



気象庁気象研究所における

気候変動予測研究の 過去・現在・未来

尾瀬 智昭

(気象研究所・気候研究部)

1. はじめに (国内外の動き)

- 1979年 世界気象機関(WMO)による第1回世界気候会議開催
 - 1988年 気候変動に関する政府間パネル(IPCC)発足
 - 1990年 IPCC第1次評価報告書(時岡、2015)
~
 - 2013年 IPCC第5次評価報告書「地球温暖化は確実」
 - 2015年 COP21で「パリ協定」を採択
- 1978年 気象研究所で気候モデルの開発始まる
 - 1981年 気象庁に気候変動対策室、1996年 気候情報課
 - 1997年 国連気候変動枠組み条約第3回締約国会議(COP3)「京都議定書」
 - 2005年 気象庁に地球環境・海洋部
 - 2015年「気候変動の影響への適応計画」を閣議決定

気象庁気象研究所による 気候変動予測研究の意義

- 地球温暖化の影響は、人類、国、産業、地域社会の**将来を左右**しかねない、国際的にも国内的にも重要な課題。
- 日本として、**独自の予測情報**を持つ必要がある。IPCCを通じた国際協力にも貢献。
- 気象庁は、行政機関として**客観的な予測情報**を継続的に安定して提供する必要がある。

2. 天気予報と気候の予測

似て非なる予測原理

今日から始まる大気の運動の予報でなく、
長期間にわたる大気の平衡状態を予測

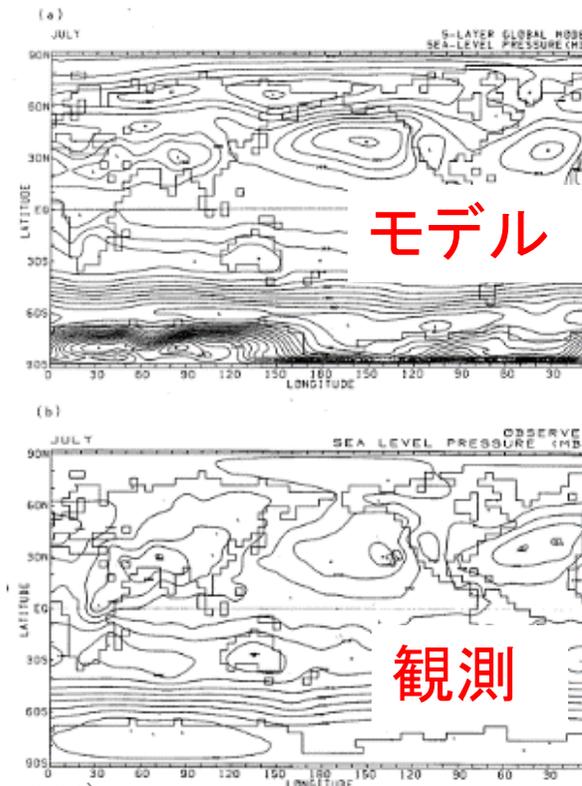
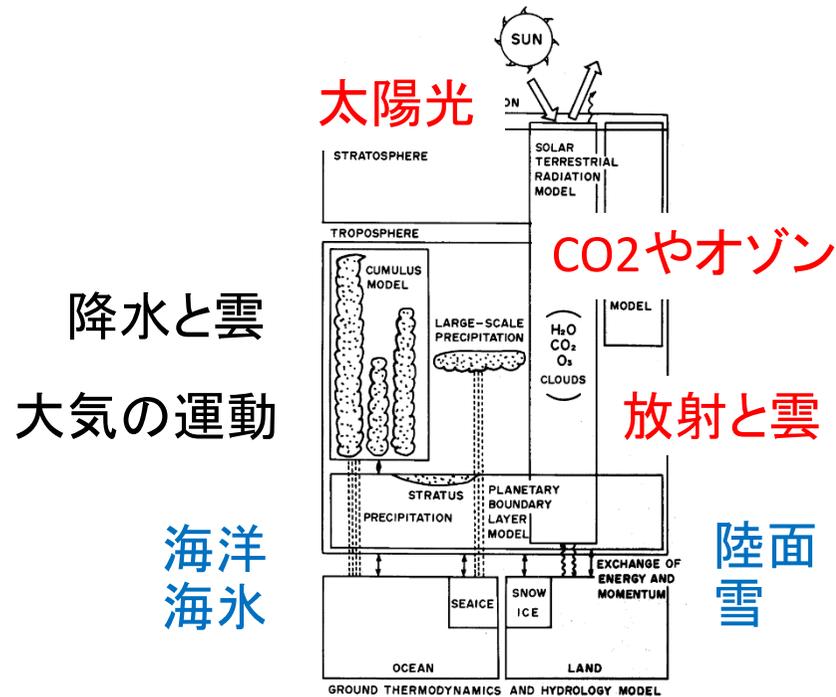
気候予測の道具

気象研究所・気候モデルの開発

MRI-GCM-I (Tokioka et al.,1984)

