

イエメン国
水環境省 (MWE)
国家水資源公社 (NWRA)

イエメン国
水資源管理・地方給水改善計画調査
(水資源管理コンポーネント)
最終報告書
和文要約

平成 19 年 11 月
(2007)

独立行政法人
国際協力機構 (JICA)

委託先
株式会社地球システム科学
日本テクノ株式会社

環境

JR

07-064

イエメン国
水環境省 (MWE)
国家水資源公社 (NWRA)

イエメン国
水資源管理・地方給水改善計画調査
(水資源管理コンポーネント)
最終報告書
和文要約

平成 19 年 11 月
(2007)

独立行政法人
国際協力機構 (JICA)

委託先
株式会社地球システム科学
日本テクノ株式会社

本調査で適用した

換金レート

US\$1.00 = YER 180.88 = JP ¥123.00

July, 2007

序 文

日本国政府は、イエメン国政府の要請に基づき、イエメン国水資源管理・地方給水改善計画（水資源管理コンポーネント）に係る調査を実施することを決定し、独立行政法人国際協力機構がこの調査を実施いたしました。

当機構は、平成 19 年 2 月から平成 19 年 10 月まで、株式会社地球システム科学の山田浩由氏を団長とし、同株式会社地球システム科学及び日本テクノ株式会社から構成される調査団を現地に派遣いたしました。

調査団は、イエメン国政府関係者と協議を行うとともに、計画対象地域における現地調査を実施し、帰国後の国内作業を経て、ここに本報告書完成の運びとなりました。

この報告書が、本計画の推進に寄与するとともに、両国の友好・親善の一層の発展に役立つことを願うものです。

終わりに、調査にご協力とご支援を戴いた関係各位に対し、心より感謝申し上げます。

平成 19 年 11 月

独立行政法人国際協力機構

理事 松本 有幸

イエメン国水資源管理・地方給水改善計画調査(水資源管理コンポーネント) 伝 達 状

平成 19 年 11 月

独立行政法人国際協力機構
理事 松本 有幸 殿

イエメン国水資源管理・地方給水改善計画調査(水資源管理コンポーネント)の最終報告書をここに提出いたします。本報告書は、株式会社地球システム科学および日本テクノ株式会社から構成される共同企業体が、平成 19 年 1 月 30 日および平成 19 年 4 月 27 日に調印された貴機構との契約書に基づき作成したものです。

本調査では、イエメン国サナア流域における水資源、社会経済、組織・制度にかかる現況調査を実施し、危機的状況にある水資源の現状の緩和のために実施していくべきシナリオを、実施の可能性を考慮して提示いたしました。そして、これらの結果を踏まえて、シナリオの達成のために実施すべき行動を、サナア流域水資源管理行動計画として策定いたしました。

報告書は、要約、主報告書、付属報告書によって構成されています。要約には全調査結果の要点をまとめ、主報告書には、現況、危機的状況にある水資源を緩和するために実施すべき、実施の可能性を考慮したシナリオ、サナア流域水資源管理行動計画、結論および提言を記載しました。主報告書の内容の技術的な裏付けは付属報告書に取り纏めました。

最後に、調査団は外務省、在イエメン国日本大使館、国内支援委員会、貴機構、他ドナー、各 NGO さらにイエメン国の関係者の皆様のご支援に厚く感謝を申し上げますとともに、調査結果が危機的状況にあるサナア流域の水資源の解決に寄与し、さらに、これを機会として両国の友好関係がより深まることを祈念いたします。

イエメン国水資源管理・地方給水改善計画調査(水資源管理コンポーネント)

調査団長 山田 浩由

調査結果の概要

1. サナア流域における社会経済状況と水需要に基づいた将来シナリオ

イエメン国（以下、「イ国」）の首都が位置するサナア流域では、生活用水および灌漑用水の需要を補うために、深層地下水の開発が急激に増え続けている。その結果、地下水の年間涵養量と増加する水需要との慢性的なアンバランスによる水不足は加速している。

サナア流域は、2002年に内閣決議第344号により、5箇所の危機的状況にある流域の1つとして“水資源保護区域”に指定された。2003年には、国家水資源公社サナア支局(NWRA-SB)がサナア流域における水資源管理に係る活動の実施を目的として設立された。また、NWRAサナア支局を事務局とするサナア流域委員会(SBC)が水資源管理を実施する目的で組織された。1970年代以降、サナア流域では数多く包括的な調査が実施されてきたが、NWRAサナア支局は、効果的な水資源管理を行ううえで様々な困難に直面してきた。

かかる状況下、「イ国」政府は、既存データ・資料に基づいたサナア流域水資源管理行動計画の策定を行うための技術協力を日本国政府に要請した。

2. サナア流域における社会経済状況と水需要に基づいた将来シナリオ

(1) 将来の水収支

将来の水需要量は、269.3 MCM(2005年)から349.6 MCM(2020年)へと徐々に増加している。一方、循環地下水資源の量は年間50.7 MCMと推定されている。この循環地下水資源と水需要量の収支は、地下水涵養量が変化しないと仮定しても、2020年には298.9 MCMに達する。このことは、化石地下水資源は減少し続けることを意味している。利用可能な地下水資源量は、既存のデータによると5,212 MCMと推定されている。従って、水需要予測に従って水消費を継続した場合、利用可能な地下水資源の量は、図1に示すように2021年には需要を満たすことが出来なくなる。

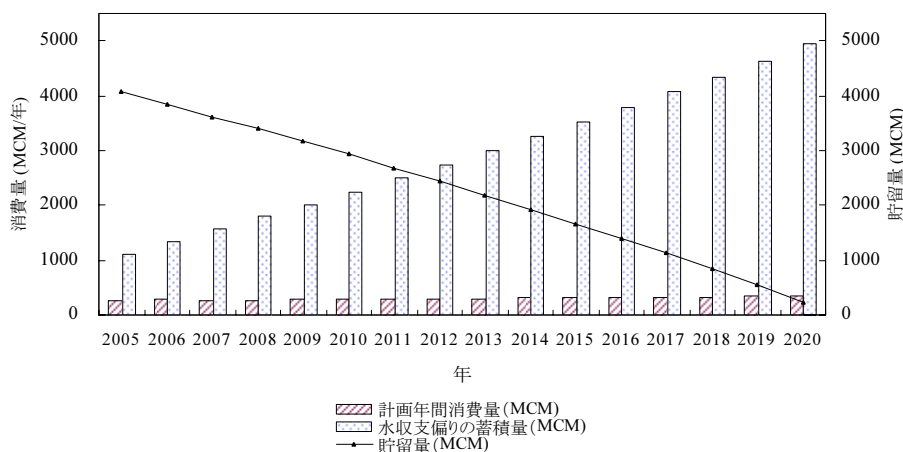


図1 水需要の増加に伴う利用可能な水資源の減少

(2) 将来のシナリオ

サナア流域内の水資源の持続可能性を維持するためには、全ての灌漑農業を完全に停止し、都市部における生活用水も現在の3分の2程度に減らす必要がある。しかしながら、地方部における経済活動は農業に依存していることを考慮すると、この水の削減は非現実的である。しかし、そう遠くない将来により効果的な手段にアプローチするための機会を失わないようにするためには、全ての利害関係者は、どんなに遅くとも2020年までには水消費量を十分に減らす必要がある。本調査においては、この観点に立って水需要の検討を行ない、水消費量の削減に向けた方向性を示すシナリオを検討した。2020年を目標年として検討したシナリオを、表1および図2に示す。これらの4つのシナリオは5つの水セクターの各シナリオを組み合わせで作成したものである。各シナリオの設定条件を以下に記す。

- ・シナリオ1： 各セクターにおける既存の計画の数値および調査団が設定した数値の中でも、水消費量の削減に対する貢献が最も小さい数値を採用したシナリオ
- ・シナリオ2： 総水消費量に占める割合が大きい都市給水と農業用水において、調査団が設定した数値を採用したシナリオ
- ・シナリオ3： 総水消費量に占める割合が大きい都市給水と農業用水に加え、工業用水と観光用水においても調査団の設定した数値を採用したシナリオ
- ・シナリオ4： シナリオ3において設定した数値に加え、農業用水消費量を、2020年以降に利用可能となる下水処理水の量である50MCMまで削減した場合のシナリオ

表 1 水需要シナリオ

	都市給水 (家庭及び施設)	家庭用地方給水	工業用水	観光用水	農業用水	総消費量 ^{*7)}
シナリオ 1	人口: 3,198,573 LPGR ^{*1)} 漏水率: 14.6 MCM (20%) ^{*2)} 給水原単位: 35 l/c/d ^{*3)}	人口: 437,532 ^{*5)} 給水原単位: 20 l/c/d ^{*5)}	自然増加率、 DPPR ^{*6)}	DPPRに基づく	2005年以降灌漑面積は拡大しない 灌漑効率 IE: 60% 現水需要: 83.68 MCM/年	232.3
MCM/年	73	3.2	9.5	7.1	139.5	
シナリオ 2	人口: 3,198,573 LPGR 漏水率: 10.3 MCM (15%) ^{*4)} 給水原単位: 35 l/c/d	人口: 437,532 給水原単位: 20 l/c/d	自然増加率、 DPPR	DPPRに基づく	2005年以降灌漑面積の拡大なし 灌漑効率 IE: 70% 現水需要: 83.68 MCM/year	208
MCM/年	68.7	3.2	9.5	7.1	119.5	
シナリオ 3	人口: 3,198,573 LPGR 漏水率: 10.3 MCM (15%) 給水原単位: 35 l/c/d	人口: 437,532 給水原単位: 20 l/c/d	2005年以降、流 域内の工業の成 長なし	2005年以降、流 域内の観光の成 長なし	2005年以降灌漑面積の拡大なし 灌漑効率 IE: 70% 現水需要: 83.68 MCM/year	196.6
MCM/年	68.7	3.2	4.8	0.4	119.5	
シナリオ 4	人口: 3,198,573 LPGR 漏水率: 10.3 MCM (15%) 給水原単位: 35 l/c/d	人口: 437,532 給水原単位: 20 l/c/d	2005年以降、流 域内の工業の成 長なし	2005年以降、流 域内の観光の成 長なし	灌漑面積を18,954 haから11,111 ha を縮小 7,843 haに高効率灌漑施設の設置	127.1
MCM/年	68.7	3.2	4.8	0.4	50	

- *1) LPGR: サナア給水・衛生プロジェクト(SWSSP)において設定された低人口増加率
- *2) 漏水率, SWSSP において 20%と設定されている
- *3) SWSSP において設定されたオプション 1, 最低限のオプションで全人口への給水が目的
- *4) 漏水率, 調査団が 15%と設定
- *5) 地方部における人口増加率 2.5%、および NWRA が設定した給水原単位 20 l/c/d
- *6) Socio-economic development plan for poverty reduction (DPPR, 2006-2010)に基づき算出
- *7) 給水網からの漏水及び農業での過剰揚水含む

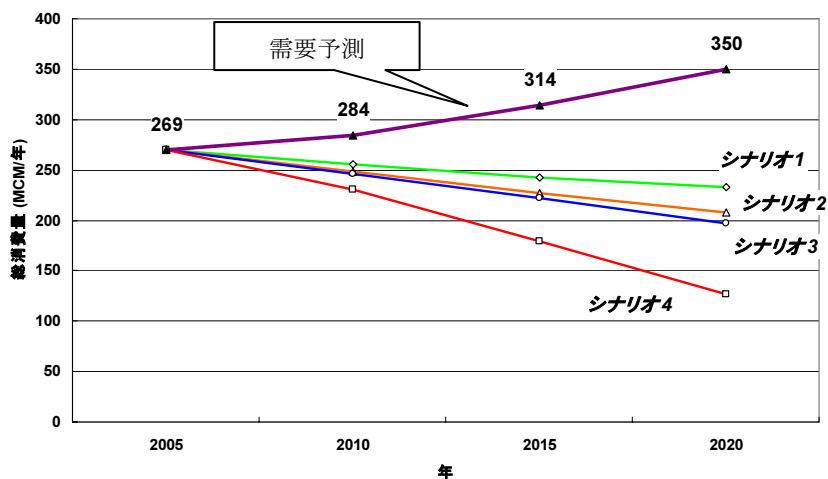


図 2 水需要シナリオ (2005 - 2020)

(3) 可能な限りの持続可能性に向けた将来のシナリオ

水資源の困難な状況を考慮して、水資源消費量削減を目指した4つのシナリオの評価を行った。その評価内容を以下に示す。

- ・ シナリオ 1：総水消費量に占める割合が最大である農業用水の灌漑効率を 60%と設定しているが、更なる効率の向上が可能である。また、都市給水においては漏水率を 20%と設定したが、やはり更なる漏水率の削減は可能である。したがって、更なる水消費量削減の可能性を有している。
- ・ シナリオ 2:総水消費量に占める割合が大きい農業用水と都市給水における水消費削減効果を可能な限り大きくなるよう設定しているが、工業用水と観光用水の削減を設定していない。したがって、更なる水消費量削減の可能性を有している。
- ・ シナリオ 3:農業用水と都市給水における水消費削減効果が可能な限り大きく設定していると同時に、工業用水と観光用水の増加の抑制を設定している。したがって、更なる水消費量削減のためには、経済活動へ大きな影響を及ぼすことが懸念される。
- ・ シナリオ 4：シナリオ 3 の設定条件に加え、農業用水における消費量を、2020 年以降利用可能となる下水処理水の量である 50 MCM まで削減している。しかしながら、現在の灌漑面積を 3 分の 1 まで減少させる必要があり、その結果として農産物が減少する。そのことにより、農業従事者の収入は減少し、農業経済への影響も懸念されるため、実現には非常に大きな困難を伴うことが想定される。

上述のように、シナリオ 1 および 2 は、更なる水消費削減の可能性を有している。また、シナリオ 4 の水消費削減量は最大であるが、農業経済への影響が懸念される。したがって、水消費削減策の実施可能性が高く、かつ水消費量の削減量が最大となるシナリオ 3 を、持続可能性に向けた将来のシナリオとして選定する。

シナリオ 3 の実行により、2020 年には年間 153 MCM の水の節約が可能となる。その結果、水資源が危機的状況に陥るまでの猶予期間は約 30 年後の 2036 年まで延長される。

灌漑効率の向上、都市給水における漏水率の軽減、下水処理水の灌漑用水としての再利用は、シナリオ 3 に従って 2020 年までに取り組むべき行動の中で、優先順位が高いものである。これらの行動は、水消費量の削減において大きく貢献するとともに、その実施も実現可能である。しかしながら、シナリオ 3 を全て実施した場合でも、貴重な水資源は 2037 年には非常に危機的な状況に陥ってしまうことを言及しておく。

3. 水資源管理行動計画

(1) 行動計画の内容

水資源の危機的状況の緩和および次世代の将来を確保するために、早急に実施すべき行動計画を策定した（表 2 参照）。行動計画は、先の章に記述した水資源の現状と将来の社会経済的シナリオを考慮したものである。水資源管理行動計画は、その効果の観点から、“行動

計画”および“より良い効果を得るために実施すべき行動”から構成される。前者は、シナリオ3、すなわち、2020年までに年間153MCMの水資源を節約するために、早急を実施すべき行動を提示しており、危機的状況にある水資源の減少の緩和に大きく貢献するものである。一方、後者は、“行動計画”の実施による効果をより高めることを可能にする行動を提示したものである。水資源の減少の緩和に貢献するが、現時点においてはその量を特定できない行動を提示したものであり、現状の把握から取り掛かることを第一の活動としている。

表 2 実施すべき行動

番号	サナア流域水資源管理行動計画の内容
行動計画	
1	灌漑用水の削減 (1) 近代型灌漑施設の有効性に関する農業従事者の認識の向上 (2) 農場の不拡大に関する農業従事者への理解促進 (3) 近代型灌漑施設の導入 (4) 地下水揚水量測定メーターの設置を伴う灌漑用水管理体制の導入 (5) 農業灌漑省灌漑総局およびNWRA サナア支局の灌漑担当の職員の能力向上 (6) 灌漑活動に関する補助金制度の見直し
2	都市給水における漏水の削減 (1) 都市給水における給水原単位の減少に関する水利用者の理解促進 (2) 漏水探知技術の向上 (3) 生産量と漏水向上活動の進捗状況のモニタリング
3	下水処理水の再利用の実現化 (1) 既存の下水処理場の能力向上および下水処理場の新規建設 (2) 下水処理水の配分計画 (3) デモンストレーションを通じた下水処理水の利用についての農業従事者の理解促進 (4) 水質のモニタリング
4	工業用水消費量の一定化 (1) 工場内で利用されている水源の台帳の作成 (2) サナア流域内での工業活動の不拡大に関する工場主への理解促進 (3) 工場における過剰な水利用の削減と工場内での再利用 (4) 水資源の現状を考慮した工業セクターの計画策定の準備
5	観光用水消費量の一定化 (1) 観光用水の水源に関するインベントリーの作成 (2) 水消費を増加させる活動の不拡張に関するホテル所有者への理解促進 (3) 水資源の現状を考慮したセクター開発計画の準備
6	制度開発 (1) 2002年水法施行規則の策定およびサナア流域水資源保護区域規則の制定 (2) 一般市民や政治指導者に対する水資源管理についての意識向上 (3) 伝統的・部族的システムへの配慮 (4) 地方行政・組織の分権化された枠組みの改善
7	組織開発 (1) NWRA サナア支局における、組織構造の整備、人材の開発、財務管理の改善、規制・モニタリング・システムの改善の実施 (2) 地方自治体の、流域レベルの水資源管理への関与の促進 (3) サナア流域委員会による、伝統的指導者や部族社会の水資源管理への参画の促進 (4) 水利用者協会(WUA)の水消費量の削減に関する意識の向上
より良い効果を得るために実施すべき行動	
1	地下水資源の汚染からの保護 (1) 工場からの排水に起因する汚染の管理 - 地下水汚染の原因となりうる地点のインベントリーの作成 - 工場、給油所、小規模商店の所有者の認識の向上 - 水法第54条の施行と行政規約の制定

	<ul style="list-style-type: none"> - 工場からの排水等の収集体制の準備 (2) 化学肥料や殺虫剤の過剰使用の管理
2	表流水の効果的な利用 <ul style="list-style-type: none"> (1) ウォーターハーヴェスティングの有効利用 <ul style="list-style-type: none"> - 既存のウォーターハーヴェスティング施設のインベントリー作成 - ウォーターハーヴェスティングの適切な利用に関する農業従事者の理解促進 (2) 涵養ダムと地下ダムに関する検討 <ul style="list-style-type: none"> - 現在進行している涵養の向上を目的とした活動のモニタリングと評価 - 涵養システムの適切な管理に向けた統合的アプローチの検討
3	サナア市における民間による給水の最適化 <ul style="list-style-type: none"> (1) 民間による給水の現状の把握とデータベースの構築 (2) 節水に関する民間給水従事者の認識向上 (3) モニタリングを目的としたメーターの導入
4	地域間およびセクター間における水資源の再配分 <ul style="list-style-type: none"> (1) 灌漑用水から都市給水への水資源の再配分 (2) 部族の所有地から他地域への水の移動および配管を通すことに関する部族の理解促進

(2) 行動計画の実施スケジュール

行動計画の実施スケジュールを表 3 に示す。実施スケジュールは、SBWMP と下水処理場の修復などの現行プロジェクトを考慮して作成したものである。そして、各活動の進捗状況や水資源等の現状を考慮して、NWRA サナア支局の主導のもと、他の関連組織と共に、スケジュールの再調整を行っていく必要がある。

表 3 行動計画実施スケジュール

行動計画		責任期間	状況*	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020		
1	灌漑用水の削減	(1)	MAI	SBWMP	////														
			行動計画		■■■■														
		(2)	MAI	Action plan		■■■■	■■■■	■■■■	■■■■	■■■■	■■■■	■■■■	■■■■	■■■■	■■■■	■■■■	■■■■	■■■■	■■■■
			MAI	SBWMP	////														
		(3)	MAI	行動計画			■■■■	■■■■	■■■■	■■■■	■■■■	■■■■	■■■■	■■■■	■■■■	■■■■	■■■■	■■■■	■■■■
			MAI	行動計画				■■■■	■■■■	■■■■	■■■■	■■■■	■■■■	■■■■	■■■■	■■■■	■■■■	■■■■	■■■■
(5)	MAI	SBWMP	////																
	MAI	行動計画			■■■■	■■■■	■■■■	■■■■	■■■■	■■■■	■■■■	■■■■	■■■■	■■■■	■■■■	■■■■	■■■■		
2	都市給水における漏水の削減	(1)	SWSLC	行動計画		■■■■													
		(2)	SWSLC	SWSLC	////														
			行動計画			■■■■	■■■■	■■■■	■■■■	■■■■	■■■■	■■■■	■■■■	■■■■	■■■■	■■■■	■■■■	■■■■	
(3)	NWRA-SB	行動計画																	
3	下水処理水の再利用の実現化	(1)	SWSLC	SWSLC	////														
			行動計画		■■■■	■■■■	■■■■	■■■■	■■■■	■■■■	■■■■	■■■■	■■■■	■■■■	■■■■	■■■■	■■■■	■■■■	
		(2)	SWSLC	SWSLC	////														
			行動計画			■■■■	■■■■												
(3)	MAI	行動計画						■■■■	■■■■	■■■■	■■■■	■■■■	■■■■	■■■■	■■■■	■■■■	■■■■		
(4)	NWRA-SB	行動計画													■■■■	■■■■	■■■■		
4	工業用水消費量の一定化	(1)	NWRA-SB	行動計画		■■■■													
		(2)	NWRA-SB	行動計画				■■■■	■■■■	■■■■	■■■■	■■■■	■■■■	■■■■	■■■■	■■■■	■■■■	■■■■	
		(3)	NWRA-SB	行動計画						■■■■	■■■■	■■■■	■■■■	■■■■	■■■■	■■■■	■■■■	■■■■	
		(4)	MoI	行動計画			■■■■												
5	観光用水消費量の一定化	(1)	NWRA-SB	行動計画		■■■■													
		(2)	NWRA-SB	行動計画				■■■■	■■■■	■■■■	■■■■	■■■■	■■■■	■■■■	■■■■	■■■■	■■■■	■■■■	
		(3)	MoT	行動計画			■■■■												
6	制度開発	(1)	NWRA-HQ	NWRA HQ	////														
			行動計画		■■■■	■■■■	■■■■	■■■■	■■■■	■■■■	■■■■	■■■■	■■■■	■■■■	■■■■	■■■■	■■■■	■■■■	
		(2)	NWRA-HQ	行動計画		■■■■	■■■■	■■■■	■■■■	■■■■	■■■■	■■■■	■■■■	■■■■	■■■■	■■■■	■■■■	■■■■	■■■■
		(3)	SBC	行動計画		■■■■	■■■■	■■■■	■■■■	■■■■	■■■■	■■■■	■■■■	■■■■	■■■■	■■■■	■■■■	■■■■	■■■■
(4)	SBC	行動計画		■■■■	■■■■	■■■■	■■■■	■■■■	■■■■	■■■■	■■■■	■■■■	■■■■	■■■■	■■■■	■■■■	■■■■		
7	組織開発	(1)	NWRA-SB	行動計画		■■■■	■■■■	■■■■	■■■■	■■■■	■■■■	■■■■	■■■■	■■■■	■■■■	■■■■	■■■■		
		(2)	SBC	行動計画			■■■■	■■■■	■■■■	■■■■	■■■■	■■■■	■■■■	■■■■	■■■■	■■■■	■■■■	■■■■	
		(3)	SBC	行動計画			■■■■	■■■■	■■■■	■■■■	■■■■	■■■■	■■■■	■■■■	■■■■	■■■■	■■■■	■■■■	
		(4)	NWRA-SB	SBWMP	////														
行動計画			■■■■	■■■■	■■■■	■■■■	■■■■	■■■■	■■■■	■■■■	■■■■	■■■■	■■■■	■■■■	■■■■	■■■■	■■■■		

