スリランカ国
マハヴェリ開発庁(MASL)

スリランカ国
モラガハカンダ開発事業
準備調査

最終報告書

和文要約

平成22年7月
(2010年)

独立行政法人
国際協力機構（JICA）

委託先
日本工営株式会社

SAD
CR (5)
10－011

スリランカ国
マハヴェリ開発庁(MASL)

スリランカ国
モラガハカンダ開発事業
準備調査

最終報告書

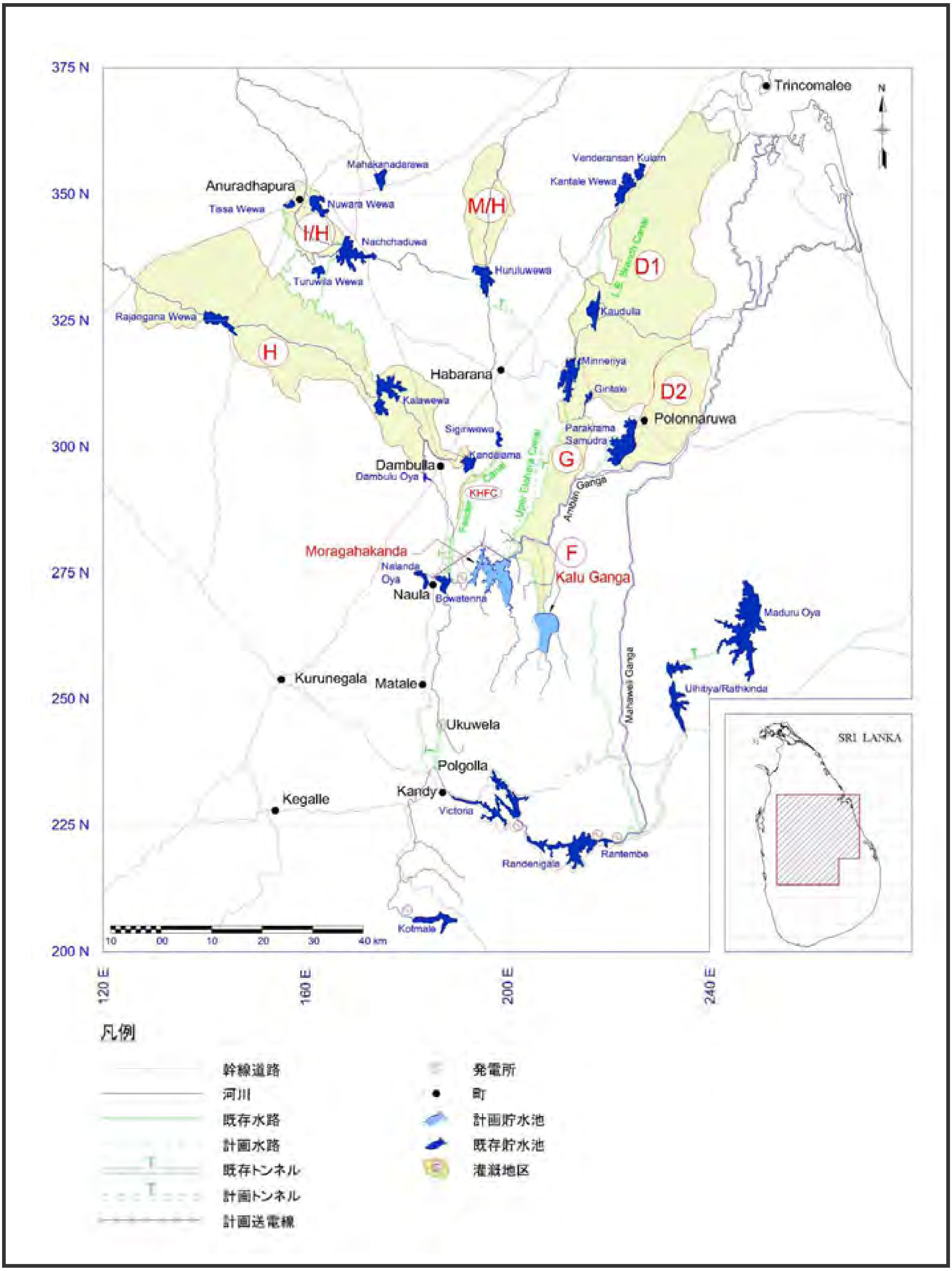
和文要約

平成 22 年 7 月
(2010 年)

独立行政法人
国際協力機構（JICA)

委託先
日本工営株式会社

入札関連情報を含むため、全ての工事・サービス契約が締結されるまで不開示とする。



モラガハカンダ開発事業準備調査

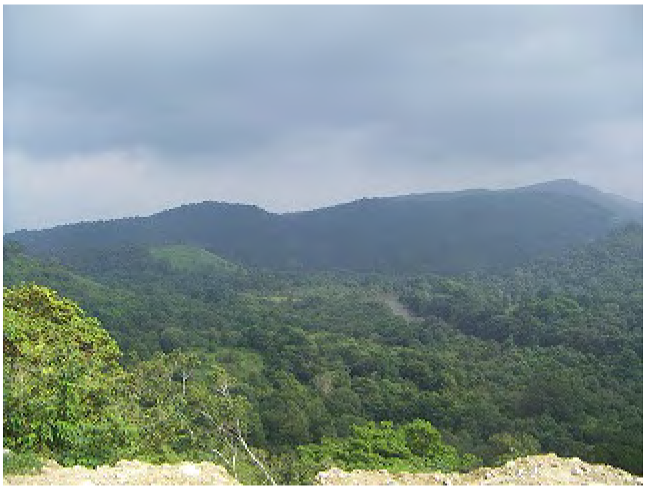
事業対象地域

写 真 集 (1/2)

日付：2010 年 1 月 13 日
場所：マハヴェリ開発庁
標題：インセプションレポート説明会

日付：2010 年 2 月 2 日
場所：モラガハカンダダムサイト
標題：モラガハカンダ現場事務所

日付：2010 年 2 月 2 日
場所：モラガハカンダ・ダムサイト
標題：鞍部ダム No.2



日付：2010 年 2 月 2 日
場所：モラガハカンダ・ダムサイト
標題：ダムサイト遠景

日付：2010 年 2 月 2 日
場所：モラガハカンダ・ダムサイト
標題：主ダムのダム軸（左岸側より撮影）

日付：2010 年 2 月 3 日
場所：カウドゥラ左岸地区
標題：カウドゥラ左岸幹線用水路　拡張工事

写　真　集 (2/2)

日付：2010 年 2 月 16 日
場所：モラガハカンダ・ダムサイト
標題：付替え道路沿いの 33kV 送電線

日付：2010 年 2 月 2 日
場所：モラガハカンダ・ダムサイト
標題：象回廊予定地

日付：2010 年 2 月 3 日
場所：カウドゥラ左岸拡張地区（システム D1）
標題：移転計画地

日付：2010 年 2 月 2 日
場所：システム F
標題：移転計画地

日付：2010 年 4 月 24 日
場所：ダムサイト、土取り場
標題：環境社会調査

日付：2010 年 6 月 11 日
場所：マハヴェリ開発庁
標題：ドラフトファイナルレポート説明会

要　　　約

01　　はじめに

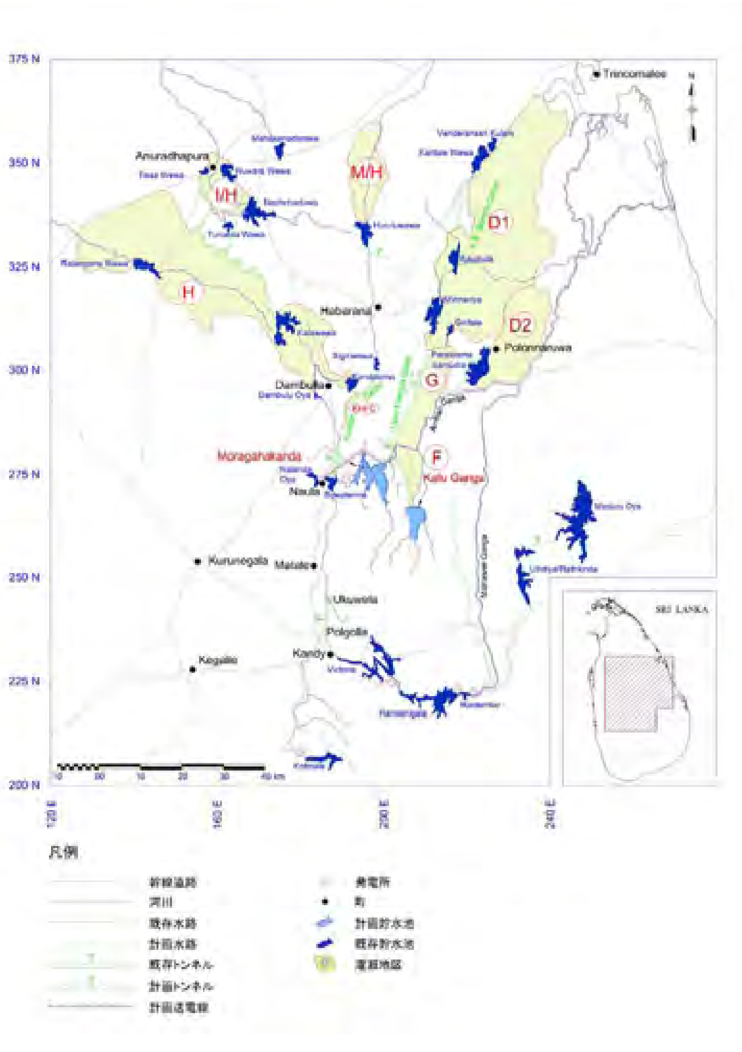
本「スリランカ国モラガハカンダ開発事業準備調査」（以下、本調査）は、2009 年 10 月にスリランカ国マハヴェリ開発庁（Mahaweli Authority of Sri Lanka、以下 MASL）と国際協力機構（以下、JICA）との間で合意された実施計画に基づき、2009 年 12 月から 2010 年 7 月の 8 ヶ月間に亘り実施された。

02　　事業対象地域の各セクターの現状

1)　　農業

農業はスリランカの経済活動において主要な、そしてもっとも重要な分野である。農業セクターは、2008 年においてスリランカの国内総生産（GDP）のうち 12.1%（約 2 兆 3655 億ルピー）を占め、1980 年代の 28%と比較するとその割合は低下しているものの、依然としてスリランカ経済において非常に重要な役割を果たしている。

2005 年に財務計画省国家計画局により発行されたマヒンダ・チンタナ（大統領のビジョン）に示された 10 カ年計画（2006-2016）では、農業セクターにおける開発目標が設定され、計画期間(2006-2016)に亘り農業分野全体で平均 5%の成長を目標に掲げている。そして、この成長は農業生産面積の拡大と生産性の向上の結果として達成されるものとしている。具体的には、上記 10 ヵ年計画では、5%成長を達成するための非プランテーション分野の農業生産面積及び生産性の伸びを表 S-1 に示される値に設定している。



データの出所: MASL、FS2001

図 S-1　　事業対象地域の灌漑システム

表 S-1　農地面積および生産性の目標成長率

項目	目標成長率 (2006-2016)	
	農地面積の増加	生産性の増加
非プランテーション分野		
- コメ	0.1%	10.0%
- 畑作物、果樹等	0.8%	25.0%

データの出所：マヒンダ・チンタナ（大統領のビジョン）10 ヵ年計画 2006 – 2016

本事業の受益地は、MASL の管轄する 7 つの灌漑地区（H, I/H, M/H, KHFC,G,D1, D2 の各地区）より構成され、各灌漑地区の位置は図 S-1 に示される通りである。2010 時点での全灌漑面積は概ね 86,000 ha である。

本事業対象地域における主要作物は、マハ期（雨期、10 月～3 月）、ヤラ期（乾期、4 月～9 月）ともにコメである。トウガラシ、タマネギ、メイズ、ササゲ、その他野菜、及びバナナなどのその他の畑作物（Other Field Crops、以下 OFC）は、主にヤラ期に栽培されており、マハ期ではほとんど栽培されていない。本事業対象地域内の主要作物の作付け面積および作付け率は、表 S-2 に示される通りである。

表 S-2　本事業対象地域内の作付け面積および作付け率

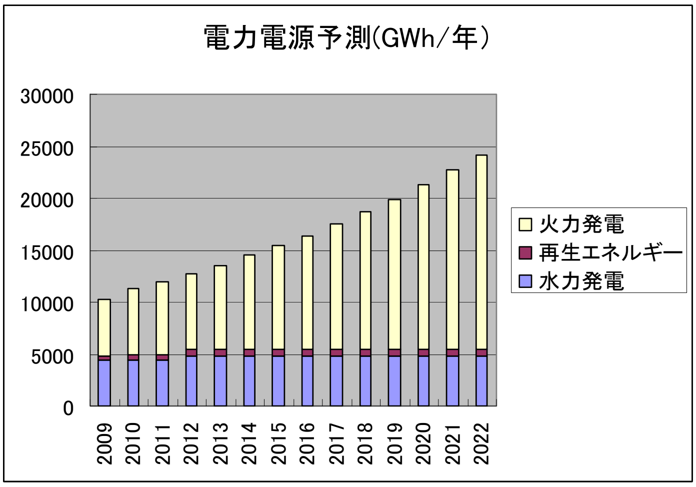
項目	マハ期（雨期）			ヤラ期（乾期）			年合計
	コメ	OFC	計	コメ	OFC	計	
作付け面積 (ha)	81,218	2,055	83,273	54,423	12,193	66,616	149,889
作付け率	95%	3%	98%	64%	14%	78%	176%

