

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 31 年 5 月 6 日現在

機関番号：17401

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2017～2018

課題番号：17H06966

研究課題名(和文) 東南アジアにおける領域大気モデルの統合的感度解析を通じた最適化及び精度の検証

研究課題名(英文) Sensitivity Analysis and Verification of Regional Climate Model over South-East Asia

研究代表者

石田 桂 (ISHIDA, KEI)

熊本大学・大学院先端科学研究部(工)・助教

研究者番号：70800697

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では東南アジアの4流域を対象に長期間の降水量の関し力学的ダウンスケーリングにおける領域大気モデル(WRF)の各種設定条件の統合的感度解析及び精度の検証を行った。ナudgingの有無に加え、初期条件、計算領域の解像度・サイズ、及びパラメタリゼーションなどを対象にした。初期条件は対象地域における長期間のシミュレーション結果にあまり影響を与えないが、ナudging、初期条件、計算領域の解像度・サイズ、及びパラメタリゼーションの影響は大きく、適切な設定により大幅な精度の向上が図れることが判明した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の成果により適切に領域大気モデルの各種設定条件を選定することにより、降水量に関し東南アジアにおいて力学的ダウンスケーリングの精度を大幅に向上できる可能性があることを示した。これにより、力学的ダウンスケーリングの信頼性向上に繋がると考えられる。また、力学的ダウンスケーリングは将来の地球温暖化の影響評価などに用いられる手法であり、本研究の成果は東南アジアにおける地球温暖化の影響評価の信頼性向上に寄与することが期待される。

研究成果の概要(英文)：This study conducted sensitivity analysis of a regional climate model (WRF) over four study watersheds, and evaluated the simulated results in order to improve reliability of dynamical downscaling over South-East Asia. This study dealt with analysis nudging, initial conditions, sizes and resolutions of model domains, schemes of physical parameterization options of the regional climate model. The sensitivity analysis results show that initial conditions (initial date of the simulations) may not affect the downscaled results much. On the other hand, it would be important to properly select sizes and resolutions of model domains, schemes of parameterization options. Effects of nudging depend on selection of schemes of parameterization options. Furthermore, these results indicate that it will be possible to significantly improve downscaled results by properly selecting these options of a regional climate model.

研究分野：水工学

キーワード：力学的ダウンスケーリング 領域大気モデル 感度解析 パラメタリゼーション 再解析データ ナudging

### 1. 研究開始当初の背景

世界レベルで地球温暖化の対応策が模索される中、将来気候予測シナリオを元に全球気候モデル(GCM)を用いたシミュレーションにより得られた将来気候予測データを利用する研究が水文分野を含め近年注目を集めている。しかしながら、将来気候予測データは解像度が低く(通常100km以上)、水文分野で対象となる流域や地域レベルでの解析には向かない。そこで、GCMの低解像度な出力を初期・境界条件にとし、領域大気モデルによるシミュレーションから高解像度の出力を得る手法である力学的ダウンスケーリングがしばしば用いられている。しかしながら、力学的ダウンスケーリングに関して、地表における水循環の主要な要素である降水量に注目すると、気候変化の研究において必要な長期間における精度の検証、特に時系列データとしての検証はあまり行われていない。長期間を対象にした精度の検証では、主に気候値が用いられ、時系列データ、特に日別降水量以下の時間解像度を対象とすることは少ない。また、将来気候予測データを力学的ダウンスケーリングする場合、モデルの最適化に十分な労力が割かれてきたとは言えない。特に、東南アジアを対象とした力学的ダウンスケーリングに関する研究は相対的に少ない。

### 2. 研究の目的

本研究では東南アジアを対象に降水量に関し力学的ダウンスケーリングにおける領域大気モデルの最適化及び精度の検証を行うことを目的とする。領域大気モデルにより得られる降水量の精度は、各パラメタリゼーション、初期条件、計算領域など様々なモデルの設定条件に依存する。しかしながら、モデルの感度解析を目的とした研究でさえ、主にパラメタリゼーションを対象としており、他の設定条件を扱うものは少ない。さらには、近年各パラメタリゼーションに対し次々にスキームが開発されモデルに取り込まれているが、一部のスキーム以外あまり使用されていない。そこで、データ補正手法であるナッジングの有無に加え、初期条件、計算領域の解像度、及びパラメタリゼーションを対象にした統合的な感度解析を行い、領域大気モデルの最適化及び精度の検証を行う。

