

2021年1月29日（金）

国立研究開発法人 国立環境研究所 気候変動適応センター主催
令和2年度 気候変動適応研修（中級コース）

講義解説資料

講義 2

「気候変動予測の見方」

気象庁気象研究所 高藪 出

本講義解説資料は、講義の口頭説明を事務局で編集したものです。

1. はじめに

この講義では、気候変動予測の見方を具体的なデータを使って解説します。アメダスのような観測値と気候変動予測などのモデルのデータの違いや、その違いを踏まえた注意点についてお話しし、将来予測を使って対策を検討する際に、注意して頂きたいことについて最後にまとめます。

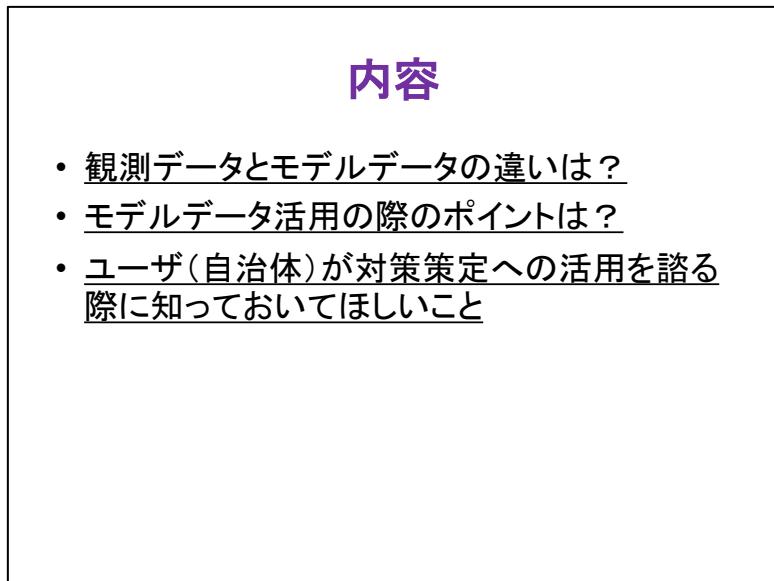


図 1 講義の内容

2. 観測データとモデルデータの違いは？

まず、観測データとモデルデータの違いを図 2 で説明します。図 2 上の図はアメダスの気象観測点を示していますが、ここでの観測値がどの程度広い地域の気象状況を代表しているか（空間代表性）を考えてみます。風の観測では、広い空間を代表する主風向だけでなく、建物や林などによる乱流や熱による流れなど、観測点の風速計は様々な要素によって影響を受けます。このため、ある程度の長さのフェッチ（ほぼ同様の風が吹く距離）が得られる場所での観測が本来必要となります。国内だけでなく世界中を見ても、均質に数百 km も水平な大地が広がっている場所はほとんどありません。結果的に、各地点のデータは、主風向の上流数 km から数十 km 程度の様々な情報を含んだものとなります。なお、観測は 1 地点で 1 データが得られます。

図 2 の下の図は、地球全体の大気の予測から特定の領域だけを取り出して、数値モデルでダウンスケールした予測を模式的に示したものです。数値モデルは、簡単に言うと、対象領域を四角い格子に分けて計算するもので、その格子での値はその各格子の四角い領域の平均値を表しています。格子の平均値であるため、山の高さは平滑化され、少し都市が含まれる格子でも、ほとんどが森林であればほぼ森林のように扱われます。観測値が実際

に存在する地点のデータである一方、モデルの場合は高解像度でも、点ではなくその格子全体の平均を表していることになります。

また、観測は温度計、日射計、湿度計、風速計など、測定する気象要素は違ってもそれぞれ信頼性の高いデータが取得できますが、予測モデルの場合は全ての気象要素が同じ精度で得られるわけではないことに注意が必要です。予測モデルの計算は、気温や降水量、風などによる物理方程式で表現され、気温や降水量以外にも様々な気象要素が一定の時間間隔で同時に計算されています。ただ、その計算結果の精度は気象要素ごとに異なります。

まず、気温は、気候モデルでも優先的にチューニングしている気象要素ですので、かなりよい精度だと言えるでしょう。それでも、降水が温度に2次的な影響を与えるなど、他の要素からの複雑な影響がありますので、若干の誤差は生じます。

雨の予測の場合は、粗い解像度では細かい雲を表現できないという課題がありますが、温度と並び注目されている気象要素ですので、モデルの改良も進んでいます。気温と降水量は星3つの信頼度と思って頂いてよいと思います。

一方で、それ以外の気象要素の予測は、もっと信頼度は低くなります。相対湿度はある程度の精度はあると思いますが、風速や放射量は結果の利用を前提とした精度の確認は行われていませんので、注意が必要です。

