

5. シミュレーションモデルの構築

5.1. 気候変動影響評価に必要なシミュレーションモデル

本検討では、流出解析モデル、灌漑用水の水収支モデル、さらに、米収量予測モデルを作成し、シナリオシミュレーションに用いる。

気候変動の影響を考慮した MWEA 灌漑プロジェクトの事業評価を行うためには、気候が変化した時の流出形態、河川流量の変化の説明性を確保する必要がある。また、河川流量の変化に応じ、ダムで補給可能な灌漑用水量の関係を評価、説明できる必要がある。さらに、気候の変化と灌漑用水供給可能量の変化を踏まえた米収量の予測を行う必要がある。

表 5-1 気候変動の影響を考慮するために構築が必要となるシミュレーションモデル

作成するモデル	本業務で用いるモデル	シミュレーション実施の目的および備考
流出解析モデル	SHER モデル 開発者：日本工営、東京大学 適応事例：国内河川で実施事例多数。ケニア全国水資源 2030 でも全国対象にモデル化されている。	気候が変化した時の河川流況の変化について、説明性を確保しつつ適切に評価する。 そのためには、土壌の水分伝達、保持の物理的な特性をモデル化した流出解析が必要となる。
灌漑用水の水収支モデル	水収支モデル（特に名称なし） SAPROF で検討された諸元に準じて、河川流量と Thiba ダムの貯留、灌漑補給可能量を評価する。	気候の変化を反映した河川流量に基づき、灌漑可能量を時系列で評価することで、米収量の評価の外力条件とする。
米収量予測モデル	DSSAT 開発者：University of Florida 他からなる DSSAT Foundation による 適応事例：物理的な作物収量モデルとして適応事例は数多い。	SAPROF では、実績の平均米収量を元に、灌漑プロジェクトにより増加する作付面積を乗じて全体の収量を想定している。 気候変動による米収量の変化は、灌漑用水の供給可能量の変化だけでなく、気温、湿度、日射などの気象の変化が与える影響を考慮する必要がある。

5.2. 流出解析モデルの構築

5.2.1. 実績河川流量の整理

5.2.1.1 SAPROF で整理された河川流量データ

SAPROF で用いられた河川流量データについて整理した。観測データそのものがなく、10日単位で平均化したデータのみが入手可能であること、また、同じ1年間のヒドログラフを引き伸ばして設定しているなど、雨との対応がないデータとなっているため、本検討での流出解析に利用できないと判断した。

- 対象エリアはケニア山の南斜面に位置する。
- 主な河川は、Tana River、Nyamindi River、Thiba River、Ruamthambi River である。
- 既往検討によると、Tana River の低水流量は既存の水利権で占有されている。従って、MIS scheme の水源としては、Tana 川を除く3河川となっている。
- この他、上記4河川の支川として、Murubara, Kiruthe, Kiwe, Nyakungu, Kiruara River があるが、流量が小さく不安定なので水源としては期待できない。
- 2000年以降の流量は、洪水により河川流量観測所が壊れたため利用できない (WRMA による)。

表 5-2 河川情報

河川名	流量観測所、集水域、流量規模	特徴
Nyamindi	観測所：4DB05 (Nyamindi 頭首工付近) 集水域：約 283.0 km ² 年平均流量：約 6 m ³ /sec 観測データ存在期間：1981 Nov - 1991 May	MIS の約 15km 下流で Thiba 川と合流する。 Tebere section of MIS scheme で灌漑用水として利用されている。余剰水は Link Canal I を通して Thiba 川に分流されている。
Thiba	観測所：4DA10 (Thiba 頭首工付近) 集水域：約 353.5 km ² (Thiba ダム (計画) の集水域：約 172.6km ²) 年平均流量：約 10 m ³ /sec 観測データ存在期間：1967 Mar - 1997 Oct	MIS の約 8km 下流で Nyamindi 川と合流する。 Existing MIS scheme で灌漑用水として使用されている。
Ruamuthambi	観測所：4BC05 (Ruamthambir 頭首工 (計画) 付近) 集水域：約 86 km ² 年平均流量：約 2.6 m ³ /sec 観測データ存在期間：1972 Apr. - 2000 Feb	流量が非常に小さく MIS scheme での利用はあまり期待できない。

Source: SAPROF Report in 2009

2000年以降の不足流量は、SAPROF 2009により以下の方法により推定されている。

- ① 日流量観測値から、10日流量を計算する
- ② 地点間の相関解析を行う。(例: Thiba vs. Ruamuthambi, Thiba vs. Nyamindi, Ruamuthambi vs. Nyamindi)
- ③ 欠測値を回帰式により補間する。1996年まで。
- ④ 3流域の年降水量を、3降水観測所 (Kerugoya, Castle Forest, and Sagana) から計算する。
- ⑤ 年降水量と年平均流量との相関関係を計算する。

$$D_i = \alpha \times P_i + \beta$$

Where, D_i = Annual runoff of the subject year expressed by million cubic meter (MCM);

$P_i = \{a_1 \times R_{i-1} + (1-a_1) \times R_i\} \times A$ = Annual basin rainfall in MCM;

R_{i-1} = Annual rainfall of the antecedent year expressed by MCM;

R_i = Annual rainfall of the subject year expressed by MCM;

A = Catchment area in km^2 ;

α, β = Coefficients determined by correlation regression for three rivers;

a_1 = Coefficient determined to give the best correlation coefficient (r^2) between D and P .

Item	Thiba River	Nyamindi River	Ruamuthambi River
α	0.71	0.74	0.44
β	-71	-120	-46
a_1	0.15	0.32	0.18

- ⑥ 1997 - 2007年までの年平均流量を、流域平均の年降水量との回帰式により補間する。
- ⑦ 1979-1996年までの期間データから、10日流量と年平均流量との間の比を計算する。
- ⑧ 上記の比を適用して、1997-2007年までの10日流量を作成する。
- ⑨ Thibaダムの流量は、比流量により計算する。

$$Q_2 = Q_1 \times 172.6 / 353.5$$

Where, Q_1 = discharge at RGS 4DA10

Q_2 = discharge at the Thiba Dam site

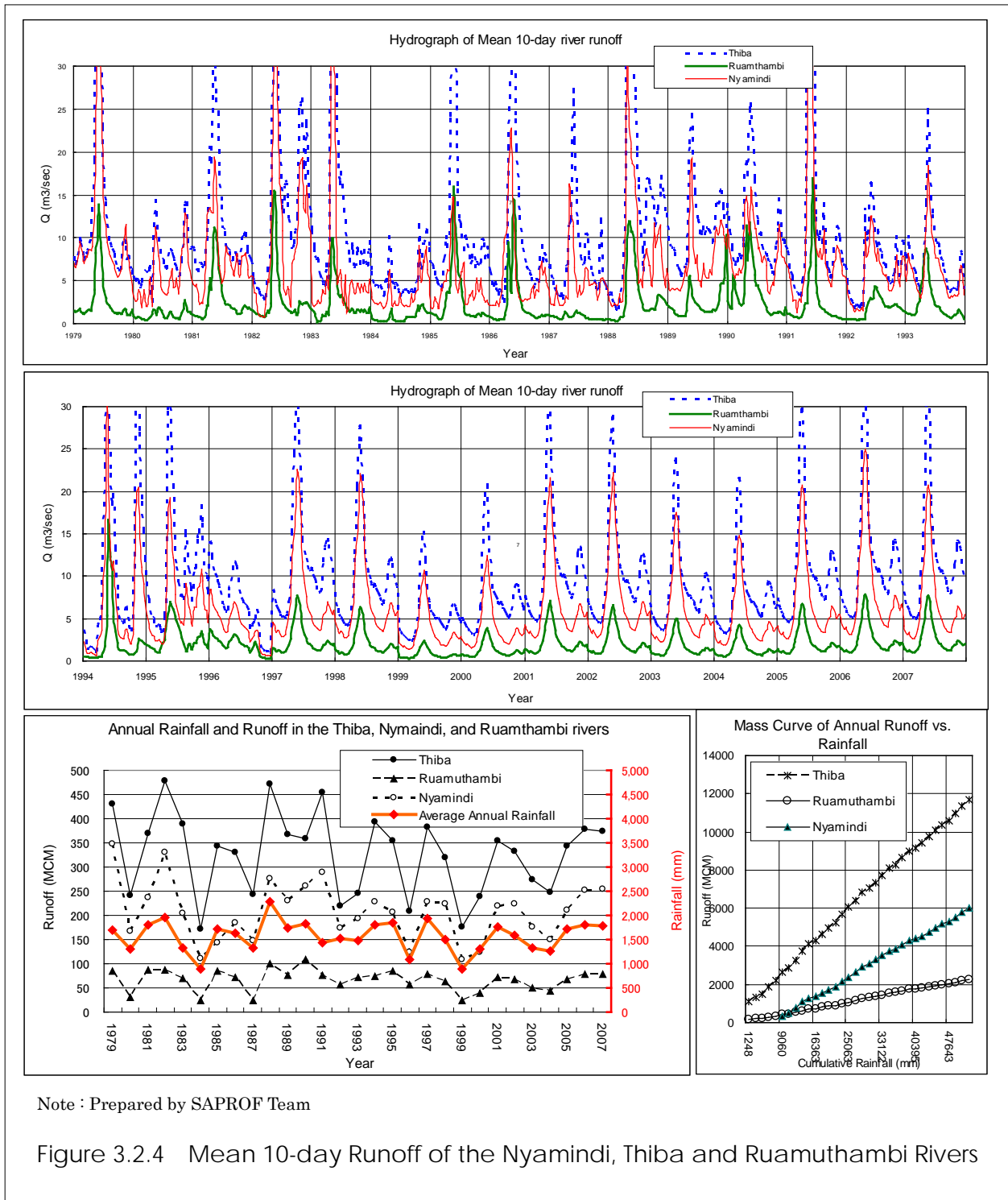


図 5-1 SAPROF で検討された河川流量データ

データ不足のため、限られたデータでの相関分析を元に 1997 年以降で同一波形を引き伸ばして作成している。限られたデータ、欠測の多いデータのなかで灌漑計画策定するためには、妥当であるが、気候変動影響の議論のためには、雨の変化と河川流量の関係を議論することが重要であり、利用することができない。

5.2.1.2 ケニア全国水資源 2030 の検討で収集された河川流量観測データ

ケニア全国水資源 2030 では、WRMA および MWI より、河川流量（日流量）の観測記録を全国で利用できるものを一式収集している。このデータのうち、MWEA に集水域内に位置する観測所データが 2 箇所ある。それぞれ欠測が非常に多いが、流出解析モデルのキャリブレーション対象として利用することとした。

利用する観測所は、以下の 2 箇所である。

- Thiba
- Ruringazi

SAPROF で検討に利用されている観測所、全国水資源で収集された観測所の位置関係を図 5-2 に図示している。なお、観測所位置情報は、緯度経度の分単位までしかないので、数キロの誤差をもつ情報である。特に、Ruringazi は、合流点のそばにプロットされるため、合流の上下のどちらに位置するか重要となるが、キャリブレーションの計算過程で、合流点より下流に位置すると推定された。

図 5-3 には、2 観測所での実績日流量ハイドログラフを示している。なお、ここでは、水利権分を戻した自然流量のデータを用いる。

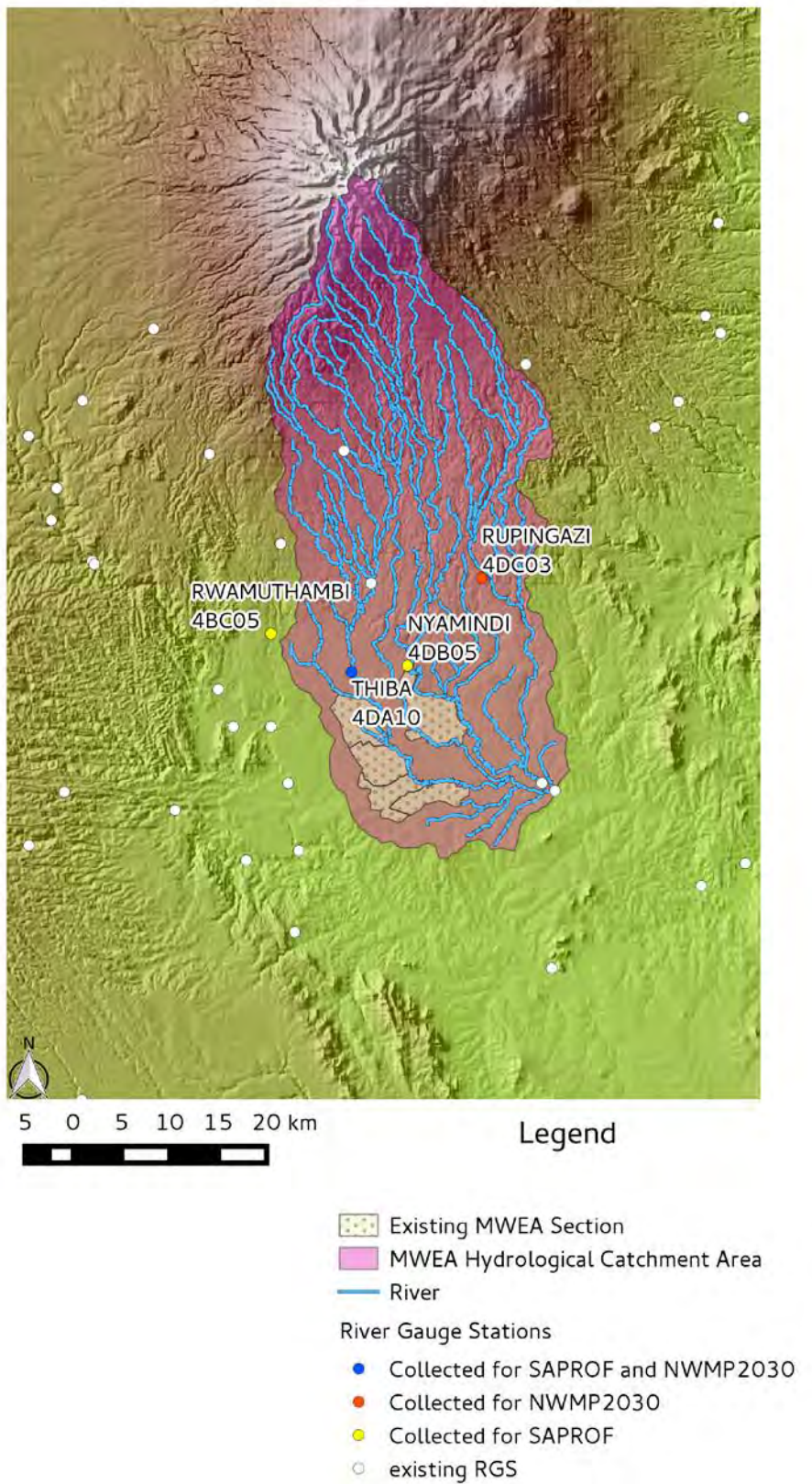


図 5-2 MWEA 集水域に関連する観測所位置図（キャリブレーション対象は Thiba および Rupingazi の 2 地点）

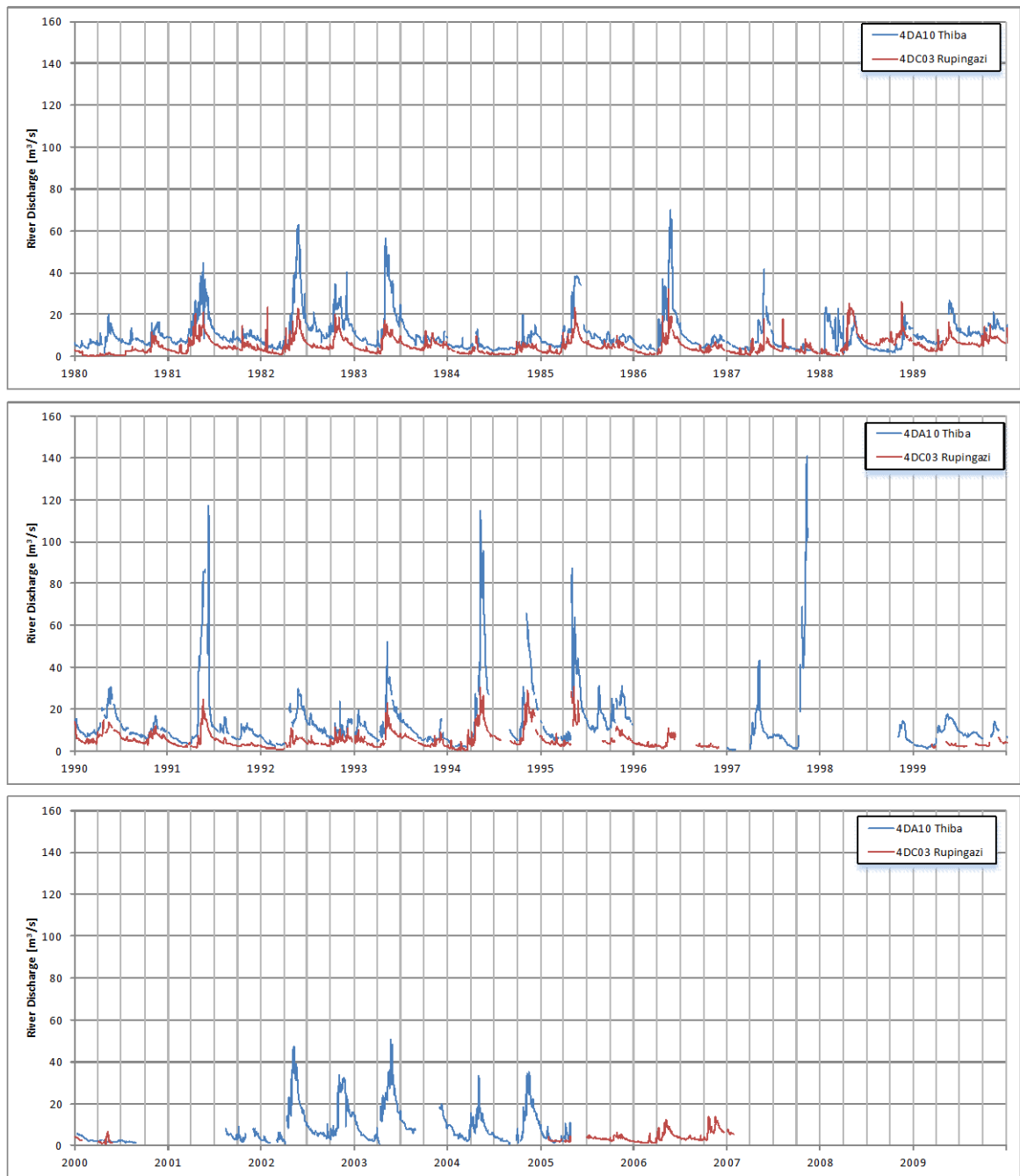


図 5-3 Thiba および Rungazi の実績日流量ハイδροグラフ(1980 - 2010)

5.2.2. SHER モデル

ケニア全国水資源マスタープランでも適用した SHER モデルを用いる。SHER モデルは、表層土壌の水分伝達特性、また、地下水流動などを物理的基礎式に基づきつつ、簡易な形式で解析するモデルである。物理型モデルと呼べる所以は、概念パラメータがなく、物理的に計測可能なパラメータで構成されていることであり、パラメータの値は、観測値、実験値と比較可能なものとなっている。

本検討の要件である、気候変動影響下での水文環境の変化を評価することにおいて、十分な機能を持つ。

図 5-4 に SHER モデルの概念図を示す。SHER モデルでは、地勢より川沿いの堆積地からなる流出寄与域 (Discharging Area) と台地部の涵養域 (Recharging Area) に分けることが重要となっている。このブロック分けは、地整の観察を踏まえた流出過程や特性のイメージに基づいて、手作業で行われる。解析者の経験によるところが大きい。

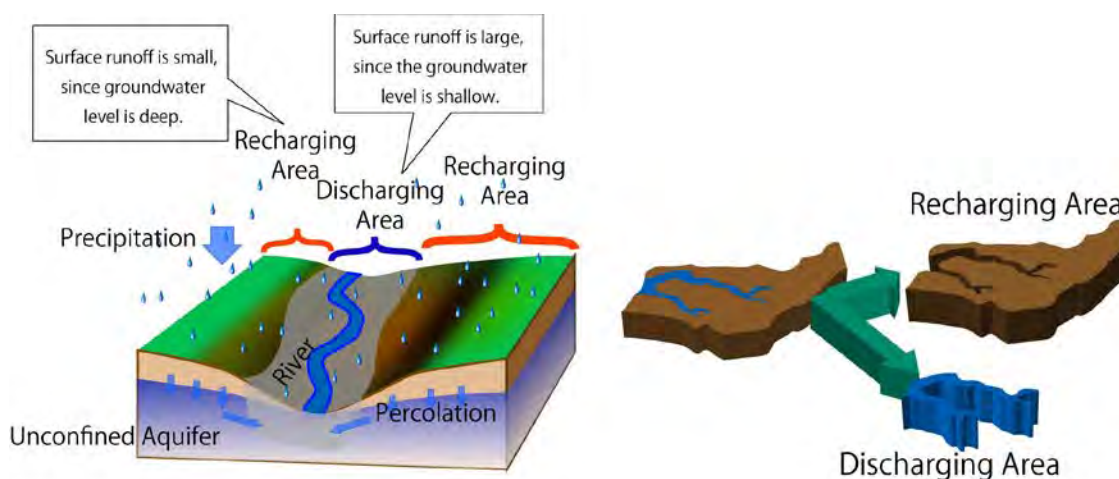


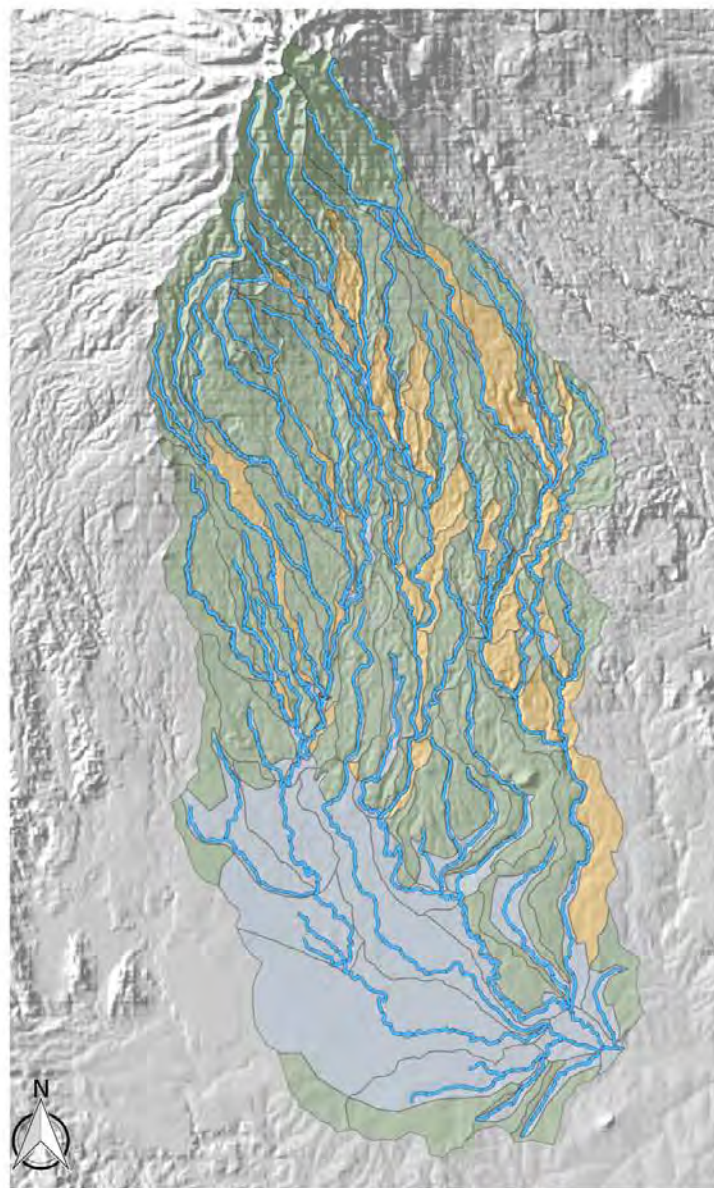
図 5-4 SHER モデルの概念図 (流出寄与域と涵養域)

5.2.3. モデルデータの作成

5.2.3.1 ブロック分割

SHER モデルのブロック分割では、河道の合流点で分割することを基本としている。流出現象は、降雨が地表を流下して河道に集まる運動と、浅い地表付近の土壌の湿潤、地下水と河川の相互作用などが同時に作用するものである。SHER モデルでは、分割したブロック内での土壌水分量、地下水位などを一つの値で表現するが、ブロック分割はそのように水文流出過程で一つのパラメータで表現できるように配慮して分割する。

本業務で構築した SHER モデルでは、201 個のブロックに分割した。図 5-5 にブロック分割の状況を示している。



Legend

- River Model
- SHER Block
 - discharging area
 - recharging area
 - recharging area 2

図 5-5 SHER モデルのブロック分割図

5.2.3.2 地質、表層土壌分布に関する設定

地質分布は UNESCO による WHYMAP(World-wide Hydrogeological Mapping and Assessment Programme)²²による地質分布図に基づいた。また、表層土壌分布は、World Soil Information による KENSOTER version2.0²³に基づいた。地質分布、表層土壌分布を図 5-6 に図示している。

MWEA に関する集水域の地質は、第三紀の火山岩で形成されており、風化の進んだ部分で帯水層が発達していることがある。近隣の有名な帯水層として Nairobi Aquifer があるが、MWEA に関する範囲では、特に発達した帯水層の情報はない。浅い範囲での帯水層があるとし、モデル上では 50m までの帯水層があると設定した。

MWEA に関する集水域に分布する表層土壌について、定性的な情報を KENSOTER の記述より整理したものを表 5-3 に示している。層厚、透水係数などは、具体的な情報がないが、土壌特性を参考にキャリブレーションで設定した。

表 5-3 表層土壌タイプの特性

No.	FAO soil unit code	土壌分類名	透水係数	空隙率	層厚	特性
1	HSs	Terric Histosols	低い。有機物が水分を保持する。	高い。	薄い層。100cm以内。	過去の有機物を多く含む。雨が非常に多い、湿地帯などの理由で常に飽和状態にあるところに分布。水分が多いために、有機物の分解が遅い。
2	ANu	Unbric Andosols	低い。	高め。	薄い。100cm以内。	日本語の安土から命名された黒色土。火山灰由来。水分保持能力が高い。ガラス質を多く含む。若い土質で肥沃であり、農業に適している。
3	NTu	Humic Nitisols	高い。free-draining soil.	50-60%の空隙率。	200cm以上。	赤く、乾燥した土壌。ケニアの高地でよく見られる赤土。30%以上の粘土質を含む。
4	CMo	Ferralic Cambisols	高い。	高い。	薄い。100cm以内。	降雨が多い地域、また、地形的に表面流出(Excess water)が卓越するところに形成される。水分保持性能が高く、また透水性も高い。
5	NTr	Rhodic Nitisols	高い。free-draining soil.	50-60%の空隙率。	200cm以上。	赤く、乾燥した土壌。ケニアの高地でよく見られる赤土。30%以上の粘土質を含む。
6	VRe	Eutric Vertisols	低い。	ひび割れを空隙と捉えると、乾燥時は大きいですが、湿潤に従い空隙が少なくなる。モデルでは、空隙を少なくとり、ひび割れ分を窪地貯留能で表現するのがよい。	100cm以上。	30%以上の粘土質(80%ぐらい)を含み、表層付近では粒度が荒い。Shrink and swells。ひび割れているような乾燥状態。堆積により形成されたもの。降雨初期では、乾燥状態にあるため、ひび割れを通じて透水性が高いが、飽和状態になると、粘土質が膨張してひび割れが塞がる、また、細粒分がひび割れにつまり、透水係数はほぼゼロになる。[*]灌漑水田に向いている。
7	FRr	Rhodic Ferralsols	低い。	少ない。	100cm以上。	風化がかなり進んだ赤?黄色の土。Silty clay。酸化鉄、酸化アルミニウムを多く含む。窒素、カルシウムなど養分を自然状態ではほとんど含んでいない。
8	ACh	Haplic Acrisols	低い。	少ない。	100cm以上。	粘土が卓越した熱帯気候で形成される土壌。森林帯などに見られる。

²² http://www.whymap.org/whymap/EN/Home/whymap_node.html

²³ <http://www.isric.org/data/soil-and-terrain-database-kenya-ver-20-kensoter>

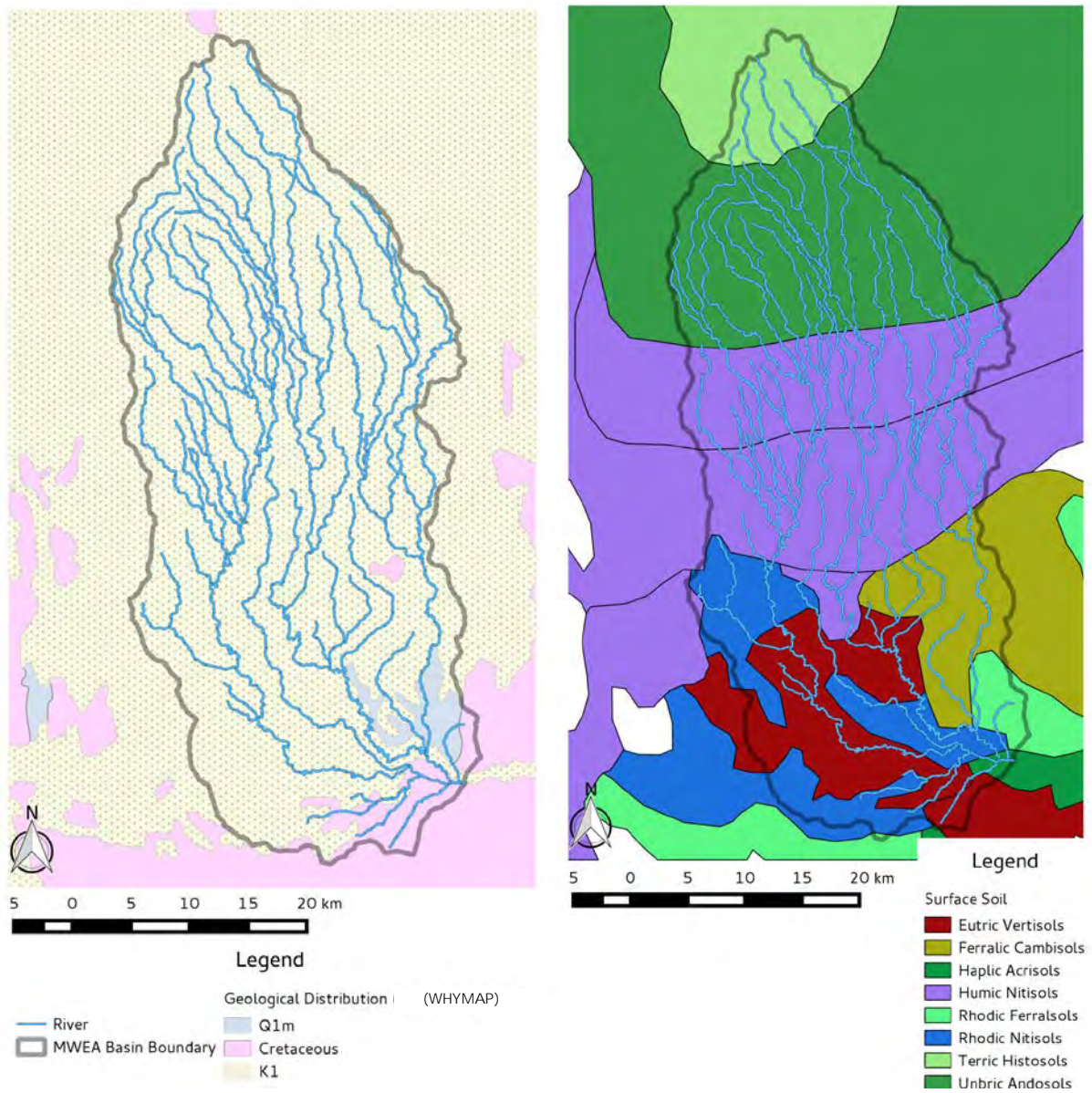


図 5-6 地質分布図（左）と表層土壌分布図（右）

5.2.3.3 土地利用分布

土地利用情報で利用できる GIS データは、USGS による GLCC、また、FAO による Africover データがある。いずれもリモートセンシングが基礎データとなっているが、GLCC は 1976 年の情報、Africover は 1995 年のデータとなっている。Google Map の衛星写真情報と比較したところ、両方のデータも現状と一致していないことが分かった。

流出解析では、地表に到達した降雨が地下にどれだけ染みこめるかを評価することが重要である。地質や表層土壌特性だけで評価しきれないような人工的な改変が施された土地利用として、市街地と水田を抽出することが重要である。しかし、市街地は、現状でも流出解析で無視しても構わない程度の分布しか無い。また、稲作耕作が行われているとみられる地域は、MWEA 灌漑地以上に広がっているが、基本的に堆積地で粘土質が支配的な地域に分布しており、表層土壌分布図のみで十分に流出解析に利用できると判断した。

なお、地表面を流下する過程は、SHER モデルでは Kinematic Wave 法で評価しており、等価粗度係数が土地利用に関連するパラメータとなる。対象地域では、ケニア山頂付近の裸地、その下にくる森林地帯、さらにその下側に来る草原といった被覆状況で簡易に設定することとした。

Africover のデータにもとづいて、表 5-4 のように等価粗度係数を設定した。Africover による土地利用分布を図 5-7 に示している。

表 5-4 土地利用に対する等価粗度係数の設定

Landuse	$N[s/m^{1/3}]$
Bare Rock	0.5
Closed Trees	2
Evergreen	2
Flooded land	0.5
Forest plantation	2
Herbaceous	1
Irrigated herbaceous crop	3
Open Woods	2
Rainfed herbaceous crop	3
Rainfed shrub crop	3
Serials Rice and flooded area	3
Shrubs	2
Snow	0.5
Urban Area	0.05

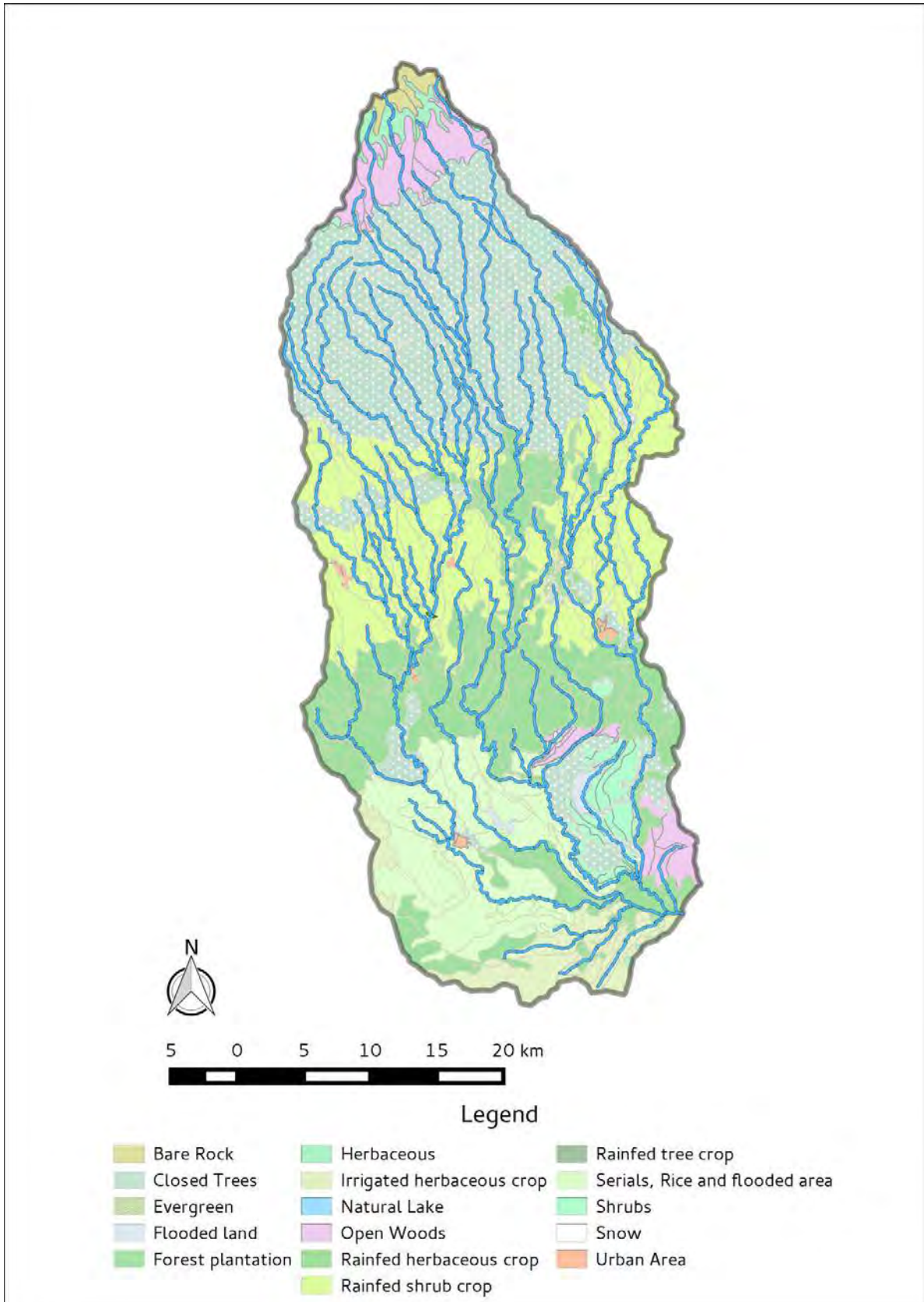


図 5-7 Africover に基づいた土地利用分布

5.2.4. キャリブレーション

Thiba および Rupingazi の観測ハイドロデータに対して、キャリブレーションを実施した。キャリブレーションでは、表層土壌と帯水層のパラメータを調整することで実施する。地質や表層土壌の特徴を損なうこと無く、計算結果と観測結果の比較を繰り返し、パラメータの調整を行った。なお、キャリブレーション作業では、1981年から1990年の10年間の観測流量を対象に合わせ、1991年以降はキャリブレーションしたパラメータの適合性の検証期間としている。

本検討では、降雨データとして尤もらしいように工夫しながら作成したが、推定の域を超えないものである。再現性の指標には、Nash-Satcliffe 効率を用いたが、一般的に良い再現性と判断される NS=0.7 以上はどうしても達成できなかった。2 地点とも 0.3 程度の NS 効率となっている。ただし、降雨と流出の関係性は、長期間の 30 年間に渡って、計算がおかしくなること無く（例えば、乾季の地下水流出量が年を追う毎に少なくなるなど、計算上のバランスが取れていないという状態がない）、合理的な計算ができていたといえる。また、地質、土壌について流域全体で統一した考え方で設定し、同時に同程度の精度を確保できていることから、この点でも流出モデルの設定に合理性があると考えている。

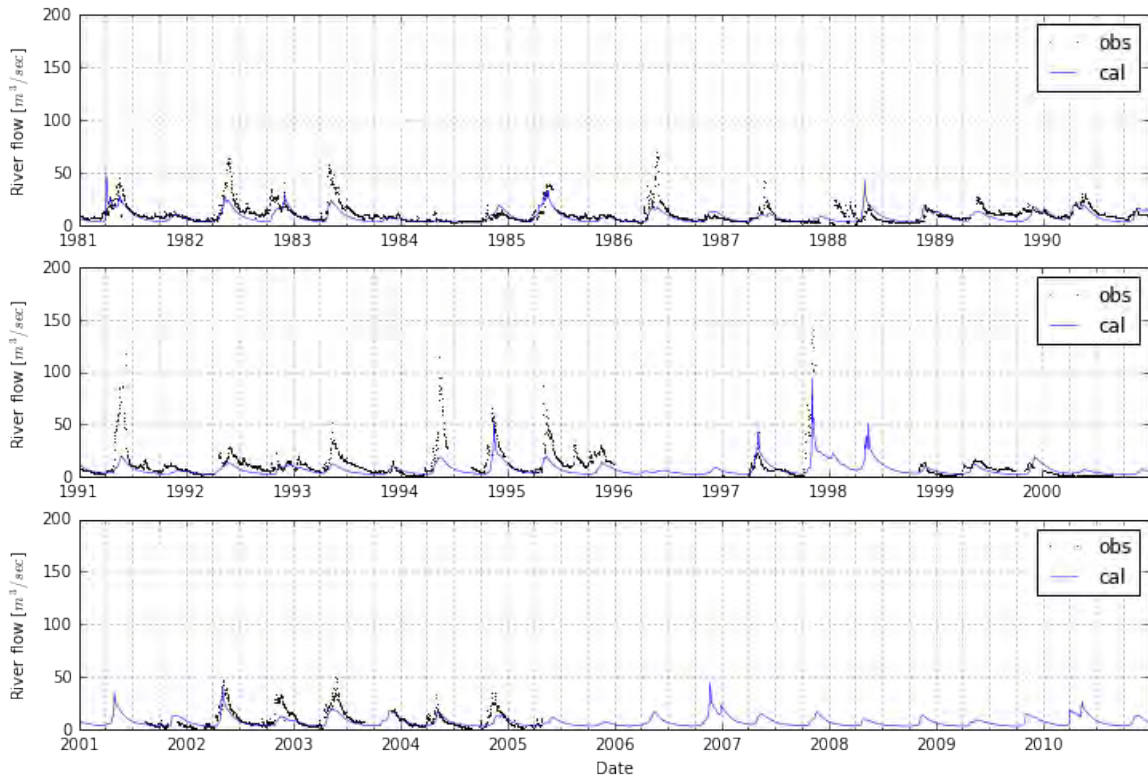
表 5-5 同定した表層土壌のパラメータ

No	Name	Depression Depth [mm]	θ_0 Saturated Water Content	θ_r Residual Water Content	Morlem's n	Saturated Hydraulic Conductivity for Vertical Direction K0[cm/sec]	Saturated Hydraulic Conductivity for Slope Direction iK0[cm/sec]
1	Terric Histosols	5	0.772	0.589	4.17	5.00E-04	7.50E-04
2	Unbric Andosols	5	0.772	0.589	4.17	5.00E-04	7.50E-04
3	Humic Nitisols	5	0.680	0.589	4.17	2.00E-03	2.00E-03
4	Ferralic Cambisols	5	0.772	0.589	4.17	2.00E-03	2.00E-03
5	Rhodic Nitisols	5	0.680	0.589	4.17	2.00E-03	2.00E-03
6	Eutric Vertisols	5	0.680	0.589	4.17	1.00E-04	1.00E-04
7	Rhodic Ferralsols	5	0.680	0.589	4.17	1.00E-04	1.00E-04
8	Haplic Acrisols	5	0.680	0.589	4.17	1.00E-04	1.00E-04

表 5-6 同定した帯水層のパラメータ

地質タイプ	porosity	透水係数 [cm/sec]
Q1m	0.3	5.00E-03
K1	0.3	2.00E-03
Cretaceous	0.3	1.00E-03

Runoff model calibration at 4DA10(Thiba)
NS:0.31



Runoff model calibration at 4DC03(Rupingazi)
NS:0.29

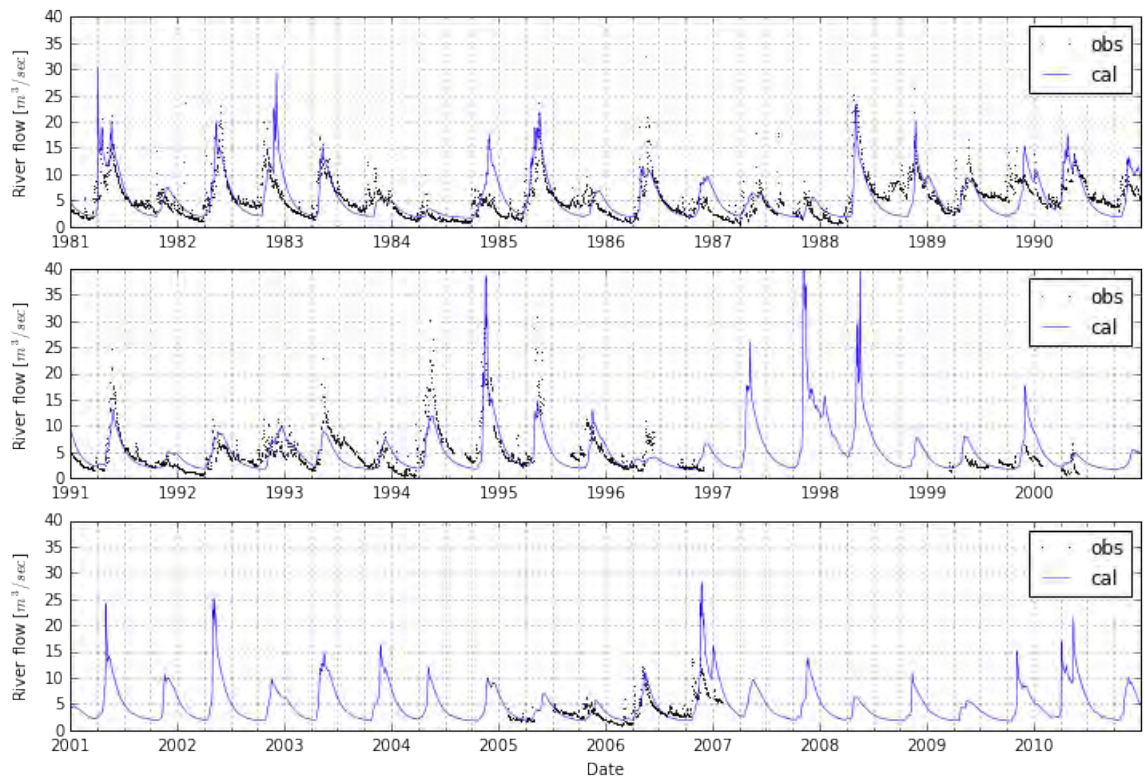


図 5-8 SHER モデルのキャリブレーション結果

5.2.5. 将来気候プロジェクションデータでの流出解析

将来気候プロジェクションで作成した降雨データ、蒸発散能データを境界条件として、SHERモデルでの流出解析を実施した。現況気候のBLケースと将来の5つの気候シナリオの合計6シナリオでの流出計算結果は、RDMの検討における気候の不確実性を検討するための基本データとなる。

評価地点は、灌漑用水の取水地点の3地点とした。

- New Nyamindi Headwork
- Proposed Thiba Dam Site
- Thiba Headwork

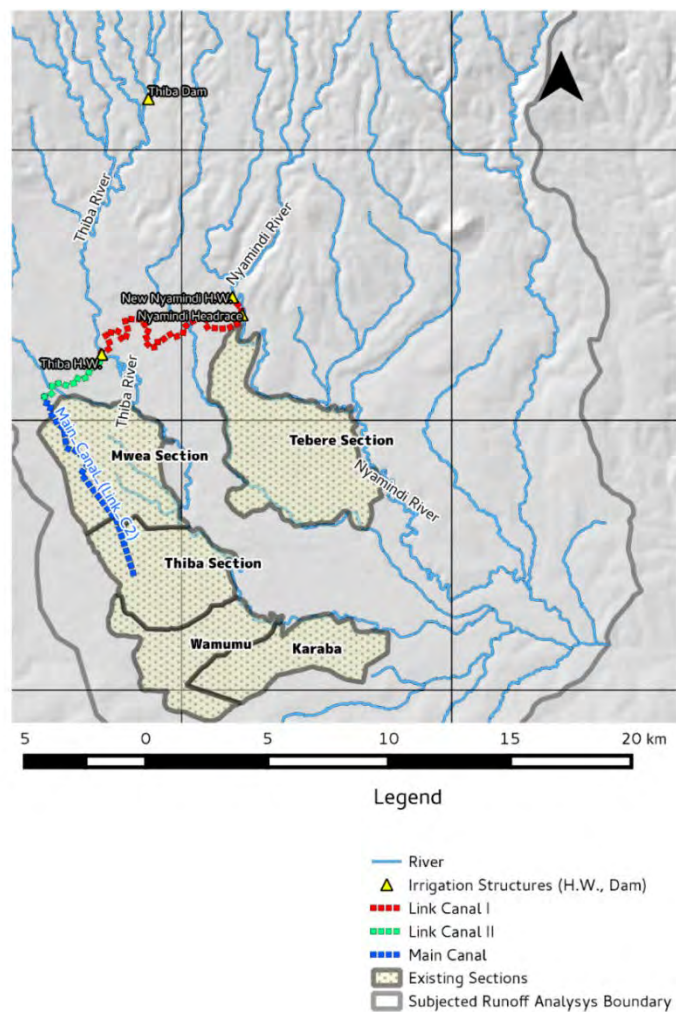


図 5-9 ムエア灌漑地区の取水地点

次ページ以降に、Thiba WH, New Nyamindi HW, Thiba Dam 建設地点での河川流況を1年毎の流況曲線で整理した。一つのケースで、30年間あるので、流況曲線を30本ひくことができる。ここから、流量ランク（1年間の日流量データを降順で並び替えた時の順位）ごとに平均値、中央値、最大・最小値を算出して整理した。また、年々の変動状況を把握するために、変動係数を算出した。

表 5-7 および図 5-10 に MWEA 灌漑エリアの取水地点を通過する河川流量の平均年間ボリュームを整理している。現況気候(BL)に対し、MM シナリオは、ほぼ同様の河川流量が平均的に存在している。最も降雨量が増加し、気温上昇量が高い WH シナリオでは、河川流量が 1.8 倍にも増大している。一方、降雨量が減り、気温上昇量が高い DH シナリオでは、河川流量が 0.67 倍と減少している。

次ページ以降に、Thiba WH, New Nyamindi HW, Thiba Dam 建設地点での河川流況を1年毎の流況曲線で整理した。一つのケースで、30年間あるので、流況曲線を30本ひくことができる。ここから、流量ランク（1年間の日流量データを降順で並び替えた時の順位）ごとに平均値、中央値、最大・最小値を算出して整理した。また、年々の変動状況を把握するために、変動係数を算出した。

表 5-7 気候シナリオごとの取水地点平均年間通過流量比較

unit [MCM/year]

case	Thiba Headwork	New Nyamindi Headwork	total
BL	227.6	195.2	422.7
DH	152.6	132.4	284.9
DL	193.9	169.8	363.7
MM	234.0	191.9	425.9
WH	427.0	353.4	780.3
WL	315.2	261.4	576.6

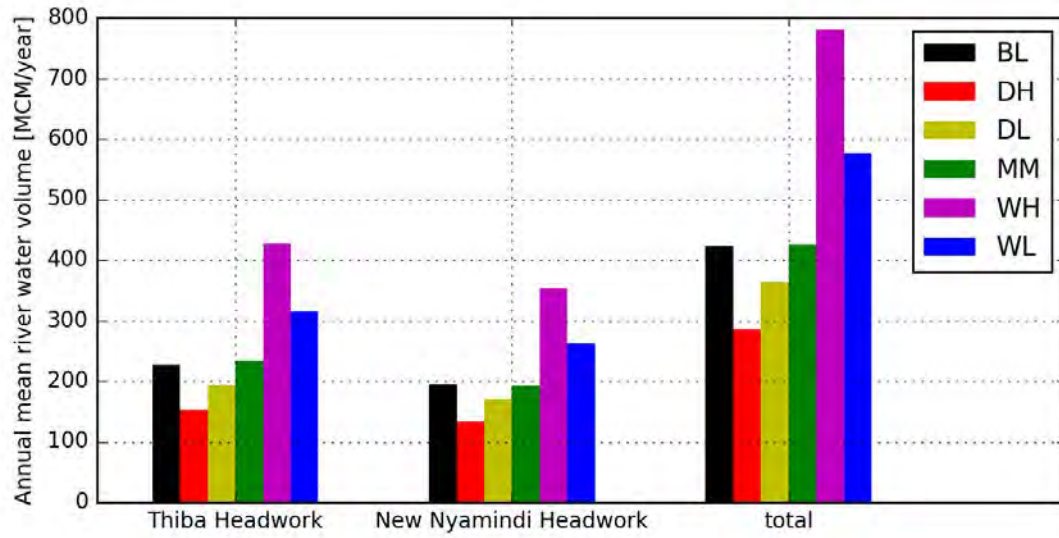
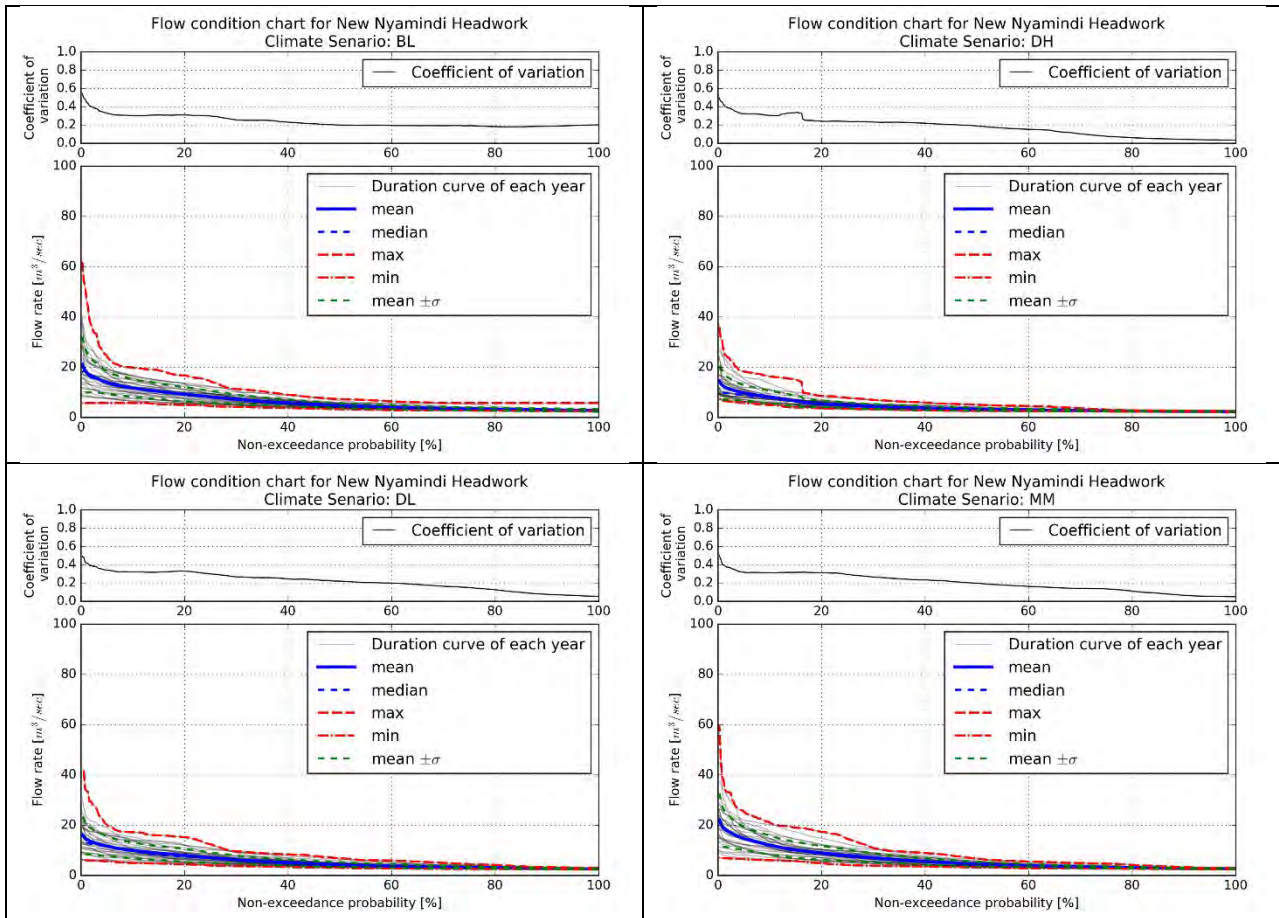
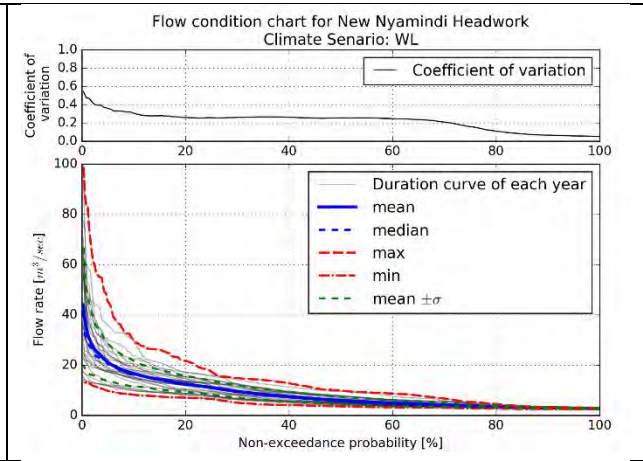
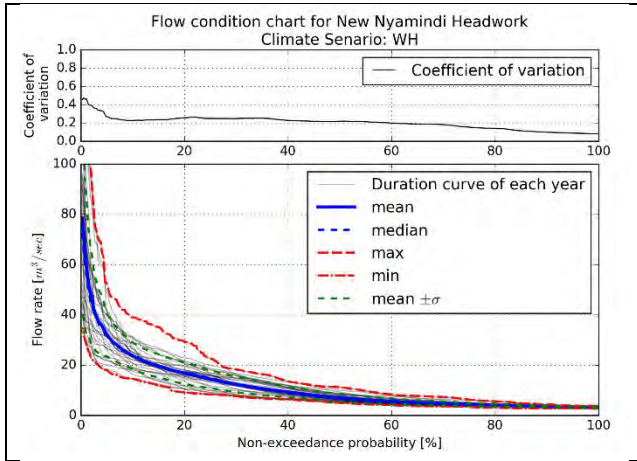


