中華人民共和国

2016 年度　外部事後評価報告書

円借款「雲南省昆明市水環境整備事業（I)」「雲南省昆明市水環境整備事業（II)」

外部評価者：アイ・シー・ネット株式会社　早瀬　史麻

０．　要旨

本事業は、雲南省昆明市の市街地中心部において、下水処理施設の整備を行うことにより、同地域の下水処理能力の向上を図り、滇池（でんち）の水質汚濁低減を通じた同地域の生活環境改善に寄与することを目的としている。

本事業は中国の国家・省・市レベルの開発政策、開発ニーズ、審査時の日本の対中国援助政策と合致しており、妥当性は高い。下水処理率や処理水の水質といった主要な効果を示す指標は目標を達成しており、期待された効果は発現している。2016 年には、30 年来、水質基準で最も低い劣 V 級[1]にとどまっていた滇池の水質は V 級に改善されたが、下水処理能力の強化で放流水の水質改善がなされたことが大きい。昆明市街地から滇池に排出される主要な汚濁負荷は、本事業の下水処理場の処理によって大きく削減されており、本事業による汚濁負荷の削減への寄与は非常に大きく、有効性・インパクトの達成度合いは高い。下水処理場の改修・拡張・新設、ポンプ場や管網の整備はほぼ計画どおりに行われ、事業費も計画内に収まったが、事業期間に大幅な遅延が生じており効率性は中程度となった。本事業によって発現した効果の持続性については、運営・維持管理主体の体制、技術、財務、状況について問題はなく、持続性は高い。

以上より、本事業の評価は非常に高いといえる。

１．　事業の概要

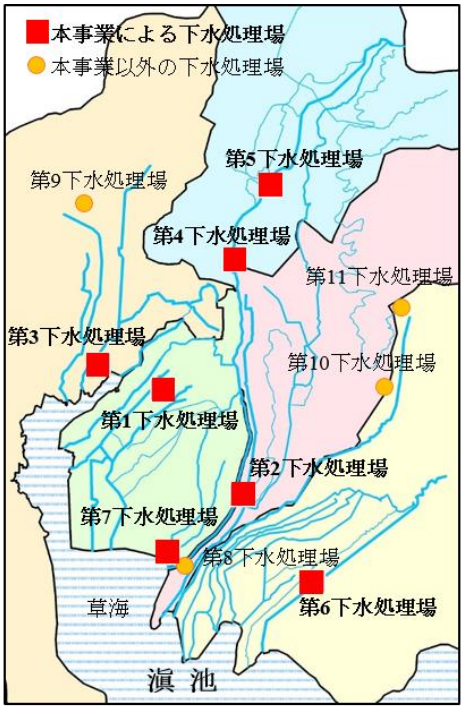
事業位置図

自然保護区に指定された滇池

[1] 河川や湖などの水質は、「地表水環境質量基準（GB3838-2002)」により I～V 類に分類されている。I 類：主に源流の水、国家自然保護区に適用、II 類：主に一級保護区の集中型生活飲用水の水源、貴重な魚類保護区、魚類エビの産卵場所に適用、III 類：主に二級保護区の集中型生活飲用水の水源、一般の魚類保護区及び水泳区に適用、IV 類：主に一般の工業用水区及び人に直接接触しない娯楽用水区に適用、V 類：主に農業用水及び一般の景観に必要な水域に適用。V 類以下は劣 V 類に分類される。

１.１　事業の背景

雲南省の省都昆明市は、経済・交通・貿易の中心となっている中国西部の発展拠点の一つである。昆明市の経済発展に伴い、1980 年代から、長江流域の淡水湖である滇池に流入する未処理の下水量は急増し、1990 年代には農業用水としても利用できない水質にまで悪化した。市内の河川は全て滇池に向かって流れる地形であることから、未処理の下水による水質への影響は深刻であった。そのため、「国家環境保護第 10 次 5 カ年計画」（2001 年～2005 年）では、同湖の水質改善を国家重点事業と位置づけ、昆明市人民政府は市街地中心部の下水処理場建設や下水管網の整備を実施していたが、2004 年の下水排出量 68.8 万㎥/日に対して下水処理能力は 46.4 万㎥/日（下水処理率 67%）にとどまり、未処理の下水が滇池に流入する状況は続いていた。また、将来的には、2015 年には人口増加等により、下水排出量は 90 万㎥/日に増加することが見込まれており、同市の下水処理能力の向上と同池への水質汚濁物質の流入に歯止めをかけることが喫緊の課題であった。



出所：実施機関提供資料より作成

図 1　滇池と昆明市内の下水処理場

１.２　事業概要

雲南省昆明市の市街地中心部において、下水道施設の整備を行うことにより、同地域の下水処理能力の向上を図り、もって滇池の水質汚濁低減を通じた同地域の生活環境改善に寄与する。

円借款承諾額/実行額	I：12,700 百万円/12,647 百万円 II：10,400 百万円/6,647 百万円
交換公文締結/借款契約調印	I：2006 年 6 月 23 日/2006 年 6 月 23 日 II：2007 年 3 月 30 日/2007 年 3 月 30 日
借款契約条件	金利　0.75% 返済　40 年 （うち据置　10 年） 調達条件　一般アンタイド
借入人/実施機関	中華人民共和国政府／昆明市人民政府
事業完成	2016 年 5 月
本体契約	I: Hunan Provincial Construction Engineering Corporation Group, Five Bureau of China Railway (Group) Company Limited　II : China National Precision Machinery Import & Export Corp., Zhongtai Construction Group Share Co. Ltd.（いずれも中国）
コンサルタント契約	-
関連調査（フィージビリティー・スタディ：F/S）等	F/S：中国市政工程中南設計研究院、国家電力公司昆明観測設計研究院、昆明市規則設計研究院（2005 年 6 月）
関連事業	【円借款】 大連都市上下水道整備事業（2000 年）、宣昌市水環境整備事業（2002 年）、南寧市水環境整備事業（2002 年）、フフホト市水環境整備事業（2003 年）、陝西省水環境整備事業（2004 年）、長沙市導水及び水質環境事業（2004 年）、貴陽市水環境整備事業（2004 年） 【その他の国際機関】 雲南省環境事業（世界銀行 1996 年）

２．　調査の概要

２.１　外部評価者

早瀬　史麻（アイ・シー・ネット株式会社）

２.２　調査期間

今回の事後評価にあたっては、以下のとおり調査を実施した。

調査期間：2016 年 7 月～2017 年 10 月

現地調査：2016 年 11 月 9 日～11 月 17 日、2017 年 4 月 14 日～4 月 17 日

２.３　評価の制約

本事業で下水道施設を整備した効果は、滇池の水質汚濁低減とされているが、湖の水質は下水道施設整備以外の要因による影響も受けており水質汚濁低減に対して、本事業がどの程度貢献したのかを直接的に把握することは難しい。よって本事後評価では、滇池の水質変化をインパクトとして位置づけ、本事業の寄与は、汚濁低減につながった要因を確認するとともに、下水処理によって削減された汚濁負荷の量と滇池に

放出された汚濁負荷に対する割合によって分析する。

３．　評価結果（レーティング：A[2]）

３.１　　妥当性（レーティング：③[3]）

３.１.１　　開発政策との整合性

(1)　審査時の開発計画との整合性

審査時の国家開発計画である「中華人民共和国国民経済と社会の発展第 10 次 5 カ年計画」（2001 年～2005 年）では、経済と社会の協調的発展を目指しており、経済的な発展の一方で悪化していた環境の改善を重視していた。「第 10 次 5 カ年環境保護計画」（2001 年～2005 年）では、下水処理や地表水の水質改善について都市部の下水処理率 45%の達成（人口 50 万以上の都市は 60%、重点都市は 70%）の目標を掲げ、滇池を含む「三河三湖[4]」の水質汚染防止の取り組みを国家重点プロジェクトと位置づけた。また前期計画の目標が未達成であることから、「第 11 次 5 カ年環境保護計画」（2006 年～2010 年）では、環境汚染改善に向けて主要な汚染物の総排出量を 2005 年比で 10%削減する目標を加えていた。

雲南省及び昆明市人民政府の「昆明市経済社会発展第 10 次 5 カ年計画」（2001 年～2005 年）と「昆明市経済社会発展第 11 次 5 カ年計画」（2006 年～2010 年）では、滇池に対する最大の水質汚染源である市街地中心部の下水処理能力向上が計画され､将来､さらに人口増大が見込まれている同地域からの汚濁負荷の低減を図り、滇池の水質の悪化に一定の歯止めをかけ、もって昆明市住民の生活環境を改善することが計画されていた。

(2)　事後評価時の開発計画との整合性

「中華人民共和国国民経済と社会の発展第 12 次 5 カ年計画」(2011 年～2015 年)で掲げられた 5 つの重点分野のうち、「資源節約・環境友好型社会」において、都市公共施設の統一的な計画により、給排水、下水、ごみ処理施設といった社会インフラの水準向上を目指している。

「国家環境保護第 12 次 5 カ年計画」（2011 年～2015 年）では、経済社会と環境の調和のとれた発展に向けて、8 つの環境保護プロジェクトの優先実施を目指しており、そのうち 3 つのプロジェクトが水環境改善、下水処理インフラの建設強化にかかわるものであった。このうち、本事業に係る目標として、①2015 年までに化学的酸素要求量(COD)の排出量を 2010 年の排出量から 8%､アンモニア性窒素(NH3-N)量を 10%削減すること、②下水管網の敷設強化と雨水・汚水の分流化の改造推進、

