

## 【所内課題】

# 高解像度全球非静力学モデルを用いた 台風の将来気候予測に関する研究

課題代表者: 小玉 知央 (JAMSTECビッグデータ活用予測PT)

課題参加者: 山田 洋平<sup>1</sup>, 中野 満寿男<sup>1</sup>, 野田 暁<sup>1</sup>, 清木 達也<sup>1</sup>, 大野 知紀<sup>1</sup>, 那須野 智江<sup>1</sup>, 佐藤 正樹<sup>2,1</sup>, 宮川 知己<sup>2</sup>, Ying-Wen Chen<sup>2</sup>, 八代 尚<sup>3</sup>, 杉 正人<sup>4</sup>

1: JAMSTEC, 2: 東京大学大気海洋研究所, 3: 理研計算科学研究センター, 4: 気象研究所

謝辞: 本研究は

- 環境再生保全機構の環境研究推進費(2RF-1701)
- 文部科学省委託事業統合的気候モデル高度化研究プログラムの支援を受けて実施した。

# 本日の内容

---

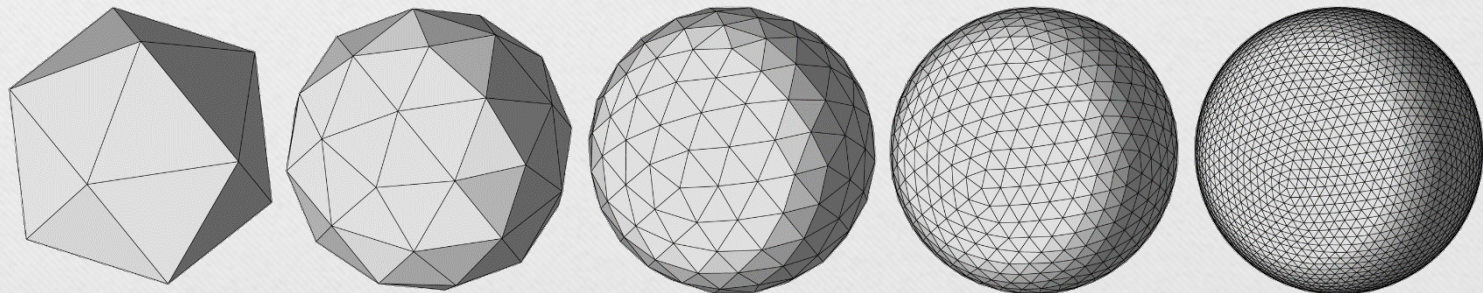
- 全球非静力学モデル「NICAM」の紹介
- 本課題の背景・目的
- 本年度得られた結果
- まとめ



# 全球非静力学モデル「NICAM」

since ~2000

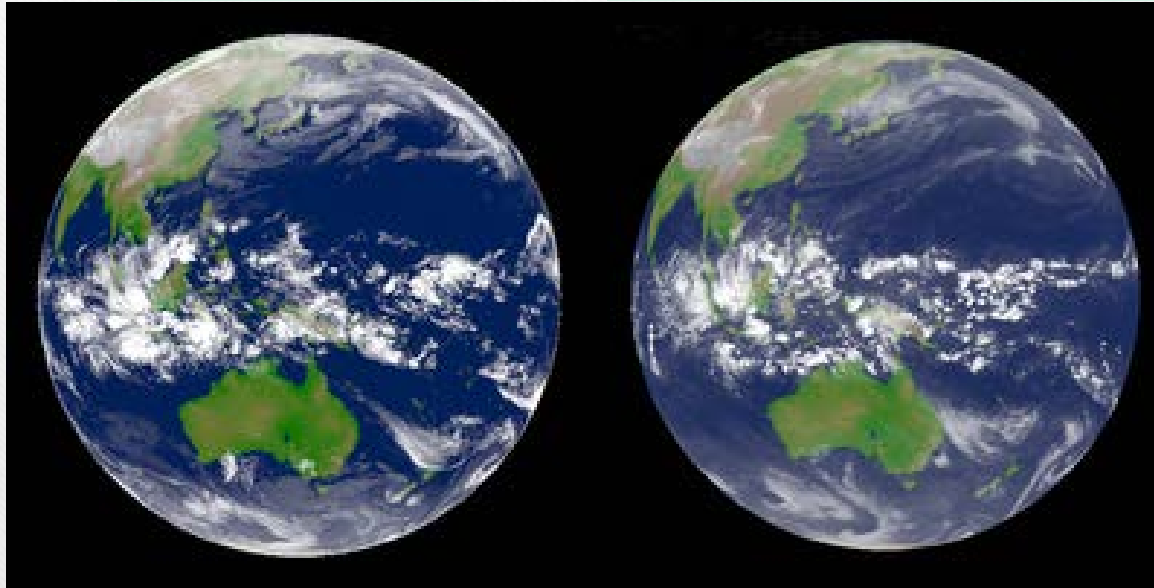
- JAMSTEC、東京大学、理化学研究所が中心になって開発している全球大気モデル
  - 最近は海洋や化学の結合も可能になりつつある
- 数km以下(=雲解像)の水平格子サイズで計算可能
  - 多数のコアを使い倒すためのスケラブルなモデル設計
  - マルチプラットフォーム(ES、京、Linuxクラスタ、・・・)



- MJO(マッデン・ジュリアン振動)
  - 赤道に沿って30-60日かけて東進する、数千kmスケールの積乱雲の集団。日本など世界各地の気象に影響。
  - 精緻な雲過程の再現が必要。当時は(今も)再現が難しい。

静止軌道衛星

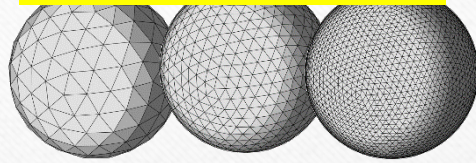
3.5kmメッシュ NICAM



(左)静止軌道衛星の赤外画像。(右)3.5kmNICAMの上向き長波放射。  
Miura et al. (2007) Science

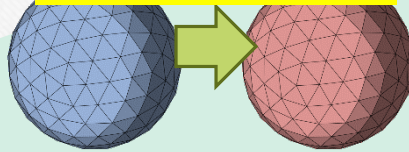


超高解像度化



積乱雲・下層雲・巻雲・  
重力波・乱流

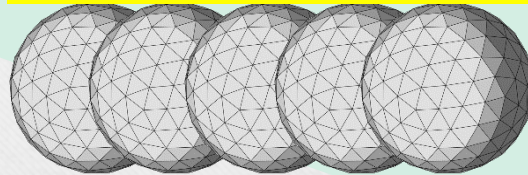
長期積分化



将来・近未来予測  
(台風・極端現象・気候感度)