データの出所：MASL, 灌漑局

本事業対象地域における最近 10 年間（1999/2000 年マハ期から 2009 年ヤラ期）のコメと OFC を合わせた平均栽培面積は、それぞれマハ期 83,000ha、ヤラ期 67,000ha である。また、過去 10 年間における全地域の年間平均作付け率は 176%である。これを各作期別に見ると、地区ごと年ごとにバラツキがあるが、マハ期で 90%を超えており、一方でヤラ期では平均 78%にとどまる。本事業対象地域のコメの平均収量に関しては、マハ期で 4.45 t/ha、ヤラ期で 4.46 t/ha となっている（ただしモミ表示）。

2) 電力

1990 年代の後半から、スリランカ国内の電力需要を賄うために、火力発電が急速に増大し、2000 年には水力発電を凌駕するに至った。しかしながら、スリランカの電力系統は、依然として、水力発電に相当程度依存している。セイロン電力庁（Ceylon Electricity Board、以下 CEB）が 2008 年 12 月に発表した“長期発電増強計画 2009-2022”において、水力発電は、図 S-2 に示さ



データの出所：CEB

図 S-2　電力供給源の予測

れるように、殆ど一定の水準に留まるのに対し、将来の発電の増加分の多くは火力発電に負うとしている。年間水力発電量は、2011 年までは 4,376GWh であり、2012 年以降はアッパーコトマレの 421GWh が加わって、4,797GWh となる予定である。

本事業で提案されているダムサイト周辺地域（ナウラなどの周辺地域）への電力供給は、既存のウクウェラ及びハバラナ変電所からの長距離の配電線を経て行われているため、電圧変動や突然の停電が発生している。現在のウクウェラ及びハバラナ変電所の将来の負荷予測によると、両変電所に 3 台ある変圧器のうち各 1 台が故障した場合、ウクウェラ変電所で 2013 年までに、ハバラナ変電所では 2014 年までには 120%を超える負荷となることが予測されている。また、長距離の配電線のため、ナウラ及びダンブッラ地域の電圧の品質は非常に劣悪であり、それはまた多大の電力損失の発生原因ともなっている。また、CEB の 2006 年のデータによればナウラ地域の電化率は 66%であり、スリランカ全土の 2006 年の平均値約 80%を下回るものとなっている。

3) 生活・産業用水

スリランカにおける給水事業のうち、国家上水・排水庁（National Water Supply and Drainage Board、以下 NWSDB）は、比較的規模の大きい給水事業の計画、実施を担っており、地下水など小規模な給水事業は、自治体やその他機関によっても実施されている。2006 年 9 月に旧 JBIC の支援により作成された NWSDB の事業計画（2007-2011）では、水道整備を通じて十分かつ安全な飲料水を供給することにより、都市部及び地方の住民の生活水準の向上に寄与することを目指している。同計画では、2011 年における給水分野の目標値を、上水道普及率 40%、無収水率 30%と定めている。

本事業対象地域には、ポロンナルワ、マータレー、アヌラーダプラ、トリンコマリーの 4 県における給水事業があり、水道整備の現況は以下の表 S-3 に示す通りである。これら各県における水道整備は、上記の NWSDB 事業計画（2007-2010）と比較して依然として低い水準にとどまっている。

表 S-3　本事業対象地域における給水事業の現況

No.	県	水生産量 (MCM/年)	給水量 (m3/日)	給水人口(人)と普及率	無収水率(%)
1.	マータレー	18.2	40,500	234,000 (48%)	19%
2.	アヌラーダプラ	15.2	33,500	219,000 (25%)	20%
3.	トリンコマリー	14.5	25,000	156,000 (33%)	37%
4.	ポロンナルワ	4.5	10,000	60,000 (15%)	20%

データの出所：NWSDB

2001 年に実施されたフィージビリティスタディ（以下 FS2001）では、表 S-4 に示される人口増加から推定したポロンナルワ、マータレー、アヌラーダプラ、トリンコマリーの 4 県の 2030 年時点でのモラガハカンダ貯水池からの年間生活・産業用水需要量を 92.4MCM と推定している。この値は MASL と NWSDB の間で公式に合意されたものであり、本事業で開発される貯水池はこの需要を満たすよう計画される必要がある。

表 S-4　2030 年における事業対象地域における生活・産業用水需要量（NWSDB 推定）

Unit: MCM

No	県	マハヴェリからの現況給水量	2030年における給水需要 FS2001 (増分)
1.	マータレー	6.9	31.2 (24.3)
2.	アヌラーダプラ	10.4	15.0 (4.6)
3.	トリンコマリー	9.1	34.2 (25.1)
4.	ポロンナルワ	2.3	12.0 (9.7)
合計		28.7	92.4 (63.7)

データの出所：NWSDB

03　本事業の必要性と優先度

前節で述べたように、農業はスリランカにおいて経済及び雇用という観点から見て依然として主要セクターであり、国家農業政策として持続的な食料供給、特に、コメ供給に高い優先度を置いている。2005 年公表の「マヒンダ・チンタナ（2006-2016）」では、農業セクターの年平均成長率を 5%以上としており、同目標を達成するためには灌漑施設の充実と生産性の向上による作付け面積の増加が不可欠である。

また、2010 年に公表された「マヒンダ・チンタナ」によると、現在の食料備蓄は不十分であり、特に端境期における食料価格の安定を保証するため食糧備蓄を増やすことが最重要課題であるとされている。さらに、スリランカ政府は穀物自給率を向上させて穀物輸入を減らし、節約した外貨を開発に運用するという方針を公表している。

これに対して、MASL 管理地域のコメの作付け面積および生産高は、スリランカ全体の各々18%、24%を占めているが、事業対象地域のコメの作付け率は、灌漑施設はよく整備されているものの、ヤラ期（乾期）には水不足のため不安定となり、また収量も不十分である。このため、農業生産向上のためには新規水資源開発が必要となっている。

一方、アヌラーダプラ、トリンコマリー、マータレー、ポロンナルワ県において人口増加や産業化に伴い、生活・産業用水の需要が近年増加している。本事業対象地域の一部では需要増に対応するため地下水を生活用水に利用しているが、水質不良のため健康被害があると言われており、表流水を用いた良質で安定した上水供給が急がれている。

ナウラ近郊では、現状では近隣に発電所も変電所もないため、近年電力供給が不安定となっている。モラガハカンダ発電所からの電力供給があれば、全国電力網への安定した電力供給のみならず、同地域住民への電力供給の質と信頼性において大幅な改善が期待される。

アンバン河流域の水資源に目を向けると、洪水期において毎年約 700 MCM という水が未活用のまま海へ流れている。これは同流域にボワテナ貯水池（50 MCM）があるものの洪水期の流水を貯留できる大規模貯水池がないことによる。ここに 520 MCM の貯水容量を有するモラガハカンダダムを開発すれば、この未活用水を貯留し北中部州の灌漑用水および生活・産業用水のために活用することが可能となる。

モラガハカンダダムの開発は、すでに 30 年前に JICA が実施した「モラガハカンダ農業開発プロジェクトフィージビリティースタディ（1979 年）」で提案されたが、これまでマハヴェリ河本流の水力発電開発が優先されてきたため現在まで実施には至っていない。このために上記のように北中部州における水不足、とりわけ乾期における深刻な水不足を招いた。従い、上記の水不足を解消するため、モラガハカンダダムの建設が急務となっている。

「マヒンダ・チンタナ（2006-2016）」（大統領のビジョン）の 10 ヶ年開発計画において、モラガハカンダ開発事業は優先プロジェクトとして位置付けられており、「マヒンダ・チンタナ（2010）」においても、水資源開発の戦略的重要性が強調されており、モラガハカンダ・プロジェクトおよび他のマハヴェリ・プロジェクトによって北部・北中部州の貯水池へ給水を追加する計画が示されている。

このように、モラガハカンダ開発事業は、現在のスリランカの水資源開発計画において最も重要かつ優先度の高いプロジェクトとなっている。

04　　本事業の目的

本事業の目的は次の通りである。

1) システム H、I/H、M/H、G、D1、D2、及び KHFC に灌漑用水を供給して、作付け率を向上することにより農民の生活を向上させる。

2) アヌラーダプラ、トリンコマリー、マータレー、ポロンナルワ県に生活・産業用水を追加供給する。

3) 水力発電により電力供給を改善する。

05　　FS2002 で提案された事業概要

モラガハカンダ開発計画 F/S レポート（補遺）（2002 年 9 月）で提案されている本プロジェクトの事業概要は下記の通りである。

i)　堤高 65m の主ダム（コンクリートダム）及び貯水池（常時満水位：海抜 185m、満水位面積：29.5 km^2）、サドルダム No.1、No.2（フィルダム）、水力発電所（設備容量：20 MW）および送電線の建設

ii)　システム D1 のカウドゥラ地区（モラガハカンダ貯水池建設に伴う住民移転先）における左岸二次用水路の建設

iii)　移転住民への補償および移転の実施

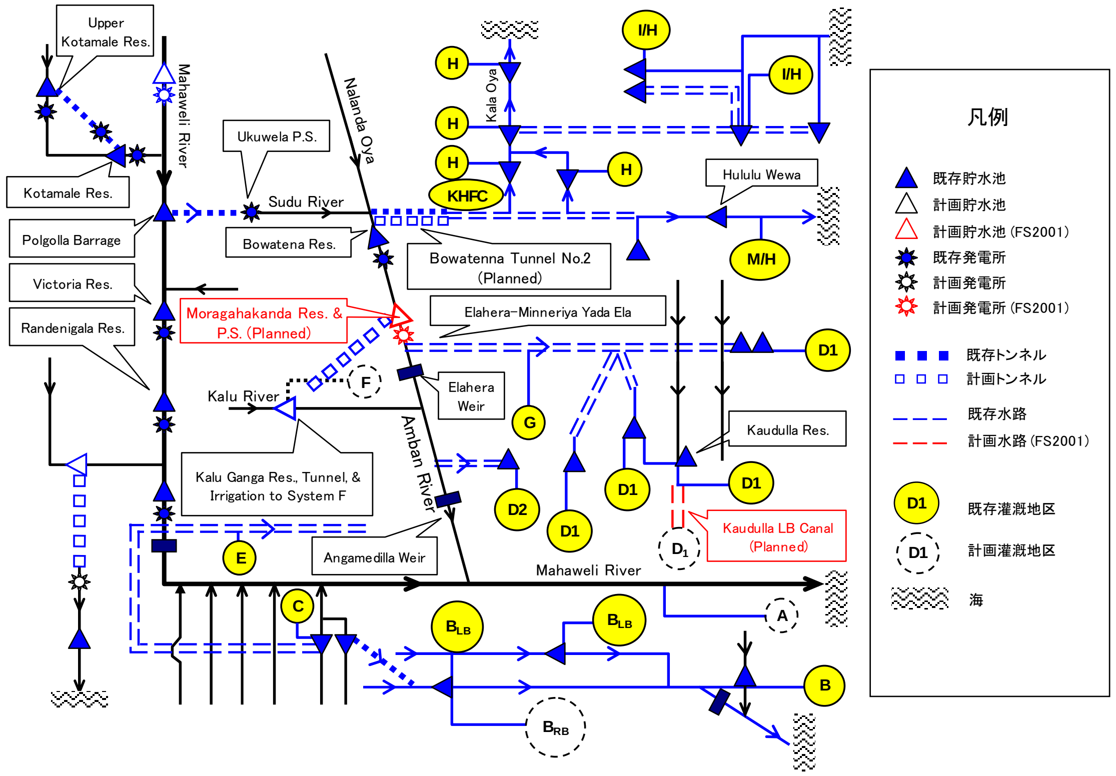
iv)　環境管理行動計画の実施

上記プロジェクト施設計画について本調査で見直しを行った。見直し結果については、次節以降に述べる。

06　　水収支計画

1)　　概要

本調査において、MASL の協力の下、既存灌漑地区（システム H、I/H、M/H、D1、D2、G、KHFC）の作付け状況、頭首工からの分水、灌漑用水の供給、生活・産業用水の消費、水力発電、貯水池挙動の観点から水収支シミュレーションを実施し、既存の F/S の見直しおよび水収支・水利用計画を評価・検証した。



データの出所：MASL、FS2001

図 S-3　　マハヴェリ河流域の送配水系統図

2)　　シミュレーション・ケース

本調査では、MASL が 1986 年から水収支計画に使用しているシミュレーション・モデルである ARSP と AIDM を用いた。ARSP はシステム全体の貯水池挙動および灌漑用送配水、生活・産業用送配水、水力発電をシミュレートするプログラム、AIDM は各灌漑システムの灌漑用水需要を計算するプログラムである。

2017 年に本事業の供用が開始されるという見込みの下、以下のシミュレーション・ケースを適用した。なお、シミュレーションは最新のデータを含む過去 40 年間 (1968/1969～2007/2008) の水文データを用いて実施した。

i)　ケース-A：　現況（2011-2016 年／供用前）
ii)　ケース-B：　事業実施後（2017-2021 年／供用 1-5 年）
iii) ケース-C：　事業実施後（2022-2040 年／供用 6-24 年）

ケース-A は事業実施前（現況）を表している。ケース-B、C は事業実施後のケースである。ケース-B、C ではモラガハカンダ発電所の設備容量を 15 MW とし、灌漑用水、生活・産業用水、水力発電の将来の需要予測に基づく水収支計算を行った。

また、ケース-B、C では、モラガハカンダ貯水池により灌漑用水量が増加することから本事業対象地域の平均作付け率を、事業実施前の 176％から 190％に増加させた。

将来を想定したケース-C では、本事業実施により必要な灌漑用水を確実に得ることができるという安心感から農民の高収量短期米品種の導入傾向は高まるものと期待されるため、作付け体系で短期米品種を増す条件とした。水収支計算の結果、本事業対象地域全体で可能な節水量が算出できた。この節水量は、将来の灌漑面積の増加、生活・産業用水、その他の目的に有効利用できる。

