

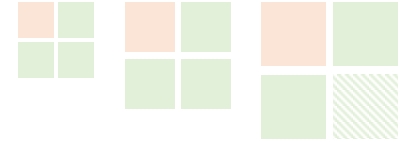
d4PDFを用いた 地域気候変動予測の事例

～自治体での活用事例の紹介とその他活用分野の提案～

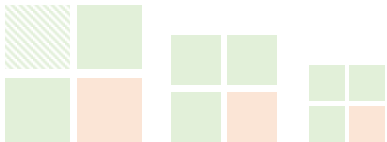
2021年1月19日



アオイ環境株式会社
サステナビリティ部 横山 稔



1. アオイ環境株式会社の紹介
2. d4PDFの活用の背景
3. d4PDFを用いた予測の手法と成果(暫定)
4. 今後の展望(その①)予測手法の改善など
5. 今後の展望(その②)活用分野の提案など



1. アオイ環境株式会社の紹介



アオイ環境株式会社

環境総合コンサルタント

1998年4月創立

私たちは、環境・サステナビリティ専門のコンサルタントとして自治体・官公庁、企業、NPO・団体等の取り組みを支援しています。

■主なサービス

サービスの分類	事業者向け	自治体・官公庁向け
リスク管理・マネジメント	環境・品質マネジメントシステム、法令順守	環境マネジメントシステム
CSR・サステナビリティ	CSR報告書、SDGs対応	—
気候変動対策	省エネ診断、排出量算定、脱炭素に向けた支援、気候変動適応、浸水対策支援	
啓発・学習	研修、ワークショップ、啓発資料、市民向けイベント	
地域計画	—	環境基本計画、地球温暖化対策計画、気候変動適応計画
調査・研究	環境調査	環境調査、環境白書

2. d4PDFの活用の背景



- 「気候変動適応法」の成立（2018年12月）により、自治体では「地域気候変動適応計画」の策定が必要になった。

緩和とは？ 適応とは？



人間社会や自然の生態系が危機に陥らないためには、実効性の高い温室効果ガス排出削減の取組を行っていく必要があります。温室効果ガスの排出抑制に向けた努力が必要です。

緩和を実施しても気候変動の影響が避けられない場合、その影響に対処し、被害を回避・軽減していくことが適応です。

2. d4PDFの活用の背景



オール東京62市区町村共同事業「みどり東京・温暖化防止プロジェクト」気候変動への適応策に関する調査研究

オール東京62気候変動適応策研究会

■趣旨

都内62市区町村が研究機関・専門家の知見を共有し、ともに学び合いながら、それぞれの地域に合った適応計画の策定を目指して研究活動を実施。

■主催



公益財団法人

東京市町村自治調査会

■運営事務局



アオイ環境株式会社

■活動の概要

2018～2020年度の3年間

2018年度
適応策の意義・課題を
認識する



2019年度
地域特性に応じた適応
策を考える



2020年度
地域での適応推進に役
立つノウハウを得る

2. d4PDFの活用の背景



- 自治体共通の課題：気候変動による具体的な影響をイメージできないため、適応策の検討が進まない。
- 研究会の活動の一環として詳細な気候変動予測を実施し、適応策に反映。



⇒中間改定と併せて
「地域気候変動適応計画」を策定。

■スケジュール

- 2020年9月～
 - ・ d4PDFを用いた予測に着手
- 2021年1月～
 - ・ 予測結果を庁内の関係課に提示
 - ・ 適応策の検討に着手
- 2022年3月（予定）
 - ・ 改定計画を公表

3. d4PDFを用いた予測の手法と成果(暫定)



■ 予測の項目

※赤字：本発表で紹介する項目

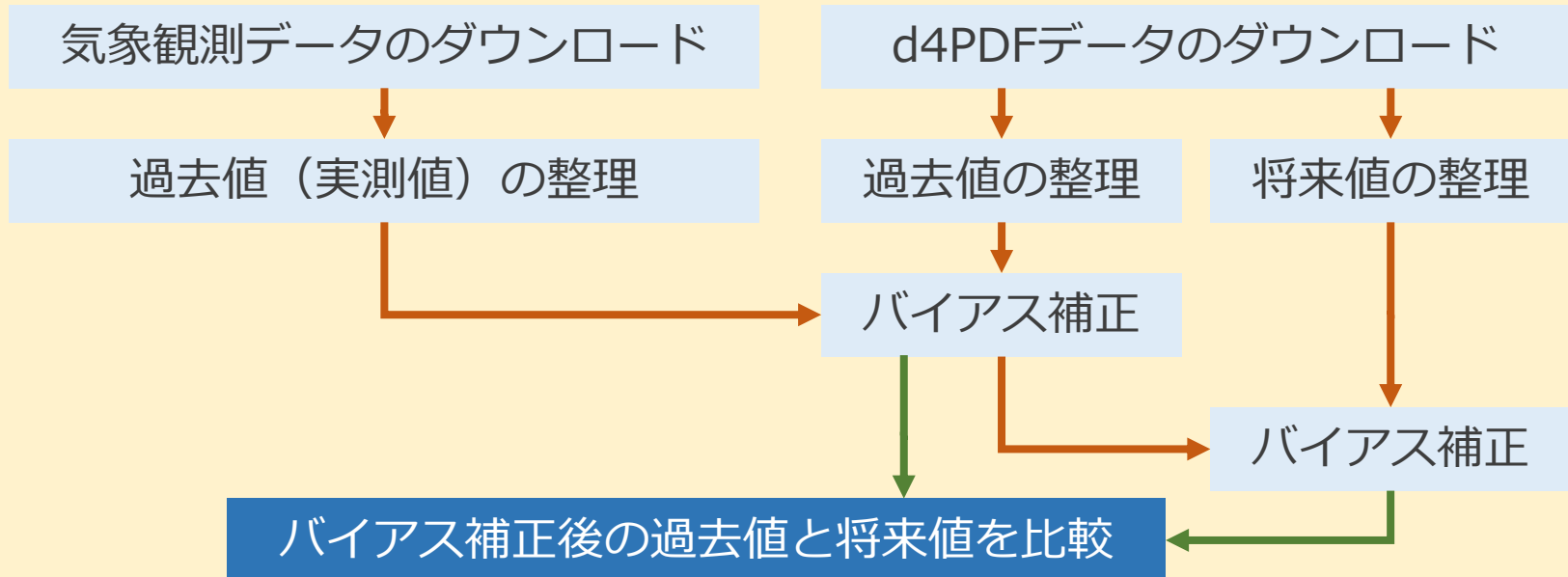
○降水量

- ・ 年最大1時間降水量
- ・ 年最大24時間降水量
- ・ 無降水日の日数
(日降水量が1mm未満の日)

○気温

- ・ 月別の平均・最高・最低気温
- ・ 月別の猛暑日の日数
(日最高気温が35℃以上の日)
- ・ 月別の熱帯夜の日数
(日最低気温が25℃以上の日)