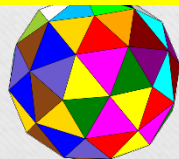
AIとの連携

高アンサンブル化

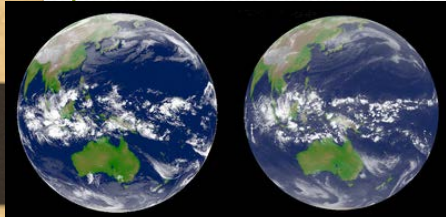


延長予報・季節予測  
(台風・MJO・エルニーニョ)

精緻化・複雑化



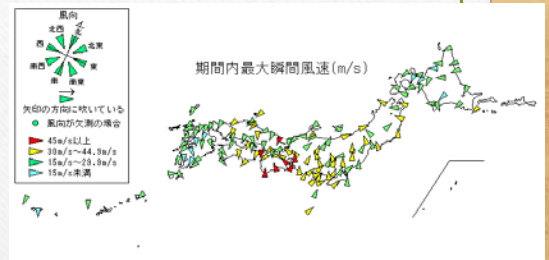
雲微物理・海洋・エアロゾル・化学・  
モデルバイアス低減



3.5km NICAM による  
MJO再現実験(2007)

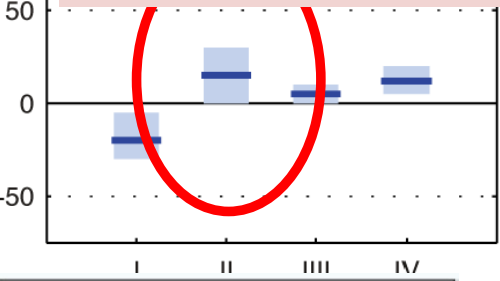
# 本課題の背景・・・なぜNICAMの長期積分が必要か？

- スーパー台風(風速59m/s以上又は中心気圧945hPa以下)
  - 伊勢湾台風(1959年):最低中心気圧895hPa
  - 地球温暖化によって全球的に増加する予測
- 地球温暖化の停滞(ハイエイタス)の終焉
  - 2015年:スーパー台風の発生数は北半球で過去最高を記録



地球温暖化による台風の変化は100年先ではなく既に起こっている？

信頼性の高い予測情報の提供は緊急の課題



- 熱帯低気圧(TC)の指標
- I 全てのTCの発生頻度
  - II カテゴリー4と5のTCの発生頻度
  - III 寿命最大強度
  - IV 降水量

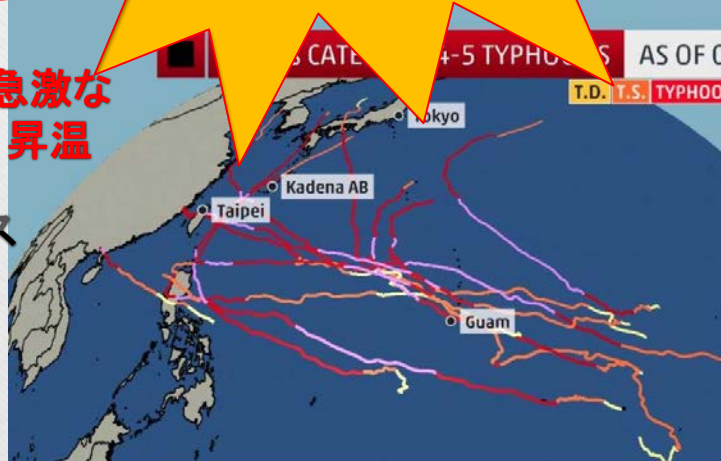
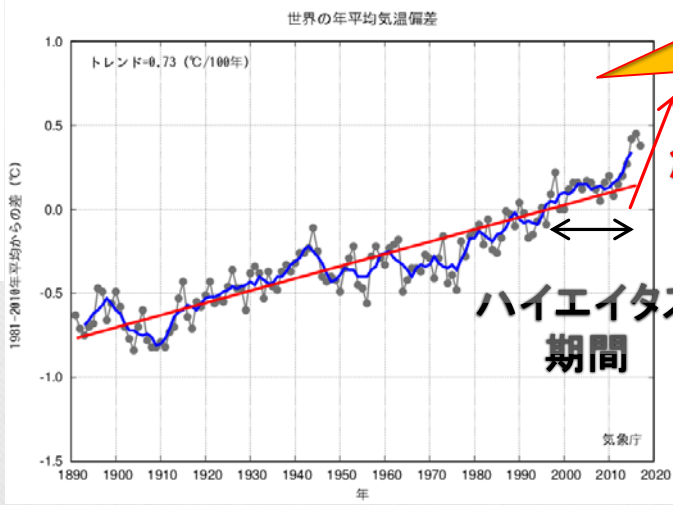
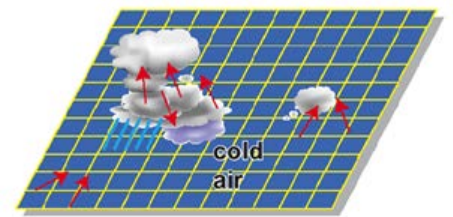
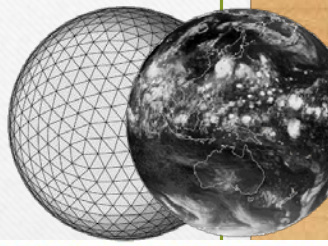
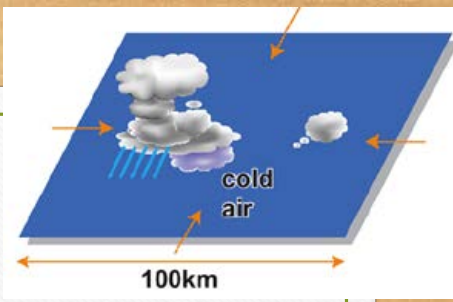


