7 伝統的な水利システムと灌漑技術

前回、中東の乾地農業（半乾燥地の非灌漑農業）と、オアシス灌漑農業（砂漠気候における灌漑農業）について紹介しました。そして、乾地農業からオアシス灌漑農業への移行によって農業生産量が飛躍的に増大し、メソポタミアやエジプトの古代文明が開花したことを学びました。

この大規模な灌漑農業への移行には、土木・水利の技術と多くの人を動員できる一定の人口規模が必要ですから、農業生産力の発展が前提となる。上流の小さな河川から中流河川、そして大河川へと徐々に下りて行きながら農業生産を増やし、人口と社会の規模を拡大していったと考えられる。オアシス灌漑農業はその後も中東農業の主役であり続けているが、これにはすぐれた技術と人の営為によって、砂漠をオアシスに変えてきた歴史があります。

今回はこのオアシスの農業地帯の発展に歴史的な役割を果たしてきた２つの灌漑技術、**カナート**と**ベイスン灌漑**を紹介します。前者は地下水利用の伝統的技術であり、後者は河川の氾濫を使用する灌漑のシステムです。

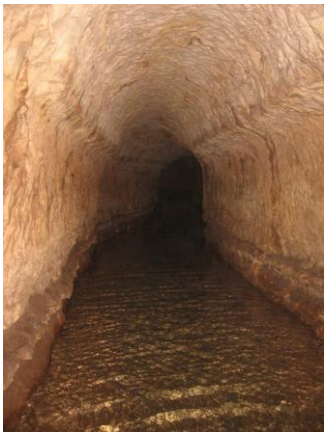
カナート

カナート A

カナート B

カナートは、地下水を地下水路によって地表に導く大規模な伝統的水利施設です。古代より現在に至るまでイランを中心とした中東各地の乾燥地で利用されてきました。

右上の写真（B）はこのカナートの外観です。「巨大なアリの巣」のようにみえるのは、この下を走る地下水路に至る縦穴で、中央に直径 80cm ほどの穴が地下水路まで掘られています。地下水路の掘削また修理の際に、泥を地上に引き上げ縦穴の周囲に積


カナートの地下水路

んだことで出来上がったものです。地下水路に溜まった泥を毎年積み上げてきたことで、長い年月の間にこんなに巨大になったのです。しかし、多くのカナートこれほど大きな「アリの巣」にはなっていない。

作業する人はこの中央の穴から出入りする。そしてこのアリの巣が数十メートルの間隔で地下水路の上に延々と続いている。

左上の写真（A）は別のカナートを上空から撮影しれたものです。紐のように延々と続いています。地下水路の長さは平均で 10km ほどですが、長いものは 30km を超えています。この縦穴を辿って端から端まで歩いたとすると 8 時間ほどかかる長さです。そして、カナートの地下水路を延々と流れてきた水が地表に現れたところからこのカナートを利用する村の農地が広がります。

図 7-1　カナートの構造

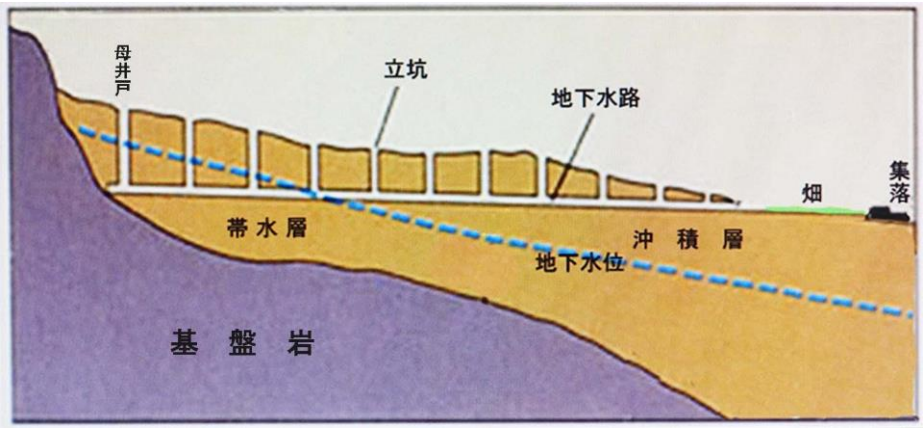
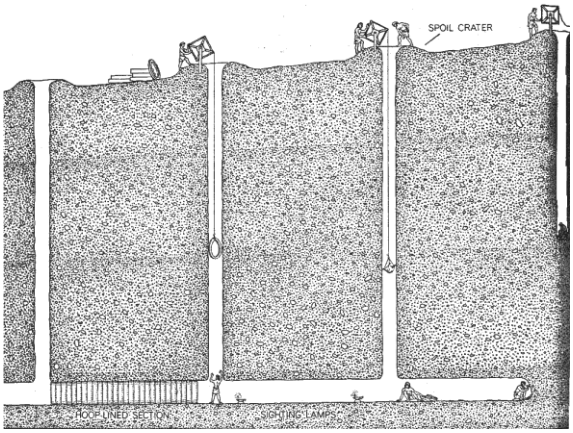


