力学モデルによる近未来気候の超高解像度ダウンスケールシミュレーション

課題責任者
山崎　剛　　東北大学　大学院理学研究科

著者
丸谷　靖幸　　岐阜大学　流域圏科学研究センター
原田　守啓　　岐阜大学　流域圏科学研究センター
杉本　志織　　海洋研究開発機構　シームレス環境予測研究分野
川瀬　宏明　　気象庁　気象研究所
佐々井　崇博　　東北大学　大学院理学研究科
山崎　剛　　東北大学　大学院理学研究科

地球シミュレータを利用して、1980 年から 2010 年までの気象庁 55 年長期再解析（JRA55）及び地域気候モデルを用いた大規模気候アンサンブル実験（d4PDF）の 12 メンバーを 5km 格子間隔の地域気候モデル (NHRCM) を用いてダウンスケーリングした。5km 実験は d4PDF の 20km 実験に比べて中部山岳周辺の降水の再現性が向上した。20km 実験は中部山岳の細かな地形を解像できないことから、山岳斜面で発生する降水を再現することができず、連続無降水日が過大に評価されると考えられる。一方、地域気候モデルの空間解像度の違いが洪水予測へ与える影響について比較したところ、高解像度化することで降雨分布が定性的、定量的に再現性を高めることが分かった。5km 実験の特定事例をもとに 2km、1km 格子間隔の実験を行ったところ、降雨分布、及び流出解析結果に大きな差はなかった。降雨分布を段階的に粗視化した流出解析を行い、1km 実験の降雨分布の空間解像度の違いが分布型流出モデルによる洪水予測へ与える影響について検討した結果、降雨分布の空間解像度がピーク流量へ与える影響は、NHRCM の空間解像度の違いと比較して小さかった。

キーワード：力学力学ダウンスケーリング, 空間解像度依存性, 無降水日, 洪水予測, 分布型流出モデル

1. はじめに

本課題では、地球シミュレータ上で計算された「地域気候モデルを用いた大規模気候アンサンブル実験（d4PDF）」の結果をもとに、格子間隔 5km の地域気候モデル（NHRCM）による更なるダウンスケーリングを行う目的で、日本付近の高解像度アンサンブル過去気候再現実験、及び２度上昇実験を実施している。5km 格子間隔の計算では、20km 格子間隔の d4PDF では不十分であった日本の詳細な地形を解像できるため、局地気候の再現が可能となる。1000 年を超えるアンサンブル実験を行うことにより、極端に強い雨や雪、高温などの極端現象の再現や予測が可能となった。昨年度は、本課題で実施した計算結果をもとに冬季の強い降雪の出現特性を明らかにした [1]。今年度は夏季の降水に着目し、弱い降水も含めた降水頻度の解析と豪雨に分けて、解像度依存性に着目した解析を行った。降水頻度については、農業や水資源等で重要な項目である連続無降水日数の解析を実施した。特に、降水に対する総観規模擾乱の影響が比較的小さい８月を対象とする。豪雨については、豪雨事例の洪水流出解析の精度向上を目的として、気候モデルの解像度依存性を調べた。具体的には、東海地方に位置する木曽川水系長良川流域における過去に発生した洪水事例を対象として、再解析データを基に力学ダウンスケーリング実験（力学 DS 実験）を行った。解像度の異なるデータを流出解析のインプットとしてアウプットの比較を行い、空間解像度の違いが洪水予測へ与える影響を調べた。さらに、高解像度モデルの結果を基に粗視化実験を行うことで、降雨分布が流出に与える影響も検討した。

2. 研究手法

2.1 力学 DS を用いた実験

本課題では 1980 年から 2010 年までの気象庁 55 年長期再解析（JRA55）[2] 及び地域気候モデルを用いた大規模気候アンサンブル実験（d4PDF）12 メンバーから、気象庁気象研究所の非静力学地域気候モデル（NHRCM）[3] を用いた力学的ダウンスケーリングを実施した。格子間隔は 5km である（DS5km）。東アジア域の境界値を入力として、日本中心部のダウンスケーリング実験を実施した（図 1）。JRA55 の 5km 計算における側面境界データは、d4PDF と同様の 20km 格子間隔でのダウンスケーリング（DS20km）により作成した。5km 実験の積分期間は 7 月 24 日から翌年 8 月 30 日までとした。NHRCM の物理過程は、既存の 20km 実験 [4]、および 5km 実験 [1] とそれぞれ同じ設定である。

過去に長良川流域で発生した極端事象を対象として、格子間隔 2km、および 1km 実験（DS2km, DS1km）を行なった。気候モデルの物理過程は 20km 実験と同様の設定を行った [4]。実際に長良川流域で発生した洪水事例 13 ケー