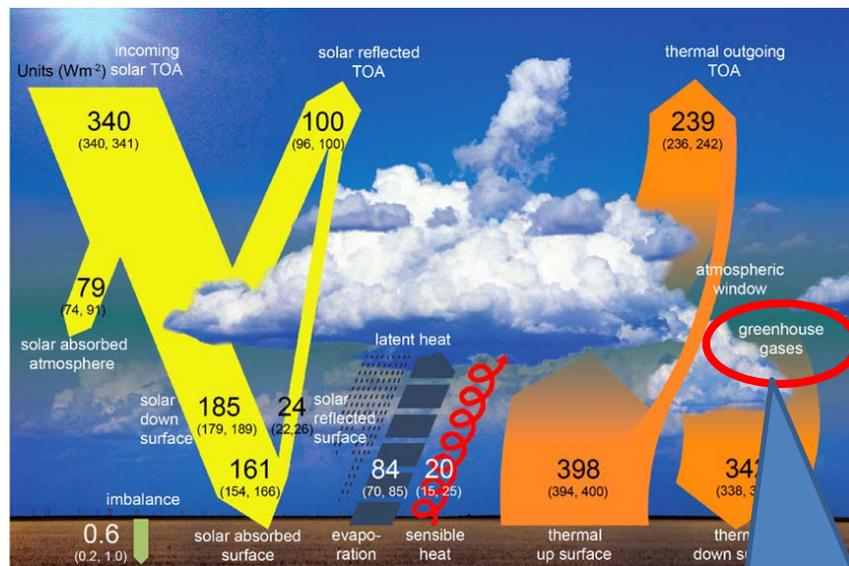
気候を支える全要素を
プログラム化して組み立てる

スーパーコンピュータで計算
出力例「夏の気圧配置」



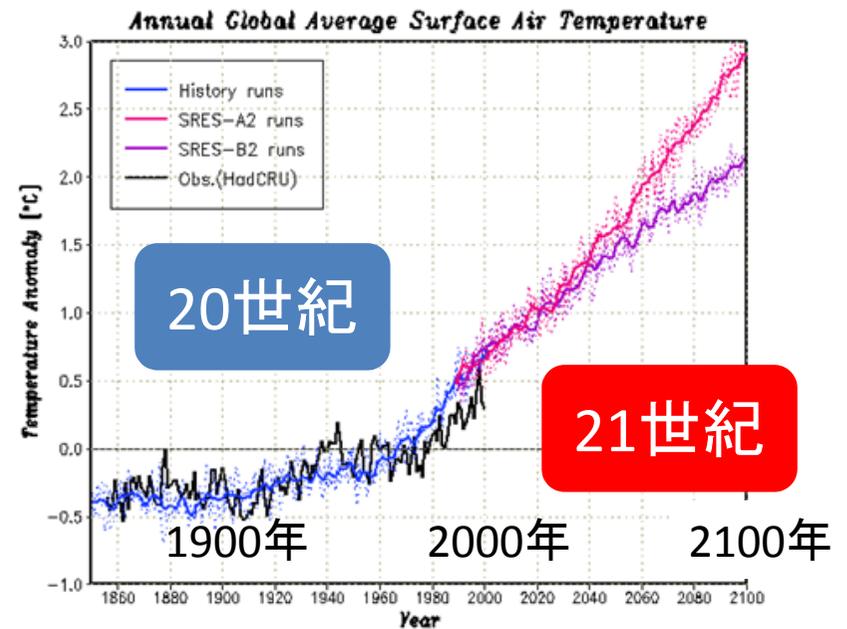
エネルギー収支が決める地球の気温

強まる**温室効果**
宇宙へ逃げるエネルギーが
約 $1\text{W}/\text{m}^2$ 少ない



CO2など温室効果気体

CO2増加の**シナリオ**が
決める地球の将来

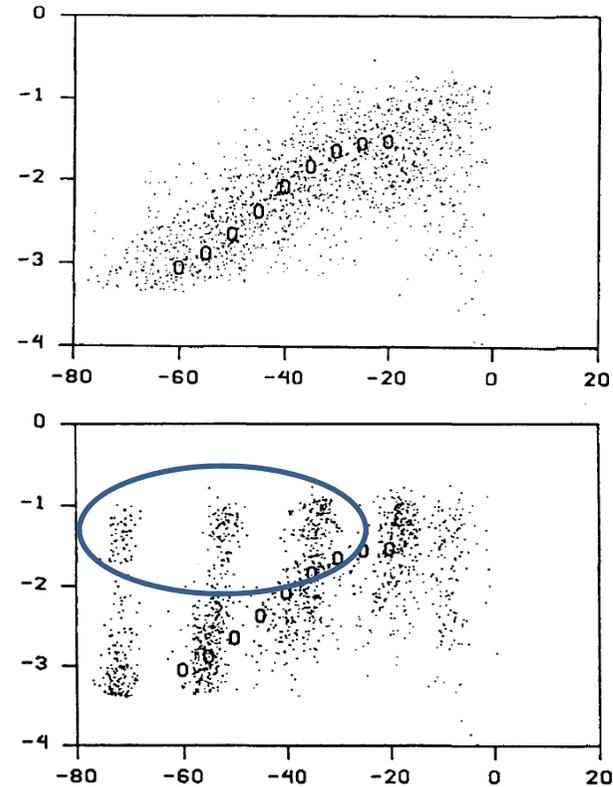
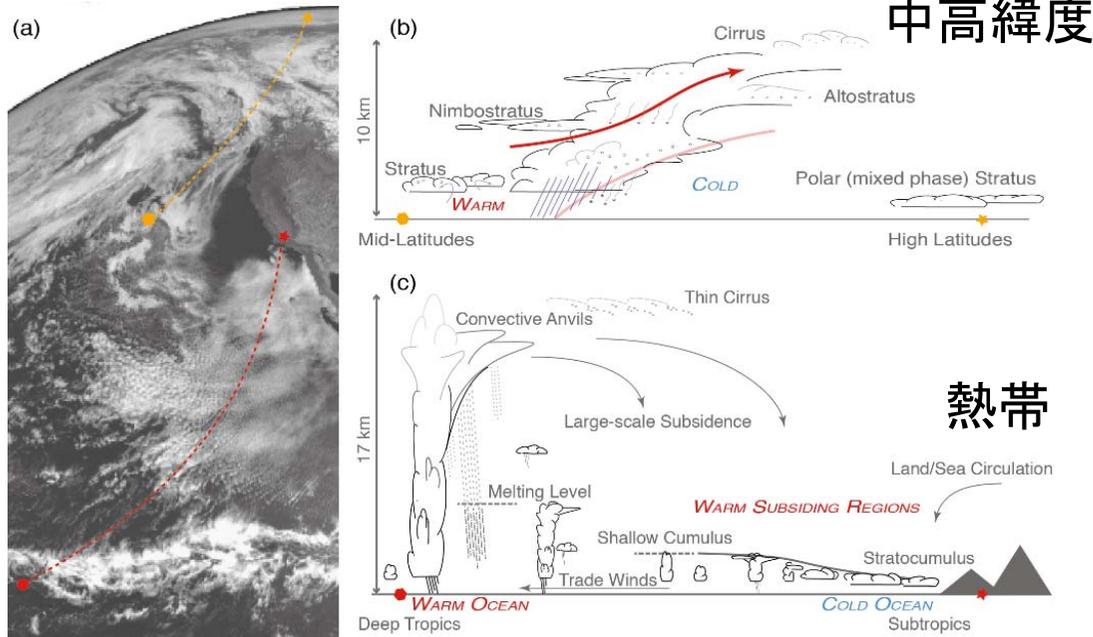


(Yukimoto et al. 2006)

雲のモデル化： 降水と放射

多様で複雑な雲
(雨、雲量、放射特性)

雲氷量の気温依存性



気象庁気象研究所における

3. 過去の気候変動予測研究 (～2000年)

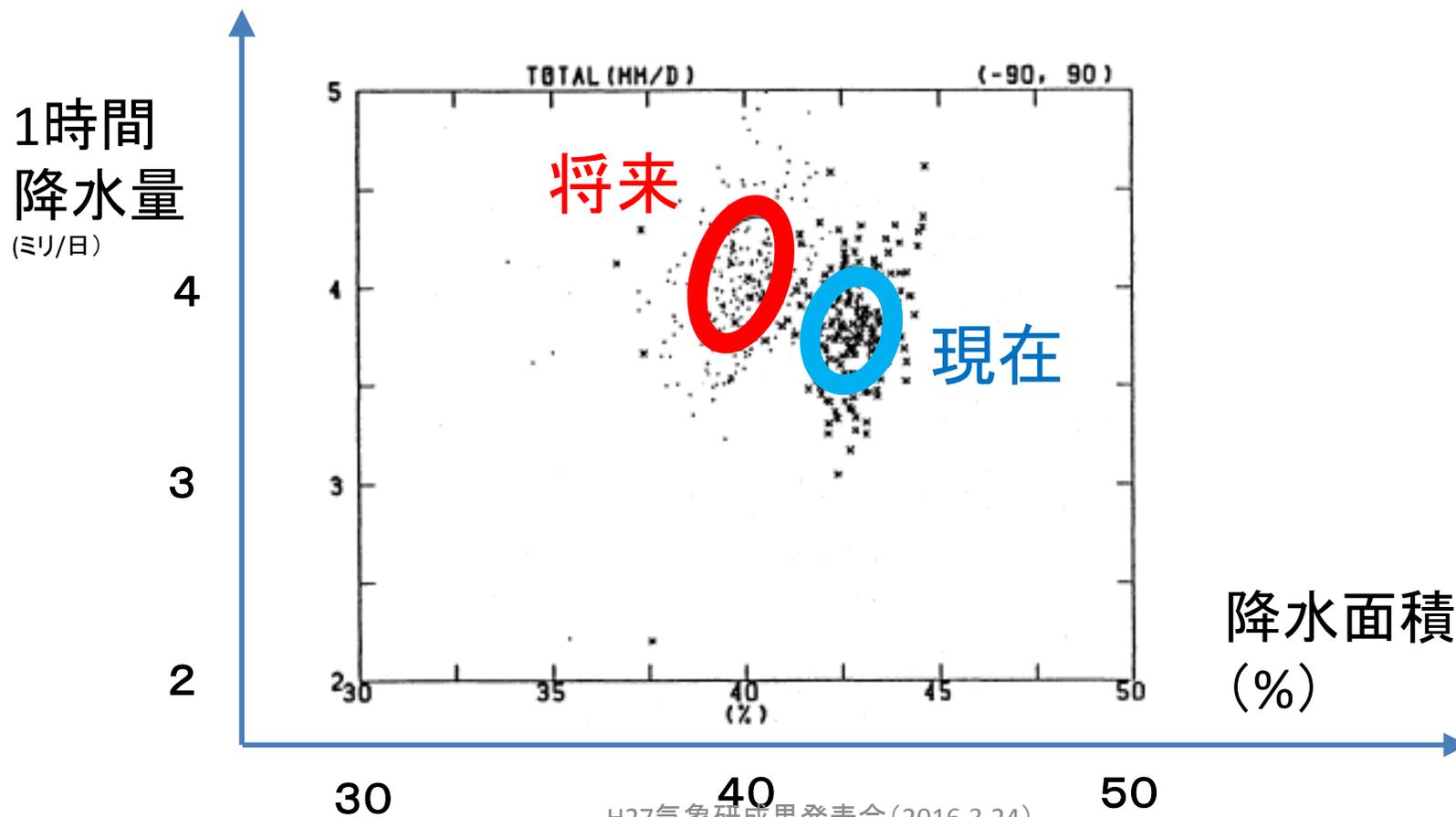
もし

ほんとうに地球温暖化が起きたら
地球の気候はどうなる？

現在と2倍CO₂時で比較

将来は 広く弱い雨から 集中する強い雨に変化

Noda & Tokioka (1989)

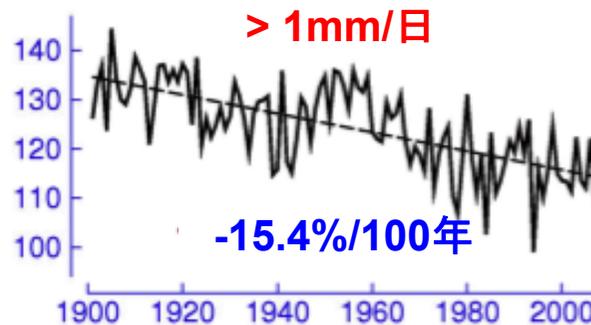
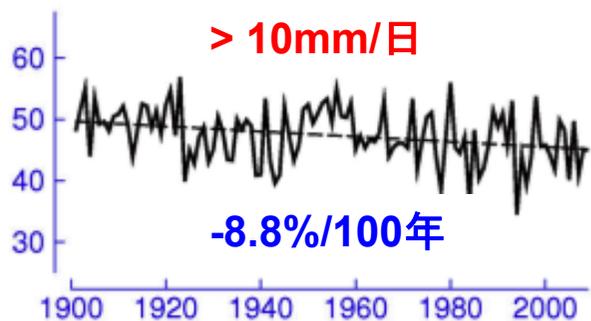
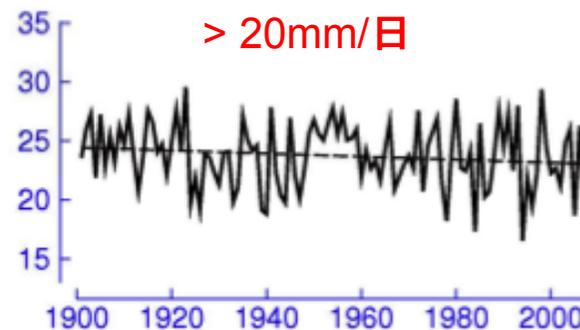
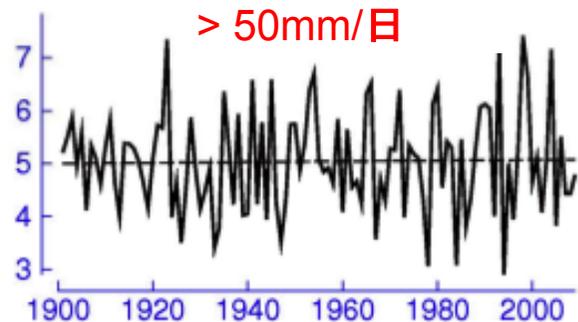
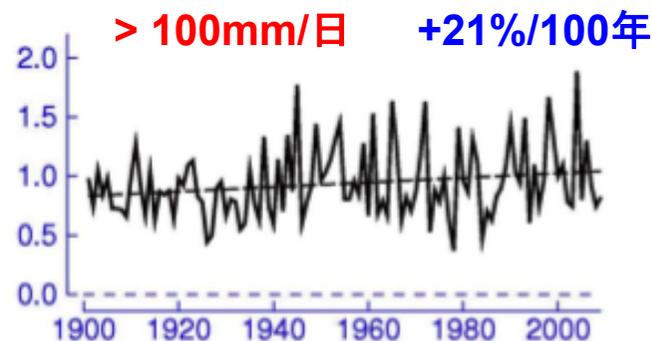
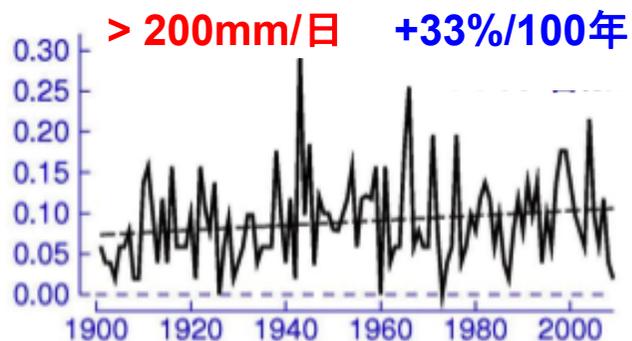


