

第2章 調査区域の現状

2.1 社会経済条件

2.1.1 州別並びにガバナレート別人口

表 2-1 は、国勢調査に基づく 1974 年から 2004 年までの調査対象 5 州および「サ」国全体の人口推移を示す。これによると、5 州の人口は、9470 千人であり、「サ」国総人口の約 40%を占めている。30 年間で 3 倍に増加している。人口増加率は 6.9% (1974 年～1992 年) から 2.3% (1992 年～2004 年) に減少している。州は、ガバナレートから構成される。行政人口は、都市部人口と地方部人口に分けられている。5 州の総人口の約 73%が都市部に居住している

表 2-1 1974 年から 2004 年までの 5 州の人口推移

州	1974	1992	2004	年間増加率 1974-1992 (%)	年間増加率 1992-2004 (%)
Makkah Al Mukarramah	1,754,108	4,467,670	5,797,971	8.1	2.3
Al Bahah	185,905	332,157	377,739	4.1	1.1
Asir	681,361	1,340,168	1,688,368	5.1	2.0
Jazan	403,106	865,961	1,186,139	6.0	2.8
Najran	147,970	300,994	419,457	5.4	3.0
5 州計	3,172,450	7,306,950	9,469,674	6.9	2.3
「サ」国 13 州 計	6,729,642	16,948,388	22,673,556	8.0	2.6

出典： 第八次開発計画

注記： 人口増加率はデータに不備があったため再計算された数値。

2.1.2 経済状況

1999 年から 2004 年の生産高の変化は、2%～6%にある。この間の GDP 平均成長率は 3.4%であり、民間サービス部門及び製造部門の成長率はこれより高くなっている。2004 年における各部門が GDP に占める割合は、民間サービス部門が約 30%、原油・天然ガスが約 28%、製造分門が約 25%となっている。

製造部門と民間サービス部門は、各セクターに分かれていて、小売・飲食店/ホテル、その他製造業、不動産、建設業は GDP の 6.0%以上を占めている。

年平均成長率が 5.0%を越えているサブセクターは、電気/ガス/水(6.3%)、その他製造業(5.9%)、金融/保険/ビジネスサービス (5.8%)、交通/通信 (5.6%) となっており、製造業並びに民間サービス部門が経済を引っ張っている様子がうかがえる。

近年、1 人あたりの GDP は年々着実に増えており、2007 年は 15,000 ドルを超えるものと推定されている。成長率は減少傾向にあり、特に 2003 年には 8%近い成長率が 2004 年には 5%台まで低下している。2007 年の成長率は 4%を維持する見通しとなっている。

2.1.3 農業

(1) 「サ」国の農業

2002-2007 年における国全体の平均作付面積は 1.14 百万 ha である。州別の内訳では作付面積は Riyadh、Al Qasim、Jazan、Al Jawf、Hail の順となっており、調査対象地域の Jazan 州は全国第 3 位である。Jazan を除くこれらの州では大規模な機械化農業が実施され、多くの化石水が水源として利用されている。また、「サ」国全体における 2001 年の農業人口は 193 万人で総人口に占める割合は 9.2%である。また就労人口は 58 万人で総就労人口に占める割合は 9.1%である (出典：FAOSTAT)。

(2) 南西地域の農業

調査対象地域 5 州における 2002 年、2007 年における作付面積はそれぞれ 270 千 ha、193 千 ha となり作付面積は年々減少傾向にある。また「サ」国全体に占める南西地域の割合もそれぞれ 22%、19%となり減少傾向にある。

一方、州ごとの農業の特徴は Makkah 州では大都市 Jeddah を抱えているため近郊農業型の野菜栽培が盛んである。また、Al Baha 州、Asir (Abha) 州、Najran 州では高地の地形および気候を利用した果樹、野菜栽培が盛んである。一方で、Makkah 州、Asir 州の高地では小麦、平地ではソルガムに代表される穀類が栽培されているが、小麦は気温と圃場規模の関係で南西地域には適さず農地の多い Jazan 州の平地では高温のため小麦栽培は少ない。Jazan 州は、5 州の中で最も大きな作付面積を示しており、特に穀類の栽培が多くを占め、80%以上となっている。

調査対象地域において、野菜、果樹はドリップ灌漑などの近代的灌漑方式が採用され灌漑効率は高いが、ソルガム、小麦等の穀類の栽培においては Flood Irrigation などの伝統的灌漑方式が一般的に採用されており灌漑効率は低い。

2.1.4 工業

(1) 「サ」国全体の工業

2006 年現在で主に 10 業種の工場が操業中である。工場数は 1971 年から 2006 年までの 35 年間で約 8 倍に増加している。近年の主要産業は化学製品、プラスチック製品、建設資材、ガラス製品製造、ベースメタル加工などとなっている。2006 年時では 5 州において 1,176 の工場が操業しており、国全体で約 30%を占めている。5 州の工場数の国全体に占める割合は 1999 年以降ほとんど変わらない。

(2) 5 州の工場件数

5 州何れも工場件数は増加しており、最も増加率が高かった州は Al Baha 州（約 3.6%）で、次いで Asir 州（約 3.4%）である。一方、最も増加率が低かった州は Jazan 州（約 1.2%）である。

調査対象地域における工場数を業種別にみると、各州とも飲食加工、化学製品、建設資材加工、ベースメタル加工のいずれかが主要工業となっており、5 州全体では約 70%を占めている。

(3) 5 州の工場就業者数

5 州全体では食品加工、化学製品・プラスチック製造業の就業者数が最も多い。州別では、Makkah 州が同様に食品加工、化学製品・プラスチック製造業の就業者数が多く、Al Baha 州、Jazan 州、Najran 州は食品加工、建設資材・ガラス陶器製造の就業者が上位を占めている。

(4) 5 州の 1 工場あたりの業種別就業者数

5 州の 1 工場あたりの平均就業者数は 30 名から 100 名程度である。Makkah 州は 1 工場あたりの就労数が最も多く約 100 人となっており、比較的規模の大きい工場が集中している。次いで Asir 州の約 60 人となっている。また、業種別には製紙・印刷業を除き 5 州全体で 1 工場あたり 40 名から 60 名程度となっている。

2.1.5 インフラストラクチャー

(1) 道路

調査対象 5 州の道路延長は国全体の 38%を占めており、この内 80%が未舗装、20%が舗装されている。国全体では、73%が未舗装、27%が舗装となっている。Asir 州、Makkah 州は道路の整備率が高い一方、他の 3 州の整備率は低い。

(2) 電気

2003 年の電力サービスの普及率は 90%、1999～2003 年の年平均伸び率は 3.3%、1 人当たり消費電力の年平均伸び率は 1.7%となっている。電力サービス利用者の約 83%は居住者であり、全利用者は年 5.8%ずつ増えている。第 8 次開発計画によると電力サービスの推定普及率は 2004 年が 92%で、2009 年には 100%に達するものと推定されている。なお、停電の有無等のデータは得られていない。

2.1.6 雇用

2003 年の民間部門における全雇用者数の内、約 33%がサウジ人労働者で、67%が外国人労働者である。民間部門全雇用の内 52%が生産部門に従事しており、サービス部門は 46%となっている。サービス部門のサウジ人労働者数は生産部門のサウジ人労働者数よりも多く、生産部門の外国人労働者数はサービス部門の外国人労働者数より多い。

調査対象 5 州の失業率を次表に整理した。Jiddah をかかえる Makkah 州でさえ、失業率は 18%と、「サ」国全体の 16%よりも高くなっている。失業率が 3 割を超えて特に高いのが、Al Baha 州 (32%) と Jazan 州 (31%) である。全国的に女性の失業率が男性の失業率より高いが、Al Baha 州と Jazan 州の女性の失業率は 64%と 52%となっており、就業希望の女性の内、就職できるのは半分以下である。

2.1.7 保健衛生

「サ」国の幼児死亡率は 1984 年から 2003 年までの 20 年間で、1,000 人あたり 85 人から 1,000 人あたり 22 人と減少しており、平均寿命は、61 歳から 72 歳になっている。妊娠婦人の医療機関への通院率は、1999 年の 86.8%から 2003 年の 98%に改善している。

2.1.8 水の経済価値（農業／工業／生活用水）

(1) 水道料金

第 8 次開発計画では 6 人家族の水の月平均消費量を約 41m³と推定している。この推定消費量は、料金区分の第 1 区分（表 2-2 参照）に分類されることから、大半の利用者が支払う実際の水道料金は 1m³当り 0.10SR（SR=約 30 円）となっている。

表 2-2 地方自治体用水道料金区分

Segment	Volume (m ³)	Tariff (SR/m ³)
First	0-50	0.10
Second	51-100	0.15
Third	102-200	2.00
Fourth	201-300	4.00
Fifth	301 and Over	6.00

出典：The Eighth Development Plan

(2) 水のコスト

Household water and sanitation services in Saudi Arabia: an analysis of economic, political and ecological issues は、脱塩水と地下水のコストを試算して比較を行っている。それによると New Riyadh Wells Project の 1m³当りの費用はおよそ 0.36 ドルと推定されている。これに資本の機会費用 0.18 ドル/m³を加えて、生産費用は 1m³当り 0.54 ドルとなっている。

2.2 自然条件

2.2.1 地 理

調査区域は、「サ」国の南西部「紅海沿岸 - 山地 - 内陸平原」に位置し、中央部の Al Hijaz-Asir 高地、東部域および西部域で異なった（水文）地形学的な特徴を有している。中央の Hijaz-Asir 高地は、本調査区域を南北に縦貫し、西側（紅海側）で急崖、東側（Najd 側）の緩斜面が特徴的であり、稜線は急崖によって 700km にわたり明瞭に追跡される。山稜は、南部 Abhah 周辺で最も高く標高 3,000mに達し、北に向かいしだいに高度を減じ Taif 周辺で標高 1,500mとなる。

一方、西部の紅海に沿う低地は Tihama と呼ばれる海岸平野であり内陸に向かい次第に段丘～丘陵地に漸移するいわば沖積原特有の地形を示している。

東部域は、Al Hijaz-Asir 高地の稜線から小丘を伴う丘陵地（準平原）となるが、広く Harrat と呼ばれる溶岩台地に覆われる。さらに東方（の調査域東縁部）では、岩屑と沖積堆積物が、溶岩

台地および先カンブリア紀の基盤を覆い分布している。

当調査区域は、地形学的に西部沿岸低平地- Tihama、Al Hijaz-Asir 高地、Najd（先カンブリア結晶岩）台地の 3 地形区に分けられる。（図 2-1 参照）

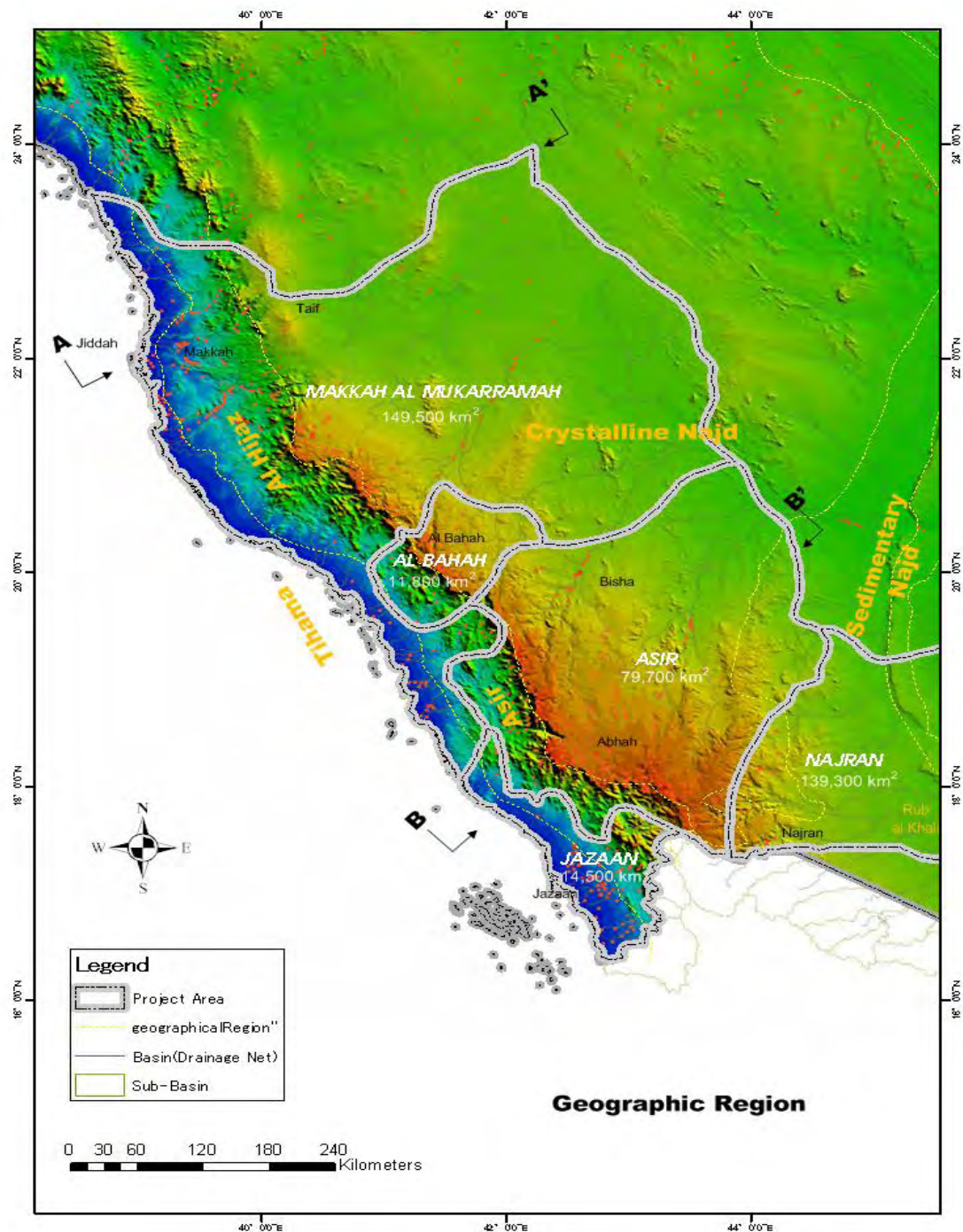


図 2-1 調査域の地形概要

2.2.2 地質

本調査区域の基盤は、先カンブリア紀原生代の - 激しく褶曲し、また局部変成した火砕岩、碎屑岩などの - 変成岩、および酸性から塩基性の多様な火成岩よりなる。これらは「Arabian Shield-Nubian Shield」の一部にあたり、調査区域中央部 Hijaz-Asir 高地に露岩する。同高原の東側山麓では、先カンブリア紀原生代の上位に古生代の堆積岩が東傾斜で重なり、カンブリア紀～オルドビス紀の「Wajid sandstone」として知られている。

当区域の火成活動は、岩相より、地質時代と通じ数回のイベントが想定されている。最も古い時代の活動は、先カンブリア紀原生代であり火山 - 砕屑物および溶岩流（または被火山性の岩体を取り込む）複合岩体として知られている。新期の活動としては、第三紀と第四紀の二時期が知られ、これには、本調査域の北部に分布する玄武岩溶岩と塩基性岩の貫入岩体が含まれる。これら両火成岩ともに紅海造構造運動に関係した火山活動に由来し、玄武岩溶岩は広域にわたる火山活動の結果の噴出岩、一方、塩基性岩（斑岩）は深部裂罅に沿う貫入岩としての特徴を有する。

調査地区の地質図は、図 2-2 に示す。

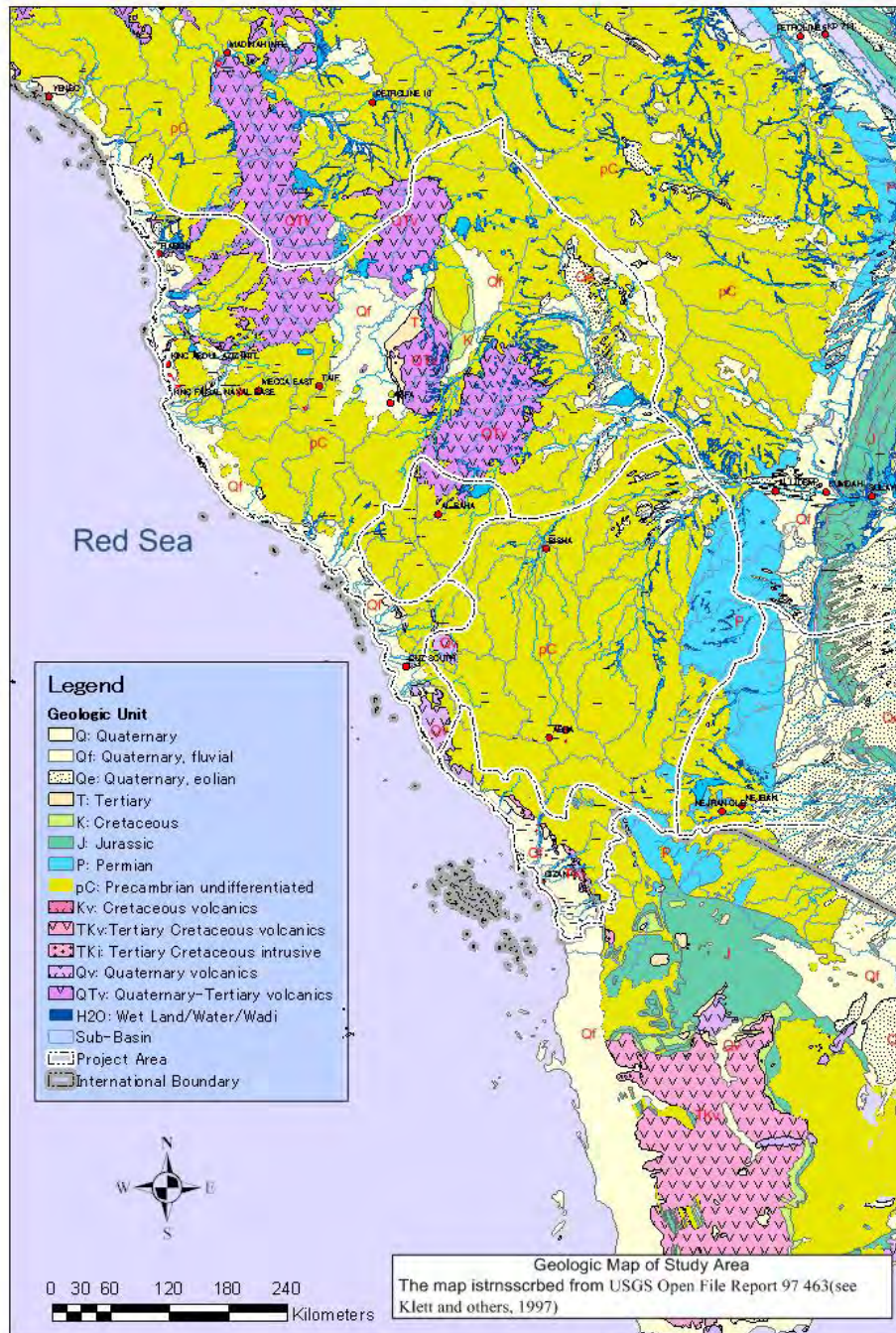


図 2-2 調査地区の地質図

2.2.3 気象（気象観測所）

調査地域における気象観測所は、気象環境庁（以下、PME と称す）所管の 10 気象観測所と水電力省（MOWE）所管の 56 気象観測所がある。

2.2.4 水文（雨量、流量）

(1) 雨量

調査地域における雨量観測所は、1.2.3で既述した PME 所管 10 観測所以外に、MOWE 所管の 105 雨量観測所がある。地域的な雨量の傾向を見ると、対象地域の北側(Makkah 州の Jeddah 北方 J140 観測所)では、年雨量は、最大でも 100mm 以下となっている。対象地域の中央部の山地部(A107 観測所)では、比較的年雨量が多く、50mm～250mm 程度となっている。南側に位置する Jazan 州は、最も雨量が多く、SA137 観測所では、多い年で 400mm 以上、少ない年でも 50mm 以上の降雨を示している。

(2) 最近の雨量の動向

MOWE のデータベース登録データより、1968 年～2004 年の年間雨量を整理し、ティーセン分割法により調査 5 州の雨水量を求めた。5 州の中で Jazan 州が最も多雨であり年平均降雨で 400mm 以上を示す。(図 2-3 参照)

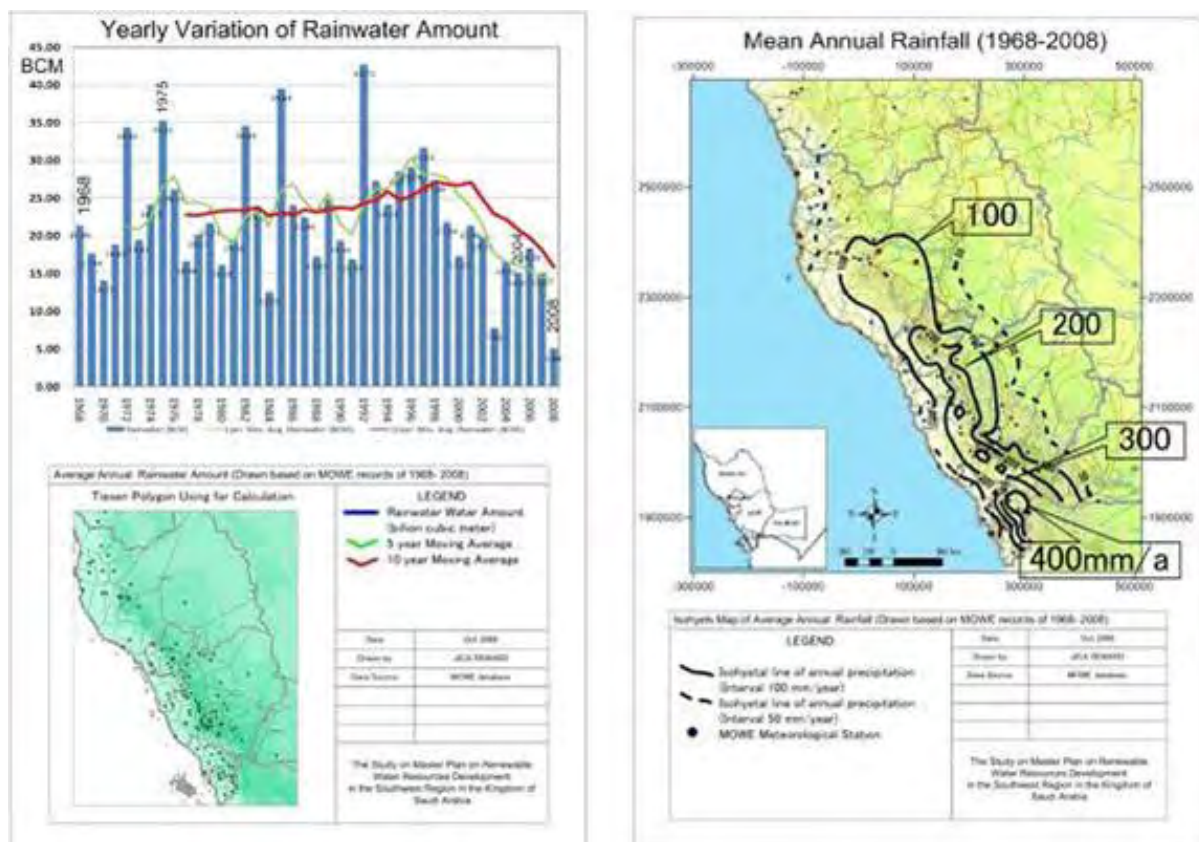


図 2-3 調査域の年間雨水量の変化と地域分布

(3) 流量

調査地域では、1985 年頃から流量観測は行われていない。州別の流量観測所の位置図については、サポーティング・レポートに示している。

地域的な流出量の傾向を見ると、対象地域の北側(Makkah 州の Jeddah 北方 J410 観測所)では、1975 年に流出が見られるが、他の年はほとんど見られない。対象地域の中央部の山地部(A403 観測所)では、比較的流出の年変動が大きく 80MCM の年があったりするものの、1977 年以降は、流出が少ない傾向にある。南側に位置する Jazan 州では、最も安定した流出量となっており、SA21 観測所では、多い年で 80MCM 以上、少ない年でも 15MCM 以上の流出を示している。

2.2.5 水文地質

調査区域の帯水層は、先カンブリアン紀、沖積ワジ堆積物、さらに現世の風成砂までが含まれる。調査区域に広く分布する先カンブリアン紀の地層には纏まった地下水資源は期待できず、開発の対象となる帯水層は、古生代以降の堆積岩および第三紀殻～第四紀の火山岩類からなる地層にある。全土では、地質層序から主要 8 帯水層（主要帯水層 4 層および二次帯水層 4 層）が開発可能な帯水層とされている。

帯水層の内、2 つの主要帯水層：Mijur/Dhruma、Wajid と 2 つ二次帯水層：Alluvium and Basalt が調査区域の主要な地下水源となっている。

1. 下部古生層の砕屑岩（Wajid 帯水層）
2. ジュラ紀、二畳紀、三畳紀の砕屑岩（Mijur/Dhruma 帯水層）
3. 第三紀～第四紀の溶岩・火砕岩（Basalt 帯水層）
4. 第四紀の堆積層（Alluvium 帯水層）

図 2-4 にこれら 4 帯水層の分布を示してある。

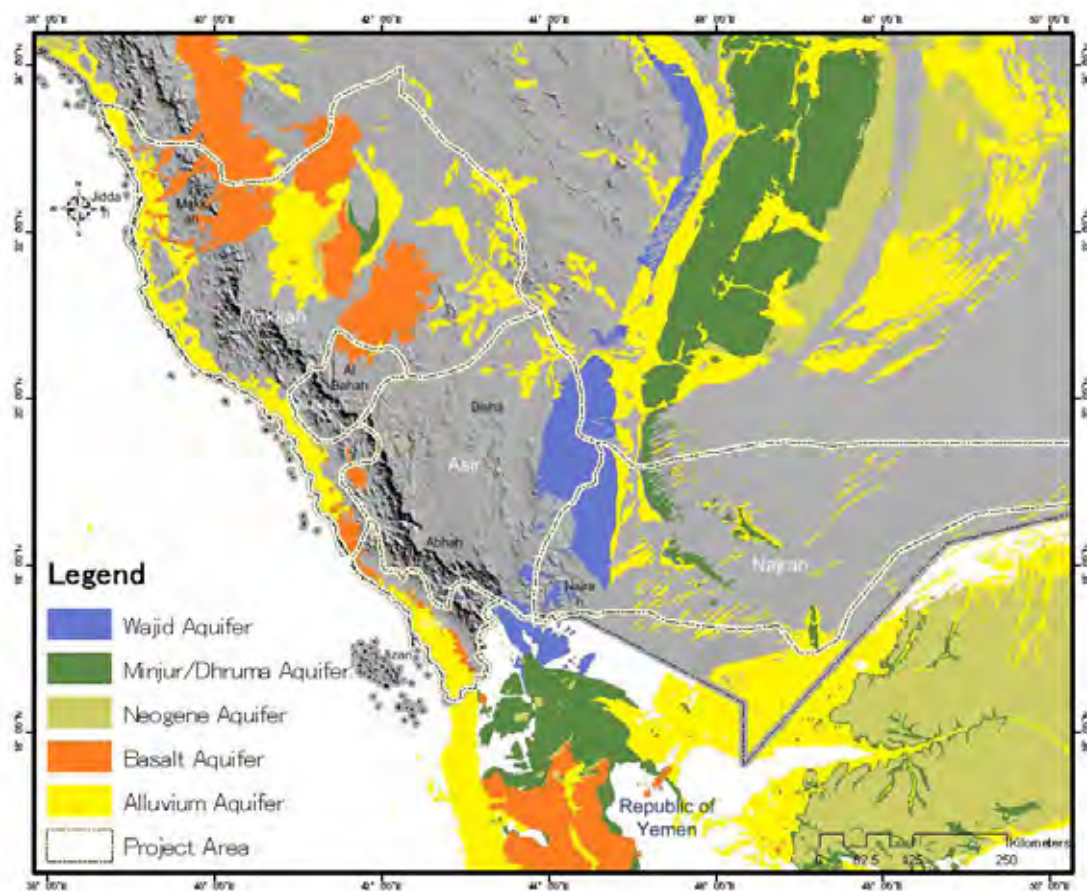


図 2-4 調査域の帯水層

2.2.6 地下水および水質

調査区域内の 4 つの帯水層は、その透水性また貯留能から纏まった地下水の開発の可能性がある」と評価される。以下に各帯水層および水質の概要を示す。

Wajid 帯水層(下部古生代の砕屑岩)

