巨大なうず巻き模様をえがきながら循環するため 亜熱帯高気圧帯が形成され 赤道低気圧帯で発生した雨雲を妨害するため その範囲に乾燥地帯が展開されているのである (第1図)。

寒流も乾燥地帯の形成に大きな影響を及ぼしている (第2図)。大洋に発生して水分を含んだ風も寒流に冷され脱水されて乾いた風による砂漠化の例として西部サ

ハラ カラハリ 南・北アメリカの砂漠があげられる。

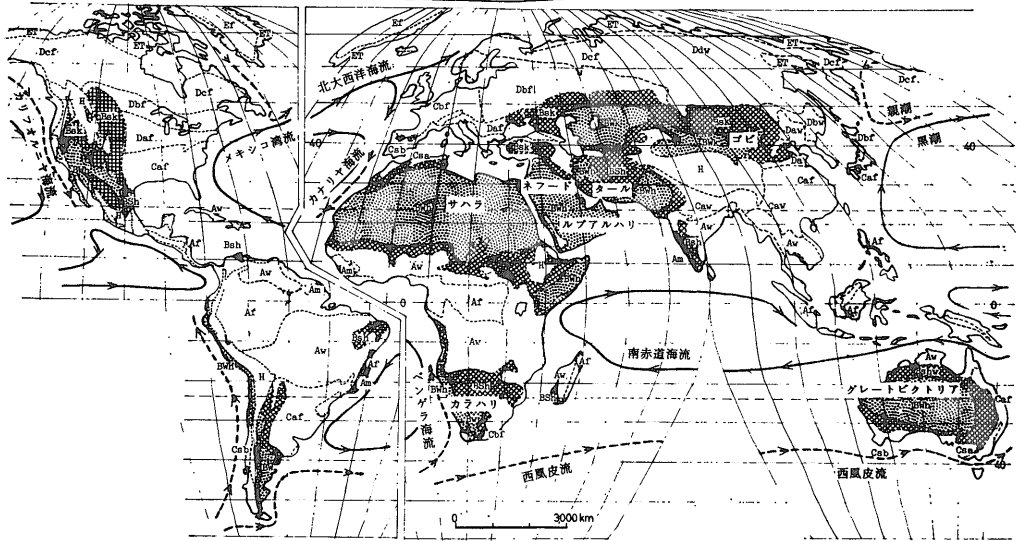
また大陸内部に吹く風は途中の山岳で水分をしぼりとられ 乾燥した風の吹きすさぶ ゴビ タクラマカンの砂漠を作りあげている。

イランを南北に分けるエルブールズ山脈 (最高峯 5,670メートル) は水分収奪の状況を劇的に演出してみせる。北側のカスピ海よりの湿潤な風は山脈にさえぎられ 北斜面は緑濃い森林と農耕地帯 分水嶺を越えた南斜面 (テヘラン側) は突兀とした岩石の広がる砂漠地帯と明瞭に両者は分割されている。

II 砂漠の歴史

第2図に分布の示されている乾燥 (年間降水量250mm以下) 半乾燥 (500mm以下) 地帯が形づくられた歴史はむしろ非常に新しく 更新世第4水期以降に砂漠化が始まったとされるのが定説である。

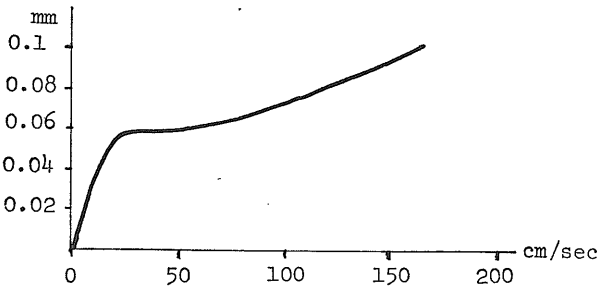
中国東部を厚さ90メートル 数1,000キロに広がるレス (Loess 黄土) も西方砂漠の形成時 吹きとばされてきたシルト 粘土であろう。しかし現在も砂漠はその勢力圏を拡大しつつある。世界最大の砂漠サハラも



第2図 ケッペンの気候区による乾燥地帯の分布と海流 (平凡社世界大百科辞典より編集)

- 気候型記号
- | | | | |
|-------------|-----------|-----------------------|----------|
| A 熱帯森林気候 | E 寒帯気候 | a 最暖月の平均気温 22°C 以上 | m モンスーン雨 |
| B 乾燥気候 | ET ツンドラ気候 | b " 22°C 未満 | s 夏に乾燥 |
| BS 草原または半乾燥 | EF 水雪気候 | c 月平均気温 10°C 以上が4ヶ月未満 | w 冬に乾燥 |
| BW 砂漠または乾燥 | | f 年間を通じて降雨 乾期がない | |
| C 温帯森林気候 | | h 高温乾燥 | |
| D 冷帯森林気候 | | k 寒冷乾燥 | |
- 例 日本の Caf は温帯森林気候 最暖月の平均気温 22°C 以上 年間を通じて降雨 乾期がないことを意味する。

粒度



第3図 砂粒の空中落下速度 (Depositional Sedimentary Environments より)

1933年仏人ブルナン中尉によって発見されたタツシリ遺跡の壁画により 紀元前6,000年には緑野と草食動物に満ちた楽園であったことが証明されている。アラビア半島の1/5を占め 人間の立ち入りを許さぬ空白の砂漠ルブアルハリにも「シバの女王」の伝説による埋もれた都の存在を その廃墟より掘りだした土器の破片を示して証拠だてる土着の遊牧民に筆者も出会ったことがある。

地質時代の砂漠についての研究より もっとも古いものとして先カンブリア紀最末期のトレドン砂岩 (Torridon S. S.) は砂漠堆積物の良い標本といえよう。

英国は二疊紀時代 赤道から15度~30度に位置していたと考えられ 北東貿易風による風成砂堆積物が発見されている。この風成砂堆積物 (Aeolian Sand Deposits) とはシルト 粘土をほとんど含まない きわめてよく淘汰作用をうけ 多くは円磨され かつ表面がくもった石英粒をいう。同じく英国において三疊紀のドーム形砂丘についての記述があり アメリカでは Navajo 砂岩 (白亜紀) Coconino 砂岩は風紋が鮮明に保存されていることで有名である。

