



A④課題 (A④\_04)

## 全球雲解像モデルによる 雲降水システムの気候予測精度向上

サブ課題4代表

佐藤正樹 (海洋研究開発機構)

2011年度成果発表会

一橋記念講堂 (千代田区)

2012年2月28日



# 全球雲解像モデルとは

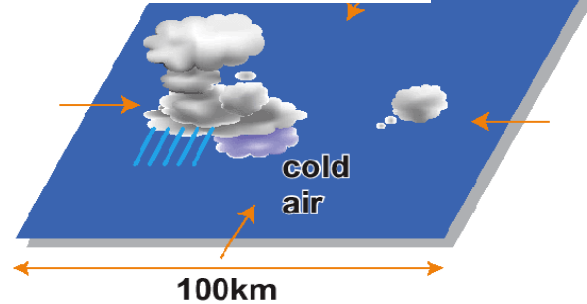
## ■モデル名: NICAM 非静力正20面体格子大気モデル

- ◆ 全球を数kmメッシュで覆い、地球全体の「雲」を解像する
- ◆ 地球シミュレータを有する日本が世界に先駆けて開発

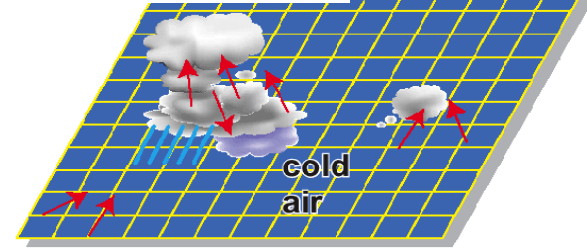
## ■期待される成果

- ◆ 気候場の改善と台風の地理分布の再現性の向上
- ◆ 温暖化による熱帯低気圧の強度や数の変化、擾乱(MJO/偏東風波動など)の変化
- ◆ 将来、雲が増えるか減るか
- ◆ 物理過程高度化: 2モーメントスキーム, エアロゾル効果

