

気候変動予測の基礎知識と用水量への影響

～ W地区検討事例の報告 ～

内外エンジニアリング株式会社 技術 1 部
足立 望

0. 本研修の目的

○本研修の目的：

気候変動及び気候変動予測データの基礎知識の習得と検討結果の報告

①気候変動の現状と農水省の動向、用水計画への影響など



②気候変動予測データについての基礎知識



③W地区における検討結果と今後の課題

目次

1. 気候変動の基礎知識

1-1. 気候変動の現状

1-2. 国交省、農水省の動向

1-3. 気候変動が用水計画にもたらす影響

2. 気候変動予測データについて

2-1. 排出シナリオ・上昇温度

2-2. 気候変動予測データ

3. 気候変動予測データの利用

3-1. 気候変動予測データの選定

3-2. d2PDFデータのダウンロード

3-3. アンサンブル補正

3-4. バイアス補正

5. W地区における検討結果

5-1. W地区における検討結果

5-2. 今後の課題

1. 気候変動の基礎知識

(Intergovernmental Panel on Climate Change)

1-1. 気候変動の現状—IPCC第6次報告書

○IPCC/気候変動に関する政府間パネル

- 世界気象機関(WMO)及び国連環境計画(UNEP)により1988年に設立された政府間組織
- 195の国と地域が参加
- IPCCの目的：各国政府の気候変動に関する政策に科学的な基礎を与えること。

○IPCC第6次報告書（2023年3月）

- 「人間活動が主に温室効果ガスの排出を通して地球温暖化を引き起こしてきたことには**疑う余地がない**。」

温暖化の主な要因が人間活動であるという確信度が高まった

温暖化と人間活動の影響の関係について これまでの報告書における表現の変化

第1次報告書 First Assessment Report 1990	1990年	「気温上昇を生じさせるだろう」 人為起源の温室効果ガスは気候変化を生じさせる恐れがある。
第2次報告書 Second Assessment Report Climate Change 1995	1995年	「影響が全地球の気候に表れている」 識別可能な人為的影響が全球の気候に表れている。
第3次報告書 Third Assessment Report Climate Change 2001	2001年	「可能性が高い」(66%以上) 過去50年に観測された温暖化の大部分は、 温室効果ガスの濃度の増加によるものだった可能性が高い
第4次報告書 Fourth Assessment Report Climate Change 2007	2007年	「可能性が非常に高い」(90%以上) 20世紀半ば以降の温暖化のほとんどは、 人為起源の温室効果ガス濃度の増加による可能性が非常に高い。
第5次報告書 Fifth Assessment Report Climate Change 2013	2013年	「可能性がきわめて高い」(95%以上) 20世紀半ば以降の温暖化の主な要因は、 人間活動の可能性が極めて高い。
第6次報告書 Sixth Assessment Report Climate Change 2021	2021年	「疑う余地がない」 人間の影響が大気・海洋及び陸域を温暖化させてきたことには 疑う余地がない。

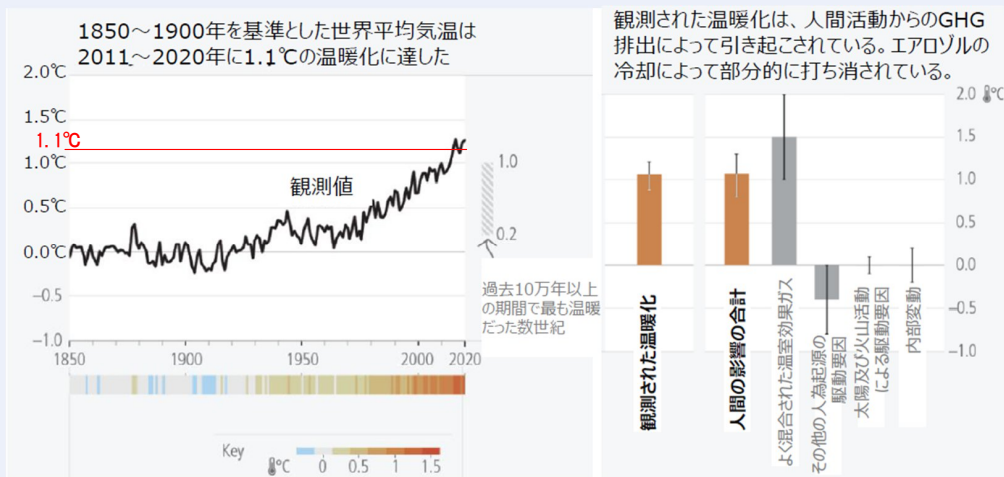
出典：IPCC第6次評価報告書

1-1.気候変動の現状—IPCC第6次報告書

IPCC第6次評価報告書統合報告書（2023年3月）をもととした解説資料（国立環境研究所作成）より抜粋

○人間の影響により既に約1.1℃の温暖化

- 1850年～1900年を基準とした世界平均気温は2011～2020年に**1.1℃の温暖化**に達した。



1-1.気候変動の現状—IPCC第6次報告書

○人間の影響により既に約1.1℃の温暖化

- 人為的な気候変動は世界中の全ての地域において多くの気象と気候の極端減少に影響を及ぼしており、**広範な悪影響、損失と損害をもたらしている**（確信度が高い）。

