

課題名 S-8-1(2) 温暖化ダウンスケーラの開発とその実用化

課題代表者名 日下 博幸（国立大学法人筑波大学 計算科学研究センター 准教授）

研究実施期間 平成22～26年度

累計予算額 115,586千円（うち26年度20,760千円）
予算額は、間接経費を含む。

本研究のキーワード 力学的ダウンスケーリング、ウェブアプリケーション、地域気候予測、WRF

研究体制

(2-1)温暖化ダウンスケーラの開発とその実用化(国立大学法人筑波大学)

研究協力機関

独立行政法人海洋研究開発機構、国立大学法人北海道大学

研究概要

1. はじめに(研究背景等)

これまで、環境省のS-5プロジェクト、文科省の革新プロジェクト、RECCAプロジェクト、リスク情報創生プログラム等によって、日本域を対象としたダウンスケール実験が行われてきた。これらの大型プロジェクトで得られた将来予測データは、影響評価研究に有用であると期待されているが、年代・シナリオ・GCMが限定されており、出力される変数などもある程度限定されている。

年代・シナリオ・GCMを任意に選択でき、それぞれのニーズに合ったダウンスケーリング実験を簡易にでき、さらには自治体の環境政策の効果を地域の気候予測実験結果に反映できるシステムをもし開発することができれば、様々な研究対象を持つ影響評価研究者、あるいは「気候変動への賢い適応」を検討する地方自治体の研究員にとって大変有用なものになり、影響評価研究や適応研究に大きく資すると期待できる。

2. 研究開発目的

グループ1(サブサブテーマ1)の目的は、ダウンスケーラを開発することである。具体的には、S-8の影響評価研究者や自治体の研究者などからの課題と要望を反映させながら、影響評価研究者と気候研究者の双方にとってより使いやすく有用なシステムを開発する。さらには、ダウンスケーラの普及のための取り組みを行う。グループ2(サブサブテーマ2)の目的は、ユーザのニーズをガイドラインに反映することである。さらには、従来よりも新しい境界値データおよび観測データの整備・調整を行うことである。

グループ3(サブサブテーマ3)の目的は、開発段階におけるダウンスケーラの改善点や克服すべき問題点を抽出することである。さらには、実験運用による研究成果を公表することで、ダウンスケーラの使用例を示す。

3. 研究開発の方法

(1)ユーザ支援システムの開発に関する研究

GUIベースのユーザ支援システムを構築し、その中にグループ2が作成したガイドラインとデータを導入し、ダウンスケーラを開発する。開発においては、影響評価研究者および本課題のグループ3からの要望の一部を反映させる。開発したダウンスケーラをS-8の中で利用希望がある機関全てに配布し、ダウンスケーラの利用講習会を開催する。マニュアルも作成する。

(2)温暖化評価手法の開発とガイドラインの作成に関する研究

CMIP3およびCMIP5で収集されているCGCMによる現在・将来気候データを収集し、データの加工及びダウンスケーラへの導入を行う。また、CGCMの将来予測データ・現在および将来気候のダウンスケールの計算結果に対するユーザの理解を助けるためのガイドラインを作成する。

(3)影響評価研究者および政策担当者との連携とダウンスケーラの有用性の評価に関する研究

ダウンスケーラのコアモデルとなる領域気候モデルWRFを用いて、北海道および国内外の地域を対象としたダウンスケーラの実験運用を行い、ダウンスケーラの有用性を評価するとともに、擬似温暖化実験手法の妥当性の検証や予測不確実性の評価を行う。影響評価研究者や政策担当者がダウンスケーラ試作版を使用するための支援を行う。

4. 結果及び考察

(1) ユーザ支援システムの開発に関する研究

ユーザ支援システムを開発した。それをベースにダウンスケーラを開発した。ダウンスケーラの主な特徴は以下の通りである。

- ・Windows-PCおよびLinux-PC 上のInternet Explorer および Google Chrome 上で動くウェブアプリケーション(図(1)-1)。GUI上で全ての操作ができる。
- ・力学的ダウンスケール手法による地域を対象とした現在気候および将来気候の予測が、30km, 20km, 10km, 4km, もしくは2kmメッシュで可能。誰でも簡単に予測計算をできる。
- ・予測結果を簡単に作図できる。
- ・予測結果は、テキスト形式データとcsv形式データとして出力される。また、作図結果もpng形式で出力される。
- ・予測実験の設定には、初心者向けモード(簡易設定モード)と中級者以上向けモード(詳細設定モード)の2種類のモードがある。初心者向けモードでは、ユーザはクリックだけで計算領域を選択できる。中級者以上向けモードでは、ユーザはOpen Street Map上で、計算範囲を任意に設定できる。
- ・ダウンスケールには、力学的ダウンスケール手法の一つである擬似温暖化実験手法を採用している。
- ・力学的ダウンスケールで用いる領域気候モデルは、世界で最も広く利用されているモデルの一つである米国大気研究センターが中心となって開発したWeather Research and Forecasting (WRF)モデルを採用。
- ・IPCCのSRESおよびRCPシナリオに基づくダウンスケール実験が可能。
- ・CMIP3, CMIP5のGCMからのダウンスケール実験が可能。
- ・土地利用政策や、緑化政策、省エネ政策の効果が予測実験結果に反映できる。
- ・予測結果の不確実性などを知らせるためのガイドラインが表示される。

ダウンスケーラの初心者ユーザのための講習会をS-8の参画者向けに開催した。また、途上国支援を目的に、インドネシアの気象庁(BMKG)でも講習会を開催した。その後、ダウンスケーラの利用を希望するS-8の参画機関に、ダウンスケーラの最新版を配布した。これと並行して、S-8に参画していない自治体(兵庫県)からの要望に応える形で、兵庫県農政環境部温暖化対策課および環境省地球環境局総務課研究調査室に配布した。



図(1)-1 開発したダウンスケーラ

(2) 温暖化評価手法の開発とガイドラインの作成に関する研究

最新の温暖化予測データであるCMIP5 のRCP4.5およびRCP8.5のシナリオを用いたGCMを(GFDL-CM3, HadGEM2-ES, MIROC5, MRI-CGCM3, CCSM4, CESM1-CAM5, inmcm4)の結果から気候差分データを作成し、擬似温暖化実験手法を用いた力学的ダウンスケールを可能にした。ダウンスケーラで使用可能な7つのCGCMの昇温量の各シナリオの幅、すなわちCGCMによる気温上昇の予測の不確実性の幅は、全22CGCMの昇温量の各シナリオの幅と同程度である。このためダウンスケーラでは、全22CGCMを用いずとも、同程度の不確実性の幅をもった領域気候予測を行うことが可能となった。

また、ガイドラインを作成し、ユーザが地域気候予測結果の不確実性を認識できるようにした。

(3) 影響評価研究者および政策担当者との連携とダウンスケーラの有用性の評価に関する研究

ダウンスケーラのコアモデルであるWRFを用いた擬似温暖化実験手法に基づく力学的ダウンスケーリングにより、2090年代の北海道の将来気候予測を行った。実験では、A1bシナリオに基づくMIROC3.2(medres)およびMRICGCM2.3.2の実験データから作成した。将来の冬季気温上昇は、積雪被覆の変化に対応して、山岳域に比べて平野で顕著であることが分かった。このような地域詳細な予測は、全球気候モデルの予測結果の空間内挿では得られないダウンスケーラの利点である。

地域気候予測では、社会経済シナリオや全球気候モデルの気候感度に起因する不確実性に加えて、地域気候モデルや地域特有の事象によって生じる不確実性が加わることになる。これら様々な不確実性の要因について各々の寄与度を議論するために、異なる全球気候モデルを側面境界条件としたダウンスケーリング実験や、土地利用・海面水温・海水分布など下部境界条件を操作した複数の感度実験を行った。その結果、これらの下部境界条件に起因する不確実性は地域を限定するほど相対的な振幅が大きくなる傾向があり、地域気候予測においては無視できない効果を生じることが分かった。ダウンスケーラでは、将来の土地利用変化や人工排熱の変化を想定した実験が可能で設計となっており、地域特有の気象条件下で地域気候予測の不確実性について検討が進むことが期待される。

ダウンスケーラシステムは国内外の関係機関に対して導入の支援を行った。ダウンスケーラの実験運用を通じて得た成果は、一般市民に向けて公表するとともに、大学での留学生向け講義や国際トレーニングコースにおいて広く紹介・活用することで、温暖化の教育支援ツールとしての有効性も確認された。

5. 本研究により得られた主な成果

(1) 科学的意義

従来の気候シナリオでは、使用できるデータ期間やシナリオが限られていた。本研究で開発したダウンスケーラでは、影響評価研究者が自由度の高い気候予測情報を得ることが可能になるため、地域スケールの多様な影響予測・影響評価研究に大きく資すると期待される。

ダウンスケーラに搭載するダウンスケーリング手法に関する検討を行う過程で、以下のような様々な知見が得られた。力学的ダウンスケーリングによる気候予測では、地球温暖化に伴う気温上昇が積雪の変質を促進し、より密度の大きな雪へ変質する傾向があることが明らかとなった。北海道の農業に関しては、温暖化が進行した後も冷害のリスクが残ることが示された。北日本の冬季気候予測の不確実性を低減するために、周辺海域の海面水温や海水分布の再現性を向上することが重要であることが分かった。

(2) 環境政策への貢献

ダウンスケーラの特徴の一つがPC上で動くということである。これにより、スーパーコンピュータを保有していない自治体や途上国でもダウンスケール実験を可能にした。つまり、ダウンスケーラの完成によって、自治体の政策担当者や研究者が主体となって必要な予測データを作成することが可能となった。

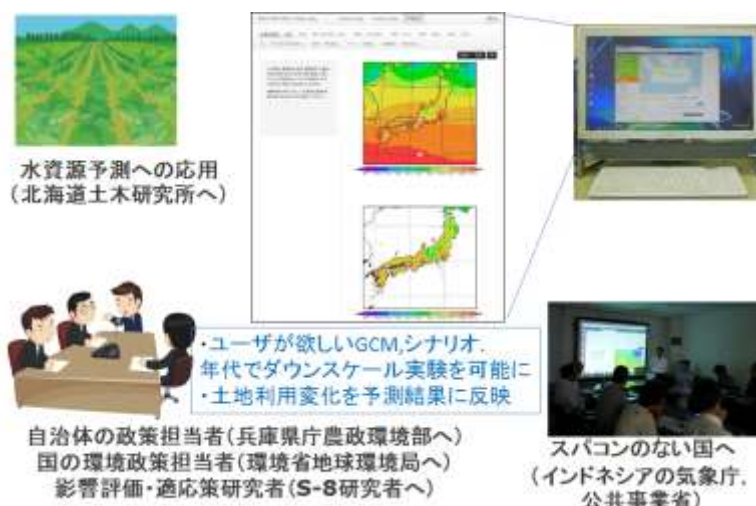
ダウンスケーラのもう一つの大きな特徴が、環境政策が地域気候に及ぼす影響を評価できることである。たとえば、ダウンスケーラは、将来の土地利用に基づいて地域気候の計算をするため、「土地利用政策を実行に移した場合にその地域の気候がどう変化するか」といった疑問にも答えることができる。従来のように、「気候が変化した場合に土地利用政策をどうするか」という視点だけではなく、「土地利用が変化した場合に地域の気候がどう変化するか」という環境政策のフィードバックまで考慮できる点で、ダウンスケーラは政策担当者にとって有用なツールとなることが期待される。実際に、土地利用政策が重要となる途上国からの期待は大きい(例、インドネシア気候気象地球物理庁、インドネシア公共事業省)。また、環境省などの我が国の行政機関が途上国支援事業を行う際の有用なツールになると期待されている(例、環境省地球環境局総務課研究調査室、JICAインドネシア)。

同様に、ダウンスケーラは都市内緑化政策や省エネ政策が地域の気候に及ぼす影響も評価できる。温暖化の緩和策としての省エネ政策が、「地域の気候をどう変えるか」といったフィードバックも考慮できる。

これらのダウンスケーラ特有の機能により、ボトムアップ的な政策立案が加速され、気候変動適応への機運を高める効果があると期待される。

S-8プロジェクト内外の地方公共団体環境研究機関等の研究者に対して、ダウンスケーラについての機能の説明を行い、利用を促進した。また一部の地方自治体(特に埼玉県)では、地方公共団体環境研究機関等の研究者のみならず政策担当者に対してもダウンスケーラについての説明を行うことを通じて、将来気候予測結果がもつ不確実性についての知識・情報の共有を進めた。

ダウンスケーラを海外のポテンシャルユーザに対して宣伝し、将来的に利用者を拡大することで、我が国発祥の環境評価技術の優位性を示すことができると考えられる。



<行政が既に活用した成果>

兵庫県農政環境部温暖化対策課および環境省地球環境局総務課研究調査室の要望に従って、開発したダウンスケーラをこれらの行政機関に配布した。また、インドネシア気象気候地球物理庁からの要望に従って、途上国支援として同庁にも配布した。

<行政が活用することが見込まれる成果>

ダウンスケーラの特徴の一つがPC上で動くということである。これにより、スーパーコンピュータを保有していない自治体や途上国でもダウンスケール実験を可能にした。つまり、ダウンスケーラの完成によって、自治体の政策担当者や研究者が主体となって必要な予測データを作成することが可能となった。また、ダウンスケーラは、一般的な地域気候予測とは異なり、土地利用政策や、緑化政策、省エネ政策の結果が地域気候予測結果に反映される。自治体や途上国が行う環境政策の結果が反映されるということで、期待が高い(例えば、インドネシア公共事業省)。

6. 研究成果の主な発表状況

(1) 主な誌上発表

<査読付き論文>

- 1) Y. TAKANE and H. KUSAKA: J. Appl. Meteor. Climatol., 50(9), 1827-1841 (2011)
 “Formation mechanism of the extreme surface air temperature of 40.9°C observed in the Tokyo metropolitan area considerations of dynamic foehn and foehn-like wind.”
- 2) 中村一樹、佐藤友徳、山中康裕、西村浩一：寒地技術シンポジウム論文集、27, 80-85 (2011)
 「気候変動に伴う北海道の雪質変化推定手法の開発」
- 3) S. MATSUMURA and T. SATO: SOLA, 7, 205-208 (2011)
 “Snow/Ice and Cloud Responses to Future Climate Change around Hokkaido”
- 4) 高根雄也、日下博幸、原政之：日本ヒートアイランド学会論文集、7, 18-26 (2012)
 「IPCC SRES A2シナリオ下での三大都市圏の夏季気候の将来予測：WRF-UCMIによる力学的ダウンスケーリング」
- 5) T. SATO and S. SUGIMOTO: Water Resour. Res., 49, 7763-7777, doi:10.1002/2012WR013206(2013)
 “A numerical experiment on the influence of the interannual variation of sea surface temperature on terrestrial precipitation in northern Japan during the cold season.”
- 6) T. SATO: Mon. Wea. Rev., 141, 2451-2466, DOI: 10.1175/MWR-D-12-00321.1(2013)
 “Mechanism of orographic precipitation around the Meghalaya Plateau associated with intraseasonal oscillation and diurnal cycle.”
- 7) S. SUGIMOTO, T. SATO and K. NAKAMURA: J. Appl. Meteor. Climatol., 52, 2226-2242. DOI: <http://dx.doi.org/10.1175/JAMC-D-12-0192.1>(2013)
 “Effects of synoptic-scale control on long-term declining trends of summer fog frequency over the Pacific side of Hokkaido Island”
- 8) Y. TAKANE, Y. OHASHI, H. KUSAKA, Y. SHIGETA and Y. KIKEGAWA: J. Appl. Meteor. Climatol., 52, 1764-1778 (2013)

“Effects of Synoptic-Scale Wind under the Typical Summer Pressure Pattern on the Mesoscale High-Temperature Events in the Osaka and Kyoto Urban Areas by the WRF Model.”

