

地域気候モデルによる 力学的ダウンスケーリング の現状と課題

大楽 浩司

飯塚聡 (NIED), 佐々木亘 (JAMSTEC),
Roger A. Pielke Sr., Adriana Beltran (Univ. of Colorado)

独立行政法人 防災科学技術研究所 水・土砂防災研究部

第3回沼口敦さん記念シンポジウム

30 Mar 2009, 東京大学柏キャンパス

気候変動への対策を取らない場合に極めて大きな経済的リスクが生まれる可能性。

予測結果はモデルと前提条件により左右。

気候変動の影響を確実に予測するのは**不可能**。
影響のリスクを十分に理解することは**可能**。

科学に基づく不確実性の議論は、設定目標の論拠。

社会シナリオ (温室効果ガス排出、土地利用・土地被覆変化、エアロゾル)

気候モデル (AOGCM、RCMの力学過程・物理過程の構成・設定)

内部変動 (異なる初期値に対する非線形応答)

ダウンスケーリング手法 (力学的・統計的)

地理 (気候システムの応答は強い地理的依存性)

”What if”

ダウンスケーリングとは？

近年各地で多くのダウンスケーリング研究プロジェクト (PRUDENCE, ENSEMBLES, PIRCS, NARCCAP, MRED, RMIP, CCSN, etc.)

力学的ダウンスケーリング

- + 物理プロセスに基づく、出力変数が物理的整合性、物理的解釈
- 比較的大きなバイアス、多大な計算資源

統計的ダウンスケーリング

- + 比較的正确、シンプル、大きな計算機資源不要
- 物理プロセスに基づかない、安定した気候状態を仮定、変数間の物理的整合性が少ない

力学的、統計的ダウンスケーリング手法は相補的

力学的ダウンスケーリングの役割は、大規模場の予測精度を改善することではなく、下部境界の状態に大きく依存した小さな現象を解像し、付加価値を付けること。

(地形、土壌、土地利用・土地被覆、土壌水分、植生、エアロゾル etc.)

地域気候モデル(Regional Climate Model)

- **地域気候モデルは側方境界条件から強く影響**
 - 高精度の境界条件
 - 地域気候モデルの総観規模の大気循環は全球気候モデル(あるいは再解析)のものと大きく異なるべきでない
- **下部境界からの強制**
 - 小規模擾乱を生成する主要因(例:地形)
 - より高い空間解像度によって、高い精度が得られることが期待(全球気候モデル(または再解析)では表現できない小さいスケールにおいて、“付加価値”を付ける)
- **総観規模で生起されるメソスケールシステム**
 - 必ずしも高空間解像度によって改善されない
 - 高精度の境界条件
 - 適切な物理過程

地域気候モデルによるダウンスケーリング

Type : 日々の気象予測 - 初期値問題

(初期条件、側方境界条件、地形・SSTなどの下部境界条件、太陽放射、CO2濃度)

Type : 季節数値計算 (hindcast) - 境界値問題


(側方境界条件(解析値)、地形・SST・植生の気候値・土壌水分などの下部境界条件、太陽放射、CO2濃度)

Type : 季節予報 (or AMIP run) - 境界値問題

(側方境界条件(GCM)、地形・SST・植生の気候値・土壌水分などの下部境界条件、太陽放射、CO2濃度)

Type : 気候シナリオ - 境界値問題

(側方境界条件(GCM)、地形などの下部境界条件、太陽放射、CO2濃度)



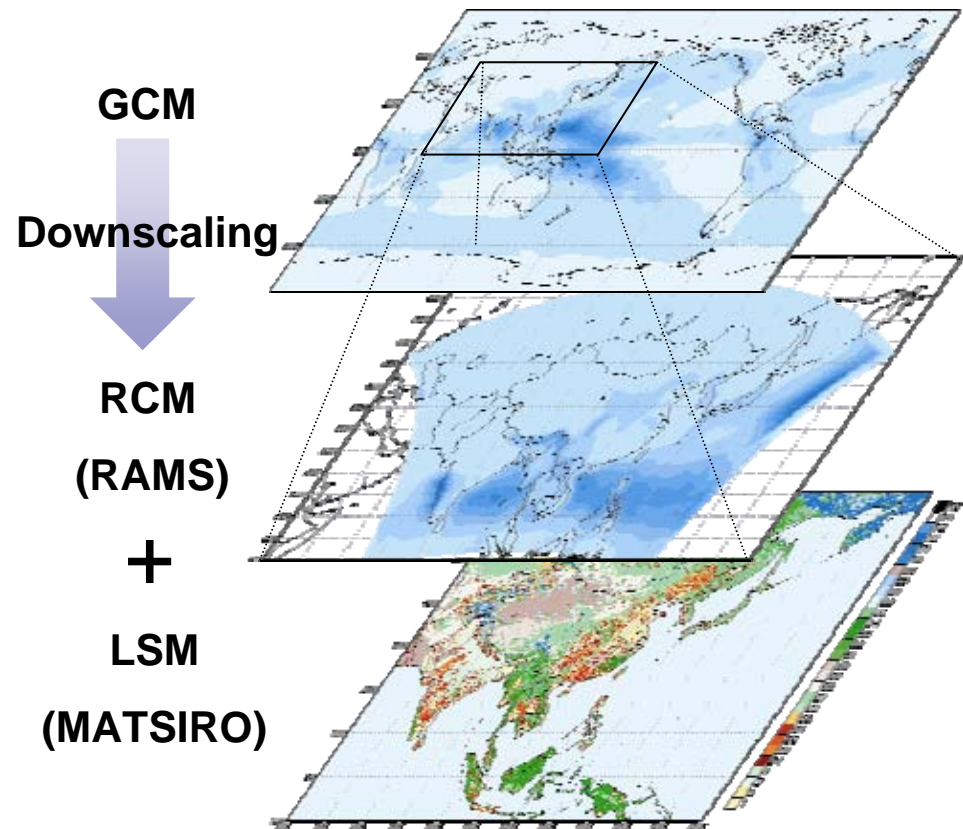
力学的ダウンスケーリングによる高空間解像度化によって、総観規模で生起されるメソスケールシステムは改善されるか？

Hydrological Change under the Global Warming in Asia

“Water Resources and Variability in Asia in the 21st Century” funded by MEXT (2001-2004)

- **Model:** Three-dimensional non-hydrostatic compressible dynamic-equations model (*NIES-RAMS*)
- **Horizontal grid:** 60km grid space with 161 × 119 grids (9,700km × 7,100km)
- **Vertical grid:** z = 22 (~ 28km)
Grid space stretched 250 ~ 2,000m
- **Initial and Boundary condition:**
CCSR/NIES AGCM (T42)
- **Lateral Boundary condition; Nudging**
10 grids, 6 hourly
- **Integrated periods; 11 years**
1981-1990, 2041-2050 (1 year spin-up)
- **Topography** (*USGS 10min*), **Land Use** (*GLCC*), **LAI** (*ISLSCP*), **SST** (*GISST, GISST + "Warming Pattern" by CCSR/NIES CGCM(T21)*)
- **Soil Moisture:** simulated by MATSIRO

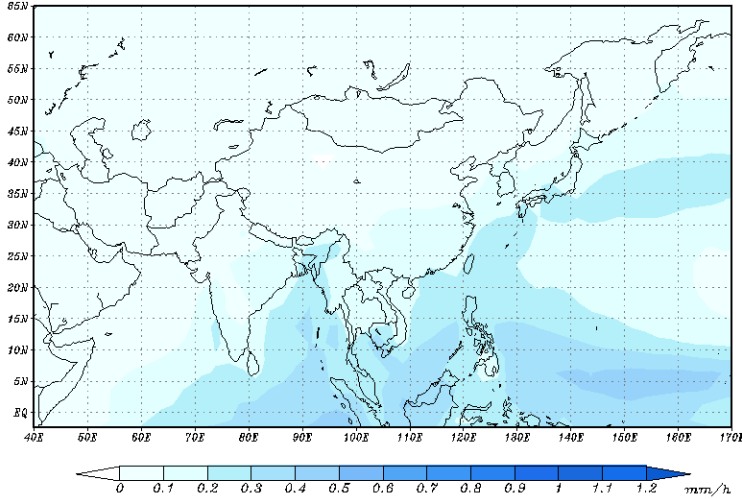
Dynamical Downscaling



Obs. vs. CCSR/NIES GCM vs. RAMS

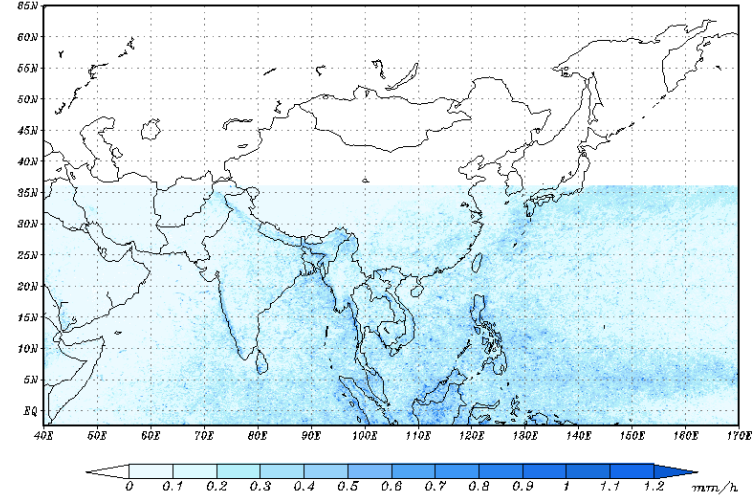
CMAP

CMAP annual Precipitation
1981-1990



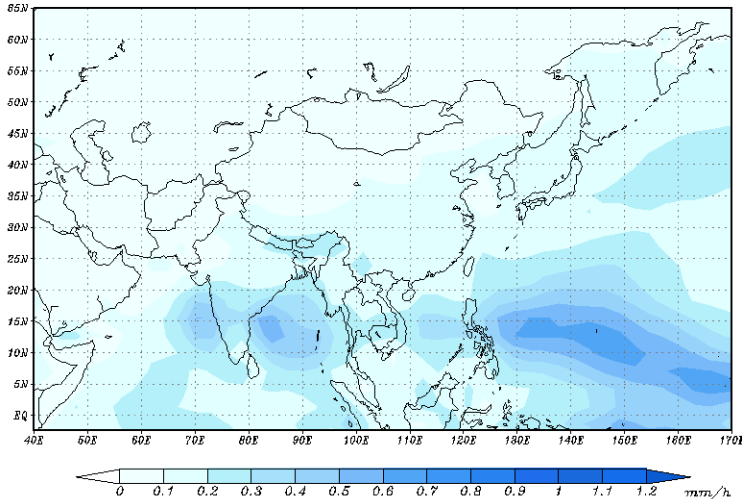
TRMM

TRMM annual Precipitation rate
1998-2000



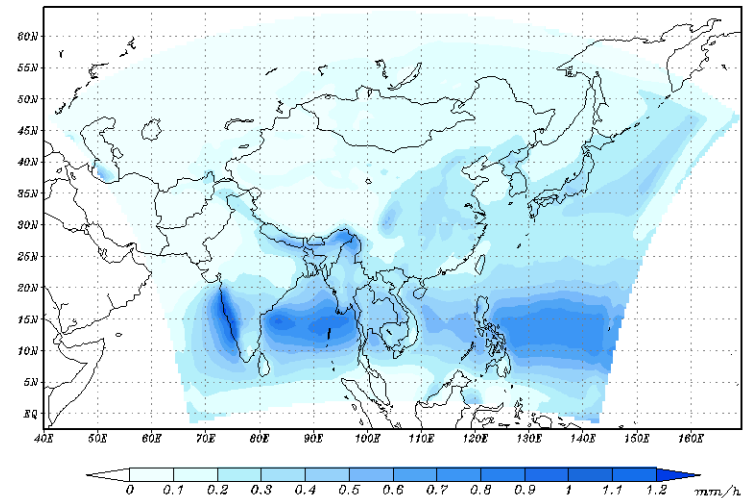
GCM

CCSR/NIES-AGCM annual Precipitation
1981-1990



RCM

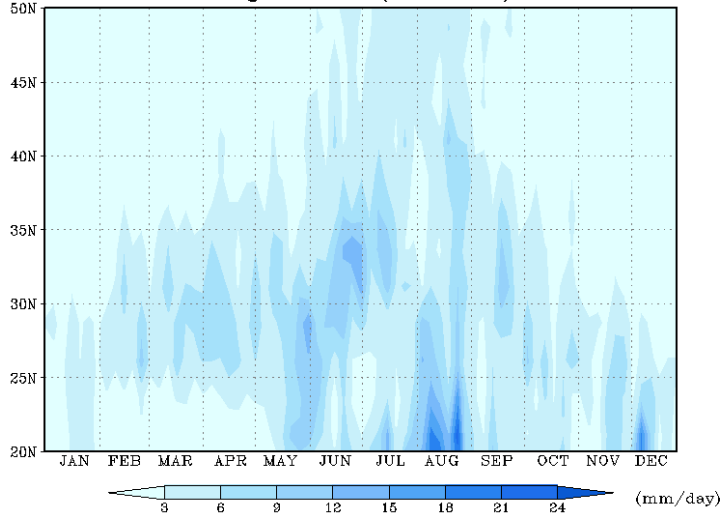
NIES-RAMS annual Precipitation
1981-1990



Obs. vs. CCSR/NIES GCM vs. RAMS

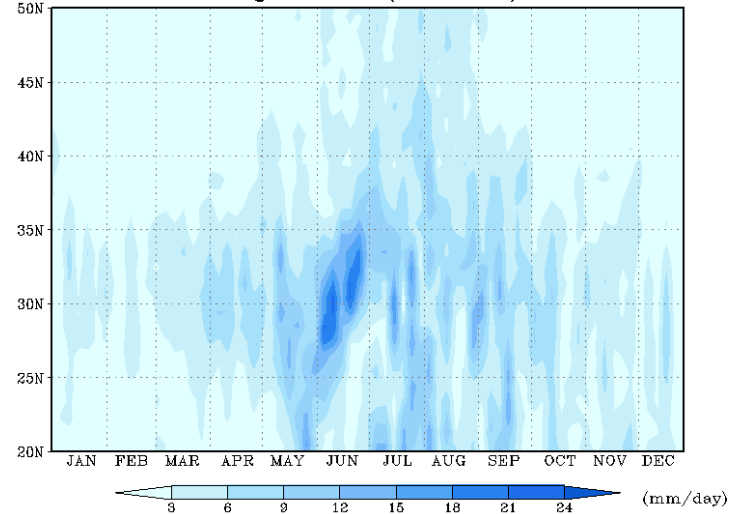
CMAP

CMAP Precipitation Time-Latitude Cross Section
Longitude:130E (1981-1990)



