

イランイスラム共和国
エネルギー省 (MOE)
水資源管理公社 (WRMC)

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
(ファスト・トラック制度適用案件)

ファイナルレポート

平成 28 年 2 月
(2016 年)

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
株式会社 建設技術研究所

環境
JR
16-036

独立行政法人 国際協力機構 (JICA)

エネルギー省 (MOE)

水資源管理公社 (WRMC)

イランイスラム共和国

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
(ファスト・トラック制度適用案件)

ファイナルレポート

平成 28 年 2 月
(2016 年)

株式会社 建設技研インターナショナル

株式会社 建設技術研究所



調査対象地域位置図

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
(ファスト・トラック適用案件)

ファイナルレポート

目次

調査対象地域位置図	
目次.....	i
表目次.....	iii
図目次.....	v
巻末資料.....	viii
略語表.....	ix
第1章 プロジェクトの概要.....	1-1
1.1 背景.....	1-1
1.2 目的と効果.....	1-1
1.3 対象地域.....	1-2
1.4 実施スケジュール.....	1-2
1.5 要員構成.....	1-2
1.6 実施体制.....	1-2
第2章 自然条件.....	2-1
2.1 オルミエ湖.....	2-1
2.1.1 オルミエ湖の概要.....	2-1
2.1.2 オルミエ湖の水位、面積、貯留量変動.....	2-3
2.1.3 オルミエ湖の水質.....	2-7
2.2 流入河川の概要.....	2-7
2.2.1 河川網.....	2-7
2.3 地形.....	2-10
2.4 土地利用.....	2-10
2.4.1 オルミエ湖流域における土地利用の変化.....	2-10
2.4.2 灌漑農地および果樹園における灌漑用水量の推定.....	2-14
2.5 水文地質・地質構造.....	2-15
2.6 水文気象.....	2-17
2.6.1 オルミエ湖流域の気象特性.....	2-17
2.6.2 水文特性.....	2-19
2.6.3 流域平均蒸発量および湖面蒸発量の推定.....	2-28
2.6.4 地下水.....	2-31
第3章 水利用関連施設.....	3-1
3.1 モニタリングネットワーク.....	3-1
3.2 ダムおよび堰.....	3-5
3.2.1 ダムおよび堰の概要.....	3-5
3.2.2 ダムおよび堰のインベントリー.....	3-7
3.2.3 ダムの運用状況.....	3-11
3.3 農業施設.....	3-16
3.4 その他(井戸やポンプ等).....	3-17

第4章	オルミエ湖概略水収支の検討	4-1
4.1	収集情報の内容.....	4-1
4.1.1	関係機関による類似調査.....	4-2
4.1.2	オルミエ救済委員会の地下水と湖水の連携に関する見解.....	4-2
4.2	活用した水文・気象データ.....	4-3
4.3	オルミエ湖概略水収支の検討方法と手順.....	4-3
4.4	水資源量の予備的検討.....	4-7
4.4.1	降水量（ボリューム換算）.....	4-7
4.4.2	オルミエ湖の貯留量、水面積および干上がった面積.....	4-9
4.4.3	オルミエ湖エリアの年蒸発量の推定.....	4-12
4.5	水利用量の推定.....	4-13
4.5.1	水利用量に関し収集したデータ.....	4-13
4.5.2	ダムからの水供給パターン.....	4-13
4.5.3	エネルギー省のマスタープランレポート.....	4-15
4.5.4	水利用量の推定.....	4-18
4.6	オルミエ湖エリアの概略水収支の把握.....	4-21
第5章	分布型物理流出モデルの構築	5-1
5.1	分布型物理流出モデルの必要性及び採用モデルについて.....	5-1
5.2	MIKE-SHEによる分布型物理流出モデルの構築.....	5-2
5.2.1	MIKE-SHEの理論.....	5-2
5.2.2	MIKE-SHEの支配方程式.....	5-4
5.2.3	解析モデルの設定方法（MIKE-SHE）.....	5-8
5.2.4	定数解析の実施（パラメータの検証計算）と結果.....	5-26
5.2.5	解析モデルによる水収支の評価（MIKE-SHE）.....	5-38
5.3	GETFLOWSによる分布型物理流出モデルの構築.....	5-46
5.3.1	GETFLOWSの理論.....	5-47
5.3.2	解析モデルの設定（GETFLOWS）.....	5-52
5.3.3	定数解析の実施（パラメータの検証計算）と結果.....	5-60
5.3.4	GETFLOWSによるオルミエ湖流域水循環機構.....	5-64
第6章	対策案の評価	6-1
6.1	各種対策案の内容.....	6-1
6.1.1	検討対象事業.....	6-1
6.1.2	事業効果の検討.....	6-2
6.1.3	各種対策案による湖流域への影響検討.....	6-4
6.1.4	事業組合せについての検討.....	6-6
第7章	結論と提言	7-1
7.1	結論.....	7-1
7.1.1	水位低下のメカニズムについて.....	7-1
7.1.2	救済事業の効果と事業組合せについて.....	7-3
7.2	提言.....	7-4
7.2.1	モデルの精度向上.....	7-4
7.2.2	様々な対策案の実施に係るさらなる検討の方向性.....	7-8
7.2.3	今後のモデル活用の可能性.....	7-9

表 目 次

表 1.5.1	調査団構成.....	1-2
表 2.1.1	オルミエ湖流域の一般諸元.....	2-2
表 2.1.2	オルミエ湖流域内の州別人口（2011年時点）.....	2-2
表 2.1.3	オルミエ湖の水位・湖面積・貯留面積の比較.....	2-4
表 2.1.4	オルミエ湖の月毎の平均水位および変化量.....	2-6
表 2.1.5	オルミエ湖の月毎の貯留量および変化量.....	2-6
表 2.2.1	河川網の内訳.....	2-8
表 2.2.2	流域諸元.....	2-9
表 2.4.1	土地利用の変化量および変化率（オルミエ湖流域全体）.....	2-11
表 2.4.2	農地（乾燥農地・灌漑小麦・果樹園）の変化量および変化率（オルミエ湖流域全体）.....	2-11
表 2.4.3	1987年および2007年における灌漑小麦農地および果樹園の灌漑用水量.....	2-14
表 2.5.1	各地質年代の岩相.....	2-15
表 2.6.1	Urmia および Tabriz における年降水量、年間パン蒸発量および最大気温、最低気温、平均気温.....	2-18
表 2.6.2	代表河川流末における流域平均雨量と月平均流量の経年平均（ダムの影響無し）.....	2-22
表 2.6.3	流入河川末端地点における年間流出率.....	2-25
表 2.6.4	主要河川流域毎の平均流出高.....	2-26
表 2.6.5	高い平均流出高が確認された観測所.....	2-27
表 2.6.6	可能蒸発散量算出方法.....	2-29
表 2.6.7	蒸発散量の補正率算出結果（日蒸発量データ使用）.....	2-29
表 2.6.8	オルミエ湖周辺のパン蒸発計の年蒸発量およびティーセン係数.....	2-30
表 2.6.9	西アゼルバイジャン帯水層観測結果-水位および水位低下量(m).....	2-33
表 2.6.10	東アゼルバイジャン帯水層観測結果-水位および水位低下量(m).....	2-33
表 2.6.11	地下水位の最大および最低値を示す月.....	2-34
表 3.1.1	オルミエ湖における雨量観測所.....	3-2
表 3.1.2	オルミエ湖流域内の流量観測所.....	3-2
表 3.2.1	オルミエ湖流域のダムに関するインベントリーリスト.....	3-8
表 3.2.2	河川流域毎のダムの数および貯水容量.....	3-10
表 3.2.3	日運用データを収集したダム.....	3-11
表 3.4.1	オルミエ湖流域における目的別の許可水量および割合.....	3-17
表 4.1.1	分布型物理流出モデル構築に必要な基礎データの概要と収集状況（2015年2月末時点）.....	4-1
表 4.3.1	オルミエ湖に関する年単位の概略水収支の検討ステップ.....	4-4
表 4.4.1	オルミエ湖流域の流域平均年降水量（上：標準水文年、下：イラン水文年）.....	4-7
表 4.4.2	オルミエ湖流域全体の年間の降水量（ボリューム換算）.....	4-8
表 4.4.3	オルミエ湖の水面積、干上がった面積および貯留量の経年変化.....	4-12
表 4.5.1	農業用水に関するマスタープランレポートに記載の農業用水の現状.....	4-16
表 4.5.2	地下水に関するマスタープランレポートに記載の地下水量の現状.....	4-17
表 4.5.3	飲料水に関するマスタープランレポートに記載の飲料水量の現状.....	4-17
表 4.5.4	工業用水に関するマスタープランレポートに記載の工業用水量の現状.....	4-18
表 4.5.5	表流水と地下水の取水・給水量の調整係数.....	4-19
表 4.6.1	オルミエ湖の年間水収支計算のケースと結果.....	4-23
表 4.6.2	オルミエ湖の年間水収支計算結果（ケース8）.....	4-25
表 5.2.1	解析モデルの条件設定の概要（MIKE-SHE）.....	5-8

表 5.2.2	湖の水収支の構成要素ならびに対応する項目	5-12
表 5.2.3	パン蒸発に対する割合 (1997年～1999年)	5-12
表 5.2.4	パン蒸発に対する割合 (2007年～2009年)	5-12
表 5.2.5	蒸発量観測所一覧	5-14
表 5.2.6	地質パラメータ	5-16
表 5.2.7	パラメータ一次設定値	5-16
表 5.2.8	土地利用と粗度係数の対比表	5-17
表 5.2.9	モデル化した河道一覧	5-20
表 5.2.10	河道断面の設定	5-20
表 5.2.11	放流量/総貯水容量の割合	5-21
表 5.2.12	推定される取水量およびダム供給量に対する割合	5-24
表 5.2.13	月別の農業用取水パターン	5-25
表 5.2.14	湖水位の変化に大きく寄与すると考えられるパラメータ	5-26
表 5.2.15	設定した感度分析ケース (Drainage)	5-30
表 5.2.16	モデル化した河川における検証対象地点名	5-32
表 5.2.17	検証対象地点における流出率 (1999年～2007年)	5-33
表 5.2.18	モデル化した河川の流域面積および観測流量	5-35
表 5.2.19	検証結果 (河川流量および流出率)	5-36
表 5.2.20	パラメータ最終値	5-37
表 5.2.21	湖における水収支	5-39
表 5.2.22	Bukan ダムにおける流入出量の比較	5-39
表 5.2.23	河川流入割合 (計算結果に基づく)	5-40
表 5.2.24	オルミエ湖流域において推定される水収支	5-40
表 5.3.1	GETFLOWS の条件設定の概要	5-52
表 5.3.2	MIKE-SHE と GETFLOWS の条件比較	5-53
表 5.3.3	可能蒸発散量一覧	5-56
表 5.3.4	検証結果 (河川流量および流出率)	5-60
表 5.3.5	パラメータ最終値	5-62
表 5.3.6	モデル精度向上に必要なデータ	5-63
表 5.3.7	湖における水収支 (地表)	5-65
表 5.3.8	湖における水収支 (地下)	5-65
表 5.3.9	Simine Rud における水収支 (地表)	5-65
表 5.3.10	Simine Rud における水収支 (地下)	5-65
表 5.3.11	Gedar Chay における水収支 (地表)	5-66
表 5.3.12	Gedar Chay における水収支 (地下)	5-66
表 5.3.13	Aji Chay における水収支 (地表)	5-66
表 5.3.14	Aji Chay における水収支 (地下)	5-66
表 6.1.1	評価の定量化が可能な救済事業	6-1
表 6.1.2	最終検討 6 事業	6-2
表 6.1.3	モデルの境界条件	6-2
表 6.1.4	事業効果についての概略計算 (年降水量 355mm-2007 年の状況)	6-4
表 6.1.5	単独事業実施による到達水位と水位増減スピード	6-5
表 6.1.6	事業実施規模に応じた到達水位と水位増減	6-6
表 6.1.7	全事業実施による回復水位と回復のスピード	6-7
表 6.1.8	考えられる事業の組合せ	6-8
表 6.1.9	B1 シナリオにおける降水量の変化率	6-10
表 7.2.1	モデルの同定および予測計算の精度の向上に必要な情報一覧	7-5

目次

図 1.4.1	全体スケジュール.....	1-2
図 2.1.1	オルミエ湖の位置図.....	2-1
図 2.1.2	オルミエ湖の水位・湖面積・貯留面積の変動.....	2-3
図 2.1.3	オルミエ湖の年最高、最低、平均水位の経年変化.....	2-3
図 2.1.4	オルミエ湖の H-A カーブおよび H-V カーブ.....	2-4
図 2.1.5	オルミエ湖の月毎の平均水位（上）および貯留量（下）の変動.....	2-5
図 2.1.6	オルミエ湖の日水位と流域平均降水量（2007年～2011年）.....	2-6
図 2.2.1	河川網の分布状況.....	2-8
図 2.2.2	流入河川および流域分割.....	2-9
図 2.4.1	1987年と2007年における土地利用面積の比較（km ² ）.....	2-10
図 2.4.2	1987年の土地利用分布.....	2-11
図 2.4.3	2007年の土地利用分布.....	2-12
図 2.4.4	1987年から2007年にかけての土地利用変化（乾地農業）.....	2-12
図 2.4.5	1987年から2007年にかけての土地利用変化（灌漑小麦）.....	2-13
図 2.4.6	1987年から2007年にかけての土地利用変化（果樹林）.....	2-13
図 2.5.1	オルミエ流域の地質図と断層.....	2-16
図 2.5.2	オルミエ湖流域周辺の震源図.....	2-17
図 2.6.1	Urmia（左）および Tabriz（右）における月降水量、月間パン蒸発量および月平均気温.....	2-17
図 2.6.2	Urmia（上）および Tabriz（下）における年降水量、年間パン蒸発量および最高気温、最低気温、平均気温の推移.....	2-18
図 2.6.3	平均年降水量のコンター図.....	2-20
図 2.6.4	WORLDCLIM における年間降水量分布.....	2-20
図 2.6.5	観測所の標高と年間降水量の関係（東アゼルバイジャン州）.....	2-21
図 2.6.6	観測所の標高と年間降水量の関係（西アゼルバイジャン州）.....	2-21
図 2.6.7	主要河川の流末地点.....	2-23
図 2.6.8	流末地点におけるハイエトハイドログラフ(月別)(1/2).....	2-23
図 2.6.9	年間流出率を算出した主要河川の流末地点.....	2-25
図 2.6.10	流量観測地点毎の流出高の分布図.....	2-26
図 2.6.11	高い流出高が確認された流量観測所の日流量ハイドログラフ.....	2-27
図 2.6.12	年蒸発量（パン蒸発計）の分布とティーセン分割.....	2-28
図 2.6.13	オルミエ湖周辺の年蒸発量の分布とティーセン分割.....	2-30
図 2.6.14	オルミエ流域の地下水位変化量（2004年～2014年）.....	2-31
図 2.6.15	オルミエ流域の地下水位の変化（2004年～2014年）.....	2-32
図 2.6.16	井戸の深度.....	2-35
図 2.6.17	縦断図位置.....	2-35
図 2.6.18	井戸の深度（S1 ライン）.....	2-36
図 2.6.19	井戸の深度（S2 ライン）.....	2-36
図 2.6.20	井戸水の電気伝導度（単位：μS/cm）.....	2-37
図 2.6.21	現状の塩分拡散の様子.....	2-38
図 2.6.22	将来の塩分拡散の様子.....	2-38
図 3.1.1	流量観測所(Akhola 観測所、Aji Chay 川下流).....	3-1
図 3.1.2	オルミエ湖流域内の雨量観測所.....	3-3
図 3.1.3	オルミエ湖流域内の流量観測所.....	3-4
図 3.2.1	Zarineh Rud 川流域の Bukan ダム（集水面積 6,890km ² 、貯水容量 486 MCM）の状況.....	3-5

図 3.2.2	Shahr Chay 川流域の Shahrchay ダム(集水面積 330km ² 、貯水容量 213MCM)の状況.....	3-6
図 3.2.3	Mahabad 川流域の Mahabad ダム (集水面積 806km ² 、貯水容量 190MCM)の状況.....	3-6
図 3.2.4	Aji Chay 川流域で建設中の Shahid Madani-Vanyar ダム(集水面積 7,723km ² 、貯水容量 280MCM) の状況.....	3-6
図 3.2.5	Aji Chay 川の比較的古い農業用取水堰と灌漑水路	3-7
図 3.2.6	Aji Chay 川で建設中の農業用取水堰 (Dashte Tabriz 堰) (下流側)	3-7
図 3.2.7	オルミエ湖流域における既設・建設中・計画中のダムの位置図.....	3-9
図 3.2.8	Bukan ダムの日単位の経年的な貯水池の運用状況.....	3-12
図 3.2.9	Bukan ダムの年単位の経年的な貯水池の運用状況.....	3-13
図 3.2.10	運用データを収集したオルミエ流域の 12 基の既存ダムに関する日単位の合計運用水量の経年変化.....	3-14
図 3.2.11	運用データを収集したオルミエ流域の 12 基の既存ダムに関する年単位の合計運用水量の経年変化.....	3-15
図 3.3.1	Tabriz より南側で開発中の灌漑システムの水路と分水施設 (Aji Chay 川流域内)	3-16
図 3.3.2	Zarineh Rud 川右岸エリアの Bukan ダムから農業用水の供給を受ける灌漑水路.....	3-16
図 3.4.1	オルミエ湖流域における許可揚水量の経年変化.....	3-17
図 3.4.2	オルミエ湖流域における目的別の許可揚水量の割合(%).....	3-17
図 3.4.3	オルミエ湖流域内の許可井戸の分布状況 (建設された年代ごとに色分け)	3-18
図 4.3.1	オルミエ湖エリアに関する年単位の概略水収支の検討フロー	4-6
図 4.4.1	オルミエ湖流域全体の流域平均年降水量の経年変化.....	4-8
図 4.4.2	オルミエ湖流域全体の年間の降水量 (ボリューム換算) の経年変化.....	4-9
図 4.4.3	オルミエ湖の年最高、最低、平均水位の経年変化.....	4-10
図 4.4.4	オルミエ湖の年平均水位での水面積および干上がった面積の経年変化.....	4-11
図 4.4.5	オルミエ湖の年平均水位での年貯留量と年貯留量の前年との差の経年変化... ..	4-11
図 4.4.6	オルミエ湖の推定蒸発量 (水面蒸発量を変えた計算)	4-13
図 4.5.1	Bukan ダムの 2014 年の日単位の流出量および水供給量.....	4-14
図 4.5.2	運用データを収集したオルミエ流域の 12 基の既存ダムに関する 2014 年の日単位の合計流出量および合計水供給量.....	4-15
図 4.5.3	オルミエ湖流域全体での表流水および地下水からの水供給量の修正値	4-20
図 4.6.1	オルミエ湖エリアの概略水収支計算に関する考え方.....	4-21
図 4.6.2	オルミエ湖流域の表流水量、地下水量および合計量 (ケース 8)	4-23
図 4.6.3	オルミエ湖の年間水収支 (ケース 8)	4-24
図 4.6.4	ケース 8 での湖の年平均水位と年間水収支の累加量との相関.....	4-24
図 4.6.5	オルミエ湖の水位が安定していた時期 (1990 年代始め以前) における湖エリアの概略年水収支.....	4-27
図 4.6.6	オルミエ湖の水位が下降時期 (1995 年以降の特に 2000 年以降) における湖エリアの概略年水収支.....	4-27
図 5.2.1	構築した分布型物理流出モデルの概念図.....	5-2
図 5.2.2	コントロールボリュームにおける水収支.....	5-5
図 5.2.3	グリッド間の流出量.....	5-5
図 5.2.4	コントロールボリュームにおける水収支.....	5-7
図 5.2.5	ボリューム変化図 (1997 年~1999 年)	5-10
図 5.2.6	ボリューム変化図 (2007 年~2009 年)	5-11
図 5.2.7	降水観測所位置図および小流域界.....	5-13

図 5.2.8	蒸発量観測所位置図および小流域界.....	5-14
図 5.2.9	オルミエ湖流域の地質平面図.....	5-15
図 5.2.10	オルミエ湖流域の地質断面図.....	5-16
図 5.2.11	湖底標高（拡大図）.....	5-17
図 5.2.12	土地利用（2km メッシュ）.....	5-18
図 5.2.13	河道網の分布と流域界.....	5-19
図 5.2.14	モデル化した河道網.....	5-19
図 5.2.15	放流量/総貯水容量の相関係数の平均値.....	5-21
図 5.2.16	解析モデルにインプットしたダム放流量（Bukan Dam）.....	5-22
図 5.2.17	モデルにインプットしたダム放流量（Mahabad Dam）.....	5-22
図 5.2.18	地下水位の計算値と観測値の比較.....	5-23
図 5.2.19	収集井戸の位置図.....	5-25
図 5.2.20	湖水位変化状況.....	5-26
図 5.2.21	Drainage 概念図.....	5-27
図 5.2.22	感度分析結果（湖面蒸発量による湖水位の変化）.....	5-28
図 5.2.23	湖水位と河川流入量の関係（実績値）.....	5-28
図 5.2.24	本解析モデルへインプットした湖面蒸発量.....	5-29
図 5.2.25	感度分析結果（陸域蒸発散量）.....	5-30
図 5.2.26	感度分析結果（Drainage）.....	5-31
図 5.2.27	感度分析結果（表層地質の透水係数）.....	5-31
図 5.2.28	検証計算の実施フロー.....	5-32
図 5.2.29	モデル化した河川における検証対象地点位置図.....	5-33
図 5.2.30	検証対象地点における流出率と全域流域平均降水量（1999年～2007年）.....	5-34
図 5.2.31	検証結果（河川流量の流出率）.....	5-36
図 5.2.32	検証結果（湖水位）.....	5-37
図 5.2.33	評価に使用した湖の範囲.....	5-38
図 5.2.34	解析モデルによる水収支結果（1999年～2007年の平均 単位：MCM）.....	5-41
図 5.2.35	水収支に作用する要素の経年変化.....	5-41
図 5.2.36	水収支にプラスの作用をする要素の経年変化.....	5-42
図 5.2.37	水収支にマイナスの作用をする要素の経年変化.....	5-42
図 5.2.38	地下水位の経年変化（シミュレーション結果）.....	5-43
図 5.2.39	地下水流入量の経年変化（シミュレーション結果）.....	5-45
図 5.2.40	地下水流入割合の経年変化（シミュレーション結果）.....	5-45
図 5.3.1	GETFLOWS の概念図.....	5-46
図 5.3.2	開水路流れの模式図.....	5-48
図 5.3.3	開水路の水塊の運動.....	5-48
図 5.3.4	設定したメッシュ(GETFLOWS).....	5-54
図 5.3.5	設定したメッシュの拡大図(GETFLOWS).....	5-55
図 5.3.6	気温観測所位置図および小流域界.....	5-56
図 5.3.7	設定した地質.....	5-57
図 5.3.8	設定した地形標高.....	5-58
図 5.3.9	初期状態作成の様子.....	5-59
図 5.3.10	地下水位の計算値と観測値の比較.....	5-59
図 5.3.11	検証結果（河川流量の流出率）.....	5-60
図 5.3.12	検証結果（湖水位）.....	5-61
図 5.3.13	評価に使用した湖の範囲.....	5-64
図 5.3.14	鉛直断面図切り出し範囲.....	5-67
図 5.3.15	流速ベクトル図（1999年）.....	5-68

図 5.3.16	流速ベクトル図 (2003 年)	5-69
図 6.1.1	単独事業による将来予測計算結果 (年平均水位)	6-5
図 6.1.2	4 事業および単独事業による将来予測計算結果 (年平均水位)	6-7
図 6.1.3	気候変動による影響の可能性 (年平均水位)	6-10
図 7.1.1	オルミエ湖への流入量の変化.....	7-2
図 7.1.2	河川流入量、取水量、湖の水位の変化.....	7-3
図 7.1.3	湖への地下水流入量と湖水位の変化.....	7-3

巻末資料

資料 1.1	Minutes of Meeting on 15 th October 2014: Data Collection Survey on the Hydrological Cycle of Lake Urmia Basin in the Islamic Republic of Iran agreed upon between Ministry of Energy, National Committee for Saving Lake Urmia and the Japan International Cooperation Agency
資料 1.2	Discussion Records between Water Resources Management Company(WRMC) and JICA Mission that was held on 4th August 2015
資料 2.1	オルミエ湖流域内人口内訳 (2011年)
資料 2.2	オルミエ湖のH-A-Vの関係
資料 2.3	1987年および2007年の流域別土地利用面積、増加量、増加率
資料 2.4	UrmiaおよびTabrizにおける年降水量、年パン蒸発量および最大気温、最低気温、平均気温
資料 2.5	観測所毎の年間降水量の経年平均
資料 2.6	流入河川流末における流域平均雨量と流量 (月別)
資料 2.7	流量観測地点毎の流出高
資料 2.8	各観測所の年蒸発量およびティーンセン係数
資料 3.1	日降水量および日流量インベントリ表
資料 3.2	オルミエ湖流域に存在するダムおよび堰に関するインベントリ表
資料 4.1	モデル構築に必要な基礎データおよび収集状況
資料 4.2	流域平均年降水量
資料 4.3	流域年水資源賦存量
資料 4.4	水供給量の修正値
資料 4.5	Bukanダムの2010年～2014年の日単位の貯水池の運用状況
資料 4.6	運用データを収集したオルミエ流域の12基の既存ダムに関する2010年～2014年の日単位の合計運用水量
資料 5.1	蒸発量の観測値
資料 5.2	メッシュサイズ別の解像度比較
資料 6.1	LURCにより提案された対策事業 (2014年11月時点)

略語集

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
IMO	:	Iranian Meteorological Organization
IWRM	:	Integrated Water Resources Management
JICA	:	Japan International Cooperation Agency
JST	:	JICA Survey Team
LURC	:	Lake Urmia Restoration Committee
M/M	:	Man-month
MOE	:	Ministry of Energy
MOH	:	Ministry of Health
MOJA	:	Ministry of Jihad-e Agriculture
M/P	:	Master Plan
O&M	:	Operation and Maintenance
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
WRMC	:	Water Resources Management Compan
RCUWM	:	The Regional Centre on Urban Water Management
SRTM	:	Shuttle Radar Topography Mission

第1章 プロジェクトの概要

1.1 背景

イランイスラム共和国（以下「イ」国）は、年平均降水量 228mm、国民一人当たり水資源賦存量 1,978m³/人/日（FAO AQUASTAT, 2008）と乾燥気候が卓越している。近年、農業、工業等の経済成長及び人口増加に伴い水需要は増加傾向にあり、表流水および地下水の開発が進んでいる。

オルミエ湖はイラン北西部に位置し、かつては湖面積 5,000km² 以上、貯水量 22,500MCM を有する、面積規模で世界 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、2013 年 12 月地点での湖面積は 1,000km²、貯水量 1,100MCM 程度となってしまっ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るが、それぞれがどの程度湖縮小に寄与しているかについては未だ明らかになっていない。

オルミエ湖縮小問題に関しては、2006 年に UNDP 及び GEF の支援により「Conservation of Iranian Wetlands Project (CIWP)」(活動期間 2006-2012) が設立され、2010 年にはオルミエ湖保全のためのマスタープランがイラン政府により閣議決定されたが、その後本格的な対策が講じられることはなかった。しかし、2013 年 8 月に新たなイラン大統領としてローハニ氏が就任すると、それまでオルミエ湖救済を公約に掲げていたローハニ大統領はオルミエ湖救済策を次々と打ち出し、国際社会への支援を仰いだ。その後、2014 年に入ると大統領直属の機関としてオルミエ湖救済委員会（LURC:Lake Urmia Restoration Committee）が設立され、3 月にオルミエ湖救済のための国際円卓会議は開催され、6 月には LURC によりオルミエ湖救済のための 14 の対策事業が大統領より承認された。（その後 10 の事業が追加され、全事業数は 24 となった）。

イラン水資源セクターに対する我が国の支援としては、「セフィードルード川流域総合水資源管理調査」（開発計画調査型技術協力）が 2007 年から 2010 年にかけて実施され、オルミエ湖と一部隣接するセフィードルード川流域における総合水資源管理に向けたマスタープラン（M/P）が作成された。現在は、オルミエ湖流域及びセフィードルード川流域を対象とした「イラン国総合水資源管理強化プロジェクト」（技術協力プロジェクト）の実施が検討されている。

オルミエ湖流域については、2013 年 11 月に我が国の岸田外務大臣がイランを訪問した際に、イラン側よりオルミエ湖問題対策事業の実施に係る要請がなされ、2014 年 4 月にイラン・エブテカール副大統領が来日した際にも同様の要請がなされている。

これを受け、我が国政府は本調査の実施を貴機構に依頼した。なお、本調査はイラン国内におけるオルミエ湖対策事業の緊急性及び我が国のイラン援助政策における重要性を鑑み、ファスト・トラック制度を適用している。

1.2 目的と効果

本業務は、オルミエ湖救済事業の検討に資する流域の水循環メカニズムの定量的な把握を行うものである。業務の目的は、「イ」国政府が収集したデータ及びその他既存データに基づき、オルミエ湖流域に係る分布型物理流出モデルを構築した上で、「イ」国政府より実施が予定されているオルミエ湖における救済事業の実施効果を定量的に評価することである。

なお、本業務において期待される成果は以下の通りである。

- オルミエ湖流域を対象とした分布型物理流出モデルが構築される。
- 上記モデルを用いてイラン政府提案のオルミエ湖救済事業の実施効果が評価され、効果的な事業組み合わせが提案される。

1.3 対象地域

対象地域は、オルミエ湖流域（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：流域面積約 52,000 km²）である。

1.4 実施スケジュール

本調査の全体スケジュールを図 1.4.1 に示す。現地渡航については、合計 3 回の渡航において、それぞれ①IC/R 説明・協議および現地調査、②DF/R1 説明・協議、③DF/R2 説明・協議および GETFLOWS のトレーニングを行う。

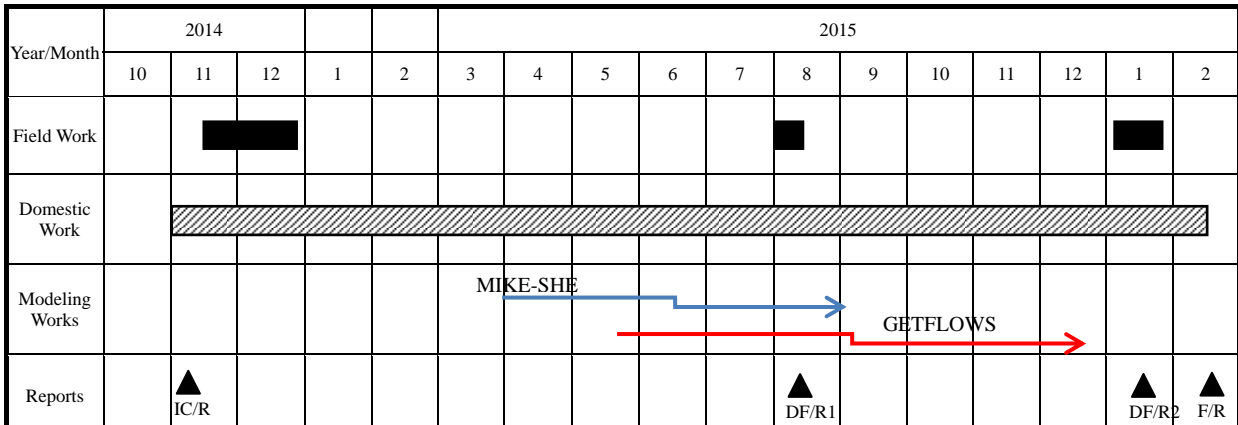


図 1.4.1 全体スケジュール

1.5 要員構成

本調査の調査団の団員構成は、表 1.5.1 の通りである。

表 1.5.1 調査団構成

氏名	担当分野
後藤 俊宏	Team Leader / Water Resources Management 1
古川 隆司	Water Resources Management 2
三浦 陽介	Simulation Model
山田 清	Geology
永田 将	Meteorology/Hydrology

1.6 実施体制

本調査のメイン C/P 機関は MOE および WRMC である。前者は「イ」国内の水資源について開発および管理しており、後者は MOE に従属する実施機関である。

本業務の実施にあたっては、多くの機関が関係する。そのため、本業務の実施中にこれら関係機関の協力を仰ぎ、かつタイムリーな意思決定を行うため、C/P 側の対応体制を IC/R 協議時に下記の様に設立している。調査期間中においては、同体制のメンバーを、各種レポート提出時に招集する。

- エネルギー省 (MOE) : メインパートナー
- 水資源管理公社 (WRMC) : メインパートナー
- Water reserch Institute (WRI) : 協力パートナー
- 農業省 (MOJA) : 協力パートナー
- Regional Center on Urban Water Management (RCUWM) : 協力パートナー

第2章 自然条件

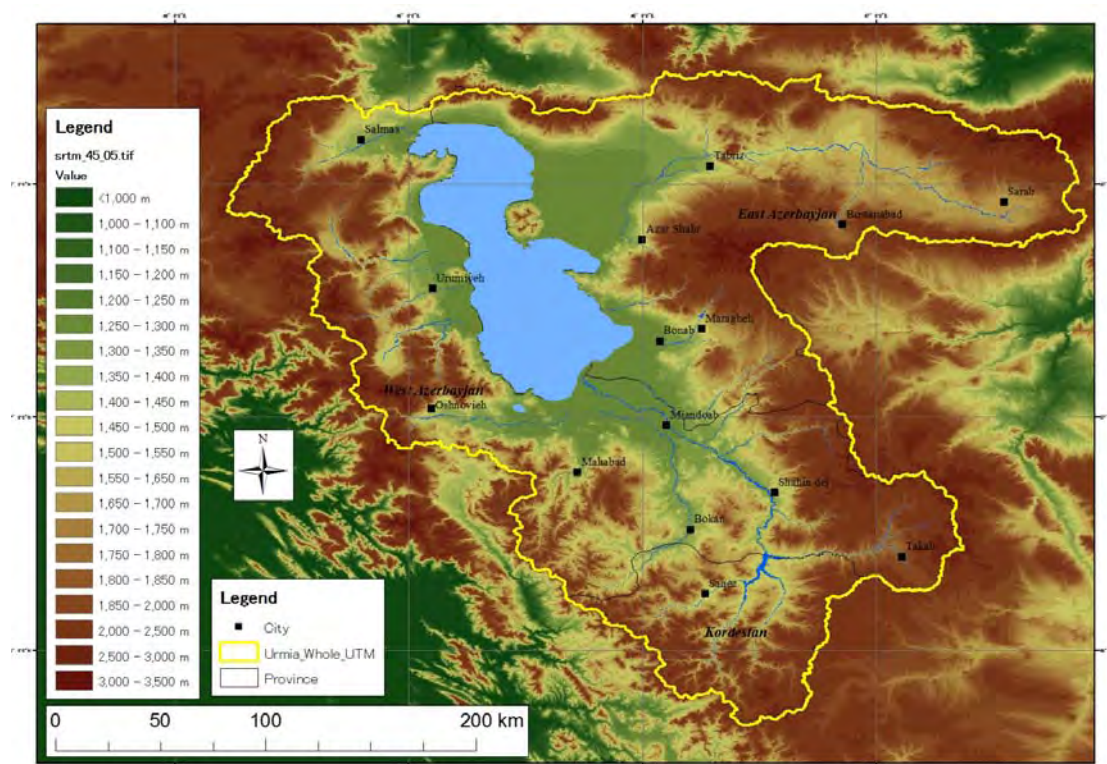
2.1 オルミエ湖

2.1.1 オルミエ湖の概要

オルミエ湖流域の位置図を図 2.1.1、一般諸元を表 2.1.1 に示す。オルミエ湖流域はイラン北西部に位置し、北方は Zagros 山脈を隔てトルコの Aras 川流域と隣接し、南方は Sabalan 山脈に囲まれイラクの Zaab 川流域と国境をなす。湖流域の範囲は北緯 35 度 40 分から 38 度 30 分、東経 44 度 13 分から 47 度 54 分に亘り、湖流域面積は約 52,000km²であり国土面積の 3.15%、表流水はイラン国内の表流水面積の 7%を占め¹「イ」国における 6 大流域の一つに位置付けられている。標高については湖底の最低部の 1,267m から 3,746m に分布している。年平均降水量は約 400mm、年間可能蒸発量は 530~680mm であり半乾燥気候に属する。

本業務にて収集した 2011 年時点の人口分布は、約 150 万人の人口を有する州都 Tabriz がある東アゼルバイジャン州が 57.6%であり流域内人口の約半数を占め、約 67 万人の人口を有する Urmia を州都とする西アゼルバイジャン州が 38.6%、残りがクルデスタン州(3.8%)となっている(表 2.1.2 参照)。

オルミエ湖は、最高水位を観測した 1995 年 6 月時点においては湖水位、湖面積、貯留量が、それぞれ 1,278.4m、5,722km²、36,757 MCM となっていたが、2014 年 11 月地点では 1,270.4m、1,861km²、2,151MCM と縮小している。このような水環境下で、流入河川のドライアップ、干上がった周辺湿地の衰退、もともと湖であった箇所湖底堆積物が風によって巻き上がる風塵被害等が発生するなど環境問題が起こっている。



*DEM : SRTM、流域界、湖域および河道データ : WRMC からの提供資料

図 2.1.1 オルミエ湖の位置図

¹http://www.researchgate.net/profile/Martine_Rebetez/publication/229086658_Observed_climate_variability_and_change_in_Urmia_Lake_Basin_Iran/links/0fcfd5003c557c5e6f000000.pdf

表 2.1.1 オルミエ湖流域の一般諸元

項目	内容
位置*1	北緯 35 度 40 分－38 度 30 分 東経 44 度 13 分－47 度 54 分
流域面積*1	51,876 km ²
面積内訳*2	山 地：33,736km ² (63.3%) 平 野：12,664km ² (23%) 湖 面 積：5,362km ² (13.7%) (2013.11 時点)
行政区分*2	東アゼルバイジャン州 (24,888km ² , 48%) 西アゼルバイジャン州 (20,832km ² , 40%) クルデスタン州 (6,042km ² , 12%)
流域人口(2011 年)*3	東アゼルバイジャン州 (2,143 千人、57.6%) 西アゼルバイジャン州 (1,437 千人、38.6%) クルデスタン州 (142 千人、3.8%)
季節	春：3～5 月、夏：6～8 月、秋：9～11 月、冬：12～2 月
気温*4	-6～31.2°C (Urmia)
年平均気温*4	10.9 °C
年平均降水量*2	401 mm
年可能蒸発散量*2	530～680mm
気候*1	Cold Semi-Arid・ステップ気候 (Köppen の気候区分では BSk)
湖面積*2	1,861 km ² (2014 年 11 月平均)
貯留量*2	2,151 MCM (2014 年 11 月平均)

*1:出典：「Study on Updating National Water Master Plan in the Basins of Urmia」(MOE, Nov., 2013)

*2:本業務にて収集したデータを基に JICA 調査団が算出

*3:出典：Statistical Centre of Iran (<http://www.amar.org.ir/Default.aspx?tabid=133>)

*4:出典：World Weather Service (<http://worldweather.wmo.int/en/city.html?cityId=1454>)

表 2.1.2 オルミエ湖流域内の州別人口 (2011 年時点)

州	世帯数	女性	男性	全人口	全人口割合 (%)
東アゼルバイジャン州	646,013	1,062,091	1,080,948	2,143,039	57.6
西アゼルバイジャン州	403,844	714,712	722,430	1,437,142	38.6
クルデスタン州	37,776	71,107	70,925	142,032	3.8
合計	1,087,633	1,847,910	1,874,303	3,722,213	100.0

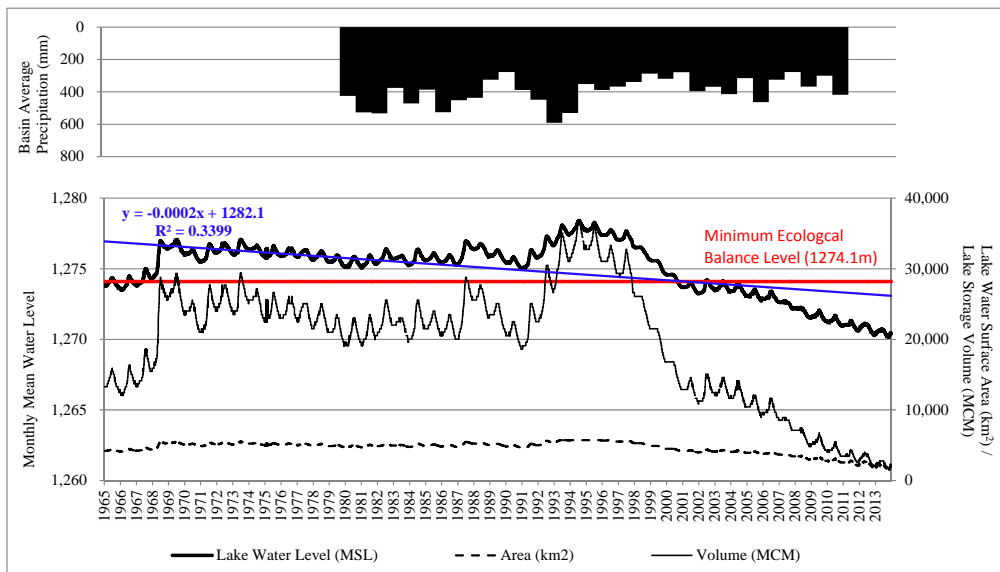
*出典：Statistical Centre of Iran (<http://www.amar.org.ir/Default.aspx?tabid=133>)

*町ごとの人口内訳は巻末資料 2.1 に記載

2.1.2 オルミエ湖の水位、面積、貯留量変動

(1) 観測開始から現在に至るまでの変動傾向

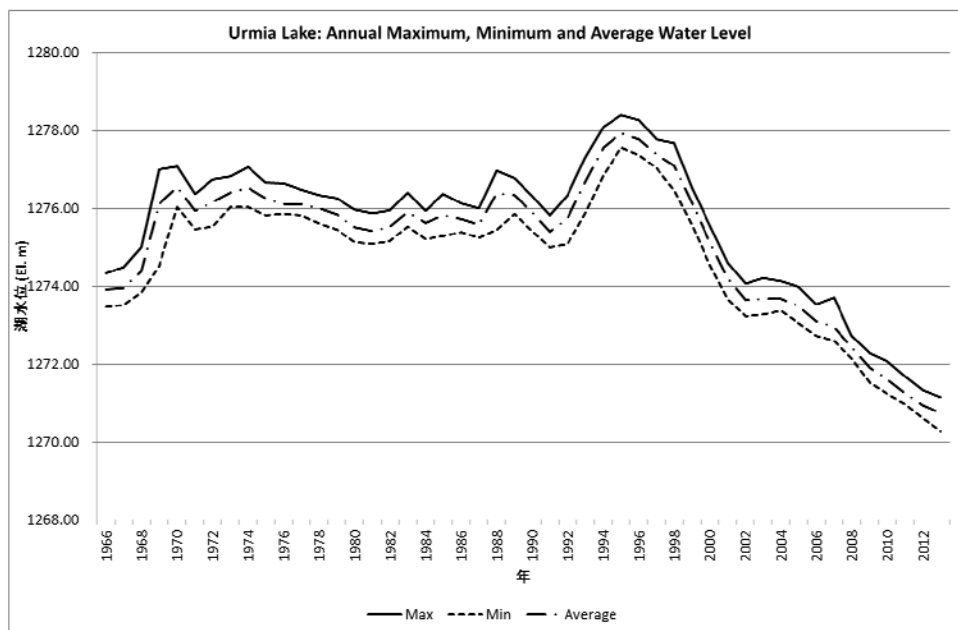
観測開始時から現在に至るまでの、オルミエ湖の水位、湖面積、貯留量の変動(1965-2014)、およびオルミエ湖流域における流域平均雨量の年間値(1980-2011)を湖水位の近似直線と併せて図 2.1.2 に示す。湖面積および貯留量については、観測値である湖水位と湖面積・貯留量の関係を表す H-A (水位-面積) 曲線、H-V (水位-体積) 曲線を基に換算した(図 2.1.4 参照、内訳は巻末資料 2.2 に掲載)。なお H-A 曲線および H-V 曲線については、WRMC から提供された深淺測量成果より高さ毎の面積および体積をそれぞれ計算して作成した。また図 2.1.3 に湖の年最高水位、年最低水位および年平均水位の経年変動を示す。1995 年をピークに、それ以降湖水位が低下しており、それに伴って湖面積、貯留量も減少している。



*WRMC 提供データを基に JICA 調査団が算出

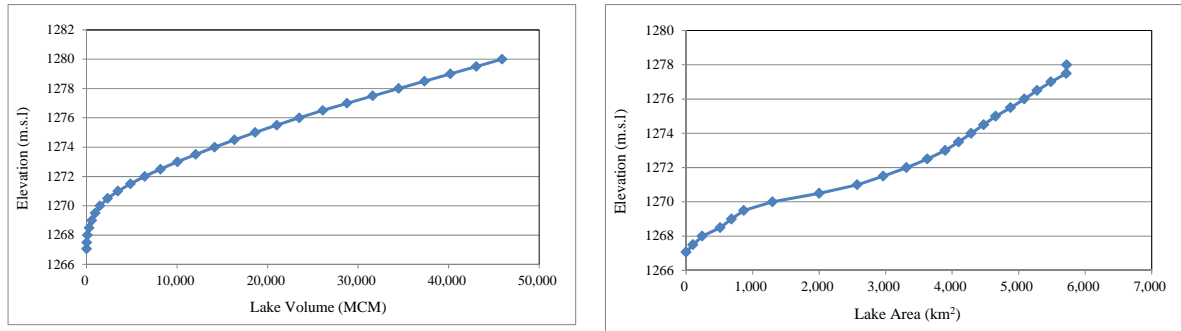
*流域平均降水量については、観測データが乏しいため 1980 年代からのデータを採用した。

図 2.1.2 オルミエ湖の水位・湖面積・貯留面積の変動



*WRMC 提供データを基に JICA 調査団が作成

図 2.1.3 オルミエ湖の年最高、最低、平均水位の経年変化



*Iran Water Research Institute 提供の深淺測量成果より調査団が作成

図 2.1.4 オルミエ湖の H-A カーブおよび H-V カーブ

(2) 月毎の変動傾向および変化量の年代別比較

上記の観測値および換算値について、経年的な推移傾向を把握するため、各年代（1960 年代、1970 年代、1980 年代、1990 年代、2000 年代）および全観測期間の平均値を表 2.1.3 に整理した。

図 2.1.2 を見るとオルミエ湖の水位の全体的な経年変化は減少傾向にあり、表 2.1.3 においても同様のことが伺えるが、中でも「安定期（1960-1990 年代）」と「低減期（2000 年代）」の 2 期間に区別でき、両期間において水環境の大きな変化を確認できる。

安定期は一時的な水位の低下が見られるものの比較的高く安定しており（1,275～1,276m）、1995 年 6 月 11 日に最高水位 1,278.41m（湖面積 5,722km²、貯留量 36,757MCM²）を記録している。その後湖水位は低下の一途をたどり、2001 年 7 月 30 日には LURC が定めている Minimum Ecological Balance Level(1,274.1m)を下回り 2014 年 9 月 24 日には観測史上最低となる 1,270.14m（湖面積 1,441km²、貯留量 1,644MCM）を記録した。最高水位と最低水位を記録した際の水位、湖面積、貯留量の差はそれぞれ-8.27m、-4,281km²（-75%）、-35,113MCM（-96%）と極めて大きい。最新の水環境の状況としては、2014 年 11 月の平均水位、湖面積、貯留量は、それぞれ 1270.42m、1,901km²、2,199MCM となっており、最高水位と比較すると、その差は、それぞれ -7.99m、-3,821km²（-67%）、-34,558MCM（-94%）である。

表 2.1.3 オルミエ湖の水位・湖面積・貯留面積の比較

時期	平均水位 (MSL)	湖面積 (km ²)	貯留量 (MCM)	平均年降水量
1960 年代 (1965-1969)	1,274.6	4,516	16,921	-
1970 年代 (1970-1979)	1,276.2	5,164	24,583	-
1980 年代 (1980-1989)	1,275.8	5,001	22,565	436mm
1990 年代 (1990-1999)	1,276.8	5,365	27,718	403mm
2000 年代 (2000-2009)	1,273.4	4,034	11,972	367mm*
2010 年代 (2010-2014)	1,271.0	2,521	3,640	
全観測期間	1,275.0	4,622	19,497	401mm

*WRMC 提供データを基に JICA 調査団が算出

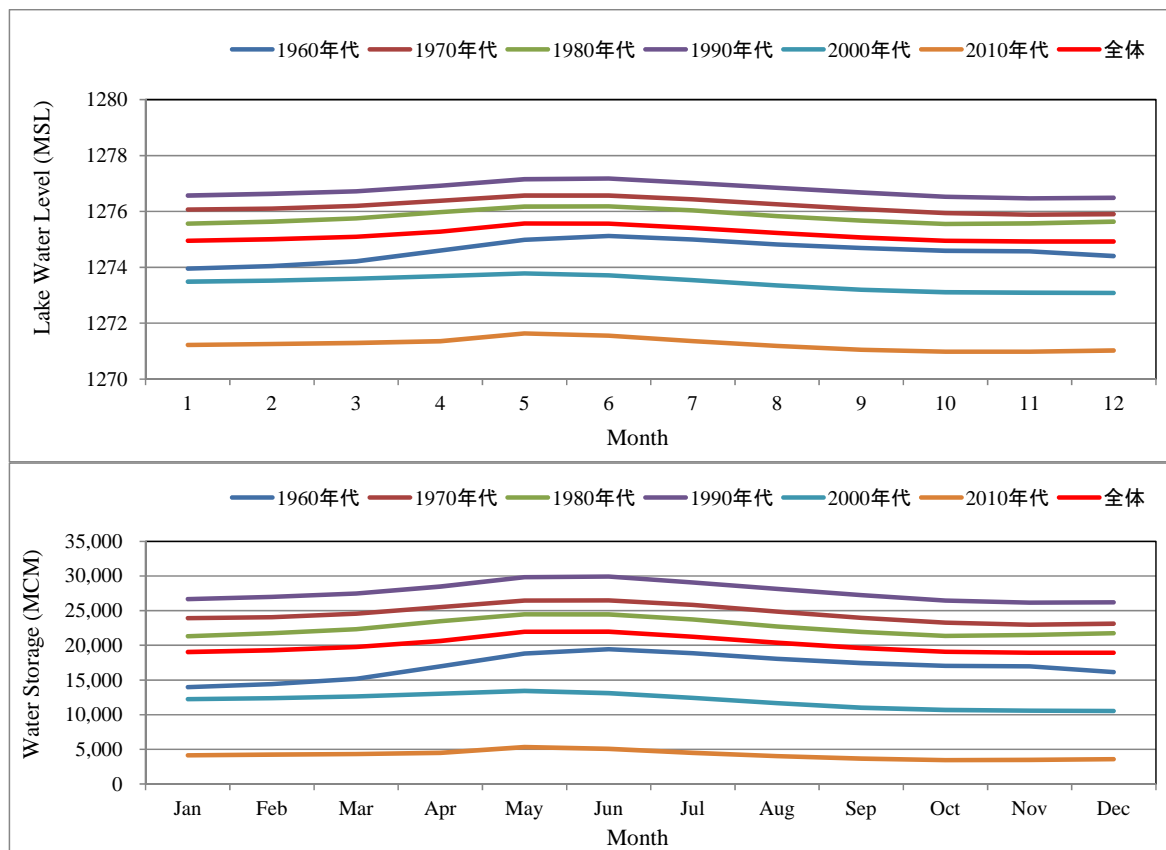
*降水量については、収集した降水量データが 2011 年までであるため、2010 年および 2011 年を 2000 年代に含めた。

² 湖面積および貯留量については、Iran Water Research Institute 提供の深淺測量成果（2010）より調査団が作成した HAV に基づき算出。

(3) 月毎の変動傾向および変化量の年代別比較

図 2.1.5 に 1960 年代、1970 年代、1980 年代、1990 年代、2000 年代、2010 年代における各月の平均水位および貯留量の変動を図化すると共に、表 2.1.4 および表 2.1.5 にそれらの内訳と変化量を整理した。湖の年間変動パターンに着目すると、各年代についても変動パターンは同様であり 11 月～1 月に水位・貯留量は最小となり、融雪水の流入と共に水位は回復し 6～7 月に水位・貯留量はピークを迎える。

また年代別に比較してみると、経年的に水位が低下していることが確認できる。1 月から 7 月にかけての水位上昇量、貯留量の増加を比較すると、1960 年代には 1.16m、5,466MCM であったのに対し 2010 年代は 0.33m、947MCM であり、過去の安定期に比べて水位の回復量も低減している。



*WRMC 提供データを基に JICA 調査団が算出

図 2.1.5 オルミエ湖の月毎の平均水位（上）および貯留量（下）の変動

表 2.1.4 オルミエ湖の月毎の平均水位および変化量

Water Level (Unit:MSL)												
年代	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
1960年代	1273.96	1274.04	1274.22	1274.60	1274.99	1275.12	1275.00	1274.82	1274.69	1274.59	1274.57	1274.40
(1960-1969)	-	0.08	0.26	0.64	1.03	1.16	1.04	0.86	0.73	0.64	0.62	0.45
1970年代	1276.06	1276.11	1276.20	1276.38	1276.56	1276.57	1276.44	1276.26	1276.08	1275.94	1275.89	1275.91
(1970-1979)	-	0.04	0.13	0.31	0.50	0.50	0.37	0.19	0.02	-0.12	-0.18	-0.16
1980年代	1275.56	1275.63	1275.75	1275.97	1276.18	1276.18	1276.04	1275.83	1275.67	1275.55	1275.58	1275.63
(1980-1989)	-	0.07	0.19	0.41	0.62	0.62	0.47	0.27	0.11	-0.01	0.02	0.07
1990年代	1276.57	1276.63	1276.72	1276.92	1277.15	1277.18	1277.01	1276.85	1276.67	1276.53	1276.47	1276.49
(1990-1999)	-	0.06	0.15	0.34	0.58	0.60	0.44	0.27	0.10	-0.05	-0.10	-0.09
2000年代	1273.49	1273.53	1273.59	1273.69	1273.78	1273.71	1273.54	1273.35	1273.20	1273.11	1273.09	1273.08
(2000-2009)	-	0.04	0.10	0.20	0.30	0.22	0.05	-0.13	-0.29	-0.37	-0.40	-0.41
2010年代	1271.22	1271.26	1271.29	1271.36	1271.63	1271.55	1271.36	1271.18	1271.05	1270.98	1270.98	1271.03
(2010-2014)	-	0.04	0.07	0.14	0.42	0.33	0.14	-0.04	-0.17	-0.24	-0.24	-0.19
全体	1274.95	1275.00	1275.10	1275.28	1275.57	1275.56	1275.41	1275.23	1275.07	1274.95	1274.92	1274.92
	-	0.05	0.15	0.33	0.62	0.61	0.46	0.28	0.12	0.00	-0.02	-0.03

*WRMC 提供データを基に JICA 調査団が算出

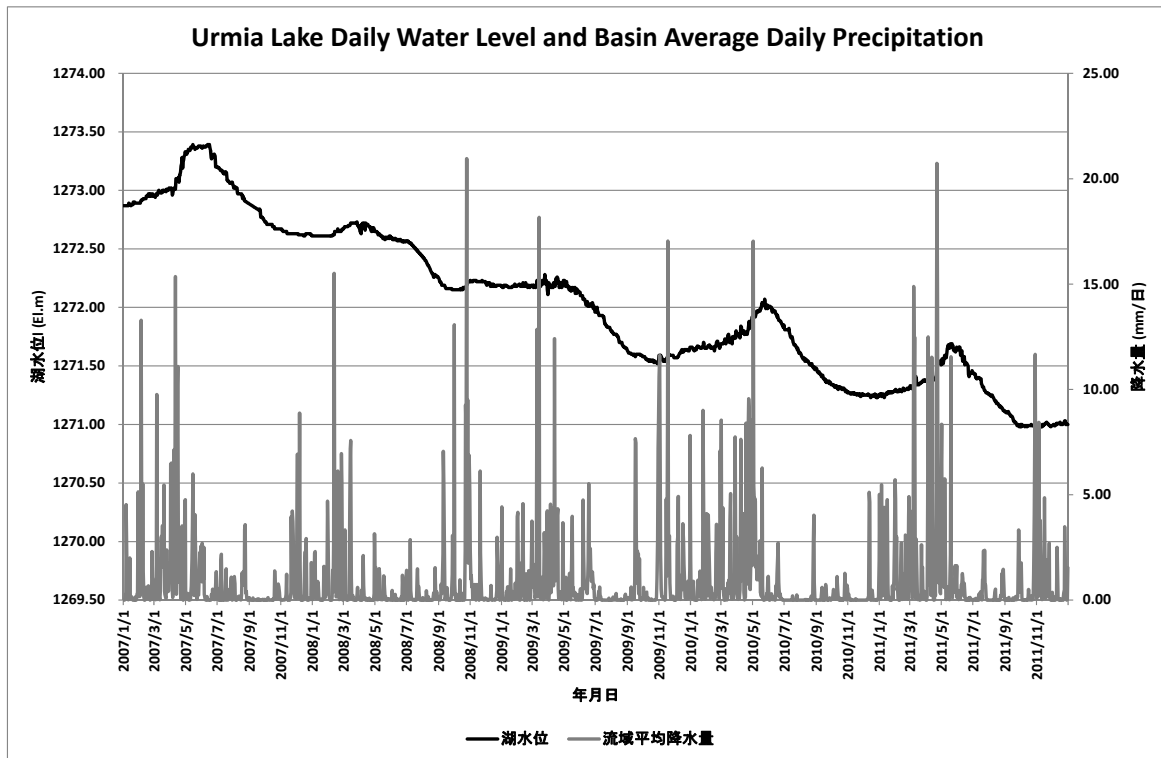
表 2.1.5 オルミエ湖の月毎の貯留量および変化量

Water Storage (Unit:MCM)												
Year	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
1960年代	13,961	14,390	15,161	16,966	18,825	19,427	18,849	18,052	17,437	17,055	16,956	16,150
(1960-1969)	-	429	1,201	3,005	4,865	5,466	4,888	4,091	3,496	3,095	2,995	2,189
1970年代	23,914	24,054	24,571	25,505	26,459	26,470	25,823	24,871	23,963	23,257	22,993	23,111
(1970-1979)	-	140	657	1,591	2,545	2,556	1,909	956	49	-657	-922	-803
1980年代	21,325	21,745	22,312	23,470	24,468	24,473	23,733	22,738	21,924	21,360	21,478	21,755
(1980-1989)	-	421	987	2,146	3,144	3,148	2,408	1,413	599	35	153	430
1990年代	26,657	26,993	27,470	28,492	29,826	29,938	29,054	28,156	27,234	26,446	26,149	26,204
(1990-1999)	-	336	813	1,835	3,168	3,281	2,397	1,499	576	-211	-509	-453
2000年代	12,233	12,371	12,635	13,034	13,432	13,104	12,401	11,644	11,017	10,666	10,577	10,545
(2000-2009)	-	138	402	801	1,199	871	168	-590	-1,216	-1,567	-1,657	-1,688
2010年代	4,116	4,224	4,309	4,506	5,309	5,062	4,500	4,016	3,666	3,438	3,495	3,594
(2010-2014)	-	108	193	390	1,193	947	384	-100	-450	-678	-621	-522
全体	19,033	19,293	19,745	20,644	21,980	21,973	21,255	20,390	19,621	19,060	18,942	18,910
	-	260	712	1,611	2,947	2,940	2,222	1,357	588	27	-91	-123

*WRMC 提供データを基に JICA 調査団が算出

(4) オルミエ湖の水位変動と降雨との応答

図 2.1.6 に 2007 年～2011 年のオルミエ湖の日水位変動と、同じ期間のオルミエ湖流域の流域平均日降水量を示す。降水ピークの 1～2 ヶ月遅れで湖水位のピークが発生していることが分かり、湖水位の降水に対する応答は比較的早いことが分かる。



*WRMC 提供データを基に JICA 調査団が作成

図 2.1.6 オルミエ湖の日水位と流域平均降水量 (2007 年～2011 年)

2.1.3 オルミエ湖の水質

オルミエ湖は内陸河川の末端湖に位置するため、湖水が流域から出るのは蒸発のみである。したがって湖が形成されてから現在に至るまで、湖に流入する河川水に含まれる物質は湖内に滞留していることになる。UNEPによると、湖水の減少に伴い湖水の塩類化がますます進行し、近年の塩分濃度は300g/Lを超えており海水の約8倍に達している³(なお、飲料水の塩分濃度は0.5g/L以下)。

(1) 湖の堆積物から考えられる湖底周辺の水理地質構造

オルミエ湖の集水域には出口がないことから、地表水・地下水は湖を終端として蒸発するという独自の水循環系を構成している。土砂堆積物は湖の発達・集水域地形の発達とともに粗粒から細粒にいたる堆積場所を集水域内にすべて堆積してきている。上流に3,000から4,000m級の山々を擁しており、上流域ほど粗粒、下流域ほど細粒の土砂堆積物を生み出している。塩類等の地表水地下水に溶存する成分も閉鎖系の中で湖を終端として流入し、蒸発残留物は湖の湖水に濃縮して蓄積されてきていると考えられる。

現在湖水の塩類の濃度は300g/L程度のほとんど飽和した状態にあり、湖底の各所に塩類が析出して堆積している(カランタリー橋西側アバットメントで現地確認したところ、厚さは数cm以上と思われる)。カルシウムについても湖底堆積物中にマールの吸着性により蓄積している。Travertine(石灰華)もまたカルシウムを含む化学沈殿物であり地下水で運ばれ流域には各所に存在する。「Travertine ridge」と呼ばれるTravertine塊が湖底堆積物中の亀裂(fissure)の頂部に形成され、湖中央部の弾性波探査で見つけられている⁴。これらの事実は、湖底における地下水圧が高く湖底から上昇する地下水流の存在を示唆している。

(2) オルミエ湖の成長と閉鎖系の形成・成長

オルミエ湖内部には独自の閉鎖系や生態系が形成されている。塩類の濃縮についてはオルミエ湖の内部で蒸発および水質の均質化がはかられているようである。塩類の蓄積場所は、既に一部は過飽和になり析出しているが高濃度の湖水の塩水中に蓄積している。湖底には深度200mを超える厚い第四紀堆積物があり表層数十mには極めて軟弱な粘性土が堆積している。湖中央部における既存の検討断面図によると、未固結堆積物の多くは粘性土分であるが砂分も含まれている。また、粘性土砂中には湖の唯一の生物相ともいわれるARTEMIA(エビの一種)の生物痕を多く含むとされる。湖の閉鎖系には独特の生物圏が形成されており、その生物の歴史は20万年以上に及んでいる^{5,6}。湖周辺の沖積層が河川の営力によるのに対して、湖底堆積物は湖水独自の堆積環境(堆積場所の湖水内再移動、生物圏との関係など)によるものである^{7,8}。

2.2 流入河川の概要

2.2.1 河川網

(1) 河川形態

2.1節でも述べた通り、オルミエ湖流域は半乾燥気候に属しており、豊富な水資源ポテンシャルを有しているとは言い難い。オルミエ湖流域内の河川は、1) 年中河川水が有り湖に河川水を供給する恒常河川と、2) 冬季の積雪が春季の融雪となって流出し、期間限定的に河川の体をなす季節河川に分類される。恒常河川および季節河川の分布状況を図2.2.1に示す。また表2.2.1

³ http://na.unep.net/geas/getunepagewitharticleidsript.php?article_id=79

⁴ Mohammad MOHAJJEL etc., Quaternary travertine ridges in the Lake Urmia area: active extension in NW Iran, Turkish Journal of Earth Sciences Research Article (2014)

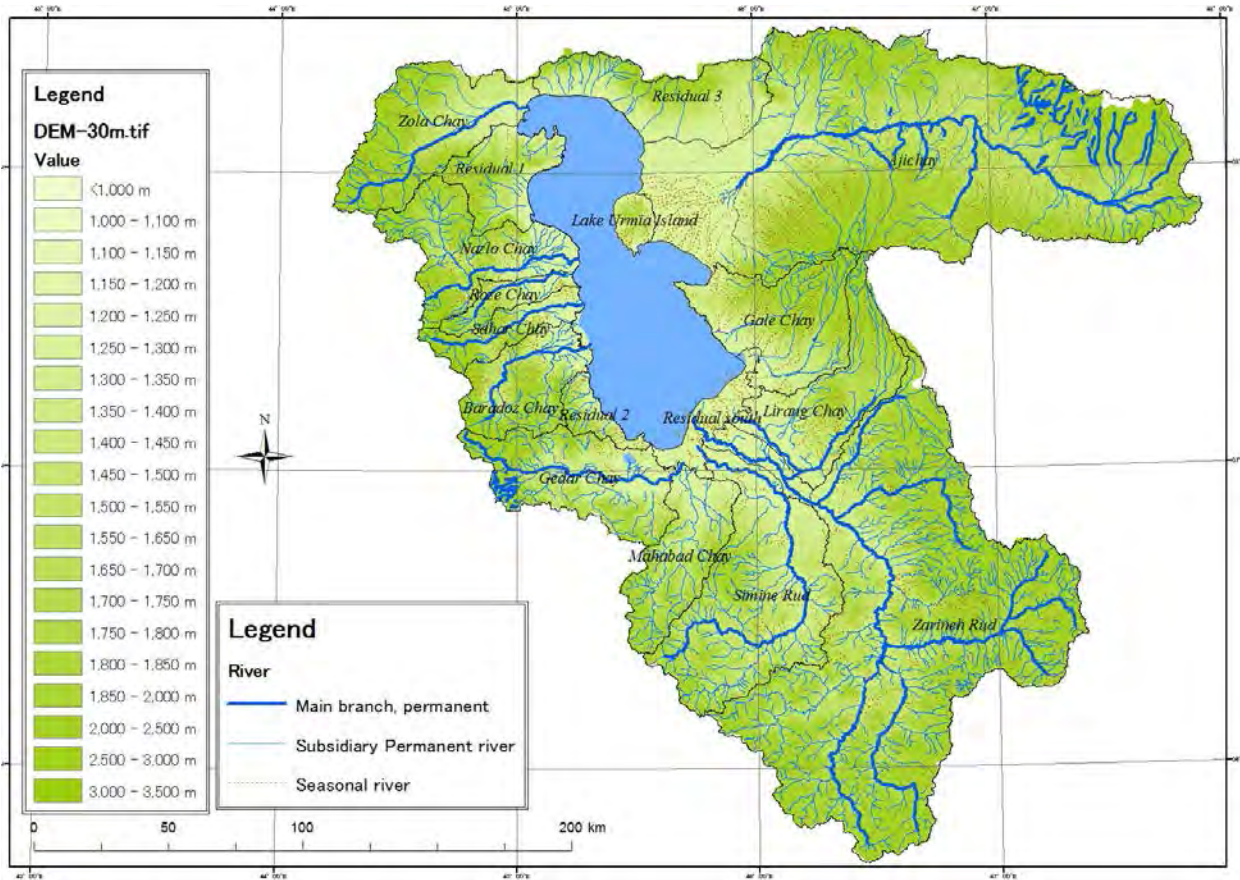
⁵ Jacques-Louis A Long Pleistocene pollen record from the Urmia Lake, NW Iran(abstract XVII INQUA Congress 2007)

⁶ Morteza Djmail etc., A 200,000 - year record of the brine shrimp Artemia(Crustacea : Anostraca) remains in Lake Urmia, NW Iran IJAS Vol1, No.1, 2010

⁷ Samad Alipour Hydrogeochemistry of seasonal variation of Urmia Salt Lake, Iran Saline Systems, 2006; 2:9

⁸ Mohammadi, A. etc., Investigation of sedimentary controls on Urmia lake using sedimentological Characteristics of floor deposits(three100m Cores), The 1st International Applied Geological Congress, Department of Geology, Islamic Azad University - Mashad Branch,Iran, 26-28 April 2010

に示すとおり、河川網の内、総河道距離の約30%が季節河川である。またWRMC提供の河道の位置図では、主要河川の下流部も季節河川として定義されており、流出形態が季節毎に大きく変化することが示唆される。



*WRMC 提供資料を基に図化

図 2.2.1 河川網の分布状況

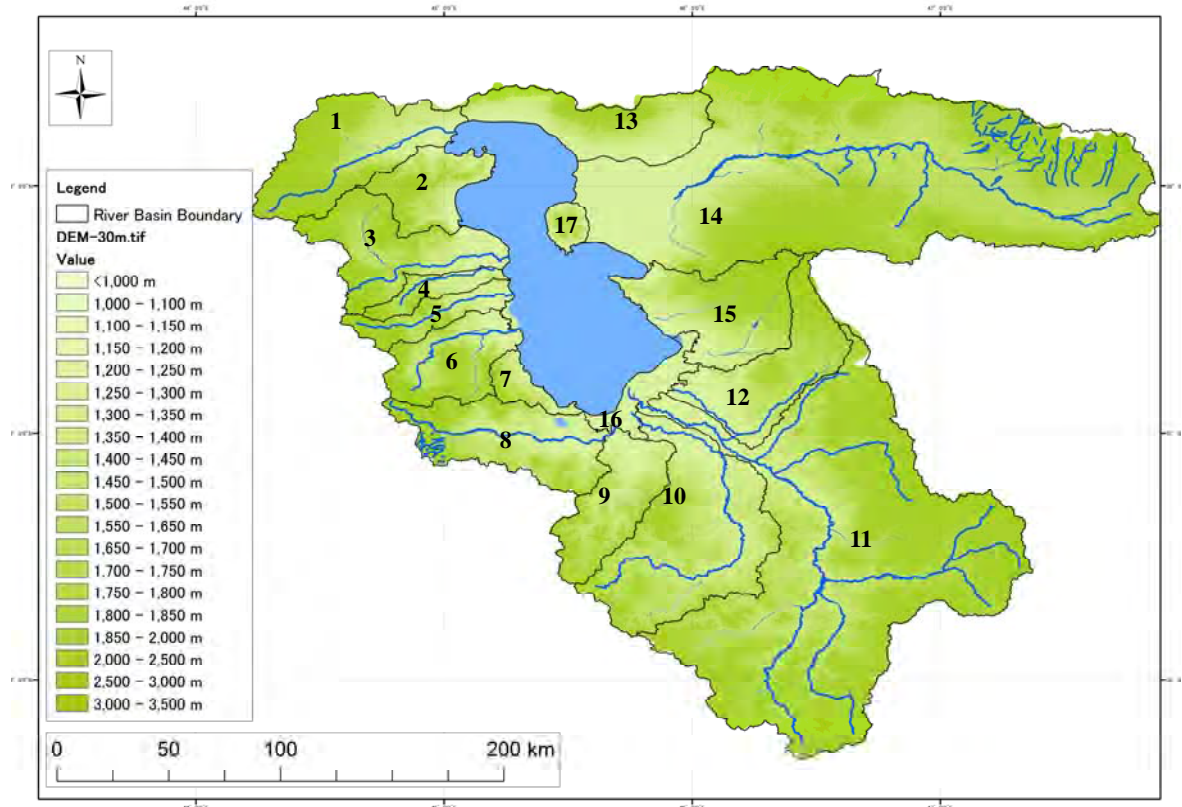
表 2.2.1 河川網の内訳

河川形態	距離 (km)	割合 (%)
本川 (恒常河川)	2,255	13.3
支川 (恒常河川)	9,722	57.4
季節河川	4,957	29.3
総計	16,934	100.0

*WRMC 提供資料を基に調査団が集計

(2) 流入河川および流域分割

オルミエ湖流域内の主要河川の位置図および流域分割図を図 2.2.2、その諸元を表 2.2.2 に示す。当該流域においては12の主要河川が湖に流入する。流入河川の内、最も大きな流域面積を有するのは Aji Chay 川 (No.14) であり流域面積はオルミエ湖流域全体の 24.6%を占める 12,717km²である。次いで Zarineh Rud 川 (No.11) が湖流域の約 22.9%を占める 11,838km²となっており、Aji chay 川と併せて約 48%となる。二つの流域で流域面積の約半分を有することになる。



*WRMC 提供資料より、本川（恒常河川）の部分のみ図化。

図 2.2.2 流入河川および流域分割

表 2.2.2 流域諸元

No.	流域名	流域面積 (km ²)	面積割合 (%)	河川長 (km)	勾配	流域内に含まれる町
1	Zola Chay	2,258	4.4	85	0.012	Khoy,Urmia,Salmas,Shabestar
2	残留域 1	1,060	2.1	-	-	Urmia,Salmas,Shabestar
3	Nazlo Chay	1,880	3.6	75	0.005	Urmia,Salmas,Shabestar
4	Roze Chay	458	0.9	45	0.008	Urmia,Shabestar
5	Sahar Chay	712	1.4	65	0.016	Urmia,Shabestar
6	Baradoz Chay	1,362	2.6	60	0.012	Urmia,Oshnaviyeh
7	残留域 2	375	0.7	-	-	Mahabad,Miyandoab,Naqadeh,Urmia
8	Gedar Chay	2,091	4.0	105	0.015	Mahabad,Miyandoab,Naqadeh,Urmia,Oshnaviyeh,Piranshahr
9	Mahabad Chay	1,507	2.9	80	0.005	Mahabad,Miyandoab,Naqadeh,Piranshahr,Sardasht
10	Simineh Rud	3,783	7.3	180	0.002	Baneh,Bonab,Bukan,Mahabad,Miyandoab,Saqqez,Sardasht,Shahindezh
11	Zarineh Rud	11,838	22.9	190	0.006	Baneh,Bijar,Bonab,Bukan,Divandarreh,Hashtrud,Mahnesan,Marivan,Miyandoab,Saqqez,Shahindezh,Takab
12	Lilang Chay	1,936	3.7	75	0.005	Bonab,Bostan Abad,Hashtrud,Maraqeh,Tabriz
13	残留域 3	1,840	3.6	-	-	Khoy,Marand,Shabestar
14	Ajichay	12,717	24.6	280	0.003	Ahar,Ardebil,Bostan Abad,Heris,Marand,Mianeh,Neer,Sarab,Shabestar,Tabriz
15	Gale Chay	2,094	4.0	50	0.030	Bonab,Bostan Abad,Hashtrud,Maraqeh,Tabriz
16	南側残留域	551	1.1	-	-	Bonab,Mahabad,Maraqeh,Miyandoab
17	Lake Urmia Island	260	0.5	-	-	Shabestar,Tabriz
-	Lake Urmia (water body)	4,986	9.6	-	-	-
	Total	51,707	100.0	-	-	-

*WRMC より提供の流域界分割データを基に調査団が集計。

*残留域および Urmia Island は、流域平均雨量算定および5章にて詳述する分布型流出モデル構築における便宜上、調査団が作成した。

2.3 地形

オルミエ湖は現在、水位標高 1,270m ほどで閉鎖した集水域を持ち 1,270m から 4,000m の山々に囲まれている。オルミエ湖流域は流域面積約 52,000km² であり、その地形については、山地、平野、オルミエ湖面がそれぞれ 63.3%、23%、13.7% を占めている。また、流域南部から北東部にかけて Zagros 山脈が連なり、北部から東部、さらに南部の境界には Sabalan 山および Sahand 山に連なる山々が連なっている。これら Sabalan 山および Sahand 山はイラン国内の著名な 9 つの火山のうちの 2 火山であり、その山頂の標高は、それぞれ 4,740m および 3,707m である。前者はオルミエ湖からみて北東部に 60km に位置し、後者は Tabriz から南南西 40km の地点にある。なお、調査時に入手した DEM によると、オルミエ湖流域の最低標高は 1,267m (オルミエ湖最底部)、最高標高は 3,746m (Sabalan 山の近く) である。

2.4 土地利用

2.4.1 オルミエ湖流域における土地利用の変化

WRMC より提供された 1987 年および 2007 年の土地利用データを基に、過去 20 年間の土地利用の変化について考察する。なお土地利用データは Landsat データに基づいて加工されたものである。

オルミエ湖全体の地目別の土地利用面積を図 2.4.1 および表 2.4.1 に、農地 (乾燥農地・灌漑小麦・果樹林) に特化した集計結果を表 2.4.2 に示した。また土地利用分布図を図 2.4.2 および図 2.4.3 に示した。流域別の土地利用面積については巻末資料 2.3 に整理した。

オルミエ湖流域全体の農地面積 (乾燥農地・灌漑小麦・果樹林の和) は 1987 年から 2007 年にかけて 41% 増加している。また、流域全体の傾向を見ると、1987 年、2007 年の両時点において Rangeland (放牧地) がそれぞれ 64%、59% と最も多く、次いで Dry farming (乾地農業) がそれぞれ 13%、16% を占めている。

流域の水利用の大部分を占める農業に関する土地利用の経年変化に着目すると、1987 年から 2007 年にかけての増加率は Dry farming が約 23%、Irrigated Wheat (灌漑小麦) については約 83% である。Orchard については 374% と約 4 倍近く増加しているが、2007 年における流域面積の割合から見ると 3% 程度である。

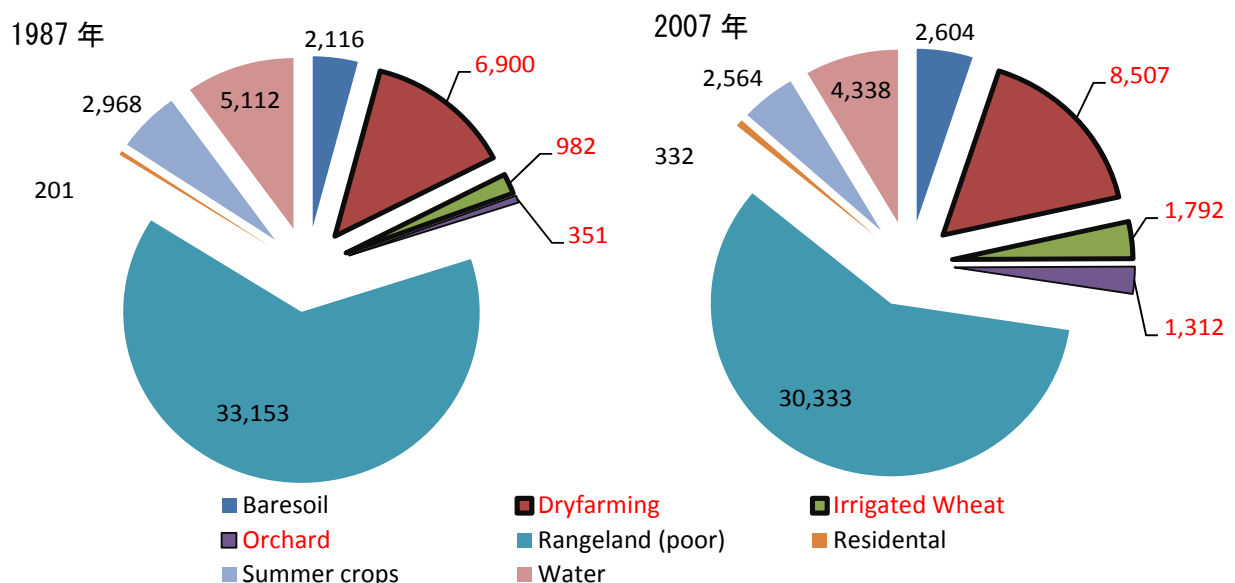


図 2.4.1 1987 年と 2007 年における土地利用面積の比較 (km²)

表 2.4.1 土地利用の変化量および変化率（オルミエ湖流域全体）

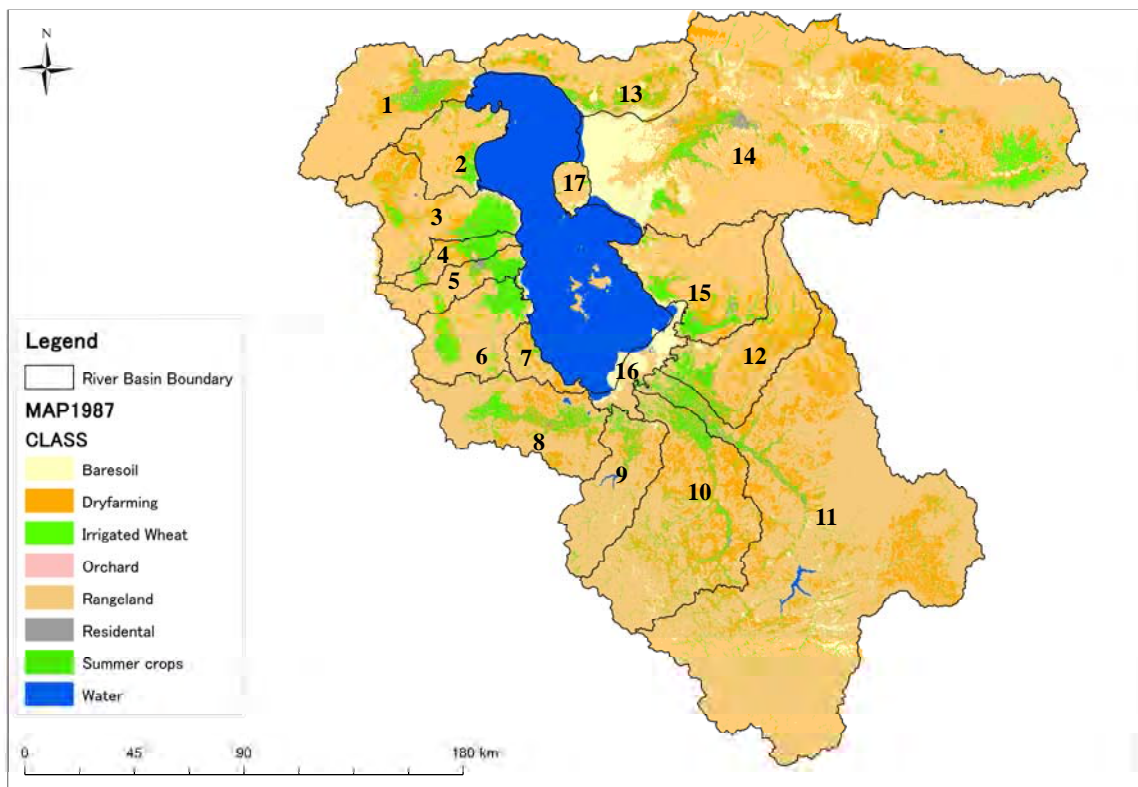
上段:面積 下段:割合	Baresoil (荒地)	Dryfarming (乾燥農地)	Irrigated Wheat (灌漑小麦)	Orchard (果樹園)	Rangeland (放牧地)	Residential (居住地)	Summer crops (夏季作物)	Water (水域)	合計
In 1987 (km ²) (Percentage in the Basin)	2,116 4%	6,900 13%	982 2%	351 1%	33,153 64%	201 0.39%	2,968 6%	5,112 10%	51,783 -
In 2007 (km ²) (Percentage in the Basin)	2,604 5%	8,507 16%	1,792 3%	1,312 3%	30,333 59%	332 0.6%	2,564 5%	4,338 8%	51,783 -
Difference (km ²) (Increasing Rate)	488 123%	1,607 123%	810 182%	961 374%	-2,820 91%	131 165%	-404 86%	-774 85%	- -

*WRMC 提供データを基に JICA 調査団が集計

表 2.4.2 農地（乾燥農地・灌漑小麦・果樹園）の変化量および変化率（オルミエ湖流域全体）

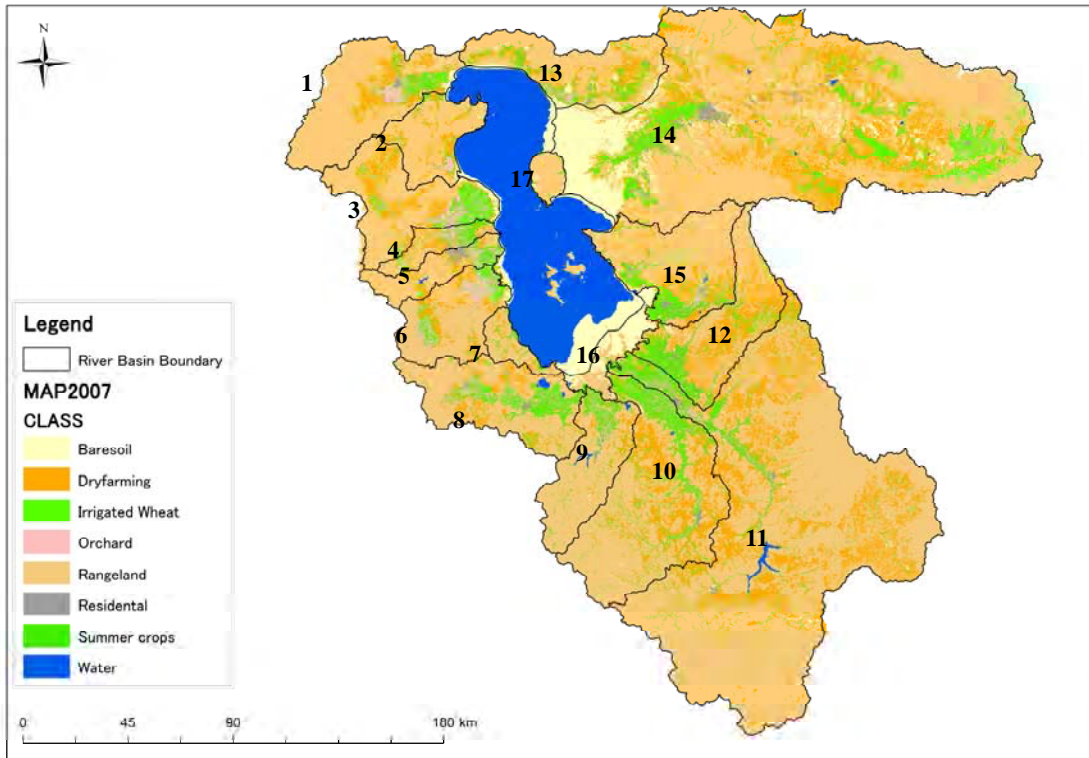
上段:面積 下段:割合	Dryfarming (乾燥農地)	Irrigated Wheat (灌漑小麦)	Orchard (果樹園)	Total
In 1987 (km ²) (Percentage in the Basin)	6,900 (13%)	982 (2%)	351 (1%)	8,223 (16%)
In 2007 (km ²) (Percentage in the Basin)	8,507 (16%)	1,792 (3%)	1,311 (3%)	11,586 (22%)
Difference (km ²) (Increasing Rate)	1,607 (123%)	811 (182%)	960 (374%)	3,363 (141%)

*WRMC 提供データを基に JICA 調査団が集計



*WRMC 提供データ

図 2.4.2 1987 年の土地利用分布

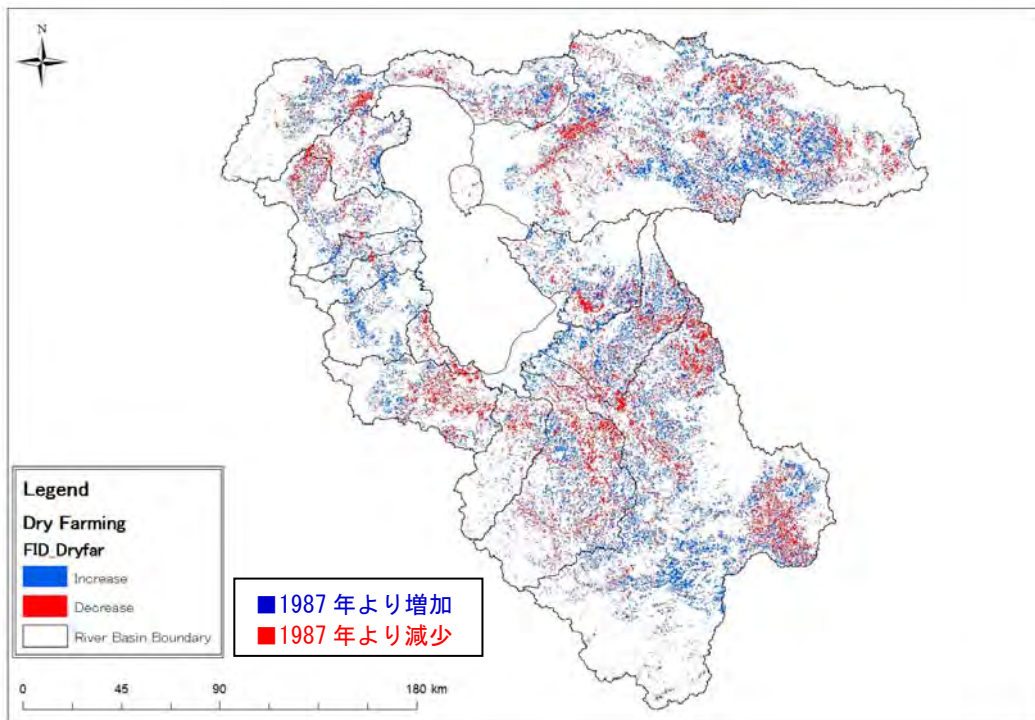


*WRMC 提供データ

図 2.4.3 2007 年の土地利用分布

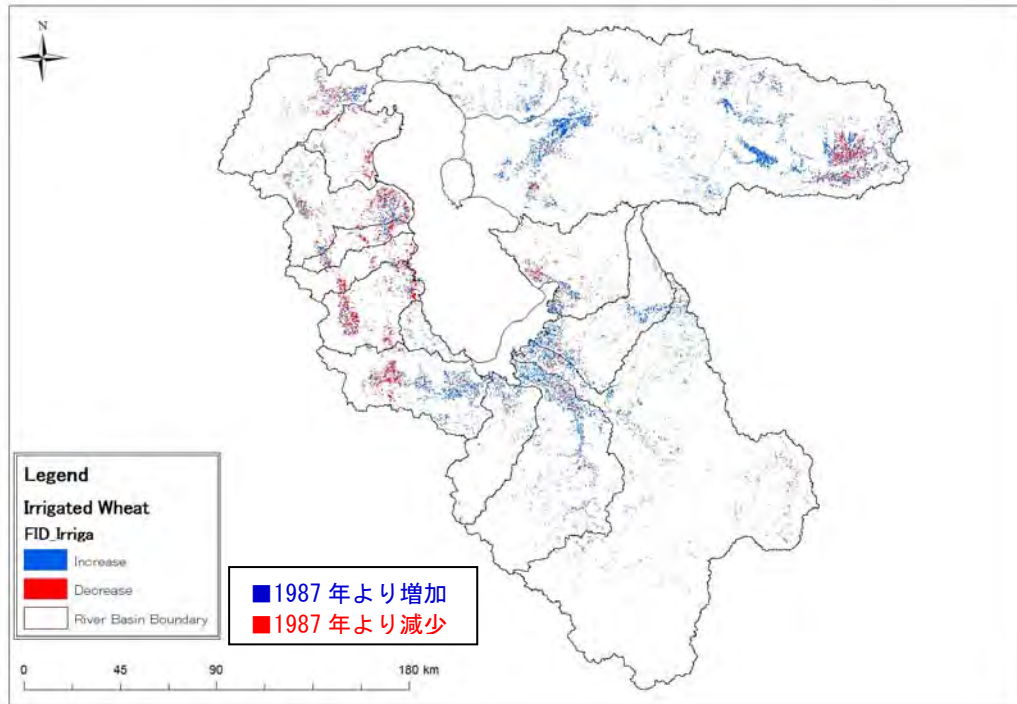
農地別（乾燥農地、灌漑小麦、果樹林）の増減部分を図 2.4.4～図 2.4.6 に抽出して図化した。分布傾向については、乾燥農地は流域全体に均一に増加・減少が見られる。これらは、WRMC から提供されたデータの衛星画像を用いて解析したものである。

なお灌漑小麦と果樹園については、低平地および河川沿いに増加が集中している。



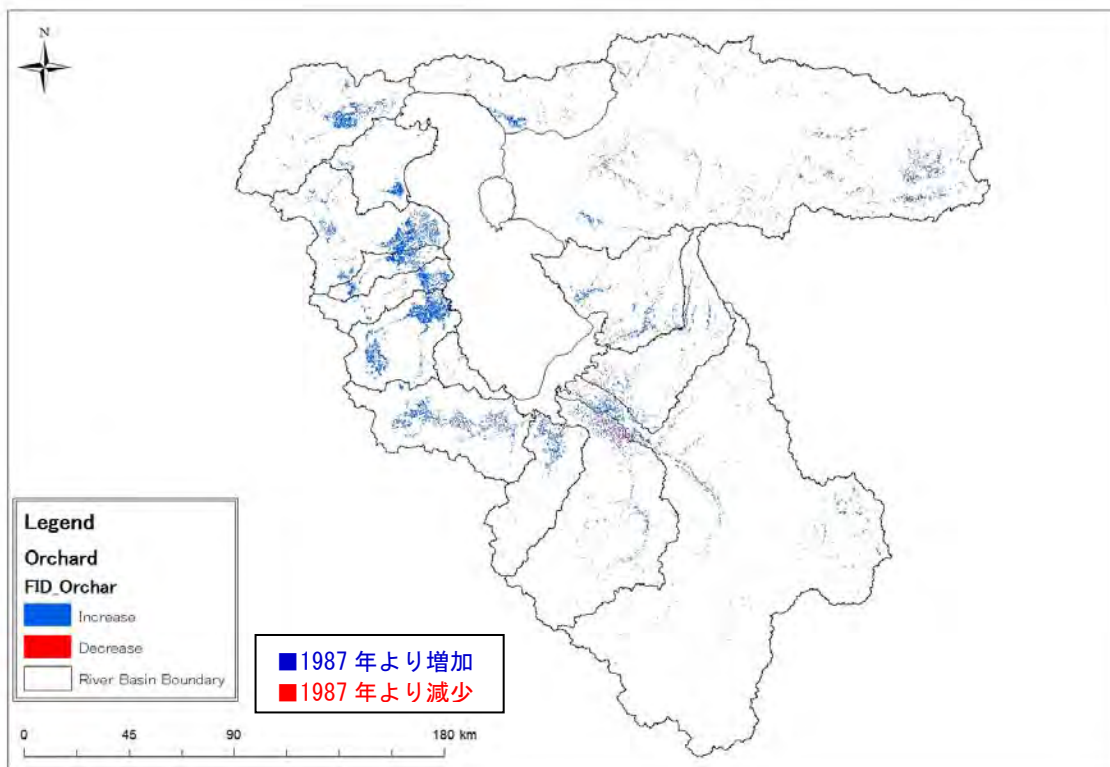
*WRMC 提供データより抽出

図 2.4.4 1987 年から 2007 年にかけての土地利用変化（乾地農業）



*WRMC 提供データより抽出

図 2.4.5 1987年から2007年にかけての土地利用変化（灌漑小麦）



*WRMC 提供データより抽出

図 2.4.6 1987年から2007年にかけての土地利用変化（果樹林）

2.4.2 灌漑農地および果樹園における灌漑用水量の推定

上述した灌漑小麦および果樹園における農業用水量の変化を概算推定した。計算手法として、単位面積辺りの農業用水量を収集資料に基づき設定し、それに 2.4.1 で整理した 1987 年および 2008 年におけるオルミエ湖流域内の灌漑農地および果樹園の面積を乗じることで、年間に必要となる灌漑用水量を算出した。結果として 1987 年および 2007 年におけるオルミエ湖流域全体の概算灌漑用水量を表 2.4.3 に示す。

灌漑農地については、WRMC 提供の農業用水に関するマスタープランレポート（4 章にて説明）に Irrigated Area として記載されている、オルミエ湖流域全体の年間灌漑用水量（6,632MCM、灌漑効率 29～43%が考慮されている）と灌漑面積（356,420ha）から単位面積当たりの年間灌漑用水量を算出すると 1,861mm となる。これを 2.4.1 で集計した 1987 年および 2007 年における灌漑小麦の面積に適用するとそれぞれ 1,827MCM および 3,334MCM となり 1,507MCM 増で、1.8 倍になっている。

果樹園については同レポートにおいて Irrigated Garden（園芸）として検討されており、リンゴ、ブドウ等が主作物として栽培されている。灌漑用水量はオルミエ湖全体で 2,187MCM（灌漑効率 30～53%）であり、作付面積 155,506ha で除すると単位面積当たりの年間灌漑用水量 1,861mm を得る。灌漑小麦と同様の考え方で、これに 1987 年および 2007 年における果樹園の面積を乗ずると、灌漑用水量は 665MCM および 2,484MCM となり 1,820MCM 増で、3.7 倍になっている。

以上結果として、オルミエ湖流域における灌漑用水量の変化として、1987 年には 2,500MCM 程度の灌漑用水量が使用されており、面積の増加量から考えると 20 年後の 2007 年には約 5,800MCM と 2.3 倍の使用量になっている可能性が示唆される。

なお、参考として両地目における一日当たりの灌漑用水量を算出した。同レポートでは灌漑小麦と果樹園の灌漑期間について記述されていないが、両地目を混同した月毎の灌漑用水量が整理されており、そこから読み取れる灌漑期間を約 9 ヶ月とすると、一日当たりの灌漑用水量として、灌漑小麦は 6.9mm、果樹園は 7mm となる。FAO によると灌漑農地における水需要量は 10mm/日程度と見込まれている。このことから両地目の灌漑用水量の元単位は妥当な値であると考えられる。

表 2.4.3 1987 年および 2007 年における灌漑小麦農地および果樹園の灌漑用水量

	灌漑面積 (ha)	灌漑用水量 (MCM/年)	灌漑面積当たりの 灌漑用水量 (mm/m ² /年)	日灌漑用水量 (mm/日)	
灌漑小麦	356,420	6,632	1,861	6.9	
果樹園	115,506	2,187	1,893	7.0	
	灌漑面積 (1987 年)* (ha)	灌漑面積 (2007 年)* (ha)	灌漑用水量 (1987 年) (MCM/年)	灌漑用水量 (2007 年) (MCM/年)	差分 (MCM)
灌漑小麦	98,200	179,200	1,827	3,334	1,507
果樹園	35,100	131,200	665	2,484	1,820
合計			2,492	5,819	3,327

2.5 水文地質・地質構造

イラン北部の地質構造については Mansour Ghorbani “The Economic Geology of Iran” の中で代表的な構造区分を示している（表 2.5.1 参照）。これによると Nogole-Sadat (1993) による構造区分では、オルミエ湖の西側は Central Metamorphic Zone、湖周辺は Quaternary depressions、東側を Central Magmatic Zone、東側の多くは Extrusives（火山噴出岩類）で覆われる⁹。

湖の西側および南側には主としてプレカンブリアン、古生代、中生代の各地層が分布し、湖の東側には古第三紀から第四紀の地層、特に、火山岩類が分布している。流域には特徴的な岩石として Travertine という石灰質化学沈殿岩（亀裂から湧き出る温泉や鉱泉などによる沈殿物）も分布している。各地質年代の岩相は次の通りである。

表 2.5.1 各地質年代の岩相

地質年代	堆積岩	火成岩	変成岩
第四紀	崖錐、河床堆積物、湖成堆積物、段丘堆積物、石灰岩、石灰質沈殿岩	安山岩、玄武岩	
新第三紀鮮新世		石英安山岩、珪長質岩石	
新第三紀中新世	Marl, 赤色砂質泥灰岩, チョーク	火砕岩、安山岩	
古第三紀漸新世	砂岩、頁岩、泥灰岩、石灰岩		
古第三紀暁新世	砂岩、礫岩	緑色凝灰岩、安山岩	
古第三紀暁新世-漸新世		安山岩、閃緑岩	
中生代白亜紀	石灰岩、頁岩、砂岩、泥灰岩	閃緑岩、玄武岩	
中生代前期白亜紀	石灰岩、ドロマイト		
中生代ジュラ紀	緑色頁岩、含チャート石灰岩		
中生代三畳紀	ドロマイト、石灰岩		
中生代白亜紀-古第三紀暁新世		花崗閃緑岩、花崗岩	
古生代ペルム紀	石灰岩、ドロマイト		片岩
古生代カンブリア紀-オルドビス紀	黒色ドロマイト、ドロマイト、石灰岩		
古生代カンブリア紀	砂岩		
先カンブリア紀	頁岩、粘板岩、ドロマイト	流紋岩、花崗岩	片麻岩、千枚岩

*JICA 調査団

オルミエ湖を含む一帯は graben（地溝）と呼ばれる地盤の沈降帯にあり第三紀以降火山岩が大量に噴出している。地震場の解析（Focal Mechanism 解析）によると、カスピ海からイラン西部にかけて広範囲に逆断層系の応力場（水平圧縮応力が卓越）であるのに対して、湖周辺は正断層の応力場（鉛直応力が卓越）にあるとされる¹⁰。現在も引き続きこの応力場にあり、断層系が北西—南東方向にあるとする報告もある¹¹。

活断層系¹²としてオルミエ湖北側からタブリーズ東を通る活断層があり、数十万年前に湖の北側が閉塞されたと考えられる。元々カスピ海にそそぐ河川がありこれが活断層により堰き止められたと考えられる^{13,14}。

⁹ Mansour Ghorbani The Economic Geology of Iran (2013)

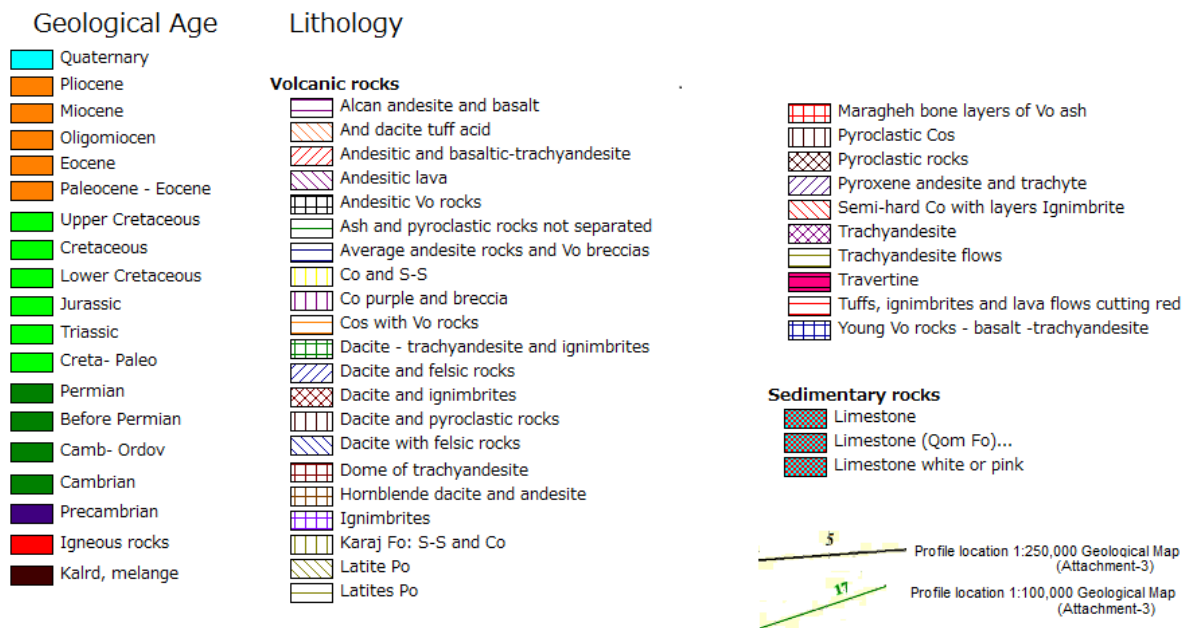
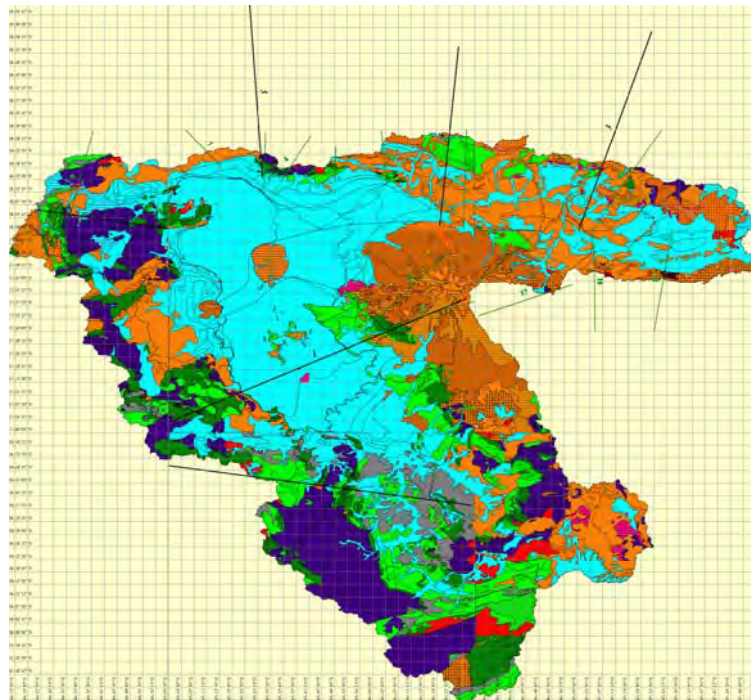
¹⁰ World Stress Map Helmholtz Center Potsdam - GFZ German Research Center for Geosciences

¹¹ Mohammad MOHAJJEL etc., Quaternary travertine ridges in the Lake Urmia area: active extension in NW Iran, Turkish Journal of Earth Sciences Research Article (2014)

¹² Manuel Berberian Earthquakes and Coseismic Surface Faulting on the Iranian Plateau, 1st Edition (2014)

¹³ Jacques-Louis A Long Pleistocene pollen record from the Urmia Lake, NW Iran (abstract XVII INQUA Congress 2007)

