

南アジアにおける

# 気候変動

GCMによるアウトプット







ヒマラヤ山脈



コーヒーの実(インド)



朝霧に煙るガンジス河



雨期のバングラデシュ



バングラデシュの水田

## 1. 概要

### 1.1 気候変動予測および適応の必要性

平成26年10月のIPCC第40回総会で、IPCC 第5次評価報告書（AR5）の統合報告書が公開された。改めて将来の気候変動リスクに対する対応が重要であり、緩和策、適応策の両方が重要であることが示された。AR5のために、多数の気候変動予測モデルによる予測データ（CMIP5）が使用されており、定量的な予測と不確実性の評価を行うための重要な情報源となっている。

国際的な取り組みを受けて各国が行う気候変動予測、影響評価、適応においても、予測データに基づく定量的な評価の重要性が高まっている。そのために、上記のCMIP5データをダウンスケーリングして用いたり、独自に予測データを構築したりしている。

気候変動は様々な分野に影響を与え、影響が生じる確かさや時間スケールも異なっている。その中で適切な適応戦略を作成するためには、定量的な予測データに基づき、それを適切に処理・解釈してリスク評価、コストベネフィット評価を行うことが重要となっている。

### 1.2 全球気候変動予測データの概要と位置付け

#### データの概要

環境省は気象庁の協力のもと、日本国内の影響評価および適応策の策定を目的として気候変動予測データセットを作成した。データセットは全球モデル出力と地域モデル出力の2種類からなる。全球モデル出力（以降ではGCMデータと呼ぶ）は、地球全体を対象とする約60kmの水平解像度を持った大気モデルによる計算結果である。

計算期間は現在気候20年間、将来気候20年間（21世紀末）である。

データセットの最大の特徴は、多数のケースによる計算結果が利用できるという点である。現在気候3ケース、将来気候は排出シナリオに応じてRCP2.6、4.5、6.0で各3ケース、RCP8.5では9ケースと合計21ケースの予測計算を行っている。同じシナリオで多数のケースを実施している理由は、将来の海面水温のパターンや、気候変動予測モデルの計算手法（積雲対流スキームと呼ばれる）に関する不確実性を考慮するためである。

#### データの位置付け

データを作成した主な目的は日本国内の気候変動適応計画を策定するための影響評価であるが、GCMデータについては世界全体を対象とした予測計算結果であり、基本的にはどの国でも使用可能である。

本GCMデータは、既存の気候変動予測結果と比較して以下のような特徴がある。

- CMIP5の全球モデル出力と比較して、解像度が高いという特徴がある。解像度を高めている目的は、地形性の気象現象や、台風をはじめとする熱帯域の現象の再現性を高めることである。
- CMIP5は多機関のモデル出力を利用できるのに対して、本データセットは単一モデルによる予測結果であるが、不確実性を考慮して多数のケースを計算しており、本データのみで不確実性の評価が一定程度可能である。



## 2. 南アジアの気候変動および気候変動影響の概観

以下では、インド<sup>1</sup> およびバングラデシュ<sup>2</sup>において作成されている各種レポートをもとに、気候条件、観測されている気候変動および影響を概観する。

### 2.1 インドにおける気候変動および気候変動影響

#### 気候条件

本土の北にヒマラヤ山脈が位置し、南東側をベンガル湾、南側をインド洋、南西側をアラビア海に囲まれている。国土面積は約328万km<sup>2</sup>に及ぶ。気候条件は地域により大きく異なる。北部は大陸性気候の影響で夏と冬の寒暖の差が激しい一方、沿岸部は年間を通じて温暖であり、降雨量が多い。降雨のパターンは場所により大きく異なり、年間降水量は13～1,187mmまで幅広く分布する。

#### 観測されている気候変動

1901～2007年の間に、0.56℃の年間平均気温の上昇が観測されており、特に、近年気温上昇が急激に加速している。特に冬季の気温上昇が目立っており、過去100年間で0.70℃上昇した。

