

気候変動予測の基礎知識

気候モデル・気候シナリオについて

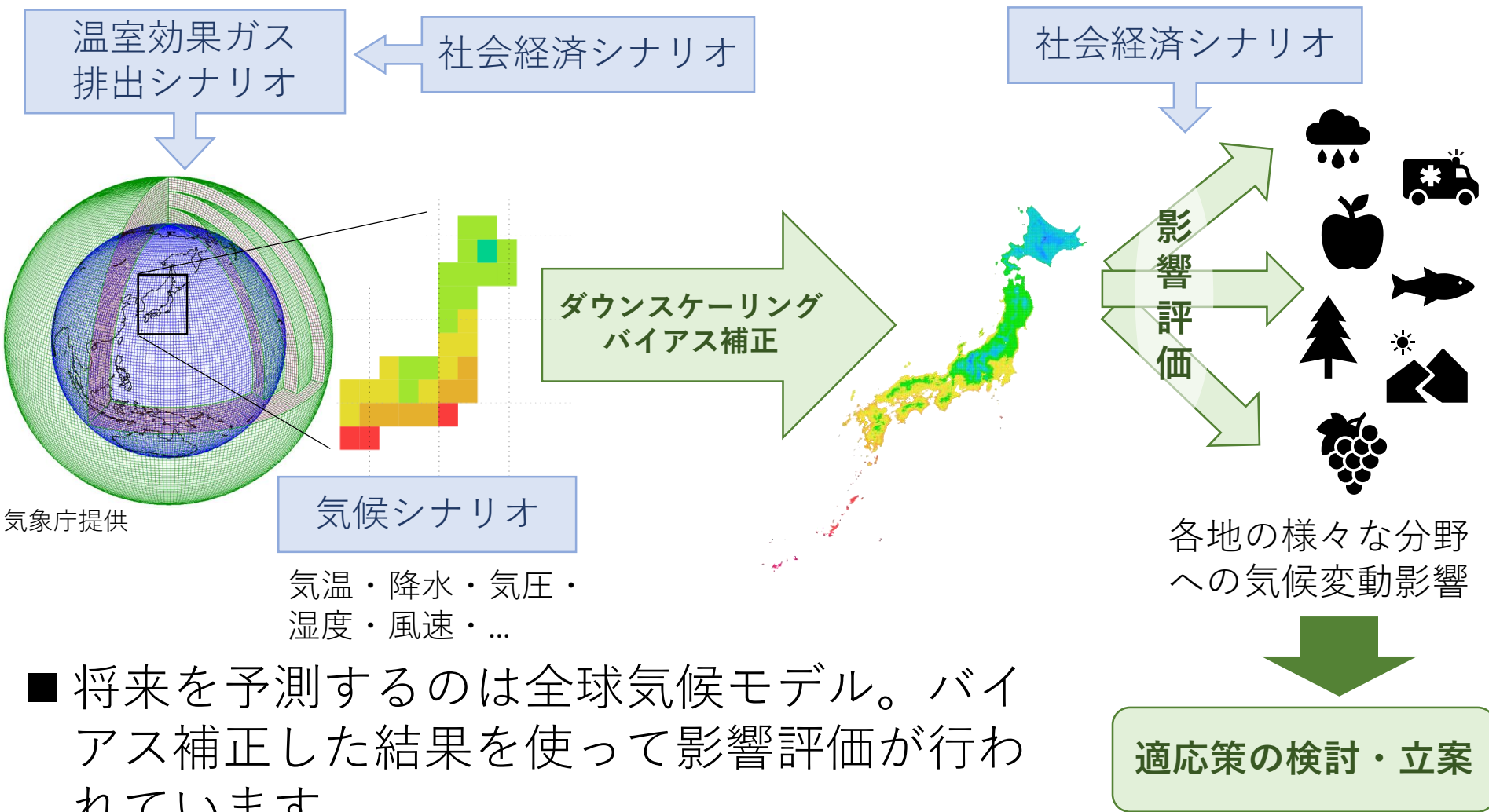
国立環境研究所 気候変動適応センター

石崎 紀子

本日の内容