[2] A：「非常に高い」、B：「高い」、C：「一部課題がある」、D：「低い」
[3] ③：「高い」、②：「中程度」、①：「低い」
[4] 中国国内の 3 つの河（海河、遼河、淮河）及び 3 つの湖（太湖、巣湖、滇湖）を指しており、1996 年 8 月「環境保護に関する若干の問題についての国務院決定」により、国家環境保護重点地域に指定された。

都市下水処理率を 85%まで引き上げること、汚泥の無害化、再生水の利用、特に滇池、巣湖、太湖流域や沿岸域や他の主要都市の下水処理場は、窒素とリン除去のレベルを向上させること、③劣 V 水質となっている滇池は生態保護区域に指定し、滇池の周辺地域の使用を制限し、水源涵養と水汚染対策を行い、流入する河川と滇池の水質を総合的に改善することが含まれている。これらを受けて雲南省政府は、滇池と周辺の総合的な水質改善の国家目標を実現させるため、「滇池流域水汚染対策計画（2011 年～2015 年）」を策定している。

このように、審査時から事後評価時まで継続して下水処理インフラの建設強化や滇池の水質改善は国家及び雲南省において開発計画の重要な焦点であり、本事業との整合性は高い。

３.１.２　開発ニーズとの整合性

昆明市では、全ての河川が滇池に流れ込む地形となっており、都市の発展や人口増加に伴って発生する下水量は増加をたどり、滇池の水質は 1986 年から最悪レベルの劣 V 級と汚染が深刻な状況にあった。F/S による予測では、2015 年には給水人口が 294 万人に増加、下水量が 90 万㎥/日に増えることが見込まれており、さらなる水質汚濁が懸念されていた。

事後評価時に得た実績データ（2015 年）では、下水量は 150.4 万㎥/日（予測比 167%）、給水人口は 394 万人（目標比 134%）と、審査時の予測の 294 万人より高い伸び率を示している。下水量は予測値を大きく上回るペースで増加しており、さらなる処理能力の強化が必要とされている。

滇池の水質改善に向けては、「滇池流域水汚染対策計画（2011 年～2015 年）」において市内で放出される COD 負荷を 6,000t、NH3-N は 2,100t に抑える目標が掲げられており、下水処理促進による削減への貢献が求められていた。以上から、下水処理能力強化に関する開発ニーズは審査時から継続して事後評価時にも高いといえる。

表 1　昆明市の人口と下水量の予測と実績

	F/S 基準値	F/S による予測値		実績値
	2002 年	2015 年	2030 年	2015 年
総人口（万人）	274	320.7	360	402
給水人口（万人）	263.7	294	326	394
下水量（万㎥/日）	64	90	106	150.4

出所：　予測値は F/S、実績値は実施機関提供資料
注 1：総人口には流動人口も含む。
注 2：下水量の予測は給水人口に基づいて算出されている。

３.１.３　日本の援助政策との整合性

JICA の「海外経済協力業務実施方針（2005 年度～2007 年度）」及び対中国「2005 年度国別業務実施方針」とも重点分野の中で、インフラ整備による環境への負の影響の回避・軽減のうち、水質汚濁対策として下水処理施設の整備の必要性を明示している。

前出の国別業務実施方針では、下水道施設整備への支援、政府の役割が求められる公的な事業を重点分野としており、下水道セクターについては、処理率の向上及び下水処理施設､水リサイクル設備の建設等を通じた総合的な水利用効率の改善等、中国政府が具体的に政策課題として挙げている事項の改善を支援する方針であった。

本事業は、環境保全を目指し、下水道施設の建設等を通じた総合的な水利用効率の改善等を重点としている日本の援助政策との整合性が確保されている。

以上より、本事業の実施は審査時及び事後評価時の中国政府、雲南省・昆明市の開発政策、開発ニーズ、審査時の日本の援助政策と十分に合致しており、妥当性は高い。

３.２　効率性（レーティング：②）

３.２.１　アウトプット

(1)　アウトプットの計画と実績

事業内容の変更が一部にあったが、以下の表 2 のように、ほぼ計画どおり実施された。変更点は以下のとおり。

(a)　下水管網の整備：総延長距離は計画比 102%とほぼ計画どおりであったが、国内資金により先行して建設された管網部分との調整により、本事業の雨水管渠の建設距離が減らされ、下水管渠の建設に振り分けられた。同様の理由で、ポンプ場建設数も変更となった。本事業の対象外となったポンプ場の建設は国内資金によって行われ、余剰分の資金は管網の建設に振替えられた。

(b)　下水処理場の改修、拡張及び新設：第 4 下水処理場は面積規模が小さい処理場であることから、省スペースで高度処理ができるオゾン消毒を採用することとなった。オゾン消毒施設は国内資金により導入され、本事業で計画されていた UV 施設は臭気除去施設の建設に振替えられた。

(c)　研修：計画では 8 グループ 90 人が対象であったが、公務員の海外渡航許可を厳格化する中国の政策の変更､また､目的別に訪問グループを調整したことにより、実際の訪日研修は 10 グループ 81 人の規模で実施された。経営管理、実務管理者、技術者を含む実務者が担当分野の研修を受講し、研修はおおむね計画どおりに実施

された。

表 2　アウトプットの審査時の計画と実績の比較

計画		実績
(a) 下水管網整備		
下水管網：336 ㎞ 下水ポンプ場設置：9 カ所		下水管網：342.7 ㎞（+13.7 ㎞） 下水ポンプ場設置：8 カ所 （－1 カ所）
(b) 下水処理場		
処理場名	改修、拡張及び新設内容	実施内容
第 1 下水処理場 A_2O 法[5]12.0 万㎥/日	汚泥処理施設	計画どおり
第 2 下水処理場 A_2O 法 10.0 万㎥/日	凝集沈殿、汚泥処理施設	計画どおり
第 3 下水処理場 ICEAS 法[6]15.0 万㎥/日	処理能力 6 万㎥/日の増強 凝集沈殿、汚泥処理施設	計画どおり
第 4 下水処理場 ICEAS 法 6.0 万㎥/日	UV 施設改修	臭気除去施設の建設
第 5 下水処理場 A_2O 法 7.5 万㎥/日	処理能力 9.5 万㎥/日増強 凝集沈殿、汚泥処理、UV 施設	計画どおり
第 6 下水処理場 A_2O 法　5.0 万㎥/日	処理能力 8.0 万㎥/日の増強 凝集沈殿、汚泥処理施設	計画どおり
第 7 下水処理場 A_2O 法	新規建設 20 万㎥/日	計画どおり
	既設能力合計　55.5 万㎥/日 追加処理能力合計　43.5 万㎥/日	既存＋追加処理能力合計 99.0 万㎥/日
(c) 訪日研修		
8 グループ　計 90 人		10 グループ　計 81 人

出所：実施機関提供資料
注：（カッコ）は実績の変更分

汚泥処理施設（第 1 下水処理場）

臭気除去施設（第 4 下水処理場）

[5] Anaerobic Anoxic Oxic：嫌気・無酸素・好気法。一般的な「標準活性汚泥法」と比較して、湖沼や海の富栄養化の原因となる窒素とリンをより多く除去する下水処理方法。
[6] Intermittent Cycle Extended Aeration : 連続流入式回分式活性汚泥法。微生物による浄化、汚泥沈殿、上澄み水の排水を 1 つの処理槽で行う下水処理方法。

３.２.２　インプット

３.２.２.１　事業費

審査時において、総事業費は 52,981 百万円（うち外貨 25,222 百万円、内貨 27,759 百万円）と計画されていた。実績は、総事業費 43,820 百万円（うち外貨 19,114 百万円、内貨 24,706 百万円）となり、総事業費は審査時の計画の 83%と計画内に収まった。費用が計画内に収まった理由は、資機材部分の経費が計画より少なかったこと、競争入札の結果、工事費が予算額より少ない費用となったこと、また、為替レートの変動[7]が影響したためであった。

３.２.２.２　事業期間

審査時に計画されていた事業期間は 2006 年 6 月～2012 年 12 月（79 カ月）で、実績は 2006 年 6 月～2016 年 5 月（120 カ月）と、計画を大幅に上回った（152%）。下水管網の敷設工事を昆明市内の道路建設工事と合わせて行う必要があったため、事業実施期間は大幅に延長された。国内事業と調整されて変更となった下水管網敷設区域の道路建設工期は、審査時の想定より遅く、それに合わせたために生じた遅延であった。ただし、下水処理場本体の改修・拡張及び新設工事は計画どおり行われ、下水を収集する管網も国内資金で整備された管網やポンプ場も使用できていたことから、本事業の有効性に悪影響は及んでいない。国外研修の期間も、公務員の国外渡航許可を厳格化する中国の政策の変更の影響を受けて大幅な延長となった。

３.２.３　内部収益率（参考数値）

実施機関から提供された費用及び便益の実績値を用いて財務的内部収益率（FIRR）を再計算したところ、審査時の 5.5%に対して、実績は 7.4%となった（表 3）。審査時の計画に比べ、事後評価時の下水処理量が多く、それに応じて支払われる下水処理料金収入[8]が計画を上回ったことと、また事業費が計画を下回ったためである。