Wajid 帯水層は Wadi Dawasir 流域の一部の Asir 州の東部および Najran 州の西部に分布し、一般に水質は良好で、溶解性固形物濃度は 1,000mg/lit を示す。水質は東方の Rub al Khali basin に向かい一旦良くなるが、さらに東方では塩化が進む。また、腐食性の硫化ガスを含むことがあり、被圧層部の水質は Wadi Dawasir より西方、また北方に向かい悪くなる傾向が報告されている。

Mijur/Dhuma 帯水層（ジュラ紀、二畳紀および三畳紀の碎屑岩）

Mijur/Dhuma 帯水層の Asir 州での分布は限定的であり、また Najran 州においては、分布域の大部分が Rub al Khali の風成砂に覆われる。水質は、帯水層の深度と共に悪くなり、一部で高い溶解性固形物濃度が報告されている。

Basalt 帯水層（第三紀および第四紀層）

Basalt 帯水層は Makkah 州で広く分布し、水質は概して良好で電気伝導度は小さく、淡水から汽水を示し、一般イオンでは、ナトリウムおよび塩素が多いことが報告されている。

Alluvium 帯水層（第四紀および第三紀層）

Alluvium 帯水層は、紅海沿岸部、ワジ流路に沿う地域、山間盆地、また風成砂層など広く調査域で分布する。水質は様々な電気伝導度が報告され、また、一般イオン濃度ではナトリウムと塩素が多いことで特徴づけられる。

2.2.7 土地利用

調査域の土地利用は International Steering Committee of Global Mapping (ISCGM) の成果を参考とした。収集した土地利用図は 1km 精度の衛星画像より作成したもので、土地利用情報のほか、標高、植生、ランドカバー、河川網、交通網、行政区分、人口密集地情報を含んでいる。(図 2-5 参照)

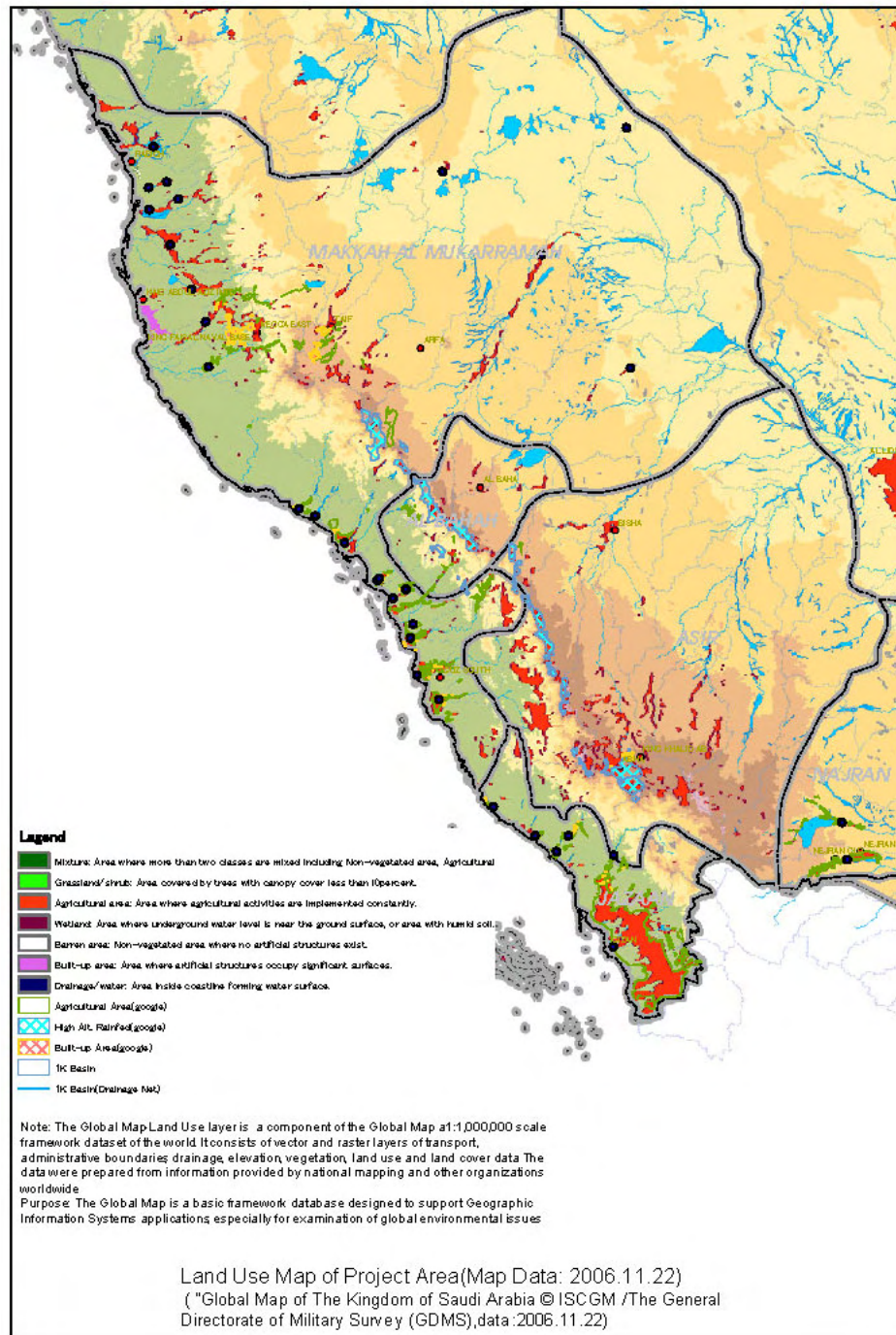


図 2-5 調査域の土地利用図 (2006 年 11 月)

2.2.8 動植物環境と保護区

調査地域の生態系の特徴

調査地域の大部分は、農地や市街地等の人工的な環境、又は荒地や砂漠等となっており、動植物の生息には適していない地域となっている。その一方、調査地域中央部を走る Al-Hijaz-Asir 高地周辺は、年間平均 300-500mm と比較的降水量の多い地域となっており、ジャクシン林や全国的にも貴重な生態系を育む条件を備えた地域となっている。First Saudi Arabian Report on the Convention of Biodiversity によれば、「サ」国には、10 箇所の大規模、11 箇所の小規模なジャクシン林があり、これらのほとんどは調査地域に位置している。このジャクシン林は、少数の森林地域の一部であり、土壌形成及び砂漠化防止地域として重要な地域となっており、動植物学的にも比較的多様性を有した地域となっている。

固有種・希少種

調査地域には、全国約 3,000 の植物種のうち約 70%が存在し、これに比例してかなりの数の動物種も同地域に分布するものとみられる。詳細な種の分類に関する確認作業は今後の調査が必要であるが、以下に示す調査地域に見られる種は、固有種、希少種及び重要種として確認されている。

1. 植物種：
 - バクシン類：比較的高標高地域に繁殖する
 - キリストイバラ (*Ziziphus spina Christi*)：ワジ河床部及び牧場地において良く見られ、アラブ文化の中で、日除け、果実、飼料、石鹼、木材及び養蜂と幅広い用途に使われている
 - アカシア類 (*Acacia* sp)：ワジ河床部や調査地域の傾斜部に限られる
 - オリーブ類 (*Olea europaea*)：バクシン林植物相から低標高の地域で見られる
2. 動物種：
 - フサエリショウノガン (*Chlamydotis (undulata) macqueenii*)
 - アラビア・オリックス (*Oryx leucoryx*)
 - アラビア・キツツキ (*Dendrocopos dora*)
 - オオヤマネコ (*Caracal caracal*)

主要な保護区

現在、全国には 15 箇所の保護区があり、これは国土の約 4%に相当し、地形学的形状、国土の生物圏の約半数、湿地、海洋及び山岳部の生態系を保全し、固有種、絶滅危惧種及び重要種を保護している。調査地域には、Jabal Shade と Raydah の保護区が指定されており、貴重な生態系の保全を行っている。

2.2.9 植生(ランドカバー)

調査域の現況植生に関する情報は Global Land Cover Facility (GLCF) の成果より収集した。収集の植生図は 1981 年から 1992 年までの画像をもとに作成されたものであり、1km 精度のクリッドを基に 14 区分で行ったものである。

2.3 在来型水資源の開発の現状

2.3.1 在来型水資源の概要

「サ」国における在来型水資源としては、表流水、地下水（浅層）、地下水（化石水）に区分されが、本調査においては、降雨によって涵養される表流水と浅層地下水、涵養されない化石地下水とした。

2.3.2 表流水ならびに地下水の既往調査

本調査区域における表流水、地下水調査は、1984 年に水・農業省の前身である農業省が、5 つのワジ(Wadi Lith, Wadi Tabalah, Wadi Yiba, Wadi Habawnah, Wadi Liyyah)を対象として行った調査が、本格的な調査である。この調査では、各ワジを対象として、水文特性の把握、水資源開発計画、開発施設と事業費等を実施した。

5 ワジの調査と平行して、農業省は、1983 年に紅海沿いのワジにおける Rabigh、Al Lith 等、12 ダムの調査を開始した。これらのダムのうち、管理中のダムは、Aqiq、K. Fahd ダムの 2 ダムである。他のダムは、すべて 2009 年現在で建設中である。

Asir 州の水資源開発調査は、アブハ(Abha)、カミスムシャイト(Kamis Mushayt)、アハッド・ルフエイダ(Ahad-Rufeida)等の都市への 20,000m³/日の飲料水の水供給プロジェクトとして、1997 年に農業省で開始された。

開発サイトとして、紅海沿岸のアダルブ(Ad Darb)近傍のワジイトワッド(Wadi Itwad) とその支川が選定された。

調査地域の南東に位置する Najran 州は、ナジランダムがあるものの、洪水貯留を目的としたダムであり、取水にはあまり活用できず、州における表流水、浅層地下水からの取水は、年々、厳しい状況にある。

MOWE は、「サ」国における帯水層における化石水の開発として、Wajid 帯水層を開発することとして、2006 年にドイツの GTZ (Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit) と契約(プロジェクト名: Detailed Water Resources Studies of Wajid and Overlying Aquifers、通称として、「Wajid プロジェクト」が使われている)し、地下水賦存量と開発の可能性を検討した。契約期間は、2006 年 4 月から 2009 年 4 月までの 37 ヶ月である。この調査は、2 フェーズに分かれ、フェーズ I は、予備調査、フェーズ II は、詳細調査である。

2.3.3 MOWE 所管のダム及び井戸

ダムの目的は、多目的になっているダムもあるが、MOWE の資料には、単一目的しか示されておらず、この目的に添って分類すると、リチャージダムが最も多いが、近年は、上水目的のダムが多い。調査対象域のダム数は、212 ダムであり、そのうちの 126 ダムが建設済み、86 ダムが建設中である。最もダム数の多い州は、Asir 州である。

「サ」国の多くの井戸は、水位・水質モニタリング、農業用水、水供給などの目的で建設された。MOWE の統計資料によると 1989～2005 年の間に 824 の井戸を掘削した。井戸数の多い州は、Asir 州、Jazan 州となる。

2.3.4 在来型水資源の開発上の課題

在来型水資源の開発上の課題は、以下のように整理される。

- 在来型水資源(表流水)は、年ごとの流出変動が大きく、ダムによって貯留することにより、有効な水資源として活用することができる。なお、貯留する場合には、蒸発量の影響を十分考慮することが重要である。
- 紅海側の第四紀平野部では、過剰揚水となっており、地下水開発に当たっては、十分な地下水の管理が必要である。
- 対象地域の東側に位置する山地丘陵部では、ワジ周辺部しか地下水開発のポテンシャルを有しない。
- 雨量の分布を見ると、在来型の水資源の開発に適した地域は限定される。すなわち州で言えば、Jazan 州の降雨が最も多く、次にその周辺部が多い傾向を示している。Makkah 州、Al Baha 州、Asir 州の北部(Bisha 付近)、Najran 州は降雨が少なく、ダムによる開発に当たっては、大きな流域を必要とする。
- 対象地域におけるダムは、現在施工中の Rabigh(ラービグ)、Hali(ハリ)、Maruwani(マルワニ)ダム等、ほとんどが 1980 年代に調査を行ったものを順次、建設している段階である。1990 年代以降では、Wadi Itwad が 1997 年からの調査であり、2009 年に完成している。
- ダム適地は、地形、地質的な観点と流量等の水文的な観点から定められるべきものであり、地形図を基に調査団では、2010 年 1 月の段階で紅海側のワジ Gholan、ワジ Khulab 等の合計 5 ワジでダム計画を立案して、MOWE と協議を行ったが、結果的にダムサイトとしては、すべて適しておらず、現時点ではダム適地はないと判断できる。
- ダムの運用については、個々のダムの運用だけにとどまっており、連携運用はなされていない。今後、主要ダムにおいては、連携運用の可能性を検討する必要がある。
- 化石地下水については、その賦存量をまず確認することが需要であるが、有限な資源であることを十分考慮して、管理計画を立案して、必要最小限の利用にとどめるべきである。

2.4 非在来型水資源の現状

2.4.1 非在来型水資源の概要

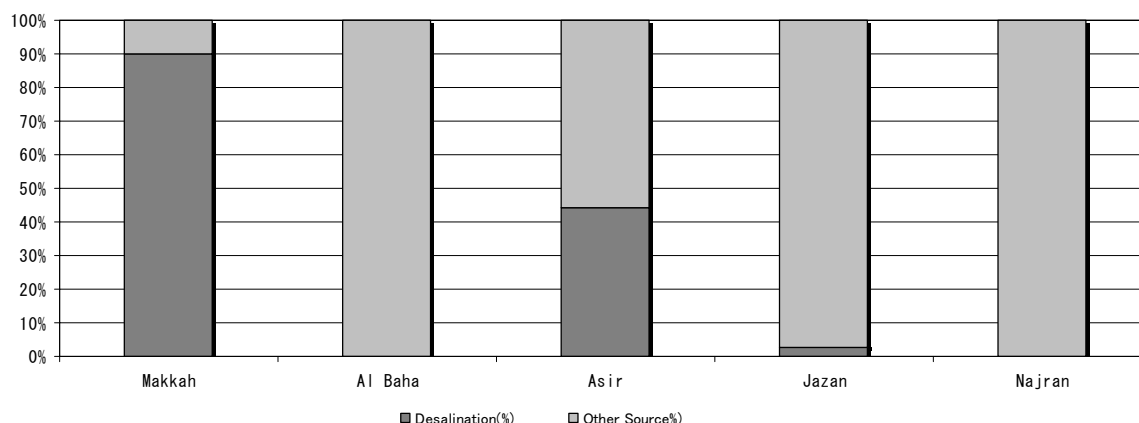
「サ」国における非在来型水資源としては、海水淡水化水と下水再生水とする。前者は、海水を

水源として、プラントで脱塩処理し、「淡水」を造水するものである。後者は、下水処理水の再利用を図るものであり、「再生水」として農業用、散水用水、工業用水として利用される。

「国家水戦略 2007 年」によると、「サ」国全体では、水の供給源は、その約 50%が塩水淡水化水、約 40%が地下水、残りの約 10%が表流水と下水の再利用水となっている。

2.4.2 海水淡水化

飲料水用の水源の内訳を 5 州について示す。5 州においては、Makkah 州が海水淡水化利用の占める割合が約 90%と最も多い（図 2-6 参照）。海水淡水化事業は海水淡水化公社（SWCC）によって行われており、MOWE は SWCC の監督官庁である。



出典: Regional General Directorate, MOWE

注記: その他のほとんどは、現実的には涵養ダムで貯水され地下浸透した水が井戸からくみ上げられている水源である。

図 2-6 飲料水用海水淡水化水とその他水源との比率（2003 年）

淡水化プラントは、ウエストコーストで 11 カ所、イーストコーストで 3 カ所の全体で 14 カ所のプラントが既存している。2005 年の全プラントの供給能力は約 280 万 $\text{m}^3/\text{日}$ となっており、その内、本調査対象地域の 5 州に位置するプラントの供給能力は 110 万 $\text{m}^3/\text{日}$ で、「サ」国全土の海水淡水化プラント能力の 4 割弱を占めている。

淡水化水の調査対象地域内の州別の水量配分を示す。Makkah 州以外に Asir 州、Jazan 州が淡水化水の供給を受けている。

2.4.3 下水再生水の利用

5 州においては下水処理水の約 40%の再生水が、工場、灌漑、造園用に利用されている。再生水の利用率が最も高い Asir 州では、全ての処理水が灌漑、造園用だけでなく、工事用にも利用されている。

2.4.4 非在来型水資源の開発上の課題

非在来型水資源の開発上の課題は、以下のように整理される。

- 非在来型水資源のうち、淡水化水については、降雨量に左右されない、安定的な供給が可能であるが、大規模なプラントとしなければコストの低下に結びつかない点が課題である。
- 下水再生水は、将来的には大きな水資源となる可能性があるものの、使用目的が限られる点や送水、配水上、下水道が整備されている区域に近い区域での利用に限られる点に課題がある。
- 下水再生水の供給は、下水道整備率とのセットであり、下水道の整備を優先して進める必要がある。

2.5 水利用の実績

2.5.1 生活、業務、商業用水

(1) 給水人口

水利用施設の形態は、公共上水道と非公共上水道に大別される。さらに、水利用形態は、公共上水道の利用者としては、直接管路からの給水を受けるネットワーク利用者と給水車からの給水を受ける利用者との分類される。他方、非公共上水道に依存する人口、いわゆる公共上水道を利用していない人口に分かれる。約4百万人がネットワークを利用しており、5州全体の人口の約42%を占めている。

(2) 水利用の実績

水の生産コストなどは全て国や州の補助金で賄われている。MOWE 州事務所では、水道料金徴収制度も確立しておらず、有収水量が正確に把握されていない。

給水原単位については、給水原単位が他州に比べ低すぎると判断した州については、ステークホルダー協議を利用して、アンケート調査を実施した。これらを基に、調査団が設定した州別の給水原単位は、Makkah 州が 180LCD、Al Baha 州と Asir 州で 110LCD、Jazan 州で 130LCD、Najran 州で 90LCD である。

2.5.2 工業用水

無効水を含む5州の工業用水の実績は、150MCM (0.4Mm³/日) となり、全国工業用水量 (716MCM) の約20%、5州の都市用水全体 (629MCM) の約23%を占めている。

2.5.3 農業用水

農業用水の使用実績については、使用実績の統計データがないために、作付面積、作物係数、蒸発散量等を考慮して、純用水量を推定し、さらに、送水損失、かんがい損失等を考慮して、水源水量を推定した。

5州全体で2,800MCMであり、内訳は、Makkah 州 750Mcm、Al Baha 州 50MCM、Asir 州 270MCM、Jazan 州 1500MCM、Najran 州 230MCM である。

2.6 水資源開発管理に関する国家計画、戦略及び法律

2.6.1 国家5ヶ年開発計画

国家5カ年開発計画は経済計画省により策定され、第1次国家5ヶ年開発計画(1970/71-1974/75)は1970年に初めて策定された。調査期間中は、2005年に策定された第8次国家5ヶ年開発計画(2005/06-2009/10)を実施中である。

第7次国家5カ年計画までは各々の計画期間に焦点を当てた計画であったが、第8次国家5ヶ年計画では、国家経済の戦略に関し、4つの5ヶ年計画を包含する20年先までの目標を示しており、「サ」国の戦略計画策定の新しい変化を表わすものである。

また、第8次国家5ヶ年計画は従来より正確に目標を設定し、可能な限り定量的に、はっきりと実施スケジュールや実施機関の責任を示している点が特徴である。以下は、国家5カ年計画のうち水分野に関する情報を整理した。

2.6.2 国家5ヶ年計画における水分野に関するレビュー

(1) 主要課題

第2次及び第3次国家5ヶ年計画では、灌漑による水の浪費や過剰な地下水くみ上げによる深刻な水不足が主要課題としてとりあげられた。

1990年代にかけては、非再生地下水の消費増加や農業用水の増加が主要課題として取り上げられてきた。また、各次計画において、国家水計画策定の必要性が記載されてきた。

1990年代以降、水の価格制度、水処理、水資源保全、上下水道システムが主要課題と認識されている。最新の国家5ヶ年計画では、水に関するモニタリング、制度の更新と施行、制度の強化及び中央集中化が課題として取り上げられている。

(2) 民間部門の役割

第3次国家5ヶ年開発計画以降、民間部門の役割の重要性が強調されている。

水・電力省(MOWE)は、水部門の効率を向上することを目標とし、このため、民間部門の参入を促進させようとしている。水部門の改革プログラムの目的は以下のとおりである。

- a) 全ての住民が清潔で品質のよい飲料水を利用できるようにすること
- b) 全ての家庭を下水に接続し、汚水を安全に排水できるようにすること
- c) 徐々に商業的要素を取り入れ、組織の活性と顧客サービスを向上させること
- d) コスト回収を念頭においた適切な価格の水及び衛生サービスを供給すること
- e) 水部門の効率向上のために民営化の促進に取り組むこと
- f) 「サ」国の自然環境を保護し、自然を保全すること。

(3) 将来の水ビジョン

第8次国家開発5ヶ年計画では初めて次に示すような将来の水ビジョンが示された。

- a) 生活及び産業のための水需要増加に対応すること
- b) 農業用水の需要を徐々に減少させること

この水ビジョンは以下により実現するものとされている。

- a) 非従来型水資源及び再生可能水資源の開発
- b) 水資源の保全及び保護の充実
- c) 水の経済的価値の考え方の適用
- d) 行政的管理能力の向上

(4) 開発戦略

達成目標及び政策を含む開発戦略が、第1次国家5ヶ年計画から現在の第8次国家開発5ヶ年計画までの各計画で明らかにされてきた。第8次の国家開発5ヶ年計画に示された戦略の概要は以下のとおりである。

表 2-3 第8次国家開発5ヶ年計画における開発戦略

開発計画年次	主な開発戦略
第8次 (2005/06 - 2009/10)	目的 1. 水資源の合理的利用を促進し、水資源を保全し、かつ、開発すること 2. 全ての国民に上下水道サービスを提供し、良質で信頼のおける水を、低所得階層も考慮した低価格で供給すること 3. 水資源の持続可能性と社会経済的効果を制約条件として、工業用水及び農業用水を供給すること 4. 国内の水資源の統合的管理を達成すること 政策 1. 水の合理的な保全技術を強化すること 2. 非従来型水資源として海水の淡水化及び下水処理による水の利用を促進すること 3. 全ての利水者に対して水の経済価値に基づく考え方を適用して、水の価格と生産コストが持続的に均衡する状態を達成すること 4. 再生可能水を開発しその有効利用を促進すること 5. 天然の水資源を汚染から守ること 6. 飲用・生活用のための水需要への対応を優先し、下水処理水の農業・工業・その他用途への利用を推し進めること 7. 水部門を管理するための基準を改善すること 8. 下水の集積及び処理施設への民間投資を活性化すること

開発計画年次	主な開発戦略
	9. 海水淡水化の能力を増強すること及びこれに関する民間投資を活性化すること 10. 水部門の人材育成を促進すること 11. 国家水計画の策定に必要な研究をとりまとめること 12. 水利用を規制する制度をレビューすること 13. 水部門の統合的なデータベースを構築すること

(5) 水省の設置と水電力省への改組

効果的な水資源管理、国家レベルの水計画、水資源開発の持続可能性及び「サ」国の発展のため、2002年にすべての水の関係機関を統合し、水省が設置され、2003年9月、水省に電力部門の役割が加えられて水電力省となった。2002年に新設された省の役割は以下のように、水資源の開発・管理及び利用のすべてをカバーするものである。

- 水部門及び水部門に係る施設の管理、モニタリング、組織の監督をすること
- 国内の水供給および貯水量の評価に必要な検討を実施すること
- 総合的水計画を策定し、水資源開発、水資源保全に関する政策を定めること
- 「サ」国の全国の都市部における上下水道ネットワーク拡大に関する計画を作成すること
- 水資源保護のために必要な組織を提案すること
- 全ての利水者に対する新しい水料金を研究し提案すること
- 下水道における回収率をどのように向上させるかを検討すること
- 民間部門を維持管理に参入させるための機構、枠組、戦略を展開すること

(6) 国家5ヶ年計画における水需給バランス

第2次国家5ヶ年計画(1975-80)以降、その時点の及び計画期中の需給バランスが示されている。第8次国家5ヶ年計画では、再生可能な表流水及び地下水の伸びは低く、非再生地下水は大幅に減少し、非従来型の水資源は大幅に増加する計画としている。表2-4にその概要を示す。

表2-4 第8次国家5ヶ年計画における水需給バランス

水資源の区分	水消費量(2004) (百万 m ³ /年)	予測需要量(2009) (百万 m ³ /年)	年増加率 (%)
再生可能表流水・地下水 (Arabian Shield & Continental Shelf)	6,500	6,900	1.0
非再生地下水	12,400	9,270	-5.0
非従来型の水(海水淡水化による水・下水処理水)	1,370	2,090	8.0
合計	20,270	18,260	-2.0

2.6.3 長期戦略 2025

長期戦略 2025 (LTS 2025)は、1998年7月2日の王室承諾に基づいて経済計画省が担当となって開催した「「サ」国経済の将来ビジョンに関するシンポジウム (2002年10月)」が基となった。

(1) 水部門に関する長期戦略

長期戦略 2025 に示された水分野の戦略的政策は、以下の通りである。

- 明確に記載された水政策の提示
- 水利用のベンチマークの実施
- 成果を指向した保全活動の実施
- ダムを含む上下水部門への民間部門の参入の拡大
- 水料金制度の改革
- 水資源総量評価の更新

2.6.4 国家水戦略

(1) 背景と現状

水電力省(MOWE)は、2003年に世界銀行(WB)に対し、「サ」国の統合的水資源管理戦略、及び、長・

短期の行動計画を策定するための支援を求めた。

MOWE と WB による検討は、以下の 3 つの段階で実施され、現在 Phase II までが完了している。

- a) Phase I: 水資源管理の現状を評価する
- b) Phase II: 国内で広範囲に意見交換し、水部門管理政策の国家水戦略を策定する
- c) Phase III: 戦略を実施するための行動計画を策定する

(2) 水部門の課題

WB 調査団は、水部門が抱えている課題を次のように 5 つの政策のギャップとして整理した。

表 2-5 水部門が抱える課題とその内容

項目	内 容
(1) 水不足のギャップ:	a) 主に灌漑用に利用されている地下水の揚水量は、持続可能な揚水量を超えている。 b) 25 年間にわたる政府の農業助成政策により、耕作地が拡大し、また、節水も実施されてこなかった。地下水揚水の規制がないために環境問題が発生している。 c) 問題は、農家が地下水をタダで必要なだけ使える権利があると考えており、また、政府が灌漑を監視し規制してこなかったことである。
(2) 水保全のギャップ:	a) 安価な水道料金のため、節水が行われず、一人当たり消費量が大きくなっている。また、給水ネットワークの漏水を減らす取り組みも十分に關心が払われていない。 b) 下水の処理水の供給とその再利用が計画的に行われず、バランスがとれていない。下水処理水を再利用すれば、環境が保全でき、また、再利用分の水量が他の用途に利用できる。 c) 灌漑施設の近代化のために多くの補助金が投入されたが、灌漑効率は全体として 45% という低い効率にとどまっている。
(3) 水サービスギャップ:	a) 上下水道のサービスは、国際的水準に達していない。多くの国民は水タンク車で水の供給を受けており、下水の回収と処理も多くの地域で改善が必要である。 b) 淡水化公社 SWCC は海水淡水化により製造した水を地方に無料で供給している。利水者からは平均して維持管理費の 5% 以下しか回収していないため、サービス向上のための投資資金が不足している。
(4) 水ガバナンスのギャップ:	a) 水の管理者はインフラ整備と水供給に関心を持ってきたが、水資源の管理には十分な関心を払ってこなかった。 b) MOWE の関係者に水管理のための技術的な支援だけでなく連携・調整を図るようすすめる必要がある。そのため、新しい組織の立ち上げや能力強化といった支援が必要である。
(5) 財政的ギャップ:	a) 農家への高額補助及び水供給事業におけるコスト回収の欠如のために、政府負担が大きくなっている。「サ」国経済における農業のコストを考えた農業生産の検討が必要である。 b) 灌漑用水が地下水を過剰に使用しているために、都市用水は地下水を利用できず、高価な海水淡水化により作り出した水に依存するよう強いられている。 c) コスト回収ができていないため、上下水道部門は下水サービス区域の拡張や処理施設の新設といった事業の実施に支障をきたしている。