### 3. 研究の方法

東南アジアの対象地域として Chao Phraya 川流域及び Chao Phraya 川流域内の主なダム の流域、Bhumibol ダム流域、Pa Sak Jolasid ダム流域、Sirikit ダム流域を選定した。申請時に研究対象として東南アジアの2地域マレーシアのマレー半島部及びタイ王国北部を想定していた。しかしながら、実際の予算交付額の都合上計算資源利用を効率化する必要性が生じた。そのため、本研究では離れたマレー半島部とタイ王国北部ではなくタイ王国内の複数の地域を対象とすることで領域大気モデルの計算領域を統一し計算の効率化を図った。

領域大気モデルには、データ補正手法であるナッジングの有無を選択でき、各パラメタリゼーションに対し数多くのスキームを提供する Weather Research and Forecasting Model (WRF) を用いた。初期・境界条件は主に ERA Interim 再解析データより得た。また、観測データとして主に APHRODITE 降水量データを扱った。地点観測雨量はデータの欠損・精度の問題などがあること。それに対し、APHRODITE 降水量データは空間解像度が約 25km と粗いが数多くの観測データを Quality Control を行ったうえで取り込んでいる。また、長期間にわたり欠損なく提供されている。これらの事情から、本研究では観測データとして APHRODITE 降水量データに注目した。

上記を用い、パラメタリゼーション、初期条件(計算開始日)、Analysis Nudging、鉛直方向解像度、計算領域のサイズ(図1)、境界条件などに関し感度解析を行った。また、新しく公開された ERA5 再解析データを用いた感度解析も行った。

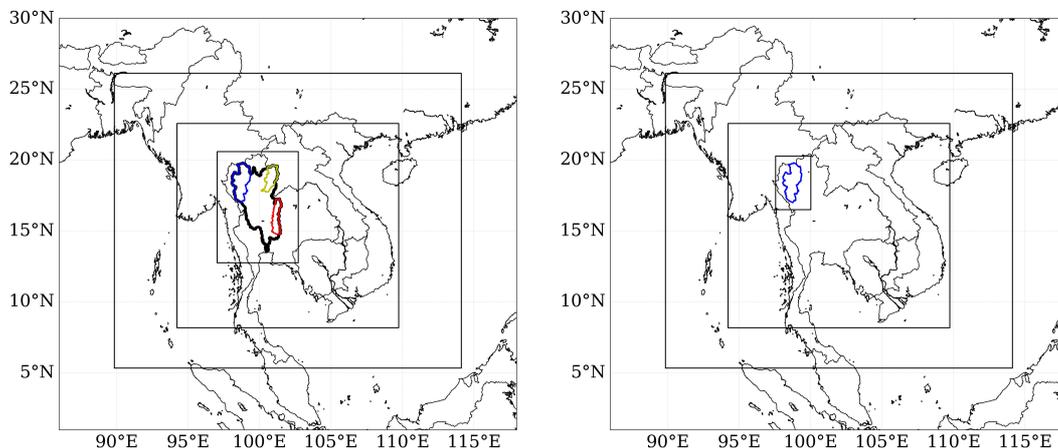


図1. 水平解像度 18km の計算領域での結果. Chao Phraya 川流域日降水量

#### 4. 研究成果

##### 1) 初期条件の感度解析

まず、タイ王国において初期条件の力学的ダウンスケーリングへの影響を調べた。水平空間解像度 54km-18km-6km の 3 計算領域 (図 1 左) を用い、2011 年の日降水量を対象とした。初期条件を変更するために、領域大気モデルの計算開始日を変更した。初期条件の感度解析結果の例として、図 2 に計算開始日を 2010 年 10 月 15 日、11 月 15 日、12 月 15 日としたときの 2011 年 1 月 1 日 ~ 12 月 31 日における Chao Phraya 川流域平均日降水量を示す。初期条件 (計算開始日) の違いにより、所々降水量に変化が生じている。しかしながら、全般的には初期条件の異なる 3 つの計算結果は非常に類似している。このことから、タイ王国において年単位の期間を対象とした場合初期条件の力学的ダウンスケーリングへの影響は小さいことが分かる。また、初期条件の違いにより日降水量に違いが生じている後においても降水量の差は拡大していない。領域大気モデルでの計算期間中における計算領域内での誤差の蓄積は微小であると言える。そして、タイ王国における力学的ダウンスケーリングでは初期条件より境界条件が重要になると考えられる。

