

放射量連続観測と AMeDAS を利用した 宮城・山形・福島県北部における非静力学モデル放射量の評価

吉 田 龍 平*・沢 田 雅 洋**・山 崎 剛**・岩 崎 俊 樹**

要 旨

宮城県白石市立白石中学校において下向き短波放射，下向き長波放射を連続観測し，気象庁非静力学モデル (JMA-NHM) の1.5 km 格子放射量の評価を行った。JMA-NHM の下向き短波放射量は夏を中心にして過大であった。下向き長波放射量は過小であった。AMeDAS 白石の気温と比較すると，高温バイアスであった。これらの結果から，JMA-NHM による雲量の表現は過小であることが考えられる。雲量を増加させる感度実験の結果，高温バイアスの一部は放射誤差によって説明されることが明らかになった。また，AMeDAS で観測している日照時間を日平均短波放射量に変換し，短波放射量の検証を宮城・山形・福島県北部に対して行うと，下向き短波放射量の過大傾向は特定の地域によらず，いずれの AMeDAS サイトにおいても同様に認められた。より正確な放射量を表現するために，雲量の診断スキームの改良が望まれる。

1. 背景

数値予報において，地表面は大気の状態を制御する一要因である。地表面温度は主に熱収支によって決定され，生活に関わる地上気温の予測に大きく関与している。熱収支の構成要素として，下向き短波放射 (全天日射) と地表面で反射される上向き短波放射，下向き長波放射と上向き長波放射，顕熱フラックス，潜熱フラックスおよび地中伝導熱がある。このうち地表面に入射する放射要素には下向き短波放射と下向き長波放射がある。下向き短波放射量は気温の日変化を形成する主要因で気象現象の理解において重要な要素である。本放射量は日本全国の気象官署で連続観測が行われているが，下向き長波放射は一般の気象官署では観測されていない。下向き長波放射は雲量，気温，水蒸気量に応じて変化し，短波放射と比較して日変化は小さく，夏に最大，冬に最小値をとる。

これまで気象庁非静力学モデル JMA-NHM を用いた研究が降水量の再現実験 (Kawabata *et al.* 2007; Kanada *et al.* 2008) や降水時における大気場の構造解析 (Seko *et al.* 2008; Murata 2009) に対して行われており，ダウンスケーリングを用いることでより高解像度での数値計算が可能となっている。Sasaki *et al.* (2008) は Non-hydrostatic Regional Climate Model (NHRCM) を用いて 4 km 格子で関東を中心とした数値計算を行い，AMeDAS と比較した結果，年平均気温は0.8°Cの高温バイアスであることを示した。また，東北大学大学院 理学研究科 地球物理学専攻 流体地球物理学講座では，宮城県周辺の大気場や地上の気象状態量変動を理解するため，2006年6月より，JMA-NHM と力学的ダウンスケールを用いて1.5 km 格子での数値計算を行っている。

さて，入力放射量は気象状態量や循環を形成する要素であるため，検証が不可欠である。これまで JMA-NHM の下向き短波放射量の検証は行われており，相対湿度を雲量診断に用いた場合は最大100 W/m²程度の過小評価，雲物理過程を用いて雲を陽に計算した場合は200 W/m²程度の過大評価をすることが報告されている (長澤 2008)。また，解像度 5 km

* 東北大学大学院理学研究科。(現) 農業環境技術研究所大気環境研究領域。

** 東北大学大学院理学研究科。

—2011年2月7日受領—

—2011年5月12日受理—

での検証においては、雲物理過程に部分凝結を導入することの必要性が指摘されている (長澤 2006)。Nagasawa (2006) はこれまで雲の広がり が過剰であったスキームを改良し、外向き長波放射が衛星の観測値に近づくことを示した。土屋ほか (2007) では、メソスケール気候モデル MM5 を用いて大気放射スキームの差異が地表付近の風速場や気温場に与える影響を調べ、パラメタリゼーションの選定の仕方が気温、風速、短波放射量、長波放射量に対して大きな影響を与えることを示している。しかし、より解像度の高い 1.5 km 格子における数値計算に対しては放射量の検証が行われていないのが現状である。そこで、本研究は下向き短波放射量、下向き長波放射量の連続観測を行い、JMA-NHM の放射量を評価することで、1.5 km 格子の JMA-NHM の放射量計算における問題点を明らかにする。また、AMeDAS で観測されている日照時間のデータを用いて宮城・山形・福島県北部の短波放射量を推定し、他地点での短波放射量の評価も行う。

