

## 45. プラヤと地下水 (1)

### (1) プラヤ(Playa)について

プラヤの語源はスペイン語である。アメリカ南西部やメキシコで使われてきたものようである。英語では俗に“sink”とか“depression”と呼ばれているのがこれに相当すると思われるが、専門用語としては **playa** が普遍的に使用されている。なお乾燥地域では“sabkha”がこれに相当するものとして使用されているが、これには“海岸サブカ”と“内陸サブカ”の2種類があって、正確にいうと筆者は内陸サブカがこれに該当するものと考えている。

プラヤは地形学的には流出域を持たない閉鎖盆地であるから、把握できる流出成分は蒸発だけである。したがって常時はカラカラに乾いた状態にあることが多いが、大雨時には湛水して一時的に湖が出現することがある<sup>(脚注)</sup>。

ところでわが国には各地に“ダイダラボッチ”という巨人伝説があり、その足あとというのがある。勿論そのようなことはないが、昔の人も平らな台地の中に存在する窪地には奇態なものを感じていたのであろうか？これは地形的にはプラヤの特徴を有しているので、その形成には共通の成因があるかもしれない。

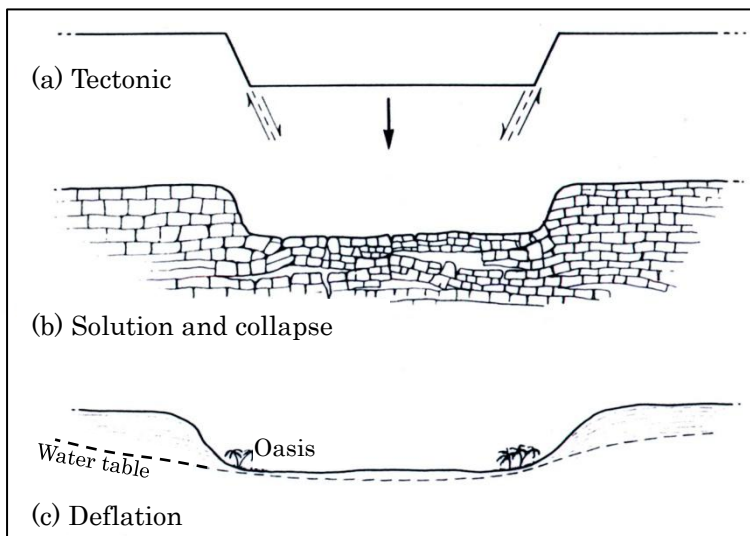


図1 プラヤの成因に関する幾つかの例

〔出典：Andrew Goudie & John Wilkinson (1977) :  
The warm desert environment〕

図1は教科書などでよく見かける典型的なプラヤの例である。(a)は構造運動に伴う陥没によってできたもの、(b)は炭酸塩岩類の溶解、(c)は風蝕によるものである。なお前回の黄土高原にみる同様の地形(磧地)もプラヤの範疇に入ると考えられるが、成因的にはこれらとは異なり、“ダイダラボッチの足跡”と同じように地下侵食によるものと考えている。ただしこの点については現在武蔵野台地や相模台地の窪地

を対象としてその検証を進めているところで、いずれこのシリーズでも取り上げてみたいと考えている。

脚注：水文学分野でいう Endoreic drainage (流出口を持たない流域)は水循環の上からこれと同義に用いられている。常時湛水するものもあるが、一般に塩分濃度が極めて高いのが特徴である。

“desert basin”と呼ばれることもあるので乾燥地域に特有の地形とされているが、このような特徴を持った地形は湿潤地域にも多く見られることから、もっと普遍的に存在するものとして良いように思われる。

さて成因はどうであれ、プラヤが流出口を持たない閉塞的環境にあることは重要な特徴で、その水文地形的特徴を、乾燥地域を例として模式化すると図2のようになる。図で1は山岳地帯で、ここでは乾季は涸れ川か、僅かに水流を見るだけであるが、数年に一回といった豪雨時には大洪水が発生することも珍しくない(後述)。

2はバハダ(Bajada<sup>脚注</sup>)とよばれる地形で、機械的風化作用による礫の生産が盛んな後背山地から運搬された堆積物とその前面に連続して堆積して形成された扇状地である。山地斜面は風化作用、重力や流水の働きで侵食されて後退し、その前面にペディメント(pediment)と呼ばれる緩斜面が形成される(後述)。3は低勾配の平坦地で、表面はシルト質の細粒物質で覆われていることが多い。4がプラヤで、常時湛水しているところもあるが(後述)、豪雨時のみに湛水し、常時は水面をみないものが多い。