表 3　審査時・事後評価時の FIRR の比較

審査時(2004 年)	実績（2015 年）
5.5%	**7.4%**
前提条件 費用：事業費、運営・維持管理費 便益：下水処理料金収入 プロジェクトライフ：30 年	**前提条件** 費用：事業費、運営・維持管理費 便益：下水処理料金収入 プロジェクトライフ：30 年

出所：審査時は JICA 提供資料。実績は実施機関提供資料のデータを元に評価者が再計算を行った。

[7] 審査時（2004 年）には 1 元＝13.7 円で算出されていたが、支出が発生した 2006 年～2016 年の間には 1 元＝14.68 円～15.58 円の間で推移したため、円建てでみた総事業費は小さくなった。

[8] 下水処理場では、家庭などから排出される下水に加えて流入する雨水も処理している。雨水部分の処理費用は、市の補助金で補てんをしている。そのため、下水処理料金と市からの補助金の合計を下水処理料金収入としている。

以上より、本事業の事業費は計画内に収まったものの、事業期間が大幅に計画を上回ったため、効率性は中程度である。

3.3　有効性[9]（レーティング：③）

3.3.1　定量的効果（運用・効果指標）

事業の定量的効果として昆明市市街地中心部の下水処理能力の向上が期待されており、完成3年後（2015年）の下水処理人口、下水処理量、下水処理率は市全体の目標が設定されていた[10]。審査時において各下水処理場の下水処理能力に関する目標値の設定はされていなかったが、下水処理量について設計能力との比較を行い、各下水処理場が期待された能力が発揮されているかを確認した。

3.3.1.1　運用指標

(1)　昆明市の下水処理量・処理率

昆明市市街地中心部の下水処理人口は目標比125%、下水処理量は目標比167%と処理能力は目標より大幅に増加した。下水処理率の実績は目標値[11]と並び、下水処理人口、下水処理量、処理率の全てについて目標を達成したといえる（表4）。

表4　下水処理量、処理率、処理人口の目標と実績[12]

	単位	基準値	目標値	実績値				
		2004年	2015年	2011年	2012[13]年	2013年	2014年	2015年
		審査年	事業完成3年後	処理場整備完工	事業完成年	事業完成1年後	事業完成2年後	事業完成3年後
下水処理場数	カ所	6	7	7	7	9	9	12
下水排出量	万㎥/日	68.8	90.2	114.3	106.0	133.4	141.7	150.4
下水処理量	万㎥/日	46.4	90.0	97.8	94.3	123.3	136.0	150.1
下水処理率	%	67%	100%	86%	89%	92%	96%	100%
本事業処理量	万㎥/日	46.4	90.0	97.8	94.3	94.8	104.6	111.1
本事業割合	%	100%	100%	100%	100%	77%	77%	74%
人口	万人	281	322	352	364	376	389	402
下水処理人口	万人	197	315.2	303	324	345	369	394

出所：実施機関提供資料

[9] 有効性の判断にインパクトも加味して、レーティングを行う。

[10] 事業全体の完成年は2016年であったが、下水処理場本体の改修・拡張・新設工事は2010年10月の完工であったため、2011年を工事の完工年とみなす。審査時の計画どおり、事業の完成は保証期間1年後（2012年）とし、完成3年後にあたる2015年の実績値を目標値と比較して事業の達成度を確認する。

[11] 本事業の下水処理率の目標値は99.8%で、2015年の実績値も99.8%であった。表4には、小数点以下第一位を四捨五入して100%と記載している。

[12] 下水排出量、下水処理量は昆明市市街地の年平均値である。下水排出量は水道水の年間消費量に一定の係数をかけて算出している。処理場への流入量は排出される下水とその他（雨水や地下水）からなる。下水処理率は下水処理量を下水排出量で割って算出した。人口は昆明市市街地の総人口、下水処理人口は昆明市市街地内で下水処理サービスに接続している人口を示す。

[13] 2012年には昆明市の降水量が例年より少なかったため、収集された下水量、処理量が前年に比べて少なくなった。

本事業により整備された下水処理場の下水処理量は、2015 年時点で昆明市中心部の総下水量の約 74%（111.1 万㎥/日）を処理しており、昆明市下水処理システムの中核として大きな役割を果たしていると評価できる。

(2) 本事業による 7 下水処理場[14]の処理量、処理率と施設稼働率[15]

本事業により整備された各処理場には、審査時の予測を上回る下水量が流入しており、目標年には第 4 下水処理場を除き設計能力を越える下水量を処理している。実際の処理能力は、計画能力から 10%～20%程度の余裕が設けられているため問題は生じておらず、期待以上の処理状況にあるといえる。突発的な大雨等により流入量が実際の処理能力を超過した場合には、緊急的な措置として、沈殿時間の短縮等のプロセスを簡易化しつつ河川等へ排出することで負荷の調整を図っている。この措置は環境保護局の許可を得て、水質基準を遵守したうえで行われているため、環境への悪影響は及んでいない。

[14] 下水処理場ごとの処理区人口、処理人口については、下水処理区が行政区と一致していない、メーターの数と世帯数が一致していない等の理由でデータがないため、本事業の事後評価に使用しないものとする。

[15] 施設稼働率（施設能力に対してどのぐらい施設が使用されているか）は、審査時に運用効果指標として設定されていなかったため、本事後評価では、参考値として算出している。

表 5　下水処理場の下水処理量、施設稼働率[16]

審査時（2005 年）							注
下水処理場	第 1	第 2	第 3	第 4	第 5	第 6	第 7
設計能力（万㎥/日）	12.0	10.0	15.0	6.0	7.5	5.0	―
下水処理量（万㎥/日）	9.6	8.5	14.4	6.4	6.6	1.1	―
下水処理率（%）	100%	100%	100%	100%	100%	100%	―
施設稼働率（%）（参考値）	80%	85%	96%	107%	88%	18%	―
実績（2015 年：事業完成 3 年後）							
下水処理場	第 1	第 2	第 3	第 4	第 5	第 6	第 7
設計能力（万㎥/日）	12.0	10.0	21.0	6.0	17.0	13.0	20.0
下水処理量（万㎥/日）	13.4	11.4	22.6	5.7	23.6	13.4	21.1
下水処理率（%）	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
施設稼働率（%）（参考値）	112%	114%	108%	94%	128%	103%	105%

出所：基準値は JICA 提供資料、実績値は実施機関提供資料
注：第 7 下水処理場は新設のため、2005 年時点の基準値がない。

第 5 下水処理場の反応槽

第 6 下水処理場の反応槽

(3)　放流水の利用・再利用

審査時に指標の中水に関わる指標は設定されていなかったが、本事業により整備された下水処理場の処理後の放流水（2016 年データで年間放流水総量は約 4 億㎥）は高度処理されたのち、98.6%は河川景観水として河川の浄化や悪臭防止に利用され、1.4%が都市再生水として公園の緑化、道路清掃の散水、洗車やトイレの流水、工業用水に再利用されている。都市再生水のうち、95%は中水管で、5%は散水車で利用地点まで輸送されている。都市化が進んでいる昆明市では、水不足に陥ることもあるため降水以外の水源として中水の利用拡大が図られており、特に、中水管も輸送用に設置され、下水処理場の放流水の再利用が図られていることは特筆すべき効果でもある。

３.３.１.２　　効果指標

審査時の計画では水質に関する目標は、放流水の生物学的酸素要求量（BOD）

[16] 設計能力は日最大処理量、下水処理量は年間の日平均処理量、施設稼働率は、日平均処理量を設計能力で割って算出した。

濃度のみであった。さらに、昆明市内の下水処理場では、放流水が国家基準[17]による 1 級 A の基準を満たすことが要求されているため、放流水の BOD 以外の指標についても国家基準と比較を行い、水質に関する効果の達成度を確認する。

第 1 から第 7 下水処理場における各指標（出口濃度）の推移について、下水処理場の整備が完了して以降、2011 年から 2016 年[18]の COD、懸濁物質（SS）、全窒素（T-N）濃度、全リン（T-P）濃度、水素イオン濃度指数（pH）、大腸菌群についても 1 級 A の基準を満たしている[19]ため、期待された効果は発現しているといえる。

経年の指標の推移について、以下の表 6 に、例として各下水処理場の BOD 濃度（入口・出口）と削減率を示す。事業実施前（2004 年）より入口濃度は増加しているが、ほぼ 100%に近い削減率となっており、また、全ての下水処理場において 1 級 A 基準の 10 mg/L の出口濃度を満たすことができている。

[17]「城鎮汚水処理場汚染物排放標準」（GB18918-2002）

[18] 2010 年内から追加された処理能力による下水処理が行われているが、実績値は 1 月～12 月の平均値で算出しているため、2011 年から 2016 年（事後評価時）の各指標の出口濃度が、1 級 A の基準値以下であることを本事業の目標達成とみなす。

[19] 2012 年の第 6 下水処理場の T-P 出口値は基準の 0.5 mg/L に対して、0.53 mg/L と、0.03 mg/L 基準値を上回った。実施機関によると、これは流入する下水の T-P 値に異常が生じたことによるものであった。平均は 10.4mg/L となっているが、異常時には最高 66.7mg/L に達していた。