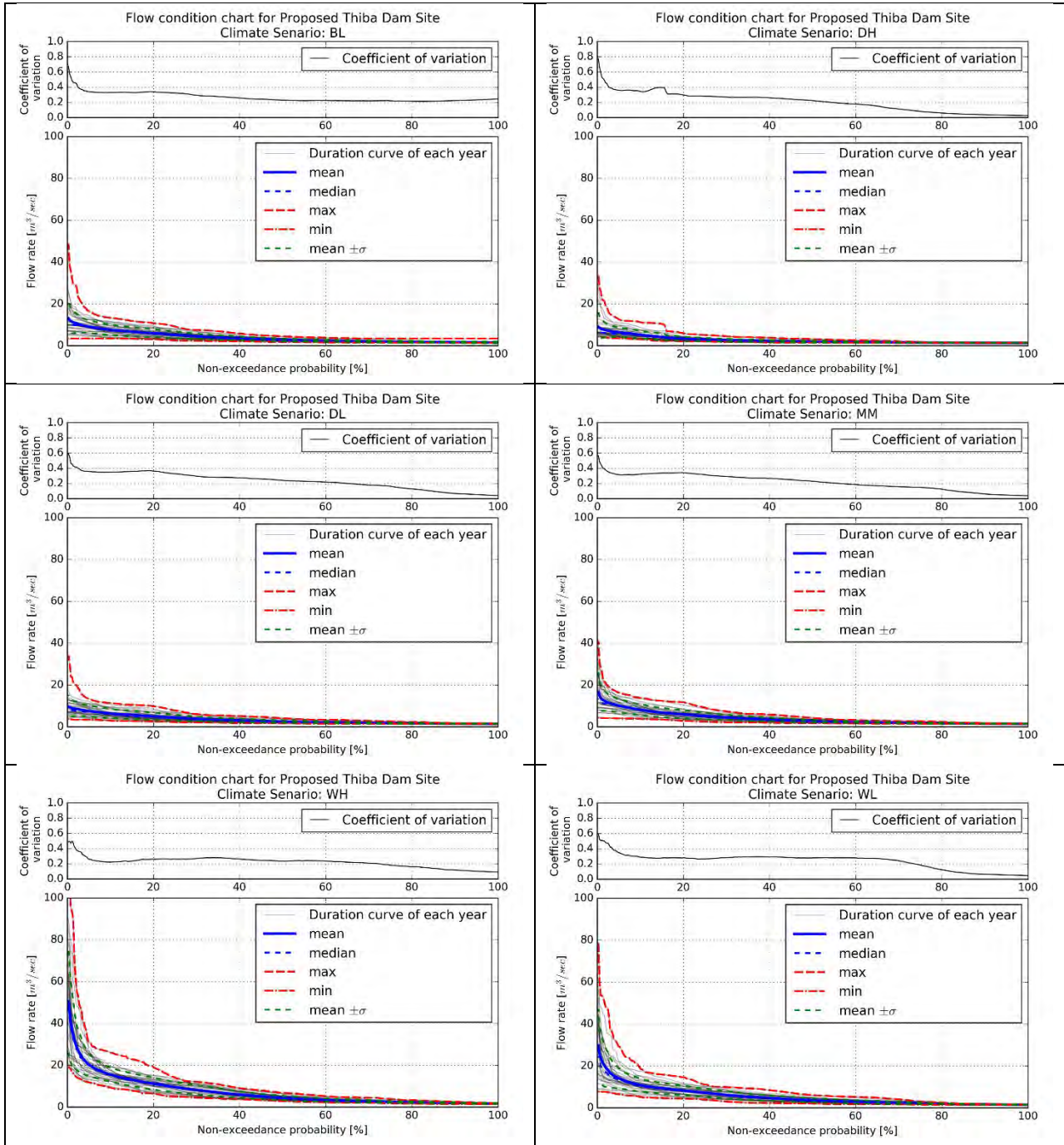
図 5-10 気候シナリオごとの取水地点平均年間通過流量の比較

5.2.5.1 Nyamindi Headwork

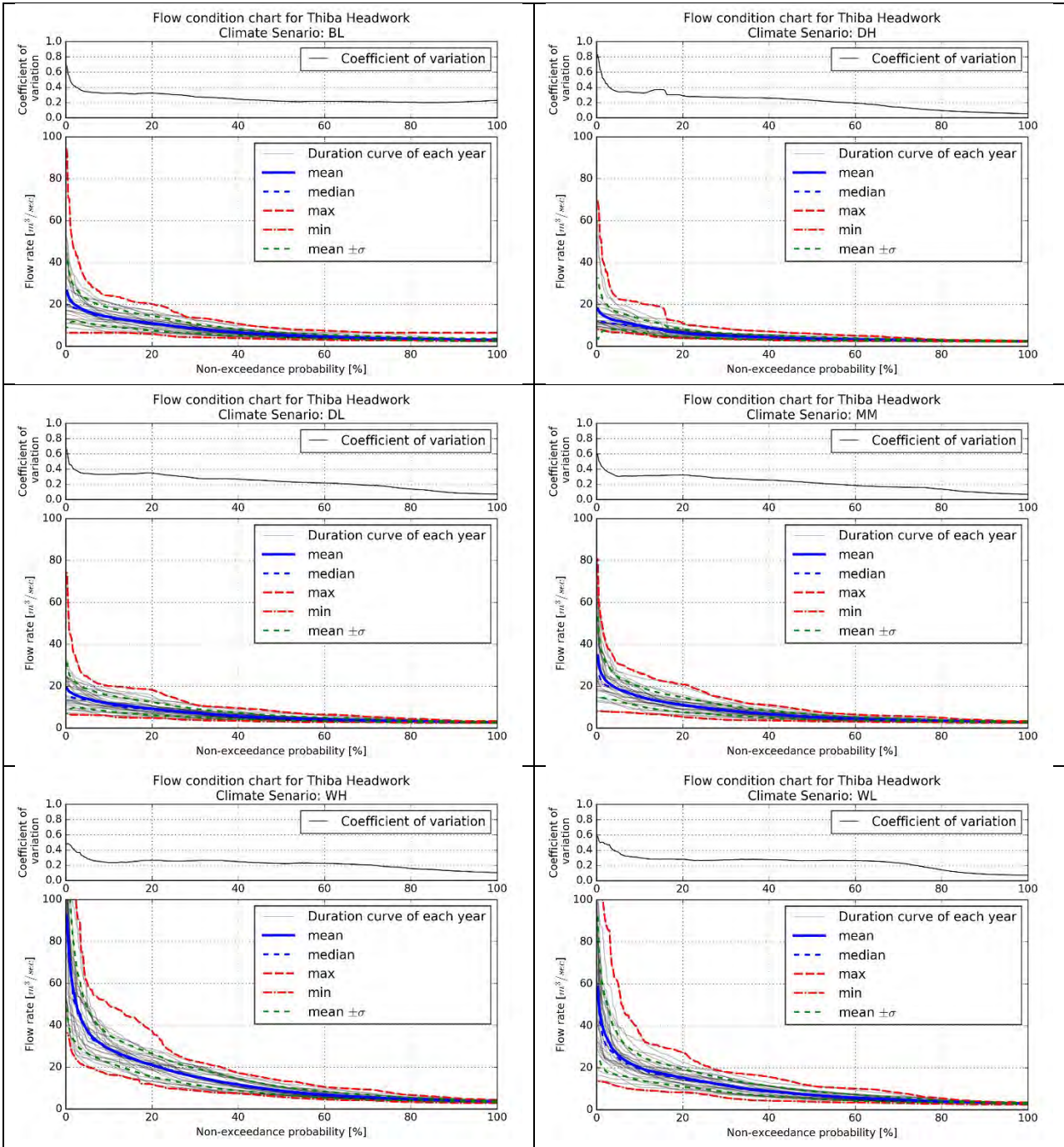




5.2.5.2 Proposed Thiba Dam Site



5.2.5.3 Thiba Headwork



5.3. 水収支モデルの構築

5.3.1. 現況の灌漑システムの把握

5.3.1.1 灌漑面積

SAPROF 報告書で示されている現況の MWEA 灌漑システムについて整理する。表 5-8 に灌漑面積の集計結果を示す。

- MIS スキームの Nyamindi 灌漑システム、Thiba 灌漑システムについて、灌漑面積が前後しているが、概ね一定の値となっている。
- D/D 時点(1996 年)では、MIS スキーム外の Out-growers Area での灌漑面積が 3,360ha 計上されているが、これは、D/D で提案された新規灌漑エリアである。実際には、1998 年以前に Out-growers Area での灌漑地区はない。
- Plan2008/09 に計上されている Out-growers Area は、実態を調査したものである。

表 5-8 現況の MWEA 灌漑システムの総括表(SAPROF 最終報告書の Table.3.3.1)

System/ - Section	Year 1995*1 (ha)	D/D 1996*2 (ha)	Plan 2008/09*3 (ha)
Original MIS Scheme			
1. Nyamindi system			
- Tebere	1,290	1,300	1,380
2. Thiba system			
- Mwea	} 4,603	1,220	1,271
- Thiba		1,150	1,141
- Wamumu		1,120	1,154
- Karaba		1,070	991
- MIAD	90	-	90
- Upland crop fields in MIS scheme	800	800	600
Sub-total of Original MIS	6,783	6,660	6,627
Out-growers Area*4			
- Curukia*5	-	-	891
- Mutithi	-	2,580	-
- Upland crop fields in Mutithi area	-	550	-
- Nderwa North	-	230	434
- Marura	-	-	-
- Kiamanyeki and Mwea Prison	-	-	-
- Karaba	-	-	-
Sub-total of Out-growers	-	3,360	1,325
Total	6,783	10,020	7,952

Note: In MIS Scheme, the irrigation area is categorized System, Section, and Unit in accordance with level and size; the names of Units are not listed in the above table.

*1 Proposed by Water Management Manual 1995 (JICA)

*2 Mutithi and Nderwa North areas (3,360 ha) was proposed for irrigation development by D/D in 1996

*3 Made by MIS Scheme office for the year 2008/09

*4 Out-growers did not exist before 1998

*5 Curukia area is a part of Mutithi area but called by a different name by MIS Scheme office at present.

Prepared by SAPROF Team

5.3.1.2 灌漑システム

SAPROF により整理された現況の灌漑システム模式図を図 5-11 に示している。ここでは、米作の灌漑エリアのみが図に示されている。黄色のエリアが MIS に位置づけられた灌漑エリア、黒い点線で囲まれた白抜きのエリアが Out-grower Area である。

灌漑システムは、Nyamindi システムと Thiba システムの 2 つにわけられる。Nyamindi システムは、Tebere section の 1 つのみを灌漑し、リンク水路(Link Canal)-1 により Thiba 川に配水している。Thiba システムでは、4 つの灌漑エリア(Mwea, Thiba, Wamumu, Karaba)から構成されている。

Nyamindi システムの灌漑面積は、1,380ha のみであるが、Thiba システムでは、4 つのセクションがあり、Nyamindi システムの 3.3 倍を担っている。Thiba 川からのみでは、度々灌漑用水不足を起こすことがあり、Nyamindi 川では余裕があるため、Nyamindi 川から Thiba システムへ灌漑用水を配水する Link Canal が設置されている。

Out-grower 地区は、Link Canal から無許可に灌漑用水を取得している。

図 5-12 には、GIS で灌漑エリアと Link Canal, 取水施設をプロットしたものを示している。

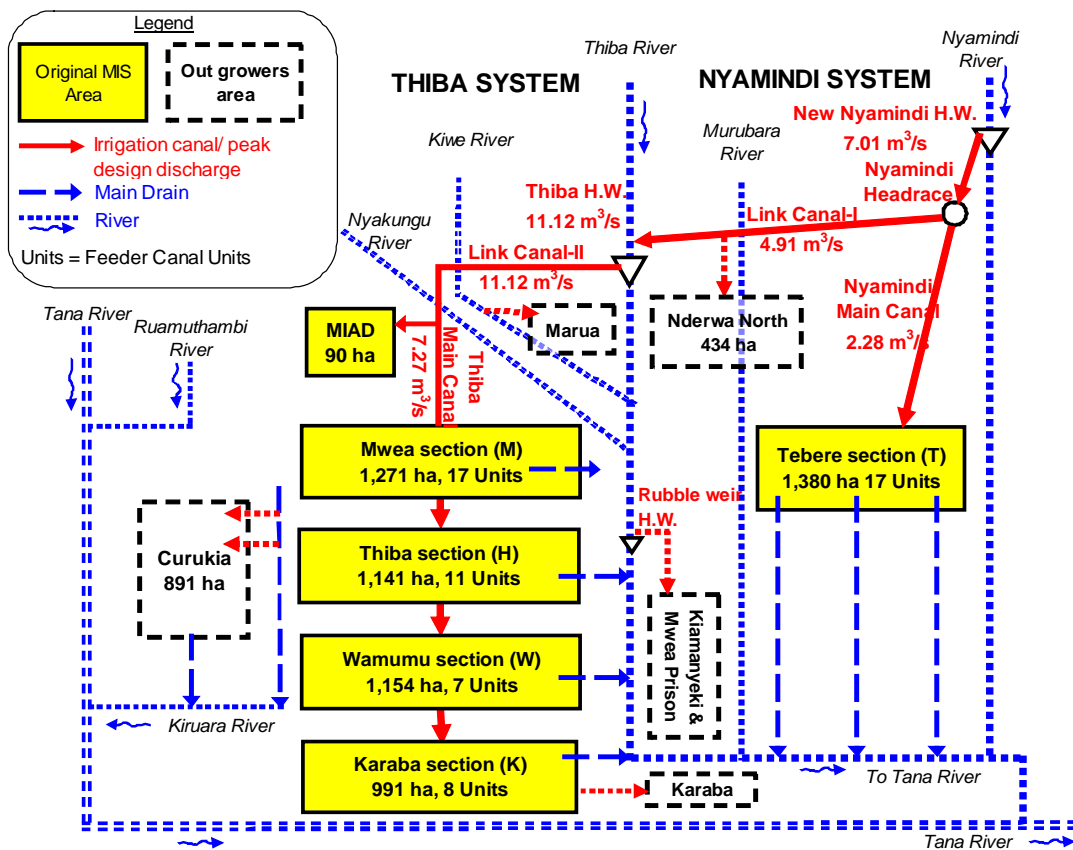
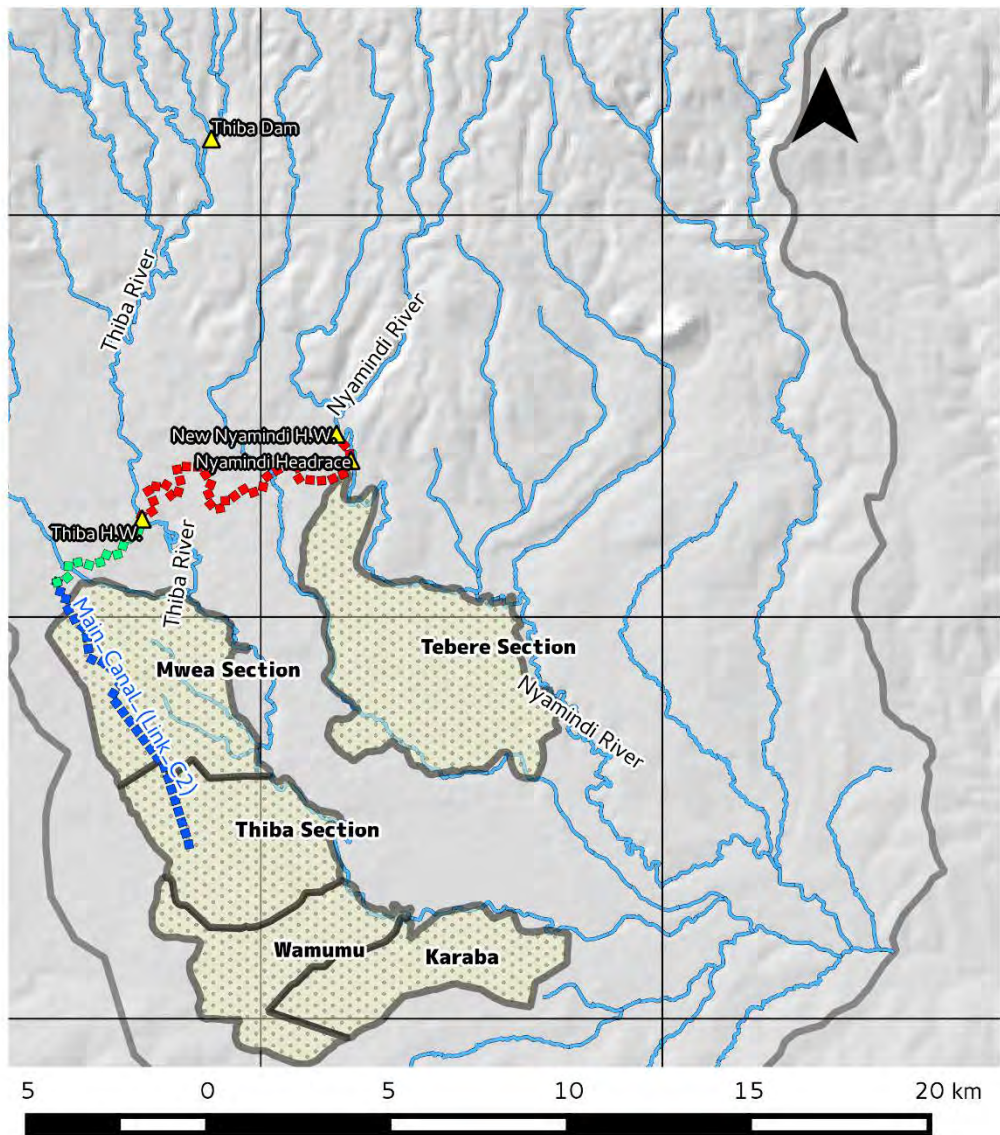


図 5-11 現況の灌漑システムの模式図(SAPROF FR Figure 3.3.1 より)



Legend

- River
- ▲ Irrigation Structures (H.W., Dam)
- Link Canal I
- Link Canal II
- Main Canal
- Existing Sections
- Subjected Runoff Analysis Boundary

図 5-12 MWEA Irrigation System の灌漑エリア、Link Canal, 取水施設

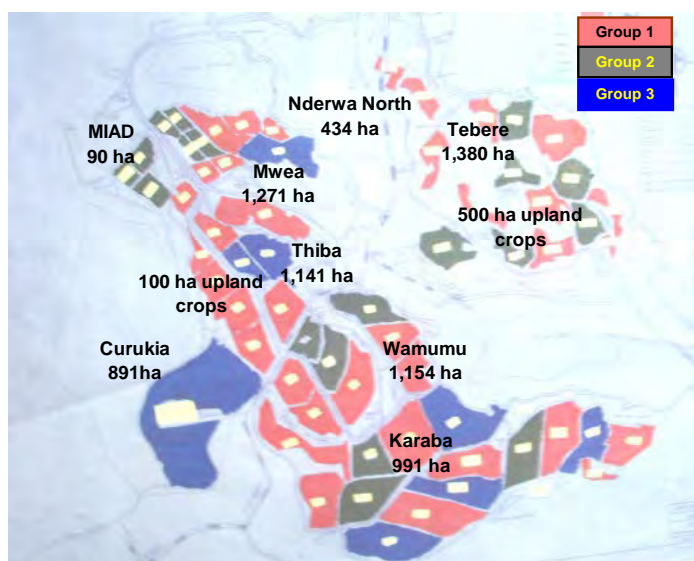
5.3.1.3 灌漑用水の管理・運用

MIS では、灌漑用水の排水可能状況を踏まえ、各セクション内でさらに3つのグループに分けており、それぞれの作付スケジュールをずらして設定している。各セクションの作付グループ別灌漑面積と配置について、表 5-9 および図 5-13 に示している。

表 5-9 2008/2009 年の作付グループ(SAPROF FR Table 3.3.3 より)

Section	Group 1		Group 2		Group 3		Total	
	Area (ha)	Unit	Area (ha)	Unit	Area (ha)	Unit	Area (ha)	Unit
Tebere	799	11	581	6	0	n.a.	1,380	17
Mwea	650	9	293	5	329	3	1,271	17
Thiba	875	8	266	3	0	n.a.	1,141	11
Wamumu	481	3	462	3	210	1	1,154	7
Karaba	656	5	145	1	190	2	991	8
Curukia	0	n.a.	0	n.a.	891	6	891	6
Nderwa north	0	n.a.	270	2	164	2	434	4
Total	3,460	36	2,016	20	1,784	14	7,261	70

Source: MIS Scheme Office



Source: MIS Scheme Office

図 5-13 2008/2009 年の作付グループの配置 (SAPROF FR Figure 3.3.5 より)

それぞれのグループの作付スケジュールは、以下のようにになっている。

表 5-10 各グループの作付スケジュール

グループ	開始	収穫時期	灌漑期に対応する雨季
Group 1	4月1日～5月中旬	12月はじめ	SR (Short Rain Season)
Group 2	5月中旬～6月末	12月中旬	
Group 3	10月1日～10月31日	3月中旬	LR (Long Rain Season)

ケニアでの米の需要が最も高くなるのが、クリスマスシーズン前であり、Group1, 2で収穫された米の販売価格は高くなる。また、米の成長と気候条件の観点からみても、Group1, 2の Short Rain Seasonでの灌漑は、Group3に比べて有利である。Group3の米が成熟してくる1, 2月には、イネいもち病(Rice Blast Disease)が発生しやすい。

現況の灌漑システムで供給可能な用水量では、Group3も含めた全ての灌漑区域に同時に安定した用水供給ができないため、3グループでの交互灌漑を行っている。気候条件からみれば、2期作も可能とMISは考えているが、灌漑用水の供給可能量の制限より、2期作を禁じている。営農者から見れば、不利なGroup3での作付を避けたい。また、安定したより豊富な灌漑用水が供給可能ならば、全てのグループで2期作も可能となる。

図 5-14 に現況のクロッピングパターン図を示す。

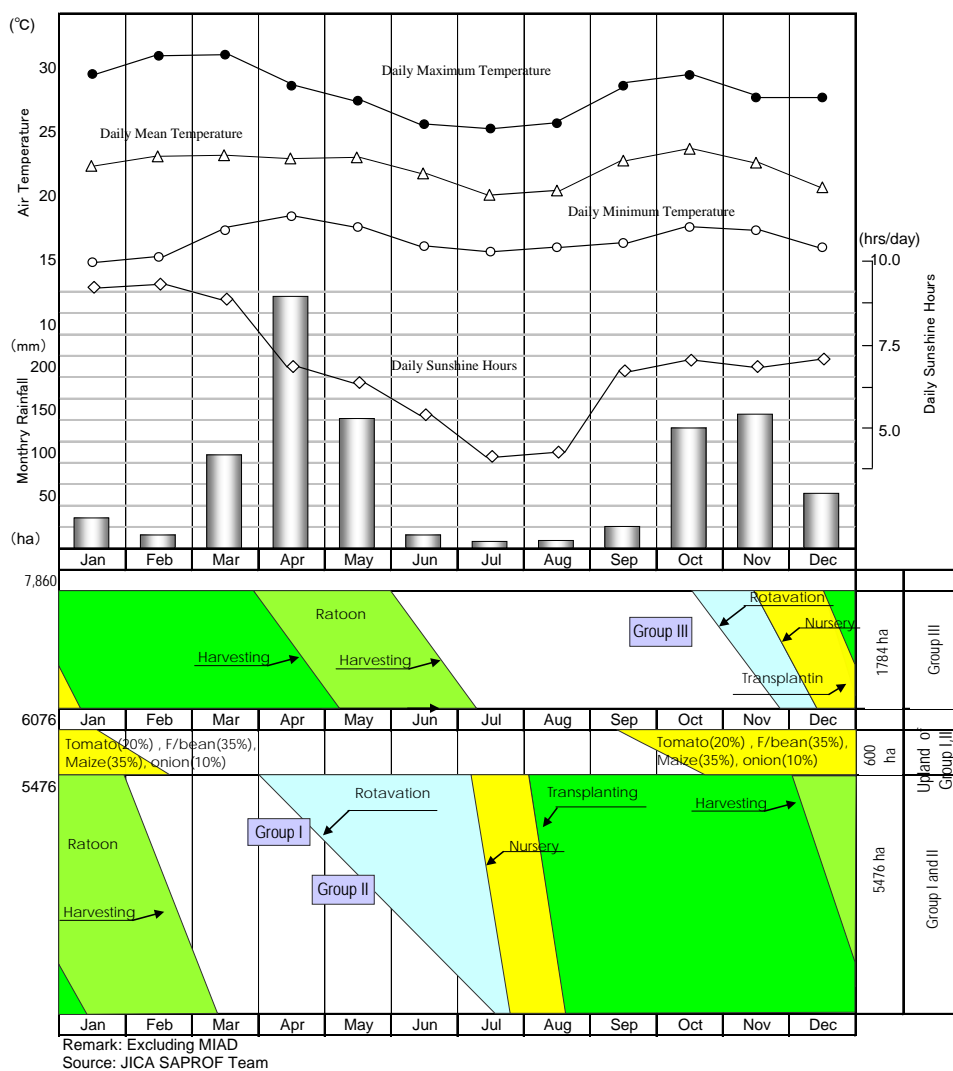


図 5-14 2008/2009 年現況のクロッピング・パターン図(SAPROF FR の Figure 3.4.1 より)

5.3.2. SAPROF で検討された代替案での灌漑システム

5.3.2.1 灌漑システムの代替案

現状の灌漑システムの問題点は、作付面積に対して供給可能水量が不足していることである。1996 年に実施された詳細設計時点での公式作付面積は、6,660ha であったが、2008 年の SAPROF 調査時で公式作付面積が 7,952ha に拡大している。これ以外にも、非公式に Link Canal から取水する Out-growers も拡大している。

限られた水資源を活用するために、作付グループを 3 つに分け、灌漑期間をずらすことで対応しているが、Group3 での市場価値が他グループに対して低いことやイネいもち病のリスクが多いなど、Group3 の不公平感が目立っている。

SAPROF では、営農者対象のワークショップや関係機関との議論を通じ、新規水資源開発の

代替案を設定し、プロジェクト妥当性を評価したものである。

灌漑システムの代替案として設定された4ケースを表5-11に示す。

- 水資源の安定供給のために不可欠な Thiba Dam を中心とし、他の対策組み合わせのバリエーションとして4ケースが設定されている。
- Plan1 は、現況に Thiba Dam を加え、不法取水などのために損壊箇所のある Link Canal I, II の改修を行うものである。Plan 3 では、Link Canal III を増設することで、現状の Curuka エリア(900ha)を拡大した Mutithi East Area(1,720ha)とする。
- Plan 1~3 までは、現状と同様に Nyamindi 川、Thiba 川水系の水資源を活用するものである。
- Plan4では、MIS 区域の西側を流れる Ruamthambi 川から取水を行うものであり、Plan3 に加え、さらに Mutithi West Area(450ha)を開発する。
- Plan4 は、全く新しい水系からの水資源開発のため、利用可能量が一気に拡大することが考えられるが、頭首工や導水路の新規建設費が高く、妥当性がないとして水収支分析などの詳細の検討から除外されている。また、Ruamthanbi 川の流量は、観測記録によれば、新規灌漑区域に対して十分豊富とはいえない。
- 水収支などの詳細分析の対象は、Plan2 と Plan3 のみが実施されている。本業務でも同様とする。

表 5-11 SAPROF で提案された灌漑システム案 (SAPROF DF, Table 4.2.1 より)

Project Component	Alternative Plans			
	Plan 1	Plan 2	Plan 3	Plan 4
Thiba Dam	●	●	●	●
Link Canal-I (Rehabilitation)	●	●	●	●
Link Canal-II (Rehabilitation)	●	●	●	●
Nderwa North + Marura Areas (Improvement)		●	●	●
Link Canal-III (New construction)			●	●
Curukia Area (Improvement)			●	●
Mutithi East Area (Extension)			●	●
Ruamthambi Headworks and Head race (New)				●
Mutithi West Area (Extension)				●

表 5-12 SAPROF 提案の代替案概要図 (SAPROF FR, Figure 4.2.1 に加筆)

プラン	模式図
<p>Plan 1</p> <p>現況システムに加え、</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Thiba ダム追加 ● Link Canal I, II の改修 ● Out Grower Area への灌漑用水配水も考慮。(作付面積拡大) 	<p>Plan 1</p> <p>Total 8,090 ha (MIAD is not included)</p> <p>Component: Construction of Thiba dam, rehabl. LI&II</p> <p>Note: Including Upland field of 500 ha scattering in the MIS area</p>
<p>Plan 2</p> <p>Plan1 に加え、Nderwa North, Marura エリアの改良を行う。</p> <p>水収支や作物収量の評価では、Plan 1 と区別がない。</p>	<p>Plan 2</p> <p>Total 8,090 ha (MIAD is not included)</p> <p>Component: Construction of Thiba dam, rehabl. LI&II, Nderwa N. and Marura</p> <p>Note: Including Upland field of 500 ha scattering in the MIS area</p>

プラン	模式図
<p>Plan 3</p> <p>Plan2 に加え、</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Link Canal III を新設 ● Link Canal III により、現状の Curuka エリア (900ha) を拡張し Mutithi East Area(1,720ha) とする。 	<p>Plan 3</p> <p>Total 8,910 ha (MIAD is not included, CP3) Component: Construction of Thiba dam, rehabl. LI&II, Nderwa N and Marura, ME</p> <p>Note: Curukia is included in Mutithi East.</p> <p>Note: Including Upland field of 500 ha scattering in the MIS area</p>
<p>Plan 4</p> <p>Plan 3 に加え、新たな水資源開発を行うとともに、作付面積をさらに 450ha 拡大する。</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Ruamuthanbi H.W. と導水路を新設。 ● Mutithi West 区域 (450ha) を拡大 	<p>Plan 4</p> <p>Total 9,360 ha (MIAD is not included, CP3) Component: Construction of Thiba dam, rehabl. LI&II, derwa N and Marura, ME and MW</p> <p>Note: Curukia is included in Mutithi East.</p> <p>Note: Including Upland field of 500 ha scattering in the MIS area</p>

5.3.2.2 作付パターン、灌漑水の管理

現状の作付パターンでは、全ての灌漑エリアへの同時期同時の配水が不可能であるため、Short Rain Season (SR)での作付を行う Group 1, 2 と Long Rain Season (LR)に作付を行う Group 3 に分けた交互運用を行っている。

- Group 1, 2 は、MIS 公式灌漑エリアの 75%を占める。一方、Group3 は 25%。
- 11 月から 12 月にかけて収穫できる Group1, 2 では、クリスマスシーズンに向けて市場価値が高くなり、有利。
- 気候的にみても、Group 3 の開花から登熟する期間は、4 月から 6 月にあたり、LR の最も雨量が多い期間にあたるため、湿気が高く、イネいもち病の発生が多く報告されている。
- そのため、Group3 の収量は、Group1, 2 に比べて顕著に低い。Group 1, 2 の平均的な収量が 3.9 t/ha に対し、Group3 は 2.7t/ha である。

このような現状の問題点を踏まえ、提案される灌漑システム開発案では、新規水資源開発として Thiba Dam の建設が中心となっている。

- これにより、全ての作付エリアでの SR 耕作が可能になる。
- また、現状で禁じている二期作も可能になる。
- さらに、LR の畑作も可能であると MIAD は考えている。

以上の状況を踏まえ、新たなクロッピング・パターンとして、4つの案が SAPROF で提案されている。このうち、水収支などの詳細分析対象としては、CP-1, 3 の 2 ケースとなっている。本業務でも同様に CP-1, 3 のケースを検討する。

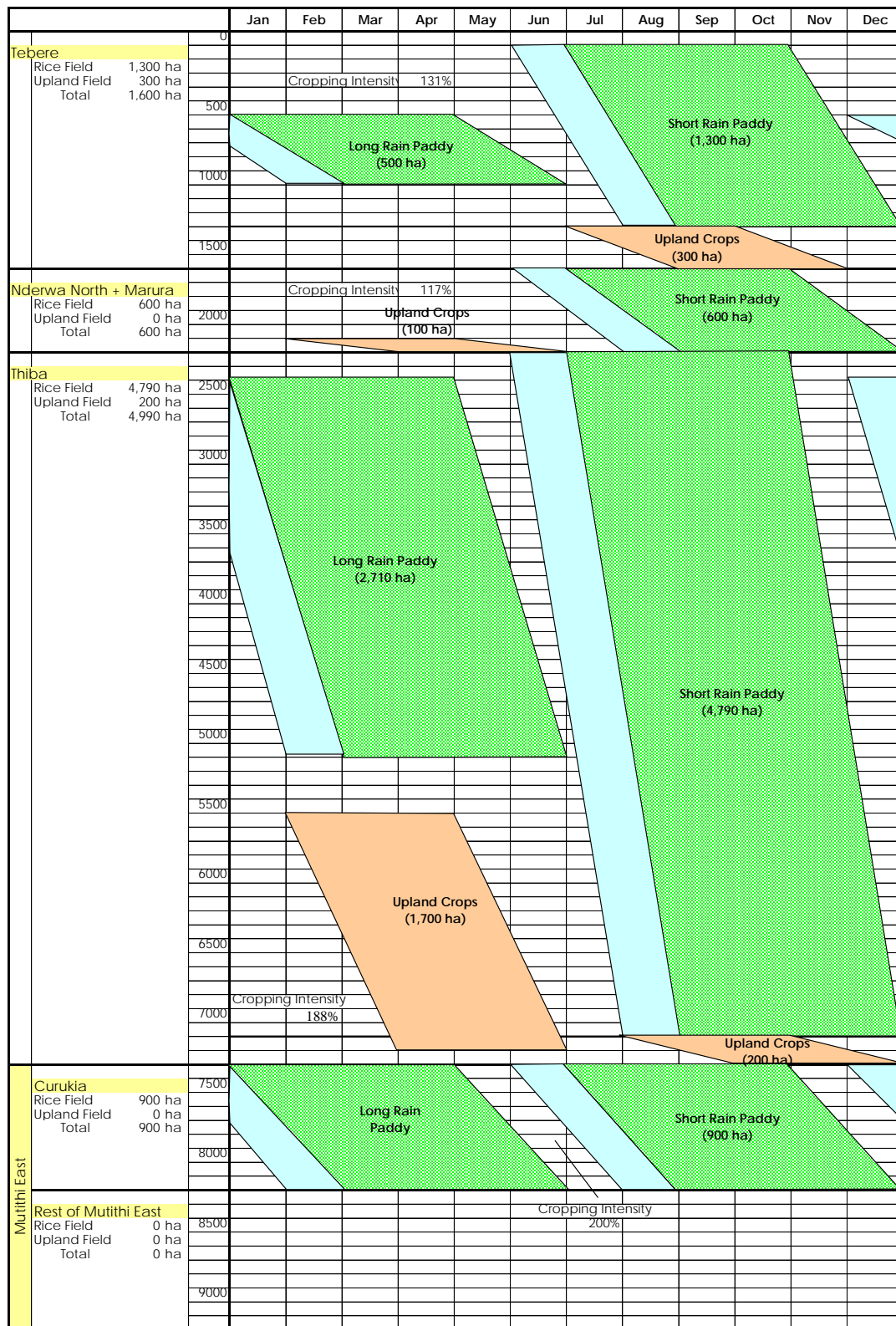
表 5-13 提案作付パターン(SAPROF FR, Table 4.1.1 より)

Proposed Cropping Patterns	Cropping Season		
	Short Rain (SR)	Ratoon	Long Rain (LR)
CP-1:SR Rice - LR Rice	Pishori (Basmati)	Nil	Pishori (Basmati)
CP-2:SR Rice - NERICA in LR	Pishori (Basmati)	Nil	NERICA
CP-3:SR Rice - Ratoon - Upland Crops	Pishori (Basmati)	To be raised	NERICA, Soybeans and Vegetables
CP-4:Upland Crops - Upland Crops	Soybeans and Vegetables	Nil	Maize

- CP-1, 2 は、米の 2 期作を導入する。
- CP-2 では、LR に Pishori 米ではなく、より必要水量が少なくてよい NERICA 米とするもので、LR 期の作付面積を CP-1 よりも広くできる。

- CP-3 は、SR 収穫後の刈り取ったあとの切り株から成長する再生茎(Ratoon)での収穫を見込む。SR 収穫後より 2 ヶ月で Ratoon の収穫がされる。
- CP-3 の Ratoon の収量は、1.4 t/ha と少ないが、耕作の初期費用、維持費用がすくないというメリットが有る。
- CP-3 の LR 期には、NERICA 米のほか、大豆、野菜類の作付が考えられている。
- CP-4 では、SR 期に大豆と野菜を作付し、LR 期にメイズを栽培する。
- CP-4 は、地形上、高地にあるために、灌漑用水が行き届かない区域で実施されるものであり、灌漑用水量と関係する検討では除外されている。

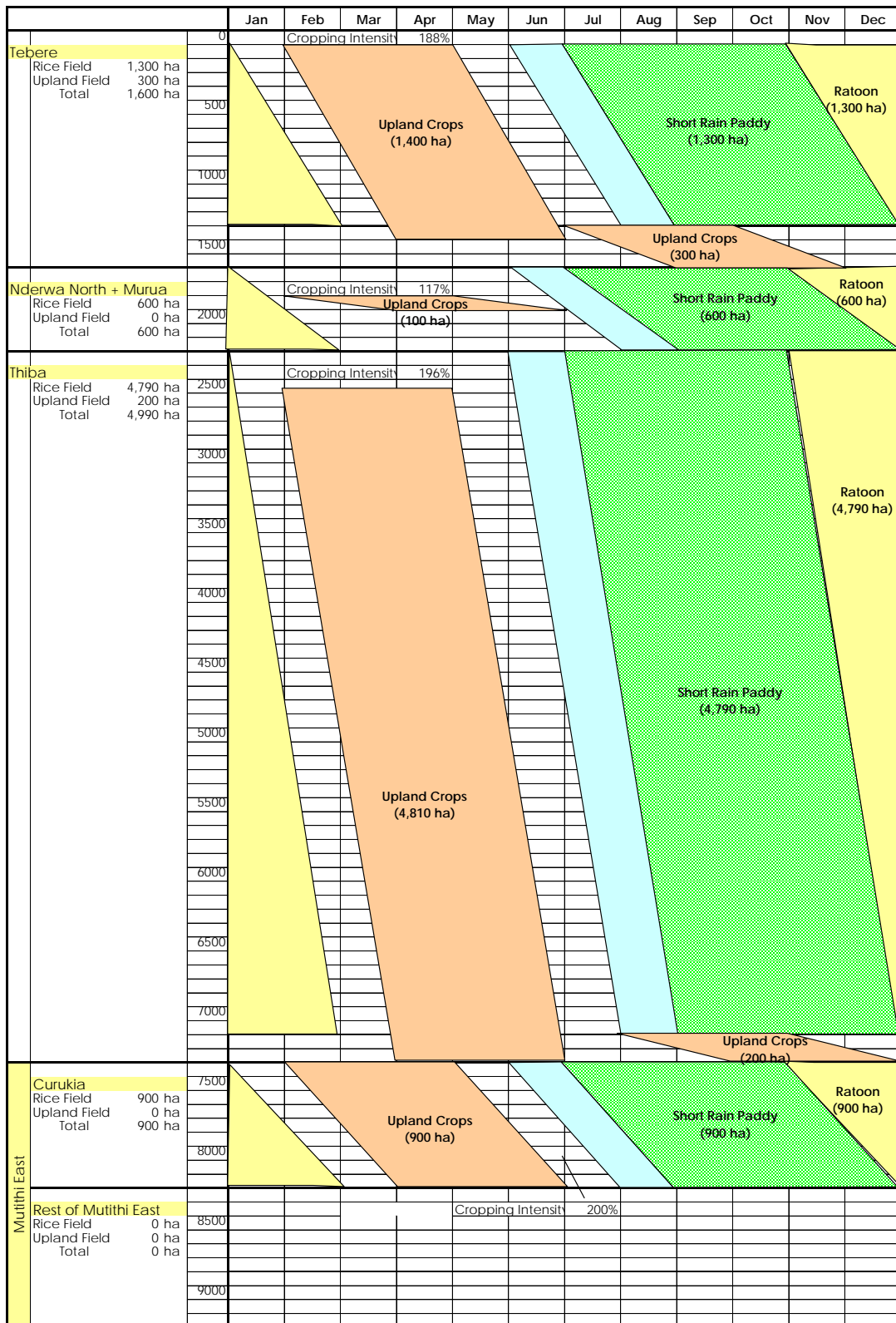
図 5-15、図 5-16 に CP-1, CP-3 のクロッピングパターン図を掲載している。



Total : 8,090 ha (7,590ha of Paddy and 500 ha of Upland Field) Overall Cropping Intensity: 173%
 MIAD 90 ha is not included in the areas during both SR and LR.

Planted Area by Section under Plan 2 (Proposed Cropping Pattern 1)

図 5-15 CP-1 のクロッピング・パターン図



Total : 8,090 ha (7,590 ha of Paddy and 500 ha of Upland Field) Overall Cropping Intensity: 189%
 MIAD 90 ha is not included in the areas during both SR and LR.

Planted Area by Section under Plan 2 (Proposed Cropping Pattern 3)

図 5-16 CP-3 のクロッピング・パターン図

5.3.3. 水収支モデルのための基礎データ整理

SAPROFにて実施されている水収支解析では、年間雨量との相関分析で推定した河川流量データ(10日平均流量)を元に実施している。用意された推定河川流量データは、1979年から2007年までの29年間である。下流河道のための維持流量を設定し、灌漑必要流量を作物、期間ごとに設定し、配水経路の順に必要な取水量を差し引く水収支計算を行っている。

必要灌漑水量の算出には、蒸発散量の気候値(20から30年間程度の長期の月別平均値)に基づいている。

気候変動による気候の変化としては、平均的な変化もさることながら、豊水年と渇水年がより顕著になるといったような、年ごとの変化が激しくなることが予想されているため、本検討では、必要灌漑水量を年ごとの気象条件に基づいて評価することとする。

5.3.3.1 水収支モデルの検討ケース

まず、現況の灌漑システムの水収支モデルを構築する。さらに、SAPROFで水収支分析などの詳細検討が行われている以下の3ケースを検討する。

気候条件として、現況気候のほか、1章で選択された将来気候シナリオ5GCMについて、同様の検討を行う。4対策シナリオ×(現況気候+5GCM)の24ケースを検討する。

表 5-14 水収支モデルで評価する灌漑システム4ケース

対策シナリオ案	クロッピング・パターン	灌漑計画
現況 Case 0	Group1~3の交互灌漑	現況のNyamindi, Thibaシステム
対策1 Case 1	CP-3: SR期稲作 - 再生茎(Ratoon) - LR期畑作	Plan3: Thibaダム+Link Canal III+作 付エリアの拡大
対策2 Case 2	CP-1: SR期稲作 - LR期Nerica米	Plan3: 同上
対策3 Case 3	CP-3:	Plan2: Thibaダム

5.3.3.2 取水地点、ダム予定地点の河川流況

(1) 年間の平均流量

前節の流出解析モデルによる現況再現計算結果(1981年~2010年の30年間)より、New Nyamindi HW, Thiba Dam(予定地点), Thiba HWの3つの取水地点について、10日間平均流量(旬平均流量)を算出した。

さらに、各年での旬平均流量の平均値を算出した。

表 5-15 年間の平均旬流量

Year	Annual Mean 10days Average Flow [m ³ /s]		
	New Nyamindi HW	Thiba Dam	Thiba HW
1981	7.57	4.77	9.01
1982	7.88	4.96	9.30
1983	5.96	3.69	7.30
1984	4.63	2.68	5.03
1985	7.24	4.53	8.61
1986	5.79	3.55	6.83
1987	4.69	2.80	5.61
1988	6.60	4.03	7.67
1989	6.72	4.04	7.53
1990	8.06	5.04	9.48
1991	5.48	3.36	6.49
1992	5.38	3.22	6.16
1993	5.37	3.18	6.00
1994	7.27	4.56	8.62
1995	6.39	3.76	7.22
1996	4.13	2.37	4.52
1997	9.19	5.90	11.05
1998	9.05	5.70	11.01
1999	5.01	2.93	5.70
2000	4.26	2.46	4.74
2001	6.29	3.88	7.37
2002	6.43	3.79	7.42
2003	6.73	4.12	7.88
2004	5.36	3.28	6.40
2005	4.33	2.56	5.08
2006	6.24	3.80	7.30
2007	7.07	4.32	8.16
2008	4.56	2.69	5.15
2009	4.71	2.92	5.55
2010	7.09	4.30	8.04
Mean	6.18	3.77	7.21

*SHER モデルの現況再現計算結果より、旬平均流量を整理し、年間の旬平均流量の平均値を算出したもの。SAPROF では、1979 年から 2007 年の 29 年間(欠測補填など加工したもの)での総平均をしており、New Nyamindi HW: 6.6 m³/s, Thiba Dam: 4.7m³/s, Thiba HW: 10.1m³/s となっている。

(2) 1/10 渇水流量

年間の最低の旬平均流量を算出し、1/10 渇水年の流量を求めた。1/10 渇水年とは、30 年の年間最低旬平均流量を昇順に並び替えた時に 3 番めとなる流量である。3 つの取水地点での

1/10 渇水流量について、表 5-16 に示す。

表 5-16 取水地点の 1/10 渇水流量

取水地点	1/10 渇水年	1/10 渇水流量[m ³ /s]	SAPROF での 1/10 渇水流量[m ³ /s]
New Nyamindi HW	1993 年	2.52	2.36
Thiba Dam	1993 年	1.35	1.53
Thiba HW	1996 年	2.64	3.70

SAPROF の値は、FR の Table 3.2.4 より

New Nyamindi HW と Thiba Dam 建設予定地点の流量は、ほぼ同じであるが、Thiba HW では、1.0m³/s の差があり、流量規模から見て小さくない差となっている。Thiba HW 地点では、SHER モデルのキャリブレーションで参照した 4DA10 観測地点があり、低水の流量規模はモデルでよく再現できている。SAPROF では、欠測の多い観測記録を用いて相関分析を用いた補填を行っており、データ作成手法が異なることに起因していると考えられる。

本業務では、以降で、GCM による将来気候データを用いた評価が必要となることから、SHER モデルでの計算流量を基本とするが、Thiba Headwork 地点については、SHER モデル計算結果に 1.0m³/s を加えた値で検討した。

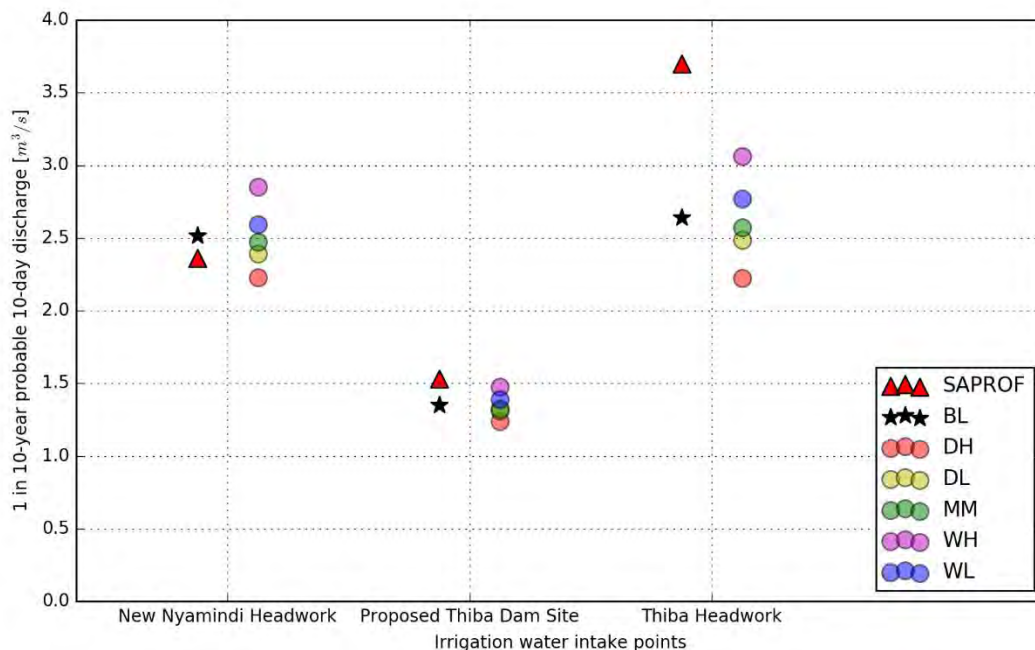


図 5-17 取水地点における気候シナリオごとの 1/10 渇水流量

(3) 確保流量

確保流量は、既得水利権と河川維持流量の和である。これらは、SAPROF での調査結果(2008 年時点)に従う。

表 5-17 取水地点の確保流量

取水地点	既得水利権[m ³ /s]	河川維持流量[m ³ /s]	確保流量[m ³ /s]
New Nyamindi HW	0.6	0.28	0.88
Thiba Dam	0.80	0.18	0.98
Thiba HW	1.50	0.36	1.86

1/10 濁水流量と比較すると、いずれも確保流量を満足している。

5.3.3.3 灌漑面積の設定

SAPROF での設定を整理した。

(1) case 0 (現況の灌漑施設およびクロッピング・パターン)

System/Section	Existing Area [ha]	Area breakdown of cropping pattern [ha]			
		Short rain		Long rain	
		Group1 [ha]	Group2 [ha]	Group3 [ha]	total [ha]
1. Nyamindi System	1,380	799	581	-	1,380
Teberé	1,380	799	581	-	1,380
2. Thiba System	5,247	2,662	1,166	729	4,557
Mwea	1,271	650	293	329	1,272
Thiba	1,141	875	266	-	1,141
Wamumu	1,154	481	462	210	1,153
Karaba	991	656	145	190	991
MIAD	90	-	-	-	*1
Upland crop fields in MIS scheme	600	-	-	-	*2
Sub-Total of Original MIS	6,627	3,461	1,747	729	5,937
					-
Out-growers Area					-
Curukia	891	-	-	891	891
Nderwa North	434	-	270	164	434
Sub-Total of Out-growers Area	1,325	-	270	1,055	1,325
					-
Total Irrigation Area	7,952	3,461	2,017	1,784	7,262

*1 MIAD was not included in Group1, 2 & 3 area, since MIAD is R&D cropping activity. For the water balance study, the demand water for MIAD shall be included. The breakdown of irrigation schedule groups was supposed to be equal area to 3 groups.

*2 There is no detailed information for breakdown area of upland crop to irrigation schedule group. According to the Figure 4.2.2 of SAPROF final report, upland crop field area is 300ha in Teberé section and 200ha in Mwea section. The cropping season of upland crop is allocated for short rain in Table 4.2.4 in SAPROF final report.

In water balance study, we suppose 300ha upland area in Teberé section and 300ha in Thiba system, and whole upland crop are cropped in short rain season.