図: IPCC第5次報告書(気象庁訳)、気象庁



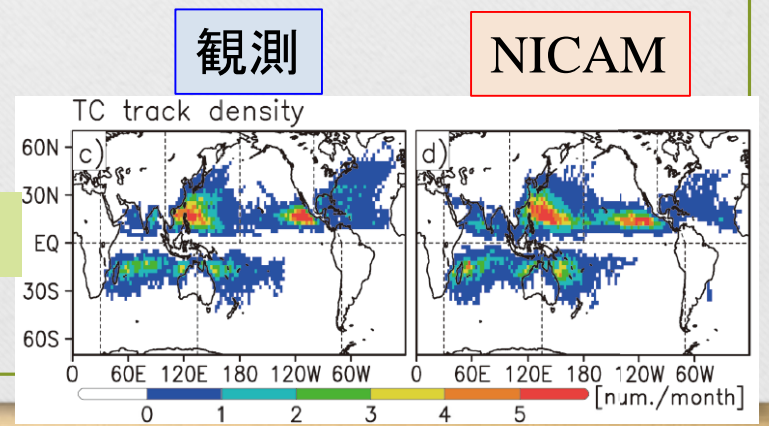
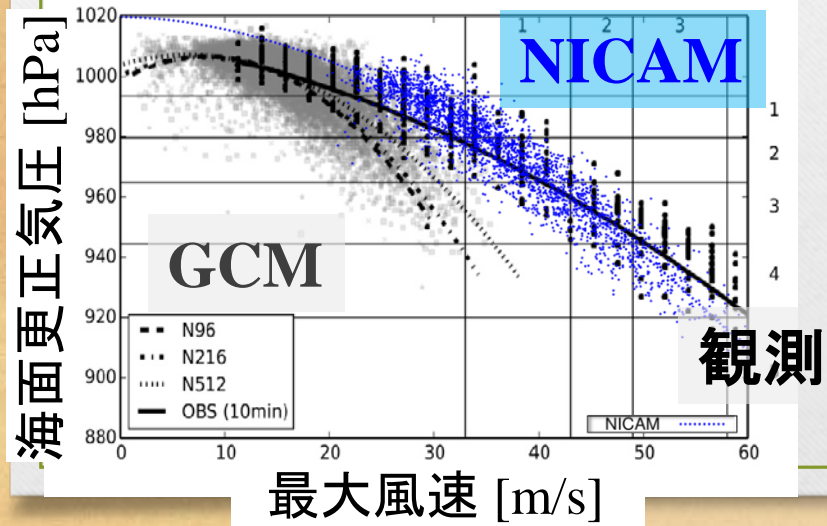
# 本課題の背景

- 一般的な気候モデル: 水平解像度がO(100km)
  - 雲の効果を経験則でパラメータ化 → 台風活動に影響
  - 台風の強風を再現できない → 風速バイアス補正が必要
- 14kmメッシュNICAMによる気候実験 (Kodama et al. 2015)
  - 雲パラメータ化・風速バイアス補正を用いずに、  
台風発生数やスーパー台風の数の再現に成功。



**一般的な気候モデルで再現困難な強い台風を再現！**

**地理分布も概ね再現しているが、経路にバイアスが残っている**



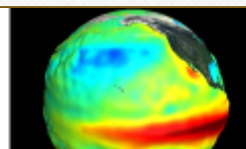
Roberts et al. (2015) の一部を改変

Kodama et al. (2015)

- 気候シミュレーションにおける高解像度 (ここでは水平解像度25km以下) のadvantageを示す

## HighResMIP

Rein Haarsma KNMI (lead)  
Malcolm Roberts Met Office (co-lead)



Haarsma et al. (2016,GMD)

Geosci. Model Dev., 9, 4185–4208, 2016  
[www.geosci-model-dev.net/9/4185/2016/](http://www.geosci-model-dev.net/9/4185/2016/)  
doi:10.5194/gmd-9-4185-2016  
© Author(s) 2016. CC Attribution 3.0 License.



Geoscientific  
Model Development



## High Resolution Model Intercomparison Project (HighResMIP v1.0) for CMIP6

Reindert J. Haarsma<sup>1</sup>, Malcolm J. Roberts<sup>2</sup>, Pier Luigi Vidale<sup>3</sup>, Catherine A. Senior<sup>2</sup>, Alessio Bellucci<sup>4</sup>, Qing Bao<sup>5</sup>, Ping Chang<sup>6</sup>, Susanna Corti<sup>7</sup>, Neven S. Fučkar<sup>8</sup>, Virginie Guemas<sup>8,23</sup>, Jost von Hardenberg<sup>7</sup>, Wilco Hazeleger<sup>1,9,10</sup>, Chihiro Kodama<sup>11</sup>, Torben Koenigk<sup>12</sup>, L. Ruby Leung<sup>13</sup>, Jian Lu<sup>13</sup>, Jing-Jia Luo<sup>14</sup>, Jiafu Mao<sup>15</sup>, Matthew S. Mizielski<sup>2</sup>, Ryo Mizuta<sup>16</sup>, Paulo Nobre<sup>17</sup>, Masaki Satoh<sup>18</sup>, Enrico Scoccimarro<sup>4,22</sup>, Tido Semmler<sup>19</sup>, Justin Small<sup>20</sup>, and Jin-Song von Storch<sup>21</sup>

<sup>1</sup>Weather and Climate modeling, Royal Netherlands Meteorological Institute, De Bilt, the Netherlands

<sup>2</sup>Met Office Hadley Centre, Exeter, UK

<sup>3</sup>NCAS-Climate, University of Reading, Reading, UK



# 本課題の目的

- バイアスを低減した最新の全球非静力学モデルNICAMを用い、CMIP6の高解像度モデル比較プロジェクト HighResMIPの枠組みで気候実験を実施する。

Geosci. Model Dev., 9, 4185–4208, 2016  
www.geosci-model-dev.net/9/4185/2016/  
doi:10.5194/gmd-9-4185-2016  
© Author(s) 2016. CC Attribution 3.0 License.