2. 方法

2.1 4 成分放射計による放射観測

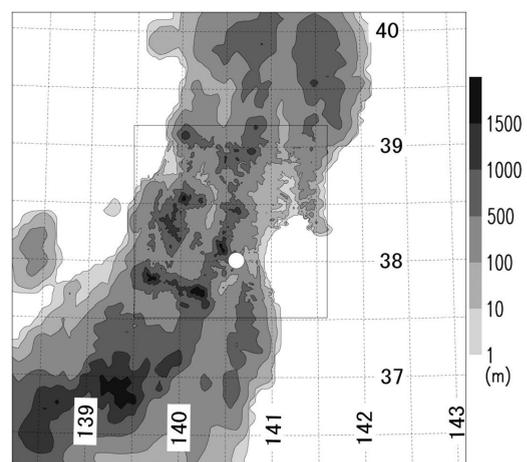
宮城県内において、全日放射量の直接観測が行われている気象官署は東部沿岸の仙台のみである。宮城県南西部での放射量データが未知のため、宮城県白石市立白石中学校 (北緯 38 度 00 分、東経 140 度 37 分) の屋上において、放射量の連続観測を行った。観測期間は 2007 年 12 月 4 日から 2009 年 7 月 7 日 (ただし、2008 年 4 月 25 日から 2008 年 6 月 28 日は欠測) の計 517 日である。

4 成分放射計 (MR-50, 英弘精機) を用いて、下向き短波放射量、長波放射量の連続観測を行った。測定は 1 秒間隔で行い、10 分ごとに前 10 分間における平均値を記録した。4 成分放射計は上向きと下向きの長短波放射量を測定することができるが、本研究においては測器の設営の都合上、下向きの長短波放射量のみを使用した。出力はデータロガー CR1000 (キャンベルサイエンティフィック社) で自動記録した。

2.2 非静力学モデル JMA-NHM

本論文で使用した数値モデルは気象庁・気象研究所で共同開発された JMA-NHM (Saito *et al.* 2007; 気象庁 2008) である。宮城県周辺の高解像度計算を行うため、計算領域は第 1 図に示すように水平解像度は 6 km (以下本解像度の計算を 6 km 実験と呼ぶ)

と 1.5 km (同 1.5 km 実験) で、仙台を中心として計算領域をそれぞれ 420 km 四方、180 km 四方とした。鉛直には 38 層の不等間隔格子を用い、最下層の格子間隔は 40 m で計算領域上端は 14.43 km である。地形は NASA で公開されている 3 秒角格子 (約 90 m) の標高データ (Shuttle Radar Topography Mission digital topographic data) から作成した。放射スキームには雲放射過程に対して北川 (2000) を、晴天放射過程に対して籾ほか (2005) を適用した。また、エアロゾルは衛星から得られた月別気候値 (光学的厚さ) の 2 次元分布を使用した。長波放射の計算には雲水量・雲氷量・雲粒有効半径から射出率を求め、雲量射出率の補正をしている。短波放射の計算には雲の光学的特性が反映されている。雲の積層構造は鉛直方向に隣り合う雲層は重なることを仮定する、マキシマム-ランダムオーバーラップを採用した。格子内の部分的な凝結 (雲) を表現するために、正規分布を仮定した確率密度関数を導入して計算された雲量を放射過程に用いた。確率密度関数の変動幅は液水温度や全水量の乱流による揺らぎの関数となっている。雲物理過程に雲水、雨水、雲氷、雪、あられの混合比を計算する手法を使用した。6 km 実験では格子以下の積雲の効果を表現する積雲対流パラメタリゼーションに Kain-Fritsch スキームを使用 (成田 2006) したが、1.5 km 実験では雲を陽に扱えるため、積雲対流パラメタリゼーションは用いていない。乱流混合過程には改良 Mellor-Yamada Level 3 を用いた (Nakanishi and