近年日本でも話題を呼んでいる正珪岩礫も二次のもの (Second-cycle Orthoquartzite) は風成砂と無関係ではないであろう。

III 砂漠堆積物

H. E. REINECK, I. B. SINGH による Depositional Sedimentary Environments (1973) においては砂漠堆積物 地形を下記のように分類している。

1) ハマダ堆積物 (Hamadah Deposits)

岩石 礫におおわれた山地の堆積物。もちろん土壌 植生はまれである。

2) セリール堆積物 (Serir Deposits)

5~10度の傾斜地が礫 粗粒砂でおおわれていて 風による移動は行なわれない。

3) セブカ堆積物 (Desert Lake, Inland Sebkha)

降雨により流出した水が 一時的に砂漠の低地に溢水することがあるが すぐに干あがってしまう。この繰り返しかえしにより岩塩 石膏など再結晶した沈澱物が堆積する地帯をいう。アラビア半島東南部には大規模な Sebkha が見られる。

アメリカ ニューメキシコのホワイトサンズは Sebkha の石膏が再風化して 雪山のような純白の砂丘地帯を作り出している。

4) ワジ堆積物 (Wadi Deposits)

降雨により一時的に水の流れる流路を Wadi (涸谷) と称し 沖積の礫 小石まじりの粘土 泥などが堆積している。現在の Wadi の大部分は更新世に発達した。

5) 風成砂堆積物 (Aeolian Sand Deposits)

砂漠堆積物のなかでもっとも重要な風成砂堆積物は 砂丘地形を呈し 砂漠の象徴として強く印象づけられているが 実際には乾燥地帯の10%を占めるに過ぎない少数派である。

IV 風成砂 (Aeolian Sands)

1) なりたち 性質

砂漠の代表的景観とされる砂丘を構成する砂は きわめて粒のそろった石英粒である。このぼう大な砂の供給源としてまず考えられる砂岩は実際はごく少なく 大部分は花崗岩その他の火成岩の細屑と信じられている。Hamadah→Serir→Wadi の過程を経て次第に原岩は細粒化され 風によって選別され 円磨されて均質の石英粒の集積へと変化して行く。

実験によれば風速10メートルでは1ミリの砂粒までは跳躍し 2ミリでは地表をころがり 10ミリの粒までが移動可能である。ルブアルハリ砂漠での砂嵐の体験では風速20メートルに達しても空中を浮遊しているのはシルト 粘土の砂塵であり 砂 小石は地上1メートルくらいまでの高さを飛んでいるので 立っていると丁度水中より顔を出しているような状態になり 砂礫に当ることはなかった。原岩の他の成分 例えば長石などはこの過程で微粉化し (0.05ミリ以下) 空中を浮遊してはるか遠くに吹きとばされ いわゆるレスとして中国においては黄土と化し また深海底堆積物の有力な供給源と考えられる (第3図)。

初期の段階では水の力が岩石の崩壊を行なって行くが 1ミリ以下の細粒には力をおよぼし得ない、それは水中においては軽すぎて浮遊してしまうためである。

粉砕された石英粒は風によって相互にぶつかり合い

細粒化と円磨化が促進されて行く。しかしその硬度のためある一定サイズ以下には微粒化しない。石英以外の成分は微粉化して風選され 均質の石英粒のみが残留して砂丘を構成するに至る。

風成砂の特長としては

- ① 等サイズの石英粒
- ② 円磨されている
- ③ お互いにぶつかりあったため 表面に疵がついて曇っている

例外としてはホワイトサンズの砂丘のように 再結晶した石膏が再風化して作られた砂は 石膏の結晶を美しく残して長方形である。

古い砂漠の砂には往々にラテライトが表面にしみこみ赤色を呈することがある (写真のネフード砂漠)。

日本の海岸の砂もしばしば砂丘状を呈するが 水力による細粒化のため円磨化と淘汰作用がはるかに少ないのが常である。また運搬もほとんどなされないため 海岸付近の岩石の特長を十分に反映し 花崗岩地帯には石英質の砂礫の多い白砂青松の渚が多く見られる。

石英粒がほぼ単成分の砂丘には日本の砂のように棒磁石をつっこんでも砂鉄はついてこないし シルト 粘土が非常に少ないのできれいな砂である。そのため回教の聖典「コーラン」にも 一日5回の礼拝前のみそぎも水が乏しければ砂を代用してもよいと記され

遊牧民ベトウインは大低砂で身体を潔める(真似をする)のを常としている。

火星探査船パイキングからのリモートセンシング映像により 火星の砂はアメリカ モハベ砂漠の砂と性質が似ているとの発表があった。酸化鉄のためと思われる赤色の砂は火星の環境からみて 石英粒の風成砂と異なり 玄武岩の細片 すなわちⅢの Serir または Wadi 堆積物と同じものと推定される。

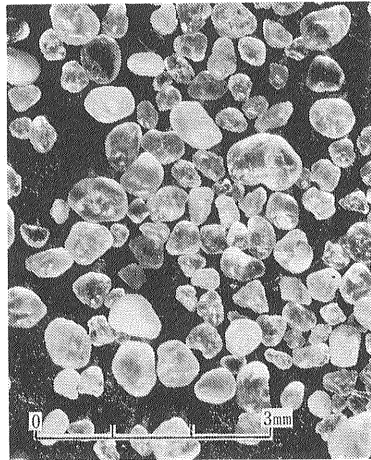
2) 風成砂の堆積形態

a) 漂砂 (Sand Drift, Sand Shadow)