(2) case 1 (Plan 3, CP-3)

System/Section	Net Area [ha]	Area breakdown of cropping pattern [ha]			
		Short rain paddy + Ratoon	Short rain upland	Long rain Paddy	Long rain upland
1. Nyamindi System	1,800	1,800	300	-	1,400
Tebere	1,300	1,300	300	-	1,400
Nderwa North	500	500	-	-	-
2. Thiba System	4,980	4,980	200	-	5,000
MWEA	1,290	1,290	* No information about breakdown area		
Thiba	1,180	1,180			
Wamumu	1,170	1,170			
Karaba	1,150	1,150			
Marura	100	100			
MIAD	90	90			
3. Extension Area	1,320	1,320	400	-	1,700
Mutithi East	420	420	400	-	800
Curukia	900	900	-	-	900
Total Irrigation Area	8,100	8,100	900	-	8,100

(3) case 2 (Plan3, CP-1)

System/Section	Net Area [ha]	Area breakdown of cropping pattern [ha]			
		Short rain paddy + Ratoon	Short rain upland	Long rain Paddy	Long rain upland
1. Nyamindi System	1,800	1,800	300	500	100
Tebere	1,300	1,300	300	500	-
Nderwa North	500	500	-	-	100
2. Thiba System	4,980	4,980	200	2,300	1,700
MWEA	1,290	1,290	* No information about breakdown area		
Thiba	1,180	1,180			
Wamumu	1,170	1,170			
Karaba	1,150	1,150			
Marura	100	100			
MIAD	90	90			
3. Extension Area	1,320	1,320	-	800	300
Mutithi East	420	420		200	-
Curukia	900	900		600	300
Total Irrigation Area	8,100	8,100	500	3,600	2,100

(4) case 3 (Plan 2, CP-3)

System/Section	Net Area [ha]	Area breakdown of cropping pattern [ha]			
		Short rain paddy + Ratoon	Short rain upland	Long rain Paddy	Long rain upland
1. Nyamindi System	1,800	1,800	300	-	1,400
Tebere	1,300	1,300	300	-	1,400
Nderwa North	500	500	-	-	-
2. Thiba System	4,980	4,980	200	-	5,000
MWEA	1,290	1,290	* No information about breakdown area		
Thiba	1,180	1,180			
Wamumu	1,170	1,170			
Karaba	1,150	1,150			
Marura	100	100			
MIAD	90	90			
3. Extension Area	900	900	-	-	900
Curukia	900	900	-	-	900
Total Irrigation Area	7,680	7,680	500	-	7,300

5.3.3.4 水需要量の設定

(1) 単位面積あたり水需要量

単位面積あたりの水需要は、SAPROF の設定に従った。SAPROF では、FAO の Irrigation Water Management Training Manual No.3 に従った設定を行っている。現況の観測雨量、作物ごとの蒸発散能の気候値より、作物ごとの単位面積需要量が設定されている。

気候によって水需要量の算定結果が異なることになるのは明らかであるが、実際の水管理の運用は、策定し、関係者で合意された灌漑計画に基づくものであることから、SAPROF での水需要設定を全ての気候シナリオ下での水収支検討に用いることとした。

SAPROF での単位面積あたり水需要の設定を表 5-18 に示す。

(2) 対策ケースごとの水需要量設定

対策ケースの Case0⁴ について、設定されている作付面積を単位面積あたり水需要に乗じて、対策ケースごとの水需要量を設定した。結果を表 5-19 に示している。

表 5-18 作物ごとの単位面積あたりの水需要量設定

Unit diversion water requirement by block [l/sec/ha]

Shortrain paddy

Block	Jan			Feb			Mar			Apr			May			June			July			Aug			Sep			Oct			Nov			Dec					
	1-10	11-20	21-31	1-10	11-20	21-28	1-10	11-20	21-31	1-10	11-20	21-30	1-10	11-20	21-31	1-10	11-20	21-30	1-10	11-20	21-31	1-10	11-20	21-31	1-10	11-20	21-30	1-10	11-20	21-31	1-10	11-20	21-30	1-10	11-20	21-31			
1																			0.69	0.84	1.00	1.16	1.09	0.82	0.84	1.15	1.18	1.21	0.95	0.00	0.30	0.55	0.70	0.00					
2																						0.68	0.84	1.00	1.23	1.09	0.82	1.10	1.15	1.18	0.95	0.00	0.30	0.68	1.02	0.70	0.00		
3																						0.68	0.84	1.00	1.07	1.10	1.15	0.92	0.00	0.30	0.68	1.10	1.02	0.73	0.00				
4																						0.68	0.87	1.05	1.23	1.34	1.07	1.10	0.88	0.00	0.30	0.68	1.10	1.10	1.06	0.73	0.00		
5	0.00																					0.69	0.87	1.05	1.43	1.34	1.07	0.83	0.00	0.27	0.68	1.10	1.10	1.15	1.06	0.73			
6	0.80	0.00																				0.69	0.87	1.19	1.43	1.34	0.80	0.00	0.23	0.61	1.10	1.10	1.15	1.15	1.06				
water requirement for unit area [l/sec/ha]	0.13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.11	0.25	0.42	0.61	0.82	0.96	0.98	1.21	1.21	1.18	0.89	0.00	0.28	0.61	1.02	0.84	0.68	0.49	0.30			

long rain paddy

Block	Jan			Feb			Mar			Apr			May			June			July			Aug			Sep			Oct			Nov			Dec					
	1-10	11-20	21-31	1-10	11-20	21-28	1-10	11-20	21-31	1-10	11-20	21-30	1-10	11-20	21-31	1-10	11-20	21-30	1-10	11-20	21-31	1-10	11-20	21-31	1-10	11-20	21-30	1-10	11-20	21-31	1-10	11-20	21-30	1-10	11-20	21-31			
1	1.21	1.20	1.26	1.21	1.25	1.30	1.33	1.36	0.10	1.17	0.00	0.00	0.64	0.00																									
2	0.95	1.02	1.37	1.48	1.21	1.25	1.29	1.33	0.10	1.17	0.00	0.00	0.94	0.54	0.00																								
3	0.72	0.85	1.15	1.54	1.48	1.21	1.24	1.29	0.07	1.17	0.00	0.00	1.02	0.94	0.64	0.00																							
4		0.68	0.93	1.27	1.54	1.48	1.21	1.24	0.08	1.15	0.00	0.00	1.02	1.02	0.94	0.53	0.00																						
5		0.70		1.00	1.27	1.54	1.47	1.21	0.00	1.11	0.00	0.00	1.02	1.02	1.02	0.81	0.53	0.00																					
6				0.73	1.00	1.27	1.53	1.47	0.00	1.07	0.00	0.00	1.02	1.02	1.02	0.87	0.81	0.53	0.00																				
water requirement for unit area [l/sec/ha]	0.48	0.63	0.90	1.20	1.29	1.34	1.35	1.32	0.05	1.14	0.00	0.00	0.94	0.77	0.60	0.37	0.22	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.12	0.27

long rain maize

Block	Jan			Feb			Mar			Apr			May			June			July			Aug			Sep			Oct			Nov			Dec		
	1-10	11-20	21-31	1-10	11-20	21-28	1-10	11-20	21-31	1-10	11-20	21-30	1-10	11-20	21-31	1-10	11-20	21-30	1-10	11-20	21-31	1-10	11-20	21-31	1-10	11-20	21-30	1-10	11-20	21-31	1-10	11-20	21-30	1-10	11-20	21-31
1							0.72	0.50	0.00	0.64	0.00	0.16	0.80	0.91	0.79	0.51	0.21	0.00																		
2							0.72	0.00		0.52	0.00	0.00	0.70	0.91	0.90	0.67	0.36	0.24	0.00																	
3										0.72	0.42	0.00	0.55	0.81	0.90	0.75	0.52	0.39	0.20	0.00																
4										0.72	0.00	0.00	0.45	0.67	0.80	0.75	0.61	0.55	0.33	0.34	0.00															
5													0.72	0.00	0.35	0.56	0.66	0.68	0.61	0.64	0.49	0.47	0.34	0.00												
6													0.72	0.26	0.46	0.55	0.56	0.53	0.64	0.57	0.65	0.47	0.30	0.00												
water requirement for unit area [l/sec/ha]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.12	0.20	0.12	0.38	0.12	0.15	0.52	0.72	0.77	0.66	0.47	0.41	0.26	0.24	0.13	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Shortrain min

Block	Jan			Feb			Mar			Apr			May			June			July			Aug			Sep			Oct			Nov			Dec		
	1-10	11-20	21-31	1-10	11-20	21-28	1-10	11-20	21-31	1-10	11-20	21-30	1-10	11-20	21-31	1-10	11-20	21-30	1-10	11-20	21-31	1-10	11-20	21-31	1-10	11-20	21-30	1-10	11-20	21-31	1-10	11-20	21-30	1-10	11-20	21-31
1	1.08	0.52	0.66																								0.72	0.00	0.00	0.00	0.06	0.59	0.81	0.98	0.97	1.00
2	1.10	0.66	0.79	0.84																							0.72	0.00	0.00	0.00	0.44	0.70	0.85	0.93	0.97	
3	1.01	0.72	0.92	0.99	0.84																						0.72	0.00	0.00	0.00	0.33	0.55	0.73	0.85	0.95	
4	1.02	0.64	0.99	1.14	0.99	0.84																					0.72	0.00	0.30	0.44	0.57	0.73	0.85			
5	0.95	0.65	0.90	1.21	1.14	0.99	0.82																				0.72	0.30	0.42	0.46	0.57	0.73				
6	0.80	0.56	0.91	1.12	1.21	1.14	0.97	0.81																			0.72	0.42	0.43	0.46	0.57					
water requirement for unit area [l/sec/ha]	0.98	0.62	0.86	0.89	0.70	0.50	0.30	0.14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.12	0.12	0.12	0.12	0.13	0.45	0.56	0.66	0.75	0.84

5.3.4. 水収支解析

5.3.4.1 算定方針

SAPROF では、灌漑可能面積を検討するために、クロッピング・パターンと灌漑施設計画の組み合わせの元、灌漑面積を変数としたトライ・アンド・エラーを行い、80%安全率(5年に1回は水不足を生じる)での灌漑可能面積を見出すことが目的であった。

本業務では、SAPROF で設定された作付面積とクロッピング・パターン、灌漑施設を予条件として水収支解析を行う。この解析結果により、灌漑可能水量を時系列で求め、後述の米収量予測モデル(DSSAT)の入力条件とすることを目的とする。これにより、将来気候の変化が河川流量に与える影響を通じ、米収量への影響の評価を行うことができるようになる。

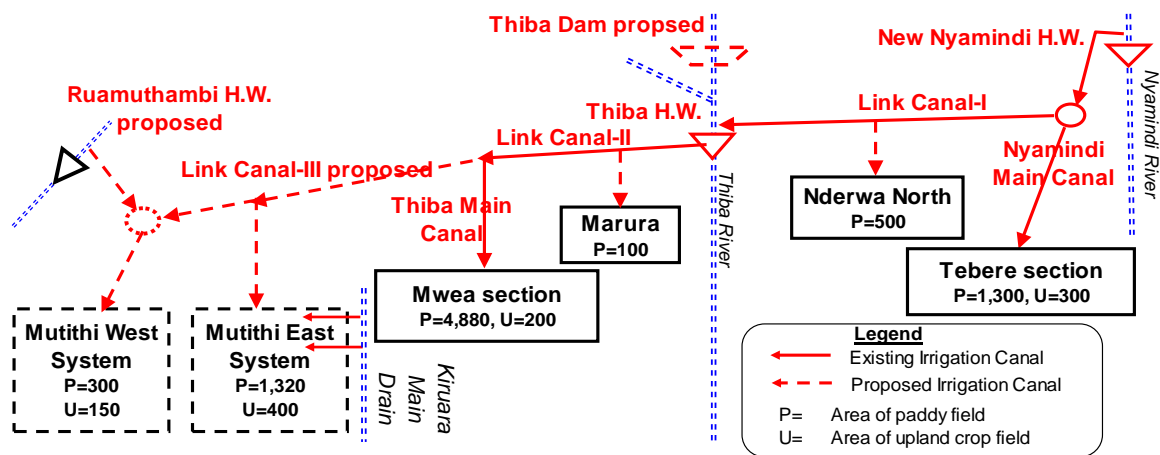


図 5-18 水収支の経路模式図(SAPROF FR の Figure4.2.2 より)

水収支の算定手順は、以下のようになる。

<Nyamindi System の水収支>

- ① New Nyamindi HW の確保流量を超える流量を算出する。これが、HW からの取水量となる。
- ② ①から、Namindi System (Tebere section)の灌漑必要量を差し引く。灌漑水量は DSSAT への条件に用いる。差し引いた残りが、Link Canal I への導水量となる。
- ③ Link Canal I より、Nderwa North area への灌漑必要量を差し引く。
- ④ ③の残りの流量は、Thiba HW の上流に与える。

<Thiba Dam の水収支>

時間ステップ i のダム容量を水収支で追跡する。

$$V_i = V_{i-1} + Q_i - P_i - R_i - L_i$$

V_i : 時間ステップ i の時のダム容量

Q_i : ダム流入量

P_i : $V_{i-1} + Q_i$ がダムの有効貯水容量超過した分は、下流への放流量となる。

Ri: Thiba システムでの確保流量の不足分を補給する

Li: 湖面からの蒸発、ダムの底などへの浸透による欠損量

<Thiba System の水収支>

- ① Thiba HW の河川流量(SHER モデルの計算流量)に、Link Canal I、Thiba Dam の補給量を加える。HW の上流の流量となる。
- ② ①が確保流量を超える流量を算出し、これが Link Canal II への導水量となる。
- ③ Marura area, Muea System(Curukia 含む)への灌漑必要量を差し引く。残りは、Link Canal III への導水量となる。
- ④ Mutithi East, West への灌漑必要量と③を比較する。

5.3.4.2 算定結果

対策の 4 ケースに対し、それぞれの気候シナリオ 6 パターンをかけ合わせた 24 パターンでの水収支解析を行った。各取水地点(New Nyamindi HW, Thiba HW, Thiba Dam, Link Canal III)での水収支を 30 年間で評価した。

ここでは、対策ケース Case 1、気候シナリオ BL での水収支図を例示する。他の対策ケースについては、巻末資料に示した。

図では、30 年間の取水地点の河川流量と水需要量の時系列が表示されている。河川流量のうち、確保流量（河川維持流量＋下流既得水利権）を超える流量に対し、水需要量までは取水可能としている。灌漑用水の充足率を水需要量に対する取水可能量の比で表し、図中の右側の軸で表示している。

Water Balance at New Nyamindi HW (Case 1: Plan 3 under CP-3)
climate scenario: BL/Baseline_Case

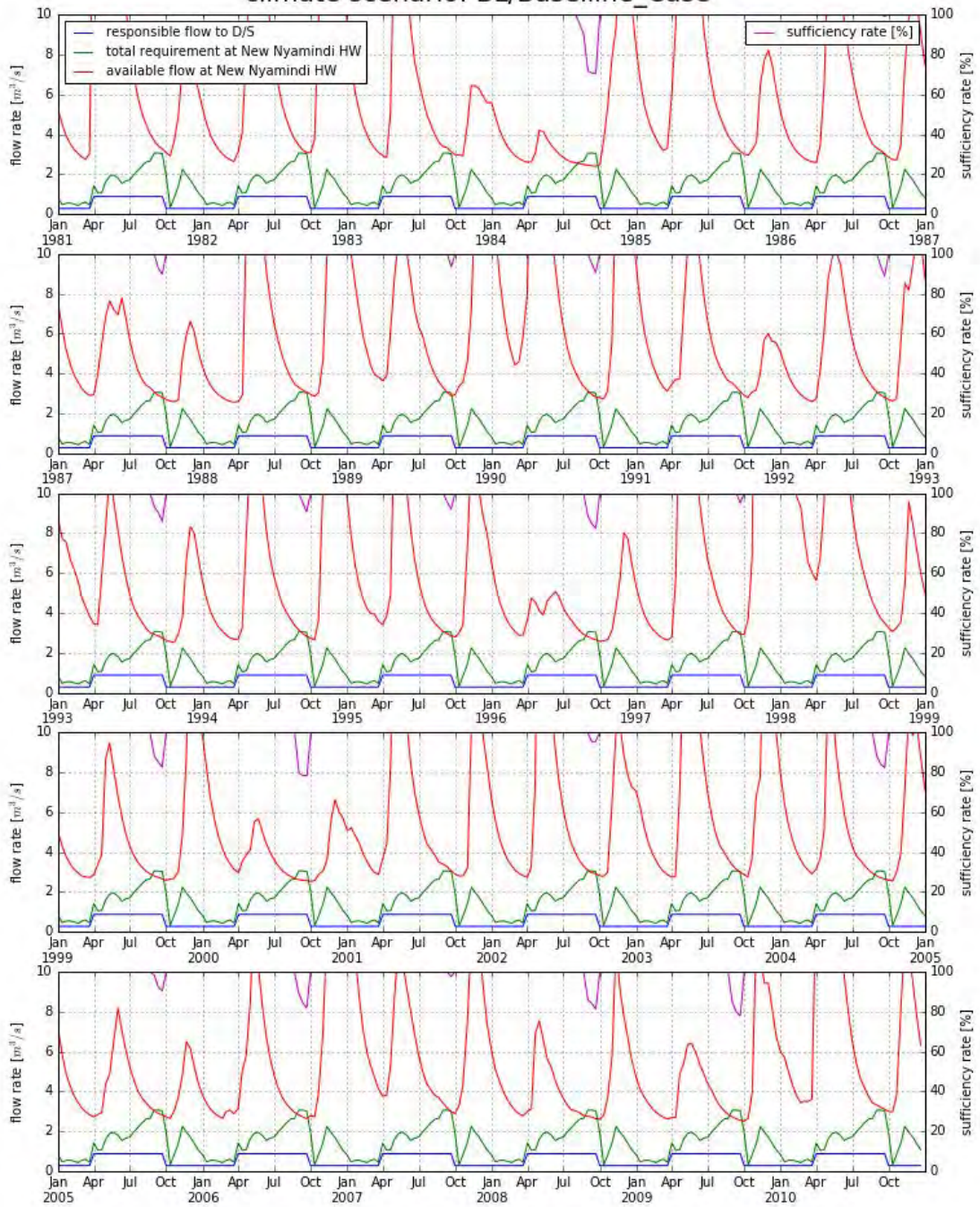


図 5-19 対策 Case 1, 気候シナリオ BL での New Nyamindi HW の水収支図

Water Balance in Thiba Dam (Case 1: Plan 3 under CP-3)
climate scenario: BL/Baseline_Case

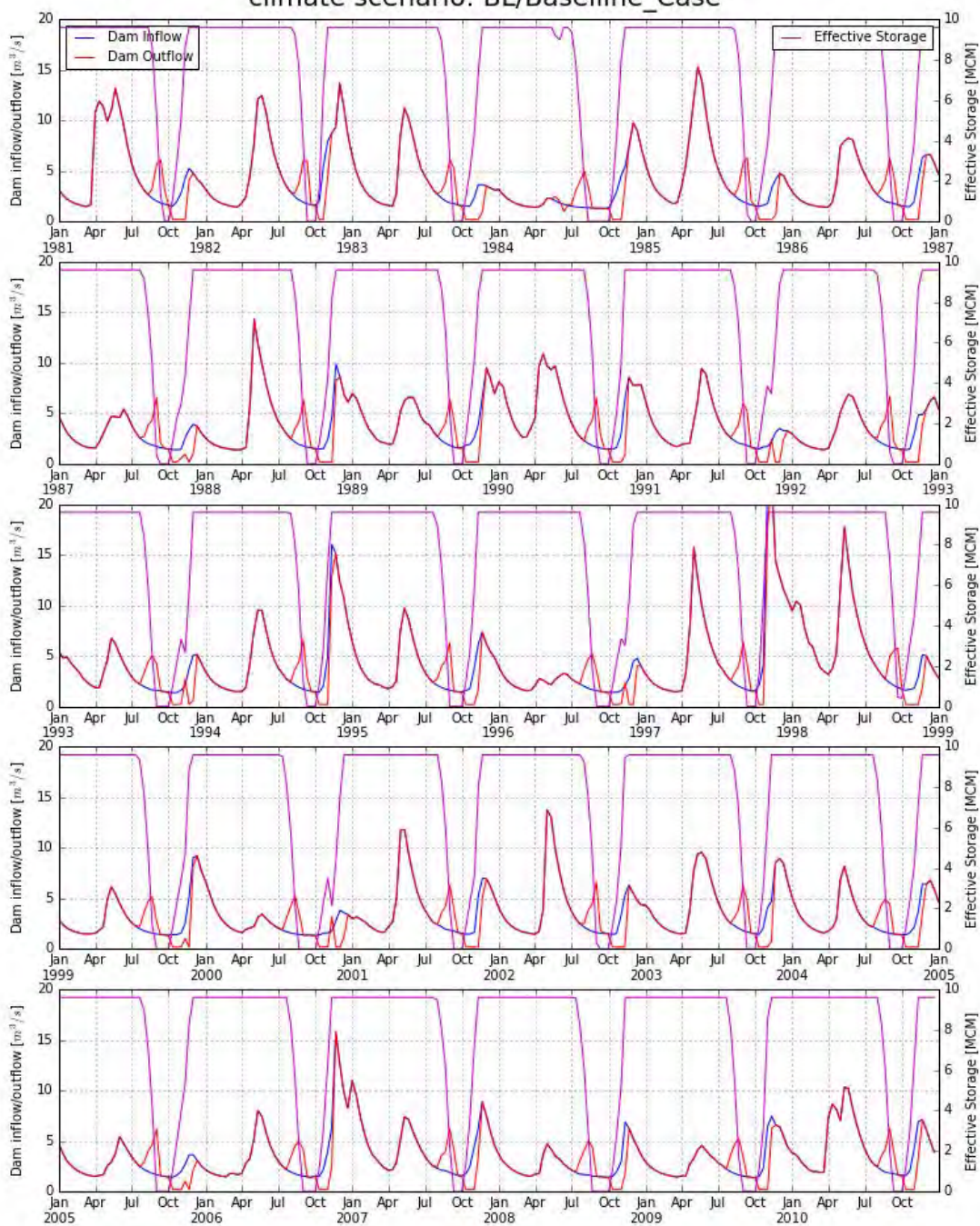


図 5-20 対策ケース Case1, 気候シナリオ BL での Thiba Dam の水収支図

Water Balance at Thiba HW (Case 1: Plan 3 under CP-3)
climate scenario: BL/Baseline_Case

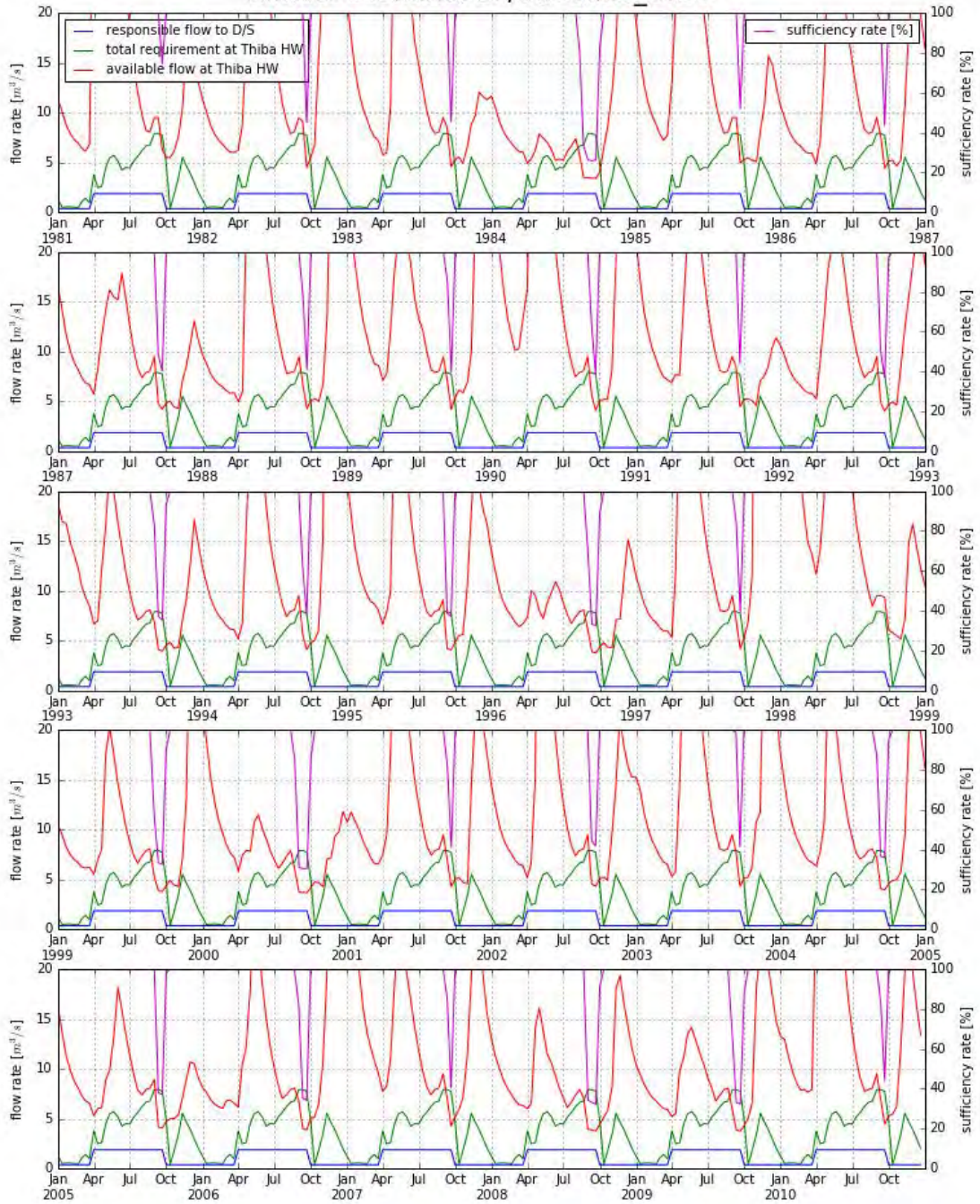


図 5-21 対策ケース Case1, 気候シナリオ BL での Thiba HW の水収支図

Water Balance at Link Canal III (Case 1: Plan 3 under CP-3)
 climate scenario: BL/Baseline_Case

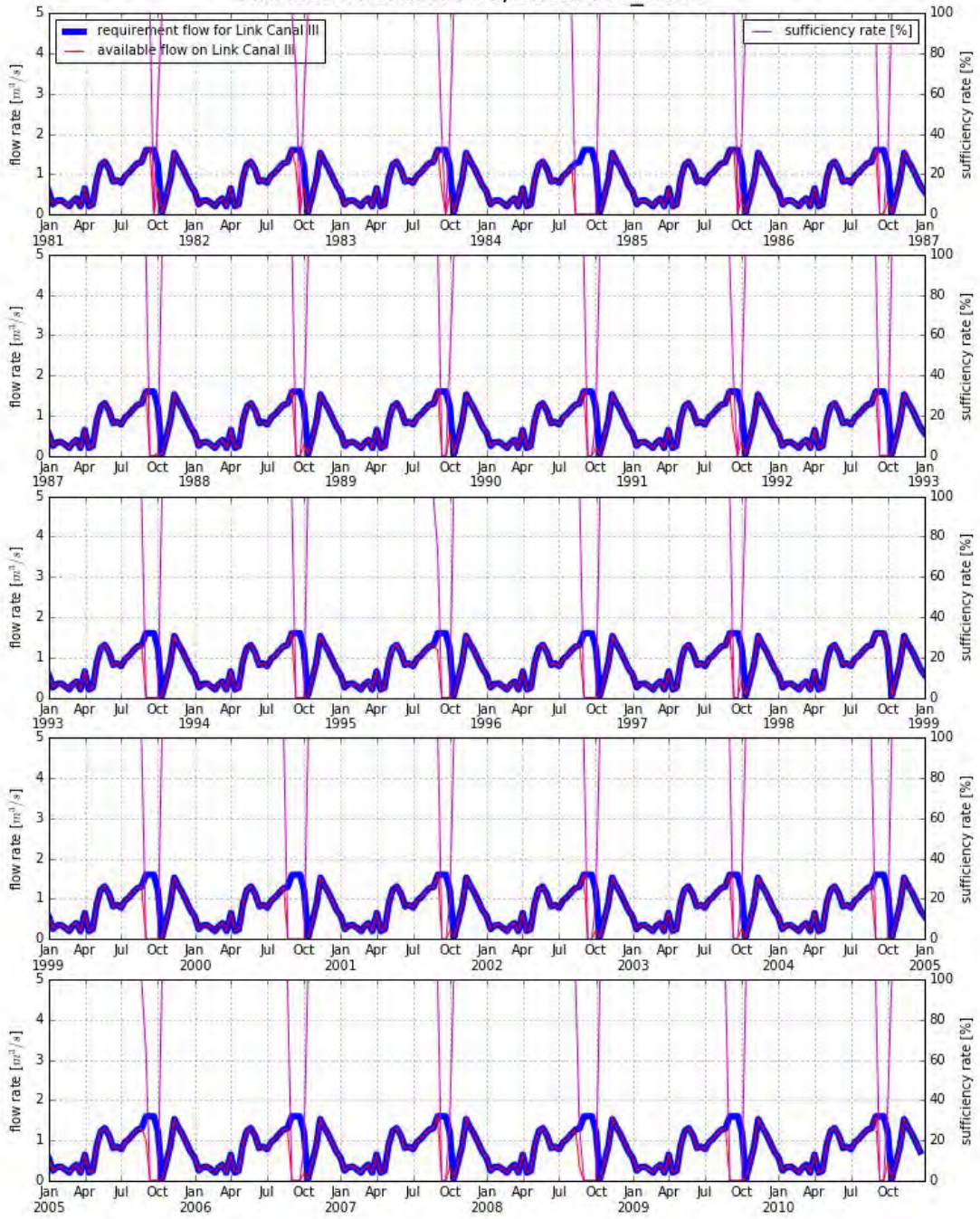


図 5-22 対策ケース Case1, 気候シナリオ BL での Link Canal III の水収支図

5.3.4.3 灌漑プロジェクトと気候シナリオでの灌漑用水充足率

年ごとの水需要の期間充足率を算出し、30年間での平均値を計算した。灌漑プロジェクトの対策4ケースと気候シナリオ6ケースを掛け合わせた24パターンについて、整理したものを図5-23に図示している。

期間充足率は、年間の水需要量に対して灌漑できた水量の比を灌漑システム(Nyamindi, Thiba, Extention Area)ごとに集計し、それぞれの灌漑面積での重み付け平均をしたものであり、灌漑面積や全水需要量が異なる灌漑プロジェクトケース間での比較ができる。

Case0では、充足率がいずれの気候でも1.0なのに対し、灌漑プロジェクト実施ケースのCase1~3では、不足のある期間があることがわかる。SAPROFでの計画では、80%の信頼度、すなわち5年に1回の渇水規模まで灌漑による作付面積を設定している。Thiba Damで開発した新規灌漑用水量に相当する作付面積の拡大をしている。SAPROFで設定している流量データと本検討で流出解析により作成したデータとの僅かな相違がこのような充足率での不足となっている。

Case 1, 2, 3では、気候シナリオに応じて充足率が変化しており、気候シナリオの特性に沿った結果になっている。例えば、DHでは降水量が減少し、蒸発散量が増大することで水資源量が将来減少するものだが、他の気候シナリオに比べ、充足率が低い。逆に、降水量の増大が大きいWHシナリオでは、他の既往シナリオよりも充足率が高い結果となっている。

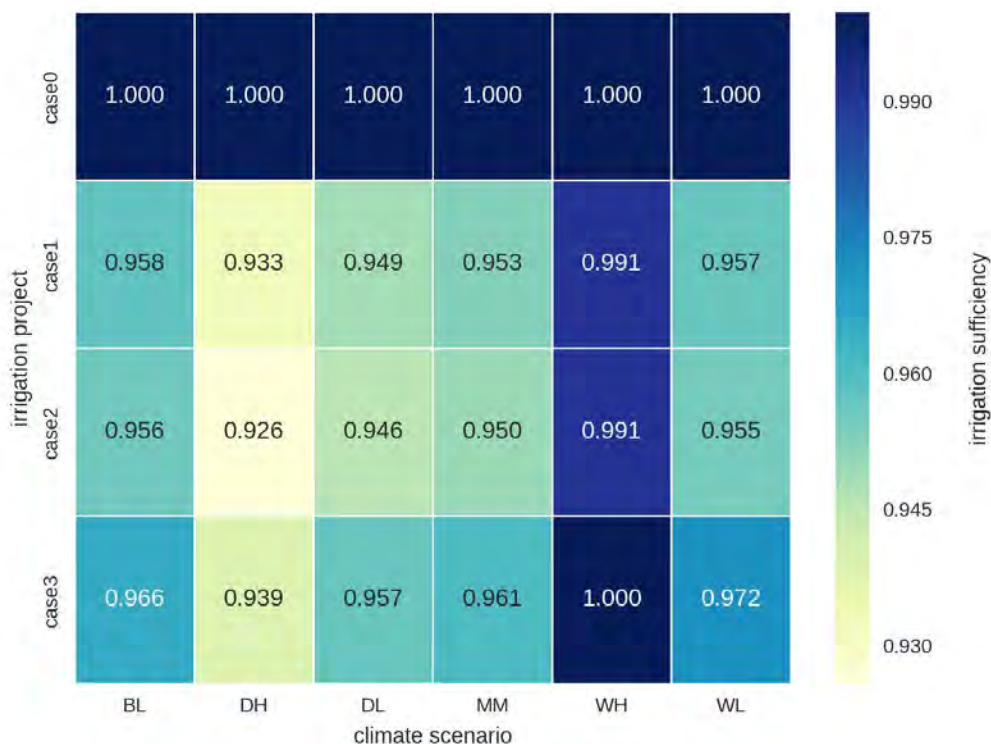


図 5-23 平均灌漑用水充足率のヒートマップ

5.3.4.4 コメ収量予測のための水需要充足率

コメなどの作物収量予測で用いる DSSAT (次節で詳述) では、灌漑用水を条件設定できるが、DSSAT 内部で作物の成長と降雨量、蒸発散量をインタラクティブに計算しており、水収支解析で得られる灌漑水量の時系列を直接与えることができない。土壌中の水分量が設定値より下回った場合に、灌漑用水で補給するというような計算条件で実施している。

水収支解析で得られる水需要充足率のうち、作物の収量に重要な条件として、SAPROF での検討を参考に、以下の期間での充足率を計算し、これを DSSAT で算出される年ごとの収量に乗じることで灌漑用水の不足と作物収量を与えることとした。

flowering and panicle stage of paddy (収穫の 50 日前から 15 日前) で 1 回でも水不足となった場合、出穂期期間における充足率の平均充足率を DSSAT で評価した収量原単位に乗じる。

- Short Rain: Oct.11 ~ Nov.21
- Long Rain: Feb.21 ~ Mar.21

5.4. 作物収量予測モデルの構築

SAPROF で作付けが計画されているコメ及び畑作物の単収（1ha 当たりの収量。以下同様。）は、気候変動の影響を受けて変化することが想定される。本検討では、作物収量予測モデル DSSAT を用いて、現在及び将来気候での 30 年間の収量評価を実施し、将来への変化傾向を評価した。

5.4.1. 作物収量予測モデル DSSAT

本業務で作物収量予測モデルとして用いる DSSAT は、University of Florida などの複数の大学からなる ICASA (International Consortium for Agricultural Systems Applications)により開発が続けられている作物収量予測モデルである。DSSAT は、Decision Support System for Agrotechnology Transfer の略である。実際に、100 以上の国々で営農方法の評価に利用されている。

DSSAT は、数多くのモジュールからなる。メインの作物成長モデルに対し、土壌モデル、蒸発モデル、灌漑水モデル（水田の湛水、浸透、排水）、肥料モデル、収穫モデルなどからなる。それぞれ、複数の物理モデルを切り替えて利用できるようになっており、設定条件のバリエーションは、膨大な数となっている。

本検討では、2014 年にリリースされた最新のバージョンである version 4.6 を用いた。

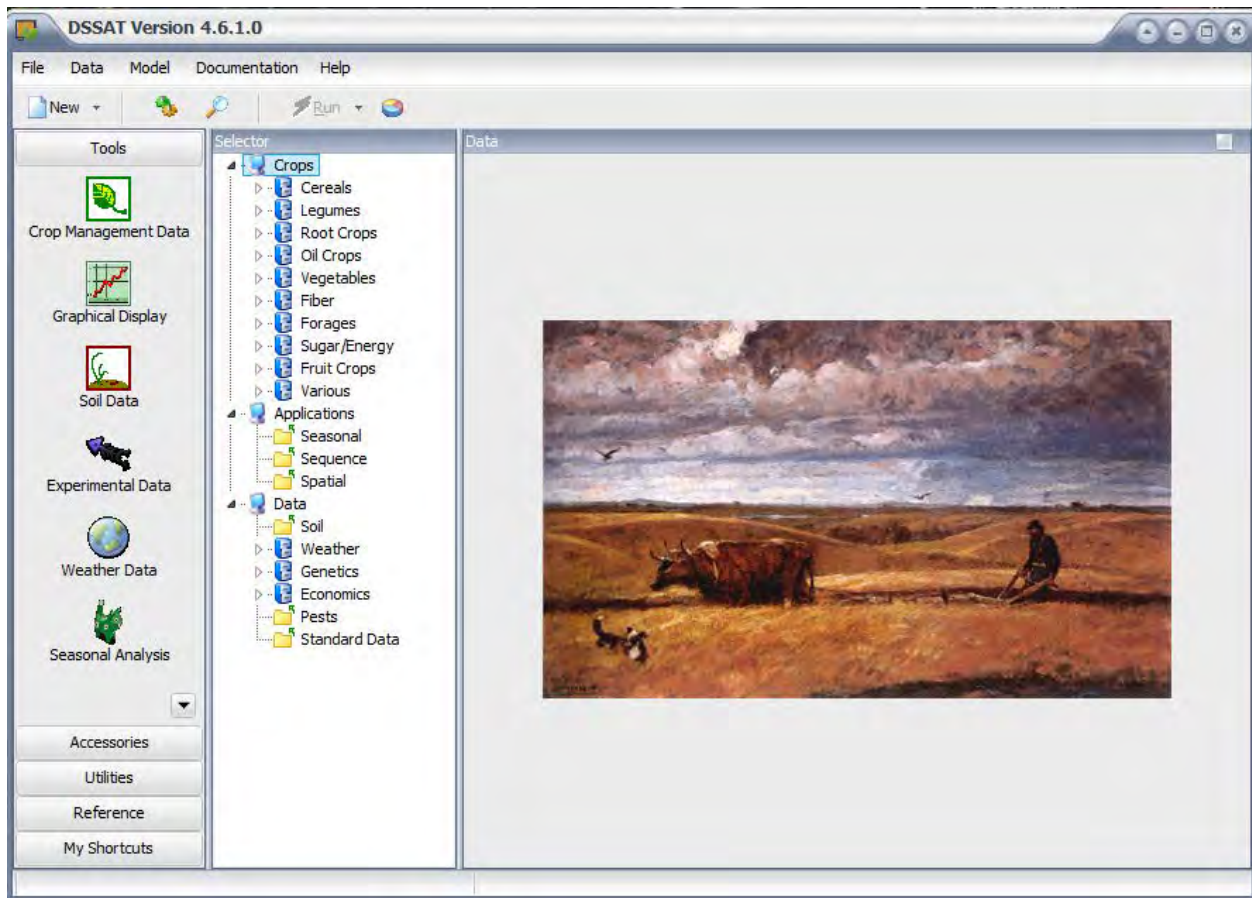


図 5-24 DSSAT version 4.6 のインターフェイス

5.4.2. コメ収量の評価

5.4.2.1 MWEA 灌漑スキームでの作物収量の再現

DSSAT モデルに必要なデータを整理し、MWEA 灌漑地区の現況再現ができるようなデータセットを作成した。なお、Jomo Kenyatta University の W.O.Nyang'au 博士による研究事例²⁴で、MWEA 灌漑エリアのコメ作のモデル化を行った研究事例があり、設定条件の参考とした。ただし、本研究は SRI (System of Rice Intensification) と呼ばれる特殊なイネ栽培方法を採用しており、実際と異なる面もあるため、施肥等の栽培条件は SAPROF 調査結果に基づき設定した。

コメ収量モデルとしては、DSSAT に搭載されている CERES Rice Model を適用した。

(1) キャリブレーション対象の実績収量情報

SAPROF 調査では、MWEA 灌漑エリアにおけるコメ収量の実績値として 2008/09 年のグループ別のコメ生産量が調査されている (表 5-21)。単年のみではモデル再現性の妥当性の評価には不足であることから、合わせて KNBS (ケニア統計局) による情報も収集した (表 5-22)。KNBS

²⁴ W.O.Nyang'au et al., Estimating Rice Yield under Changing Weather Conditions in Kenya Using CERES Rice Model, International Journal of Agronomy volume 2014, Article ID 849496

のデータでは、2006年から2011年までのMWEA灌漑エリア全体でのコメ生産量の実績値が示されている。ただし、グループ別の生産量の内訳までは分からないことから、SAPROF調査結果からグループ別コメ生産比率を評価し、評価した比率をMWEA全体での収量に掛けることにより、5年間のグループ別コメ収量データを作成した。本データをもとにキャリブレーションを行った。

コメの品種としては、SAPROFの作付プランで提案されているのは、Basmati 370（別名Pishori）とNERICAの2種類である。DSSATでは、品種別に成長に関する作物パラメータを設定する必要があるが、NERICAに関してはパラメータの研究成果がないことからDSSATでの収量評価は難しく、Basmati 370との収量比から評価することとした。また、再生茎（Ratoon）についても、DSSATでモデル化されているが、適切なモデル化のための条件が不明のため適用が困難である。従って、灌漑による通常のコメ収量（Main crop）との収量比を元に評価することとした。

なお、コメの単収は生産者ユニット間でかなりのばらつきがあることに注意が必要である。SAPROFで調査された生産者ユニット別の単収（図5-25）をみると、単収はゼロから最大7tなどと、かなりのばらつきがある。ばらつきの理由として灌漑システム運用の問題が挙げられている。現行では全エリアに平等に満遍なく灌漑が行き届いているわけではなく、状況によって水が行き届かないエリアがあり、そのようなエリアでは収量が落ち込むものと考えられる。キャリブレーションでは、ユニット別の状況までは分からないため、平均値が合うように灌漑水量を調整した。

表 5-20 コメ収量の評価方法

コメの種類	収量の評価方法
Basmati Main	DSSATによるシミュレーション
Basmati Ratoon	Basmati Mainの収量に係数（2008年のBasmati RatoonとBasmati Mainの収量比）をかけて評価。
Nerica※	Basmati Mainの収量に係数（2008年のNericaとBasmati Mainの収量比）をかけて評価

※NericaはCropping Pattern 3の大雨季における畑作物のうち10%を占める。

表 5-21 2008/09 年の実績収量(SAPROF FR, Table 3.4.3 より)

Group	灌漑面積 (ha)	通常の収量 (t/ha)	Ratoon 収量 (t/ha)	合計 (t/ha)	Ratoon
Group 1	3,460	4.2	1.8	6.0	0.30
Group 2	2,016	3.5	1.6	5.1	0.31
Group 3	1,784	2.7	0.5	3.2	0.16
Total/Mean	7,261	3.64*	1.43*	5.08	

Source: SAPROF FR, Table 3.4.3 (WUA workShop Result, Dec., 2008, MIS scheme office)

* 灌漑面積による重み付け平均値

表 5-22 5 年間のコメ収量実績 (KNBS Statistical Abstract 2013 より)

	2006/07	2007/08	2008/09	2009/10	2010/11
Hectares cropped (ha)	8,325	7,806	7,431	10,526	10,629
Number of plots-holders	7,267	7,257	4,936	7,178	7,178
Paddy yields (Tonnes)	51,458	38,560	32,406	52,000	54,000
Gross value of output (KSh millions)	1,544	2,121	1,782	2,860	2,970
Payments to Plot-holders (KSh million)	919	1,450	1,341	2,080	2,197
Paddy yields (ton/ha)	6.18	4.94	4.36	4.94	5.08

Source: KNBS Statistical Abstract 2013, Irrigation Schemes

5.4.2.2 コメ収量再現のための条件設定

(1) 作物パラメータ

Basmati 370 に関しては、W.O.Nyang'au の研究により、MWEA において再現性のあるパラメータ値が評価されていることから、この値を設定した。設定値を以下に示す。

表 5-23 Basmati 370 の作物パラメータ

パラメータ記号	設定値	パラメータの意味
P1	577.0	Time period (expressed as growing degree days [GDD] in °C above a base temperature of 9°C) from seedling emergence during which the rice plant is not responsive to changes in photoperiod. This period is also referred to as the basic vegetative phase of the plant.
P2R	209.5	Extent to which phasic development leading to panicle initiation is delayed (expressed as GDD in °C) for each hour increase in photoperiod above P2O.
P5	187.5	Time period in GDD (°C) from beginning of grain filling (3 to 4 days after flowering) to physiological maturity with a base temperature of 9°C.
P2O	12.75	Critical photoperiod or the longest day length (in hours) at which the development occurs at a maximum rate. At values higher than P2O developmental rate is slowed, hence there is delay due to longer day lengths.
GI	41.85	Potential spikelet number coefficient as estimated from the number of spikelets per g of main culm dry weight (less lead blades and sheaths plus spikes) at anthesis. A typical value is 55.
G2	0.024	Single grain weight (g) under ideal growing conditions, i.e. nonlimiting light, water, nutrients, and absence of pests and diseases.
G3	1.00	Tillering coefficient (scalar value) relative to IR64 cultivar under ideal conditions. A higher tillering cultivar would have coefficient greater than 1.0.
G4	1.00	Temperature tolerance coefficient. Usually 1.0 for varieties grown in normal environments. G4 for japonica type rice growing in a warmer environment would be 1.0 or greater. Likewise, the G4 value for indica type rice in very cool environments or season would be less than 1.0.

(2) 土壌パラメータ

流出解析モデル構築で参照した KENSOTO によれば、MWEA 地区の土壌は Eutric Vertisol と呼ばれる黒色の粘土質の土壌である。対応する具体的なパラメータの情報はないが、DSSAT に含まれている黒色の粘土ロームに分類される土壌パラメータを参考にして設定した。

○粒度分布

Clay: 38.4%, Silt: 21.5%, Stones(砂): 40.1%

○水分保持特性

Lower Limit: 0.154, Drained Upper Limit: 0.234, Saturation: 0.275

Bulk density 1.34[g/cm³]

飽和透水係数: 0.23 [cm/hr]

Root growth factor: 1.0

○その他

Runoff Curve Number: 81

Albedo: 0.09

Drainage Rate: 0.4

(3) 作付け

作付方法は、SAPROF FR の Annex 3-9 Present Farming Practice の情報に基づいて設定した。

作付日: 8月5日 (Short Rain Season)、12月19日 (Long Rain Season)

作付密度: 50 plants/m²

萌芽時の作物密度: 25 plants/m²

作付間隔: 25cm

作付深度: 2cm

育苗期間: 30日

田植え時の株あたりの苗数: 3 plants/hill

育苗時の気温: 25°C

表 5-24 2008/2009 年の実績作付スケジュール(SAPROF FR, Table 3.4.2 より)

Group	Area (ac)	Rotavation	Nursery Seeding	Transplanting	Chemical Spray	Fertilizer Application (Top dressing)	Harvesting	
1	Group 1	8,772	April 1- May 19	July 5	August 5	Aug., 20	Sept., 9	Dec., 1 '08
2	Group 2	5,135	May 20-June 16	July 18	August 19	Sept., 3	Sept., 29	Dec., 20-'09
3	Group 3	4,444	Oct., 21-Nov 3	Nov 14	Dec 19	Jan., 10-09	Feb., 10-09	March 1-'09
4	Total	18,351						

Source: Annual Cropping Program in MIS Office

Remarks: The figure of the area is not as exactly same as that in other tables because of the existence of several data in the MIS office.

(4) 灌漑用水

DSSAT には灌漑水量を、土壌水分見合いで自動的に補給する計算機能がある。本検討では 30 年間の計算を行うが、各年の灌漑スケジュールは分からないため、自動的に水を補給する計算モードを利用することとした。

- ① 補給開始：作付後、表層から 10cm までの深さの表層土壌の水分量が飽和に対して<X>% まで低下 (<X>はキャリブレーション対象とした)
- ② 補給方法：1 cm の水位を保つよう (Constant flood depth = 1 cm) 補給

(5) 化学肥料の施肥量とタイミング

施肥は、SAPROF 調査結果に基づき、以下のように設定した。

0 DAP TSP を 125 kg/ha

0 DAP AS を 125 kg/ha

30 DAP AS を 125 kg/ha

ここで、

DAP: Days After Planting 作付け後の日数

AS: Ammonium sulfate 硫酸アンモニウム

TSP: Triple super phosphate 重過リン酸石灰

(6) 有機肥料

これに関する情報は、参照しているものから得られない。DSSAT に付属しているサンプルデータを参考に、また、MWEA では、Ratoon の収穫などが行われていることから、土壌内に前期作物の残りが 500kg/ha 残っていることとした。

5.4.2.3 再現計算結果

小雨季、大雨季の稲作について上述の設定条件による DSSAT でのシミュレーションを行った。

(1) 作付日に対する収量の感度分析

作付日はユニットごと、また年によっても異なり、実際の個別の状況は分からない。そこで、再現計算では作付日を1つの代表日に設定して計算を行うこととした。このように作付日の精度は低いため、作付日によって DSSAT で評価される収量が大きく変動するような場合は問題である。そこで、作付日を変えてもある程度安定した収量が得られるか確認するため、作付日に対する収量の感度分析を行った。

分析の結果を表 5-25、図 5-26 に示す。作付日に対して極端に収量が大きく変化することはなく、DSSAT により安定した収量評価を行うことができていることを確認できた。

表 5-25 作付日に対するコメ収量の感度分析

年度	Reference		Simulation				
	Total (KNBS)	SR, Main crop Yield	SR 7/20	SR 7/25	SR 7/30	SR 8/5	SR 8/10
	kg/ha	kg/ha	kg/ha	kg/ha	kg/ha	kg/ha	kg/ha
Ratio to total (Main + Ratoon) unit yield		0.7					
Ratio to annual unit yield (SR+LR)		1.12					
2006/07	6180	4845	3058	3117	3635	4201	3776
2007/08	4940	3873	4461	5054	4838	4873	4682
2008/09	4360	3418	3867	3354	3798	3646	4115
2009/10	4940	3873	2166	1833	2137	2470	3084
2010/11	5080	3983	3251	3587	4129	4154	4431
平均	5100	3998	3361	3389	3707	3869	4018

補足1: Total: 年収量、SR: 短雨季収量、LR: 長雨季収量

補足2: ケニアにおける年度の始まりは7月。2008/09はJuly 2008 - June 2009の意味。

補足3: Main cropとRatoonおよびSRとLRの収量比は、SAPROF調査による2008/09年収量実績から評価した固定値を用いた。

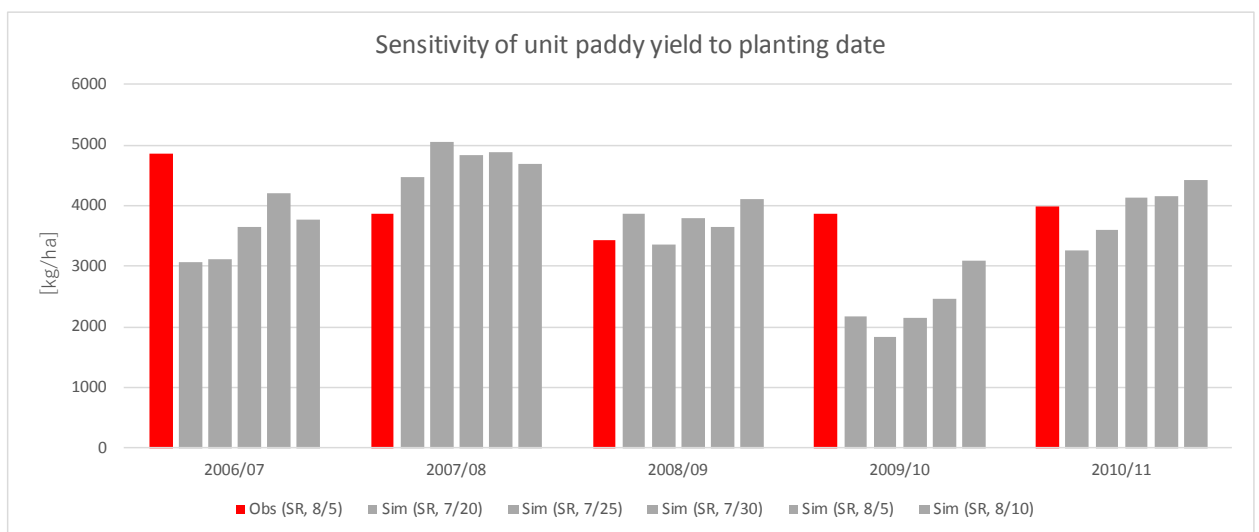


図 5-26 作付日に対するコメ収量の感度分析

(2) 灌漑水量に対する収量の感度分析

灌漑補給量を増やすほど常に土壌水分が保たれるため、作物の水ストレスが減り収量は増える。DSSAT のキャリブレーションでは、主にこの灌漑水量を変化させることで収量を調節した。

DSSAT における灌漑補給では、灌漑期間を指定して与える機能に加え、自動補給モードが用意されている。自動補給モードでは、補給を開始するトリガーが土壌水分量となっており、土壌水分量の値がある閾値を下回ると補給が開始される。本検討ではこの自動補給モードに設定し、灌漑開始の閾値を変化させることで収量を調節した。

分析の結果を表 5-26 および図 5-27 に示す。閾値が大きいほど収量が増大する。実績と比較すると、閾値 20%が最も近い値となった。

表 5-26 灌漑水量に対するコメ収量の感度分析

年度	Reference		Simulation				
	Total (KNBS)	SR, Main crop Yield	SR 10-100%	SR 20-100%	SR 40-100%	SR 60-100%	SR 80-100%
	kg/ha	kg/ha	kg/ha	kg/ha	kg/ha	kg/ha	kg/ha
Ratio to total (Main + Ratoon) unit yield		0.7					
Ratio to annual unit yield (SR+LR)		1.12					
2006/07	6180	4845	2581	4201	5435	6233	6684
2007/08	4940	3873	3887	4873	5822	6506	7250
2008/09	4360	3418	2173	3646	5705	6899	7319
2009/10	4940	3873	1426	2470	4317	4942	6177
2010/11	5080	3983	1616	4154	5220	5890	6612
平均	5100	3998	2337	4154	5300	6094	6808

補足1: Total: 年収量、SR: 短雨季収量、LR: 長雨季収量

補足2: ケニアにおける年度の始まりは7月。2008/09はJuly 2008 - June 2009の意味。

補足3: Main cropとRatoonおよびSRとLRの収量比は、SAPROF調査による2008/09年収量実績から評価した固定値を用いた。

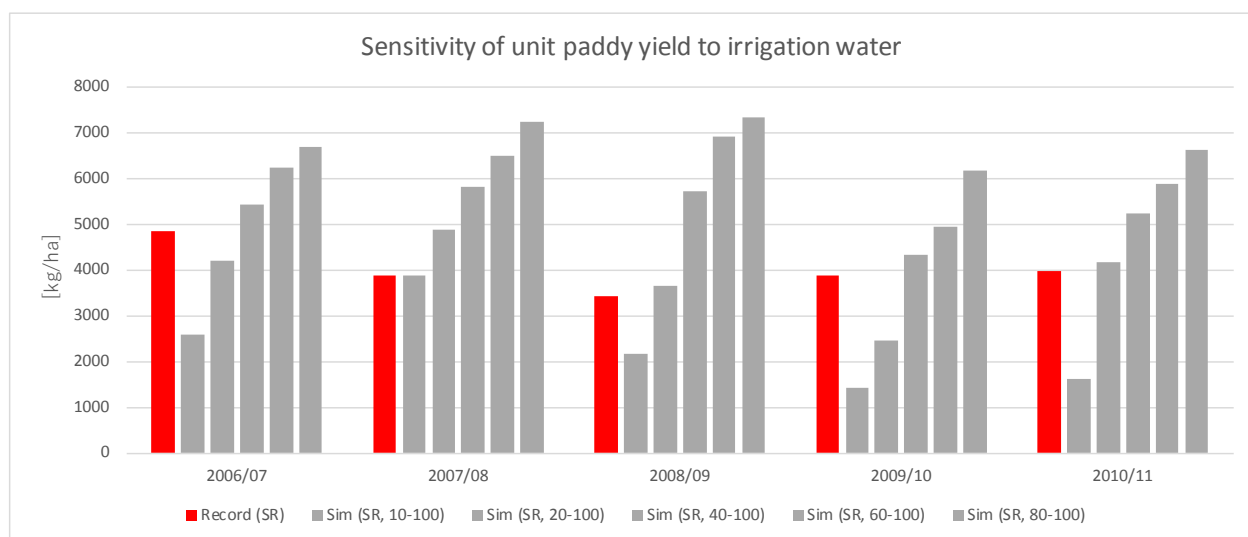


図 5-27 灌漑水量に対するコメ収量の感度分析

(3) 再現計算の結果

設定した条件のもとで、小雨季および大雨季の稲作についてのキャリブレーションを行った。解析期間は実績値の得られる 2006/07 年から 2010/11 年までである。