図 7-1 はカナートの構造図です。わかり易くするためにかなり単純化されています。水色の破線は地下水位を示し、その下が帯水層になります。カナートはこの帯水層の水を、人力で汲み揚げるのではなく、重力に逆らわずに地上に導くところに構造的な特徴があります。

カナートの建設は、まず山裾を探査し地下水のありそうなところに母井戸を掘ります。帯水層に十分な地下水が確認されると、掘り下げられた母井戸の立坑からほぼ水平に地下水路を掘っていく。水流が速いと地下水路が壊れやすくなるため 1000 の 1 ないし 2000 分の 1 の

緩い傾斜で掘り進めます。地下水路は 10km 以上あるものも多いため、通常数か所から掘り進めてドッキングする。このため高度の測量技術を要し、モカンニーと呼ばれる専門の技術者がこれに当った。



カナート掘削の様子

立坑から滑車で土砂の入った革袋を揚げる

水路を掘った土砂を地表に運ぶために数10メートルごとに立坑が掘られる。土砂は革袋に詰められて踏み車で立坑から地表に引き上げられ、穴の周りに積み上げられ、巨大なアリの巣が作られていく。

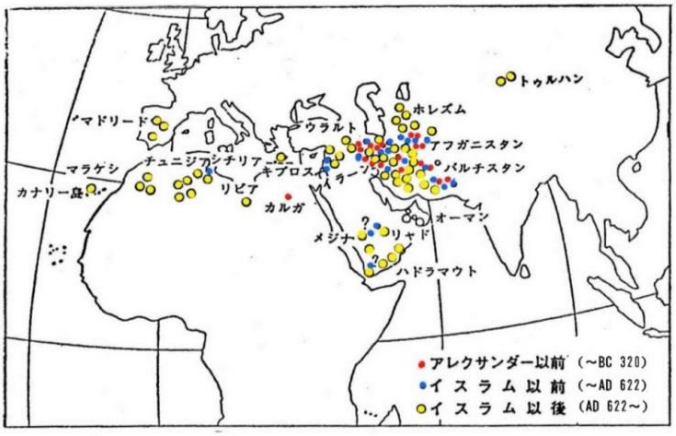
この土砂の山は外から土砂や水が地下水路に流れ込むのを防ぐ役割を果たしている。また立坑は作業員の出入り口でもあり、地下で作業をする人のための換気口の役割も果たし、落盤のときの逃げ道にもなります。

カナートの歴史と分布

カナートの歴史は古い。遺跡調査によってその歴史をたどることができる。一説には 7000 年前にさかのぼるともいわれているが、3000 年以上前にあったことは多くの遺跡から確認されています。

図 7-2 はカナートの遺跡を時代別に地図上にドットしたものです。これをみるとイスラム以前（BC622 以前）のものはほとんどがイランとその周辺に分布しており、カナートの発祥がイラン付近であることは確かです。そして中東の他の地域や西域に伝播していくのがイスラム以後、つまり AD7 世紀以降になってからであることがわかります。西は北アフリカからイベルア半島まで、南はアラビア半島の南部イエメンまで、そして北は中央アジアのトルキスタンからさらに西域のトルファンにまで伝播しています。

