

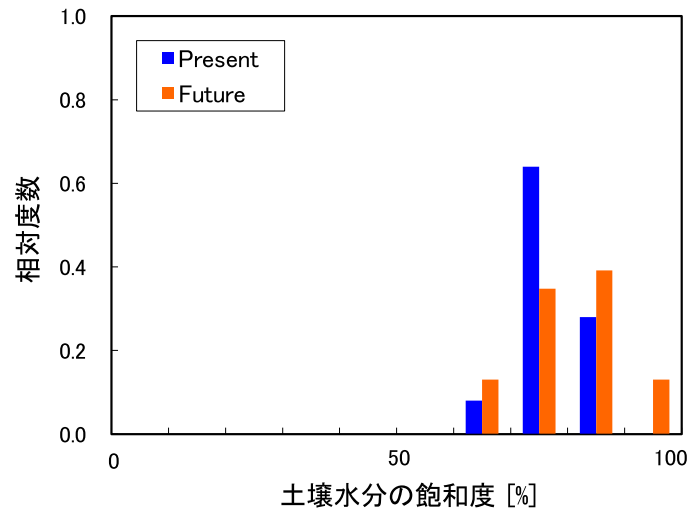


図4.1.17 6月の久万における土壌水分の飽和度の相対度数分布。はずれ値を除外した Tn02以下のデータを使用。

4.2 降水の将来変化

4.2.1 降水の将来変化の概要

地球温暖化による気候変化に伴い、日本域での降水の振る舞いに変化が生じるのか、NHRCM05の将来気候の計算結果を用いて検討した。

月降水量の変化を見るために、図4.2.1のように日本を7つの地域に分けてそれぞれの地域の変化を検討した。図4.2.2はそれぞれの地域における月降水量及び年降水量の将来気候/現在気候の比とその信頼確率である。ここでの信頼確率とは、片側検定で増加を示す確率を表し、50%より数字が大きくなるにしたがって降水量が増加する確率が高く、小さくなるにつれて減少する確率が高くなる。例えば、99.5%以上の領域は片側検定では有意水準99.5%で降水量が増加、0.5%以下の領域は有意水準99.5%で降水量が減少することを意味し、それぞれの領域は両側検定では有意水準99.0%で変化があることを意味する。月降水量は、ほとんどの地域において増加することが予測されるが、10月や11月は5%以上減少すると予測される。特に、東日本の日本海側(EJJ)では、11月に15%以上降水量が減少することが予測されている(99%以上有意な変化)。一方で、2月や3月は、多くの地域で15%以上降水量が増加すると予測され、特に西日本太平洋側(WJP)や東日本太平洋側(EJP)で信頼度が高い。

2月の降水量増加について詳しく見ていく。図4.2.3は、2月の将来気候における降水量の変化(現在気候との比)である。図4.2.3から、九州から本州の太平洋側で降水量が有意に増加することが分かり、場所によっては2倍以上となるとところもある。温暖化に伴う気温上昇により、大気に含まれる水蒸気量が増加し、降水量

