

イランイスラム共和国
エネルギー省 (MOE)
オルミエ湖救済プログラム (ULRP)

イラン国 オルミエ湖流域水循環モデル改善に係る 情報収集・確認調査

ファイナルレポート

2020 年 9 月

独立行政法人 国際協力機構
(JICA)

株式会社 建設技研インターナショナル

環境
JR
20-053

1 業務概要（本文 1 章に対応）

1.1 業務の背景（本文 1.1 に対応）

オルミエ湖はイラン国北西部に位置し、かつては湖面積 5,700km²、貯水量 36,750 百万 m³ を有する、面積規模世界 6 番目の内陸塩湖であった。しかし、2000 年頃から湖への流入量が減少し、それに伴い湖面積も縮小の一途をたどり、2014 年 9 月時点での湖面積は 1,440km²、貯水量 1,640 百万 m³ を記録した。一連の湖縮小の原因は、長らく続く渇水及び流域内での水資源開発による農業用取水量の増加にあると言われており、湖縮小に対しての対策がイラン政府により各種検討されているが、具体的な縮小防止策は講じられていなかった。しかし、2013 年 8 月に大統領としてロウハーニー氏が就任したのを契機に、公約に掲げていたオルミエ湖救済策を次々と打ち出し、日本を含む国際社会への支援を仰いだ。

これを受けて、JICA は様々な救済策の効果の定量的評価を行うため、必要となる基礎情報の収集、オルミエ湖流域の水循環モデルによる水循環構造並びに流域水収支の把握および救済策の定量的評価を目的とした「オルミエ湖流域水循環に係る情報収集・確認調査（以降、前回調査と称す）」(2014 年 11 月～2016 年 3 月)を実施した。この調査では、限られた情報やデータに基づいて、MIKE-SHE（DHI 社製）および GETFLOWS（地圏環境テクノロジー製）のソフトウェアを用いて流域水循環モデルを構築し、イラン国側からも一定の評価が得られた。

その後、オルミエ湖救済委員会（Lake Urmia Restoration Committee:LURC）は、様々な条件を考慮しながら最適な救済策を選定するため、水循環への影響の他に経済的・社会的影響評価を含む意思決定システム（Decision Support System:DSS）を構築する予定である。委員会は、DSS の水循環モジュールとして、前回調査で構築された水循環モデルを活用していく意向を示し、そのためには今後更なる精度向上が求められているため、その技術的支援を JICA に要請した。これに応じて JICA は、2016 年 9 月に現地調査を行い、イラン国政府からの協力要請の背景および内容を確認し、先方政府関係機関との協議を経て、水循環モデルの精度向上のために必要な情報を収集・分析した上で本業務を実施することを決定し、2017 年 2 月にエネルギー省およびオルミエ湖救済委員会と M/M を手交した。本業務は 2017 年 7 月から 2020 年 7 月までの約 3 年間をかけて実施された。

1.2 業務の目的（本文 1.2 以降に対応）

オルミエ湖救済事業に対する意思決定システム（DSS）の水循環モジュール構築のため、既に構築されている水循環モデルのさらなる精度向上を図る。

(1) 業務の目標

オルミエ湖流域の水循環メカニズムが定量的に把握され、オルミエ湖救済事業の検討に役立てられる。

(2) 期待される成果

- 1) ULRP から提供されるデータおよび情報の妥当性が検証され、MIKE SHE モデルへの入力データおよびモデル構築のためのデータおよび情報が整備される。
- 2) オルミエ湖流域の南部、西部および東部の各流域における地域水循環モデルがそれぞれ構築され、これらを組み合わせてオルミエ湖流域全体の統合水循環モデルが構築される。

- 3) ULRP が提供するオルミエ湖流域救済のためのシナリオに基づいて、各流域および流域全体のシミュレーションを実施し、様々なプロジェクトおよびシナリオの有効性が確認される。

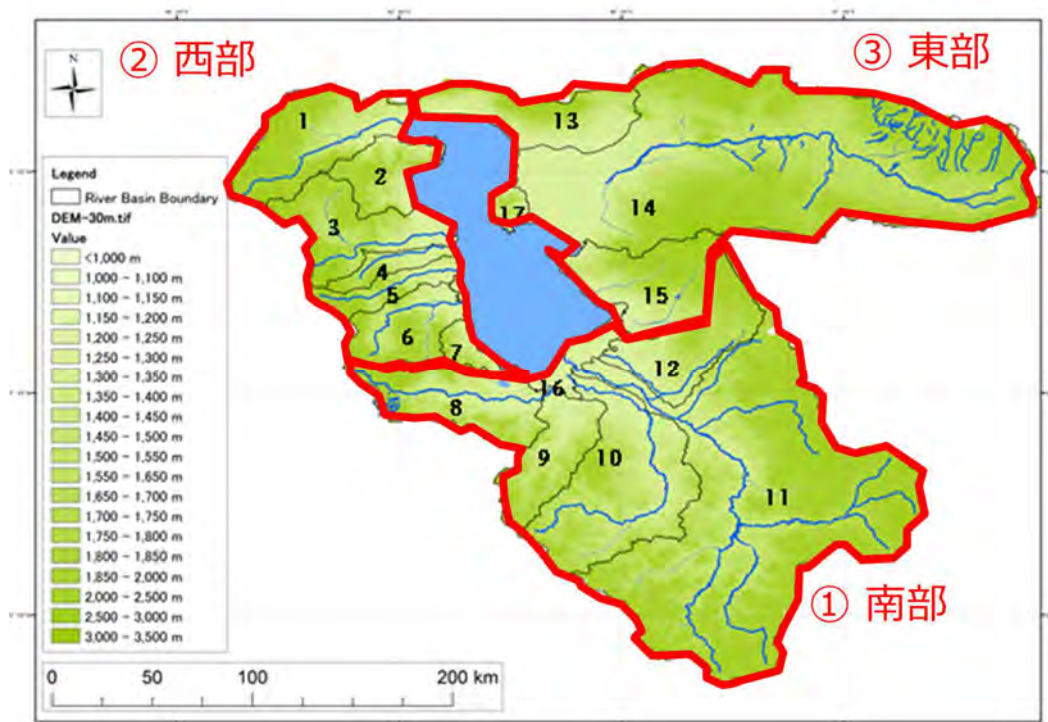
(3) 関連する主な日本の援助

本調査に関連する日本の主な支援は以下のとおりである。

- ・ セフィードルード川流域総合水資源管理調査（2007-2010）
- ・ 水政策アドバイザー（2017-2019）
- ・ オルミエ湖流域水循環に係る情報収集・確認調査（2014-2016）

(4) 対象地域

対象地域はオルミエ湖流域全体（西アゼルバイジャン州、東アゼルバイジャン州、コルデスタン州を含む）である。カウンターパートの水文学的知識に従い、図 1.2.1 に示すように、オルミエ湖流域を南、西、東の 3 つの地域に分割して、水循環モデルを構築した。



出典: 本調査

図 1.2.1 エリアと河川流域区分

表 1.2.1 対象流域

Part	Sub River Basin	Area (km ²)	Representative Dam
South	Gedar Chay(8)、Mahabad Chay(9)、Simineh Rud(10)、Zarineh Rud(11)、Lilang Chay(12)、Residual Basin of Southern Part (16)、	21,155	Mahabad Dam(190MCM) Bukan Dam (486MCM)
West	Zola Chay(1)、Residual Basin(2)、Nazlo Chay(3)、Roze Chay(4) Sahar Chay(5)、Baradoz Chay(6)、Residual Basin 2(7)	8,105	Shahr Chay Dam (213 MCM)
East	Residual Basin 3(13)、Ajichay(14)、Gale Chay(15)、Lake Urmia Island(17)	17,462	Shahid Madani-Vanyar Dam (Under Construction) (280MCM)

2 オルミエ湖流域の水循環モデルの確立（本文 4 章および 5 章 5.6 節まで対応）

2.1 MIKE-SHE による水循環モデルの確立（本文 5.1 に対応）

MIKE SHE は分布型モデルであるため、流域全体が水平方向に直交するメッシュに分割され、垂直方向に複数の柱状地質層に分割される。分割された各ブロックには、降水量等の水文データと、物理的に流域全体の水の流れを解析するために必要な透水係数等のパラメータ値が与えられる。さらに、事前計算と事後計算のデータ処理、情報のデジタル化、データの補填・補正、結果のグラフ描画とアニメーション等、モデリングの作業のために様々なオプションツールが用意されている。ただし、ソースコードは公開されていないためプログラムの追加・修正は不可能である。MIKE-SHE モデルの概念図を図 2.1.1 に示す。

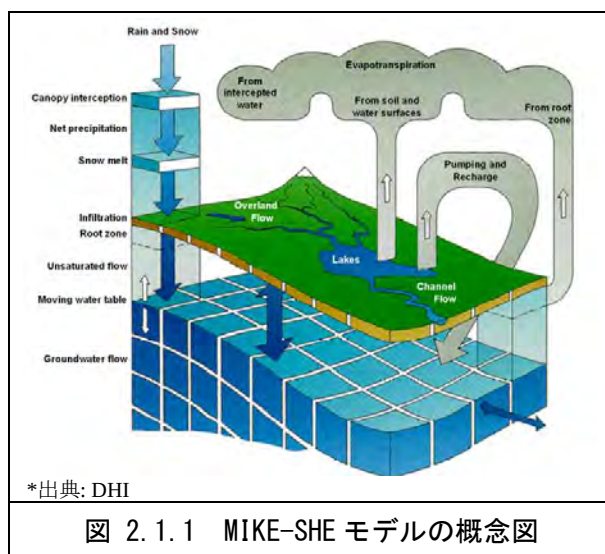


図 2.1.1 MIKE-SHE モデルの概念図

2.2 MIKE-SHE の基本機能（本文 5.2 に対応）

MIKE-SHE は、基本的に、a. 降水、蒸発散、融雪、b. 土地利用毎の水の動き、c. 地表および河川の流れ、d. 不飽和流動、e. 飽和流動等の水の挙動を数値的な計算プロセスにより表現する。これにより、各ブロックの水の流動および三態変化を同時に計算し、各ブロックの相互作用を考慮した水循環のほぼ完全な水の挙動プロセスを表すことができるものである。また、各プロセスを個別に計算できるだけでなく、時間と精度の観点から、最適なタイムステップを設定することができる。

2.3 水循環モデルの設定と入力データ処理（本文 5.4 に対応）

表 2.3.1 は、ULRP を通じて関係機関から提供された水循環モデルに必要な主要入力データ/情報を示す。これらのデータ/情報に基づき、調査チームは水循環モデルを段階的に更新した。ただし、灌漑エリアでの水利用・消費量を算定するにあたり、実用的な水循環モデルを構築するには質や量が十分ではなかった。そのため、灌漑地域での蒸発散量は衛星画像を用いて METRIC エネルギー収支手法（以降 METRIC 手法と称す）によって推算され、その推定されたデータを水循環モデルに入力した。この METRIC 手法で推定した蒸発散量のデータはイラン国側から提供されている。また、各灌漑エリアの水需要量は、上記の METRIC 手法による蒸発散量と灌漑効率から逆算された。

表 2.3.1 ULRP から収集したデータ/情報

No.	分野	入力データ/情報
1	水文	日降水量およびダムからの日放流量
2	気象	実蒸発散量（METRIC 手法によって算定された日量）、オルミエ湖からの蒸発量（湖近くで観測されたパン蒸発量）、気温（融雪計算に必要）
3	土壌及び地質	地層（各地層の深さおよび地下水帯水層の厚さ等）、水理的係数・定数（透水係数、貯留係数、土壌孔隙率、粗度係数等）
4	地下水	取水井の位置およびストレナーの深さ
5	地形	標高（DEM データ）、オルミエ湖の深浅測量データ（2013 年および 2015 年）
6	自然条件	河川網および河川横断面データ並びに土地利用データ（2010 年）
7	水利用及び還元水	灌漑効率、地下水揚水量（許可水量）、取水位置および水源、取水量（推定された時系列データ）、廃水処理水後の還元水

2.4 感度分析（本文 5.5 に対応）

主要なパラメータが流出計算に与える影響の程度を確認した。確認のために、（１）年間流出量および（２）融雪期（３月から６月）の流出量を指標とし、量的および質的に評価し、主要なパラメータステータスごとに、年間および融雪期の平均流出量に対する分散範囲（最大と最小の差）の割合を計算した。その結果、融雪限界温度が、洪水の発生量や発生時期に最も影響を与えるパラメータと判った。また、土壌の種類や水平方向の透水係数も基底流量を含む通年の流出に影響を与える可能性があることが確認された。これらのパラメータは、本業務で構築された水循環モデルのキャリブレーションで特に注意深く調整・設定された。

表 2.4.1 パラメータによる水循環モデルの感度の概要

分類	パラメータ	流出量への影響度合い
土地利用	粗度係数	影響が小さい。
融雪	融雪気温の閾値	融雪期の流出量に大きく影響する。
地下浸透	不飽和層の深さ	影響が非常に小さい。
	土壌の種類	通年および融雪期の両方の流出量に影響する。
地下透水	水平透水係数	通年の流出量に影響する。
	垂直透水係数	影響が非常に小さい。

2.5 キャリブレーション（検証計算）結果（本文 5.6～5.10 に対応）

地域水循環モデルについては、河川流量、地下水位、蒸発散量等の主要な水収支要素の算出値と観測値を比較した結果、高い精度を確保することができた。また、地域水循環モデルを結合した統合水循環モデルについても、湖の水位と湖への年間地表流入量において高い精度を確保できた。

(1) 日流量の傾向

主要河川の最下流に位置する水文観測所において、計算値と観測値の日流量ハイドログラフを、ナッシュ・サトクリフ効率率（NSE）を用いて比較したところ、南部で約 0.7～0.9、西部で約 0.6～0.9、東部で約 0.6 と、良好な数値が得られた。なお、前回調査と比較すると、南部は同等レベルの精度、西部および東部で精度の向上が見られた。

(2) 総流出量

河川の年間総流出量の観測値と計算値を比較したところ、高い相関係数（0.9）が得られた（図 2.5.1 参照）。よって、この水循環モデルは、対策等によるオルミエ湖への年間総流入量の変化を分析および評価することに活用できる精度を有すると言える。また、上述したように、主要な河川流出量の NSE が高いことを考慮すると、各地域（東・南・西部）からの湖への河川流入量の計算値の割合は、現実のそれと非常に整合していると言える（よって地域別の対策評価も可能となった）。

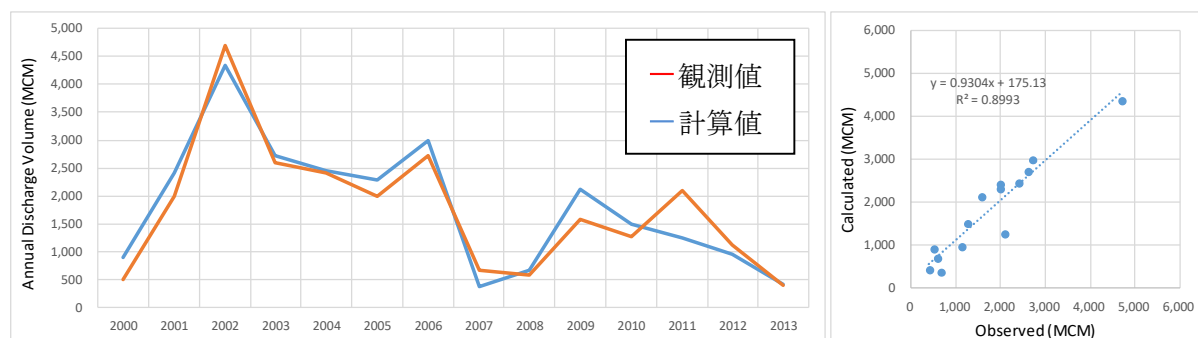


図 2.5.1 計算値と観測値による総年間流出量の比較と相関

(3) 地下水位

図 2.5.2 に示すように、時系列的な傾向や季節変動等の地下水位の挙動の観点から、灌漑地域の飽和帯水層で計算された地下水位は観測値とよく整合している。観測井戸のストレーナ（帯水層の水の取り入れ口に敷設する濾過器）の高さの情報があれば、さらに地下水位の計算結果の精度の高さが向上する。

(4) 蒸発散量と水利用

本業務の水循環モデルの検証計算における大きな課題の 1 つは、灌漑用水の使用量（未許可分の取水量を含む）を把握することであった。本業務では時系列的な観測値を入手できなかったため、METRIC 手法で算出した灌漑エリアの蒸発散量と灌漑エリアに至るまでの灌漑効率から、河川から取水されるべき水需要データを逆算した。日河川流量および地下水位と湖水位の検証結果から、METRIC 手法による推定蒸発散量と流域の現在の灌漑効率は適切に設定されていると考えられる。

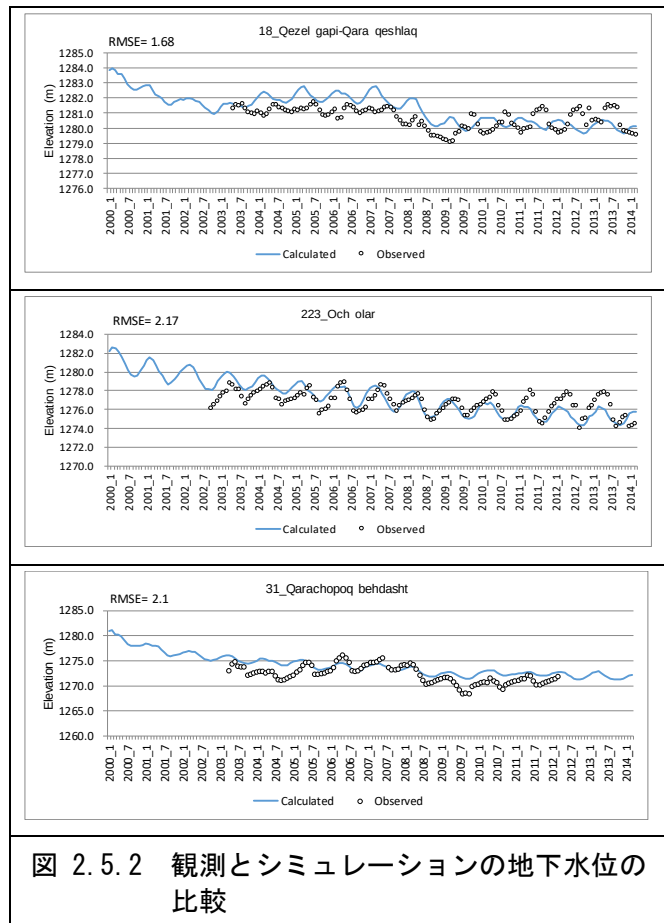


図 2.5.2 観測とシミュレーションの地下水位の比較

(5) 湖の水位

検証計算済みの水循環モデルで計算された河川流量を統合水循環モデルに入力し、オルミエ湖の水位を算定した。その計算結果と観測値を比較したところ、図 2.5.3 に示すように、NSE (Nash_Sutcliffe)=0.96 という非常に高い整合性を示した。この数値は前回調査の水循環モデルと同等レベルの精度である（なお、前回調査では、湖の水位のみが整合性を図る指標であった）。

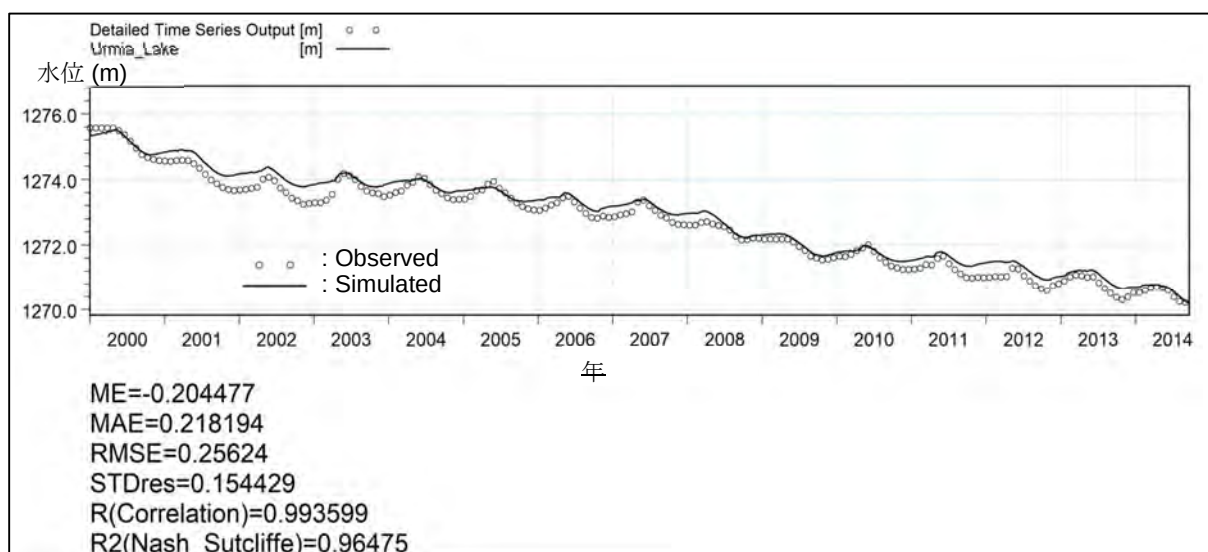


図 2.5.3 観測とシミュレーションの湖水位の比較

3 検証計算結果に基づくオルミエ湖の水収支（本文 5 章 5.11 節に対応）

3.1 各要素の年間総量（本文 5.11 に対応）

図 3.1.1 はオルミエ湖の水文年（9 月からの 1 年）毎の水収支バランス（水循環モデルによる計算値）を表している。この図から 2002 年、2006 年、2009 年では、水収支はほぼゼロに近づく（図 3.1.1 の黒線を参照）ことが判る。特に、2002 年～2003 年の湖水位の変化は僅か-0.05m と算定され、対象期間中で最も安定した状態となっている（図 3.1.1 および図 3.1.2 を参照）。2002 年の計算値に基づいて、水収支を表 3.1.1 に纏めたところ、全流入量と全流出量が非常に近似していることが判る。

