

領域気象モデルWRFを用いたダウンスケーリングによる 温暖化時の北海道道央周辺の降水特性検討

Study of rainfall characteristics for middle of Hokkaido (Japan) under global warming conditions
with downscaling by using the regional atmospheric model WRF

北海道大学大学院工学研究員
株式会社雪研スノーイーターズ
株式会社雪研スノーイーターズ
株式会社雪研スノーイーターズ

フェロー 鈴木英一 (Eiichi Suzuki)
正員 西田浩平 (Kohei Nishida)
齋藤佳彦 (Yoshihiko Saito)
大槻政哉 (Masaya Otsuki)

1. はじめに

2010年8月23～24日には湿った空気が北海道に流入し、線状の降水域が形成され狭い地域に集中して1時間降水量50mmを超える雨が降った結果、道路の陥没により乗用車3台が転落し、3名が死傷したほか、各地で住宅が浸水し、冠水等により道路18路線が通行止めになる大災害が発生した¹⁾。これまで北海道においてこのような集中した降水はあまり例がない。

ちなみに、「地球温暖化予測情報 第6巻」²⁾によると、気象庁により約100年後の温暖化時の日本周辺の気候予測が実施されている。その結果、将来の北海道では、7月の降水量が道東の一部を除いて増加し、日降水量50mm以上の年間日数もほとんどの地域で増加することが予測されており、温暖化に伴い災害の増加が懸念される。

ところで、気象庁により温暖化による気候変動について予測は、地域気候モデル(以下RCM20)を用いており、降水量は水平分解能20kmの日降水量を用いて評価されているため、数時間のうちに20km未満のスケールに集中するような集中豪雨などの把握には適さない。そこで、20km未満のスケールの現象を研究するため、各種のダウンスケールが実施されている³⁾。しかし、温暖化による北海道の降水特性の変化に着目したダウンスケールはまだ例がない。

そこでRCM20を入力とした領域気象モデルWRFにより北海道付近の数値シミュレーションを行い、空間的・時間的に細かい降水量を予測し(ダウンスケーリング)、温暖化時の北海道道央周辺における降水特性の変化を考察する。

2. 領域気象モデルWRFによるダウンスケーリング

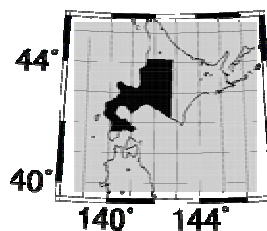
2.1 使用したデータ

使用したデータは、表-1に示す「気候変動に関する政府間パネル(IPCC)」⁴⁾の温室効果ガス排出シナリオのうちA2シナリオ(経済重視で地域志向が強まると仮定)に基づいて日本付近の通年の気候変化を予測したRCM20の出力データである。

RCM20では、過去の気候の再現実験(以降、過去)と、将来の気候の予測実験(以降、将来)が実施されており、温暖化の評価では将来から過去の結果を差し引くなど相対比較での使用が推奨されている。そこで過去と将来のRCM20を入力とした計算結果を比較し、将来の温暖化による降水特性を予測した。

表-1 使用したRCM20の緒元

項目	内容
メッシュ数	182個(東西13×南北14)
水平解像度	20km
要素	日降水量, 海面気圧, 風向・風速, 気温, 湿数, ジオポテンシャル高度 計算の対象事例の設定でのみ使用
期間	過去20年 (1980～2000年) 将来20年 (2080～2100年)



■ 計算領域, ■ 評価領域

図-1 計算領域と評価領域

2.2 計算の対象事例の設定

将来の降水特性を明らかにするためにはRCM20の全期間についてWRFによる計算を行う事が理想であるが、現実的ではない。そこで、RCM20のうち計算の対象事例を8事例(過去、将来各4事例)設定した。

設定方法は、日降水量が2010年8月24日の災害時(以降、災害時と表記)と同規模の事例を抽出した。

気象庁の報告¹⁾に示された積算雨量の分布図より、道央付近の日降水量は、27mm(23日)、31mm(24日)となり、日降水量が大きい24日を参考とした。また、災害時は狭い範囲に降水が集中したことから、最大値も降水の規模を特徴付けるものと考え、日降水量の最大値85.5mm/hも合わせて参考とした。

