

# 地球温暖化対策に資する アンサンブル気候予測データベース

## database for Policy Decision making for Future climate change (d4PDF)

利用手引き (抜粋)

-2022年10月21日版-

文部科学省  
気象庁気象研究所  
東京大学大気海洋研究所  
京都大学防災研究所  
国立環境研究所  
筑波大学  
海洋研究開発機構

この冊子は文部科学省の科学技術試験研究委託事業による委託業務である「気候変動リスク情報創生プログラム」が作成した「地球温暖化対策に資するアンサンブル気候予測データベース」の利用手引きをまとめたものです。

## 本冊子の要点

- 本冊子は「地球温暖化対策に資するアンサンブル気候予測データベース(d4PDF)の利用手引き」(以下「利用手引き」)の第1章であり、かつ利用手引き全体の要旨をまとめた抜粋版でもあります。
- d4PDF は、文科省・気候変動リスク情報創生プログラムおよび海洋研究開発機構・地球シミュレータ特別推進課題において作成されました。
- 気象庁気象研究所の全球気候モデル(水平解像度 60km)と領域気候モデル(日本域 20km)を用いて、これまでにない大規模な気候変動アンサンブル実験を実行しました。
- 防災等への研究利用はもとより、国や自治体、産業界での影響評価や温暖化対策策定への活用が期待されます。
- d4PDF のデータは、商用利用も可能で、無償で利用することができます。
- データは、地球環境情報統融合プログラムの協力を得て、データ統合・解析システム DIAS(<http://www.diasjp.net/>)から配布します。
- 実験が追加された場合などに、d4PDF 利用手引きは随時更新されます。データを利用したい方は、下記の HP から最新の情報を入手してください。

<http://www.miroc-gcm.jp/~pub/d4PDF>

- お問い合わせの際は、下記アドレスまでにメールをお送りください。

d4pdf-support@jamstec.go.jp

## 目次

### 第1章 d4PDF の概要

1.1 背景	2
1.2 モデルと実験設計	3
1.3 このデータベースでどんなことが調べられるのか?	5
1.4 限界と注意点	8
1.5 データの入手方法	9
1.6 出力データの例	10
参考文献	11
謝辞	11
d4PDF 作成に関わった参加者一覧	12

以下は web 版のみ

第2章 全球モデル実験

第3章 領域モデル実験

第4章 データベースの利用方法

## 1. d4PDF の概要

### 1.1 背景

地球温暖化の影響を評価し、適応策を策定するには、気候変動予測とそれに伴う不確実性の定量評価が不可欠です。将来の温室効果ガス排出量や予測モデルの不確実性の一部は、IPCC 報告書等で引用される多数モデルによるシナリオ実験 (CMIP) や、環境省が 2014 年に作成した「全球気候変動予測データ」「地域気候変動予測データ」(<http://www.env.go.jp/press/press.php?serial=18230>)でもある程度カバーされています。一方、これまでの予測データベースでは、予測計算のアンサンブル数が 10 程度と少ないため、自然変動、すなわち、発生頻度の低い異常天候や極端気象に伴う不確実性を十分に評価できていませんでした。

文科省・気候変動リスク情報創生プログラムでは、高解像度全球大気モデルおよび高解像度領域大気モデルを用い、これまでにない多数 (最大 100 メンバ) のアンサンブル実験を行うことによって、確率密度分布の裾野にあたる極端気象の再現と変化について、十分な議論ができる「地球温暖化対策に資するアンサンブル気候予測データベース、**database for Policy Decision making for Future climate change (d4PDF)**」を作成しました。計算は、国立研究開発法人海洋研究開発機構 (JAMSTEC) が実施する「地球シミュレータ特別推進課題」において、地球シミュレータを用いて行いました。このデータベースを公開することにより、過去の顕著気象イベントに対する要因分析、将来変化予測の自然変動不確実性の理解、影響評価研究などが飛躍的に進むこと、また、各省庁、自治体、産業界の現場での温暖化適応策策定が推進されることが期待されます。

