

序

気候システムの温暖化には疑う余地がないものとなり、温室効果ガスの継続的な排出は、更なる温暖化と気候システム全ての要素の変化をもたらすだろうとされる。温暖化の進行に対して的確な対策を講ずるためには、空間的にきめ細かい気候情報・予測情報の提供が求められる。

気象研究所では、1990年代から国内の他の研究機関に先駆けて地域気候モデル（Regional Climate Model, RCM）の開発を進めてきた。モデルの基本となったのは、かつて気象庁でアジア域の予報に使われていたアジア・プリミティブ・ファインメッシュモデル（Asian area Fine mesh Limited area Model, FLM）と呼ばれるものであった。この RCM による日本付近の温暖化予測結果が行政機関の刊行物に掲載されたのは、2000年に気象庁から発行された「地球温暖化予測情報」第4巻が最初である。当時は全球モデルの空間分解能がおおよそ400km、RCMの分解能も40kmであり、日本海側と太平洋側の気候の違いもまだ十分に表現できなかった。しかし、数値計算技術の進歩に合わせて RCM の改良が進み、現在気候の再現性が大きく向上するとともに温暖化による地域的な気候変化予測への信頼度も増した。2013年に発表された「地球温暖化予測情報」第8巻では、RCMの格子間隔は5kmとなって分解能が格段に高くなり、流域ごとの気候の違いも表現可能になった。力学過程は静力学モデルから非静力学モデルに改められ、降水の表現が大幅に改善された。さらには、植生モデル（Simple Biosphere model, SiB）の導入により地表面付近の再現性が向上し、積雪量の予測結果も提供されるようになった。また、モデルの高度化に加えてバイアス補正の手法についても予測変数ごとの特徴を考慮に入れた開発を行い、これによってより精密な予測を行うことができるようになった。

本技術報告は、気象研究所の最新の RCM である非静力学地域気候モデル（NHRCM）の解説と、それを使った温暖化予測の結果を取りまとめたものである。本報告が、温暖化に対する適応策の検討をはじめとして社会の各方面で活用されることを期待している。

平成26年12月

環境・応用気象研究部長

藤 部 文 昭

要 旨

気象研究所では、1990年頃から日本では初めて、地域気候モデル（Regional Climate Model, RCM）の研究を行ってきた。ここでは、その最新のモデルである非静力学地域気候モデル（NHRCM）についての解説と、それをを用いた温暖化による地域的な気候変動予測について紹介する。

第2章において、気象庁から2013年に刊行された地球温暖化予測情報第8巻に用いられた予測システムについての解説を行う。まず、RCMを動かすための強制力となった全球モデルの概要を紹介する。次のNHRCMの概要説明においては、長時間積分を行うにあたって短時間予報と異なりRCMにとって最も重要な物理過程であるMJ-SiBの解説を中心に述べる。さらに、利用者が使いやすいようNHRCMの出力変数名やファイルサイズについて記述する。また、風に関するデータを利用する時に気を付けなければいけない、投影法による座標変換について述べる。

次に第3章ではNHRCMの現在気候の再現性について述べる。まず気温再現性に関して、年平均気温はアメダス観測と比べほぼ全国的に $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 以内の誤差に収まっているが、高地や都市部では 3°C 程度の負バイアスが存在する。降水についても、ほとんどの観測点で20%以内のバイアスに収まっているが、日本海側と南西諸島で負のバイアスがあり、急傾斜では正のバイアスがある。その他、風や積雪などの再現性についても、親モデルである全球モデルと比べて高い再現性を得ることができた。いかにモデルの再現性が向上したといっても、モデルには多かれ少なかれバイアスが存在する。モデルの特徴を捉えることによって、より精度の高い将来予測を行うのに役に立てていただきたい。

NHRCMによる将来予測の結果については第4章で述べる。気温に関してはバイアス補正を施すことによって、より精度の高い将来予測をすることができた。特に、真夏日、真冬日の将来予測のように階級を予測する要素にとっては、バイアス補正は必須のものであった。月降水量に関しては、将来有意に変化している地域は少ないが、2月の太平洋側では有意に降水量が増加すると予測される。これは、将来冬型の気圧配置が緩み、太平洋上にあるストームトラックが北上するためと思われる。また積雪に関しては、現在気候で日本海側の過小評価が大きい、地域頻度解析の方法を応用することによって、より現実的であろうと思われる将来予測を行う事ができた。