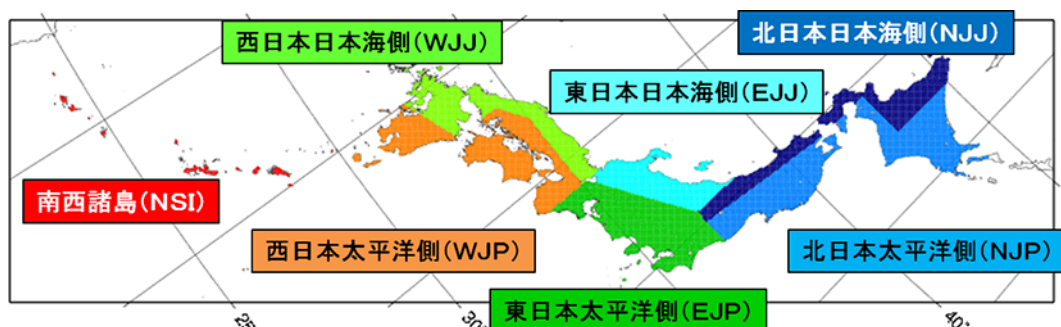


図4.2.1 本研究において日本を7つの領域に分けたときの図。

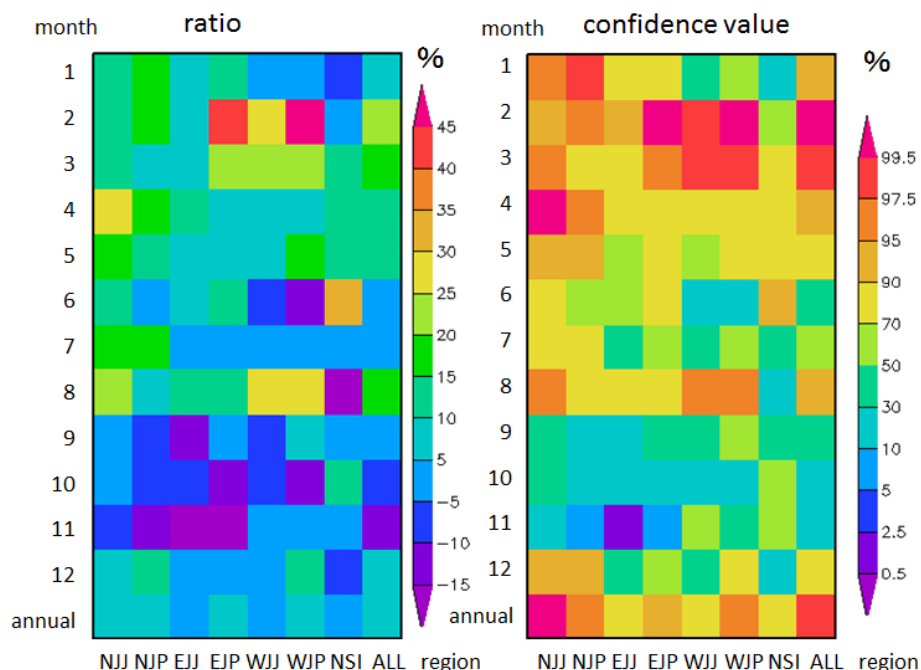


図4.2.2 各領域における月毎の降水量変化率（左）とその信頼確率（右）。信頼確率のグラフの右に書いてある数字は、片側検定で増加を示す確率を表す。50%より数字が大きくなるにしたがって増加の確率が高く、小さくなるにつれて減少する確率が高くなる。例えば、99.5%以上の領域は片側検定では有意水準99.5%で降水量が増加、0.5%以下の領域は有意水準99.5%で降水量が減少することを意味し、それぞれの領域は両側検定では有意水準99.0%で変化があることを意味する。

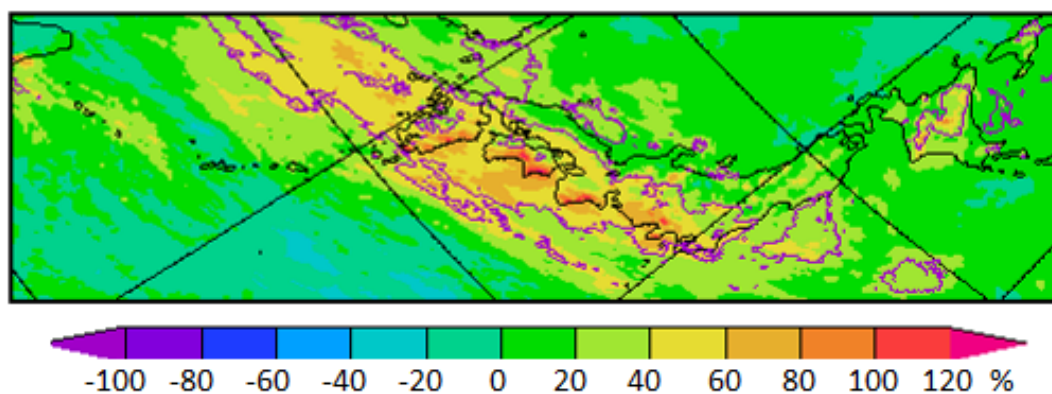


図4.2.3 2月の降水量の将来変化量。紫で囲まれた部分は両側検定で95%以上の信頼確率。

の増加の原因となると考えられる。NHRCM05の結果によると、日本の太平洋沿岸における850hPa面の混合比は、現在気候に比べて将来気候は1 g/kg 増加する。また、図4.2.4の低気圧の存在頻度を見ると、日本の太平洋沿岸で存在頻度が大きくなっていることが分かる。これは、2月に冬型が弱くなることに伴い、日本の南岸を通過する低気圧のストームトラックがやや北上することを示しており、太平洋側での降水量の増加に寄与していると考えられる。

最後に、時間降水量の階級別頻度を見る（図4.2.5）。将来気候においては、10mm/hr以上の降水頻度が増加すると予測される。この変化は、99%以上有意な変化で、将来気候において、短時間強雨が増加することが懸念される。