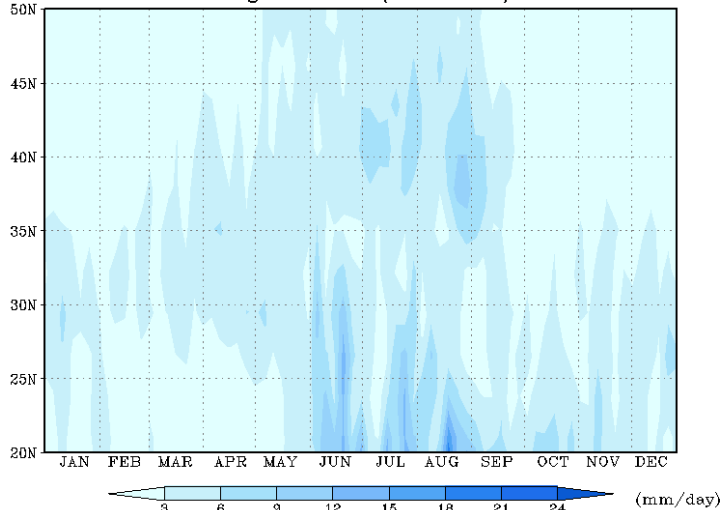
GPCP

GPCP Precipitation Time-Latitude Cross Section
Longitude:130E (1997-2003)



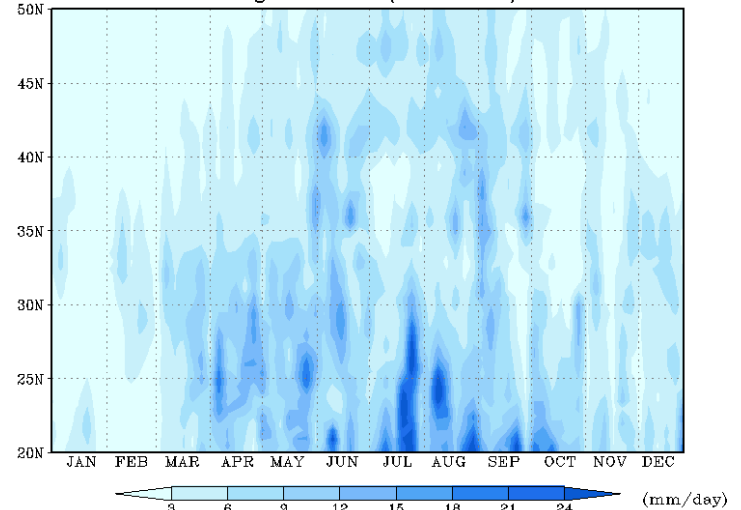
GCM

T42 Precipitation Time-Latitude Cross Section
Longitude:130E (1981-1990)



RCM

NIES-RAMS Precipitation Time-Latitude Cross Section
Longitude:130E (1981-1990)





現在のモデルの性能(バイアス)は？

Multi-model ensembles and downscaling for regional risk assessment of climate change

- MRI (Meteorological Research Institute)
- NIED (National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention)
- University of Tsukuba, (Meteorology and Climatology)
- DPRI (Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University)
- NIAES (National Institute for Agro-Environmental Sciences)
- IIS (Institute of Industrial Science, University of Tokyo)
- Hokkaido University



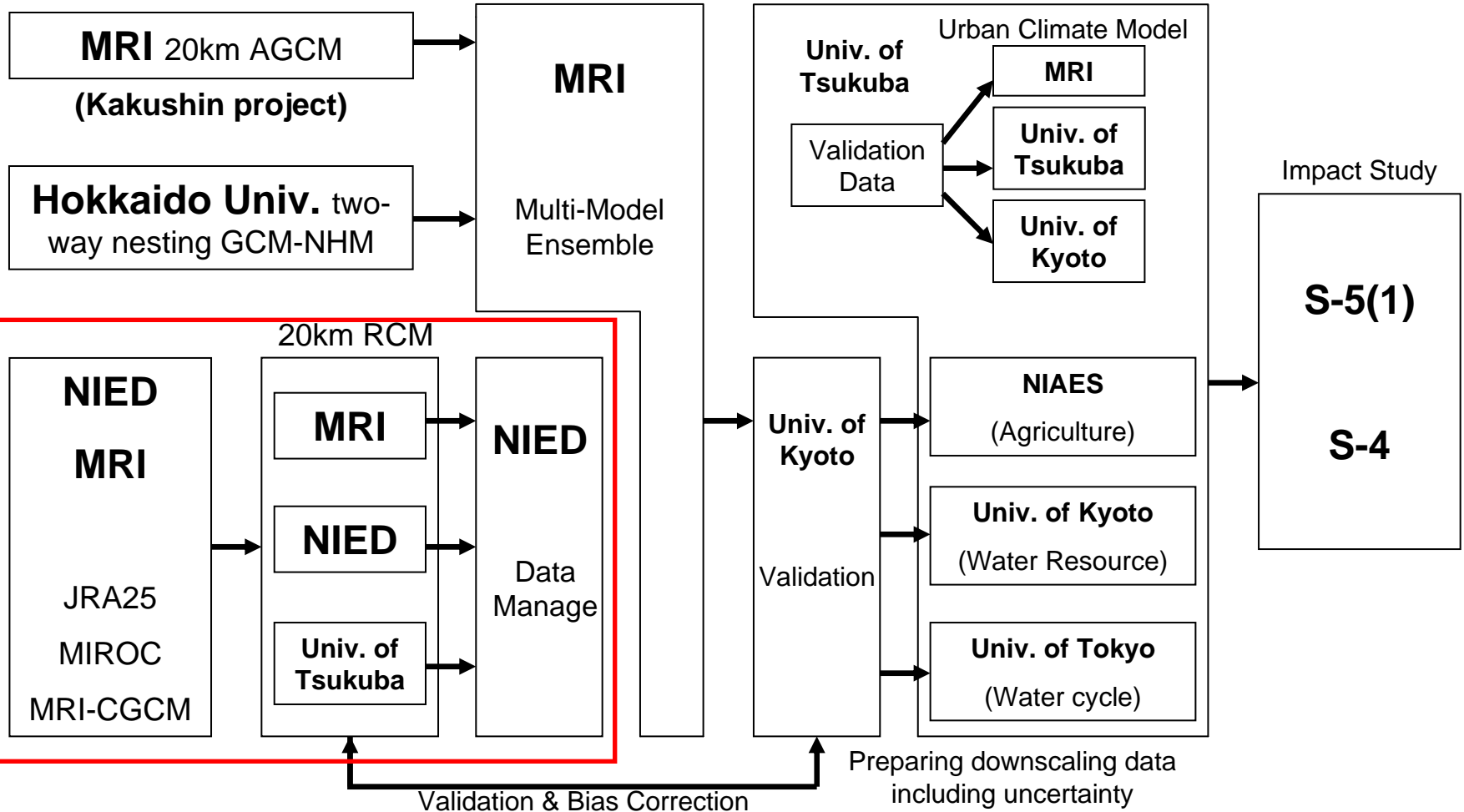
S-5(3) Projects (downscaling)



Future Projection by climate models

Multi Ensemble

Downscaling studies



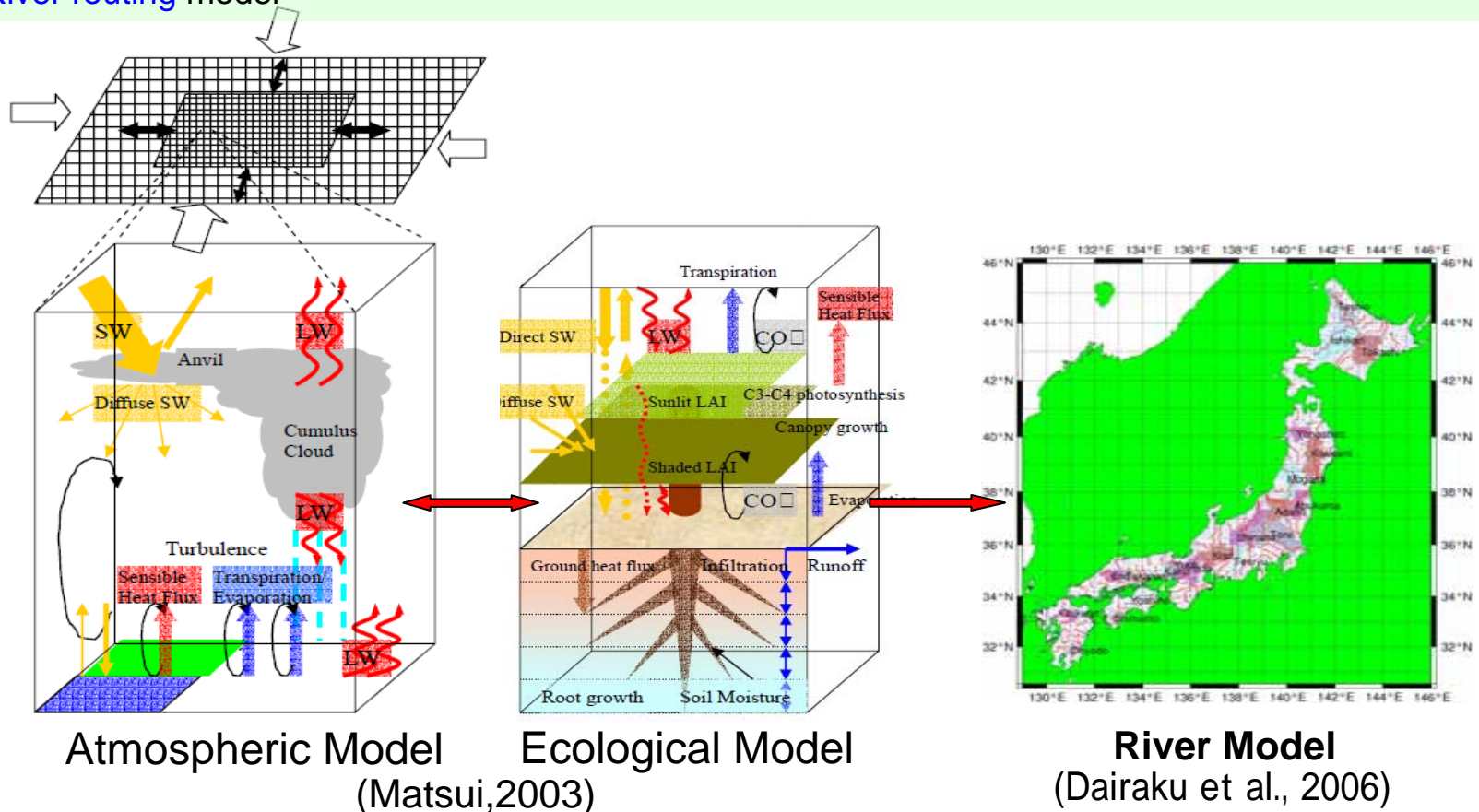
Regional Climate Model

NIED RAMS (GEMRAMS + river)

- Basic Model: Regional Atmospheric Modeling System (RAMS) Ver.4.3 (Pielke et al. , 1992)
 - [Kain-Fritsch convection scheme](#) , Bulk-microphysics/Dumbucket scheme , Mellor-Yamada Level 2.5, [Spectral nudging scheme](#)

- Terrestrial [biogeochemical](#) model, GEMTM (Chen and Coughenour,1994) is coupled with land surface model, Leaf2 (Estman et al., 2001)

- Sub-grid land covers, Multi-canopy Radiative Transfer Model, Sunlit/shaded leaf Photosynthesis Model (C3 & C4 path), dynamic change LAI, Temporary Surface Water, Soil Respiration, Root Effluence, Uptake and Branching Model
- [River routing](#) model

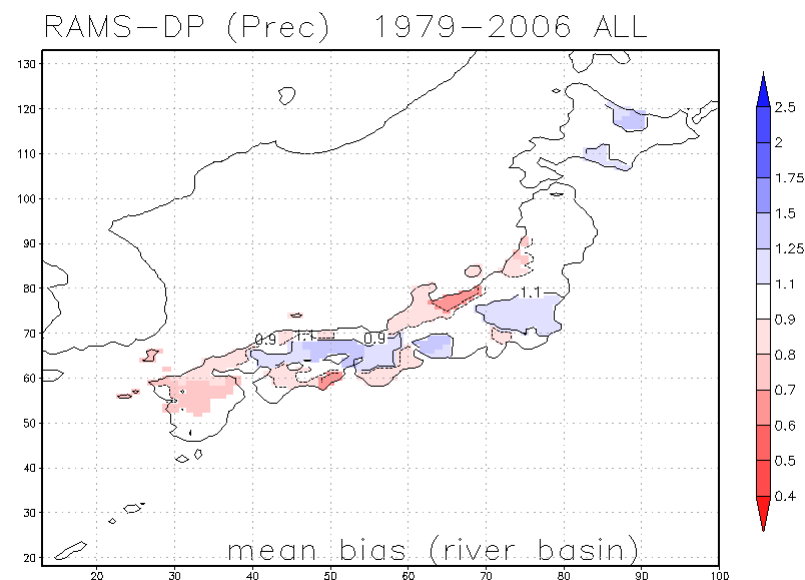
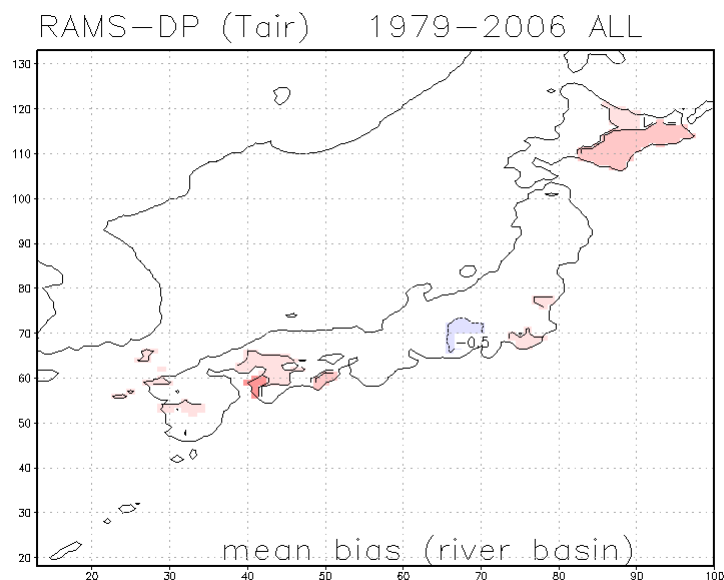