図 7-2　カナートの遺跡と分布

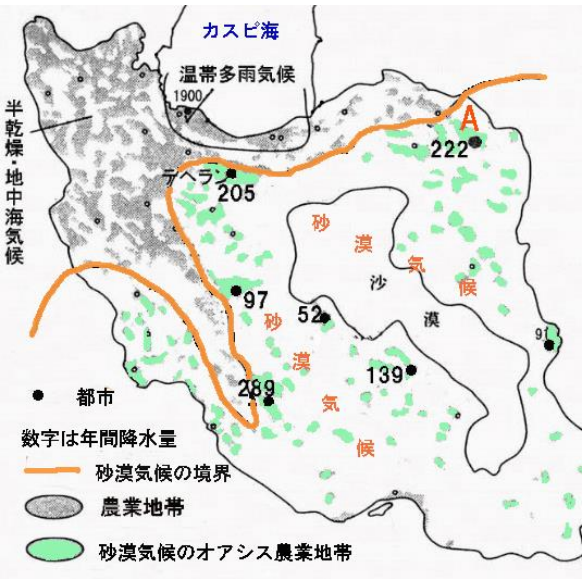


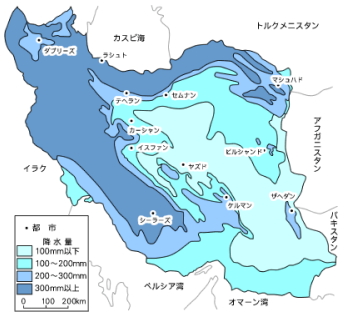
同じカナートも地域で名称が異なっている。イランでは**カナート**ですが、アフガニスタンで**カーレーズ**、アラブ地域では**フォガラ**と呼ばれている。

しかし数ではイランが多い。とくに砂漠気候のイラン高原の中心的な灌漑施設であり、20世紀半ばに 4 万以上が使われていた。イラン全体では、灌漑農地のほぼ半分がカナート灌漑によるものでした。

オアシス灌漑農業地帯とカナート

図 7-3 イランの農地分布図

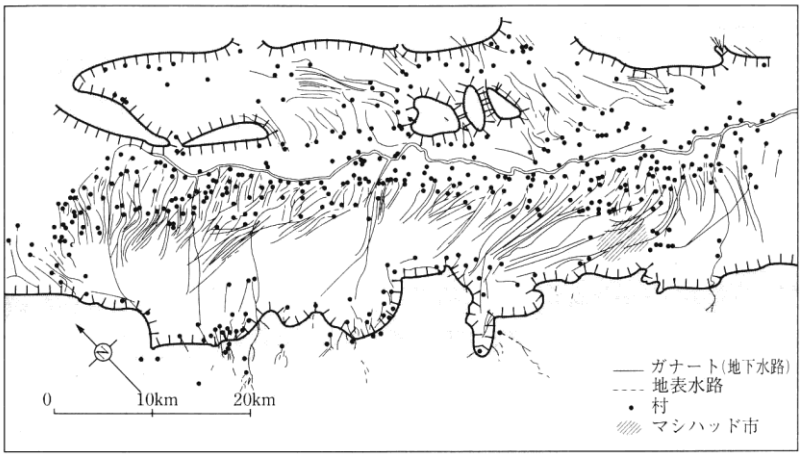




寒冷地を除くと、非灌漑による農業が成り立つには、降水量が少なくとも 400 ミリは必要だ。砂漠気候帯は年間降水量が 300 ミリを切るため、天水のみの農業は不可能で、農業を行うには人工的な灌漑が不可避です。カナートはこの砂漠気候のところに数多く建設され、砂漠をオアシス農業地帯に変えるすぐれた施設となっている。

図 7-3 はイランの農地分布を示したものです。斑点のように塗られたところが農業地帯で、オレンジ色の線は砂漠気候の境界を示しています。イラン高原はこの線の南東側にあり、この図に隣の降水量分布図と地形図を重ねてみると、ここが降水量の少ない砂漠気候であり、農業地帯が山際から続く平坦な地形にあることがわかります。緑色に色分けされているのは砂漠気候帯にあるオアシス農業地帯であり、ここにカナートが多く分布しています。地図上では緑のシミのようにみえますが、その一つ一つの規模は大きく、関東平野ほどの大きさをもつものもあります。ちなみにイランの国土面積は日本の 4 倍です。

図7-4　カナート灌漑によるオアシス灌漑農業地帯



次に、カナート灌漑によるオアシス農業地帯の事例を紹介します。

図7-4 は、イラン北東部にあるオアシス農業地帯です。（図7-3 のA点に当たる）　20世紀半ばの航空写真をトレースして作られた地図で、個々のカナートが線で強調されています。また小さな黒丸は村（集落）です。この地方は平行に伸びる山に囲まれた盆地地形をなし、カナートは山裾から緩やかな傾斜で盆地中央部の平野に向かって伸びています。日本の甲府盆地をイメージするといいでしょう。