以上のように、気候モデルのアウトプットは、格子の平均値であること、全ての気象要素について等しく精度が高いわけではないことに留意して使用して頂く必要があります。

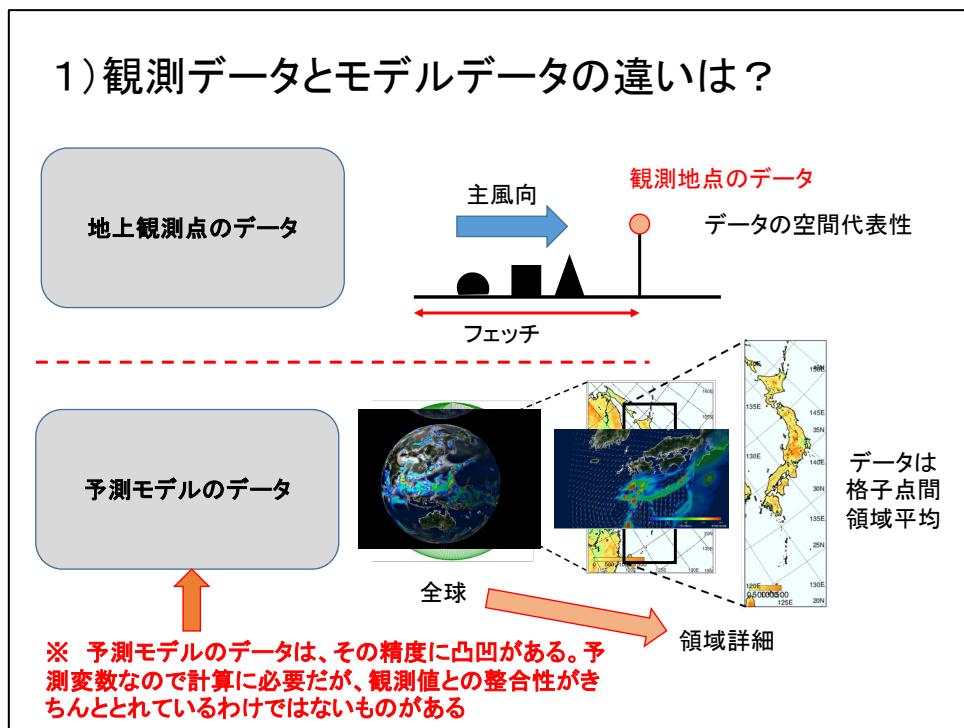


図 2 観測データとモデルデータの違いは?

ここからは、東京奥多摩の小河内のデータを使って説明を行います。図3は、1980年から2010年までの30年間の月平均の地上気温ですが、日本は季節変化があるので、冬は寒く、夏は暑い、といった変動が30回繰り返されています。4種のうち、一番上はアメダスの観測値、その下のグラフは再解析データです。再解析は、数値モデルを使って観測値と整合性が取れるように過去を再現したデータセットです。さらにそこから数値モデルを用いて力学的にダウンスケーリングした解像度20kmと5kmのデータを表示しました。

当然、それぞれ上昇や下降のタイミングはよく合っていますが、ここでは、バイアス（誤差）と振幅、解像度に注目します。アメダスでは0°Cを下回る年はないものの、5kmではマイナス5°C程度まで下がる年が多く、低温傾向の誤差があることがわかります。作物への影響評価では凍結の可能性は重要な情報のため、このような誤差を補正しなければ、誤解を招く結果が出かねません。A-PLAT等では補正済みデータが多く公開されていると思いますが、補正前のデータでは注意が必要です。また、3つの解像度の結果をアメダスと比較すると、5kmの結果の誤差は大きく、高解像度が必ずしも高精度とは限りません。

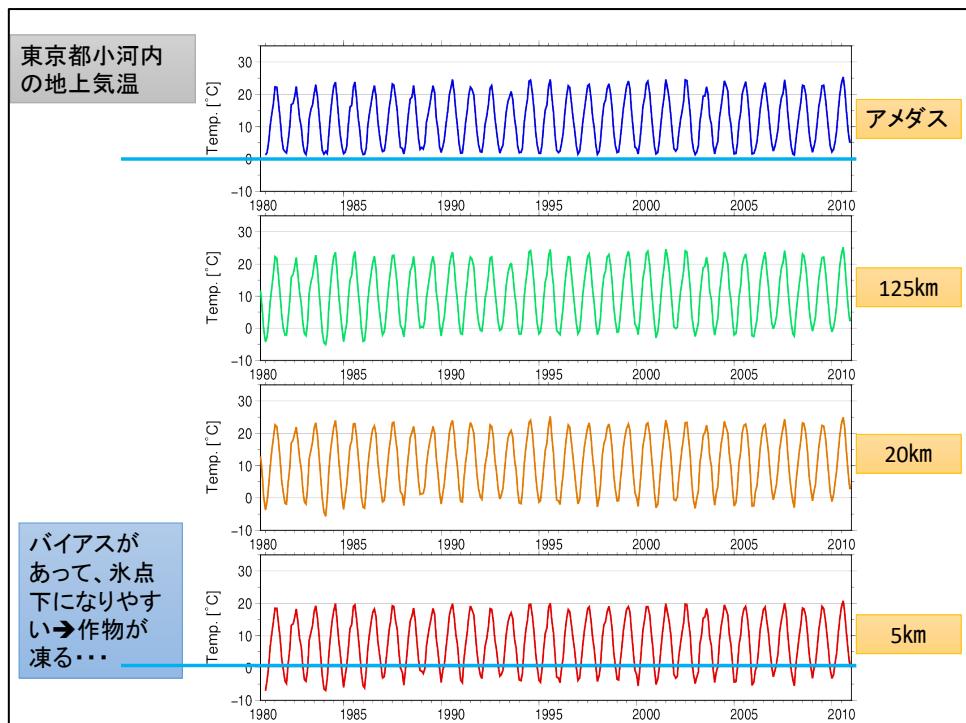


図3 解像度による地上気温の違い（東京都小河内）

では、なぜ高解像度化を行うのでしょうか。同じモデルを使った月平均降水量の図を見てみましょう（図4）。アメダスでは日雨量20mm相当を超えた年がいくつかあることがわかります。水害の影響評価では、このような降水量の多いケースが対象となるでしょ

う。一方、モデルの結果では、125kmと20kmの結果ではそれほど高い降水量は見られません。5kmになると、30年間で4回の日雨量20mmを超えるケースが見られ、やっとアメダスと同頻度になります。大雨を評価するためには、5km程度くらいまでダウンスケーリングが必要だということがわかります。

このように用途によって必要な解像度は異なり、小河内の温度の評価であれば5kmのダウンスケーリングは不要なものの、洪水を引き起こす様な大雨であれば5km程度のダウンスケーリングは欲しいところです。同じ降水量でも、渴水を見る目的であれば、長期間の影響ですので125km程度でも良いかもしれません。