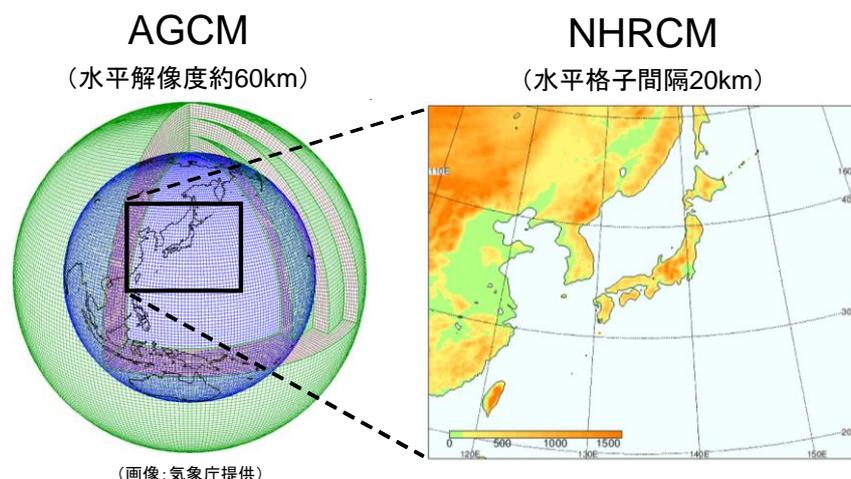


図 1.2.1: 全球モデル(AGCM)と領域モデル(NHRCM)の解像度と計算領域。

## 1.2 モデルと実験設計

d4PDF は、水平解像度約 60km の気象研究所全球大気モデル MRI-AGCM3.2 (以下全球モデル, Mizuta et al. 2012)を用いた全球実験と、水平解像度約 20km で日本域をカバーする気象研究所領域気候モデル NHRCM (以下領域モデル, Sasaki et al. 2011, Murata et al. 2013) を用いた領域実験によって構成されます(図 1.2.1)。ここでは、実験設定の概要を紹介します(図 1.2.2)。詳しい設定に関しては、d4PDF の HP (<http://www.miroc-gcm.jp/~pub/d4PDF>) 上にある「利用手引き」の第 2 章以降を参照してください。

全球実験は、下記の 3 種類のアンサンブルに分けられます。

- 過去実験 1951 年～2011 年 8 月×100 メンバ
- 非温暖化実験 1951 年～2010 年×100 メンバ
- 4°C 上昇実験 2051 年～2111 年 8 月×90 メンバ

過去実験では観測された海面水温 (SST) と海氷, 温室効果ガス濃度変化、硫酸性エアロゾル濃度変化、オゾン濃度変化、火山性エアロゾル濃度変化を全球モデルに与えています。100 メンバは、それぞれ異なる初期値から計算を始めており、さらに海氷と海面水温に小さな摂動を加えています。非温暖化実験では、トレンド成分を除いた SST と、その SST と整合するように調整した海氷を与えています。温室効果ガス濃度等の外部強制因子は、産業革命前の条件に固定しました。この非温暖化実験と過去実験を比較することで、過去の外部強制因子による気候変化トレンドを議論することができます。

4°C 上昇実験は、産業革命(1850 年)以前に比べて全球平均温度が 4°C 上昇した世界をシミュレーションしています。CMIP5 に貢献した全球大気海洋結合モデルの実験結果を基に 6 種類の SST 将来変化の空間パターン<sup>1</sup>を用意し、各パターンに 15 種類の摂動を加えた合計

<sup>1</sup> CCSM4(CC と表記)、GFDL-CM3(GF)、HadGEM2-AO(HA)、MIROC5(MI)、MPI-ESM-MR(MP)、MRI-CGCM3(MR)の 6 モデルの CMIP5 実験結果を用いた。

90種類の分布を与えることで、90アンサンブル実験を行いました。海氷は、その SST に整合するように調整しています。温室効果ガス濃度等の外部強制因子は、RCP8.5 シナリオの2090年の値を与えました。4°C上昇実験に関しては、実験期間を通して温暖化の程度は時間変化しない設定となっており、例えば2051年と表記されていても2051年の予測ではなく、2090年と変わらない温暖化シグナルの大きさになっていることに注意が必要です。今後、2°C上昇実験を追加することも検討しています。