第 1 図 計算領域。外側が 6 km 実験、内側が 1.5 km 実験の領域である。陰影は標高を表す (m)。白丸は白石中学校。

Niino 2004, 2006). 6 km 実験の初期値・境界値には、気象庁から配信されるメソスケールモデル (MSM) の予報値を使用し、毎日00時 (JST) から27時間積分した。これを初期値・境界値として1.5 km 実験を毎日03時 (JST) から24時間積分した。6 km 実験から1.5 km 実験へのダウンスケールにおいては、6 km 格子で計算された雲物理量 (雲水, 雨水, 雲氷, 雪, あられ) が引き継がれている。海面水温は東北大学大学院 理学研究科 大気海洋変動観測研究センター 衛星海洋学分野 川村研究室で公開されている 0.05度 (約 5 km) 格子のデータを使用した (Guan and Kawamura 2004)。また、計算期間は2008年1月1日から2009年10月4日である。これらの設定による 1.5 km 格子での計算を *ctl* と呼ぶ。

3. AMeDAS 観測の日照時間を用いた他地域への展開

他地点での検証を行うため、AMeDAS で観測されている日照時間を用いて下向き短波放射量への変換を行った。近藤ほか (1991) によると、地表面に到達する下向き短波放射量の日平均値 S_d (W/m^2) は次式で与えられる。

$$\frac{S_d}{S_{0d}} = a + b \times \frac{N + \Delta N}{N_0} \quad (1)$$

$$= c \quad (2)$$

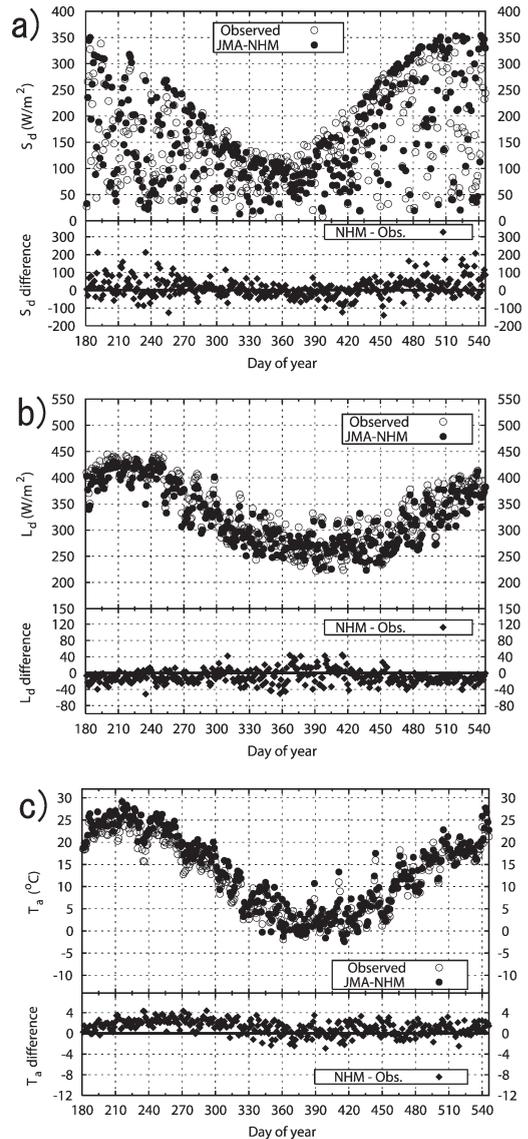
S_{0d} は大気上端に到達する短波放射量 (W/m^2) で幾何学的に決定される値、 N は AMeDAS で観測された一日の日照時間 (hr)、 N_0 は大気や雲による減光がなかった場合における最大の日照時間 (hr)、 a 、 b 、 c 、 ΔN はパラメータである。ただし、(1)式は $0 < N/N_0 < 1$ を満たす場合、(2)式は $N/N_0 = 0$ のときである。パラメータの値は、近藤 (1994) を参考に $a = 0.244$ 、 $b = 0.511$ 、 $c = 0.118$ 、 $\Delta N = 0$ を使用した。以降において、(1)、(2)式による下向き短波放射量の推定方法を日照時間法と呼ぶ。