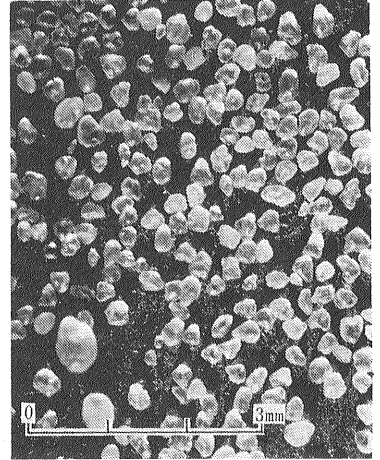
ブッシュ 岩 崖などの障害物の風下側に砂が舌状にたまる状態

b) ゴーズ (Gozes)

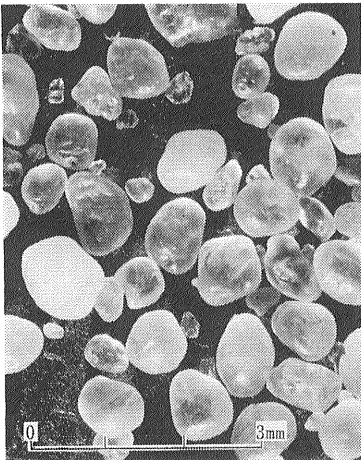
草の生えたなだらかな砂地。 多少降雨のある所にできる砂丘地形



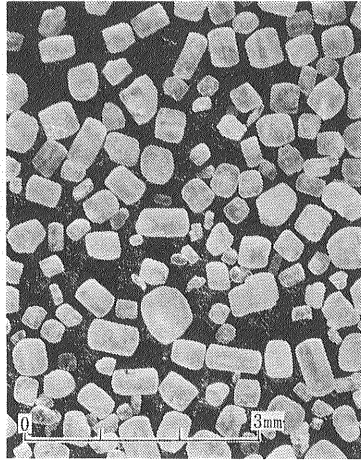
① サハラ砂漠リビヤ付近! [灰色] 石英



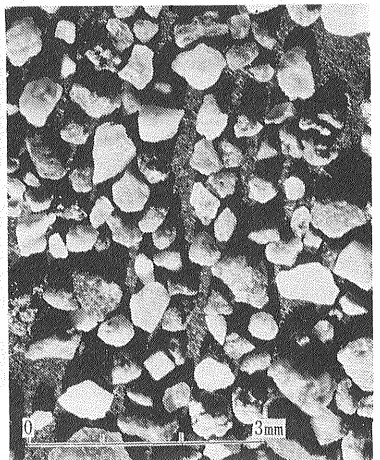
② アラビア北部ネフード砂漠 オレンジ色 石英



③ アラビア南部ルブアルハリ砂漠 灰色 石英



④ アメリカ ホワイトサンズ 白色 石膏



⑤ 茅ヶ崎海岸 黒灰色 軽鉱物

c) サンドシート (Sand Sheets)

前出の Hamadah または Serir をうすく覆う砂の層。小礫と互層になることが多い

d) 砂丘 (Sand Dunes)

砂漠の象徴であるとともに 風成砂の最大集積地である砂丘地形は 風の状況 砂のタイプ 砂の量によってそれぞれ独特の形態をとる。一般に風上側は緩 風下側は急斜面となるが 砂の物理的性質から34度以上の傾斜は形成し得えない。

3) 砂丘の種類

a) バルハン砂丘 (Barchan Dunes)

もっとも普通の砂丘の形態で 定方向の風により作られ三日月状を呈する。風上側は10度以下の縮まった砂の緩斜面 風下側は崖状のルーズな砂の急斜面となり 最大傾斜は34度に達する。単独でも存在するが寄せ集って複合バルハン地形を示すことが多い (第5図)。

b) セイフ (縦長型) 砂丘 (Seif Dunes)

この砂丘の成因については諸説があり 二つの風のベクトル (McKee 1966) としての成因説と 定方向の風が強ければ縦長 弱まるとバルハンに移行する (Grennig 1970) の2説が有力である。

世界最大の砂の集積地であるルブアルハリ砂漠ではこの縦長砂丘が日本とほぼ同面積に発達し 高さ 100~200メートル 幅 1.5キロを越す大砂丘の列が整然と並列し 砂丘と砂丘の列間の低地は幅約 1キロの全く平坦な谷(現地ではシエツガと呼ばれる)が横たわっている。山地部分は個々には複合バルハン状を呈し

均質の石英粒で構成される。低地シエツガは石英粒のほかに径5センチ以下の小礫が表面に散在し 粘土シルトも多少混入しているため 現地民ベトウインは汚れた砂として交通にははるかに便利なのにも拘らず天幕をはることを好まない。このシエツガは水の浸食によりできたものでないため 通常のワジのように川上 川下の区別がなく また表面が固まっていることが多く 自動車による交通はほぼ自由に行なえ 砂丘地帯の唯一の通路となる。

c) 横長砂丘 (Transverse Dunes)

定方向の風によりバルハン砂丘が形成される過程において横長砂丘が一時姿を現わす一過性の砂丘である。

d) U字型砂丘 (Parabolic Dunes)

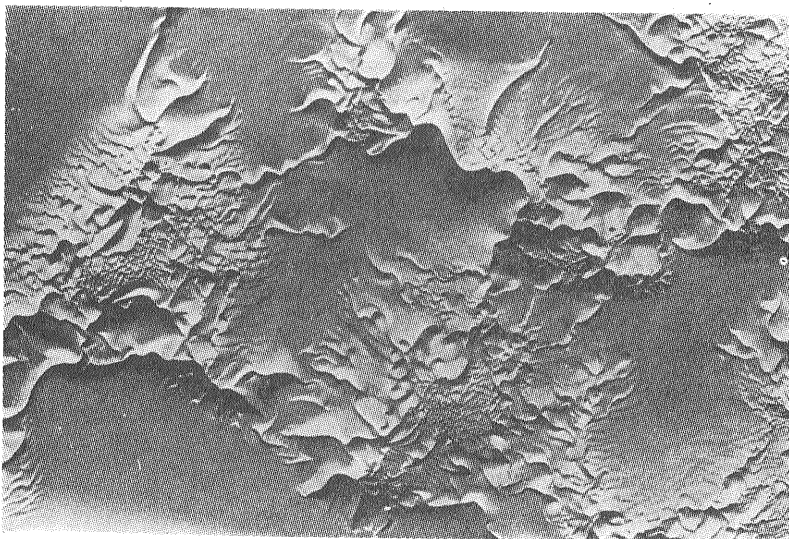
横長砂丘がバルハンに移行して行くとき 両端 (バルハンの角 Horn と呼ばれる) が植物などにひっかかって停止し 中心部は先に進んで行くため 風向に対し凹状を呈するに至る。

e) ドーム型砂丘 (Dome-shape Dunes)

