

地球温暖化による冬季日本海側地域の降水量変動に関する研究

2007年3月 修了 学籍番号 56722 指導教員 住明正教授

地球環境モデリング学分野 濱田太郎

キーワード：地球温暖化、降水量、日本海側地域、数値モデル、水収支解析

1、背景と目的

近年、社会的に地球温暖化問題は注目を浴びてきている。地球温暖化は、全球平均気温の増大のみならず、降水量の増大や氷河消失と海水膨張に伴う海面水位の上昇といった人類の存亡に関わる問題という認識が広まった為であろう。

一般に地球温暖化に関する研究は、数値モデルを利用して将来予測実験を行っている。しかし、計算資源の限界から、従来の数値モデルの解像度で地域気候の特徴を表すには、限界があった。たとえば、日本の気候は脊梁山脈の風上側と風下側で相違が大きいため、従来の数値モデルで表現することは難しかった。近年、地球シミュレーターの完成に伴い、その問題点を改善した高解像度な数値モデルが開発され、このような地域気候の特性をより正確に表すことが可能となった。

本研究の目的は、数値モデルによる実験結果を用いて、地球温暖化に伴う冬季日本海側地域の気候変化を調べることである。冬季の日本海側は、多量の降雪で特徴づけられる。温暖化の影響で降雪が降雨になることは容易に想像されるが、ここでは温暖化による降水量の増減とその理由に着目する。

2、使用データ

本研究は、東京大学気候システム研究センター、国立環境研究所および地球環境フロンティア研究センターの共同プロジェクトで開発された高解像度の大気海洋結合モデル（以降 K-1 モデル）による計算結果を利用した。K-1 モデルによる数値実験は、20 世紀再現実験と温暖化実験の 2 種類がある。前者は、実際に観測された大気組成濃度を与えて 1901 年から 2000 年までの 100 年間の積分計算し、後者は、IPCC(2001)で提示された A1B シナリオに基づく大気組成濃度を与えて 2000 年から 2100 年までの 100 年間の積分計算を行った。なお、ここで用いた実験における解像度は、大気側が格子間隔約 100km 相当で、海洋側が格子間隔約 20km である。ここでは、温暖化に伴う変化を温暖化実験の平均値から 20 世紀再現実験の平均値との差として見積もった。

3、結果

3-1: 気候値

K-1 モデルによる 20 世紀再現実験が、現実の日本付近の気候をどの程度表現しているか調べた。12 月から 2 月までの平均（以降冬季平均）の気候値でみると、冬季の日本付近に典

型的な西高東低の気圧配置、それに伴う強い季節風、さらに日本海側の降水が再現されていた。次に、K-1モデルによる温暖化に伴う変化を調べた。温暖化に伴って冬季日本海側地域の降水量は、顕著に減少した。日本付近を総観すると、このような降水量変化は気圧や風の場の変化と整合的である。まず、日本の西に張り出すシベリア高気圧は弱化した。そして、東側のアリューシャン低気圧は北へ移動した。この気候値の気圧配置の変化に伴い、日本海に吹き込む北西季節風も弱化した (図 1)。

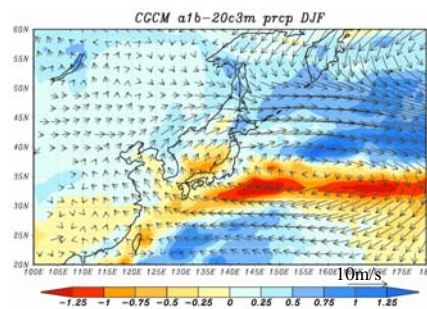


図 1: 冬季 (12 月から 2 月) の降水量 (色; 指標は下; 単位 mm/day) と 850hPa 面の風 (矢印; 基準の矢羽は右下) の温暖化変化。

3-2: コンポジット解析

日本海側地域の降水は、西高東低の気圧配置のとき以外にも、温帯低気圧の通過の場合も多い。ここでは、合成図解析により、日平均データを用いて、温暖化に伴う日本海側地域の降水量の減少がどのような気象現象によるものか調べた。1mm/day 以下を降水量の少ない日とし、標準偏差 $\sigma > 1$ のときを降水量の多い日として定義し、温暖化実験では、20世紀実験と同じ閾値を用いた。解析は、日本海側地域と太平洋側地域のそれぞれの地域について行った。日本海側と太平洋側の両地域で同時に降水が多い場合を「ストーム型降水」とみなし、日本海側で多く太平洋側で少ない場合を「西高東低型降水」とみなした。その結果、温暖化によって、西高東低型のケースで日数が降水量とともに減っていることが明らかとなった。一方、ストーム型の降水には変化が見られなかった。