また、表 3.1.1 に生態系保全に最低限必要な水位（1274.1m）を維持するために必要な河川流入量を 2 種類の降水量の条件を与えて逆算した。これにより湖の水位を 1274.1m に維持するには、年河川流入量が約 4,100～4,300 MCM 必要であることが判る。なお、2000 年から 2013 年の湖への年平均河川流入量は約 1,900 MCM という状況である。

表 3.1.1 水収支計算結果

計算ケース		湖水位 (m)	湖への流入量 (MCM)				湖からの流出 量 (MCM)
			降水	河川水	地下水	合計	
2002 年の検証計算結果		1273.9	1,583	4,055	14.1	5,652	5,674
バランスがとれるよう逆算した水収支	湖面への降水量が 318mm (2002 と同値)	1274.1	1,611	4,132	14.1	5,757	5,757
	湖面への降水量が =287mm (検証対象期間の平均値)	1274.1	1,454	4,289	14.1	5,757	5,757

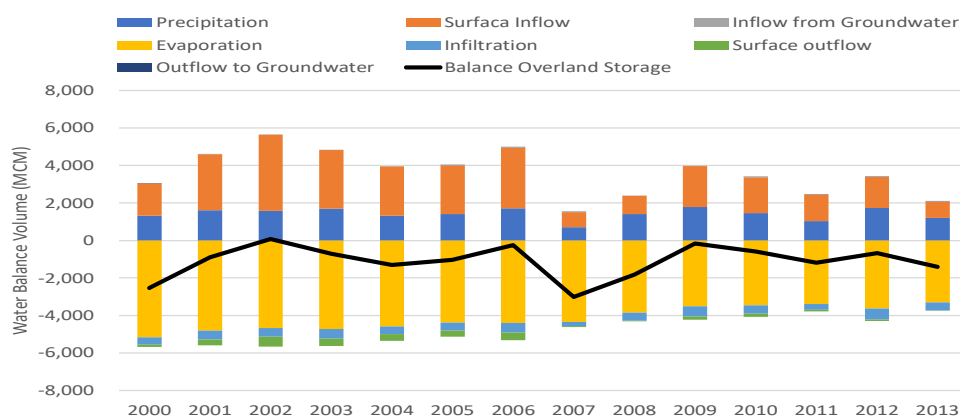


図 3.1.1 オルミエ湖の水収支（単位：MCM）

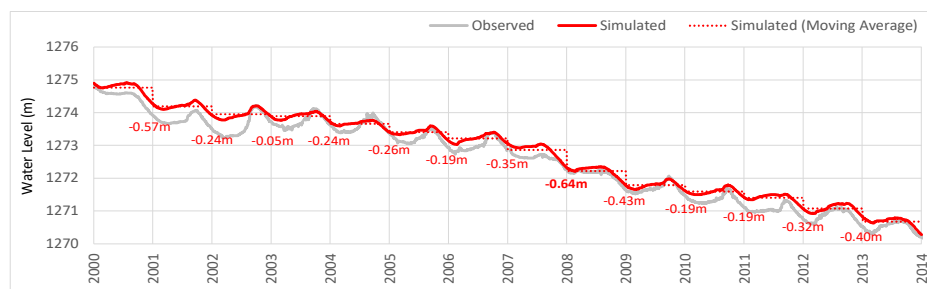


図 3.1.2 オルミエ湖の水位変化（単位：m）

4 湖回復対策シナリオ別数値解析（本文 6 章に対応）

4.1 シナリオシミュレーションの基本条件（本文 6.1 に対応）

表 4.1.1 にシナリオシミュレーションの条件を整理した。シナリオシミュレーションでは、Urmia Lake Restoration Program (ULRP) により提案された湖救済対策の有無による影響を確認するために、水循環モデルを用いて 14 年間の数値計算を実施した。その 14 年間の気象条件（入力データ）は、2000 年から 2014 年の観測値と同じものを設定した。各シナリオ（表 4.1.2 を参照）は、表 4.1.1 の説明にある 5 つの対策（ULRP によって提案された対策の（a）から（e）を参照）で構成されている。

表 4.1.1 シナリオシミュレーションの基本条件

	Item	Description																		
1	数値計算期間	14 年とする（外力となる気象データがある期間）。																		
2	気象条件	2000 年から 2014 年の気象データを入力した。																		
3	ULRP の救済対策	ULRP で提案された 5 つの救済対策案を下表に整理した。シナリオ（表 4.1.2 参照）はこれらの対策案を複数含むものとなる。 <table border="1"> <thead> <tr> <th></th><th>対策案</th><th>モデルへの適用方法</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>(a)</td><td>灌漑効率の向上</td><td>➤ 灌漑効率を段階的に向上させる（現状の 0.3 から 0.6、0.7、0.85 と変化させて対応する）。</td></tr> <tr> <td>(b)</td><td>河川の浚渫 （最下流観測所から湖迄）</td><td>➤ 洪水による河川からの溢水を減らし、より多くの洪水が湖に到達するように、現在の河川（延長 27km）を浚渫した河川横断データを入力する。なお、これにより河川末端部は 8.2km だけ湖の中心に近づく。</td></tr> <tr> <td>(c)</td><td>流域間導水</td><td>➤ 623MCM/年の流量を Class River (Zaab River Basin) から Gedar Chay に導水する。導水量の時間分布は融雪期（3 月から 6 月）に毎月等分して設定する。</td></tr> <tr> <td>(d)</td><td>廃水処理水の還元</td><td>➤ 2.4MCM/月の処理水を Urmia City から Rose Chay River の湖から 5.7km 地点上流に流入させる。 ➤ 64 MCM/年の処理水を Tabriz 市から Aji Chay River の Akhola 水文観測所上流に流入させる。</td></tr> <tr> <td>(e)</td><td>ダム操作の改善</td><td>➤ 25.12MCM/年を Derik Chay Dam から放流する。放流方法は現在の放流波形に相似させて設定する。</td></tr> </tbody> </table>		対策案	モデルへの適用方法	(a)	灌漑効率の向上	➤ 灌漑効率を段階的に向上させる（現状の 0.3 から 0.6、0.7、0.85 と変化させて対応する）。	(b)	河川の浚渫 （最下流観測所から湖迄）	➤ 洪水による河川からの溢水を減らし、より多くの洪水が湖に到達するように、現在の河川（延長 27km）を浚渫した河川横断データを入力する。なお、これにより河川末端部は 8.2km だけ湖の中心に近づく。	(c)	流域間導水	➤ 623MCM/年の流量を Class River (Zaab River Basin) から Gedar Chay に導水する。導水量の時間分布は融雪期（3 月から 6 月）に毎月等分して設定する。	(d)	廃水処理水の還元	➤ 2.4MCM/月の処理水を Urmia City から Rose Chay River の湖から 5.7km 地点上流に流入させる。 ➤ 64 MCM/年の処理水を Tabriz 市から Aji Chay River の Akhola 水文観測所上流に流入させる。	(e)	ダム操作の改善	➤ 25.12MCM/年を Derik Chay Dam から放流する。放流方法は現在の放流波形に相似させて設定する。
	対策案	モデルへの適用方法																		
(a)	灌漑効率の向上	➤ 灌漑効率を段階的に向上させる（現状の 0.3 から 0.6、0.7、0.85 と変化させて対応する）。																		
(b)	河川の浚渫 （最下流観測所から湖迄）	➤ 洪水による河川からの溢水を減らし、より多くの洪水が湖に到達するように、現在の河川（延長 27km）を浚渫した河川横断データを入力する。なお、これにより河川末端部は 8.2km だけ湖の中心に近づく。																		
(c)	流域間導水	➤ 623MCM/年の流量を Class River (Zaab River Basin) から Gedar Chay に導水する。導水量の時間分布は融雪期（3 月から 6 月）に毎月等分して設定する。																		
(d)	廃水処理水の還元	➤ 2.4MCM/月の処理水を Urmia City から Rose Chay River の湖から 5.7km 地点上流に流入させる。 ➤ 64 MCM/年の処理水を Tabriz 市から Aji Chay River の Akhola 水文観測所上流に流入させる。																		
(e)	ダム操作の改善	➤ 25.12MCM/年を Derik Chay Dam から放流する。放流方法は現在の放流波形に相似させて設定する。																		
4	シナリオ数	それぞれ複数の対策案を有する 8 つのシナリオとする（表 4.1.2 参照）。																		

表 4.1.2 に示すように、救済対策を評価するため、現在 ULRP が提案している対策を組み合わせる 8 つのシナリオを設定した。1 番から 4 番までのシナリオは灌漑効率の改善効果を確認するためのものであり、5 番目から 8 番目までのシナリオは、他の ULRP が提案する対策の効果灌漑効率の改善（シナリオ 1 から 4）に重ねて設定したものである。

表 4.1.2 シナリオシミュレーションの場合のコンポーネント

対策対象地域 対策 シナリオ	全流域	特定の河川流域			
	(a) 灌漑効率の 改善	(b) Gedar Chay の 浚渫	(c) Gedar Chay への 導水	(d) Aji Chay 及び Rose Chay への 還元水	(e) Aji Chay 川の ダム操作の改善
Case001	0.30	-	-	-	-
Case002	0.60	-	-	-	-
Case003	0.70	-	-	-	-
Case004	0.85	-	-	-	-
Case005	0.30	✓	✓	✓	✓
Case006	0.60	✓	✓	✓	✓
Case007	0.70	✓	✓	✓	✓
Case008	0.85	✓	✓	✓	✓

注) 表中のアルファベット表示 ((a)～(e)) は表 4.1.1 と対応

4.2 シナリオシミュレーションの結果（本文 6.2 に対応）

4.2.1 湖の回復に必要な年間流入水量

3 章で説明したように、湖水位 1274.1m（生態系保全に最低限必要な水位）を目標として回復させるためには、現在の降雨量（湖へ直接降る分）の状況では、4,200MCM/年を超える河川流入量が必要である。一方で、2000 年から 2013 年の河川流入量は、平均で約 1,900 MCM/年である。したがって、今後もこれまでと同様の

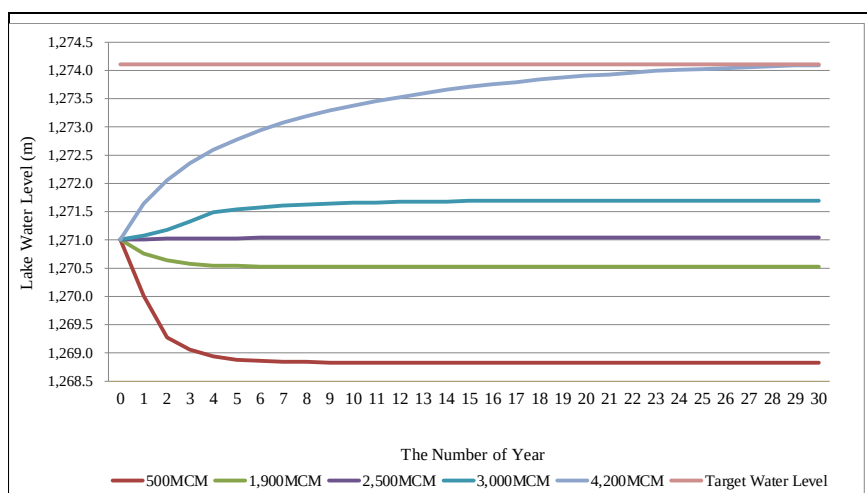


図 4.2.1 年間流入量毎の湖水位回復予想

の降雨条件が続くと仮定した場合、追加対策により年間 2,300MCM/年以上の河川流入量の増加を確保する必要がある。

図 4.2.1 は、現在降水条件下（年間 287mm の湖への直接降水量）での、500、1900、2,500、3,000、4,200MCM/年の河川流入量に対する湖水位の変化を示している。年間河川流入量が約 4,200MCM 未満で長期間継続すると、湖面積に応じた蒸発量と平衡を保つように、目標水位よりも低い水位で湖水位が安定する。近年の年間河川流入量（平均 1,900MCM）では、目標より約 4m 低い約 1,270.5m で安定してしまうこととなり、500MCM/年の場合は湖水位が湖底に近づく可能性がある。

4.2.2 生態系保全に最低限必要な水位(1274.1m)までの回復時間

水循環モデルの結果を活用した集中型水収支モデルによる解析によると、4,200MCM/年相当の河川流入量が救済対策により確保された場合（降水量はシミュレーション期間の平均値：287mm）、目標水位に達するまでには約 30 年かかる（図 4.2.2 参照）とされている。例えば、回復期間を約 10 年に短縮するには、さらに対策を講じ、年間河川

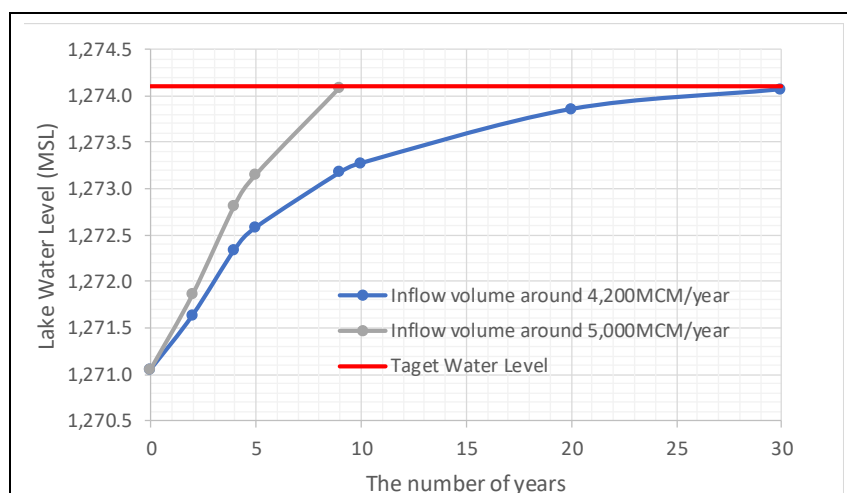


図 4.2.2 湖水位回復の時間スケール

流入量を約 5,000MCM にする必要がある。なお、これらは、現状の降水量が継続するという条件下での試算であるため、気候変動の影響などで降水量が減少した場合、さらにその分を河川流量で補

う必要がある。

4.2.3 各救済対策の効果

表 4.1.1 に記載された条件で 14 年間のシナリオシミュレーションを行い、その結果を表 4.2.1 の対策に整理した。目標水位を達成するには、4,200MCM/年相当の河川流入量が必要であるが、そのためには現状の平均河川流入量 1,867MCM/年に加えて、2,300MCM/年相当の増加分が必要となる。しかしながら、個々の対策による河川流入量の増分は、目標水位を達成するために必要な河川流入量の増加分（2,300MCM/年相当）と比較して非常に少なく計算期間 14 年の平均で 3～250MCM/年しかない。したがって複数の対策による救済が必要となる。

表 4.2.1 個別の救済対策の効果

Unit:MCM

対策なし	灌漑効率の改善以外の対策					灌漑効率の改善		
	河川改修	流域間導水	廃水処理による還元水 (Rose Chay)	廃水処理による還元水 (Aji Chay)	ダム操作の改善			
現状:0.3	現状:0.3	現状:0.3	現状:0.3	現状:0.3	現状:0.3	0.6	0.7	0.85
1,634	1,761	1,883	1,637	1,652	1,642	1,781	1,814	1,875
2,575	2,732	2,776	2,578	2,593	2,585	2,700	2,739	2,798
3,248	3,454	3,393	3,251	3,266	3,263	3,402	3,435	3,491
2,716	2,880	2,906	2,719	2,733	2,726	2,860	2,904	2,962
2,285	2,409	2,543	2,288	2,296	2,292	2,379	2,414	2,466
2,364	2,527	2,558	2,367	2,378	2,373	2,475	2,503	2,544
2,794	2,936	3,022	2,796	2,812	2,802	2,943	2,974	3,018
648	697	988	651	655	655	671	678	690
938	989	1,271	940	942	943	1,056	1,097	1,156
2,023	2,148	2,274	2,026	2,042	2,034	2,146	2,182	2,239
1,644	1,763	1,903	1,647	1,654	1,652	1,733	1,761	1,805
1,265	1,356	1,564	1,268	1,276	1,269	1,378	1,406	1,446
1,307	1,393	1,616	1,310	1,316	1,313	1,455	1,487	1,535
701	759	1,044	703	705	704	810	841	881
1,867	1,986	2,124	1,870	1,880	1,875	1,985	2,017	2,065
0	119	257	3	13	8	117	149	197
-	398					-	-	-

4.2.4 救済対策シナリオの有効性

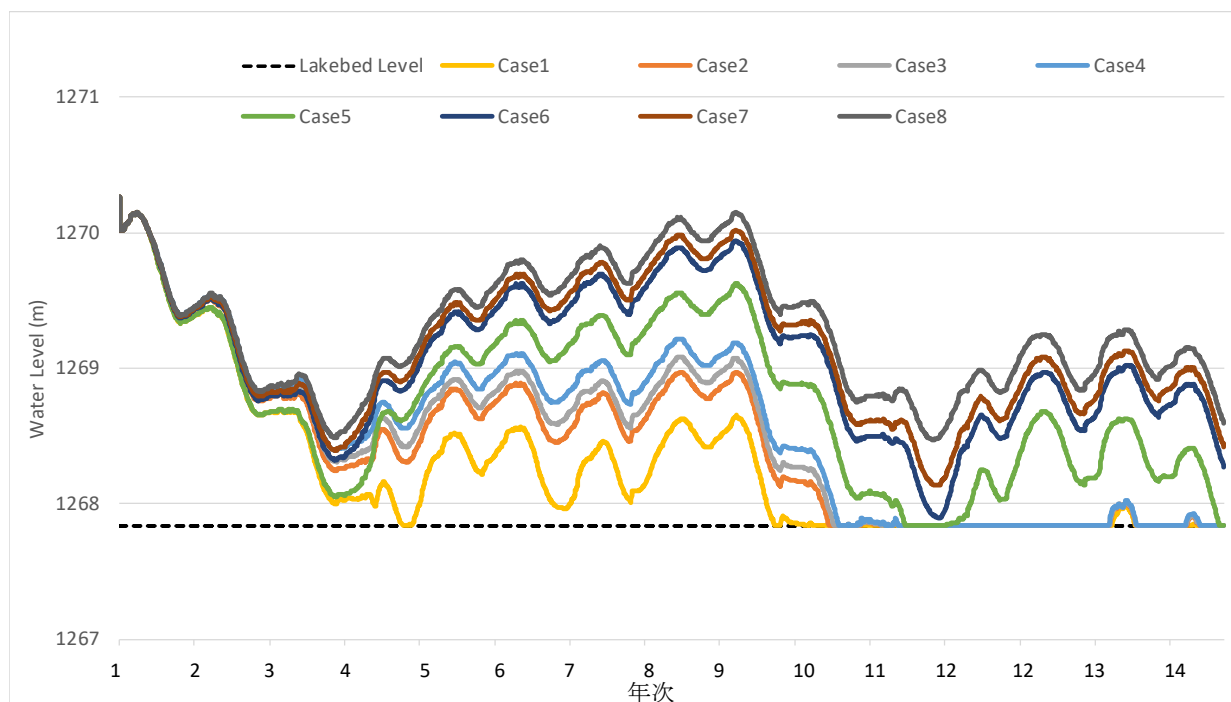
表 4.2.2 にシナリオシミュレーションの結果を整理した。これによると、個々の救済対策を組み合わせたシナリオにより、年平均河川流入量は、近年の 1,867MCM（Case 001：現状）から最大で 2,462MCM（ケース 008：灌漑効率 0.85 とその他の全対策を含む）まで増加することが判る。

しかしながら、全てのシナリオで、目標水位（1274.1m）達成に必要な河川流入量（4,200MCM/年相当）を確保できず、現在 ULRP が本業務で提示した全ての救済対策を講じたとしても、数年で湖底の水位が 1,270m（シミュレーションの初期状態）より低くなる（図 4.2.3 を参照）。また、平均水位については、現状の降水量（つまり、入力条件である 2000～2014 年の降水量）と水利用量が将来も継続すると仮定した場合、4.2.1 節で分析したように、湖水位は徐々に低下し、目標水位より低いレベルで落ち着いてしまうと考えられる。

表 4.2.2 シナリオ別の湖への年間河川流入量

Unit:MCM

Case Name	Case001	Case002	Case003	Case004	Case005	Case006	Case007	Case008
灌漑効率	現状:0.3	0.6	0.7	0.85	現状:0.3	0.6	0.7	0.85
対策概要	灌漑効率の改善のみ				上記灌漑効率の改善とその他全ての対策を含む			
1	1,634	1,781	1,814	1,875	2,039	2,181	2,219	2,279
2	2,575	2,700	2,739	2,798	2,962	3,085	3,125	3,184
3	3,248	3,402	3,435	3,491	3,636	3,775	3,810	3,864
4	2,716	2,860	2,904	2,962	3,101	3,242	3,286	3,344
5	2,285	2,379	2,414	2,466	2,689	2,782	2,815	2,867
6	2,364	2,475	2,503	2,544	2,745	2,854	2,881	2,921
7	2,794	2,943	2,974	3,018	3,194	3,344	3,365	3,408
8	648	671	678	690	1,053	1,076	1,086	1,101
9	938	1,056	1,097	1,156	1,333	1,460	1,504	1,568
10	2,023	2,146	2,182	2,239	2,432	2,549	2,580	2,637
11	1,644	1,733	1,761	1,805	2,044	2,126	2,154	2,199
12	1,265	1,378	1,406	1,446	1,672	1,783	1,810	1,848
13	1,307	1,455	1,487	1,535	1,717	1,891	1,900	1,944
14	701	810	841	881	1,113	1,223	1,254	1,294
平均	1,867	1,985	2,017	2,065	2,267	2,382	2,414	2,462