Geoscientific  
Model Development



## HighResMIP

Haarsma et al. (2016, GMD)

Rein Haarsma KNMI (lead)  
Malcolm Roberts Met Office (co-lead)

### High Resolution Model Intercomparison Project (HighResMIP v1.0) for CMIP6

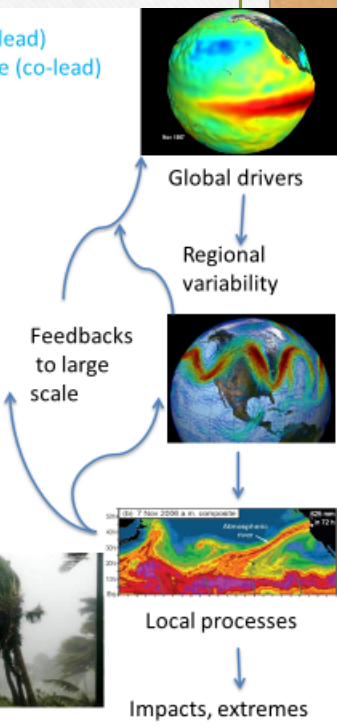
Reindert J. Haarsma<sup>1</sup>, Malcolm J. Roberts<sup>2</sup>, Pier Luigi Vidale<sup>3</sup>, Catherine A. Senior<sup>2</sup>, Alessio Bellucci<sup>4</sup>, Qing Bao<sup>5</sup>, Ping Chang<sup>6</sup>, Susanna Corti<sup>7</sup>, Neven S. Fučkar<sup>8</sup>, Virginie Guemas<sup>8,23</sup>, Jost von Hardenberg<sup>7</sup>, Wilco Hazeleger<sup>1,9,10</sup>, Chihiro Kodama<sup>11</sup>, Torben Koenigk<sup>12</sup>, L. Ruby Leung<sup>13</sup>, Jian Lu<sup>13</sup>, Jing-Jia Luo<sup>14</sup>, Jiafu Mao<sup>15</sup>, Matthew S. Mizielinski<sup>2</sup>, Ryo Mizuta<sup>16</sup>, Paulo Nobre<sup>17</sup>, Masaki Satoh<sup>18</sup>, Enrico Scoccimarro<sup>4,22</sup>, Tido Semmler<sup>19</sup>, Justin Small<sup>20</sup>, and Jin-Song von Storch<sup>21</sup>

<sup>1</sup>Weather and Climate modeling, Royal Netherlands Meteorological Institute, De Bilt, the Netherlands  
<sup>2</sup>Met Office Hadley Centre, Exeter, UK  
<sup>3</sup>NCAS-Climate, University of Reading, Reading, UK

- Important weather and climate processes emerge at sub-30km resolution
  - They contribute significantly to both large-scale circulation and local impacts, hence vital for understanding and constraining regional variability
  - How robust are these effects?
  - Is there any convergence with resolution across models?
- Need **coordinated, simplified** experimental design to find out

Experimental protocol:  
Global models – AMIP-style and coupled  
Physical climate system only  
Integrations: **1950-2050**  
Ensemble size:  $\geq 1$  (ideally 3)  
Resolutions: **<25km HI and ~60-100km STD**  
Aerosol concentrations specified

e.g. Zhao et al, 2009; Haarsma et al, 2013; Demory et al, 2013



より高い信頼性を持つ将来台風予測を提供

IPCC AR6(第6次評価報告書)をはじめとする  
国際研究コミュニティへ貢献

# 気候実験向けNICAMの設定の主な変更点

	NICAM-AMIP	CMIP6 HIGHRESMIP
モデルバージョン	NICAM.12	NICAM.16 (CMIP6版)
雲微物理	NSW6 (Tomita 2008)	NSW6+Rohスキーム (Roh and Satoh 2014)
放射	MSTRNX ( Sekiguchi and Nakajima 2008)	MSTRNX, 放射テーブル更新
温室効果気体	CO <sub>2</sub> , N <sub>2</sub> O, CH <sub>4</sub> , CFC-11, CFC-12 (Hansen and Sato 2004)	CO <sub>2</sub> , N <sub>2</sub> O, CH <sub>4</sub> , CFC-11, CFC-12ほか多数 (Meinshausen et al. 2017)
自然起源エアロゾル	なし	NICOCO-SPRINTARS気候値, MSTRNXへ与えるデフォルト半径変更
成層圏エアロゾル	なし	CMIP6用
人為起源エアロゾル	なし	MACv2-SP (Stevens et al. 2017)
太陽放射	一定値	バンド毎の月平均値 (Matthes et al. 2017)
オゾン	AMIP2	CMIP6用
地形	B (中程度の平滑化)	A (弱平滑化)
地形性重力波抵抗	なし	McFarlane (1987)
陸面	MATSIRO (Takata 2003)	MATSIRO, 融雪スキームあり
葉面積指数 (LAI)	1982-1998の月平均気候場	2004-2013の月平均気候場
地表面アルベド	チューニング	観測に基づき再検討 (→海氷・雪・海上で低下)
海水面温度	スラブ海洋モデル+ナッジング, 1° 格子月平均HadISST1 (Rayner et al 2003)	固定, 0.25° 格子日平均 HadISST2 (Rayner et al. in prep.)
海氷密接度	固定, 1° 格子月平均HadISST (Rayner et al 2003), SICCRT=300	固定, 0.25° 格子日平均 HadISST2 (Rayner et al. in prep.), SICCRT=1600



