

(参 考)

モロッコ王国ウジュダ州アイン・ベニ・マタル県における
帯水層からの水供給不足とその結果について

ALIMENTATION INSUFFISANTE DES COUCHS AQUIFERES
ET SES CONSEQUENCES DANS LA REGION D'AIN BENI
MATHAR by Eckhardt Sungter

英文要約

モロッコ東部の高原には、ジュラ紀の帯水層が広い地域に亘っている。しかし、その上部には第三紀後期にあたる不透水性堆積物でおおわれているため、一時的に河川の水が深く浸透した場合のみ帯水層に涵養されることになる。ビエゾメーターの圧力が次第に低くなっており、揚水量がその涵養量よりも大きいことがわかる。又、トリチウム値が低く、放射性炭素(14C)測定で地下水の年代がBP 20,000年と推定されることから、古い時代の地下水が多量に残留されているものと思われる。

発電所やJerada炭鉱には十分な水が供給されているが、今後、かんがいに必要な水量が減少していくことを予期しなくてはならない。遊牧民も又、被圧地下水頭の低下によって、枯れてきて影響をうけることになる。

はじめに

この地域の地下水開発は1930年代にAin Beni Mathar(アイン・ベニ・マタル)の被圧地下水量が毎秒約500ℓから350ℓに減少したとき、吸水ポンプで採水量を確保する試みがなされた。Guéfait(ゲフェ)の水源では、帯水層から毎秒約2 m³の水がとれた。この水は、自然に流出したり、ポンプによって採水されたものであった。ところが、ゆっくりとしかもコンスタントに涵養されるこの帯水層には、いまだに解決されない問題が存在しているのである。

自然環境

北部Jerada山脈と南部Haut Atlas間には大きな広がりがある(900~1600m)。西部にはMoulouya(ムルヤ)地溝があり、河川で区切られ、きりたった断崖で終わっている。東部には、アルジェリアとモロッコの国境があつて、不自然なラインで区分されている。北部ではOued el Hai(ハイ川)が第三紀の堆積層の中を水平にあるいはラグーン状に流下しており、特色ある様相を呈している。高原部では、小さな丘が見られ現住民はそれを“Terrain des gour”(テラン・デ・グール)と呼んでいる。高原の南部にも小さな丘が存在する。又、この

中央部分では丘の拡がり小さくなり、“daya”（ダヤ）と呼ばれる水のない部分が存在する。*Stipa tenacissima*, *Lygeum spartum*, *Artemisia herba* という草や、花が点在している。樹木はほとんどみられない。北西部奥の Gada de Debou（ガダ・ドゥ・デュブ）には、*Quercus ilex* や *Juniperus oxycedrus* といった森林や灌木が存在している。南部には、*Pinus halepensis* の植林が孤立してみられ、植性つまり森林は、この気候下で部分的に可能であることがわかる。

Gada de Debou の “Chênes Verts”（シェーヌ・ベール、緑の柏の意）と呼ばれる地域は、森林伐採でほとんど皆無となっているが降水を誘導させるものである。El Kbir（エル・クビラ）の断崖のところで典型的にみられ、年平均降水量が 578 mm を記録している。東部方面は、降水が極端に少ない。El Ateuf（エル・アトゥフ）では、300 mm 以上を観測することはもう期待できないであろう。南東部の Tendrara（テンドララ）では、185 mm の降水しかないし、Ain Beni Mathar では 202 mm しか計測されていない。とにかく、Hauts Plateaux では、年間降水量は変化が大きく、北西部では、1200 mm から 300 mm、南西部では 400 mm から 27 mm となっている。

高原の地形的特色および降水量の分布から、Hauts Plateaux の大部分では、水が北の方へ地形の傾斜に従って網の目のように流れこんでいる。その代表的なものが Oued Charef（シャレフ川）である。かんがいされている北西部ばかりでなく、Oued el Ateuf でも、この現象が 10 km にわたってみられる。それは、Toarcien 階（第三紀層）が不透水性の堆積物になっているためである。El Ateuf の下流では、河川はジュラ紀の Aalénien および Bajocien 統の分布する地域内で消失してしまっている。Oued Charef 盆地では、多量の雨が降り、このため流量が多くなることが実証されている。しかしながら、Hauts Plateaux 南部の地域では、Ain Beni Mathar の水量測定と同じような方法で計測できないことをつけ加えておく。地表に流出する水は、Matarka 付近で毎秒 5～6 m³ とみなされるが、この流出水は沖積平野で完全に吸収されてしまい、Ain Beni Mathar では、記録されなくなってしまうのである。水は何日にもわたって Oued あるいは daya という河川にたまることが多い。