以上より、陸域メッシュの日降水量について、領域平均が25mm以上35mm未満、かつ最大値が80mm以上90mm未満を基準として設定した。

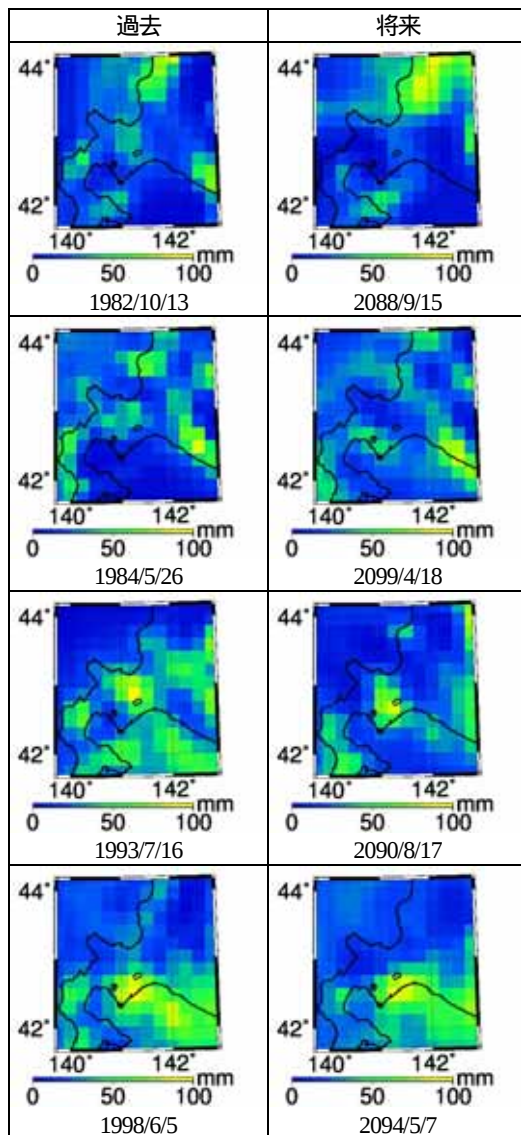


図- 2 対象事例におけるRCM20の日降水量分布

基準を満たす事例は、過去20年間で13事例、将来20年間で7事例であった。ただし、過去と将来で降水量が同規模ながら降水分布が全く異なる事例は、気象条件が大きく異なり降水特性の違いを比較することが困難だと考えられる。そこで、降水量が同規模の事例のうち、降水分布が過去と将来で類似した事例を対で抽出し、計算対象として設定した。

設定した事例の日降水量の分布を図- 2に示す。事例数は、過去4事例、将来4事例である。

2.3 領域気象モデルWRFによる力学的ダウンスケーリング

RCM20における20km格子の日降水量より時間・空間的に細かい降水特性を明らかにするため、RCM20を入力としたWRF計算による力学的ダウンスケーリング⁵⁾を実施した。

WRFとは、米国大気研究センター(NCAR)、オクラホマ大学(OU)、米国海洋大気庁環境予測研究センター(NCEP)、米国海洋大気庁予測システム研究所(NOAA/FSL)などによって、学術研究と天気予報の両方に対応することを目的として開発されたオープンソースの気象モデル⁶⁾である。このうち、本研究では

表- 2 ダウンスケーリングにおけるWRFの設定概要

項目	設定内容
計算時間	48時間 (計算対象前日12時～計算対象翌日12時)
格子	2km
格子数	東西321×南北301
計算領域	図- 1に示す領域
mp_physics	WRF Single-Moment 6-class scheme

研究用のAdvance Research WRF(ARW)⁷⁾を用いた。

3. 結果・考察

3.1 ダウンスケーリング結果

ダウンスケーリングの結果より、降水強度の最大値が生じた時刻の降水分布を図- 3に示す。2kmメッシュの細かい降水分布が得られた。

3.2 WRFとRCM20における日降水量の比較

図- 4に示す領域平均したWRFによる日降水量はRCM20の50～144%となった。4事例の日降水量を平均すると、過去29.1mm、将来27.9mmであり、同規模の降水だと言える。以降では過去と将来の4事例をまとめて比較した。