注) 破線は湖底を示す。気象条件は 2000～2014 年と同じである。

図 4.2.3 シナリオ別の湖水位の推移

5 結論（本文 7 章 7.1 節に対応）

5.1 水循環モデル改善のポイント

本業務では、前回調査で構築した水循環モデルを、新たな情報を活用することによって大幅に改善することができた。また、このモデルを用いて、ULRP が提示した救済対策案を組み合わせた救済対策シナリオに従って数値計算を実施した。具体的には、以下の(1)および(2)項に示す事項に焦点を当ててモデルの改良を行うことにより、モデルの計算精度が向上した。

(1) 灌漑用水量の推定

流域内の全ての取水地点・灌漑エリアおよび取水量を時系列的に把握することは非常に困難であったため、灌漑用水量（流域の全水利用量の 80% を占める）は、衛星画像を用いて METRIC 手法により推定された灌漑エリアでの日レベル（時系列データ）の実蒸発散量（ET）と ULRP が提供した現状の灌漑効率から逆算した。衛星ベースの蒸発散量推定の採用は、調査の主要な部分であり、METRIC 手法により作成された ET 分布（マップ）の精度は、シャリフ大学の Remote Sensing Research Center（RSRC）および学会（ELSEVIER の Agricultural Water Management Journal）にて、灌漑農業地域では、適切な値を算出できていると評価された（FAO 標準値との平均誤差が 0.16-0.36mm、平均絶対誤差が 0.52 から 0.72mm 等、本文 3.3.4（1）の図 3.3.13 参照）。

(2) すべての一次水収支要素の目標指標の設定

今回の水循環モデルの検証対象となる基本的な水文気象指標は、（a）水文観測所の各河川の流量および総流出量、（b）灌漑地域の監視井戸における地下水位の挙動と傾向、（c）灌漑地域の蒸発散量である。これら 3 つの指標は水収支上の IN と OUT を支配する主要な現象である（統合モデルでは湖水位も指標としている）。本業務ではこれら 3 つの指標に対して、観測値と計算値の比較を行ったところ、両者の間に高い整合性を確認することができたため、モデルの精度は高いと評価できる。ちなみに、湖水位のみが検証の指標となっていた前回モデルと比べると、本業務で構築したモデルは、水分分布（例えば各河川流域、地表・地下水等水源、水消費地域）がより現実と近くなっているため、流域の対策を評価するという点において、モデルの活用性は非常に向上したと言える。

5.2 対策の効果

目標水位まで湖水位を回復させるためには、現在の湖床高、降水量、水利用量が継続するという条件下で、42000MCM/年相当の年間河川流入水量が必要である。しかしながら、現状の湖への河川流入量は、約 1,900MCM/年（過去の救済対策の効果を含めている）であることから、今後の救済対策により 2,300MCM/年相当の増加流入が必要である。しかし、ULRP が提示した救済対策による河川流入量の総増加量は、わずか約 600MCM/年である。したがって、目標水位 1274.1 m（生態系保全に最低限必要な水位）を達成するためには、河川流入量をさらに増加できるような対策を検討、計画および実施する必要がある。

5.3 今後の湖救済の方向性について

イラン側関係者との協議を踏まえ、湖水位回復に向けた今後の方針については、以下のように整理される。

- 湖に直接入る平均降水量を設定した上で（気候変動インパクト含む）、長期的（30 年レベル）に目標湖水位 1274.1m に達成するために、湖への河川流入量が 4,200MCM/年相当に達する対策シナリオを構築および実施する。
- 湖水位の回復を短期的に達成するために、4,200MCM/年相当の河川流入量を確保する。ちなみに 5,000MCM/年相当で 10 年かかる可能性がある。
- 湖床高が低いオルミエ湖北部に限って貯水し、近年の平均河川流入量（約 1,900MCM/年相当）により、湖水位を部分的に数年で目標水位に到達させる。

5.4 実際の蒸発散量（ET）の把握とその効能

オルミエ湖流域では、農業従事者が、登録や許可無しで簡単に水にアクセスできることから、地表水および地下水からの灌漑用水の使用（取水）の時系列データを収集することは現実的ではない（また、取水量の日レベルの取水データは十分に観測・整理されていない）。本業務で算定した ET（蒸発散量）は、衛星画像データをベースとしているため、未登録・未許可分を含むすべての水利利用を、位置、量および時間分布的に把握することができる。そのため、実地計測データよりもより現実的な水利利用形態へ近似できる可能性が高い。そのため、本業務で作成した ET の時系列・時間的分布（ET マップ）は、水循環モデルの入力データとして採用された

ET マップが入力データとなったため、河川からの灌漑取水量は、ET から許可地下水取水量を差し引いた上で、灌漑効率で除して設定して、取水と消費のバランスをとっている。そのため、地表・地下水源からの総取水量が、所定の ET の発生を満たさない場合、水収支計算に矛盾が生じる。その矛盾が農家による未登録の取水であったと仮定し、モデルは帯水層からさらなる水分を抽出し、ET マップによって要求される蒸発散を産出する。このアプローチにより、水循環モデルは、灌漑取水のための質の高いデータを使用せず、灌漑用水の水循環への影響を表現できたと言える。

6 提言（本文 7 章 7.2 節に対応）

6.1 オルミエ湖救済事業実施への取り組み

ULRP による湖救済活動を、25 の対策（2014 年に ULRP が 25 プロジェクトを提案し、オルミエ湖修復委員会が承認された）に従って効果的に実施するためには、実施前に自然、社会、経済セクターへの影響を評価する必要がある。そのため、ULRP はこれまで意思決定支援システム（DSS）の確立に挑戦してきた。その DSS と並行し、救済に関するいくつかの事業と様々な研究が、イラン国および関係国の政府、民間企業および学術機関によって実施されている。この豊富な情報を有効活用するために、今後 ULRP は、オルミエ湖流域のいくつかの対象地域において、既存の救済対策の影響を証明、評価するパイロット事業および活動を実施すべきである。また、パイロット事業を効果的に実施するために、JICA による今回の一連の調査や研究論文等を含む過去の調査・事業の結果を活用して、パイロット事業を事前に計画・設計する必要がある。本業務で確立された水循環モデルも、パイロット事業の費用対効果を確認することに役立つであろう。

6.2 救済方針の再設定

救済事業のコスト（維持管理コスト含む）、自然および社会環境への影響、全ての水セクターへの影響等に注意を払う等、対策の実現可能性を検討する一方で、オルミエ湖の救済事業によって「回復に掛ける期間」と「目標とすべき湖水位」等の指標も再検討すべきである。イラン国の研究者が既に提案しているように、水面の回復領域を制限することも、回復速度を早めるためのアイデアの 1 つである。大きく分けると、今後の方針は、（1）完全救済のための複数事業を立案・設計し、長期的視点で段階的に事業を実施する、（2）湖周辺の新しい土地利用計画立案とともに、湖水位および水面回復の目標を短期的に実現できるレベルで立案・実施する、等が考えられる。

6.3 意思決定支援システムと MIKE-SHE の保守への組み込み

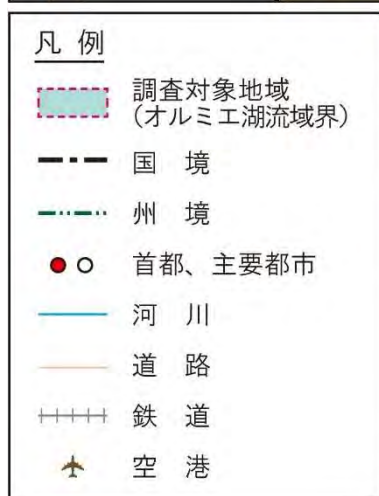
本業務で構築した水循環モデルは、水循環シミュレーションモジュールとして DSS に搭載すべきである。ULRP には、気候変動と社会経済状況を分析するためのモジュールを DSS に組み込み、各モジュール間のデータと結果をリンクして、救済対策の影響と各種要素（水循環、気候および社会経済）間の関連性を分析するというビジョンが有るが、それを達成するためには、本業務で構築したレベルの精度を有する水循環モデルが必要である。

6.4 パイロットプロジェクトにおける本水循環モデルの適用

本業務で構築した水循環モデルは、オルミエ湖の全流域をカバーしている。そのため、流域のスケールを考慮しながら、計算時間と結果の精度のバランスを適切に調整するため 2km のメッシュサイズを採用した。6.1 で説明したパイロット事業において、より小さな特定の領域（たとえば、Miandoub 灌漑領域）に焦点を当ててシミュレーションを実行する場合、灌漑領域のサイズ/形状と、水の動きを正確に表現できるよう、メッシュサイズは 2km よりも小さく設定する必要がある。このような場合、50m～200m のメッシュでモデリングし、感度分析結果を考慮した慎重な検証計算を実施する必要がある。

6.5 未許可取水の規制

水循環モデルでは、Iran Water Resources Management Company (IWRM Co.)によって正式に取水許可を得られた分の取水量を、河川水および地下水から灌漑エリアに引水する。さらに、その取水量に応じた灌漑エリアでの蒸発散量が実蒸発散量（RSRC によって算出された蒸発散量）と整合しない場合、水循環モデル内の河川水および地下水からさらに水を抽出する。このような仕組みでシミュレーションを行ったところ、近年南部の Miandoub 平原と西部のオルミエ平原では取水許可量の約 6 倍、東部では 2 倍に相当する地下水が消費されることとなった。これらの倍率は、ULRP および関連組織によって開催された技術委員会会議で関係者が述べた倍率と同等であった。このような規模の無許可の水利用は、湖への河川流量の制御と地下水の持続的利用を困難とするため、無許可の水利用を早急に把握し、削減していくべきである。



調査対象地域位置図

イラン国オルミエ湖流域水循環モデル改善に係る情報収集・確認調査
ファイナルレポート

目 次

要約

調査対象地域位置図

目次

略語表

ページ

第1章 業務概要.....	1-1
1.1 業務の背景.....	1-1
1.2 業務の目的.....	1-1
1.3 業務実施期間.....	1-3
1.4 要員構成.....	1-4
1.5 業務実施体制.....	1-4
第2章 現地調査.....	2-1
2.1 水循環モデルのための現地調査概要.....	2-1
2.2 南部流域における現地調査.....	2-2
2.2.1 Zarine 川流域.....	2-2
2.2.2 Simine Rud 川流域.....	2-11
2.2.3 Mahabad River Basin.....	2-12
2.2.4 Gadar Chay 川流域.....	2-14
2.2.5 関係機関との協議.....	2-16
2.2.6 その他情報.....	2-17
2.3 西部流域における現地調査.....	2-18
2.3.1 Zola Chay 川流域.....	2-19
2.3.2 Nazlo Chay 川流域.....	2-23
2.3.3 Rose Chay 川流域.....	2-25
2.3.4 Sahr Chay 川流域.....	2-26
2.3.5 Baradoz Chay 川流域.....	2-29
2.4 東部流域における現地調査.....	2-34
2.4.1 Aji Chay 川沿いの主要な河川構造物.....	2-35
2.4.2 Aji Chay 川流域の流量観測所訪問.....	2-38
2.5 現地調査を踏まえた水循環モデル構築への方向性.....	2-41
第3章 データ品質チェック.....	3-1
3.1 収集データの概要.....	3-1
3.2 収集データの適用性チェック.....	3-2

3.2.1	取水地点と取水量	3-3
3.2.3	ダム運用	3-11
3.2.4	オルミエ湖の地形データ	3-24
3.2.5	追加の水文データ	3-24
3.2.6	南部流域キャリブレーション地点における流量データチェック	3-29
3.2.7	西部流域キャリブレーション地点における流量データチェック	3-34
3.2.8	東部流域キャリブレーション地点における流量データチェック	3-41
3.2.9	地下構造	3-47
3.2.10	蒸発量	3-47
3.2.11	その他の情報（灌漑効率）	3-48
3.3	蒸発散量データ取得に向けた METRIC の適用	3-50
3.3.1	METRIC の導入（ET 蒸発散量算定法）	3-50
3.3.2	衛星ベースの蒸発散量データの精度評価	3-56
3.3.3	推定 ET（蒸発散量データ）の精度評価の戦略	3-59
3.3.4	蒸発散量データの精度評価の結果	3-61
3.3.5	制限	3-65
3.3.6	ET マップの利用	3-68
第 4 章	水循環モデル構築における基礎情報の整理	4-1
4.1	オルミエ湖概要	4-1
4.1.1	オルミエ湖流域概要	4-1
4.1.2	オルミエ湖の水位、面積、貯留量変動	4-2
4.2	オルミエ湖流域の一般的な気候条件	4-3
4.2.1	降水量、気温、蒸発量の平均と変動傾向	4-3
4.2.2	降水量の空間特性と年間降水量と標高の関係	4-4
4.2.3	流域平均降水量	4-5
4.3	河川	4-14
4.3.1	河川網	4-14
4.3.2	河川流量	4-16
4.4	深浅測量	4-19
4.5	土地利用	4-22
4.6	地質学と水文地質学	4-24
4.6.1	地質構造	4-24
4.6.2	地質モデリング	4-27
4.6.3	地下水位	4-31
4.7	水利用施設	4-32
4.7.1	ダムと堰	4-32
4.7.2	井戸	4-36
4.7.3	その他の取水関連施設	4-38

第5章 水循環モデルの構築	5-1
5.1 MIKE-SHE による水循環モデルの確立	5-1
5.1.1 MIKE-SHE の概要	5-1
5.1.2 意思決定支援システムに関する協力	5-2
5.1.3 DSS への水循環モデルの活用	5-3
5.2 MIKE-SHE の基本機能	5-4
5.3 MIKE-SHE の支配方程式	5-5
5.4 モデル設定と入力データ処理	5-12
5.4.1 モデル入力仕様	5-13
5.5 感度分析	5-48
5.5.1 概要	5-48
5.5.2 土地利用データの変更（流出率）	5-49
5.5.3 融雪（融雪気温の閾値）	5-52
5.5.4 浸透（不飽和層厚）	5-55
5.5.5 浸透（土壌タイプ）	5-56
5.5.6 基底流出量（透水係数）	5-59
5.5.7 評価指標とまとめ	5-63
5.6 モデルキャリブレーションの準備	5-64
5.6.1 モデルキャリブレーションポイント	5-64
5.6.2 キャリブレーション結果	5-69
5.6.3 最下流地点における総流出量の評価	5-73
5.6.4 Nash-Sutcliffe 係数によるキャリブレーション結果の評価	5-73
5.6.5 灌漑エリアにおける蒸発散量の計算結果	5-76
5.6.6 地下水位のキャリブレーション結果の評価	5-78
5.7 オルミエ湖流入量による予備的評価	5-83
5.8 地下水取水状況の評価	5-85
5.9 オルミエ湖水位のキャリブレーション結果	5-87
5.10 キャリブレーション結果のまとめ	5-88
5.11 オルミエ湖の水収支	5-89
5.12 水循環モデル精度の向上に関する考察	5-95
第6章 シナリオシミュレーション	6-1
6.1 水循環モデルを用いたシナリオシミュレーション	6-1
6.1.1 シナリオシミュレーションの基本条件	6-1
6.1.2 対策案の詳細	6-2
6.1.3 シナリオシミュレーションにおける対策設定箇所のまとめ	6-9
6.1.4 シナリオシミュレーションにおける対策の組み合わせ	6-10
6.2 シナリオシミュレーション結果	6-11
6.2.1 オルミエ湖救済に必要な年間流入量について	6-11

6.2.2	各対策の効果	6-13
6.2.3	対策の組み合わせによる効果	6-14
第7章 結論と提言		7-1
7.1	結論	7-1
7.1.1	改良水循環モデルの構築	7-1
7.1.2	本調査で得られた効果	7-2
7.1.3	将来展望	7-2
7.1.4	実蒸発散量の把握	7-2
7.2	提言	7-3
7.2.1	オルミエ湖救済に向けて	7-3
7.2.2	救済プログラムの方向性の検討	7-4
7.2.3	意思決定支援システムへのモデルの組み込みとモデルの保守点検	7-4
7.2.4	パイロットプロジェクトにおける本水循環モデルの適用	7-5
7.2.5	未許可取水の規制	7-5

表 目 次

表 1.4.1	JICA 調査チームの構成員	1-4
表 1.5.1	カウンターパート機関および関連機関	1-5
表 2.1.1	対象河川流域	2-1
表 2.2.1	Bukan ダムの詳細情報	2-3
表 2.4.1	Aji Chay 川流域における小規模ダム諸元	2-36
表 3.1.1	ULRP から提供されたデータおよび情報	3-1
表 3.2.1	収集データのチェックポイント	3-2
表 3.2.2	小流域別取水地点数 (井戸) (1/4)	3-7
表 3.2.3	流域別ダム数および総貯水容量	3-12
表 3.2.4	日ベースの運用実績データが収集できたダム	3-13
表 3.2.5	将来的なダム運用ルール (Hasanlu Dam) (1/5)	3-14
表 3.2.6	オルミエ湖流域の雨量観測所の概要	3-25
表 3.2.7	キャリブレーション地点における流量データのチェック結果概要 (南部流域) ..	3-30
表 3.2.8	キャリブレーション地点における流量データのチェック結果概要 (西部流域) ..	3-35
表 3.2.9	キャリブレーション地点における流量データのチェック結果概要 (東部流域) ..	3-42
表 3.2.10	各灌漑ゾーンごとの灌漑効率	3-48
表 3.3.1	RSRC によって推定された ET マップの主な使用(2017 年 11 月時点)	3-52
表 3.3.2	衛星画像から得られるエネルギー収支および水収支の ET 推定精度の特徴	3-61
表 4.1.1	オルミエ湖の概要	4-2
表 4.2.1	平均雨量、気温、蒸発量	4-4
表 4.3.1	河川網の内訳	4-14

表 4.3.2	流域諸元.....	4-15
表 4.4.1	深浅測量結果表（2014 年および 2016 年）.....	4-21
表 4.5.1	RSRC 提供の土地利用割合（1998 年から 2015 年）.....	4-23
表 4.5.2	土地利用割合の 2009 年と 2015 年の比較.....	4-23
表 4.7.1	南部流域における水利用計画.....	4-34
表 4.7.2	許可取水量の使用目的別の割合（流域別）.....	4-36
表 4.7.3	ULRP から提供されたその他の取水関連施設の情報.....	4-38
表 5.1.1	水循環モデルの主な入力条件.....	5-4
表 5.1.2	MIKE-SHE の入出力フォーマット.....	5-4
表 5.4.1	モデル条件の概要(MIKE-SHE).....	5-12
表 5.4.2	小流域諸元.....	5-16
表 5.4.3	Geological Parameters.....	5-33
表 5.4.4	適用した土地利用別粗度係数.....	5-34
表 5.4.5	モデル化対象河道一覧.....	5-36
表 5.4.6	河道断面の設定方針.....	5-37
表 5.4.7	モデル化対象ダムの一覧表.....	5-37
表 5.4.8	地下水頭データの位置.....	5-38
表 5.4.9	灌漑エリアと灌漑効率（IE）の設定値.....	5-44
表 5.4.10	モデルに考慮された生活用水の取水量と対象河川.....	5-45
表 5.4.11	農業取水量の月間割合.....	5-45
表 5.5.1	感度分析に用いたパラメータ.....	5-48
表 5.5.2	感度分析で用いた土地利用毎のマニング粗度係数.....	5-50
表 5.5.3	流出ボリュームによる感度分析結果（土地利用）.....	5-52
表 5.5.4	流出ボリュームによる感度分析結果（融雪）.....	5-54
表 5.5.5	流出ボリュームによる感度分析結果（融雪）.....	5-56
表 5.5.6	流出ボリュームによる感度分析結果（土壌タイプ）.....	5-58
表 5.5.7	流出ボリュームによる感度分析結果（水平透水係数）.....	5-61
表 5.5.8	パラメータの違いによる流出ボリュームの分散割合.....	5-63
表 5.5.9	感度分析結果のまとめ.....	5-64
表 5.6.1	キャリブレーションの対象とした水位流量観測所一覧.....	5-68
表 5.6.2	モデルキャリブレーションポイントから除外した地点のリスト.....	5-74
表 5.6.3	NSE が小さめに算出された地点のリスト.....	5-74
表 5.6.4	灌漑地区内における地下水頭確認地点諸元.....	5-79
表 5.6.5	地下水理パラメータ(1) (南部流域).....	5-80
表 5.6.6	年平均地下水位の比較.....	5-82
表 5.7.1	オルミエ湖への年流入量の変遷（各主要河川流末地点）.....	5-84
表 5.11.1	パラメータに対するモデル感度の概要.....	5-90
表 5.11.2	水収支の各構成要素の年間総量 (単位: MCM).....	5-91
表 5.11.3	水収支の各要素の年間総量（単位: MCM）.....	5-93

表 5.12.1	Nash-Sutcliffe 係数を用いた前回調査との比較	5-95
表 6.1.1	シナリオシミュレーションの基本条件.....	6-1
表 6.1.2	Irrigation Efficiencies with Improvement of Irrigation Method	6-2
表 6.1.3	Cost of Improvement of Irrigation Efficiency for All Irrigation Areas	6-3
表 6.1.4	流域間導水の流入量の想定値（モデル設定値）	6-5
表 6.1.5	タブリズ市からの処理水の流入量の設定値.....	6-6
表 6.1.6	年間放流量とシナリオシミュレーションにおける設定値.....	6-8
表 6.1.7	月別放流量の設定値	6-8
表 6.1.8	シナリオシミュレーションにおける対策設定河川.....	6-9
表 6.1.9	シナリオシミュレーションの組み合わせ.....	6-10
表 6.2.1	個別の対策の効果	6-13
表 6.2.2	対策の組み合わせ別の年間流入量の比較.....	6-14
表 6.2.3	年平均流入量の比較（まとめ）	6-15

