

目 次

概説

I	緒言	1
1	調査の背景	1
2	調査の概要	2
II	第一部 水資源管理マスタープラン	4
1	国家水戦略と水政策	4
2	水セクターの現況と計画課題	6
2.1	水利用の現況	6
2.2	水セクターの組織と予算財務状況	8
3	水資源管理マスタープラン策定のための基本条件設定	12
3.1	水資源管理マスタープランの枠組み設定	12
3.2	水資源開発政策の基本方針	12
3.3	水資源管理政策の基本方針	12
4	水需要予測	15
4.1	シナリオの設定	15
4.2	生活用水の需要予測	17
4.3	工業用水の需要予測	18
4.4	観光用水の需要予測	19
4.5	農業用水の需要予測	20
5	水資源開発計画	22
5.1	表流水（従来型）	22
5.2	和平条約水（従来型）	28
5.3	地下水	28
5.4	海水淡水化（非従来型）	36
5.5	下水処理水の再利用（非従来型）	37
5.6	水資源と開発計画の問題と課題	43
6	水資源管理計画	45
6.1	量的管理	45
6.2	質的管理	50

6.3	組織・制度管理	53
6.4	水配分・水輸送管理	53
6.5	水資源管理計画の問題と課題	71
7	水資源管理マスタープラン	73
7.1	計画の骨子	73
7.2	計画の構成プロジェクトと実施工程	82
8	水資源管理マスタープランの評価	88
8.1	計画評価	88
8.2	環境評価	90
8.3	経済・財務評価	92
8.4	総合評価	95
9	提言	96
9.1	水資源の統一的・総合的かつ持続的な管理	96
9.2	残された水資源の戦略的開発	99
9.3	水資源管理におけるリスクマネジメント	100
10	プレ・フィージビリティ調査のための優先プロジェクトの選定	102
III	第二部 プレ・フィージビリティ・スタディ	105
1.	既設下水処理場処理水再利用	105
1.1	事業の目的	105
1.2	事業の概要	105
1.3	プロジェクト評価	107
1.4	実施計画	110
1.5	問題と課題	110
1.6	結論	111
2.	ワジ・ザルカ下水処理施設	112
2.1	事業の目的	112
2.2	事業の概要	112
2.3	プロジェクト評価	114
2.4	実施計画	115
2.5	問題と課題	115
2.6	結論	115

5.4 海水淡水化（非従来型）

海水の淡水化は、ジョルダン国ではまだ行われていない。海水の淡水化は、「第3章 水資源管理マスタープラン策定のための基本条件設定」で述べたように、アカバの生活用水、工業用水、観光用水をまかなうために行うものであり、他の都市あるいは行政区には送水しない。アカバの海水淡水化事業については既に F/S が実施されている。

基本的に、水源が海水であることからポテンシャルは無尽蔵ではあるが、海水淡水化のコストが高いことから、使用目的はアカバの生活・工業・観光用水に限定される。

アカバ海水淡水化プロジェクトの概要を表 5.4-1 に、図 5.4-1 にプロジェクトの位置図を示す。

表 5.4-1 アカバ海水淡水化プロジェクトの建設費用、維持管理費および水価

項目	第1期工事（2005年完成）	第2期工事（2015年完成）
1.造水量	5MCM/年	12MCM/年（12MCM/年追加）
2.淡水化システム	逆浸透膜方式、濃縮塩水はアカバ湾へ	逆浸透膜方式、濃縮塩水はアカバ湾へ
3.建設費	27百万 JD（約39百万 USドル）	55百万 JD（約79百万 USドル）
4.維持管理費	1.5百万 JD/年（約2.1百万 USドル/年）	4.6百万 JD/年（約6.6百万 USドル/年）
5.処理費用	976円/m ³ （約1.4USドル/m ³ ）	

出典：アカバ海水淡水化プロジェクト報告書、調査団の検討による

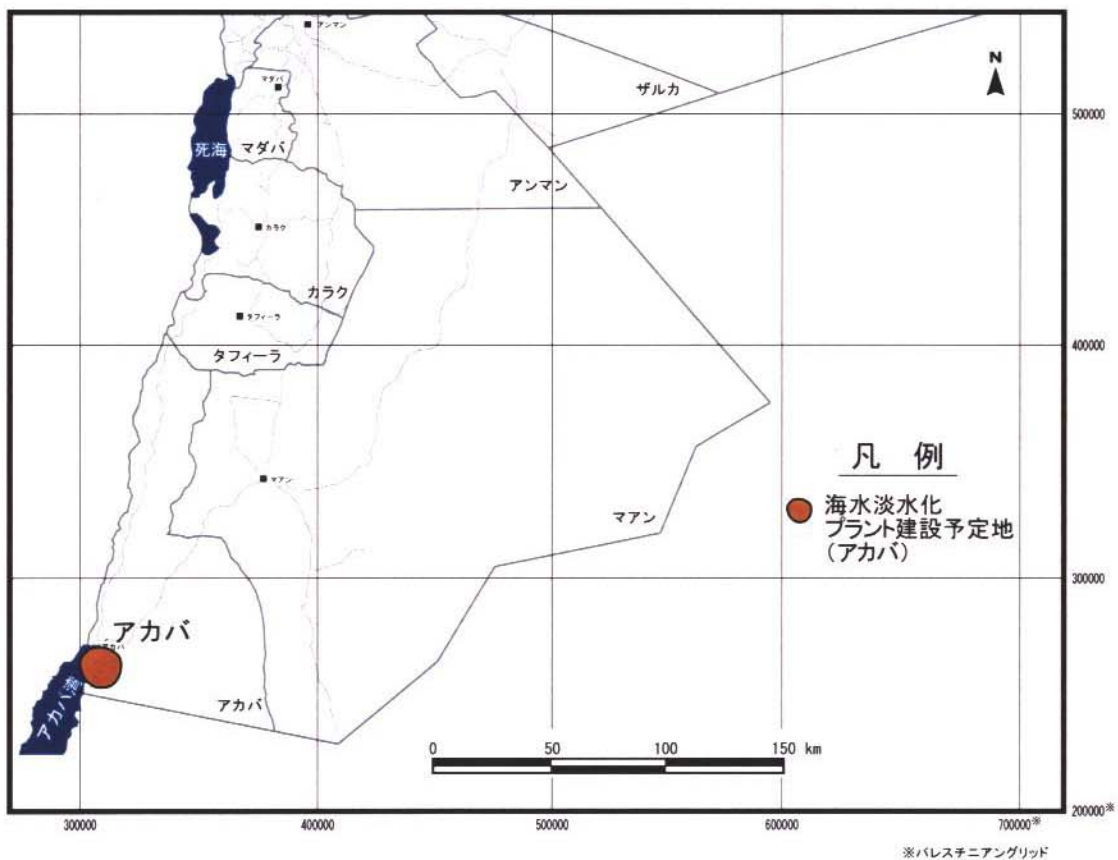


図 5.4-1 アカバ海水淡水化プロジェクト位置図

表 5.4-2 に、海水淡水化水の目標年次ごとの開発量を示す。

表 5.4-2 海水淡水化水の開発量

行政区	既開発量 (1998) (MCM/年)	将来の開発量 (MCM/年)			2020 年の 総開発量 (MCM/年)	計画開発プロジェクト名、 予定開発量、予定完成年
		短期 (2000~2005)	中期 (2006~2010)	長期 (2011~2020)		
アカバ	0	5	0	12	17	アカバ海水淡水化計画、17MCM 年、2005年~2015年
目標年次の利用可能量		5	5	17	17	