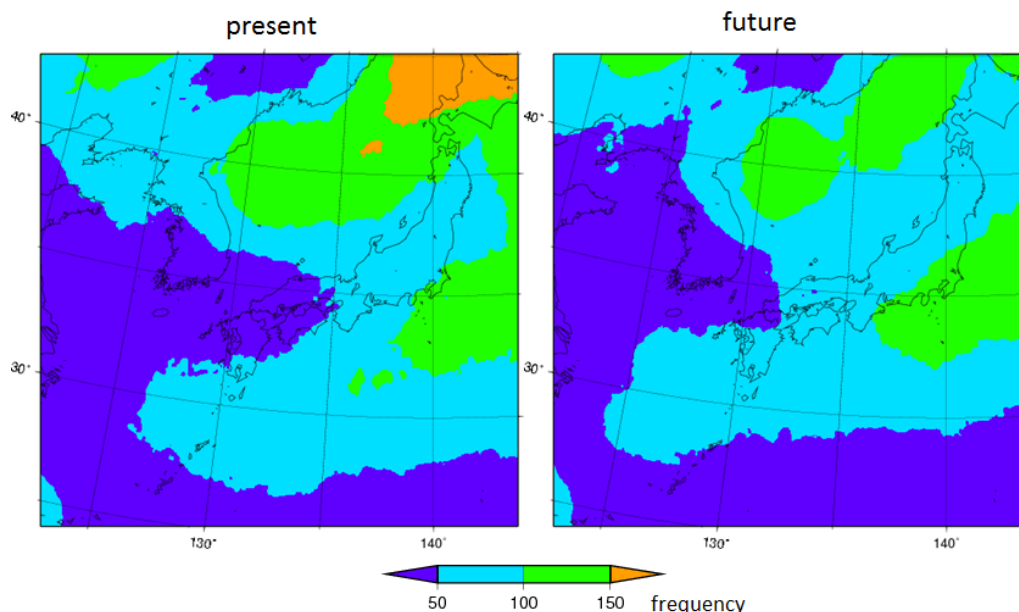


図4.2.4 2月の低気圧の中心の存在頻度。現在（左）、将来（右）。

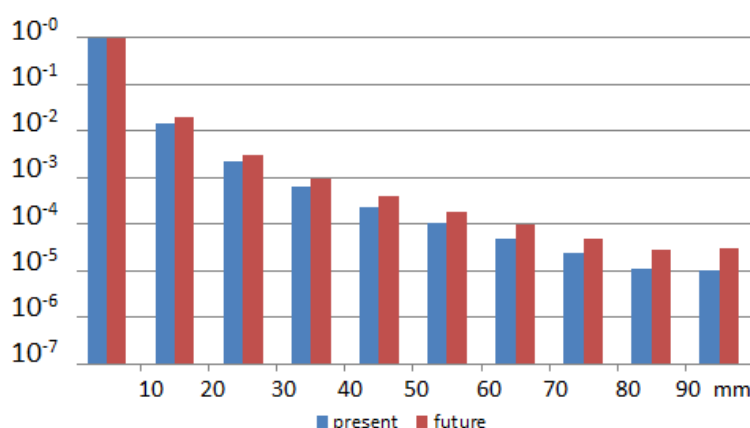


図4.2.5 NHRCM05による現在と将来の1時間降水量の頻度確率。現在（青）、将来（赤）。

4.2.2 降水のバイアス補正について

地球温暖化に伴う気候変化により、我々の生活に直接影響するような降水量や大雨の日数が将来どのように変化するのに興味のあるところである。降水量の将来変化を適切に見積もるためには、モデルの出力データと実際の観測データを比較し、必要があるならば出力データに対してバイアス補正を行わなければならない。図4.2.6は、NHRCM05の出力データとアメダス観測データの1月の平均降水量の比である。この図から、NHRCM05の降水量は、冬季に降水量が多い日本海側で過小、降水量が少ない太平洋側で過大であることが分かる。NHRCM05の平均降水量そのものは、冬季は日本海側で多く太平洋側で少ないという気候的な特徴を再現しているが、降水量そのものは観測データと大きく異なる場合がある。このため、NHRCM05の降水量のデータに対してバイアス補正を行う必要がある。

地球温暖化予測情報第8巻においては、降水量のバイアス補正として最小二乗法と γ 分布にフィッティングさせる手法を採用している。詳細は地球温暖化予測情報第8巻を参照してほしい。ここでは、平均降水量については地球温暖化予測情報第8巻と同様の最小二乗法を用いた補正法を解説し、上位5%降水量に対しては、府県単位で補正する手法の解説を行う。