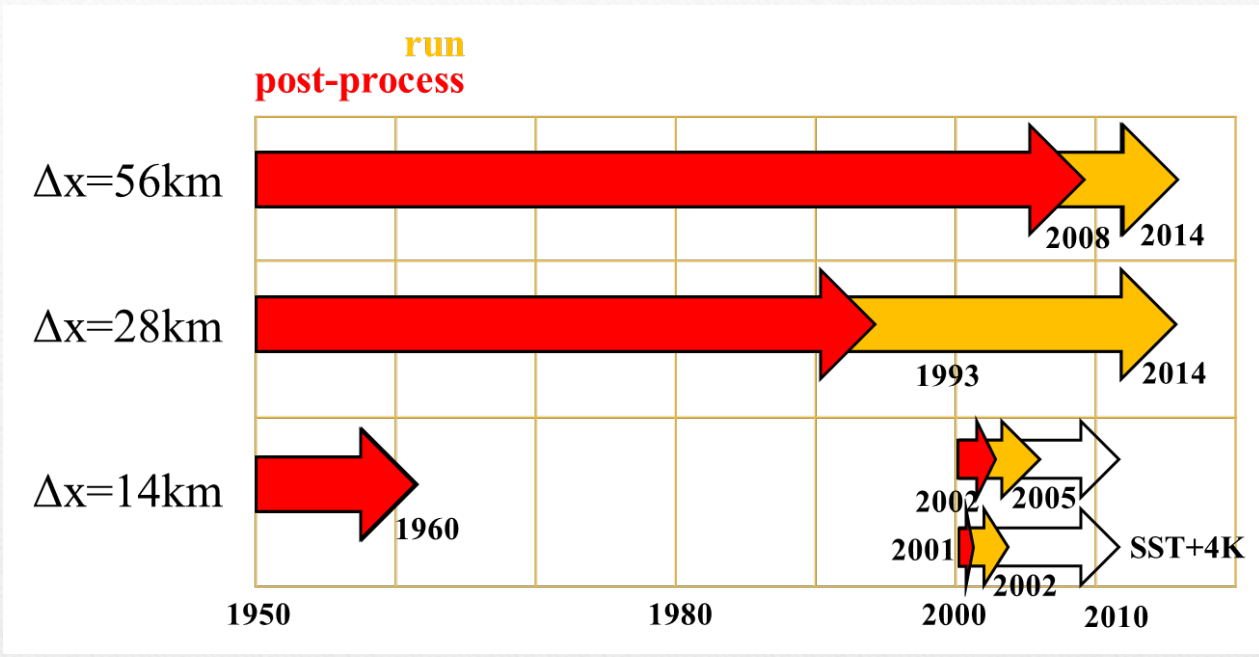
# HighResMIP参加モデルと解像度 (Haarsma et al. 2016 GMD)

**Table A1.** Model details from groups expressing intention to participate in at least Tier 1 simulations, together with the potential model resolutions (if known/available, blank if not).

Model name	Contact institute	Atmosphere resolution (STD/HI) mid-latitude (km)	Ocean resolution (HI)
AWI-CM	Alfred Wegener Institute	T127 (~ 100 km) T255 (~ 50 km)	$1-\frac{1}{4}^{\circ}$ 0.05–1°
BCC-CSM2-HR	Beijing Climate Center	T106 (~ 110 km) T266 (~ 45 km)	$\frac{1}{3}-1^{\circ}$
BESM	INPE	T126 (~ 100 km) T233 (~ 60 km)	0.25°
CAM5	Lawrence Berkeley National Laboratory	100 km 25 km	
CAM6	NCAR	100 km 28 km	
CMCC	Centro Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici	100 km 25 km	0.25°
CNRM-CM6	CERFACS	T127 (~ 100 km) T359 (~ 35 km)	1° 0.25°
EC-Earth	SMHI, KNMI, BSC, CNR, and 23 other institutes	T255 (~ 80 km) T511/T799 (~ 40/25 km)	1° 0.25°
FGOALS	LASG, IAP, CAS	100 km 25 km	0.1–0.25°
GFDL	GFDL	200 km	
INMCM-5H	Institute of Numerical Mathematics	– 0.3 × 0.4°	0.25 × 0.5° $\frac{1}{6} \times \frac{1}{8}^{\circ}$
IPSL-CM6	IPSL	0.25°	
MPAS-CAM	Pacific Northwest National Laboratory	– 30–50 km	0.25°
MIPROC-COCCM	COCCM	–	0.25°
<b>NICAM</b>	<b>JAMSTEC/AORI/ The Univ. of Tokyo/RIKEN/AICS</b>		<b>56–28 km 14 km (short term)</b>
MRI-AGCM3	Meteorological Research Institute	T255 (~ 50 km) TL159 (~ 120 km) TL959 (~ 20 km)	
NorESM	Norwegian Climate Service Centre	2° 0.25°	0.25°
HadGEM3-GC3	Met Office Hadley Centre	60 km 25 km	0.25°

# 本年度：過去再現(Tier 1)実験の実施

- 予定した過去再現実験を全て終了
  - CMIP6へのデータ提出に向けてデータ変換を実施中



図：実験の進捗状況

表：地球シミュレータにおける必要計算資源量

水平解像度	積分年数	CPU数(ノード数)	CPU時間	出力データサイズ
56 km	65年	40 (10)	4.6ヶ月	44 TB
28 km	65年	640 (160)	4.1ヶ月	160 TB
14 km	10年	640 (160)	1.6ヶ月	100 TB



