

## 5km 力学的ダウンスケーリングデータセット (SI-CAT DDS5TK) の概要

山崎 剛<sup>\*1</sup>・佐々井 崇博<sup>\*1</sup>・川瀬 宏明<sup>\*2</sup>・杉本 志織<sup>\*3</sup>  
大楽 浩司<sup>\*4</sup>・伊東 瑠衣<sup>\*5</sup>・佐々木 秀孝<sup>\*2</sup>・藤田 実季子<sup>\*3</sup>

### The Outline of 5km-grid Dynamical Downscaling Dataset, SI-CAT DDS5TK

Takeshi Yamazaki<sup>\*1</sup>, Takahiro Sasai<sup>\*1</sup>, Hiroaki Kawase<sup>\*2</sup>, Shiori Sugimoto<sup>\*3</sup>  
Koji Dairaku<sup>\*4</sup>, Rui Ito<sup>\*5</sup>, Hidetaka Sasaki<sup>\*2</sup> and Mikiko Fujita<sup>\*3</sup>

**Key words:** Dynamical Downscaling, Future Projection, Climate Change Adaptation, Regional Climate Model, d4PDF

#### 1. はじめに

気候変動の適応策が近年求められている。適応策策定の基礎となる気候変動の予測は従来、全球の将来シミュレーションによってなされてきたが、地域スケールの現象を再現するには解像度が不十分で高解像度化（ダウンスケーリング）が必要である。ダウンスケーリングの手法は大きく分けると統計的ダウンスケーリングと力学的ダウンスケーリングの2種になる。統計的ダウンスケーリングは統計的な補間と過去の観測を基にした補正によって行われる。計算負荷が比較的軽く、大量のシナリオを扱える利点を有するが、激しい降水など元データで再現できない小さなスケールの現象を作り出すことは難しい。一方、力学的ダウンスケーリングは数値モデルを用いて、物理法則に基づいた補間を行う。原理的には元データに含まれない小さなスケールの現象も表現することが可能である。ただし、解像度を上げると計算時間が急増する欠点がある。

本稿では気候変動適応技術社会実装プログラム SI-CAT（Social Implementation Program on Climate Change Adaptation Technology）によって作成された、力学的

ダウンスケーリングによる水平解像度 5km のデータセット（「大気近未来予測力学的ダウンスケーリングデータ（東北から九州）by SI-CAT」，以下，SI-CAT DDS5TK と略す）の概要を紹介する。SI-CAT の目的の一つは、地方自治体等が行う気候変動対応策の検討・策定に汎用的に生かされるような信頼性の高い近未来の気候変動予測を可能とする技術開発をすることである。モデル自治体等のニーズに基づき、超高解像度の予測情報の提供を目指した。SI-CAT DDS5TK は長野県、岐阜県のニーズにより、1～2km 解像度へのダウンスケーリングを行うために、アンサンブル気候予測データベース d4PDF<sup>1,2)</sup> の 20km 解像度データを 5km にダウンスケーリングしたものである。東北から九州に至る領域をカバーし、現在気候、産業革命時から全球 2℃ 上昇（RCP8.5 シナリオで近未来 2040 年ころ）、4℃ 上昇時（RCP8.5 シナリオで 21 世紀末 2090 年ころ）の気候予測データであり、多数のアンサンブルメンバーを含むことから確率情報をつけた様々な利用が考えられる。

#### 2. 手法

ダウンスケーリングに使用した数値モデルは、気象庁気象研究所非静力地域気候モデル（JMA-NHRCM，以下 NHRCM と記述）である<sup>3)</sup>。モデルの物理過程は、境界層過程 Improved Mellor-Yamada（MYNN）Level3<sup>4)</sup>，地表面過程 Improved MRI/JMA-SiB（iSiB）<sup>5)</sup> で、雪の扱いを改良した都市モデル SPUC<sup>6)</sup> が組み込まれている。また、雲微物理は Bulk-type cloud microphysics<sup>7)</sup>