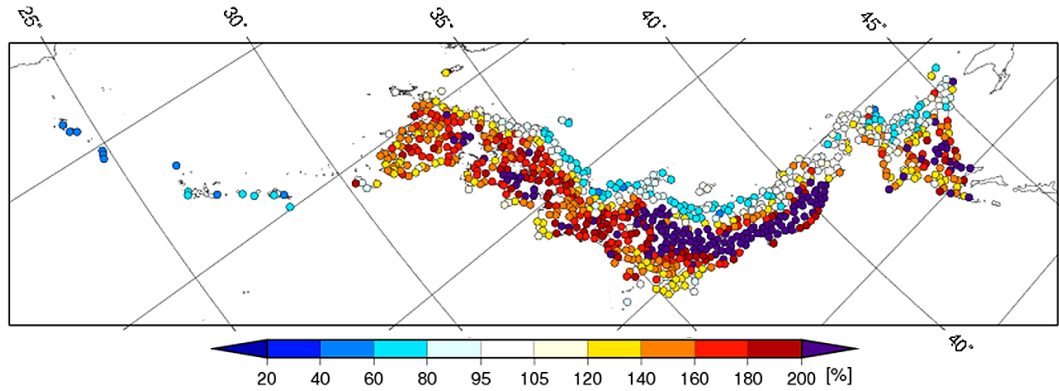


図4.2.6 アメダス観測と NHRCM05の現在気候における1月平均降水量の比。

平均降水量

月平均降水量は、モデル・観測共に月毎のデータを作成すれば比較的容易にバイアス補正を行うことができる。一方で、100mm/日などの大雨日数の将来変化を知りたい場合は、日降水量のバイアス補正を行う必要がある。ここでは、地点・月毎に日降水量のバイアス補正を行い、同時に月平均降水量も補正するような手法を紹介する。

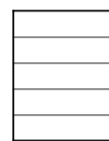
- ① 日降水量のデータは、無降水日が存在するため観測とモデルのデータ数が必ずしも一致しない。モデル降水日数が観測降水日数より多い場合は、図4.2.7aのようにモデルデータを平均化して、観測降水日数に合わせる。モデル降水日数が観測降水日数より少ない場合は、図4.2.7bのように降水日数が不足している分だけ1mmずつ加えて、観測降水日数に合わせる。
- ② モデルと観測の降水日数を一致させたら、それぞれ降水量を小さい順に並べ替えて、最小二乗法を適用する。ただし、データの補正後に負の値が発生するのを防ぐため以下の式のように対数を取る

「観測降水日数 ≤ モデル降水日数」の場合

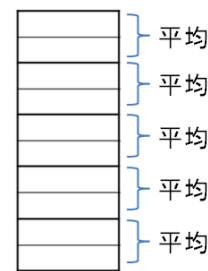
・モデル値を平均操作して、観測個数に合わせる

観測	モデル
1番目	1番目と2番目の平均
2番目	3番目と4番目の平均
3番目	5番目と6番目の平均
4番目	7番目と8番目の平均
5番目	9番目と10番目の平均

サンプル数が観測5個、モデル10個の例



観測



モデル

「観測降水日数 > モデル降水日数」の場合

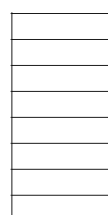
・モデル値に1mmの降水量を与え観測個数に合わせる



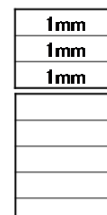
観測



モデル



観測



モデル

不足分だけ1mm
ずつ加える

図4.2.7 観測とモデルの降水日数を一致させる方法。上は、観測降水日数がモデル降水日数より少ない場合。下は、観測降水日数がモデル降水日数より多い場合。

$$\ln(V_{obs}) = a \times \ln(V_{mdl}) + b \quad (1)$$

- ③ 式(1)から係数 a , b を求め、モデルデータのバイアス補正を行う。元のモデル降水日数が観測降水日数より多い場合は、

$$V_{cor} = \exp\left[a \times \ln(V_{mdl}) + b\right] \times \frac{N_{obs}}{N_{mdl}} \quad (2)$$

として、補正データを求める。また、元のモデル降水日数が観測降水日数より少ない場合は、

$$V_{cor} = \exp\left[a \times \ln(V_{mdl}) + b\right] + \exp(b) \times \frac{N_{obs} - N_{mdl}}{N_{mdl}} \quad (3)$$

とする。ここで、式(3)の右辺第二項は、モデルと観測の降水日数の差によって生じる月降水量の差を小さくするために付け加えた項である。

以上のような補正法を、ここでは「補正法 A」と呼ぶ。補正法 A を用いて NHRCM05 の地点・月毎の日降水量のバイアス補正を行って、月降水量を計算した結果が図 4.2.8 である。バイアス補正後は観測値と良く一致していることが分かる。一方で、上位 5 % 降水量は、補正後においてもあまり改善されていない。これは、最小二乗法による補正は、平均値に合わせるようにデータを補正するため、データの下端や上端が適切に補正されないことによる。図 4.2.9 は観測データと補正前後のモデルデータの散布図である。この図から、バイアス補正を行った結果観測データとのずれが大きくなっているデータが含まれていることが分かる。このため、上位 5 % の降水量については、以下のような補正方法を適用する。

- ① 上位 5 % の降水データは、1 地点ではサンプル数が少ない。そのため、ある程度気候的に特徴の似たデータを収集することで、サンプル数を増やす。ここでは、各都道府県・支庁・振興局におけるアメダスデータを 1 つのデータセットとする。
- ② 図 4.2.10 は香川県の例である。香川県に設置されている各アメダス地点の上位 5 % の降水データを抽出し 1 つのデータセットとしてまとめる。また、モデルについても同様のデータセットを作成する。これらのデータをそれぞれ小さい順に並べて式(1)を用いて最小二乗法を適用し、モデルの補正データを得る。図 4.2.10 で得たデータセットをデータ k とする。
- ③ 個々のアメダス上位 5 % データについて、データ k の観測データの中から一致する値を検索し、それに対応する補正データをモデルデータの補正值とし、各地点におけるモデルデータの補正データを作成する。