領域モデル実験では、全球モデル実験結果を用いて、60km 解像度から 20km 解像度への力学的ダウンスケーリングを下記のように行いました。

- 過去実験 1950年9月～2011年8月×50メンバ
- 4°C上昇実験 2050年9月～2111年8月×90メンバ

日本域の影響評価を行う場合、領域実験のデータを使うことを推奨します。

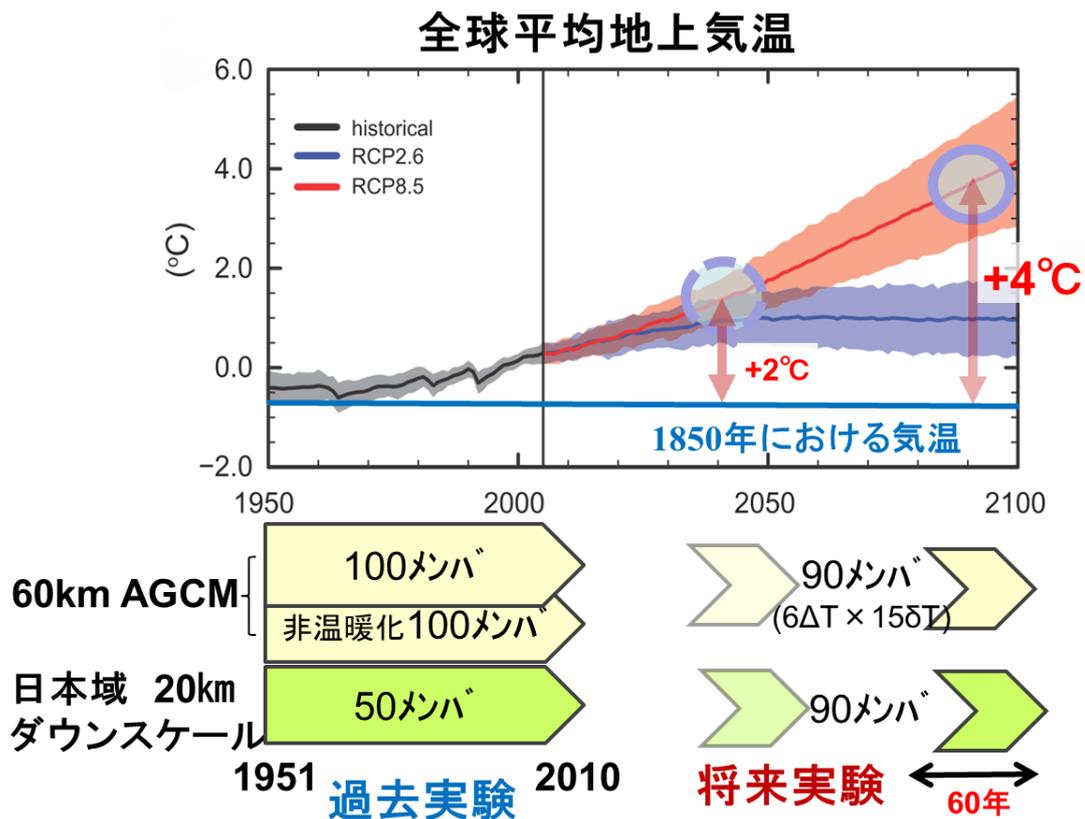


図 1.2.2: 実験デザインの概略。

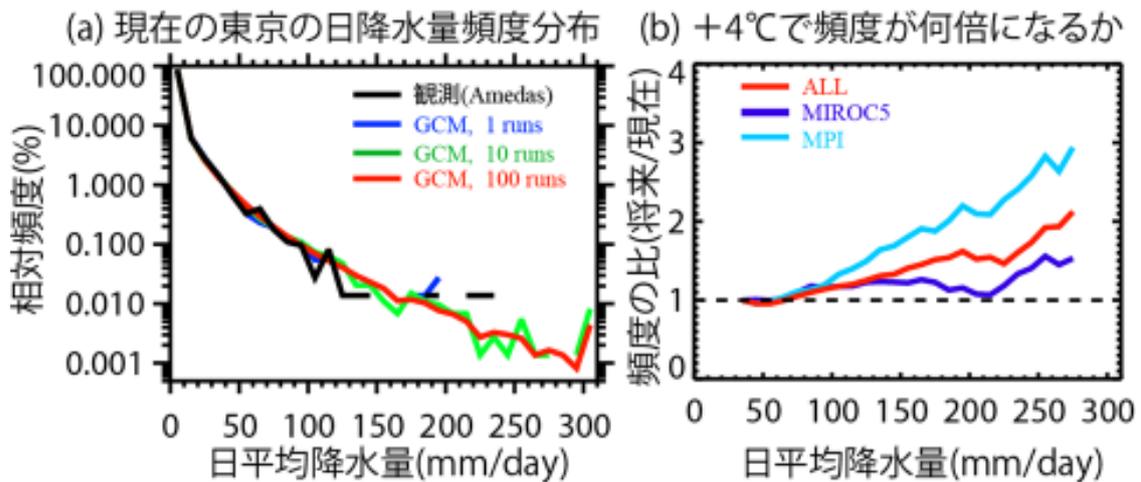


図 1.3.1: 全球モデルの東京での日降水量頻度分布。(a) アメダス観測データとモデルの頻度分布。(b)4°C上昇実験における頻度分布の変化 (将来と現在の比)。

### 1.3 このデータベースでどんなことが調べられるのか？

今回使用した二つのモデルは気象庁の現業で使用された実績のあるものを元に構成されています。また、CMIP5 実験で使用されているモデルよりも高解像度の設定にしています。これらことは、観測された日降水量の分布などを再現するために、大きなメリットがあると期待されます。例として、図 1.3.1a に全球モデルの東京に近いグリッドの日降水量頻度分布を示します。全球モデルは観測データの頻度分布をよく再現しているのが分かります。アンサンブル数が増えると、観測データだけではサンプル数が少なくて調べることが出来なかった低頻度・高強度のイベントを調べられるようになります。数十年しかない観測データから 100 年に 1 度の降水量などを推定する際には、これまでは理論的な極値統計分布関数に当てはめるしか方法がありませんでした。d4PDF の大規模アンサンブル実験データと観測データを組み合わせれば、極値統計の信頼性を評価できる可能性があります。

4°C 上昇実験では、強い降水ほど増加量が大きくなりますが、その大きさは与える SST 昇温パターンによって大きな差があります(図 1.3.1b)。4°C 上昇実験では、SST 昇温パターンごとの気候変化の違いを比較することで、モデル不確実性を調べる事が出来ます。