(3) 国家水戦略のための政策の枠組

「サ」国水戦略は、持続可能性、効率性、公平性という 3 つの柱を前提としている。これらの柱は水戦略を策定するガイドとして以下のように具体的に表されている。

- a) 水は、国家が管理する、公共で利用するための国家財であると宣言すること
- b) 基本資源の荒廃を防止し、また、行動の方向を変えること
- c) パラダイム転換：水供給管理から水需要管理へ
- d) 水資源開発と水資源保護の均衡をはかること
- e) 水資源開発の負担軽減のため仮想水戦略を採用すること
- f) 水の生産性を高めるため高い価値が生まれる水利用を促進すること
- g) 国全体に上下水道サービスを提供できるようにすること
- h) 水利用に関するコスト回収を達成すること
- i) 水利用者を法的に保護すること
- j) 合理的な水配分のため、統合的計画を採用すること
- k) 適切かつ最低限のレベルで水管理を実施すること
- l) 社会の関心を高め、水資源の保全に取り組むこと

(4) 水配分、利害関係の調整

国家水戦略における水配分、利害関係の調整方法は、以下の通りとなる。

- 水配分問題の解決策を見いだすため、まず、全ての利害関係間で横のつながりをもつことが必要である。技術的な調整は、統合的水資源計画(IWRP)により行える。
- 政策的な調整のために、政府を参加させる。王立水評議会(KWC)として政府内及び関係機関を含む機構を推奨する。KWCは水部門の調整と統合的計画に焦点をあてて、協調的な政策決定を実施する。

(5) 目標実施にあたっての提案

国家水戦略における目標実施に当たっての提案は、以下の通りとなる。

- 国家水戦略では、水利用効率の向上、水の保全、公平で効率的な水配分、モニタリングと資源の保全、単位用水量あたりの生産性の向上、給水人口の増加等を目標としている。
- 新しい制度は、近代的な法制度・規則の枠組みを備え、適切な機器を備え、MOWEが特別な水管理機能を果たす権限を付与するものである。
- これまで政府は資源管理という基本的な機能を果たしていなかった。新しい組織構造は、秩序をもって、「サ」国の統合的水資源管理機能を果たすことを目指すものである。

2.6.5 水資源開発・管理に係る法制度

(1) 水セクターにおける法制度整備現況

「サ」国水資源開発・管理に係る法制度は、表 2-6 に示すように、水資源開発・管理に係る主要な論点について整理できる。

表 2-6 「サ」国水資源開発・管理に係る法制度整備現況

No.	分類／論点	該当法令
1. 水資源開発・管理政策		
1.1	水資源開発・管理に係る中長期政策	- 第 8 次国家開発計画 - 第 9 次国家開発計画（準備中）
1.2	総合水資源管理	- 第 8 次国家開発計画 - 王室政令第 M/34 号（イスラム暦 1400 年 8 月 24 日、西暦 1980 年 9 月 7 日制定） - 大臣審議会決議書第 62,044 号（イスラム暦 1409 年 7 月 7 日制定）
2.	下水再生水の再利用	王室政令第 M/6 号（イスラム暦 1421 年 8 月 24 日：西暦 2000 年 5 月 18 日制定）
3.	水利権（水利利用の優先権）	- 既出王室政令第 M/34 号 - 既出大臣審議会決議書第 62,044 号
4.	水料金制度	- 大臣審議会決議書第 125 号（イスラム暦 1420 年 4 月 25 日：西暦 2001 年 7 月 17 日制定） - 大臣審議会決議書第 96 号（西暦 1994 年 12 月 26 日制定）
5.	井戸掘削のライセンス	- 王室政令第 M/34 号（イスラム暦 1400 年 8 月 24 日：西暦 1980 年 9 月 7 日制定） - 大臣審議会決議書第 62,044 号（イスラム暦 1409 年 7 月 7 日制定）
6.	モニタリング（水量、水質等）	- 既出王室政令第 M/34 号 - 既出大臣審議会決議書第 62,044 号 - 既出王室政令第 M/6 号
7. 水資源開発・管理関係機関の機能・権限に関する法令		
7.1	旧水農業省の水部門と農業部門の分離	既出大臣審議会決議書第 125 号
7.2	水資源開発・管理部門の水電力省への権限委譲	王室政令第 27,472 号（イスラム暦 1423 年 7 月 9 日：西暦 2002 年 9 月 17 日制定）
7.3	海水淡水化公社の権限に関する法令	- 王室政令第 M/49 号（イスラム暦 1394 年 8 月 20 日：西暦 1974 年 9 月 7 日制定） - 王室政令第 M/10（イスラム暦 1427 年 2 月 27 日：西暦 2006 年 3 月 27 日制定）（M/49 の改訂法令）
7.4	サウジ地質調査所関係法	大臣審議会決議書第 115 号（イスラム暦 1420 年 7 月 16 日：西暦 1999 年 10 月 26 日制定）
8. PPP（公民連携）		
8.1	民営化事業リスト	大臣審議会決議書第 219 号（イスラム暦 1420 年 7 月 16 日：西暦 1999 年 10 月 26 日制定）

(2) PPP（官民連携）に係る法制度

大臣審議会決議第 219 号は、官民連携が可能な建設プロジェクトとして、上水プロジェクト、下水プロジェクト、海水淡水化事業、通信、空港、鉄道における建設、運営及び維持管理業務を規定している。

2.6.6 水資源開発・管理に係る組織・制度・予算

(1) 組織・制度に係る現況

「サ」国における水資源開発・管理に係る組織・制度体制は、図 2-7 に示すとおりである。

水・電力省（MOWE）は、水及び下水部門を管轄し、水資源開発・管理に係る基本政策の策定、井戸掘削業者の掘削許可及びこれらの管理を行っている。農業省（MOA）は、国の水資源量の約 85% を消費している農業部門の政策の策定を行うほか、処理下水の利用に係る許認可業務を行っている。MOWE の関連機関である海水淡水化公社（SWCC）は、海水からの淡水化事業を行っており、水道用水を供給している。経済開発省（MOEP）は、MOWE 及び MOA から水及び農業セクターに関する情報に基づき、国家経済開発計画を策定している。

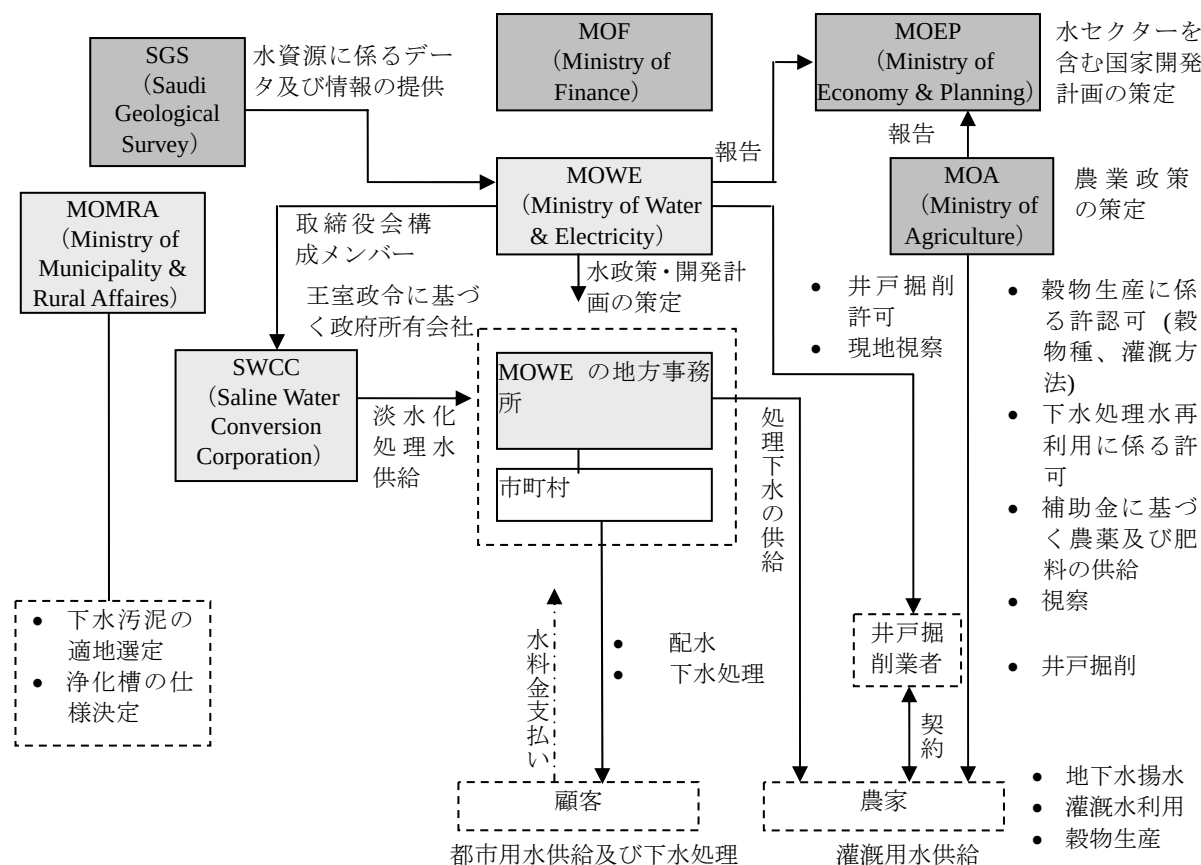


図 2-7 水資源開発・管理に係る組織・制度体制の現状

(2) 水セクターにおける組織改革

「サ」国は、水セクターに係る改革を実施してきた。主要な改革は以下のとおりである。

改革 1：水・下水セクターの集約化、水電力省の設立

2001 年に、MOWA 及び MOMRA が有していた水セクターの権限を集約し水省（MOW）が設立された。2003 年に、水省は、電力部門を取り込み、水・電力省（MOWE）へと組織改編された。

改革 2：官民連携（PPP）の導入

官民連携（PPP）の導入は、国際的に優れた水セクターの効率化に配慮し、ビジネス・モデルの成

功例を採用し、水需要の増加に配慮し、水質及び顧客サービスの改善、設備投資の増加、老朽化施設の更新改善を目指すものである。2002年6月に、水関連設備投資に民間セクターを取り込んだ枠組みを策定した。また、水セクターのPPPに関する権限は、MOWEに移譲された。

改革3：NWCの設立

水分野でのあらゆる面での実績改善を図るために、国家水会社（NWC）を創設した。NWCは、王室政令に基づく、株式会社の形態をなす国有会社を目指すものである。NWCに、段階的に主要都市の水分野に係る運営を統合するものと期待される。

上述の水セクターにおける短期的な組織・制度枠組みは、図2-8に示すとおりである。

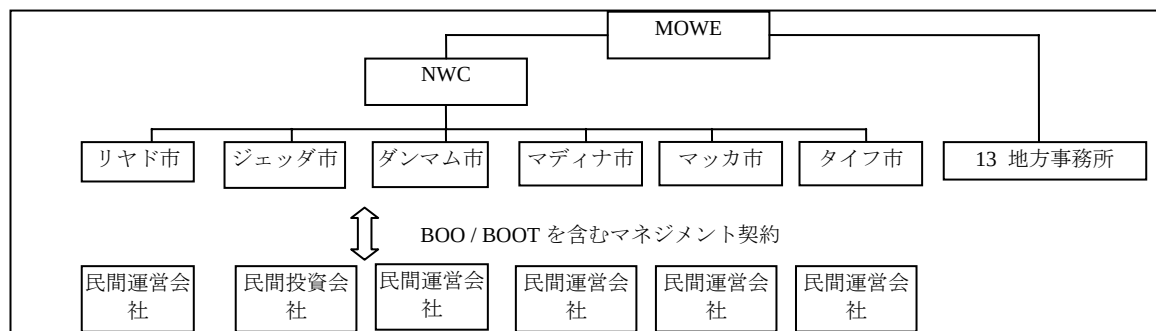


図2-8 水セクターにおける短期的な制度的枠組み

(3) 水関連機関の管轄・権限の現状

水・電力省（本省）

決議書第215号に基づき、MOA及び地方自治省の水関係部局は、MOWEの所管に取り入れられた。MOWEの各部所は、20～40名のスタッフを抱え、その組織図は図2-9に示すとおりである。

農業省

MOAは、MOWEの管轄になる前の水資源開発・管理に係る権限を有していた機関である。処理下水の再利用及び水需要の85%を占める灌漑部門は、主要部所から独立している。13州の地方事務所は、大臣直轄となっている。

海水淡水化公社

SWCCは、組織的にはMOWEの関連会社となっている。SWCCの組織図は、図2-10に示すとおりである。SWCCは、水資源が不足している全国13州及び主要都市部において淡水化事業を通じて用水を供給することを主要業務とする。

サウジ地質調査所

サウジ地質調査所（SGS）の業務は、地質調査業務の他に、マッピング、鉱物資源探査、防災、環境地質及び水理地質を含み、水資源賦存量調査も実施する。SGSは総数800名のスタッフを抱えており、本部があるジェッダ市には約650名のスタッフが勤務している。

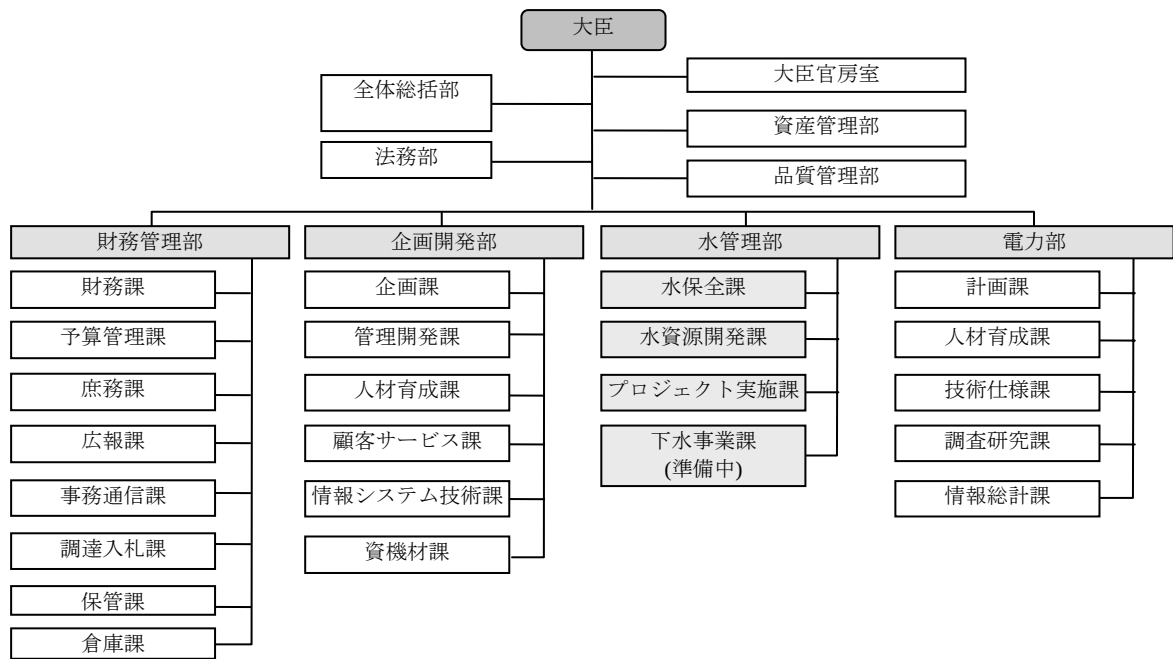


図 2-9 MOWE 組織図

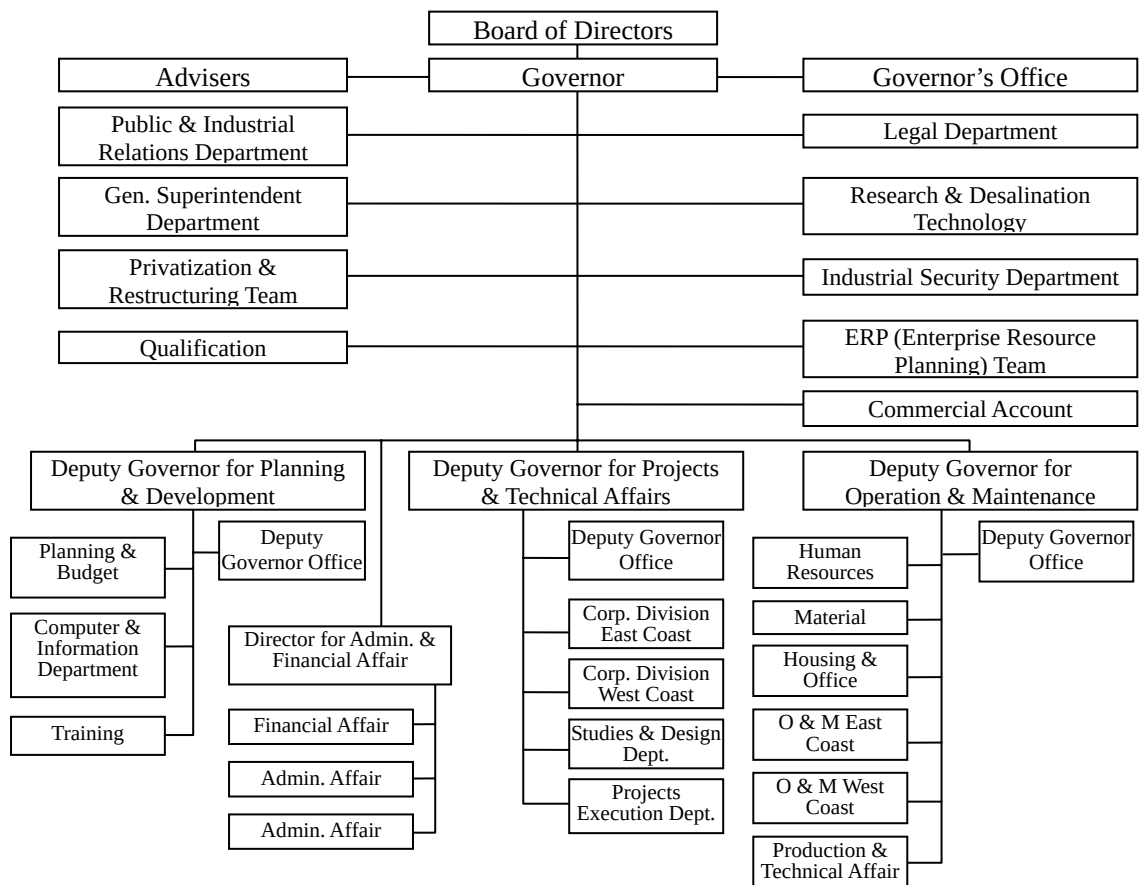


図 2-10 SWCC 組織図

(4) 水資源開発・管理に係る予算

過去 3 年間の水セクターへの予算配分

2005～2007 年の 3 年間の国家予算（歳入及び歳出）は、表 2-7 に示すとおりである。

表 2-7 セクターへの予算配分 (計画)

単位：十億サウジ・リアル (%)

No.	セクター	年		
		2006	2007	2008
1	教育及び人材育成	87.3 (26.1)	96.7 (25.4)	105.0 (25.6)
2	保健福祉	31.0 (9.3)	39.5 (10.4)	44.4 (10.8)
3	水、農業及び関連インフラ整備	22.5 (6.7)	24.8 (6.5)	28.5 (7.0)
4	都市サービス	12.4 (3.7)	15.5 (4.1)	17.0 (4.1)
5	交通運輸、通信	11.5 (3.4)	13.6 (3.6)	16.4 (4.0)
6	その他	170.3 (50.8)	189.9 (50.0)	198.7 (48.5)
総計		335.0	380.0	410.0

出典：財務省 <http://www.saudiembassy.net/2006News/Statements> ; <http://www.soietz.gov.sa/>

MOWE の年間予算

MOWE の 2004～2007 年過去 3 年間の年間予算は表 2-8 に示すとおりである。新規プロジェクトへの投資は、前年比 20～50%の増加率となっている。

表 2-8 MOWE の年間予算

単位：1,000 サウジ・リアル

カテゴリー	地域	2004	2005	2006	2007
第 3 類 (維持管理)	本省	2,146	2,297	1,702	328
	Riyadh 他 12 州	5,152	3,875	7,700	9,777
	その他	0	181	0	0
	計	7,298	6,353	9,402	10,105
第 4 類 (新規 プロジェクト)	本省	10,563	11,121	10,362	9,129
	Riyadh 他 12 州	13,061	14,365	29,725	44,222
	その他	2,955	5,441	8,765	8,086
	計	26,579	30,927	48,852	61,437

出典：水・電力省 注：第 1 類（給与）及び第 2 類（ボーナス）は、入手できなかった。

(5) 制度・組織上の問題

「サ」国では水資源開発・管理は 2003 年以来、MOWE に制度上、統合されたが、改革については、検討過程にある。水セクターにおける組織/制度的な問題は、以下の通りである。

1) 灌漑用水を巡る組織的・管轄の問題

水利用の大部分を占める灌漑用水の管轄については、MOWE の分掌が明らかではない。MOA には灌漑部があるが、地下水の水源の管轄は法律上 MOWE にある。両省間には、これらの問題を解決するような横断的な組織や調整機関がない。

2) 法執行当局と MOWE 人材育成能力

水資源管理上の法律・規則では、MOWE は、井戸掘削を許可する権限と掘削するサイトを調査、監視する権限が与えられる。しかしながら、MOWE にはこれらに対応する人材が十分でなく、管理能力も不足している。

3) MOWE 本部および地方事務所の役割区分と権限

MOWE 本部および地方事務所の役割区分・権限が明確ではない。本部は計画立案の権限があるが、中・長期的な計画を策定するデータ・情報は、地方事務所の方が多く有している。

4) 私有の地下水取水に対する政府の関与

地主は自分の土地内で地下水を取水していることから、表流水に比べて政府機関が管理するのは容易ではない。

5) 水配分および資料収集の管理機関が不明確

水配分や水利用に関するデータをどの機関で管理しているが不明確である。そのため、科学的根拠に基づいた計画や用水管理を行うことが困難となる場合がある。また、再生可能水を利用して

いる農業用水の水利用のモニタリングが行われていない。水利権の条件も不明確である。

6) 灌漑用水の無料

灌漑用水への課金はない。これらが、農民に地下水の過剰使用を促進させている。

7) 節水の啓蒙活動

節水啓蒙活動は、都市用水で現在実施中であるが、灌漑用水については、実施されておらず、節水灌漑の指導、節水のための技術支援が行われていない。

8) 水道料金問題

都市用水の水道料金は国際的水準に比べて著しく安い。一人当たりの GDP 比では、世界レベルでは 0.75%以上であるのに対して、「サ」国では 0.14%である(1999 年比較)。6 人家族の平均水道料金は、約 41m³/月の消費で SR0.1/m³であり、水コスト SR4.0/m³ (販売費 2.5SR/m³ + 生産費 1.5SR/m³) を大幅に下回る。さらにこの徴収構成は、生活用水、業務、商業用水、工業用水等のすべてのユーザーで同じである。

第3章 水需要の予測

3.1 都市用水および工業用水

3.1.1 予測条件

都市用水は本来、工業用水も含む総称であるが、本調査では生活用水、業務・営業用水の総水量と定義する。

3.1.2 基本フレームの設定

(1) 水道普及率

水道施設整備の必要性が経済活動に依拠するため、市、町、コミュニティの行政区域の人口規模別に将来的な水道普及率を設定する必要がある。人口規模は、以下に示す MOWE の省令とされる給水原単位基準の三つのカテゴリーに準拠する。MOWE の省令によれば、2035 年までに全地域において 100% の水道普及率を達成することが目標とされている。

一方、人口密集都市を除く都市部と地方コミュニティでは、現時点での普及率が異なること、水道整備率も都市規模によって異なると想定されるため、都市規模別、目標年別に普及率を表 B. 3-2 に示すとおりに設定する。

(2) 生活用水（業務・商業用水を含む）給水原単位

給水原単位は人口規模別に以下の三つに分類できる。人口規模別給水原単位は MOWE の省令として 2008 年に策定された。同給水原単位は、将来的な水需要予測の際 MOWE で実施される全プロジェクトに対し一律に適用されるように MOWE により指定されている。これらの給水原単位には生活用水だけではなく、商業用水、事業用水、漏水（約 20%）が含まれている。

- 85,000 人を上回る人口密集都市：250LCD
- 5,000 人以上 85,000 人以下の都市（都市）：200LCD
- 5,000 人未満（地方コミュニティ）：150LCD

感度分析においては、使用水量の現在の実態を踏まえ、MOWE の省令値よりさらに 10% 低減し、より現実に近づけられる別のシナリオも設定する。

- 85,000 人を上回る人口密集都市：225LCD
- 5,000 人以上 85,000 人以下の都市：180LCD
- 5,000 人未満：135LCD

(3) 工業用水

工場用水の将来需要水量については、分野別就業者あたりの使用水量は、地域的に格差はないため、水資源開発管理に関する国家計画、戦略及び法律を表 3-1 に示す工業一般で採用されているデータ（工場用給水原単位：m³/日・就業者）を将来の各州就業者数に適用し、算定する。

表 3-1 工場用給水原単位

地域／種別	給水原単位 (m ³ /日・就業者)
飲食加工	1.00
繊維・皮革	0.43
木材加工、家具	0.46
製紙、印刷	0.27
化学製品、プラスチック製造	2.30
建設資材、ガラス・陶器製造	2.50
ベースメタル加工	0.54
機材部品加工	2.10
その他（輸送など）	0.05

出所：Technical Book (Water Supply Fifth Edition)

(4) 下水の再利用率

緑化水量の設定にあたっては、消費量が多いと想定される 85,000 人以上の大都市だけとし、「サ」国全体の都市用水の利用組成（その他水として生活用使用水量の約 6%）から、本調査では 5%程度を設定する。

「サ」国の下水再生水の利用規則によると、食品加工業以外の工業用水には下水再生水の利用が可能とされていることから、工業用水における下水再生水を活用する。

本項では、総工業用水量のうち、下水再生水の利用水量を算定する方法として、その利用率を 5 州一律 30%とした。その設定根拠は以下のとおりである。

- 冷却用水・温調用水への利用を主とする。
- 将来的には、工場内での冷却用水・温調用水の再利用が進み、淡水の補給量が 50%程度となる。
- 飲食加工には処理水の再利用は行わない。
- 冷却・温調用水の割合を、化学繊維・プラスチック製造に 88.5%、建設資材・ガラス・陶器製造に 78.9%、機材部品加工に 68.3%とする（日本の工業統計（2007）に準拠）。

検討の結果、5 州のいずれも全体業種における下水再生水の利用可能な水量は工業全需要水量の 60%程度となった。

下水再生水を利用するための施設整備の進捗や将来の工業用水リサイクル率の向上を考慮すると、60%からさらに減少することが想定されるため、本調査では下水再生水の利用率は安全サイドの立場から半数程度の 30%と設定する。

(5) 漏水率

漏水率については、既存の管路ネットワークの実態や漏水率の改善計画に係るデータが得られていないため、本調査では、MOWE の基本シナリオにすでに含まれている 20%を適用した。

感度分析においては、さらに、既存管路施設の建設年度や各州の改修整備計画による漏水削減の改善を踏まえ、「サ」国の最低水準であるとされている 15%を別のシナリオとして適用する。

(6) 水需要予測条件

本計画の施設整備に用いた需要予測の基本条件を整理して以下に示す。

表 3-2 水需要予測の基本条件の設定

項目		基本条件
給水原単位 (L/人/日)		
● 人口密集都市		250
● 都市		200
● 地方コミュニティ		150
漏水率		20%
下水処理水の利用率		
● 都市用水（緑化水）		5%
● 工業用水		30%
水道普及率		
人口密集都市	2010 年	90%
	2015 年	95%
	2020 年	100%
	2025 年	100%
	2030 年	100%
	2035 年	100%
都市	2010 年	50%
	2015 年	60%
	2020 年	70%
	2025 年	80%

項目		基本条件
地方コミュニティ	2030 年	90%
	2035 年	100%
	2010 年	40%
	2015 年	52%
	2020 年	64%
	2025 年	76%
	2030 年	88%
	2035 年	100%

また、感度分析では、この表で示した水需要管理による需要水量の変動や水道普及率の現実的な整備進捗率を踏まえ、複数オプションを設定し、水需要量を算定する。

3.1.3 水道施設規模設定のための日最大給水係数

日最大給水量の算定にあたっては、一般に実績値をもとに日最大係数を設定し求める。「サ」国では一時的に水需要の増大する要因として旅行者や巡礼者によることが代表される。旅行者が通常時より増加する時期は6月から10月にかけて集中し、水需要もそれに伴い増大する。

本調査では、旅行者の流入（ピーク係数）から判断し、日最大係数を1.29とする。従って、各水道施設の規模設定にあたっては前項までで算定された需要水量の29%増となる。

3.1.4 都市用水の需要予測

(1) 将来人口

将来人口については、以下に示す3つの条件で推計した。

- ケース1：過去の人口トレンドに準拠
- ケース2：第八次国家開発計画に示された将来人口増加率に準拠
- ケース3：2009年にMOEPによって公式に予測された将来人口を採用

