

## 第4章 再生可能水資源ポテンシャル

### 4.1 水収支(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(161,000km<sup>2</sup>)を小流域に分割し、月別流域別に水収支項、基準点流量および浅層地下水への涵養量の予測を行った。以下に水収支算定の過程を要約する。

#### (1) 流域区分

小流域毎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km<sup>2</sup>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基本的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。

- a. 気象データ
- b. 土地利用図および土壤分類図
- c. 計算最小単元データ(hydrologic response units: HRUs)

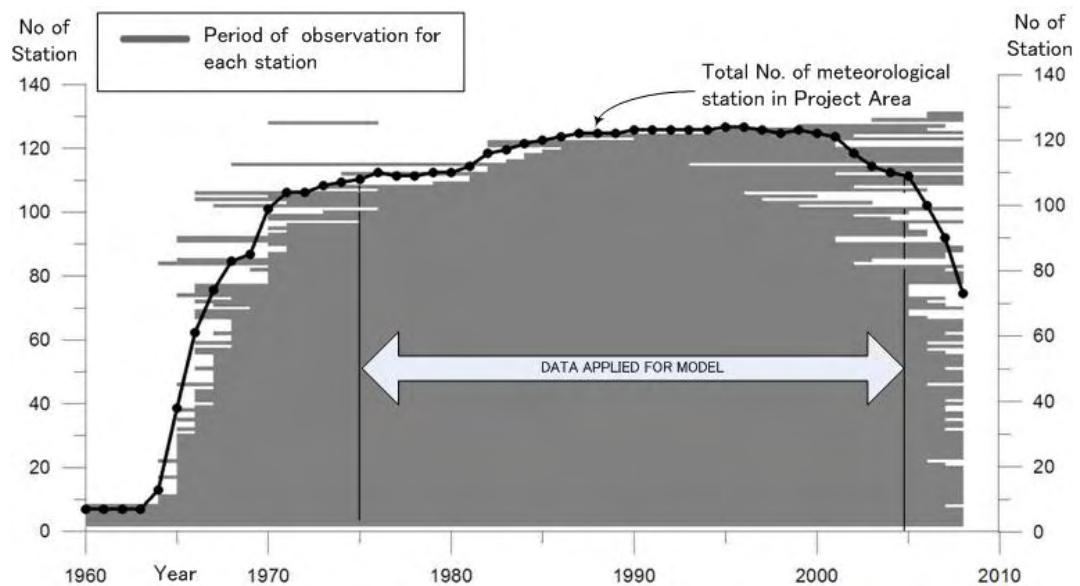
以下の各項目について本解析に使用したデータの詳細を記述する。

#### 気象データ

降雨データは、水収支シミュレーションにとっての原資となる部分である。また、湿度、気温、風蒸データも蒸発散エネルギーなどに関連することから水文収支の推定にとって最も重要な情報となる。

SWATによる水収支計算に必要とする気象項目は、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。

図B.4-1および図B.4-2にモデル対象域の雨量観測所地点および観測期間を示す。



図B.4-1 雨量観測所の観測期間

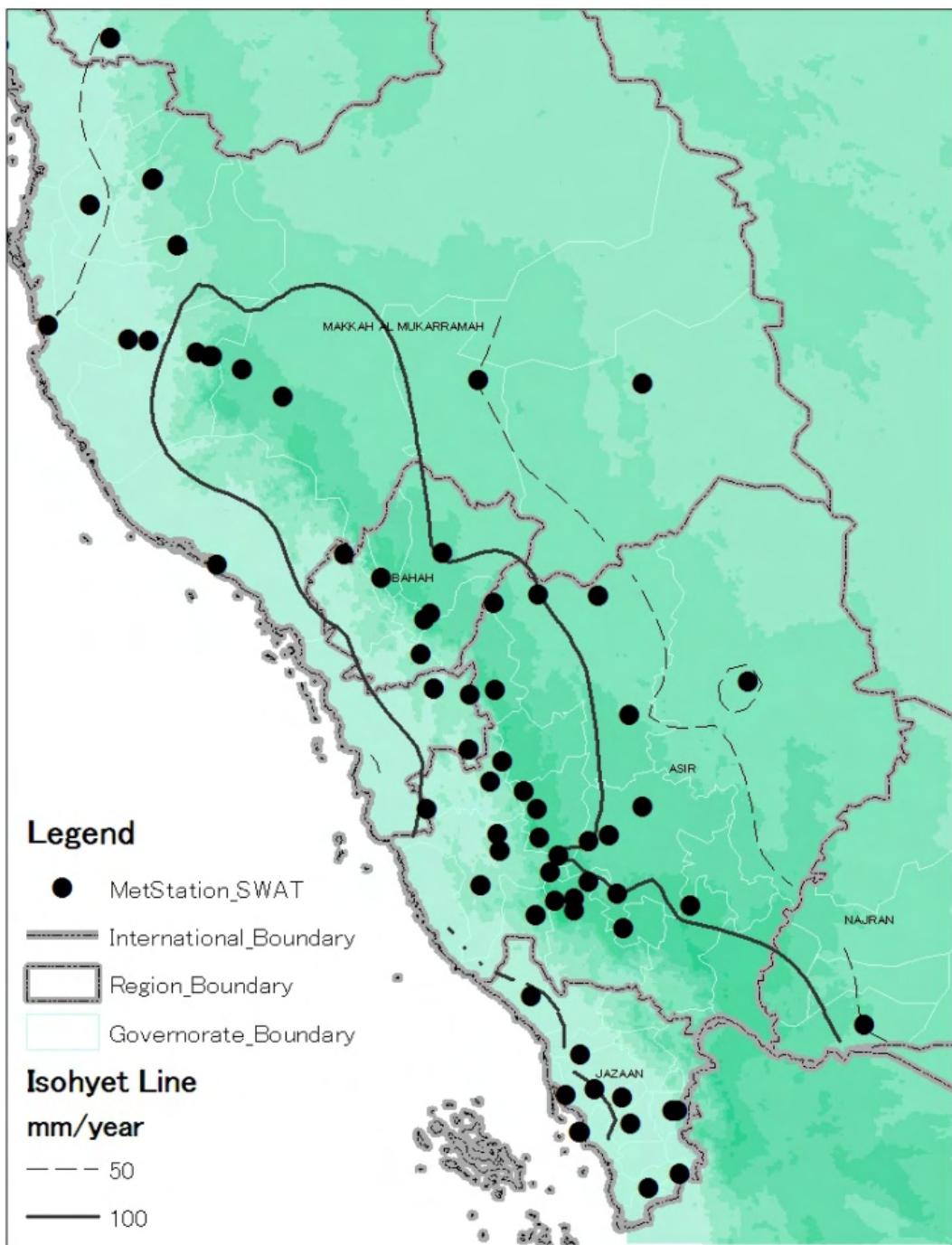


図 B. 4-2 雨量観測所(モデル入力)位置図

#### 土地利用図および土壤分類図

土地利用図と土壤分類図を 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(土地利用図と土壤分類図の比率)を計算した。

HRU に割付られた各々の土地利用および土壤分類を、各分類項目別に SWAT データベース上にリンクし、データベースより透水係数、蒸散に関する情報を与えることで、HRU 別に地表部の涵養条件などが決定されるようモデル入力値を調整した。

本解析においては、本地区の土壤に対応する既存土壤データベースがなかったことから、MOA が行った土壤調査より水文情報を抜き出し専用のパーソナル・データベースを作成した。

## 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。

HRU 数個からなる小流域は水系に応じ連結、合流（または分岐）されて配置されていることから、小流域に分配された水（収支項目）は、上流から下流に向かい水を受け渡しつつ、計算流域の最下端まで追跡計算される。小流域別に集計される代表的な収支項を表 B. 4-1 に示す。

表 B. 4-1 SWAT の主要収支項

| SWAT 収支項         | 定義  |
|------------------|---|
| RECEP/<br>PRECIP | 降水量(mm) : 小流域にもたらされる降水量(高)。SWAT に入力された 1960 年より 2007 年の 38 年間の日降水量 (PME8 観測所、128 観測所) より、集計された小流域単位の平均降水量(高)。 |
| PET              | 最大蒸発散(mm) : 小流域で計算される最大蒸発散。本解析では、1960 年より 2007 年の 38 年間の日気候値 (PME8 観測所、128 観測所) より計算された小流域単位の最大蒸発散量(高)。       |
| ET               | 実蒸発散(mm) : 最大蒸発散および SWAT に入力された降水データよりの計算値。   |
| SW               | 土壤水分量(mm) : 土壤中の水分量 (高) であり、SWAT での計算最終日の値(Dec. 31, 2007)。  |
| PERC             | 浸透量(mm) : 土壤より (植物) 根域への浸透量。時間的な遅延を無視すると地下水涵養量と同じ。  |
| SURQ             | 河川流入量 - 地表水 - (mm) : 地表流出からの河川流入量(高)。   |
| GW_Q             | 河川流入量 - 地下水 - (mm) : 地下水からの河川流入量(高)。  |
| WYLD             | 地表流出量(mm) : 小流域からの流去量。河川流入量より損失を差し引いた値 (WYLD = SURQ + LATQ + GWQ - TLOSS - pond abstractions)。                |
| GW_RECHG         | 地下水涵養 - 浅層 - (mm) : 帯水層への涵養量(高)。浅層帯水層と深層帯水層への浸透量の合計。  |
| DA_RECHG         | 地下水涵養 - 深層 - : (植物) 根域から深層帯水層への浸透量(高)。浅層帯水層=GW_RCHG-DA_RCHG。  |
| REVAP            | リターンフロー(mm) : 土壤水分量の低下に応じた浅層帯水層から (植物) 根域へのリターンフロー量(高)。植物による浅層帯水層からの直接の蒸散を含む。                                 |
| SA_ST            | 地下水貯留 - 浅層 - (mm) : 計算終了時の浅層帯水層中の貯留量 (高)。   |
| DA_ST            | 地下水貯留 - 深層 - (mm) : 計算終了時の深層帯水層中の貯留量 (高)。   |
| TLOSS            | 河道損失(mm) : 河道よりの損出であり、浅層帯水層へ涵養量 (高)。  |
| LATQ             | 中間流出(mm) : 土壤水分量から河川への流入量。  |

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。

### (3) 水収支モデルの検証

#### 感度分析およびモデルパラメータの検定

モデル結果の検証は、Rabigh、Al lith、Hali、Baysh、Jizan、Ranyah (Aqiq)、Talabah、Bisha、Ranyah、Maruwani の 9 流域の実測値を使用した（図 B. 4-3 参照）。観測データのある 1969 年～1985 年を検証期間とし、年流量、月間流量を取りまとめ、モデル計算値との比較を通じパラメータを同定した。同定の手順は、まず個々の流域で観測値を基に感度分析を行い、約 60 個のパラメータにより、流量の計算に影響を与える項目を選び、これら項目でモデル検証を行い、観測値と計算値との照合を行う方針とした。また、自動検証の推奨値でも検証値と計算値が一致しない場合には、手動でモデル試行によりモデルパラメータの調整を行う方針とした。

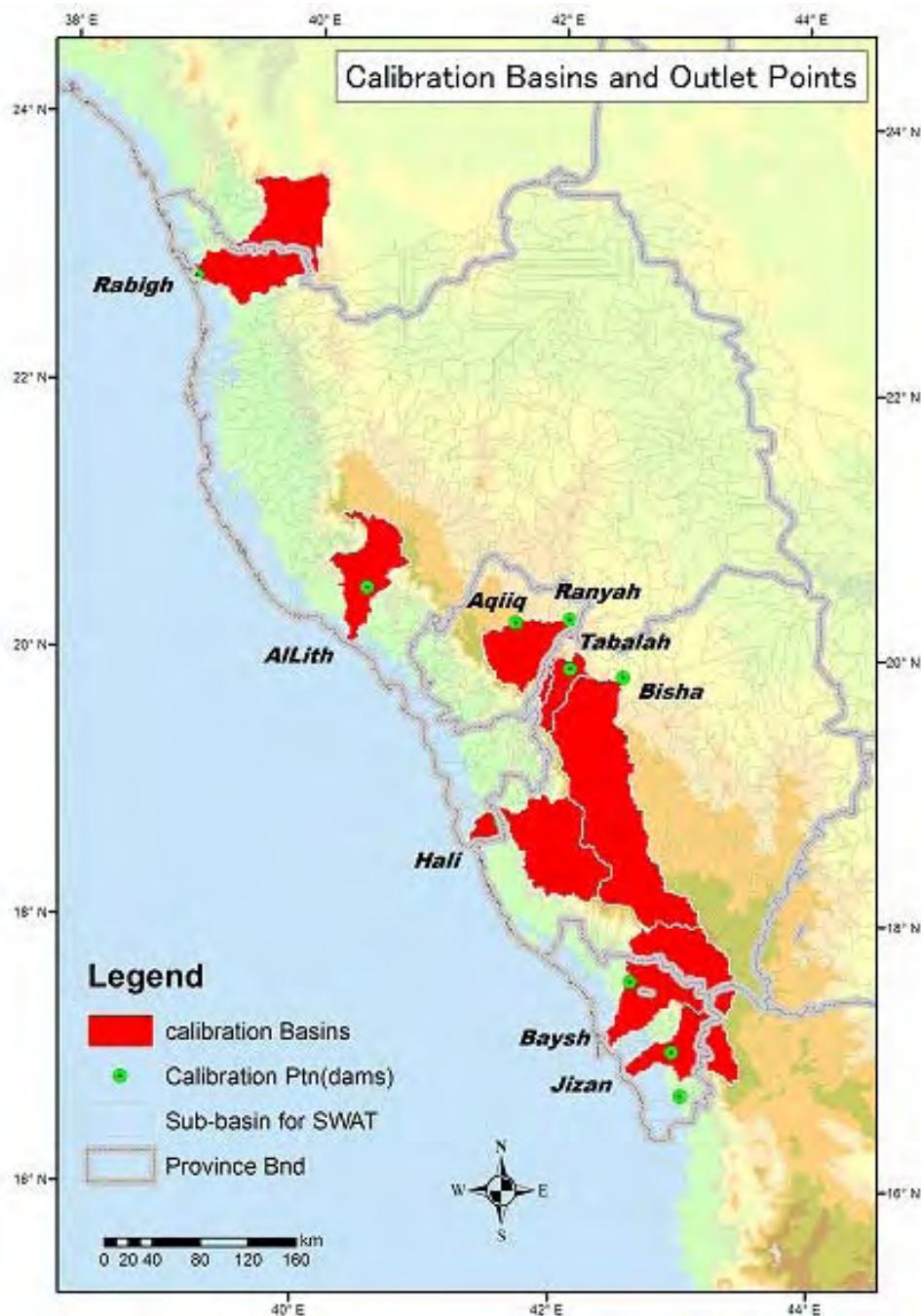


図 B. 4-3 モデル検証の流域

自動検証においては、雨量と流出量との関係を定義する 1) SCS Curve Number 初期値(CN2)が最も流量の影響する結果となり、感度 2 位以降に、浸透の関数である 2) 最大土壤水分量(sol\_Awc)、3) 地下水涵養閾値 (GWQMN)、4) 飽和透水係数 (sol\_k)、5) 土壤深度(sol\_z)などが計算結果に影響する優先項目として選定された。パラメータ同定作業にあたっては、感度 1 位の CN2 値を優先的に変動させ計算値と検証値の差が 5%以内に収まることを目安とした。