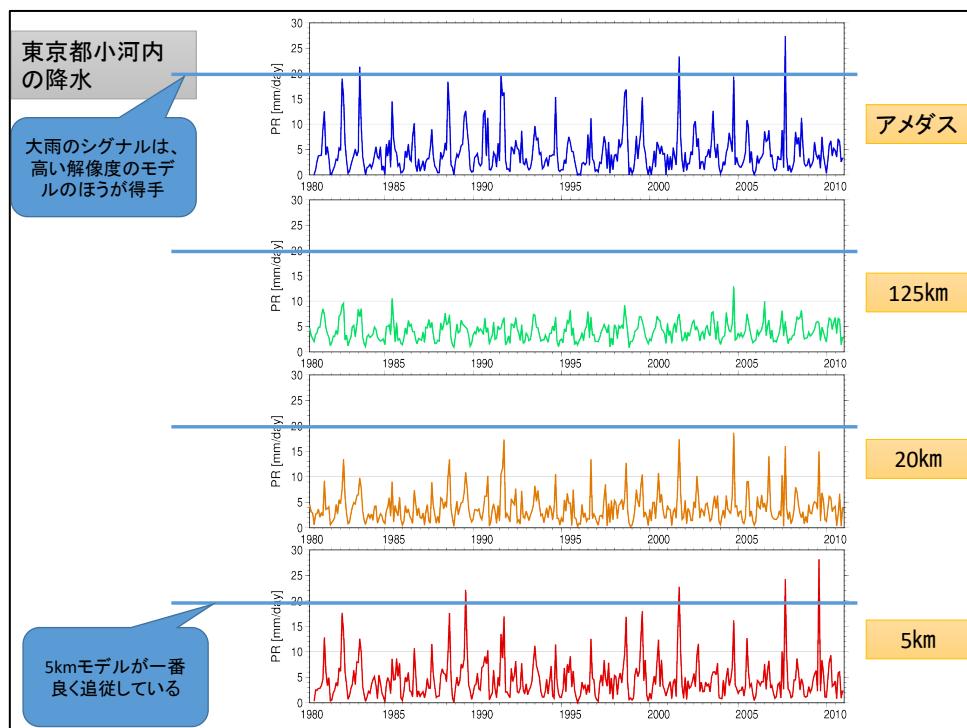


図 4 解像度による降水量の違い（東京都小河内）

次に星1つのデータとして風速の例を示します（図5）。一番上のアメダスは1m/s程度の月平均値が続いているが、125km、20km、5kmのいずれも季節変動があり、再現性も低そうです。ただ、実は風は風速計の場所等に依存するため、モデルの結果が悪いかどうかの判定はこの情報だけでは足りません。

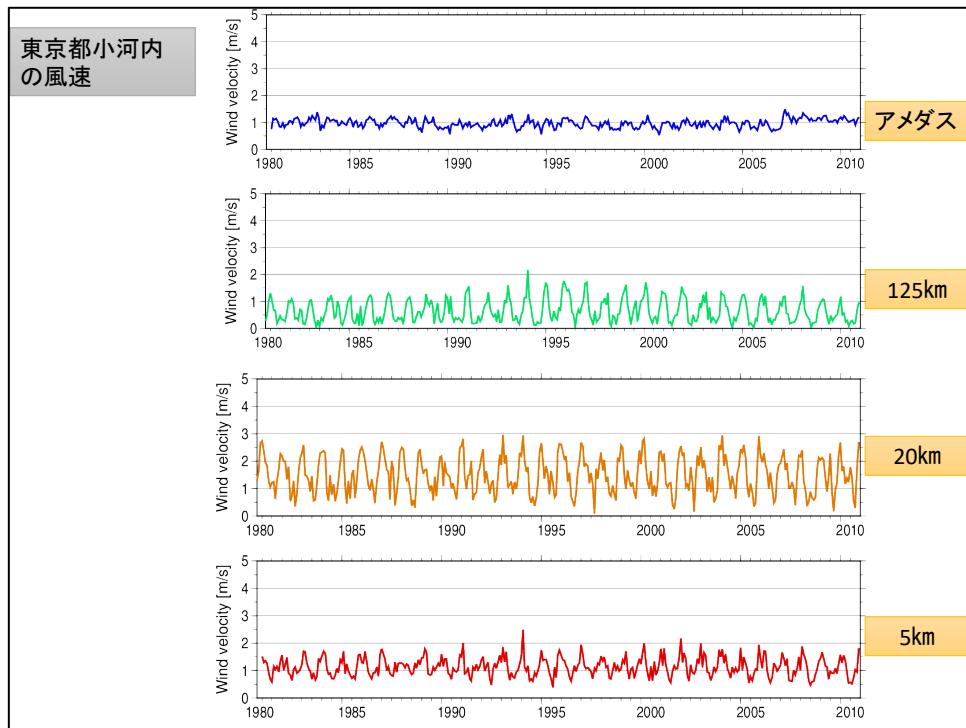


図 5 解像度による風速の違い（東京都小河内）

次に、最近移転しました気象庁の旧庁舎（大手町）屋上で測った風速データと、同じポイントのモデルの結果を図 6 に示します。観測値は 3m/s 程度の強い風がずっと吹いていますが、一番詳細な 5km の解像度でも弱い風しか計算されていません。なぜでしょうか。

これは、大手町の旧庁舎屋上での観測が 75.5m の高さだったためと考えられます。地方の気象台等でも、合同庁舎などに入っていると、風速がビルの屋上で観測されていることは多くあります。一方、モデルの地上風速は 10m 高度を想定しており、観測点とは高さが一致しないことから、用途によって使い方の検討が必要です。例えば、風力発電のような 30m、50m、70m と高度の風速を見る場合は、モデルの 10m の地上風速から見たい高さに換算して利用することになります。