¹⁴ Morteza Djmail etc., A 200,000 - year record of the brine shrimp Artemia(Crustacea : Anostraca) remains in Lake Urmia, NW Iran IJAS Vol1, No.1, 2010



出典：Iran Geological Service

図 2.5.1 オルミエ流域の地質図と断層

地震資料（USGS Earthquake Hazards Program）によると 1985 年 10 月 1 日から 2015 年 2 月 21 日までに東経 44°～48°、北緯 35.5°～40°の範囲で発生した地震は 264 回、最大 M6.4 である（震源図の分布については図 2.5.2 参照）。

地震については、湖の北部以外に湖およびその周辺部には地震源は無いことが特徴的である。一般に、逆断層の地形構造においては地殻変動が活発である場合が多く地震が多いといわれ、正断層ではその逆であると言われている。この状況から、オルミエ北部については逆断層の地域で、それ以外の地域は正断層の地域だと言える。さらに、逆断層は水平応力が強く鉛直方向の応力が弱い状況（地盤が盛り上がった状況）で、正断層は水平応力が弱く鉛直方向の応力が強い状況で（地中に亀裂が生じる状況）である。これらの正断層および逆断層の地域を第四紀活断層系が隔てており応力場の変化を活断層系が吸収している状態になっている。本業務では水の流れに焦点を当てて解析を行うが、様々な断層を周辺に有し、特に湖北部の地下水帯水層の水位・水圧や、これに繋が

るオルミエ湖水位は応力場・活断層・構造運動に関係している可能性があるため、地下構造的な分析を実施していくことも必要であろう。

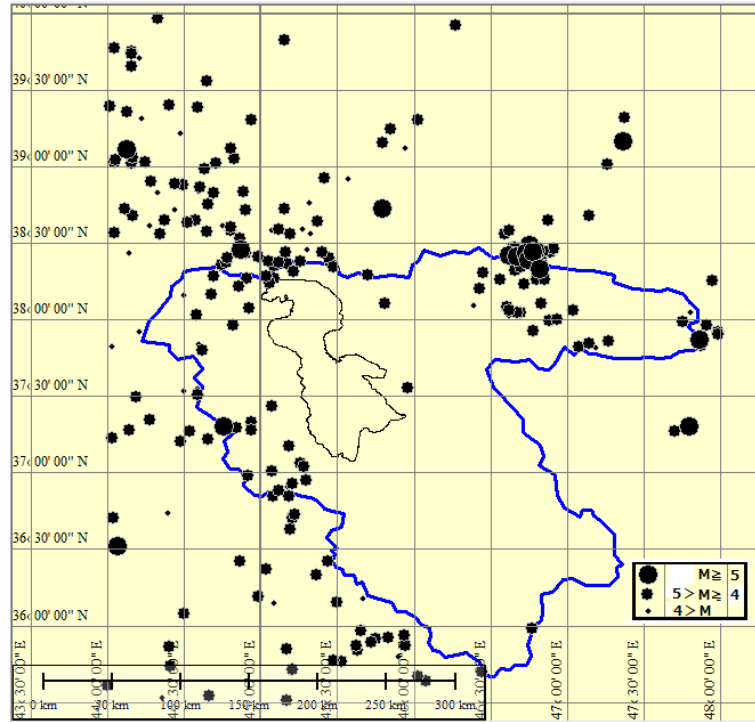


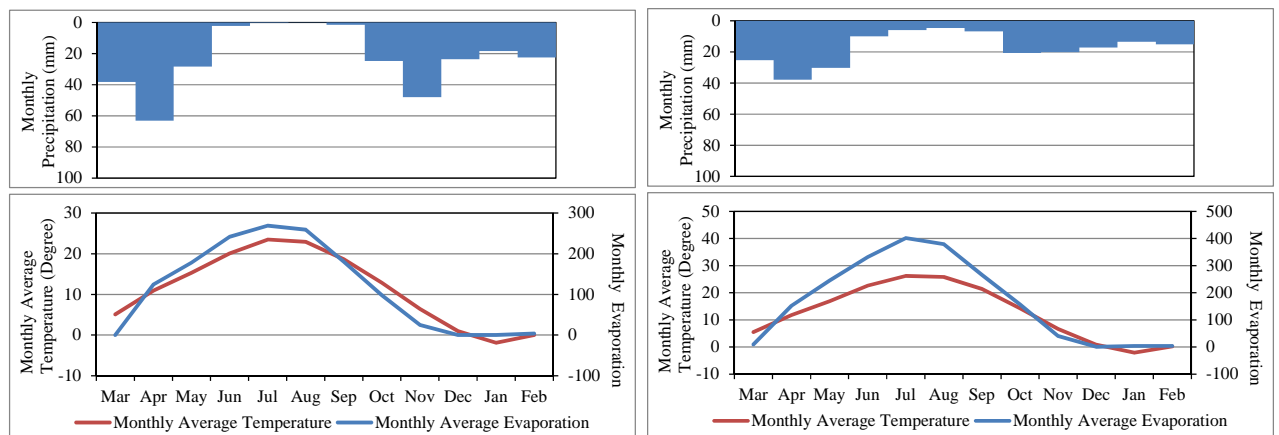
図 2.5.2 オルミエ湖流域周辺の震源図

2.6 水文気象

2.6.1 オルミエ湖流域の気象特性

オルミエ湖流域の代表的な気象特性として、オルミエ湖の西側に位置する Urmia（西アゼルバイジャン州）東側の Tabriz（東アゼルバイジャン州）の降水量、パン蒸発量および気温の年間変動を図 2.6.1、経年平均値を表 2.6.1、観測期間の推移を図 2.6.2 に示す。またその内訳は巻末資料 2.4 に掲載した。

Urmia および Tabriz の気温はそれぞれ-8~27℃、-10~31℃で推移し、30~40℃近い寒暖の差がある。年降水量はそれぞれ 90~630mm（平均 274mm）、89~324mm（平均 212mm）、月蒸発量は 1,158~1,525mm（平均 1,363mm）、1,271~2,244mm（平均 1,966mm）の範囲で推移している。



*雨量データ：WRMC、気温・蒸発量：IMO

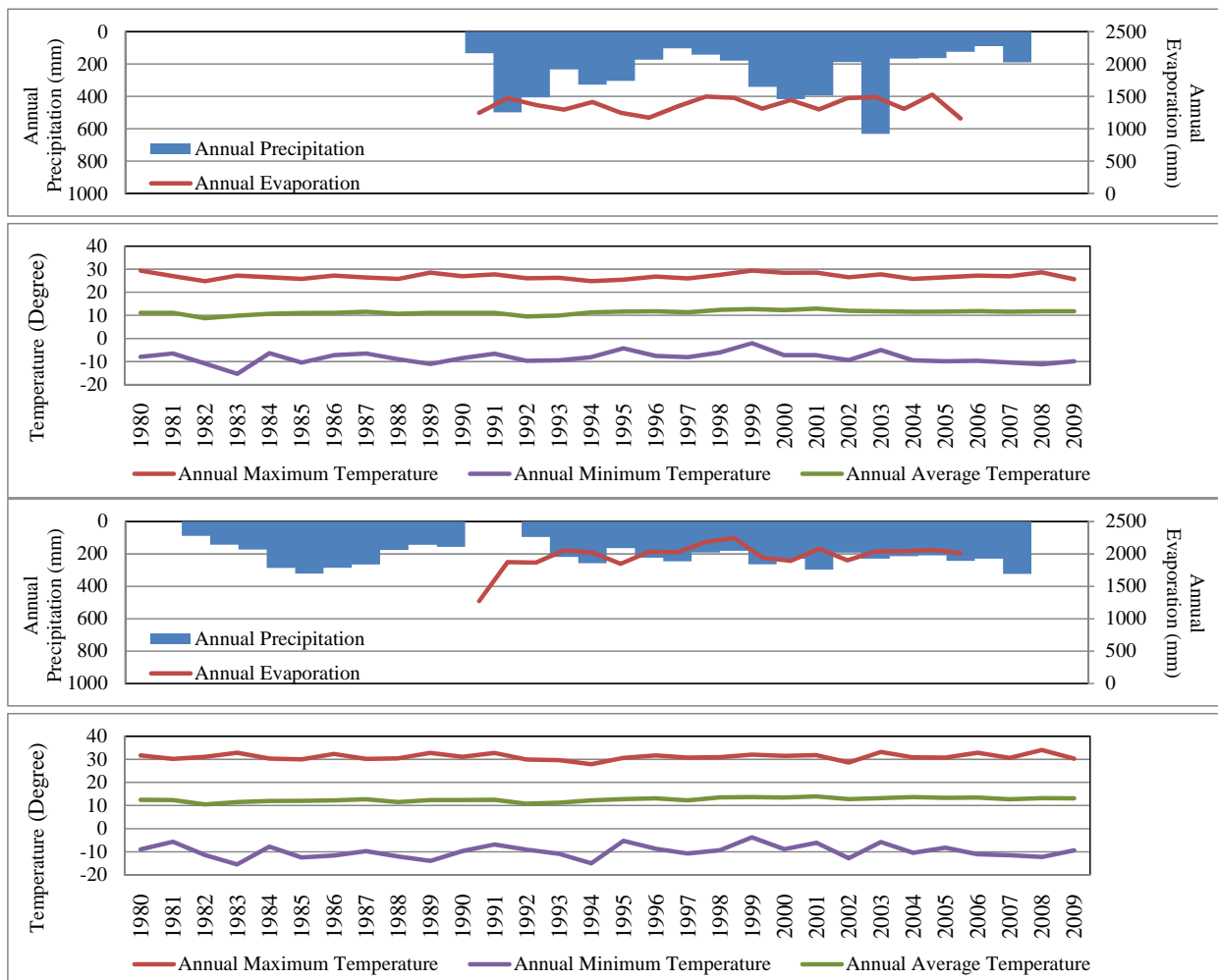
*集計期間は図 2.6.2 に図化されている期間

図 2.6.1 Urmia（左）および Tabriz（右）における月降水量、月間パン蒸発量および月平均気温

表 2.6.1 Urmia および Tabriz における年降水量、年間パン蒸発量および最高気温、最低気温、平均気温

観測所名 \ 項目	年降水量	年間パン蒸発量	年間最高気温	年間最低気温	年間平均気温
Urmia	274mm	1,363mm	27°C	-8°C	11°C
Tabriz	212mm	1,966mm	31°C	-10°C	13°C

*雨量データ：WRMC、気温・蒸発量：IMO
*集計期間は図 2.6.2 に図化されている期間



*雨量データ：WRMC、気温・蒸発量：IMO

図 2.6.2 Urmia (上) および Tabriz (下) における年降水量、年間パン蒸発量および最高気温、最低気温、平均気温の推移

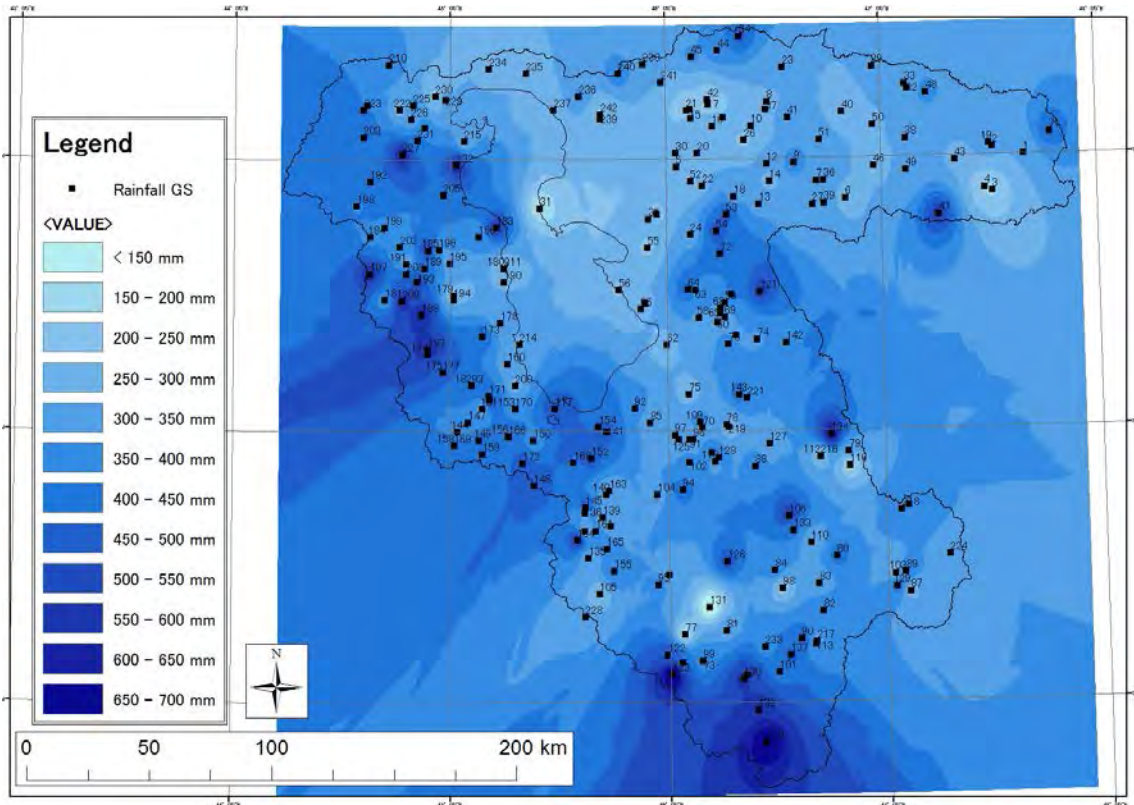
2.6.2 水文特性

(1) オルミエ湖流域における降水の空間特性および標高との関係

オルミエ湖流域の年間降水量の空間分布評価のため、収集した日降水量データより年間降水量の経年平均値を算出し、コンター図を図 2.6.3 のとおり作成した。数値データについては巻末資料 2.5 に掲載した。内挿方法については Inverse Distance Weighted (IDW) 法を採用した。

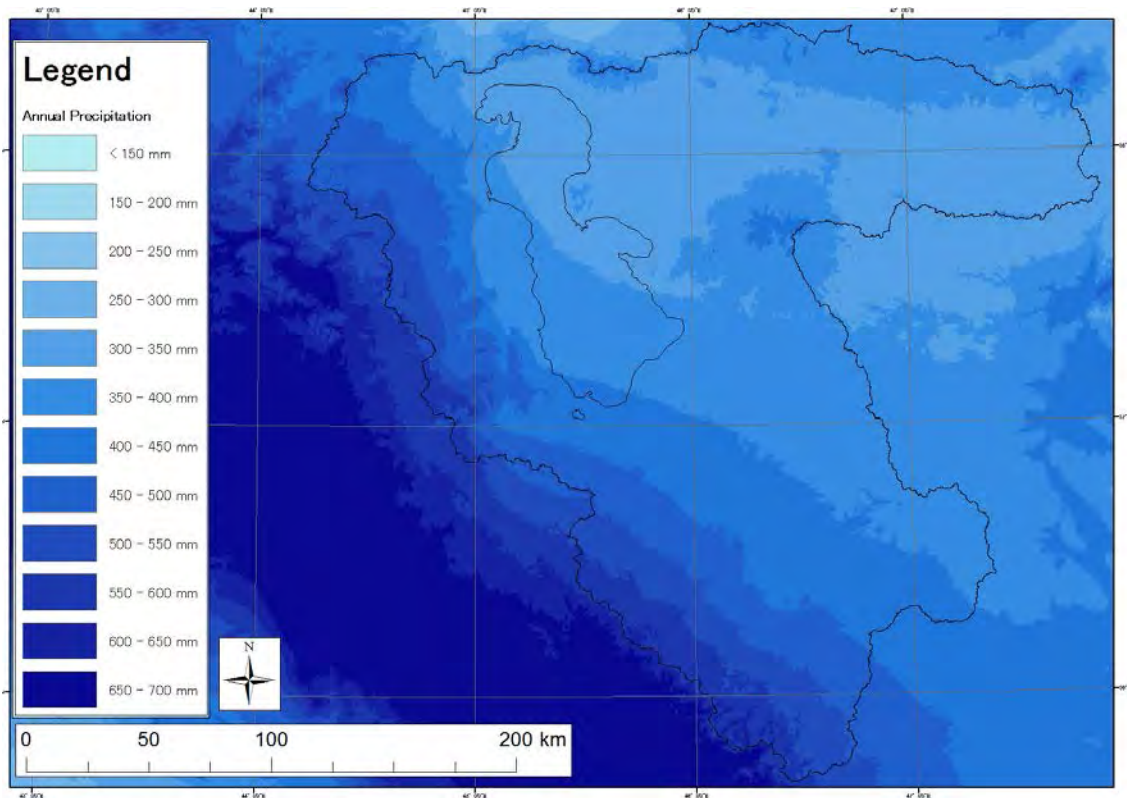
流域内における年間降水量は 200-800mm と空間的なばらつきがあり、最大降水量は流域西部および南西部に発生し、北東にかけて減少する傾向にある。流域の降雨分布より東アゼルバイジャン州の方が西アゼルバイジャン州よりも降水量が少ないことが伺える。また図 2.6.4 に示すとおり、世界の降雨分布傾向を俯瞰できる WORLDCLIM (<http://www.worldclim.org/>) においても、年間降水量が全体的にやや大きく表示されているが、同様の降水量の空間分布傾向を確認できる。

また、図 2.6.5 および図 2.6.6 に東・西アゼルバイジャン州それぞれにおける、観測所標高と年間降水量の関係を示した。両州ともに標高と降水量との線形関係がわずかに見受けられるが、全体的にみるとばらつきが大きく、明瞭な関係性は確認できなかった。したがって後述する水収支解析においては、使用する降水量データについて高度補正は実施せず、なるべく全ての観測所のデータを使う事で精度を確保した。



*WRMC 提供データを基に JICA 調査団が作成
*数字は巻末資料 2.5 の年平均降水量の No に対応
*採用期間：1980 年～2011 年（収集率 70%未満の年は除く）

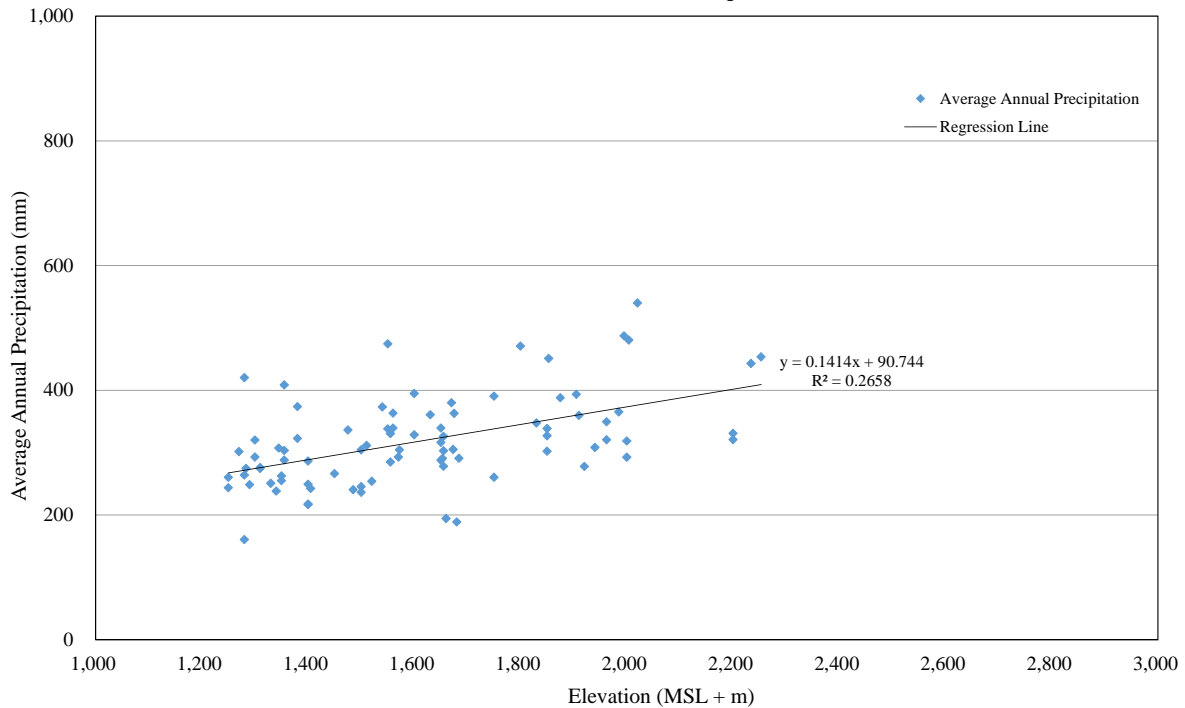
図 2.6.3 平均年降水量のコンター図



出典：WORLDCLIM (<http://www.worldclim.org/>)

図 2.6.4 WORLDCLIM における年間降水量分布

Correlation between Elevation and Average Annual Precipitation of Rainfall Station in East Azerbaijan Province

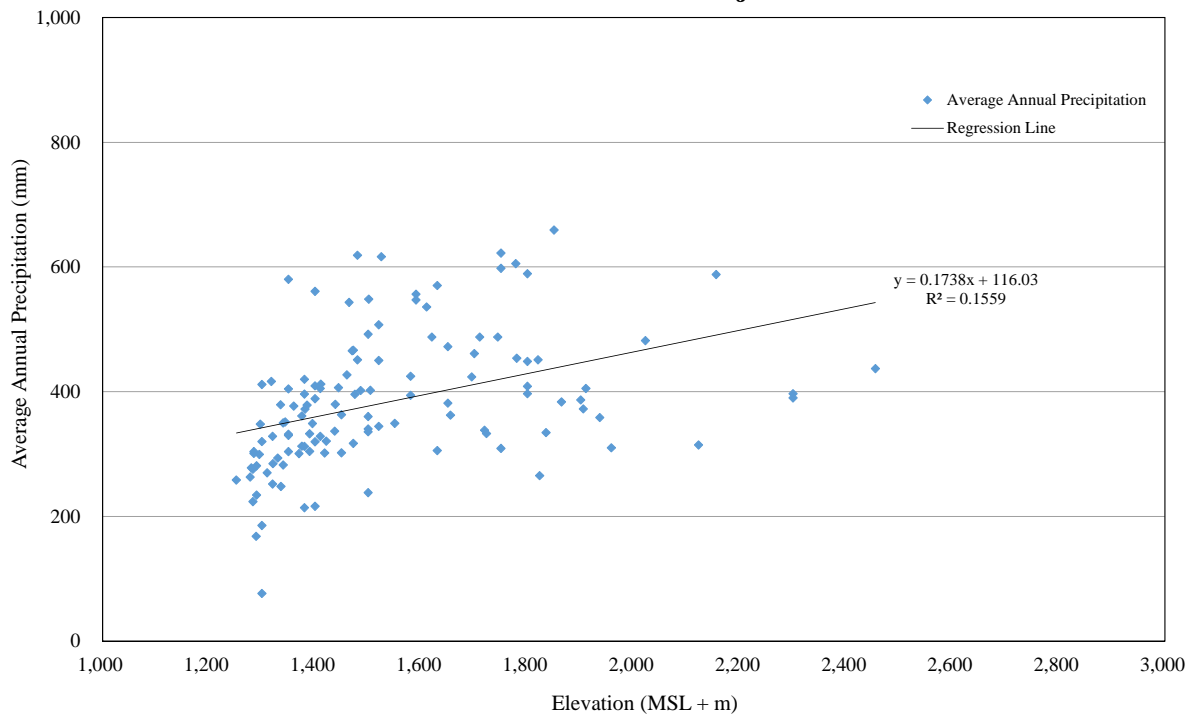


*WRMC 提供データを基に JICA 調査団が作成

*採用期間：1980 年～2011 年（収集率 70% 未満の年は除く）

図 2.6.5 観測所の標高と年間降水量の関係（東アゼルバイジャン州）

Correlation between Elevation and Average Annual Precipitation of Rainfall Station in West Azerbaijan Province



*WRMC 提供データを基に JICA 調査団が作成

*採用期間：1980 年～2011 年（収集率 70% 未満の年は除く）

図 2.6.6 観測所の標高と年間降水量の関係（西アゼルバイジャン州）

(2) 降水流出の月変動

流域の降水流出特性の評価、ならびに降水流出の応答関係から観測データをチェックするため、WRMC 提供の日降水量・日流量データを基に、流域の代表河川の流末地点における流域月平均降水量および月平均流量の経年平均値を表 2.6.2、ハイレートハイドログラフを図 2.6.7 および図 2.6.8 に示す。また集計値は巻末資料 2.6 に掲載した。ダムの影響を排除するために、基本的に流域内においてダムが建設される以前の期間によって集計を行っているが、集計期間以前にダムが建設されている流域についてはダムの影響を受けた流量を集計した (図 2.6.7 参照)。

表 2.6.2 をみると、流末地点上流における流域平均雨量は冬季は 40~70mm/月、夏季は 10mm/月以下である。また流量については、春季の融雪期には月平均流量として数十 m³/s のオーダーで流末に達している、夏季は 10m³/s に満たず 1m³/s 未満の所もある。

降雨流出の応答パターンについては、図 2.6.7 より、降水の多くは秋季の終わりから冬季に雨および雪として生じ、流域には凍結して残留する。春に溶け出して流出するため、流量ピークに達するのは融雪による影響の出る春季の 4~5 月であり、6 月から急激に流量が減少する。いずれの流末においても冬季の降水から春期の融雪に伴う流量の増加、夏季の流量低下という年間サイクルがダムの影響の有無にかかわらず確認できる。

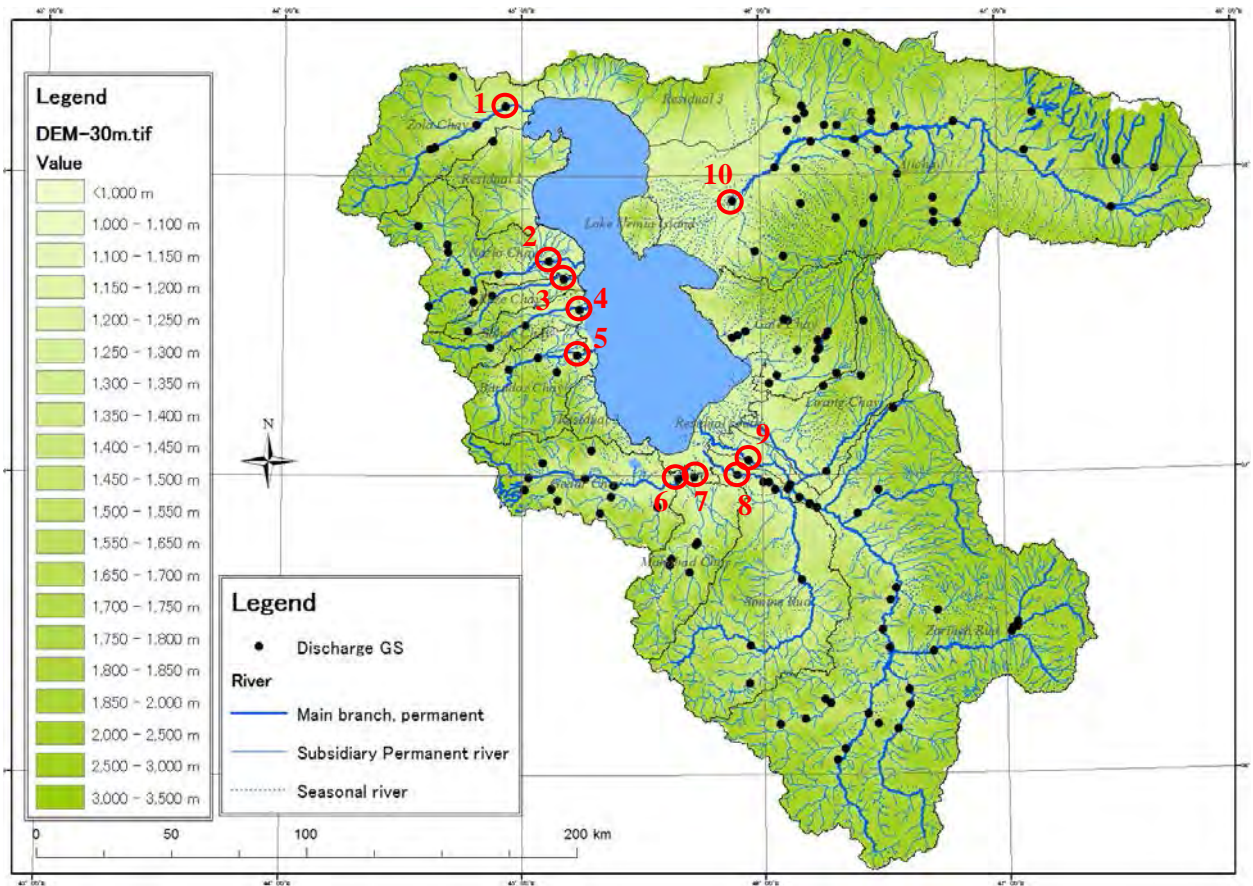
このようにオルミエ湖の流入河川は、1)積雪による流域貯留効果が生じ春期の融雪に伴って流出量が増加すること、また 2)季節による流量の増減が大きいこと、を共通した特徴として有していることが伺える。

表 2.6.2 代表河川流末における流域平均雨量と月平均流量の経年平均 (ダムの影響無し)

流域	Zola chay		Nazlo Chay		平均	
	2,258		1,880		-	
流域面積 (km ²)	平均月降水量 (mm)	月平均流量 (m ³ /s)	平均月降水量 (mm)	月平均流量 (m ³ /s)	平均月降水量 (mm)	月平均流量 (m ³ /s)
Mar	51.84	2.48	62.10	7.77		
Apr	72.50	6.83	77.35	26.36		
May	70.08	6.19	60.90	31.80		
Jun	25.73	2.38	17.54	12.28		
Jul	13.96	2.02	7.61	3.65		
Aug	5.30	0.97	3.81	0.49		
Sep	6.12	0.48	3.71	0.36		
Oct	35.46	0.65	34.89	1.74		
Nov	49.01	0.97	63.28	3.90		
Dec	29.86	1.11	42.54	3.63		
Jan	28.21	1.20	42.84	3.35		
Feb	32.83	1.32	41.64	3.79		
流域	Baradoz Chay		Gedar Chay		平均	
流域面積 (km ²)	1,362		2,091		-	
流域面積 (km ²)	平均月降水量 (mm)	月平均流量 (m ³ /s)	平均月降水量 (mm)	月平均流量 (m ³ /s)	平均月降水量 (mm)	月平均流量 (m ³ /s)
Mar	67.31	9.53	70.10	17.91	62.84	9.42
Apr	85.13	21.03	68.86	45.57	75.96	24.95
May	53.21	24.36	61.69	49.10	61.47	27.86
Jun	12.81	10.33	10.47	14.37	16.64	9.84
Jul	3.87	3.32	1.27	1.81	6.68	2.70
Aug	3.60	0.95	0.55	0.17	3.31	0.65
Sep	4.05	0.36	0.98	0.18	3.72	0.35
Oct	38.16	2.09	45.83	2.36	38.59	1.71
Nov	61.90	5.47	75.38	6.59	62.39	4.23
Dec	45.22	5.08	53.91	8.46	42.88	4.57
Jan	45.45	4.80	43.62	6.74	40.03	4.02
Feb	49.95	5.23	61.75	8.04	46.54	4.59

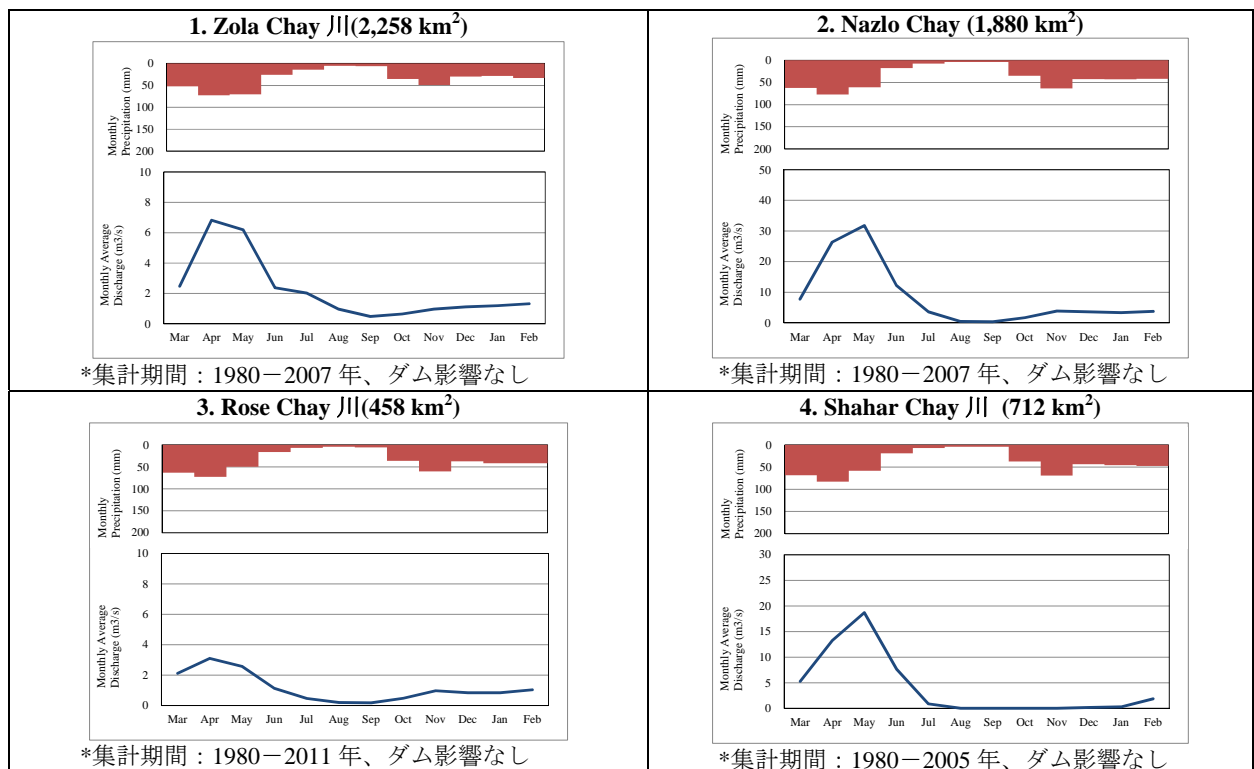
*WRMC 提供データを基に JICA 調査団が集計

*採用期間：1980 年~2011 年 (収集率 70%未満の年は除く)



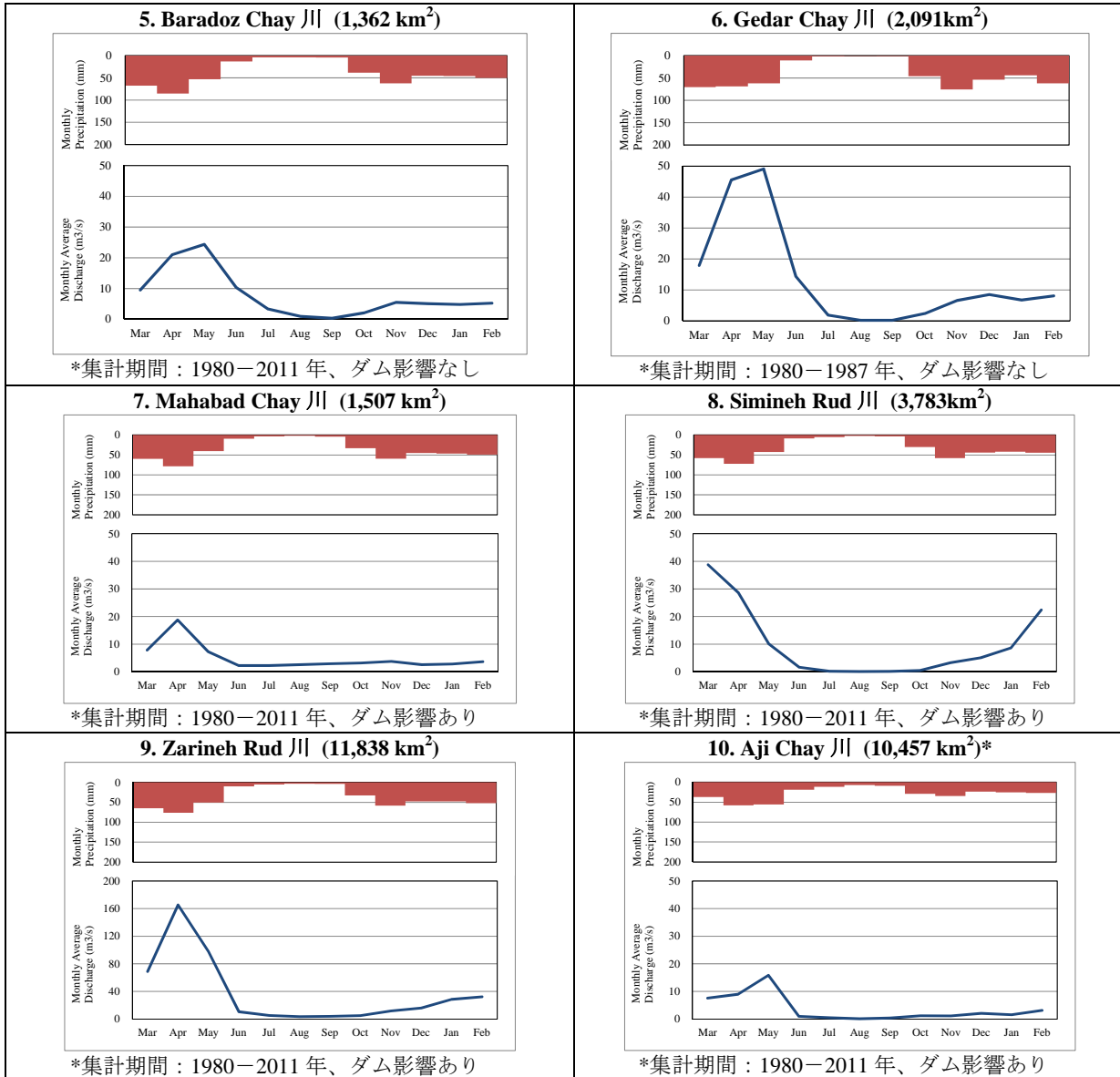
*番号は図 2.6.8 に対応

図 2.6.7 主要河川の流末地点



*WRMC 提供データを基に JICA 調査団が集計

図 2.6.8 流末地点におけるハイトハイドログラフ(月別) (1/2)



*使用した流量はダムの影響を含めた値
*WRMC 提供データを基に JICA 調査団が集計

図 2.6.8 流末地点におけるハイトログラフ(月別) (2/2)

(3) 年間流出率の算出

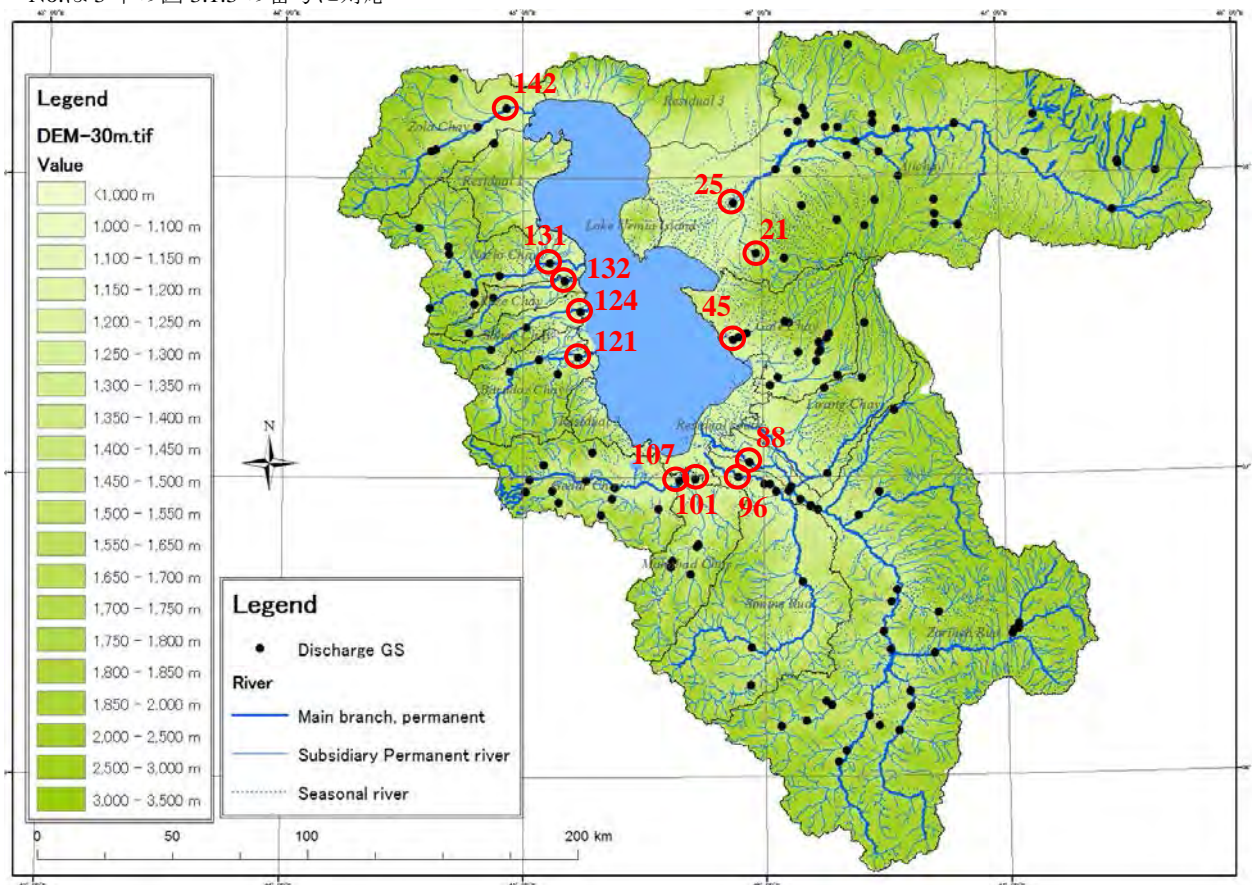
WRMC より提供を受けた日雨量および日流量データを基に、流入河川流域末端の年間流出率を算出した。3章にて詳述するがオルミエ湖には現在までに44基のダムが建設されており、その内12基について放流量等の実績データの提供を受けている。ダムの影響を受けている期間とそうでない期間に分けて各観測所の流出率を算定し、表2.6.3に整理した。ダムの影響を受けた場合の年間流出率は0.06~0.35、平均は0.2となり、ダムの影響を控除したもの、すなわち自然流量の年間流出率については0.03~0.70、平均は0.3であった。すなわち年間単位で見ると降水量の2割から3割程度が表流水として流出していることになる。因みに高い流出率が確認された観測所 (Kashtiban 0.7) については、ダムの影響ありの流出率が0.13と他観測所のものと同等となっていることから本来灌漑等に消費されるダム放流量が大きめに算定されていることが考えらる。

表 2.6.3 流入河川末端地点における年間流出率

No**	流域名	Discharge GS	Code	集水面積 (km ²)	年間流出率 (ダム影響あり)	年間流出率 (ダム影響なし)
142	Zola chay	Yalghuz aghaj	36-011	2,258	0.06	0.14
131	Nazlo Chay	Abajalu sofla	35-033	1,880	0.27	No Dam data
132	Rose Chay	Guyjali aslan	35-037	458	0.17	No Dam data
124	Shahar Chay	Kashtiban	35-013	712	0.13	0.70
121	Baradoz Chay	Babarud	35-007	1,362	0.35	No Dam data
107	Gedar Chay	Pol bahramlu santu	34-021	2,091	0.30	0.30
101	Mahabad Chay	Gard yaghub	34-009	1,507	0.23	0.44
96	Simineh Rud	Pol bukan	33-985	3,783	0.19	No Dam data
88	Zarineh	Nezam abad	33-917	11,838	0.20	0.23
45	Gale Chay R Up	Shishvan	32-021	698	0.16	0.28
21	Aji Chay Low2	Azarshahr	31-039	702	0.12	No Dam data
25	Aji Chay	Sarin dizaj	31-085	10,905	0.03	No Dam data
平均					0.18	0.35

*WRMC 提供データを基に JICA 調査団が集計

**No.は3章の図 3.1.3 の番号に対応



*番号は表 2.4.3 に対応

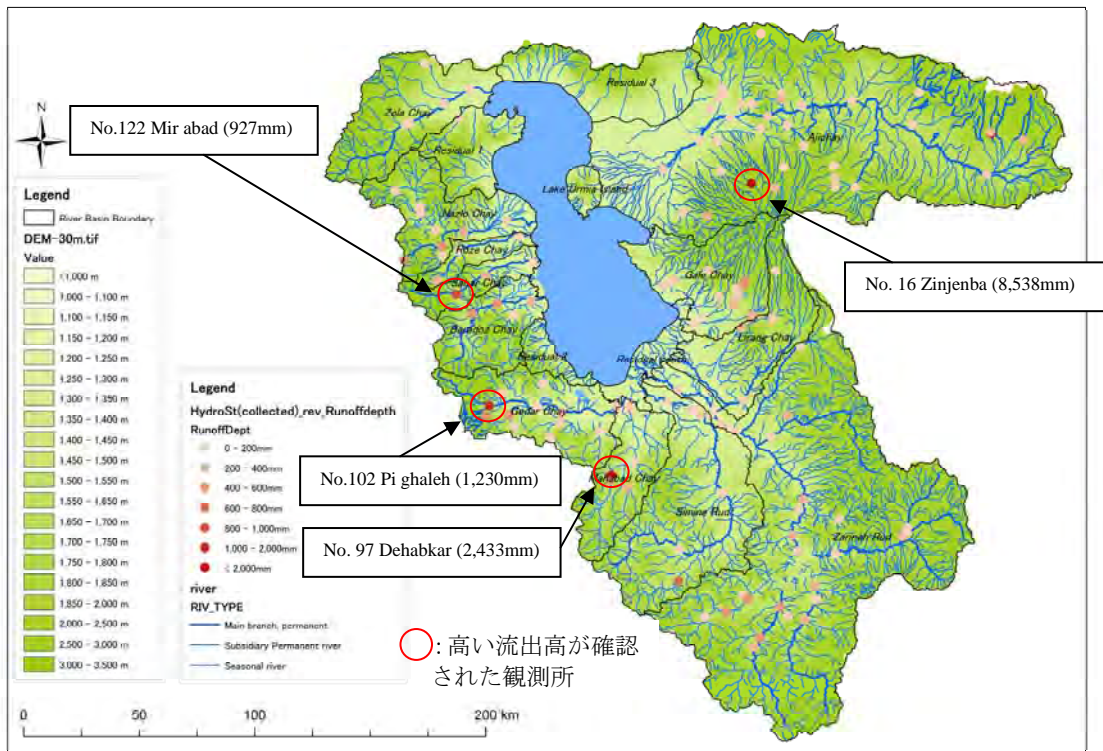
図 2.6.9 年間流出率を算出した主要河川の流末地点

(4) 年間流出高の比較

湖への流入河川の流出ボリュームを比較するため、経年平均流出高（流量観測所における年間ボリュームを上流側面積により除したものを）を算出した。その結果を図 2.6.10 に示す。また各河川流域の平均流出高を表 2.6.4、算出した全地点の流出高については巻末資料 2.7 に整理した。

本業務では限られた工程の中で膨大な水文量の整理・精査を行う必要があったため、一つの観測所について精査を行う事はせず、流出高を用いて流域内の流量観測所を比較し、全体的なチェックを行った。ほとんどの観測流量データについては、問題ない観測精度を有していると考えられる。一方著しく流出高が高く算出された箇所も数カ所確認され（図 2.6.10 および図 2.6.11 ならびに表 2.6.5 参照）、これらについては観測所上流の面積に比べて観測流量が過大になっていることが確認されたが、提供された観測所の位置情報や使用している HQ 式に問題がある可能性が考えられる。これらの観測所の流量データについては、位置情報の確認ならびに設置している水位計の位置等の水位観測状況や使用している HQ 式を確認・再検討することが望ましい。

結果として、流域毎や上下流においてばらつきがみられるが、河川流域毎では 80-700mm（残留域除く）で推移し湖流域全体平均では約 320mm である。また下流側の観測所は 0-200mm、ダム上流については 400-600mm の範囲で分布している（表 2.6.4 参照）。



*WRMC 提供データを基に JICA 調査団が作成
*観測状況により、年間日数の7割以上が観測されている年を平均

図 2.6.10 流量観測地点毎の流出高の分布図

表 2.6.4 主要河川流域毎の平均流出高

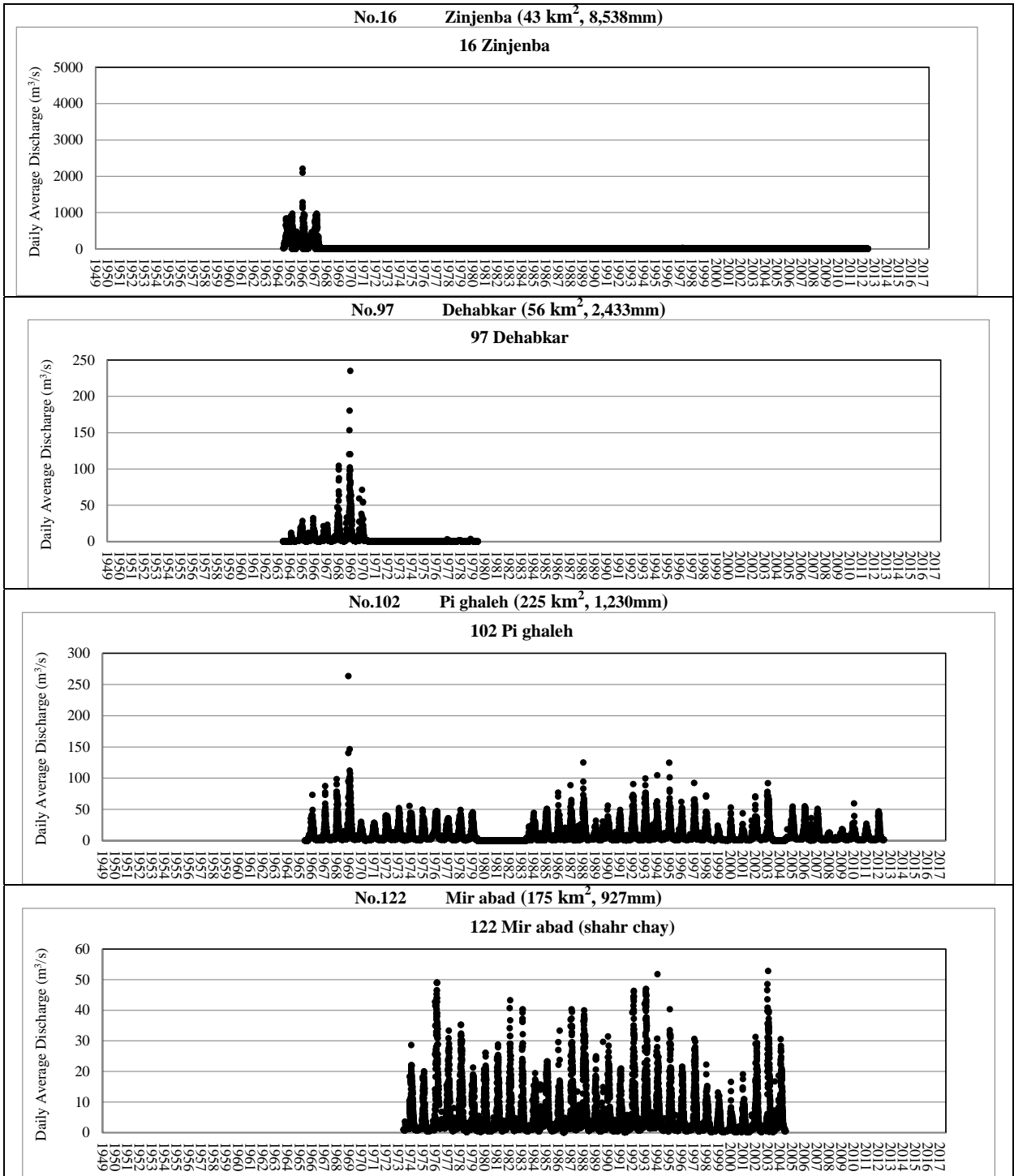
河川流域	流域面積 (km ²)	平均流出高 (mm)	河川流域	流域面積 (km ²)	平均流出高 (mm)
Zola Chay	2,258	79.3	Mahabad Chay	1,507	699.6
Residual 1	1,060	23.1	Simine Rud	3,783	250.6
Nazlo Chay	1,880	216.7	Zarineh Rud	11,838	259.8
Roze Chay	458	103.4	Gale Chay	2,094	190.2
Sahar Chay	712	472.7	Lirang Chay	1,936	156.6
Baradoz Chay	1,362	407.6	Ajichay	12,717	419.9
Gedar Chay	2,091	349.1	オルミエ湖流域平均		318.6

*WRMC 提供データを基に JICA 調査団が作成

表 2.6.5 高い平均流出高が確認された観測所

No.*	観測所	河川流域	流域面積 (km ²)	平均流出高 (mm)	考えられる原因
16	Zinjenba	Aji Chay	43	8,538	上流に位置しているが観測流量が大きく、3,000m ³ /sを超える日流量が観測されている。
97	Dehabkar	Mahabad Chay	56	2,433	流域面積を考慮すると観測流量が大きい。
102	Pi ghaleh	Gedar Chay	225	1,230	流域面積を考慮すると観測流量が大きい。
122	Mir abad	Shahar Chay	175	927	流域面積を考慮すると観測流量が大きい。

*No.は3章の図 3.1.3 の番号に対応



*WRMC 提供データ

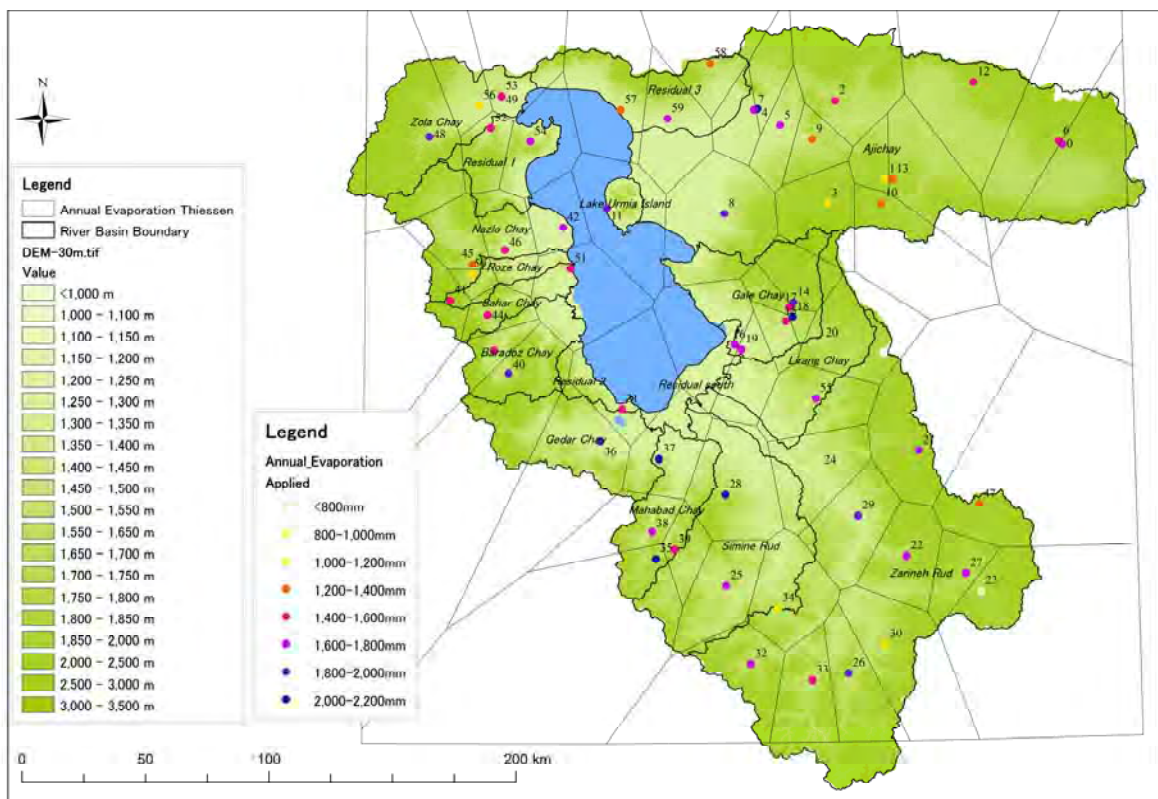
図 2.6.11 高い流出高が確認された流量観測所の日流量ヒドログラフ

2.6.3 流域平均蒸発量および湖面蒸発量の推定

オルミエ湖流域はオルミエ湖を終点とした閉鎖流域であるため、湖流域全体の水の支出分は基本的に流域蒸発散と湖面蒸発量である。これらの推定を流域内にて観測されたパン蒸発量を基に簡易手法にて試みた。これらの手法による推定結果は5章で述べる分布型物理流出モデル構築の参考となる。なお、本業務において収集した蒸発量に関するデータは、1) WRMC が管理している気象観測所の月蒸発量 (61 箇所)、2) IMO が管理している気象観測所 (10 箇所) の2種類がある。

(1) 流域見合いの平均蒸発量 (月データ使用)

WRMC より提供された月間蒸発量 (日パン蒸発計による) を基に、ティーセン法を用いてオルミエ湖流域の年蒸発量を算出した。オルミエ湖流域全体の年平均蒸発量 (パン蒸発計) は1,643mm である。図 2.6.12 に年蒸発量 (パン蒸発計) の分布とティーセン分割図を、巻末資料 2.8 に各観測所の年蒸発量の内訳とティーセン係数を示す。



*WRMC 提供データを基に JICA 調査団が作成

*図中の数字は巻末資料 2.8 に掲載した観測所の No に対応

図 2.6.12 年蒸発量 (パン蒸発計) の分布とティーセン分割

(2) 気象観測所における基準蒸発散量の推定 (日データ使用)

収集した日パン蒸発量データの内、比較的観測データが揃っている観測所 (MARAGHEH、SAGHEZ、TABRIZ) について、可能蒸発散量を算出し、パン蒸発量と比較した。可能蒸発散量には代表的なものとして、Thornthwaite 法、Hamon 法、Penman 法がある。それぞれの特徴を表 2.6.6 に示す。

Penman 法には地域係数が必要である。また、Thornthwaite 法は日平均気温が 0°C 以下の場合には蒸発散量は 0、月平均気温が 26.5°C を超える場合は適用できないことから、Hamon 法で可能蒸発散量を求めることとした。以下に Hamon 法の式を示す。また、パン蒸発量と月平均気温が利用可能な気象観測地点のうち、代表として、MARAGHEH、SAGHEZ、TABRIZ の結果を表 2.6.7 に示す。可能蒸発散量であるため、実蒸発散量はこれより少ないと考えられる。観測

された年間パン蒸発量とここで算出した年間可能蒸発散量を比較すると平均して 0.36 という補正率が得られ、分布型物理流出モデルに与えるべき流域の蒸発散量はパン蒸発量の 3 割程度であると推量される。なお、本モデルへの適用は、日データを入力するか、この割合を参考にシミュレーションを実施する (5.2.4 節参照)

表 2.6.6 可能蒸発散量算出方法

	必要となる気象データ	適用条件
Thornthwaite 法	月平均気温	丈の低い草地で密に覆われた地表面から、完全湿潤の状態で見られる蒸発散量
Hamon 法	月平均気温	同上
Penman 法	日平均気温、相対湿度、風速、日照時間	正味放射量を求める際に地域係数が必要

$$E_p = \left(\frac{0.14}{12} \right) M D_0 P_t$$

$$P_t = (217 E_t) / (T + 273.15)$$

$$E_t = 6.11 \times 10^{7.5T / (T + 237.5)}$$

ここで、

E_p : 月最大蒸発散量 (mm/month)

M : 対象月の日数 (d)

D_0 : 月平均日照時間 (h)

P_t : 気温に対する飽和絶対湿度 (g/m^3)

E_t : 飽和水蒸気圧 (hPa)

T : 月平均気温 ($^{\circ}C$)

表 2.6.7 蒸発散量の補正率算出結果 (日蒸発量データ使用)

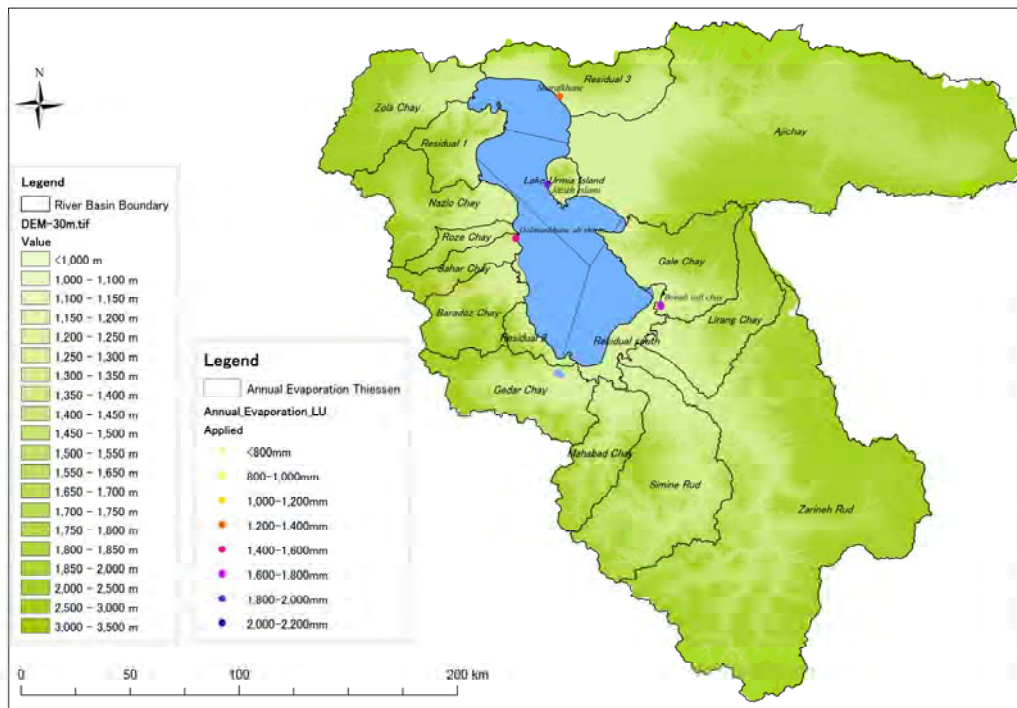
観測所 項目 年	MARAGHEH			SAGHEZ			TABRIZ		
	(1) 年間 パン蒸発 量 (mm)	(2) 年間可能 蒸発散量 (mm)	補正率 (1)/(2)	(1) 年間 パン蒸発 量 (mm)	(2) 年間可能 蒸発散量 (mm)	補正 率 (1)/(2)	(1) 年間 パン蒸発 量 (mm)	(2) 年間可能 蒸発散量 (mm)	補正率 (1)/(2)
1992	1,623.0	601.24	0.37	1,031.7	527.83	0.51	1,270.7	622.59	0.49
1993	2,059.3	640.01	0.31	1,405.7	576.50	0.41	1,876.0	652.49	0.35
1994	2,012.5	671.22	0.33	1,329.0	604.17	0.45	1,865.5	675.31	0.36
1995	1,764.2	678.43	0.38	1,378.2	597.38	0.43	2,054.9	695.44	0.34
1996	1,963.3	692.12	0.35	1,798.6	630.14	0.35	2,020.5	711.55	0.35
1997	1,969.6	671.81	0.34	1,754.3	579.99	0.33	1,848.3	688.63	0.37
1998	2,073.4	729.43	0.35	1,728.3	618.82	0.36	2,034.2	742.02	0.36
1999	2,128.1	727.12	0.34	2,085.2	660.94	0.32	2,025.5	730.99	0.36
2000	2,087.3	730.80	0.35	2,164.6	651.19	0.30	2,182.8	745.13	0.34
2001	2,163.8	737.34	0.34	2,215.3	659.14	0.30	2,244.3	742.41	0.33
2002	1,474.7	714.46	0.48	2,016.9	619.90	0.31	1,941.0	703.52	0.36
2003	1,692.8	715.86	0.42	1,705.5	621.48	0.36	1,892.6	717.58	0.38
2004	1,933.5	708.05	0.37	1,821.9	617.10	0.34	2,076.8	732.73	0.35
2005	2,014.1	723.55	0.36	1,850.6	628.72	0.34	1,899.1	732.89	0.39
2006	2,136.1	747.39	0.35	1,823.4	639.11	0.35	2,036.7	759.12	0.37
2007	1,909.7	717.08	0.38	1,893.3	621.69	0.33	2,040.8	715.24	0.35
2008	2,165.2	753.62	0.35	2,283.0	671.43	0.29	2,063.7	745.01	0.36
2009	1,929.5	706.22	0.37	1,849.6	616.95	0.33	2,010.1	695.12	0.35
平均	1,950	703.7	0.36	1,785	619.0	0.36	1,966	711.5	0.36

*WRMC, IMO 提供データを基に、調査団が算出

(3) 湖面蒸発量（月データ使用）

水面からの蒸発量そのものを測定したデータは存在しない。したがってオルミエ湖近辺のパン蒸発計の年蒸発量より、ティーセン法を用いて湖水面見合いの平均蒸発量を計算し、そこに補正係数を乗じることで湖水面からの蒸発量の推定を試みた。図 2.6.13 にティーセン分割図、表 2.6.8 に算出したティーセン係数を示す。計算の結果、オルミエ湖の湖水面見合いの平均蒸発量は 1,611mm/年となった。

しかし、パン蒸発計器内と湖内では熱収支の機構が異なるため直接この値を適用することはできない。簡易的な補正手法として、算出した湖水面平均蒸発量にある定数を乗じることで、湖水面からの蒸発量を推定する手法がある。Tarbiat Modares University の Mehdi Mazaheri ら¹⁵によると、湖水面の水収支解析を目的とした湖への降水量、観測量、蒸発量に対する補正係数の同定解析を実施しており、湖面蒸発量を湖周辺のパン蒸発量の 0.60 倍と同定し 1,100mm/年と推定している。この倍率を適用した場合の湖面蒸発量は $1,611 \times 0.6 = 967\text{mm/年}$ であり、一方、Linsley ら¹⁶はパン蒸発量の 6-7 割を水面蒸発量として推定できるとしており、湖面蒸発量は $967 - 1,127\text{mm/年}$ 程度と推定される。



*WRMC 提供データを基に JICA 調査団が作成

図 2.6.13 オルミエ湖周辺の年蒸発量の分布とティーセン分割

表 2.6.8 オルミエ湖周辺のパン蒸発計の年蒸発量およびティーセン係数

No.	経度 (度)	緯度 (度)	観測所 コード	観測所名	標高 (MSL + m)	年間蒸発量 (mm)	支配面積 (km ²)	ティーセン 係数
1	46	37.316667	32-013	Bonab sufi chay	1,283	1,697	1,139	0.229
2	45.25	37.6	35-082	Golmankhane ab shirin	1,252	1,515	1,418	0.284
3	45.483333	38.183333	38-002	Sharafkhane	1,280	1,256	878	0.176
4	45.418056	37.821944	31-046	Jazieh eslami	1,280	1,836	1,551	0.311
平均						1,611	4,986	-

*WRMC 提供データを基に JICA 調査団が集計

¹⁵ “Two-Dimensional Modeling of Urmia Lake Hydrodynamics” (Mehdi Mazaheri, et al.) “Workshop on Integrated River Basin Modeling, Emphasizing on Lake Urmia Basin”での発表

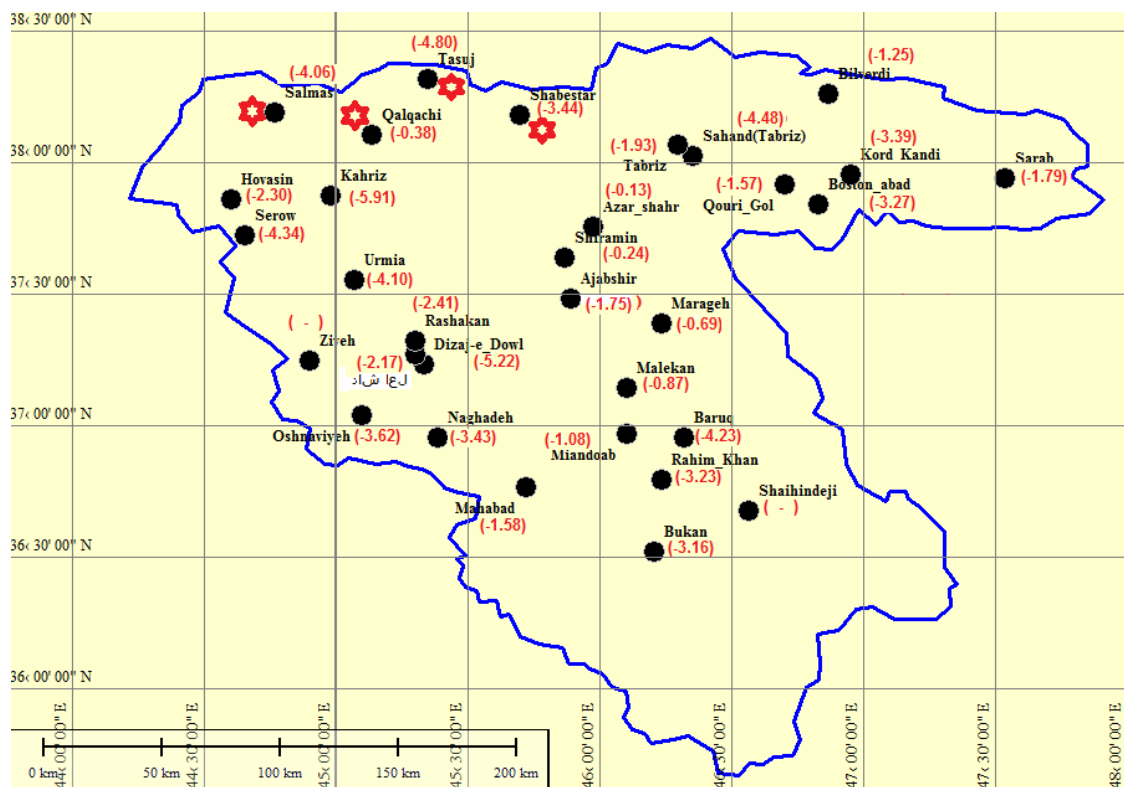
¹⁶ “HYDROLOGY FOR ENGINEER -Third edition-“ (Ray K. Linsley, Jr., et al.)

2.6.4 地下水


(1) 地下水位の変化

RWC より収集した地下水位データを基に作成した流域内の地下水の変化を整理し、図 2.6.14 および図 2.6.15 にその結果を示す。この十年間（2004 年～2014 年）における帯水層の平均的な水位低下量は、西アゼルバイジャン州で 3.2m、東アゼルバイジャン州で 2.1m ほどである。また、西アゼルバイジャン州の Salmas では 40 年間に 16.85m、東アゼルバイジャン州の Sahand (Tabriz) では 30 年間に 11.28m、Tasuj では 20 年間に 15.09m の大きな低下量を記録している。これらの地下水モニタリング結果から、1995 年以降西アゼルバイジャン州の Salmas と Qalqachi、東アゼルバイジャン州の Tasuj と Shabestar の帯水層で顕著な水位低下が生じていると言える。これらはいずれもオルミエ湖の北縁部にある。

一方で、北部と比較して他の地域の地下水位変動幅は比較的小さいが、この理由はその地区を流れる河川水位がその地区の地下水位を支配しているためではないかと考えられる。相当の流域がある河川を有し河川水位変動に連動する地区と、湖の水位変動に連動する地区があると考えられる。

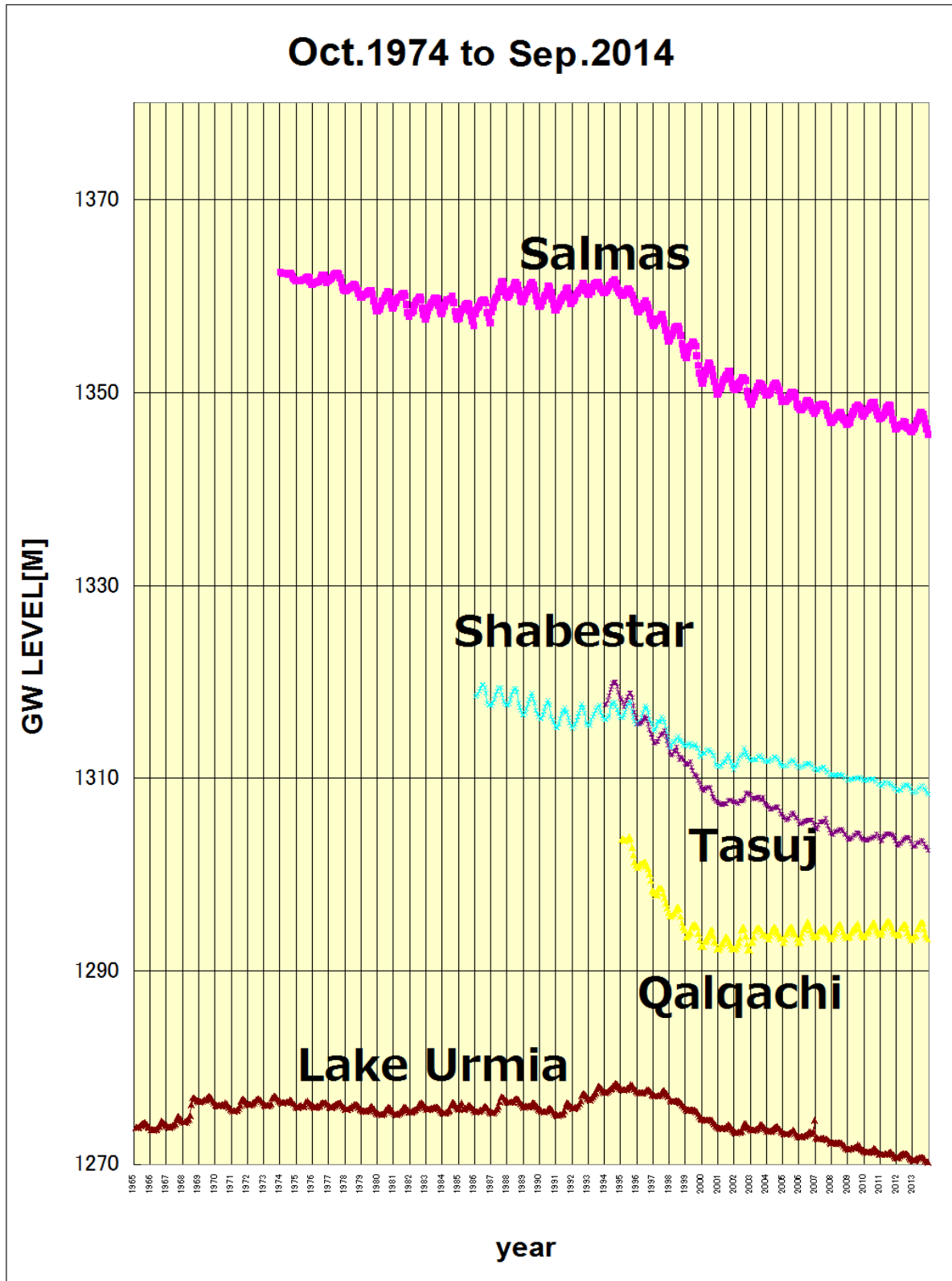


LEGEND
 (-1.00 [m]) Difference of GWL 2004 and 2014:
 GWL 2004 September - GWL 2014 September
 - indicates draw down and + indicates rise up

 Groundwater monitoring show remarkable groundwater drawdown after 1995 in Salmas and, Qalqachi in Western Azerbaijan, Tasyj and Shabestar in East Azerbaijan all of which are in the northern rim of Lake Urmia.

*東西アゼルバイジャン州の RWC より提供のデータを基に JICA 調査団が作成

図 2.6.14 オルミエ流域の地下水位変化量（2004 年～2014 年）



*東西アゼルバイジャン州のWRCより提供のデータを基にJICA調査団が作成

図 2.6.15 オルミエ流域の地下水位の変化 (2004年～2014年)

西アゼルバイジャンの近年 40 年間および東アゼルバイジャンの近年 30 年間の地下水変動記録を表 2.6.9 および表 2.6.10 に整理した。特に湖北部では 1995 年以降顕著な水位低下がみられる（西アゼルバイジャンの Salmas と Qalqachi、東アゼルバイジャンの Tasuj と Shabestar）。

表 2.6.9 西アゼルバイジャン帯水層観測結果-水位および水位低下量(m)

地点	9月から10月の地下水水位(m)					水位低下量(m)			
	2014	2004	1994	1984	1974	2014 -2004	2014 -1994	2014 -1984	2014 -1974
Salmas	1345.66	1349.72	1360.38	1358.20	1362.51	4.06	14.72	12.54	16.85
Qalqachi	1293.25	1293.63	1303.58			0.38	9.95		
Kahriz	1268.27	1274.18				5.91			
Urmia	1294.67	1298.77	1299.95	1299.03		4.10	5.28	4.36	
Serow	1564.76	1569.10				4.34			
Hovasin	1773.49	1775.79				2.30			
Ziveh	1515.28								
Rashakan	1275.74	1278.15				2.41			
آغل داش	1278.63	1280.80				2.17			
Dizaj-e Dowl	1283.90	1289.12				5.22			
Naghadeh	1297.34	1300.77				3.43			
Oshnaviyeh	1401.90	1405.52				3.62			
Mahabad	1285.57	1287.15				1.58			
Miandoab	1286.27	1287.35				1.08			
Baruq	1328.67	1332.90				4.23			
Rahim Khan	1312.07	1315.30				3.23			
Bukan	1356.44	1359.60	1361.70			3.16	5.26		
Shaihindeji	1335.01								
Average(m)						3.20			

表 2.6.10 東アゼルバイジャン帯水層観測結果-水位および水位低下量(m)

地点	9月から10月の地下水水位(m)					水位低下量(m)			
	2014	2004	1994	1984	1974	2014 -2004	2014 -1994	2014 -1984	2014 -1974
Maragheh	1301.61	1302.30	1303.07	1303.32		0.69	1.46	1.71	
Ajabshir	1290.43	1292.18	1296.61	1296.42		1.75	6.18	5.99	
Azar shahr	1316.00	1316.13	1319.04	1317.56		0.13	3.04	1.56	
Tabriz	1311.60	1313.53	1315.37			1.93	3.77		
Sahand (Tabriz)	1637.46	1641.94	1644.00	1648.74		4.48	6.54	11.28	
Bilverdi	1566.43	1567.68	1568.83			1.25	2.4		
Sarab	1684.48	1686.27	1686.88			1.79	2.4		
Shabestar	1308.32	1311.76	1316.16			3.44	7.84		
Tasuj	1302.50	1307.30	1317.59			4.8	15.09		
Malekan	1284.41	1285.28				0.87			
Shiramin	1282.92	1283.16				0.24			
Qouri Gol	1922.68	1924.25				1.57			
Boston Abad	1802.44	1805.71				3.27			
Kord Kandi	1654.06	1657.45				3.39			
Average [m]						2.11			

(2) 地下水位の季節変動

湖北沿岸部の4地点の地下水位変動は、低水期には湖水位とよく合致する。地下水位が最大値に達するのは湖より約1か月前であり、最低値に達するのはほぼ同時期である。これは、地下水と湖の涵養関係を表していると考えられる。

地下水と湖の塩水は地下で塩淡境界面（漸移帯）を形成するが、当地区では明確な塩淡境界というより、より高い水圧を持つ地下水が塩水を封じ込めるという特殊で不安定ともいえる関係にある。地下水流出水の一部が塩水領域を小さな流速で通過し、この流動ベクトルが塩分の濃度勾配とバランスすることで塩分の移動を留め、塩分を封じ込めていると考えられる。この塩水と地下水の漸移帯は、さまざまな要因によって常に湖側・地下水側に移動していると考えられる。これに影響を与えている要素は地下水涵養量だけでなく、湖側の湖水面高さ・塩分濃度があり、加えて近年の地下水利用量の急速な増大も地下水側に漸移帯を移動させる大きな要因になっていると思われる。一方、大部分の地下水流動は湖の周辺に形成される湧水帯や湿地帯に流出していると考えられるが、これは湧水や湿地帯の地表水として（一部は蒸発散するものの）湖水面に移動し加わるという点では涵養関係になる。

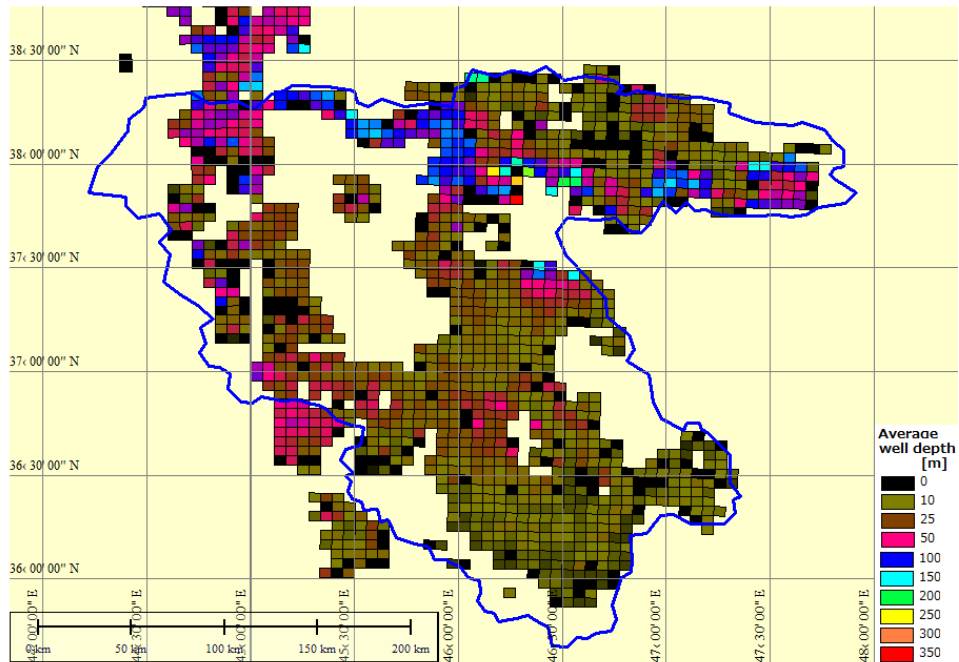
表 2.6.11 地下水位の最大および最低値を示す月

地点 年	高水月					低水月				
	Salmas	Qalqachi	Shabestar	Tasuj	Lake Urmia	Salmas	Qalqachi	Shabestar	Tasuj	Lake Urmia
1986	4		4		5	9		9		9
1987	6		4,5		6	10		10		10
1988	4		4		4	9		9		9
1989	4		4		5	9		9		9
1990	4		4		5	9		9		9
1991	6		6		6	10		10,11		10
1992	6		5		6	10		10		10
1993	4		6		5	10		11		11
1994	5	5	6		6	9	10	10		10
1995	3	4	4	4	5	9	9	9	9	9
1996	4	4	4	3	6	9	9	10	9	9
1997	4	2	4	6	5	9	9	9	9	9
1998	4	4	4	3	4	9	9	11	9	9
1999	3	4	1	1	10	9	9	9	9	9
2000	3	5	3	3	3,4	9	9	9	9	9
2001	5	3	5	6	5	11	10,9	9	12	9
2002	4	4	5	6	5	9	9	10	1	11
2003	4	4	5	3,4	5	10	10	9	9	12
2004	4	3	4	5	5	9	11	9	9	9
2005	4	4	5	5	5	9	9	9	9	9
2006	4	4	5	5	5	9	10	9	9	10
2007	4	4	4	5	3	9	9	9	9	9
2008	4	4	4	4	3,4	9	10,9	9	9	9
2009	5	4	6	5	5	10	9	10	10	9
2010	4,5	5	3	7	5	9	10	9	12	9
2011	4	4	4	3	5	9	10	9	9	9
2012	3	3	4	5,6	3,4	9	9	9	11	9
2013	4	4	4	4	4	9	9	9	9	9

注) 図中の色は湖水位のピークと地下水位のピークが同じ月となった場合を示す。

(3) 井戸資料の整理と地下水の深度

収集資料をもとに井戸深度分布5km×5kmグリッドで井戸の深度の平均値を調べると図 2.6.16 のとおりである。平均井戸深度を図 2.6.17 に赤線にて示している No.S1、No.S2 に沿ってピンク色でプロットすると図 2.6.18 ならびに図 2.6.19 のとおりである。この利用範囲は現在から過去までの真水地下水の分布範囲を示していると考えられる



*WRMC 提供データを基に JICA 調査団が集計

図 2.6.16 井戸の深度

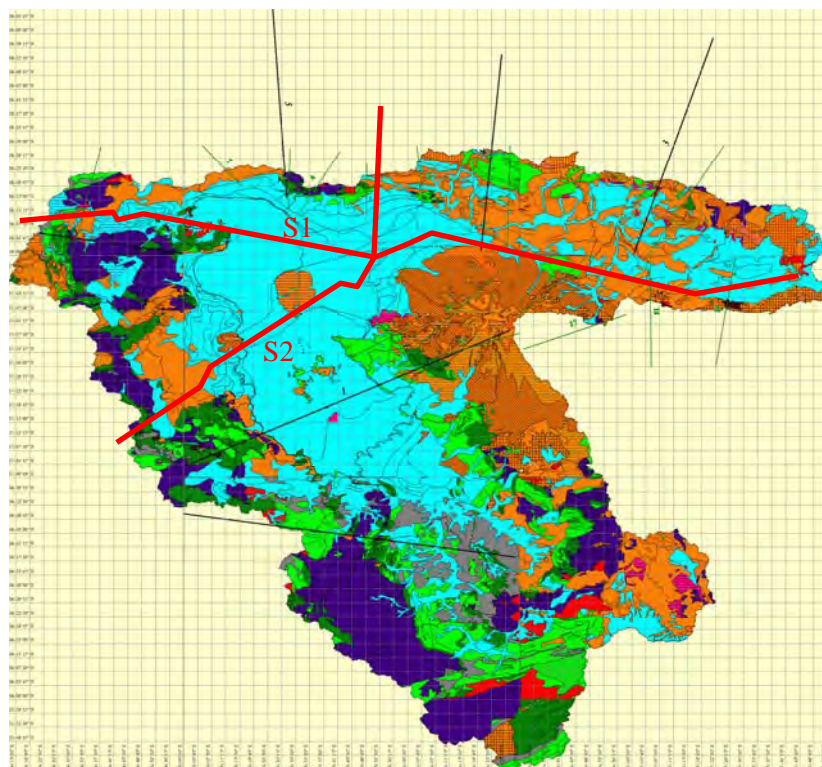
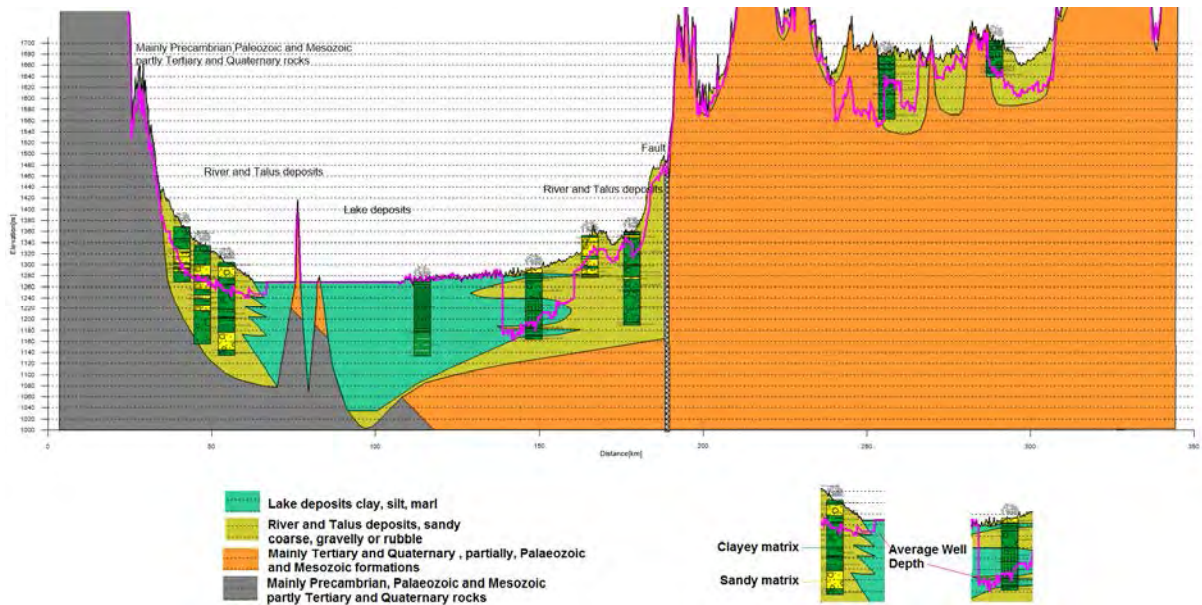
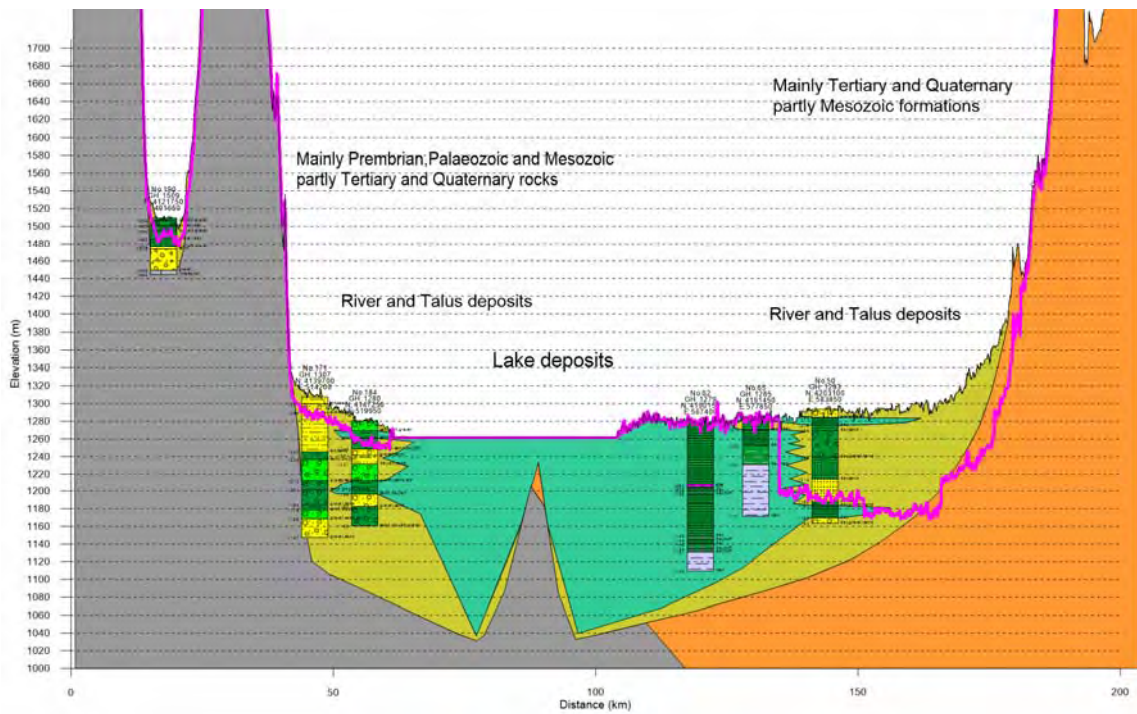


図 2.6.17 縦断面図位置



*Iran Geological Service の地質縦断図を基に調査団が作成

図 2.6.18 井戸の深度 (S1 ライン)

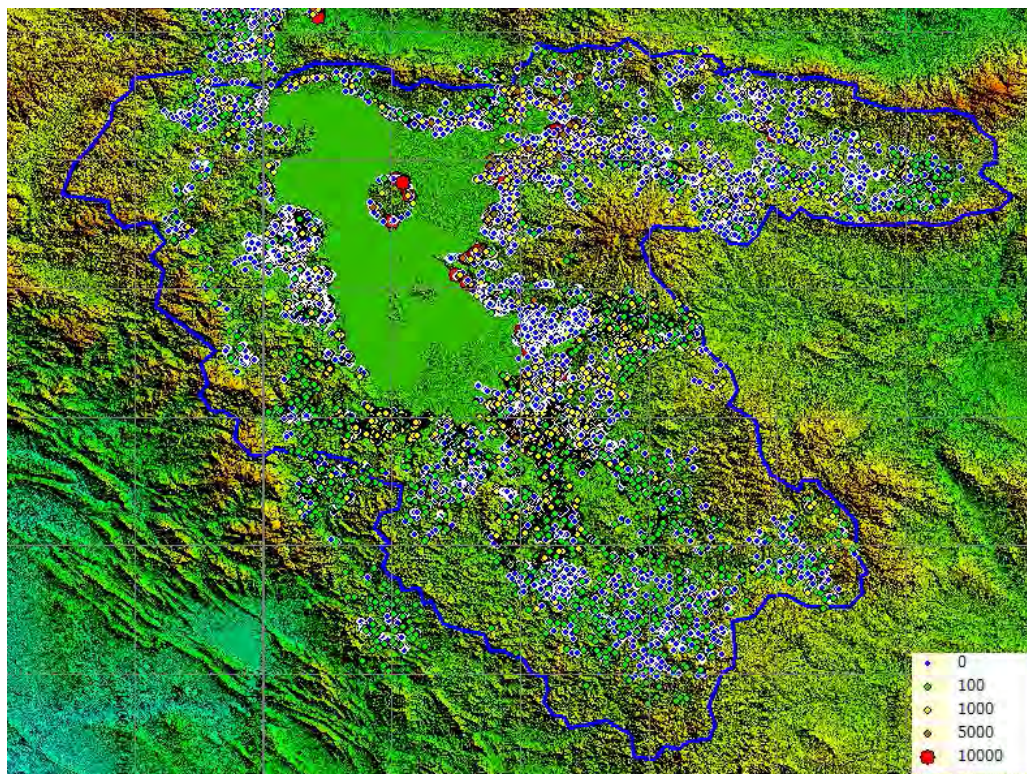


*Iran Geological Service の地質縦断図を基に調査団が作成

図 2.6.19 井戸の深度 (S2 ライン)

(4) 電気伝導率

オルミエ流域には 93,276 基の許可井戸があり、建設時に深度および電気伝導度を計測している。中には 10,000 μ S/cm 以上の値を示す井戸もあり、現地調査でも最近塩分濃度が高くなった井戸が増えているとの報告もあった。なお海水の電気伝導度は 45,000~50,000 μ S/cm 程度であり、水道水で 100~200 μ S/cm である。現地での地方政府への聞き取り調査によると、西アゼルバイジャンの Kahriz、東アゼルバイジャンの Bonab (Ajabshir と Malekan の間にある村) 近くの村でそれぞれ井戸の塩水化が起きている。



*WRMC 提供データを基に JICA 調査団が集計

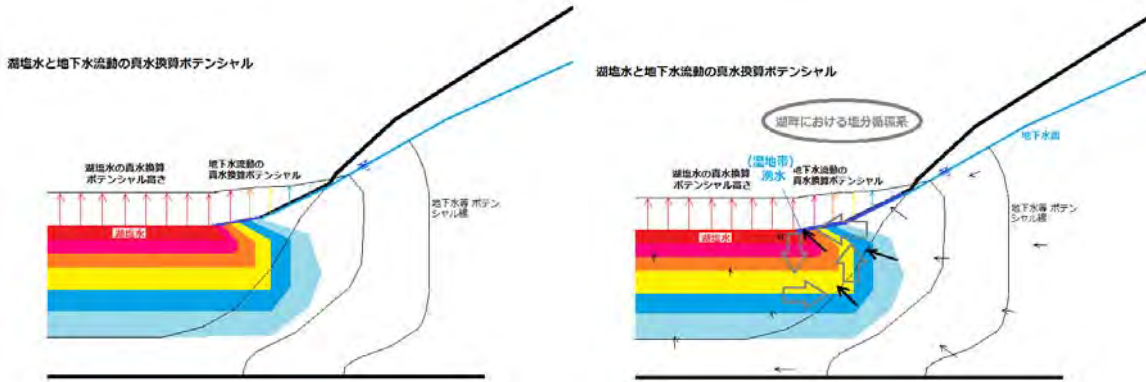
図 2.6.20 井戸水の電気伝導度 (単位 : μ S/cm)

(5) 湖畔湧水の塩分拡散および分散、地下水と高濃度塩水湖のポテンシャル

地表水の終端はオルミエ湖であり、地表水の貯留場所がオルミエ湖である。地表水に含まれる塩分は最終的にオルミエ湖に至り、蒸発により濃縮されるとともに湖水内部流により均質化される。地下水の終端も同じくオルミエ湖であるが、オルミエ湖の高濃度塩分および湖底堆積物粘性土のために湖底に湧出できる成分は少ないが、この湖底に上昇流出する地下水流は高濃度の塩分を湖水および湖底堆積物中に封じ込める重要な役割がある。湖と接する湖畔には浸出面である湧水帯が形成される。この湖畔湧水は湿地帯を形成し生物圏を支えることになる。この湧水帯の重要性は、湖水の高塩分を周辺に拡散させることなく浸出面に向かう上昇地下水流で湧水に運び再び湖水に戻し循環させる役割である。湧水帯が弱く機能しなくなると、塩水は循環せず拡散することになる。このように貯留空間として地下水貯留空間と地表水貯留空間(湖水)は、相互に広範囲に接触し密接な関係を有している。

井戸水の塩水化が大規模に発生していないことから、現状の高濃度塩水湖、地下水そして湧出(湿地帯)のポテンシャルの関係は図 2.6.21 に示すとおりである。湖水の真水換算の地下水ポテンシャルは湖水と湖成堆積物中の塩分の分布により決まる。従って、ポテンシャル値そのものは地史的に歴史的に変動している。湧出の推定ポテンシャル値は 1,295m 程度である。特記すべきは、湖水近くでは水平地下水流も塩分分布に影響されることである。何故ならば、流

動地下水は流出点の湖畔湧水より高いポテンシャル（真水換算ポテンシャル：比重を真水の値に置き換えた場合の位置水頭と圧力水頭の総和）を持つ必要があり、そのために塩分を加え密度が増すことで不足ポテンシャルの補填が行われることがあるためである（塩水侵入メカニズム）。塩分は湖水を出発点とし湖畔湧水を終端とする地下水流動と、次に飽和浸出面上を漂流し湖に戻ることで定常状態で湖畔湧水の周囲を循環する。塩水が循環する領域は、十分な湧水量があれば自然状態であれば小さな領域を形成する。湧水量が減少すると、循環領域は拡大し循環時間も長くなる。これが地下水の塩水化である。

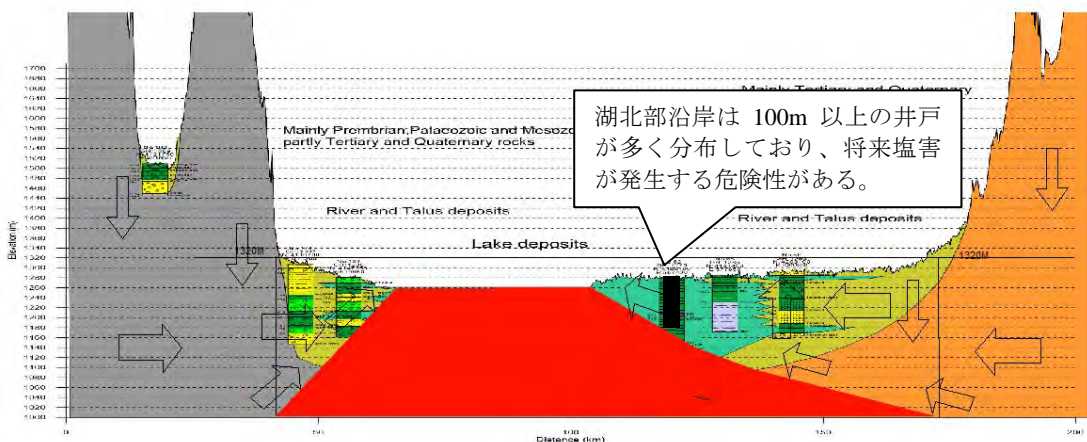


* JICA 調査団が作成

図 2.6.21 現状の塩分拡散の様子

図 2.6.22 は線形で減衰する塩分濃度カーブを想定している。これは更に拡散傾向が進んだ場合であり、もっとも深刻なケースを想定している。現在は鉛直上方の地下水ベクトルは依然として働いている状況である（なお、上向きベクトルが 0 の場合濃度は一定になる）。深刻なケースでは、剛な塩水楔が水理地質的基盤の上に置かれた状態になり、楔の中では静塩水圧分布になり、塩水の動きはなくなる。この場合湖底には地下水流出は生じない。すべての地下水流動は湖畔湧水（湿地帯）に集中することになる。このようなケースにおいては、湖北部沿岸は 100m 以上の井戸が多く分布しているため、将来塩害が発生する危険性がある。

なお、実際は塩分に関する情報が、後述の分布型物理流出モデルに取り込めるほど十分にモニタリングされていない。そのため、本業務において構築するモデルでは、高い塩分濃度による密度流を表現するような水質計算モジュールは組み込んでいない。



*Iran Geological Service の地質縦断図を基に調査団が作成

図 2.6.22 将来の塩分拡散の様子

第3章 水利用関連施設

3.1 モニタリングネットワーク

オルミエ湖流域においては、WRMC 提供の雨量・流量データより、WRMC の下部組織である WRC による監督の下、242 地点の雨量観測所および 136 地点の流量観測所の設置が確認されており、いずれも日観測データが記録されている。流量観測所における流量は、観測所毎に設定した HQ 式を用いて、毎日午前7時に計測した水位より換算している。現地でのヒアリング結果によると HQ 式の定期的な見直しについては行われていない模様である。

表 3.1.1 および表 3.1.2 に雨量観測所および流量観測所の総括表、図 3.1.2 および図 3.1.3 に雨量観測所および流量観測所の位置図を整理した。また巻末 3.1 に本業務において収集した日降水量および日流量のインベントリ表を掲載した。

観測所の稼働状況については、2013 年に時点で稼働が確認された雨量観測所は 153 地点で稼働率 63%、流量観測所においては 84 地点で 62%となっている。これはプロジェクトの終了に伴い観測を終了したものや、予算の不足等の理由により十分な維持管理がなされていないことに起因する。

現在稼働している雨量観測所の支配面積については 150~450km² で分布し、平均は 271.8 km² であった。参考として日本の事例では、国土交通省河川砂防基準（案）において「求められる雨量観測所の支配面積は 50km²」としている。水文観測精度を向上させるためには、雨量観測所の観測網を密にする必要があり、そのためにまずは現在故障中の観測所の補修や定期的な点検といった維持管理を行うことが重要である。



図 3.1.1 流量観測所(Akhola 観測所、Aji Chay 川下流)

表 3.1.1 オルミエ湖における雨量観測所

流域名	流域面積 (km ²)	全ての 観測所数	稼働中の 観測所数	全ての観測所の 支配面積 (km ²)	稼働中の観測所の 支配面積 (km ²)
Aji Chay	12,716.7	56	37	227.1	343.7
Baradoz Chay	1,361.7	8	5	170.2	272.3
Gale Chay	2,093.6	17	10	123.2	209.4
Gedar Chay	2,091.0	20	14	104.5	149.4
Lilang Chay	1,936.3	10	5	193.6	387.3
Mahabad Chay	1,507.0	14	11	107.6	137.0
Nazlo Chay	1,880.1	12	7	156.7	268.6
Rose Chay	457.8	6	2	76.3	228.9
Sahar Chay	711.7	6	3	118.6	237.2
Simineh Rud	3,782.7	13	12	291.0	315.2
Zarineh Rud	11,837.9	49	28	241.6	422.8
Zola Chay	2,258.4	11	5	205.3	451.7
残留域 1	1,060.4	6	4	176.7	265.1
残留域 2	375.1	4	3	93.8	125.0
残留域 3	1,840.0	9	7	204.4	262.9
南側残留域	551.2	0	0	-	-
Lake Urmia Island	259.8	1	0	259.8	-
Urmia Lake	4,976.0	0	0	-	-
湖流域全体	51,697.2	242	153	171.9 (平均)	271.8 (平均)

*WRMC 提供データを基に JICA 調査団が作成

表 3.1.2 オルミエ湖流域内の流量観測所

流域名	流域面積 (km ²)	全ての 観測所数	稼働中の観測所 数
Aji Chay	12,716.7	35	20
Baradoz Chay	1,361.7	4	4
Gale Chay	2,093.6	15	7
Gedar Chay	2,091.0	13	12
Lilang Chay	1,936.3	4	4
Mahabad Chay	1,507.0	6	3
Nazlo Chay	1,880.1	9	4
Rose Chay	457.8	3	1
Sahar Chay	711.7	3	2
Simineh Rud	3,782.7	7	6
Zarineh Rud	11,837.9	31	16
Zola Chay	2,258.4	5	4
残留域 1	1,060.4	1	1
残留域 2	375.1	0	0
残留域 3	1,840.0	0	0
南側残留域	551.2	0	0
Lake Urmia Island	259.8	0	0
Urmia Lake	4,976.0	0	0
湖流域全体	51,697.2	136	84