- 9) 日下博幸、飯島奈津美、井原智彦、原政之、高根雄也、飯塚悟：日本建築学会環境系論文集、78(693), 873-881 (2013)

「2070年代8月を対象とした東京・名古屋・大阪における熱中症および睡眠困難の将来予測」

- 10) 佐藤友徳：天気、61, 644-648 (2014)

「地域スケールの気候予測情報とその活用」

- 11) Y. TAKANE, H. KUSAKA and H. KONDO: Int. J. Climatol., DOI:10.1002/joc.3951(2014)

“Climatological study on mesoscale extreme high temperature events in the inland of the Tokyo Metropolitan Area, Japan, during the past 22 years.”

- 12) S. MATSUMURA, S. SUGIMOTO and T. SATO: J. Climate, 28, 2873-2883. DOI:

<http://dx.doi.org/10.1175/JCLI-D-14-00569.1> (2015)

“Recent intensification of the western Pacific subtropical high associated with East Asian summer monsoon”

<査読付論文に準ずる成果発表>

- 1) 池田亮作、日下博幸：電力土木、374(11), 101-105 (2014)

「気象の力学モデル」

- 2) 秋本祐子、日下博幸：電力土木、375(1), 85-88 (2015)

「気象の物理モデル」

(2)主な口頭発表(学会等)

- 1) 松村伸治、佐藤友徳：雪氷研究大会2011 (2011)

「雪氷変化に伴う北海道の将来気候への影響 -擬似温暖化実験による予測-」

- 2) T. SATO and S. MATSUMURA: Third international workshop on downscaling, 2011

“Detection and evaluation of uncertainty in regional climate simulation by sensitivity experiment”

- 3) 佐藤友徳：日本気象学会2012年秋季大会一般公開シンポジウム「気象学が地域の未来にいかに関与できるか？ これからの北海道の地域づくりと気象学の研究」(2012)

「地域スケールの気候予測情報とその活用」

- 4) T. SATO and S. SUGIMOTO: Davos Atmosphere and Cryosphere Assembly DACA-13, Davos, Swiss, 2013

“Possible impact of sea surface warming on the spatial variation of winter precipitation trends in north Japan.”

- 5) 佐藤友徳、杉本志織：日本気象学会2013年度秋季大会 (2013)

「日本海海面水温の上昇と冬季降水量の長期変化傾向について」

- 6) M. HARA, S. A. ADACHI, H. KUSAKA and F. KIMURA: 7th International Scientific Conference on the Global Water and Energy Cycle, Hague, Netherland, 2014

“Future change of wintertime thermal environment in the Tokyo metropolitan area”

- 7) M. HARA, S. A. ADACHI, H. KUSAKA and F. KIMURA: American Geophysical Union 2014 Fall Meeting, San Francisco, United States, 2014

“Future change of wintertime urban heat island intensity over Japan”

7. 研究者略歴

課題代表者：日下 博幸

筑波大学大学院環境科学専攻修了、博士(理学)、現在、筑波大学計算科学研究センター准教授
研究分担者

- 1) 若月 泰孝

名古屋大学大学院理学研究科中退、博士(理学)、現在、筑波大学アイソトープ環境動態研究センター助教

- 2) 佐藤 友徳

筑波大学大学院地球科学研究科中退、博士(理学)、現在、北海道大学大学院地球環境科学研究
院准教授

- 3) 原 政之

筑波大学大学院地球科学研究科中退、博士(理学)、現在、埼玉県環境科学国際センター研究員

S-8-1 我が国全体への温暖化影響の信頼性の高い定量的評価に関する研究

(2) 温暖化ダウンスケーラの開発とその実用化

① ユーザ支援システムの開発に関する研究

国立大学法人筑波大学

計算科学研究センター	日下 博幸
計算科学研究センター	田中 博
計算科学研究センター	川島 英之
計算科学研究センター	建部 修見
アイソトープ環境動態研究センター	若月 泰孝

平成22～26年度累計予算額：49,474千円（うち、平成26年度予算額：11,159千円）

予算額は、間接経費を含む。

[要旨]

これまで、環境省、文部科学省、気象庁などの大型プロジェクトによって、力学的ダウンスケーリング手法による地域気候の将来予測が行われてきた。しかしながら、これらの予測データは、データ期間や、シナリオ、対象とする国・地域が限られていた。

そこで、本課題では、非専門家が自分たちのニーズに合わせて簡単に地域気候予測ができるソフトウェア「温暖化ダウンスケーラ」を開発することにした。

本課題で開発した温暖化ダウンスケーラは、誰でも簡単に地域気候予測ができるようにするソフトウェアである。このソフトは、Linux-PCとWindows-PCのウェブブラウザ（IE、Google Chrome）上で動くウェブアプリケーションである。一般的に、ダウンスケーリング手法によって地域気候予測を行う際には領域気候モデル（RCM）を用いるため、莫大な計算資源と不確実性の低減が必要となる。温暖化ダウンスケーラでは、擬似温暖化手法を採用してこれらの問題を克服すると同時に、CMIP3とCMIP5の全球気候モデル（GCM）、およびSRESとRCPシナリオに基づく複数の将来気候予測シナリオを用いた予測も可能にした。このソフトは、単に予測計算をするだけでなく、土地利用政策や省エネ策などの環境政策が地域気候に与える影響も評価することができる。

温暖化ダウンスケーラは、以上の特徴を持つため、スーパーコンピュータを保有していない自治体や途上国でも予測実験を可能にする。そして、自治体や途上国によるボトムアップ的な政策立案の加速に資するソフトになると期待されている。

[キーワード]

力学的ダウンスケーリング、ウェブアプリケーション、地域気候予測、WRF

1. はじめに

これまで、環境省のS-5プロジェクト、文科省の革新プロジェクト、RECCAプロジェクト、リスク情報創生プログラム等によって、日本域を対象としたダウンスケール実験が行われてきた。こ

これらの大型プロジェクトで得られた将来予測データは、影響評価研究に有用であると期待されているが、年代・シナリオ・GCMが限定されており、出力される変数などもある程度限定されている。

年代・シナリオ・GCMを任意に選択でき、それぞれのニーズに合ったダウンスケーリング実験を簡易にでき、さらには自治体の環境政策の効果を地域の気候予測実験結果に反映できるシステムをもし開発することができれば、様々な研究対象を持つ影響評価研究者、あるいは「気候変動への賢い適応」を検討する地方自治体の研究員にとって大変有用なものになり、影響評価研究や適応研究に大きく資すると期待できる。

表1(2)①-1 日本を対象とした地域気候予測の現状（2015年3月現在）

プロジェクト	GCM	シナリオ	年代	空間分解能、DS方法
S-8共通 (第一版)	MIROC3.2 hires MRI-CGCM 2.3.2 GFDL CM2.1 CSIRO MK3.0	A1b	2031-2050 2081-2100	GCMからの線形内挿
S-8共通 (第二版)	MIROC5 MRI-CGCM3 GFDL CM3 GadGEM2-ES	RCP2.6, RCP4.5, RCP8.0	2031-2050 2081-2100	GCMからの線形内挿
S-5	MIROC3 MIROC5	A1b RCP4.5	2031-2050 2081-2100	20kmRCMによる力学的DS
気象庁 地球温暖化予 測情報第7巻	MRI-CGCM2.3.2	A1b, B1	2081-2100	20kmRCMによる力学的DS
気象庁 地球温暖化予 測情報第8巻	MRI-AGCM3.2	A1b	2016-2035, 2076-2095	5kmRCMによる力学的DS
革新	MRI	A1b	2015-2039 2075-2099	5kmRCMによる力学的DS (6-10月) 1kmRCMによる力学的DS (地域限定)
創生プログラ ム	MRI-AGCM3.2	RCP8.5	1980-2000 2076-2096	5kmRCMによる力学的DS (全季節、 SSTクラスターアンサンブル)
適応計画の策 定に向けた温 暖化予測 (環 境省)	MRI-AGCM3.2	RCP2.6 RCP4.5 RCP6.0 RCP8.5	1984-2004 2080-2100	20kmRCMによる力学的DS (全季節、 物理スキームとSSTクラスターによ るアンサンブル、19メンバー)
RECCA共通 (第一版)	MIROC、MRI、 GFDL、CSIRO	A1b		地域限定の力学的DSと統計的DS

2. 研究開発目的

本課題の目的は、温暖化ダウンスケーラのベースとなるユーザ支援システムを開発すると同時に、サブテーマ1(2)②が作成したガイドラインを導入することで、温暖化ダウンスケーラを開発することである。さらには、ダウンスケーラの普及のための取り組み、具体的には、ユーザ向けの講習会の開催、マニュアルの更新などを行う。

3. 研究開発方法

本課題では、ユーザ支援システムを構築し、その中にサブテーマ1(2)②が作成したガイドラインとデータを採用することで、ダウンスケーラを開発する。ダウンスケーラは、誰でも操作ができることをその長所の一つとしているため、GUIベースのシステムにする。ダウンスケーラは、Linux-PCとWindows-PCのウェブブラウザ上で動くウェブアプリケーションとする。対応するウェブブラウザは、Internet ExplorerとGoogle Chromeとする。

ダウンスケーラに搭載する機能については、影響評価研究者および本課題のサブテーマ1(2)③に事前アンケートおよびベータ版配布後のヒアリングを行い、その結果（ユーザからの要望）をできるだけ反映させる。開発したダウンスケーラをS-8の中の利用希望機関全てに配布し、ダウンスケーラの利用講習会を開催する。国内だけでなく海外の利用も考慮して、ダウンスケーラのシステムとマニュアルは日本語版と英語版の両方を用意する。

4. 結果及び考察

地域気候予測の非専門家のためのユーザ支援システムを開発した。それをベースにダウンスケーラを開発した。開発したダウンスケーラの特徴は以下の通りである。

- ・Windows-PCおよびLinux-PC上のInternet Explorer および Google Chrome 上で動くウェブアプリケーション（図1(2)①-1）である。GUI上で全ての操作ができる。
- ・初心者向けモード（簡易設定モード）と中級者以上向けモード（詳細設定モード）の2種類のモードがある。初心者向けモードでは、ユーザはクリックするだけで計算領域を選択できる（図1(2)①-2）。中級者以上向けモードでは、ユーザはOpen Street Map上で、計算範囲を任意に設定できる。
- ・地域を対象とした現在気候および将来気候の予測計算が、30km、20km、10km、4kmもしくは2kmメッシュで可能（図1(2)①-3）。誰でも簡単に予測計算ができる。
- ・予測結果を（クリックとプルダウンメニューからの選択だけで）簡単に作図できる（図1(2)①-4）。作図結果はpng形式で出力できる。
- ・予測結果は、テキスト形式データとcsv形式データとしても出力できる。
- ・ダウンスケールには、力学的ダウンスケール手法の一つである擬似温暖化実験手法を採用している。これにより、計算コストの大幅な縮減を可能にしている。
- ・現在および将来予測計算（力学的ダウンスケール）に用いる領域気候モデルとして、世界でも最も広く利用されているWeather Research and Forecasting (WRF)モデルを採用している。
- ・IPCCのSRESおよびRCPシナリオに基づくダウンスケール実験が可能（図1(2)①-5）。
- ・CMIP3, CMIP5のGCMからのダウンスケール実験が可能（図1(2)①-6）。
- ・土地利用政策や、緑化政策、省エネ政策の効果が予測実験結果に反映できる（図1(2)①-7）。
- ・予測結果の不確実性などを知らせるためのガイドラインが表示される。
- ・日本国内だけでなく、中緯度から低緯度の地域であれば、どこでも利用可能（図1(2)①-8）。また、日本語システムと英語システムの両方が用意されている。マニュアルも日本語版と英語版の両方が用意されている。

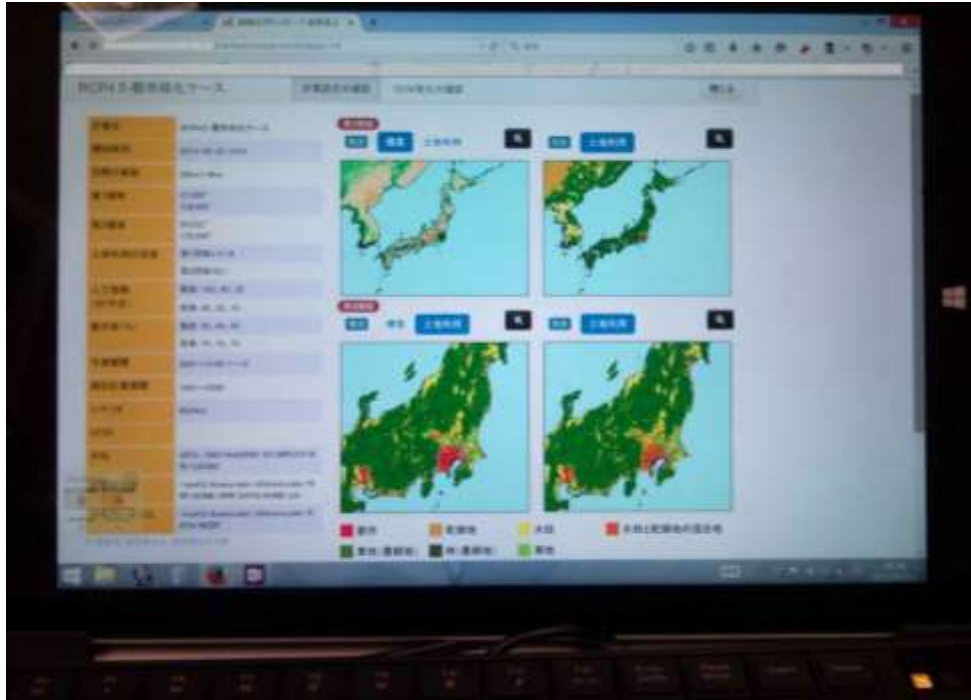


図1(2)①-1 開発したダウンスケーラ



図1(2)①-2 初心者向けモードの画面。ユーザはクリックだけで計算領域を選択できる。

図1
20k
選択

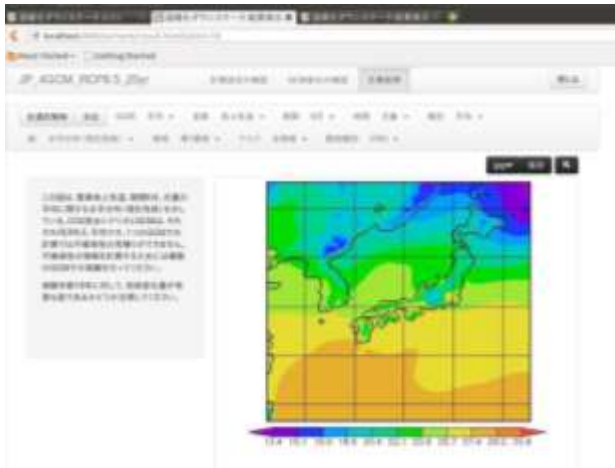


図1(2)①-4 予測結果の作図例。



図1(2)①-5 IPCCのSRESおよびRCPシナリオに基づくダウンスケール実験。

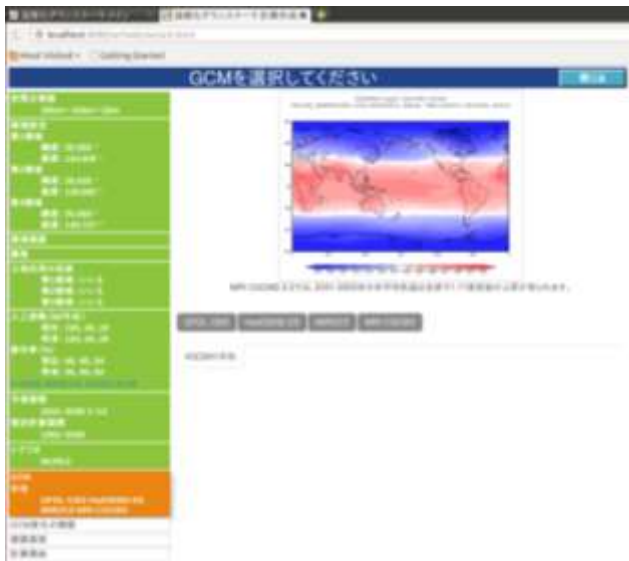


図1(2)①-6 RCP8.5シナリオ、CMIP5のGCMからのダウンスケール実験。



図1(2)①-7 土地利用政策や、緑化政策、省エネ政策の効果を予測実験結果に反映。

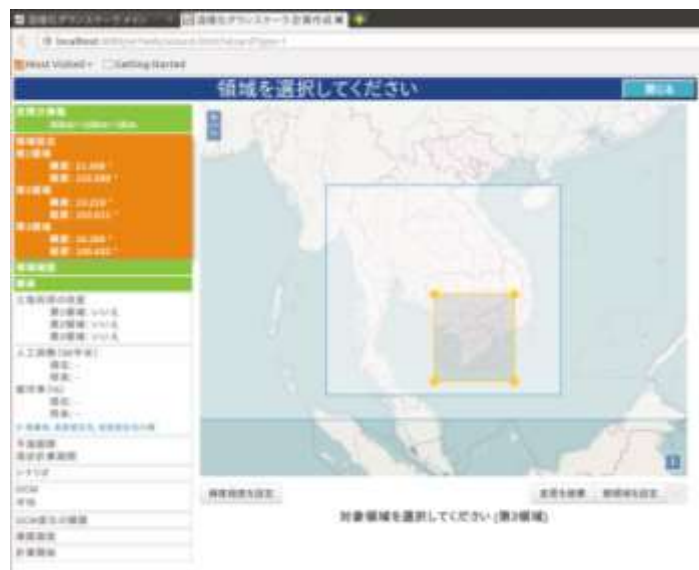


図1(2)①-8 日本国内以外の地域での予測計算も可能。

ダウンスケーラの初心者ユーザのための講習会をS-8の参画者向けに開催した（図1(2)①-9）。また、途上国支援を目的に、インドネシアの気象気候地球物理庁（BMKG）でも講習会を開催した（図1(2)①-10）。その後、ダウンスケーラの利用を希望するS-8の参画機関に、ダウンスケーラの最新版を配布した。これと並行して、S-8に参画していない自治体（兵庫県）からの要望に応える形で、兵庫県農政環境部温暖化対策課および環境省地球環境局総務課研究調査室に配布した。