日本の河川流域におけるモデルの検証

Brief description of numerical experiments

- Model: NIED-RAMS
 - Non-hydrostatic compressible dynamic-equations model
- Coordinates
 - σ_z terrain-following coordinate
 - rotated polar-stereographic projection
 - 128 × 144 grid points (20km grid spacing)
 - Vertical grid $z = 27$ grid points (~ 21 km) + 10 soil layers
- Physics:
 - Cumulus: Kain-Fritsch scheme
 - Bulk-microphysics (Ver.0.5) / Dumpbucket (ver.0)
 - Radiation: Chen & Cotton
 - PBL: Mellor-Yamada level 2.5
 - Land surface: Leaf2 + GEMTM + river routing scheme
- Boundary Condition (Lateral & SST)
 - JRA25 / JCDAS: 6 hourly (Nudging 5 grids)
- Integration
 - 3 years spin-up in 1979
 - 29 years from 1979 to 2007

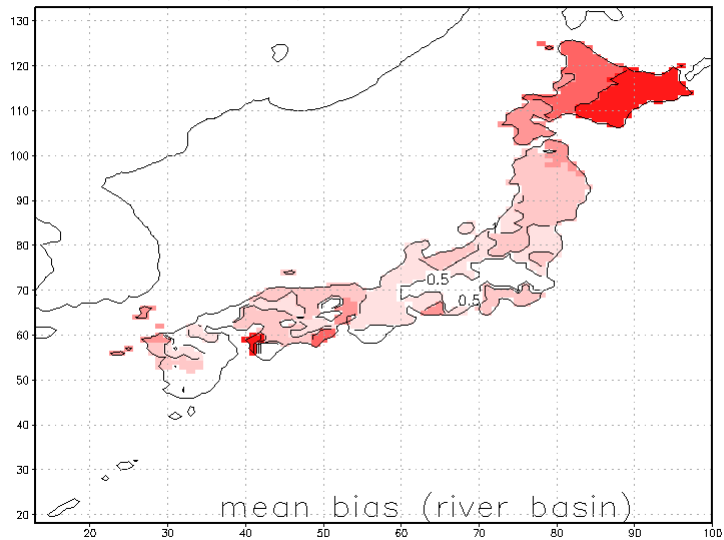
Verification of simulation in river basins in Japan for 29 years



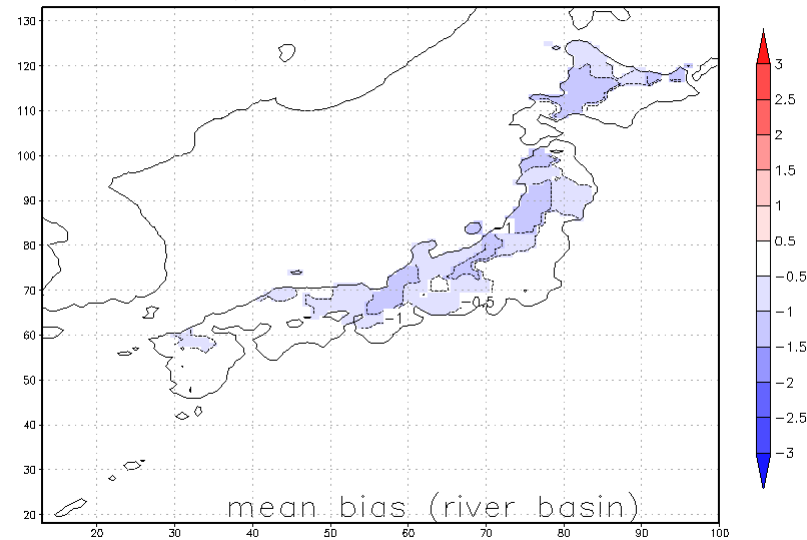
- 地域気候モデルを日本の78河川流域で検証。
- 年平均値について、ほとんどの河川流域でNIED-RAMSの2m気温のバイアスは**0.5K**以下、降水量のバイアスは**10%**前後。