砂丘の頂上が強風にけづりとられ また強い雨に合ってドーム状になり 風下側にも崖状急斜面のない砂丘ができる。

f) 星型砂丘 (Star Dunes)

風向が一定せず 諸方向から吹くときに形成される。各方向に延びた砂丘はおのおの風下側の崖状急斜面をもち 星の中心 (Crest) は他の砂丘と異なり移動することがなく 高さ 100メートル以上の巨大な星型砂丘は砂漠の安定した道標となる。



第5図 複合バルハン砂丘の空中写真 サハラ砂漠 一つの砂丘の高さが100メートルを越している。(タイムライフライブラリー「砂漠」より)

g) 逆方向砂丘 (Reversing Dunes)

卓越風が季節により逆方向に変換する地域においてはバルハン砂丘が交互に逆の方向にできる地形を称する。

h) デカカ (Dikaka)

植物およびその根が蔓延した状態の砂丘はデカカと呼ばれ オアシス周縁にのみ分布している。

砂 漠 の 水 資 源

竿の先で星を打つという諺がある。高温乾燥の砂漠地帯に近代国家を維持するに足る水資源を求めることは竿で星をとろうと試みるように不可能なことであろうか。

極乾燥地の中でも特に厳しい環境にあるサウジアラビアの水資源開発に焦点をあてて筆をすすめよう。

世界最大の半島 アラビア半島の4/5を占め 日本の6倍 225万平方キロの面積をもつサウジアラビアは風成砂堆積地に国土の30%を覆われ 典型的な高温乾燥気候に加え 表流河川も一本もないため 必然的に生活農業 工業の水を地下水か海水蒸溜による他はない。近年石油収入の驚異的な増加を国土の近代化 工業化にふりむけつつあるとき 水の需要も同時に飛躍的な増加が要求されている。このためさらに深部の滞水層の開発とともに海水脱塩工場の建設も大幅に進められている。

I 一般事情 民間の水と政府の水

サウジアラビアの国土はオアシス(地下水位が高く浅井戸でも水が自噴状態にある所。日本で想像する椰子の生えた大きな池はほとんど見当らない)のあるごく一部の地域(5%以下)を除いては 全く不毛の岩石もしくは砂で覆われており 水を見つけ出すことは非常に難しいと想像される。しかし実際には砂丘地帯を除いては無数の水井戸を見つけ出すことができる。世界最悪の砂漠といわれるルプアルハリの中でさえも 近年サウジ政府 アラムコ石油会社により20本以上の深井戸が掘られ 良質の水を石油調査隊に供給できるようになった。

一般的にみられる昔からの井戸は 遊牧民がワジ(涸谷)堆積地に 30~50メートルの掘りぬき井戸を掘り綱つきバケツで水を汲みあげ 家畜用 生活用の水を得ているのが大部分である。井戸の使用権(水利権)は厳格で 部族以外の使用は昔は血の抗争にまで発展したことも稀ではなかった。映画アラビアのロレンスの冒頭のシーンを御回想あれ。水汲みは主として女の役目で 10キロ以上離れた天幕へ羊の皮袋に満した水をロバの背で毎日運ぶのはかなりの難行であり 遊牧民の天幕を訪れてもてなされるお茶 コーヒーは日本の家庭でジ

ョニ黒を出されるのにも匹敵しよう。

農業用の灌漑井戸はこのように小さなものではとても農場を経営して行くわけには行かない。小型の試錐機で掘られた100メートル以上の深度のパイプ井戸にディーゼルエンジンをつけて汲みあげている。

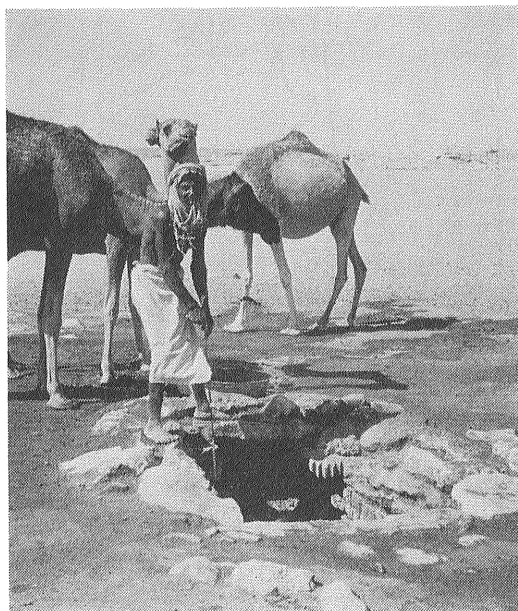
戦前の日本の地主と小作の関係に似た水井戸だけを持つ水主がおり 農地に水を供給して小作料をとる人も居る。現在サウジ政府は自作農ならぬ水井戸所有農を奨励するため 農業基金より個人の井戸掘りへの長期の融資を行なっている。

地下水位の高い所は個人の農場としてナツメ椰子の林となっている所が多い中で 政府経営の試験農場は麦 野菜 牧草を主とし 雨量の多いアシール山地では自作農による畑地で同様の作物を栽培しており 段々畑が耕して天に至っている風景は日本そっくりである。

本筋から話がそれるが 水井戸の全くない所でも西瓜畑をしばしば見かけることがある。降雨の直後に種まきをし あとは幸運であれば降雨が続いて豊作となり なければ立ち枯れという「運天型」の耕作であることがわかった。しかしある程度まで育つと夜露を葉より吸収して雨がなくても何とか結実できるそうである。