検証流域の同定結果を図 B. 4-4 および図 B. 4-5 に示す。検証は、観測データの入手期間、精度に応じ 1969 年以降の 10~15 年を対象としたものであるが、年間流量および月間流量とも、概ね計算値と検証値の一致が見られた。しかし 1972 年、73 年などでは、モデルでは表現できない部分も認められ、これら期間については、元来、流量観測記録と雨量記録の相関もないことから観測記録の欠測が疑われる結果となった。

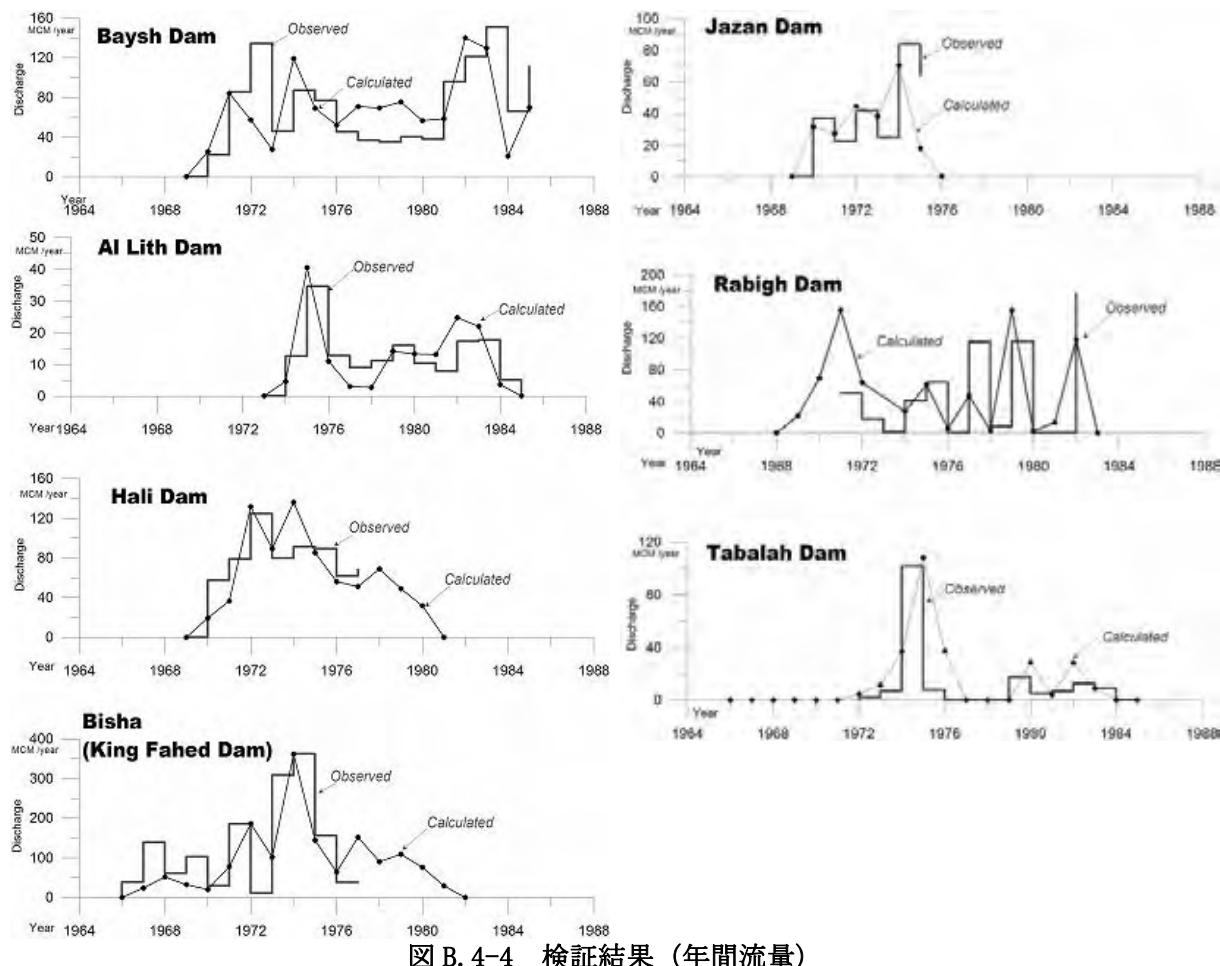


図 B.4-4 検証結果（年間流量）

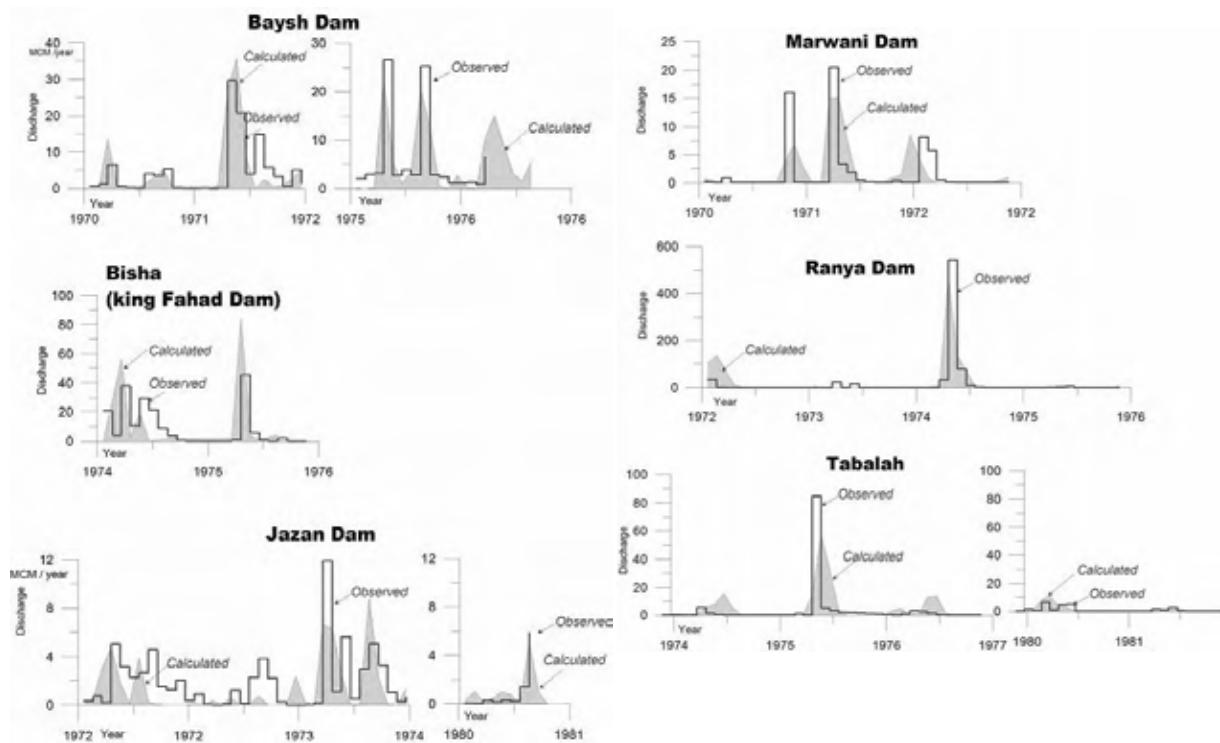


図 B.4-5 検証結果（月流量）

#### 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、強雨時または連續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。これら水文状況を念頭に、また降雨から地下水涵養までのプロセスを追跡するため、以下の収支項を SWAT モデルからのアウトプットに設定し、4.2.1-4.2.6 のポストプロセッシングを行った。

- a. 流域雨量、b. 蒸発散ポテンシャル、c. 実蒸発散量、d. 土壌水分量、e. Water Yield（地表流出）、f. 浸透量および地下水涵養量

##### (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（図 B. 4-6 参照）。

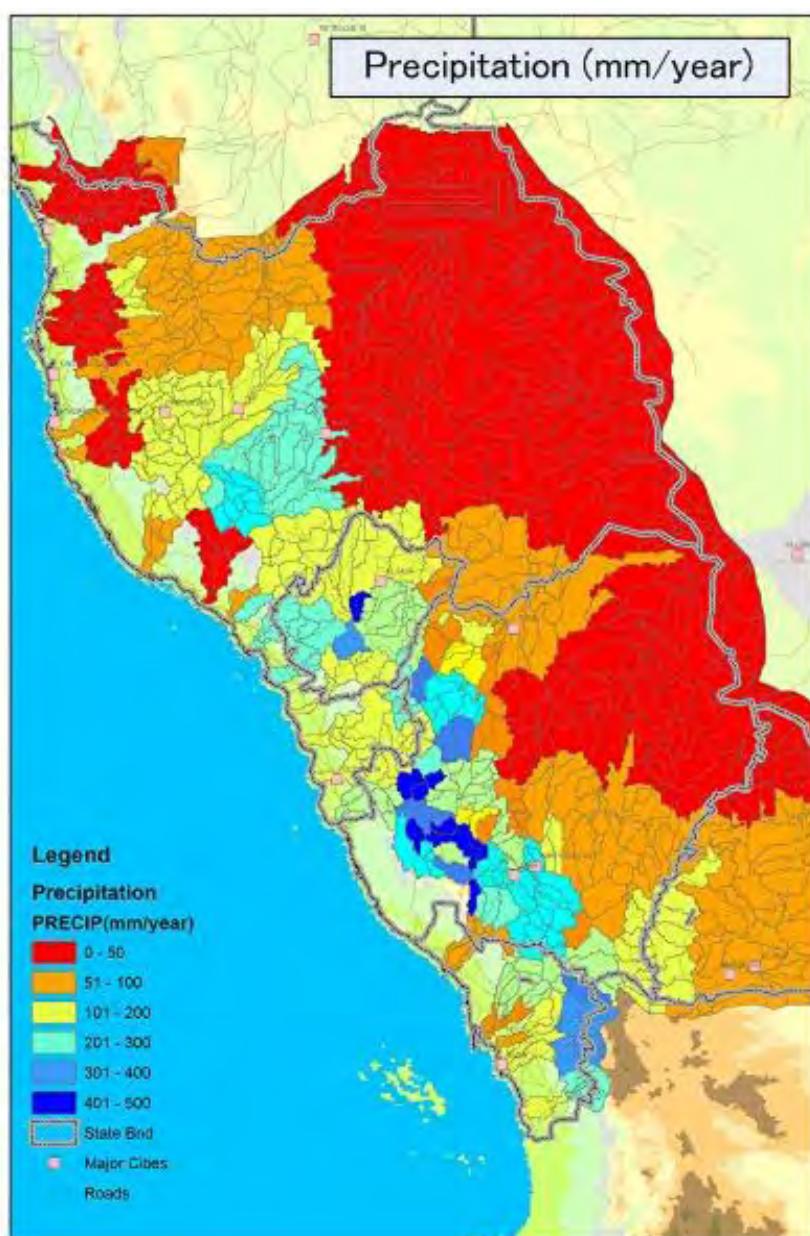


図 B. 4-6 流域雨量

## (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、土壤表面からの蒸発、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、土壤深度と水分量から求めた指數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（図 B. 4-7 参照）。