## 従来型気候予測モデル

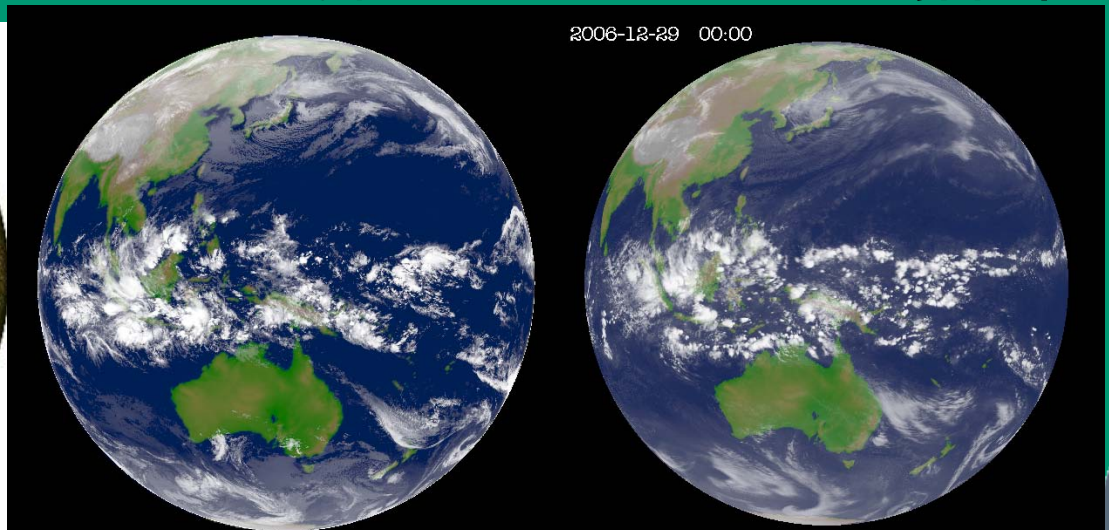


## 全球雲解像モデル



静止気象衛星

NICAMによる計算結果



# NICAMによる台風の将来変化予測

現在気候: 2004年6-10月

将来気候: 20xx年 (2070-99の平均気候値) 5-10月

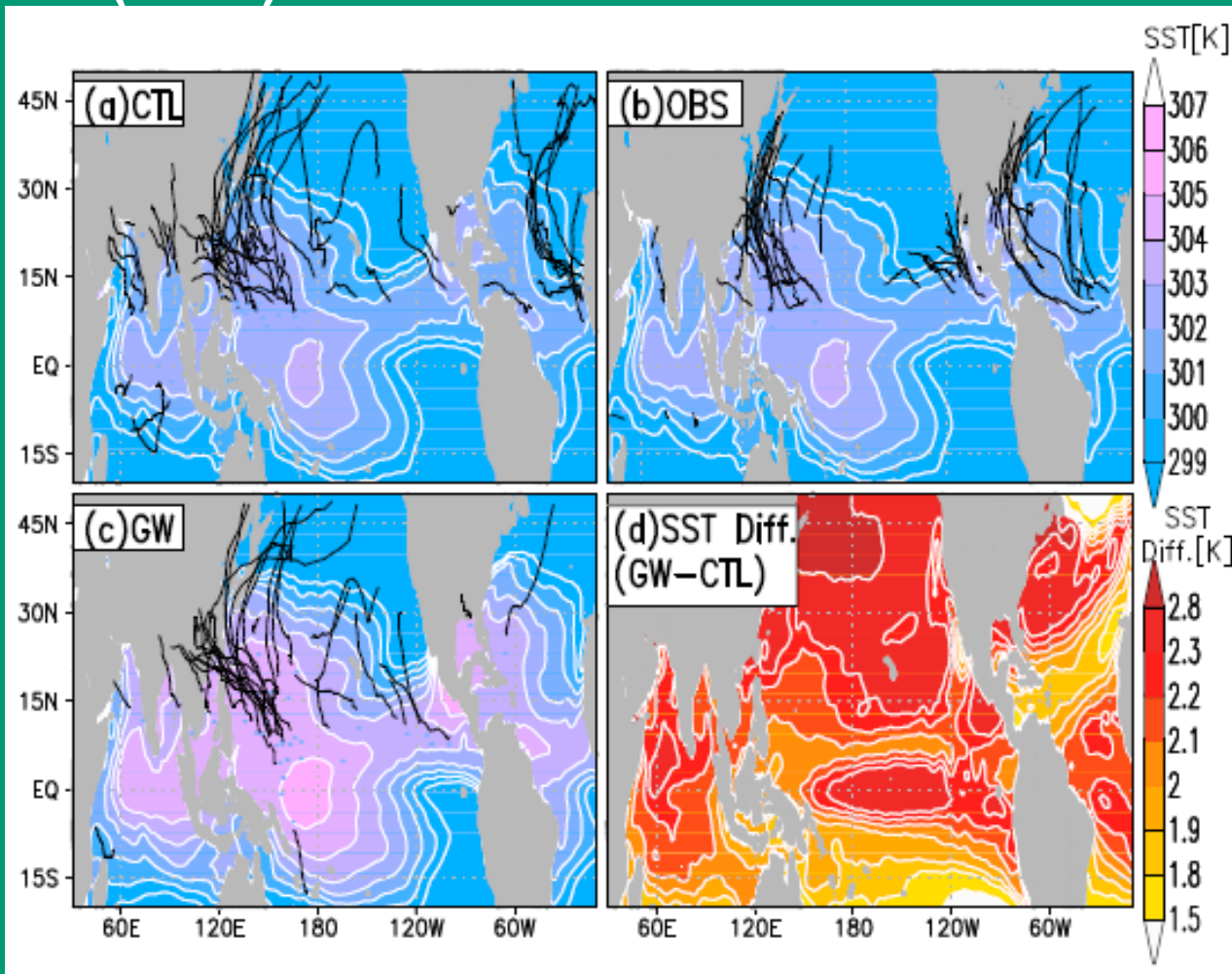
GI9 (14km)