*1): MAI: 農業・灌漑省
 SWSLC: サナア上下水道公社
 NWRA-HQ: 国家水資源公社 本局
 NWRA-SB: 国家水資源公社 サナア支局
 MoI: 工業省
 MoT: 観光省

*2): "SBWMP": サナア流域水管理プロジェクトにより実施中
 "SWSLC": サナア上下水道公社により実施中
 "Action Plan": 本行動計画における実施スケジュール

注記: 各活動における括弧内の数字は、表2における“行動計画”における数字に対応している。

目 次

序文

伝達状

調査結果の概要

目次

表一覧

図一覧

略語表

第1章 序 論

1.1	調査の背景	1 - 1
1.2	調査の目的	1 - 1
1.3	調査対象地域	1 - 1
1.4	調査実施体制	1 - 2

第2章 サナア流域における水資源および水利用現況

2.1	概要	2 - 1
2.2	水資源現況	2 - 1
2.2.1	表流水	2 - 1
2.2.2	地下水	2 - 2
2.2.3	下水処理水	2 - 2
2.2.4	サナア流域外の代替水源	2 - 3
2.3	水利用現況	2 - 4
2.3.1	生活用水	2 - 4
2.3.2	農業用水	2 - 5
2.3.3	工業用水	2 - 5
2.3.4	観光用水	2 - 5
2.4	水収支評価	2 - 6
2.4.1	サナア流域における水収支評価	2 - 6
2.4.2	支流域毎における水収支評価	2 - 6

第3章 行動計画策定における考慮事項

3.1	概要	3 - 1
3.2	行動計画策定における考慮事項	3 - 1
3.2.1	大量の灌漑用水消費量	3 - 1
3.2.2	都市給水における漏水	3 - 2
3.2.3	下水処理水の利用可能性	3 - 2
3.2.4	水資源の再配分	3 - 3
3.2.5	制度開発	3 - 3
3.2.6	組織開発	3 - 5
3.2.7	地下水資源の汚染	3 - 8
3.2.8	地表水の有効利用に対する検討の必要性	3 - 9

第4章 サナア流域における水資源および社会経済状況を考慮した将来のシナリオ

4.1	概論	4 - 1
4.2	将来水需要	4 - 1
4.2.1	サナア流域における人口予測	4 - 1
4.2.2	生活用水の水需要	4 - 2
4.2.3	農業用水の水需要	4 - 4
4.2.4	工業用水の水需要	4 - 5
4.2.5	観光用水の水需要	4 - 5
4.3	将来の水収支	4 - 6
4.4	将来のシナリオ	4 - 7
4.4.1	将来のシナリオ設定における基本方針	4 - 7
4.4.2	都市部における給水	4 - 9
4.4.3	地方部における生活用水	4 - 10
4.4.4	工業用水	4 - 10
4.4.5	観光用水	4 - 11
4.4.6	灌漑用水	4 - 11
4.5	可能な限りの持続可能性に向けた将来のシナリオ	4 - 13
4.5.1	各シナリオにおける地下水資源の利用可能期間	4 - 13
4.5.2	可能な限りの持続可能性に向けた将来のシナリオの選定	4 - 14

第5章 サナア流域水資源管理行動計画

5.1	行動計画の方向性	5 - 1
5.2	行動計画	5 - 2
5.2.1	灌漑用水の削減	5 - 2

5.2.2	都市給水における漏水の削減	5 - 6
5.2.3	下水処理水の再利用の確実な実行	5 - 8
5.2.4	工業用水消費量の抑制	5 - 10
5.2.5	観光用水消費量の抑制	5 - 11
5.2.6	制度開発	5 - 12
5.2.7	組織開発	5 - 17
5.3	行動計画に関する検討	5 - 22
5.4	行動計画の実施スケジュール	5 - 24
5.5	より良い効果を得るために実施すべき行動	5 - 27
5.5.1	地下水資源の汚染からの保護	5 - 27
5.5.2	表流水の有効利用	5 - 29
5.5.3	サナア市における民間による給水の最適化	5 - 31
5.5.4	地域間およびセクター間における水資源の再配分	5 - 32

第6章 結論と提言

6.1	結論	6 - 1
6.2	提言	6 - 1

表 一 覧 (和文要約)

第 2 章 サナア流域における水資源および水利用現況

表 2.1	代替水源一覧表-----	2 - 3
表 2.2	サナア流域における水収支 (2005) -----	2 - 6
表 2.3	支流域毎における水収支評価-----	2 - 6

第 4 章 サナア流域における水資源および社会経済状況を考慮した将来のシナリオ

表 4.1	シナリオ別サナア市人口予測-----	4 - 1
表 4.2	サナア流域内の県の人口予測-----	4 - 2
表 4.3	支流域における人口予測-----	4 - 2
表 4.4	都市給水における水需要-----	4 - 3
表 4.5	支流域毎の地方部における将来水需要-----	4 - 4
表 4.6	灌漑用水の水需要 (IE=40%) -----	4 - 4
表 4.7	工業用水の水需要-----	4 - 5
表 4.8	観光用水の需要予測結果-----	4 - 6
表 4.9	将来の水収支-----	4 - 6
表 4.10	水需要シナリオ-----	4 - 8
表 4.11	低人口増加率に基づく人口予測-----	4 - 9
表 4.12	都市給水におけるシナリオ-----	4 - 10
表 4.13	工業用水におけるシナリオ-----	4 - 11
表 4.14	観光用水におけるシナリオ-----	4 - 11
表 4.15	灌漑用水に関するシナリオ-----	4 - 12
表 4.16	各シナリオにおける水資源の期待できる利用可能期間-----	4 - 13

第 5 章 サナア流域水資源管理行動計画

表 5.1	実施すべき行動-----	5 - 1
表 5.2	灌漑用水の削減スケジュール-----	5 - 5
表 5.3	灌漑の水利用効率の向上に対する責務-----	5 - 6
表 5.4	SWSLC が運営している都市給水における 水利用効率の向上における責務-----	5 - 8
表 5.5	下水処理水の配分先として提案される支流域-----	5 - 9
表 5.6	下水処理水の再利用の確実な実行のための責務-----	5 - 10
表 5.7	工業用水消費量の抑制に関する責務-----	5 - 11

表 5.8	観光用水消費量の抑制における責務-----	5 - 12
表 5.9	行動計画における責任機関と活動の状況-----	5 - 23
表 5.10	行動計画実施スケジュール (1/2) -----	5 - 25
表 5.10	行動計画実施スケジュール (2/2) -----	5 - 26
表 5.11	地下水汚染管理における責務-----	5 - 28
表 5.12	化学肥料と殺虫剤の過剰な使用の管理における責務-----	5 - 29
表 5.13	ウォーターハーヴェスティングの有効利用に関する責務-----	5 - 30
表 5.14	ダム建設に関する責務-----	5 - 31
表 5.15	民間による給水の水利用効率の向上に関する責務-----	5 - 32
表 5.16	都市給水への水資源の再配分に関する責務-----	5 - 33

図 一 覧 (和文要約)

第 1 章 序 論

図 1.1	調査対象地域-----	1 - 3
-------	-------------	-------

第 2 章 サナア流域における水資源および水利用現況

図 2.1	検討代替水源位置図-----	2 - 3
-------	----------------	-------

第 4 章 サナア流域における水資源および社会経済状況を考慮した将来のシナリオ

図 4.1	水需要の増加に伴う利用可能な水資源の減少-----	4 - 7
図 4.2	水需要シナリオ (2005 - 2020) -----	4 - 9
図 4.3	期待できる地下水資源の利用期間 (涵養量を考慮) -----	4 - 14
図 4.4	期待できる地下水資源の利用期間 (涵養量と下水処理水を考慮) -----	4 - 14
図 4.5	シナリオ 3 における期待できる地下水資源の利用可能期間-----	4 - 16

第 5 章 サナア流域水資源管理行動計画

図 5.1	灌漑用水の削減シナリオ-----	5 - 3
-------	------------------	-------

ABBREVIATIONS

DPPR	(The third Socio-Economic) Development Plan for Poverty Reduction (貧困削減開発計画)
EPA	Environmental Protection Agency (環境保護局)
ETa	Actual Evapotranspiration (実蒸発散量)
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations (国連食料農業機関)
GARWSP	General Authority for Rural Water Supply Projects (地方給水プロジェクト総局)
GDI	General Directorate of Irrigation (灌漑総局)
GVP	Gross Value of Production (総産出額)
HWC	High Water Council (最高水審議会)
IPAC	Information and Public Awareness Campaign (情報・意識向上プログラム)
IWRM	Integrated Water Resources Management (統合的水資源管理)
IWRM-SB	Integrated Water Resources Management for Sana'a Basin (サナア流域統合的水資源管理)
JICA	Japan International Cooperation Agency (独立行政法人国際協力機構)
MAF	Ministry of Agriculture and Fisheries (農業水産省)
MAI	Ministry of Agriculture and Irrigation (農業灌漑省)
MCM	Million Cubic Meters (百万 m ³)
MDGs	Millennium Development Goals (ミレニアム開発目標)
MWE	Ministry of Water and Environment (水灌漑省)
NO ₃	Nitrate (硝酸塩)
NRW	Non-Revenue Water (無収水)
NWP	National Water Policy (国家水政策)
NWRA	National Water Resources Authority (国家水資源公社)
NWRA-SB	National Water Resources Authority Sana'a Branch (国家水資源公社サナア支局)
NWS	National Water Strategy (国家水戦略)
NWSA	National Water and Sanitation Authority (国家給水・衛生公社)
NWSSIP	National Water Sector Strategy and Investment Program (国家水セクター戦略・投資プログラム)
SAWAS	Sources for Sana'a Water Supply (サナア市給水水資源調査)
SBC	Sana'a Basin Commission (サナア流域委員会)
SBWMP	Sana'a Basin Water Management Project (サナア水管理プロジェクト)
SBWRM-PPT	Sana'a Basin Water Resources Management Study (サナア水資源管理スタディー)
SWSLC	Sana'a Water Supply and Sanitation Local Corporation (サナア市上下水道公社)
SWSSP	Sana'a Water Supply and Sanitation Projects (サナア給水・衛生プロジェクト)
WEC	Sana'a University Water and Environment Centre (サナア大学水環境センター)

WHO	World Health Organization (世界保健機関)
WUA	Water User Association (水利用者組合)
WUG	Water User Group (水利用者グループ)
WWTP	Wastewater Treatment Plant (下水処理場)

第1章 序 論

1.1 調査の背景

イエメン国(以下、「イ国」)の首都が位置するサナア流域では年間降水量は非常に少ない。それ故に、増え続ける生活用水および農業用水の需要を補うために深層地下水の開発が行なわれ、掘削技術の発展と共に開発量は急激に増加している。その結果、水不足の状況は悪化し、地下水の年間涵養量と増加する水需要との間の慢性的な不均衡により、更に加速している。

「イ国」政府は、国全体における深刻な水問題を緩和するために、2002年に水法(後2006年に改定)を制定し、水環境省を設立した。その後、2002年の内閣決議において、5箇所の危機的状況にある流域の1つとして、サナア流域が水資源保護区域として指定された。

国家水資源公社(NWRA)は、流域委員会の設置および水資源管理計画の策定と実施を任命された。それを受け、2003年にはNWRAサナア支局が、サナア流域における水資源管理に関する活動の実施を目的として設立された。また、NWRAサナア支局を事務局とするサナア流域委員会(SBC)が水資源管理を実施する目的で組織された。

サナア流域では、1970年代から数多く包括的な調査が実施されており、2003年には水資源管理プロジェクトが開始された。しかしながら、NWRAサナア支局は、効果的な水資源管理を行ううえでの様々な困難に直面してきた。

このような状況下、「イ国」政府は、既存データ・資料に基づいたサナア流域水資源管理行動計画の策定を行うための技術協力を日本国政府に要請した。

1.2 調査の目的

本調査の目的を以下に示す。

- (1) 既存データ・資料に基づき、サナア流域水資源管理行動計画を策定する。
- (2) カウンターパートの本調査への参加を通して、水資源管理の計画策定に関わる技術ならびに知識の移転を行なう。

1.3 調査対象地域

サナア流域は22の支流域から構成され、サナア州全16州の内7郡の一部および全域、そしてサナア市が流域内に位置する。図1.1に調査対象地域を示す。

1.4 調査実施体制

本調査は、独立行政法人 国際協力機構と業務委託契約を締結した株式会社地球システム科学および日本テクノ株式会社から構成される共同企業体、およびイエメン国国家水資源公社 (NWRA) から任命されたカウンターパートスタッフにより実施された。

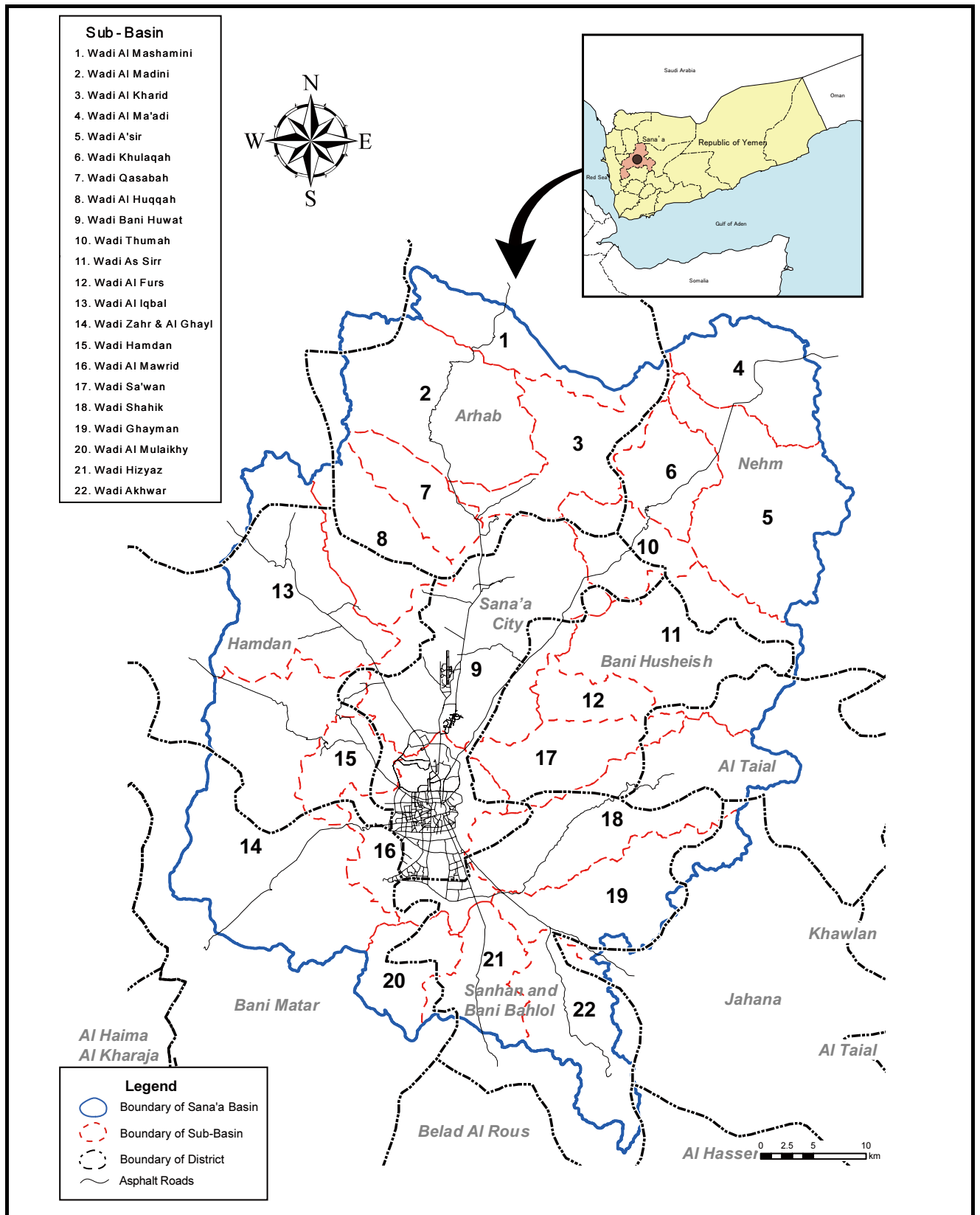


図 1.1 調査対象地域

イエメン国水資源管理・地方給水改善計画調査（水資源管理コンポーネント）

JICA

第2章 サナア流域における水資源および水利用現況

2.1 概要

本章では、水資源の利用の可能性について把握することを目的として、既に危機的状況にあると認知されているサナア流域の水資源の現況ならびに水利用の現況について述べる。

2.2 水資源現況

2.2.1 表流水

(1) 気象

サナア流域の月平均気温は、1989年から1997年間のNWRA-A気象観測所で観測記録によると、15から25℃の範囲にある。平均最高気温は29.5℃、平均最低気温は8.8℃が観測され、年平均気温は17.7℃となっている。

同観測所にて1989年から2004年間の観測された年間降水量は110から300mmの範囲にあり、1998年には341mmの最高年間降水量が観測された。雨季は、通常3月から5月および7月から9月である。サナア流域北東部の降水量は年間2,000mm以下であり、中央平野部では200から250mmの範囲にある。南西部の山岳地帯では年間降水量は300mm以上に達する。

Penman法を用いて算出されたサナア流域内の平均年間蒸発可能量は2,000mmであり(Robertson, 1990)、気象データを基に算出された年間蒸発散量は2,475mmである。(SAWAS, 1995)。また、衛星画像の解析結果によると、2004年7月1日から2005年6月30日の1年間の実蒸発散量は113.1MCMとされている(GAF, 2007)。

(2) 流出量

ワジからの流出量観測は行われていないが、既存調査において、2種類の方法により流出量の検討が行われている。

第一の方法は、イエメン国内の主要なワジにおける水文観測により得られた流出係数を用いる方法である。イエメンのワジにおける平均流出係数としては、いくつかの水系の流量観測結果から0.055が提案されており、サナア流域の年間流出量は約40.9MCMと算出されている(WRAY-35, 1995)。

第二の方法は、経験モデルを用いるSCS法(U.S. Soil Conservation Service)を用いた算定方法である。本算定方法により構築した降雨-流出モデルを用いて算出された、サナア流域の年間流出量は27.0MCMとなっている(TS-HWC Vol. III, 1992)。

(3) 表流水の利用状況

サナア流域内の表流水は、44 箇所の地表ダム、24 箇所の貯水池および 145 箇所の湧水を通して、地下水涵養、農業用水および生活用水を目的として利用されている。

ほとんどのダムは地下水涵養を目的として建設されているが、内 15 施設は灌漑用としても利用されており、3 施設は生活用水にも利用されている。また、15 施設は、村民が建設した小規模貯水池であり、主に農業用に利用されている。これらのダムからの年間水利用量は 24 MCM となっている。

湧水については、全 145 地点の内 51 地点 (35%) が灌漑用として利用されており、43 地点 (30%) が家畜用、そして 49 地点 (34%) が生活用として利用されている。湧水の年間湧出量は、6 から 9 MCM と推定される。

(4) 表流水のポテンシャル

年間流出量は、検討方法により 27 MCM から 40.9 MCM と算定されている。一方、表流水の年間利用量は、ダムによる利用量が 24 MCM、湧水の利用量が 6 から 9 MCM となっており、既に 75%以上の表流水資源が利用されている結果となる。従って、サナア流域では、表流水の新規開発のためのポテンシャルは小さいといえる。

2.2.2 地下水

(1) 涵養量

既往調査で用いられている地下水涵養量の推定方法は、ダルシーの法則を適用した方法と、涵養係数を適用した方法の 2 種類に分類される。

本調査では、支流域をベースとした水資源管理を検討するとの観点から、支流域毎に涵養係数を用いて年間涵養量を検討した最新の結果である 50.7 MCM を採用した。(Norman and Mulat, 2007)。

(2) 地下水貯留量

TS-HWC(1992)によると、サナア流域内の地下水貯留量および利用可能量は、それぞれ 6,047 MCM と 3,221 MCM と推定されている。その後、WEC(2001)が最新の地下水位データを用いて支流域毎に再検討を行い、サナア流域における地下水貯留量および利用可能量をそれぞれ 10,424 MCM と 5,212 MCM と推定した。本調査においては、最新の推定利用可能量である 5,212 MCM を採用した。

2.2.3 下水処理水

サナア下水処理場 (WWTP : Sana' a Wastewater Treatment Plant) はサナア国際空港に隣

接している。計画処理能力は 50,000 m³/日であり、2006 年には 16 MCM (44,000 m³/日)の下水が処理された。しかし、処理場への流入水の BOD5 値が計画基準以上であることから、現況では下水の適切な処理は行われておらず、下水処理水を利用可能な水資源として期待することは出来ない。

2.2.4 サナア流域外の代替水源

サナア流域における水資源の減少が明らかになって依頼、サナア市への水供給を目的としたサナア流域外における代替水源の検討が行われてきた。代替水源の候補地を図 2.1 に、既往調査による検討結果を表 2.1 にそれぞれ示す。

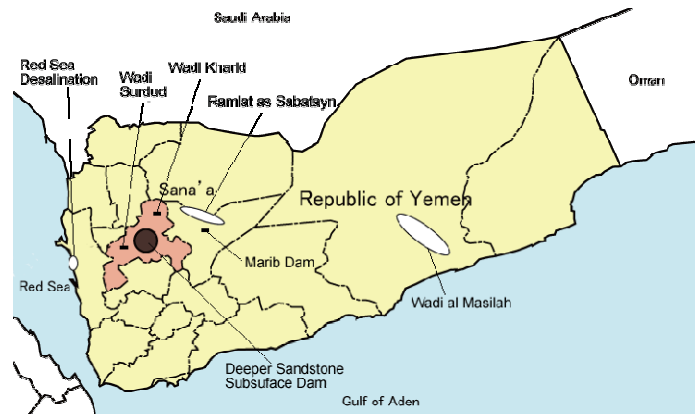


図 2.1 検討代替水源位置図

表 2.1 代替水源一覧表

代替水源案	生産能力 ^{*1}	建設費	継続経費	水の単価		費用/ 公共 ^{*3}	実現可能性に対する評価			制限
	litter/sec	Million US\$	Million US\$	US\$/m ³ ^{*1}	YR/m ³ ^{*2}		水源	導水 システム	保護 区域	
1 Wadi Kharid Dam	250	87.2	10.68	1.32	145	5.6	良好	複雑	はい	-ワジ沿いの可能水利用量の減少。ダムの水利用は2つの部族間により争われることが知られている。
2 Wadi Surdud Dam	500	230.6	32.62	2.03	223	8.7	複雑	複雑	はい	-Tihama 地域の地下水涵養に影響を及ぼす。
3 Diversion from Mareb Dam	500	284.4	37.58	2.33	256	10	複雑	複雑	いいえ	-Mareb 地域の農民による猛反発が期待される。 -下流域の灌漑用水の需要を満たさない。
4 Deeper Pre-Jurassic Sandstone	100	60.3	7.68	2.41	265	10.4	普通	複雑	はい	-住民間に拡大する水資源の枯渇に対する恐れ。
5 Desalination (Red Sea)	500	902.9	124.28	7.63	839	32.9	良好	複雑	n. a.	- 比高 2,700m、距離 150km からの導水となる。
6 Ramlat as Sabatayn Area	NWRA による F/S 実施検討中						-	-	-	
7 Wadi Al Masilah, Hadramawt	検討のみ						-	-	-	-直線距離にして約 700km からの導水