3) 水収支シミュレーション結果と水利用計画

水収支シミュレーション結果として水利用計画を表 S-5 に、また全体必要用水量が最も大きくなるケース-B でシミュレートした貯水池の貯水量、発電取水量、底部放流量、洪水吐き流出量の解析期間 40 年間の月変化を図 S-4 に示す。

4) モラガハカンダ貯水池容量の妥当性検証

a) 図 S-4 に示すとおり、モラガハカンダ貯水池の貯水位が運用最低水位（貯水量：48 MCM に相当）付近に落ちる回数は 40 年間で 8 回を超えていない。このことから、モラガハカンダ貯水池容量は 5 年確率渇水に対して保証（80%保証）されており、妥当であると言える。

b) モラガハカンダ貯水池建設後は、表 S-6 に示すようにプロジェクト地区の全体作付け率を 176%から 190%（MASL の目標値）に増加させることができ、カウドゥラ左岸拡張地区（1,420 ha）を含む 16,000 ha が追加で作付け可能となる。

c) モラガハカンダ貯水池の建設により、表 S-5 に示すようにアヌラーダプラ、トリンコマリー、マータレー、ポロンナルワ県の生活・産業用水の将来需要（ケース C では約 90 MCM）を満たすことが可能となる。

d) 表 S-5 に示すように、ケース-B、C では、モラガハカンダ貯水池によりポルゴラ頭首工からの分水量を関係各機関で合意された年間 875 MCM 以内に維持することが可能となり、全国水力発生電力量の目標値 4,376 GWh を満たすことができる。

表 S-5　水利用計画

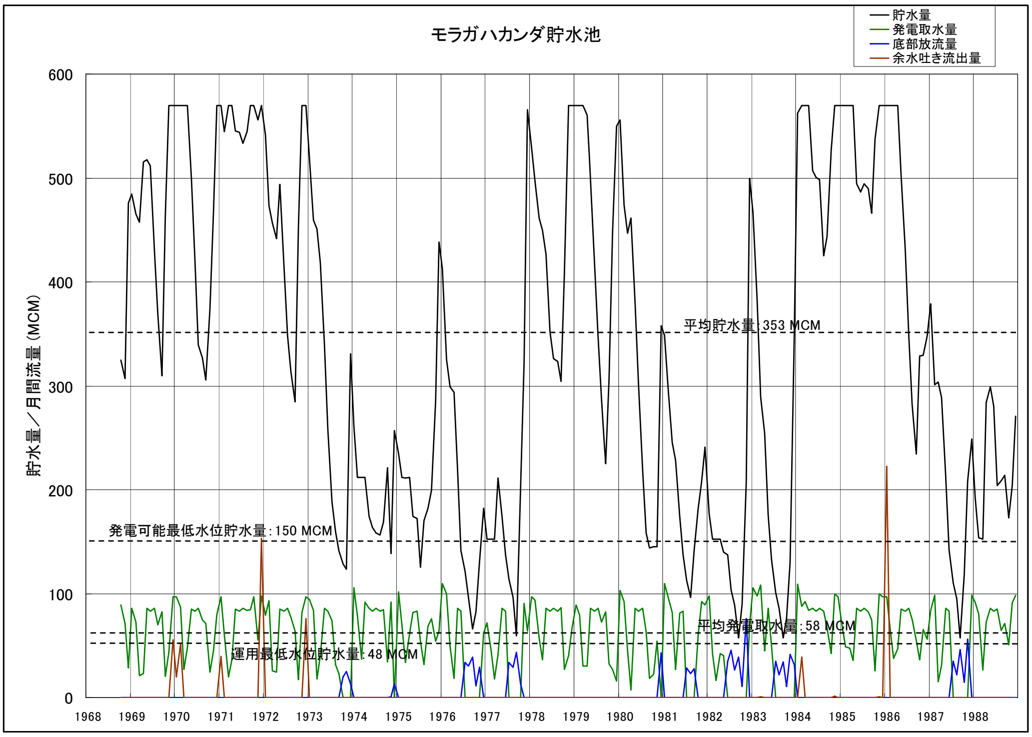
オペレーション	ステーション	現況	事業実施後		
		ケース-A	ケース-B	ケース-C	
		2011	2017	2022	2040
分水量 (MCM/年)	Polgolla	954	873	808	823
	Bowatenna	666	674	628	638
	KH Feeder Canal	213	217	203	203
	Huruluwewa	59	69	68	68
	Kandalama	38	40	37	37
	Dambulu Oya	453	457	424	435
	Nachchaduwa	80	94	91	94
	Nuwarawewa	42	41	42	44
	Tisawewa	16	18	17	17
	Elahera	635	687	655	658
	Minneriya	342	381	373	375
	Giritale	79	75	69	69
	Kaudulla	104	150	154	156
	Kantale	95	94	95	96
	Angamedilla	337	322	300	301
洪水吐き流出量 (MCM/年)	Elahera	229	76	83	83
	Angamedilla	515	385	408	408
	Polgolla	1132	1212	1277	1262
	Kotmale	1	1	1	1
	Bowatenna	23	22	22	22
	Kandalama	5	4	6	6
	Kalawewa	85	74	87	86
	Nachchaduwa	13	12	14	14
	Nuwarawewa	0	0	0	0
	Tisawewa	0	0	0	0
	Huruluwewa	1	0	1	1
	Minneriya	0	0	0	0
	Giritale	0	0	0	0
	Kaudulla	11	9	12	11
	Kantale	28	7	11	11
	Parakrama Samudra (PSS)	0	0	0	0
発電取水量 (MCM/年)	Moragahakanda	-	699.1	681.5	689.5
底部放流量 (MCM/年)	Moragahakanda	-	39.8	23.7	21.4
洪水吐き流出量 (MCM/年)	Moragahakanda	-	23.8	33.1	30.0
水力発電 (GWh/年)					
全水力発電所		4247	4348	4378	4375
Bowatenna		64	53	50	50
Moragahakanda *1		-	66	67	67
家庭･産業用水 (MCM/年)					
Matale	Sudu River	5.0	5.9	7.8	10.4
	Dambulu Oya	1.8	3.8	8.7	19.3
Anuradhapura	Nuwarawewa/Tisawewa/Thuruwila	10.2	10.6	11.9	14.9
Polonnaruwa	Kaudulla/Minneriya	0.0	1.6	3.5	7.9
	Parakrama Samudra (PSS)	2.1	2.2	3.0	4.0
Trincomalee	Kantale	9.1	9.0	9.1	9.1
	Mahaweli River	0.0	5.1	11.3	25.1
	合計	28.2	38.2	55.3	90.7

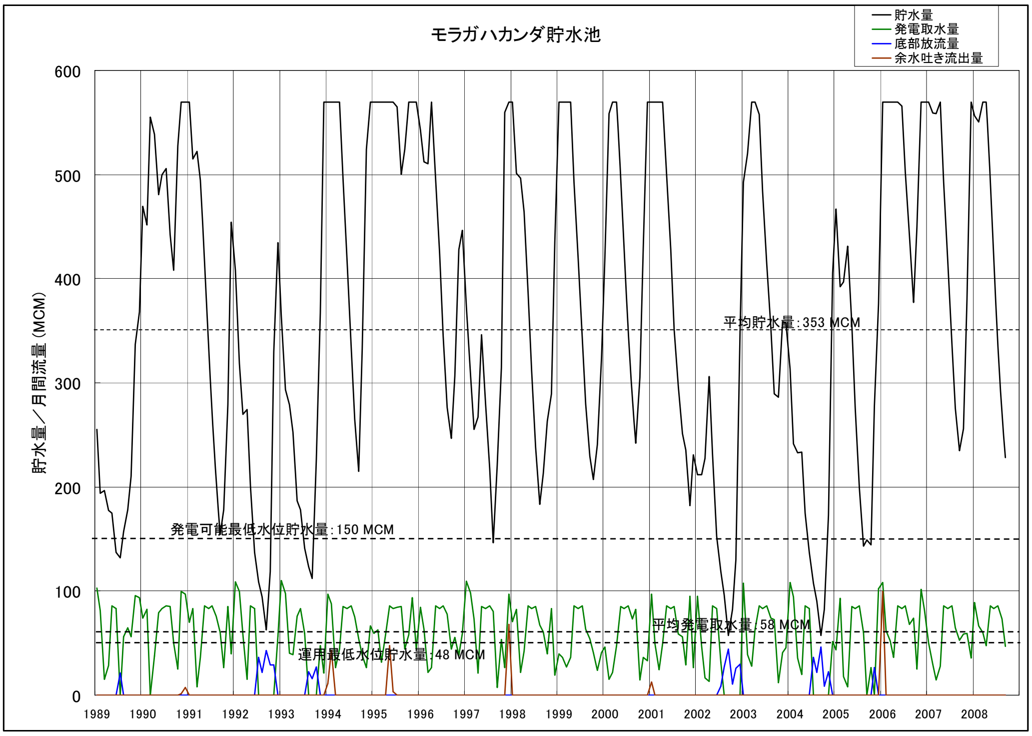
JICA 調査団作成
注：*1：モラガハカンダ発電所の設備容量：15 MW

表 S-6　作付け率と作付け面積の増加

ケース	作付け率(%)			作付け面積 (1,000 ha)		
	マハ期	ヤラ期	合計	マハ期	ヤラ期	合計
現況	98	78	176	83	67	150
事業実施後	100	90	190	87	79	166
増加分	2	12	14	4	12	16

JICA 調査団作成





JICA 調査団作成

図 S-4　モラガハカンダ貯水池の挙動予測（ケース B）

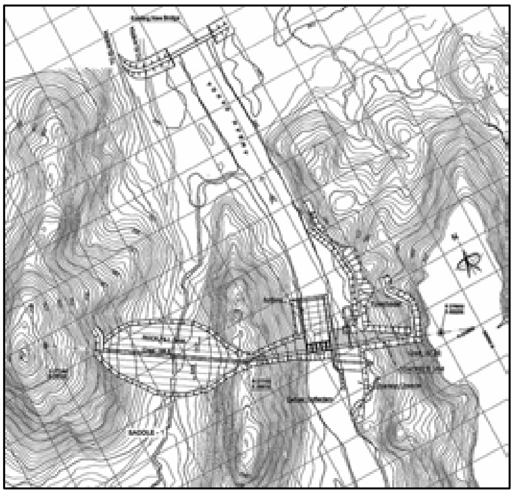
07　　　　ダムおよび発電計画のレビュー

1)　　　　ダム配置計画

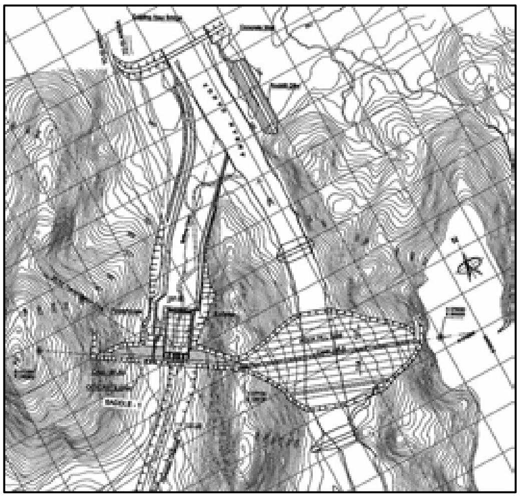
計画されているモラガハカンダ貯水池の常時満水位(FSL)と運用最低水位(MOL)はそれぞれ標高 185.0mおよび 155.0m である。これらの水位は FS2001 で選定されたものである。今回の調査で、最新の水需要予測を基に水収支計算を行って貯水容量の適否を検討した結果、FS2001 で決められた FSL と MOL は妥当と判断された。この条件で貯水池の有効貯水容量は 520 MCM であり、ダムサイトでの河川水位は通常状態で標高 138m である。

ダムサイトの左岸尾根筋上に 2 箇所の鞍部があり、鞍部‐1および鞍部‐2 と名付けられている。FS2001 では a)河道内に重力式コンクリート(RCC)ダム、b)鞍部- 1 に粘土コア型ロックフィルダム、そして c)鞍部-2 に均一型アースダムが計画されていた。鞍部ダム-2 は現在 MASL によって施工中である。

前回のフィージビリティー調査が行われた 2001 年以降、土木工事単価は工種によっては大幅に上昇した。そのため FS2001 で選んだダム形式が今でも最も経済的とは必ずしも言えない。そこで現状の単価を基にダム形式および配置を技術的・経済的に見直して最適ダム配置を決めるため、図 S-5 の 2 つのダムレイアウトを選び比較検討を行った。鞍部-2 のダムは現在施工中なのでダム形式検討の対象外である。



レイアウト-1　(FS2001 での配置)



レイアウト-2　(FS1979 での配置)

図 S-5　　ダムレイアウト

今回の比較検討に基づく技術的・経済的な評価の結果を以下に示す。

表 S-7　レイアウト-1 とレイアウト-2 の比較

No.	項目	レイアウト-1 (FS2001 での配置)	レイアウト-2 (FS1979 での配置)
	河道内ダム 鞍部-1 ダム	RCC ダム ロックフィルダム	ロックフィルダム RCC ダム
1	施工難易性	河道内での河川切り替えが容易でない。	鞍部- 1 の開削水路へ転流するのは容易である。
2	施工期間	45 ヶ月	42 ヶ月
3	土木工事費	85.2 百万米ドル	79.6 百万米ドル

JICA 調査団作成

上表から判るように、レイアウト-2 はレイアウト-1 に比べ、施工上のリスク軽減、施工期間短縮および工費縮減など様々な有利点がある。これら技術的･経済的評価結果を踏まえ、レイアウト-2 を最も適切なダムレイアウトとして選定する。