4. 結果と考察

4.1 白石中学校における放射量観測

第2図 a は白石中学校で観測した下向き短波放射量と JMA-NHM (*ctl*) で計算された下向き短波放射量の日平均値の季節変化を示している。計算値の下向き短波放射量は夏を中心に過大評価であった。6、7、8月 (JJA) 平均の観測値は $151.4 W/m^2$ 、

JMA-NHM は $187.9 W/m^2$ で平均誤差は JMA-NHM が過大となる $36.5 W/m^2$ (観測値に対して 24.1%) であった。また、12、1、2月 (DJF) 平均の観測値は $89.1 W/m^2$ 、JMA-NHM は $74.5 W/m^2$



第2図 日平均放射量 (白石中学校) と気温 (AMeDAS 白石) の観測値と計算値。(a) 下向き短波放射量 (W/m^2)、(b) 下向き長波放射量 (W/m^2)、(c) 気温 ($^{\circ}C$)。いずれも差は JMA-NHM で計算された値から観測値を引いた値である。また、Day of Year の起点は2008年1月1日である。

で、平均誤差は -14.7 W/m^2 (同 -16.5%)であった。この傾向は仙台管区気象台で観測している全天日射量との比較でも同様で、JJA の仙台管区気象台での全天日射量は 163.3 W/m^2 、JMA-NHM は 199.6 W/m^2 (平均誤差 $+36.3 \text{ W/m}^2$)であった。DJF は仙台管区気象台において 108.7 W/m^2 、JMA-NHM は 97.5 W/m^2 (平均誤差 -11.2 W/m^2)であった。解像度による放射量誤差を検討するため、6 km 格子での計算値と比較すると、JJA の白石中学校における平均誤差は $+50.7 \text{ W/m}^2$ 、DJF は -7.9 W/m^2 であった。仙台管区気象台では JJA は $+46.0 \text{ W/m}^2$ 、DJF は -3.9 W/m^2 であった。

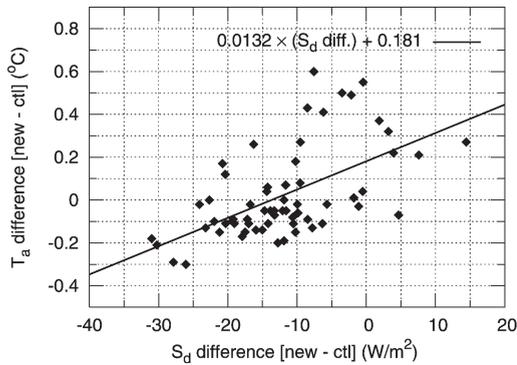
一般に、下向き短波放射量の値は雲量に応じて変化する。本論文で使用した JMA-NHM の設定においては、主に下層・中層雲の雲量に応じて地表面への下向き短波放射量が変化する。下向き短波放射量の観測結果から、JMA-NHM は白石中学校と仙台管区気象台において夏を中心として雲量の診断が過小、冬に関しては過大である可能性がある。一方で、JJA における 1.5 km 格子での二乗平均平方根誤差 (RMSE, 白石中学校 74.5 W/m^2 、仙台管区気象台 67.8 W/m^2) は 6 km 格子での RMSE (白石中学校 81.8 W/m^2 、仙台管区気象台 73.4 W/m^2) よりも小さい。これはダウンスケールによって雲分布の表現が改善されたことが要因と考えられる。しかし、1.5 km 格子の計算においても過大評価の傾向は変わらない。放射量予測が親モデル (6 km 実験) による影響を強く受けていることが示唆される。また、全対象期間において白石中学校における下向き短波放射量の観測値が快晴時における短波放射量 (大気上端における短波放射量 \times 係数、ただし係数は大気上端における短波放射量の季節変化のグラフが、観測値全体の包絡線となる値である) の 8 割以上かつ JMA-NHM の全雲量が 0.2 以下であったとき (晴れと定義) 計 68 日を抽出し、そのときの下向き短波放射量の比をとると、JMA-NHM は 4.6% の過大評価であった (観測値平均 245.4 W/m^2 、JMA-NHM 平均 256.6 W/m^2)。従って、晴天放射の誤差による短波放射量の過大評価への影響は雲量の診断による短波放射量への影響と比較すると小さいと考えられる。