本調査では、生活水需要量を算定にあたっては、MOEPによって予測されたガバナレート別将来人口(ケース3)を適用するものとする。これは、MOWEで実施されているプロジェクト間の基本条件の整合を取るためであり、正式にMOWEにより指定された。表3-3は、市や町の都市とコミュニティ別の将来人口を積上げ、州別にまとめた将来人口を示す。

表 3-3 州別の人口予測（千人）

年度	Makkah	Al Baha	Asir	Jazan	Najran	5 州
1974	1,754	186	681	403	148	3,172
1992	4,468	332	1,340	866	301	7,307
2004	5,798	378	1,688	1,186	419	9,469
2010	6,468	411	1,895	1,404	502	10,680
2015	7,115	449	2,090	1,572	564	11,790
2020	7,755	492	2,288	1,720	617	12,872
2025	8,379	533	2,480	1,864	669	13,925
2030	9,054	578	2,688	2,021	725	15,066
2035	9,785	627	2,914	2,190	786	16,302

出典：JICA 調査団

3.1.5 工業用水需要予測

(1) 工場件数の予測

各州とも工場件数は年々増加の傾向を示してきている。「Economic Report 2007, SAGIA」によると、工業開発を各州とも重要分野に位置づけているため、今後も工場件数は伸び続けるものと考えられる。そのため、工場件数の予測にあたっては、直線的な伸びを示す年間平均増加数で推移していくものとする。

(2) 工場就業者数の予測

就業者数の予測値を表 3-4 に示す。この結果から、2006 年の業種別工場就業者数の比率をもとに将来的な業種別就業者を算定した。

表 3-4 工場就業者の将来予測

州	2010	2015	2020	2025	2030	2035
Makkah	105, 212	115, 495	125, 778	136, 062	146, 345	156, 628
Al Baha	532	600	667	735	803	871
Asir	5, 918	6, 645	7, 372	8, 098	8, 825	9, 552
Jazan	1, 489	1, 574	1, 659	1, 745	1, 830	1, 915
Najran	670	706	742	777	813	849
合計	113, 821	125, 020	136, 218	147, 417	158, 616	169, 815

出所：JICA 調査団

3.1.6 都市用水及び工業用水の主要目標年の需要水量

都市用水及び工業用水の全体需要水量と下水再生水の利用可能な水量は表 3-5～表 3-9 に示すとおりである。また、再生可能水や海水淡水化水による供給が必要な需要水量を、全体需要水量から下水再生水で賄える水量を控除することによって算定した。

表 B. 3-5 Makkah 州水需要の予測値

1000m³/日

Makkah 州	2010	2015	2020	2025	2030	2035
都市用水量[1]	1, 315	1, 545	1, 799	1, 970	2, 158	2, 363
工業用水量[2]	146	160	175	189	203	218
全体需要水量計	1, 461	1, 705	1, 974	2, 159	2, 361	2, 581
下水再生水の利用水量[3]	184	210	242	261	282	304
合計[1]+[2]-[3]	1, 277	1, 494	1, 733	1, 898	2, 080	2, 278

表 B. 3-6 Al Baha 州水需要の予測値

m³/日

Al Baha 州	2010	2015	2020	2025	2030	2035
都市用水量[1]	51	65	80	94	112	132
工業用水量[2]	1	1	1	1	1	1
全体需要水量計	52	66	81	95	113	133
下水再生水の利用水量[3]	1	2	2	2	2	2
合計[1]+[2]-[3]	53	68	83	97	115	135

表 B. 3-7 Asir 州水需要の予測値

m³/日

Asir 州	2010	2015	2020	2025	2030	2035
都市用水量[1]	298	364	436	500	577	655
工業用水量[2]	10	12	13	14	16	17
全体需要水量計	308	376	449	514	593	672
下水再生水の利用水量[3]	13	15	17	19	22	23
合計[1]+[2]-[3]	295	361	432	495	571	648

表 3-8 Jazan 州水需要の予測値

1000m³/日

Jazan 州	2010	2015	2020	2025	2030	2035
都市用水量[1]	207	241	290	333	382	442
工業用水量[2]	3	3	3	3	4	4
全体需要水量計	210	244	293	336	386	446
下水再生水の利用水量[3]	7	6	7	7	8	9
合計[1]+[2]-[3]	203	238	286	329	379	436

表 3-9 Najran 州水需要の予測値

1000m³/日

Najran 州	2010	2015	2020	2025	2030	2035
都市用水量[1]	85	115	135	150	166	184
工業用水量[2]	1	1	1	1	1	1
全体需要水量計	86	116	136	151	167	185
下水再生水の利用水量[3]	1	1	1	1	1	1
合計[1]+[2]-[3]	85	115	135	150	166	184

3.1.7 都市用水の需要に関する感度分析

(1) オプションの設定

本調査では、水需要管理によって需要水量が変動することや、水道普及率の現実性を踏まえ、表 3-2 に示した基本条件値に下記の 4 つのオプションを加え、水需要を予測した。

- Option-1 : 本調査の基本条件に用いた需要予測（施設整備計画の策定に採用）
- Option-2 : Option-1 の大都市以外の水道普及率を遅らせた需要予測
- Option-3 : Option-1 で給水原単位が 10%低減した需要予測
- Option-4 : Option-1 で漏水率が 20%から 15%に改善した需要予測
- Option-5 : 給水原単位を 15%と低減させ、漏水率を 20%から 15%に改善した需要予測

上記のオプションの設定条件を以下にまとめて示す。

表 3-10 感度分析のためのオプション基本条件一覧

項目		Option-0 (MOWE)	Option-1 (基本条件)	Option-2	Option-3	Option-4	Option-5
給水単原単位(L/人・日)							
● 人口密集都市		250	250	250	225	237	212
● 都市		200	200	200	180	190	170
● 地方コミュニティ		150	150	150	135	142	127
漏水率		20%	20%	20%	20%	15%	15%
下水処理水の利用率							
● 都市用水		0%	5%	5%	5%	5%	5%
● 工業用水		0%	30%	30%	30%	30%	30%
水道普及率							
人口密集都市	2006 年	100%	85%	85%	85%	85%	85%
	2010 年	100%	90%	90%	90%	90%	90%
	2015 年	100%	95%	95%	95%	95%	95%
	2020 年	100%	100%	100%	100%	100%	100%
	2025 年	100%	100%				
	2030 年	100%	100%				
	2035 年	100%	100%				
都市	2006 年	100%	45%	45%	45%	45%	45%
	2010 年	100%	50%	50%	50%	50%	50%
	2015 年	100%	60%	55%	60%	60%	60%
	2020 年	100%	70%	60%	70%	70%	70%
	2025 年	100%	80%	65%	80%	80%	80%
	2030 年	100%	90%	70%	90%	90%	90%
	2035 年	100%	100%	75%	100%	100%	100%
地方 コミュニティ	2006 年	100%	35%	35%	35%	35%	35%
	2010 年	100%	40%	40%	40%	40%	40%
	2015 年	100%	52%	42%	52%	52%	52%
	2020 年	100%	64%	44%	64%	64%	64%
	2025 年	100%	76%	46%	76%	76%	76%
	2030 年	100%	88%	48%	88%	88%	88%
	2035 年	100%	100%	50%	100%	100%	100%

注：灰色の網掛けは施設整備で採用した。

出典：JICA 調査団

(2) 感度分析結果の考察

感度分析の結果から、2020 年と 2035 年における需要量を州別に整理すると、以下の通りとなる。

表 3-11 オプション別、州別の需要水量(2020 年、2035 年) (1000m³/日、Ratio:%)

Option	Makkah		Al Baha		Asir		Jazan		Najran	
	2020	2035	2020	2035	2020	2035	2020	2035	2020	2035
1	1,733	2,278	79	131	432	648	286	436	130	178
Standard Index (%)	(100)	(100)	(100)	(100)	(100)	(100)	(100)	(100)	(100)	(100)
2	1,707	2,197	71	106	407	575	266	380	126	167
Ratio 2/1 (%)	(98.5)	(96.4)	(89.9)	(80.9)	(94.2)	(88.7)	(93.0)	(87.2)	(93.3)	(90.8)
3	1,572	2,065	71	118	390	585	255	389	117	160
Ratio 3/1 (%)	(90.7)	(90.6)	(90.0)	(90.0)	(90.3)	(90.3)	(89.2)	(89.2)	(90.0)	(89.9)
4	1,652	2,171	75	124	411	616	270	411	123	169
Ratio 4/1 (%)	(95.3)	(95.3)	(94.9)	(94.7)	(95.1)	(95.1)	(94.4)	(94.3)	(94.6)	(94.9)
5	1,491	1,959	68	111	369	553	241	367	110	151
Ratio 5/1 (%)	(86.0)	(86.0)	(84.8)	(84.7)	(85.4)	(85.3)	(84.3)	(84.2)	(84.6)	(84.8)

水道普及率（オプション 2）は、都市規模が小さいほどオプション 1 との差が大きくなることから、大都市の占める割合の大きい Makkah 州では需要量の差が小さく、小さい都市が多く占める Al Baha 州を含む他の 4 州では、需要量の差が大きい結果となっている。

上記の分析を通して、最も需要の減少率が大きいのは、オプション 5 であり、オプション 1 に対して 15%の減少を示している。節水啓発による給水原単位の減少、配水管の付け替え等による漏水率の改善は、大きな需要の減少効果がある。

参考として、現行の州別の給水原単位(表 B.1-13、参照)による検討結果（これをオプション 6 とする）は、以下の通りである。Makkah 州を除く、4 州では、大きな需要水量の減少となっている。オプション 1 は現状とは離れた水道普及率を目標として設定していることから、現状に近いオプション 2 やオプション 6 との差が生じている。実際の施設整備については、給水原単位や水道普及率を見極めながら進めていく必要がある。

表 3-12 オプション 1 と 6 の州別の需要水量(2020 年、2035 年) (1000m³/日、Ratio:%)

Option	Makkah		Al Baha		Asir		Jazan		Najran	
	2020	2035	2020	2035	2020	2035	2020	2035	2020	2035
1	1,733	2,278	83	135	432	648	286	436	130	178
Standard Index (%)	(100)	(100)	(100)	(100)	(100)	(100)	(100)	(100)	(100)	(100)
6	1,676	2,111	41	52	232	302	193	251	56	71
Ratio6/1 (%)	(96.7)	(92.7)	(49.4)	(38.5)	(53.7)	(46.6)	(67.5)	(57.6)	(43.0)	(39.9)

以上の分析結果から、需要量を減少させるためには、給水原単位を小さく、漏水率を減少させる施策をとることが重要である。具体的な施策としては、節水啓発を行うとともに、建設年度が古い順に管路の計画的な布設替えを実施することによって、給水原単位の削減と漏水率を削減する。

3.2 農業用水

3.2.1 予測条件、基本フレームの設定

(1) 農業用水の需要に関する戦略

農業に対する優遇政策(補助金)により再生可能な水資源が過剰に利用され、水資源の供給と需要バランスがくずれ、井戸水の枯渇、地下水位の低下、井戸水の塩水化などの諸問題が顕在化するようになった。農業用水に関する需要戦略は、「サ」国の将来開発計画とは新規に水資源を開発して農地面積を増やすことではなく、再生可能な水資源の枯渇を防ぐため、過剰に灌漑されている農地面積を如何にして減らすかということになる。このために、MOA の Decision No. 335 (Rules and Procedure for the Rationalization of Water Consumption and regulate its use in Agriculture Purpose in all cities and villages within Kingdom of Saudi Arabia)により、

- ・ 井戸及びポンプへの補助金停止、
- ・ 土地配分政策の停止、
- ・ 農産物関税の撤廃、
- ・ 飼料作物の輸入促進、
- ・ サイロ・製粉公団(GSMO)を通じた小麦・大麦の奨励価格での買い取り停止、

等、が実施されている。従って、将来計画とは上記の政策が実施された場合の農地面積はいくらか、ということに言い換えられる。

(2) 農業用水の需要に関する予測条件

MOA では 2000-2004 年に 2020 年までの将来作付け計画を策定したが、2007 年の農業統計資料と比較すると、南西地域では実際の作付面積との乖離が見られる。したがって、需要予測では精度を上げるため MOA の将来計画と農業統計データの双方を考慮して下記の 3 ケースを検討する。

- ・ Case-1: MOA が 2000-2004 年に策定した 2020 年までの将来計画を 2007 年の農業統計資料で補正したケース。
- ・ Case-2: 近年 6 ヶ年(2002-2007)の農業統計資料を用いて推定したケース。
- ・ Case-3: 作付面積の変動が落ち着いた 2007 年の作付面積が今後も継続するケース。

(3) 感度分析のための基本フレーム

水需要の予測においては、ケース 1: 修正 MOA 案、ケース 2: 2002-2007 年トレンド、ケース 3: 2007 年レベル、の 3 ケースについて検討したが、MOA の予測に修正を加えたケース 1 は、農業統計資料と比較して明らかに現実とは乖離しているように見受けられる。一方で作付面積の増減傾向は農業統計資料から 2007 年の値に収束しつつあることが窺えることから需要抑制策の検討は“ケース 3: 2007 年レベル”で行うのが単純で分かりやすい(ケース 3 は統計データそのもので回帰予測などの処理を行わないため)と判断される。従って、これ以降の検討(需給バランス)はケース 3(2007 年レベル)について行う。

(4) 水需給バランスの検討手法

農業用水の水需給バランス検討においては、供給は再生可能な水資源とし、表流水と地下水に大別する。他に供給にプラスとなるものは下記に示す節水量、下水の再利用水、反復水がある。以上が水源として考えられるすべてのものである。これらを使っても水不足が発生する場合は、灌漑用水そのものの抑制を考慮する必要がある。また、都市用水の供給が優先であるためまず再生可能水資源ポテンシャルから上水分を差し引き残りの水資源量で灌漑可能面積を検討する。

(5) 再生可能水資源(表流水と地下水)ポテンシャル

流域別に算定された水資源(表流水・地下水)ポテンシャルを使って流域面積比によりガバナレート別の水資源ポテンシャルを算定する。

(6) 作付け転換

農業開発計画については Decision335 を基本とし農業用水の合理的な利用を図り、作付け転換は行うが作付面積は増加させないものとする。なお、作付け転換は食料自給の確保および小規模農家保護の観点から都市近郊を中心とした野菜・果樹栽培に特化したものとし、野菜は 2007 年に対して倍増、果樹は 2007 年の生産量を維持していくものとする。したがって、野菜の作付けが増加した分は穀類および飼料作物の作付け面積を減少させる計画とする。

(7) 節水量

南西地域では、果樹、野菜の栽培は伝統的な畝間灌漑が主流を占めているがスプリンクラー、ドリップ等の近代的灌漑方式を導入することにより節水が可能である。聞き取りにより現況の整備率(伝統的灌漑方法と近代的灌漑方法)は、50%と仮定して灌漑効率を 70%(= (55%+85%)*50%)としているが、将来計画ではドリップ等の近代的灌漑方法を推進し灌漑効率を 85%まで引き上げることとを検討する。

(8) 下水の再利用

「サ」国では National Irrigation Authority (NIA) が、リヤド郊外に下水処理水を再利用した大規模な灌漑施設を建設し、1982 年から下水の再利用が行われている。ただし再利用水の用途は国の基準により果樹、飼料作物、一部の穀類に限定され、野菜への適用は行われていないが、今後水資源の有効利用のため積極的に下水再生水の灌漑用水への利用拡大を図っていく必要がある。下水の再利用については 2009 年に ITAL CONSULT がガバナレート単位で「サ」国全国における利用計画¹を策定しているのでこの成果を利用する。

(9) 還元水

灌漑用水のうち純用水量分は植物に吸収されるが、灌漑損失分は結果として土中に還元され地下水涵養になると考えられることから、これを地下水循環の中の還元水としてカウントする。2007 年の南西地域における純用水量は 1,675MCM と推定され、全灌漑用水量は 2,791MCM である。したがって、灌漑水量の 40%(= (2,791-1675)/2791) を「還元可能な水源」としてカウントする。

(10) 州毎の収支バランス

上記の手順により 5 州における再生可能な水資源を使った場合の収支バランス結果は、表 3-13 のとおりである。計画目標年においては Jazan を除く 4 州では全体収支はプラスとなる。ただし水資源ポテンシャル、下水再利用、農業地域は州の中で偏在しているので流域別/ガバナーナレート別に確認する必要がある。

表 3-13 5 州における水収支バランス

(単位:MCM)

州	再生可能水資源量	上水利用量	利用可能量	農業用需要水	収支①	作付転換	節水量	下水再利用	還元水量	収支②
Makkah	782.0	108.2	673.8	750.5	-76.7	168.8	96.5	247.4	300.2	736.2
Al Baha	99.4	16.4	83.0	53.9	29.1	1.7	8.4	4.2	21.6	65.0
Asir	380.5	20.4	360.1	268.4	91.7	17.4	29.8	62.1	107.4	308.4
Jazan	322.9	106.9	216.0	1,501.9	-1,285.9	21.5	28.5	20.3	600.8	-614.8
Najran	401.1	72.7	328.4	216.5	111.9	32.5	27.2	28.4	86.6	286.6
計	1,985.9	324.6	1,661.3	2,791.2	-1,129.9	241.9	190.4	362.4	1,116.5	781.3

①：再生可能水源から上水と農業用水を差し引いた収支

②：①に作付転換、節水量、下水再利用および還元水量を加えた収支

(11) 州毎およびガバナレート毎の作付可能面積

2007 年における南西地域 5 州全体の作付面積は 192,000ha であるが都市用水利用優先利用後の再生可能な水資源ポテンシャルを上限とした場合、2007 年レベルに対して各州でいくらまで面積を抑制(減反)しなければならないかをガバナレート単位で検討する。

再生可能水資源に見合う、5 州における作付面積の削減検討結果をまとめると表 3-14 の通りとなる。

表 3-14 2035 年における削減された 5 州の作付面積と 2007 年との比較

州名	作付面積 2007 (ha)	作付面積 2035 (ha)	2007 年に対する比率 (%)
Makkah 州	42,077	39,293	93
Al Ba	4,450	4,425	99
Asir	21,054	20,759	99
Jazan	113,558	28,539	25
Najran	11,430	8,134	71
Total	192,569	101,150	52

¹ Investigation and Engineering Design for Treated Wastewater Reuse in the Kingdom of Saudi Arabia

第4章 再生可能水資源ポテンシャル

4.1 水収支モデル(SWAT)モデルの概要

SWAT (Soil and Water Assessment Tool)を使い 1975 年～2004 年 30 年間の収支および流出量を計算した。対象地区(161,000km²)を小流域に分割し、月別流域別に水収項、基準点流量、特に浅層地下水への付加量の予測を行った。以下に水収支算定の過程を要約する。

(1) 流域区分

小流域に水文収支が計算されることを念頭に 1,269 小流域に分割した。また、対象地区が 16 万 km²と広域であったことから 30arc グリッド (約 900m格子)の DEM (Digital Elevation Model) を使用し計算量の軽減を図った。

(2) 入力情報の準備

SWAT 解析の計算過程において、気象、植生、土地利用データ等の入力が必要な条件となることから、これらの情報を小流域別に整理し入力データセットを準備した。入力データセットに含まれる主な項目は以下のとおりであった。

気象データ

SWAT による水収支計算に必要なとする気象項目は雨量、最高・最低気温、日射量、風速、湿度（露天温度）の日記録であり、解析においては PME 管轄の 8 観測所（Abha、Al Baha、Bisha、Jazan、Khamis Mushayt、Makkah、Najran、Jeddah）、および MOWE 所管の 135 観測所記録のうち連続記録のある 85 観測所を選定し、1975 年から 2004 年の 30 年間の日降雨データをモデル入力値とした。

土地利用図および土壌分類図

土地利用図と土壌分類図を GIS データモデルに作り変えモデル入力値とした。夫々の GIS データを調査地区の他のレイヤ上に重ね合わせ、最小計算単位である HRU (Hydrologic Response Units) 毎に分類項目別比率(土地利用図と土壌分類図の比率)を計算した。

計算の単位

SWAT における計算は、固有の土地利用、管理、土壌属性をもつ HRU の最小単位によって行われる。計算の第 1 ステップとして、個々の HRU で、蒸発散または水文収支が計算され、さらに（小流域内の HRU の構成比率に応じ）小流域別に取りまとめられる。

SWAT 出力の内、本解析では特に、水源ポテンシャルとなる浸透量 (PREC)、地表流出 (WYLD) の項目について出力、小流域単位での集計を行い、GIS 処理を加えた。

4.2 水収支の計算（モデル出力）

本地区の地下水涵養の殆どは冬季の洪水時に集中する。小雨の場合、雨水は植生または地表にトラップされ大半が蒸発によって失われるが、強雨時または連続降雨時には雨水は洪水となり短期間でワジ流路に至り、はじめて地下水涵養が発生する。ワジ堆積物中の浸透水は、発散によって失われるが、一部は時間をかけ地下水に転化する。

(1) 流域雨量

流域雨量は、85 観測所の記録を使い各小流域毎に計算した。結果は 1975～2004 年の平均で、15mm/year から 425mm/year が得られた。

(2) 蒸発散ポテンシャル

Penman-Monteith 法を適用し蒸発散ポテンシャルを計算し、660 から 4,830mm/year の値を得た。

(3) 実蒸発散量

実蒸発散量の計算値には、河川、湖沼、土壌表面からの蒸発、および植生（植物の葉の表面から

の) 蒸散が含まれる。蒸発は、まずポテンシャル土中水分蒸発量を蒸発散ポテンシャルと植物のリーフインデックスより求め、これに、土壌深度と水分量から求めた指数関数式を用い計算した。また、植物からの蒸散量は、直線式(蒸発散ポテンシャルと植物のリーフインデックスの関数)より求めた。両者を纏めた流域の蒸発散量は10 から 610mm/year であった。

(4) 土壌水分量

土壌水分量は Green & Ampt Mein-Larson Excess 法を適用し求めた。日降雨データを用い、降雨が浸透能以下の場合には全量が浸透し土中に付加され、逆に降雨が浸透能を上回る場合は浸透能を「しきい値」として土壌水分量を計算した。また浸透した水分を累計し土壌飽和帯下部に浸潤線を求め、これを境界に異なった透水能を設定し浸透率および土壌水分量を求めた。

(5) 地表流出量 (WATER YIELD)

地表流出は、降雨よりもたらされる「地表面上の流出」、および「河道を通る流出」の2プロセスで計算した。地表面流出においては土壌中の保留を考慮し流出量を求め、また河道流出においては Manning's 式を適用し個々の小流域において流出量・流速を定めた後、Valuable storage routing method を用い小流域から小流域への水の受け渡しを行った。小流域毎に、地表面流出に加え、上流から流入量、自流域で発生する浸透、蒸発による損失を考慮し、下流の小流域へ受け渡す流出量 (SWAT では WATER YIELD と呼称) を計算した。

(6) 地下浸透量および地下水涵養量

地下浸透は「土壌水分量が土壌保留可能量を上回り飽和した時点で発生する」の条件を与え、計算した。土壌中の余剰水は土層下部から不飽和帯へ移動し最終的には地下涵養量として浅層帯水層に付加されるが、移動時間は不飽和帯の厚さと地層の透水性に関する。解析のように30年と計算年が長期の場合、最終的に浸透量と地下水涵養量はほぼ同一となる。

(7) モデル領域の水収支

30年間の平均では流域雨量130mm/yearに対し120mm/yearが蒸発散で失われ、7mm/yearが地下水浸透量として浅層帯水層へ付加される結果となった。また、豊水年(15年中1位程度)では、流域雨量258mm/yearに対し154mm/yearが蒸発散で失われ、残り16mm/yearが浅層帯水層へ浸透する結果となった。

4.3 水収支バランス

対象地区30年間の平均では流域雨量130mm/yearに対し120mm/yearが蒸発散で失われ、7mm/yearが地下水浸透量として浅層帯水層へ付加される結果となった。また、豊水年(15年中1位程度)では、流域雨量258mm/yearに対し154mm/yearが蒸発散で失われ、残り16mm/yearが浅層帯水層へ浸透する。

(1) 月別・流域別

SWATモデルにより、1975年～2004年30年間の収支および流出量を計算した。対象地区(161,000km²)を小流域(1,269分割)に分割し、月別流域別に水収項、基準点流量を整理した。

(2) 主要ワジ流域別の水資源ポテンシャル

紅海側で21点、内陸側で10点の基準点(アウトレット)を設けモデル計算範囲(モデル流域)を定め、夫々の流域で水収支を計算した。図4-1にモデル流域図、表4-1に流域別の水収支要約を示す。



図 4-1 モデル流域

表 4-1 流域別収支要約

Moutain-Plain (Area 161,150 sqkm)							
Basin					Water Potential (MCM/year)		
No	B_ID	Basin	Area (Sqkm)	Outlet Ptn. at	ER (Mountain+Plain)	Surface Runoff	Ground-water Runoff
1	J5	Khulab	1,568	Jazan	47	1	46
2	J4	Jazan	1,862	Jazan	100	14	85
3	J3	Damad	1,376	Jazan	77	12	65
4	J2	Baysh	6,367	Jazan	98	14	84
5	J1	Itwad	1,972	Jazan	25	1	24
6	M12	Hali	5,659	makkah	99	89	11
7	M11	Yiba	3,346	makkah	91	70	21
8	M10	Yiba_N	2,416	makkah	59	38	20
9	M9	Doquah_S	1,726	makkah	53	41	13
10	M8	Doquah	1,603	makkah	24	18	6
11	M7	Doquah_N	1,578	makkah	16	26	-10
12	M6	Fagh	2,362	makkah	15	36	-21
13	M5	ALLith_Sadiyah	3,338	makkah	17	7	9
14	M4	Naaman	2,513	makkah	8	26	-18
15	M3	Fatimah	4,306	makkah	46	28	18
16	M2	Ghoran	4,916	makkah	51	25	26
17	M1	Ghoran_N	2,355	makkah	16	9	7
18	M0	Khulays	5,462	makkah	100	57	43
19	M1	Qudayd	2,207	makkah	15	7	8
20	M2	Rabigh	6,699	makkah	116	65	52
21	M3	Qahah	3,356	makkah	5	1	4
22	M1	Aqiq	15,485	makkah	47	17	30
23	M2	Turabah	7,786	makkah	154	106	48
24	M2	Ranya	7,885	makkah	144	90	54
25	A1	Bisha	22,303	asir	117	53	64
26	A2	Tathlith	17,237	asir	21	13	8
27	N1	Habana	7,186	Najran	12	1	11
28	N2	Najran	6,999	Najran	28	3	25
29	N2	Mayayn	3,128	Najran	5	1	4
30	N3	Hynah	2,262	Najran	5	0	4
31	N3	Habal	3,891	Najran	3	0	3
Total (on basins)			161,149		1,614	870	744

注) Groundwater Runoff の[-]は、周辺域からの地下水が流入していることを示す。

表 4-1 は 1975 年～2004 年 30 年間の ER(有効雨量)の平均値(mm/year)を主要ワジについて示したものであり、流域別に降雨(PRECIP)、蒸発散(ET)から ER(有効雨量)を求め、さらに、地下水系(Groundwater Runoff)、地表系(Surface Runoff)に分離したものである。

同表の ER(有効雨量)を再生可能水源量(水資源ポテンシャル)とすると、表流水 870MCM/year、と地下水 744MCM/year の合計 1,614MCM/year がプロジェクト地区(5 州)の水資源ポテンシャルと看做せる。

また、同値は開発可能な最大値としての意味合いを持ち、表流水に関しては山地域の開発、また地下水では帯水層の期待できる中間域～下流域での開発が期待できるが、開発において全量が利用できるわけではなく、互いに資源を取り合うこととなる。同値の利用に際しては、具体的な水源計画に基づく実開発水源量の評価が必要となる。

(3) 月別流出量の計算

基準点における月別流出量を再現した。図 4-2 に代表的な 10 ワジの 1975 年～2004 年の 30 年間の月別流出量を示す。図の上-下が北-南、また左-右が西(紅海側)-東(内陸側)で流域を配置した。