2)　付帯施設

ダム本体の他に洪水吐き、低部放流管、取水口、発電所および工事用転流施設についても見直しを行った。洪水吐きの形式および放流容量については FS2001 の計画が妥当と判断した。低部放流管(2 門)は FS2001 では通水断面 1.8mx2.0m のローラーゲートで計画されていたが、より水理特性の高いジェットフローゲート(1.6m 径)に変更する。工事中の転流施設については、今回選定されたダムレイアウトを考慮し、鞍部-1 の谷を上下流に開削して転流用水路を設ける案を採用する。鞍部- 1 のコンクリートダムの低部に 6 本の排水孔(各断面 5mx5m)を設けて仮排水路として使用し、孔はダム完成後コンクリートで閉塞する。ただし、そのうちの 2 本の内部には低部放流管を敷設する。発電所は、FS2001 で提案されている様にコンクリートダムの下流側直下に建設する。

3)　発電規模

FS2001 では発電規模は 20MW が選択された。しかし、最新の水需要予測に見合う下流への放流量は 20MW の発電に十分とは言えず、20MW の発電規模は過大と考えられる。そこで最適発電規模を求めるため、4 種類の発電規模(7.5MW、10MW、15MW および 20MW)を想定し、それぞれについて 40 年間の水収支計算を実施し発生電力量を求めた。その結果、15MW 規模までは設備容量の増大につれて発生電力量が急激に増えるが、設備容量が 15MW を超えると発生電力量はほとんど増えないことが分かった。発電規模別に発電関連施設の工事費と 50 年間の電力便益を計算した。結果を以下に示す。

表 S-8　発電容量の比較

項目	単位	発電規模			
		7.5 MW	10 MW	15 MW	20 MW
- 建設費(取水施設・発電所)	百万米ドル	8.8	11.3	15.6	20.0
- 電力便益(50 年間の合計現在価値)	百万米ドル	29.4	37.1	45.3	46.9
- 純便益 (B-C)	百万米ドル	20.6	25.8	29.7	26.9

JICA 調査団作成

この表で判るように、発電規模を 15MW にすると純便益(B-C)が最も高く、最も経済的となる。この結果を踏まえ、モラガハカンダ発電所の発電規模を 15MW に決定する。

ただし、15MW 機 1 台の場合、下流の水需要から決まるダム放流量が 10.5m^3/s(水車定格流量の 25%)を下回ると、水車に水理的なトラブル(振動など)が発生するので発電運転を止めて底部放流管から無効放流しなくてはならない。そのような小流量が原因で発電を止める時間は年間総時間の 24％に達する。もし設備を 7.5MW 機 2 台にすれば、放流量が 5.25m^3/s に下がるまで少なくとも 1 台の水車は運転可能であり、運転停止期間は 13%に減少する。その結果、小流量時の運転時間が増えるので年間発生電力量が 15MW 機 1 台のケースよりも 2.1ＧWh 増加する。この増加電力量を 50 年間の便益に換算すると現在価値で 140 万米ドルとなる。一方、15MW 機 1 台から 7.5MW 機 2 台にする場合の建設費増分は 30 万米ドルと僅かである。このことから、7.5MW 機 2 台の方が 15MW 機 1 台よりも経済性に優れていると判断し、モラガハカンダ発電所には 7.5MW 機を 2 台設置するものとする。7.5MW 機 2 台での年間発生電力量は 66.3GWh となる。

4) 発電設備および送電線

発電所に据え付ける発電設備は 7.5MW 機 2 台である。水車形式としては FS2001 と同様カプラン水車を採用する。その利点はフランシス水車に比べより大きな流量変動幅に対応でき、常に高い水車効率を維持できるからである。しかし、貯水池水位が下がって低落差で運転すると水車のトラブルが発生するので、水車運転用の貯水池最低水位を標高 165m とする。ただし灌漑用貯水池最低水位（MOL）は標高 155m のままである。水車の定格落差は FS2001 の計画と同じく 40m とする。

FS2001 で計画された送電線は既設ハバラナ変電所に接続する延長 42km の 132ｋV 送電線であった。しかし、セイロン電力庁(CEB)が 2011 年運転開始を目指してプロジェクトサイトに近いナウラに全国系統に繋ぐ新しい 132/33ｋV 変電所を計画している。従って、モラガハカンダ発電所からの送電線はナウラ変電所までの延長 15km の 33ｋV 送電線(1 回線)とする。

5) FS2001 での事業費見積もり

FS2001 で見積もられた総事業費は 102.62 百万米ドルである（用地補償費・住民移転費および環境保全費を含む）。しかし、FS2001 の報告書に工事単価の基礎資料が示されていないため、現段階で FS2001 基礎資料を基にしたコスト見直しは不可能である。そのため、スリランカ国内だけでなく国際市場での消費者物価指数統計を適用して事業費見直しを行う必要がある。FS2001 で土木工事費内訳に占める間接費の割合を 20％としているが、その割合は現在も妥当な値と判断する。

08 施設計画の提案

1) ダム及び発電所

施設計画として提案するダム（主ダム及び二つの鞍部ダム）及び発電所の主要緒元を表 S-9 にまとめる。

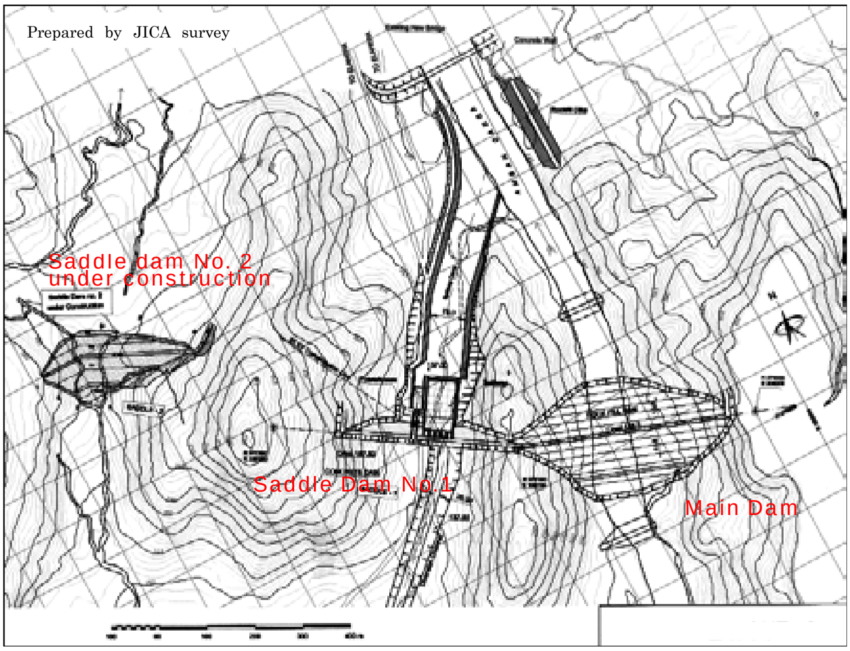
表 S-9 ダム及び発電所の主要緒元一覧

	項 目	Unit	今回調査 (2010)	前回調査 (2001)
1	ダム地点の水文			
	集水面積	km^2	768	768
	年平均流量（自流域）	m^3/s	24.6	24.6 (Year 1949-98)
	設計洪水量（千年洪水）	m^3/s	3,797	3,797
2	貯水池			
	常時満水位	m asl	185.00	185.00
	最低水位	m asl	155.00	155.00
	全貯水池容量	MCM	569.9	569.9
	有効貯水容量	MCM	521.3	521.3
3	主ダム			
	型式	-	ロックフィルダム	RCC ダム
	天端標高	m asl	188.5	187.0 (or 188.0)
	天端長	m	465	463
	ダム高さ	m	61	65
	ダム体積	m^3	1,380,000	368,000
4	鞍部ダム1			
	型式		RCC ダム	ロックフィルダム
	天端標高	m asl	187.5	188.0
	天端長	m	365	361
	ダム高さ	m	51.5	42
	ダム体積	m^3	171,000	674,000
5	鞍部ダム2			
	型式	-	アースダム	アースダム
	天端標高	m asl	188.5	188.0
	天端長	m	374	374
	ダム高さ	m	21.5	21
6	洪水吐			
	型式	-	ゲート式堰、シュート及び減勢池	ゲート式堰、シュート及び減勢池
	設計洪水量	m^3/s	3,797	3,778
	ゲート設置数	-	5	5
	ゲートタイプ	-	ラジアルゲート	ラジアルゲート
8	河川転流水路			
	型式		ダム底部水平通水路	ダム底部水平通水路
	ボトムアウトレット数		6	-
9	取水口及びペンストック			
	型式	-	ベルマウス及び傾斜ペンストック	ベルマウス及び傾斜ペンストック
	取水口数	nos.	2	1
	ペンストックパイプ径	m	2.5	3.91
10	発電所			
	型式	-	ダム直下の鉄筋コンクリート建屋	ダム直下の鉄筋コンクリート建屋
	発電機数		2	1
	発電容量	MW	7.5 x 2 = 15	20
	一台当り排水量	m^3/s	21	50
	年発生電力量	GWh	66.3	45.0
11	送電線			
	電圧	kV	33	132
	送電長	km	15	41.8

JICA 調査団作成

i) ダムおよび付帯施設

選定されたダム形式は河道内がロックフィルダム、鞍部-1 が重力式コンクリートダムである。



JICA 調査団作成

図 S-6　最終選定されたダムの配置図

ダムの所要堤頂標高を日本のダム設計基準に準じて計算し、フィルダムに対して 188.5m、コンクリートダムに対して 187.5m とした。どちらも FS2001 で計算された堤頂標高より 0.5m 高い。鞍部-2 のアースダムは FS2001 設計のまま現在施工中だが、その堤頂を 188.5m に上げることを提案する。

表 S-10　主ダムと鞍部ダムの比較

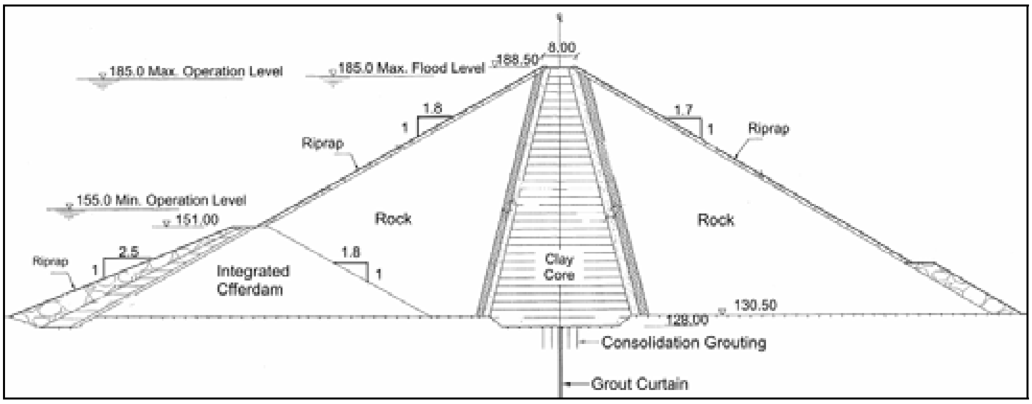
ダム	形式	高さ(m)
主ダム	粘土コア型ロックフィルダム	61.0
鞍部ダム 1	重力式コクリートダム(RCC)	51.5
鞍部ダム 2	均一型アースダム	21.5

JICA 調査団作成

貯水池堆砂量を検討するためアンバン川の流砂量を見積もる必要がある。スリランカ国内の過去の類似プロジェクトでの検討結果を参考にしてアンバン川の流砂量を見積もった結果、FS2001 と同じ 340m^3/km^2/年となった。その流砂量を基にモラガハカンダ貯水池の 100 年間堆砂量を推計すると、全堆砂量は 2,320 万 m^3 となった。この量は堆砂前の総貯水容量の 4.1%に過ぎず、堆砂による貯水容量減少は非常に少ないと言える。

鞍部-1 のコンクリートダムの堤体積は 17 万 m^3 である。このダムは、工期短縮と工費縮減が可能な転圧式コンクリート(RCC)工法で施工する計画である。RCC には通常 150-200kg/m^3 の結合材(セメントおよびフライアッシュまたはポゾラン)が使われる。スリランカの複数のセメント製造会社はフライアッシュ(またはポゾラン)を輸入してセメントと混ぜ「混合セメント」として国内で販売しており、RCC 工法を採用しても結合剤の調達が重大な障害になるとは考えられない。

河道内に造るロックフィルダムの堤体積はおよそ 140 万 m^3 である。ダム盛り立て用ロック材はダムサイト直下流右岸の岩山を発破掘削して採取する。

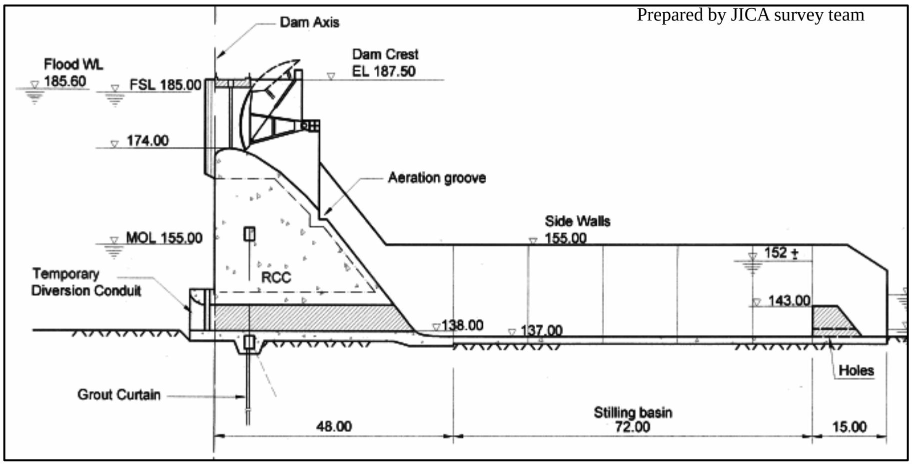


JICA 調査団作成

図 S-7　　ロックフィルダムの標準断面図

洪水吐き流入部はコンクリートダムの堤頂部に設けられ、貯水位が常時満水位（FSL）の時に 1,000 年確率洪水(3,797m^3/s)を放流する能力がある。流入部は 5 門のラジアルゲート(9.7m 幅、11.0m 高)で放流量を制御する。水門から放流された高速の流れはダム直下流に設けられる水平水叩き式減勢工(58.5m 幅)で減勢される。減勢工の設計洪水は経済性を考えて 100 年確率洪水(2,880m^3/s)である。