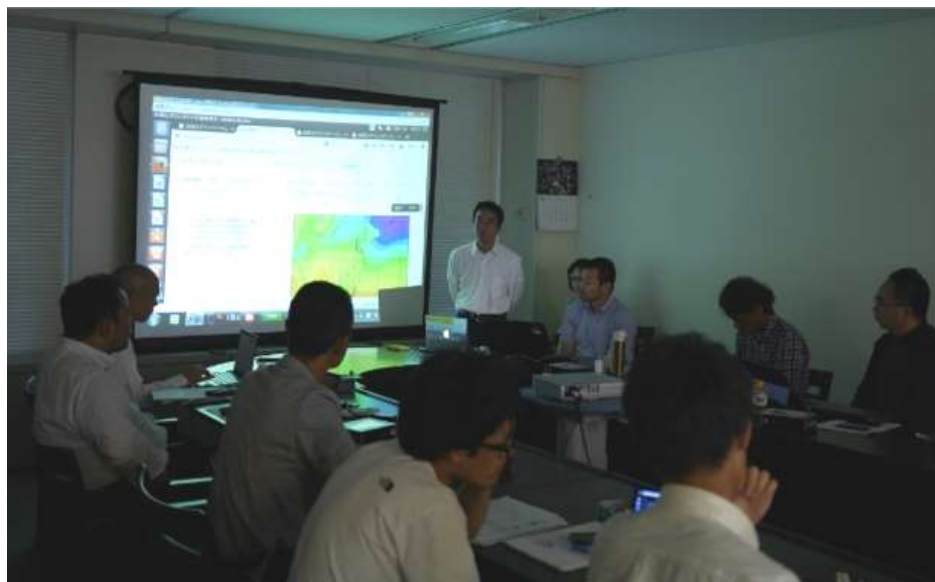


図1(2)①-9 ダウンスケーラ講習会の様子。JAMSTEC東京事務所にて開催。



図1(2)①-10 インドネシアの気象気候地球物理庁（BMKG）で開催した講習会の様子。

5. 本研究により得られた成果

（1）科学的意義

従来の気候シナリオでは、使用できるデータ期間やシナリオが限られていた。本研究で開発したダウンスケーラでは、影響評価研究者が自由度の高い気候予測情報を得ることが可能になるため、地域スケールの多様な影響予測・影響評価研究に大きく資すると期待される。

（2）環境政策への貢献

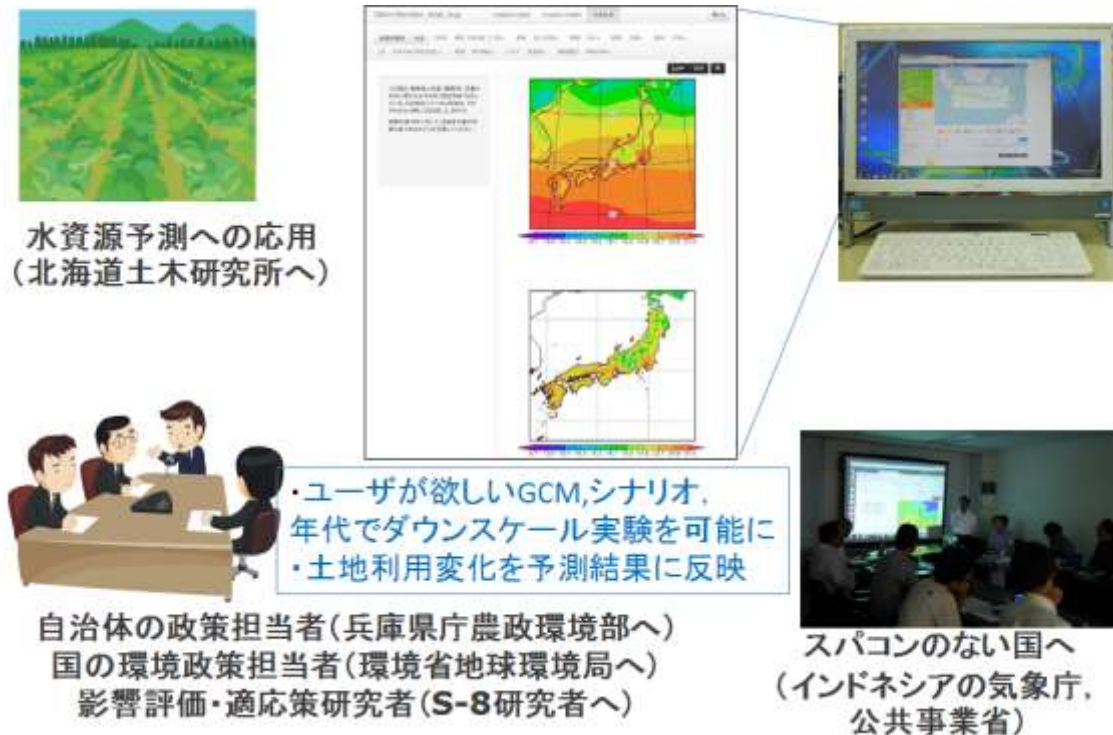
ダウンスケーラの特徴の一つがPC上で動くということである。これにより、スーパーコンピュータを保有していない自治体や途上国でもダウンスケール実験を可能にした。つまり、ダウンスケーラの完成によって、自治体の政策担当者や研究者が主体となって必要な予測データを作成することが可能となった。

ダウンスケーラのもう一つの大きな特徴が、環境政策が地域気候に及ぼす影響を評価できることである。たとえば、ダウンスケーラは、将来の土地利用に基づいて地域気候の計算をするため、「土地利用政策を実行に移した場合にその地域の気候がどう変化するのか？」といった疑問にも答えることができる。従来のように、「気候が変化した場合に土地利用政策をどうするか」という視点だけではなく、「土地利用が変化した場合に地域の気候がどう変化するのか」という環境政策のフィードバックまで考慮できる点で、ダウンスケーラは政策担当者にとって有用なツールとなることが期待される。実際に、土地利用政策が重要となる途上国からの期待は大きい（例、インドネシア気象気候地球物理庁、インドネシア公共事業省）。また、環境省などの我が国の行政機関が途上国支援事業を行う際の有用なツールになると期待されている（例、環境省地球環境局総務課研究調査室、JICAインドネシア）。

同様に、ダウンスケーラは都市内緑化政策や省エネ政策が地域の気候に及ぼす影響も評価できる。温暖化の緩和策としての省エネ政策が、「地域の気候をどう変えるか」といったフィードバ

ックも考慮できる。

これらのダウンスケーラ特有の機能により、ボトムアップ的な政策立案が加速され、気候変動適応への機運を高める効果があると期待される。



<行政が既に活用した成果>

兵庫県農政環境部温暖化対策課および環境省地球環境局総務課研究調査室の要望に従って、開発したダウンスケーラをこれらの行政機関に配布した。また、インドネシア気象気候地球物理庁からの要望に従って、途上国支援として同庁にも配布した。

<行政が活用することが見込まれる成果>

ダウンスケーラの特徴の一つがPC上で動くということである。これにより、スーパーコンピュータを保有していない自治体や途上国でもダウンスケール実験を可能にした。つまり、ダウンスケーラの完成によって、自治体の政策担当者や研究者が主体となって必要な予測データを作成することが可能となった。また、ダウンスケーラは、一般的な地域気候予測とは異なり、土地利用政策や、緑化政策、省エネ政策の結果が地域気候予測結果に反映される。自治体や途上国が行う環境政策の結果が反映されるということで、期待が高い（例えば、インドネシア公共事業省）。

6. 国際共同研究等の状況

JICAのプロジェクトの一環として、インドネシアの気象気候地球物理庁（BMKG）から職員を3名、公共事業省から職員を2名、バンドン工科大学から講師を1名受け入れ、ダウンスケーラを使ったインドネシアの将来気候予測方法や土地利用政策に対するダウンスケーラの有効活用の方法

を指導した。また、ダウンスケール手法そのものについても指導した。カウンターパートは、インドネシアの気象気候地球物理庁（BMKG）のWidada Sulistya局長である。

ベトナムハノイ自然科学大学を訪問し、ダウンスケールを紹介するとともに、ダウンスケールに関する指導を行った。カウンターパートは、ベトナム国家大学ハノイ自然科学大学のNguyen Minh Truong講師である。

7. 研究成果の発表状況

(1) 誌上発表

<論文（査読あり）>

- 1) H. KUSAKA, Y. MIYA and R. IKEDA: J. Meteor. Soc. Japan, 89, 327-340 (2011)
 “Effects of Solar Radiation Amount and Synoptic-scale Wind on the Local Wind
 “Karakkaze” over the Kanto Plain in Japan”
- 2) Y. TAKANE and H. KUSAKA: J. Appl. Meteor. Clim., 50, 1827-1841 (2011)
 “Formation mechanism of the extreme surface air temperature of 40.9 C observed in
 the Tokyo metropolitan area: Considerations of dynamic foehn and foehn-like wind”
- 3) T. IIZUMI, I. TAKAYABU, K. DAIRAKU, H. KUSAKA, M. NISHIMORI, G. SAKURAI, N. ISHIZAKI,
 S. A. ADACHI and M. A. SEMENOV: Journal of Geophysical Research-Atmosphere, Vol117,
 D11114 19PP. (2012)
 “Future change of daily precipitation indices in Japan: A stochastic weather
 generator-based bootstrap approach to provide probabilistic climate”
- 4) 高根雄也、日下博幸、原政之：日本ヒートアイランド学会論文集，7，18-26 (2012).
 「IPCC SRES A2シナリオ下での三大都市圏の夏季気候の将来予測：WRF-UCMによる力学的ダ
 ウンスケーリング」
- 5) 岡田牧、若月泰孝、犬飼俊、廣田陸、日下博幸：日本ヒートアイランド学会論文集，8，7-12
 (2013).
 「初冬早朝における緑地内外の気温分布調査 ー代々木公園・明治神宮の事例ー」
- 6) 平田航、日下博幸：地理学評論，86(4)，338-353 (2013).
 「二つ玉低気圧通過に伴う降水の気候学的研究」
- 7) Y. TAKANE, Y. OHASHI, H. KUSAKA, Y. SHIGETA and Y. KIKEGAWA: J. Appl. Meteor. Climatol,
 52, 1764-1778 (2013)
 “Effects of Synoptic-Scale Wind under the Typical Summer Pressure Pattern on the
 Mesoscale High-Temperature Events in the Osaka and Kyoto Urban Areas by the WRF
 Model”
- 8) 日下博幸、飯島奈津美、井原智彦、原政之、高根雄也、飯塚悟：日本建築学会環境系論文集，
 78(693)，873-881 (2013).
 「2070年代8月を対象とした東京・名古屋・大阪における熱中症および睡眠困難の将来予測」
- 9) Y. TAKANE, H. KUSAKA and H. KONDO: Int. J. Climatol., DOI:10.1002/joc.3951 (2014)
 “Climatological study on mesoscale extreme high temperature events in the inland
 of the Tokyo Metropolitan Area, Japan, during the past 22 years”

<査読付論文に準ずる成果発表>

- 1) 日下博幸：地学雑誌，120(2)，285-295 (2011)
「領域気象モデルWRFの都市気候研究への応用と課題」
- 2) 日下博幸：日本ヒートアイランド学会誌，6，42-45 (2011)
「ヒートアイランド気象学事始め(第5回)」
- 3) 池田亮作、日下博幸：電力土木，374(11)，101-105 (2014)
「気象の力学モデル」
- 4) 秋本祐子、日下博幸：電力土木，375(1)，85-88 (2015)
「気象の物理モデル」

<その他誌上発表(査読なし)>

特に記載すべき事項はない。

(2) 口頭発表(学会等)

- 1) 水成真由美、日下博幸、横山仁：日本気象学会2011年度春季大会 (2011)
「東京都で発生する夏季の短時間強雨の気候学的研究」
- 2) 高根雄也、大橋唯太、日下博幸、重田祥範、亀卦川幸浩：日本気象学会2011年度春季大会 (2011)
「日本で最も暑い京阪地域における夏季高温の実態調査と形成要因の解明」
- 3) 古橋奈々、日下博幸、横山仁：日本ヒートアイランド学会第6回全国大会 (2011)
「東京23区で真夏日の午後に観測された短時間強雨の実態調査－降水分布の特徴の把握－」
- 4) 水成真由美、日下博幸、横山仁：日本ヒートアイランド学会第6回全国大会 (2011)
「東京都で発生する短時間強雨の統計解析－降水分布の特徴の把握－」
- 5) 高根雄也、大橋唯太、日下博幸、重田祥範、亀卦川幸浩：日本地理学会2011年秋季学術会 (2011)
「日本で最も暑い京阪地域における夏季高温の実態調査と形成要因の解明」
- 6) H. KUSAKA：Third international workshop on downscaling, Tsukuba, Japan, 2011
“Simple DDS scheme in S-8 projects.”
- 7) 加藤隆之、日下博幸：第13回非静力学モデルに関するワークショップ (2011)
「湖盆地形における湖陸風循環モデルの開発」
- 8) 加藤隆之、日下博幸：日本気象学会2011年度秋季大会 (2011)
「湖盆地形における局地気流モデルの開発」
- 9) 加藤隆之、日下博幸：日本地理学会2012年春季学術大会 (2011)
「夜間の二次元局地気流モデルの開発と陸風・斜面下降流への適用－洞爺湖を例とし－」
- 10) 高根雄也、日下博幸：日本地理学会2012年春季学術大会 (2011)
「過去22年間に関東平野内陸域で観測された極端な高温現象発生時のメソスケールの特徴」
- 11) 高根雄也、日下博幸：第56回気候影響・利用研究会 (2011)
「2011年6月24日に関東平野内陸域で発生した39.8℃の極端な猛暑の形成メカニズム」
- 12) 桑門遼、日下博幸：日本気象学会2012年度春季大会，つくば (2012)
「百里基地周辺における霧の気候学的特徴」