従前よりサウジ政府は遊牧民の定着農民化をすすめており 誰でも自由に使える公共井戸の掘さくを各地に行なっている。

同じ中東でもイランにあるカナート(地下数メートルにトンネル掘りして用水路とする)はこの国では現在見られない。数10年前にはメッカの水道を東方30キロの



第6図 砂 漠 の 水 井 戸
石灰岩の中を15メートルの深さに掘った素掘り井戸 水温は30°C バケツに綱をつけて一ぱいづつ汲みあげる。ラクダ

オアシスよりカナートによって通水した遺跡があり 今もその一部は崩壊したまま残っている。

都市用給水として大都市においては 上水道の設置が推進され つい5—6年前までのロバにひかせた水売り (ドラム罐2本をつないだタンクを荷車にのせ 石油罐一杯18リットルの水を10円で台所まで配達する) はほとんどその姿を消してしまった。しかし水道も圧力が不足しており 時間給水でもあるので 各戸で地下に貯水槽を作り モーターで屋上のタンクに汲みあげ 落差で蛇口より水を出す方式をとっている。料金は定額制前納式をとり家の規模 庭の有無 広さ (植木に水をやるので) により数段階に分かれている。

地方の小都市に行くとまだ政府の給水車 (無料) によっている所が多く 水運びは職業として成立している。

この地域で特筆すべき水の用途は油田再注入用水の需要増である。表3により明白な通り1980年には主要都市使用量合計の4倍強 240万トン/日が見込まれている。再注入水は油田付近の地下水をそのまま注入しており 其の水質は付近の地下水であれば問題はない。

山岳地帯 (アシル山地) 以外はほとんど降雨は期待できない。表1の②ヤンブーはこの地域の気象特性をよく現わしている。1968年には112日の降雨 (日本の平均と同じ) があつたにも拘わらず 翌年より5年間は0の年が続いている。

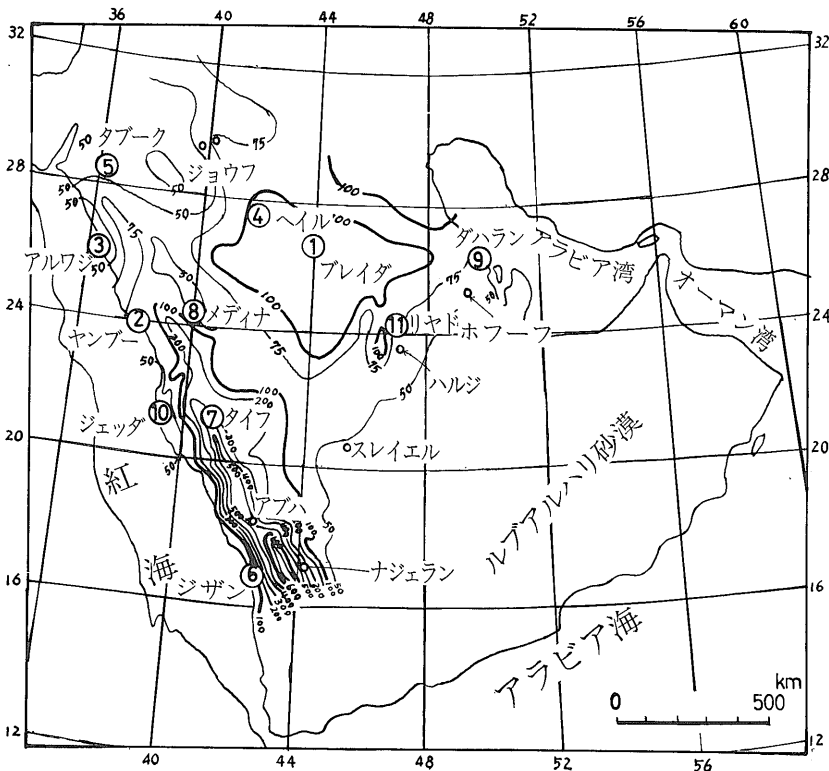
降雨の特長も夕立型で 強い雷雨が短時間降ってぱつと止む場合が多い。そのためワジは一瞬のうちに濁流と化し 天幕をはっていた外国調査団が溺死する事件も起きたことがある。筆者も 1970年夏に大雷雨に襲われ ワジのテラスに幕営していたにも拘わらず 電が真白に浮いた濁流に洗われ 調査資料をかかえて天幕の中で丸一時間膝までつかって震えていたことがある。この濁流もまさに一過性で 雨があがるとたちまち干上がり 流水も海まで届かずに消滅してしまう。時期もほぼ10月から4月に集中し 夏季に降ることは稀である。

この降雨の少なさの割りに快晴の日数は予想外に少なく 1973年の統計によるとリヤドで108 ジェッダ40 ダハラン100日と1年の約1/3で 一部雲のかかっている日の方が多い。ただし全天曇りの日はごく少なく 年間25日前後に過ぎない。

II 気象条件

典型的な高温乾燥型気候が全土を支配しており 南西

気温は沿岸と内陸部とは異なり 沿岸は湿潤気候 内陸は乾燥大陸気候を示している。沿岸地方は湿度が高



第7図
アラビア半島の年間平均降雨量 (1966—74) 単位: mm
③ ①~⑩は 第1表を参照のこと

第2表 水 質 分 析 表

都 市	リヤド工業団地	リヤド市営水道	ジェッダ工業団地	ダンマン(アラムコの井戸)	メ ッ カ
成 分	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
全溶解固体	2,500	4,000	747	2,926	686
CaCO ₃	820		300		170
MgCO ₃	270	115	28.8	60	19
Cl	55	980	157.5	1,174	304
S:O ₂	18				
SO ₄	670	2,100	163.6	415	128
PH	7.4	7.8	8.35	7.6	
Ca		670	72	264	101
HCO ₃		230			
NH ₄ ⁺			—	微量	
NO ₃			100mg/l以下	6.0	