Prepared by JICA survey team



JICA 調査団作成

図 S-8　　コンクリートダムの洪水吐き断面図

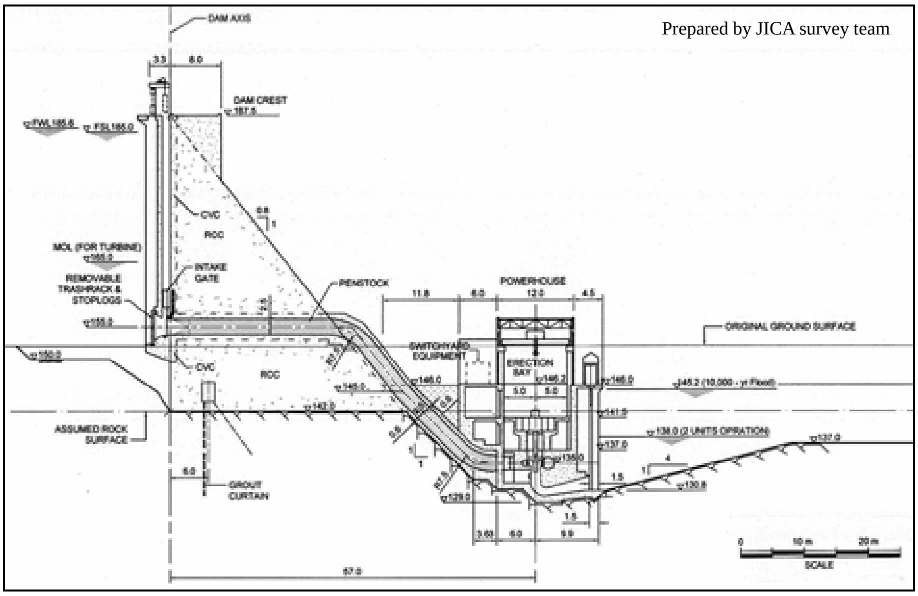
減勢工から下流の河川まで延長 450m、幅 75m の水路を開削するが、水路は最近下流に造られた道路橋の直上流で川に合流する。このため、合流点では洪水の流れが大きく乱れるので、流下能力低下や橋脚基礎での洗掘被害が懸念される。橋梁保護のため洪水流の流れを整えるコンクリート導流壁などの構造物が追加的に必要である。

ロックフィルダム工事を河道内で行うには河川転流が必要となるため、転流水路として鞍部‐1 のコンクリートダム低部に 6 本の仮排水路(各断面 5mx5m)を設ける。転流施設は既往最大洪水(1,605m^3/s)を考慮して設計する。その洪水を流すと貯水池水位

は標高 149.5m に達する。ダム完成後、仮排水路はコンクリートで閉塞する。ただし、6 本のうちの 2 本は低部放流管に転用するものとする。

低部放流管は鞍部‐1 の洪水吐きダムの低部に設置し、管路中心標高は 142.5m である。放流管は 2 条の鋼管水路から成り、それぞれに常用ゲートと保守ゲートを備え、ダム工事の最終段階で仮排水路の中に据え付ける。常用ゲートは径 1.6m のジェットフローゲートとし、保守用ゲートは同径のスライドゲートとする。ゲートの油圧機器および制御装置はダム堤体内に設けるゲート室空洞に格納する。放流管は貯水池水位が MOL の時 2 本合計で 50m^3/s を放流する能力がある。貯水池緊急抜水は放流管だけで行っても乾期なら 2.5 ヶ月で完了するが、放流管に加え発電機(15MW)もフル運転すれば抜水期間は 2 ヶ月に短縮できる。

発電所は鞍部-1 コンクリートダムの下流端に建設し、7.5MW の発電機器 2 台を収納する。ダム上流面には主機ごとに独立した取水口がある。取水口の呑み口は水平ベル形で、それぞれに水流遮断ゲートと可動式スクリーンを備える。取水口 2 つに対し 1 組の共用予備ゲート(ストップログ)を用意する。取水口から発電所水車への導水のため 2.5m 径のペンストック鋼管を埋設する。発電所建屋は幅 22.5m、長さ 42m、高さ 27m の鉄筋コンクリート造りである。発電所敷地の標高は 146.0m とし、1 万年確率洪水時の水位より僅かに高い位置とする。



JICA 調査団作成

図 S-9　発電所と取水口の縦断図

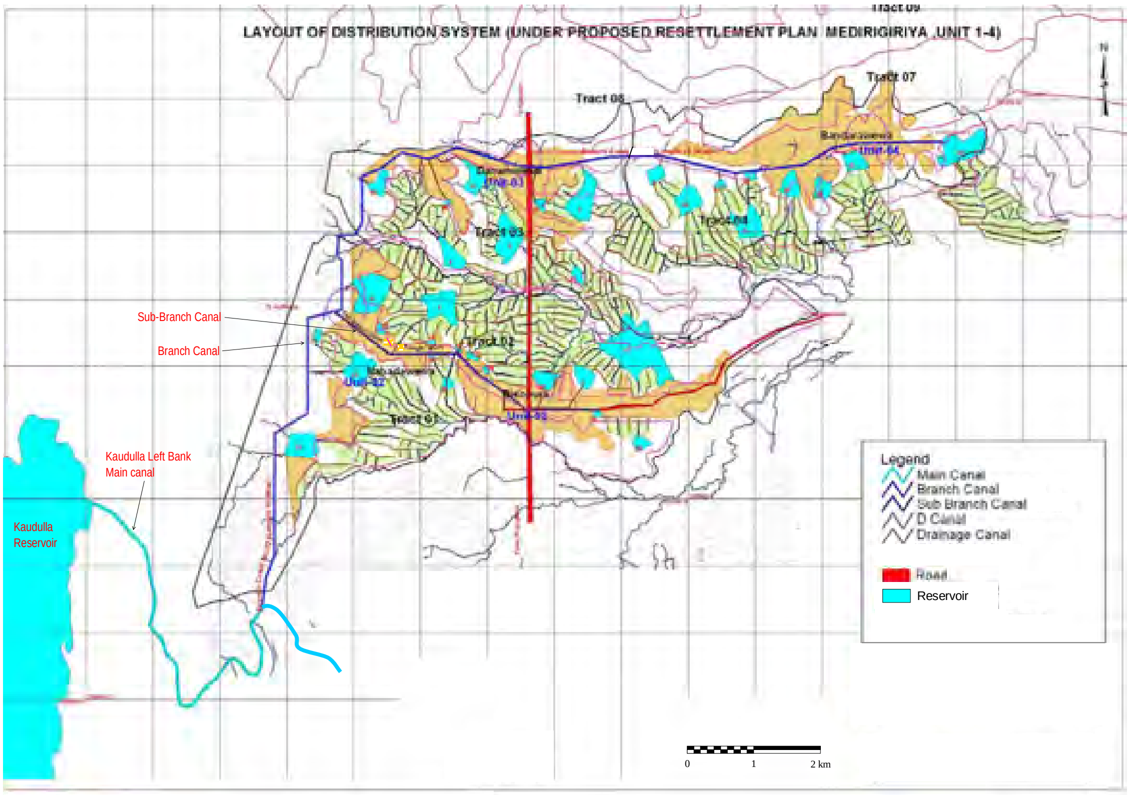
ii)　発電設備および送電線

前節での検討の結果、発電設備は 7.5MW の主機 2 台が選定された。水車は縦軸のカプラン水車で、8.82MVA(力率 0.85)の同期発電機に直結される。運転時の下流水位 138.0m を考慮して水車のケーシング中心標高を 135.0m とする。屋外開閉所は発電所建屋裏の敷地に設ける。開閉所には主機 2 台共用の 17.6MVA 昇圧変圧器（33/11ｋV）1 台と遮断機・開閉装置を設置する。

屋外開閉所から CEB の新ナウラ変電所まで 33kＶ架空送電線 1 回戦を敷設する。送電線は鉄塔式とし、モラガハカンダ貯水池の北側を通ってナウラ変電所まで延長 15 km である。

2) カウドゥラ左岸拡張地区灌漑水路施設

MASL および灌漑局は、カウドゥラ一次水路からカウドゥラ左岸二次用水路を分岐させ、モラガハカンダ貯水池からの住民移転予定地を含むカウドゥラ左岸拡張地区 1,420 ha (3,500 acres) へ、移転開始に間に合うように灌漑用水を供給することを計画している（図 S-10 参照）。



データの出所：MASL、灌漑局

図 S-10　カウドゥラ左岸拡張地区概要図

灌漑局は拡張地区面積増加に伴う既存カウドゥラ左岸幹線用水路の拡幅工事を 2009 年 10 月よりスリランカ政府予算により実施中で、2010 年 10 月に完成予定である。また、二次用水路新設工事および三次用水路新設・既存ファームポンド改修を含む農地造成工事についてもスリランカ政府予算により部分的に実施される予定である。

カウドゥラ左岸拡張地区施設の主要諸元を表 S-11 に示す。

表 S-11　カウドゥラ左岸拡張地区施設の主要諸元

項　目	単位	幹線用水路 (改良)	二次用水路-1 （Branch Canal） (新設)	二次用水路-2 (Sub-Branch Canal) (新設)	農地造成 (新設)
水路タイプ	-	土水路	土水路	土水路	-
延長	km	6.4	16.5	4.4	-
設計流量（最大）	m^3/s	9.5	2.8	0.6	-
灌漑面積	ha	4,800	1,420	280	1,420

JICA 調査団作成

3)　農業普及サービスおよび農民組織の育成・強化

本プロジェクトにおいて、効率的な灌漑水管理、持続的な灌漑施設維持管理、農業生産の増加などへの支援を通して円滑に住民移転が行われるよう、移転地区における農業普及サービスおよび農民組織の育成・強化をソフトコンポーネントとしてプロジェクトに含めることが必要である。

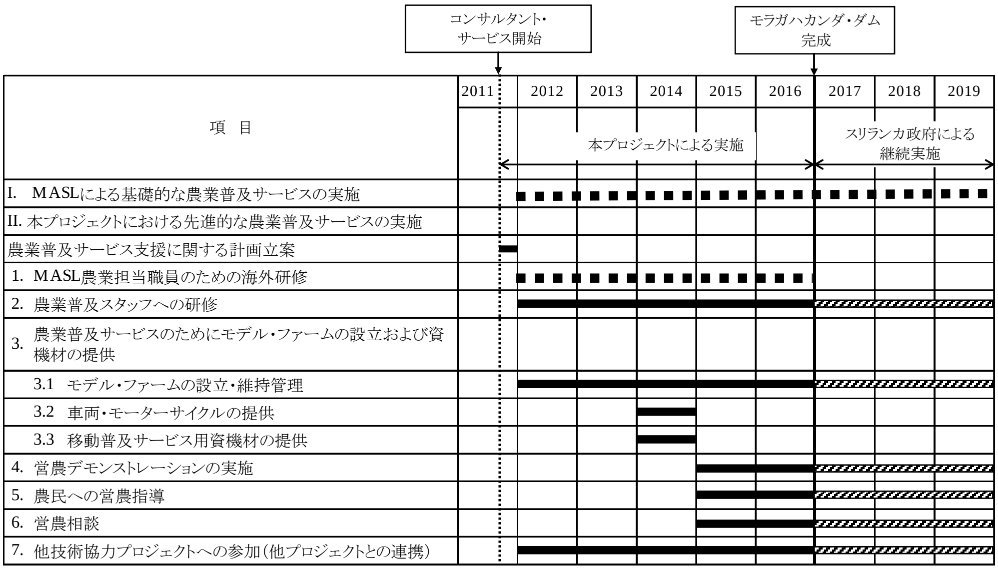
対象は、新旧住民の調和を図るべく、モラガハカンダ貯水池建設に伴う移転住民ならびに移転先の既存住民の双方を含むものとする。

農業普及サービスの概要および活動内容・スケジュールは、各々、表 S-12 および図 S-11 に示す通りである。

表 S-12　農業普及サービスの概要

対象地区および対象農民		
1.	カウドゥラ左岸拡張地区（システムD1）	1,420 ha
2.	カルガンガ左岸地区（システムF）	950 ha
3.	カルガンガ右岸地区（システムF）	1,100 ha
	農地面積合計:	3,470 ha
	農家世帯合計:	6,000 戸
支援対象科目		
(1)	苗床管理（米、野菜、果樹対象）	
(2)	高付加価値作物のための栽培技術（野菜、果樹対象）	
(3)	総合的害虫管理（野菜、果樹対象）	
(4)	収穫後処理技術（米、野菜、果樹対象）	
(5)	畑地灌漑技術（野菜、果樹対象）	