インド全土におけるモンスーン期の降水量は増加しているが、有意な増加とはいえない。しかし、一方で、日降水量の観測値は、インド各地で集中豪雨が増加していることを示しており、特に1980年以降に集中豪雨が増加している。

#### 気候変動による影響

- **水資源への影響**：洪水の後、干ばつが続く極端な現象が頻繁に発生しており、水の利用可能性に影響を与えている。
- **ヒマラヤ氷河への影響**：近年、ヒマラヤ山脈の氷河は急速に溶け出しており、研究では過去30年で全観測地において氷河の減少が確認された。
- **森林資源、生物多様性への影響**：過剰伐採等の人為的影響に加え、気温上昇による害虫の大量発生、山火事の増加により森林が減少している。
- **人の健康への影響**：過去一世紀の間に数日間以上熱波が続く頻度が増加している。気温上昇による蚊の増加を原因とするマラリア、デング熱、黄熱病等の伝染病の増加も懸念されている。

1 インドに関する記述は以下の文献を参考としている。Ministry of Environment & Forests, Government of India, 2012 "India, Second Communication to the United Nations Framework Convention on Climate Change"

2 バングラデシュに関する記述は以下の文献を参考としている。Ministry of Environment and Forests, Government of the People's Republic of Bangladesh, Oct. 2012, "Second National Communication of Bangladesh to the United Nations Framework Convention on Climate Change"

## 2.2. バングラデシュにおける気候変動および気候変動影響

### 気候条件

バングラデシュは、西・北・北東をインドに囲まれ、南東の一部をミャンマーと接し、南はベンガル湾に面している。北部の国境にはヒマラヤ山脈が位置する。北回歸線が国のほぼ中央を通っており、国土面積は約147,570 km<sup>2</sup>である。

北部をヒマラヤ山脈、北東及び南東を丘陵地に囲まれる他は海拔の低い平地であり、国土の80%が三大河川(ガンジス川、ブラマプトラ川、メグナ川)の氾濫原となっている。亜熱帯モンスーン気候に属し、全国の年平均気温は約25℃である。全国年平均降水量は約2,200mmであり、年間降水量の約80%が5～9月にかけて集中する。雨季と乾季の降水量の差が激しい。

### 観測されている気候変動

気象観測によれば、1977～2008年の間に、年間平均気温が年0.016℃、年間平均最高気温が年0.02℃、年間平均最低気温が年0.012℃それぞれ上昇している。降水量変化については季節により異なる傾向が示されている。プレモンスーン期(3～5月)の雨量が減少傾向にある一方で、モンスーン期(6～9月)及びポストモンスーン期(10～12月)の雨量は増加傾向にある。1977～1998年にかけて平均海面水位が5.05～7.4mm/年上昇している。

### 気候変動による影響

- **サイクロンの上陸回数・勢力への影響**：近年、短い間隔で強大なサイクロンが続けて上陸しており、海面水温の上昇が影響しているとの見方がある。
- **森林資源、生物多様性への影響**：生物多様性の宝庫である世界最大のマングローブ天然林シュンドルボンでは、サイクロンと海水浸入による生態系への影響から動植物の生息環境に影響が出ている。
- **人の健康への影響**：気温・湿度の上昇に伴う蚊の増加により、2000年夏以降ダッカ、チッタゴン、クルナの三都市におけるデング熱の流行が深刻になっている。
- **都市部への影響**：都市化が進むダッカではヒートアイランド現象が進んでいる。また、極端な豪雨による都市部の土砂崩れも深刻となっている。



インドの水田



### 3. 南アジアにおける気候変動予測

GCMデータをもとに、インドおよびバングラデシュにおける気温および降水量の将来変化について出力した。

#### 3.1 気温の予測

図1に、南アジア域全体での気温変化量を示す。いずれのシナリオ、いずれのケースにおいても気温が上昇する傾向にある。気温上昇量には地域的なパターンがあり、高緯度およびヒマラヤ山脈周辺での気温上昇量が大きい。