カナートの長さは10km 前後のものが多く、長いもので20km 程あります。そしてガナートの線が切れたところ、つまり地下水路が地表に現われた付近に集落（図7-6の黒丸）が点在しています。灌漑農地はカナートの地下水路が地上に現れたところから広がっています。

これをみて、カナートの数の多さに驚くのではないでしょうか。このうちどれ程が当時稼働していたかは不明ですが、カナートによって開かれた200以上の集落からなる大規模なオアシス農業地帯であることがわかります。この地方は砂漠気候ですから、カナートがなければ半砂漠であり、カナートを建設することで砂漠がオアシス農業地帯に変えられた歴史があるのです。「オアシスは人の営為で作られたもの」であることを知ってもらえればと思います。

カナートの建設の費用については、カナートの規模で違いがありますが、ある推計によると、１キロメートル掘るのに農民20人ないし50人分の年収分の費用がかかるといいます。多大な資金と労力によって作られたのがカナートですから、オアシス農業地帯が村の農民の力のみで作られたとは考えにくい。人を動員できる権力者や資金をもつ地主の力が必要でした。これは逆にいえば、こうした力が失われカナートを維持管理する能力が失われれば、オアシス農業地帯はふたたび砂漠に戻っていくということでもあります。長い歴史のなかでオアシスは縮小も拡大もしてきました。

カナートからポンプ井戸へ

イランでは、1970 年代にディーゼルエンジンのポンプで地下水を汲み上げる井戸が普及をはじめた。とくに 1980 年代以降になって沢山の井戸が掘られ、過剰に地下水が汲み上げられた。この結果、地下水の水位が急速に低下し、カナートの水量が減少、さらに枯れていったが、井戸の普及がもたらした問題については次回のテーマとします。

ポンプで地下水を汲み上げる

【 参考文献：岡崎正孝「カナート」論創社、1988 】

ナイル川の伝統的な灌漑システム

ナイル川はアフリカの内陸とエチオピアに源流をもち、スーダンやエジプトの砂漠地帯を北上して地中海に注ぐ。流域には 11 の国があり、水源をもたない最下流のエジプトにとってナイル川は国の外からやってくる外来河川である。エジプトは国土のほとんどを砂漠が占め、首都カイロの年間降水量は 26 ミリ、上流のアスワンはわずかに 1 ミリで、雨はほとんど降らない。つまりエジプトを流下するナイル川の水はすべて上流の国々に降った雨を集めたものである。にもかかわらず、エジプトはこの川の水の 70%弱を使う権利があり、このことが流域の国々との間の紛争を引き起こしている。

古代エジプト文明はナイル川流域で開花した。5000 年ほど前には、世界の人口は 1 億人ほどと推定されている。この頃、エジプトのナイル川流域だけで 800 万人以上の人口があったと考えられている。この人口推計を信じると、ナイル川流域だけで世界の人口の 10%前後が住んでいたことになる。

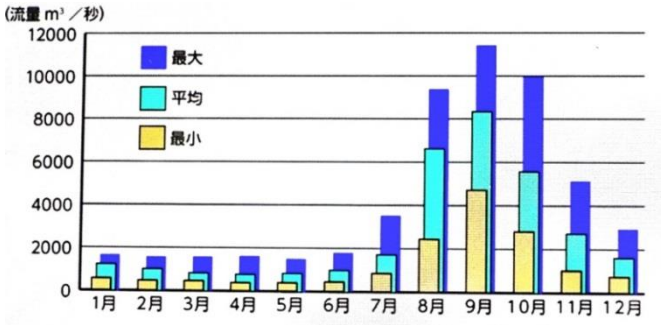
前回、人口は農業生産量と密接な関係があり、乾地農業から灌漑農業への移行で大幅な人口増があったことを確認した。古代ギリシャの歴史家ヘロドトスが「エジプトはナイルの賜物」といったのは、エジプト文明が繁栄したのはナイル川の水のお蔭であり、この水が豊かな農業地帯を育み、多くの人口を養うことができたことを表現したものであった。