JICA 調査団作成



JICA 調査団作成

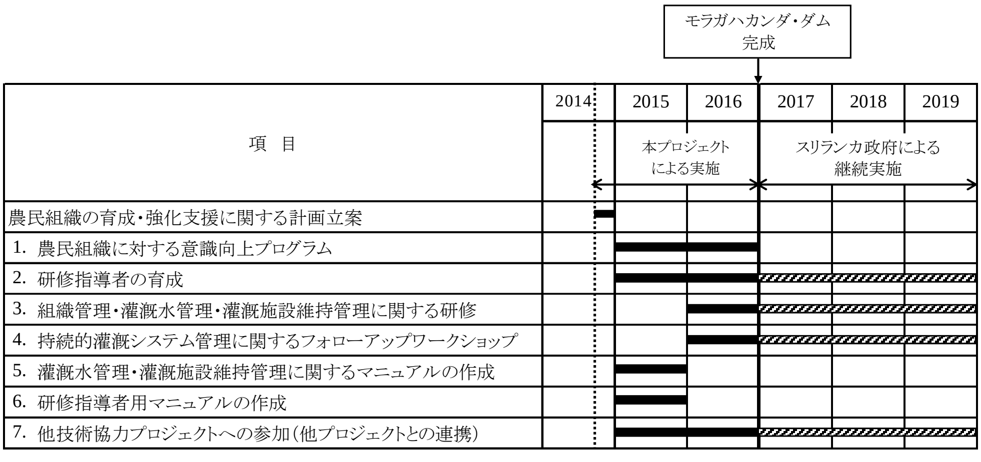
図 S-11　農業普及サービスの活動内容・スケジュール

農民組織の育成・強化の概要および活動内容・スケジュールは、各々、表 S-13 および図 S-12 に示す通りである。

表 S-13　農民組織の育成・強化の概要

対象地区および対象農民		
1.	カウドゥラ左岸拡張地区(システムD1)	1,420 ha
2.	カルガンガ左岸地区(システムF)	950 ha
3.	カルガンガ右岸地区(システムF)	1,100 ha
	農地面積合計:	3,470 ha
	農家世帯合計:	6,000 戸
支援対象科目		
(1)	組織管理	
(2)	灌漑水管理	
(3)	灌漑施設維持管理	

JICA 調査団作成



JICA 調査団作成

図 S-12　農民組織の育成・強化の活動内容・スケジュール

4) 事業費

i) 総事業費

本事業に係る初期投資費用の見積もり額は314億円（外貨分 : 169億円、内貨分 : 184億ルピー）である。表S-14に総事業費の内訳を示す。また詳細はAppendix D-1に示す。

表S-14 総事業費

項目	外貨 (JPY)	内貨 (LKR)	合計 (JPY)	円借款対象 (JPY)	円借款非対象 (JPY)
1. 建設工事費	9,098	3,474	11,842	11,465	377
1.1 モラガハカンダダム	8,576	3,084	11,012	10,701	311
1.2 カウドゥーラ左岸拡張地区	522	390	830	764	66
2. 資機材調達費	300	0	300	300	0
3. 住民移転施設建設費（灌漑・社会インフラ）	1,714	592	2,182	1,951	231
4. 土地収用費	0	3,227	2,549	0	2,549
5. 所得回復支援プログラム費	0	254	201	201	0
6. 環境管理計画費	0	1,000	790	790	0
7. 物価上昇予備費	1,440	3,149	3,927	3,091	836
8. 物理的予備費	1,215	1,151	2,125	1,780	345
9. コンサルティングサービス費	1,496	1,323	2,541	2,541	0
10. コンサルティングサービスに係る物価上昇予備費	189	553	626	626	0
11. コンサルティングサービスに係る物理的予備費	168	188	317	317	0
12. 建中金利	1,086	0	1,086	1,086	0
13. コミットメントチャージ	169	0	169	169	0
14. 事業事務費	0	1,700	1,343	0	1,343
15. 税金（VAT）	0	1,767	1,396	0	1,396
合計	16,875	18,378	31,393	24,317	7,076

JICA調査団作成

MASLは2007年よりシステムF (カル川左岸)、およびカウドゥラ左岸拡張地区(システムD1)において住民移転先の灌漑施設・社会インフラ整備を自国資金によって開始しており、住民移転開始までにインフラ整備を完了させるため、本事業開始後も同地区の整備をプロジェクト資金によりプロジェクトと並行して継続する。

ii) 建設工事費

モラガハカンダダムの建設工事費は、土木工事、水門・鉄管工事、水力発電所建設工事、送電線敷設工事から構成される。土木工事には、主ダム、鞍部ダム1及び2、付帯施設、および発電所が含まれる。ただし、鞍部ダム2は2007年からMASLによって2010年中に完成予定で建設が進められているため、円借款の対象外とした。

カウドゥラ左岸拡張地区は左岸二次用水路の新設、左岸幹線用水路の改良（拡幅）、既存ファームポンドの改修、農地造成から構成される。これら建設工事の一部は灌漑局によって開始されており、その部分については円借款の対象外である。

また、末端水路整備を含む圃場整備はプロジェクト資金によって建設され、受益者からのいかなる負担も求めない。ただし、畦に関しては、圃場整備実施中に農民が自ら参加して設置するものとする。

表S-15 に建設工事費の詳細を示す。

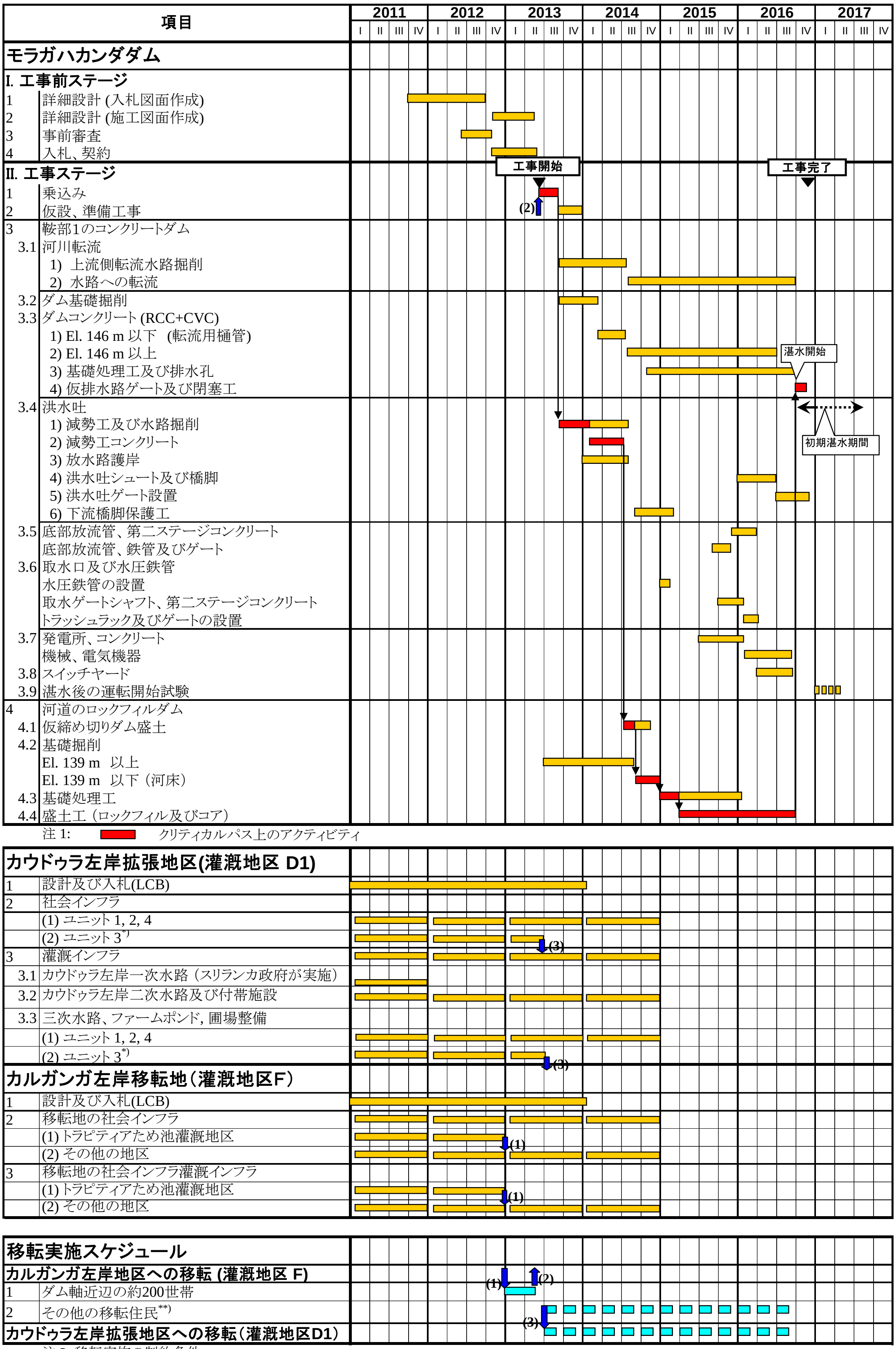
表 S-15　土木工事費内訳

項目	外貨 (JPY)	内貨 (LKR)	合計 (JPY)	円借款対象 (JPY)	円借款非対象 (JPY)
1. モラガハカンダダム					
1.1 土木工事 (主ダム、鞍部ダム1、その他)	6,195	2,723	8,346	8,346	0
土木工事 (鞍部ダム2, 付替え道路)	398	219	571	260	311
1.2 水門･鉄管工事	1,015	142	1,127	1,127	0
1.3 水力発電所建設工事	841	0	841	841	0
1.4 送電線敷設工事	127	0	127	127	0
小計	8,576	3,084	11,012	10,701	311
2. カウドゥーラ左岸拡張地区					
2.1 土木工事	478	358	761	761	0
土木工事 (スリランカ政府により既実施分)	42	31	66	0	66
2.2 機器および鋼製品	2	1	3	3	0
小計	522	390	830	764	66
合計	9,098	3,474	11,842	11,465	377

JICA 調査団作成

5) 事業実施スケジュール

図 S-13 に事業実施スケジュールを示す。工事期間は、詳細設計（D/D）、事前審査（PQ）、入札などの工事前作業期間、及びモラガハカンダダム、発電所、カウドゥラ左岸拡張地区 (システム D1)灌漑施設、カウドゥラとシステム F の社会インフラなどの建設工事期間から成る。コンサルティングサービスが 2011 年 10 月から開始されると想定すると、ダムの建設工事は 2013 年 6 月から 2016 年 12 月にかけて実施されることになる。また、カウドゥラ左岸拡張地区 (システム D1)およびカルガンガ両岸地区 (システム F)における、灌漑施設・社会インフラ整備は灌漑局と MASL によって既に着手されているが、2011 年からは JICA ローンにより現地業者が建設を継続することになる。



注 2: 移転実施の制約条件

JICA 調査団作成

(1) ダム軸の約200世帯は、灌漑地区Fのトラピティヤため池灌漑が 完成した後に移転する。

(2) モラガハカンダダム工事は、ダム軸付近の200世帯の移転が完了した後に開始する。

(3) 約300世帯の灌漑地区D1への移転は、カウドゥラ左岸拡張地区ユニット3のインフラが完了した後開始する。

注 3:

*): ユニット 3 とは、モラガハカンダからの移転住民が入植する地区のことである。

**): その他の住民（約1000世帯）の灌漑地区Fへの移転は最初の200世帯の移転に引き続き開始するが、移転地の社会・灌漑インフラの進捗に応じて移転するものとする。移転住民は、移転地のインフラが完全に完成するまで、また貯水池の湛水が始まるまでは元の土地でも農業を行うことができる。

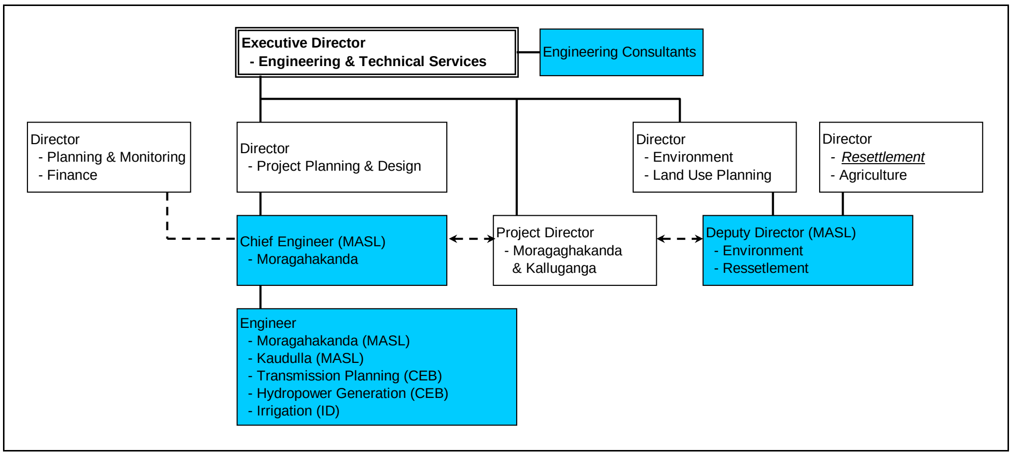
図 S-13　モラガハカンダ開発事業の実施スケジュール

09　　事業実施体制

1)　　事業実施機関

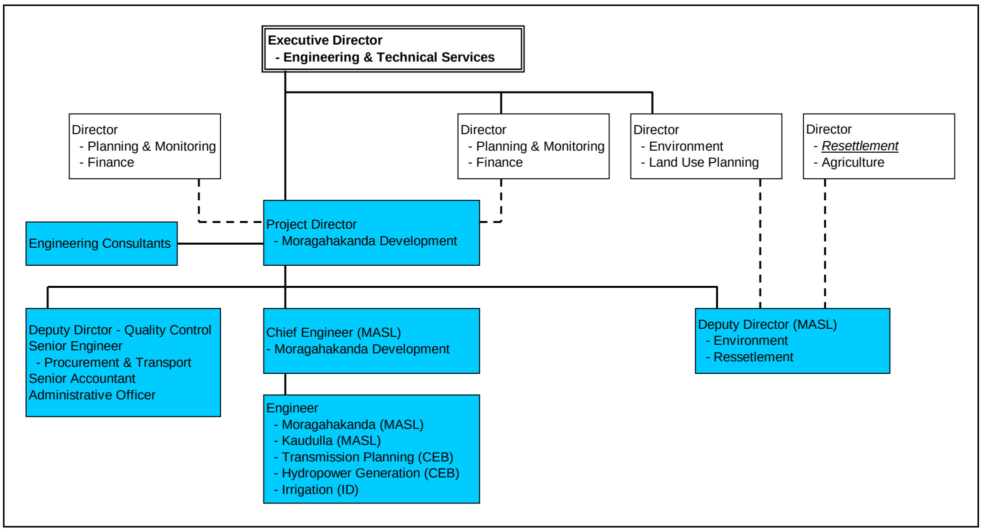
本事業の実施において、事業実施主体である MASL は、事業への直接的関与に加えて、その他関連組織の調整役を担う。また、灌漑局および CEB は計画、設計、建設、維持管理のそれぞれの段階で、事業へ関与する。NWSDB は、計画段階において給水需要データの提供などを通じて事業への関与が求められるが、事業実施段階における直接的な役割はない。