3-3: 水収支解析

さらに、温暖化に伴う降水量減少の要因を水収支の観点から追求した。時間平均の水蒸気収支の式は、

$$\text{降水 } P \approx -\left(\frac{1}{g} \int \nabla \cdot \overline{q'v} dp + \frac{1}{g} \int \nabla \cdot \overline{q'v'} dp\right) + \text{蒸発 } E$$

で表される。右辺第 1 項は、鉛直積分した定常場の水蒸気フラックス収束であり、右辺第 2 項は擾乱による水蒸気フラックス収束である。温暖化に伴う変化を考えれば、前者は気候平均的な西高東低の気圧配置に代表される定常場の変化であり、後者は温帯低気圧に代表される擾乱活動の変化に伴うもの、と考えられる。図 2 をみると、日本海地域全体で定常的な水蒸気フラックス収束が弱まっている。一方、擾乱活動には、それほど大きな変化は見られなかった。

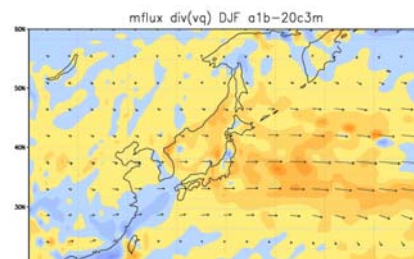


図 2: 冬季の定常場による鉛直積分した水蒸気フラックス収束 (色; 指標は下; kg/m2/s) と水蒸気フラックス (矢印; 基準は右下) の温暖化変化。

4. 結論

K-1 モデルによる高解像度数値実験を解析した結果、温暖化に伴って日本海側の降水が減少した。月平均場、日本の気象の特性に注目した合成図解析、ならびに水収支解析によって、ストームに伴う降水にはそれほどの変化がないため、温暖化に伴う日本海側の降水の減少は西高東低の気圧配置の弱まりが要因であることがわかった。

A study on precipitation change in winter along the Japan sea caused by global warming

Supervisor; Professor Akimasa SUMI

Mar.2007, 56722, Program of the Earth System Modelling, Taro HAMADA

Keywords: global warming, precipitation, the Japan Sea, numerical model, water budget analysis

1. Introduction

The global warming problem has been widely recognized by many people. It is actually a fatal issue that the human being is facing because the global warming lifts the sea surface level due to the sea water expansion and the glacier melting and may increase precipitation in some region.

Numerical model forecast experiments are performed in most of the global warming studies. A computational limitation, however, prevents us from performing the model experiments with a resolution enough to reproduce the regional climate. For example, a conventional model cannot well reproduce the Japanese regional climate, because the Japanese mountainous backborn makes a climatatic difference between its windward and leeward sides. Recent huge super-computors like “the Earth Simulator” as well as the sophistication of a model enables us to perform higher-resolution model experiment and obtain the results that may represent regional climatic characteristics more accurately.

The purpose of this research is to examine the global warming response of the winter climate in the windside of the Japanese backborn (W-side), the alongshore region of the Sea of Japan. The snowfall in the W-side is extremely large in winter. It is easily imagined that the global warming forcing would change the snowfall to the rainfall, but here we pay attention to the global warming response of the W-side precipitation and its related synoptic and global characteristics.

2. Data

We use the experiment result of the atmospheric and oceanic coupled high-resolution model jointly developed by Center for Climate System Research, the University of Tokyo, National Institute for Environmental Studies, and Frontier Research Center for Global Change (The model is hereafter called K-1 model). There are two kinds of numeric experiments: the 20th-century and the global warming experiments. The 20th-century experiment is the numerical integration from 1901-2000 under the observed atmospheric composition concentration. The global warming experiment is from 2001-2100 under the atmospheric composition based on the A1b scenario proposed by IPCC (2001). We note that the resolution of the model is ~100km for the atmosphere and ~20km for the ocean. The global warming change is estimated from the climatological difference between the two experiments.