<sup>\*1</sup> 東北大学  
Tohoku University

<sup>\*2</sup> 気象研究所  
Meteorological Research Institute

<sup>\*3</sup> 海洋研究開発機構  
Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

<sup>\*4</sup> 筑波大学  
University of Tsukuba

<sup>\*5</sup> 気象業務支援センター  
Japan Meteorological Business Support Center

表1 モデル設定の詳細

モデル	非静力学地域気候モデル (JMA-NHRCM)
支配方程式	完全圧縮非静力学方程式
水平離散化	格子点法
移流項	4次フラックス形式, 移流補正
地図投影法	ランベルト正角円錐図法 (標準緯度: 北緯 30 度, 60 度, 標準経度: 東経 140 度)
水平格子数, 間隔	321×301, 5km
鉛直層数, 間隔	50 層, 40~904m (z* 座標系)
モデル上端	21,801m (約 40hPa)
地形	GTOPO30 (約 7.5km 相当に平滑化), エンベロープ地形
海陸分布	GLCC (陸面積比率 0.5 以上が陸)
時間積分間隔	20 秒
初期値, 側面境界値	d4PDF20km RCM
側面境界緩和	あり, 緩和領域 50km (10 格子)
適応水蒸気拡散	あり (鉛直速度閾値 3m/s)
雲物理過程	バルク法による雲微物理過程 (3-ice, 1-moment), 雲氷の落下を考慮
積雲対流	Kain and Fritsch <sup>8)</sup>
乱流 (大気境界層)	改良 Mellor-Yamada Level 3 スキーム <sup>4)</sup>
雲放射過程	北川 <sup>9)</sup>
晴天放射過程	藪ほか <sup>10)</sup>
放射過程の雲量	部分凝結スキーム
地表面種別	陸 (都市含む), 海, 雪, 海氷 (地表面解析で作成して予報時間内固定)
地表面過程	improved SiB <sup>5)</sup> , SPUC (都市モデル) <sup>6)</sup>
海面水温	COBE-SST (現在), d4PDF (将来)

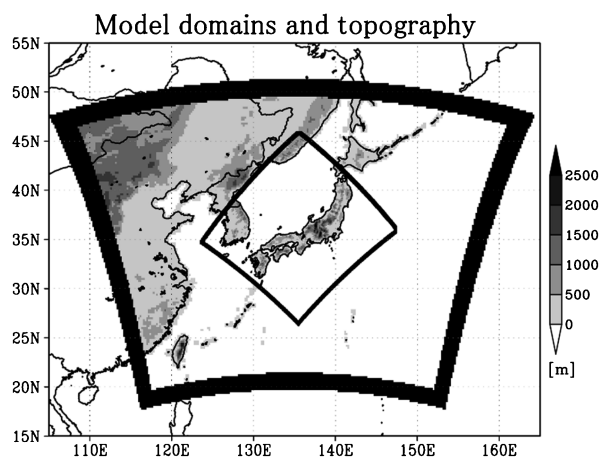


図1 対象領域と地形. 外枠が d4PDF 20km の境界領域, 内枠が 5km NHRCM の計算領域.

を用い, 積雲対流は Kain-Fritsch スキーム<sup>8)</sup>を使用した. 各グリッドの標高はそのグリッド内の地形データの最高標高としている (envelope mountain 地形). その他のモデル設定の詳細を表1に記した.

初期値と境界値は水平解像度 20km の地球温暖化対策に資するアンサンブル気候予測データベース d4PDF 領域モデル実験<sup>1)</sup>の過去実験, 4℃上昇実験および 2℃上昇実験<sup>2)</sup>を用いた. このデータを NHRCM によ

り 5km にダウンスケーリングを行った. 20km および 5km の領域を図1に示す. また, 検証のために気象庁の全球再解析データ JRA-55 を初期値, 境界値として d4PDF と同じ領域の 20km 解像度にダウンスケールしたデータによる実験も行った<sup>11)</sup>.

d4PDF 過去実験, 4℃上昇実験, 2℃上昇実験はそれぞれ 12 メンバーを選び, 期間を 1980 年から 2010 年までの 31 年間として延べ 372 年分の計算を行った. メンバーの選択は過去実験については d4PDF 全体からランダムに, 4℃上昇実験と 2℃上昇実験では d4PDF で用いられた 6 つの海面温度予測からそれぞれ 2 つを抽出した. JRA-55 については 1 メンバー 31 年分 (1980~2010 年) である. 各年の計算はスピニングを考量して, 初期時刻を 7 月 24 日として翌年 8 月 30 日 (JRA-55 のみ 9 月 1 日) まで行った. 実験デザインイメージを図2に示す. 図左側が使用した境界条件, 図中央は地域気候モデルによるダウンスケール, 図右側は JRA-55 を用いた実験による観測データでの検証と, 各実験で得られた延べ 372 年分のデータから気象要素の確率密度関数 (PDF) 等を得る解析のイメージである.