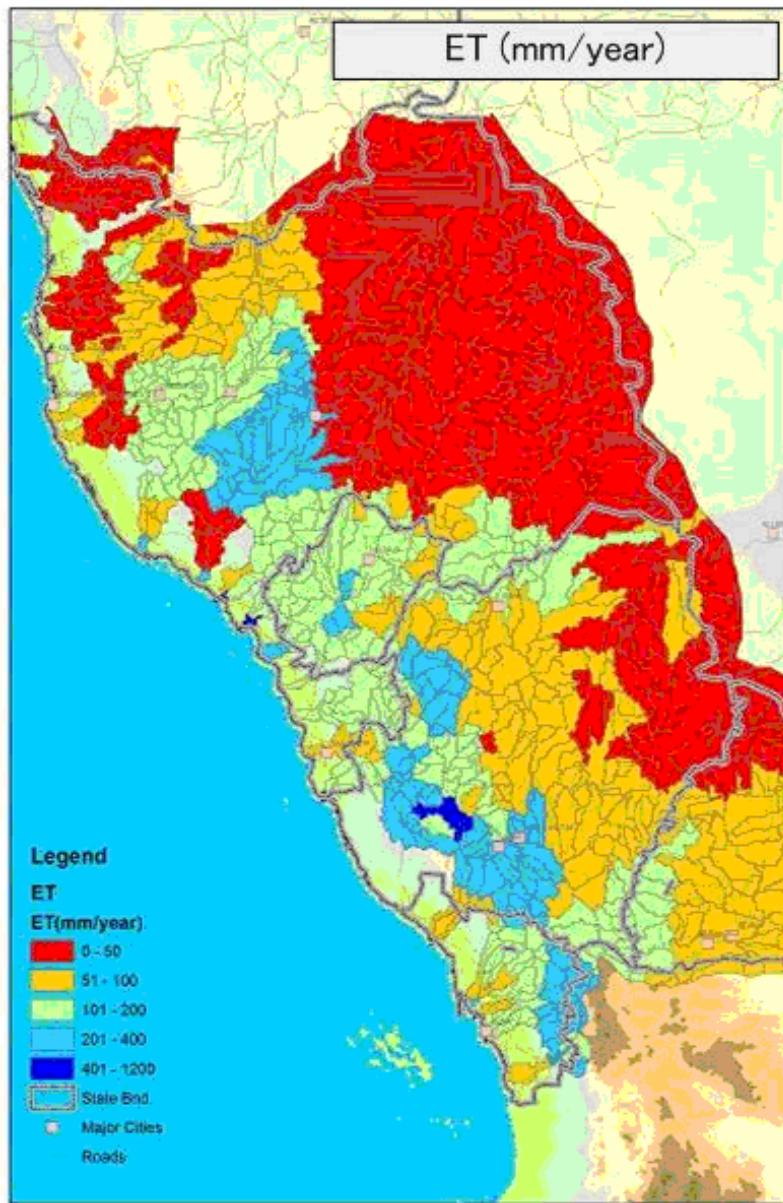


図 B. 4-7 実蒸発量

## (4) 土壤水分量

土壤水分量は 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」として土壤水分量を計算した。また浸透した水分を累計し土壤飽和帶下部に浸潤線を求める、これを境界に異なった透水能を設定し浸透率および土壤水分量を求めた。

### (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壤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去量 (SWAT では WATER YIELD と呼称) を計算した。図 B. 4-8 に年間の WATER YIELD の計算結果を示す。

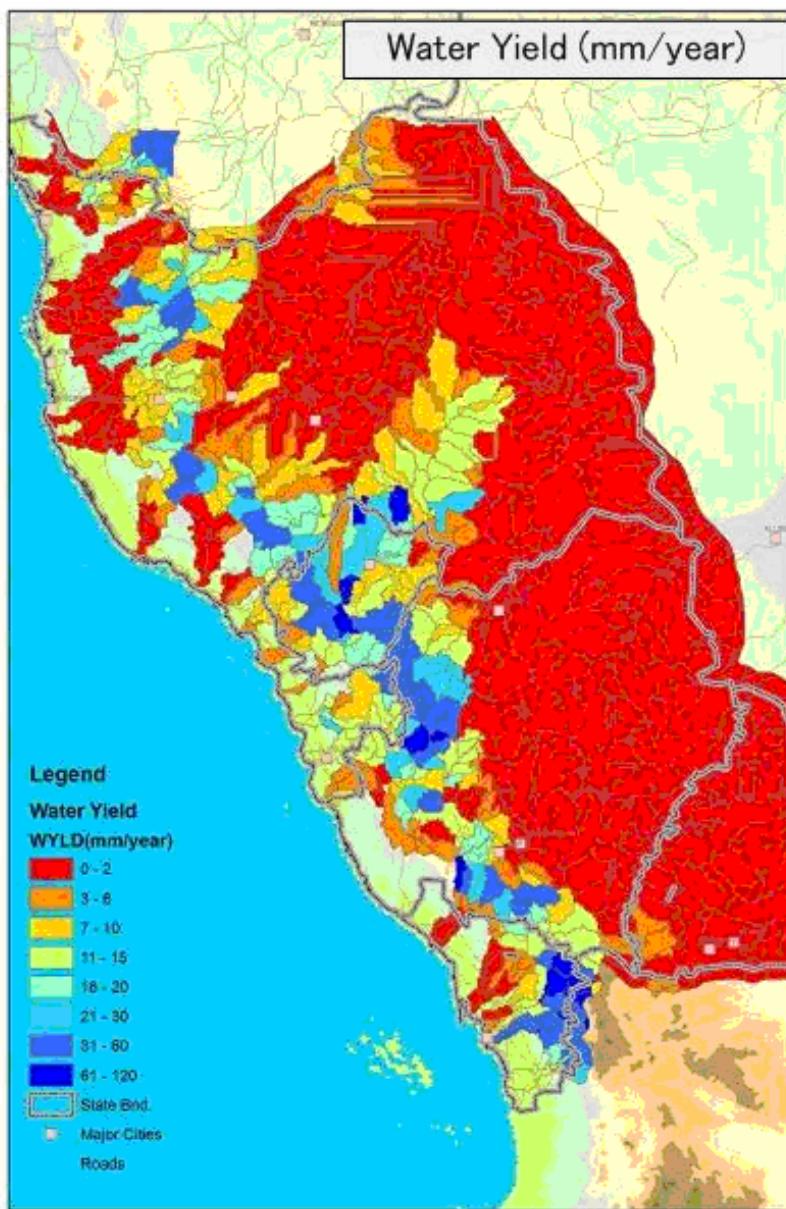


図 B. 4-8 地表流出量 (Water Yield)

### (6) 地下浸透量および地下水涵養量

地下浸透は「土壤水分量が土壤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。土壤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帶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度に関係する。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。図 B. 4-9 に地下浸透量の計算結果を示す。

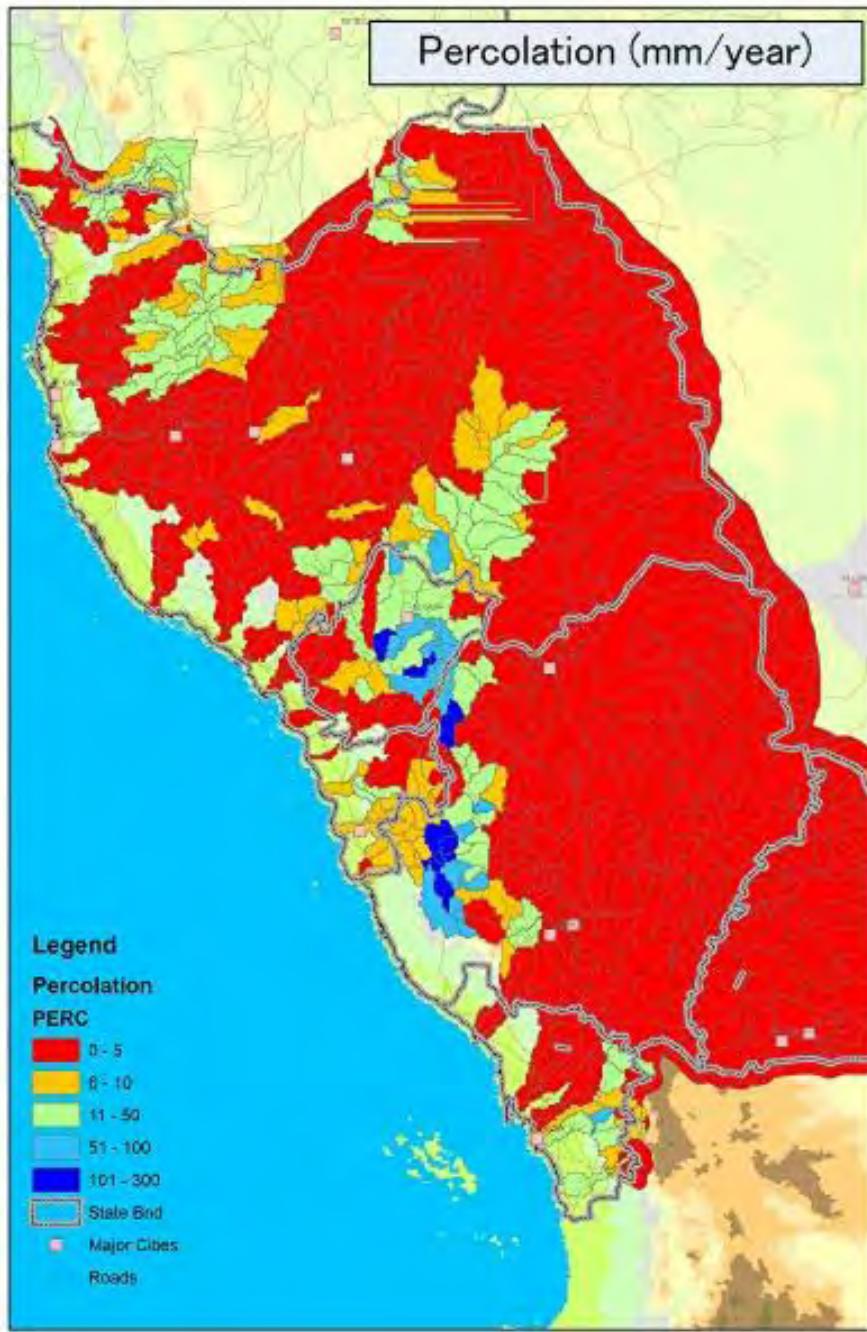


図 B. 4-9 地下浸透量

#### (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帶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 が浅層帶水層へ浸透する結果となった。

### 4.3 水収支バランス

#### (1) 月別・流域別流量の整理

SWAT モデルにより 1975 年～2004 年 30 年間の収支およびワジ流出量を計算した。主要ワジに基準点を設け月別・流域別流量を整理した。また、検証結果をモデルパラメータとし実測データとの

整合性を確保した。以下に主要ワジの流出量、水収支を示す。

## (2) 主要ワジ流域別の水収支

紅海側で 21 点、内陸 (Najd) 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 B.4-10 にモデル流域図、表 B.4-2 に流域別の水収支要約を示す。



図 B.4-10 SWAT モデル流域

表 B. 4-2 流域別収支の整理結果

| 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 B. 4-2 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)は自然再生可能水源量(Natural renewable resources<sup>1</sup>)と定義されるものであり、プロジェクト地区(5 州)全体で、表流水 870MCM/year と地下水 744MCM/year の合計 1,614 MCM/year が計算される。

一方で、M/P に用いられる開発可能水量(Exploitable water resources<sup>2</sup>)は自然再生可能水源量

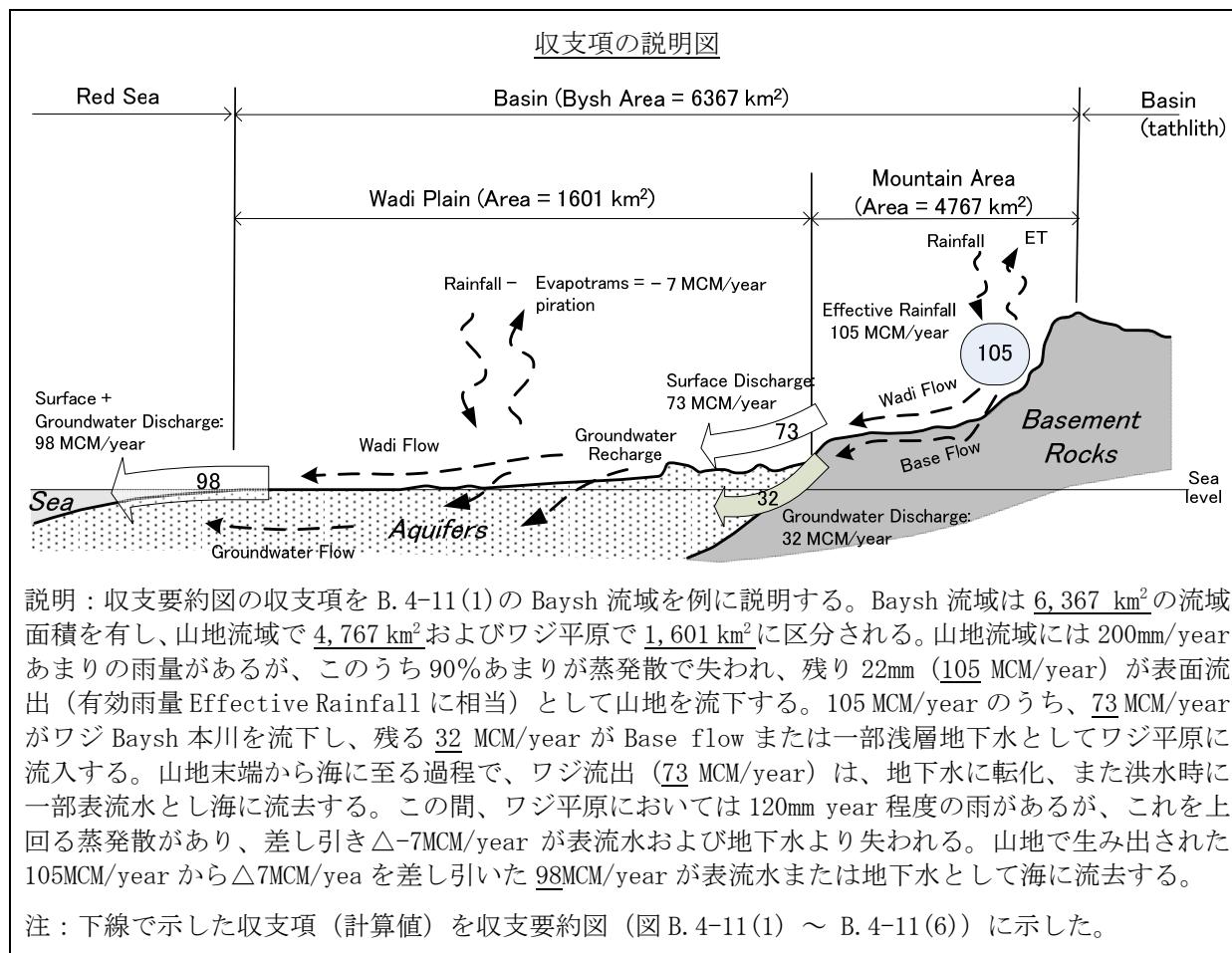
<sup>1</sup> These are defined as the average manual flow of rivers and recharge of aquifers generated from precipitation. It distinguishes between the natural situation (natural renewable resources), which corresponds to a situation without human influence, and the current or actual situation (FAO/BRGM, 1996).