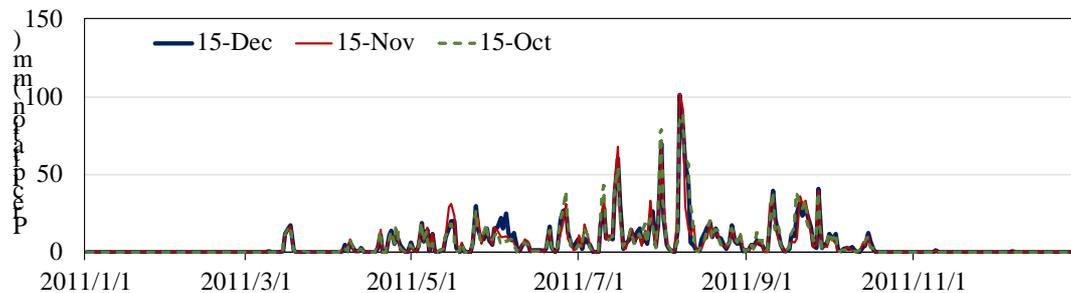


図 2. 計算開始日による Chao Phraya 川流域平均日降水量の違い

##### 2) 水平空間解像度 54km-18km の 2 計算領域を用いた感度解析: Analysis Nudging

2007 年の日降水量を対象とし水平空間解像度 54km-18km の 2 計算領域を用いた感度解析を行った。ここでは、パラメタリゼーション及び Analysis Nudging を感度解析の対象とした。感度解析として、57 のパラメタリゼーションスキームの組み合わせを Analysis Nudging を用いる場合と用いない場合で試した。それぞれの結果に対する Chao Phraya 川流域での降水量に関する観測データとの相関係数を図 3 に示す。Chao Phraya 川流域、及び Bhumibol ダム流域、Pa Sak Jolasid ダム流域、Sirikit ダム流域において降水量に関し、Analysis Nudging を用いた場合の方が 57 ケース中それぞれ 35, 38, 33, 33 ケースで観測データと高い相関係数を示した。また、27, 23, 28, 33 ケースで高い Nash-Sutcliffe 係数(NS)の値を示した。パラメタリゼーションスキームの組み合わせによっては Analysis Nudging は有効に働き結果の改善がみられるが、Analysis Nudging を用いない場合の方が高い相関係数・NS を示す場合も多く確認された。

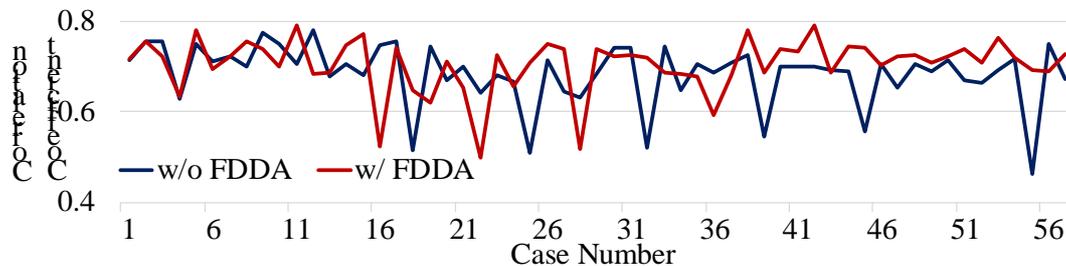


図 3 .FDDA の有無による Chao Phraya 川流域日降水量の観測値-計算値間の相関係数(R)の違い

##### 3) 水平空間解像度 54km-18km-6km の 3 計算領域を用いた感度解析: 鉛直方向解像度

2007 年の日降水量を対象とし水平空間解像度 54km-18km-6km の 3 計算領域 (図 1 左) を用いて鉛直方向解像度に関する感度解析を行った。18 のパラメタリゼーションスキームの組み合わせを用い、数値計算における鉛直方向の分割数を 40, 35, 30 とした場合の結果を比較した。例として、図 4 に鉛直方向の分割数の違いによる Chao Phraya 川流域日降水量の観測値-計算値間の相関係数の違いを示す。4 対象流域において、18 ケース中 6-7 割で鉛直方向分割数が 40 の場合に最も高い相関係数を示した。また、6 割前後のケースで鉛直方向分割数が 40 の場合に最も高い NS の値を示した。