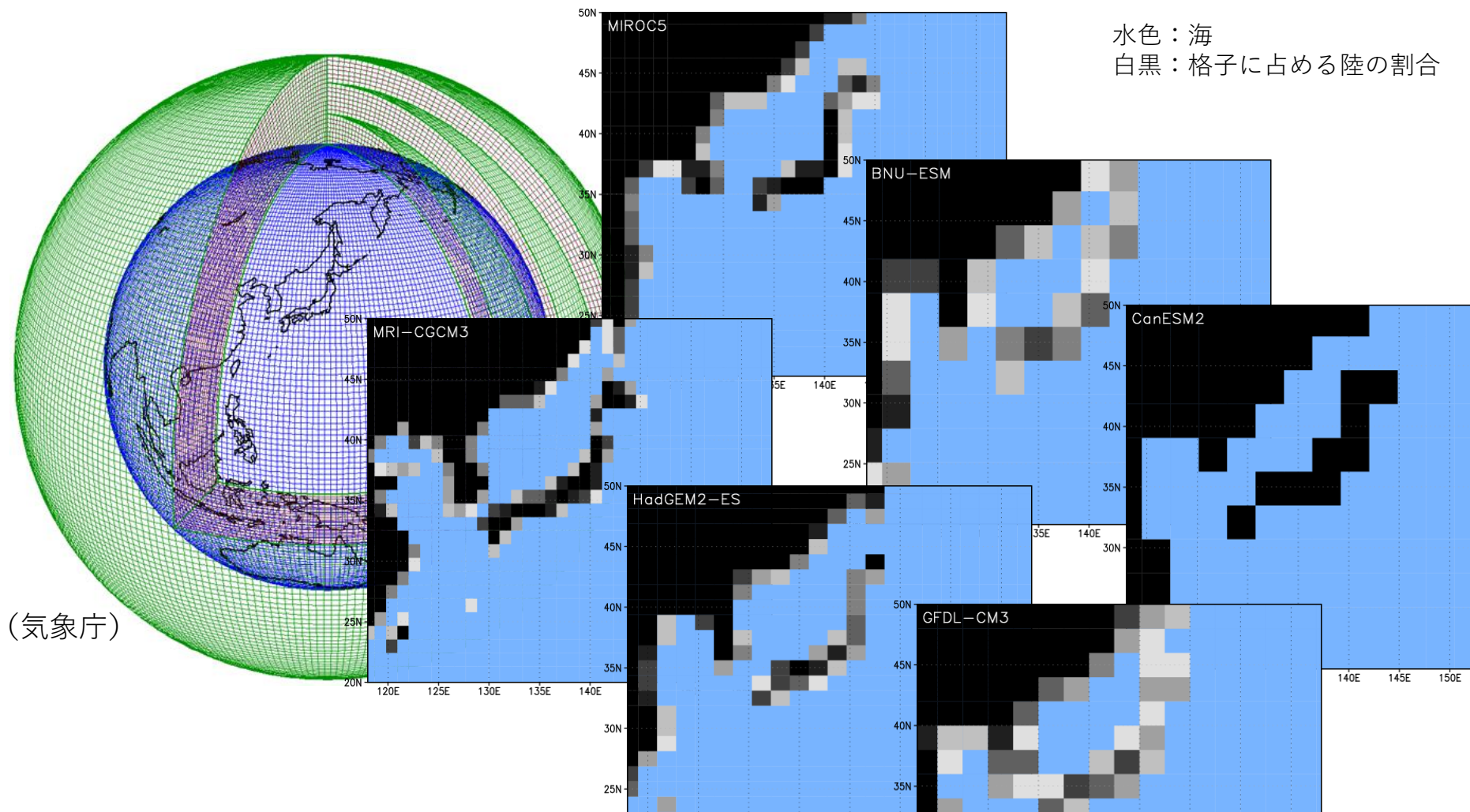
1. 地域の気候予測はどのように作られているか
 - ダウンスケーリング
 - バイアス補正
2. 予測の不確実性
3. 気候予測情報の扱いについて