水文地質学からみた特色は下層部に三畳紀の粘土層が存している。上層部には、ジュラ紀の石灰質層があり、亀裂が発達し、石灰岩とは違ってみえるが、ひろい範囲にわたって透水層として存在している。南西部の Hassi el Amar 付近についてみると、ジュラ紀の透水性の石灰質層と鮮新世の層との間には白堊紀の石灰層が存在しているが、これは、不透水性の粘土層を含んでおり、部分的にうすい帯水層となっている。

地下水の涵養は地表水が地下滲透して、新しい自由地下水層が形成されると考えられる。あるいは又、「wadi」と呼ばれる川から垂直方向、水が供給されるのではないかと考えられる。ビエゾメーター探査では、自由地下水ではレベルが季節によって上昇することが示された。こ

の変化は、" wadi " の水が堆積物の中へ流入するか、ジュラ紀の帯水層に流入する場合に限ってみられる変化であった。この現象は、例えば、井戸 38/18 号や 9/25 号において認められた。他の井戸についてもピエゾメーターで測定したが、大きな変化はなんら認められなかった。水頭勾配は、1000 に対して 4.6 から 0.2 の間で変動し、ジュラ紀層の地下水が地表へ露出する地域では、自由地下水がある程度、供給されていることがわかる。

Ain Beni Mathar, Taboudra, Guéfait の水は、放射性炭素 (^{14}C) 測定では、2000 年から 25,000 年と推定される。これに対して、Gada de Debdou で実施された分析、ジュラ紀の地層から構成される山脈および河川付近のさく井からの分析によると、新しい炭素が高い濃度で与えられ、新しい時代のものであることを証明している。1962 年以降の核実験によって、地下水には、はじめてトリチウムの影響が表われた。この地域では、20 UT 以上のトリチウム値をもつ地下水が流入していることが実証された。

これに反して、Ain Beni Mathar の水は、トリチウム濃度がわずかに増加していることが見出された。これは、地下水の供給量が小さいことを示している。例えば、Ain Beni Mathar の井戸 59/18 号についてみると、放射性炭素測定で 21,600 年 \pm 400 年と推定され、わずか 4.5 プラスマイナス 1.8 UT の濃度しか計測されなかった。Ain Kriane の井戸 11/18 についてみると、放射性炭素測定で 32100 年 \pm 1000 年と推定されているが、最近の測定では、トリチウム濃度 4.1 プラスマイナス 1.7 UT が検出され、わずかな増加があったことを示している。

水利開発

1930 年代までは、遊牧民および半遊牧民が、生活用あるいは、家畜用として地下水を使用していた。彼らは、北部および北西部のアーレン階あるいはトアルス階およびライアス統あるいは三疊紀層からなる高原のふもとより湧き出る良質の水を当てにすることができた。地下水の流路から判断すると、Ain El Kbir に現存する水か、Tissaf に存した水ということになる。これらの水は、化学的にみても、細菌学的にみても良質の水である。

これに反して、Hauts Plateaux の中央部に存する水は、供給の可能性および水質の点から不適當である。南部 Matarka 付近にたったひとつではあるが、泉が存在し、この地域の水需要をカバーしている。他の地域では、冬と春の降雨で井戸や貯水タンクにたまった水に依存している。降雨の少ない時には、「Oglat」(オグラ) とよばれるこれらの井戸が、完全に満されず、すぐに涸渇してしまう。このため、水が存在する牧草地には人畜の集中化がみられる。彼らは、雨水槽の水を節約するため、とくに春の季節には、自分らで工夫して得た水を使用している。すなわち川を掘って水をためたり、「rdir」(ルディール) と呼ぶ人工貯水池に水をためたりしてそれらを使用している。

Hauts Plateaux のもとと北部 (Ain Beni Mathar から Tabouda の区域) では、常に水が供給されている。Ain Beni Mathar の Oued el Hai には常に水が流れているからである。掘抜井戸は数多く存在し、それらの大きなものは Ras el Ain, Ain Tabouda, Ain Rhina, Ain Kriane の井戸である。

1930 年代なかばまで、泉, rdir 貯水池, oplat 井戸, 掘抜井戸の 4 種に依存していた伝統的な水の供給がその後次第に改良されるようになった。Gada de Debdou に小さい貯水池が建設され、Hauts Plateaux に整備された井戸まで、30km 以上にわたり重力による方法で水が引かれた。遊牧民への水供給用として水揚風車やポンプが Ain Beni Mathar と Figui (フィグ) を結ぶ国道沿いに設けられた。しかし、1980 年まで機能していたのは、たった 2 つのポンプのみで、残りのものは、役に立たなかったり、故障したりしたままになった。