観測された気候変動の影響、損失・損害



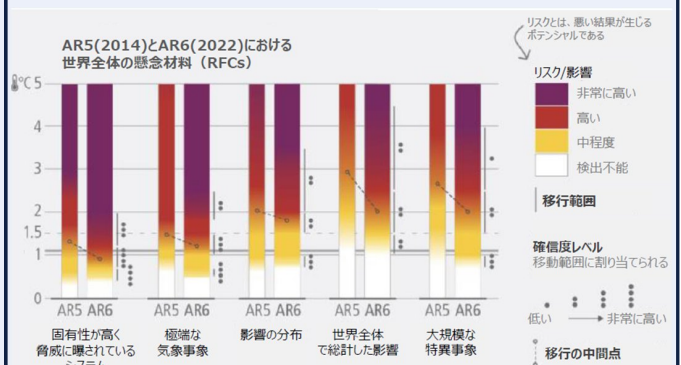
1-1. 気候変動の現状－IPCC第6次報告書

○今後短期のうちの気温上昇とその影響

- 継続的な温室効果ガスの排出により今後短期間で **気温上昇が1.5℃に到達** する可能性が高い。
- 排出の継続により気候システムの主要な構成要素に更に影響を及ぼし、地球温暖化が増すごとに **極端な現象の変化が拡大**
- 現在実現可能で効果的な **適応策** は、地球温暖化の進行に伴い制限され、**効果が減少**

地球温暖化の進行に伴い、損失と損害が増加
自然のシステムが適応の限界へ

気温上昇と世界全体の懸念材料（RFCs）



1-2. 国交省、農水省の動向

○国土交通省の動向

- 「国土交通省気候変動適応計画」を平成27年11月に策定
- 平成30年6月に公布された「気候変動適応法」に基づき平成30年11月に改正

環境省「気候変動適応計画」
各分野における現状と基本的
施策を記載

○農林水産省の動向－土地改良設計基準 計画「排水」の見直し

- 「農林水産省気候変動適応計画」を平成27年8月に策定、順次改定（最新：令和5年8月）
- 令和3年～5年に気候予測データを用いた排水解析の検討を実施

令和7年4月に土地改良設計基準 計画「排水」が改定

気温が2℃上昇すると予測した際の**時間降雨量変化倍率1.1倍（北海道は1.15倍）**を考慮

土地改良設計基準 計画「農業用水（水田）」
及び「農業用水（畑）」の見直しへ

1-2. 農水省の動向

「気候予測データを利用した用水計画策定手法検討業務」 モデル地区：国営村山北部地区（山形県）

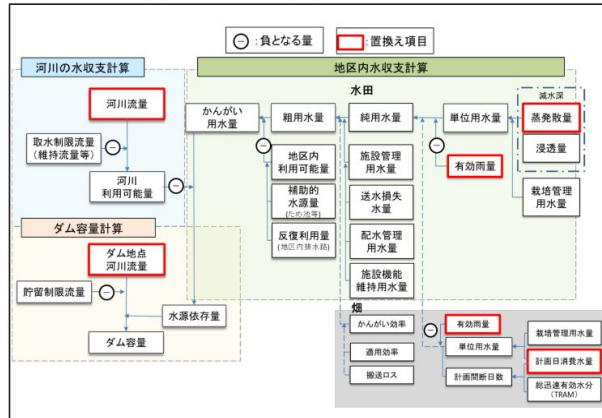
○検討手法

- 降雨量は将来実験値に置き換え、河川流量、蒸発散量、減水深、日消費水量は分布型水循環モデルで算出した将来実験値に置きかえ → 将来のダム容量計算を行う

○検討結果

- ダム容量は過去実験値から1.4倍に増加、河川流量のみを考慮すると1.3倍の増加
→ 蒸発散量、減水深、日消費水量は1%のみ寄与
- 現行計画基準年に特異性がある可能性が高い
- 用水計画へ将来実験値を反映する方法の検討が必要

■ダム容量計算の流れ及び本作業の置換え項目

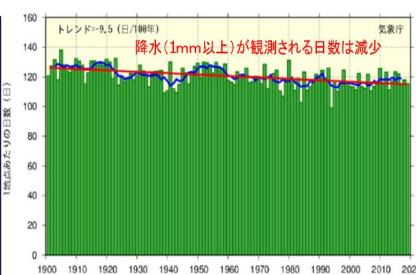


降雨のみを置きかえた場合の変化なし

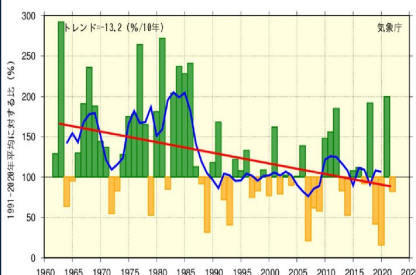
1-3. 気候変動が用水計画にもたらす影響

- 極端な大雨、有効雨量を超える降雨の発生頻度が**増加** ⇔ 日降水量1.0mm以上の発生頻度は**減少**
有効雨量の例：5mm以上80mm未満の80%、80mm以上は使用不可
→ 生育に有効な雨量が減少
- 気温の上昇に伴う降雪・積雪量の減少が予測
→ 非かんがい期にダム等の貯水量が十分に回復できない