地域の気候予測はどのように作られている？



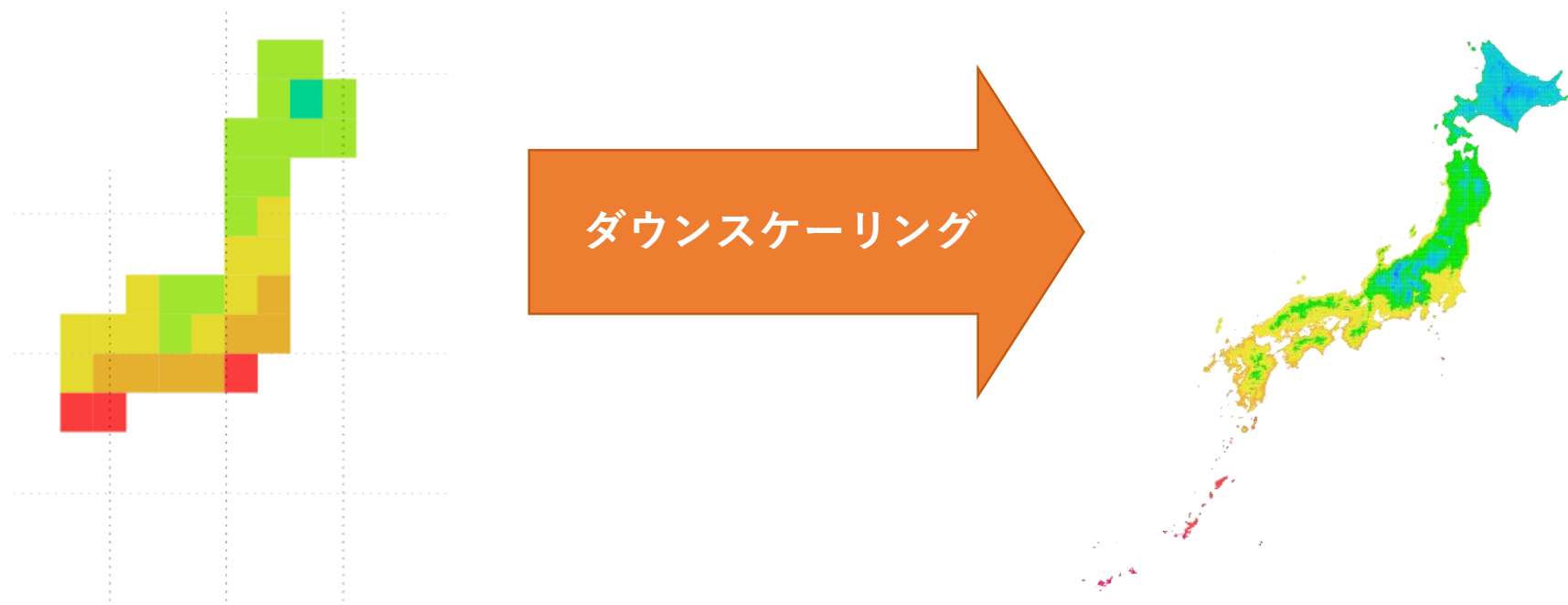
- 将来を予測するのは全球気候モデル。バイアス補正した結果を使って影響評価が行われています。
- 天気予報と異なり、平均的な天候の傾向を予測しています。

地域の気候予測はどのように作られている？



- 全球モデルの格子のサイズはモデルごとに異なる（数十～100km）。
- 地域の細かい情報を調べるには全球モデルの格子は大きすぎる。

地域の気候予測はどのように作られている？



- 将来予測は通常全球気候モデルを使って行われています。
- 粗い格子の情報から、より詳細な情報を得るために **ダウンスケーリング** という手法が用いられています。