図 目 次

図 1.5.1	本調査の組織フレームワーク	1-5
図 2.1.1	小流域分割図	2-1
図 2.2.1	主な現地調査箇所（南部流域）	2-2
図 2.2.2	Bukan ダム.....	2-3
図 2.2.3	Cheraghveys ダム	2-5
図 2.2.4	Saruq ダム	2-5
図 2.2.5	Bukan ダム上流における灌漑エリアの状況	2-6
図 2.2.6	Hydrological Stations Located Upstream of Bukan Dam.....	2-6
図 2.2.7	Sardar 水路.....	2-7
図 2.2.8	Aghchelu 水路 (図 2.2.1 の No.8).....	2-7
図 2.2.9	Noruzlu 分水堰	2-9
図 2.2.10	Illegal Intake Pumps	2-9
図 2.2.11	Zarine Rud 川下流の流量観測所	2-10
図 2.2.12	Zarine Rud 川と Simine Rud 川の接続水路	2-10
図 2.2.13	Simine Rud ダム	2-11
図 2.2.14	Simine Rud 流量観測所	2-11
図 2.2.15	Mahabad ダム.....	2-12
図 2.2.16	Yusef Kandi 分水堰	2-13
図 2.2.17	Mahabad Irrigation Network.....	2-13
図 2.2.18	Gadar Chay 本川および砂防ダム	2-14
図 2.2.19	Chapar Abad ダムおよび Transboundary 水路	2-14
図 2.2.20	Gadar Chay における流量観測所.....	2-15
図 2.2.21	Hasanlu ダム	2-15
図 2.2.22	Tabriz 大学における協議風景	2-16

図 2.2.23	Urmia 大学における協議風景	2-16
図 2.2.24	気象観測所 (IRIMO Tabriz)	2-17
図 2.3.1	現地調査の主要地点 (西部流域)	2-18
図 2.3.2	主要流量観測所および河川構造物 (西部流域)	2-18
図 2.3.3	Zola ダム (No. 1 in 図 2.3.1)	2-19
図 2.3.4	Derik ダム (No. 2 in 図 2.3.1)	2-20
図 2.3.5	Zola Diversion ダム (No. 3 in 図 2.3.1)	2-21
図 2.3.6	主要流量観測所 (Zola Chay 川) (No. 4, No. 5 and No. 6 in 図 2.3.1)	2-22
図 2.3.7	Keshtgar Diversion ダム (No. 7 in 図 2.3.1)	2-23
図 2.3.8	Chonqeralu Diversion ダム (No. 8 in 図 2.3.1)	2-24
図 2.3.9	流用観測所 (Nazlo Chay 川) (No. 9, No. 10 and No. 11 in 図 2.3.1)	2-25
図 2.3.10	流量観測所および湧水地点 (Rose Chay 川) (No. 12, No. 13 and No. 14 in 図 2.3.1) 2-26	
図 2.3.11	Sahr Chy ダム (No. 15 in 図 2.3.1)	2-27
図 2.3.12	Emam Zadeh 分水堰 (No. 25 in 図 2.3.1)	2-27
図 2.3.13	流量観測所 (Safr Chay 川) (No. 16, No. 17 and No. 18 in 図 2.3.1)	2-28
図 2.3.14	Baradoz Chay 川における灌漑システムの概要図	2-29
図 2.3.15	分水堰 (Baradoz Chay 川) (No. 19, No. 20 and No. 21 in 図 2.3.1)	2-30
図 2.3.16	流量観測所 (Baradoz Chay 川)	2-32
図 2.3.17	Document Explanation	2-33
図 2.3.18	ULRP Website 図 2.3.19 ワークショップ会場	2-33
図 2.4.1	現地調査地点 (東部流域)	2-34
図 2.4.2	小規模ダムの位置図 (Aji Chay 川流域)	2-34
図 2.4.3	主要流量観測所および河川構造物 (東部流域)	2-35
図 2.4.4	Shahid Madani ダム (No. 1 in 図 2.4.1)	2-35
図 2.4.5	現地調査を行った小規模ダム	2-37
図 2.4.6	流量観測所 (Aji Chay 川上流域)	2-38
図 2.4.7	流量観測所 (Aji Chay 川中流域)	2-39
図 2.4.8	流量観測所 (Aji Chay 川下流域)	2-40
図 3.2.1	取水地点位置図 (井戸) (1/6)	3-3
図 3.2.2	ダムの位置図	3-11
図 3.2.3	ダム操作実績と将来運用ルールを重ね合わせ図 (Hasanlu Dam) (1/5)	3-19
図 3.2.4	流量観測所 (Akhola、Aji Chay 川下流)	3-24
図 3.2.5	雨量観測所位置図	3-26
図 3.2.6	流量観測所位置図	3-27
図 3.2.7	IMO の分布型雨量データの例	3-28
図 3.2.8	地上観測雨量を用いた流域平均雨量と分布型降雨データとの比較	3-28
図 3.2.9	流量データのチェック結果例 (Nezam Abad 流量観測所) (1/3)	3-31
図 3.2.10	ダム観測流入量データと支川流量データの比較	3-34

図 3.2.11	流量データのチェック結果例 (Chehrigh olia 流量観測所) (1/3).....	3-36
図 3.2.12	Yalghuz Aghaj 流量観測所 (Zola Chay 川).....	3-39
図 3.2.13	ハイドログラフ (Yalghuz Aghaji 流量観測所および Chehrigh Olia 観測所) (上 段:2008 年、下段:2009 年).....	3-40
図 3.2.14	Band Urmia 流量観測所の位置と河川状況 (Shahr Chay 川).....	3-40
図 3.2.15	Shahr Chay ダム放流量 and Band Urmia 流量観測所における河川流量の比較.....	3-41
図 3.2.16	流量データのチェック結果例 (Anakhatun 流量観測所) (1/3).....	3-43
図 3.2.17	Akhola 流量観測所.....	3-46
図 3.2.18	パン所発領と雨量データの経年変化図.....	3-47
図 3.2.19	灌漑効率計算の領域分割図	3-49
図 3.2.20	農業用水削減対策検討の対象地域.....	3-49
図 3.3.1	METRIC による蒸発散量推定における一般的な計算プロセス.....	3-50
図 3.3.2	オルミエ気象観測所	3-53
図 3.3.3	ET マップの解像度 (1km Grid Size).....	3-55
図 3.3.4	RSRC が推定した月間 ET マップ (左上 : 2016 年 1 月、右下 2016 年 12 月)	3-56
図 3.3.5	オルミエ観測所位置図	3-57
図 3.3.6	オルミエ観測所における降雨量(左 : 年間雨量 (2007~2016 年) 、右 : 月平均雨量 (2007~2016 年)	3-57
図 3.3.7	Silvana 農業事務所の観測値とオルミエ観測所の降雨量の比較.....	3-58
図 3.3.8	Landsat によるフォールスカラー画像 (2016 年 6 月 23 日オルミエ市西部)	3-58
図 3.3.9	Global TRMM を使用した平均年間雨量 (2001~2007 年)	3-59
図 3.3.10	IRIMO オルミエ観測所を用いて算出した基準蒸発散量.....	3-59
図 3.3.11	調査チームが提案した ET 推定の精度目標.....	3-60
図 3.3.12	ベンチマーク ET マップによる月蒸発散量および年間蒸発散量.....	3-62
図 3.3.13	FAO-56 および METRIC による推定 ET の比較.....	3-63
図 3.3.14	リンゴ、ブドウ、裸地の参考値を使用した推定月間 ET.....	3-63
図 3.3.15	リンゴ、ブドウ、裸地の参考値を使用した推定月間 ET.....	3-63
図 3.3.16	RSRC-ET とベンチマーク ET の比較 (左図) および水面領域を除く画像領域全体 の年間平均 ET の差 (右図)	3-64
図 3.3.17	土地利用別の比較	3-64
図 3.3.18	月間 ET の比較図.....	3-65
図 3.3.19	西部流域山岳地帯の RSRC-ET.....	3-66
図 3.3.20	地表面蒸発量における計算上と実距離 (面積) の違い.....	3-67
図 3.3.21	ULRP 主催の蒸発散量ワークショップ.....	3-68
図 4.1.1	オルミエ湖位置図	4-1
図 4.1.2	湖面水位、湖面積、貯水量の経年変化.....	4-2
図 4.1.3	年間最大、最小、平均水位の経年変化.....	4-3
図 4.2.1	月平均雨量および気温ならびにパン蒸発量の変化図 (左 : Urmia、右 : Tabriz).....	4-3

図 4.2.2	年最大・最小・平均気温、雨量および蒸発量の経年変化（上：Urmia、下：Tabriz）	4-4
図 4.2.3	年間雨量の空間分布図	4-5
図 4.2.4	年間雨量の空間分布図（WORLDCLIM）	4-5
図 4.2.5	雨量観測所を用いたティーセン分割図	4-6
図 4.2.6	小流域毎の年平均雨量 (1/8)	4-6
図 4.3.1	河川網の分布状況	4-14
図 4.3.2	流入河川および流域分割	4-15
図 4.3.3	日流量および日平均雨量 (1/3)	4-16
図 4.4.1	オルミエ湖の深浅測量結果（2014 年及び 2016 年）	4-19
図 4.4.2	H-A 関係図（2014 年および 2016 年）	4-19
図 4.4.3	H-V 関係図（2014 年および 2016 年）	4-20
図 4.4.4	2014 年から 2016 年にかけての堆砂の進行	4-20
図 4.5.1	RSRC 提供の土地利用マップ（1998 年から 2015 年）	4-22
図 4.6.1	地質図	4-25
図 4.6.2	井戸深さおよび井戸の分布図	4-26
図 4.6.3	モデリングの実施手順	4-27
図 4.6.4	帯水層の分布と地質モデルの設定範囲	4-28
図 4.6.5	地質区分と分類	4-29
図 4.6.6	地質柱状図のサンプル	4-29
図 4.6.7	アザーシャー地域の地下水分析地域とその地質モデル（参考）	4-30
図 4.6.8	ピエゾメータ位置図	4-31
図 4.6.9	Miandab 地域における地下水頭の経年変化図	4-32
図 4.7.1	オルミエ湖流域におけるダムおよび堰の位置図	4-33
図 4.7.2	南部流域における代表的なダムと堰の模式図	4-33
図 4.7.3	オルミエ湖流域における許可取水量の経年変化	4-36
図 4.7.4	許可取水量の使用目的別の割合	4-36
図 4.7.5	許可井戸の空間分布図	4-37
図 4.7.6	ULRP から提供されたその他の取水施設の位置図	4-38
図 5.1.1	モデル概念図	5-1
図 5.1.2	MIKE-SHE に適用できる入力データと情報	5-2
図 5.1.3	社会的・物理的システム (左) および DSS における各コンポーネント (右)	5-3
図 5.3.1	Allowable Range for Soil Moisture in the Upper ET Layer	5-8
図 5.3.2	コントロールボリュームにおける水収支	5-9
図 5.3.3	グリッド間の流出量	5-9
図 5.3.4	Water Balance at a Control Volume	5-11
図 5.4.1	対象エリア	5-14
図 5.4.2	西部地域において拡大された流域の範囲	5-14
図 5.4.3	小流域分割図	5-15

図 5.4.4	メッシュサイズによる標高分布の違い.....	5-17
図 5.4.5	オルミエ湖の水位変化とキャリブレーションおよび検証期間.....	5-18
図 5.4.6	雨量観測所位置とティーセン分割図の例.....	5-19
図 5.4.7	年間降水量の空間分布（WorldClim と IRMO の比較）	5-19
図 5.4.8	MIKE-SHE にて設定した雨量データの高度補正係数.....	5-20
図 5.4.9	適用された融雪係数の分布図	5-21
図 5.4.10	適用された気象観測所位置図.....	5-21
図 5.4.11	気温変化の比較（IRMO および NOAA） (1).....	5-22
図 5.4.12	融雪貯留のシミュレーションの例（MIKE-SHE の出力結果）.....	5-24
図 5.4.13	MIKE-SHE に適用される RSRC-ET	5-25
図 5.4.14	RSRC-ET の MIKE-SHE への適用の概念図	5-25
図 5.4.15	西部山地流域の河川流量の計算値と実測値の比較（実蒸発散量の調整なし） ..	5-26
図 5.4.16	西部山地流域の河川流量の計算値と実測値の比較（実蒸発散量の調整あり） ..	5-26
図 5.4.17	RSRC によって推定された月湖面蒸発量.....	5-27
図 5.4.18	年湖面蒸発量の比較（RSRC が推定した蒸発量とオルミエ気象観測所の値） ...	5-27
図 5.4.19	湖面エリアにおける ETfrac の空間分布の経年変化.....	5-28
図 5.4.20	オルミエ湖の地質平面図	5-29
図 5.4.21	オルミエ湖の地質横断面図	5-30
図 5.4.22	3次元地質構造モデル.....	5-31
図 5.4.23	地質構造の3次元イメージ図.....	5-31
図 5.4.24	地質モデル縦断面図	5-32
図 5.4.25	湖床高分布	5-33
図 5.4.26	2km メッシュの土地利用分布図（2007 年）	5-34
図 5.4.27	河道網と流域分割の分布図	5-35
図 5.4.28	モデル化対象河道の分布図	5-36
図 5.4.29	地下水頭の計算値と実測値の比較.....	5-38
図 5.4.30	各灌漑エリアにおける農業需要量の計算値(1).....	5-39
図 5.4.31	Miandoab 灌漑水路と南部地域の衛星画像.....	5-41
図 5.4.32	オルミエ湖流域における灌漑エリアの分布状況.....	5-41
図 5.4.33	オルミエ湖流域の灌漑エリア(1) (南部流域)	5-42
図 5.4.34	取水許可井戸の位置	5-46
図 5.4.35	Miandoab 灌漑エリアにおける月蒸発散量の比較（計算値および RSRC-ET）	5-47
図 5.4.36	年間および月間蒸発散量計算値と RSRC-ET の相関図	5-47
図 5.5.1	Catchment Area Selected for Sensitivity Analysis	5-49
図 5.5.2	Bukan ダム上流の土地利用状況の変遷(1998-2014)	5-50
図 5.5.3	Daily Discharge Trend with Different Land Use Types.....	5-51
図 5.5.4	Monthly Discharge Trend with Different Land Use Types	5-51
図 5.5.5	融雪気温の違いによる日流量ハイドログラフの比較.....	5-53
図 5.5.6	融雪気温の違いによる月流量ハイドログラフの比較.....	5-53

図 5.5.7	融雪気温の違いによる流出量（融雪期）の比較	5-54
図 5.5.8	不飽和層厚の違いによる日流量ハイドログラフの比較	5-55
図 5.5.9	不飽和層厚の違いによる月流量ハイドログラフの比較	5-55
図 5.5.10	適用された土壌タイプ（MIKE-SHE インターフェイス）	5-57
図 5.5.11	土壌タイプの違いによる日流量ハイドログラフの比較	5-57
図 5.5.12	土壌タイプの違いによる月流量ハイドログラフの比較	5-57
図 5.5.13	土壌タイプの違いによる流出量（融雪期）の比較	5-58
図 5.5.14	透水係数（水平方向）の違いによる日流量ハイドログラフの比較	5-59
図 5.5.15	透水係数（水平方向）の違いによる月流量ハイドログラフの比較	5-59
図 5.5.16	透水係数（鉛直方向）の違いによる日流量ハイドログラフの比較	5-60
図 5.5.17	透水係数（鉛直方向）の違いによる月流量ハイドログラフの比較	5-60
図 5.6.1	流量キャリブレーション地点（南部流域）(1/3)	5-65
図 5.6.2(1)	河川模式図および流量キャリブレーション地点（南部流域）	5-66
図 5.6.3	南部地域における流量キャリブレーション結果（上段:Bukan ダム流量、下段： Nezam Abad 地点）.....	5-70
図 5.6.4	西部地域における流量キャリブレーション結果(上段: Badasor 地点、下段: Abajalu Sofla 地点).....	5-71
図 5.6.5	西部地域における流量キャリブレーション結果（上段: Markid 地点、下段： Akhola 地点）.....	5-72
図 5.6.6	対象河川の最下流地点における年間流出量の計算値と実測値の比較	5-73
図 5.6.7	月流量を用いて算出した NSE（南部流域）	5-75
図 5.6.8	月流量を用いて算出した NSE（西部流域）	5-75
図 5.6.9	月流量を用いて算出した NSE（東部流域）	5-76
図 5.6.10	灌漑エリアにおける月蒸発散量の入力値と計算値の比較（Miandoab 地区）	5-76
図 5.6.11	月および年蒸発散量の入力値と計算値の相関図（Miandoab 地区）	5-77
図 5.6.12	灌漑地区内における地下水頭の検証地点	5-79
図 5.6.13	地下水位のキャリブレーション結果(1)（南部地域）	5-80
図 5.7.1	オルミエ湖への流入量の変遷	5-83
図 5.7.2	オルミエ湖への年流入量の変化	5-83
図 5.8.1	登録井戸の分布図	5-85
図 5.8.2	井戸取水量の計算値と実測値（登録値）との比較（Miandoab 地区）	5-86
図 5.9.1	オルミエ湖水位の計算値と実測値の比較	5-87
図 5.11.1	水収支の検討におけるオルミエ湖領域の設定図	5-89
図 5.11.2	オルミエ湖の水収支に関わる構成要素の模式図	5-89
図 5.11.3	オルミエ湖の年間水収支(単位: MCM).....	5-90
図 5.11.4	オルミエ湖水位の経年変化図	5-91
図 5.11.5	オルミエ湖水収支の各要素の年間総量の変化 (単位: MCM).....	5-92
図 5.11.6	灌漑地域における年間雨量と蒸発散量の経年変化図（オルミエ湖流域全体） ..	5-93
図 5.11.7	灌漑地域における年間雨量と蒸発散量の経年変化図（各灌漑地区）	5-94

図 5.12.1	代表地点位置図	5-95
図 5.12.2	河川流量の比較図	5-96
図 6.1.1	Gedar Chay 川における浚渫計画箇所	6-3
図 6.1.2	浚渫計画横断図	6-4
図 6.1.3	流域間導水の流入地点位置図	6-5
図 6.1.4	オルミエ市からの処理水流入地点.....	6-6
図 6.1.5	Derik Chay ダム位置図.....	6-7
図 6.1.6	Derik Chay 放流量の実測値.....	6-8
図 6.1.7	シナリオシミュレーションにおける Derik Chay ダムの放流量パターン.....	6-9
図 6.2.1	オルミエ湖の水位回復への時間スケール.....	6-11
図 6.2.2	年間流入量毎の湖水位の回復予測.....	6-12
図 6.2.3	年間流入量毎の湖水位の回復予測（北部地域に制限した場合）	6-12
図 6.2.4	個別の対策による流入量の比較	6-13
図 6.2.5	対策の組み合わせによる流入量変化の比較.....	6-14
図 6.2.6	対策の組み合わせによる湖水位変化の比較.....	6-15

巻 末 資 料

参考資料 3-1	Hydrological Data Check at Calibration Points
参考資料 5-1	Applied Rainfall Correction
参考資料 5-2	Applied Threshold Snowmelt Coefficient
参考資料 5-3	Monthly ET Map Provided by RSRC (2nd version)
参考資料 5-4	Comparison between Annual ET (1st and 2nd version) and Precipitation
参考資料 5-5	Calculated Agricultural Water Demand for each Irrigated Area
参考資料 5-6	Reference of Agricultural Water Allocation
参考資料 5-7	Calibration Result for Daily Trend
参考資料 5-8	Applied Modification Ratio to ET for Sub River Basins

略 語 表

CIWP	:	Conservation of Iranian Wetlands Project
C/P	:	Counterpart
DEM	:	Digital Elevation Model
DF/R	:	Draft Final Report
DHI	:	Danish Hydraulic Institute
DOE	:	Department of Environment
FAO	:	Food and Agriculture Organization
F/R	:	Final Report
GOI	:	Government of Iran
GOJ	:	Government of Japan
IC/R	:	Inception Report
IDW	:	Inverse Distance Weighted
IRIMO	:	IRAN Meteorological Organization
IWRM Co.	:	Iran Water Resources Management Company
IWRM	:	Integrated Water Resources Management
JICA	:	Japan International Cooperation Agency
ULRC	:	Urmia Lake Restoration Committee
ULRP	:	Urmia Lake Restoration Program
MCM	:	Million Cubic Meter
M/M	:	Man-month
MOE	:	Ministry of Energy
MOH	:	Ministry of Health
MOJA	:	Ministry of Agriculture - Jihad
M/P	:	Master Plan
O&M	:	Operation and Maintenance
PRMU	:	Plannning and Resource Mobilization Unit
PWRI	:	Public Works Research Institute
SC	:	Steering Committee
TOR	:	Terms of Reference
TRWR	:	Total Renewable Water Resources
UNDP	:	United Nations Development Plan
UNEP	:	United Nations Environment Programme
USGS	:	United States Geological Survey
UTM	:	Universal Transverse Mercator
RWC	:	Regional Water Company
RCUWM	:	The Regional Centre on Urban Water Management
SRTM	:	Shuttle Radar Topography Mission
WA	:	West Azerbaijan

第1章 業務概要

1.1 業務の背景

オルミエ湖はイラン国北西部に位置し、かつては湖面積 5,700km²、貯水量 36,750 百万 m³ を有する、面積規模世界 6 番目の内陸塩湖であった。しかし、2000 年頃から湖への流入量が減少し、それに伴い湖面積も縮小の一途をたどり、2014 年 9 月時点での湖面積は 1,440km²、貯水量 1,640 百万 m³ を記録した。一連の湖縮小の原因は、長らく続く渇水及び流域内での水資源開発による農業用取水量の増加にあると言われており、湖縮小に対しての対策がイラン政府により各種検討されているが、具体的な縮小防止策は講じられていなかった。しかし、2013 年 8 月にイラン国大統領としてロウハーニー氏が就任したのを契機に、公約に掲げていたオルミエ湖救済策を次々と打ち出し、日本を含む国際社会への支援を仰いだ。