観測と一致 (雨日数の20世紀長期変化)

日本の大雨の長期変化(1901~2009, 国内51地点)

藤部2011

大雨
日数
増加



降水
日数
減少

1900

2000

H27気象研究成果発表会(2016.3.24)

縦軸は1地点あたりの年間日数

現在と2倍CO₂時で比較

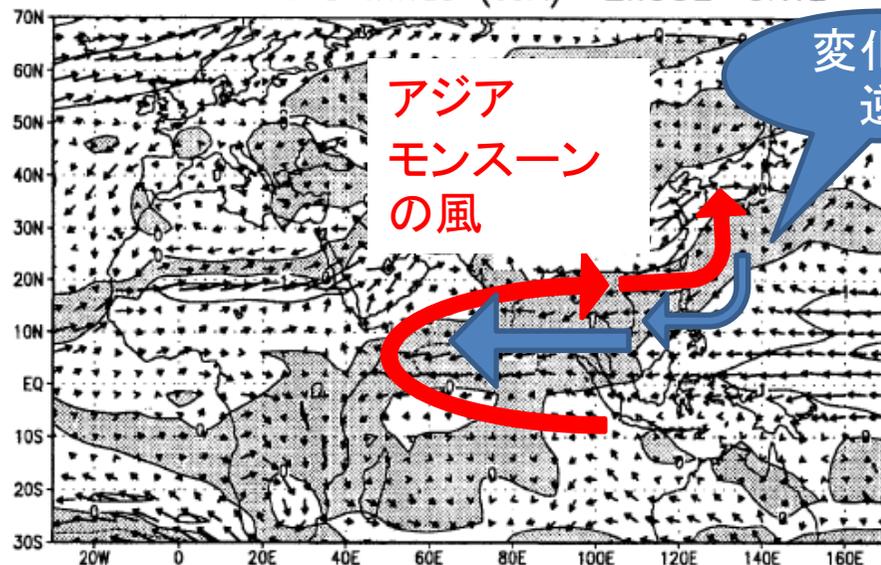
モンスーン風は弱いが、雨は増加

Kitohほか(1997)

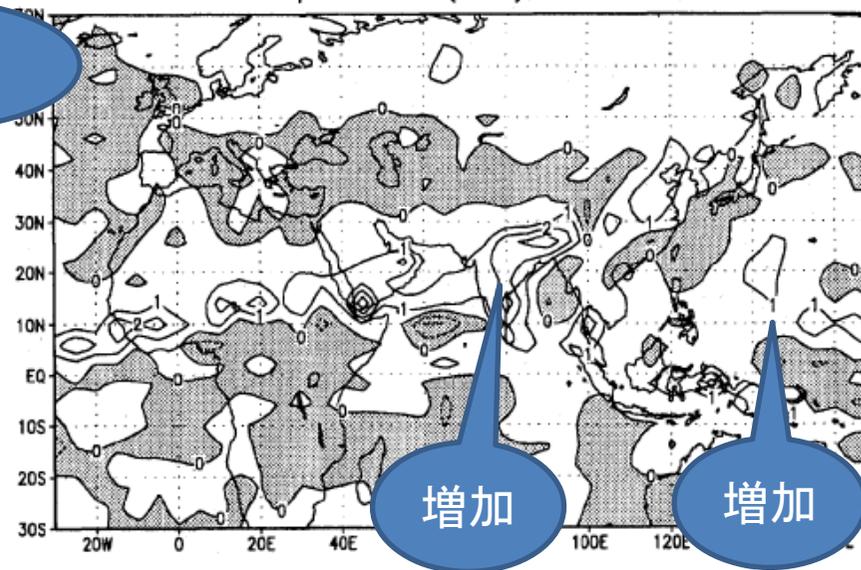
風の将来変化

降水量の将来変化

850 hPa Winds (JJA) 2xCO₂-CNTL

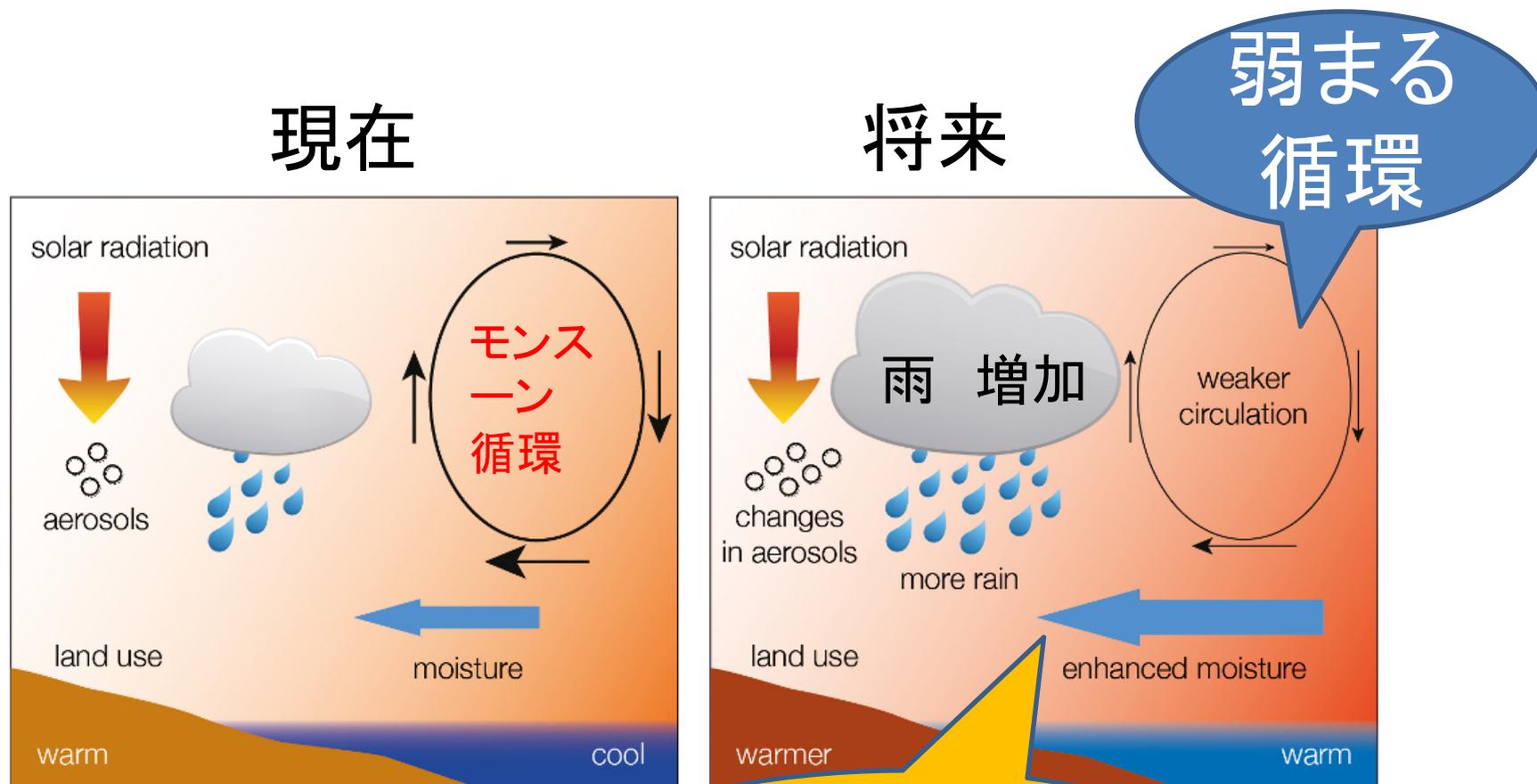


Precipitation (JJA) 2xCO₂-CNTL



「暑いだけじゃない地球温暖化」

水蒸気の増加とモンスーン循環の弱化



IPCC 2013

気象庁気象研究所における

4. 現在の気候変動予測研究 (2000年～現在)

計算機の発達
と
精緻化するモデル

精緻化するモデルーその1

多自由度で複雑な気候を**そのまま表現**する

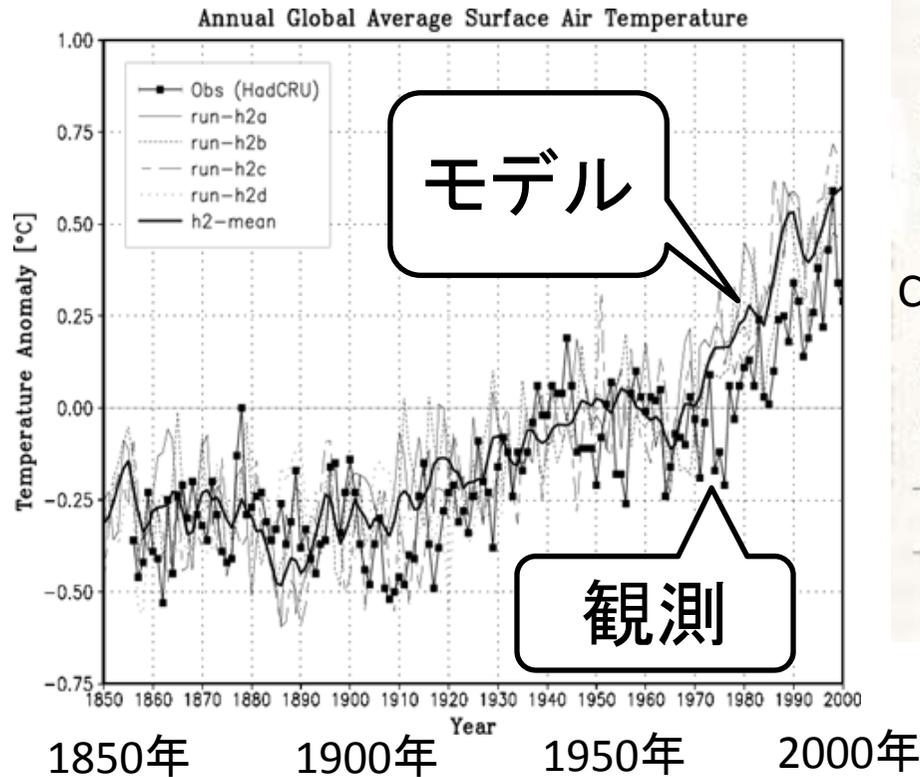
- 忘れていたりすることや間違いがないか心配
- 気候モデルから 地球システムモデルへ