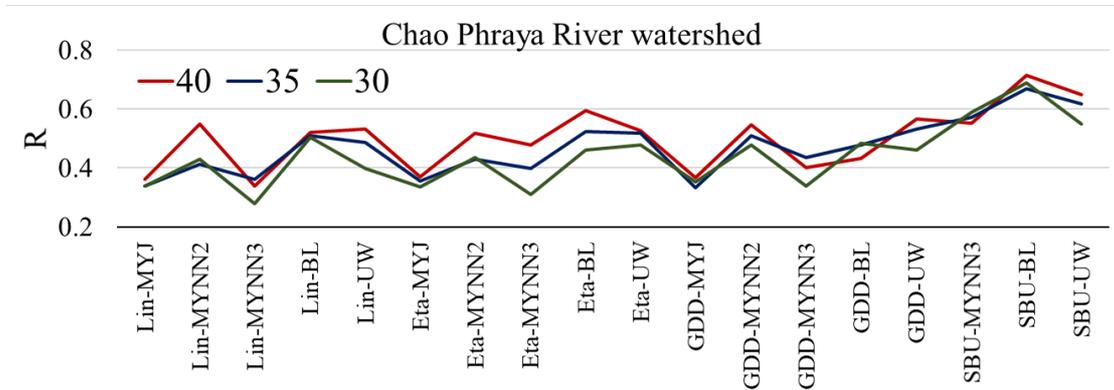


図 4．鉛直方向の分割数の違いによる Chao Phraya 川流域日降水量の観測値-計算値間の相関係数の違い

4) 水平空間解像度 54km-18km-6km の 3 計算領域を用いた感度解析：計算領域のサイズ

2007 年の日降水量を対象とし水平空間解像度 54km-18km-6km の 3 計算領域 (図 1 左) で追加の計算を行い、また Bhumibol ダム流域に注目し、同様に水平空間解像度 54km-18km-6km の 3 計算領域であるが最内のサイズが違う計算領域(図 1 右)を用いた計算を行った。ここでは、図 1 右の計算領域を用いて 25 のパラメタリゼーションスキームの組み合わせを試した。図 1 左の計算領域を用いた計算では最大で相関係数が 0.746、NS が 0.457 であった。一方で、Bhumibol ダム流域に注目した計算領域(図 1 右)を用いた計算では、最大で相関係数が 0.645、NS が -0.017 であった。例として、同じパラメタリゼーションスキームの組み合わせを用いた場合における、Bhumibol ダム流域での日降水量を図 5 に示す。両計算領域で試したパラメタリゼーションの組み合わせ数が違うが、全般的に図 1 左の計算領域を用いた計算の方が相関係数・NS に関し良い結果を示した。

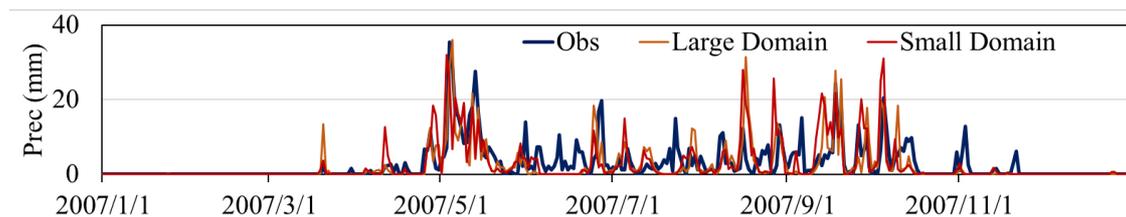


図 5．異なる計算領域を用いた Bhumibol ダム流域日降水量

5) 水平空間解像度 54km-18km-6km の 3 計算領域を用いた感度解析：境界条件

上記の計算においては、初期・境界条件は ERA-Interim 再解析データから得た。境界条件(使用する再解析データ)の感度解析として、ERA20C 再解析データから初期・境界条件を得て、同じ水平空間解像度 54km-18km-6km の 3 計算領域 (図 1 左) を用いて 2007 年を対象に力学的ダウンスケーリングを行った。ERA-Interim に比べ、ERA20C は対象期間が 1900-2010 と長い一方、データ同化に用いられる観測データが少なく、また水平空間解像度が約 125km と粗い。ここでは、ERA20C を初期・境界条件として使い、102 のパラメタリゼーションスキームの組み合わせを試した。降水量観測データとの相関係数に関して、対象とした 4 流域全てにおいて ERA20C を用いた計算では ERA-Interim を用いた計算より低い計算結果の精度を示した。