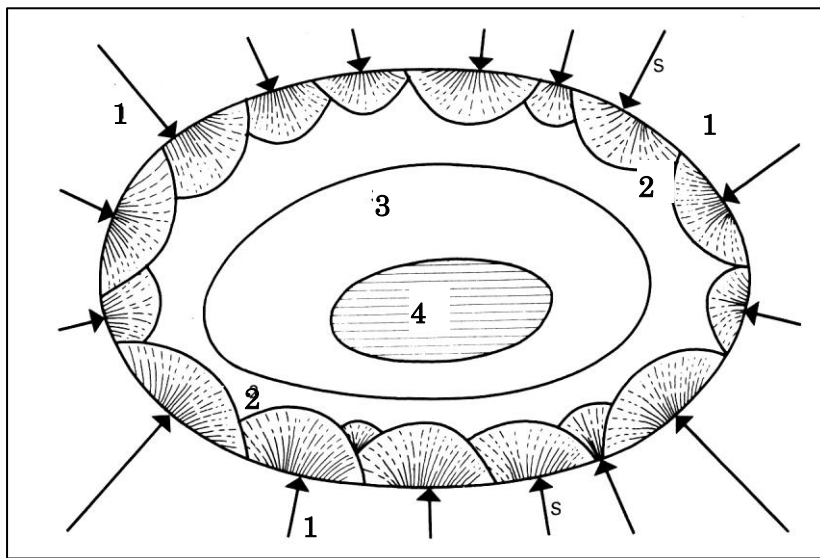
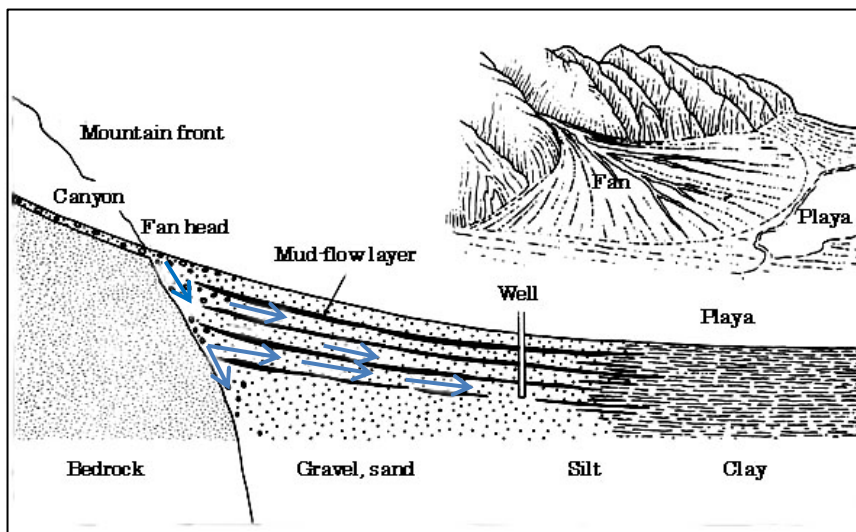


図2 流出域を持たない盆地の地形の模式  
 [ 出典 : Andrew Goudie & John Wilkinson (1977) :  
 The warm desert environment ]

るところもあるが(後述)、豪雨時のみに湛水し、常時は水面をみないものが多い。

UAEなどで筆者が調査対象としたプラヤはこの模式図によく合い、これを半断面に切ると図3のようになる。

筆者がこれまでに得た知見は、米国テキサス州、アラビア半島、タンザニアのみに限られ、プラヤの全てを尽くした訳では



ないが、現在抱えている「地下水涵養における地形の効果」という命題に添うものとして、これをまとめてみることにした。

水循環からみて wadi と playa は密接な関係にある。

図3 山岳部とプラヤを結ぶ模式断面、地下水の動態を併記  
 (出典 : 図2に同じ)

脚注 : 語源はスペイン語で“斜面”という意味である。

(2) アラビア半島のプラヤ

図4はアラビア半島を東西に切る地質断面の概念図である。半島の骨格をなす先カンブリア系からなる楕状地を被覆するように古生界以降の地層群が単斜構造をなして西から東へと堆積している。アラビア半島の地下水は図5に示すようにこの構造に支配された巨大な広域地下水流動系を構成している。

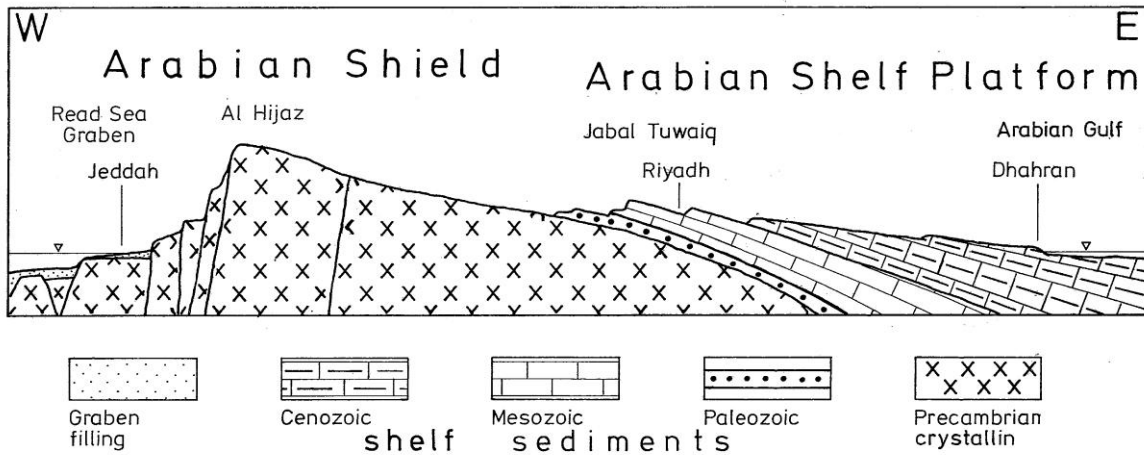


図4 アラビア半島の東西地質断面

(出典：Abdul Raof Jado and Josef G. Zotl (1984) : Quaternary Period in Saudi Arabia Volume 2)

筆者の知見はこの半島の西海岸地方と東海岸地方のごく一部のみであるからその内容を詳しく語ることは出来ないが、ここで話題としているプラヤは東海岸地方にその典型を見ることが出来る。そのいずれも図1(b)の溶解-陥没型に入る。そのうち図5、図6中のAl HufufにあるHasa オアシス (○印) の面積は200km<sup>2</sup>に達し、サウジアラビア最大の規模である。