スを対象にスピンアップ期間を含んだ 12 日積分で解析し（表 1）、空間解像度が流出解析に与える影響を評価した。

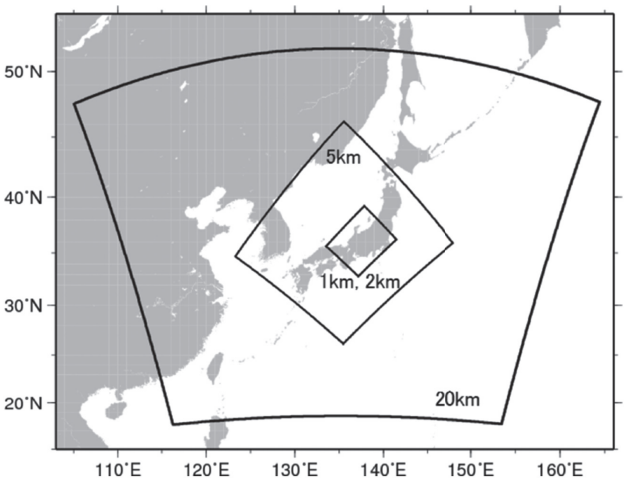

図 1　計算領域。1km と 2km は同様の領域。

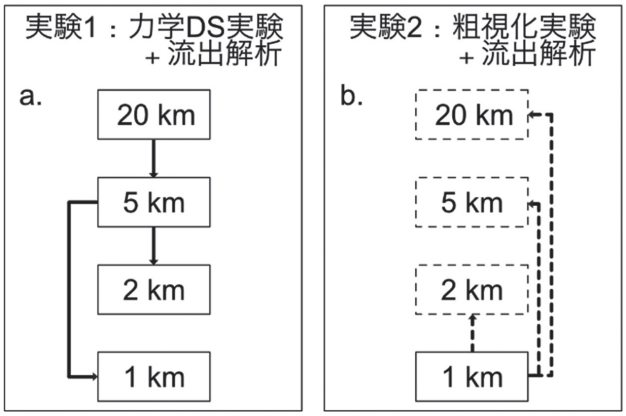

図 2　流出解析を含めた実験設定。(a) 実験 1、(b) 実験 2。

表 1　長良川流域で発生した洪水イベント

Case number	洪水イベント	気象場
Case01	1983/9/27	台風＋前線
Case02	1985/6/29	台風
Case03	1989/9/5	前線
Case04	1990/9/17	台風直撃
Case05	1992/8/12	台風
Case06	1995/7/2	前線
Case07	1997/11/25	台風なし
Case08	1998/7/27	台風なし
Case09	1999/9/14	前線＋台風
Case10	2002/7/9	前線＋台風
Case11	2004/10/19	台風直撃
Case12	2006/7/17	前線
Case13	2009/7/26	前線

2.3　無降水日の選定

1981 ～ 2011 年の 8 月を対象として各実験で計算された時間降水量をもとに日降水量を算出し、連続無降水日を調べた。無降水日は降水量が 1mm day^{-1} 未満の日、最大連続無降水日数は各年の 8 月の中で最長となる連続無降水日数期間として、それぞれ定義した。観測データには、APHRODITE[5][6] を用いる。

2.4　洪水評価の研究対象流域と流出モデルの概要

岐阜県を流れる木曽三川の 1 つである長良川流域を対象とした（図 3）。長良川流域は、木曽三川の中で唯一の河川法で規定されるダムが存在しない流域である。流域面積は 1,985km^2、流路延長は 166km、流域内人口は約 84 万人であり、洪水などを緩和する機能を持つダムが存在しないため、本流域において気候変動が洪水等の発生頻度、規模へ与える影響を評価することが非常に重要である。

空間分解能の違いが洪水予測へ与える影響について検討するため、既存の洪水予測で良好な再現性が示されている、分布型流出モデル 1K-DHM[7][8] を用いて流出計算を行う。1K-DHM は、標高（Digital Elevation Model）、および流下方向データ（Flow Direction）により流域を斜面グリッドおよび河道グリッドに区分し、斜面グリッドでは不飽和・飽和中間流・地表面流を考慮した Kinematic-wave モデル、河道グリッドでは地表面型の Kinematic-wave モデルで流出計算が行われる [9]。

長良川流域で洪水が発生した年に着目し、分布型流出モデルのキャリブレーションおよび検証を行った。流出モデルのパラメータは 2004 年 7 月に発生した洪水を対象として、国土交通省により計測されている忠節地点（緯度 35.43N、経度 136.75E、図 3）における観測流量を与え、SCE-UA 法 [10] によって同定した。

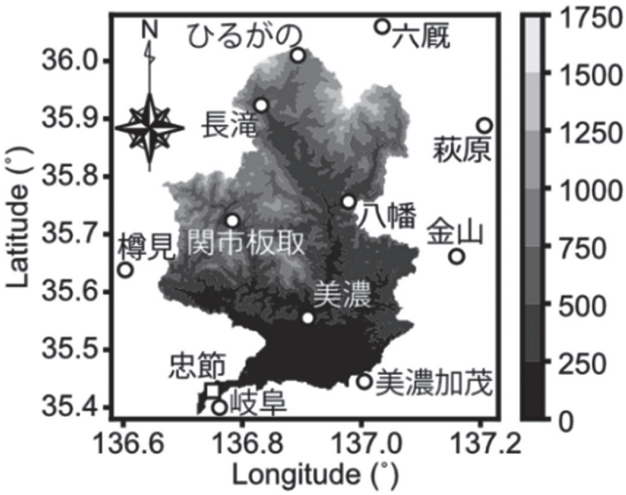

図 3　長良川流域と流量および AMeDAS 観測地点。
□：流量観測地点、○：AMeDAS 観測地点。（単位は m）。

3. 連続無降水日の解像度依存性

DS5km で再現された 8 月の最大連続無降水日数は、観測結果と概ね対応した（図 4a, b）。一方、DS20km では最大連続無降水日数が中部山岳上で過大、山岳周辺域で過小