サウジアラビアにおける工業投資の手引き 1974より

いため最高気温も 40°C 前後にとどまり 夜間との温度差も 10°C 以内と小さい。内陸部は 50°C を突破することもしばしばあるが 低湿度のため夜間は 20°C 近くまで下がることが多い。紅海沿岸に面した最大都市ジェッダは特に湿度が高く(一年を通じ60~70%) 夜間の結露はさながら雨あがりのような様相を呈する。

III 水 質

水質は一般的に良質とは言い難く 特に深度 1,000メートル以下の化石水は鉱物溶存度が大きく 処理しないと飲食用に供し得ない場合が少なくない。沿岸都市では今後も海水蒸溜による水供給が増えるが 現在もジェッダでは海水脱塩水(ほぼ蒸溜水に近い)にはミネラル分が少なく 常用すると健康上問題ありとして 地下水を半分ミキシングして給水されている。V項で後述されるが 同一滞水層の地下水も場所により水質が大幅に変化しており 鉱物質溶存度 1,000ppm の良質のものから 20,000ppm の塩水に近いものまである。

水温は浅井戸でも 30°C 深井戸になると 50°C 以上 80°C に近い熱湯を汲みあげている井戸もある。

IV 水 の 管 理

降雨による涵養をあまり期待できぬ地下水管理は 厳しく政府により統制されている。行政的に大都市と東部州は内務省に 他は農業水利省の管轄下におかれており 海水脱塩は海水蒸溜公団の新設にともない 1976年より農水省から同公団に移管された。

水資源の調査は国際入札で外国コンサルタントに委嘱され 全土の55%を1975年までに終了し 調査結果に基づいて第二次5ヶ年計画による近代化 工業化の水需要予想とにらみ合わせ 国家予算の20%を投じて開発計画

を実施している(表3)。首都リヤドを例にとれば 1974年の3倍 16.3万トン/日の供給を80年に予想し 周辺部に 100本の深井戸の掘さくを計画し これにより現在の慢性的水不足は充分解消される見込みである。同時に下水道網を整備し 端末処理場での処理水 4.5万トン/日は市内の工業団地の工業用水として配管ずみであり また余剰の処理水はダムに貯めて中水道として空調 水洗用に使用するリサイクリングも計画されている。ダムは大小5ヶ所建設されているが 気象上からも常時湛水することは不可能で 洪水時の流出を防ぎ 地下水への涵養を助ける役を果している。1974年に完成されたアブハダムのみはアシール山地という地理上の好条件のため計画水量 213万トンを湛水し 上水 灌漑に使用されている。

沿岸都市および工業地帯の水供給は大幅に海水脱塩に依存すべく 1980年を終年度とする第二次5ヶ年計画では 計画当初の10倍 日産51万トンの生産を予定しており この量は主要都市の供給必要量54万トン/日にほぼ匹敵しうる量である(表3)。

地下水の調査 管理の主務官庁である農業水利省は 1975年までに 850ヶ所の水井戸と 750の観測井 調査井を完成させた。なかでもリヤドに掘られた 3,000メートルの構造試験井は水資源探索用としては世界最深である。

基礎資料調査のためには降雨量測定所 385 流出雨量測定所53 気象観測所48 井戸水位観測所37を維持し資料収集をはかっている。

V 滞 水 層

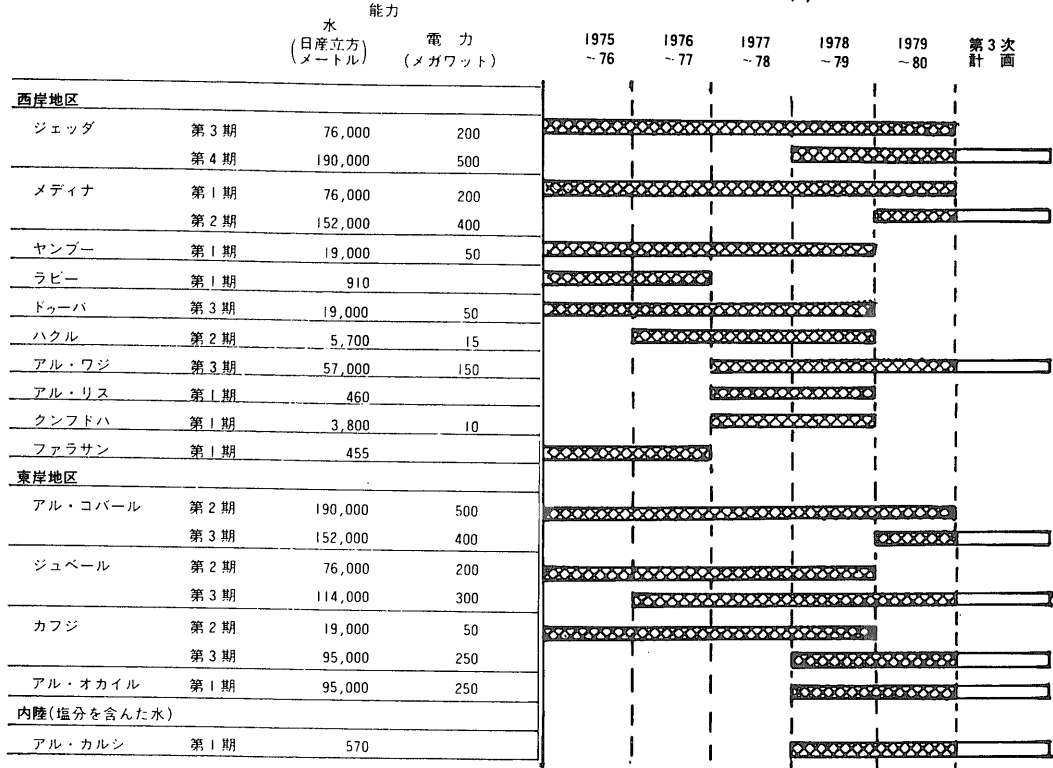
アラビア半島の地質を概念的に説明すると 紅海沿岸

第3表 主な水の用途と淡水化計画 (サウジアラビア第2次5カ年計画資料 1977.1)