<sup>2</sup> Exploitable water resources (manageable water resources or water development potential) considers factors such as: the economic and environmental feasibility of storing floodwater behind dams or extracting groundwater; the physical possibility of catching water which naturally flows out to the sea; and the minimum flow requirements for navigation, environmental services, aquatic life, etc (FAO/BRGM, 1996).

に、既存施設の他、将来計画における経済性、環境要件およびワジの地形条件などの物理的条件を考慮し決定される性質のものである。つまり、計画の内容に依存する値といえる。

### (3) 主要ワジ流域別収支

前述の主要ワジ流域内を山地部と平原部に二分し、それぞれの収支(計 64 地区=31 流域+33 山地流域)を取りまとめた。図 B. 4-11(1) ~ B. 4-11(6)に各ワジ別の収支要約図を示す。また以下のこれらの収支要約図に表示した収支項の説明図を示す。



### 1) 紅海沿岸 (Jazan 地区)

調査地区のうちで最も雨の多い地区であり流域雨量は 180~300mm/year が得られている。特に最南端の Khurab、隣接する Jazan および Damad 流域での流出量は大きく、山地部基準点で流域雨量 270mm/year、流出高 32~57mm/year (流量 37~82MCM/year、比流量 0.001~0.002m<sup>3</sup>/sec/km<sup>2</sup>) が計算される。しかし、これら流域の上流はイエメン領であり、雨量記録が収集できないことから、モデルにおいてはサウジ領内の観測値を外挿せざるを得なかった。一方で、Baysh、Itwad 流域の雨量は 179mm/year と、南部と比較して少ないことに加え、かつ流域面積も大きい事から山地部基準点で平均流出高 19mm/year (流域面積 6,271km<sup>2</sup>、流量 119MCM/year、比流量 0.0003m<sup>3</sup>/sec/km<sup>2</sup>) が得られている。(図 B. 4-11 (1) 参照)

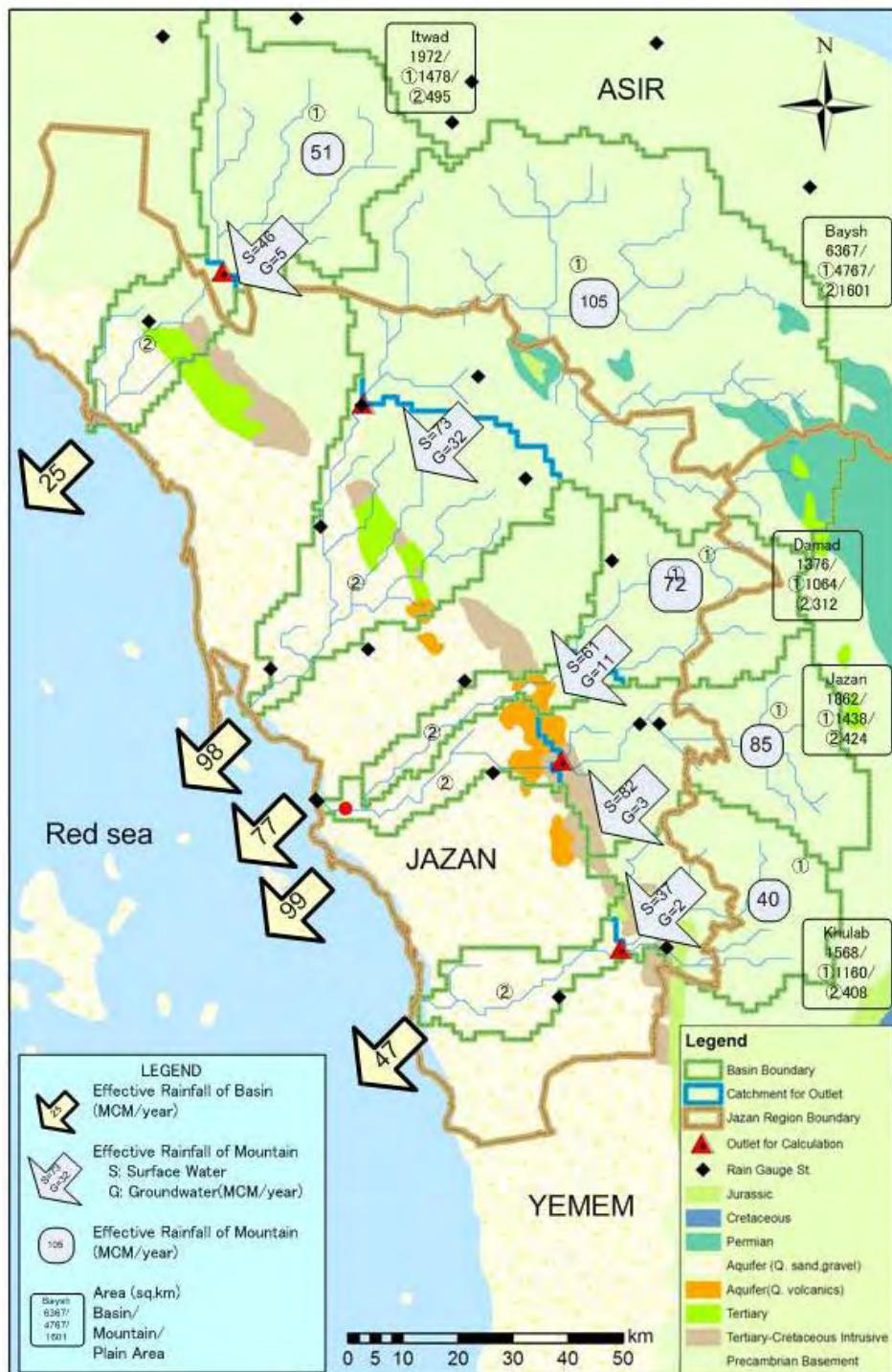


図 B. 4-11(1) 主要ワジ収支要約 (紅海沿岸 T: Jazan)

## 2) 紅海沿岸 (Asir-Makka-Al Baha 地区)

当地区は Asir 州の紅海沿岸地区にあたり、南側は Asir 州の Itwad, 流域、また北側は Makkah 州の Yiba 流域を含む。Asir 州の紅海沿岸地区は、第四紀の玄武岩層および先カンブリア紀層が海岸近くまで張り出し冲積層の発達は乏しい。Asir 州で唯一紅海側に広がる Hali 流域は 5,659km<sup>2</sup> と大きな流域面積を有するが、流路は山地脚部で玄武岩台地に塞がれ北転する。Hali 流域の北側には Yiba 流域、さらに Dawqah 流域が連なり、これら 3 者が平行し冲積平原へ流出、また一部が地下水への転化しつつ紅海に下る。3 流域の平均流域雨量は 191mm/year、山地部基準点で平均流出高 21mm (流域面積 9,303km<sup>2</sup>、流量 192MCM/year、比流量 0.0002m<sup>3</sup>/sec/km<sup>2</sup>) と計算される。当地においては、浅井戸による地下水利用が認められているが、ワジ流路から離れた井戸での塩化、

海岸近くの既存井戸での海水の混入が報告されている。一方で、当該地区の水源ポテンシャルは Hali 流域で最も大きく約 100MCM/year と算出される(図 B. 4-11 (2) 参照)。



図 B. 4-11(2) 主要ワジ収支要約 (紅海沿岸 T: Asir-Makka-Al Baha)

### 3) 紅海沿岸 (Al Baha -Makka 地区)

当該地区は、Al Baha 州に水源をもつ Dawqah 流域および隣接 2 流域の計 3 流域に加え、Makkah 州紅海側の Al Lith、Fagh 流域および Naaman 流域の合計 6 流域が含まれる。何れも下流域で沖積平原が広がり、山地に生じた洪水は平原部で一部地下水に転化したのち紅海に排出される。前者の 3 流域(Al Baha 州水源)は、山地と平原部との境界部で第三紀層丘陵を下刻、一部堅岩部で狭窄され冲積平原へと続く。また海岸に至る冲積平原上の流路は 20km 程度と短い。一方で Makkah 州の

3 流域は、平均幅 30 km のやや広い沖積平原が特徴的であり、かつ海岸付近で支川の発達も認められる。当地区の平均流域雨量は 157mm/year、また山地部基準点で平均流出高 23mm（流域面積 8,296km<sup>2</sup>、流量 188MCM/year、比流量 0.0001m<sup>3</sup>/sec/km<sup>2</sup>）を示す。概して、北に向かうほど乾燥が進み流出も少ない。同地区では、南部の Dawqah 流域で水源ポテンシャルが高く約 50MCM/year の流出量が計算される。（図 B. 4-11 (3) 参照）。



図 B. 4-11(3) 主要ワジ收支要約（紅海沿岸:Al Baha-Makkah）

#### 4) 紅海沿岸 (Makkah 州)

本地区は Makkah 州の北部、および隣接する Madinah 州にかかる地区であり、南部から Fatimah、Ghoran、Khalays (Maruwani)、Qudayd、Rabigh 流域および Qahah 流域が連なる。この内、Rabigh 流域と Qahah 流域の山地部は調査域外の Madiah 州に位置する。また、同 2 流域および Marawani、Ghoran 流域の北部には、第三紀の玄武岩が広がる。これらの流域は、山地における表層部の保水能が高いことが特徴であり、かつ地下水への涵養も大きいことが期待される。また、海岸部の沖積層が玄武岩丘陵間に挟在する。当該地区的平均流域雨量は 74mm、また山地部基準点で平均流出高 11mm (流域面積 20,643km<sup>2</sup>、流量 221MCM/year、比流量 0.00005m<sup>3</sup>/sec/km<sup>2</sup>) と少ないが、数年から 10 年数年間隔で大きな洪水が発生することから流域面積の大きな Marawani 流域、または Rabigh 流域では、100MCM/year を超える流域流出量が計算されている(図 B. 4-11 (4) 参照)。

2009 年 11 月 25 日の洪水では、Maruwani 流域 (Jeddah) で 90mm/4hrs 記録的降雨が認められた。

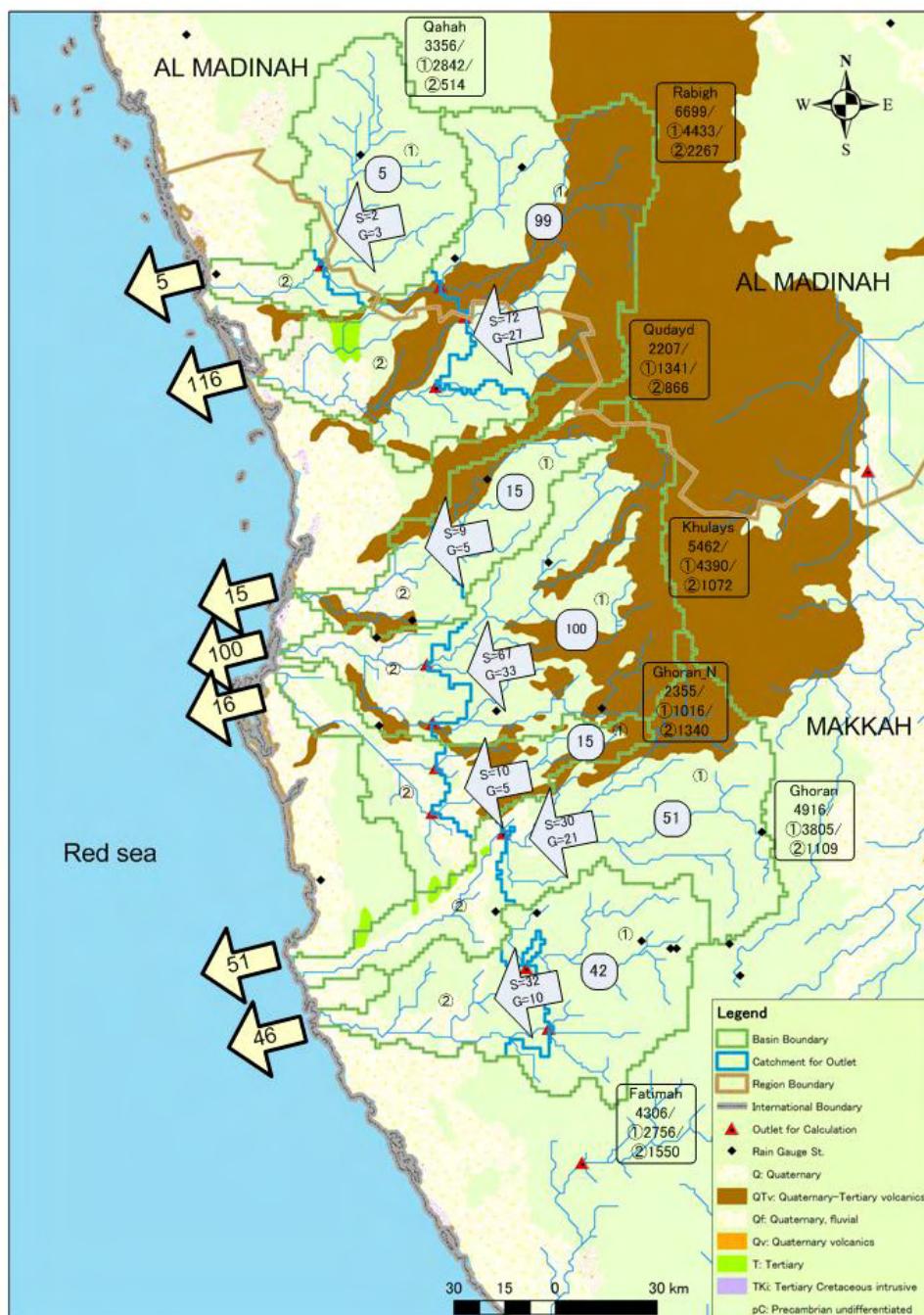


図 B. 4-11(4) 主要ワジ収支要約 (Red Coast:Makkah)