# メッシュサイズによる地形の違い

224 km

低解像度NICAM

56 km

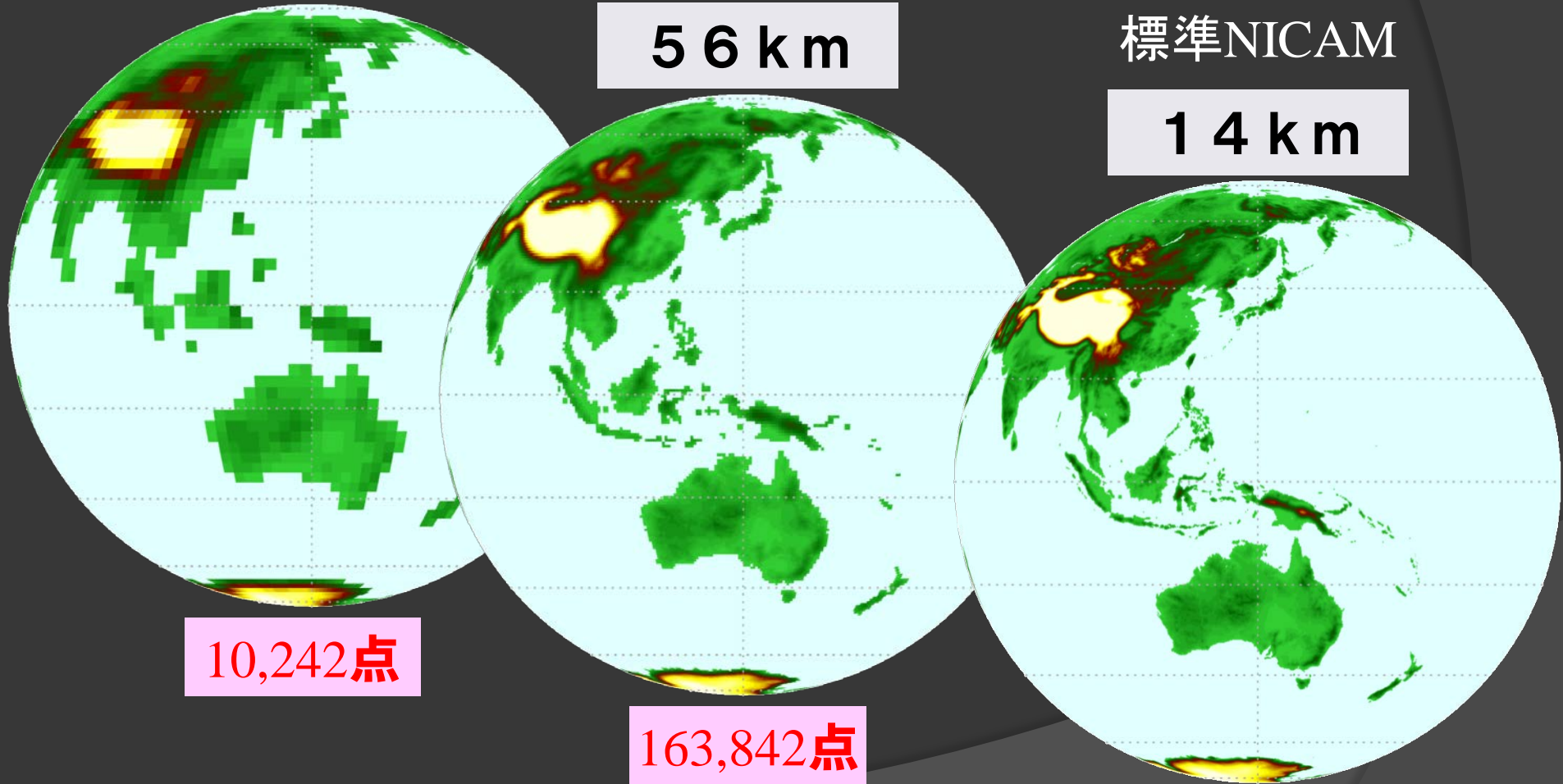
標準NICAM

14 km

10,242点

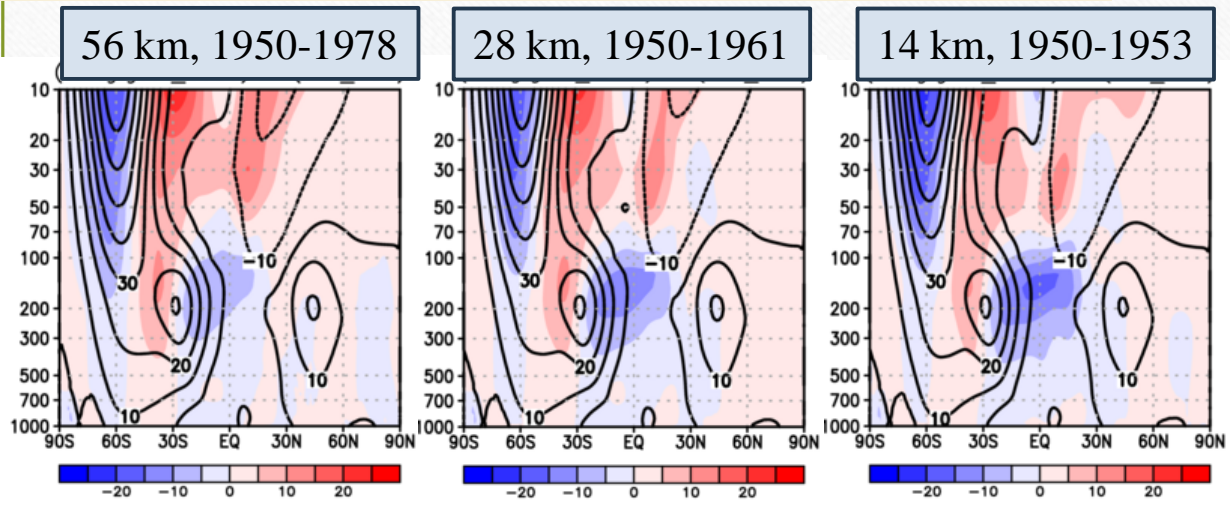
163,842点

2,621,442点



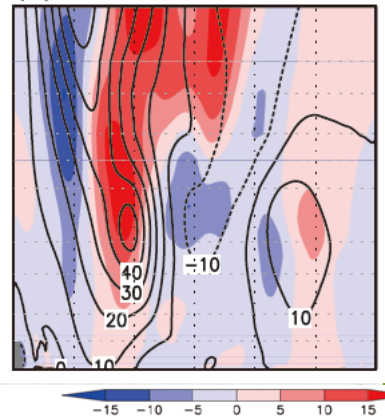
# 基本場の再現性

## 東西平均東西風 (6-8月), m/s, 対ERA20Cバイアス



contour: ERA20C shade: NICAM-ERA20C

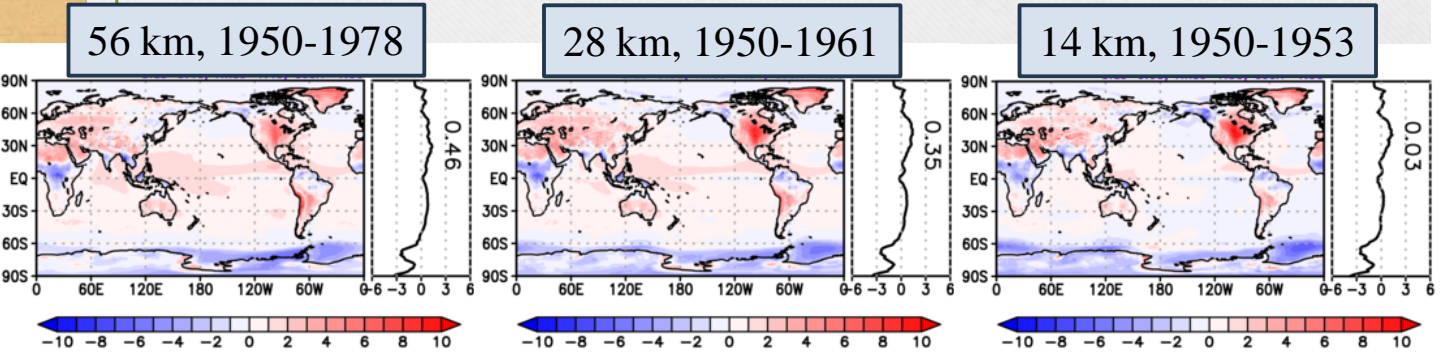
NICAM-AMIP,  
14 km, 1979-1998



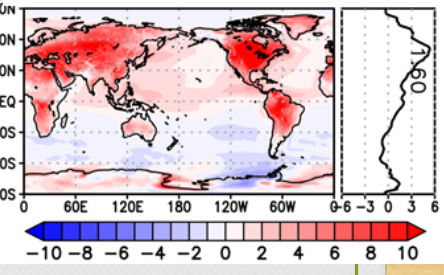
contour: NICAM  
shade: NICAM-JRA55

Kodama et al. (2015)