表 6　本事業の下水処理場の BOD 濃度の推移　（単位：mg/L）

1 級 A 基準 出口濃度 10 mg/L 以下		基準値	実績値					
		2004 年	2011 年	2012 年	2013 年	2014 年	2015 年	2016 年
		審査年	処理場 整備完 工	事業 完成年	事業完 成 1 年後	事業完 成 2 年後	事業完 成 3 年後	事業完成 4 年後
第 1 下水処理場	入口	115.0	230.4	170.5	333.6	265.1	209.6	261.3
	出口	9.1	4.1	1.5	1.3	1.0	1.1	0.8
	削減率	91%	98%	99%	100%	100%	99%	100%
第 2 下水処理場	入口	83.9	121.9	107.4	114.3	99.7	161.6	122.1
	出口	9.8	2.0	1.3	1.2	0.9	1.3	1.0
	削減率	88%	98%	99%	99%	99%	99%	99%
第 3 下水処理場	入口	137.3	299.2	425.2	238.3	163.3	162.3	115.4
	出口	14.0	4.5	1.9	1.5	1.5	1.4	1.0
	削減率	90%	99%	100%	99%	99%	99%	99%
第 4 下水処理場	入口	135.9	93.5	85.1	130.8	130.1	193.0	180.9
	出口	4.7	1.5	1.5	1.5	1.4	1.7	1.0
	削減率	97%	98%	98%	99%	99%	99%	99%
第 5 下水処理場	入口	125.1	192.3	181.0	198.0	203.9	162.9	196.5
	出口	7.9	1.6	1.3	1.6	1.2	1.0	0.8
	削減率	94%	99%	99%	99%	99%	99%	100%
第 6 下水処理場	入口	114.5	441.9	251.9	193.2	177.0	150.4	161.1
	出口	7.5	1.7	2.0	1.2	1.1	1.1	1.0
	削減率	93%	100%	99%	99%	99%	99%	99%
第 7 下水処理場	入口	—	236.0	222.0	197.9	147.2	156.6	188.6
	出口	—	1.7	1.2	1.0	1.0	1.2	0.9
	削減率	—	99%	99%	99%	99%	99%	100%

出所：実施機関提供資料
注：審査時には、放流水質（BOD）目標値（事業完成 3 年後：2015 年）として、10mg/L 以下が設定されていた。
注 2：入口、出口濃度とも第三者機関による水質モニタリング装置によって毎日計測されている自動計測結果の年平均値。

以上から、昆明市の下水処理量、下水処理率は目標をほぼ達成しており、各処理場の処理量も期待以上の下水量を処理している。第 4 処理場以外は稼働率が 100%を超過しているが、突発的な流入量増に対してプロセスの簡易化等の負荷調整が問題なく行われている。下水処理後の放流水は 100%利用されている。また、効果指標も達成されているため、事業全体として定量的効果は発現していると判断できる。

3.3.2　定性的効果（その他の効果）

審査時、事業による定性的な効果は「昆明市の生活環境の改善」とされていたが、本事業のインパクトレベルに該当するため、「3.4 インパクト」の項目に統合する。

３.３.２.１ 研修による効果[20]

下水処理場の運営・維持管理者を対象とした訪日研修の参加者によると、研修で使用されたテキストの内容は、現在の運営・維持管理会社である昆明滇池投資有限責任公司や子会社のマニュアルにも取り入れられている。日本で視察した処理場の運営・維持管理方法、臭気コントロール、処理場内の整理整頓なども、処理場の設計や運営に取り入れられた。近年、運営・維持管理会社は、他省や近隣国での技術指導も行っており、訪日研修の経験も技術指導に活用されている。

日本での研修の視察で訪問した下水処理場では、視察や社会見学の受け入れも積極的に行われていたことから、第 7 下水処理場にも、日本の下水処理場を参考に見学用のコースが設けられた。事後評価時には、年間約 6,000 人の見学者があり、小中学校の社会見学、大学生の研究への協力、他都市からの視察への対応に活用されている。研修参加者によると、日本研修に参加してから、広報や環境教育をより重視するようになり、学校側からの要請を待つだけではなく、社会見学の実施を学校側に呼びかけているという。

以上から、昆明市の下水処理率、処理人口と普及率、各処理場の稼働率といった運用指標と、効果指標の放流水の水質効果の目標は達成され、有効性の発現状況は良好であるといえる。

３.４　インパクト

３.４.１　インパクトの発現状況

本事業では、「滇池の水質汚濁の低減」と、それによる「同地域住民の生活環境改善」がインパクトとされていた。これらについては、滇池の水質の変化と本事業の貢献を分析するとともに、受益者調査によって滇池等の環境や生活の変化について調査を行い、本事業によるインパクトの発現状況を確認した。

３.４.１.１　滇池の水質汚濁低減と本事業の貢献

(1) 滇池の水質汚濁低減

1986 年から劣 V 級であった滇池の水質は、2016 年に 30 年ぶりに V 類に改善された[21]。環境保護局の職員によると、滇池の富栄養化基準[22]は、6 段階のうち最悪である重度から、2016 年には中度、時々軽度に改善され、ほぼ全域で年間に 30 回あったバクテリアの繁殖も、時々の頻度で小さな面積の部分的な発生に改善されている。

[20] 研修報告書と参加者へのインタビューによる。参加者へのインタビューは、人事異動で対象者がみつからず、2 名のみへの実施となった。
[21] 2017 年 2 月 9 日「人民日報」に関連記事が掲載された。
[22] 中国環境保護部による基準、湖水の状態を COD_{Mn}、T-P、T-N、クロロフィル量等の数値を総合して、最悪の重度栄養、中度栄養、軽度栄養、富栄養、中栄養、貧栄養の 6 段階に分類している。

環境保護局の環境モニタリングセンターの担当者によると、このような改善の背景には、昆明市が「滇池流域水汚染対策計画」（2011 年～2015 年）に基づき、滇池周辺を保護区に指定して、住居や汚水排出源（農業、家畜、工業）を滇池周辺から郊外へ移転させ、滇池の船の航行や漁業を規制し、湿地の保護や周辺の緑化を進めたことがある。また、滇池の水の入れ替え頻度を 5 年から 8 年に一度から、2013 年 12 月から 3 年から 5 年に一度と、頻度を増やしたことも一因である。年間 5～6 億㎥/年の水を外から滇池に導入して水質の改善を図っており、これは富栄養化の改善（リン、窒素）に対する貢献要因となっている。担当者は、滇池の汚染源は主に都市部の生活排水（7 割）と農業面源汚染（3 割）で、汚染源の 7 割を占める生活排水が下水処理の普及によって直接、滇池に入らなくなったことが滇池の水質改善の最大の要因と説明した。

(2)　滇池の水質の変化

環境保護局観測ステーションから提供された、2006 年から 2015 年の滇池（草海[23]、外海[24]）の水質のデータに降水量による係数をかけて滇池に流入する汚濁負荷の変化について分析を行った[25]。

分析の結果、草海、外海とも全窒素（T-N）濃度、全リン（T-P）濃度、NH3-N 濃度に減少がみられた[26]。特に、市街地中心部から水が流れ込む草海では 2009 年ごろから著しい変化がみられた。2015 年には T-N 濃度は 2006 年比 39%、T-P 濃度は 2006 年比 14%、NH3-N 濃度は 2006 年比 12%の水準まで減少している。ただし、気候、微生物や藻類の成長により影響を受ける BOD、COD は、湖底の泥の中に長期にわたり微生物が存在していることがあり、期間中に有意な変化はみられなかった。

気候が安定している昆明市では、蒸散といった自然的な影響は小さいことから、上記の方法で調整された水質データ[27]は、主に、流入する汚濁負荷総量の変化を反映している。事業建設前と事業建設後（2011 年以降）における調整後のデータの変化を比較すると、この変化は人為的な要因によるもの、下水処理率の向上による影響と分析される。本事業は、処理場の完工時に（2011 年）に昆明市市街地から

[23] 市街地の水流が流れ込む滇池の北側部分。面積が狭い上、水深も浅いため、水質汚染がより深刻な部分であった。
[24] 滇池の南側部分。水深が 5～6 メートルで、滇池の面積の大部分を占めている。
[25] 年ごとの降水量の変化を考慮し、以下の数式を使用し、実際の水質の数値を調整した。調整係数 = Pi/ Pave　Pi は当該年の降水量，Pave は年間降水量の平均値、 調整後の水質数値 = 実際の測定値×調整係数で算出。
[26] 外海は面積や水量が草海の 100 倍と巨大で、市街地からの水流は草海に流入してから、間接的に入ってくることもあり、元の汚染負荷は草海より軽度で、経年の変化もあまりみられなかった。
[27] 一般的に、汚濁負荷濃度は流入する濃度だけではなく、貯水量とも直接かかわる。貯水量は、主に蒸発と降雨量の影響を受けるが、昆明市において過去 10 年間の温度変動率は年間 0.1 度程度で、蒸発率はほぼ変動しなかった。一方で降雨量は変化が大きかったため、提供された水質データに対して降雨量で調整を行うことで、水質データの推移を直接比較できるようにした。

排出される下水量の 100%の処理を開始しており、滇池の水質改善に大きな貢献をもたらしていると推測される。サンプルとして T-N 濃度の分析を図 2 に示す（その他の汚濁負荷のグラフは添付資料を参照）。