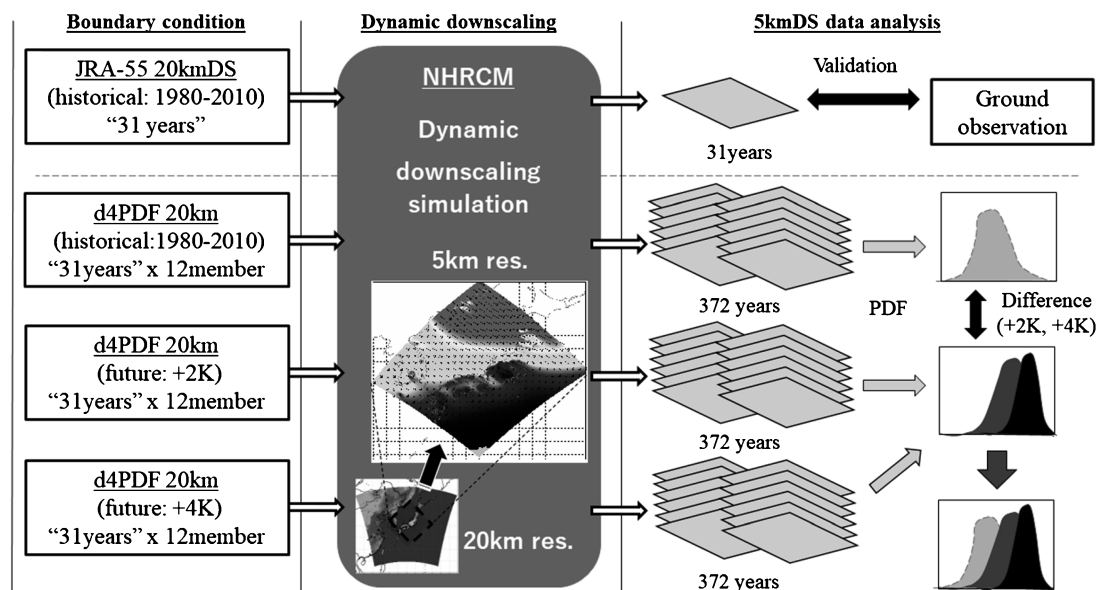


図2 実験のデザイン。左から使用した境界条件，地域気候モデル(NHRCM)によるダウンスケーリング，検証と気象要素の確率密度関数(PDF)等を得る解析のイメージ。