3, Result

3-1: Climatology

First we check whether the 20th-century experiment can or cannot reproduce the realistic observed climate around Japan. Looking at the wintertime (Dec, Jan, and Feb) climatology, a typical weather chart called “west high and east low,” where the Siberian high and the Aleutian low are respectively located west and east of Japan, is well reproduced and this follows the heavy snowfall in the W-side.

The global warming response is next examined. The W-side precipitation is significantly decreased (Fig. 1). From the synoptic view point, this change is closely related to the change of the pressure and wind field around Japan. The Siberian high becomes weaker and the Aleutian low is

shifted to the north. Following the pressure field change, the wintertime monsoonal wind that blows above the Sea of Japan is weakened.

3-2: Composite analysis

From the point of view of the day-to-day weather chart, the large precipitation in the W-side is not only caused by the winter monsoonal wind, which can be seen in the monthly-mean picture, but also caused by the passage of the extratropical cyclone. Using the daily data, we here perform the composite analysis in order to examine an important weather phenomenon that decreases the W-side precipitation in response to global warming. Here, the less precipitation case is defined as < 1 mm/day, while the larger precipitation case is defined as more than one standard deviation. The composite analysis is applied to both 20th-century and global warming experiments, but the criterion of the larger precipitation case in the global warming experiment is same as in the 20th-century experiment. The analysis is based on the W-side as well as the leeside of the Japanese backbone (L-side), along with the Pacific Ocean. We regard the case where the larger precipitation simultaneously happens in the both W-side and L-side as the “storm passage type precipitation” and the case of the larger precipitation in the W-side and the less precipitation in the L-side as “the wintertime monsoonal precipitation type.” We find that, in the global warming experiment, there are much less days for “the wintertime monsoonal precipitation type” but there is no significant change in “the storm passage type.”

3-3: Water budget analysis

We furthermore analyze the water budget to think of the precipitation decrease in the W-side in response to global warming. The time average of the water vapor equation can be written as

$$\text{Precipitation : } P \approx -\left(\frac{1}{g} \int \nabla \cdot \overline{q'v} dp + \frac{1}{g} \int \nabla \cdot \overline{q'v'} dp\right) + \text{Evap.}$$

The 1st term of the rhs of the equation is the vertically integrated water vapor flux convergence by the stationary field. The 2nd term is the flux convergence by the transient field. The global warming change in the 1st term is thought to be the change of the stationary field such as the Siberian high and the Aleutian low, while that in the 2nd term is thought to be the change of the flux by transient phenomena such as the extratropical cyclone. Figure 2 shows the global warming response of the water vapor flux convergence in winter. The flux around the W-side is actually weaker in the global warming experiment. The change is not much in the transient flux convergence, however.

4. Conclusion

We have analyzed the high-resolution atmosphere-ocean coupled model experiments and found that the global warming forcing decreases the typical Japanese weather chart characterized by the strong wintertime monsoonal wind and following this the precipitation in the windside of Japanese mountainous backbone significantly decreases. Both the composite analysis using the daily data and the water budget analysis support this notion and also clarify the less importance of the storm activity change for the precipitation change around Japan.

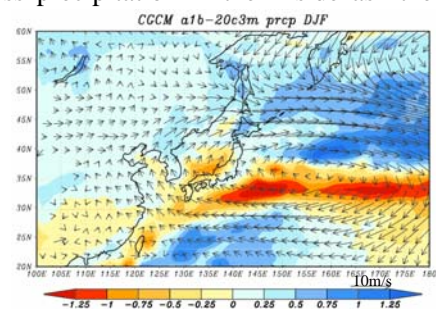


Figure 1: The global warming response of the wintertime (Dec, Jan, and Feb) climatological precipitation (shading; reference in the bottom; mm/day) and horizontal wind at 850 hPa (arrow; reference in bottom right).

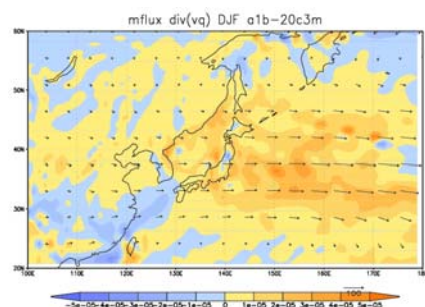


Figure 2: The global warming response of the vertically integrated water vapour flux convergence by the stationary wind field (shaded; reference in the bottom; kg/m2/s) and the vapor flux (arrow; reference in the bottom right) in winter.