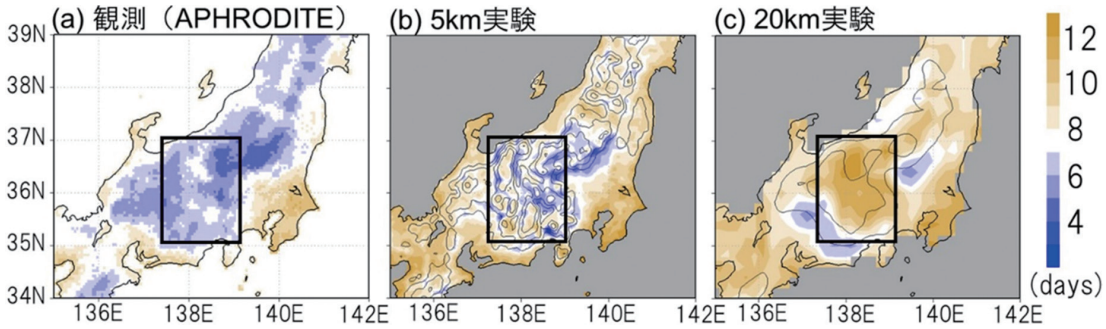

図 4　31 年平均した 8 月の最大連続無降水日数。(a) 観測データ（APHRODITE）、(b) DS5km、(c) DS20km。各実験において標高を 500 m a.s.l. に細実線で示す。海域は灰陰影でマスクアウトした。四角枠（北緯 35 ～ 37 度、東経 137.5 ～ 139 度）は中部山岳域を示す（[11] を加筆修正）。

になった（図 4c）。数値実験の降水は水平分解能によらず、山岳斜面にて頻繁に発生する傾向がある。DS5km では細かい山谷地形が適切に表現されたため、内陸山岳斜面でも降水が発生するようになり、結果として DS20km で過大に再現されていた連続無降水日数が低減したと考える。

DS20km で再現された中部山岳域の最大連続無降水日数が DS5km と比較して 5 日以上過大である年（1982, 1997, 2000, および 2010 年）を抽出し、日平均地上気温などについて実験間の差分を調べた。DS5km と DS20km に対して 4 年分の日平均地上気温を合成し、気候値（対象とする 31 年間の平均値）からの偏差を算出した。この偏差から DS5km と DS20km との間の差を計算した。水平分解能はそれぞれ 0.2 度に空間内挿した。DS20km と比較して、DS5km では山岳上での下向き短波放射量が減少し、合わせて正味放射量も減少した（図 5a）。この傾向は、最大連続無降水日数の低減、すなわち降水頻度の増加と対応する。正味放射量の減少に伴って顕熱・潜熱フラックスが減少し、日平均地上気温が 0.2 ～ 0.3K 程度低下した（図 5b）。

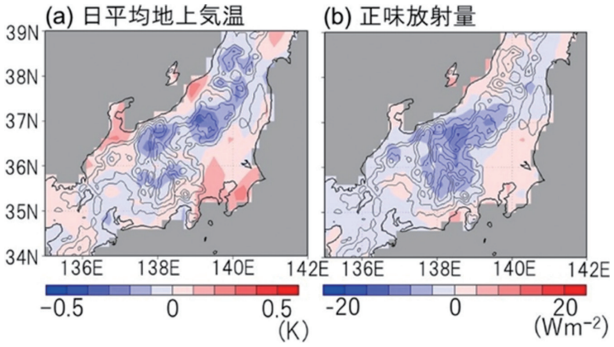

図 5　中部山岳域において DS5km と DS20km で再現された最大連続無降水日数の差異が大きい年を対象とした (a) 日平均地上気温、(b) 正味放射量の差分。細実線にて DS5km で用いた標高を 500 m a.s.l 毎に示す。海域は灰陰影でマスクアウトした（[11] を加筆修正）。

4. 力学 DS 実験の空間解像度が流出解析に与える影響の検討

気候変動影響評価研究で利用される GCMs を流域スケールにおける流出解析へ適用する際の適切な分解能について、降雨分布をもとに検討を行う。1 つ目の実験として JRA-55 を境界条件とした力学 DS 実験結果を流出解析へ利用することで、領域気候モデルが洪水流出へ与える影響を評価する。

4.1　力学 DS 実験による降雨分布の検証

力学 DS 実験による降雨分布を気象庁のレーダーアメダス解析雨量と比較し、極端事象の再現性を確認した。力学 DS 実験の精度検証には、レーダーアメダス解析雨量が水平格子間隔 1km で捉えた 2006 年 7 月洪水事例を対象とする。検証は、洪水発生日の 2006 年 7 月 17 日を含む 2006 年 7 月 12 日から 22 日の計 11 日間の累積降水量を用いた（図 6、図 7）。

力学 DS 実験の境界値である JRA-55 60km（図 6b）は、観測値（図 6a）と比較してやや過小評価であったが、概ね降水分布を再現できた。DS20km（図 6c）では、降水分布が観測値に近付いてはいるものの、沿岸域および山岳部付近で大きく過大評価した。本研究の対象流域周辺に着目した降水分布を確認したところ、DS20km や DS5km では流域の北側で発生していた強降雨が力学 DS 実験による高解像度化で段階的に減少した（図 7）。さらに DS20 km で発生している流域南東における降雨が減少し、流域中流部における降水量が高解像度化されるに従って観測値に近付いた。