*WRMC 提供データを基に JICA 調査団が作成

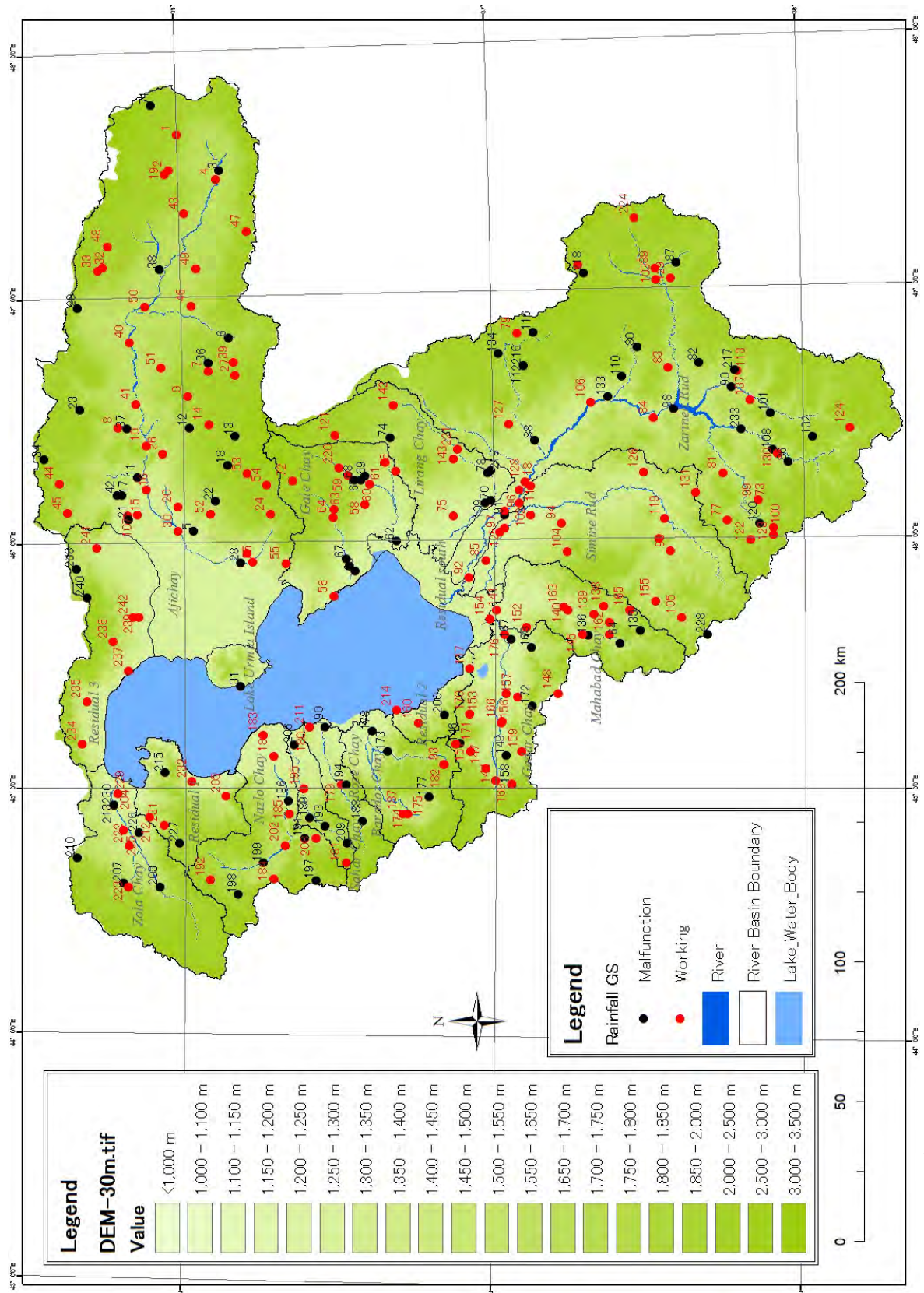


図 3.1.2 オルミエ湖流域内の雨量観測所

*WRMC 提供データを基に JICA 調査団が作成

*数字は巻末表の No に対応

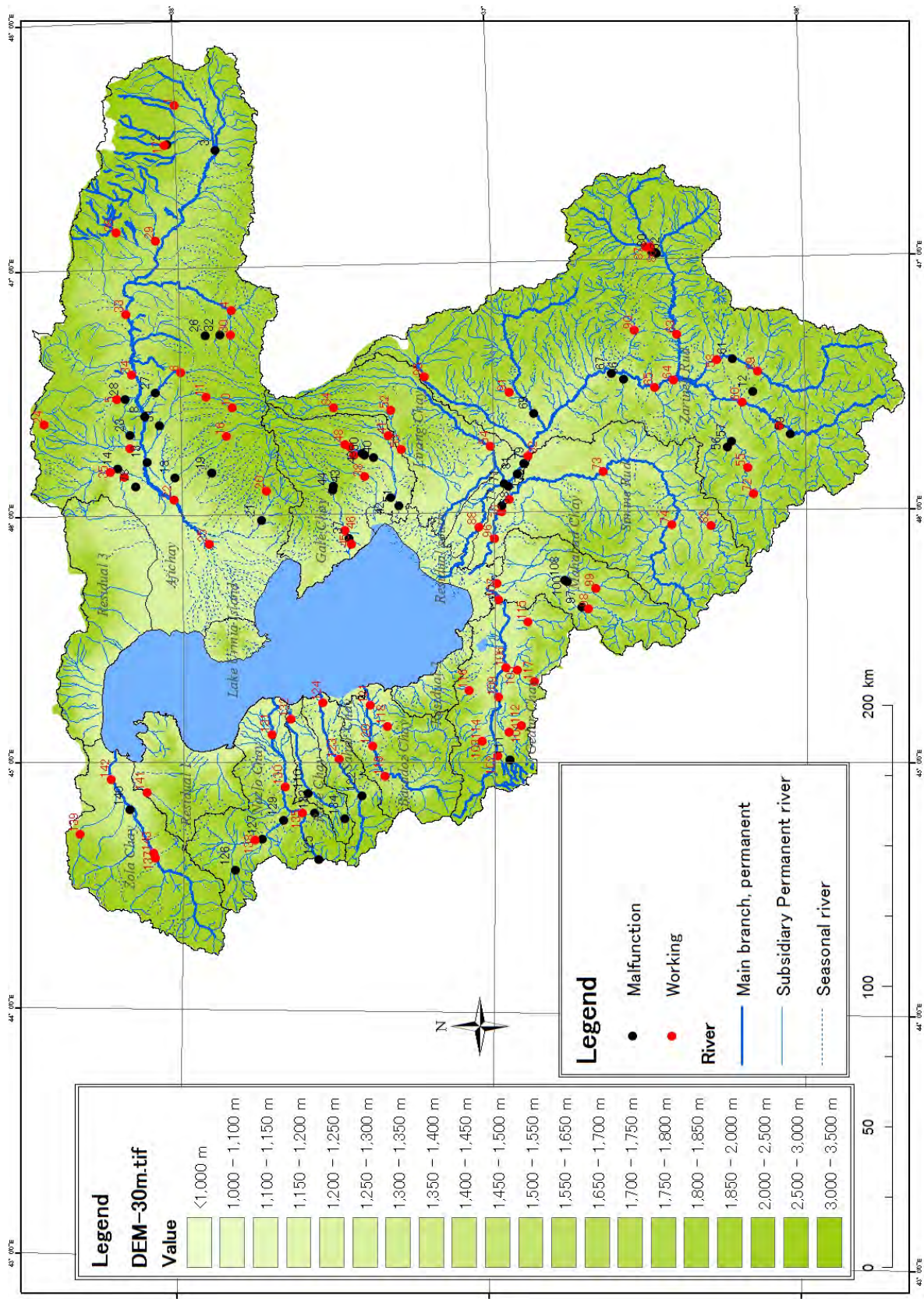


図 3.1.3 オルミエ湖流域内の流量観測所

*WRMC 提供データを基に JICA 調査団が作成
*数字は巻末表の No に対応

3.2 ダムおよび堰

3.2.1 ダムおよび堰の概要

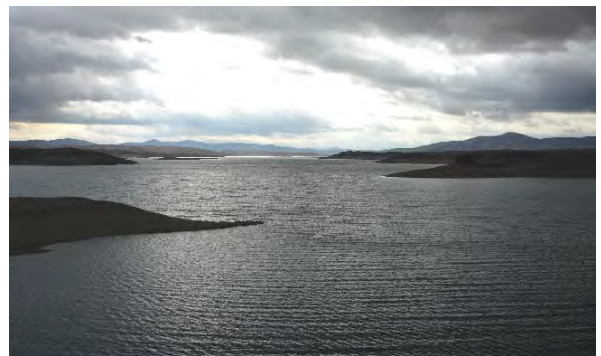
オルミエ流域のダムおよび堰に関して、本業務における現地調査（2014年11月中旬から12月中旬）において現地確認できたものと西アゼルバイジャン州水管理公社と東アゼルバイジャン州水管理公社からの情報に基づき以下に述べる。

オルミエ流域のダム開発は、1971年に建設された Mahabad 川にある Mahabad ダムを皮切りに、Zarineh Rud 川流域に位置する Bukan ダム (Shahid Kazemi Bukan-Zarineh Dam) を含む合計 44 基ものダムが建設されてきた。これらのダムでは農業灌漑に対する取水・水供給が最も多い割合を占め、飲料水や工業用水の取水・水供給も行われている。

これらのダムは主にエネルギー省 (Ministry of Energy : MOE) の水資源管理公社 (Water Resources Management Company : WRMC) の下で各州の水公社が管理するダムが多く、そのほかに電力会社、都市の水道会社によって管理されている (注 : WRMC の情報による。しかしながら、個々のダムの管理者に関する情報は入手できていない)。さらに、現在、新規に約 30 基ほどのダムの提言や調査検討も進行中である。図 3.2.1~図 3.2.4 にダムの例として、本業務で訪問した Bukan ダム、Shahrchay ダム、Mahabad ダム、および建設中の Shahid Madani ダムの写真を示す。Bukan ダム、Shahrchay ダム、Mahabad ダムは既存ダムの貯水容量の大きい方から第 1 番目、第 2 番目および第 3 番目である。



Bukan ダムの堤体



Bukan ダムの貯水池



Bukan ダムより下流方向



Bukan ダムからの環境用水の放流 (約 3m³/s)

注 Bukan ダムの主な目的 : 上水、農業用水、環境用水、洪水調節
写真 : 2014 年 12 月始めに JICA 調査団により撮影

図 3.2.1 Zarineh Rud 川流域の Bukan ダム (集水面積 6,890km²、貯水容量 486 MCM) の状況



Sharchay ダムの堤体および貯水池

Sharchay ダムの貯水池と水源の山地

注 Sharchay ダムの主な目的：上水、農業用水
写真：2014年11月末に JICA 調査団により撮影

図 3.2.2 Shahr Chay 川流域の Shahrchay ダム（集水面積 330km²、貯水容量 213MCM）の状況



Mahabad ダムの堤体

Mahabad ダムの貯水池
および取水塔

Mahabad ダムより下流方向

注 Mahabad ダムの主な目的：上水、農業用水
写真：2014年12月始めに JICA 調査団により撮影

図 3.2.3 Mahabad 川流域の Mahabad ダム（集水面積 806km²、貯水容量 190MCM）の状況



Shahid Madani ダムの堤体

Shahid Madani ダムの貯水池
エリアと取水塔（左側）

Shahid Madani ダムよ
り下流方向

注 Shahid Madani ダムの主な目的：農業用水、洪水調節
写真：2014年12月始めに JICA 調査団により撮影

図 3.2.4 Aji Chay 川流域で建設中の Shahid Madani-Vanyar ダム（集水面積 7,723km²、貯水容量 280MCM）の状況

堰に関しては、比較的古い灌漑用取水堰が多く存在し、近年、新たな灌漑用取水堰も建設されている。比較的古い堰は伝統的なやり方で灌漑を行っているエリアへ灌漑用水を供給しており、農民が管理し、取水ゲートの操作も農民が行っている。また伝統的な取水方法として、乾季に土嚢や土砂で河川を締め切って取水している場合もあるとのことである（東アゼルバイジャン州水公社の情報）。新しい堰は州の水公社が建設および管理している。図 3.2.5 と図 3.2.6 に本業務で訪問した堰の写真を示す。



注：左右岸で取水し、合計 200～300ha に灌漑用水を供給。このような堰は多く存在し、合計約 7,000ha に灌漑用水を供給している（東アゼルバイジャン州水公社の情報）

写真：2014年12月始めに JICA 調査団により撮影

図 3.2.5 Aji Chay 川の比較的古い農業用取水堰と灌漑水路



注：当初計画は 40,000ha に灌漑用水の供給を行う計画であったが、25,000ha に計画を縮小。2014年12月時点で 7,000～10,000ha への灌漑主要水路を完成したが、それ以上水路を建設しない予定とのこと（東アゼルバイジャン州水公社の情報）

写真：2014年12月始めに JICA 調査団により撮影

図 3.2.6 Aji Chay 川で建設中の農業用取水堰（Dashte Tabriz 堰）（下流側）

3.2.2 ダムおよび堰のインベントリー

オルミエ湖流域のダムおよび堰のインベントリーリストを表 3.2.1（貯水容量が 10MCM 以上のダム）および添付資料 3.2 に示し、位置図を図 3.2.7 に示す。ただし、堰に関する情報は Zarineh Rud 川の Noruzlu Diversion Dam の一か所のみが同インベントリーリストおよび位置図に含まれ、他の多くの堰に関する情報は、本業務では未だ収集できていない。また、インベントリーリストおよび位置図には、既存ダムおよび堰で稼働中のもの、建設中のダム、提案されたダム、調査中のダムを記載した。

既存のダムの内、オルミエ流域の南東部を占める代表的な流域である Zarineh Rud 川流域に位置する Bukan Dam (Shahid Kazemi Bukan-Zarineh Dam) がダム地点での集水面積が 6,890km²、貯水容量が 486MCM と最も大きい。次にオルミエ流域の南西部の Mahabad Chay 川流域に位置する既存のダムの内、オルミエ流域の南東部を占める代表的な流域である Zarineh Rud 川流域に位置する Bukan Dam (Shahid Kazemi Bukan-Zarineh Dam) の貯水容量が 486MCM と最も大きく、ダム地点での集水面積も 6,890km² と大きい。次にオルミエ流域の西側中央部にある Shahr Chay 川流域の Shahrchay Dam の貯水容量が 213MCM と 2 番目に大きく、ダム地点での集水面積は 330km² である。オルミエ

流域の南西部の Mahabad Chay 川流域に位置する Mahabad Dam の貯水容量は 190MCM と第3番目であり、ダム地点での集水面積が 806km² と大きい。

表 3.2.1 オルミエ流域のダムに関するインベントリーリスト

番号	ダム名	河川名	流域名	州	目的	建設年 (西洋歴)	建設年 (イラン歴)	貯水容量 (MCM)	集水面積 (km ²)
A. 稼働中のダム									
1	Shahid Kazemi Bukan-Zarineh Rud	Zarineh Rud	Zarineh Rud	West Azerbaijan	AW, EL	1972	1350	486.00	6,890.00
2	Shahrchay	Shahr Chay	Shahr Chay	West Azerbaijan	DW, IW, AW	2006	1384	213.00	330.00
3	Mahabad	Mahabad Chay	Mahabad Chay	West Azerbaijan	DW, IW, AW, EL	1971	1349	190.00	806.00
4	Barugh	Ghorichay (Barugh)	Zarineh Rud	West Azerbaijan				100.00	
5	Hasanlu	Out of Gedar Chay Bed	Gedar Chay	West Azerbaijan	AW	2001	1379	94.00	35.00
6	Zola	Zola Chay	Zola Chay	West Azerbaijan	DW, IW, AW, EL	2010	1388	72.00	945.00
7	Alavian	Sofi Chay	Sofi Chay	East Azerbaijan	DW, IW, AW, EL	1996	1374	57.00	314.00
8	Ghale Chay Ajabshir	Ghaleh Chay	Gale Chay	East Azerbaijan	DW, IW, AW, EL	2007	1385	38.80	250.00
9	Sarough- Gougerdchay	Sarough Chay (Ghare Ghieh)	Zarineh Rud	West Azerbaijan	DW, IW, AW	2010	1388	35.00	332.00
10	Arbatan	Out of Zarangh Bed	Aji Chay	East Azerbaijan				25.00	
11	Shakrbaži-Darik (Darek Salmas)	Darik Chay	Darik Chay	West Azerbaijan	AW	2009	1387	22.00	
12	Nahand	Nahand Chay	Aji Chay	East Azerbaijan	DW, IW	1997	1375	21.10	216.00
B. 建設中のダム									
1	Simineh Rud -Bukan	Simineh Rud	Simineh Rud	West Azerbaijan	DW, IW, AW, EL, FC, AR	2012	1390	312.00	1,441.00
2	Shahid Madani-Vanyar	Aji Chay	Aji Chay	East Azerbaijan	AW	2010	1388	280.00	7,723.00
3	Nazlu	Nazlu Chay	Nazlu Chay	West Azerbaijan	DW, IW, AW, EL	2011	1389	145.00	1,715.00
4	Oshnavie-Chapar Abad	Godar Chay (Kanirash)	Godar Chay	West Azerbaijan	DW, IW, AW, EL	2012	1390	122.00	361.00
5	Baranduz	Baranduz Chay	Baranduz Chay	West Azerbaijan	DW, IW, AW, FC, AR	2014	1392	84.00	594.00
6	Cheragh Veys	Cham Khan (Saghez Branch) Zarineh Rud	Zarineh Rud	Kurdistan	DW, IW, AW	2013	1391	68.60	363.00
7	Lilan Chay	Lilan Chay	Zarineh Rud	East Azerbaijan	AW, EL, FC, AR	2012	1390	35.50	571.00
C. 提案中のダム									
1	Ahmad	Moghanjigh Chay	Lirang Chay	East Azerbaijan	AW			14.00	
D. 調査中のダム									
1	Mardagh Chay - Ghare Naz	Mardagh Chay	Sofi Chay	East Azerbaijan	AW			110.60	390.00
2	Ajorlu	Ajorlu	Zarineh Rud	West Azerbaijan				93.00	
3	Santeh	Khor Khore	Zarineh Rud	Kurdistan	AW, EL, FC, AR			67.08	884.00
4	Godarchay- naghade	Godar Chay	Gedar Chay	West Azerbaijan	AW, EL			49.00	
5	Atmian Sarab	Atmian Chay	Aji Chay	East Azerbaijan	AW			25.00	
6	Sayanjagh	Kharaju Chay	Zarineh Rud	East Azerbaijan				18.50	
7	Khaje Chay	Sarajuy	Lirang Chay	East Azerbaijan	AW			18.00	
8	Asgar Abad	Aji Chay	Aji Chay	East Azerbaijan				16.50	
9	Khanum Goli	Jushato Sofla	Zarineh Rud	West Azerbaijan				16.00	
10	Markhaz	Markhaz	Zarineh Rud	Kurdistan	AW, FC, AR			14.44	58.00
11	Sinikh Chay Dam	Sinikh Chay (Aji Chay)	Aji Chay	East Azerbaijan				13.00	
12	Kardkan- Ghapltan	Kardkand	Zarineh Rud	Kurdistan				11.50	
13	Kharaju Chay	Kharaju Chay	Zarineh Rud	East Azerbaijan	AW			10.50	188.00

出典： エネルギー省水資源管理公社 (WRMC)

注： ダムの目的： DW_上水供給、IW_工業用水の供給、AW_農業用水の供給、EL_発電、AR_人工的な涵養、FC_洪水調節およびEN_環境

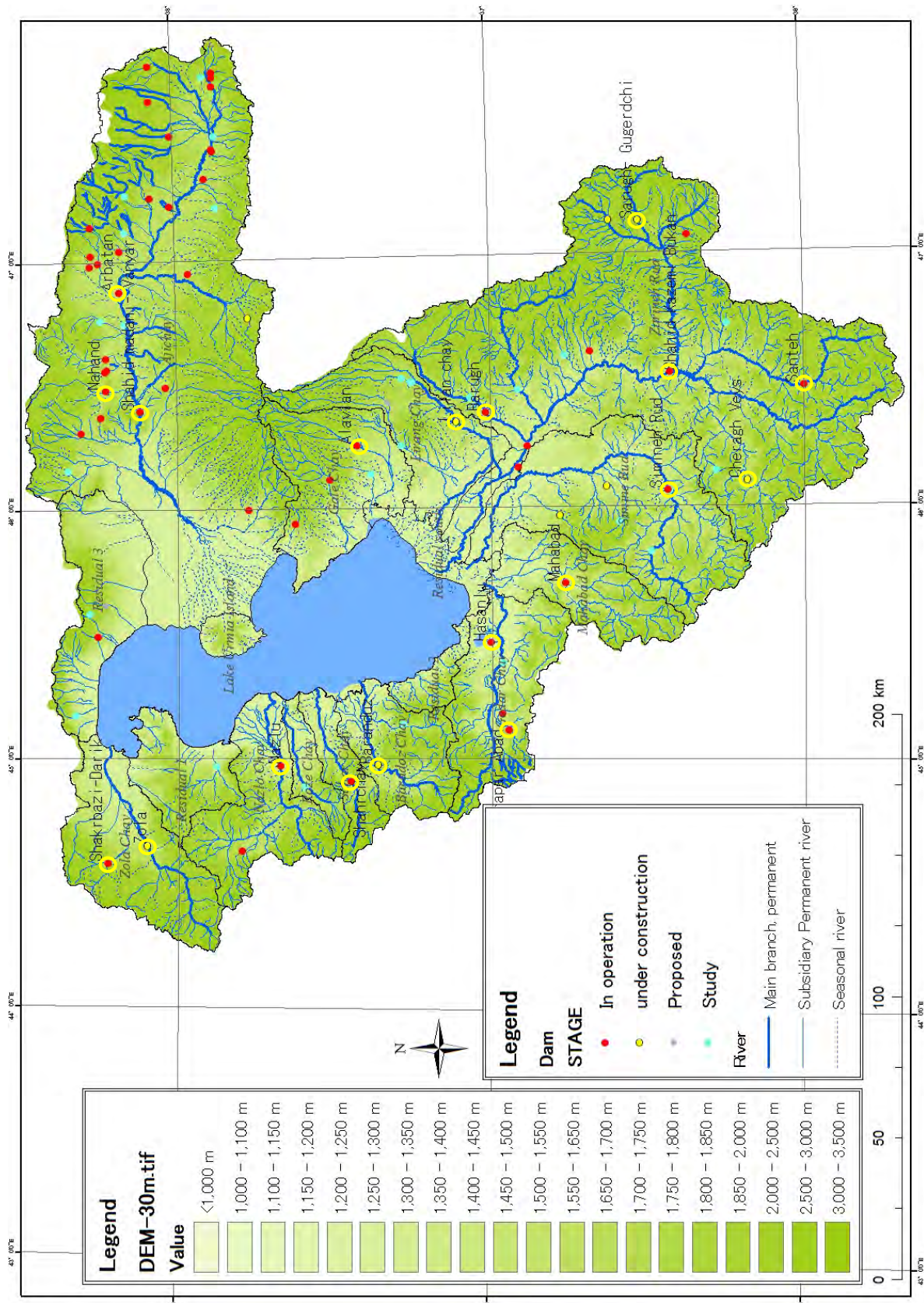


図 3.2.7 オルミエ湖流域における既設・建設中・計画中のダムの位置図

*WRMC 提供データを基に JICA 調査団が作成

*10MCM 以上の既設・建設中のダム名を表記

表 3.2.2 にオルミエ湖流域の中の河川流域毎のダムの数と貯水容量の合計値および貯水容量の平均値 (=貯水容量の合計値/ダムの数) を示す。稼働中のダムは 44 基存在し、貯水容量は合計で 1,413MCM である。また、建設中のダムは 11 基あり、貯水容量は合計で 1,053MCM である。

稼働中のダムに関して河川流域毎の特徴として、オルミエ流域南東部の Zarineh Rud 川流域の貯水容量の合計値が 625MCM と最も多く、ダム 1 基当たりの平均貯水容量は 104MCM となっている。次にオルミエ流域西側中央部の Shahr Chay 川流域の貯水容量の合計値がダム 1 基のみで 213MCM と 2 番目に大きい。第 3 番目はオルミエ流域南西部の Mahabad Chay 川流域がダム 1 基で 190MCM となっている。

オルミエ流域の北東部を占める代表的な流域である Aji Chay 川流域には 26 基もの既存ダムが存在するが、合計貯水容量は 99MCM と比較的小さく、ダム 1 基の平均貯水容量も 4MCM と小さい。

表 3.2.2 河川流域毎のダムの数および貯水容量

流域名	ダム数	州	貯水容量合計 (MCM)	平均貯水容量 (MCM/ Number of Dams)
A. 稼働中のダム				
Aji Chay	26	East Azerbaijan	99.43	3.82
Baranduz Chay	1	West Azerbaijan	0.35	0.35
Darik Chay	1	West Azerbaijan	22.00	22.00
Gale Chay	1	East Azerbaijan	0.25	0.25
Gedar Chay	2	West Azerbaijan	94.13	47.07
Mahabad Chay	1	West Azerbaijan	190.00	190.00
Nazlu Chay	1	West Azerbaijan	0.50	0.50
Residual 4	1	East Azerbaijan	0.67	0.67
Shahr Chay	1	West Azerbaijan	213.00	213.00
Sofi Chay	1	East Azerbaijan	57.00	57.00
Gale Chay	1	East Azerbaijan	38.80	38.80
Zarineh Rud	6	West Azerbaijan	625.06	104.18
Zola Chay	1	West Azerbaijan	72.00	72.00
合計	44		1413.19	32.12
B. 建設中のダム				
Aji Chay	2	East Azerbaijan	282.50	141.25
Baranduz Chay	1	West Azerbaijan	84.00	84.00
Gedar Chay	1	West Azerbaijan	122.00	122.00
Nazlu Chay	1	West Azerbaijan	145.00	145.00
Simineh Rud	2	West Azerbaijan	313.60	156.80
Zarineh Rud	4	West Azerbaijan	106.50	26.63
合計	11		1053.60	95.78
C. 提案中のダム				
Lirang Chay	1	East Azerbaijan	14.00	14.00
Residual 4	1	East Azerbaijan	6.00	6.00
合計	2		20.00	10.00
D. 調査中のダム				
Aji Chay	8	East Azerbaijan	58.18	7.27
Baranduz Chay	1	West Azerbaijan	0.00	0.00
Gedar Chay	1	West Azerbaijan	49.00	49.00
Lirang Chay	2	Ardebil and East Azerbaijan	18.68	9.34
Nazlu Chay	1	West Azerbaijan	0.00	0.00
Residual 1	1	West Azerbaijan	8.60	8.60
Residual 4	2	East Azerbaijan	9.20	4.60
Simineh Rud	3	West Azerbaijan	15.30	5.10
Sofi Chay	2	East Azerbaijan	111.50	55.75
Zarineh Rud	7	West Azerbaijan, East Azerbaijan and Kurdistan	231.02	33.00
合計	28		501.48	17.91

出典： エネルギー省水資源管理公社 (WRMC)

3.2.3 ダムの運用状況

(1) 運用データが収集できたダム

オルミエ流域のダムの運用データについては、本業務ではエネルギー省（MOE）の水資源管理公社（WRMC）の Web ページから日単位の経年的な運用データがダウンロードできる 12 基の既存ダムに関してデータを収集できた。データを収集したダムとデータの期間を表 3.2.3 に示す。

これら 12 基の既存ダムの貯水容量の合計は 1,203MCM であり、既存ダム 44 基の貯水容量の合計 1,413MCM の 85% を占める。また、日運用データを収集した 12 基の既存ダムの集水面積の合計は 10,078km² であり、既存ダム 44 基の内、集水面積が分かっている 19 ダムの集水面積の合計 10,738km² の 94% を占める。全てのダムの日運用データが入手できることが理想的であるが、本業務で日運用データを収集できた 12 ダムについては、貯水容量の合計値と集水面積の合計値が稼働中の既存ダムの大部分を占めるため、以降の解析においてこれら 12 ダムのデータが表流水取水量及び水供給量の推定のために活用できると考える。

表 3.2.3 日運用データを収集したダム

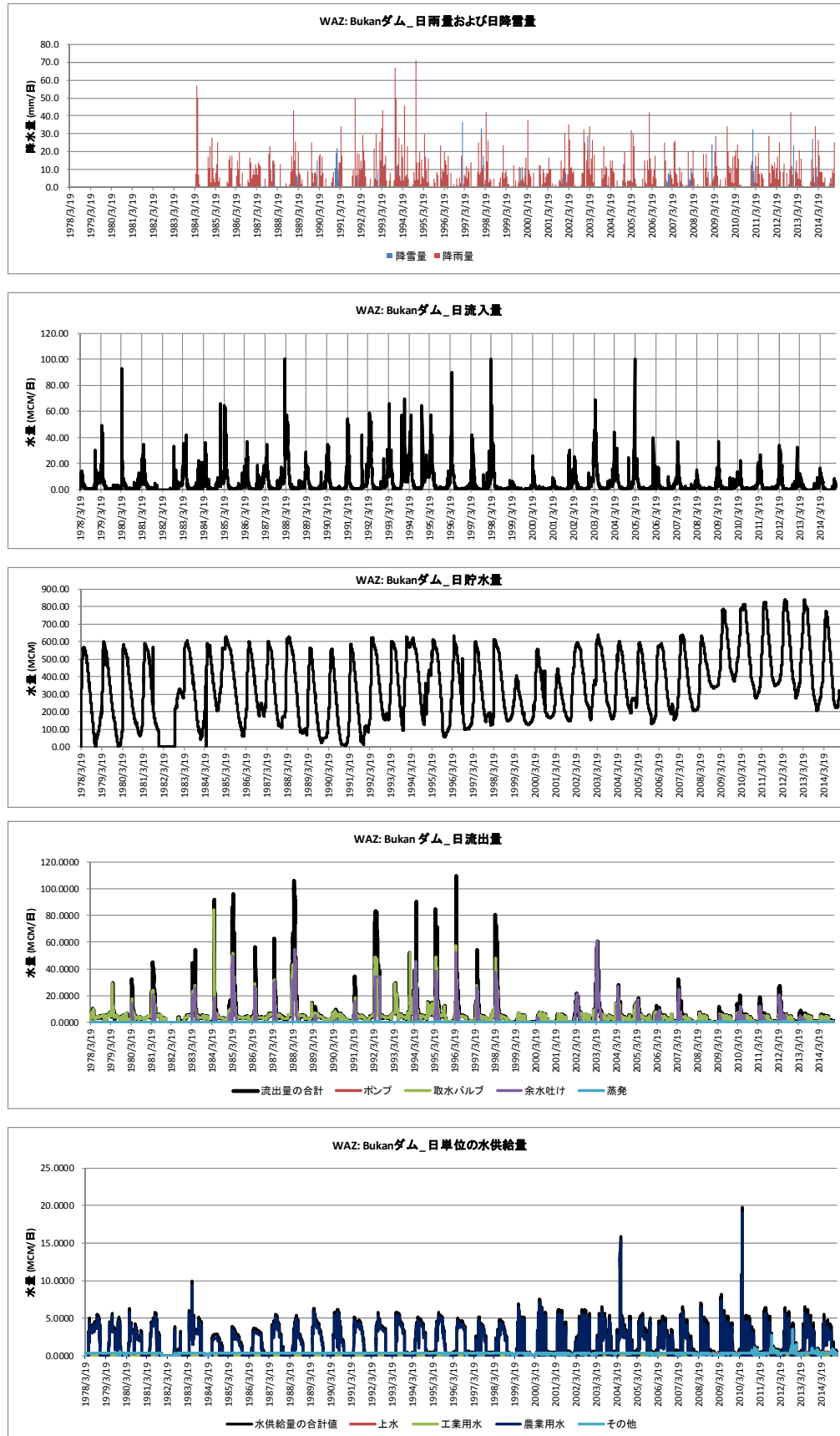
番号	ダム	河川流域	州	日データの期間 (年/月)	データの種類
A-13	Kardkandi	Aji Chay	東アゼルバイジャン	2011/3～2014/12	気温、降水量、貯水池水位、貯水池水面積、流入水量、流出水量（蒸発、漏水、ポンプ取水、排水、発電、土砂吐け、取水バルブ、スピルアウト）、水供給量（上水、工業用水、農業用水、その他）、
A-19	Nahand	Aji Chay	東アゼルバイジャン	2000/3～2014/12	同上
A-23	Tajyar Sarab	Aji Chay	東アゼルバイジャン	2009/4～2014/12	同上
A-28	Shakrbazi-Darik (Darek Salmas)	Darik Chay	西アゼルバイジャン	2012/6～2014/12	同上
A-31	Hasanlu	Gedar Chay	西アゼルバイジャン	2002/3～2014/12	同上
A-32	Mahabad	Mahabad Chay	西アゼルバイジャン	1971/3～2014/12	同上
A-35	Shahrchay	Shahr Chay	西アゼルバイジャン	2006/5～2014/12	同上
A-36	Alavian	Sofi Chay	東アゼルバイジャン	1997/9～2014/12	同上
A-37	Ghale Chay Ajabshir	Gale Chay	東アゼルバイジャン	2009/4～2014/12	同上
A-42	Sarough- Gougerdchay	Zarineh Rud	西アゼルバイジャン	2012/6～2014/12	同上
A-43	Shahid Kazemi Bukan- Zarineh Rud (Bukan Dam)	Zarineh Rud	西アゼルバイジャン	1978/3～2014/12	同上
A-44	Zola	Zola Chay	西アゼルバイジャン	2011/9～2014/12	同上

番号は表 3.2.1 の番号に対応。

データ：WRMC の Web ページ: <http://dams.wrm.ir>

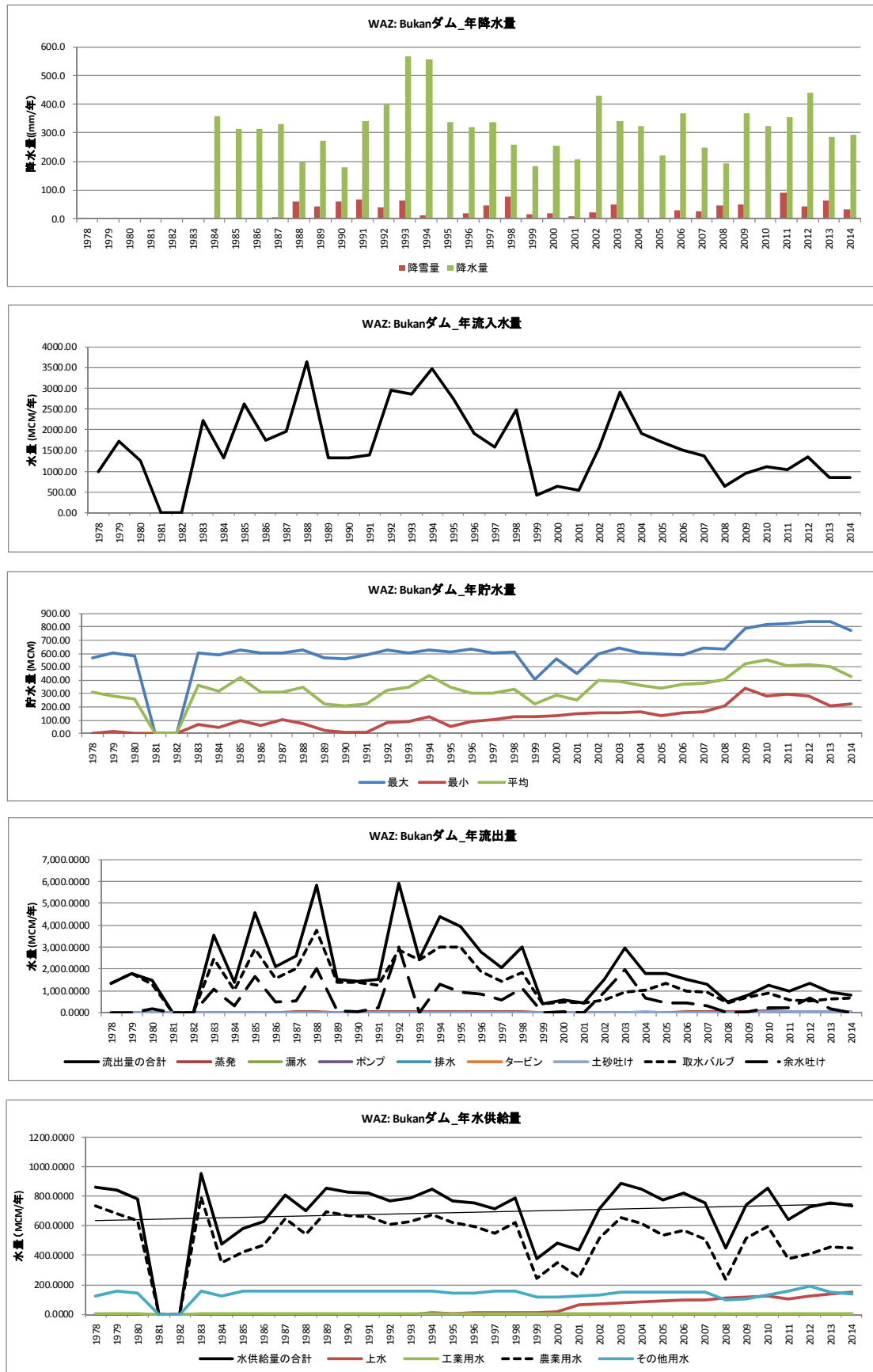
(2) ダムの運用状況

ダムの日単位の経年的な運用状況の例として Bukan ダムの運用状況の日単位と年単位の状況をそれぞれ図 3.2.8 と図 3.2.9 に示す。また、12 基の運用データの合計の日単位と年単位の状況をそれぞれ図 3.2.10 と図 3.2.11 に示す。全体として 1997～1998 年ごろから急激に貯水容量と水供給量が増加している（図 3.2.10 と図 3.2.11 の 2 番目と 4 番目の図を参照）。また、12 基の年単位の運用データの合計値を 4.4 節の水利用量の推定に利用した。さらに、5 章のシミュレーションには個々のダムのデータが活用されている。



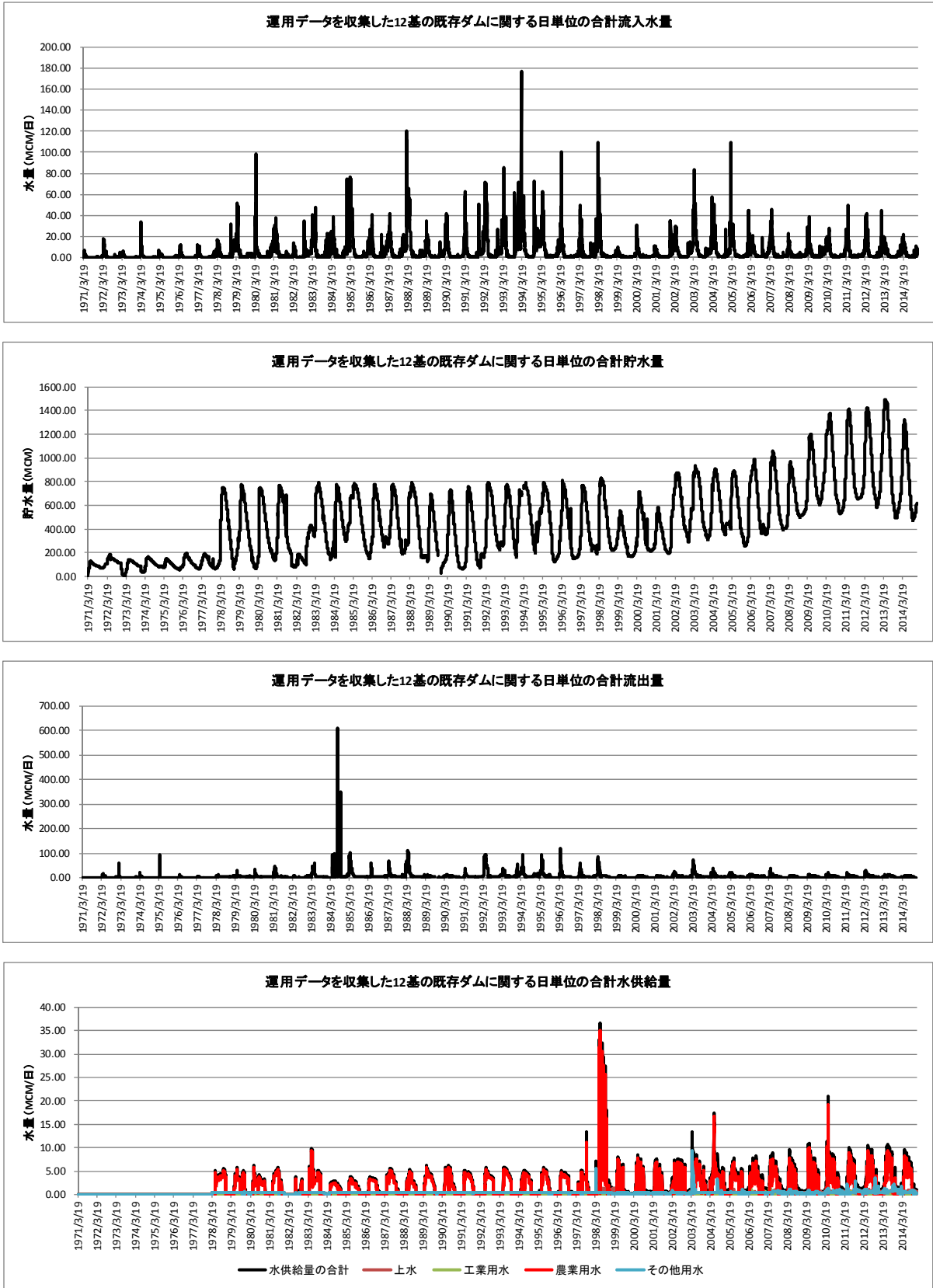
*WRMC 提供データを基に JICA 調査団が作成

図 3.2.8 Bukan ダムの日単位の経年的な貯水池の運用状況



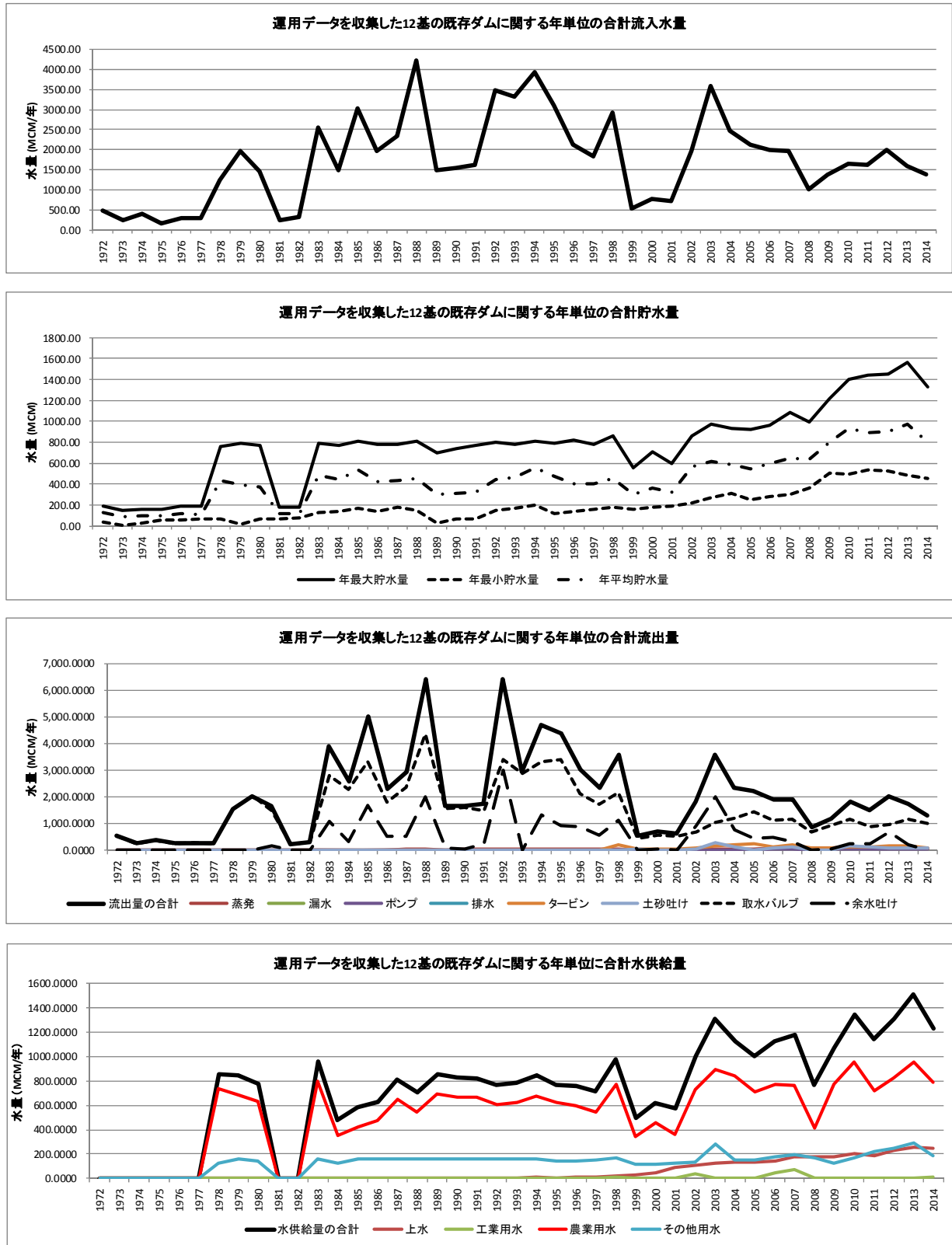
*WRMC 提供データを基に JICA 調査団が作成

図 3.2.9 Bukan ダムの年単位の経年的な貯水池の運用状況



*WRMC 提供データを基に JICA 調査団が作成

図 3.2.10 運用データを収集したオルミエ流域の 12 基の既存ダムに関する日単位の合計運用水量の経年変化



*WRMC 提供データを基に JICA 調査団が作成

図 3.2.11 運用データを収集したオルミエ流域の12基の既存ダムに関する年単位の合計運用水量の経年変化

3.3 農業施設

農業施設としては3.2.1節および3.2.2節で記載のダムおよび堰と、これらにより農業用水の供給を受ける灌漑システムの灌漑水路や排水路および水路沿いの分水施設等が存在する。しかしながら、本業務で収集できたこれらの情報は極めて少ない。

堰の運用データはダムの運用データに加えて河川沿いの取水量と灌漑エリア等への水供給量を正確に把握する上で重要である。本業務では入手できた12基のダムの運用データを用いてオルミエ湖流域全体の表流水からの取水・水供給量を推定するが、将来的には堰からの取水・水供給量データを収集とモニタリングにより、正確な表流水の取水・水供給量を求めてシミュレーションを行うことが望ましい。

下記は本業務で確認した灌漑水路の状況である。これらの水路はいずれも東アゼルバイジャン州水公社により管理されているが、西アゼルバイジャン州にも同様な灌漑水路が存在する（例：図3.3.1および図3.3.2）。



図 3.3.1 Tabriz より南側で開発中の灌漑システムの水路と分水施設（Aji Chay 川流域内）



図 3.3.2 Zarineh Rud 川右岸エリアの Bukan ダムから農業用水の供給を受ける灌漑水路

なお、エネルギー省の「Studies on Updating National Water Master Plan in Basins of Aras, Urmia, Talesh-Anzali Wetland, Great Sefidroud, Sefidroud-Haraz, Haraz-Ghareh Sou, Gorganroud and Atrak: Fourth Volume, Report on Surface Water Resources (Quantitative and Qualitative) Urmia Watershed, November 2012」の表 2.2 にダムのリストに加えて灌漑排水ネットワークのリストが掲載されている。同表に基づく灌漑排水システムの状況は以下のとおり。なお、同表には灌漑面積の記載は無い。

- 1) 既存（運用中）および建設中
東アゼルバイジャン州 : 39 システム
西アゼルバイジャン州 : 5 システム
クルディスタン州 : 1 システム
- 2) 手続き中

- 東アゼルバイジャン州 : 4 システム
3) 調査中
東アゼルバイジャン州 : 5 システム

3.4 その他(井戸やポンプ等)

オルミエ湖流域では、WRMC の下部組織である東アゼルバイジャン州および西アゼルバイジャン州の WRC が井戸の使用を管理しており、使用者は数年単位で使用申請を行っている。図 3.4.1 に許可揚水量の経年変化、図 3.4.2 に現況の許可井戸の目的別揚水量割合、次頁の図 3.4.3 に許可井戸の分布図を示す。オルミエ湖流域内では、現況で約 89,000 箇所もの井戸が建設されており、約 1,600MCM の揚水量が許可されている。そのうち農業用水は 9 割を占める。分布図を見ると農業用水用の井戸が平野部に極めて密に建設されていることがわかる。

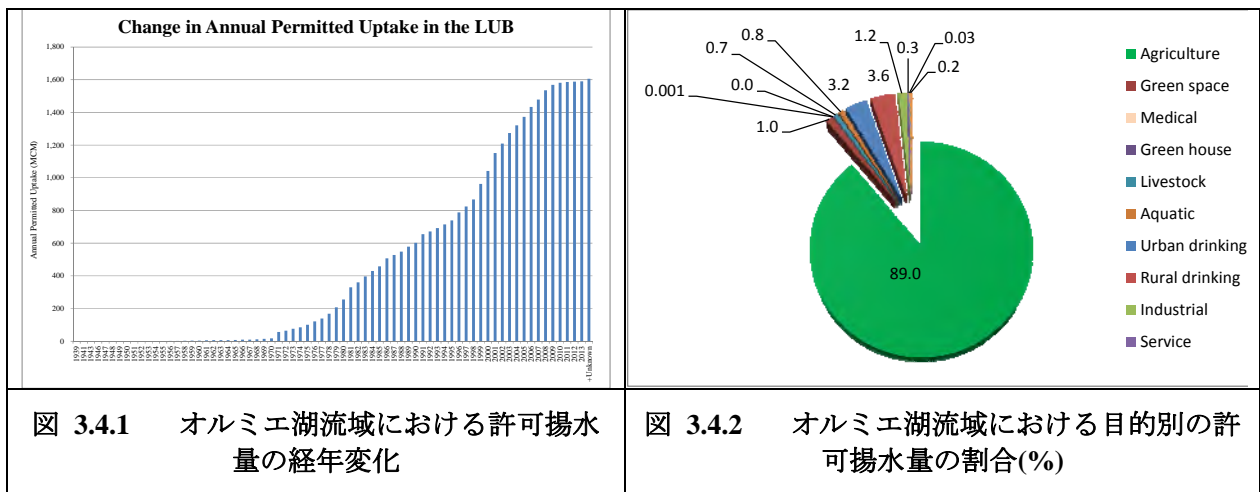


図 3.4.1 オルミエ湖流域における許可揚水量の経年変化

図 3.4.2 オルミエ湖流域における目的別の許可揚水量の割合(%)

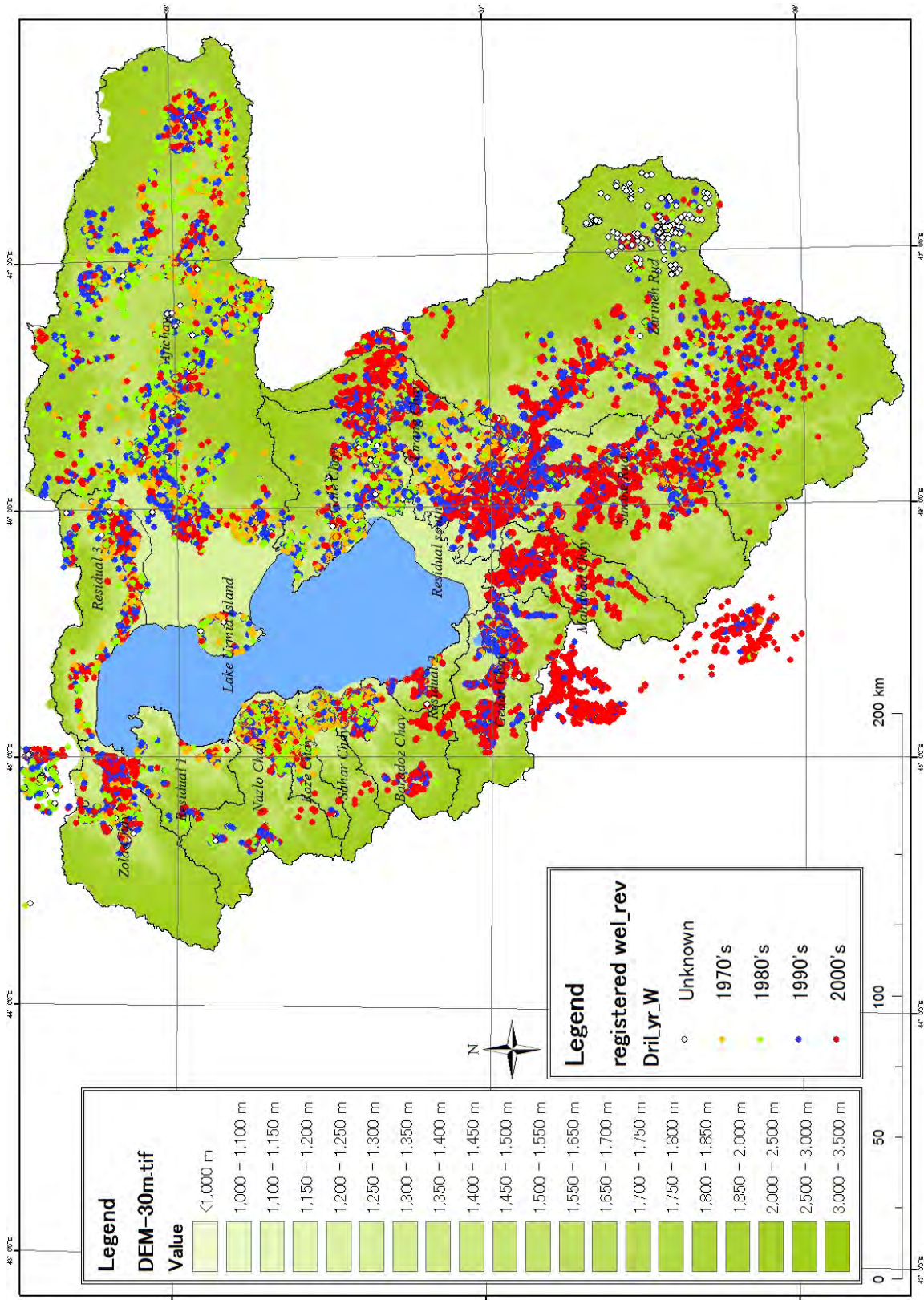
*WRMC 提供データを基に JICA 調査団が集計

表 3.4.1 オルミエ流域における目的別の許可水量および割合

Unit: MCM

	Agriculture	Green space	Medical	Green house	Livestock	Aquatic	Urban drinking	Rural drinking	Industrial	Service	Packed water	Other	Total
Ajichay	300.3	14.1	0.0	0.1	3.1	0.6	33.5	22.5	8.0	2.2	0.0	1.5	386.0
Baradoz Chay	63.4	0.0	0.0	0.0	0.9	4.9	0.0	1.2	4.3	0.1	0.0	0.1	74.9
Gale Chay	112.9	1.1	0.0	0.0	1.6	1.0	2.9	3.9	1.3	0.4	0.0	0.1	125.2
Gedar Chay	103.4	0.1	0.0	0.1	0.3	1.1	0.1	1.6	0.3	0.0	0.0	0.0	107.1
Lake Urmia Island	3.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	3.9
Lirang Chay	83.7	0.0	0.0	0.0	0.4	0.2	0.8	1.9	0.4	0.2	0.0	0.1	87.7
Mahabad Chay	16.9	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.3	0.1	0.0	0.0	0.0	17.5
Nazlo Chay	86.7	0.0	0.0	0.0	0.5	1.2	0.2	0.7	0.4	0.0	0.0	0.1	89.8
Residual 1	32.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	0.1	0.0	0.0	0.2	33.4
Residual 2	7.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.9
Residual 3	79.0	0.4	0.0	0.0	0.6	0.2	3.8	4.2	1.0	0.2	0.0	0.3	89.7
Residual south	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4
Roze Chay	27.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	0.2	0.0	0.0	0.0	28.6
Sahar Chay	18.7	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	1.3	0.2	0.0	0.0	0.1	20.8
Simine Rud	230.0	0.3	0.0	0.1	1.2	0.0	2.1	6.7	2.0	0.5	0.3	0.2	243.4
Zarneh Rud	129.2	0.5	0.0	0.2	2.1	2.6	4.2	5.3	1.0	0.9	0.2	0.5	146.9
Zola Chay	129.7	0.3	0.0	0.0	0.1	0.0	2.7	6.0	0.4	0.0	0.0	0.3	139.4
Total	1,425.6	16.8	0.0	0.6	11.2	12.3	50.6	57.3	19.6	4.5	0.5	3.6	1,602.5
Percentage	89.0	1.0	0.001	0.0	0.7	0.8	3.2	3.6	1.2	0.3	0.03	0.2	100.0

*WRMC 提供データを基に JICA 調査団が集計



*WRMC 提供データを基に JICA 調査団が作成

図 3.4.3 オルミエ湖流域内の許可井戸の分布状況 (建設された年代ごとに色分け)

第4章 オルミエ湖概略水収支の検討

オルミエ湖の水位低下のメカニズムを概略把握し、改善の方向性を概略検討するために、表流水および地下水の水利用量も踏まえた概略水収支を検討した。さらに、基礎的解析では第5章に述べる分布型物理流出モデルによる水収支の詳細検討に資するデータも作成することを目的とし、概略水収支の検討は本モデルの精度を確保に資する情報を提供することも目的とする。

4.1 収集情報の内容

第一次・第二次現地調査から2015年2月にかけて、現地C/PであるWRMCを通して、表4.1.1に示す本モデル構築に必要なデータを収集した。なお、各項目の詳細については巻末資料4.1に掲載した。

結果的に、2015年2月末時点でモデル構築に必要な基礎データのほとんどはWRMCを通して提供されたが、統計データや灌漑スキームの詳細情報、水需要データ等、モデルの入力データは提供されなかった。そのため、対応策として収集したダム地点における水供給量データや既往レポートにて整理されている灌漑ユニット毎の用水量を用いて水需要の推定を行う。

表 4.1.1 分布型物理流出モデル構築に必要な基礎データの概要と収集状況 (2015年2月末時点)

No.	大項目	内容	単位 /フォーマット	提供先	収集状況
1	気象データ	降水量、流量、パン蒸発量、気温、相対湿度、等 上記観測所諸元	日 蒸発量については日・月	WRMC, IMO	提供済
2	水文データ	河川流量、湖水位	日	WRMC	提供済
3	地質データ	表層地質、柱状図、ボーリングデータ	TIFF ファイル、CAD データ等	WMC, Iranian Geological Service	提供済
4	地形データ	標高データ、湖底標高データ、河川網データ、河川横断データ、地形図	DEM、SHP 等	WRMC, Water Research Authority	提供済 (河川横断データは測量されておらず地形ベースで作成)
5	土地利用	湖水位が高かった時期と低減が顕著になった時期の土地利用データ	SHP	WRMC	1987年と2007年時点の土地利用データを収集済
6	自然条件	流域概要、環境等の状況がわかるレポート等	レポート等	WRMC	オルミエ湖統合水資源マスタープラン・レポートを収集済
7	ダム	放流量、セクター毎の水供給量、等 上記観測所諸元	放流量：日	WRMC	主要なダムについて一部の期間について提供済
		オペレーションルール	レポート等	-	未提供
8	取水施設	取水量(計画・実績)、取水パターン、コマンドエリア、等上記取水施設諸元	レポート	-	未提供
9	地下水	揚水量、地下水利用実態、揚水試験結果、掘削試験結果	揚水量：月	WMC	提供済
10	水需要	各セクター毎の水需要量	レポート等	-	未提供
11	統計データ	人口、農地面積、作付面積、工業生産データ	年	Statistical Centre of Iran	2011年の人口データのみ提供済
12	灌漑	灌漑用水量、灌漑スキームに関する情報	レポート	WRMC	灌漑用水量はマスタープラン・レポートより灌漑ユニット毎のものを収集

*モデル構築において情報が不十分であったデータについては赤字で示した。

4.1.1 関係機関による類似調査

2014年11月17日に Tabiat Modares 大学において開催された「Workshop on Integrated River Basin Modeling, Emphasizing on Lake Urmia Basin」では、主にイラン国内の大学の研究者よりオルミエ湖に関する研究事例紹介が行われた。オルミエ湖流域のモデル化に関する研究についてもいくつか紹介があったが、これらは水理解析ソフト（氾濫解析に用いられる MIKE FLOOD）を用いて湖水位の変動のみにフォーカスしたモデル化や、湖水位維持のために Kalantary Road 以北の水を南側に全て移動する対策案の検討等、主に湖内の水収支にフォーカスしているものであり、本業務にて実施するような流域水循環や地下系を含めた水収支を解明するためのモデル化や研究は行われていないようである。以下に開催された Work shop のスケジュールを示す。

**Workshop on Integrated River Basin Modeling,
Emphasizing on Lake Urmia Basin
Tarbiat Modares University, 17-Nov-2014**
(Time table of the presentations)

Time	Topic	Speaker
8:00-8:30	Registration	
8:30-8:45	Recitation of Quran and National Anthem	
8:45-9:05	Welcome speech and objective of the workshop	Dr. S. Morid
9:05-9:15	Last Status of Lake Urmia	Dr. N. Agh
9:15-9:30	Speech by the secretary of the working group on Lake Urmia Restoration Program	Dr. I. Kalantari
9:30-10:00	Modeling of changes in irrigation system and cropping pattern on saving water in favor of Lake Urmia (A case study on Zarinehrud Subbasin)	Dr. M. Delavar
10:00-10:30	System of water accounting	Dr. A. Bagheri
10:30-11:00	Break	
11:00-11:30	Introduction to JICA's upcoming study on the hydrologic cycle of Lake Urmia	Mr. Toshihiro Goto
11:30-12:00	Modeling the effects of climate variability and human activities on Lake Urmia Lake	Mr. A. Farokhnia
12:00-12:30	Two-Dimensional modeling of Lake Urmia hydrodynamics	Dr. M. Mazaheri
12:30-13:00	Modeling of partial rehabilitation of Lake Urmia to maintain its ecosystem services	Mr. A. Shokri
13:00-14:30	Lunch Break	
14:30-15:00	Comparative analysis of the Lake Urmia and the Lake Van Water level time series	Dr. Sh. Jalili
15:00-15:30	Hydrological and Hydrogeological Properties of Lake Van	Dr. H. Aydin
15:30-16:00	Monitoring Lake Urmia from space: spatial variability and precipitation trends	Dr. A. Aghkouchak (Video conf.)
16:00-16:15	Van Basin in a glance	
16:15-17:30	Concluding Discussion	

4.1.2 オルミエ救済委員会の地下水と湖水の連携に関する見解

C/P への聞き取りによると、Iran Water Research Institute が行った湖底水と地下水の同位体解析結果に基づき、オルミエ湖の湖水と地下水の安定同位体比が異なる事から、湖水と地下水の連結を否定している。またオルミエ湖救済委員会もこの見解を支持している。その一方で、解析が不十分との意見も上がっている。したがって、オルミエ湖の回復シナリオの検討のためには、流域水循環メカニズムを明確にすることが必要であり、地下水を含めた水循環の評価が必要となる。

4.2 活用した水文・気象データ

概略水収支の検討においては、3章で述べた日降水量ならびに日流量データを可能な限り使用した。両データ共に欠測値を多く含んでいることが確認された。したがって、降水量についてはティーンセン分割によって空間的な補間を行い、流域毎の平均降水量を算出した上で検討に使用した。流量については、流量観測が行われている期間を最大限使用するが、使用の際には、前述した2章で算出した各流量観測所の年平均の流出高を比較して異常値については控除し、観測精度がある程度確保されていると判断できるものを採用した。

4.3 オルミエ湖概略水収支の検討方法と手順

オルミエ湖の概略水収支の検討方法を以下に述べるとともに表 4.3.1 および図 4.3.1 に示す。

- 1) 湖エリアの概略水収支の検討においては、まず、オルミエ流域の降水量から表流水量を年流出率を仮定して算定した。また、地下水涵養高を仮定し、年降水量との比で涵養率を設定した上で地下水涵養量を求めた。地下水揚水量が小さい場合は、地下水涵養量以内の揚水が行われる。しかし、地下水揚水量が地下水涵養量より大きくなる場合は、地下水貯留分からも揚水されることとなる。その場合、地下水涵養量と地下水貯留からの補給量を合計したものが地下水量となる。
- 2) 表流水と地下水からの水利用量として水供給量を算定した。
- 3) 湖エリアから唯一流出する大きな水量として湖エリアの蒸発量を求めた。ここで湖エリアとは湖の水面と干上がった湖底を合わせたエリアである。
- 4) 表流水量と地下水量（地下水涵養量、および場合によっては地下水貯留からの補給量を加えた合計量）の合計量から表流水および地下水からの水供給量を差し引いた残りが湖エリアへの流入水量となる。この流入水量に湖エリアの降水量を加えて湖エリアの蒸発量を差し引くと湖エリアの水収支が求まる。
- 5) 一方、オルミエ湖の H-V カーブから湖の年平均水位に対応する湖の貯留量が分かり、この貯留量の毎年の差が計算できる。ある年の貯留量が前年と貯留量と比べてマイナスになる場合は、湖の水位がその年に前年に比べて低下することになる。また、プラスの場合は湖の水位が上昇する。よって、この毎年の貯留量の差がすなわち、湖エリアへの流入水量と湖エリアからの蒸発による流出の差としての湖エリアの水収支の水量に相当すると考えられる。
- 6) 従って、4)で算定した経年的な年水収支が5)の湖の貯留量の毎年の差の経年変動に適合するケースを見つける必要がある。そのため、湖の水面からの蒸発量を変化させたケース毎に、4)と5)が適合する表流水量と地下水量（地下水涵養量および地下水貯留からの補給量）の組み合わせをトライアンドエラーで求め、結果として湖エリアの水収支を算定した。

表 4.3.1 オルミエ湖に関する年単位の概略水収支の検討ステップ

検討ステップ	検討内容	備考
ステップ1: オルミエ流域の降水量(ボリューム換算)の把握	<ul style="list-style-type: none"> ● オルミエ湖流域全体の降水量(ボリューム換算)の経年変化を年降水量に基づき算定(4.4.1節の図4.4.2参照)。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 特に無し。
ステップ2: オルミエ湖エリアの降水量(ボリューム換算)の把握	<ul style="list-style-type: none"> ● オルミエ湖エリアの降水量(ボリューム換算)を算定。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 特に無し
ステップ3: オルミエ湖の貯留量の年間の差の経年変動の把握	<ul style="list-style-type: none"> ● オルミエ湖の年平均水位の経年変動と最新の湖のH-A-Vカーブ(2010年の深浅測量データに基づく)により、経年的な貯留量の変動を算定(4.4.2節および図4.4.4参照)。 ● 経年的な貯留量の変動から、貯留量の差の経年変動を算定(4.4.2節の図4.4.5参照)。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 最新の深浅測量データは2010年作成であるため、H-A-Vカーブの適用は2010年を中心とする10年程度の精度が良いと思われる。 ● 上記H-A-Vカーブの1980年代、1990年代の適用精度は、湖底への土砂や塩の堆積状況が最近の状態とは異なる可能性があるため、最近10年程度への適用精度より小さいと考えられる。
ステップ4: オルミエ流域の表流水および地下水からの水利用量(水供給量)の推定	<ul style="list-style-type: none"> ● ダムの運用データが収集できた既存12ダムからの表流水供給量の経年的データとMOEのマスタープランレポートに基づく最近の表流水からの水供給量から、流域全体の表流水からの水供給量の合計値の経年変化を推定(4.5.4節および巻末資料4.1および図4.5.3参照)。 ● 流域全体の地下水揚水許可量の経年的データとMOEのマスタープランレポートに基づく最近の地下水揚水量から、流域全体の地下水揚水量の合計値の経年変化を推定(4.5.4節および巻末資料4.1および図4.5.3参照)。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 表流水からの修正水供給量/12ダムの水供給量 = 1.72 (河川へのリターンフローを考慮) ● 地下水からの修正揚水量/地下水揚水量 = 1.11 (湧水、導水管へのリターンフローを考慮)。
ステップ5: オルミエ湖エリアの蒸発量の推定	<ul style="list-style-type: none"> ● オルミエ湖の年平均湖水位に基づき最新のH-A-Vカーブから水面積と干上がった面積の経年変動を算定(4.4.2節の図4.4.4参照)。 ● 水面からの蒸発量を1,000mm/年～1,900mm/年で100mm/年ずつ変化させて蒸発量を算定した。干上がった湖底エリアは降水量と同じ蒸発量と仮定した(4.4.2節の図4.4.6参照)。 	<ul style="list-style-type: none"> ● Tarbiat Modares UniversityのMehdi Mazaheri, Saeed Morid, Ashkan Shokriによる「Two-Dimensional Modeling of Urmia Lake Hydrodynamics」によると湖面からの蒸発量は1,100mm/年で、パン蒸発量の0.60倍であることが記されている。 ● 水資源管理公社のパン蒸発量データに基づく湖面蒸発量は約950mm～1,350mm/年の範囲と推定される。
ステップ6: 陸域の表流水量の推定	<ul style="list-style-type: none"> ● オルミエ湖の水面蒸発量を1,000mm/年～1,900mm/年に100mm毎に変えたケースに関して、湖の水量の年毎の差の経年変動に比較的合う陸域の表流水量および地下水量として地下水涵養量と地下水涵養量以上の地下水貯留からの補給水量の組み合わせを検討した。 ● 陸域の表流水量の経年変化を降水量(ボリューム換算)に年流出率を掛けて算定。年流出率は上記ケース毎に設定(表4.6.1) 	<ul style="list-style-type: none"> ● 基底流量はダムの影響の無い流量観測所の年間のハイドログラフからベース部分の水量を算出し、年間水量に対する割合で算出した。結果、表流水量の14%が基底流量と推定された。

検討ステップ	検討内容	備考
	<p>参照)。</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 陸域の表流量の内の 14%を基底流量として算定。 	
<p>ステップ7： 地下水量（地下水涵養量および地下水貯留からの補給量）の推定</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● 地下水涵養量と地下水貯留からの補給量を足し合わせた地下水量に関して表流水も含む水収支に関する繰り返し計算により算定。 ● 地下水揚水量が小さく地下水位が維持される場合は、地下水涵養量以内の地下水利用となる。しかし、地下水揚水量が地下水涵養量以上の場合は、地下水貯留からの補給量として地下水貯留分も揚水されることになる。 ● 地下水量はオルミエ湖の水面蒸発量をステップ4に記載の1,000mm/年～1,900mm/年に100mm毎に変えたケースに関してそれぞれ設定した（表4.6.1参照）。 	<ul style="list-style-type: none"> ● JICAセフィールド川流域調査の事例を参考に地下水涵養量(高)を32mm/年に設定。 ● 地下水涵養量を最近の流域平均雨量約350mm/年と1980年代の流域平均雨量約450mm/年に対しそれぞれ設定した。
<p>ステップ8： 陸域の表流量および地下水量（地下水涵養量および地下水貯留からの補給量）の合計量の算定</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● 陸域の表流量と地下水量の合計値として（陸域の表流量）+（地下水量：地下水涵養量+地下水貯留からの補給量）-（基底流量）を算定した（表4.6.2参照）。 ● 基底流量は基本的に地下水から河川へ染み出た水であるため表流水と地下水の両方に同じ水量が含まれていることになる。そのため、陸域の表流量と地下水量を足し合わせる場合には、両者をそのまま足すのではなく、基底流量の重複分を差し引く方が安全側の合計水量となるため、上記の式で合計自然水量を算定する。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 同上
<p>ステップ9： 湖エリアの水収支の算定</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● ステップ4に記載のように水面からの蒸発量を1,000mm～1,900mmに100mm毎に変えたケース毎に（表流量および地下水量）-（表流水および地下水からの水供給量）+（湖エリアの降水量ボリューム）-（湖エリアからの蒸発量）により、経年的な水収支を算定した（表4.6.2参照）。 ● 湖水位と水収支の累加量の相関が高いと考え、両者の相関係数を検討した（図4.6.4参照） 	<ul style="list-style-type: none"> ● 計算した湖エリアの年間水収支をオルミエ湖の年間貯留量の差の経年の変動傾向と比較した。湖のH-A-Vカーブの関係で、年間貯留量の差に関して最近10年程度の精度は比較的良好と考える。

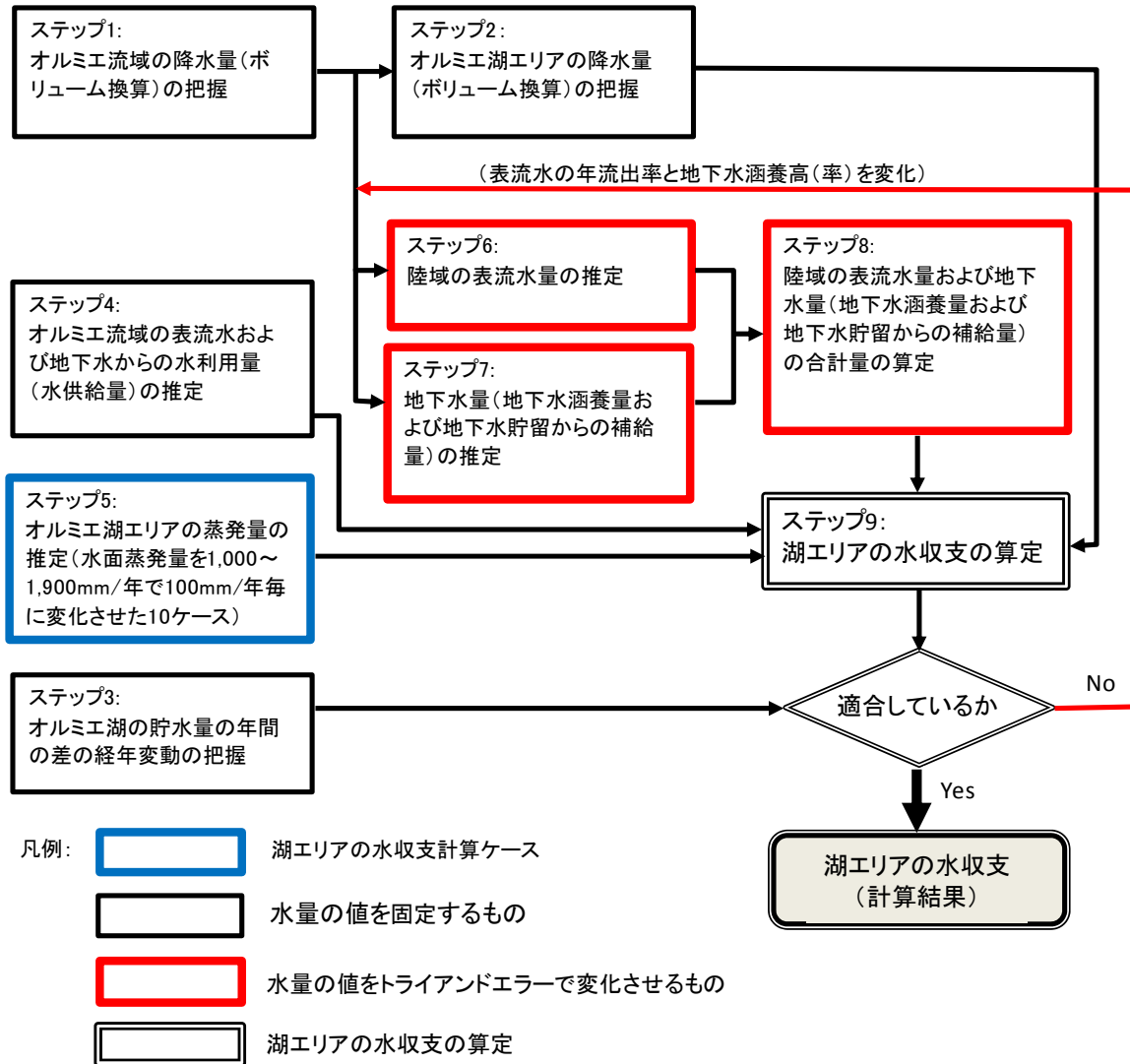


図 4.3.1 オルミエ湖エリアに関する年単位の概略水収支の検討フロー

4.4 水資源量の予備的検討

オルミエ流域全体の水資源量は 1) 表流水の水資源量と 2) 地下水の水資源量からなる。さらに地下水の水資源量は地下水涵養量と地下水貯留分から成る。

ここでは、オルミエ湖を一つの大きな貯留池と考え、湖の水量変動の分析を通じて、自然状態で湖に流入するはずの表流量と地下水量を年単位で予備的に検討した。なお、同検討には湖エリアからの蒸発量を考慮した。

本節では上記の予備的検討のベースとなる降水量(ボリューム換算)とオルミエ湖自身の水面積、貯留量および湖エリアからの蒸発量に関して述べる。

4.4.1 降水量(ボリューム換算)

オルミエ湖流域全体の経年的な降水量(ボリューム換算)をオルミエ流域の各河川流域毎の年平均降水量に流域面積を掛けて算出した。表 4.4.1 に各河川流域の 1980 年～2011 年までのティーセン法で計算した流域平均年雨量の経年変化を示し、表 4.4.2 にオルミエ流域全体の流域平均年降水量のグラフを示す。また、表 4.4.2 にオルミエ流域の各河川流域および流域全体の年間の降水量(ボリューム換算)を示し、図 4.4.2 にオルミエ流域全体の年間の降水量(ボリューム換算)を示す。

表 4.4.1 オルミエ湖流域の流域平均年降水量(上:標準水文年、下:イラン水文年)

流域年	Ajchay	Baradoz Chay	Gale Chay	Gedar Chay	Lake Urmia Island	Mahabad Chay	Nazlo Chay	Residual 1	Residual 2	Residual 3	Residual south	Roze Chay	Sahar Chay	Simine Rud	Sofi Chay	Zarneh Rud	Zola Chay	Urmia Lake	Urmia流域
流域面積 (km ²)	12,717	1,362	2,094	2,091	260	1,507	1,880	1,060	375	1,840	551	458	712	3,783	1,936	11,838	2,258	4,976	51,697
1980年～2011年の平均	328.05	470.66	373.11	455.25	362.03	429.68	445.66	411.91	367.68	332.47	425.17	435.78	455.49	411.26	394.21	456.13	410.60	362.03	396.87
1980年～1989年の平均	329.20	522.93	386.54	481.73	582.60	466.75	515.62	457.59	365.18	317.64	478.67	489.43	508.29	420.68	401.47	516.38	502.12	582.60	447.02
1990年～1999年の平均	325.58	454.15	373.24	476.63	350.73	434.83	432.27	426.99	374.00	359.89	427.06	456.36	510.33	424.63	407.42	452.38	405.36	350.73	397.89
2000年～2011年の平均	329.15	440.85	361.81	415.38	187.64	394.51	398.51	361.28	364.51	321.97	379.02	373.92	365.79	392.26	377.16	409.05	338.70	187.64	354.22

流域年	Ajchay	Baradoz Chay	Gale Chay	Gedar Chay	Lake Urmia Island	Mahabad Chay	Nazlo Chay	Residual 1	Residual 2	Residual 3	Residual south	Roze Chay	Sahar Chay	Simine Rud	Sofi Chay	Zarneh Rud	Zola Chay	Urmia Lake	Urmia流域
流域面積 (km ²)	12,717	1,362	2,094	2,091	260	1,507	1,880	1,060	375	1,840	551	458	712	3,783	1,936	11,838	2,258	4,976	51,697
1980年～2011年の平均	325.23	474.35	372.72	456.57	362.64	430.69	446.90	412.43	370.10	329.95	427.29	438.10	459.56	412.13	394.83	451.61	410.90	375.58	396.79
1980年～1989年の平均	325.41	526.45	390.15	477.64	573.85	465.67	514.78	457.57	367.50	318.00	480.67	490.25	513.08	419.15	406.13	508.28	503.12	446.35	431.32
1990年～1999年の平均	326.33	457.52	370.90	476.17	350.34	437.84	435.14	427.64	376.81	360.41	423.83	457.35	509.38	422.15	404.16	443.59	403.96	385.77	399.25
2000年～2010年の平均	324.08	442.28	358.53	419.59	181.80	392.40	395.88	357.57	366.37	313.11	381.89	373.19	365.61	396.66	376.09	407.40	333.37	301.96	363.18

*WRMC 提供データを基に JICA 調査団が集計

表 4.4.2 オルミエ流域全体の年間の降水量 (ボリユーム換算)

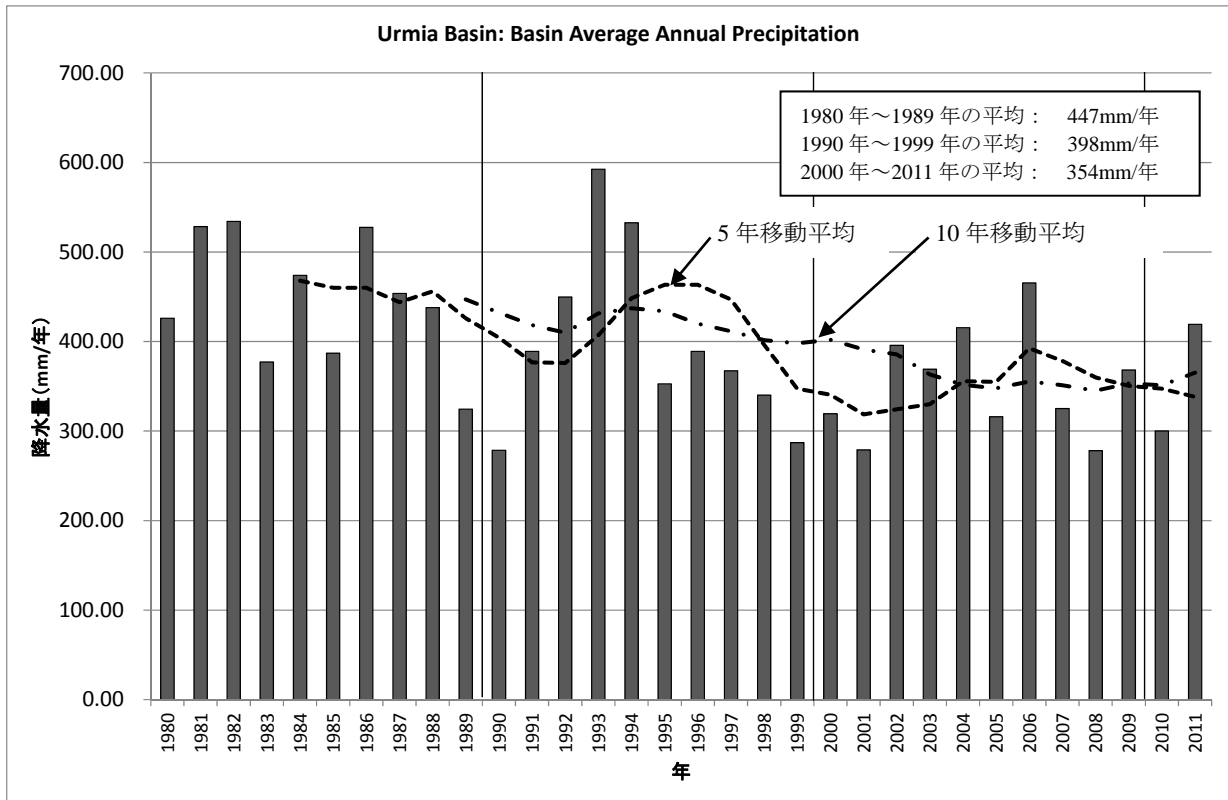
(上：標準水文年、下：イラン水文年)

流域年	(単位: MCM/年)																		
	Ajchay	Baradoz Chay	Gale Chay	Gedar Chay	Lake Urmia Island	Mahabad Chay	Nazlo Chay	Residual 1	Residual 2	Residual 3	Residual south	Roze Chay	Sahar Chay	Simine Rud	Sofi Chay	Zarineh Rud	Zola Chay	Urmia Lake	Urmia流域
流域面積 (km ²)	12,716.73	1,361.68	2,093.59	2,090.98	259.77	1,506.97	1,880.14	1,060.38	375.08	1,839.96	551.17	457.76	711.69	3,782.74	1,936.28	11,837.88	2,258.39	4,976.00	51,697.17
1980年～2011年の平均	4,171.70	640.88	781.14	951.92	94.04	647.52	837.90	436.78	137.91	611.72	234.34	199.48	324.17	1,555.68	763.31	5,399.62	927.29	1,801.48	20,516.89
1980年～1989年の平均	4,186.30	712.06	809.26	1,007.28	151.34	703.37	969.43	485.22	136.97	584.45	263.83	224.04	361.74	1,591.32	777.36	6,112.89	1,133.98	2,899.03	23,109.89
1990年～1999年の平均	4,140.29	618.41	781.40	996.62	91.11	655.27	812.73	452.77	140.28	662.18	235.38	208.91	363.20	1,606.25	788.88	5,355.16	915.46	1,745.25	20,569.54
2000年～2011年の平均	4,185.70	600.30	757.48	868.54	48.74	594.51	749.26	383.10	136.72	592.40	208.90	171.17	260.33	1,483.83	730.29	4,842.29	764.91	933.72	18,312.18

流域年	(単位: MCM/年)																		
	Ajchay	Baradoz Chay	Gale Chay	Gedar Chay	Lake Urmia Island	Mahabad Chay	Nazlo Chay	Residual 1	Residual 2	Residual 3	Residual south	Roze Chay	Sahar Chay	Simine Rud	Sofi Chay	Zarineh Rud	Zola Chay	Urmia Lake	Urmia流域
流域面積 (km ²)	12,717	1,362	2,094	2,091	260	1,507	1,880	1,060	375	1,840	551	458	712	3,783	1,936	11,838	2,258	4,976	51,697
1980年～2011年の平均	4,135.92	645.91	780.32	954.67	94.20	649.04	840.23	437.33	138.82	607.09	235.51	200.54	327.06	1,558.99	764.51	5,346.13	927.98	1,868.86	20,513.13
1980年～1989年の平均	4,138.13	716.85	816.81	998.73	149.07	701.75	967.85	485.20	137.84	585.11	264.93	224.42	365.15	1,585.53	786.38	6,016.91	1,136.24	2,221.05	22,297.95
1990年～1999年の平均	4,149.89	623.00	776.51	995.65	91.01	659.82	818.12	453.46	141.33	663.14	233.60	209.36	362.52	1,596.86	782.57	5,251.12	912.30	1,919.60	20,639.88
2000年～2010年の平均	4,121.20	602.25	750.62	877.36	47.23	591.33	744.32	379.16	137.42	576.11	210.49	170.83	260.20	1,500.44	728.21	4,822.71	752.89	1,502.57	18,775.33

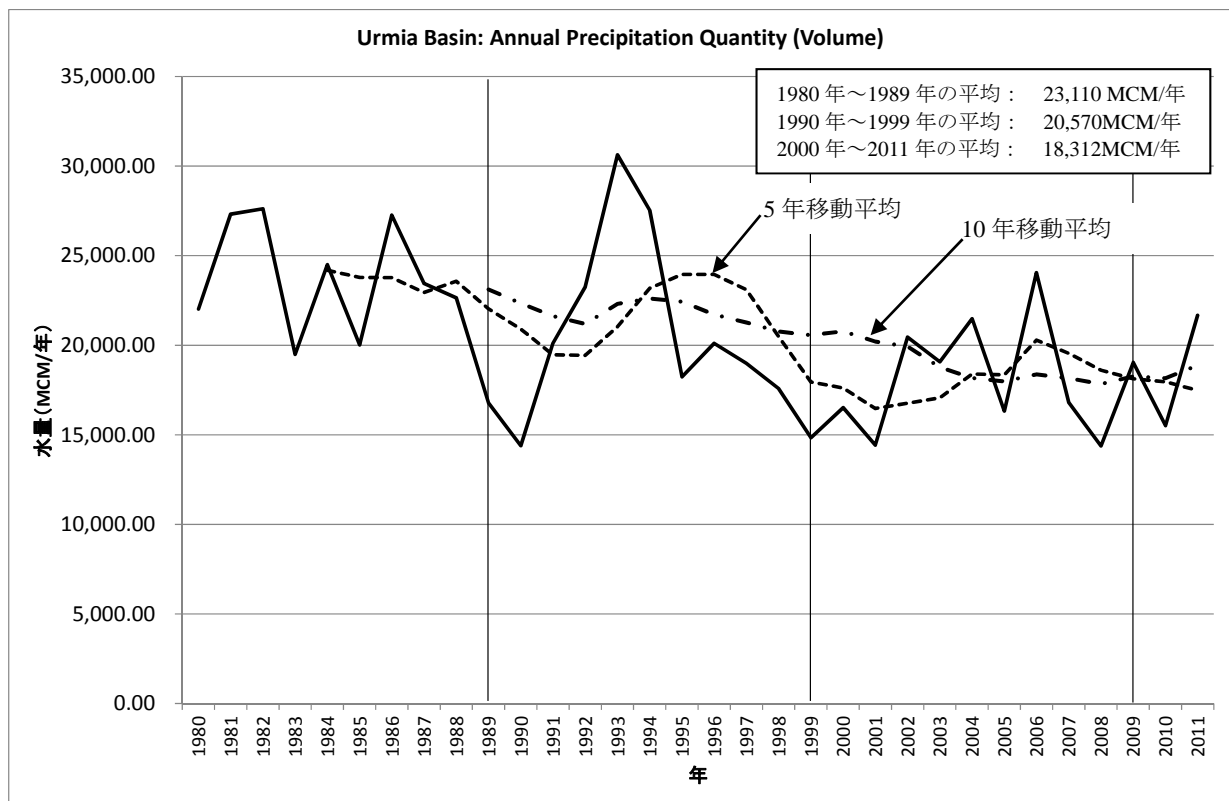
*WRMC 提供データを基に JICA 調査団が集計

図 4.4.1 より、オルミエ湖流域全体の年間の流域平均降水量は、1980年代は約 450mm/年であったものが、1990年代は約 400mm/年、2000年以降は約 350mm/年に減少していることが分かる。降水量 (ボリユーム) に換算すると図 4.4.2 より、オルミエ湖流域全体の年間の降水量 (ボリユーム) については 1980年代は約 23,110MCM/年であったものが、2000年以降は 18,300MCM/年より下回る傾向にあることが分かる (18%減少)。



*WRMC 提供データを基に JICA 調査団が作成

図 4.4.1 オルミエ湖流域全体の流域平均年降水量の経年変化



*WRMC 提供データを基に JICA 調査団が作成

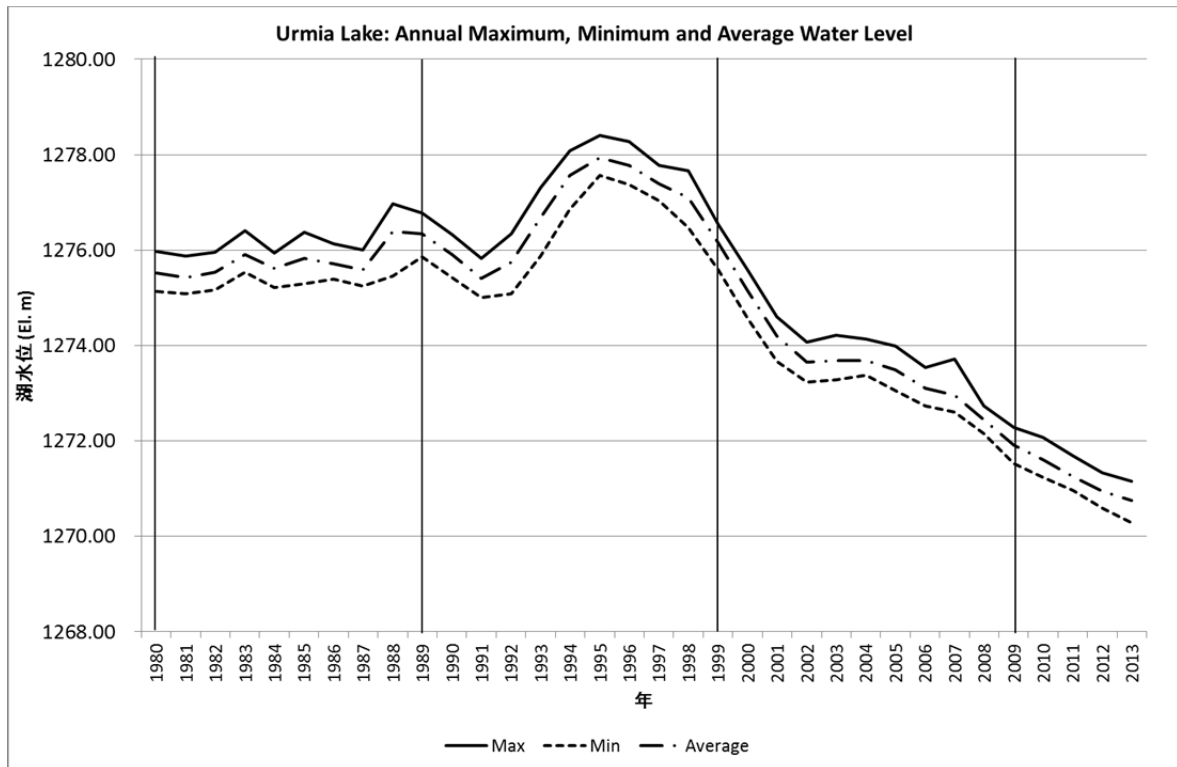
図 4.4.2 オルミエ湖流域全体の年間の降水量（ボリウム換算）の経年変化

4.4.2 オルミエ湖の貯留量、水面積および干上がった面積

4.4 節で述べる水収支の予備的検討のための基本情報として、オルミエ湖の貯留量、水面積および干上がった面積の年間変動を、最新の湖水位—水面積—貯留量カーブ（H-A-V カーブ）と湖の年間平均水位より検討した。なお、最新の H-A-V カーブは 2010 年に Iran Water Research Institute により作成された深浅測量データに基づき、本調査団が作成した（2.1.2 節参照）。

(1) オルミエ湖の水位変動

1965 年 11 月下旬から 2013 年 11 月下旬までのオルミエ湖の水位の日変動は 2.1.2 節を参照。また、図 4.4.3 に湖の 1980 年以降の年最高水位、年最低水位および年平均水位の経年変動を示す。

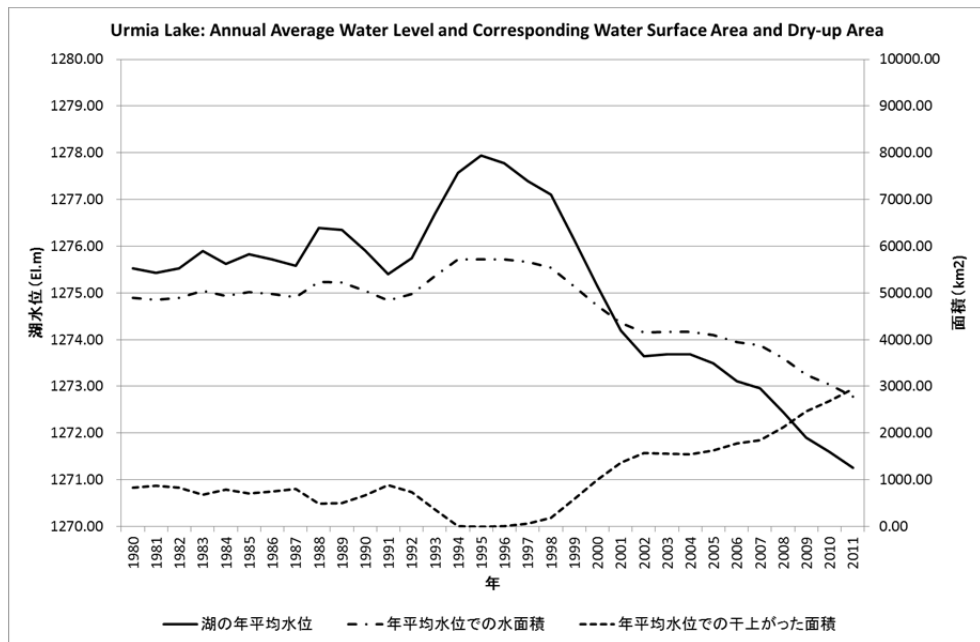


*WRMC 提供データを基に JICA 調査団が作成

図 4.4.3 オルミエ湖の年最高、最低、平均水位の経年変化

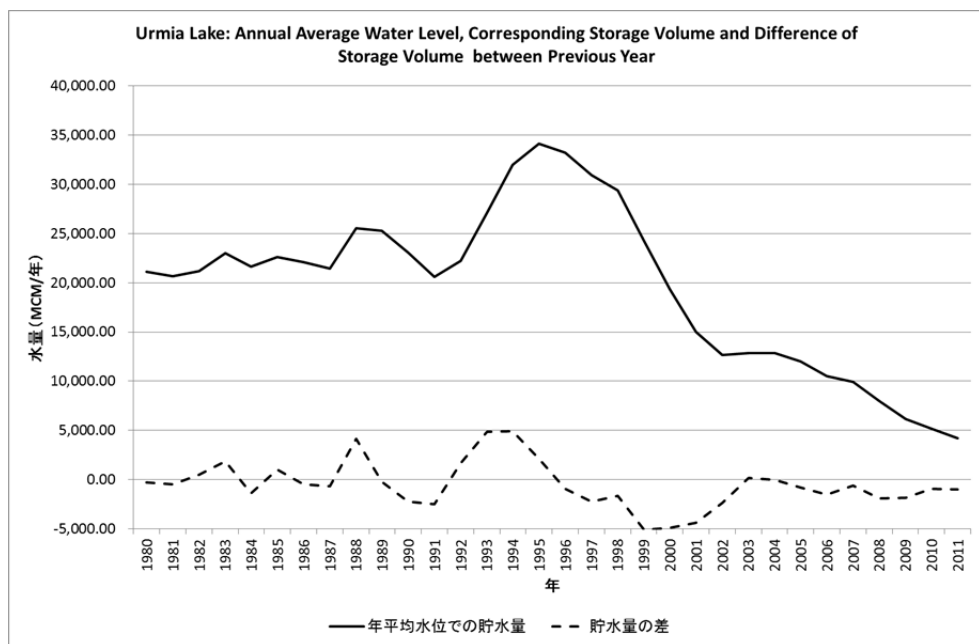
(2) オルミエ湖の貯留量、水面積および干上がった面積

4.6 節のオルミエ湖の水収支に関する予備的解析は、流域平均年降水量が 1980 年～2011 年の期間で計算できることから、湖の年平均水位に対応する貯留量や水面積の経年変化も 1980 年～2011 年について、上記の最新の H-A-V カーブに基づき算定した。なお、最新の H-A-V カーブは 2010 年前後の湖の地形状態を反映しているため、同 H-A-V カーブの最近 10 年間程度の適用性は比較的良いと考えられるが、1980 年代や 1990 年代への適用性は、湖底への土砂や塩の堆積状況も最近の状態とは異なると考えられるため、同 H-A-V カーブで求める貯留量や水面積の精度は最近のものより小さいと考えられる。表 4.4.3 に年平均湖水位での貯留量、水面積および干上がった面積の経年変化を示す。また、同表に基づき、図 4.4.4 に水面積と干上がった面積の経年変化を示し、図 4.4.5 に貯留量と前年の貯留量との差の経年変化を示す。1995 年以降の急激な年平均水位の低下に伴い、急激な水面積と貯留量が減少していることが分かる。



*WRMC 提供データを基に JICA 調査団が作成

図 4.4.4 オルミエ湖の年平均水位での水面積および干上がった面積の経年変化



*WRMC 提供データを基に JICA 調査団が作成

図 4.4.5 オルミエ湖の年平均水位での年貯留量と年貯留量の前年との差の経年変化

表 4.4.3 オルミエ湖の水面積、干上がった面積および貯留量の経年変化

年	湖の年平均水位 (El.m)	年平均水位での 水面積 (km ²)	年平均水位での 干上がった面積 (km ²)	年平均水位での貯水 量 (MCM)	貯水量の差 (MCM)
1980	1275.53	4890.10	831.25	21,141.45	-304.67
1981	1275.43	4848.05	873.30	20,679.33	-462.12
1982	1275.53	4891.41	829.94	21,157.20	477.87
1983	1275.90	5045.22	676.13	23,012.89	1,855.69
1984	1275.63	4931.15	790.20	21,636.64	-1,376.26
1985	1275.82	5013.15	708.20	22,625.98	989.35
1986	1275.72	4970.97	750.38	22,117.12	-508.87
1987	1275.58	4913.94	807.41	21,429.03	-688.09
1988	1276.40	5237.35	484.00	25,549.56	4,120.53
1989	1276.35	5219.55	501.80	25,309.19	-240.37
1990	1275.91	5049.20	672.15	23,060.97	-2,248.23
1991	1275.41	4837.91	883.44	20,571.66	-2,489.31
1992	1275.74	4980.08	741.27	22,226.96	1,655.31
1993	1276.69	5355.69	365.67	27,091.43	4,864.47
1994	1277.57	5718.82	2.53	31,994.09	4,902.67
1995	1277.94	5721.35	0.00	34,141.03	2,146.93
1996	1277.78	5720.25	1.10	33,207.26	-933.77
1997	1277.39	5665.71	55.64	30,962.32	-2,244.94
1998	1277.10	5533.93	187.42	29,346.07	-1,616.25
1999	1276.14	5140.11	581.24	24,236.60	-5,109.47
2000	1275.15	4722.76	998.59	19,349.03	-4,887.57
2001	1274.19	4359.68	1361.67	14,993.73	-4,355.30
2002	1273.65	4153.58	1567.77	12,661.06	-2,332.67
2003	1273.69	4169.57	1551.78	12,838.95	177.89
2004	1273.69	4170.20	1551.15	12,845.95	7.00
2005	1273.49	4095.47	1625.88	12,019.01	-826.93
2006	1273.11	3940.24	1781.11	10,484.56	-1,534.46
2007	1272.96	3875.30	1846.05	9,902.26	-582.30
2008	1272.45	3597.09	2124.26	8,001.22	-1,901.04
2009	1271.91	3250.36	2470.99	6,134.05	-1,867.17
2010	1271.60	3037.40	2683.95	5,181.09	-952.97
2011	1271.26	2774.33	2947.02	4,177.38	-1,003.71

*WRMC 提供データを基に JICA 調査団が集計

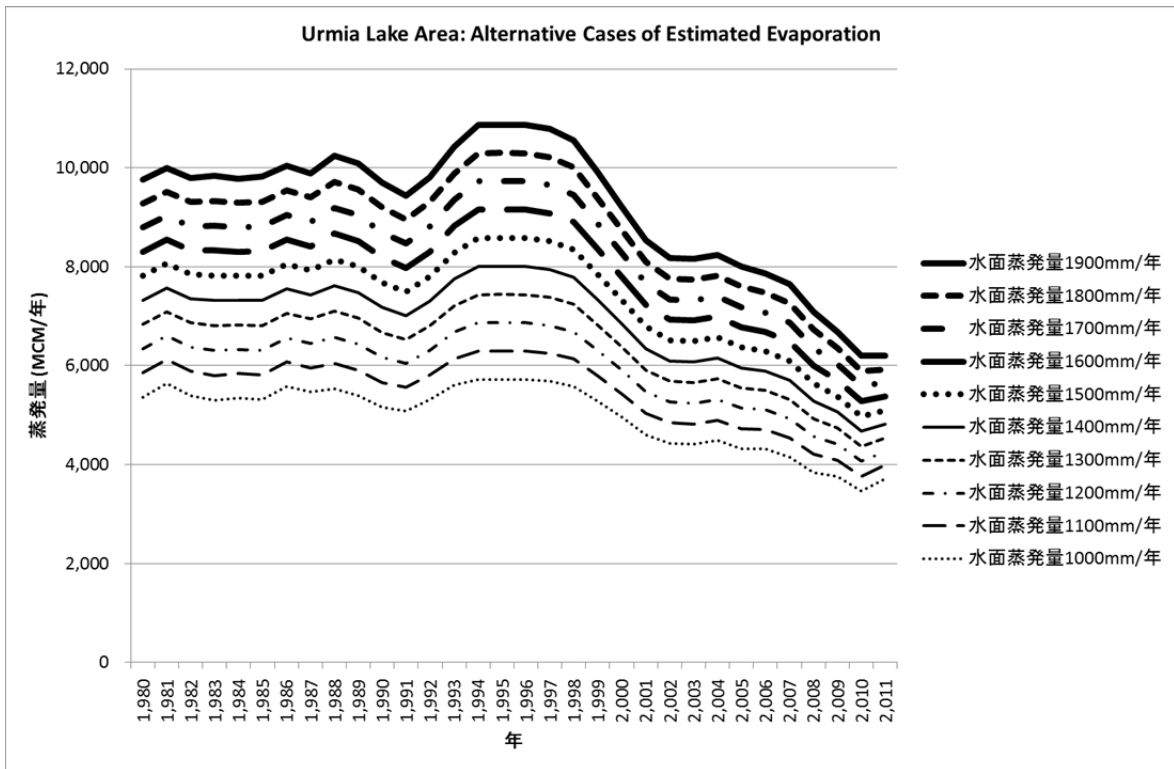
4.4.3 オルミエ湖エリアの年蒸発量の推定

オルミエ湖エリアの年蒸発量は、水面からの蒸発量と干上がった湖底からの蒸発量を足し合わせた蒸発量である。湖エリアの水収支において、蒸発量が唯一、湖エリアからの流出水量となり、湖の年間の水位変動に大きな影響を与えるものである。