主な用途別水供給量			(単位: 1日当たり千立方メートル)		
主要都市	実績	供給必要量	実績	供給必要量	
	1974	1980*			
リヤド	57.5	163			
ジェッダ	57.0	142			
メッカ	18.5	74			
タイフ	6.0	41			
メディナ	22.0	35			
タンマンその他**	50.0	90			
小計	211.0	545			
工業基地					
ジュベール					76*
ヤンブー					19*
小計					95
油田			1,100		2,400
農業用水			5,370		7,060
合計			6,681		10,100

*工業プロジェクトの進展具合により調整が必要
**ダハラン アル・コバル アル・サフサ カティーフ

淡水化プラントの設計・建設 (1975 1980年)

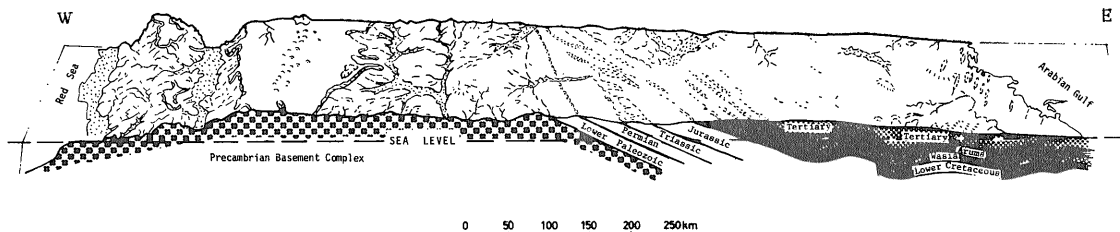


に沿って4~5キロの幅に続く第四紀の海岸平野をさえぎって先カンブリア系に属する火山岩 変成岩からなる2,000メートル級の山がそびえ 半島の西側1/3を盾状に覆っている。その東端より堆積岩がカンブリア系より時代順に整然と平行にアラビア湾の第三紀層まで連続している。盾状地における地下水は ワジの堆積物 破砕帯などに賦存しているものの量的には期待できない。紅海沿岸地域では今後の需要増は海水脱塩が主力と考えられる。古生代の堆積層は当国の主たる水供給源となっており 以下おもな地層を紹介すると

1) SAQ 層

カンブリア紀のSaq層は砂岩を主とし リヤド西方150キロに露頭をあらわし 北東部では厚さ1,000メートルにも達する。主たる井戸は自噴井となり 鉱物質含有量 420~840ppm の良質の水を産出している。

Tarafiah	1,050m	2.8m ³ /分	4.9気圧 (井戸口)
Jalah	1,500m	4.4	11.3
Hunaidhil	1,528m	4.9	11.0
Tannumah	1,542m	4.8	12.3
Turabah	2,252m	2.0	3.4



第8図 サウジアラビアの地質概念図

Turabah はサウジアラビア最深の良質水井(600ppm)である。しかしこの地層の水のすべてが良いわけではなく 深度2,400メートルの Qiba 井戸は 36,000 ppm の塩水しか得られない。

2) TABUK 層

オルドビス紀の Tabuk 層は 半島北西 北東部において SAQ 層について有力な滞水層である。水質は抵抗値 850~2,000 μ /cm の範囲にあり 滞水層の厚さ1メートルより毎分80リットルの水を得られると計算されている。

3) MINJUR 層

陸成の花崗岩質砂岩と頁岩の互層よりなる Minjur 層は 首都リヤドの水源を賄う重要な滞水層である。約50ヶ所の井戸が掘られており 水質は全固体溶存度 1,000~5,000ppmの値が示すように良質と言いつても処理が必要である。この層には雨水による補給はないと推定されている。

4) BIYADH 層

リヤドの水源の一部をなす Biyadh 層は陸成の砂岩頁岩の互層よりなり 厚さはワジニサでは 280m と測定されている。水質はニサ付近では 300~900ppm の良質の水を産するが 東部に行くに従い 6,000ppm にも達する brakish (半淡半鹹) 水になってしまう。

5) WASIA 層

この国でもっとも生産性の高い滞水層を夾有し 井戸の深度総計は 120 キロにもなる。粗い砂岩と頁岩稀には海成の石灰岩を夾む互層であり 層厚はリヤド東方 100 キロの露頭付近で42メートル マニファでは 450~500メートル ルプアルハリ砂漠では600メートルとなる。

アブカイク油田では日産30万バレルの水を湧出する井戸もあり 油田再注入水の主たる水源である。アラムコの水利調査によれば C14法による水の絶体年

代は露頭付近で20,720年 アブカイク油田で22,500年と測定されかつ年間750億ガロン(3億トン)の雨水滲透が推定されている。水質は不良で露頭付近の900ppm が東方に向かって悪化し クエート国境付近では20万 ppm の塩水と化してしまっている。

6) UMM ER RADHUMA 層

Wasia 層とならんで生産性が高く かつ広範囲に滞水層の拡がりをもつ Umm Er Radhuma 層は 石灰岩とドロマイトを主とし 地層上部に頁岩 マールを見うける第三紀暁新世の地層である。ワジミヤの深井戸では毎分8トンの良質の水を数気圧で自噴しておりハラダ政府実験農場では1,200ppm の水質を示している。これも東に行くに従って悪化し アラビア湾ラスタヌラでは 55,000ppm に達してしまう。

7) DAMMAM 層

東部油田地帯の主たる水源を提供する Dammam 層は石灰岩よりなり 滞水層は上部の Khobar ドロマイト層下部に 薄い頁岩層を夾んで Alat 層に存在し 1,000 本以上の井戸が水を供給している。この層はアラビア湾を渡ってバーレン島に続き 同島の最大の水源を構成する。日本の養殖真珠に駆逐されて現在ではほとんど見うけることのない天然真珠採取は 以前にはこのアラビア湾で盛大に行なわれていた。その時素もぐりの真珠貝よりは空の壺に海底の Dammam 層より自噴している真水を満して海中よりあがってきて飲食に使用したと伝えられる。Khobar 層はカテゴリーで毎分1.5~6トンの水を産出する井戸を多数持ち 水質は東方に向かって悪化している。Alat層は北緯 26°30' と27°の間を東の方向に良質の水を産し パハレン島においては 2,000ppm 以下の値を示している。