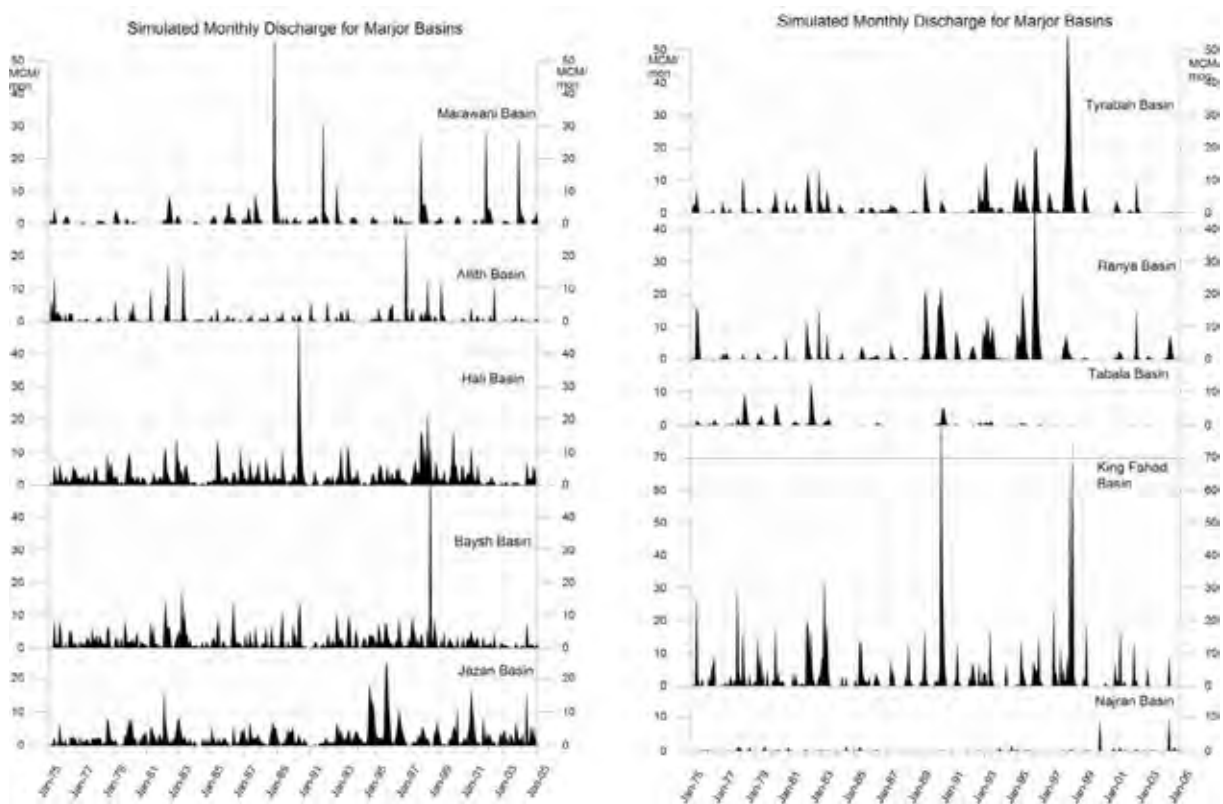
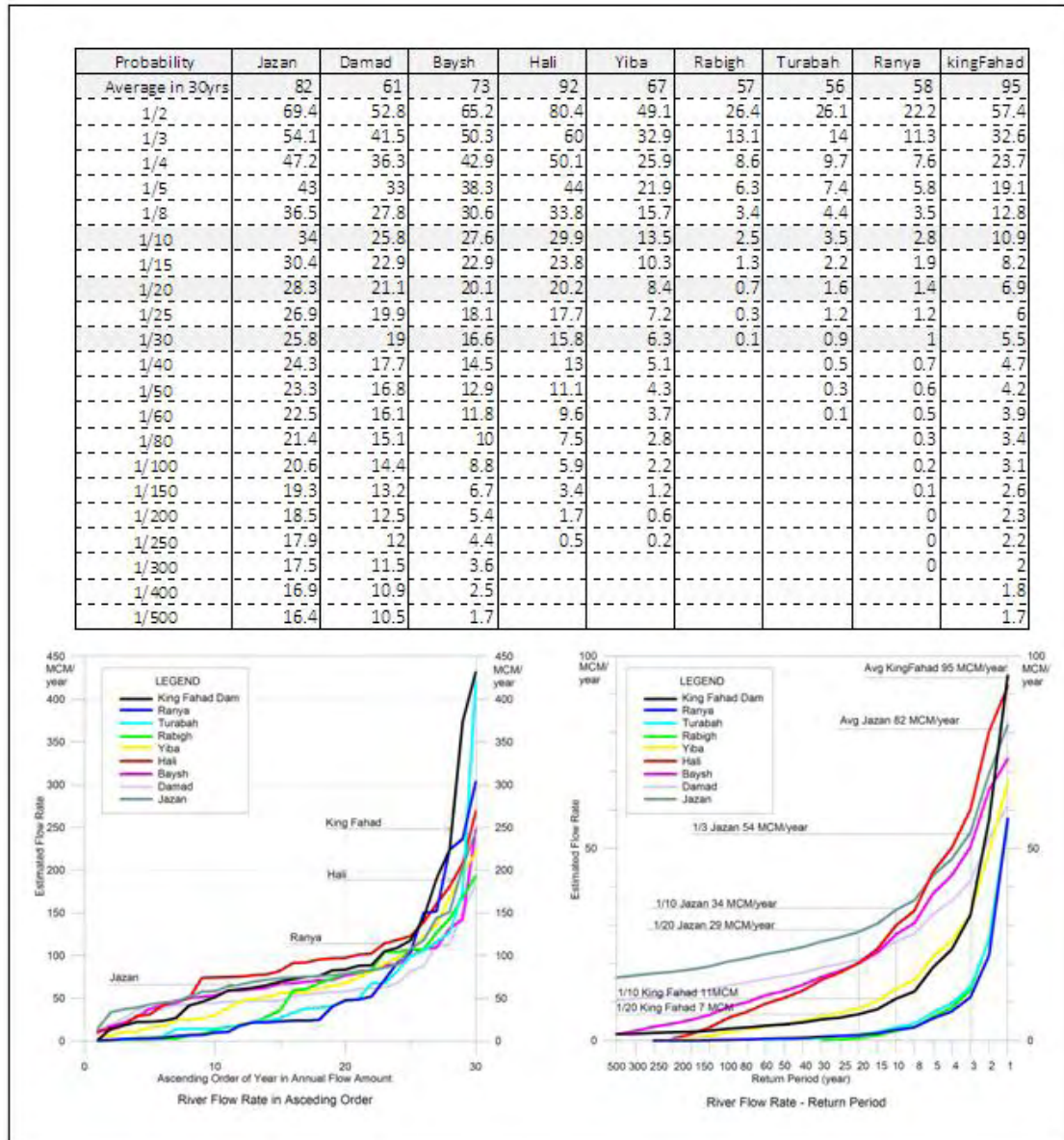


図 4-2 代表ワジの月別流量

また、月別流量を各年で集計し 30 年間の非超過確率(岩井法)を求めた。図 4-3 に要約を示す。1/10 確率 (の渇水年)を見ると Jazan Dam 流域では 34MCM (平均 82MCM) また、King Fahd Dam 流域で 11MCM (平均 95MCM)となる。

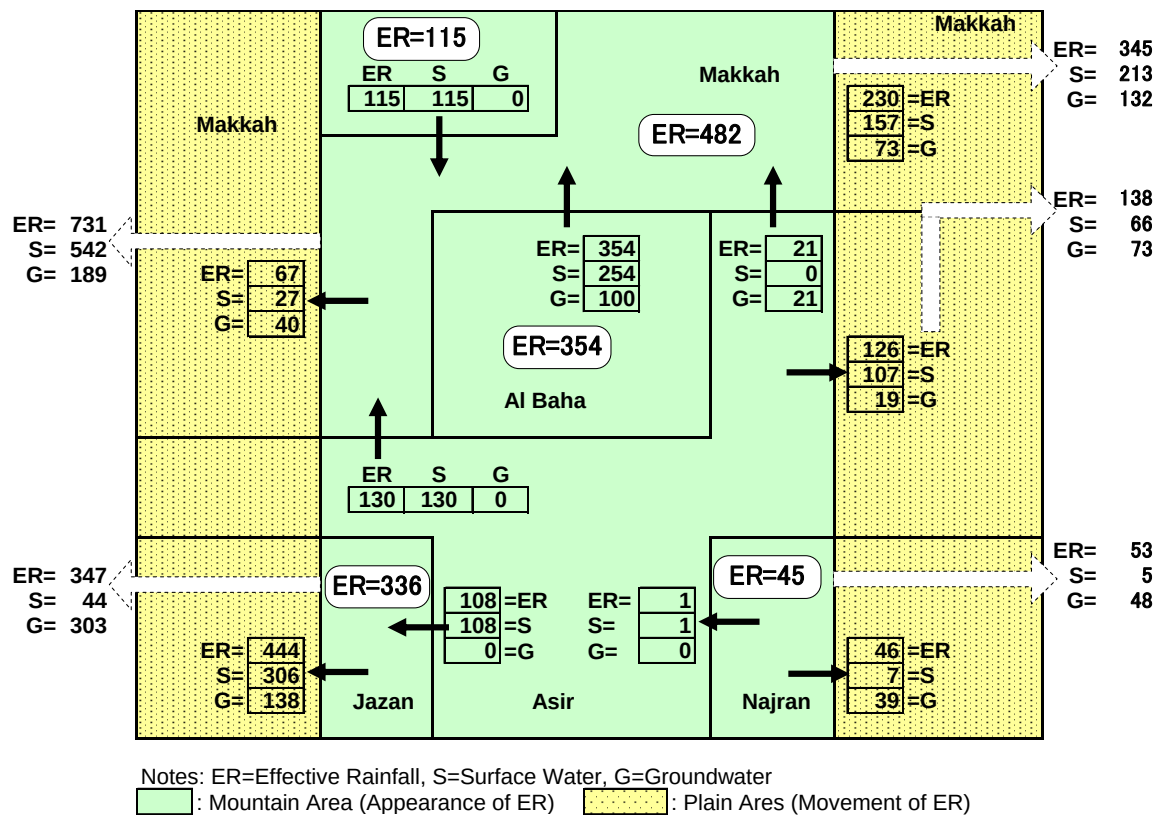


Title: Probability Analysis for Estimated River Flow Rate (for major wadis)		
LEGEND 	Date	Oct 2009
	Drawn by	JICA REWARD
	Data Source	MOWE, REWAED
	Period Analysis	1975-2004
	The Study on Master Plan on Renewable Water Resources Development in the Southwest Region in the Kingdom of Saudi Arabia	

図 4-3 代表流域年流量の非超過確率

(4) 州別水収支の検討

モデル流域別の水収支を、モデル流域の基準点(アウトレット)がどの州に位置するか注目し、流域別収支項を対象5州に再配分した。州別の地表水および地下水の出入り(IN/OUT)を図 4-4 収支概要図に示す。



注：図中の内側の括り(淡緑)は山地、また全体(黄色砂目)はモデル対象地区全体の水の出入りを示す。

図 4-4 州別収支概要図 (5 州)

4.4 地下水

地下水ポテンシャル(涵養量 744MCM)の受け皿となる浅層帯水層の分布について調査を行い。地下水ポテンシャルを各タイプの帯水層賦存量と比較し流域別に評価、整理した。

調査域における浅層帯水層の賦存量総量は、取水深度下端深度を 50m とした場合、約 125BCM であり、年間の地下水涵養量 0.8BCM に対し約 150 倍程度の容量を有する(表 4-2 参照)。また、図 4-5 に調査域の浅層帯水層分布および地下水涵養の要約図を示す。

表 4-2 浅層帯水層の推定貯留量

BASIN		RECHARGE (MCM/Year)			AQUIFER STORAGE FOR TYPES (MCM up to the depth of 50m)							
No.	Basins	① Apparent GW Recharge in Basin	② ET	③ GW Runoff (①-②) Recharge (MCM/Year)	Wadi Beds	Alluvial Plain	Coastal Plain	Sand Sheets and Dunes	Pleistocene Deposit	Volcanics	Total Aquifer Capacity	Ratio: Storage Capacity / A.GW Recharge
1	KHULAB	46	0	46	38	1,160	442	0	48	0	1,688	37
2	JAZAN DAMAD	150	-0	150	29	2,320	87	0	0	83	2,518	17
3	BAYSH	90	7	84	86	3,447	87	0	451	5	4,076	45
4	ITWAD	50	26	24	38	1,514	351	0	0	0	1,903	38
5	HALI	35	24	11	95	2,449	100	0	1,402	203	4,248	122
6	YIBA	21	0	21	190	1,869	37	0	354	28	2,478	118
7	YIBA N	20	-0	20	238	1,514	0	282	209	0	2,243	111
8	DAWQAH S	13	0	13	190	387	25	78	0	0	680	54
9	DAWQAH	7	1	6	238	1,224	62	889	0	0	2,414	360
10	DAWQAH N	5	15	-10	219	1,643	112	302	0	0	2,276	484
11	FAGH	8	29	-21	29	1,160	149	0	145	0	1,483	185
12	SAADIAH L	33	24	9	86	290	117	0	0	0	493	15
13	NAAMAN	12	30	-18	0	1,095	286	0	0	0	1,382	120
14	FATIMAH	18	0	18	447	3,673	75	0	773	14	4,982	272
15	GHORAN	26	-0	26	152	2,835	125	0	242	1,281	4,634	178
16	GHORAN N	7	0	7	152	1,289	40	0	983	774	3,237	469
17	LHULAYS	43	0	43	57	644	52	0	918	2,759	4,431	103
18	QUDAYD	8	0	8	76	1,385	40	0	338	806	2,646	315
19	RABIGH	52	0	52	124	1,611	411	129	435	4,371	7,081	137
20	QANUNAH	4	0	4	38	741	53	0	451	83	1,366	360
21	AQIQ	30	0	30	656	34,287	0	2,057	628	2,847	40,475	1,331
22	TURABAH	48	0	48	618	709	0	0	0	2,745	4,072	85
23	RANYA	58	4	54	86	1,772	0	0	0	2,054	3,912	68
24	BISHA	118	54	64	770	967	0	79	564	60	2,440	21
25	TATHLITH	2	-6	8	923	1,740	0	0	451	825	3,938	1,641
26	HABAWNAH	7	-4	11	400	1,768	0	64	467	0	2,699	391
27	NAJРАН	22	-3	25	276	1,247	0	64	226	0	1,812	82
28	MAYAYN	4	0	4	105	3,550	0	738	129	0	4,522	1,190
29	HYNAH	44	0	4	76	1,964	0	0	0	0	2,040	474
30	HABAL	3	-0	3	105	1,423	0	219	773	0	2,521	813
Total		943	199	744	6,535	81,678	2,651	4,900	9,988	18,937	124,689	132
①Apparent GW Recharge is a value of including direct recharge of rainfall, recharge from surface runoff and groundwater inflow. It does not include the value of evapo-transpiration from Basin.												
②ET is a value of evapo-transpiration from Basin.												
③GW Runoff is a specific recharging value, which reduces ①ET from ②Apparent GW Recharge and refers groundwater runoff from basin.												



注：ワジ堆積物：青色、沖積層：黄緑、洪積層：緑、玄武岩等：褐色、および地下水涵養量（緑丸）は垂直涵養のみを示す。

図 4-5 浅層帯水層の分布および地下水涵養量

4.5 利用可能な水資源ポテンシャル

SWAT モデルによる 30 ヶ年の年別流出量算定結果を用いて、需給計画に用いる水資源ポテンシャルを算定した。算定に当たり、表面流出量については、30 ヶ年流出量から最小値を並べて小さい方から第 3 番目の年の流出量(安全度として 1/10)を、地下水流出量については、30 ヶ年平均値を採用した。ガバナレート別の流出量の算定に当たっては、流域別の流出量が算出されているので、表面流出量、地下水量それぞれの比流出量を算出し、これらをガバナレート行政面積で乗ずることにより算出した。

第5章 5州の水政策・戦略・行動計画

「サ」国の水資源開発管理に関する政策及び戦略は、国家開発5カ年計画（第8次）及び長期戦略2025の記述を踏まえて、世界銀行により国家水戦略(2009年6月)として提案された。本調査では、これらを上位計画として、南西地域5州の水資源開発管理に関する水の基本戦略・政策及び行動計画の検討を行う。なお、農業開発計画については、MOAのDecision335を基本とし農業用水の合理的な利用を図る。本章における検討事項は、以下の通りである。

- ◆ 水セクターの現状と課題
- ◆ 州別の水需要、供給バランスの検討
- ◆ 水資源開発、利用、管理
- ◆ 5州の水政策と戦略及び行動計画

5.1 水セクターの現状と課題

5.1.1 水利用の現状

MOWE 及び SWCC の資料及び聞き取りに基づいて調査団が整理した5州全体の水利用の状況（2007年）は表5-1のとおりである。

表5-1 水資源の水源別・セクター別状況（MCM）

Region	Water Resource	都市用水 (MCM) & (%)		灌漑用水 (MCM) & (%)	合計 (MCM) & (%)
		生活用水	工業用水		
Makkah	合計	388.8 (32.5%)	37.9 (3.2%)	768.2 (64.3%)	1,194.9 (100.0%)
	(1) 再生可能水	18.1 (2.3%)	4.2 (0.5%)	751.0 (97.1%)	773.3 (64.7%)
	- 表流水	0.0	0.0	0.0	0.0
	- 地下水	18.1	4.2	751.0	773.3
	(2) 非在来型水資源	370.7 (87.9%)	33.7 (8.0%)	17.2 (4.1%)	421.6 (35.3%)
	- 海水淡水化水	370.7	0.0	0.0	370.7
Al Baha	合計	14.1 (20.7%)	0.0 (0.0%)	54.0 (79.3%)	68.1 (100.0%)
	(1) 再生可能水	14.1 (20.7%)	0.0 (0.0%)	54.0 (79.3%)	68.1 (100.0%)
	- 表流水	4.4	0.0	0.0	4.4
	- 地下水	9.7	0.0	54.0	63.7
	(2) 非在来型水資源	0.0 (0.0%)	0.0 (0.0%)	0.0 (0.0%)	0.0 (0.0%)
	- 海水淡水化水	0.0	0.0	0.0	0.0
Asir	合計	56.5 (16.5%)	2.3 (0.7%)	283.3 (82.8%)	342.1 (100.0%)
	(1) 再生可能水	17.0 (6.0%)	2.3 (0.8%)	265.0 (93.2%)	284.3 (83.1%)
	- 表流水	3.7	0.0	0.0	3.7
	- 地下水	13.3	2.3	265.0	280.6
	(2) 非在来型水資源	39.5 (68.3%)	0.0 (0.0%)	18.3 (31.7%)	57.8 (16.9%)
	- 海水淡水化水	39.5	0.0	0.0	39.5
Jazan	合計	15.6 (1.0%)	0.0 (0.0%)	1,527.0 (99.0%)	1,542.6 (100.0%)
	(1) 再生可能水	15.6 (1.0%)	0.0 (0.0%)	1,527.0 (99.0%)	1,542.6 (100.0%)
	- 表流水	0.0	0.0	25.0	25.0
	- 地下水	15.0	0.0	1,502.0	1,517.0
	(2) 非在来型水資源	0.6 (100.0%)	0.0 (0.0%)	0.0 (0.0%)	0.6 (0.0%)
	- 海水淡水化水	0.6	0.0	0.0	0.6
Najran	合計	11.8 (5.2%)	0.0 (0.0%)	217.0 (94.8%)	228.8 (100.0%)
	(1) 再生可能水	11.8 (5.2%)	0.0 (0.0%)	217.0 (94.8%)	228.8 (100.0%)
	- 表流水	0.0	0.0	0.0	0.0
	- 地下水	11.8	0.0	217.0	228.8
	(2) 非在来型水資源	0.0 (0.0%)	0.0 (0.0%)	0.0 (0.0%)	0.0 (0.0%)
	- 海水淡水化水	0.0	0.0	0.0	0.0

[出典] Actual use for municipal & industrial water: Annual Report 2007, MOWE
Agricultural water estimated by the Study Team

5.1.2 水セクターの課題

表 5-1 を基本とし、水セクターの水利用の状況の課題の把握を目的として、下表に整理した。

表 5-2 水セクターの 5 州における水利用状況

Items	Makkah	Al-Baha	Asir	Jazan	Najran
[都市用水]					
• 都市用水の使用量	389 MCM/Y	14 MCM/Y	57 MCM/Y	16 MCM/Y	12 MCM/Y
• 公共水道ネットワーク率	High (96%)	Low (47%)	Low (43%)	Low (64%)	Middle (79%)
• 供給量 (LCD: 1 / 一人/日)	Middle 183 LCD	Middle 149 LCD	Middle 192 LCD	Low 55 LCD	Low 93 LCD
• 淡水化水の占める割合	High (88%)	Low (0%)	Middle (57%)	Low (4%)	Low (0%)
• 水需要の季節変動	Yes (Haji Pilgrim)	Yes (Jun-Aug)	Yes (Jun-Aug)	No	No
[工業用水]					
• 工業用水の使用量	38 MCM/Y	0	2 MCM	0	0
• 下水処理水の再利用が占める割合	Middle (59.8%)	-	Low (0%)	-	-
[農業用水]					
• 農業用水の使用量	768 MCM/Y	54 MCM/Y	283 MCM/Y	1,527 MCM/Y	229 MCM/Y
• 全水利用に対する農業用水の占める割合	Middle (64%)	High (79%)	High (83%)	High (99%)	High (95%)
• 農業用水に占める下水処理水再利用の割合	Low (2%)	-	Low (6%)	-	-
• 近代施設導入	Low < 50%	Low < 50%	Low < 50%	Low < 50%	Low < 50%
• 農業用井戸の地下水位低下及び水質劣化	Yes Middle	Yes Low	Yes Low	Yes High	Yes Low
• 無許可井戸掘削	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
• 農業用井戸用水量のモニタリング	No	No	No	No	No

上表から、水セクターの課題を整理すると以下のとおりとなる。

- ◆ Al Baha 州、Asir 州、Jazan 州では公共水道ネットワークの整備が遅れている。
- ◆ Al Baha 州、Jazan 州、Najran 州では都市用水の一人一日当り供給実績が小規模都市 (<5000 人) の計画供給量 150 リットルに満たない状況にある。これらの州は淡水化水の供給が少ないか、全く供給されていない州である。
- ◆ Makkah 州、Al Baha 州、Asir 州では都市用水の水需要の季節変動要素がある。
- ◆ 工業用水の使用量は Makkah 州以外では少ない
- ◆ 工業用水における下水処理水の再利用は Makkah 州では比較的進んでいる。それ以外の州では工業用水の使用量が少ないこともあるが、ほとんど実績はない。
- ◆ 農業用水の全体使用量に対する割合が高い。しかし、使用量の実態はモニタリングされておらず、無許可で掘削されている井戸も多い。
- ◆ 農業用水は全体使用量に対する割合が高く、節水により節減できる水量は大きい。しかし、近代施設の導入が進んでいない。
- ◆ 農業への下水処理水の再利用の割合が非常に低い。

また、調査対象州における水に関する課題については、ステークホルダー会議を通して把握した。各州の抱える課題を州ごとに整理すると以下のとおりとなる。

表 5-3 ステークホルダー会議から抽出した各州における課題

項目		Makkah	Al Baha	Asir	Jazan	Najran
水資源	(1) 都市用水不足	0	0	0	0	0
	(2) 農業用水不足	0		0	0	0
水資源環境への影響	(1) 水質汚染、悪化	0	0	0	0	0
	(2) 地下水位低下	0	0	0	0	0
	(3) 農業の過剰利用による塩水化	0		0	0	0
	(4) 下水処理水利用に関する課題	0	0		0	0
水資源管理	(1) 無許可の井戸掘削		0	0	0	
	(2) 高い漏水率、大きい送水損失	0		0	0	0
	(3) 近代的灌漑法の普及遅れ		0			0
	(4) ダム貯水池管理の課題		0	0	0	

注) 該当項目を「0」で記載した。

上表の整理から推定される州毎における共通的な課題は以下のとおりである。

- ◆ 都市用水については全州で、農業用水については4州で、不足に対する関心がある。
- ◆ 水資源環境に関して、地下水位低下と水質の悪化が見られる。
- ◆ 農業及び工業分野において、下水処理水の再利用は十分ではない。
- ◆ 無許可の井戸掘削が行われている。
- ◆ 水資源管理面では、給水ネットワークの漏水率が高い。また、農業用水においては送水ロスが非常に大きい。
- ◆ 農業用水に関して、近代的な灌漑方法が普及していない。
- ◆ ダム貯水池では、堆砂や水質劣化の問題に直面している。

5.2 州別の水需要・供給バランスの検討

5.2.1 都市用水

都市用水に関して、現在の供給能力と計画目標年である 2035 年の需要量をもとにして、計画目標年に必要となる水資源開発量について検討する。

現在の供給能力は、各州で聞き取った供給実績を、現在の供給能力と仮定した。この供給実績には再生可能水資源、海水淡水化水が含まれる。また、3 章 3.1.5 で推定した 2035 年の都市用水需要量（表 3-5 から表 3-9）を、計画目標年の需要量の目標値とした。

ここでは、まず、計画目標年までに必要な開発水量を推定した。計画目標年の都市用水需要量と現在の供給能力の差がそれに該当すると想定した。

次に、必要な開発水量をどの水源で供給できるかの概要を推定した。水源としては、再生可能水資源をまず配分する。そして、必要な開発水量に対する不足量を海水淡水化水で供給することと想定した。再生可能水資源の開発可能量は、第 4 章で解析した水資源ポテンシャルから推定した水量である。なぜなら、開発水価は再生可能水資源の方が海水淡水化水より安価であり、また、再生可能水資源は自然条件で開発可能量が制約されるが、海水淡水化水は施設の拡張や新設によって必要な水量を確保することが可能であるからである。

なお、水源種別の用途区分は、以下の通りとする。

水資源種別	水源種別	用途区分
・ 非在来型水資源：	海水淡水化水	→ 生活、事業、商業
・ 在来型水資源：	再生可能水	→ 生活、事業、商業
・ 非在来型水資源：	下水再生水	→ 緑化、工場

計画目標年における都市用水需要量には、工業用水や緑化用水が含まれる。ここでは、緑化用水並びに工業用水の 30%を下水再生水で供給するものとして、都市用水需要量から控除した量を需要量の目標値とした。

(1) 利用可能な再生可能水量の推定

利用可能水量の算出

第 4 章で計算された水資源ポテンシャル（図 B.4-11 中に示しているワジ流域別の Effective Rainfall of Mountain の数値、単位 MCM/year）をもとに、ダム地点を仮定し、ダム地点における流入量（表流水）を算出する。これを、ダム地点での利用可能な最大再生可能水量（①）とする。

ダム地点流量の利用可能水量の仮定

ダム地点流入量①の 70%が毎年度安定的に利用可能な水量（②）と仮定する。（根拠として、Aqiq ダム、Baysh ダム等のダム地点月別流入量データから毎年度平均的に利用可能な水量を検討したところ流入量の 70%程度が毎年度安定的に利用可能と推定できたため）

都市用水利用可能量と既得下流利水者への流量配分の仮定

ダム地点のワジ下流では既存の利水者がいるが、現時点ではこれらの水使用実態が把握されていない。本調査では、ダム建設後の下流既存利水者へ配慮し、都市用水計画を行う仮定値として都市用水への利用可能量（③）としては②の 30%を割り当てた。残りの 70%は下流放流して、既存利水者による利用や地下水涵養等に充てるものとする。

(2) 計画目標年における都市用水需要量と再生可能水資源の開発可能量

表 5-4 は、計画目標年までに開発すべき水資源量を推定したものである。現在の供給能力及び計画目標年における需要量は前述の考え方に基づいてまとめた数値である。表 5-4 の収支が計画目標年までに開発すべき水資源量の目標値となる。

表 5-4 2035 年の都市用水需要に向けて開発が必要な給水能力（MCM, m³/日）

Region	(1) 現況給水能力 (MCM/Y)	(2) 将来の水需要 (MCM/Y)	収支 (MCM/Y) (3)=(2)-(1)	収支 (1000 m ³ /日)
Makkah	748	845	-97	-266
Al Baha	10	38	-28	-77
Asir	44	208	-164	-449
Jazan	53	148	-95	-260
Najran	24	62	-38	-104
[Total]	879	1,301	-422	-1,156

*) 30% x Industrial Water and 5% x Municipal Water are to be supplied by Reclaimed Wastewater.