注: *1) SAWAS Technical Report No.14, 費用は 1996 年 4 月の値段に基づく

*2) 1996 年の交換レート 110YR/US\$に基づく

*3) 公共: 1998 年における公共水道料金 25.5 YR/m³

これらの代替水源による可能生産量は年間約 58 MCM であり、2005 年におけるサナア市の水使用量である 54.2 MCM を賄うことは可能である。しかしながら、水需要予測結果である

2020年の需要 78.6MCM を賄うためには、サナア流域内および流域外の両方の水資源を使用する必要がある。

これらの代替水源による水道料金は、流域内の地下水・表流水を水源とした公共水道料金より 5.6 から 10.4 倍も高くなる。更に、紅海沿岸における塩水淡水化による給水による水道料金は、32 倍以上も高くなる。

従って、これら代替水源を利用した給水の実施は、それに伴う社会および環境への影響が軽減されても、受益者による維持管理費の負担という観点からは、国家財政による多大な補助が得られない限りは、非常に困難であると判断できる。

NWRA はサナア流域外での地下水開発を Ramlat as Sabatayn 地区と Wadi Al Masilah, Hadramawt の 2 地区に地下水開発の実現可能性に対する調査を計画中である。しかし、この 2 つの代替水源計画経済面からの観点から、実施可能性はかなり低いと言える。

これらの代替水源計画は経済面での問題点を解決しない限り、サナア市への給水問題の解決策とはなりえない。

2.3 水利用現況

2.3.1 生活用水

(1) 都市給水

サナア市の給水は、サナア市上下水道公社 (SWSLC : Sana' a Water and Sanitation Local Corporation) が運営し、その水源は 3 つの井戸群にある約 80 本の井戸から汲み上げられる地下水である。1998 年から 2006 年にかけて水の生産量は 26%増加し、井戸本数は 39%増加した。

2005 年では都市給水網に接続されている人口 67 万人に対して、水の総生産量は 24.4 MCM であり、その使用量は 12.5 MCM であった。給水原単位は 50.8 l/c/d であった。

都市人口の約 117 万人は都市給水網に接続されておらず、民営給水網、タンカー等からなる個人所有水源からの民営給水に頼っている。2005 年における民営給水からの生活用水の使用量は 29.9 MCM と推定される。

(2) 地方給水

地方部での生活用水の消費量は、給水原単位 20 l/c/d、2004 年に実施された国勢調査結果を基に人口増加率 2.5%を採用し、支流域毎に推定した。その結果、地方給水によるサナア流域の総水利用量は 2005 年と 2006 年ではそれぞれ 2.2 MCM と 2.3 MCM となった。

国家水セクター戦略・投資プログラム (NWSSIP 2005-2009 : National Water Sector Strategy and Investment Program) によれば、イエメン全土における地方部の人口の安全な水へのアクセス率は25%のみとなっている。本比率をサナア流域に適用した場合、2005年では安全な水にアクセスがある地方部の人口は75,526人となり、地方給水で利用された水の量は0.6 MCMであると推定される。

2.3.2 農業用水

サナア流域における主な灌漑方法としては畝間灌漑および小規模水盤灌漑が用いられており、送水方法としては鉄およびプラスチックパイプまたは水路による。パイプからは多くの漏水がみられ、水路からは浸透、蒸発、流出による水の損失が多いため、灌漑効率は低く、30~40%の範囲にある (Ministry of Water and Environment, 2006)。

本調査では、2004/2005年の衛星画像解析を用いて、作付けパターンと作物の実蒸発散量から水利用量を推定した既往調査の再検討を行った結果、サナア流域の作付面積19,000 haに対し、灌漑効率を40%として推定した農業水利用量は209.2 MCMであった。

2.3.3 工業用水

本調査では、既往調査による総産出額 (GVP: Gross Value of Production) と総必要水量法 (Gross Water Requirement Method) を取り入れた代案法を基に工業水利用量の推定を行った。

製造業および鉱業・砕石業からなる2005年におけるサナア流域の工業水利用量は4.76 MCMとなった。

2.3.4 観光用水

既往調査では、今までに、観光セクターにおける水利用量の検討は行われていない。従って、本調査では、ホテルの等級およびベッド数を用いて、水利用量を推定した。

推定条件としては、サナア州およびサナア市の全ホテルはすべてサナア流域内に位置し、ベッド使用率は聞き取り結果から、40%とした。また、給水原単位は、既存データが無いため、ヨルダンでの調査結果および聞き取りに基づいて、ホテルの等級別に、次のように設定した。5から4星ホテルでは350l/c/d、3から1星ホテルでは180l/c/d、そして、その他のホテルは120l/c/dを採用した。推定の結果、2005年におけるホテルの水利用量は0.36 MCMとなった。

2.4 水収支評価

2.4.1 サナア流域における水収支評価

本調査では既往調査結果を基に流域内の水収支計算を行った結果、表 2.2 に示すとおり、2005 年における涵養量に対し、その 6 倍近い水が揚水されている結果となっている。

表 2.2 サナア流域における水収支(2005)

都市給水*		地方給水	灌漑	工業	観光	合計	涵養量	収支
公共	民営							
24.3	29.9	0.6	209.2	4.76	0.36	269.1	50.7	-218.4

*: 生活用水
単位: MCM

2.4.2 支流域毎における水収支評価

サナア流域における既往調査による支流域毎の水収支評価は、サナア流域水管理プロジェクト (SBWMP: Sana' a Basin Water Management Project) のなかで行われており、涵養量と井戸揚水量を用いた水文的アプローチ (Norman and Mulat, 2007) と衛星画像解析による作付面積と実蒸発散量を用いた収支評価が行われている (GAF, 2007)。衛星画像解析を用いたアプローチでは灌漑効率 60% とし、灌漑に使用された水は全て井戸からの揚水であるという仮定の基、検討した。

下表に既往調査における各アプローチによる支流域毎の水収支評価結果を示す。

表 2.3 支流域毎における水収支評価

支流域	After Norman and Mulat (2007)						After GAF (2007)				
	涵養量 (Mm ³)	揚水量 (Mm ³)	還元量 (30%) (Mm ³)	利用量 (Mm ³)	収支 (修正) (Mm ³)	利用量/ 涵養量	降雨量 (Mm ³)	灌漑利用 量 (Mm ³)	総水 利用量 (Mm ³)	水利用量/ 降雨量	
1	Wadi Al Mashamini	0.9	0.85	0.26	0.6	0.3	0.66	22.6	0.6	0.7	3.1%
2	Wadi Al Madini	2.73	2.92	0.88	2.04	0.68	0.75	62.3	3	3.2	5.1%
3	Wadi Al Kharid	1.76	3.36	1.01	2.35	-0.59	1.33	26.7	2	2.2	8.2%
4	Wadi Al Ma'adi	1.71	2.67	0.8	1.87	-0.16	1.10	22.5	0.9	0.9	4.0%
5	Wadi A'sir	4.27	6.93	2.08	4.85	-0.58	1.14	52.4	5.1	5.2	9.9%
6	Wadi Khulaqah	1.54	2.12	0.64	1.48	0.06	0.96	13.6	1.6	1.6	11.8%
7	Wadi Qasabah	0.83	2.12	0.64	1.48	-0.65	1.78	16.2	1.6	1.7	10.5%
8	Wadi Al Huqqah	1.36	17.36	5.21	12.15	-10.79	8.91	31.4	9.7	9.9	31.5%
9	Wadi Bani Huwat	5.58	60.87	18.26	42.61	-37.03	7.64	67.4	32.4	51.8	76.9%
10	Wadi Thumah	1	3.25	0.98	2.28	-1.27	2.27	16.2	0.8	3.1	19.1%
11	Wadi As Sirr	3.81	39.06	11.72	27.34	-23.53	7.17	54	16.5	17.2	31.9%
12	Wadi Al Furs	0.79	13.6	4.08	9.52	-8.73	12.02	8.5	5.7	5.9	69.4%
13	Wadi Al Iqbal	2.31	17.46	5.24	12.22	-9.91	5.29	61.9	13.1	13.5	21.8%
14	Wadi Zahr & Al Ghayl	7.11	16.51	4.95	11.56	-4.44	1.62	132.1	10.9	12	9.1%
15	Wadi Hamdan	0.82	7.47	2.24	5.23	-4.41	6.36	18.9	6.8	7.6	40.2%
16	Wadi Al Mawrid	1.54	35.4	10.62	24.78	-23.24	16.04	48	5.8	90.9	189.4%
17	Wadi Sa'wan	1.41	8.82	2.65	6.17	-4.76	4.37	21.9	6.7	7.2	32.9%
18	Wadi Shahik	4.12	10.41	3.12	7.29	-3.16	1.77	69.9	6.9	8.3	11.9%
19	Wadi Ghayman	1.24	4.23	1.27	2.96	-1.72	2.39	41.6	3.7	3.9	9.4%
20	Wadi Al Mulaikhy	1.66	2.96	0.89	2.07	-0.41	1.25	22.8	2.3	2.4	10.5%
21	Wadi Hizyaz	1.92	3.17	0.95	2.22	-0.3	1.16	21.9	1.8	1.9	8.7%
22	Wadi Akhwar	2.32	8.44	2.53	5.91	-3.59	2.55	34.7	1.6	1.9	5.5%
Total		50.7	270	81	189	-138.2	-4.02	867.2	139.5	253.1	29.2%

出展: Modified Norman and Mulat (2007); Modified GAF (2007)

表 2.3 に示されるとおり、支流域ごとの涵養量と揚水量との差に違いが見られる。妥当な対策が施されない限り、水収支の偏りが大きい傾向を示している支流域ほど早期的に水不足となるであろう。

第3章 行動計画策定における考慮事項

3.1 概要

サナア流域の水資源管理を円滑かつ効果的に実施するために必要となる課題を明確にすること、ならびに実施可能な行動計画を策定することを目的として、既存のデータおよび情報を基に水資源管理に関連する事項の現状を検討し、整理した。

3.2 行動計画策定における考慮事項

3.2.1 大量の灌漑用水消費量

サナア流域では水の年間総利用量 269 MCM に対し、209 MCM (78%) が灌漑用水として利用されている。主に利用されている灌漑方法は、畝間灌漑および小規模水盤灌漑となっている。灌漑効率は低く、30 から 40% の範囲と見積もられており、鉄製およびプラスチック製の送水管・ジョイント部からは大量の水が漏れて失われている。

灌漑効率の向上は、近代型灌漑施設の導入、送水管の交換、そして作物への散水管理体制の導入により可能となる。サナア流域水管理プロジェクト (SBWMP: Sana' a Basin Water Management Project) では、既に複数の実演農場において近代型灌漑施設を導入しているが、その進捗は遅れている。NWRA は、その一因として、プロジェクトスタッフの近代型灌漑施設に関する知識・経験不足に起因する運営・管理能力不足ならびに能力向上に必要な資金の不足を挙げている。従って、状況の把握と対応策の検討が必要である。

カートは、サナア流域で消費される総灌漑用水量の半分近くを消費しており、水資源管理の観点からは、大量に水を消費する作物として認識されている。また、カートの栽培では、危険な殺虫剤も大量に使用されている。カート栽培の社会経済への影響は大きいですが、水資源管理の観点に立ち、カート栽培農地の拡大をサポートする活動とならないように十分に注意する必要がある。

農地拡大の規制および水消費量の少ない作物の導入も検討していく必要がある。また、NWRA サナア支局が既に実施している違法掘削の規制を促進していく必要がある。

灌漑用水の消費量については、次の点についても考慮する必要がある。

- 組織の財政、運営、管理能力の向上
- 灌漑による水利用量を把握することを目的とした、サナア流域の井戸の登録と揚水量メーターの設置
- 灌漑施設における漏水の削減

- ・ 節水型灌漑システムの導入に対する農業従事者の意識向上
- ・ パイロットプロジェクト（近代型灌漑施設の導入）による、作物生産量の増加や地下水揚水のための経費の削減等のインセンティブ、施設の導入のための投資とその償却期間の明確化
- ・ 導入する水消費量の少ない作物に対する市場を開拓し、収入の安定を確保する。

3.2.2 都市給水における漏水

サナア市上下水道公社（SWSLC: Sana' a Water and Sanitation Local Corporation）によると、都市給水における 2006 年の無収水率（NRW: Non-Revenue Water）は 38%であった。しかしながら、漏水および違法接続により消費された水の量は不明であり、無収水率の軽減には技術と資金を含む多大な努力が必要である。SWSLC は世銀の援助により、公共給水網の配管の交換を実施しており、ある程度の無収水率の向上が期待できる。また、適切な水道料金を設定することにより、過剰な水利用の抑制にも効果がある。

サナア市の全市民の 64%は、公共水道の給水を受けておらず、民営の小規模給水ネットワーク、個人タンカー等から供給される、品質管理が行われていない料金の高い水を利用している。したがって、民営給水者の同意のもと、質・量に関するモニタリング体制の導入が必要である。

都市給水における漏水に関しては、以下の事項に関する考慮も必要である。

- ・ 漏水率の軽減のためには、比較的高額の投資と期間が必要である
- ・ 漏水探知機および操作技術が求められる
- ・ 給水網の不正接続に対する監視が必要である
- ・ 水道メーターの定期交換ならびに較正に関する規則の実施
- ・ 民間給水業者の水資源管理に対する意識の向上
- ・ 民間給水による給水量の把握を目的とした、私設井戸の登録ならびにメーターの設置

3.2.3 下水処理水の利用可能性

既設の下水処理場は 2000 年から稼働しており、その計画最大日処理能力は 55,000m³となっている。しかしながら、都市人口の 29%をカバーしているのみである。2006 年においては、16 MCM（44,000 m³/日）の下水処理水が利用可能な水資源として考えられたが、正式な利用用途は無く、その処理水は直接ワジに放流された。また、現在、下水処理場は過負荷状態で稼働しており、処理水は適切な処理が行われていないままワジに放流されている状況にある。そして、この処理水は周辺農民が灌漑用水として使用している。この不十分な処理水は水資源として期待できないばかりか、環境と健康への悪影響を及ぼす源と成り得る。しかしながら、農業用水基準を満たすまでの適切な処理が行われた場合には、その分、灌漑用水として

揚水されている地下水を生活用水へ転換することが可能となる。既存の下水処理場の改善および処理場の新規建設計画は、SWSLCにより既に取り組みが開始されている。

工業排水は全く処理されず下水道に直接排出されている。工場における処理施設の設置および処理水の再利用も考慮する必要がある。

下水処理水の利用可能性に関しては、以下の事項についても考慮が必要である。

- ・ 処理水の蒸発ならびに無作為利用の削減
- ・ 下水処理水の灌漑利用および課金に関する農業従事者の容認
- ・ 工場内の処理施設設置に関する規則の実施および処理水の再利用に対するインセンティブの検討

3.2.4 水資源の再配分

換金作物であるカートは大量の水消費作物として認識されており、サナア流域の灌漑用水消費量の71%を占めている。そして、地下水ポテンシャルが減少しているにもかかわらず、今後灌漑用水の需要は増加することが予期される。一方、サナア市における5.5%という高い人口増加率と生活用水供給を最優先する国家水戦略を考慮すると、農業用水から生活用水への水の配分は望ましい選択肢である。

水資源の配分は、1) 生活用水を最優先して配分する、2) 清潔で安全な水は、可能な限り生活用水として利用する、という2つの方針を考慮している。本方針を踏まえて、次の3つのオプションが挙げられる。1) 灌漑用水と街路樹に散水されている水を都市部における生活用水に再配分する、2) 地方部における農業用水の生活用水への再配分、3) 地方部における農業用水の都市部の生活用水への再配分。そして同時に、地域レベル（支流域レベル）毎の水資源ポテンシャルに関しても考慮する必要がある。また、灌漑効率向上および処理水の灌漑利用も同時に実施していく必要がある。

3.2.5 制度開発

(1) 水法（2002年）に係る行政規約の制定、ならびにサナア流域保護に係る政令の発布

水法（2002年）は、イエメン国における水資源統合管理に向けた最初で且つ重要なステップであるが、その基本条項のいくつかは“政治的な配慮”がなされており、法自体の効力と有効性を脆弱なものにしている。これらの政治的な配慮の一つとして、地下水揚水に対する計測や課金などの需要抑制を促す条項が少ないことが挙げられる。現在、需要抑制にかかる条項が含まれた、水法（2002年）に係る行政規約（ドラフト）が準備されており、議会の承認が待たれる。

また、サナア流域保護に係る政令の発布に向けた政治決断も必要である。市民の合意形成

にかかる年月を考慮すると、サナア流域保護に係る法令は、時間をかけ徐々に揚水量を自然涵養量までに抑えることを最優先しなければならない。さらに、同政令は以下の条項を包括すべきである：1) 農業灌漑用の井戸建設の禁止、2) 深度に拘らず、全ての井戸のライセンス化、3) 揚水に対する計測の義務化、4) 農業用灌漑に対して将来的かつ段階的な課金の導入。

(2) 水資源管理へ向けた意識向上と政治的意思

アクション・プランにて示される水危機に対する諸策を実行するためには、水資源管理へ向けた世論形成と合意が必要である。この世論形成と合意の高まりは次第に政治的意思を水資源管理へと突き動かすであろう。

さらに、水資源管理に係る市民の意思向上キャンペーンのプログラム開発とその実施では、この国に特有な社会・文化である“部族主義”に配慮する必要がある。また、部族社会に対する教育・情報ネットワークの構築も重要である。政治家に対し将来の水危機に関する信頼できる情報の提供も重要である。市民の世論形成と合意が高まれば、水資源管理に向けた“正しい”政治的判断は市民の賛同を受け、政治家にとっても“票”というかたちで還元されるであろう。

(3) 水利権にかかる明確な定義

イエメン国においてイスラム法(sharia' h)や慣習法('urf)ならびに民事法(Civil Code)は、水利権を定める伝統的かつ慣習的に支配的な法典であり、「ある土地の上部ならびに下部に存在する天然資源(すなわち、表流水ならびに地下水を含む)にかかる全ての権利ならびに管理は、その土地、つまりその土地所有者に帰属する」としている。

一方、水法(2002年)では、「水は公共の資産であり、国家によって管理と登記される」と定義している。したがって、水法の解釈では、国家による許可とライセンス発効により、個人もしくは集団に対して水を利用する権利のみが付与されることになる。水法が定める法的解釈にて国民が水利権を納得する必要がある。このためにも、水法(2002)が水利権を定める唯一の法令であるとする「水法(2002年)にかかる行政規約」が国会で承認され、慣習法の解釈ではなく、水法を基とした本行動計画を有効にする必要がある。

(4) 伝統ならびに部族システムに対する敬意

水法(2002年)にて採用されている制度フレームワークで重要原則の一つは、水資源管理にかかる権限の委任にある。したがって、地方自治体やコミュニティによる水資源管理における全てのプロセス、つまり意思決定とその実行、規制、モニタリングへの積極的な参加が水資源の自己管理機能の有効性を大きく左右する。

“部族社会”や“部族主義”は、公的な組織制度ではないが、特に、イエメン国のサナア

流域を含む北部山岳地域の社会・文化では極めて重要なものであり、看過できないどころか最も重要な組織制度と言える。したがって、水資源管理においては部族社会とのネットワークの確立をできる限り行う必要がある。この視点から、部族社会の権力者をサナア流域委員会（SBC：Sana’ a Basin Commission）のメンバーにするなど、ネットワーク確立を検討する。

(5) 地方分権化フレームワークの強化

地方自治法（2000年）と同法の行政規約では、地方レベルでの水資源管理に関する多くの条項を有しており、州・県レベルの地方自治体、各省庁の支部、ならびに地域住民組織の責務を明確にした上で、計画、実施、ならびに規制とモニタリングにおける地方行政上の手続きを記している。しかしながら、サナア流域における現行の組織制度は水法（2002年）とその関連法規により形成されているが、地方自治法（2000年）の定める地方組織、特に州・県レベルの地方自治体の水資源管理での活用が見られない。したがって、地方自治法（2000年）が定める地方分権化フレームワークのなかで、地方自治体の能力を十分に活用して水資源管理へと取り込むことにより、サナア流域における組織制度の更なる開発が見込める。

3.2.6 組織開発

地方分権化による組織制度が進むなかで、国家およびサナア流域における統合水資源管理（IWRM：Integrated Water Resource Management）への取組みで重要となる組織は以下の通りである：1) 国家水資源公社サナア支局（NWRA - SB：National Water Resources Authority, Sana’ a Branch）、2) サナア流域委員会（SBC：Sana’ a Basin Commission）、3) 水利用者組合（WUA：Water User Association）。この項では、本調査でのアクション・プラン策定にかかり、組織開発に関する留意事項を示す。

(1) 国家水資源公社サナア支局（NWRA-SB）

1) 組織

国家水資源公社サナア支局（NWRA-SB）は、調査・情報管理部（Department of Studies and Information）ならびに許認可・啓発部（Department of Licensing and Public Awareness）の主要2部門から構成される。しかしながら、組織規約の最終的な決定がなされておらず、NWRA-SBの責務を明記したものはない。組織規約の決定がされないまま、各部課の職務規約・責務規定や組織図も明確にされていない。したがって、組織規約ならびに職務規約・責務規定の最終的な決定が望まれる。

2) 人員

過去に行われた数多くの調査にて、NWRA-SB 職員のキャパシティは非常に限られていると評価され、職務を遂行するための基本的な技術能力の育成が未だ課題であるとされている。NWRA-SBは2002年にサナア流域における水資源管理のために設立されたが、

数年を経て未だ新しい組織である。実際、現職員のほとんどは水資源管理以外のセクター開発を担当する省庁から移籍してきた者で、十分なトレーニングが提供されないまま、水資源管理にかかる専門性が不足している。NWRA-SB がその責務を遂行するために、職員に対し、以下の分野での能力開発が必要である：1) 地下水モデリング、2) 法体系・許認可、3) 規制・モニタリング、4) 流域管理における参加型手法。

さらに、十分な資格・能力を有した職員の不足は深刻な問題である。資格・能力の高い職員はドナー支援によるプロジェクト／プログラム毎での契約職員である。したがって、職員に対する給与・報酬体系の見直し、ならびに適正なパフォーマンス評価による昇給・昇進システムなどによるインセンティブの向上メカニズムの導入が望まれる。

3) 財務管理

統合水資源管理（IWRM）には戦略ならびに活動レベルでの他セクターとの調整が必要だけでなく、国家レベルでの開発投資計画における調整も重要である。水セクターに関わる各ステークホルダーとの調整と合意を経て、2005年に水・環境省（MWE）は国家水セクター戦略・投資プログラム（NWSSIP 2005-2009：National Water Sector Strategy and Investment Program）を策定し、セクター開発投資プログラムとして最上位の計画と位置づけた。

NWRAはこのNWSSIPに基づいて水資源管理にかかる計画を実施する主要機関である。しかしながら、NWSSIPに基づき申請した2006年度予算のうち、承認されたのは約67%にすぎない。一方、NWRAによる2006年度の予算執行率は承認された予算の89%である。これはつまり、政府ならびにNWRAの両方がNWSSIPで計画された財政・財務的要求を満たしていないことを意味する。