■ 予測の手順



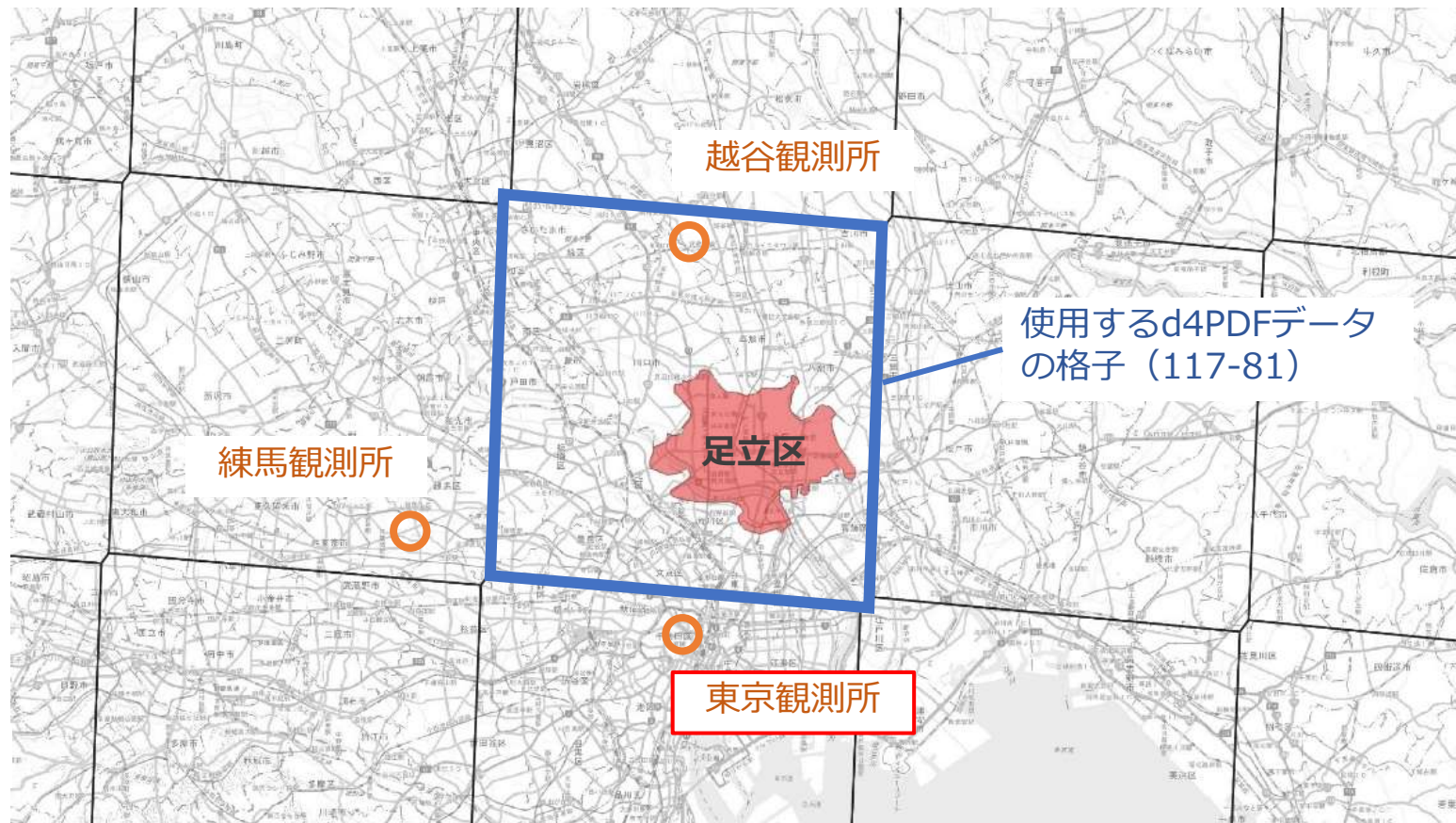
3. d4PDFを用いた予測の手法と成果(暫定)



■使用したデータ

○足立区内では長期間の観測データが得られないため、最も近く観測期間も長い東京観測所のデータを使用。

○d4PDFは、20km格子のうち足立区が含まれる117-81のデータを使用。



3. d4PDFを用いた予測の手法と成果(暫定)



■ 気象観測データのダウンロード

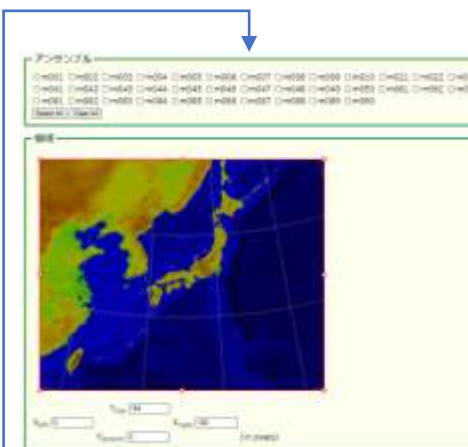
気象庁ホームページから各種データをダウンロード

こちらを採用

(膨大なデータをダウンロードするためおすすめできない)

■ d4PDFデータのダウンロード

項目	手法①	手法②
利用するツール	d4PDF切り出しツール	SI-CAT気候実験データベースシステム (SEAL)
メリット	必要な範囲のデータのみダウンロードできる	CSVデータのため、エクセルで加工できる
デメリット	バイナリデータのため、データの加工にはGrADSなどの特殊なソフトが必要である	広域のデータをダウンロードしてから、必要な範囲のデータを抽出する必要がある



3. d4PDFを用いた予測の手法と成果(暫定)



■手法②SEALを利用したデータのダウンロード

- 実験の種類を選択
- 検索の種類を「月別値」に設定
- 開始年月を入力（終了年月は+1ヶ月）

- RAIN : Precipitation に [✓]
- TMP : Temperature に [✓]
- 期間を入力（12ヶ月程度）

検索

CSVファイルをダウンロード

SEAL-F System for Efficient content-based retrieval to Analyze Large volume climate data (SEAL) - Finder

データセット :

d4PDF (領域モデル実験)
d4PDF (全球モデル実験)

実験の種類 :

将来4℃昇温実験
将来2℃昇温実験
過去実験

変数 :

降水量 (RAIN)
気温 (TMP)
降水量 (RAIN) ・ 気温 (TMP) の複

検索の種類 :

日降水量が閾値以上の発生回数
日降水量の年最大値
3日間積算降水量
月別値

行政区域 :

東京都 ▼ 格子点マップ 格子点座標

開始年月 (T_s) :

1950-09 (YYYY-MM)

終了年月 (T_e) :

1950-10 (YYYY-MM)

検索の種類の詳細 : ある行政区域の指定期間 ($T_s > \text{年月} \geq T_e$) において、降水量の月別値を検索する。

年月日の指定可能範囲 (領域モデル実験)

将来4℃昇温実験 : 2050-09-01 ~ 2111-09-01 or 2050-09 ~ 2111-09
将来2℃昇温実験 : 2030-09-01 ~ 2091-09-01 or 2030-09 ~ 2091-09
過去実験 : 1950-09-01 ~ 2011-09-01 or 1950-09 ~ 2011-09

年月日の指定可能範囲 (全球モデル実験)

将来4℃昇温実験 : 2051-01-01 ~ 2110-12-31
過去実験 : 1951-01-01 ~ 2011-12-31
非温暖化実験 : 1951-01-01 ~ 2010-12-31

検索

3. d4PDFを用いた予測の手法と成果(暫定)