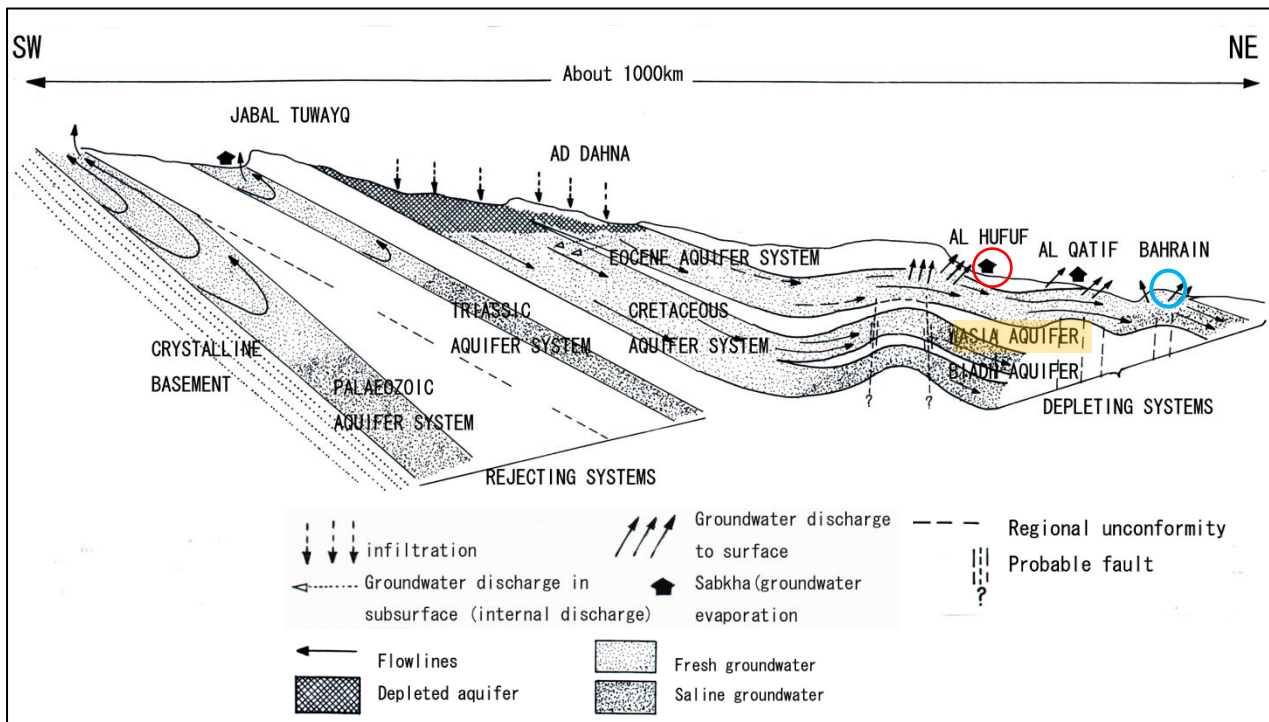


図5 アラビア半島を横断する広域地下水流動系  
(出典：図4に同じ)

Wasia Aquifer (白亜系) の地下水位は上位の Radhuma Aquifer (古第三系) のそれより40m高い。

Hasa オアシスには深井戸も数多く存在し、500 本以上を数える。その揚水量は井戸によって大きく異なり、最大のものでは 1m<sup>3</sup>/sec 以上に達する。地下水温は 35~40℃ と高く、また水質は変化に富み、異なる帯水層の地下水を起源とした混合状態を示す。

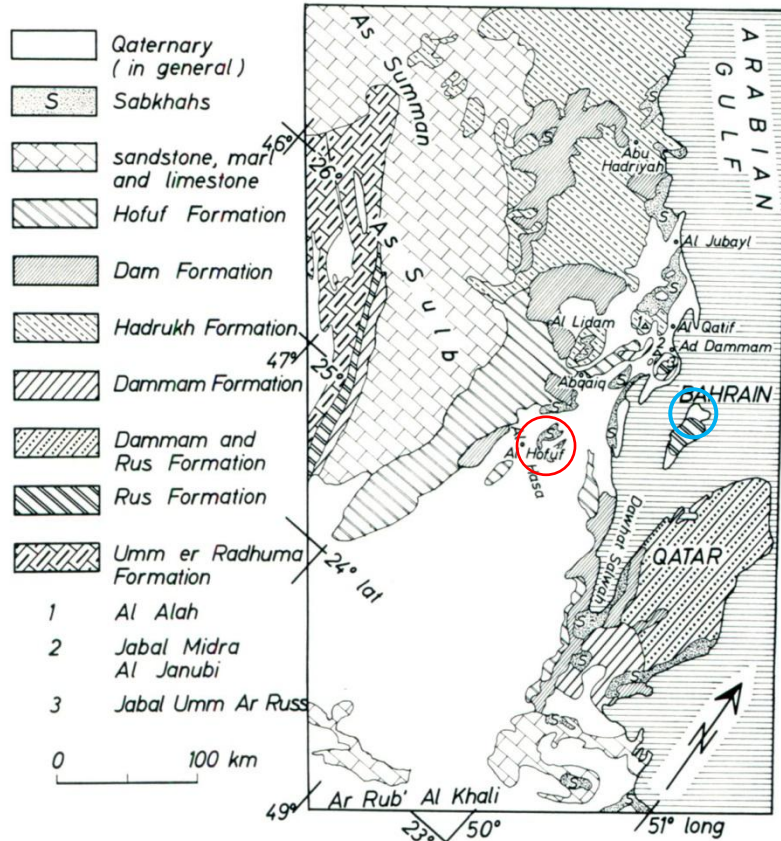


図 6 湾岸地方の地質

〔出典 : Saad S.Al-Sayari and Josef G. Zotl (1984) :  
Quaternary Period in Saudi Arabia Volume 1 〕

主要帯水層は古第三系の炭酸塩岩類で、陥没によってできたプラヤに地下水が噴き出す構造となっている(写真 1, 2)。海を隔てたバーレーン(Bhrain)島北部にある大湧水、Adari Pool (写真 3) も図 5, 6 にみるように、この延長に位置する(○印)。ここで地下水は数万年の旅を経て、石灰岩洞穴からモクモクと湧き出しているという訳である。