他の気象要素についてもモデルでの精度は、温度と降水量に比較すると高くないことに留意してください。

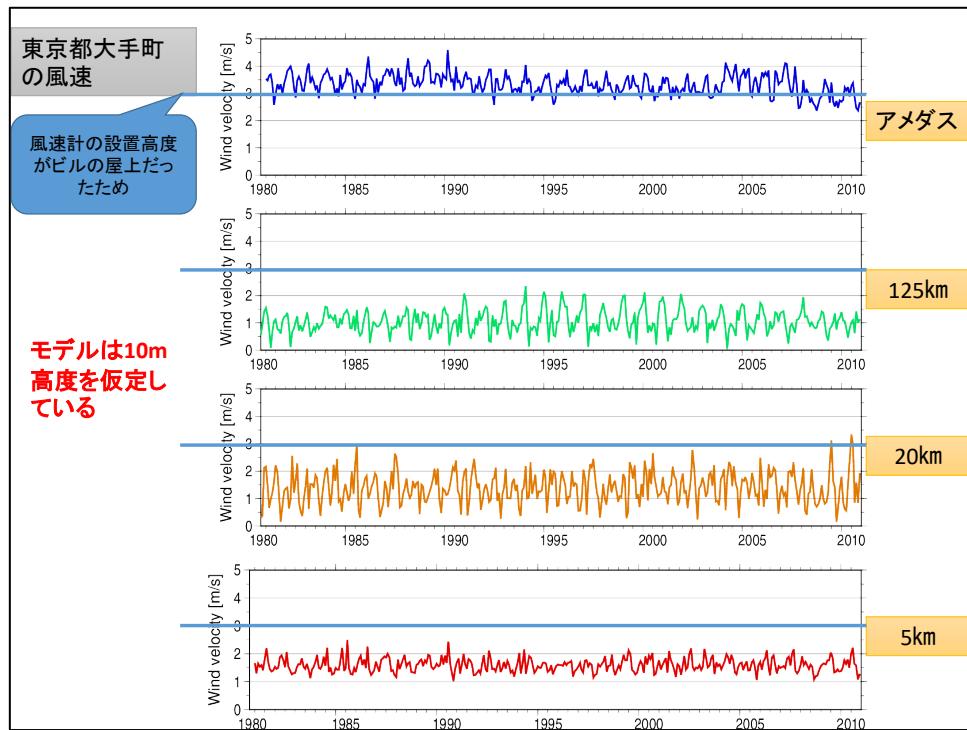


図 6 解像度による風速の違い（東京都大手町）

次に、統計的ダウンスケーリングによる検討ですが、気象要素ごとの傾向を示した研究を紹介します。図 7 は SRES の A1b シナリオ (RCP6.0 に近いシナリオ) について根室でダウンスケーリングした結果です。根室の日平均気温、日降水量、日射量、相対湿度、風速の 5 つの要素がありますが、細かい線がモデル一つ一つの結果を表しており、赤い線は東大・JAMSTEC・国立環境研究所で作成された MIROC-Hi の結果を示しています。

これらの結果を見ると、気温は上昇幅に大小があるものの、どのモデルでも上昇していることがわかります。降水量は極端な降水が増える傾向は見られますが、平均的な変化は特に見られません。日射量や風速についても特に顕著な変化は見られず、A1b シナリオでは、日射量等は一定と見られます。なお、相対湿度は気温に影響されますので、気温上昇に伴う変化が見えていると考えられます。

このように、気候変動により将来の変化が予測される気象要素と、変化が見られていない要素があります。

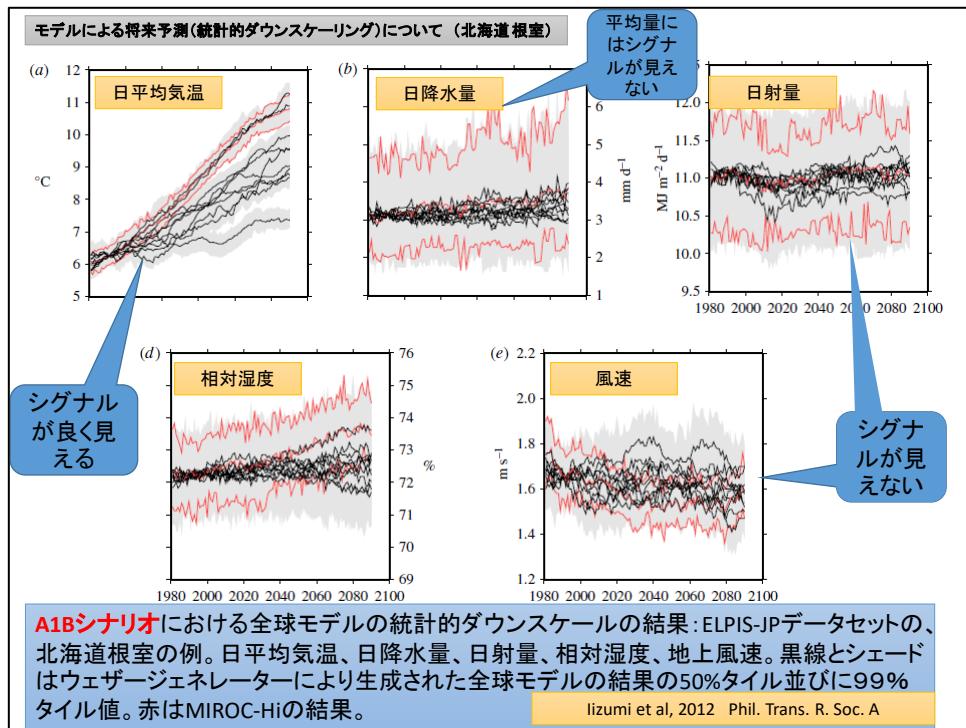


図 7 統計的ダウンスケーリングについて

今度は将来予測による小河内の結果を見てみましょう (図 8)。1番上がアメダスで、2番目以降が d4PDF に使われた 20 km モデルによる計算ですが、青線でアメダスの結果が重ねられています。モデルによる現在再現では観測より低温の傾向ですが、4°C上昇の結果では現在再現より高くなることがわかります。