ダウンスケーリングとは？



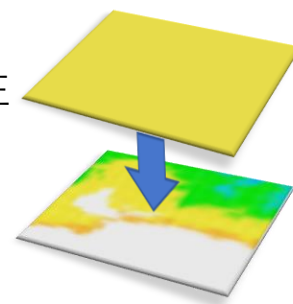
ダウンスケーリング（Downscaling）とは、データの空間詳細化のこと。

🔍 統計的ダウンスケーリング

気象変数間の統計的な関係や、データ特性を使って空間的に細かい情報にする。

例：S-8プログラム（格子間隔1km）

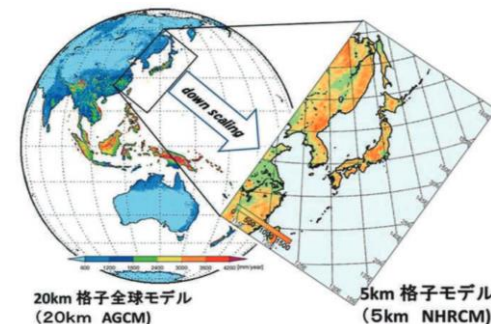
NARO2017, NIES2019



🔍 力学的ダウンスケーリング

領域モデルを使って、ある領域だけをさらに細かい格子に区切って計算をする。

例：気象庁温暖化情報第9巻（格子間隔5km）



(温暖化予測情報第9巻より)

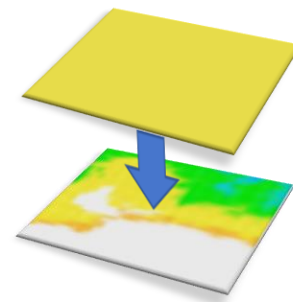
ダウンスケーリングとは？



統計的手法と力学的手法には、メリット・デメリットがあります。

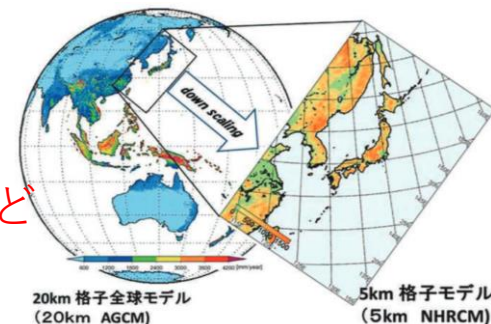
🔍 統計的ダウンスケーリング

計算機コストが比較的安く済む。
バイアス補正を同時に行うことが多い。
→複数の全球モデルの傾向を把握できる。



🔍 力学的ダウンスケーリング

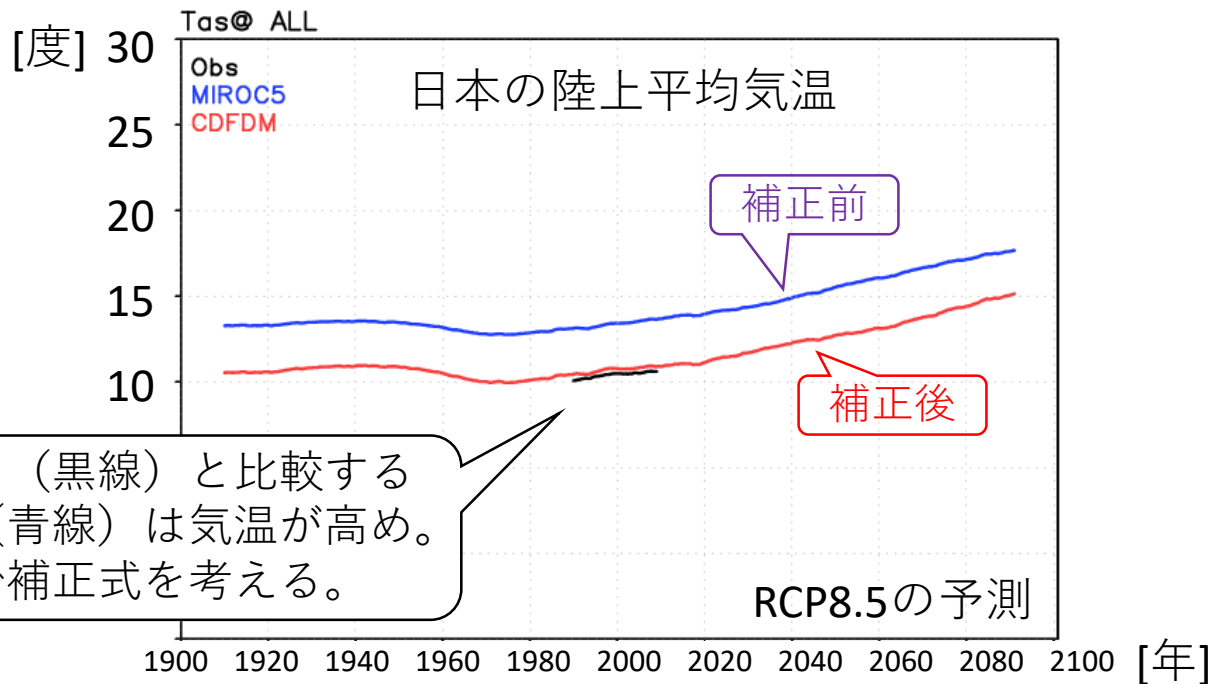
強い降水や、山岳の影響などを考慮した結果が得られる。
バイアス補正が追加が必要。
→時間スケールが短い極端降水などの信頼性は統計的手法より高いと考えられている。