4.2　力学 DS 実験を入力値とした流出解析

高空間解像度の力学 DS 実験には多くの計算リソースを要するため、流出解析の精度と空間解像度とのバランスを考慮した実験デザインを描く必要がある。そこで、長良川流域における豪雨事例 13 例について DS20km、DS5km、DS2km および DS1km 実験を行い、降水分布による流出計算やピーク流量に関する観測値との比較を行った（表 1、図 8）。計算期間は洪水発生日を中日とした 10 日間とした。最も粗い解像度である DS20km のケースでも、観測値におけるピーク流量を概ね良く再現できることがわかった。また、DS20km から DS5km、DS2km、DS1km と高解像度化するほど、計算値が観測ピーク流量に近付いた。DS2km、DS1km に着目すると、解析結果は観測値に対して良好な再現がなされたケースと、大きく過小評価されたケースが見られた。DS2km と DS1km 実験を比較

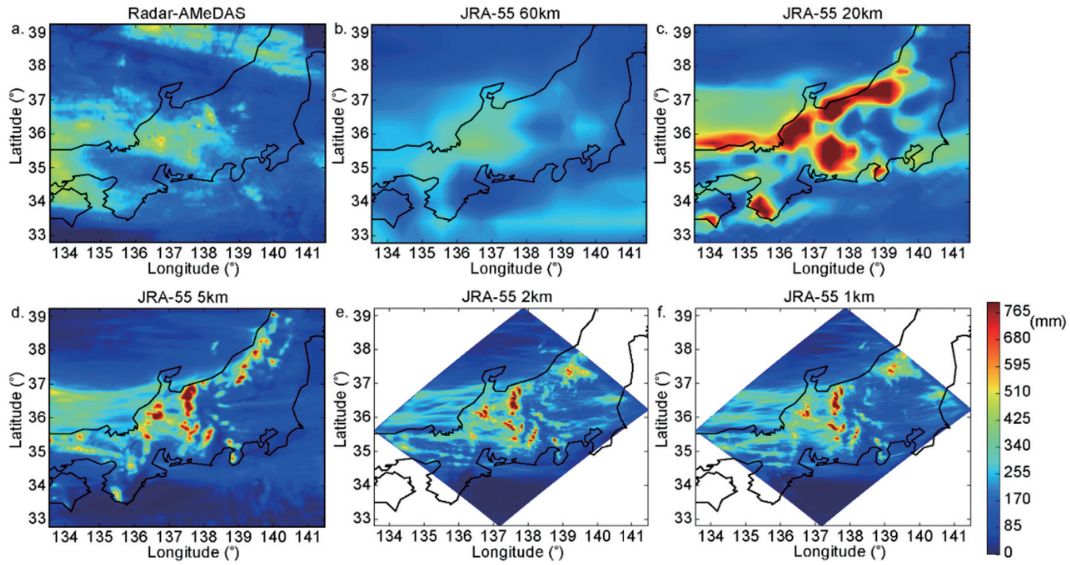

図 6　2006 年 7 月 12 日世界標準時 0 時（日本時間 12 日 9 時）から 7 月 22 日世界標準時 23 時（日本時間 23 日 8 時）における (a) 気象庁レーダーアメダス解析雨量、JRA-55(b)60km、(c)DS20km、(d)DS5km、(e)DS2km、(f)DS1km の日本周辺における累積降雨量。

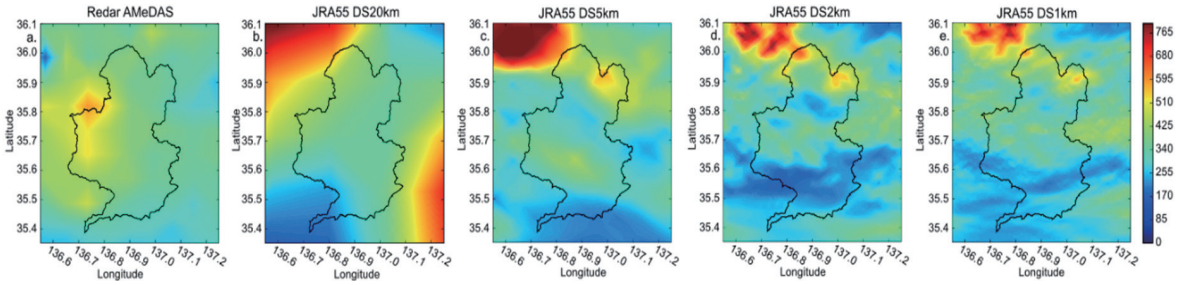

図 7　長良川流域周辺における 2006 年 7 月 12 日世界標準時 0 時（日本時間 12 日 9 時）から 7 月 22 日世界標準時 23 時（日本時間 23 日 8 時）における (a) 気象庁レーダーアメダス解析雨量、JRA-55(b)DS20km、(c)DS5km、(d)DS2km、(e)DS1km の日本周辺における累積降雨量（単位は mm）。

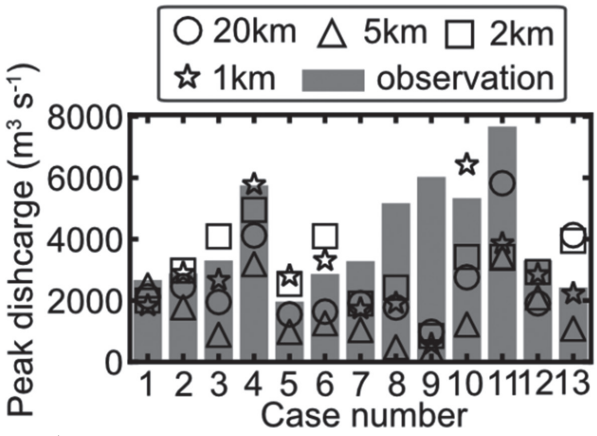

図 8　各洪水イベントにおける JRA-55 DS20km、DS5km、DS2km、DS1km 実験を用いた流出計算結果および観測値によるピーク流量の比較

すると、計算値は数 % から約 30% 程度の差はあるものの、ほぼ同様な値が得られた。流出計算を目的とした力学 DS 実験では、計算コストの大きい DS1 km 実験で少ないケース数を計算するよりも、DS2km 実験でケース数を増やす方が有用であると考えられる。