図2に、インドおよびバングラデシュにおける平均気温の変化を示す。いずれのシナリオでも気温は明確に上昇する傾向にある。最も排出量の大きいRCP8.5シナリオでは、気温上昇量の幅は3~5℃程度である（同データでの全球地上平均気温の上昇量は3.5~4℃程度）。

#### 3.2 降水量の予測

図3に、南アジア域全体での年間の降水量変化を示す。変化を現在気候に対する割合で表現している。気温の場合と異なり、降水量が増加する地域と減少する地域の両方があり、不確実性の高い地域（網掛けのない地域）も多い。RCP8.5シナリオでは、インド・バングラデシュの各地域では概ね降水量が増える傾向にある。

図4に、インドおよびバングラデシュにおける降水量変化を示す。いずれのシナリオでも平均的には増加傾向であるが、不確実性が大きく傾向は不明瞭である。

図5に、RCP8.5シナリオでの季節別の変化傾向を示す。季節による傾向の違いが大きく、雨の多い9~11月では増加、雨の少ない12~2月では減少する傾向である。

#### 3.3 参考：現在気候の再現性

気候モデルの妥当性を確認するため、現在気候における平均気温および降水量について観測データとの比較を行った（図6）。気温、降水量ともに南アジア地域内の相対的な傾向は概ね良く再現されているが、局所的には違いが生じている。