■ d4PDFデータの一次整理

○データは、時刻T、格子点X,Y座標を用いて「(T,X,Y)」で表すと、月ごとに下記のように並んでいる。

○X=117、Y=81のデータをT=0~720まで月ごとに抽出し、61年分を統合（注意：TはUTCのため、T=0が日本時刻で9時となるように調整）。

(0, 0, 0)	(0, 1, 0)	...	(0, 189, 0)	(0, 190, 0)
(0, 0, 1)	(0, 1, 1)	...	(0, 189, 1)	(0, 190, 1)
:				
(0, 0, 154)	(0, 1, 154)	...	(0, 189, 154)	(0, 190, 154)
(1, 0, 0)	(1, 1, 0)	...	(1, 189, 0)	(1, 190, 0)
:				
(720, 0, 153)	(720, 1, 153)	...	(720, 189, 153)	(720, 190, 153)
(720, 0, 154)	(720, 1, 154)	...	(720, 189, 154)	(720, 190, 154)

Y=1のデータ範囲

X=1のデータ範囲

T=0のデータ範囲

3. d4PDFを用いた予測の手法と成果(暫定)



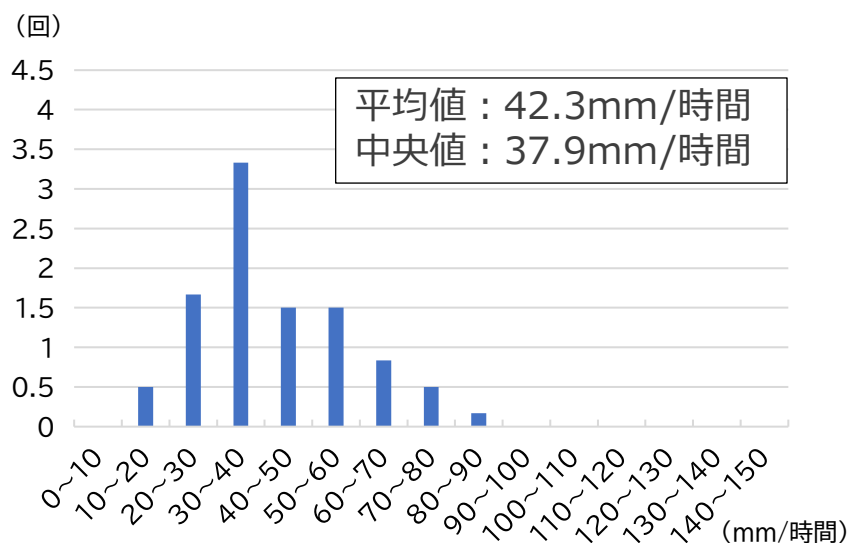
① 年最大1時間降水量

■ 気象観測所の観測結果とd4PDF過去実験の結果の比較

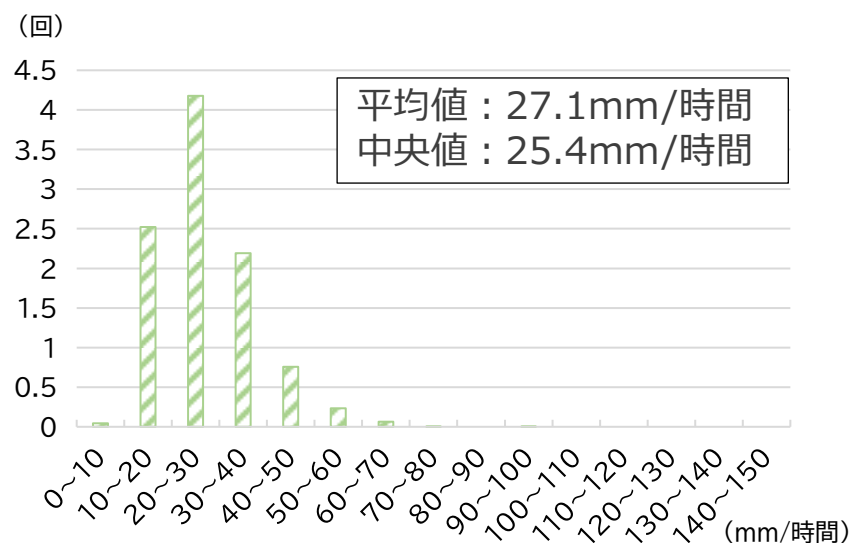
- 過去実験の結果の方が、観測結果よりやや低めの分布となっている。
- d4PDFの実験結果が20km格子内の平均的な降水量を再現したものであり、地点での観測結果と比較して極端な値が出にくいためと考えられる。

◆ 頻度分布 (10年あたりの回数)

・ 観測 (1951~2010年)



・ 過去実験 (1951~2010年×50パターン)



3. d4PDFを用いた予測の手法と成果(暫定)



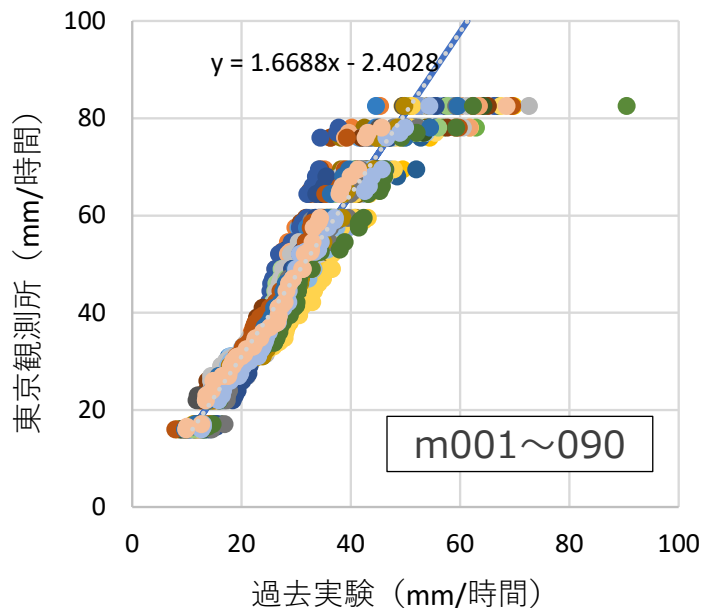
① 年最大1時間降水量

■ d4PDF過去実験の結果のバイアス補正 (ピアニの手法)

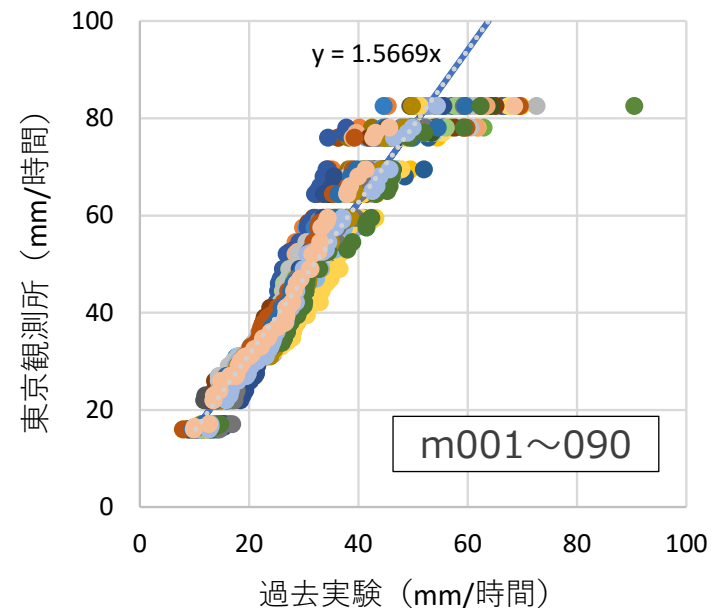
- 過去実験の結果と観測結果それぞれをソートする。
- ソートされたそれぞれの値を x, y の値と見なして xy 平面にプロットする。
- x と y についての関係式を最小二乗法により求める (ゼロに小さい値の時、極端な値に補正される可能性もあるため、切片 $[b]=0$ のパターンも実施)。