4.3　降雨分布の空間解像度が流出解析に与える影響の検討

前章において、異なる空間解像度の力学 DS 実験による降雨分布を入力条件とした流出解析結果の比較を行った。しかし、力学 DS 実験による空間解像度の変化を評価するには、力学 DS 実験の境界条件である地形等の高解像度化に伴う領域気候モデルの応答による影響だけでなく、力学 DS 実験による降雨分布を流出モデルへ入力する際の水文過程に与える影響などを踏まえた検討もする必要がある。そこで、力学 DS 実験による最も高解像度な力学 DS 実験結果（DS1km）をベースに段階的に粗視化（平均化）して 2km、5km、20km の降雨分布を作成し、これらを流出モデルへ入力することで降雨分布の空間解像度が水文過程へ与える影響を評価した（以下、粗視化実験）（図 1b）。

粗視化実験によって得られたピーク流量を図 9 に示す。DS1km をベースとした粗視化実験では 2 km 粗視化実験に誤差がみられるものの、降雨の空間解像度による違いを総合的に見ると、ピーク流量に与える影響はあまり大きくないことがわかった。DS1km による計算結果を基準に相対誤差を計算したところ、数 % から約 40 % であった。全ケースの平均では約 10 % であることから、降雨分布の空間解像度が流出解析に与える影響は概ね小さいと判断できる（図 10）。既存研究の立川らの結果 [9] よりも全ケースでの

平均相対誤差が小さくなった要因として、立川らが対象とした流域（211 km^2）に対し、本研究で対象とした長良川流域（1985 km^2）が非常に大きいことが考えられる。

いくつかのケースでは、2km 粗視化実験において誤差が生じていることが分かる（図 9、図 10）。強い降雨が粗視化実験のベースである DS1km において連続的ではなく、まばらに発生することが原因で、2km 粗視化実験では弱い降雨になったと考えられる。一方、5km や 20km の粗視化実験では、平均化したグリッド内に比較的強い降雨のグリッドが存在したため、作成された降雨分布によるピーク流量が過小評価されなかった。DS1km の雨域が実際の現象を再現していることや、粗視化することで作成される降雨分布の雨域が DS1km と類似していることが、流出解析結果には重要であることがわかった。

領域気候モデルによって計算された異なる空間解像度の降雨が洪水流出に与える影響、および粗視化実験による降雨分布の空間解像度が水文過程へ与える影響を評価した。力学 DS 実験と粗視化実験による流出解析結果を比較すると、粗視化実験は力学 DS 実験よりもばらつきが小さいことが分かる（図 8、図 9）。これは、降雨分布の空間解像度よりも領域気候モデルによる降雨の再現性の方が、洪水のような流出解析には重要であることを示す。

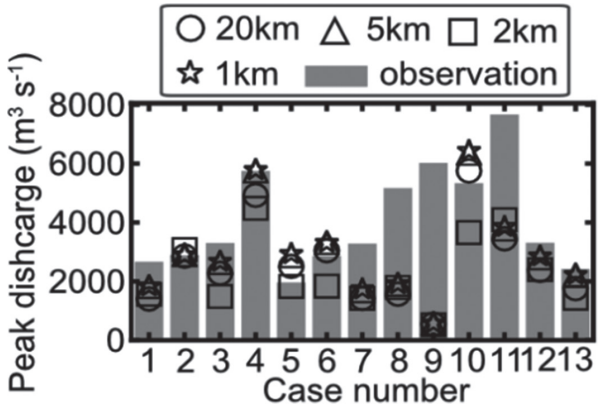

図 9　各洪水イベントにおける JRA-55 DS1km をベースに粗視化した 2km、5km、20km および観測値によるピーク流量の比較。

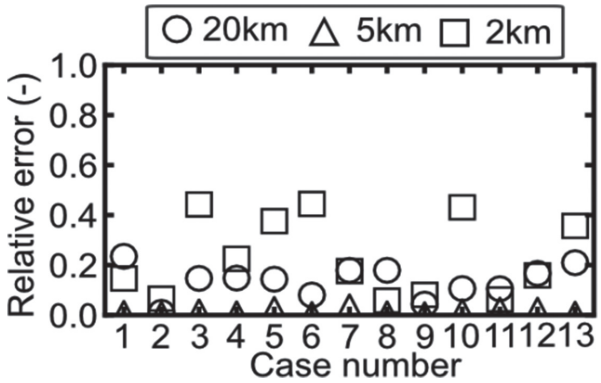

図 10　各洪水イベントにおける JRA-55 DS1km を真値とした DS1km をベースに粗視化した 2km、5km および 20km のピーク流量の相対誤差