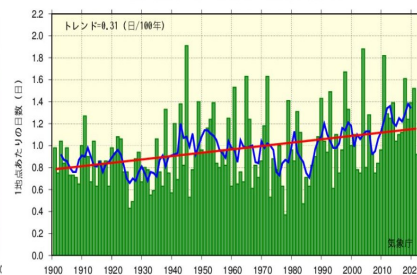
全国的な用水充足率の低下が予測



日降水量1.0mm以上の年間日数



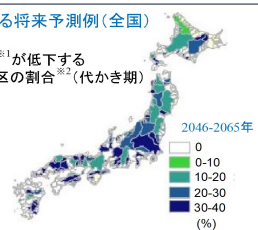
【東日本】最深積雪



日降水量100mm以上の年間日数

水田における将来予測例(全国)

用水充足率^{※1}が低下するかんがい地区の割合^{※2}(代かき期)



※1 用水充足率：供給された水量/必要水量

※2 2046～2065年において、流域の全かんがい地区数に対し充足率が低下する地区数の割合

出典：農林水産省地球温暖化適応計画(令和5年8月)

2. 気候変動予測データについて

2-1. 排出シナリオ・上昇温度

○気候変動予測とは

- 将来における温室効果ガスの排出等の放射強制力を仮定し、大気がどのように応答するかの傾向を把握するもの

○温室効果ガス排出シナリオと気温上昇予測

- 排出シナリオ：各国が温室効果ガス排出緩和策を行うことを前提に考案された、排出量高位～低位までの4つのシナリオ（IPCC5次報告書で公表）
- 気温上昇予測：最も気温上昇予測幅の大きいRCP8.5の高位参照シナリオでは4℃（2090年頃を予測）、2℃（2040年頃を予測）の気温上昇が主に使用されている

IPCC第5次評価報告書における RCPシナリオとは

RCPシナリオ・・・Representative Concentration Pathways（代表的濃度経路シナリオ）社会・経済的な将来像を仮定せず、将来予測される多様な放射強制力の経路の中から、代表的なものを選択する。

略称	シナリオ（予測）のタイプ
 RCP 2.6 気温上昇幅 +0.3～1.7℃	低位安定化シナリオ （世紀末の放射強制力 2.6W/m ² ） 将来の気温上昇を 2℃以下に抑えるという目標のもとに開発された排出量の最も低いシナリオ
 RCP 4.5 気温上昇幅 +1.1～2.6℃	中位安定化シナリオ （世紀末の放射強制力 4.5W/m ² ）
 RCP 6.0 気温上昇幅 +1.4～3.1℃	高位安定化シナリオ （世紀末の放射強制力 6.0W/m ² ）
 RCP 8.5 気温上昇幅 +2.6～4.8℃	高位参照シナリオ （世紀末の放射強制力 8.5W/m ² ） 2100 年における温室効果ガス排出量の最大排出量に相当するシナリオ

出典：IPCC第5次評価報告書および（独）国立環境研究所 地球環境研究センターニュースVol.18をもとにJCCCA作成

出典：JCCCA 全国地球温暖化防止活動推進センターHP

2-2. 気候変動予測データ



○気候予測データセット2022

- 「気候予測データセット2022」は、文部科学省が実施した気候変動研究プログラムで作成された気候変動予測データや、それらを含む予測データを大学や研究機関等が解析、統計処理して作成された16のデータセットで構成