(3) Makkah 州

表 5-5 に Makkah 州における再生可能水資源の開発可能量およびその都市用水割り当て量を示す。再生可能水資源の開発可能量の推定には再生可能水資源ポテンシャル(表 3-13)を基にした。

表 5-5 Makkah 州の今後の再生可能水資源の評価

再生可能水資源ポテンシャル			ダム地点の開発可能水資源ポテンシャル					
(1) No.	(2) ワジ名	(3) 山地部 面積 (km ²)	(1) No.	(2) ワジ名	(3) 山地部 面積 (km ²)	(1) No.	(2) ワジ名	(3) 山地部 面積 (km ²)
W-02	Rabigh	4,443	99	Rabigh	3,456	77	54	44
W-04	Khulago	4,390	100	Maruwani	2,762	63	44	36
W-09	Al Lith	2,641	40	Al Lith	1,838	28	19	16
W-10	Fagh	1,706	44	Qanunah	1,383	35	25	30
W-15	Yiba	2,812	81	Yiba	2,242	65	45	38
W-16	Hali	4,850	123	Hali	4,843	123	86	(35)+35
	<Total>		599			391		161

注 1) ※開発可能量はポテンシャルの 70%を想定。 ※すでに稼働しているダムによる開発水量は既存ダム開発として別途整理。そのため、上表は建設中、計画中のダムを記載している。 ※(9)欄は、(8)欄をもとに水道用水として仮定する供給量(MCM/Y)を日量単位(1000m³/d)に換算している。 ※Hali ダムはダムサイトは Makkah 州であるが流域はほとんどが Asir 州にある。このため、この表では、1/2 を Makkah 州に割り当てるものと仮定した。(35)は合計には計上しない。

Makkah 州の計画目標年における都市用水を供給するために必要な今後の開発量は、表 5-4 より約 266,000m³/日である。一方、Makkah 州で利用可能な再生可能水資源は、表 5-5 から 161,000m³/日と推定される。Makkah 州では、再生可能水資源の開発だけでは、計画目標年の都市用水の需要に対して不足が生じることとなる。

(4) Al Baha 州

表 5-6 に Al Baha 州における再生可能水資源の開発可能量およびその都市用水割り当て量を示す。

表 5-6 Al Baha 州の今後の再生可能水資源の評価

再生可能水資源ポテンシャル				ダム地点の開発可能水資源ポテンシャル				
(1) No.	(2) ワジ名	(3) 山地部 面積 (km ²)	(4) 水資源 ポテンシャル (MCM/Y)	(5) ダム名	(6) 流域 面積 (km ²)	(7) ダム地点水資源 ポテンシャル (MCM/Y) (4)*(6)/(3)	(8) 開発可能 水資源量 (MCM/Y) (7)*70%	(9) 想定給水量 (1000m ³ /日) (8)*30%
W-15	Yiba	2,812	81	Nilah Qilwah	361 302	10 9	7 6	6 5
E-03	Ranya	3,503	80	Al Janabin	380	9	6	5
	<Total>		161					16

注1) ※開発可能量はポテンシャルの 70%を想定。 ※すでに稼働しているダムによる開発水量は既存ダム開発として別途整理。そのため、上表は建設中、計画中のダムを記載している。※(9)欄は、(8)欄をもとに水道用水として仮定する供給量(MCM/Y)を日量単位(1000m³/d)に換算している。

Al Baha 州の計画目標年における都市用水を供給するために必要な今後の開発量は、表 5-4 より約 77,000m³/日である。一方、Al Baha 州で利用可能な再生可能水資源は、表 5-5 から 16,000m³/日と推定される。Al Baha 州では、再生可能水資源の開発だけでは、計画目標年の都市用水の需要に対して不足が生じることとなる。

(5) Asir 州

表 5-7 に Asir 州における再生可能水資源の開発可能量およびその都市用水割り当て量を示す。

表 5-7 Asir 州の今後の再生可能水資源の評価

再生可能水資源ポテンシャル				ダム地点の開発可能水資源ポテンシャル				
(1) No.	(2) ワジ名	(3) 山地部 面積 (km ²)	(4) 水資源 ポテンシャル (MCM/Y)	(5) ダム名	(6) 流域 面積 (km ²)	(7) ダム地点水資源 ポテンシャル (MCM/Y) (4)*(6)/(3)	(8) 開発可能 水資源量 (MCM/Y) (7)*70%	(9) 想定給水量 (1000m ³ /日) (8)*30%
W-15	Yiba	2,812	81	Nilah Qilwah	361 302	10 9	7 6	6 5
E-03	Ranya	3,503	80	Al Janabin	380	9	6	5
	<Total>		161					16

注1) ※開発可能量はポテンシャルの 70%を想定。 ※すでに稼働しているダムによる開発水量は既存ダム開発として別途整理。そのため、上表は建設中、計画中のダムを記載している。※(9)欄は、(8)欄をもとに水道用水として仮定する供給量(MCM/Y)を日量単位(1000m³/d)に換算している。

Asir 州の計画目標年における都市用水を供給するために必要な今後の開発量は、表 B.5-4 より約 449,000m³/日である。一方、Asir 州で利用可能な再生可能水資源は、表 B.5-5 から 60,000m³/日と推定される。Asir 州では、再生可能水資源の開発だけでは、計画目標年の都市用水の需要に対して不足が生じることとなる。

(6) Jazan 州

表 5-8 に Asir 州における再生可能水資源の開発可能量およびその都市用水割り当て量を示す。

表 5-8 Jazan 州の今後の再生可能水資源の評価

(1) No.	再生可能水資源ポテンシャル			ダム地点の開発可能水資源ポテンシャル				
	(2) ワジ名	(3) 山地部 面積 (km ²)	(4) 水資源 ポテンシャル (MCM/Y)	(5) ダム名	(6) 流域 面積 (km ²)	(7) ダム地点水資源 ポテンシャル (MCM/Y) (4)*(6)/(3)	(8) 開発可能 水資源量 (MCM/Y) (7)*70%	(9) 想定給水量 (1000m ³ /日) (8)*30%
W-18	Baysh	4,767	105	Baysh	4,600	101	71	58
W-19	Damad	1,064	72	Damad	903	61	42	36
				Qissi	69	5	13	9
	<Total>		177					103

注1) 開発可能量はポテンシャルの70%を想定。 ※すでに稼働しているダムによる開発水量は既存ダム開発として別途整理。そのため、上表は建設中、計画中のダムを記載している。※(9)欄は、(8)欄をもとに水道用水として仮定する供給量(MCM/Y)を日量単位(1000m³/d)に換算している。

Jazan 州の計画目標年における都市用水を供給するために必要な今後の開発量は、表 5-4 より約 260,000m³/日である。一方、Jazan 州で利用可能な再生可能水資源は、表 5-8 から 103,000m³/日と推定される。Jazan 州では、再生可能水資源の開発だけでは、計画目標年の都市用水の需要に対して不足が生じることとなる。

(7) Najran 州

Najran 州の計画目標年における都市用水を供給するために必要な今後の開発量は、表 5-4 より約 104,000m³/日である。一方、Najran 州には有望なダムサイトがないため、新規ダムによる開発可能水量は見込まれない。Najran 州では再生可能水資源以外に必要な水資源を確保する必要がある。

表 5-9 に以上の結果をまとめた。計画目標年の都市用水を供給するためには再生可能水資源の開発だけでは約 30%の充足率となる。調査対象地域の水資源開発計画では、再生可能水資源の配分及び再生可能水資源以外の水源による水資源開発の検討が必要である。

表 5-9 2035 年の都市用水需要と供給量の収支 (1000m³/日)

州	需要 (必要) 量	供給量	収支 Balance	摘 要
Makkah	266	161	-105	
Al Baha	77	16	-61	
Asir	449	60	-389	
Jazan	260	103	-157	
Najran	104	0	-104	ダム開発なし
[Total]	1,156	340	-816	

5.2.2 農業用水

農業用井戸からの揚水量が把握されていないことから、農業用水の現在の供給能力が不明である。このため、農業用水に関しては、都市用水に対して行ったような、今後必要となる水資源開発という検討ができない。このため、調査対象地域で計画目標年に必要な農業用水の需要と調査対象地域で利用可能な水資源を比較することで、農業用水の供給可能性を検討した。

(1) 水需要・需給バランスの検討手順

農業用水の水需給バランス検討は、下記の手順で行う。

- ◆ 供給は再生可能な水資源であり、表流水と地下水に大別される。他に供給にプラスとなるものとしては下記に示す節水量、下水の再利用水、反復水がある。
- ◆ これらが水源として考えられるすべてのものであるためこれらを使っても水不足が発生する場合は、灌漑用水そのものの抑制を考慮する必要がある。また、都市用水の供給が優先であるためまず再生可能水資源ポテンシャルから上水分を差し引き残りの水資源量で灌漑可能面積を検討する。
- ◆ 将来の農業開発計画については Decision335 を基本とし、農業用水の合理的な利用を図り、作付面積は増加させないものとする。ただし、食料自給率の確保および小規模農家保護の

観点から、都市近郊を中心とした野菜、果樹の栽培は継続し、野菜の作付面積は 2007 年の倍増、果樹は 2007 年の現状維持とする。

(2) 再生可能水資源(表流水と地下水)について

流域別に算定された水資源ポテンシャルを使って流域面積比によりガバナレート別の水資源ポテンシャルを算定する。ここでは基本データである、州別のポテンシャルを示す。

表 5-10 需給計画のための州別の表流水、地下水ポテンシャル (MCM/Year)

項 目	Makkah	Al Baha	Asir	Jazan	Najran	合 計
行政面積 km ²	144, 292km ²	12, 033km ²	71, 426km ²	11, 952km ²	68, 776km ²	308, 478km ²
合計ポテンシャル	782. 1	99. 4	380. 5	322. 9	401. 1	1, 985. 9
表流水	216. 8	23. 3	146. 0	247. 8	68. 9	702. 8
地下水	565. 3	76. 1	234. 5	75. 1	332. 2	1, 283. 1

注)1: SWAT モデルによる 30 ヶ年の年別流出量算定結果を用いて、面流出量については、30 ヶ年流出量から最小値を並べて小さい方から第 3 番目の年の流出量(安全度として 1/10)を、地下水流出量については、30 ヶ年平均値を採用した。

注)2: 5 州全体面積; 308, 478Km²

作付け転換

農業開発計画については Decision335 を基本とし農業用水の合理的な利用を図り、作付け転換は行うが作付面積は増加させないものとする。なお、作付転換は食料自給の確保および小規模農家保護の観点から都市近郊を中心とした野菜・果樹栽培に特化したものとし、野菜は 2007 年に対して倍増、果樹は 2007 年の生産量を維持していくものとする。したがって、野菜の作付けが増加した分は穀類および飼料作物の作付面積を減少させる計画とする。

節水量

南西地域では、果樹、野菜の栽培は伝統的な畝間灌漑が主流を占めているがスプリンクラー、ドリップ等の近代的灌漑方式を導入することにより節水が可能である。聞き取りにより現況の整備率(伝統的灌漑方法と近代的灌漑方法)は、50%と仮定して灌漑効率を 70%(= (55%+85%)*50%)としているが、将来計画では近代的灌漑方法を推進し灌漑効率を 85%まで引き上げることを検討する。

下水の再利用

「サ」国では National Irrigation Authority (NIA)が、リヤド郊外に下水処理水を再利用した大規模な灌漑施設を建設し、1982 年から下水の再利用が行われている。ただし再利用水の用途は国の基準により果樹、飼料作物、一部の穀類に限定され、野菜への適用は行われていないが、水資源の有効利用のため積極的に下水再生水の灌漑用水への利用拡大を図っていく必要がある。下水の再利用については 2009 年に ITAL CONSULT が「サ」全国における利用計画(Investigation and Engineering Design for Treated Wastewater Reuse in the Kingdom of Saudi Arabia)を策定しているのでこの成果を利用する。

還元水(反復水)の扱い

灌漑用水のうち純用水量分は植物に吸収されるが、灌漑損失分は土中に保持され地下水の涵養になると考えられることから、これを還元水として間接的な水源にカウントする。2007 年の南西地域における純用水量は 1, 675MCM、一方全灌漑用水量は 2, 791MCM である。したがって、灌漑水量の 40%(= (2, 791-1675)/2791)を反復水として利用可能である。

(3) 州毎の収支バランスおよび作付け面積

上記の手順により 5 州における再生可能な水資源を使った場合の収支バランス結果は、表 5-11 のとおりである。計画目標年においてはジャザンを除く 4 州では全体収支はプラスとなる。ただし水資源ポテンシャル、下水利用、農業地域は州の中で偏在しているので流域別/ガバナレート別に確認する必要がある。

表 5-11 州毎の農業用水の収支

(単位：MCM)

州	再生可能 水資源量	上水 利用量	利用 可能量	農業用 需要量	収支①	節水量	下水再 利用	還元水 量	収支②
Makkah	782.0	108.2	673.8	750.5	-76.7	168.8	96.5	247.4	300.2
Al Baha	99.4	16.4	83.0	53.9	29.1	1.7	8.4	4.2	21.6
Asir	380.5	20.4	360.1	268.4	91.7	17.4	29.8	62.1	107.4
Jazan	322.9	106.9	216.0	1,501.9	-1,285.9	21.5	28.5	20.3	600.8
Najran	401.1	72.7	328.4	216.5	111.9	32.5	27.2	28.4	86.6
計	1,985.9	324.6	1,661.3	2,791.2	-1,129.9	241.9	190.4	362.4	1,116.5

①：再生可能水源から上水と農業用水を差し引いた収支

②：①に節水量、下水再利用および還元水量を加えた収支

以上から、再生可能水資源に見合う、5州における作付面積の検討結果をまとめると以下の通りとなり、Jazan 州、Najran 州を除く 3 州では、ほぼ 2007 年の作付が確保できる。

表 5-12 2035 年における 5 州の作付面積と作付面積の削減比率(2007:100%)

州 名	作付面積 2007 (ha)	作付面積 2035 (ha)	比率(2035/2007, %)
Makkah	42,077	39,293	93
Al Baha	4,450	4,425	99
Asir	21,054	20,759	99
Jazan	113,558	28,559	25
Najran	11,430	8,134	71

5.2.3 農業用水の州別、ガバナレート別抑制策の検討

農業用水については州別では Jazan 州だけの不足となっているが、さらに州のガバナレート別に確認するものとする。

Makka 州

供給量の上限を再生可能水資源ポテンシャルとした場合、計画年の 2035 年における作付可能面積は 39,293ha（面積比 7%減）となった。おおむね現況の作付面積は継続可能と推測される。

Al Baha 州

供給量の上限を再生可能水資源ポテンシャルとした場合、計画年の 2035 年における作付可能面積は 4,425ha（面積比 1%減）となった。おおむね現況の作付面積は継続可能と推測される。

Asir 州

供給量の上限を再生可能水資源ポテンシャルとした場合、計画年の 2035 年における作付可能面積は 20,759ha（面積比 1%減）となった。おおむね現況面積出の作付は可能と推測される。

Jazan 州

需要量の上限を再生可能水資源ポテンシャルとした場合、計画年の 2035 年における作付可能面積は 28,539ha（面積比 75%減）となる。再生可能水資源の利用可能性から見ると作付面積の現状維持は非常に厳しいと推測される。現地における地下水及び作付け状況のモニタリングを実施し、関連を把握し、作付面積の規模を適切に管理していくことが重要である。

再生可能水資源ポテンシャルの解析においては多くの仮定を含んでいることや評価に使用している灌漑用水量が実測値ではなく計画基準を準用しているため実態より大きな灌漑水量となっていることも推測されるため、これらの妥当性を確認するためにもモニタリングを適切に行うことが重要である。

現在の作付面積と 2035 年の再生可能水資源量に見合った作付可能面積で大きな減少があったガバナレートは次のとおりであった。モニタリングの計画を策定する際には、特に、これらのガバナレートにおける地下水と作付面積の関係を把握する必要がある。

表 5-13 現在(2007 年)と 2035 年の作付面積

ガバナレート	現在作付面積	2035 年作付面積予測	比率 (2035/2007, %)
Sabya	22,785ha	6,348ha	28
Abu Arith	9,395 ha	2,292ha	25
Samtah	28,175ha	1,393ha.	5
Alharth	8,452ha	171ha	3
Damad	3,797ha	1,457ha	38
Arrayth	5,839ha	3,784ha	65
Ahad Almusarihah	22,540ha	2,561ha	11
Alaridah	4,290ha	2,465ha	57

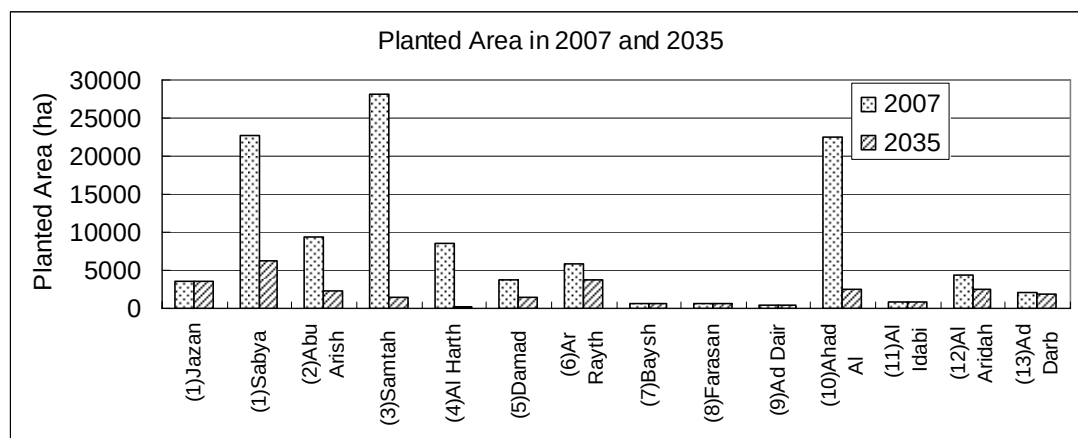


図 5-1 Jazan 州における 2007 年と 2035 年の作付面積比較

Najran 州

供給量の上限を再生可能水資源ポテンシャルとした場合、計画年の 2035 年における作付可能面積は 8,134ha（面積比 29%減）となる。Jazan 州ほどではないものの、再生可能水資源の利用可能性から見ると作付面積の現状維持は非常に厳しいと推測される。しかし、作付面積の減少を急ぐ前に、現地における地下水及び作付け状況のモニタリングを実施し、関連を把握し、作付面積の規模を適切に管理していくことが重要であると考えられる。

5.3 水資源開発・利用・管理の基本方針

5.3.1 乾燥地の水文的ハンディキャップと水を確保するための行動

基本方針を検討するに当たって、水文学的特徴や水資源を利用するために必要な行動条件を整理した。

5 州の水文的特徴

調査地域のような乾燥・準乾燥地域では、再利用可能水資源の開発に影響する次のような水文的ハンディキャップがある。

- ◆ 再生可能水資源（降水量、表流水）が不足している
- ◆ 降雨及び再生可能水資源の年変動及び季節変動が大きい
- ◆ 可能蒸発量が大きい

必要な水を確保するために必要な行動

水文的なハンディキャップを克服し、需要の増加に十分な水を確保するために必要な行動がなされなければならない。人々の必要な水資源を満足させるために、図 5-2 に示すように、3つの基準（十分性、水政策、効率性）に基づいて、3つの行動（利用、管理、開発）が行われなければならない。

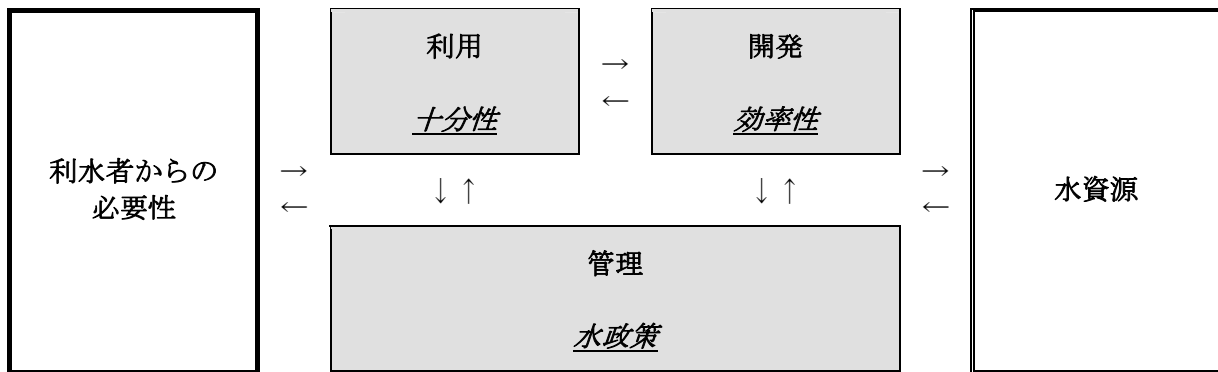


図 5-2 水資源を確保するための3つの基準と行動

〈開 発〉

利水計画で明らかにされた将来の水不足を充足するために未資源開発を行う行為が「開発」である。開発は、水政策に沿ったものでなければならない。水資源開発計画の策定にあたっては、水文特性といった自然条件、水源や施設、経済性や環境といった様々な条件を考慮した代替案を検討した上で、最終案を決定する必要がある。

当該地域では、降雨及び再生可能水資源の年変動や季節変動が大きく、水利用上の安定性確保の障害となる。それらに対応できるよう、たとえば、社会経済の維持に必要な最低限の水量は海水淡水化水のような安定水源によって確保することや、洪水を確実に貯留して経年的に利用し変動を吸収できるような大きめの貯水容量を持つダムといった「ストックを重視した水資源開発」が必要となる。

降雨及び再生可能水資源の変動の地域的、流域的ばらつきも一定の地域における水利用の安定性を損なう要因である。このような地域的なばらつきに対して全体として一定レベルの水利用を行うために、たとえば、異なる地域、流域をパイプラインのような導水路で連結し「水資源を融通するような仕組み」が必要となる。

乾燥、準乾燥地域においては可能蒸発散量が非常に大きく、ダムによる貯水池からの蒸発ロスが大きいことが課題の一つである。これへの対応としては、たとえば、地下水涵養を促進させて地下水として貯留することが有利であると考えられ、そのためにリチャージダムと地下水の涵養効率をあげるための「連携による表流水、地下水開発」が必要となる。（主報告書C. 第2章、参照）

〈利 用〉

「開発」事業が完了すると水「利用」が開始される。しかし、利用計画は開発に先立って予め策定すべきである。利用計画に関わる主要な利水者は1）上水（家庭用水、公共用水、商業用水）、2）工水、3）灌漑である。利水計画の策定にあたっては、人口増加、単位消費量、給水率、工業生産の増加、灌漑面積といった指標の将来予測に基づいて、利水者の需要を満たす必要がある。これらの指標は水政策を考慮しつつ、利水者の十分に性に基づいて検討することが必要である。

水文的条件から水資源の乏しい当該地域においては、水資源の持続的な利用をはかるために、水資源のポテンシャルから推定される持続可能な利用可能量とバランスのとれた利用を行う点を留意すべきである。このために、需要管理により利用水量をコントロールすることが必要となる。

〈管 理〉

利用及び開発に関する管理は水政策に従って行われる。利水者への水配分は水政策に基づき決定される。また、水の保全計画も水政策に従って策定される。

調査地域のように水資源が乏しく水需給が逼迫している地域における水資源を適切に管理するためには、国としての方針を明確に示すことが重要である。なぜなら、貴重な水資源を有効に無駄なく管理するためには水の公平かつ効率的な配分がきわめて重要であり、そのための複雑な利害関係者間の調整が必要となる。その際には、上位レベルでそのような水資源の管理を行うという

強いイニシアティブとコミットメントが必要であり、それを具現化した明確な水政策が必要となるからである。

5.3.2 水資源開発・利用・管理の基本方針

将来の水資源開発・利用・管理についての考え方を水政策として整理するために、水利用の現状、計画目標年における需要と供給、再生可能水資源等の開発に関するここまでの検討から、以下のように課題を整理した。

<水資源開発・保全>

計画的な再生可能水資源（表流水）の開発と利用

再生可能水資源ポテンシャルの解析結果とそれを効率的に利用するためのダムサイトの検討から、再生可能水資源による都市用水供給は約30%が可能と推定される。しかし、これまではダム事業の計画で開発水量の割り当てが明確にされていない場合が多い。特に、洪水調節ダムを主目的とするダムでは、洪水で貯留された水資源の利用計画が定められていない。再生可能水資源の開発単価は海水淡水化による造水単価より安価であり、かつ、適切な管理のもとで利用すれば持続可能な利用が可能であることから、この再生可能水資源の開発と利用は計画的に行うことが重要である。

再生可能水資源（地下水）のモニタリング

再生可能水資源としての地下水利用に関して、地下水位の低下や水質劣化が報告されている。MOWEが都市用水供給のために使用している井戸は水量、水質、水位がモニタリングされ、管理されている。しかし、地下水の最大の利用者である農業セクターでは利用状況を把握しておらず、地下水の劣化の原因となっている可能性が指摘されている。このため、利用のために適切な管理を行い、持続的な利用を行う必要がある。そのため、地下水の涵養能力を強化するとともに、揚水量のモニタリング等の管理体制の強化が必要である。

給水計画における再生可能水資源と海水淡水化水との組み合わせ

再生可能水資源は都市用水供給のための貴重な水資源であるが、これだけで将来の都市用水の需要増加に対応することは困難である。このため、調査対象地域で、海水淡水化や化石地下水などと組み合わせ、合理的な水資源開発計画の検討が必要となる。

下水処理水の有効開発

農業用水、緑化用水、工業用水の一部に供給する水資源として、下水処理水は利用可能である。しかし、下水道の整備率が低く、処理施設の能力も現状では十分ではない。下水道の普及を促進し、利用に必要な水質を確保するための処理施設を設置し、再生可能水資源や海水淡水化水等と組み合わせ、積極的に利用することが必要である。

<水資源の利用・管理>

需要管理の必要性

自然条件から再生可能水資源が限られており、また、海水淡水化による造水は理論的には生産量は規模拡大で対応できるもののコストが膨大となる。このため、水資源の利用にあたっては生活用水、工業用水、農業用水それぞれのセクターが需要管理を徹底し、利用量の縮減を図ることが必要である。再生可能水資源の最大の利用者である農業用水セクターは、利用効率を高め、消費水量の少ない作物に転換するなど、使用量の縮減に取り組むことが必要である。

有効水利用システムの整備

水資源開発施設は単独で管理し、農業用の地下水のように利用状況を管理する仕組みが整備されていない状況がある。再生可能水資源の持続的、効率的な利用、また、農業用水と都市用水の水融通や、州をまたがる水利用などのような、総合水資源管理を実施するための制度、組織の整備が必要である。

5.4 5州の水政策と戦略および行動計画

5.4.1 5州の水政策と戦略

調査対象地域の水資源利用の現状と課題、再生可能水資源ポテンシャルと計画目標年における水需要のギャップを考慮し、5州に共通となる水政策とその戦略を次表のとおりとりまとめた。水政策としては以下の4つの区分で10項目を掲げた。

- ◆ 水資源開発と保全
- ◆ 水資源保全
- ◆ 水利用管理
- ◆ 水資源開発、保全、利用管理のための組織、制度

それぞれの水政策に対して以下に戦略を示した。

表 5-14 5州の水政策と戦略

項目	具 体 的 な 内 容
	(1) 水資源開発
政策：WP1	再生可能水（表流水）の有効利用を図る
戦略	ダムに貯留した表流水を、地下水・淡水化水と組み合わせて有効利用を図る 都市用水への優先利用を行う 表流水の合理的な配分のための調整体制を整備する
政策：WP2	再生可能水（地下水）の持続的利用を図る
戦略	水資源開発と資源保全の均衡のとれた開発を行う リチャージダムと地下ダムによる効率的な地下水開発を図る 地下水の合理的な配分のための調整体制を整備する
政策：WP3	淡水化水の適切な利用を図る
戦略	再生可能水を補完する安定水源として計画的に利用する 再生可能水資源、下水処理水再利用との組み合わせを検討し、経済的な利用を図る
政策：WP4	下水処理水の再利用を図る
戦略	下水道及び再利用に必要な水質を確保する処理施設の計画的整備を行う 農業用水及び工業用水への優先利用を行い、再生可能水（地下水）の負担を軽減させる 農業用水への再利用促進のための啓蒙活動を行う
	(2) 水資源保全
政策：WP5	地下水の保全を図る
戦略	地下水を水位低下や水質劣化を起こさないように管理する 地下水のモニタリング（水量、水質）体制を強化する 地下水利用のための井戸設置登録・利用の監視を強化する
政策：WP6	水質（表流水・地下水）の保全を図る
戦略	貯水池のモニタリング（水質、水量）体制を強化する 地下水のモニタリング（水質）体制を強化する 廃棄物、生活污水等の不法投棄の監視を強化する
	(3) 水利用管理
政策：WP7	生活用水の無駄のない利用を促進する
戦略	不明水(UFW)削減の取り組みを強化する 節水意識の向上と節水行動を強化する
政策：WP8	工業用水の効率的な利用を促進する
戦略	工場内の回収、再利用の向上を図る 工場においては節水活動を行うと共に、水消費型ではない産業を優先的に誘致する
政策：WP9	農業用水の適切な利用を行う
戦略	近代灌漑施設導入や施設の更新により灌漑効率の向上を図る 農家の効率的な水利用に関する知識の啓蒙普及と節水行動を強化する 持続可能な水利用を農業活動の制約条件とする
	(4) 組織・制度の整備
政策：WP10	効果的水資源開発管理のための組織制度を整備する
戦略	1) 持続的水資源開発, 2) 効果的な水資源保全, 3) 円滑かつ効率的な水利用と管理のための組織、制度の整備を行う