4) 規制とモニタリング

流域レベルでの規制とモニタリングはNWRA-SBに与えられた責務のなかで最も重要なものの一つである。しかしながら、期待どおり責務が果たされているとは言い難く、流域内に数多くある井戸のうち、NWRA-SBにより登録・ライセンス発効がなされたのは43井に止まる。しかも、フィールドにて必要なNWRA-SBの人員数と予算は非常に限られていることから、規制とモニタリングの強化、スケール・アップは非常に困難と判断される。したがって、地方自治体等との連携を強化し、フィールドでのモニタリング・ネットワークを確立することが望まれる。

(2) 地方自治体

地方自治体は2000年に制定された地方自治法により順次設立されたもので、これも比較的新しい組織である。地方自治体は州レベルと県レベルそれぞれに存在し、流域内での水資源

管理における責務は規制・モニタリングにおける監督と強化である。サナア流域内の地方自治体による流域管理の組織体制は整っていないが、NWRA-SB もまた、地方自治体との協力の可能性、特にフィールド・レベルでのモニタリング協力の可能性について十分な検討を行っていない。地方自治体を十分に活用し、流域内の水資源管理における組織フレームワークに取り込む必要がある。

(3) サナア流域委員会 (SBC : Sana' a Basin Commission)

サナア流域委員会 (SBC) はその設立以来、ドナーや専門家のアドバイスを受けつつ、年間平均6回ほどの会合を開催し、マルチ・セクターの観点から数多くの重要な意思決定を行ってきたと評価できる。しかしながら、流域内の水資源管理を行う上で、SBCによる利害関係者間の調整能力は不十分である。サナア流域では、部族社会や井戸オーナーなど水利用者グループの地域権威が高く、イエメンの公的機関は、彼らに対抗しえない。流域管理においては利用規制と参加型アプローチ、意識向上プログラムを同時に行う必要がある。

したがって、伝統的リーダーや部族社会を水資源管理にかかる意思決定や自己規制型の資源管理メカニズムへの参画を促す手段を採るべきである（例えば、部族リーダーのSBCへの参画など）。また、SBCによる規制とモニタリング機能を強化するために、内務省、地方自治省、法務省など水利用に関する規制・取締り能力を有する関連省庁をSBCに参画させるべきである。

(4) 水利用者組合 (WUA : Water User Association)

イエメン国において、農業灌漑による地下水利用は全体利用量の90%に達する。したがって、農地での無益な水の損失を減らすことによって揚水量を軽減することは、水法とサナア流域を“保護地域”と定めた政令の目指す国家水資源管理の主幹をなすものである。これを成功させるには、水利用者組合 (WUA) 等を通じた農業従事者との緊密かつ集団的な努力が必要である。

現在、サナア流域水管理プロジェクトのコンポーネント・プログラムである“水資源需要管理と灌漑改善”では、伝統的な開水路に対し、管路、ドリップ灌漑、またはスプリンクラー灌漑等の近代的な灌漑技術を導入している。WUAの設立は当該コンポーネント・プログラムの重要な部分である。WUAの設立に伴い、各WUAにてデモンストレーション農地 (1-2 ha程度) が選定され、近代的な灌漑技術導入のための投資が行われる。

デモンストレーション農地の設置は、当該コンポーネントにて重要な意味を持つ。デモンストレーション農地の重要性は、その展示効果を通じて、農業従事者が改善された灌漑システムを導入するに納得し得る効果的な手段であるところにある。しかしながら、当該活動の進捗は非常に遅れており、改善された灌漑技術の導入に対して農業従事者の受入れ意思は否定的であると世銀自身報告している (Baseline Survey for Future Impact Evaluation,

Sana' a Basin Water Management Project, MWE(2006))。同様に、農業従事者の節水意識も低いままである。一部では改善型灌漑技術への投資貢献ならびに WUA への加入を断る農業従事者も存在する。改善された灌漑技術への転換と設置も遅れており、現在のところ技術導入が行われた農地は、プロジェクト目標の 5%である 211 ha にすぎない。

したがって、長期的な視点での課題は、WUA の意識向上にある。すなわち、WUA の利用者組織としての意識向上が鍵であり、WUA の設立数や新技術が導入された農地面積よりも、根本的な課題として捉える必要がある。

また、農業従事者に対して、水利用の抑制につながる実践農学にかかる訓練機会が非常に限られている。裨益者は適正な作物栽培パターンを理解し、灌漑用水の利用がより少なくすむ作物の栽培を導入する必要がある。普及員に対するトレーニングでは、適切な栽培知識の向上による有効的な水利用、ならびに生産性を高める灌漑用水管理と利用抑止に重点を置くべきである。

3.2.7 地下水資源の汚染

(1) 都市部における水質汚染

サナア下水処理場は過負荷状態で稼働しており、処理水は適切な処理が行われないままワジに直接放流されていて、その処理水は農民によって灌漑に使用されている。さらに、処理場の下流域に位置する Al-Masham ダムではこの処理水の地下への浸透により地下水の水質悪化が報告されている。NWRA-SB は健康への悪影響を回避するために、この処理水を使用しないよう農民の意識向上活動を開始し、SWSLC は現処理場の改善とワジの下流域に新規処理場の建設を計画している。

汚水槽からの浸透による地下水汚染も報告されており、世界保健機関（WHO: World Health Organization）が定めている飲料水基準である 50 mg/l の 2~3 倍の高濃度の硝酸塩がサナア旧市街の中央付近で検出されている。SWSLC およびサナア市当局は汚水の処理の必要性を認識しており、この問題に取り組むために、国家およびアラブファンドからの予算を配分している。

給油所、車修理工場、病院、研究室、診療所さらに工場等からの汚染も指摘されている。これら事業所には処理施設は設置されておらず、排水は制限、規制、監視されていない状況にあると推測できる。したがって、これら事業所を起因とする地下水汚染については明確でないため、詳細な水質調査、処理施設の設置に対する規定の策定を早急に行う必要がある。

(2) 地方部における水質汚染

作物の生産性を可能な限り高めるために、農業従事者は水資源の過剰利用のみならず、化学肥料および殺虫剤をも大量に使用している。農業が盛んであるワジ沿いでは、地下水汚染

が報告されている。イエメン国政府は、地下水汚染の原因となりうる殺虫剤、化学肥料の使用禁止を定めている。しかしながら、地表における家畜の糞やその肥料としての保管も、広く地下水汚染を発生させる原因の一つとなっている。化学肥料、殺虫剤の過剰使用および違法化学物質の使用の危険性に関する農業従事者の意識向上活動が必要である。

これらの状況を考慮して、ぶどうとカーブを対象とした統合的害虫管理計画が、既に植物保護総局の協力の本 SBWMP により取り組まれている。

(3) フッ素について

サナア流域内に、高フッ素濃度による歯および骨格フッ素症の発生が報告されている。202 井戸の内 28 井戸（14%）において、基準値である 1.5 mg/l を上回るフッ素濃度が、流域の南東部、西部と北部で検出された。67 井戸（33%）では濃度は 0.5 から 1.5 mg/l の範囲にある。

フッ素汚染は自然由来なのか、汚染水の浸透によるものかは明らかになっていないが、唯一の手がかりとしては、ほとんどの分析サンプルは火山岩分布域より採取されたことである。しかしながら、これはフッ素汚染に関する概略的な数値である。高濃度フッ素汚染地域に暮らす住民は飲料水の水源の選択肢も限られているため、政府による対策の実施が必要である。

限りある水資源の汚染に関しては、以下の事項についても考慮する必要がある。

- ・ 都市開発計画に沿った都市人口増加を補う下水網の改善
- ・ 工場、給油所、車整備工場、医療機関等事業所における排水処理施設の設置に対する規定の実施
- ・ 効果的な農業技術の教育による農業従事者の意識向上
- ・ 国際的に禁止されている肥料、殺虫剤の使用禁止に対する規定の強化と、肥料、殺虫剤の使用による環境および健康に対する危険性についての農業従事者の意識向上

3.2.8 地表水の有効利用に対する検討の必要性

サナア流域の降雨量は北東部で年間 200 mm、南西部で 350 mm と少ない。政府および農業従事者は、地下水涵養にも役立ってきた地表構造物、ウォーター・ハーベスティングにより、可能な限りこの貴重な水源を有効利用するため努力をしてきた。しかし、農地の拡大、地下水資源の利用によりウォーター・ハーベスティングへの依存度は減少した。したがって、地下水涵養の改善に対する行動を考慮する必要がある。

(1) ウォーター・ハーベスティングとテラスの整備

伝統的なウォーター・ハーベスティングは、長期にわたり、全国で生活用水、家畜用水、農業用水の確保目的として利用され、同時に地下水涵養にも貢献してきた。しかしながら、地下水利用量の増加による農業活動が拡大したため、伝統的なウォーター・ハーベスティング

への依存度は減少し、結果として、山岳地帯のテラスは整備もされずに放置されるようになった。

サナア流域が直面している水不足を考慮すると、これらの伝統的な方式を可能な限り利用する必要がある。

(2) 涵養ダムおよび地下ダムの建設・復旧の検討

一般的にダムは地下水を涵養する役割があり、実際にサナア流域では浅井戸の水位回復が観測されている。しかし、国家水セクター戦略・投資プログラム(NWSSIP 2005-2009:National Water Sector Strategy and Investment Program)では、全国のダム建設に多大な努力を投じたにも関わらず、継続的な地下水の低下の停止および帯水層の減少の回復が認められなかったことが指摘されている。したがって、ダムに関する方針は、水需要の合理化および管理を行うための行動および対策を伴わなければならないと結論付けられる。

表流水の効率的な利用に関しては、以下の事項についても考慮する必要がある。

- ・ ウォータ・ハーベスティングの必要性に関する農業従事者の意識向上
- ・ テラスのための山岳地帯の利用可能性
- ・ 水需要の合理化、管理のための行動および対策
- ・ 費用・便益分析
- ・ 詳細調査結果に基づく社会・環境影響評価とその緩和の実施

第4章 サナア流域における水資源および社会経済状況を考慮した将来のシナリオ

4.1 概論

本章では、まず、サナア流域において、不足している水量および今後どの程度の期間水資源が利用可能であるのかを明確にすることを目的として、将来水需要の予測を行なっている。そして、危機的状況にある水資源の現状を緩和するために、実現可能なシナリオについて検討した。これらの結果を踏まえて、取り組んでいくべきシナリオを提示した。

4.2 将来水需要

4.2.1 サナア流域における人口予測

(1) サナア市における人口予測

サナア市における人口予測は、都市給水・衛生プロジェクトマスタープラン(2000)において、国家給水・衛生公社により実施されている。その中では、高、中、低の3種類の人口増加率を用いて予測を行なっている。高増加率では、1997年時点で6.1%の増加率が、2020年には4.2%に減少する。中増加率では、5.6%(1997年)が3.3%(2020年)に、低増加率では、5.1%(1997年)が2.4%(2020年)に、それぞれ減少するシナリオとなっている。なお、サナア市における実際の人口増加率(1994-2004)は5.5%であることから、この値を2004年の人口増加率として採用した。これらのデータを踏まえて予測したサナア市の人口予測結果を表4.1に示す。水需要予測においては中増加率を採用している。

表 4.1 シナリオ別サナア市人口予測

年	高人口増加率		中人口増加率		低人口増加率	
1994	1,003,627		1,003,627		1,003,627	
2004	1,747,834	5.50	1,747,834	5.50	1,747,834	5.50
2005	1,842,545	5.42	1,841,562	5.36	1,840,578	5.31
2010	2,371,261	5.01	2,344,740	4.68	2,318,455	4.34
2015	2,993,208	4.61	2,888,894	3.99	2,787,806	3.37
2020	3,705,595	4.20	3,443,519	3.30	3,198,573	2.40

引用: Statistical Year Book 2005 (population of 1994 and 2004)

(2) サナア流域内の地方部における人口予測

サナア流域内の2004年時点の人口は、県内の人口は均等に分布していると仮定し、各県の流域内に含まれる面積の割合に従って求めている。結果を表4.2に示す。なお、各県の人口は国勢調査(2004年)の結果を用いている。本調査における8県(Bani Husheish、Sanhan and Bani Bahloul、Hamdan、Arhab、Nehm、Al Taial、Bani Matar、Jahana)の人口増加率は、地方給水プロジェクト総局が採用している2.5%を用いた。

表 4.2 サナア流域内の県の人口予測

年 \ 県	Bani Husheish	Sanhan and Bani Bahloul	Hamdan	Arhab	Nehm	Al Taial	Bani Matar	Jahana	Total
1994	54,375	60,999	47,415	27,061	8,397	***	34,370	***	232,617
2004	73,957	64,832	63,612	38,891	10,046	11,779	28,605	3,009	294,733
2005	75,806	66,453	65,203	39,864	10,298	12,074	29,320	3,084	302,101
2010	85,767	75,185	73,771	45,102	11,651	13,660	33,173	3,490	341,799
2015	97,038	85,065	83,465	51,029	13,182	15,455	37,532	3,948	386,715
2020	109,790	96,243	94,433	57,735	14,914	17,486	42,464	4,467	437,532

* Growth rate: 2.5%, rate adopted by GARWSP

単位: 人

(3) 支流域毎の人口予測

22 支流域における 2004 年時点の人口は、各支流域に含まれる県の面積の割合に従って求めた。表 4.3 に結果を示す。県の人口は前節で求めた値を用いている。地方部における人口増加率は 2.5%、都市部では、中人口増加率を採用している。

表 4.3 支流域における人口予測

支流域 \ 年	2005	2006	2010	2015	2020
1 Wadi Al Mashamini	5,480	5,617	6,200	7,014	7,936
2 Wadi Al Madini	14,016	14,366	15,858	17,941	20,299
3 Wadi Al Kharid	10,647	10,950	12,238	14,020	15,991
4 Wadi Al Ma'adi	2,419	2,479	2,736	3,096	3,503
5 Wadi A'sir	4,560	4,674	5,159	5,837	6,604
6 Wadi Khulaqah	1,687	1,729	1,908	2,159	2,443
7 Wadi Qasabah	4,624	4,740	5,232	5,919	6,697
8 Wadi Al Huqqah	17,053	17,622	20,035	23,337	26,900
9 Wadi Bani Huwat	1,104,206	1,161,546	1,403,916	1,728,142	2,058,854
10 Wadi Thumah	148,600	156,316	188,929	232,556	277,057
11 Wadi As Sirr	47,314	48,822	55,224	64,010	73,556
12 Wadi Al Furs	10,185	10,440	11,524	13,038	14,752
13 Wadi Al Iqbal	26,191	26,845	29,632	33,526	37,932
14 Wadi Zahr & Al Ghayl	73,755	76,512	88,198	104,083	120,944
15 Wadi Hamdan	55,268	57,953	69,306	84,537	100,186
16 Wadi Al Mawrid	440,583	463,330	559,482	688,139	819,450
17 Wadi Sa'wan	31,035	32,131	36,778	43,115	49,896
18 Wadi Shahik	92,620	96,700	113,963	137,228	161,407
19 Wadi Ghayman	18,321	18,779	20,729	23,453	26,535
20 Wadi Al Mulaikhy	7,459	7,646	8,440	9,549	10,803
21 Wadi Hizyaz	10,761	11,030	12,175	13,775	15,585
22 Wadi Akhwar	16,835	17,255	19,047	21,550	24,382
Total	2,143,619	2,247,483	2,686,707	3,276,023	3,881,712

単位: 人

4.2.2 生活用水の水需要

(1) 都市給水

サナア上下水道公社は、開発プログラム(サナア給水・衛生プロジェクト)を 2000 年に策定している。このプログラムでは、4つのオプションに従ってサナア市における生活用水とその他の用途について、公共と民間による給水毎に需要を予測している。サナア市上下水道公

社によると、都市給水はオプション1、すなわち、給水原単位を35 l/c/d、漏水率を20%としてサナア市の全人口に給水を行なう方針で進めている。都市給水の需要予測結果を表4.4に示す。

表 4.4 都市給水における水需要

	単位	2005	2006	2010	2015	2020
人口		1,841,562	1,937,783	2,344,740	2,888,894	3,443,519
公共給水	(no)	672,141	696,141	1,104,115	1,763,511	2,582,639
民間給水		1,169,421	1,241,642	1,240,625	1,125,383	860,880
給水原単位						
家庭用水						
オプション1	(l/c/d)	公共給水	公共給水	35.0	35.0	35.0
オプション2		50.8	51.6	59.7	69.9	80.0
オプション3,4		民間給水	民間給水	80.0	80.0	80.0
民間給水		70.0	70.0	35.0	35.0	35.0
商業用水						
オプション1	(総消費量の%)	---	---	30%	30%	30%
消費量						
家庭用水						
オプション1	(MCM)			30.0	36.9	44.0
公共給水		12.5	13.1	32.2	51.5	75.4
民間給水		29.9	31.7	15.8	14.4	11.0
商業用水						
オプション1	(MCM)	1.3	1.6	12.8	15.8	18.9
総消費量						
オプション1	(MCM)	43.7	46.4	42.8	52.7	62.8
水需要量(損失率20%含む)						
オプション1	(MCM)	54.3	55.8	53.5	65.9	78.6

*人口は、2004年の国勢調査に基づき、人口増加率は中人口増加率を採用

*公共給水網による給水人口(2005年、2006年)は、上下水道公社年間報告(2006)に基づく

*2005年および2006年の給水原単位：公共給水は上下水道公社の年間報告(2006)により、民間給水は Development Programme (2000)より推定

*生活用水以外の用途による水消費については、上下水道公社年間報告(2006)に基づく

*2005及び2006年の総水需要：公共給水の総生産量（上下水道公社年間報告書(2006)に基づく）と民間給水（消費量＝生産量と仮定）の合計

(2) 地方給水

地方給水に関する計画と実施の担当機関は、地方給水プロジェクト総局(GARWSP)である。しかしながら、将来の水需要予測に関する情報は不足している。従って、地方給水の水需要の予測においては、人口増加率についてはGARWSPが地方給水プロジェクトにおいて採用している2.5%を、給水原単位についてはNWRAが水資源管理の観点から採用している20 l/c/dを用いている。予測結果を表4.5に示す。

表 4.5 支流域毎の地方部における将来水需要

支流域	2005		2010		2015		2020	
	人口	水需要	人口	水需要	人口	水需要	人口	水需要
Wadi Al Mashamini	5,480	0.04	6,200	0.05	7,014	0.05	7,936	0.06
Wadi Al Madini	14,016	0.10	15,858	0.12	17,941	0.13	20,299	0.15
Wadi Al Kharid	9,294	0.07	10,515	0.08	11,897	0.09	13,461	0.10
Wadi Al Ma'adi	2,419	0.02	2,736	0.02	3,096	0.02	3,503	0.03
Wadi A'sir	4,560	0.03	5,159	0.04	5,837	0.04	6,604	0.05
Wadi Khulaqah	1,687	0.01	1,908	0.01	2,159	0.02	2,443	0.02
Wadi Qasabah	4,624	0.03	5,232	0.04	5,919	0.04	6,697	0.05
Wadi Al Huqqah	11,834	0.09	13,389	0.10	15,149	0.11	17,139	0.13
Wadi Bani Huwat	15,013	0.11	16,986	0.12	19,218	0.14	21,744	0.16
Wadi Thumah	2,058	0.02	2,329	0.02	2,635	0.02	2,981	0.02
Wadi As Sirr	35,392	0.26	40,043	0.29	45,305	0.33	51,258	0.37
Wadi Al Furs	10,185	0.07	11,524	0.08	13,038	0.10	14,752	0.11
Wadi Al Iqbal	26,191	0.19	29,632	0.22	33,526	0.24	37,932	0.28
Wadi Zahr & Al Ghayl	40,281	0.29	45,574	0.33	51,563	0.38	58,339	0.43
Wadi Hamdan	7,539	0.06	8,530	0.06	9,650	0.07	10,919	0.08
Wadi Al Mawrid	10,830	0.08	12,253	0.09	13,863	0.10	15,685	0.11
Wadi Sa'wan	19,312	0.14	21,850	0.16	24,721	0.18	27,970	0.20
Wadi Shahik	28,010	0.20	31,691	0.23	35,855	0.26	40,567	0.30
Wadi Ghayman	18,321	0.13	20,729	0.15	23,453	0.17	26,535	0.19
Wadi Al Mulaikhy	7,459	0.05	8,440	0.06	9,549	0.07	10,803	0.08
Wadi Hizyaz	10,761	0.08	12,175	0.09	13,775	0.10	15,585	0.11
Wadi Akhwar	16,835	0.12	19,047	0.14	21,550	0.16	24,382	0.18
Total	302,101	2.21	341,799	2.50	386,715	2.82	437,532	3.19

単位: 人口: 人,
水需要: 百万 m³

4.2.3 農業用水の水需要

将来水需要の予測は、各作物の実際の蒸発散量を求めている GAF (2007) の結果を踏まえて、灌漑効率を 40% として計算している (第 2 章 2.3.2 節参照)。本調査においては、灌漑面積の増加に伴う水需要を求めるために、作物毎の単位灌漑面積あたりの蒸発散量を出している。灌漑面積の増加率は、2005 年の農業統計書に示されている年間成長率をもとに求めている。支流域毎の水需要を表 4.6 に示す。

表 4.6 灌漑用水の水需要 (IE=40%)

支流域	2004/2005の農業用水需要(灌漑効率40%)				
	2004/2005	2006	2010	2015	2020
1 Wadi Al Mashamini	0.89	0.90	0.95	1.02	1.10
2 Wadi Al Madini	4.53	4.59	4.86	5.20	5.58
3 Wadi Al Kharid	3.03	3.07	3.24	3.47	3.72
4 Wadi Al Ma'adi	1.29	1.31	1.39	1.48	1.59
5 Wadi A'sir	7.65	7.76	8.20	8.79	9.42
6 Wadi Khulaqah	2.33	2.36	2.50	2.67	2.87
7 Wadi Qasabah	2.40	2.43	2.57	2.76	2.95
8 Wadi Al Huqqah	14.48	14.66	15.39	16.36	17.40
9 Wadi Bani Huwat	48.67	49.01	50.43	52.31	54.32
10 Wadi Thumah	1.26	1.27	1.32	1.38	1.45
11 Wadi As Sirr	24.74	24.93	25.75	26.83	27.98
12 Wadi Al Furs	8.61	8.69	9.02	9.46	9.92
13 Wadi Al Iqbal	19.67	19.94	21.03	22.49	24.05
14 Wadi Zahr & Al Ghayl	16.30	16.49	17.26	18.30	19.41
15 Wadi Hamdan	10.16	10.31	10.89	11.67	12.51
16 Wadi Al Mawrid	8.76	8.86	9.26	9.80	10.37
17 Wadi Sa'wan	10.05	10.13	10.47	10.91	11.38
18 Wadi Shahik	10.30	10.40	10.78	11.30	11.85
19 Wadi Ghayman	5.50	5.55	5.77	6.07	6.38
20 Wadi Al Mulaikhy	3.47	3.52	3.71	3.96	4.23
21 Wadi Hizyaz	2.64	2.68	2.83	3.02	3.23
22 Wadi Akhwar	2.45	2.48	2.62	2.81	3.01
Total	209.20	211.35	220.24	232.06	244.71

単位: 百万 m³

4.2.4 工業用水の水需要

工業用水の水消費量の情報は非常に限られているため、本調査においては WEC(2001)により求められている推定結果を用いた。WEC(2001)では、”Gross Water Requirement Method”により、1995年の需要の推定を行っている。この手法による推定は、1)異なる工業製品の生産量、2)生産量の単位ごとに必要となる水量による。この手法による工業用水の需要予測結果を表4.7に示す。

