イ ラ ン の 地 下 水 *

森 谷 虎 彦 **

Ground Water of Iran

Torahiko MORITANI

1. はじめに

本文は昭和44年11月29日、日本地下水学会秋季講演会で講演したものに加筆したものであるが、ここでは地域調査報告と言う形をとらないで、イランの乾燥地域を対称としつつ西アジアのような（亜）熱帯の乾燥地域における地下水の実体とこれを調査する場合にどのような問題があるかについて述べる。

2. イランの地形と地質

この国の位置は北はカスピ海に面し、南はペルシャ湾をへだててアラビア半島に相對する。北緯25度から40度の間にある。人口は約2,300万人、面積165万平方mの大国である。北のカスピ海に面しては5,780mのデマベンド山を最高峯とするエルブールズ山脈がほぼ東西に走り、西のトルコ国境付近でこの山脈より分岐して南東方向に走るザグロス山脈がある。この山脈は2本の並列する山脈で、東のアフガニスタン国境にまで達している。この2つの大きな山脈にハサミ状に挟まれた内陸部がペルシャ高原であって、標高1,000mに達する不毛の塩の砂漠が限りもなく広がる。

エルブールズ山脈は古生代、中生代の堆積岩を骨格とし、山麓部に新生代地層を配して大きく波打ちながら東西方向に走り、西方のソ連国境近くでは新期の火成岩で覆われるようになる。この山脈から東南方向に派生するザグロス山脈は北側に火成岩を主とする山脈と、南側に中生代、新生代の堆積岩を主とする山脈が平行して走り、パキスタン国境にまで達する。一方パキスタン及びアフガニスタンとイランの国境沿いには新生代の火山岩を主とする山脈が南北に連なっている。

これらの山脈に囲まれた内陸部は広大な岩石砂漠となって扇状地層、第四紀未固結の礫、砂が厚く堆積する。また山脈群の中には多数の涸沢と小扇状地が分布する。

3. 気象と水収支

イランの国全体としては西アジアの乾燥圏に属するが、国内における気象は地域的にも時期的にもかなり異っている。即ち地域的にみるとカスピ海の風を受けるエルブールズ山脈の北側の景観は日本の東海地方とあまり変わらない植生で雨量も山間部では1,000mmを越し、海岸の一部では1,200mm以上の所もある。

またエルブールズ、ザグロス両山脈共に標高2,000m以上に年間500mm以上の雨量の所がある。しかし低平地になると雨量は急減して大部分の地域は年降雨量200mm以下の砂漠、荒地、塩砂漠となる。これを数字で示すとイラン全土の年平均降雨量280mmとして計算す

図 1

* 昭和44年度秋季講演会にて発表

** 日本工営株式会社

図 2

ると全雨量の $\frac{1}{3}$ が全国土の $\frac{1}{10}$ の面積のカスピ海岸に集中する。年間 500 mm 以上の降雨があるのは全国土の僅か 4 % の面積にすぎない。この 4 % の地域に全雨量の 27 % が集中し、残りの 73 % が全国土の 96 % の面積に分散される。図 1 にこの関係を示す。

イラン全土に年間 4,500 億 m³ の降雨があるが、イランには隣接国よりの河川からの流入が年間 75 億 m³ ある。逆に他国に流去するものもあるので、これが相殺されると仮定してイラン国の水収支を示したのが図 2 である。

これを総計すると 4,500 億 m³ の水が年間降って来て、その内の 84.2 % が再び大気中に返り、残り 15.8 % が全国土をうるをすることになる。この量は 711 億 m³ である。

4. 乾燥地域における地下水調査上の問題点

地下水調査には広域の水収支の一環として行なう場合と、採水を直接の目的とする場合がある。採水、従って利用を目的とする場合は期待する量と質があるのが普通である。本邦では特殊な地域と目的を除いては質についてはそれほど気を使っていないのが実情であった。ところが砂漠のような乾燥地帯ではその質が最大の問題となる。