出典：アカバ海水淡水化プロジェクト報告書、調査団の検討による。

5.5 下水処理水の再利用（非従来型）

5.5.1 既設下水処理場

(1) 既設処理場の概要と普及率

2001年時点で、ジョルダン国では19の下水処理場が稼働している。図 5.5-1 に12行政区内の既設下水処理場と計画処理場を示す。アンマン首都圏をカバーするアッサムラ処理場を含む6つの処理場では、嫌気性池、好気性池、熟成池からなるラグーン処理技術が導入されている。1つの処理場（ワジ・エシール）では、好気性池の代わりに人工的な暴気処理を行っている。残りの10の処理場では、活性汚泥法やフィルター法あるいは両者を合わせたいわゆる集中処理を行っている。

下水処理サービス地域の中での下水道普及率は、人口比で45%から95%である。特に都市域における普及率は82%と高く、これはアッサムラ処理場が都市人口の70%が集中するアンマン首都圏の下水道普及率を90%まで高めているからである。

ここ10年で、処理場に流入する下水の量は2倍になっている。この理由として、下水道の普及率が高まったこと、処理場の拡張や新規建設が進んだことがあげられる。現在ジョルダン国全体で、80MCM/年（218,000m³/日）の下水が処理されている。

(2) 下水処理水の水質

一般的に住民の水使用量が少ない場合、下水の水質に大きな影響が出る。水使用量が少ないと、特に下水の塩分濃度と有機物の含有量（BOD₅ 負荷）を押し上げ、BOD₅ で最大1,500mg/lit に達するケースもある。高濃度の BOD₅ は、下水流入量が水理計算上設計値以下であったとしても、しばしば処理場の生物処理能力を超えてしまうことがある。塩分濃度についても同様なことが言え、特に蒸発の激しいラグーン方式の処理システムを採用している場合は、下水処理水の水質に大きな影響を与えることとなる。

生活用水の塩分濃度は平均で580mg/lit（TDS）である。一方、下水処理水の塩分濃度は、700mg/lit から1,200mg/lit である（アッサムラ処理場での実績）。

ジョルダン国の排水基準（JS893/1995）によると、下水処理水の BOD₅ は50mg/lit を超えてはならないことになっている。これに従うと、19の既設下水処理場の内、9つの処理場でこの規準を満足していないことになる。この内の6つの処理場では、BOD₅ の値が100mg/lit 以上にも達しており、それらの内の4つでは、安定池による処理方法を採用している。しかしながら、この様な池（ラグーン）による処理方法においては、処理下水中の BOD₅ の値は、熟成池で発生した藻類に起因する有機物にもある程度影響される。

(3) 下水処理水の農業用再利用の条件

アッサムラ下水処理場の下水処理水はキングタラルダムに貯留され、ここで表流水により希釈された後、ジョルダン渓谷で灌漑用に再利用されている。しかし、これ以外では幾つかの下水処理場の周辺で小規模に下水処理水の農業用再利用が行われているだけであり、下水処理水の農業用再利用が進んでいるとは言い難い。現在ジョルダン渓谷では、ジョルダン渓谷開発公団が、ドイツの援助機関である GTZ の協力を得て、地下汽水や下水処理水などの水質の悪い水 (Marginal Water と呼ばれている) を無処理で灌漑用に利用するプロジェクト (汽水プロジェクト、BWP と呼ばれている) が実施されている。このプロジェクトは 2003 年に完了する予定である。

下水処理水を灌漑に使用した場合の土壌の塩類集積の問題に関しては、個々の土壌の種類や排水条件によって異なるが、一般的に現在灌漑用に使用している地下水の塩分濃度 (TDS 値で 500mg/lit から 1,000mg/lit 程度) と下水処理水の塩分濃度 (700mg/lit から 1,200mg/lit 程度) との間に大きな差がないことから、従来通りの灌漑管理を行うことによって特に問題は発生しないものと判断される。しかし、5.6 節で述べるように下水処理水中の細菌等による疾病の発生などの不測の事態が起こることも懸念され、下水処理水の再利用に当たっては慎重な管理・監視が必要である。

(4) 発生汚泥の管理

下水処理場で発生する汚泥の管理については、その処理・処分方法はほとんどの場合不十分である。不適切な汚泥の廃棄は自然環境に深刻な害を与える場合もある。実際、液体の状態あるいは安定化していない汚泥を地表に廃棄しているケースが認められる (例えば Al Akeder, Jorf Darawash, Lgoun 等)。液状の生の汚泥を地上に廃棄した場合、汚泥の浸出水が地下浸透し、飲料用に利用されている地下水を局地的に汚染する可能性がある。

5.5.2 下水処理水の再利用の現況

ジョルダン国の下水処理水の水質基準 (893/1995) によれば、全ての既設処理場の下水処理水は、全ての農作物に使用できる水質ではない。一般的に、下水処理水の水質を規制するパラメーターとして、糞便性大腸菌の数があげられる。幾つかの処理場では、全ての農業に使用できる基準の一つである糞便性大腸菌数 1,000 以下の基準を達成しようとしているが、安定した水質は未だ得られていない。

現在、主としてジョルダン渓谷において、10,000ha 以上の農地が既設処理場からの下水処理水によって灌漑されている。現在灌漑用に再利用されている下水処理水の総量はおおよそ 50MCM/年程度と推定され、これらは以下のように使用されている。

- 15MCM/年 : 水質上限られた農作物の灌漑に使用
- 35MCM/年 : 淡水と混合し、ジョルダン渓谷内で全ての農作物の灌漑に使用

下水処理場の近傍あるいはその直下流のワジ沿いで、下水処理水を利用した灌漑が試みられている。これらの農地面積は約 1,600ha であり、穀物、飼料、樹木、果実等が栽培されている。