- 13) 高根雄也、日下博幸：日本気象学会2012年度春季大会，つくば（2012）
「2011年6月24日に関東平野内陸域で発生した39.8℃の猛暑の形成メカニズム：領域気象モデルWRFを用いた山越え気流に伴う昇温メカニズムの考察」
- 14) H. KUSAKA：6th Japanese-German meeting on urban climatology, Hiroshima, Japan, 2012
“Climate analysis for urban planning.”（招待講演）
- 15) 日下博幸：一般財団法人日本気象協会・技術研究会，東京（2012）
「数値モデルによる都市気候・局地気候の解明：WRFの特徴と適用範囲」（招待講演）
- 16) 水成真由美、日下博幸、横山仁：日本気象学会2012年度秋季大会，札幌（2012）
「東京都で発生する夏季の短時間強雨に与える都市と海の影響」
- 17) 岡田牧、日下博幸、若月泰孝、中野美紀、佐藤友徳、原政之：第58回気候影響・利用研究会，東京（2013）
「温暖化ダウンスケーラの開発」
- 18) 日下博幸：第58回気候影響・利用研究会，東京（2013）
「力学的ダウンスケール手法を用いた将来の都市気温予測」
- 19) 岡田牧、日下博幸：日本気象学会2013年度春季大会（2013）
「公園緑地に適応させた黒球温度推定式の導出」
- 20) 柿沼亜衣、日下博幸：日本気象学会2013年度春季大会（2013）
「北陸地方・北関東地方で発生する高温に対するフェーンの気候学」
- 21) 高根雄也、日下博幸：日本気象学会2013年度春季大会（2013）
「関東平野内陸域で発生する猛暑とフェーンのメカニズム」
- 22) M. HARA, S. A. ADACHI, H. KUSAKA, F. KIMURA：7th International Scientific Conference on the Global Water and Energy Cycle, Hague, Netherland, 2014
“Future change of wintertime thermal environment in the Tokyo metropolitan area”
- 23) H. KUSAKA, Y. WAKAZUKI, M. NAKANO, M. OKADA, Q. V. DOAN, A. KAKINUMA, T. SATO, M. HARA：AOGS 11th Annual Meeting, Sapporo, Japan, 2014
“Development of a Web Application for Dynamical Downscaling “GW Downscaler””
- 24) 原政之、足立幸穂、日下博幸、木村富士男、高橋洋、馬夔銚：日本気象学会2014年度秋季大会（2014）
「気候変動が日本の大都市の冬季ヒートアイランドに与える影響」
- 25) M. HARA, S. A. ADACHI, H. KUSAKA, F. KIMURA：American Geophysical Union 2014 Fall Meeting, San Francisco, United States, 2014
“Future change of wintertime urban heat island intensity over Japan”

(3) 出願特許

特に記載すべき事項はない。

(4) 「国民との科学・技術対話」の実施

- 1) 環境省受託研究S8のダウンスケーラ講習会（2014年9月30日、JAMSTEC東京事務所、参加者約10名）

(5) マスコミ等への公表・報道等

- 1) 成果の記者発表（2011年7月21日、於筑波大学計算科学研究センター、熊谷猛暑の研究成果について）
- 2) 共同通信（2011年7月21日、株式会社 共同通信社、熊谷猛暑の研究成果について）
- 3) 時事通信（2011年7月21日、株式会社 時事通信社、熊谷猛暑の研究成果について）
- 4) サンケイスポーツ（2011年7月21日、全国版、株式会社産業経済新聞社、熊谷猛暑の研究成果について）
- 5) 日経新聞（2011年7月22日、全国版、株式会社日本経済新聞社、熊谷猛暑の研究成果について）
- 6) 茨城新聞（2011年7月22日、株式会社茨城新聞社、熊谷猛暑の研究成果について）
- 7) 朝日新聞（2011年7月22日、全国版、株式会社朝日新聞社、熊谷猛暑の研究成果について）
- 8) 毎日新聞（2011年7月22日、全国版、株式会社毎日新聞社、熊谷猛暑の研究成果について）
- 9) 東京新聞（2011年7月22日、株式会社中日新聞社、熊谷猛暑の研究成果について）
- 10) 日本テレビZIP!（2011年7月26日、「温暖化ダウンスケーラの開発とその実用化」に関する、都市の短時間強雨の研究成果について1分ほど紹介）
- 11) 日本テレビスッキリ!!（2011年7月27日、「温暖化ダウンスケーラの開発とその実用化」に関する、都市の短時間強雨の研究成果について8分ほど紹介）
- 12) テレビ朝日モーニングバード（2011年7月28日、「温暖化ダウンスケーラの開発とその実用化」に関する、都市の短時間強雨の研究成果について1分ほど紹介）
- 13) 共同通信（2011年7月28日、株式会社 共同通信社、都市の短時間強雨の研究成果について）
- 14) テレビ朝日モーニングバード（2011年8月4日、「温暖化ダウンスケーラの開発とその実用化」に関する、都市の短時間強雨の研究成果について電話取材に応じた）
- 15) FM NACK5（79.5MHz）「夕焼けシャトル」（2011年8月8日、「温暖化ダウンスケーラの開発とその実用化」に関する、都市の短時間強雨の研究成果について5分ほど紹介）
- 16) 日本テレビnews.every（2011年8月10日、「温暖化ダウンスケーラの開発とその実用化」に関する、都市の短時間強雨の研究成果について資料を提供した）
- 17) 毎日新聞（2012年5月26日、全国版、6頁、三大都市圏の夏季気候の将来予測実験と健康響評価について）
- 18) InterFM「GREEN STATION」（2012年7月19日、「温暖化ダウンスケーラの開発とその実用化」に関する、都市気候、短時間強雨、ヒートアイランド現象、温暖化予測などの研究成果について10分ほど紹介）
- 19) CBCラジオ「土曜ワイド 広瀬隆のラジオでいこう！」（2012年7月28日、「温暖化ダウンスケーラの開発とその実用化」に関する、ヒートアイランド現象、温暖化予測などの研究成果について10分ほど紹介）
- 20) ラジオNIKKEI第2（2013年9月9～13日、温暖化研究について紹介）

(6) その他

- 1) 一般に対する教育普及啓蒙活動：

日下博幸、ベレ出版、265pp (2013)
「学んでみると気候学はおもしろい」

8. 引用文献

特に記載すべき事項はない。

S-8-1 我が国全体への温暖化影響の信頼性の高い定量的評価に関する研究

(2) 温暖化ダウンスケーラの開発とその実用化

② 温暖化評価手法の開発とガイドラインの作成に関する研究

独立行政法人海洋研究開発機構

シームレス環境予測研究分野

木村 富士男

馬 燮鈿

研究協力機関

埼玉県環境科学国際センター

温暖化対策担当

原 政之

国立大学法人東京大学

大気海洋研究所

吉兼 隆生

平成22～26年度累計予算額：25,657千円（うち、平成26年度予算額：1,200千円）

予算額は、間接経費を含む。

[要旨]

ダウンスケーラでは、力学的ダウンスケーリングを採用している。しかし、力学的ダウンスケーリングを行うためには、多大な計算資源が必要となる。ダウンスケーリングの際に必要な計算資源を効率的に減らす必要がある。このため、ダウンスケーラでは擬似温暖化手法を採用した。本研究では、はじめに、CMIP3とCMIP5のGCMによるSRESおよびRCPシナリオ下での全球気候予測結果を用いて、擬似温暖化手法に必要な気候差分データを作成した。これにより、標準シナリオ以外の多くの将来気候予測シナリオを用いた予測も可能になった。次に、ダウンスケーラを効率的に利用するためのGCMデータや計算設定の調査を行った。これらの作業と並行して、気候研究者ではないユーザがダウンスケーラを用いる際に参考とするためのガイドラインについて開発を行った。

[キーワード]

力学的ダウンスケーリング、領域気候モデル、擬似温暖化手法、温室効果ガス排出シナリオ、WRF

1. はじめに

従来行われており、影響評価研究者が使用することが可能である地域気候予測データは、年代・温室効果ガス排出シナリオ・全球気候モデルなどが限られていた。複数の年代・温室効果ガス排出シナリオ・全球気候モデルを整備し、ダウンスケーラに搭載し、より効率的に将来予測計算が可能となることによって、将来予測の不確実性まで含めた影響評価研究が飛躍的に進歩すると考えられる。

2. 研究開発目的

(1) PC上でダウンスケール計算を可能にするための温暖化評価手法の開発について

当プロジェクト開始前に開発された擬似温暖化手法の開発・改良・検証を進め、S-8標準シナリオ及びそれ以外の将来気候予測を可能とすること、また、PC上での擬似温暖化手法による将来気候予測で必要とする計算資源を削減することを目的とした。

(2) 本システムを使った計算結果に対するユーザの理解を助けるためのガイドラインの作成

CGCMの将来気候予測データの特徴をユーザに図・文章で知らせるための機能を開発し実装すること、また、本システムでのダウンスケーリング結果について、ユーザの理解を助けるためのガイドラインを作成することを目的とした。

3. 研究開発方法

(1) PC上でダウンスケール計算を可能にするための温暖化評価手法の開発について

擬似温暖化手法の開発・改良・検証、及び、擬似温暖化手法で行える実験の拡張の2つを進めた。擬似温暖化手法では、CGCMで計算された現在気候再現データと将来気候予測データの月平均値を用いる。これらの月平均値のデータの差分をとり、これを再解析データに上乗せしたデータを領域気候モデルの初期値・境界値として計算することによって、詳細な将来気候予測データを得る。

擬似温暖化手法の開発・改良としては、PC上でも実験可能とするために必要となる計算機資源を削減できる手法を開発した。また、S-8標準シナリオV1、V2に含まれている将来気候予測データのみならず、CMIP3、CMIP5の多数のCGCMによる将来気候予測データを用いたダウンスケーリングを可能とするために、将来気候予測データの収集・整理、擬似温暖化実験のための気候差分データの作成を行った。

(2) 本システムを使った計算結果に対するユーザの理解を助けるためのガイドラインの作成

力学的ダウンスケーリングについての既存の資料を翻訳し、また国内外でのダウンスケーリングについてのプロジェクト等を参考にしつつ、ガイドラインの作成を行った。作成したガイドラインについては、海外のユーザに対応するための英訳についても行った。また、当システムによるダウンスケーリングの結果を検証するための観測データを整備し、当システム内で計算結果と比較が可能となるような機能の実装を行った。

4. 結果及び考察

(1) PC上でダウンスケール（予測計算）を可能にするための温暖化評価手法の開発

PC上でダウンスケール（予測計算）を可能にするための温暖化評価手法として、本課題では擬似温暖化手法を採用した。擬似温暖化手法では、単一のGCMで計算された現在気候再現データと将来気候予測データの月平均値の差を計算した気候差分データを用いて、力学的ダウンスケーリングを行う。ただし、同じ年代および同じ温室効果ガス排出シナリオを選択した場合でも、GCMによって気候変化のばらつきは小さくないため、平均的な気候変化を見積もる場合には複数のGCMによる将来気候予測データをそれぞれダウンスケーリングする必要があった。

図1(2)②-1は、CMIP5で公表されている各排出シナリオ・年代ごとのGCMによる全球平均地上気温の上昇量である。ここでは、(RCP4.5、RCP8.5の全年代が2013年度末までに入手可能であった)22種類のGCMを掲載している。グラフの棒は、左から順にS-8標準シナリオ第2版に含まれるMRI-CGCM3、MIROC5、HadGEM2-ES、GFDL-CM3と本課題でダウンスケーラ用に採用したinmcm4、CCSM4、CESM1-CAM5のGCM、それ以外のGCMである。グラフの一番右側には、ダウンスケーラに採用した7種類のGCMの平均、および全22種類のGCMの平均を示している。

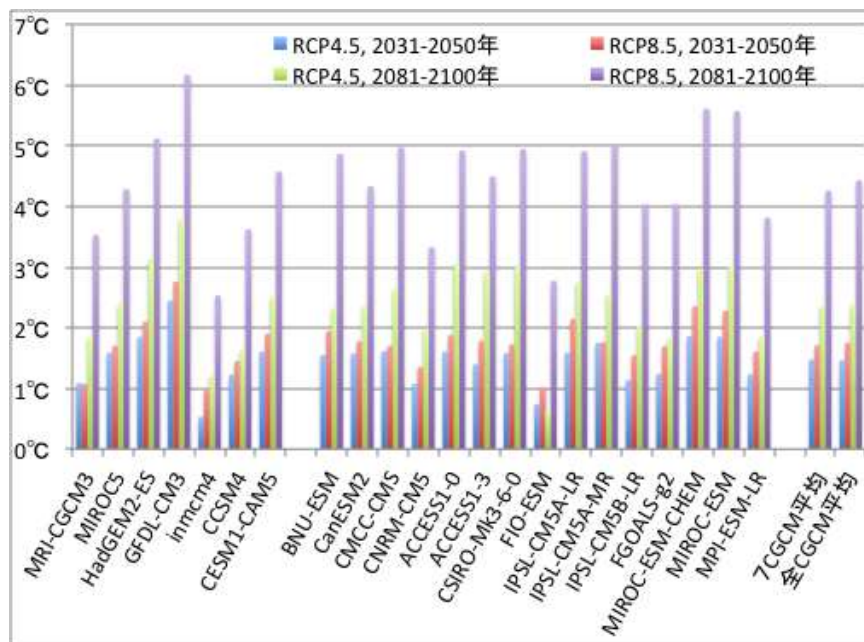


図1(2)②-1 CMIP5で公表されているCGCMによる、1981-2000年から2031-2050年および1981-2000年から2081-2100年までの全球平均年平均地上気温の上昇量。

左から7個のGCMは、ダウンスケーラで使用可能なGCMである。

一般的に、気候予測の結果はGCMに大きく依存する。例えば、RCP8.5シナリオ下の2081-2100年の場合、予測された昇温量はGCMによって大きく異なり、2.5～6.2度の大きなばらつきを持っていることがわかる(図1(2)②-1)。RCP4.5シナリオ下における2031-2050年の場合、予測された昇温量はGCMによってそれほど大きな違いはないが、それでも0.5～2.4度と多少のばらつきが認められる。このことから、あるシナリオ下での気候変化の推定を行いたい場合には、あるGCMからダウンスケール計算(地域気候の予測計算)をするのではなく、複数のGCMから個別にダウンスケール計算を行い、複数の予測結果を平均することが望ましい。ただし、このような方法で地域気候の予測をする場合には、ダウンスケール計算をGCMの数だけ行わなければならない、莫大な計算量となる。2015年現在のPCでは時間がかかりすぎるため、スーパーコンピュータが必要となる。本課題で開発しているダウンスケーラはPCで動かすことを前提としている。したがって、計算コストはできるだけ低くしなければならない。そこで、ダウンスケーラでは、複数のGCMの将来気候予測データから将来気候の平均値(GCMの結果の平均値)を作り、この平均値を用いてダウンスケール計算を行うことにした。これにより、1回の実験で、平均的な気候の将来予測値を得

ることが可能となり、PC上でも地域気候の予測実験が可能となった。もちろん、ユーザがGCMを選んで、それぞれのGCMからダウンスケールすることも可能である。

ここで、ダウンスケラで使用する7種類のGCMの昇温量に着目する。選択した7種類のGCMによる気温上昇の予測の不確実性の幅（ばらつき）は、全22種類のGCMの昇温量の各シナリオの幅と同程度である。平均値も同程度である。これらの結果は、ダウンスケラで用いる7種類のGCMで、22種類のGCMを用いた場合と同程度の不確実性の幅をもった地域気候予測計算を行うことが可能であることを示唆している。