イランでも特に中、南部と砂漠の景観は岩石の角礫碎片が小起伏をもって限りもなく拡がり、その岩石砂漠の所々に残丘状に火成岩や水成岩の山が尖頭を出し、この裸山の山ヒダより放射状に扇状層が岩石砂漠に向ってのびている。また所々の凹地は乾期には塩に覆われた砂地、雨期には塩湖となる。そして砂漠中を無数の涸沢（ワジ）が走っている。これがこの地方の一般的景観であって、乾燥した砂の砂漠にはあまりお目に掛れない。この砂礫原はかなり厚い堆積層があるので帯水層としての可能性は大いにある。実際にも、常識的に地下水のありそうな所にボーリングするとたいいてい地下水が得られる。ただし多くの場合はなはだ塩分が多くて飲用にならない。そこで砂漠で飲用水源としての地下水調査で最大の関心事は塩分の少ない水をさがすこととなる。

地下水が塩分を含むのはその水が地層中を通るときに地層中の塩分を溶かすためであるから、降雨が地中に浸透してから経過時間の長い方がより高塩分の水となることは明らかである。図 3 は全国の地下水々質分類図である。これでもわかるように山地は一般に良好であるが平地に降るに従って塩分は濃くなり、排水口のない内陸塩湖で最高となる。地下水に塩分を与える今一つの原因にソルトドームの問題がある。特に南部の港バンダラアバスの後背山地には無数の塩の山がある。この塩の山の規模は極めて大きく、高さは比高数百メートル、直径数キロメートルから十数キロメートルにも達し、それらの山に源を発する河川は当然高濃度の塩分を含み、この川に養なわれる地下水系はこれまた当

図 3

然非常に高い塩分濃度の水となる。イラン南部にはこのような河川や地下水系が非常に多いのが特徴となっている。

イラン南部における地下水調査ではこのような塩の山、塩の川（シュールルードと言う）塩の地下水系をさけることが大切である。

すでに述べたように地下水も地表水も共に塩の山を除けば山地に近い程水質は良い。この理由から人文地理的景観の一つのパターンが生ずる。すなわち集落は主として山地が山麓緩斜面に移行する付近に集中する。これは一つの山地(又は山系)をハチマキ状に人家が取巻いた一種独得の形態を示すことになる。そして地形的にははるかに農耕適地と考えられる下流の平野部は全く無人の広野となる。この際地下水を取出すための手段としてカナート（注1）が発達したものであろう。カナートとは一種の地下水道であって、集水暗キヨとは異なる。このカナートで水を引く場合は部落は山麓扇状地の中央部または末端に近い所に位置する場合もある。

5. 地下水利用上の問題点

モンスーン地域に住む吾々には一寸気の付かないようなことがここ西アジアの乾燥地域では大きな問題となって来る。その一つにかんがい地域における農耕地の塩の集積による荒廃化の問題があげられる。この地域は世界における農耕の起源地の一つと考えられているが、それは農耕地をかんがいすると云う考え方をかなり早くから発達させたであろう。そしてかんがい水源として河川水と共にカナートによる地下水利用も発達して来た。かんがいの方法としては河川水の場合は水路で耕地に水を導いた後はウネ間に掛け流しで余った水は蒸発と地下滲透で消失する。カナートによる場合もほぼ同じような方法が取られたであろう。これらの原水の中には含まれる塩分の、蒸発により濃縮された地下水となる。地下水は非かんがい期に毛管現象で地表に達した後地表面付近に塩分を残して蒸発する。このようなサイクルを何千年も繰返すことによって農耕地は徐々に塩分濃度を高めて行く。これがモンスーン地域であれば乾燥期に多少の塩分の集積があっても雨期に洗い流されるのであまり問題にならないが西アジアの乾燥地域ではこれは死活問題で、かんがいが進めば進む程農地はどんどん荒廃化の速度を早めて行く。もっとも塩分を洗い流す程の水量を流せば当面必要な面積の除塩の目的は達せられようが、その流した水の排水地域に河川が無ければ問題の根本的解決にはならない。このようにして西アジアの先進農耕地域では地表面における塩の集積によって耕地の生産性は下降の一途をたどっている。当面肥料の投入、種子改良等によって減産をカバーして問題の解決は先にのばされているがこの地域の支配者に取っては大いに頭のいたい問題であろう。