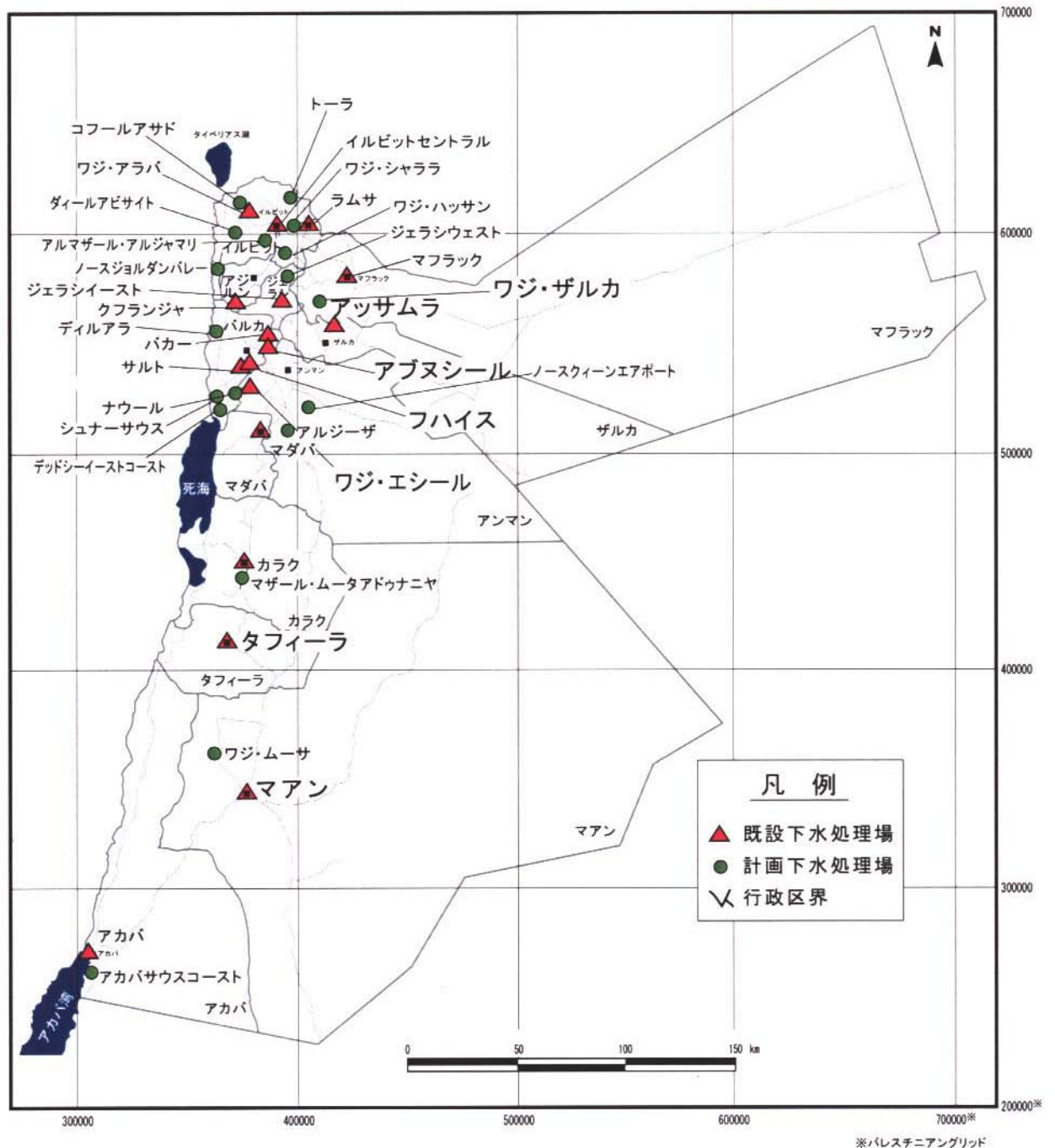
5.5.3 下水処理場の復旧/拡張、新規建設の提案

既設の下水処理場の復旧/拡張や新規建設に関しては数多くの調査が実施されてきており、これらの位置は図 5.5-1 に示すとおりである。

現在 19 の既設処理場の内、9 つの処理場で具体的な復旧計画、能力向上計画、拡張計画が検討されている。ワジ・ハッサン処理場とワジ・ムーサ処理場については、復旧/拡張工事が 2001 年に完成することとなっている。これに加え、16 の新規下水処理場の建設が今後

10年から12年の間に計画されている。これらの計画が全て完了すると、下水処理場の数は35に増える。新規建設が予定される下水処理場では、熟成池の代わりに砂ろ過による3次処理を行い、全ての作物の灌漑に適用できるまでに処理水の水質を高める計画となっている。

現在建設中の処理場を含め、以上述べた既設処理場の復旧/拡張計画が全て完了すると、下水処理能力は394,000m³/日となる。新設の下水処理場の処理能力が262,000 m³/日であることから、ジョルダン国全体の下水処理能力は将来656,000 m³/日となる。



出典：MWI 資料による

図 5.5-1 既設および計画下水処理場の位置図

5.5.4 将来の下水処理水発生量

本調査では、3つの水需要予測シナリオを設定している（第3章参照）。ここでは、世銀/MWIが設定した人口増加率や給水原単位に基づき、各シナリオにおける予測下水処理水発生量を算定した。この結果を表5.5-1に示す。この表に示すように、2020年時点での下水処理水の総量は、シナリオ-1とシナリオ-3で246MCM/年、シナリオ-2で285MCM/年に達するものと予測される。巻末資料の6頁に、シナリオ-1を想定した場合の各目標年次における下水処理水発生量分布を示した図を添付した。

表 5.5-1 将来の下水処理水発生量予測

	単位	2000	2005	2010	2015	2020
シナリオ - 1						
下水管接続人口	百万人	2.47	3.63	4.65	5.49	6.29
接続率	%	49	61	67	69	69
下水発生量	MCM/年	82	116	189	222	249
下水処理水発生量	MCM/年	64	112	177	220	246
シナリオ - 2						
下水管接続人口	百万人	2.47	3.63	4.65	5.49	6.29
接続率	%	49	61	67	69	69
下水発生量	MCM/年	82	116	188	247	304
下水処理水発生量	MCM/年	64	108	177	232	285
シナリオ - 3						
下水管接続人口	百万人	2.44	3.47	4.26	4.88	5.40
接続率	%	49	61	66	68	68
下水発生量	MCM/年	81	111	173	220	262
下水処理水発生量	MCM/年	63	103	162	207	246

5.5.5 将来の下水再利用

原則的には、次に示す5つの下水処理水の再利用場所（行き先）が想定される。以下に想定される下水再利用の条件を考慮して、下水の再利用量等をシナリオ毎に検討した。

再利用されない

処理場の近傍で利用されるかもしれないごく一部の下水処理水を除き、ほとんどの下水処理水が以下の理由により再利用されない場合が想定される。

- 下水処理場の近くに適切な灌漑用地が無い。
- 下水の発生量が少ない。
- 再利用地までの距離が長い。
- 再利用地までの輸送コストがかかりすぎるため、再利用が経済的に見合わない。

高原地域での再利用

- アッサムラ下水処理場からの処理水の高原地域での再利用

USAIDが行っているWRPSでは、新設されるアッサムラ下水処理場からの処理水を処理場の北西の高原地域で灌漑用に再利用する計画が検討されている。

- 高原地域での局地的再利用

高原地域に位置する幾つかの下水処理場近傍で、下水処理水を灌漑用に局地的に再利用することが可能である。既設処理場に加え、新設する処理場においても再利用施設を整え、その近傍で下水処理水を再利用することも可能である。

工業用水として再利用

前述の USAID の WRPS によると、新設されるアッサムラ処理場の下水処理水の一部を工業用に再利用することが提案されている。主な再利用先は、アンマン首都圏、ザルカ、ルセイファ等であり、これには火力発電所も含まれる。これに加え、イルビットやアカバの工業団地でも下水処理水を利用することになっている。工業用に使用が予定される下水処理水の量を表 5.5-2 に示す。これに示される様に、下水処理水の工業用再利用はアンマン及びザルカ行政区に集中しており、2020 年で約 20MCM/年になるものと予想され、ジョルダン国全体では約 30MCM/年と予想される。

表 5.5-2 下水処理水の工業用再利用計画

(単位：MCM/年)

行政区	2000	2005	2010	2015	2020
アンマン/ザルカ	0	15	15	15	20
イルビット	0	0	5	5	5
アカバ	0	0	0	5	5
合計	0	15	20	25	30

ジョルダン渓谷における灌漑用再利用

- 北部ジョルダン渓谷における再利用

現在、ワジ・アラブダム周辺の周辺を通るパイプラインにより、セントラルイルビットおよびワジ・アラブ両下水処理場からの下水処理水が北部ジョルダン渓谷へと排出されている。また、クフランジャ下水処理場からの下水処理水も、ワジ・クフランジャを通じて北部ジョルダン渓谷へと排出されている。現在、これらの下水処理水は再利用されていないが、将来灌漑用に利用することにより、灌漑用に利用されている地下水の代替水源となる。