バングラデシュの菜の花畑

# South Asia

GCMによるアウトプット

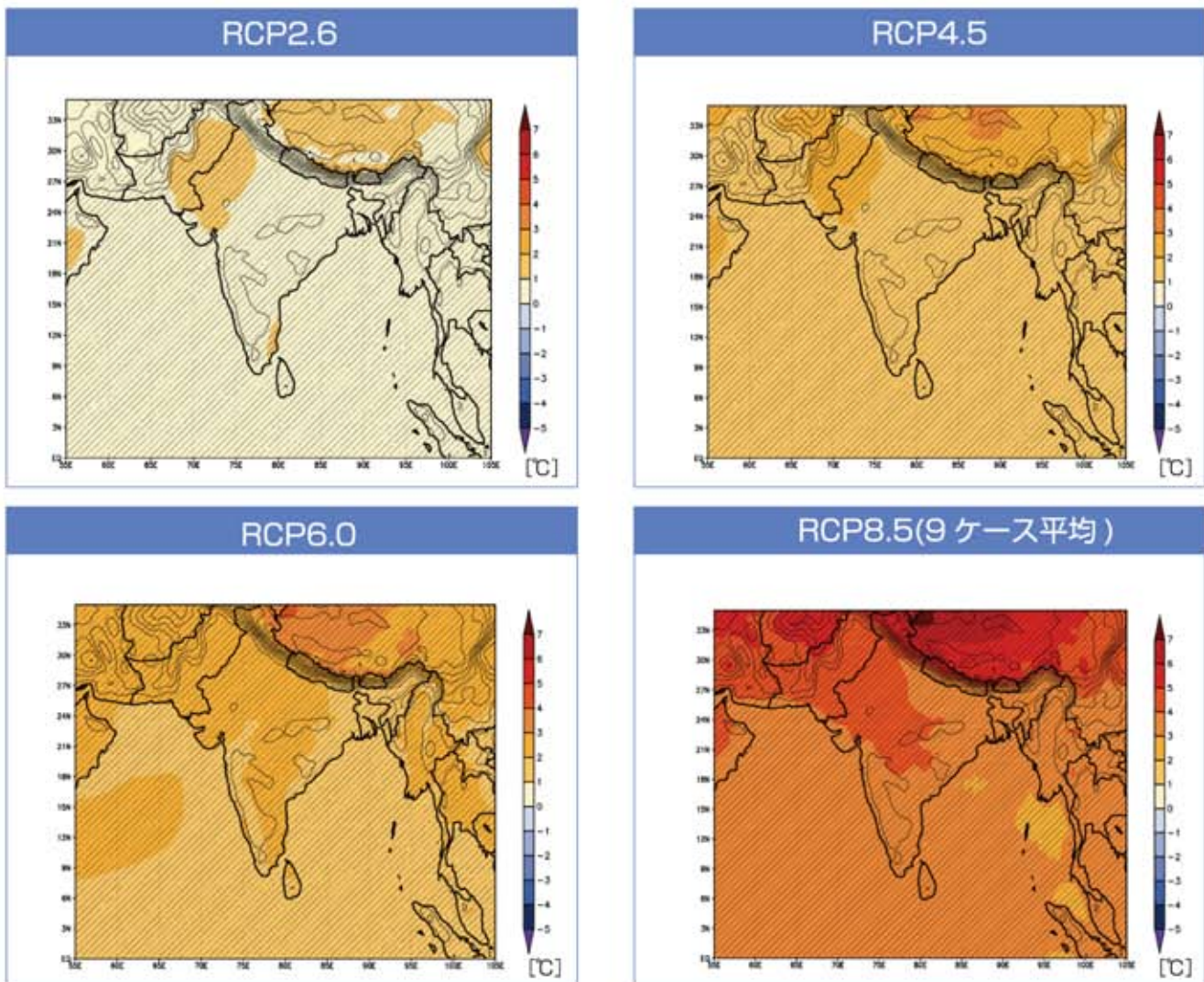


図1：RCPの各シナリオにおける南アジア地域の年平均気温変化量（℃）：将来気候（2080～2100年）と現在気候（1984～2004年）の差分を示す。カラーは3ケース（2.6, 4.5, 6.0）および9ケース（8.5）の平均値を示し、網掛けは全ケースで将来変化の符号が一致する地域（確信度の高い地域）を示す。参考のため気候モデルの地形を等高線により表示（モデル化された地形であり、実際の地形とは若干異なる）。

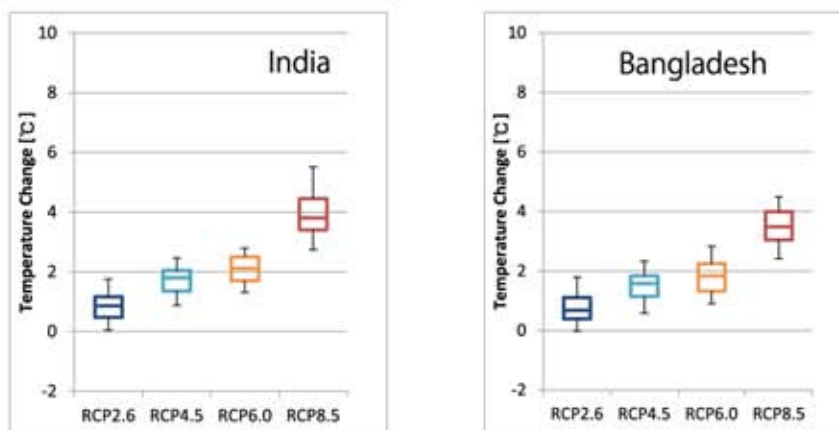


図2：インド（左）およびバングラデシュ（右）における各シナリオの年平均気温変化。シナリオ毎の気温上昇量のまとめ。ボックスプロットで25～75パーセントイルの区間と中央値を、幅で5～95パーセントイルの区間を示す。気温変化量は全て現在気候（1984～2004年）の平均気温からの差で表示。各シナリオで全ての年およびケースについて集計。