なお、2°C上昇と 4°C上昇といった場合、1850 年の工業化前からの上昇を指しています。既に 1.2°Cほど上昇しているため、現在から比較すると 0.8°C、2.8°Cの上昇です。

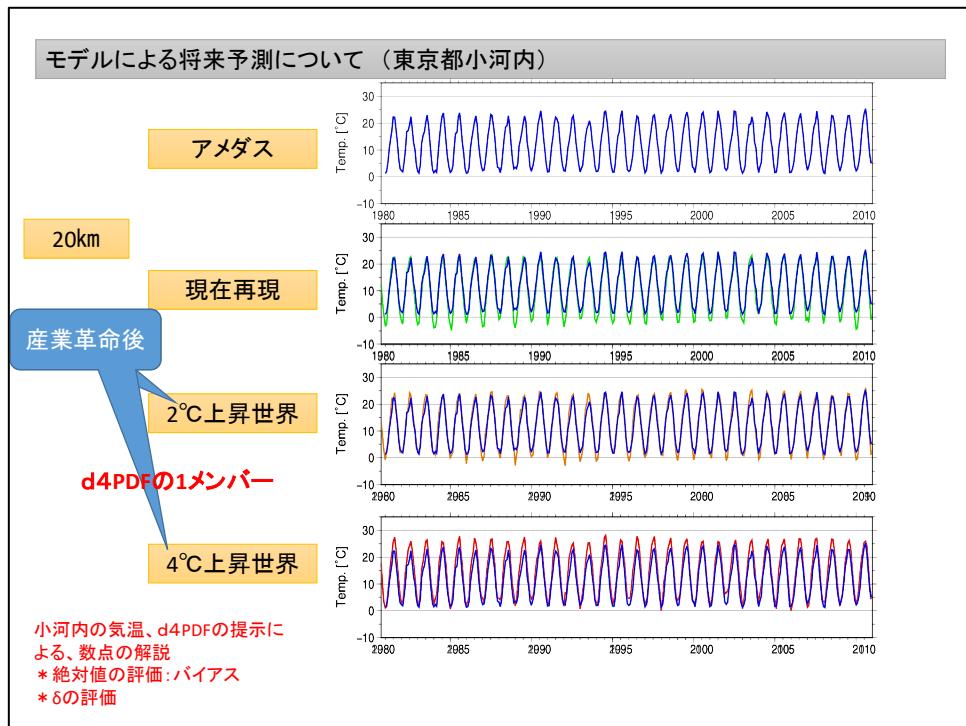


図 8 モデルによる将来予測について（1）

図 9 は図 8 と似ていますが、季節変化のグラフに年平均値の推移を追加しています。アメダスでは年平均が 12°C 程度で氷点下の月はありませんが、20km の現在再現では 1°C 以上低く、毎年のように 0°C を下回る月が出ています。

この現在再現と同じモデルを使った 2°C 上昇と 4°C 上昇の実験では、どちらも現在再現より気温が上昇しており、将来小河内では 4°C 程度気温が上がる予測となります。なお、日本付近は気温が上がりやすい傾向が見られていますので、現在再現と比較しても 4°C 程度の上昇となっています。

将来と現在の上昇幅ではなく、将来の気温そのものを得るには、まず観測値と現在再現の差をこのモデルが持つ誤差として計算し、将来予測からも誤差を取り除くことで補正できます。なお、気温の誤差は、観測点とモデル格子の標高の差が影響していることも多く、この点でも誤差の補正が必要な場合が多いと考えられます。更に複雑な補正方法もありますが、将来予測の計算結果をそのまま使ったり、観測値と将来予測を直接比べたりすることがないようにしてください。

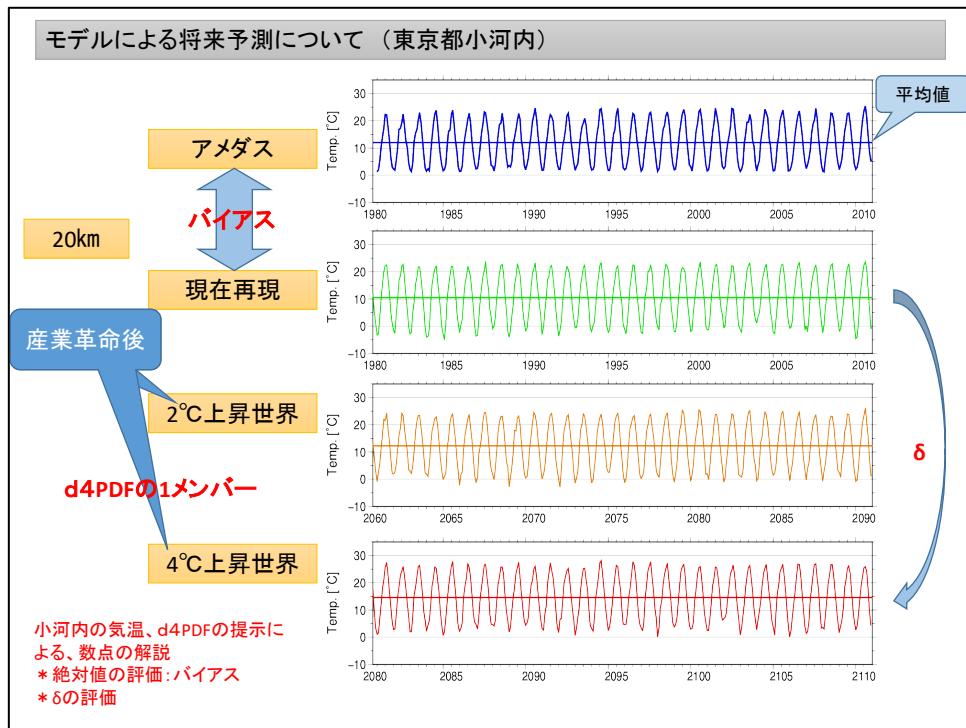


図 9 モデルによる将来予測について（2）

3. モデルデータ活用の際のポイントは？

ここで、モデルのデータ活用のポイントを整理します（図 10）。まず、モデルと観測のデータは、同じ気温や降水量でも、成り立ちが違います。観測値はその観測点の近傍の代表性を担保する一方、モデルは計算格子の平均値を示している、という違いがあります。

また、降水量の精度は山の地形の再現性にも影響されます。モデル内の山の峰の小さな位置の違いが、斜面のどちら側の降水となるかを左右しますが、どの川に雨が降るかは水防管理には重要です。20km 格子程度の解像度で、脊梁山脈をはさんで日本海側と太平洋側の天候の違いが表現できますが、5km 格子以下であれば更に盆地も表現できます。

2) モデルデータ活用の際のポイントは?