- 南部ジョルダン渓谷における再利用

ワジ・ザルカ、ワジ・シュエブ、ワジ・カフレインに放流されている下水処理水は、南部ジョルダン渓谷の灌漑用水に再利用されており、将来も再利用が可能である。ワジ・ザルカの下水処理水は、アッサムラ下水処理場からキングタルダムを経由して流れてきたもので、量的に他の処理場からの処理水よりも圧倒的に多い。将来これらの下水処理水が増え、これを灌漑用に利用することにより、灌漑用に利用されている地下水の代替水源となる。

- ジョルダン渓谷での局地的再利用

下水処理水の灌漑用の再利用にあたっては、再利用のための施設を新しく建設する必要がある。ジョルダン渓谷には 6 つの下水処理場があるが、これらの処理場の近傍で下水処理水の再利用が可能である。

アカバでの再利用

アカバには 2 つの下水処理水再利用計画がある。1 つは、アカバ下水処理場の北側の近傍で灌漑用に再利用する案、もう 1 つは、アカバサウスコースト処理場の近傍で緑地帯のための灌漑に再利用する計画である。

下水処理水再利用に対する以上の考えに基づき、現在灌漑用に使用されている清水をどの程度下水処理水で置き換えることができるのかについて検討した。表 5.5-3 に各シナリオでの下水再利用対象地域と目標年次毎の再利用量を示した。この表に示される様に、2020 年時点での下水処理水の総量は、シナリオ - 1 とシナリオ - 3 では約 240MCM/年から 245MCM/年、シナリオ - 2 では 285MCM/年に達するものと予測される。表 5.5-1 に示した将来の下水発生量予測と比較した場合、ほぼ 100%に近い再利用率となる。

表 5.5-3 示した下水処理水の量は、下水処理施設の建設計画のみに従って算定したものであり、あくまで量的な観点からのものである。下水処理水は灌漑用や工業用に利用可能な水質基準を満たすものでなければならない。従って、将来下水処理水の水質がジョルダン国の水質基準（893/1995）を満たすことができなければ、この表に示した灌漑用清水を置き換えるための下水処理水は十分に確保できないことになる。

表 5.5-3 下水処理水再利用の主要地域とその再利用量

	再利用下水処理水 (MCM/年)				
	2000	2005	2010	2015	2020
シナリオ - 1					
1. 再利用されない	4.4	0.0	1.1	1.3	1.5
2. 高原地域での再利用	2.3	20.0	31.4	40.5	45.7
3. 工業用水として再利用	0.0	15.0	20.0	25.0	30.0
4. ジョルダン渓谷における灌漑用再利用	55.2	73.2	119.5	151.7	166.9
5. アカバでの再利用	1.9	4.0	5.0	1.0	1.8
合計	63.8	112.2	177.0	219.6	245.8
シナリオ - 2					
1. 再利用されない	4.4	0	1.1	1.5	1.7
2. 高原地域での再利用	2.3	20.0	31.4	44.7	53.1
3. 工業用水として再利用	0.0	15.0	20.0	25.0	30.0
4. ジョルダン渓谷における灌漑用再利用	55.2	73.2	119.2	168.6	197.5
5. アカバでの再利用	1.9	4.0	5.0	1.6	2.7
合計	63.8	112.2	176.7	241.3	285.1
シナリオ - 3					
1. 再利用されない	4.3	0	1.0	1.3	1.5
2. 高原地域での再利用	2.3	19.0	29.1	40.2	46.2
3. 工業用水として再利用	0.0	15.0	20.0	25.0	30.0
4. ジョルダン渓谷における灌漑用再利用	54.6	69.3	106.7	147.0	165.6
5. アカバでの再利用	1.9	3.8	4.7	0.9	1.7
合計	63.1	107.2	161.5	214.5	245.1

5.6 水資源開発計画の問題と課題

(1) 地球規模の気候変動への対応

5.1 節で述べたように、ジョルダン国ではここ3年間にわたり年間降水量が長期平均値を下回っている。これが直ちに地球規模の気候変動に伴う雨量の減少傾向の現れであるとは断定はできない。このため、水資源管理計画の策定にあたっては、表流水および地下水のポテンシャルについて減少傾向を考慮せず設定した。

しかし、今後より長期的な観測の結果、ジョルダン国での降水量の減少傾向が地球規模の気候変動によるものであるということが明らかになった場合、表流水および地下水のポテンシャルを見直す必要がある。

(2) 水資源の地域平和利用

1) ヤルムーク川の表流水開発

今後の表流水開発の中で最大のプロジェクトは、ヤルムーク川に建設されるワハダダムであり、これにより将来の表流水開発量の約55%に相当する93MCM/年の表流水が開発される計画となっている。

ワハダダム建設によって開発される表流水は、ジョルダン国にとって重要な水源であり、ヤルムーク川の水利用に関して、シリア側と十分な協調体制を築く必要がある。

2) イスラエルからの和平条約水

「ジョルダン川、サイドワジ貯水計画」は和平条約水プロジェクトの1つであり、2010年までにジョルダン側に30MCM/年の送水を行うものである。

本計画の送水量は30MCM/年と多いことから、水資源管理マスタープランの中で、重要なプロジェクトの1つに挙げられる。このため、イスラエル側と協調して本格的な調査を行う必要がある。

(3) 持続可能な水資源の管理と開発

1) 地下汽水の開発

地下汽水是、ジョルダン国に残された唯一の開発されていない地下水源であり、そのポテンシャルは非常に大きいものと予測され、水資源管理計画で非常に重要な水資源の1つとして捉えられている。しかし、地下汽水に関する本格調査はほとんど無く、全体のポテンシャルについては推測の域を出ていない。従って、全国の地下汽水につき早期に本格調査を行い、そのポテンシャルを明らかにする必要がある。

2) 下水処理水の再利用

希釈していない下水処理水の農業用再利用については、現在のところ全ての農作物について適用できるわけではないが、基本的には果樹栽培や飼料の栽培には適用できるとされている。上述したように、下水処理水はジョルダン国の逼迫した水資源の中で、将来開発を推し進めて行かなければならない重要な水資源であることには違いない。しかし、希釈していない下水処理水の農業用再利用は、ごく一部の下水処理場の近傍で行われているだけで、本格的には行われていないのが現状であるため、下水処理水の再利用に伴い、これまでに経験したことの無い不測の事態が発生する恐れがある。このような問題としては、例えば下水処理水中の糞便性大腸菌やその他の細菌に起因する疾病の問題(Bio-hazard)、作物の生育に影響を与える微量元素の問題、塩類集積などによる土壌劣化の問題等が挙げられる。

以上の問題に対処するため、下水処理水の農業用再利用の実施にあたっては、複数機関による下水処理水水質や環境面の管理・監視、下水処理利用の法規制の適正運用、利用促進の情報公開・啓蒙運動を同時に実施する必要がある。また、環境面のモニタリング結果に基づき、臨機応変に再利用計画を修正して行く、いわゆる”Adoptive Management”手法を取り入れていくべきである。

これらの点については、隣国のイスラエルにおいて再利用が大規模に行われており、法律・基準及び管理体制を含めた整備が進んでいる。1995年の水管理公社のレポートによると、年間323MCMの下水発生量に対して200MCMの処理水が再利用されている。また、チュニジアでの水資源管理マスタープラン（1995-2010）においても、その主要政策として下水処理水の再利用が取り上げられており（1999年セミナー報告）地域協力によりこれらの事例を参考にすることが可能と考えられる。さらに、現在ジョルダン渓谷でGTZにより実施されているBWPでは、下水処理水の再利用についても調査が進められており、このプロジェクトの調査結果も将来参考にすべきである。