水面からの蒸発量そのものを測定したデータは存在しない。そこで、パン蒸発量の値を参考に水面からの蒸発量を 1,000mm/年～1,900mm/年の間で 100mm/年ずつ変化させたケースで水面と干上がった湖底からの合計蒸発量を求めた。なお、干上がった湖底からの年蒸発量は当該箇所以降の年降水量と同じ値とした。即ち、干上がった湖底からは年降水量が蒸発すれば、それ以上の蒸発は生じないと仮定した。図 4.4.6 に湖エリアの年蒸発量の推定値を示す。

なお、2章で述べたとおり、イランの Tarbiat Modares University の Mehdi Mazaheri、Saeed Morid、Ashkan Shokri による「Two-Dimensional Modeling of Urmia Lake Hydrodynamics」の研究では、湖面からの蒸発量は 1,100mm/年で、パン蒸発量の 0.60 倍であることが記されている。

また、水資源管理公社のパン蒸発量データに基づく湖面蒸発量は約 950mm～1,350mm/年の範囲と推定され、2章での検討結果と概ね一致している。



* WRMC 提供データを基に JICA 調査団が作成

図 4.4.6 オルミエ湖の推定蒸発量（水面蒸発量を変えた計算）

4.5 水利用量の推定

4.5.1 水利用量に関し収集したデータ

本業務において水利用量に関して収集できたデータは以下のとおり。

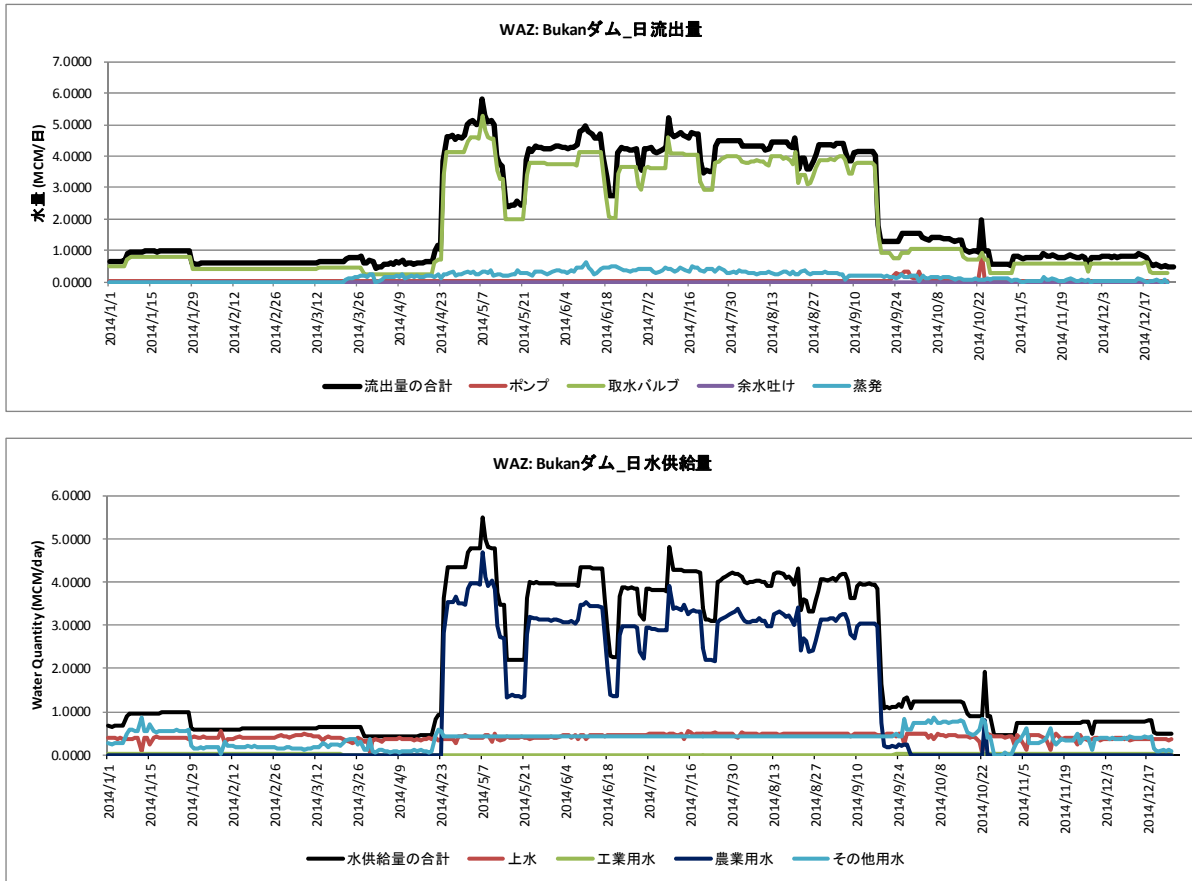
- 1) 本業務でダム運用データが収集できた既存 12 ダムのデータの中に、水利用量に関係するものとしては「流出量」と「水供給量」の経年的データがある（図 3.2.8～図 3.2.11 参照）。
「流出量」のデータには貯水池水面からの蒸発、貯水池からの漏水、取水バルブからの放水、ポンプによる取水、余水吐きからの放水等が含まれる。「水供給量」のデータには、上水への水供給、工業用水への水供給、農業用水への水供給等が含まれる。従って、水利用としては「水供給量」がダムから灌漑エリア等へ送水された水量のデータである。この水供給量（総水量）を用いて実際の灌漑エリア等での水の消費がなされる。表流水の水収支の解析においてはこの水供給量データを用いて、オルミエ流域全体の表流水からの水供給量を推定することとした。
- 2) 地下水の水利用量に関連してオルミエ流域全体の揚水許可が出ている井戸に関する揚水許可水量の経年的データを入手した（3.4 節参照）。オルミエ流域全体からの地下水からの水供給量としての揚水量をこの揚水許可量に基づき推定することとした。

4.5.2 ダムからの水供給パターン

上記の 1) に関しては、3.2.3 節に示すような既存 12 ダムからの水供給データが得られている。これらのデータから、水供給を含む季節的な変動を知るために、Bukan ダムと既存 12 ダムの合計水

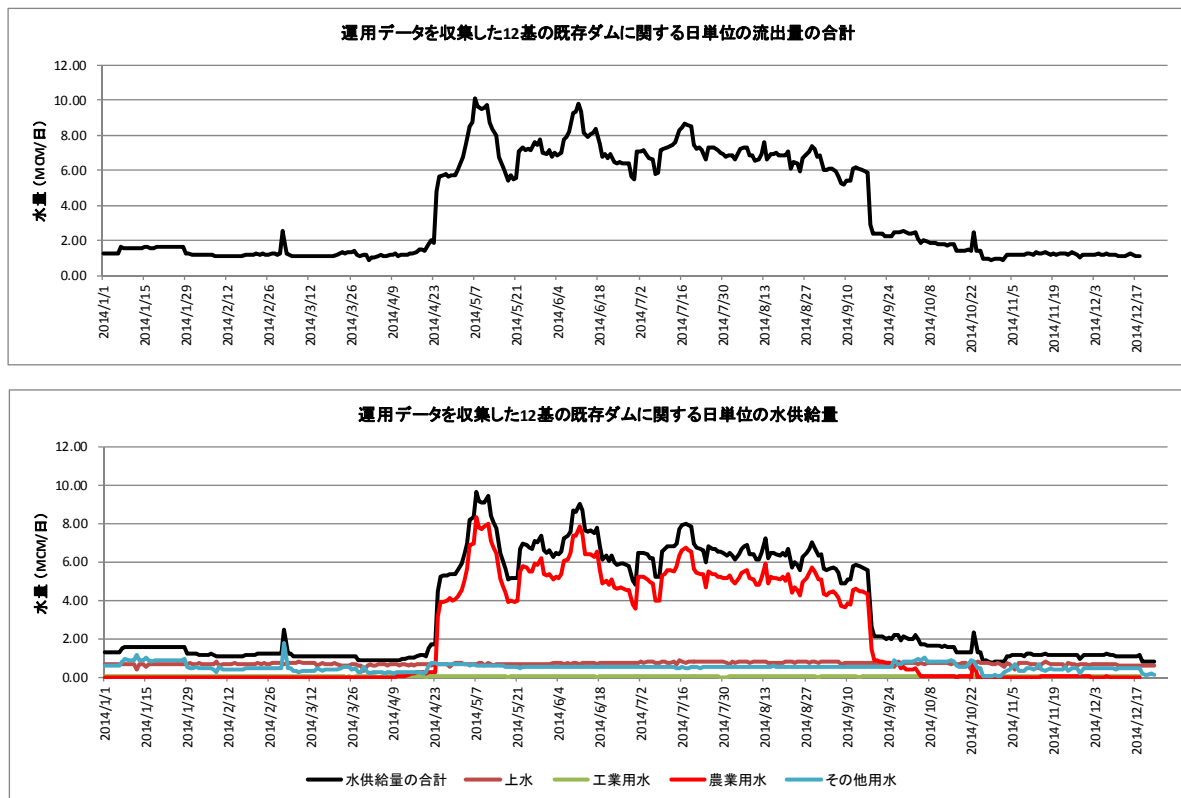
量について、2010年～2014年の最近5年間のダムの日運用データを巻末資料4.5および巻末資料4.6に示す。また、ダムからの放流量を含む流出量と、水供給量の典型的な例としてそれぞれ2014年の状況を図4.5.1および図4.5.2に示す。

図4.5.1および図4.5.2から、ダムからの水供給量の大半が農業用水であることが分かる。また、農業用水は4月末～9月中旬に供給量がピークとなっている。ダムへの流入量は1月ごろから増え始め、ピークは4月ごろで、6月末には減少する傾向にある。ダムの貯水量は1月ごろから増加し、4月～5月がピークで10月末には減少する。ダムからの流出量は水供給量季節変動に加えて4月ごろの融雪期の流入量が大きい時期に放流が行われている。



*WRMC 提供データを基に JICA 調査団が作成

図 4.5.1 Bukan ダムの 2014 年の日単位の流出量および水供給量



*WRMC 提供データを基に JICA 調査団が作成

図 4.5.2 運用データを収集したオルミエ流域の 12 基の既存ダムに関する 2014 年の日単位の合計流出量および合計水供給量

4.5.3 エネルギー省のマスタープランレポート

(1) 農業に関するマスタープランレポート

エネルギー省の農業用水に関するマスタープランレポート¹ではオルミエ流域の農業用水に関する現状分析と将来の水量に関連してレポートの前半では現状の農業用水に関し、灌漑面積、灌漑効率、水需要量、取水量、排水により河川等へ戻る水量、使用水量（消費量）等の分析がなされている。このような分析に基づき、レポートの後半では、幾つかの将来の灌漑スキームに関して作付パターンと必要水量等に関して記述されている。流域の現状の水収支の分析に有用な情報を表 4.5.1 に示す

¹ Ministry of Energy, Water and Wastewater Macro-Planning Office; Studies on Updating National Water Master Plan in Basins of Aras, Urmia, Talesh-Anzali Wetland, Greater Sefidrood, Sefidrood-Haraz, Haraz-Ghareh Sou, Gorganrood and Atrak, Agriculture Studies, Urmia Watershed, (June 2013)

表 4.5.1 農業用水に関するマスタープランレポートに記載の農業用水の現状

番号	項目	内容
1.	オルミエ湖流域の農地	25 の平地に存在
2.	灌漑農地面積	合計 511,926ha、 内、作物用地 356,420ha (70%)、 庭園 155,506ha (30%)。
3.	灌漑エリアへの農業用水の取水	表流水 約 60% 地下水 約 40%
4.	灌漑用水	農業 37% 園芸 45%
5.	灌漑効率	農地 29%～43% 園芸 30%～53%
6.	灌漑農地の水需要量 (用途別)	合計 6,632MCM/年、 内、農地 4,445MCM/年 (67%)、 園芸 2,187MCM/年 (33%)。
7.	灌漑農地の水需要量 (地域別)	西アゼルバイジャン州 3,518MCM/年 (53%) 東アゼルバイジャン州 2,935MCM/年 (44%) クルディスタン州 179MCM/年 (3%)
8.	農業用水の取水量	合計 4,222MCM/年、 内、表流水 2,499MCM/年 (59%)、 地下水 1,723MCM/年 (41%)。
9.	リターンフローの推定値 (注：排水により河川等へ戻る水量)	合計 300MCM/年、 内、農地排水からのリターンフロー254MCM/年、 泉や導水管からのリターンフロー46MCM/年。
10.	農業用水の使用量 (消費量)	3,921MCM/年 (=4,222-300)、 内、表流水から供給される水量 2,245MCM/年 (57%)、 地下水から供給される水量 1,676MCM (43%)。

出典：エネルギー省

(2) 地下水に関するマスタープランレポート

エネルギー省の地下水に関するマスタープランレポート²ではオルミエ流域の地下水の現状として地下水滞水層と地下水位、地下水の水質、地下水源と使用水量、地下水涵養量の現状分析が記載されている。さらに、持続的な地下水管理・開発の方策として地下水揚水量の減少、近隣の流域からの導水、表流水の地下水滞水層のあるエリアへの導水、人工的な涵養に関して記載されている。流域の現状の水収支の分析に有用な情報を表 4.5.2 に示す。

² Ministry of Energy, Water and Wastewater Macro-Planning Office; Studies on Updating National Water Master Plan in Basins of Aras, Urmia, Talesh-Anzali Wetland, Greater Sefidrood, Sefidrood-Haraz, Haraz-Ghareh Sou, Gorganrood and Atrak, Fifth Volume, Report on Groundwater Studies, Urmia Watershed (September 2012)

表 4.5.2 地下水に関するマスタープランレポートに記載の地下水量の現状

番号	項目	内容
1.	オルミエ流域の最近(2001年～2006年)の地下水貯留量の減少量	約 32MCM/年
2.	地下水滞水層	Tabriz、Salmas、Urmia、Miandoab、Boukan、Shahindej (Saein Ghale)平野に存在。
3.	地下水	地表下 2m～130m 地下水位標高 1,260～1,850m
4.	灌漑用水	農業 37% 園芸 45%
5.	地下水の年最大揚水量	合計 2,174.5MCM/年、 内、井戸 1,842.3MCM/年 (85%)、 湧水 174.9MCM/年、 導水管 157.3MCM/年。
6.	地下水涵養量	地下水水収支検討エリア (5,137km ²) にて地下水涵養量を検討 (平野 11,408km ² の 45%)。 降水による涵養量：26.3mm/年

出典：エネルギー省

(3) 飲料水に関するマスタープランレポート

エネルギー省の飲料水に関するマスタープランレポート³の中に飲料水に関する現状として取水量、使用水量、無収水量、下水道を通じたリターンフロー等の記載がある。流域の現状の水収支の分析に有用な情報を表 4.5.3 に示す。

表 4.5.3 飲料水に関するマスタープランレポートに記載の飲料水量の現状

番号	項目	内容
1.	オルミエ湖流域の人口	合計 4,963,002 人、 内、都市人口 3,426,026 人、 農村人口 1,536,976 人。 (2007 年の人口統計による)
2.	都市の飲料水用の原水の取水量	合計 293,973,000m ³ /年 (224 litter/日/人)、 内、地下水 152,669,000m ³ /年 (52%)、 表流水 141,303,000m ³ /年 (48%)。 (都市毎に地下水と表流水の取水量の記載有り)
3.	都市の飲料水の使用水量	合計 280,369,000m ³ /年 (都市毎の使用水量の記載有り)
4.	都市の無収水量	合計 57,170,000m ³ /年 (都市毎の無収水量の記載有り)
5.	都市人口に占める上水道のカバー率	西アゼルバイジャン州 99.7% 東アゼルバイジャン州 99% クリディスタン州 99.8%
6.	都市人口に占める下水道のカバー率	西アゼルバイジャン州 49% 東アゼルバイジャン州 44.7% クリディスタン州 96.1%
7.	下水処理場	8 箇所、内、活性汚泥法の処理場 3 箇所、 ラグーン 3 箇所、その他 2 箇所
8.	都市下水の水量	230,488,000m ³ /年 (上水量の 78%)

出典：エネルギー省

³ Ministry of Energy, The Deputy of Water and Wastewater, Water and Wastewater Macro-Planning Office; Studies on National Water Comprehensive Plan at Aras, Urmia, Talesh-Anzali Wetlands, Sefidrud, Sefidrud-Haraz, Haraz-Gharasu, Gorganroud and Atrek River, Volume VII, Reporting the Uses and Needs of Urban and Rural Drinking Water and Wastewater Produced in the Base Year (2007) at Urmia Catchment

(4) 産業用水に関するマスタープランレポート

エネルギー省の工業用水および鉱山用水に関するマスタープランレポート⁴では工業用水や鉱山用水の現状として主要産業、使用水量、産業排水としてのリターンフローの記載がある。流域の現状の水収支の分析に有用な情報を表 4.5.4 に示す。

表 4.5.4 工業用水に関するマスタープランレポートに記載の工業用水量の現状

番号	項目	内容
1.	工業用水の使用水量	合計 11.526MCM/年、 内、西アゼルバイジャン州 4.792MCM/年、 東アゼルバイジャン州 4.802MCM/年、 クルディスタン州 1.932MCM/年。
2.	大規模工場、発電所、空港および大規模鉱山による水使用量	合計 29.747MCM/年
3.	畜産および養鶏業による水使用	合計 13.26MCM/年、 内、西アゼルバイジャン州 1.86MCM/年、 東アゼルバイジャン州 8.7MCM/年、 クルディスタン州 2.6MCM/年。
4.	鉱山による水使用水量	0.028MCM/年
5.	産業用水全体	合計 54.694MCM/年、 内、地下水 54.694MCM/年 (100%)、 表流水 (0%)
6.	産業廃水によるリターンフロー	合計 33.375MCM/年

出典：エネルギー省

4.5.4 水利用量の推定

(1) 表流水の水利用の推定における諸条件

- 1) 表流水の水利用はダムからの直接取水あるいは一旦ダムから河川へ放流後に下流の堰等で取水され水供給が行われている。ダムからは、上水、工業用水、農業用水、その他の水供給が行われている。
- 2) 堰による農業用水の取水・給水や、乾期に農民により土嚢等で河川を締め切って取水し水供給する場合もある。
- 3) 表流水の実際の取水・給水量に関して収集できたデータは、水資源管理公社 (WRMC) の Web ページ (<http://dams.wrm.ir>) からダウンロードできた 12 基の既存ダムに関する日データのみである (最も長い期間の Mahabad Dam で 1971 年 3 月～2014 年 12 月) (3.2.3 節参照)。このデータが表流水の取水による水供給量に関する経年的なデータとして唯一入手できたデータである。
- 4) その他、エネルギー省 (MOE) の Water and Wastewater Macro-Planning Office による農業用水、飲料水、工業用水に関する各マスタープランレポートが水利用に関して参考となる (4.5.2 節参照)。
- 5) 上記の既存 12 基のダムに係る取水・給水量に関して水利用分野毎および合計量に関する経年変化を日単位で求め、これに基づき年単位の合計取水・給水量を求めた。上記のマスタープランレポートに記載の水供給量を比較するために、年単位の合計取水・給水量に基づき 2010 年以降の平均的な合計取水・給水量を求めたところ、1,305MCM/年となった。
- 6) MOE の各マスタープランレポートから、水利用分野毎の取水・給水量を抽出し、水利用分野毎の河川へのリターンフローも勘案した合計の最近の取水・給水量を求めたところ

⁴タイトル不明

2,242.3MCM/年となった。これが流域全体で実際の表流水の取水・給水量と考えた。

- 7) 6)と5)の比(1.72)で既存12ダムの合計取水・給水量を割り増し、流域全体での経年的な表流水の合計取水・給水量を求めた。なお、1.72はあくまで最近の取水量から求めた割増係数であるが、暫定的に全期間に適用した。表4.5.5に割増係数の算出方法と最近5年間の修正した表流水の取水・給水量を示す。図4.5.3に12既存ダムの取水・給水量に基づくオルミエ流域全体の表流水の取水・給水量の経年的な水量の推定値を示す。

表 4.5.5 表流水と地下水の取水・給水量の調整係数

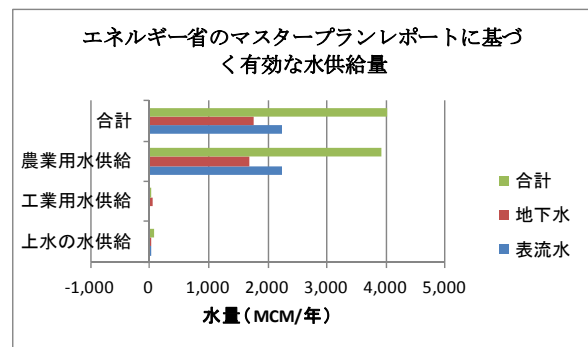
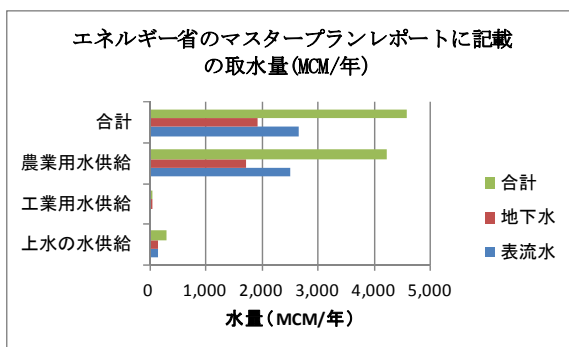
エネルギー省のマスタープランレポートに記載の水供給量

番号	項目	取水			リターンフロー			有効な水供給量		
		表流水	地下水	合計	表流水	地下水	合計	表流水	地下水	合計
		(MCM/年)	(MCM/年)	(MCM/年)	(MCM/年)	(MCM/年)	(MCM/年)	(MCM/年)	(MCM/年)	(MCM/年)
		(1)	(2)	(3)=(1)+(2)	(4)=(6) x 0.48	(5)=(6) x 0.52	(6)	(7)=(1)-(4)	(8)=(2)-(5)	(9)=(7)+(8)
1	上水の水供給	141.3	152.7	294.0	110.6	119.9	230.5	30.7	32.8	63.5
2	工業用水供給	0.0	54.7	54.7	33.4	0.0	33.4	-33.4	54.7	21.3
3	農業用水供給	2499	1723	4222	254	46	300	2245	1677	3922
	合計	2640.3	1930.4	4570.7	398.0	165.9	563.9	2242.3	1764.5	4006.8

- 出典
1) 上水の水供給量: Ministry of Energy, The Deputy of Water and Wastewater, Water and Wastewater Macro-Planning Office; Studies on National Water Comprehensive Plan at Aras, Urmia, Talesh-Anzali Wetlands, Sefidrud, Sefidrud-Haraz, Haraz-Gharasu, Gorganroud and Atrek River, Volume VII, Reporting the Uses and Needs of Urban and Rural Drinking Water and Wastewater Produced in the Base Year (2007) at Urmia Catchment
2) 工業用水の水供給量: エネルギー省のマスタープランレポート(タイトル不明)
3) 農業用水の水供給量: Ministry of Energy, Water and Wastewater Macro-Planning Office; Studies on Updating National Water Master Plan in Basins of Aras, Urmia, Talesh-Anzali Wetland, Greater Sefidrood, Sefidrood-Haraz, Haraz-Ghareh Sou, Gorganroud and Atrak, Agriculture Studies, Urmia Watershed, June 2013

既存12ダムに関して収集したデータに基づく水供給量算出のための調整係数

番号	項目	流域全体の水供給量の推定値			調整係数	
		表流水	地下水	合計	表流水	地下水
		(MCM/年)	(MCM/年)	(MCM/年)		
1	ダム (2010年~2014年の平均値)	1305		1305	1.72 (=2242.3/1305.0)	
2	地下水揚水許可量 (2010年~2014年の推定平均値)		1595	1595		1.11 (=1764.5/1590.0)

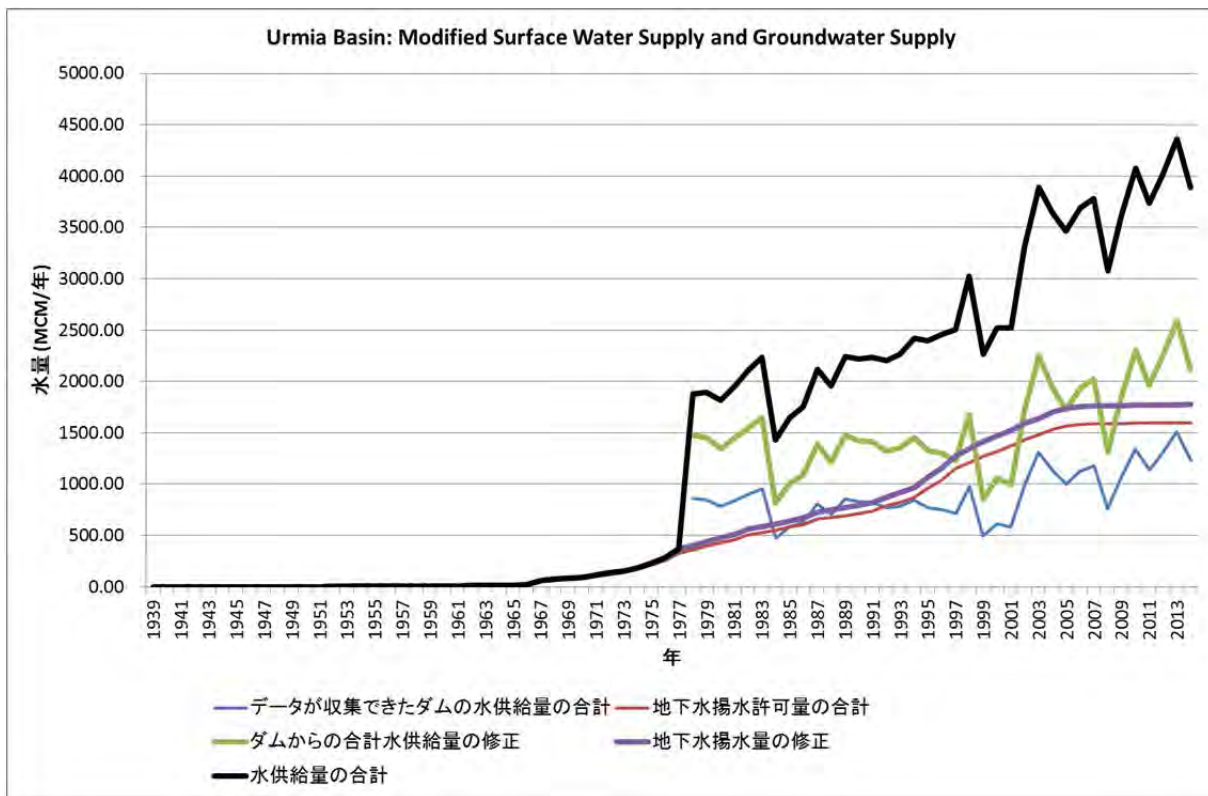


(2) 地下水の水利用量（揚水量）の推定に関する諸条件

- 1) 地下水の水利用量に関連して収集できたデータは、1950年代後半から2013年までの流域の年間の地下水揚水許可量である。このデータはオルミエ流域内の地域の井戸毎の経年的な揚水許可量となっている。そのため、地下水の水利用量（揚水量）を経年的に検討するための入手できた唯一のデータである。
- 2) エネルギー省の地下水に関するマスタープランレポート（4.5.2 節参照）から、最近の流域全体の地下水揚水量を抽出した。
- 3) 2)と1)との比（1.11）により、経年的な地下水揚水量を求めた(参照)。なお、1.11 は最近の地下水揚水量と揚水許可量から求めた調整係数であり、暫定的に表流水の水利用量の推定と同じ期間に対して適用した（表 4.5.3 参照）。

(3) 水利用量の特徴

表 4.5.3 から表流水の水利用量（水供給量）は1980年始めから増加傾向であるが、1999年ごろから増加が加速化していることが分かる。これは1970年代はMahabadダムとBukanダムが主なダムであったが、1980年以降にダム建設が増加し、現在稼働中のダムは44基にもなった影響である。地下水の水利用量（揚水量）は1960年代半ばから増加傾向であるが、1993年ごろから増加が加速化している。水利用量（水供給量）の推定合計値も1980年第始めから増加傾向であり、1995年ごろから増加が加速化している傾向となっている。



*WRMC 提供データを基に JICA 調査団が作成

図 4.5.3 オルミエ流域全体での表流水および地下水からの水供給量の修正値

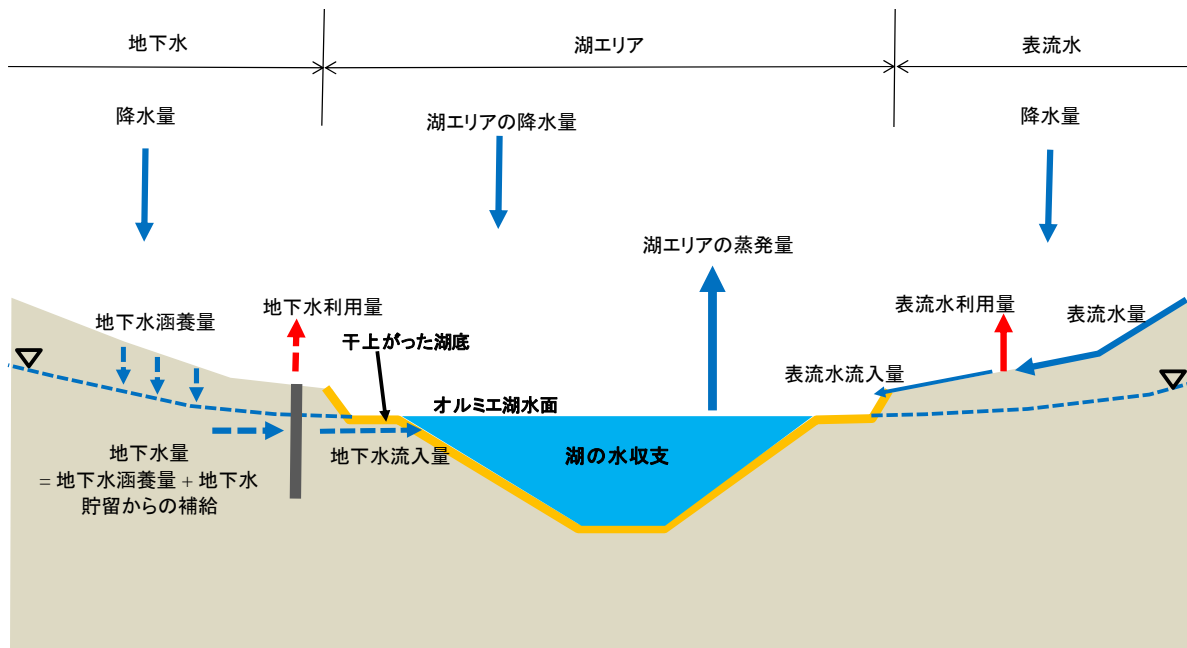
4.6 オルミエ湖エリアの概略水収支の把握

(1) オルミエ湖の年間の概略水収支に関する検討

図 4.6.1 にオルミエ湖エリアの概略水収支に関する概念図を示す。陸域の表流量と地下水量を水源とし、表流水と地下水の水供給量を引いた残りの水量が湖エリアに流入する水量となる。これに湖エリアの降水量を加えて、さらに湖エリアの蒸発量を減ざると湖エリアの概略水収支が求まる。

また、表 4.6.1 では図 4.6.1 に示すようなオルミエ湖のエリアの水収支に関し湖の水面からの蒸発量を変えたケーススタディの結果を整理した。各ケースにおいて、湖の H-V カーブから求めた湖の貯留量の毎年の差分の経年変動に合うような表流量（流出率をパラメータとする）と地下水量（涵養高をパラメータとし、涵養量が大きい場合は地下水貯留からの補給量（高）を含む）の組み合わせをトライアンドエラーで求めた。また同表には湖エリアの年間水収支の累加量と湖の年平均水位との相関係数を記載した。湖エリアの水収支計算の結果は表 4.6.2 にまとめた。

なお、水供給量は取水・給水後に排水等により河川などに戻る水量（リターンフロー）を取水・給水量から差し引いた実質の水供給量（Net Water Supply Quantity）である。



注:

- 1) 表流水利用量は表流水からの供給水量で、取水・送水した水量の使用後に、余った水が排水等で河川等に戻る水量(リターンフロー)を差し引いた実質の水利用量である。
- 2) 地下水利用量は地下水からの供給水量で揚水・送水した水量の使用後のリターンフローを差し引いた実質の水利用量である。
- 3) 表流量と地下水量は、安全側の計算として基底流量の重複分をそれぞれ1/2ずつ差し引いた水量としている。

図 4.6.1 オルミエ湖エリアの概略水収支計算に関する考え方

さらに、この検討において特筆すべき条件は下記の通りである。検討結果については、図 4.6.2、図 4.6.3、図 4.6.4 および図 4.6.5 にケース 8 の計算結果を示す。

- 各ケースでオルミエ湖の年間水収支の変動傾向が湖の H-A-V カーブの精度が比較的良いと考えられる 2010 年の前後（2004、2005 年ごろから以降）の貯留量の年間差の変動傾向に比較的合うよう、表流量（表流水の流出率をパラメータ）と地下水量（高）（涵養高をパラメータ：地下水涵養量（高） + 地下水貯留からの補給量（高））を設定した（図 4.6.2 および図 4.6.3 参照）。
- 年降水量が約 400～450mm 程度であった 1980 年代～1990 年代の地下水量（高）と年降水量が約 350mm 程度となった 2000 年以降の地下水量（高）を分けて設定した。
- ケース 6～8 については湖エリアの年間の水収支の累加量と湖の年平均水位に対応する貯留量との年間の差の相関係数が 90%以上と高い値となった。毎年の水収支のマイナスの累加が湖の水位低下に影響すると考えられるため、これらの相関係数の高いケースがこのような現象を良く説明していると考えられる。その中でも、相関係数が 95%と最も高いケース 8 が湖の水収支を説明する上で最も適合したケースの可能性があると推測する（図 4.6.4 参照）。
- 上記の解析から降水量に基づく表流量と地下水量、湖エリアの蒸発量、表流水からの水供給量、地下水からの水供給量が、湖の水位低下に大きく影響しており、表流水と地下水の両方が湖の維持にとって重要であることが確認できる。

注： ケース 8: 1) 湖水面からの蒸発量： 1,200mm/年
2) 表流水の流出率：28%（1991 年以前 年平均降水量 447mm/年 x 0.28 =125mm/年、2000 年以降 年平均降水量 354mm/年 x 0.28=99mm/年）
3) 地下水涵養率：1991 年以前：7%（447mm x 0.07=31mm/年）、2000 年以降：13%（354mm x 0.13=46mm）

表 4.6.1 オルミエ湖の年間水収支計算のケースと結果

ケース	年間の水面蒸発量	期間	表流水の年流出率 (高)	地下水流動 (地下水涵養 + 地下水貯留からの補給) の率 (高)	年平均湖水位と年間水収支の累加量との相関係数	湖の貯留水量の年間の差の変動との適合可能性
ケース 1	1,900mm	1999 年以前	43% (192mm)	7% (31mm)	81.6%	
		2000 年以降	43% (152mm)	15% (53mm)		
ケース 2	1,800mm	1999 年以前	41% (183mm)	7% (31mm)	83.7%	
		2000 年以降	41% (145mm)	15% (53mm)		
ケース 3	1,700mm	1999 年以前	38% (170mm)	7% (31mm)	84.2%	
		2000 年以降	38% (134mm)	15% (53mm)		
ケース 4	1,600mm	1999 年以前	36% (162mm)	7% (31mm)	86.7%	
		2000 年以降	36% (126mm)	15% (53mm)		
ケース 5	1,500mm	1999 年以前	33% (147mm)	7% (31mm)	87.3%	
		2000 年以降	33% (117mm)	15% (53mm)		
ケース 6	1,400mm	1999 年以前	31% (138mm)	7% (31mm)	90.3%	
		2000 年以降	31% (110mm)	15% (53mm)		
ケース 7	1,300mm	1999 年以前	30% (134mm)	7% (31mm)	94.1%	第 2 位
		2000 年以降	30% (106mm)	14% (50mm)		
ケース 8	1,200mm	1999 年以前	28% (125mm)	7% (31mm)	95.0%	第 1 位
		2000 年以降	28% (99mm)	13% (46mm)		
ケース 9	1,100mm	1999 年以前	26% (116mm)	7% (31mm)	93.7%	第 3 位
		2000 年以降	26% (92mm)	13% (46mm)		
ケース 10	1,000mm	1999 年以前	24% (107mm)	7% (31mm)	88.5%	
		2000 年以降	24% (85mm)	13% (46mm)		

注:

- 1) 年平均降水量: 1999 年以前は 約 400~450mm であるが上表ではオルミエ湖の水位が安定している 1980 年代の年平均降水量 447mm を用いる。2000 年以降は年平均降水量 354mm を用いる。
- 2) (湖エリアの水収支) = (表流量) + (地下水: 地下水涵養量 + 地下水貯留からの補給量) - (河川の基底流量) + (湖エリアの降水量ボリューム) - (湖エリアからの蒸発量) - (表流水および地下水からの水供給量)
- 3) (河川の基底流量) = (表流量) x 14%

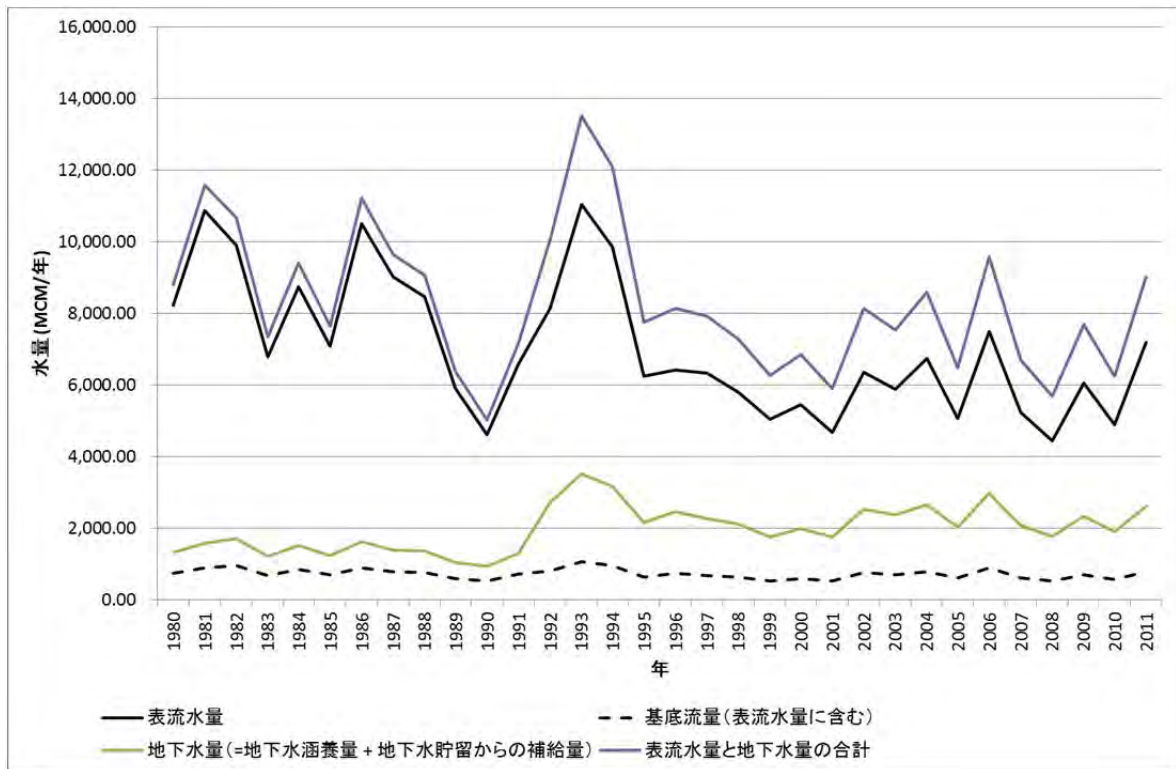


図 4.6.2 オルミエ流域の表流量、地下水量および合計量 (ケース 8)

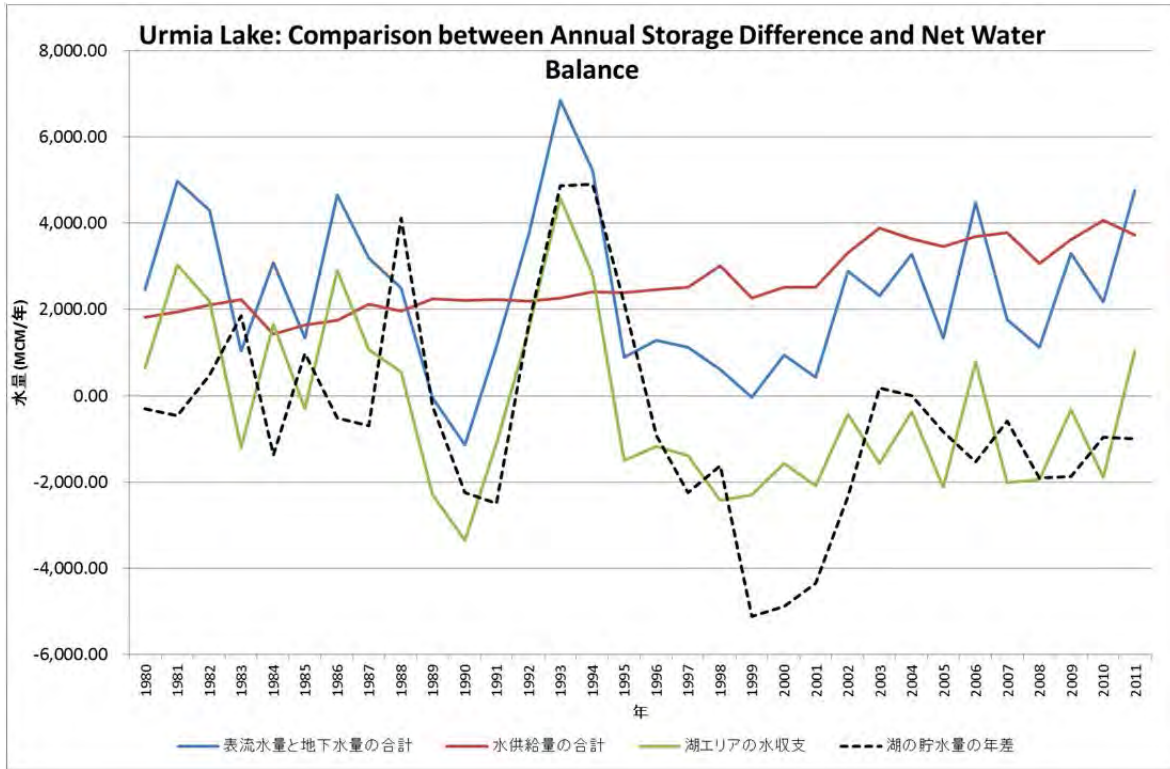


図 4.6.3 オルミエ湖の年間水収支 (ケース 8)

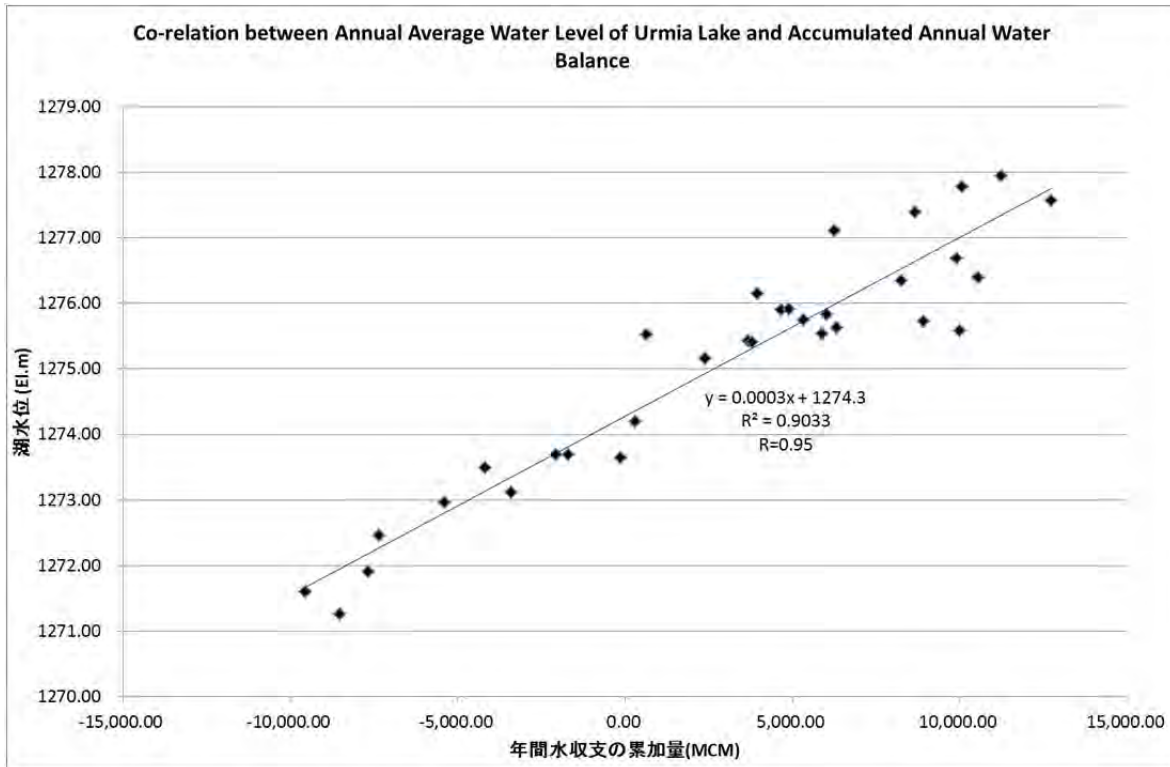


図 4.6.4 ケース 8 での湖の年平均水位と年間水収支の累加量との相関

表 4.6.2 オルミエ湖の年間水収支計算結果 (ケース 8)

年	降水量が リユーム(全体) (MCM/年)	降水量が リユーム(湖エリ ア) (MCM/年)	表流水 量 (MCM/年)	陸域の表流水 量 (MCM/年)	地下水 量 (MCM/年)	基底流量 (MCM/年)	オルミエ湖の 蒸発量 (MCM/年)	表流水からの修 正値 (MCM/年)	地下水揚水量 の修正値 (MCM/年)	水供給量の合計 (MCM/年)	湖エリアの水収支 (MCM/年)	湖エリアの水収支 の累加量 (MCM)	湖の貯水量の年 差 (MCM)
1980	22,022.02	2,858.71	8,224.44	5,365.73	1,341.43	751.20	6,345.68	1,340.78	477.55	1,818.33	650.66	650.66	-304.67
1981	27,317.44	4,494.02	10,884.58	6,390.56	1,597.64	894.68	6,606.37	1,442.51	508.79	1,951.30	3,029.86	3,680.53	-462.12
1982	27,616.83	3,032.18	9,915.88	6,883.70	1,720.93	963.72	6,375.42	1,544.25	563.55	2,107.80	2,189.86	5,870.38	477.87
1983	19,494.25	1,859.83	6,797.47	4,937.64	1,234.41	691.27	6,306.97	1,645.98	586.27	2,232.25	-1,198.62	4,671.76	1,855.69
1984	24,503.19	2,610.16	8,740.21	6,130.05	1,532.51	858.21	6,331.88	821.50	608.66	1,430.16	1,652.48	6,324.24	-1,376.26
1985	20,012.74	2,071.26	7,094.87	5,023.61	1,255.90	703.31	6,310.57	1,002.95	642.60	1,645.55	-308.65	6,015.59	989.35
1986	27,266.06	3,987.72	10,505.65	6,517.94	1,629.48	912.51	6,566.51	1,086.16	668.92	1,755.08	2,901.03	8,916.62	-508.87
1987	23,454.03	3,417.87	9,027.99	5,610.13	1,402.53	785.42	6,451.31	1,391.03	727.80	2,118.83	1,074.96	9,991.58	-688.09
1988	22,641.13	2,960.42	8,471.02	5,510.60	1,377.65	771.48	6,572.77	1,209.83	746.21	1,956.04	548.38	10,539.96	4,120.53
1989	16,771.16	1,698.16	5,918.60	4,220.44	1,055.11	590.86	6,434.71	1,473.66	769.12	2,242.78	-2,294.64	8,245.32	-240.37
1990	14,394.89	811.93	4,615.16	3,803.23	950.81	532.45	6,168.72	1,424.46	794.25	2,218.71	-3,353.91	4,891.41	-2,248.23
1991	20,111.90	1,351.28	6,604.26	5,252.97	1,313.24	735.42	6,045.40	1,416.62	820.48	2,237.10	-1,100.42	3,790.99	-2,489.31
1992	23,254.39	2,281.40	8,153.83	5,872.44	2,726.49	822.14	6,315.95	1,324.71	875.38	2,200.09	1,542.14	5,333.13	1,655.31
1993	30,636.20	3,443.29	11,057.31	7,614.01	3,535.08	1,065.96	6,679.86	1,353.19	915.41	2,268.61	4,577.96	9,911.09	4,864.47
1994	27,537.55	2,998.24	9,869.25	6,871.01	3,190.11	961.94	6,864.11	1,454.51	963.07	2,417.57	2,815.74	12,726.82	4,902.67
1995	18,237.69	1,587.59	6,249.62	4,662.03	2,164.51	652.68	6,865.62	1,326.94	1,068.75	2,395.69	-1,499.87	11,226.96	2,146.93
1996	20,108.01	1,095.52	6,419.02	5,323.50	2,471.62	745.29	6,864.54	1,229.96	1,156.46	2,456.42	-1,175.61	10,051.35	-933.77
1997	18,991.44	1,428.56	6,346.17	4,917.61	2,283.14	688.46	6,814.83	1,229.69	1,278.44	2,508.12	-1,382.08	8,669.26	-2,244.94
1998	17,581.75	1,225.94	5,805.56	4,579.63	2,126.26	641.15	6,686.90	1,679.14	1,342.66	3,021.80	-2,418.02	6,251.24	-1,616.25
1999	14,841.59	1,228.77	5,040.36	3,811.59	1,769.67	533.62	6,311.67	849.69	1,414.08	2,263.77	-2,299.03	3,952.21	-5,109.47
2000	16,513.72	1,163.34	5,461.45	4,298.11	1,995.55	601.73	5,900.77	1,058.35	1,465.68	2,524.03	-1,569.55	2,382.66	-4,887.57
2001	14,424.94	895.28	4,683.58	3,788.30	1,758.85	530.36	5,476.61	996.20	1,523.97	2,520.17	-2,084.70	297.97	-4,355.30
2002	20,458.41	894.98	6,372.74	5,477.76	2,543.76	766.89	5,266.27	1,725.68	1,591.13	3,316.81	433.98	-1,360.1	-2,332.67
2003	19,077.34	763.82	5,891.60	5,127.79	2,380.76	717.89	5,241.68	2,247.07	1,640.80	3,887.87	-1,575.09	-1,711.10	177.89
2004	21,478.09	1,012.62	6,742.95	5,730.33	2,660.51	802.25	5,319.90	1,941.16	1,703.87	3,645.03	-363.72	-2,074.82	7.00
2005	16,330.65	686.69	5,067.00	4,380.31	2,033.71	613.24	5,138.94	1,720.20	1,740.71	3,460.91	-2,112.38	-4,187.20	-826.93
2006	24,057.21	1,062.38	7,500.93	6,438.55	2,989.33	901.40	5,108.56	1,933.16	1,755.85	3,689.00	791.30	-3,395.90	-1,534.46
2007	16,805.86	751.38	5,246.63	4,495.26	2,087.08	629.34	4,929.11	2,023.39	1,760.94	3,784.33	-2,009.07	-5,404.97	-582.30
2008	14,380.08	582.19	4,445.60	3,863.41	1,793.73	540.88	4,565.05	1,613.74	1,763.67	3,077.40	-1,944.00	-7,348.97	-1,901.04
2009	19,039.56	1,025.06	6,069.12	5,044.06	2,341.89	706.17	4,409.46	1,851.52	1,765.41	3,616.93	-321.56	-7,670.52	-1,867.17
2010	15,508.46	787.45	4,909.33	4,121.88	1,913.73	577.06	4,069.62	2,305.60	1,767.16	4,072.76	-1,896.38	-9,566.90	-952.97
2011	21,671.90	1,579.43	7,205.32	5,625.89	2,612.02	787.62	4,264.61	1,962.97	1,768.90	3,731.87	1,033.24	-8,533.66	-1,003.71
全平均	20,516.89	1,801.48	7,041.80	5,240.31	1,993.41	733.64	5,925.32	1,481.14	1,161.77	2,642.91	-266.68		-539.65
1980年～1989 年の平均	23,109.89	2,899.03	8,558.07	5,659.04	1,414.76	792.27	6,430.22	1,295.87	629.95	1,925.81	824.53		386.31
1990年～1999 年の平均	20,569.54	1,745.25	7,016.05		2,253.10	737.91	6,561.76	1,335.89	1,062.90	2,398.79	-429.31		-107.26
2000年～2011 年の平均	18,312.18	933.72	5,799.69	4,865.97	2,259.20	681.24	4,974.21	1,756.59	1,687.34	3,443.93	-1,040.49		-1,671.60

注：
1) 基底流量=表流水量×14%
2) 表流水量+地下水量の合計=表流水量+地下水量-基底流量
3) 湖エリアの水収支=表流水量+地下水量の合計-湖エリアの蒸発量-水供給量の合計

(2) 年単位の概略水収支

図 4.6.5 にオルミエ湖の水位が高く安定していた 1995 年以前の 1980 年から 1989 年の平均的な概略年水収支を示す。また図 4.6.6 に、湖の水位が 1995 年以降の低下傾向の時期で特に 2000 年から 2011 年の平均的な概略年水収支を示す。

オルミエ湖の水位が安定していた 1990 年以前は、年降水量も多く水供給量も小さかったため、水収支はプラスであり、かつ、地下水は涵養量以内の揚水をしていたと考えられる。但し、表流水に関してダムが存在する河川では、**Bukan** ダムのある **Zarineh Rud** 川のように、水利用が極度に行われ、河川最下流部での流量がほとんどなくなっているような、水収支が極めてアンバランスな河川があったと考えられる。

オルミエ湖の水位が下降傾向となった 1995 年以降特に 2000 年以降は、年降水量が 8 割に減少した一方で、水供給量は推定で 1.8 倍となり、その内、表流水からの水供給量は推定 1.4 倍、地下水からの水供給量は推定 2.7 倍となった。そのため、水収支がマイナスとなったと考えられる。上記と同様にダム等からの取水で河川最下流区間の流量が極めて小さい河川もある。地下水に関しては涵養量以上の揚水が行われており、そのため水収支計算上は地下水貯留からの補給が生じていると考えられる。これは地下水位の低下傾向と関連すると考えられる。

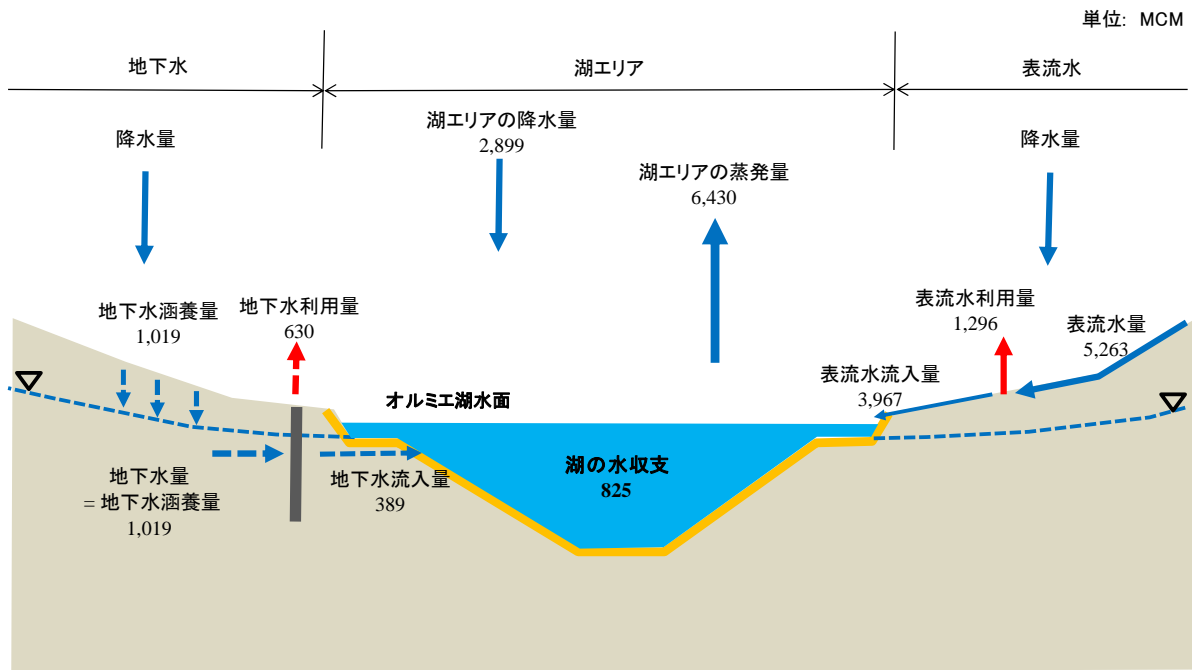


図 4.6.5 オルミエ湖の水位が安定していた時期（1990年代始め以前）における湖エリアの概略年水収支

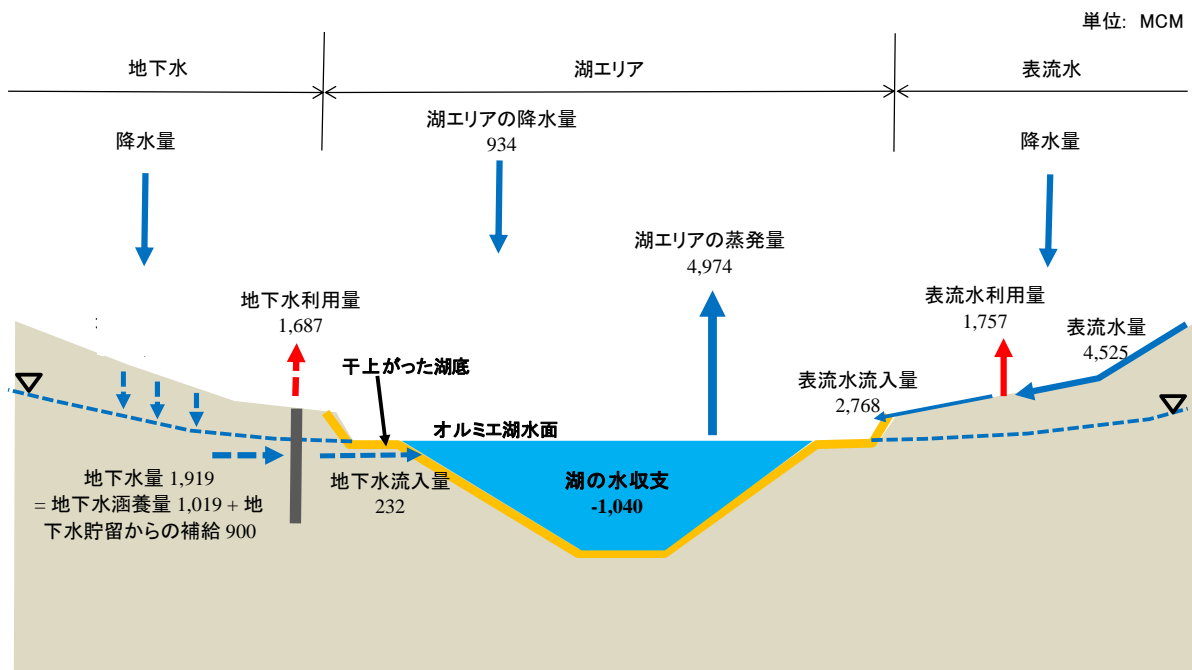


図 4.6.6 オルミエ湖の水位が下降時期（1995年以降の特に2000年以降）における湖エリアの概略年水収支

(3) 概略水収支検討結果を踏まえた考察

上記の検討は、オルミエ湖の水位低下のメカニズムを概略的に把握することを第一の目的として行った。その結果、湖の水収支バランスが概ね把握され、詳細な分布型物理流出モデル（以下「解析モデル」）の構築にあたっての基礎情報となると考えられる。

- 地下水から湖へ流入する量の推定が困難であったが、湖の年平均水位は、年水収支の経年的な累加量と相関係数 90%以上の高い相関関係を有していると推定できた。
- この状況で河川の年間流出率は約 0.2 のオーダーと想定されており、後述の分布型物理流出モデルにおいても、これに近い数値となるよう確認できる。
- 湖の蒸発量については Pan 蒸発量の 60%から 70%相当で水収支がバランスすることが判明した。イラン側では 1,100mm 前後であるとの報告があり、この結果とも概ねの整合がとれていることが確認された。解析モデルの構築においても、蒸発量に係る入力値についてこれを参考にする。
- 本概略水収支計算結果では、地下水流入量は数百 MCM 相当であると考えられる。解析モデルでは、この値を目安とする。
- 年水収支は表流水と地下水のバランスの合計であるから、年降水量の減少傾向、湖エリアの蒸発量、表流水と地下水の利用量の急激な増加が関係している。そのため、年水収支のバランスを図る対策としては、表流水と地下水の利用量を水位が安定していた時期と同レベルの水利用量への減少を図ることが色々な対策の中で最も基本的なことのひとつと考えられる。
- 表流水および地下水の双方が湖水位に影響を与えていることが判明しているため、詳細検討のためには、表流水と地下水の両方をシミュレートできるモデルを用いることが望ましい。

第5章 分布型物理流出モデルの構築

5.1 分布型物理流出モデルの必要性及び採用モデルについて

オルミエ湖の湖水位低下の要因、今後の湖水位回復に向けた施策の評価を実施するためには、オルミエ湖流域を対象とした水の流れを解明する必要がある。しかし、河川流量や地下水位の観測結果のみでは、流れを解明するには不十分な部分があるため、流出モデルによる評価が必要となる。さらに、より詳細な実態を解明するためには、オルミエ湖流域を空間的に分割し、流出現象を支配する方程式に基づいた分布型物理流出モデルが必要となる。

このよう中、本調査では MIKE-SHE および GETFLOWS によって分布型物理流出モデルを構築している。それぞれのモデルの特徴から、MIKE-SHE をクイックソリューションモデル（オルミエ湖の水位の変動に関わる流域の全体的な水の挙動を確認する）としてオルミエ湖に対する事業効果や評価に使用することとし、GETFLOWS については水の挙動を MIKE-SHE よりも物理的にとらえ、オルミエ湖流域における湖水位の低下を含めた水循環機構の解釈に使用することとして開発に着手した。

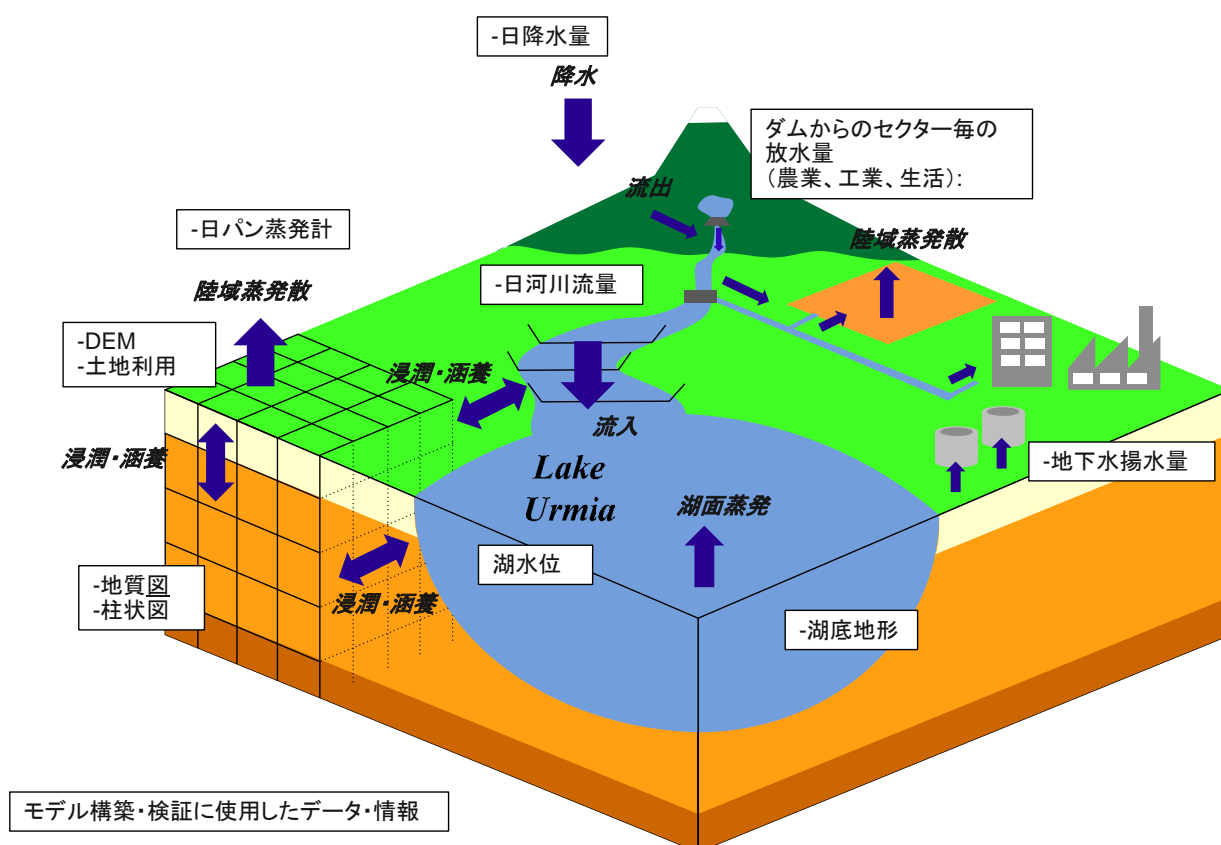
ちなみに分布型物理流出モデルには、MIKE-SHE、SHETRAN が世界的には、使用実績が多く、日本国内では GETFLOWS が使用されることが多い。本検討では以下の観点から、MIKE-SHE と GETFLOWS を採用することとした。

- ・ MIKE-SHE は全世界的に使用されているモデルである。また、モデル構築ではユーザーインターフェイスを有し、GIS データで汎用的なファイルである shp ファイルを読み込み、モデルのインプットへと自動で変換等ができる。そのため、計算ができるモデルを構築する上では少ない時間で可能である。
- ・ SHETRAN は費用がかからず、フリーで使用する事の出来るモデルであるが、使用される範囲が水平方向は数千 km、鉛直方向は 100m 程度であり、さらに水平方向のグリッド数は 50×50 が最大であるため、適用範囲が限られている。そのため、採用しない。
- ・ GETFLOWS は地表水・地下水を含めて、連成解析ができるモデルである。そのため、より物理的な現象を解釈することができるモデルである。ただし、ユーザーインターフェイスを有しているわけではなく、地表水と地下水を一体で解析しているため、流速の異なる地表水と地下水を解析する場合には、地表水の解析条件に計算時間がしばられるため、計算時間がかかる可能性がある。

5.2 MIKE-SHEによる分布型物理流出モデルの構築

オルミエ湖水位の低下の要因となる湖流域の水循環メカニズムを解明するため、収集した基礎データ・情報や前章までの検討内容を基に分布型物理流出モデル（以下、「解析モデル」）を構築した。なお、クイックソリューションモデルとして使用した解析モデルは、モデルインターフェイスが充実しており汎用性が高く、また海外での使用実績が多い、DHI社のMIKE-SHEを採用した。図5.2.1に構築した解析モデルの概念図および使用データとの関連図を示す。

MIKE-SHEはメッシュベースのモデルであり、計算に当たっては流域全体を水平方向には直交するメッシュに、鉛直方向には柱状の複数の土壌層に分ける。分割されたブロック毎に、降雨等の観測値と透水係数等のパラメータ値を与え、流域全体における水の流れを解析する。また、利用しやすいように前・後処理、紙面情報のデジタル化、データの内挿、結果のグラフ表示やアニメーション等のためのオプションが準備されている。なお、ソースコードは非公開である。



*JICA 調査団が作成

図5.2.1 構築した分布型物理流出モデルの概念図

5.2.1 MIKE-SHE の理論

MIKE-SHEは、降雨・蒸発散・融雪、土地利用（植生による蒸散、灌漑）、表面流と河道流、不飽和流、飽和流から構成され、水循環過程をほぼ漏れなく表現している。各部分が独立に計算でき、それぞれ最適な時間スケールに合わせた時間ステップで計算し、共通の時刻で全ての計算結果を更新するように設定されている。これにより、長時間の計算でも効率よく計算ができるようになっている。水循環過程のモデル化は次のように行われている。

(1) 降雨・蒸発散・融雪

降雨量は入力データとして扱われる。蒸発散は不飽和流を有効にした場合、蒸発散として扱われ、不飽和流が有効ではない場合は、蒸発として扱われる。不飽和流を有効とした場合

には、土地利用の項目において、葉面積指数(LAI)と根の深さを設定することにより、設定した基準蒸発散に作物係数が乗じられ、実蒸発散量として計算される。

融雪は degree-day 法によって計算され、入力した降雨データと気温に加え、雨雪判定温度や融雪係数が考慮される。

(2) 土地利用

土地利用は不飽和流を有効にした場合に、植生に応じた葉面積指数(LAI)と根の深さを設定することができる。LAI と根の深さは時系列データとして入力が可能である。

また、都市域等の不浸透エリアの設定においては、流出係数や貯留量を設定することができる。さらに、灌漑についても考慮することができ、灌漑エリアへの供給量や需要量について、時空間分布を考慮した設定が可能である。

(3) 表面流と河道流

St.Venant 方程式を簡略化した diffusive wave モデル（河道流は dynamic wave モデル適用可）と連続の式により、表面流と河道流を記述する。表面流は 2 次元モデル、河道流は 1 次元モデルで表現している。表面流の解析では河道までの流下過程における水の蒸発と浸透を考慮している。多くの場合、河川表面積は流域全体面積と比べて小さいため、河川はグリッドの辺に沿う線として、取り扱われている。

(4) 不飽和流

地下水涵養や地表水と地下水とのやりとりは、通常不飽和層をとおして行われるため、不飽和流の計算はモデル上の重要な部分である。不飽和土壌層における水の流れは 1 次元 Richards 方程式を用いて表現している。さらに、根の発達する表層では根による土壌からの吸水を考慮している。

(5) 飽和流（地下水流）

地下水計算は水循環に大きな影響を及ぼす部分と位置付けられる。一層の帯水層の場合には 2 次元モデルを、多層の帯水層の場合には 3 次元モデルを用いる。完全な 3 次元流れの場合では帯水層を 3 次元的に分割するが、流れを 2 次元（準 3 次元）に近似できる場合には、地質構造に従って帯水層を分割する。準 3 次元の場合には準一様流を仮定し、水頭の鉛直方向の変化は考慮しない。また、地下水計算では、不飽和層や河川水との水のやりとり、井戸による揚水・注水、敷設パイプによる排水等のモデルを組み込んでいる。なお、モデルでは地下水帯水層の非均質性や透水係数の異方性を考慮することができる。

5.2.2 MIKE-SHE の支配方程式

MIKE-SHE は流域モデル（表層、不飽和層、地下水層）および河道モデルから構成される。また同モデルは流域をグリッドに分割し、水平・鉛直方向の水移動量を算出しつつ、河道（1次元不定流モデル）との水移動量を計算する。MIKE-SHE の流域モデル（表層、不飽和層、地下水層）および河道モデルに適用されている支配方程式を以下に示す。

- ① 表層モデル：平面2次元 diffusive wave モデル
- ② 不飽和層モデル：1次元 Richards 方程式
- ③ 地下水層モデル：平面2次元/3次元地下水流動モデル
- ④ 河道モデル：1次元 dynamic wave/ diffusive wave/ kinematic wave モデル

(1) 表層モデル

表層モデルは St.Venant 方程式を簡略化した平面2次元 diffusive wave モデルと連続式により表面流を記述する。表層モデルの支配方程式は次のように表現される。降水量が不飽和層の浸透能を超えた場合に表面流は発生し、河道までの流下過程における水の蒸発と浸透を考慮している。

① 連続式

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(uh) + \frac{\partial}{\partial y}(vh) = i \quad (5.1.1)$$

② x方向運動方程式

$$S_{fx} + \frac{\partial}{\partial x}(Z_g + h) = 0 \quad (5.1.2)$$

$$S_{fx} = \frac{u^2}{K_x^2 h^{4/3}} \quad (5.1.3)$$

③ y方向運動方程式

$$S_{fy} + \frac{\partial}{\partial y}(Z_g + h) = 0 \quad (5.1.4)$$

$$S_{fy} = \frac{v^2}{K_y^2 h^{4/3}} \quad (5.1.5)$$

- ここに、 Z_g : 地表面標高(m)
 h : 水深(m)
 u, v : x, y 方向の流速(m/s)
 i : 単位面積あたり流入量[降雨量－浸透量] (m/s)
 S_{fx}, S_{fy} : x, y 方向の摩擦勾配
 K_x, K_y : x, y 方向の粗度係数(m^{-1/3}s)

図5.2.2 のような周囲 4 つのグリッドからの水収支により次ステップの水位を算定する。グリッド間の流出量は (5.1.10) 式より算出する。

$$\frac{\partial}{\partial x}(uh) \cong \frac{1}{\Delta x} \{ (uh)_{east} - (uh)_{west} \} \quad (5.1.6)$$

$$\frac{\partial}{\partial y}(vh) \cong \frac{1}{\Delta y} \{ (vh)_{north} - (vh)_{south} \} \quad (5.1.7)$$

$$\Delta h = h(t + \Delta t) - h(t) = \frac{I + \Sigma Q \Delta t}{\Delta x^2} \quad (5.1.8)$$

ここに、

$$I = i \Delta x^2, \quad \Sigma Q = Q_N + Q_S + Q_E + Q_W \quad (5.1.9)$$

また、 x 方向については、

$$Q = \frac{K \Delta x}{\Delta x^{1/2}} (Z_U - Z_D)^{1/2} h_u^{5/3} \quad (5.1.10)$$

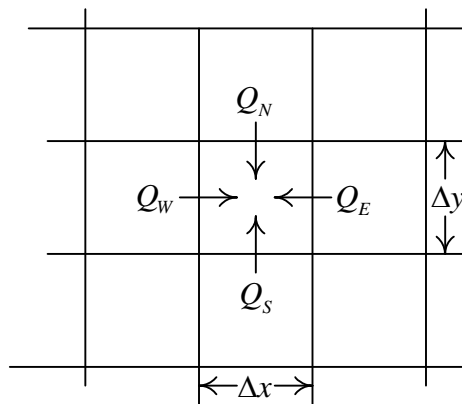


図5.2.2 コントロールボリュームにおける水収支

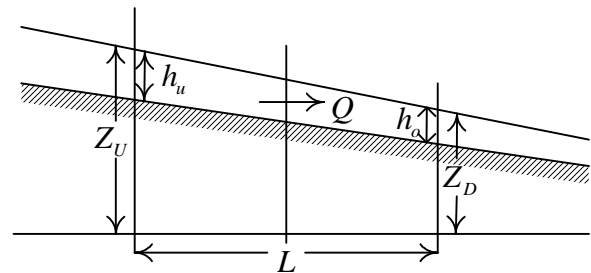


図5.2.3 グリッド間の流出量

(2) 不飽和層モデル

不飽和層における水の流れは、1次元 Richards 方程式を用いて表現している。不飽和層モデルの支配方程式は以下のように表現される。さらに、根の発達する表層では根による土壌からの吸水を考慮している。

$$C \frac{\partial \psi}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left(K \frac{\partial \psi}{\partial z} \right) + \frac{\partial K}{\partial z} - S \quad (5.1.11)$$

$$C = \frac{\partial \theta}{\partial \psi} \quad (5.1.12)$$

ここに、 θ : 体積含水率
 ψ : 吸引圧(cmH₂O)
 K : 不飽和透水係数(m/s)
 S : 根からの吸収量(l/s)
 C : 比水分容量

(3) 地下水層モデル

地下水層における水の流れは、平面2次元および3次元地下水流動モデルを用いて表現している。一層の帯水層の場合には2次元モデルを、多層の帯水層の場合には3次元モデルを用いる。

対象流域では浅層・深層地下水の流動を対象としているため、3次元地下水流動モデルを適用する。帯水層においては不飽和層からの涵養量、河川への流出量、河川からの浸透量、揚水量の影響を考慮する。

3次元地下水流動モデルの支配方程式を以下に示す。

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(K_{xx} \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_{yy} \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_{zz} \frac{\partial h}{\partial z} \right) - Q = S \frac{\partial h}{\partial t} \quad (5.1.13)$$

ここに、 K_{xx}, K_{yy}, K_{zz} : x, y, z 方向の透水係数(m/s)
 S : 比貯留係数
 h : 帯水層水頭(m)
 Q : 単位面積当たりの涵養量、揚水量等の地下水流動量(m/s)

MIKE-SHE では地下水流動モデルを差分法で解く。差分法では、地下水流れの偏微分方程式を空間と時間で離散化した差分式に置き換える。帯水層上面から底面まで伸びた極めて小さなコントロールボリュームについて、図5.2.4のように隣接する微小体からの4つの流入(流出)と上面からの揚水(涵養)が存在すると考え、連続式とダルシー則を適用し、水収支を考えることによって(5.1.14)式の連続方程式が導かれる。グリッドの連続方程式はコントロールボリューム間の流入流出がグリッドの貯留に関する時間的変化に等しいことを意味する。この水収支に基づく有限差分近似によって、次式が導かれる。

$$q_{p,i-1} + q_{p,i+1} + q_{p,j-1} + q_{p,j+1} + q_{p,k-1} + q_{p,k+1} - q_{out} = \frac{\Delta w}{\Delta t} \quad (5.1.14)$$

ここに、 q_p : 領域 i, j, k 内への流入量、 q_{out} : 領域からの流出量、 Δw : 貯留容量

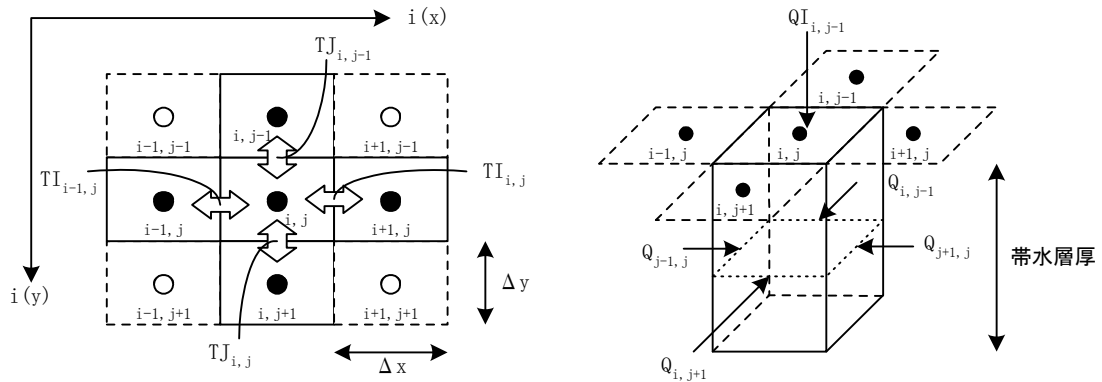


図5.2.4 コントロールボリュームにおける水収支

(4) 河道モデル

河道モデルは1次元 dynamic wave/ diffusive wave/ kinematic wave モデルの3モデルから選択できる。河道モデルの支配方程式を以下に示す。

① 連続式

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(Au) = q_L \quad (5.1.19)$$

② 運動方程式

$$S_f + \frac{\partial}{\partial x}(Z_o + h) = 0 \quad (5.1.20)$$

$$S_f = \frac{u^2}{K^2 h^{4/3}} \quad (5.1.21)$$

$$Au = K \left(-\frac{\partial Z}{\partial x} \right)^{1/2} Ah^{2/3} \quad (5.1.22)$$

ここに、 A : 河積(m²)

u : 流速(m/s)

q_L : 単位長さ当たり流入量(m²/s)

S_f : 摩擦勾配

Z_o : 河床高(m)

h : 水深(m)

K : 粗度係数(m^{-1/3}s)

5.2.3 解析モデルの設定方法 (MIKE-SHE)

解析モデルの構築にあたり、使用データならびに設定した条件について表5.2.1 のとおり整理した。なお、詳しい設定方法については後述する。

表5.2.1 解析モデルの条件設定の概要 (MIKE-SHE)

大項目	項目	設定方法
	モデル化範囲	モデルの地表および地下の境界は地表水の流域界とする。
	メッシュサイズ	地形・土地利用の再現性・計算時間より判断し、2km 正方形メッシュとする。
	検証計算期間	検証計算：1999年～2007年の9年間
気象	湖面蒸発量	IMOの日蒸発量データ(10観測所)を基に、ティーセン法により、湖面上の日パン蒸発量を算出し、これに、「イ」国の Tabiat Moares 大学の研究発表成果に基づき、日蒸発量データの60%を参考とし、キャリブレーション時に調整する。
	陸域蒸発散量	IMOの日蒸発量データを基に、ダム流域の降水量および流出量から想定される蒸発散量を算出し、パン蒸発量に対する割合を参考に、解析モデル構築の過程で調整する。
	降水量	WRMCの観測所雨量(242観測所)を基に、ティーセン法によって作成した各小流域(50流域)の流域平均雨量を面的に与えるものとする。 なお、流域平均雨量の算出の際、欠測の雨量観測所があった場合はティーセンを再度作成している。
地質	地下構造	分析結果を基に、地質を第四紀層、第三紀層、中生層、古生層、プレカンブリアン、火成岩、メランジュを面的にレイヤ化し、地質の種類に応じたパラメータをメッシュ毎に与えていく。
	地下層のパラメータ(透水係数等)	建設省指針(案)を参考に現地の地質条件を確認した値を採用。
地形	地表面標高	現地より提供された90m-DEMをベースにMIKE-SHEでメッシュ標高地盤高を作成
	湖底標高	オルミエ湖深浅測量結果(2010年)のDEMを基にMIKE-SHEでメッシュ標高地盤高を作成
土地利用	地表粗度	提供されたSHPデータを基にメッシュ毎の主要な土地利用形態を算出し、(法)土木研究所の氾濫シミュレーションマニュアルに記載されている、土地利用毎の粗度係数(0.06～0.05)を採用する。
自然条件	河道網	収集した河道データのうち、各流域の主要な河道をモデル化する。 横断面は矩形で設定するものとし、河床高は90m-DEMのデータを用いる。
人工条件	ダム	WRMCからの提供資料の内、「In Operation(40基)」をモデル化対象とし、「Under Construction(14基)」とされているものは現時点で着工しているものとし、モデル化しない。モデル化した河道にあるダムは、ダムとして、MIKE11上でモデル化し、モデル化した河道にないダムについては、MIKE-SHEのメッシュ上で標高を下げることでダム湖を表現し、放流量についてはモデル化した河道に横流入量として与える。
地下水	初期状態	MIKE-SHEで1993年～1999年までの気象条件(降水量、湖面蒸発量、蒸発散量)を与え、計算を実施し、1999年の湖水位に近づいた計算結果を初期状態とする。
水利用	河川取水	ダム地点における実績水供給量データの1.72倍を水需要量として河道より差し引く。(2012-2014の実績水供給量と2013年MPに記載されている水需要量の比率より1.72を算出し、本業務でその妥当性を確認。(11)(a)参照)
	地下水取水	許可井戸のデータをメッシュ毎に集約し、メッシュ毎に許可量の1.1倍を差し引く。(2012-2014の許可量と2013年MPに記載されている水需要量の比率より1.1を算出)農業取水の取水パターンは季節ごとの河川取水量を基に割り振る。

(1) モデル化範囲

本解析モデルはオルミエ湖周辺の表流水および地下水の挙動を解析し、湖面積および水位の再現、予測を行うことを目的としている。そのため、モデル化を行う領域は以下の理由により、オルミエ湖の表面流の流域とする。

- ▶ 地下水については地表の流域界と地下水の流域界が一致しているか不明であるが、現地での聞き取りでは、地表の流域外の地下水の状況がオルミエ湖周辺の地下水の挙動に与える影響について確認されていないため、現時点においては流域外における地下水の挙動のモデル化は行わない。
- ▶ 表流水については、流域外との水のやりとりは行われていないため、流域外における水循環のモデル化は不要とする。

(2) 計算メッシュサイズの設定

MIKE-SHE のメッシュサイズは以下の考え方により、2km 正方形メッシュとする。

- ▶ 本モデルのアウトプットの 1 つとして、取水量の変化によるオルミエ湖の面積の変化を再現、予測することが求められるため、オルミエ湖の面積変化を平面的に表現するのに十分な解像度を有していること。
- ▶ メッシュ化した際に標高および土地利用（地表面粗度）の平面的な分布を表現できること。（巻末資料 5.2 参照）
- ▶ 2km 正方形メッシュでは、約 1 日で 5 年間の計算が実施できるため、計算対象期間を考慮し、2km 正方形メッシュを採用することとした。

(3) 検証計算期間

想定される湖水位データの異常値は、急激な値の変化、例年と異なる水位の変化が考えられる。そこで検証計算期間を設定するにあたり、検証材料となる湖水位のデータの信頼性について確認を行った。結論として、本モデルの計算期間は以下の理由から、1999 年～2007 年の 9 年間とした。なお、詳細については以下に述べる。

- ▶ オルミエ湖の湖水位が低下している期間であり、湖水位低下のメカニズム把握が必要であったため、今後の予測シミュレーションにおいて、目標となる湖水位である 1,274.1m が含まれている。
- ▶ 収集した気象データのうち、日パン蒸発量データが 1992 年から 2009 年までである。
- ▶ モデル化しているオルミエ湖の深浅測量の結果が 2010 年であり、過去のデータの使用は避ける。
- ▶ 観測データの精査により、湖水位のデータの妥当性が把握できた期間である。

まず、1 年間における湖の収支を該当年とその他の年を比較することによって、その違いを確認した。その結果、1998 年 10 月 1 日から 10 月 14 日にかけて、急激に湖水位が低下している状況が見受けられた。（図 5.2.5 参照）また、2008 年では、5 月から 7 月の湖水位低下状況が例年と異なる低下状況であった。（図 5.2.6 参照）

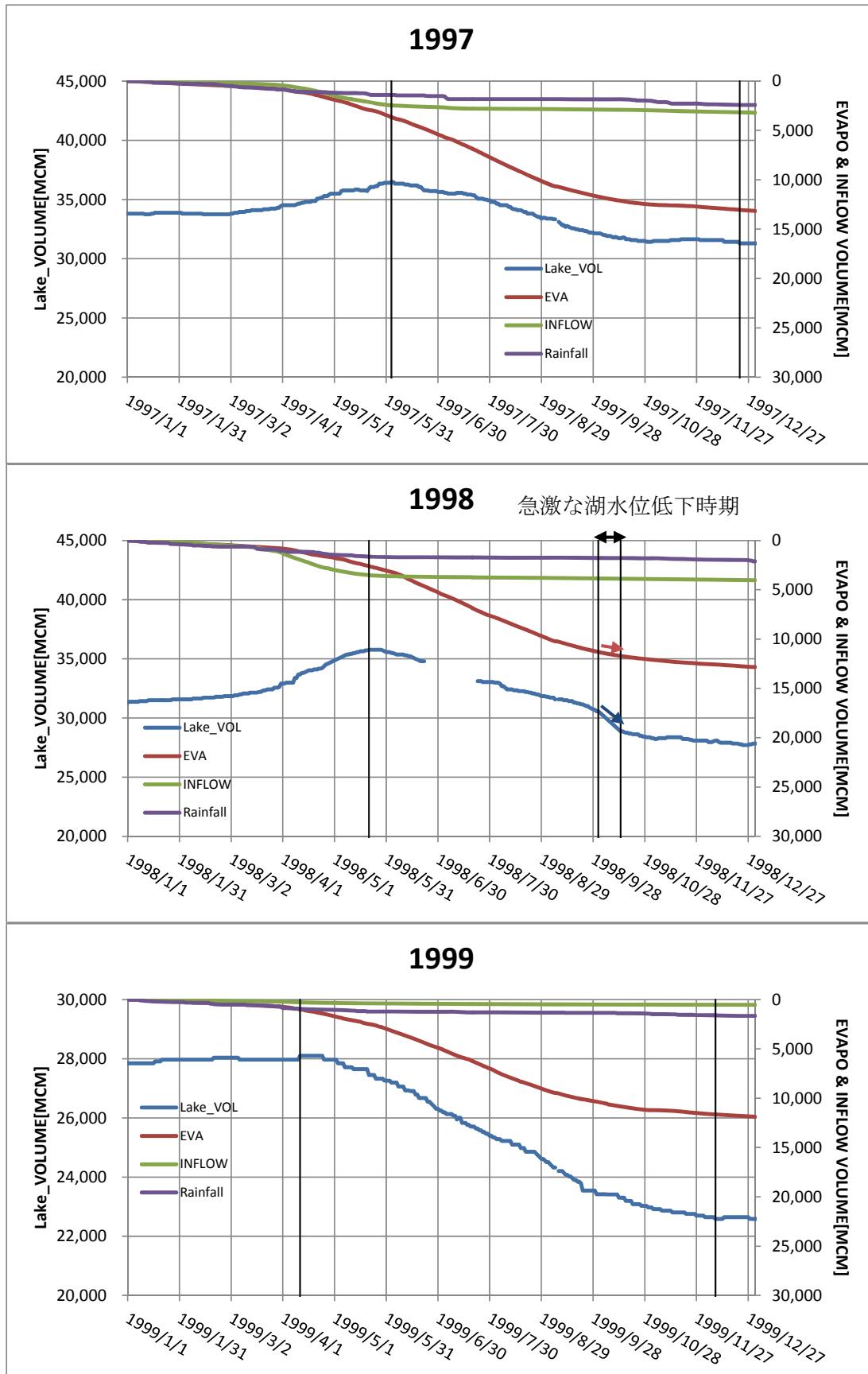


図5.2.5 ボリューム変化図 (1997年～1999年)

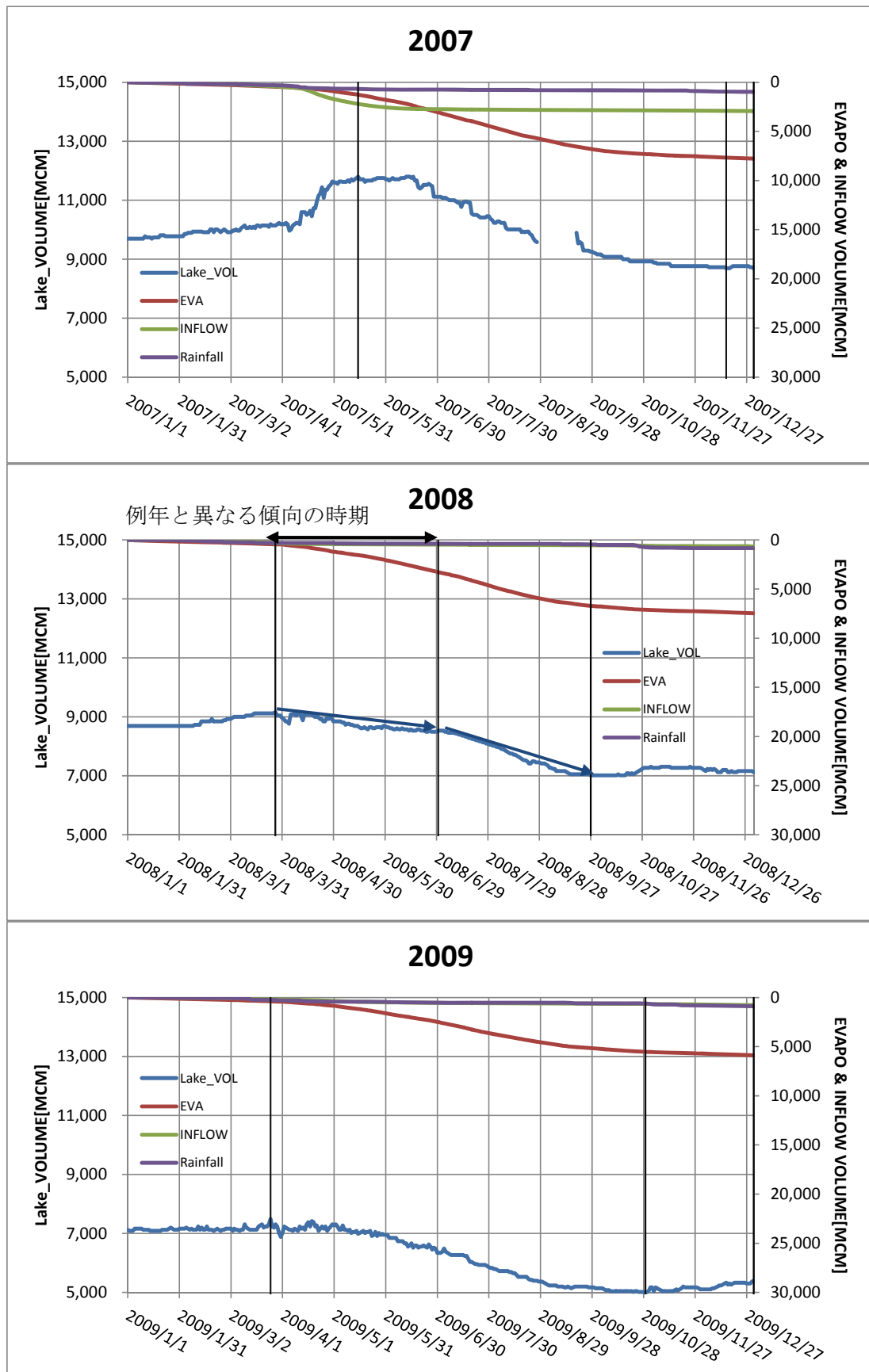


図5.2.6 ボリューム変化図 (2007年～2009年)

なお、湖の水収支については、流入分と流出分それぞれを表5.2.2 に示す項目によって要素化した。湖内水収支の流出要素は湖面からの蒸発量のみであるので、基本的に湖の貯留量の

変化量から流入要素を差し引いた分は、理論上蒸発量と一致する。よってある期間の湖の水収支を合わせるためには、湖面蒸発量の推定が必要となり。このため、パン蒸発量に対する割合を算出し、それを用いて観測データの妥当性の評価を実施した。評価期間は1年間の湖のピーク水位から低水位までの期間とした。また、湖の水収支を合わせるために必要となるパン蒸発に対する割合は以下に示す式から算出した（表5.2.3 および表5.2.4 参照）。

パン蒸発に対する割合 = (湖の貯留量の減少量 - 河川流入量 - 降水量) ÷ 湖面域でのパン蒸発量

表5.2.2 湖の水収支の構成要素ならびに対応する項目

水収支要素	項目
流入要素	・ 降水（湖面） ・ 河川流入量（観測値）
流出要素	・ 湖面からの蒸発量（パン蒸発量）

表5.2.3 パン蒸発に対する割合（1997年～1999年）

年	期間	① 湖貯留量 減少量 (MCM)	② 湖面域での パン蒸発量 (MCM)	③ 河川からの 流入量 (MCM)	④ 降水量 (MCM)	パン蒸発に 対する割合 (①-③-④)/②
1998	Peak→10/1	5202.5	8694.7	327.4	148.6	0.653
	10/1→10/14	1690.0	387.2	25.5	5.8	4.445
1997	Peak→Bottom	5180.0	9388.1	706.3	993.9	0.733
1999	Peak→Bottom	5515.5	10660.4	246.2	635.7	0.600

表5.2.4 パン蒸発に対する割合（2007年～2009年）

年	期間	① 湖貯留量 減少量 (MCM)	② 湖面域での パン蒸発量 (MCM)	③ 河川からの 流入量 (MCM)	④ 降水量 (MCM)	パン蒸発に 対する割合 (①-③-④)/②
2008	Peak→7/1	624.0	2837.8	163.8	70.7	0.303
	7/1→Bottom	1519.0	3422.8	71.7	83.7	0.489
2007	Peak→Bottom	3108.4	6387.8	698.9	255.4	0.636
2009	Peak→Bottom	2501.5	5139.6	460.8	365.9	0.648

1998年の湖水位が急激に低下する期間では、パン蒸発に対する割合は約4.5倍となり、パン蒸発値が正しいとすると、人工的な湖水の汲み上げを行わない限り起こりえないほど急激な低下現象であり、観測誤差あるいは他の要因（計器の移設等）の可能性が考えられる。

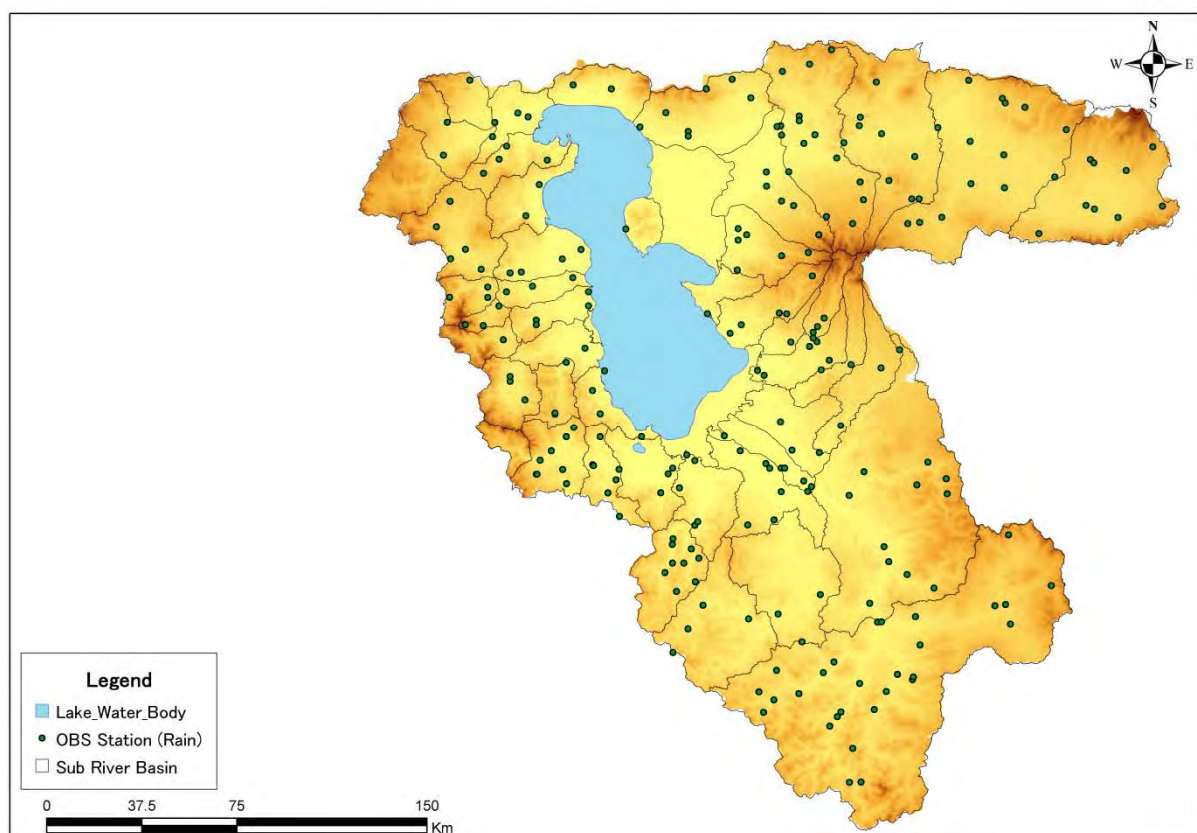
2008年も他の年と比較すると、パン蒸発に対する割合が少なく、本解析モデルでは、湖面からの流出要素としてパン蒸発に対する割合を一定値で与える。このため、2008年のこの低下を解析モデルにおいて表現するためには、この年だけパン蒸発に対する割合を変えなければ、モデル上表現することが困難である。

(4) 気象条件の設定

(a) 降水データ

本解析モデルに入力データとして用いた降水データについては、3.1 で述べた 242 観測所の日降水量データを、ティーセン法で補間しながら全てを使用した。これは 2.6.2 節でも述べたとおり、降水量と標高の間には明瞭な線形関係が認められなかったため、使用した降水量データに対して高度補正を行わず、なるべく全ての観測所のデータを使う事で精度を確保するためである。

本業務で採用した MIKE-SHE への降水量の入力値には降水量の面的な時系列データが必要となるため、流域界をさらに地形条件にて分割した 50 の小流域界 (図5.2.7 参照) 毎の平均降水量をティーセン法によって算出した。観測値には欠測が多く含まれており、これを補填するため、日ごとにティーセン分割を実施して、日平均降水量として本モデルへ与えた。また、この日平均降水量に、degree-day 法による融雪を考慮した計算を実施し、本モデルへ与えた。



*WRMC からの提供データをもとに調査団が作成

図5.2.7 降水観測所位置図および小流域界

(b) 湖面蒸発量の設定

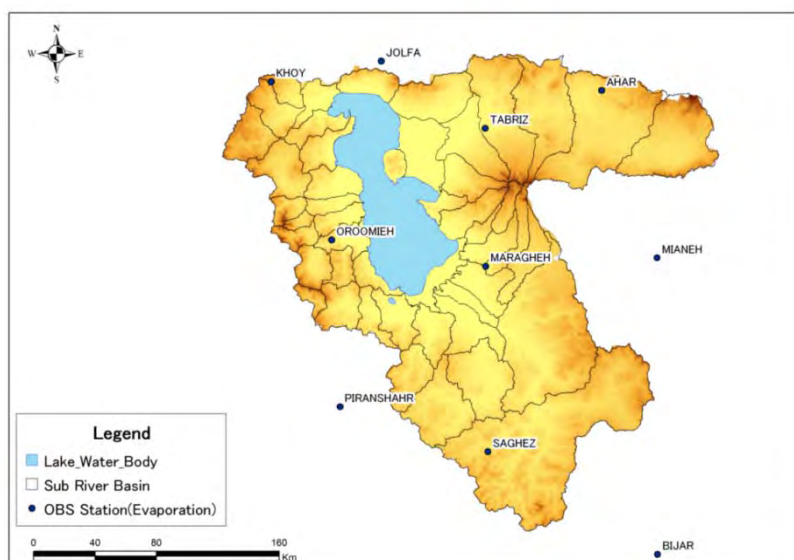
湖面蒸発量は観測されているパン蒸発量をティーセン分割し、このうち、オルミエ湖に該当する部分の値のみ 60%を初期値として計算メッシュに与えている。60%を初期値としたのは、「イ」国の Tabiat Moares 大学の研究発表成果で、湖面からの蒸発量の設定をパン蒸発の 60%としているためである。キャリブレーション時には第 4 章のオルミエ湖概略水収支の検討で実施した結果であるパン蒸発量の範囲 (70~74%) も参考に調整する。

(c) 蒸発散量の設定

陸域蒸発散量は気象条件、土地利用、作付体系等の情報を基に推定することができるが、それらを詳細に組み込んでモデル化するためには気象データ、土地利用、作付タイプおよび

作付パターン等のデータ・情報が必要となる。本業務では蒸発散量の推定に有用となる気象データが日パン蒸発量のみであり、作付体系やクロッピングパターン等作物に関わる情報は十分に得られていない。しかしながら、発散量も無視し得ないとの指摘から、代表的な作物と考えられる「冬小麦」を設定した。パン蒸発を基準蒸発散量とし、これに加え、作物による蒸散量を加味し、モデルに与えた。なお、基準蒸発散量は収集した日パン蒸発量を基に、それを補正することで推定した。日パン蒸発量に対する補正率の推定方法は 2.6.3 節で述べたとおりである。

本解析モデルへ与える陸域の蒸発散量には、IMO より得られた 10 箇所の観測所における日パン蒸発量を使用した(図5.2.8 および表5.2.5 参照)。収集したパン蒸発量は 1992 年～2009 年のみである(巻末資料 5.1 参照)。この期間において、ティーセン分割を実施し、本解析モデルへ与えることとした。



*IMO からの提供データをもとに調査団が作成

図5.2.8 蒸発量観測所位置図および小流域界

表5.2.5 蒸発量観測所一覧

観測所名	2007 年における年間蒸発量(mm)
AHAR	1458.1
BIJAR	1727.8
JOLFA	2321.2
KHOY	1310.1
MARAGHEH	1909.7
MIANEH	1935.8
OROOMIEH	1308
PIRANSHAHR	1335.6
SAGHEZ	1893.3
TABRIZ	2040.8

*IMO 提供データを基に JICA 調査団が作成

*2007 年は平均的な降水量であった。

*収集したデータによると、冬季の蒸発量データは 0 となっていたが、MOE の M/P や WRMC より収集した月データによると冬季も蒸発量が観測されているため、この期間において補完を実施している(5.2.4(1)節参照)。