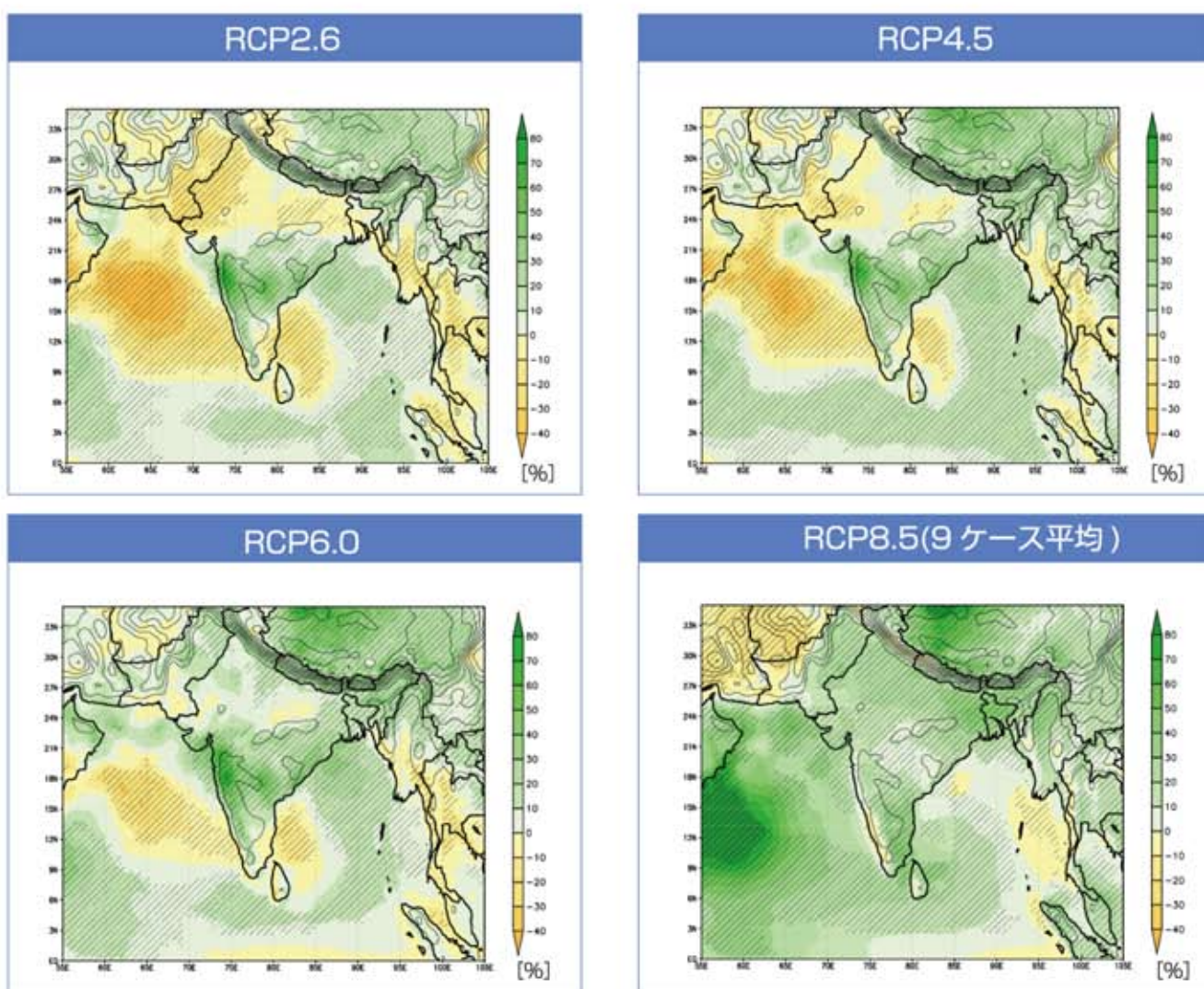


図3：RCPの各シナリオにおける南アジア地域の年間降水量変化（％）：現在気候（1984～2004年）と比較した将来気候（2080～2100年）の変化率を示す。カラーは3ケース（2.6、4.5、6.0）および9ケース（8.5）の平均値を示し、網掛けは全ケースで将来変化の符号が一致する地域（確信度の高い地域）を示す。参考のため気候モデルの地形を等高線により表示（モデル化された地形であり、実際の地形とは若干異なる）。