6 水資源管理計画

水資源管理マスタープランで検討を行う管理項目は、以下の通りである。

量的管理 (6.1 節)

- 不明水改善計画
- 循環性地下水揚水削減計画
- (- 水資源開発)*

組織・制度管理 (6.3 節)

- 組織改善計画
- 民営化計画

質的管理 (6.2 節)

- 表流水質保全計画
- 地下水質保全計画

水配分及び水輸送管理 (6.4 節)

- 水配分計画
- 水輸送・給水計画

* : 水資源開発については第 5 章で述べた

6.1 量的管理

6.1.1 不明水改善計画

(1) 不明水の現況

不明水は、給水管網からの漏水と、給水はされているが料金が徴収できない不収水に分けられる。ジョルダン国の不明水率は 50% から 60% にも達している。給水管網からの漏水対策としては、漏水を直接減ずる給水管網のリハビリテーション対策と、給水状況を監視する送水管理システムの設立があげられる。また、不収水対策としては、職員の教育訓練、料金徴収を効率化するための維持運営管理の民間委託、法規制のより厳密な適用、および送水管理システムの構築などが挙げられる。2001 年に水灌漑省に設置された不明水対策部が主幹部所となり、この不明水の削減に取り組んでいる。

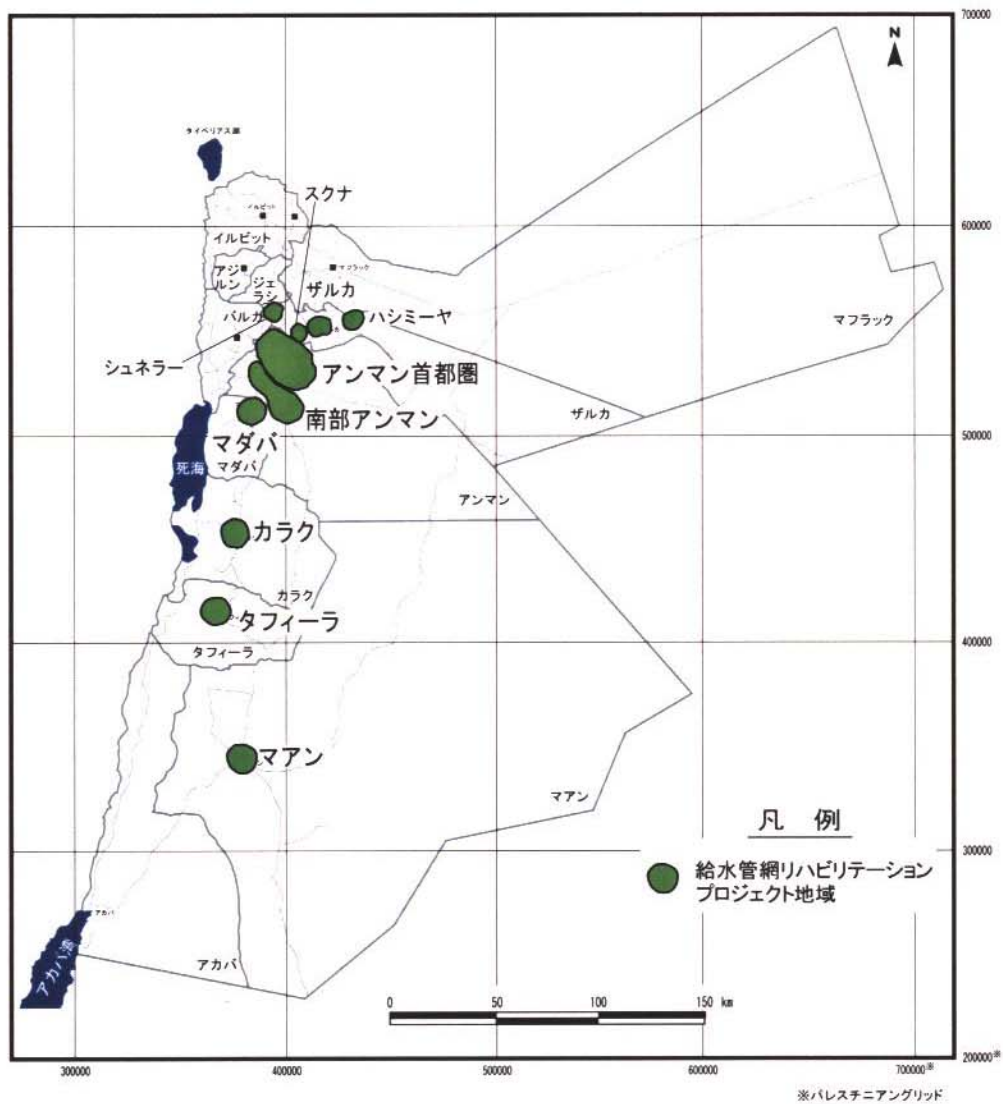
(2) 給水管網からの漏水対策

1) 給水管網のリハビリテーション

給水管網からの漏水率は現在 25% から 30% 程度と想定されており、将来給水管網のリハビリテーションを行うことにより、15% まで削減することを目標としている。GTZ の水需要計算モジュールでは、給水管網からの漏水削減量を水需要量の削減分として捉えていることから、水資源管理マスタープラン策定にあたっては、これに従い、その削減量を 2020 年で約 65MCM/年と予想した。

全国の給水管網のリハビリテーションは、現在幾つかの援助国の支援により実施されている。給水量が最も多く、かつ給水管網からの漏水も最も多いアンマン首都圏においては、世銀、USAID、EIB、Kfw の支援を得て、全面的な給水管網のリハビリテーションが進んでおり、この工事は 2004 年に完成予定である。

図 6.1-1 はそれらの位置を示したものである。また、表 6.1-1 に、現在進行中あるいは計画されている給水管網のリハビリテーションプロジェクトを示す。



出典：MWI 資料

図 6.1-1 給水管網リハビリテーションプロジェクト位置図

表 6.1-1 将来の給水管網のリハビリテーションプロジェクト

プロジェクト名	対象都市	予定完成年	備考
1. ザルカ行政区リハビリテーション事業	ザルカ、ルセイファ、ハシミーヤ、スクナ、シュネラー難民キャンプ	2001	進行中
2. 南部ゴール灌漑給水管網リハビリテーション事業	-	2003	灌漑給水管網のリハビリテーション、F/S 済み
3. アンマン給水管網リハビリテーション事業フェーズ 1	アンマン首都圏	2004	進行中
4. 複数の都市の給水管網リハビリテーション事業	カラク、タフィーラ、マアン、マダバ、南部アンマン、その他	2009	調査未実施

出典：投資計画 2000-2010

2) 送水管理システムの構築

送水管理システムの構築が不明水の削減に直接的に寄与するわけではないが、不明水の量や場所を特定するために必要不可欠である。

このため、本調査では全国の送水管網の流量や圧力を監視する全国水利用管理センターの設立を提案している。表 6.1-2 に全国水利用管理センターの計画を示す。

表 6.1-2 全国水利用管理センター設立プロジェクトの概要

	工事内容	対象行政区	完成予定年
第1期工事	メイン・コントロールセンター + サブ・センター	アンマン、イルビット、マフラック、 ザルカ	2004
第2期工事	サブ・センター	アジルン、ジェラシ、バルカ、マダバ、 カラク、タフィーラ、マアン、アカバ	2008