◆ 過去実験の結果と観測結果の関係式

・ 手法① : 標準的な最小二乗法



・ 手法② : 切片 $[b]=0$ の近似式



3. d4PDFを用いた予測の手法と成果(暫定)

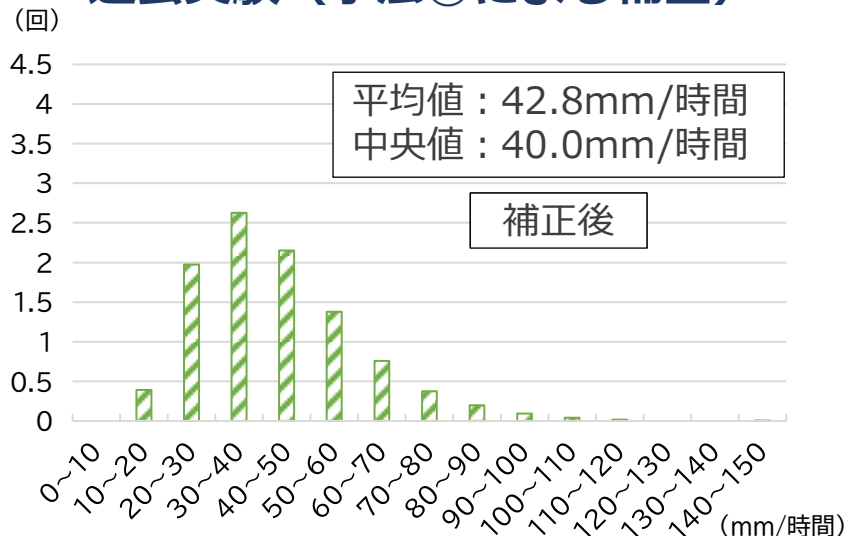


① 年最大1時間降水量

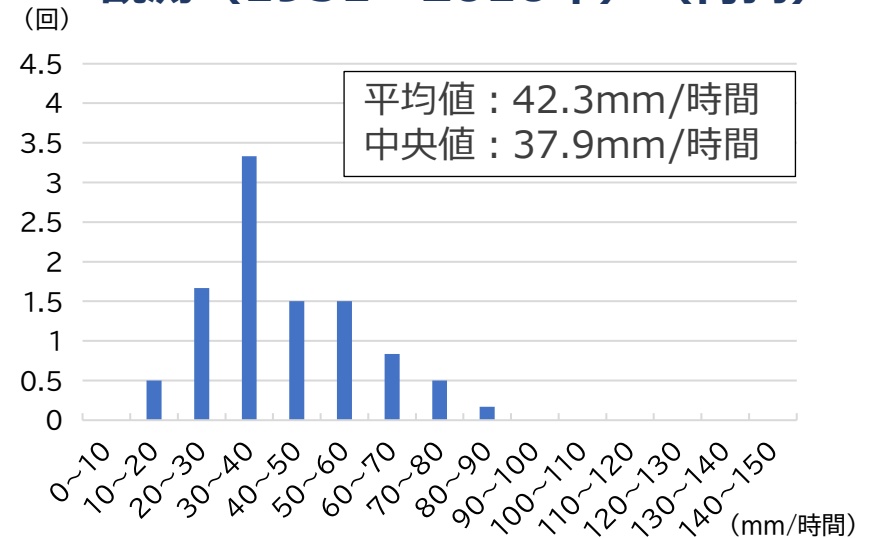
■ d4PDF過去実験の結果の バイアス補正 (ピアニの手法)

- 前ページの関係式により過去実験の結果を補正した。
- 同様の頻度分布となり、平均値、中央値ともに近い値となっている。

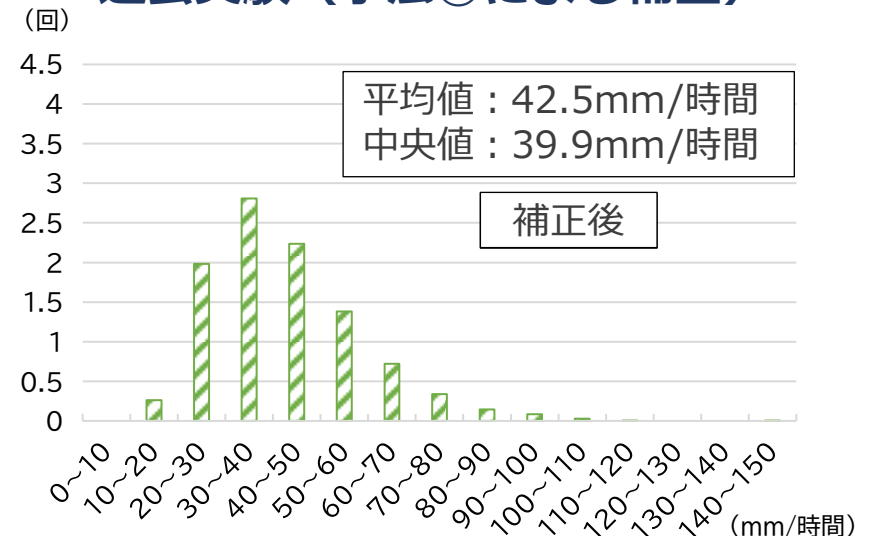
◆ 頻度分布 (10年あたりの回数) ・ 過去実験 (手法①による補正)



◆ 頻度分布 (10年あたりの回数) ・ 観測 (1951~2010年) (再掲)



・ 過去実験 (手法①による補正)



3. d4PDFを用いた予測の手法と成果(暫定)