上述したように、キャリブレーションでは灌漑補給量に関するパラメータとして、補給開始となる土壌水分量の閾値により収量を調整した。なお、実際の収量には営農方法や灌漑方法、疫病など、モデル上での表現が困難な複数の要因が影響していることから、厳密に年々変動まで合わせることは難しい。従い、ここでは、5 年間全体の平均や年ごとのばらつきの程度に着目し、平均的にあっていることを確認することに留めた。

再現計算の結果を表 5-27、図 5-28 に示す。小雨季、大雨季の何れも、閾値を 20%に設定することで実績の収量と近い値が得られた。

表 5-27 コメ収量の再現計算の結果

Year	Reference			Simulation	
	Total (KNBS)	SR, Main crop Yield	LR, Main crop Yield	SR, Main crop Yield	LR, Main crop Yield
	kg/ha	kg/ha	kg/ha	kg/ha	kg/ha
Ratio to total (Main + Ratoon) unit yield		0.7	0.84		
Ratio to annual unit yield (SR+LR)		1.12	0.63		
2006/07	6180	4845	3270	4201	2839
2007/08	4940	3873	2614	4873	2138
2008/09	4360	3418	2307	3646	1976
2009/10	4940	3873	2614	2470	3661
2010/11	5080	3983	2688	4154	
平均値	5100	3998	2699	3869	2654

補足1: Total: 年収量, SR: 短雨季収量, LR: 長雨季収量

補足2: ケニアにおける年度の始まりは7月。2008/09はJuly 2008 - June 2009の意味。

補足3: Main cropとRatoonおよびSRとLRの単収比は、SAPROF調査による2008/09年収量実績から評価した固定値を用いた。

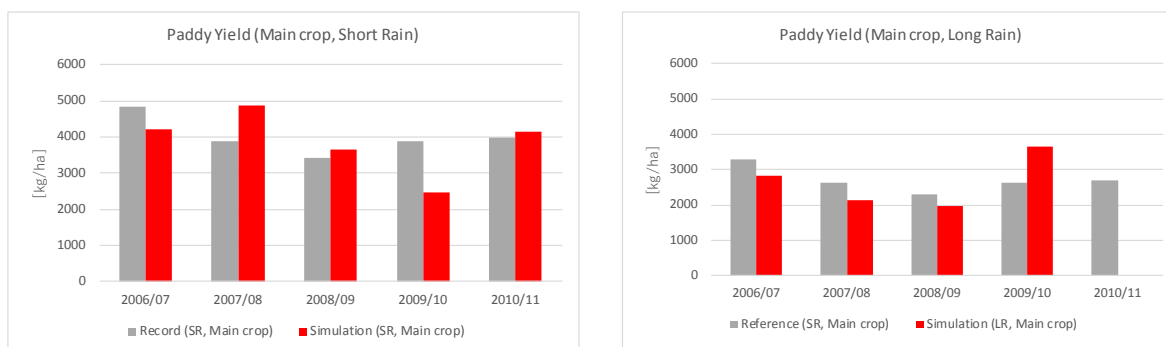


図 5-28 コメ収量の再現計算の結果（左：小雨季、右：大雨季）

(4) 事業実施後に期待される収量の再現

事業により灌漑設備が整備されることにより作物の単収も増加することが期待される。事業実施後に期待される収量については、SAPROFにより表 5-28 のように調査結果がまとめられている。これは、MIAD (Mwea Irrigation Agricultural Development Centre) における試験値等を参考にして評価されたものである。

本検討では、事業実施後の単収については、SAPROF 調査値に近い値となるよう DSSAT の灌漑補給量を増やすことで評価した。感度分析の結果、事業実施後の灌漑補給量の閾値は 60%とするものとした。

表 5-28 SAPROF で評価された現況及び将来の単収

Table 4.2.5 Anticipated Yield of Proposed Crops

Crop	Present Yield (ton/ha)	Anticipated Yield (ton/ha)
SR Paddy (Pishori)	3.9	5.5
Ratoon (Pishori)	1.4	2.5
LR Paddy (Pishori)	2.7	5.5
LR NERICA	3.0	4.2
Maize	2.5	3.0
Green Gram	0.9	1.0
French Beans	5.0	6.5
Soybeans	1.5	2.0
Tomato	9.0	10.0
Onion	5.0	6.0

Source: SAPROF Team

(5) Nerica および Ratoon 収量評価のための単収比

上述したように、Nerica 米および Ratoon 収量については、DSSAT での評価が困難である。従い、Basmati 米に対する単収比を元に評価するものとした。単収比の評価結果を以下に示す。

<事業なしの場合>

$$\text{SR Basmati Ratoon (1.7) / SR Basmati Main (3.9) = 0.44}$$

$$\text{LR Basmati Ratoon (0.50) / LR Basmati Main (2.7) = 0.19}$$

$$\text{LR Nerica (3.0) / SR Basmati Main (3.9) = 0.77}$$

<事業ありの場合>

$$\text{SR Basmati Ratoon (2.5) / SR Basmati Main (5.5) = 0.45}$$

$$\text{LR Nerica (4.2) / SR Basmati Main (5.5) = 0.76}$$

5.4.2.4 GCM データでのコメ収量評価

バイアス補正された GCM の気象変数 (降水量、日最高気温、日最低気温、日射量、相対湿度) を DSSAT に入力して将来のコメ収量を評価した。

(1) 長期収量評価結果

各気候シナリオについて、DSSAT で 30 年間の長期計算を行った。小雨季と大雨季とで作付日等の計算条件が異なるためそれぞれ別々に計算した。さらに、事業の有無によっても、灌漑補給能力が変わることから、灌漑補給条件を変えて計算を行っている。

計算結果を図 5-29、図 5-30 に示す。事業を実施することにより、用水補給量が増すため、実施しない場合に比べて単収は大きく向上している。また、気候シナリオ別に比較すると、何れのシナリオにおいても、コメの単収は現況よりも減少する傾向を示している。

減少の程度として、小雨季についてみると、減少幅は事業の有無で同程度だが、減少率としては事業を実施した場合のほうが小さい。大雨季に関しては、事業なしの場合にはもともとの単収が非常に小さいため減り幅も顕著ではない。

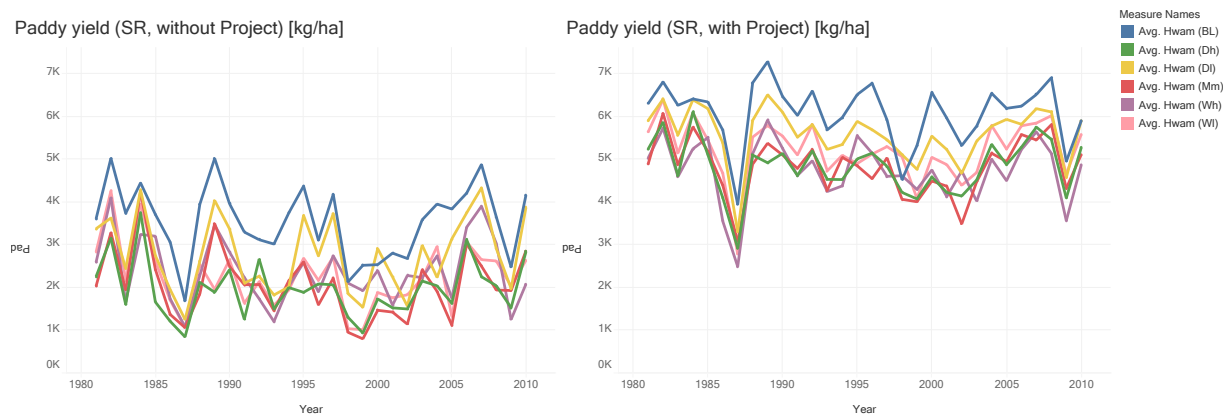


図 5-29 各気候シナリオでの小雨季のコメ収量（モミ単収）の DSSAT 計算結果（左：事業なし（用水補給不足）、右：事業あり（用水補給増加））

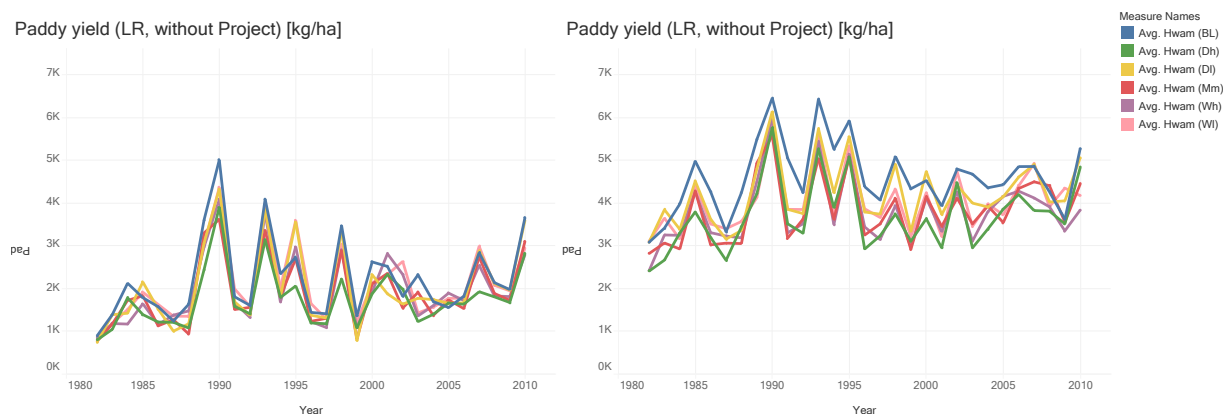


図 5-30 各気候シナリオでの大雨季のコメ収量（モミ単収）の DSSAT 計算結果（左：事業なし（用水補給不足）、右：事業あり（用水補給増加））

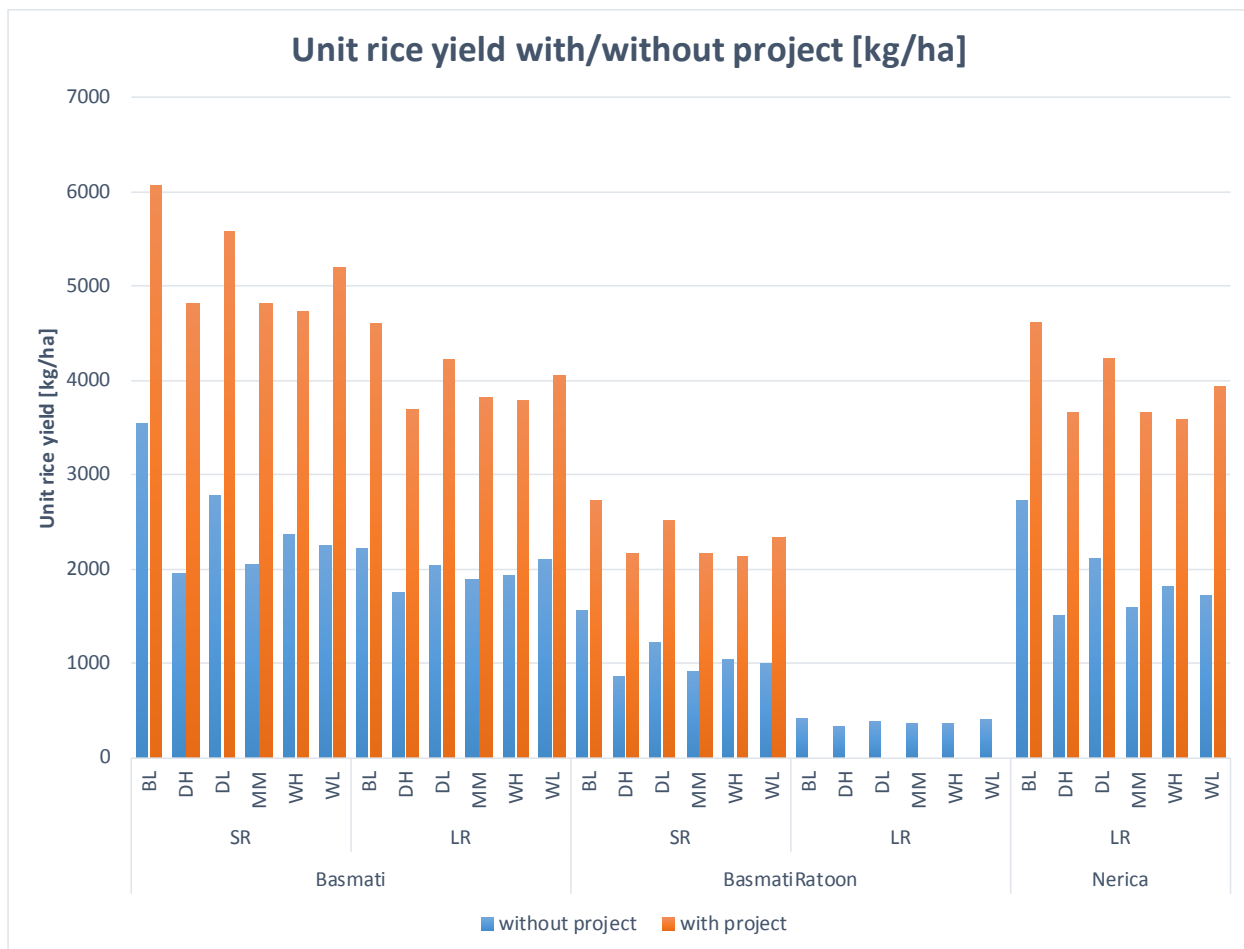


図 5-31 DSSAT で評価されたコメ（モミ）単収

(2) コメ収量への影響の要因分析

評価の結果、何れの気候シナリオにおいてもコメ収量は現況気候よりも著しく減少する結果となった。どのような気象要素による影響が大きいのかを調べるため、コメ収量と各気象要素との相関分析を行った。分析には現況気候での30年間の再現計算の各年の値を用いた(サンプル数30)。分析結果を図5-32に示す。

- 信頼度95%で統計的に有意な相関があるのは、生育日数(負の相関)、日最大気温(正)、降水量(正)、蒸発散量(正)、蒸散量(正)、土壌蒸発量(負)である。
- 生育日数と日最大気温とは強い正の相関がある(図5-33)。このことから、最高気温が上昇すると植物の成長速度が早まり収量の減少に繋がるというメカニズムが考えられる。
- 降水量については、降水量が減少することが水ストレスを高め、収量を減少させていると考えられる。
- 蒸発散量はイネからの蒸散と土壌からの蒸発両方の影響が含まれている。蒸散量は収量へ影響するのではなく収量変化の結果として変化するものである。土壌蒸発量については、蒸発が大きいとイネの水ストレスが増え収量が減少するものと考えられる。
- 日射量との相関は小さい。

Seasonal Paddy Yield vs. Seasonal Environmental Data (Planting to Harvest)

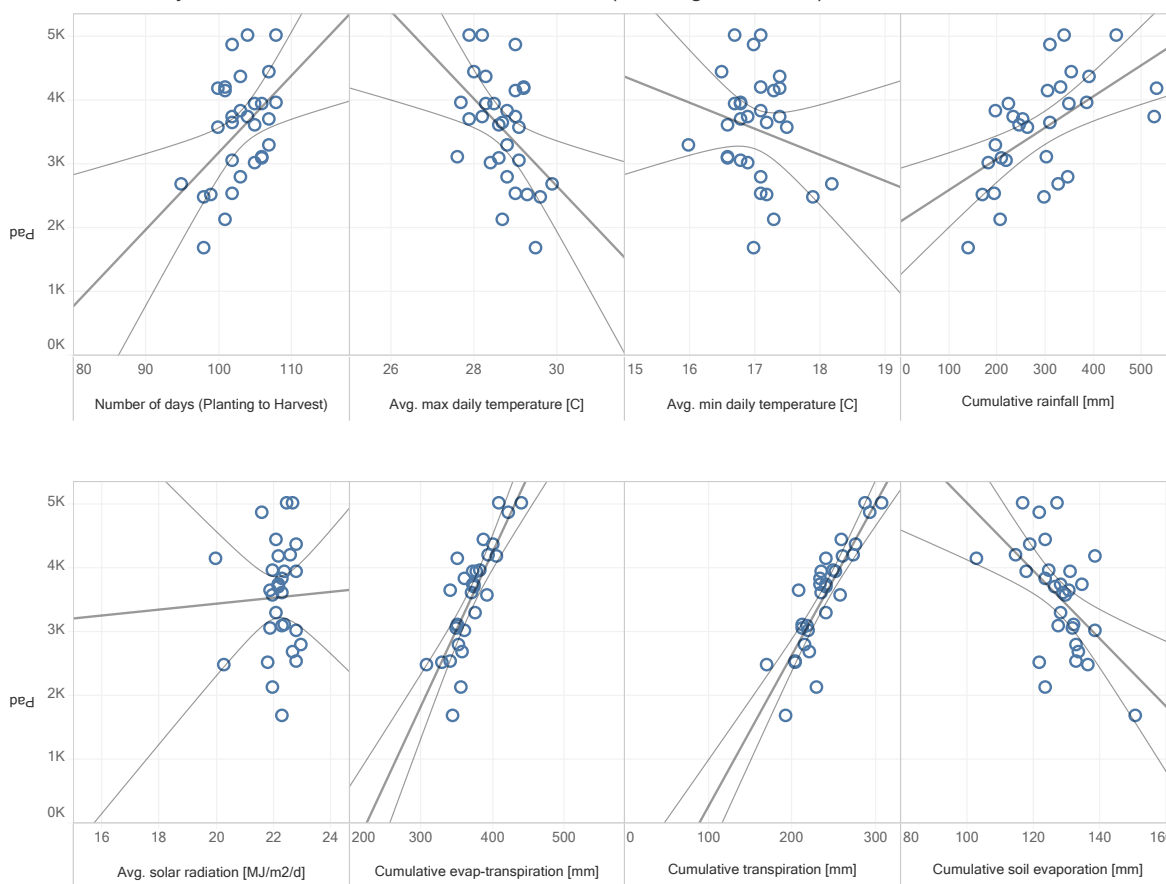


図5-32 コメ収量と複数の気象要素との相関分析(小雨季、事業なしのケースで評価)。点は30年(1981-2010年)の各年における生育期(作付から収穫まで)の平均値を表す。

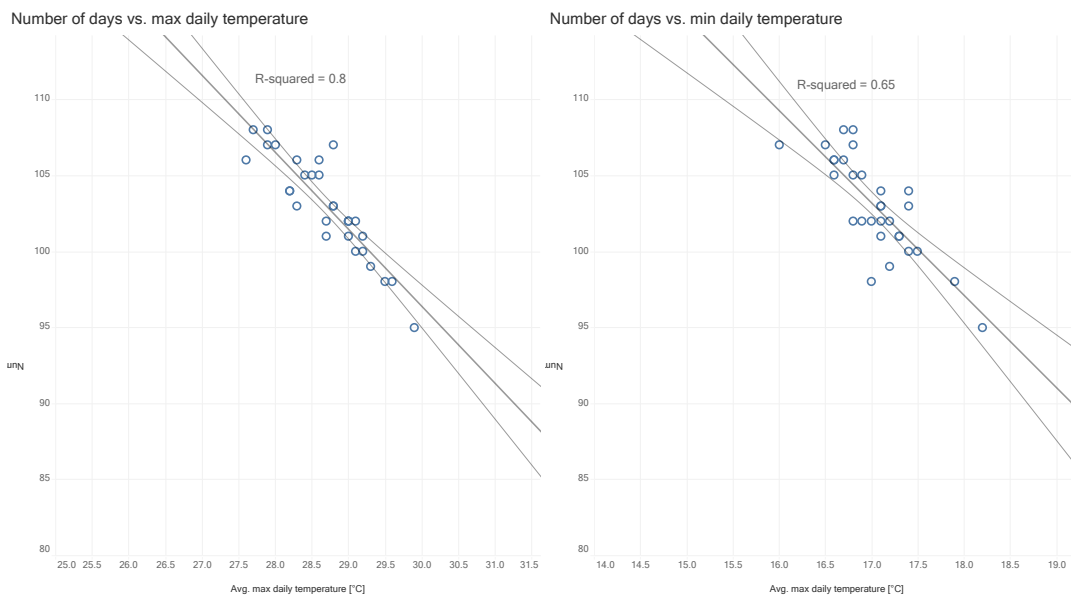


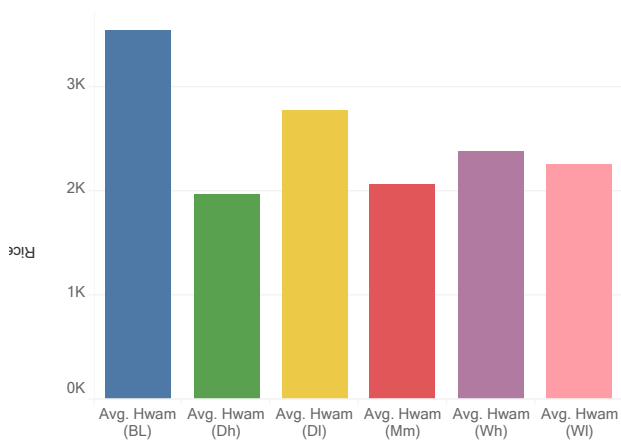
図 5-33 イネ生育日数（作付から収穫まで）と日最大・日最小気温の相関

気候シナリオ別に、収量と、収量との相関が大きかった気象要素（降水量、日最大気温、生育日数）を並べて示した結果を図 5-34 に示す。

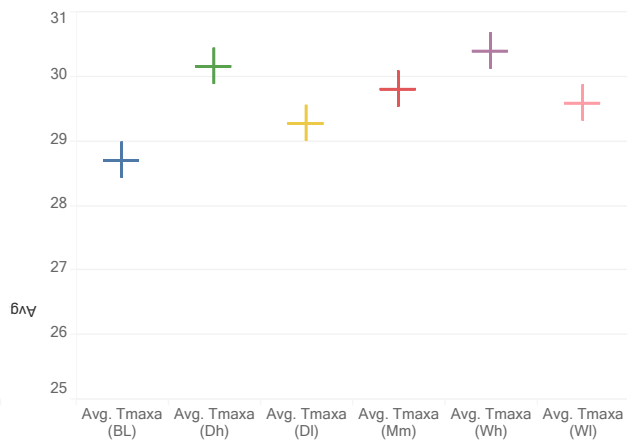
- 前述した相関分析結果と同様に、日最大気温の上昇が大きいシナリオほど生育日数の減少幅は大きく、収量の減少幅も大きい傾向がある。
- 降水量の減少幅が大きいシナリオ程、収量の減少幅も大きい傾向がある。

なお、各気候シナリオは、降水量と気温の変化の大きさから選定したものであるから、例えば MM シナリオの降水量、気温の変化幅は、5つの気候シナリオの中で中央に位置するはずであるが、本結果はそうになっていない。これは、本検討では年平均値ではなく、生育期間（作付から収穫まで）の平均値を用いているためである。

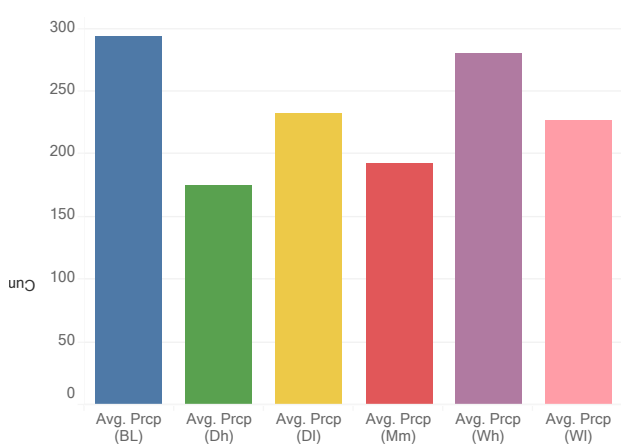
Seasonal paddy yield [kg/ha]



Seasonal avg. max daily temperature [°C]



Seasonal cumulative rainfall [mm]



Number of days (planting to harvest)

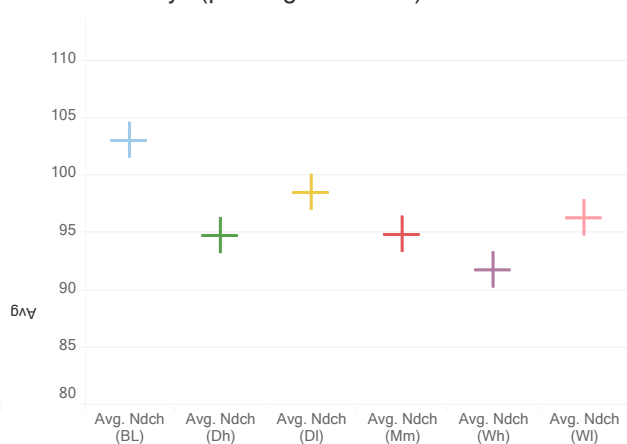


図 5-34 気候シナリオ別のコメ収量（左上）、降水量（左下）、日最高気温（右上）、日最低気温（右下）（小雨季、事業なしのケースで評価）

5.4.3. 畑作物収量の評価

DSSAT を用いて、畑作の収量評価を行った。

5.4.3.1 SAPROF での upland crop

SAPROF では、upland crop として、Maize (メイズ)、Green gram (緑豆)、French beans (いんげん豆)、Soy beans (大豆)、トマト、玉ねぎを対象としている。このうち、Green gram と玉ねぎは、DSSAT でモデル化されていない。

DSSAT では、詳細の品種ごとのモデルデータを用いるが、MWEA で実際に栽培されている品種の情報はなかった。

ここでは、DSSAT に用意されている品種モデルのうち、SAPROF で設定されている単位収量と近い値となるモデルを選択して用いることとした。

表 5-29 upland crop の作物ごとの収量評価方針

作物	収量評価方針
Maize	DSSAT のモデルを用いる。
Green Gram	DSSAT のモデルがない。モデルのある Maize, French beans, Soy beans, Tomato の DSSAT 収量予測での気候シナリオごとの変化比率を SAPROF で設定している単位収量に乗じて気候シナリオごとの平均収量とした。
French beans	DSSAT のモデルを用いる。
Soy beans	同上
Tomato	同上
Onion	DSSAT のモデルがないため、Green gram と同様とした。

5.4.3.2 基準収量

SAPROF での基準収量は、灌漑整備の有無に対応して設定されている。以下に、該当箇所の抜粋を示す。

(3) Anticipated Crop Production		
The average yields of major crops are presented in Table 4.2.5 for both current and future with-project conditions (refer to Sections 3.4.1 and 4.1.4).		
Table 4.2.5 Anticipated Yield of Proposed Crops		
Crop	Present Yield (ton/ha)	Anticipated Yield (ton/ha)
SR Paddy (Pishori)	3.9	5.5
Ratoon (Pishori)	1.4	2.5
LR Paddy (Pishori)	2.7	5.5
LR NERICA	3.0	4.2
Maize	2.5	3.0
Green Gram	0.9	1.0
French Beans	5.0	6.5
Soybeans	1.5	2.0
Tomato	9.0	10.0
Onion	5.0	6.0
Source: SAPROF Team		

5.4.3.3 作付面積

Upland crop の作付面積に対して品目ごとの面積比が設定されている。面積比は、灌漑プロジェクトの有無で変えている。

表 5-30 upland crop の作付面積の構成比と収量原単位

Crop	作付け面積の構成比		収量原単位 [kg/ha]	
	with Project	without Project	with Project	without Project
Nerica (upland)	0.1	0	4,200	3,000
Maize	0.1	0.5	3,000	2,500
Green Gram	0.2	0.15	1,000	875
French Bean	0.2	0.05	6,500	5,000
Soy bean	0.25	0.2	2,000	1,500
Tomato	0.1	0.05	10,000	9,000
Onion	0.05	0.05	6,000	5,000

また、プロジェクトケースごとの upland crop の作付面積は、表 5-31 に示したとおりである。表で ordinary とあるのは、灌漑施設や導水路の整備がされていない区画を意味する。また、effective とあるのは、灌漑プロジェクトにより整備され、表 5-30 での収量原単位のより大きい の収量原単位のより大きい 540 の収量原単位が適用される。

表 5-31 灌漑プロジェクトケースごとの upland crop 作付面積

		SR		LR	
		ordinary	effective	ordinary	effective
case 0	Namindi	0	0	0	0
	Thiba	300	0	300	0
	Link III	0	0	0	0
case 1	Namindi	0	300	0	1,400
	Thiba	0	200	0	5,000
	Link III	0	400	0	1,700
case 2	Namindi	0	300	0	100
	Thiba	0	200	0	1,700
	Link III	0	0	300	0
case 3	Namindi	0	300	0	1,400
	Thiba	0	200	0	5,000
	Link III	0	0	0	900

5.4.3.4 評価結果

Upland crop の品目ごとの収量予測結果を表 5-32 に示した。

表 5-32 upland crop の収量予測結果

unit: ton/year

project	clim	Maize	Soy bean	French Bean	Tomato	Green Gram	Onion
Case 0	BL	795	187	152	268	80	152
	DH	900	184	148	269	82	156
	DL	830	183	149	273	80	153
	MM	858	169	135	256	76	145
	WH	757	208	131	206	74	140
	WL	871	193	145	250	80	152
Case 1	BL	2,700	4,500	11,700	9,000	1,800	2,700
	DH	2,848	4,371	11,396	9,210	1,809	2,713
	DL	2,779	4,403	11,567	9,221	1,808	2,712
	MM	2,787	4,178	10,651	8,840	1,732	2,598
	WH	2,331	4,464	10,513	7,213	1,606	2,410
	WL	2,755	4,442	11,344	8,681	1,774	2,661
Case 2	BL	1,090	1,248	3,077	2,443	502	769
	DH	1,177	1,209	2,985	2,487	503	771
	DL	1,127	1,220	3,039	2,500	504	771
	MM	1,144	1,157	2,801	2,396	483	739
	WH	976	1,248	2,759	1,951	448	688
	WL	1,143	1,237	2,985	2,354	495	759
Case 3	BL	2,363	3,938	10,239	7,877	1,575	2,363
	DH	2,494	3,829	9,982	8,068	1,584	2,376
	DL	2,434	3,856	10,130	8,077	1,583	2,375
	MM	2,440	3,657	9,322	7,738	1,516	2,274
	WH	2,031	3,888	9,156	6,283	1,399	2,099
	WL	2,410	3,886	9,922	7,594	1,552	2,328

6. シナリオシミュレーションの実施と評価の実施

設定した気候変動シナリオ（5 ケース）と社会シナリオ（27 ケース）を組み合わせた全ケース（135 ケース）について、シナリオシミュレーションを実施し、設定した各指標を評価した。また、現況から将来の変化で事業の効果を評価することを考え、現況気候が継続するシナリオについても1 ケース実施した。以上をまとめると、全合計で136 ケースについてのシナリオシミュレーションを実施した。

6.1. 長期流出解析・収量予測解析の実施

気候変動下の流況の変化を流出解析モデルによって評価し、作物収量の変化を作物収量予測モデルで評価した。将来の評価ケースは、気候変動シナリオ5 ケース×事業オプション3 ケースの15 ケースとし、1 ケースの計算期間は30 年間とした。また、現況気候が継続するシナリオでの評価を1 ケース×事業オプション3 ケースの3 ケース実施した。以上、全合計で18 ケースである。

6.1.1. 長期流出解析の実施

現在気候での解析結果を「5.2.4 キャリブレーション」および「5.2.5 将来気候プロジェクションデータでの流出解析」に、将来気候での解析結果を「5.2.5 将来気候プロジェクションデータでの流出解析」に示した。

6.1.2. 作物収量計算の実施

作物収量は、DSSAT で評価した単収に、作付面積と充足率（収穫日50 日前から15 日前に関連する旬の水充足率（＝供給量/水需要量））を乗じて評価した。厳密には充足率と収量との関係は線形とは限らないが、詳細な評価は難しいため、本検討では簡易的に線形関係を仮定するものとした。

DSSAT による単収評価については「5.4 作物収量予測モデルの構築」に、作付面積については「5.3.3 水収支モデルのための基礎データ整理」に、充足率の評価については「5.3.4 水収支解析」に示した。

6.2. 評価の実施と整理

実施したシミュレーションの全ての結果について、設定した指標で、事業オプション（3ケース）を評価した。多数の評価結果が一覧でき、因果関係や問題点、事業の効果がどのような条件下ならば発揮されるのかなど、RDMの議論を円滑に進めることを念頭に図表を整理した。

6.2.1. 費用便益分析の実施

「4.4 評価指標の検討」において設定した条件にて費用便益分析を行った。

6.2.1.1 設定条件の整理

分析のために必要となる単価、生産コスト、面積等を以下に示す。基本的には SAPROF 調査による値を参照している。

単価

コメ単価は社会シナリオの設定において作成した3つのシナリオを設定した。野菜の単価は SAPROF 調査結果を参照した。野菜に関しては、事業実施の有無で単価は一定である。ただし作物の種類別の作付割合を変えている。

表 6-1 将来のコメ（モミ）の農家庭先価格（再掲）

		unmilled rice Ksh/kg			
		BL	priH	priM	priL
Percentage Change			0%	-16.589%	-22.803%
Economic Price ¹⁾	Basmati	28.483	28.483	23.758	21.988
	Ratoon	28.483	28.483	23.758	21.988
	Nerica ³⁾	21.362	21.362	17.819	16.491
Financial Price ²⁾	Basmati	45.000	45.000	37.535	34.739
	Ratoon	33.000	33.000	27.526	25.475
	Nerica ³⁾	33.000	33.000	27.526	25.475

Remarks:

- 1) Projected 2025 World Price (in 2009 price), estimated based on the WB Commodity Markets
- 2) As of December 2008 prices
- 3) Price of Nerica was adjusted by rate between present price of Nerica and Basmati (=0.75)

表 6-2 畑作物の単価および作付割合（事業実施の有無で単価は一定）

Upland Crops

	without Project	with Project	Economic Price	Financial Price
	Combination	Combination		
Nerica	0%	10%	21	33
Maize	50%	10%	33	25
Green Gram	15%	20%	67	70
French Bean	5%	20%	30	31
Soy bean	20%	25%	39	60
Tomato	5%	10%	17	18
Onion	5%	5%	36	37
	100%	100%		

based on SAPROF

生産コスト

単位重量あたりの作物生産コストは、SAPROF における算定値を参照した。コメに関しては、種類や栽培方法（バスマティ米、株出し、ネリカ米）によって異なる。灌漑整備状況によってもポンプ燃料費等が異なってくるため、事業実施の有無に応じてコストは異なる。

表 6-3 コメ（モミ）の単位重量あたりの生産コスト

Unit Production Cost [Ksh/ha]

crops	area	project status	Unit Production Cost [Ksh/ha]	
			Economic	Financial
BasmatiMain	MIS area	without Project	61,491.5	103,185
BasmatiRatoon	MIS area	without Project	6,672.0	12,900
Nerica	MIS area	without Project	28,115.0	56,325
BasmatiMain	outgrowers area	without Project	57,891.5	99,435
BasmatiRatoon	outgrowers area	without Project	6,672.0	12,900
Nerica	outgrowers area	without Project	-	-
BasmatiMain	MIS area	with Project	63,192.5	104,950
BasmatiRatoon	MIS area	with Project	10,422.0	24,400
Nerica	MIS area	with Project	31,313.0	99,050
BasmatiMain	outgrowers area	with Project	61,491.5	103,185
BasmatiRatoon	outgrowers area	with Project	6,672.0	12,900
Nerica	outgrowers area	with Project	28,115.0	56,325

based on SAPROF

表 6-4 畑作物の単位重量あたりの生産コスト

Unit Production Cost [Ksh/ha]

Crops	Project Status	Unit Production Cost (Economic)	Unit Production Cost (Financial)
NERICA (upland)	without Project	28,115	56,325
Maize	without Project	27,637	48,165
Green Gram	without Project	27,877	45,095
French Bean/ha	without Project	62,859	99,295
Soy bean	without Project	32,760	55,785
Tomato	without Project	63,885	121,000
Onion	without Project	70,410	122,875
mix (weighted mean)	without Project	34,409	59,162
NERICA (upland)	with Project	31,313	54,910
Maize	with Project	32,102	50,335
Green Gram	with Project	30,024	44,460
French Bean/ha	with Project	60,309	95,120
Soy bean	with Project	34,800	54,890
Tomato	with Project	67,485	128,000
Onion	with Project	74,010	130,875
mix (weighted mean)	with Project	40,426	66,016

based on SAPROF

面積

作物別、ケース別、季節別の作付面積を整理すると以下のようになる。

表 6-5 灌漑稲作の面積

Cropping Area [ha]				
project	scheme	season	crops	area [ha]
case0	MIS area	SR	BasmatiMain	5268
case0	MIS area	SR	BasmatiRatoon	5268
case0	MIS area	LR	BasmatiMain	759
case0	MIS area	LR	BasmatiRatoon	759
case0	MIS area	LR	Nerica	0
case0	outgrowers area	SR	BasmatiMain	270
case0	outgrowers area	SR	BasmatiRatoon	270
case0	outgrowers area	LR	BasmatiMain	1055
case0	outgrowers area	LR	BasmatiRatoon	1055
case0	outgrowers area	LR	Nerica	0
case1	MIS area	SR	BasmatiMain	8100
case1	MIS area	SR	BasmatiRatoon	8100
case1	MIS area	LR	BasmatiMain	0
case1	MIS area	LR	BasmatiRatoon	0
case1	MIS area	LR	Nerica	810
case1	outgrowers area	SR	BasmatiMain	0
case1	outgrowers area	SR	BasmatiRatoon	0
case1	outgrowers area	LR	BasmatiMain	0
case1	outgrowers area	LR	BasmatiRatoon	0
case1	outgrowers area	LR	Nerica	0
case2	MIS area	SR	BasmatiMain	8100
case2	MIS area	SR	BasmatiRatoon	0
case2	MIS area	LR	BasmatiMain	3600
case2	MIS area	LR	BasmatiRatoon	0
case2	MIS area	LR	Nerica	0
case2	outgrowers area	SR	BasmatiMain	0
case2	outgrowers area	SR	BasmatiRatoon	0
case2	outgrowers area	LR	BasmatiMain	0
case2	outgrowers area	LR	BasmatiRatoon	0
case2	outgrowers area	LR	Nerica	0
case3	MIS area	SR	BasmatiMain	6780
case3	MIS area	SR	BasmatiRatoon	6780
case3	MIS area	LR	BasmatiMain	0
case3	MIS area	LR	BasmatiRatoon	0
case3	MIS area	LR	Nerica	640
case3	outgrowers area	SR	BasmatiMain	900
case3	outgrowers area	SR	BasmatiRatoon	900
case3	outgrowers area	LR	BasmatiMain	0
case3	outgrowers area	LR	BasmatiRatoon	0
case3	outgrowers area	LR	Nerica	90

based on SAPROF

表 6-6 畑地の面積

Area for upland crops [ha]

		SR	LR	Total	case
Present				600	case0
CP1	Plan 1	500	1800	2300	
CP1	Plan 2	500	1800	2300	
CP1	Plan 3	500	2100	2600	case2
CP3	Plan 1	500	7300	7800	
CP3	Plan 2	500	7300	7800	case3
CP3	Plan 3	900	8100	9000	case1

Source: SAPROF Table 4.2.4 (In this study, MIAD (90ha) is included)

現況の Thiba ダムサイトにおける農業収益

Thiba ダムサイトにおける農業収益は SAPROF による算定によると、年間約 256 万 KSh となっている。

表 6-7 現状の Thiba ダムサイトにおける農業収益

<u>Dam Site benefit foregone by constructing dam</u>	
Unit net revenue	
	21,309 Ksh/ha
	Group III not paying O&M fee
<hr/>	
Area	
	120 ha
	Intensity 100%
	60% of dam site
<hr/>	
Total revenue	
	2,557,020 Ksh/year
<hr/>	

維持管理費

設備の維持管理費は、事業を実施した場合としない場合とで、以下のように計上されている。

表 6-8 設備の維持管理費（SAPROF より抜粋）

Financial and Economic Annual Administration and O&M Cost					
	Without Project		With Project		Unit Ksh 1,000
		Detail Design Time	Construction Time	O&M Period	
Administration Cost					
Salaries and Wages	30,637	39,137	41,137	36,637	
Office Expenses	12,478	15,939	16,754	14,921	
sub-total	43,115	55,076	57,891	51,558	
Operation and Maintenance Cost					
Heavy Equipment, Farm Machinery and Vehicles	8,025	8,025	8,025	11,852	
Existing Irrigation Facilities	7,440	7,440	7,440	7,440	
Thiba Dam and Mutithi Extension	0	0	0	3,548	
sub-total	15,465	15,465	15,465	22,840	
Dredging Work at Sand Trap Dam					
Dredging Work at Sand Trap Dam				11,820	
Total	58,580	70,541	73,356	86,218	

*Financial cost was converted to economic cost by multiplying SCF 0.96.

プロジェクトによる利益の評価式

プロジェクトによる利益は以下の式により算定する。

$$\text{Increment} = (\text{Benefit with project}) - (\text{Benefit without project}) - (\text{Dam site Benefit})$$

6.2.1.2 算定例

費用便益分析の算定例を示す。気候シナリオおよびコメ価格シナリオを BL とした場合の case1~case3 での算定例を、表 6-9~表 6-11 に示した。

表 6-9 費用便益分析の算定例 (case1, climate scenario=BL, price scenario=BL)

Economic Cost and Benefits

climate scenario = 'BL' price scenario = 'BL'

case1

CP3

Plan III

Unit: Ksh.million

Year	Const Cost	O&M Cost	Replacement	Total Cost	Benefit	Balance
1 2011	216	11		227	0	-227
2 2012	6	11		18	0	-18
3 2013	1,801	14		1,815	0	-1,815
4 2014	2,972	14		2,986	0	-2,986
5 2015	2,045	14		2,059	0	-2,059
6 2016	1,090	14		1,104	0	-1,104
7 2017	31	27		57	319	262
8 2018		27		27	638	611
9 2019		27		27	957	930
10 2020		27		27	1,304	1,278
11 2021		27	5	32	1,377	1,345
12 2022		27		27	1,449	1,423
13 2023		27		27	1,449	1,423
14 2024		27		27	1,449	1,423
15 2025		27		27	1,449	1,423
16 2026		27	278	305	1,449	1,145
17 2027		27		27	1,449	1,423
18 2028		27		27	1,449	1,423
19 2029		27		27	1,449	1,423
20 2030		27		27	1,449	1,423
21 2031		27	5	32	1,449	1,418
22 2032		27		27	1,449	1,423
23 2033		27		27	1,449	1,423
24 2034		27		27	1,449	1,423
25 2035		27		27	1,449	1,423
26 2036		27	278	305	1,449	1,145
27 2037		27		27	1,449	1,423
28 2038		27		27	1,449	1,423
29 2039		27		27	1,449	1,423
30 2040		27		27	1,449	1,423
31 2041		27	484	511	1,449	939
32 2042		27		27	1,449	1,423
33 2043		27		27	1,449	1,423
34 2044		27		27	1,449	1,423
35 2045		27		27	1,449	1,423
36 2046		27	308	334	1,449	1,115
37 2047		27		27	1,449	1,423
38 2048		27		27	1,449	1,423
39 2049		27		27	1,449	1,423
40 2050		27		27	1,449	1,423
41 2051		27	5	32	1,449	1,418
42 2052		27		27	1,449	1,423
43 2053		27		27	1,449	1,423
44 2054		27		27	1,449	1,423
45 2055		27		27	1,449	1,423
46 2056		27	278	305	1,449	1,145
47 2057		27		27	1,449	1,423
48 2058		27		27	1,449	1,423
49 2059		27		27	1,449	1,423
50 2060		27		27	1,449	1,423

Benefit

After completion of dam construction

22 }
44 } paddy double crop for 4 years
66 }
90 }
95 } gradual increase for LR upland
100 }

8,161

Economic IRR 11.4%

Net Present Value at 10% Discount Rate			
Cost	Benefit	Balance	B/C
5,815	6,809	994	1.17

Ksh Million

表 6-10 費用便益分析の算定例 (case2, climate scenario=BL, price scenario=BL)

Economic Cost and Benefits

climate scenario = 'BL' price scenario = 'BL'

case2

CP1

Plan III

Unit: Ksh.million

Year	Const Cost	O&M Cost	Replacement	Total Cost	Benefit	Balance
1 2011	216	11		227	0	-227
2 2012	6	11		18	0	-18
3 2013	1,801	14		1,815	0	-1,815
4 2014	2,972	14		2,986	0	-2,986
5 2015	2,045	14		2,059	0	-2,059
6 2016	1,090	14		1,104	0	-1,104
7 2017	31	27		57	155	98
8 2018		27		27	310	283
9 2019		27		27	465	438
10 2020		27		27	634	607
11 2021		27	5	32	669	638
12 2022		27		27	704	678
13 2023		27		27	704	678
14 2024		27		27	704	678
15 2025		27		27	704	678
16 2026		27	278	305	704	400
17 2027		27		27	704	678
18 2028		27		27	704	678
19 2029		27		27	704	678
20 2030		27		27	704	678
21 2031		27	5	32	704	673
22 2032		27		27	704	678
23 2033		27		27	704	678
24 2034		27		27	704	678
25 2035		27		27	704	678
26 2036		27	278	305	704	400
27 2037		27		27	704	678
28 2038		27		27	704	678
29 2039		27		27	704	678
30 2040		27		27	704	678
31 2041		27	484	511	704	194
32 2042		27		27	704	678
33 2043		27		27	704	678
34 2044		27		27	704	678
35 2045		27		27	704	678
36 2046		27	308	334	704	370
37 2047		27		27	704	678
38 2048		27		27	704	678
39 2049		27		27	704	678
40 2050		27		27	704	678
41 2051		27	5	32	704	673
42 2052		27		27	704	678
43 2053		27		27	704	678
44 2054		27		27	704	678
45 2055		27		27	704	678
46 2056		27	278	305	704	400
47 2057		27		27	704	678
48 2058		27		27	704	678
49 2059		27		27	704	678
50 2060		27		27	704	678

Benefit

After completion of dam construction

22 }
 44 } paddy double crop for 4 years
 66 }
 90 }
 95 } gradual increase for LR upland
 100 }

8,161

Economic IRR 5.8%

Net Present Value at 10% Discount Rate				
Cost	Benefit	Balance	B/C	
5,815	3,309	-2,506	0.57	Ksh Million

表 6-11 費用便益分析の算定例 (case3, climate scenario=BL, price scenario=BL)

Economic Cost and Benefits

climate scenario = 'BL' price scenario = 'BL'

case3

CP3

Plan II

Unit: Ksh.million

Year	Const Cost	O&M Cost	Replace-ment	Total Cost	Benefit	Balance
1 2011	169	11		181	0	-181
2 2012	6	11		17	0	-17
3 2013	1,191	14		1,205	0	-1,205
4 2014	2,380	14		2,394	0	-2,394
5 2015	1,739	14		1,754	0	-1,754
6 2016	992	14		1,007	0	-1,007
7 2017	25	27		52	276	224
8 2018		27		27	551	525
9 2019		27		27	827	801
10 2020		27		27	1,128	1,102
11 2021		27	4	31	1,191	1,160
12 2022		27		27	1,253	1,227
13 2023		27		27	1,253	1,227
14 2024		27		27	1,253	1,227
15 2025		27		27	1,253	1,227
16 2026		27	277	304	1,253	950
17 2027		27		27	1,253	1,227
18 2028		27		27	1,253	1,227
19 2029		27		27	1,253	1,227
20 2030		27		27	1,253	1,227
21 2031		27	4	31	1,253	1,223
22 2032		27		27	1,253	1,227
23 2033		27		27	1,253	1,227
24 2034		27		27	1,253	1,227
25 2035		27		27	1,253	1,227
26 2036		27	277	304	1,253	950
27 2037		27		27	1,253	1,227
28 2038		27		27	1,253	1,227
29 2039		27		27	1,253	1,227
30 2040		27		27	1,253	1,227
31 2041		27	445	471	1,253	782
32 2042		27		27	1,253	1,227
33 2043		27		27	1,253	1,227
34 2044		27		27	1,253	1,227
35 2045		27		27	1,253	1,227
36 2046		27	307	333	1,253	920
37 2047		27		27	1,253	1,227
38 2048		27		27	1,253	1,227
39 2049		27		27	1,253	1,227
40 2050		27		27	1,253	1,227
41 2051		27	4	31	1,253	1,223
42 2052		27		27	1,253	1,227
43 2053		27		27	1,253	1,227
44 2054		27		27	1,253	1,227
45 2055		27		27	1,253	1,227
46 2056		27	277	304	1,253	950
47 2057		27		27	1,253	1,227
48 2058		27		27	1,253	1,227
49 2059		27		27	1,253	1,227
50 2060		27		27	1,253	1,227

6,503

Economic IRR 12.1%

Net Present Value at 10% Discount Rate			
Cost	Benefit	Balance	B/C
4,659	5,888	1,229	1.26

Ksh Million

Benefit

After completion of dam construction

22 }
44 } paddy double crop for 4 years
66 }
90 }
95 } gradual increase for LR upland
100 }

6.2.1.3 分析結果

すべてのシナリオのついて費用便益分析を行い、結果をボックスプロットで示した。ボックスプロットのばらつきは気候シナリオおよびコメ価格シナリオの違いを反映している。結果から言えることを以下に列挙する。

- case1 および case3 では、半数以上のシナリオで初期投資を回収できるが、一部のシナリオでは回収できない結果となっている。
- 割引率 10%では、初期投資が他の case よりも小さい case3 が最も回収効率が良い結果となっている。
- Case2 では、何れのシナリオにおいても初期投資を回収できない。Case2 は表作及び裏作の両方で稲作の実施を行うものであり、収益性の高い Ratoon や畑作を行わないことが指標値を下げる原因となっていると考えられる。

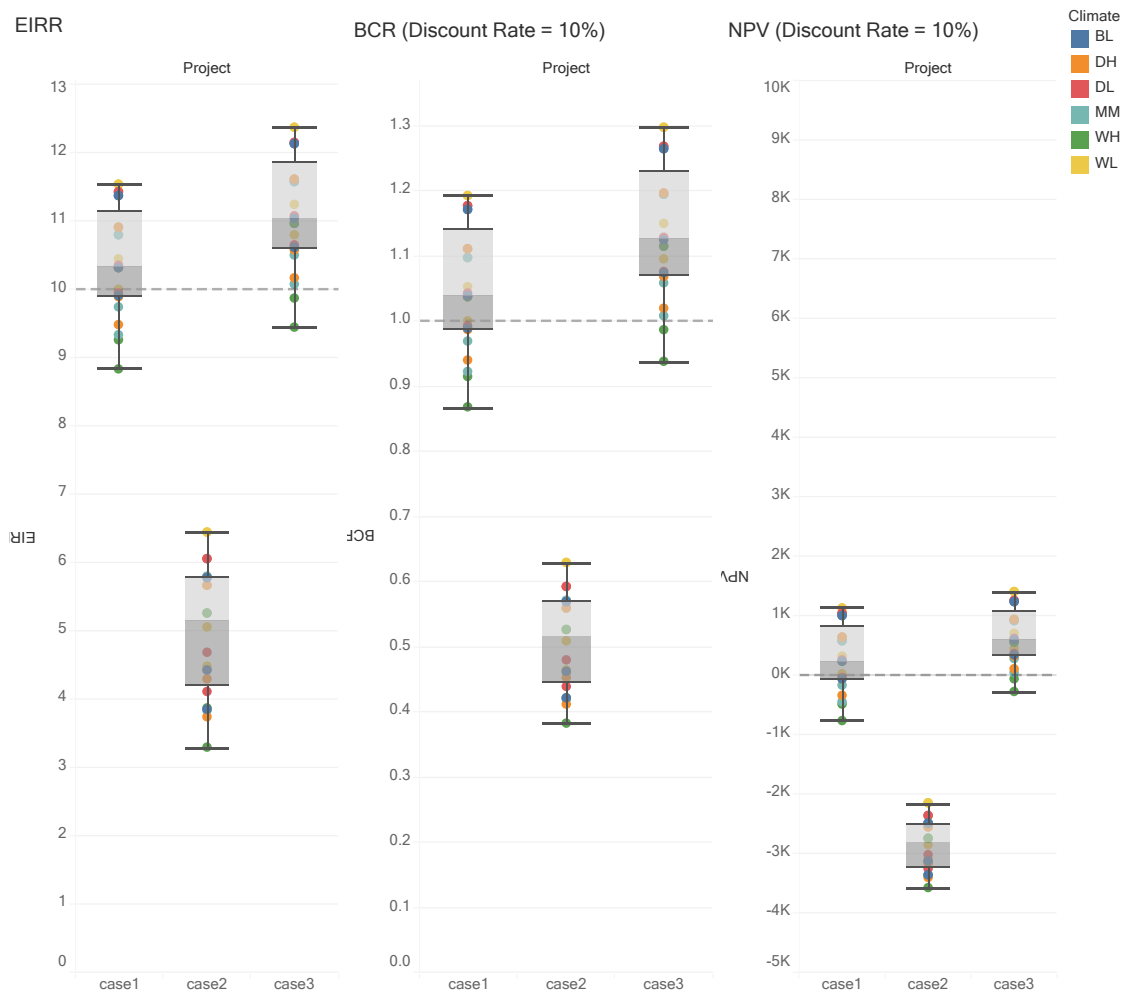


図 6-1 費用便益分析の結果（左から EIRR、BCR、NPV）

6.2.1.4 割引率での感度分析

割引率にも大きな不確実性がある。高い割引率は、現状の需要を満足することへの緊急性を現し、低い割引率は、将来の長い期間での事業投資への期待の大きさを現すとも言える。1つの割引率ではなく、複数の割引率で評価を行うことが重要である。本検討では、NPV について割引率による感度分析を行った。

結果を以下に示す。割引率による感度は大きく、順位も変化することが分かる。割引率が低い場合は年々の収益が高い case1 が有利である。割引率が高い場合は、初期投資の低い case3 が有利となる。