ダウンスケーリング＝データの高解像度化

- 16のデータセットはダウンスケーリング手法と予測変数の違いにより3種類に大別

①力学的ダウンスケーリング（大気）

②統計的ダウンスケーリング（大気）

③力学的ダウンスケーリング（海洋）



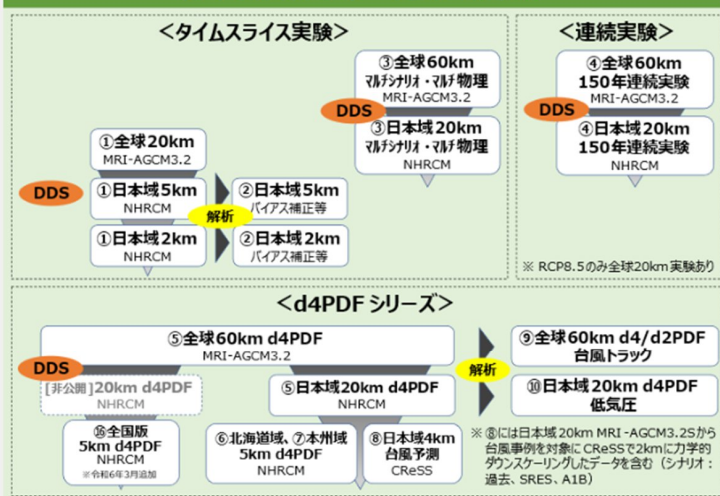
さらに大気関連の予測データについては、実験の種類により3種類に分類

①タイムスライス実験（現在と21世紀末を各20年間程度で区切って計算したもの）

②連続実験（現在から21世紀末まで連続的に計算したもの）

③d4PDFシリーズ（全球地表気温が特定の温度に一定に上昇した条件下で多数のアンサンブル計算を行ったもの）

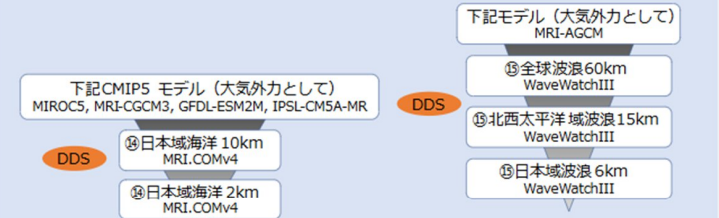
力学的ダウンスケーリング（大気）



統計的ダウンスケーリング（大気）



力学的ダウンスケーリング（海洋）



記号	意味
▽	上のデータから下のデータに向けてダウンスケーリングしたことを示す
DDS	力学的ダウンスケーリング
SDS	統計的ダウンスケーリング（バイアス補正を含む）
解析	バイアス補正や台風トラック、低気圧の抽出等、データを解析したことを示す

2-2. 気候変動予測データ

○ 全球モデル

- 地球全体を対象とした数値予報モデル。

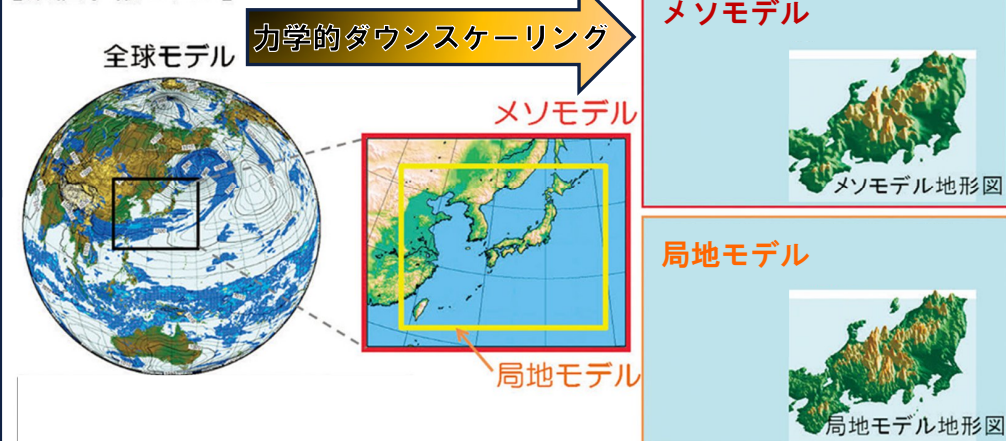
○ 領域モデル

（メソモデル、局地モデル）

- 日本周辺のより細かい格子間隔を対象とした数値予報モデル。

全球モデル、メソモデル、局地モデル

【数値予報モデル】

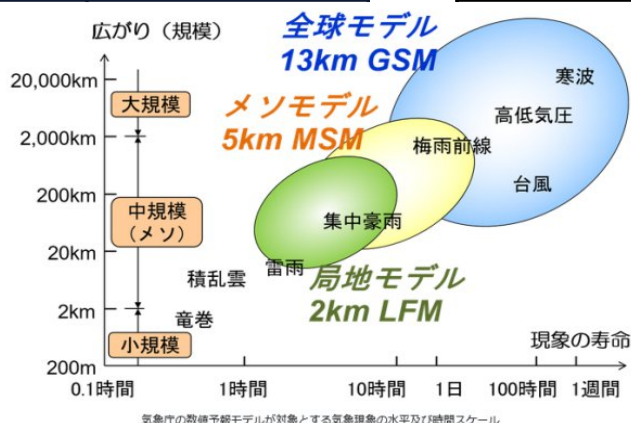


2-2. 気候変動予測モデルー全球モデルと領域モデル

○メッシュ間隔

- 気候変動予測データで予測できる**気象現象の規模**（広がり）は**メッシュ**（格子）の**間隔に依存**する。
↓
- 予測データを使用する地区や予測したい気象現象の水平規模によってメッシュ間隔を選定する。

規模（広がり）	水平規模	メッシュ間隔
大規模	>100km程度	13km～（全球モデル）
中規模（メソ）	>数10km程度	5km（メソモデル）
小規模	<10数km程度	2km（局地モデル）



出典：気象庁HP

2-2. 気候変動予測データ



全国版d4PDF
ダウンスケーリングデータ

○全国版d4PDFダウンスケーリングデータ

- d4PDFの全球気候モデル（60kmメッシュ）の結果を元に、5kmメッシュの地域気候モデルを用いて日本全国を対象に力学的ダウンスケーリングしたデータセット
- 過去実験：20世紀末実験
- 将来実験：産業革命前に比べて全球平均気温が2℃又は4℃上昇した条件での実験
- 日本全国を統一した実験設定で評価する場合に有用なデータ