29 years simulation

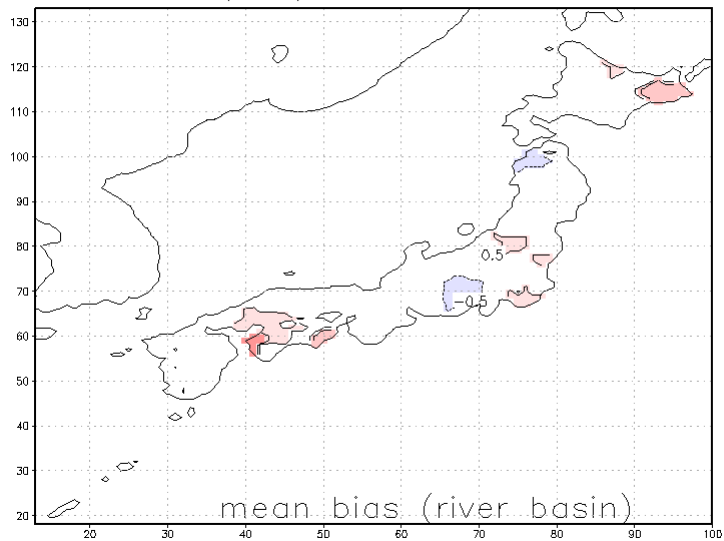
RAMS-DP (Tair) 1979-2006 DJF



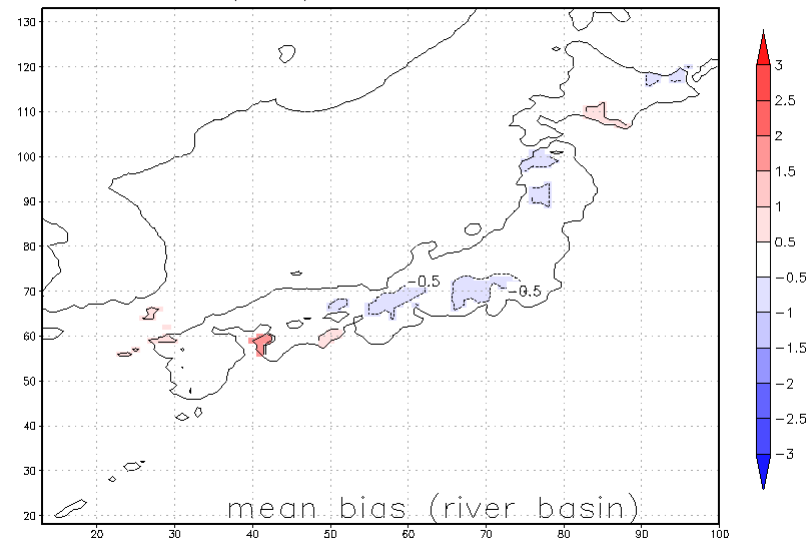
RAMS-DP (Tair) 1979-2006 JJA



RAMS-DP (Tair) 1979-2006 MAM

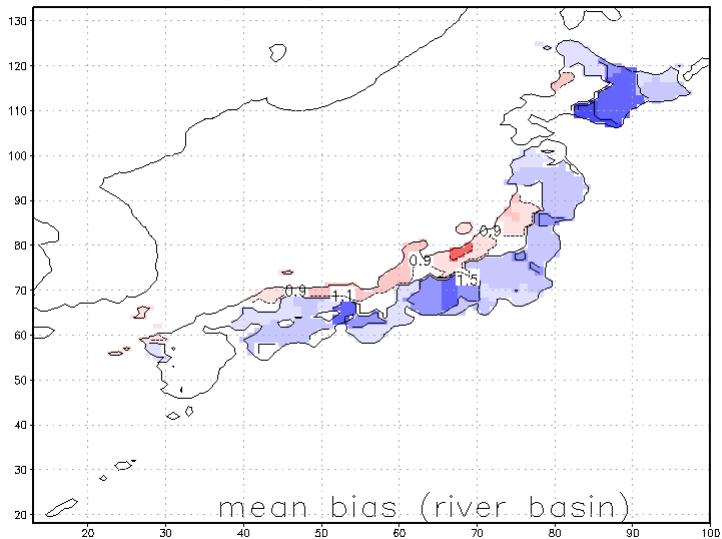


RAMS-DP (Tair) 1979-2006 SON

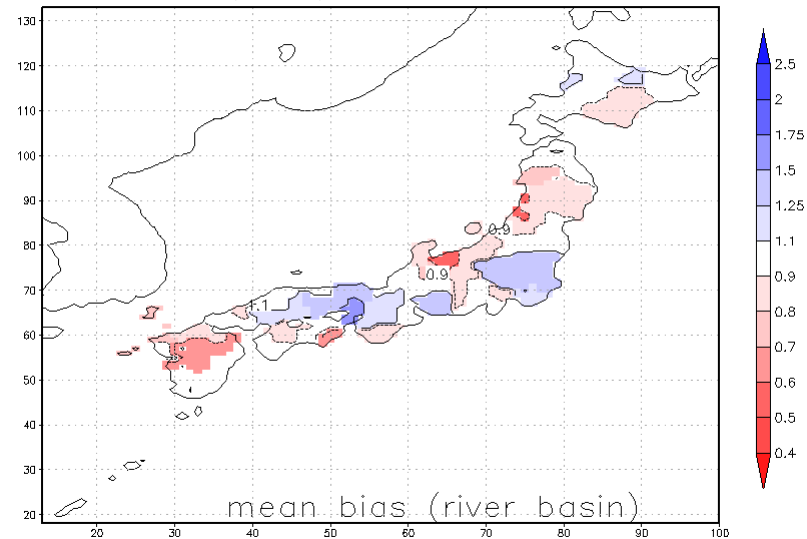


29 years simulation

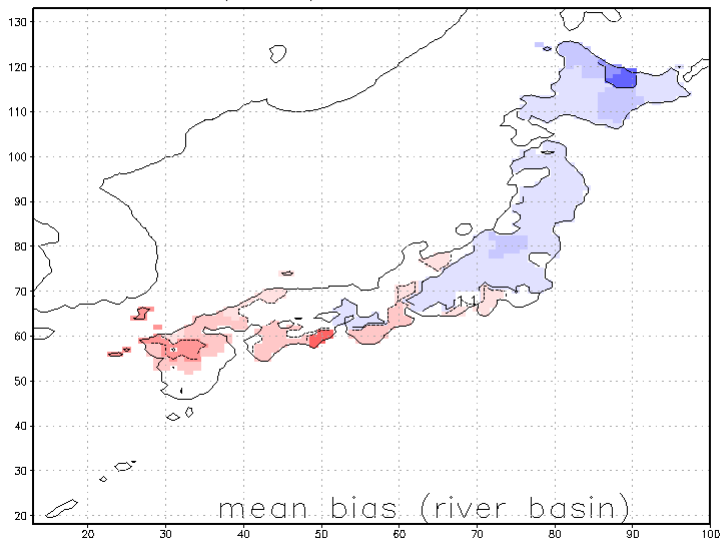
RAMS-DP (Prec) 1979-2006 DJF



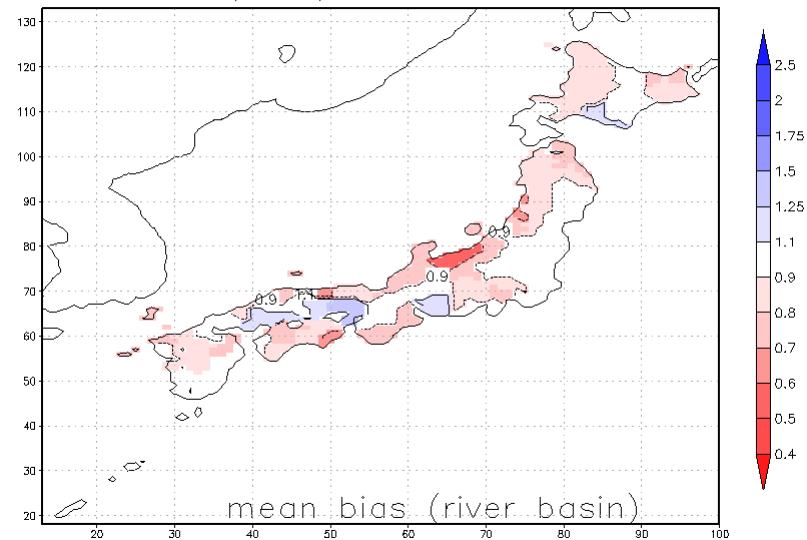
RAMS-DP (Prec) 1979-2006 JJA



RAMS-DP (Prec) 1979-2006 MAM

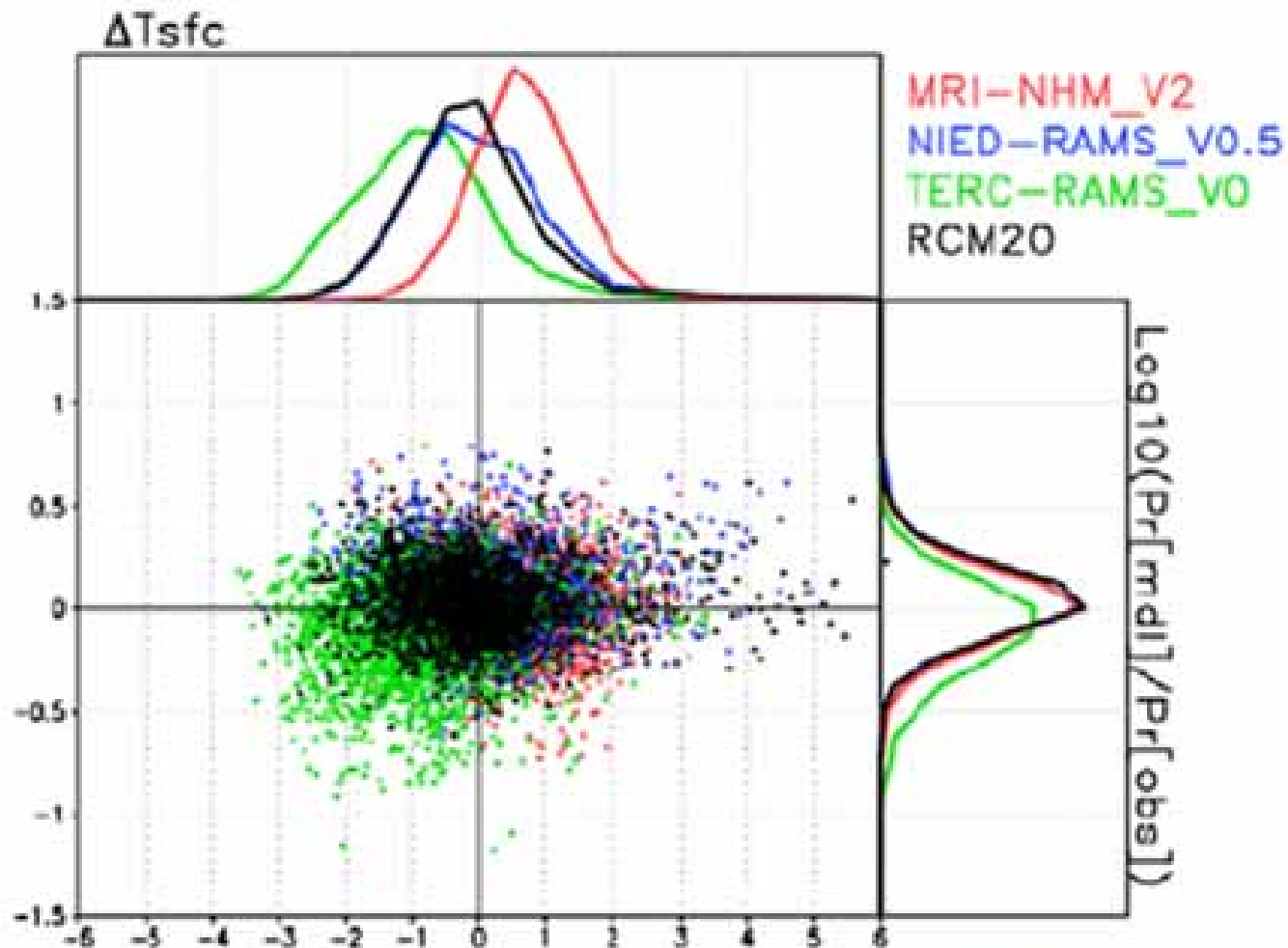



RAMS-DP (Prec) 1979-2006 SON



マルチモデルダウンスケーリング

同じ再解析値 (JRA-25) で実行した複数のRCMの結果
2002年～2004年の36ヶ月, 60都道府県





計算領域の取り方やナッジングスキーム
の違いによって結果が大きく変わるか？

Spectral Nudging Scheme

Model Variables

$$\frac{dQ}{dt} = \sum_{|n| \leq N} \sum_{|m| \leq M} \frac{dQ_{mn}}{dt} \cdot e^{ik_m x} \cdot e^{ik_n y}$$

Model Operator

$$= L(Q) - \sum_{|n| \leq N} \sum_{|m| \leq M} K_{mn} \cdot (Q_{mn} - Q_{omn}) \cdot e^{ik_m x} \cdot e^{ik_n y}$$

Spectral Nudging Coefficient (depend on height)

Observations

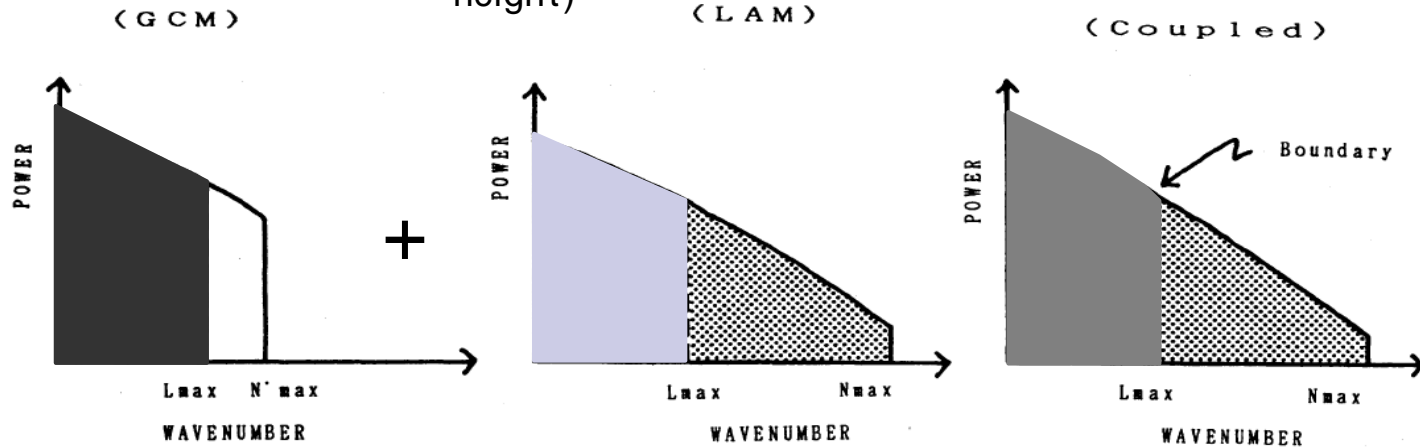
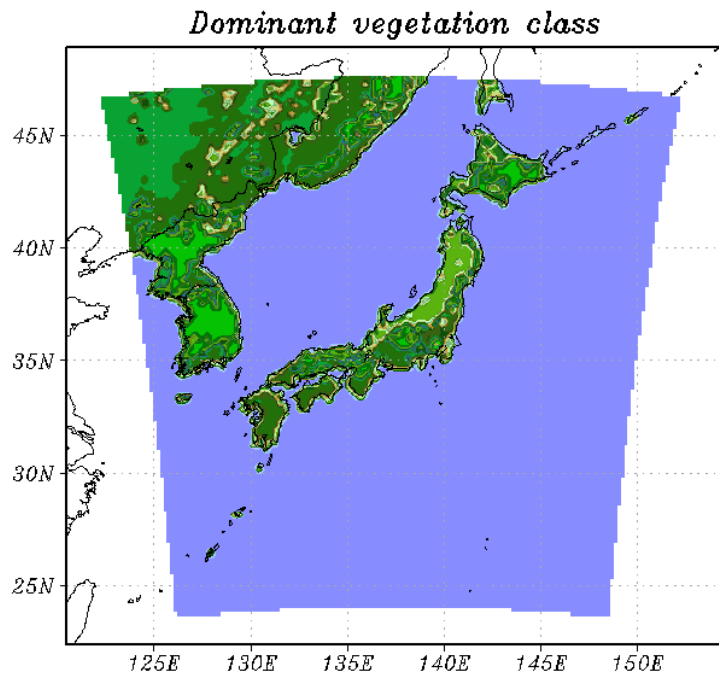
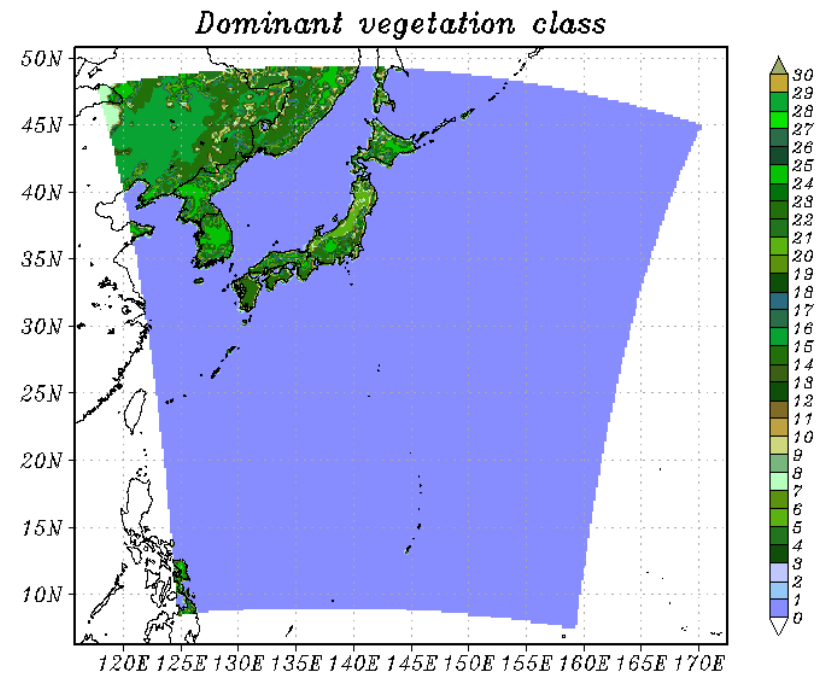


Fig. 3. A schematic illustration of the conceptual explanation of spectral coupling. N_{max} and N'_{max} are the maximum wavenumbers of the LAM and the GCM, respectively. L_{max} is the boundary wavenumber of the large-scale and small-scale parts. These wavenumbers are defined with respect to the LAM's domain. The shaded parts of the spectral of the GCM and LAM are combined in one way. (Kida et al., 1991)

領域サイズとナッジングスキームの違いに対するモデルバイアス



128x144

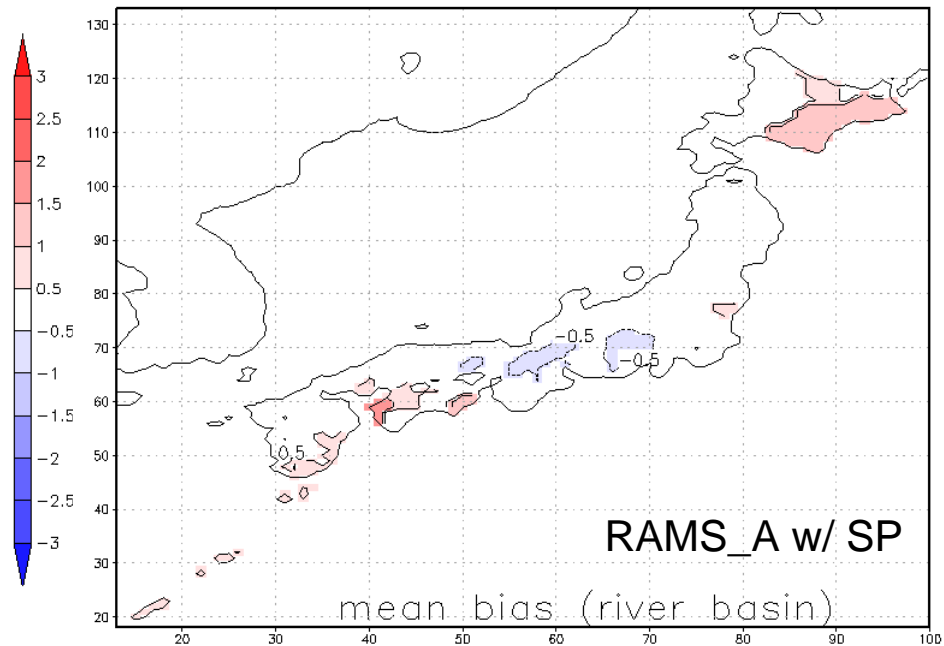
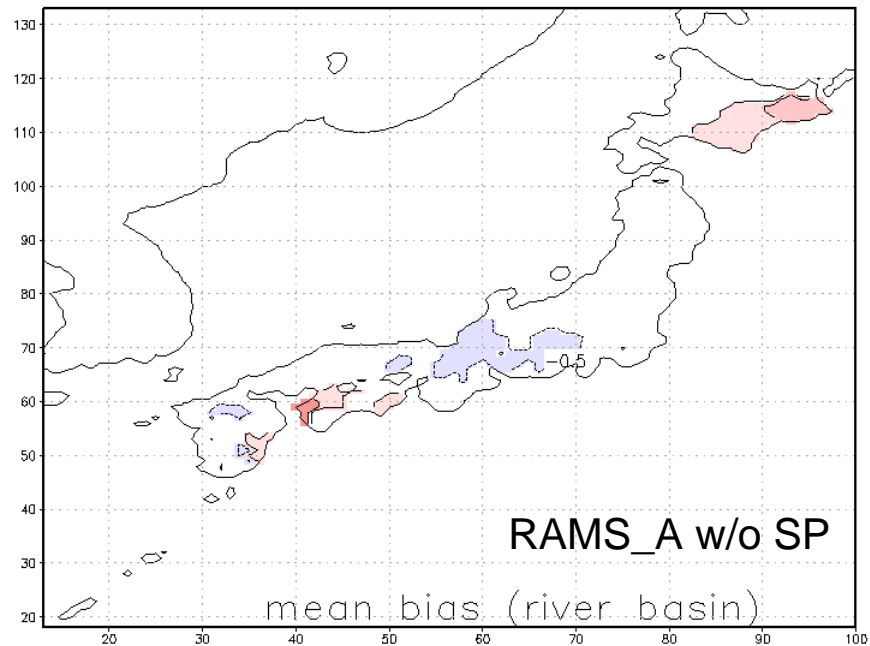