以上のような補正法を「補正法 B」とする。補正法 B で、上位 5 % 降水量のバイアス補正を行った結果が図 4.2.11 である。上位 5 % 降水量が良く補正されたことが分かる。また、このデータを用いた月降水量も補正されている。図 4.2.12 は、降水量の階級頻度である。モデルデータを補正する前は、観測との差が大きい。補正法 A のみを用いた場合、100mm 以下では補正前よりも改善されているが、100mm を超えると補正前よりもバイアスが大きくなっている。補正法 A と補正法 B を用いた場合は、全ての階級での頻度が改善した。

ここで紹介した補正方法で将来気候のデータの補正を行った。その結果、上位 5 % の降水量については、地域によっては府県の形が見えてしまい、不自然な分布図となった（図 4.2.13）。これは、補正法 B が府県単位でデータを補正するためである。このため、強い雨のような上位降水量を用いる大雨日数の将来変化などは、府県単位の議論に留めるのが適切かもしれない。

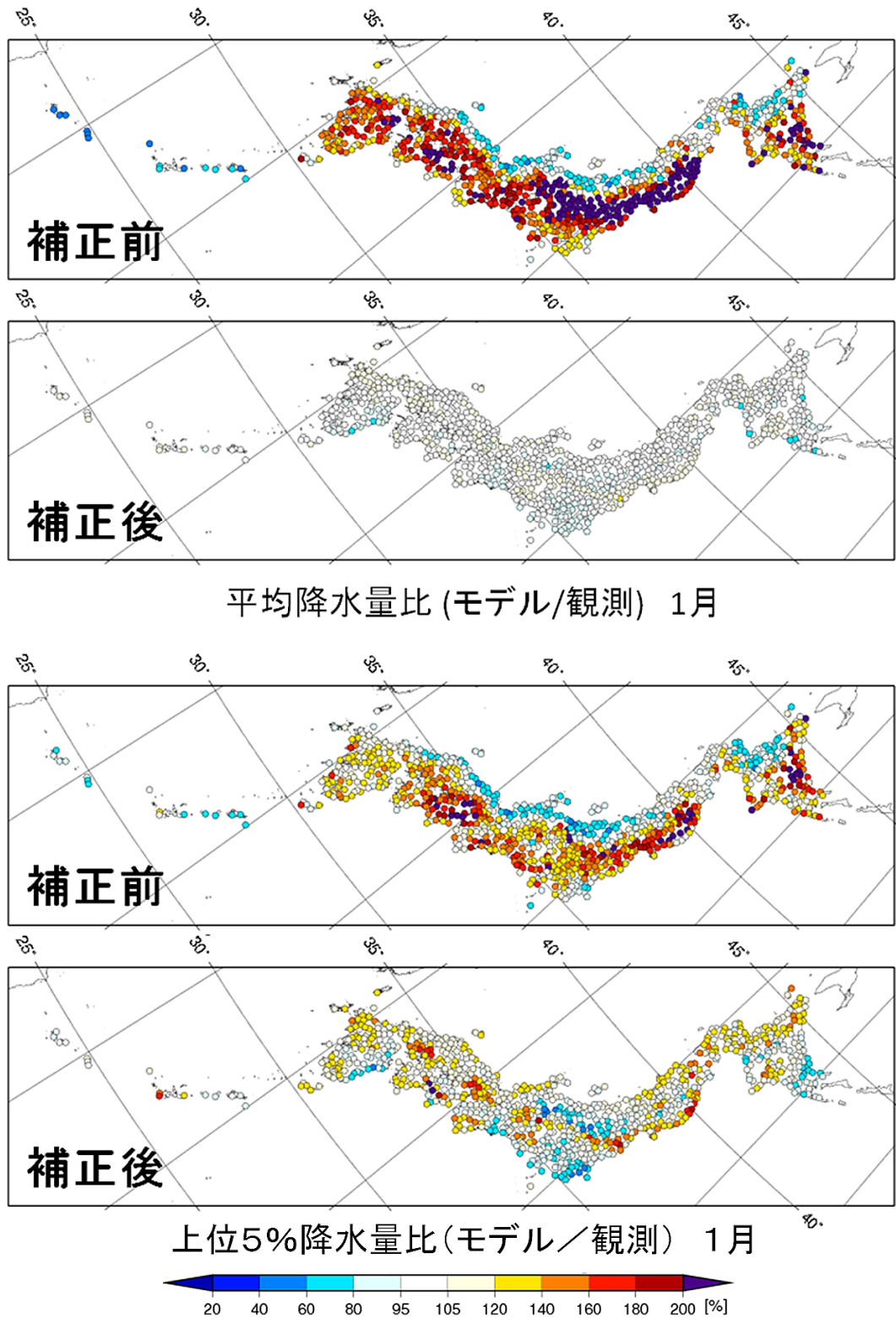


図4.2.8 アメダスとNHRCM05現在気候のバイアス補正前と補正後の降水量比。
上は平均降水量比、下は上位5%降水量比。

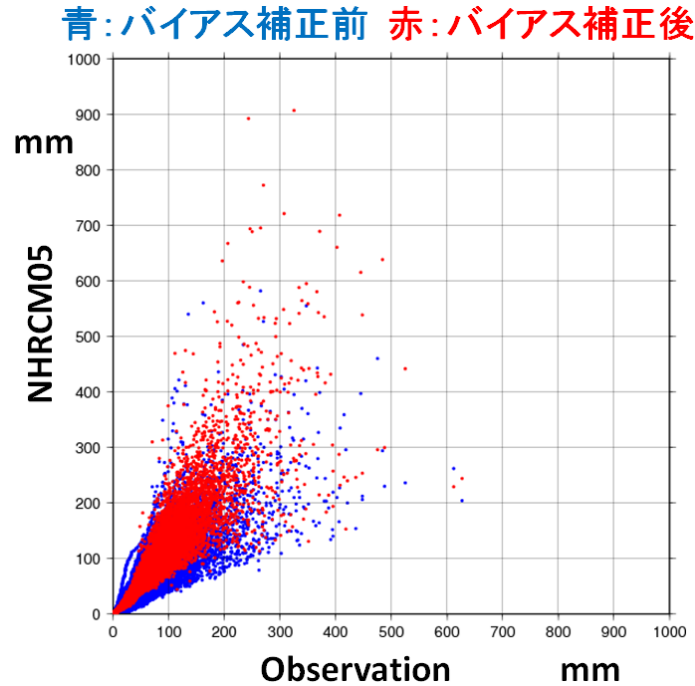


図4.2.9 アメダス観測点と、各観測点近傍のモデル格子点の7月平均降水量の散布図。
青はバイアス補正前、赤は補正法 A を施した後の散布図。