なお図 5 において”depleting system”とあるのは帯水層から水が自然に排出して、いずれは枯渇する方向に向かうことを意味し、

“rejection system”とは地下水流動に関しては閉鎖系にあることを意味している。



写真 1 アラビア半島 Al Hufuf 地方のオアシス



写真 2 同左 プラヤの中のナツメヤシ農園



写真 3 バーレーン島の大湧水, Adari pool

(上の空中写真は Google earth より引用)

図 7 バーレーン島

Adari pool はバーレーン島の北部に位置し、水源は全て石灰岩の洞窟開口部からの湧水である。その深さは 3m 以上、湧出量は排水口での目測から日量 3,000m<sup>3</sup> 以上と推定された。

### (3) アラブ首長国連邦のプラヤ

親日国家として知られているアラブ首長国連邦 (UAE) は 7 つの首長国から成り立っているが、そのうちアブダビとドバイが共に経済力で突出している。前者は石油の力で、後者は商業で UAE を支えている。全体として豊かな国であるが、水資源だけはどうしようもない。海岸地帯には各所に海水の淡水化プラントが立地し、その人工の水を内陸部に送水し、飲料水や灌漑水を賄っている。

耳づての情報なので真偽のほどは分からないが、かつて元衆院副議長の渡部恒三氏が通産大臣にあつたとき、氏が同国を訪問した折、“何をもって貴国に力を貸せるか”と同国のザイド大統領に尋ねたところ、“日本は地下ダムによって水資源の確保に成功したと聞いている。この技術を我が国にも提供してくれないか”との要望があつた。これが切っ掛けとなって、その後筆者が代表者としてこの国の 3 年間にわたる地下ダムプロジェクトと、引き続き 2 年間にわたる文部省海外学術調査に携わることとなった。

前置きはさておき、同国は乾燥地水文学の研究には絶好のフィールドといえる。まず

雨期－乾期の年間の気象変化が著しく、かつその移り変わりが明確であること、また数年に1回という多雨年がほぼ規則的にやってくる。さらにその殆どが地域的に集中して発生するということであり、その受け皿となる地形の配置が図2のモデルにすっかりあてはまることである。またおもに灌漑用水としての地下水利用も多く、地下水位や水質資料が比較的整っているという点も大きい<sup>脚注1)</sup>。

さて図8はUAEの地形概況である。右側がオマーン山地、南側がルブ・アル・ハリ砂漠に続く砂漠地帯、また北側はアラビア湾に面している。内陸部はこの地帯の卓越風を反映して形成された砂丘列が東から西、あるいは南から北へと伸びているが、その砂丘の配列に即したかたちには内陸サブカ或いはプラヤが点在している<sup>脚注2)</sup>。

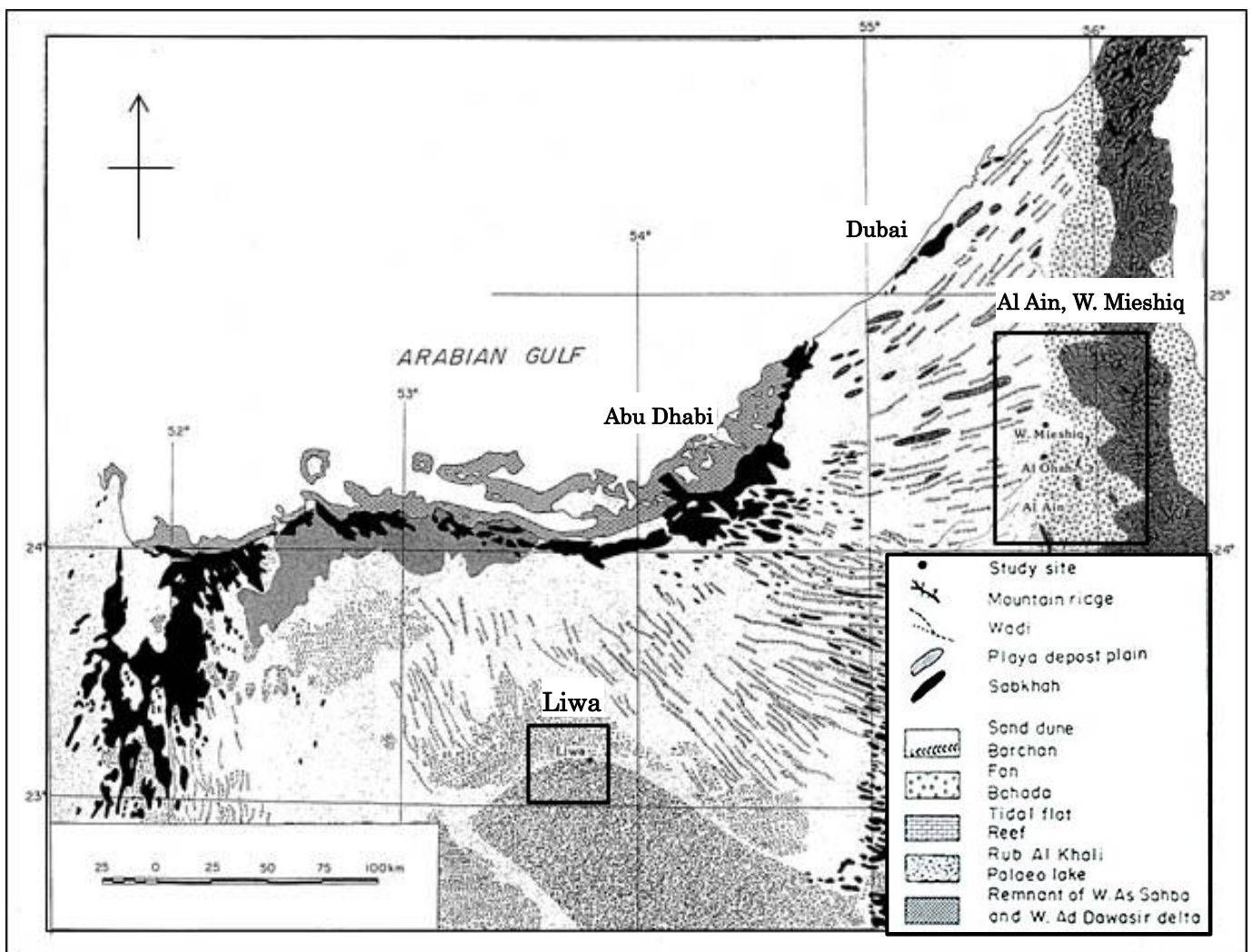


図8 UAEの地形 (□は精査地域)