図 1.3.2 は、中国南部で平均した年最大日降水量の頻度分布です。アンサンブル数が少ないときは頻度分布

### 中国南部で平均した「年最大日降水量」の頻度分布

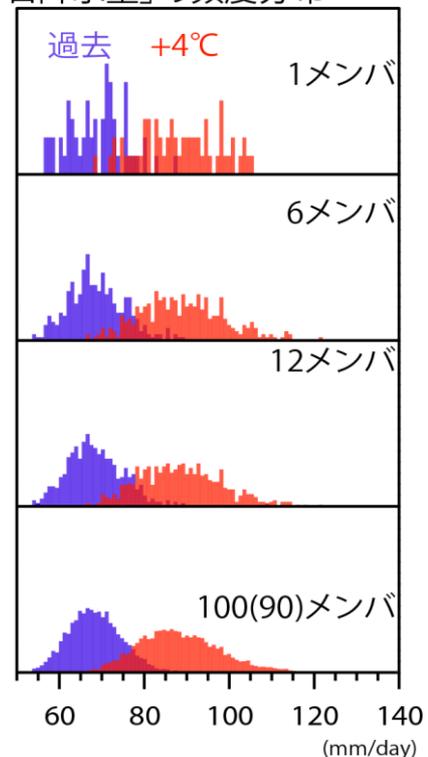


図 1.3.2: 中国南部で平均した年最大日降水量(%)の頻度分布。

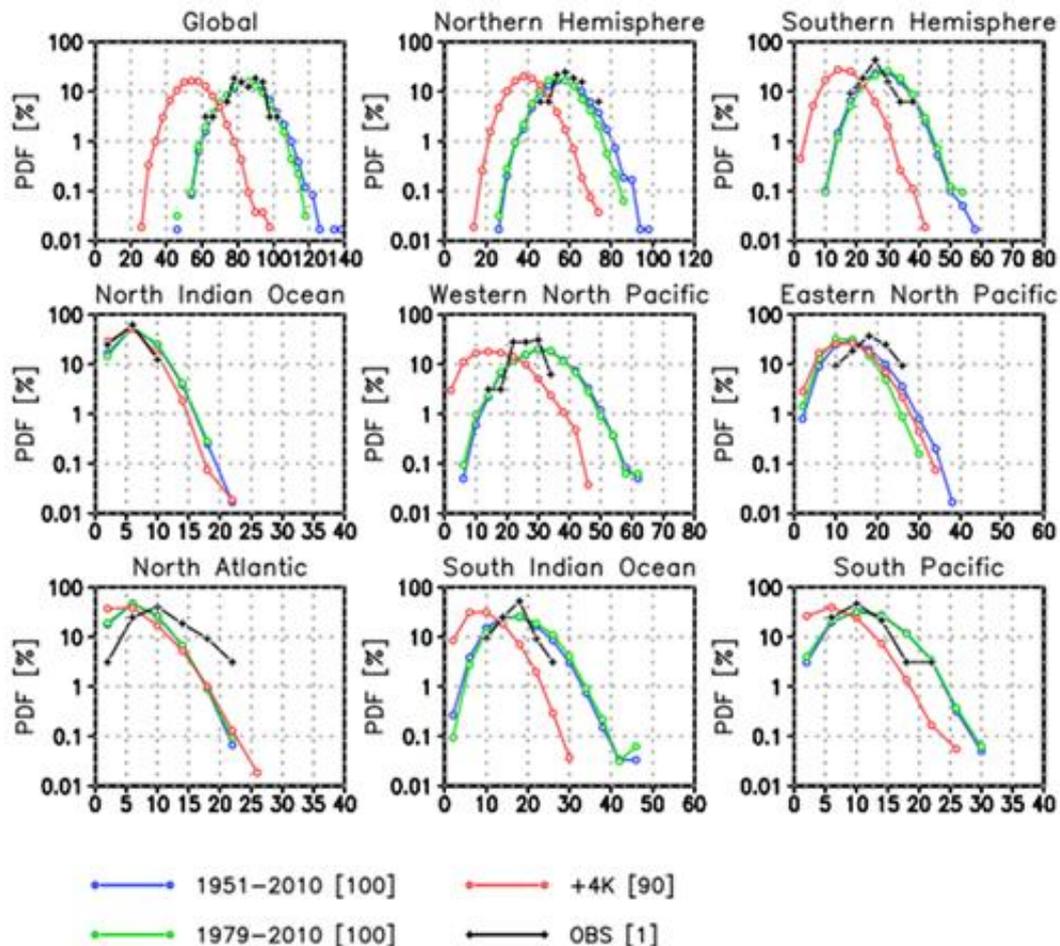


図 1.3.3: 熱帯低気圧の年発生数の確率密度関数。左上から全球、北半球、南半球、北インド洋、北西太平洋、北東太平洋、北大西洋、南インド洋、南太平洋での年発生数を示す。期間は観測 (黒線) が 1979-2010 年、過去実験は 1951-2010 年 (青線) と 1979-2010 年 (緑線)、4°C 上昇実験が全期間の 60 年分。[] はアンサンブルメンバ数を表す。

がガタガタしていますが、100 メンバのアンサンブルを用いることでスムーズな頻度分布が得られます。このスムーズな頻度分布を用いることで、例えば 80mm/日以上の強い降水量の頻度が将来何倍になるか、といった問題に対して統計的に信頼性の高い解析を行うことができます。

図 1.3.3 に熱帯低気圧の年発生数の確率分布を示します。全球年発生数が観測と過去実験で類似した確率分布をしているのがわかります。気候モデル実験の方は、そのアンサンブルメンバの多さから、観測データだけでは表せない、100 年に 1 回 (1%) あるいはそれよりも低頻度な場合まで滑らかな確率分布で描写できています。海域別に見た場合、発生数は観測と概ね類似しているが北西太平洋で過多、北東太平洋と北大西洋で過小な傾向があります。4°C 上昇実験は、全球で平均的に年 30 個程度の減少で、海域別には西太平洋、南

インド洋、南太平洋で大きく発生数の減少が見られます。これらの結果は IPCC 第五次評価報告書の見解と概ね整合するものです。

領域モデルの出力データを解析すると、日本域に関して、高い空間解像度で気候変動の議論が出来ます。例えば、年最大日降水量をもたらすイベントは、細かな地形の影響を強く受けますが、領域モデルは、ある程度地形の効果を表現することが出来ます (図 1.3.4)。