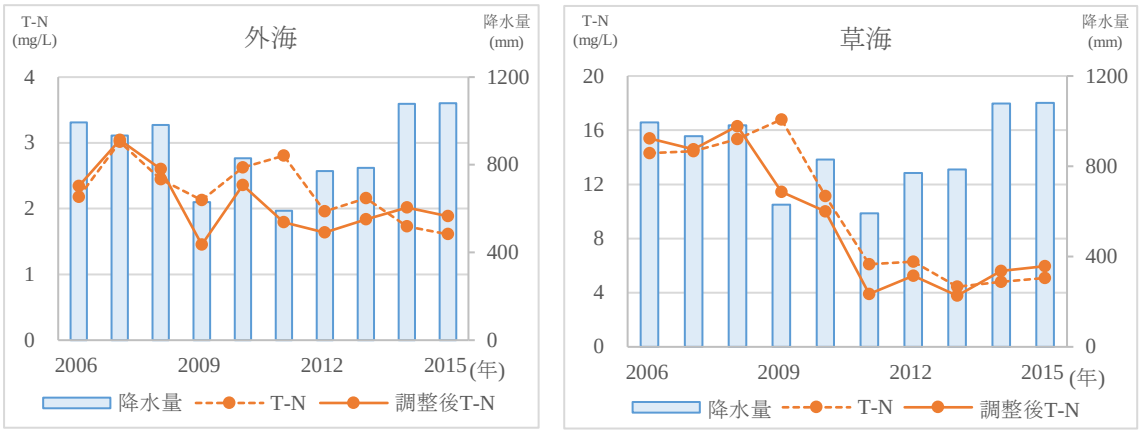


図 2　滇池（草海：左）、滇池（外海：右）の T-N 値の推移

(3)　昆明市街地の主要な汚濁負荷量と本事業による貢献

昆明市街地で発生し滇池に排出されている主要な汚濁負荷[28]（COD、T-N、T-P）の発生量と本事業（第 1～第 7 下水処理場による下水処理）による削減量、削減率について、市街地の汚濁負荷発生量調査が実施された 2010 年、2012 年の実績は表 7 のとおり。

昆明市街地の主要な汚濁負荷のうち、本事業による下水処理で 2010 年には COD は 81%、T-N は 61%、T-P は 74%が削減され、2012 年には COD は 83%、T-N は 69%、T-P は 78%が削減されており、本事業による水質汚濁負荷の削減への寄与は非常に大きいといえる。

[28] 昆明市街地は滇池に隣接し、汚濁負荷発生量は全て排水管網と市内を流れる河川を通じて滇池へ流入しているため、昆明市街地の発生量が滇池への流入量に等しいと考えられる。

表 7　昆明市街地で発生する主要な汚濁負荷と本事業の貢献

年	項目	COD	T-N	T-P
		t/年	t/年	t/年
基準値				
2005 年	昆明市市街地の発生量	41,986	9,810	927
実績値				
2010 年	昆明市市街地の発生量	87,192	14,803	1,497
	本事業による削減量	70,573	8,997	1,113
	本事業の削減割合	**81%**	**61%**	**74%**
2012 年	昆明市市街地の発生量	97,461	16,444	1,662
	本事業による削減量	81,011	11,322	1,302
	本事業の削減割合	**83%**	**69%**	**78%**

出所：実施機関提供資料
注：草海、外海別の実績値は提供されなかった。

３.４.１.２　市民の生活環境の改善

「市民の生活環境改善」について、本調査では受益者調査[29]（有効回答数 100）を行い、事業実施前（2006 年）と事後評価時の滇池の水質改善、環境改善の有無、下水処理サービスへの満足度を確認した[30]。

受益者調査の結果によると、10 年前（2006 年頃）と事後評価時の滇池や処理場からの放流水が排出されている河川の環境の変化について、水質、浮遊物、悪臭、景観、鳥類や魚類の生息、植物、衛生状態、排水環境について改善されたという回答は、それぞれ 95%を超えており、多くの住民が改善を認識しているといえる[31]。

改善の要因としては、半数以上の回答者が、排水、衛生管理、汚水の排出減となっていた工場への規制の厳格化を挙げている。下水管網の整備や下水処理場の建設については 43 人が環境改善の要因であると回答した。

事後評価時の下水処理サービスへの満足度への設問に対して 89%が満足と回答し、その理由について 55 人が「下水の詰まりや逆流が起きない」ことを挙げている。「大雨や洪水への対処」については、8 人が満足している理由として挙げている一方で 14 人が不満足な理由として回答しており、評価が分かれている。昆明滇池投資有限責任公司によると、市内中心部での下水管と雨水管の分流化の遅れがあることや、大雨の際の雨水の回収が課題となっているためであると説明があった。

[29] 本事業が実施された 7 処理場からの処理水が放流されている河川の放流地点周辺の住民と滇池周辺の住民を対象として質問票による受益者調査を行った。調査対象は、下水処理場の処理水が放流されている 6 河川の放流地点周辺の住民（56 人）と滇池周辺の住民（44 人）の合計 100 名とした。回答者の内訳は女性 37%、男性 63%、年代別の内訳は 20 代 25%、30 代 30%、40 代 22%、50 代 14%、60 代 7%、70 代以上 2%であった。

[30] 企業に対しても調査を行うことを想定していたが、1998 年に制定された滇池保護条例の段階的改正により汚濁物質の発生源となる企業への取り締まりが強化され、徐々に工場の移転が進められ、対象地域内に工場が存在しないため、受益者調査は住民のみを対象とした。また、2012 年に滇池周辺は環境保護区に制定され、住民の居住が制限されたことから、受益者のサンプルは下水処理場周辺の住民からもとることとした。

[31] 水質 98%、浮遊物 97%、悪臭 97%、景観 97%、鳥類や魚類の生息 95%、樹木や花等の植物 98%、衛生状態 95%、排水環境 95%

３.４.２　その他、正負のインパクト

３.４.２.１　自然環境へのインパクト[32]

(1)　事業実施中のモニタリング

審査時において、自然環境への重大な負のインパクトは想定されていなかった。本事業による下水処理場の改修・拡張・新設及び管網敷設工事中には、審査時の計画どおり、廃棄物処理、汚染水、騒音・振動について一日一度の頻度で行われた。市、区級の環境モニタリングセンターが毎月一度、下水の水質検査を行った。昆明滇池投資有限責任公司によると、建設工事は決められた環境保護基準を順守して行っており、特に問題はみられなかった。

(2)　事業完成後のモニタリングや周辺環境への配慮

全ての下水処理場では、下水の流入・放流口にとりつけられたモニタリング装置によって水中の汚濁負荷要因（COD、BOD、SS、T-N、T-P、pH 等）の濃度の数値が 24 時間体制で監視されている。この装置は環境モニタリングを専門とする第三者機関が管理しており、計測数値はオンラインで国家環境保護部に直接、送信されている。また、観測機器の精度を確認するため、サンプルが採取されて第 3 下水処理場内の実験室に運ばれ、専門のスタッフが毎日、流入・放流水の水質を検査している。

以前に下水処理場の周辺は農地であったが、事後評価時には、処理場の周囲まで住宅が建設されており、各下水処理場では、脱臭装置の設置や、ポンプ等を地下で稼働させるシステムにして騒音や振動を減らす配慮がされている。また、景観や環境への配慮のため、処理場内は公園のように緑化されている。

下水処理場から排出される汚泥は、処理場で含水率を 80％程度[33]にしたのち、処理場から搬出されて全量埋め立て処理されており、再利用はされていない。2018 年 6 月には汚泥処理センターが完成する見込みである[34]。

(3)　滇池のモニタリング

環境モニタリングセンターによる自動監視装置が設置されている 10 カ所の水質モニタリングポイントでは、水質モニタリング（8 基準）が通年行われている。この他に人工的なサンプル採取による水質検査も 1 カ月に一度、24 基準について行われている。滇池では夏期（4 月～10 月）は藻類が繁殖するため、富栄養化を招くバクテリアの発生の監視の目的で週に一度の頻度で水質検査が実施されている。これらのモニタリングの結果は、週・月報として国家環境保護部に報告されている。

---

[32] 本事業の環境影響調査報告書は 2005 年 8 月に国家環境保護総局に承認されている。
[33] 2010 年以前は含水率 83％、2010 年からは含水率 80％で排出している。
[34] 第 1 期（2018 年）500t/日、第 2 期（2020 年）700t/日、第 3 期（2020 年 12 月）1200t/日の処理が行われる計画である。

３.４.２.２　住民移転・用地取得

審査時には合計 35ha の用地が取得される計画であった。実際には、7%増となる計 37.5ha の取得となった。また、取得された用地は農地であったため、住民移転は発生せず、土地と作物に対する補償費用として昆明市の基準により 17,445 万元が支払われた。

３.４.２.３　その他正負のインパクト

下水処理場からの放流水は、処理後に市内の河川に放流され、最終的に滇池に流れている。本事業のインパクトは滇池の水質改善に設定されていたが、事業実施部門へのインタビュー、受益者調査の結果によると、周辺の河川の悪臭や濁りなども改善されたという回答があり、本事業による下水処理の効果も貢献があったと推測できる。

環境保護局によると、滇池の周辺は湿地、森林の保護対象となった。2016 年には、滇池の湿地の面積は 10 年前に比べて 3,600ha（5.4 万亩）拡大、植物の被覆率は 2004 年の 20%から 2015 年には 79%に増加した。鳥類が 124 種から 138 種に増加、魚は 23 種類となった。昆明市政府の農業部門からの報告によると、湿地や森林の保護により水土流出は 30%減少させることができている。