脚注1：例えば "The national atlas of the United Arab Emirates(1993)" などが市販されていて、おおいに参考になる。

脚注2：内陸サブカは砂丘に被覆される前の湖沼、あるいはワジの堆積物が特定された場合のことを指し、プラヤは単に凹地、あるいは砂丘間低地という地形形態を指しているようである。しかし明確には区別されていない。なお UAEのプラヤは侵食・堆砂をもたらす風の営力によるものが多い。

写真 4 は UAE における内陸サブカの例で、写真 5 はその堆積物の近接写真である。UAE の大部分の砂丘の厚さは地表に見る部分がほぼこれに対応し、その下は砂丘で覆われる前は巨大な湖沼、あるいは河川であったろうと推察されるのである。



写真 4 UAE の内陸サブカ



写真 5 同左の近接（塩分の析出）

内陸サブカは写真 4 のように湿地帯になっている場合もあり、写真 6 のように塩分濃度の高い水を湛えている場合もある。その供給源は砂丘地下水であることは間違いない。図 9 はその模式図で、UAE 内陸部の Liwa (リワ) オアシスと湾岸地方を結ぶ南北方向の水循環模式図である。



写真 6 水を湛えるプラヤ（内陸サブカ）

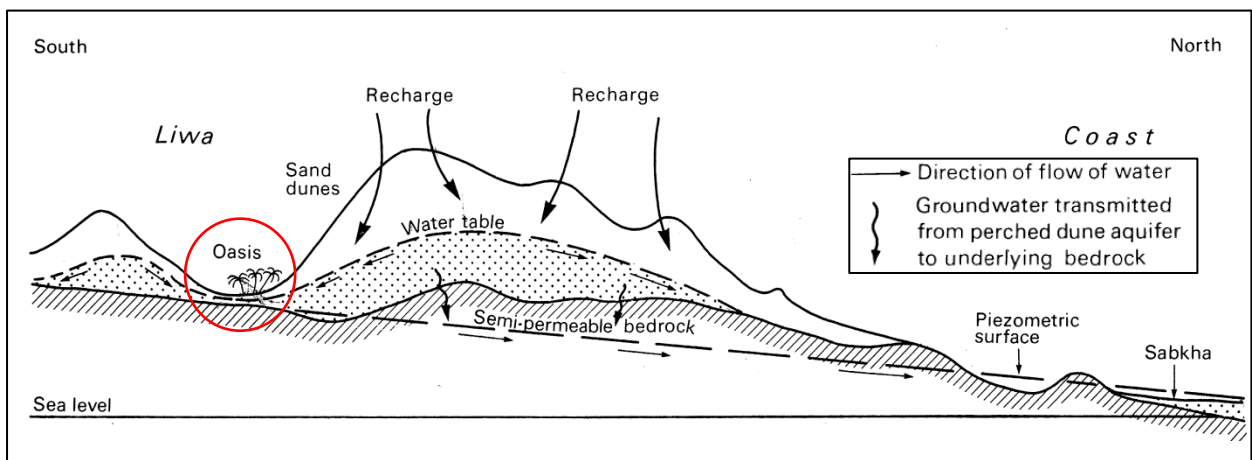


図 9 リワオアシスとアブダビを結ぶ方向の模式断面（出典：図 2 に同じ）

数年に1回という頻度で発生する豪雨時に半透水性の基盤上にレンズ状の淡水地下水体が形成され、その後徐々に深部へと浸透してゆき、オアシスの水を維持している(図中○印)。UAEのリワ地域にはこのようなかたちの地下水を利用した灌漑地が各所にみられる(写真7)。



写真7 オアシスの地下水利用 (UAE Liwa Oasis)

リワオアシスについて(位置は図8参照)

リワオアシスは、南に Rub Al Khali 砂漠に続く最大高さ 300m を超す規模の大きい砂丘群が迫り、北は比高が小さくかつ起伏の少ない砂丘列が展開していて、リワはその境界部に位置する。写真8