216x240

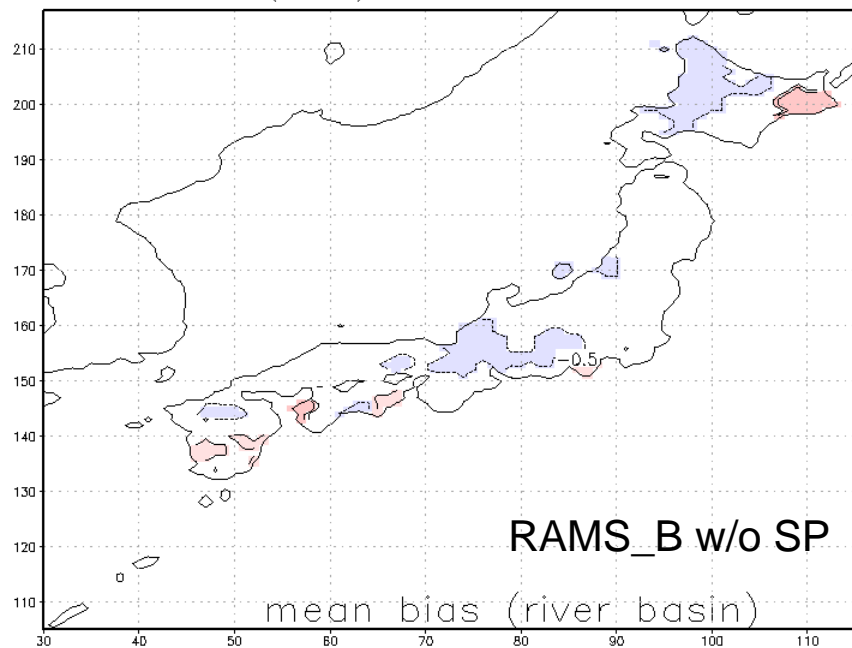
RAMS-DP (Tair) 2002-2004 ALL

2m T

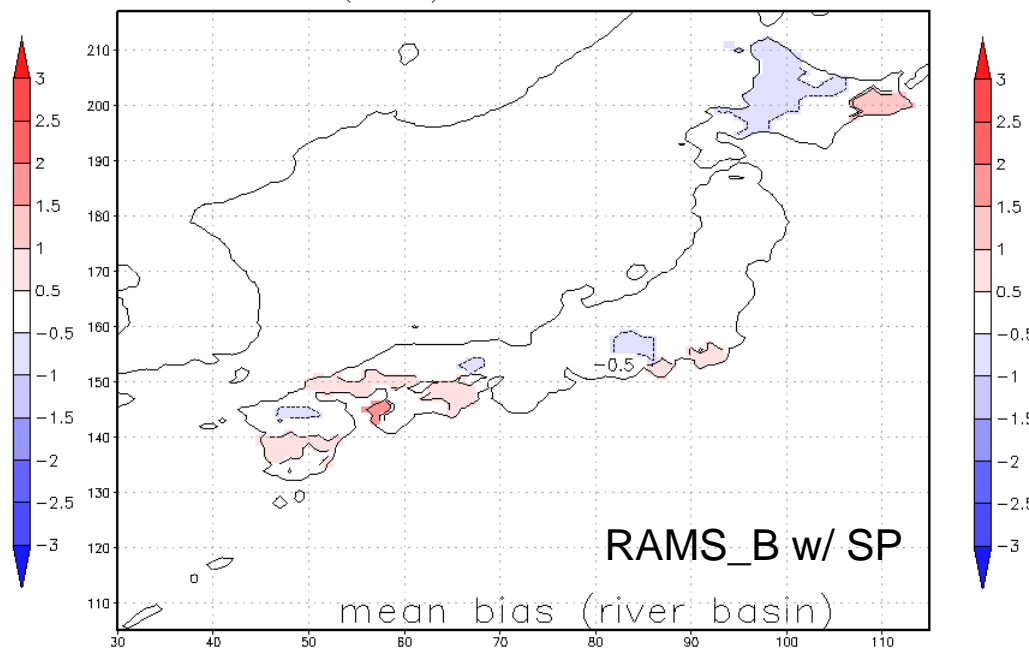
RAMS-DP (Tair) 2002-2004 ALL



RAMS-DP (Tair) 2002-2004 ALL

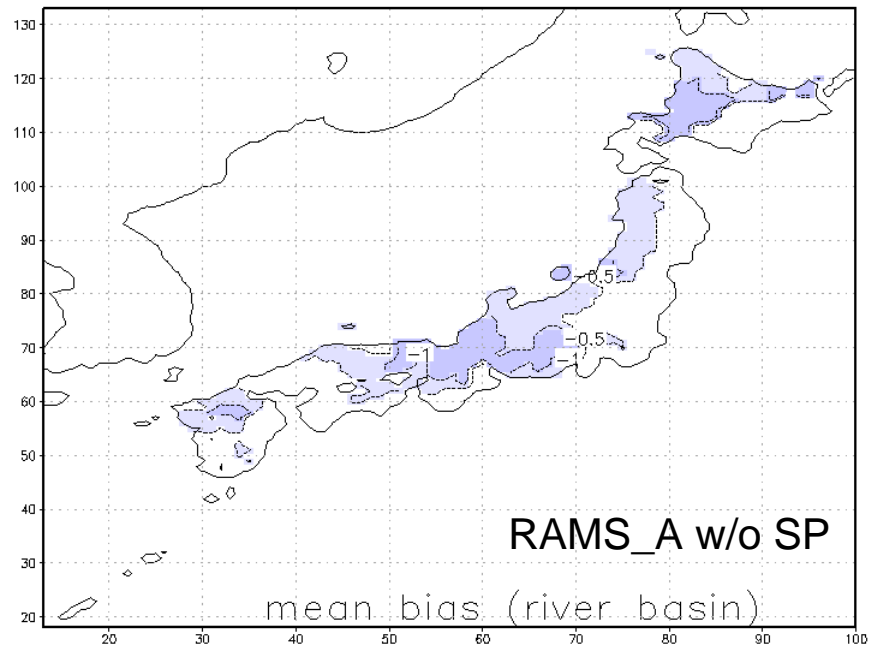


RAMS-DP (Tair) 2002-2004 ALL

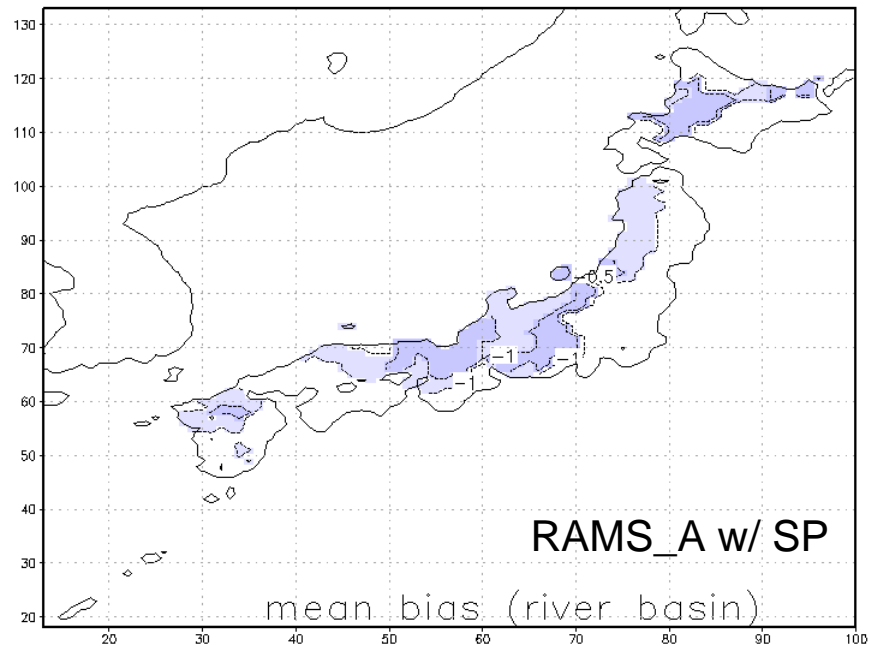


RAMS-DP (Tair) 2002-2004 JJA

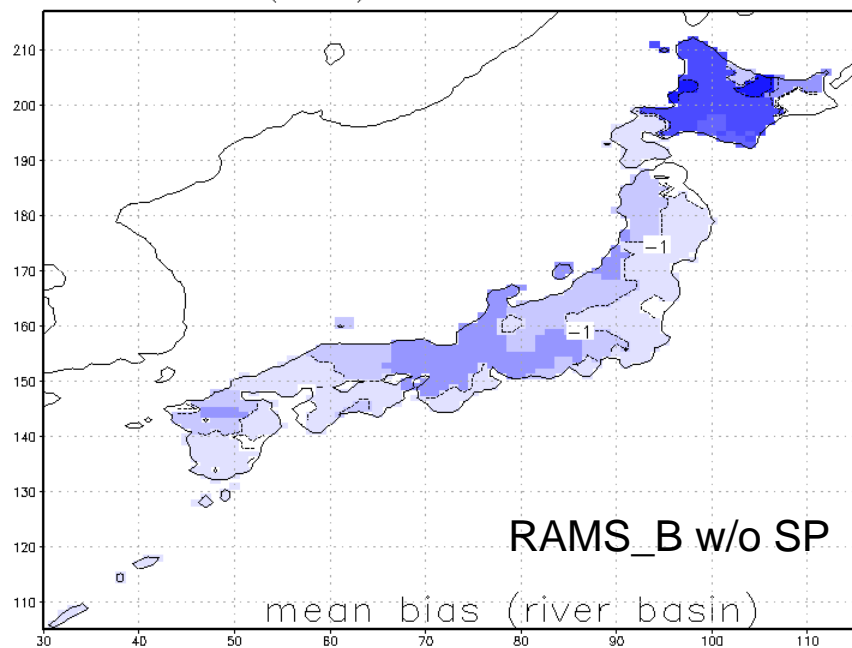
2m T



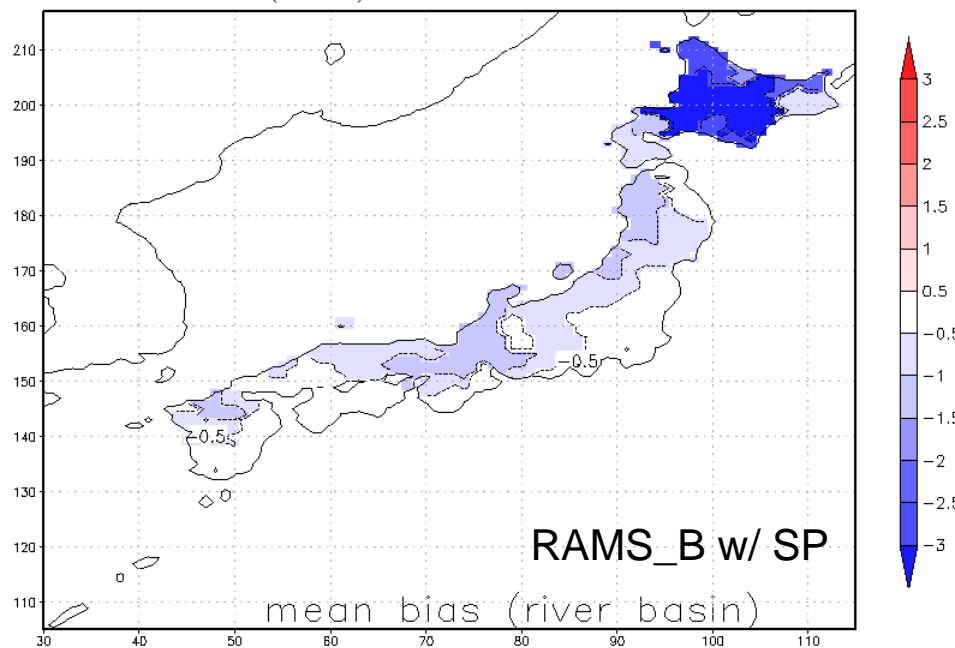
RAMS-DP (Tair) 2002-2004 JJA



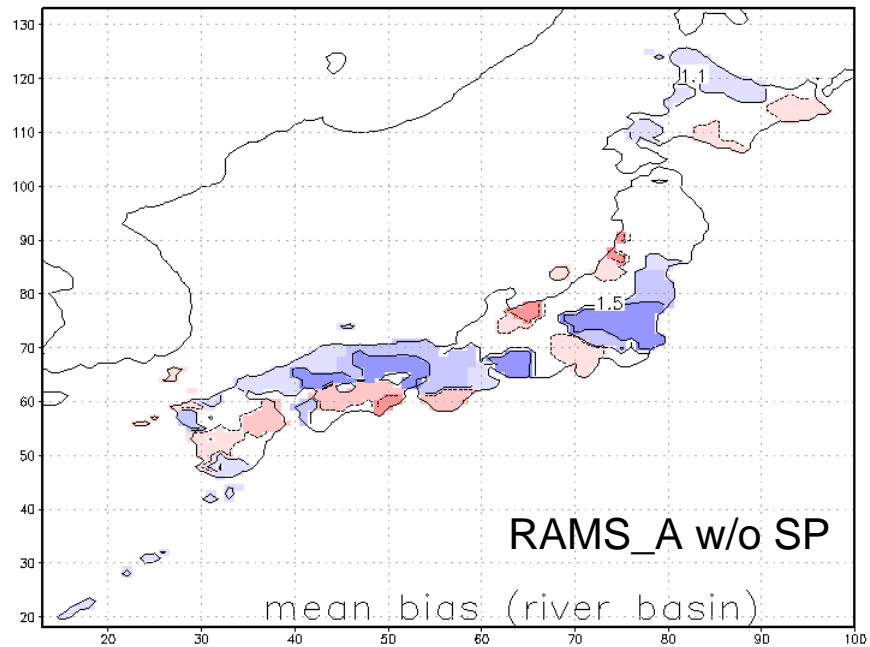
RAMS-DP (Tair) 2002-2004 JJA



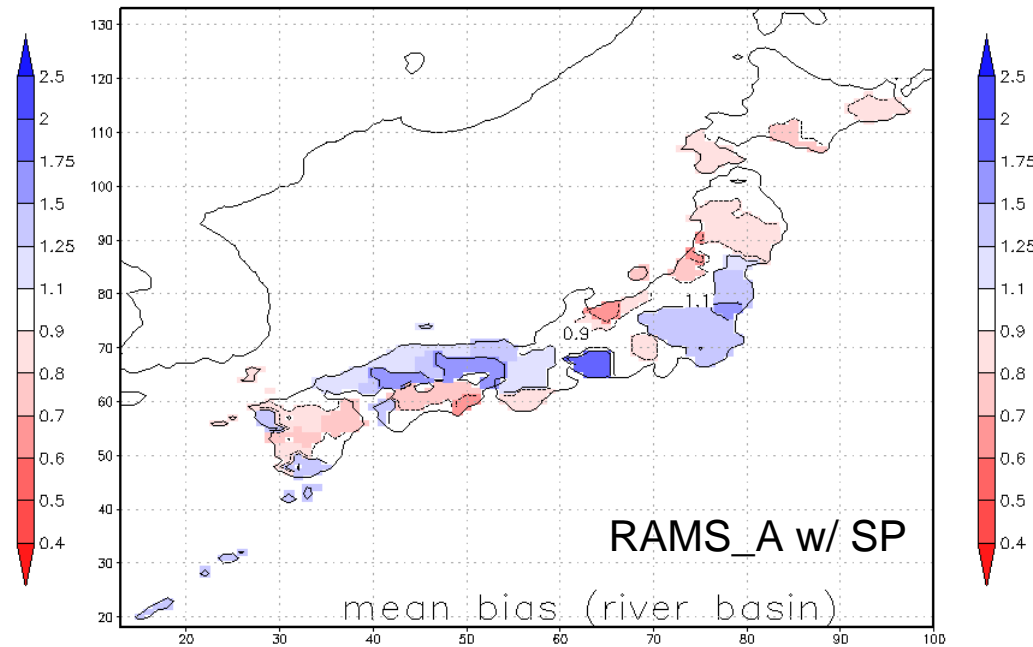
RAMS-DP (Tair) 2002-2004 JJA



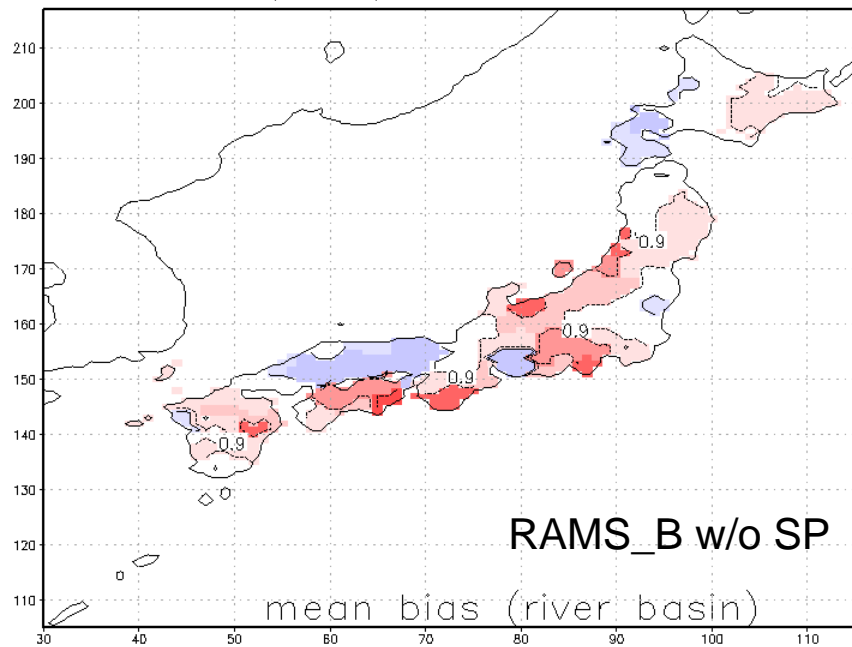
RAMS-DP (Prec) 2002-2004 JJA



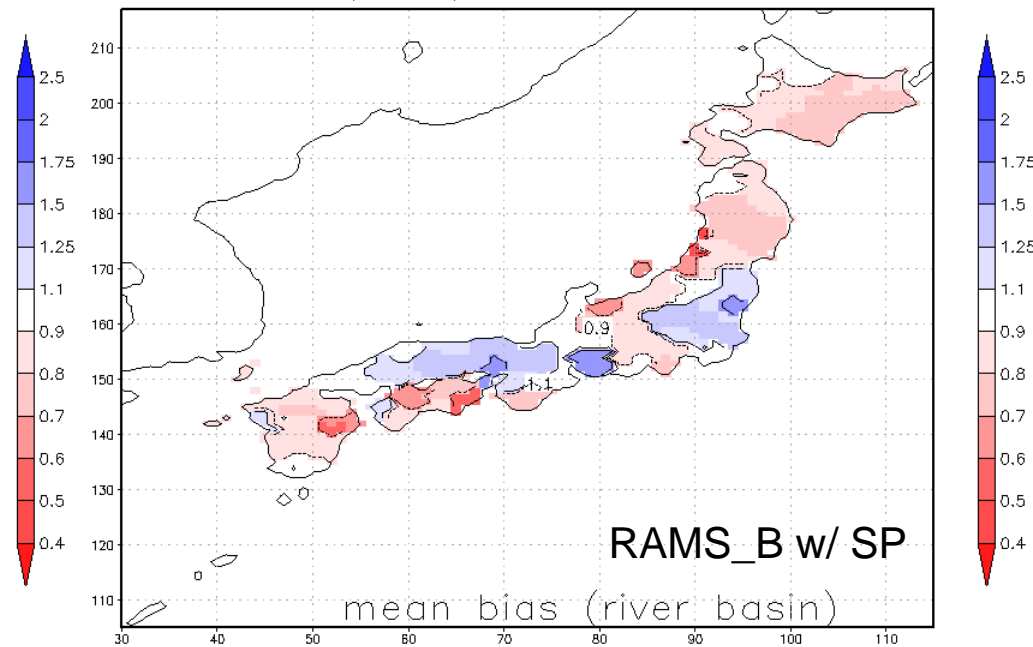
P RAMS-DP (Prec) 2002-2004 JJA



RAMS-DP (Prec) 2002-2004 JJA



RAMS-DP (Prec) 2002-2004 JJA