## 2m気温 (6-8月), K, 対ERA20Cバイアス



(d) 旧版NICAM, Δx=14 km, 1979-2008

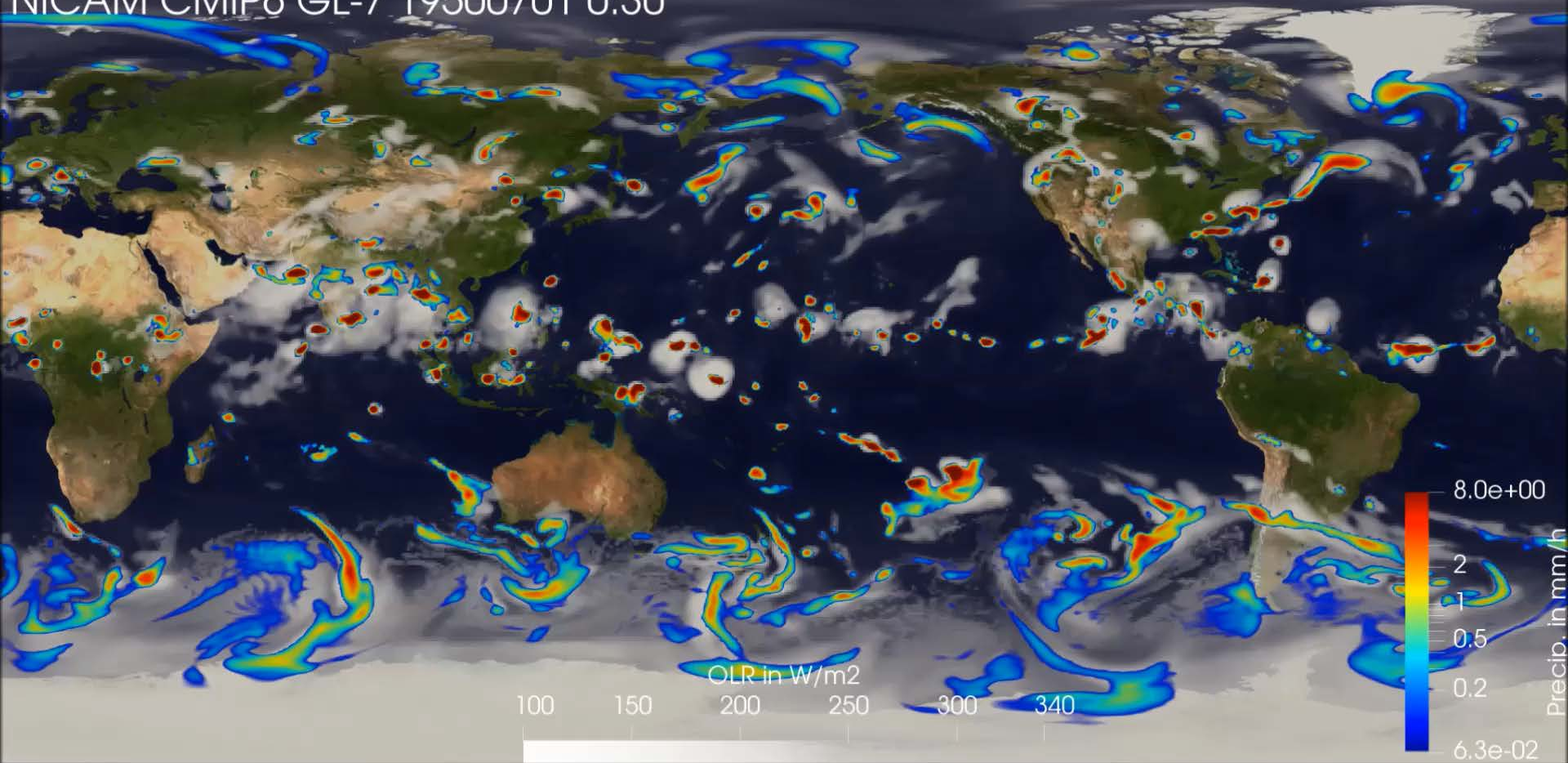


↑old NICAM with slab ocean



OLR/降水 (56kmメッシュ)