次に、一般ユーザがダウンスケラをPCで動かした場合の将来気候予測計算時間を推定するためのベンチマークテストを行った。表1(2)②-1は、ベンチマークテストで用いた計算機環境と領域気候モデルの設定である。実験に用いた計算機は2012年当時においては比較的高速なPCであった。実験運用の結果、1台のPC上で3つの数値実験を同時に実施しても計算速度の低下は少ない。しかしながら、数値実験を4つ同時に行うと、30%以上の計算速度低下が見られ、計算効率が低くなることがわかった。

表1(2)②-1 4コアのPC上において、1コアのみを使用する領域気候モデル10ヶ月積分を同時に複数実行した場合の1実験の平均実行時間(上)、及び、テストに使用した環境（下）。

同時実行実験数	1	2	3	4
平均実行時間(時)	101.30	107.8	115.4	133.1
平均実行時間(日)	4.22	4.49	4.81	5.55

CPU	3.4GHz quad core Core i7-2600K
RAM	16GB 1333MHz DDR3 DRAM SO-DIMM
コンパイラ	Intel C++/Fortran Compiler
領域気象モデル	WRF V3.3.1
計算領域	120*100*27、 水平格子間隔 20km
積分時間間隔	20秒
物理スキーム	WSM3、Kain-Fritsch、RRTMG、UCM、MYJ、Noah LSM

(2) 計算結果に対するユーザの理解を助けるためのガイドラインの作成

ダウンスケラを使った地域気候の将来予測計算の結果をユーザがより容易に理解できるようにするためのガイドラインを作成した。具体的には、GCMの将来気候予測データの特徴をユーザに図・文章で知らせるための機能を開発しダウンスケラに実装した。力学的ダウンスケール手法を用いた地域気候予測の非専門家が予測結果を有効利用するために、IPCCで報告されている「ダウンスケリングに関するガイドライン」(Mearns L. O., F. Giorgi, P. Whetton, D. Pabon, M. Hulme, M. Lal, 2003: Guidelines for Use of Climate Scenarios Developed from Regional Climate Model Experiments, DDC of IPCC TG CIA, Final Version - 10/30/03) を参考にして、ガイドラインの作成を進めた。

ダウンスケーリングを行った結果についての検証を可能とするため、観測データの整備を行い、計算結果と並べて表示する事ができるように開発を行った。日本を対象とする計算の検証用としては、気象庁のアメダスデータが採用された。海外を対象とした計算の検証用としては、イースト・アングリア大学 (University of East Anglia)の気候研究ユニット(Climatic Research Unit; CRU)で作成されたCRU TS 3.21データセットを採用した。このデータは水平解像度が緯度経度0.5度であり、全球をカバーしている。また、月積算降水量、月平均気温、日最低気温の月平均値、日最高気温の月平均値、水蒸気圧の月平均値などの観測項目が含まれている。図1(2)②-2は、このCRU TSデータによる観測データの例である。このような観測データを、ダウンスケーリングの現在気候再現結果と比較して表示することが可能となった。

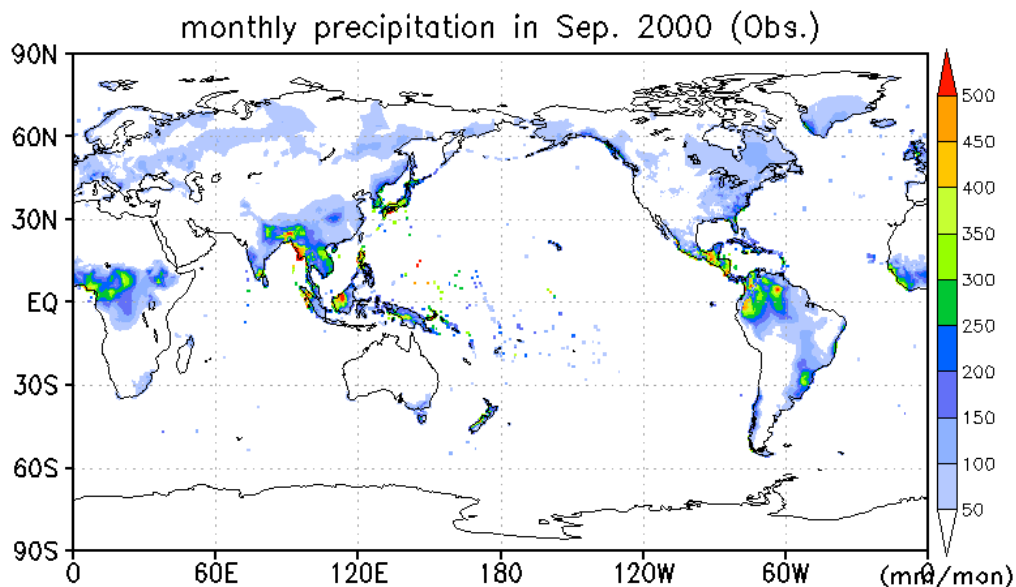


図1(2)②-2 CRU TS 3.21データセットによる観測データの例。
2000年9月における年降水量を示している。

5. 本研究により得られた成果

(1) 科学的意義

これまで独自で複数の温室効果ガス排出シナリオ及び全球気候モデルを用いたダウンスケーリングを行うことは困難であったが、ダウンスケーラで使用できるようにした事により、複数シナリオ・全球気候モデルを用いた独自の不確実性の評価も含めた将来気候予測が可能となった。S-8標準シナリオのみならず、CMIP3、CMIP5において行われているより多くの将来気候予測シナリオをダウンスケールすることが可能となり、GHG排出シナリオ・GCM・年代の違いによる不確実性の幅をもった将来気候予測を行う事が容易に可能となった。これにより、将来気候予測の不確実性を考慮した影響研究が可能になるなど、地球温暖化研究の推進に大きく寄与する。

(2) 環境政策への貢献

<行政が既に活用した成果>

S-8プロジェクト内外の地方公共団体環境研究機関等の研究者（特に埼玉県）では、地方公共団

体環境研究機関等の研究者のみならず政策担当者に対してもダウンスケーラについての説明を行うことを通じて、将来気候予測結果がもつ不確実性についての知識・情報の共有を進めた。

<行政が活用することが見込まれる成果>

これまでに各々の政策担当者が行うことが困難であった独自の将来気候予測に関して、複数の温室効果ガス排出シナリオ及び全球気候モデルを用いたダウンスケーリングを容易にした事とガイドラインの作成により、独自の将来気候予測が可能となった。

6. 国際共同研究等の状況

インドネシアの気象気候地球物理庁（BMKG）に、ダウンスケーラを使ったインドネシアの将来気候予測方法や土地利用政策に対するダウンスケーラの有効活用の方法を指導した。カウンターパートは、インドネシアの気象気候地球物理庁（BMKG）のWidada Sulistyia局長である。

7. 研究成果の発表状況

（1）誌上発表

<論文（査読あり）>

- 1) 高根雄也、日下博幸、原政之：日本ヒートアイランド学会論文集, 7, 18-26 (2012).
「IPCC SRES A2シナリオ下での三大都市圏の夏季気候の将来予測: WRF-UCMによる力学的ダウンスケーリング」
- 2) 日下博幸、飯島奈津美、井原智彦、原政之、高根雄也、飯塚悟：日本建築学会環境系論文集, 78(693), 873-881 (2013).
「2070年代8月を対象とした東京・名古屋・大阪における熱中症および睡眠困難の将来予測」

<査読付論文に準ずる成果発表>

特に記載すべき事項はない。

<その他誌上発表（査読なし）>

特に記載すべき事項はない。

（2）口頭発表（学会等）

- 1) 原政之、川瀬宏明、木村富士男：日本気象学会2012年度秋季大会，札幌（2012）
「近年の日本の積雪水量の年々変動・季節変化」
- 2) M. HARA, H. KAWASE, F. KIMURA, M. FUJITA, X. MA：AGU fall meeting, San Francisco, US, 2012
“Future Change of Snow Water Equivalent over Japan.”
- 3) 岡田牧、日下博幸、若月泰孝、中野美紀、佐藤友徳、原政之：第58回気候影響・利用研究会，東京（2013）
「温暖化ダウンスケーラの開発」
- 4) 原政之、藤田実季子、高橋洋：日本気象学会2013年度秋季大会（2013）

「熱帯域における降水の日変化と地表面の関係」

- 5) 足立幸穂、原政之、高橋洋、馬夔銚、吉兼隆生、木村富士男、松橋啓介、有賀敏典：日本気象学会2013年度秋季大会（2013）
「名古屋都市圏の将来人口予測をベースとした土地利用変化と地域気候への影響」
- 6) S. A. ADACHI, M. HARA, H. G. TAKAHASHI, X. MA, T. YOSHIKANE, F. KIMURA：AGU Fall meeting 2013, San Francisco, USA, 2013
“Changes in Urban Climate due to Future Land-Use Changes Associated with Population Changes in the Nagoya Region.”
- 7) M. HARA, S. A. ADACHI, H. KUSAKA, F. KIMURA：7th International Scientific Conference on the Global Water and Energy Cycle, Hague, Netherland, 2014
“Future change of wintertime thermal environment in the Tokyo metropolitan area”
- 8) M. HARA, M. FUJITA, H. G. TAKAHASHI：AOGS 11th Annual Meeting, Sapporo, Japan, 2014
“Influence of landmass on diurnal cycle of convective activity in the Tropics”
- 9) 原政之、足立幸穂、日下博幸、木村富士男、高橋洋、馬夔銚：日本気象学会2014年度秋季大会（2014）
「気候変動が日本の大都市の冬季ヒートアイランドに与える影響」
- 10) M. HARA, S. A. ADACHI, H. KUSAKA, F. KIMURA：American Geophysical Union 2014 Fall Meeting, San Francisco, United States, 2014
“Future change of wintertime urban heat island intensity over Japan”

（3）出願特許

特に記載すべき事項はない。

（4）「国民との科学・技術対話」の実施

- 1) 環境省受託研究S8のダウンスケール講習会（2014年9月30日、JAMSTEC東京事務所、参加者約10名）

（5）マスコミ等への公表・報道等

特に記載すべき事項はない。

（6）その他

特に記載すべき事項はない。

8. 引用文献

特に記載すべき事項はない。

S-8-1 我が国全体への温暖化影響の信頼性の高い定量的評価に関する研究

(2) 温暖化ダウンスケーラの開発とその実用化

③ 影響評価研究者および政策担当者との連携とダウンスケーラの有用性の評価に関する研究

国立大学法人 北海道大学
大学院地球環境科学研究院

佐藤 友徳

平成22～26年度累計予算額：40,455千円（うち、平成26年度予算額：8,401千円）
予算額は、間接経費を含む。

[要旨]

温暖化ダウンスケーラのコアモデルとなる領域気候モデルWRFを用いた力学的ダウンスケーリング実験によりダウンスケーラの実験運用を行い、ダウンスケーラの有用性および適用限界を評価した。

北海道を対象に行った実験運用の結果、将来の冬季気温は積雪被覆の変化に対応して、山岳域に比べて平野で顕著に上昇することが分かった。このような将来の積雪変化を反映した空間の詳細な予測は、全球気候モデル出力結果を空間内挿しても得られない特徴であり、ダウンスケーラの利点である。実験運用で得られた将来予測気候データは、雪質や作物収量の将来予測など地域のニーズに合致した新規の影響評価研究を可能にすることが示された。また、アジア地域など海外においても実験運用を行い、ダウンスケーラが適用可能であることを確認した。

力学的ダウンスケーリングによって生じる不確実性の要因を調査するために、異なる全球気候モデルを側面境界条件とした実験や、土地利用・海面水温・海氷分布など下部境界条件を操作した実験を行った。その結果、これらの不確実性は地域を限定するほど顕著になる傾向があり、地域気候予測においては無視できない不確実性をもたらすことが分かった。

国内外の関係機関に対してダウンスケーラの導入支援を行った。ダウンスケーラの実験運用を通じて得た成果は、一般市民に向けて公表するとともに、大学での留学生向け講義や国際トレーニングコースにおいて広く紹介・活用された。以上より、ダウンスケーラは温暖化に関する教育支援ツールとしても有効であることが確認された。

[キーワード]

力学的ダウンスケーリング、地域気候予測、WRF、不確実性、雪質

1. はじめに

本課題で開発する温暖化ダウンスケーラは最新の領域気候モデルを使用した力学的ダウンスケーリング手法により、ユーザが独自に計算条件を設定し、関心のある地域の温暖化予測を行うものである。したがって、信頼性の高い地域規模の温暖化予測を行い、これを社会に発信するためには、ダウンスケーラの想定ユーザである「気象学を専門としない研究者」や「自治体の政策担当者」が、温暖化予測手法の原理やダウンスケーラの適用限界を的確に理解することが不可欠で

ある。そのためには、ダウンスケーラの開発に先行した実験運用によって、力学的ダウンスケーリング手法に関連する予測技術をあらかじめ評価する必要がある。

また、政策担当者が利用しやすいダウンスケーラの実現するため、ダウンスケーラによって実現される地域気候予測情報を公表し潜在的なユーザに周知するとともに、ユーザのニーズを集約しこれをダウンスケーラの実現に反映することが重要である。すなわち、ユーザと開発者の両者の間のインターフェース機能が重要である。

2. 研究開発目的

開発段階におけるダウンスケーラの改善点や克服すべき問題点を抽出するために、ダウンスケーラと同様の計算環境の下で、開発に先行して地域気候予測を実施する。実験運用による研究成果を公表することで、ダウンスケーラの使用例を提示する。さらに、実験運用を通じて得られた問題点や利用者からのニーズを開発チームにフィードバックすることで、ダウンスケーラの改良に資する。

3. 研究開発方法

ダウンスケーラのコアモデルとなる領域気候モデルWRFを用いて、北海道および途上国を対象としたダウンスケーラの実験運用を行う。実験運用の結果を用いて、新規の影響予測研究を行うとともに、ダウンスケーラの有用性の評価や擬似温暖化実験手法の妥当性の検証、予測不確実性の評価を行う。また、影響評価研究者や政策担当者がダウンスケーラ試作版を使用するための支援を行う。

4. 結果及び考察

(1) 北海道を対象地域とする実験運用について

本研究では、ダウンスケーラの実現に先行してシステムの性能評価を行い、ダウンスケーラの先行事例となる成果を提示するとともに、早期に問題点を把握し開発グループにフィードバックすることを目的として、ダウンスケーラと同等の計算設定のもとで気候研究者が手動で将来の地域気候予測を行った。以降、本節では実験運用を通じて得られた成果について述べる。

図1(2)③-1に、水平格子間隔10kmの領域気候モデルWRFを用いて、A1bシナリオ下でのMIROC3.2(medres)とMRI-CGCM2.3.2の実験結果を力学的ダウンスケーリングした結果を示す¹⁾。冬季気温の変化を比較すると、境界値にMIROCを用いた予測では2090年代に4度を超える顕著な気温上昇が見られるのに対し、MRI-CGCMを用いた予測では2~3度程度の昇温となっている。温室効果ガス濃度上昇に対する将来の全球平均気温の上昇量はGCMによって大きく異なっていることに加えて、本研究のように地域を限定した場合には、卓越する気圧配置パターンの違いなど内部変動の応答の違いに起因する気温変化量の違いが加算される。このような特徴は、ダウンスケーラで採用する擬似温暖化実験手法においても、時間平均した構造に関しては適確に表現できる。さらに、図1(2)③-1にみられる冬季気温変化は、山岳域に比べて平野で強い昇温を示している。標高の高い山岳地域では冬季気温が十分に低いため、温暖化により気温が上昇したとしても冬季の積雪被覆には明瞭な影響が現れにくいものに対して、低地では気温上昇に対応した積雪被覆面積の減少が顕著である。その結果、低地では地表面が露出され易くなるため、地表のアルベド反射率が