これを受けて、JICA は様々な救済策の効果の定量的評価を行うため、必要となる基礎情報の収集、オルミエ湖流域の水循環モデルによる水循環構造並びに流域水収支の把握および救済策の定量的評価を目的とした「オルミエ湖流域水循環に係る情報収集・確認調査」(2014 年 11 月～2016 年 3 月)を実施した。本調査では、限られた情報やデータに基づいて、MIKE-SHE (DHI 社製) および GETFLOWS (地圏環境テクノロジー製) のソフトウェアを用いて流域水循環モデルを構築し、イラン国側からも一定の評価が得られた。

その後、オルミエ湖救済委員会 (Lake Urmia Restoration Committee:LURC) は、様々な条件を考慮しながら最適な救済策を選定するため、水循環への影響の他に経済的・社会的影響評価を含む意思決定システム (Decision Support System:DSS) を構築する予定である。委員会は、DSS の水循環モジュールとして、前回調査で構築された水循環モデルを活用していく意向を示し、そのためには今後更なる精度向上が求められているため、その技術的支援を JICA に要請した。これに応じて JICA は、2016 年 9 月に現地調査を行い、イラン国政府からの協力要請の背景および内容を確認し、先方政府関係機関との協議を経て、水循環モデルの精度向上のために必要な情報を収集・分析した上で本業務を実施することを決定し、2017 年 2 月にエネルギー省およびオルミエ救済委員会と Minutes of Meeting を手交した。

1.2 業務の目的

オルミエ湖救済事業に対する意思決定システム (DSS) の水循環モジュール構築のため、既に構築されている水循環モデルのさらなる精度向上を図る。

(1) 業務の目標

オルミエ湖流域の水循環メカニズムが定量的に把握され、オルミエ湖救済事業の検討に役立てられる。

(2) 期待される成果

- 1) PRMU から提供されるデータおよび情報の妥当性が検証され、MIKE SHE モデルへの入力データおよびモデル構築のためのデータおよび情報が整備される。
- 2) オルミエ湖流域の南部、西部および東部の各流域における水循環モデルがそれぞれ構築され、これらを組み合わせてオルミエ湖流域全体の水循環モデルが構築される。

- 3) PRMU が提供するオルミエ湖流域救済のためのシナリオに基づいて、各流域および流域全体のシミュレーションを実施し、様々なプロジェクトおよびシナリオの有効性が確認される。

(3) 対象地域

イラン国オルミエ湖流域（東アゼルバイジャン州、西アゼルバイジャン州、コルデスタン州）

(4) 関連する本邦実施プロジェクト

本調査に関連する日本の主な支援は以下の通りである。

- ・ イラン国セフィードルード川流域総合水資源管理調査（2007-2010）
- ・ 水政策アドバイザー（2017-2019）
- ・ イラン国オルミエ湖流域水循環に係る情報収集・確認調査（2014-2016）

(5) 関係機関

[メインカウンターパート機関]

- ・ エネルギー省 MOE（全体的な監理や調整）
- ・ オルミエ湖救済プログラム ULRP（本調査の実施主体）

[実施調整機関]

- ・ 事務局 Planning and Resources Mobilization Unit (PRMU)、ULRP

[協力機関]

- ・ ULRP 地方事務所
- ・ オルミエ大学及びタブリーズ大学等の研究機関
- ・ イラン水資源管理公社 IWRM Co.
- ・ 地方水公社 Regional Water Companies (東・西アゼルバイジャン)
- ・ リモートセンシングリサーチセンター (RSRC、シャリフ大学に所属)

1.3 業務実施期間

本調査は、表 1.3.1 に示すように、2017 年 7 月から 2020 年 4 月までの約 3 年間で実施された。データ収集とモデル化作業については、イラン国と日本国内で現地作業と国内作業が行われた。本調査の進捗状況と検討結果の提示は、適宜に ULRP および JICA へ報告書を提出した。

表 1.3.1 全体スケジュール

1st Field Work

	2017												2018		
	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	1	2	3
Field Work															
Domestic Work															
Data Collection															
Modeling Work															
Report				△ IC/R						△ P/R1					

2nd Field Work

	2018												2019		
	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	1	2	3
Field Work															
Domestic Work															
Data Collection															
Modeling Work															
Report				△ P/R2						△ P/R3					

3rd Field Work

	2019									2020		
	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3
Field Work												
Domestic Work												
Data Collection												
Modeling Work												
Report	Updated P/R3											
	2020											
	4	5	6	7	8							
Field Work												
Domestic Work												
Data Collection												
Modeling Work												
Report		△ DF/R			△ F/R							

IC/R: Inception Report; P/R: Progress Report; DF/R: Draft Final Report; F/R: Final Report

1.4 要員構成

JICA 調査チーム（以下、「調査チーム」）の構成は表 1.4.1 の通りである。

表 1.4.1 JICA 調査チームの構成員

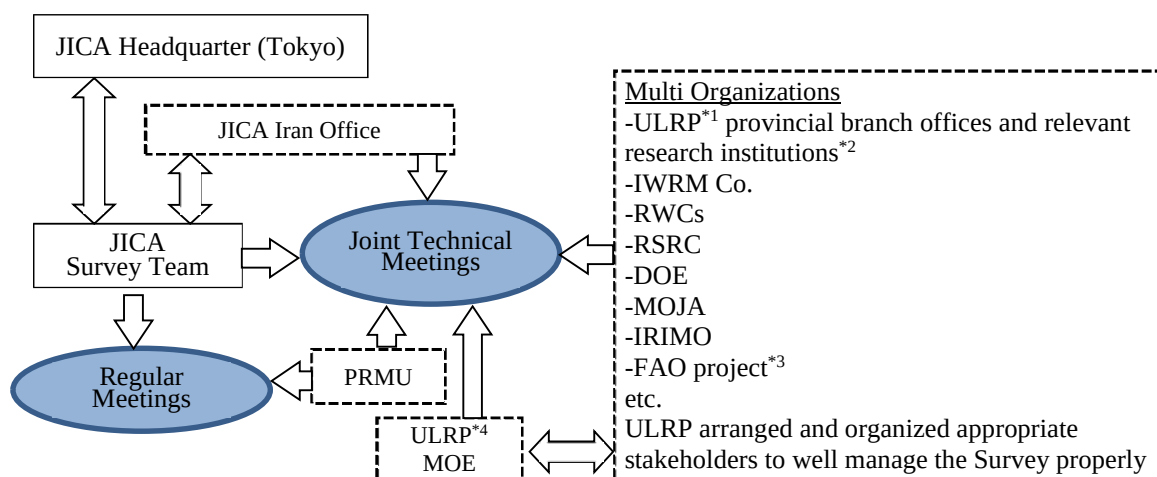
Name of Expert	Designation or Field of Specialty
Toshihiro GOTO	Team Leader / Water Resource Management 1
Masanori SUZUKI	Deputy Team Leader / Water Resource Management 2 / Hydrometeorology / Data Quality
Hitoshi NAGATA	Hydrological Cycle Modeling
Masahiro TASUMI	Satellite Image Analysis / Meteorology
Takao SASAKI	Geology

1.5 業務実施体制

複数の組織間の円滑な協力とパートナーシップを確保するためのイラン側カウンターパートを表 1.5.1 および図 1.5.1 に示す。

表 1.5.1 カウンターパート機関および関連機関

Responsible Person		
Responsibility	Name	Position (As of March 2018)
Overall Administration	Dr. Bahram Taheri	Senior Advisor to the Minister and Director General of Environment, Health and Safety & Social Affairs, Minister of Energy (MOE)
Implementation Manager	Dr. Masoud Tajrishy	Head of Planning and Resources Mobilization Unit (PRMU) of Urmia Lake Restoration Program (ULRP)
Focal Point	Dr. Behdad Chehrenegar	Head of International Cooperation Office, PRMU, ULRP
DSS Formulation	Dr. Mehdi Ahmadi	Head of DSS Sub-committee, Research Office, PRMU, ULRP
Counterpart Organizations		
Role	Organization	
Main counterparts	- Ministry of Energy (MOE) - Urmia Lake Restoration Program (ULRP)	
Implementation and coordination	- Planning and Resource Mobilization Unit (PRMU), ULRP	
Supporting organizations	- ULRP provincial branch offices and research partners such as Urmia University and Tabriz University - Iran Water Resources Management Company (IWRM Co.) - Regional Water Companies (RWCs) - Remote Sensing Research Center (RSRC), Sharif University of Technology - Ministry of Agriculture - Jihad (MOJA) - Department of Environment (DOE) - Iran Meteorological Organization (IRIMO)	



*1: ULRP is an Advisory body directly under the President for Urmia Lake Restoration Project.

*2: Sharif, Urmia, Tabriz, Tehran, Tabiat-Modares Universities, etc.

*3: Integrated Programme for Sustainable Water Resources Management in Urmia Lake Basin

*4: Tehran, Urmia and Tabriz ULRP

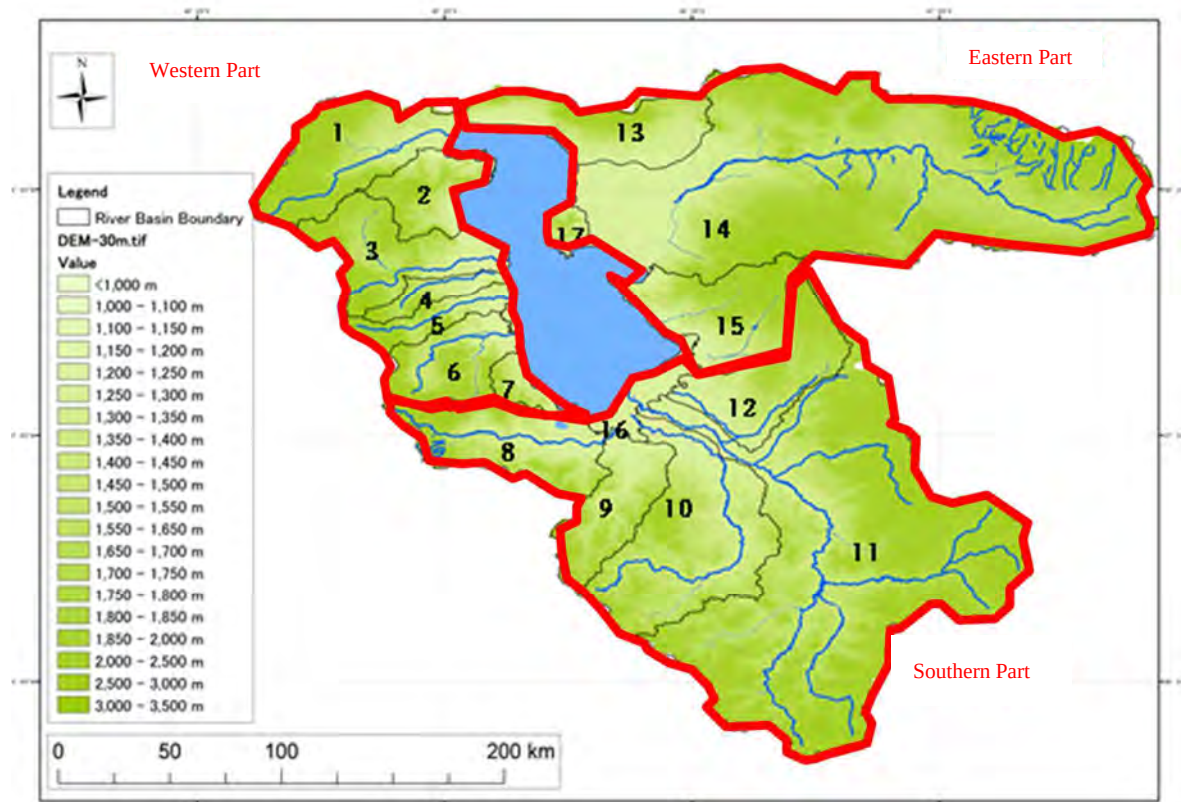
図 1.5.1 本調査の組織フレームワーク

第2章 現地調査

2.1 水循環モデルのための現地調査概要

水循環モデル（南部、西部、東部、およびそれらの統合モデル）を構築するため、調査チームはデータ収集およびモデル化対象地域の現状確認を目的とし、RWCやMOJAといった関連組織と連携しながら、フィールド調査とインタビュー調査を実施した。

オルミエ湖流域は、図 2.1.1 に示すように、C/P の水文担当によって南部、西部、東部の 3 つの middle 流域に分けられている。南部、東部、西部の各セクションの本現地調査結果は、2.2 以降に示す。



Source: This Survey

図 2.1.1 小流域分割図

表 2.1.1 対象河川流域

Part	Sub River Basin	Area (km ²)	Representative Dam
South	Gedar Chay(8)、Mahabad Chay(9)、Simineh Rud(10)、Zarineh Rud(11)、Lilang Chay(12)、Residual Basin of Southern Part (16)、	21,155	Mahabad Dam(190MCM) Bukan Dam (486MCM)
West	Zola Chay(1)、Residual Basin(2)、Nazlo Chay(3)、Roze Chay(4) Sahar Chay(5)、Baradoz Chay(6)、Residual Basin 2(7)	8,105	Shahr Chay Dam (213 MCM)
East	Residual Basin 3(13)、Ajichay(14)、Gale Chay(15)、Lake Urmia Island(17)	17,462	Shahid Madani-Vanyar Dam (Under Construction) (280MCM)

2.2 南部流域における現地調査

南部地域での現地調査とインタビュー調査箇所を図 2.2.1 に示す。図中の数字は訪問地を示している。

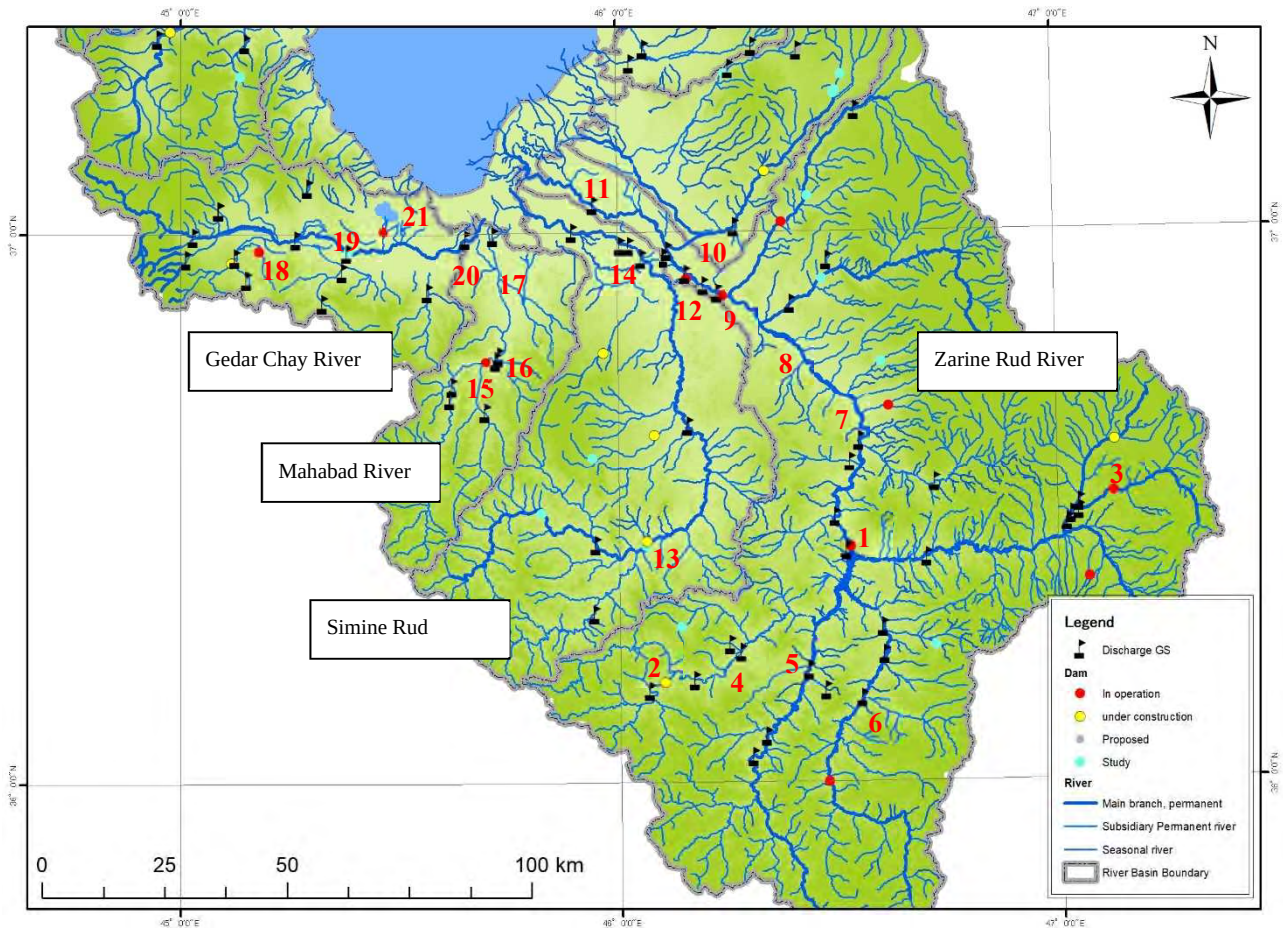


図 2.2.1 主な現地調査箇所（南部流域）

2.2.1 Zarine 川流域

(1) Bukan ダム

Bukan ダム（図 2.2.1 の No.1）は、オルミエ湖流域で最大のダムであり、クルデスタン州と西アゼルバイジャン州の境界近くに位置している。主な建設目的は、下流域（東部と西部のアゼルバイジャン州）に農業用水と飲料水を供給することであり、2017 年 8 月現在、主に農業用に年間約 40 m³/s の放流が確認されている。

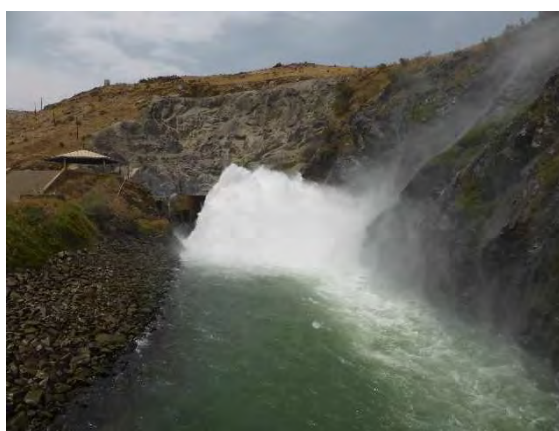
RWC によれば、クルデスタン州の住民は、水源のほとんどの部分がクルデスタン州にあるという状況の中で、ダムからの水を使用する権利を主張している。ダムの水を直接取水するため、ポータブルポンプが設置されている。ULRP と IWRM Co.によると、これらの取水口のいくつかは、違法に建設され、ダム周辺の農地に使用されていた。また、許可されたものの場合、売上の一部は WA に支払われ、これはとりわけダムの維持管理に貢献している。



Dam Embankment



Dam Lake



Release of Water from Gate

図 2.2.2 Bukan ダム

(a) Bukan ダムの詳細情報

ダム管理事務所において RWC 担当者から得られたインタビュー調査結果を表 2.2.1 に示す。

表 2.2.1 Bukan ダムの詳細情報

Items	Descriptions
Basin	Zarine Rud River Basin
Branches of the upstream	Zarine Rud River (main branch), Saghez Chay, Khor Khore Chay and Saruq Chay Annual inflow to Bukan Dam is approximately 1.1 BCM despite the planned 1.7 BCM. Inflow volume comprise of 25% from Zarine Rud River, 10-15% from Saruq Chay, 20-25% from Saghez Chay and the rest from Khor Khore Chay.
Hydrological monitoring status	Hydrological observation stations are installed in the dam lake and the above branch rivers respectively. These are gauging type, and the water level is observed once a day. According to ULRP, accuracies of gauging stations can be enhanced by having automated data loggers.
Survey Period for Planning	6 years since 1951
Purpose of Dam	Water for irrigation is supplied to part of Shahindej, Miandoab, Malekan and Bonab counties which have irrigated farmlands of 55,000ha (planned value 80,000ha), potentially supplying about 500MCM from Noruzlu Diversion Dam (each left and right bank has 250MCM). Agricultural water and drinking water for downstream region. Miandoab City, Bukan City, and Tabriz City are with drinking water supply; hydropower supply is under investigation (16 MW of electricity is possibly generated).