事業の調整と実施にあたり、設計、建設の各段階において図 S-14 および図 S-15 に示される事業実施組織（PIU）が設置される。



JICA 調査団作成
注：色付きの部分は新規提案

図 S-14　　設計段階における PIU 組織図



JICA 調査団作成
注：色付きの部分は新規提案

図 S-15　　建設段階における PIU 組織図

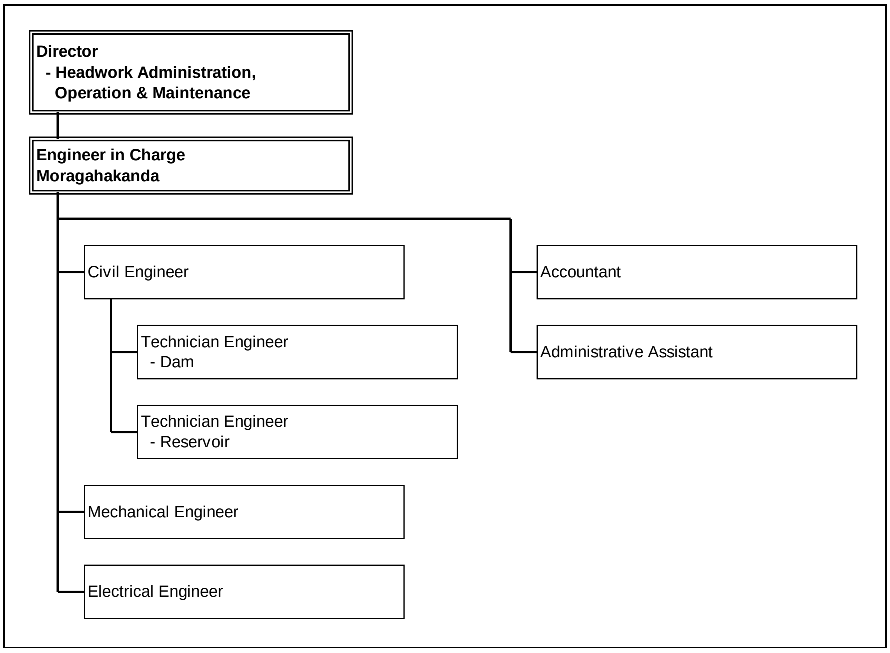
2)　　プロジェクト維持管理体制

i)　　水管理体制

マハヴェリ開発スキームにおける水管理は、MASL の水管理事務局（Water Management Secretariat、以下 WMS）が管轄している。マハヴェリ河流域の水配分を決めるにあたり、WMS は水収支計算から水配分計画を策定し、MASL、灌漑局、CEB、NWSDB など各機関の間で年二回開催される水管理委員会(Water Management Panel、以下 WMP)において合意を形成すべく調整役を担っている。本事業の水管理においても同様に上記各関係機関に対する水供給を行うことになるため、WMS が調整役を担うことになる。

ii)　　ダム及び貯水池

モラガハカンダダムおよび貯水池の維持管理にあたっては、MASL 貯水池運営維持管理ユニット（Headworks Administration, Operation and Maintenance、以下 HAO&M unit）の下部組織としてモラガハカンダ維持管理ユニットを設置することが想定される。同ユニットの組織図は図 S-16 のとおりである。



JICA 調査団作成

図 S-16　　ダムおよび貯水池維持管理組織図

iii)　　灌漑システム

MASL および灌漑局による灌漑設備維持管理における責任分担は、表 S-16 に示されるとおりである。

表 S-16　灌漑設備維持管理の責任分担

施設レベル ＼ 維持管理活動	モラガハカンダダム/貯水池	貯水池	幹線水路 ２次水路	３次水路	４次水路
MASL 管轄 (System H)					
維持管理計画の策定	HAO&M	HAO&M	RPM	RPM	DCFO
作付計画の作成	-	-	WMP	RPM	DCFO
施設運用	HAO&M	HAO&M	RPM	RPM	DCFO
維持管理作業	HAO&M	HAO&M	RPM	DCFO	DCFO
灌漑局管轄 (System I/H, M/H, HFC, G, D1 and D2)					
維持管理計画の策定	-	RDI	RDI	RDI	DCFO
作付計画の作成	-	-	WMP	RDI	DCFO
施設運用	-	RDI	RDI	RDI	DCFO
維持管理作業	-	RDI	RDI	DCFO	DCFO

JICA 調査団作成
注：　HAO/M: 貯水池運営維持管理ユニット
WMP: 水管理委員会, RPM: MASL の管理事務所長
RDI: 灌漑局の地域灌漑局長 , DCFO: 末端水路農民組織

iv)　発電所

これまでのマハヴェリ開発事業において CEB は、MASL より水力発電施設および送電施設の移管を受け、そのすべての維持管理を実施してきた。一方 MASL は、ダムおよび貯水池の維持管理を実施し、水力発電用水を CEB に供給する役割を担ってきた。

本事業では、水力発電施設の建設は MASL が実施、また送電設備は MASL より資金提要を受け CEB が実施することが予定されている。また、水力発電用水供給は、WMS によって毎週実施される水管理会議によって週ごとにその用水量を決定する。

本事業では、上述したこれまでと同様の維持管理体制により、水力発電施設および送電設備の維持管理を実施することを提案する。本事業における維持管理責任分担は表 S-17 に示すとおりである。

表 S-17　MASL およびセイロン電力庁の維持管理責任分担

施設	建設	所有権	維持管理責任	運営権
ダム/貯水池	MASL	MASL	MASL	MASL
発電施設	MASL	CEB	CEB	CEB
送電設備	CEB	CEB	CEB	CEB

JICA 調査団作成

10　事業評価

国家経済全体から見て本事業が実施可能であるかを検討、評価するため、経済分析をおこなった。経済評価にあたっては、経済的内部収益率（EIRR）、費用便益比率（B/C）、総現在価値（NPV）の算出により、実施可能性を検討した。

1)　経済費用

経済費用は、標準変換係数（SCF）0.9 およびシャドー・ウェージ・レート（SWR）0.7 を用いて、財務費用より算出した。本事業の経済費用は、表 S-18 に示されるとおり財務費用約 397 億ルピーに対して、約 231 億ルピーと推定される。また、年間の維持管理費は約 7,450 万ルピー、建設 30 年後における施設更新費として約 23 億ルピーを見込む。

表 S-18　本事業の経済費用

財務費用			経済費用		
外貨 (JPY 100 万)	内貨 (LKR 100 万)	総費用 (LKR 100 万)	外貨 (JPY 100 万)	内貨 (LKR 100 万)	総費用 (LKR 100 万)
16,875	18,378	39,739	13,431	6,101	23,103

JICA 調査団作成

2)　経済便益

本事業の便益算定にあたっては、灌漑、水力発電、給水および漁業の各分野からの直接便益のみをその算定の対象とし、間接的な便益は含んでいない。各分野における年間の便益は、表 S-19 に示す通りである。ただし、2022 年より見込まれる灌漑用水の節約による 50～60 MCM／年の水量は、将来の利用が見込まれるが具体的な利用目的が定まっていないため便益には含んでいない。

表 S-19　本事業における年間の経済便益

単位: 100 万 LKR

分野	灌漑	水力発電	給水	漁業
年間経済便益	2,684	578	870	46

JICA 調査団作成

3)　事業評価結果

表 S-20 に示すように、本事業における経済的内部収益率は 10.6%、現在価値は約 12 億ルピー、費用便益比率は 1.08 と推計される。

表 S-20　経済分析結果

EIRR (%)	現在価値 (LKR 100 万)			B/C
	便益	費用	NPV (B-C)	
10.6	17,602	16,370	1,232	1.08

JICA 調査団作成

経済分析の結果、本事業は国家経済の視点からみて経済的に実施可能であると結論できる。

4)　年間農家収入

本事業実施により、事業対象地域における平均的規模の農家で、年間の農業収入 11 万ルピーが 14 万 9 千ルピーに増加することが予想される。このことから、本事業実施が個々の農家にとっても事業効果をもたらすと考えられる。

5)　運用効果指標

本事業では、以下表 S-21 および S-22 に示す運用効果指標を提案する。

表 S-21　運用指標

No.	指標	現況 (2010)	目標 (2018)
灌漑農業			
1.	受益面積 (ha)	-	87,278 ha
2.	作物別作付面積 (ha)	イネ作 (マハ期) : 81,200 ha イネ作 (ヤラ期) : 54,400 ha	イネ作 (マハ期) : 84,800 ha イネ作 (ヤラ期) : 66,700 ha (増分 : 15,900 ha)
3.	維持管理費充足率 (%)	灌漑 : 78% ダム・貯水池 : 60%	灌漑 : 85% ダム・貯水池 : 65%
4.	年間総流入量 (MCM/年)	-	560 MCM/年
5.	年間総利水放流量 (MCM/年)	-	550 MCM/年
6.	年間碓砂量 (m^3/km^2/年)	-	340 m^3/km^2/年
発電			
7.	計画外停止時間 (時間/年又は日/年)	-	48 時間 /年
8.	設備利用率 (%)	-	50%
給水			
9.	給水人口 (人)	669,000 人	877,000 人
10.	給水量 (m^3/日)	108,000 m^3/日	143,000 m^3/日

JICA 調査団作成

表 S-22　効果指標

No.	指標	現況 (2010)	目標 (2018)
灌漑農業			
1.	作物別生産量 (t/年)	イネ作 (マハ期) : 361,300 t イネ作 (ヤラ期) : 242,600 t	イネ作 (マハ期) : 407,000 t イネ作 (ヤラ期) : 313,500 t (Increment：116,600 t)
2.	作物別収量 (t/ha)	イネ作 (マハ期)：4.45 t/ha イネ作 (ヤラ期)：4.46 t/ha	イネ作 (マハ期)：4.8 t/ha イネ作 (ヤラ期)：4.7 t/ha
3.	戸当たり農業粗収益額 (LKR/年/戸)	LKR 110,000 /年	LKR 130,000 /年
発電			
4.	年間発電量 (GWh/年)	-	66.3 GWh/年
5.	最大出力 (MW)	-	15MW (2 x 7.5 MW)
給水			
6.	給水人口率 (%)	29%	35%

JICA 調査団作成

6)　温室効果ガス排出抑制

電力エネルギー分野における気候変動対策の案件形成指針調査（JBIC, 2008）に基づき温室効果ガス(CO_2)の排出削減効果を推計した。スリランカにおける現況の電源構成比率および発電量から火力発電における CO_2 排出係数は、1.611 kg- CO_2/kWh と推定される。この結果本事業で計画される水力発電所の建設により 106,800 ton-CO_2 (1.611 x 66,300 MWh)の CO_2 排出削減効果が見込まれる。

11　環境配慮

1)　MASL の環境影響評価書改定に係る支援

モラガハカンダ開発事業の環境影響評価（EIA）関連文書は、当初の EIA 報告書が作成された 1998 年以降に継続的に作成された。そして、EIA の承認条件を満たすために、表 S-23 に示された補完調査報告書・文書が準備された。調査団はこれらの文書を 2010 年 1 月～6 月にレビューし、MASL が環境管理計画（Environmental Management Plan、以下 EMP）、環境モニタリング計画（Environmental Monitoring Plan、以下 EMoP）を改定するための技術支援を行った。

表 S-23　調査団がレビューした主要 EIA 関連文書

No.	文書名	備考
1	EIA of Moragahakanda Agricultural Development Project, Final Report.	1998 年 10 月作成。現在の EIA の国際水準と比較すると報告書の記載内容に不足がある。
2	Moragahakanda Project Supplementary EIA Vol. 2	EIA 報告書として作成された位置図。コンサルタント TEAMS が 1997 年に作成。
3	Moragahakanda Project Supplementary EIA Vol. 3	現場記録写真。コンサルタント TEAMS が 1997 年に作成。
4	EIA/'Environmental Clearance' related documents.	本件の EIA 承認機関である Ministry of Agriculture の 2001 年 10 月 26 日付けの承認レター。環境配慮、社会配慮に係る承認条件が記載されている。また 2 度の承認延長（2006 年 3 月 16 日、2007 年 10 月 26 日）を受けて、追加の承認条件が追加されている。現在の EIA 承認、2010 年 10 月 25 日まで有効。
5	Biodiversity Assessment of the Moragahakanda Agriculture Development Project	国際自然保護連合（IUCN）によって 2007 年 6 月に作成。生態系における詳細な調査を実施。提案された緩和策は下記の野生生物管理プログラムとして採用されている。
6	Final Report, Comprehensive Watershed Protection Management Plan and Mitigatory Plan	University of Sri Jayewardenepura によって 2007 年 6 月に作成。集水域、河川、野生保護区周囲の保護に係る課題のレビュー、緩和策を策定。
7	Total Environmental Mitigation Plan	5,6 の報告書に基づき MASL によって策定された EMP。調査団によって改定。
8	Summary of the Environmental Monitoring Plan	5,6 の報告書に基づき MASL によって策定された EMoP。調査団によって改定。
9	Water Management Panel Document - Water Management Secretariat, MASL	2008/9 年のマハ期におけるマハヴェリ・スキーム全体のオペレーション計画
10	Feasibility Study Moragahakanda Development Project - Locations of Borrow Areas & Quarry Sites (August 2001)	2001 年 8 月に作成された F/S で検討・提案された土取り場、採石場の位置図。
11	Drainage Plan	MASL によって作成された新規建設・アクセス道路の排水計画。
12	MOU between MASL & Irrigation Dept	下流利用者への灌漑用水の供給にかかる議事録。
13	Detailed Geological Study With Respect to the Land Stability of Moragahakanda Agricultural Development Project	National Building Research Organisation によって 2008 年 11 月に作成。地すべりの低リスクが指摘され、植林が提言された。植林は野生生物管理プログラムに含まれた。
14	Moragahakanda Agricultural Development Plan	2007 年 8 月に MASL が策定。システム F(Kalu Ganga)、システム D1(Medirigiriya)の移転先での農業開発計画が含まれる。
15	CEA Letter re Transmission Line	EIA 承認時と異なる水力発電･送電線計画係る EIA の必要性についての CEA の回答。
16	MoU between MASL and Dept. Wildlife Conservation on Elephant Management Action Plan	モラガハカンダ開発案件及びカルガンガ農業拡張毛案件における象回廊管理における行動計画・予算。