5. まとめ

格子間隔 20km ～ 1km までの力学 DS 実験の結果を解析し、夏季の連続無降水、及び豪雨に伴う洪水予測における空間解像度依存性について検討を行った。連続無降水日は、DS20km では中部山岳の細かな地形を解像できないことから、山岳斜面で発生する降水を再現することができず、連続無降水日が過大に評価された。一方、力学 DS 実験による降雨分布の比較を行った結果、高解像度化するほど観測値の降雨分布と良く一致した。2km、1km 実験では、力学 DS 実験の結果に見られる降雨分布や流出解析結果に大きな差が見られなかった。最後に、DS1km の降雨分布を段階的に粗視化した流出解析を行い、降雨分布の空間解像度の違いが分布型流出モデルによる洪水予測に与える影響を調べた。その結果、降雨分布の空間解像度がピーク流量へ与える影響よりも、力学 DS 実験の空間解像度の方が大きな流出解析に大きな影響を与えることがわかった。一部のケースでは DS1km よりも粗い解像度の計算値の方が観測ピーク流量に近い結果を示している場合があった。また、境界条件となる DS20km の降雨分布が洪水を引き起こす強降雨を生じさせるケースでは、更なる高解像度化を施しても同様に強降雨が発生する。力学 DS 実験で捉えられる降雨イベントでは、まず側面境界データをもとに降雨分布や気象場を確認し、どのような気象条件における事例を対象とするかを検討した上で、モデル実験デザインや流出解析の手法を決める必要がある。

謝辞など

本研究は、文科省・気候変動適応技術社会実装プログラム（SI-CAT）の支援を受けて行われた。

文献

[1] Kawase, H., T. Sasai, T. Yamazaki, R. Ito, K. Dairaku, S. Sugimoto, H. Sasaki, A. Murata, and M. Nosaka, Characteristics of synoptic conditions for heavy snowfall in western to northeastern Japan analyzed by the 5-km regional climate ensemble experiments. *J. Meteor. Soc. Japan*, **96**. 161-178, 2018.

[2] Kobayashi, S., Ota, Y., Harada, Y., Ebita, A., Moriya, M., Onoda, H., Onogi, K., Kamahori, H., Kobayashi, C., Endo, H., Miyaoka, K. and Takahashi, K. : The JRA-55 Reanaly-sis: General specifications and basic characteristics. Journal of Meteorological Society of Japan, Vol.93, pp.5-48, 2015, doi:10.2151/jmsj.2015-001.

[3] Sasaki, H., K. Kurihara, I. Takayabu, and T. Uchiyama, Preliminary experiments of reproducing the present climate using the non-hydrostatic regional climate model, *SOLA*, **4**, 25-28, 2008.

[4] Murata, A., Sasaki, H. , Kawase, H., Nosaka, S., Aoyagi, T., Oh'izumi, M., Seino, N., Shido, F., Hibino, K., Ishihara, K., Murai, H., Yasui, S., Wakamatsu, S., and Takayabu, I. 2017: Projection of future climate change over Japan in ensemble simulations using a convection-

permitting regional climate model with urban canopy, SOLA, 13, 219-223.

[5] Kamiguchi, K., O. Arakawa, A. Kitoh, A. Yatagai, A. Hamada, and N. Yasutomi, Development of APHRO_JP, the first Japanese high-resolution daily precipitation product for more than 100 years. *Hydrol. Res. Lett*., **4**, 60-64, 2010.

[6] Yatagai, A., K Kamiguchi, O. Arakawa, A. Hamada, N. Yasutomi, and A. Kitoh, APHRODITE: Constructing a longterm daily gridded precipitation dataset for Asia based on a dense network of rain gauges. *Bull. Amer. Meteor. Soc*., **93**, 1401-1415, 2012.

[7] 丸谷靖幸，Matthew R. Hipsey，渡部哲史，Sri Adiyanti，立川康人：水文気象データが乏しい流域を対象とした気候変動影響評価手法の検討，土木学会論文集 B1（水工学），72-4，37-42，2016.

[8] Tanaka, T. and Tachikawa, Y., 2014, Testing the applicability of a kinematic wave-based distributed hydrologic model in two climatically contrasting catchments, Hydrological Science Journal, DOI:10.1080/02626667.2014.967693.

[9] 立川康人，永谷言，寶馨：飽和，不飽和流れの機構を導入した流量流積関係式の開発，水工学論文集，48，7-12, 2014.

[10] Duan, Q., Sorooshian, S. and Gupta, V. K. : Optimal use of the SCE-UA global optimization method for calibrating wa-tershed models, Journal of Hydrology, Vol.158, pp.265-284, 1994, DOI:10.1016/0022-1694(94)90057-4.

[11] Sugimoto, S., R. Ito, K. Dairaku, H. Kawase, H. Sasaki, S. Watanabe, Y. Okada, S. Kawazoe, T. Yamazaki, T. Sasai, Impact of spatial resolution on simulated consecutive dry days and near-surface temperature over the central mountains in Japan. *SOLA*, **14**, 46-51, 2018.

Estimation of Spatial Patterns of Extremely Heavy Snowfall using High-resolution Regional Climate Ensemble Experiments

Project Representative
Takeshi Yamazaki Graduate School of Science, Tohoku University

Authors
Yasuyuki Maruya River Basin Research Center, Gifu University
Morihiro Harada River Basin Research Center, Gifu University
Shiori Sugimoto Department of Seamless Environmental Prediction Research, Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology
Kawase Hiroaki Meteorological Research Institute, Japan Meteorological Agency
Takahiro Sasai Graduate School of Science, Tohoku University
Takeshi Yamazaki Graduate School of Science, Tohoku University

We investigate the dependency of spatial resolutions on summer non-precipitation days and heavy precipitation events using a regional climate model (RCM) with different horizontal-resolutions. The simulation accuracy of the consecutive dry days affects near-surface temperature over the central mountainous regions. In the dynamical downscaling experiments with 5km grid spacing (DS5km), a net radiation decreases over the mountains relative to that in the experiments with 20km grid spacing (DS20km) due to a reduction of downward short wave radiation. As a result, a daily mean temperature is 0.2-0.3 K lower in DS5km than DS20km. To evaluate the impact of dynamical downscaling experiments on flood runoff and the impact of rainfall distribution of each spatial resolution on hydrological process, two types of flood analysis with distributed hydrological model are conducted on selected past flood events. The spatial resolution of RCM is more important to simulate the heavy rainfall, which causes flood, than the spatial resolution of rainfall distribution in runoff analysis.