(温暖化予測情報第9巻より)

バイアス補正とは？

- **完全に過去の気候を再現できるモデルは存在しません。**
- 過去を再現した気候モデルの結果を観測値と比較したときに見られる系統的な誤差をバイアスと言います。観測を使ってモデルの値を補正することをバイアス補正といいます。
- バイアス補正は観測データがなければ実施できません。



本日の内容

1. 地域の気候予測はどのように作られているか
 - ダウンスケーリング
 - バイアス補正
2. **予測の不確実性**
3. 気候予測情報の扱いについて

「予測の不確実性」とは何か？

- 将来予測は絶対的に正しいものではありません。
- 予測は様々な**前提条件**や**仮定**の下に行われているため。



- **社会経済シナリオの不確実性**
人口や経済活動がどのように変化するか
- **温室効果ガスの排出量の不確実性**
私たちがどのような緩和策をとり、地球上から排出される温室効果ガスがどう変化していくか
- **全球モデルの選択による不確実性**
温室効果ガス排出量的前提が同じであっても、応答はモデルによって異なる。
- **ダウンスケーリング手法の不確実性**
統計手法にも複数あり、領域モデルによっても予測は異なる。
- **影響評価モデルの不確実性**
過去の状況（作物の収量、豪雨被害、熱中症搬送者数、etc.）を完璧に再現できるモデルはない。

前提条件

「不確実性」をどう扱うか？

予測に不確実性があることは避けられないが、「信頼できないということ」ではありません。

複数のモデルのばらつきを見ることで、予測にどの程度頑健性があるかを調べるのに利用する。

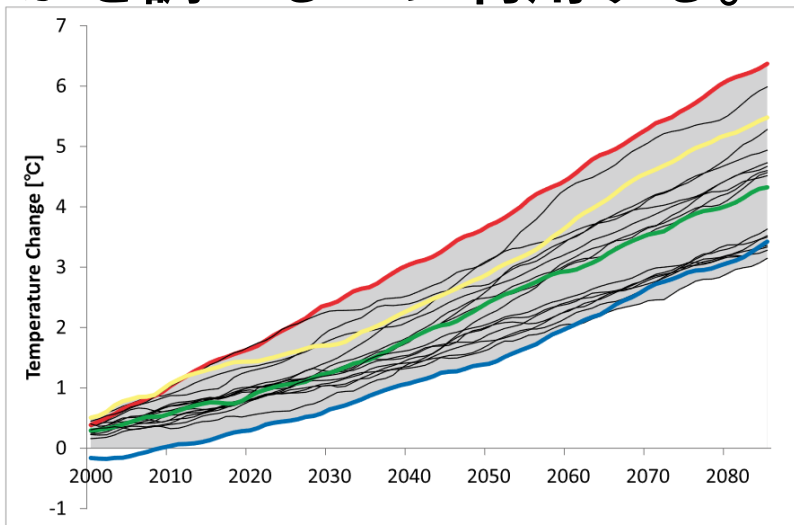


図 1 日本付近の気温変化量の 20 年移動平均の推移。赤は GFDL CM3, 黄色は HadGEM2-ES, 緑は MIROC5, 青は MRI-CGCM3, 他の細線は残りの 15 の全球気候モデルの結果である。グレーの範囲が全 19 モデルのばらつきを表す。放射強制力シナリオには RCP8.5 を利用した。