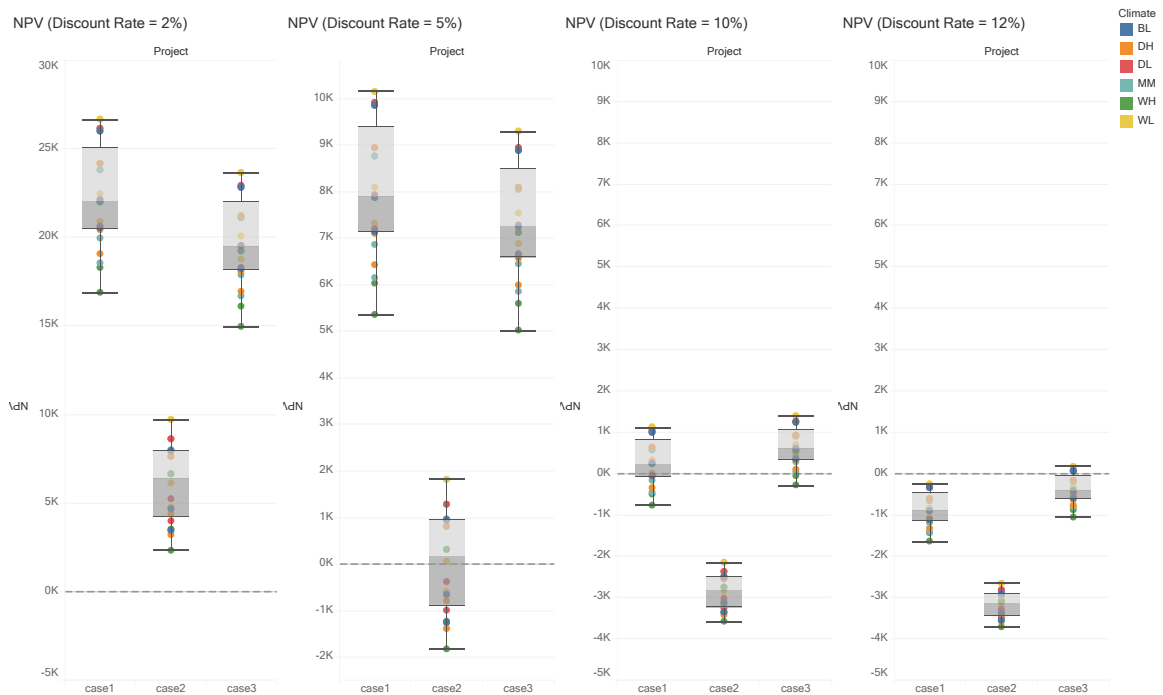


図 6-2 割引率での感度分析

6.2.2. 複数指標での評価

コメ収量、農業収益、コメ自給率、用水補給量に関する評価結果を図 6-3 に示す。事業オプション別にシナリオ間のばらつきをボックスプロットで示している。

以降で、変化率および変化量を評価しながら、結果について考察していく。

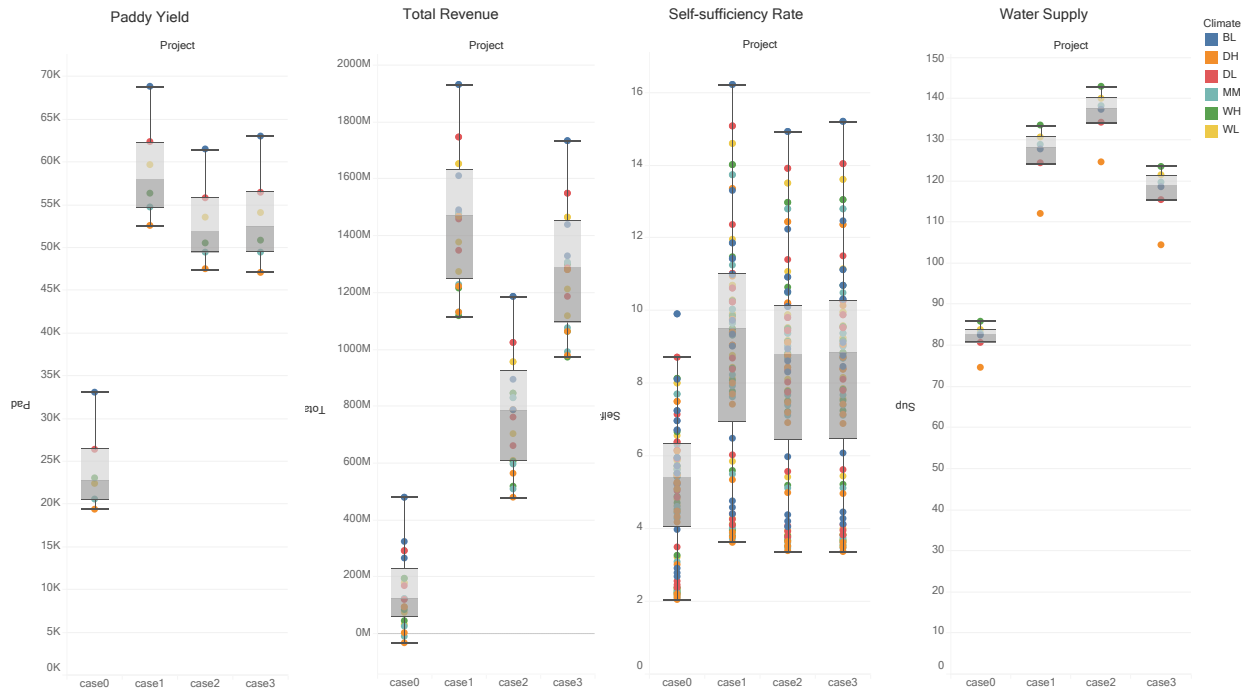


図 6-3 複数指標の評価結果（左からコメ収量、農業収益、コメ自給率、用水補給量）

6.2.2.1 気候変動影響の評価

全シナリオおよび対策オプションについて、気候シナリオを BL に固定したシナリオと比較することにより、気候変動の影響を定量的に評価した。

図 6-4 はコメ収量に関する結果を棒グラフで示したものである。結果から言えることを以下に列挙する。

- 気候変動により、何れの事業オプションにおいても収量は減少する。
- 損失率（マイナスの変化率）は、事業なしの場合（case0）に比べて事業ありの場合（case1,2,3）のほうが小さく抑えられている。事業実施により損失率が抑えられていると言える。
- 損失量（マイナスの変化量）は、事業なしの場合と事業ありの場合で同程度である。事業実施により損失率が抑えられるが、収量自体も増えるため、損失量（収量×損失率）としては結果的に同程度となっている。

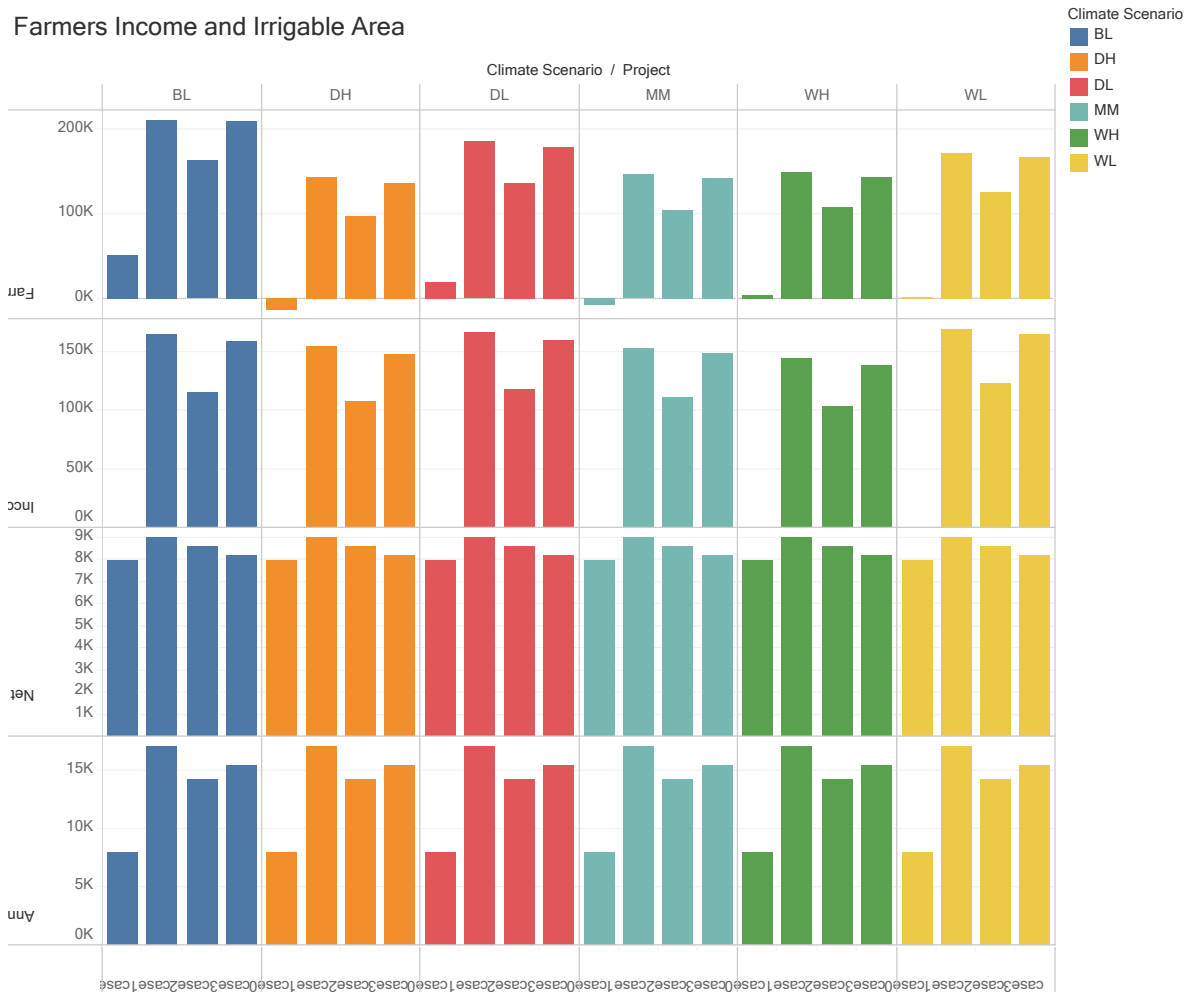


図 6-4 コメ収量の気候変動の影響による変化量（上）および変化率（下）

図 6-5 はコメ収量、農業収益、コメ自給率、用水補給量についての結果を、ボックスプロットで示したものである。結果から読み取れることを以下に列挙する。

コメ収量、農業収益、コメ自給率について：

- 気候変動による影響は、すべてのシナリオで負の方向、つまり損失として現れている。
- 農業収益について、事業なしの場合（case0）に着目すると、現況気候では MWEA 全体で年間約 4 億 8 千万 KSh であるのに対し、最悪のケースではマイナスに落ち込む予測となっており、もはや営農が困難になることが危惧される。
- コメ自給率は、社会シナリオの不確実性が高く、ばらつきが非常に大きい。
- 事業オプション別に横並びで比較すると、損失率が、実施しない場合（case0）に比べて事業を実施した場合のほうが明らかに小さい。
- 事業の実施により気候変動による脆弱性が緩和される効果があるといえる。

用水補給量について：

- 本検討条件では、用水供給量の変化には必要供給量（固定値）に対する供給不足量のみが影響している。
- 気候変動の影響としては、正負両方の影響がある。これは、気候変動により河川流量が増えるシナリオと減るシナリオがあるためである。
- 事業別に比較すると、気候変動の影響の違いは顕著ではない。事業によりダムが整備され補給能力が向上することにより、供給不足量が緩和されることが期待されるが、同時に灌漑計画面積も拡大させているため、不足量としては事業の有無で大きく変わらない結果となっている（需要と供給のバランスが事業前後で同じ程度）。

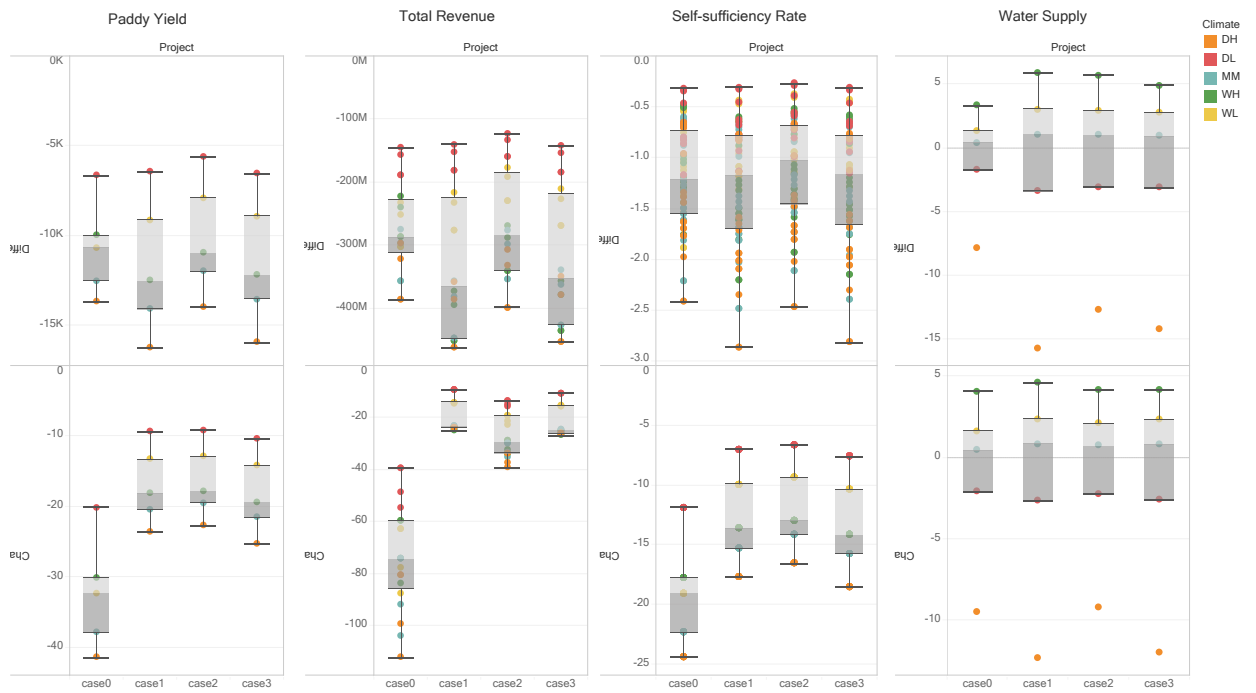


図 6-5 気候変動の影響による変化量（上）および変化率（下）（全シナリオ・対策オプションについて、気候シナリオをBLに固定した場合と比較。左から、コメ収量、農業収益、コメ自給率、用水補給量。）

図 6-6 は、費用便益比（BCR）の結果をボックスプロットで示したものである。

- BCR は、現在価値化した事業による便益（本検討では農業収益の増分に相当）と費用（事業費＋維持管理費）の比から算定される。値が大きい方が事業の経済的効率性が高いことを示す。
- 事業別に比較すると、case2 が最も BCR が大きい。case2 はリンクカナル II を整備しない分事業費用が安い。
- 事業実施により気候変動による損失額を抑える効果がある場合、現況気候よりも将来気候のほうが BCR は大きくなると考えられる。
- 本検討の結果では、損失率は抑えられたが、損失額としては同程度であったため、BCR が現況気候より大きいシナリオもあれば小さいシナリオもあり、一定の傾向としては現れていない。

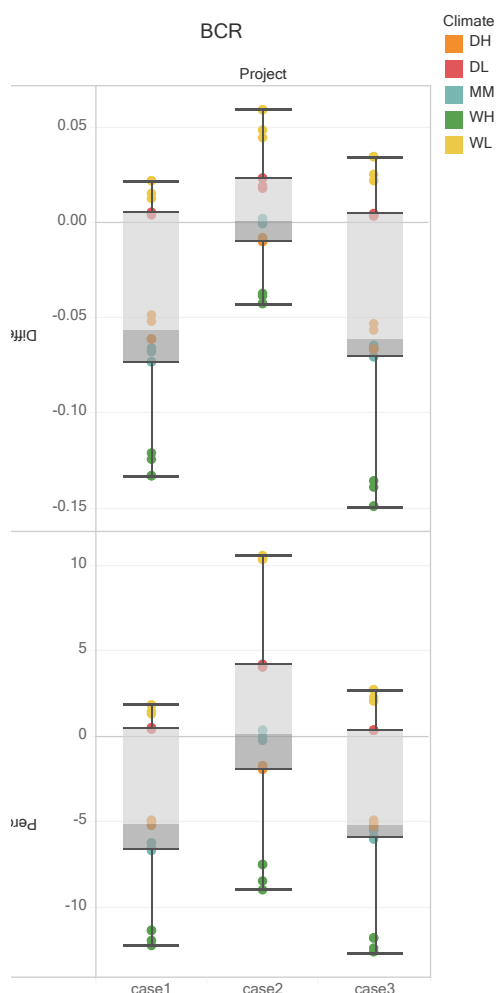


図 6-6 気候変動の影響による費用便益比（BCR）の変化量および変化率

6.2.2.2 事業効果の評価

各シナリオ・対策オプションについて、対策オプションを case0（事業を実施しない場合）に固定した場合を基準として比較した。これにより事業効果のみを分離して評価できる。これは費用便益分析における便益評価のための比較条件と同じである。

結果から読み取れることを以下に列挙する。

- 何れの評価項目においても、事業の実施により値が大きく向上している。
- コメ収量、農業収益、コメ自給率において、最も大きな効果が期待できるのは case1 となっている。
- コメ収量としては、case1（SR 稲作+Ratoon 稲作+LR 畑作）が最も大きく収量を伸ばすことが出来る。case2（SR 稲作+LR 稲作）は Ratoon 収量がないため、case3（SR 稲作+Ratoon 稲作+LR 畑作）は事業による拡大される灌漑面積が case1 よりも小さいため、case1 より伸びが小さい。
- 農業収益は case2 の伸びが他に比べて小さい。case2 では収益性の大きい Ratoon 作を行わない事、コメより野菜のほうが収益性が大きい事が理由と考えられる。
- 用水補給量の増減は、事業による必要補給量の増減とほぼ等しい。case2 では SR および LR 共に水稻栽培を行うため、必要補給量が多い。反対に、case3 では LR では畑作を行うことと、灌漑面積の拡大範囲が小さいことから、必要補給量は最も小さい。

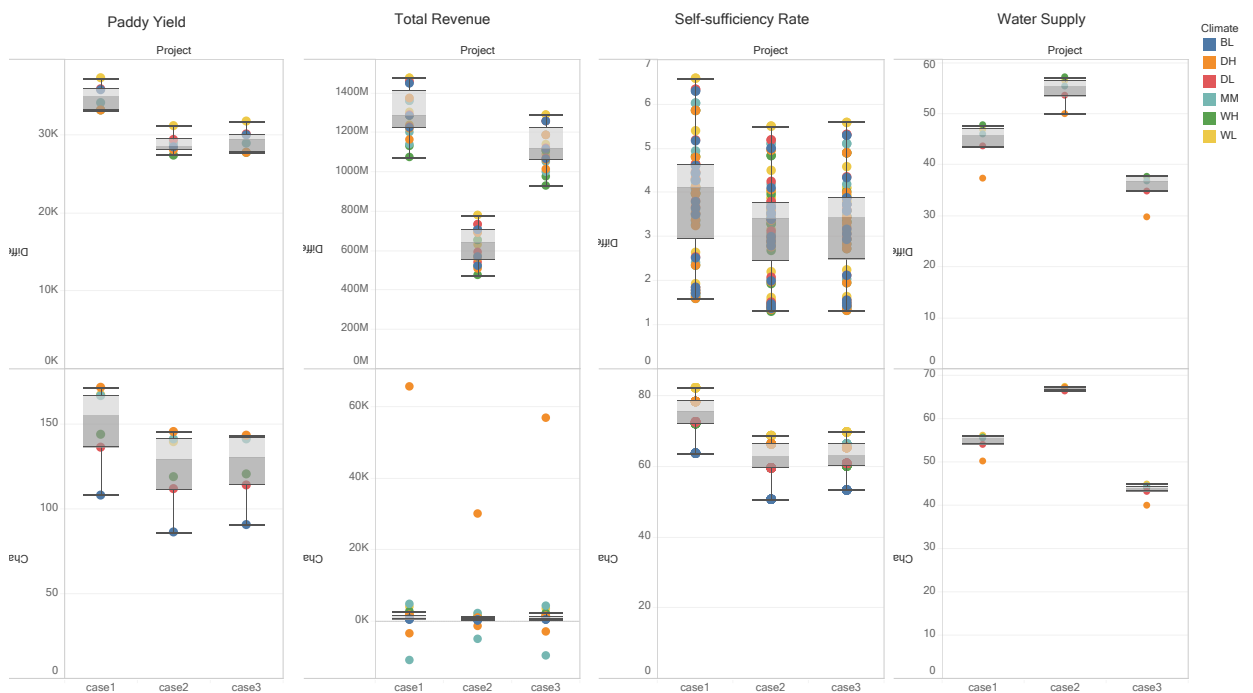


図 6-7 事業効果による変化量（上）および変化率（下）（全シナリオ・対策オプションについて、対策オプションを case0 に固定した場合と比較。左から、コメ収量、農業収益、コメ自給率、用水補給量。）

6.2.2.3 現況からの変化の評価

各シナリオおよび対策オプションについて、現況（すべてのシナリオで BL）を基準として比較した。この比較では、変化要因として気候変動の影響と事業効果を区別することはできない。現況からの正味の変化を捉えることを目的として評価する。結果から読み取れることを以下に列挙する。

- コメ収量および農業収益は、事業を実施した場合、何れの気候シナリオにおいても現状より増加する。気候変動の影響による損失を考慮しても、事業実施による増収・増益は確保されているといえる。
- コメ自給率に関しては、社会シナリオの影響を大きく受けるため不確実性の幅が大きい。社会的な需要増が大きいシナリオでは、事業を実施した場合でも現状を下回るケースも起こりうる。
- 用水補給量に関しては、気候変動の影響による増減もあるが、何れのシナリオにおいても事業実施により現況よりも増加する。

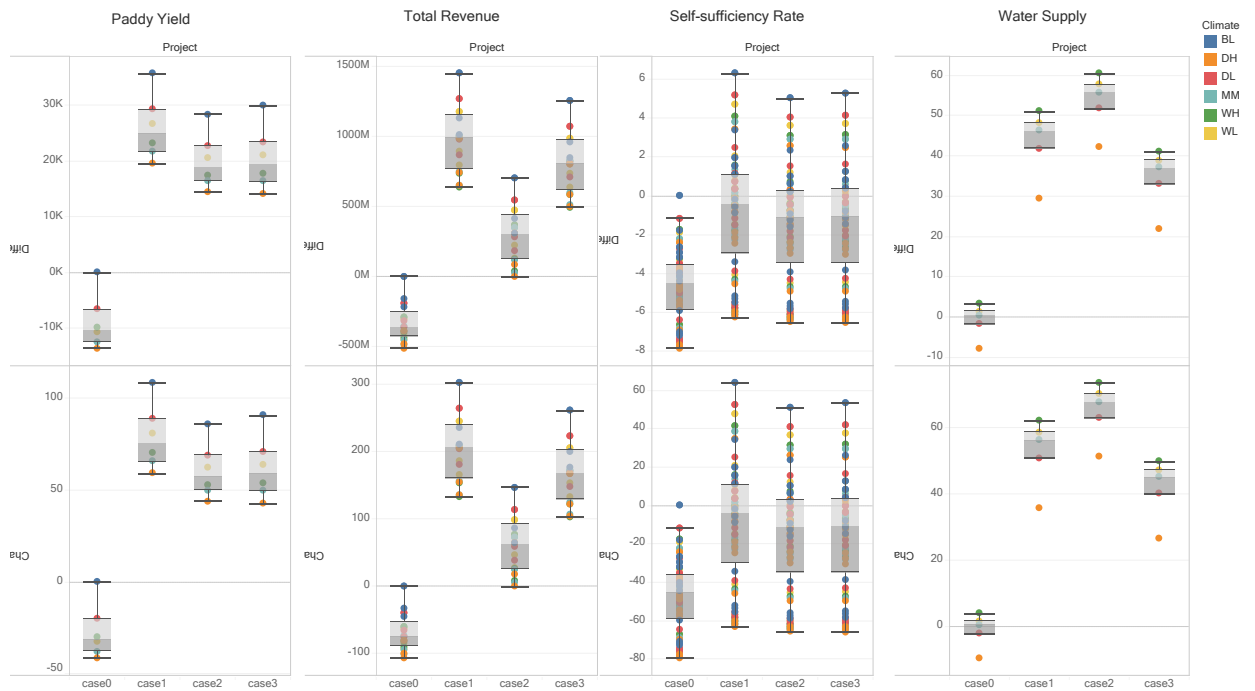


図 6-8 現況からの変化量（上）および変化率（下）（全シナリオ・対策オプションについて、現状（すべてのシナリオで BL）と比較。左から、コメ収量、農業収益、コメ自給率、用水補給量。）

6.2.3. 需要（コメ消費量）と供給（コメ生産量）

ケニア国の重要な政策の1つとしてコメ自給率の向上が挙げられている。自給率は、社会シナリオの影響を受けるコメ需要と、事業および気候変動の影響を受ける供給という2つのパラメータの関数である。ここでは、各シナリオの結果を、需要と供給を2軸に取った散布図にプロットした。結果を図6-9に示す。背景のハッチはコメ自給率を表す。赤の直線は目標値（ここでは現況のコメ自給率の値）であり、これよりも左側であれば、現状よりも自給率が向上するシナリオということになる。目標を満たすシナリオを○で、満たさないシナリオを×で示している。

事業オプション別に見ると、何もしない場合（case0）では気候変動影響および社会的需要増により、自給率は現状よりもさらに大きく減少し、最悪のケースでは2%を下回る。一方、事業を実施した場合は、収量の増加により目標を満たすシナリオが増える。最も目標を満たすシナリオが多いオプションは、case1である。case2とcase3では、case3の方が収量の増加量は大きい、目標を満たすシナリオの数としては等しい結果である。

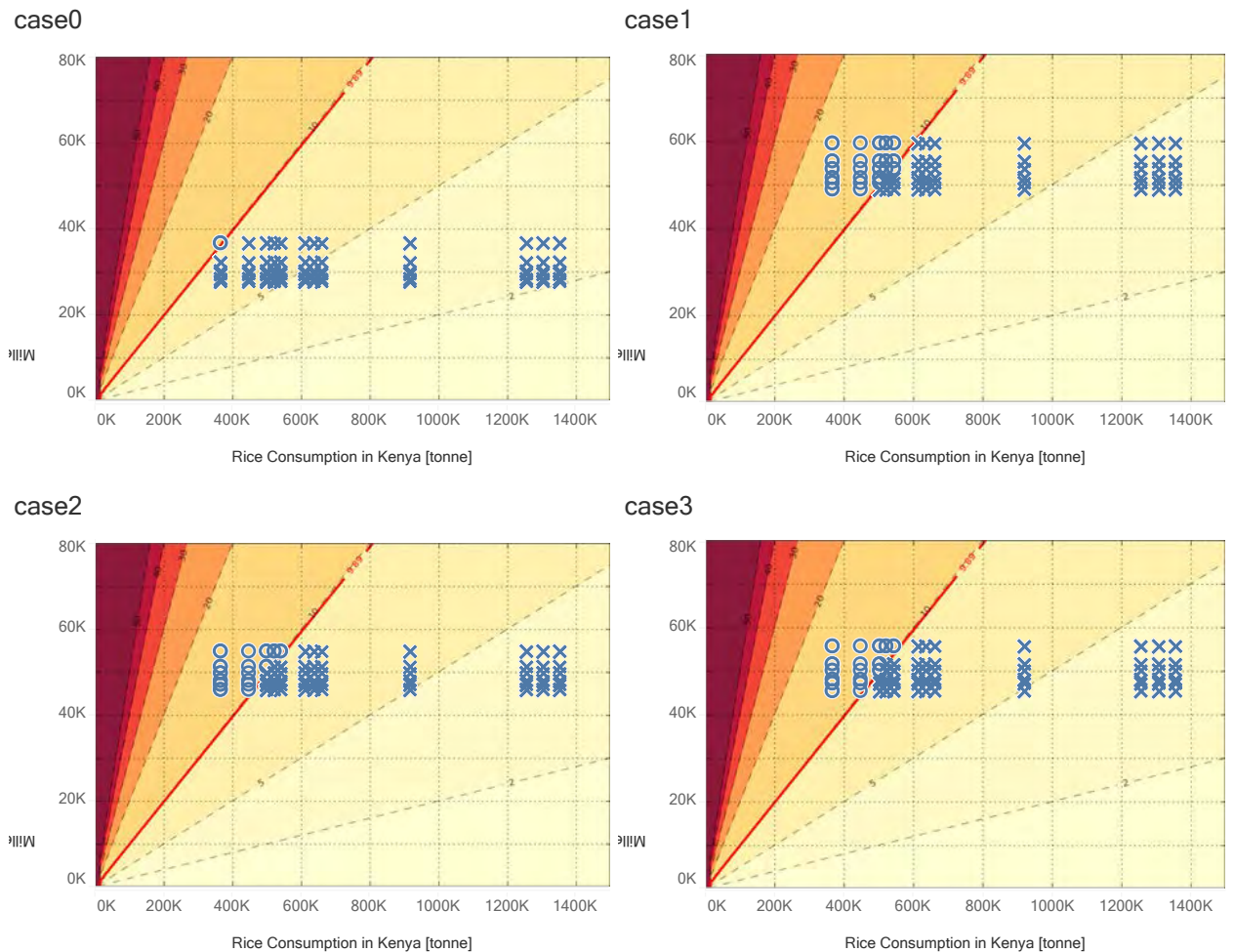


図 6-9 需要（コメ消費量）と供給（コメ生産量）

6.2.4. コメ自給率と農業収益

事業効果において、コメ自給率の向上とともに特に重要なのは農業収益の向上である。これら二つの指標を2軸にとり散布図を作成した。結果を図 6-10 に示す。各シナリオについて目標値を満たさないゾーンを灰色でハッチしている。目標値は、コメ自給率については現状以上、農業収益については目標値がないため1つの目安として倍増値を示すこととした。

コメ自給率という点ではケース別に顕著な差がないが、農業収益という点では、case2 の効果が小さく、case1 および case2 の効果が大きい。気候変動の影響を加味しても、case1 および case2 では収益を倍増させることができている、case1 で最も効果が大きい。

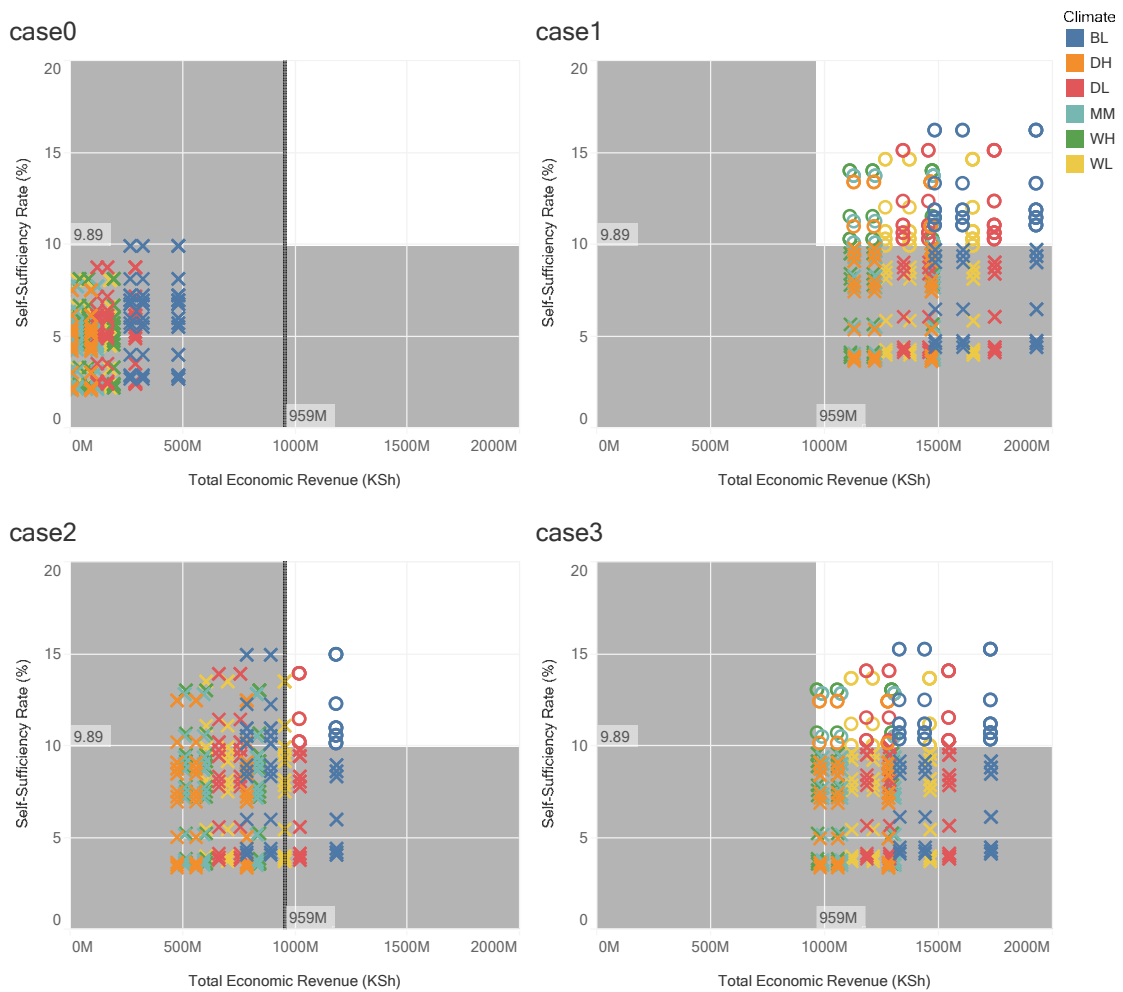


図 6-10 コメ自給率と農業収益の散布図

6.2.5. 白米輸入量の削減による外貨節約

事業により国内のコメ生産量を増加させることができれば、白米の輸入量も削減でき、その分の外貨が節約できる事となる。事業の実施による外貨節約の効果について定量的な評価を行った。評価条件は評価指標の設定で示した。

評価結果を以下に示す。

社会シナリオおよび気候シナリオを BL に固定した場合、事業を実施しない場合の白米輸入量は 1 億 1 千 690 万 US\$（2009 年価値）相当であるが、case1 で事業を実施した場合には 1 億 870 万 US\$ まで抑えることができ、約 818 万 US\$ の外貨が節約される。

社会シナリオおよび気候シナリオによる不確実性を考慮すると、白米輸入量のばらつきは非常に大きくなるが、事業実施により、何れのシナリオにおいても 500 万 US\$ 以上の外貨が節約される。また、最も効果が大きいのはコメ生産量の最も大きい case1 である。

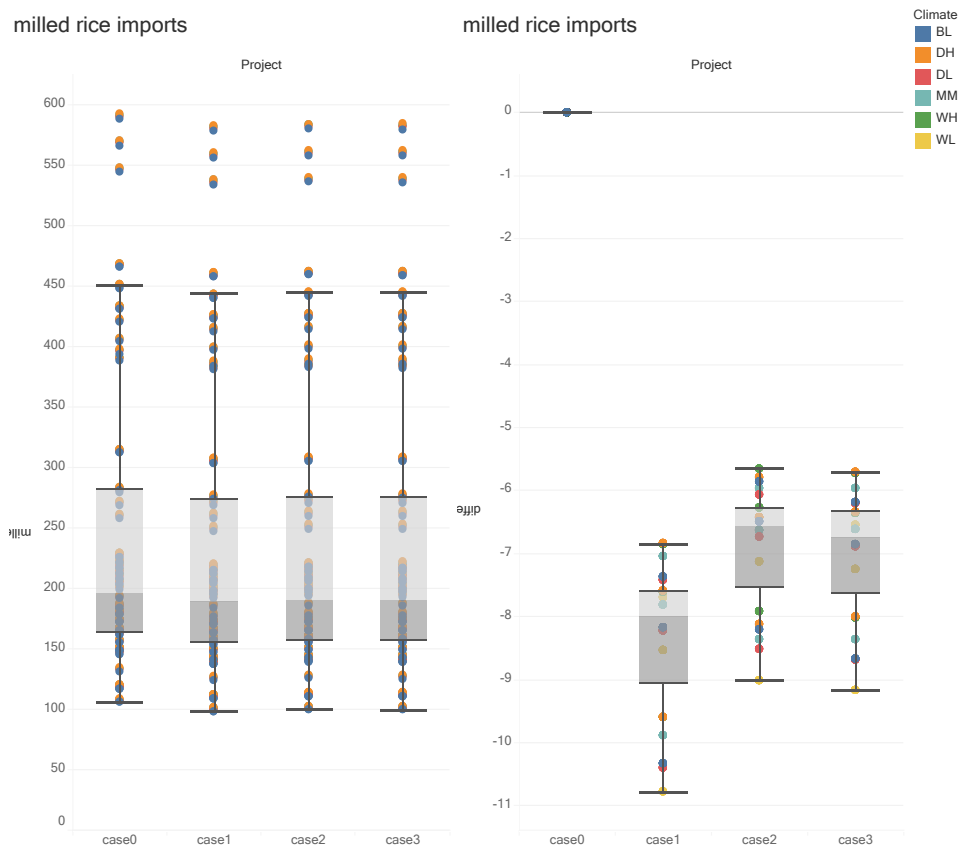


図 6-11 白米輸入量の削減による外貨節約（左：白米輸入量、右：事業実施により節約される外貨）

6.2.6. 農家サイドでの評価

これまでは、事業の経済的評価および食料安全保障といった、国家的な視点での評価を行ってきた。ここでは、事業による直接の利害関係者である MIS 農民の視点に立った事業による効果を評価した。評価指標は、前項で選定した農業所得を用いた。

6.2.6.1 現状の MIS 運営状況

評価に先立ち、現状の MIS 農民が現状置かれている状況を整理しておく。以下は SAPROF 時点での情報である。

(1) 灌漑状況

- 現在のムエア灌漑スキームは、約 6,660 ha の計画面積、約 7,900 ha を灌漑している。
- 現状では、各所で用水不足が発生するため、慢性的な水不足を緩和するため、輪番灌漑法を導入している。
- ムエア灌漑スキームでは、地区を 3 次水路の系統に従って 60 の水利組合 (WUA: Water Users Association) に分割し、3 つの灌漑作付けグループに分けている (グループ 1,2,3)。グループの割当は、水利組合の代表者とムエアスキーム事務所 (NIB) の協議で毎年決めることになっている。
- グループ 3 の単位収量はグループ 1, 2 に比べて明らかに低い (気候条件およびイモチ病による)。
- 幹線・支線水路およびメインフィーダー水路 (3 次水路) までは NIB が建設するが、それ以下の水路と水田の整備は農民が負担する方法を取っている。

(2) 農家の支払い義務

各農家からは、NIB の運営等にかかる費用として年間 2,000 KSh / ha の維持管理費が徴収されている。徴収率は 9 割を超えており、他の事例では見られないくらいの相当高い徴収率である。この他、WRMA への用水費用の支払いが、水法 (2002 年制定) により義務付けられているが、まだ支払いは行われていない。近い将来徴収される可能性はあるが本検討では見込まない。農家による事業費用の分担は本検討では見込まない。

6.2.6.2 事業効果の評価結果

以下に各指標の評価結果を示す。何れの事業オプションでも農業所得は倍以上に大きく向上させることができている。ここでも最も効果が大いなのは case1 である。事業を実施しない場合は、気候変動影響による農業所得の減少が著しく、最悪のケースでマイナスとなるシナリオもある。持続的に農業を営むためには、事業実施による水利環境の改善が求められている。

Farmers Income and Irrigable Area



図 6-12 農家サイドでの評価結果（農業所得、事業による所得増額分、灌漑面積、灌漑延べ面積）

7. 分析結果のとりまとめ

前節で実施したシミュレーションと対策オプションの評価結果に基づき、設定した評価指標の比較検討、RDMの有効性の評価、今後の検討課題など、得られた知見を取り纏めた。

7.1. 結論

本検討で得られた知見を以下にまとめる。

- 気候変動がコメ収量に与える影響: 将来気候では、現況よりもコメの単収が減少する。灌漑事業により十分な水を補給できれば、収量の減少を抑える効果がある。
- SAPROF 提案の灌漑計画: ダムにより灌漑可能水量を増大させ、作付面積を増大させることが出来る。ダムは、将来気候での低水流量低下に対してレジリエンスを発揮するが、新規開発できる水量見合いまで作付け面積を確保するため、水量の充足率は現状と変わらない。
- 収量が増加するプランと初期投資の関係: case1、case3は何れも大雨季に畑作をするもので、気候変動による損失を考慮しても、事業で得られる便益により事業費用をカバーできることから経済的妥当性は高い。収益はcase3よりもcase1がやや大きい。case3はLink Canal IIIを整備しないため、初期投資はcase1よりもcase3が少ない。割引率を変数とした経済性の感度分析によれば、割引率が低い場合は年々の収益が高いcase1が有利である。割引率が高い場合は、初期投資の低いcase3が有利となる。
- 結論 どのプランがロバストか: 気候変動への対応として、灌漑設備は不可欠である。収量増加のより大きなcase1が収益性、食料安全保障上、また外貨節約という面で有利である。割引率は将来更に高くなることは考えにくい。総合的にロバストなプランはcase1である。

MWEA 灌漑地域では、整備が不十分な灌漑施設による慢性的な水不足という現状の課題を抱えている。SAPROF 事業は、この現状の課題への対応策として検討されたものであるが、本検討により、これら現時点での課題への対応が、気候変動による損失を軽減する効果もあることが示された。

現在ストレスを受けている水システムでは、気候変動による脆弱性も大きい。Thiba ダムの建設を始めとする灌漑施設の整備は、水供給における気候変動の影響を緩和するシステムでもあるといえる。

灌漑施設の整備が実施され、水資源に余裕が生じれば、気候変動により仮に洪水や旱魃が増加した場合にもある程度の対応が可能となる。また、農業生産性が向上し、農家にも経済的な余裕ができれば、気象災害による被害があったとしてもその年を乗り切るための蓄えを備えることができ、災害への抵抗力が高まることが期待できる。

コメ生産量の増大は国家的な戦略として重要である一方、MIS 農民(約 6,000 名)にとっては、収量・収益の改善が主要関心事である。水稲と裏作物として野菜を組合せた営農システムの構築を通じて農業所得を向上させることにより持続的なコメ生産を可能とすることが、コメ生産の安定的確保、ひいては気候リスクへの適応力の向上につながるといえる。

7.2. RDM の有効性

本検討ではムエア灌漑開発事業を対象に、RDM による 3 種類の開発オプションの評価を行った。RDM による解析手法に基づくことにより、気候シナリオや社会シナリオの不確実性を考慮した評価を行うことができた。本検討結果により、起こりうる複数の将来の姿をある程度具体的に描きながら、現時点で考えられるもっともよい施策は何かということを議論するための材料を作成できたといえる。このように RDM は、膨大で複雑な情報を様々な視点から分かりやすく整理することで、意思決定に寄与する材料を提供出来る点が、1 つの大きな有効性であるといえる。

また、RDM では気候変動影響と事業効果を同時に評価するという点も利点であるといえる。政策決定者は、気候シナリオの改良による細かな予測精度の改善よりも、不確実な気候変動への適応に役立つような事業オプションおよびその効果の提示を求めている。RDM は不確実な気候変動への適応に役立つような事業の検討を行うためのツールとしても有効であるといえる。

なお、RDM に基づいて分析評価を行えば、最終的な結論を導くことが出来るわけではないという点には留意が必要である。最終的な意思決定は、ステークホルダーを交えた話し合いによる合意形成が必要である。不確実性を踏まえた意思決定においては、どこまでのリスクならば許容可能かといった踏み込んだ議論が必要である。本検討では机上検討に留まったが、合意形成プロセスまで経た RDM の有効性の実証は、今後の検討課題といえる。

7.3. 今後の課題

最後に、今後の課題を挙げる。

(1) 気候シナリオの追加

- ・ ケース数をなるべく少なくすること、かつ、CMIP5 で予測されている範囲をなるべくカバーできるようにプライオリティを置いて検討した。
- ・ 年間平均の気候値で雨の多少、気温の高低で気候モデルを選択したが、米や畑作の収量などは、このような粗いクラス分けでは、傾向を見出しにくい実感があつた。
- ・ バイアス補正や現況データなどの困難が解決されているので、気候シナリオを十分に増やすことで、ロバストネスの議論に力強さが加えられると期待できる。

(2) Adaptive Pathway の検討

- ・ 気候変動や社会情勢の不確実性の分岐を考え、段階的な整備方針のロバストネスを

考える Adaptive Pathway を検討したい。

- MWEA では、灌漑整備のメニューが少ない。また、今回は、チバダム、Link Canal の整備などをパックにした対策メニューとしていた。
- Thiba Dam 建設、Link Canal I, II の整備、Link Canal III の新設、Ruamuthanbi H.W.新設について、それぞれの adaptive pathway を検討したい。

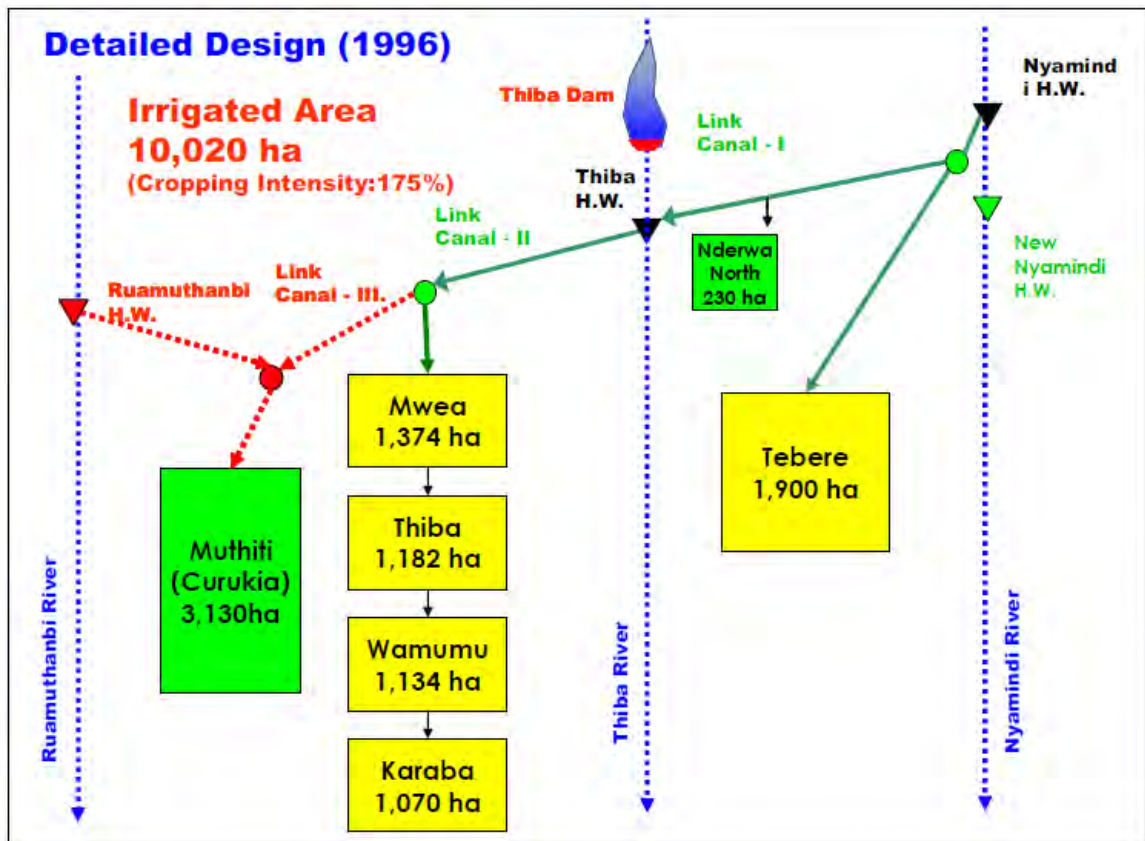


図 7-1 MWEA 灌漑施設整備のオプション例 (SAPROF より)

(3) 不確実性のオプション設定の充実

- 不確実性として、事業実施期間を加える。多くの事業で、実施時に遅れが生じる。事業の遅れは追加的な費用を発生させ事業効率を下げるおそれがあることから、事業の遅れについてもリスクとして把握しておく必要がある。
- 対策オプションとして、ユーザー側の対策を加えることが考えられる。効率的な水管理を行う能力。節水型農業の普及など。
- 2013 年に行われた世銀のプロジェクトによるリハビリテーションにより、MWEA の一次幹線水路の改修まで実施されており、SAPROF 調査時から灌漑状況や営農方法が大きく改善している模様である。本検討では、SAPROF 時点の情報に基づいた検討を実施したが、より新しい情報を反映することが望ましい。

卷末資料

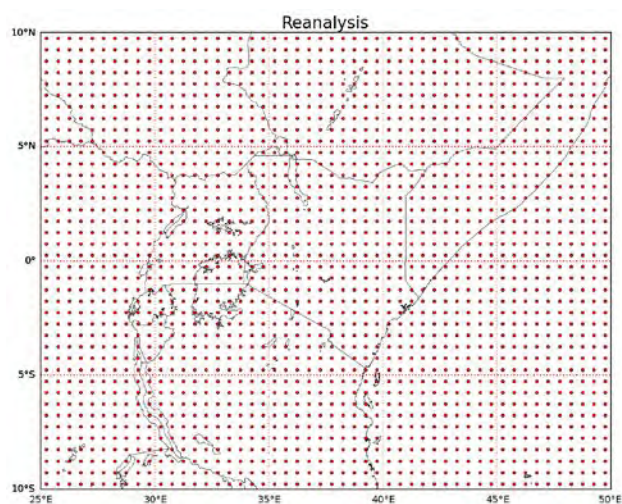
目次

1.	再解析値および GCM のグリッドサイズ	1
1.1.	再解析データ (WATCH Forcing Data)	1
1.2.	CMIP5 モデル	1
2.	GCM データのトレンド解析	7
2.1.	年降水量(pr)	7
2.2.	年平均地表気温(tas)	16
2.3.	年平均比湿(huss)	25
2.4.	年平均の下向き短波放射量(rsds)	34
3.	MWEA 領域の気象グリッドデータ	43
3.1.	観測データ (再解析値 WFDEI と地上観測所データから作成)	43
3.1.1.	年間気候値分布	43
3.1.2.	月別気候値分布	53
3.2.	将来プロジェクションデータ	58
3.2.1.	年間気候値分布	58
3.2.2.	月別気候値分布	83
4.	流出解析モデルによる取水地点の河川流況	108
4.1.	New Nyamindi HW	108
4.2.	Thiba Dam Proposed Site	111
4.3.	Thiba HW	114
5.	水収支図	117
5.1.	New Nyamindi	117
5.1.1.	灌漑プロジェクト Case0	117
5.1.2.	灌漑プロジェクト Case1	123
5.1.3.	灌漑プロジェクト Case2	129
5.1.4.	灌漑プロジェクト Case3	135
5.2.	Thiba Dam	141
5.2.1.	灌漑プロジェクト Case1	141
5.2.2.	灌漑プロジェクト Case2	147
5.2.3.	灌漑プロジェクト Case3	153
5.3.	Thiba HW	157
5.3.1.	灌漑プロジェクト Case0	157
5.3.2.	灌漑プロジェクト Case1	163
5.3.3.	灌漑プロジェクト Case2	168
5.3.4.	灌漑プロジェクト Case3	174
5.4.	Link Canal III	180

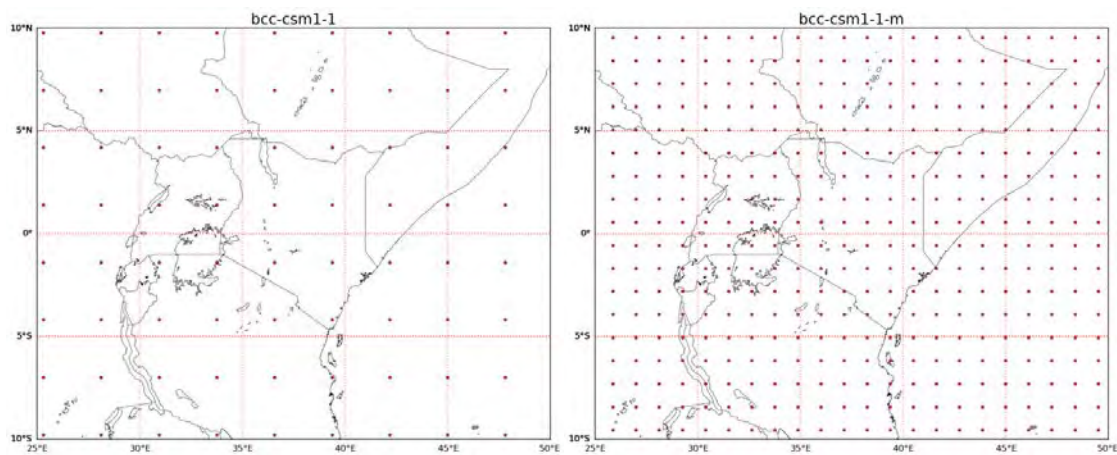
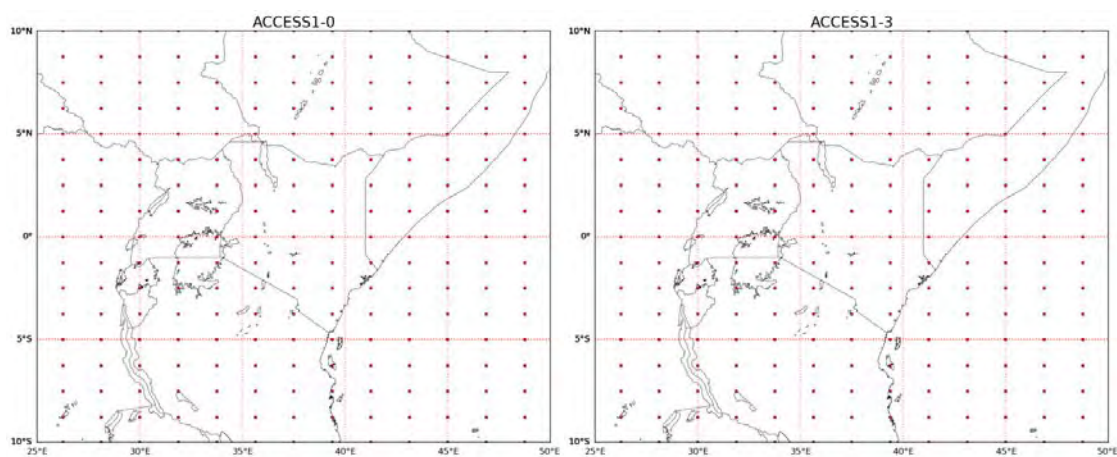
5.4.1.	灌漑プロジェクト Case1	180
5.4.2.	灌漑プロジェクト Case2	186
5.4.3.	灌漑プロジェクト Case3	192