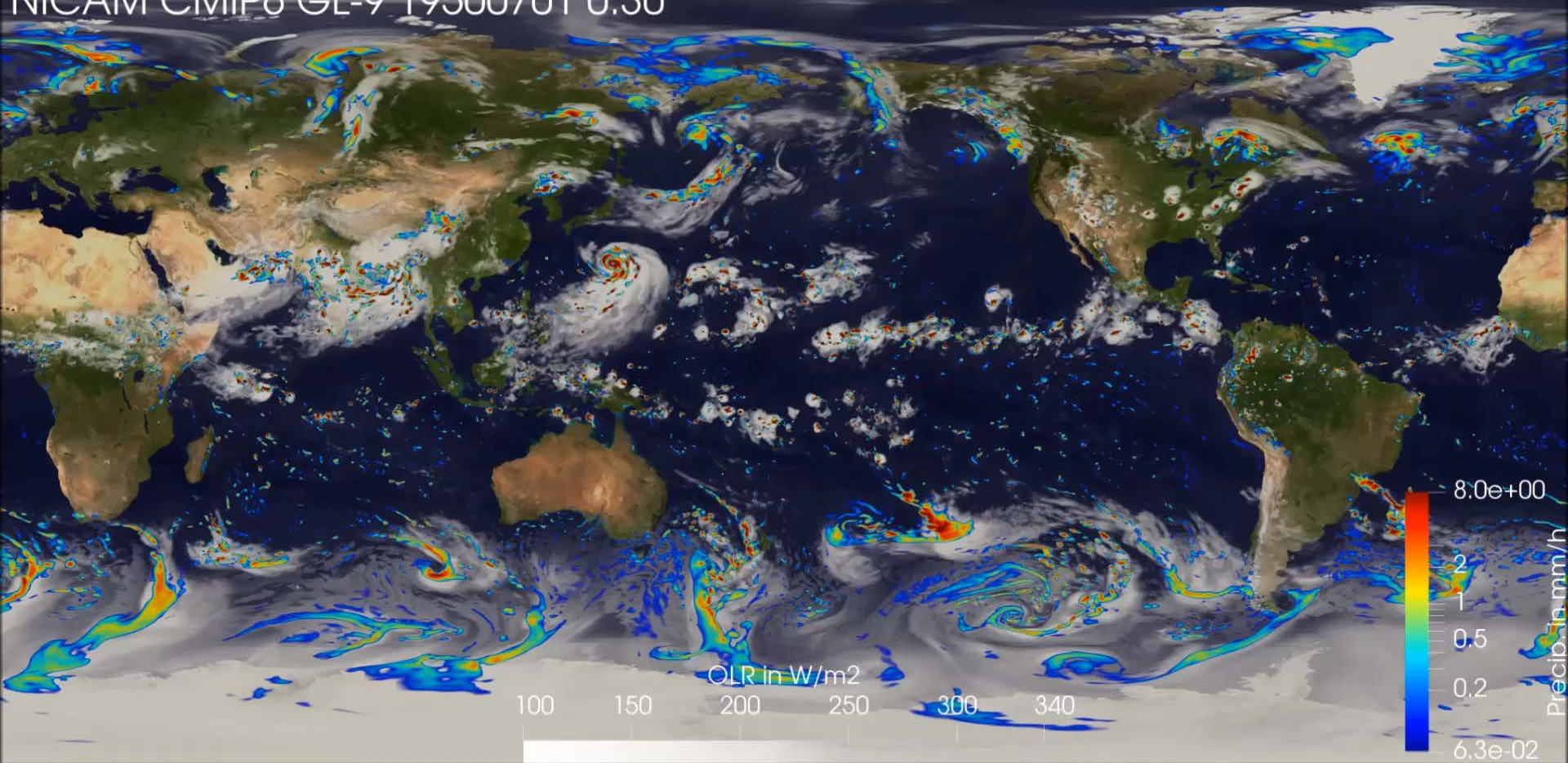
NICAM CMIP6 GL-7 19500701 0:30





OLR/降水 (14kmメッシュ)

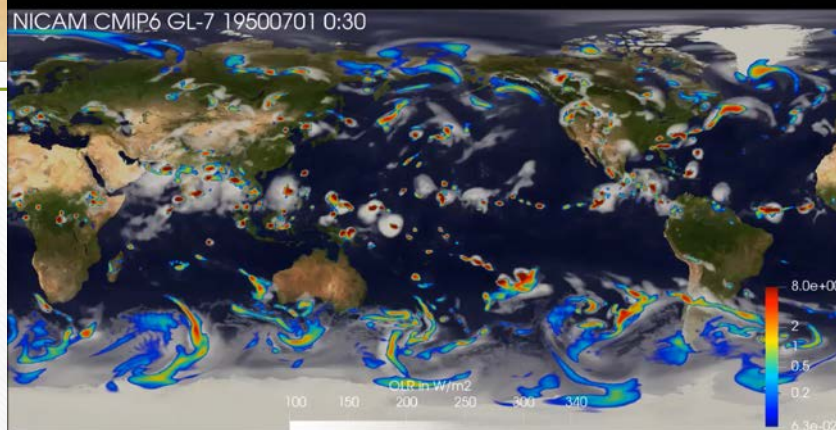
NICAM CMIP6 GL-9 19500701 0:30





# OLR/降水

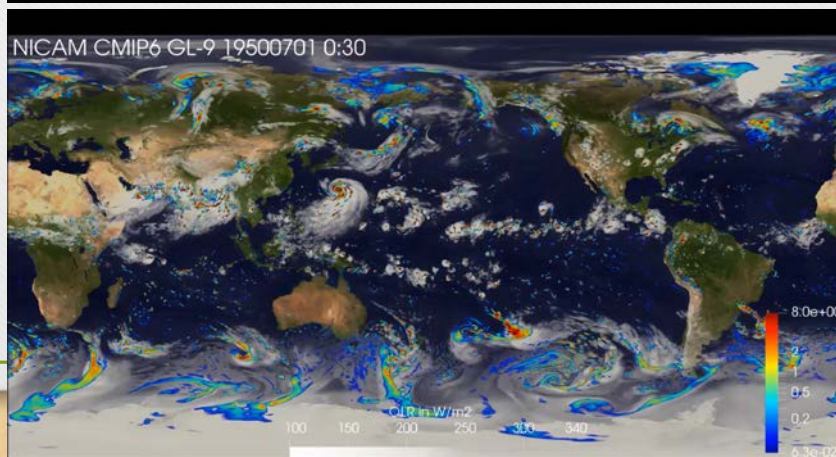
$\Delta x=56$  km



$\Delta x=28$  km



$\Delta x=14$  km



- 台風の数：**減少**
- 強い台風の数：**増加**
- 台風の強風域：**拡大**

海盆毎の変化は？ 結果として強風の頻度は変化するのか？



- これまで改良してきた全球非静力学モデルNICAMを用い、CMIP6 HighResMIPに沿った実験を実施した。
  - 56, 28, 14 km メッシュ実験を実施完了。データ提出を準備中。
  - 従来のNICAMに比べて台風に影響を及ぼす基本場が改善。
  - 水平解像度を高めることで台風の発生数が減少し、分布も含めて観測に近づいた。台風の最大風速はより強く、強風域はよりコンパクトに表現された。
- 今後：将来予測実験の実施と解析
  - 将来予測のための外力データがようやく全てリリースされた (2019.2.28付)
  - 台風の海盆毎の将来予測を提示したい