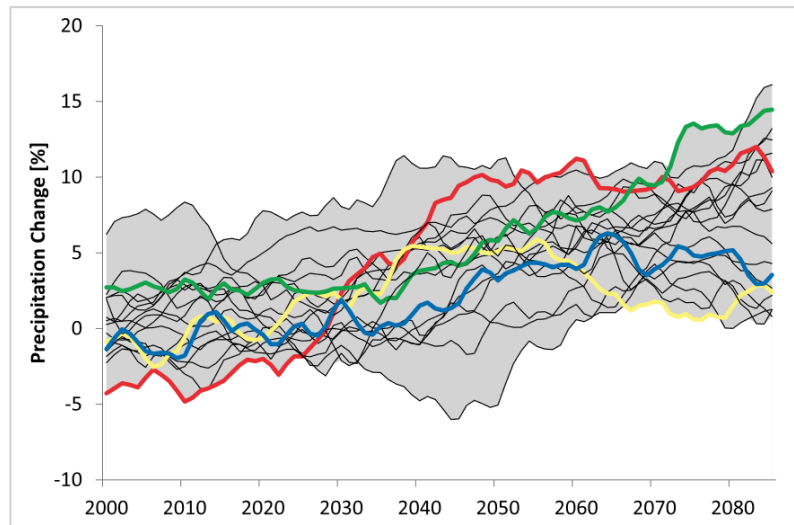


図 2 日本付近の降水量変化率の 20 年移動平均の推移。赤は GFDL CM3, 黄色は HadGEM2-ES, 緑は MIROC5, 青は MRI-CGCM3, 他の細線は残りの 15 の全球気候モデルの結果である。グレーの範囲が全 19 モデルのばらつきを表す。放射強制力シナリオには RCP8.5 を利用した。

(花崎ら, 2014)



本日の内容

1. 地域の気候予測はどのように作られているか
 - ダウンスケーリング
 - バイアス補正
2. 予測の不確実性
3. **気候予測情報の扱いについて**


Q. 1kmよりも細かい気候予測情報が欲しい！

地域の気温や降水などの変化は、元をたどれば全球モデルがシミュレートした結果。格子間隔が小さいデータの方が精度が高いとは言い切れません。

力学的ダウンスケーリングで細かくする場合

-  格子間隔が大きいことで表現されなかった山岳域の気温分布や、地形性降水、フェーン現象などはより現実的に再現されると期待される。
-  台風がほとんど発生しないような気候モデルを使って力学的にダウンスケーリングしても、新たに台風が作り出されることはない。

統計的ダウンスケーリングで細かくする場合

-  数百kmスケールの大規模な場が適切に再現されていない場合には、ダウンスケーリングで細かい情報は得られるがそれが意味のあるものかどうか？

格子のサイズにとらわれずに、気候変動の予測情報を活用しましょう。

Q. どのデータソースを使ったら良い？

「地球温暖化予測情報第9巻」や「S-8」、「d4PDF」、地域コンソーシアム事業で利用されていた統計的ダウンスケーリングデータなど、様々な予測情報があります。

- 全球モデルは何か？
- 排出シナリオは何か？
- どのようなダウンスケーリングをしているか？

異なるデータソースの気温や降水の将来予測を比較する際には、年代や排出シナリオなどの前提条件をそろえた上で、「**どのような条件が異なることで結果に違いが表れているのか**」をよく考察する必要があります。

- 強い降水等極端現象の評価や、積雪域の季節変化などには力学的ダウンスケーリングの方が向いていると考えられています。
- 前提条件が異なるデータソース（例えば排出シナリオが**A1B**と**RCP2.6**）間でのデータ比較は適切ではありません。できるだけ最新の予測データを使ってください。

Q. もっと近い未来の結果はないの？

大気海洋結合モデルを使った「結合モデル相互比較計画（CMIP）では、多くのモデルが1900年～2100年の予測結果を公開しています。しかし近未来を対象とすると、温暖化のシグナルと、自然変動のシグナルの切り分けが難しくなってきます。近未来予測について「温暖化の影響である」ことを裏付けるためには、複数の気候モデルが同じ傾向を持っているかどうかを確認する必要があります。

- 気候変動対策は数年で終わるものではありません。適応策も、ずっと同じ方法ではなく、影響の出方によって変えていく必要があるかもしれません。
- 影響の重要度を各自治体で判断し、対策に優先順位をつける。