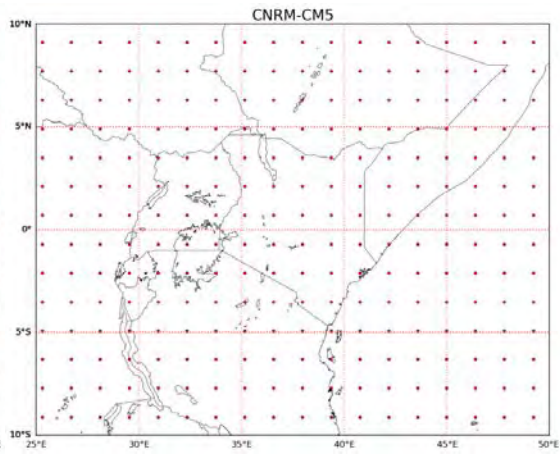
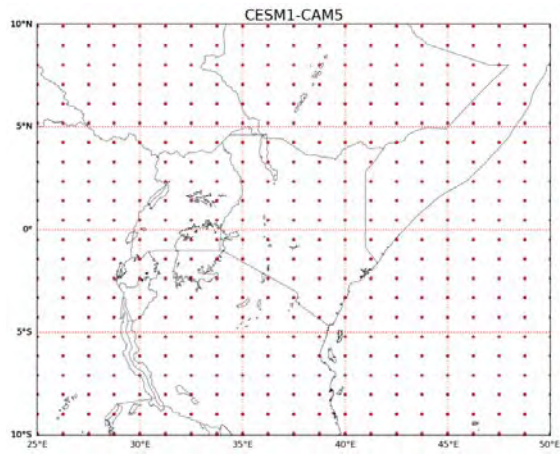
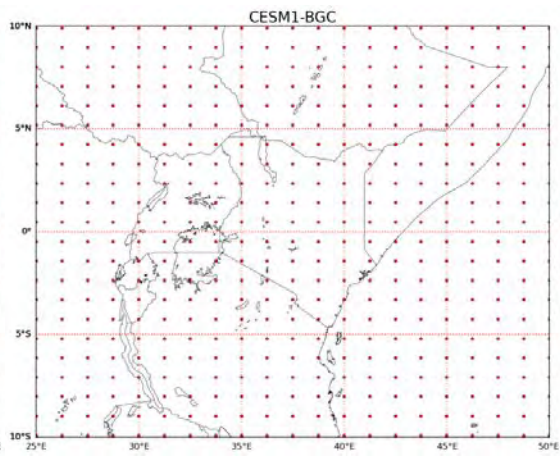
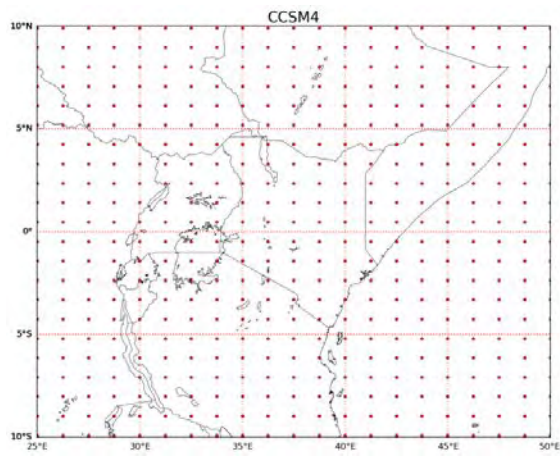
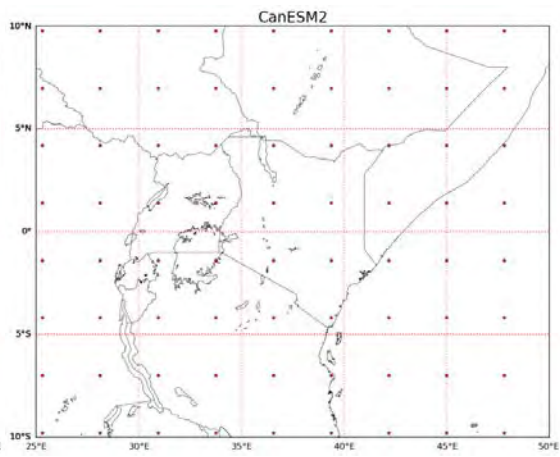
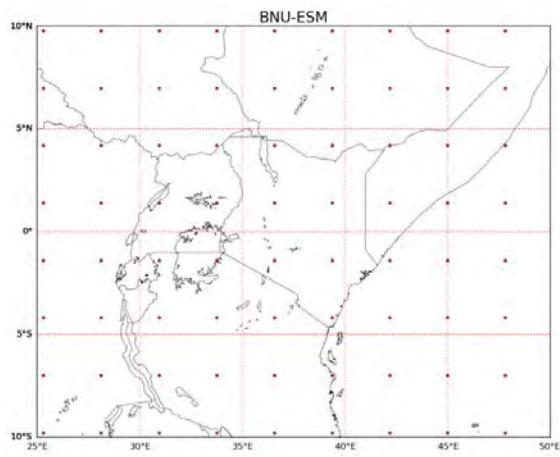
1. 再解析値および GCM のグリッドサイズ

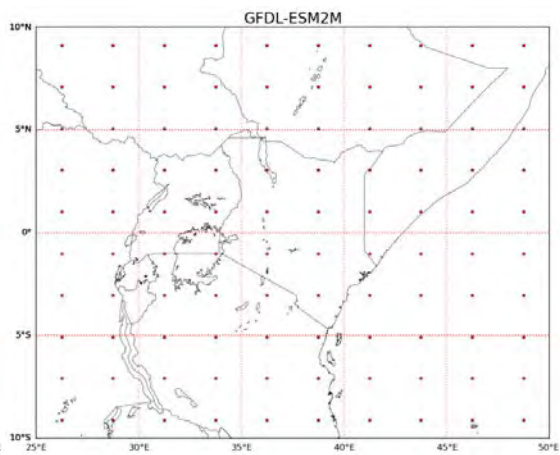
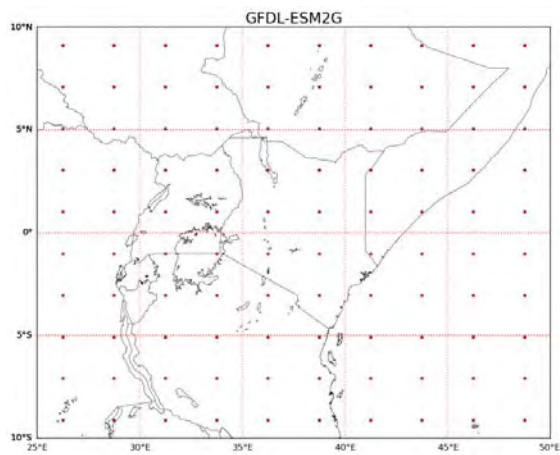
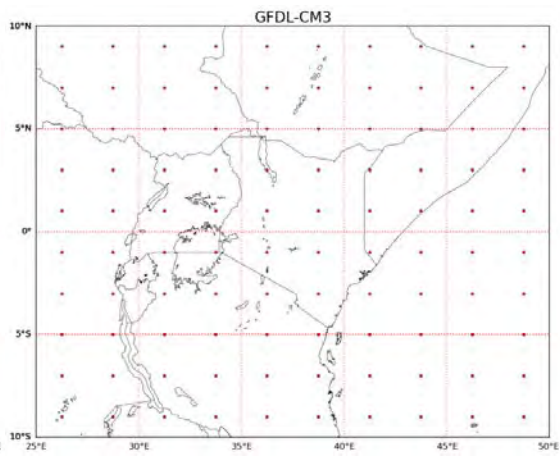
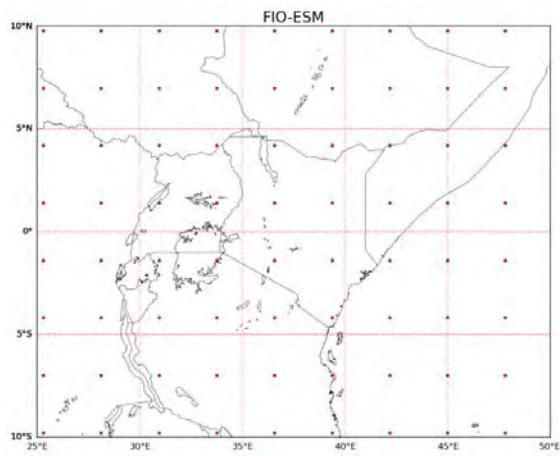
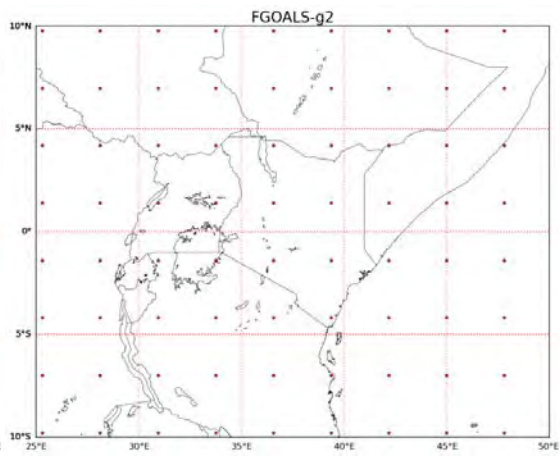
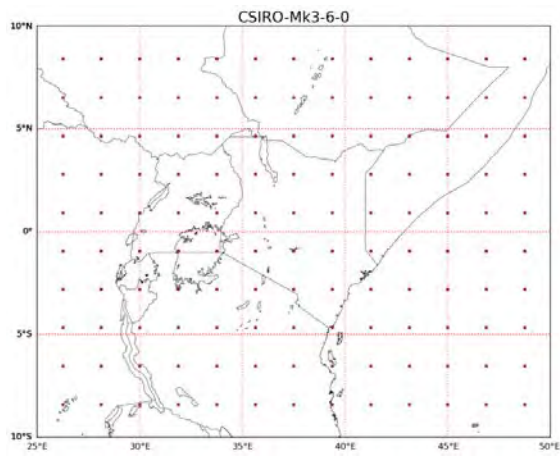
1.1. 再解析データ (WATCH Forcing Data)

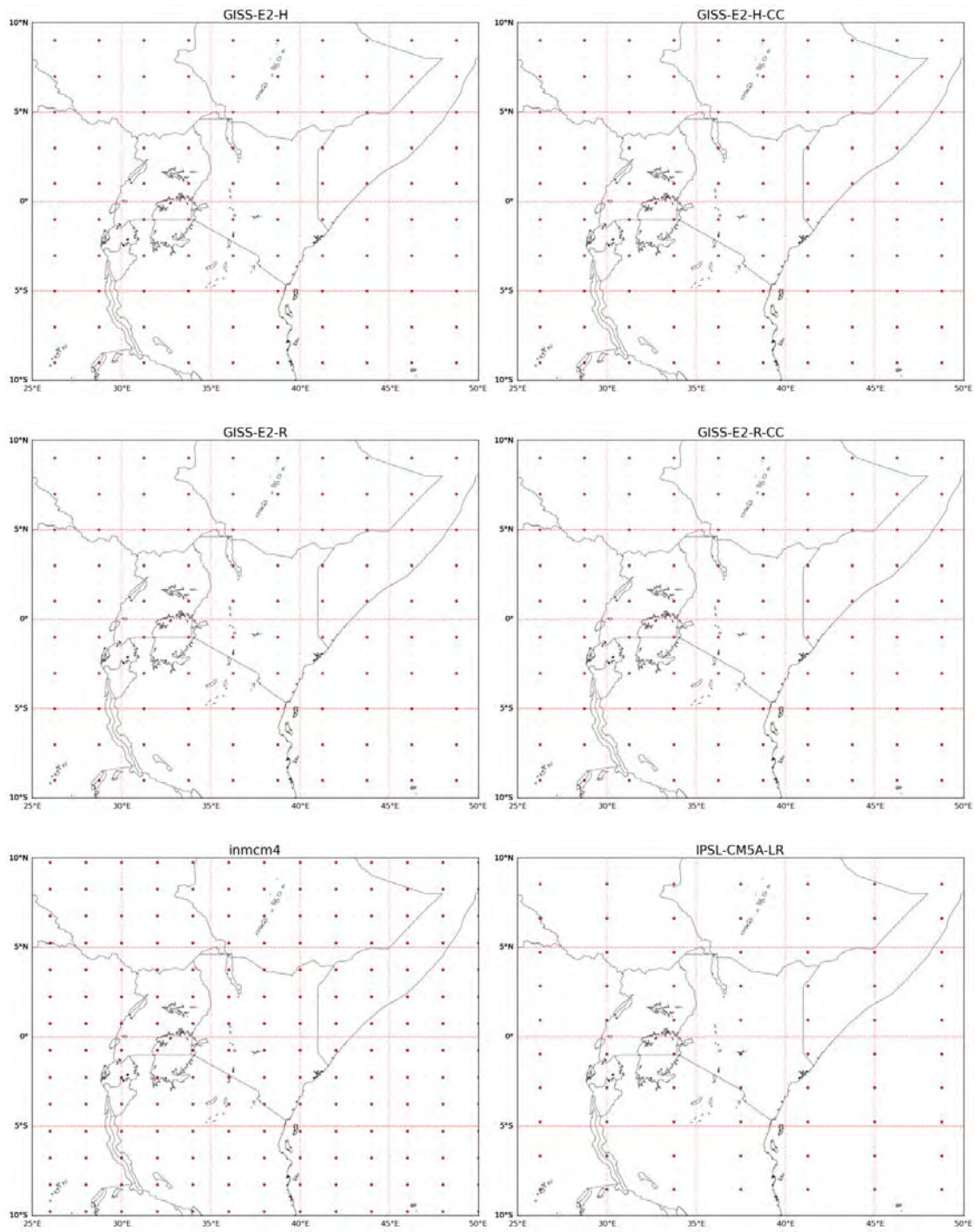


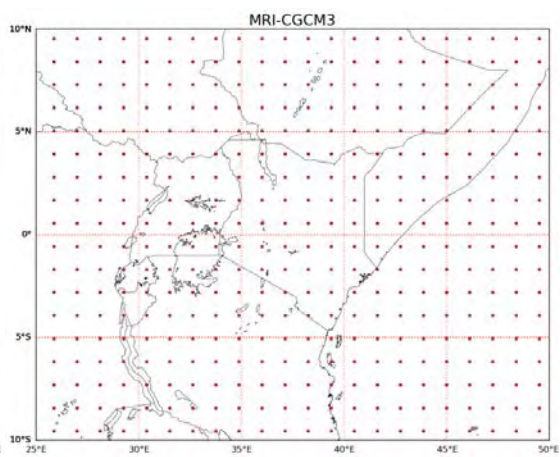
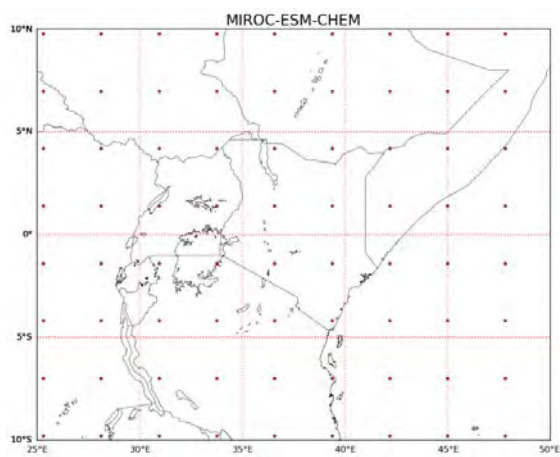
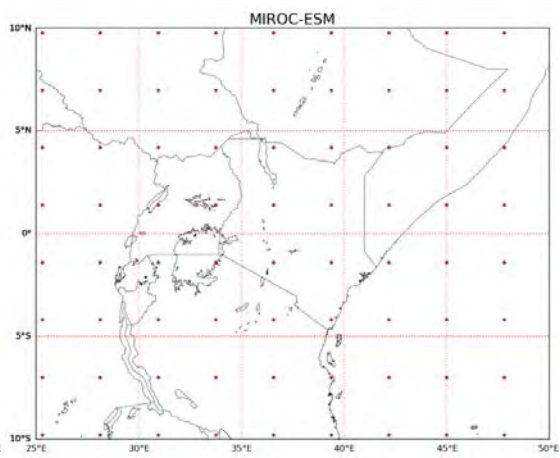
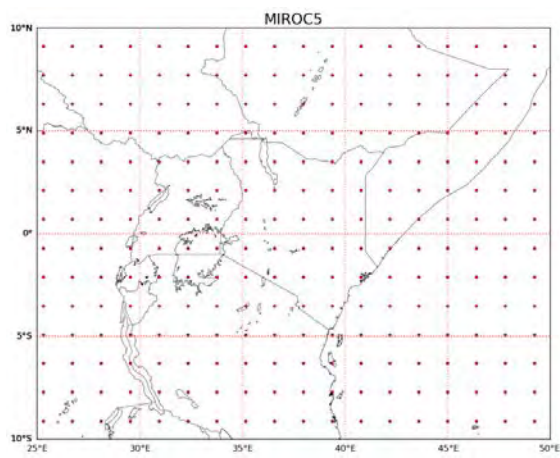
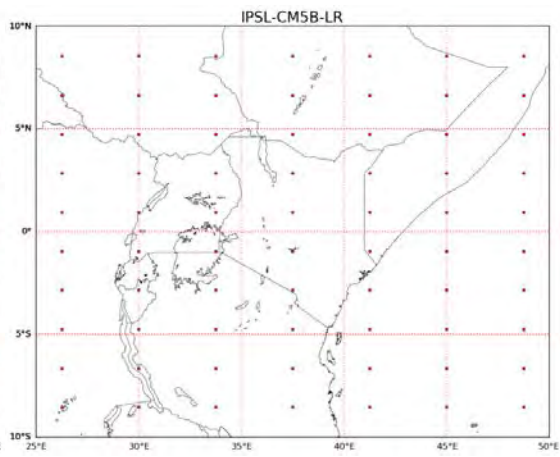
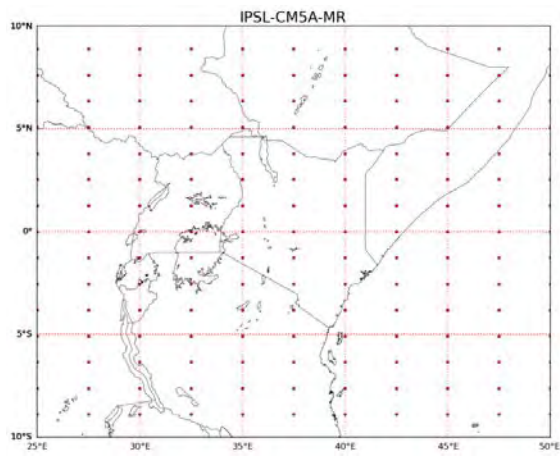
1.2. CMIP5 モデル

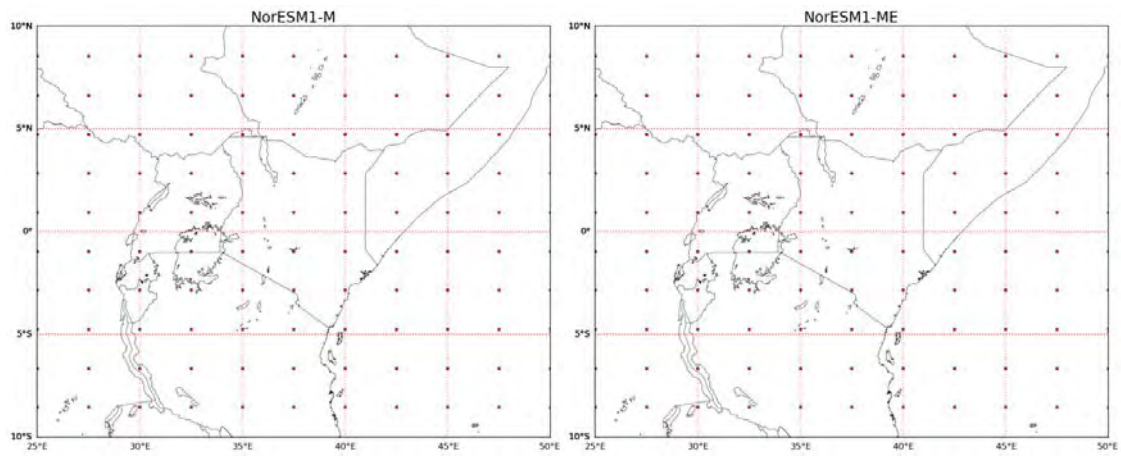






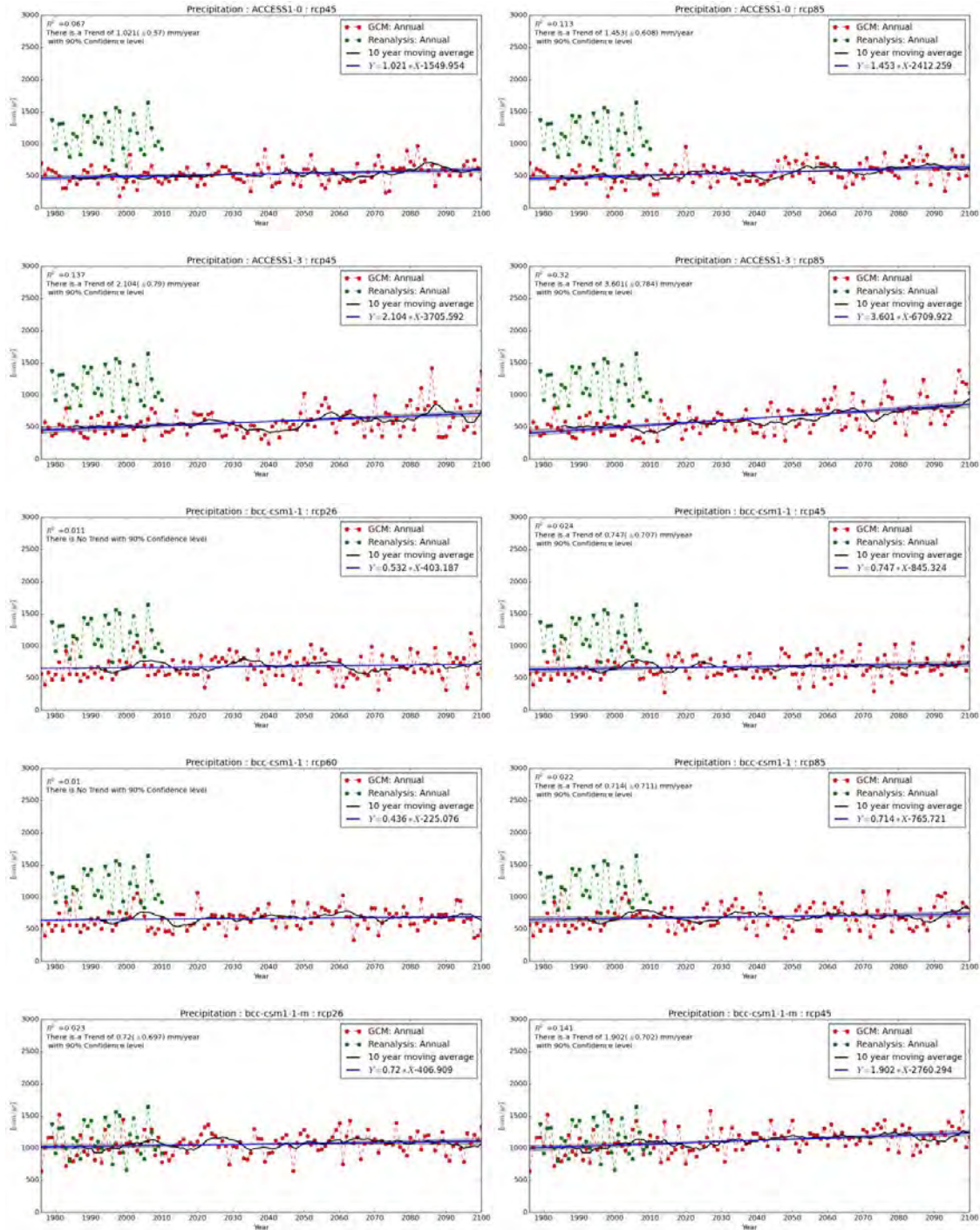


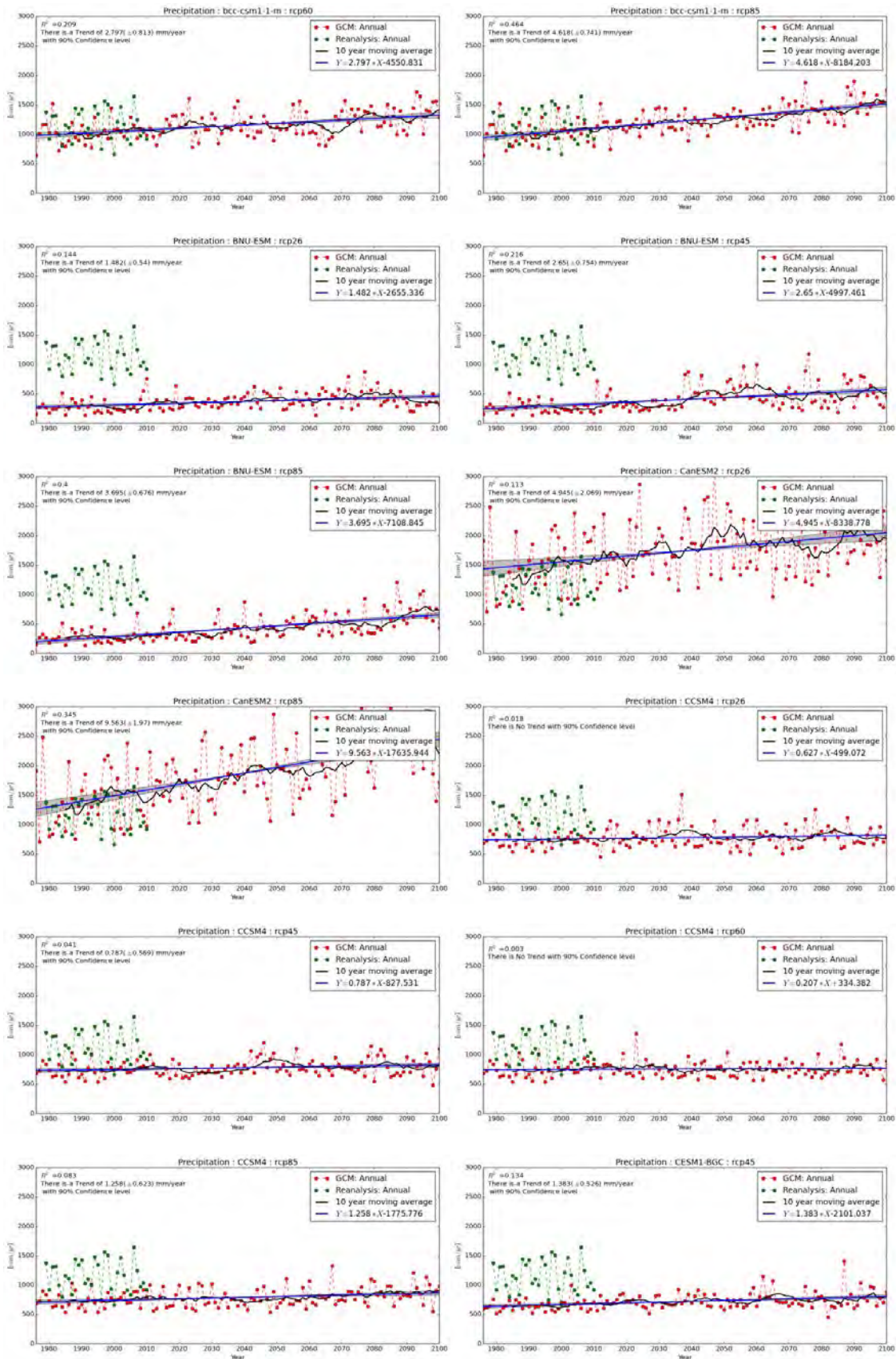


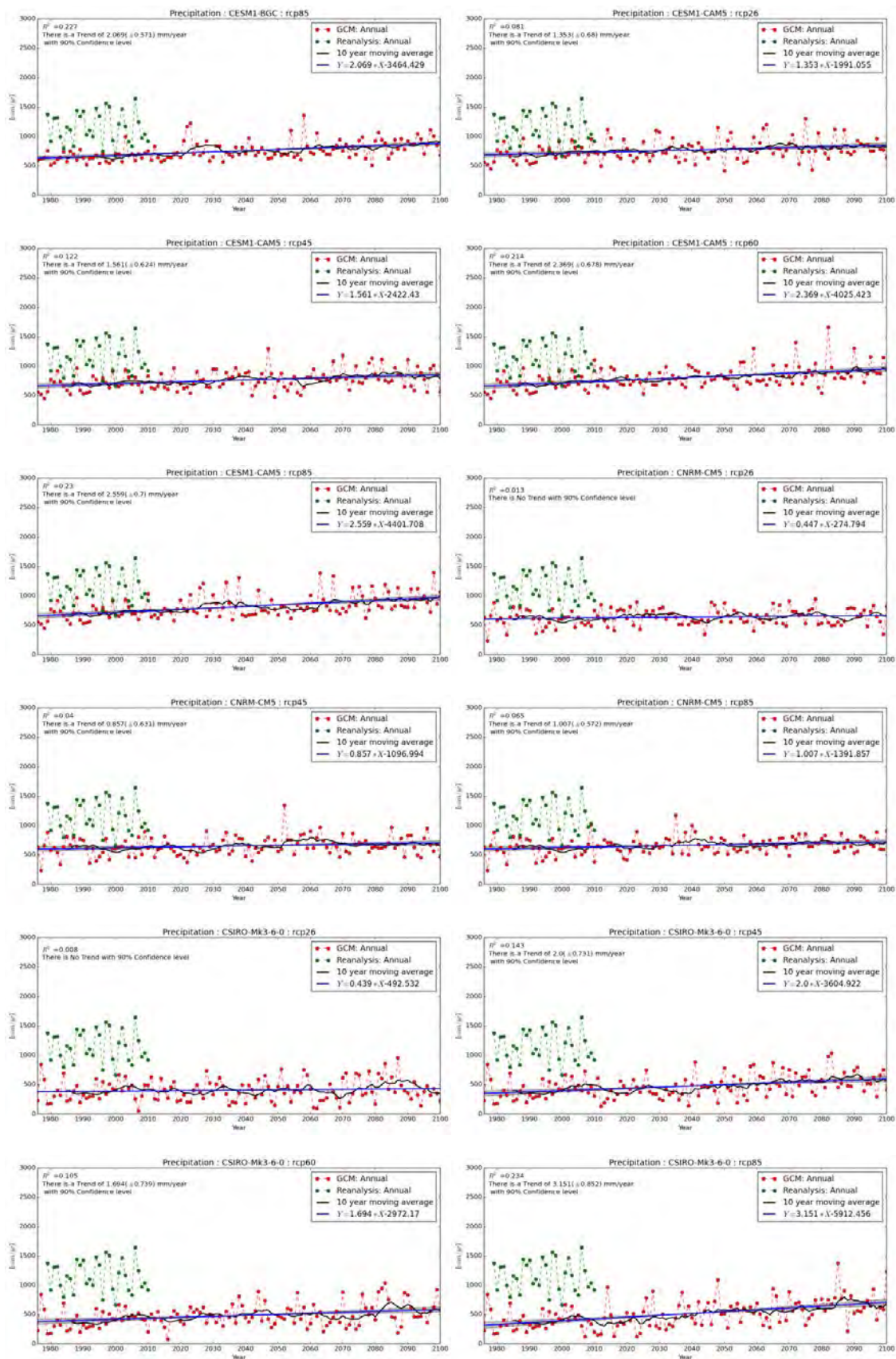


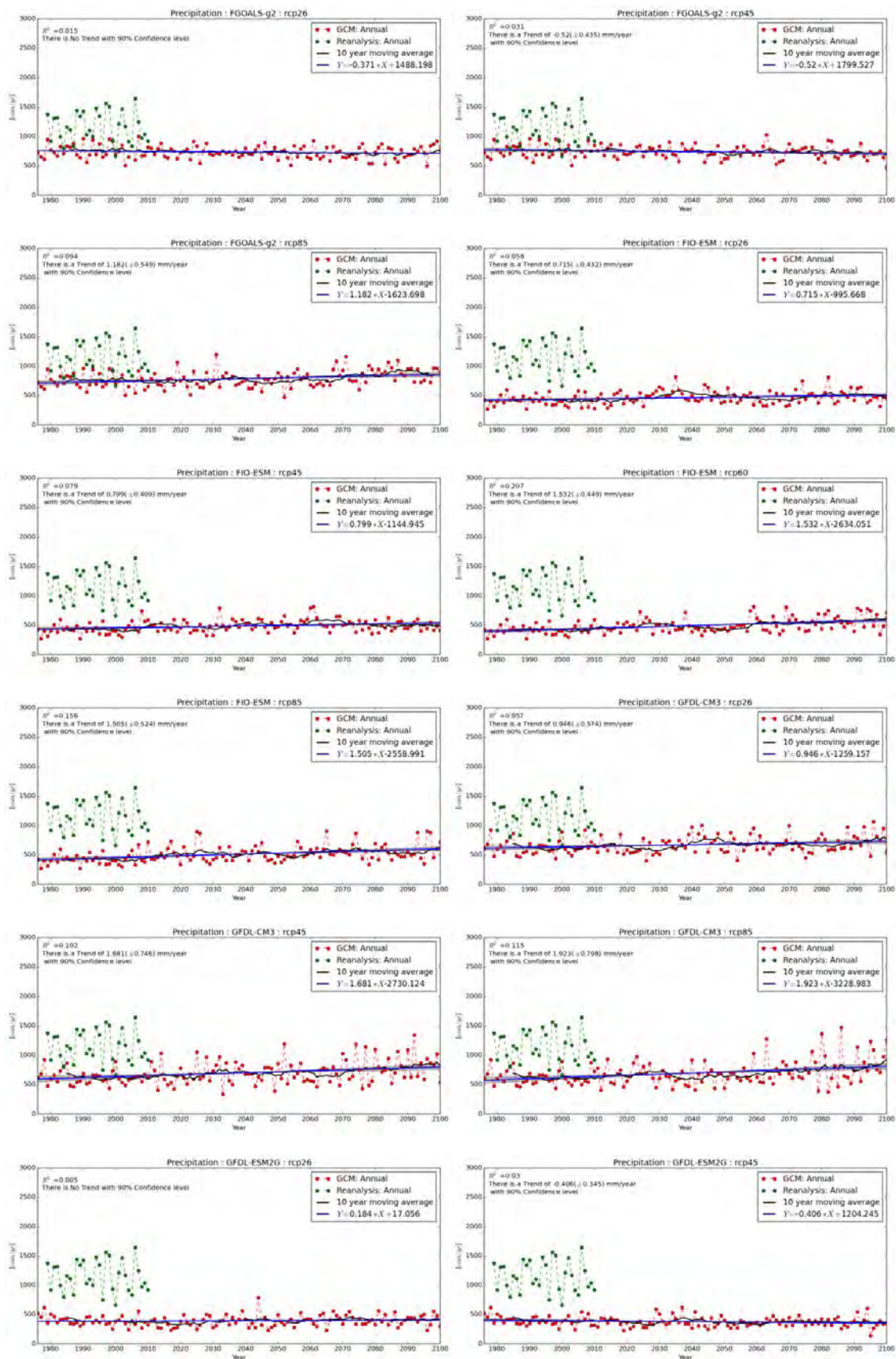
2. GCM データのトレンド解析

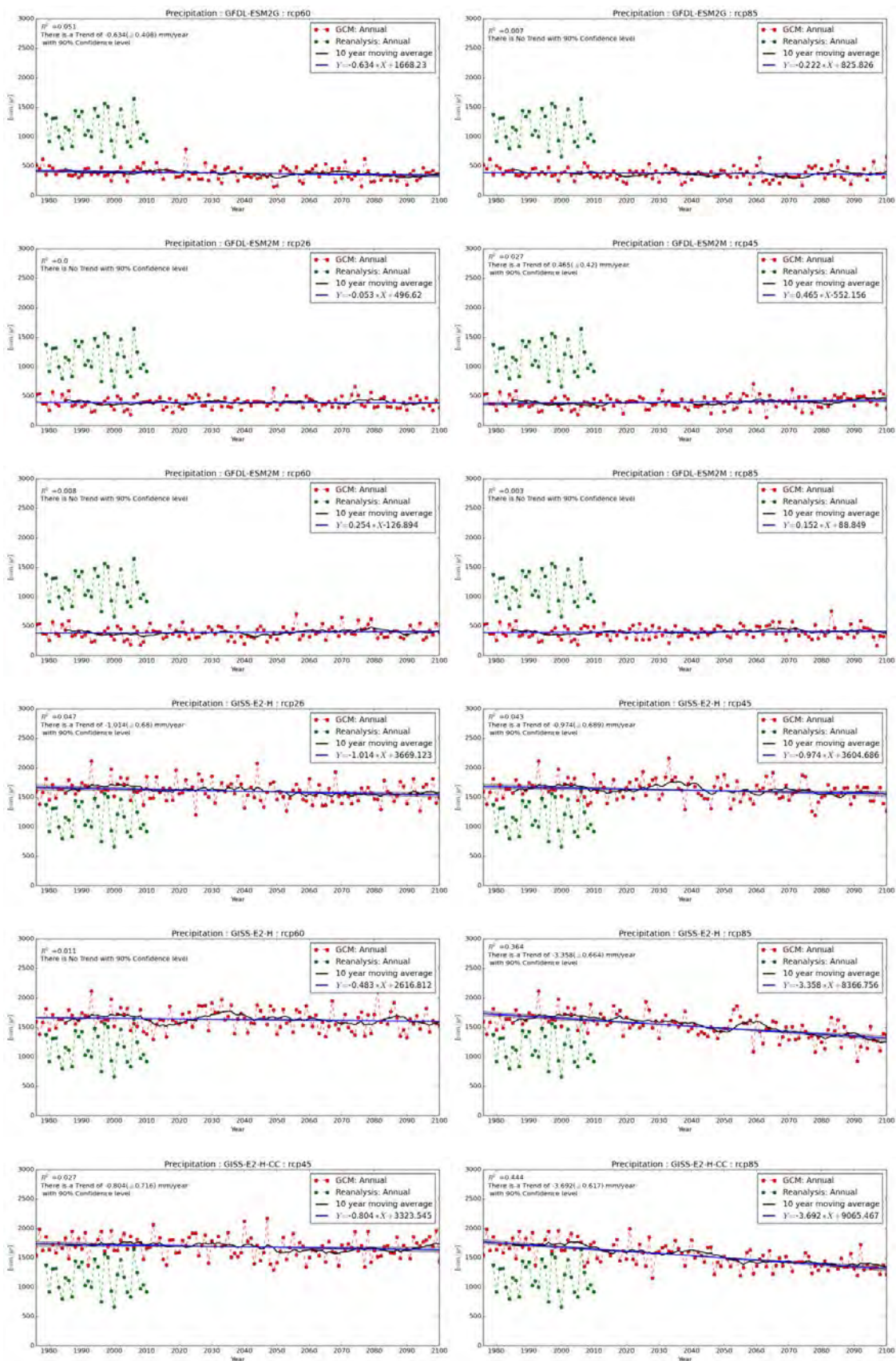
2.1. 年降水量(pr)

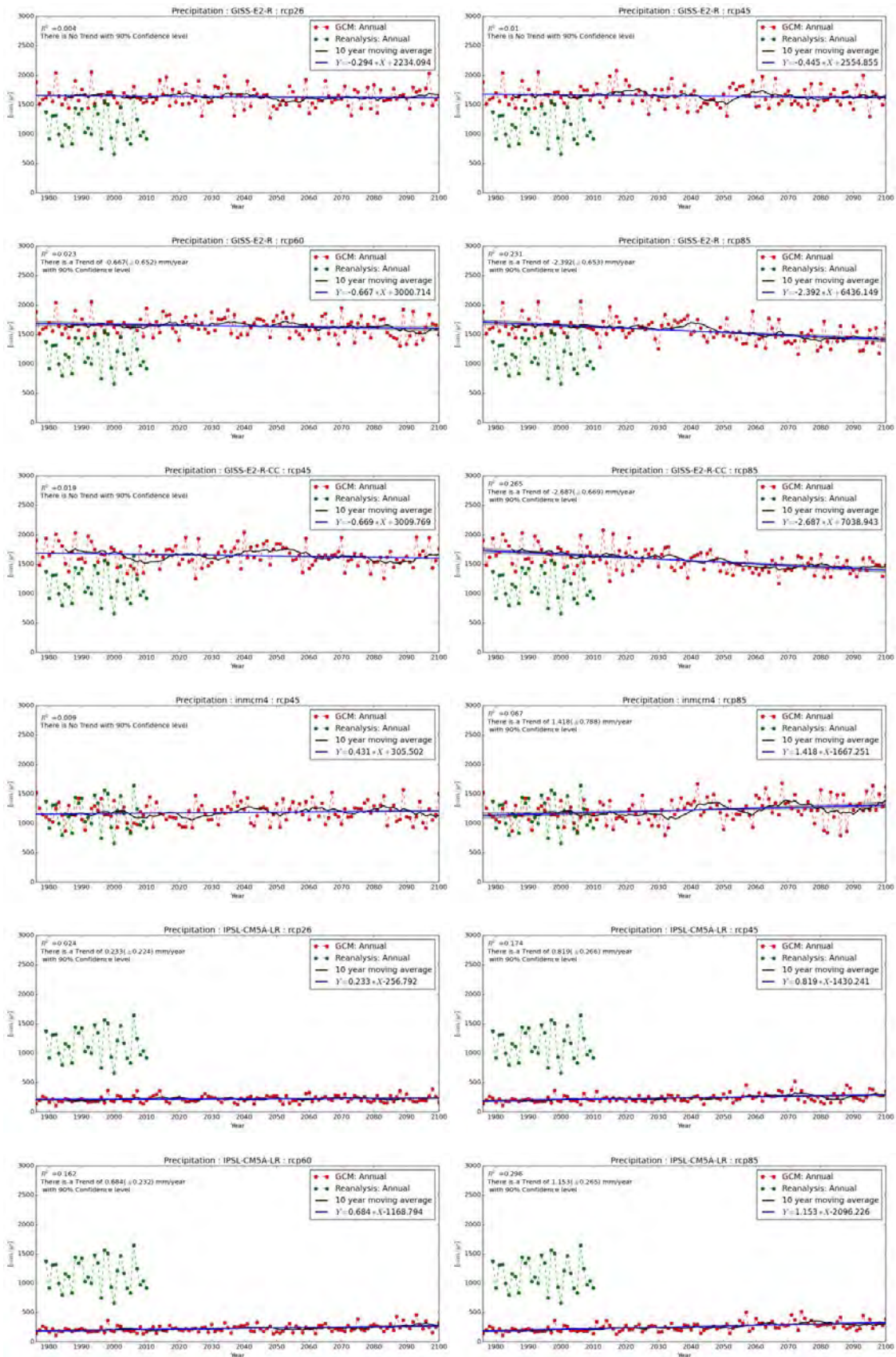


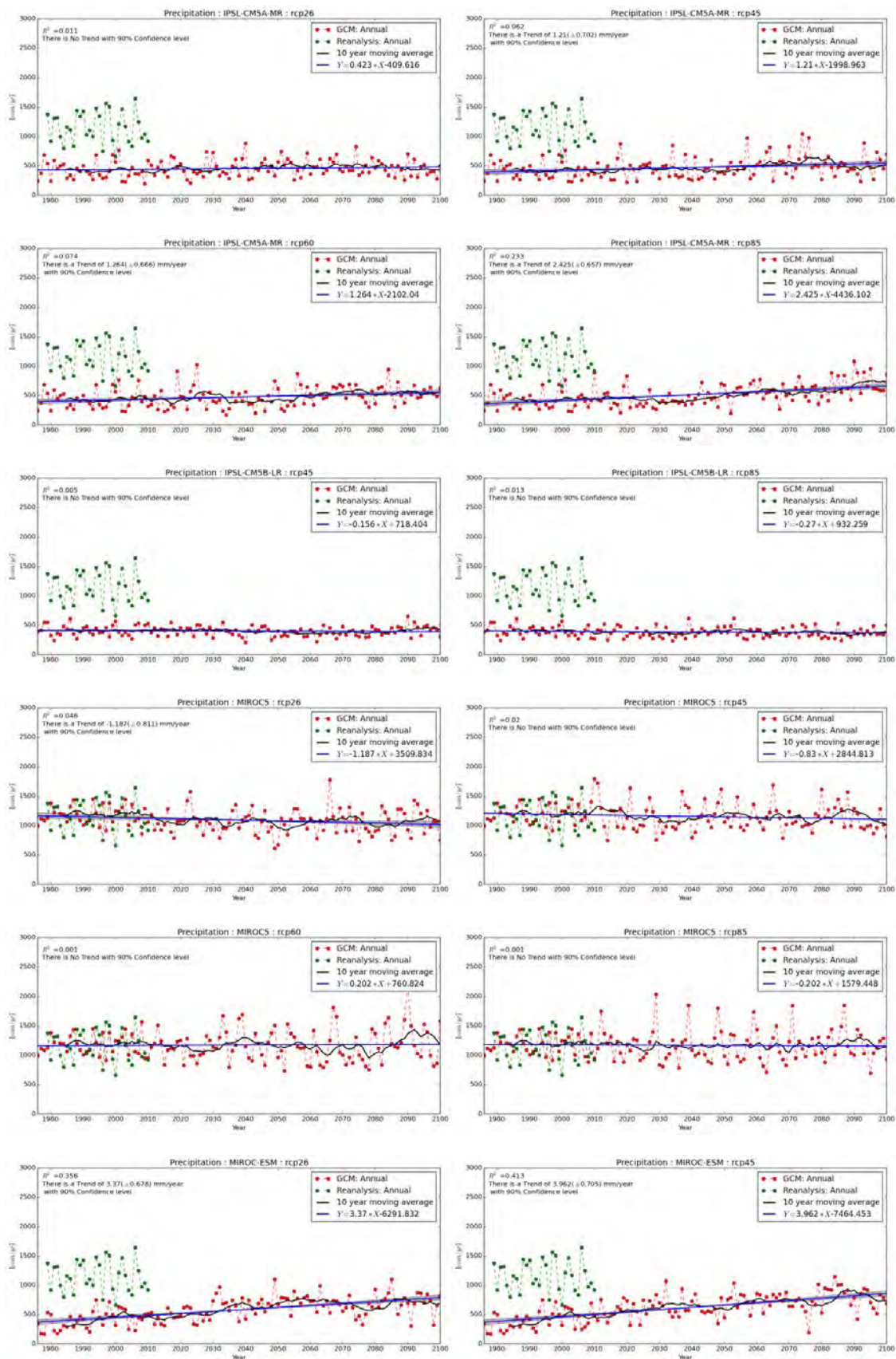


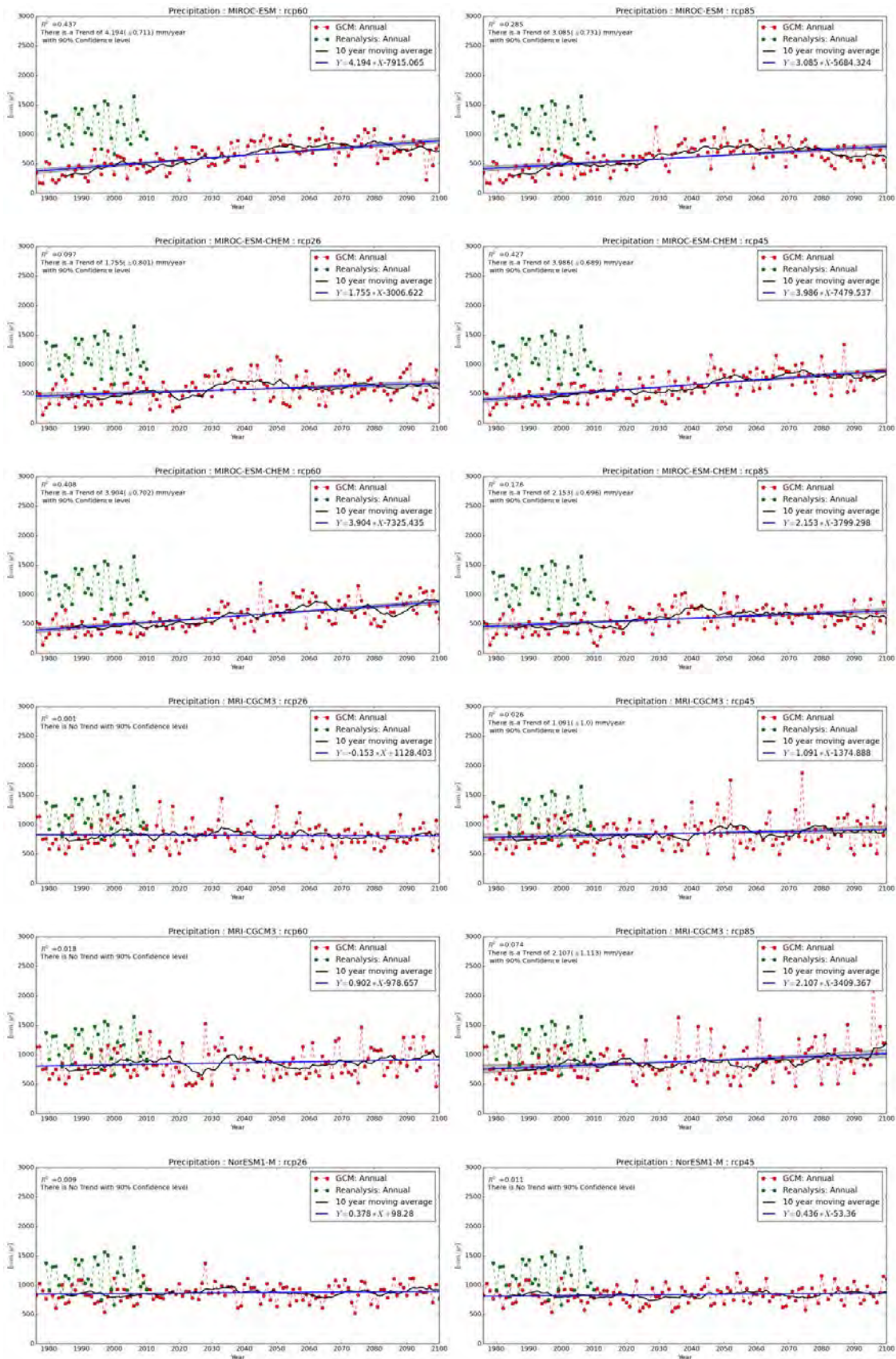


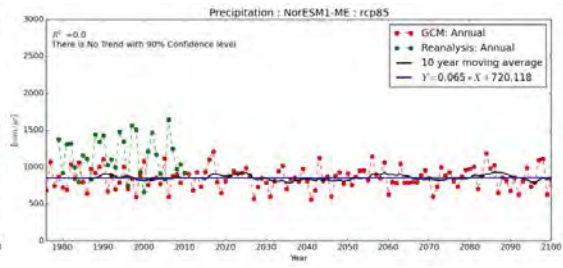
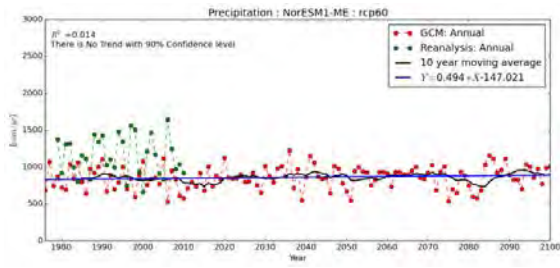
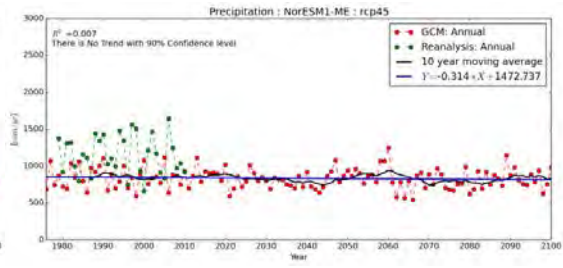
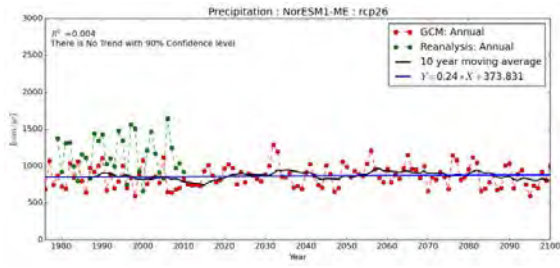
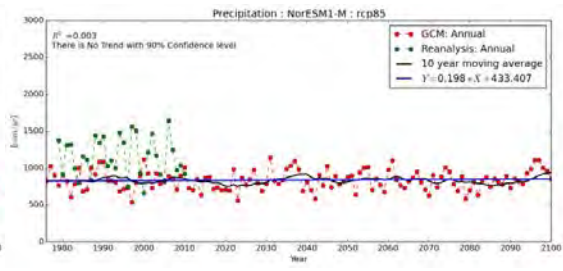
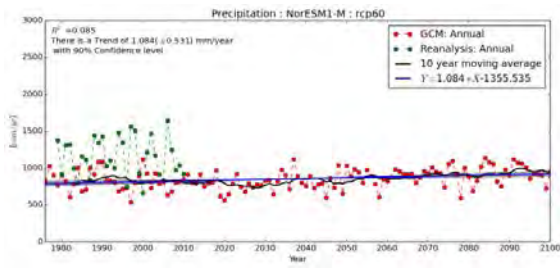