5.4.2 行動計画－水資源開発

水資源開発にかかわる以下の水政策・戦略に関して、行動計画を提案する。

- ◆ 政策 WP1： 再生可能水（表流水）の有効利用を図る
- ◆ 政策 WP2： 再生可能水（地下水）の持続的利用を図る
- ◆ 政策 WP3： 淡水化水の適切な利用を図る

(1) 表流水の開発

＜ダムによる水資源開発＞

MOWE はこれまで多くのダムを建設し、また、現在建設中及び今後のダム計画があるが、調査団の調査から、有望な大規模貯留ダムはすでに建設済みか建設中であると判断され、新規のダムサイトは残されていない。本調査では、再生可能水資源を開発する主要ダムとして経年的な貯留でダム運用を行うことにより、安定的に水を供給できる可能性が高いと推定される以下の大規模貯留ダムを対象とした。Najran 州では、計画されるダムサイトがないためダムによる開発は行わない。

表 5-15 水資源開発計画の対象ダムと計画給水量（4 州）

州 名	Dam 名	計画給水量(m ³ /日)
1) Makkah	Rabigh	44,000
	Maruwani	36,000
	Yiba	38,000
2) Al Baha	Nilah & Qilwah	11,000
	Al Janabin	5,000
	Hali (Makkah 州)	35,000
3) Asir	Baysh (Jazan 州)	25,000
	Ranya	68,000
	Hirjab	9,000
	Tabalah	16,000
4) Jazan	Baysh	44,000
	Qissi	36,000
	Damad	38,000

注) 計画給水量は、原則として再生可能水資源ポテンシャルより調査団が仮定した。

＜開発水資源の配分＞

水資源開発管理にかかる行動計画の策定にあたって、都市用水、工業用水及び農業用水にかかる新規開発水資源の配分については次のように仮定した。

- ◆ 新規の再生可能水資源は、開発可能想定量のうち都市用水・工業用水用に割り当てる仮定として 30%を割り当てる。残りの 70%は下流の既得利水者及び農業用水として割り当てることと仮定した。
- ◆ 都市用水需要が、再生可能水資源で充足されない場合は、その不足分に対し海水淡水化水あるいは化石地下水(Najran 州及び Asir 州東部の一部)を配分する。
- ◆ 下水処理水は都市用水のうち緑化用水として使用される量に相当する 5%及び将来の工場において主に冷却用水・温度調節用水として工業用水の 30%に使用されるものと仮定して配分する。これを除く残りの水量は再生可能水資源及び安定水源(淡水化水あるいは化石地下水)により供給される。なお、工業用水での下水処理水の利用については、今後工場内でのリサイクル率の向上にともなう淡水補給水の減少や工場の施設整備の進捗など不確定要素もあり、水資源開発計画は安全側として 30%を下水処理水の再利用目標としている。
- ◆ 異常渇水等においても社会機能を維持するため、各州においては、都市用水の 50%を安定水源である海水淡水化水または化石地下水を配分する。これは、Riyadh 地区において、安定水源として海水淡水化水による供給を日・人あたり 90 リットルを確保することを目標としていることに準じて設定した仮定である。
- ◆ 農業用水需要には、農業生産に使用可能な範囲で、下水処理水を配分する。

- ◆ 再生可能水資源ポテンシャルのうち、都市用水・工業用水への配分を除く水量を上限として農業を行う。それ以上には農業生産を行わないものとする。

(2) 地下水の開発

今後の大規模開発の対象となる再生可能地下水は存在しない。従って、今後の再生可能地下水の開発・利用については、地下水保全（地下水涵養）によって地下水の利用量を増やすことになる。既存の涵養ダムや利水ダムのみならず、洪水調節ダムについても適正なダム運用により地下水涵養量の増大が期待できる。

非再生可能な化石地下水については、Najran 州の砂漠地帯に存在する Wajid 滞水層のポテンシャルが GTZ の調査によって確認されている。MOWE は次の 2 つのパイプラインによって、この Wajid 滞水層から Najran 州西部（Najran 市）や Asir 州の北部の Tathlith 市や Bisha 市に導水を計画している。

(3) 海水淡水化水の供給とその区域

再生可能水資源のポテンシャルの検討結果から、再生可能水資源の開発だけでは、Makkah 州、Asir 州、Jazan 州、Najran 州の各州では、都市用水及び工業用水の需要増加に対応することができない。都市用水については将来の需要量と開発量の差は、基本的に海水淡水化水により供給されるものとする。但し、Najran 州及び Asir 州の東部にある Tath Lith のように、海水淡水化水の計画がない地域では、化石地下水を利用することが MOWE により計画され、一部既に着手されているため、海水淡水化水の供給は行わない計画とする。

(4) 水資源の安定確保のための相互導水

調査地域のような乾燥地域では、降雨の時間的変動（年変動、季節変動）及び場所的変動が大きい。このため、このような自然の不確実性の影響を受けて、表流水や地下水といった再生可能水資源による利用可能量は必ずしも安定していない。再生可能水資源を利用するためには、水文的な不確実さに対して、水供給の安定性を高めることが、社会生活の安定のために必要となる。

水利用の安定性を高めるためには次の方法がある。

- ◆ ダムを設置することで、降雨の時間的な偏りを、貯留することにより平滑化して利用する方法。これはダムの設置される流域に限定した効果である。
- ◆ 異なる流域（州）をパイプライン等で連結し、水を相互融通することで、場所による水資源の偏りを平滑化する方法。このためには、水系や行政単位を越えて水を共有するための合意が必要となる。

本調査地域は、前述のとおり、時間的、地域的にも再生可能水資源の偏りがあることから、再生可能水資源の安定的な利用のためには、この両方の方法を組み合わせたパイプライン（紅海水ライフライン）による相互導水を行う。図 5-3 参照。

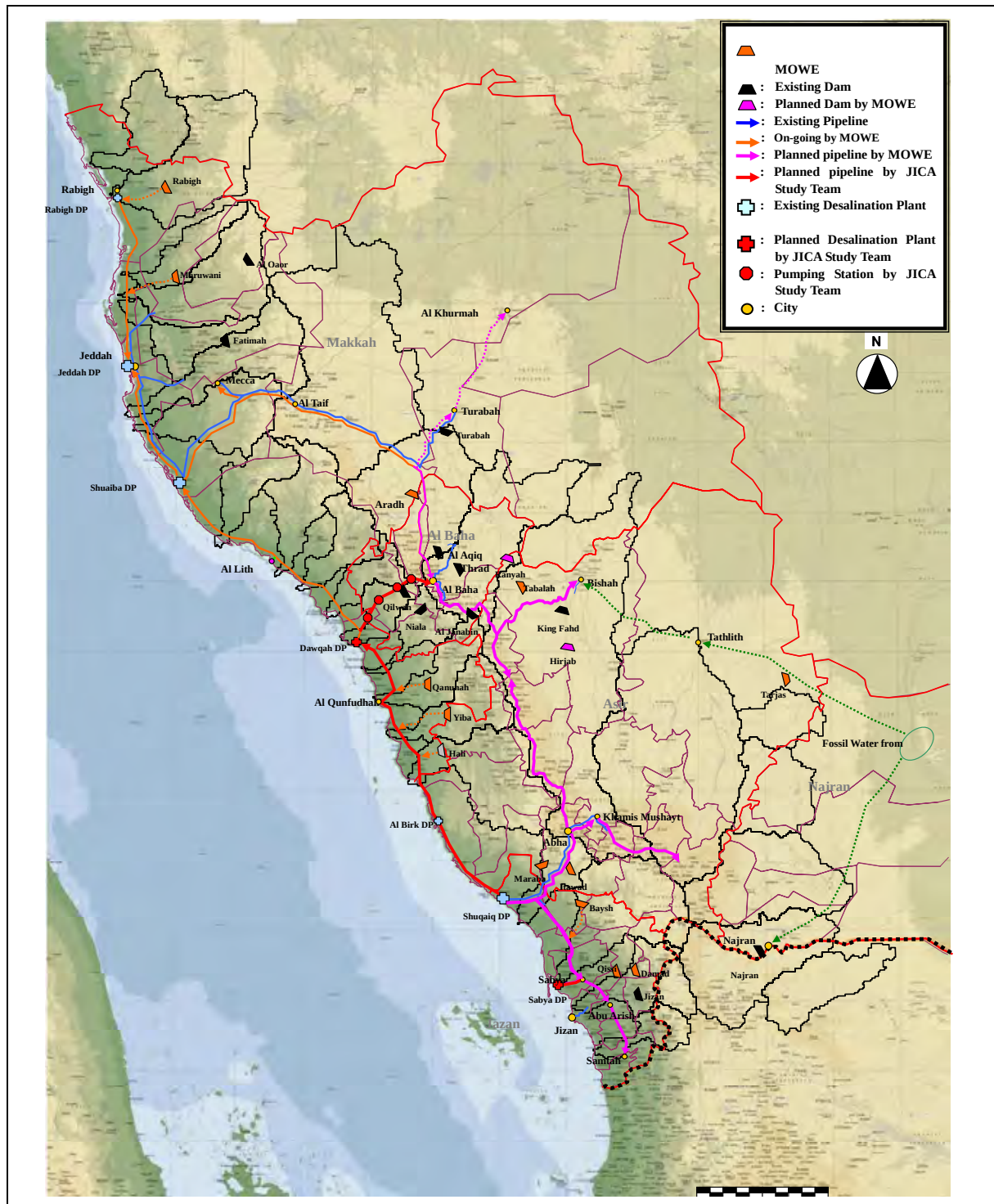


図 5-3 パイプラインを連結した「紅海水ライフライン」導水の概念図

(5) 紅海水ライフラインの比較検討

<比較案>

紅海水ライフラインについて次の 3 案を比較検討する。

代替案 1 (図 5-4 参照)

代替案 1 の特徴は、都市用水の新規需要に対して、建設位置を任意に定められる海水淡水化プラントを新たに 2 カ所建設し、主要な需要地域までの送水コストの軽減を図ることを提案した点である。再生可能水資源の水源地ダムは他の案と同じである。

Makkah 州から Jazan 州まで紅海側をパイプラインで連結する紅海水ライフライン計画とし、渇水に対しては広域的な水のやりとりを可能とする。

代替案 2 (図 5-5 参照)

代替案 2 の特徴は、都市用水の新規需要に対して、既存の主力海水淡水化プラントを拡張し、供給する計画としているもので、MOWE 及び SWCC の現在の計画に沿った案としている点である。再生可能水資源の水源ダムは他の案と同じである。

Makkah 州から Jazan 州まで紅海側をパイプラインで連結する紅海水ライフライン計画とし、渇水に対しては広域的な水のやりとりを可能とする。

代替案 3 (図 5-6 参照)

代替案 3 の特徴は、既実施されている Jazan 州の Baysh ダムから Asir 州への供給を除いて、州の間での水のやりとりを基本的に行わないような水源の利用計画としている点である。再生可能水資源の水源ダムは他の案と同じである。

海水淡水化プラントは州ごとに独立した水利用という方針に基づき、代替案 1 と同様に 2 カ所新設するものとした。また、Ai Birk と Al Suffah 間は、州ごとに独立した水利用の方針から、連結しない計画とする。

代替案 3 は、州間で再生可能水資源の融通を行わないことにより、渇水時に各州内での水利用の制約が大きいと想定される。しかし、州ごとの水利用の独立性が高いので、水利用に関する州間の調整に要する手間は他の 2 つの案より軽減される。

表 5-16 代替案比較説明

比較項目	代替案(1)	代替案(2)	代替案(3)
水源 (再生可能水資源)	1) MOWE のダム、井戸群 2) 開発単価が安価であるため、再生可能水資源の開発は優先的に行う。	1) MOWE のダム、井戸群 2) 開発単価が安価であるため、再生可能水資源の開発は優先的に行う。	1) MOWE のダム、井戸群 2) 開発単価が安価であるため、再生可能水資源の開発は優先的に行う。
水源 (海水淡水化水)	1) 新たなプラントの新設を行う。 a) Dawqah にプラントを新設し Al Baha 供給 b) Sabya にプラントを新設し Jazan 供給 2) Makkah 州は Jeddah プラントと Shuaiba プラント、Al Baha 州は Dawqah プラント、Asir 州は Shuqaiq プラント、Jazan 州は Sabya プラントが主要な海水淡水化施設となる。	Makkah 州と Al Baha 州は Jeddah プラントと Shuaiba プラント、Asir 州と Jazan 州は Shuqaiq プラントが主要な海水淡水化施設となる。	1) 新たなプラントの新設を行う。 a) Dawqah にプラントを新設し Al Baha 供給 b) Sabya にプラントを新設し Jazan 供給 2) Makkah 州は Jeddah プラントと Shuaiba プラント、Al Baha 州は Dawqah プラント、Asir 州は Shuqaiq プラント、Jazan 州は Sabya プラントが主要な海水淡水化施設となる。
水源 (化石地下水)	Asir 州の東部と Najran 州に、Wajid 帯水層から化石水を供給する。	Asir 州の東部と Najran 州に、Wajid 帯水層から化石水を供給する。	Asir 州の東部と Najran 州に、Wajid 帯水層から化石水を供給する。
再生可能水資源の利用 (常時)	1) ダムが設置された州で開発された水資源を利用する。 2) ただし、Baysh ダム (Jazan → Asir)、Hali ダム (Makkah → Asir) は計画どおり州外の利用がありとする。	1) ダムが設置された州で開発された水資源を利用する。 2) ただし、Baysh ダム (Jazan → Asir)、Hali ダム (Makkah → Asir) は計画どおり州外の利用がありとする。	1) ダムが設置された州で開発された水資源を利用する。 2) ただし、すでに州外で利用されている Baysh ダム (Jazan → Asir) は州外の利用ありとする。
再生可能水資源および海水淡水化水の利用 (渇水時)	1) Al Birk と Al Suffah を連結するパイプラインを計画し、Makkah 州と Al Baha 州で渇水が深刻な場合に、Asir 州と Jazan 州から水融通を行う。	1) Al Birk と Al Suffah を連結するパイプラインを計画し、Makkah 州と Al Baha 州で渇水が深刻な場合に、Asir 州と Jazan 州から水融通を行う。	基本的に各州内で渇水調整を行う。

比較項目	代替案(1)	代替案(2)	代替案(3)
	2) Asir 州と Jazan 州の渇水が深刻な場合はその逆の融通を行う。 3) Makkah 州と Al Baha 州、Asir 州と Jazan 州間ではそれぞれの渇水の程度に応じて州間で水融通を行う。	2) Asir 州と Jazan 州の渇水が深刻な場合はその逆の融通を行う。 3) Makkah 州と Al Baha 州、Asir 州と Jazan 州間ではそれぞれの渇水の程度に応じて州間で水融通を行う。	
特徴	1) 渇水の程度や範囲に応じて、Makkah 州と Al Baha 州のグループ、Asir 州と Jazan 州のグループ内での水融通、さらにはグループ間での水融通を行えるシステムとする。 2) 各州に対応する主要な海水淡水化プラントを設置することにより、危険分散がはかられる。 3) システム全体としては代替案(3)よりは再生可能水資源の変動に対して適応力が高い。	1) 水利用のシステムの機能としては代替案1と同等のものを旨とする。 2) 海水淡水化の今後の需要増対応を既存の Shuaiba プラントと Shuqaiq プラントの拡張により対応する計画とする。 3) 海水淡水化水について州ごとの独立性が代替案1ほど明確ではない。 4) システム全体としては代替案(3)よりは再生可能水資源の変動に対して適応力が高い。	1) 各州の水利用を独立して行うシステムとなる。 2) 渇水時や海水淡水化施設の突発的な事故による停止に対しては各州内で調整を行うこととする。 3) 州間の利水調整に要する労力は最も少なくなる。

<比較案の評価>

代替案-1～代替案-3 に関する比較表を表 B. 5-17 に示す。

概略検討の比較方法として水の開発単価（再生可能水資源）及び製造単価（海水淡水化水）及び輸送コストを基にした。なぜなら、ダムの位置は代替案-1～代替案-3 まで共通しており、その送水系統がほぼ同じと考えられ、施設に要するコストは同等と考えられるからである。また、海水淡水化プラントの拡張と新設の場合の送水経路は変わるが、送水経路を短くすることで送水コストが安価になるだけでなく、送水路の建設費も安価になることからより有利に働く。ここでは建設費を含めなくとも経済的優位性が示せることがわかったので水価と送水コストで評価した。

比較に際して使用した「 m^3 の水単価」は、以下の通りとなる。

表 5-17 紅海ライフラインとその代替案比較に用いる水単価（造水、開発、送水コスト）

水源区分	地点/ルート	造水/開発 (SR/ m^3)	送水 (SR/ m^3)	合計単価 (SR/ m^3)
海水淡水化	1) Suaiba-Makkah	2.78	1.21	3.99
	2) Shuaiba-Al Baha	2.95	7.63	10.58
	3) Dawqah-Al Baha	2.78	3.28	6.06
	4) Shuqaiq-Abha	2.43	5.18	7.61
	5) Sabya-Jizan	2.84	0.60	3.44
再生可能水資源	1) Qanunah-Makkah	0.31	5.79	6.10
	2) Yiba-Makkah	0.31	5.79	6.10
	3) Hali-Makkah	0.31	5.79	6.10
	4) Qanunah-Al Alayah	0.31	5.66	5.97
	5) Hali- Al Alayah	0.31	5.66	5.97

出典：調査団並びに MOWE, SWCC 資料 (Annual Report) による推定

表 5-18 紅海ライフラインとその代替案比較の概要（金額単位：MSR）

評価項目	代替案-1	代替案-2	代替案-3	総合評価
経済性	Desalination	1,319.9	1,484.9	1,444.7
	1) Shuaiba-Makkah (DS)	95.4	95.4	29.4
	(P)	41.5	41.5	12.8
	2) Shuaiba-Al Baha (DS)		107.7	12.8
	(P)		278.5	

評価項目		代替案-1	代替案-2	代替案-3	総合評価
	3)Dawqah-Al Baha (DS)	101.5		101.5	総合的に代替案-1 が優れる。
	(P)	119.7		119.7	
	4)Shuqaiq-Abha (DS)	221.7	221.7	291.8	
	(P)	472.7	472.7	622.0	
	5)Sabya-Jizan (DS)	220.8	220.8	220.8	
	(P)	46.6	46.6	46.6	
	Renewable	226.3	226.3	229.4	
	1)Qanunah-Makkah (DM)			3.4	
	(P)			63.4	
	2)Yiba-Makkah (DM)	4.3	4.3	4.3	
	(P)	80.3	80.3	80.3	
	3)Hali-Makkah (DM)			4.0	
	(P)			74.0	
	4)Qanunah-Al Alayah (DM)	3.4	3.4		
	(P)	62.0	62.0		
	5)Hali- Al alayah (DM)	4.0	4.0		
	(P)	72.3	72.3		
	Total	1,546.2	1,711.2	1,674.0	
	Index of Cost (%)	(100)	(111)	(108)	
技術面		技術的な課題は少ない			代替案の差はない。
維持管理並びに運営面		Makkah 州、Asir 州間で再生可能水資源の導水があり調整が必要である	州間の導水がなく、調整事項は少ない		代替案-3 が優位である。
環境影響		ダムに関しては、流況、地下水、パイプラインに関しては生態系への影響、淡水化プラントでは、水質汚染への影響がある。			環境面についての差はない
総合評価					維持管理運営面では、代替案-3 が優位であるものの、経済性では、代替案-1 が優れる。

Note) DS:Desalination Plant, P:Pipeline, DM:Dam

上表に説明を加えると、以下の通りとなる。

- ◆ 経済性：代替案-1 は Dawqah と Sabya に海水淡水化プラントを新設し、需要地域までの送水コストを低減させた。このため、既存の Shuaibah と Shuqaiq の海水淡水化プラントを拡張して需要地まで送水する代替案-2 に比べて安価となった。代替案-3 は海水淡水化プラントの新設は代替案-1 と同じであるが、再生可能水の新規の利用を州内としたことから、Hali ダムの Asir 州での利用を Makkah 州で使用するごととし、Asir 州ではその分を Shuqaiq プラントからの海水淡水化水を増量する必要がある、水の生産コストの上昇により代替案-1 より高価となった。全体としては、概略済比較では、コストの小さい方から案 - 1、案 - 3、案 - 2 の順となった。
- ◆ 技術面：同じ工種の施設を建設することから同等であり、差は見られない。
- ◆ 維持管理並びに運営面：維持管理については、同じ工種の施設にたいして実施するため同等と判断される。案-3 については各々の州でそれぞれの再生可能水資源を開発することから、州間の水の相互利用の調整が軽減され、優位である。
- ◆ 環境影響面：ダムに関しては、流況、地下水、パイプラインに関しては生態系への影響、淡水化プラントでは、水質汚染への影響がある。環境影響における「負の影響」については、施設の配置計画や詳細な検討や各種環境緩和策の実施により、環境への影響を緩和することが可能である。

各案に対しては大きな差は見られないものの、最終的には経済性を重視して「代替案-1」を採用する。以下の各州の行動計画は、この紅海水ライフライン案(代替案-1)をもとに提案するものとする。

紅海水ライフライン案(代替案-1)の経済的な優位性については、以下の通り、将来必要となる Al Baha 州への海水淡水化水の給水コストの比較からも分かる。

- ◆ Shuaiba-Al Baha の海水淡水パイプラインの水単価（生産費＋輸送費）は約 10.58SR/m³、Dawqah-Al Baha の海水淡水パイプラインの水単価は 6.06SR/m³である。1m³あたり 100 円水単価が安くなる。
- ◆ 廉価な Dawqah-Al Baha ラインを使うことにより、海水淡水化水分だけでも、年間約 27 億円の負担軽減になる
- ◆ また、Dawqah-Al Baha パイプラインの目的は、廉価の海水淡水化水を Al Baha 州へ供給するに止まらず、海水淡水化水よりもっと廉価なダムで開発された再生可能施水を Al Baha 州や Asir 州へ供給することである。