おわりに

最悪の環境下にほぼ絶望的にも思えるサウジアラビアの水資源開発も 前述の如く大砂丘地帯の下からさえも

第4表 サウジアラビアにおけるおもな滞水層

時代		地層名	岩質	層厚(模式地における)	滞水層		
新生代	第四紀	Surficial deposits and basal	礫砂 シルト 玄武岩		質量ともに降雨量に関係する。西部地区では玄武岩も小規模の滞水層を夾有する		
	中新世	Kharj	石灰岩 淡水性石灰岩 石膏	28	新第三紀滞水層と総称される 被圧面 自由面地下水相		
		Hofuf	砂質マール 砂質石灰岩	95	方も賦存は不規則である		
		Dam	白色チョーキイ石灰岩	91	ホーフ フジミヤその他東部州の注たる水源となり		
		Hadruk	粘土質および砂質マールと石灰岩 砂岩の互層	84	ダム層はホーフ西部でハラダ砂岩はホーフおよび東部で注たる滞水層を形成する		
	漸新世	Lutetian	Danmam	石灰岩 ドロマイト	33	被圧面または自由面地下水	
		Ypresian	Rus	マール チョーキイ石灰岩	56		
	始新世	Thaenetic	Umm et Radhuma	石灰岩 ドロマイト質石灰岩	243	サウジアラビアでもっとも有力な滞水層	
		Montian?					
	中生代	白亜紀	Campanian	Aruma	石灰岩	142	地域により良質または水質不良の水を少量産する
Turonian?			Wasia (Sakaka sandstone Northwest Arabian)	頁岩を伴った砂岩	42	露頭附近では乏しいが 東部では大量の被圧面 自由面地下水を有する 露頭附近で水理学的にビヤド層と連結している	
Aptian							
Barremian			Biyadh	頁岩を伴った砂岩	425	中程度の量の水を産出する砂岩の滞水層 露頭附近で水理学的にワシヤ層と連結している	
			Buwaib	ポモロシミック石灰砂岩	180		
			Yamama	バイヤジニミック石灰砂岩	46		
			Berriasian	Sulayy	チョーク状非顕晶質石灰岩	170	
			Tithonian	Hith	硬石膏	90	鉱物溶存水のみ産する
				Arab	石灰質砂岩 砂質非顕晶質石灰岩	124	少量の鉱物溶存水を産出する 水の賦存分布は不規則である
				Jubaila	非顕晶質石灰岩	±118	上記アラブ層と同じ
中生代	ジュラ紀		Hanifa	非顕晶質石灰岩	113		
		Oxfordian	Tuwaik Mountain	非顕晶質石灰岩	203		
		Collovian					
		Collovian?					
		Bathonian	Dhurma	非顕晶質石灰岩 26°Nより北 22°Nより南は砂岩	375	中程度の量の水を産出する 22°Nより南は水理学的にミンジュール層と連結する	
		Bajocian					
		Toarcian	Marrat	頁岩 非顕晶質石灰岩	103	水質不良の水を少量産出する	
		三畳紀		Minjur	砂岩 頁岩	315	自噴もしくは非自噴被圧面地下水をもつ砂岩の滞水層は大量の水を産出する
				Jilh	非顕晶質石灰岩 砂岩 頁岩	±326	水質不良の水を少量産出する 水理学的にミンジュール層と連結する
				Sudair	紅色もしくは緑色頁岩	116	
	Upper		Khuff	石灰岩 頁岩 21°Nより南は砂岩	171	鉱物溶存水を石灰岩滞水層より中程度産出する	
古生代	二疊紀	Lower	Wajid	砂岩	950	自噴もしくは非自噴状態の被圧面地下水をもつ砂岩滞水層は大量の水を産出する	
		Undated					
	デボン紀	Lower	Jauf	石灰岩 頁岩 砂岩	299	ジョウフ アルアル(Arar)地方の滞水層	
	オルビス紀		Tabuk	砂岩 頁岩	1072	自噴 非自噴状態の被圧面地下水をもつ砂岩滞水層	
			Umm Sahn				
	カンブリア紀		Ran Quweifra Siq	砂岩	±600	サウジアラビアでもっとも生産力のある砂岩滞水層 自噴 非自噴状態の被圧面地下水	
PRECAMBRIAN BASEMENT COMPLEX					滞水層なし		

有力な滞水層を発見している。

アラビアに伝わる古い伝説の「砂漠の下は巨大な湖」をはからずも立証することになった。日本と異なり降雨による涵養が少なく かつ Wasia 層の如く2万年かかって滞水層に到達する雨水もあり 有限資源としてその管理にサウジ政府の払っている努力はなみなみではない。「水と平和は高価なもの」という観念はアラビアは2,000年前から体験づけられており「湯水のごとく」水を使ってきた日本も すでに有資源として水をとらえ その対策には苦慮する現在 海水利用も含めて乾燥地帯での水資源調査 管理を他山の石として学ぶべきではないであろうか。 ちょうど日本で開発された「多

段フラッシュ式海水脱塩」が中東諸国で絶讃を博している折でもある。

参考文献

砂漠 タイムライフライブラリー Starker Leopold (1973)
 砂漠 NHKブックス 小堀 巖 (1973)
 Depositional Sedimentary Environments
 H. E. REINECK, I. B. SINGH (1973)
 Country Report on Groundwater Development
 in Saudi Arabia
 1969 Mohammed Abu Butain
 1970 Aziz Medbal
 1975 Khalid Khalel Al Jaddan
 Statistic Year Book 1974 Ministry of Finance,
 Kingdom of Saudi Aralia