出典：調査団の検討による。

(3) 不収水対策

不収水対策により水源が確保されることはないが、持続可能な健全な水道事業の運営のためには、不収水を減らすことが必要不可欠である。

不収水対策に関連するプロジェクトとしては、前述した不明水対策部により、職員の教育訓練、住民教育、水道メーターの検査、水道管への不法接続の調査が行われている。アンマン首都圏においては、水道事業の維持・管理・運営は民間企業（LEMA）に委託されており、不収水の対策についても民間企業が行う体制となっている。このような水道事業の民間委託は、今後他の都市にも適用していく方針となっている。

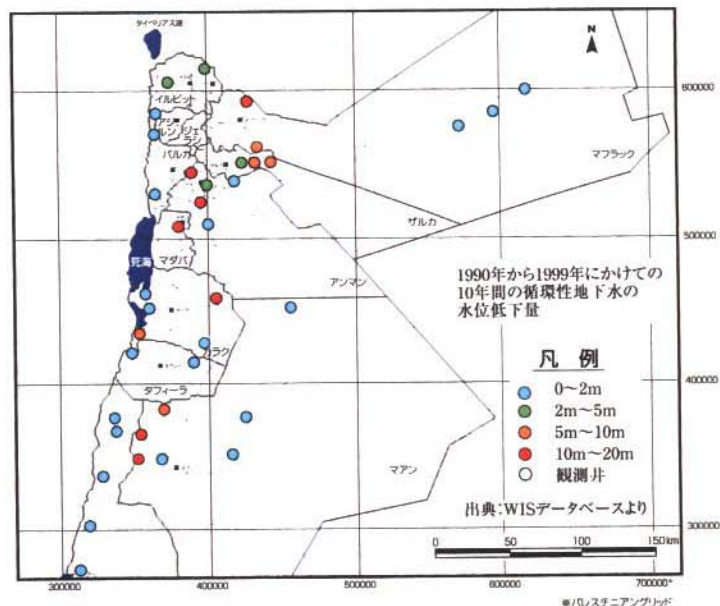
6.1.2 循環性地下水揚水削減計画

(1) 地下水位低下の現況

5.3.2 節で述べたように、現在の循環性地下水の揚水量はその安全揚水量を大きく上回っており、広域的な地下水位低下が進んでいる。図 6.1-2 に 1990 年から 1999 年にかけての循環性地下水の水位低下量を示す。この図に示すように、水位低下の著しい地域は多くの井戸群や農地が分布する高原地域であり、これらはほぼ南北に連なる。

USAID が実施したアンマン・ザルカ流域での調査（WRPS）によると、現在の過剰揚水をこのまま続けると、10 年後には帯水層の一部が枯渇し、多くの井戸が揚水不能となると予想されている。また、本調査で行った南部アンマン地域における地下水シミュレーションでも、現在の揚水を 2020 年まで継続した場合、地下水位は地表から最大 300m までに低下し、多くの井戸が揚水不能となるものと予想された。このように、このままの揚水を続けて行くと、10 年から 20 年後には、高原地域の主要井戸群で水位低下が進み、多くの井戸が枯渇してしまう恐れがある。

従って、循環性地下水の揚水量は、「持続可能な水資源の開発と管理」を達成するために削減しなければならず、その削減比率は約 40% 程度となる。



出典：WIS データベースに基づく

図 6.1-2 1990 年から 1999 年にかけての循環性地下水の水位低下量分布

(2) 循環性地下水揚水削減対策

前述の USAID がアンマン・ザルカ流域で行った WRPS によると、循環性地下水の揚水削減の方法として、以下に示すような対策が提案されており、これらの施策の組み合わせにより、40%程度の削減は可能としている。WRPS では、これらの対策のなかで、井戸の買い上げが最も受け入れられやすい手段としており、買い上げのコストは年間の揚水量に応じて、揚水量 1m³あたり JD0.5 から JD1.1 (約 US\$ 0.7 から US\$1.6) 程度で算定している。

表 6.1-3 循環性地下水の揚水削減対策

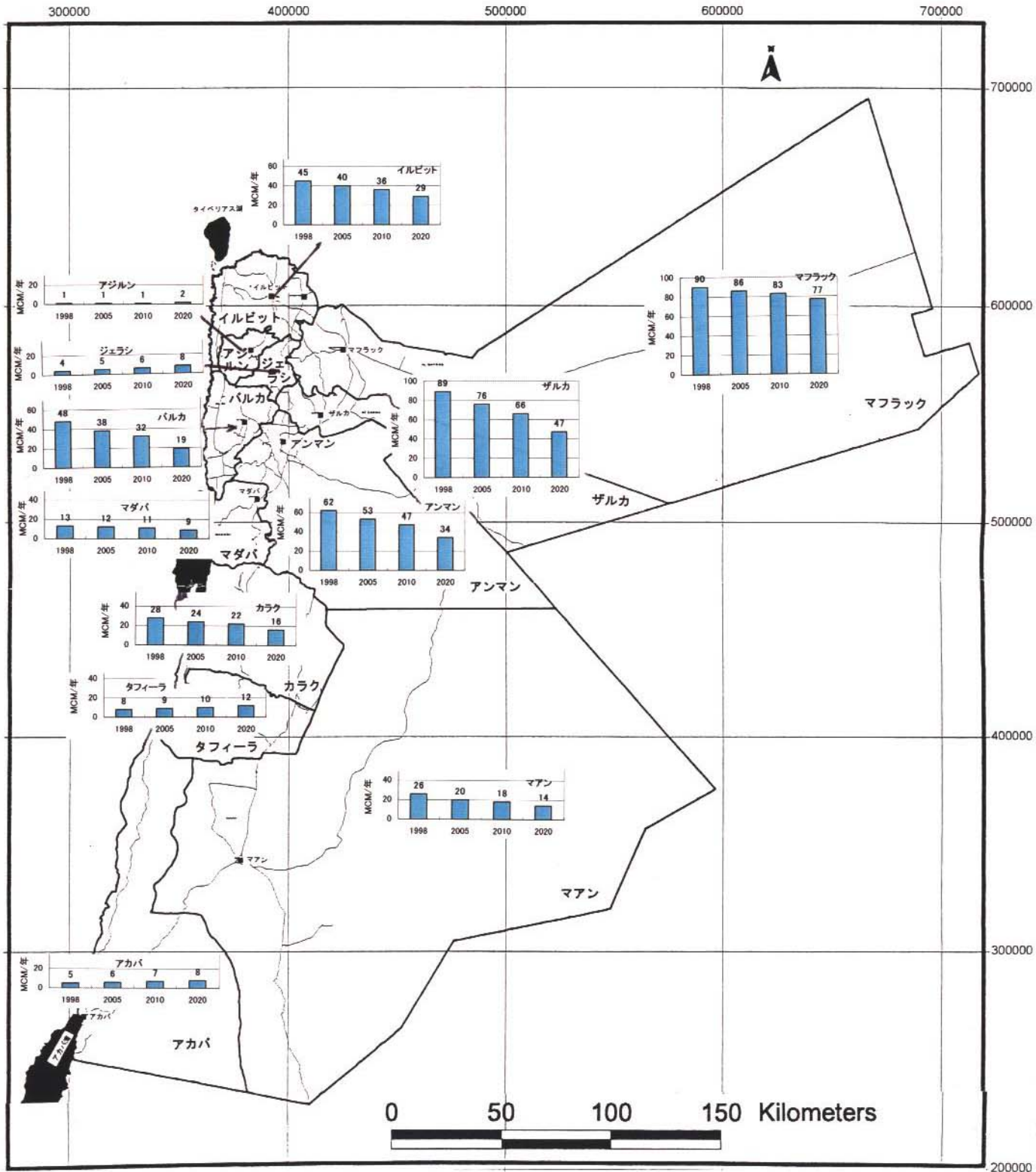
削減方法	削減率
1. 農業用水利用効率化指導 (農業指導)	8%
2. 井戸の買い上げ	25%-33%
3. 揚水規制基準の厳密な適用	25%-33%
4. 下水処理水への水源転換	17%-25%