農業の分野において塩分の高い水をどうするかと言う問題に対処する一つの方法として耐塩性品種の開発があげられる。実際イラン南部からペルシャ湾岸諸国、メソポタミア平野においては恐るべき耐塩性植物であるデーツヤシ（ナツメヤシの一種）が殆んど唯一の作物となっている。この樹は塩分濃度 6,000 ppm の水によく耐えて生産をあげている。しかしこの耐塩性のヤシですら塩害を受けるようになりつつあるのが現状である。地表に塩の集積するのを防ぐ方法として考えられるのは蒸発を防ぐことであるが、これにはかんがいに使用した水を掛け流さないで再び地下深所に戻す方法が考えられるが、これには吸込井戸又はボーリング孔による地下滲透がある。この方法はまだ行なわれていないので将来この方面に対する研究を進める必要がある。塩分の比較的高い水をボーリング孔から地下に戻すために必要な方法の研究等が大いになされなければならないであろう。

6. 調査に使用される機具

イランは1962年以来地下水資源の組織的調査を始めているが、政府直営の他に国外のコンサルタントに依頼する場合も多い。

イラン南部を例に取って地下水調査の方法の概要を見ると、まず水理地質踏査については本邦と大体同じような方法で行なっている。ハマン湖地下水区（注2）を例にとるとこの地下水区はハマン塩湖（又はジャズムリアン湖）とこれに注ぐハシル川より成るが、すでに述べた如く塩湖の付近の水は地表水、地下水共に高塩分の水なので利用出来ない。従って水の利用は中流以上の山間盆地に限られる。塩湖から約 100 km 上流にサブゼハランと言う小さな町がある。まわりを第三紀又はそれより古い固結岩に囲まれ、その上に砂礫層が乗っている。この未固結礫層は最大 200 m の層厚を持っている。地下水は主としてこの未固結層中にある。

ボーリングに使用される機械は車載の 1,500 m 用ロータリーボーリング機又はトレーラーでけん引される 300 m 用パーカッションボーリング機で、何れもディーゼルで運転される。揚水試験には 5—8 段の垂直タービンポンプが使用される。電気検層にはポータブル・トランジスタ化された一素子型検

層機が使用される。このような機械で掘削口径 350 mm 程度のものをロータリーでは日進 30m (1 日 10 時間稼働), パーカッションで 4 m 位で, 掘削深度は平均 90 m で, 1 本当りのスクリーンの長さは 7 m 平均。このような規格の井戸で揚水試験を 1 本当り平均 70 時間実施する。そして 1 本当りの最大揚水量 230 m³/h 位が得られている。これらの結果を報告書にまとめる訳であるが, 一般報告書は本邦のそれとあまり変らないが, 一寸面白いのは井戸 1 本毎に試験の結果をまとめて一冊の報告書を作っていることで, 言うなれば各井戸の誕生以来の履歴書に相当するものであろう。

井戸 1 本毎に付ける履歴書の内容は次の項目が含まれる。

- 1) 着工から完工までの工事経過概要。この井戸に最適な容量のポンプの型式と所要動力。
- 2) 井戸位置図
- 3) 地質柱状図, 検層図, 井戸構造
- 4) 帯水層の粒度分析表
- 5) 揚水試験経過と試験データ
- 6) 水質化学分析表。

7. イラン南部地下水区の例

イラン南部ハマン湖地下水区の中のジロフト, ファリアブ, ルドバー各地下水系及びペルシャオーマン湾岸地下水区の中のミナブ地下水系における深井戸の諸元と水質分析結果を表 1, 表 2 に示す。また図 4 にその位置を示す。