ナイル川

ベイスン灌漑（氾濫灌漑）

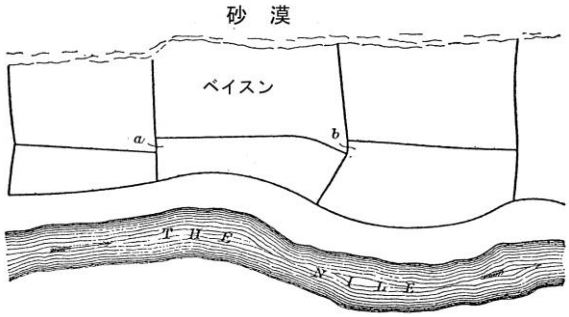
ではこのナイル川の水はどのように農業に利用されてきたのか。古代から 19 世紀まで延々と続いてきたのが、毎年訪れる河川の氾濫を利用したベイスン灌漑（氾濫灌漑）と呼ばれるものであった。

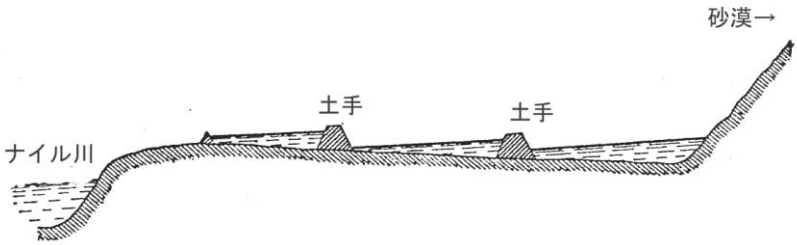
図 7-5　ナイル川の月別平均流量（アスワン地点、1900-64）



ナイル川の流量は季節によって大きく変動する。図 7-5 は月別の流量を示したものだが、8、9、10 月の 3 か月間に流量が大幅に増える。このため、川の水位はこの季節に渇水期と比べて 6～8 m も上昇し、ナイル川流域の農業地帯に氾濫する。氾濫といっても日本の川をイメージすると誤る。勾配が大きい日本の川は、水が急流のように流れて堤防を決壊して氾濫する。これに対して、勾配の小さなナイル川の氾濫は、川の水位が毎日少しずつ上昇し、そして水位の上昇で川の水が徐々に流域の農地に溢れていく。

図 7-6　ナイル川流域のベイスン





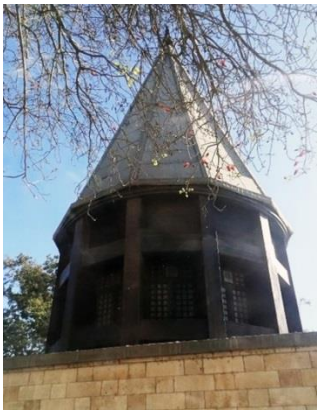
ベイスン灌漑はこの氾濫するナイル川の水を農業に上手に利用していくための灌漑の伝統的な技術である。図 7-6 にみるように、耕地を土手で囲み、氾濫水をこの土手のなかに流し込んでプールのように溜め、土壌を十分潤してから排水する。そして排水後に潤った土壌に種まきをして作物を生産する。日本の河川では土手は氾濫を防ぐ堤防の役割を果たすが、ナイル流域では氾濫水を取り込むために土手が築かれていた。

ベイスンの大きさは、1 万ヘクタール以上の大きさのものから 100 ヘクタール規模のものまであり、氾濫水を水路で土手の内部に導入し、2 か月ほど 0.5mないし 2mの深さに湛水する。そして氾濫が治まる頃に排水をして、作物を栽培する。氾濫が 8～10 月であるから作物を作るのはその後になる。またこの灌漑方法では 1 年に 1 作しか作ることが出来ず、また毎年の耕作地の面積は氾濫の程度によって変わってくる。

前回、メソポタミアの塩害の話をした。チグリス・ユーフラテス川流域では塩害で農地がしばしば崩壊し農業ができなくなった。灌漑を繰り返すことで起こる塩害は中東の乾燥地では宿命のようなもので、農業生産を続けるには排水などの技術を必要とする。

これに対してエジプトでは、ベイスン灌漑によって 5000 年以上もの間農業が続けられてきた。この持続的農業を可能としたのは、毎年氾濫水をベイスンに引き込んで湛水してきたことによる。湛水することで土壌の塩を溶かして排水することができ、長期に塩害の被害を受けることがなかった。