6) ERA5 再解析データ

昨今、新しい再解析データとして ERA5 が公開された。ERA5 の時間解像度は 1 時間、水平空間解像度は 0.25 度であり、ERA-Interim に比べて高解像度である。ERA5 を初期・境界条件として用いた計算を追加で行った。ただし、ERA5 の水平空間解像度は 0.25 度 (約 25 km) であり、ERA-Interim に用いた最外の計算領域の解像度 54 km よりも解像度が高いため、水平空間解像度 6 km の 1 計算領域を用いた。ここでは、100 のパラメタリゼーションスキームの組み合わせを試した。ERA5 を初期・境界条件に用いた計算では最大で相関係数が 0.815、NS が 0.470 であった。これは、ERA-Interim を初期・境界条件に用い、水平空間解像度 54km-18km-6km の 3 計算領域 (図 1 左) で計算した場合よりも良い結果であった (図 6)。

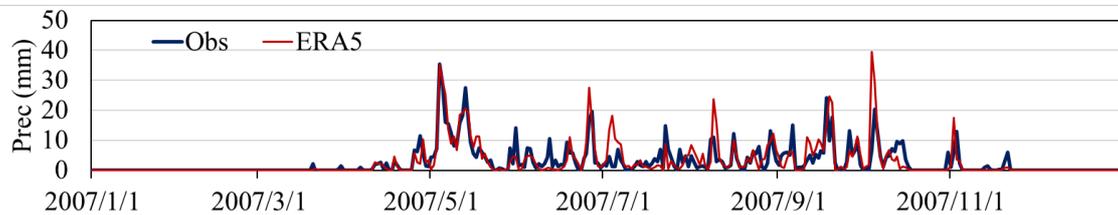


図 6 . ERA5 を初期・境界条件に用いた場合の Bhumibol ダム流域日降水量

#### 7) パラメタリゼーションスキームの感度解析

上記の各感度解析において、パラメタリゼーションスキームの複数の組み合わせを試した。また、上記に示す以外にも数多くのパラメタリゼーションスキームの複数の組み合わせを用い数値計算を行った。例えば、ERA-Interim を初期・境界条件とし 2007 年を対象に水平空間解像度 54km-18km-6km の 3 計算領域 (図 1 左) を用いて計 265 ケースの計算を行っている。その結果、パラメタリゼーションスキームの選定が降水量の計算精度に特に大きく影響することが判明した。一例を挙げると、他のパラメタリゼーションスキームを固定した放射過程のスキームの感度解析では、Chao Phraya 川流域での降水量の精度は相関係数が 0.118 ~ 0.773, NS の値が -0.378 ~ 0.456 の幅があった。他にも、雲の微物理過程に注目すると、Chao Phraya 川流域での降水量の精度は NS の値が -0.265 ~ 0.492 の幅を持つ場合があった。

#### 8) まとめ

本研究の結果から、各種パラメタリゼーションのスキームの選定が降水量に大きな影響を与えることが分かった。既存の研究では一部のスキーム以外あまり使用されていないが、本研究の結果からより各パラメタリゼーションに対しより多くのスキームを試すことにより精度の改善が図れることが判明した。また、初期・境界条件として用いる再解析データの選定や計算領域のサイズ・解像度も計算精度に大きく影響を与えることが判明した。一方で、初期条件 (計算開始日時) は長期間の計算には大きな影響は無く、ナッジングの影響はパラメタリゼーションスキームなど他の設定次第であることが判明した。

本研究の結果から、領域大気モデルの各種設定条件を最適化することにより降水量に関し計算精度の大幅な向上が図れることが判明した。領域大気モデルを用いた力学的ダウンスケーリングは将来における地球温暖化の影響評価にしばしば用いられる手法であり、本研究の成果は地球温暖化の影響評価の信頼性向上に繋がると考えられる。

#### 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 0 件)

〔学会発表〕(計 0 件)

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況 (計 0 件)

取得状況 (計 0 件)

〔その他〕

該当なし

#### 6. 研究組織

研究代表者のみ。

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。