表 1 深井戸一覧表

No.	型式	深度	水位	スクリーン		ケーシング 区間	揚水 試験	透水量 係 数	井 戸 効 率		最 大 揚水量	標高	
		m	m	長さm	下限m	m	時間	m ³ /m/d	帯水層損失B	井戸損失C	m ³ /hr	m	
ジロフト	1	C	75.0	37.7	16	72.9	0—57.6	81	740	1.45×10^{-2}	5.5×10^{-6}	273	680.5
	2	〃	76.4	5.8	12	73.2	0—61.6	84	0.3	—	—	16	627.8
	3	〃	86.8	2.6	8	84.0	0—79.1	84	1.0	4.9×10^{-1}	2.8×10^{-2}	57	626.9
	4	〃	48.4	自噴	8.8	48.4	0—41.4	84	74	3.8×10^{-2}	1.12×10^{-5}	273	617.2
	5	〃	67.0	23.4	12	66.1	0—55.8	84	157	6.8×10^{-2}	5.5×10^{-5}	136	644.8
	6	〃	72.0	12.2	12	40.0	0—28.4	78	314	9.5×10^{-3}	1.7×10^{-5}	227	639.2
	7	〃	65.0	自噴	6.1	64.5	0—58.9	84	140	—	—	136	618.0
	8	〃	80.5	18.1	6.1	68.5	0—63.0	72	21	—	—	33	653.9
	9	R	131.0	3.5	9.2	37.0	0—27.8	—	8	—	—	23	622.1
	10	〃	176.0	自噴	12	61.0	0—49.0	84	19	7.8×10^{-2}	7.0×10^{-3}	227	563.5
	11	〃	92.1	25.2	6.1	86.7	0—80.6	84	4933	4.0×10^{-3}	4.0×10^{-6}	682	662.0
	12	〃	86.5	14.7	6.1	51.9	0—46.0	72	9	—	—	33	636.6
ミナブ	1	〃	224.0	5.3	18.3	94.5	0—76 95—177	60	665	4×10^{-2}	2×10^{-5}	450	17.0
	2	〃	247.0	6.1	9.15	64.0	0—55 64—70	48	0.3	—	—	9	17.0
	3	〃	81.0	12.3	9.15	58.0	0—32 38—55	72	20	—	—	27	30.6
	4	〃	100.0	6.7	12.2	33.5	0—17 23—27	48	9	—	—	11	22.2
	5	〃	98.0	11.0	15.25	58.0	0—24 37—55	60	168	7×10^{-2}	1×10^{-5}	91	37.0
	6	〃	93.0	10.9	12.2	56.4	0—31 37—50	68	126	1.8×10^{-2}	3.5×10^{-5}	182	26.7
	7	〃	30.5	18.4	3.05	25.1	0—22.0	60	280	3×10^{-3}	4.3×10^{-5}	91	52.8

8 R	61.0	16.5	3.05	43.6	0—40.5	48	37	—	—	23	50.8
9 "	76.0	12.9	6.1	54.3	0—48.2	60	1009	—	—	11	47.4
フアリアブ 1 R	61.0	9.7	6.1	55.1	0—49.0	60	17	5.2×10^{-2}	8×10^{-5}	182	540.3
2 "	139.0	自噴	6.1	120.1	0—114.0	48	4	—	—	114	549.3
3 "	73.0	1.9	6.1	61.0	0—54.9	60	15	3.5×10^{-2}	1×10^{-4}	227	546.4
4 "	72.0	6.2	6.1	66.1	0—60.0	60	12	8.5×10^{-2}	4.7×10^{-5}	227	543.4
ルドバー 1 C	100.0	13.2	8.0	58.0	0—50.0	60	62	5.1×10^{-2}	3.8×10^{-5}	227	434.6
2 "	67.0	12.4	8.0	67.0	0—59.0	60	57	4.4×10^{-2}	4.5×10^{-6}	450	430.9
3 "	68.0	12.6	8.0	68.0	0—60.0	60	43	3.5×10^{-2}	1.6×10^{-5}	450	426.6
4 "	68.0	9.9	8.0	68.0	0—60.0	60	19	7×10^{-2}	1.1×10^{-5}	386	422.0
5 "	69.0	8.4	8.0	68.0	0—60.0	60	54	1×10^{-2}	6×10^{-5}	330	416.5