出典：USAID の WRPS 調査結果による。

循環性地下水の過剰揚水は、主として高原地域での灌漑用に行われており、他流域での過剰揚水の状況はアンマン・ザルカ流域の場合とほぼ同じである。従って、USAID の提案した揚水削減対策は、他流域でも適用可能と判断される。

USAID は、アンマン・ザルカ流域において、以上に述べた循環性地下水揚水削減対策を実施するためのアクションプランを策定している。これが成功した場合には、同様の手法を他の流域にも広げ、揚水削減計画を全国展開するとしている。

図 6.1-3 は、2020 年までの目標年次毎に、循環性地下水の揚水量を、その安全揚水量まで削減する場合の、各行政区の計画揚水量を示したものである。



出典：調査団の検討による

図 6.1-3 各行政区の目標年次ごとの循環性地下水計画揚水量

6.2 質的管理

6.2.1 表流水水質保全計画

(1) 表流水の水質の現況

ジョルダン国の表流水は、北側から流入するヤルムーク川および和平条約水と、ジョルダン国内部のワジに大別される。

ヤルムーク川および和平条約水は、全てキングアブドラ水路（KAC）に流入しており、KAC は、ジョルダン渓谷の灌漑用水およびアンマン首都圏への生活用水の大動脈となっている。KAC の水質は、長期的に見た場合、ザルカ川との合流部から上流では飲料水基準を満たしている。しかし、1998 年にアンマン首都圏の水道水が異臭を放つ問題が発生し、KAC の水質に原因があるとされた。ザルカ川との合流点の下流部では、アッサムラ下水処理場からの下水処理水が混入することから、生活用水には使用できないが、灌漑用水としては全ての作物に適用できる良好な水である。

ジョルダン国のワジの表流水はダムによって開発されているが、ダムに貯水された表流水の水質は、キングタラルダムを除いて、現在のところ生活用水に使用できる基準を満たしている。キングタラルダムにはアッサムラ下水処理場の下水処理水が流入することから、生活用水には使用できないが、キングタラルダムの希釈作用や自浄作用により、下水処理水の水質が改善されている。

(2) キング・アブドラ水路（KAC）の水質モニタリングと水質保全

1998 年の水道水の異臭事件を契機に、KAC の水質保全が重要な課題の 1 つとなっている。KAC の水質モニタリングを強化するため、以下の対策を実施することを提案する。

- 水質モニタリングシステムを統合し、MWI（水灌漑省）のもとで管理する。
- データベースを統一し、MWI の WIS システムに保存する。
- AGP 試験を含む富栄養化に関するモニタリング項目を追加する。
- 肥料、殺虫剤、微生物等のモニタリング項目を追加する。

KAC の水質保全のため、以下の 2 つのオプションの実施を提案する。

- オプション 1：水路の両岸に立ち入りができない保全ゾーンを設ける。
- オプション 2：取水口からデルアラの区間の水路を蓋で覆う。

(3) ダムおよび貯水池の水質保全

生活用水を供給しているダムや貯水池については、現在のところ特に問題は発生しておらず、水質保全対策もあまり実施されていない。しかし、今後 KAC で起きたような不測の事態を回避するため、水質保全対策を実施して行く必要がある。ダムおよび貯水池の水質保全のため、以下の対策を行うことを提案する。

- 貯水池の周辺に立ち入りを禁止する保全ゾーンを設ける。
- 貯水池に流入する汚濁物質の点源を取り除く。
- 貯水池に流入する汚濁物質の面源を削減する。
- ダム湖の管理と水質モニタリングを徹底する。

(4) 表流水水質モニタリングと情報管理システムの改善

1995 年に USAID の援助で行われた WQICP（Water Quality Improvement and Conservation Project）で、総合的な表流水水質モニタリングシステムが策定されている。WQICP では、表流水の水質モニタリング地点として、全国で 130 サイトを提案しており、モニタリング

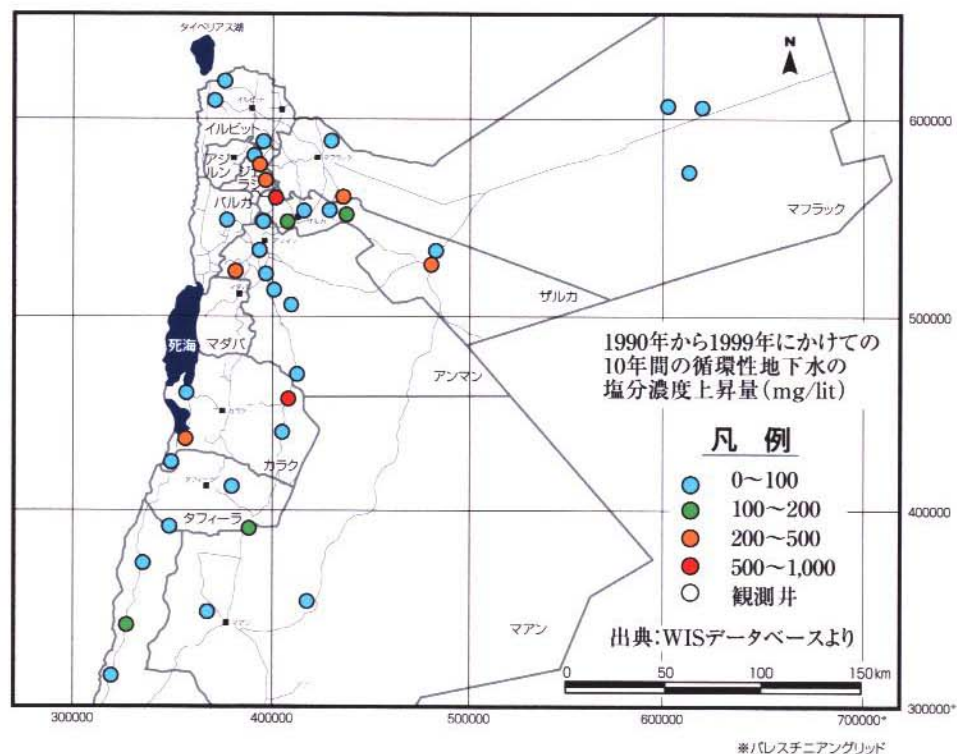
は、「生活用水」、「工業用水」、「飲料水」、「農業用水」、「その他」の5つのカテゴリーに分類され、カテゴリー毎にきめ細かくモニタリングプログラムを策定している。

このため、表流水の水質モニタリングはこの計画に基づき実施すべきである。また、集められたモニタリングデータは系統立てて整理し、全て MWI の WIS データベースに保存することを提案する。