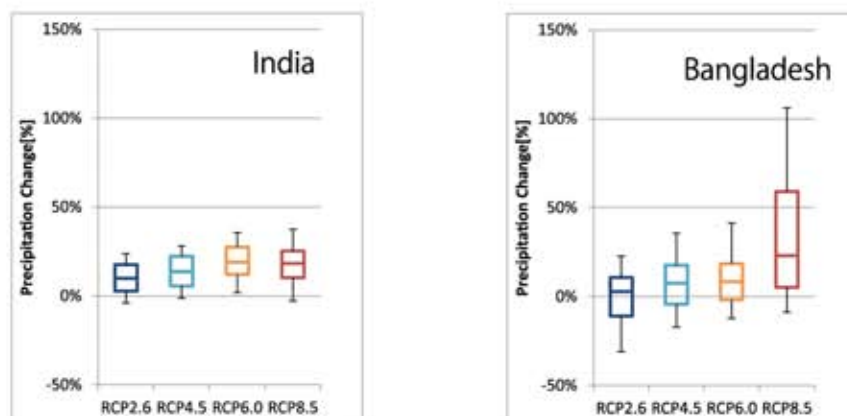


図4：インド（左）およびバングラデシュ（右）における各シナリオの年間降水量変化（％）。シナリオ毎の気温上昇量のまとめ。ボックスプロットで25～75パーセンタイルの区間と中央値を、幅で5～95パーセンタイルの区間を示す。気温変化量は全て現在気候（1984～2004年）の平均降水量からの変化率で表示。各シナリオで全ての年およびケースについて集計。