6 種類の SST 昇温パターン間で結果を比較することで、年最大日降水量の将来変化パターンが、与える SST パターンに大きく依存することが示されました (図 1.3.5)。

図 1.3.1 のように d4PDF のアンサンブル実験データを用いると、観測データだけではカバーできない極端現象の頻度分布に関する議論が可能になります。しかし、逆に言えば、そのような極端な現象の頻度分布に関しては、観測データの頻度分布と単純に比較するだけでは妥当性を確認できません。これは、大規模アンサンブル実験が可能になったことによって現れてきた新しい課題であり、今後、検証方法を確立していく必要があります。

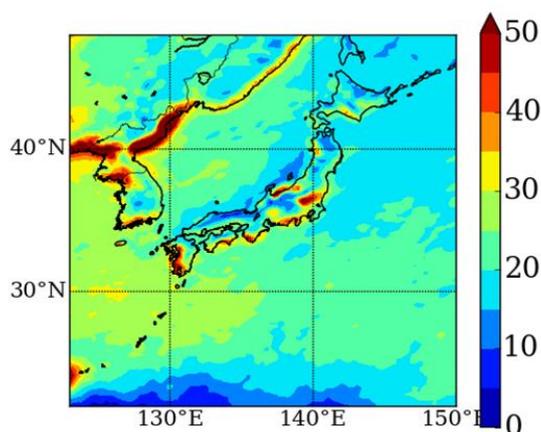


図 1.3.4 領域モデル実験における年最大日降水量の将来変化(mm)。全アンサンブルの平均値。

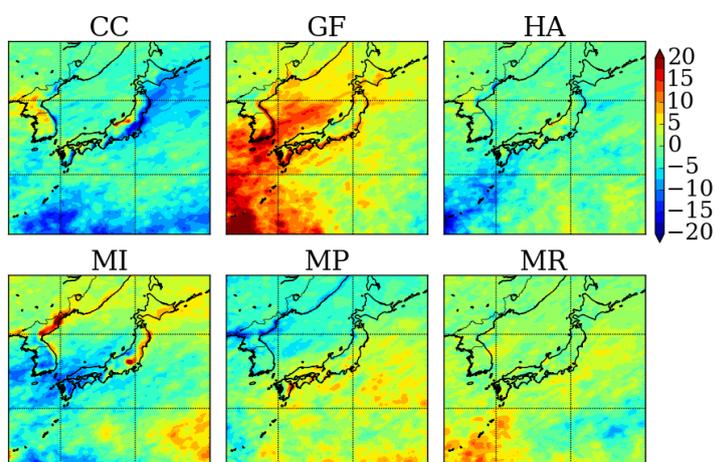


図 1.3.5: 領域モデル実験における年最大日降水量の将来変化(mm)。SST 昇温パターンごとのアンサンブル平均から全アンサンブルメンバ平均を引いた値を示す。

## 1.4 限界と注意点

高解像度モデルを用いているものの、モデルは完璧ではなく、観測データと比較して系統誤差（バイアス）があります。そのため、影響評価などに用いる際には、バイアス補正を施す必要があります。バイアス補正の方法に関しては「影響評価のための気候モデルデータの利用(<http://www.envr.tsukuba.ac.jp/~sousei1/mieruka/mieruka.html>)」を参考にしてください。

また本アンサンブルは、1つの全球モデルと1つの領域モデルを使ったシミュレーション結果ですので、6種類の SST 昇温パターンを用いたとしても、モデル不確実性の幅を十分にはカバーできていない点も注意が必要です。モデルの「癖」が強く表れて、偏った予測結果になっている場合もあります。図 1.4.1 は 6-8 月平均降水量の将来変化を表していますが、どの SST 昇温パターンを与えても西日本で降水量が減少します。しかし、SST パターンの基になった大気海洋結合モデルによる CMIP5 モデル実験では、逆に降水量は増加しています（利用手引き第 2 章参照）。これは、本実験でもちいた全球モデルの癖であると考えられ、注意が必要です。また全球モデルからダウンスケーリングした領域モデル実験にも、この特徴は引き継がれています。モデル不確実性を考慮するためには、「環境省 全球気候変動予測データ」、「環境省 地域気候変動予測データ」(<http://www.env.go.jp/press/press.php?serial=18230>, いずれも DIAS から入手可能) や CMIP 実験などの結果と併せて解析する必要があります。