1980年代まで温暖化が目立たなかった理由 (20世紀再現実験 気候モデルMRI-CGCM2, Yukimotoほか2006)

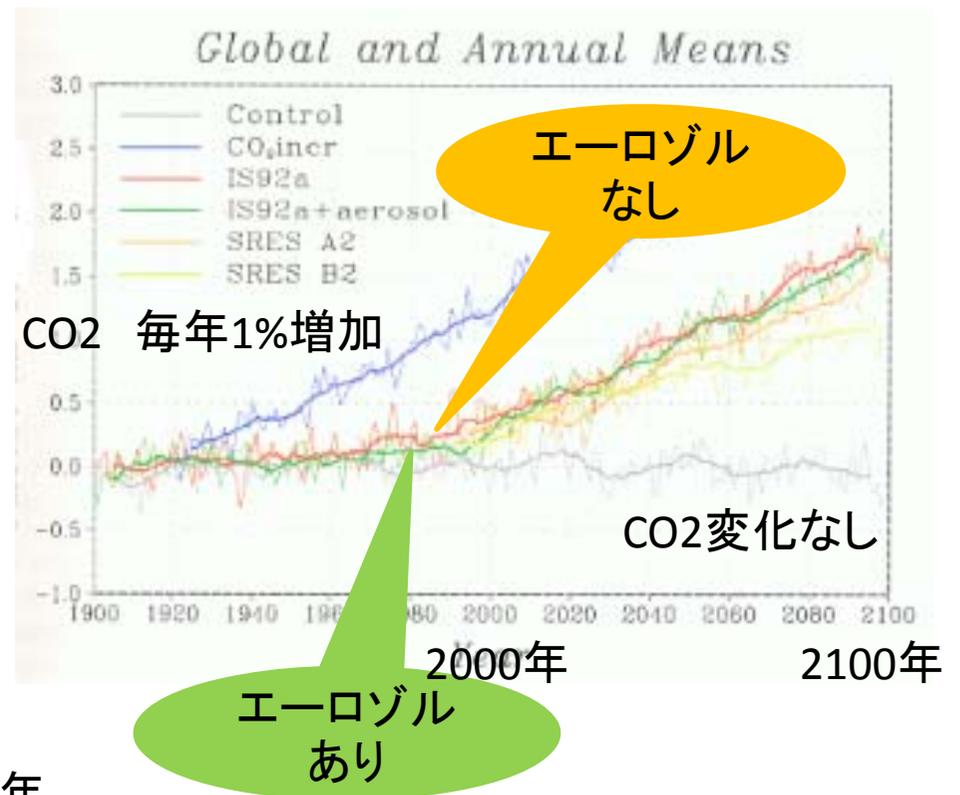
CO2増加+エアロゾル

(火山など+人為起源)

硫酸塩、有機炭素、黒色炭素、硝酸塩、ちり等



エアロゾルの効果を調査

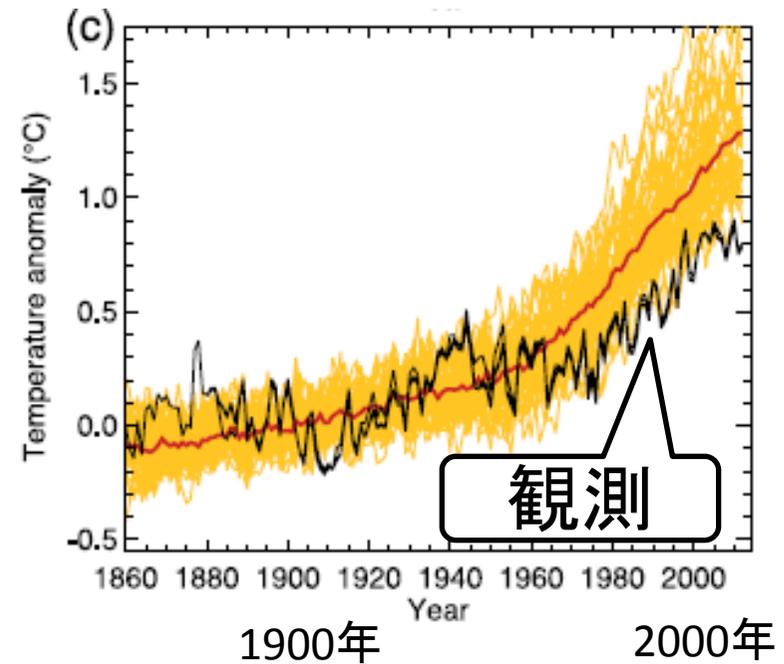
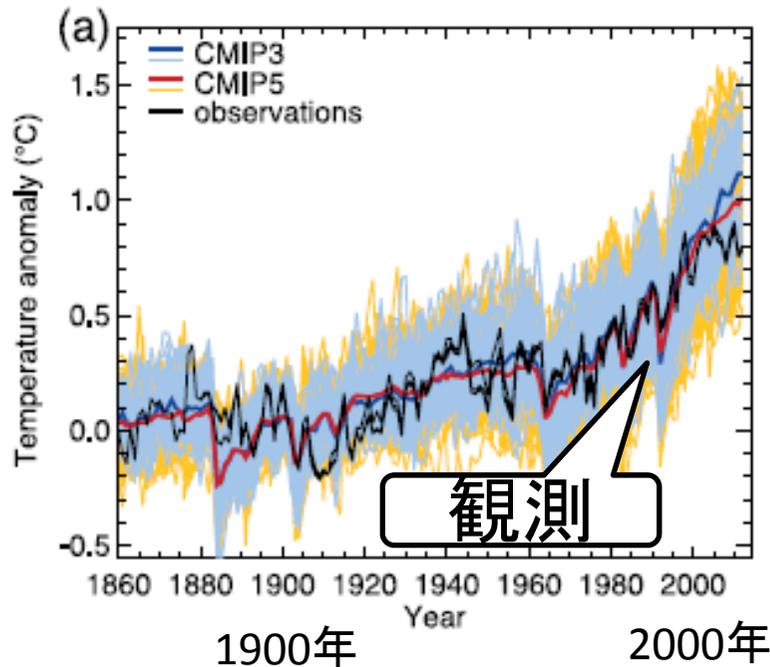


エアロゾルの効果は 冷却

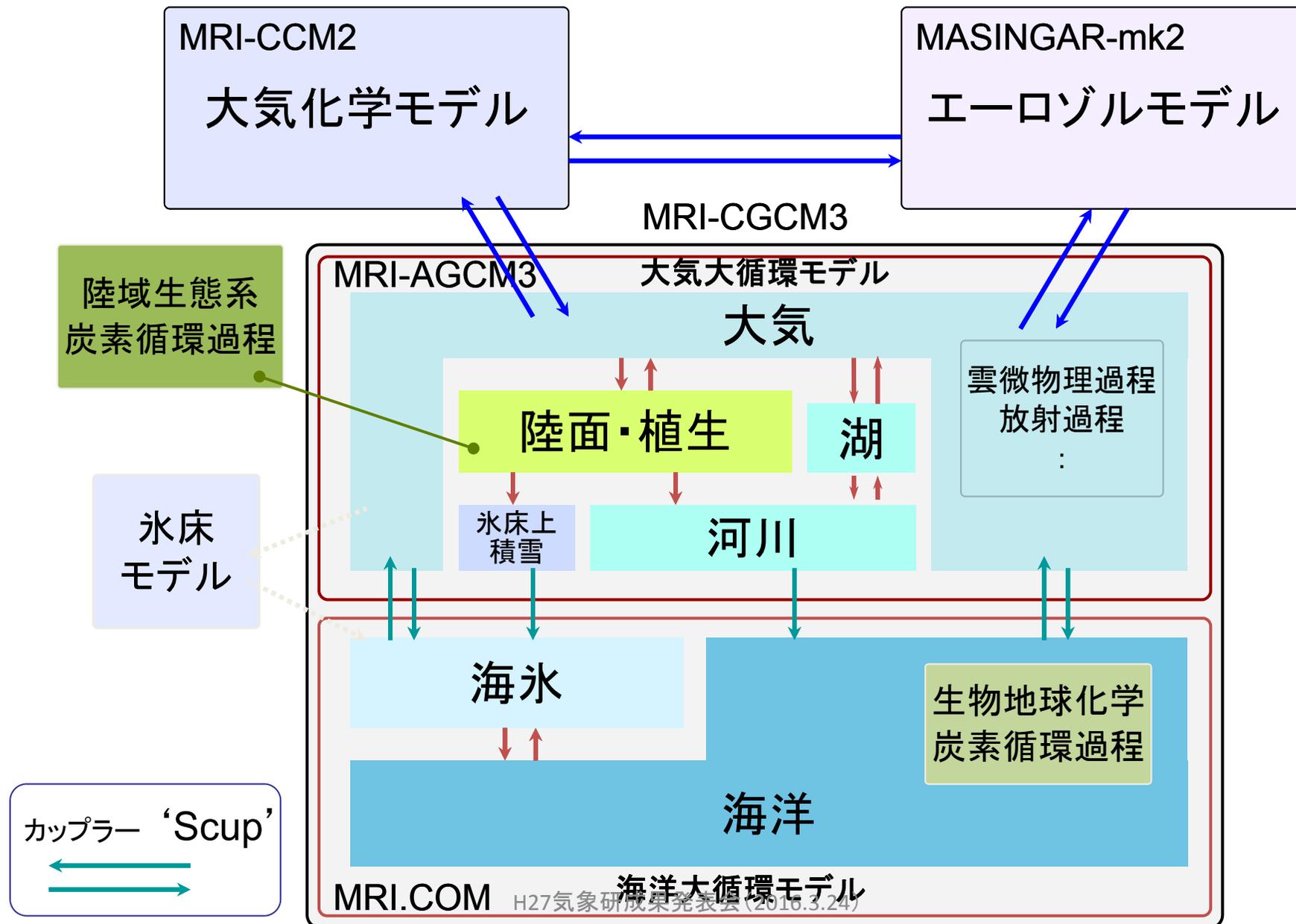
(20世紀再現実験 IPCC 2013)