表 4.7 工業用水の水需要

年	成長率(実績)			計画成長率		
	製造業	採掘および砕石業	総量	製造業	採掘および砕石業	総量
2005	4.75	0.00336	4.76	4.75	0.00336	4.76
2010	5.98	0.00452	5.99	7.12	0.00485	7.12
2015	7.53	0.00608	7.53	10.65	0.00700	10.66
2020	9.47	0.00818	9.48	15.94	0.01009	15.95

単位：百万 m³

本調査における工業用水の将来水需要予測では、貧困削減社会経済開発計画(DPPR)(2006-2010)において計測・計画されている成長率を用いている。

4.2.5 観光用水の水需要

観光セクターに関する情報は不足しているため、水需要予測は以下に示す仮定に従って行っている。

- DPPRでは2006年から2010年間の観光客の年間増加率を平均12%と設定していることから、本調査においては、この成長率が2020年まで継続すると仮定した。
- 情報が不足しているため、観光用水の水需要は、ホテルのベッドの増加率を考慮している。現時点の稼働率を40%と仮定し、DPPRに示されているベッドの増加率22%を用いて計算。
- 給水原単位は、ホテルのクラスにより次のように設定した。ヨルダンにおいて行なわれた調査結果に基づき、5~4ツ星ホテルは350 l/c/d、3~1ツ星ホテルは180 l/c/dと設定し、プールによる消費も含めている。また、その他のホテルについては120 l/c/dとした。
- サナア州に位置するホテルは、全てサナア流域内に位置しているものと仮定している。

観光用水の水需要予測結果を表4.8に示す。

表 4.8 観光用水の需要予測結果

ホテルの種類		2005	2010	2015	2020
水需要	未区分 Hotel	0.06	0.17	0.47	1.26
	1ツ星ホテル	0.12	0.31	0.85	2.29
	2ツ星ホテル	0.07	0.18	0.49	1.33
	3ツ星ホテル	0.03	0.09	0.24	0.65
	4ツ星ホテル	0.03	0.09	0.24	0.66
	5ツ星ホテル	0.05	0.13	0.34	0.93
	総水需要	0.36	0.98	2.63	7.12

単位: 百万 m³

4.3 将来の水収支

将来の水需要予測結果を表 4.9 にまとめた。水需要量は、269.3 MCM(2005 年)から 349.6 MCM(2020 年)へと徐々に増加している。一方、循環地下水資源の量は年間 50.7 MCM と推定されている。この循環地下水資源と水需要量の収支は、地下水涵養量が変化しないと仮定しても、2020 年には 298.9 MCM に達する。このことは、化石地下水資源は減少し続けることを意味している。

表 4.9 将来の水収支

Purpose	水需要 (MCM/年)				Remarks	
	2005	2010	2015	2020		
都市給水 (家庭及び施設)	a	-	42.8	52.7	62.8	水需要は上下水道会社のサナア給水・衛生プロジェクト(SWSSP: Sana'a Water Supply and Sanitation Project)による。 オプション 1, 給水原単位 35 l/c/d
	b	54.3 (20.1%)	53.5 (18.8%)	65.9 (21.0%)	78.6 (22.5%)	
地方給水(家庭用水)	c	0.6 (0.2%)	2.5 (0.9%)	2.8 (0.9%)	3.2 (0.9%)	2010年の水需要は人口増加率2.5%、給水原単位 20 l/c/d とし推定。 2005年における水需要は推定需要の25%
工業用水	d	4.8 (1.8%)	7.1 (2.5%)	10.7 (3.4%)	16.0 (4.6%)	DPPR (2006-2010)による計画増加率
観光用水	e	0.4 (0.2%)	1.0 (0.4%)	2.6 (0.8%)	7.1 (2.0%)	増加率: 未区分~3ツ星は10%、4~5ツ星は3%。 給水原単位: 5~4ツ星は350 l/c/d、3~1ツ星は180 l/c/d、未区分は120 l/c/d
農業用水	f	83.7	88.1	92.8	97.9	実蒸発散量 (ETa), GAF (2007) 増加率は作付面積及び作物の種類により検討 現状の灌漑効率40%として算出した 水消費量 。灌漑効率40%は2020年まで続く
	g	209.2 (77.7%)	220.2 (77.4%)	232.1 (73.9%)	244.7 (70.0%)	
総消費量	h	269.3	284.3	314.1	349.6	総消費量 (h) = (b) + (c) + (d) + (e) + (g)
涵養量	i	50.7	50.7	50.7	50.7	A.Norman and W.Mulat (2007), Water Balance and Hydrological Monitoring に基づく
収支	j	-218.6	-233.6	-263.4	-298.9	収支(j) = 涵養量(i) - 総消費量(h)

注記 : 括弧内の数値は全需要量における各セクターの需要量の割合を示す。

利用可能な地下水資源は、WEC(2001)によると 5,212 MCM と推定されている。従って、表 4.9 に示した水需要予測に従って水消費を継続した場合、利用可能な地下水資源の量は、図 4.1 に示すように 2021 年には需要を満たすことが出来なくなる。

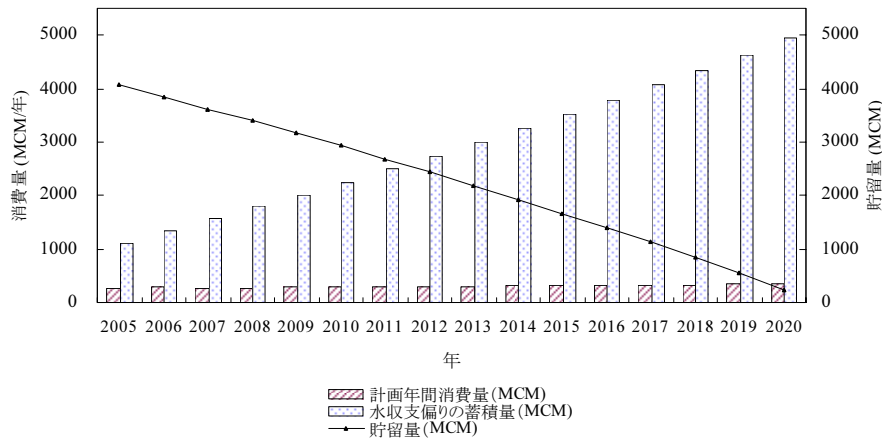


図 4.1 水需要の増加に伴う利用可能な水資源の減少

このことは、遅くとも 2020 年には、現在の地下水揚水量である 269.3 MCM を涵養量である 50.7 MCM まで、大幅に削減する必要があることを意味する。この削減量を達成するためには、全農業従事者は灌漑活動を完全に停止し、都市部における生活用水も現在の 3 分の 2 程度に減らす必要がある。しかしながら、この水の削減は明らかに非現実的であると言える。

4.4 将来のシナリオ

4.4.1 将来のシナリオ設定における基本方針

前節で述べたように、サナア流域内の水資源の持続可能性を維持するためには、2020 年までに全農業従事者は灌漑農業を完全に停止し、都市部における生活用水も現在の 3 分の 2 程度に減らす必要がある。しかしながら、地方部における経済活動は農業に依存していることを考慮すると、この水の削減は非現実的である。従って、全ての利害関係者は、2020 年までに水消費量を可能な限り削減することにより、水資源の延命を図り、その間に、更なる対応策について検討することとする。このような状況を考慮し、サナア流域の水資源管理においては水消費量の削減に向けた方向性を示すものである必要がある。水消費量を削減していくためには、将来の水需要予測を行うに当たって、既存資料において検討されている人口増加率や各セクターの経済成長率の中でも低い増加率を適用する必要がある。本調査においては、この観点に立って水需要の検討を行なった。

表 4.10 および図 4.2 に 2020 年を目標年として検討したシナリオを示す。これらの 4 つのシナリオは 5 つの水セクターの各シナリオを組み合わせで作成している。各水セクターのシナリオの検討においては、既存の経済成長計画と実現可能性を踏まえて調査団が設定した数値を考慮したものである。各シナリオの設定条件を以下に記す。

- ・シナリオ 1：各セクターにおける既存の計画の数値および調査団が設定した数値の中で

第4章: サナア流域における水資源および社会経済状況を考慮した将来のシナリオ

も、水消費量の削減に対する貢献が最も小さい数値を採用したシナリオ

- ・シナリオ2：総水消費量に占める割合が大きい都市給水と農業用水において、調査団が設定した数値を採用したシナリオ
- ・シナリオ3：総水消費量に占める割合が大きい都市給水と農業用水に加え、工業用水と観光用水においても調査団の設定した数値を採用したシナリオ
- ・シナリオ4：シナリオ3において設定した数値に加え、農業用水消費量を、2020年以降に利用可能となる下水処理水の量である50MCMまで削減した場合のシナリオ。

図4.2に示すように、既存の計画に従った水需要予測値に比較して、4シナリオとも消費量が削減される。

表 4.10 水需要シナリオ

	都市給水 (家庭及び施設)	家庭用地方給水	工業用水	観光用水	農業用水	総消費量 ^{*7)}
シナリオ 1	人口: 3,198,573 LPGR ^{*1)} 漏水率: 14.6 MCM (20%) ^{*2)} 給水原単位: 35 l/c/d ^{*3)}	人口: 437,532 ^{*5)} 給水原単位: 20 l/c/d ^{*5)}	自然増加率、 DPPR ^{*6)}	DPPRに基づく	2005年以降灌漑面積は拡大しない 灌漑効率 IE: 60% 現水需要: 83.68 MCM/年	232.3
MCM/年	73	3.2	9.5	7.1	139.5	
シナリオ 2	人口: 3,198,573 LPGR 漏水率: 10.3 MCM (15%) ^{*4)} 給水原単位: 35 l/c/d	人口: 437,532 給水原単位: 20 l/c/d	自然増加率、 DPPR	DPPRに基づく	2005年以降灌漑面積の拡大なし 灌漑効率 IE: 70% 現水需要: 83.68 MCM/year	208
MCM/年	68.7	3.2	9.5	7.1	119.5	
シナリオ 3	人口: 3,198,573 LPGR 漏水率: 10.3 MCM (15%) 給水原単位: 35 l/c/d	人口: 437,532 給水原単位: 20 l/c/d	2005年以降、流 域内の工業の成 長なし	2005年以降、流 域内の観光の成 長なし	2005年以降灌漑面積の拡大なし 灌漑効率 IE: 70% 現水需要: 83.68 MCM/year	196.6
MCM/年	68.7	3.2	4.8	0.4	119.5	
シナリオ 4	人口: 3,198,573 LPGR 漏水率: 10.3 MCM (15%) 給水原単位: 35 l/c/d	人口: 437,532 給水原単位: 20 l/c/d	2005年以降、流 域内の工業の成 長なし	2005年以降、流 域内の観光の成 長なし	灌漑面積を18,954 haから11,111 ha を縮小 7,843 haに高効率灌漑施設の設置	127.1
MCM/年	68.7	3.2	4.8	0.4	50	

*1) LPGR: サナア給水・衛生プロジェクト(SWSSP)において設定された低人口増加率

*2) 漏水率, SWSSPにおいて20%と設定されている

*3) SWSSPにおいて設定されたオプション1, 最低限のオプションで全人口への給水が目的

*4) 漏水率, 調査団が15%と設定

*5) 地方部における人口増加率2.5%、およびNWRAが設定した給水原単位20 l/c/d

*6) Socio-economic development plan for poverty reduction (DPPR, 2006-2010)に基づき算出

*7) 給水網からの漏水及び農業での過剰揚水含む

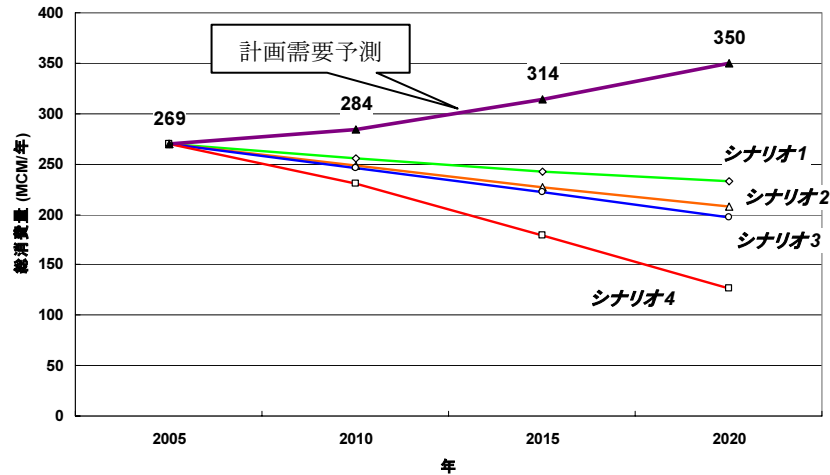


図 4.2 水需要シナリオ (2005 - 2020)

4.4.2 都市部における給水

(1) 人口

4.2.2 節に述べた将来水需要は中人口増加率を用いて予測しているが、本節においては、人口成長率を低く抑えることを目的として、低人口増加率を採用した。予測結果を表 4.11 に示す。

表 4.11 低人口増加率に基づく人口予測

年	2005	2010	2015	2020
人口	1,840,578	2,318,455	2,787,806	3,198,573
人口増加率	5.31 %	4.34 %	3.37 %	2.40 %

*1) 人口増加率はNWSA(2000)を引用

*2) 人口は統計年鑑(2005)のデータを基に推定

(2) 水需要のシナリオ

表 4.12 に示すように、都市給水における水需要のシナリオを、以下に示す条件に従い 2 種類設定した。なお、表 4.12 に示しているシナリオ番号は、表 4.10 の各シナリオ番号に対応させている。

- 人口増加率は“中”から“低”に減少させる
- 給水原単位は、SWSLC が設定している、サナア市の全人口への給水を目的として、35 1/c/d とする。

シナリオ 1 では、SWSSP に従って漏水率を 20%と設定し、2020 年まで継続すると想定した。シナリオ 2、3、4 では、漏水率を 2010 年まで 20%、2015 年には 15%に向上させることを想定している。これらのシナリオの実施により、4.2.2 節に示した現状に基づいた水需要予測

の結果である 78.6 MCM に比較して、シナリオ 1 では 2020 年に年間 5.6 MCM、シナリオ 2、3、4 では年間 9.9 MCM の水量が節約できる。

表 4.12 都市給水におけるシナリオ

シナリオ 1

年	2005	2010	2015	2020
給水原単位 (l/c/d)	50.8	35	35	35
施設利用量 (30% of total)	-	15	15	15
需要	-	50	50	50
生産量(漏水量含む) (l/c/d)	-	62.5	62.5	62.5
漏水率 (%)	-	20	20	20
カバー人口 (LGR)	-	2,318,455	2,787,806	3,198,573
総生産量 (MCM/year)	54.2	52.9	63.6	73.0

シナリオ 2, 3 & 4

年	2005	2010	2015	2020
給水原単位 (l/c/d)	50.8	35	35	35
施設利用量 (30% of total)	-	15	15	15
需要	-	50	50	50
生産量 (漏水量含む) (l/c/d)	-	62.5	58.8	58.8
漏水率 (%)	-	20	15	15
カバー人口 (LGR)	-	2,318,455	2,787,806	3,198,573
総生産量 (MCM/year)	54.2	52.9	59.9	68.7

4.4.3 地方部における生活用水

地方部における人口増加率に関する情報はまとめられていないこと、生活用水に水資源の配分の優先順位が与えられていることから、人口増加率は GARWSP が採用している 2.5%を採用し、この率が 2020 年まで継続すると仮定した。

4.4.4 工業用水

工業用水の需要に関しては、2 種類のシナリオを検討した。シナリオ 1&2 では DPPR に示されている、2000-2005 年の実績に基づく年 4.7%の成長率を採用した。シナリオ 3&4 では、サナア流域内では工業活動を拡大しないこととした。これらのシナリオを表 4.13 に示す。なお、表 4.13 に示しているシナリオ番号は、表 4.10 の各シナリオ番号に対応させている。

表 4.13 工業用水におけるシナリオ

シナリオ 1 & 2

年	2005	2010	2015	2020
製造業 (MCM)	4.75	5.98	7.53	9.47
採掘および砕石業 (MCM)	0.00336	0.00452	0.00608	0.00818
需要 (MCM)	4.8	6.0	7.5	9.5

シナリオ 3 & 4

年	2005	2010	2015	2020
製造業 (MCM)	4.75	4.75	4.75	4.75
採掘および砕石 (MCM)	0.00336	0.00336	0.00336	0.00336
需要 (MCM)	4.8	4.8	4.8	4.8

シナリオ 1&2 については、DPPR(2006-2010)における計画成長率ではなく、それより低い成長率である 2001-2005 年の実績に基づいた成長率を用いている。また、シナリオ 3&4 については、2005 年以降は 0%の成長率と設定し、流域内の工業用水消費量は増加しないこととした。これらのシナリオの実施により、4.2.4 節で述べた DPPR(2006-2010)の計画に基づいた水需要予測結果である 16 MCM に比較して、シナリオ 1&2 では 2020 年に年間 6.5 MCM、シナリオ 3&4 では 2020 年に年間 11.2 MCM の水資源を節約できる。

4.4.5 観光用水

観光セクターの水需要予測に関する情報は限られていることから、2 種類のシナリオを検討した。シナリオ 1&2 では、DPPR(2006-2010)に設定されている観光客の増加率 12%を用いている。一方、シナリオ 3&4 では、観光用水は一定としている。これらのシナリオを表 4.14 に示す。なお、表 4.14 に示しているシナリオ番号は、表 4.10 の各シナリオ番号に対応させている。シナリオ 3&4 の実施においてのみ、4.2.5 節で述べた DPPR(2006-2010)の計画に基づいた水需要予測結果である 7.1 MCM に比較して、2020 年に年間 6.7 MCM の水を節約できる。

表 4.14 観光用水におけるシナリオ

シナリオ 1 & 2

年	2005	2010	2015	2020
需要 (MCM)	0.4	1.0	2.6	7.1

シナリオ 3 & 4

年	2005	2010	2015	2020
需要 (MCM)	0.4	0.4	0.4	0.4

4.4.6 灌漑用水

灌漑用水の消費量は、サナア流域における全水消費量の 77%を占めている(2005 年現在)。

灌漑における節水は全消費量の削減に大きく貢献するが、そのためには、サナア流域における経済構造への影響を最小限にとどめ農業従事者の生活を確保する必要がある。このセクターのセンシティブな点と重要性を考慮して、表 4.15 に示すように3種類のシナリオを検討した。なお、表 4.15 に示しているシナリオ番号は、表 4.10 の各シナリオ番号に対応させている。

表 4.15 灌漑用水に関するシナリオ

シナリオ 1

年	2005	2010	2015	2020
実需要 (MCM)	83.7	83.7	83.7	83.7
灌漑効率 (%)	40	-	-	60
総需要 (MCM)	209.2	193.1	166.3	139.5

Scenario 2 & 3

年	2005	2010	2015	2020
実需要 (MCM)	83.7	83.7	83.7	83.7
灌漑効率 (%)	40	-	-	70
総需要 (MCM)	209.2	188.5	154.0	119.5

Scenario 4

Year	2005	2010	2015	2020
年間縮小灌漑面積 (ha)	0	855	855	855
総面積18,954 haより縮小された面積 (ha)	0	2,564	6,838	11,111
節約可能量 (MCM)	0	28	75	122
高効率灌漑施設の導入が必要な総灌漑面積 (ha)	0	603	603	603
総面積7,843 haの設置実施面積 (ha)	0	1,810	4,826	7,843
節約可能量 (MCM)	0	9	23	37
総節約量	0	37	98	159
総需要 (MCM)	209.2	172.2	111.2	50.2

シナリオ 1 およびシナリオ 2&3 は、灌漑効率をそれぞれ 40%から 60%、そして 70%に向上させることにより水の消費量を削減するものである。そして、農業従事者は灌漑面積を拡大させないことが要求される。これらのシナリオにおいては、現在の灌漑活動はダメージを受けず、生産量の増加が期待できる。シナリオ 4 は、水消費量を年間 50 MCM まで削減するものである。なお、50 MCM は、2020 年には年間約 50 MCM の下水処理水が利用できるようになることを考慮したものである。このシナリオにおいては、灌漑活動は、現在の灌漑面積の約 3 分の 2、すなわち 11,111 ha において停止する必要がある。この場合、灌漑農業を止めることにより生じる収入の減少を補完する他の収入手段の確保が必要となる。

これらのシナリオの実施により、4.2.3 節で述べた現状に基づいた水需要予測結果である 244.7 MCM に比較して、シナリオ 1 では、2020 年に年間 105.2 MCM、シナリオ 2&3 では、2020 年に 125.2 MCM、シナリオ 4 では、2020 年に 194.5 MCM の水を節約することが出来る。

4.5 可能な限りの持続可能性に向けた将来のシナリオ

4.5.1 各シナリオにおける地下水資源の利用可能期間

既存の調査によると、地下水涵養量は年間 50.7 MCM、利用可能な地下水貯留量は 5,212 MCM とそれぞれ推定されている。地下水の涵養量に加えて、年間 56.6 MCM の下水処理量となる容量の拡張が既に始まっており、2020 年には下水処理水の灌漑への利用が計画されている。従って、新たな水資源として、約 50 MCM の下水処理水が利用できる。これら推定値に基づいて、4.4.1 節において示した各シナリオにしたがって水消費量の削減を実施した場合の、サナア流域の水資源の利用可能期間を、以下の 3 条件について検討した。

- 1) 既存調査において推定されている地下水涵養量が期待できなくなった場合
- 2) 既存調査において推定されている地下水涵養量が一定している場合
- 3) 2020 年以降に下水処理水の再利用が可能となる場合

その結果を、表 4.16、図 4.3 および 4.4 にそれぞれ示す。

表 4.16 各シナリオにおける水資源の期待できる利用可能期間

シナリオ 1

	2005	2010	2015	2020	利用可能期間		
					涵養なし	涵養あり	2020以降下水処理水の再利用
都市	54.3	52.9	63.6	73	2021	2027	2030
地方	0.6	2.5	2.8	3.2			
工業	4.8	6	7.5	9.5			
観光	0.4	1	2.6	7.1			
農業	209.2	193.1	166.3	139.5			
総消費量	269.3	255.5	242.8	232.3			

シナリオ 2

	2005	2010	2015	2020	利用可能期間		
					涵養なし	涵養あり	2020以降下水処理水の再利用
都市	54.3	49.8	59.9	68.7	2022	2029	2034
地方	0.6	2.5	2.8	3.2			
工業	4.8	6	7.5	9.5			
観光	0.4	1	2.6	7.1			
農業	209.2	188.5	154	119.5			
総消費量	269.3	247.8	226.8	208			

シナリオ 3

	2005	2010	2015	2020	利用可能期間		
					涵養なし	涵養あり	2020以降下水処理水の再利用
都市	54.3	49.8	59.9	68.7	2023	2030	2036
地方	0.6	2.5	2.8	3.2			
工業	4.8	4.8	4.8	4.8			
観光	0.4	0.4	0.4	0.4			
農業	209.2	188.5	154	119.5			
総消費量	269.3	246	221.9	196.6			

シナリオ 4

	2005	2010	2015	2020	利用可能期間		
					涵養なし	涵養あり	2020以降下水処理水の再利用
都市	54.3	49.8	59.9	68.7	2028	2045	2045以降
地方	0.6	2.5	2.8	3.2			
工業	4.8	4.8	4.8	4.8			
観光	0.4	0.4	0.4	0.4			
農業	209.2	172.5	111.2	50			
総消費量	269.3	230	179.1	127.1			