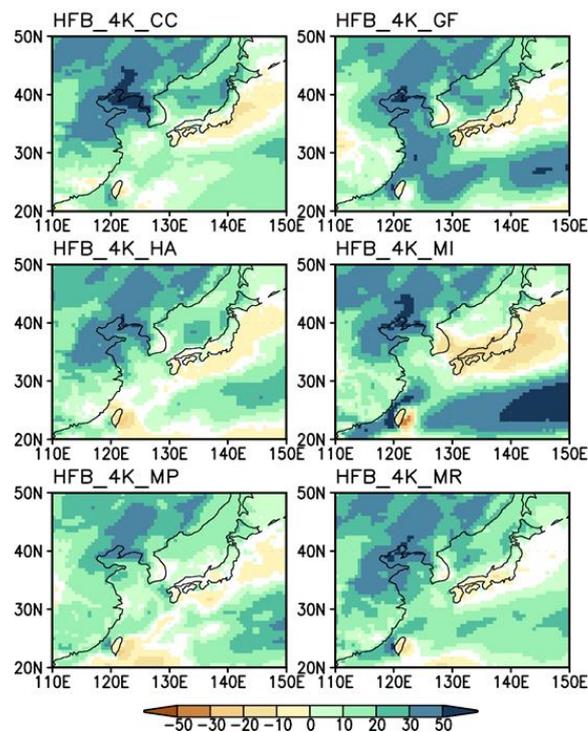


図 1.4.1 全球モデルの 6-8 月平均降水量の将来変化率 [%]。将来変化の符号が 80%以上のメンバ（12 メンバ以上）で一致するグリッドのみ陰影で表示。



## 1.5 データの入手方法

d4PDF のデータは、非商用に限り、無償で利用することができます。詳しいデータ公開ポリシーに関しては、d4PDF の HP (<http://www.miroc-gcm.jp/~pub/d4PDF>) をご覧ください。

オリジナルデータは、地球環境情報統融合プログラムのデータ統合解析システム DIAS (<http://www.diasjp.net>) からダウンロードしてください。DIAS のユーザアカウントを持っていない方は、まずアカウント申請を行ってください。入手方法の詳細は、web 版の d4PDF 利用手引きを参照してください。データ形式は GRIB（一部例外有り）で、GrADS(<http://iges.org/grads/>)を用いると、簡単に描画やデータ形式の変換等を行うことができます。一部のデータについては netCDF 形式に変換したものを用意しています。詳しくは、下記の問い合わせ先までご相談ください。

実験が追加された場合などに、利用手引きは更新されます。データを利用されたい方は、d4PDF の HP から最新の情報を入手してください。

問い合わせ先メールアドレスは下記の通りです。

[d4pdf-support@jamstec.go.jp](mailto:d4pdf-support@jamstec.go.jp)

お問い合わせいただいた内容に関しては、他の利用者にも有益な場合は、個人情報等を削除した上で、HP の FAQ に掲載させていただく場合がありますので、あらかじめご了承ください。

## 1.6 出力データの例

d4PDF のデータ容量は、全体で約 2 ペタバイトになります。データ容量が膨大なため一度に公開することは出来ませんが、影響評価で使われることの多い地表面データから優先して DIAS で提供していきます。

表 1.6.1 に実験名を示します。全球モデルの地表面データとしては、降水量（1 時間平均、6 時間平均、日平均、月平均値）、気温（日平均値、月平均値）、潜熱フラックス、顕熱フラックス（6 時間平均値、月平均値）、10m 風速（6 時間瞬間値、月平均値）など様々な変数を出力しています。領域モデルの地表面データも、降水量、気温、雲量、風速（1 時間平均）など様々なデータを出力しています。全球モデル、領域モデルとも、多くの大気 3 次元データも提供します。詳しくは web 版利用手引きの第 4 章を参照してください。