次に、下向き長波放射量の比較を第 2 図 b に示す。短波放射量の傾向とは異なり、JMA-NHM の計算値は観測値に比べ過小評価であった。過小評価の傾向は夏が中心で、JJA の JMA-NHM 平均値は 395.7 W/

m^2 、観測の平均値は 409.5 W/m^2 、JMA-NHM の平均誤差は -13.8 W/m^2 であった。DJF には過小評価の傾向が弱くなり、JMA-NHM の平均誤差は -0.67 W/m^2 であった。多くの場合、下向き長波放射量は気温、雲量と正の相関を持つが、夏に関しては雲量の評価が過小であることが下向き長波放射量の過小評価の原因と考えられる。もし、夏の下向き長波放射量の過小評価の原因が気温であるとするならば、計算値は低温バイアスとなっていると考えられる。この場合、以降で示す AMeDAS 観測の気温との間で不整合となる (JMA-NHM は高温バイアスであった) ため、気温ではなく、JMA-NHM の雲量の診断が過小であると推察される。この傾向は下向き短波放射量の過大評価と整合する。一方で、DJF 平均の JMA-NHM による下向き長波放射量は観測値に近い値が得られた。これは、下向き短波放射量の過小評価にともなう気温の低温バイアスとローカルな場の放射では説明できない外部からの昇温要因である暖気移流による気温の高温バイアスがほぼ同程度になり、結果として JMA-NHM の下向き長波放射量が観測値に近い値になったと考えられる。

4.2 放射量の気温計算への影響

JMA-NHM で計算された気温を評価するため、AMeDAS 白石 (白石中学校から北西に 2 km) で観測している日平均の気温と JMA-NHM の気温を比較した。放射量観測地点と気温観測地点が異なる理由は二つあり、一つは白石中学校で気温観測を行わなかったこと、もう一つは、白石中学校 (直接観測) と AMeDAS 白石 (日照時間法による推定値) との間で日平均した下向き短波放射量の値に大きな差がなかったため (詳細は次節) である。以上の理由から AMeDAS 白石における気温データを白石中学校の代わりとして使用した。気温を比較した結果、JMA-NHM には季節を問わず高温バイアスがあることがわかる (第 2 図 c)。JJA では JMA-NHM は 1.5°C の高温バイアス、DJF では 0.3°C の高温バイアスであった。これまでの短波放射、長波放射量の議論から、夏を中心とする高温バイアスは雲量の過小評価が一つの原因と考えられる。以下でその検証をする。JMA-NHM の部分凝結スキームには、乱流スキームでは表現できない部分凝結の効果を取り入れるため、雲量の変動幅の下限値を調整するパラメータ (f_{\min}) が設定されている (詳細は原・永戸 (2008) の p. 134-135 を参照)。その f_{\min} を 0.09 から 0.11 へと変更した感度実