Items	Descriptions
Total water storage capacity	Approx. 808 MCM.
Height	52.5 m
Width	Total 530 m
Width of Spillway	150 m
Water demand	Approximately 815 MCM 1) 354 MCM Agricultural water 2) 157 MCM Drinking water for Tabriz, Bukan and Saqqez cities 3) 3 MCM Industrial water 4) 301 MCM Others (including water for Urmia Lake)
Minimum Storage Volume	199 MCM (this is to ensure the quality of drinking water to Saqqez)
Spillway	Total 2,300 m ³ /s with 10 gates
Gates	Total 180 m ³ /s with 4 gates
O&M	➤ 3 staff members operate 24 hours a day. In addition, three technicians are assigned for dam safety management. ➤ The amount of outflow discharge is based on the predicted inflow. Amount of released water is consistent with the monthly demand. Monthly water demand for command area is determined by IWRM Co. at the beginning of the year (based on other investigations).
Environmental Flow (Also known as “Water flow stability”)	5 m ³ /s “According to ULRP, the environmental flow should be monitored from releasing point to the Urmia Lake preventing any illegal water withdrawal”.
Others	➤ “With the completion of the Cheraghveys Dam, inflow from the river will be reduced” (Please check the sentence and 5 MCM value)

(b) 下流での違法取水に関する問題

RWC のダム管理事務所によると、違法取水に関する情報が報告されており、8 月と 9 月に地元のコンサルタントが実施した調査によれば、乾季には 65 MCM の違法取水があった。また、豊水期には違法な取水量が増える予想され、ダム湖からの直接取水量は 85～90 MCM であり、そのうち 60 %が違法取水量と推定されている。

(2) Cheraghveys ダム

2017 年 11 月現在、Cheraghveys ダム（図 2.2.1 の No.2）は、クルデスタン州内のオルミエ湖流域で唯一建設されたものであり、まもなく共用開始される見込みである。363 km²の集水域があるため、このダムへの平均流入量は 157 MCM であり、86 MCM を調整可能である。このダムの計画水使用量は、飲料水用で 33 MCM、工業用で 5 MCM、農業用水で 43 MCM（灌漑面積：約 5,500 ha）である。計画灌漑面積は 5,500 ha であるが、農業用水の削減規制や予算不足により、灌漑排水網の整備が 70 %遅れている。RWC クルデスタン州のコンサルタントによると、降水量の傾向は変わらないようであるが、融雪量が増加したため、流出特性が変化したとのことである。春先の融雪水は、従来のように灌漑期間には使用できなかったことが報告されている。



図 2.2.3 Cheraghveys ダム

(3) Saruq ダム

大型ダムの需給計画（2018 年 2 月）に基づき、Saruq Chay 川（図 2.2.1 の No.3）の Saruq Chay ダムの利用可能水量 6 MCM（25 年後には 7 MCM）は主に飲用。このダム管理事務所の RWC のスタッフは、1,250 ha の天水農地で農業に水を使用する計画は持っていないようである。現在計画されている農業用水配分は 3.5 MCM。

調査では、ダムへの流入量は 70 MCM であった。ただし、観測されたものは約 31 MCM。これは、観測密度が不十分なために降水量の推定精度が低いためである。ダムの上流には雨量観測所がなく、空間補間の精度が低くなっている。45 年間の推定平均降水量は 337 mm だが、それより少ない可能性がある。Bukan ダムへの給水量は、約 27 MCM と予想されたが、2016 年では約 12 MCM であった。

RWC は、収入を増やしたい農家のニーズに答えるため、農業用水を増やしたいと考えている。一方、知事は環境保全のため、下流への排出量の増加を認めている。しかし、住民はこのような小さなダムからの放流は、オルミエ湖の保全に寄与しないという認識を持っているため、放流には反対を示しており、立場によってそれぞれの意見がある。



図 2.2.4 Saruq ダム

(4) Bukan ダム上流の灌漑地区（図 2.2.1 の No.4）

RWC によれば、Bukan ダムの湖岸に設置されたポンプ施設から年間約 3.5～4 MCM 取水され、スプリンクラー灌漑とドリップ灌漑に使用されている。

Bukan ダムの上流域では、井戸からの取水で、1,100 ha に灌漑されているが、15,000～20,000 ha の灌漑地域（現在はおもに天水農業）が存在し、天水農業から灌漑農業への転換で生産性が倍増すると考えられている。

Bukan ダムへの流入量の 85～90 %はクルデスタン州から導水されている状況にある。しかしながら、実際には Bukan ダムが西アゼルバイジャン州によって管理されているという状況下では、クルデスタン州による水利用は十分調整されていない。クルデスタン州は追加で使用するため、西アゼルバイジャン州に 87 MCM の表流水の利用を要求している状況にある。



図 2.2.5 Bukan ダム上流における灌漑エリアの状況

(5) Adinan および Sonate 流量観測所

Adinan 流量観測所（図 2.2.1 の No.5）は、洪水時は 2 時間に 1 回、通常時は 1 日 2 回の手動観測（8:00、16:00）を行っている。2017 年 3 月の最大洪水は $176 \text{ m}^3/\text{s}$ であった。

Sonate 流量観測所（図 2.2.1 の No. 6）は、Adinan 流量観測所と同様に手動観測されている。2017 年 4 月の ULRP の予算により、データロガーによる自動観測を開始した。



Adinan Hydrological Station



Well located nearby Adinan Hydrological Station



Sonate Hydrological Station



Logger Installed in Sonate Hydrological Station

図 2.2.6 Hydrological Stations Located Upstream of Bukan Dam

(6) Bukan ダムと Noruzlu 分水堰間の灌漑水路

Bukan ダムと Noruzlu 分水ダムの間には 6 つの灌漑水路がある。Sardar 水路（図 2.2.1 の No. 7）はその 1 つであり、主な用途は 588 ha の灌漑地域への農業用水供給である。

Zarine Rud 川の河岸に取水用の $\phi 70$ cm のポリエチレンパイプが 2 本設置され、幅 4~5m、長さ 80 km の開水路が掘削されている。これら 2 つのパイプは灌漑時期の終了時に閉鎖され、その都度埋め戻される。よって、取水量の調整機能はない。RWC のスタッフによると、この水路での流量観測は定期的に行われているとのことである。灌漑期間の取水量は約 8~10 MCM であり、取水地点の流量は最大 3m³/s、平均的に 0.5 m³/s 程度となっている。パイプの取水口は、4~9 月までは月 20 日間、10、11 月は 10~15 日間の取水を行っている。

Sardar 水路の他に、Bukan ダムと Noruzlu 分水ダムの間に 5 つの主要な灌漑水路が設置されており、Achtappeh（337.5 ha）、Dashaskan（108 ha）、Hajiabad（600 ha）、Gojali（400 ha）、Aghchelu（107 ha）の各灌漑地区に導水されている。しかしながら、これらの灌漑水路は、素掘りの開水路であるため蒸発等による大きな損失が認められる。RWC はこれらの灌漑システムを井戸から取水に変換する計画を有している。



Inlet with concrete pipes



Excavated channel

図 2.2.7 Sardar 水路

Aghchelu 水路は、幅 10 m、深さ 1 m の素掘りの開水路で、Zarine Rud 川の分派地点では十分な流量が確認されているが、水路勾配が不十分であるため、2 km 下流の灌漑水路のゲートでの流量は極めて小さい。



Aghchelu Channel (About 2km downstream after the river branches)



Aghchelu Channel (Just behind the river branches)

図 2.2.8 Aghchelu 水路（図 2.2.1 の No. 8）

これらの水路では、上流域と下流域の灌漑地域における取水量調整が困難を極め、将来的には、ポンプ場の建設が計画されており、計画的な取水調整に役立つことが期待されている。

RWC によると、これらの 6 つの主要な灌漑水路を除いて、Bukan ダムと Noruzlu 分水ダムの間に約 500 基の取水ポンプが違法に設置されている。さらに、河沿いの伏流水からの取水のため、約 1,000 基の井戸が掘削されており、そのうち約 670 基が違法取水である。

(7) Noruzlu 分水堰

オルミエ湖流域で最大の分水堰である Noruzlu 分水ダム（図 2.2.1 の No.9）は、オーストリアの会社によって設計および建設された。右岸水路から下流に灌漑用水、Tabriz 市街に生活用水を供給するダム堰であり、堰幅は 330 m におよぶ。

Noruzlu ダムによる分水量は、Noruzlu ダムの上流にある Bukan ダムからの放流水によって管理されている。分水には、Tabriz 市への灌漑用水と飲料水が含まれている。堰下流では常に最低 $5\text{m}^3/\text{s}$ 程度の流量が確保されているが、その余剰水がオルミエ湖に到達するかどうかは不明である。

Noruzlu 分水ダムの運転スケジュールは Bukan ダムと連動している。灌漑期（3～9 月）うち 7～8 月にかけて、Bukan ダムから最大 $40\text{m}^3/\text{s}$ の放流が行われる。非灌漑期間中は、Tabriz 市街への飲料水とオルミエ湖保全のための環境流量として必要最低限の流量が保たれている。



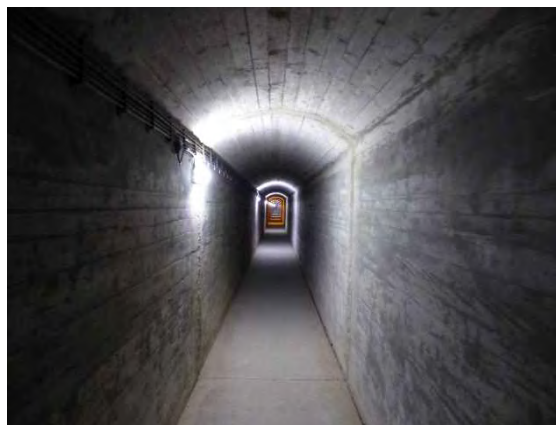
Weir Body of Dam



Overflow from weir (a view from the right bank)



Overflow from weir
(a view from the left bank)



Accessway inside weir body

図 2.2.9 Noruzlu 分水堰

(8) Noruzlu 分水堰右岸水路の違法摂取 (Tabriz 市への飲料水用) (図 2.2.1 の No.10)

Tabriz 市への飲料水供給のため、パイプラインに水を取り込む水路に沿っていくつかの違法な取水ポンプが設置されている。ULRP によると、設置されたポンプは違法であるが、過去には河川には十分な水が存在すると考えられていたため、地方政府は河川と水路の両方からの取水を奨励した。



Installation condition of underwater pump for
intake



Operation condition of underwater pump for
intake

図 2.2.10 Illegal Intake Pumps

(9) Noruzlu 分水ダムの下流にある施設

(a) Nezami Abad 流量観測所 (図 2.2.1 の No. 11)

自動観測を行っている Nezami Abad 流量観測所は、Zarine Rud 川の最下流地点に設置されている。



Nezami Abad Hydrological Station

図 2.2.11 Zarine Rud 川下流の流量観測所

(b) Zarine Rud と Simine Rud の間の水路の接続 (図 2.2.1 の No. 12)

Zarine Rud 川から Simine Rud 川に接続する連絡水路 (平均流量 $14 \text{ m}^3/\text{s}$) が存在する。この水路の目的は灌漑用水と河川の堆砂除去となっており、オルミエ湖保全のために ULRP により拡張事業が実施された。Simine Rud 川の下流域には $14,000 \text{ ha}$ の灌漑地があり、全地域が伝統的な灌漑方法を採用している。同地域には河川からの取水ポンプがあり、灌漑用の水利用には一定の料金がかかる仕組みとなっている。



Main Irrigation Channel for Left Noruzlu
Irrigation Network



Outlet to Simine Rud River

図 2.2.12 Zarine Rud 川と Simine Rud 川の接続水路

2.2.2 Simine Rud 川流域

(1) Simine Rud ダム

RWCによると、Simine Rud ダム（図 2.2.1 の No.13）は建設中であるが、予算不足のために建設が停止している。Simine Rud 川は季節河川であり、渇水期完全に枯渇する状況にある。



Simine Rud Dam (Inlet)



Simine Rud Dam (Dam Site)

図 2.2.13 Simine Rud ダム

(2) Simine Rud 流量観測所

2017 年 9 月現在、Simine Rud 流量観測所（図 2.2.1 の No.14）の設備は盗難被害にあり、この観測所は現在使用されていない。上流と同様、渇水期には Simine Rud 川の下流は完全に枯渇する。現在、上流にはダムがないため、融雪出水後は上流からの水供給がない。井戸は河川沿いに存在しており、深さ 16 m（地元の農家へのインタビューに基づく）で、地下水深は 10 m 程度となっている。標高を GPS カメラで比較すると、地下水面は河床の 7~8 m 下にあると想定された。ポンプの直径は 3 インチで、灌漑シーズン中は、週に 2 回、1 日 5 時間、地下水が灌漑用に汲み上げられる。



Simine Rud Hydrological Station



Well installed nearby Simine Rud Hydrological Station

図 2.2.14 Simine Rud 流量観測所

2.2.3 Mahabad River Basin

(1) Mahabad ダム

Mahabad ダム（図 2.2.1 の No.15）は、貯水容量 197 MCM で、その運用は 1969 年に開始された。2017 年の運用では、Yusef Kandi 分水堰に放流された 140 MCM のうち、95 MCM（8 月時点で 88 MCM）が灌漑用に、16 MCM が生活用水に利用された。当初必要な農業需要は 135 MCM（18,200 ha の灌漑面積）であったが、ULRP の規制により 95 MCM（潜在的灌漑面積 12,000ha）に減少しており、農民からの苦情がある。ダムへの流入量は、前年の 11 月～2 月の降水量から予測されて運用管理が行われている。10～3 月の間には、約 $1 \text{ m}^3/\text{s}$ の維持流量が確保され、これは生活用水、工業用水および蒸発による損失で構成される。DOE からオルミエ湖の環境維持流量の確保の要求がある場合、追加の放流量の調整が行われる。



Mahabad Dam (Dam Lake)



Mahabad Dam (Downstream of Weir)

図 2.2.15 Mahabad ダム

(2) Yusef Kandi 分水堰

Yusef Kandi 分水堰（図 2.2.1 の No.16）は、左岸の灌漑地区（約 5,800ha）に約 45 MCM、右岸の灌漑地域（6,200ha）に約 50 MCM を供給する計画となっている。ダムへの流入は 2017 年に 95 MCM であった。灌漑面積は行政による計画に従って減少しており、灌漑用水は、140 MCM から年々減少傾向にある。2013 年以前は年間約 146.5 MCM（17,700ha）、2013 年は約 139 MCM、2014 年は約 113 MCM、2015 年は 106 MCM、2016 年は 95 MCM（12,000ha）となっている。RWC によると、農民はこの政策に反対を示している。

2000 年頃、灌漑地域の作目割合は果樹園が 5 %、農地が 95 % であった。しかし、2017 年現在では、果樹園の面積は 35 % に増加し、農地は 65 % に減少している。灌漑効率は 38 % 程度と低い。（一次および二次水路の損失は 92 %、三次および四次水路の損失は 78～80 %、圃場での損失は 50 % と推定されている）。

2017 年 8 月現在、このダムからの下流（オルミエ湖）への放流は確認されておらず、上流からの流入はすべて農業に費やされている。基本的には、洪水期や DOE が河川再生を目的とした給水を要求するときに、下流に水が供給される。

4～9月までの灌漑期間中、 $16 \text{ m}^3/\text{s}$ の放流が5日間行われ、下流域の灌漑エリアから順に配水が開始される。配水量は上流に近づくにつれて、徐々に減少（ 12 、 10 、 6 、 $3 \text{ m}^3/\text{s}$ ）する。1つの灌漑ブロックへの配水期間は約25～30日で、37年間、配水パターンはほとんど変化していない。

降水量とその需要に基づいて、上流の各流域とダム放流の配分計画が作成される。RWCとULRPによると、計画プロセスは次のとおりである。（1）農業省（MOJA）は、必要灌漑エリアを把握（2）MOJAはIRIMOに降水量予測を要求、有効降水量を計算し、灌漑に必要な流量を計算（3）RWCは、WAを介した推定水需要を認証（4）ULRPは認証と供給量を調整（2013年から）。



Yusef Kandy Diversion Dam



Irrigation Channel Nearby Inlet

図 2.2.16 Yusef Kandi 分水堰

(3) Mahabad 灌漑ネットワーク

Mahabad 灌漑ネットワーク（図 2.2.1 の No. 17）において、上流域で伝統的に行われている灌漑方式を現代のシステム（灌漑効率の高いドリップ灌漑とスプリンクラー灌漑）に変換されつつある。排水路は最終的に本川である Mahabad 川に復水する。灌漑水路は主に4本の水路で構成され、WAによって所有および管理されている。MOJAは、うち2つの灌漑水路を操作する権利を有する。25～30 ha ほどの灌漑地域は一部の水路と流入水路に隣接しており、浸透と蒸発による損失が大きい傾向がみられる。灌漑計画では、1つの三次水路に対して1種類の作物が定められているが、実際には15種類のタイプの作物がいくつかの区画で栽培されており、このような作物種別の混在により、より複雑な水路システムを生み出した経緯がある。



Mahabad Irrigation Network



Mahabad Irrigation Network

図 2.2.17 Mahabad Irrigation Network

2.2.4 Gadar Chay 川流域

Gadar Chay 川では、2016 年の冬に洪水が発生し、浸水被害による犠牲者が発生した。その時のピーク流量は、Naqade 上流で $300 \text{ m}^3/\text{s}$ 程度であった。ULRP のスタッフによれば、Gadar Chay 川では堆砂が確認されたが、河道閉塞等に至るような深刻な問題にはならなかった。



Main Channel of Gadar Chay River



Checkdam

図 2.2.18 Gadar Chay 本川および砂防ダム

(1) Chapar Abad ダム（建設中）

2017 年 8 月現在、46 MCM の貯水容量を持つ Chapar Abad ダム（図 2.2.1 の No.18）が建設中で、2018 年 3 月に完成が予定されている。このダムは前回調査の時点では 127 MCM の貯水容量が計画されていた。2013 年には、政府方針の変更により最大 40% の貯水容量の削減により、ダムの計画高が低くなった。下流への一時的な排水路として $\phi 50 \text{ cm} \times 2$ のパイプが設置されているが、パイプの半分に満たない水位の現状では、流量は $1 \text{ m}^3/\text{s}$ 未満と推察される。

オルミエ湖流域の西側に位置する Silve ダム (Lavin Chay 川) から毎年 88 MCM の水を運ぶために、国境を越えた分水路である Jaldian 水路（流下能力 $16 \text{ m}^3/\text{s}$ 程度）が現在建設中である。

配水計画は、生活用水に 12.5 %、維持流量に 4.5 %、湖からの蒸発量に 8 %、残りがオルミエ湖保全のためとなっている。



Chapar Abad Dam (Under Construction)



Jaldian Channel (Under Construction)

図 2.2.19 Chapar Abad ダムおよび Transboundary 水路

(2) Naqade と Bahramlu 流量観測所

Naqade 市には、測定機器と水位レコーダーを備えた Naqade 流量観測所（図 2.2.1 の No.19）が設置されている。流量観測装置も設置し、流量計測を実施している。RWC によると、水位-流量曲線は月に 1 回精査されている。

Bahramlu 流量観測所（図 2.2.1 の No.20）は、水循環モデルのキャリブレーションポイントの候補地点の一つである。調査チームによる確認の結果、IWRM Co.から提供された位置情報（緯度経度）は、実際と異なっていたため、GPS 機器によって補正を行った。



Naqade Hydrological Station



Bahramlu Hydrological Station

図 2.2.20 Gadar Chay における流量観測所

(3) Hasanlu ダム

貯水容量が 94 MCM の Hasanlu ダム（図 2.2.1 の No.21）は、利水ダムであり、95%が農業用、2～3%が工業用、残りが維持流量である。農業用水の削減政策により、2017 年の農業用水の量は 65 MCM に減少したが、灌漑面積は年間 5,300±40 ha の範囲で変化していない。ダムの水源は 12 km 先の Gadar Chay で、貯水池が 94 MCM に達すると、流入ゲートが閉じられる。

ダム湖沿いには 3 基の主要なポンプ場があり、現在 2 基（3.2 m³/s、1.9 m³/s のポンプ能力）が稼働している。残りの 1 基（3.5 m³/s）は建設されたが、農業用水の削減政策のために運転が停止されている。RWC によると、32 基の二次ポンプ場が存在する。



図 2.2.21 Hasanlu ダム

2.2.5 関係機関との協議

調査チームは、Tabriz 大学、Urmia 大学、IRIMO を訪問し、プロジェクトの概要とアプローチについて意見交換を行った。

(1) Tabriz 大学訪問

調査チームは、調査の概要、水循環モデル、蒸発散量の推定方法について説明した。Tabriz 大学のリモートセンシング、気象学、農業の研究者の間で意見交換が行われ、Tabriz 大学と ULRP 地域事務所から多数の参加者があった。水循環モデルについては、キャリブレーション期間が議論され、調査チームから水文データの提供を依頼した。蒸発散量の推定については、蒸発散量推定のためのリモートセンシング技術に参加している参加者が多数いるため、METRIC 法についてさまざまな質問があった。



図 2.2.22 Tabriz 大学における協議風景

(2) Urmia 大学訪問

調査チームは、調査の概要、水循環モデル、蒸発散量の推定方法について説明した。調査チームとオルミエ大学のリモートセンシング、気象学、水文学の研究者の間で意見交換が行われ、オルミエ大学と支部から多くの参加者があった。蒸発散量の推定については、METRIC 法における蒸発散量推定の計算手順と精度について議論し、調査に適用することで合意した。



図 2.2.23 Urmia 大学における協議風景

(3) IRIMO 気象観測所

調査チームは、Tabriz の IRIMO 気象観測所を訪問し、観測状況を確認した。観測機器が適切に運用されていることを確認した。



Pan Evaporation Gauge



Anemometer (2m and 10m)



Sunshine Hour Observation
Instrument



Rain Gauge (Manual)



Rain Gauge (Online)



Radiometer (Lower Part is
Reflection Measurement)

図 2.2.24 気象観測所 (IRIMO Tabriz)

2.2.6 その他情報

(1) 関連州間の IWRM 原則

2008 年、IWRM (IWRM 原則) に関する合意が、関連する州 (クルデスタン、東および西アゼルバイジャン) の間で行われた。合意では、年間利用可能な 6.8 BCM のうち 3.1 BCM がオルミエ湖の保全に利用され (西アゼルバイジャンから 60 %、東アゼルバイジャンから 8.7 %、クルデスタンから 30.9 %)、残りの 3.7 BCM は州の独自の目的 (西アゼルバイジャンでは 2.8 BCM、東アゼルバイジャンでは 1.1 BCM、クルデスタンでは 0.6 BCM) で使用することとなっている。この分配量と分配率は、人口、利用可能量、および灌漑エリアの状況に基づいて決定された。

2.3 西部流域における現地調査

西部地域での現地調査およびインタビュー調査の場所を図 2.3.1 に示す。図中の数字は訪問地を示している。また、西部流域の水系概略図を図 2.3.2 に示す。主要な流量観測所と流路網を示した。