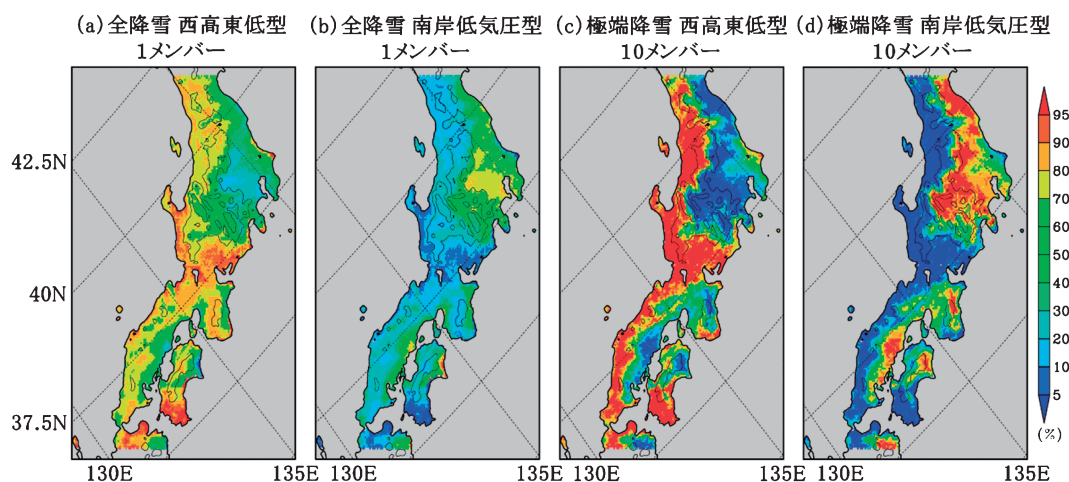


図3 西高東低型と南岸低気圧型の出現頻度の比較として，過去実験 5km ダウンスケーリング 1 メンバーの全降雪事例における降雪日数の割合(a, b)，および 10 メンバーの強い降雪上位 30 事例における降雪日数の割合(c, d)を示す<sup>11)</sup>。

### 3. 成果

これまでにこのデータセットを使って得られた成果の概要を記す。

Kawase et al.<sup>11)</sup>は、JRA-55 と d4PDF 過去実験の 5km ダウンスケーリングデータから、中部日本における極端に強い日降水量の地域分布および発生時の大気場の特徴を明らかにした。降雪は日本海側では西高東低型、太平洋側では南岸低気圧型で発生するが、極端な降雪ほどその傾向はより顕著であった。また、東海や四国など一部地域では西高東低型で極端な降雪が発生した(図3)。図4はd4PDF 過去実験 5km ダウンスケーリングの 10 メンバーを用いて、強い降雪上位 30 事例の気温と降雪月の空間パターンを示す。極端降雪発生時

の気温は、関東から九州にかけての太平洋側では 0℃ 前後、東海地方や日本海側の沿岸部では 0℃ から -4℃、中部山岳や四国山地では -4℃ から -10℃ 程度であった。最多出現月は太平洋側のほとんどの地域では 1 月から 2 月、本州の日本海側や東海地方では 12 月から 1 月、中部山岳や脊梁山脈では 11 月、もしくは 3 月である場合がほとんどであった。山岳域では、日本海側斜面と太平洋側斜面でそれぞれ 11 月と 3 月に分かれた。南岸低気圧型より西高東低型の方が極端降雪発生時の気温が低い傾向と対応している。

Sugimoto et al.<sup>12)</sup>は、JRA-55 を初期値・境界値とした 20km および 5km 実験結果を用いて、夏季の山岳域における最大連続無降水日数と地上気温の再現性を



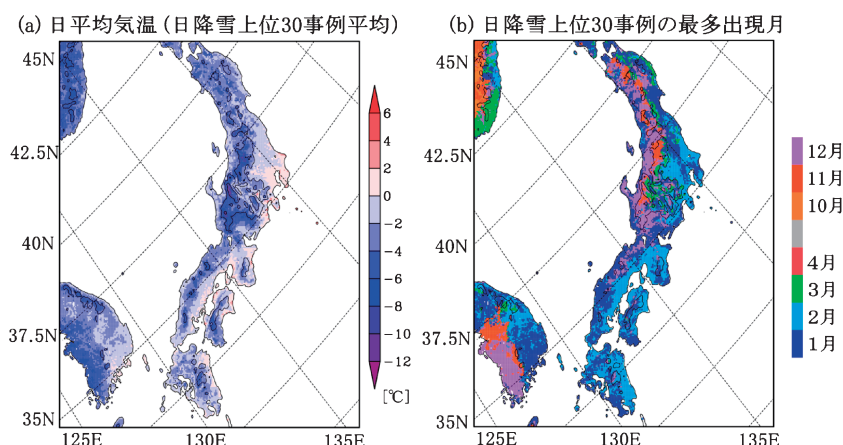


図4 過去実験 5km ダウンスケーリングの 10 メンバーにおける強い降雪上位 30 事例で平均した日平均気温(a), および日降雪上位 30 事例が最も多く出現した月(b)<sup>11)</sup>. 出現数が同数の場合は数字の小さな月を採用した.