ベイスン灌漑には土壌の肥沃度を維持する効果もあった。氾濫によって肥沃な土壌（エチオピアの流亡土壌）が毎年堆積した。このため肥料をやらなくても土地の肥沃度が維持できた。ベイスン灌漑によって塩害と肥料の問題が解決されたことで、持続的な農業が可能であったのだ。


ナイロメーターの建物

ナイロメーター

ベイスン灌漑では、氾濫時の水位で耕作地の規模が決まった。水位が高ければ氾濫する面積が大きくなり、氾濫後の耕地が増え、水位が低ければ耕地が減少した。このためナイル川の水位の変化を知ることが支配者にとって大きな関心事であった。

このためナイル川沿いの各地に**ナイロメーター**（水位観測のための施設）が設置された。ナイロメーターはナイル川とつながっていて、ナイル川の水位がここで計れるようになっていた。ここに記録された水位を観て灌漑の対策が練られたのである。

ベイスン灌漑から水路灌漑へ

ベイスン灌漑は古代エジプト人の知恵による優れた灌漑システムであり、5000 年以上の長期に渡ってナイル川下流域で続いた。しかし輸出農産物としての綿花の生産が普及し、農業の近代化が進められていく 19 世紀になると、ベイスン灌漑からより近代的な灌漑方式への転換が課題になってきた。

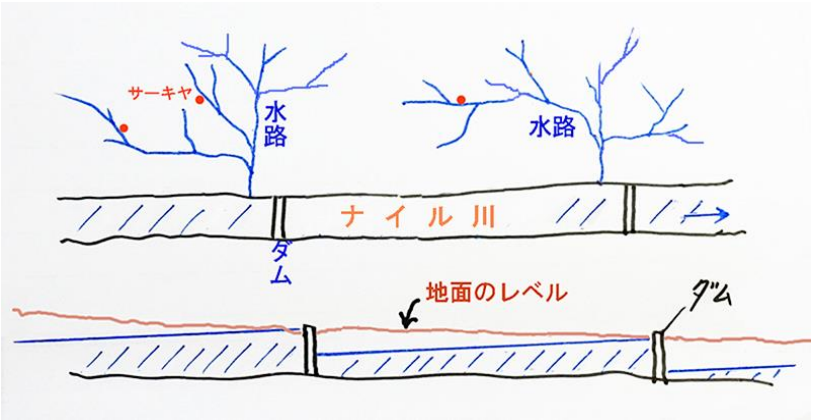
西欧では 19 世紀初めの産業革命で機械制工業による綿織物工業が盛んになる。後に詳しく話すことになるが、エジプトはこの綿工業の原料生産地として注目され、エジプト政府も綿花生産を奨励した。しかしベイスン灌漑は夏作である綿花生産に適さなかった。また農地は 1 年に 1 作しか可能でなかった。 綿花生産地を拡大し作物を 1 年に 2 回ないし 3 回作れる集約的な土地利用を行うには、年間を通じて灌漑を行うことができる灌漑システムへの転換が必要になった。このためには、