以上から、本事業の実施により計画どおりの効果の発現がみられ、有効性・インパクトは高い。

３.５　持続性（レーティング：③）

３.５.１　運営・維持管理の体制

滇池の水質問題に対処するため、昆明市は 1990 年に「滇池保護委員会」を設置していた。2004 年、委員会内に本事業の事務局となる「昆明市滇池北岸水環境総合治理工程建設管理局」が設置され、本事業の全体管理を担ってきた。事後評価時においても、滇池の環境保護に関する国内事業が継続して行われており、この体制は変わっていない。

本事業による下水処理場の改修・拡張・新設は、建設管理局の指導の下、昆明市の委託を受けた市内の国有企業（昆明市人民政府 100%出資）である「昆明滇池投資有限責任公司」が行い、完成した施設の運営・維持管理も市からの委託を受けて実施している。事後評価時においてもこの体制に変更はないが、下水処理場の運転は 2010 年に設立された子会社の「昆明滇池水務投資有限公司」（以下、「水務公司」という）と、管網とポンプ場の管理は「昆明排水施設管理有限責任公司」（以下、「排水公司」という）が行っている。子会社とは指示命令系統、各部署の役割分担も明確になっており、適切な管理体制が整備されている。

昆明滇池投資有限責任公司の人員数は表 8 のとおり。業務の拡大により大幅に技

術者の人員数が増えた。その中には、環境、水利、建築、給排水、生態環境の専門技術者の他、水質環境等の法規専門家も含まれている。

表 8　昆明滇池投資有限責任公司の人員数　（単位：人）

審査時の計画（2006年）					事後評価時（2016年）				
合計	技術者	運営	事務	会計	**合計**	技術者	運営	事務	会計
28	12	11	3	2	84	63	11	9	1

出所：昆明滇池投資有限責任公司

各下水処理場の人員は表 9 のとおり。昆明滇池投資有限責任公司によると、各下水処理場に下水処理場の運営・維持管理に係る技術者、モニタリングルームの管理者や施設の巡回担当、水質検査を行う技術者などの人員が十分に配置されている。第 2～第 6 下水処理場の人員数は審査時の計画より減っているが、人力で行っていた作業が自動化されたためで、運営・維持管理に支障は生じていない。

表 9　各下水処理場の生産管理部人員数　（単位：人）

	審査時の計画（2006年）					事後評価時（2016年）				
	合計	技術者	運営	事務	維持管理	**合計**	技術者	運営	事務	維持管理
第1下水処理場	30	4	2	2	22	31	4	2	2	23
第2下水処理場	32	4	2	2	24	30	4	2	2	22
第3下水処理場	42	6	2	2	32	38	5	2	2	29
第4下水処理場	30	4	2	2	22	24	3	1	2	18
第5下水処理場	32	4	2	2	24	26	4	2	2	18
第6下水処理場	31	5	2	2	22	29	4	1	2	22
第7下水処理場	—	—	—	—	—	24	4	2	1	17
合計	197	27	12	12	146	202	28	12	13	149

出所：実施機関提供資料

事後評価時の排水公司の施設管理の技術者は 255 人[35]で、本事業のアウトプット分を含む昆明市市街地中心部の管網 4300 ㎞、93 のポンプ場、17 カ所の雨水調整池の管理を行っている。昆明滇池投資有限責任公司、排水公司によると、管網やポンプ場の運営・維持管理の人員は、管理者、技術者など必要な人員が確保されている。以上から、運営・維持管理体制に問題はみられない。

３.５.２　運営・維持管理の技術

昆明滇池投資有限責任公司は、1980 年代から下水処理場の設計、運営・維持管理、改修・増設にかかわってきた経験を有する技術者がおり、子会社設立の際には、その技術者が異動し、新規採用者にも技術移転が行われた。毎年、社内の技術研修や、緊急事態発生時の対応訓練も行われている。下水処理場、管網やポンプ場の運営・

[35] 排水公司の正社員のうち、運営・維持管理を担う生産部門の技術者は 120 人（技師 42 人、高級技術者 32 人、中級 9 人、初級 37 人）。正社員の他、維持管理には市内の管網の清掃を行う労働者 200 人を雇用している。

維持管理をする技術者には専門の資格[36]が必要とされている。資格には有効期限があり、更新には定期的な研修・試験が必要とされているため、技術水準は維持されている。

水務公司の下水処理技術は、中国国内でも高い水準[37]にあり、視察の受け入れ、周辺省や隣国ラオスの下水処理場の技術指導、米国での共同技術研究、また合弁化等での他省や国外での下水処理場運営・維持管理の業務拡大も進めている。

以上を総括して、技術的な持続性に問題はみられない。

３.５.３　運営・維持管理の財務

下水処理場の運営・維持管理は市との業務委託（特許経営権）の契約によるもので、下水処理場の収入は下水使用料金からなる下水処理費と市の財政負担からなっている。2012 年以降の第 1～7 下水処理場全体の収支は表 10 のとおり。収支は、第 1～第 7 全体、個別の処理場とも徴収した下水処理費と市の財政負担分は運営・維持管理費を上回っている。

表 10　第 1～第 7 下水処理場の収支　（単位：万元）

		2012 年	2013 年	2014 年	2015 年	2016 年
支出	運営・維持管理費	18,230	22,503	25,707	27,187	26,165
収入	下水処理費	20,727	21,315	22,871	22,911	22,000
	市財政負担	38,680	39,035	43,295	47,185	46,730
収支		41,178	37,847	40,459	42,909	42,565

出所：実施機関提供資料

注：2016 年の数値は 9 月 30 日までの数値。

昆明市街地中心部の下水処理料金[38]は、審査時に 0.8 元/㎥であったが、2009 年には、住宅からの生活排水 1.00 元/㎥、行政、商業、工業等の排水 1.25 元/㎥に改定された。市政府から昆明滇池投資有限責任公司への下水処理事業委託は、2011 年から 2041 年までの 30 年間で、その間の下水処理費[39]1.58 元/㎥が市政府から保証されている。この金額の根拠は、2009 年末の処理場の規模に応じて処理費に加えた 10%の資産改修費として算出されたもので、昆明滇池投資有限責任公司によると運営・維持管理費として充足している。

以上から、運営・維持管理の財務面における持続性に問題はないといえる。

---

[36] 関連する技術資格には、下水処理技術師、水質化学実験技術、電気、エレベーター、ポンプ取り扱い等がある。

[37] 2013 年に第 3、第 7 下水処理場は省エネ性能と中水利用で全国の処理場 10 選に選定された。第 1 下水処理場は全国秀逸規格処理場、第 2、4、5、6 下水処理場は先駆的な処理場として表彰を受けている。

[38] 料金はプリペイド方式で水道料金と合わせて徴収されているため、徴収率はほぼ 100%となっている。

[39] 2017 年には物価の上昇を考慮した見直しが行われる見込みである。また、運営・維持管理に問題がなければ特許経営権の契約は更新される。

３.５.４　運営・維持管理の状況

本事業で整備された下水処理場の運営・維持管理状況について、運営・維持管理会社や技術者への聞き取りと現地踏査で確認を行った。

昆明滇池投資有限責任公司、子会社ともに、中央政府や昆明市による都市開発計画に基づき中期的な操業、運営・維持管理計画の見直しを行なっている。各下水処理場や管網については、市の下水道処理マスタープランに対応した管理計画が策定され、設備の更新・改修も行われている。事後評価時に、処理場の稼働率が 100%を超過しているが、実際の処理能力は計画能力から余裕が設けて建設されていること、また、緊急的な大雨により実際の処理能力が上回るような事態に対しても環境への問題なく全量の処理が行われているため問題は生じていない。さらに、2020 年までに 2 カ所の処理場が追加建設される計画となっており、稼働率も緩和される見込みである。

本事業で改修・拡張を行った既存の下水処理場（第 1～第 6）、新設の第 7 下水処理場とも、有効性の項目で述べたように事業計画に見合った量と国家基準に見合った水質への処理が続けられている。いずれの施設も場内の整理整頓が行き届いており、マニュアル、巡回記録、コントロールルームの管理記録が整備されている。

コントロールルームの技術者によると、運転時に発生する問題のうち、主なものは大雨の際に計画能力を超えた水量が流入することで、下水処理場は環境保護局の許可を受けたうえで、処理時間の短縮、処理方法の簡易化などの方法により一通りのプロセスを経て川へ排出する方法で環境に配慮しつつ対応できている。

下水処理場に流入する下水と放流水の水質は、外部機関によって設置された検査機器により 2 時間ごとにチェックされている。また、各処理場の水質サンプルを回収車が集め、第 3 下水処理場にある実験室において、手作業での検査が行われ、水質の二重チェックもされている。

第三者機関による水質モニタリング機器

第 7 下水処理場のコントロールルーム

下水処理場の設備は､ポンプや反応槽は年に一度分解点検と清掃､沈殿池は毎月、第 4 下水処理場の MBR 膜は毎週清掃する等、定期的な清掃と点検の頻度が決められ、実施されている。管網には、町中に捨てられたゴミが流れてくるので、下水管が詰まる危険性を避けるために、毎年、全長の 5 分の 1 にあたる 1,000km の清掃が行われている。