Ain Beni Mathar では別の状況が見出される。ここには、発電所と Jerada 炭鉱が存在し、その産業活動範囲を拡大する必要性が生じてきたため、毎秒約 400ℓの水が必要になった。水文地質の条件が良く、採水量が大きいため、水をくみ出すと被圧水量の減少がはっきりと観察できる。例えば、さく井 36/18 号では、1950 年に毎秒 115ℓの水量であったが、1968 年には 104ℓ、1979 年には 55.6ℓに減少した。さく井 64/18 号では、1968 年に 141ℓだったものが 1979 年には 75ℓに減少した。さく井 65/18 号では 150ℓから 93ℓに減少した。水量が顕著に低下したため、発電所はその冷却水量が不足し、新しい水源確保の必要性が生じた。1981 年に被圧地下水毎秒 160ℓの採水可能なさく井 170/18 号が新しく建設され、発電所と Jerada 炭鉱へ水供給が行われた。

新しいさく井の建設によって、自由地下水の水位に影響が生じるか否かを知るにはまだ時間がかかる。現在までのところ Ain Beni Mathar と Tabouda 間地域にあるピエゾメーターでは、わずかな水位低下を示しているようである。Tabouda 地域の自由地下水は 1960 年から 80 年の間に 2 m 低下した。さく井 28/18 号についても同じであった。新しく建設されたさく井が Oued Charef からの供給される地下水に依存していることが確認され、1949 年から 1980 年の間に 2.45 m の水位低下が生じた。Ain Rhina (さく井 30/18 号) では、季節によって水位の上昇がみられた。1980 年 4 月 17 日には、水位がマイナス 9.5 m であったのに対して同年 9 月 21 日には、マイナス 7.9 m になった。泉は潤渇していないということである。実際、STRETTA は 1952 年に静水位を 8 m と予測していた。しかし、Ain Beni Mathar 北部についてみると、これは、疑わしいと思われる。Ain Tabouda のような昔からの泉はもう存在していないからである。Ain Beni Mathar の北方 11km にある農業センター付近 (さく井工事の中心、37/18 号) では、水資源の不足が大きくなり影響が出ている。ここでは、さく井の被圧水量が 1950 年に毎秒 100ℓであったのに、1959 年には毎秒 68ℓになり、かつその 10 年

後には、41ℓとなった。1980年の秋には毎秒26ℓを測定した。このような大きな水量低下は、さく井工事の中心付近で今も続いており、かんがい用の水源に影響を与えるのは確実である。1980年現在所有の麦17haとluzerne（リュゼンヌ・うまごやし（植））および菜園11haの耕作地は、将来、水量の減少にともない、何らかの対策を講じなければならなくなるであろう。

恐らく、遊牧民は農業に従事するよりも、この悪条件に適応する生活をするようになる。Hauts Plateauxでは、さく井による地下水採取が技術的問題をかかえることが多くなってきたので、彼らの多くは、自分達で専用のトラックやトラクターを所有し、それを利用して家畜を適切な牧草地まで運んでいる。同時に、これらの車輛は、樽および鉄製の大きなタンクへ水を入れるのにも役立っている。その他、彼らとその家畜に対してタンクローリ車が運行され、無料で水が供給されている。水の輸送料は季節、量、輸送距離によって異なる。例えば、Ain Rhinaの掘抜井戸が涸れてMerija IIのさく井からの水もストップすると14km離れた井戸から水を引くことになる。その結果、季節にも左右されるが3m³の水に対して100DH（ディルハム）から200DHの金が必要となっている。（羊1頭は500DH）彼らは、この費用を節約するため、“daya”や“rdir”にたまった水を家畜用に飲ませている。ところが、この水は、化学的観点からみれば良質であるが、細菌学的には飲料水に適しておらず、彼ら自身もこの水を飲むことが多い。この水の特色は、硝酸塩濃度が高いことと糞便が混じっていることである。1979年および80年の分析では、電気伝導率は250μ/cmを下まわる結果が多く、細菌数は100ml中に120～2400個と検出された。

ま と め

Hauts Plateauxは放牧地として利用されているので、井戸網を知ることが必要である。重力によって、あるいは、Hauts Plateauxのまわりに設けられるタンクによって、水が継続的に供給されることになる。井戸のまわりで放牧が行なわれているが、これを防ぐには、井戸の相互間距離を10km内におさえなければならないであろう。かんばつの年には、彼らはAin Beni Matharの奥地から飼料を供給していたのかもしれないと考えられる。水文学の観点からみると、水量が低下した場合、伝統的なかんがいをやめて人為的に水を節約することは可能である。これが実現させるためには技術者および農業社会学者との協議がまず最初に行なわれなければならないだろう。

JICA