CO2増加+エアロゾル
(火山など+人為起源)

エアロゾルを無視した実験



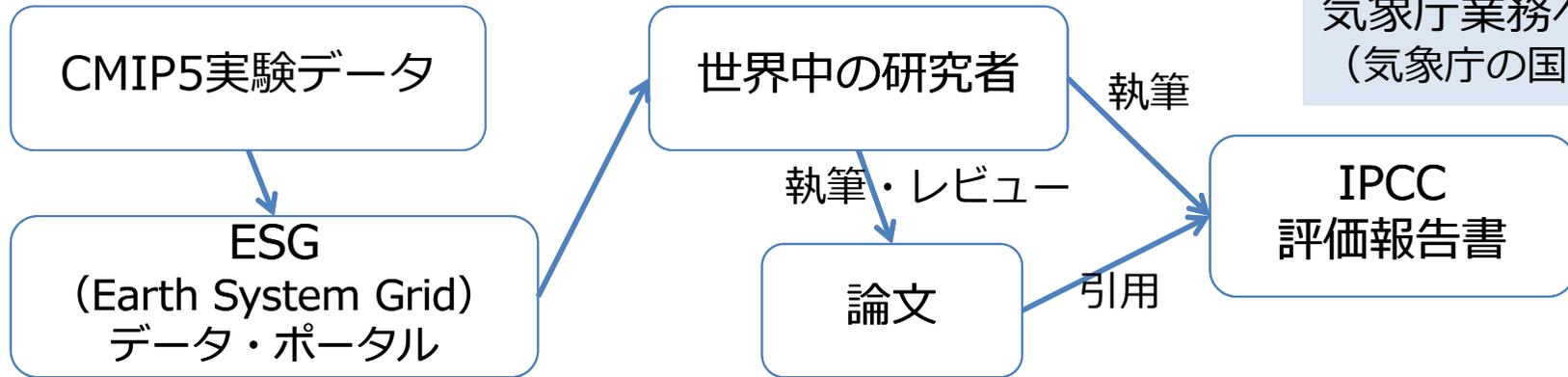
気象研究所 地球システムモデル (Yukimoto et al, 2012)



2014年2月
行本

IPCC第5次評価報告書 (IPCC-AR5) への貢献

気象庁業務への貢献
(気象庁の国際貢献)



CMIP5 - Publications Model

cmip5.llnl.gov/cmip5/publications/modelExp=MRI-CGCM3

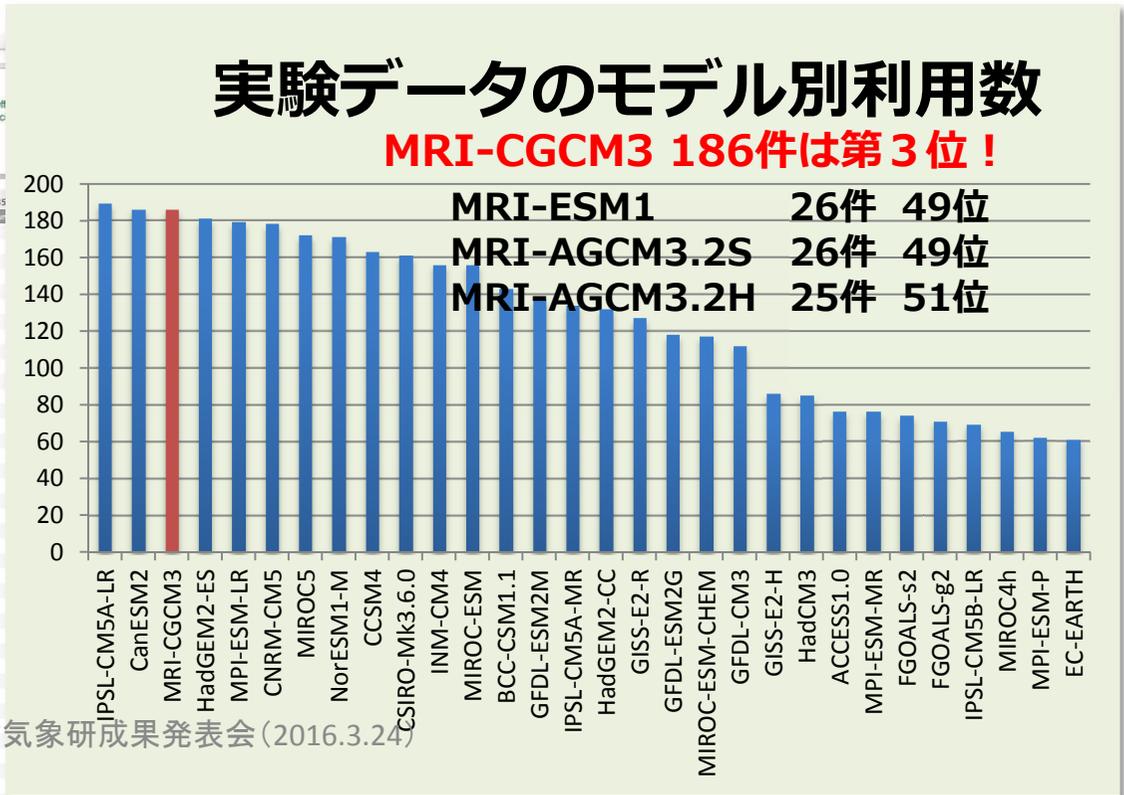
CMIP Coupled Model Intercomparison Project
World Climate Research Programme

Submit Edit View Administration

Publications analyzing model: MRI-CGCM3

Author	Article Title	Journal
Albritton A., G. Behringer, A. Amodeo, U. Simon	Estimation and uncertainty in seasonal projection carbon response to CMIP5 climate change projections. (Climate) (Open Access)	Environmental Research Letters
Albritton, A., R. J. Stouffer, I. Saito, H. Li, E. Wooll	Global Sea Level and Downwind Climate Change for the 21st and 22nd Centuries Based on CMIP5 Projections for the Tropics. (Climate) (Open Access)	Journal of Climate
Anderson, T., J. M. Gregory, M. J. Webb, K. E. Taylor	Forcing, feedbacks and climate variability in CMIP5 low-resolution climate models. (Climate) (Open Access)	Geophysical Research Letters
Anstey, J. A., P. Davini, L. J. Gray, T. J. Woodhouse, M. D'Arrigo, ...	Multi-model analysis of northern hemisphere winter blocking and tropospheric jet variability. (Climate) (Open Access)	Journal of Geophysical Research
Balun, K. S., R. S. Stouffer, P. A. Stott, E. Buick, D. Polson	Impacts on changes in rainfall and seasonal temperatures from CMIP5 Model runs (and sea level). (Climate) (Open Access)	Geophysical Research Letters
Bathols, J., C. Hooley, I. G. Waterman	Are climate models in line with observations? (Climate) (Open Access)	Journal of the Meteorological Society
Bellouard, A., Y. C. Folland, C. Deser, M. Rienecker	Climate and future atmospheric circulation at 500 hPa over Greenland simulated by the CMIP5 and CMIP3 global models. (Climate) (Open Access)	Climate Dynamics
BELLINGIER, H., E. Guilyardi, J. Leloup, M. Lengaigne, I. Visbeck	ENSO teleconnections in climate models: from CMIP3 to CMIP5. (Climate) (Open Access)	Climate Dynamics
Bergner, M., J. Urrutia-Figueroa, J. Nelson	The response of the tropical sea surface temperature to a variety of different HadGCM2 climate model projections: a comparison of CMIP5 and CMIP3 simulations. (Climate) (Open Access)	Journal of the Meteorological Society
Blaquez, J.	Quantification de l'impact des incertitudes sur les projections de précipitation sur les Amériques. (Climate) (Open Access)	Climate Dynamics
Blaquez, J., M. N. Ruiz	Analysis of model biases in the simulation of South American convection of WRF-CM3 and WRF-CM3. (Climate) (Open Access)	Climate Dynamics
Bony, S., G. Bellouard, M. Klocke, S. Sherwood, S. Forcman, ...	Global impact of carbon dioxide on tropical circulation and regional precipitation. (Climate) (Open Access)	Nature Geoscience
Boss, W., S. J. V. Murray	Thermodynamic processes in the multi-model mean tropical convection. (Climate) (Open Access)	Journal of Climate
Bryden, S. G., J. V. Murray	On the relationship between equatorial and mid-latitude climate change responses to El Niño. (Climate) (Open Access)	Journal of Climate
Chang, S. K., J. V. Murray	On the relationship between equatorial and mid-latitude climate change responses to El Niño. (Climate) (Open Access)	Journal of Climate