表2 深井戸水質一覽表

No.	pH	全塩類 mg/l	SiO ₂ mg/l	Ca	Mg	Na	K	全陽イオン	HCO ₃	CO ₃	SO ₄	Cl	NO ₃	全陰イオン	電導度 μV/cm	Na	SAR	等級	測定した月
				meq/l												%			
ジロフト 1	7.5	400	24	1.7	1.98	2.96	0.11	6.75	3.79	0	1.21	1.66	0.04	6.70	650	44	2.1	C ₂ -S ₁	6
2	7.9	200	24	1.9	0.41	1.74	0.08	4.13	2.84	0	0.60	0.53	0	3.97	400	42	1.6	C ₂ -S ₁	11
3	7.4	400	20	2.0	0.98	3.47	0.11	6.56	3.45	0	1.00	2.02	—	6.47	650	53	2.8	C ₂ -S ₁	1
4	8.3	320	16	1.9	2.22	1191	0.01	6.04	2.60	0	2.20	1.09	0.03	5.92	510	32	1.4	C ₂ -S ₁	1
5	7.9	200	24	1.9	0.41	1.74	0.08	4.13	2.84	0	0.60	0.53	—	3.97	400	42	1.6	C ₂ -S ₁	2
6	7.5	400	32	1.7	2.14	2.95	0.09	6.88	3.78	0	0.70	1.69	0.06	6.32	625	43	2.1	C ₂ -S ₁	6
7	7.3	400	32	1.7	1.97	2.95	0.09	6.71	3.58	0	0.79	1.57	0.05	5.99	650	44	2.0	C ₂ -S ₁	6
8	8.1	340	24	2.3	1.57	2.00	0.02	5.89	3.50	0	2.39	0.98	0.03	6.90	540	32	1.4	C ₂ -S ₁	6
10	8.1	290	20	0.9	0.02	3.30	0.01	4.23	1.80	0.66	2.00	1.07	0.04	5.57	460	78	4.6	C ₂ -S ₁	6
11	8.1	250	24	1.5	1.65	2.35	0.07	5.57	2.93	0	1.00	1.20	0.02	5.15	480	42	2.0	C ₂ -S ₁	3
12	7.3	450	24	1.89	1.38	3.74	—	7.12	2.74	0	2.00	2.00	0.02	6.76	675	53	2.8	C ₂ -S ₁	4
ミナブ 1	7.5	—	16	40.5	42.26	352	0.18	434.94	2.09	0	32.20	400.01	0.01	434.31	78000	81	7100.0	C ₄ -S ₄	1
2	7.3	—	10	41.5	16.11	367.3	0.20	425.11	1.94	0	30.20	394.20	0.01	426.35	8000	86	7100.0	C ₄ -S ₄	1
3	7.5	3350	12	5.4	7.80	43.5	0.05	56.75	3.10	0	11.00	44.70	0.01	58.81	6000	77	17.0	C ₄ -S ₄	1
4	8.0	1500	24	1.2	4.75	19.15	0.02	25.12	5.50	0	6.60	14.03	0.03	26.20	2400	76	11.0	C ₄ -S ₃	1
5	7.7	—	24	9.1	11.19	93.96	0.06	114.31	3.51	0	19.80	95.07	0.01	118.19	78000	81	29.5	C ₄ -S ₄	1
6	7.0	—	24	5.2	6.71	63.04	0.03	74.98	4.50	0	20.00	60.00	0.01	84.51	78000	84	26.0	C ₄ -S ₄	1
7	7.0	1050	16	1.90	2.05	10.21	0.02	14.94	2.90	0	4.79	8.16	0.03	15.88	1650	72	6.0	C ₃ -S ₂	1
8	7.0	2750	20	5.00	5.92	30.82	0.04	41.78	3.80	0	10.79	27.88	0.03	42.50	4250	73	12.0	C ₄ -S ₄	1
9	7.0	2130	20	3.65	4.68	27.91	0.02	36.26	4.52	0	11.79	19.43	0.03	35.77	3700	77	12.5	C ₃ -S ₃	2
フアリアブ 1	8.1	330	16	0.65	1.56	3.48	0.01	5.70	2.20	0	2.00	1.04	0.04	5.28	510	61	3.0	C ₂ -S ₁	11
2	7.9	930	20	2.20	3.04	8.91	0.01	14.16	2.40	0	6.25	5.72	0.01	14.38	1450	63	8.5	C ₃ -S ₃	12
3	8.1	860	24	1.20	1.81	9.14	0.01	12.16	1.48	0	6.20	4.93	0.01	12.62	1350	82	7.5	C ₃ -S ₃	11
4	7.9	1150	16	1.75	2.88	13.45	0.01	18.09	3.84	0	6.21	8.21	0.01	18.27	1800	75	9.0	C ₃ -S ₂	12
ルドバー 1	8.4	1750	24	0.50	0.08	22.52	0.04	23.14	4.88	1.63	10.39	9.00	0.21	26.11	2600	97	55.0	C ₄ -S ₄	4
2	8.0	930	24	1.15	0.65	12.60	0.05	14.45	4.85	0	6.00	4.23	0.05	15.13	1450	87	14.0	C ₃ -S ₃	9
3	8.0	1900	24	2.30	1.40	26.50	0.08	30.28	5.00	0	15.65	11.00	0.03	31.68	3000	88	18.0	C ₄ -S ₄	10
4	7.7	2000	24	5.70	3.90	20.40	0.30	30.30	2.60	0	15.00	13.20	0.07	30.87	3200	67	10.0	C ₄ -S ₃	10
5	7.6	3200	24	13.20	5.50	32.60	0.35	51.65	2.16	0	32.50	19.10	0.11	53.87	5000	63	10.0	C ₄ -S ₃	10