はリワオアシスの遠望で地形的にはプラヤの特徴を示している。

ここでは写真9のように近年農耕地としての開発が著しい。



写真8 リワオアシスの遠望

写真に見るように砂丘底面付近は水気が多く、耐塩性作物の農耕地としては良好な条件にあることが推察される。

灌漑用水は塩分濃度の高い地下水を深井戸によって汲み上げ、湾岸地方から送水されてきた脱塩水をこれにブレンドしている。



写真9 砂丘の大規模開発



この地域の砂丘砂は見かけとは異なり、シルト分も多く、野菜栽培には適しているようで、十分な水さえ与えれば収量は大きい。

採れ過ぎた作物は勿体ないことにダンプカーで運ばれて、巨大な砂丘間低地に処分され、写真 10 のように辺り一円を真っ赤に染めている。



写真 10 リワオアシスの野菜処分地

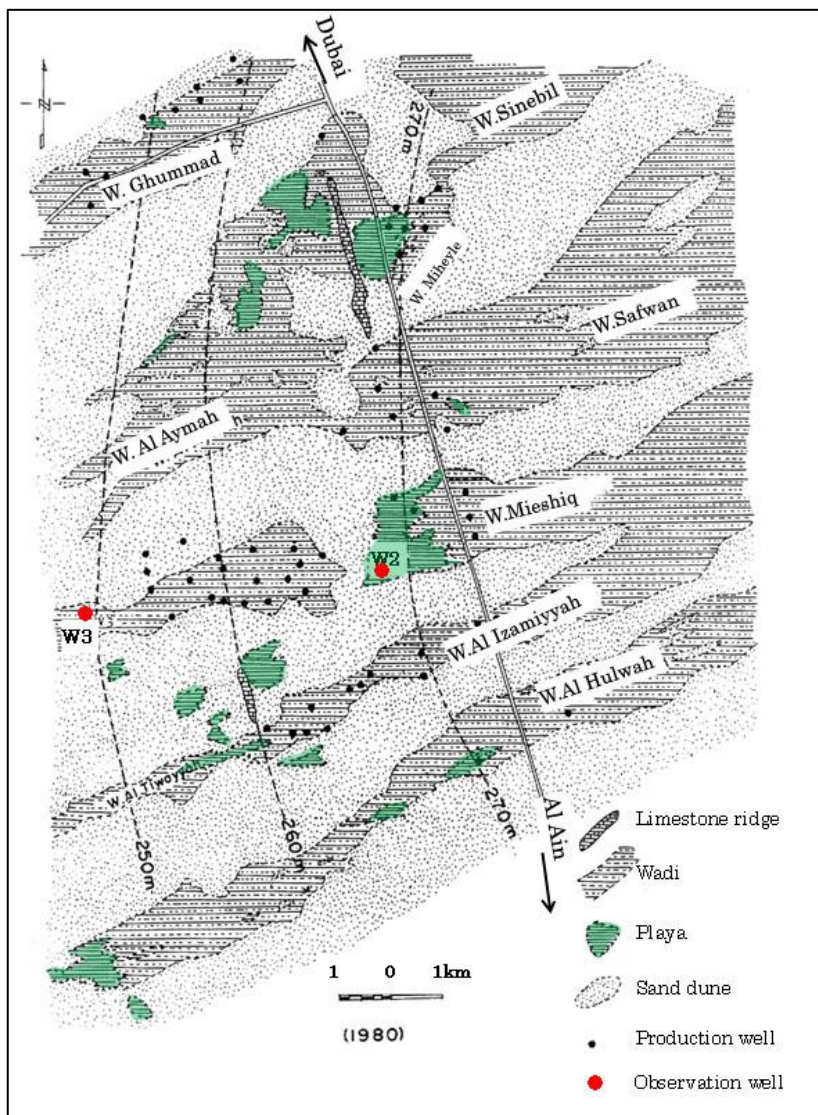


図 10 ワジとプラヤの関係 (位置は図 8 を参照のこと)

図 3 にあるように水循環からみて、UAE のプラヤはワジとの関係が深い。ここではオマーン山地に発して砂漠に至るワジは、図 10 にあるようにその末端がプラヤで終わっていることが多い。

数年に 1 回という間隔でもたらされる豪雨でワジは大洪水流と化し、その末端部の凹地帯、つまりプラヤには数か月にわたって湖水が出現する。

この湖水は最後には蒸発と浸透によって消失する。

次ページの写真 11 から 16 にその過程を示しておく。



写真 11 プラヤの植生①



写真 12 プラヤの植生②



写真 13 普段のワジ



写真 14 洪水時のワジ



写真 15 湛水時のプラヤ



写真 16 蒸発乾固したプラヤ

蒸発乾固したワジやプラヤの底面の堆積物には洪水の痕跡が残されていて、その規模やプロセスを読み取ることができる。たとえば写真 17, 18 は漣痕(ripple mark)で、懸濁物質は写真の右(上流)から左(下流)に向かう風の影響を受けながら静かに堆積したことが分かる。湛水域はその面積を次第に減少させ、乾いたところから亀甲状の亀裂

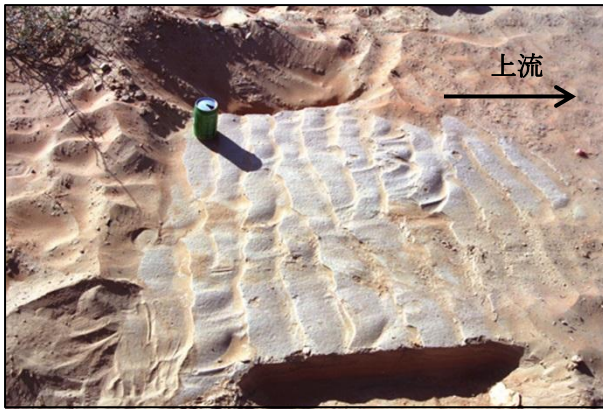


写真 17 風成砂にカバーされた漣痕

が生じる。亀裂の深さは数cmに満たないが、乾燥が長く続くとその深さは 50 cm 以上に達することがある (写真 19)。大きな亀裂は後続の洪水堆積物によって埋め立てられる。その後上部は風成砂によってカバーされる。



写真 18 同上断面

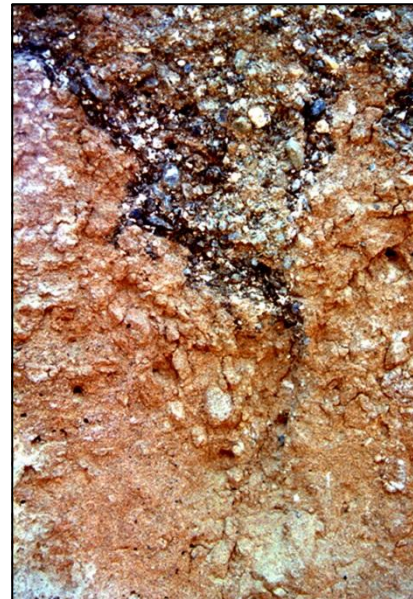


写真 19 洪水堆積物中の亀裂



写真 20 風成層と洪水堆積層の輪廻

このような洪水堆積物と風成層は写真 20 のように、周期的に発生する豪雨を反映した堆積輪廻を残している。なお洪水堆積層の下部には亀甲亀裂によって細片化されたシルト層を起源とする“mud fake”つまり偽礫が挟在することが多い (写真 21)。