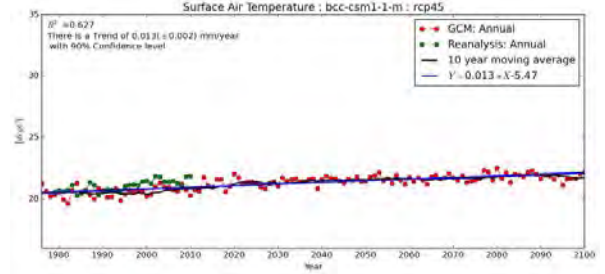
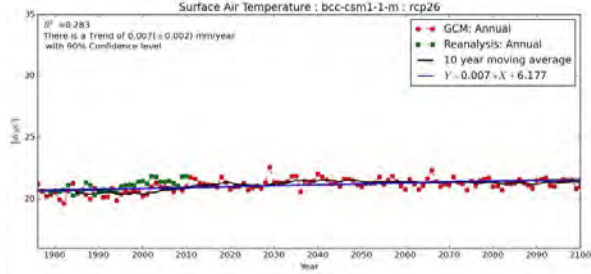
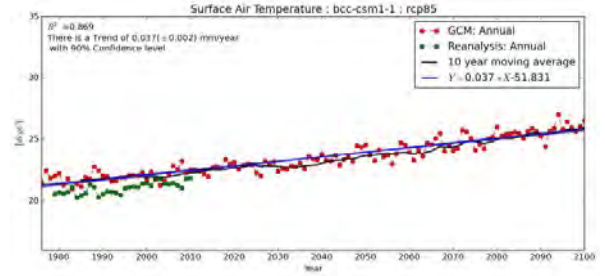
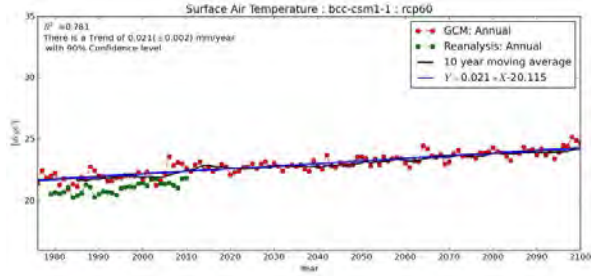
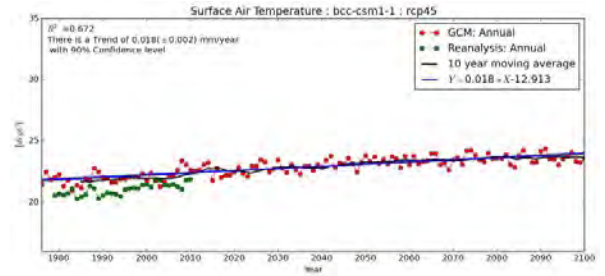
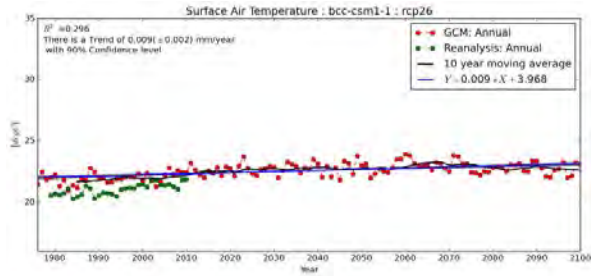
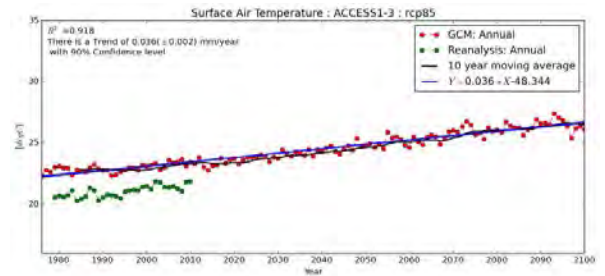
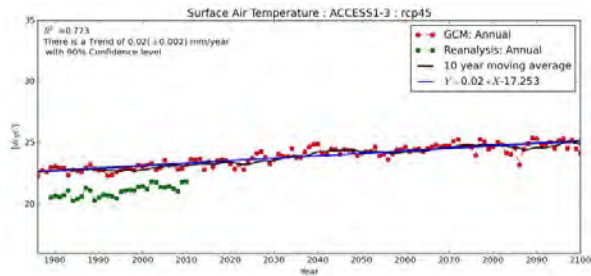
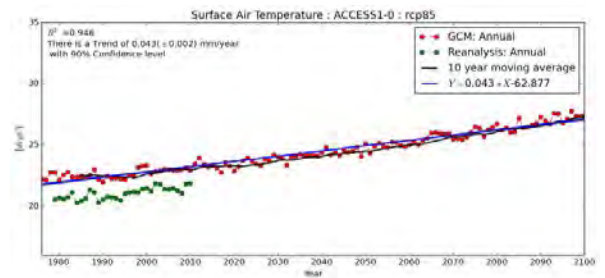
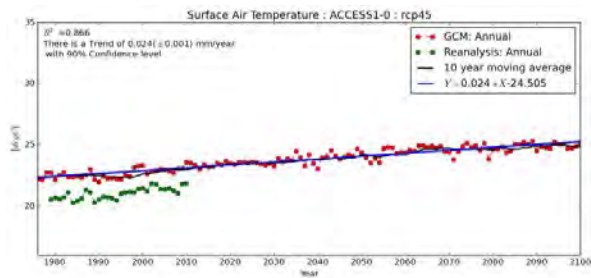


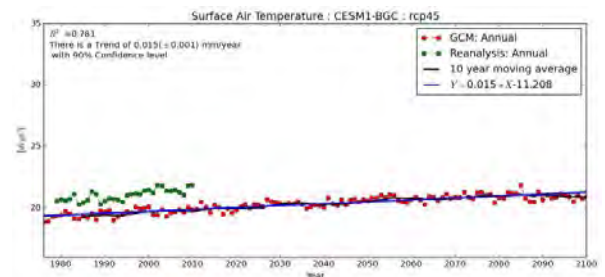
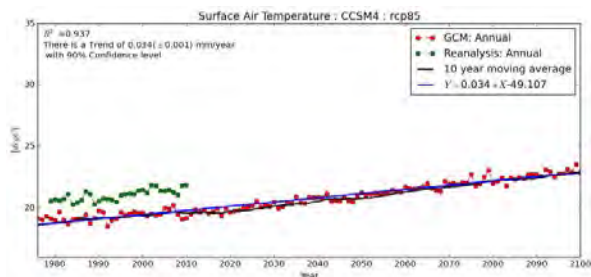
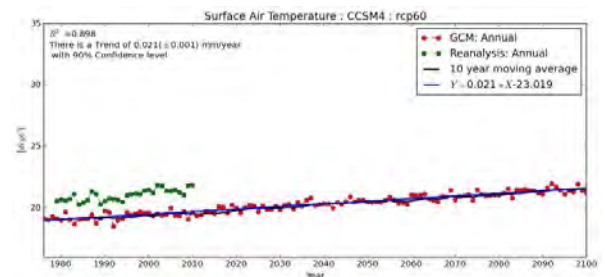
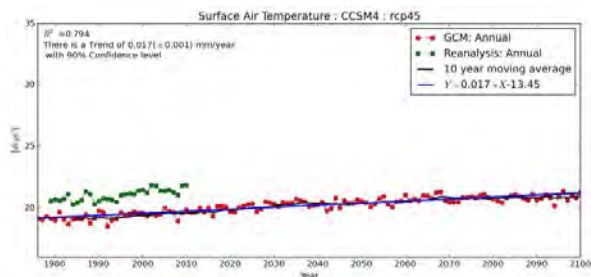
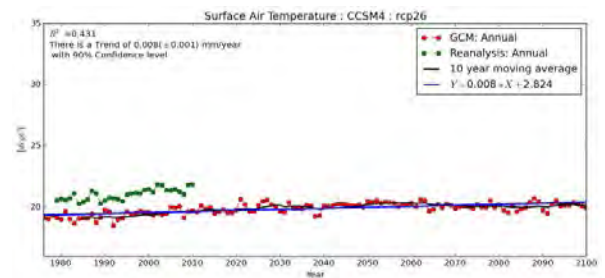
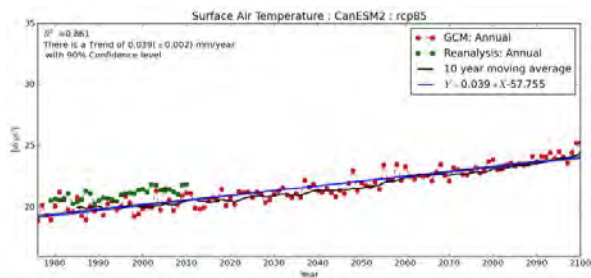
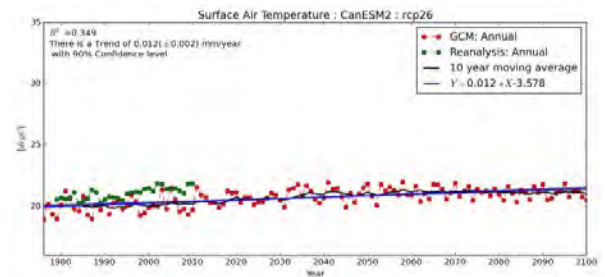
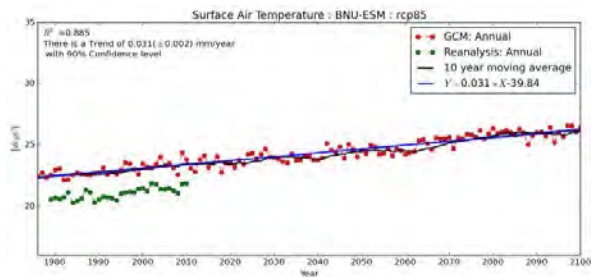
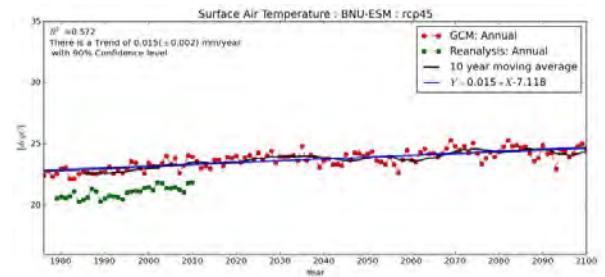
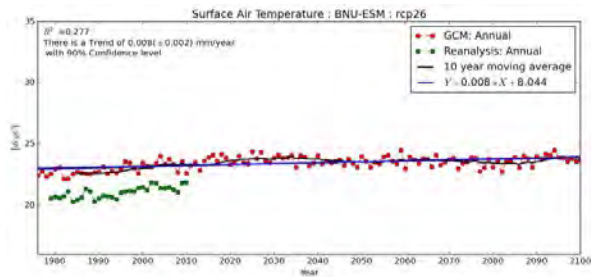
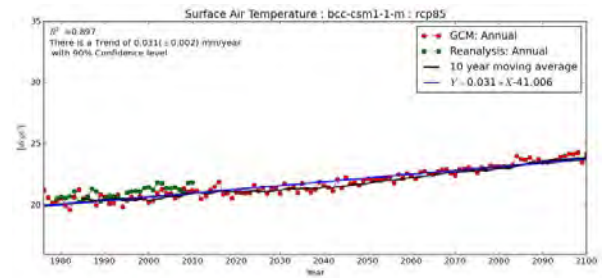
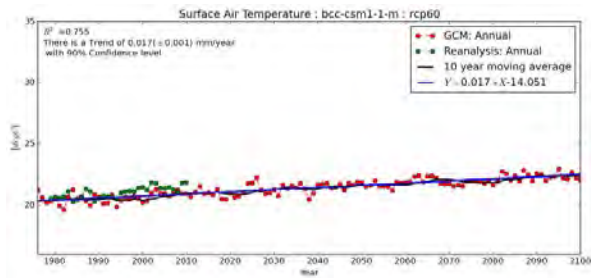


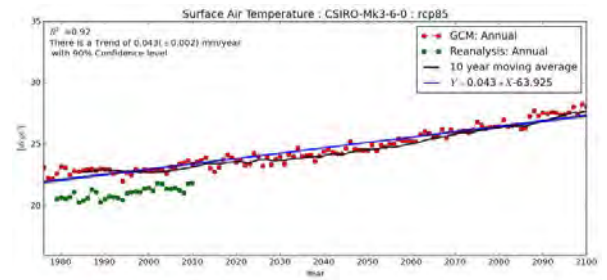
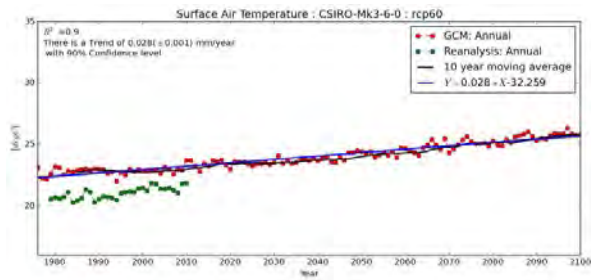
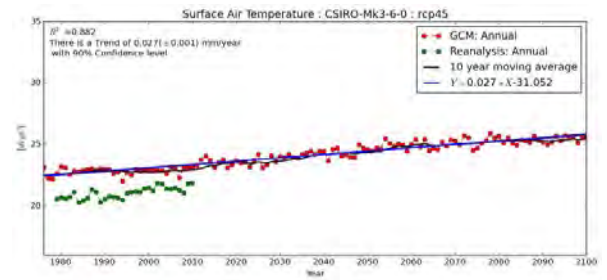
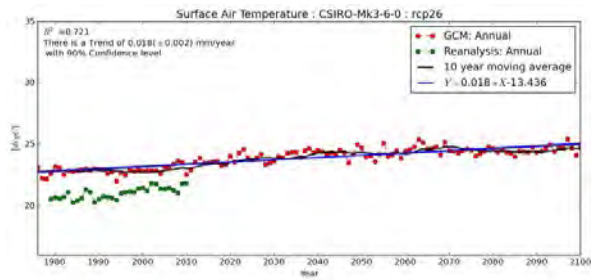
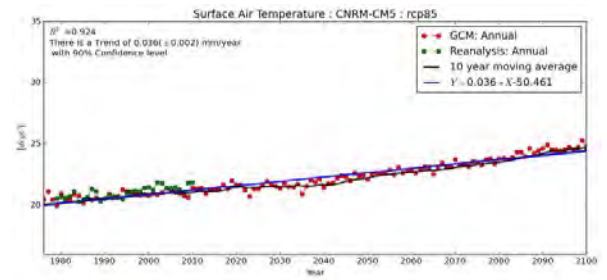
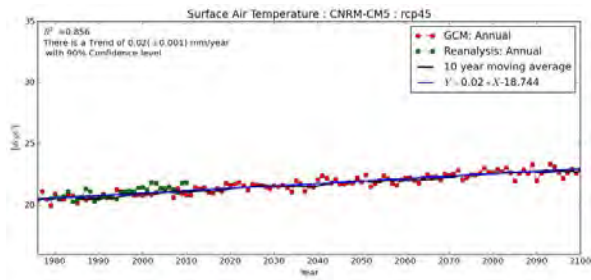
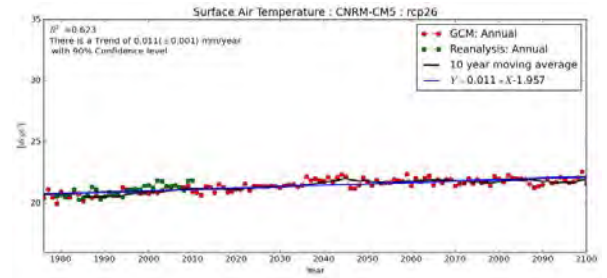
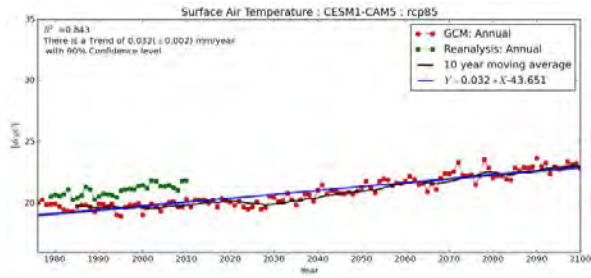
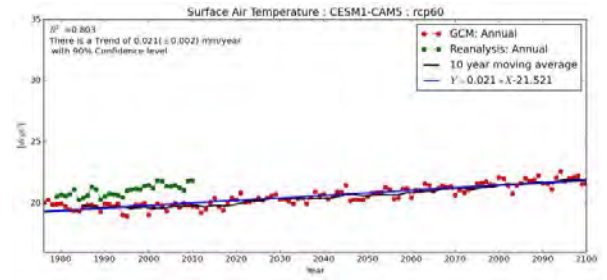
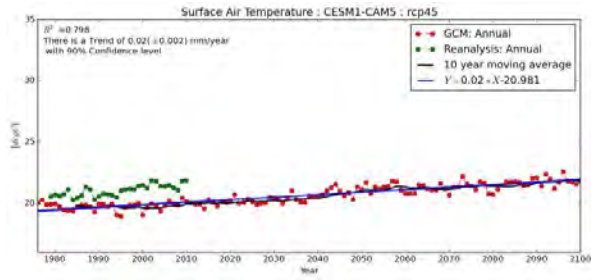
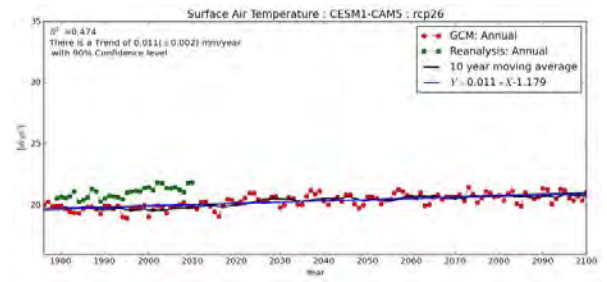
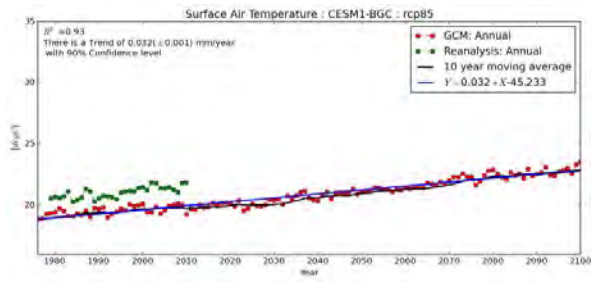


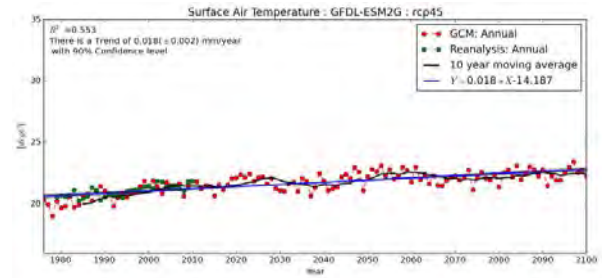
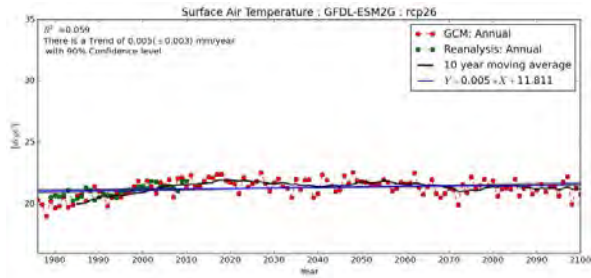
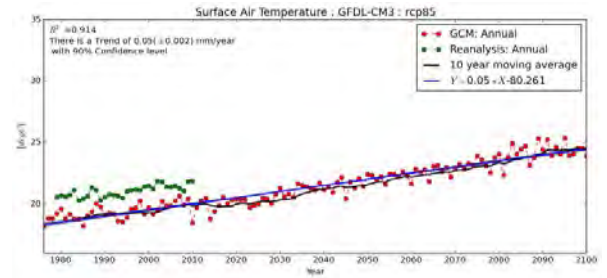
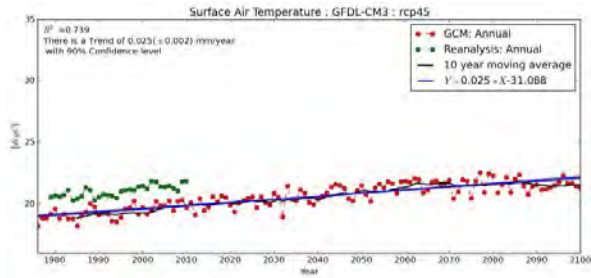
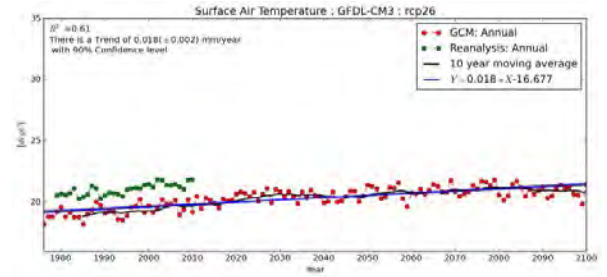
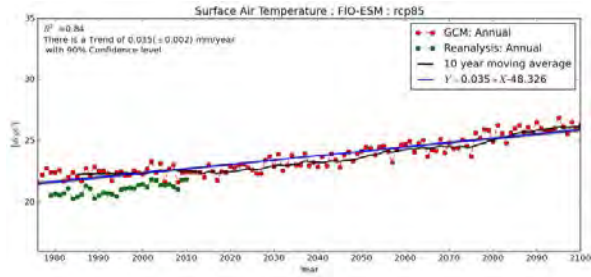
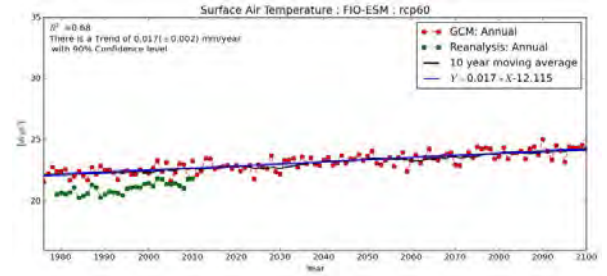
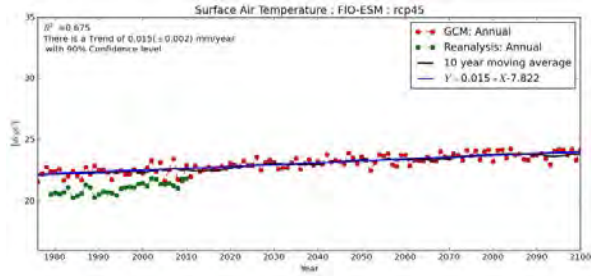
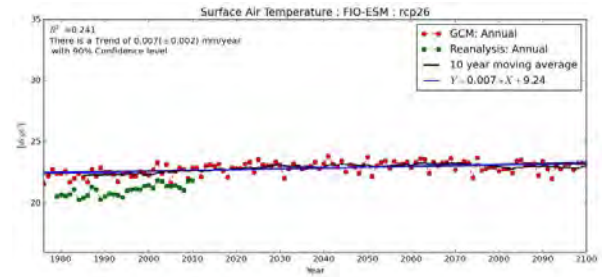
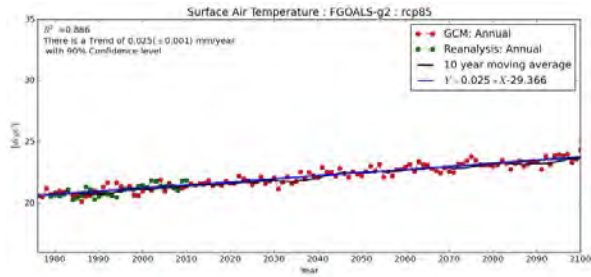
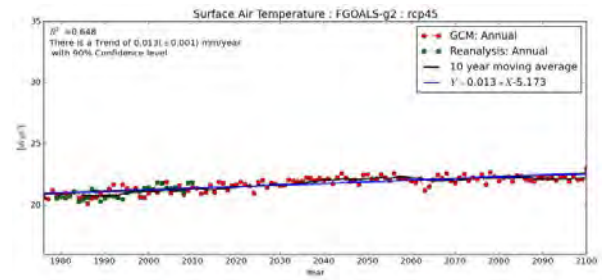
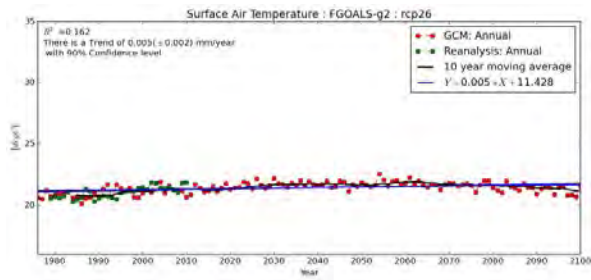


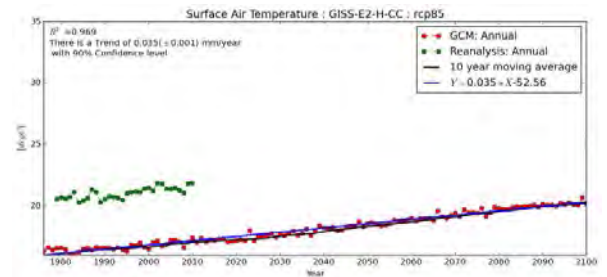
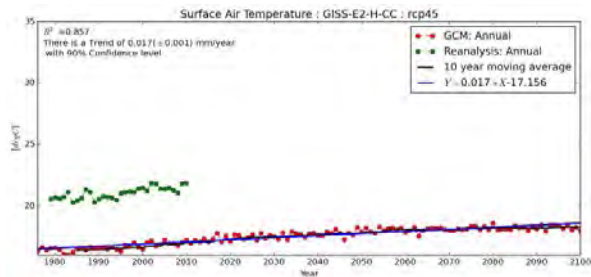
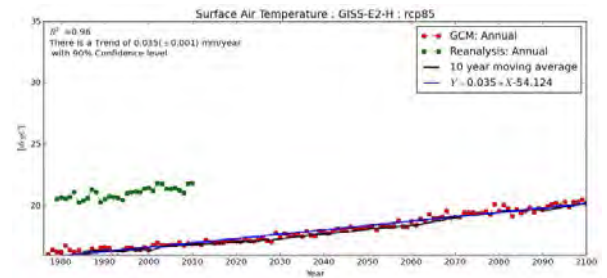
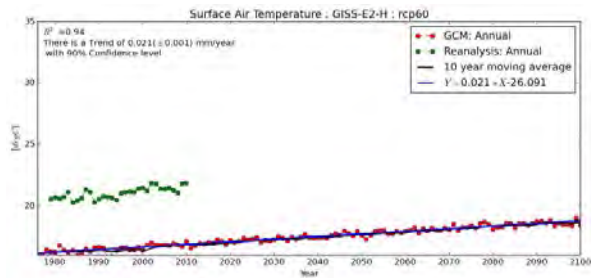
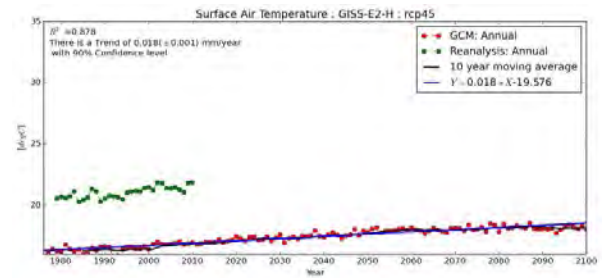
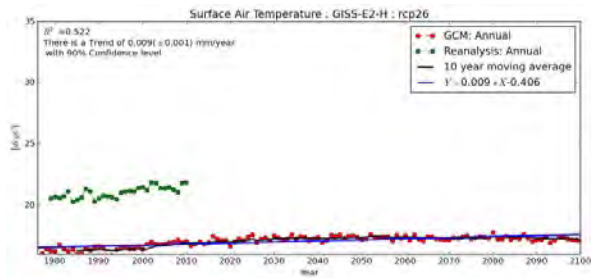
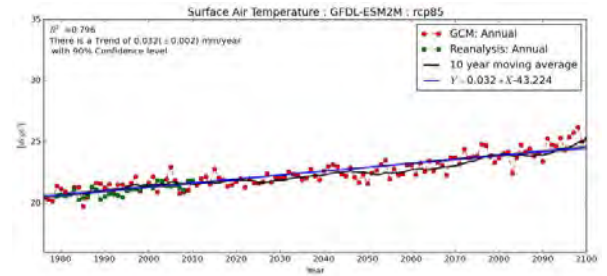
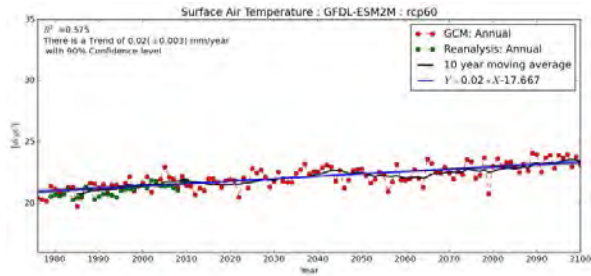
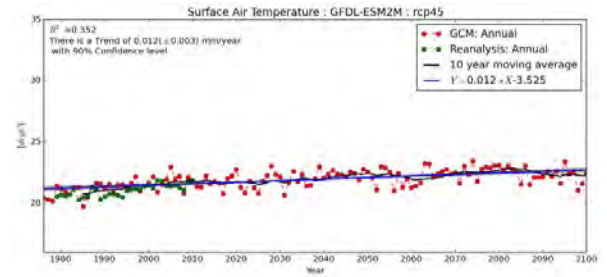
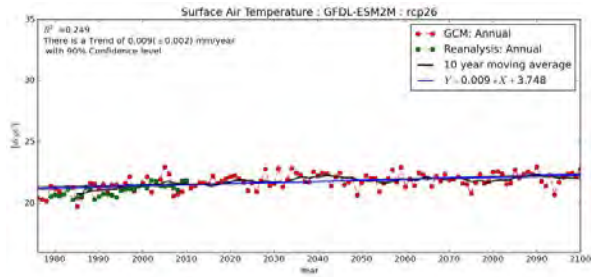
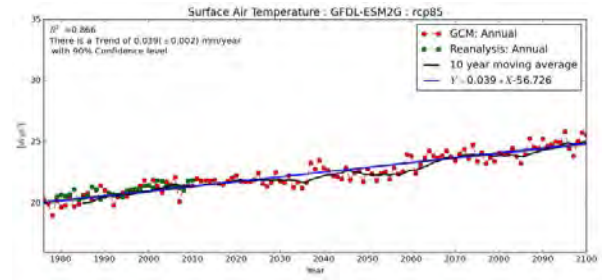
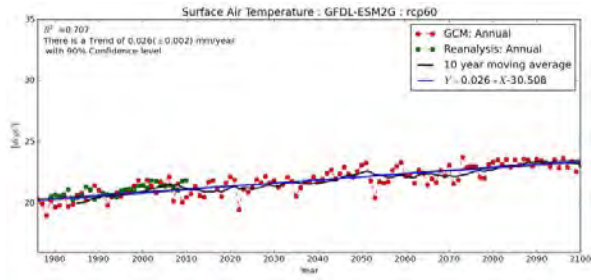
2.2. 年平均地表气温(tas)

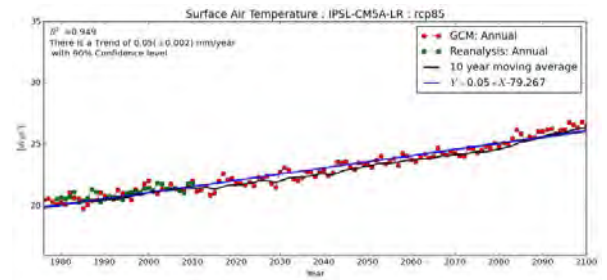
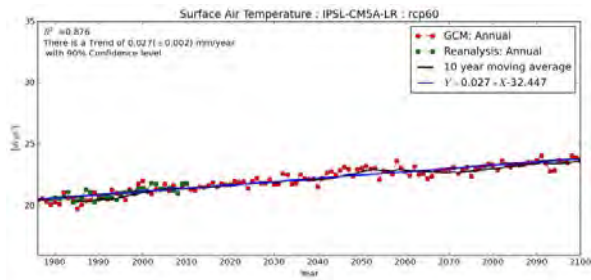
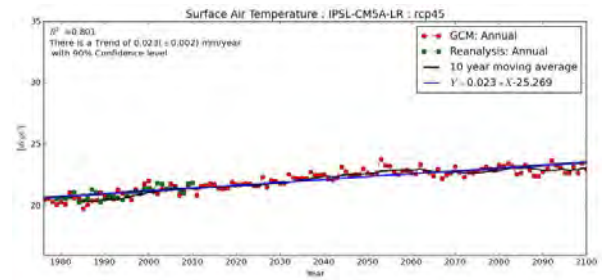
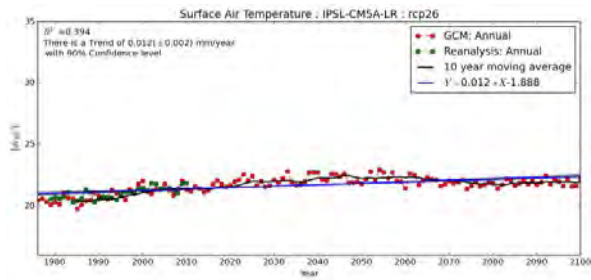
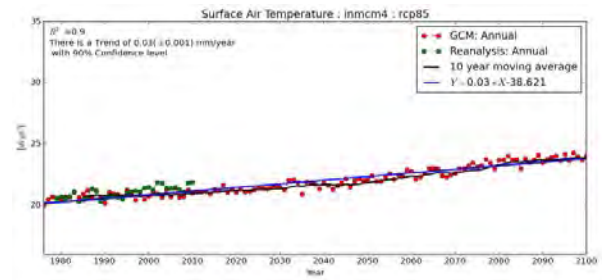
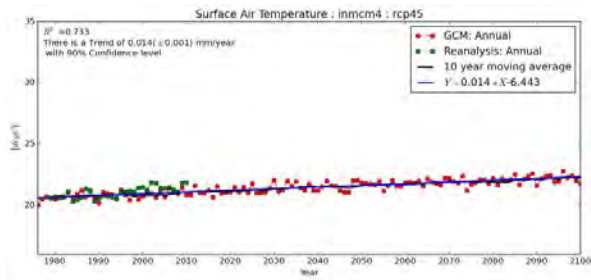
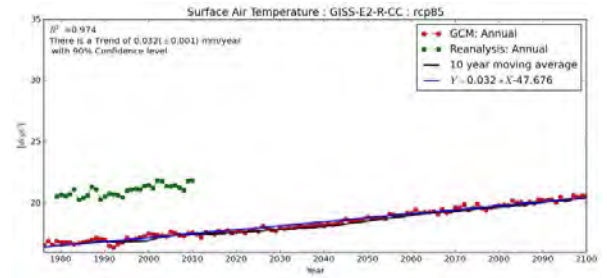
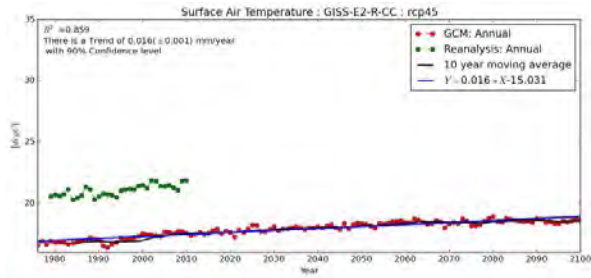
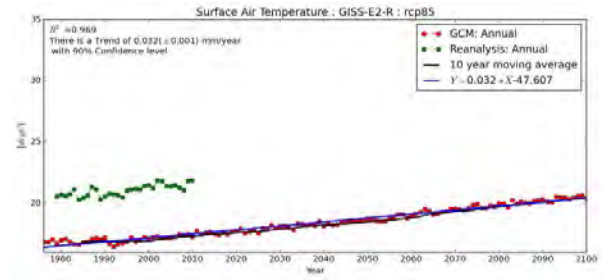
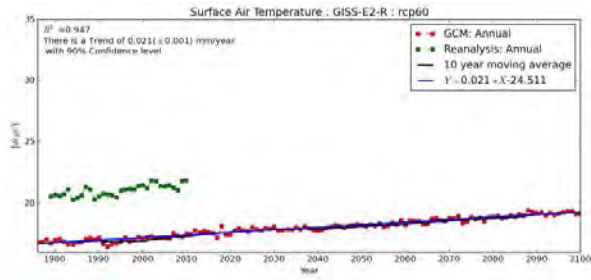
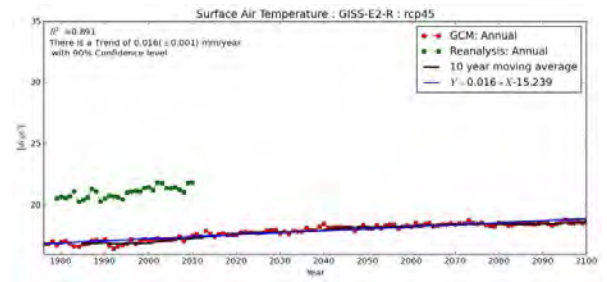
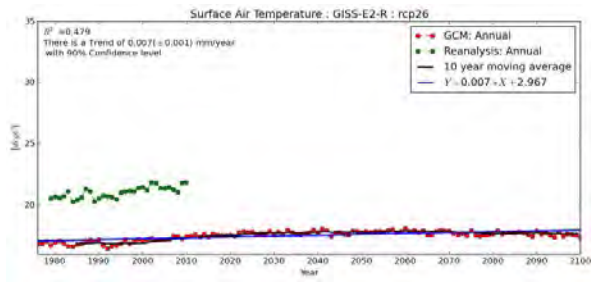


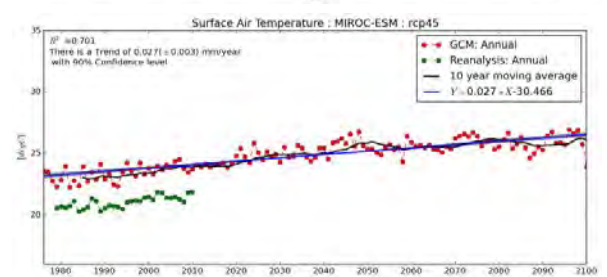
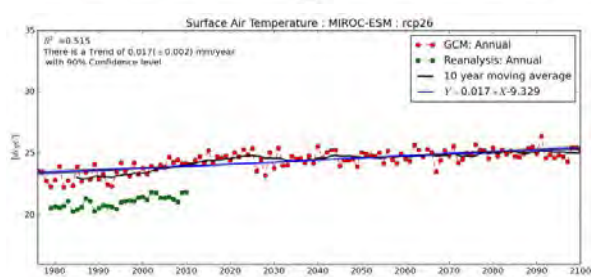
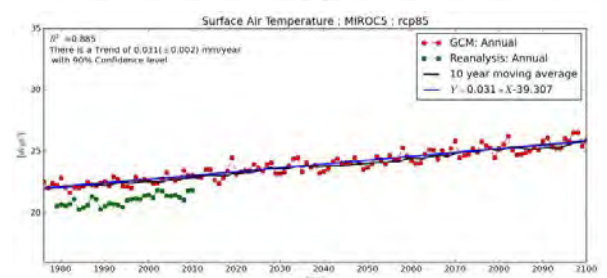
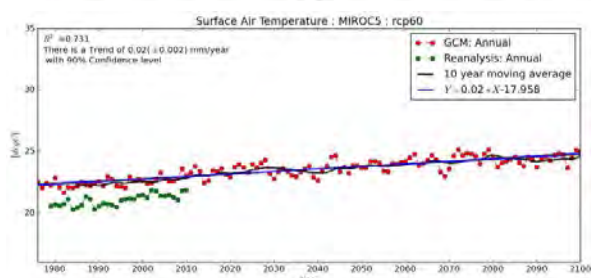
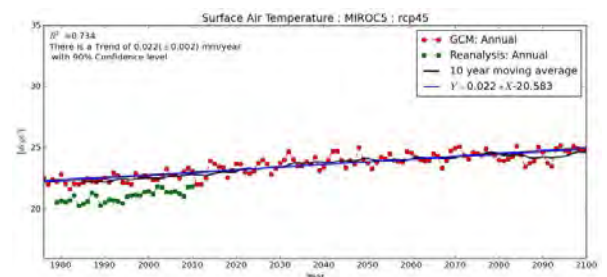
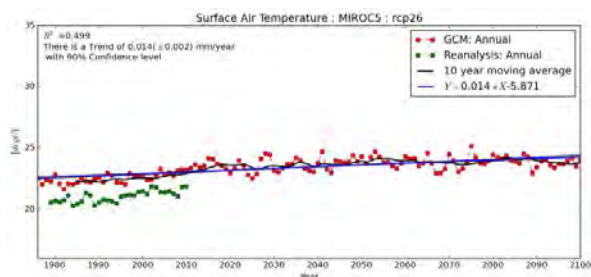
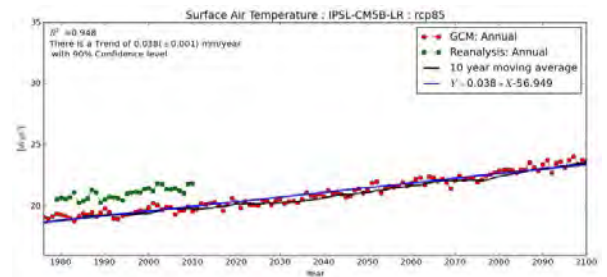
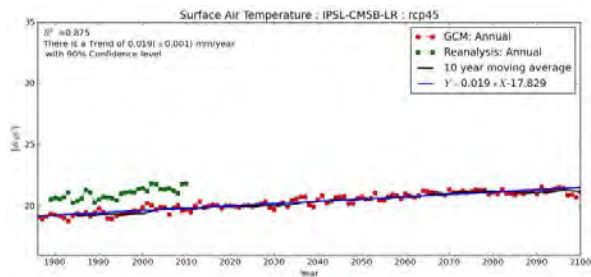
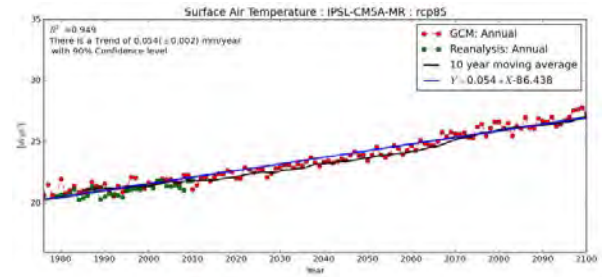
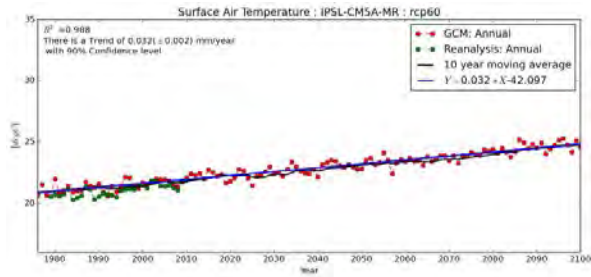
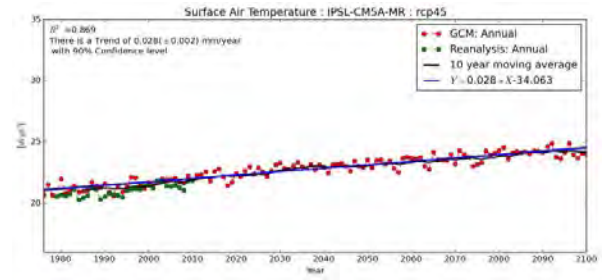
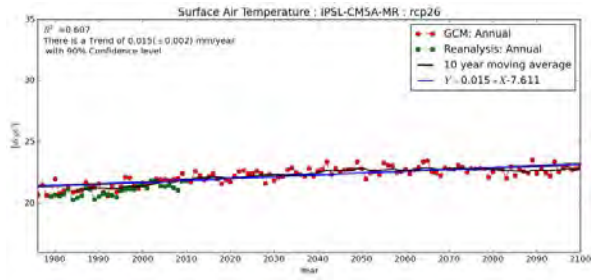


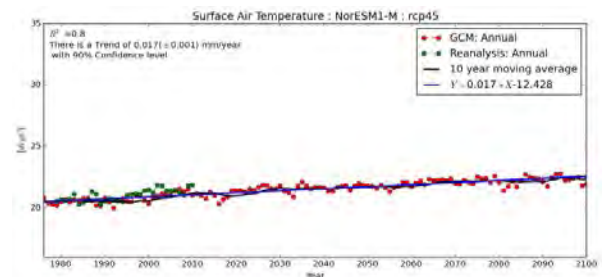
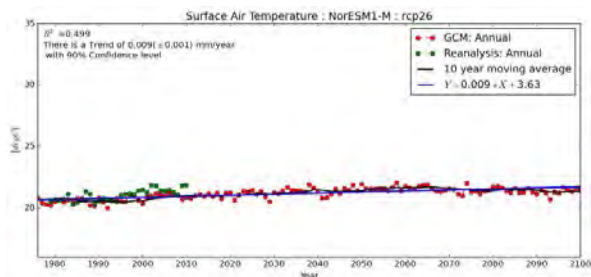
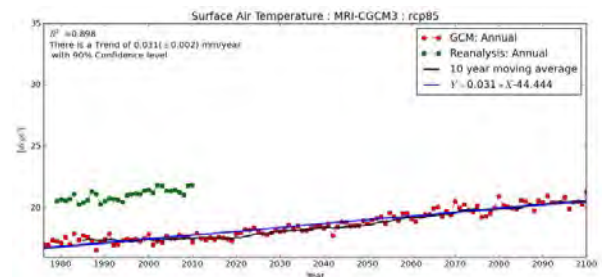
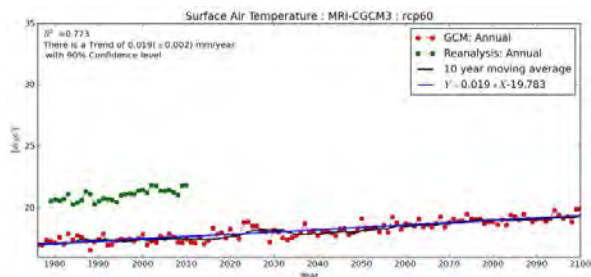
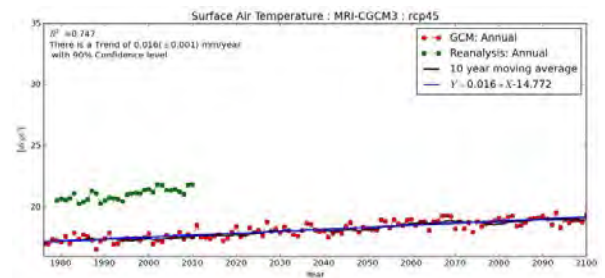
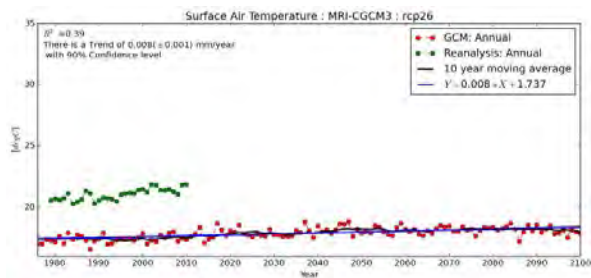
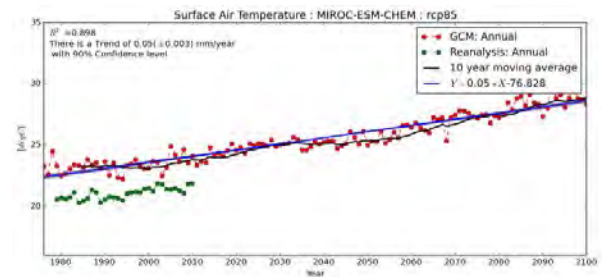
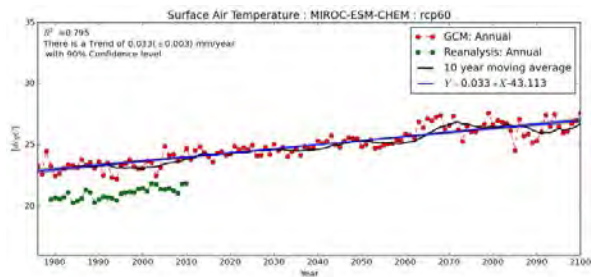
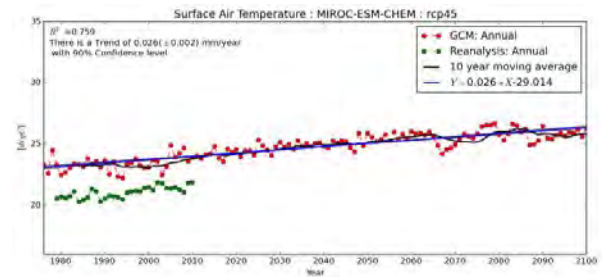
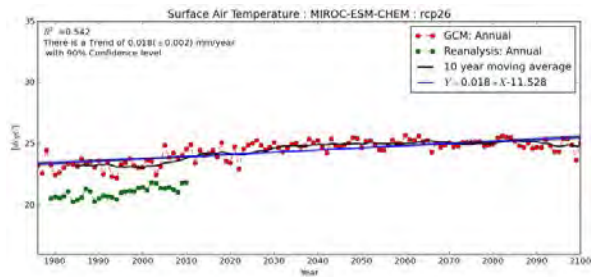
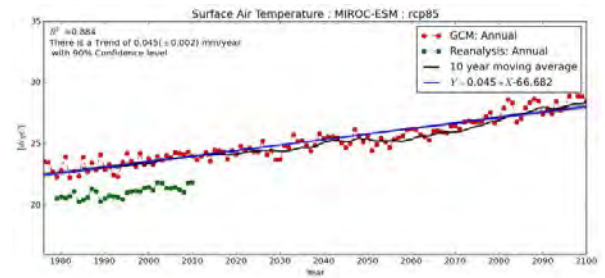
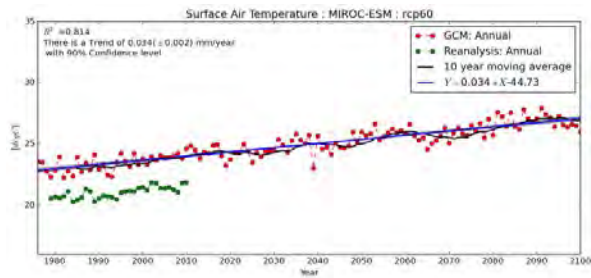


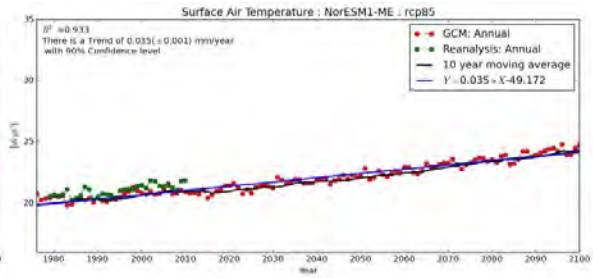
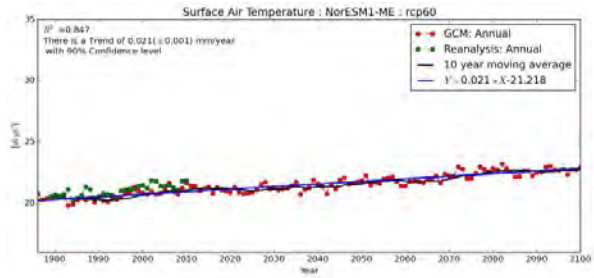
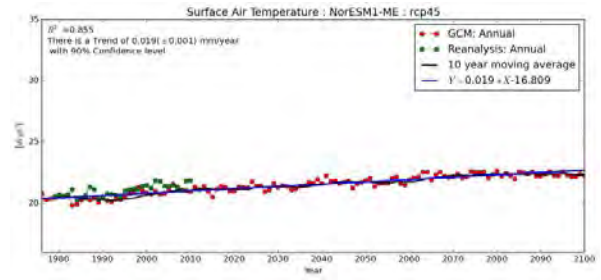
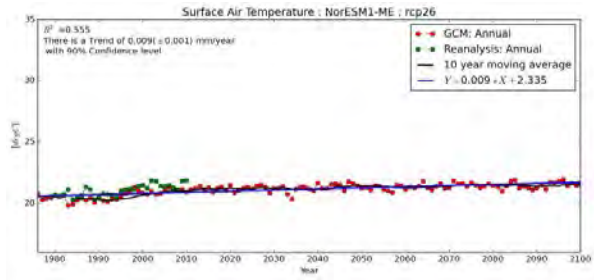
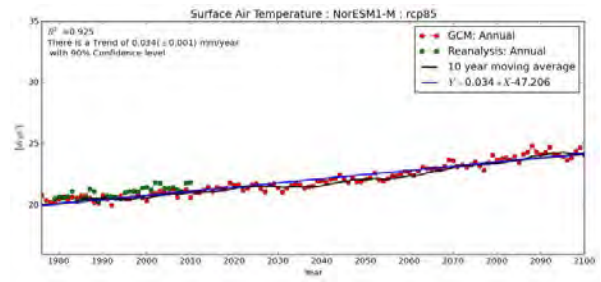
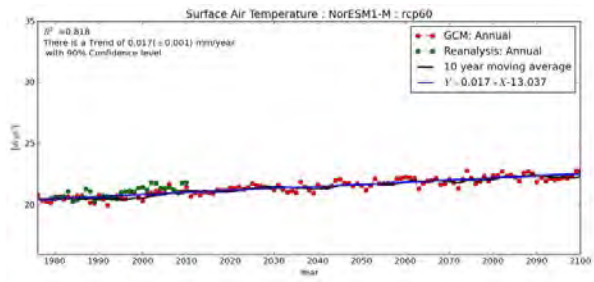