Q 力学的ダウンスケーリングで付加価値のある地域詳細情報が得られるのか？

- **境界条件の不確実性**が力学的ダウンスケーリングの予測精度へ及ぼす影響

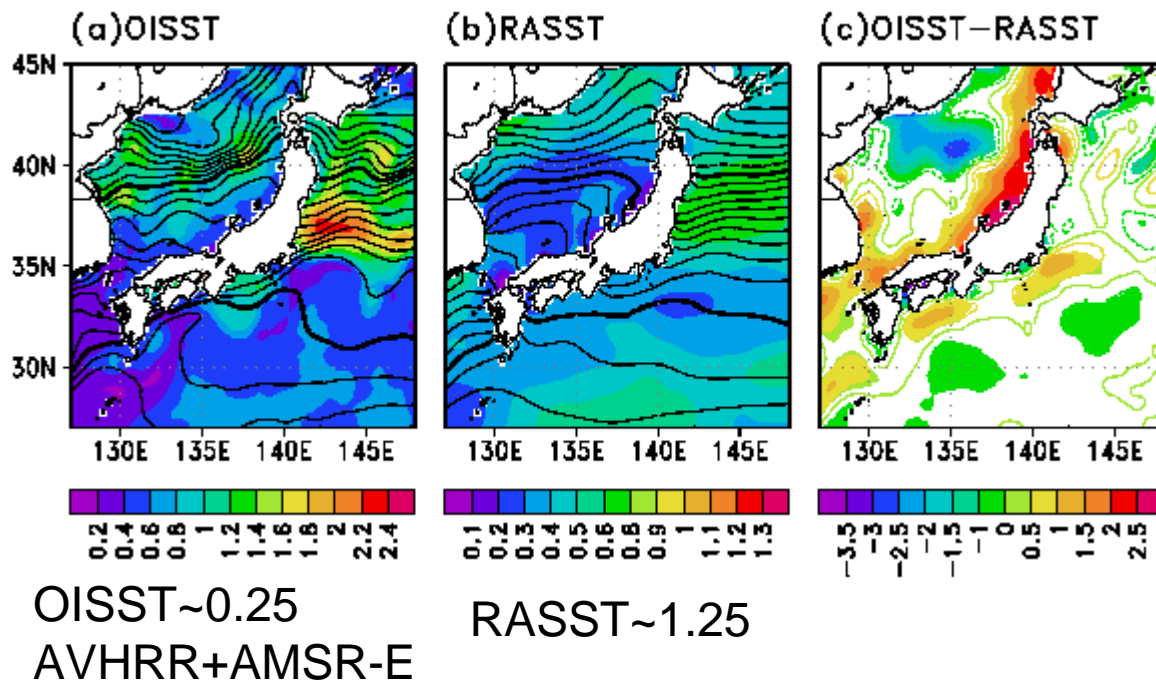
(客観解析データ、全球モデルによる季節予報、全球大気・海洋結合モデル、地球システムモデル) Type 、 Type 、 Type

- **統計的手法に対する**力学的ダウンスケーリングの現在気候再現性

Description of Model

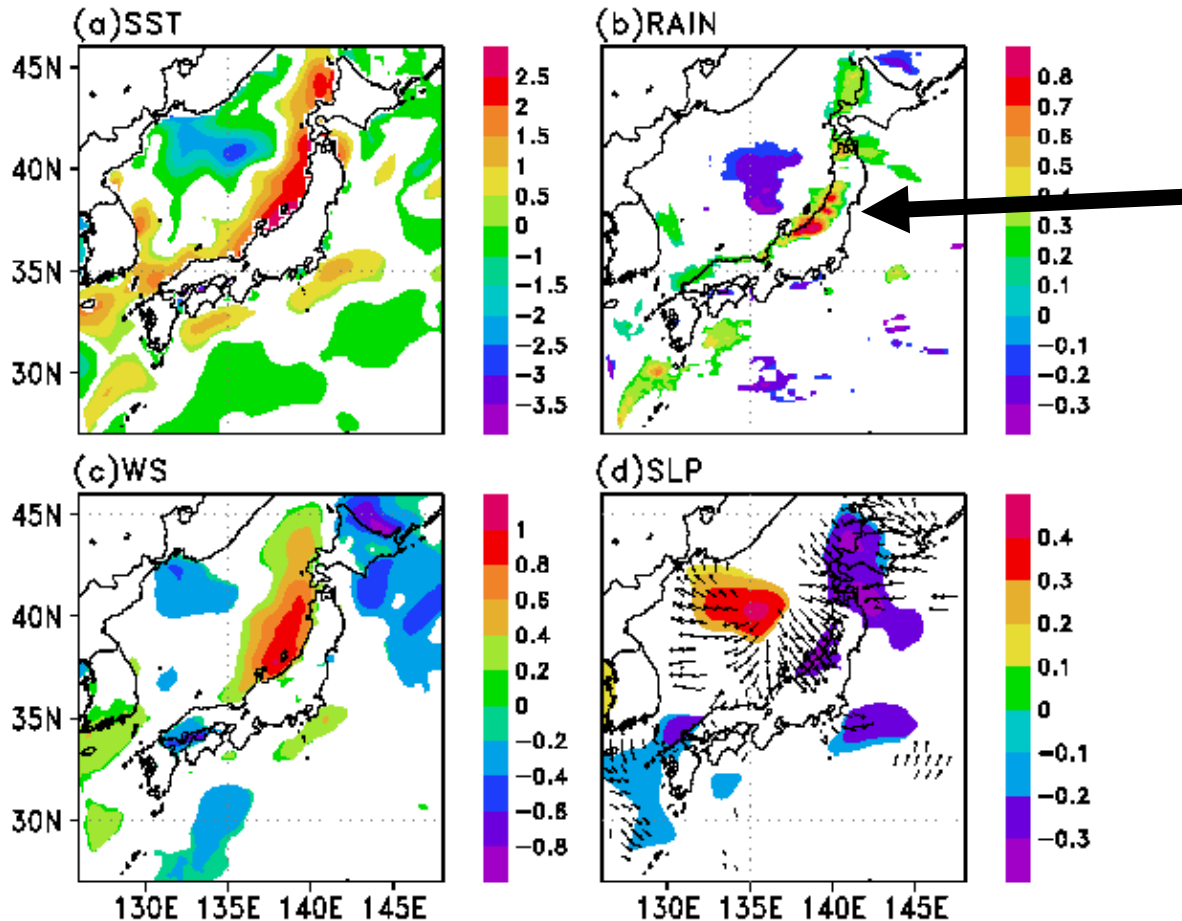
- Model WRF
 - Non-Hydrostatic Model
- Resolution: 20km
- Physics:
 - Radiation: RRTM, GSFC
 - Cumulus: Kain-Fritsch
 - Micro-cloud: Two-Momentum Morrison et al
 - PBL: YSU
 - Land: Noah
- Boundary Condition
 - JRA25 / JCDAS 6 hourly
- Integration
 - 5 months from November to March
 - 9 years from 1999/2000 to 2007/2008

SST and S.D.



Significant S.D. is confined around SST fronts (Kuroshio & Oyashio)! Warm SST induced by Tsushima Current and Cool SST associated with the Subpolar Front in the Japan Sea are captured in OISST!