写真 21 洪水堆積層と偽礫の関係

ワジやそれに連なるプラヤの存在が地下水涵養にとって都合の良い条件となっていることは図 10 において深井戸がこの辺りに集中していることから窺い知ることができる。また図 11 のように電気伝導度においてもワジ～プラヤ地域で周辺より低くなっている傾向が認められ、図 3 の涵養機構が当てはまっている。

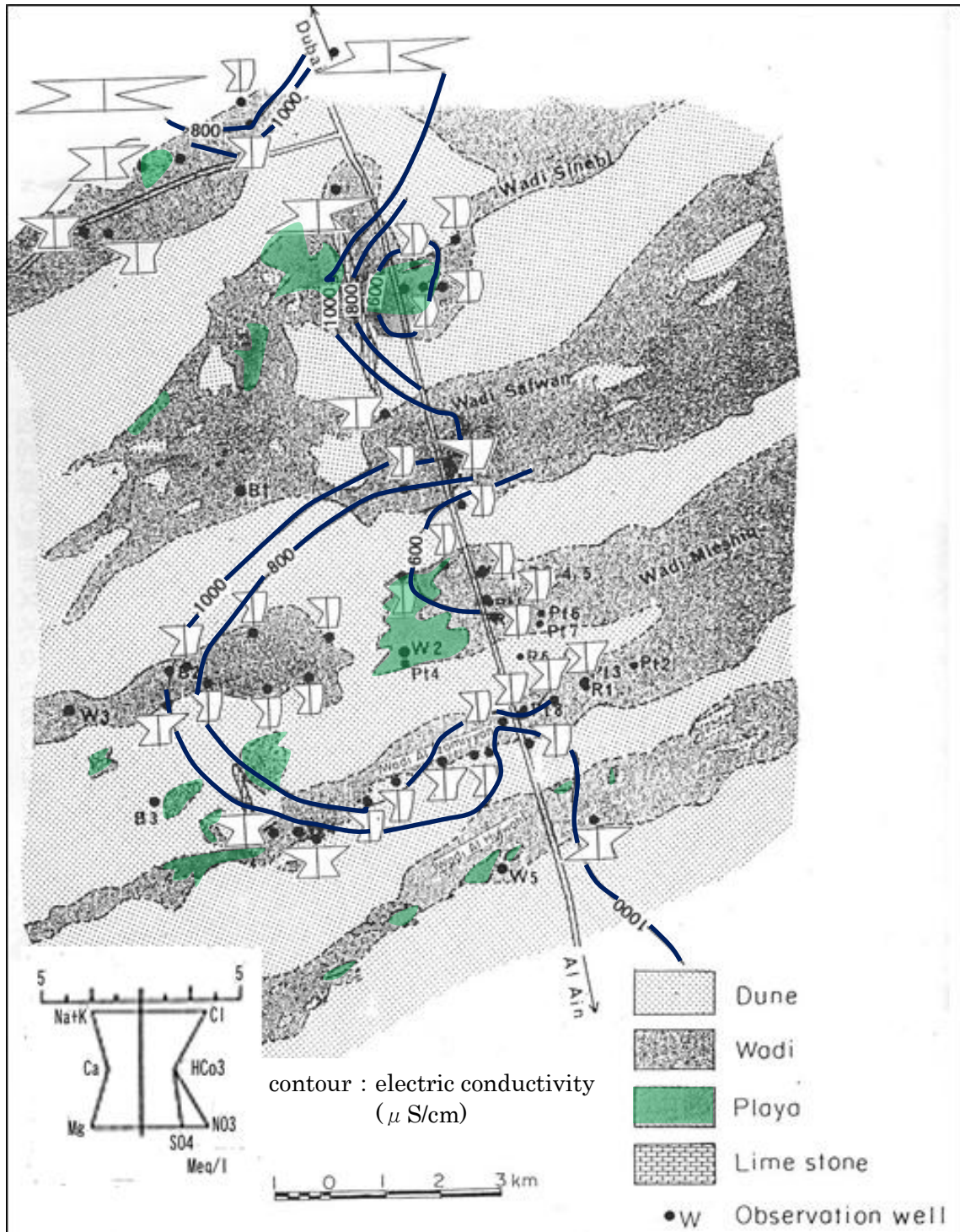


図 11 精査地域 (図 8 の Al Ain, Wadi Mieshiq) の地下水質  
(出典: 新藤静夫他(1998): 「アラブ首長国連邦の水文」、文部省科学研究報告)

なお図においてこの地区に集中する深井戸（●印）が注目されるが、涵養量は揚水量に追いついていないため、水位低下が目立つ。図 12 はその記録の一例であるが、雨期においても地下水位の上昇は僅かで、全体として地下水の低下が続いているが、まとまった降雨がもたらされると、一時的な回復現象が認められ、Wadi~Playa 地帯の地下水涵養機能が評価される。