図 4

表 1 において井戸効率とは

$$s_w = BQ + CQ^2$$

において s_w は水位降下量, B は収水層損失, C は井戸損失の定数である。 Q は揚水量 (注 3)

表 2 において $Na\%$ とは

$$Na\% = \frac{(Na+K) 100}{Ca+Mg+Na+K}$$

で, これはかんがい用水としての水の等級に関する量である。(注 4)

また SAR は

$$SAR = \frac{Na}{\sqrt{(Ca+Mg)/2}}$$

で sodium adsorption ratio の略である。

これもかんがい用水々質に関係した数字で次のような関係がある。

SAR	水質等級
<10	非常に良い
10—18	良い
18—26	やや良い
>26	悪い

同じく表 2 の水の等級はアメリカ農務省のかんがい用水の等級表によるものである。(注 5) 本表で meq/l を ppm に換算するには次の表によって概略値が得られる。正確には meq/l の数値をその比重で除して次表を用いる。

イオン	meq/l×	イオン	meq/l×	イオン	meq/l×
Ca	20.04	HCO ₃	61.0	NO ₃	62.01
Mg	12.16	CO ₃	30.0		
Na	23.00	SO ₄	48.03		
K	39.10	Cl	35.46		

注 1 森谷虎彦：西アジアのカナート 地理学評論 39巻 7号 1965

注 2 森谷虎彦：イランの水理地質 応用地質 10巻 2号 1969

注 3 酒井軍治郎：応用地下水学 pp. 159

注 4 K. TODD: Ground Water Hydrology pp. 191

注 5 Classification and Use of Irrigation Waters U. S. Department of Agriculture 1955