小さくなり、地表面温度や気温の上昇量が増加する。すなわち、局地気候においても明瞭な積雪のアルベドフィードバックが見られ、平野における気温上昇の振幅を決める重要な役割を果たしていることが分かった。このような地域気候変化の特徴は、GCM出力を空間内挿することでは得られないため、ダウンスケーラを使用することで得られる重要な付加価値であるといえる。

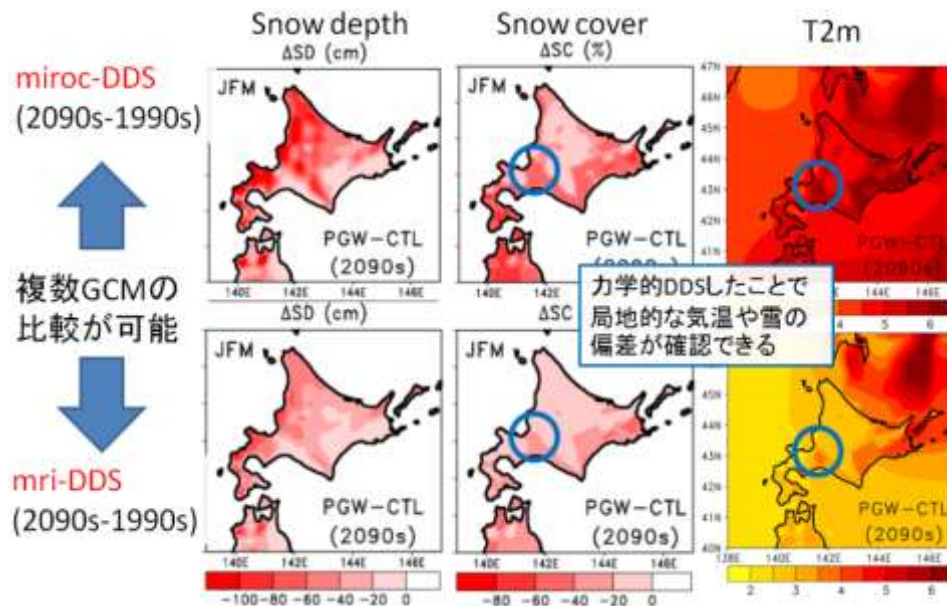


図1(2)③-1 実験運用によって得られた北海道の将来予測¹⁾。(左)平均積雪深、(中)積雪被覆率、(右)冬季気温。それぞれ2090年代と1990年代の差として表している。上段はMIROC3.2(medres)、下段はMRI-CGCM2.3.2をそれぞれダウンスケーリングした結果。

次に、実験運用で得られた北海道地域における地域気候予測プロダクトを用いた影響評価の事例を示す。降雪や積雪など雪に関する気象は、北海道のみならず北日本各地では社会的に重大な関心が寄せられており、これらの事象が将来どのように変化するかを調査するための技術が求められている。ここでは、実験運用によって得られた地域気候予測データを積雪変質モデルの入力値として使用し、物理モデルに基づいた将来の雪質変化予測を我が国で初めて試みた例²⁾を述べる。まず、A1bシナリオに基づくMIROC3.2(medres)を擬似温暖化実験手法で力学的ダウンスケーリングし、得られた気象変数(気温、降水量、日射量など)の時系列データをスイス雪・雪崩研究所が開発した積雪モデルSNOWPACKに入力した。札幌近郊の定山溪では、気温上昇に伴って消雪の早期化と最深積雪深の低下に加えて、初冬から密度の大きいざらめ雪の存在が明瞭となることが明らかとなった(図1(2)③-2)。ここで示した雪質予測手法は、表層雪崩の診断にも有効であることを確認しており、積雪に関する防災など北国の生活や産業と直結する情報の発信へと発展できる可能性がある。

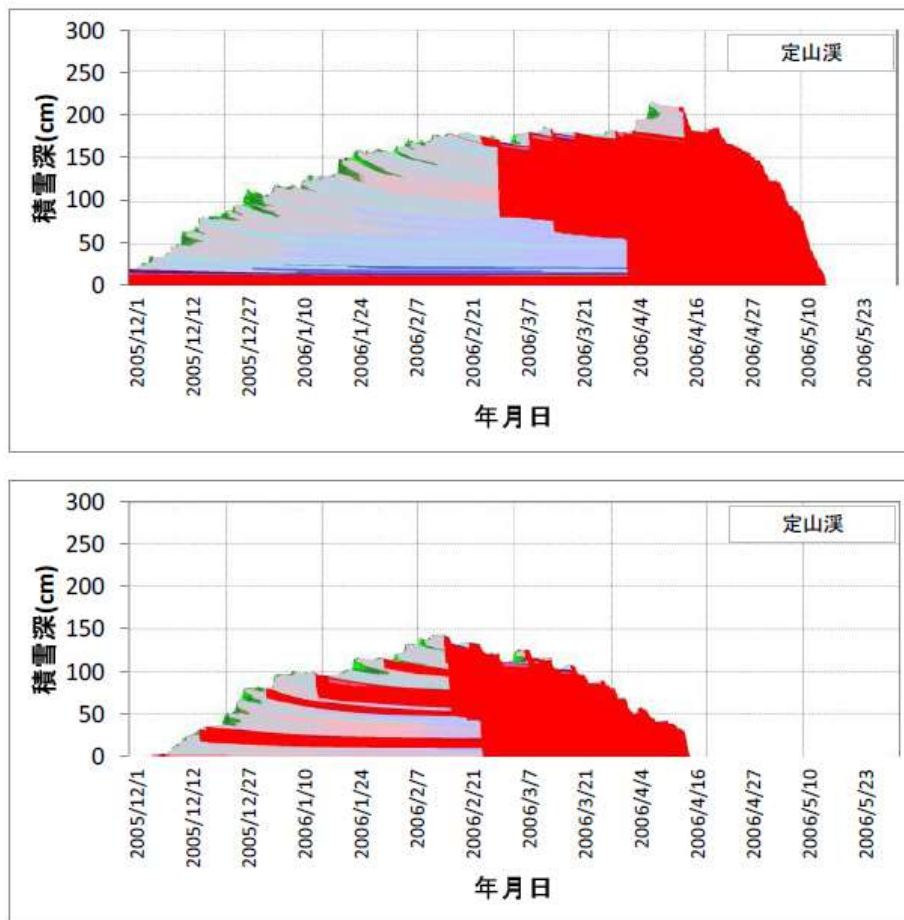


図1(2)③-2 定山溪における2005/06年冬季の雪質変化の再現結果（上）と、温暖化時の変化予測結果（下）²⁾。

次に農業分野における利用について述べる。国内砂糖生産の主原料であるてん菜は、寒冷な気候を好む作物であり、北海道でのみ商業栽培されている。先行研究では、地球温暖化によって、てん菜糖量が増加すると予測した研究があるが、将来予測の不確実性を考慮した研究例はない。ここでは、3つの全球気候モデルについてそれぞれWRFによる力学的ダウンスケーリングを行い、不確実性を考慮した北海道のてん菜糖量の将来予測を行った³⁾。てん菜の根中糖分と7月1日～10月10日の積算日最低気温、および収量と4月11日～6月30日の積算日最高気温に関して、過去の実測値に基づいた回帰式を用いて推定を行った。予測の結果、全道で根中糖分は減少（1.5～2.0%）、収量は増加（0～15t/ha）となり、変化傾向はGCMによらず概ね一致した。しかし根中糖分と収量の積で定義される糖量の変化傾向は、使用するGCMによって異なり、気候モデルによる大きな不確実性を有することが分かった。この原因は、5～6月の気圧配置変化がGCM間で大きく異なり、日最高気温の予測に大きな不確実性が含まれるためである。

北海道の稲作に関しては、地球温暖化が進行した場合に、我が国の他地域に比べて北海道ではコメ収量が増加するが品質低下は小さいとの予測が先行研究で示されてきた。しかし、現在の北海道において減収をもたらす要因である障害型冷害を考慮したプロセス型の収量予測モデルは先

行研究では用いられていない。そこで、障害型冷害を考慮できる収量予測モデル⁴⁾を用いて将来の冷害の可能性について検討を行ったところ、長期平均としては温暖化に伴って障害型冷害の確率は低下するものの、冷害の最大強度は増加する傾向にあることが分かった⁵⁾。これは、たとえ気温上昇により長期平均の不稔が軽減しても、気温の経年変動により発生しうる不稔の程度が増大する可能性があることを示唆している。このように、地球温暖化による農業影響では高温障害が注目されがちであるが、北海道では温暖化時も冷害のリスクが残ることが分かった。

最後に、再生可能エネルギー評価への適用可能性について述べる。実験運用によって得られた将来の日射量および風速を使用し、北海道における太陽光発電および風力発電ポテンシャルの分布を評価したところ、従来のエネルギー賦存量のアセスメントと同様の特徴を概ね再現できることを確認した。太陽光や風力などの再生可能エネルギーはエネルギー密度が小さく空間的に分散している特徴を持つため、地域毎に利用可能な資源量を見積もる必要がある。ダウンスケーラでは将来の地域気候予測データに基づいた評価が可能であるため、日本だけでなく海外においても将来の再生可能エネルギー賦存量評価のためのツールとして、ダウンスケーラの利用価値が高いことを示唆している。

(2) 日本における地域気候予測に関する不確実性の評価と変動メカニズムの研究

1) 地球表層変動に伴う気候予測の不確実性

本研究課題では、ダウンスケーラで採用される力学的ダウンスケーリング手法に関して、得られる予測データに含まれる予測不確実性のうち、領域気候モデルの実験設定（特に下部境界条件）に起因する要因について定量的な評価を行った。以降では、海面水温、土地利用変化、および海水分布に関する研究結果についてそれぞれ結果を述べる。

GCMは一般的に空間解像度が粗いため、日本海など面積の小さな海域の海面水温（SST）を正確に予測することは困難である。従って、日本域の温暖化予測を行う際には、近海SSTに含まれる誤差がどの程度日本の気候に影響をもたらすのか定量的に把握する必要がある。ここでは、長期的な北日本の冬季降水量変動と近海SSTの関係に着目し、長期間の数値実験を行った⁶⁾。実験では境界値としてJRA-25の大気再解析データと高解像度のOISSTデータおよび海氷密接度データを用いた（以降、REALランと呼ぶ）。さらに、海面水温の長期的な変化による大気への影響を調べるため、海面水温の日別気候値を作成し、これを境界条件とした感度実験も同様に行った（以降、CLIMラン）。図1(2)③-3に上記期間の冬季降水量のトレンドを示す。観測やREALランでは東北地方で降水量が増加、北陸地方では有意ではないものの局所的な減少トレンドが、また太平洋側では降水量の増加傾向が確認できる。海上の降水トレンドに着目すると、降水量が増加していた東北地方沖合の日本海上で海面水温上昇によく対応した降水量の顕著な増加トレンドが確認できる。CLIMランでは東北～北陸の日本海側において降水量は減少トレンドに転じた。CLIMランで得られる降水量のトレンドは大気の長期変化の影響を反映していることから、近年の日本海上の海面水温上昇は日本海側の冬季降雪のトレンドに寄与していたことが明らかである。これらの結果から、日本域における地球温暖化予測を行う際に周辺の海面水温・海水分布の変化傾向を空間詳細に予測する必要があるといえる。

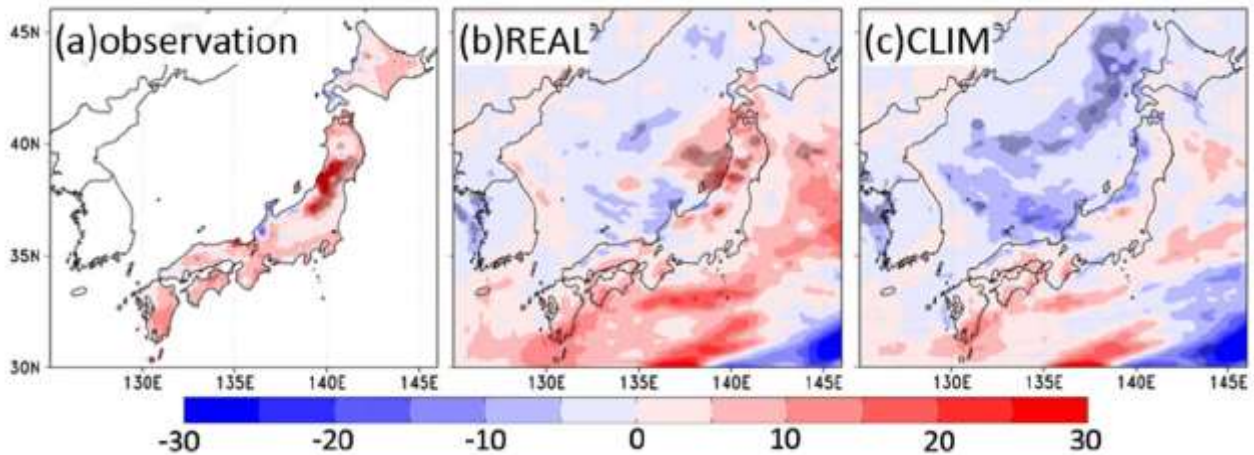


図 1(2)③-3 12～2月降水量の線形トレンド（単位は mm/month/decade）。期間は 1982/83 年冬季～2007/08 年冬季。(a)APHRODITE による観測データ、(b)REAL ラン、(c)CLIM ラン。

次に土地利用変化に起因する温暖化予測の不確実性について述べる。ダウンスケーラでは、温室効果ガス排出シナリオに加えてローカルな土地利用変化をユーザが設定することが可能である。北海道では、19世紀後半以降、森林が切り開かれ農地の開拓が進められてきた。本研究では、北海道において明治以降の開拓によって生じた土地利用変化による気候変化への影響を評価した⁷⁾。土地利用改変のシナリオとして、1850年（開拓前）と1985年（現在）の土地利用分布を用いた2通りの実験をそれぞれ28年間行った。初期・境界値は、JRA25/JCDAS（大気）およびOISST（海面水温）を使用した。全期間の平均では、札幌において土地利用変化によって年平均気温が約1.5度、冬季平均気温が約2.0度上昇していた。また、年々変動による標準偏差は極めて小さいことから、背景気象場の影響は十分小さいことが確認できる。一方、CMIP3に提供された複数のGCMによる北海道周辺の2080年代における気温変化量は冬季平均で約3.8度であるものの、GCM間の標準偏差は1度以上と大きいことから、GCMに起因する予測の不確実性が大きいことがわかる。以上の結果から、土地利用変化に伴う冬季平均気温の不確実性は、土地利用変化のシナリオが決まれば、比較的高い精度で予測結果に反映することができるといえる。具体的には、地球温暖化による平均昇温量3.8度に加えて、森林から都市への大規模な土地利用改変があった場合には、局所的に2度近い上昇が付加的に生じる。このように、地域の温暖化予測を行う際には、GCMの選択が最も大きな不確実性の要因であり、土地利用変化に起因する不確実性は将来の土地利用が決定されれば、ほぼ線形的に加算できることが分かった。同様に、森林から農地への改変に着目し、農地開拓が気温および降水に及ぼす影響を調べたところ、森林から農地への土地利用改変により、北海道太平洋側およびオホーツク海側地域で0.1度以上気温が低下した。一方、日本海側や道央の農地では、気温の変化幅が極めて小さいことがわかった。

最後に、海氷による将来予測の不確実性について検討を行った結果を述べる。冬季には北海道周辺を低気圧が発達しながら通過し、北海道の東海上で停滞することがしばしばみられる。このような気圧配置では、オホーツク海側の地域で暴風雪となり幹線道路の封鎖など地域の社会基盤

に大きな影響を与えることから、地球温暖化に対する応答とその不確実性を評価する必要がある。ここでは、強い降水に着目し海氷面積との関係についてWRFを用いた感度実験によって調べた。海氷面積が最大になる2月において、海氷面積が小さいほど月降水量は増加し、さらに強い降水の強度が増すことが確認された。特にオホーツク海の北部で降水強度の増加が顕著であるが、北海道オホーツク海側の沿岸地域においても僅かながら降水強度増加のシグナルが確認された。以上の結果から、将来予測における低気圧活動（経路、頻度、強度）に加えて近海の手氷面積の減少を適切に設定することで、極端降水の強度変化をより高い信頼性で予測することができると考えられる。