## 5) 東斜面～Najd (Makkah 州)

Makkah 州～Asir 州の東斜面の流域であり、北から Aqiq、Turabah、Ranyah、Bisha 流域と連なる。何れも大きな流域であり、Bisha 流域は、13,000km<sup>2</sup>を有し、「サ」国最大の King Fahd Dam (流域面積 7,600km<sup>2</sup>、貯水量 325MCM、貯水面積 18 km<sup>2</sup>) はその中流に位置する。流域は大きいが中～下流域の平原部での雨量は少なく 100mm 以下の乾燥地であり、蒸発量も大きい。1975～1996 の実測値で平均 10.1mm/day (MAW, Al-Qahtany, 1998) の計器蒸発量が報告されている。有効雨量は、山岳部の Al Baha を配する Turabah 流域で 150MCM また、Abha を含む Bisha 流域で 117MCM と大きい。当地区の平均流域雨量は 135mm であり、山地部基準点で平均流出高は 5mm(流域面積 37,127km<sup>2</sup>、流量 191MCM/year、比流量 0.00003m<sup>3</sup>/sec/km<sup>2</sup>) と計算される(図 B. 4-11 (5) 参照)。

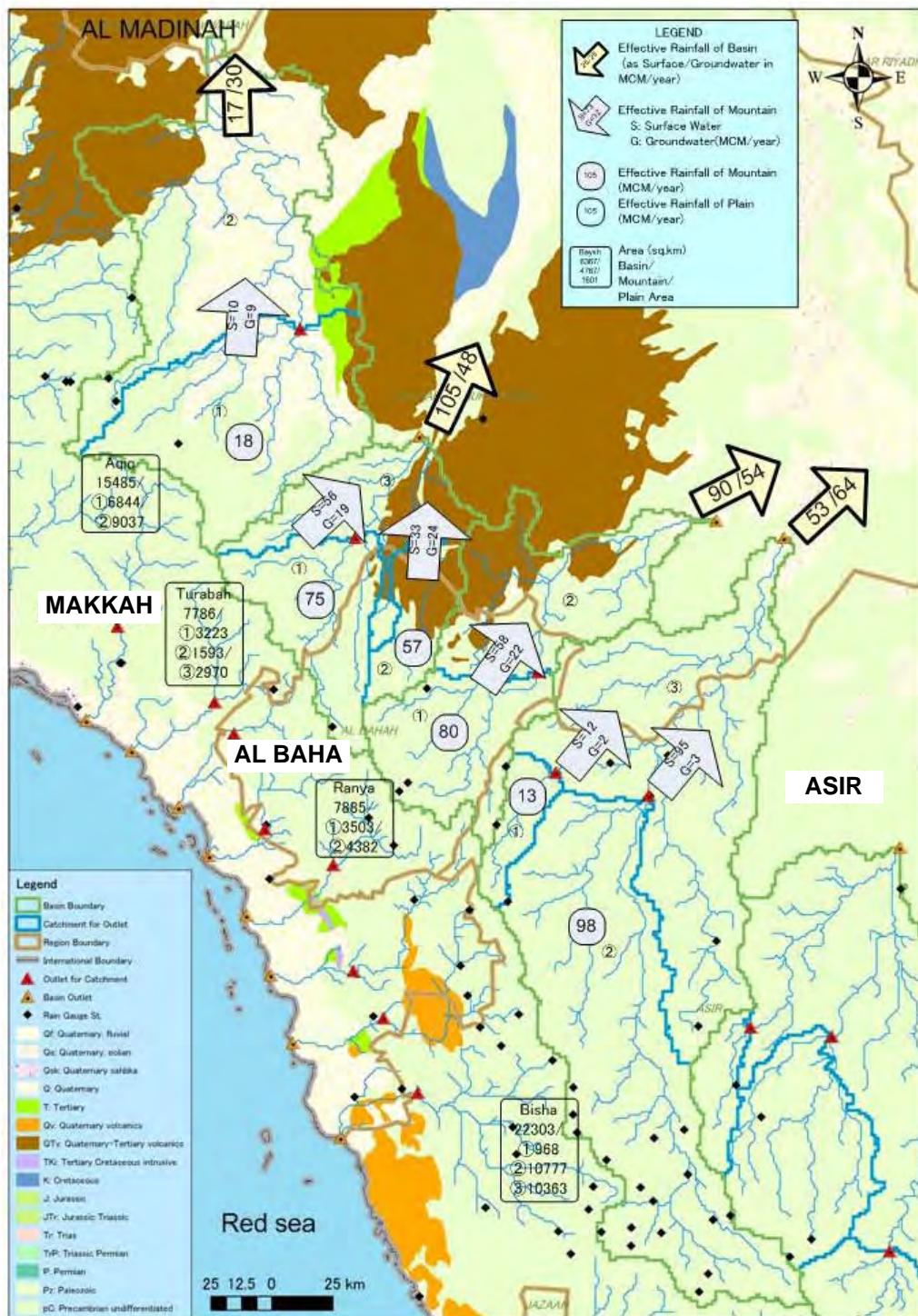
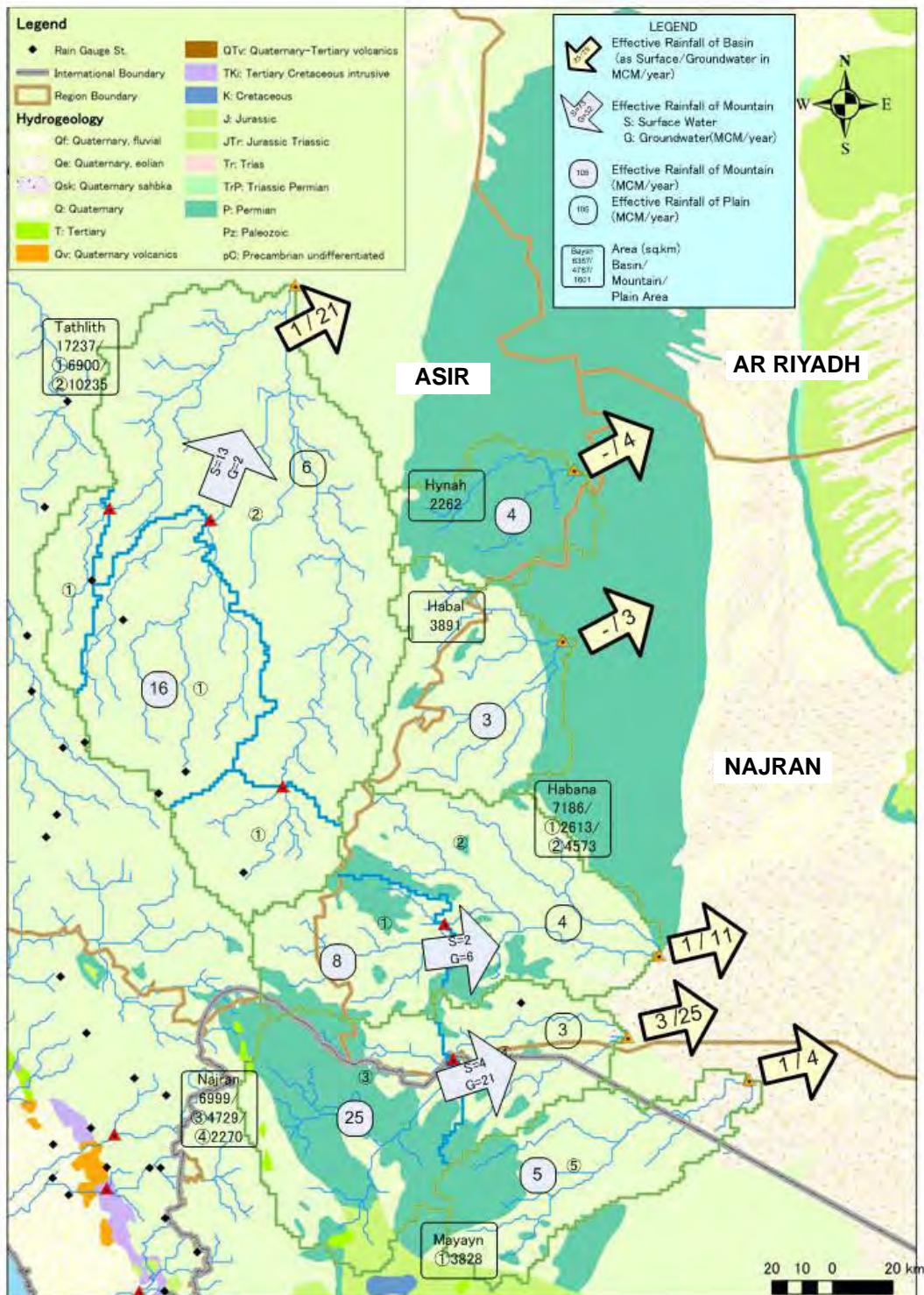


図 B. 4-11(5) 主要ワジ収支要約 (Najd-Ad Dahna:Makkah)

## 6) 東斜面～Najd (ASIR-NAJRAN 州)

当地区には、Hijaz 山地から Nejd 平原にいたる Tathlith、Habawnah、Najran 流域の他、古生層（2 億紀 Wajid 帯水層）からなる丘陵上の Hynah および Habal 流域、さらにイエメン領に接する Myayn 流域が含まれる。流出は、イエメン国境、Hijaz 山地南部域で多く、Tathlith、Hynah 流域および Habal 流域で少ない。Habawnah、Najaran 流域および Mayayn 流域においては、イエメン国境付近の山地からの流入も期待できるが、雨量記録が収集できないことから、モデル上で表現されていない。同地域での平均流域雨量は 99mm/year、山地部基準点で平均流出高 0.1mm（流域面積 41,083km<sup>2</sup>、流量 18MCM/year、比流量 0.000002m<sup>3</sup>/sec/km<sup>2</sup>）と計算される。（図 B. 4-11 (6) 参照）。



#### (4) 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 B. 4-12 に 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。

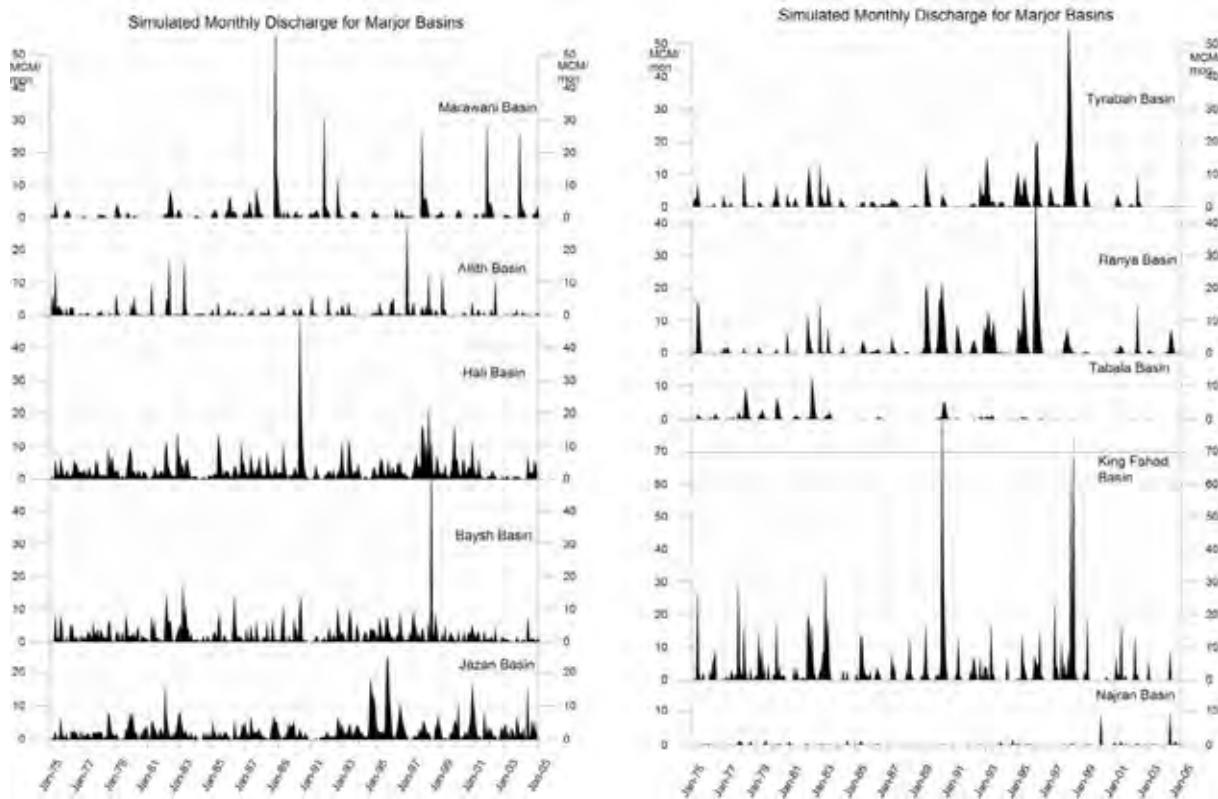


図 B. 4-12 代表ワジの月別流量

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 B. 4-13 に要約を示す。1 / 10 確率の渴水年を見ると Jizan Dam 流域では 34MCM (平均 82MCM) また、King Fahd Dam 流域で 11MCM (平均 95MCM) となる。

#### (5) モデル残流域の水収支検討

モデル領域に含まれない前縁山地～平原部からの流出および収支を検討するため、モデル残流域の解析を行った。

前項までに示したとおり、Hijaz 山地に広がる大きな流域については基準点を設け、流出、水収支を求めたが、これらに挟まれる海岸地帯にも中小ワジが発達し洪水も観測される。特に、Jizan 州および Asir 州南部の小流域においては、これらの水源の有効利用を目的に複数の中小規模のダム計画・建設が進められている。残流域検討の対象を図 B. 4-14 に示した紅海沿岸の地区の 20 地区とし比流量法により流出量を推定した。