● モデルデータと観測データの成り立ちの違いは意識していただきたい。

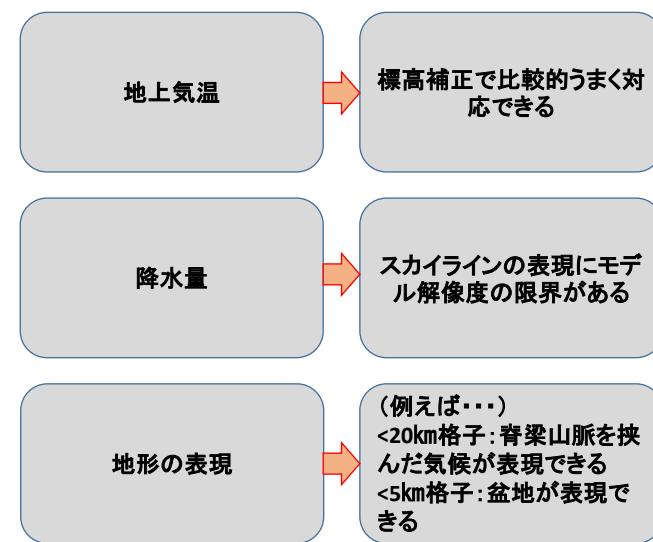


図 10 モデルデータ活用の際のポイントは?

図 11 は、脊梁山脈を挟んだ気候の違いを示した例です。日本の冬期の特徴的な傾向として、2月は日本海側だけに雪が積もる一方で太平洋側は雪が少ないことがわかります。



図 11 県単位の気候の表現

次に、降水量分布を再現できるモデル解像度を考えます。図 12 の通り、125km 程度の粗い解像度では日本列島全体がほぼ同じ傾向ですが、20km 格子まで解像度を上げれば、日本海側と太平洋側のコントラストもはっきりし、降水の多い地域を再現できるようになります。

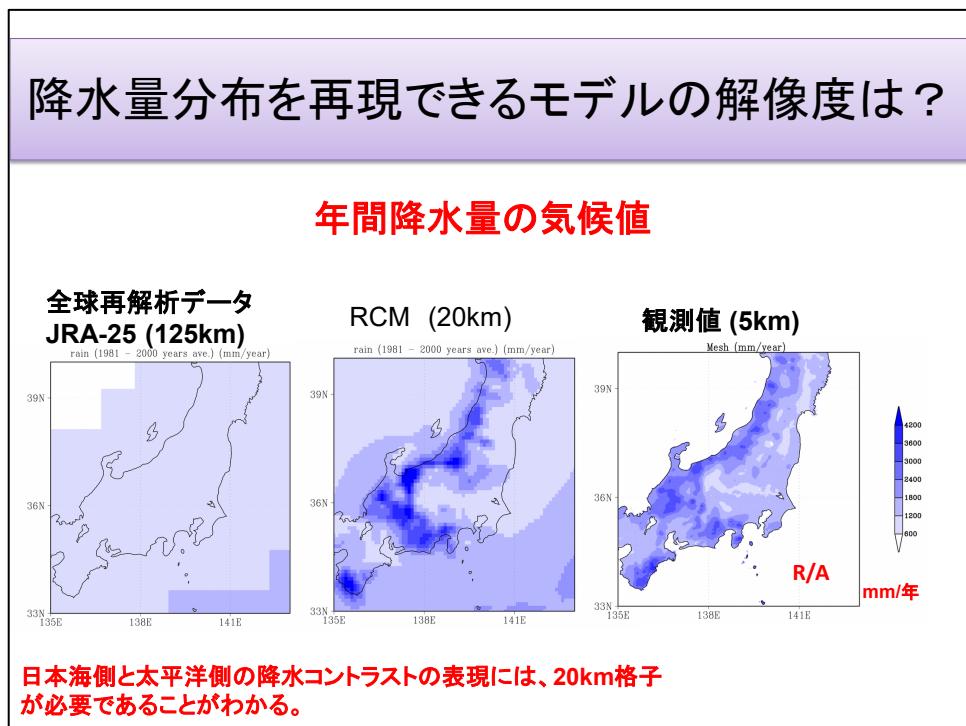


図 12 降水量分布を再現できるモデルの解像度は？

図 13 の降水量分布は 60km の再解析データを 20km と 5km にダウンスケールした結果と、観測値をベースとしたメッシュ気候値です。夏季は 6、7、8 月、冬季は 12、1、2 月です。60km、20km から 5km と解像度が高くなるにつれ、夏季の全体的な傾向の再現性が上がることがわかります。また、冬季の日本海側の降水も 20km でも見えますが 5km の解像度であれば更にはっきりと確認できます。

これらは地形の表現による影響が大きく、20km では東京湾もほとんど表現できないものの、5km の解像度では甲府盆地や富士山まで確認できます。ただ、60km や 20km では粗い地形を使っていますが、計算結果では詳細な海岸線を描画しています。海岸線が描画されていると、地形も表現されているように錯覚しやすく注意が必要です。