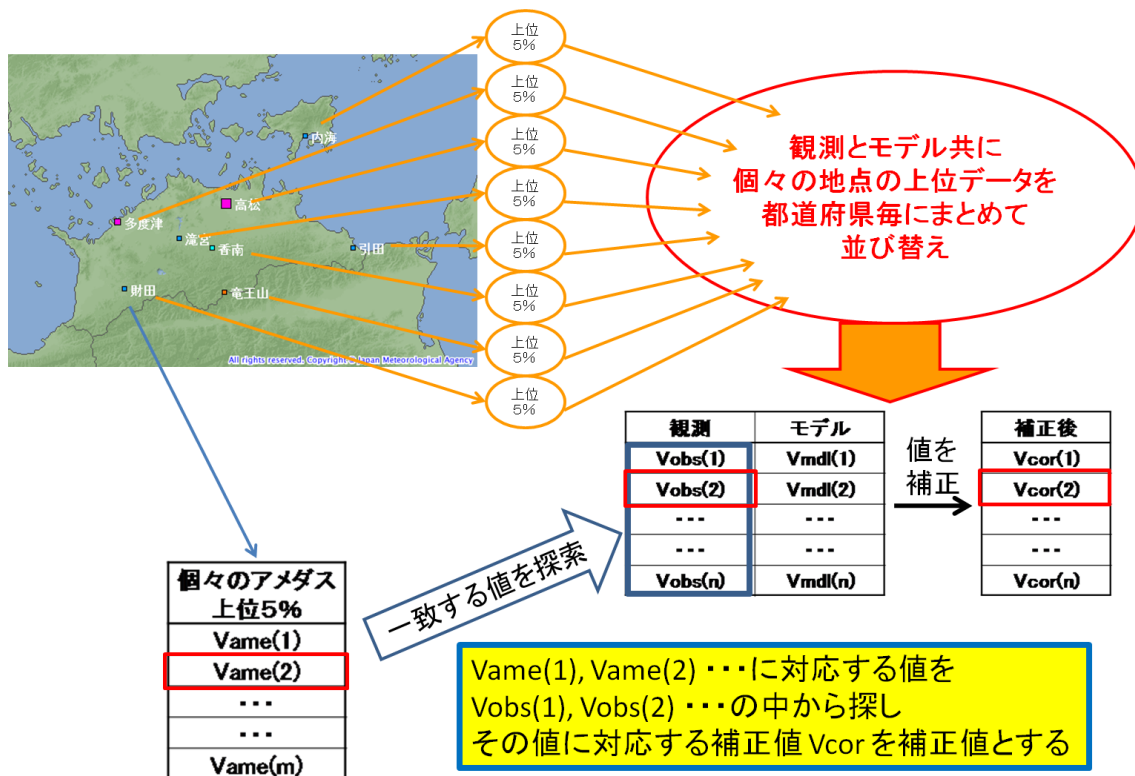


図4.2.10 上位 5 %降水量に対するバイアス補正（補正法 B）の概念図。

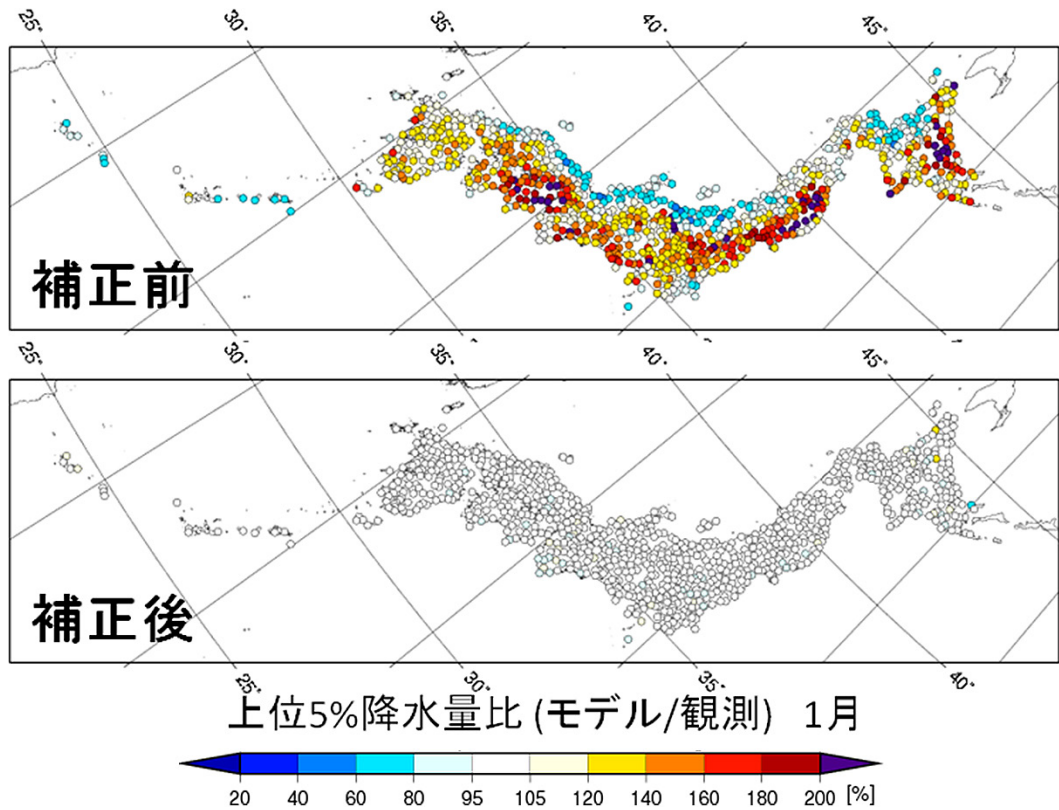


図4.2.11 1月降水量の上位5%降水量における、アメダス観測とNHRCM05現在気候の降水量比。上は補正前。下は補正法Bによる補正後。

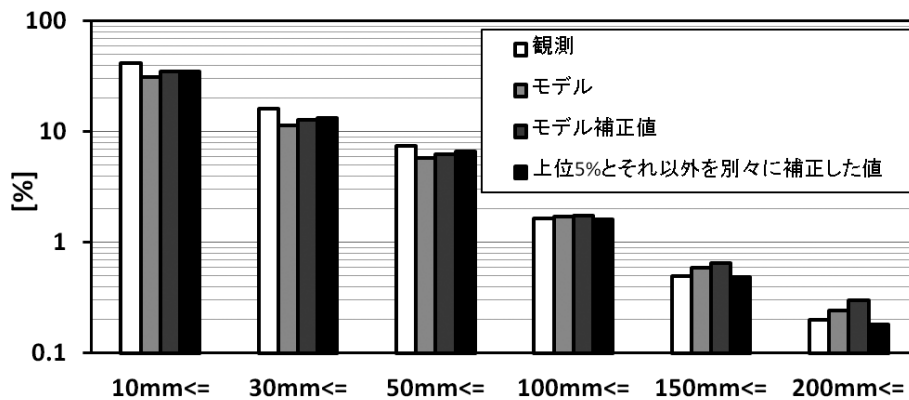


図4.2.12 日降水量の各階級に対する出現頻度。白はアメダス観測。薄い灰色はNHRCM05の補正前のデータ。濃い灰色はNHRCM05に補正法Aを施した後のデータ。黒はNHRCM05に補正法Aと補正法Bを施した後のデータ。