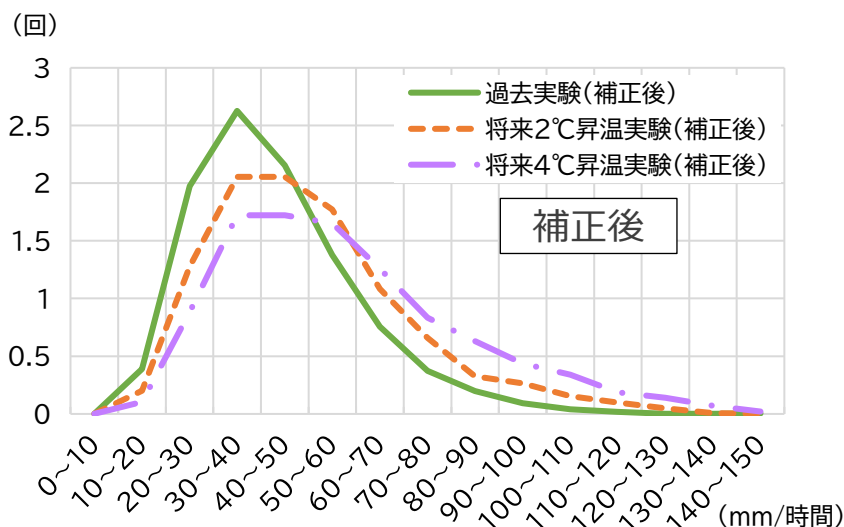
① 年最大1時間降水量

■ d4PDFの過去実験と将来実験の結果の比較

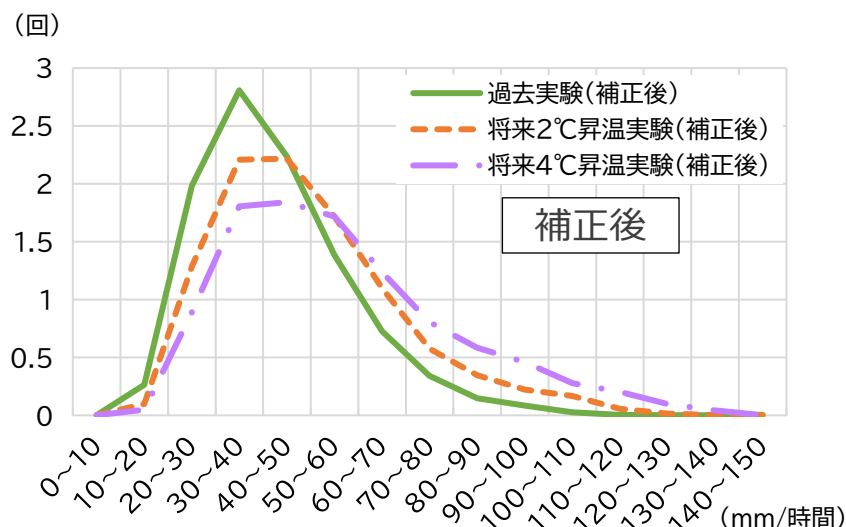
- 過去実験と同じ関係式により将来実験の結果を補正し、過去実験の結果と比較した。
- 手法①の方が、降水量が少ない領域で低め、多い領域で高めの補正となっている。
- その他、実験結果（補正後）をソートし、確率降水量の変化も予測した。

◆ 頻度分布（10年あたりの回数）

・ 手法①による予測結果



・ 手法②による予測結果



※2℃昇温時の条件で60年×54パターン、4℃昇温時の条件で60年×90パターン行われている将来実験の結果のうち、24パターンずつのデータを使用して整理した。

3. d4PDFを用いた予測の手法と成果(暫定)



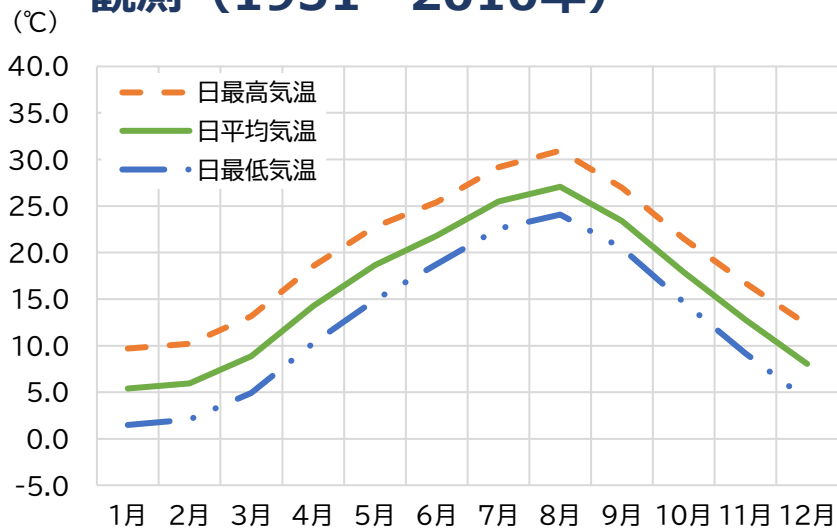
② 月別の平均・最高・最低気温

■ 気象観測所の観測結果とd4PDF過去実験の結果の比較

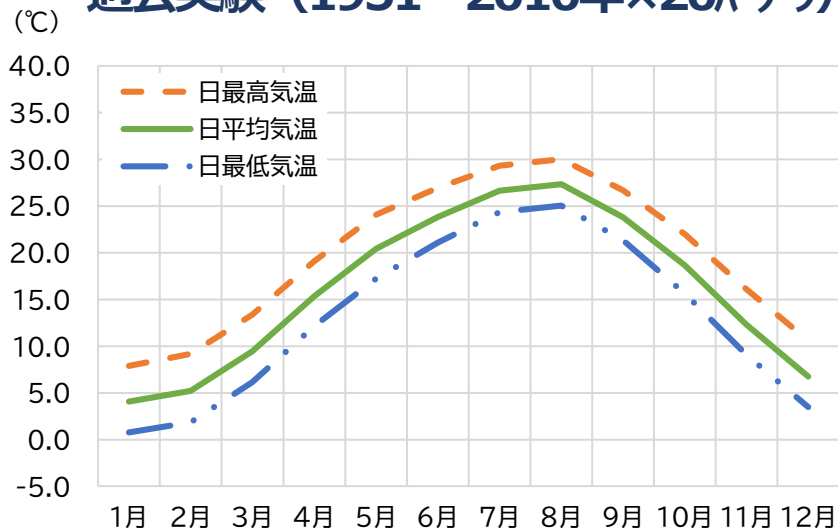
○過去実験の結果の方が、観測結果より3～7月が高め、12～2月が低めの傾向。

◆ 月別の平均・最高・最低気温の平均値

・ 観測 (1951～2010年)



・ 過去実験 (1951～2010年×20パターン)



・ 過去実験一観測 (°C)

月	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
日最高気温	-1.8	-1.0	0.2	0.6	1.3	1.5	0.2	-0.9	-0.3	0.5	-0.7	-1.7
日平均気温	-1.4	-0.7	0.6	1.1	1.8	2.0	1.2	0.3	0.4	0.8	-0.5	-1.3
日最低気温	-0.8	-0.2	1.2	1.9	2.3	2.3	1.8	1.0	0.9	0.9	-0.1	-0.7

※60年×50パターン行われている過去実験の結果のうち、20パターンのデータを使用して整理した。

3. d4PDFを用いた予測の手法と成果(暫定)