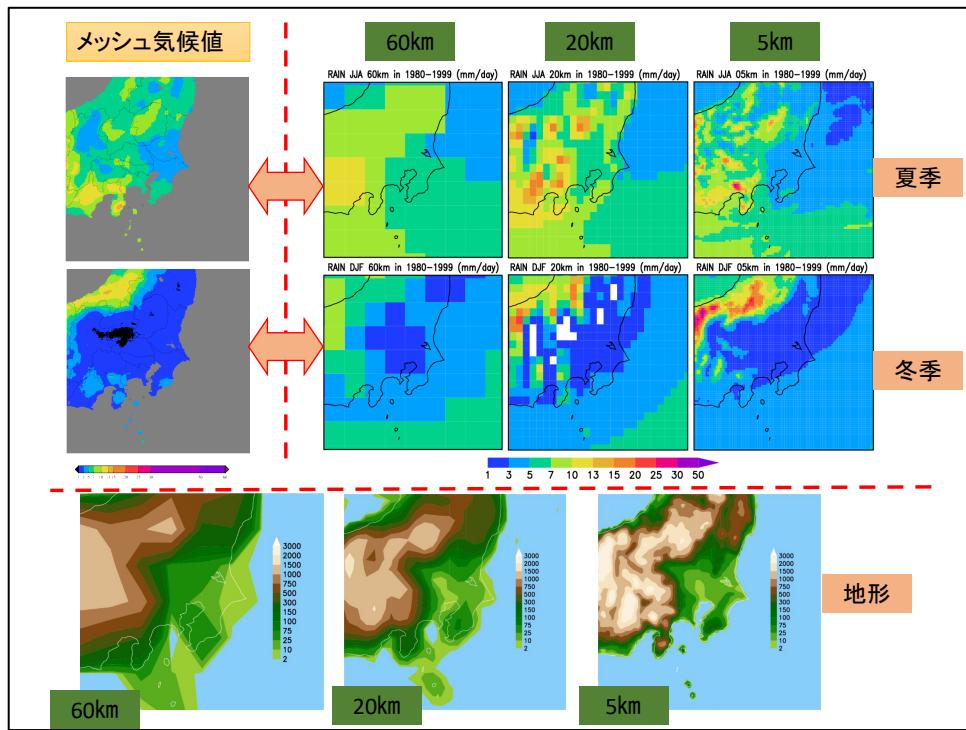


図 13 解像度による再現性の違い（1）

西日本についても同様に、6-8月のメッシュ気候値とモデルの結果の違いを示します（図 14）。観測値と 5km の結果からは、瀬戸内海の降水量が少ないことがわかりますが、20km では他の地域との違いがはっきりしません。おそらく 20km の解像度では瀬戸内海のかなりの部分は陸地として計算されていますが、5km であれば瀬戸内海の気候も表現でき、四国の南側の雨も表現できています。

このように、瀬戸内海の降水の予測では、20km では粗すぎる可能性があります。利用方法によっては、統計的ダウンスケーリングも含め、何らかの高解像度化を行う必要があります。

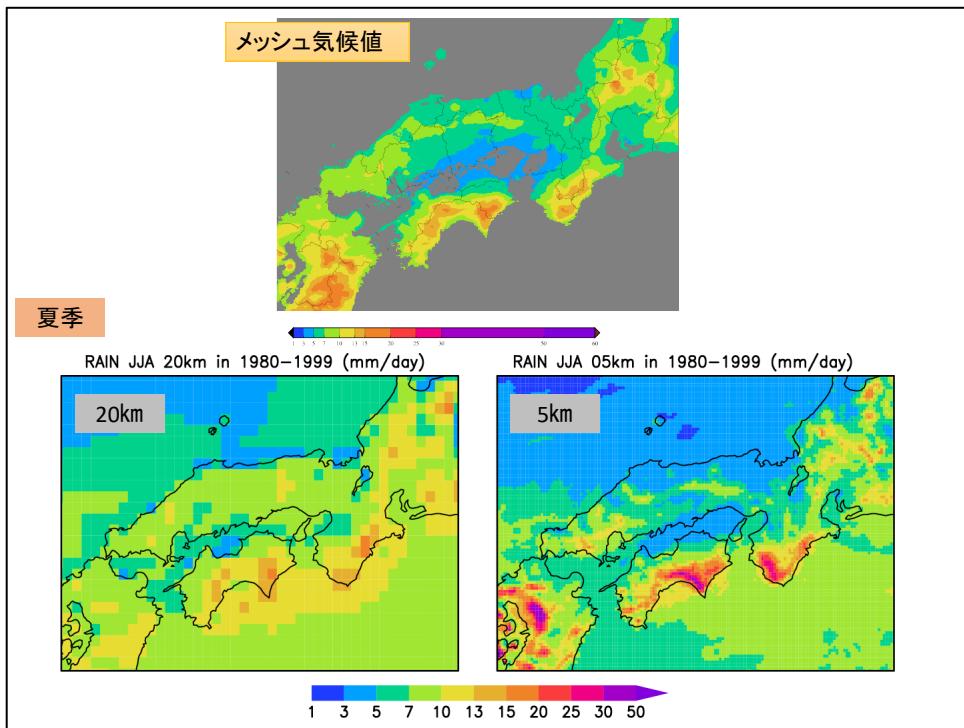


図 14 解像度による再現性の違い（2）

4. ユーザに知っておいてほしいこと

最後に、自治体等のユーザが対策策定に活用を諮る際に知っておいてほしいことを挙げます（図 15）。

1つ目として、気候シナリオには、なりゆきシナリオから温室効果ガス削減量の多いシナリオまで様々な設定があり、どれを使っているかを意識して頂きたいとということです。2つ目は、モデルの空間及び時間解像度により、再現できる現象が異なること、3つ目は、補正により観測点での将来予測が精度よく使えるようになることです。最後の4つ目は、異なる計算手法の結果や観測値は混ぜて評価しない、ということです。モデルの現在気候と将来予測の比較のように、同じベースのものを比較するようにしてください。