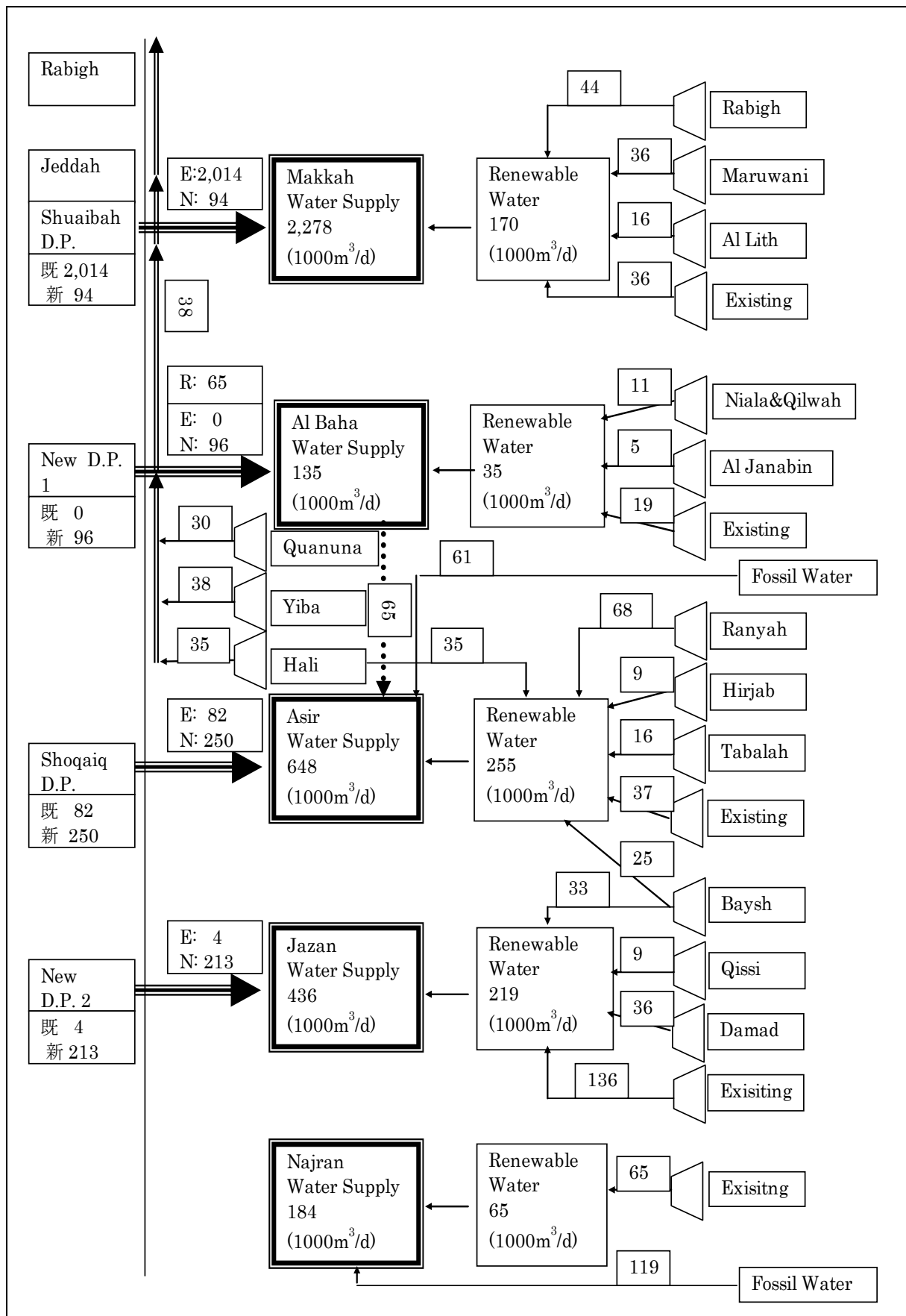


図 5-4 代替案-1 における施設計画概念図とそれらによる給水量

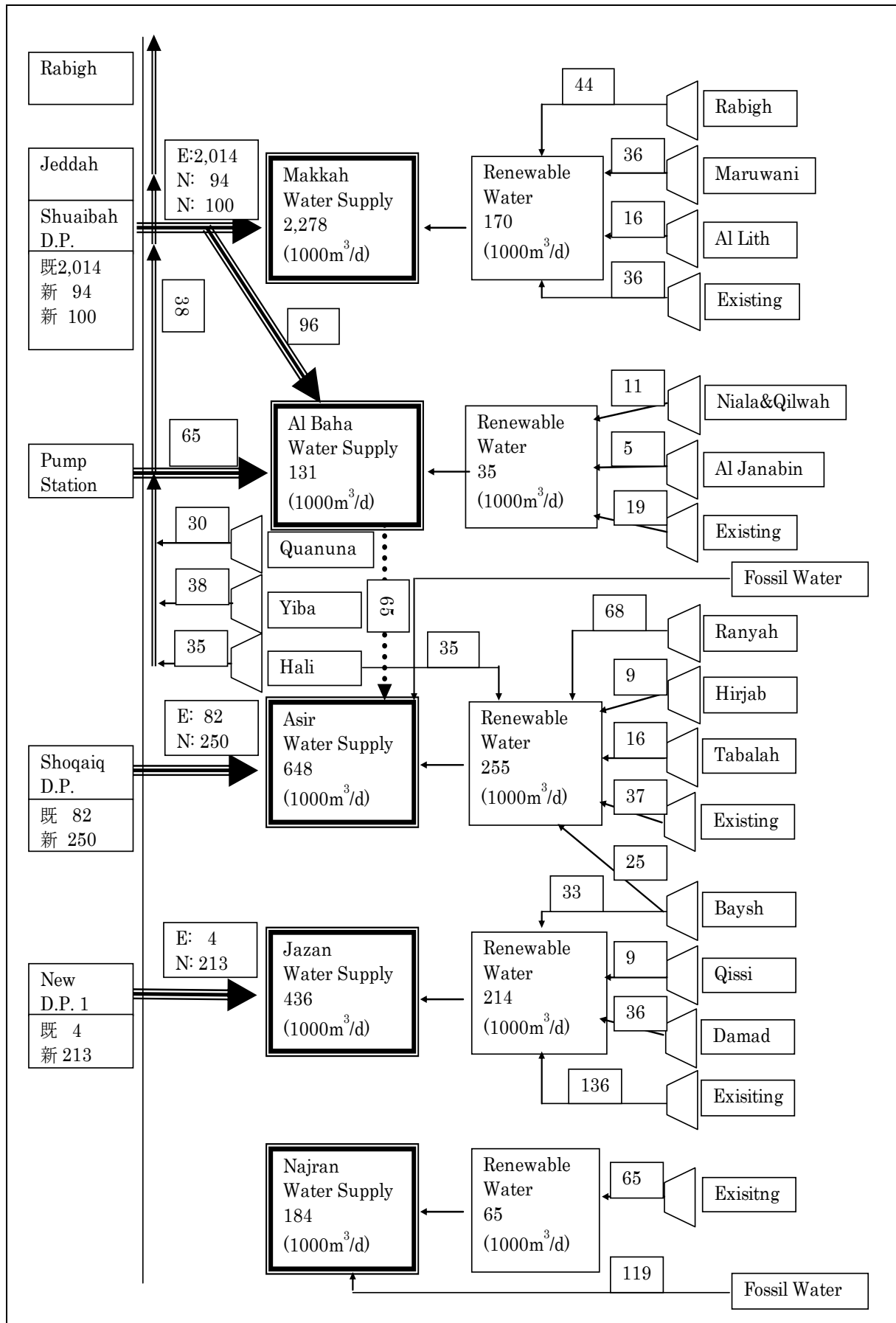


図 5-5 代替案-2 における施設計画概念図とそれらによる給水量

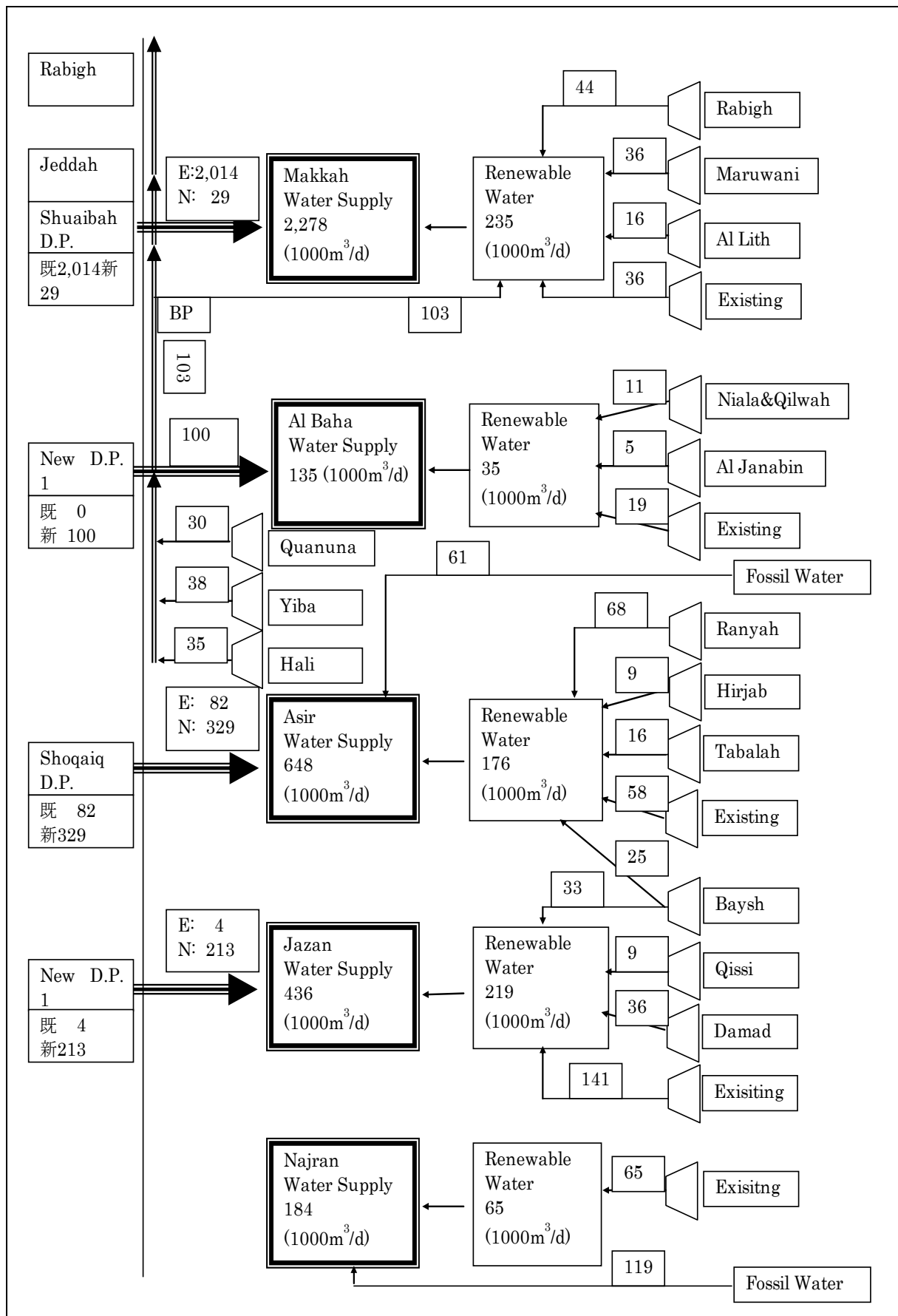


図 B. 5-6 代替案-3 における施設計画概念図とそれらによる給水量

(6) 5州の給水システム

各州の都市用水の開発計画について、2020年と2035年について検討を行う。概算コストについては、既存施設と建設中の施設は建設コストには計上せず、新規開発施設のみ計上する。

目標年における需要を満たすための水資源開発計画は以下のとおりである。

表 5-19 計画目標年の需要量と供給計画

州	目標年	施設名	水資源 開発量 (1000m ³ /日)	目標年の 水需要 (1000m ³ /日)	バランス (1000m ³ /日)	概算建設 コスト (MSR)
Makkah	2020 年	再生可能水資源 (既存)	36			-
		海水淡水化水 (既存合計)	2,014			-
		再生可能水資源 (Rabigh ダム)	44			-
		再生可能水資源 (Maruwani ダム)	36			-
		再生可能水資源 (Al Lith ダム)	16			-
		再生可能水資源 (Yiba ダム)	38			-
		小計 (2020 年まで)	2,184	1,733	451	0
	2035 年	海水淡水化 (拡張)	94			132
		小計 (2020 年～2035 年)	94			132
		合 計 (2035 年まで)	2,278	2,278	0	132
Al Baha	2020 年	再生可能水資源 (既存)	19			-
		海水淡水化水 (既存合計)				-
		再生可能水資源 (Nilah&Qilwah ダム)	11			-
		再生可能水資源 (Al Janabin ダム)	5			-
		海水淡水化水 (新設)	75			105
		小計 (2020 年まで)	110	83	27	105
	2035 年	海水淡水化 (拡張)	25			35
		小計 (2020 年～2035 年)	25			35
		合 計 (2035 年まで)	135	135	0	140
Asir	2020 年	再生可能水資源 (既存)	37			-
		海水淡水化水 (既存合計)	82			-
		再生可能水資源 (Qanunah ダム)	30			-
		再生可能水資源 (Hali ダム)	35			-
		再生可能水資源 (Ranyah ダム)	68			71
		再生可能水資源 (Hirjab ダム)	9			9
		再生可能水資源 (Tabalah ダム)	16			-
		再生可能水資源 (Baysh ダム)	25			-
		化石水 (Wajid 帯水層)	29			420
		海水淡水化水 (拡張)	146			204
		小計 (2020 年まで)	477	432	45	704
	2035 年	再生可能水資源 (Hali ダム)	35			-
		化石水 (Wajid 帯水層)	37			-
		海水淡水化水 (拡張)	99			139
		小計 (2020 年～2035 年)	166			139
		合 計 (2035 年まで)	648	648	0	843
Jazan	2020 年	再生可能水資源 (既存)	141			-
		海水淡水化水 (既存合計)	4			-
		再生可能水資源 (Baysh ダム)	33			-
		再生可能水資源 (Qissi ダム)	9			-
		再生可能水資源 (Damad ダム)	36			-
		海水淡水化水 (拡張)	80			112
		海水淡水化水 (新設)	35			49
		小計 (2020 年まで)	338	286	52	161
	2035 年	海水淡水化 (拡張)	98			137
		小計 (2020 年～2035 年)	98			137
		合 計 (2035 年まで)	436	436	0	298
Najran	2020 年	再生可能水資源 (既存)	65			-
		化石水 (Wajid 帯水層)	70			400
		小計 (2020 年まで)	135	135	0	400
	2035 年	化石水 (Wajid 帯水層)	49			-
		小計 (2020 年～2035 年)	49			0
		合 計 (2035 年まで)	184	184	0	400

また、水資源開発にかかわる以下の水政策・戦略に関して、行動計画を提案する。

◆ 政策 WP4： 下水処理水の再利用を図る

(7) 下水処理水の再利用

再生可能水資源が限られており、また、海水淡水化水はコストがかさむことから、これらの水資源を補う水資源として下水処理水の再利用を今後進める必要がある。

下水処理能力の向上

- ・ 調査対象地域では一部を除き低い下水道整備水準を計画的に向上させる。
- ・ 下水の処理能力を計画的に向上させる。

下水処理水の利用促進

下水処理水は、安全衛生の観点から、社会的、法制度的に利用の用途に制約がある。今後、下水処理水の用途として想定されるのは、例えば、都市用水としては冷却水として利用される工業用水や街路樹等の緑化用水、また、果樹などの灌漑用水としての利用である。特に灌漑用水としての利用は健康被害が発生しないように安全衛生面で慎重な対応が求められるが、地下水利用において灌漑用水が大きな負荷となっていることから、下水処理水の灌漑用水への利用を促進する必要がある。

- ・ 都市用水や農業用水として利用するため、安全で安定した水質が確保できる処理施設の導入及びその運転技術の導入を促進する。
- ・ 農業への利用が促進されるよう、また、農産物の安全性を確保するため、下水処理水を使用する灌漑設備の導入を促進させる。
- ・ 山間部の農地が散在する地域においては、下水処理水を農地に供給しやすいような分散型の下水処理施設の導入を検討する。

下水処理水を使用した農産物の安全に関する農家及び消費者への啓蒙活動を促進する。

5.4.3 行動計画－水資源保全

水資源保全にかかわる以下の水政策・戦略に関して、行動計画を提案する。

- ◆ 政策 WP5： 地下水の保全を図る
◆ 政策 WP6： 水質（表流水・地下水）の保全を図る

(1) ダムを利用した地下水の保全

調査地域では、地下水はワジ河床から涵養される。したがって、涵養ダムによって河道流量をコントロールし、河道から帯水層に浸透する地下水量の増大を図り地下水を保全する。以下の項目を検討し、地下水涵養を促進することを目的としたダム運用計画を立案する。

- ・ 紅海側流域では、紅海への無効流出量を低減する。
- ・ 内陸側流域では、地下水利用地域の下流側への無効流出量を低減する。
- ・ 上記を踏まえ、ダムからの放流量を適切に設定し地下水涵養量を最大化する。
- ・ 適切な放流量はダムごとに異なるため、それぞれ適切な放流量を決定する。

(2) モニタリング計画

雨量観測

水資源開発ポテンシャルを把握し開発計画を立案するために降雨量分布を把握する。現在、調査域内には複数の雨量観測所が配置されているが、観測体制が不十分であり、必要なデータが得られていない。これが、水資源開発計画立案に当たっての障害となっているため、以下の内容につき改善する。また、観測結果をダムの運用計画に活用し旱魃被害の低減に努める。

- ・ 観測所ネットワークの整備
- ・ 観測データの収集

- ・ 観測データの解析

ワジ水位量観測

調査地域では表流水は全てワジを流れている。一方、地下水もワジ底から涵養され、またワジに沿って伏流している。全ての水資源はワジに関係している。したがって、ワジの流量観測を強化し、水資源の開発・管理の基礎情報を入手するため、以下の活動を実施する。

- ・ 観測精度の向上（水位計、流速計の使用）
- ・ 観測体制の強化
- ・ 観測データの解析と活用

地下水位の観測

地下水は紅海側の第四紀層平野地域で大量に揚水されている。一方、過剰揚水のために広域的な地下水位の低下や塩水化が指摘されている。その対策として地下水モニタリング網を強化し、以下の活動によって実態を把握し対策を検討する。

- ・ 地下水位低下発生地域の予測
- ・ 地下水位観測の重点地域の設定
- ・ 地下水位観測網の確立
- ・ 地下水水質観測網の確立
- ・ 観測体制の強化

5.4.4 行動計画－水利用管理

水利用管理にかかわる以下の水政策・戦略に関して、行動計画を提案する。

- | |
|-----------------------------|
| ◆ 政策 WP7： 生活用水の無駄のない利用を促進する |
| ◆ 政策 WP8： 工業用水の効率的な利用を促進する |
| ◆ 政策 WP9： 農業用水の適切な利用を行う |

(1) 都市用水の水需要管理

国家水戦略では「水供給管理から水需要管理へ」とパラダイムの転換が必要であると述べている。再生可能水資源ポテンシャルの推定結果からは、再生可能水資源で将来の都市用水及び工業用水の需要量を満たすことが容易ではないことが予想される。このため、水需要管理の取り組みにより、需要量を抑制することが非常に重要である。水需要管理のための施策は、以下の通りである。

価格付けの導入

価格付け制度は、水需要の抑制に効果的な方法である。価格付けは、利水者に対して、水の価格を通して、適切な負担を求め、価格をとおして消費量の抑制を期待するものである。「サ」国においては、都市用水、農業用水共に政府の補助により非常に安価に水を利用できている。そのため節水意識が育たないといわれており、適切な料金システムの導入による需要管理が必要である。

節水、水保全に関する啓蒙

水保全への関心を高める方法の一つとして、「“3R” キャンペーン（使用量の削減（Reduce）、一度使用した水の再使用（Reuse）、一度使用した水を適切に処理し再利用（Recycle）」を提案する。節水により配水量を減少させることは、水の生産にかかる費用を減ずるだけでなく、排水の処理に要する費用の削減、排水による環境への負荷も減少させることが可能となる。この3R キャンペーンは節水のみならず、環境保全にも貢献できる。

(2) 農業用水の水需要管理

需要管理の観点からは、穀類、飼料作物から野菜、果樹を中心とした作物転換を行うことが考えられ、また、西南地域では果樹、野菜栽培の灌漑における節水が可能である。

作付け転換

農業開発計画については Decision335 を基本とし農業用水の合理的な利用を図る。

作付け転換は行うが作付面積は増加させないものとする。作付転換は食料自給の確保および小規模農家保護の観点から都市近郊を中心とした野菜・果樹栽培に特化したものとする。野菜は 2007 年に対して倍増、果樹は 2007 年の生産量を維持していくものとする。野菜の作付けが増加した分は穀類および飼料作物の作付け面積を減少させる必要がある。

節水

西南地域では、果樹、野菜栽培に伝統的な畝間灌漑が主流となっているが、スプリンクラーおよびドリップ等の近代的灌漑方法の導入により節水が可能である。

5.4.5 行動計画－組織・制度の整備

組織・制度の整備にかかわる以下の水政策・戦略に関して、行動計画を提案する。

◆ 政策 WP10： 効果的水資源開発管理のための組織制度を整備する

組織及び能力強化に関する施策は、以下の通りとする。

総合水資源管理(IWRM)の導入

調査地域においては水資源が逼迫していることから、再生可能水資源(表流水、地下水)、海水淡水化水、下水処理水といったいろいろな利用できる水資源を効率的に利用する必要がある。また、そのためには複数の州や水系に関する情報の共有が必要となるとともに、利害関係者の範囲が広くなり、そのために水利用にかかる調整に要するマンパワーも大きくなる。

表流水と地下水及びそれ以外の水資源利用の管理を一体的に管理し、また、利害関係者間の調整を行うためには国家水戦略でも提案されているように、総合水資源管理(IWRM)の原則を導入する。

管理情報の共有化とセクター間での調整

再生可能水資源の最大の利用者である農家は、一旦井戸設置が認可され井戸が設置されれば、個別にかつ自由に井戸から取水して来た。このことは、農業用水の使用量が把握できていないことから、再生可能水資源を管理しようとするすると障害となる。

これまで再生可能水資源の利用や洪水被害防止のために多くのダムが建設されてきた。これらのダムの管理では、どこのどのダムにどれだけの貯水量があり、どのように利用されているかという情報は、それぞれのダムの情報としては本省に報告されていたが、ほかのダムの貯水と総合的に管理するという情報の共有は行われていない。

再生可能水資源を調査対象地域で効率的公平に活用するためには、いろいろな情報が集約されるときにも関係者で共有できることが必要である。

水資源施設の管理と組織化

水資源開発施設のモニタリングや地方への水供給を MOWE 地方事務所が行ってきている。現場での聞き取りから判断すると、日常の施設管理はほとんど外部委託されており、情報はコンサルタント等の請負者が基本的に整理、管理し、MOWE 地方事務所の指示により、本省への報告資料等を作成している状況である。

このような、実務的な管理業務や水資源開発施設による貯水池及び地下水管理は、事業の効率アップのために、すでに機能している NWC のような、MOWE が監督して実務については民間の能力を活用する組織を提案する。

農業用水セクターの組織化

調査地域においては、農業用水セクターの水資源利用量が大部分を占めるため、この地域における水供給を持続的、効率的に行うためには農業用水セクターが IWRM の枠組みに参加することが不可欠である。

現在、水利用に関して農業用水セクターとしての組織化はされておらず、個々の農家が、それぞれに井戸等から必要な用水を確保している状態である。広域水供給システムにおいて、提案する RWPC や MOWE、MOA が農業用水セクターの個々の利水者と調整を行うことは現実的には不可能である。そのため農業用水セクターを取り纏め、外部に向かって調整の窓口となる組織を設置することが、必要と考えられる。

このため、現在設置されている農業市場組合を発展的に組織強化し、農業協同組合 (ACA : Agricultural Cooperative Association) とし、農家の営農支援や技術指導を行うとともに、これに農業用水セクターの窓口としての役割を持たせることを提案する。ACA は農業用水セクターの代表として水利用に関する調整窓口となるとともに、農業用水セクター内部に向かっては、調整結果を遵守させる強制力を持たせる必要がある。

MOWE の能力強化

持続的な水資源利用・管理を効率的かつ公平に行うためには公的機関である MOWE の監督・指導が必要である。そのため、MOWE の水資源部門の職員の IWRM に関する実務的能力向上を研修や先進地の現地見学などにより図る必要がある。また、関係するすべて組織の職員等についても能力強化により、流域の全体の機能向上を図ることが必要である。

特に、MOWE (本省、地方) においては指導的立場にあり、ステークホルダー間の調整を担う必要があることから、今後強化する組織の準備段階からそれに関係する職員等を選抜し参加させることにより組織の役割の理解を深めさせるとともに、実務上必要な能力を身につけさせる。

5.4.6 各州の行動計画のまとめ

以上の検討結果を基に、各州の都市用水の供給、農業用水の使用、水資源開発、利用に当たっての調整事項等についての行動計画のまとめを以下に示す。

(1) Makkah 州	
<u>都市用水の供給</u>	
◆	現在計画されている海水淡水化プラントを実施に移し、確実に都市用水の水源を確保する。
◆	2020 年までに、現在発注済みのダム建設を終えて、再生可能水資源の利用促進を図り、それ以降の都市用水の不足に対しては海水淡水化プラントの拡張により対応する。
<u>農業用水の利用</u>	
◆	水資源ポテンシャルからは、Makkah 州の農業は 2007 年の作付け面積をおおむね継続可能と評価する。今後は、Makkah、Jeddah といった大都市を抱えることから、新鮮な果物や野菜の需要が増加することが予想され、果樹、野菜の生産に重点をおくように作付け体系を調整する。
◆	地下水位の低下やそれらに伴う水質の劣化のさらなる進行が危惧され、今後はさらに節水につとめ、生産量を確保しつつ水使用量を削減する。
◆	節水のために、穀物類から果樹、野菜に作物を見直すことによって、ドリップ灌漑のような効率的な灌漑の導入を促進する。
◆	Jeddah や Makkah といった大都市では計画目標年では、大量の下水が発生し処理される。これらを農業用水として利用するため、今後農業用水の需要地域を特定し、処理場からの供給計画を策定する。
◆	農家レベルでの利用を促進し、かつ、下水処理水を使用する農産物の安全確保の面から、下水処理水を利用する灌漑施設の導入促進を図る。
<u>開発上の調整事項</u>	

◆	Makkah 州に建設されるダムのうち Qanunah ダムや Hali ダムでは開発される水量が Asir 州で利用される計画としており、現在建設中のダムが完成するまでに、両州のあいだで水利用のルールの詳細を合意する。
◆	新設ダムの運用方法、水配分のルールについて、完成までに詳細を合意する。
◆	水利用のルールが明確になっていない主要な既設ダムについても、再生可能水資源の効率かつ公平な利用の観点から水利用のルールを検討する。
◆	新設ダムや既存ダムの運用方法、水配分のルールの検討に際しては、既存の利水者の水利用の実態を把握するとともに、その水利用に支障がでないように配慮する必要がある。
(2) Al Baha 州	
都市用水の供給	
◆	州内に良好なダムサイトが少ないことから、将来の都市用水の供給に関しては、再生可能水資源の開発よりも海水淡水化による供給を増強する。
◆	2020 年までに既に発注済みのダムを完成させるとともに、新たな海水淡水化プラントを Dawqah 地点に建設し、また併せて、Dawqah から Al Baha までの送水管路を建設し、再生可能水資源の不足を補う。
◆	2020 年以降の都市用水の不足に対しては、Dawqah 海水淡水化プラントを拡張する。
農業用水の利用	
◆	水利用としては、今後さらに果樹、野菜の生産に重点をおくように作付け体系を調整するとともに、ドリップ灌漑等の節水灌漑の導入を促進することにより使用水量を削減する。
◆	下水処理水の再利用の促進を図る。その場合、山間地であり、小規模農地が分散していることから、下水処理水の供給が農地の分散に対応しやすい、分散型処理システムの導入を検討する。
◆	農家レベルでの利用を促進し、かつ、下水処理水を使用する農産物の安全確保の面から、下水処理水を利用する灌漑施設の導入促進を図る。
◆	地下水位の低下やそれらに伴う水質の劣化も兆候がみられることから、今後はさらに節水につとめ、生産量を確保しつつ水使用量を削減する。
開発上の調整事項	
◆	Makkah 州に建設される Qanunah ダム等の開発水を利用する場合があるため、これらの施設の完成までに、異常渇水等の緊急時の水利用ルールについて検討する。
◆	新設ダムの運用方法、水配分のルールについて、完成までに詳細を合意する。
◆	水利用のルールが明確になっていない主要な既設ダムについても、再生可能水資源の効率かつ公平な利用の観点から水利用のルールを検討する。
◆	新設ダムや既存ダムの運用方法、水配分のルールの検討に際しては、既存の利水者の水利用の実態を把握するとともに、その水利用に支障がでないように配慮する必要がある。
(3) Asir 州	
都市用水の供給	
◆	既に発注済みの Tabalah ダムの他、新たに Ranyah ダム等を引き続き実施し、2020 年までに再生可能水資源の開発を進め、また、Makkah 州内の Qanunah ダム等及び Jazan 州に設置されている Baysh ダムから Asir 州へ供給する。
◆	これらのダム群の開発でも不足する都市用水を Shuqaiq 海水淡水化プラントの拡張により供給する。
◆	Asir 州の東部地区(Tath Lith)では、Wajid 帯水層からの化石水により都市用水の不足を補う。
農業用水の利用	
◆	水利用としては、今後さらに果樹、野菜の生産に重点をおくように作付け体系を調整するとともに、ドリップ灌漑等の節水灌漑の導入を促進することにより使用水量を削減する。
◆	下水処理水の再利用の促進を図る。その場合、山間地であり、小規模農地が分散していることから、下水処理水の供給が農地の分散に対応しやすい、分散型処理システムの導入を検討する。
◆	農家レベルでの利用を促進し、かつ、下水処理水を使用する農産物の安全確保の面から、下水処理水を利用する灌漑施設の導入促進を図る。
◆	地下水位の低下やそれらに伴う水質の劣化も兆候がみられることから、今後はさらに節水につとめ、生産量を確保しつつ水使用量を削減する。
開発上の調整事項	
◆	Asir 州は Makkah 州に建設されるダムのうち Qanunah ダム等及び Jazan 州に建設されている Baysh ダムから再生可能水資源を供給される計画としており、今後、現在建設中のダムが完成するまでに、両州のあいだで水利用のルールの詳細を合意する。
◆	新設ダムの運用方法、水配分のルールについて、完成までに詳細を合意する。
◆	水利用のルールが明確になっていない主要な既設ダムについても、再生可能水資源の効率かつ

公平な利用の観点から水利用のルールを検討する。 ◆ 新設ダムや既存ダムの運用方法、水配分のルールの検討に際しては、既存の利水者の水利用の実態を把握するとともに、その水利用に支障がでないように配慮する必要がある。
(4) Jazan 州
都市用水の供給
◆ これまで Jazan 州では都市用水のほとんどを再生可能水資源により供給してきたが、今後は再生可能水資源の開発と平行して、海水淡水化による水資源開発も行う。 ◆ 2020 年までに既に発注済みの Baysh ダム等を完成させるとともに、海水淡水化プラントを Sabya 地点に新設し、送水管路の建設を合わせて実施する。 ◆ 2020 年以降の都市用水の不足は新設された海水淡水化プラントの拡張により対応する。
農業用水の利用
◆ 今後は作付け面積の縮減の検討の他、使用水量の少ない果樹、野菜の生産に重点をおくように作付け体系を調整するとともに、ドリップ灌漑のような効率的な灌漑の導入を促進する。 ◆ 地下水位の低下やそれらに伴う水質の劣化も兆候がみられることから、今後は作付け面積の縮減及びさらなる節水につとめ、水使用量を削減する。 ◆ 今後は作付け面積の縮減の検討の他、使用水量の少ない果樹、野菜の生産に重点をおくように作付け体系を調整するとともに、ドリップ灌漑のような効率的な灌漑の導入を促進する。 ◆ 下水処理水の再利用を促進する。特に、大量の下水が排水される Jizan 周辺の近郊農業については、農業用水の需要地域を特定し、下水処理場からの供給計画を策定する。 ◆ 農家レベルでの利用を促進し、かつ、下水処理水を使用する農産物の安全確保の面から、下水処理水を利用する灌漑施設の導入促進を図る。
開発上の調整事項
◆ Jazan 州に設置されている Baysh ダムは Asir 州にも水供給を行う計画としているため、両州のあいだで水利用のルールの詳細を合意する。 ◆ 新設ダムの運用方法、水配分のルールについて、完成までに詳細を合意する。 ◆ 水利用のルールが明確になっていない主要な既設ダムについても、再生可能水資源の効率かつ公平な利用の観点から水利用のルールを検討する。 ◆ 新設ダムや既存ダムの運用方法、水配分のルールの検討に際しては、既存の利水者の水利用の実態を把握するとともに、その水利用に支障がでないように配慮する必要がある。特に Jazan 州では、農業用水として再生可能水を大量に利用している実績があることから、水利用ルールの検討段階で、縮減が必要となる将来の農業計画も合わせて議論する必要がある。
(5) Najran 州
都市用水の供給
◆ Najran 州では新規ダムによる水資源開発は期待できず、また、内陸部に位置することから今後の都市用水の不足は化石地下水により補う。 ◆ 2020 年までに Wajid 帯水層の化石地下水を導水し、不足水量を確保する。 ◆ 2020 年以降も、都市用水の不足は化石地下水で確保する。
農業用水の利用
◆ 水資源ポテンシャルからは、Najran 州の農業は 2007 年の作付け面積からおおむね 30%程度縮減する。 ◆ 水使用量の少ない果樹、野菜の生産に重点をおくように作付け体系を調整するとともに、作付け面積の縮減、ドリップ灌漑のような効率的な灌漑の導入を促進する。 ◆ 地下水位の低下やそれらに伴う水質の劣化のさらなる進行が危惧され、今後はさらに節水につとめ、生産量を確保しつつ水使用量を削減する。 ◆ Najran 州では州都の Najran に人口が集中しており、下水処理水の発生が集中する。農業用水として利用可能な再生可能水資源が不足していることから、Najran 周辺では、下水処理水の農業用水への利用を促進させるため、農業用水の需要地域を特定し、下水処理場からの供給計画を策定する。 ◆ 農家レベルでの利用を促進し、かつ、下水処理水を使用する農産物の安全確保の面から、下水処理水を利用する灌漑施設の導入促進を図る。
開発上の調整事項
◆ Najran 州の水利用は他の州との連絡もなく独立系となっているため、州内で効率的かつ公平な水利用を図れるルールを整備する。 ◆ 化石地下水は非循環資源であるため、将来の地域の水利用を温存することも視野に入れた利用ルールとする。