ダウンスケーリング
＝データの高解像度化

「本州域 d4PDF ダウンスケーリングデータ」

- 気候予測データセット2022のうち、「全国版d4PDFダウンスケーリングデータ」と同様、d4PDFから5kmメッシュに力学的ダウンスケーリングしたデータ
- 計算領域が東北から九州限定であり、日本全国を対象とした評価には利用できないこと、山岳域の積雪が過大評価となることに注意
- 「全国版d4PDFダウンスケーリングデータ」は上記を含むいくつかの問題（山岳域の積雪の過大評価など）が修正されており、新規の解析にもこちらの使用が推奨されている。

2-2. 気候変動予測データ



○d4PDF (database for Policy Decision making for Future climate change)
－ 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

- ・ 文科省の「気候変動リスク情報創生プログラム」及び海洋研究開発機構の「地球シミュレータ特別推進課題」における地球シミュレートで作成
- ・ 気象庁気象研究所の全球気候モデル（60kmメッシュ）と領域気候モデル（日本域20kmメッシュ）を用い、地球全体を対象とした全球実験と日本周辺を対象とした領域実験を実施

○全国版d4PDF

- ・ 大規模アンサンブル実験（d4PDF）の60km格子の全球気候モデルの結果を元に、5km格子の地域気候モデルを用いて日本全国を対象に各気候それぞれ732年間力学的ダウンスケーリングしたデータセットである。

3. 気候変動予測データの利用

3-1. 気候変動予測データの選定

○上昇温度

- ・ 4℃上昇は温室効果ガス排出対策を全く行わないシナリオである
→4℃上昇は実際より過大な気候変動の予測となる可能性が高いことから、**2℃上昇が適当**

○気候変動予測データモデルとメッシュ間隔

- ・ 対象となるW地区は最大水平距離が約40km
→ 領域モデルのうち、中規模のメソモデルである**5kmメッシュ間隔が適当**



全国版d4PDFダウンスケーリングデータ（2℃上昇、5kmメッシュ）の
気候変動予測データを用いる

3-2.D2PDFデータのダウンロード



データ統合・解析システム

- 海洋研究開発機構が運用するデータ統合・解析システムDIASより、以下の条件で気候変動予測データをダウンロードする。
- 気候変動予測データ：d4PDF（2℃上昇、5kmメッシュ）
- 変数：地表面データ（日別降水量を含む）
- 期間：過去実験 1981年～2010年（30年間）
将来実験 2030年～2090年（60年間）
- データ形式：NetCDFファイル形式
- 位置：W地区の基準年検討観測所

DATASET
気候予測データセット

1データが約8.5GBあるため、Web上からではなくPythonのダウンロードスクリプトを使用

TOP — データセット紹介 — 全国版d4PDFダウンスケーリングデータ

全国版d4PDFダウンスケーリングデータ

データセット概要

大規模アンサンブル実験(d4PDF)の60km格子の全球気候モデルの結果を元に、5km格子の地域気候モデルを用いて日本全国を対象に各気候それぞれ732年間力学的ダウンスケーリングしたデータセットである。

モデル名

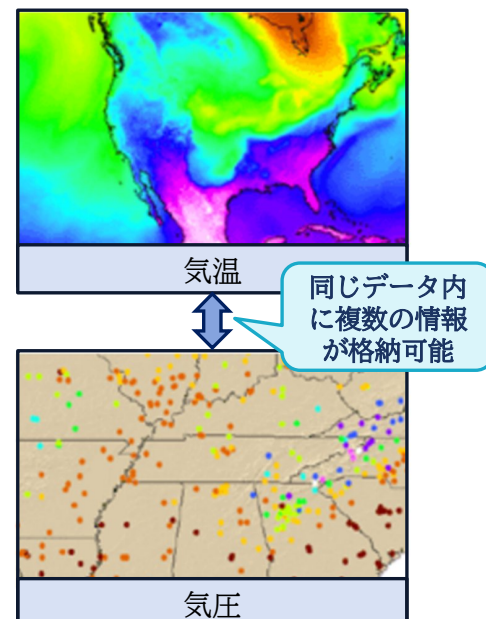
・ 気象研究所非静力学地域気候モデル-NHRCM (Sasaki et al. 2008)