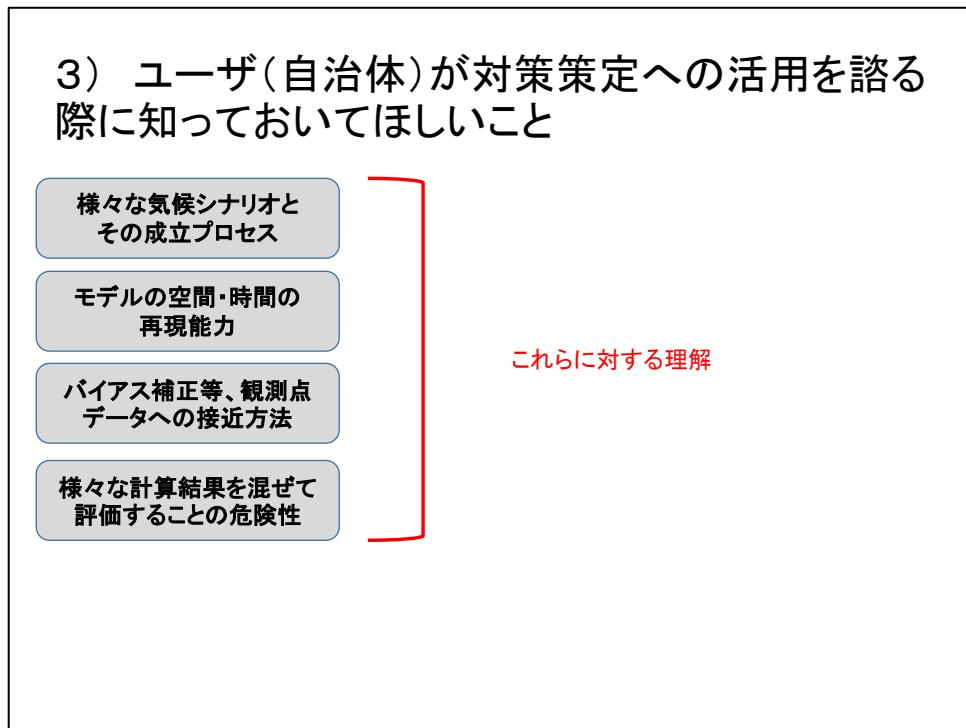


図 15 ユーザ(自治体)が対策策定への活用を図る際に知っておいてほしいこと

講義では、観測データとモデルデータの違い、モデルデータ活用のポイント、ユーザの活用で知っておいてほしいことを紹介しました(図 16)。

ここに活用にあたって認識しておいて頂きたい7つの点を挙げました。1つ目は気候の将来予測は複数のシナリオの設定に沿って計算されており、結果はシナリオに大きく依存していることです。2つ目は、気候変動の将来予測が、あくまで現在使われているモデルで表現された結果という条件付きであること、3つ目は、様々な将来予測データがある現在でも、将来の全ての可能性を網羅しているわけではないことです。将来予測データが多すぎて困るという声もありますが、これらを全て使っても、可能性すべてを網羅することはできません。

4つ目は、気候モデルのデータがバイアスを含んでいること、5つ目は全ての気象要素の予測が同じ精度を持つわけではないことです。統計的ダウンスケーリングの場合は、温度と降水量以外についても検討が進んできていますが、力学的ダウンスケーリングでは、気温と降水量以外の要素は、精度があまり確認できていません。6つ目は高解像度であることが、必ずしも妥当性の高さを示すわけではないことです。目的に応じて、必要な解像度を見極めて利用する必要があります。7つ目は異なる計算結果を混ぜて使わないようにすることです。

気候変動予測のデータの描画は、ある程度計算になれた方なら比較的簡単にできますが、本講義でも示した通り、その解釈にはいろいろな落とし穴がありますので、不安がある場合は、気候変動適応センターなどの専門家に相談してください。

まとめ

- 観測データとモデルデータの違いは？
- モデルデータ活用の際のポイントは？
- ユーザ(自治体)が対策策定への活用を諮る際に知っておいてほしいこと

- 気候の将来予測は、気候シナリオに大きく依存している
- 評価されている将来予測の幅は、あくまで“条件付き”なものである。
- 用意されている気候モデルデータは将来のあり得べきすべての将来を用意しているわけではない
- 気候モデルデータはバイアスを含んでいる
- 全ての予測データが同じ精度を持っているわけではない
- より高解像度のモデルの結果がかならずしもより高い解の妥当性を示しているわけではない
- 異なる計算結果を一緒に使わない様に注意すること

※ データの描画は比較的容易にできますが…

※ その解釈に不安が生じたときには、CCCAなどの専門家に聞いてください。

図 16 まとめ

【用語解説】

ダウンスケーリング	高解像度化
アスマン通風乾湿計	気温及び湿度を計測する測器の一つ
予報変数	気象モデルにおいて、物理方程式の時間積分により求められる気象要素。温度、風など。
統計的ダウンスケーリング	低解像度データを統計的関係に基づき高解像度化する手法
GCM	全球気候モデル (Global Climate Model)
MIROC モデル	東京大学、国立環境研究所、海洋研究開発機構により開発された気候モデル。The Model for Interdisciplinary Research On Climate
気候感度	大気中の二酸化炭素濃度が 2 倍で平衡した場合の上昇温度
ELPIS-JP	農業環境技術研究所による全国 938 地点の日別気候変動データセット
d4PDF	文部科学省のプロジェクトで開発された 4°C 上昇の条件で多アンサンブル計算を行ったデータセット
メッシュ気候値	気象庁の平年値を 1km の解像度で面的に推定したデータセット。気象庁の平年値の更新に合わせ 10 年ごとに提供される。
力学的ダウンスケーリング	物理法則に基づく数値モデルを用いた高解像度化手法
NHRCM	非静力学地域気候モデル (Non-Hydrostatic Regional Climate Model)。気象庁の前世代の運用モデルを長時間計算に向けて改良したもの。

国立環境研究所 気候変動適応センター主催
令和2年度 気候変動適応研修（中級コース）解説資料