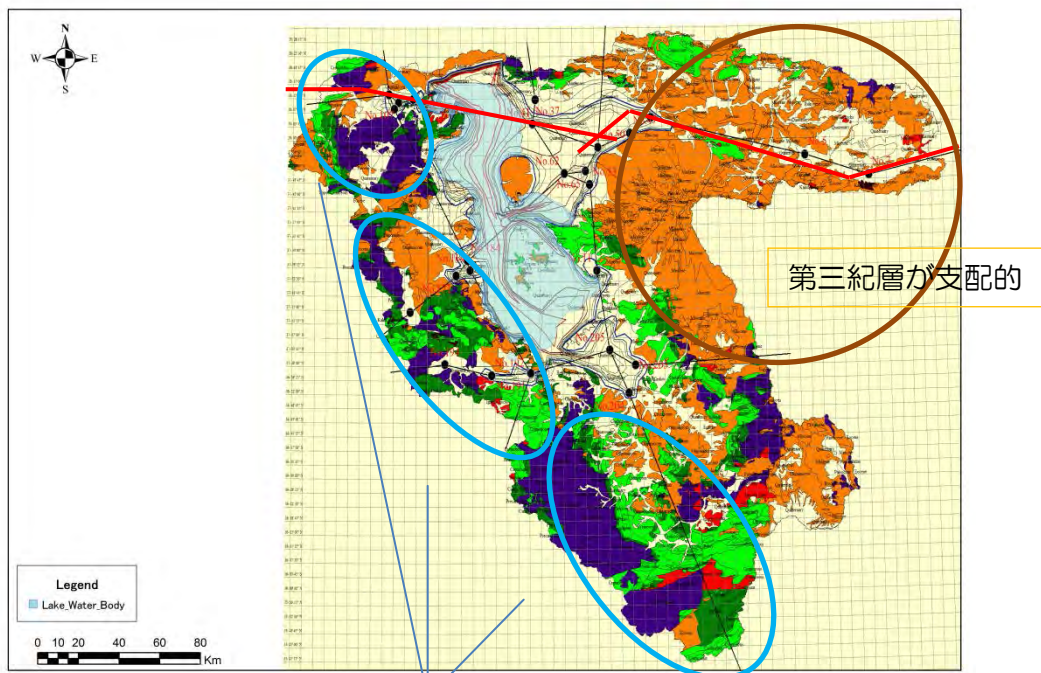
(5) 地質条件の設定

(a) 地質構造設定における考え方

本解析モデルの内、構築した地盤モデルの水理地質構造の設定について述べる。

2章で検討した、オルミエ湖流域の表層地質図および横断図を図5.2.9 および図5.2.10 に示す。オルミエ湖流域の地質構造は、流域の主に南西側に中生代以前（プレカンブリア紀～中生代）の古い地層が、流域の主に東側に第三紀のやや古い地層が分布しており、更に谷筋等の河川沿いや湖の周辺に第四紀の新しい地質のものが堆積している。

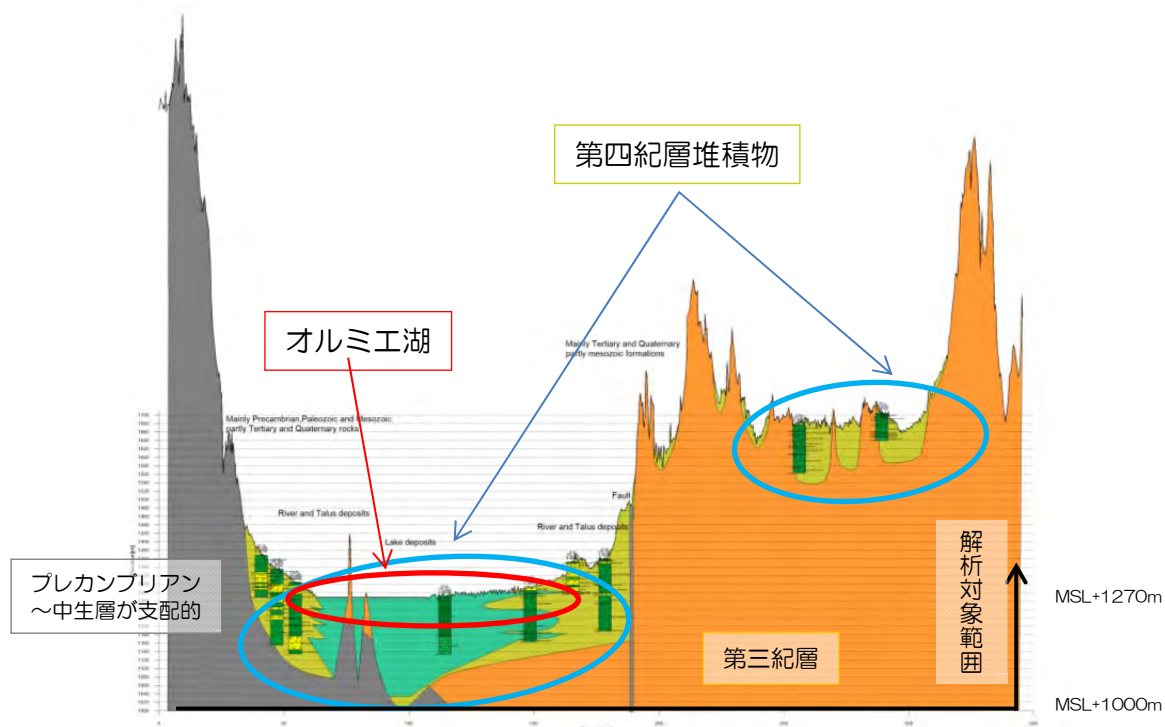
これらの地質は成立年代が異なるため、それぞれの地質毎に透水係数等のパラメータが大きく異なる。そのためモデル化を行う際は、パラメータの異なる地質年代別に地盤のモデル化を行う。



- ※オレンジ : 第三紀層
- 黄緑 : 中生層
- 緑 : 古生層
- 紫 : プレカンブリアン
- 黄色格子 : 第四紀堆積層

プレカンブリアン～中生層が支配的

図5.2.9 オルミエ湖流域の地質平面図



※図中の柱状図はその地点でボーリング調査が行われたことを示す。
※図の左側が西、右側が東となる。

図5.2.10 オルミエ湖流域の地質断面図

(b) 地質パラメータ設定における考え方

本解析モデルにおいては、以下に示す地質パラメータを設定する必要がある（表5.2.6 参照）。

表5.2.6 地質パラメータ

項目	内容
地質	透水係数
	有効空隙率
	比貯留係数

地下水流動の計算には、地質等によって決定される透水係数等を設定する必要がある。オルミエ湖流域においては、第四紀層、その下に第三紀層・中生層・古生層が堆積し、これ以外に火成岩やメランジュにより地盤を構成していると考え、それぞれに地質別のパラメータを一次設定するものとする。建設省指針(案)を参考に設定した一次設定値を表5.2.7に示す。

表5.2.7 パラメーター一次設定値

地層タイプ	水平方向透水係数 (m/s)	鉛直方向の透水係数 (m/s)	有効空隙率	比貯留係数(1/m)
第四紀	1.00×10^{-4}	1.00×10^{-7}	0.2	0.001
古第三紀	3.00×10^{-7}	3.00×10^{-7}	0.2	0.002
中生代	1.00×10^{-7}	1.00×10^{-7}	0.2	0.001
古生代	1.00×10^{-7}	1.00×10^{-7}	0.2	0.001
プレカンブリア紀	1.00×10^{-7}	1.00×10^{-7}	0.2	0.001
火成岩	2.00×10^{-6}	2.00×10^{-6}	0.2	0.005
メランジュ	1.00×10^{-6}	1.00×10^{-6}	0.2	0.001

*調査団が作成

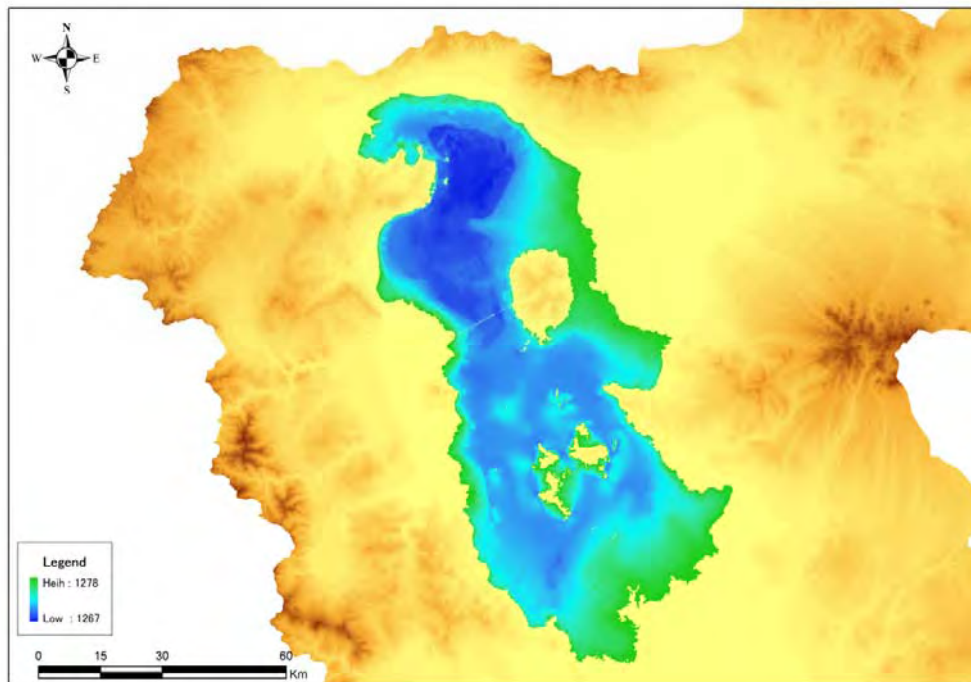
(6) 地形条件の設定

(a) 地表面標高

地表面標高は提供された 90m-DEM をベースに MIKE-SHE 上で 2km 正方形メッシュの標高地盤高を作成した。

(b) 湖底標高

湖底標高はオルミエ湖深浅測量結果の DEM を基に MIKE-SHE 上で 2km 正方形メッシュの標高地盤高を図5.2.11 のとおり作成した。



*湖底標高：Iran Water Reseach Authority、DEM：WRMC

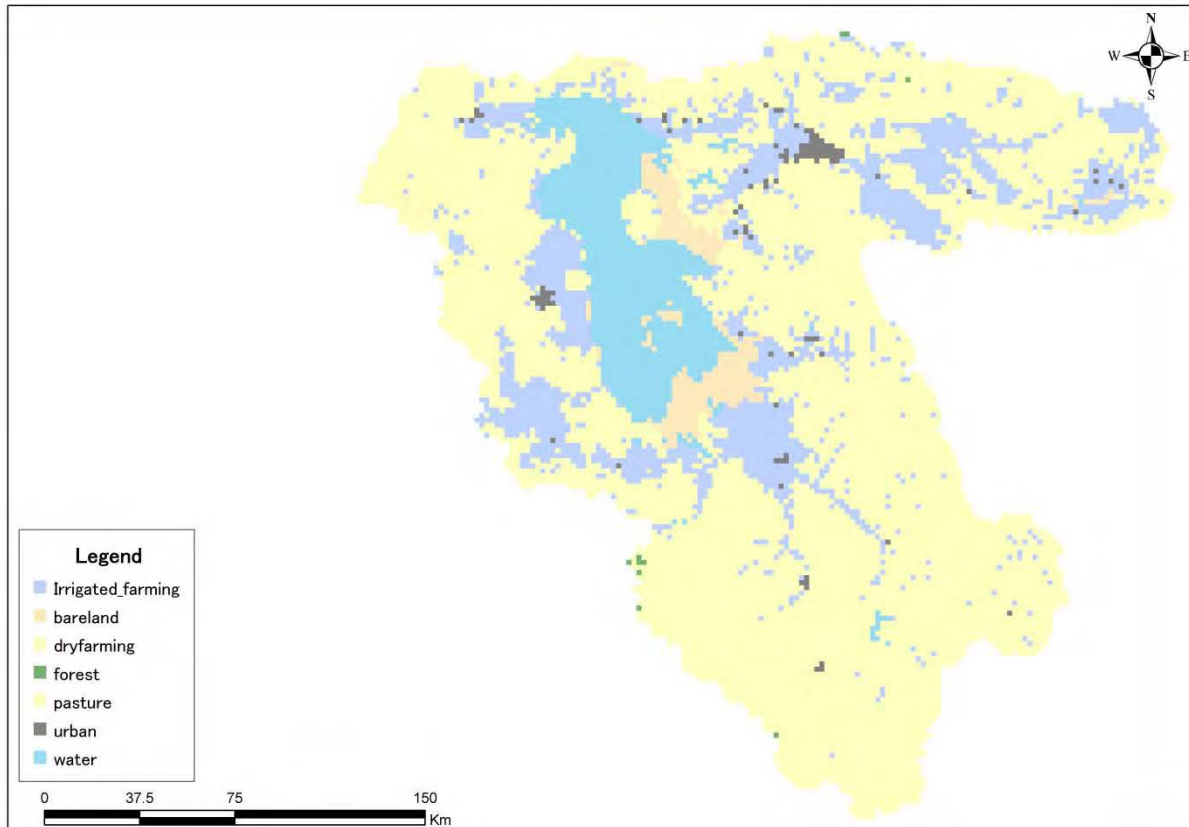
図5.2.11 湖底標高（拡大図）

(7) 土地利用条件の設定

土地利用は提供された資料を基に、2km メッシュの代表土地利用を設定した(図5.2.12 参照)。表面流の計算を実施するためには、土地利用別の粗度係数を設定する必要がある。この粗度係数の設定にあたっては、(法) 土木研究所より発行されている「氾濫シミュレーションマニュアル (案)」に記載されている土地利用別の粗度係数の一般値を基に設定することとした。オルミエ湖流域における土地利用の種別と対応する粗度係数を表5.2.8 に示す。

表5.2.8 土地利用と粗度係数の対比表

オルミエ湖流域の土地利用	氾濫シミュレーションマニュアルに記載されている土地利用	粗度係数
Irrigated wheat (灌漑小麦)	建物、農地 A ₁	0.06
Baresoil (荒地)	その他 A ₃	0.05
Dry farming (乾地農業)	その他 A ₃	0.05
Orchard (森林)	その他 A ₃	0.05
Rangeland (牧草地)	その他 A ₃	0.05
Residential (都市)	建物、農地 A ₁	0.06
Water (水面)	(該当なし)	-



*WRMC からの提供データをもとに調査団が作成

図5.2.12 土地利用 (2km メッシュ)

(8) 河道条件の設定

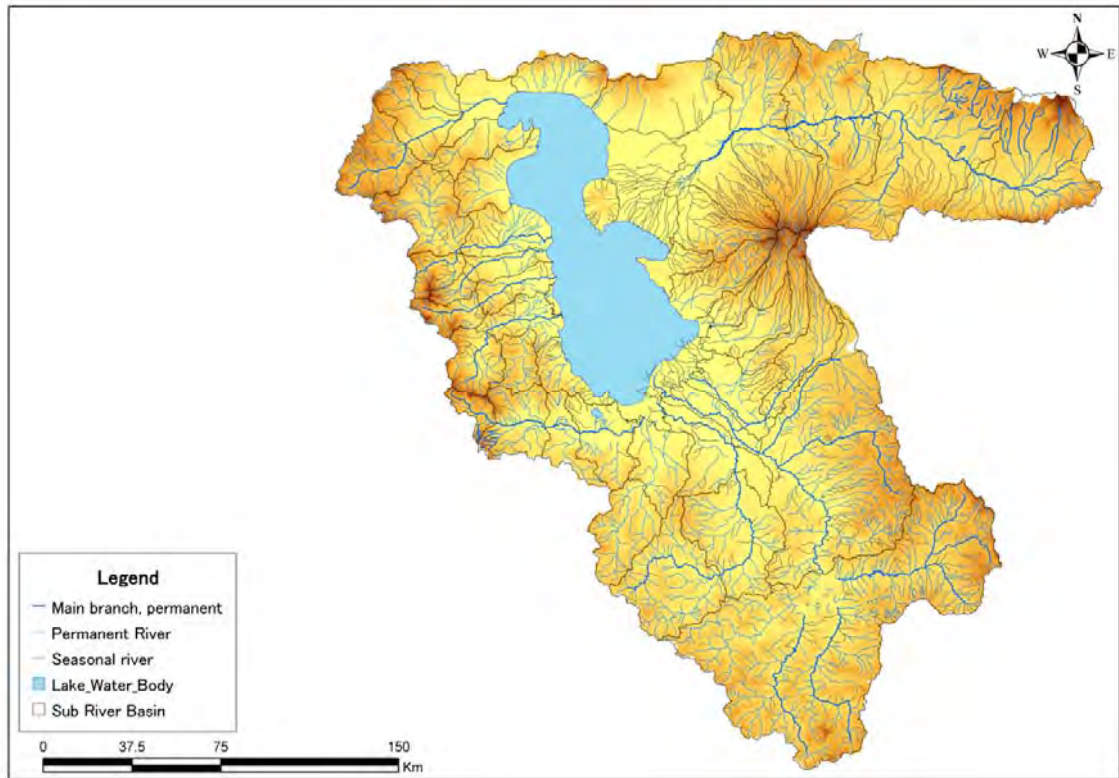
地下水や地表面での流れの速さに比べ、河道の流れの方が速いため、オルミエ湖への到達時間が異なる。これによって、湖での蒸発の影響を受けた湖水位の変化状況が変わる。また、河道から地下への伏没・還元の影響を加味するため、河道をモデル化することとした。

(a) モデル化対象河道の設定

オルミエ湖流域内における河道網の分布および流域界を図5.2.13 に示す。流域内には多数の河道網が存在するが、常時水が流れていないものや規模が小さいものが多数含まれている。そこで、以下のルールによりモデル化する河道を抽出することとした。モデル化されない河道における水の挙動については表流水として地表面を流下し、あるいは浸透して地下水となる。

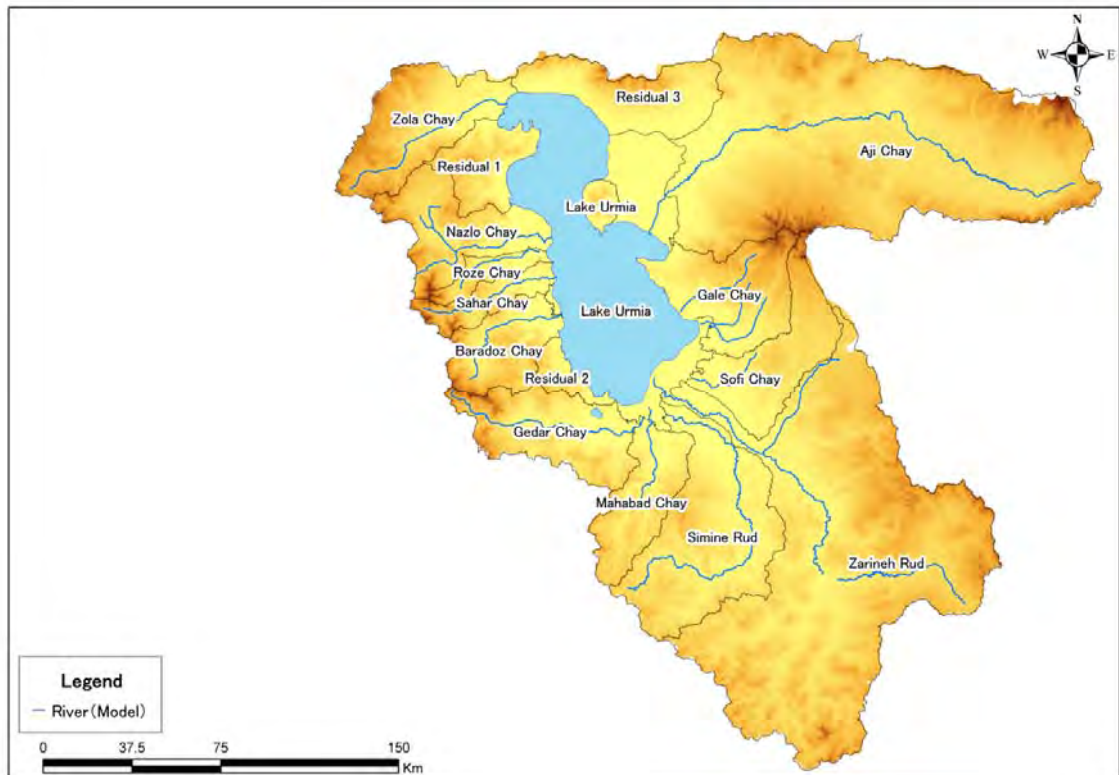
モデル化した河道網を図5.2.14 および表5.2.9 に示す。

- 各流域内での主要河道 (Main Branch) ※
WRMC より提供された情報に基づき、Main River と記載されているものを主要河道として選択し、主要河道が無い流域においては、存在する河道網の内、延長が長いものを1つ抽出した。
- モデル化の対象となるダムが存在している河道
但し、ダムが支流に存在し上記主要河道との距離が近いものについては、ダム放流量を直接主要河道に横流入として与える。



*WRMC 提供データを基に調査団が作成

図5.2.13 河道網の分布と流域界



*WRMC 提供データを基に調査団が作成

図5.2.14 モデル化した河道網

表5.2.9 モデル化した河道一覧

No.	河川名	モデル化河川長 (km)	流域面積 (km ²)
1	Zola Chay	4.6	2,260.10
2	Ajichay	8.2	11,608.40
3	NazloChay	36.8	1,881.60
4	RozeChay	18.2	458.1
5	Sahar Chay	5.5	712.3
6	Gale Chay R	7.7	699.4
7	BaradozChay	7.5	1,362.80
8	Gale Chay L2	4.8	235.2
9	Gale Chay L1	2.9	860.8
10	Sofi Chay	5.7	1,937.20
11	ZarinehRud	16	11,841.20
12	MahabadChay	7.3	1,508.00
13	GedarChay	3.7	2,092.60
14	SimineRud	12.5	3,785.00

*WRMC 提供データを基に調査団が作成

(b) 河道断面の設定

河道断面はモデル化対象河道について、表5.2.10 に示す方法で設定した。

表5.2.10 河道断面の設定

項目	設定
モデル化対象河道	各流域内の主要な河道 (14 河川)
断面形状	DEM (90m) より GIS 上で矩形断面を作成 (川幅は十分な情報が得られなかったが、河川流量が重要となることから、衛星画像から判断し、100m と設定した。)
横断面間隔	1km
粗度係数	0.03 (自然河川かつ河床が礫や岩盤で構成されていると考えられるため)

(9) ダムの設定

(a) モデル化対象ダムの設定

オルミエ湖流域内にあるダムの状態は、「稼働中 (in Operation)」、「計画中 (Proposed)」、「研究目的 (Study)」、および「建設中 (under Construction)」の 4 つに大別される。本解析モデルでは、再現検証においてはこれらの内、「in Operation」となっているダムのみをモデル化することとし、「Proposed」、「Study」、「under Construction」についてはモデル化の対象外とした。

(b) ダムの操作ルールの設定

オルミエ湖流域内のダム操作規則を収集できなかったため、以下の方針に従い、放流量を決定した。再現検証においても対策評価においても、ダム放流量はその年の気象条件に大きく左右されるとの考えから、再現検証と対策評価においてダムの操作ルールは変更していない。

- 実績放流データが存在する期間については、実績放流データを用いる。
- 実績放流データがないダムまたは期間については、実績放流データと総貯水容量がわかっている Mahabad ダムのデータを基に対象ダムにおける放流量を設定するものとする。

実績放流データがないダムでは、ダム諸元のうち、総貯水容量 (VOLUME USE) のデータが最もそろっていた。そこで、実績放流データのないダムの放流量を、Mahabad ダムの総貯水量と年間の放流量の関係で以下に示す式で、補完することとした。

$$\text{推定放流量} = \text{Mahabad ダム放流量} \times (\text{対象ダムの総貯水容量} / \text{Mahabad ダムの総貯水容量})$$

Mahabad ダムのデータを使用した理由は以下の通りである。

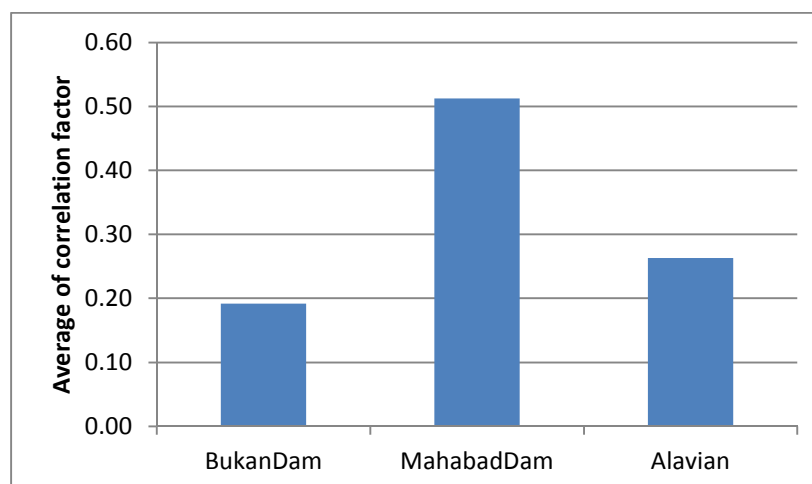
- 検証計算の対象年である 1999 年以降のデータ (総貯水容量と放流量) があるダムは Bukan、Mahabad、Alavian の 3 つのダムのみである。
- 3 つのダムの放流量/総貯水容量の割合を算出し、他のダムでデータがそろっている 2010 年以降では Mahabad ダムが最も近い値である (表5.2.11 参照及び図5.2.15)。

本解析モデルにおいてインプットした放流量を図5.2.16 および図5.2.17 に示す。

表5.2.11 放流量/総貯水容量の割合

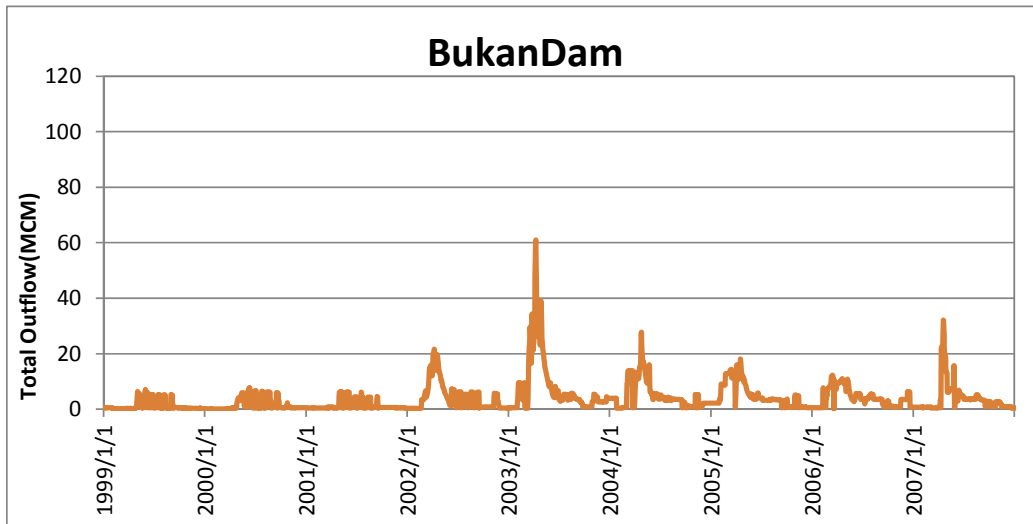
	2010	2011	2012	2013	2014	Average	max	min
BukanDam	2.61	2.00	2.82	1.90	1.64	2.19	2.82	1.64
MahabadDam	0.87	0.84	1.03	1.05	0.71	0.90	1.05	0.71
Alavian	1.93	1.74	1.59	1.69	1.14	1.62	1.93	1.14
SaroughDam				0.39	0.38	0.39	0.39	0.38
HasanluDam	0.49	0.58	0.82	1.16	0.72	0.75	1.16	0.49
GhalehChay	1.47	1.09	1.05	1.09	0.75	1.09	1.47	0.75
ShahrChayDam	0.66	0.74	0.82	0.92	0.67	0.76	0.92	0.66
KordKandiDam			0.05	0.00	0.60	0.22	0.60	0.00
TajyarSarab	0.04	0.24	0.66	0.39	0.48	0.36	0.66	0.04
ZolaDam			0.57	1.64	0.54	0.91	1.64	0.54
NahandDam	1.09	1.03	1.18	1.37	0.92	1.12	1.37	0.92
DarikSalmasDam				0.65	0.46	0.56	0.65	0.46

*WRMC 提供データを基に調査団が作成



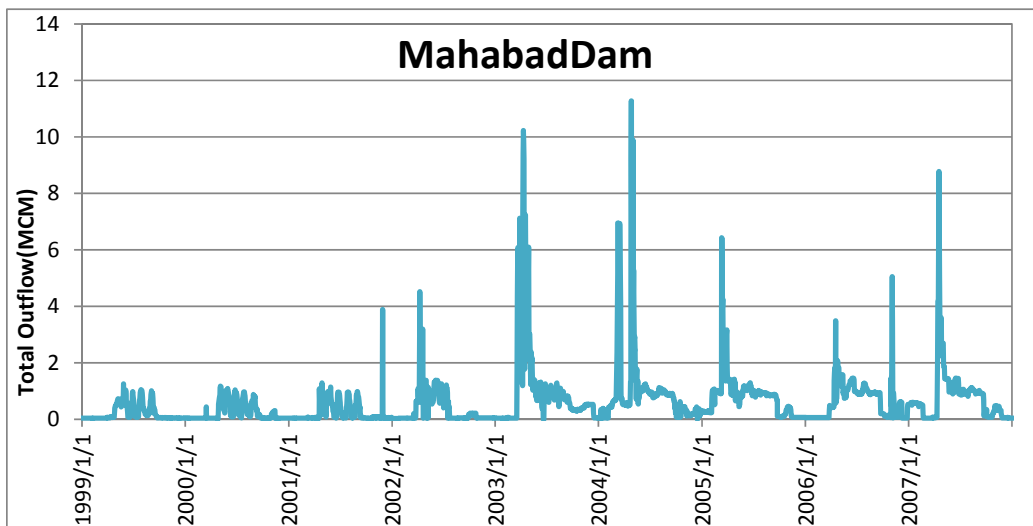
*WRMC 提供データを基に調査団が作成

図5.2.15 放流量/総貯水容量の相関係数の平均値



*WRMC 提供データを基に調査団が作成

図5.2.16 解析モデルにインプットしたダム放流量 (Bukan Dam)



*WRMC 提供データを基に調査団が作成

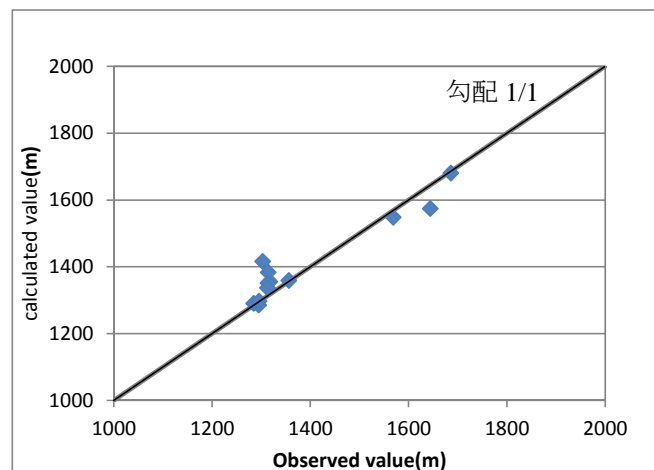
図5.2.17 モデルにインプットしたダム放流量 (Mahabad Dam)

(10) 初期状態の設定

計算開始時における初期状態は、湖水位と地下水位の状態が実態に近いことが望ましい。湖水位は観測値があり、空間的な分布も変化がないと考えられる。しかし、地下水位は空間的な分布が異なる。また、地下水位を測定している経年データが少ないことから、実測の地下水位から空間的な分布を作成すると、実態とそぐわない可能性とモデルが不安定になる可能性が高いことが考えられるため、構築した解析モデルで計算を実施し、初期状態を作成することとした。

1999年1月1日から計算を開始するため、それ以前である1993年から1999年までの気象条件（降水量、湖面蒸発量、陸域蒸発散量）を本モデルに与え、計算を実施し、1999年の湖水位に近づいた計算結果を初期状態とした。その結果、1999年1月1日の湖水位観測値（1,276.49m）と概ね一致する時期・季節を勘案し、湖水位の計算値（1,276.52m）を選定した。また、これと概ね同じ時期の地下水位計算結果と地下水位観測値（12地点）の比較を図5.2.18に示す。

地下水位についても計算値と観測値に近い値を示していることから、計算して求めた初期状態は実態に近い状態にあると判断する。



*WRMC 提供データを基に調査団が作成

図5.2.18 地下水位の計算値と観測値の比較

(11) 水利用の設定

(a) 河川からの取水について

河川からの取水については、取水位置に関する情報が不明瞭であった。そこで、以下に示す方針で、河道から灌漑用水として取水し、農地へ取水量を与えることとした。

- 河道から取水する地点は土地利用の Irrigated farming の近くにある河川から取水する。
- 河道からの取水量は Irrigated farming のメッシュに均等に割り付ける

なお、取水量については4章で整理したように、収集したダムの水供給量データの1.72倍を本モデルへの入力値として与えた。ここでは、4章とは違った視点で1.72倍の妥当性を確認した。つまり、Bukan Dam における比流量から、Bukan Dam 下流域の流出量を推定し、これと観測流量を比較して妥当性を確認した。その検討結果を表5.2.12に示す。年によって違いはあるものの、ダム供給量の1.4倍～2.7倍を取水している可能性が考えられる。よって、1.72倍の値を採用する事はモデルの精度を確保するために必要であると判断する。

表5.2.12 推定される取水量およびダム供給量に対する割合

	① 河川流量 (MCM)	② ダム放 流量 (MCM)	③ ダム流 入量 (MCM)	④ ダム流 域面積 (km ²)	⑤ ダム流域比 流量 (②/③) (MCM/km ²)	⑥ 残流域 面積 (km ²)	⑦ 残流域 からの 流量 (④×⑤) (MCM)	⑧ 推定される 取水量 (②+⑦-①) (MCM)	⑨ ダムの 水供給 量 (MCM)	⑩ 取水 割合 (⑧/⑨)
1999	164.3	405.4	419.5	6,890	0.061	4,400	267.9	508.9	375.8	1.4
2000	153.8	568.8	637.5	6,890	0.093	4,400	407.1	822.1	483.9	1.7
2001	50.0	454.6	554.8	6,890	0.081	4,400	354.3	758.9	438.9	1.7
2002	804.5	1,543.1	1,579.8	6,890	0.229	4,400	1,008.9	1,747.4	717.9	2.4
2003	2,417.3	2,940.5	2,901.5	6,890	0.421	4,400	1,852.9	2,376.1	885.2	2.7
2004	1,199.2	1,778.9	1,909.0	6,890	0.277	4,400	1,219.1	1,798.8	850.0	2.1
2005	794.3	1,801.2	1,706.8	6,890	0.248	4,400	1,090.0	2,096.9	777.2	2.7
2006	816.3	1,511.7	1,518.3	6,890	0.220	4,400	969.6	1,664.9	818.8	2.0
2007	1,140.8	1,318.9	1,368.0	6,890	0.199	4,400	873.6	1,051.7	754.2	1.4
2008	50.0	512.7	645.2	6,890	0.094	4,400	412.0	874.7	450.3	1.9
2009	44.9	821.9	940.4	6,890	0.136	4,400	600.5	1,377.5	739.6	1.9
2010	688.4	1,269.1	1,101.1	6,890	0.160	4,400	703.2	1,283.8	851.7	1.5

*WRMC 提供データを基に調査団が作成

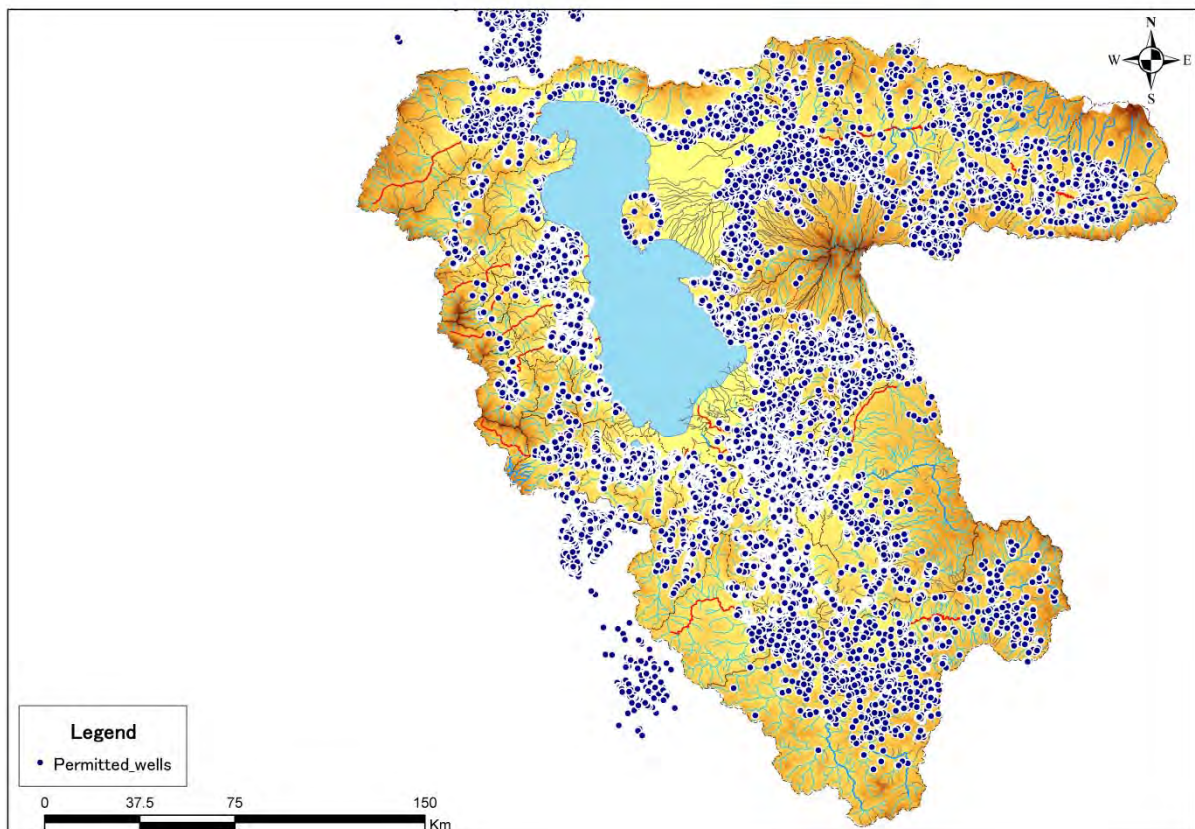
(b) 地下水からの取水について

収集した井戸の位置図(89,000箇所)を図5.2.19に示す。地下水からの取水については井戸の許可データに記載されている Annual Discharge に基づいて設定した。計算メッシュごとに井戸の情報を集約し、メッシュごとに Annual Discharge の1.1倍を取水量として、地下層から差し引いた。農業用取水を目的とした井戸は河川からの月別の取水パターンを参考に年間の取水量を割り振り、月別の取水量を表5.2.13のとおり設定した。農業用取水以外については、年間の取水量を12で割った月平均値とした。

表5.2.13 月別の農業用取水パターン

	用水量 (10^3 m^3)	月別の 分配率
Jan	7,073	0.11%
Feb	24,987	0.38%
Mar	80,994	1.22%
Apr	405,070	6.11%
May	747,626	11.27%
Jun	1,439,579	21.70%
Jul	1,319,512	19.89%
Aug	1,135,134	17.11%
Sep	830,176	12.52%
Oct	330,185	4.98%
Nov	308,433	4.65%
Dec	3,718	0.06%

*WRMC 提供データを基に調査団が作成



*WRMC 提供データを基に調査団が作成

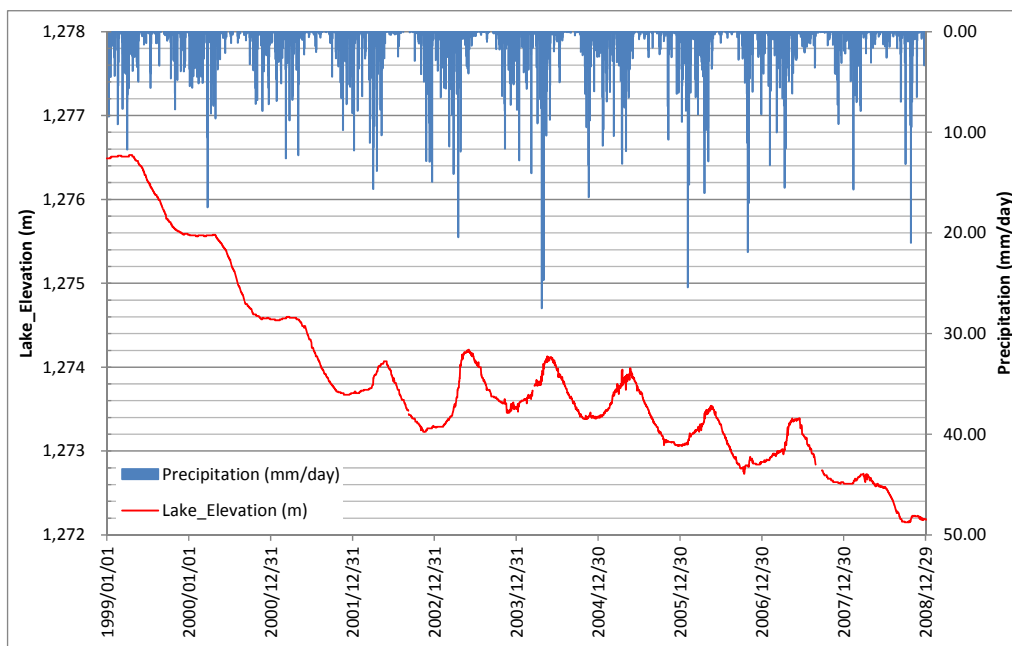
図5.2.19 収集井戸の位置図

5.2.4 定数解析の実施（パラメータの検証計算）と結果

本業務においてはオルミエ湖の湖水位の変化状況を再現し、湖の水位低下のメカニズムを解明することが目的のひとつとなっている。そのため、検証計算を実施する上で、湖水位に特に強い影響を及ぼすパラメータを抽出することは非常に重要である。よって、検証の初期段階で、重要なパラメータの確認・抽出を実施し、その後、評価対象とする項目・評価地点を選定する。

(1) 定数解析におけるパラメータ

定数解析における重要なパラメータを抽出するため、まず湖水位の変化状況について確認を行った。湖水位の変化状況を図5.2.20に示す。



*WRMC 提供データを基に調査団が作成

図5.2.20 湖水位変化状況

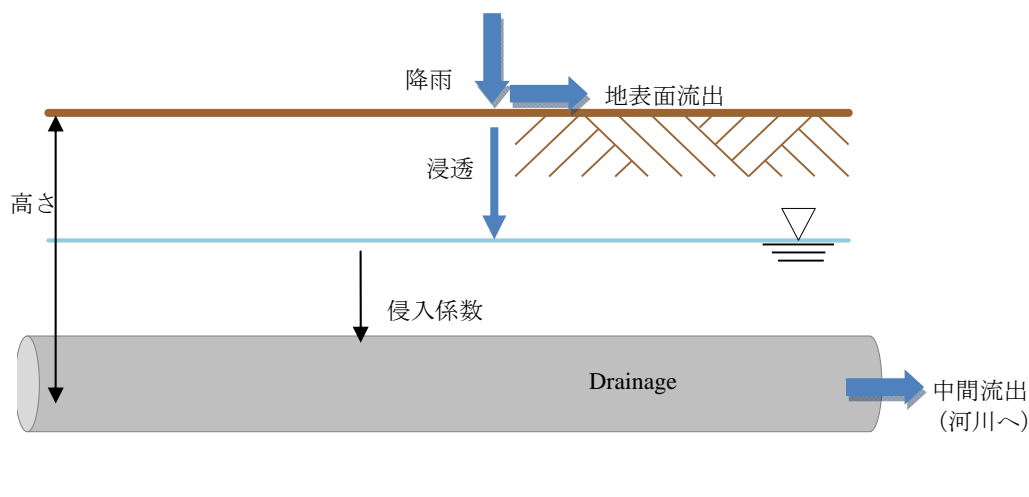
湖水位の変化と降水量の時間的分布状況から、以下の状況が窺える。

- 図5.2.20 より、湖水位の上昇量と時期は、降雨の量とタイミングによく応答しており、河川や地下水を通じてオルミエ湖へ流入する流量が湖水位の変化を支配している。したがって降雨－流出特性が重要である。
- 湖水位が低下する時期（5月～10月）は、湖水位の低下量から見て、降水量が少ないというだけでなく、湖面からの蒸発が影響していると考えられる。

湖水位の変化に対して、河川流量と湖面蒸発が他要素よりも卓越していると判断でき、それらに関わるパラメータを表5.2.14のとおり選定し、各パラメータの感度を確認することとした。

表5.2.14 湖水位の変化に大きく寄与すると考えられるパラメータ

パラメータ名	想定される湖水位への寄与
湖面蒸発量	湖水位の変化に直接的に寄与すると考えられるパラメータ
陸域蒸発散量	河川流量の年間のボリュームに最も大きく寄与すると考えられるパラメータ
Drainage モジュール (図5.2.21 参照)	河川への中間流出に寄与し、ボリュームおよび波形に影響を及ぼすと考えられるパラメータ
表層地質の透水係数	河川への基底流出および地下水浸透に寄与すると考えられるパラメータ



*調査団が作成

図5.2.21 Drainage 概念図

Drainage モジュールは地表から浸透してきた水を排水する役割を持つ管きょとして計算が実施され、Drainage を入れる範囲を指定すると、地表面勾配に沿って、下流の Drainage に流れ、最終的には河川に流出する。流出成分のうち、中間流出に該当する流れを表現するための機能である。

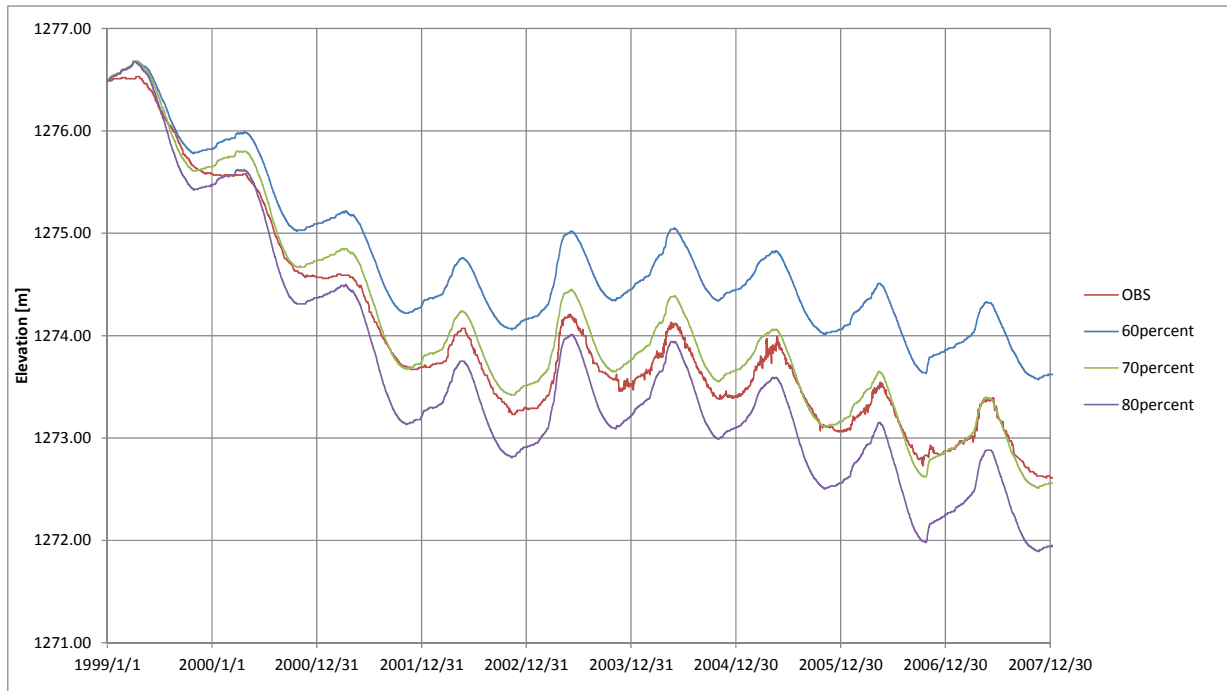
この Drainage モジュールには二つの主要なパラメータがある。一つは Drainage を入れる高さであり、この高さによって、浸透してきた降水が Drainage に入るタイミングの表現が可能となる。結果的に河川へ流出するタイミングが異なる。もう一つのパラメータは侵入係数であり、これは Drainage への水の侵入のしやすさを表すパラメータであり、数字が大きいほど、侵入しやすいことを示す。この侵入係数に応じて侵入する量が異なる。

解析モデル構築上、湖水位の変化に影響を与えるパラメータである「湖面蒸発量」「陸域蒸発量」「Drainage」「表層地質の透水係数」について、感度分析を実施し、特に重要なパラメータの抽出および設定値の目安を検討した。

(a) 湖面蒸発量

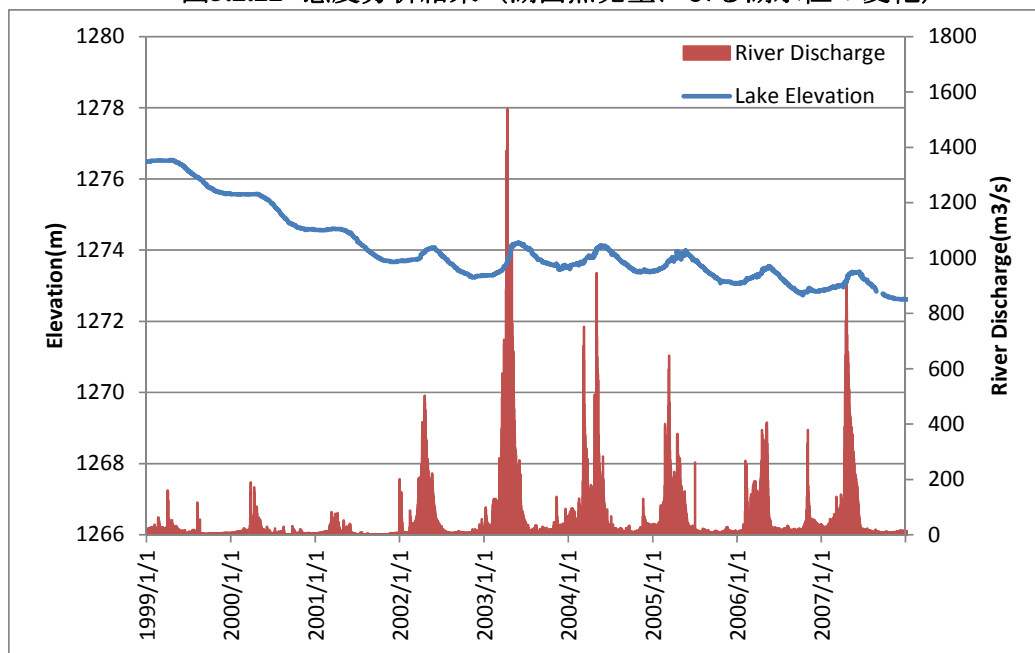
パン蒸発量に対する割合をパラメータとして、湖面蒸発量について感度分析を実施した。感度分析は、洪水氾濫解析ソフトである MIKE21 で湖を MIKE-SHE と同様に 2km メッシュでモデル化し、境界条件として、主要河川における観測流量を与えた。MIKE-21 では平面的な表流水の流れを解析するプログラムであるが、湖面の蒸発量を任意に設定できるため、湖面蒸発量の検討に適したモデルである。なお、計算期間は MIKE-SHE による検証期間と同じ 1999 年～2007 年とした。

感度分析のケースは、初期値としたパン蒸発に対する 60%と 4 章の基礎分析で検討した結果であるパン蒸発に対する 70～74%を参考に、60%、70%、80%の 3 ケースについて実施した。これらの条件における湖水位の算定結果を図5.2.22 に示す。感度分析の結果より、湖面蒸発量の設定が湖水位に与える影響は大きいと考えられることから、検証計算においては、パラメータとして扱い、適正値を確認する。また、パン蒸発量に対する 70%程度が目安になると考えられる。



*調査団が作成

図5.2.22 感度分析結果 (湖面蒸発量による湖水位の変化)



*WRMC 提供データを基に調査団が作成

図5.2.23 湖水位と河川流入量の関係 (実績値)

また、図5.2.22 および図5.2.23 より、実績湖水位および計算湖水位ともに 1999 年～2001 年の冬季 12 月～3 月において、河川からの流量があることがわかる。しかしながら、同時期では計算湖水位は上昇しているが、観測湖水位 (OBS) は上昇していない。この違いの原因としては、冬季の蒸発量による影響が考えられる。つまり、計算では本業務で収集したパン蒸発値を使用して計算を実施していたが、冬季 (12 月～3 月) の日パン蒸発量のデータが入手できなかったため、冬季は湖面からの蒸発をさせていない状況であった。しかしながら、飽和食塩水は-22℃で凍結することから、塩分を含んでいるオルミエ湖が冬季においても凍結せず、湖面からの蒸発があると推測される。

ここで、冬季の湖面からの蒸発量を設定するため、収集資料から冬季のパン蒸発値の有無のチェックを実施した。MOE が策定した「Integrated Water Resources Management for the Lake Uromiyeh Basin(Module 3:Water for Ecosystems)」によると、冬季にオルミエ湖流域内においてパン蒸発量が観測されていることが確認できる。したがって、これを参考に冬季の蒸発量について設定を試みた。

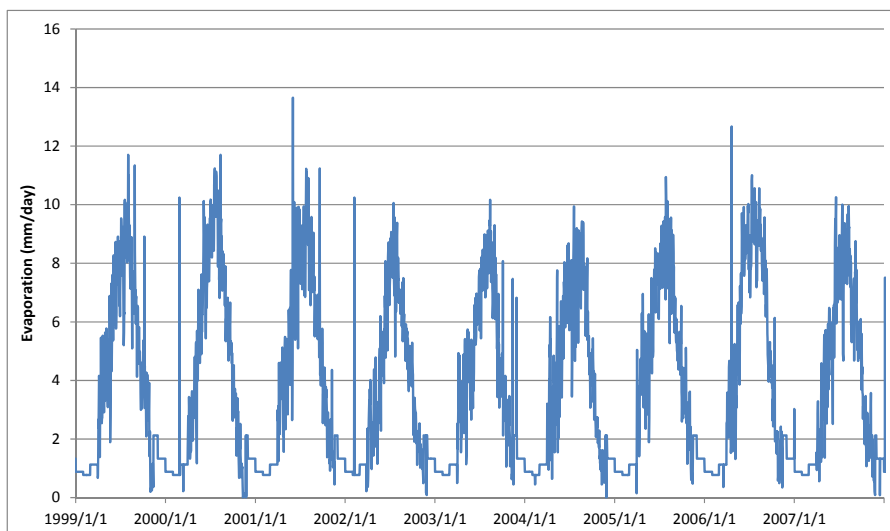
	Temperature °C ⁽¹⁾			Precipitation ⁽²⁾	Humidity ⁽³⁾	Pan Evaporation ⁽³⁾
	Max	Min.	Ave.	mm	%	mm
Jan	2.9	-7.9	-2.7	23.2	73	39
Feb	4.8	-5.9	-0.5	28.2	69	31
Mar.	9.5	-0.5	4.8	37.8	63	50
Apr.	16.7	3.2	10.2	48.0	55	104
May	22.2	6.5	14.6	46.9	50	171
Jun.	27.9	9.5	18.3	8.7	40	250
Jul.	31.4	11.9	21.8	1.6	39	320
Aug.	32.1	11.6	22.0	0.4	37	306
Sep.	28.1	8.0	18.1	0.3	37	260
Oct.	21.7	4.3	13.2	15.8	52	180
Nov.	12.0	-0.8	5.7	27.2	54	91
Dec.	6.3	-3.8	1.0	28.7	70	59
Ann.Ave.	18.0	2.6	10.6	267		1,861

1-Naghadeh station 2-Bahramlou station 3-Mahabad station

出典：Integrated Water Resources Management for the Lake Uromiyeh Basin(Module 3:Water for Ecosystems)

上記資料では、1年間の Mahabad 地点における月単位でのパン蒸発値が記載されているが、資料内では、正確な年次についての記載がなかった。しかし、上記資料が 2005 年に報告されたものであることから、2005 年以前のデータであり、本文中には平均的な数値として記載されていた。

使用にあたり、記載の数値の単位が月単位であることから、モデル入力においては日数割を実施し、日単位のデータとして欠測値を補填している。上記により冬季蒸発量の補完を実施した。



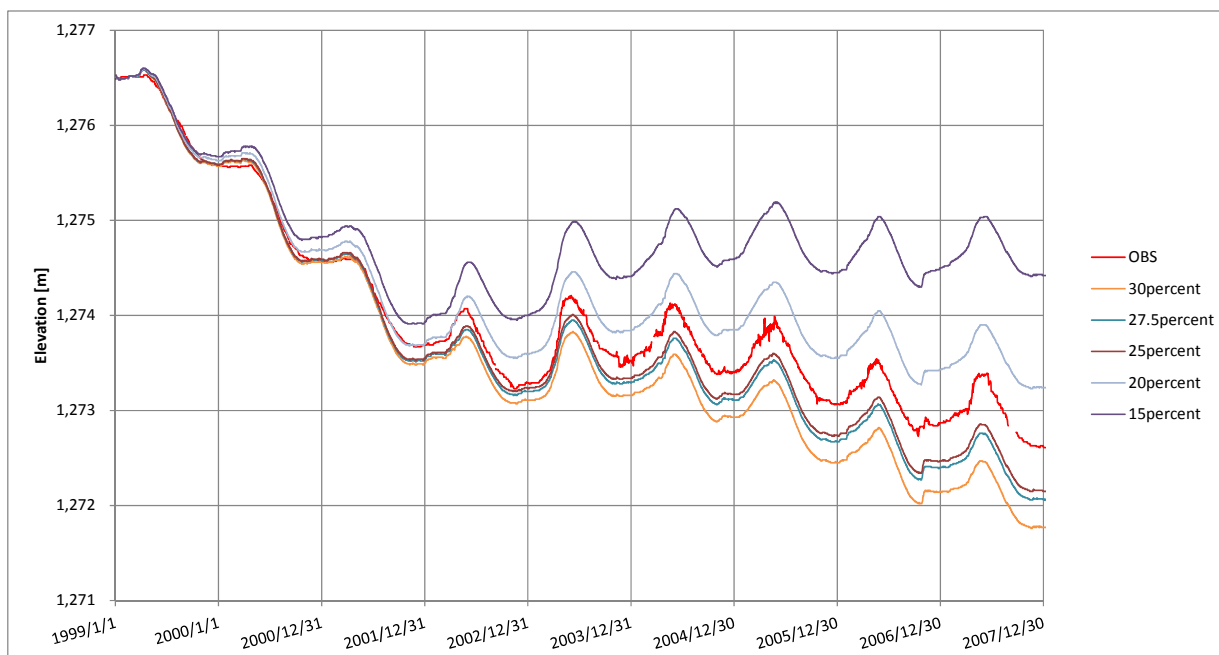
*WRMC 提供データを基に調査団が作成

図5.2.24 本解析モデルへインプットした湖面蒸発量

(b) 陸域蒸発散量

陸域蒸発散量の設定のために、パン蒸発量に対する割合をパラメータとして、感度分析を実施した。感度分析は、MIKE-SHE を使用し、検証期間である 1999 年～2007 年を対象に実施した。

感度分析については、パン蒸発に対する割合を 30%、27.5%、25%、20%、15% の 5 ケースとして実施した。湖水位の結果を図5.2.25 に示す。その他のパラメータである湖面蒸発は 67%、Drainage の高さは 0.7(m)、侵入係数は $1.00 \times 10^{-6}(1/s)$ 、表層地質の透水係数は $1.00 \times 10^{-6}(m/s)$ である。



*調査団が作成

図5.2.25 感度分析結果（陸域蒸発散量）

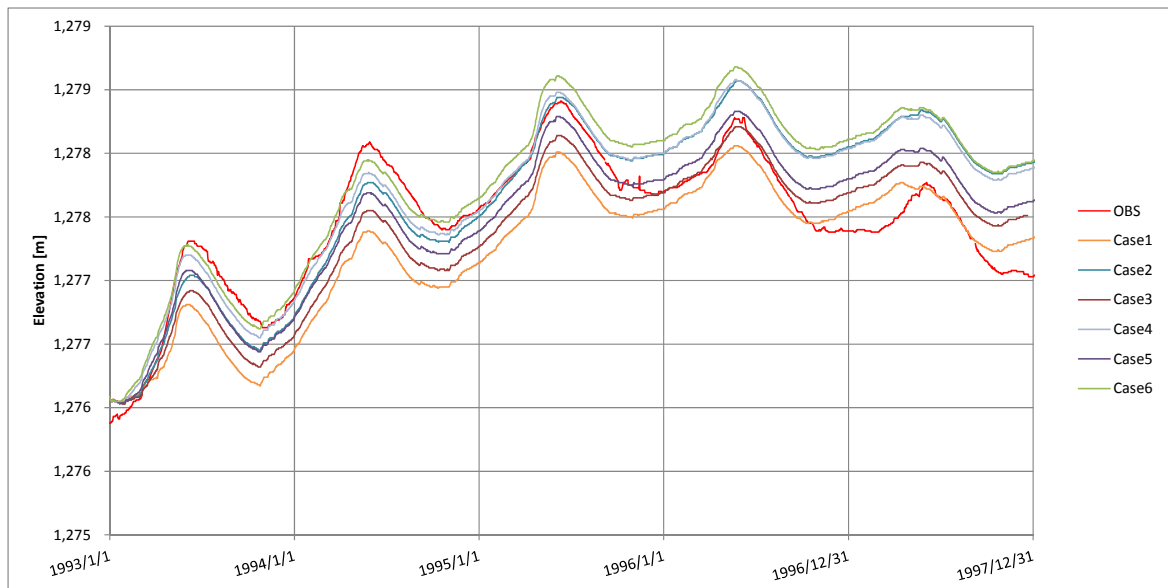
感度分析の結果より、陸域蒸発散量の設定が湖水位に与える影響は大きいと考えられることから、検証計算において重要なパラメータの一つとして扱い適正値を確認した。その結果、陸域蒸発散量はパン蒸発量に対する 20%～25%程度が目安になると考えられる（図5.2.25 参照）。

(c) Drainage モジュール

MIKE-SHE を使用し、中間流による河川への出水の影響を考慮するとの観点から、出水が多かった期間である 1993 年～1997 年を対象に感度分析を実施した。感度分析のケースを表5.2.15 に、また、湖水位の結果を図5.2.26 に示す。その他のパラメータである湖面蒸発量および陸域蒸発量はそれぞれパン蒸発量の 70%および 30%、表層地質の透水係数は $1.00 \times 10^{-6}(m/s)$ である。

表5.2.15 設定した感度分析ケース（Drainage）

Case	Depth(m)	Intrusion Coefficient (1/s)
Case1	-0.70	1.0×10^{-6}
Case2	-0.90	1.0×10^{-7}
Case3	-0.85	1.0×10^{-7}
Case4	-0.80	5.0×10^{-7}
Case5	-0.80	2.5×10^{-7}
Case6	-0.80	1.0×10^{-6}



*調査団が作成

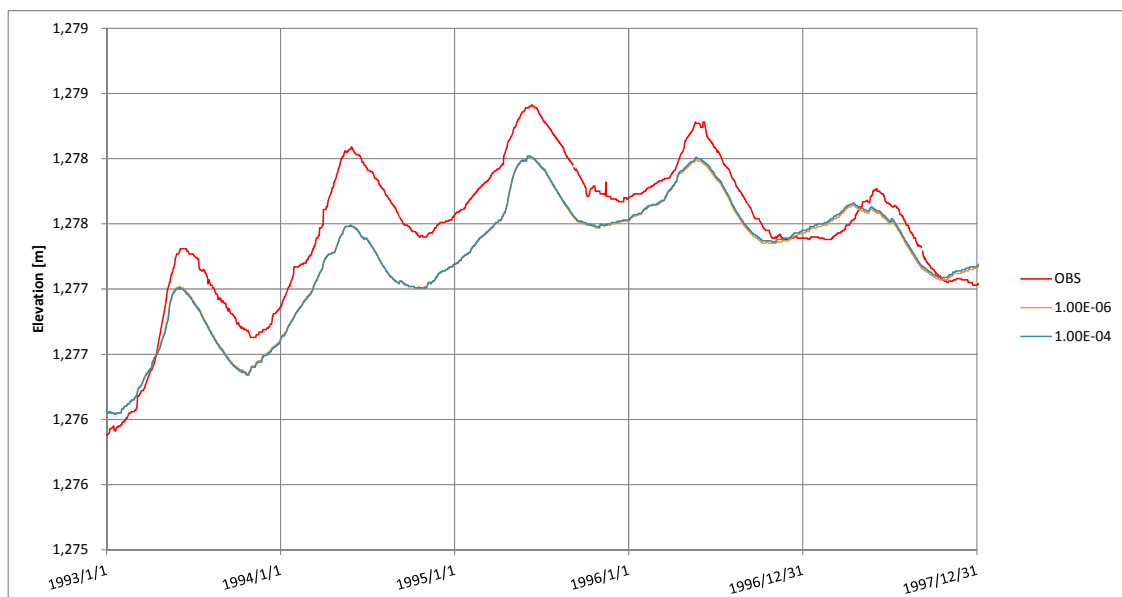
図5.2.26 感度分析結果 (Drainage)

図5.2.26 に示す感度分析の結果より、Drainage モジュールのパラメータ設定が湖水位に与える影響は大きいと考えられることから、パラメータの一つとして扱い検証計算で適正値を確認した。

(d) 表層地質の透水係数

表層地質の透水係数について、MIKE-SHE を使用し、出水の影響を考慮するとの観点から、出水が多かった期間である 1993 年～1997 年を対象に感度分析を実施した。

感度分析のケースは標準値と考えられる $1.00 \times 10^{-6}(\text{m/s})$ と、透水性を高くした $1.00 \times 10^{-4}(\text{m/s})$ の 2 ケースについて実施した。湖水位の結果を図5.2.27 に示す。その他のパラメータである湖面蒸発は 70% に設定し、陸域蒸発量は 30%、Drainage の高さは 0.7(m)、侵入係数は $1.00 \times 10^{-6}(1/\text{s})$ である。



*調査団が作成

図5.2.27 感度分析結果 (表層地質の透水係数)

図5.2.27 に示す感度分析の結果より、表層地質の透水係数の設定が湖水位に与える影響は小さいと考えられることから、標準値と考えられる $1.00 \times 10^{-6}(\text{m/s})$ を使用することとした。

(e) 検証計算実施の流れ

以上の結果を受け、検証計算を実施する上で、重要なパラメータとして、「湖面蒸発量」「陸域蒸発散量」「Drainage モジュール」を選定した。また、検証計算の実施フローを図5.2.28に示す。

湖水位への影響が大きい河川流量（流出量）の精度を確保した後、湖水位の精度を確保するためのモデル検証を実施することとする。そのため、最初に流出量の精度を確保するために、「陸域蒸発散量」を設定し、その次に影響が大きい「Drainage モジュール」を設定する。十分な精度が得られない場合は、「陸域蒸発散量」または「Drainage モジュール」を調整する。河川流出量の精度を確認した後、次のステップとして、さらに湖水位の精度を確保するため、「湖面蒸発量」を調整することとする。

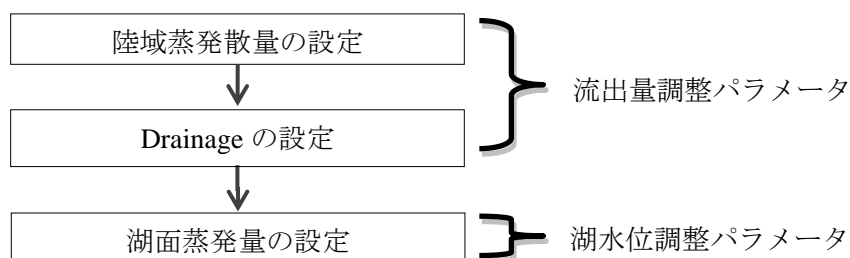


図5.2.28 検証計算の実施フロー

(2) 流出量の検証地点の選定

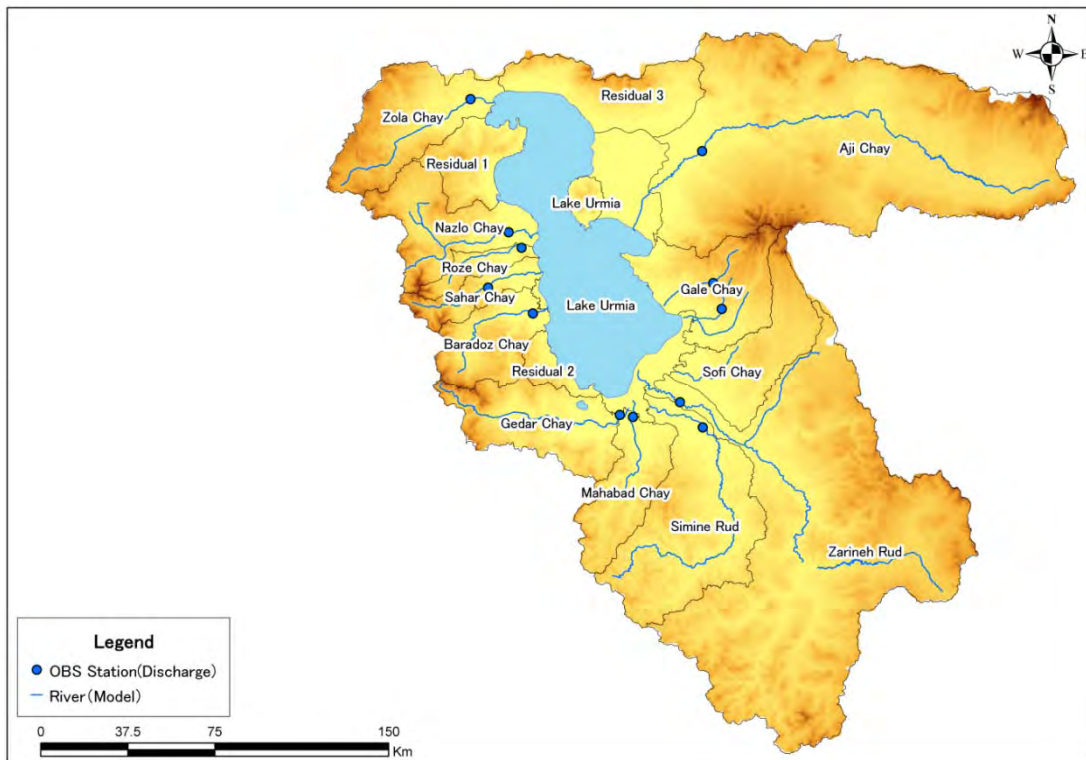
なるべく観測エラーによる影響を小さくして、検証計算の妥当性を適切に確認するため、流出量の整合を図る項目と地点を選定することとした。湖水位は観測地点における湖水位であるが、河川流量は以下の観点から、評価する項目および地点を選定した。

- 湖水位への影響は河川からの流入量が影響することから、年間のボリュームを指標として、流出率による評価を実施する。
- オルミエ湖への最終的な流入量が重要であることから、評価地点については、モデル化している主要な河川の観測地点のうち、最下流地点を選定した。最下流地点において十分な観測期間あるいはデータがない場合はその上流の地点を選定する。モデル化した河川におけるデータの存在状況を加味して、選定した地点を表5.2.16 および図5.2.29に示す。なお、流域 Gale Chay L1 と流域 Sofi Chay は検証地点としてふさわしい観測所がなかったが、この二つの流域の面積が全域に占める割合は約7%程度であるため、精度確保上大きな問題はないと判断した。

表5.2.16 モデル化した河川における検証対象地点名

河川名	観測所名	流域面積(km ²)	観測所上流の集水域面積(km ²)
Zola Chay	Chehrigholia	2,260.1	2,204.0
Ajichay	Akhola	11,608.4	9,752.0
NazloChay	Abajalusofla	1,881.6	1,631.6
RozeChay	Guyjaliaslan	458.1	428.1
Sahar Chay	Band urmia	712.3	418.0
Gale Chay R	Yengjeh	699.4	249.0
BaradozChay	Babarud	1,362.8	1,160.0
Gale Chay L2	Khormazard	235.2	89.0
Gale Chay L1	-	860.8	756.0
Sofi Chay	-	1,937.2	1,937.2
ZarinehRud	Nezamabad	11,841.2	11,578.0
MahabadChay	Gard yaghub	1,508.0	1,508.0
GedarChay	Pol bahramlusantu	2,092.6	2,090.0
SimineRud	Miandoab	3,785.0	3,363.0

*WRMC 提供データを基に調査団が作成



*WRMC 提供データを基に調査団が作成

図5.2.29 モデル化した河川における検証対象地点位置図

また、選定した地点の観測河川流量と観測所より上流の流域平均雨量から流出率を算出した。その結果を表5.2.17 ならびに図5.2.30 に示す。

表5.2.17 検証対象地点における流出率 (1999年～2007年)

年 項目 流域名	1999			2000			2001		
	降水量 (MCM)	河川 流量 (MCM)	流出率	降水量 (MCM)	河川 流量 (MCM)	流出率	降水量 (MCM)	河川 流量 (MCM)	流出率
Zola Chay	659.99	41.39	0.06	843.65	36.62	0.04	571.50	53.10	0.09
Ajichay	2,731.93	43.39	0.02	3,012.30	58.54	0.02	2,626.80	10.84	0.00
NazloChay	556.20	13.50	0.02	690.00	12.33	0.02	604.83	9.43	0.02
RozeChay	150.43	12.06	0.08	169.19	8.78	0.05	130.85	6.17	0.05
Sahar Chay	151.67	52.63	0.35	173.53	55.11	0.32	126.39	54.93	0.43
Gale Chay R	63.84	25.52	0.40	75.83	21.87	0.29	79.54	30.19	0.38
BaradozChay	345.91	46.85	0.14	441.15	32.59	0.07	405.14	36.54	0.09
Gale Chay L2	22.82	2.08	0.09	27.10	0.98	0.04	28.43	0.30	0.01
ZarinehRud	3,533.26	164.26	0.05	3,662.93	153.84	0.04	3,332.38	49.99	0.02
MahabadChay	406.33	21.69	0.05	533.73	9.32	0.02	468.10	3.35	0.01
GedarChay	616.49	52.65	0.09	735.87	21.44	0.03	659.42	24.98	0.04
SimineRud	762.56	66.90	0.09	1,000.80	126.76	0.13	974.77	101.48	0.10

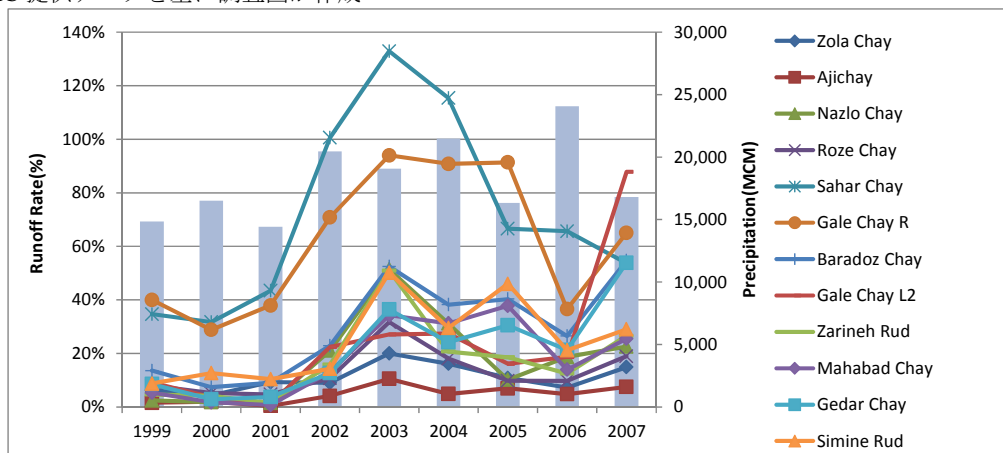
*WRMC 提供データを基に調査団が作成

年 項目 流域名	2002			2003			2004		
	降水量 (MCM)	河川 流量 (MCM)	流出 率	降水量 (MCM)	河川 流量 (MCM)	流出率	降水量 (MCM)	河川 流量 (MCM)	流出率
Zola Chay	875.61	79.16	0.09	772.41	154.55	0.20	778.06	125.72	0.16
Ajichay	3619.84	150.76	0.04	3208.12	337.39	0.11	3623.06	177.03	0.05
NazloChay	718.48	151.09	0.21	708.93	364.56	0.51	711.10	222.19	0.31
RozeChay	179.87	19.29	0.11	179.43	56.98	0.32	159.83	28.92	0.18
Sahar Chay	180.57	181.67	1.01	178.46	237.12	1.33	153.01	176.58	1.15
Gale Chay R	101.90	72.16	0.71	93.73	88.06	0.94	106.26	96.51	0.91
BaradozChay	614.43	140.64	0.23	653.65	343.03	0.52	637.15	243.67	0.38
Gale Chay L2	36.42	8.16	0.22	33.50	9.07	0.27	37.98	10.43	0.27
ZarinehRud	5086.56	804.54	0.16	4746.98	2417.34	0.51	5794.21	1199.21	0.21
MahabadChay	651.65	85.15	0.13	682.67	233.93	0.34	656.49	204.90	0.31
GedarChay	1034.19	130.78	0.13	1053.95	383.90	0.36	1096.35	265.35	0.24
SimineRud	1564.10	223.71	0.14	1365.58	685.21	0.50	1717.45	507.23	0.30

* WRMC 提供データを基に調査団が作成

年 項目 流域名	2005			2006			2007		
	降水量 (MCM)	河川 流量 (MCM)	流出 率	降水量 (MCM)	河川 流量 (MCM)	流出率	降水量 (MCM)	河川 流量 (MCM)	流出率
Zola Chay	549.77	59.55	0.11	912.19	66.20	0.07	670.66	99.87	0.15
Ajichay	3238.25	226.06	0.07	3672.31	175.79	0.05	3181.49	240.17	0.08
NazloChay	556.07	56.72	0.10	854.35	159.80	0.19	624.33	140.90	0.23
RozeChay	138.45	13.59	0.10	217.32	21.18	0.10	143.01	27.12	0.19
Sahar Chay	145.47	96.91	0.67	211.28	138.70	0.66	131.31	70.54	0.54
Gale Chay R	76.34	69.75	0.91	119.03	43.49	0.37	87.11	56.64	0.65
BaradozChay	413.01	166.39	0.40	761.84	201.98	0.27	419.27	229.12	0.55
Gale Chay L2	27.29	4.41	0.16	42.55	7.96	0.19	31.14	27.32	0.88
ZarinehRud	4282.12	794.26	0.19	6534.62	816.32	0.12	4295.90	1140.84	0.27
MahabadChay	450.39	170.15	0.38	802.99	111.97	0.14	503.66	128.34	0.25
GedarChay	699.94	213.75	0.31	1373.76	292.86	0.21	788.87	424.70	0.54
SimineRud	1219.22	560.79	0.46	1898.65	402.76	0.21	1198.57	347.65	0.29

* WRMC 提供データを基に調査団が作成



* WRMC 提供データを基に調査団が作成

図5.2.30 検証対象地点における流出率と全域流域平均降水量 (1999年～2007年)

表5.2.17 ならびに図5.2.30 より、経年変化の状況から、以下のことが窺える。

- ▶ 渇水傾向にあった 1999 年～2001 年ほどの河川も他の年と比較して、流出率が低い傾向にある。
- ▶ 2003 年の流出率がどの河川も高い傾向にある。これは、2001 年までの渇水を受け、翌年にダムで多く貯水し、さらに翌年である 2003 年に貯水した水を放流したため、流出率が高くなったと考えられる。

本解析モデルでは湖水位を再現する上で、河川流量が重要となる。しかし、限られた情報に基づいて河川流量を再現する上で、半乾燥地域の範囲以上と見受けられるような流出率が高い河川の再現には限界がある。そこで、精度確保の観点から、各河川の流出率について確認を実施した。その結果を以下に示す。

- ▶ Sahar Chay 川は常に流出率が高く、経年的に、0.4 を超える状況にあり、2002 年～2003 年においては 1 を超えており、流量観測値が異常または、山の降雨が観測しきれていない可能性が考えられる。
- ▶ 同様の理由で Gale Chay R と Baradoz Chay についても再現することは困難と考える。

選定した地点のうち、湖水位の精度を確保する上で、湖への河川流入量、あるいは流域面積が大きな河川が重要と考えられるため、モデル化した河川の流域面積と観測流量が全域に占める割合が高い河川を抽出し、この河川の流量を中心に精度の確保を図ることとする。モデル化した河川の流域面積と 2007 年の観測流量の結果を表5.2.18 に示す。

表5.2.18 モデル化した河川の流域面積および観測流量

流域名	Basin_area			2007 年における流量		
	流域面積 (km ²)	順位	割合 (%)	2007 年における流量(MCM)	順位	割合 (%)
Zola Chay	2,260.1	4	5.48	99.87	8	3.40
Ajichay	11,608.4	2	28.15	240.17	4	8.19
NazloChay	1,881.6	7	4.56	140.90	6	4.80
RozeChay	458.1	13	1.11	27.12	11	0.92
Sahar Chay	712.3	11	1.73	70.54	9	2.40
Gale Chay R	699.4	12	1.70	56.64	10	1.93
BaradozChay	1,362.8	9	3.30	229.12	5	7.81
Gale Chay L2	235.2	14	0.57	27.32	12	0.93
Gale Chay L1	860.8	10	2.09	欠測	—	—
Sofi Chay	1,937.2	6	4.70	欠測	—	—
ZarinehRud	11,841.2	1	28.71	1140.84	1	38.89
MahabadChay	1,508.0	8	3.66	128.34	7	4.38
GedarChay	2,092.6	5	5.07	424.70	2	14.48
SimineRud	3,785.0	3	9.18	347.65	3	11.85

* WRMC 提供データを基に調査団が作成

以上より、湖水位の精度確保上重要となる河川¹として、Zarineh Rud, Simine Rud, Gedar Chay, Ajichay, Nazlo Chay を選定し、この河川における河川流量を重視して精度を確保することとする。

¹上記 5 河川で、モデル化した河川のうち、流域面積、観測流量ともに 75%を占める

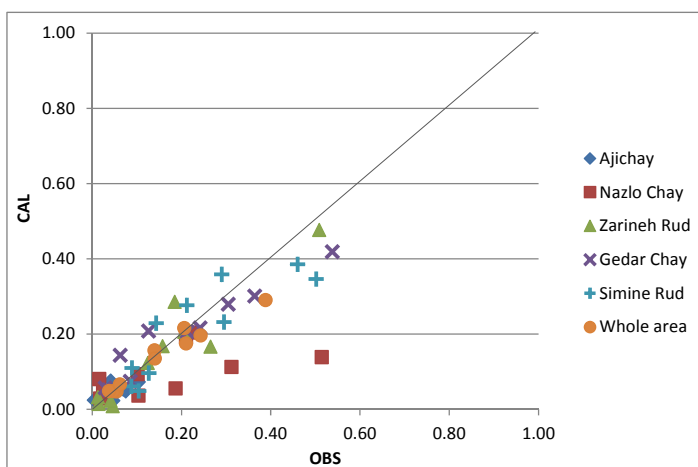
(3) パラメータの検証結果

本業務においては、湖水位の低減に係る水循環メカニズムを解明することを目的としている。従って、解析モデルの検証材料として湖水位を採用している。しかし、湖水位を再現するためには河川流量の再現性を確保することが重要である。さらに、河川流量の再現性は湖への年間流入量が大きく影響するため、観測値と計算値による流出率を比較することで確認を実施した。河川流量の再現性を確認した後、湖水位の観測値と計算値の比較を実施した。

河川流量は先に示した「陸域蒸発量」と「Drainage モジュール」の調整により、再現性確保を試みた。陸域蒸発量は目安の検討結果（図5.2.25 参照）から、1999年～2001年の整合性が高い25%に設定し、その後、Drainage モジュールの調整を実施した。なお、Drainage モジュールは全域同じ設定値ではなく、河川流域毎に個別の値を設定している。

最初の設定値では、全体的な傾向として、河川流量の観測値より計算値の方が小さかったため、流出量を整合させるため、Drainage モジュールの高さを深くし、侵入係数を大きくする調整を実施した。

河川流量の再現性確認結果として、観測値と計算値の比較結果を図5.2.31 および表5.2.19に示す。渇水傾向であった1999年～2001年は、流域によって精度にばらつきがある。また、渇水が終わった2002年と2003年においては、全体的に2002年では、計算値による流出率の方が観測値による流出率より高い傾向にあり、2003年では、計算値による流出率の方が観測値による流出率より低い傾向にある。これらはダムによる流量調整の影響があると考えられるが、図5.2.31により、概ね河川流量の再現性は確保できていると判断する。



*調査団が作成

図5.2.31 検証結果（河川流量の流出率）

表5.2.19 検証結果（河川流量および流出率）

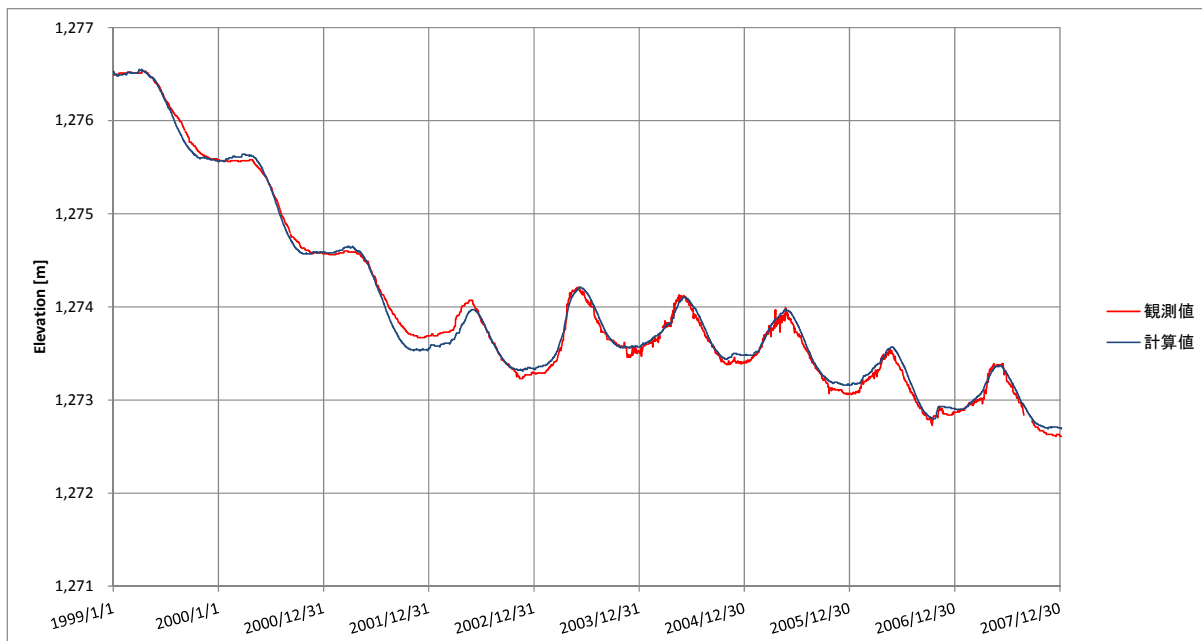
年	Ajichay		NazloChay		ZarinehRud		GedarChay		SimineRud		Whole area	
	OBS	CAL	OBS	CAL	OBS	CAL	OBS	CAL	OBS	CAL	OBS	CAL
1999	0.02	0.03	0.02	0.05	0.05	0.01	0.09	0.07	0.09	0.06	0.05	0.05
2000	0.02	0.02	0.02	0.03	0.04	0.02	0.03	0.06	0.13	0.10	0.05	0.05
2001	0.00	0.02	0.02	0.08	0.02	0.01	0.04	0.05	0.10	0.05	0.04	0.05
2002	0.04	0.08	0.21	0.19	0.16	0.17	0.13	0.21	0.14	0.23	0.14	0.16
2003	0.11	0.07	0.51	0.14	0.51	0.48	0.36	0.30	0.50	0.35	0.39	0.29
2004	0.05	0.05	0.31	0.11	0.21	0.21	0.24	0.22	0.30	0.23	0.21	0.18
2005	0.07	0.05	0.10	0.09	0.19	0.29	0.31	0.28	0.46	0.39	0.21	0.22
2006	0.05	0.02	0.19	0.06	0.12	0.12	0.21	0.21	0.21	0.28	0.14	0.14
2007	0.08	0.05	0.23	0.20	0.27	0.17	0.54	0.42	0.29	0.36	0.24	0.20

*調査団が作成

*OBS:観測値、CAL:解析モデルでの計算値

河川流量の精度を確保した後、湖水位の精度をさらに確保するため、湖面蒸発量の調整を実施した。湖面蒸発量はパン蒸発の70%を初期値としたが、夏季から冬季にかけての湖水位低下時期に計算値が下がり過ぎる傾向にあったため、パン蒸発量の70%から67%に下げた。

上記条件における湖水位の観測値と計算値の比較結果を図5.2.32に示す。図5.2.32より、観測値と計算値では、渇水傾向にあった1999年～2001年とそれ以外では、湖水位が低下する夏季から冬季にかけて低下傾向に違いがあるものの、ほぼ観測値と整合している。現状の観測データをもとに、目標水位である1,274.1m付近の湖水位回復に向けての各種施策の効果について定量的な検討を行う上で、十分な精度を有していると考えられる。



*調査団が作成

図5.2.32 検証結果（湖水位）

本業務におけるパラメータの最終値を表5.2.20に示す。なお、Drainageは各流域の河川流出量の再現性を確保する上で、流域別に個別の値を設定しているが、物理的な意味はないため、ここでは記載していない。

表5.2.20 パラメータ最終値

湖面蒸発量	陸域蒸発散量	表層地質の透水係数 (m/s)
パン蒸発の67%	パン蒸発の25%	1.00 x 10 ⁻⁶

本解析モデルでは、湖水位、河川流量（流出率）ともに実測値と計算値が整合しており、十分な精度を有していると判断する。なお、以下の状況を加味することができれば、さらなる精度の向上が見込まれる。

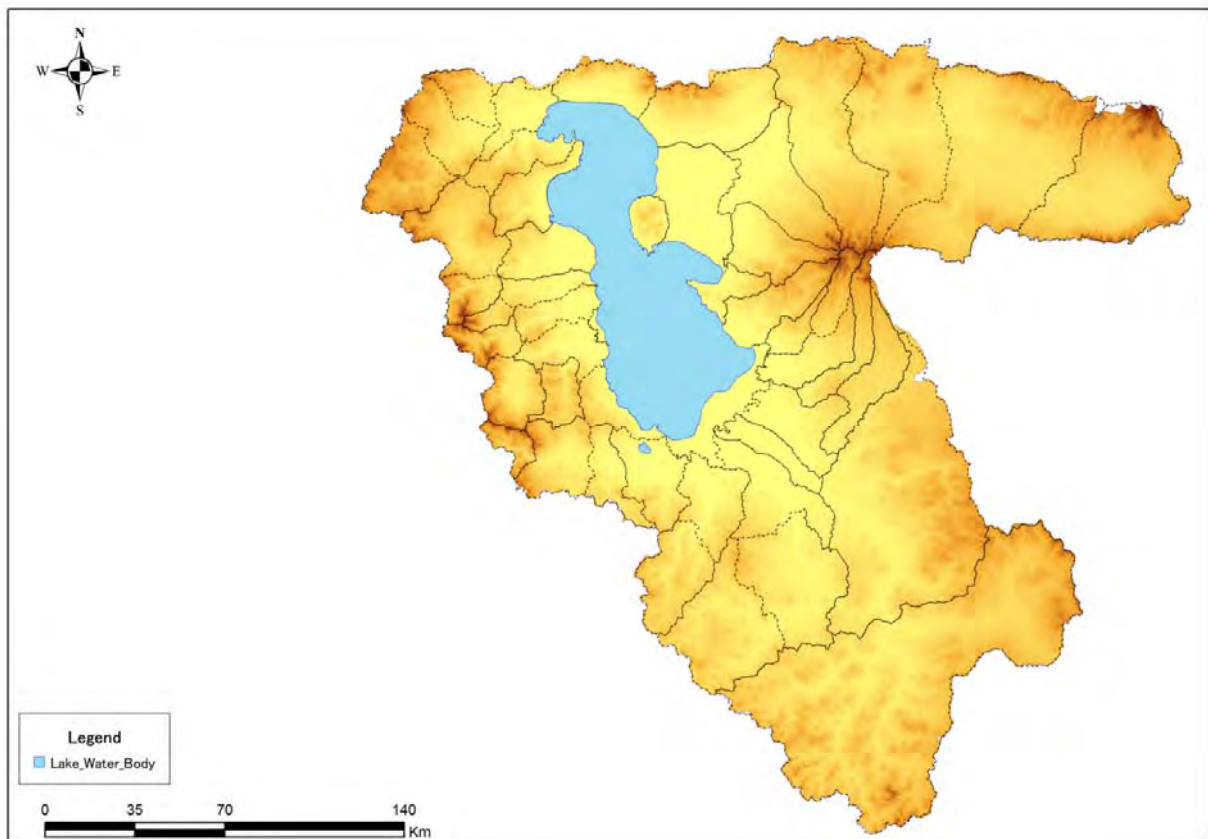
- 冬季蒸発散量の精緻化（冬季（12月～3月）の蒸発量は文献値より、平均的な値を与えているため、年ごとの状況を反映できていない。）
- 水利用形態の反映（渇水傾向であった1999年～2001年は例年と違う水利用の仕方している可能性があり、水利用の実態が不明である。）
- ダム放水量の実績値の反映（過去の渇水（1999年～2001年）を受け、2002年にダムに貯めた水を2003年に放流した可能性があるが、本業務では、ダム放流量と供給量を一部補完して本解析モデルに与えている。）
- 河川からの取水地点、還元地点、地点毎の取水量等の実態および本モデルへの組み込み

5.2.5 解析モデルによる水収支の評価 (MIKE-SHE)

ここでは、検証結果を用いて水収支の評価を実施した。本解析モデルによる水収支では、湖での水収支を中心に評価することとする。陸域における水収支には以下のような状況が含まれているため、評価が難しいと考える。

- 蒸発量には、河川または地下水から取水し、農地へ与えた水からの蒸発量が含まれている。
- 同様に河川への流出には、取水した水の還元水が含まれている。
- 河川から地下水、地下水から河川への相互の水のやりとりがある。

なお、本モデルによる湖での流入出の評価は、以下に示す湖の範囲を固定して実施している(図5.2.33 参照)。



*WRMC 提供データをもとに調査団が作成

図5.2.33 評価に使用した湖の範囲

(1) 1999年～2007年（検証期間）における水収支

ここでは、精度が十分に確保されている検証期間における水収支について評価を実施した。湖での水収支バランスを表5.2.21に示す。

表5.2.21 湖における水収支

項目 年	① 降水量 (MCM)	② 河川からの 流入量 (MCM)	③ 地下水からの 流入量(MCM)	④ 蒸発量 (MCM)	水収支 (MCM) ①+②+③-④
1999	1,356.8	613.4	163.5	6,550.2	-4,416.5
2000	1,472.6	658.2	159.8	6,638.5	-4,347.8
2001	1,237.5	570.4	157.5	6,487.4	-4,522.0
2002	1,791.3	2,657.9	157.7	5,481.3	-874.4
2003	1,698.4	4,448.7	153.7	5,957.2	343.6
2004	1,764.0	3,077.1	151.0	5,900.1	-908.0
2005	1,272.9	2,859.1	147.5	6,195.1	-1,915.7
2006	2,217.7	2,696.6	143.8	6,392.2	-1,334.2
2007	1,196.6	2,763.8	142.1	5,761.9	-1,659.4

*調査団が作成

湖における水収支バランスについては、2003年を除いた年で、マイナスとなっており、湖水位の観測値と同様に湖水が減少している。2003年の特徴は、河川流入量が多いことである。主要河川における観測値による流出率においても、どの河川でも、他の年と比較して流出率が高い状況にある（図5.2.30参照）。これは、1999年～2001年の渇水を受け、2002年に貯めたダムの水を2003年に放流した可能性、または、2002年の陸域の土壌や地質の水分状況が高い状態で2003年を迎え、地下への浸透量が相対的に減り、表面流出または中間流出が増えた可能性が考えられる。

しかし、2004年は2003年より降水量が多いにも関わらず、流出率が2003年と比較すると低下している。土壌や地質の水分状況の影響であれば、2004年も2003年と同等またはそれ以上の流出率が考えられる。以上より、2003年の水収支がプラスになった要因は2002年に貯めたダムの水を放流した影響と考えられる。

そこで、実績データのあるダムにおける年毎のダムへの流入量と放流量の比較を実施した。その結果を表5.2.22に示す。2003年においては、BukanとNahandは流入量より放流量の方が多く、Mahabadは2002年により多くの水を貯め、放流していると考えられることから、2003年の水収支がプラスになった要因はダムの影響が大きい。

表5.2.22 Bukanダムにおける流入出量の比較

項目 年	Bukan			Mahabad			Nahand		
	① 流入量 (MCM)	② 流出量 (MCM)	①-②	① 流入量 (MCM)	② 流出量 (MCM)	①-②	① 流入量 (MCM)	② 流出量 (MCM)	①-②
2002	1,579.811	1,543.07	36.742	228.0	134.5	93.554	38.8	25.2	13.606
2003	2,901.514	2,940.52	-39.006	419.7	372.6	47.096	45.7	50.3	-4.626
2004	1,908.959	1,778.93	130.034	378.3	362.3	16.033	37.6	36.6	0.99

*WRMC提供データを基に調査団が作成

湖水位に与える影響を分析するため、陸域から河川への河川流出量と河川からオルミエ湖への河川流入量を用いて、推定される水利用量、河川流出量に対する河川流入量の割合、河川流出量に対する水利用量の割合を算出した（表5.2.23参照）。この結果より、渇水傾向であった1999年～2001年およびダムでの貯水の影響が考えられる2002年、2003年を除く、2004年～2007年にかけては、水利用量が年々増えている傾向にあり、オルミエ湖への流入割合が

減少し、水利用量が増えている。流域の土地利用が大きく変化していないと仮定すると、ダムでの貯水状況による違いも考えられるが、河川からの取水の増加、地下水利用増加による地下水位低下に伴う河川から地下へ伏設量の増加の可能性が考えられる。

表5.2.23 河川流入割合（計算結果に基づく）

項目 年	① 河川からの 流入量 (MCM)	② 河川への流出量 (MCM)	③ 推定される 水利用量 ②-①	湖への流入率 ①/②	水利用割合 ③/②
1999	613.4	847.4	234.0	0.72	0.28
2000	658.2	1,104.3	446.0	0.60	0.40
2001	570.4	1,098.8	528.3	0.52	0.48
2002	2,657.9	4,476.9	1,819.0	0.59	0.41
2003	4,448.7	6,527.4	2,078.7	0.68	0.32
2004	3,077.1	4,796.8	1,719.7	0.64	0.36
2005	2,859.1	4,545.4	1,686.3	0.63	0.37
2006	2,696.6	4,741.9	2,045.2	0.57	0.43
2007	2,763.8	4,983.2	2,219.4	0.55	0.45

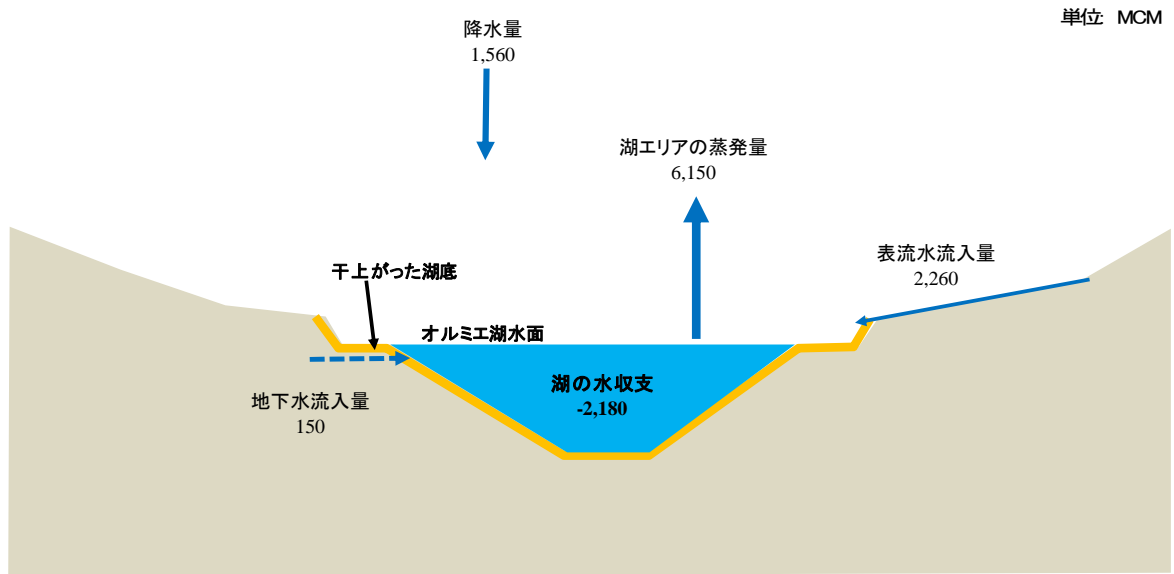
*調査団が作成

以上より、1999年～2007年におけるオルミエ湖流域の水収支状況は表5.2.24のとおり推定される。また、1999年～2007年の平均的な水収支を以下に示す。（図5.2.34参照）

表5.2.24 オルミエ湖流域において推定される水収支

年/期間	想定される水収支
1999～2001	降水量が例年と比較すると少なく、渇水傾向の年であったため、流出率は10%を下回る状況であった。河川からの流入量が少なかったため、湖水位が低下していったと考えられる。
2002	降水量は1999年～2001年と比較すると多い傾向であったが、河川流入割合が他の年と比較すると低いことから、ダムで貯水または河川取水が増えたと考えられる。
2003	2002年に貯留されたダムの水を放流したため、流出率が大きくなり、結果、オルミエ湖への流入量が増え、湖水位が回復したと考えられる。
2004～2007	2004年は2003年よりも降水量が多い年であったが、湖水位が回復するには至らなかった。また、2005年は降水量の少ない年であったため、湖水位が低下し、降水量の多かった2006年では、湖面蒸発量が他の年と比較すると大きく、回復するまでには至らなかったと考えられる。2007年も降水量が少なくなったため、湖水位は回復しなかったと考えられる。 2003年～2007年にかけて、河川流入割合が徐々に低下し、これに合わせて水利用量の割合が増えている。ダムでの貯水状況による違いも考えられるが、河川からの取水の増加、地下水利用増加による地下水位低下に伴う河川から地下へ伏設量の増加の可能性も考えられる。

*調査団が作成

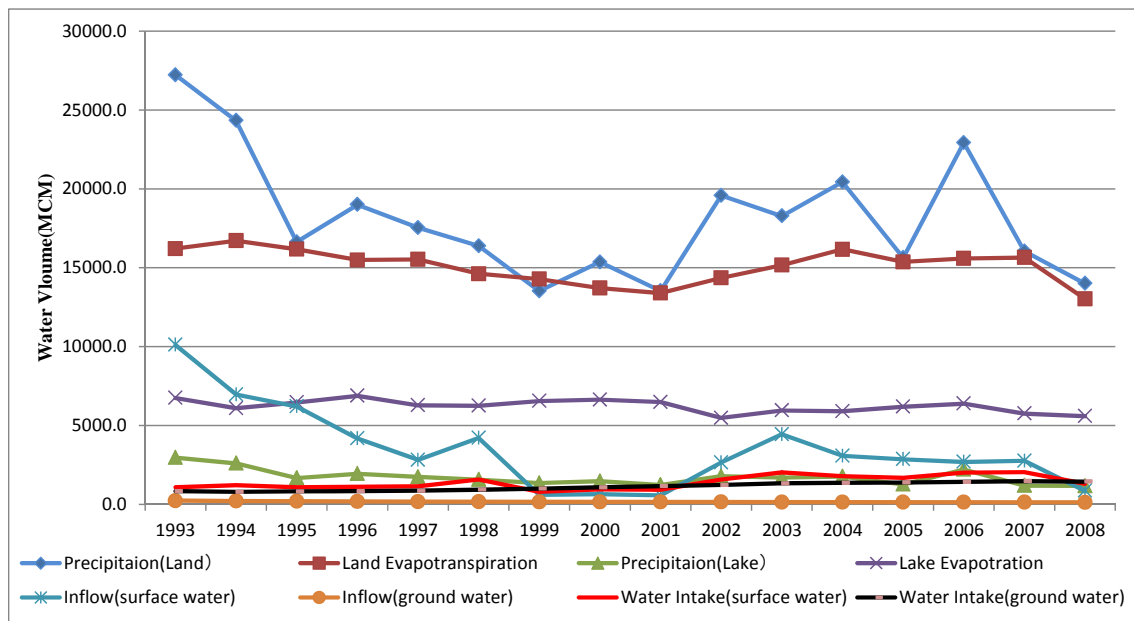


*調査団が作成

図5.2.34 解析モデルによる水収支結果 (1999年～2007年の平均 単位: MCM)