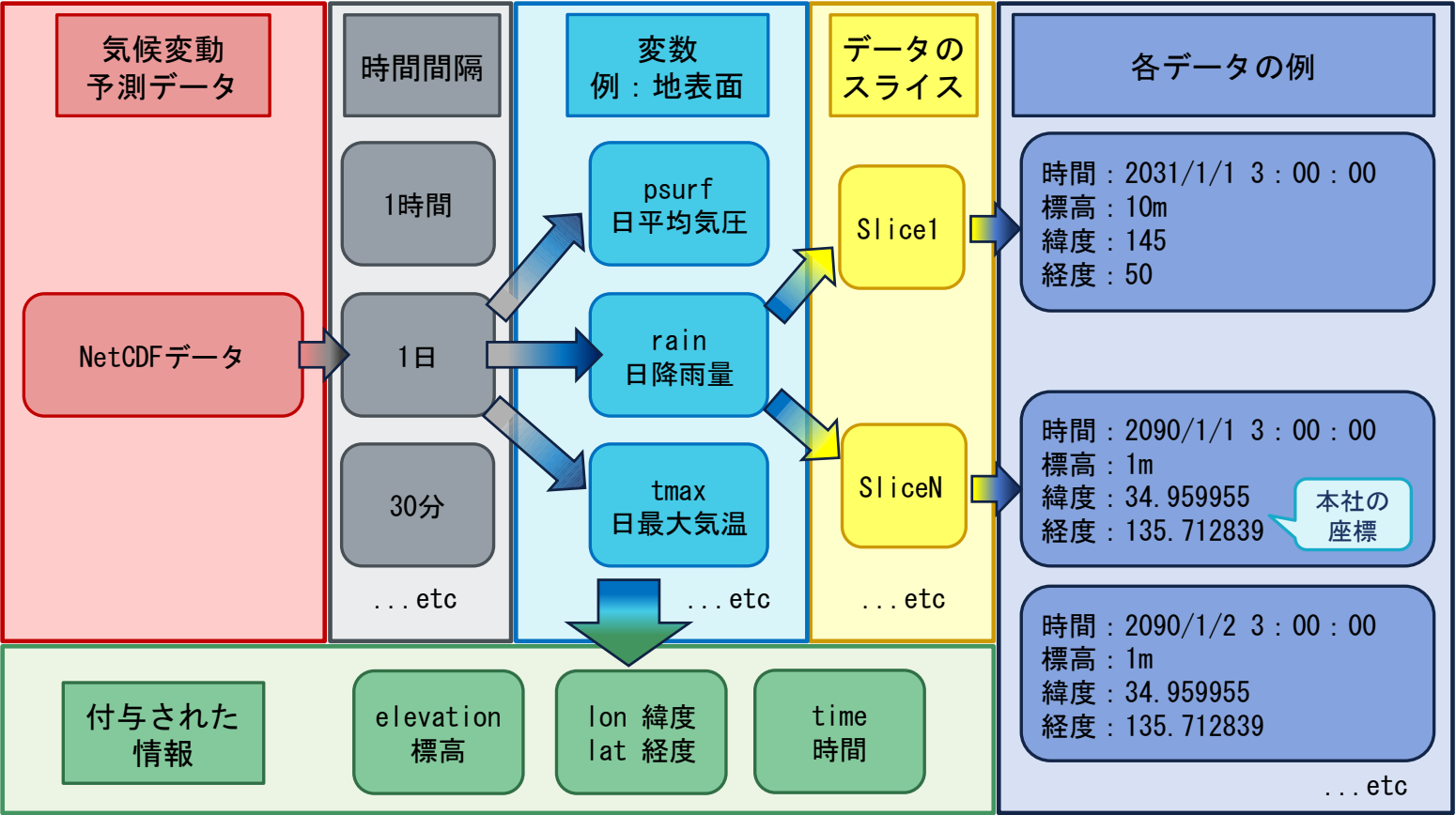
データダウンロード

出典： DIAS (Data Integration and Analysis System) HP

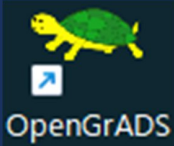
参考.NETCDFファイル形式

- NetCDF/Network Common Data Form は、ネットワーク共通データ形式といわれる、気温、降雨、気圧、湿度などの科学的な多次元データ（変数）を格納するためのファイル形式
- NetCDFの拡張子は「.nc」
- NetCDFは様々な変数に緯度・経度、標高、日時などの情報を付与して格納できるため、気象、海洋、気候変動などの分野で国際的に広く使われている。
- ESRI ArcGISなど主要な地理情報システムがNetCDFをサポートしており、これらの地理情報システムでNetCDFの格納データを地図上に可視化できる。

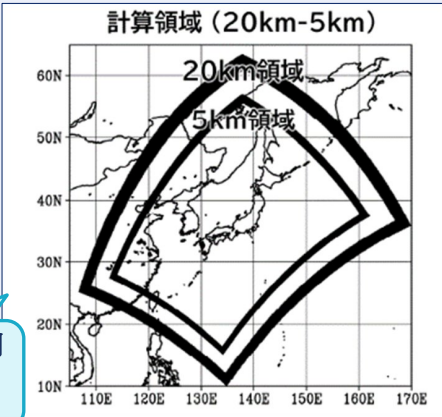




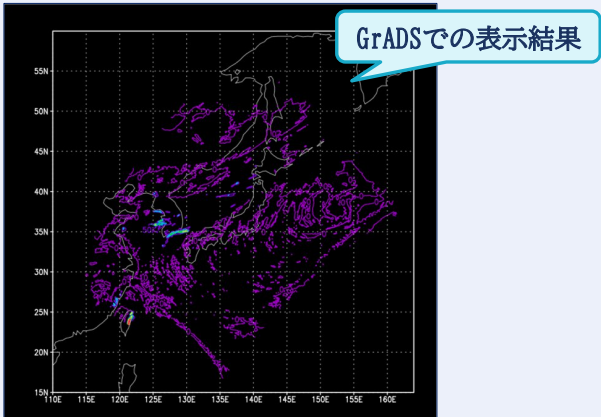
参考. GRADS (Grid Analysis and Display System)