Keywords: Dynamical downscaling, spatial resolution, consecutive dry days, flood simulation, river discharge analysis

1. Introduction

A high-resolution regional climate model (RCM) resolves complex topographies and well simulates the heavy snowfall and rainfall in Japan [1][2]. Using the Earth Simulator, our research group conducted regional climate ensemble simulations using nonhydrostatic regional climate model (NHRCM), developed in Meteorological Research Institute, Japan Meteorological Agency [3]. In this report, we focus on consecutive dry days, i.e., non-precipitation days, and heavy precipitation events in summer and discuss a resolution dependency of their reproducibility. To reveal the optimal spatial resolution of rainfall causing flood, it is necessary for flood analysis using RCMs in climate change impact assessment study in local scale. We made an attempt to evaluate the impact of different spatial resolution of rainfall on runoff analysis by using a distributed hydrological model and dynamical downscaling experiments on selected past flood events.

2. Experimental design

Four dynamical downscaling (DS) with 20km, 5km, 2km, and 1km grid spacings are conducted, which are referred to DS20km, DS5km, DS2km, and DS1km. Figure 1 shows the model domains. The lateral boundary conditions of DS20km are the Japanese 55-year Reanalysis (JRA-55). We set the specification of NRHCM with 20 km and 5 km grid spacings with existing study [4]. The target term is from 1980/81 to 2010/11. DS20km (DS5km) runs from July 1 (24) of each year to August 31 (30) of the following year. For the specific heavy

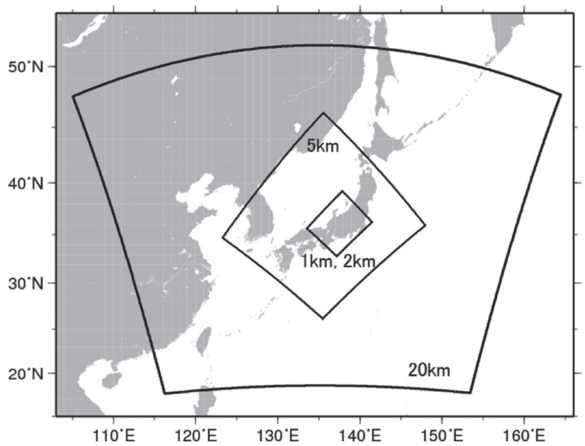

Fig. 1 Model domains. DS1km and DS2 km use the same domain.

precipitation event, the higher-resolution dynamical downscaling with 1 km and 2km grid spacing are conducted from DS5km. In these higher-resolution simulations, a precipitation process is calculated by the microphysics scheme only. We focus on consecutive non-precipitation days, i.e., dry days, in August and heavy precipitation events in July. In addition to regional climate simulations, the river discharge analyses are conducted to evaluate the flood in Nagaragawa River.

3. Results and Discussion

3.1 Simulations of consecutive dry days

During August, consecutive dry days simulated by the DS20km are overestimated over the central mountains in Japan, while it is consistent with the observation when the horizontal resolution is 5km (Fig. 2). In other words, an occurrence frequency of clouds with precipitation is less in the DS20km than the DS5km and observation. The simulation accuracy of the consecutive dry days affects near-surface temperature over the central mountainous regions in years with a large difference in consecutive dry days between two experiments. In the DS5km, a net radiation decreases over the mountains relative to that in DS20km due to a reduction of downward short wave radiation. As a result, a daily mean temperature is 0.2-0.3 K lower in the DS5km than the DS20km.

3.2 Impact of DDS experiments on flood runoff with distributed hydrological model

To evaluate the impact of DDS experiments on flood runoff and the impact of rainfall distribution of each spatial resolution on hydrological process, two types of flood analysis with distributed hydrological model (DHM) was conducted on selected past flood events. One is conducted by using the DS20km, 5km, 2km and 1km directly for DHM (Fig. 3), the other one is conducted by using rainfall which is coarse-grained based on DS1km for DHM (Fig. 4), respectively.

In comparison between DS and coarse-graining experiments of runoff analysis, coarse-graining experiments results varied narrowly relative to DS experiments in each spatial resolution (Fig. 3, 4). Therefore, the reproducibility of rainfall by RCM is more important than the spatial resolution of rainfall distribution in runoff analysis such as flood. Moreover, in the case of heavy rainfall was occurred in boundary condition (DS20km in this study), it is found that heavy rainfall was occurred in every DS experiments. However, the rank of daily rainfall which is caused flood might be exchanged increasing the spatial resolution with DS experiments. Therefore, to decide the event of DS experiments, rainfall distribution and meteorological field should be clarified in boundary condition.