表 1.6.1 実験名（全球・領域共通）

HPB_mNNN	過去実験(1951年-2011年8月)
HPB_NAT_mNNN	非温暖化実験(1951年-2010年) 全球モデルのみ
HFB_4K_XX_mNNN	4°C上昇実験(60年)

mNNN：アンサンブル番号。過去実験と非温暖化実験は NNN=001~100 の 100 メンバ。4°C 上昇実験につ

いては、6 種類の海面水温変化パターンに対して NNN=101~115 の計 90 メンバ。

XX：モデルに与えた海面水温を作成するために使用した CMIP5 気候モデルを表す記号。CC=CCSM4、GF=GFDL-CM3、HA=HadGEM2-AO、MI=MIROC5、MP=MPI-ESM-MR、MR=MRI-CGCM3。

## 参考文献

- Mizuta, R., H. Yoshimura, H. Murakami, M. Matsueda, E. Hirokazu, O. Ose, K. Kamiguchi, M. Hosaka, M. Sugi, S. Yukimoto, S. Kusunoki and A. Kitoh, 2012: Climate simulations using MRI-AGCM3.2 with 20-km grid. *J. Meteor. Soc. Japan*. 90A, 233-258.
- Murata, A., H. Sasaki, M. Hanafusa, and K. Kurihara (2013), Estimation of urban heat island intensity using biases in surface air temperature simulated by a nonhydrostatic regional climate model. *Theor. Appl. Climatol.*, **112**, 351–361, doi: 10.1007/s00704-012-0739-2.
- Sasaki, H., A. Murata, M. Hanafusa, M. Oh'izumi, and K. Kurihara (2011), Reproducibility of present climate in a non-hydrostatic regional climate model nested within an atmosphere general circulation model, *SOLA*, **7**, 173–176, doi:10.2151/sola.2011-044.
- 日本国内における気候変動による影響の評価のための気候変動予測について(環境省「全球気候変動予測データ」「地域気候変動予測データ」) <http://www.env.go.jp/press/press.php?serial=18230>
- 気候変動リスク情報創生プログラムテーマ C・テーマ D (2015)「影響評価のための気候モデルデータの利  
用」(<http://www.envr.tsukuba.ac.jp/~sousei1/mieruka/mieruka.html>)

## 謝辞

d4PDF の計算は、海洋研究開発機構・地球シミュレータ特別推進課題において、地球シミュレータを用いて実施しました。また地球環境情報統融合プログラムの協力を得て、データ統合・解析システム DIAS 上でデータを公開しています。謹んでお礼申し上げます。

## d4PDF 作成に係わった参加者一覧

### 気象庁気象研究所

高薮 出	本プロジェクト共同代表
石井正好	全体とりまとめ
水田 亮	全球モデル実験とりまとめ
遠藤洋和	全球モデル実験結果の解析
今田由紀子	全球モデル実験実施・結果の解析、ロゴ作成
吉田康平	全球モデル実験実施・結果の解析
佐々木秀孝	領域モデル実験デザイン
村田昭彦	領域モデル実験とりまとめ
青柳暁典	領域モデル実験実施・結果の解析
川瀬宏明	領域モデル実験実施・結果の解析
野坂真也	領域モデル実験実施・結果の解析

### 東京大学大気海洋研究所

木本昌秀	本プロジェクト共同代表
渡部雅浩	実験デザイン
森 正人	全球モデル実験実施・結果の解析
高橋千陽	全球モデル実験実施・結果の解析
荒井美紀	全球モデル実験実施・結果の解析

### 京都大学防災研究所

中北英一	本プロジェクト共同代表
森 信人	実験デザイン・実験結果の影響評価への応用
田中賢治	実験結果の影響評価への応用
竹見哲也	領域モデル実験実施・結果の解析
立川康人	実験結果の影響評価への応用
岡田靖子	領域モデル実験実施・結果の解析
志村智也	実験結果の解析、シンポジウムポスター作成
Khujanazarov Temur	領域モデル実験実施

### 国立環境研究所

塩竈秀夫	全球モデル実験実施、「d4PDF 利用手引き」編集
------	---------------------------

### 筑波大学

鬼頭昭雄	実験デザイン
荒川 理	全球・領域モデル実験実施、出力データ整理・配布
釜江陽一	全球モデル実験結果の解析
日比野研志	領域モデル実験実施・結果の解析
長友利晴	領域モデル実験実施、出力データ整理

### 海洋研究開発機構

池田美紀子	全球・領域モデル実験補助、モデルチューニング
-------	------------------------