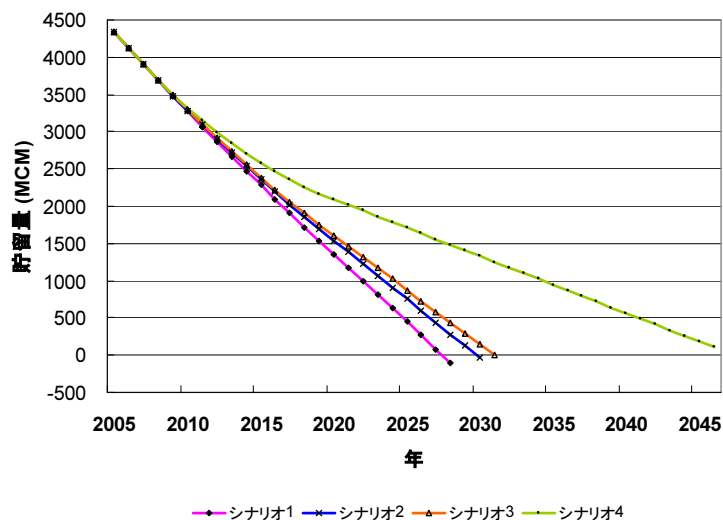


図 4.3 期待できる地下水資源の利用期間 (涵養量が一定している場合)

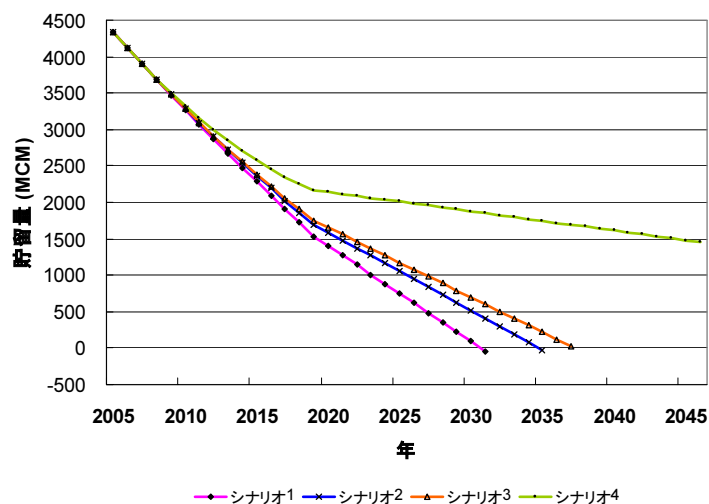


図 4.4 期待できる地下水資源の利用期間 (涵養量が一定し、2020年から下水処理水の再利用が可能となる場合)

ここで、社会経済状況に基づいたシナリオを実行した場合においても、地下水資源は徐々に減少を続け、最終的には回復不可能な状態に陥ることを述べておく。

4.5.2 可能な限りの持続可能性に向けた将来のシナリオの選定

本章の4.3節に述べたように、現状の水需要に従って水消費が行なわれた場合、利用可能な地下水資源は、2020年に非常な危機的な状況に陥ってしまう。このことは、経済活動はダメージを受け、サナア流域内に住んでいる人々への給水でさえも不可能になることを意味している。サナア市への給水を目的とした代替水源としてのサナア流域外からの導水について

は、第2章2.2.4節に述べたように、代替水源による水道料金が公共水道料金に比較して高額になるため、受益者による維持管理費の負担という観点からは、非常に困難であると判断できる。

従って、サナア流域内の水資源の持続可能性を維持するための最終的な解決策は、遅くとも2020年までには、水消費量を涵養量と均衡するまで大幅に削減することである。しかしながら、そのためには全ての灌漑活動を停止し、生活用水も3分の2に削減する必要があるため、非常に多くの努力が全利害関係者に要求されることになり、非現実的であるといえる。

これらの困難な状況を考慮し、4.4.1節で設定した水資源消費量削減を目指した4つのシナリオの評価を行なった。その評価内容を以下に示す。

- ・ シナリオ1: 総水消費量に占める割合が最大である農業用水の灌漑効率を60%と設定しているが、パイプによる送水を増やすことにより更なる効率の向上が可能である。また、都市給水においては漏水率を20%と設定したが、地面に現れてこない漏水を検知して修理することにより更なる漏水率の削減は可能である。したがって、更なる水消費量削減の可能性を有している。
- ・ シナリオ2: 総水消費量に占める割合が大きい農業用水と都市給水における水消費削減効果を可能な限り大きくなるよう設定しているが、工業用水と観光用水の削減を設定していない。したがって、更なる水消費量削減の可能性を有している。
- ・ シナリオ3: 農業用水と都市給水における水消費削減効果が可能な限り大きく設定していると同時に、工業用水と観光用水の増加の抑制を設定している。したがって、更なる水消費量削減のためには、経済活動へ大きな影響を及ぼすことが懸念される。
- ・ シナリオ4: シナリオ3の設定条件に加え、農業用水における消費量を、2020年以降利用可能となる下水処理水の量である50MCMまで削減している。しかしながら、現在の灌漑面積を3分の1まで減少させる必要があり、その結果として農産物が減少する。そのことにより、農業従事者の収入は減少し、農業経済への影響も懸念されるため、実現には非常に大きな困難を伴うことが想定される。

上述のように、シナリオ1および2は、更なる水消費削減の可能性を有している。また、シナリオ4は、水消費削減量は4つのシナリオの中で最大であるが、灌漑面積を減少させることによる農業経済への影響が懸念される。したがって、水消費削減策の実施可能性が高く、かつ水消費量の削減量が最大となるシナリオ3を、持続可能性に向けた将来のシナリオとして選定する。

このシナリオ3の実行により、2020年には、年間153MCMの水の節約が可能となり、危

第4章: サナア流域における水資源および社会経済状況を考慮した将来のシナリオ

機能的状況にある水資源の現状は、可能な限り緩和される。そして、水資源が危機的状況に陥るまでの猶予期間は、2007年から約30年後の2036年まで延長される。

以下に示す項目は、シナリオ3に従って2020年までに取り組むべき行動の中で、優先順位が高いものである。これらの行動は、水消費量の削減において大きく貢献するとともに、その実施も可能である。

- 灌漑効率を、2020年までに40%から70%まで向上すると共に、灌漑農地の拡大は行なわない。このことにより、灌漑面積の拡大傾向に基づいて予測した水需要である244.7 MCMに比較して、年間125.2 MCMの地下水資源の節約が可能になる。
- 都市給水における漏水率を30%(推定値)から、2015年までに15%に軽減させることにより、年間9.9 MCMの水資源の節約が可能になる。
- 下水処理水の灌漑用水としての再利用と下水処理施設の容量拡張によって、約50 MCMの下水処理水が2020年に再利用されることになる。

これらの行動の詳細については、第5章に述べる。

しかしながら、シナリオ3を全て実施した場合でも、図4.5に示すように、貴重な水資源は2037年には非常に危機的な状況に陥ってしまうことを、再度言及しておく。

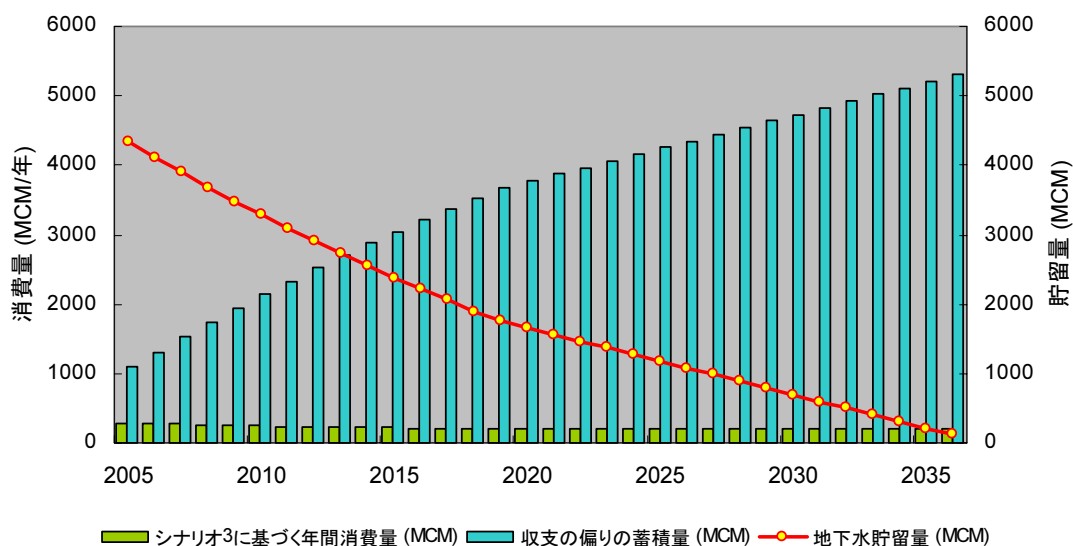


図 4.5 シナリオ3における期待できる地下水資源の利用可能期間

第5章 サナア流域水資源管理行動計画

5.1 行動計画の方向性

水資源の危機的状況の緩和および次世代の将来を確保するために、実施すべき行動計画を策定した（表 5.1 参照）。行動計画は、先の章に記述した水資源の現状と将来の社会経済的シナリオを考慮したものである。水資源管理行動計画は、その効果の観点から、“行動計画”および“より良い効果を得るために実施すべき行動”から構成される。前者は、第4章 4.5 節に述べたシナリオ 3、すなわち、2020 年までに年間 153MCM の水資源を節約するために、早急に実施すべき行動を提示しており、危機的状況にある水資源の減少の緩和に大きく貢献するものである。一方、後者は、“行動計画”の実施による効果をより高めることを可能にする行動を提示したものである。水資源の減少の緩和に貢献するが、現時点においてはその減少量を特定できない行動を提示したものであり、現状の把握から取り掛かることを第一の活動としている。

表 5.1 実施すべき行動

番号	サナア流域水資源管理行動計画の内容	節番号
行動計画		
1	灌漑用水の削減	5.2.1
2	都市給水における漏水の削減	5.2.2
3	下水処理水の再利用の実現化	5.2.3
4	工業用水消費量の抑制	5.2.4
5	観光用水消費量の抑制	5.2.5
6	制度開発	5.2.6
7	組織開発	5.2.7
より良い効果を得るために実施すべき行動		
1	地下水資源の汚染からの保護	5.3.1
2	表流水の効果的な利用	5.3.2
3	サナア市における民間による給水の最適化	5.3.3
4	水資源の地域間およびセクター間の再配分	5.3.4

2020 年までの行動計画を実施することにより、現状の水利用状況を踏まえた水需要量に比較して、年間約 150 MCM の水資源が節約される。そして、限りある水資源は 2007 年から約 30 年後の 2036 年まで利用することが可能となる。この期間に、全ての利害関係者は、将来の世代のために、水資源の持続可能性の確保に向けた次の行動を検討することが要求されている。行動計画の詳細な内容は、次節以降に記述する。

5.2 行動計画

5.2.1 灌漑用水の削減

目的

灌漑効率を40%から70%へ向上させることにより、2020年までに灌漑用水を、90 MCM削減する。

灌漑効率を40%から70%に向上することによる灌漑用水の削減を実施すべきである。その結果、限りある水資源を2020年までに、年間90 MCM節約することが可能となる。すなわち、現時点において209 MCMとなっている灌漑用水量を、2020年までに119 MCMに削減する。なお、この行動の実施においては、節約された水を他の土地で利用することにより容易に生じると考えられる灌漑面積の拡大を支援することにならないように十分に注意する必要がある。

活動

(1) 近代型灌漑施設の有効性に関する農家の認識の向上

SBWMPのコンポーネントの1つである近代型灌漑施設の導入を通して、パイロット農場では、水消費量の減少、生産量の向上、肥料消費の減少、燃料消費量の減少などの実質的な向上が確認されたにもかかわらず、施設の普及はいまだに不十分な状態となっている。2007年9月現在、近代型灌漑施設の導入面積は771 haとなっており、プロジェクトの対象としている4,000 haの20%弱となっている。導入の進捗は未だに遅れているが、施設の導入は、4.2.5 4)節で述べた活動の実施による水利用者組合の能力の向上とプログラムの開発を通して取り組んでいくことが必要である。

従って、近代型灌漑施設の有効性に関する、農業従事者の認識の向上を目的とした啓発活動を、地方自治体、水利用者組合、水利用者グループと密接な協力のもと、向上させていく必要がある。その際には、SBWMPの実施を通して得られた結果を用いて、コストリカバリーの期間や成果の提示を行ないつつ実施していく。

(2) 農業従事者に対する農場を拡張しないことの理解促進

農場拡張の管理は、水消費量を最小限にするために実施すべき活動の1項目である。しかしながら、この活動は、農業従事者の認識向上、インセンティブ、規則の施行の実施と合わせて実行する必要がある。

(3) 近代型灌漑施設の導入

灌漑用水における、年間に節約すべき水量、節約する総量、総用水量を、図 5.1 に示す。表 5.2 に、灌漑効率の向上による、2020 年までの詳細な年間灌漑用水削減スケジュールを示す。

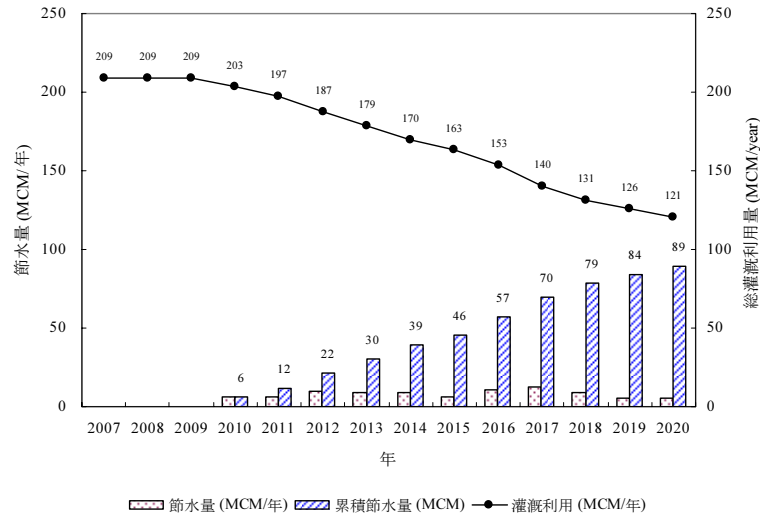


図 5.1 灌漑用水の削減シナリオ

現時点の灌漑農地において灌漑効率を向上させた場合の節約可能水量は以下のように求めた。現時点における、1ヘクタール当りの水消費量は、0.011 MCMと推定される。この値は、各作物の実消費水量である蒸発散量を、加重平均して求めた値である 0.0044 MCM/ha に対して、灌漑効率 40%を適用して求めたものである。従って、近代型灌漑施設の導入により灌漑効率を 40%から 70%へ向上させることにより、1ヘクタール当りの水消費量は 0.0063 MCM となる。すなわち、現状に比較して 0.0047 MCM/ha の水の節約が可能となる。従って、1.0 MCM の水を節約するためには、約 212ヘクタールの農地における近代型灌漑施設の導入が必要となる。

灌漑効率の向上は、支流域ベースで実施し、最初に水収支のマイナスが大きい支流域から取りかかる必要がある。

実施においては、次の 5つの支流域、“Wadi Al Huqqah”、“Wadi Bani Huwat”、“Wadi As Sirr”、“Wadi Al Furs”、“Wadi Al Mawrid”において、2010年から取り組む必要がある。

近代型灌漑施設の導入コストについては、灌漑施設や導水施設によって異なるが、1ヘクタール当たり、3,600 US\$~4,800 US\$程度となっている。従って、18,955 ha への

導入の総額は、11年間で6,800万ドル～9,100万ドルとなり、年間の平均コストは620万ドル～830万ドルとなる。NWSSIPでは、2005年から2009年の間に、年間500万ドル～650万ドルが、SBWMPにおける灌漑と流域管理に配分されている。従って、必要な額と利用できるコストの差額と2010年以降のコストは新たに確保される必要がある。

(4) 地下水揚水量測定メーターの設置を伴う灌漑用水管理体制の導入

地下水の過剰揚水の削減および作物の生産性を向上させるために重要な要素である、地下水揚水量測定メーター設置を伴う灌漑用水の管理体制を確立していく。なお、この活動は、近代型灌漑施設の有効性を高め、かつ維持していくために専門家による支援のもと実施していく必要がある。

(5) GDI およびNWRA サナア支局の灌漑担当の職員の能力向上

行動計画の初期段階である2008年から2011年の間に、近代型灌漑施設の運営・維持、設置に関する能力を向上することを目的として、第3章3.2.6節に述べたように、経験豊富な講師による効果的な研修コースの設定が必要である。

(6) 灌漑活動に関する補助金制度の見直し

灌漑活動に関する補助金制度は、地下水資源の過剰揚水の原因の一つであると認識されていることから、補助金制度は段階的に見直していく。

表 5.2 灌漑用水の削減スケジュール

年		2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	
年間削減量		0.0	0.0	0.0	6.00	6.00	9.82	8.52	9.00	6.53	10.99	12.90	9.06	5.17	5.10	
1	Wadi Al Mashamini	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.6	0.6	0.6	0.6
		69											0.32	68		
2	Wadi Al Madini	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	3.5	2.9	2.9	2.9	2.9
		352										213	138			
3	Wadi Al Kharid	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	2.0	1.9	1.9	1.9	1.9
		238										1.0	0.1			
4	Wadi Al Ma'adi	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
		100										0.5				
5	Wadi A'sir	7.6	7.6	7.6	7.6	7.6	7.6	7.6	7.6	7.6	6.6	5.6	4.9	4.9	4.9	4.9
		593									1.0	1.0	0.79			
6	Wadi Khulaqah	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4
		181										0.85				
7	Wadi Qasabah	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	1.5
		186														0.87
8	Wadi Al Huqqah	14.5	14.5	14.5	13.5	12.5	11.5	10.5	9.5	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0
		1176			1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.53						
9	Wadi Bani Huwat	48.7	48.7	48.7	46.7	44.7	42.7	40.7	38.7	36.7	33.7	30.2	26.0	26.0	26.0	26.0
		4826			2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	3.0	3.5	4.18			
10	Wadi Thumah	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	0.7	0.7
		126													0.59	0.6
11	Wadi As Sirr	24.7	24.7	24.7	23.7	22.7	21.7	20.7	18.7	16.7	14.7	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5
		2603			1.0	1.0	1.0	1.0	2.0	2.0	2.04	2.20				
12	Wadi Al Furs	8.6	8.6	8.6	7.6	6.6	5.6	4.6	4.6	4.6	4.6	4.6	4.6	4.6	4.6	4.6
		856			1.0	1.0	1.0	1.0								
13	Wadi Al Iqbal	19.7	19.7	19.7	19.7	19.7	18.7	17.7	16.7	15.7	14.2	12.4	12.4	12.4	12.4	12.4
		1538			1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.5	1.73					
14	Wadi Zahr & Al Ghayl	16.3	16.3	16.3	16.3	16.3	15.3	14.3	13.3	12.3	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2
		1297			1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	2.1						
15	Wadi Hamdan	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	9.2	7.7	6.5	6.5	6.5
		789										1.0	1.5	1.21		
16	Wadi Al Mawrid	8.8	8.8	8.8	7.8	6.8	5.3	5.3	5.3	5.3	5.3	5.3	5.3	5.3	5.3	5.3
		739			1.0	1.0	1.47									
17	Wadi Sa'wan	10.1	10.1	10.1	10.1	10.1	10.1	10.1	10.1	10.1	9.6	8.6	7.1	5.1	5.1	5.1
		1055									0.5	1.0	1.5	1.96		
18	Wadi Shahik	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3	9.0	7.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5
		1032					1.35	1.5	2.0							
19	Wadi Ghayman	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	4.5	3.0	3.0
		533												1.0	1.5	2.5
20	Wadi Al Mulaikhy	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	2.5	2.2	2.2
		269												1.0	0.3	1.3
21	Wadi Hizyaz	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	1.7	1.7
		206													1.0	1.0
22	Wadi Akhwar	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	1.6	1.6
		191													0.9	0.9

単位 : 百万m³

上段 : 行動計画に順ずる支流の年間水消費量

中段 : 支流で削減される水量

下段 : 近代型灌漑施設の設置が必要な灌漑面積 (ha)

注 : 左側下段に示す数字はNorman and Mulat (2007)による現灌漑面積 (ha)

その他の灌漑用水削減方法

(1) 水消費の少ない作物の導入

近代的灌漑施設の導入に加えて、水消費の少ない作物の導入も水消費量の削減に効果がある。SBWMPにおいて作物転換の試行が行なわれているが、その結果はまだ報告されていない。従って、まず、パイロット計画における効果を含む詳細な状況について把握する必要がある。

水消費の少ない作物の導入が効果的であると結論付けられた場合には、政府は早い段階において、生産作物の市場の形成し、農業従事者の安定した収入手段を確保する必要がある。

(2) 灌漑農地の削減

灌漑農地の削減も水の節約に寄与する。この活動を実施するためには、まず、農業従事者に対する補償制度の設立が必要となる。

責務

行動の関連機関と責務を表 5.3 に記す。

表 5.3 灌漑の水利用効率の向上に対する責務

組織	責務
農業灌漑省	実施機関
水利用者組合、グループ	近代型灌漑施設の他の農場への普及
地方自治体	農業従事者の意識向上の支援
NWRA サナア支局	農業従事者の意識向上

この行動は、NWRA サナア支局主導のもと、農業灌漑省、地方自治体、水利用者組合が実施する。NWRA サナア支局は、農業従事者の意識向上と灌漑の水消費量のモニタリングを実施する責務を有する。

5.2.2 都市給水における漏水の削減

目的

都市給水における漏水率を 30% (推定値) から 15% に軽減させ、2020 年までに 9.9 MCM の水を節約する。

サナア上下水道公社により運営されている都市給水網における無駄な水量の削減を実施すべきである。漏水率を30%から15%に軽減させることにより、現状の水需要予測値である78.6 MCMに比較して、9.9 MCMの水量を節約できる。

活動

(1) 都市給水における給水原単位の減少に関する水利用者の理解促進

サナア上下水道公社による給水計画では、サナア市の全住民に給水することを目的として、給水原単位を35 l/c/dに設定している。2005年における実際の給水量は50.8 l/c/dとなっており、設定された給水原単位を採用する場合、給水量は約30%減少する。従って、サナア上下水道公社は、漏水の削減と同時に、給水原単位の減少に対する利用者の理解が得られるための活動を行う必要がある。

(2) 漏水探知技術の向上

漏水を効果的に削減するためには、漏水探知技術の向上が重要な要素となっている。従って、サナア上下水道公社は、2015年に漏水率を15%まで削減するための詳細なスケジュールを作成する必要がある。また、漏水調査技術、経験豊富な専門家による技術移転を伴う漏水探知機の導入、投資計画、破損したパイプの修復や交換等に関しても、現在進行中の世銀支援によるプロジェクトの進捗状況を考慮した上で、スケジュールを作成する必要がある。更に、各戸の水道メーターや井戸のメーターの定期的な調整や交換についてもスケジュールを作成する必要がある。

漏水率が30%から15%に軽減された場合、向上により節約される水量は、2004年における実際の生産量をもとに計算すると、消費水量によるが、年間135万ドル～174万ドルに換算される。

(3) 生産量と漏水軽減活動の進捗状況のモニタリング

NWRA サナア支局は、水資源管理を進めていくために、都市給水の生産量、導水管、配水管、貯水槽などの給水施設からの漏水の軽減活動の進捗状況を定期的に収集していく。

責務

行動の関連機関と責務を表5.4に示す。

表 5.4 SWSLC が運営している都市給水における水利用効率の向上における責務

組織	責務
サナア市上下水道公社、 サナア市役所	- 給水原単位の減少に関する水利用者の理解促進 - 漏水削減のための詳細スケジュールの作成
NWRA サナア支局	生産量と漏水率向上活動の進捗状況のモニタリング