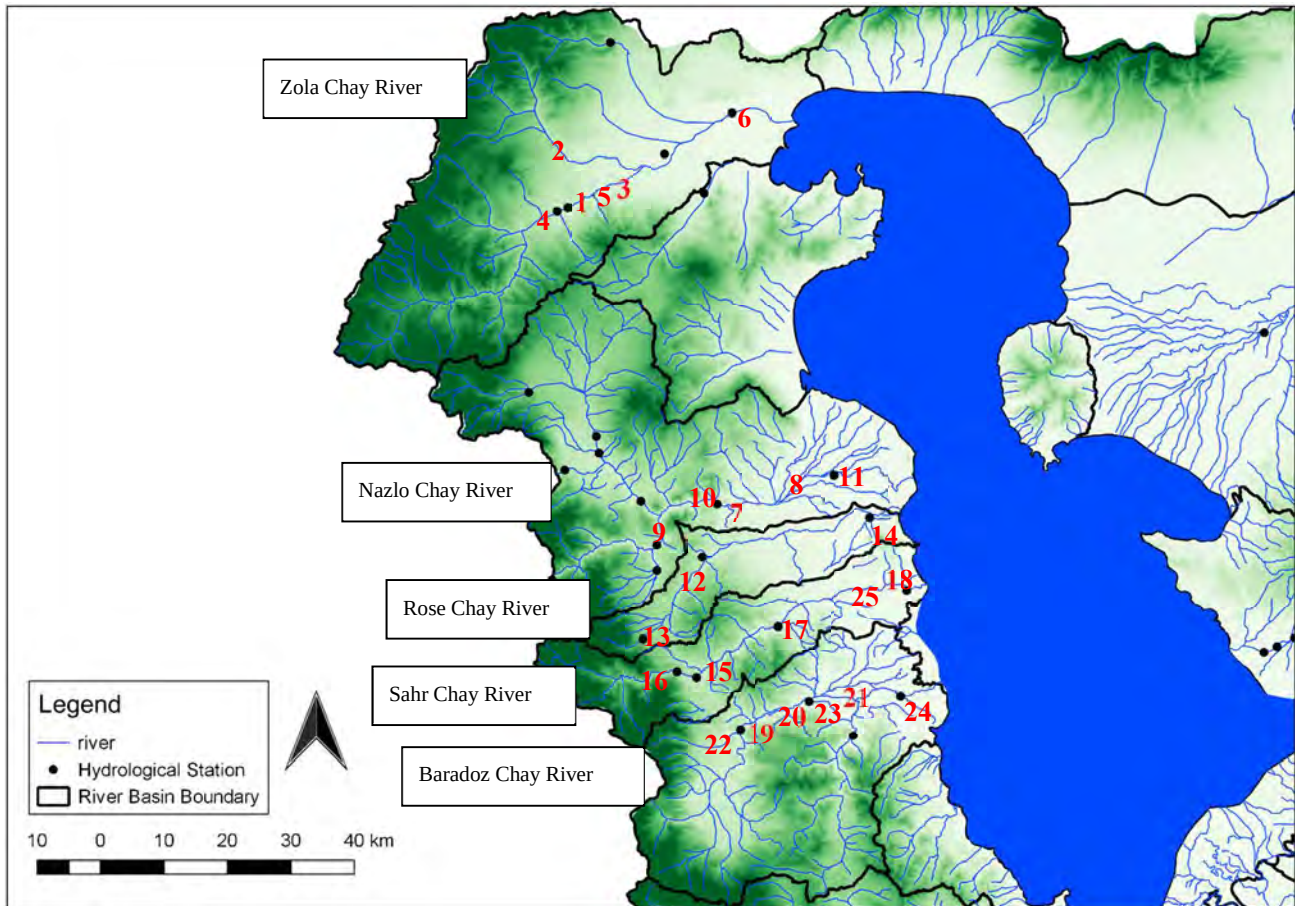


図 2.3.1 現地調査の主要地点（西部流域）

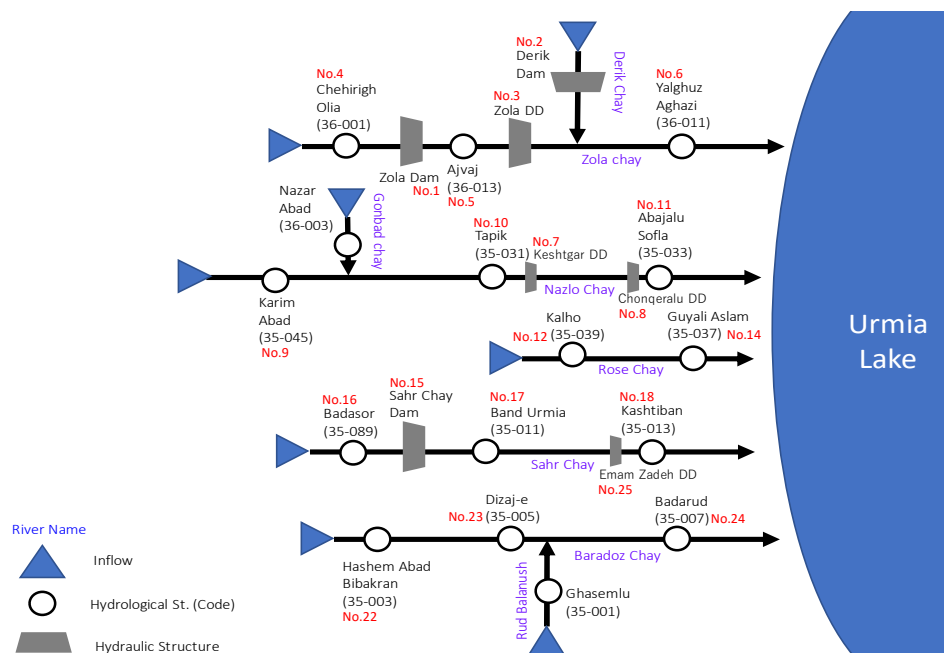


図 2.3.2 主要流量観測所および河川構造物（西部流域）

2.3.1 Zola Chay 川流域

(1) Zola Chay 川沿いの主要な河川構造物

(a) Zola ダム

Zola ダム（図 2.3.1 の No.1）は、Zola Chay 川流域で最大の貯水池であり、72 MCM の貯水容量と年間 162 MCM の上流からの設計流入量がある。WA 職員によれば、実際の降水量は設計時の観測記録に基づいた設定値より少ないとのことで、WA は状況に応じて下流の流量配分を変更している。

Zola Chay ダムの貯水池のほとんどは農業用水であり、約 56 MCM が灌漑、10 MCM は Salmas 市の生活用水に、2 MCM は工業用水となっている。さらに、環境維持流量として 30 MCM の水が確保されており、冬季に放流されてオルミエ湖に到達する。ただし、実際には、降水量の傾向の変化により、放流される水量は少なくなっている（例：2018 年の 17 MCM）。



No. 1 Dam Lake



No. 1 Release of Water from Gate

図 2.3.3 Zola ダム (No. 1 in 図 2.3.1)

(b) Derik ダム

Derik ダム（図 2.3.1 の No.2）は、Zola Chay 川の支流である Derik Chay 川に沿って建設され、設計された貯水容量は、4,500 ha の灌漑エリア向けの 22 MCM である。しかし、現時点では、余水吐き管のゲートが撤去されたことにより、実際の貯水容量は 10.5 MCM 減少し 2,000 ha の灌漑エリアの農業用水を担っている。2 本のパイプライン（左岸：直径 1,400 mm／流量 3.15 m³/s、右岸：直径 700 mm／流量 1.88 m³/s）が将来的に設置される予定である。現時点では、左岸に 1 本だけ設置されたが河道中である。現時点では、0.97 m³/s の放流量が農業用水に使用されている。

降水量が比較的少ない（250 mm）場合でも、約 0.4 m³/s の流入量が確保できる年もあるが、上流での違法取水により流入量がゼロになるケースもある。昨年は約 300 mm の降水量があった。



No. 2 Dam Lake

図 2.3.4 Derik ダム（No. 2 in 図 2.3.1）

(c) Zola Chay 川の分水堰

Zola Chay 川流域は約 8,400 ha の灌漑エリアを有する。Zola 分水堰（図 2.3.1 の No.3）は、Zola Chay ダムと Derik Chay 川との合流点の間に建設され、Zola ダムから放流される水を制御して、Zola Chay 川沿いの両側に灌漑用水を供給する。

Zola 灌漑システムは、それぞれ 6,348 ha の Zola 川流域と 2,000 ha の Darik 川流域（Zola 川の支流）で構成されている。主な作物はリンゴであり、小麦はある程度の地域でのみ栽培されている。この地域の農業用水の総需要は約 132 MCM で、河川水は 100 MCM、地下水は 32 MCM である。

灌漑シーズンのほとんどの期間中、水門は閉鎖されており、下流に流れることはない。すべての水は灌漑に利用されており、湖には流れていない。WA のスタッフによると、例えば、河川水が Yalghuz Aghazi 流量観測所などの下流に流下したと、河床への浸透によって表面上は枯渇することである。よって下流の灌漑地域の唯一の供給源は地下水のポンプ取水である。



Zola Diversion Dam



Flood Gate



Left Channel

図 2.3.5 Zola Diversion ダム (No. 3 in 図 2.3.1)

(2) Zola Chay 川沿いの主要な流量観測所

(a) Chehirigh Olia (36-001), Ajvaj (36-013) and Yalghuz Aghazi (36-011)

Chehirigh Olia 流量観測所（図 2.3.1 の No.4）は、Zola Chay 川の最上流に位置し、乾季であっても、基底流量が豊富に見受けられた。WA によれば、洪水時はピーク流量 185 m³/s を記録することがあったとのことである。

Ajvaj 流量観測所（図 2.3.1 の No.5）は 45 年前に設置され、Zola ダムの最も近い下流に位置し、自動観測システムはなく、手動観測で記録が行われている。

Yalghuz Aghazi 流量観測所（図 2.3.1 の No. 6）は、Zola Chay 川の最下流に位置している。4 月から 5 月までの約 10 日間のみの非常に限定された期間、上流から河川水が流下する。この期間のみ河川水がオルミエ湖に到達することとなる。このように、ほとんどの期間で、河床への浸透のためにこの観測所には河川水が到達せずに流量が観測できていない。同時に、河床への堆砂によって水量の減少も繋がっている。これは水位観測の不正確さを引き起こす原因となっており、将来的に、この観測所付近の浚渫工事によって修復される見込みである。



No. 4 Chehirigh Olia Hydrological Station



No. 5 Ajvaj Hydrological Station



No. 6 Yalghuz Aghazi Hydrological Station

図 2.3.6 主要流量観測所（Zola Chay 川）（No. 4, No. 5 and No. 6 in 図 2.3.1）

2.3.2 Nazlo Chay 川流域

(1) Nazlo Chay 川沿いの主要な水利構造

(a) Keshtgar 分水堰

Keshtgar 分水堰（図 2.3.1 の No. 7）は、ダムのない Nazlo Chay 川の水を制御する主要な河川構造物のひとつとなっている。灌漑シーズン中、この分水堰では、上流からの河川水のほとんど定められた灌漑計画に従って分水され、極めて少量が下流河川に放流される。Nazlo Chay 川の右岸側には Balo（1,200 ha）と Havnag（1,715 ha）、左岸側には Dalmag（717 ha）と Nozlu（1,252 ha）の合計 4 つの灌漑地区が存在する。Balo と Dalmag の灌漑計画は、「Permanent」と指定された水路を利用し、灌漑シーズンを通して水利用が許可される。Havnag と Nozlu は「Seasonal」と指定され、灌漑シーズン中でも限られた期間内で水利用が許可される。「Seasonal」な水路については、地下水が補足として灌漑に利用されている。

現在、上流（Barduk 川）からの河川流量が減少しているため、この分水ダムに到達する水は少なくなっている。WA によると、Nazlo Chay 川流域の上流は、部分的にトルコの行政境界内にあり、一定量の河川水がそこで取水されているとみられる。



Flood Gate



Main Channel for Dalmag
Irrigation Scheme



Main Channel for Balo Irrigation
Scheme

図 2.3.7 Keshtgar Diversion ダム (No. 7 in 図 2.3.1)

(b) Chonqeralu 分水堰

Chonqeralu 分水堰（図 2.3.1 の No.8）は、Keshtgar 分水堰の下流約 15 km に位置する。融雪期に上流から流入する時期に限り、この分水堰から左岸側の灌漑地域 3,000 ha に補足までに給水を行っている。この灌漑地域における主な水源は地下水である。WA によれば、この分水堰は、灌漑シーズン中でも水を利用できるよう計画されたが、Barduk 川からの流入量が減少した、この分水堰に流入する河川水が減少傾向にある。Keshtgar 分水堰周辺の主な作物は水が豊富に必要な果樹園であるが、果樹園と Chonqeralu 分水堰周辺の他の作物（小麦、テンサイ、ジャガイモなど）の割合はそれぞれ 50 %となっている。



No. 8 Chongeralu Diversion Dam

図 2.3.8 Chongeralu Diversion ダム (No. 8 in 図 2.3.1)

(2) Nazlo Chay 川沿いの主要な流量観測所

(a) Karim Abad (35-045), Tapik (35-031) and Abajalu Sofla (35-033)

上流集水域が 506 km² の Karim Abad 流量観測所 (図 2.3.1 の No.9) は、Zola Chay 川の最上流にある。この流量観測所は 1980 年に設置され、記録上の最大河川流量は 122 m³/s である。水利用のための分水堰等の河川構造物がなく、上流域での表流水利用が少ないため、年間を通じて豊富な水量を保っている。WA によると、平常時から平均 5 m³/s の河川流量が確認されてきたが、近年、2 から 3 m³/s 程度に減少傾向にある。水循環モデル構築において、流域境界としては山岳地帯をイランとトルコの国境として設定していたが、現地踏査の結果、流域境界の設定が集水域の過小評価を引き起こしていることが判明した。実際の河川流域にはトルコ側の山岳地帯が含まれているため、西部流域の水循環モデルの構築において、これを考慮して集水域データを変更した。

Tapik 流量観測所 (図 2.3.1 の No. 10) では、Nazlo Chay 川 (Barduk 川) の支流からの流入量が少ないため、流量は Karim Abad と同様に減少傾向にある。WA によれば、Baduk 川からの流入は、トルコの一部に位置する集水域での取水量の増加によって約 1/4 に減少したと考えられる。

Abajalu Sofla 流量観測所 (図 2.3.1 の No.11) は、Nazlo Chay 川の最下流に位置している。WA によると、機器は定期的にメンテナンスされているが、河川内の堆砂や植生による流下能力不足が確認される。これは、オルミエ湖の流入河川下流に設置されたすべての観測所に共通してみられる傾向である。



No. 9 Karim Abad Hydrological Station



No. 10 Tapik Hydrological Station



No. 11 Abajalu Sofla Hydrological Station

図 2.3.9 流用観測所 (Nazlo Chay 川) (No. 9, No. 10 and No. 11 in 図 2.3.1)

2.3.3 Rose Chay 川流域

(1) Rose Chay 川沿いの主要な流量観測所

(a) Kalho (35-039) and Guyali Aslam (35-037)

Kalho 流量観測所 (図 2.3.1 の No.12) は、Rose Chay 川の上流に位置している。豊富な流量を維持している Sahar Chay 川に隣接してはいるものの、Rose Chay 川は表面上枯渇している状況にある (伏流水は存在すると考えられる)。これは、水循環モデルで考慮されるべき支川流域間での帯水層の異なる分布を示唆している。水位観測はフロート式水位計で行われ、1日2回手動記録されている。河道の流下能力は小さく、洪水期 (3~4 月) には、 $20\text{m}^3/\text{s}$ 程度の流量で越流氾濫が発生することがある。

Sirvara (図 2.3.1 の No.13) にある Kalho 川の上流では、飲料水の湧水が発生し、ミネラルウォーターとして生産、販売されている。このことから、当該地域には、豊富な地下水の帯水層が存在することを示唆している。Guyali Aslam 流量観測所 (図 2.3.1 の No.14) は、Rose Chay 川の最下流に位置する。土砂の堆積による疎通能力不足や、激しい洗掘による河道形状の改変によって河川流量の推定精度が低下している可能性がある。水位観測はフロート式水位計で実施されている。ただし観測所は将来的に再建される予定である。



No. 12 Kalho Hydrological Station



No. 13 Spring in Sirvara



No. 14 Gulayi Aslam Hydrological Station

図 2.3.10 流量観測所および湧水地点 (Rose Chay 川) (No. 12, No. 13 and No. 14 in 図 2.3.1)

2.3.4 Sahr Chay 川流域

(1) Sahr Chay 川沿いの主要な水理構造

(a) Sahr Chay ダム

Sahr Chay ダム (図 2.3.1 の No. 15) は 2009 年に建設され、210 MCM の貯水量と、上流からの 220 MCM の年間流入量がある。WA によると、年間流入量の推定には年間流出率の 0.4 が適用される。山岳地帯であり、観測が困難なため、気象データ、特に降水量データが十分ではない。したがって、ダム運用に活用される上流の降水量データは、ダム計画時に適用された降水量と標高の間の回帰式を用いて修正されているとのことである。

年間流入量の 220 MCM のうち、135 MCM は灌漑に利用され (12,000 ha の灌漑面積)、56 MCM はオルミエ市での生活用水に、12 MCM は環境維持流量にそれぞれ利用されている。



No. 15 Dam Lake

図 2.3.11 Sahr Chy ダム (No. 15 in 図 2.3.1)

(b) Sahr Chay 川沿いの分水ダム

Sahr Chay 川には 16 の分水堰が存在する。かつては川沿いに 7,000 ha の灌漑面積があったが、ダムによる流況管理の変化や土砂堆積による施設の老朽化、整備不足のため、3,000 ha の灌漑エリアは、地下水を灌漑用水の水源として利用してきた。基本的に、灌漑のための河川からの取水は禁止され、ポンプによる違法取水は残存するものの、河川水はすべての湖に流入することとなっている。

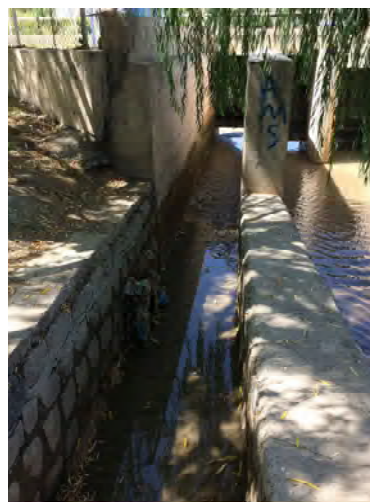


図 2.3.12 Emam Zadeh 分水堰 (No. 25 in 図 2.3.1)

(2) Sahr Chay 川沿いの主要な流量観測所

(a) Badasor (35-089), Band Urmia (35-011) and Kashtiban (35-013)

Badasor 流量観測所 (図 2.3.1 の No.16) は、Sahr Chay 川の最上流にある。ULRP によると、Sahr Chay ダムの建設により、「Mir abad (35-002)」という貯水池内の流量観測所が停止した。ダム建設後、2004 年に Sahr Chay ダムの上流に「Badasor (35-089)」という流量観測所が新たに設置された。同観測所では、最小で年間 $1\sim 2\text{ m}^3/\text{s}$ 程度の流量が確認されている。最大流量は約 $30\sim 40\text{ m}^3/\text{s}$ となっている。WAによると、Sahr Chay 川は「恒常河川」に分類され、夏季でも年間を通じて流量が保たれている。

Band Urmia 流量観測所（図 2.3.1 の No. 17）では、2018 年 8 月の時点で、下流の灌漑用に Sahr Chay ダムから 10～15 m³/s の放流が行われている。水位観測はフロート式水位計で実施され自動観測システムにより毎日午前 8 時と午後 4 時に観測されている。また、河道断面は 6 か月ごとに調査されることになっている。

Kashtiban 流量観測所（図 2.3.1 の No.18）は、Sahr Chay 川の最下流に位置し、堆砂のため、観測所は 2020 年 10 月に 200 m 下流に移設される予定である。

Sahr Chay ダムとこの観測所の間には、3 つの主要な分水施設がある。他の観測所と同様に、フロート式水位計で水位を観測し、1 日 2 回手動で記録している。予算の制限により、河川の維持管理（掘削など）が長期間行われていないため、流量観測所は移設された。



No. 16 Badasor Hydrological Station



No. 17 Band Urmia Hydrological Station



No. 18(1) Kashtiban Hydrological Station



No. 18(2) New Construction Site of Kashtiban Hydro Station.