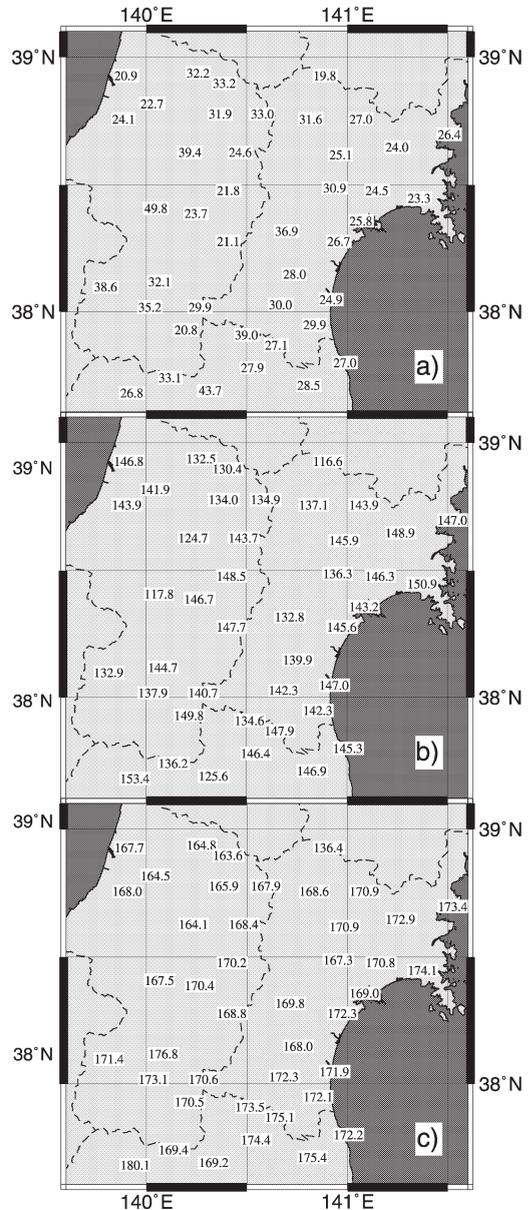


第3図 白石における下向き短波放射量の変化に対する気温の応答。new は $f_{\min}=0.11$ のとき、ctl は $f_{\min}=0.09$ のときを表す。

験 (new) を行い、下向き短波放射量の変化に対する気温の変化率を調べた。 f_{\min} を大きくすることにより、雲量の変動幅が大きくなり、雲量が増加することが期待される。なお、 $f_{\min}=0.09$ は経験的に決められた値である。第3図は、 f_{\min} の変更に伴う JMA-NHM の下向き短波放射量の変化に対する気温の変化を表している。期間は2008年6月29日から同8月31日までの64日間である。64日間平均で下層雲量は0.014、中層雲量は0.008増加し、 f_{\min} の変化に対する雲量変化が確認できた。下向き短波放射量の変化と気温の変化の間には正の相関が見られ、相関係数は0.57であった。図中の近似直線の切片が0でないのは、下向き短波放射は気温を決定する一要因であるが、暖気移流のような他の要因も存在することを示している。この期間における JMA-NHM (ctl) と放射観測との短波放射量差 (+25.6 W/m²) を近似直線にあてはめ、放射誤差による気温への影響を調べると +0.52°C であった。一方で JMA-NHM は AMeDAS 白石に対して 1.76°C の高温バイアスであり、約3割は放射誤差によって高温バイアスとなっていることがわかった。

4.3 日照時間法による短波放射量と計算値との比較

白石中学校における雲量の過小評価に伴う下向き短波放射の過大評価の傾向が、白石特有のものか、他地点でも見られるのかを調べるため、各地の AMeDAS 地点において日照時間法から推定した下向き短波放射量の日平均値と、JMA-NHM のそれとの比較を行った。まず、日照時間法による短波放射量が現地観測値を表しているかを調べるため、白石中学校で観測した



第4図 2008年1月2日から2009年10月4日における下向き短波放射量の平均値の差および推定値 (W/m²)。 (a) [JMA-NHM] - [AMeDAS 使用値]、 (b) [AMeDAS 使用値]、 (c) [JMA-NHM]。

短波放射量と AMeDAS 白石の日照時間法による推定値との比較を行った。その結果、日照時間法による下向き短波放射量の日平均値と4成分放射計を用いた直接観測の間には線形の関係が見られ、日照時間法で算