5.2.3 下水処理水の再利用の確実な実行

目的

灌漑用の水消費量を削減するために、50 MCM の下水処理水を灌漑目的に再利用する。

第3章の3.6.3節に述べたように、サナア市上下水道公社は、既に灌漑への利用を目的とした下水処理場の容量の拡張に取りかかっている。処理能力は105,000 m³/日である。従って、総容量は、2020年に155,000 m³/日に達する。十分な水質を有する処理水の約90%が利用可能であるとする、水資源として利用可能な量は年間50 MCMとなる。そして、2020年以降、灌漑用水のうち毎年50 MCMの水が節約できる。従って、サナア市上下水道公社、NWRA サナア支局、水利用者組合は、以下に述べる活動を通して、2020年までに下水処理水の灌漑用水としての再利用を確実に実行する必要がある。

活動

(1) 既存の下水処理場の能力向上および下水処理場の新規建設を確実にする

サナア市上下水道公社は、既存の下水処理場（処理能力50,000 m³/日）の修理、新規の下水処理場（処理能力105,000 m³/日）の建設、汚水の処理施設の建設を管理する必要がある。

(2) 下水処理水の配分計画

下水処理水を下水処理場の下流に位置する農場へ重力により導水することは最もフィージブルであるが、関連組織、特に農業灌漑省とサナア市上下水道公社は、支流域内での水収支が2020年時点で大きくマイナスである地域への配分に関する実現可能性について検討する必要がある。下流域には下水処理水を消費するための十分な灌漑用水の需要は無いことから、限られた水資源を可能な限り利用する方法を検討する必要がある。

下水処理水の配分先としての提案地域は、表5.5に示す“Wadi Al Huqqah”，“Wadi

Bani Huwat”, “Wadi Al Furs” and “Wadi Al Mawrid” の4支流域である。これらの提案地域は、地理的条件と揚水量と涵養量のバランスを考慮して選定されている。表 5.5 に示すように、“支流域 16 Wadi Al Mawrid” においては、下水処理水を灌漑用水として再利用をしたとしても、涵養量に対する揚水量の割合は 17.3 倍と高いままである。これは、“Wadi Al Mawrid” には、首都であるサナア市の主要部が位置しており、生活用水が揚水量の多くを占めているためである。

表 5.5 下水処理水の配分先として提案される支流域

支流域	灌漑用利用量				涵養量	揚水量 / 涵養量		提案 支流域
	2007	2010	2015	2020		再利用なし	再利用あり	
1	Wadi Al Mashamini	0.9	0.9	0.9	0.6	0.90	0.64	
2	Wadi Al Madini	4.5	4.5	4.5	2.9	2.73	1.06	
3	Wadi Al Kharid	3.0	3.0	3.0	1.9	1.76	1.27	
4	Wadi Al Ma'adi	1.3	1.3	1.3	0.8	1.71	1.29	
5	Wadi A'sir	7.6	7.6	7.6	4.9	4.27	1.14	
6	Wadi Khulaqah	2.3	2.3	2.3	2.3	1.54	1.51	
7	Wadi Qasabah	2.4	2.4	2.4	1.5	0.83	1.84	
8	Wadi Al Huqqah	14.5	13.5	9.0	9.0	1.36	8.70	◎
9	Wadi Bani Huwat	48.7	46.7	36.7	26.0	5.58	6.84	◎
10	Wadi Thumah	1.3	1.3	1.3	0.7	1.00	2.66	
11	Wadi As Sirr	24.7	23.7	16.7	12.5	3.81	7.04	
12	Wadi Al Furs	8.6	7.6	4.6	4.6	0.79	12.13	◎
13	Wadi Al Iqbal	19.7	19.7	15.7	12.4	2.31	5.39	
14	Wadi Zahr & Al Ghayl	16.3	16.3	12.3	10.2	7.11	1.46	
15	Wadi Hamdan	10.2	10.2	10.2	6.5	0.82	7.87	
16	Wadi Al Mawrid*	8.8	7.8	5.3	5.3	1.54	20.73	◎
17	Wadi Sa'wan	10.1	10.1	10.1	5.1	1.41	3.61	
18	Wadi Shahik	10.3	10.3	5.5	5.5	4.12	1.35	
19	Wadi Ghayman	5.5	5.5	5.5	3.0	1.24	2.42	
20	Wadi Al Mulaikhy	3.5	3.5	3.5	2.2	1.66	1.33	
21	Wadi Hizyaz	2.6	2.6	2.6	1.7	1.92	1.15	
22	Wadi Akhwar	2.5	2.5	2.5	1.6	2.32	3.25	

*: 首都であるサナア市が含まれる支流域

(3) 下水処理水の利用について、デモンストレーションによる農業従事者の理解促進

NWRA サナア支局は、家畜、農業従事者、作物の生産性への悪影響を防ぐために、不十分な下水処理水を利用しないように農業従事者の理解促進を、SBWMP の一環として、2007 年に開始している。従って、適切に処理された水の灌漑利用についての農業従事者の理解促進を、この活動の一環として実行していく。既存の下水処理施設の改善は、新規建設の前に 2015 年に完了する計画となっている。従って、デモンストレーションの準備を、下水処理場の北部の枯れ川に位置する農場の所有者と水利用者組合と共に 2013 年に開始する。

更に、下水処理水の使用量の課金についても、容易ではないが、貴重な水資源を節約するとの観点から検討すべきである。

(4) 水質および水量のモニタリング

下水処理水の再利用を確実に進めていくことを目的として、サナア上下水道公社は、下水処理場から排水される処理水の水質および水量のモニタリングを実施し、結果をNWRA サナア支局に定期的に提出する。

責務

関連機関と責務を表 5.6 に記す。

表 5.6 下水処理水の再利用の確実な実行のための責務

組織	責務
サナア市上下水道公社、 サナア市役所	実施機関
農業灌漑省	- 実施機関 - 下水処理水の再利用と課金に関する農業従事者の理解促進
水利用者組合	農業従事者の理解促進
NWRA サナア支局	- 処理場からの排水の質・量のモニタリング - 農業従事者の受入れ体制の向上

5.2.4 工業用水消費量の抑制

目的

加速する水資源の減少を防ぐことを目的として、工業用水消費量を抑制する。

限りある水資源の減少を防ぐことを目的として、工業用水消費量の管理体制を構築する必要がある。

活動

(1) 工場内で利用されている水源の台帳の作成

NWRA サナア支局は、工業省と共に、工業用水の実態を把握することを目的としたインベントリー調査を実施する。ほとんどの水源は私設の井戸であり、工場の敷地内に位置しているため、工業用水の消費量は、間接的なデータを用いて求められている。従って、インベントリー調査は、水消費量を適切に管理するために不可欠である。

(2) サナア流域内での工業活動の不拡大に関する工場主への理解促進

工場を拡大しないことは、工業用水消費量を増加させないための1つの方法である。従って、NWRA サナア支局と工業省は、工場主に対して、水消費量を増加させるような工場の拡張は行なわないように理解促進を図る必要がある。

(3) 工場における過剰な水利用の削減と工場内での再利用

限りある水資源を節約することを目的として、工業生産活動においては、過剰な水消費を削減すると共に、水の再利用を行なっていく。

(4) 水資源の現状を考慮した工業セクターの計画策定の準備

厳しい状況にある水資源の状況を緩和することを目的として、工業省と関連組織は、NWRA サナア支局との協議のもと、水資源の現状を考慮したセクターの開発計画の策定に向けた取組みを開始する必要がある。サナア流域内における工業セクターの開発が必要となる場合には、農業用水から工業用水への水の再配分を実行するために協議する必要がある。

責務

関連組織と責務を表5.7に示す。

表 5.7 工業用水消費量の抑制に関する責務

組織	責務
工業省	水資源の現状を考慮したセクター開発計画の準備
NWRA サナア支局	<ul style="list-style-type: none"> - 工場が利用している水源に関するインベントリー調査 - 水消費量を増加させる工業活動を行なわないように工場主の理解促進を図る。

5.2.5 観光用水消費量の抑制

目的

加速する水資源の減少を防ぐことを目的として、観光用水消費量を抑制する。

限りある水資源の減少を防ぐことを目的として、観光用水消費量の管理体制を構築する。

活動

(1) 観光用水の水源に関するインベントリーの作成

NWRA サナア支局は観光省と共に、観光用水消費量を把握することを目的としてインベントリー調査を実施する。

(2) 水消費を増加させる活動の不拡張に関するホテル所有者への理解促進

NWRA サナア支局と観光省は、水消費を増加させる活動を拡張しないようにホテル所有者の理解促進を図る。

(3) 水資源の現状を考慮したセクター開発計画の準備

厳しい水資源の現状を緩和するために、観光省と関連組織は、NWRA サナア支局との協議のもと、水資源の現状を考慮したセクター開発計画の策定に向けた取組みを開始する必要がある。サナア流域内における工業セクターの開発が必要となる場合には、農業用水から観光用水への水の再配分を実行するために協議する必要がある。

責務

関連組織と責務を表 5.8 に示す。

表 5.8 観光用水消費量の抑制における責務

組織	責務
観光省	水資源の現状を考慮したセクター開発計画の準備
NWRA サナア支局	<ul style="list-style-type: none"> - 観光用水の水源にかかるインベントリー調査 - 水消費を増加させる活動を拡大しないようにホテル所有者の理解の促進を図る

5.2.6 制度開発

1) 2002年水法施行規則の策定及びサナア流域水資源保護区域規則の制定

目的

行動計画を効果的に実施するための行政規約の策定及びサナア流域保護に係る政令の制定

NWRA サナア流域支局による行動計画の効果的な実施を目的として、下記の活動を通じた行政規約の策定およびサナア流域保護に係る政令の制定が必要である。また、灌漑用水を多量に必要とする換金作物（カート、ブドウ）の栽培による過剰な地下水の

消費やサナア流域にて顕著な水損失といった問題を解決するには、地下水揚水の計測および課金制度の導入が非常に有効であることを認識し、これら行政規約・法令を整備する必要がある。

地下水揚水の計測および課金制度に対する市民の理解を得るには相当な時間が必要であろう。したがって、サナア流域を「保護区域」とする法令では、年間自然涵養量を限度とする地下水の取水規制を段階的・長期的（5年間から10年間）に導入すべきで、以下の規定を含めるべきである。1）農業、灌漑目的の井戸掘削の禁止、2）井戸深度に関わらず、全井戸に対する使用許可制の導入、3）揚水量計測の義務化、4）長期的視点で農業、灌漑目的の水利用に対する課金を可能にする規定

活動

以下の一連の活動を行政規約の策定及びサナア流域保護に係る法令の制定に向けて実施する。

- 2002年水法及び2007年改正法、水法施行規則案、関連規則の検討
- 特にサナア流域を水資源保護区域と定める関連法令、規則の改善点の把握
- 上記の改善点が修正されなかった場合の負の効果及び失われる社会的コストの算定
- 地下水揚水量の計測義務化及び課金制度の導入といった、水法施行規則案に関する追加的かつ必要な原則および戦略の準備
- サナア流域を「保護区域」として定める規則案、規制案の準備
- サナア流域規則案・規制案の準備時における利害関係者との諮問会議の開催と合意の形成
- 地下水揚水量の計測及び灌漑目的の水利用に対する課金を導入するための戦略と期間の決定
- サナア流域における規則案と規制案の策定に対する法的助言の受領
- サナア流域における規則案と規制案（最終案）の内閣及び議会への提出と承認

責任

サナア流域における規則と規制の策定に対する主要な責任は NWRA サナア流域支局に帰属し、NWRA 本部から支援を受けることとなっている。ワーキンググループは NWRA サナア流域支局やサナア流域委員会（SBC）の監督の下に組織される。可能であれば、同様に「保護区域」と指定されている他の流域支局と協力して、特に保護区域に対する規則の策定についての課題や経験の共有を図ることとする。

2) 市民や政治指導者に対する水資源管理についての意識向上

目的

水資源管理にかかる市民の意識向上と段階的な合意形成を通じた、政治意識の改革ならびに政治意思の向上

水資源管理に対する政治意識の改革ならびに政治意思の向上をもたらすには、先ず市民の意識向上（啓発）と水資源管理にかかる段階的な合意形成が重要である。すなわち、市民の意識向上と合意形成により、政治的なコミットメントを促す必要がある。このため以下の活動を通じ、現行の市民の意識向上プログラムをより推進し、将来起こる水危機の深刻さについての啓発が必要である。

活動

水資源管理にかかる関連法令・規制の遵守を目的として、水開発セクターに関係する全ての官庁、団体、企業に対し、中央・地方ならびに政府機関・民間の隔たりなく、意識向上プログラムを実施する。

さらに、これらの市民意識向上プログラムはイエメン独自の社会文化である「部族主義」に適合するように組織され実施される必要がある。部族の有する土地の繁栄を次世代に継承していくことは、彼らにとって非常に重要な関心事であり、また表流水や地下水はその土地に帰属していると考えるのが彼らの慣習である。地下水の過剰揚水と枯渇により土地が荒れ果て、生産性のない土地を次世代に継承しなくてはならないことは、部族社会にとって深刻に受け止められるであろう。さらに、部族社会に対する教育・情報ネットワークを確立することも重要である。可能な限り、地下水の過剰開発、過剰揚水に関する競争の緩和のために、部族利益の部族間調停システムを把握し、活用する。

また、政治的組織に対して水危機に関する信頼性の高い情報を提供することも重要である。一般的な市民意識向上プログラムと並んで、将来の水危機に関する信頼性の高い証拠に基づいた「正しい」政治的意思決定は、結果として市民の支持を増大させ、政治家には「票」という形で還元されるであろう。

加えて、市民や政治的指導者を対象に、IWRMに係る支持向上を目的として、以下の活動を実施する。

- 既存の情報・意識向上プログラム（IPAC）の検討、特に部族自治が強い地方にお

ける地下水保全／管理に関する効果の予測

- 水資源管理における部族社会のシステム及び価値、自治権の調査
- 部族社会に対する最も効果的で適合性のある IPAC のオプションの設定
- 市民の意識向上のためのあらゆるプログラムの立案：ポスターやパンフレット、ワークショップ、現場における情報提供会議、学校やモスクにおける講演、ラジオやテレビでの広報などの企画・普及
- 上記で策定された IPAC プログラムの強化・拡大
- 国会議員や地方政治家を対象とする、水資源管理に関する進歩的かつ政治的意思決定に寄与する包括的情報の整備
- 流域レベルの水資源管理に関する正しい政治的意思決定のための正確な情報を提供することを目的とした国会議員や地方政治家のための諮問会議の開催

責任

サナア流域における行政規約と規制の策定に対する主要な責任は NWRA サナア流域支局に帰属する。しかしながら、NWRA 本部による支援の下で国会議員や地方政治家の関与を促進することとする。

3) 伝統的・部族的システムへの配慮

目的

権限委譲された地方制度や組織により行政規約を効果的に運用するため、公的制度としてではなくむしろ社会文化の中で重要な制度としての「部族」や「部族システム」の地方制度への包含

水法や関連法令・規約により導入される権限委譲された地方制度や行政府の枠組みは、一方で、IWRM についての意思決定や履行への「部族」や「部族社会」の積極的な参加を促進させるための効果的な手段を欠いているように思慮される。したがって、公的制度としてではなくむしろ社会文化の中で重要な制度としての地方制度は「部族」や「部族社会」を包含するものでなければならない。彼らは無視されてはならず、事実、彼らは特にサナア流域を含むハイランド地方において最も統治能力のある制度である。

水資源管理を利用者自らが自律的に制御するシステムが採用された 2000 年水法においては、制度・行政の枠組みにおける重要な原則のひとつとして、水資源の管理権と規則の執行権を地方制度・地域社会に委譲することが挙げられている。こうして、地域制度・社会が水資源管理にかかる意思決定、実施、規制、監視の過程においてより広範に参加することが、水資源管理に対する自律制御型システムの成功にとって最も

重要な要因となったのである。

現在の厳しい水資源状況のため、水資源に対する自律制御型システムの効果の程度はサブ流域間では異なったものになり、部族間での水をめぐる紛争の原因になるであろう。したがって、こうした水に係る紛争を回避するために、IWRM に関する意思決定や実施における「部族」と「部族システム」の積極的な参加を促す効果的なシステムを創設することが必要である。

活動

各部族や部族システムをつなぐチャネルやネットワークを把握し、可能であれば整備する。ここで「部族システム」とは部族間の相互関係のことを指し、また、部族集団の間での利益、議論、紛争を調停するためのフォーラムとしても定義できるものである。この議論のなかで、部族権力の流域委員会への関与も同様に考えられるだろう。サナア流域委員会は水法と関連規則に則って創設され、その機能は2つの特徴を有している。すなわち、第一に流域の水資源管理についての意思決定組織としての機能、第二に規制機関としての機能を果たすこととなっている。このような意思決定や規制において部族権力が積極的に参加することにより、水資源管理における自律制御型システムの能力向上を制度的に支援することが必要である。

また中央、地方、村落レベルに関わらず、水資源管理に係る意思決定に参画する利害関係者は伝統的・一般的に受容されている原則や考慮すべき事項について可能な限り注意を払い、またそれらを取り入れていくことを強調しておかなければならないだろう。こうして、世代にわたって支持されてきた部族の原則や慣習は敬意を払われ、また水資源管理における水利用者間の協調と紛争解決に係る妥当で現実的な基盤となるであろう。

IWRMに係る伝統的部族システムの設立を考慮して以下の活動を実施する。

- 部族社会の水資源管理に係る規範、価値、自治、紛争解決のシステムの調査
- IWRMに係る意思決定や規制の実施、紛争解決に部族集団を関与させるチャネルやネットワークの把握・整備
- サナア流域委員会のメンバー構成の検討、水資源管理における伝統社会に影響力を有する伝統的指導者の参加

責任

サナア流域における行政規約と法令の策定に対する主要な責任は NWRA サナア支局に帰属し、NWRA 本部から支援を受ける。

4) 地方行政・組織の分権化された枠組みの改善

目的

特に州・県レベルの地方自治体などの地方組織を IWRM に参加させることを目的とした現状の制度的構造の改善

特に州・県レベルの地方自治体などの地方組織を水法及び IWRM の管理に関連するプログラムに係る履行、実施、規制、監視活動に関与させること及び地方分権化された枠組みの改善を目的として、以下の活動を通じて現在の制度的構造を改善する。

活動

地方行政・組織の地方分権化された制度的枠組みの改善を目的として、以下の活動を実施する。

- IWRM や流域レベルの水資源管理に係る地方行政・制度の法的枠組みを理解するための 2002 年水法、2000 年地方行政法、関連規約・法令の検討
- IWRM や流域レベルの水資源管理に係る地方行政・組織枠組みの改善のための地方自治体や地方自治省との協議
- 地方自治体が流域レベルの水資源管理の執行機関を創設することの奨励と支援
- 水法と行政規約に定められた、特に流域レベル水資源管理に係る規制や規則の監視活動と履行に関する地方自治体との協調のための機構の設立

責任

サナア流域における規則と規制の策定に対する主要な責任は NWRA サナア支局に帰属し、NWRA 本部から支援を受けることとなっている。

5.2.7 組織開発

イエメンにおける IWRM の成功は関係する地方行政と水利用者コミュニティが流域レベルの水資源管理を適切かつ効果的に実施できるかどうかにかかっている。事実、水法と政府規則により定められた IWRM のための行政的・制度的枠組み及び組織的構造においては、水資源管理に係る権限を現場に最も近い適切なレベルに委譲することを強調している。全国レベルの IWRM とサナア流域レベルの水資源管理のために権限委譲された組織枠組みにおいては、NWRA サナア流域支局、地方行政機関としての地方自治体、流域管理に係る意思決定のための利害関係者の受け皿としてのサナア流域委員会 (SBC)、利用者コミュニティ組織としての水利用者組合 (WUA) といった組織が主導的な役割と責任を果たすこととなっている。本節

ではこれらの各組織において整備されるべき主要な組織能力範囲と改善のために実施されるべき行動について議論する。

1) NWRA サナア支局 (NWRA-SB)

(1) 組織構造の整備

目的

組織の運営や管理を明確にするための NWRA サナア支局の規約や職務内容明細の制定

サナア支局における相互理解、意思決定過程、命令の伝達・監視システム、部署間の協調・協力といった組織の運営や管理を明確にするために、以下の活動を通じ、組織の職務と責務に基づいた規約や職務内容明細を制定することとする。

活動

NWRA サナア支局の組織的構造の改善を目的として、以下の活動を実施する。

- NWRA サナア支局に設定されている職務と責務を理解するための 2002 年水法と関連施行規約、規制の検討
- 上記の検討に基づく組織の規約案の検討と改訂
- 適切な計画立案、モニタリング、意思決定プロセスを強調した NWRA サナア支局の各部門・部署に関する組織構造と職務内容明細の準備
- 各部門・部署のために用意された規則、組織構造、職務内容明細の承認の促進

責任

サナア流域における規則と規制の策定に対する主要な責任は NWRA サナア支局に帰属し、NWRA 本部から支援を受けることとなっている。

(2) 人材開発

目的

サナア流域における妥当性かつ責任ある機関となるための、NWRA サナア支局の技術的能力の向上

NWRA サナア支局が管轄地域において妥当性かつ責任ある機関としての行政機関とな

るために、流域管理に係る地下水モデリング、法的枠組み、規制と履行、利用者の参加促進といった事務所の技術的能力を向上させる取り組みが実施されるべきである。

活動

NWRA サナア支局の人的資源の向上を目的として以下の活動を実施する。

- 上記で改訂された職務と責務によるアセスメントの結果判明した能力ギャップと訓練ニーズの把握
- 予算設定を伴う戦略的訓練プログラムの準備
- 把握された能力開発分野における国内・国外の有能な訓練実施者の把握
- 訓練プログラムの実施、効果の計測
- 職員の知識定着・給与の検討、実績主義職員評価システムに基づく昇給・昇進といった改善されたインセンティブ制度の導入

責任

サナア流域における行政規約と規制の策定に対する主要な責任は NWRA サナア支局に帰属し、NWRA 本部から支援を受けることとなっている。

(3) 財務管理の改善

目的

水資源管理を適切に実施するための NWRA サナア支局の財務管理能力の改善

立案された水資源管理を適切に実施するための財務管理能力を以下の活動を通じて向上する。

活動

NWRA サナア支局の財務管理の向上を目的として、以下の活動を実施する。

- 上記で改訂された職務と責務に従った流域管理における開発・投資ニーズの調査
- 上記で把握された開発・投資ニーズに基づいた中長期的開発・投資計画（5年から10年）の準備

責任

サナア流域における規則と規制の策定に対する主要な責任は NWRA サナア支局に帰属

し、NWRA 本部から支援を受けることとなっている。

(4) 規制・モニタリング・システムの改善

目的

井戸登録と使用許可付与の促進のためのフィールド監視ネットワークの整備

井戸登録と使用許可付与の促進のために、特に地方自治体といった他の地方行政組織と協力し、以下の活動を通じて現場監視ネットワークの整備を図る。

活動

NWRA サナア支局の監視・規制活動の改善を目的として、以下の活動が実施される。

- 特に「保護区域」としてのサナア流域の規則や規制の整備の促進
- 現在の登録、使用許可付与プログラムの強化
- 地方議会と協調した履行と監視のための地方行政・組織的枠組みの整備