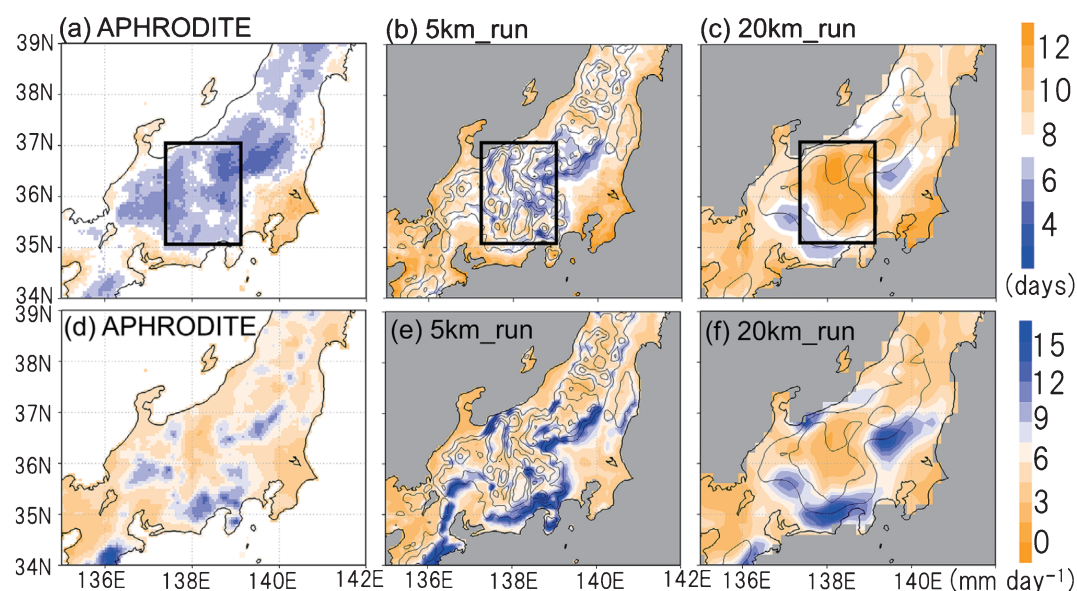


図5 31 年平均した 8 月の最大連続無降水日数と月平均降水量<sup>12)</sup>. 観測データ (APHRODITE<sup>13,14)</sup>) (a), 5km 実験結果 (b), 20km 実験結果 (c) における無降水日. (d)~(f) に月降水量を示す. 細実線は各実験における標高を 500 m a.s.l. ごとに, 四角枠 (北緯 35~37 度, 東経 137.5~139 度) は中部山岳域を示す.

調べた. 降水に対する総観規模擾乱の影響が比較的小さい 8 月のみを対象とした. 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, 降水量が  $1\text{mm day}^{-1}$  未満の日を「無降水日」, 各年の 8 月の中で最長となる連続無降水日数期間を「最大連続無降水日数」とそれぞれ定義した. 5km 実験で再現された 8 月の最大連続無降水日数は観測結果と概ね一致したが, 20km 実験の最大連続無降水日数は中部山岳などで過大, 山岳周辺域で過小に再現された (図 5(a)~(c)). 5km 実験では細かい山谷地形が適切に表現したことで, その内陸山岳斜面での降水を正確に再現し, 結果として 20km 実験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られる. 月平均降水量は 20km

実験, 5km 実験共に観測結果とよく一致することもわかった (図 5(d)~(f)).

Sasai et al. (投稿中)<sup>16)</sup> は, 極端に強い降雪現象 (豪雪) の将来予測を行った. 現在と将来の気候場における降雪を比較した結果, 温暖化により降雪はほぼ全域で減ることがわかった. 一般化極値分布を用いて極端現象の頻度と強度を解析したところ, 極端降雪は, 南岸低気圧型の降雪エリアで昇温により大きく減ったが, 西高東低型の降雪エリアではあまり減らなかった. その違いは, 日本海側の標高の高い寒冷な場所では温暖化によって大気中の水蒸気量が増え, 冬季の降水量が増えたことや, 昇温場では寒気流出の極端現象と降雪の極端現象が一致し, 極端降雪の日に寒気質量フ



ラックス<sup>15)</sup>が増えたことに起因していた。将来、日本海側の山間部では極端降雪の強度が増す可能性が高いといえる。

#### 4. 今後の展望

水平解像度を1~2kmへさらなるダウンスケーリングを実施することにより、豪雨や特定地域の降積雪など細かい地形が本質的に影響する事象の将来予測を行うことができる。現在、さらに高解像度化したシミュレーションにより、長野県山岳域での生態系への気候変動の影響評価のための積雪将来予測、岐阜県における水害や土砂災害への適応をめざした豪雨の将来予測などについて解析が進められている。