20 地区をさらに山地および平原地区にわけ、それそれに隣接したモデル流域の結果に基づき比流量を設定した。20 地区の面積の合計は 25,400km<sup>2</sup> であり、このうち 17,000km<sup>2</sup> が沖積層からなる平原部であり残る 8,400km<sup>2</sup> が山地部となる。

残流域中まとまった流出が期待できる地区は、南部の Jizan 州 (5,600km<sup>2</sup>) と Asir 州 (4,200km<sup>2</sup>) であり、各々年間平均流量で 91MCM/year (比流量平均  $0.016\text{m}^3/\text{sec}/\text{m}^2$ )、34MCM/year ( $0.009\text{m}^3/\text{sec}/\text{m}^2$ ) が推定された。また北部域 15,600km<sup>2</sup> では、総計で 33MCM ( $0.002\text{m}^3/\text{sec}/\text{m}^2$ ) が得られた。

#### (6) 州別水収支の検討

モデル流域別の水収支を、主要ワジ流域の基準点がどの州に位置するかに注目し、流域別収支項

を対象 5 州に再配分した。表 B. 4-3(1) に山地 + 残流域の州別の整理結果を示す。また、表 B. 4-3(2) に全流域の收支表を示す。

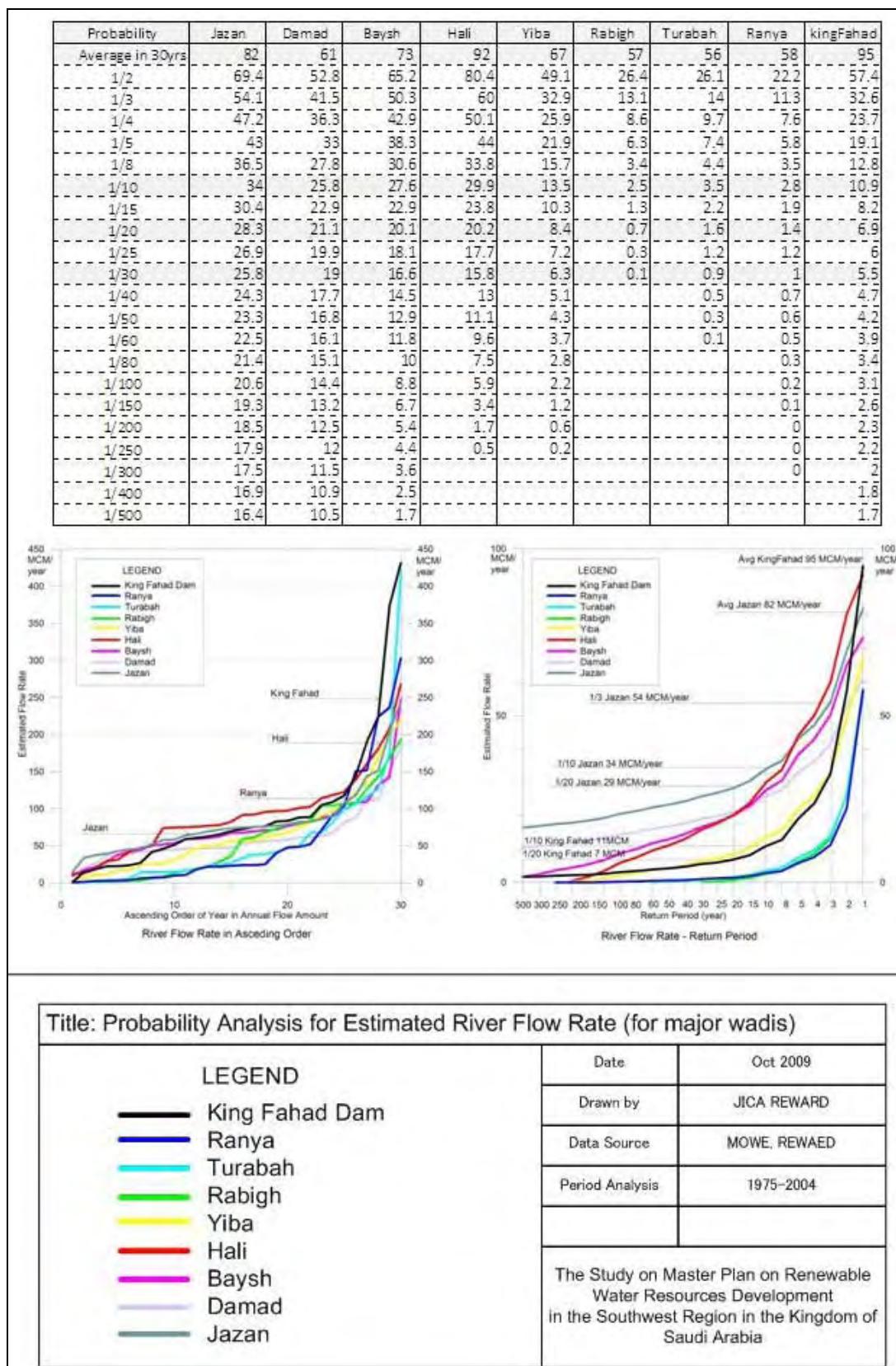


図 B. 4-13 代表流域年流量の非超過確率

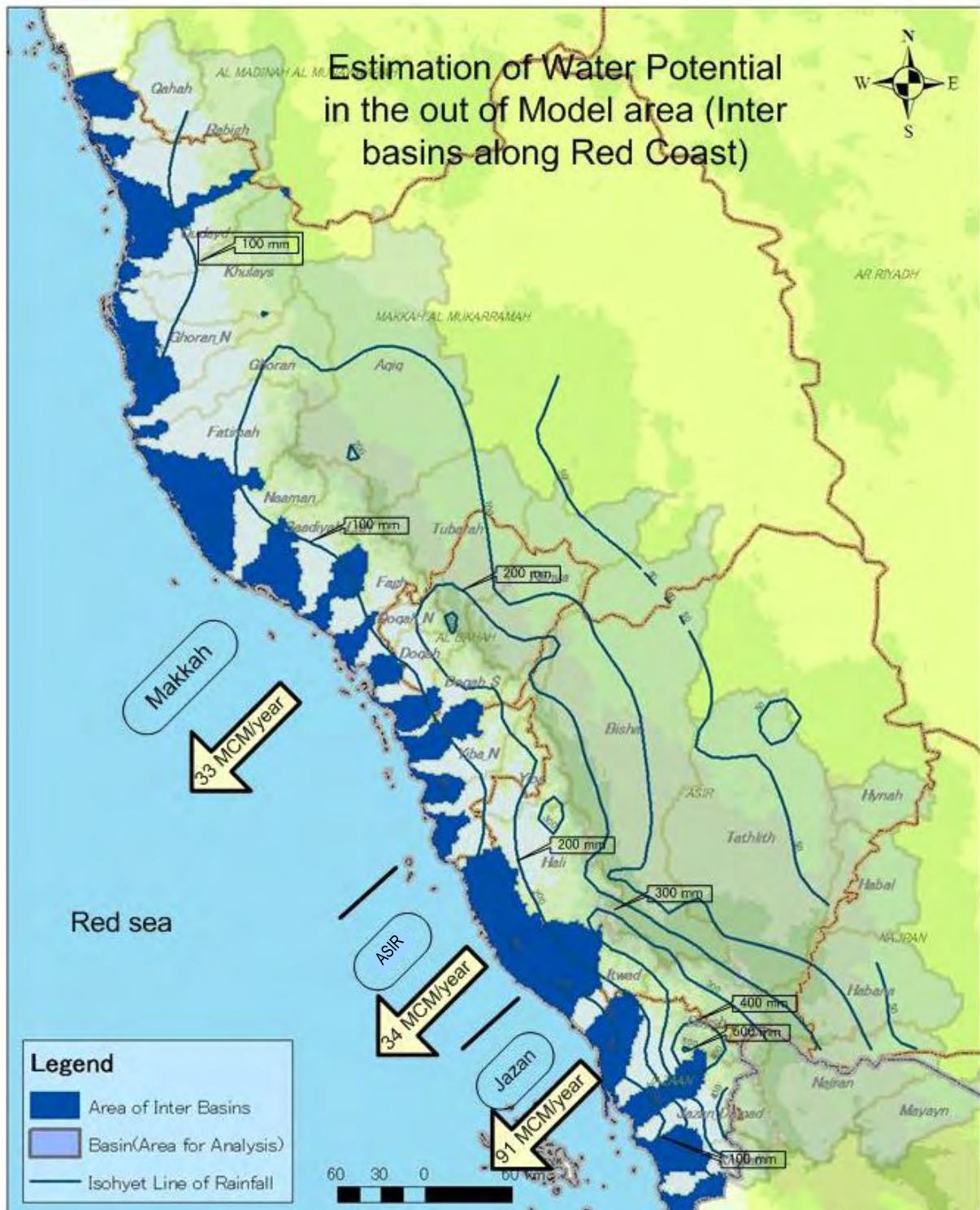


図 B. 4-14 モデル残流域の検討

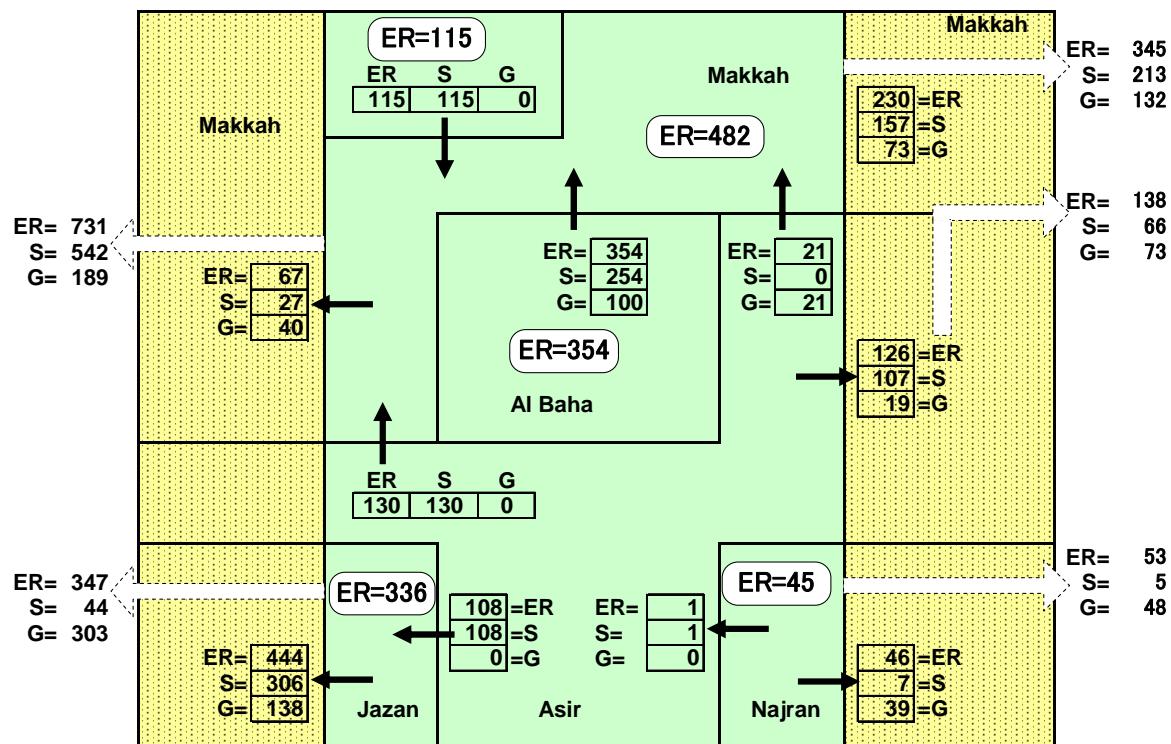
表 B. 4-3(1) 州別収支表 -山地部-

| Basin                    |      |                              |                |                | Water Potential (MCM/year) |                |                     |
|--------------------------|------|------------------------------|----------------|----------------|----------------------------|----------------|---------------------|
| No                       | B_ID | Basin                        | Area (Sqkm)    | Outlet Ptn. At | ER (Moutain)               | Surface Runoff | Ground-water Runoff |
| 1                        | J5   | Khulab                       | 1,160          | jazan          | 40                         | 37             | 3                   |
| 2                        | J4   | Jazan                        | 1,438          | jazan          | 86                         | 82             | 3                   |
| 3                        | J3   | Damad                        | 1,063          | jazan          | 72                         | 61             | 11                  |
| 4                        | J2   | Baysh                        | 4,767          | jazan          | 105                        | 73             | 32                  |
| 5                        | J1   | Itwad                        | 1,478          | jazan          | 51                         | 46             | 5                   |
|                          |      | interBasin                   |                |                | 91                         | 6              | 85                  |
| <b>Jazan</b>             |      |                              |                |                | <b>444</b>                 | <b>306</b>     | <b>139</b>          |
| 6                        | M12  | Hali                         | 4,850          | makkah         | 123                        | 92             | 31                  |
| 7                        | M11  | Yiba                         | 2,812          | makkah         | 81                         | 67             | 14                  |
| 8                        | M10  | Yiba_N                       | 1,640          | makkah         | 45                         | 32             | 13                  |
| 9                        | M9   | Doquah_S                     | 1,496          | makkah         | 52                         | 45             | 7                   |
| 10                       | M8   | Doquah                       | 1,080          | makkah         | 25                         | 18             | 7                   |
| 11                       | M7   | Doquah_N                     | 960            | makkah         | 31                         | 28             | 3                   |
| 12                       | M6   | Fagh                         | 1,706          | makkah         | 44                         | 38             | 6                   |
| 13                       | M5   | AlLith_Sadiyah               | 2,641          | makkah         | 40                         | 29             | 12                  |
| 14                       | M4   | Naaman                       | 1,351          | makkah         | 38                         | 30             | 8                   |
| 15                       | M3   | Fatimah                      | 2,756          | makkah         | 42                         | 32             | 10                  |
| 16                       | M2   | Ghoran                       | 3,807          | makkah         | 51                         | 30             | 21                  |
| 17                       | M1   | Ghoran_N                     | 1,016          | makkah         | 15                         | 10             | 5                   |
| 18                       | M0   | Khulays                      | 4,390          | makkah         | 100                        | 67             | 33                  |
| 19                       | M1   | Qudayd                       | 1,341          | makkah         | 15                         | 9              | 6                   |
| 20                       | M2   | Rabigh                       | 4,433          | makkah         | 99                         | 72             | 27                  |
| 21                       | M3   | Qahah                        | 2,842          | makkah         | 5                          | 2              | 3                   |
|                          |      | interBasin(via.Ashir)        |                |                | 34                         | 9              | 25                  |
|                          |      | interBasin(via.Ashir)        |                |                | 33                         | 3              | 30                  |
| <b>Makkah(red coast)</b> |      |                              |                |                | <b>872</b>                 | <b>613</b>     | <b>259</b>          |
| 22                       | M1   | Aqiq                         | 6,448          | makkah         | 18                         | 10             | 9                   |
| 23                       | M2   | Turabah                      | 4,816          | makkah         | 133                        | 90             | 43                  |
| 23                       | M2   | Mountain:Turabah Dam         |                | makkah         | (75.3)                     | (56.2)         | (19.2)              |
| 23                       | M2   | Mountain:kara Al Qawamah Dam |                | makkah         | (57.4)                     | (33.4)         | (24)                |
| 24                       | M2   | Ranya                        | 3,503          | makkah         | 80                         | 58             | 22                  |
| <b>Makkah(njed)</b>      |      |                              |                |                | <b>230</b>                 | <b>157</b>     | <b>73</b>           |
| 25                       | A1   | Bisha                        | 12,908         | asir           | 111                        | 107            | 4                   |
| 25                       | A1   | Mountain:King Fahad Dam      |                | asir           | (97.6)                     | (94.9)         | (2.7)               |
| 25                       | A1   | Mountain:Tabalah Dam         |                | asir           | (13.4)                     | (11.8)         | (1.5)               |
| 26                       | A2   | Tathlith                     | 6,900          | asir           | 15                         | 1              | 15                  |
| <b>Asir</b>              |      |                              |                |                | <b>126</b>                 | <b>107</b>     | <b>19</b>           |
| 27                       | N1   | Habana                       | 2,613          | Najran         | 8                          | 2              | 6                   |
| 28                       | N2   | Najran                       | 4,729          | Najran         | 25                         | 4              | 21                  |
| 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                   |
| <b>Najran</b>            |      |                              |                |                | <b>46</b>                  | <b>7</b>       | <b>39</b>           |
|                          |      |                              |                |                |                            |                |                     |
| <b>Ground Total</b>      |      |                              | <b>100,225</b> |                | <b>1,718</b>               | <b>1,189</b>   | <b>529</b>          |

表 B. 4-3(2) 州別収支表 -全体-

| Moutain-Plain (Area 161,150 sqkm)+Inter Basins(Area 25,353 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                  |
| <b>Jazan</b>   |      |                |                |                | <b>347</b>                 | <b>44</b>      | <b>303</b>          |
| 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                   |
| <b>Makkah(red coast)</b>   |      |                |                |                | <b>731</b>                 | <b>542</b>     | <b>188</b>          |
| 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                  |
| <b>Makkah(njed)</b>  |      |                |                |                | <b>345</b>                 | <b>213</b>     | <b>132</b>          |