下水処理やポンプ場内には一部、外国製のポンプ等が導入されているが、パーツは全て国内の代理店で確保が可能であるため、入手に問題は生じていない。処理場やポンプ場の電源は確保されており、停電が発生した際には他発電所の送電経路に供給源を切り替えることで電源が確保される。

本事業により整備された施設は期待された機能が発揮できる状態に保たれており、その状態は持続する見込みである。よって、運営・維持管理状況は良好といえる。

以上より、本事業の運営・維持管理は体制、技術、財務、運営・維持管理の状況ともに問題なく、本事業において発現した効果の持続性は高い。

４．　結論及び提言・教訓

４.１　　結論

本事業は、雲南省昆明市の市街地中心部において、下水処理施設の整備を行うことにより、同地域の下水処理能力の向上を図り、滇池の水質汚濁低減を通じた同地域の生活環境改善に寄与することを目的としている。

本事業は中国の国家・省・市レベルの開発政策、開発ニーズ、審査時の日本の対中国援助政策と合致しており、妥当性は高い。下水処理率や処理水の水質といった主要な効果を示す指標は目標を達成しており、期待された効果は発現している。2016 年には、30 年来、水質基準で最も低い劣 V 級にとどまっていた滇池の水質が、下水処理能力の強化により、V 級に改善された。昆明市街地から滇池に排出される主要な汚濁負荷は、本事業の下水処理場の処理によって大きく削減されており、本事業による汚濁負荷の削減への寄与は非常に大きく、有効性・インパクトの達成度合いは高い。下水処理場の改修・拡張・新設、ポンプ場や管網の整備はほぼ計画どおりに行われ、事業費も計画内に収まったが、事業期間に大幅な遅延が生じており効率性は中程度となった。本事業によって発現した効果の持続性については、運営・維持管理主体の体制、技術、財務について問題はなく、持続性は高い。

以上より、本事業の評価は非常に高いといえる。

４.２　　提言

なし

４.３ 教訓

(1) 環境改善事業における関係部門の連携の必要性

1986 年から最悪の劣 V 類に分類されていた滇池の水質が、30 年ぶりに V 類に改善した。下水処理の促進によって滇池に流入する水の汚濁負荷が大きく軽減された一方で、昆明市滇池北岸水環境総合治理工程建設管理局、環境保護局、市政府が一体となった環境規制も有効であった。管理局は事務局レベルであるが、副市長が局長を兼任し、強いリーダーシップが発揮され、中国国内で通常は協力関係の構築が難しい環境部門からの全面的な協力も得られている。また、滇池の水質改善が国家重点事業とみなされたこともあり、昆明市による実効を伴う措置も適用され、滇池から船の航行、漁業の規制を行い、汚水排出源（農業、家畜、工業）や住居が滇池周辺から排除され、湿地の保護、周辺の緑化、滇池の湖水の入れ替えが進められている。環境改善のように包括的対策が求められる事業では、物理的な処理環境の整備とあわせ、環境負荷を削減する政策や措置などが必要となる。これらを総合的に実現するためには、環境保護、財政、農業や漁業、住宅等の関係部門等の連携体制づくり不可欠である。

(2) 中水の利用拡大の良好事例

都市化が進んでいる昆明市では、水不足に陥ることもあるため、降水以外の水源として中水の利用拡大が積極的に進められている。本事業による下水処理場の処理後の放流水は高度処理されたのち、98.6%は河川景観水として河川の浄化や悪臭防止に利用され、1.4%は都市再生水として、公園の緑化、道路清掃の散水、洗車やトイレの流水、工業用水に再利用されている。また、都市再生水量のうち 95%は中水用に建設された中水管網を使用して市内に輸送されている。中水管網の整備にはコストがかさむため、整備に消極的な自治体もあり、中水の再利用が進まない現状がある中、このような昆明市の事例は先駆的な例ともいえる。

以上

主要計画/実績比較

項　　目	計　　画	実　　績
①　アウトプット		
下水管網	下水管網 336 ㎞	下水管網 342.7㎞
	下水ポンプ場 9 カ所	下水ポンプ場 8カ所
下水処理場		
第 1 下水処理場	汚泥処理施設	計画どおり
第 2 下水処理場	凝集沈殿、汚泥処理施設	計画どおり
第 3 下水処理場	処理能力 6 万㎥/日の増強	計画どおり
	凝集沈殿、汚泥処理施設	
第 4 下水処理場	UV 施設改修	臭気除去施設の建設に変更
第 5 下水処理場	処理能力 9.5 万㎥/日増強	計画どおり
	凝集沈殿、汚泥処理施設	
	UV 施設改修	計画どおり
第 6 下水処理場	処理能力 8.0 万㎥/日の増強	
	凝集沈殿、汚泥処理施設	計画どおり
第 7 下水処理場	新規建設 20 万㎥/日	
研修	8 グループ　計 90 人	10グループ　計81人
②　期間	2006 年 6 月～2012 年 12 月 （79 カ月）	2006 年 6 月～2016 年 5 月 （120 カ月）
③　事業費		
外貨	25,222 百万円	19,114 百万円
内貨	27,759 百万円	24,706 百万円
	（2,026 百万元）	（1,654 百万元）
合計	52,981 百万円	43,820 百万円
うち円借款分	I: 12,700 百万円	I : 12,647 百万円
	II : 10,400 百万円	II : 6,647 百万円
換算レート	1 元 ＝ 13.7 円 （2005年9月時点）	1 元 ＝14.94 円 （2006年～2016年 実績の平均）
④　貸付完了	I : 2013年12月 /II : 2015年7月	

以上

添付資料　インパクト：滇池水質の推移

分析方法

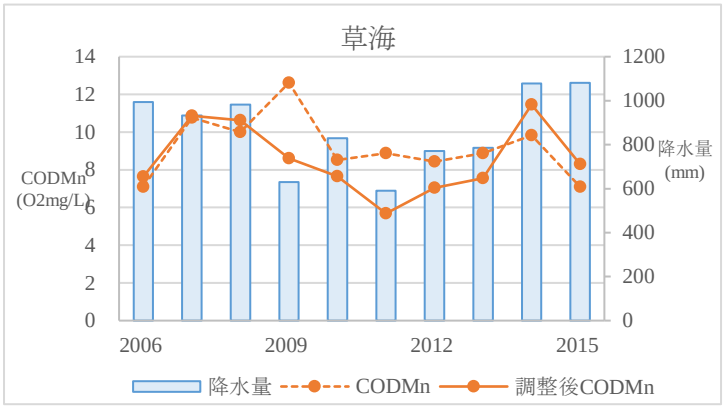
1）2006 年から 2015 年の滇池（草海、外海）の水質変化について分析を行った。主要な汚濁負荷（COD、BOD、T-N、T-P、NH3-N）濃度は、環境保護局観測ステーションから観測地点を総合し、平均濃度（草海、外海）として提供された。

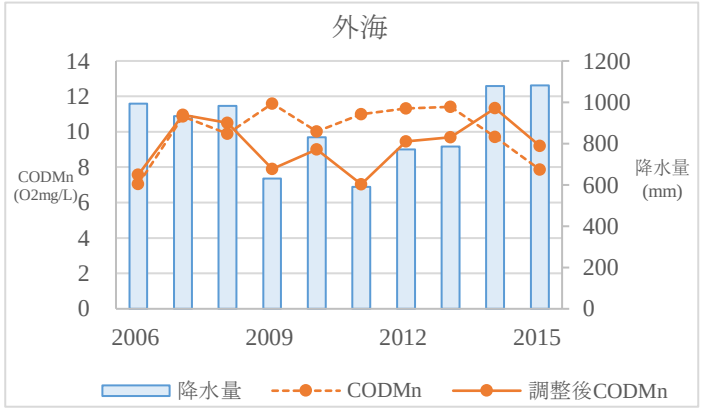
2）年ごとの降水量の変化を考慮し、以下の数式を使用し、実際の水質の数値を調整した