2) 日本付近の気候変動診断解析

ダウンスケーラにおいて、現在気候の力学的ダウンスケーリングに使用する大気再解析データの品質検証および、地域気候変動のメカニズムの検討のため、日本における過去の気候変動についての解析を行った。以下に、得られた結果の概要を述べる。

北海道のような積雪寒冷地域における異常高温発生頻度の季節性と日周期性を調べたところ、消雪後の顕熱増加に対応して、4～5月に高頻度であることが分かった。また、北海道東部に夏季の冷涼な気候をもたらす海霧の長期変化と変動メカニズムについて解析を行ったところ、釧路では1931年以降、夏季の霧日数が有意に減少していることが明らかとなり、その要因はオホーツク海高気圧と太平洋高気圧の位置関係が関係していた。また、2000年以降は観測地点周辺の土地利用が関係していることが示唆された。近年、夏季東アジアにおける熱波発生の要因について調べたところ、梅雨前線に沿った非断熱加熱の増加が上層のリッジを強め、その南側に非断熱冷却をもたらす下層の高気圧を強めることにより、地表の太平洋高気圧が強化していることが示唆された。梅雨前線に伴う対流活動と大規模場へのフィードバックは、日本域の夏の気候において重要なコンポーネントである。高解像度の領域気候モデルを搭載しているダウンスケーラを使うことで、日本周辺の気候予測精度が向上することが期待される。

3) ダウンスケーラで実施する力学的ダウンスケーリングの特徴

ダウンスケーラは、力学的ダウンスケーリングによって地域気候の将来予測計算を行うソフトであり、PCで動かすことを前提として開発されている。計算コストを低くするために、力学的ダウンスケーリング手法の一つである擬似温暖化手法を採用している。擬似温暖化手法は、計算コストを低くできる、GCMのバイアスを低減することができるなどの長所もあるが、台風や温帯低気圧が日本周辺を通過する頻度の予測は難しいといった限界もある⁸⁾。本課題では、ユーザが予測結果を正しく理解するために、マニュアルを作成し、そこではダウンスケーラで「できること、難しいこと、できないこと」などをまとめた。表1(2)③-1はダウンスケーラの適用限界についてまとめたものである。

表1(2)③-1 ダウンスケーラの適用限界

	要因	予測値・指標・現象	適用性
気温	平均気温の上昇にともなうもの	年平均気温・積算気温（農業）	○
雪	季節風の弱まりなど	冬季の日本海側の降雪（水資源）	○
雨	地形効果によるもの	降水分布（水資源・農業）	○
風	地形効果によるもの	年平均風速（エネルギー）	○
気温	総観場の変化によるもの	異常高温	△
雨	やや低頻度な現象	ゲリラ豪雨	△～×
風	低頻度な極端現象	竜巻・突風	×
雨・風	擾乱	台風の発生数・経路	×

（3）海外におけるダウンスケーラの適用

本研究で開発するダウンスケーラを海外へ普及することで、我が国だけでなく国際的に気候変動適応研究が加速することが期待される。そのためには、ダウンスケーラで採用する擬似温暖化実験手法の適用限界を世界の多様な気候条件下で調査する必要がある。

タイで大規模な洪水が発生し、社会インフラや物流等へ甚大な影響をもたらした2011年モンスーン期の事例を中心に、インドシナ半島～南アジア地域について、WRFを用いた擬似温暖化実験手法を適用した。観測データとモデル実験結果を比較したところ、インドシナ半島のモンスーン期の降水量の空間分布はWRFで良好に再現されることが確認されたが、洪水被害につながった北部の降水量偏差や、当該地域の月ごとの変化については再現性が低かった。本計算で用いたWRFの水平格子間隔が20kmと粗いことから、地形性の降水システムが適切に表現されていないことが原因と考えられる。また、本研究で用いた擬似温暖化実験手法では、熱帯低気圧等の擾乱成分の将来変化を表現することはできない。2011年のタイ洪水のきっかけとなった極端降水のうち熱帯擾乱による寄与は無視できないため、擬似温暖化実験手法による将来予測の結果を利用するには注意が必要である。同様に、世界的な多雨地域への適用可能性を検討するため、ヒマラヤ山脈南方のインド～バングラデシュ国境付近について検討を行ったところ、世界で最も降水量の多い地域として知られているこの地域においてもWRFは高い再現性を有していることが確認された。ただし、計算領域の大小によって降水をもたらす季節内振動の再現性が影響されることから、適切な領域選択が必要であることが示唆された。

以上、熱帯地方の実験運用を通じて以下のことが確認された。（1）気候モデルによる降水量分布の再現性は高いものの、熱帯地域やヒマラヤ山脈等の急峻な地形を含む地域では数km以下の高い水平格子間隔で実験する必要がある。（2）海外の多くの地域では、日本に比べて観測データの空間密度が低いため人工衛星データを用いた最新の推定降水量等を用いる必要がある。（3）季節風（モンスーン）等の準定常な背景場のもとで発生する降水に比べて、熱帯低気圧など擾乱に伴う降水は擬似温暖化実験手法の適用限界を超えるため、結果の解釈には注意が必要である。実験運用では、中緯度の半乾燥地域であるモンゴルにおいてもWRFの再現性評価を行った。ここでは、土壌水分や植生分布などの下部境界条件が適切に与えられれば、十分精度の高い計算が可能であることが分かった⁹⁾。以上、実験運用や境界値データの解析を通じて得られた知見は、ダウンスケーラの開発グループにも共有され、開発にフィードバックされた。

(4) 政策担当者との連携

1) ニーズの集約

実際にダウンスケーラを使用する政策担当者や温暖化影響評価分野の研究者が、ダウンスケーラにどのような機能を期待しているのかを把握し開発に反映させるために、北海道内の関係者に対して紙面によるアンケート調査を実施した。回答では、作図法や表示の方法に関する要望が多く挙げられた。特に計算結果をGISソフトやエクセル等の汎用ソフトで読み込み可能な形式で出力できる機能を要望する声が多かった。また、予測計算に必要な時間を予め見積り、計算実行前に表示する機能を希望する声が複数寄せられた。さらに、計算時間が膨大となる予測実験については、リモートアクセスによる大型コンピュータの利用を求める要望があった。これらの要望は開発グループに提供され、最終版のダウンスケーラではこれらの機能の大部分が採用された。また、S-8参画者に対するアンケートでは、高解像度化に対する要望が強いことが分かり、最大2km格子までの実験が可能となるように設計の変更を行った。ただし、ダウンスケーラはPC上で動作することを前提としているため、実装可能な空間解像度には限界があることや、高解像度化が必ずしも予測の高精度化につながらない場合もあることから、ガイダンス機能やダウンスケーラのマニュアルを通じて、高解像度実験の必要性の検討についてユーザに促すような仕組みを構築した。

2) ユーザへの伝達とダウンスケーラの普及に向けて

平成26年9月には、S-8参画者に対して試作版のダウンスケーラを実際に使用して、使い方や適用限界を伝える講習会を開催し、影響評価研究者がダウンスケーラを使用するための支援を行った。講習会では、実験運用で得られた成果に加えて、適用限界等の説明も行った。寒冷地における土木技術の研究を行う（独）土木研究所寒地土木研究所では、試作版ダウンスケーラが導入され、インストール時の問題点や、機能の不具合など、実際に運用した上で初めて確認できる誤作動が多数指摘され、ダウンスケーラの改善と機能向上につながった。また、北海道大学内の計算サーバにインストールしたダウンスケーラは、外部機関からのリモートアクセスが可能のため、デモンストレーションの試行や、高速な計算機を所持していない利用希望者でも操作を体験することが可能となった。継続的に試作版を試行してきた寒地土木研究所や長野県環境保全研究所では、ダウンスケーラの実行時間が長いことに対する憂慮があることが分かり、開発グループで効率的な並列計算の方法を考案し、最終版のダウンスケーラでは計算時間の短縮が達成された。

平成25年には、インドネシアの気象気候地球物理庁においてダウンスケーラの導入および実利用のための技術支援を行った。現地では、急速に都市化が進展する首都ジャカルタの都市効果に着目して、ダウンスケーラの土地利用改変機能を用いた実験を行った。受講者は適用限界の解釈にまで踏み込んだ考察が可能になるほど予測結果に対する理解が促進された。ダウンスケーラの結果を正しく理解するためには、多くの開発途上国において気象モデルに関する基礎知識の教育が必要であることも講習を通じて確認された。

ダウンスケーラの実験運用で得られた結果は、一般市民向けの講座や、研究者向けのセミナーにおいて紹介した。北海道大学では、留学生向けの講義や国際短期スクール等でも試作版が活用され、地域気候予測の教育ツールとしても、ダウンスケーラが有用であることが実証された。

5. 本研究により得られた成果

(1) 科学的意義

地球温暖化に伴う気温上昇が積雪の変質を促進し、より密度の大きな雪へ遷移する傾向があることが、物理モデルによる予測で初めて示された。北海道の農業に関しては、温暖化が進行した後も冷害のリスクが残ることが分かった。また、作物によっては予測不確実性が大きく、好影響・悪影響のどちらも生じることが分かった。北日本の冬季気候予測の不確実性を低減するために、周辺海域の海面水温や海水分布の再現性を向上することが重要であることが示された。また、オホーツク海高気圧の長期変化が梅雨前線の変動と関係していることが分かった。

(2) 環境政策への貢献

<行政が既に活用した成果>

地方公共団体環境研究機関等の研究者に対してダウンスケーラの導入支援を行ったほか、知床世界自然遺産地域科学委員会においてダウンスケーラ実験運用による予測を紹介し、地方レベルの温暖化影響予測技術の進展に貢献した。

<行政が活用することが見込まれる成果>

熱帯から中高緯度まで多様な気候条件下で試験運用を行うことで、ダウンスケーラシステムの安定性を示すことに成功した。また、将来の環境関連分野を担う留学生や海外の研究者に対してダウンスケーラのデモンストレーションを行い、日本で開発された予測手法の有用性を示した。また、温暖化に関する教育支援システムとしてダウンスケーラが利用可能であることを示したことで、将来的に学校等の教育機関における普及が期待される。

6. 国際共同研究等の状況

JICAのプロジェクトの一環として、インドネシアの気象気候地球物理庁（BMKG）の職員に対し、ダウンスケーラの導入支援および、力学的ダウンスケーリング手法や気候モデルに関する技術指導を行った。

7. 研究成果の発表状況

(1) 誌上発表

<論文（査読あり）>

- 1) A. BATBOLD, T. SATO, M. ISHIKAWA and J. TSOGT: SOLA, 7, 117-120 (2011)
“Performance of dynamic downscaling for extreme weather event in eastern Mongolia: Case study of severe windstorm in 26 May 2008”
- 2) T. SATO, A. JURI, K. MASUYAMA, E. IMAKITA and M. KIMOTO: SOLA, 7, 169-172 (2011)
“Verification of downscaling framework for interannual variation of tropical cyclone in Western North Pacific”
- 3) 中村一樹、佐藤友徳、山中康裕、西村浩一：寒地技術シンポジウム論文集, 27, 80-85 (2011).
「気候変動に伴う北海道の雪質変化推定手法の開発」
- 4) S. MATSUMURA and T. SATO: SOLA, 7, 205-208 (2011)

- “Snow/Ice and Cloud Responses to Future Climate Change around Hokkaido”
- 5) 田中朱美、高橋潔、申龍熙、増富祐司、山中康裕、佐藤友徳：土木学会論文集 G(環境), 68, I_237-I_248 (2012).
「潜在作物生産性モデルGAEZの北海道での適用可能性の検討と改良」
 - 6) T. SATO and S. SUGIMOTO: *Water Resour. Res.*, 49, 7763-7777, DOI:10.1002/2012WR013206 (2013)
“A numerical experiment on the influence of the interannual variation of sea surface temperature on terrestrial precipitation in northern Japan during the cold season.”
 - 7) T. SATO: *Mon. Wea. Rev.*, 141, 2451-2466, DOI: 10.1175/MWR-D-12-00321.1 (2013)
“Mechanism of orographic precipitation around the Meghalaya Plateau associated with intraseasonal oscillation and diurnal cycle.”
 - 8) S. SUGIMOTO, T. SATO and K. NAKAMURA: *J. Appl. Meteor. Climatol*, 52, 2226-2242. DOI: <http://dx.doi.org/10.1175/JAMC-D-12-0192.1> (2013)
“Effects of synoptic-scale control on long-term declining trends of summer fog frequency over the Pacific side of Hokkaido Island”
 - 9) T. SATO and Y. XUE: *Clim. Dyn.*, 41, 2411-2426, DOI:10.1007/s00382-012-1616-5 (2013)
“Validating a regional climate model’s downscaling ability for East Asian summer monsoonal interannual variability”
 - 10) 中村一樹、佐藤友徳：寒地技術シンポジウム論文集, 29, 10-15. (2013).
「スキー場で生じた笹の倒伏によるクラック及び全層雪崩 一笹の倒伏をもたらす積雪初期の気象条件」
 - 11) A. TANAKA, T. SATO, M. NEMOTO and Y. YAMANAKA: *J. Agr. Meteorol.* 70, 25-40.
DOI:<http://dx.doi.org/10.2480/agrmet.D-13-00016> (2014)
“Sensitivity of cool summer-induced sterility of rice to increased growing-season temperatures: A case study in Hokkaido, Japan”
 - 12) K. MORI and T. SATO: *J. Meteor. Soc. Japan*, 92, 327-346, DOI:10.2151/jmsj.2014-404 (2014)
“Spatio-temporal variation of high-temperature events in Hokkaido, North Japan”
 - 13) 佐藤友徳：*天気*, 61, 644-648. (2014).
「地域スケールの気候予測情報とその活用」
 - 14) S. MATSUMURA, S. SUGIMOTO and T. SATO: *J. Climate*, 28, 2873-2883. DOI: <http://dx.doi.org/10.1175/JCLI-D-14-00569.1> (2015)
“Recent intensification of the western Pacific subtropical high associated with East Asian summer monsoon”
 - 15) S. MATSUMURA, K. YAMAZAKI and T. SATO: *J. Meteor. Soc. Japan* (2015)
“Role of Siberian land-atmosphere coupling in the development of the Okhotsk High” (in press)
 - 16) M. INATSU, T. SATO, T. J. YAMADA, R. KUNO, S. SUGIMOTO, M. A. FARUKH, Y. N. POKHREL and S. KURE: *Atmos. Sci. Lett.*, DOI: 10.1002/asl2.557 (2015)

- “Multi-GCM by Multi-RAM Experiments for Dynamical Downscaling on Summertime Climate Change in Hokkaido” (in press)
- 17) E. ERDENEBAT and T. SATO: Atmos. Sci. Lett.
 “Recent increase in heat wave frequency around Mongolia intensified by soil moisture deficit” (改訂中)
- 18) S. SUGIMOTO, T. SATO and T. SASAKI: J. Geophys. Res.
 “Seasonal and diurnal variability in historical warming due to the urbanization of Hokkaido, Japan” (改訂中)
- 19) K. MORI and T. SATO: J. Meteor. Soc. Japan
 “Evaluating the role of snow cover in urban street canyon on the urban heat island intensity in Sapporo, Japan” (改訂中)
- 20) S. SUGIMOTO, T. SATO, and T. SASAKI: SOLA
 “Impact of land-use change on winter precipitation in Hokkaido, Japan” (改訂中)