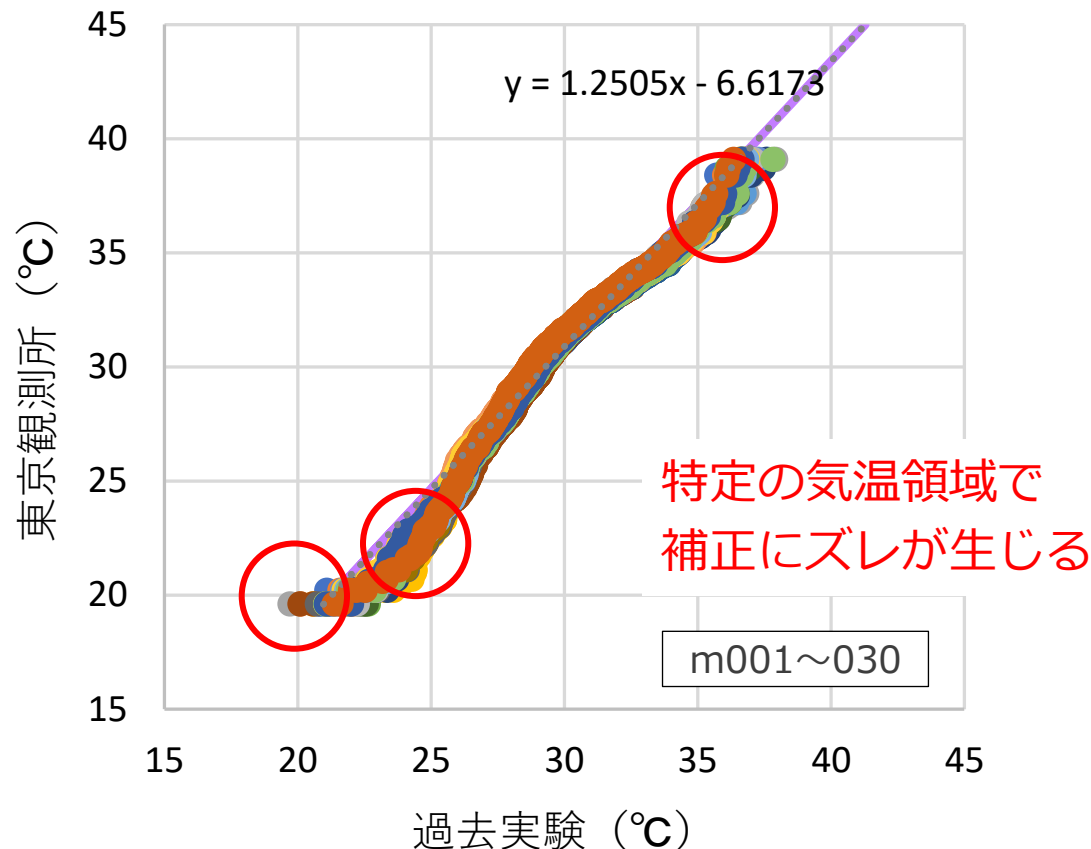


② 月別の平均・最高・最低気温

■ d4PDF過去実験の結果のバイアス補正 (ピアニの手法)

○降水量と同様に過去実験の結果と観測結果の関係式を最小二乗法により求める。

◆ 過去実験の結果と観測結果の関係式 (8月最高気温の例)



3. d4PDFを用いた予測の手法と成果(暫定)



② 月別の平均・最高・最低気温

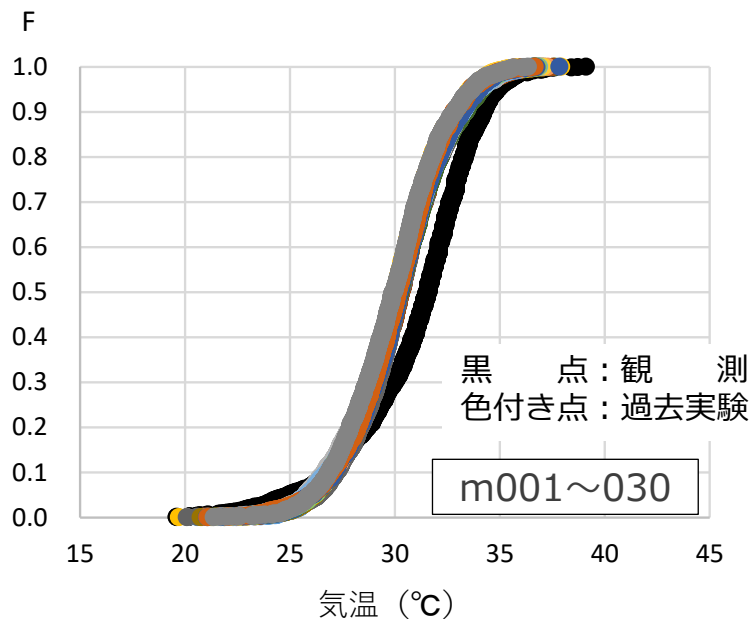
■ d4PDF過去実験の結果のバイアス補正 (クオントイルマッピング)

○ピアニの手法では、特定の気温領域で補正にズレが生じると考えられるため、クオントイルマッピングも試みた。

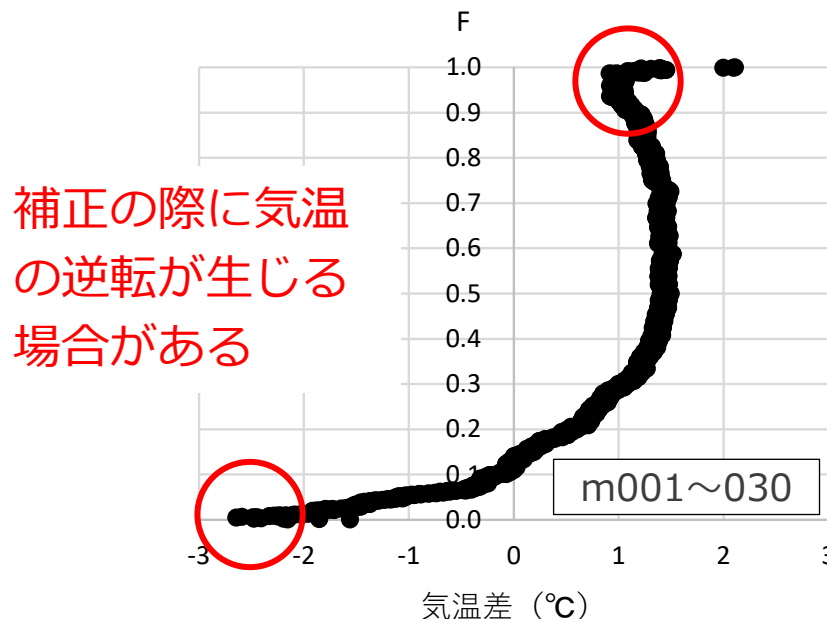
○過去実験の結果と観測結果それぞれをソートし、同じ順位の値の差分を求める。

◆ 過去実験の結果と観測結果の比較 (8月最高気温の例)

・ 累積分布



・ 差分 (観測 - 過去実験)



補正の際に気温
の逆転が生じる
場合がある

3. d4PDFを用いた予測の手法と成果(暫定)



② 月別の平均・最高・最低気温

■ d4PDF過去実験の結果のバイアス補正 (ピアニの手法・クオンタイルマッピング)

○二つの手法により過去実験の結果を補正し、平均値はどちらもほぼ一致。

◆ 月別の平均・最高・最低気温の平均値

・ 過去実験 (補正前) - 観測 (°C) (再掲)

補正前

月	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
日最高気温	-1.8	-1.0	0.2	0.6	1.3	1.5	0.2	-0.9	-0.3	0.5	-0.7	-1.7
日平均気温	-1.4	-0.7	0.6	1.1	1.8	2.0	1.2	0.3	0.4	0.8	-0.5	-1.3
日最低気温	-0.8	-0.2	1.2	1.9	2.3	2.3	1.8	1.0	0.9	0.9	-0.1	-0.7