一つの検索の例
CMIP5のWebページによる検索
※すべて網羅しているわけではない。また、投稿中も含む



精緻化するモデルーその2

天気予報のための**高分解能**大気モデルを利用

アジア、日本

そして

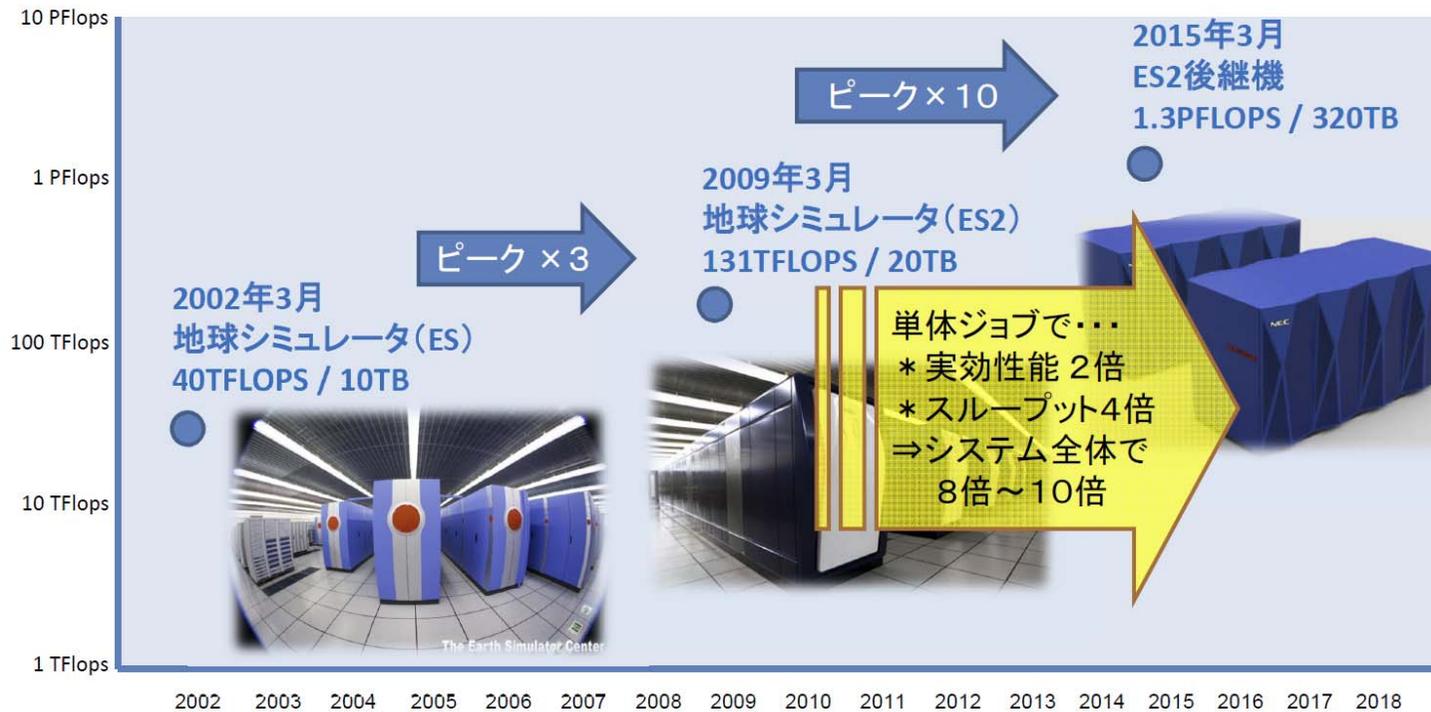
日本各地の地球温暖化による影響を評価

高分解能大気モデルで影響評価研究

文科省革新プログラム(H19-H23)など
(Kitoh et al. 2009 HRL)

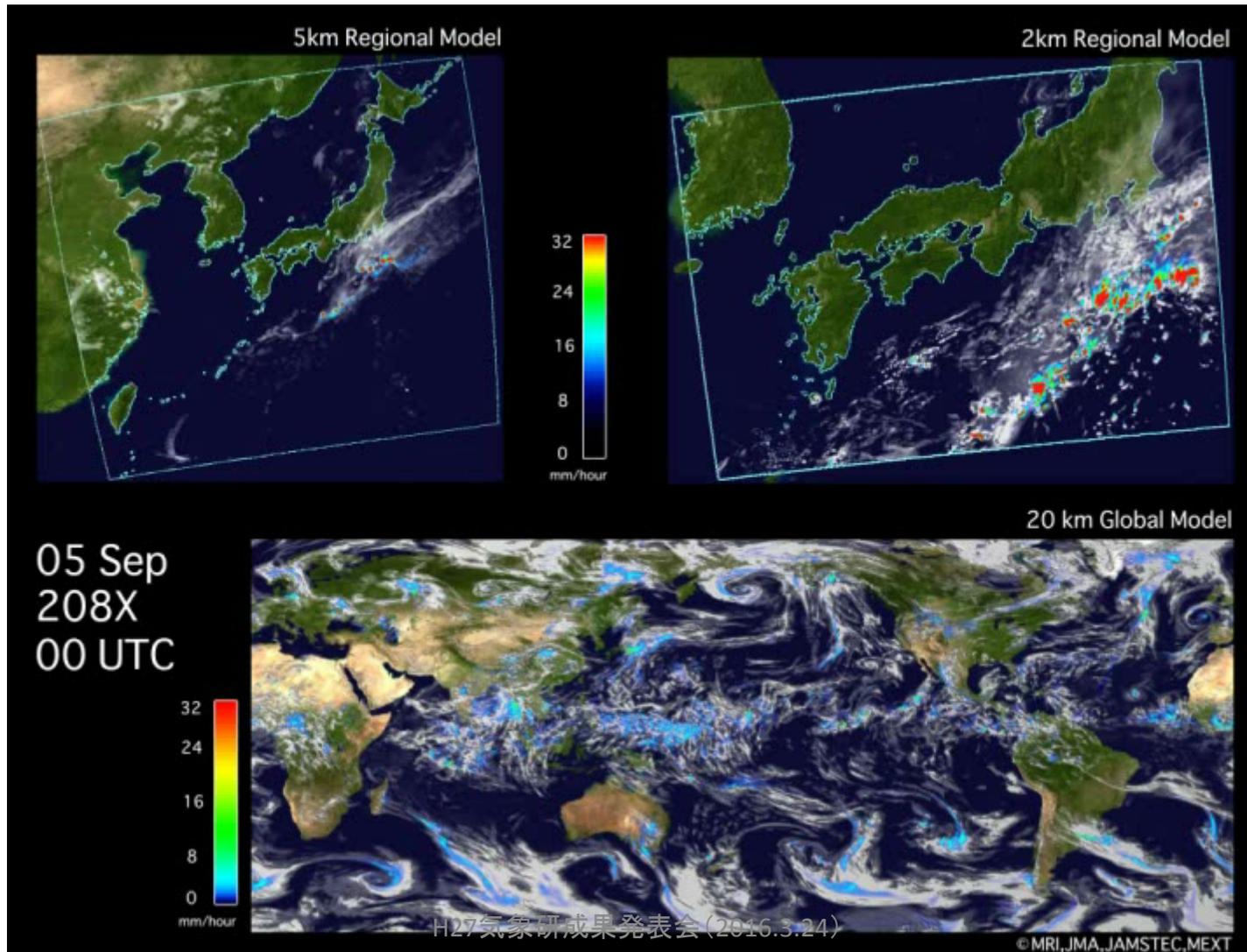
地球シミュレータシステムとその後継機

Center for Earth Information Science and Technology (CEIST)



H27気象研成果発表会(2016.3.24)

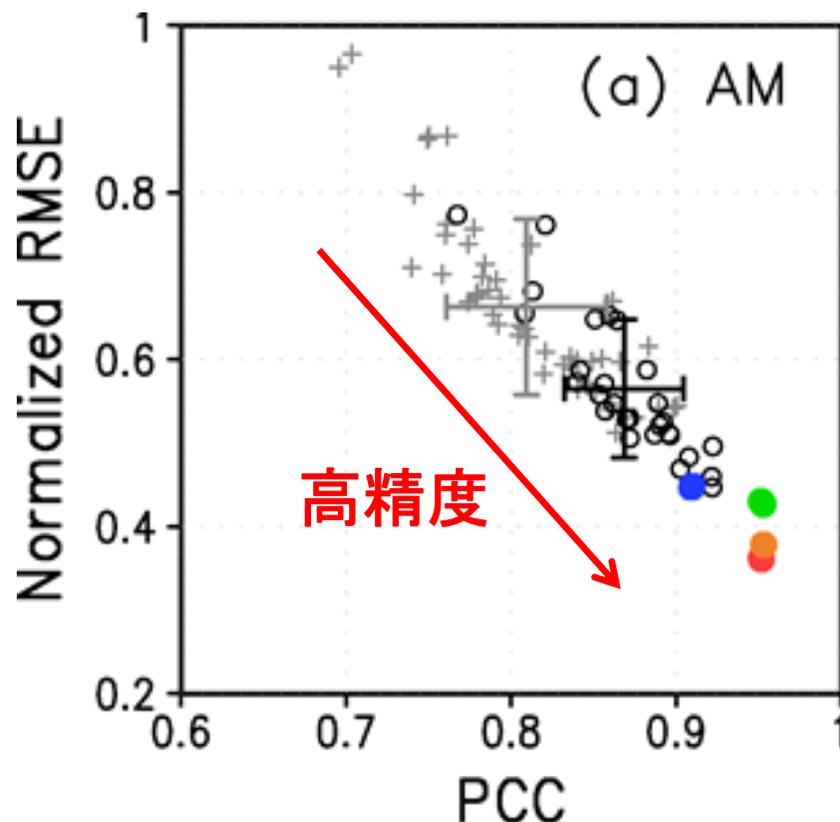
高分解能大気モデルによる将来予測実験のある日
世界全体20km → 東アジア5km → 日本2km



世界最高レベルのモデル精度

—降水分布再現性の数値評価—

量的な
誤差



モンスーン降水メトリック
(B. Wang et al. 2011)
AM: 年平均

領域: 45S-45N
観測: (GPCP+CMAP)/2

- 20kmYS
- 60kmYS
- 60kmAS
- 60kmKF
- CMIP5 AGCMs
- + CMIP5 AOGCMs

空間分布の再現性

アジアの降水量の将来予測 (IPCC 2013)

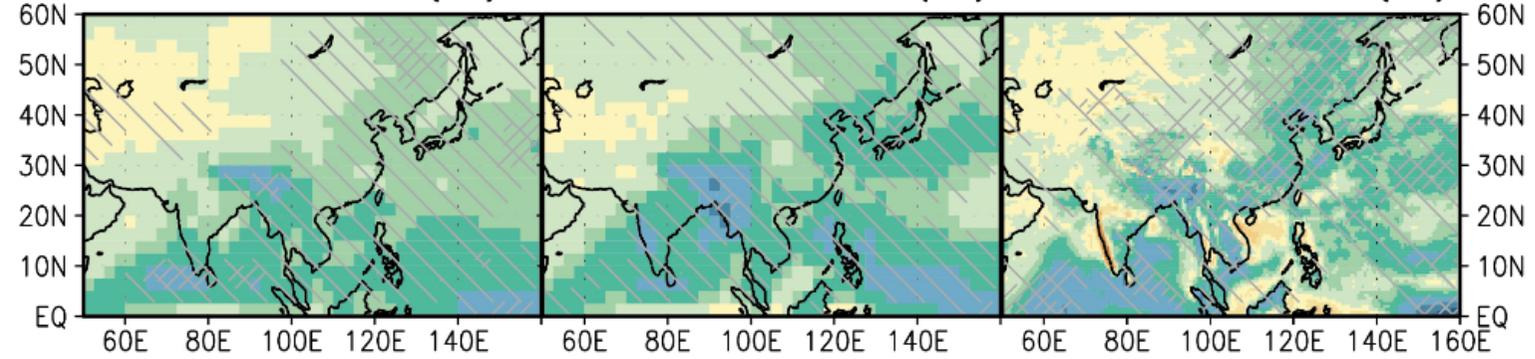
CMIP3 と CMIP5 と 気象研究所大気モデル



JJAS

CMIP3 MME A1B (24) CMIP5 MME RCP4.5 (39) MRI-AGCM3.2H A1B (12)