Difference in Climate averaged in the 9yr winter time from 1999/2000 to 2007/2008 between OISST-Run and RASST-Run

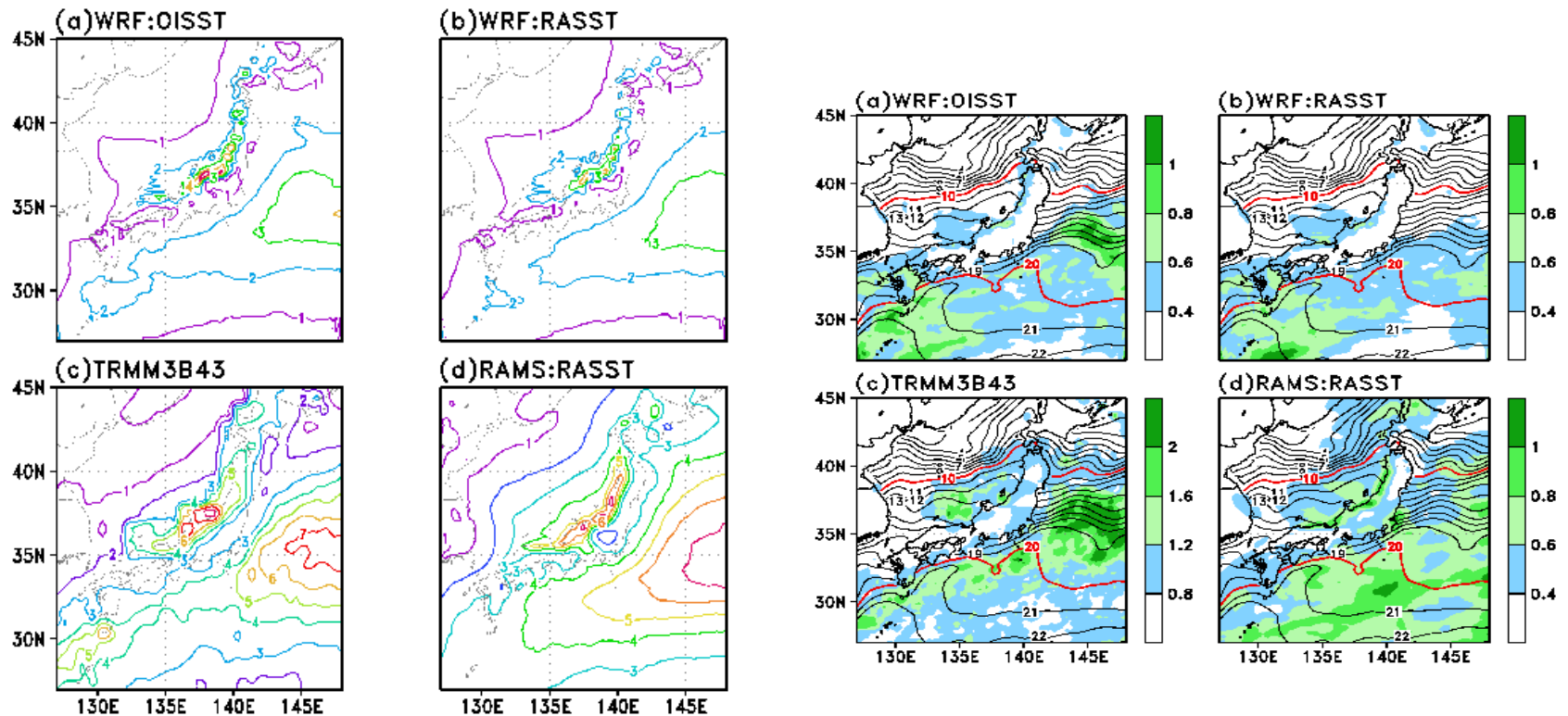


Increase in Snowfall

Increase in convergence associated with enhanced wind

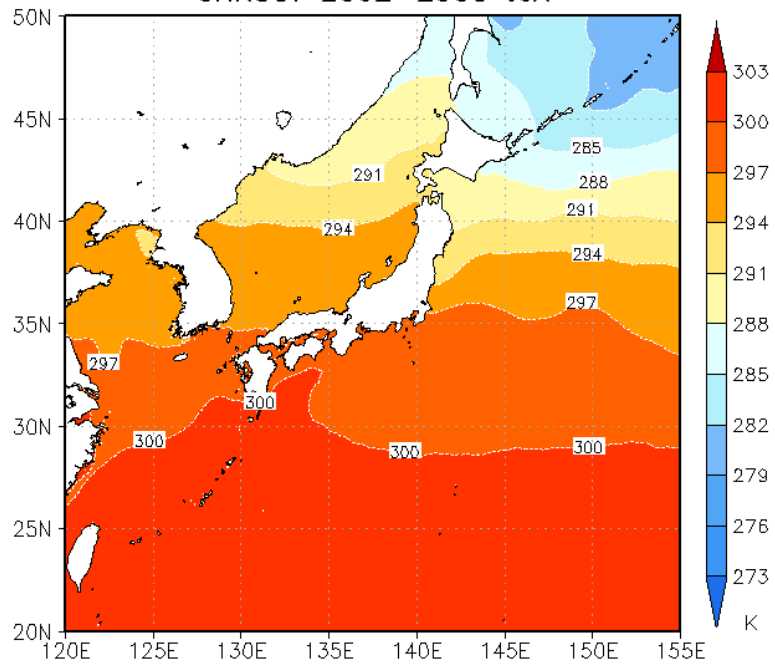
Enhanced vertical mixing on warmer SST along the western coast of the Japanese Islands

Impact of Interannual Variability in Rainfall

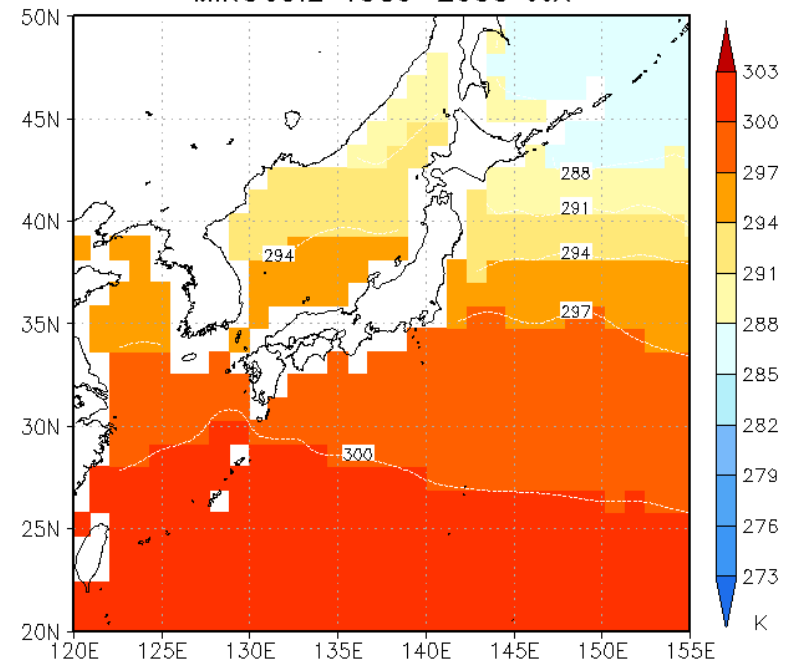


Observed significant S.D. of Rainfall is confined over the Kuroshio/Oyashio Extension and it is well simulated in models only using OISST.