・ 過去実験 (ピアニの手法による補正後) - 観測 (°C)

補正後

月	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
日最高気温	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
日平均気温	0.00	-0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
日最低気温	0.00	-0.01	0.00	0.00	0.00	-0.01	0.00	0.00	0.00	-0.01	0.00	0.00

・ 過去実験 (クオンタイルマッピングによる補正後) - 観測 (°C)

補正後

月	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
日最高気温	0.00	0.00	-0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
日平均気温	0.00	-0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
日最低気温	0.01	-0.01	0.00	0.00	0.00	-0.01	0.00	0.00	0.00	-0.01	0.00	0.00

3. d4PDFを用いた予測の手法と成果(暫定)



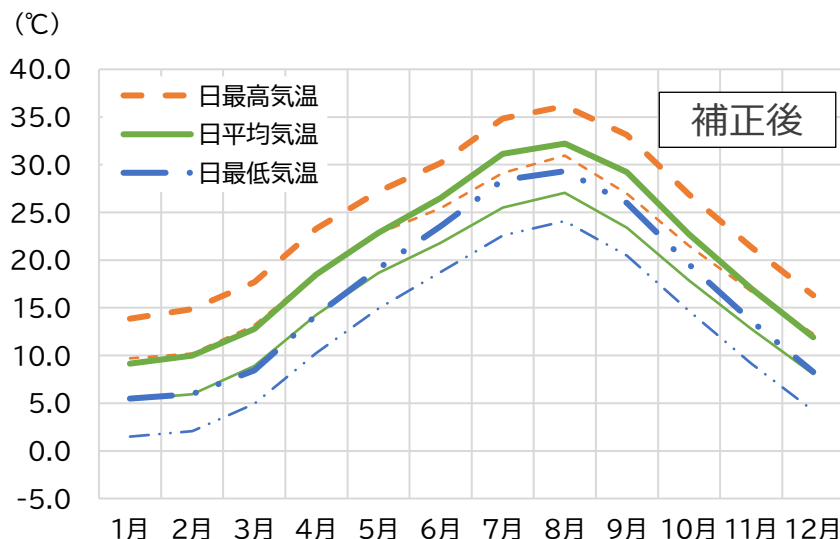
② 月別の平均・最高・最低気温

■ d4PDFの過去実験と将来実験の結果の比較

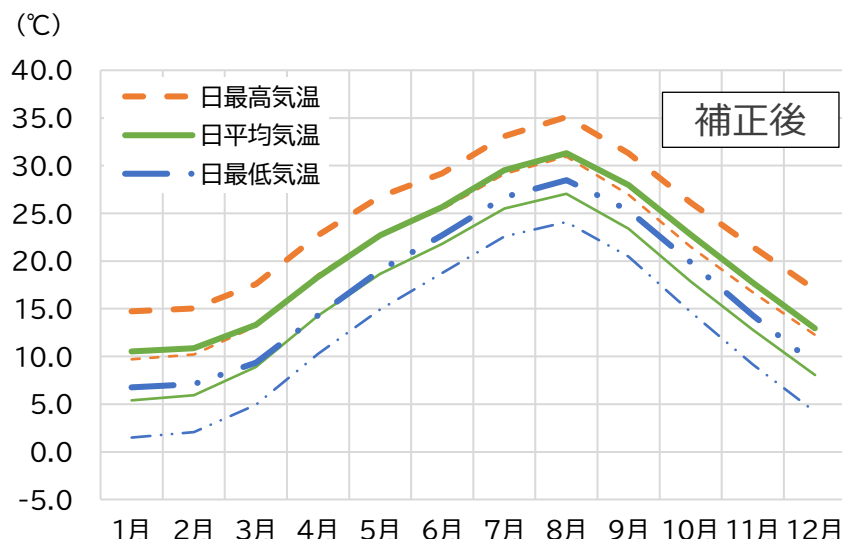
- 過去実験と同じ方法で将来実験の結果を補正し、過去実験の結果と比較した。
- ピア二の手法の方が、気温が低い月で低め、高い月で高めの補正となっている。

◆月別の平均・最高・最低気温の平均値(4℃昇温時の例)

・ピア二の手法による予測結果



・クオンタイルマッピングによる予測結果



※4℃昇温時の条件で60年× 90パターンの将来実験の結果のうち、24パターンのデータを使用して整理した。

3. d4PDFを用いた予測の手法と成果(暫定)



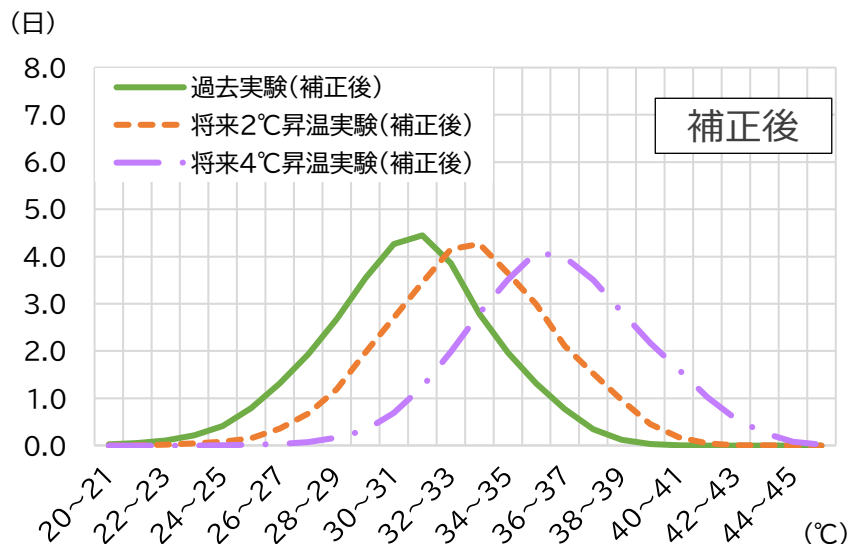
② 月別の平均・最高・最低気温

■ d4PDFの過去実験と将来実験の結果の比較

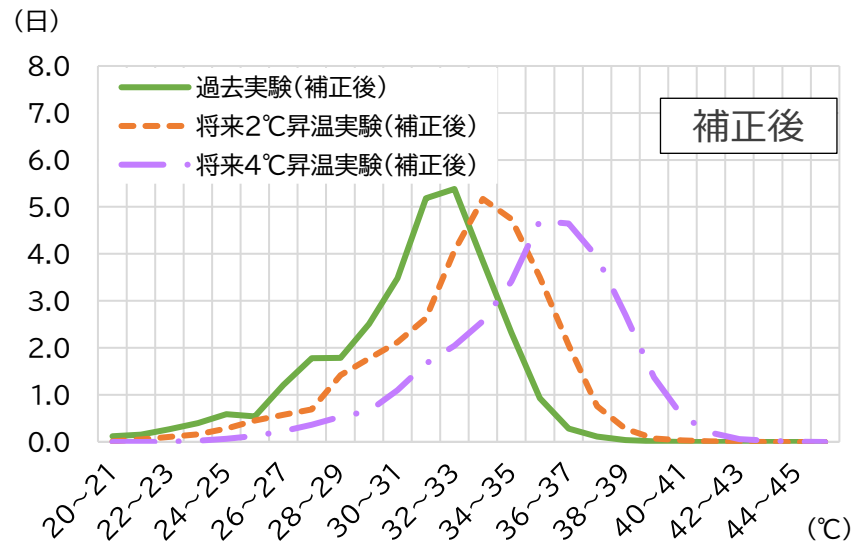
- 実験結果（補正後）から月別の最高気温の頻度分布を整理した。
- クオンタイルマッピングは、過去実験の結果が観測結果と一致するが、一部で気温の逆転が生じるため、時系列データとして整理できないという課題がある。
- ピアニの手法は、過去実験の結果が観測結果に近づかないという課題がある。