| 25   | A1   | Bisha          | 22,303         | asir           | 117                        | 53             | 64                  |
| 26   | A2   | Tathlith       | 17,237         | asir           | 21                         | 13             | 8                   |
| <b>Asir</b>  |      |                |                |                | <b>139</b>                 | <b>66</b>      | <b>73</b>           |
| 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                   |
| <b>Najran</b>  |      |                |                |                | <b>53</b>                  | <b>5</b>       | <b>48</b>           |
| <b>Total (on basins)</b>   |      |                | <b>161,149</b> |                | <b>1,614</b>               | <b>870</b>     | <b>744</b>          |
| <b>Total (Inter basins)</b>                                      |      |                | 25,353         | red coast      | 158                        | 18             | 140                 |
| <b>Ground Total</b>  |      |                |                |                | <b>1,772</b>               | <b>888</b>     | <b>884</b>          |

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。



Notes: ER=Effective Rainfall, S=Surface Water, G=Groundwater

[緑色]: Mountain Area (Appearance of ER) [黄色]: Plain Ares (Movement of ER)

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 B. 4-15 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帶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帶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帶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 B. 4-4 参照)。また、図 B. 4-16 に調査域の浅層帶水層分布および地下水涵養の要約図を示す。

表 B. 4-4 浅層帶水層(地下水)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    | NAJRAN      | 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 B. 4-16 浅層帶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

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じることにより算出した。

表B.4-5 需給計画のための州別再生可能水資源ポテンシャル(MCM/Year)

| 項目<br>(行政面積 km <sup>2</sup> ) | Makkah<br>(144,292km <sup>2</sup> ) | Al Baha<br>(12,033km <sup>2</sup> ) | Asir<br>(71,426km <sup>2</sup> ) | Jazan<br>(11,952km <sup>2</sup> ) | Najran<br>(68,776km <sup>2</sup> ) | 合計<br>(308,478km <sup>2</sup> ) |
|-------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|---------------------------------|
| 合計ポテンシャル                      | 782.1                               | 99.4                                | 380.5                            | 322.9                             | 401.1                              | 1,985.9                         |
| Surface Water<br>表流水          | 216.8                               | 23.3                                | 146.0                            | 247.8                             | 68.9                               | 702.8                           |
| Groundwater<br>地下水            | 565.3                               | 76.1                                | 234.5                            | 75.1                              | 332.2                              | 1,283.1                         |

注)5州全体面積; 308,478Km<sup>2</sup>

## 第5章 水戦略・政策・行動計画

### 5.1 概 要

「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ものである。

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
  - 水政策と戦略
  - 行動計画－水資源開発
  - 行動計画－水資源保全
  - 行動計画－水利用管理
  - 行動計画－組織・制度の整備
  - 5州の行動計画の要点

5州における行動計画の計画目標年は2035年とする。この行動計画の目的は、水政策・戦略に基づいて作成された行動計画の実施により、対象地区の社会経済的な持続可能な発展を確実にし、人々が豊かで快適な生活を送ることができることである。

### 5.2 水セクターの現状と課題

#### 5.2.1 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B.5-1のとおりである。

##### 水利用総量

調査地域における水利用総量はJazan州が一番大きく、以下Makkah州、Asir州、Najran州、Al Baha州の順である。最も多いJazan州の水使用量は年間1,542MCM、最も少ないAl Baha州では年間68MCMである。Jazan州では99%を占める農業用水の使用量が5州の中では突出している。

##### セクター別水利用

調査地域全体では農業用水が84.4%を占め、以下、都市用水は14.4%、工業用水は1.2%を占める。農業用水は、全国平均86.5%（第8次5カ年計画）とほぼ同じ割合となっている。

都市用水の全体使用水量に占める割合を州別にみると、Makkah州では33%、以下、Al Baha州で21%、Asir州では17%、Jazan州とNajran州では10%以下である。

農業用水の使用量はJazan州とNajran州では90%以上を占め、Asir州では80%以上を占めている。

##### 在来型水資源、非在来型水資源の水源比率

Al Baha州、Najran州では水利用総量の全てを在来型の再生可能水資源に依存している。Makkah州では在来型の比率が65%であり、非在来型の比率が35%である。Asir州では83%と17%の比率となっている。上水に限ると、Makkah州では約88%、Asir州でも約68%を非在来型（淡水化水）に依存している。

表 B. 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            |
|          | - 下水処理水        | 0.0              | 33.7        | 17.2             | 50.9             |
| Al Bahah | 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              |
|          | - 下水処理水        | 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             |
|          | - 下水処理水        | 0.0              | 0.0         | 18.3             | 18.3             |
| 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              |
|          | - 下水処理水        | 0.0              | 0.0         | 0.0              | 0.0              |
| 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              |
|          | - 下水処理水        | 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

## 5.2.2 水セクターの課題

表 B. 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 B. 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 |
|------------------------|----------------|-----------|-----------|-------|--------|
| <u>【都市用水】</u>          |                |           |           |       |        |
| ● 都市用水の使用量 (MCM/Y)     | 389            | 14        | 57        | 16    | 12     |
| ● 公共水道ネットワーク率          | 96%            | 47%       | 43%       | 64%   | 79%    |
| ● 供給量 (LCD: 1 / 人 / 日) | 183            | 149       | 192       | 55    | 93     |
| ● 淡水化水の占める割合           | 88%            | 0%        | 57%       | 4%    | 0%     |
| ● 水需要の季節変動             | (Haji Pilgrim) | (Jun-Aug) | (Jun-Aug) | No    | No     |
| <u>【工業用水】</u>          |                |           |           |       |        |
| ● 工業用水の使用量 (MCM/Y)     | 38             | 0         | 2         | 0     | 0      |

| Items             | Makkah | Al-Baha | Asir | Jazan | Najran |
|-------------------|--------|---------|------|-------|--------|
| ・下水処理水の再利用が占める割合  | 59.8%  | -       | 0%   | -     | -      |
| <u>【農業用水】</u>     |        |         |      |       |        |
| ・農業用水の使用量 (MCM/Y) | 768    | 54      | 283  | 1,527 | 229    |
| ・全水利用に対する農業用水の割合  | 64%    | 79%     | 83%  | 99%   | 95%    |
| ・農業用水に占める下水処理水の割合 | 2%     | -       | 6%   | -     | -      |
| ・近代施設導入           | 50%    | 50%     | 50%  | 50%   | 50%    |
| ・農業用井戸の水位低下及び水質劣化 | Middle | Low     | Low  | High  | 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た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、ステークホルダーアンケートを通じて把握した。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 B.5-3 ステークホルダーアンケート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。

## 5.3 州別の水需要・供給バランス

### 5.3.1 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、海水淡化水が含まれる。また、3 章 3.1.6 で推定した 2035 年の都市用水需要量（表 B.3-23 から表 B.3-27）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 B.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 B.5-4 の收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 B. 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, m<sup>3</sup>/日)

| Region  | (1) 現況給水能力 (MCM/Y) | (2) 将來の水需要 (MCM/Y) | 収支 (MCM/Y)<br>(3)=(2)-(1) | 収支 (1000 m <sup>3</sup> /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.

次に州ごとに開発すべき水資源量に対して、再生可能水資源でどの程度開発可能であるか、また、再生可能水資源以外の水源でどれだけの水量を開発する必要があるかについて検討した。各州の状況を表 B. 5-5 から表 B. 5-9 に示した。

この検討では、概略の検討として、ダムの建設地点の州が基本的にそのダムで開発された再生可能水資源を利用すると仮定した。ただし、州の間で水利用のルールがすでに形成されている場合は、その配分のルールを適用した。ダムによる再生可能水資源の配分については、B 編 第 3 章で検討する。

再生可能水資源の開発は、ダム建設により行われると仮定した。計算された流域ごとの水資源ポテンシャルからダム地点の開発ポテンシャルを推定したものが、表 B. 5-5 から表 B. 5-9 のダム地点ポテンシャルである。実際に利用可能な量として調査団が使用するのは、前述のように、ダム地点ポテンシャルの 70% であり、都市用水にはその 30% を割り当てることとしている。

地図及び Google Earth からの情報、並びに、MOWE との意見交換によって、有望な大規模貯留ダムは既に建設済みあるいは建設段階にあって、大規模貯留ダムの建設に適した有望なダムサイトは残っていないと判断された。ここで開発対象としたダムは全て MOWE によって計画中あるいは建設中のダムである。

#### < Makkah 州 >

表 B. 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 B. 4-3(1))を基にした。

表 B. 5-5 Makkah 州の今後の再生可能水資源の評価

| (1)<br>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)<br>ワジ名    | (3)<br>山地部<br>面積<br>(km <sup>2</sup> ) | (4)<br>水資源<br>ポテンシャル<br>(MCM/Y) | (5)<br>ダム名         | (6)<br>流域<br>面積<br>(km <sup>2</sup> ) | (7)<br>ダム地点水資源<br>ポテンシャル<br>(MCM/Y)<br>(4)*(6)/(3) | (8)<br>開発可能<br>水資源量<br>(MCM/Y)<br>(7)*70% | (9)<br>想定給水量<br>(1000m <sup>3</sup> /日)<br>(8)*30% |  |
| W-02       | Rabigh        | 4,443                                  | 99                              | Rabigh             | 3,456                                 | 77   | 54  | 44   |  |
| W-04       | Khulays       | 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                              | Quanuna            | 1,383                                 | 35   | 25  | 30   |  |
| W-15       | Yiba          | 2,812                                  | 81                              | Yiba               | 2,242                                 | 65   | 45  | 37   |  |
| 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(1000m<sup>3</sup>/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 B. 5-4 より約 266,000m<sup>3</sup>/日である。一方、Makkah 州で利用可能な再生可能水資源は、表 B. 5-5 から 161,000m<sup>3</sup>/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。