本データセットは環境省や国土交通省における気候変動適応策の策定にも活用されている。現在、データ統合・解析システム DIAS (Data Integration and Analysis System) への登録手続き中であり、登録完了後はデータ利用規約へ同意いただければ利用可能となる。自治体のみならず営利目的を含め広く利用されることが期待される。

#### 謝辞

本稿のデータセット作成は文部科学省の気候変動適応技術社会実装プログラム (SI-CAT) により実施された。計算は主に海洋研究開発機構の地球シミュレータを用いて実行した。

#### 参 考 文 献

- 1) R. Mizuta, A. Murata, M. Ishii and others: Over 5,000 Years of Ensemble Future Climate Simulations by 60-km Global and 20-km Regional Atmospheric Models, *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 98, 1383/1398 (2017).
- 2) M. Fujita, R. Mizuta, M. Ishii, H. Endo, T. Sato, Y. Okada, S. Kawazoe, S. Sugimoto, K. Ishihara and S. Watanabe: Precipitation Changes in a Climate With 2-K Surface Warming From Large Ensemble Simulations Using 60-km Global and 20-km Regional Atmospheric Models, *Geophysical Research Letters*, 45, <https://doi.org/10.1029/2018GL079885> (2018).
- 3) H. Sasaki, 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) M. Nakanishi and H. Niino: An improved Mellor-Yamada level-3 model with condensation physics: Its design and verification, *Bound. Layer Meteor.*, 112, 1/31 (2004).
- 5) M. Hirai and M. Oh'izumi: Development of a new land-surface model for JMA-GSM, Extended abstract of 20th Conf. Wea. Anal. Forecasting/16th Conf. NWP, p2.22 (2004) (Available at [https://ams.confex.com/ams/84Annual/techprogram/paper\\_68652.htm](https://ams.confex.com/ams/84Annual/techprogram/paper_68652.htm)).
- 6) R. Ito, T. Aoyagi, N. Hori, M. Oh'izumi, H. Kawase, K. Dairaku, N. Seino and H. Sasaki: Improvement of Snow Depth Reproduction in Japanese Urban Areas by the Inclusion of a Snowpack Scheme in the SPUC Model, *J. Meteor. Soc. Japan*, 96, 511/534 (2018).
- 7) M. Ikawa, H. Mizuno, T. Matsuo, M. Murakami, Y. Yamada and K. Saito: Numerical modeling of the convective snow cloud over the Sea of Japan-Precipitation mechanism and sensitivity to ice crystal nucleation rates, *J. Meteor. Soc. Japan*, 69, 641/667 (1991).
- 8) J.S. Kain and J.M. Fritsch: Convective parameterization for mesoscale models: The Kain-Fritsch scheme, in the representation of cumulus convection in numerical models. *Meteorol. Monogr.*, 24, Emanuel KA and Raymond DJ (ed), pp. 165/170, Am. Meteorol. Soc., Boston (1993).
- 9) 北川：放射過程，数値予報課報告・別冊，46, 16/31 (2000).
- 10) 藪，村井，北川：晴天放射スキーム，数値予報課報告・別冊，51, 53/64 (2005).
- 11) H. Kawase, 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).
- 12) S. Sugimoto, R. Ito, K. Dairaku, H. Kawase, H. Sasaki, S. Watanabe, Y. Okada, S. Kawazoe, T. Yamazaki, and 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).
- 13) K. Kamiguchi, 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).
- 14) A. Yatagai, 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).
- 15) T. Iwasaki, T. Shoji, Y. Kanno, M. Sawada, M. Ujiie and K. Takaya: Isentropic Analysis of Polar Cold Air Mass Streams in the Northern Hemispheric Winter, *J. Atmos. Sci.*, 71, 2230/2243 (2014).
- 16) T. Sasai, H. Kawase, Y. Kanno, J. Yamaguchi, S. Sugimoto, T. Yamazaki, H. Sasaki, M. Fujita and T. Iwasaki: Future Projection in Extreme Heavy Snowfall Event with 5-km Large Ensemble Regional Climate Simulation, (投稿中).