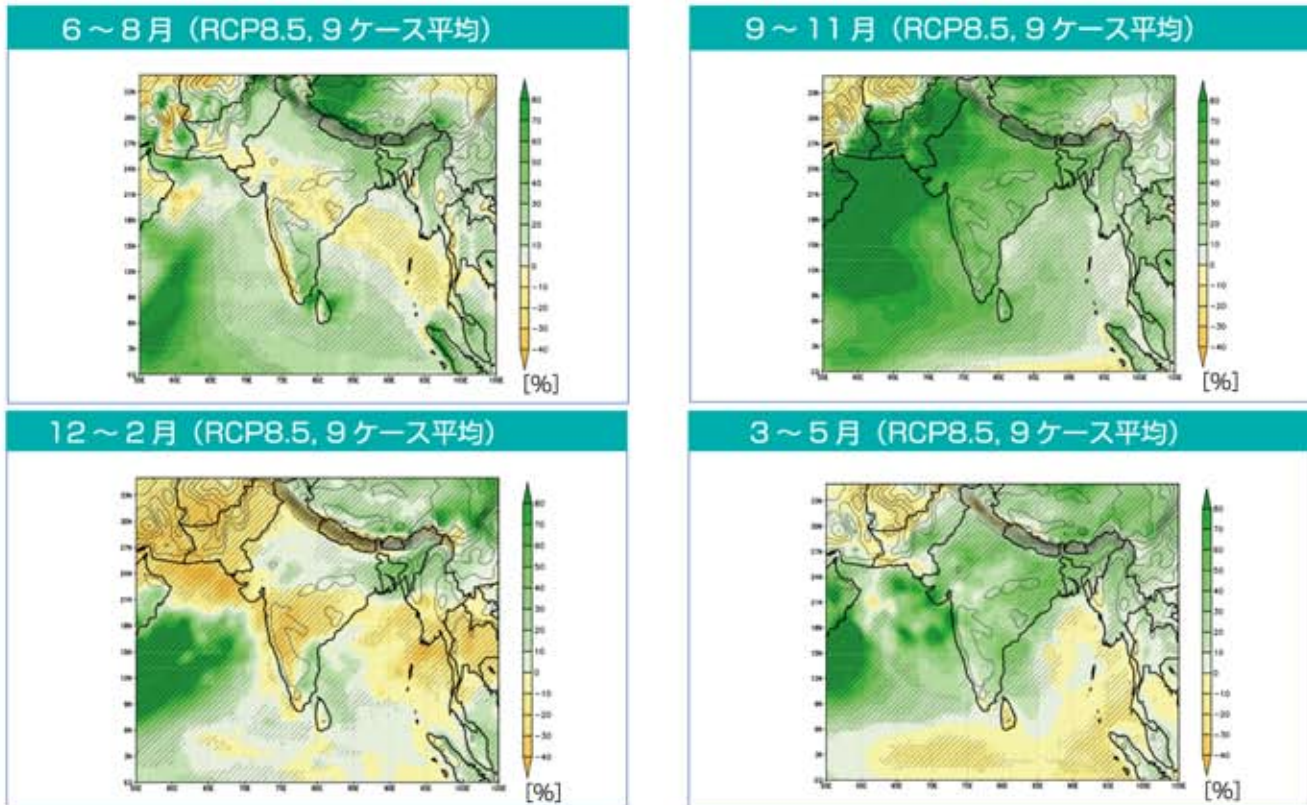


図5：季節別のアジア地域の降水量変化(%)：現在気候(1984～2004年)と比較したRCP8.5の将来気候(2080～2100年)の変化率を示す。網掛けは全ケースで将来変化の符号が一致する地域(確信度の高い地域)を示す。参考のため気候モデルの地形を等高線により表示(モデル化された地形であり、実際の地形とは若干異なる)