出した短波放射量と直接観測の短波放射量の差における平均値は -5.2 W/m^2 、RMSE は 25.1 W/m^2 であった。第4図は宮城県、山形県および福島県北部のJMA-NHM出力の短波放射量と、各 AMeDAS 観測地点（全44点）において日照時間法で算出した短波放射量との比較である。データは2008年1月2日から2009年10月4日までの全期間の平均値である。白石中学校の結果と同様、JMA-NHMの短波放射量は計算領域の全地点で過大評価であった（第4図a）。日照時間法による下向き短波放射量は 116.6 W/m^2 から 153.4 W/m^2 であるのに対し（第4図b）、JMA-NHMは 136.4 W/m^2 から 180.1 W/m^2 であった（第4図c）。また、内陸や沿岸による顕著な違いは見られない。全地点平均の日照時間法で算出した短波放射量は 140.4 W/m^2 、JMA-NHMの短波放射量は 170.0 W/m^2 であった。JMA-NHMの過大評価分は日照時間法による推定値の21%（ 29.6 W/m^2 ）であった。この傾向は白石中学校の現地観測値とJMA-NHMの間の関係と同様（4.1節参照）のものであるため、雲の計算が過小評価であることが一因と考えられる。JMA-NHMで算出された下向き短波放射量と日照時間法による短波放射量との差は、日照時間法を用いるかあるいは観測値を用いるかの手法の違いによる短波放射量の差の平均値よりも大きく、過大評価の傾向は、日照時間法によって算出された推定値を観測値の代わりとして使用したことによるものではないと考えられる。

5. 結論

2007年12月4日から2009年7月7日にかけて、宮城県白石市立白石中学校において下向き短波放射量と下向き長波放射量の連続観測を行った。目的は1.5 km格子で計算したJMA-NHMの放射量の評価を行うためである。その結果、JMA-NHMは夏を中心にして下向き短波放射量を過大評価していることが明らかになった。6 km格子、1.5 km格子の計算ではともに過大評価であったが、1.5 kmへのダウンスケールによって過大評価の傾向は一部改善された。また、下向き長波放射量は過小評価であった。白石市郊外に設置されている AMeDAS 白石の気温とJMA-NHMの計算結果の比較では高温バイアスの傾向があった。JMA-NHMの雲量変化に伴う放射量変化と気温変化との間には正の相関が見られ、JMA-NHMの高温バイアスの3割は下向き短波放射量の過大評価によって

説明されることが明らかになった。これらの結果から、1.5 km格子のJMA-NHMによる放射量計算は親モデル（6 km実験）に強く依存するとともに雲量の診断が過小であると考えられる。白石中学校で見られた短波放射量の過大評価の傾向を他の地域についても検証するため、経験式を用いて AMeDAS で観測されている日照時間から短波放射量の日平均値への変換を行った。JMA-NHMによる短波放射量の過大評価の傾向は宮城県、山形県および福島県北部で共通の傾向であり、地域による特性ではないと考える。より正確な放射量を表現するために、雲量の診断スキームの改良が望まれる。

謝辞

本研究を進めるに当たり、佐藤文則教諭をはじめとする宮城県白石市立白石中学校の皆様にご観測場所の提供、維持のご協力をいただいた。ここに深く感謝申し上げる。また、本研究は文部科学省の委託事業「気候変動適応研究推進プログラム」において実施された。改稿にあたっては、有益な助言を数多く下さった査読者と編集担当委員の方々に深く感謝申し上げる。

参考文献

- Guan, L. and H. Kawamura, 2004: Merging satellite infrared and microwave SSTs: Methodology and evaluation of the new SST. *J. Oceanogr.*, **60**, 905-912.
- 原 旅人, 永戸久喜, 2008: 乱流過程. 数値予報課報告・別冊第54号, 117-148.
- Kanada, S., M. Nakano, S. Hayashi, T. Kato, M. Nakamura, K. Kurihara and A. Kitoh, 2008: Reproducibility of maximum daily precipitation amount over Japan by a high-resolution non-hydrostatic model. *SOLA*, **4**, 105-108.
- Kawabata, T., H. Seko, K. Saito, T. Kuroda, K. Tamiya, T. Tsuyuki, Y. Honda and Y. Wakazuki, 2007: An assimilation and forecasting experiment of the Nerima heavy rainfall with a cloud-resolving nonhydrostatic 4-dimensional variational data assimilation system. *J. Meteor. Soc. Japan*, **85**, 255-276.
- 気象庁, 2008: 気象庁非静力学モデル II — 現業利用の開始とその後の発展—. 数値予報課報告・別冊第54号, 265pp.
- 北川裕人, 2000: 放射過程. 数値予報課報告・別冊第46号, 16-31.
- 近藤純正編著, 1994: 水環境の気象学—地表面の水収支熱収支—. 朝倉書店, 348pp.