3.3 計算結果による評価領域での降水特性変化

(1) 降水強度の増加

降水強度別の出現回数について、過去と将来を比較する目的で降水強度の階級別出現頻度を整理した。なお、使用したデータの総数は領域の7788メッシュに96時間(4事例、24時間/事例)を乗じた747648データである。

表- 3に示す階級別出現頻度では、降水強度10～20mm/hを除いて、将来が過去より大きい。このため、将来は20mm/h以上の降水が評価領域で増加している。

また、降水強度の超過頻度を図- 5に示す。降水強度10mm/h以上では、過去1.00%、将来0.87%と将来が0.13%(747648データ中992データ)減少した。降水強度20mm/h以上では過去は0.06%、将来は0.10%と過去の約1.6倍に増加した(747648データ中286データ)。また降水強度の最大値は過去30mm/h、将来74mm/hと将来が増加した。

(2) 降水強度20mm/h以上が出現する面積の増加

過去と将来について降水強度20mm/hが現れた面積を整理した。

図- 6に、降水強度20mm/h以上の降水が生じた位置・頻度を示す。これによれば、過去に比べ将来は評価領域全体に降水強度20mm/h以上の降水域が出現している事がわかる。面積は過去1548km²、将来2248km²であり、将来は過去の約1.5倍に増加した。

図- 7に降水強度20mm/h以上の面積の階級別出現頻度を示す。これは、1時間毎に空間的に連続した降水強度20mm/h以上の面積を求め、4事例(計96時間)で積算した回数である。0～30km²など相対的に面積が小さい降水域の出現回数が大きく増

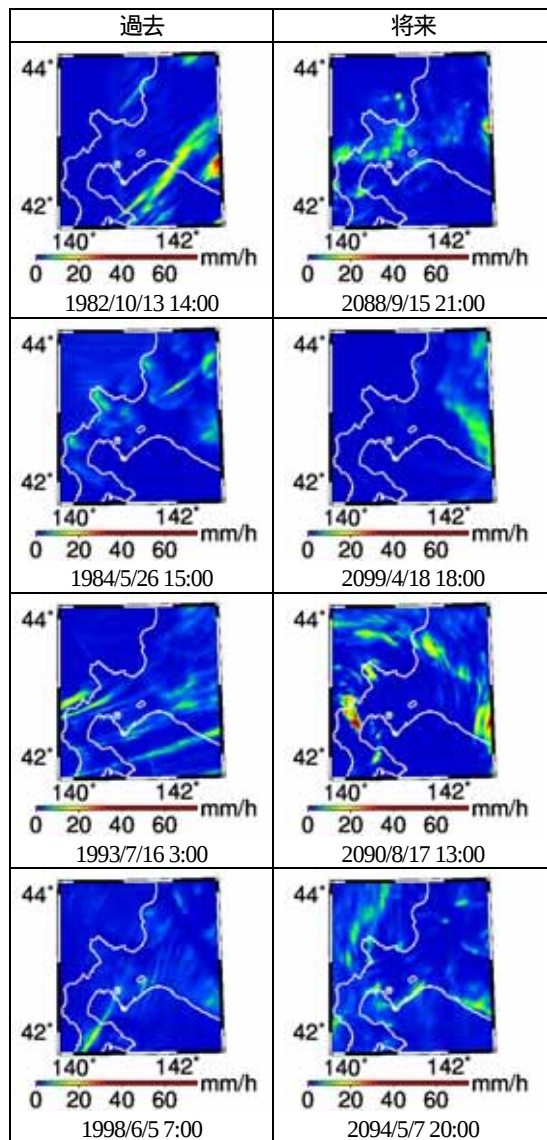


図-3 ダウンスケーリング結果の降水分布（評価領域）

加し、将来局所的な降水が増加する事を示唆する。また0～10km²程度の降水域の出現する回数が、将来は過去の約3.8倍に増加した。

3.4 考察

入力した評価領域のRCM20を整理することにより、降水特性の変化について考察した。

整理した地上付近の比湿を図-8、地上気温を図-9に示す。

比湿を4事例で平均すると、過去9.8g/kg、将来11.0g/kgであり、将来は過去より1.2g/kg大きく、水蒸気量が増加している。

気温を4事例で平均すると、過去287.2K、将来289.6Kであり、過去に比べ将来は約2.4K増加している。

このことから、将来は気温が大きい為、大気中の水蒸気量が増加したと考えられる。これは、温暖化にともなって大気中の水蒸気が増加すると予測した気象庁⁸⁾と同様の傾向である。温暖化した将来は、水蒸気量が増加したため潜熱エネルギーが増加し、積乱雲などによる対流性降水が生じやすい条件となったと考えられる。そのため、将来では降水強度20mm/h