調整係数= P_i / P_{ave}　P_i は第 i 年の降水量，P_{ave} は年平均降水量

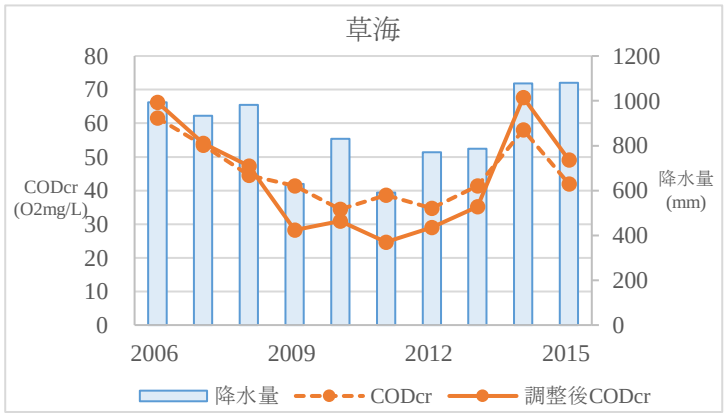
調整後の水質数値 ＝ 提供された数値×調整係数

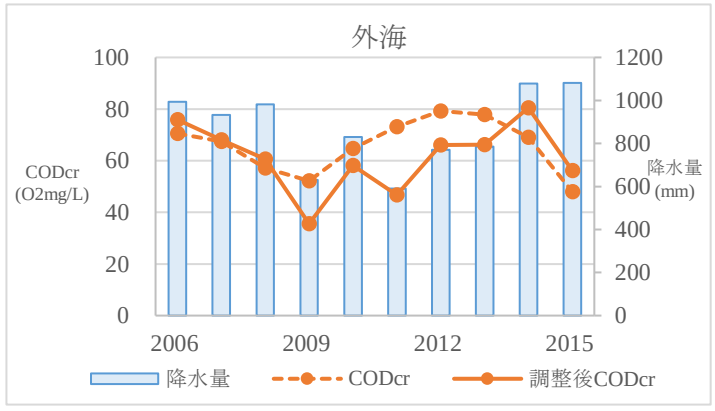
1.　化学的酸素要求量（COD_{Mn}）



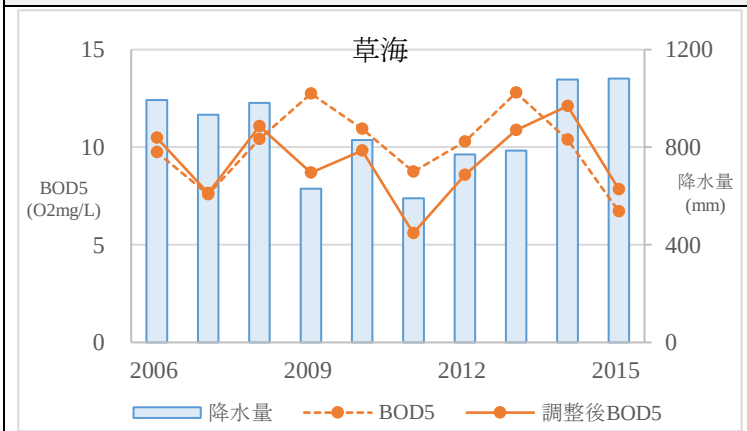


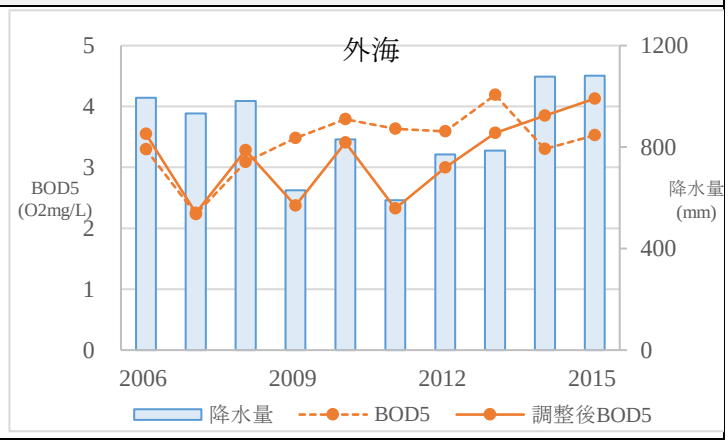
2. 化学的酸素要求量（CODcr）



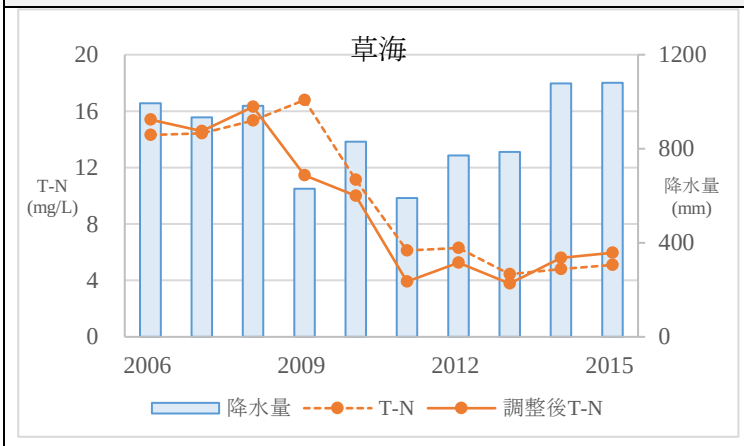


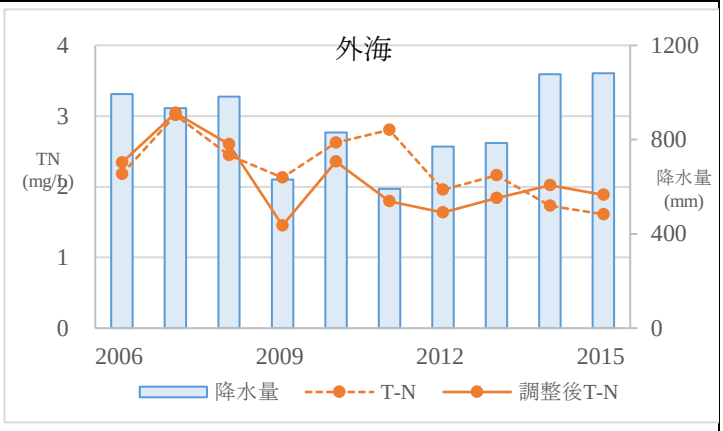
3. 生物的酸素要求量（BOD5）



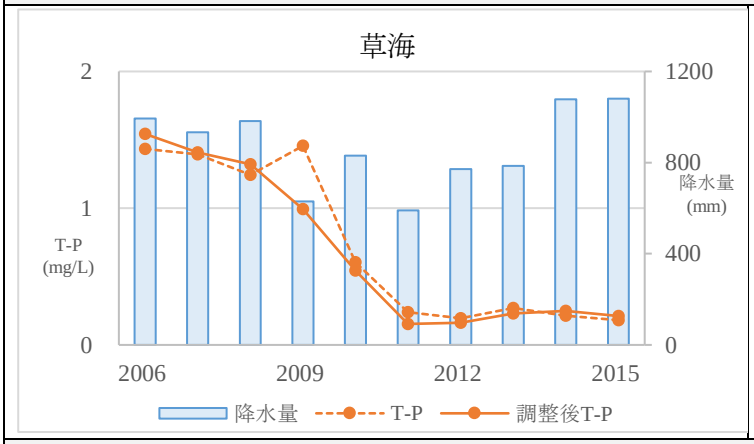


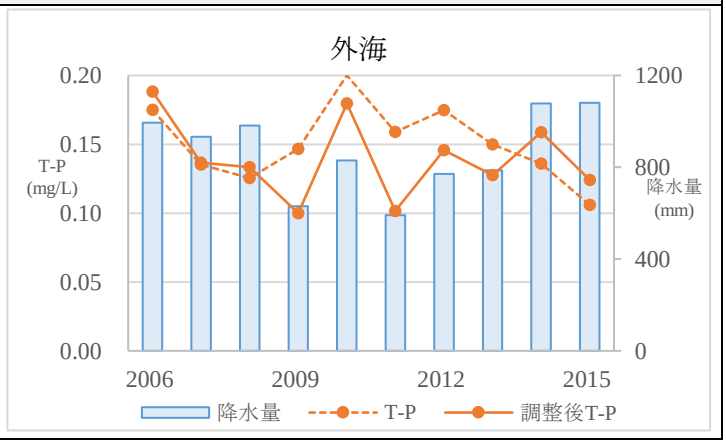
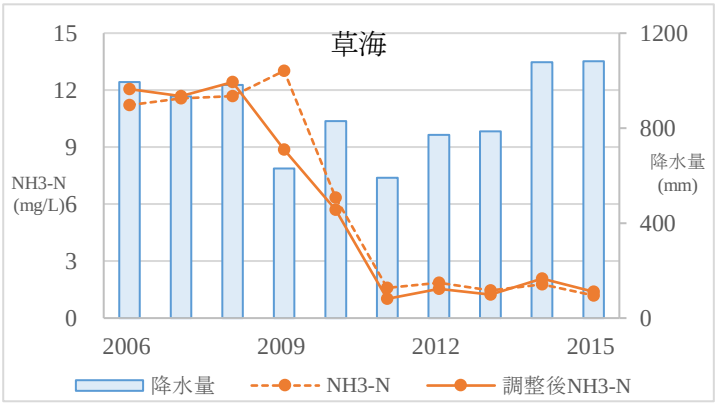
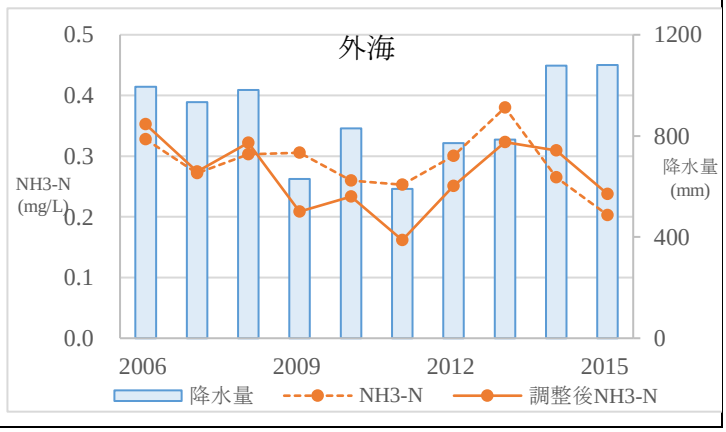
4. 全窒素（T-N）





5. 全リン（T-P）





6. アンモニア（NH3-N）