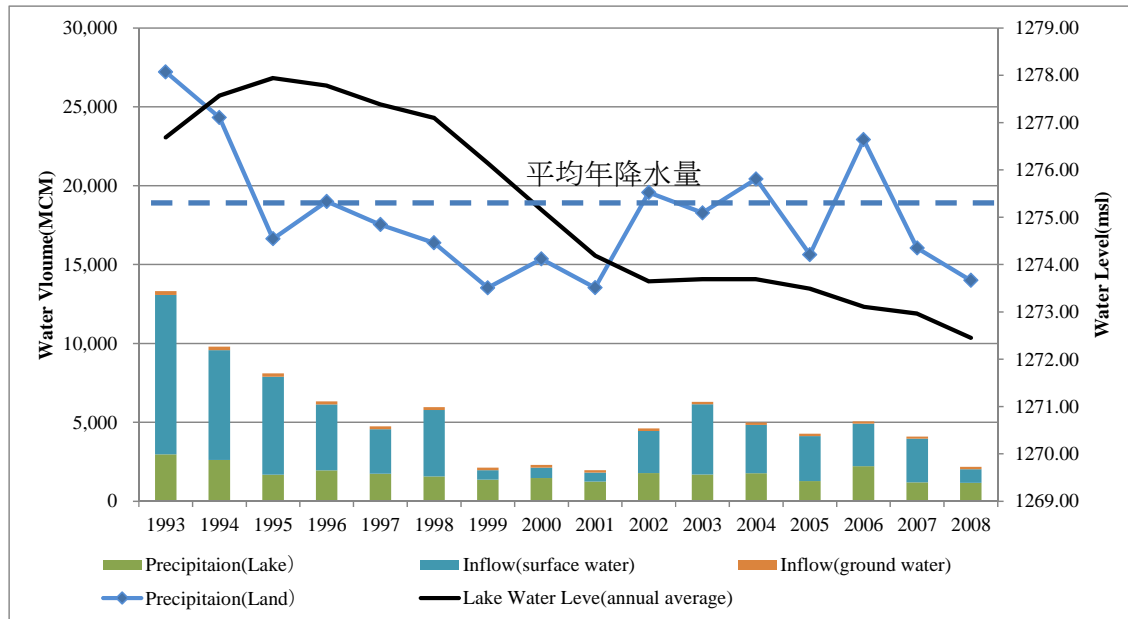
(2) 1993年～2008年 (約15年) における水収支

過去の長期間に亘る水収支の変化状況から、湖水位低下の要因を探るため、本解析モデルを使用し、気象条件が揃っている1993年～2008年のシミュレーションを実施した。シミュレーション結果から、湖の水収支に作用する要素として、降水量 (陸域および湖面)、蒸発量 (陸域および湖面)、湖への流入量 (河川および地下水)、取水量 (地表水および地下水) の年間ボリュームを算出した。その結果を図5.2.35に、湖の水収支にプラスの影響を与える要素のみの結果を図5.2.36に、マイナスの影響を与える要素のみの結果を図5.2.37に示す。



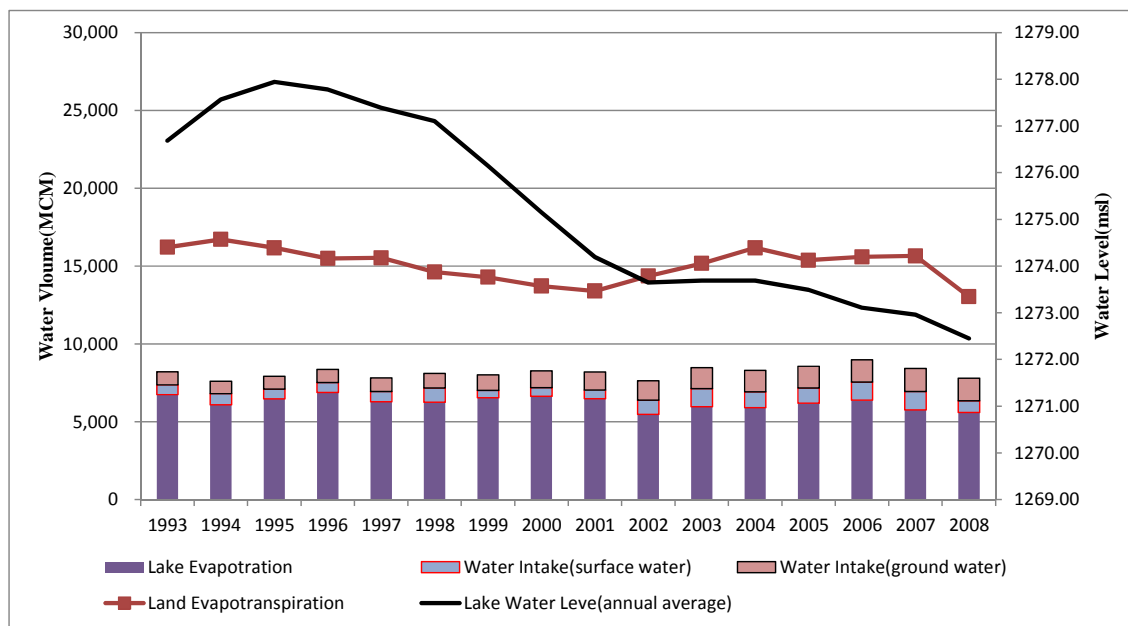
*調査団が作成

図5.2.35 水収支に作用する要素の経年変化



*調査団が作成

図5.2.36 水収支にプラスの作用をする要素の経年変化



*調査団が作成

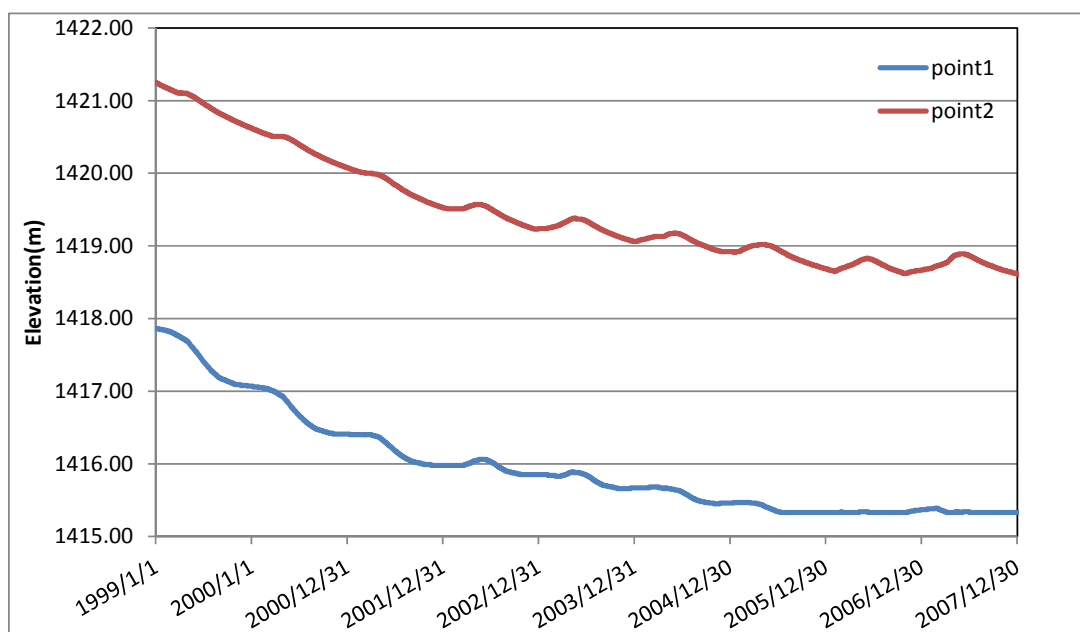
図5.2.37 水収支にマイナスの作用をする要素の経年変化

図5.2.36 より、陸域の降水量の変動幅が非常に大きく、湖への地表水流入量がこの変動によく応答している。1995年から2001年は降水量が平均降水量以下の状態が続いており、同時期に湖水位が低下していることがわかる。湖水位の減少は1996年から始まり2003年を除く年で、前年より減少している。計算結果から、1996年は河川流入量が約4,000MCMであり、2003年が約4,500MCMであることから、4,500MCMを下回ると湖水位が低下すると考えられる。また、図5.2.37より、地表水、地下水の取水量は経年的に増えているものの、その量は湖への地表水流入量と比較すると小さいものである。以上より、湖にプラスに作用する要素の変化が、近年の湖水位の変化に大きく寄与していると考えられ、さらに水文サイクルの順番から考えると、陸域全土の降水量の低下が根幹となる影響要素であると考えられる。また、今後、平均降水量を下回る年降水量が頻発すると仮定した場合、水位低下現象が発生する発端となった1999年から2001年の渇水期以前の状態の河川流量に回復させるためには、取水量制限

の対策のみでは間に合わないことがわかる。

一方で、図5.2.36より、2006年は1994年とほぼ同じ降水量であった。しかし、1994年は湖水位が上昇し、2006年は湖水位が低下している。その要因は湖への地表水流入量が1994年と2006年では、倍半分程度の違いがあるためである。(1994年は約7,000MCM、2006年は約3,000MCM) 同じ年のマイナス要因を確認すると、陸域、湖面ともに蒸発量に大きな違いがない一方で、表流水と地下水の取水量が2006年の方が大きい。(1994年は約1,500MCM、2006年は約2,600MCM) しかし、地表水流入量の違いに比べれば、取水量の違いは少なく、これだけでは、地表水流入量の違いを説明できない。そのため、地表水流入量の違いは流域から河川への流入量の変化または河川からの伏没量の変化が大きな要因として考えられる。この両方の変化に共通する項目として、地下水位がある。地下水位が低下することによって、河川への基底流量の減少だけでなく、鉛直方向への浸透量が増え、中間流出成分も減少する可能性がある。河川からの伏没量も地下水位の低下により増える可能性がある。加えて、2章において、地下水位の観測値の経年変化をまとめている。その結果から、1994年と2014年の地下水位低下量は大きい観測所で10m以上も低下していることがわかっている。また、解析モデルによる計算結果からも地下水位が低下していることがわかる。(図5.2.38参照)

以上の状況から、過去からの近年にかけての湖水位低下については、降水量の減少に伴う地表水流入量の減少が最も大きな影響要因である。一方、平均降水量程度の降水が近年発生しているにもかかわらず、湖水位が回復しない要因には地下水の低下が影響していることがモデルの計算結果からわかる。



*Point1 は湖北東部付近、Point2 は湖南東部付近の計算地下水位

図5.2.38 地下水位の経年変化 (シミュレーション結果)

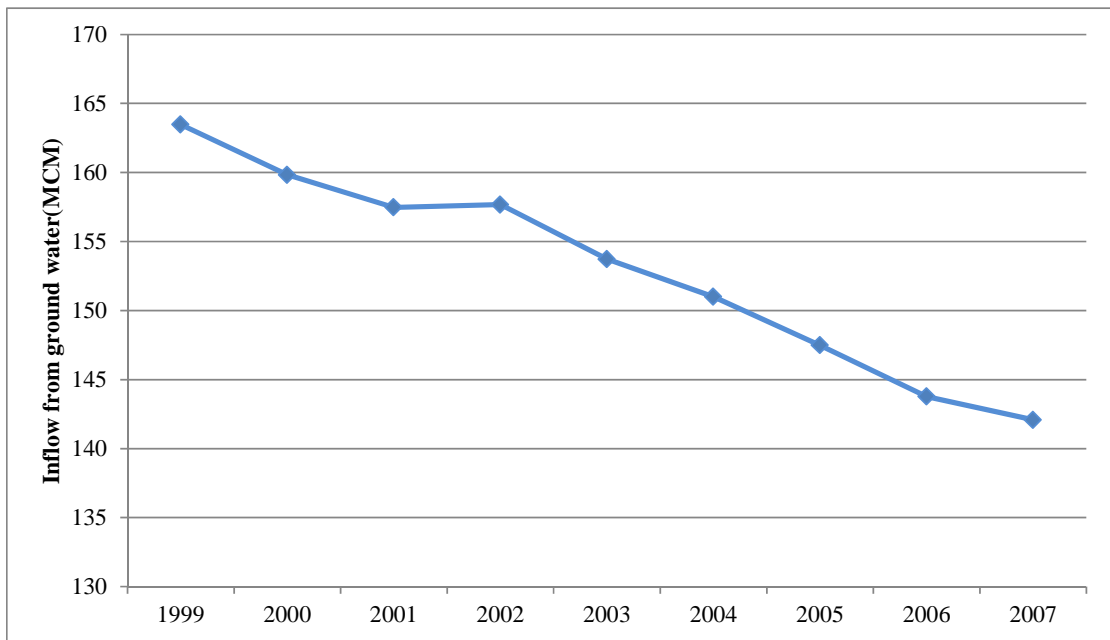
(3) 解析モデルによる水収支のまとめ

上述した検討のとおり、本解析モデルを用いたオルミエ湖流域における水収支の検討結果から、湖水位低下の要因をまとめると以下ようになる。

- 1995年以降の急激な湖水位低下には、降水量の減少に伴う地表水流入量の減少が最も大きな影響要因であると考えられる。(図5.2.36 参照)湖水位を上昇させるためには、地表水流入量を4,500MCM程度確保する必要がある。
- 平均年降水量に近い2002年以降においても、湖水位が回復しない要因として、地下水の低下に伴う河川への流出量の減少、河川からの伏設量の増加による地表水流入量の減少が影響している可能性が示唆される。(図5.2.36 および図5.2.38 参照)

以上の湖水位低下要因から、湖水位回復に向けて、以下の要点が導き出される。

- 気象条件に大きく左右されるが、湖水位回復のためには、河川からの流入量を増やすことが重要と考える。そのためには、河川からの取水量の削減、適正な取水量の設定が必要である。
- 本モデルによる計算結果からも、地下水からの流入量が減っている傾向にあることがわかる(図5.2.39 参照)。オルミエ湖への流入量は河川と比較すると少ないが、渇水時には重要な流入源となりうる。シミュレーション結果から、渇水年であった1999年～2001年と2008年においては湖への流入量のうち、地下水が占める割合が20%近くあり、重要な流入源であることがわかる。(図5.2.40 参照)また、地下水取水が増え続ければ、地下水からの流入量の減少だけでなく、陸域での地下水位の低下、これに伴うオルミエ湖への河川流入量を減らすことにつながる。
- 地下水位が低下することによって、塩水であり、淡水より比重の大きいオルミエ湖内の水が陸域へ侵入し、湖水位の低下や井戸の塩水化、さらなる河川水への依存を引き起こす可能性が考えられる。このため、地下水位を維持するためにも、地下水取水についても、適正な取水量の設定が必要であり、これにより、河川への基底流量の増加、河川からの伏設量の減少により、オルミエ湖の河川流入量を増やすことが可能となる。さらに、地下水位が回復することによって、オルミエ湖周辺の湿地帯の保全にも貢献できる可能性がある。
- 湖水位が回復した2003年はダムでの貯水が影響であり、今後の気候変動による降水量の変化、降水パターンの変化に柔軟に対応し、水利用量と湖水位のバランスを図るためには、ダムの運用が重要になると考える。今後は、ダムの運用方法について検討し、表流水の安定的な供給と地下水への依存度の低下を図り、人工的な影響を加味した健全な水循環を構築する必要がある。



*調査団が作成

図5.2.39 地下水流入量の経年変化 (シミュレーション結果)

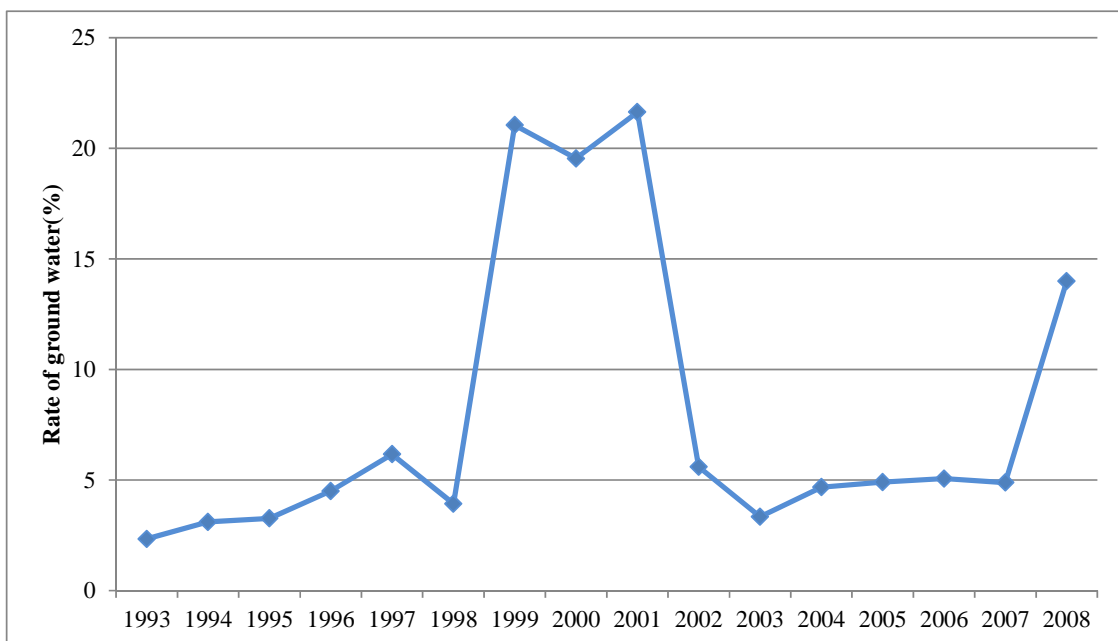


図5.2.40 地下水流入割合の経年変化 (シミュレーション結果)

5.3 GETFLOWSによる分布型物理流出モデルの構築

MIKE-SHE では地表水と地下水を別のタイムステップで結合して、解析を実施している。一方、地表水・地下水を完全に連成し、多相多成分流体を対象とした統合水循環シミュレータであるGETFLOWS (General-purpose Terrestrial Fluid-FLOW Simulator) (図5.3.1 参照) は、より実現に近い解析が可能である。特に、降雨や蒸発等による非定常な流出解析を実施する上では、不飽和帯の水分特性に加え、空気の中での圧力状況の変化(サクショクンの変化)が地表面流出や中間流出に大きな影響を与えることから、GETFLOWS では、水循環機構を解明するのに適したモデルである。

国内では、2013年国連“生命の水(Water for Life)”最優秀賞(水管理部門)を受賞した熊本、木曾川流域、地下水利用が盛んな秦野市等、地下水に課題を抱えた地域における適用実績が多い。また、海外では、黄河流域やスリランカ全土で適用されている。

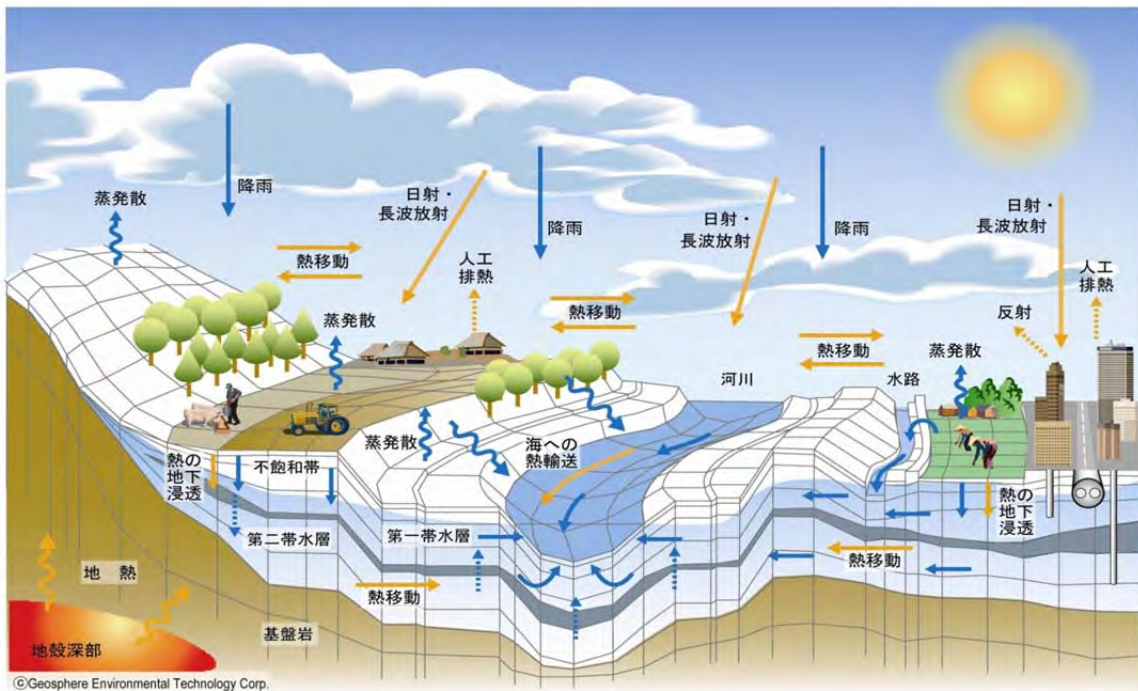


図5.3.1 GETFLOWS の概念図

5.3.1 GETFLOWS の理論

以下に、支配方程式、地表水、地下水の完全連成手法を示す。

(1) 地表流の流体理論

河川や山肌を流れる地表水流動は、開水路流れとしてモデル化される。いま、図5.3.2に示す一様斜面の開水路を流れる水塊（水流の横断面 A,B 間の水塊）の挙動を考える。水路幅に対して水深は十分小さいものとする、鉛直方向に平均化した浅水流近似を適用することができる。水流の駆動力は地形勾配及び水深勾配であり、これに底面から作用する摩擦力や系外との出入りを付与すると、運動方程式は次のように表される。

$$\beta \frac{1}{g} \frac{\partial v_x}{\partial t} = \frac{\partial \xi}{\partial x} - \frac{\partial h}{\partial x} \cos^2 \theta_x - \frac{\partial h_{fx}}{\partial x} - \frac{\alpha}{2g} \frac{\partial v^2}{\partial t} - \frac{P_r v_x}{gh} \quad (1)$$

ここで、

θ_x, θ_y	: 流動方向毎の斜面勾配 [-]
h	: 水深 [L]
h_{fx}, h_{fy}	: 流動方向毎の摩擦損失 [-]
v_x, v_y	: 水深で平均化した流動方向毎の流速 [LT^{-1}]
ξ	: 開水路高 [L]
α	: エネルギー補正係数 [-]
β	: 運動量補正係数 [-]
P_r	: 降雨量 [LT^{-1}]
g	: 重力加速度 [LT^{-2}]
t	: 時間 [T]
x, y	: 流動方向成分の距離 [L]

である。

上式の右辺第一項は斜面勾配による駆動力（重力項）、第二項は水深勾配による駆動力（圧力項）、第三項は摩擦による抵抗力（摩擦項）、第四項は運動量の収支（速度項）、第五項は降雨による運動量の損失項を示す。左辺は、これらの外力の帰結として生じる水流の速度変化（慣性項）を示す。

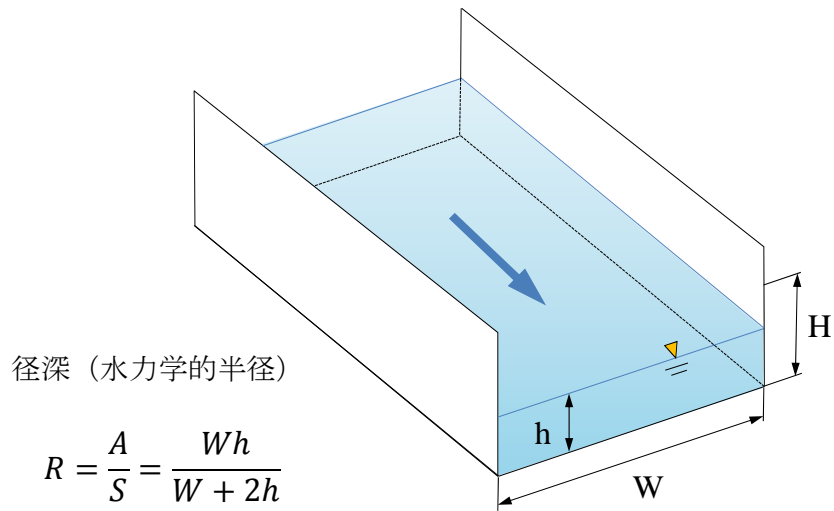


図5.3.2 開水路流れの模式図

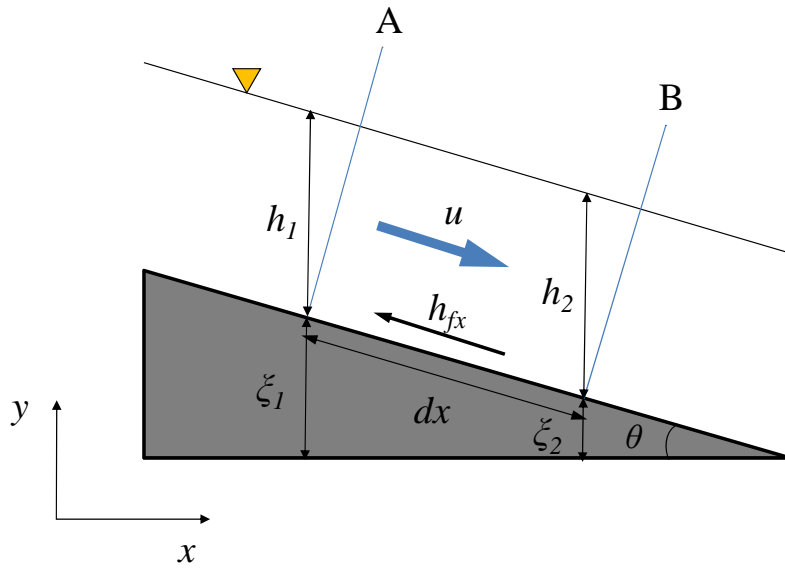


図5.3.3 開水路の水塊の運動

(a) 連続の式

流路幅が一定でない流れに対する水塊の質量保存の関係式は、二次元平面内のそれぞれの流動方向成分に対して次のとおり表される。

$$\begin{aligned} \frac{\partial \rho v_x A_x}{\partial x} + \frac{\partial \rho A_x}{\partial t} &= 0 \\ \frac{\partial \rho v_y A_y}{\partial x} + \frac{\partial \rho A_y}{\partial t} &= 0 \end{aligned} \quad (2)$$

ここに、 ρ は水の密度、 A_j は j 方向 ($j=x,y$) の断面積 (L^2) で、特に流路幅 W_j が一定である場合は $A_j=W_j h$ であり、上式は次のように表される。

$$\begin{aligned} \frac{\partial (v_x h)}{\partial x} + \frac{\partial h}{\partial t} &= 0 \\ \frac{\partial (v_y h)}{\partial x} + \frac{\partial h}{\partial t} &= 0 \end{aligned} \quad (3)$$

(b) 平均流速公式

開水路の実験により、水塊の重さの流れ方向成分と潤辺に沿った摩擦抵抗が釣り合う等流条件では、以下の平均流速公式 (Manning の公式) が成り立つことが知られている。

$$v = \frac{R^{2/3}}{n} \sqrt{\frac{\partial \xi}{\partial x}} = \frac{R^{2/3}}{n} \sqrt{i_g} \quad (4)$$

ここに、 R は水力学的水深を表す径深 (hydraulic radius) であり、流路断面積 A および潤辺長 S (wetted perimeter) を用いて図5.3.2 に示す関係で定義される。 i_g は流れ方向の流路床勾配を示す。 n はマンニングの粗度係数 (Manning's Roughness Coefficient) であり、河床形状・材料、地表植生 (森林、草地、畑地など)、人工被覆 (舗装面など) に応じて個々の計算格子に対して与えられる。マンニングの粗度係数の次元は $L^{-1/3}T$ であり、SI 単位系では $m^{-1/3}s$ となる。

(2) 地下水流の流体理論

一般化ダルシー則を適用した水・空気 2 相流れの支配方程式は、以下のように表される。

$$\begin{aligned} \nabla \cdot \left(\rho_w \frac{Kk_{rw}}{\mu_w} \nabla \Psi_w \right) - \rho_{ws} q_{ws} &= \frac{\partial}{\partial t} (\rho_w \phi S_w) \\ \nabla \cdot \left(\rho_g \frac{Kk_{rg}}{\mu_g} \nabla \Psi_g \right) - \rho_{gs} q_{gs} &= \frac{\partial}{\partial t} (\rho_g \phi S_g) \end{aligned} \quad (5)$$

上式は多孔質媒体中の水、空気に関する質量保存則を表す。各式の左辺第 1 項は流動項（移流項）、第二項は生産項、右辺は貯留項を示す。式中の記号の説明は以下のとおりである。

- K : 絶対浸透率(m^2)
- S_p : 流体相 $p(=w,g)$ の飽和度(-)
- ρ_p : 流体相 $p(=w,g)$ の粘性係数($Pa \cdot s$)
- μ_p : 流体相 $p(=w,g)$ の密度(kg/m^3)
- Ψ_p : 流体相 $p(=w,g)$ のポテンシャル(Pa)
- ϕ : 間隙率(-)
- t : 時間(s)
- q_{ps} : 流体相 $p(=w,g)$ の生産・消滅量($m^3/m^3/s$)

なお、上式中の絶対浸透率と相対浸透率の積は方向性を持ち、等方性、異方性地盤の双方が考慮される。上式中の水相、空気相のポテンシャルは、それぞれ次式で表される。

$$\begin{aligned} \Psi_w &= P_g - P_{cw} + \rho_w gZ \\ \Psi_g &= P_g + \rho_g gZ \end{aligned} \quad (6)$$

ここに、 P_g は空気相圧力、 P_{cw} は毛管圧力であり、 Z は標高（上方に正にとった距離）である。また、飽和率の間には次の関係がある。

$$S_w + S_g = 1 \quad (7)$$

上式の未知変数は、空気相の圧力 P_g と水飽和率 S_w であり、本シミュレータでは、両状態量を同時完全陰解法により解く。

(3) 地表・地下流体の完全連成

陸面を流れる地表水と地下地層中の水、空気 2 相圧縮性流体の同時流れは、流体相毎に質量収支式に、地表水、地下流体のそれぞれの運動量保存則を与えた次の支配方程式によって一般化される。

$$-\nabla M_p - \rho_p q_p = \frac{\partial (\rho_p \phi S_p)}{\partial t} \quad (8)$$

ここに、 M_p は流動による質量フラックス($kg/m^2/s$)、 $p(=g:gas,w:water)$ は流体相を示す添字である。地上、地下の流体相互作用は、左辺第 1 項の流動項に上述したそれぞれの運動量保存式を適用し、それらを同時陰的に解くことで考慮される。地上流体は、上式を水相($p=w$)のみに適用し、マニング型の開水路流れを記述する浅水波方程式に拡散波近似を適用した式

を用い次式で表される。

$$M_w = -\frac{\rho_w R_x^{\frac{2}{3}} W_x h}{n} \sqrt{\left| \frac{\partial h_f}{\partial x} - \frac{\partial h}{\partial x} \cos^2 \theta \right|} \operatorname{sgn} \left(\frac{\partial h_f}{\partial x} - \frac{\partial h}{\partial x} \cos^2 \theta \right) \quad (9)$$

地下流体に対しては、水、空気 2 相 2 成分流体系にダルシー型の流速公式を適用した(5)式を用い、次式により表される。

$$M_p = -\frac{\rho_p K k_{rp}}{\mu_p} \nabla (P_p + \rho_p g Z) \quad (10)$$

ここに、 K は絶対浸透率(m^2)、 $k_{rp}(S_p)$ は飽和度の非線形関数で表される相対浸透率(-)、 μ_p は粘性係数($Pa \cdot s$)、 P_p は流体圧(Pa)、 g は重力加速度(m/s^2)、 Z は基準高さ(m)である。各相の流体圧の間には $P_a = P_w + P_c(S_w)$ の関係が成り立つ。 $P_c(S_w)$ は水飽和度の関数となる毛管圧(Pa)を示す。地上、地下流体が出入りする陸面境界での質量フラックスは、疑似毛管圧力、疑似相対浸透率と呼ばれる 2 相流曲線を与えて評価する。この 2 相流曲線は地層媒体へ与える不飽和物性（相対浸透率、毛管圧）と同等の取扱いを地上の自由空間と地下のポテンシャル差を表現できるよう拡張したパラメータであり、湧水や雨水浸透、それに伴う空気の地下侵入や流出といった地上ー地下間の連続した流体移動を統一的記述のもとで解析するものである。

5.3.2 解析モデルの設定 (GETFLOWS)

GETFLOWS の設定は表5.3.1 に示す通り MIKE-SHE と同様の設定を採用することとする。ただし、設定方法が同じでも、メッシュ形状が異なることから、全く同じモデルとなっているわけではない。MIKE-SHE と違う設定条件については、表5.3.2 に示す通りである。なお、詳しい設定方法については後述する。

表5.3.1 GETFLOWS の条件設定の概要

大項目	項目	設定方法	MIKE-SHE との比較 (○：同じ設定方法)
	モデル化範囲	モデルの地表および地下の境界は地表水の流域界とする。	○
	メッシュサイズ	MIKE-SHE とほぼ同様の 2km メッシュ(直交格子ではない)。	
	検証計算期間	計算時間を考慮して、検証計算は 1999 年～2003 年の 5 年間とする。	
気象	湖面蒸発量	MIKE-SHE のキャリブレーション結果から得られたパン蒸発計の 67%を参考に、キャリブレーション時に調整する。	
	陸域蒸発散量	GETFLOWS では可能蒸発散をモデルへ与えるため、ハーモン法による可能蒸発散量を使用する。	
	降水量	MIKE-SHE と同じ降水量を使用する。	○
地質	地下構造	GETFLOWS では、地質条件によって、流出特性が大きく左右されるため、表土層、風化帯、深層風化帯、基盤の 4 種類と地質の年代 (第四紀層、第三紀層、中生層、古生層、プレカンブリアン、火成岩、メランジュ) の組合せによってモデル化した。	
	地下層のパラメータ (透水係数等)	建設省指針 (案) を参考に現地地質条件を確認した値を採用し、解析モデル構築の過程で調整する。	
地形	地表面標高	MIKE-SHE と同じ DEM データを使用し、メッシュ標高地盤高を作成	○
	湖底標高	MIKE-SHE と同じ DEM データを使用し、メッシュ標高地盤高を作成	○
土地利用	地表粗度	MIKE-SHE と同じデータを使用し、(法) 土木研究所の氾濫シミュレーションマニュアルに記載されている、土地利用毎の粗度係数 (0.06～0.05) を採用する。	○
自然条件	河道網	MIKE-SHE と同じ河道をモデル化する。 横断面は矩形で設定するものとし、河床高は 90m-DEM のデータを用い、地表面の水の流れを見ながら逐次変更する。(窪地で貯まっている箇所は解消)	○
人工条件	ダム	MIKE-SHE と同じダムをモデル化対象とし、メッシュ上で標高を下げることでダム湖を表現し、放流量についてはダム下流のメッシュに与える。	○
地下水	初期状態	地表面まで地下水で満たされた飽和状態を作成し、1999 年の湖水位を境界条件とし、1992 年～1998 年までの気象条件 (降水量、湖面蒸発量、蒸発散量) を与え、地下水位の変動が収まった状態を初期状態とする。	
水利用	河川取水	MIKE-SHE と同じ設定でモデル化する。	○
	地下水取水	MIKE-SHE と同じ設定でモデル化する。	○

表5.3.2 MIKE-SHE と GETFLOWS の条件比較

大項目	項目	MIKE-SHE	GETFLOWS
	メッシュサイズ	地形・土地利用の再現性・計算時間より判断し、2km 正方形メッシュ。	オルミエ湖流域の地形形状を考慮した約2km の非直行格子。
	検証計算期間	検証計算：1999年～2007年の9年間	検証計算：1999年～2003年の5年間
気象	湖面蒸発量	IMOの日蒸発量データ(10観測所)を基に、ティーセン法により、湖面上の日パン蒸発量を算出し、これに、「イ」国の Tabiat Moares 大学の研究発表成果に基づき、日蒸発量データの60%を参考とし、キャリブレーション時に調整する。	MIKE-SHE のキャリブレーション結果から得られたパン蒸発計の67%を参考に、キャリブレーション時に調整する。
	陸域蒸発散量	IMOの日蒸発量データを基に、ダム流域の降水量および流出量から想定される蒸発散量を算出し、パン蒸発量に対する割合を参考に、解析モデル構築の過程で調整する。	GETFLOWS では可能蒸発散をモデルへ与えるため、ハーモン法による可能蒸発散量を使用する。
地質	地下構造	分析結果を基に、地質を第四紀層、第三紀層、中生層、古生層、プレカンブリアン、火成岩、メランジュを面的にレイヤ化し、地質の種類に応じたパラメータをメッシュ毎に与えていく。	GETFLOWS では、地質条件によって、流出特性が大きく左右されるため、表土層、風化帯、深層風化帯、基盤の4種類と地質の年代(第四紀層、第三紀層、中生層、古生層、プレカンブリアン、火成岩、メランジュ)の組合せによってモデル化した。
	地下層のパラメータ(透水係数等)	建設省指針(案)を参考に現地の地質条件を確認した値を採用。	建設省指針(案)を参考に現地の地質条件を確認した値を採用し、解析モデル構築の過程で調整する。
地下水	初期状態	MIKE-SHE で1993年～1999年までの気象条件(降水量、湖面蒸発量、蒸発散量)を与え、計算を実施し、1999年の湖水位に近づいた計算結果を初期状態とする。	地表面まで地下水で満たされた飽和状態を作成し、1999年の湖水位を境界条件とし、1992年～1998年までの気象条件(降水量、湖面蒸発量、蒸発散量)を与え、地下水位の変動が収まった状態を初期状態とする。

(1) 計算メッシュの設定

GETFLOWSによるモデルのメッシュサイズはMIKE-SHEのリファレンスモデルとの位置づけから、2kmメッシュを基本とする。ただし、GETFLOWSは直交格子である必要はなく、柔軟なメッシュを設定できるため、非直交格子とする。あまりにも歪みや大きさの異なるメッシュを設定すると、計算が収束せず、計算時間がかかってしまうことから、なるべく直交性を保ちながら設定することとした。

設定したメッシュの状況を図5.3.4及び図5.3.5に示す。

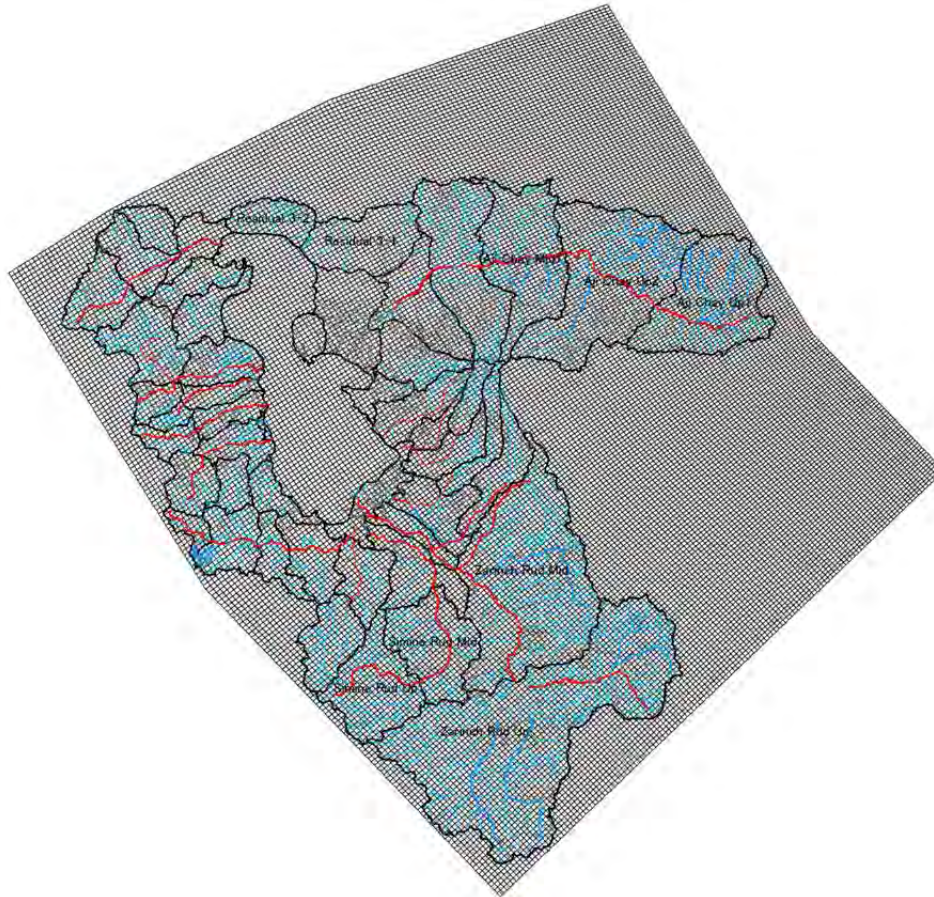


図5.3.4 設定したメッシュ(GETFLOWS)

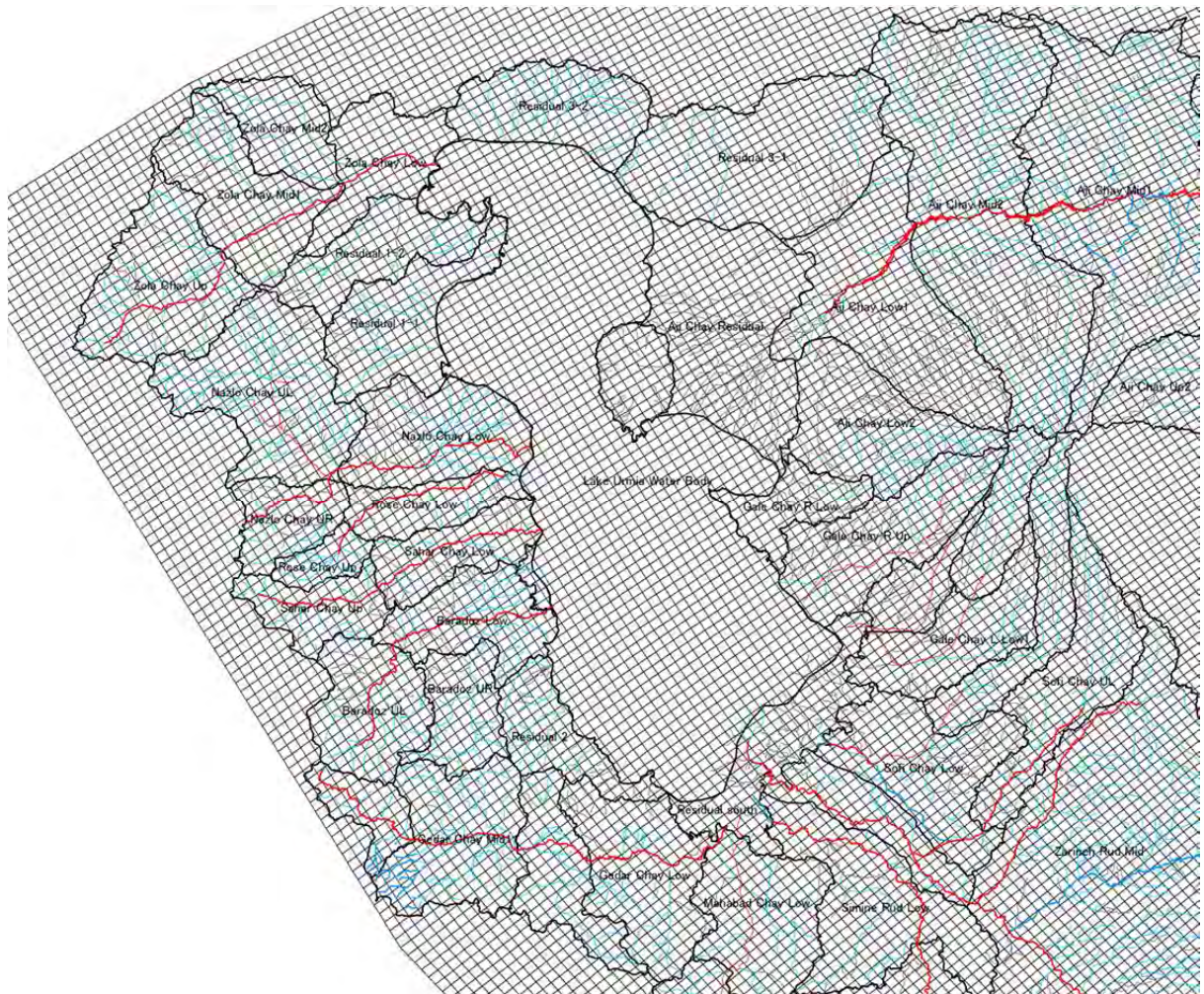


図5.3.5 設定したメッシュの拡大図(GETFLOWS)

(2) 検証計算期間と妥当性確認期間

検証計算期間は MIKE-SHE を参考に、検証材料の湖水位データの信頼性から 1999 年～2007 年の間で設定することとする。なお、GETFLOWS の場合、地表と地下を連成解析することから、流れの速い地表面の流速によって、計算時間が支配され、その状況で 3 次元の解析を実施している。一方、MIKE-SHE は地表と地下を別々に計算し、境界条件の受け渡しを実施しているため、地表面は 2 次元の計算であるため、計算の負荷が少なく、地下は別の time step で計算しているため、GETFLOWS と比較すると計算時間が早い傾向にある。

そこで、GETFLOWS では、検証期間を 1999 年～2003 年の 5 年間とし、モデルの妥当性確認期間として、2004 年～2007 年の 4 年間とする。

(3) 気象条件の設定

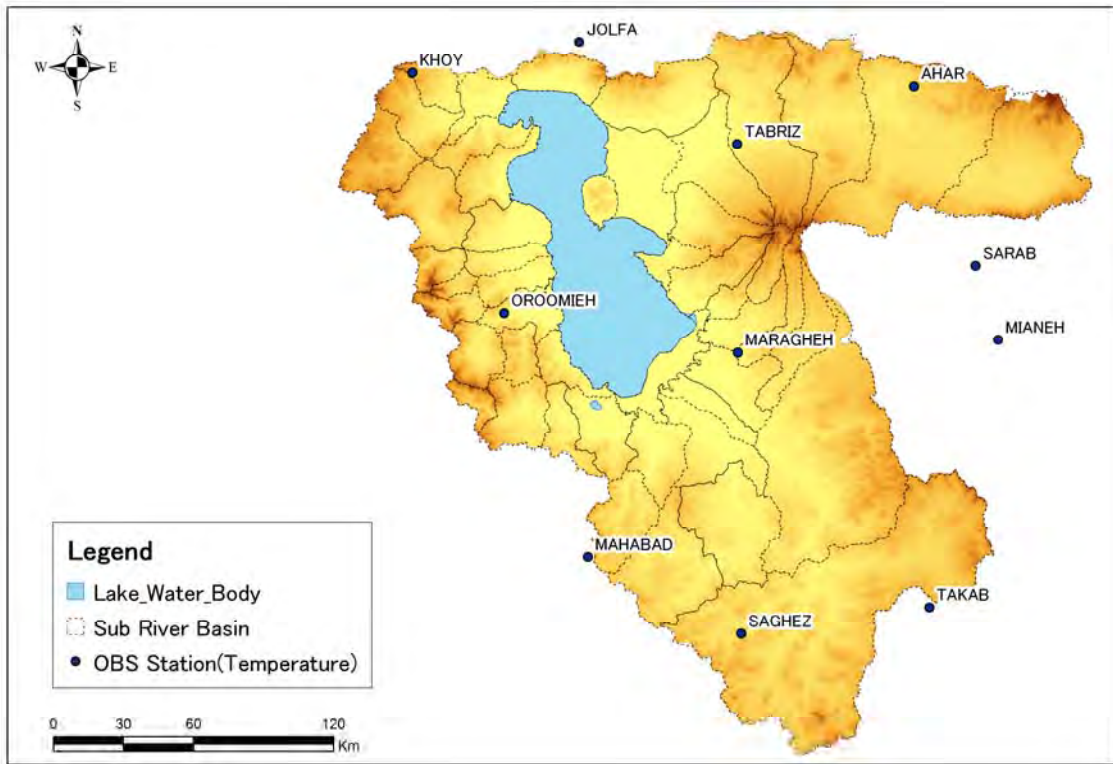
(a) 湖面蒸発量の設定

MIKE-SHE のキャリブレーション結果から得られたパン蒸発計の 67% を参考に、キャリブレーション時に調整する。

(b) 蒸発散量の設定

GETFLOWS では可能蒸発散をモデルへ与えるため、ハーモン法による可能蒸発散量を使用する。ハーモン法は気温のみで可能蒸発散量を算出することができ、少ないデータを有効に活用できることから、ハーモン法を採用した。

本解析モデルへ与える陸域の蒸発散量には、IMO より得られた 11 箇所の観測所における日平均気温を使用した（図5.3.6 および表5.3.3 参照）。ティーセン分割を実施し、本解析モデルへ与えることとした。



*IMO からの提供データをもとに調査団が作成

図5.3.6 気温観測所位置図および小流域界

表5.3.3 可能蒸発散量一覧

観測所名	2007 年における年間可能蒸発散量(mm)
AHAR	659.7
JOLFA	918.5
KHOY	780.6
MAHABAD	776.3
MARAGHEH	807.6
MIANEH	843.0
OROOMIEH	718.2
SAGHEZ	698.4
SARAB	591.0
TABRIZ	811.1
TAKAB	660.2

*IMO 提供データを基に JICA 調査団が作成

*2007 年は平均的な降水量であった。

(4) 地質条件の設定

GETFLOWS では地質条件によって、流出特性が大きく左右されるため、深度方向に表土層、風化帯、深層風化帯、基盤の4種類を設定し、これに表層の地質年代（第四紀層、第三紀層、中生層、古生層、プレカンブリアン、火成岩、メランジュ）の組合せによってモデル化し、それぞれに透水係数等のパラメータを設定することとした。地質の鉛直分布は十分なデータが得られなかったため、表土層は地表面から1m、風化帯と深層風化帯はGISでの地形解析から地表面の勾配に応じた基底面を作成している。GETFLOWSでは地表においても、地下と同様に透水係数をパラメータとしている点がMIKE-SHEと異なる。

パラメータの一次設定は5.2.3(5)で記載した内容と同じである。GETFLOWSにおいて作成した地質の状況を図5.3.7に示す。

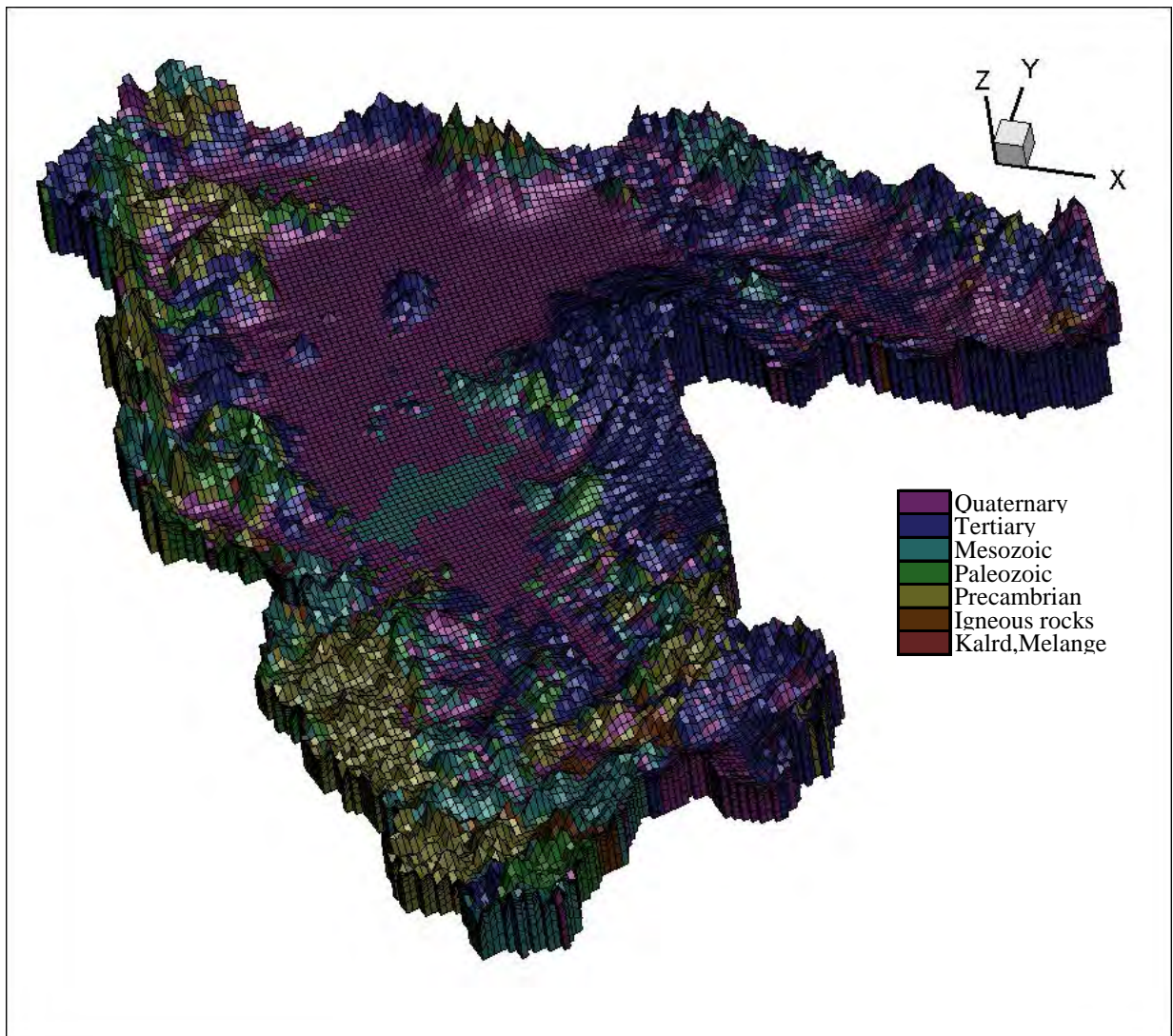


図5.3.7 設定した地質

(5) 地形条件の設定

地形条件も MIKE-SHE と同様に 90m-DEM をベースに GETFLOWS の各メッシュに標高を与え、湖底標高も同様にオルミエ湖深浅測量の DEM を基に作成した。作成した地形標高を図5.3.8 に示す。

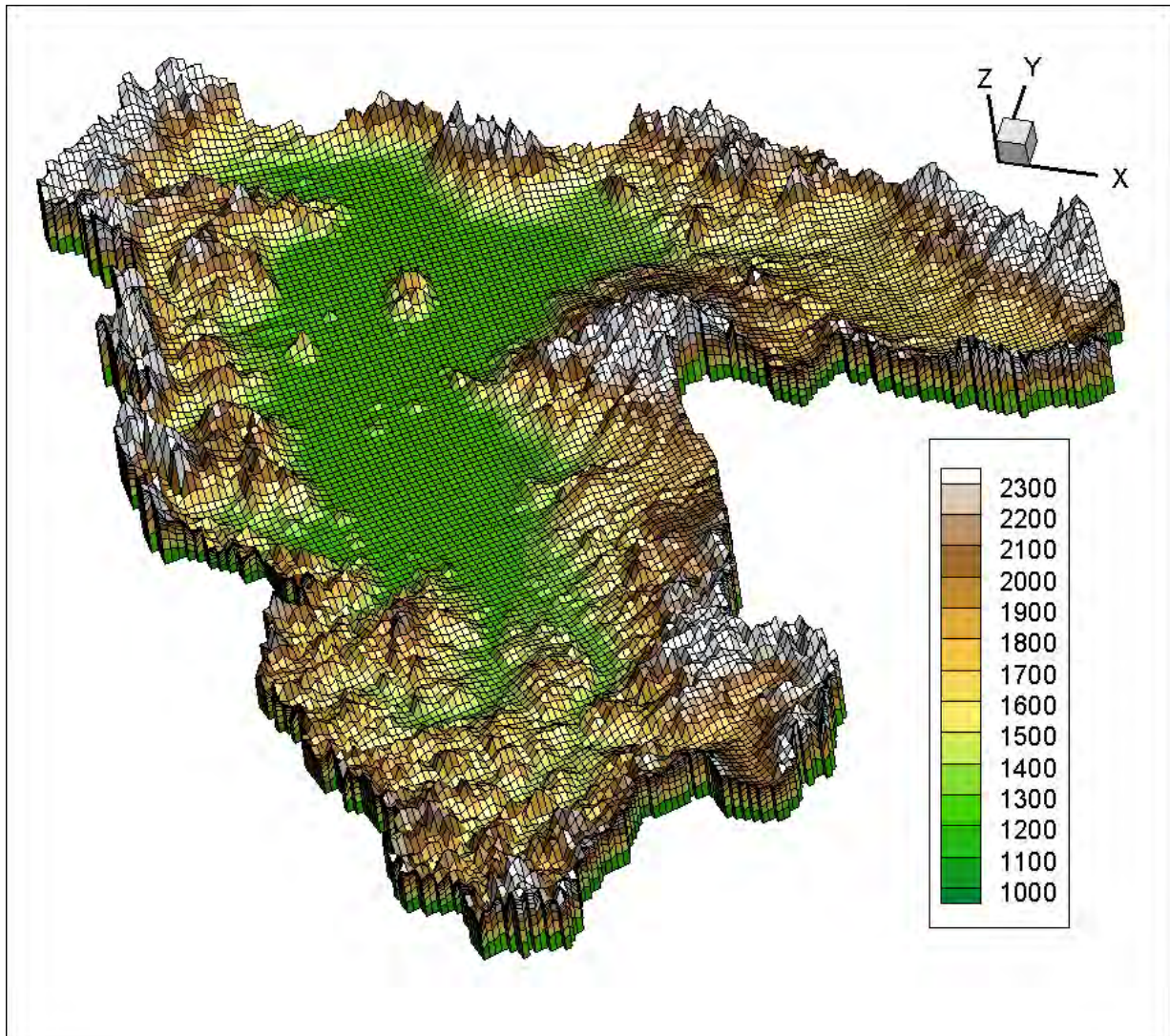


図5.3.8 設定した地形標高

(6) 初期状態の設定

GETFLOWS では地下水の初期状態を作成するために、図5.3.9 に示すような初期状態作成のための計算を実施した。今回のオルミエ湖流域においては、1999 年を検証開始年としていることから、1999 年の湖水位を境界条件として与え、これに合うような初期状態を作成した。

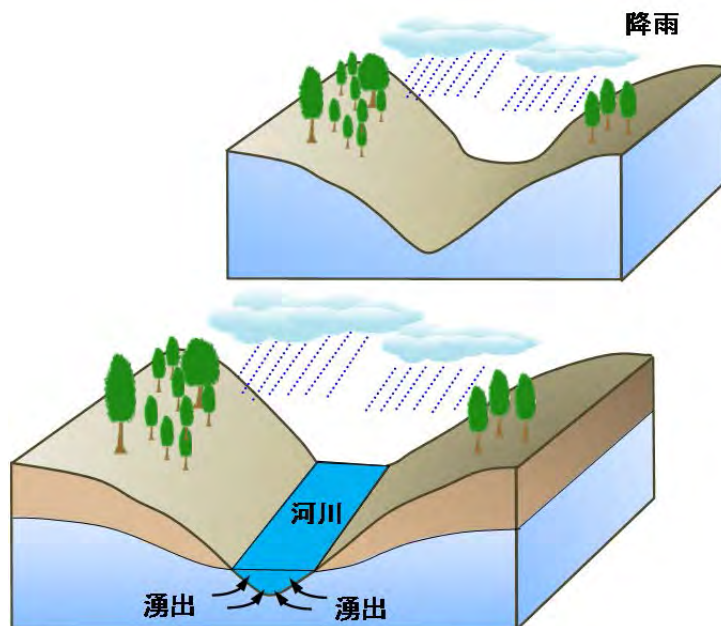
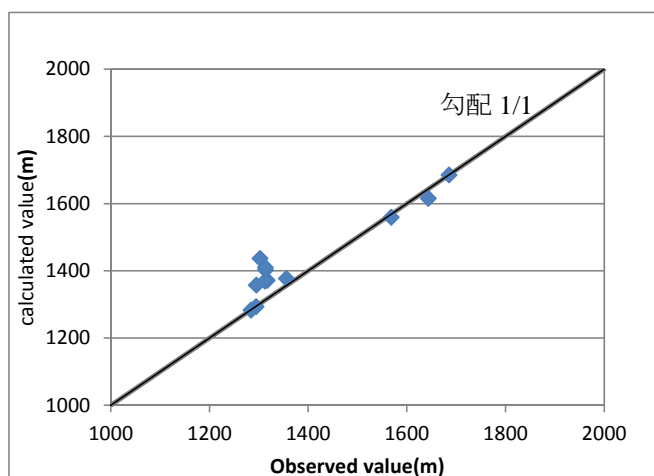


図5.3.9 初期状態作成の様子

- ①地上に水が無く水面を地形に同じくした完全飽和の状態を作成する。
- ②この状態から出発し、流域の平均降水量を与え続け、地盤中を移動する水、空気の2相流れの非定常解析を実施する。
- ③この間、低地では湧水が起こり、河川が形成される。同時に標高の高い地点では地盤内に空気が侵入し、不飽和帯が発達する（地下水水位が低下する）。
- ④最後に、与えられた降水量・地形・地質構造とバランスし、地表水・地下水が完全にバランスされた地下水と河川の流況が描き出される。

この状態における観測値と計算値の地下水水位の結果（12地点）を図5.3.10に示す。なお、この計算は8000年実施し、地下水水位が安定する状態で計算を終了している。計算値と観測値が近い値を示していることから、計算して求めた初期状態は実態に近い状態にあると判断した。



*WRMC 提供データを基に調査団が作成

図5.3.10 地下水水位の計算値と観測値の比較

5.3.3 定数解析の実施（パラメータの検証計算）と結果

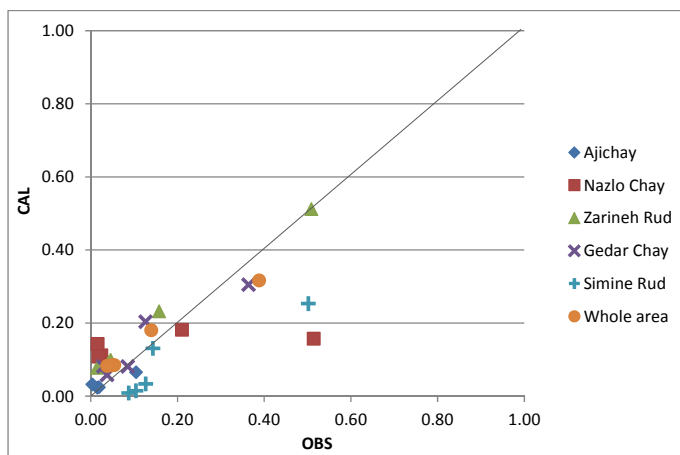
GETFLOWS は物理的な現象をモデル化するプログラムであるため、流出現象を表現するためのパラメータは限られている。GETFLOWS におけるパラメータは「透水係数」「空隙率」が考えられる。これ以外にも湖面蒸発量や陸域蒸発散量は明確な値が不明瞭であるが、すでに MIKE-SHE における検討で設定しているため、これを参考とすることとした。

また、流出量の検証地点も MIKE-SHE と同じ地点で検証することとした。

(1) パラメータの検証結果

GETFLOWS では、湖水位の低減に係る水循環メカニズムを解明することを目的としている。そこで、MIKE-SHE と同様に河川流量の流出率及び湖水位を検証材料とした。

河川流量の再現性確認結果として、流出率の観測値と計算値の比較結果を図5.3.11 および表5.3.4 に示す。渇水傾向であった 1999 年～2001 年は、流域によって精度にばらつきがある。また、渇水が終わった 2002 年と 2003 年においては、全体的に 2002 年では、計算値による流出率の方が観測値による流出率より高い傾向にあり、2003 年では、計算値による流出率の方が観測値による流出率より低い傾向にある。これらはダムによる流量調整の影響があると考えられるが、MIKE-SHE と同様の傾向であるため、図5.3.11 により概ね河川流量の再現性は確保できていると判断する。



*調査団が作成

図5.3.11 検証結果（河川流量の流出率）

表5.3.4 検証結果（河川流量および流出率）

流出率 年	Ajichay		NazloChay		ZarinehRud		GedarChay		SimineRud		Whole area	
	OBS	CAL	OBS	CAL	OBS	CAL	OBS	CAL	OBS	CAL	OBS	CAL
1999	0.02	0.02	0.02	0.11	0.05	0.10	0.09	0.08	0.09	0.01	0.05	0.08
2000	0.02	0.02	0.02	0.11	0.04	0.09	0.03	0.08	0.13	0.03	0.05	0.08
2001	0.00	0.03	0.02	0.14	0.02	0.08	0.04	0.06	0.10	0.01	0.04	0.08
2002	0.04	0.08	0.21	0.18	0.16	0.23	0.13	0.20	0.14	0.13	0.14	0.18
2003	0.11	0.07	0.51	0.16	0.51	0.51	0.36	0.30	0.50	0.25	0.39	0.32

*調査団が作成

*OBS:観測値、CAL:解析モデルでの計算値

河川流量の精度を確保した後、湖水位の精度の確認を実施した。湖水位の観測値と計算値の比較結果を図5.3.12に示す。図5.3.12より、観測値と計算値では、1999年以降、計算値が観測値を上回っている傾向にある。これには、モデルへ入力するデータ不足とオルミエ湖における塩水の影響が考えられる。以下にそれぞれの課題について示す。

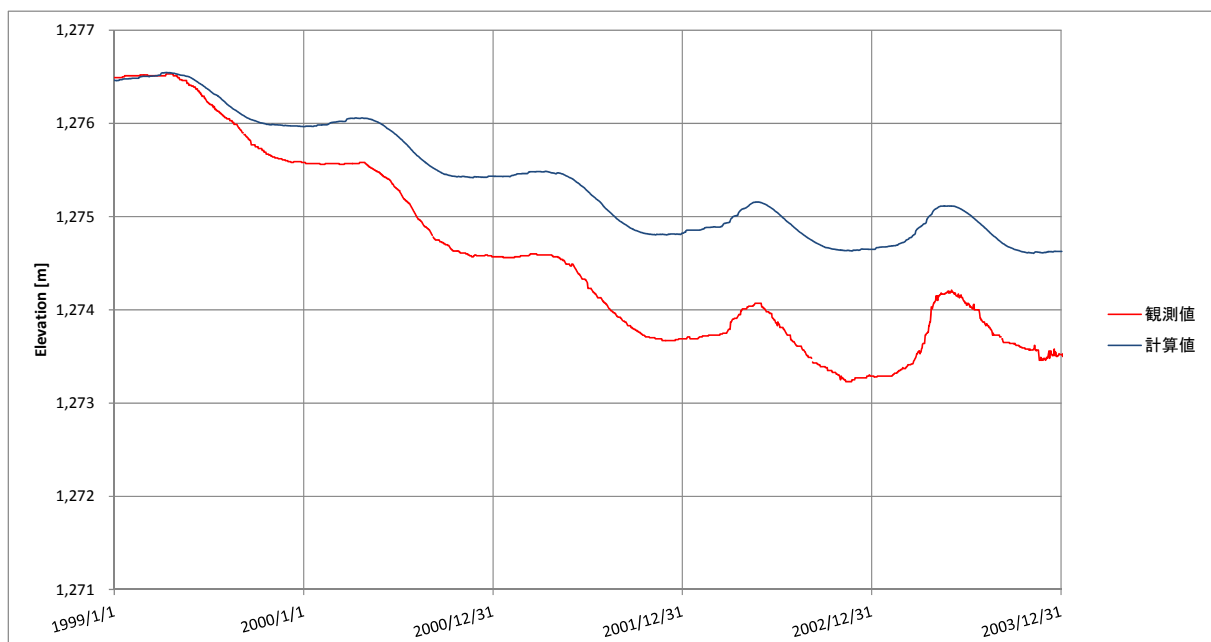
【入力データ不足】

入力している地質の鉛直方向には表土層、風化帯、深層風化帯、基盤を設定しているが、その基底面の情報は得られておらず、作成したモデルが実態に即していない可能性が考えられる。鉛直方向における地層の空間分布がどのようになっているのかを把握し、これをモデルへ入力する必要がある。また、気象条件や水利用データについてもより時空間分布の密度が高いデータを入力する必要がある。詳しい理由は後述する。

【塩水の影響】

オルミエ湖の湖水は塩水であるが、本検討では淡水のみの計算を実施している。実態は塩水と淡水の密度の違いにより、湖底からの湧水量は計算よりも少ない可能性がある。本検討でも、湖底面の透水性と空隙率を下げてきているが、それでも湧出してきている地下水量があると考えられる。

表5.3.4に示した流出率からも観測値と大きな乖離はないことから、湖水位が下がらないのは、地下からの湧出量の影響と考えられる。



*調査団が作成

図5.3.12 検証結果（湖水位）

MIKE-SHEでは、上記二つの課題を Drainage と地質の透水係数で解消している。Drainageは先述したように、地表から浸透してきた水を排水する役割を持つ管きょとして計算が実施され、最終的には河川に流出する。これにより河川への流出現象を表現している。さらに、地中の地質の透水係数を下げることにより、比較的浅い地中から地下への浸透量を抑制し、地下から湖面への湧出量を抑制している。地下への浸透量を抑制することで地中に貯まった水は Drainage を経由して河川、湖へと流入する。

GETFLOWSでは、中間流出も地中の透水係数や空隙率で表現する必要があり、モデルの入力条件の時空間分布が計算結果の精度に大きな影響を与える。

本業務におけるパラメータの最終値を表5.3.5に示す。なお、湖面蒸発量はパン蒸発の75%を最終値とした。

表5.3.5 パラメータ最終値

	水平方向透水係数 (m/s)	鉛直方向透水係数 (m/s)	空隙率
表土層	2.0E-04	2.0E-04	0.3
第四紀層(風化帯)	1.0E-04	1.0E-04	0.2
第三紀層(風化帯)	1.0E-04	1.0E-04	0.2
中生層(風化帯)	5.0E-06	5.0E-06	0.2
古生層(風化帯)	5.0E-06	5.0E-06	0.2
プレカンブリアン(風化帯)	5.0E-05	5.0E-05	0.2
火成岩(風化帯)	1.0E-04	1.0E-04	0.2
メラングジュ(風化帯)	1.0E-04	1.0E-04	0.2
第三紀層(深層風化帯)	5.0E-05	5.0E-05	0.2
中生層(深層風化帯)	1.0E-06	1.0E-06	0.2
古生層(深層風化帯)	1.0E-06	1.0E-06	0.2
プレカンブリアン(深層風化帯)	1.0E-06	1.0E-06	0.2
火成岩(深層風化帯)	5.0E-05	5.0E-05	0.2
メラングジュ(深層風化帯)	5.0E-05	5.0E-05	0.2
第四紀層	7.5E-08	7.5E-08	0.2
第三紀層	1.5E-08	1.5E-08	0.2
中生層	1.0E-08	1.0E-08	0.2
古生層	1.0E-08	1.0E-08	0.2
プレカンブリアン	1.0E-08	1.0E-08	0.2
火成岩	2.0E-07	2.0E-07	0.2
メラングジュ	1.0E-07	1.0E-07	0.2
河床	2.0E-05	2.0E-05	0.2
湖底	3.0E-07	2.0E-07	0.05

(2) モデル精度向上に必要なデータ

本検討を通じて、今後 GETFLOWS によるさらなる精度向上を図り、オルミエ湖水位低下の要因をより明確にするためには、表5.3.6 に示すデータの充実が必要である。表5.3.6 に示すように不確実と思われる情報が複数あるため、モデルの精度を落としている主データについて明確な論拠を以て説明することはできないが、少なくとも水利用データとして入力した推定値等（取水位置および取水量）は、モデルの精度にかなりの影響を結果に与えていると考えられる。さらにオルミエ湖流域は通常の河川流域とは異なり閉鎖流域であることから、本来であればモデル同定を実施する際の水収支上の問題が通常流域よりも明確になってしかるべきであるが、今回のように不確実な情報が存在していることが要因確認を難しくさせている。

表5.3.6 モデル精度向上に必要なデータ

データ項目	データ内容	モデルへの反映
降雨量	さらなる空間分布が密な降雨データ。河川での流出率が 1 を超える観測地点もあることから、降雨量の実際の空間分布を十分にとらえられていない可能性があるため、さらに密なデータが必要である。観測データの精査も必要である。	さらに密で精度の高い降雨データに基づき、インプットデータを作成し、モデルへ入力する。もっとも精度を決める重要なデータである。
地質 (土壌)	表土層としての土壌の厚さ、土壌成分（粘土・砂・礫等）。	表土層としての土壌の厚さをモデル化し、土壌成分（粘土・砂・礫等）に応じた透水係数や空隙率の設定が可能となる。 さらに、不飽和特性（負圧等）についても考慮することが可能となり、キャリブレーション時の目安にもなり、さらなる精度向上が望める。
地質の鉛直分布	表層地質のデータの空間分布は得られたが、鉛直分布についてはボーリングデータをより空間的に密に必要である。 特にオルミエ湖流域には第四紀の地質が広く分布しており、第四紀は、帯水層（礫層）や難透水層（粘土層）等が複雑に層を成している可能性があり、これらの鉛直分布の把握が重要である。 これらの鉛直分布が不明瞭で、実態と大きくかけ離れたモデルを作成すれば、地下水の流れ、地下水位が実態とかけ離れ、ひいては、地表面流出や中間流出の形態（早く流出しすぎたり、河川流量が多かったり、少なかったりする）が変化し、十分な精度を確保することが難しくなる。	得られたボーリングデータから、鉛直方向の断面地質分布を作成できれば、3次元の水理地質モデルを作成することが可能となり、さらなる精度向上が望める。
塩分濃度	将来には塩分濃度の変化により湖周辺の地下水の挙動が変化すると考えられるため、塩分濃度の入力重要である。	表流水および地下水の塩分濃度を観測し、モデルでの再現性を確認したうえで、雨季乾季およびオルミエ湖の水位に応じた塩水の表流水および地下水の相互作用をモデルに反映させる。
水利用データ	取水位置および取水量の情報が必要である。今回は、河川及び地下からの取水量は推定に基づいたデータであった。また、取水位置も不明であったため、違法取水も確認したうえで実態に基づいたデータにする必要がある。	実態に近いデータに基づき、インプットデータを作成し、モデルへ入力する。

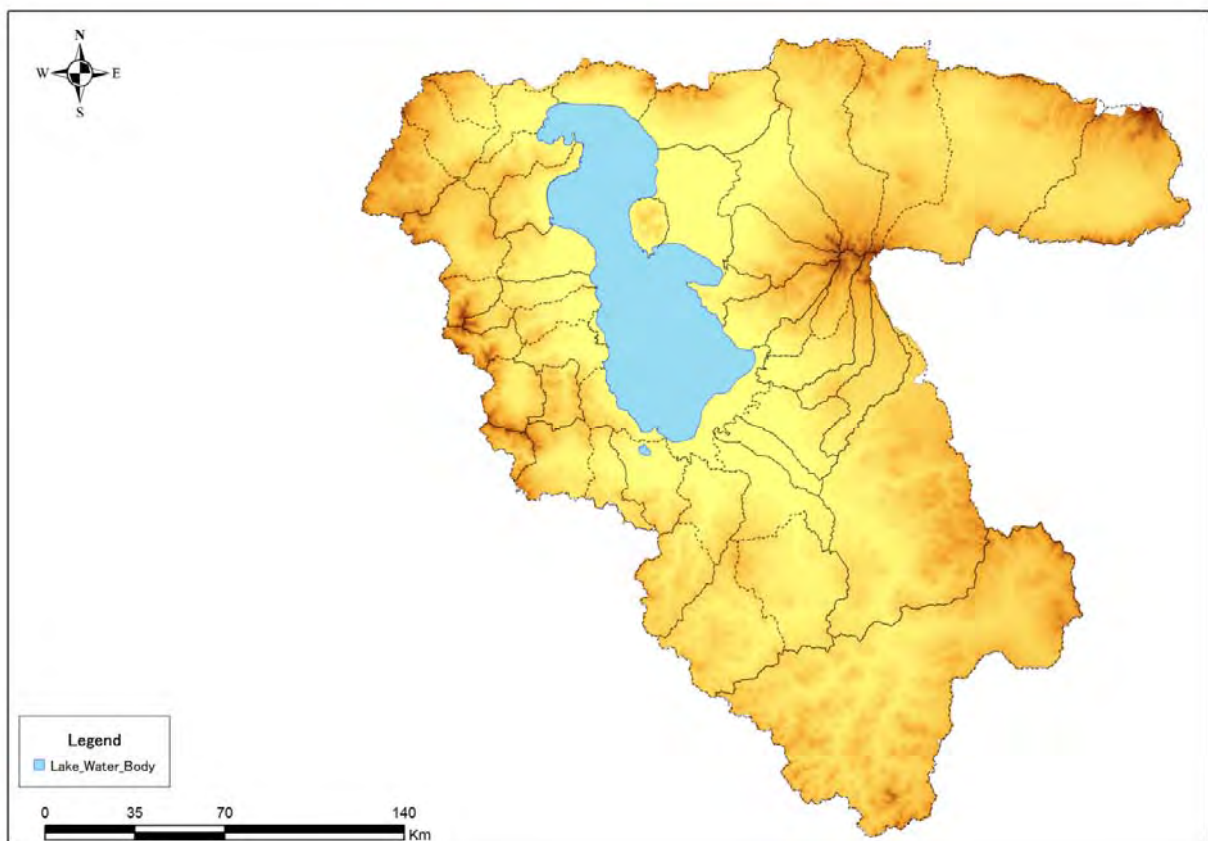
(3) GETFLOWS の精度まとめ

上述した通り、GETFLOWS では、河川の流出率の観測値と計算値で、大きな違いは見られず、流域からの河川への流出現象としては、MIKE-SHE と精度の面では大きな違いはないと考えられる。一方、湖水位は GETFLOWS では計算値が観測値を上回り、精度確保が難しかった。その大きな理由として、水利用データ及び塩水による影響が考えられる。また、流域の水循環をさらに精度良く表現するためには、上記のデータを充実させる必要がある。

5.3.4 GETFLOWS によるオルミエ湖流域水循環機構

ここでは、検証結果を用いてオルミエ湖流域における水循環機構について考察を実施した。水循環機構として、水収支・流線網・流速ベクトルによる評価を実施した。GETFLOWS による水収支では、湖での水収支に加え、流域別に水収支の評価を実施することとする。

なお、GETFLOWS による湖での流入出の評価は、MIKE-SHE と同様に、以下に示す湖の範囲を固定して実施している（図5.3.13 参照）。



*WRMC 提供データをもとに調査団が作成

図5.3.13 評価に使用した湖の範囲

(1) 水収支

ここでは、オルミエ湖流域における水循環機構を考察するため、検証期間における水収支について評価を実施した。湖での水収支バランスを表5.3.7及び表5.3.8に示す。また、オルミエ湖流域内での水収支の違いから、今後オルミエ湖流域の中で、重点的に湖水位回復のための対策を実施すべき地域を明確とするため、オルミエ湖流域の南側、西側、東側での水収支バランスについて評価を実施した。オルミエ湖流域のうち、南側の代表として、Simine Rud、西側の代表として、Gedar Chay、東側の代表として Aji Chay 流域での水収支を表5.3.9～表5.3.14に示す。

表5.3.7 湖における水収支（地表）

項目 年	① 降水量 (MCM)	② 湧出量 (MCM)	③ 流入量 (MCM)	④ 蒸発量 (MCM)	⑤ 涵養量 (MCM)	水収支 (MCM) ①+②+③-④-⑤
1999	1358.5	12.1	1119.7	4731.7	8.2	-2249.6
2000	1474.3	12.0	1320.7	5167.1	11.3	-2371.5
2001	1239.0	12.9	1154.6	5054.7	11.2	-2659.4
2002	1688.4	14.2	2894.7	5158.5	24.8	-586.0
2003	1781.1	14.2	4275.4	5861.0	25.7	183.9

*調査団が作成

表5.3.8 湖における水収支（地下）

項目 年	① 涵養量 (MCM)	② 流入量 (MCM)	③ 蒸発量 (MCM)	④ 湧出量 (MCM)	水収支 (MCM) ①+②-③-④
1999	8.2	19.6	15.6	12.1	0.1
2000	11.3	19.3	18.9	12.0	-0.3
2001	11.2	18.9	20.5	12.9	-3.2
2002	24.8	19.1	31.2	14.2	-1.5
2003	25.7	19.1	28.5	14.2	2.2

*調査団が作成

表5.3.9 Simine Rud における水収支（地表）

項目 年	① 降水量 (MCM)	② 湧出量 (MCM)	③ 流入量 (MCM)	④ 農地 還元量 (MCM)	⑤ 蒸発量 (MCM)	⑥ 涵養量 (MCM)	⑦ 河川 取水 量 (MCM)	水収支 (MCM) ①+②+③+ ④-⑤-⑥-⑦
1999	790.7	108.3	57.8	53.4	501.2	558.6	0.0	-49.7
2000	1039.3	114.5	30.9	59.7	529.4	759.8	0.0	-44.7
2001	1014.0	110.7	31.8	70.2	543.8	723.6	0.0	-40.7
2002	1462.3	135.7	-75.7	77.3	635.3	971.1	0.0	-6.7
2003	1575.7	156.1	-142.5	85.8	748.6	919.3	0.0	7.4

*調査団が作成

表5.3.10 Simine Rud における水収支（地下）

項目 年	① 涵養量 (MCM)	② 流入量 (MCM)	③ 蒸発量 (MCM)	④ 湧出量 (MCM)	⑤ 揚水量 (MCM)	水収支 (MCM) ①+②-③-④-⑤
1999	558.6	22.4	548.5	108.3	3.4	-79.1
2000	759.8	20.7	633.8	114.5	4.1	28.1
2001	723.6	18.9	614.7	110.7	4.3	12.8
2002	971.1	19.4	741.0	135.7	6.1	107.6
2003	919.3	21.0	763.2	156.1	6.7	14.2

*調査団が作成

表5.3.11 Gedar Chay における水収支（地表）

項目 年	① 降水量 (MCM)	② 湧出量 (MCM)	③ 流入量 (MCM)	④ 農地 還元量 (MCM)	⑤ 蒸発量 (MCM)	⑥ 涵養量 (MCM)	⑦ 河川 取水量 (MCM)	水収支 (MCM) ①+②+③+ ④-⑤-⑥-⑦
1999	395.0	124.6	-5.6	41.9	176.9	389.3	0.1	-10.5
2000	469.5	114.7	-11.9	48.3	141.7	488.1	0.1	-9.2
2001	426.7	114.0	-13.9	65.0	162.3	440.1	0.0	-10.6
2002	586.7	131.0	-83.2	69.0	198.2	497.6	0.1	7.5
2003	738.8	146.0	-129.2	73.9	220.9	590.4	0.3	17.9

*調査団が作成

表5.3.12 Gedar Chay における水収支（地下）

項目 年	① 涵養量 (MCM)	② 流入量 (MCM)	③ 蒸発量 (MCM)	④ 湧出量 (MCM)	⑤ 揚水量 (MCM)	水収支 (MCM) ①+②-③-④-⑤
1999	389.3	5.0	338.4	124.6	7.7	-76.4
2000	488.1	4.9	355.6	114.7	7.4	15.2
2001	440.1	4.6	344.2	114.0	9.0	-22.5
2002	497.6	4.5	373.3	131.0	9.9	-12.1
2003	590.4	4.9	375.2	146.0	11.1	62.9

*調査団が作成

表5.3.13 Aji Chay における水収支（地表）

項目 年	① 降水量 (MCM)	② 湧出量 (MCM)	③ 流入量 (MCM)	④ 農地 還元量 (MCM)	⑤ 蒸発量 (MCM)	⑥ 涵養量 (MCM)	⑦ 河川 取水量 (MCM)	水収支 (MCM) ①+②+③+ ④-⑤-⑥-⑦
1999	1545.3	980.8	105.5	266.7	1122.5	2085.3	33.6	-343.0
2000	1615.7	904.7	49.9	285.9	737.0	2432.6	60.3	-373.7
2001	1334.0	843.8	27.7	303.7	742.1	2068.0	103.3	-404.2
2002	1716.2	869.1	57.4	342.3	652.5	2366.7	192.2	-226.5
2003	1862.0	940.3	143.4	345.4	497.7	2760.0	421.5	-388.2

*調査団が作成

表5.3.14 Aji Chay における水収支（地下）

項目 年	① 涵養量 (MCM)	② 流入量 (MCM)	③ 蒸発量 (MCM)	④ 湧出量 (MCM)	⑤ 揚水量 (MCM)	水収支 (MCM) ①+②-③-④-⑤
1999	2085.3	6.3	1393.6	980.8	218.1	-500.9
2000	2432.6	6.1	1408.4	904.7	221.8	-96.2
2001	2068.0	6.2	1422.9	843.8	245.2	-437.7
2002	2366.7	6.2	1556.9	869.1	245.0	-298.0
2003	2760.0	6.5	1447.9	940.3	252.5	125.8

*調査団が作成

湖における水収支の結果は 2003 年のみがプラスとなる結果であり、この傾向は MIKE-SHE と同じ傾向であった。一方流域別の水収支では、以下のような状況が窺える。

- ・ オルミエ湖南側の代表とした Simine Rud は地表の水収支は 2003 年がプラスとなり、湖の収支と同じ傾向を示した。一方、地下は 1999 年を除き、プラスとなり、降雨量と比例する涵養量が多かったため、プラスになったと考えられる。
- ・ オルミエ湖西側の代表とした Gedar Chay は降雨量が多いと地表の水収支がプラスとなり、地下の水収支は涵養量と蒸発量のバランスからプラスになったり、マイナスになったりすると考えられる。
- ・ オルミエ湖の東側の代表とした Aji Chay は地表では流入量がプラスとなっていることから、他流域またはオルミエ湖からの流入分がある一方で、涵養量が多く、蒸発量や河川

取水量も多いことから、1999年～2003年では水収支はマイナスとなっている。特に2003年の河川取水量が多いため、プラスにならなかったと考えられる。

- ・ Aji Chay の地下の水収支はほぼ地表からの涵養量で支配されており、しいては、降雨量に依存していると考えられる。

(2) 流速ベクトル

オルミエ湖流域における水の流れを把握し、オルミエ湖における水循環機構の考察を実施するため、GETFLOWS の計算結果から、流速ベクトルの鉛直断面図を作成した。作成した範囲は図5.3.14 に示す範囲である。また、鉛直断面図は1999年～2003年の1月、4月、7月、10月の季別で切り出しを実施した。どの年においても大きな傾向の違いはなかったが、代表として、渇水年であった1999年と水収支がプラスとなった2003年の結果を示す。(図5.3.15及び図5.3.16 参照)

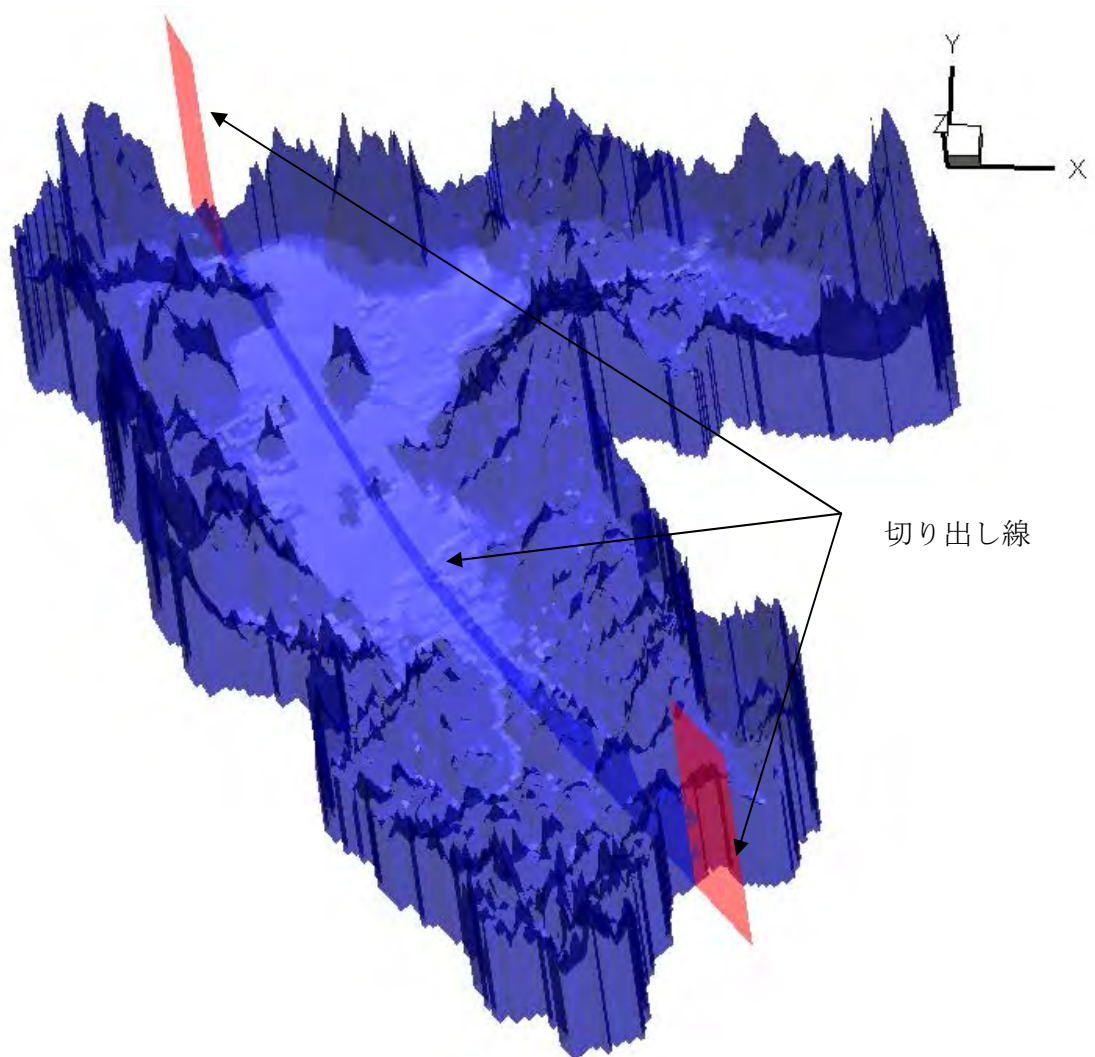


図5.3.14 鉛直断面図切り出し範囲

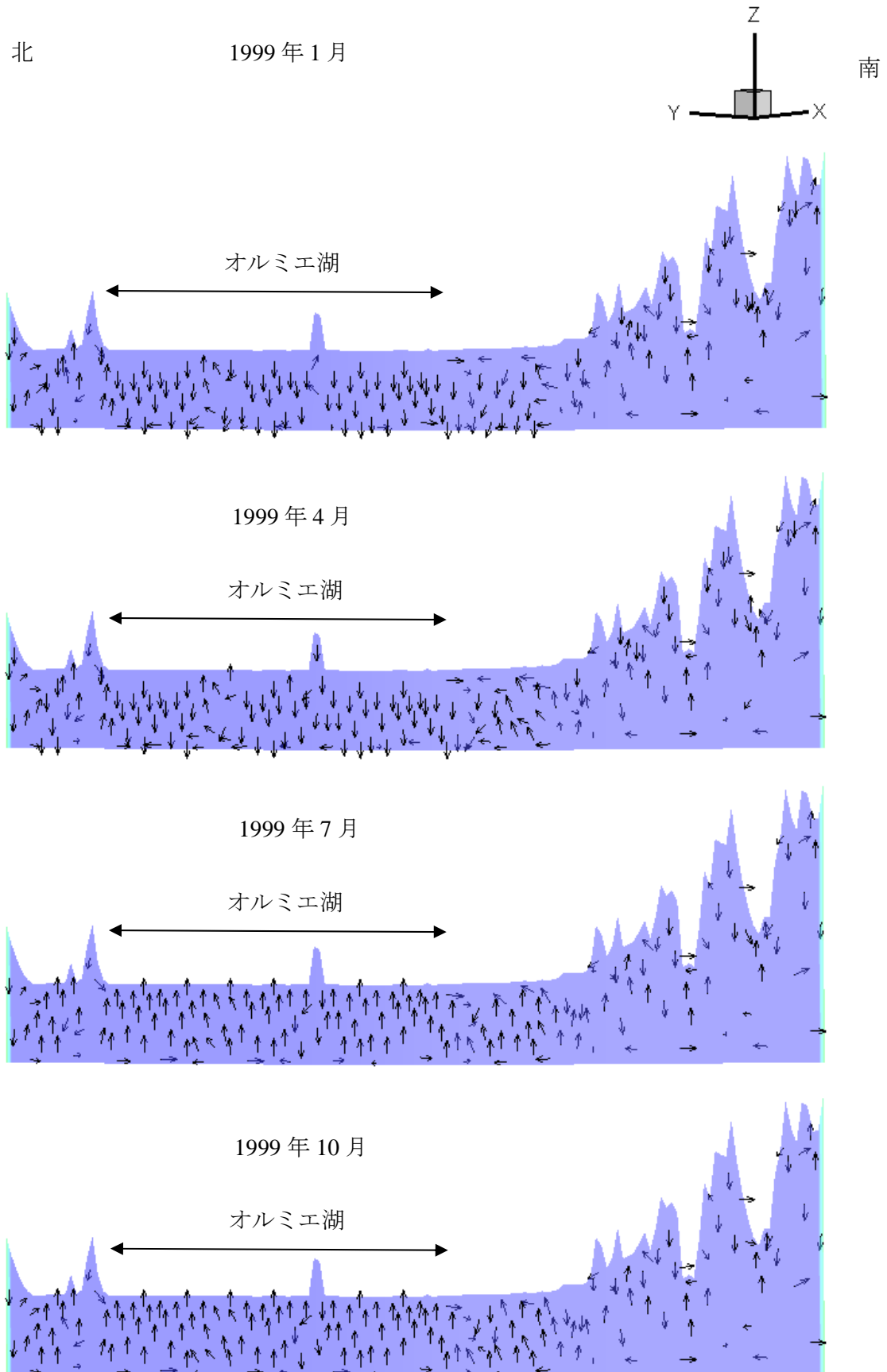


図5.3.15 流速ベクトル図 (1999年)

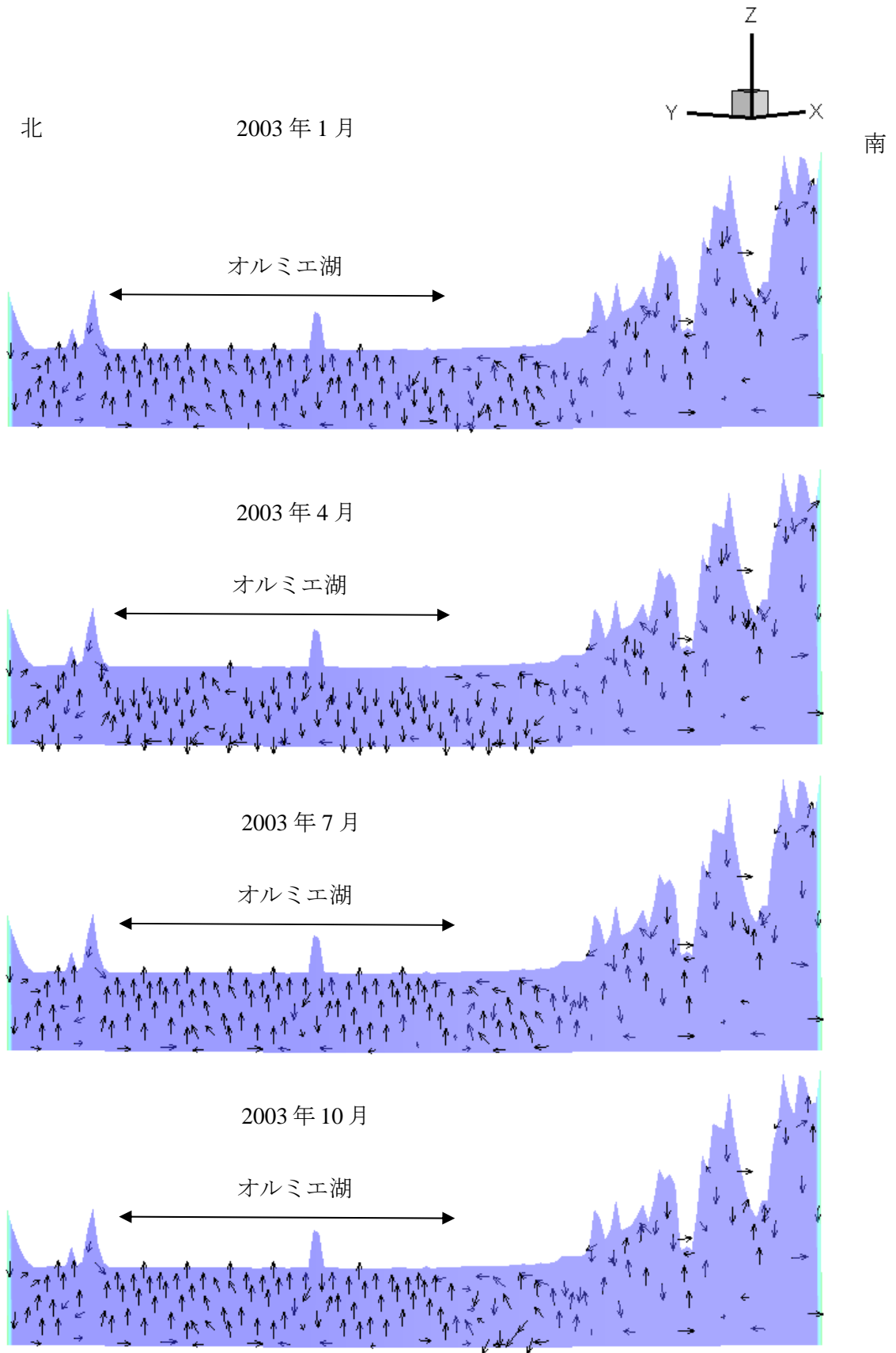


図5.3.16 流速ベクトル図 (2003年)

流速ベクトルの鉛直断面図より以下の状況が窺える。

- ・ 渇水年であった1999年の1月と4月のオルミエ湖の地下では下向きの流れが発生しており、7月と10月では上向きの流れが発生している。これは、湖水位が高い時期に下向きの流れができ、湖面からの蒸発が大きくなる7月、10月には湖水位が下がることによって流域から地下水が流入してきている様子が窺える。
- ・ 2003年については、4月、7月、10月は1999年と同じ傾向であり、出水時期である4月には湖水位が上がるため、下向きの流れができ、湖水位が下がっている時期である7月、10月には上向きの流れができると考えられる。
- ・ 1月については、前年の降雨の影響を受け、年によって違いがあると考えられる。
- ・ 本検討では淡水のみの解析であるため、必ずしも上記のような現象が実際に起きているかどうかの確認はできない。しかし、湖水位と流域の地下水位のバランスにより、湖水位が下げると、地下水が補給されることは可能性として十分あり得る。

(3) GETFLOWSによるオルミエ湖流域の水循環機構

上述した検討のとおり、GETFLOWSを用いたオルミエ湖流域における検討結果から、オルミエ湖流域における水循環機構をまとめると以下のようになる。

- オルミエ湖西側では、降雨量や地下への涵養量、蒸発量のバランスから水収支がプラスやマイナスとなることから、水循環への影響は自然的な影響が強い地域と考えられる。
- 一方、オルミエ湖の東側では、地下への涵養量、蒸発量に加え、河川取水量も多かったため、地表の水収支はプラスとならず、水循環への影響は自然的な影響を受けながらも、人工的な影響も見られる地域と考えられる。
- オルミエ湖南側では、西側と東側のそれぞれの特徴を有し、降雨量や地下への涵養量、蒸発量とのバランスから水収支が変化することから、水循環への影響は自然的な影響が強い地域と考えられる。その一方で、地表はオルミエ湖と同様の水収支状況であり、地下の収支はプラスであることから、自然的な変化に対しても強い地域であり、今後のオルミエ湖の湖水位の維持・回復のためには重要な地域となると考える。
- オルミエ湖の鉛直方向の水の流れから、湖面の蒸発に伴う湖水位の上下によって、オルミエ湖の地下でも流れが発生していることが示唆された。これは、塩水の影響が十分に考慮できていない状況ではあるが、流域の地下水位とのバランスも影響していると考えられる。
- 流域の地下水位が低下すると、塩水であるオルミエ湖の水は密度差によって、より一層下向きへと流れていき、さらに湖水位を下げる要因となる。また、塩水が流域に侵入すると湖周辺での井戸の塩水化といった地下水障害を引き起こす可能性もある。
- オルミエ湖の湖水位を維持・回復するためには、湖水位を下支えしていると考えられる流域の地下水をうまく利用しながらも、保全していくことが重要である。地下水位の回復によって流域から河川への流量も増加する可能性があることから、適正な地下水管理を推進していく必要がある。

第6章 対策案の評価

6.1 各種対策案の内容

6.1.1 検討対象事業

2013年8月にローハニ氏が「イ」国大統領に就任後、オルミエ湖救済策を次々に打ち出し、国際社会の支援を仰いでいる。2014年に入ると、大統領直轄機関としてオルミエ湖救済委員会（以下、「LURC」）が設立された。その後、全部で24の事業が提案されている(巻末資料参照)。

2014年11月のIC/Rの協議時点では「イ」国政府により24のオルミエ湖救済事業が提案されており、その内同流域の水収支バランスに係る可能性のある11の事業について、分布型物理流出モデルを用いて、その効果を定量的に把握することとなった。表6.1.1にモデルに組み込み可能な事業を整理した。

表 6.1.1 評価の定量化が可能な救済事業

番号 (事業 No.)	事業の内容	モデル化へ向けての課題
1 (1)	既存の取水量増の禁止と農業新規分野の新規開発の禁止	● 現況の水利用量の把握（取水位置と取水量）
2 (2)	表流水の無断取水の禁止	● 無断取水量の推定
3 (3)	Shahid Madani ダムおよび Cheraq Veis ダムを除く既設および計画中のダム、下流側の全ての灌漑ネットワークおよび給水プロジェクトの停止（オルミエ湖のためだけの Shahid Madani ダムへの送水と節水は維持）	● 「オルミエ湖のためだけの Shahid Madani ダムへの送水と節水」の意味の確認
4 (4)	必要予算と資金の供給の一方で Zaar 川からオルミエ湖流域への導水プロジェクトにおける導水	● 導水量の設定方法 ● 導水のスケジュールの設定
5 (6)	オルミエ湖流域の井戸の組織化。河川からオルミエ湖への流入増に合わせた地下水取水量のモニターのためにスマートメータおよび体積流量計の設置	● 井戸の組織化の確認 ● メータを設置することによる効果の仮定方法
6 (8)	農業分野における水消費の管理および低減	● 水消費の低減量の設定方法
7 (9)	Hasanlou ダムからオルミエ湖周辺の島および湿地への導水および南部湿地へ流入路の開削	● 導水量の設定方法 ● 流入路水路の諸元（水路の縦横断形状）の確認
8 (12)	オルミエ湖流域の統合的水資源管理のための意思決定システムの設計および確立	● 意思決定システムの効果の設定方法
9 (15)	南方からオルミエ湖に流入する Zarinerood および Symineerood の間に水路を建設し、Zarinerood 川から Symineerood 川に導水する。この理由は、湖に近づくほど川幅が広がる Z 川から、比較的川幅が狭い S 川へ導水することにより蒸発量を抑えるためである。	● 導水量の設定方法
10 (19)	オルミエ湖への水流入量増加のための、湖に流入する河川流量に影響をおよぼすエリアの特定、および流域管理と帯水層管理を通じた対象エリアの強化	● 流域および帯水層管理の効果の設定方法
11 (20)	MOE によって承認された割当てに基づく西アゼルバイジャン州の Aras 川からオルミエ湖への導水	● 導水量の設定方法 ● 実施工程の設定方法

注) 括弧内の番号は添付資料にある24の事業リストの番号である。

その後、現地調査および情報の所在確認の結果を通じて確認したところ、モデルに反映するために定量化できる事業は表6.1.2の6事業のみであることが判明した。そのため、WRMCにメールにて確認したところ、WRMCはオルミエ湖救済委員会に確認するためにレターを提出し、その結

果委員会から「現時点では効果検討の対象を6事業とする」旨の確認のレターが6月末に届いている。

表 6.1.2 最終検討6事業

番号 (事業 No.)	事業の内容	湖への流入量増分 (MCM)
1 (1)	既存の取水量増の禁止と農業新規分野の新規開発の禁止（水利用量は現状維持する）	年間 0MCM (現状維持)
3 (3)	Shahid Madani ダムおよび Cheraq Veis ダムを除く既設および計画中のダム、下流側の全ての灌漑ネットワークおよび給水プロジェクトの停止（ただしオルミエ湖のためだけの Shahid Madani ダムはオルミエ湖へ送水するのみの操作を行う）	年間 2,245MCM ^{注2}
4 (4)	Zaar 川からオルミエ湖流域への導水。	年間 600MCM
6 (8)	農業分野における水消費の管理および低減。毎年 8%、最大で 40% の低減効果をもたらす事業(WRMC およびモダレス大学)。	年間 190MCM～ 890MCM
9 (15)	南方から流れる Zarinerood(Z川)および Symineerood(S川)の間に水路を建設し、Z川からS川に導水する。この理由は、湖に近づくほど川幅が広がるZ川から比較的川幅が狭いS川へ導水することにより蒸発量を抑えるということである。	年間 127MCM ^{注2}
11 (20)	MOE によって承認された割当てに基づく西アゼルバイジャン州の Aras 川からオルミエ湖への導水。	年間 146MCM