格子間隔が細かくなると、だし風・おろし風・フェーン等の地域固有の気候現象の地球温暖化による変化の予測可能性に期待が高まってくる。そのいくつかの例について第5章で述べる。いずれの例においても、現在気候でこれらの現象が再現され、将来予測においても定性的な予測はある程度可能であるが、定量的再現性にはまだ問題があり、さらなるモデルの高分解能化が必要であることが分かった。

第6章では海面水温のパターン、雲物理過程、温室効果ガスによる放射強制力をさまざまに変化させ、複数の実験を行うことによって不確実性の幅を見積もった「地域気候変動予測データ」の解析結果について紹介する。気温はどのような計算条件でも将来有意に上昇し、放射強制力の大きなシナリオほど、より将来気温が上昇する量が多いことが分かった。年降水量に関しては将来変化が小さく、年々変動による幅の範囲内となった。

最後に次期モデルの再現性の向上が期待されるMJ-SiBの改良と都市キャノピーモデルの現在の開発状況について、第7章で紹介する。

Abstract

Study of the Regional Climate Model (RCM) has been conducted at the Meteorological Research Institute (MRI) since 1990. The current study introduces a description of the Non-hydrostatic Regional Climate Model (NHRCM) and the projection of future climate changes using the RCM.

Chapter 2 illustrates the projection system used in “The projection of future climate change due to global warming Vol 8” published by the Japan Meteorological Agency (JMA, 2013). The global model, which is the driving force for the NHRCM, is explained, and the NHRCM and the MRI/JMA Simple Biosphere model (MJ-SiB) are described. The names of output variables and file sizes are mentioned for users, and a coordinate transformation is described for using wind data.

Chapter 3 discusses the reproducibility of the NHRCM. The bias of temperature is almost within ± 1 degree at each observation site except at high mountainous and urban areas where the biases are approximately -3 degrees, as compared with Automated Meteorological Data Acquisition System (AMeDAS) observation. The precipitation ratio of NHRCM against AMeDAS is less than 20% at almost all observation points. However, there are somewhat large negative biases on the coast of the Japan Sea side and Nansei Island, and positive biases at steep slope areas. The reproducibility of wind and snow depth is also good as compared with the Atmospheric General Circulation Model (AGCM), which drives NHRCM. All models have more or less of some amount of biases. Capturing the features of the model is useful for conducting high accuracy projection.

Chapter 4 introduces projections using NHRCM. The projection of temperature is improved using the bias correction, which is more important for projecting the frequency of days when the temperature rises above 25°C , 30°C and so on. Total precipitation does not significantly change in almost all future months. However, monthly precipitation in February is projected to significantly increase. Winter monsoons are projected to weaken in the future, and a storm track located on the Pacific Ocean will shift northward. The shift of the storm track brings about the increase in precipitation along the coast of the Pacific Ocean. The underestimation of snow depth along the coast of Japan Sea side is resolved using the bias correction applying the regional frequency analysis, and reasonable projection of snow depth can be conducted.

The expectations for the predictability of local wind increase as the resolutions of models increase. Chapter 5 presents examples of predictability. All the phenomena investigated here are well reproduced in the present climate and projected qualitatively in the future. However, enhancing the resolution is necessary for the model to quantitatively project the phenomena.

The ensemble experiments for evaluating the uncertainty were conducted by the Ministry of Environment, Ministry of Education, Culture, Sports, Science & Technology and JMA. Chapter 6 presents the analyses of the experiments. The temperature is projected to increase in any calculation condition in the future. The rate of increase depends on the strength of the radiative forcing. The annual precipitation does not show distinct change in the future as compared to inter-annual variability.

Lastly, Chapter 7 describes progress for improving the MJ-SiB and urban canopy model. Both processes are considered to play important roles in increasing the degree of model perfection.