◆ 最高気温の頻度分布（8月の例：1ヶ月あたりの日数）

・ ピアニの手法による予測結果



・ クオンタイルマッピングによる予測結果



※2℃昇温時の条件で60年×54パターン、4℃昇温時の条件で60年×90パターン行われている将来実験の結果のうち、24パターンずつのデータを使用して整理した。

4. 今後の展望(その①)予測手法の改善など



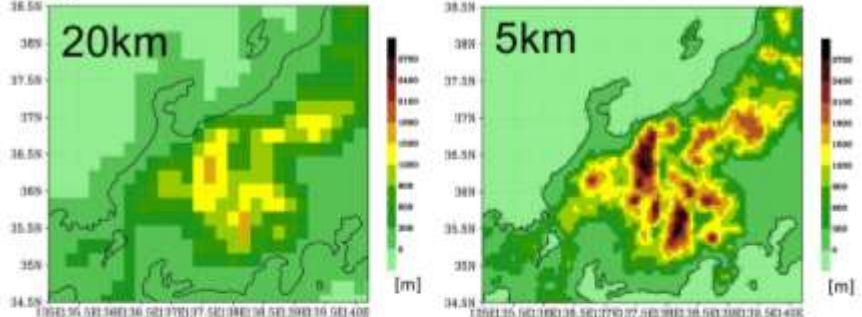
① 5kmダウンスケーリングデータの活用

○d4PDFの解像度20kmのデータを解像度5kmにダウンスケーリングした「大気近未来予測力学的ダウンスケーリングデータ（東北から九州） by SI-CAT」の活用。

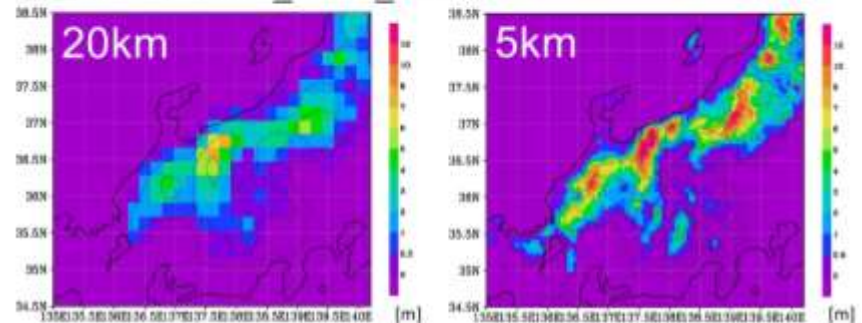


- 山間部など地形が複雑な地域での予測精度が向上。
- ただし、実験の年数とパターン数が少ない点に留意が必要。

地形



積雪(3/31) (HPB_m004_1981)



出典：SI-CATプロジェクトにおける力学DSデータセットの構築（佐々井崇博（東北大学））

◆ダウンスケーリング前後の実験数の比較

解像度	過去実験	将来実験 2℃昇温	将来実験 4℃昇温
20km	61年×50パターン	61年×54パターン	61年×90パターン
5km	31年×12パターン	31年×12パターン	31年×12パターン

4. 今後の展望(その①)予測手法の改善など



② 解析雨量データの活用

○気象庁の気象レーダーと地域気象観測（アメダス）データを用いてメッシュで解析した「**解析雨量データ**」の活用。



○今回のように対象地域に気象観測所がない場合に、バイアス補正の精度が向上する可能性あり。
○解析期間が短い点に留意が必要。

◆解析雨量データの内容

項目	1988年～ 2001年3月	2001年4月～ 2003年5月	2003年6月～ 2005年12月	2006年～
メッシュ区切り	5km四方	2.5km四方	2.5km四方	1km四方
時間間隔	1時間	1時間	30分	30分

資料：（一財）気象業務支援センターホームページをもとに作成

③ バイアス補正手法の検討

○様々なバイアス補正手法の情報収集と検討。



○バイアス補正の精度を向上。
○様々な予測に対応。

④ 作業の自動化

○エクセルVBAなどによる自動化。



○コスト削減し、活用場面を拡大。

5. 今後の展望(その②)活用分野の提案など



① TCFDへの活用

■ TCFD（気候関連財務情報開示タスクフォース）とは

○金融安定理事会（FSB）により設立。企業に対し、気候変動関連のリスクと機会に関する情報開示を求めている。「シナリオ分析」の実施を推奨している。

◆シナリオ分析の手順の概要

項目	ポイント
① ガバナンス整備	経営層・事業部の巻き込み
② リスク重要度の評価	業界・自社目線の取捨選択
③ シナリオ群の定義	一定の前提下での将来世界の鮮明な認識
④ 事業インパクト評価	数値の精度を追求しすぎない
⑤ 対応策の定義	複数シナリオへの幅広な“構え”
⑥ 文書化と情報開示	読み手目線での情報開示

資料：TCFD を活用した経営戦略立案のススメ～気候関連リスク・機会を織り込むシナリオ分析実践ガイド ver2.0～
（2020年 環境省）をもとに作成



○d4PDFによるシナリオ分析

- ・工場や設備に対する気象災害リスク
- ・気象の変化による消費行動の変化
- ・従業員に対する熱中症リスク
- ・農作物の収穫量の変化 など

5. 今後の展望(その②)活用分野の提案など



② その他

■ 暑さ指数（WBGT）と熱中症リスクの予測

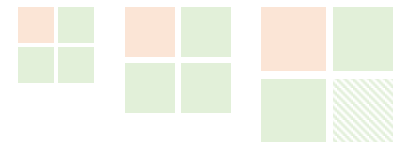
- 暑さ指数（WBGT）は、人体の熱収支に与える影響の大きい ①湿度、 ②日射・輻射など周辺の熱環境、 ③気温の3つを取り入れた指標。
- d4PDFで得られる様々な変数を組み合わせて予測できないか？

■ リアルタイム浸水予測システムと併用した都市部の浸水予測

- 浸水予測システムは、土地利用状況、下水道、都市河川などのデータをもとに、降水状況に応じた浸水範囲や深さなどを予測するシステム。
- d4PDFの将来実験から得られた豪雨のデータを、バイアス補正しながらシステムに投入することで、詳細な浸水リスクを予測できないか？

■ グリーンインフラへの反映

- グリーンインフラは、自然環境が有する機能を社会における様々な課題解決に活用しようとする考え方。
- 都市部では植栽を雨水管理や暑熱対策に活用する事例があり、d4PDFの予測結果を反映できないか？



ご清聴ありがとうございました。