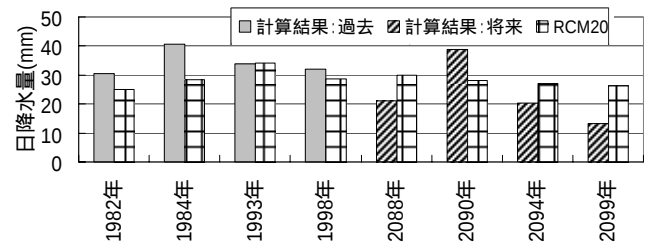


図-4 ダウンスケーリング結果の領域平均した日降水量（評価領域）

表-3 降水強度の階級別出現頻度（評価領域）

降水強度 (mm/h)	出現頻度(%)	
	過去	将来
0～10	99×10^0	99×10^0
10～20	94×10^{-2}	77×10^{-2}
20～30	62×10^{-3}	83×10^{-3}
30～40	54×10^{-5}	13×10^{-3}
40～50	0	25×10^{-4}
50～60	0	11×10^{-4}
60～70	0	27×10^{-5}
70～80	0	13×10^{-5}

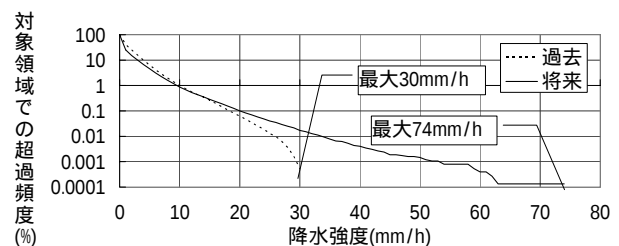


図-5 降水強度の超過頻度（評価領域）

以上が増加したと考えられる。

また、将来は水蒸気量が大きく積乱雲が生じやすいため、細かい地形などによる上昇流の影響によって、各地に降水強度20mm/h以上の降水が生じたと考えられる。

なお、過去20年間と将来20年間を同様に比較すると、比湿は過去が6.0g/kg、将来が7.1g/kgであり、将来が1.1g/kg増加した。また、気温では過去279.8K、将来282.8Kであり、過去に比べ将来は3.0K増加した。以上より、計算対象の8事例と同様の傾向であった。

このことより、8事例のダウンスケーリングによって得られた結果が、将来20年間でも生じると考えられる。

4. まとめ

過去20年間（1981～2000年）と温暖化した将来20年間（2081～2100年）の気候を予測したRCM20のうち、日降水量が2010年8月24日に北海道で発生した災害と同規模の8事例（過去4事例、将来4事例）を入力とし、北海道周辺についてWRFによる計算を行い、空間的に2kmメッシュ、時間的に1時間ごとにダウンスケールした降水量を得た。