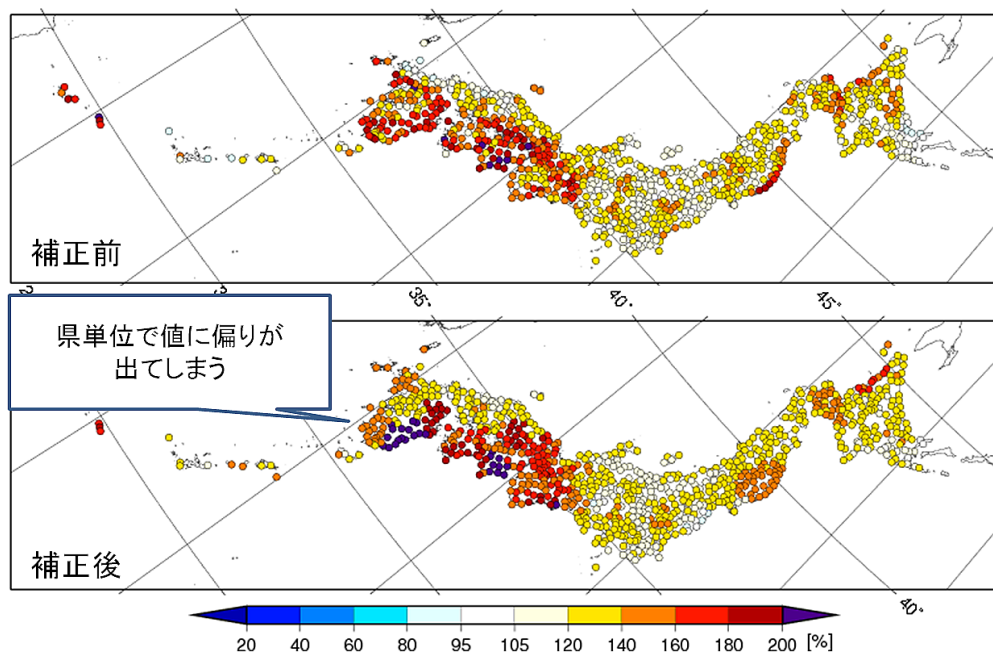


図4.2.13 上位5%降水量に対する、アメダス観測とNHRCM05将来気候の降水量。
上は補正前。下は補正法Bを施した後。

4.3 風の将来変化

地球温暖化による気候変化に伴う日本域周辺の風の変化について、NHRCM05の将来気候の計算結果を用いて検討した。図4.3.1に、現在気候（1980～1999年：赤棒）と将来気候（2076～2095年：緑棒）、及び、気象庁のアメダス観測（灰色棒）による月平均風速を示した。NHRCM05の格子点は、第3章の現在気候の再現性を検討したものと同じ格子点を採用している。アメダス観測とNHRCM05の現在気候の値を比較すると、NHRCM05の方が最大で0.5m/s程度大きな値であるが、アメダス観測の標準偏差内に収まっている。また、季節変化が再現されていることが分かる。

NHRCM05における現在気候と将来気候の月平均風速を比較すると、将来気候における変化は非常に小さい。しかしながら、詳細に調べると夏季と冬季で風の振る舞いがそれぞれ異なる変化をすることが分かった。以下では、夏季（7月、8月、9月）と冬季（12月、1月、2月）における風速と風向の変化を詳細に見る。なお、本節では有意検定としてウェルチのt検定を用いた。

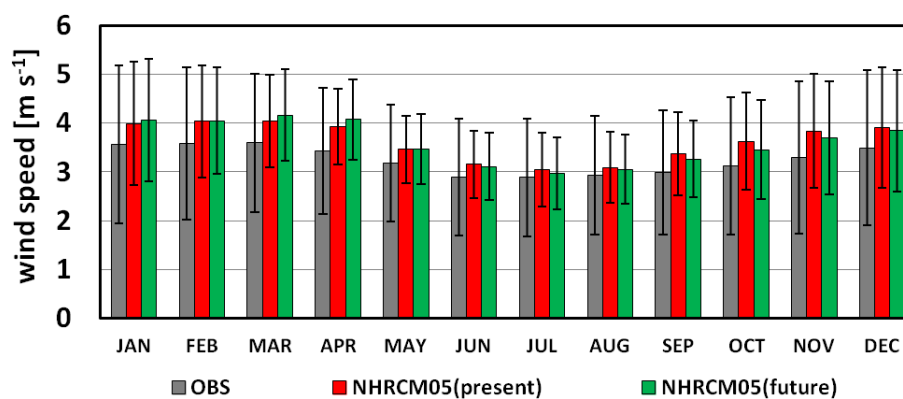


図4.3.1 月平均風速（棒グラフ）と標準偏差（エラーバー）。灰色はアメダス観測。赤はNHRCM05の現在気候。緑はNHRCM05の将来気候。