- 格子点データを地図上に表示するためのソフトウェア
- グリッドデータ数値シミュレーション結果や観測データの可視化に利用される
- NetCDF形式のデータを扱えるため、必要な変数及び位置情報のデータ抽出に使用



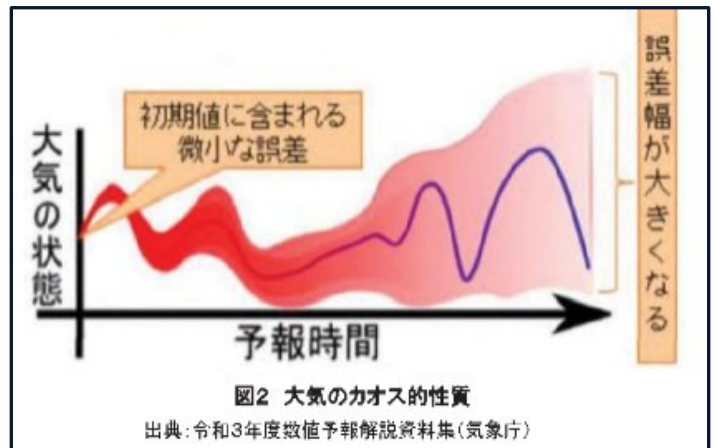
d4PDF_5kmの
利用手引きより
抜粋



3-3. アンサンブル補正

○大気のカオスとアンサンブル実験

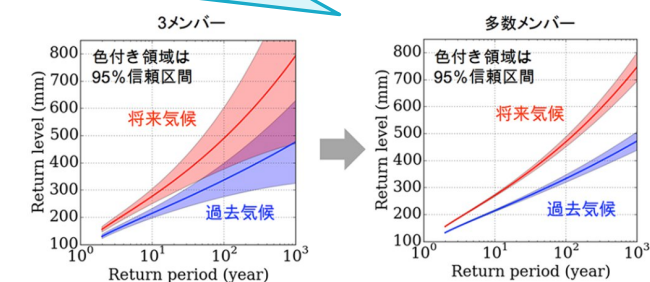
- ・ 気候変動予測では、大気のカオス（わずかな大気の乱れが大気の流れ全体に影響を与える）という性質から、より遠い将来予測ほど不確実性（誤差幅）が大きくなる。
- ・ 1つの気候変動予測データだけではその不確実性を評価できないため、初期値を少しずつ変化させるなどにより過去や将来のデータ数を仮想的に増加させたアンサンブル実験を行うことで不確実性を評価する。



3-3. アンサンブル補正

- ・ 気候変動予測は特定の時間と場所の気象を予測するものではなく、アンサンブル実験を元に平均的な気候状態の変化を予測する（便宜上、日付を与えて計算するが、実際にはある事象がその日に起こるというのではなく、平均条件では起こる可能性がある）ものであり、アンサンブル実験により数十年に1度程度しか発生しない大雨などの極端現象の発生確率を評価出来る。

アンサンブル数を増やすことにより、信頼区間が狭まる。



出典: 村田昭彦, 日比野研志, 岡田靖子, 川瀬宏明, 野坂真也, 石井正好, 佐々木秀孝, 高瀬出. 多数アンサンブルのダウンスケールリングによる日本の気候の将来予測 (PDF)

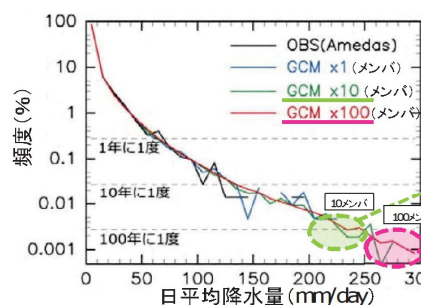


図2 全球モデルでの東京での日降水量頻度分布

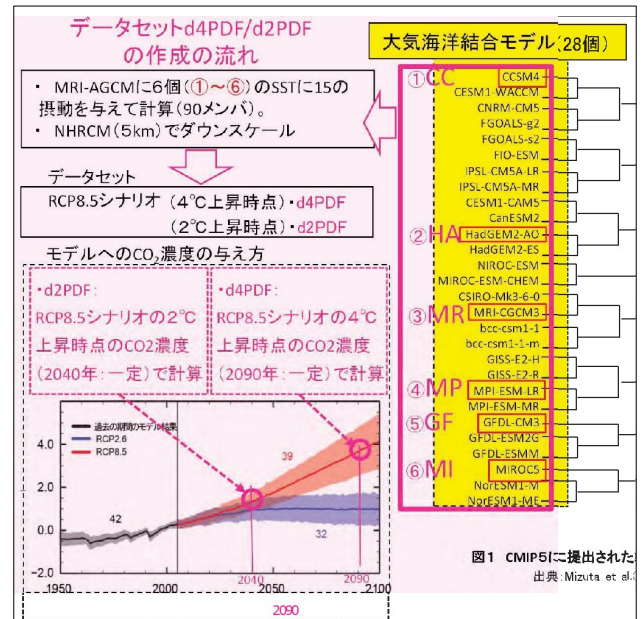
出典: 地球温暖化対策に資するアンサンブル気候予測データベース利用手引き(文部科学省)に加筆