注1) 括弧内の番号は添付資料にある24の事業リストの番号である。

注2) MIKE-SHE によって算定した（平水年の気象条件における10年間の繰り返し計算の結果）。

6.1.2 事業効果の検討

事業効果の検討については、分布型物理流出モデルを用いて、一定の気象条件において10年間の繰り返し計算を実施し、その計算結果から湖水位の変化に直接影響を与える主要な水文量（河川流入量、湖面への降水量、湖面蒸発量、地下水流入量）を抽出・整理し、それらの水文量を用いて長期間予測計算を逐次計算により実施した。逐次計算においては、湖の水位に対応した湖面積を算出し、湖面積に応じた降水量と蒸発量を入力している。

(1) 分布型物理流出モデルへの入力条件

事業効果を確認するための検討計算は、5章で構築した分布型物理流出モデルが全体的に安定した状態から開始する必要があるため、検証計算期間1999年～2007年間で設定された条件を利用することが妥当であり、その中で最も現状に近い2007年の条件を選択した。つまり、2007年の状態のモデルに、一定の降雨を10年間繰り返して与え計算を行った。

予測計算を実施するに当たっての与条件として繰り返し与える年降水量については、入手したデータの中から2006年3月から2010年3月の近年5か年の平均雨量を算定し、354mm相当とした。また、降水量は日ベースで入力しなければならないため、日降雨の波形については検証期間中の波形を流用することとし、年降水量354mmに最も近い2007年(2007年3月21日から2008年3月20日:総雨量約355mm)の降雨波形を使用した。この降雨波形を繰り返し与えて予測計算を行ったが、降水量に加えその他のモデルの主要な境界条件についても、表6.1.3に整理する。

表 6.1.3 モデルの境界条件

No.	項目	条件設定内容	備考
1.	降水量	年降水量 355mm とし、降雨波形については 2007 年 3 月 21 日から 2008 年 3 月 20 の波形を使用	これを外力として計算を繰り返す。
2.	蒸発散量	湖面および陸域の蒸発量および蒸発散量は、それぞれ PAN 蒸発量の 67% および 25% とする。	検証計算と同じ
3.	地形・地質構造に係る物性値	地形、地質および地下構造に関する物性値は検証計算と同じ値を使用する。	検証計算と同じ

(2) 事業による湖水位の回復量についての概略把握

各事業の効果を把握するために、まず事業の効果を水量（オルミエ湖への流入の増減）で表現する。ここでは、MIKE-SHE によるシミュレーションの結果を用いて、各対策事業のインパクトによる湖の年回復量（水量）を概算し、表 6.1.4 に整理した。表 6.1.4 に整理した概算値から判断すると、湖の水収支からみて事業 1 以外は全ての事業で回復傾向を示すが、事業 3 以外と比べると他の事業の単独効果は非常に低い。

しかしながら、事業 3 は社会・経済へ強い影響を与えるため、他の事業との組合せ等によって影響を緩和する必要がある。例えば、①今回定量化できなかった事業についても、そのインパクトを分析し、事業 3 に頼る割合を減少させる、②回復すべき水位を見直す、③新たな湖の保全対策方針を設定する（現在学識者が提案している湖水を北部の深みにのみ留める等）、等が考えられる。

表 6.1.4 事業効果についての概略計算(年降水量 355mm-2007 年の状況)

番号 (事業 No)	事業の内容	①対策に よるイン パクト	②対策が無 い場合の河 川からの流 入量 ^{*1}	③河川か らの年間 流入量 ^{*1} (②+①)	④湖面 への降 水量 ^{*2}	⑤湖面 蒸発量 ^{*2}	⑥地下 水流入 量 ^{*1}	年回復量 (③+④-⑤ +⑥)
1 (1)	既存の取水量増の 禁止と農業新規分 野の新規開発の禁 止(現状維持)	年間 0MCM (現状維持 と等しい ため)	2,300 MCM	2,300 MCM	904 MCM (湖水位: 1271.05 ~ 1270.94)	3,375 MCM (湖水位: 1271.05 ~ 1270.94)	131 MCM	-40 MCM
3 (3)	Shahid Madani ダム および Cheraq Veis ダムを除く既設お よび計画中のダム、 下流側の全ての灌 漑ネットワークお よび給水プロジェ クトの停止(オルミ エ湖のためだけの Shahid Madani ダム への送水と節水)	年間 2,245MCM	2,300 MCM	4,545 MCM	1,473 MCM (湖水位: 1271.05 ~ 1274.78)	5,326 MCM (湖水位: 1271.05 ~ 1274.78)	142 MCM	520 MCM
4 (4)	必要予算と資金の 供給の一方で Zaab 川からオルミエ湖 流域への導水プロ ジェクトにおける 導水の加速	年間 600MCM	2,300 MCM	2,900 MCM	1,059 MCM (湖水位: 1271.05 ~ 1271.72)	3,954 MCM (湖水位: 1271.05 ~ 1271.72)	130 0MCM	135 MCM
6 (8)	農業分野における 水消費の管理およ び低減	年間 190MCM ~ 890MCM	2,300 MCM	2,490~ 3,190MCM	1,160 MCM (湖水位: 1271.05 ~ 1272.45)	4,330 MCM (湖水位: 1271.05 ~ 1272.45)	135 MCM	155 MCM
9 (15)	オ Zarinerood から Symineerood への導 水(蒸発量通減)	年間 127MCM ^{*1}	2,300 MCM	2,427 MCM	929 MCM (湖水位: 1271.05 ~ 1271.08)	3,467 MCM (湖水位: 1271.05 ~ 1271.08)	131 MCM	20 MCM
11 (20)	MOE によって承認 された割当てに基 づく西アゼルバイ ジャン州の Aras 川 からオルミエ湖へ の導水の実施加速	年間 146MCM	2,300 MCM	2,446 MCM	932 MCM (湖水位: 1271.05 ~ 1271.10)	3,479 MCM (湖水位: 1271.05 ~ 1271.10)	130 MCM	29 MCM
全事業に よる最大 効果	3,49,11 の事業(最 大効果を見た場合 6 は 3 に含まれる)	年間 3,177MCM	2,300 MCM	5,477 MCM	1,293 MCM (湖水位: 1271.05 ~ 1274.36)	4,827 MCM (湖水位: 1271.05 ~ 1274.36)	130 MCM	2,073 MCM

*1: シミュレーション結果に基づいた平均値、*2: 湖水位の変化に応じて算定した数値

6.1.3 各種対策案による湖流域への影響検討

分布型物理流出モデルの結果を用いて、各種対策案による年平均湖水位の変化を、近年 5 年の平均降水量 (355mm : 2007 年/2008 年の日降水量相当) が続くという条件で 20 年後 (2034 年) までシミュレートし、その結果を図 6.1.1 および表 6.1.5 に整理した。上記一定の降水量の状況が継続した場合には、単独対策案では、事業 1 (水利用量の現状維持) 以外は水位が回復する傾向にあるものの、目標水位 1,274.1m が達成可能であろう事業は、事業 3 のみであることが分かる。

流域の水収支バランスに寄与する各要素については、表 6.1.4 に示すように、湖面からの蒸発量の影響が非常に大きいことが判る。現状 (事業 1) で見れば、河川からの流入量の 1.5 倍、湖面へ

の降水量の3倍になっており、地下流入分を考えると、水収支は-40MCM/年となっている。なお、蒸発量は湖水位の上昇による湖面積の増加に応じて増えるため、対策によって流入量を増加できたとしても、将来予測計算条件下（一定の気象条件下で繰り返し計算する）では、その効果（水位上昇）が永遠に続くのではなく、湖の水収支バランスがある水位で均衡することとなる。

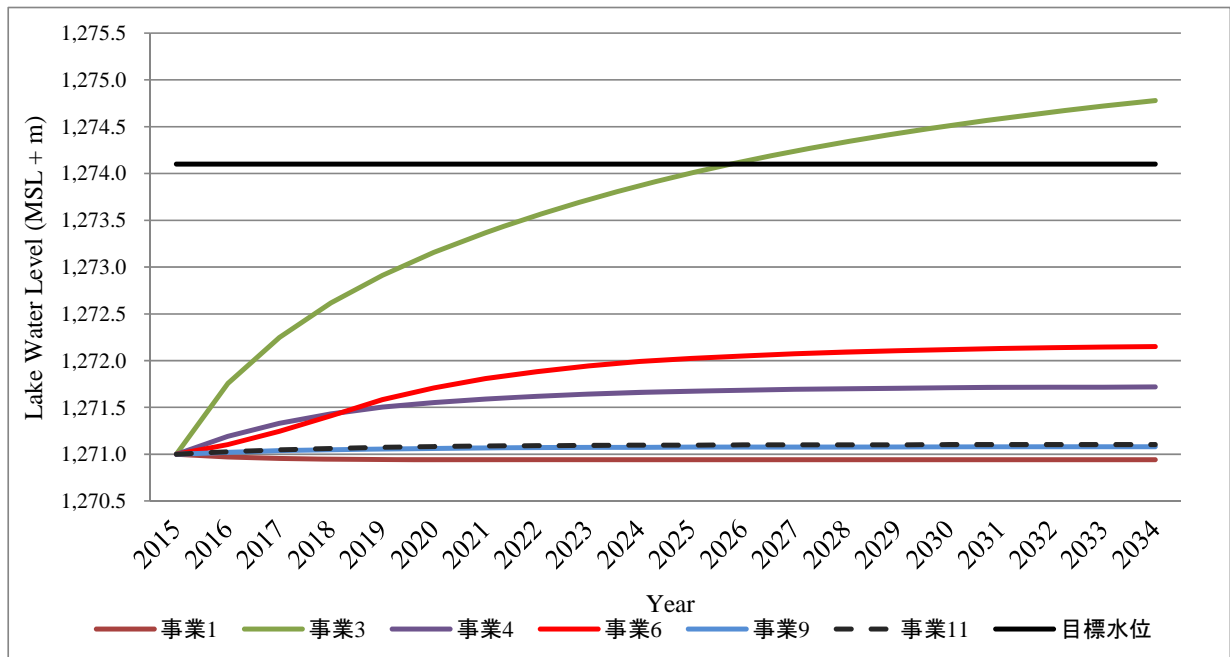


図 6.1.1 単独事業による将来予測計算結果（年平均水位）

表 6.1.5 単独事業実施による到達水位と水位増減スピード

番号	項目	初期水位	1年後	2年後	5年後	10年後	20年後
1	水位(msl)	1271.05	1270.97	1270.96	1270.94	1270.94	1270.94
	累積水位回復量(m)	-	-0.08	-0.09	-0.11	-0.11	-0.11
	目標値に対する回復量(%)	-	-2.60	-3.09	-3.55	-3.61	-3.62
3	水位(msl)	1271.05	1271.75	1272.25	1273.16	1274.01	1274.78
	累積水位回復量(m)	-	0.70	1.20	2.11	2.96	3.73
	目標値に対する回復量(%)	-	23.09	39.29	69.02	96.92	124.00
4	水位(msl)	1271.05	1271.19	1271.33	1271.55	1271.67	1271.72
	累積水位回復量(m)	-	0.14	0.28	0.50	0.62	0.67
	目標値に対する回復量(%)	-	4.62	9.17	16.45	20.46	21.99
6	水位(msl)	1271.05	1271.10	1271.24	1271.71	1272.02	1272.16
	累積水位回復量(m)	-	0.05	0.19	0.66	0.97	1.11
	目標値に対する回復量(%)	-	1.71	6.35	21.61	31.94	36.25
9	水位(msl)	1271.05	1271.02	1271.04	1271.06	1271.08	1271.08
	累積水位回復量(m)	-	-0.03	-0.01	0.01	0.03	0.03
	目標値に対する回復量(%)	-	-0.93	-0.42	0.42	0.84	0.95
11	水位(msl)	1271.05	1271.03	1271.05	1271.08	1271.10	1271.10
	累積水位回復量(m)	-	-0.02	0.00	0.03	0.05	0.05
	目標値に対する回復量(%)	-	-0.72	-0.06	1.04	1.59	1.72

6.1.4 事業組合せについての検討

6.1.3 節の検討結果を見ると、単独事業によって湖水位を 1,274.1m まで回復させることを考えた場合、本業務でその効果を検討した 6 事業によって確実に達成できる可能性が高いとは言えない。なお、事業3の対策については、全流域を対象として実施すれば目標水位まで回復するという結果になっているが、社会的な影響が非常に大きいため、部分的に実施せざるを得ない可能性が高い。従って、湖水位の回復には複数事業の組合せが必要となってくる。

本節では、本業務で検討した 6 の事業それぞれの効果を組み合わせて目標水位 1,274.1m まで回復するために必要な条件および事業組み合わせによる湖水位回復可能性について分析した。なお、現時点においても、引き続き対策事業や保全方針についてイラン国で研究・提案されているが、今後も引き続きそれらの事業について吟味・検討し、事業3のような社会環境に激しく影響する対策を実施する対象範囲を制限する必要がある。

(1) 目標水位(1274.1m)を達成できる河川流入量の算定

気象条件を一定として、目標水位 EL.1274.1m に達することができる河川流入量についてトライアル計算によって逆算したところ、50 年で湖水位を目標水位まで回復させるためには 4,400MCM/年相当の水量が必要であることが判った。つまり、現状の河川流入量が 2,300MCM/年相当であるとする、事業のインパクトにより 2,100MCM/年相当の河川流量の増加が必要となる。ただし、この場合には、湖水位が目標水位に到達するためには長期間（50 年以上）の時間を要する。

さらに、20 年および 10 年で目標水位を達成する場合のトライアル計算を実施したところ、それぞれ 2,250MCM および 2,700MCM/年相当の流入量の増加が可能な対策事業が必要となることが判った。なお、これらの対策事業の効果をそのまま継続させると、その後も水位が上昇する可能性があるが、湖水位を目標水位近辺に維持するためには、事業によって建設した施設の運営管理を行い、2,100MCM/年相当の流入量が湖に流入するようコントロールする必要がある。

50 年後、20 年後、10 年後を目標水位の達成目標年としてトライアル計算をした結果について表 6.1.6 に整理する。

表 6.1.6 事業実施規模に応じた到達水位と水位増減

目標達成に必要な年	項目	初期水位	1 年後	2 年後	5 年後	10 年後	20 年後	備考
50 年レベル (河川流入量 =4,400MCM/年, 対策事業効果 =2,100MCM/年)	水位 (msl)	1271.05	1271.67	1272.07	1272.58	1273.25	1273.81	約 50 年後には 目標値に到達 すると推量す る。
	水位回復量(m)	0.00	0.62	1.02	1.53	2.20	2.76	
	目標値に対する回復量(%)	0.00	20.29	33.40	50.23	72.21	90.50	
20 年レベル (河川流入量 =4,550MCM/年, 対策事業効果 =2,250MCM/年)	水位 (msl)	1271.05	1271.72	1272.14	1272.58	1273.46	1274.12	この後水位は 微増する。
	水位回復量(m)	0.00	0.67	1.09	1.53	2.41	3.07	
	目標値に対する回復量(%)	0.00	21.86	35.90	50.23	79.03	100.70	
10 年レベル (河川流入量 =5,000MCM/年, 対策事業効果 =2,700MCM/年)	水位 (msl)	1271.05	1271.86	1272.38	1273.08	1274.10	1275.07	この後水位は 微増する。
	水位回復量(m)	0.00	0.81	1.33	2.03	3.05	4.02	
	目標値に対する回復量(%)	0.00	26.68	43.54	66.40	100.03	131.84	

(2) 全対策案を実施した場合

全対策案を実施した場合、河川流入量が現状維持のケースと比べて最大で年間 3,177MCM 相当増加する可能性がある(表 6.1.4 参照)。これにより湖水位は 1,278m 相当まで上昇する可能性があり、目標水位以上の回復が期待できる。また、計算上は湖水位が目標水位 1,274.1m に達するに要する時間は約 6 年となっている。目標水位が達成可能なレベルとなる河川流入量の増分量は前項(1)で 2,100MCM/年相当であると見込まれたが、これと全対策事業実施ケースの増分との差分は 1,077MCM/年相当となる。つまり、この 1,077MCM/年相当分の対策は実施する必要はないため、導水事業と節水・停止事業の間で事業規模のバランス調整を実施した上で、社会・環境・経済条件を考慮して各事業について取捨選択・縮小拡張を検討する必要がある。

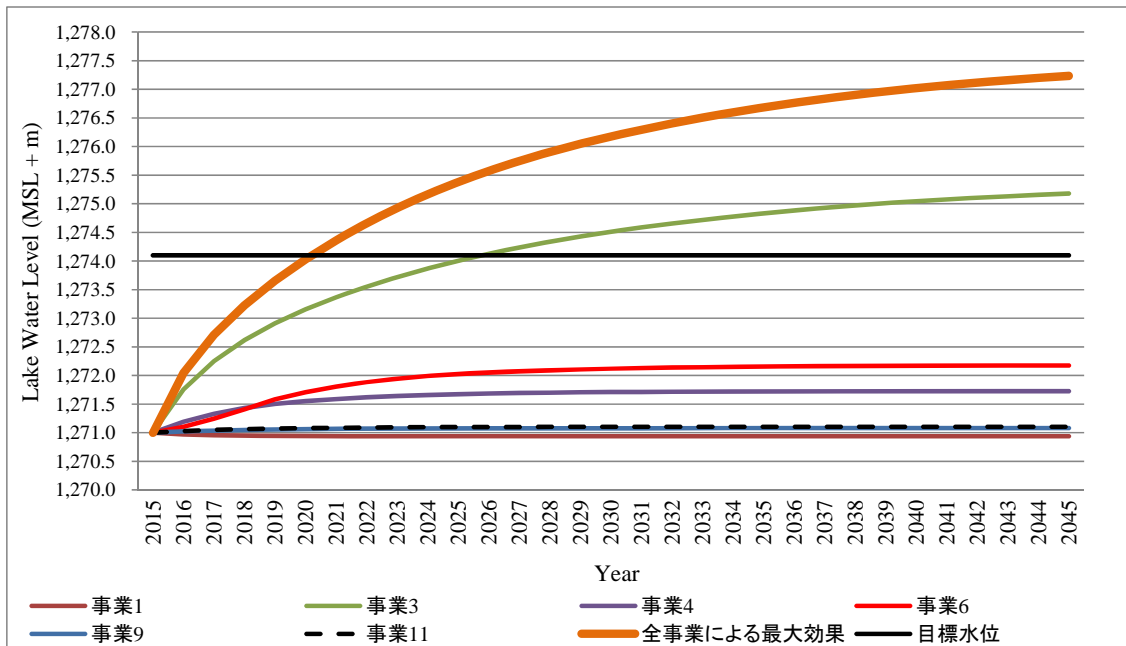


図 6.1.2 4 事業および単独事業による将来予測計算結果 (年平均水位)

表 6.1.7 全事業実施による回復水位と回復のスピード

事業内容	初期水位① (msl)	目標到達水位② (msl)	増減③=②-① (m)	目標水位への到達 年数④	到達速度④/③ (cm/年)
全事業 (3,117MCM/年相 当の流入量増加)	1271.05	1274.1	3.050	約 6 年 (その後、1,278m まで 上昇する可能性 がある)	約 50.83cm/年

(3) 目標水位までの回復を考慮した事業選択について

シミュレーションの結果から ((1)項参照)、湖水位を 1,274.1m まで回復させるためには、4,400MCM/年相当の湖への流入量が必要であることが判った。このためには、事業実施によって 2,100MCM/年相当の流入量の増加が必要になる。定量化できる事業のみを考慮した場合、約 50 年間で目標水位に到達する事業の組合せは表 6.1.8 に示した 7 通りとなり、それぞれの組合せにおいて、湖へ流入する流量の合計が 4,400MCM/年相当となっている。

なお、これら事業の中には、取水を完全に停止する事業 (3 番目の事業)、流域間導水事業、節水対策事業の 3 種が含まれる。本来であれば各事業のコストと湖水位上昇効果と社会的影響等を考慮して、バランスの良い組み合わせを検討すべきである。しかし、これらはまだ具体的になっていないことから、オルミエ湖および他流域の社会・経済活動への影響を考慮して、対策導入のプライオリティを節水対策、導水事業、取水停止の順番として、組合せ事業による流

入量の増分の合計が 2,100MCM/年相当となるように各事業に負担させるインパクトを設定している。

表 6.1.8 に示す A～G の 7 通りの組合せ案については、どれもが 4,400MCM/年相当の湖への流入量を確保するように 6 つの個別事業を組み合わせたものである。7 つの案全てにおいて 50 年後には目標水位相当に到達すると予想される。ただし、表 6.1.8 から流入量を 4,400MCM/年相当にするためには、6 つの個別事業のうち 3 番(取水停止)事業を必ず取り込む必要があることが判る。3 番以外の全ての事業(節水および導水事業)で流入量増加分を最大限確保した組み合わせ案は G 案であるが、それでも 3 番(取水禁止)の事業の実施が部分的(表流水利用量の 25%のカット)に必要な。他の A から F までの組合せ案は、現状では 3 番の事業を実施しなければ目標水位に到達できないと認識した上で、4,400MCM/年相当が確保できるように、それ以外の節水および導水の事業を組み合わせたものである。表 6.1.8 から 3 番以外の事業による確保流量が小さくなるほど、取水禁止の量が増加することとなる。

表 6.1.8 考えられる事業の組合せ

定量化 の現状	定量化できる事業						最大インパクト (MCM/年)
	1 現状 維持	3 取水停止	4 導水(Zaar)	6 節水(40%)*	9 蒸発量制御	11 導水(Aras)	
プロジェクト 番号	1 現状 維持	3 取水停止	4 導水(Zaar)	6 節水(40%)*	9 蒸発量制御	11 導水(Aras)	-
インパクト (MCM)	0	2,245	600	189～890	127-	146	-
A	0	1,210 (90%分相当)	-	890	-	-	取水停止事業による 2,245(節水事業はこれに 含まれる)
B	0	1064 (79%分相当)	-	890	-	146	2,391 (2245+146)
C	0	610 (45%分相当)	600	890	-	-	2,845 (2245+600)
D	0	464 (34%分相当)	600	890	-	146	2,991 (2245+600+146)
E	0	1,083 (80%分相当)	-	890	127	-	2,372 (2245+127)
F	0	483 (36%分相当)	600	890	127	-	2,972 (2245+600+127)
G	0	337 (25%分相当)	600	890	127	146	3,118 (2245+600+127+146)

注*) 農業分野における節水が 8%ずつ段階的に 5 か年に渡って実施される設定となっており、5 年後には農業水利用量が現在の 60%になる。

本業務では事業を組み合わせれば湖水位の回復は可能であるという推論に至っているが、今後は、さらに①事業規模の再構築に関する検討、②回復期間と事業費に掛かる検討、③建設・実施する施設および計画の柔軟性の確保に関する検討が必要であると考えられる。

また現時点では定量化できていないプロジェクトについても、IWRM の観点からは必要不可欠であるものも含まれ、かつそれぞれ間接的に流入量増加の効果が期待できるため、その実施を推奨する。ただし、No.7 の事業(オルミエ周辺の湿地への導水)については、オルミエ湖の水位回復にはほとんど寄与しないと考えられるため、ここでは推奨はしていないが、環境的視点からその実施の必要性を検討する必要がある。

<事業規模の再構築の必要性>

組合せ事業案の中のそれぞれの事業が湖への流入量の増加に対する寄与率の設定については、様々な観点から再検討する必要がある。また、現在定量化できない事業のインパクトについても定量化を進め、事業規模の再構築を行う必要がある。例えば、A のケースの場合、取水停止事業と節水事業の組合せであり事業全体のインパクトは 2,245MCM/年相当であるが、節水事業(灌漑地で 40%)で 890MCM/年相当を増加できる場合、取水停止については 1,210MCM/年相当、

つまり全体の約 90%(1210/(2245MCM×0.6)×100)の区域で行うことが必要となる。ここに、定量化ができていない事業の効果の定量化を実施すれば、組み合わせ案のバリエーションが増加し、各事業の規模の再構築を行う幅が広がり、取水停止の対象範囲を縮小することができる。

<回復期間と事業費に掛かる検討の必要性>

ここで挙げられている事業の全てをフルスペックで実施した場合、事業完工後、回復に掛かる期間は最短で概ね 6 年間となる。しかし、この場合の事業費および O&M 費は、社会・財務環境へ深刻なインパクトを与える可能性がある。一方で、上表のように 2,100MCM/年相当の事業を遂行する場合、リースコストでの事業実施が可能となるが、回復スピードが遅くなり、目標値達成まで 50 年相当の年月を要する。よって今後は、回復スピードを考慮しつつ、年間の事業費および O&M 費が財務環境を圧迫しないような組合せを構築する必要がある。

特に今回の導水事業においては、規模の大きいポンプ施設が必要となるが、ポンプは毎年の維持費が建設費の十数パーセント必要であり、約 15 年に一度はポンプの取り換えが必要になる可能性が高い。そのため維持管理費についても十分に検討したうえで、関係省庁の財務環境を圧迫しないように施設計画を立案する必要がある。

<事業によって建設・構築する施設・システムの柔軟性の確保の必要性>

回復スピードが 50 年より速い事業組み合わせ案は、水位目標から見て必要十分な 2,100MCM/年相当を超過した事業組み合わせとなる。そのため、目標達成後においては、事業インパクトを 2,100MCM/年相当に制御できるように、事業で用いる施設およびシステムには調整機能・計画を加味しておく必要がある。なお、施設およびシステムに柔軟性を持たせて、将来導水量の調節を行うことに加えて、余剰導水活用を効果的に実施すれば（灌漑デマンドへの対応）、その効果も事業の効果として含めて、ステークホルダーに理解を得ることのできる現実的な事業実施計画を立案することが可能となる。

(4) 気候変動の影響を考慮した場合

世界銀行の HP (<http://sdwebx.worldbank.org/climateportal/index.cfm>) によると、表 6.1.9 に示すようにイラン全土の降水量は平均的な B1 シナリオで 72.1～-54.23%変化する結果になっておりかなりの幅を有することが判る。オルミエ湖周辺も同様な傾向があると仮定すると図 6.1.4 のような状況が想定される。本業務におけるシミュレーションは、近年 5 年間の平均雨量を対象にして実施しているが、この気候変動による影響により、平均年雨量が下がった場合には、目標水位を維持するために湖水位が目標水位を下回った分に相当する流入量の増加（つまり 2,100MCM/年相当以上の増加によって合計流入量を 4,400MCM 相当以上にする）が必要となる。将来は、このような状況を考慮してダウンサイジングモデル等により新たに気候変動による影響を検討し、組み合わせ案に幅を持たせておく必要もある。なお、気温の変化によって蒸発量の変化も発生すると考えられるが、MIKE-SHE モデルではそれを表現することはできない。

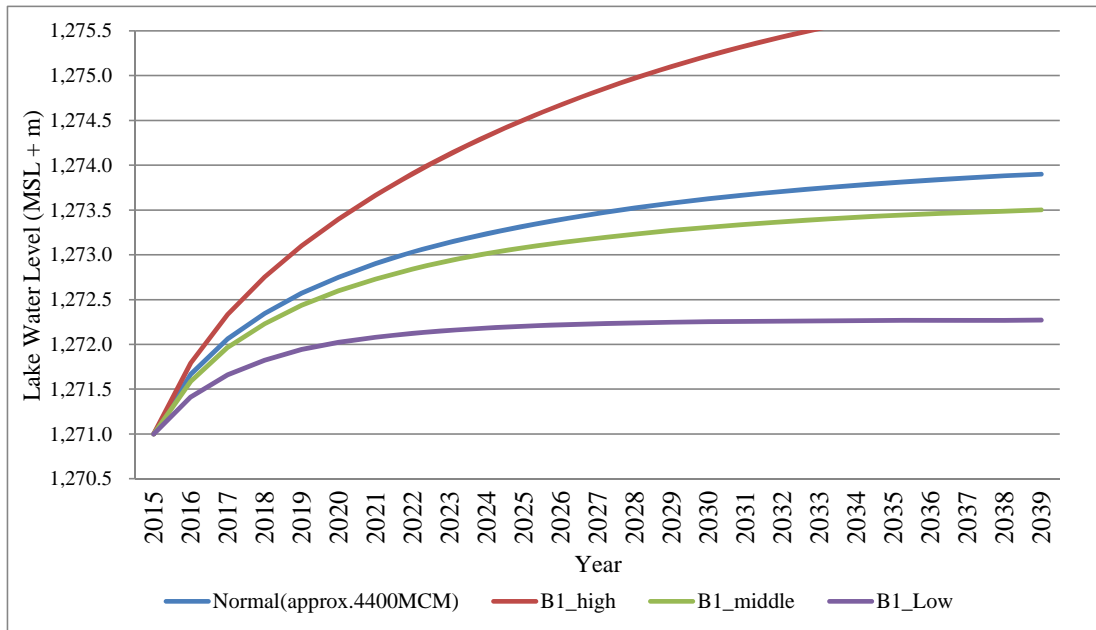


図 6.1.3 気候変動による影響の可能性 (年平均水位)

表 6.1.9 B1 シナリオにおける降水量の変化率

Scenario	High	Middle	Low
B1	72.1	2.3	-54.2

注)2039年までの変化率

第7章 結論と提言

7.1 結論

本調査では、流域の全体的な水の動態およびバランスを確認するために MIKE-SHE による分布型物理流出モデルを構築し、さらに地下水および表流水間の相互作用を含めた水循環の機構をより物理的に捉え、オルミエ湖の水位低下の原因を解明するために GETFLOWS による分布型物理流出モデルを構築した。これらのモデルを用いて (1) オルミエ湖の水位低下についての水文学的なメカニズムの把握および (2) イラン国で提案された救済事業の評価を実施した。7.1.1 節および 7.1.2 節に 5 章および 6 章で実施した上記 2 項目の結果に基づいて本調査の結論を整理する。

本調査の分布型物理流出モデルの構築に当っては、検証計算において情報不足を補うために推量データを使用しているが、特に MIKE-SHE については湖水位の変化への追従および全流域的な表流水の流出率との整合等の観点から非常に再現性の高いモデルを構築することができた。しかしながら、GETFLOWS によるモデル構築については下記に示すように、MIKE-SHE ほどの精度の高いモデルが完成しなかった。従って、7.1 節では、再現性の高い MIKE-SHE によるモデルから得られた結果に基づいた結論について記述する。

なお、MIKE-SHE によるモデルを用いた分析結果については、推量データの使用による実現象との多少のギャップは抱えているものの、現在最大限使用できる水文気象および地形地質情報に基づいて構築したモデルであるため、将来の湖水位の変化を大略的に把握できる適した状態になっていると考えられる。そのため、MIKE-SHE によるモデルを用いて、主に現状の流域の全体的な降水量の変化に応じた湖水位の変化を算定することは可能であり、その結果に基づいて、将来の湖水位の変動傾向および変動量を予測することができると考える。つまり、初期状態を構築することができれば、その時点から外力である経年的な降水量データを入力することによって、仮定した降水量の変化が流域の地下水および地表水の状況に与える影響並びに、その地表水および地下水のバランスに応じた湖水位の変化量を算定する事ができる。ただし、ダム施設、土地利用等の条件設定は、予測したい状況に合わせて再設定を実施する必要がある。

一方で、GETFLOWS によるモデル構築においては、現状の情報量では実現象を MIKE-SHE で為し得たレベルで再現することが困難であることが判った。GETFLOWS によるオルミエ流域のモデル化については、地下水の挙動もまた湖水位低下の原因を探るために確認すべき水文要素の一つであるため、インセプションレポート時の会議において、地下水動態を科学的に分析できる GETFLOWS モデルから参考情報を得るという位置付けで開始された。当時は、完全に物理条件に従って動作するモデルであり、モデルの構築が困難であると思われたが、日本での多数の GETFLOWS モデルの実績から考えて、水文情報がある程度の精度を持っていれば、現状の情報量でも概ね整合性を確保することが可能であるとの想定であった。しかしながら、オルミエ湖流域の GETFLOWS によるモデルの同定 (検証) の過程で、オルミエ湖流域でモデルを構築する場合、水利用情報の設定において、精度の高い情報をもって当たらなければ、MIKE-SHE レベルの結果が得られないという結論となった。

7.1.1 水位低下のメカニズムについて

1993 年以降、河川から湖への流入量が明らかに減少傾向にある。具体的には 2008 年の年間流入量は 1993 年に比べると 10 分の 1 の量となっており、1994 年以降、1993 年以上の年間流入量を上回った年はない。この流入量の変化の主な要因としては、降水量の減少に伴う流域の水文的变化および社会環境の変化による水利用量 (取水) の増加が挙げられるが、分析の結果 (5 章参照)、特に前者による影響が大きいことが確認された。1996 年以降連続して平均降水量を下回る年が続き、それに伴って水位が低下している相関の高さは図 5.2.36 および図 5.2.37 からみても明らかである。

また、その後、年間平均降水量を超過する降水が発生しても、湖の水位は下降の一途を辿っているが、これは連続した渇水状況により流域の地下の保水量が減少し、降水が地下に浸透しやすい状況に起因しているのではないかと類推した。シミュレーション結果においても、1994 年と 2006 年では同じ降水量が発生したにも関わらず、モデルによって計算された湖水位の変化が、実績値と同

様に 1994 年では水位が回復傾向であり、2006 年では減少傾向であった。しかし、残念なことに MIKE-SHE では中間流出と地下流出を区別して算出することは現在の仕様では不可能であるため、地下水の貯留量の減少については、地下水位の低下(図 5.2.38)と湖への地下水流入量の低下(図 7.1.3)から類推することは可能であるが、貯留量の減少に伴う雨水の地下水流出成分の増加(つまり、地下水への流出成分が増加し、地表および中間流出成分が減少するという動態)の分析は困難である。このため GETFLOWS モデルで表現できるベクトル図が必要であったが、5 章で述べたように GETFLOWS によるモデルも完全ではないため、現在はこれを定量的に証明することはできない。

一方、湖への表流水流入量は、直接的には湖面への降水および河川への流出量ならびに河川からの取水量の影響を受けるが、基本的には 4,400MCM~4,500MCM/年相当の湖への水供給がなければ湖水位は低下の傾向を辿ることが判明している。これは、モデルによる 1993 年および 2003 年の両年の水収支計算結果および予測計算結果から導き出されている。1996 年以降、オルミエ湖の水位は、概ね一貫して低下傾向を示しているが、4,500MCM/年の流入量を示した 2003 年のみ、湖水位は前年度と同レベルに保持されている。加えて、将来予測計算においても 4,400MCM/年相当の流入量がなければ湖水位は回復しないとの結果が得られている(図 7.1.2 参照)。

図 7.1.1 に 1994 年と 2006 年におけるオルミエ湖への表流水流入量の構成を整理した。2006 年の表流水取水量が仮に 1994 年当時のまま(1500MCM/年相当)であれば、すなわち 1994 年以降の水資源開発および利用を停止していれば、河川から湖への年間流入量は 4,500MCM 相当に達し、2006 年の湖水位低下は防止できた可能性がある。以上から、オルミエ湖への流入量減少の原因は、降水量の減少に伴う表流水流入量の減少が最も大きな要因であり、その次に大きな要因は取水量の増加であると考える。

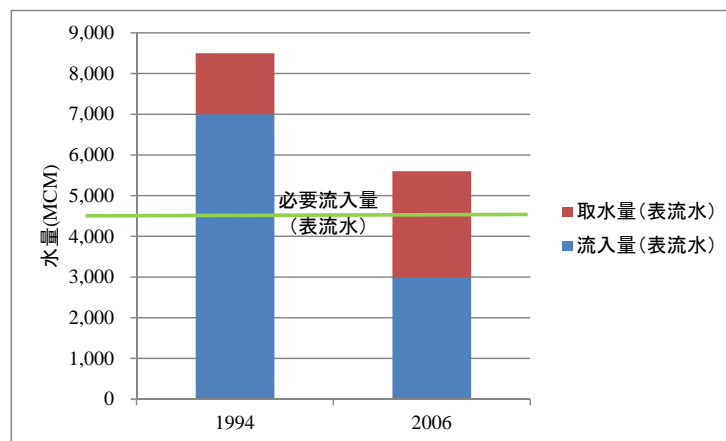


図7.1.1 オルミエ湖への流入量の変化

(降水量がほぼ同等かつ平均降水量を超えた 1994 年と 2006 年の比較)

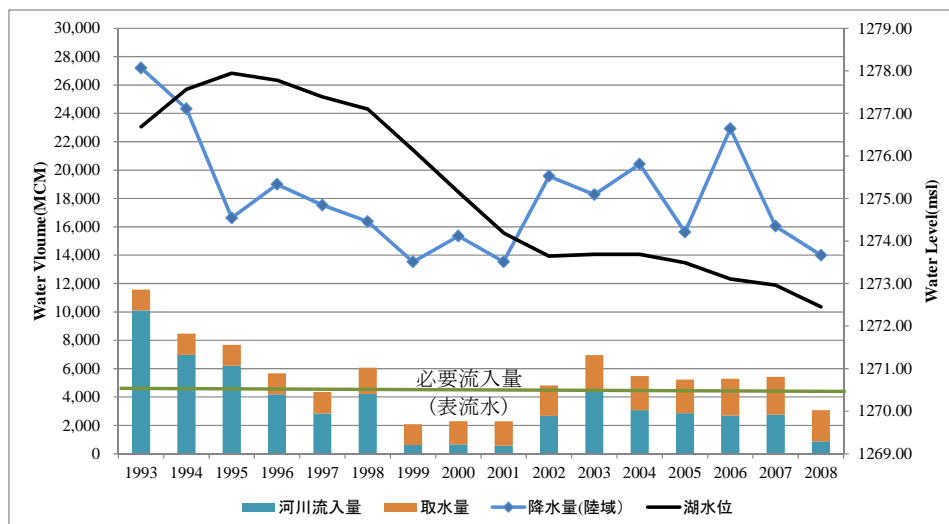


図7.1.2 河川流入量、取水量、湖の水位の変化

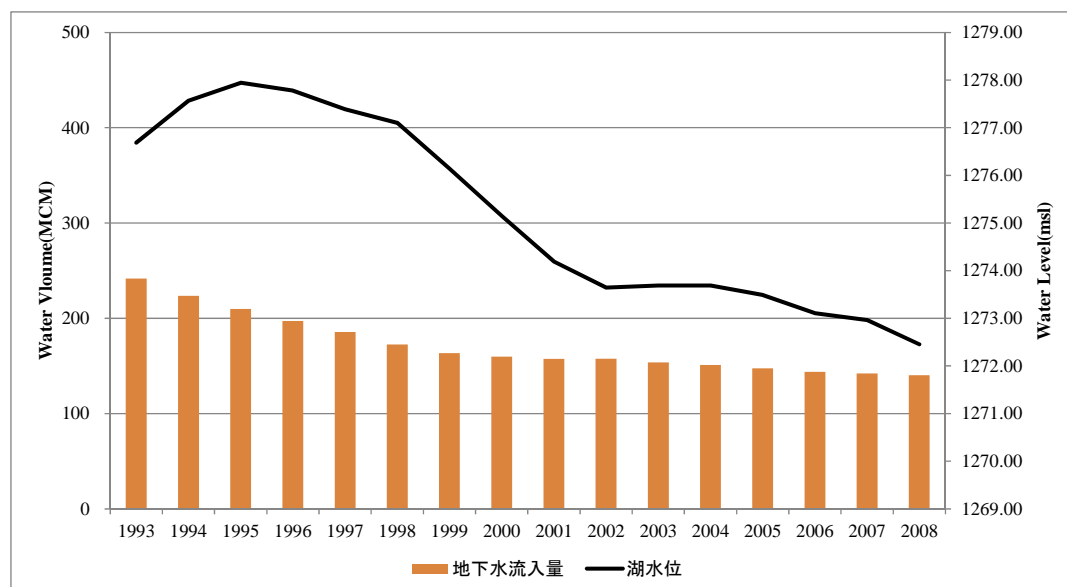


図7.1.3 湖への地下水流入量と湖水位の変化

7.1.2 救済事業の効果と事業組合せについて

オルミエ湖救済委員会が提案した 26 の事業の内、オルミエ湖貯水位回復の定量化が可能な以下の 6 つの事業について、分布型物理流出モデルによるシミュレーションを実施して、それらの事業効果を確認した。()内は事業によりオルミエ湖に流すことができる最大流入量を示している。

- 事業 1：新たな水資源開発・利用の禁止 (年間 0MCM：悪化の防止)
- 事業 3：既設・計画ダム下流の水利用の停止 (年間 2,245MCM)
- 事業 4：Zaar 川からオルミエ湖への導水 (年間 600MCM)
- 事業 6：毎年 8%最大 40%の節水灌漑導入 (年間 190MCM～890MCM)
- 事業 9：Zarinehrood 川下流河道からの蒸発量抑制 (年間 127MCM)
- 事業 11：Aras 川からオルミエ湖への導水 (年間 146MCM)

それぞれの事業単独では、事業 3 を実施することにより目標水位 (1274.1m) に達する効果が見られる。しかし、その他の 5 つの事業それぞれの単独実施の場合は、一時的には湖水位は回復するものの目標水位 (EL.1274.1m) には達しない。一方、複数の事業を同時に実施する場合は、6 つの全ての事業を実施すれば約 6 年で目標水位に達する。事業 3 を除いた 5 つの事業の組合せでは必要

な表流水流入量の増分 (2,100MCM/年相当) を確保できないため、目標水位には到達しない。従って、新規事業が提案されない限り、目標水位まで湖水位を回復させるためには、事業3の部分的な取水停止事業が必要である。ちなみに、事業3によって25%の地域での取水停止を実施すれば、全6事業により約50年で目標水位に回復させることが可能である。

また、湖水位を短期間で回復するためにはより多くの流入量を確保する必要がある。例えば50年であれば4,400MCM/年相当、10年であれば5,000MCM/年相当の流入量を確保する必要がある、事業による増分としては、それぞれ2,100MCM/年相当、2,700MCM/年相当を確保する必要がある。

湖水位回復のためのこれらの確保流入量を、上記の6つの事業によって確保しようとする場合、各事業のコストと便益、自然環境への影響および社会への影響等を十分に勘案して、各事業でどれだけの流入量を確保すべきかを検討する必要がある。

7.2 提言

7.2.1 モデルの精度向上

分布型物理流出モデル同定においては、日湖水位および流域からの流出ボリュームを確認しながら、限りある情報に基づき、試行錯誤で各種パラメータを設定した。入手した情報の質および精度が高ければ、キャリブレーションにおける計算値と実績値との誤差を短い期間で大幅に縮小することが可能であり、10年以上の長期間のデータに基づく検証計算が実施可能であったと考えられる。以下に、MIKE-SHE および GETFLOWS モデルによる検証計算および予測計算の精度を高めていくために必要な情報および活動を示し、本業務で得られた経験に基づいて、オルミエ湖流域において分布型物理流出モデルを作成する際の留意点を整理した。

(1) 予測計算結果の精度の向上に必要な情報および活動

MIKE-SHE による分布型物理流出モデルの同定に当たっては、確度の高いデータのみならず推量・推定したデータも取り込んだが、試行錯誤の上モデルのパラメータを設定して、検証期間における日単位の計算湖水位と実績湖水位との間に高い整合性を確保することができた。しかしながら、取水量・取水地点に関する情報は、特に重要な情報の一つであるが、分布型物理流出モデルへの入力情報としては粗い状態（土地利用レベルでの情報）で提供されたため、土地利用状況およびオルミエ湖の水資源管理 M/P レポートにある流域全体の総量的な水利用情報等の限られた情報を参考にして推定せざるを得なかった。

上記のような状況で同定したモデルであるため、MIKE-SHE モデルによる予測計算を向上させるためには、まず上記の推量・推定した情報について再整理し、それらをモデルへインプットした上で検証計算を実施しモデルパラメータを再設定する必要がある。現在使用されているデータよりも、表7.3.1に示すより実現象に近いデータを入力することによって、検証計算で設定するパラメータがより実現象に近い値となり、将来予測計算の結果がより現実に合ったものになると思われる。

なお、GETFLOWS については、水の挙動の全てを物理法則に従って解いているため、モデルの同定に当たっては上記で述べたデータの不確実性が大きく影響する。言い換えれば、現実とかげ離れた情報が存在すればモデルの同定が非常に困難になる。日本では十分に実績のあるモデルであるため、本調査でも GETFLOWS の採用は十分に可能だと考えられたが、以降に整理した「MIKE-SHE によるモデルを構築する過程で判明した情報に関わる多くの改善すべき事項」が GETFLOWS にとって致命的な状況を招いたものと考えられる。また、GETFLOWS によるモデルの同定にあたって、大きな問題となっているのは、定量化が現時点では不可能な違法取水が認められている中で推量を実施した水利用データであると考えられ、その次に塩分濃度、地質構造ではないかと考えられる。なお、塩分濃度については、設定すれば雨季乾季に応じた水の循環スピードや量が変化すると思われるが、計算結果と実績値の差分1mを解決する根本的な理由には成り難く、地質構造については、日本のどのような流域であっても情報の不確実性を含む場合が多いが、日本では情報量に応じて活用されている。そのため、やはり水利用データを確実に準備して GETFLOWS によるモデルを再構築することがモデルを同定するための最優先の課題であると考えられる。

表 7.2.1 モデルの同定および予測計算の精度の向上に必要な情報一覧

No.	分野	必要な情報	モデルの同定および予測計算結果の改善のために実施すべき事項 (上段：情報がある場合の改善内容、 下段：情報が無い場合の活動内容)
1	取水位置および取水量	- 取水施設の位置・取水量	<ul style="list-style-type: none"> ✓ モデル河川における適切な取水地点の設定 ✓ モデルで設定した取水地点に取水量の実績値（時系列データ）を入力する。 ✓ 各井戸の地点をモデルに設定し、それらの地下水取水量の実績値を入力する。
			<ul style="list-style-type: none"> ✓ 取水量実態調査（無許可取水量の把握を含む） ✓ 取水地点の位置情報の確認・GIS データベースへの位置情報の補完 ✓ 行政的取り組みによる無許可取水の取り締まり
2	蒸発量	- 日蒸発量	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 61 観測所の日蒸発量データの活用 ✓ 冬季蒸発量（日データ）の入力
			<ul style="list-style-type: none"> ✓ 塩分を含んだ湖水の冬季蒸発量に関する調査
3	ダムデータ	- 操作ルール	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 全ダムの操作ルール或いは放流量のモデルへの適用
			<ul style="list-style-type: none"> ✓ 操作履歴およびダム湖の水位に係るデータの取得
4	湖底の堆積状況	- 適切な時期の HAV - 代表地点の湖底高	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 目的に合わせた HAV データの入力
			<ul style="list-style-type: none"> ✓ 湖床の定点観測 ✓ 深浅測量の実施
5	密度流	- 塩分濃度	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 塩分濃度の入力
			<ul style="list-style-type: none"> ✓ 塩分濃度の定期的観測（河川および井戸）

(i) 取水位置および取水量

4.5.4 節で説明したように、表流水の水利用については、明確な取水位置および取水量の時系列データが得られなかったため、オルミエ湖の水資源 M/P レポートに記載されている流域全体の年間水利用量の経年的な記録と、ダム放流量の波形データから水利用量の時系列データを作成した。また、これらの水利用量の 92% は農業分野で消費されているため、表流水の取水地点は土地利用から読み取れる農地の位置を参考に設定した。一方で、地下水の水利用については、井戸の位置情報が得られており、同 M/P レポートの地下水利用量の経年変化および許可水利権の情報を利用して井戸毎に地下水取水量についての時系列データが作成できた。

取水地点の位置および水利用量が明確であれば、上記のような推算作業を行う必要がなくなり、モデル上で現実的な水配分が再現可能となる。したがって、モデルの同定および同定されたモデルを用いた予測計算の精度を向上させるためには、まず表流水については取水地点および取水量についての明確な情報をモデルに入力する必要がある。次いで、地下水については、位置情報は既に確保されているので、取水量の実績値を入力する必要がある。

これらの情報が整理されていない場合は、表流水や地下水の取水量の実態調査あるいはモニタリングを行い取水状況を確認する必要がある。また、同 M/P レポートに年間水利用量が掲載されているが、この値がどのように集計されたものであるかについても確認・整理し、内訳の情報があるのであれば関係機関はそれを適切に保管しておく必要がある。さらに、取水地点についても現地調査を行い GPS 等を用いて位置座標を測定し、GIS データベース等に情報を保管することを推奨する。

また WRMC によると WRMC が把握・許可していない堰からの取水がおこなわれている可能性がある。また、3.2.1 節に記述したように乾季に農民が土砂や土糞で河川を締めきって取水している場合もあるという。これらの無許可取水量の把握はイラン国でもプロジェクトとして提案されているが、モデル同定と同定モデルによる予測計算の精度を上げるためには、

これらの情報を把握している必要がある。なお、このような無許可の取水が増加していくと予測計算の精度が落ちることになるので、法規制などの行政的な取り組みも必要である。

(ii) 蒸発量

2.6.3 節に示すように、蒸発量については WRMC および IMO が管理する合計 71 箇所の観測所で観測されているが、本業務で必要となる日蒸発量については 10 観測所分しか入手することができなかった。蒸発量から湖面の蒸発量及び陸域の蒸発散量を推定しているが、全ての観測所の情報を活用したほうが現実とのギャップは小さくなる。

また、5.3.1 節で述べたように、上記 10 観測所の冬季の蒸発量には 0 値が記録されているが、オルミエ湖流域の水資源管理 M/P レポートおよび WRMC から入手した月別蒸発量には、冬季の月蒸発量の観測結果が整理されている。現時点ではこの冬季の月別蒸発量を日割りした平均値を入力しているが、本来はこの月蒸発量の基になった日蒸発量データを入力すべきである。特に湖水は塩分を含んでおり、冬季も凍結しない期間があるため、冬季の蒸発量の正確な把握は重要である。

(iii) ダム操作ルール

将来予測計算を厳密に行うのであれば、ダムの操作ルールは必須である。検証計算では操作ルールが提供されなかったためダム地点の放流量を河道に流してモデルの精度を確保したが、放流量は前年度の状態にも関係するため、予測計算において与条件として設定するのは非常に難しい。

ダムの操作ルールがないとは考えられないが、不明瞭であるのであれば、観測体制を構築し、毎年の操作方法を明確にしたうえでルールカーブを作成することを推奨する。

(iv) ダム放流量

ダムの操作ルールが不明であったため、5.2.9 節で述べたように、ダム地点においては、河道を流れる流量の精度を高めるためにダムの放流量を入力している。ところが、本業務においては稼働中の 40 基のダムのうち 12 基のダムの情報しか入手できなかった。そのため、残りの 28 基のダムの放流量については、12 基のダムの中から Mahabad Dam の物理諸元を活用して推量した。今回 40 基のダムの物理的な諸元は全て入手できているが、放流量についても全ダム分をモデルに入力することができれば、その下流の河道を流れる流量の精度はさらに高まる。

放流量を入手できなかった残り 28 基のダムで放流量が記録されていないのであれば、今後は全ダムの放流量を記録できるよう観測施設、人員、O&M 予算等を確保し、予測計算の精度が下がらないように注意すべきである。

(v) 湖の HAV について

ステアリングコミッティ会議のメンバーから堆積傾向にある湖の湖床高の変動を考慮すべきだとの意見があった。このモデルを使用して将来水位の予測の精度を上げるためには、近年の HAV を構築し、それを入力した上で計算を実施する必要がある。

また、予測計算の精度を高く保つには、適宜定点測量を行い、湖床高の変動を観測し、必要に応じて深淺測量を実施することが望ましい。特に湖面の蒸発量は湖面の面積の大きさに比例するため、実現象を再現するには、湖の HAV は非常に重要である。

(vi) 塩分濃度

今のところ、地下水からの流入量は表流水からの流入量の約 10 分の 1 以下と算定されており、湖水位への影響は水位に換算すると年間で数ミリ程度である。しかしながら、現在の水理地質構造から見て湖底から上昇する地下水の存在が示唆されており、2.6.4(5)の図 2.6.19 および図 2.6.20 に示すように、将来は塩分濃度によって湖周りの地下水の動態が変化すると考えられる。

そのため、将来の地下水流入量の動態に係る計算精度を向上するためには、特に湖周辺の観測井および取水井戸における塩分濃度のモニタリングを継続実施しモデルに入力する必要がある。残念ながら現時点においては、計算に使用できるほどの塩分濃度の情報はないと思われる。また、現在は明瞭な塩水楔は発生していない段階であると考えられるため、このモジュールの組み込みの必要性は低いと思われるが、将来密度流による湖底からの流出についての解析が必要になった場合、このモジュールの追加により湖の水収支の精度を高めることが可能となる。

(2) オルミエ湖流域において分布型物理流出モデルを構築する際の留意点および必要な活動

(i) 流量データ

2.6.2 節(3)で記述したように、提供された流量を経年平均流出高に換算したところ、1,000mm~2,000mmの非常に高い流出高となる観測所が4か所存在した。また、経年平均ではほぼ妥当な流出高に見えていても、一時的(数年)に流出高が上流域の流域平均雨量よりも大きくなる観測所もある。この原因としては、流量観測所の位置情報の精度の低さ、水位-流量関係の把握における問題、降雨観測所の不適切な配置、観測機器の異状等が考えられる。流量データに関しては、基本的な情報(特に位置データ)および現在の水位流量関係の精査は必要である。

(ii) 降水量

Bukan ダムの上流域の観測所で観測している年降水量が Bukan Dam への年流入量を下回っている年がある。このような状態の原因としては、主にダム上流の高高度の地域における降水量を把握しきれていないことが考えられる。なお、オルミエ湖流域には4,000m級の山々が存在しているが、2,000m以上の高度に位置する観測所は全体の1割にも満たない。2.6節の図2.6.5および図2.6.6から現状の平均年降水量の値と高度の相関関係は低いということが判明したため本プロジェクトでは降雨の高度補正を実施していないが、今後は、2,000m以上の高度に観測所を設置し、降水量の観測を行うとともに、高高度地域の高度補正が実施できる情報を確保すべきである。

(iii) 湖水位の記録

2.1.2 節の図2.1.6においては、湖水位の時系列データがグラフ化されているが、一部明らかに棄却されるべきデータが残っていたため(2007年のデータ)、このようなデータは削除して公式データとして保管されることが望ましい。

(iv) 土地利用図

土地利用については、本業務では2007年および1987年の情報が提供され、このうち10年の検証期間中の情報である2007年の土地利用状況をモデルに反映した。この土地利用は地表面の粗度係数を設定するために使用されている。2.4節の表2.4.1によるとオルミエ湖流域で支配的な被覆は、放牧地であり土地被覆という観点からは1987年から2007年まで大きく変わっていない(面積については全体の64%から59%となっている)。その他の個々の土地利用の変化は、放牧地の減少分に応じて増加している。以上から、検証期間における土地利用については2007年の情報を選択することが妥当であった。

検証計算結果からみても2007年の土地利用に基づいた粗度係数の設定値はモデルを構築する上で有効であったと考えられるが、今後予測計算を実施する際には、2007年と近年とで大きく土地利用が変化している場合は、オルミエ湖流域の最新の土地利用図を作成し、その土地利用に応じた粗度係数を入力して予測計算を実施することを推奨する。

(v) 水文モニタリングデータの精査

本業務においては、流量観測所での流出率が1.0を超過していたり、他の観測所と比較して非常に高い数値となっている観測所が散見されている。このような場合、流量観測と降水量観測のどちらかに問題があると考えられるが、水文解析(流出高・流出率の比較、比流量、ダブルマスカーブ、降雨の相関関係、ダム小流域における局所的な水収支解析等)を実施し、問

題箇所を追及する必要がある。本業務ではこのような問題のある観測所は活用していないが、密度の低い観測所網であるため、問題を解決し現在設置されている観測所のデータを有効に活用することは重要である。

さらに、上記のような問題分析を行った後、観測所のモニタリングシステムの現状を確認する必要がある。原因としては、モニタリング機材のメンテナンス不足、観測実施者の技量不足、観測所の不適切な配置、予算の不足による不適切な観測の実施など、様々な原因が考えられるが、観測精度を高めるための課題を確認し、課題に対する必要な対策を検討・実施していく必要がある。

(vi) 情報共有のシステム化

今回の調査においては WRMC が主に情報収集を行ったが、様々な関係機関から限られた期間で情報を収集しているため、与条件として位置情報がモデル構築の際に重要となる分布型物理流出モデルに、その位置情報を推定せざるを得ない状況になってしまうデータの提供があった（特に取水地点の情報）。イラン国では、様々な関係機関が多様な分野でオルミエ湖の水位低下についての把握を実施しており、その分析・検討レベルにおいても関係機関間で違いがある。これらの様々な関係機関が実施する解析モデルの構築を効率的に実施するためにも、基本的な情報（例えば、水関連施設、水文気象情報、取水量等）については、オルミエ湖救済委員会あるいは MOE 等の上位レベルの機関に、情報の精度を確認し、かつ情報共有を行う仕組み・フローが構築されることが望ましい。

(vii) 分布型物理流出モデルの限界を考慮したデータの取扱い

本業務で提供する二つのモデルについては、地形情報、土地利用を時系列データとして与えて時々刻々と変化する計算には対応不能であるため、これらの情報を取り込んでシミュレーションを実施する場合には、これらの情報が妥当性を持つ期間別の実施する必要がある。

なお、今回のモデリングにおいては、主に湖の水位低下に起因する水の動態について調査する必要があったため、水文気象情報を時々刻々と変化させ、土地利用および湖底の地盤高については、収集した限りある資料の中から、検証計算および予測計算に使用するために最も時期的に相応しい情報を一定のデータとして入力している。

(viii) 流域内の土砂移動動態を含む解析について

仮に湖底の地盤が変動する分布型物理流出モデルを構築するのであれば、各メッシュにおける生産土砂量、河道における流送可能土砂量、河道の河床変動、土砂の粒度分布などの推量・設定が必要となり、水の流動以外の部分における多くの情報の処理や湖内の土砂動態における仮定等が必要になる。現時点で収集できた情報から判断すると、これらの情報を用いたモデルを構築するには情報が不足しており、その状態で土砂動態解析を含むモデルを構築すると、不確定要素が増し、ひいてはモデルの精度に影響を及ぼし、意思決定をサポートするシステムとしての使用が困難になる。なお、湖の地盤高の変化を考慮したモデルが完成した場合には、湖底の深淺測量、衛星画像等による DEM の更新等を適宜実施し、予測計算結果と整合しているか確認が必要である。

7.2.2 様々な対策案の実施に係るさらなる検討の方向性

(1) 事業実施による湖水位回復シナリオの再検討

前述した6つの事業を組み合わせることによってオルミエ湖水位の目標水位までの回復は可能である。しかし、事業3は社会的インパクトが非常に大きく、事業4と11の他流域からの導水事業は、建設コストと維持管理費が非常に大きい。したがって、今後も様々な施策を検討していく必要があり、本モデルによりそれらの施策の効果評価が可能である。例えば、①代替案（その他の案）の検討、②目標湖水位の再設定、③オルミエ湖貯水範囲の制限等の施策が考えられる。分布型物理流出モデルの精度を高めることによってより正確な事業・施策の効果評価が可能であり、前述の施策に関しては、以下のような検討の実施が考えられる。

(i) 代替案の定量化

今後新たに提案される事業および本業務で定量化できていない事業について、各分野の専門分野の技術者による経験則および事例を確認・収集してケーススタディを行い、事業効果を水量として定量化することによって事業評価が可能となる。

蒸発量と湖面・河川水面の関係を活用した事業、地下水涵養に関する事業、農作物の転換等、水利用や水文循環を変化させる事業では定量化は容易であり、このモデルを用いて事業の効果の評価が実施できる。一方で、水資源管理組織の構築、地下水用スマートメーターの設置、意思決定システムの確立等、モデルでは定量化できない事業も提案されているが、これについては別途検討し、水量として算定できればモデルへのインプットが可能となる。

(ii) 目標水位の再設定

目標水位を現在よりも低く再設定する場合、現在全国的に実施しようとしている節水および取水制限（禁止）に関わる提案事業の一部を緩和することができる。その際には、必ずしも水量的に全国一律で規制緩和を実施できるとは限らない。このような場合、設定した水位に応じて、地域別あるいは小流域別にどの程度社会環境へ影響を及ぼすか、本モデルを活用して確認することができる。

しかしながら、現在のモデルにおいては、全体的および比較的大規模である河川流域についての流出率については概ね現実的な値を確保できているが、いくつかの小流域で情報量および質に応じた設定となっている。おそらく、社会環境的にインパクトの高い事業を実施する場合には、流域の全体的なバランスはもちろんのこと、各小流域別への対応が必要となってくることから、各流域のステークホルダーへ齟齬のない説明責任を果たすためにも、7.2 節の項目に従って、個々の流域の計算結果の確度を挙げていく必要がある。

(iii) オルミエ湖貯水範囲の設定

オルミエ湖救済委員会には、オルミエ湖の貯水範囲を制限して一定の水位を保つという提案がある。このような対策のモデル化は本モデルでも DEM の変更等により対応することは可能であるが、貯留量についてはオルミエ大学が述べる湖底の土砂堆積量の変化を十分に把握した上で検討を始める必要がある。まずは、最新の HAV 関係を測量・把握し、モデルにインプットしたうえで将来予測を実施すべきである。貯留量は、各流域からの湖への流入量を設定するためには必要な要素である。

(2) 適性取水量の設定

本モデルのアウトプットを活用してオルミエ湖流域における適正な取水量を設定することは可能である。しかしながら、現時点で得られた情報では、取水位置・量が不明瞭であるため、流域全体の適正取水量が算出できる程度である。地域別・流域別に適正取水量を把握するには、小流域での流出解析量の精度をさらに高める必要がある。さらに、情報のない不法取水はモデルの同定および予測計算の実施に大きな不確定要素になっているため、その正確な把握が必要である。

また、本モデルを活用すれば、「近年の渇水状態」が起因となって発生している地下水と表流水のバランスの変化に対応した取水量の設定が可能となる。

7.2.3 今後のモデル活用の可能性

オルミエ湖救済のために様々な対策が提案されているが、事業の採択に当たっては、農業、給水、工業、環境セクター等の水利用に関わるステークホルダー間の合意形成が必ず必要になると考えられる。また、水分野関連事業の採択に当たっては一般的に統合水資源管理(IWRM)の観点から実施する必要がある、その IWRM は流域単位で実施することが望ましいと考えられている。しかしながら、オルミエ湖救済においては、流域間導水事業が複数検討されているため、ステークホルダーはオルミエ湖流域内外にわたり、オルミエ湖流域に関わる水資源開発管理は近隣の流域の状況も考慮した形で実施する必要がある。

さらに、オルミエ湖流域においては、地下水涵養と地表水流出のバランスの変化、オルミエ湖周辺の塩水と真水の境界移動、外部流域からの導水、水資源開発と湖救済事業のトレードオフ関係等の分析および調整を実施しなければならない複雑な課題が豊富にあり、それらの課題はオルミエ湖の中で相互に影響している。そのため、オルミエ湖を救済するには、それらの課題を同時並行的に科学的根拠に基づき解決しなければ、合意形成を押し進めることが非常に困難となる。このような状況において、分布型物理流出モデルは、水利用に関わる複数の課題をインプットすることにより、水利用に関わる課題について科学的根拠に基づいて整理・分析できるツールとなり、その結果を用いてステークホルダー間の合意形成を図るという重要な役割を担うことができると考えられる。

本業務では2種類のソフトウェア、MIKE-SHE および GETFLOWS によって分布型物理流出モデルを構築した。MIKE-SHE は、現在のように境界条件を設定する際に多少情報不足であっても、構造的に未解明な部分において、河川流量の実績に合わせた調整（例えば中間流から河川への流出の程度等）が可能となっており、本業務で実施したようにオルミエ湖の水位変化にかなりの精度で追従できるようになっている。一方で GETFLOWS は、水の流れに関する現象がほぼ完全に物理的に捉えらるモデルになっており、情報が十分でない環境でモデルを構築すると、実現象となかなか整合させることができない可能性があるが、十分確度の高い情報を用いれば流域内の水の一連の動態を物理的な面から正確に把握する事ができる。

以上より両モデルともにオルミエ湖救済に係る意志決定プロセスを支援するためのツールとして活用できる可能性は高く、強いて言うのであれば、MIKE-SHE については、流域の水循環を把握するための情報整備が十分でない状況で IWRM を進める現状に適應することが可能であり、GETFLOWS については、将来十分に情報整理および管理ができるようになった時点で、さらに高度なレベルでの合意形成および問題解決に使用できると考えられる。例えば、塩水化の問題や、地下水と表流水のバランスの変化等に対応したプランニングを実施する際には、MIKE-SHE よりも GETFLOWS の方が適用性が高いと考えられる。

巻末資料

資料 1.1

Minutes of Meeting on 15th October 2014: Data Collection Survey on the Hydrological Cycle of Lake Urmia Basin in the Islamic Republic of Iran agreed upon between Ministry of Energy, National Committee for Saving Lake Urmia and the Japan International Cooperation Agency

THE MINUTES OF MEETINGS
ON
THE MISSION FOR THE INCEPTION REPORT
ON
THE DATA COLLECTION SURVEY ON
THE HYDROLOGIC CYCLE OF LAKE URMIA
IN
THE ISLAMIC REPUBLIC OF IRAN

AGREED UPON BETWEEN

THE MINISTRY OF ENERGY,
NATIONAL COMMITTEE FOR SAVING URMIA

AND

THE JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY

Tehran, November 19, 2014



Bahram TAHERI, Ph.D
Advisor to the Minister
Ministry of Energy
and
Representative
National Committee for Saving Lake Urmia
Islamic Republic of Iran



Kenji MAGATA
Leader of the Survey Team
Japan International Cooperation Agency

Based on the Minutes of Meetings held between the Government of Islamic Republic of Iran (hereinafter referred to as “GOI”) and the Japan International Cooperation Agency (hereinafter referred to as “JICA”) concerning the Data Collection Survey on the Hydrologic Cycle of Lake Urmia (hereinafter referred to as “the Survey”) dated on October 15, 2014, JICA dispatched a mission team (hereinafter referred to as “the Team”) for the Survey to the Islamic Republic of Iran from November 14 to 19, 2014.

The Team held a series of discussions with relevant organizations and conducted field visits to develop the scope and implementing arrangements of the Survey. The main points discussed during its visit are described in the Appendix 1. The scope and implementing arrangements of the Survey are described in the Appendix 2.

Appendix 1: Main Points Discussed

Appendix 2: Scope and Implementing Arrangements of the Survey

B.T.



Appendix 1

THE MAIN POINTS DISCUSSED

1. Hydrological models to be adopted in the Survey

The Team proposed to develop hydrological models of Lake Urmia basin based on two different model packages, namely MIKE SHE and GETFLOWS. While MIKE SHE has advantages such as:

- user-friendly interface,
- quickness in model development, and
- experiences in handling the model in MOE and other Iranian organizations.

GETFLOWS has an advantage of physical-based expression in modeling the basin hydrologic cycle with features such as:

- seamless water flow simulation between different layers (e.g. atmosphere, surface water, unsaturated groundwater and saturated groundwater), and
- high scalability from the aspect of many fluid flow components (e.g. water, gas, non-aqueous liquid and solid), heat and mass transport in watershed.

Therefore, MIKE SHE shall be utilized as a quick solution to evaluate the proposed restoration project of Lake Urmia, while GETFLOWS utilized as a reference to validate the reliability of MIKE SHE. MOE agreed on it.

2. Data collection process

The Team requested MOE to submit the data necessary for model development by November 23, 2014. To facilitate the data collection procedures, MOE requested the Team to further discuss on the detail and priority of necessary data and to submit a more elaborated data request form. Upon the submission of the form, MOE immediately search the data in MOE or the National Committee for Saving Lake Urmia (hereinafter referred to as “the Committee”) or refer to other relevant organizations. The Team agreed on it.

On the other hand, both sides agreed that, when gaps and inaccuracy are found in the data, the Team explores the possibility to fill the gap using alternative information such as satellite imageries, as noted at the 4th article of Appendix III of the Minutes of Meetings signed between MOE, the Committee and JICA on October 15, 2014.

3. Transfer of the developed model and training on the model

The Team explained that, upon the completion of the Survey, the hydrological model developed through the Survey is to be transferred to MOE and that the Team would organize a training workshop on the model. MOE mentioned that the model transferred is to be utilized in both Tehran and Lake Urmia region and that the contents of training workshop should not be limited to the operational instruction of model itself but also broader concepts related to the model, such as basic knowledge of Decision Support Systems (DSS). Both sides agreed that the Team will conduct a needs assessment on the training workshop and elaborate its contents through discussions with MOE by the end of the Survey. The training of the model shall provide enough details of GETFLOWS in comparison to MIKE SHE, which is already commonly used in Iran.

B.T.

Further capacity building of related stakeholders, including local partners, shall be implemented within the scope of JICA's upcoming technical cooperation project.

4. Detailed contents of the Lake Urmia revival projects approved by GOI

The Team requested MOE to provide the detailed contents of all the approved projects so far for the revival of Lake Urmia which had already been approved by GOI, since some of the measures included in these projects are to be interpreted into the parameter setting of the hydrological model of the Survey, and their performance for the restoration of Lake Urmia is to be evaluated using scenario analysis by the model. MOE suggested that the Team submit a more detailed questionnaire form on the all the approved projects so far so as to facilitate the communication between MOE and the Team. The Team agreed on it.

5. Organizational set-up of the Survey

MOE mentioned that the Survey is conducted under the cooperation by the Ministry of Energy, including Water Resources Management Company, the Committee and JICA, and that communication with other agencies such as Department of Environment, Ministry of Jihad-e-Agriculture is to be conducted via the Committee. The Team agreed on it.

6. Work and reporting schedule

The Team explained that, if both MIKE SHE and GETFLOWS are adopted as modeling platform of the Survey, the duration of the Survey would be longer than originally planned to complete the Survey by March 2015. In the case of adopting two models, the Team shall submit a final report for each model used: one is when model development and evaluation of existing projects are completed based on MIKE SHE around March 2015, and the other is when model development of GETFLOWS and validation of MIKE SHE are completed around August 2015. Both sides agreed to adopt two hydrological models by extending the survey period.

7. Stakeholders involvement

Because the implementation and success of any plan for saving Lake Urmia is vitally dependent upon the public and stakeholder participation and creation of a sense of ownership in them, both sides agreed that in all stages of implementing this project, great importance will be placed on this aspect of cooperation and that both sides will think about, find and implement practical mechanisms to this effect.

END



B.T.

Appendix 2

Data Collection Survey on the Hydrologic Cycle of the Lake Urmia

Scope and Implementing Arrangements

Global Environment Department, JICA

1. Purpose of the Study

An integrated hydrological cycle model for the Lake Urmia (LU) basin is established, as a main component of comprehensive Decision Support System (DSS), taking into account basin rainfall, surface runoff and groundwater flow, evapotranspiration, water quality/temperature and water utilization in the basin. Applying this numerical model, the following studies will be made; 1) Water balance of the LU basin will be clarified; 2) Priority and effectiveness of the projects that LU Restoration Committee proposed and were endorsed by the Iranian Government will be evaluated and confirmed; 3) Priority and effectiveness of combinations of the projects will be studied and proposed.

2. Iranian Counterpart Agency/ies

Due to the involvement of multiple organizations on the Iranian side and to ensure a smooth cooperation and partnership and enhancement of local capacity building, the following counterpart structure has been established on the Iranian side:

Overall supervision: Dr Bahram Taheri, the Senior Environment, Safety and Health Advisor of Minister of Energy and member of the Kalantari Commission's Steering Committee will administer the overall supervision on this project in the Iranian side.

Focal Person: Mr Sayyari, Deputy Manager in Planning & Development of Water Resources Management Company (WRMC)

(2-1) Counterpart Organizations:

Main Partner:

- Water Resources Management Company (WRMC), Ministry of Energy (MOE)

Co-Partners:

- National Committee for Saving Lake Urmia and its affiliate regional research partners
- Water Research Institute (WRI), MOE
- Regional Center on Urban Water Management (RCUWM)

Iranian experts from the main partner and co-partner organizations will assist the JICA team with the available local expertise and will enhance the local capacity building and empowerment within the lake's basin and the partner organizations.



B.T.

3. Outputs

- (3-1) An integrated hydrological cycle model for the Lake Urmia (LU) basin is established taking into account basin rainfall, surface runoff and groundwater flow, evapotranspiration, water quality, temperature and water utilization in the basin.
- (3-2) Under conditions of relevant scenarios of water resources utilization in the LU basin, impacts by Climate Change (mainly future changes of precipitation, temperature and snow) to LU as well as main rivers, groundwater and marshes are studied through model simulations.
- (3-3) Effectiveness of the projects that LU Restoration Committee proposed and was endorsed by the Iranian Government is evaluated through model simulations.
- (3-4) Based on results of the above model simulations, priority and effective combinations of the projects to restore LU are recommended.

4. Activities¹

(1) Integrated hydrological cycle modeling

- (1-1) Data and information of topography, geology, vegetation, etc. are collected modeled, evaluated, validated and pre-processed.
- (1-2) Integrated hydrological data such as rainfall, groundwater level, evaporation and runoff as well as water use data are collected.
- (1-3) An integrated hydrological cycle model is numerically developed and calibrated through trial simulations with actual hydrological and water use data, and is finally established.

(2) Impacts by Climate Change

- (2-1) On the basis of agricultural and domestic water uses in the basin, three (3) relevant scenarios of water use in the LU basin are configured.
- (2-2) On the basis of past and future precipitation and temperature changes in the basin, three (3) relevant scenarios of basin precipitation are configured.
- (2-3) Pairing a relevant water use scenario and relevant basin precipitation scenario, hydrological cycle of the basin is simulated.
- (2-4) Analyzing and evaluating simulation results, impacts on Lake Urmia, main rivers, ground water and marshes are studied. Then, effective policy directions to restore Lake Urmia are proposed.

(3) Effectiveness of the projects

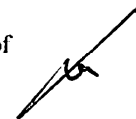
- (3-1) The contents of the projects proposed by the Iranian Government are reviewed, clarified and identified.
- (3-2) Assuming specifications of main projects, hydrological cycle situations after the project implementation are simulated.
- (3-3) Based on the simulation results, effectiveness to restore Lake Urmia as well as negative impacts by the main projects are evaluated.

(4) Priority and effective combinations of the projects

- (4-1) Based on all of the above simulation results, priority and effective combinations of the projects are studied, and preferable project implementation plans are proposed.

¹It is possible that due to the complexity of data collection and verification, completion of items 3-3 and 4-3 need extra time.

B.T.



- (4-2) Model simulations are carried out according to the proposed implementation plans, and it is confirmed whether or not the water level of Lake Urmia can be restored.
- (4-3) Recommendations to the project implementation to restore Lake Urmia are made.

5. Inputs

(5-1) Inputs from JICA

- 1) JICA dispatches experts in the following fields:
 - a) Water resources management
 - b) Meteorology, Hydrology and Water Uses
 - c) Hydrogeology
 - d) Simulation model
- 2) Provision of data needed through the study for areas of gap in the Iranian side, including remote sensing data.
- 3) Holding a workshop at the end of the current phase of study.

(5-2) Inputs from the Iranian Counterpart Agency/ies

- 4) The Iranian counterpart agency(ies) assign(s) the following counterpart personnel:
 - a) Leader/Water resources management
 - b) Meteorology, Hydrology and Water Uses
 - c) Simulation modeler
- 5) Provision of existing data and information such as topography, geology, vegetation hydrology, meteorology, water utilizations, etc.
- 6) Coordination with the internal departments of the MOE, Steering and Technical Committees of the kalantari commission, MOE, Ministry of Jihad-e Agriculture (MOJA), DOE, and related provincial offices.
- 7) Conducting site surveys with JICA Team

6. Schedule

Year Month	2014			2015								
	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	
Field Work		■	■			■						
Domestic Work	—————											
Modeling Works		MIKE-SHE →						GETFLOWS →				
Reports	▲ ICR				▲ DF/R	▲ FR						

Legend : ICR: Inception Report; DF/R: Draft Final Report; FR: Final Report

B.T.

END

資料 1.2

Discussion Records between Water Resources Management Company (WRMC) and JICA Mission that was held on 4th August 2015



Japan International Cooperation Agency

August 4th 2015

Discussion Records between Water Resources Management Company (WRMC) and JICA Mission

Summary of Discussions

1 Data Collection Survey on Hydrological Cycle of Lake Urmia Basin

- 1.1 JICA's Consultant Team (hereinafter referred to as "the Consultant") prepared the Draft Final Report 1 based on MIKE-SHE modelling works (hereinafter referred to as "DF/R1"), and submitted (10) copies and PDF soft copies of the report alongside the data of DF/R1 to WRMC. The Stakeholder Meeting on DF/R1 attended by Dr. Taheri as the joint representative of the MOE and the Kalantaeri Commission and chaired by Mr. Majid Sayyari, Deputy, Planning and Economic Affairs, Water Resources Management Company was held on August 3rd, 2015 in attendance with the participants from the different related organizations (hereinafter referred to as "the Participants"), where the Consultant explained the contents of DF/R1.
- 1.2 Comments, if any, on the DF/R1 will be collected by MOE/WRMC from the counterpart organizations/Participants and be forwarded to the Consultant through WRMC and JICA Iran Office until the end of August. Necessary modifications by incorporation of the comments will be delivered ten days before the next meeting for the Draft Final Report 2 adding the results of GETFLOWS modelling works (hereinafter referred to as "DF/R2"),.
- 1.3 Consultant will follow a jointly devised framework to guarantee a more meaningful cooperation of the stakeholders' participation in simulation of scenarios and preparation of the DF/R2. This framework will be drafted and enacted between the Consultant and MOE/WRMC through email communication.
- 1.4 As a current schedule, the stakeholder meeting for DF/R2 will be held in November 2015, where the Consultant will explain and discuss the contents of DF/R2 with the stakeholder body of the project, and will organize a training workshop with certification on the GETFLOWS software in comparison to MIKE-SHE.
- 1.5 The Consultant will transfer each license of MIKE-SHE and GETFLOWS software to WRMC as well as all the relevant technical documents, manuals...etc.

2 BT

aw



Japan International Cooperation Agency

- 1.6 Consultant will provide copies of the DF/R2, at least one week in advance of its trip to Iran, so that comments from the professional members within the organizational and regional stakeholders could be incorporated into the final report and so that this back and forth communication will enhance the level of discussions between the Consultant and MOE/WRMC during the final presentation.
- 1.7 WRMC requested the support service of the two software namely, MIKE-SHE and GETFLOWS for one year for MIKE-SHE and two years for GETFLOWS starting from the completion of the training.
- 1.8 Consultant will prepare and gradually transfer GETFLOWS software technical documentation in English language to Dr. Taheri and together and satisfactorily (in terms of quantity and quality) complete the needed documents and finalize the framework and the material for GETFLOWS training session between now and the time for the training session.
- 1.9 MOE/WRMC requested JICA to extend and expand this internationally important project to save Lake Urmia.

2 Project for Capacity Development on Integrated Water Resources Management

- 2.1 JICA Mission (hereinafter referred to as "the Mission") and WRMC discussed the schedule for starting the "Technical Cooperation Project for Capacity Development on Integrated Water Resources Management" by JICA (hereinafter referred to as "the Project") as below,
 - ✓ Detailed Planning Survey of the Project (hereinafter referred to as "the Survey") will be dispatched by December 2015.
 - ✓ After the Survey, necessary administrative procedures such as agreement of Record of Discussion between both sides and procurement of the project team will require approximately 6 months.
- 2.2 WRMC will provide the latest organizational information such as its structure, responsibilities, the number of staff as well as budgets with particular focus on the deputy of conservation and IWRM offices which will be the important counterpart units. The organization set up to proceed IWRM is a precondition of the Project.

3 Others

- 3.1 WRMC requested information and references of legislation and/or guidelines in Japan regarding water resources with particular focus on Integrated Water Resources Management.

7 B.T

Cur



Japan International Cooperation Agency

- 3.2 In order to install a monitoring system at the Intelligent Office in Zanjan Province, WRMC requested technical advice and assistance from JICA is started by December 2015.
- 3.3 Country focus training separated from the Project was requested by WRMC. The Mission will consider it.
- 3.4 MOE/WRMC expects assistance to Afghanistan's Ministry of Energy and Water, and will update JICA to consider its support based on item the VIII in the Minutes of Meeting on November 11th 2013.

Appendix. 1 Mission Schedule

Participants

WRMC

Mr. Majid Sayyari

Ms. Maryam Movahedinia

JICA

Mr. Katsuji Miyata

Mr. Kenji Nagata

Mr. Shinya Goto

Witness by

MOE

Dr. Bahram Taheri

B.T.



Japan International Cooperation Agency

Appendix 1

Schedule of Workshop for Dam control in Zanjan and DF/R1 mission of Lake Urmia data collection survey

No	Date		MLIT and JICA, Mr. Shinya Goto			JICA, Mr.Katsuji Miyata and Mr. Kenji Nagata		
			Time	Activity	Location	Time	Activity	Location
1	7/25	Sat	10:00 15:00	Teheran to Zanjan	Zanjan			
			15:30 18:30	Work Shop 1st day(Zanjan WC)	Zanjan			
2	7/26	Sun	9:00 12:00	Site visiting(Taham dam, hydrogy station)	Zanjan			
			14:30 16:00	Work Shop 2nd day(Zanjan WC)	Zanjan			
3	7/27	Mon	8:00 20:00	Zanjan to Urmia. Site visiting(Hasanloo dam, Zarine rood drainage network, Channel...etc)	Urmia			
4	7/28	Tue	8:45 9:45	Meeting(Urmia WC)	Urmia			
			10:00 14:00	Site visiting (Brandooz Dam, Lake Urmia)	Urmia			
5	7/29	Wed	AM	Ulmia to Teheran(air plane)	Teheran			
			PM	Meeting (JICA Iran Office)	Teheran			
6	7/30	Thu	All	Report writing	Teheran			
7	7/31	Fri	All	Report writing	Teheran			
8	8/1	Sat	9:00	Meeting with WRMC(Mr.Sayyari) JICA Iran, Mr.Yukihira	Teheran	03:40 7:45 10:25	Dubai arrival Dubai Departure (EK971) Teheran Arrival	Teheran
			PM	Meeting with WRMC(Mr.Sayyari)	Teheran	PM	Meeting with WRMC(Mr.Sayyari)	Teheran
9	8/2	Sun	AM		Teheran	AM		Teheran
			14:00	Meeting with MOE (Dr.Taheri) for GETFLOWS	Teheran	14:00	Meeting with MOE (Dr.Taheri) for GETFLOWS	Teheran
10	8/3	Mon	AM	Steering Committee for Draft Final Report 1 (MIKE-SHE Model) Courtesy call to Director of WRMC, Mr Hajrasooliha	Teheran	AM	Steering Committee for Draft Final Report 1 (MIKE-SHE Model) Courtesy call to Director of WRMC, Mr Hajrasooliha	Teheran
			PM	Discussion for M/M	Teheran	PM	Discussion for M/M	Teheran
11	8/4	Tue	AM	Signing the M/M	-	AM	Signing the M/M	Teheran

B.T.

資料 2.1
オルミエ湖流域内人口内訳 (2011 年)

Province	District	Family	Female	Male	Population
East Azarbaijan	Azar	11,827	19,616	20,302	39,918
East Azarbaijan	Osku	5,553	8,543	8,440	16,983
East Azarbaijan	Ilkhchi	4,735	7,546	7,685	15,231
East Azarbaijan	Basmenj	3,283	5,380	5,810	11,190
East Azarbaijan	Forgiveness	1,677	3,218	2,880	6,098
East Azarbaijan	Bostanabad	4,940	8,693	9,261	17,954
East Azarbaijan	Therefore	23,174	39,640	40,254	79,894
East Azarbaijan	Therefore NEW	1,401	2,319	2,052	4,371
East Azarbaijan	Tabriz	455,494	739,445	755,553	1,494,998
East Azarbaijan	Tasuj	2,288	3,708	3,662	7,370
East Azarbaijan	Khamenei	812	1,299	1,242	2,541
East Azarbaijan	Khdajv (Kharaju, Azarshahr)	430	836	748	1,584
East Azarbaijan	Khosroshahr	3,789	6,327	6,120	12,447
East Azarbaijan	Eunuch	1,154	1,891	1,910	3,801
East Azarbaijan	Duzduzan	897	1,858	1,957	3,815
East Azarbaijan	Zarnaq	1,548	2,804	2,909	5,713
East Azarbaijan	Mirage	13,353	22,250	22,596	44,846
East Azarbaijan	Sardrud	8,076	13,051	13,805	26,856
East Azarbaijan	Sahand	7,342	11,809	12,895	24,704
East Azarbaijan	Cis	1,586	2,769	2,733	5,502
East Azarbaijan	Shabestar	4,824	7,869	7,794	15,663
East Azarbaijan	Sharabian	1,322	2,363	2,374	4,737
East Azarbaijan	Sharafkhane	1,133	1,858	1,727	3,585
East Azarbaijan	Shendabad	2,474	4,508	4,526	9,034
East Azarbaijan	Sufis	2,830	4,590	4,536	9,126
East Azarbaijan	Ajabshir	7,758	13,261	13,019	26,280
East Azarbaijan	Kolvanaq	1,827	3,434	3,358	6,792
East Azarbaijan	Kennan pitcher	917	1,666	1,608	3,274
East Azarbaijan	Gugan	3,564	5,594	5,801	11,395
East Azarbaijan	Leylan	1,858	3,026	3,149	6,175
East Azarbaijan	Maragheh	47,552	81,046	81,229	162,275
East Azarbaijan	Malekan	7,284	12,502	12,810	25,312
East Azarbaijan	Mamaghan	3,606	7,172	6,187	13,359
East Azarbaijan	Kind	1,728	3,011	3,084	6,095
East Azarbaijan	Harris	2,704	5,057	4,766	9,823
East Azarbaijan	Vayqan	1,273	2,132	2,166	4,298
West Azarbaijan	Urmia	197,749	333,363	334,136	667,499
West Azarbaijan	Oshnavieh	8,149	16,367	16,356	32,723
West Azarbaijan	Baroogh	1,142	1,970	2,148	4,118
West Azarbaijan	Bukan	43,269	84,765	85,835	170,600
West Azarbaijan	Tekab	11,749	22,466	21,574	44,040
West Azarbaijan	Chahar Borj	2,496	4,241	4,440	8,681
West Azarbaijan	Khalifan, Erbil	128	227	735	962
West Azarbaijan	Cedar	331	749	781	1,530
West Azarbaijan	Salmâs	23,751	42,575	45,621	88,196
West Azarbaijan	Silvaneh	396	741	749	1,490
West Azarbaijan	Symynh	274	597	576	1,173
West Azarbaijan	Shahin fortress	10,782	19,473	18,923	38,396
West Azarbaijan	Qushchi	844	1,260	1,266	2,526
West Azarbaijan	Farmers	1,154	1,922	1,982	3,904
West Azarbaijan	Mohammadyari	2,423	4,224	4,380	8,604
West Azarbaijan	Mahmoodabad	1,835	3,372	3,308	6,680
West Azarbaijan	Mahabad	38,393	73,642	73,626	147,268
West Azarbaijan	Mentioned	35,066	60,198	62,883	123,081
West Azarbaijan	Nalus	669	1,362	1,576	2,938
West Azarbaijan	Tinsel	21,283	37,690	37,860	75,550
West Azarbaijan	N.	1,961	3,508	3,675	7,183
Kurdistan	Turpentine	37,262	69,882	69,856	139,738
Kurdistan	Master	514	1,225	1,069	2,294
	Total	1,087,633	1,847,910	1,874,303	3,722,213

*出典：Statistical Centre of Iran (<http://www.amar.org.ir/Default.aspx?tabid=133>)

資料 2.2
オルミエ湖の H-A-V の関係

Elevation (MSL +m)	Lake Surface Area (m ²)	Volume (m ³)
1267.1	0	0
1267.5	103,144,984	17,077,233
1268.0	242,911,566	104,220,623
1268.5	514,055,744	286,207,922
1269.0	683,223,550	586,065,090
1269.5	869,296,825	981,072,280
1270.0	1,300,367,520	1,475,107,642
1270.5	2,001,396,972	2,319,996,414
1271.0	2,574,263,090	3,464,022,059
1271.5	2,965,144,322	4,857,746,051
1272.0	3,314,654,364	6,421,741,397
1272.5	3,627,369,647	8,170,557,169
1273.0	3,895,863,619	10,045,895,927
1273.5	4,098,865,924	12,052,549,045
1274.0	4,286,941,138	14,144,350,527
1274.5	4,475,197,260	16,342,643,359
1275.0	4,654,026,379	18,619,245,345
1275.5	4,879,320,642	21,011,342,474
1276.0	5,085,325,023	23,496,769,116
1276.5	5,277,725,478	26,094,794,146
1277.0	5,487,511,407	28,776,678,310
1277.5	5,718,363,239	31,608,124,868
1278.0	5,721,737,605	34,468,613,553

資料 2.3

1987 年および 2007 年の流域別土地利用面積、増加量、増加率

Classification	Land Use in 1987										Land Use in 2007									
	Ajichay	Baraduz Chay	Gale Chay	Gedar Chay	Lake Urmia Islan	Lirang Chay	Mahabad Chay	Nazlo Chay	Residual 1	Residual 2	Residual 3	Residual south	Roze Chay	Sihar Chay	Simme Rud	Zamneh Rud	Zola Chay	Lake Urmia	Whole Basin	
Bare soil	1,296.1	11.4	43.2	44.0	30.5	11.4	18.1	22.6	11.9	2.3	103.2	216.1	0.6	1.6	51.9	183.3	44.7	0.0	2,046.6	
Dry farming	1,859.1	65.4	253.6	310.2	4.4	492.3	123.1	313.9	146.3	75.9	276.6	0.1	56.3	43.3	856.0	1,800.2	219.6	0.0	6,933.3	
Irrigated Wheat	311.3	114.0	37.5	95.6	12	16.1	12.7	97.2	32.6	4.3	102	0.6	40.8	35.7	57.0	65.3	45.7	0.0	978.2	
Orchard	74.4	26.4	15.4	28.4	0.1	21.2	12.9	19.7	4.9	1.3	12.0	1.2	8.4	6.7	34.3	59.6	24.3	0.0	351.1	
Rangeland	8,483.8	949.4	1,538.8	1,464.6	212.9	1,191.7	1,227.9	1,160.1	799.8	276.1	1,245.2	270.4	233.5	487.0	2,462.6	9,206.3	1,725.1	0.0	32,926.2	
Residential	80.6	1.2	11.4	5.0	0.6	5.3	3.0	4.6	3.9	0.1	11.9	11.9	5.7	17.3	10.6	20.3	18.9	0.0	200.4	
Summer crops	489.2	193.6	184.9	173.4	6.6	197.5	100.6	242.9	62.0	14.6	157.1	12.3	111.6	114.5	309.3	447.5	146.2	0.0	2,963.7	
Water	88.2	4.5	9.0	7.1	3.5	4.5	8.4	17.6	8.0	2.4	16.2	50.4	0.8	3.8	0.1	40.2	6.5	4,986.0	5,253.1	
Total	12,683.3	1,359.5	2,093.6	2,088.3	2,593.8	1,935.7	1,503.8	1,878.6	1,060.4	375.1	1,832.4	551.2	457.8	710.0	3,781.8	11,822.7	2,231.0	4,986.0	51,613	

Classification	Land Use in 1987										Land Use in 2007									
	Ajichay	Baraduz Chay	Gale Chay	Gedar Chay	Lake Urmia Islan	Lirang Chay	Mahabad Chay	Nazlo Chay	Residual 1	Residual 2	Residual 3	Residual south	Roze Chay	Sihar Chay	Simme Rud	Zamneh Rud	Zola Chay	Lake Urmia	Whole Basin	
Bare soil	1,278.4	8.2	33.1	33.1	19.1	12.5	7.8	41.8	21.2	4.3	107.0	303.0	2.6	6.0	10.7	37.7	35.2	0.0	1,934.4	
Dry farming	2,407.5	191.2	347.2	265.5	2.7	623.6	117.5	334.5	170.1	42.5	326.2	16.1	95.3	88.0	865.3	2,297.9	294.7	16.1	8,485.7	
Irrigated Wheat	708.0	68.7	83.6	146.0	1.3	102.7	41.7	83.6	13.6	13.6	50.6	5.8	27.6	14.6	185.8	202.8	45.8	0.0	1,988.8	
Orchard	171.3	78.1	73.6	116.3	0.9	60.2	53.2	132.4	32.2	4.3	37.4	1.3	66.9	55.9	79.5	133.4	94.0	0.0	1,311.4	
Rangeland	7,520.0	836.6	1,340.3	1,350.8	229.6	894.5	1,148.4	1,122.7	784.8	290.7	1,147.2	203.2	197.7	446.4	2,281.8	8,665.8	1,650.7	0.0	30,109.3	
Residential	137.8	1.4	22.4	11.0	0.1	11.2	7.6	5.3	3.5	0.1	16.7	0.1	10.4	31.2	19.8	32.9	20.2	0.0	331.6	
Summer crops	443.9	74.6	194.2	175.4	5.8	230.6	116.3	138.3	34.1	19.5	147.3	19.0	57.2	63.5	336.9	410.7	90.2	0.0	2,557.4	
Water	16.3	0.5	6.3	6.3	0.2	0.3	13.3	0.1	0.4	0.1	0.2	2.7	0.0	4.4	2.1	43.6	0.1	4,986.0	5,094.0	
Total	12,683.3	1,359.3	2,093.6	2,088.3	2,593.8	1,935.7	1,503.8	1,878.6	1,060.4	375.1	1,832.4	551.2	457.8	710.0	3,781.8	11,822.7	2,231.0	4,986.0	51,613	

Classification	Difference										Difference									
	Ajichay	Baraduz Chay	Gale Chay	Gedar Chay	Lake Urmia Islan	Lirang Chay	Mahabad Chay	Nazlo Chay	Residual 1	Residual 2	Residual 3	Residual south	Roze Chay	Sihar Chay	Simme Rud	Zamneh Rud	Zola Chay	Lake Urmia	Whole Basin	
Bare soil	-17.7	3.3	-10.2	1.7	-11.4	1.1	-10.3	19.1	9.3	2.0	3.8	86.9	2.0	4.4	-41.2	-145.7	-9.5	0.0	-112.3	
Dry farming	548.4	125.8	95.6	-44.7	-1.6	131.3	-4.6	20.6	23.8	-31.4	49.5	15.9	39.0	44.7	9.3	497.7	75.1	0.0	1,592.4	
Irrigated Wheat	396.2	-45.3	39.2	-19.0	0.1	86.6	29.0	-13.6	-19.0	9.3	40.4	0.4	-13.2	-21.1	128.9	137.5	0.1	0.0	810.5	
Orchard	96.9	151.7	58.2	87.9	0.8	39.1	40.3	132.7	27.8	3.0	25.4	0.1	58.5	49.2	45.2	73.8	69.7	0.0	960.4	
Rangeland	-963.7	-112.8	-198.4	-113.8	16.6	-297.2	-79.5	-37.4	-6.0	14.6	-98.0	-67.1	-35.8	-40.5	-180.8	-542.6	-74.4	0.0	-2,816.9	
Residential	57.2	0.2	11.0	6.0	-0.4	5.9	4.5	0.7	0.5	0.0	4.8	0.1	4.7	13.9	9.2	12.6	1.4	0.0	131.2	
Summer crops	-45.3	-119.0	9.3	2.0	-0.7	33.2	15.7	-104.7	-27.9	4.9	-9.8	6.7	-54.4	-51.1	27.6	-56.0	-6.4	0.0	-406.3	
Water	-71.9	-4.0	-2.7	10.4	-3.3	0.0	4.9	-17.5	-7.7	-2.4	-16.0	-47.7	-0.8	0.5	1.9	3.5	-6.4	0.0	-159.1	

Classification	Indirect Ratio										Indirect Ratio									
	Ajichay	Baraduz Chay	Gale Chay	Gedar Chay	Lake Urmia Islan	Lirang Chay	Mahabad Chay	Nazlo Chay	Residual 1	Residual 2	Residual 3	Residual south	Roze Chay	Sihar Chay	Simme Rud	Zamneh Rud	Zola Chay	Lake Urmia	Whole Basin	
Bare soil	98.6	165.9	76.5	142.9	62.7	109.9	43.2	184.5	178.8	186.9	103.7	140.2	422.4	372.3	20.6	30.6	78.7	0.0	94.5	
Dry farming	129.5	292.3	136.9	85.6	62.4	126.7	96.2	106.6	116.3	57.5	117.9	11,428.8	169.3	203.3	101.1	127.6	134.2	0.0	123.1	
Irrigated Wheat	227.1	60.3	205.1	152.7	105.5	657.5	329.0	86.0	41.7	344.1	495.7	961.2	67.6	40.9	326.2	310.4	100.2	0.0	182.9	
Orchard	230.2	674.8	479.1	409.7	940.8	284.5	412.2	773.6	671.4	334.1	312.6	105.8	800.5	829.6	231.7	233.9	387.0	0.0	373.5	
Rangeland	88.6	88.1	87.1	92.2	107.8	75.1	93.5	96.8	99.2	105.3	92.1	75.2	84.7	91.7	94.1	94.1	95.7	0.0	91.4	
Residential	170.9	114.0	196.3	221.9	22.4	212.4	248.5	116.0	88.2	75.5	139.9	-	181.7	180.4	187.0	161.9	107.2	0.0	165.5	
Summer crops	90.7	38.5	105.0	101.2	88.9	116.8	115.6	56.9	55.0	133.3	93.8	154.2	51.3	55.4	108.9	91.8	61.7	0.0	86.3	
Water	18.5	10.4	70.0	247.6	6.7	118.3	158.3	0.6	4.7	2.1	1.0	5.4	1.1	113.6	1,619.2	108.6	1.9	100.0	97.0	

*WRMC 提供データを基に JICA 調査団が集計

資料 2.4

Urmia および Tabriz における年降水量、年パン蒸発量および最大気温、最低気温、平均気温

City	Urmia					Tabriz				
Item	Annual Precipitation	Annual Evaporation	Annual Maximum Temperature	Annual Minimum Temperature	Annual Average Temperature	Annual Precipitation	Annual Evaporation	Annual Maximum Temperature	Annual Minimum Temperature	Annual Average Temperature
Unit	mm	mm	Degree	Degree	Degree	mm	mm	Degree	Degree	Degree
1980			29.4	-8	11.1			31.7	-8.9	12.5
1981			27	-6.5	11.1			30.2	-5.7	12.3
1982			24.8	-10.9	8.8	89		31	-11.4	10.5
1983			27.2	-15.3	9.8	143.2		32.9	-15.4	11.5
1984			26.5	-6.4	10.7	172.4		30.3	-7.8	11.9
1985			25.8	-10.4	11.0	286		30	-12.4	12.1
1986			27.2	-7.3	11.2	321.5		32.3	-11.6	12.2
1987			26.4	-6.5	11.5	285.6		30.2	-9.7	12.7
1988			25.8	-8.9	10.6	265.1		30.4	-12	11.5
1989			28.5	-11.1	11.1	175.8		32.7	-13.9	12.4
1990			26.9	-8.5	11.1	143.9		31	-9.7	12.4
1991			27.8	-6.6	11.1	157		32.7	-6.8	12.5
1992	134	1244.4	26.1	-9.7	9.5		1270.7	29.9	-9.1	10.8
1993	499	1474	26.3	-9.5	9.9		1876	29.7	-10.9	11.2
1994	406	1365	24.8	-8.1	11.3	95.5	1865.5	27.9	-15	12.3
1995	233	1294	25.4	-4.3	11.6	218.9	2054.9	30.6	-5.2	12.8
1996	328	1411.7	26.8	-7.6	11.7	258	2020.5	31.7	-8.6	13.1
1997	304.5	1246.7	26	-8.1	11.3	164.5	1848.3	30.7	-10.8	12.2
1998	172.5	1170.5	27.6	-6.1	12.4	222.5	2034.2	30.9	-9.3	13.6
1999	104	1345.8	29.4	-2	12.7	245.9	2025.5	32	-3.7	13.6
2000	143.5	1494.5	28.4	-7.2	12.3	191.2	2182.8	31.5	-8.8	13.4
2001	178.5	1475.4	28.5	-7.2	13.0	180.9	2244.3	31.8	-6.1	14.0
2002	340.5	1309.4	26.5	-9.4	12.0	263.4	1941	28.6	-12.8	12.8
2003	416.5	1442.7	27.8	-5	11.7	230.5	1892.6	33.2	-5.8	13.3
2004	393.5	1298.3	25.8	-9.5	11.5	297.6	2076.8	30.8	-10.4	13.6
2005	188	1473.3	26.5	-9.9	11.6	193.5	1899.1	30.7	-8.2	13.4
2006	631.5	1489.2	27.2	-9.7	11.9	229.9	2036.7	32.9	-11.1	13.4
2007	166.5	1308	26.9	-10.4	11.6	214.7	2040.8	30.6	-11.5	12.7
2008	163.5	1525.2	28.6	-11.2	11.7	209.6	2063.7	34	-12.2	13.2
2009	124.5	1157.6	25.6	-9.9	11.7	243.1	2012.2	30.3	-9.4	13.1
2010	90.5					228.7				
2011	190					323.6				
Ave.	274	1363	27	-8	11	212	1966	31	-10	13

*雨量データ：WRMC、気温・蒸発量：IMO

資料 2.5

観測所毎の年間降水量の経年平均

No	Code	St. Name	Lon (Degree)	Lat (Degree)	Elevation (MSL +m)	Average Annual Precipitation (mm)	No	Code	St. Name	Lon (Degree)	Lat (Degree)	Elevation (MSL +m)	Average Annual Precipitation (mm)
1	31-001	Sahzab	47.664444	38	1850	302	123	33-203	Kileh shin	46.011667	36.101944	1743	720
2	31-003	Sarab asbaghran(nr ku)	47.52	38.03	2000	293	124	33-205	Bastam	46.433333	35.85	1704	797
3	31-004	Sarab	47.516667	37.866667	1680	189	125	33-308	Fazal ghabr	46.05	36.966666	1723	333
4	31-005	Saransar	47.48	37.88	1660	194	126	33-334	Ghalghanu	46.266666	36.516666	2022	182
5	31-006	Khosroshah	46.05	37.97	1310	276	127	33-335	Fuzul ola	46.466666	36.95	1750	309
6	31-007	Bostanabad	46.833333	37.85	1750	260	128	33-336	Heydar abad	46.233333	36.9	2300	397
7	31-009	Ghurigol	46.7	37.916667	1850	327	129	33-337	Zareh shuran	47.04	36.42	1800	448
8	31-011	Nahand	46.475278	38.204444	1570	293	130	33-345	Parbadanlu	46.333333	36.083333	2155	588
9	31-013	Said abad	46.591667	37.983333	1875	388	131	33-347	Havanslu dam	46.183333	36.35	1300	76
10	31-015	Vanyar	46.4	38.12	1450	266	132	33-508	Ghamshleh	46.4	35.97	1850	601
11	31-017	Anakhatun	46.27	38.15	1400	249	133	33-526	Groz karpi	46.57	36.63	1350	404
12	31-018	Basmani	46.47	37.98	-	322	134	33-528	Tazeh kand ajrulu	46.75	36.98	1850	659
13	31-019	Lighavan	46.433333	37.833333	2200	331	135	33-530	Nortuz lu dam	45.633333	36.533333	1330	293
14	31-021	Harvi	46.483333	37.916667	1920	278	136	33-917	Nezam abad	45.616667	36.7	1283	276
15	31-022	Sahlan	46.116667	38.183333	1350	255	137	33-919	Santeh	46.55	36.17	1434	463
16	31-025	Pol davazlah dahaneh	46.22	38.12	1345	307	138	33-921	Mahmud abad	45.733333	36.65	1500	340
17	31-027	Pardil (Abshur)	46.2	38.2	1400	217	139	33-923	Jan agha	45.7	36.683333	1421	320
18	31-031	Zienab	46.316667	37.859444	2200	321	140	33-925	Vchakhmaz	45.716667	36.766667	1390	332
19	31-032	Mirkh haj	47.504722	38.042222	1830	348	141	33-973	Pol gheslugh	45.718611	36.996389	1472	346
20	31-033	Pol sar dorud	46.15	38.02	1400	286	142	33-975	Golestan sofia	46.55	37.32	1750	390
21	31-034	Tazeh kand (khosro shahr)	46.1	38.18	1650	149	143	33-979	Sart gheslugh	46.33	37.13	1710	448
22	31-035	Es faniab	46.17	37.9	1650	288	144	33-987	Abmad abad saghez	45.033333	37	1719	338
23	31-036	Afshod	46.55	38.333333	2000	318	145	34-001	Dchabkur	45.62	36.72	1400	561
24	31-037	Chermezgol	46.118889	37.722222	1673	305	146	34-002	A fan	45.183333	37.116667	1630	570
25	31-039	Unknown	45.958056	37.798333	1340	238	147	34-003	Kuter	45.083333	37.033333	1380	396
26	31-041	Tabriz	46.366667	38.066667	1500	236	148	34-004	Gah darvan	45.383333	36.8	1744	488
27	31-042	Amanlu	46.68	37.83	-	307	149	34-005	Bitas	45.133333	36.966667	1444	406
29	31-044	Asb khoran	46.966667	38.333333	1940	308	150	34-007	Pol sorkh muhabad	45.383333	36.966667	1344	351
30	31-045	Akhkeh	46.05	38.02	1310	274	151	34-009	Gard vaghub	45.15	37.083333	1280	278
31	31-046	Jazreh eslami	45.418056	37.821944	1280	160	152	34-011	Pi ghaleh	45.65	36.9	1500	492
32	31-053	Haris	47.128333	38.25	1962	349	153	34-012	Durbeh	45.3	37.083333	1905	371
33	31-056	Barazin	47.116667	38.266667	1962	320	154	34-013	Oshnavieh	45.683333	37.016667	1480	420
34	31-059	Gormani	46.35	38.45	1800	471	155	34-014	Masa	45.75	36.483333	1355	409
35	31-098	Guraf	45.92	37.78	1280	261	156	34-015	Chapar abad	45.266667	36.983333	1470	465
36	31-092	Araknab	46.723333	37.916667	1850	338	158	34-016	Sharhadeh	45.016667	36.95	1340	380
37	31-107	Dam location- nahand chay	46.47	38.18	1572	304	159	34-020	Gard kashan	45.15	36.916667	1695	423
38	31-109	Mehrhan- Chekeh chay	47.116667	38.066667	1510	311	160	34-021	Pol bahramlu	45.266667	37.25	1285	304
39	31-113	Dzabab	46.733333	37.833333	1910	360	161	34-022	Yuneslu	45.666667	36.633333	1500	360
40	31-117	Markid	46.822778	38.168333	1520	254	162	34-023	Dashkhaneh	45.616667	36.633333	1278	263
41	31-119	Khajeh	46.57	38.15	1500	305	163	34-025	Yarghu	45.73	36.78	1340	282
42	31-527	Pardil	46.2	38.216667	1400	217	164	34-028	Gogesh ola	45.583333	36.6	1778	605
43	31-923	Ghazal gachi	47.343333	37.983333	1684	291	165	34-029	Peh ik	45.716667	36.566667	1375	361
44	31-925	Akheh malek	46.25	38.4	1905	393	166	34-031	Jashiran	45.27	36.98	1380	420
45	31-926	Kahai	46.127222	38.378333	1675	363	168	34-039	Sufian	45.566667	36.883333	1520	450
46	31-964	Korkandi	46.966667	37.966667	1655	278	169	34-042	Dorud sheykhan	45.02	36.95	-	526
47	31-970	Ghushchi	47.268333	37.784444	2020	540	170	34-045	Nan	45.3	37.083333	1472	317
48	31-971	Khoshknab	47.216667	38.233333	1885	365	171	34-049	Cherhaleh dul eslam abad	45.18	37.133	1900	387
49	31-972	Dorzulan	47.116667	37.95	1655	303	172	34-053	Khatun asti	45.333333	36.883333	1710	487
50	31-973	Bahshayesh	46.966667	38.116667	1653	291	173	34-055	Shah ehol	45.15	37.25	1700	461
51	31-974	Tarkeh dan	46.716667	38.066667	1655	326	174	34-057	Ziveh	44.9	37.283333	1610	536
52	31-976	Osku	46.116667	37.916667	1500	245	175	34-059	Kamm	44.966667	37.216667	1820	451
53	31-977	Kandovan	46.281111	37.795278	2004	481	177	34-112	Mehmandar	44.966667	37.216667	1350	332
54	31-978	Gombarf	46.233333	37.733333	1985	487	178	34-912	Mohammad shah sofia	45.233333	37.4	1390	304
55	31-979	Shramin	45.915	37.678889	1495	241	179	34-915	Eskm abad	45.016667	37.5	1380	214
56	32-001	Bandar rahmanlu	45.78	37.52	1250	244	180	34-918	Bayazd abad	45.25	37.6	1500	238
57	32-003	Ajab shir	45.9	37.47	-	289	181	35-001	Ghasemlu	44.7	37.483333	1395	349
58	32-005	Khoma zard	46.15	37.416667	1560	339	182	35-002	Aghbolagh	45.1	37.17	1780	544
59	32-007	Tazeh kand (alavian dam)	46.27	37.47	1600	329	183	35-003	Hashem abad bi bakran	45.216667	37.75	1464	543
60	32-009	Maragheh	46.233333	37.4	1475	336	184	35-005	Dizai	44.633333	37.116667	1335	379
61	32-011	Chanak	46.32	37.35	1550	338	185	35-006	Zhar abad	44.9	37.666667	1590	556
62	32-013	Bonab (Sufi chay)	46	37.216667	1283	275	186	35-005	Baharud	45.133333	37.116667	1287	348
63	32-015	Yaragsh	46.133333	37.516667	1670	380	187	35-008	Mirabad	44.9	37.3	1480	611
64	32-019	Taragsh	46.1	37.52	1550	474	188	35-009	Nir abad	44.87	37.43	1525	616
65	32-020	Gheslugh Maragheh	46.25	37.43	-	318	189	35-011	Band orumieh	44.883333	37.6	1411	412
66	32-021	Sheshvan	45.88	37.45	1270	301	190	35-013	Kashitban	45.25	37.55	1285	301
68	32-023	Es fاستان	46.25	37.45	1560	363	191	35-015	Golmankhaneh abshur	44.8	37.616667	1320	252
69	32-031	Alavian dam	46.266667	37.416667	1555	331	192	35-016	Ghurmik	44.63	37.92	-	434
70	32-047	Shrin kandi	46.16	37.01	1300	293	193	35-017	Talin	44.85	37.55	1590	547
71	32-861	Gharuk behagh	47.786944	38.080333	2234	443	194	35-018	Gachi	45.016667	37.483333	1958	310
72	32-962	Hargalan	46.25	37.65	2253	454	195	35-019	Zinalu	45	37.62	1380	312
73	33-000	Saghez organization	46.15	36.15	1600	233	196	35-020	Ghareh lor	44.95	37.67	1350	330
74	33-001	Moghanjagh	46.416667	37.333333	1350	340	197	35-021	Marmisho	44.63	37.58	1750	398
75	33-002	Malekan	46.1	37.133333	1650	263	198	35-023	Barduk	44.37	37.83	1800	397
76	33-003	Chushlugh amir	46.283333	37.316667	1540	328	199	35-025	Gokani	44.7	37.75	1580	394
77	33-004	Kandeh	46.07	36.25	1550	162	200	35-026	Mursh abad	45.3	37.166667	1310	270
78	33-005	Shrin kandi- ilan	46.27	37.02	1380	323	201	35-027	Marz sarv	47.1	36.716667	1650	381
79	33-006	Miandoab dolat abad	46.83	36.92	1410	328	202	35-029	Nichalan	44.77	37.68	1550	349
80	33-007	Chabaghlu	46.766667	36.533333	1580	424	203	35-031	Tapak	44.6	38.083333	1410	424
81	33-008	Dash akcheh	46.2966	36.2616	-	337	204	35-033	Abajulu sofia	44.933333	38.233333	1290	281
82	33-009	Pol saghez	46.700833	36.322778	1504	402	205	35-035	Kahriz	44.97	37.87	1910	405
83	33-010	Baba ghazi	46.683333	36.433333	1450	302	207	35-039	Kalhar	44.616667	38.2	1500	336
84	33-011	Dareh panbeh dan	46.483333	36.483333	1400	389	208	35-041	Movana	44.8	37.58	1650	472
85	33-012	Tazeh kand- leklu	45.92	37.03	1295	299	209	35-043	Chaman	44.78	37.48	1800	589
87	33-014	Takab	47.1	36.4	-	265	210	35-045	Karim abad	44.716667	38.35	1486	402
88	33-015	Pol anjan	46.4	36.866667	1438	380	211	35-082	Golmankhaneh Abshir	45.25	37.6	1252	258
89	33-016	Fez abad- takab	47.08	36.47	1800	409	212	35-086	orumieh research center	44.883333	38.116667	1385	378
104	33-041	Karim abad	46.6	36.23	1480	457	213	35-100	Orumieh camp	44.			