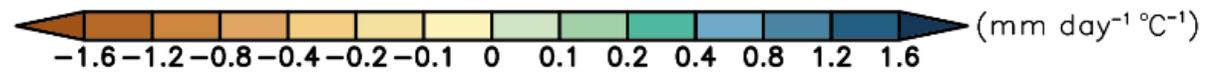
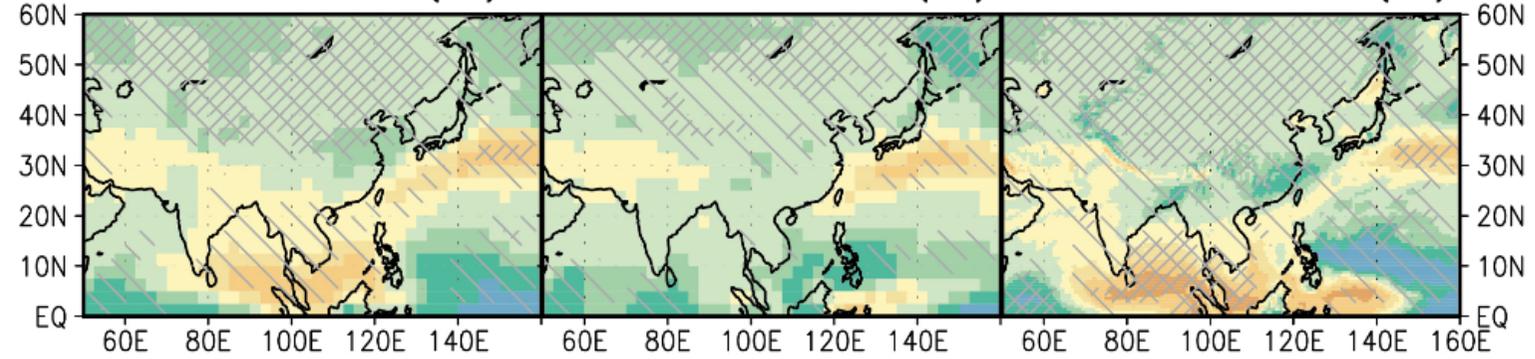
夏



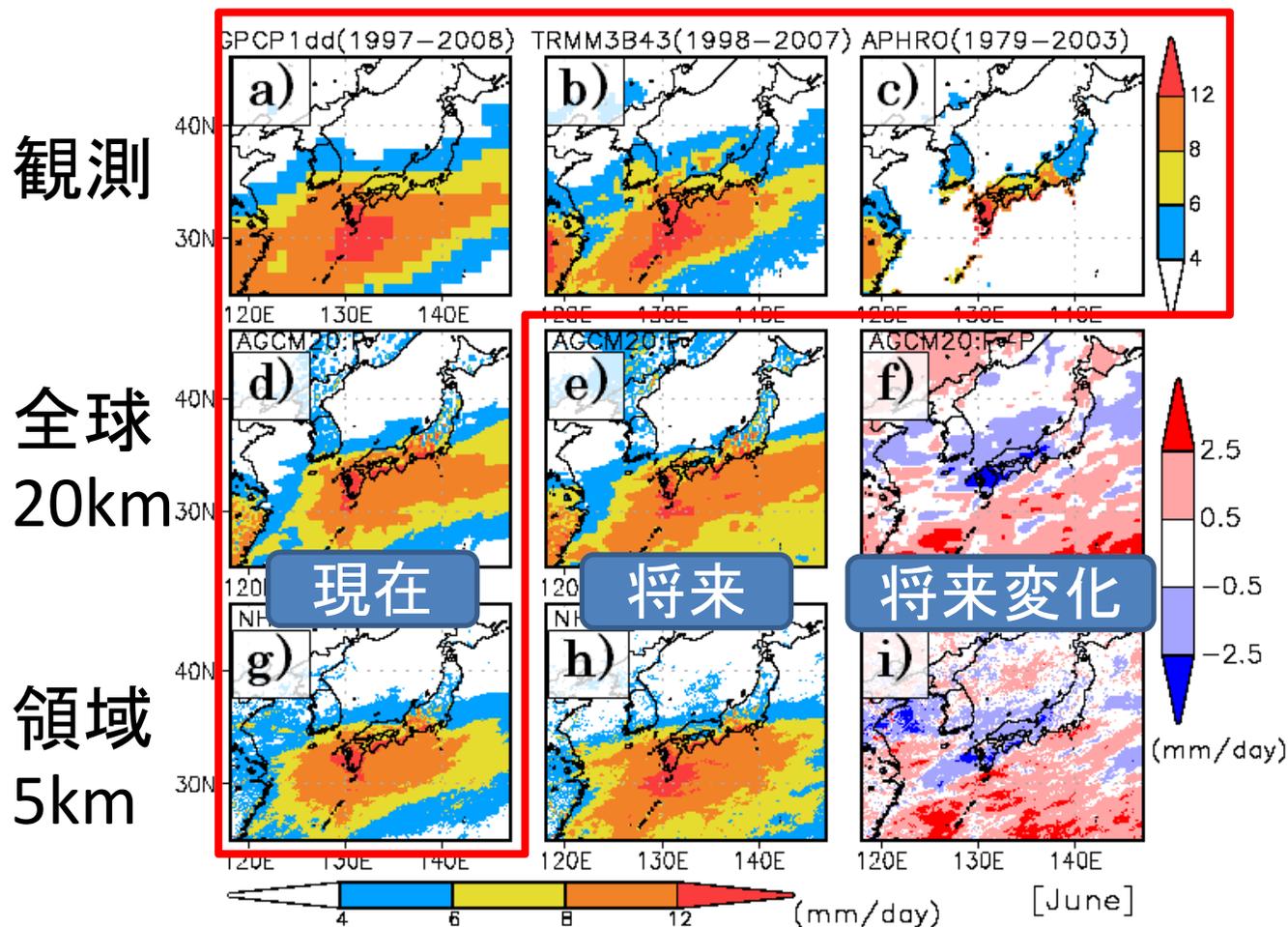
DJFM

CMIP3 MME A1B (24) CMIP5 MME RCP4.5 (39) MRI-AGCM3.2H A1B (12)

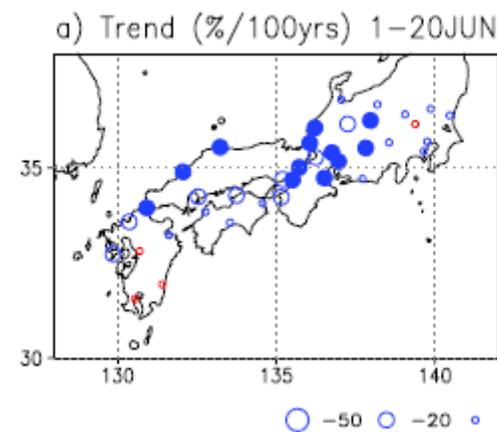
冬



日本の降水量の将来変化(6月)

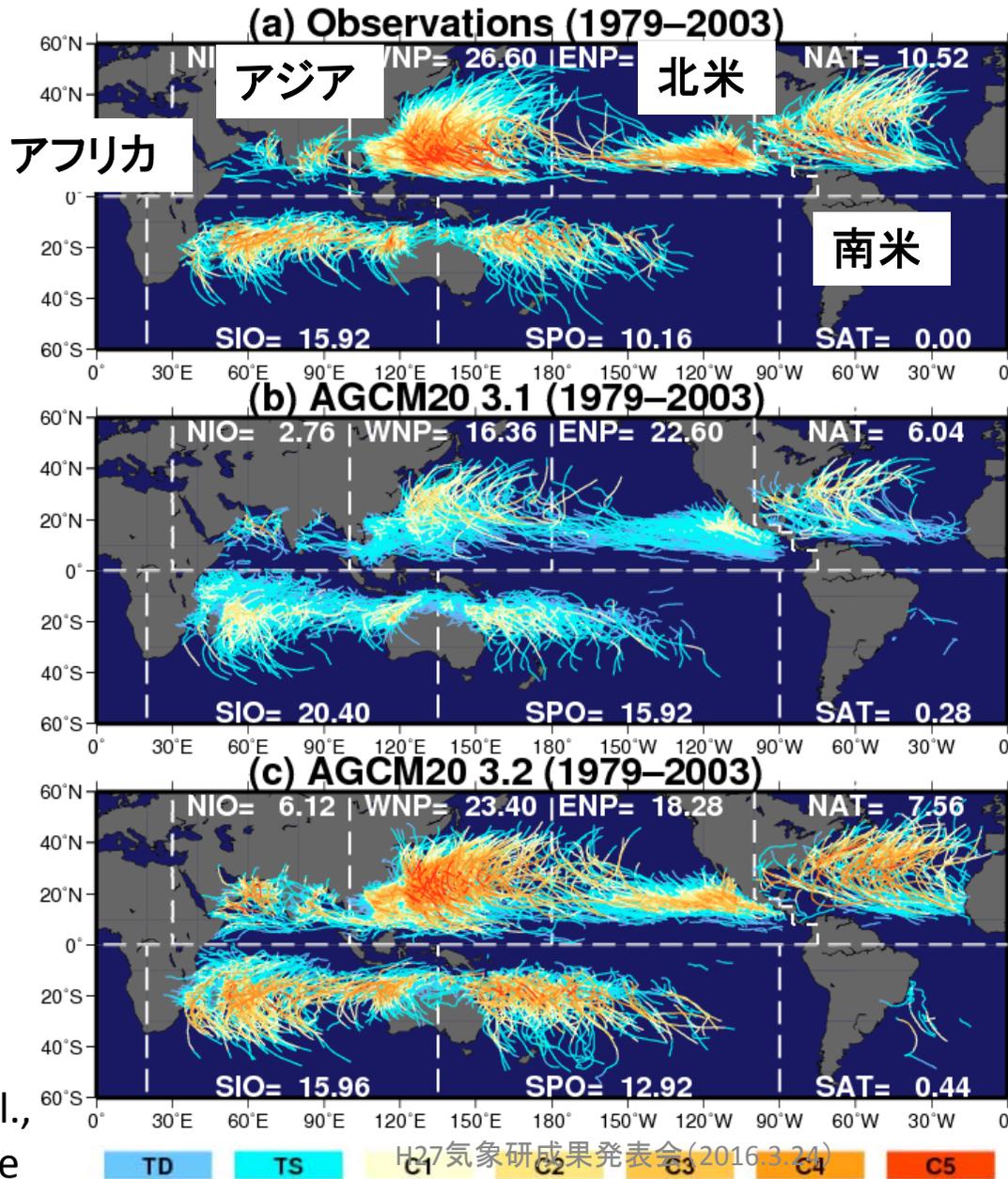


観測のトレンド
(Endo, 2011, SOLA)