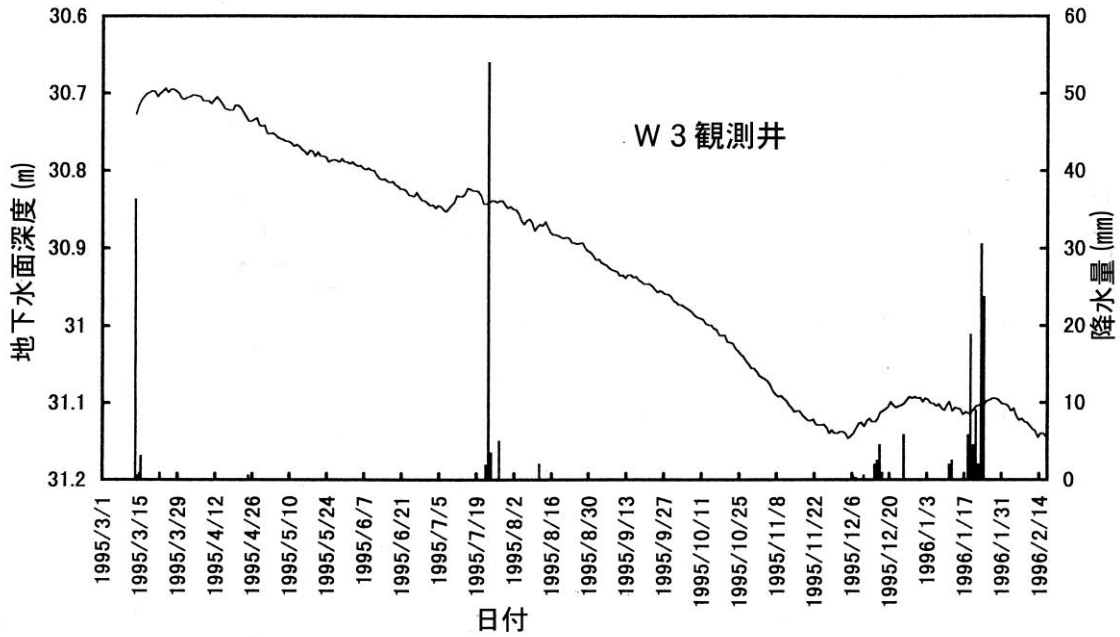


図 12 Wadi~Playa 地帯の地下水位変動記録  
(出典：図 11 に同じ)

付録：図 2 に対応した景観



写真 22 オマーン山地の山麓斜面

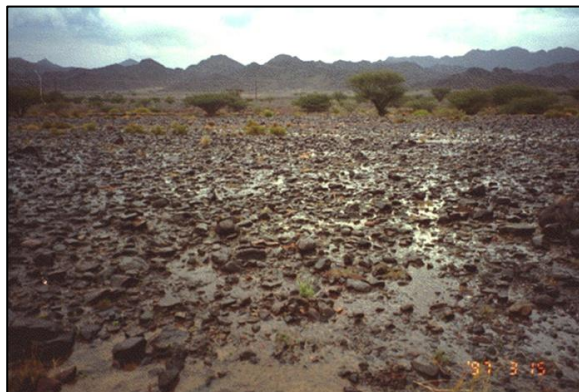


写真 23 Bajada zone における豪雨時の地表流



写真 24 ワジ・プラヤ・砂丘の景観  
(手前より前方へ Hafit 山(1100m)からの眺望)

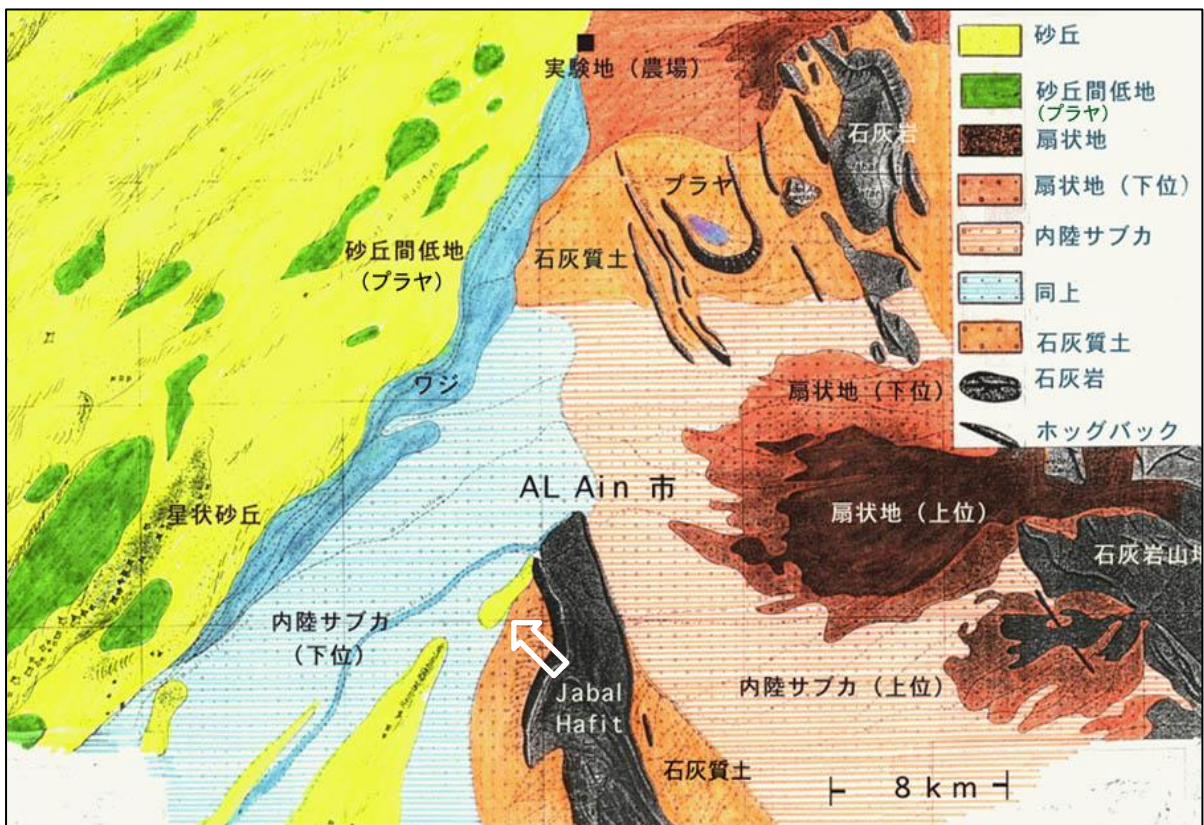


図 13 Al Ain 市付近の水文地質図 (矢印は写真 24 の方向)  
(出典: 図 11 に同じ)