・ アンサンブル数を増やすことにより、なめらかな曲線となる（不確実性の低下）
・ 低頻度の極端現象を評価することが可能となる

参考. アンサンブル実験数

- d2PDFにおけるアンサンブル実験は「大気海洋結合モデル」における海水温/Sea Surface Temperature (SST) の昇温パターンによって①CC、②HA、③MR、④MP、⑤GF、⑥MIの6実験に分けられる。また、それらの初期値を少しずつ変化させ（摂動を与え）ることによってm101、m102の2パターンを作成し、合計で12メンバーのアンサンブル実験結果が作成される。

※ 同一のSSTの昇温パターンを与えた実験で摂動が異なる場合は独立メンバーと捉えられる



3-4. バイアス補正

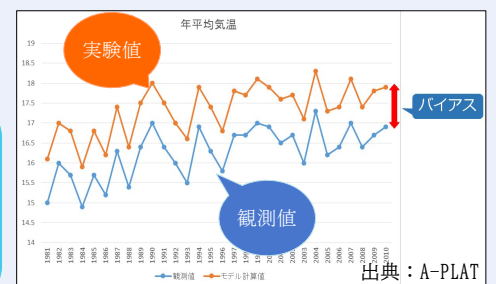
○バイアス補正とは(参考: Watanabe et al. 2017)

- 気候変動予測データにおける実験値には、観測値と比較してバイアス(系統誤差)がある
→ 影響評価等に直接実験値を用いても満足な結果が得ることができない



- 「バイアス補正」が必要

- ◆ 過去再現実験値と観測値との間の統計的な特徴が将来も同様に成り立つと仮定
- ◆ 過去再現実験値と観測値より作成した補正式を将来予測実験値に当てはめ、将来予測実験値を修正
- ◆ バイアス補正では多数の変数間の統計的關係は考慮せず、実験値と観測値のみの関係を考えている



- 補正手法はいくつかの種類があるが、バイアス補正手法は**実験値に影響評価等の目的に応じて調整する操作**であり、目的によりどの補正方法を採用するべきかという答えは異なる。

参考. バイアス補正

○バイアス補正手法

補正手法	代表的な手法	重視している点	メリット	デメリット	利用例
トレンド保存型	トレンド保存型の手法 (TP法)	気候モデルによる将来変化量がバイアス補正の前で変化しないこと	将来変化量が保存される	QM法ほど高い過去実現性はない	全休スケールや長期間のトレンドが重視される一部の研究
バイアス保存型	クオンタイルマッピング法 (QM法) ピアニ法	過去再現実験結果による予測結果と参照データの間の統計的関係が将来も不変ということ	過去再現性の高さ	将来変化量に関する気候モデルの予測値の再現性の低さ	領域スケールの影響評価など過去再現性が重視される研究全般

3-4. バイアス補正

○今回のバイアス補正→ピアニの手法 (Piani et al. 2010) を採用

- ・ 実験値・観測値の変動が大きい場合に効果的な手法。
- ・ 補正式が累積確率によらない2つの母数からなる変換関数となるため、実験値や観測値の累積確率により変化しないことから、**個々の数値に対する依存度は下がり、頑健性が高い。**

「頑健性」・・・統計的手法等が、数値の小さな変化や不確実性に対してどれだけ安定しているかを示す概念
頑健性が高いほど、さまざまな条件下でも安定した推定を提供

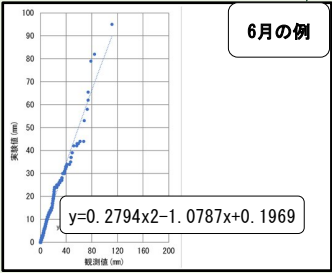
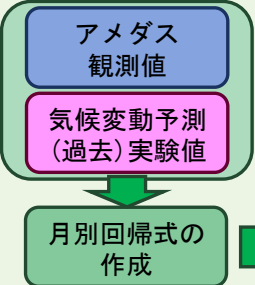
○具体的方法

- ①月別のアメダス観測値と気候変動予測実験値（1981～2010年、29年間）をソート
- ②観測値をx軸、実験値をy軸とした散布図を作成
- ③回帰式（2次多項式近似）を生成
- ④気候変動予測実験値（2031～2090年、59年間）に対し月別の回帰式による補正を行う

○バイアス補正→アンサンブル補正

バイアス補正

ピアニの手法により月別の回帰式をメンバー別に作成
→回帰式を反映



メンバー別
月次回帰式

- m101
- m102
- m103
- m104
- m105
- m106
- m107
- m108
- m109
- m110
- m111
- m112

気候変動予測 (将来)
実験値 → 補正值

- | | |
|---------|---------|
| CC m101 | CC m101 |
| CC m102 | CC m102 |
| HA m101 | HA m101 |
| HA m102 | HA m102 |
| MR m101 | MR m101 |
| MR m102 | MR m102 |
| MP m101 | MP m101 |
| MP m102 | MP m102 |
| GF m101 | GF m101 |
| GF m102 | GF m102 |
| MI m101 | MI m101 |
| MI m102 | MI m102 |

アンサンブル補正 (将来)

アンサンブル
補正済気候変
動予測 (将来)
補正值