高分解能モデルによる 台風の将来変化予測

熱帯低気圧の強度別分布図



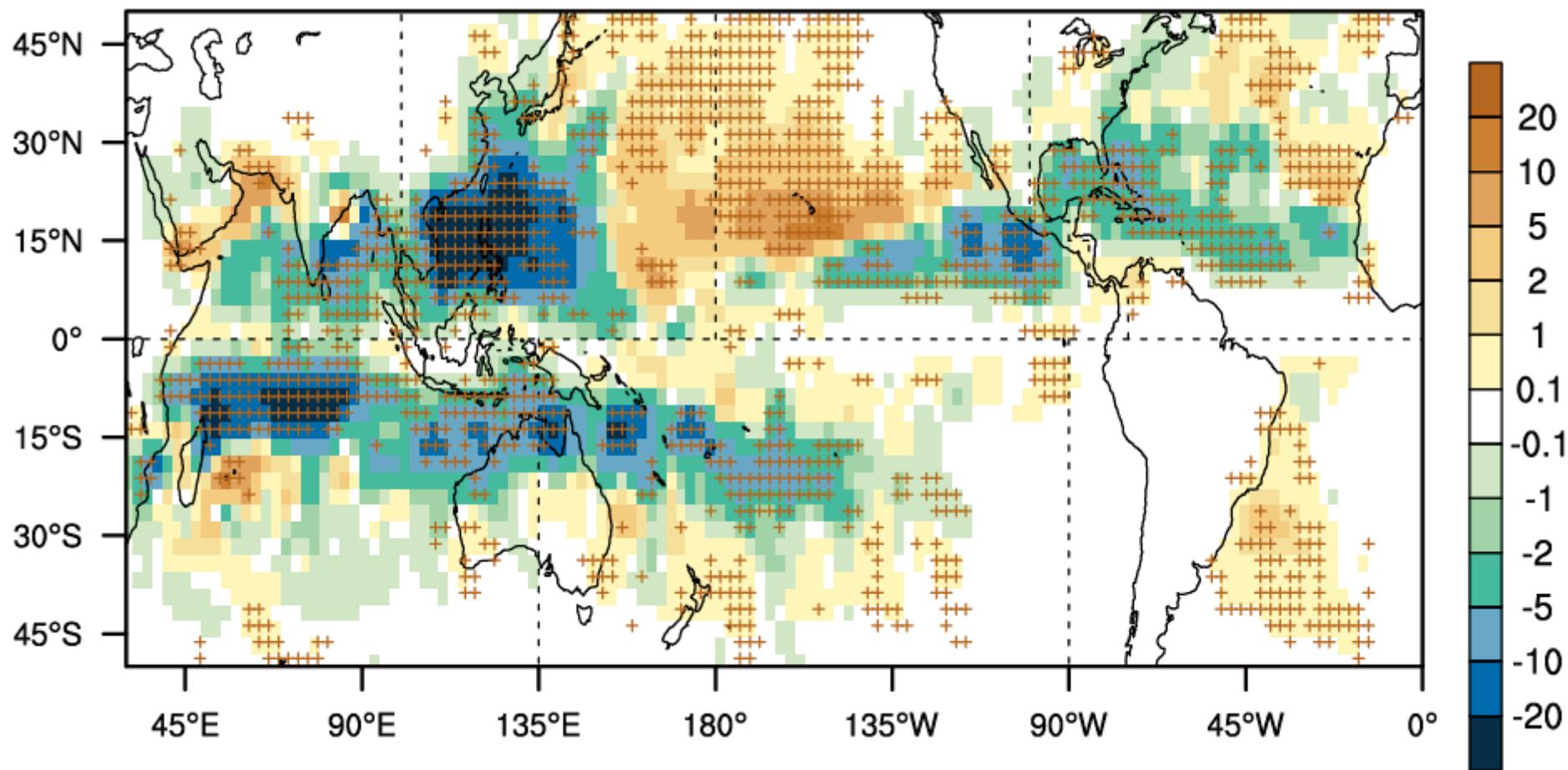
観測

TL959L60
モデル①

TL959L64
モデル②
(改良版)

Murakami et al.,
2012, J.Climate

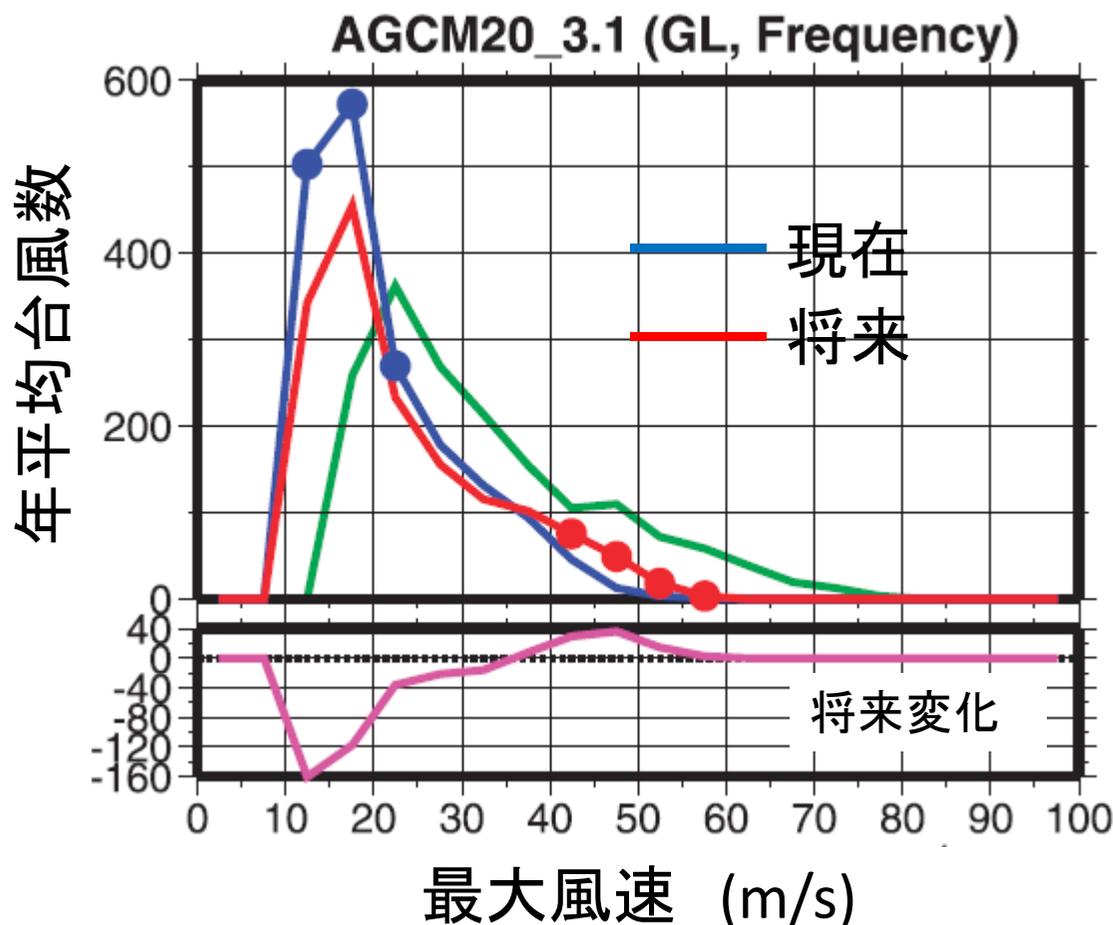
熱帯低気圧ひん度の将来変化予測



12のモデル実験の**多数決**: +は10以上の符号が一致 気象研成果発表会(2016.3.24)

強い台風が増加、弱い台風は減少 (モデル①の例)

Murakami et al.,
2012, J.Climate



台風の発生数は減るが、いったん発生すると、発達に必要な水蒸気が(気温が高いと)多いため、最大風速は強くなる

まとめ(1)

「もしほんとうに地球温暖化が起きたら」の時代から
気象研究所が果たしてきた役割

- 気候変動を危惧する世界の動きに対応して、地球温暖化予測研究を**国内で最初**に実施
- 必要なスーパーコンピュータの整備と**気候モデルの開発**
- 研究成果は**IPCC第1次評価報告書**から貢献
 - 国際的な**緩和策**へ
- 精度の高い高分解能モデルの開発と**台風や地域の将来予測**研究を実施
 - 国内外の**適応策**へ

気象庁気象研究所における

5. これからの気候変動予測研究

まだまだ残る問題

- ・ 計算機の発達とともにモデル精緻化
- ・ 少し落ち着いて解析

世界気候研究計画(WCRP)が示す
今後の気候変動予測研究の課題

(1) 雲と温暖化感度

(2) 雪氷の減少

(3) 台風・大雨など極端気候の増加

(4) 海面水位上昇の地域性

(5) 水の利便性の変化

(6) 10年スケールの気候変動予測

(+) 地域の気候変化

まとめ(2)

「地球温暖化が疑いようのない事実となった」時代から
気象研究所が果たしていく役割

- 最新の天気予報モデルに基づいた気候モデルの開発と予測実験の更新

一→雲解像モデルによる、降水と雲の詳細な表現

- 気候変動の監視・解析：予測と観測のトレンドが一致すれば、信頼度は急上昇。

- メカニズム研究による予測の定性的な理解と説明

地球温暖化はこれから本格化？ (IPCC 2013)