責任

サナア流域における規則と規制の策定に対する主要な責任は NWRA サナア支局に帰属し、NWRA 本部から支援を受けることとなっている。

2) 地方自治体

目的

流域レベルの水資源管理の地方の組織的枠組みへの地方自治体の関与

以下の活動を通じ、規則・規制の監視・履行が職務と責務と規定されている地方自治体は、流域レベルの水資源管理のための地方組織の枠組みにおいて、さらなる活用と関与が促進される。

活動と責任

州・県レベルにおける地方自治体との協力改善のために必要な活動と責任は、「5.2.7 4) 地方行政・組織の分権化された枠組みの改善」に述べられている。

3) サナア流域委員会(SBC)

目的

制度変革を確実にするための伝統的指導者や部族制度の関与、及び規制・モニタリング・システムの強化のための関連支援組織の関与

参加型の水資源管理アプローチ及び意識向上プログラムを手段とする水資源管理を改善するための制度変革を確実にするために、SBCは伝統的指導者や部族社会が自律制御型の水資源管理システムにおける意思決定・実施に参画することを以下の活動を通じて促進するよう求められている。

さらには、規制・監視システムの強化のために内務省、地方自治省、法務省といった水に関する規制の執行に係る関連支援省庁がSBCに参画することは有効である。

活動と責任

SBCと部族システムとの協力改善のために必要な活動と責任は「5.2.6 3) 伝統的・部族的システムへの敬意」に述べられている。

4) 水利用者組合(WUA)

目的

灌漑目的の水消費の節約のための水利用者組合(WUA)と水利用者グループ(WUG)の意識向上

ここでの長期的な主要課題は水利用者組合(WUA)と水利用者グループ(WUG)の意識向上である。効率の良い改良型灌漑技術の導入を通じて、各グループと各農業従事者の水利用量の規制の大部分を担うことになっているのは彼ら(WUAとWUG)である。この規制が実施され、より高次の適用レベルのために節約された水を単に浪費してしまうか、灌漑地域を拡大することになれば、本コンポーネントの趣旨である「節水効果」が失われてしまう。このように、WUAとWUGの質が必要な要素であり、WUGの結成数や耕地面積といった観点からのプロジェクトの達成度合いよりも本質的に重要である。要するに、波及効果が無くパイロット的な実績値の目標を達成することよりも、こうした目標がいまだに達成されていないことから、成功可能性の高いプログラムを策定することの方がより本質的に重要である。既設のWUAやWUGについての調査においては、社会動員や訓練といった点において彼らの質はいまだ十分ではないことが判明している。

これに加えて、節水につながるような WUA や WUG に対する農業実習についての訓練は限られている。より水消費の少ない穀物生産を導入するために、受益者は適切な耕作パターンに精通しているべきである。職員に対する訓練プログラムは生産性向上につながる作物の要求水量、灌漑スケジュール、節水についての適切な知識を通じた効率的な水利用に重点が置かれている。このようにして農業指導サービスは改良型灌漑設備と農業実習の運営と維持管理という側面を重点的に取り組むべきである。また、近代的灌漑システムの導入による節水効果の結果として耕地面積の拡大をしてはならないと確信していなければならない。さらに、農業従事者、地域組織、NWRA サナア流域支局の3者間の合意が締結され、特に WUA の役割が完全に発揮されなければならない。

活動

自律制御型の水資源管理の改善を目的として、以下の活動が実施される。

- WUA を創設するための現在の手法とアプローチの検討、自律制御型水資源管理における有効性の検証
- WUA の流域レベルの水資源管理権限の整備、その遵守の監視
- 自律制御型権限の遵守についての地方議会、NWRA サナア支局、WUA の間の監視システムの導入

責任

サナア流域における規則と規制の策定に対する主要な責任は NWRA サナア支局に帰属し、NWRA 本部から支援を受けることとなっている。

5.3 行動計画に関する検討

本章において記述した7つの行動は、第4章4.4.2節に述べたシナリオ3を達成することを目的として策定している。従って、全ての行動についての取組みが必要である。各行動の責任機関、制度開発のための行動とその他の行動との関係を、表5.9にまとめた。また、各行動において考慮すべき状況についても表5.9に記した。

「活動の状況」の欄においては、3項目に関する状況について記している。「有効性」の欄においては、各行動により節約できる水量を記している。灌漑用水消費量は非常に多いため、灌漑用水消費量の削減による節水への貢献度は、他の活動に比べて大きい。「状況」の欄には、各活動が既に他のプロジェクトによる取組みが始まっているか否かについて示している。いくつかの活動は、既に SBWMP、SWSLC、イエメン国政府による取組みがなされているため、その進捗状況等を、各活動を実施する際に考慮する必要がある。これらの活動の進捗状況と緊急性を考慮して、進捗を早めるべき活動を選定した。

表 5.9 行動計画における責任機関と活動の状況

行動計画	制度開発			責任機関							活動の状況			
	2022年水法施行規則の策定およびサナア流域水資源保護区域規則の制定	一般市民および政治指導者に対する水資源管理についての意識向上	伝統的・部族的システムへの配慮	地方行政・組織の分権化された特	NWRA サナア支局	サナア流域委員会 (SBC)	農業・灌漑者 (MAI)	地方自治体 (および郡)	サナア上下水道公社 (SWSLC)	工業者、サナア支局	観光者、サナア支局	水利用者組合 (WUA)	有効性 (節約量、MCM, 2020年)	活動の状況 (他プロジェクトによる取り組みの状況)
5.2.1 灌漑用水の削減	近代型灌漑施設の有効性に関する農家の認識の向上	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	農業従事者に対する灌漑を拡張しないことの理解促進	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	近代型農業施設の導入	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
5.2.2 都市給水における漏水の削減	水道メーターの設置に伴う水利用管理体制の導入	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	GDJおよびNWRAサナア支局の灌漑担当職員的能力向上	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	灌漑活動に関する補助金制度の停止	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
5.2.3 下水処理水の再利用の実現	都市給水における給水原単位に関する利用者の理解促進	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	漏水探知技術の向上	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	生産量と漏水向上活動の進捗状況のモニタリング	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
5.2.4 工業用水消費量の一定化	既存の下水処理場の能力向上および下水処理場の新規建設を確実にする	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	下水処理水の配分計画	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	デモンストラーションを通して下水処理水の利用についての農業従事者の理解促進	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
5.2.5 観光用水消費量の一定化	水質のモニタリング	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	工場内で利用されている水源の台帳の作成	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	サナア流域内での工業活動の不拡大に関する工場主への理解促進	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
5.2.6 制度開発	工場における過剰な水利用の削減と工場内での再利用	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	水資源の現状を考慮した工業セクターの計画策定の準備	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	観光用水の水源に関するインベントリーの作成	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
5.2.7 組織開発	水消費を増加させる活動の不拡張に関するホテル所有者への理解促進	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	水資源の現状を考慮したセクター別開発計画の準備	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	2002年水法施行規則の策定およびサナア流域水資源保護区域規則の制定	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
5.2.7 組織開発	一般市民および政治指導者に対する水資源管理についての意識向上	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	伝統的・部族的システムへの配慮	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	地方行政・組織の分権化された枠組みの改善	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
5.2.7 組織開発	NWRA サナア支局	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	地方自治体	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	サナア流域委員会 (SBC)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
5.2.7 組織開発	水利用者組合 (WUA)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	水利者組合 (WUA)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	水利者組合 (WUA)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

*1 : サナア流域水資源管理プロジェクト, SBWMP, *2 : サナア市上下水道公社, SWSLC, *3 : イエメン国政府

5.4 行動計画の実施スケジュール

行動計画の実施スケジュールを表 5.10 に示す。実施スケジュールは、SBWMP と下水処理場の修復などの現行プロジェクトを考慮して作成している。そして、各活動の進捗状況や水資源等の現状を考慮して、NWRA サナア支局の主導のもと、他の関連組織と共に、スケジュールの再調整を行う必要がある。

表 5.10 行動計画実施スケジュール (1/2)

行動計画		責任期間	状況*	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020		
5.2.1	灌漑用水の削減	近代型灌漑施設の有効性に関する農家の認識の向上	SBWMP 行動計画																
		農業従事者に対する農場を拡張しないことの理解促進	MAI																
		近代型灌漑施設の導入	MAI																
		水道メーターの設置を伴う水利用管理体制の導入	MAI																
		GDIおよびNWRAサナア支局の灌漑担当職員的能力向上	MAI																
		灌漑活動に関する補助金制度の停止	MAI																
		都市給水における給水原単位の減少に関する水利利用者の理解促進	SWSLC																
		漏水探知技術の向上	SWSLC																
		生産量と漏水向上活動の進捗状況のモニタリング	NWRA-SB																
		既存の下水処理場の能力向上および下水処理場の新規建設を確保にする	SWSLC																
5.2.3	下水処理水の再利用の裏現化	下水処理水の配分計画	SWSLC																
		デモンストレーションを通じた下水処理水の利用についての農業従事者の理解促進	MAI																
		水質モニタリング	NWRA-SB																
		工場内で利用されている水源の最長作成	NWRA-SB																
5.2.4	工業用水消費量の一定化	サナア流域内での工業活動の不拡大に関する工場主への理解促進	NWRA-SB																
		工場における過剰な水利用の削減と工場内での再利用	NWRA-SB																
		水資源の現状を考慮した工業セクターの計画策定の準備	Mol																

表 5.10 行動計画実施スケジュール (2/2)

行動計画		責任期間	状況*	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
5.2.5	観光用水消費量の一定化	NWRA-SB	行動計画														
	観光用水の水源に関するインベントリー作成 水消費量を増加させる活動の不拡張に関するホテル所有者への理解促進 水資源の現状を考慮したセクター開発計画の準備	NWRA-SB MoT	行動計画 行動計画														
5.2.6	制度開発	NWRA-HQ	NWRA-HQ														
		NWRA-HQ	NWRA-HQ														
		SBC	SBC														
		SBC	SBC														
5.2.7	組織開発	NWRA-SB	NWRA-SB														
		SBC	SBC														
		SBC	SBC														
		NWRA-SB	NWRA-SB														
水利用者組合 (WUA)			SBWMP														

*1): MAI: 農業灌漑省
 SWSLC: サナア市上下水道公社
 NWRA-HQ: 国家水資源公社 本局
 NWRA-SB: 国家水資源公社 サナア支局
 MoI: 工業省
 MoT: 観光省

*2): "SBWMP": サナア流域水管理プロジェクトにより実施中
 "SWSLC": サナア市上下水道公社により実施中
 "Action Plan": 本行動計画における実施スケジュール

5.5 より良い効果を得るために実施すべき行動

5.5.1 地下水資源の汚染からの保護

(1) 工場からの排水に起因する汚染の管理

目的

地下水汚染を避けることを目的として工場からの汚水等の管理を実施する。

工場からの未処理の排水や小規模商店からの潤滑油の浸透が、地下水汚染を引き起こしているとの報告がなされている。下水処理施設の向上は10年以上先であることから、限りある地下水を保全するために、関連組織は早急に必要な対策を施す必要がある。

活動

(1) 地下水汚染の原因となりうる地点のインベントリーの作成

潤滑油などを取り扱っている工場や小規模商店からの排水に関する情報が非常に限られているため、まず、考えられる汚染源の現状について把握する。

(2) 工場、給油所、小規模商店の所有者の認識の向上

未処理の排水や潤滑油などの浸透による地下水への影響を最小限にとどめることを目的として、NWRA サナア支局は、SBWMP や環境保護庁の協力のもと、工場や小規模商店の所有者の認識の向上をはかる。

(3) 水法第54条の施行と行政規約の制定

汚染からの水の保護を規定している水法第54条を、水環境省が試行していくべきである。更に、行政規約の制定も早急に行う必要がある。

(4) 工場からの排水等の収集体制の準備

地下水汚染を可能な限り食い止めるために、2020年に下水処理場の拡張が完了する前に、工場からの排水等の収集体制の構築について検討し実施していく必要がある。同時に、工場等所有者の認識向上、水法の施行も進める必要がある。

責務

これらの活動の関連組織と責務を表 5.11 に記す。NWRA サナア支局は、工場や小規模商店の所有者の認識の向上を担当する。

表 5.11 地下水汚染管理における責務

組織	責務
水環境省	行政規約の開発
NWRA サナア支局	工場と小規模商店等の所有者の認識の向上

(2) 化学肥料や殺虫剤の過剰使用の管理

目的

地下水汚染を防止することを目的として、化学肥料や殺虫剤の過剰使用を削減する。

化学肥料と殺虫剤の過剰使用を管理する目的は、汚染から地下水を保護することである。換金作物の栽培は既に行なわれており、農業従事者は、より多くの利益を得るために、多くの化学肥料や殺虫剤を使用してきた。時に、癌の原因となりうる危険な殺虫剤も使用している。

活動

この課題に対して、NWRA サナア支局は、既に植物保全総局と共に取組みを始めている。従って、取組みを更に強化するために、水利用者組合の協力のもと、認識向上キャンペーンの実施を通して、化学肥料や殺虫剤の過剰な使用をやめるよう理解促進していく必要がある。

責務

これらのアプローチの関連機関と責務を表 5.12 に記す。NWRA サナア支局は、農業従事者の認識向上と水質のモニタリングを実施する。

表 5.12 化学肥料と殺虫剤の過剰な使用の管理における責務

組織	責務
植物保全総局	化学肥料と殺虫剤の過剰な使用に関する農業従事者の認識の向上
水利用者組合	農業従事者の認識の向上
NWRA サナア支局	農業従事者の認識の向上 水質のモニタリング

5.5.2 表流水の有効利用

(1) ウォーターハーヴェスティングの有効利用

目的

地下水の減少を緩和することを目的として、ウォーターハーヴェスティングを可能な限り利用する。

地下水の減少を緩和することを目的として、表流水を可能な限り利用する必要がある。その方法としては、伝統的に利用されてきたシスターン、ため池、テラス、また、都市域における屋根を利用した集水、洪水時の集水等があげられる。

活動

(1) 既存のウォーターハーヴェスティング施設のインベントリーの作成

ウォーターハーヴェスティングを利用するよう農業従事者の理解促進を図る前に、現状の把握と次に実施する活動計画を策定するために、既存のシステムのインベントリーを作成する。

(2) ウォーターハーヴェスティングの適切な利用に関する農業従事者の理解促進

作成したインベントリーを踏まえて、ウォーターハーヴェスティングの利用に関する農業従事者の認識向上プログラムを準備する。そして、水利用者組合と地方自治体主導のもと農業従事者を支援し、実施していく。

責務

本アプローチの関連組織と責務を表 5.13 に記す。

表 5.13 ウォーターハーヴェスティングの有効利用に関する責務

組織	責務
農業灌漑省	管理の支援
水利用者組合、グループ	運営と管理
地方自治体	管理の支援
NWRA サナア支局	ウォーターハーヴェスティングの重要性に関する農業従事者の認識の向上

(2) 涵養と地下ダム等に関する検討

目的

地上ダムや地下ダムによる地下水への涵養を最適化することを目的として、最も有効な方法を検討する

活動の目的は、地上もしくは地下ダムによる地下水の涵養を最適化するための方向性を検討することである。サナア流域においては、現在 38 箇所のダムが存在している。内 13 箇所では灌漑用水や飲料水としても利用されている。更に、現在 3 つの地下水涵養を目的としたダムが建設中である。SBWMP の情報によると、浅層地下水では水位の上昇が観測されているが、場合によっては、良い結果が得られていない。従って、涵養機能を最適化するために包括的な調査が必要であることが、関連組織間で議論されている。

活動

(1) 現在進行している涵養の向上を目的とした活動のモニタリングと評価

NWRA サナア支局は、農業灌漑省と共に SBWMP において実施される予定であるダムの建設と修復に関するモニタリングと有効性の観点に立った評価を実施する。

(2) 涵養システムの適切な管理にむけた統合的アプローチの検討

涵養機能の向上に関する SBWMP の活動の評価結果を踏まえて、地下水への涵養の有効性を向上させることを目的とした包括的な計画を検討する必要がある。

責務

本アプローチの関連組織と責務を表 5.14 に記す。NWRA サナア支局は、SBWMP において実施された活動の結果の評価を実施する。

表 5.14 ダム建設に関する責務

組織	責務
農業灌漑省	実施機関
環境保護庁	社会および環境への影響の評価
NWRA サナア支局	SBWMP において実施されるダムの修復や建設の評価

5.5.3 サナア市における民間による給水の最適化

目的

水の過剰な利用を節約することを目的として、民間による給水状況を最適化する

公共給水網による給水を受けていない人々は、サナア市の全人口の 64% となっており、民間による給水を受けている。給水は、給水車や小規模な給水網によるもので、公共給水網による給水に比べて料金は高く、水質も不安定である。これらの民間給水に対するモニタリングは実施されておらず、効果は明確になっていない。給水車による給水では、水の運搬中の漏水が見られる。

公共給水網は、サナア市の急激な人口増加による需要の増加を満たす十分な容量を有していないために、民間による給水で需要を賄っている。しかしながら、水資源管理、すなわち、漏水の削減と飲料水の水質の確保という観点から、民間による給水に対するモニタリング体制を整える必要がある。

活動

- 民間による給水の現状の把握とデータベースの構築
- 節水に関する民間給水従事者の認識向上
- モニタリングを目的としたメーターの導入の検討

これらの活動においては、以下の点について考慮する必要がある。

- 民間給水従事者に対するインセンティブと規制
- 公共給水担当機関であるサナア上下水道公社との調整
- 公共給水網の拡張による民間給水従事者への補償について

責務

関連組織と責務を表 5.15 に示す。

表 5.15 民間による給水の水利用効率の向上に関する責務

組織	責務
サナア上下水道公社, サナア市役所	民間給水従事者との調整
NWRA サナア支局	- 節水に関する民間給水従事者の認識の向上 - 水質のモニタリング

5.5.4 地域間およびセクター間における水資源の再配分

目的

支流域における水資源の減少の程度を可能な限り一定にすることを目的として、支流域から支流域への再配分、また、灌漑面積の削減を伴う灌漑用水から生活用水へ水資源の再配分を行なう。

支流域毎の水資源の減少を可能な限り一定にするためには、支流域間の水資源の再配分と灌漑用水を生活用水への水資源の再配分を行う必要がある。

活動

(1) 灌漑用水から都市給水への水資源の再配分

2020年には、都市給水のために”Wadi Al Mawrid”へ近くの支流域から、約20 MCMの量の水資源を配分する必要がある。そして、各支流域における水資源が非常な危機的状況に陥るまでの期間を、ほぼ同一にすることが可能となり、都市給水の水源も確保できる。更に、部族間の水紛争の発生も抑えることが出来る。水資源を移動することが出来る支流域は以下の観点から選定する。

- 灌漑による水消費量が多い
- 首都サナアに比較的近いところに位置している支流域

(2) 部族の所有地から他地域への水の移動および配管を通すことに関する部族の理解促進

この活動の成功は最も重要であると共に非常に困難を伴うものであると認識されている。部族の理解や協力無しには水の配分も実施することが出来ないため、本活動は早い段階において適切に取り組む必要がある。従って、部族に対して慎重に取り扱うことを考慮して、本章 5.2.6 3)節 “伝統ならびに部族システムに対する敬意”において述べた活動に従った取組みが必要である。

責務

関連組織と責務を表 5.16 に記す。

表 5.16 都市給水への水資源の再配分に関する責務

組織	責務
サナア市上下水道公社、 サナア市役所	実施機関
農業灌漑省	実施機関
水利用者組合	住民の認識の向上
地方給水プロジェクト総局	実施機関
地方自治体	村落間の調整
NWRA サナア支局	<ul style="list-style-type: none"> - 利用可能な水資源の解析 - 妥当性のある再配分計画の提示 - 水の移動に関する公共認識の向上

第6章 結論と提言

6.1 結論

本計画調査の結果、以下の項目が結論づけられた。

- (1) 既存報告書のレビューの結果、サナア流域における将来水需要を満たすためには、水資源量は2020年以降には不足することが懸念される。したがって、サナア流域の水資源の持続性を維持するためには、水消費を削減させることが必要である。
- (2) 水資源消費量の削減の実現可能性を、既存の計画および本調査において設定した計画を反映した4種類の将来水需要のシナリオを設定して検討した。その結果、2020年の水需要(349.6 MCM)を196.6 MCMに削減するシナリオを、実現可能かつ最大限の水消費削減を可能とするシナリオとして選定した。このシナリオは、サナア流域の水資源が危機的状況に陥るまでの期間を、2036年まで延長することを可能とする。
- (3) サナア流域水資源管理行動計画は、過大な水消費の削減、生活水の確保、組織・制度の向上に焦点をおいたものである。選定されたシナリオでは、2020年までに削減すべき水消費量である153 MCM(2020年時点)は、主に灌漑効率の向上、都市給水における漏水の削減、そして下水処理水の再利用により可能となる。
- (4) 下水処理水の再利用と灌漑水の再配分を実施することにより、水不足により将来紛争の原因となる可能性がある、支流域内の水収支のアンバランスの程度の違いを緩和することが可能となる。

6.2 提言

前節で述べた結論に基づいて、サナア流域の水資源の持続性の維持に向けた行動計画の実施に対する提言を以下に述べる。

(1) 行動の早急な開始

既に危機的状況にあるサナア流域の水資源の現状から、サナア流域委員会(SBC)とNWRAサナア支局の強力なイニシアチブのもと、各関連組織は早急に行動計画の実施を開始すべきである。

(2) 効果的な行動計画の実施

策定された水資源管理行動計画を円滑かつ効果的に実施するため、NWRAサナア支局は、予算の確保に向けた活動を進める必要がある。そして、行動計画の実施においては、

サナア流域委員会(SBC)と共に定期的なモニタリングを実施し、各活動の進捗状況や状況の変化に基づいて修正を行なっていく必要がある。

(3) 水法施行規則およびサナア流域水資源保護区域規則の制定

地下水利用量の計測や地下水の課金制度は、水を多量に必要とする換金作物による過剰な水消費や、水の無駄使いなどの課題に対処するために有効な処方の一つである。したがって、水法施行規則およびサナア流域水資源保護区域規則の制定を進めるべきである。

(4) 地方自治体との共同実施

NWRA サナア支局の限られた職員数と流域レベルにおける水資源管理における地方自治体の責務から、フィールドの監視を地方自治体と共同で実施する体制の開発をおこなう必要がある。

(5) 近代的灌漑手法の効果的な普及

行動計画では、全農家における灌漑効率の向上が1つの大きな柱となっている。しかしながら、近代的灌漑手法の普及は遅れていることが報告されている。その理由として、農業従事者の認知度の低さおよび関係者の経験不足が挙げられる。したがって、農業灌漑省、NWRA サナア支局および水利用者組合は、近代的灌漑手法に関する技術力を高め、より効果的な啓発活動を実施していく必要がある。

(6) カート栽培における水消費量の削減

カート栽培のための水消費量は、灌漑用地下水揚水量の半分以上を占めている。したがって、現状のカート栽培による水消費が継続する場合、利用可能な地下水資源量は減少し続ける。地下水資源利用を持続させるためには、カート栽培における水消費量を大幅に削減する必要がある。そのために、例えば、Bahamish(2006)により提言されている“カートの国外からの輸入の許可”等、痛みを伴う解決策について、早急にイエメン国政府が議論し、その実施に向けて動き出すことを提言する。

(7) NWRA による水資源のモニタリングおよび分析能力の向上

効果的な水資源管理のためには、帯水層の深度や広がりなどの水理地質学的特徴に基づいたモニタリングの実施、結果の分析、そして、結果の行動計画へのフィードバックを行っていく必要がある。そのために、NWRA は、水理地質学的分析能力とその結果をフィードバックするために必要な能力の向上を図る必要がある。