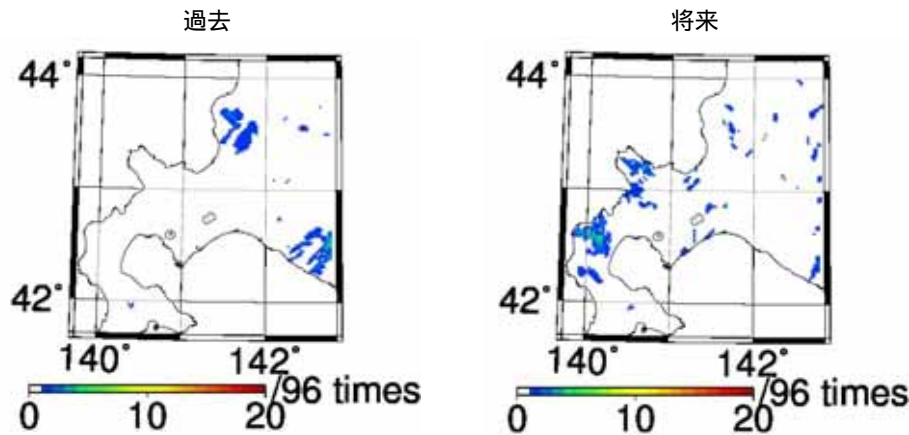


図-6 強度20mm/h以上の降水の出現頻度（評価領域）

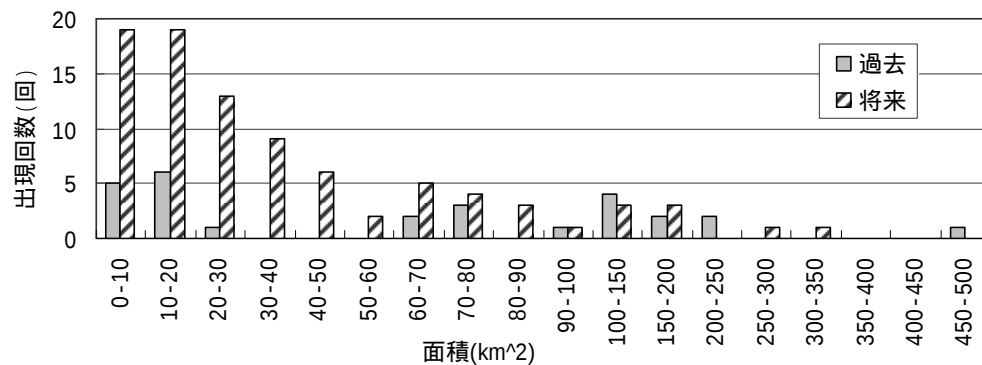


図-7 強度20mm/h以上の領域面積の階級別出現頻度（評価領域）

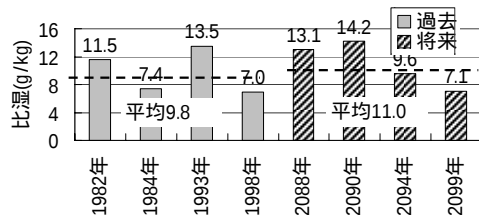


図-8 領域平均したRCM20の比湿（評価領域）

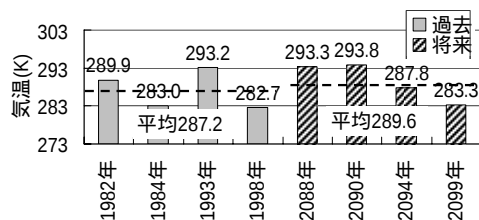


図-9 領域平均したRCM20の地上気温（評価領域）

ダウンスケールした8事例の降水量より、北海道道央周辺の過去と将来を比較し、将来の降水特性を評価した。

その結果、将来の北海道道央周辺では、降水強度20mm/h以上の降水について、出現頻度が過去の約1.6倍に増加するようになった。また降水域が広い領域に出現し、0-10km²程度の小さい降水領域の出現する回数が過去の約3.8倍に増加する事が示された。

このように、20kmメッシュの地域気候モデルでは把握でき

なかった北海道道央周辺の温暖化に伴う微細な降水特性の変化を明らかにすることができた。

本研究では特定の事例について解析を行ったものであり、過去・将来の20年間について一般化されるものでない。今後はより多くのRCM20全事例についてWRFによる計算を行い、検証を進めたい。

参考文献

- 1) 札幌管区気象台：平成22年8月23日～24日 大雨に関する気象速報，2010。
- 2) 気象庁：地球温暖化予測情報 第6巻，2005。
- 3) 文部科学省研究開発局：超高解像度大気モデルによる将来の極端現象の変化予測に関する研究，2008。
- 4) IPCC，2001: Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, UK, 881pp.
- 5) 高藪 出，金光正朗：力学的ダウンスケーリングのレビュー，天気，57(7)，pp435-477，2010。
- 6) 日下博幸：領域気象モデルWRFについて，日本流体力学会誌 28(1)，pp3-12，2009
- 7) Mesoscale & Microscale Meteorology, National Center for Atmospheric Research, 2011: ARW Version 3 Modeling User's Guide.
- 8) 気象庁：異常気象レポート2005，2005。