データの出所：MASL

2) EIA 関連文書の補完文書の作成

環境社会配慮確認のための国際協力銀行ガイドライン（2002 年）の要件を満たすための EIA 関連の補完文書を特定した。(1)EMP 改定版、(2) モニタリングフォームを含む EMoP 改定版、(3)影響評価に係る根拠（調査団のスコーピング結果として作成）、(4) JBIC 環境チェックリスト、(5)住民協議記録を補完文書として作成した。(1)～(4)の文書は、Appendix F の F.18、F.19、F.3、F.5 にそれぞれ添付されており、(5)は本報告書第 8.4.4 節に含まれている。

3) EIA 関連文書の補完調査の概要（再委託業務）

既存の EIA 関連文書の補完調査を JICA 調査団の再委託業務として実施した。概要を表 S-24 にまとめる。同業務内容は、(1)シンハラ語の関連文書の翻訳、(2)スリランカにおける野生生物専門家への聞き取り調査、(3)EMP・EMoP の改定であり、2010 年 6 月に完了した。

表 S-24　補完調査の概要

No.	タスク	業務内容	調査結果概要
1	シンハラ語の関連文章の英訳	住民協議にかかる報告書、合意書の受領にかかる報告書、覚書の英訳	2007 年から継続的に住民の認識向上のための活動が実施されている。 住民移転対象者からの合意書の多くは 2009 年 6 月に受領された。 下流利用者への灌漑用水の供給について、灌漑局（Dept. of Irrigation）と MASL で合意した。
2	野生生物管理専門家への聞き取り調査	環境 NGO3 団体、学識者 3 名、政府機関 3 組織に対して実施。	同案件における野生生物管理プログラム（緩和策の一環）は十分であるとの回答が得られた。
3	EMP・EMoP の改定	境社会配慮確認のための国際協力銀行ガイドライン（2002 年）に準拠し、実施機関、タイムフレーム、頻度、予算、モニタリング項目・場所等について改定。	主要な改定内容は以下のとおり。 [EMP] 工事中における緩和策の追加 環境基準値がある場合は、緩和策によって達成されるべき基準の追加 適切な場合は、定量的な緩和策の追加 予算の改定 [EMoP] 工事中におけるモニタリングの追加 環境汚染項目の追加（例：水質、騒音・振動、大気質等） 環境基準値がある場合は、モニタリングによって達成されるべき基準の追加 予算の改定

JICA 調査団作成

12　社会配慮

1)　MASL の住民移転計画書に係る支援

移転関連文書については、(1)住民移転計画書案、(2) 資産インベントリー報告書、(3)二つの社会経済調査（移転対象者・移転先システム F のホストコミュニティ）(4)住民協議関連活動報告書（概要）、(5)移転先の位置図等を、2010 年 1-2 月の調査団第一次現地調査で収集した。前述の関連文書のレビュー結果、現場踏査結果を踏まえて、住民移転計画書案の改定に係る提言を MASL へ提出し、改定に係る技術支援を実施した。

2)　住民移転計画書案の主要な改定内容

調査団のレビュー結果を踏まえて、環境社会配慮確認のための国際協力銀行ガイドライン（2002 年）の要件を満たすために、下表の主要 6 項目の改定が特定された。

表 S-25　住民移転計画書案の主要な改定項目

No.	項目	備考
1	改定された送電線のアライメントによる住民への影響	移転は発生せずに、24 名の土地所有者が送電線アライメントで用地取得の影響にあうと特定された。調査結果は、住民移転計画最終報告書に追加された。
2	灌漑地システム D1 における住民移転	システム D1 において、二次用水路建設により 9 世帯が移転対象となることが特定された。今後予定されている詳細調査でアライメントの見直しによって影響は最小化される予定であるが、住民移転計画書最終報告書に追加された。
3	補償受給通知レター・ 合意書	住民移転対象者の合意書の多くは 2009 年 6 月に受領された。プロセス及び合意書の受領結果等が住民移転計画書最終報告書に追加された。
4	エンタイトルメント・マトリックス	ス国用地取得規則（2009）に基づいた市場価格での土地の補償から世界銀行 O.P.4.12/国家非自発的住民移転政策に従った再取得価格（市場価格・トランザクションコスト）と同等レベルの補償方針への改定。
5	住民移転スケジュール	移転先の一つであるシステム F がカルガンガ開発案件の灌漑地であるため、移転先での灌漑用水を確保するためには、カルガンガ開発案件の工程との調整が必要となっている。既存の工程はモラガハカンダ開発案件の移転に特化していたため、f 現時点で想定されているカルガンガ開発案件、モラガハカンダ開発案件の全体の工程を記載するとともに、フェーズ毎の移転スケジュールを記載した。 移転先での社会インフラ整備の工程も加筆した。
6	移転にかかる住民協議	✓ 部分的に、環境社会配慮の確認のための国際協力銀行ガイドライン(2002年)で求められる記録が不足しているものの、過去に開催された住民協議の記録を加筆した。 ✓ 過去の協議記録が限られており、住民への情報公開のレベルを確実に確認できないため、MASLに移転に係る住民協議の開催を提言した。次回の住民協議は、2010年7月17日に開催予定となっており、必要な記録（例：アジェンダ、配布資料、会場名、日時、参加者リスト、写真等）が準備される予定である。 ✓ 住民移転にかかる説明内容としては、補償パッケージ、移転スケジュール、移転先の社会インフラ、苦情処理メカニズム等の説明が提言された。

JICA 調査団作成

3)　住民移転計画書の補完調査の概要（再委託業務）

既存の住民移転計画書案に係る補完調査を JICA 調査の再委託業務として実施した。下表のとおり、業務内容は(1)住民移転にかかるステークホルダーへの聞き取り、(2)移転ブロシュアの作成であり、同業務は 2010 年 6 月に概ね完了した。

表 S-26　補完調査の概要

No.	タスク	業務内容	調査結果概要
1	住民移転にかかるステークホルダー（移転対象者を含む）への聞き取り	地方自治体 5 名、コミュニティーリーダー6 名、移転対象者 32 名、地域組織（Community-Based Organisations/self-help organizations）5 組織を対象。	移転対象者以外の回答者 16 人中 13 名は、過去の住民協議は十分であると回答した。 (1) 移転対象者32名の回答者中30名も補償パッケージにかかる書類を受領したと回答しており、28名は情報提供は十分であると回答したが、4名は実際の移転日が不明、資産の査定結果への不満、情報の信頼性の問題、適切な住民の認識向上活動の不足等を指摘しており、若干入り混じった調査結果となった。
2	住民移転ブロシュアの作成	ブロシュア原稿は MASL が提供し、編集、翻訳を再委託先が担当。 2,150 部を印刷（シンハラ語 2,000 部、タミル語 50 部､英語 100 部）	土地への補償費は、再取得価格と同等（市場価格及び（発生する場合は）トランザクションコスト） 構造物への補償は、原価償却はせずに再取得価格 耕作物への補償は市場価格 移転先の社会インフラ、移転スケジュール、苦情処理メカニズム、今後の情報公開、MASL 担当者の連絡先を記載

JICA 調査団作成

13　提案事項

本調査の結果を踏まえ、以下の事項を提案する。

1)　詳細設計に向けた追加地質調査

ダム軸、貯水池に関する追加地質調査はすでに提案し、MASL が詳細設計開始前に実施する予定となっているが、それ以外にダム施設のレイアウトが決定された時点で発電所や減勢池の基礎のボーリング調査を実施する必要がある。

2)　建設材料調査

- アンバン河の河床、提案されている原石山、土取場などから得られる盛土材料やコンクリート骨材の質、量に対する現場試験と室内試験を実施する必要がある。
- セメント、フライアッシュ、混和材、コンクリートやグラウトの練り混ぜ水として用いられるアンバン河の流水の水質など、良質の材料が調達可能か調査する必要がある。

3)　洪水吐、放水路に関する水理模型実験

詳細設計時に以下の設計緒元を決定するため水理模型実験を実施する必要がある。

- 洪水吐呑口側壁とシュートの形状
- 減勢池の幅と深さ
- 放水路のレイアウト
- 既存橋梁の保護

4) 水収支計算で用いた係数の検証

水収支計算において、シミュレーションモデルをより正確で現実性のあるものにするためにいくつかの係数を用いている。これらの係数は理論的に導かれたものではなく、河川や水路の流量の実測値などから決定されたものである。従って、詳細設計時にこれらの係数を検証する必要がある。

5) 将来の水利用に対する水収支計算

本調査で実施した水収支計算は、モラガハカンダ貯水池と現在想定されている水需要だけを入力条件として行なった。しかし、「マヒンダ・チンタナ 2010」には将来モラガハカンダ貯水池のみならず他のマハヴェリ流域プロジェクトからも北中部州(NCP)水路を通じて、スリランカ北部地域や北中部州へ水供給する構想が公表されている。従って、詳細設計時にもしこの計画が具体化していれば、このような将来の水供給計画も入れた水収支計算を実施することが望ましい。

6) 灌漑用水の節約

農業局、MASL、灌漑局は高収量短期米品種を用いた作付け計画を農民の間に広く普及させることが求められる。この結果、節水が可能で、将来の灌漑面積の拡張や生活用水、産業用水の需要の増加、その他の目的に有効利用できる。

7) ソフトコンポーネントの詳細計画の立案

本事業に含まれる農業普及サービス、農民組織の育成・強化の詳細計画を円滑にかつ成功裏に実施するため、実施に先立ってコンサルタントサービスの中で立案する必要がある。

8) 事業コスト

MASL と灌漑局は、円借款金額をより正確なものとするため、カウドゥラ左岸拡張地区とカルガンガ地区内にある移転地の灌漑及び社会インフラの詳細設計及び積算を JICA による円借款審査までに取りまとめることが求められる。

9) 発電所の維持管理

調査団は本事業完成後の発電所の維持管理をこれまでの MASL と CEB の間で行われていた同様の方法で行うことを提案している。一方で、将来の可能性として発電所の維持管理にはいくつかのオプションも提案している。MASL はできるだけ早い機会に CEB との間で事業完成後の発電所の維持管理に関して協議することが求められる。

10) 環境影響評価 (EIA) 関連文書

EIA 報告書が作成された 1998 年以降に作成されたすべての関連文書は EIA 報告書の追加資料として公式に合本されるべきである。この作業は 2010 年 8 月 25 日に予定されている

EIA 承認の再延長申請がなされる時で良いが、延長申請書にこのことを明記することが望ましい。

11) 文化財保護の費用とスケジュール

2009 年に考古学調査局によって作成された文化財影響評価書（AIA）で明らかにされた詳細文化財調査の内容と文化財保護のための費用を EMP と EMoP に記述し、そのスケジュールを事業全体スケジュールに組み込む必要がある。

12) 今後の同意書の回収

残りの移転住民（全体の 1%、6 世帯）からの同意書を、JICA による円借款審査の前に出来る限り回収する必要がある。

13) 移転住民の追加

送電線ルート上（24 人の土地所有者）と D1 灌漑地区（二次用水路により影響を受ける 9 家族）で影響を受ける住民に関して、その移転規模と土地収用、移転地計画、そして予算をすべて住民移転計画書（RIP）に記述して JICA に提出する必要がある。

14) 再取得価格での補償

移転住民に対する補償方針は再取得価格に関する国際標準と同等である必要がある。再取得価格は市場価格と移転に要する取引費用から成り、原価償却は一切考慮しない。

15) 住民移転のモニタリングフォーム

MASL は JICA による円借款審査までに住民移転のモニタリングフォームを EMoP 改訂版に入っているフォームに基づき作成する必要がある。また、同フォームは最終 RIP へ追加する必要がある。モニターする項目には土地収用と補償費支払いの進捗、移転住民と受入れ側コミュニティの社会経済状況の変化を含むものとする。

16) 住民協議の開催

住民移転計画書（RIP）案が作成された時点で（2010 年 7 月初旬の予定）、MASL は、村レベルで住民協議を開催し、補償内容、移転地のインフラ整備、移転スケジュール、異議申し立て方法などを説明する予定となっている。また、本事業の環境及び社会に与える影響、提案されているところの環境影響軽減対策（EMP 及び EMoP の主要項目）についても説明することが望まれる。

17) 移転スケジュール

F 灌漑地区へ灌漑用水を供給するカルガンガ開発プロジェクトや、D1 地区に飲料水を供給するミディリギリヤ上水道計画など、他の事業の進捗に合わせたフェーズ分けされた詳細な移転スケジュールを準備する必要がある。

18) 住民移転ブローシャーの配布

MASL は、2010 年 7 月上旬までにすべての移転住民に対し住民移転ブローシャーを配布することが望ましい。