- 近藤純正, 中村 亘, 山崎 剛, 1991: 日射量および下向き大気放射量の推定. 天気, 38, 41-48.
- Murata, A., 2009: A mechanism for heavy precipitation over the Kii Peninsula accompanying Typhoon Meari (2004). J. Meteor. Soc. Japan, 87, 101-117.
- Nagasawa, R., 2006: Improvement of a radiation process for the non-hydrostatic model. In 12th Conference on Atmospheric Radiation, 2-10.
- 長澤亮二, 2006: 放射計算を利用した気象庁非静力学モデルの雲調査. 第8回非静力学モデルに関するワークショップ講演予稿集, 29-30.
- 長澤亮二, 2008: 放射過程. 数値予報課報告・別冊第54号, 149-165.
- Nakanishi, M. and H. Niino, 2004: An improved Mellor-Yamada Level-3 model with condensation physics: Its design and verification. Bound.-Layer Meteor., 112, 1-31.
- Nakanishi, M. and H. Niino, 2006: An improved Mellor-Yamada Level-3 model: Its numerical stability and application to a regional prediction of advection fog. Bound.-Layer Meteor., 119, 397-407.
- 成田正巳, 2006: 気象庁非静力学モデルに組み込んだ Kain-Fritsch 対流スキームの改良について. 第8回非静力学モデルに関するワークショップ講演予稿集, 31-32.
- Saito, K., J. Ishida, K. Aranami, T. Hara, T. Segawa, M. Narita and Y. Honda, 2007: Nonhydrostatic atmospheric models and operational development at JMA. J. Meteor. Soc. Japan, 85B, 271-304.
- Sasaki, H., K. Kurihara, I. Takayabu and T. Uchiyama, 2008: Preliminary experiments of reproducing the present climate using the Non-hydrostatic Regional Climate Model. SOLA, 4, 25-28.
- Seko, H., S. Hayashi, M. Kunii and K. Saito, 2008: Structure of the regional heavy rainfall system that occurred in Mumbai, India, on 26 July 2005. SOLA, 4, 129-132.
- 土屋直也, 大岡龍三, 黄 弘, 川本陽一, 佐々木 澄, 山中 徹, 飯塚 悟, 浦野 明, 大塚清敏, 富塚孝之, 2007: 都市気候解析のための MM5 におけるパラメタリゼーションの相互比較 (その4) 大気放射スキームの差異の影響. 日本建築学会大会学術講演梗概集, 787-788.
- 籾 将吉, 村井臣哉, 北川裕人, 2005: 晴天放射スキーム. 数値予報課報告・別冊第51号, 53-64.

Verification of Nonhydrostatic-model Simulated Radiation Using In Situ Observational Data in Miyagi, Yamagata and North Part of Fukushima Prefectures

Ryuhei YOSHIDA*, Masahiro SAWADA**, Takeshi YAMAZAKI**
and Toshiki IWASAKI**

* (Corresponding author) Graduate School of Science, Tohoku University, 6-3, Aoba, Aramaki, Aoba, Sendai, Miyagi, 980-8578, Japan (Present affiliation: Agro-Meteorology Division, National Institute for Agro-Environmental Sciences, 3-1-3, Kannondai, Tsukuba, Ibaraki, 305-8604, Japan).

Email: ryuhei@affrc.go.jp

** Graduate School of Science, Tohoku University, 6-3, Aoba, Aramaki, Aoba, Sendai, Miyagi, 980-8578, Japan.

(Received 7 February 2011; Accepted 12 May 2011)