6.2.2 地下水水質保全計画

(1) 地下水の水質の現況

ジョルダン国では、循環性地下水の広域的な塩分濃度と硝酸塩濃度の上昇が大きな問題となっている。循環性地下水の塩分濃度と硝酸塩濃度の上昇は、主に高原地域で発生しており、上昇の著しい地域では塩分濃度、硝酸塩濃度ともに、飲料水基準を大幅に越えている。長期の水質モニタリング結果から、広域的な塩分濃度と硝酸塩濃度の上昇傾向は現在も続いていると判断される。図 6.2-1 に 1990 年から 1999 年にかけての 10 年間の、循環性地下水の塩分濃度上昇量の分布を示す。この図に示すように、塩分濃度の上昇の著しい地域は、高原農業が盛んに行われている北部高原地域である。



出典：WIS データベースに基づく

図 6.2-1 1990 年から 1999 年にかけての循環性地下水の塩分濃度上昇量分布

広域的な塩分濃度と硝酸塩濃度の上昇は、本調査の結果、主として土壌のリーチング水を含む灌漑用水に起因するものと判断された。本調査で行った南部アンマン地域における地下水水質シミュレーションによると、地下水を使用した現況の灌漑農業を 2020 年まで続

けた場合、循環性地下水の塩分濃度は最大 1,300mg/lit まで上昇し、硝酸塩濃度は最大 100mg/lit まで上昇するものと予想され、多くの井戸で地下水の水質が飲料水基準を満たさなくなることが予想された。このように、このまま循環性地下水を利用した高原農業を続けた場合、20 年後には高原地域の主要井戸群の水質悪化が進み、多くの井戸で飲料水基準を満たさなくなる恐れがある。

(2) 塩分濃度上昇問題に対する対策

本調査で実施した、南部アンマン地域における地下水水質シミュレーションの結果、灌漑用水の使用量を 30% 低減することで、南部アンマン地域での地下水の塩分濃度上昇は抑えられると予測された。

地域によって水文地質構造や塩分濃度上昇の機構は異なるため、南部アンマン地域で行ったシミュレーション結果をそのまま他の地域には適用できない。しかし、南部アンマン地域はジョルダン国の中で、地下水の水質悪化が最も顕著な地域の 1 つであることから、ここよりも水質悪化が顕著ではない他の地域においても、南部アンマン地域で適用される対策（30% の灌漑用水削減）が有効であると想定される。

一方、循環性地下水の持続的開発の観点から（全国レベルの地下水位低下傾向を阻止する観点から）循環性地下水の揚水量を全国レベルで、現状の約 40% 削減しなければならない(6.1.2 節参照)。循環性地下水の塩分濃度上昇が著しい高原地域での農業では、水源のほとんどを地下水に依存していることから、地下水源保全のための地下水揚水削減対策が実施されれば、地下水の水質悪化傾向も同時に抑制されるものと判断された。

6.1.2 節で述べたように、USAID がアンマン・ザルカ流域で 2001 年に行った WRPS (Water Resources Management Policy Support) によれば、農業指導や井戸の買い上げ等により、灌漑用の地下水揚水を 40% 以上削減できるとしており、そのアクションプランも策定されている。

以上の理由から、地下水の塩分濃度上昇問題の対策として、灌漑用の地下水揚水量の削減を提案する。

(3) 硝酸塩濃度上昇問題に対する対策

南部アンマン地域における地下水水質シミュレーションの結果、灌漑用水の使用量を 30% 低減することで、南部アンマン地域での地下水の硝酸塩濃度上昇も抑えられると予想された。

このため、塩分濃度上昇問題と同様に、地下水の硝酸塩濃度上昇問題の対策として、灌漑用の地下水揚水量の削減を提案する。

(4) 地下水水質モニタリングと情報管理システムの改善

地下水の水質モニタリングは、1970 年代から定期的に行われてきているが、モニタリング井戸の位置や数量が年によって大きく変化したり、モニタリング項目が変わったりしており、連続的な水質変化を追えるデータは数少ない。また、モニタリング項目も電気伝導度、pH、主要イオンに限られており、将来問題となってくるであろう重金属や有機物質などの項目について分析が行われていない。今後、都市化が進むことにより一層地下水の水質汚染が進むことが予想されることから、地下水水質モニタリングと情報管理システムの改善を提案する。

前述した WQICP では、総合的な地下水水質モニタリングシステムも策定されている（WQICP, Water Monitoring System Adequacy Report, 1995）。このため、表流水の水質モニタリングと同様に、地下水の水質モニタリングもこの計画に基づき実施される必要があり、その水質モニタリング項目には微生物、重金属、有機物の項目が追加されるべきである。

6.3 組織・制度管理

(1) 組織・制度の現状

2.2 章で触れたように、カナダの CIDA の協力で策定された組織改変計画に則って、水セクターの組織・制度の改変が行われており、職員数の減少など効果が出ている。1997 年から 1998 年にかけて制定されたジョルダン国の水戦略および水政策では、組織・制度改革の一環として、事業管理の民間委託、水関連プロジェクトの BOO あるいは BOT 方式による実施、民間による下水処理水を利用した灌漑などを促進する政策が打ち出されている。

実際、アンマン首都圏の水道事業と下水道事業の維持運営管理は、1999 年に民間企業である LEMA に委託されており、その結果料金収入が 19.2 百万 JD から 22.3 百万 JD に増えるなど、事業の運営が健全化されつつある。

水灌漑省に設置された PMU (Project Management Unit) が、水関連事業の民営化を促進する部門であり、今後、他都市の上下水道事業の民営化を視野に入れている。

節水や現状の水問題についての住民教育や広報活動は、水灌漑省に設置された広報部 (Directorate of Public Awareness) が担当している。広報部は、前述した USAID による WQIC プロジェクトで提案された組織計画に基づき設立されたものである。広報部の主な活動内容は以下の通りである。

- テレビ、ラジオ、新聞等のマスメディアを通じた広報活動
- 学校や集会での教育活動
- 広報用のポスターやビデオフィルムの作成

(2) 組織・制度改善計画

組織・制度管理によって新たな水源は発生しないが、健全な水道事業や下水道事業を行う上で必要不可欠である。現在計画されている組織・制度改善に関連するプロジェクトを表 6.3-1 に示す。

表 6.3-1 組織・制度改善関連プロジェクト

プロジェクト名	予定終了年	プロジェクトの内容	援助機関
1.行政区支援セクション設立計画 (GS)	2002	アンマン首都圏で行っている下水道事業の維持管理運営の民営化を他の行政区へ展開する。	GTZ、Kfw
2.計画、管理ユニット設立計画 (PMU)	2003	・複数の援助国によるアンマン首都圏の給水管網のリハビリテーション実施を調整する。 ・不明水対策を行う (住民教育を含む)	EU
3.アンマン首都圏上水及び下水事業管理契約	2003	アンマン首都圏の下水道事業の維持管理運営を民間に委託・管理する。	USAID

出典：投資計画 2000-2010

6.4 水配分・水輸送管理

ここでは、最初のステップとして第 4 章で述べた全国の総水需要予測と、第 5 章および 6.1 節から 6.3 節で述べた水資源開発計画および水資源管理計画によって得られる全国の総水資源量 (総供給量) とを各計画年次で比較し、需要と供給のバランスを全国レベルで取った。バランスしない場合には、第 3 章で述べた水資源管理マスタープラン策定の基本条件に変更を加え、再度需要量と供給量を検討し、需給バランスがとれるまでこの作業を続けた。