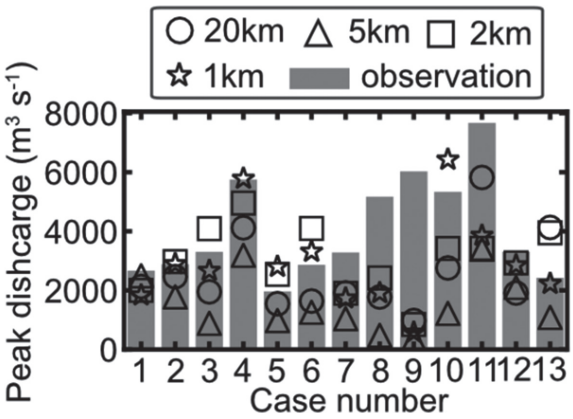

Fig. 3 Comparison between DS20km, 5km, 2km and 1km and observation of peak discharge in each flood event.

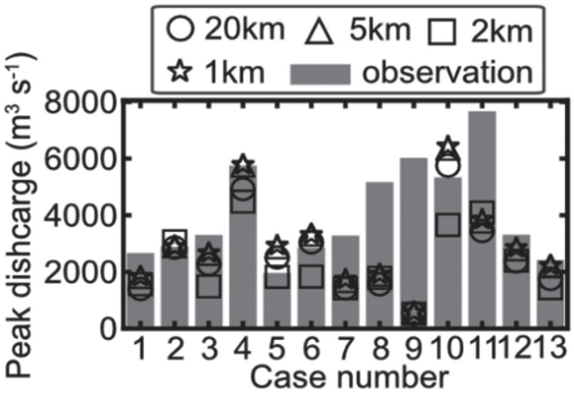

Fig. 4 Comparison between DS1km, coarse-graining experiments based on DS1km (DS20km, DS5km and DS2km) and observation of peak discharge in each flood event.

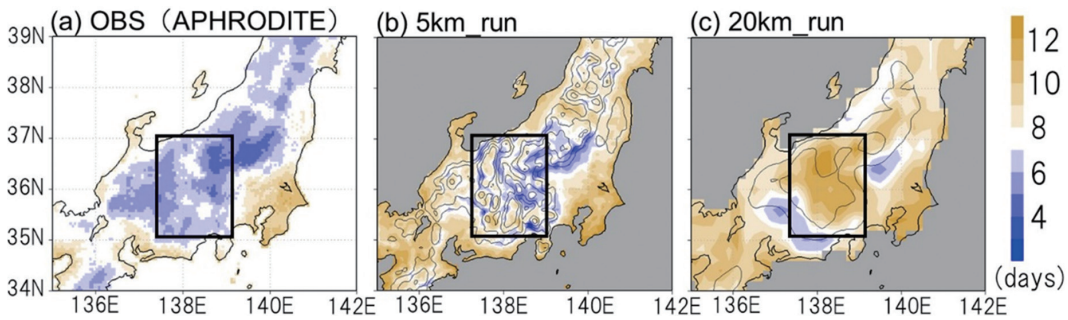

Fig. 2 The 31-year mean of consecutive dry days in August for (a) observations (APHRODITE; [5][6]), (b) DS5km, and (c) DS20km. The topographic contour interval in (b) and (c) is 500m above sea level (a.s.l.). In (b) and (c), ocean is masked out by gray shading. Rectangles indicate the central mountains in Japan (modified [7]).

Acknowledgement

This research was supported by the Social Implementation Program on Climate Change Adaptation Technology (SI-CAT) of MEXT, JAPAN.

References

[1] Kawase, H., T. Sasai, T. Yamazaki, R. Ito, K. Dairaku, S. Sugimoto, H. Sasaki, A. Murata, and M. Nosaka, Characteristics of synoptic conditions for heavy snowfall in western to northeastern Japan analyzed by the 5-km regional climate ensemble experiments. *J. Meteor. Soc. Japan*, **96**. 161-178, 2018.

[2] Murata A., H. Sasaki, H. Kawase, and M. Nosaka, 2016: Evaluation of precipitation over an oceanic region of Japan in convection-permitting regional climate model simulations. Climate Dynamics, doi:10.1007/s00382-016-3172-x.

[3] Sasaki, H., K. Kurihara, I. Takayabu, and T. Uchiyama, Preliminary experiments of reproducing the present climate using the non-hydrostatic regional climate model, *SOLA*, **4**, 25-28, 2008.

[4] Kawase, H., T. Sasai, T. Yamazaki, R. Ito, K. Dairaku, S. Sugimoto, H. Sasaki, A. Murata, and M. Nosaka, Characteristics of synoptic conditions for heavy snowfall in western to northeastern Japan analyzed by the 5-km regional climate ensemble experiments. *J. Meteor. Soc. Japan*, **96**. 161-178, 2018

[5] Kamiguchi, K., O. Arakawa, A. Kitoh, A. Yatagai, A. Hamada, and N. Yasutomi, Development of APHRO_JP, the first Japanese high-resolution daily precipitation product for more than 100 years. *Hydrol. Res. Lett*., **4**, 60-64, 2010.

[6] Yatagai, A., K Kamiguchi, O. Arakawa, A. Hamada, N. Yasutomi, and A. Kitoh, APHRODITE: Constructing a longterm daily gridded precipitation dataset for Asia based on a dense network of rain gauges. *Bull. Amer. Meteor. Soc*., **93**, 1401-1415, 2012.

[7] Sugimoto, S., R. Ito, K. Dairaku, H. Kawase, H. Sasaki, S. Watanabe, Y. Okada, S. Kawazoe, T. Yamazaki, T. Sasai, Impact of spatial resolution on simulated consecutive dry days and near-surface temperature over the central mountains in Japan. *SOLA*, **14**, 46-51, 2018.