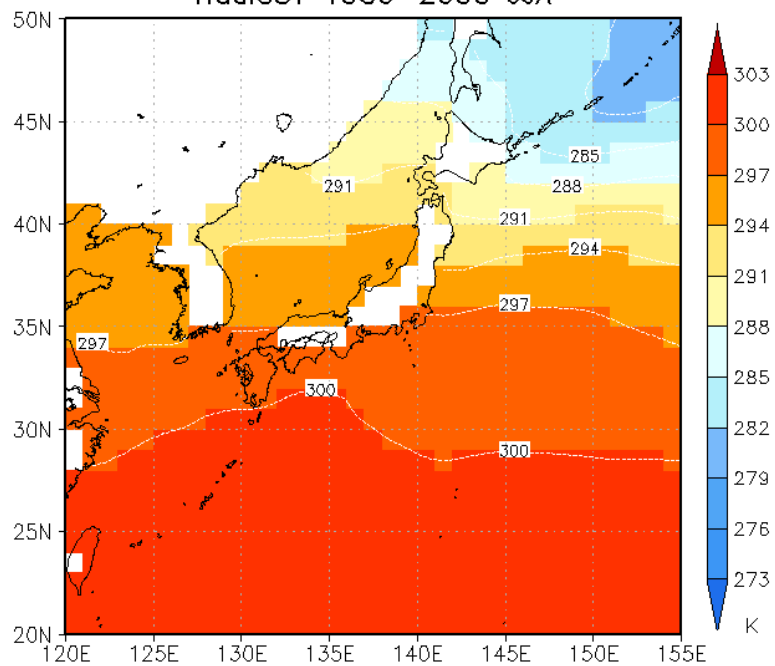
GHRSSST 2002–2008 JJA



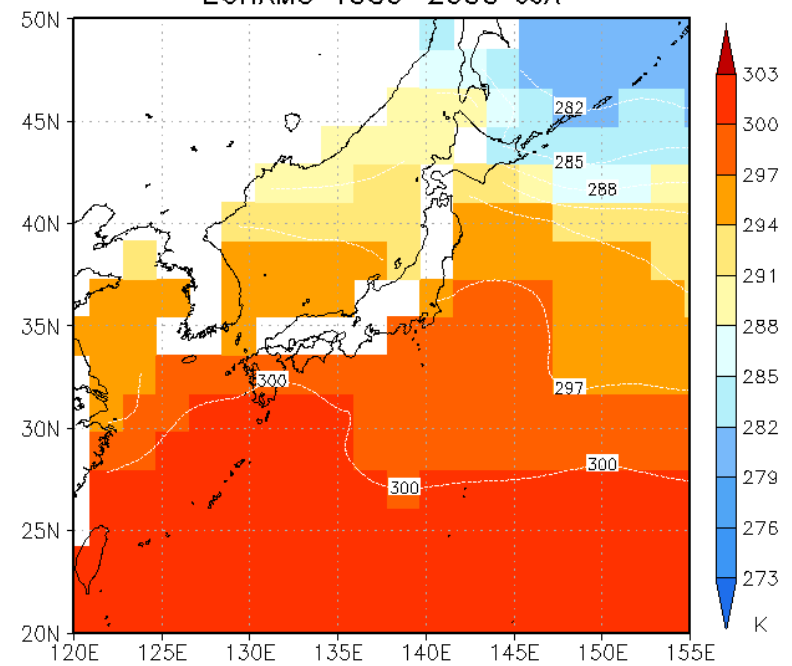
MIROC3.2 1980–2000 JJA



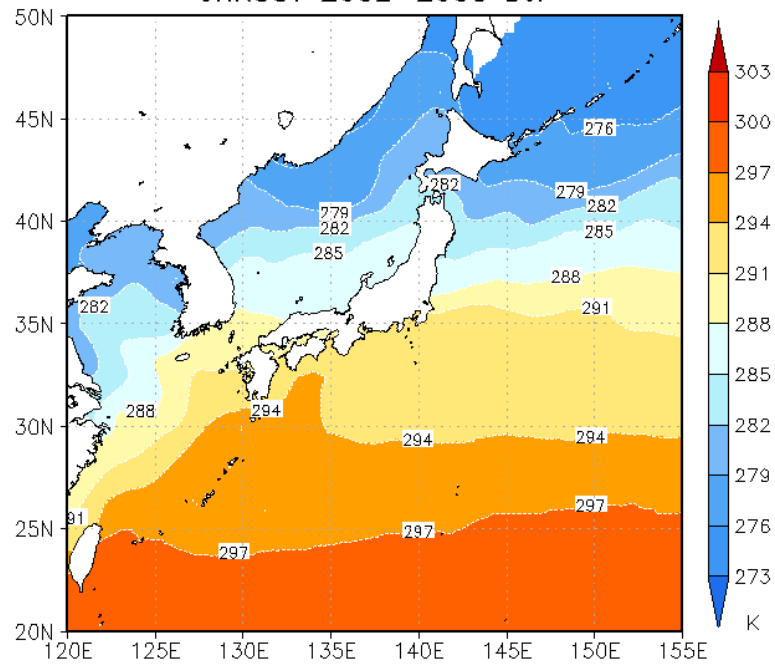
HadISST 1980–2000 JJA



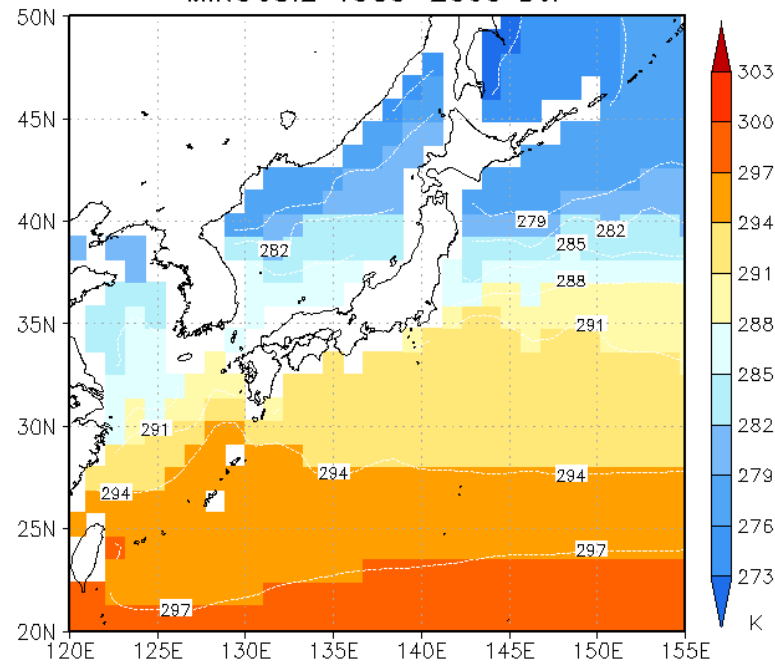
ECHAM5 1980–2000 JJA



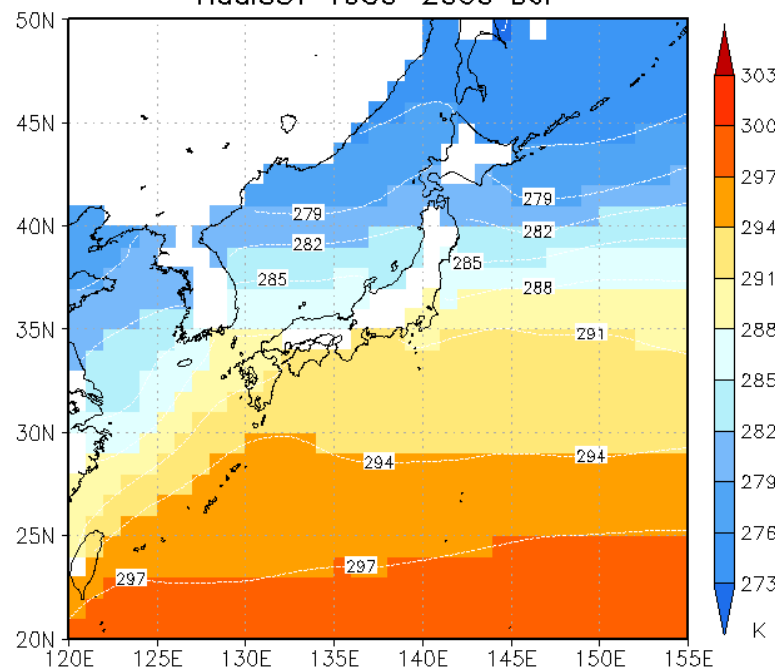
GHRSSST 2002–2008 DJF



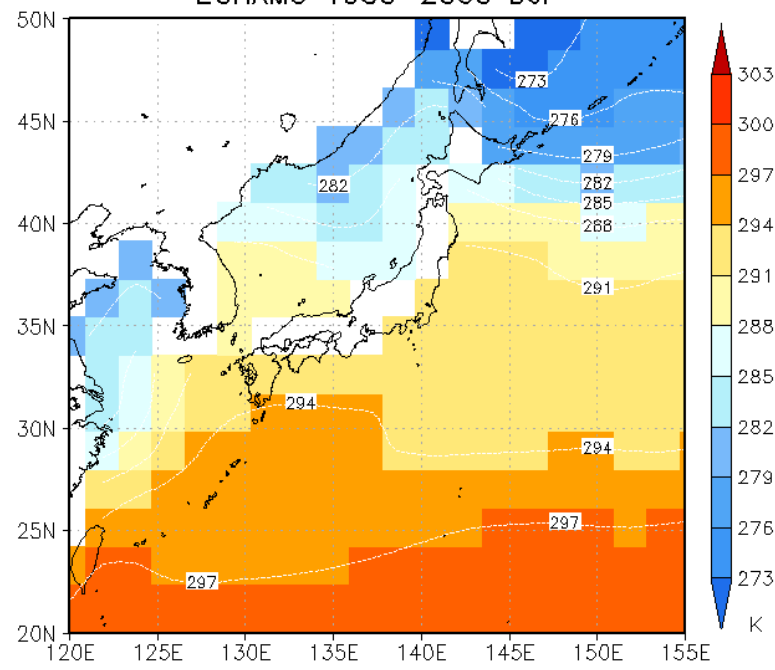
MIROC3.2 1980–2000 DJF




HadISST 1980–2000 DJF



ECHAM5 1980–2000 DJF





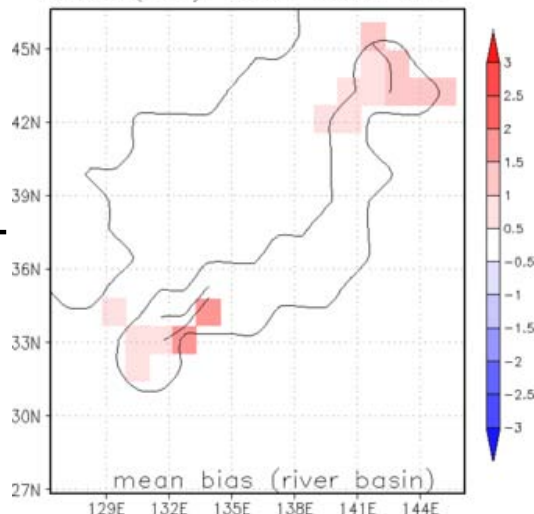
**統計的ダウンスケーリングに比べて
力学的ダウンスケーリングの再現性能は？**

力学的ダウンスケーリング vs. 統計的ダウンスケーリング (年平均: 2002-2004年)

2mT

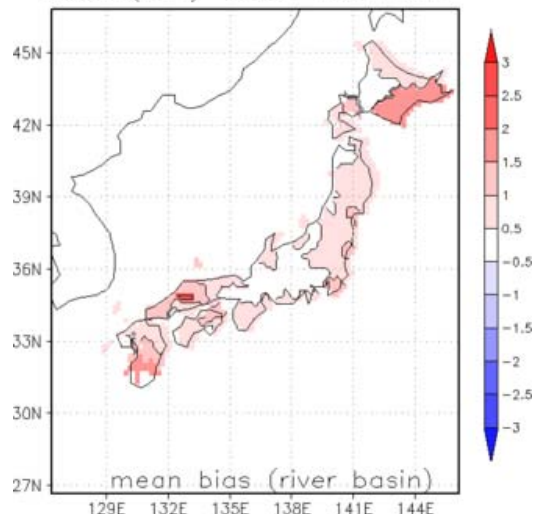
JRA25 (1.125degree)

JRA25 (Tair) 2002-2004 ALL



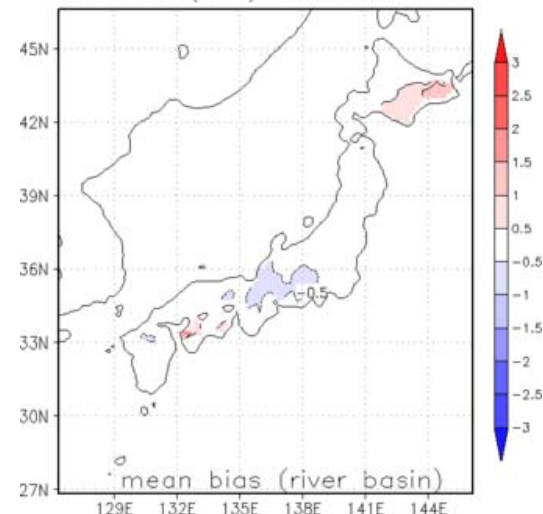
JRA25 (20km: SDS)

JRA25 (Tair) 2002-2004 ALL



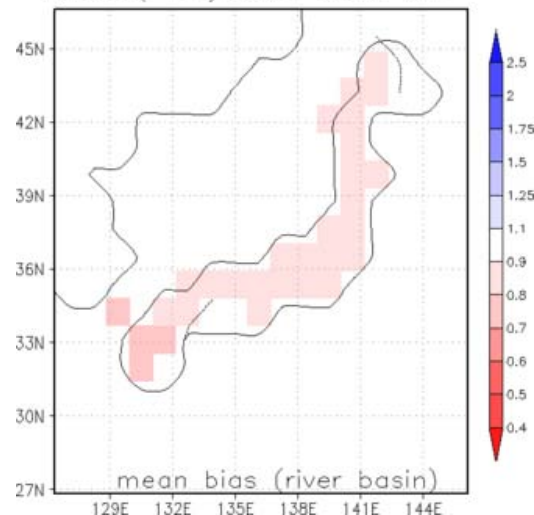
NIED-RAMS

RAMS-DP (Tair) 2002-2004ALL

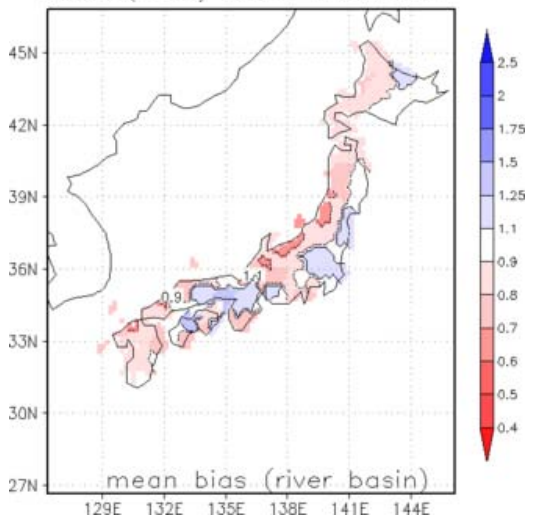


P

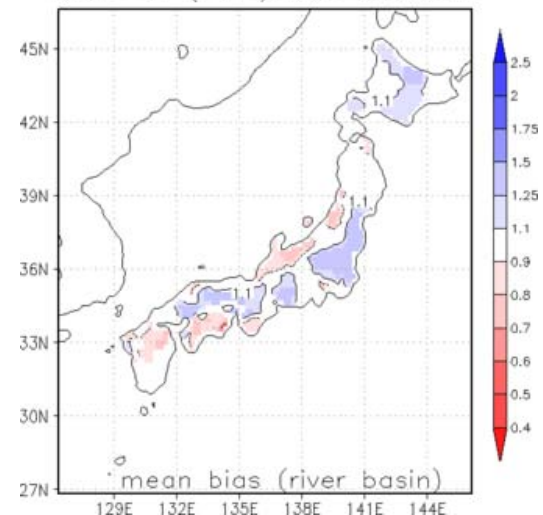
JRA25 (Prec) 2002-2004 ALL



JRA25 (Prec) 2002-2004 ALL



RAMS-DP (Prec)2002-2004ALL



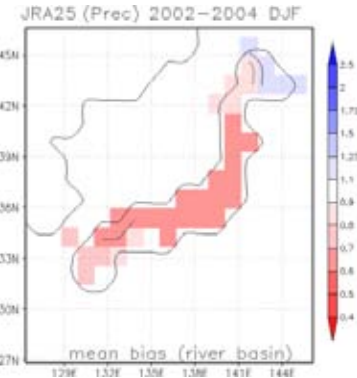
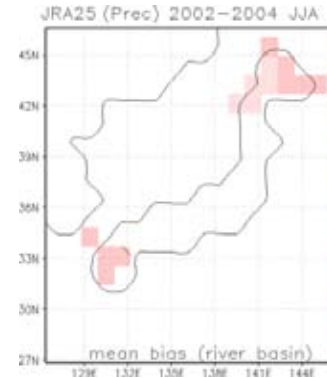
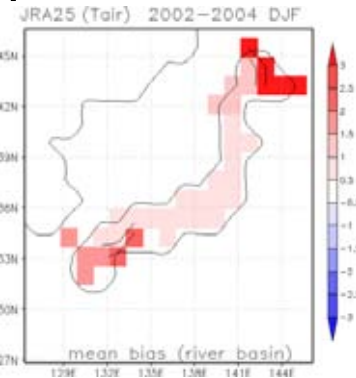
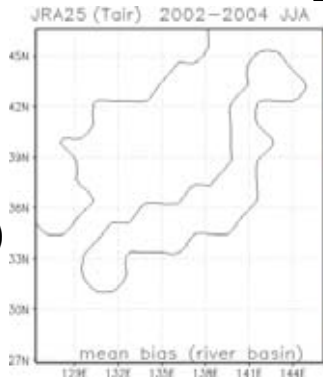
力学的ダウンスケーリング vs. 統計的ダウンスケーリング

季節平均(2002-2004年)

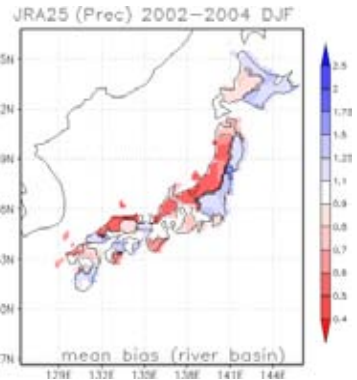
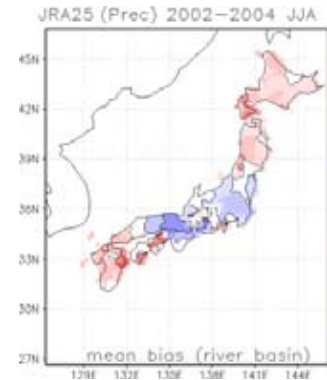
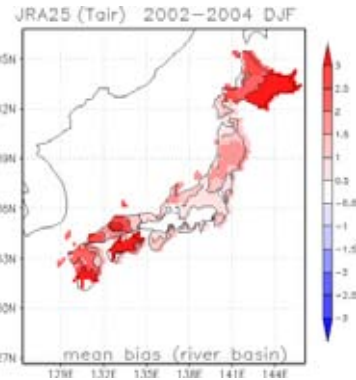
2mT

P

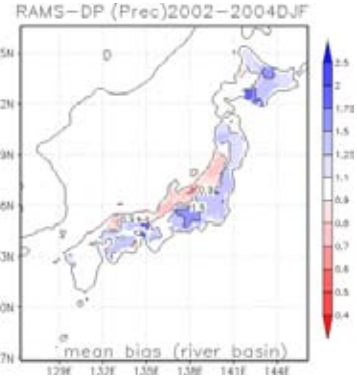
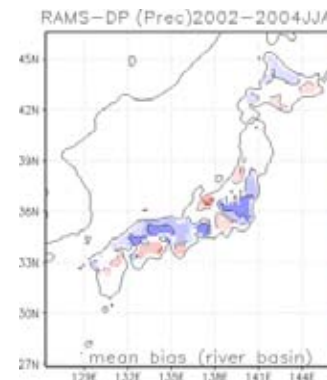
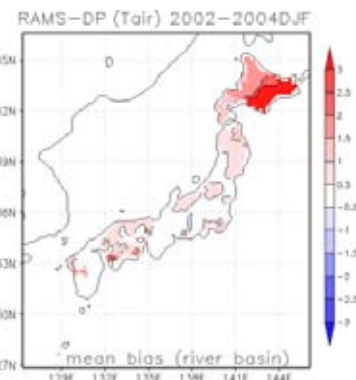
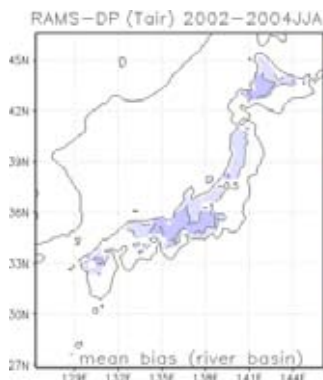
JRA25
(1.125degree)



JRA25
(20km: SDS)



NIED-RAMS



JJA

DJF

JJA

DJF

まとめ

-地域気候モデルは、高空間解像度化によって下部境界からの強制をより精度良く表現することが可能なため、全球気候モデル(または再解析)では表現できない小さいスケールにおいて、“付加価値”を付けることが期待。ただし、総観規模で生起されるメソスケールシステムについては必ずしも高空間解像度化によって改善されない。

-地域気候モデルを日本の78河川流域で検証。地域気候モデル(NIED-RAMS)は比較的観測と良い対応。1979-2006年の28年間の年平均値について、ほとんどの河川流域でのNIED-RAMSの2m気温のバイアスは**0.5K**以下、降水量のバイアスは**10%**前後。

-2m気温のバイアスは大計算領域で悪化。バイアスの空間特性は計算領域の違いによらず類似。降水量のバイアスは大計算領域でも大きな変化なし。ただし、総観規模擾乱が比較的弱い夏季(JJA)において計算領域の影響が比較的大。

まとめ(続き)

- スペクトルナッジングは夏季(JJA)における平均バイアスに影響。しかし総じてその影響の程度は大きくない。下部境界条件の海面水温(SST)が重要な役割(ナッジング効果)の可能性。
- 海流の影響が反映された高解像度の海面水温データを境界条件とした場合、冬季日本海沿岸での降雪量が増加。高解像度化によるモデル気候値の向上の可能性を示唆。同時に日本の地域気候シナリオにおける大きな不確実性因子。
- 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比較。今回のケースにおいては、力学的ダウンスケーリングが良い再現性能。モデルのバイアスの一部は境界条件(JRA25)のバイアスによる事が示唆。

都道府県・流域単位でのモデルバイアス検出には京都大学田中賢治准教授作成のプログラムを利用しました。