図 2.3.13 流量観測所（Sahr Chay 川）（No. 16, No. 17 and No. 18 in 図 2.3.1）

2.3.5 Baradoz Chay 川流域

(1) Baradoz Chay 川沿いの主要な水利構造

(a) Baradoz Chay 川沿いの灌漑システム

Baradoz Chay 川に沿って 6 つの分水堰が建設され、約 8,200 ha の灌漑エリアを有する。図 2.3.14 は、Baradoz Chay 川沿いの灌漑計画の概略図を示す。計画灌漑地域外でも、約 3,000 ha に水利権があり、許可された農家は定期的に河川から取水が可能。

基本的に、ゲートは灌漑シーズン中に一定のパターンで制御される（15 日間繰り返し開かれ、3 日間閉じられる）。水利権を有しない灌漑エリアは、上流からの余剰水が発生したときにのみ、取水が行われている。これらの地域では、水不足が絶えず発生しており、農民は地下水を農業のために補足として利用している。

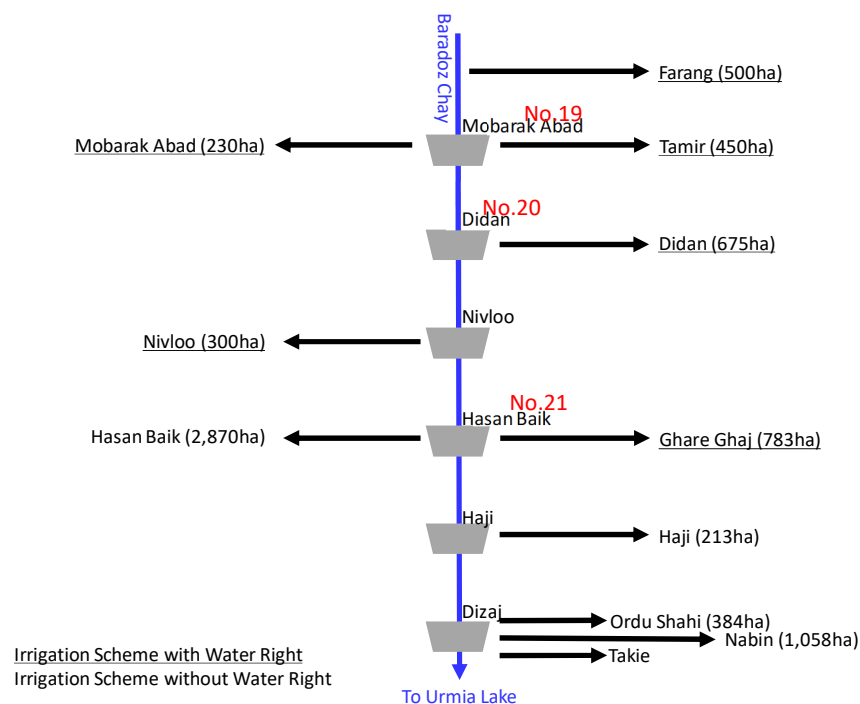


図 2.3.14 Baradoz Chay 川における灌漑システムの概要図

(b) Baradoz Chay 川沿いの主要分水ダム

Mobarak Abad 分水堰（図 2.3.1 の No.19）には、右側に Mobarakan 水路（230 ha、230 L/s）と左側に Tamir 水路（450 ha、450 L/s）の 2 つの水路があり、どちらの灌漑タイプも伝統灌漑を行っている。主な作物はリンゴである。

どちらの灌漑にも水利権があり、特定の取水量は決まっていないが、一定の期間、取水のためにゲートを開ける権利を持つ。灌漑シーズン（6月から8月）では、両方の水路のゲートが繰り返し制御される。つまり、15 日間のオープンと 3 日間のクローズの制御が行われる。

Mobarakabad 灌漑地域の場合、3 か月にわたって 230 L/s（約 4 MCM）の取水が行われていると想定されている。この量を灌漑面積（230 ha）で割ると、1700 mm プラス 400 mm の降水深度が畑に与

えられる。リングに必要な水量（約 1,500 mm）と洪水灌漑の灌漑効率（約 60 %）を考慮すると、この値は適切と思われる。

Didan 分水堰（図 2.3.1 の No.20）は、Didan 灌漑計画への灌漑用水の供給のために新しく建設された。基本的に、Mubarak Abad 分流堰と同じゲート操作の概念が適用される。

Hasan Baik 分水ダム（図 2.3.1 の No.21）は、Ghareghaj 灌漑計画のための水利権のある最も低い場所にある。このとき（基本的には灌漑シーズン中）、すべての河川水は灌漑水路に流れ、Baradoz Chay 川の下流には流れない。WA 職員によれば、灌漑水路の流量は約 $0.1 \text{ m}^3/\text{s}$ であり、灌漑用水の需要を満たしていない。補足として、違法取水を含む地下水が灌漑に利用されている。



No. 19 Mobarak Abad Diversion Dam



No. 20 Didan Diversion Dam



No. 21 Hasan Baik Diversion Dam

図 2.3.15 分水堰（Baradoz Chay 川）（No. 19, No. 20 and No. 21 in 図 2.3.1）

(2) Baradoz Chay 川沿いの主要な流量観測所

(a) Hashem Abad Bibakran (35-003), Dizaj-e (35-005) and Badarud (35-007)

Hashem Abad Bibakran 流量観測所（図 2.3.1 の No.22）は、Baradoz Chay 川の最上流にある。この川は、オルミエ湖流域の西部の山岳地帯にある「恒常河川」として分類され、年間を通じて流れがある。

夏季には $1\text{m}^3/\text{s}$ の基底流量を維持できている。WA によると、この観測所周辺では、冬季に約 1m の積雪が観測される。山岳地帯の実際の積雪深は不明であるが、この値は比較的大きいと推察される。

Dizaj-e 流量観測所（図 2.3.1 の No.23）は、Didan 分水堰の下流にある。上流域での取水により、流量は小さく約 $0.5\text{m}^3/\text{s}$ 程度と見受けられた。

洪水期には水深が 2 m に達し、河川幅（20 m）と流速（ $2\text{m}/\text{s}$ ）を考慮すると、平均流量は約 $80\text{m}^3/\text{s}$ 程度と推察される。WA によれば、2017 年には 25 年確率（ $250\text{m}^3/\text{s}$ ）の洪水が観測され、周辺地域への氾濫と堤防崩壊の被害が発生している。

Badarud 流量観測所（図 2.3.1 の No.24）は、Baradoz Chay 川の最下流に位置している。10 月から 5 月にかけて、上流での取水の影響により河床が露出し、灌漑シーズン中は河川水が枯渇する。この観測所付近も堆砂が発生しており、低水位時の観測精度が下がる恐れがある。低水位の観測が困難な場合、通常は 1 日 2 回、洪水時の場合は 1 時間に 1 回、スタッフゲージによる目視観測が行われている。



No. 22 Hashem Abad Bibrakran Hydrological Station



No. 23 Dizaj-e Hydrological Station

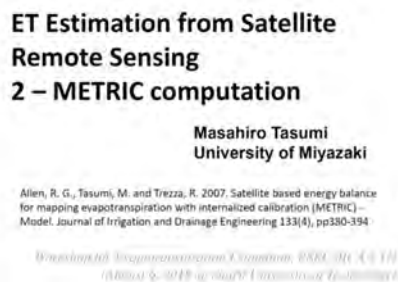
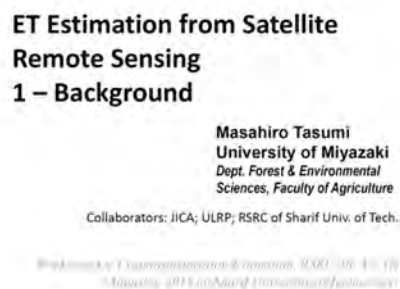


No. 24 Badarud Hydrological Station

図 2.3.16 流量観測所 (Baradoz Chay 川)

(b) ワークショップ

2018 年 8 月、シャリフ工科大学で ULRP 主催のワークショップが開催され、調査チームのメンバーによるワークショップが行われた。シャリフ工科大学の学生や教職員など約 50～60 名が参加し、ワークショップでは、「(1) 衛星画像を用いた蒸発散量の推定の概要」と「(2) 計算方法」について説明が行われた。ULRP ウェブサイトにその概要が掲載されている。



☒ 2.3.17 Document Explanation



図 2.3.18 ULRP Website



図 2.3.19 ワークショップ会場

2.4 東部流域における現地調査

調査チームは、オルミエ湖流域の水循環モデリングの状況を確認するため東部流域の現地調査を実施した。現地調査中に、RWC 東アゼルバイジャンの同行スタッフとのインタビュー調査も実施された。訪問したサイトはそれぞれ図 2.4.1、図 2.4.2 の通りであり、調査の概要は以下に示す。図中の数字は訪問地を示している。図 2.4.3 には東部地域の水路網の模式図を示す。

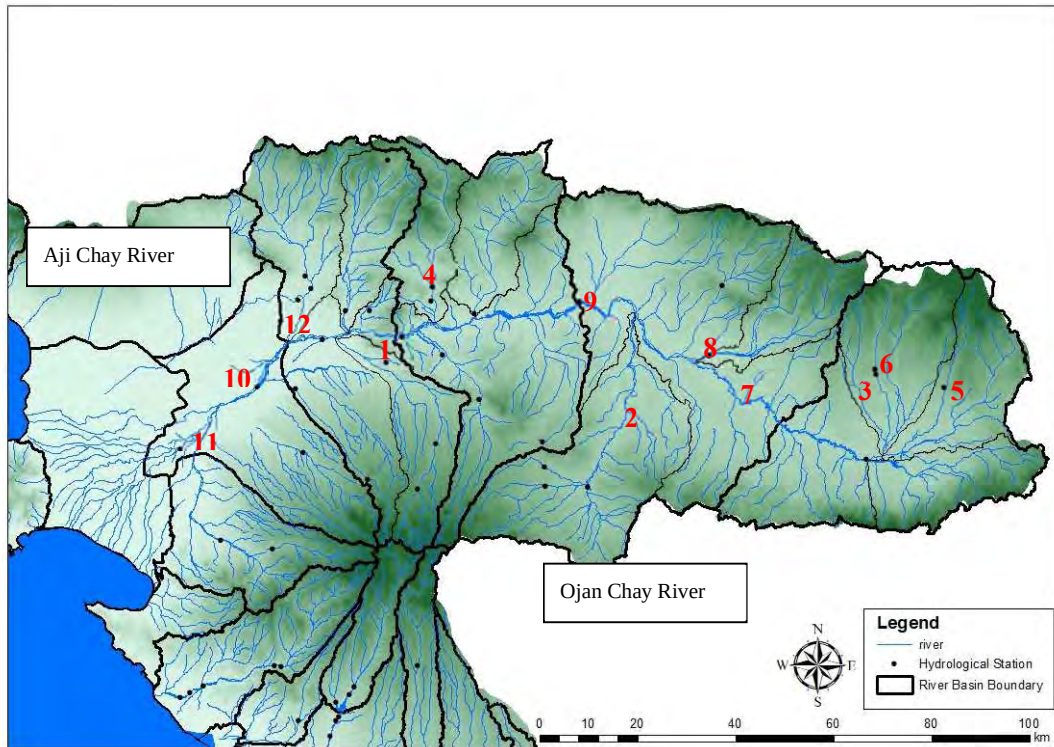
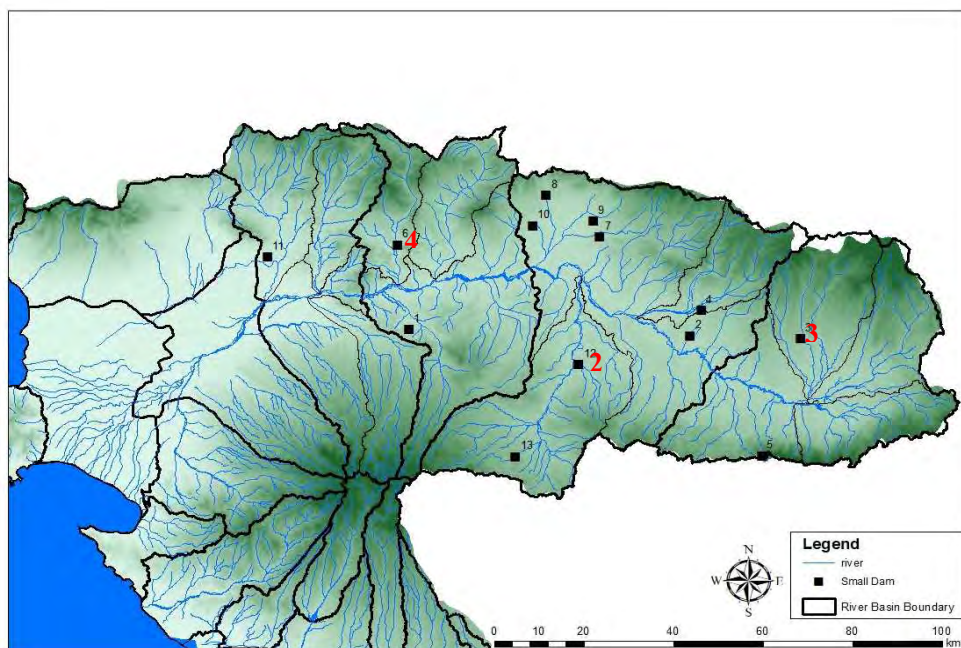


図 2.4.1 現地調査地点（東部流域）



*Numbers refer to those indicated in 表 2.4.1, Red letters indicate dams confirmed by the Survey Team.

図 2.4.2 小規模ダムの位置図（Aji Chay 川流域）

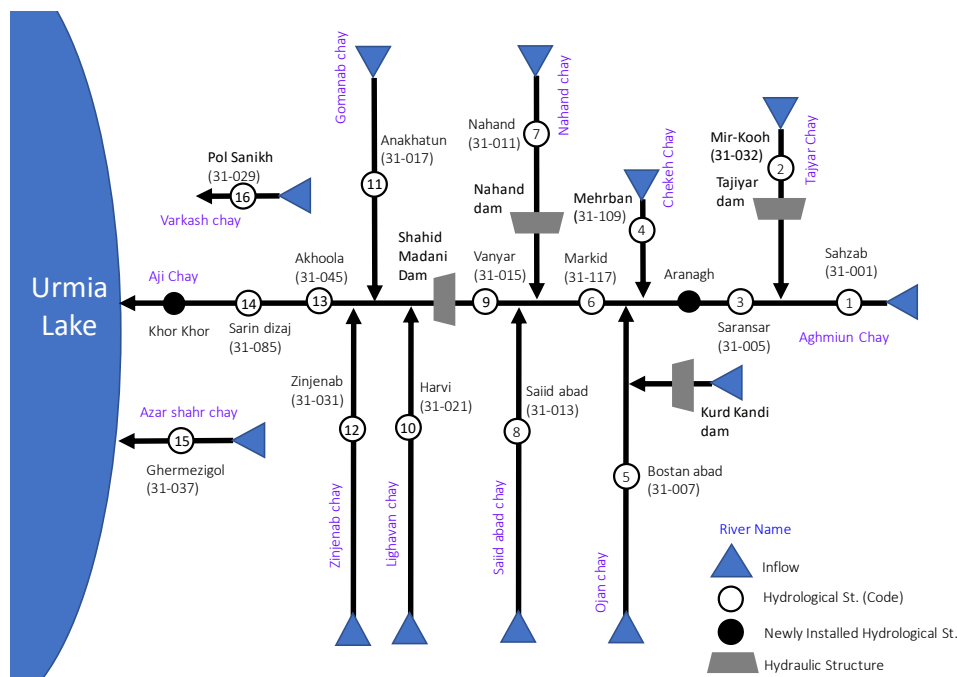


図 2.4.3 主要流量観測所および河川構造物（東部流域）

2.4.1 Aji Chay 川沿いの主要な河川構造物

(1) Shahid Madani ダム

Shahid Madani ダムは、別名 Vanyar ダム（図 2.4.1 の No. 1）と呼ばれ、280 MCM の貯水容量を備えており、Aji Chay 川流域で最大の貯水池である。ダムの建設はすでに完了しているが、Nahand ダムから Tabriz 市までの飲料水パイプラインのルート上にこのダムが位置しているため、パイプラインと道路の配置が完了するまで、ダムの運用は開始できない。

このダムは主に農業用水を供給する目的で建設された。いくつかの支川からの一定の流入量が確保できることから、ULRP はオルミエ湖の回復のために非灌漑期間（秋から冬）に維持流量を放流することを決定している。灌漑期は、下流域の灌漑用水確保のため、放流が行われる計画となっている。



図 2.4.4 Shahid Madani ダム (No. 1 in 図 2.4.1)

(2) 水利用小ダム（貯水池）

Tabriz 市への生活用水用の Nahand ダムの他に、農業用水を主な目的として 13 の小規模ダム（貯水池）が建設されている。

(a) Kordikandi ダム（図 2.4.1 の No. 2 および図 2.4.2 の No. 12）

Sarab に位置するこのダムは、2 つの村の 600 ha（5.6MCM /年）の灌漑用水ために建設された。この地域の主な作物は大麦、小麦、飼料作物、ジャガイモである。灌漑シーズンは 5 月末から 9 月末であり、主にジャガイモに 7 日ごとに水が割り当てられる。取水ゲート（φ600mm のバルブゲート）の操作は、農家と水道局の経験に基づき運用されている。

ダムへの流入水路は 1 つだけで、Ojan Chay から分派した 0.4 m³/s が流入している。最大流入量は 1.0 m³/s 程度である。Ojan Chay は、年間最大 25 m³/s、年平均流量 0.5～1.0 m³/s 程度の季節河川である。小麦は天水地帯で栽培され、必要に応じて地下水取水が利用される。小麦の播種は 10 月で、栽培は 8 月の終わりである。

(b) Tajiyar ダム（図 2.4.1 の No. 3 と図 2.4.2 の No. 3）

Sarab に位置するこのダムは、2 つの村にある 340 ha（4.3 MCM/年）の灌漑用水のために建設された。主な作物は小麦、アルファルファ、キャノーラである。耕作地に加圧灌漑（テープ灌漑）を導入しており。灌漑スケジュールは Kordikandi ダムと同じである。なお流入河川である Tajiyar Chay は季節河川である。

(c) Nahand ダム（図 2.4.1 の No. 4 と図 2.4.2 の No. 6）

Nahan ダムは、生活用水のみ年間 26 MCM を給水している。1996 年に建設されており、Tabriz から 0.8 m³/s の配水用の φ800 mm パイプが敷設されており、水不足は報告されていない。

表 2.4.1 Aji Chay 川流域における小規模ダム諸元

No.	Name	UTM_x (m)	UTM_y (m)	Height (m)	Length (m)	Storage Capacity (MCM)	Operation Year	Cultivated Area (ha)
1	Malek Kian	632307	4211829	33	223	8.80	1993	0
2	Ardalan	695135	4210361	12	600	6.57	1985	1,080
3	Tajyar	719674	4209626	34	403	3.50	2003	635
4	Gheisaragh	697640	4216296	21	970	2.80	1990	520
5	Fazel Goli	711054	4182132	14	64	2.13	1985	850
6	Nahand	629724	4231719	35	730	21.57	1996	0
7	Param	674930	4233620	17	420	3.37	1997	825
8	Yengje	663008	4243345	8	230	0.50	1984	100
9	Minagh Khaki	673477	4237334	10	520	0.30	1984	80
10	Khormalou	659875	4236185	4	140	0.33	1984	65
11	Amand	600752	4228837	19	211	2.00	1995	117
12	Kordkandi (Vahdat)	670171	4203609	15	2,500	5.40	2004	614
13	Joghan	655993	4181943	38	180	3.00	2011	362
Total						60.27		5,248

*Provided by ULRP



Kordikandi Dam (No. 2 in 図 2.4.1 and No. 12 in 図 2.4.2)



Tajiyar Dam (No. 3 in 図 2.4.1 and No. 3 in 図 2.4.2)



Nahand Dam (No. 4 in 図 2.4.1 and No. 6 in 図 2.4.2)

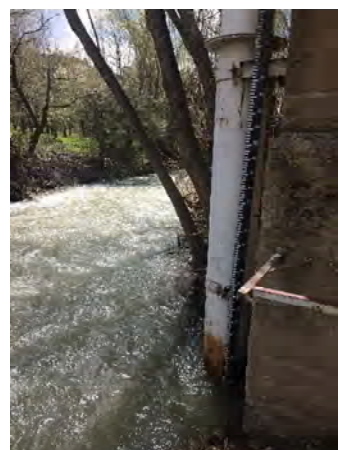
図 2.4.5 現地調査を行った小規模ダム

2.4.2 Aji Chay 川流域の流量観測所訪問

(1) 上流 (Sahzab (31-001), Mirkuh Haji (31-032))



Sahzab Hydrological Station (No. 5 in 図 2.4.1)



Mirkuh Haji Hydrological Station (No. 6 in 図 2.4.1)

図 2.4.6 流量観測所 (Aji Chay 川上流域)

(2) 中流域の観測所 (Aranagh, Mehrban (31-109) and Markid (31-117))



Aranagh Hydrological Station (No. 7 in 図 2.4.1)



Mehrban Hydrological Station (No. 8 in 図 2.4.1)



Markid Hydrological Station (No.9 in 図 2.4.1)

図 2.4.7 流量観測所 (Aji Chay 川中流域)

(3) 下流域の観測所 (Akhola (31-045), Khor Khor and Pol Sanikh (31-029))



Akhola Hydrological Station (No. 10 in 図 2.4.1)



Khor Khor Hydrological Station (No. 11 in 図 2.4.1)



Pol Sanikh Hydrological Station (No.12 in 図 2.4.1)

図 2.4.8 流量観測所 (Aji Chay 川下流域)

2.5 現地調査を踏まえた水循環モデル構築への方向性

2.1 節から 2.4 節で述べた現地調査によって水循環モデル構築に有用な情報を数多く得ることができた。これらの情報について以下の通り要約する。これら踏まえて、水循環モデル構築作業が行われる。

(1) 大量な不正水利用者の存在

ULRP と関連機関から、不正な違法取水が流域に存在していることが示され、説明が行われた。ULRP の地方事務所は、現地調査と技術運営委員会の会議において、無許可の違法取水量は、許可水量の数倍に至り、無許可の違法取水地点は、管理施設およびダム湖に沿って散在していると言及した。無許可の違法取水に関する情報は、その取水量と取水方法、取水場所の観点で、非常に制限されているものの、水循環モデルでは違法取水量を無視することはできない。したがって、調査チームと ULRP は、水循環モデリングを通じてこの状況を解決することを決定した。水循環モデルでいくつかのメカニズムを構築し、衛星画像から推定された蒸発散量に基づいて適切な取水データを推進する。

(2) 灌漑用水路の条件の確保

ダムや堰の下流には、主要な用水路が見られる。明確な概略図は調査チームに提供されていないが、調査団は現地調査中に情報を入手し、ULRP および IWRM Co. と協議し情報を修正した。この情報は、水循環モデルで河川の主流から主要な取水ポイントを設定するために非常に重要である。

(3) シミュレーション期間中のダム運用状況

ULRP は、ダムモジュールのリストを水循環モデルに組み込むための関連情報とともに、ダムのリストを調査チームに提供した。シミュレーション期間中の運用年や運用ルールなどの正確な条件は、現地調査でも確認されている。ダムから別の河川流域の都市への流域間導水も、流域全体で水文のバランスを保つことが確認された。

(4) 既存の対策

前回の調査で提案されたオルミエ湖救済対策のいくつかは、流域ですでに実施されている。今回の調査では、調査チームと ULRP は稼働状況を確認するため、実施した対策の現場を視察し、条件を既存の対策としてモデルに組み込んだ。

(5) 流量観測所と農地の状況確認

調査チームと ULRP は、現場でのモデルキャリブレーションの対象観測所として決定されたほとんどの流量観測所の状況を確認した。得られた情報は、観測された流量データの質と精度を確認した上で効果的に使用された。また、蒸発散量の推定に寄与する農地の状況や気象観測などの現地情報を現地で直接確認した。