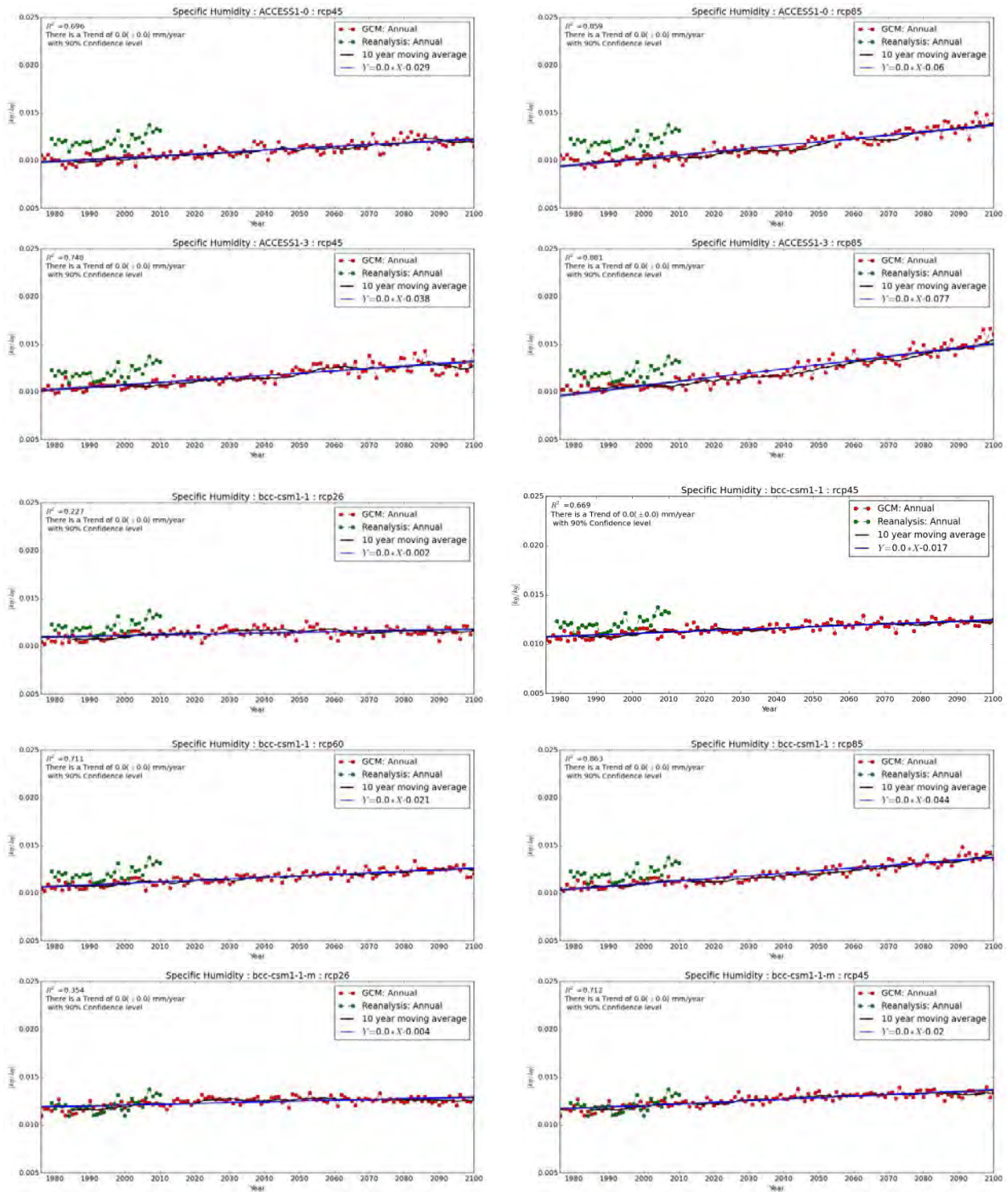


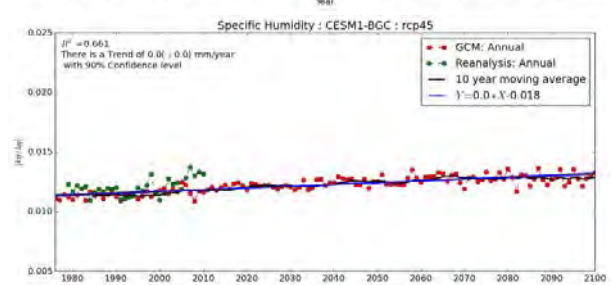
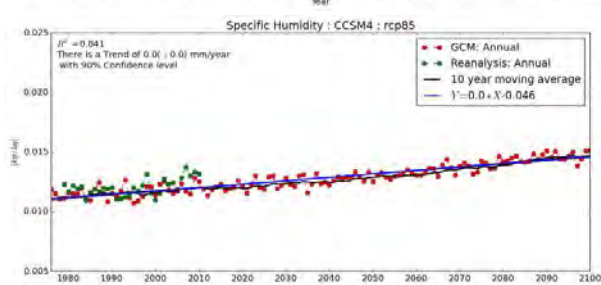
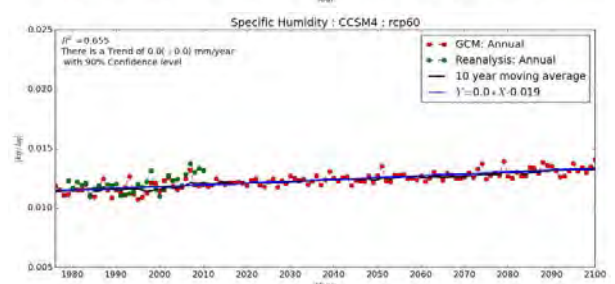
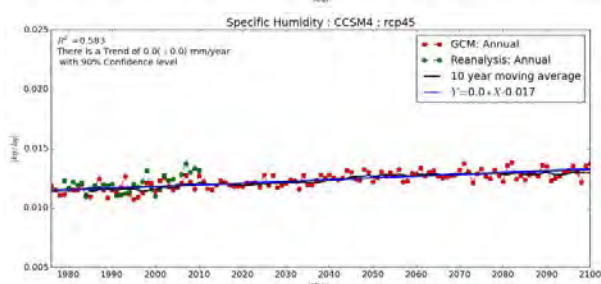
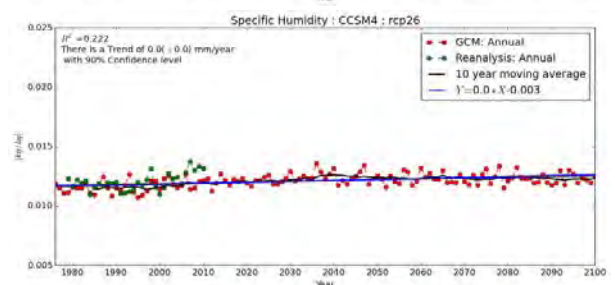
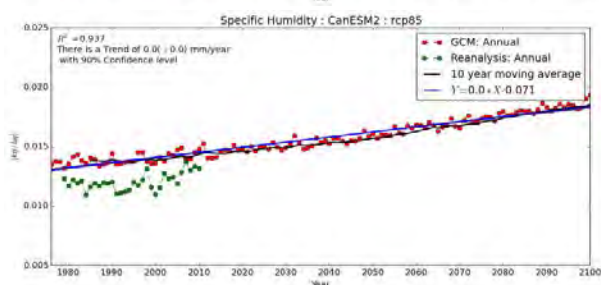
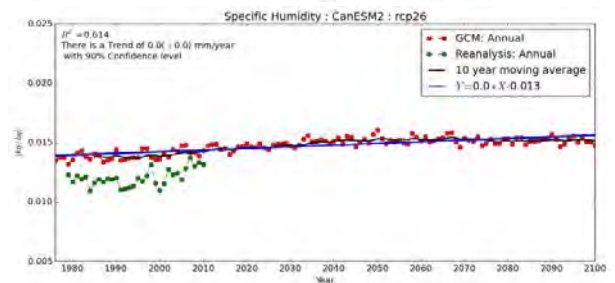
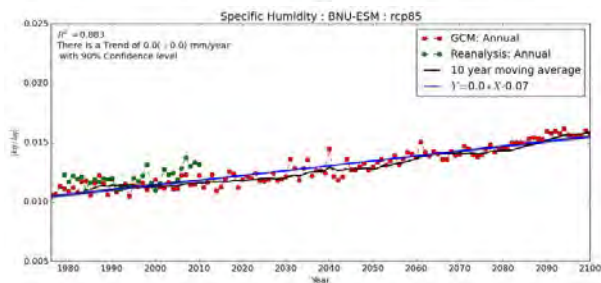
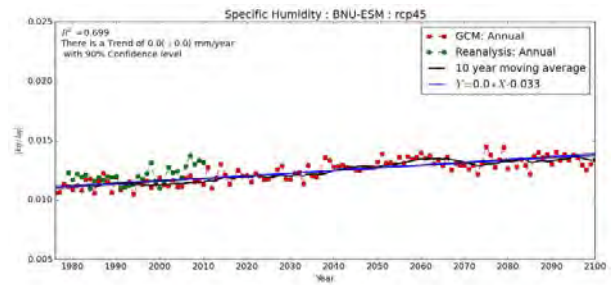
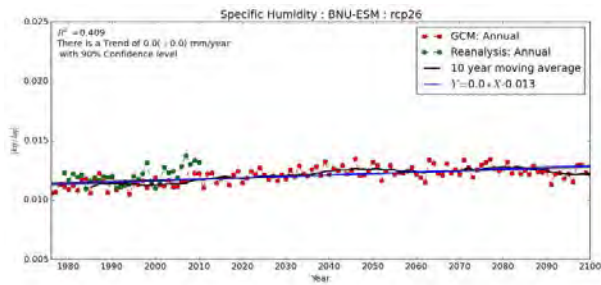
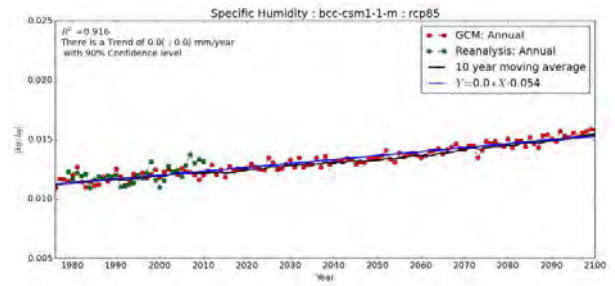
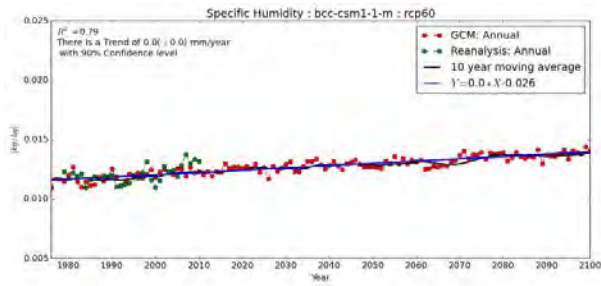


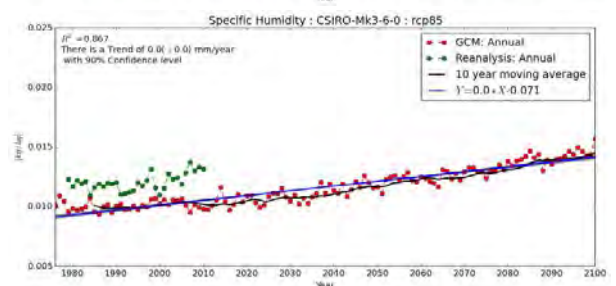
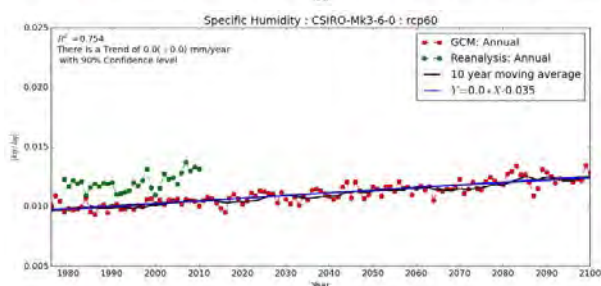
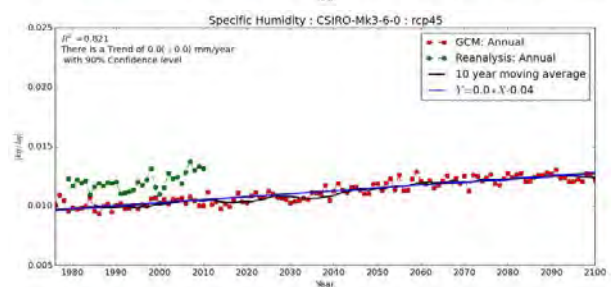
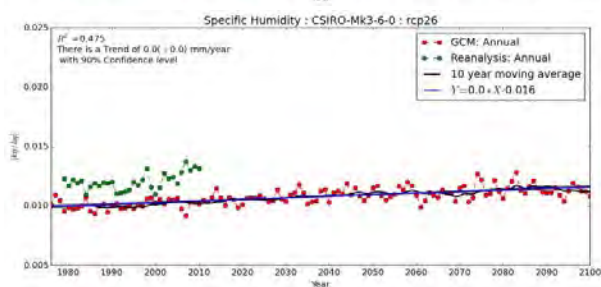
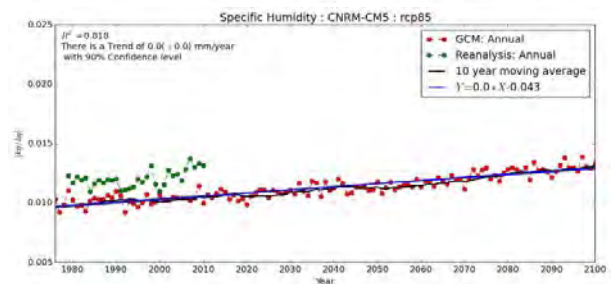
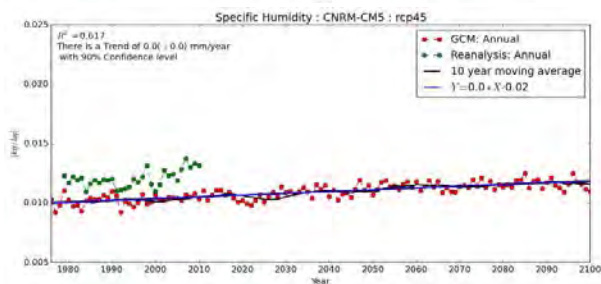
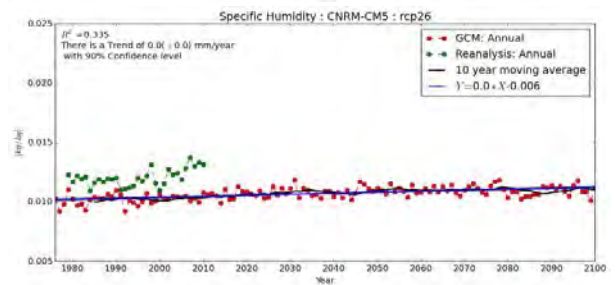
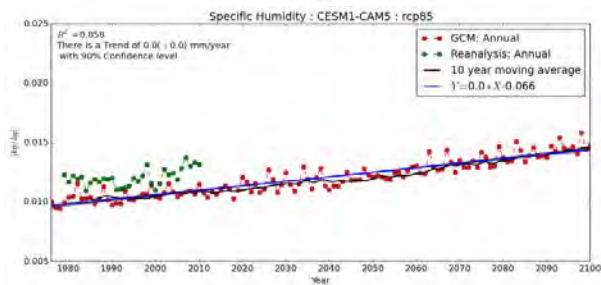
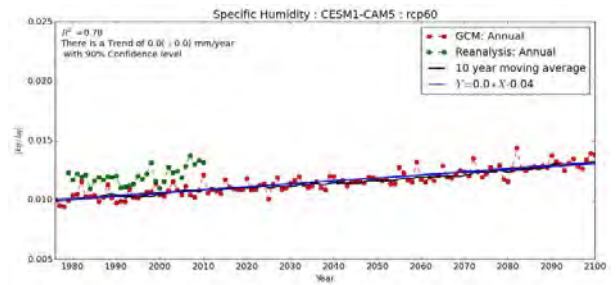
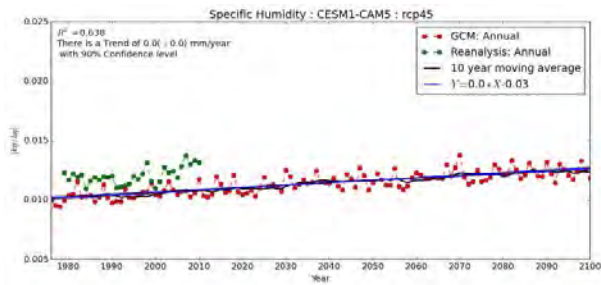
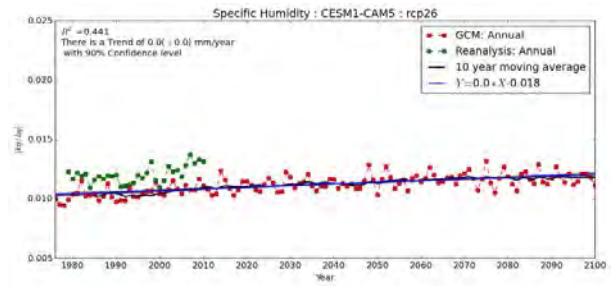
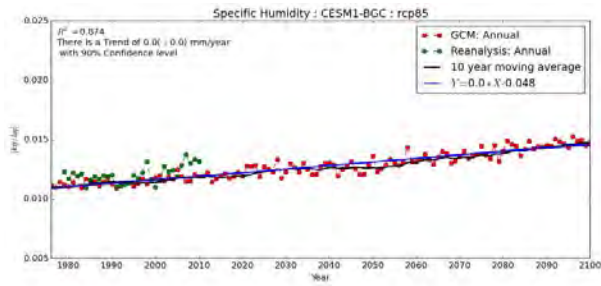


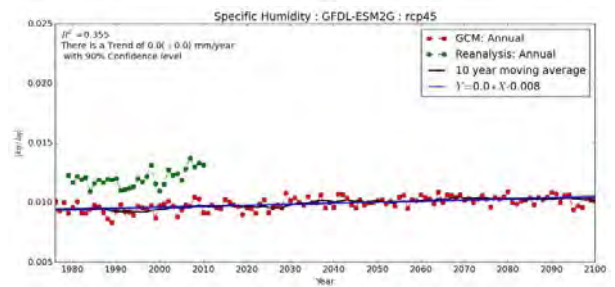
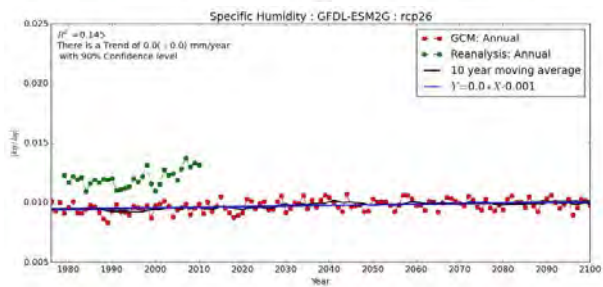
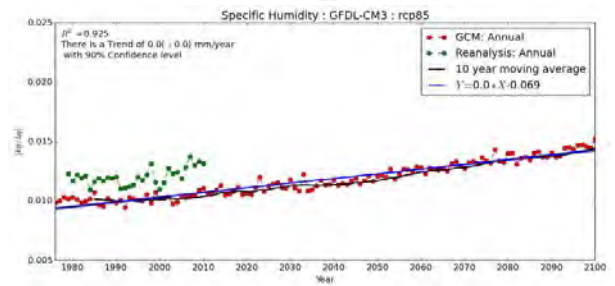
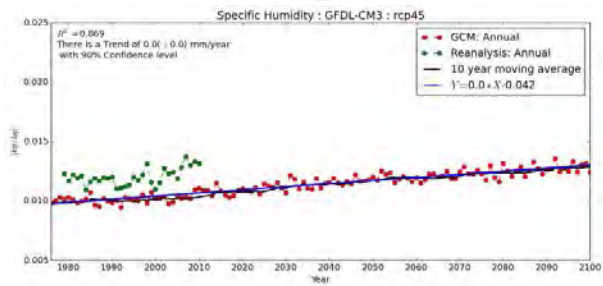
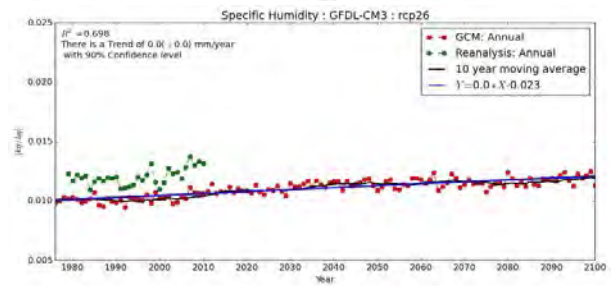
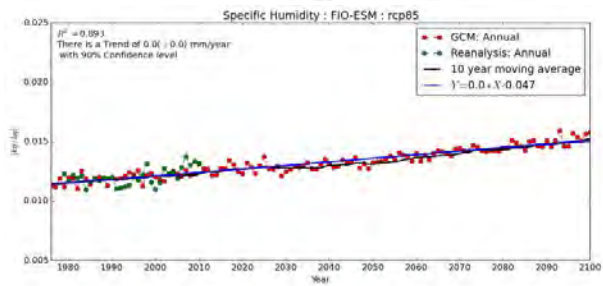
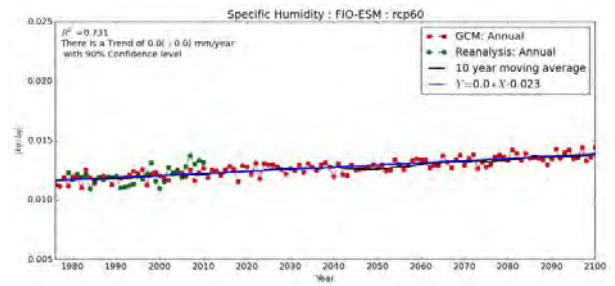
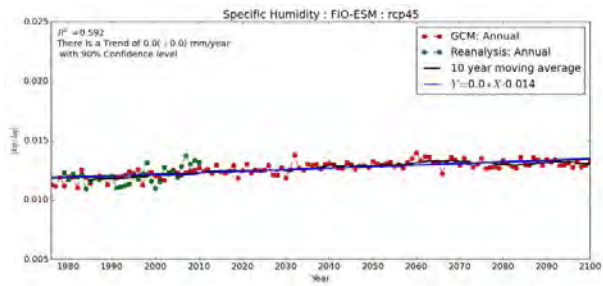
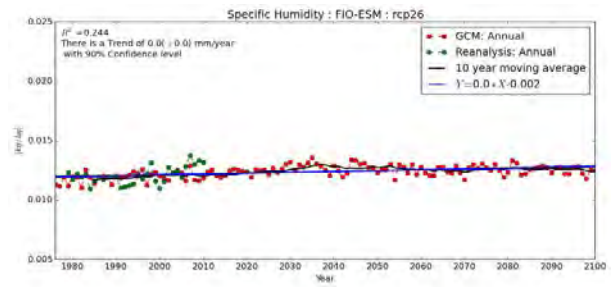
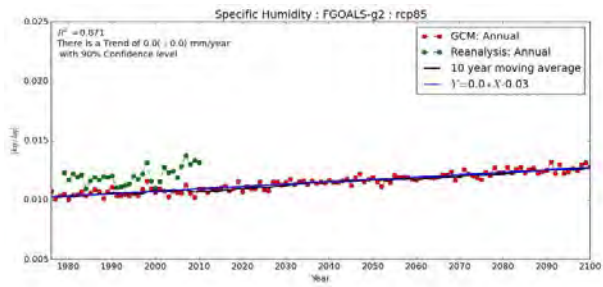
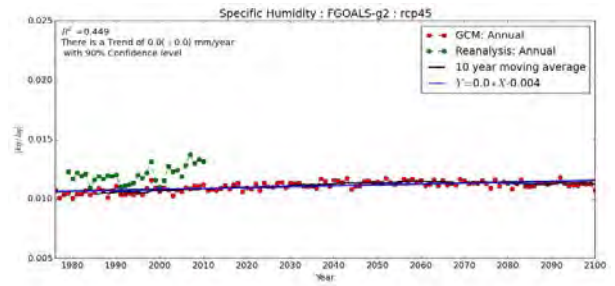
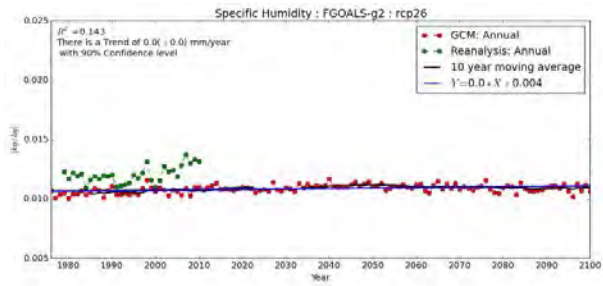


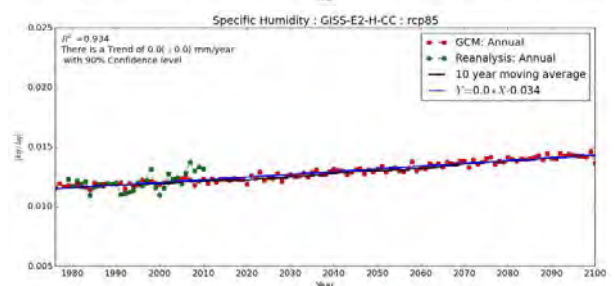
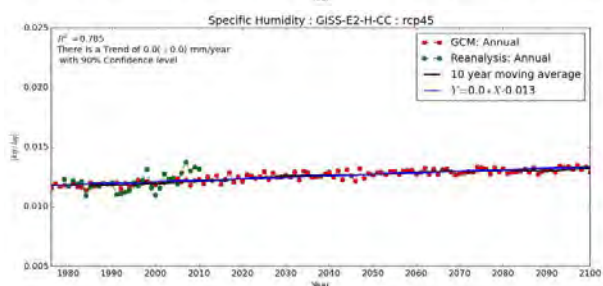
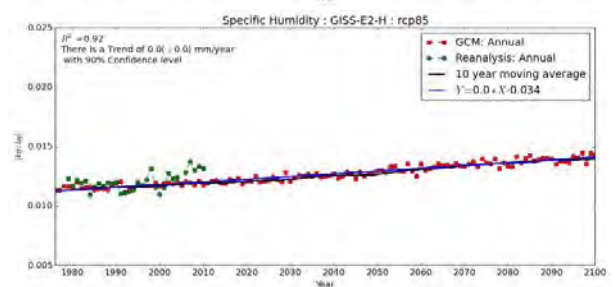
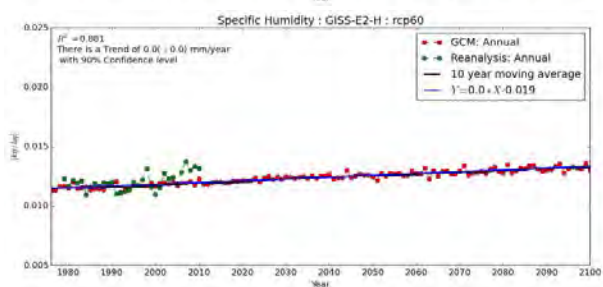
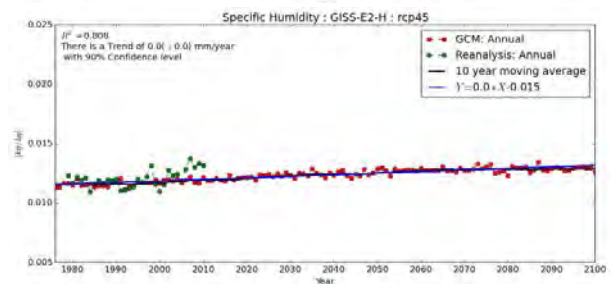
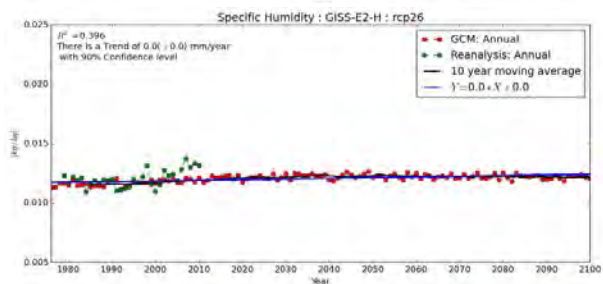
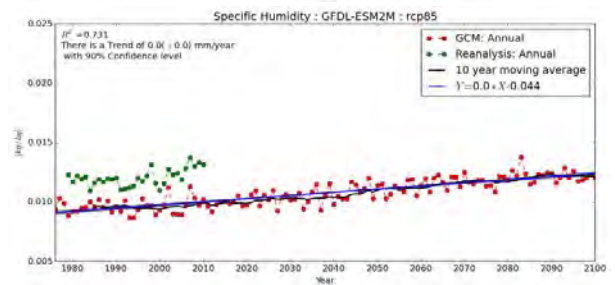
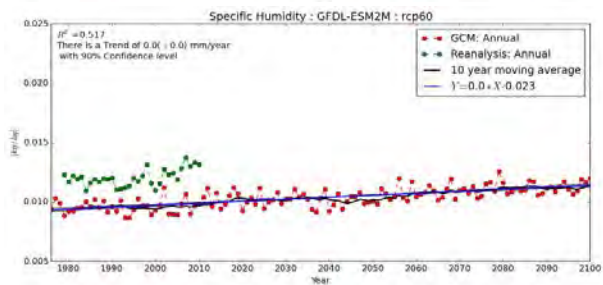
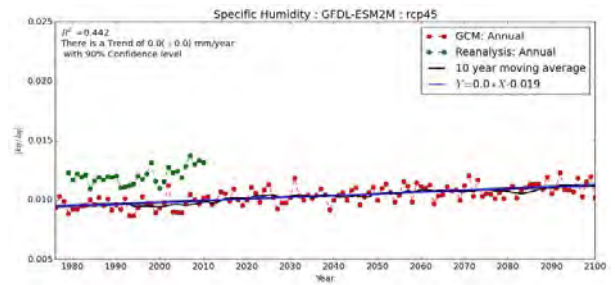
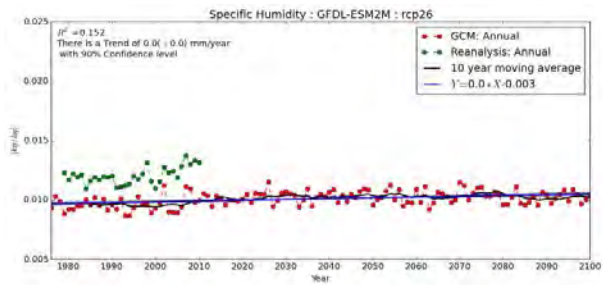
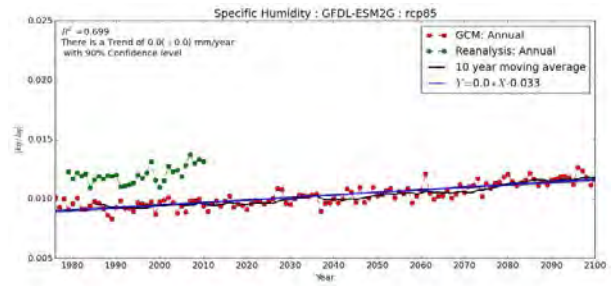
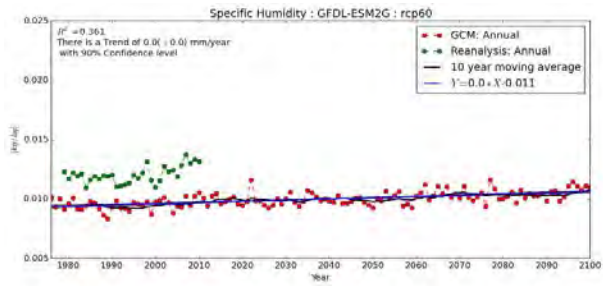
2.3. 年平均比湿(huss)

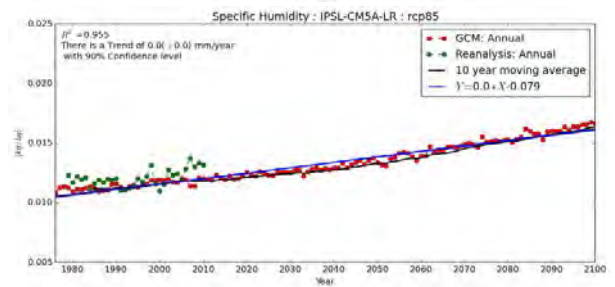
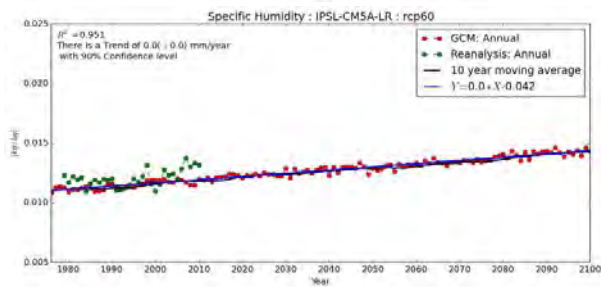
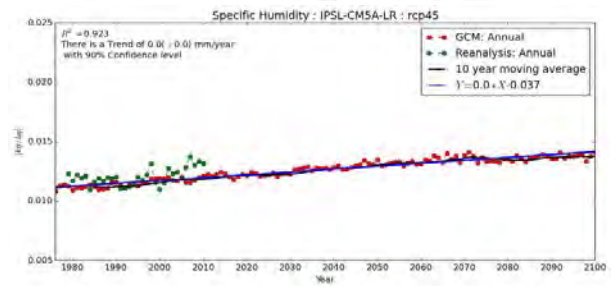
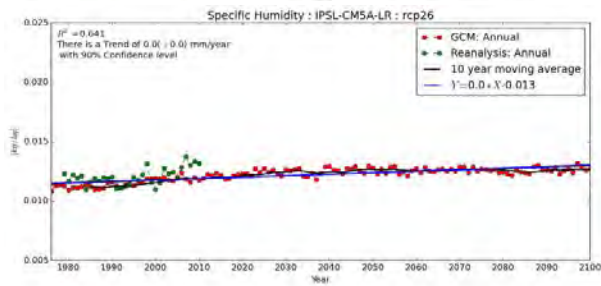
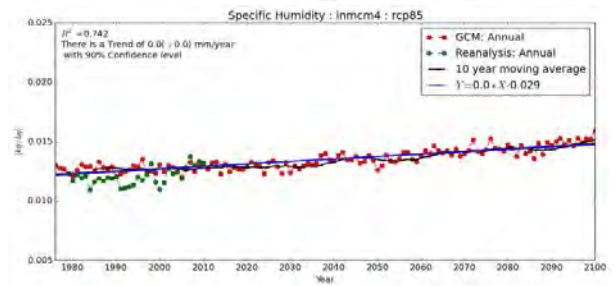
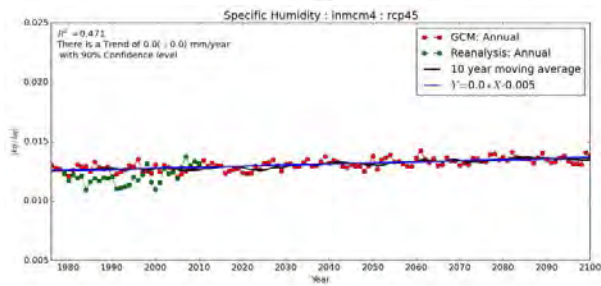
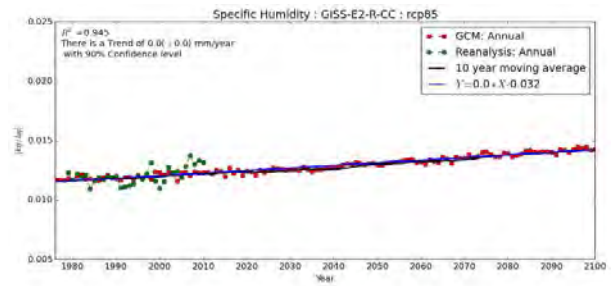
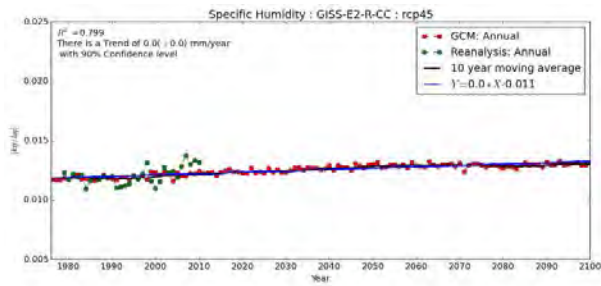
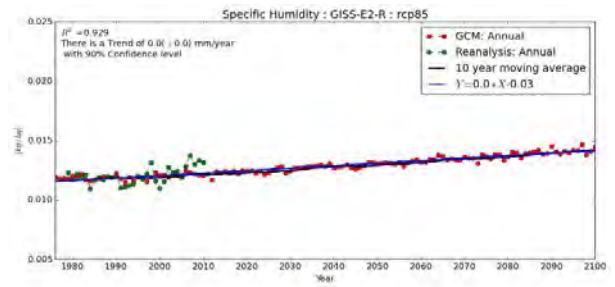
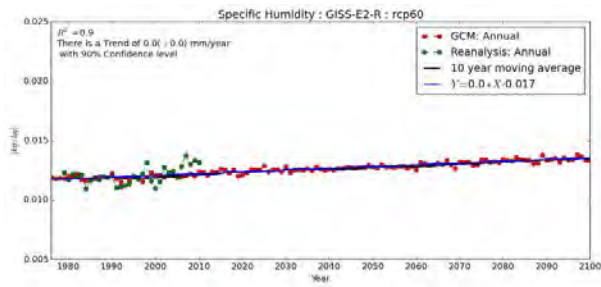
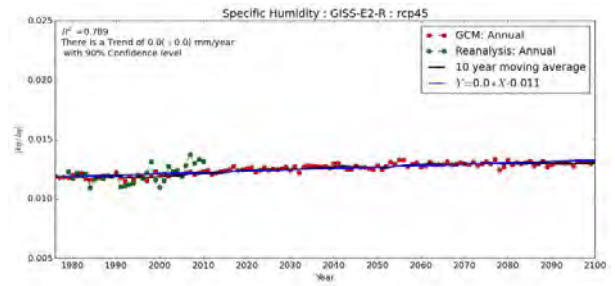
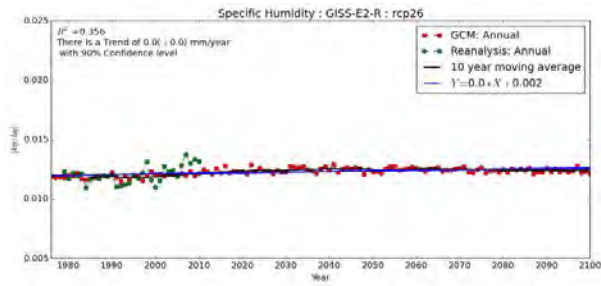


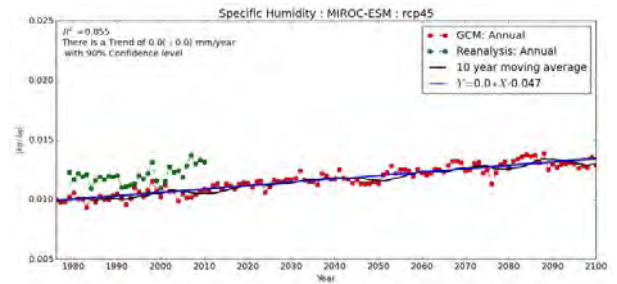
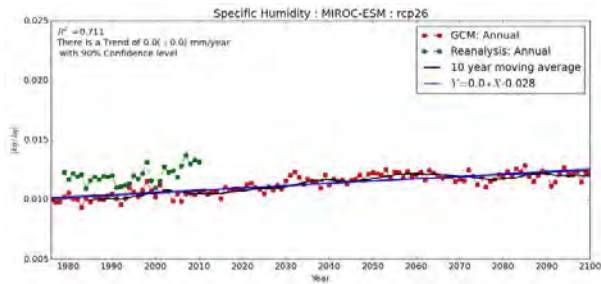
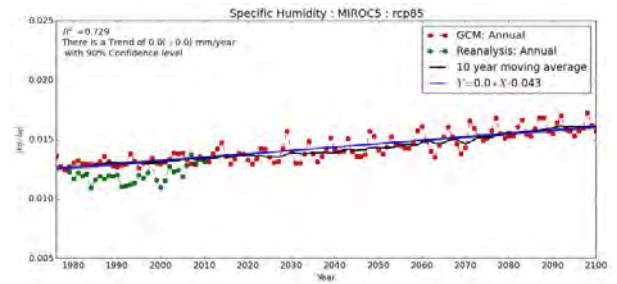
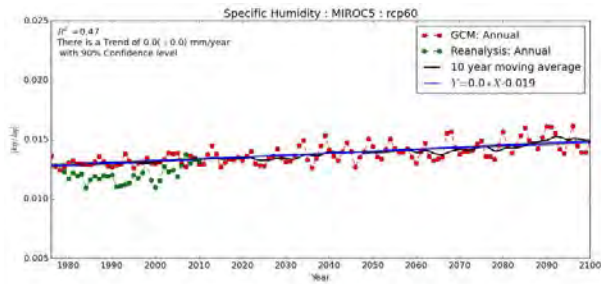
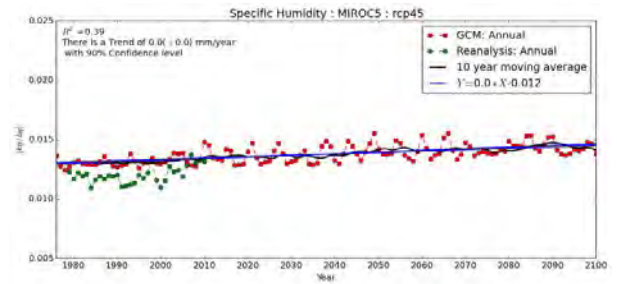
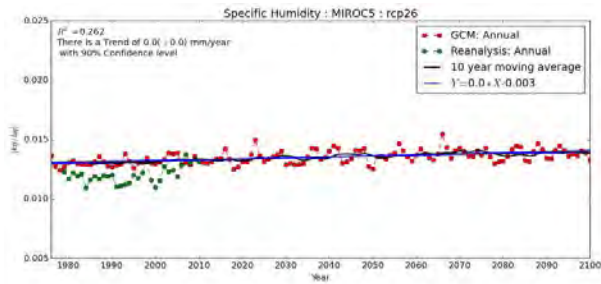
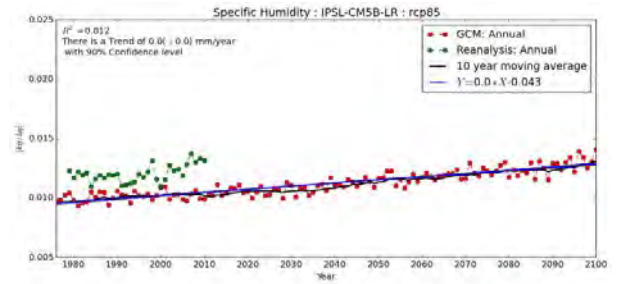
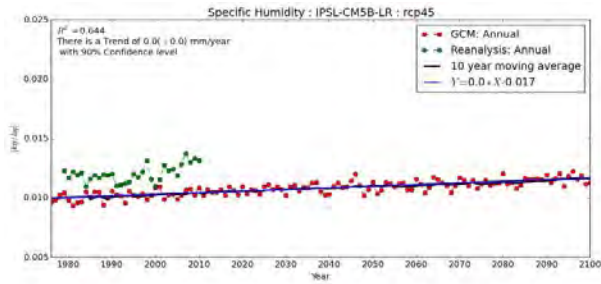
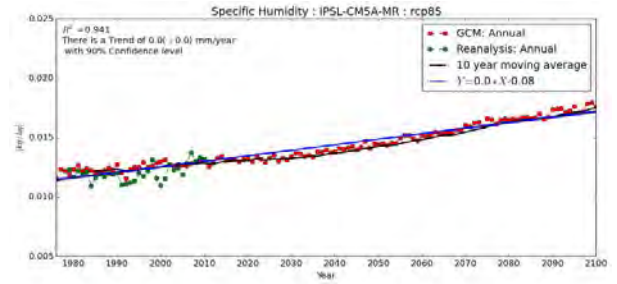
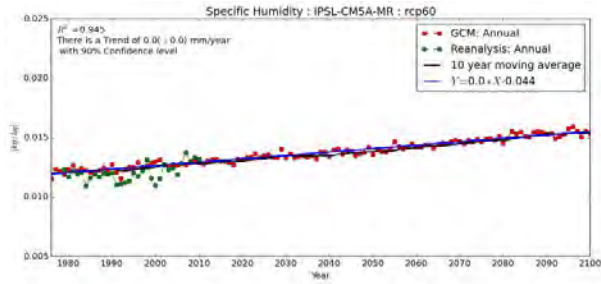
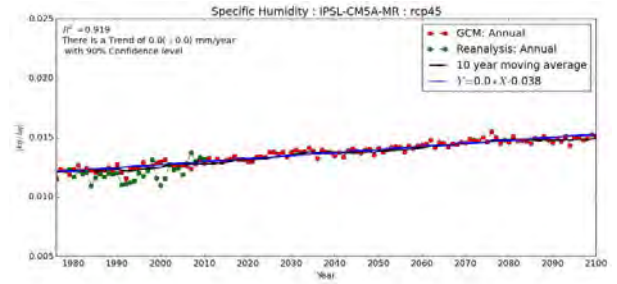
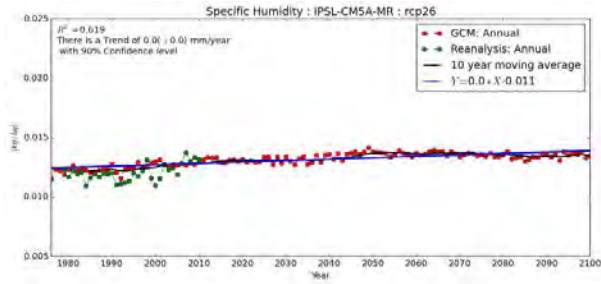


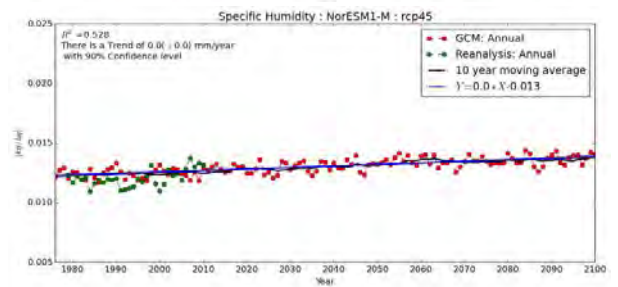
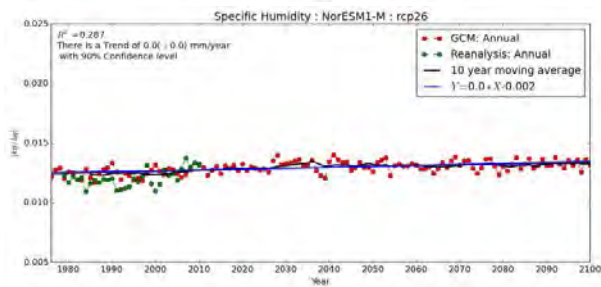
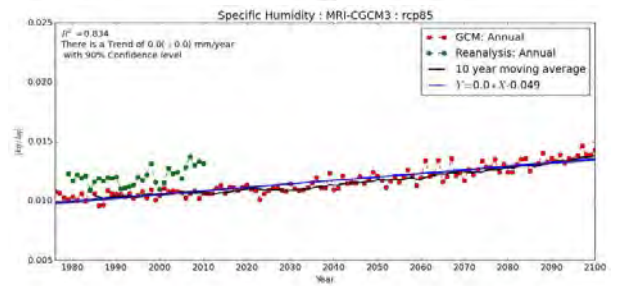
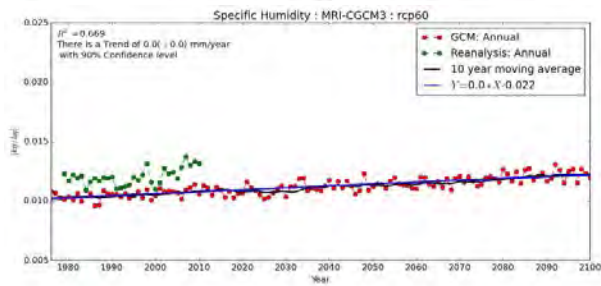
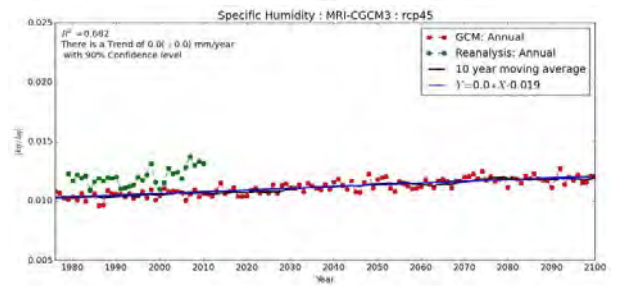
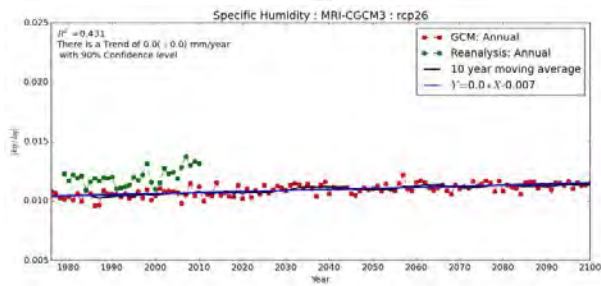
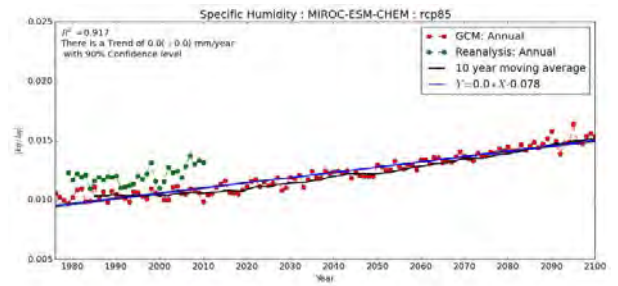
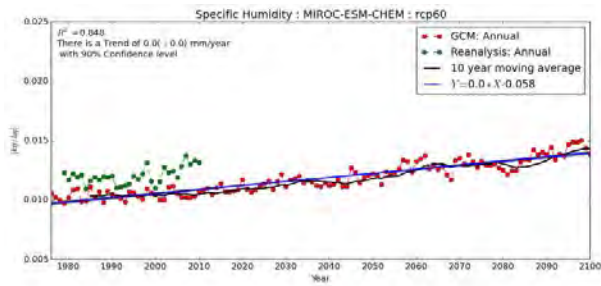
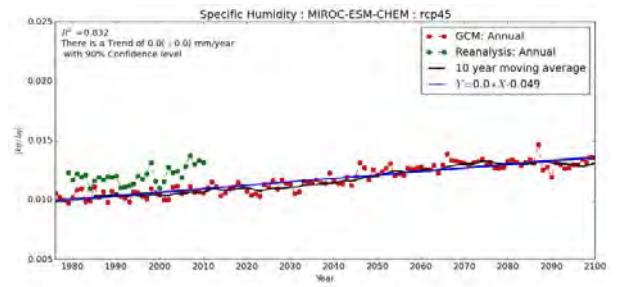
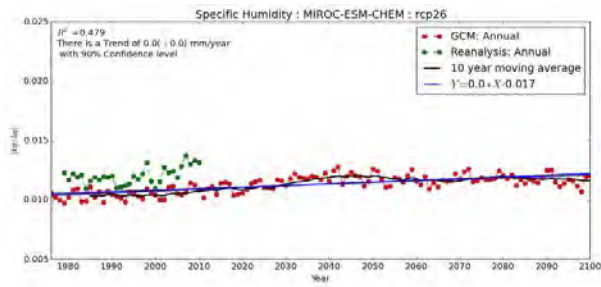
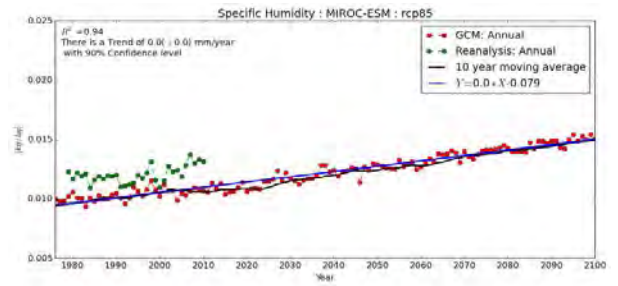
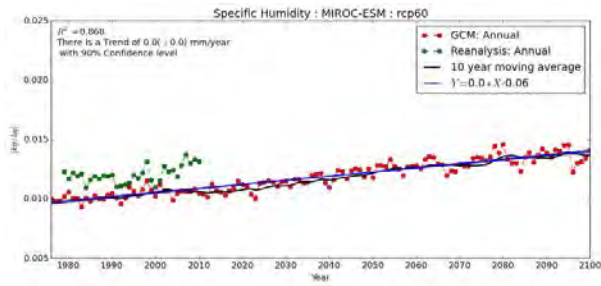


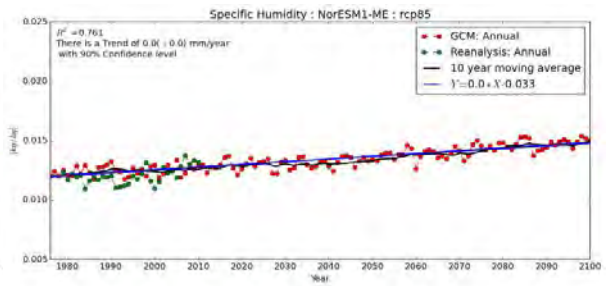
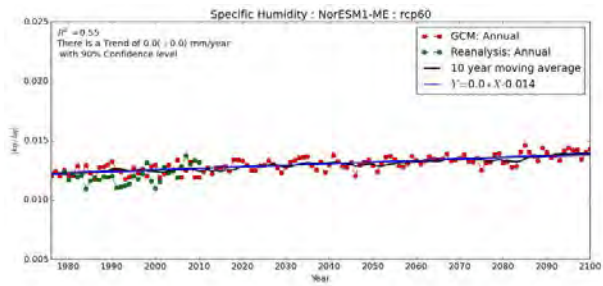
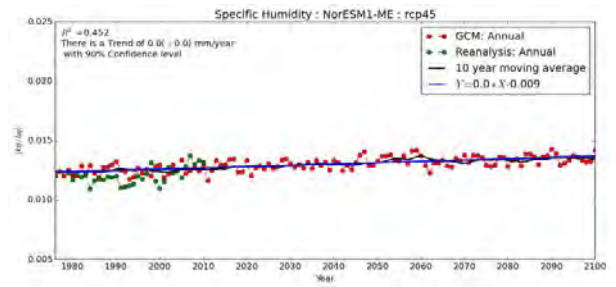
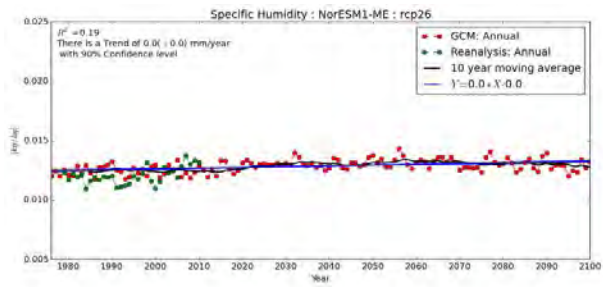
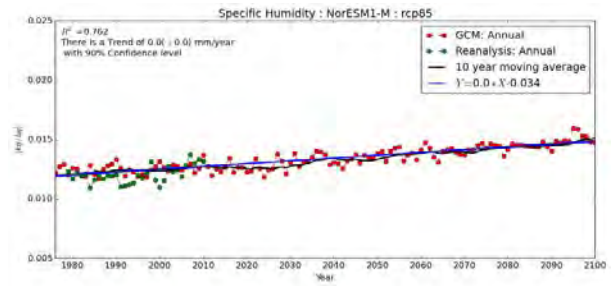
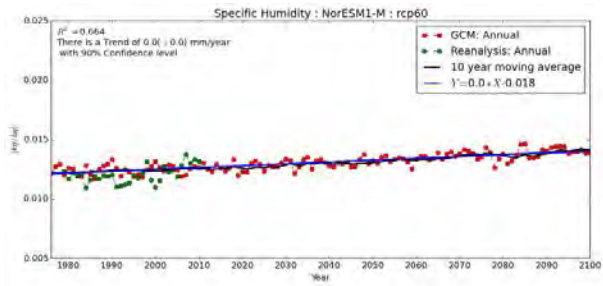












2.4. 年平均の下向き短波放射量(rsds)