### <Al Baha 州>

表 B. 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 B. 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тенシャル |            |  |                                 | ダム地点の開発可能水資源ポテンシャル |                                       |  |   |  |
|----------------|------------|--|---------------------------------|--------------------|---------------------------------------|--|---|--|
| (1)<br>No.     | (2)<br>ワジ名 | (3)<br>山地部<br>面積<br>(km <sup>2</sup> ) | (4)<br>水資源<br>ポテンシャル<br>(MCM/Y) | (5)<br>ダム名         | (6)<br>流域<br>面積<br>(km <sup>2</sup> ) | (7)<br>ダム地点水資源<br>ポテンシャル<br>(MCM/Y)<br>(4)*(6)/(3) | (8)<br>開発可能<br>水資源量<br>(MCM/Y)<br>(7)*70% | (9)<br>想定給水量<br>(1000m <sup>3</sup> /日)<br>(8)*30% |
| W-15           | Yiba       | 2,812                                  | 81                              | Niala<br>Qilwa     | 361<br>302                            | 10<br>9  | 7<br>6                                    | 6<br>5   |
| E-03           | Ranya      | 3,503                                  | 80                              | A1 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(1000m<sup>3</sup>/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 B. 5-4 より約 77,000m<sup>3</sup>/日である。一方、Al Baha 州で利用可能な再生可能水資源は、表 B. 5-5 から 16,000m<sup>3</sup>/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。

### <Asir 州>

表 B. 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 B. 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тенシャル |            |  |                                 | ダム地点の開発可能水資源ポтенシャル |                                       |  |   |  |
|----------------|------------|--|---------------------------------|---------------------|---------------------------------------|--|---|--|
| (1)<br>No.     | (2)<br>ワジ名 | (3)<br>山地部<br>面積<br>(km <sup>2</sup> ) | (4)<br>水資源<br>ポテンシャル<br>(MCM/Y) | (5)<br>ダム名          | (6)<br>流域<br>面積<br>(km <sup>2</sup> ) | (7)<br>ダム地点水資源<br>ポテンシャル<br>(MCM/Y)<br>(4)*(6)/(3) | (8)<br>開発可能<br>水資源量<br>(MCM/Y)<br>(7)*70% | (9)<br>想定給水量<br>(1000m <sup>3</sup> /日)<br>(8)*30% |
| W-16           | Hali       | 4,850                                  | 123                             | Hali                | 4,843                                 | 123  | 86  | (35)+35  |
| E-04           | Bisha      | 10,777                                 | 111                             | Tabalh<br>Hirjab    | 863<br>600                            | 9<br>6   | 6<br>4                                    | 16<br>9  |
|                | <Total>    |  | 234                             |                     |                                       |  |   | 60   |

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(1000m<sup>3</sup>/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 Asir 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。

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 449,000m<sup>3</sup>/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 60,000m<sup>3</sup>/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。

### <Jazan 州>

表 B. 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 B.5-8 Jazan 州の今後の再生可能水資源の評価

| (1)<br>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)<br>ワジ名    | (3)<br>山地部<br>面積<br>(km <sup>2</sup> ) | (4)<br>水資源<br>ポテンシャル<br>(MCM/Y) | (5)<br>ダム名         | (6)<br>流域<br>面積<br>(km <sup>2</sup> ) | (7)<br>ダム地点水資源<br>ポテンシャル<br>(MCM/Y) | (8)<br>開発可能<br>水資源量<br>(MCM/Y) | (9)<br>想定給水量<br>(1000m <sup>3</sup> /日)<br>(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   |
|            | <Total>       |  | 177                             |                    | 69                                    | 5                                   | 13                             | 9  |
|            |               |  |                                 |                    |                                       |                                     |                                | 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(1000m<sup>3</sup>/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 B.5-4 より約 260,000m<sup>3</sup>/日である。一方、Jazan 州で利用可能な再生可能水資源は、表 B.5-8 から 103,000m<sup>3</sup>/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。

#### < 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 B.5-4 より約 104,000m<sup>3</sup>/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で必要な水資源を確保する必要がある。

#### < 5 州のまとめ >

表 B.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 B.5-9 2035 年の都市用水需要と供給量の収支 (1000m<sup>3</sup>/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       | ダム開発予定なし |
| [Total] | 1,156   | 340 | -816       |          |

### 5.3.2 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。

農業用水の水需給バランス検討は、B 第 3 章 3.2.4 感度分析と同様、ケース 3 (2007 年レベル作付) で検討する。

#### (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ので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 B. 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                  | A1 Baha                | Asir                   | Jazan                  | Najran                 | 合計                      |
|----------------------|-------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|-------------------------|
| 行政面積 km <sup>2</sup> | 144, 292km <sup>2</sup> | 12, 033km <sup>2</sup> | 71, 426km <sup>2</sup> | 11, 952km <sup>2</sup> | 68, 776km <sup>2</sup> | 308, 478km <sup>2</sup> |
| 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 ケ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 ケ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 ケ年平均値を採用した。

注)2: 5 州全体面積; 308, 478Km<sup>2</sup>

### 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%) 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処理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 B. 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 B. 5-11 州毎の農業用水の収支

(単位 : MCM)

| 州       | 再生可能<br>水資源量 | 上水<br>利用量 | 利用<br>可能量 | 農業用<br>需要量 | 収支①      | 節水量   | 下水再<br>利用 | 還元水<br>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 B. 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               |

### 5.3.3 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。

#### < Makkah 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。図 B. 5-1 に各ガバナレート毎の現況及び計画年の 2035 年における作付可能面積を示している。おおむね現況の作付面積は継続可能と推測される。

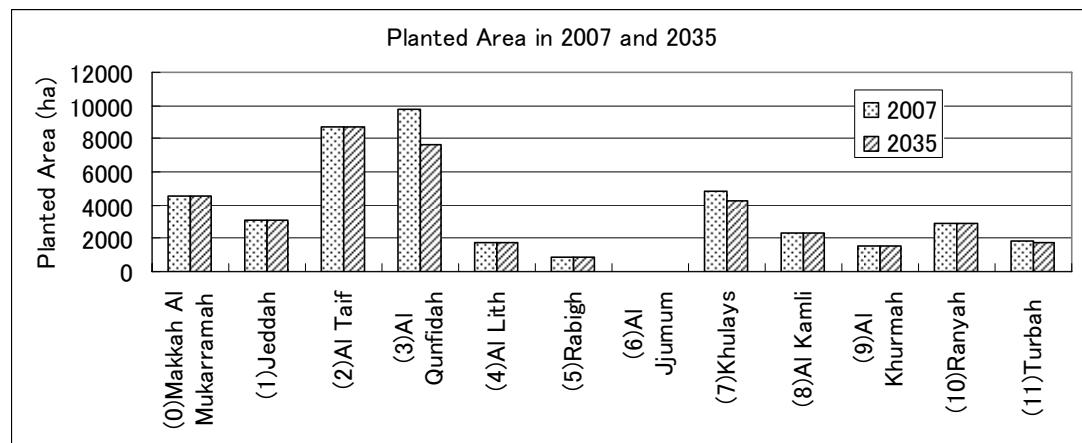
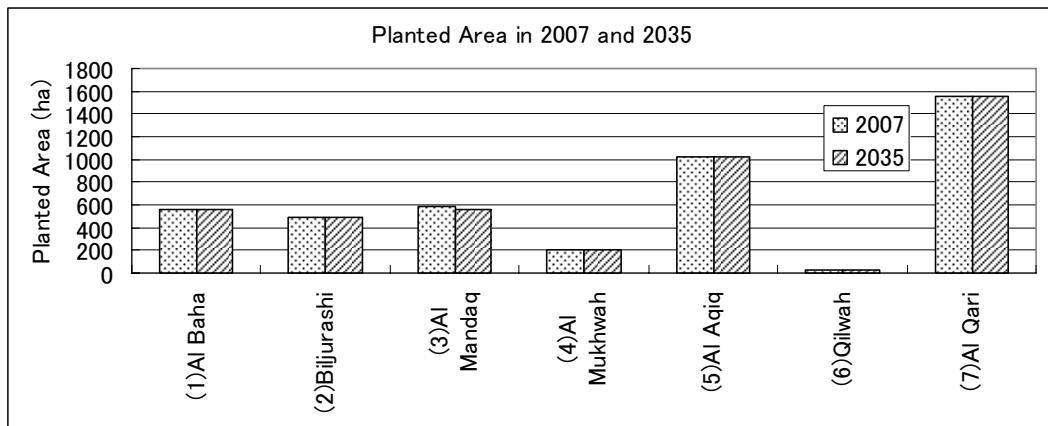


図 B. 5-1 Makkah 州における 2007 年と 2035 年の作付面積比較

### <Al Baha 州>

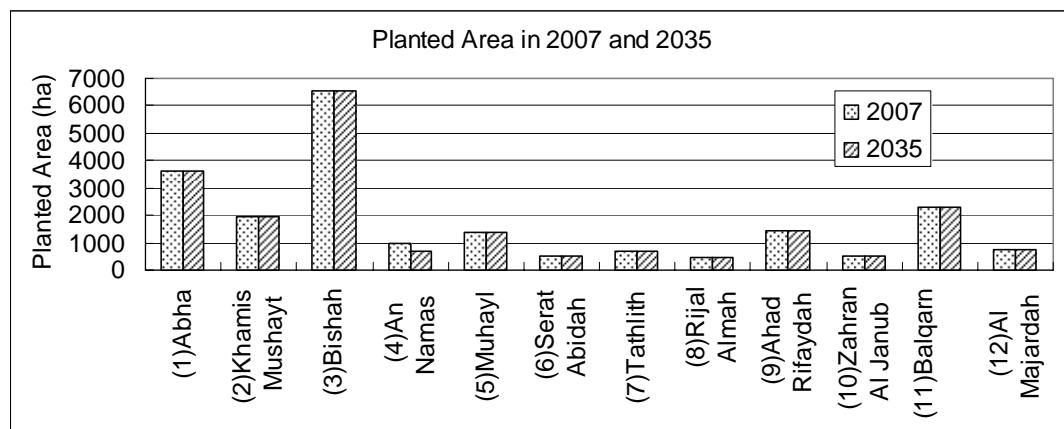
供給量の上限を再生可能水資源ポテンシャルとした場合、計画年の2035年における作付可能面積は4,425ha（面積比1%減）となった。図B.5-2に各ガバナレート毎の現況及び計画年の2035年における作付可能面積を示している。おおむね現況の作付面積は継続可能と推測される。



図B.5-2 Al Baha州における2007年と2035年の作付面積比較

### <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。図B.5-3に各ガバナレート毎の現況及び計画年の2035年における作付可能面積を示している。おおむね現況面積での作付は可能と推測される。



図B.5-3 Asir州における2007年と2035年の作付面積比較

### <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。図B.5-4にガバナレート毎の現況及び計画年の2035年における作付可能面積を示している。

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 B. 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 年作付可能面積 | 比率(2035/2007, %) |
|------------------|----------|--------------|------------------|
| Sabya            | 22,785ha | 6,348ha      | 28               |
| Abu Arith        | 9,395 ha | 2,292ha      | 25               |
| Samatah          | 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               |

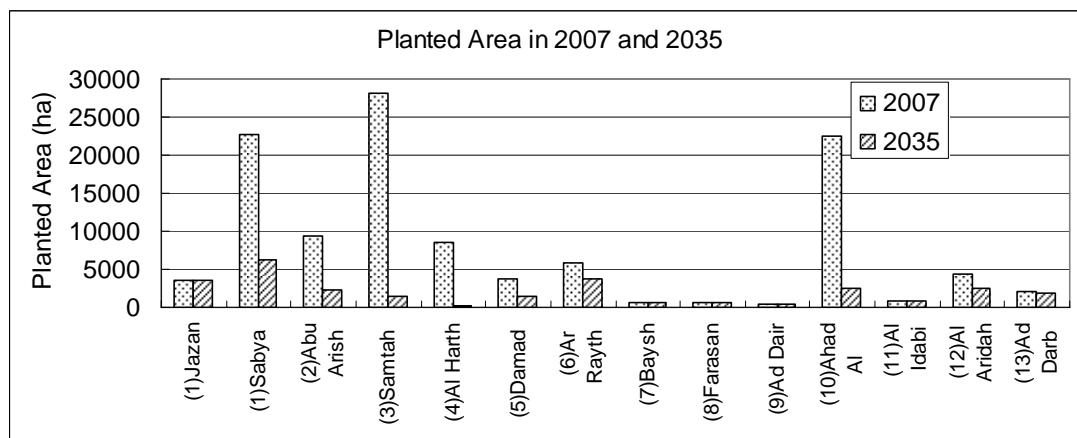


図 B. 5-4 Jazan 州における 2007 年と 2035 年の作付面積比較

#### < 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。図 B. 5-5 に各ガバナレートの現況及び計画年の 2035 年における作付可能面積を示している。

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。

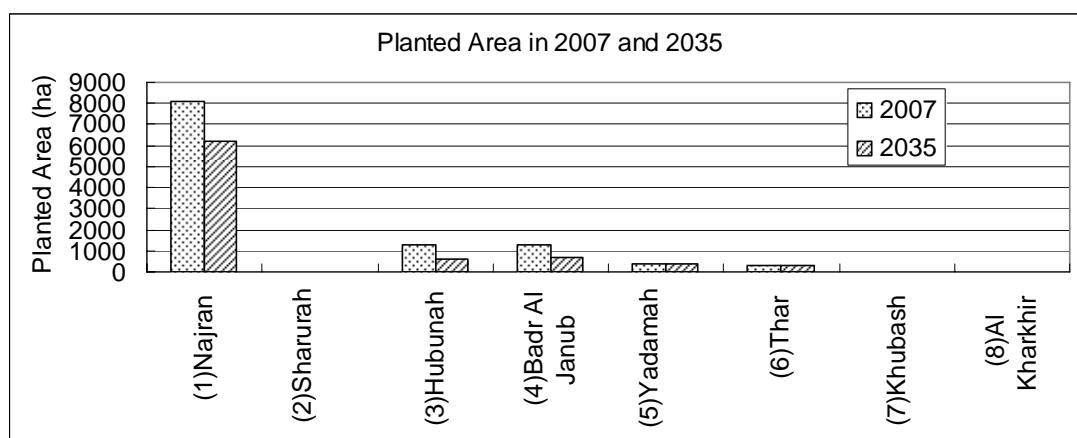


図 B. 5-5 Najran 州における 2007 年と 2035 年の作付面積比較