① 氾濫を抑えると同時に渇水期にナイル川の水位を上げ、水位の安定をはかる。

② 水路によってナイル川の水を農地に配分するシステムとする。

③ そして、このためのダムと水路の建設を行うことが必要とされた。

図 7-7　ナイル川のダム（堰）と水路灌漑（模式図）

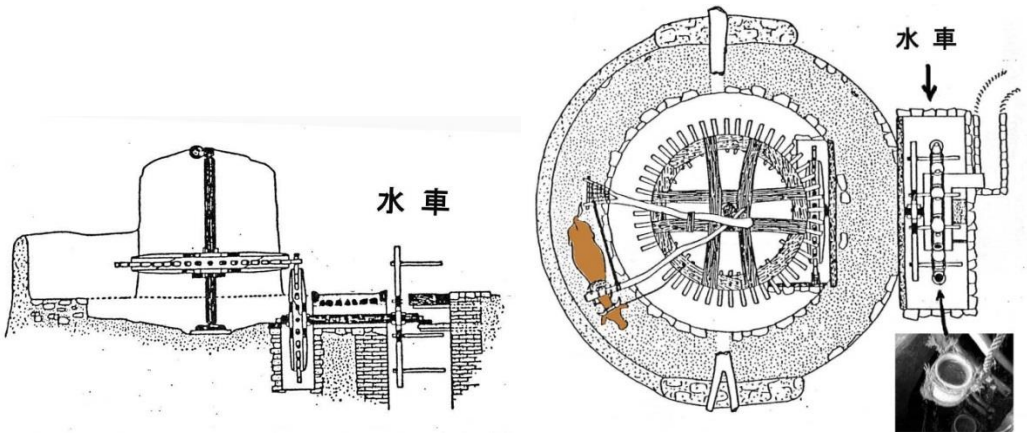


ナイル川は季節によって水位が変化する。渇水期には水位は非常に下がるが、上昇期には氾濫する。この季節による変動を抑えるにはダムの建設が必要である。これにより図 7-7 のようにダム（堰）によって渇水期には水位を上げ上昇期には氾濫を抑えて水位を平均化し、水路によって耕地に水を送るという灌漑システムの転換が求められた。

この事業は、最終的には 1970 年のアスワン・ハイダムの建設を待たなければならないが、19 世紀後半に、川をせき止めて渇水期の水位を上げるための複数のダム（堰）が流域に作られ、水路の掘削が行われた。1902 年には貯水ダムをもつアスワンダムが建設されている。氾濫期に水を貯水して渇水期に水を流す機能をもつダムである。

この新たな灌漑システムによって、氾濫灌漑から水路による一年を通して灌漑が可能な通年灌漑へと徐々に移行した。ただ当時のダムの機能では渇水期の水位を高めるのに十分ではなく、このため水路を深く掘らないと十分な水を送ることができないところも多くあった。また水路で送られてくる水は耕地のレベルよりも低かったため、水を汲み揚げる装置を必要とした。エジプトでは**サーキヤ**と呼ばれる家畜がけん引する水車が使われ、この水車で汲み上げて耕地を灌漑した。

図 7-8　サーキヤ



サーキヤの側面図　　平面図（牛が水車を回している）

アスワン・ハイ・ダムの建設

1970 年、アスワン・ハイ・ダムが建設された。このダムは高さ 111m、全長 3600m の巨大なダムで、ダム湖（ナセル湖）は日本の大ダムの数百倍の貯水量がある。

このダムの建設で灌漑のシステムは再び大きく変化した。それまでの水路灌漑はダム（堰）によって水位を上げ、ナイル川から水路を引くというものであったが、このダム建設に伴う水利システムでは、ダムから基幹用水路―幹線用水路―支線用水路―配水路と樹木の幹から末端に張りめぐらせる方式も並行してとられた。

アスワン・ハイ・ダム

これによって、農地面積は大きく増え、1960 年に 250 万ヘクタールだった農地面積は、2005 年には 350 万ヘクタールへ 40%増えた。また低水期の月平均流量は 400 ㎥から 1200 ㎥へと 3 倍に増え、年間を通して灌漑が全面的に可能になり、農地の利用率は 1 年 1 作から 2 年 5 作へと高められた。末端の水路では水位が農地よりも低いところもあるが、かつてのサーキヤはディーゼルポンプに代った。

しかし、氾濫灌漑から水路灌漑への移行は持続的農業と環境問題の観点からは問題もあった。

① 灌漑方式の転換で水路から水を引いて耕地を灌漑するようになったことで将来的に塩害の被害を受ける可能性がある。

② 上流からの土砂がナセル湖に堆積し、肥沃な土壌が耕地に供給されなくなった。

③ 土砂が地中海に流れなくなりデルタの浸食が起こっている。

④ 氾濫がなくなり地中海のナイル川沖の生態系が変化している。

カナート灌漑はポンプ揚水井戸灌漑へ移行、氾濫灌漑はダムの建設によって水路灌漑へ移行し、伝統的な灌漑水利システムは近代的なシステムへと変った。これによって灌漑農地は拡大し、農地の利用率も高まった。

しかし一方で、持続的農業という面では課題もあった。カナート灌漑は地下水の安定によって維持され涵養される地下水以上の水が使われることはなかった。しかしポンプ揚水では涵養される以上の水が汲み揚げられ、現在地下水位の異常な低下を招いている。またナイル川の水利用の転換には塩害などの問題が残されている。持続可能な農業という面では歴史に学ぶところもあるのではなかろうか。