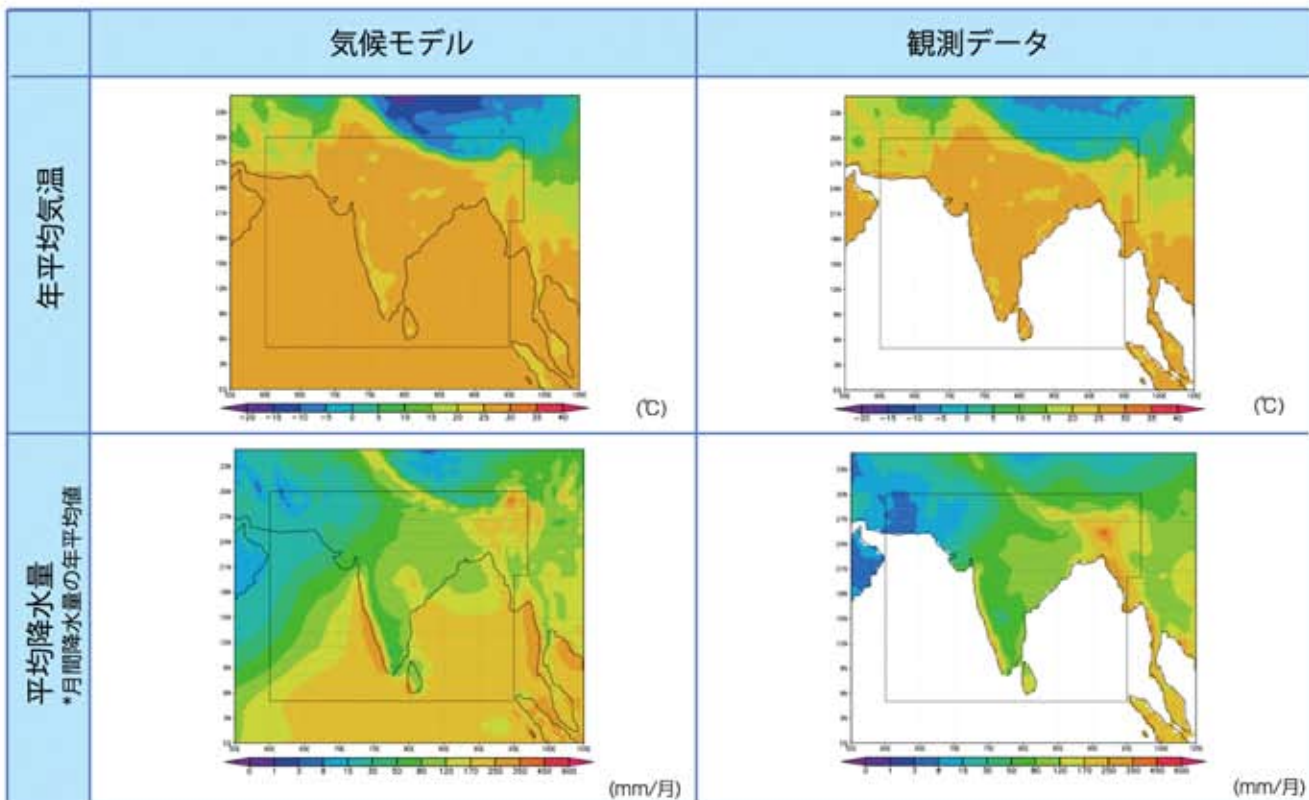


図6：現在気候における気温と降水量の再現性：気候モデルによる現在気候(1984～2004年)の平均値と同期間の観測データ(CRU\_TS3.21)の比較。モデル標高データと実際の標高データには違いがあり、本図面では高度補正を行っていないため、それにより気温に差が生じていることに注意が必要である。

## 4. まとめ

今回出力したように、GCMデータを用いて各地域の将来の気候変化について把握することができる。今回表示したのは非常に基礎的な変数であるが、その他の変数についてもデータセットとしては整備している。

今回の計算結果は、既存のデータセット（CMIP5等）を置き換えるものではなく、相互補完的に用いることができる。ある程度高い空間解像度があり、複数のケースが揃っているという特徴から、各国の気候変動の状況の把握や、気候変動影響評価の入力として使用するためには良いデータの一つであると考えている。

環境省としては、本データセットが世界各国の気候変動適応計画の推進に貢献することを願っている。

### ■ GCMデータの内容およびアクセス方法

#### 予測計算の詳細

項目	内容
名称	環境省 気候変動予測データ（協力：気象庁）（2014）
モデル名称	MRI-AGCM3.2H
モデルの種別	大気モデル
水平解像度	約60km
排出シナリオ	RCP2.6, 4.5, 6.0, 8.5
計算期間	現在気候：1984年9月～2004年8月 将来気候：2080年9月～2100年8月
格子数	640×320（水平）60層（鉛直）
積雲対流スキーム	Yoshimuraスキーム/Kain-Fritschスキーム/ Arakawa-Shubertスキーム
主な入力条件	温室効果ガス、オゾン、エアロゾル濃度 海面水温、海氷密接度、海氷厚

#### アクセス方法

■ 本データセットは、文部科学省の地球環境情報統融合プログラムにおいて構築された「データ統合・解析システム（DIAS）」にて保存し、公開している。DIASにユーザー登録することで下記公開サイトからデータを取得することができる。

■ データ公開サイト（要ログイン）  
 全球気候モデル計算結果（データセットID: GCM60\_ADAPT2013）

<http://dias-dss.tkl.iis.u-tokyo.ac.jp/dl/storages/filelist/dataset:214>





南アジアで栽培されるお茶



インドの茶畑



蘭の花 (パフィオペディルム・ウェヌスツム/インド)

## 謝辞

当該パンフレットの取りまとめに際しては、気象研究所の環境・応用気象研究部及び気候研究部のみなさまに、気候予測モデルの解析計算や、計算結果の取りまとめに関して、専門的な見地から懇切丁寧にご指導をいただいた。この場を借りて心より感謝を申しあげる。

企画：環境省 地球環境局

編集：株式会社 三菱総合研究所

協力：株式会社 ディ・ジャパン

# 南アジアにおける 気候変動

GCMによるアウトプット



表紙写真 / 南アジア地域の稲作（インド）

本パンフレットに関するお問合せ

環境省 地球環境局 総務課 研究調査室

〒100-0013 東京都千代田区霞が関1-4-2 大同生命霞ヶ関ビル17階

Tel: 03-3581-3351 (内線6756)