国環研からのデータ提供について

現在国立環境研究所では、地域の気候変動とその影響評価予測と適応研究を進めています。この結果は**2020**年度から随時公開していく予定です。このような研究成果も含め、**A-PLAT**の拡充を進めています。

A-PLAT

<https://adaptation-platform.nies.go.jp/index.html>

気候変動適応研究プログラム

<https://cca.nies.go.jp/ja/program/index.html>

ココが知りたい地球温暖化

https://www.cger.nies.go.jp/ja/library/qa/qa_index-j.html

ココが知りたい地球温暖化 気候変動適応編

https://adaptation-platform.nies.go.jp/climate_change_adapt/qa/index.html



適応に向けた気候予測情報の利活用



- 全球気候モデルで気候予測情報が計算されている。
- モデルの結果は必要に応じてダウンスケーリングされ、バイアス補正をされた後に影響評価に用いられる。
- モデルの不確実性は、結果がどれくらい確からしいのかということの評価するのに利用できる。（1つのモデルの結果だけに頼るのは危うい）
- 長期的な影響の傾向と、対策の時間によって、適応策の優先順位をつける

ご清聴ありがとうございました

問い合わせ先：*a-plat@nies.go.jp*

補足資料

シナリオとは

将来の想定のこと。気候予測のためには、社会経済シナリオ、排出シナリオが必要である。全球気候モデルによって予測された気候データを気候シナリオとよぶ。

温室効果とは

温暖化の主要因は大気中の温室効果ガス（二酸化炭素やメタンなど）の増加がもたらす温室効果である。太陽エネルギーと温室効果による大気からのエネルギーによって地球の温度がおおむね一定に保たれている。

温室効果ガス排出シナリオ

人為起源による放射強制力の変化を示すシナリオのこと。IPCC第4次評価報告書で用いられていたSRESシナリオ（A1B, A2など）は今後の社会・経済動向の想定から算出された。一方、第5次評価報告書で用いられているRCPシナリオ（RCP2.6, RCP8.5など）は政策的な緩和策を前提として、温室効果ガスを将来どのような濃度に安定化させるかという考え方から算出されている。RCPの後につく数値は放射強制力の目安。RCP2.6は、「2100年以前に $3\text{W}/\text{m}^2$ でピークを迎え、その後減少して2100年ごろに約 $2.6\text{W}/\text{m}^2$ となる」、RCP8.5では「2100年で $8.5\text{W}/\text{m}^2$ を超え、上昇が続く」、RCP4.5（6.0）では「2100年以降に約 $4.5(6.0)\text{W}/\text{m}^2$ で安定化」を示す。SRESシナリオでは社会経済シナリオと排出シナリオ、気候予測が1つずつ対応するが、RCPシナリオでは排出シナリオに複数の社会経済シナリオを対応させて多様な将来像を仮定することが可能である。

温暖化予測と天気予報の違い

天気予報は数日スケールの気象状態を解く問題であるのに対し、温暖化予測は数十年スケールの気候状態（気温や降水の平均値や標準偏差などの統計量）を解く問題である。どちらも物理方程式をモデル化した気候モデルで行われるが、天気予報では初期条件が重要であるのに対し、気候予測（温暖化予測）では温室効果ガスの濃度など外部条件に大きく左右される。

CMIPとは

Coupled Model Intercomparison Project（結合モデル相互比較計画）のこと。IPCC第5次評価報告書には第5期結合モデル相互比較計画の実験仕様に基づいたシミュレーションが行われ、50以上のモデルの結果が提出された（CMIP5）。2020年7月現在、第6期のモデル（CMIP6）の予測データも利用できるようになってきている。

バイアスについて

気候モデルでも影響評価モデルでも、将来の予測を行うだけでなく過去の再現も行う。過去のシミュレーションをすると、実際の観測データを使ってモデルがどのくらい現実の場を表現できているかを評価できる。モデルの中では、格子間隔の制限などから実際に起こっている現象を表現しきれない部分を近似したり、簡略化している。そのため、過去の状態を完璧に再現できるモデルはない。モデルの過去再現の結果と観測の系統的な差をモデルのバイアスと呼ぶ。