<査読付論文に準ずる成果発表>

- 1) 佐藤友徳：気象研究ノート第230号「北半球寒冷圏陸域の気候・環境変動」, 178-195 (2014)
 「高緯度における大気-陸面相互作用」

<その他誌上発表(査読なし)>

- 1) 中村一樹、佐藤友徳、山中康裕、西村浩一：北海道の雪氷、30, 123-126 (2011).
 「雪質変質モデルSNOWPACKを用いた地球温暖化による雪質変化推定の試み。ー地球温暖化適応策検討の基礎データとしてー」
- 2) 中村一樹、佐藤友徳、下山宏、石川嵩：日本雪氷学会北海道支部「北海道の雪氷」、32, 18-21 (2014).
 「2012-2013年冬季初めの低気圧に伴う降雪に起因するトマム山の全層雪崩」
- 3) 中村一樹、佐藤友徳、秋田谷英次：日本雪氷学会北海道支部「北海道の雪氷」、32, 14-17 (2014).
 「降雪系弱層形成時の気象の特徴」

(2) 口頭発表(学会等)

- 1) T. SATO, T. SASAKI, S. MATSUMURA: International workshop on downscaling, 2011
 “Potential impact of land use change over northern Japan in a changing climate”
- 2) 松村伸治：国立極地研究所H22年度研究集会「北極環境研究の課題と展望」(2011)
 「シベリア・オホーツク海における大気-陸面水循環気候システムの解明」
- 3) 中村一樹、佐藤友徳、山中康裕、西村浩一：日本雪氷学会北海道支部研究発表会(2011)
 「雪質変質モデルSNOWPACKを用いた地球温暖化による雪質変化推定の試み。ー地球温暖化適応策検討の基礎データとしてー」
- 4) 松村伸治、山崎孝治、佐藤友徳：日本気象学会2011年度春季大会(2011)
 「オホーツク海高気圧における大気-陸面結合の役割」

- 5) T. SATO, T. SASAKI : IUGG 2011 general assembly, Melbourne, 2011
 “Historical land use change and its impact on regional climate in North Japan.”
- 6) 中村一樹、佐藤友徳、藤吉康志、西村浩一：雪氷研究大会2011（2011）
 「北海道山岳域での雲粒なし降雪結晶による弱層の形成について」
- 7) 中村一樹、佐藤友徳、山中康裕、西村浩一：雪氷研究大会2011（2011）
 「SNOWPACKを用いた北海道の気候変動に伴う雪質変化推定の試み－擬似温暖化実験による予測－」
- 8) 松村伸治、佐藤友徳：雪氷研究大会2011（2011）
 「雪氷変化に伴う北海道の将来気候への影響－擬似温暖化実験による予測－」
- 9) T. SATO, S. MATSUMURA : Third international workshop on downscaling, Tsukuba, 2011
 “Detection and evaluation of uncertainty in regional climate simulation by sensitivity experiment.”
- 10) 松村伸治、山崎孝治、佐藤友徳：第8回「異常気象と長期変動」研究集会（2011）
 「オホーツク海高気圧における大気陸面結合の影響」
- 11) 中村一樹、佐藤友徳、藤吉康志、佐藤祐介、吉村暢彦、山中康裕：日本気象学会2011年度秋季大会（2011）
 「トマムにおける雲海発生メカニズムの研究と観光・教育への応用」
- 12) 中村一樹、佐藤友徳、山中康裕、西村浩一：第27回寒地技術シンポジウム（2011）
 「気候変動に伴う北海道の雪質変化推定手法の開発」
- 13) T. SATO, S. MATSUMURA : The 27th International Symposium on Okhotsk Sea and Sea Ice, Monbetsu, Japan, 2012
 “Possible influence of snow and sea ice change on future climate in Hokkaido.”
- 14) 中村一樹、藤吉康志、佐藤友徳、平島寛行、山口悟、西村浩一、山中康裕：雪氷研究大会、福山（2012）
 「降雪結晶形が原因となる弱層形成のモデル化」
- 15) 佐藤友徳：日本気象学会2012年秋季大会一般公開シンポジウム「気象学が地域の未来にいかに関与できるか？ これからの北海道の地域づくりと気象学の研究」，札幌（2012）
 「地域スケールの気候予測情報とその活用」
- 16) 中村一樹、藤吉康志、佐藤友徳、平島寛行、山口悟、西村浩一、山中康裕：日本気象学会2012年度秋季大会，札幌（2012）
 「降雪結晶が原因となる表層雪崩弱層形成のモデル化」
- 17) 中村一樹、吉村暢彦、根岸淳二郎、佐藤祐介、佐藤友徳、山中康裕、藤吉康志、佐藤志穂、山岸奈津子、田中大介、星宏聡、上林宣夫、橋本亮一、今野裕次郎、鈴木和仁、佐藤大介、岡崎善二、藤本武、中村博：第28回寒地技術シンポジウム，弘前（2012）
 「寒冷な地域特性を活かした産官学発展の取り組み～星野リゾートトマム・占冠村・北海道大学の三者が発展する連携へ～」
- 18) T. SATO : Soil moisture workshop, Tokyo, Japan, 2012
 “The warm season land-atmosphere moisture exchange in Northeast Asia.”
- 19) T. SATO, S. MATSUMURA : 第27回北方圏国際シンポジウム，紋別（2012）

- “Possible influence of snow and sea ice change on future climate in Hokkaido”
- 20) 佐藤友徳：日本気象学会2013年度春季大会（2013）
「季節内振動によるメガラヤの降水極大と日変化」
 - 21) 杉本志織、佐藤友徳、中村一樹：日本気象学会2013年度春季大会（2013）
「釧路気象台にて観測された長期霧日数データの利用」
 - 22) 中村一樹、佐藤友徳、下山宏、石川嵩：雪氷学会北海道支部研究発表会（2013）
「2012-13年冬季初めの低気圧に伴う降雪に起因するトマム山の全層雪崩」
 - 23) 中村一樹、佐藤友徳、秋田谷英次：雪氷学会北海道支部研究発表会（2013）
「降雪系弱層形成時の気象の特徴」
 - 24) T. SATO, S. SUGIMOTO：Davos Atmosphere and Cryosphere Assembly DACA-13, Davos, Swiss, 2013
“Possible impact of sea surface warming on the spatial variation of winter precipitation trends in north Japan.”
 - 25) 中村一樹、佐藤友徳、秋田谷英次：雪氷研究大会（2013）
「降雪系弱層形成時の気象の特徴」
 - 26) 中村一樹、佐藤友徳：第29回寒地技術シンポジウム（2013）
「スキー場で生じた笹の倒伏によるクラック及び全層雪崩 -笹の倒伏をもたらす積雪初期の気象条件-」
 - 27) 松村伸治、X. ZHANG：日本気象学会2013年度秋季大会（2013）
「ユーラシア積雪変動に対する夏季大気循環の応答」
 - 28) 佐藤友徳、杉本志織：日本気象学会2013年度秋季大会（2013）
「日本海海面水温の上昇と冬季降水量の長期変化傾向について」
 - 29) 中村一樹、佐藤友徳、秋田谷英次：日本気象学会2013年度秋季大会（2013）
「表層雪崩の原因となる降雪系弱層形成時の気象の特徴」
 - 30) 松村伸治、杉本志織、佐藤友徳：日本気象学会2014年度春季大会（2014）
「近年の梅雨活発化に伴った太平洋高気圧の強化」
 - 31) 杉本志織、佐藤友徳、佐々木智規：日本気象学会2014年度春季大会（2014）
「北海道の土地利用改変に伴う都市域の気温変化」
 - 32) S. SUGIMOTO, T. SATO, T. SASAKI：3rd Lund Regional-scale Climate Modelling Workshop 21st Century Challenges in Regional Climate Modelling (RCM2014), Lund, 2014
“Regional climate change during winter caused by the historical land-cover change in Hokkaido Island, Japan”
 - 33) H. KUSAKA, Y. WAKAZUKI, M. NAKANO, M. OKADA, Q. V. DOAN, A. KAKINUMA, T. SATO, M. HARA：AOGS 11th Annual Meeting, Sapporo, 2014
“Development of a Web Application for Dynamical Downscaling “GW Downscaler””
 - 34) 杉本志織、佐藤友徳、佐々木智規：日本気象学会2014年度秋季大会（2014）
「北海道の農地化に伴う冬季の気候変化」
 - 35) 友貞俊成、佐藤友徳：日本農業気象学会全国大会（2015）
「マルチGCM×マルチRAMの気候データを用いたてん菜糖量の将来変化予測」

- 36) T. SATO : Asian monsoon Hydroclimate -Review of MAHASRI and Beyond- , 2015
 “Regional precipitation variability associated with mesoscale topography and SST patterns. -Case studies in South Asia and North Japan -”

(3) 出願特許

特に記載すべき事項はない。

(4) 「国民との科学・技術対話」の実施

- 1) 平成23年度第29回気象講座「新しい気象」（2011年7月26日、参加者約25名）においてダウンスケーラを紹介
- 2) 第20回河川情報センター講演会（2011年10月31日、参加者約100名）においてダウンスケーラを紹介
- 3) 寒地土木研究所「気候変動セミナー」（2012年3月15日、参加者約80名）においてダウンスケーラを紹介
- 4) 日本気象学会2012年秋季大会一般公開シンポジウム「気象学が地域の未来にいかに関与できるか？ これからの北海道の地域づくりと気象学の研究」（2012年10月4日、参加者約200名）においてダウンスケーラを紹介
- 5) 平成24年度第2回知床世界自然遺産地域科学委員会（2013年2月23日、自治体・行政・NPO関係者参加者約40名）においてダウンスケーラを紹介
- 6) 気象庁札幌管区気象台「地球環境業務技術指導」（2014年2月4日、参加者約20名）にて講師を担当
- 7) 北海道地方非常通信協議会定期総会記念講演会「災害に備えて 変動する北海道の気象」（2014年06月17日、参加者約100名）にて講演
- 8) 北海道大学 公開講座「IPCC第5次評価報告書を読み解く」（2014年9月17日、参加者約70名）にて講演
- 9) 環境省受託研究S8のダウンスケーラ講習会（2014年9月30日、JAMSTEC東京事務所、参加者約10名）
- 10) 札幌市生涯学習センター「さっぽろの冬の気象～白銀の200万都市～」（2015年2月25日、参加者約20名）の講師

(5) マスコミ等への公表・報道等

- 1) 北海道新聞（2012年5月8日オホーツク版、朝刊）オホーツク地方のゲリラ豪雨について
- 2) AIR-G(FM北海道)「ほっかいどう宝島」（2014年12月14日、北海道の雪質について）
- 3) AIR-G(FM北海道)「ほっかいどう宝島」（2014年12月14日、北海道の局地気象について）
- 4) 北海道新聞(2015年3月1日、朝刊、海面水温上昇と低気圧の発達について)

(6) その他

- 1) 2013年度寒地技術賞（地域振興部門）：
 中村一樹、吉村暢彦、根岸淳二郎、佐藤祐介、佐藤友徳、山中康裕、藤吉康志、佐藤志穂、

山岸奈津子、田中大介、星宏聡、上林宣夫、橋本亮一、今野裕次郎、鈴木和仁、佐藤大介、岡崎善二、藤本武、中村博：第28回寒地技術シンポジウム（2012）

「寒冷な地域特性を活かした産官学発展の取り組み ～星野リゾートトマム・占冠村・北海道大学の三者が発展する連携へ～」

- 2) 2013年度日本気象学会奨励賞：

中村一樹「体験に基づいた気象災害の防災・減災，環境保全意識向上のための活動」

- 3) 若手研究者賞：

S. SUGIMOTO, T. SATO and T. SASAKI：WCRP/GEWEX 7th International Scientific Conference on the Global Water and Energy Cycle, 2014

“Regional climate change during winter caused by the historical land-cover change in Hokkaido Island, Japan（歴史的な土地利用変化によって生じた冬季北海道の地域気候変化）”

8. 引用文献

- 1) S. MATSUMURA and T. SATO: SOLA, 7, 205-208, (2011)
“Snow/Ice and Cloud Responses to Future Climate Change around Hokkaido”
- 2) 中村一樹、佐藤友徳、山中康裕、西村浩一：寒地技術シンポジウム論文集, 27, 80-85 (2011).
「気候変動に伴う北海道の雪質変化推定手法の開発」
- 3) 友貞俊成、佐藤友徳：日本農業気象学会全国大会（2015）
「マルチGCM×マルチRAMの気候データを用いたてん菜糖量の将来変化予測」
- 4) 田中朱美、高橋潔、申龍熙、増富祐司、山中康裕、佐藤友徳：土木学会論文集 G(環境), 68, I_237-I_248 (2012).
「潜在作物生産性モデルGAEZの北海道での適用可能性の検討と改良」
- 5) A. TANAKA, T. SATO, M. NEMOTO and Y. YAMANAKA: J. Agr. Meteorol. 70, 25-40.
DOI:http://dx.doi.org/10.2480/agrmet.D-13-00016, (2014)
“Sensitivity of cool summer-induced sterility of rice to increased growing-season temperatures: A case study in Hokkaido, Japan”
- 6) T. SATO and S. SUGIMOTO: Water Resour. Res., 49, 7763-7777, DOI:10.1002/2012WR013206, (2013)
“A numerical experiment on the influence of the interannual variation of sea surface temperature on terrestrial precipitation in northern Japan during the cold season.”
- 7) S. SUGIMOTO, T. SATO and T. SASAKI: J. Geophys. Res.
“Seasonal and diurnal variability in historical warming due to the urbanization of Hokkaido, Japan”（改訂中）
- 8) 佐藤友徳：天気, 57, 111-112, (2010).
「擬似温暖化実験」
- 9) T. SATO and Y. XUE: Clim. Dyn., 41, 2411-2426, DOI:10.1007/s00382-012-1616-5, (2013)
“Validating a regional climate model’s downscaling ability for East Asian summer monsoonal interannual variability”

Development of a Climate Change Downscaler and Its Practical Implementation

Principal Investigator: Hiroyuki KUSAKA

Institution: University of Tsukuba

1-1-1 Tennodai, Tsukuba, Ibaraki 305-8577, JAPAN

Tel: +81-29-853-6481 / Fax: +81-29-853-6489

E-mail: kusaka@ccs.tsukuba.ac.jp

Cooperated by: Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, Hokkaido University

[Abstract]

Key Words: Dynamical downscaling, Web application, Regional climate projection, WRF.

Detailed spatial climate prediction data are essential for reviewing the evaluation and adaptation measures of the impact of climate change in each region. Detailed spatial climate prediction data covering the entire area of Japan have been generated through several projects such as S-5, Kakushin, and RECCA. The data generated through these projects have limitations on the emission/concentration scenario, prediction period, Global Climate Model (GCM), etc.

In this study, we have developed a dynamical downscaling system (climate change downscaler system), which is a Web application that runs through Web browsers (such as Microsoft Internet Explorer or Google Chrome) on Windows- and Linux-based PCs. The system enables non-specialists of climate simulation to independently make regional climate change projections. In the system, a Pseudo Global Warming (PGW) method is employed to compute the current and future climate. The PGW method can perform efficiently and accurately on a PC.

With this system, users can arbitrarily select an emission scenario (SRES and RCP), GCM, and prediction period. In addition, the system can assess the impacts of future urbanization and farmland development on regional climate change. It has the ability to compare the current climate simulation results with observation data. The system also includes a guideline in order to make it easier for non-experts to understand current and future climate simulation results. A visualization function of projected results and CSV format data generation function are also included in the system.

The system has been introduced on a trial basis to an S-8 group and an organization in a developing country (BMKG, Indonesia). These institutions showed great interest in

utilizing the system.

To test the performance and limitation of the downscaler system, several numerical experiments by the WRF model were conducted for a winter climate on Hokkaido Island. The system was able to predict future snow depth change in Hokkaido for each future decade. Furthermore, the regional climate model installed in the downscaler system was used to analyze the impact of climate change on snow properties and agricultural yields in Hokkaido.

In addition to the many advantages derived from the downscaler system, we summarized the limitation of the downscaler system, which helped to improve the user's understanding for reliable regional climate projection.

The downscaler system was demonstrated in a university class and international training course to discover potential users worldwide.