資料 2.6
流入河川流末における流域平均雨量と流量（月別）

資料 2.7
流量観測地点毎の流出高

No	Station Name	Basin Name	Average Discharge (MCM)	Catchment Area (km ²)	Runoff Depth (mm)	No	Station Name	Basin Name	Average Discharge (MCM)	Catchment Area (km ²)	Runoff Depth (mm)
1	Sahzab	Ajichay	27.4	73	375	62	Pol sarugh	Zarineh Rud	209.2	1026	204
2	Sarab Asbaghran	Ajichay	47.8	45	1063	63	Safakhaneh	Zarineh Rud	283.4	2219	128
3	Saransar	Ajichay	137.4	1700	81	65	Sarighamish	Zarineh Rud	1584.8	7160	221
4	Bostan abad	Ajichay	46.4	575	81	67	Ghozkarpi	Zarineh Rud	1834.9	7973	230
5	Nahand	Ajichay	40.0	216	185	69	Chublucheh	Zarineh Rud	142.1	900	158
6	Saiid abad	Ajichay	9.0	224	40	71	Miandoab (zarrineh rud)	Zarineh Rud	1964.4	11400	172
9	Anakhatun	Ajichay	27.3	396	69	73	Dashband bukan	Simine Rud	449.8	2431	185
10	Lighavan	Ajichay	24.6	76	324	75	Miandoab (simineh rud)	Simine Rud	499.7	3368	148
11	Harvi	Ajichay	19.4	186	104	76	Tazeh kand JMiandoab	Simine Rud	125.6	3512	36
13	Pol davazdah dahaneh	Ajichay	559.2	9167	61	80	Alasghol	Zarineh Rud	243.6	1026	237
14	Pardil	Ajichay	72.5	456	159	82	Kavlan	Simine Rud	63.3	100	633
15	Pol sanikh	Ajichay	24.9	498	50	87	Alasghol right branch	Zarineh Rud	103.7	650	160
16	Zinjenba	Ajichay	367.1	43	8538	89	Santeh	Zarineh Rud	272.7	766	356
17	Mirkuh haji	Ajichay	51.1	128	399	90	Mahmud abad (ghureh chay)	Zarineh Rud	64.5	384	168
18	Mir kuh	Ajichay	3.8	109	35	91	Jan agha	Zarineh Rud	111.5	467	239
19	Esfanjan	Ajichay	7.4	111	67	92	Chalkmaz	Zarineh Rud	31.4	631	50
20	Ghermezigol	Ajichay	34.9	103	338	93	Pol gheslgh	Zarineh Rud	475.4	1105	430
21	Azarshahr	Ajichay	33.8	290	116	97	Dehabkar	Mahabad Chay	136.2	56	2433
22	Akhola	Ajichay	263.9	9752	27	99	Bitas	Mahabad Chay	45.9	203	226
24	Komanj	Ajichay	8.7	97	89	101	Gard yaghub	Mahabad Chay	147.0	1635	90
25	Sarin dizaj	Ajichay	113.5	10622	11	102	Pi ghaleh	Gedar Chay	276.7	225	1230
27	Tavighun	Ajichay	13.3	288	46	103	Oshnavieh (golaz chay)	Gedar Chay	44.0	103	428
28	Dam location	Ajichay	47.8	205	233	104	Chapar abad	Gedar Chay	24.6	43	572
29	Mehrban	Ajichay	30.9	391	79	105	Balghchi	Gedar Chay	20.6	230	90
30	Diznab	Ajichay	16.9	113	150	106	Naghadeh	Gedar Chay	339.2	1565	217
31	Baranj	Ajichay	7.9	484	16	107	Pol bahramlu santu	Gedar Chay	349.5	2090	167
32	Gorgan (Sabri chay)	Ajichay	3.1	49	63	108	Yarghu	Mahabad Chay	5.5	110	50
33	Marqid	Ajichay	181.1	5619	32	111	Dorud	Gedar Chay	36.8	63	584
34	Khajeh	Ajichay	16.0	398	40	115	Mohammad shah sofia	Gedar Chay	13.8	203	68
35	Pardil	Ajichay	32.3	459	70	116	Eslam abad (cheshmeh do)	Gedar Chay	4.3	108	40
36	Harz varz	Ajichay	13.8	187	74	117	Bay ziad abad	Gedar Chay	9.6	100	96
37	Ajab shir	Gale Chay	68.9	431	160	119	Hashem abad bibakran	Baradoz Chay	228.3	382	598
38	Khorma zard	Gale Chay	9.2	89	104	120	Dizaj (orumieh)	Baradoz Chay	254.6	618	412
39	Tazeh kand	Gale Chay	118.8	263	452	121	Babarud	Baradoz Chay	247.3	1160	213
40	Marafgheh	Gale Chay	99.6	280	356	122	Mir abad (shahr chay)	Sahar Chay	162.3	175	927
41	Chakan	Gale Chay	21.1	104	203	123	Band urmia	Sahar Chay	156.6	418	375
42	Bonab (sufi chay)	Gale Chay	52.3	756	69	124	Kashtiban	Sahar Chay	77.9	670	116
43	Yengjeh	Gale Chay	63.8	249	256	125	Marmisho	Nazlo Chay	149.3	296	504
45	Shishvan	Gale Chay	45.1	534	84	127	Golkani	Nazlo Chay	61.2	635	96
46	Khanian	Gale Chay	2.8	137	21	129	Ni chalan	Nazlo Chay	170.8	1003	170
47	Esfastanj	Gale Chay	6.4	56	114	130	Tapik	Nazlo Chay	373.1	1715	218
48	Kahik darsi	Gale Chay	17.3	42	413	131	Abajalu sofia	Nazlo Chay	230.4	1965	117
51	Bonab)gapi chay (Gale Chay	29.8	597	50	132	Guyjali aslan	Roze Chay	34.2	331	103
52	Moghanjigh	Lirang Chay	20.7	108	192	133	Movana	Nazlo Chay	5.0	62	81
53	Gheslgh amir	Lirang Chay	76.0	377	202	135	Karim abad (arzin)	Nazlo Chay	216.5	506	428
54	Shirin kand	Lirang Chay	53.0	691	77	137	Chehrigh olia	Zola Chay	114.4	819	140
55	Ghabghablu	Zarineh Rud	295.9	660	448	138	Nazar abad (darik chay)	Nazlo Chay	28.5	240	119
57	Pol saghez	Zarineh Rud	339.6	782	434	139	Urban	Zola Chay	13.5	114	118
58	Dareh panbeh dan	Zarineh Rud	282.9	1046	270	140	Pol darish	Zola Chay	48.0	1400	34
59	Pol hasan salaran	Zarineh Rud	401.9	1106	363	141	Tamar (orumieh)	Residual 1	5.0	218	23
60	Pol anian (pol saheb)	Zarineh Rud	593.4	1221	486	142	Yalghuz aghaj	Zola Chay	54.9	2204	25
61	Karim abad (kherkhereh)	Zarineh Rud	256.4	1419	181						

*WRMC 提供データを元に JICA 調査団が集計

*観測状況により、年間日数の7割以上が観測されている年を平均

資料 2.8
各観測所の年蒸発量およびティーンセン係数

No.	Longitude (Degree)	Latitude (Degree)	Code	Station Name	Elevation	Annual Evaporation	Area (km2)	Thiessen Coefficient
0	47.52	38.03	31-003	Sarab asbaghran (mir kuh)	2000	1676	1478.39	0.029
1	46.7	37.916667	31-009	Ghurigol	1850	1158	352.09	0.007
2	46.475278	38.209444	31-011	Nahand	1570	1401	1542.26	0.030
3	46.433333	37.833333	31-019	Lighavan	2200	1012	927.16	0.018
4	46.116667	38.183333	31-022	Sahlan	1350	2079	441.66	0.009
5	46.22	38.12	31-025	Pol davazdah dahaneh	1345	1741	539.34	0.011
6	47.504722	38.042222	31-032	Mir kuh haji	1830	1482	1194.19	0.023
7	46.1	38.18	31-034	Taze kand (khosro shah)	-	1698	506.44	0.010
8	45.958056	37.798333	31-039	Azar shahr	1340	1865	1931.43	0.038
9	46.366667	38.066667	31-041	Tabriz	1500	1320	482.30	0.009
10	46.68	37.83	31-042	Amanlu	-	1218	425.35	0.008
11	45.418056	37.821944	31-046	Jazieh eslami	1280	1836	1485.48	0.029
12	47.116667	38.266667	31-056	Berazin	1962	1401	1606.94	0.032
13	46.733333	37.916667	31-101	Arshtnab	1850	1220	1137.20	0.022
14	46.27	37.47	32-007	Taze kand (ALavian dam)	1600	1959	616.39	0.012
15	46.233333	37.4	32-009	Maragheh	1475	1539	301.81	0.006
16	46	37.316667	32-013	Bonab sufi chay	1283	1697	1387.72	0.027
17	46.25	37.45	32-023	Esfastanj	1560	1562	209.14	0.004
18	46.266667	37.416667	32-031	Alavian dam	1555	2001	92.91	0.002
19	46.03	37.3	32-035	Bonab (Gapi chay)	-	1727	655.54	0.013
20	46.416667	37.333333	33-001	Moghanj	1650	2279	1013.09	0.020
21	46.83	36.92	33-006	Dolat abad (miandoab)	1410	1656	1064.03	0.021
22	46.766667	36.533333	33-007	Ghabghablu	1580	1779	967.86	0.019
23	47.1	36.4	33-014	Takab	-	806	683.72	0.013
24	46.4	36.866667	33-015	Pol anian Pol saheb	1438	2279	1151.63	0.023
25	45.95	36.433333	33-023	Sarighamish	1380	1608	1015.37	0.020
26	46.496389	36.106667	33-035	Dashband bukan	1318	1874	950.91	0.019
27	47.033333	36.466667	33-039	Taze kand miandoab	1290	1625	594.27	0.012
28	45.95	36.766667	33-040	Shahid kazemi dam	1437	2123	1484.70	0.029
29	46.55	36.683333	33-042	Rostaman	1501	1941	1109.34	0.022
30	46.665278	36.210556	33-049	Alasghol	1400	1163	995.68	0.020
31	45.483333	37.083333	33-055	Kavian'	1520	1493	1510.93	0.030
32	46.057222	36.145556	33-071	Mirdeh	1623	1698	890.66	0.017
33	46.333333	36.083333	33-345	Pol badamlu	2155	1581	960.28	0.019
34	46.183333	36.35	33-347	Hasanlu dam	1300	1090	1162.05	0.023
35	45.633333	36.533333	33-530	Noruz lu dam	1330	2198	597.95	0.012
36	45.383333	36.966667	34-007	Pol sorkh mahabad	1344	1979	985.19	0.019
37	45.65	36.9	34-011	Pi ghale	1500	2009	994.45	0.019
39	45.616667	36.633333	34-023	Dashkhane	1278	1699	437.51	0.009
40	45.716667	36.566667	34-029	Pieh jik	1375	1540	447.74	0.009
41	44.966667	37.216667	34-112	Mehmandar	1350	1862	1423.42	0.028
42	44.7	37.483333	35-001	Ghasemlu	1395	1402	368.87	0.007
43	45.216667	37.75	35-003	Hashem abad bi bakran	1464	1719	595.47	0.012
44	44.9	37.3	35-008	Sagregan	1480	1431	292.93	0.006
45	44.87	37.43	35-009	Mir abad (shahr chay)	1525	1403	463.64	0.009
46	44.8	37.616667	35-015	Golmankhane abshur	1320	1236	546.66	0.011
47	44.95	37.67	35-020	Ghare lor	1350	1471	787.05	0.015
48	47.1	36.716667	35-027	Marz sav	1650	1368	639.60	0.013
49	44.6	38.083333	35-031	Tapik	1410	1966	1892.94	0.037
51	44.8	37.58	35-041	Movana	1650	1155	155.36	0.003
52	45.25	37.6	35-082	Golmankhane ab shirin	1252	1515	1340.88	0.026
53	44.883333	38.116667	35-086	Urmia research center	1385	1551	496.89	0.010
54	44.933333	38.233333	35-100	Armieh camp	1381	1595	445.10	0.009
55	45.066667	38.066667	35-207	Dalu	1630	1783	1008.16	0.020
56	46.366667	37.116667	36-001	Chehrigh olia	1655	1709	1070.88	0.021
57	44.83	38.2	36-006	Sadghian	1360	1164	448.64	0.009
58	45.483333	38.183333	38-002	Sharafkhane	1280	1256	1207.58	0.024
59	45.9	38.35	38-006	Shanjan	1650	1391	467.85	0.009
60	45.7	38.15	38-008	Alishah	1330	1764	1024.68	0.020

*WRMC 提供データを元に JICA 調査団が集計

*観測状況により、年間日数の7割以上が観測されている年を平均

資料 3.1
日降水量および日流量インベントリ表

日降水量データイベントリ表(2/2)

Table with columns: No, Station Name, Code, Longitude (Degree), Latitude (Degree), Elevation (m), Province, Basin Name, Working Status, and years 1962-2012. The table lists 342 stations across various provinces in Iran, providing daily precipitation data for each year from 1962 to 2012.

資料 3.2
オルミエ湖流域に存在するダムおよび堰に関するインベントリ表

番号	ダム名	河川名	流域名	州	位置		目的	建設年 (西洋歴)	建設年 (イラン歴)	現在 の状況	ダムタイプ	ダム高*) (m)	貯水容量 (MCM)	集水面積 (km2)	収集した日運用データ		
					緯度	経度									始め	終わり	
A. Under-operated Dams																	
A-1	Abdol Abad Dam	Vanegh Chay	Aji Chay	East Azerbaijan	47° 44' 23.026" E	37° 52' 10.864" N				OP			0.25				
A-2	Amand Tabriz	Sinikh Chay (Aji Chay)	Aji Chay	East Azerbaijan	46° 36' 55.176" E	38° 13' 28.875" N				OP			2.20				
A-3	Amand1	Amand Watercourse	Aji Chay	East Azerbaijan	46° 34' 0.550" E	38° 13' 21.818" N	AW	1984	1362	OP	粘土コアーを有するアースフィルダム		0.25	1.00			
A-4	Amand2	Amand Watercourse	Aji Chay	East Azerbaijan	46° 33' 41.079" E	38° 13' 42.202" N	AW	1986	1364	OP	粘土コアーを有するアースフィルダム		0.25				
A-5	Ardalan Dam	Chaki Chay	Aji Chay	East Azerbaijan	47° 13' 20.592" E	38° 0' 49.841" N				OP			4.50				
A-6	Baftan	Abarghan Aji Chay Branch	Aji Chay	East Azerbaijan	47° 19' 57.385" E	37° 54' 9.166" N				OP			5.70				
A-7	Barugh Haris	Horayli	Aji Chay	East Azerbaijan	47° 2' 48.700" E	38° 10' 34.711" N	AW	1983	1361	OP	粘土コアーを有するアースフィルダム		0.15				
A-8	Dash Esparan	Charshanbe Chay	Aji Chay	East Azerbaijan	46° 18' 54.493" E	38° 18' 19.402" N				OP			1.00				
A-9	Cavdush Abad	Out of Aji Chay Bed	Aji Chay	East Azerbaijan	47° 27' 0.000" E	37° 52' 30.000" N	AW	2000	1378	OP	粘土コアーを有するアースフィルダム		2.50	0.00			
A-10	Gharkh Aghaj Dam	Sevin Chay	Aji Chay	East Azerbaijan	47° 47' 21.329" E	38° 4' 16.278" N	AW, FC, AR			OP	不均一なアースフィルダム		3.00				
A-11	Gheysaragh	Chaki Chay	Aji Chay	East Azerbaijan	47° 15' 26.623" E	38° 4' 35.250" N	AW	2007	1385	OP	粘土コアーを有するアースフィルダム		2.60	189.00			
A-12	Hasanjankuh Dam	Pislar Chay	Aji Chay	East Azerbaijan	47° 38' 44.719" E	38° 4' 24.543" N				OP			0.30				
A-13	Kardkandi	Out of Aji Chay Bed	Aji Chay	East Azerbaijan	46° 56' 58.712" E	37° 57' 32.880" N	AW	2004	1382	OP	粘土コアーを有するアースフィルダム		5.18	105.00	2011年3月	2014年12月	
A-14	Khormalu	Shahsavar Watercourse	Aji Chay	East Azerbaijan	47° 8' 45.387" E	38° 16' 4.310" N	AW	1980	1358	OP	ロックフィルダム		0.35				
A-15	Maghsudlu Dam	Maghsudlu Water Course	Aji Chay	East Azerbaijan	47° 1' 48.922" E	38° 16' 3.225" N				OP			1.40				
A-16	Malek-Kiann	Saiid Abad	Aji Chay	East Azerbaijan	46° 29' 34.409" E	38° 2' 12.230" N	AW	2001	1379	OP	粘土コアーを有するアースフィルダム		8.80	2.00			
A-17	Manigh Dam	Unknown (Seasonal river)	Aji Chay	East Azerbaijan	46° 59' 8.190" E	38° 16' 10.879" N				OP			0.40				
A-18	Mola yaghub	Vanegh Chay	Aji Chay	East Azerbaijan	47° 42' 9.172" E	37° 52' 14.505" N				OP			3.00				
A-19	Nahand	Nahand Chay	Aji Chay	East Azerbaijan	46° 28' 59.633" E	38° 13' 34.721" N	DW, IW	1997	1375	OP	粘土コアーを有するアースフィルダム	52	21.10	216.00	2000年3月	2014年12月	
A-20	Oghan Dam	Aji Chay	Aji Chay	East Azerbaijan	47° 26' 37.114" E	37° 52' 25.290" N				OP			1.00				
A-21	Param	Param Chay	Aji Chay	East Azerbaijan	46° 59' 52.833" E	38° 14' 37.677" N	AW	1998	1376	OP	粘土コアーを有するアースフィルダム		3.30	82.00			
A-22	Sefidan ATigh	Charshanbe Chay	Aji Chay	East Azerbaijan	46° 22' 29.515" E	38° 14' 38.013" N	AW	1998	1376	OP	粘土コアーを有するアースフィルダム		0.40	36.00			
A-23	Tajyar Sarab	Tajyar	Aji Chay	East Azerbaijan	47° 30' 28.555" E	38° 0' 27.627" N	AW	2004	1382	OP	粘土コアーを有するアースフィルダム		3.50	130.00	2009年4月	2014年12月	
A-24	Vanegh Olia Dam	Vanegh Chay	Aji Chay	East Azerbaijan	47° 45' 35.140" E	37° 52' 9.788" N				OP			1.00				
A-25	Yengje Azarshahr	Azarshahr Chay	Aji Chay	East Azerbaijan	45° 59' 52.199" E	37° 46' 30.156" N				OP			2.30				
A-26	Arbatan	Out of Zarangh Bed	Aji Chay	East Azerbaijan	46° 52' 55.744" E	38° 10' 46.619" N				OP			25.00				
A-27	Baranduz	Hache Su	Baranduz Chay	West Azerbaijan	46° 37' 3.806" E	36° 40' 58.294" N				OP			0.35				
A-28	Shakrbazi-Darik (Darek Salmas)	Darik Chay	Darik Chay	West Azerbaijan	44° 34' 47.275" E	38° 13' 35.834" N	AW	2009*)	1387*)	OP	アースフィルダム	39	22.00		2012年6月	2014年12月	
A-29	Haft Cheshmeh Dam	Gale Chay	Gale Chay	East Azerbaijan	45° 56' 32.091" E	37° 37' 32.199" N				OP	アースフィルダム		0.25				
A-30	Deh Gorji Oshnavieh	Cheshme Deh Gorji	Gedar Chay	West Azerbaijan	45° 10' 48.917" E	36° 58' 6.891" N	AW	1989	1367	OP	均一なアースフィルダム		0.13				
A-31	Hasanlu	Out of Gedar Chay Bed	Gedar Chay	West Azerbaijan	45° 27' 49.057" E	37° 0' 16.094" N	AW	2001	1379	OP	均一なアースフィルダム	12.25	94.00	35.00	2002年3月	2014年12月	
A-32	Mahabad	Mahabad Chay	Mahabad Chay	West Azerbaijan	45° 41' 55.252" E	36° 45' 59.719" N	DW, IW, AW, EL	1971	1349	OP	クレイコアーを有するロックフィルダム	47.5	190.00	806.00	1971年3月	2014年12月	
A-33	Kanspi	Kanspi	Nazlu Chay	West Azerbaijan	44° 37' 51.432" E	37° 47' 54.065" N	AW	2009	1387	OP	クレイコアーを有するアースフィルダム		0.50	17.00			
A-34	Til	Til	Residual 4	East Azerbaijan	45° 29' 29.535" E	38° 15' 27.466" N	AW	1986	1364	OP	クレイコアーを有するアースフィルダム		0.67	58.00			
A-35	Shahrchay	Shahr Chay	Shahr Chay	West Azerbaijan	44° 54' 43.787" E	37° 27' 11.543" N	DW, IW, AW	2006	1384	OP	クレイコアーを有するアースフィルダム	116	213.00	330.00	2006年5月	2014年12月	
A-36	Alavian	Sofi Chay	Sofi Chay	East Azerbaijan	46° 15' 6.920" E	37° 25' 40.093" N	DW, IW, AW, EL	1996	1374	OP	クレイコアーを有するアースフィルダム	80	57.00	314.00	1997年9月	2014年12月	
A-37	Ghale Chay Ajabshir	Ghaleh Chay	Gale Chay	East Azerbaijan	46° 6' 59.498" E	37° 30' 53.226" N	DW, IW, AW, EL	2007*)	1385*)	OP	クレイコアーを有するアースフィルダム	79	38.80	250.00	2009年4月	2014年12月	
A-38	Barugh	Ghorichay (Barugh)	Zarineh Rud	West Azerbaijan	46° 22' 42.171" E	37° 1' 2.935" N				OP	クレイコアーを有するアースフィルダム*)	53	100.00				
A-39	Ghorichay - Miandoab	Badamlu	Zarineh Rud	West Azerbaijan	46° 9' 33.623" E	36° 54' 55.146" N				OP			3.92				
A-40	Ghushkhane	Ghushkhane	Zarineh Rud	West Azerbaijan	47° 4' 16.709" E	36° 21' 56.486" N	DW, IW	2004	1382	OP	アースフィルダム		0.14				
A-41	Noruzlu Diversion Dam	Zarineh Rud	Zarineh Rud	West Azerbaijan	46° 14' 33.005" E	36° 53' 2.661" N				OP			0.00				
A-42	Sarough- Gougerdchay	Sarough Chay (Ghare Ghieh)	Zarineh Rud	West Azerbaijan	47° 7' 48.646" E	36° 31' 17.925" N	DW, IW, AW	2010	1388	OP	クレイコアーを有するロックフィルダム	70	35.00	332.00	2012年6月	2014年12月	
A-43	Shahid Kazemi Bukan- Zarineh Rud	Zarineh Rud	Zarineh Rud	West Azerbaijan	46° 31' 44.453" E	36° 25' 35.020" N	AW, EL	1972	1350	OP	クレイコアーを有するロックフィルダム	50	486.00	6,890.00	1978年3月	2014年12月	
A-44	Zola	Zola Chay	Zola Chay	West Azerbaijan	44° 38' 55.251" E	38° 6' 6.239" N	DW, IW, AW, EL	2010	1388	OP	クレイコアーを有するロックフィルダム	53	72.00	945.00	2011年9月	2014年12月	

*WRMC 提供データ

番号	ダム名	河川名	流域名	州	位置		目的	建設年 (西洋暦)	建設年 (イラン暦)	現在の状況	ダムタイプ	ダム高*) (m)	貯水容量 (MCM)	集水面積 (km2)	収集した日運用データ	
					緯度	経度									始め	終わり
B. Under-constructed Dams																
B-1	Choghan-Joghan	Asb Abad Chay	Aji Chay	East Azerbaijan	46° 46' 7.899" E	37° 46' 15.759" N	AW	2010	1388	UC	クレイコアーを有するアースフィルダム		2.50	45.00		
B-2	Shahid Madani-Vanyar	Aji Chay	Aji Chay	East Azerbaijan	46° 23' 56.923" E	38° 7' 6.334" N	AW	2010	1388	UC	クレイコアーを有するロックフィルダム	93	280.00	7,723.00		
B-3	Baranduz	Baranduz Chay	Baranduz Chay	West Azerbaijan	44° 58' 31.817" E	37° 22' 1.902" N	DW, IW, AW, FC, AR	2014	1392	UC	クレイコアーを有するアースフィルダムないし、アースフィルダム ¹⁾	46.5	84.00	594.00		
B-4	Oshnavie-Chapar Abad	Godar Chay (Kanirash)	Gedar Chay	West Azerbaijan	45° 7' 2.079" E	36° 56' 54.891" N	DW, IW, AW, EL	2012	1390	UC	クレイコアーを有するアースフィルダム	46.1	122.00	361.00		
B-5	Nazlu	Nazlu Chay	Nazlu Chay	West Azerbaijan	44° 58' 23.175" E	37° 40' 33.532" N	DW, IW, AW, EL	2011	1389	UC	クレイコアーを有するアースフィルダム	97	145.00	1,715.00		
B-6	Khorasane Dam	Sardar Abad	Simineh Rud	West Azerbaijan	46° 4' 57.091" E	36° 37' 56.174" N				UC			1.60			
B-7	Simineh Rud -Bukan	Simineh Rud	Simineh Rud	West Azerbaijan	46° 3' 53.518" E	36° 26' 17.825" N	DW, IW, AW, EL, FC, AR	2012	1390	UC	クレイコアーを有するアースフィルダム	37	312.00	1,441.00		
B-8	Ahmad Abad Sofla	Ahmad Abad	Zarneh Rud	West Azerbaijan	47° 7' 57.195" E	36° 36' 55.230" N				UC			1.80			
B-9	Cheragh Veys	Cham Khan (Saghez Branch) Zarneh Rud	Zarneh Rud	Kurdistan	46° 6' 4.886" E	36° 11' 0.599" N	DW, IW, AW	2013	1391	UC	クレイコアーを有するロックフィルダム	69	68.60	363.00		
B-10	Lilan Chay	Lilan Chay	Zarneh Rud	East Azerbaijan	46° 20' 26.325" E	37° 6' 34.893" N	AW, EL, FC, AR	2012	1390	UC	クレイコアーを有するアースフィルダム	70	35.50	571.00		
B-11	Sanjagh	Bajvand (Ghourichay)	Zarneh Rud	West Azerbaijan	45° 58' 1.537" E	36° 46' 57.574" N	AW	2010	1388	UC	均一なアースフィルダムないし、クレイコアーを有するアースフィルダム ²⁾	57.5	0.60	57.00		
C. Proposed Dams																
C-1	Ahmad	Moghanjigh Chay	Lirang Chay	East Azerbaijan	46° 25' 18.265" E	37° 19' 45.737" N	AW			PR	アースフィルダム		14.00			
C-2	Kabutar Ali	Daryan Chay	Residual 4	East Azerbaijan	45° 37' 0.000" E	38° 14' 0.000" N				PR	ロックフィルダム		6.00			
D. Under-studied Dams																
D-1	Abaghan Dam	Abaghan Chay	Aji Chay	East Azerbaijan	47° 12' 58.108" E	37° 51' 59.081" N				ST			0.78			
D-2	Agh Dagh	Aji Chay	Aji Chay	East Azerbaijan	47° 30' 0.000" E	37° 52' 0.000" N				ST	転流および貯水		0.00	1,570.00		
D-3	Asgar Abad	Aji Chay	Aji Chay	East Azerbaijan	47° 44' 30.083" E	37° 54' 3.292" N				ST			16.50			
D-4	Atmian Sarab	Atmian Chay	Aji Chay	East Azerbaijan	47° 16' 6.565" E	38° 9' 14.542" N	AW			ST	アースフィルダム		25.00			
D-5	Gharaje Dam	Gharaje Water Course	Aji Chay	East Azerbaijan	46° 45' 56.485" E	38° 14' 22.987" N	AW, FC, AR			ST	不均一なアースフィルダム		0.40			
D-6	Haris Harzorez Dam	Out of Harzorez Bed	Aji Chay	East Azerbaijan	47° 7' 14.320" E	38° 9' 35.959" N				ST			2.00			
D-7	Sinikh Chay Dam	Sinikh Chay (Aji Chay)	Aji Chay	East Azerbaijan	46° 45' 1.157" E	38° 9' 58.389" N				ST			13.00			
D-8	Tarp	Lar Chay (Sinikh Chay)	Aji Chay	East Azerbaijan	46° 9' 40.313" E	38° 20' 58.365" N				ST			0.50			
D-9	Gur Banadak	Balanush Chay	Baranduz Chay	West Azerbaijan	45° 8' 17.906" E	37° 17' 7.610" N				ST	転流および貯水		0.00	233.00		
D-10	Godarchay- naghade	Godar Chay	Gedar Chay	West Azerbaijan	45° 23' 0.795" E	36° 57' 59.934" N	AW, EL			ST	ロックフィルダム		49.00			
D-11	Jamal Abad	Dibeglu	Lirang Chay	Ardebil	46° 30' 17.697" E	37° 15' 15.558" N				ST			0.68			
D-12	Khaje Chay	Saraju	Lirang Chay	East Azerbaijan	46° 31' 8.435" E	37° 17' 0.482" N	AW			ST	アースフィルダム		18.00			
D-13	Kalhor	Ruze Chay	Nazlu Chay	West Azerbaijan	44° 53' 15.468" E	37° 35' 53.084" N				ST	転流および貯水		0.00	172.00		
D-14	Kahriz - Urmia	Kahriz Chay (Shivasan Chay)	Residual 1	West Azerbaijan	44° 58' 6.281" E	37° 52' 49.826" N	AW			ST	アースフィルダム		8.60	225.00		
D-15	Tupchi	Tupchi	Residual 4	East Azerbaijan	45° 10' 27.856" E	38° 19' 48.070" N				ST			3.20			
D-16	Zilber Dam	Zilber Chay	Residual 4	East Azerbaijan	45° 35' 2.385" E	38° 16' 59.230" N				ST			6.00			
D-17	Gol Tape Mahabad	Gol Taprh (Simineh Rud)	Simineh Rud	West Azerbaijan	45° 49' 25.189" E	36° 29' 25.015" N				ST			7.00			
D-18	Sardar Abad	Sardar Abad	Simineh Rud	West Azerbaijan	45° 56' 29.809" E	36° 35' 29.864" N				ST			8.30			
D-19	Shahrikand	Simineh Rud	Simineh Rud	West Azerbaijan	46° 3' 38.404" E	36° 25' 51.162" N				ST	転流および貯水		0.00	1,456.00		
D-20	Dush	Choan Chay	Sofi Chay	East Azerbaijan	46° 8' 11.776" E	37° 23' 6.781" N				ST			0.90			
D-21	Mardagh Chay - Ghare Naz	Mardagh Chay	Sofi Chay	East Azerbaijan	46° 15' 5.909" E	37° 17' 11.118" N	AW			ST	クレイコアーを有するアースフィルダム	118	110.60	390.00		
D-22	Ajorlu	Ajorlu	Zarneh Rud	West Azerbaijan	46° 28' 9.498" E	36° 54' 51.834" N				ST	クレイコアーを有するアースフィル ³⁾	60	93.00			
D-23	Kardkan- Ghapltan	Kardkand	Zarneh Rud	Kurdistan	46° 43' 7.907" E	36° 14' 43.128" N				ST			11.50			
D-24	Khanum Goli	Jushato Sofla	Zarneh Rud	West Azerbaijan	46° 36' 6.869" E	36° 45' 44.942" N				ST	コンクリート重力式	57	16.00			
D-25	Kharaju Chay	Kharaju Chay	Zarneh Rud	East Azerbaijan	46° 30' 3.378" E	37° 15' 0.186" N	AW			ST	ロックフィルおよびアースフィルダム	39	10.50	188.00		
D-26	Markhaz	Markhaz	Zarneh Rud	Kurdistan	46° 8' 27.383" E	36° 17' 0.351" N	AW, FC, AR			ST	均一なアースフィルダム		14.44	58.00		
D-27	Santeh	Khor Khore	Zarneh Rud	Kurdistan	46° 28' 21.272" E	35° 59' 58.946" N	AW, EL, FC, AR			ST	均一なアースフィルダムあるいはクレイコアーを有するアースフィル ⁴⁾	55	67.08	884.00		
D-28	Sayanjagh	Kharaju Chay	Zarneh Rud	East Azerbaijan	46° 26' 15.759" E	37° 3' 52.334" N				ST			18.50			

出典： エネルギー省水資源管理公社 (WRMC)。ただし、*)印のデータは注の3)に記載のもの。

注： 1) 現在の状態： OP_運用中、UC_建設中、PR_提案されたもの、および ST_調査中。

2) 目的： DW_上水供給、IW_工業用水の供給、AW_農業用水の供給、EL_発電、AR_人工的な涵養、FC_洪水調節およびEN_環境

3) *)印はエネルギー省の水および下水部、水および下水マクロ計画事務所の「Studies on Updating National Water Master Plan in Basins of Aras, Urmia, Talesh-Anzali Wetland, Great Sefidroud-Haraz, Haraz-Ghareh Sou, Gorganroud and Atrak, Fourth Volume: Report on Surface Water Resources (Quantitative and Qualitative) Urmia Watershed, Table 2.1」に基づく。

4) 2014年以前に建設中のダムが既に運用されているか否かは確認できていない。そのため、上表中ではこれらのダムは建設中のダムとして記載した。

*WRMC 提供データを元に JICA 調査団が集計

資料 4.1
モデル構築に必要な基礎データおよび収集状況

Category	Item		Organization	Unit	Format	Status
1-Climatology	General information of meteorological station (e.g. location and type)		WRMC	-	SHP	Collected
	Rainfall (mm)		WRMC	Daily	Excel	Collected
				Monthly	Excel	Collected
	General information of climatological stations (e.g. location and type)			-	-	Collected
	Air temperature (Degree)		IMO		Text	Collected
	Evaporation (mm) (additional request)			Daily	Text	Collected
	Sunshine hour (hours)			Daily	Text	Collected
	Average wind velocity (m/s)			Daily	Text	Collected
Relative humidity (%)		Daily		Text	Collected	
2-Hydrology		River discharge	WRMC	Daily	Excel	Collected
				Monthly	Excel	Collected
				Peak	Excel	Collected
	Lake Urmia	Lake water level	WRMC	Daily	Excel	Collected
3-Geology	Surface geology		WRMC	-	SHP	Collected
	Subsurface geology	Geological Profile Geological Histogram	WRMC Iran Geological Service	-	PDF	Collected
4-Topology	Land elevation (DEM)		WRMC	-	TIFF	Collected
	Lake bed elevation (DEM) or bathymetry data		Iran Water Authority	-	-	Collected
	Lake H-V		WRMC	-	-	Collected
	River cross section	Surveyed result (Horizontal, Cross Section and Longitudinal)	WRMC	-	CAD	Collected (but might not be applied)
	Topological map 1/250,000		WRMC	-	-CAD -Scanned	Collected
	Topological map 1/50,000			-	Scanned	Collected
Topological map 1/25,000		-		SHP	Collected	
5-Land use	Classification for landuse			-	SHP	Collected
	Information on land use change (information based on satellite image would be appreciated)		WRMC		SHP	Collected (shape files of landuse pattern in 1987 and 2007)
6-Natural condition	River, Lake, etc		WRMC	-	SHP	
7-Dam	Information and operation of dam	Observed data (Inflow, outflow, water level of dam lake and storage volume)	WRMC	Daily	Excel	12 dams were collected, other data will be estimated based on existing data
		Operation rule		-	Report	Not collected, to be estimated based on observed data
		Physical Conditions (Locations, Dam name, Reservoir Volume(Gross, Effective and dead), Water levels(Natural water level, low water level and Flood control level), Purpose of Dam, Dam type(earth, rock fill or concrete), Stage(Operation, Construction or planning), Dam Height, Basin area, Water demand and its purpose), H-V curve, Discharge Capacities)		-	Excel and SHP	Collected and Checking
8-Intake facility	Intake water (surface water)	Location of intake point (weir or head work) on maps or GIS	WRMC	-	SHP	Not collected, to be estimated based on discharge from dam for water supply
		Water amount permitted by water right (or Planned water intake amount)		Daily	Excel / Report	
		Actual water intake amount		Daily	Excel	
		Information of service area for water supply (location, area and annual schedule)		-	Report	
		Location of drainage point		-	Report	
		Distribution and drainage channel networks (GIS or Map data)		-	SHP	
9-Groundwater	Information and operation of groundwater	Location of observation well	WRMC WRC of EAZ and WAZ	-	SHP	Collected
		Record of water level as long as possible		Daily	Excel	Collected (changes in salinity in plain areas)
		Record of groundwater use amount (village/district level)		Daily	Excel	Collected
		Pumping test result		-	Excel	Collected
		Drilling test result		-	Excel / CAD	Collected
		Groundwater level contour		-	SHP	Not collected
		Distribution of salinization		-	Excel	Collected (changes in salinity in plain areas)
10-Water Demand	Calculated Water Demand and actual water use amount	Irrigation sector	WRMC	Monthly	Excel / Report	Not collected, to be estimated based on dam discharge for water supply
		Industrial sector		Monthly		
		Commerce sector		Monthly		
		Domestic water sector		Monthly		
11-Statistic	Statistical data	Population change	Iran Statistical Center	Yearly	Excel / Report	Not collected
		Change in industrial production		Yearly	Excel / Report	
		Change in cropping area		Yearly	Excel / Report	
12-Irrigation	General conditions	General information of irrigation schemes -Location -Area -Administrator -Types and number of working staff and equipment	WRMC	-	Excel / Report	Not collected, to be estimated based on dam discharge for water supply
	Actual schemes	-Water source (groundwater or surface water) -Field water requirement by area and crop -Irrigation efficiency (conveyance and application efficiencies) -Cropping type (double cropping, etc.) -Cropping pattern (monthly level) -Irrigation schedule (Scheme and field levels)	WRMC	-	Excel	Collected (only basic information)

資料 4.2
流域平均年降水量

(単位: MCM/年)

流域年	Ajchay	Baradoz Chay	Cole Chay	Gedar Chay	Lake Urmia Island	Mahabad Chay	Nazdo Chay	Residual 1	Residual 2	Residual 3	Residual south	Roze Chay	Sahar Chay	Simine Rud	Sofi Chay	Zaineh Rud	Zola Chay	Urmia Lake	Urmia流域
1980	358.61	372.05	362.23	471.70	574.50	389.30	515.62	577.46	364.28	331.22	350.48	457.90	423.84	383.46	385.67	455.40	440.74	574.50	425.98
1981	404.80	570.43	481.59	544.18	903.14	589.72	569.16	554.87	445.58	432.62	418.72	634.00	590.60	502.39	432.17	527.84	478.62	903.14	528.41
1982	391.90	518.58	477.54	577.10	609.36	667.33	697.48	671.11	410.76	351.13	495.54	635.21	563.87	497.98	441.06	615.39	758.72	609.36	534.20
1983	232.97	375.16	275.22	409.32	373.76	472.97	408.10	314.03	260.95	202.94	459.67	401.27	417.75	397.67	354.04	539.06	461.38	373.76	377.09
1984	331.75	544.55	377.09	494.59	524.55	451.18	504.72	402.17	378.54	338.92	592.51	483.19	512.19	494.72	434.26	618.65	533.10	524.55	473.98
1985	275.48	470.86	305.58	370.09	416.25	404.08	417.45	441.80	312.53	262.66	508.16	358.78	401.76	380.34	368.05	509.21	399.82	416.25	387.11
1986	370.41	782.81	426.37	548.15	801.39	514.25	709.94	527.09	441.40	363.70	589.45	566.07	618.11	456.38	474.38	540.11	747.92	801.39	527.42
1987	317.16	586.09	421.07	540.12	686.87	428.83	459.59	351.83	373.94	322.74	526.74	483.95	518.58	358.87	455.32	538.63	399.27	686.87	453.68
1988	328.56	582.66	404.57	468.85	594.94	371.03	484.60	407.79	333.01	334.22	488.99	475.36	552.35	414.20	381.24	496.54	452.29	594.94	437.96
1989	280.33	426.10	334.17	393.15	341.27	378.76	389.51	327.76	330.79	236.28	356.48	398.61	483.83	320.79	288.52	323.01	349.34	341.27	324.41
1990	222.27	307.42	280.40	344.05	163.17	336.52	330.82	286.57	298.69	204.33	292.47	337.35	382.88	313.27	303.71	337.56	314.76	163.17	278.45
1991	296.45	429.83	374.28	550.67	271.56	531.07	326.94	342.47	382.10	331.28	459.61	387.39	472.27	441.36	456.85	487.41	344.51	271.56	389.03
1992	385.20	526.73	411.58	550.34	458.48	449.31	560.47	527.21	492.50	387.77	469.07	556.09	635.67	439.39	436.11	467.76	455.37	458.48	449.82
1993	420.67	600.44	500.07	701.42	691.98	663.40	578.67	605.20	476.80	424.63	608.86	610.93	704.59	721.78	546.72	705.42	577.80	691.98	592.61
1994	390.48	610.35	454.79	565.41	602.54	522.30	587.80	600.83	461.01	462.35	514.22	638.95	710.78	576.76	501.44	620.32	584.97	602.54	532.67
1995	278.94	378.95	366.34	429.39	319.05	397.80	426.05	412.20	327.47	334.25	383.72	428.02	443.71	362.68	394.01	382.34	389.49	319.05	352.78
1996	357.86	433.03	403.60	473.57	220.16	402.42	491.13	486.50	393.26	434.28	454.66	493.03	443.71	381.37	430.78	408.70	445.87	220.16	388.96
1997	304.64	472.18	321.82	462.41	287.09	432.93	364.94	341.92	315.28	368.24	411.73	418.52	477.08	445.88	345.12	426.22	299.00	287.09	367.36
1998	319.14	424.38	363.04	394.07	246.37	338.93	314.95	353.36	320.52	350.33	386.46	341.90	366.53	333.26	356.35	378.01	342.37	246.37	340.09
1999	280.15	298.19	256.41	294.97	246.94	273.59	340.94	313.65	272.37	301.44	289.76	351.44	462.81	230.51	303.11	310.01	299.42	246.94	287.09
2000	308.72	380.28	304.56	352.08	233.79	353.94	422.90	357.37	342.88	312.40	326.24	395.24	415.12	297.63	340.20	317.28	382.83	233.79	319.43
2001	269.44	349.23	319.39	315.51	179.92	310.14	370.72	310.51	248.68	269.66	315.55	305.67	302.37	289.65	288.38	287.29	259.28	179.92	279.03
2002	370.90	529.67	408.68	494.92	179.86	432.40	440.39	392.49	381.72	374.68	458.99	420.18	431.95	465.21	427.50	441.16	397.29	179.86	395.74
2003	329.01	563.51	376.42	504.26	153.50	451.87	432.89	439.89	419.08	327.44	414.16	418.68	426.94	406.20	417.96	413.75	350.48	153.50	369.02
2004	371.50	549.23	427.39	524.54	203.50	436.22	437.44	377.51	497.55	299.85	491.91	373.78	366.08	510.70	474.87	505.08	353.02	203.50	415.46
2005	332.33	356.07	306.61	334.91	138.00	298.69	340.82	263.38	268.42	276.74	327.56	323.42	348.05	362.40	342.34	371.81	249.44	138.00	315.89
2006	376.53	656.78	478.02	657.24	213.50	532.52	523.59	440.05	630.75	393.11	512.06	507.69	505.45	564.77	491.35	572.03	413.88	213.50	465.35
2007	326.31	361.19	349.91	377.34	151.00	334.05	382.65	318.27	272.31	291.65	315.69	334.02	314.15	356.33	339.65	372.52	304.32	151.00	325.08
2008	258.92	363.34	258.40	360.46	117.00	291.95	338.51	317.69	361.66	234.69	278.24	319.43	274.38	327.17	261.94	320.14	299.03	117.00	278.16
2009	313.01	411.34	359.18	346.71	206.00	383.04	375.71	368.65	321.76	337.84	411.86	392.32	362.33	435.18	380.81	479.45	355.55	206.00	368.29
2010	290.94	319.96	288.23	295.43	158.25	481.41	278.78	283.03	283.20	320.27	303.48	300.26	276.40	300.87	298.93	332.92	300.95	158.25	299.99
2011	402.18	449.62	464.90	421.12	317.41	427.86	437.77	464.55	346.06	425.25	392.46	396.35	366.26	391.05	462.02	475.19	398.26	317.41	419.21
全平均	328.05	470.66	373.11	455.25	362.03	429.68	445.66	411.91	367.68	332.47	425.17	435.78	455.49	411.26	394.21	456.13	410.60	362.03	396.87
1980年～1989年の平均	329.20	522.93	386.54	481.73	582.60	466.75	515.62	457.59	365.18	317.64	478.67	489.43	508.29	420.68	401.47	516.38	502.12	582.60	447.02
1990年～1999年の平均	325.58	454.15	373.24	476.63	350.73	434.83	432.27	426.99	374.00	359.89	427.06	456.36	510.33	424.63	407.42	452.38	405.36	350.73	397.89
2000年～2011年の平均	329.15	440.85	361.81	415.38	187.64	394.51	398.51	361.28	364.51	321.97	379.02	373.92	365.79	392.26	377.16	409.05	338.70	187.64	354.22

資料 4.3
流域年水資源賦存量

(単位:MCM/年)

流域年	Ajchay	Baradoz Chay	Gale Chay	Gedar Chay	Lake Urmia Island	Mahabad Chay	Nazho Chay	Residual 1	Residual 2	Residual 3	Residual south	Roze Chay	Sahar Chay	Simine Rud	Sofi Chay	Zarneh Rud	Zola Chay	Urmia Lake	Urmia流域
1980	4,560.31	506.61	758.36	986.31	149.24	586.66	969.44	612.33	136.63	609.43	93.18	209.61	301.64	1,450.51	746.76	5,390.92	995.35	2,858.71	22,022.02
1981	5,147.69	776.74	1,008.24	1,137.86	234.60	888.69	1,070.09	588.37	167.13	796.00	230.79	290.22	420.32	1,900.42	836.80	6,248.51	1,080.91	4,494.02	27,317.44
1982	4,983.63	706.14	999.77	1,206.71	158.29	1,005.64	1,311.37	711.63	154.07	646.06	273.13	290.77	401.30	1,883.73	854.01	7,284.91	1,713.48	3,032.18	27,616.83
1983	2,962.61	510.85	576.20	855.88	97.09	712.76	767.29	332.99	97.88	373.39	253.36	183.69	297.31	1,504.28	685.52	6,381.38	1,041.97	1,859.83	19,494.25
1984	4,218.74	741.51	789.48	1,034.18	136.26	679.91	948.95	426.45	141.98	623.61	221.18	364.52	364.52	1,871.41	840.84	7,323.47	1,203.95	2,610.16	24,503.19
1985	3,503.25	641.16	639.76	773.85	108.13	608.93	784.86	468.47	117.22	483.29	280.08	164.24	283.93	1,438.72	712.65	6,027.98	902.95	2,071.26	20,012.74
1986	4,710.39	1,065.93	892.64	1,146.16	208.17	774.96	1,334.78	558.92	165.56	669.19	324.89	259.13	439.90	1,726.35	918.53	6,393.73	1,689.10	3,987.72	27,266.06
1987	4,033.19	798.07	881.54	1,129.38	178.43	646.23	864.10	373.08	140.26	593.83	290.33	221.54	369.07	1,357.53	881.63	6,376.27	901.70	3,417.87	23,454.03
1988	4,178.25	793.39	847.00	980.35	154.55	559.13	911.11	432.41	124.91	614.96	269.52	217.60	393.10	1,566.79	758.20	5,878.00	1,021.44	2,960.42	22,641.13
1989	3,564.89	580.21	699.62	822.08	88.65	570.77	732.33	347.55	124.07	434.75	196.48	182.47	344.34	1,213.47	558.65	3,823.74	788.95	1,698.16	16,771.16
1990	2,826.51	418.61	587.05	719.39	42.39	507.12	621.99	303.88	112.03	375.96	161.20	154.43	272.49	1,185.02	588.06	3,995.97	710.85	811.95	14,394.89
1991	3,769.93	585.29	783.59	1,151.44	70.54	800.30	614.69	363.15	143.32	609.54	253.32	177.33	336.11	1,669.54	884.59	5,769.87	778.04	1,351.28	20,111.90
1992	4,898.46	717.24	861.69	1,150.74	119.10	677.10	1,053.76	559.04	184.73	713.47	258.54	254.56	452.40	1,662.10	844.42	5,537.26	1,028.40	2,281.46	23,254.29
1993	5,349.50	899.30	1,046.94	1,466.66	179.75	999.72	1,087.98	641.74	178.84	781.30	335.59	279.66	501.45	2,730.29	1,058.59	8,380.69	1,304.90	3,443.29	30,636.20
1994	4,965.58	831.10	952.15	1,182.25	156.52	787.09	1,105.15	637.11	172.92	850.70	283.42	292.49	505.85	2,181.74	970.93	7,343.22	1,321.09	2,998.24	27,557.55
1995	3,547.15	516.01	766.97	897.85	82.88	599.48	801.04	437.09	122.83	615.01	211.50	195.93	315.78	1,371.93	762.91	4,526.12	879.62	1,587.59	18,237.69
1996	4,550.83	589.64	844.98	990.23	57.19	606.43	923.39	515.88	147.50	799.05	250.60	225.69	389.28	1,442.63	834.10	4,838.12	1,006.95	1,095.52	20,108.01
1997	3,874.03	642.96	673.75	966.89	74.58	652.42	686.14	362.56	118.25	677.54	226.93	191.58	339.53	1,686.63	668.25	5,045.56	675.26	1,428.56	18,991.44
1998	4,058.36	577.87	760.06	823.99	64.00	510.76	592.15	374.69	120.22	644.60	213.01	156.51	260.86	1,260.64	690.00	4,474.88	773.21	1,225.94	17,381.75
1999	3,562.55	406.04	536.82	616.78	64.15	412.29	641.01	332.59	102.16	554.63	159.71	160.88	258.21	871.96	586.91	3,669.92	676.21	1,228.77	14,841.59
2000	3,925.95	517.82	637.63	736.18	60.73	533.38	795.11	378.95	128.61	574.81	179.81	180.93	295.44	1,125.86	658.72	3,755.89	864.57	1,163.34	16,513.72
2001	3,426.41	475.54	668.67	659.72	46.74	467.37	697.00	329.26	93.27	496.16	173.92	139.93	215.19	1,095.68	558.38	3,400.88	585.55	895.28	14,424.94
2002	4,716.69	721.24	855.61	1,034.86	46.72	651.61	828.00	416.19	143.18	689.39	252.98	192.34	307.42	1,759.75	827.77	5,222.43	897.24	894.98	20,458.41
2003	4,183.88	767.32	788.07	1,054.40	39.87	680.95	813.90	466.45	157.19	602.48	228.27	191.66	303.85	1,536.53	809.28	4,897.91	791.51	763.82	19,077.34
2004	4,724.26	747.88	894.71	1,096.81	52.86	657.36	822.44	400.31	186.62	551.71	271.13	171.10	260.53	1,931.85	919.49	5,979.09	797.27	1,012.62	21,478.09
2005	4,226.17	484.85	641.92	700.29	35.85	450.11	640.79	279.28	100.68	509.20	180.54	148.05	247.70	1,370.87	662.86	4,401.46	563.34	686.69	16,330.65
2006	4,788.18	894.33	1,000.79	1,374.27	55.46	802.49	984.41	466.62	236.58	723.30	282.23	232.40	359.72	2,136.38	951.39	6,771.57	934.70	1,062.38	24,057.21
2007	4,149.63	491.83	732.58	789.01	39.22	503.40	719.43	337.49	102.14	536.62	174.00	152.90	223.58	1,347.91	657.66	4,409.81	687.28	751.38	16,805.86
2008	3,292.56	494.75	540.99	753.72	30.39	439.96	636.45	336.87	135.65	431.82	153.36	146.22	195.27	1,237.61	507.19	3,789.75	675.33	582.19	14,380.08
2009	3,980.50	560.11	751.98	724.96	53.51	577.23	706.39	390.91	120.69	621.62	227.01	179.59	257.87	1,646.19	737.35	5,675.64	802.97	1,025.06	19,039.56
2010	3,699.85	435.68	603.43	617.73	41.11	725.47	524.14	302.24	106.22	589.29	167.27	137.45	196.71	1,138.11	578.80	4,177.81	679.67	787.45	15,508.46
2011	5,114.37	612.24	973.30	880.55	82.45	644.77	823.07	492.60	129.80	782.44	216.31	181.43	260.66	1,479.22	894.61	5,625.21	899.43	1,579.43	21,671.90
全平均	4,171.70	640.88	781.14	951.92	94.04	647.52	837.90	436.78	137.91	611.72	234.34	199.48	324.17	1,555.68	763.31	5,399.62	927.29	1,801.48	20,516.89
1980年～1989年の平均	4,186.30	712.06	809.26	1,007.28	151.34	703.37	969.43	485.22	136.97	584.45	263.83	224.04	361.74	1,591.32	777.36	6,112.89	1,133.98	2,899.03	23,109.89
1990年～1999年の平均	4,140.29	618.41	781.40	996.62	91.11	655.27	812.73	452.77	140.28	662.18	235.38	208.91	363.20	1,606.25	788.88	5,355.16	915.46	1,745.25	20,569.54
2000年～2011年の平均	4,185.70	600.30	757.48	868.54	48.74	594.51	749.26	383.10	136.72	592.40	208.90	171.17	260.33	1,483.83	730.29	4,842.29	764.91	933.72	18,312.18

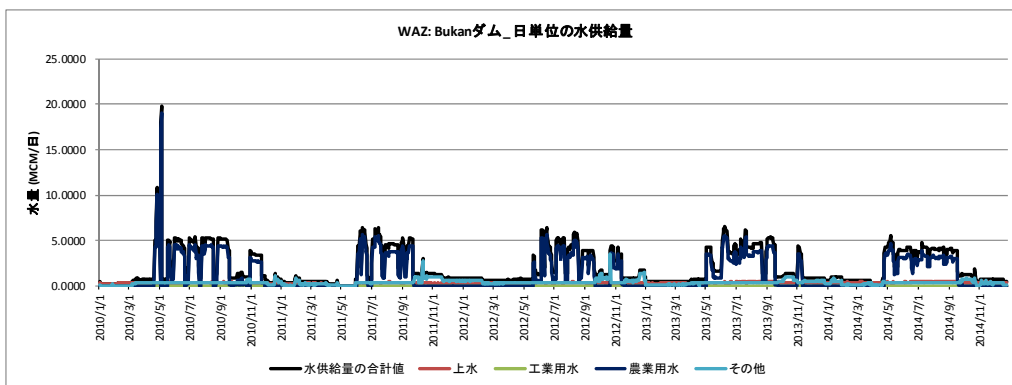
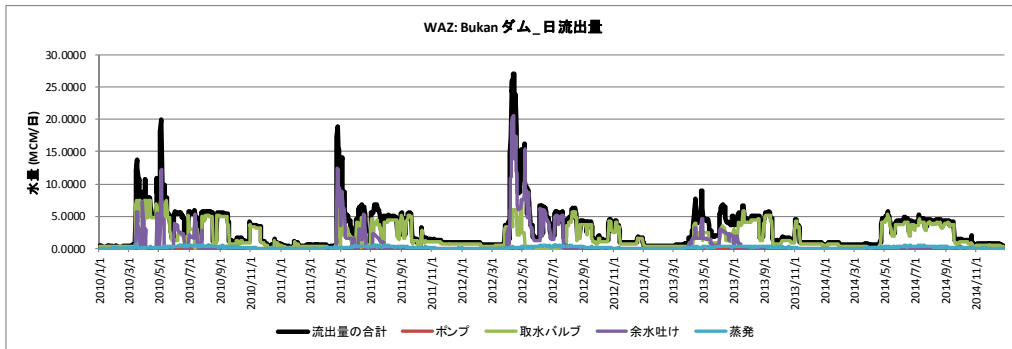
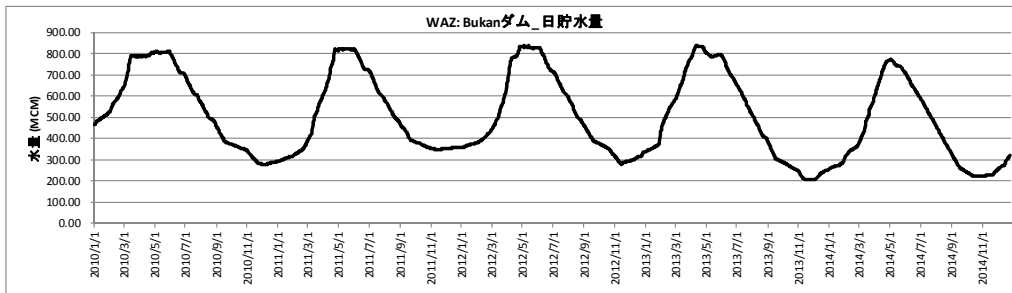
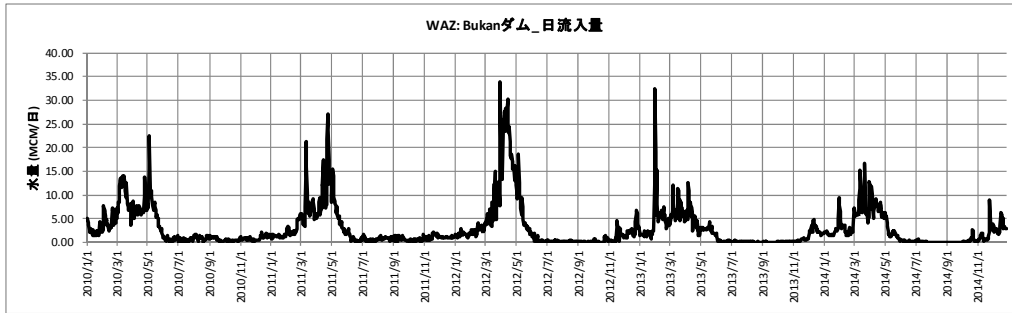
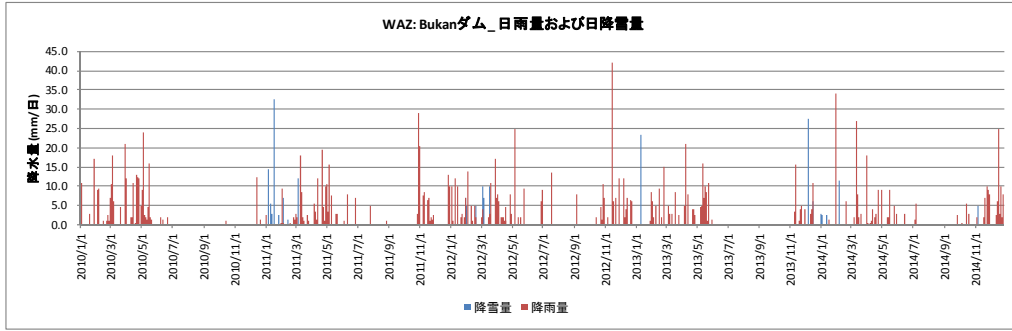
資料 4.4
水供給量の修正値

年	データを収集したダム の水供給量の合計 (MCM/年)	地下水揚水許可量の 合計 (MCM/年)	調整係数		ダムからの修正した水供 給量の合計 (MCM/年)	地下水揚水量の修正 した合計値 (MCM/年)	水供給量の合計 (MCM/年)
			表流水からの供給 (3)	地下水からの供 給 (4)			
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)=(1) x (3)	(6) = (2) x (4)	(6) = (2) x (4)
1939		0.03	1.72	1.11		0.04	0.04
1940		0.13	1.72	1.11		0.14	0.14
1941		0.35	1.72	1.11		0.39	0.39
1942		0.59	1.72	1.11		0.65	0.65
1943		0.60	1.72	1.11		0.66	0.66
1944		0.61	1.72	1.11		0.68	0.68
1945		0.65	1.72	1.11		0.72	0.72
1946		0.67	1.72	1.11		0.74	0.74
1947		0.90	1.72	1.11		1.00	1.00
1948		0.93	1.72	1.11		1.03	1.03
1949		0.96	1.72	1.11		1.06	1.06
1950		1.00	1.72	1.11		1.11	1.11
1951		1.02	1.72	1.11		1.13	1.13
1952		2.10	1.72	1.11		2.33	2.33
1953		2.38	1.72	1.11		2.64	2.64
1954		3.21	1.72	1.11		3.57	3.57
1955		4.26	1.72	1.11		4.73	4.73
1956		4.35	1.72	1.11		4.83	4.83
1957		6.22	1.72	1.11		6.90	6.90
1958		6.38	1.72	1.11		7.08	7.08
1959		7.14	1.72	1.11		7.93	7.93
1960		7.38	1.72	1.11		8.19	8.19
1961		7.52	1.72	1.11		8.34	8.34
1962		9.28	1.72	1.11		10.31	10.31
1963		9.95	1.72	1.11		11.04	11.04
1964		11.90	1.72	1.11		13.21	13.21
1965		14.62	1.72	1.11		16.23	16.23
1966		17.85	1.72	1.11		19.81	19.81
1967		56.64	1.72	1.11		62.87	62.87
1968		64.72	1.72	1.11		71.84	71.84
1969		76.26	1.72	1.11		84.65	84.65
1970		85.16	1.72	1.11		94.53	94.53
1971		100.61	1.72	1.11		111.68	111.68
1972		121.47	1.72	1.11		134.83	134.83
1973		138.81	1.72	1.11		154.08	154.08
1974		168.19	1.72	1.11		186.69	186.69
1975		207.54	1.72	1.11		230.37	230.37
1976		255.24	1.72	1.11		283.32	283.32
1977		329.93	1.72	1.11		366.22	366.22
1978	859.01	360.73	1.72	1.11	1477.50	400.41	1877.91
1979	842.93	396.82	1.72	1.11	1449.85	440.47	1890.32
1980	779.52	430.23	1.72	1.11	1340.78	477.55	1818.33
1981	838.67	458.37	1.72	1.11	1442.51	508.79	1951.30
1982	897.82	507.71	1.72	1.11	1544.25	563.55	2107.80
1983	956.97	528.17	1.72	1.11	1645.98	586.27	2232.25
1984	477.61	548.35	1.72	1.11	821.50	608.66	1430.16
1985	583.11	578.92	1.72	1.11	1002.95	642.60	1645.55
1986	631.49	602.63	1.72	1.11	1086.16	668.92	1755.08
1987	808.74	655.67	1.72	1.11	1391.03	727.80	2118.83
1988	703.39	672.26	1.72	1.11	1209.83	746.21	1956.04
1989	856.78	692.90	1.72	1.11	1473.66	769.12	2242.78
1990	828.18	715.54	1.72	1.11	1424.46	794.25	2218.71
1991	823.62	739.17	1.72	1.11	1416.62	820.48	2237.10
1992	770.18	788.63	1.72	1.11	1324.71	875.38	2200.09
1993	786.74	824.70	1.72	1.11	1353.19	915.41	2268.61
1994	845.64	867.63	1.72	1.11	1454.51	963.07	2417.57
1995	771.48	962.84	1.72	1.11	1326.94	1068.75	2395.69
1996	755.79	1041.85	1.72	1.11	1299.96	1156.46	2456.42
1997	714.94	1151.75	1.72	1.11	1229.69	1278.44	2508.13
1998	976.24	1209.60	1.72	1.11	1679.14	1342.66	3021.80
1999	494.01	1273.94	1.72	1.11	849.69	1414.08	2263.77
2000	615.32	1320.43	1.72	1.11	1058.35	1465.68	2524.03
2001	579.19	1372.94	1.72	1.11	996.20	1523.97	2520.17
2002	1003.30	1433.45	1.72	1.11	1725.68	1591.13	3316.81
2003	1306.44	1478.20	1.72	1.11	2247.07	1640.80	3887.87
2004	1128.58	1535.02	1.72	1.11	1941.16	1703.87	3645.03
2005	1000.12	1568.21	1.72	1.11	1720.20	1740.71	3460.91
2006	1123.93	1581.84	1.72	1.11	1933.16	1755.85	3689.00
2007	1176.39	1586.43	1.72	1.11	2023.39	1760.94	3784.33
2008	763.80	1588.89	1.72	1.11	1313.74	1763.67	3077.40
2009	1076.46	1590.46	1.72	1.11	1851.52	1765.41	3616.93
2010	1340.47	1592.03	1.72	1.11	2305.60	1767.16	4072.76
2011	1141.26	1593.61	1.72	1.11	1962.97	1768.90	3731.87
2012	1305.87	1595.18	1.72	1.11	2246.09	1770.65	4016.74
2013	1506.94	1596.75	1.72	1.11	2591.94	1772.40	4364.34
2014	1229.62	1598.33	1.72	1.11	2114.94	1774.14	3889.08

注 イタリックの数字は2008年から2009年の傾向に基づく地下水からの供給量の推定値

資料 4.5

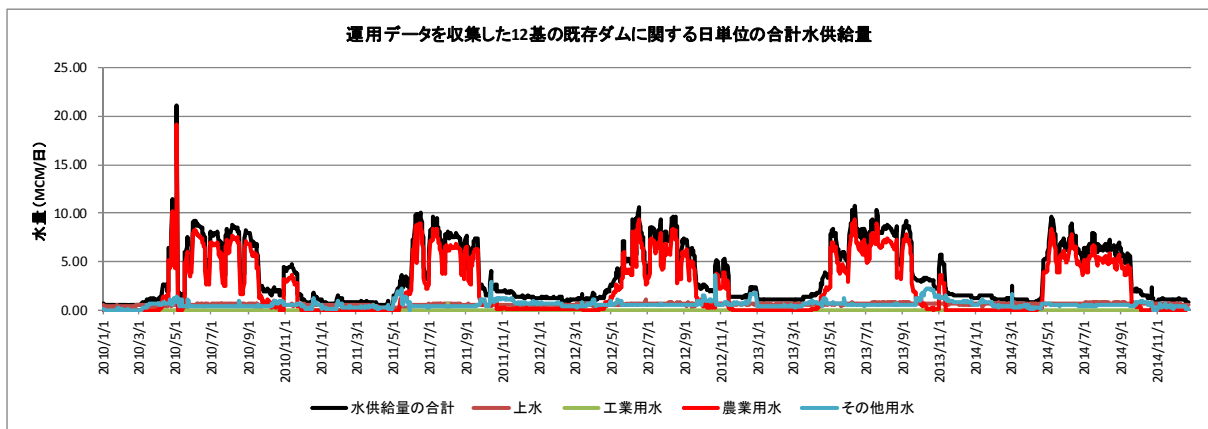
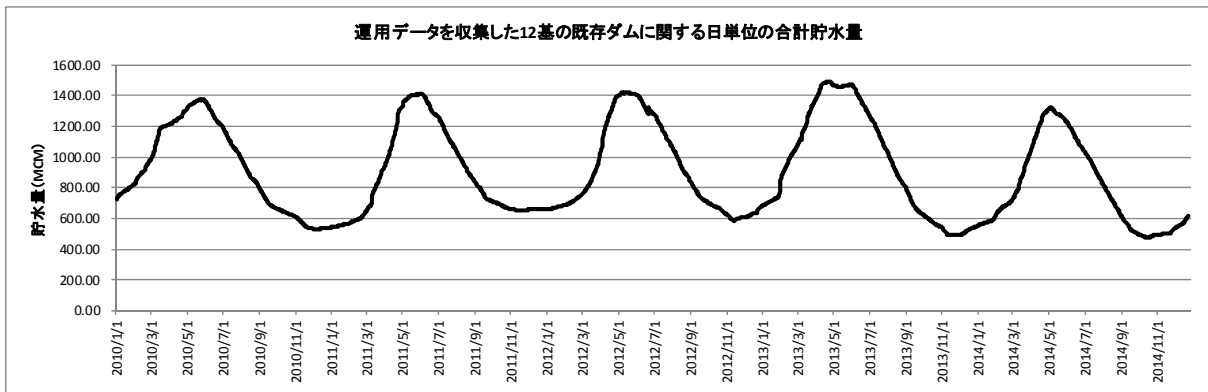
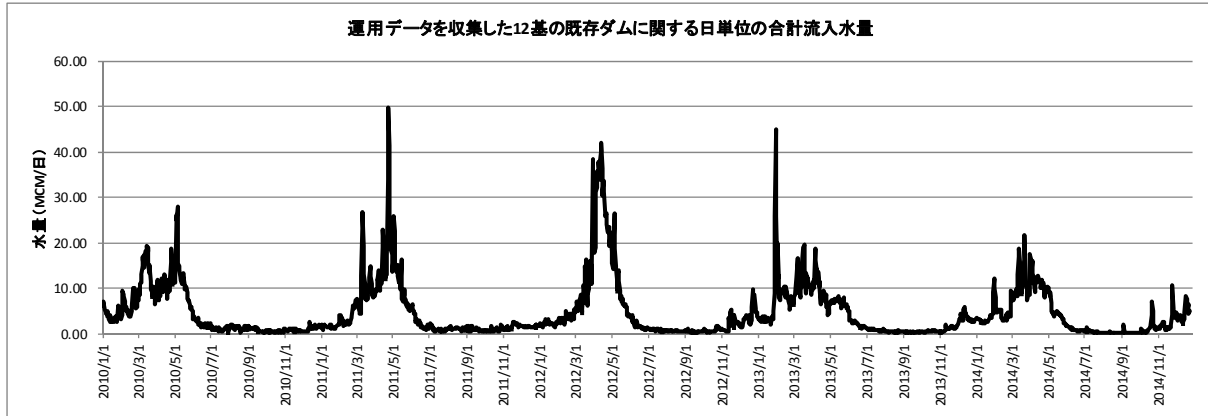
Bukan ダムの 2010 年～2014 年の日単位の貯水池の運用状況



*WRMC 提供データを元に JICA 調査団が作成

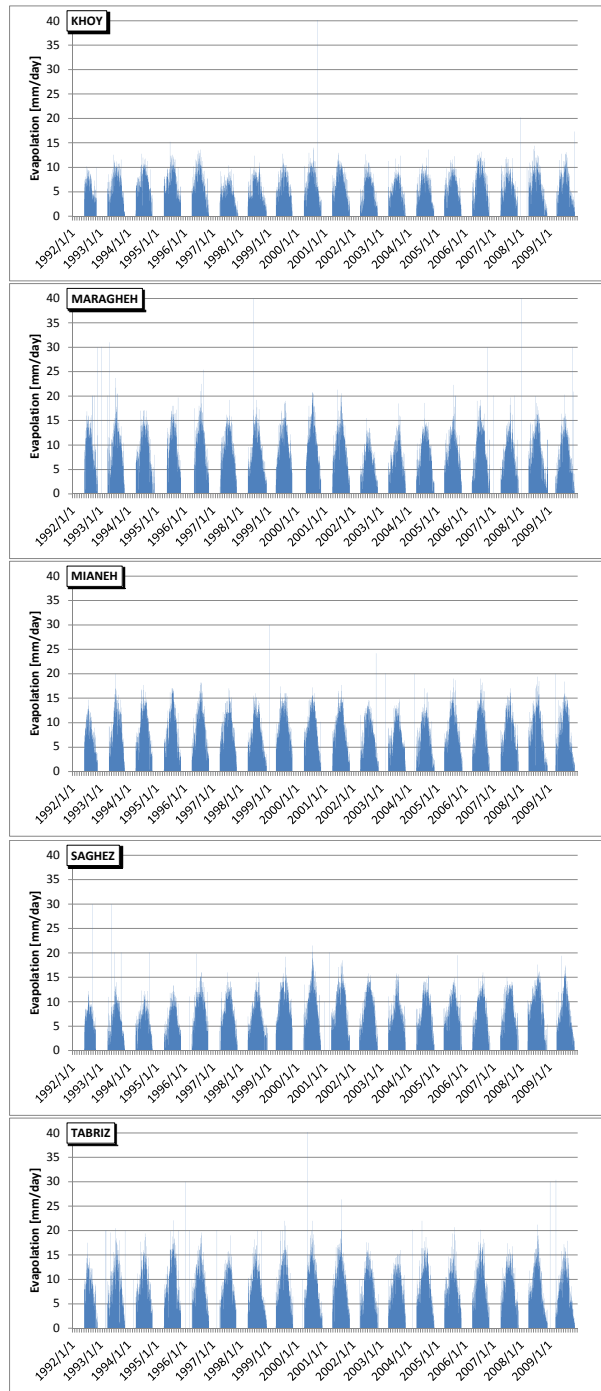
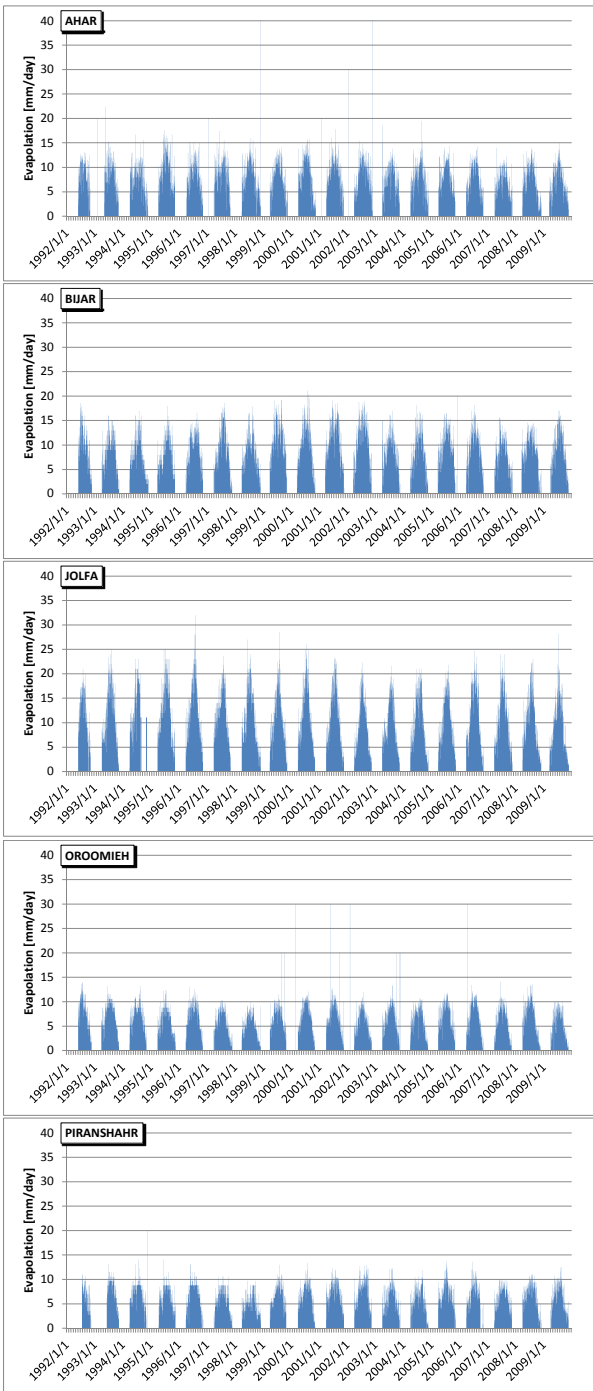
資料 4.6

運用データを収集したオルミエ流域の 12 基の既存ダムに関する 2010 年～2014 年の日単位の合計
運用水量

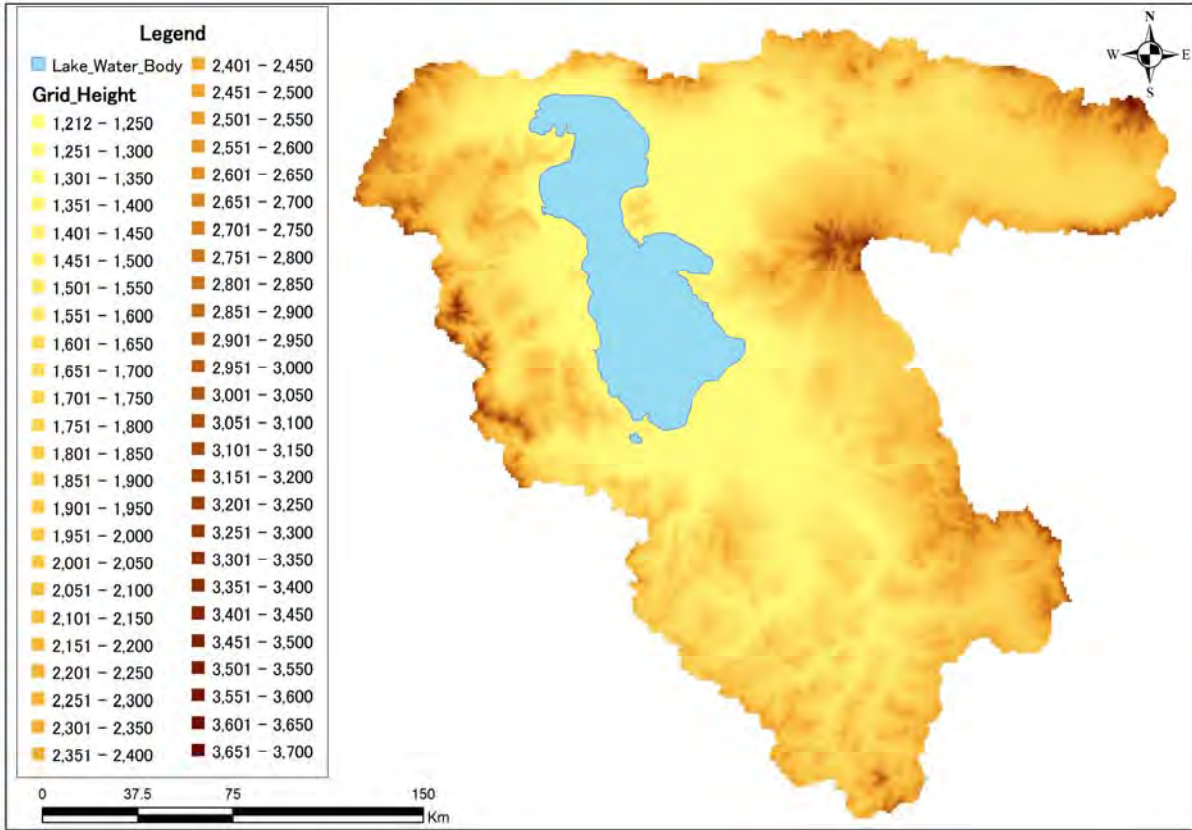


*WRMC 提供データを元に JICA 調査団が作成

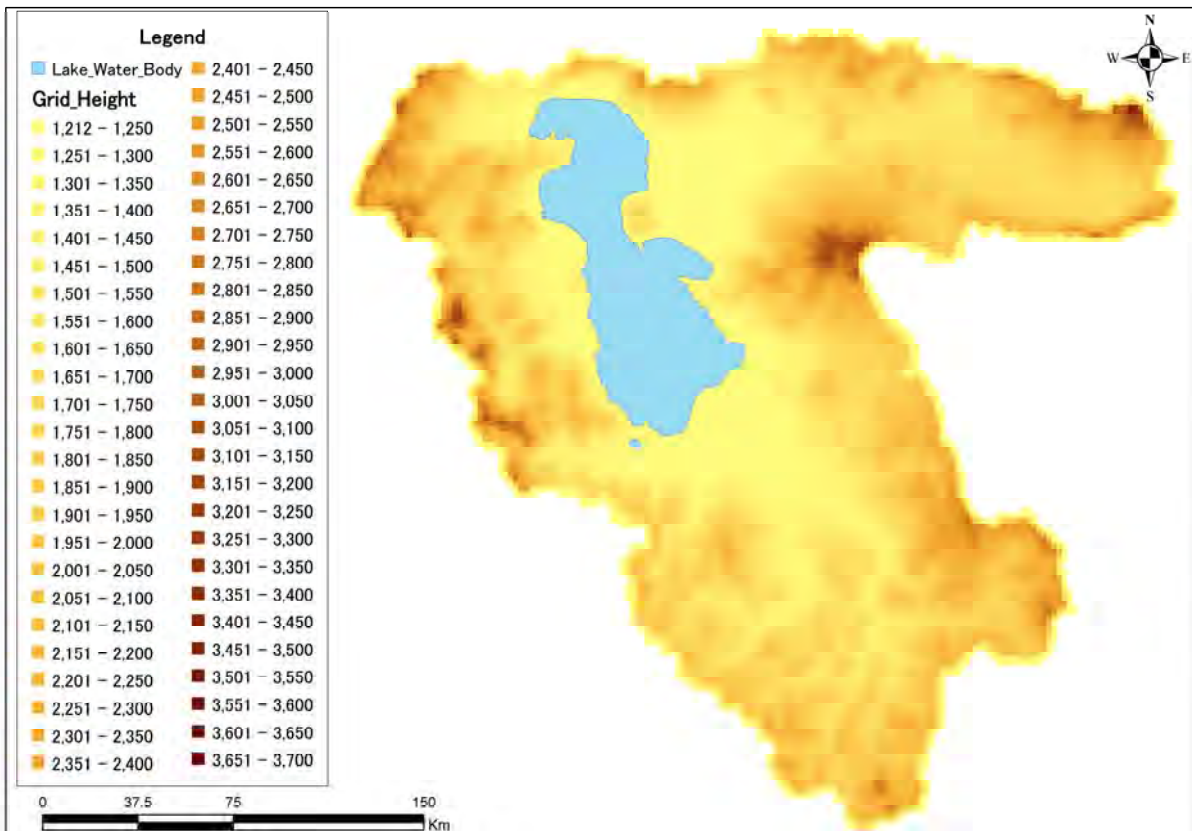
資料 5.1
蒸発量の観測値



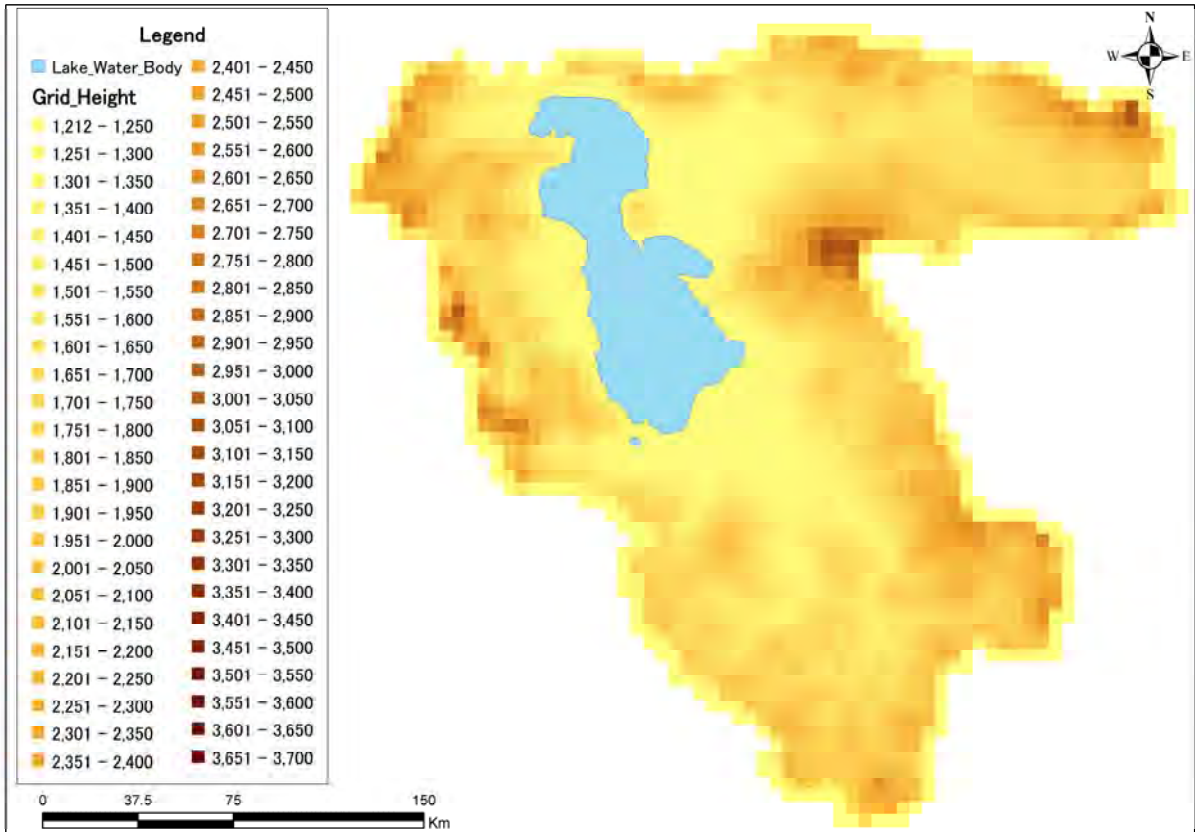
資料 5.2
メッシュサイズ別の解像度比較



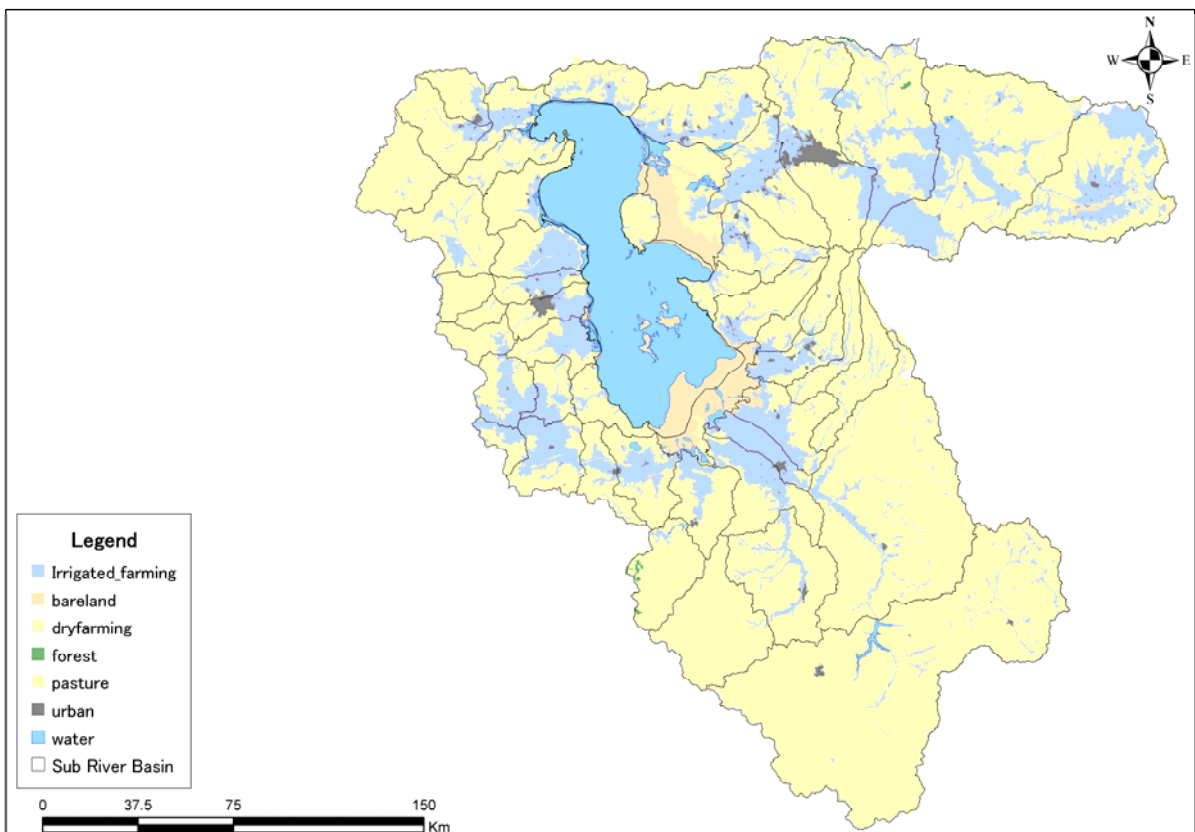
メッシュサイズ別の解像度比較（標高）：1km メッシュ平均地盤高



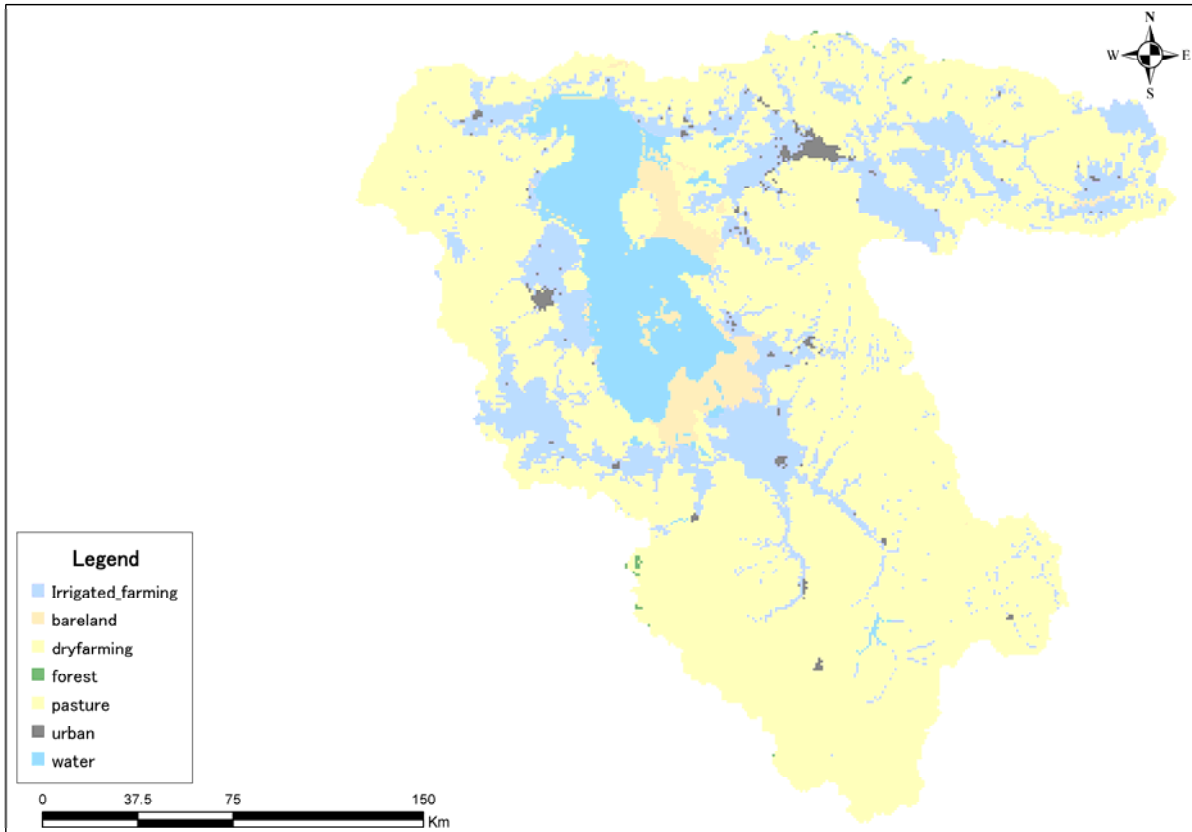
メッシュサイズ別の解像度比較（標高）：2km メッシュ平均地盤高



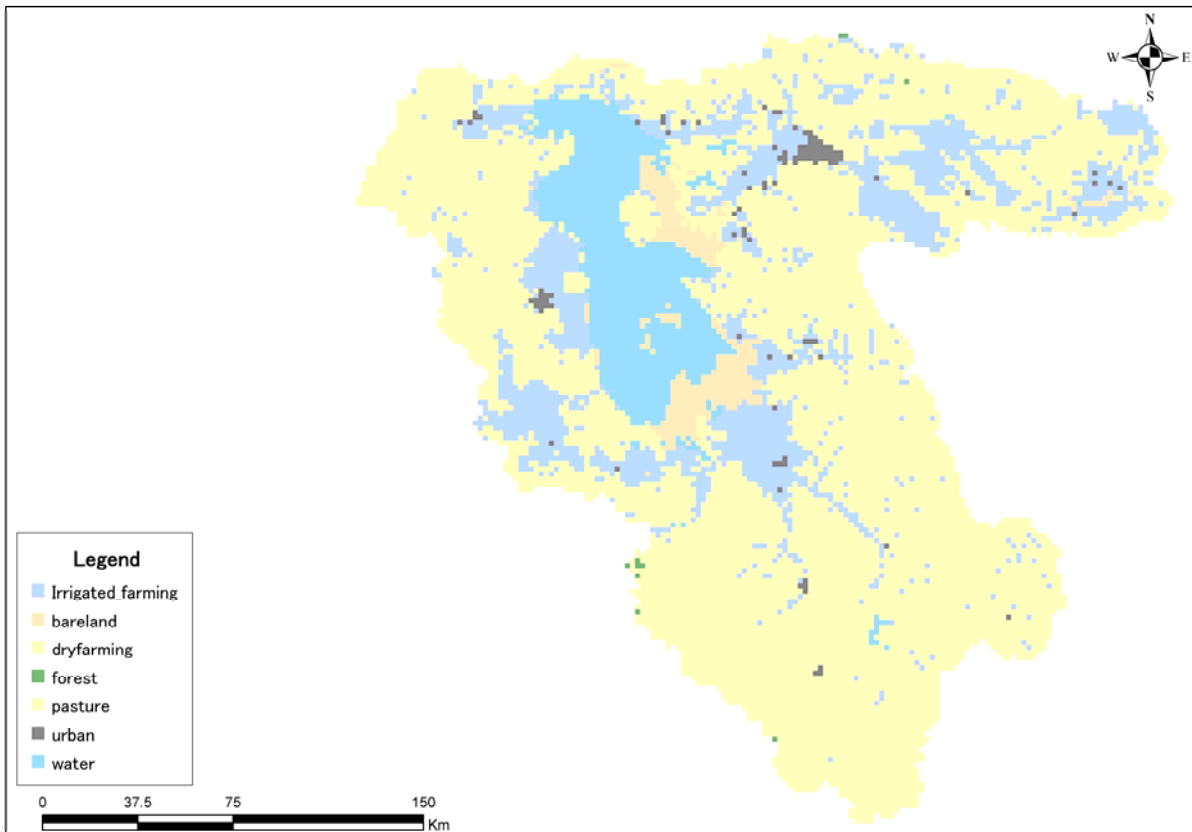
メッシュサイズ別の解像度比較（標高）：5km メッシュ平均地盤高



メッシュサイズ別の解像度比較（土地利用）：ポリゴン



メッシュサイズ別の解像度比較（土地利用）：1 km メッシュ



メッシュサイズ別の解像度比較（土地利用）：2kmメッシュ

資料 5.1

LURC により提案された対策事業 (2014 年 11 月時点)



Solutions approved by the government Board

1. Prohibition against any increase in uptake from water resources of the basin on one hand, and preventing any new developments especially in agricultural section on the other hand
2. Preventing unauthorized removal of water from surface waters
3. Stopping all dam projects which are under study or operation (except Shahid Madani and Cheraq Veis dams), all irrigation networks and water supply projects of downstream in Urmia Lake basin; saving and releasing water into Shahid Madani dam merely for the sake of Urmia Lake
4. Providing the required budget and funding on one hand and accelerating the process of water transmission in the project of Water Transmission from Zaab River to Urmia Lake Basin
5. Developing and implementing a comprehensive program of training, information, public awareness and winning public and local communities' participation in order to explain the consequences of the current situation and the importance of Urmia Lake restoration
6. Organizing the wells in Urmia Lake basin; installing smart and volume meters in order to monitor withdrawals in line with increasing the amount of inflows from rivers into Urmia Lake



Approved Solutions ...

7. Transferring refineries' effluents into Urmia Lake basin
8. Controlling and reducing water consumption in agriculture section
 - 40 % reduction in surface and underground water rights due to the purchase done by the Ministry of Energy for two years
 - Developing and implementing the productivity enhancement programs for the 60% remaining water in the agriculture sector by Jihad-Agriculture Ministry
 - Providing the budget and required technologies for increasing the productivity of the remaining water by the government
9. Transferring water from Hasanlou dam to the islands and wetlands around Urmia Lake and opening the way for the inflow lines to the southern wetlands
10. Preparing cadaster of the lands in Urmia Lake basin
11. Implementing the approved plans by the in-charge executive organizations, and supervising and monitoring the projects' implementation by Urmia Lake Restoration headquarter (program)
12. Designing and establishing the decision-making system for the integrated and comprehensive management of Urmia Lake basin



出典: LURC(2014年11月)



Approved Solutions ...

13. Studying the effects of Shahid Kalantari causeway on Urmia Lake ecosystem and suggesting the corrective solutions
14. Assessing the feasibility of industrial utilization of Urmia Lake salts and minerals in compliance with environmental considerations
15. Transferring rivers' water into the body of the Lake
16. Identifying the centers producing atmospheric pollutants (dirt and dust) and consolidating them
17. Studying and implementing the ecologic conservation of Urmia Lake National Park with the priority of its southern area
18. Conducting the necessary coordination with the judiciary in order to accelerate and pave the way for determining the conditions of wells without license especially those affecting the surface water
19. Identifying the areas affecting the discharge of rivers running into the Lake and reinforcing them through watershed and aquifer management in order to increase the volume of water inflows into the Lake.



Approved Solutions...

20. Accelerating the implementation of water transferring from Aras River in West Azerbaijan merely into Urmia Lake on the basis of approved allocation by the Ministry of Energy
21. Establishing a future center for Urmia Lake by DOE
22. Pathology of health, hygiene, social and environmental effects due to the lake drying up and accordingly preparing and implementing a program in order to prevent and reduce the risk of possible effects
23. Preparing the program to enhance the opportunities for employment and alternative livelihood by the relevant agencies
24. The feasibility of using modern technologies for Urmia Lake Restoration



出典: LURC(2014年11月)