**Fewer, taller, fiercer**  
(Nature highlight, 2010)

**NICAMのメリット**

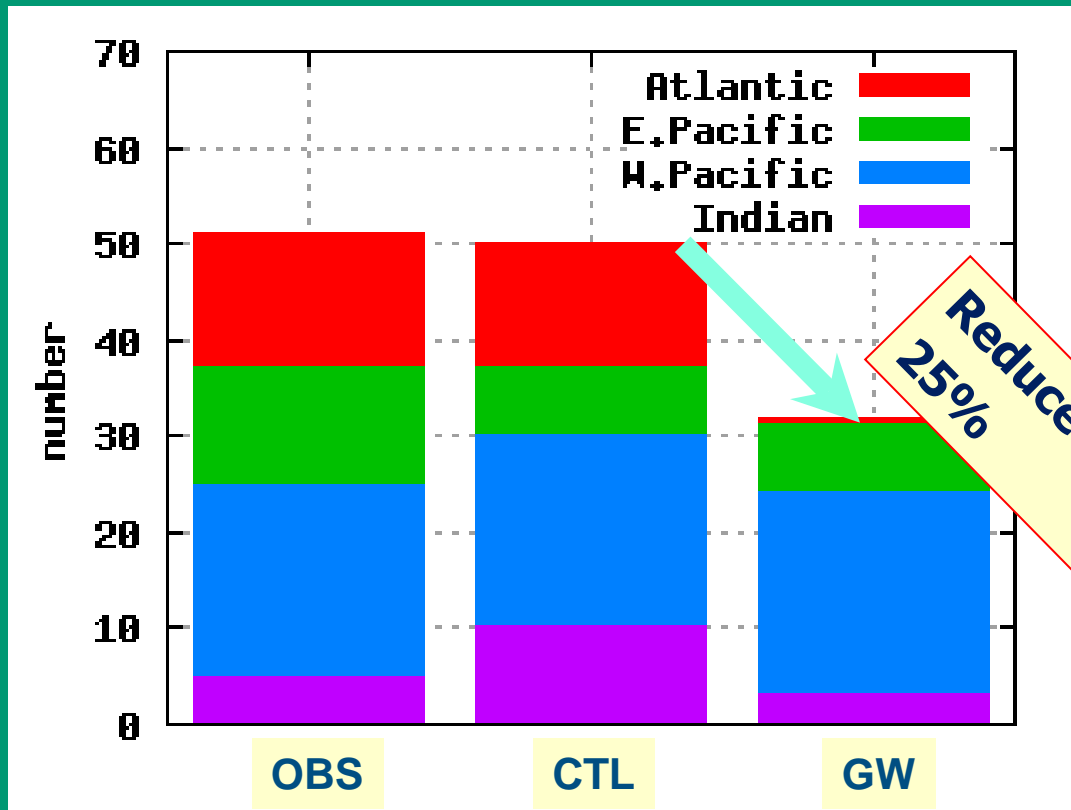
台風の閾値に人為的な調整をしなくとも現実的な個数を得る (17.5 m/s)

西太平洋で観測に対応する台風トラックを得ている



# 熱帯低気圧の発生数比較

6-10月



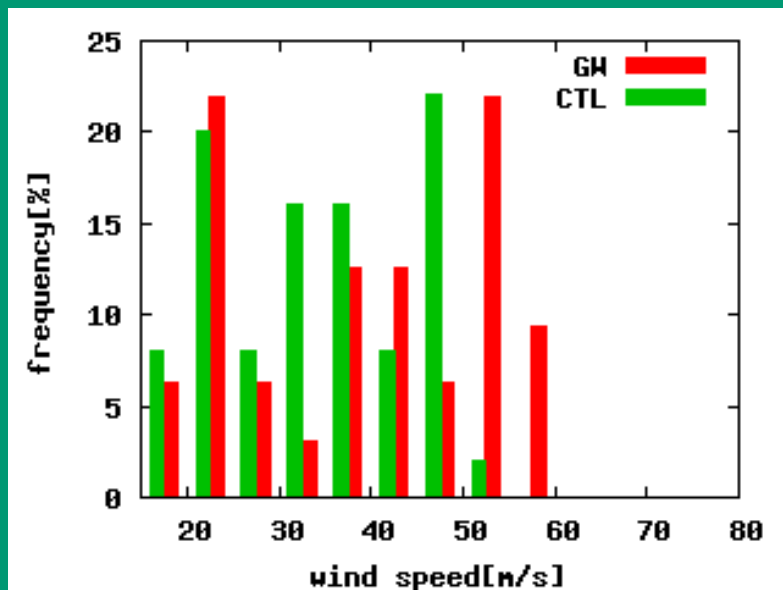
basin	Indian	western Pacific	eastern Pacific	Atlantic	Globe
range	30E-100E	100E-180	180-90W	90W-0	-----
OBS	5	20	12	14	51
CTL	10	20	7	13	50
GW	3	21	7	1	32



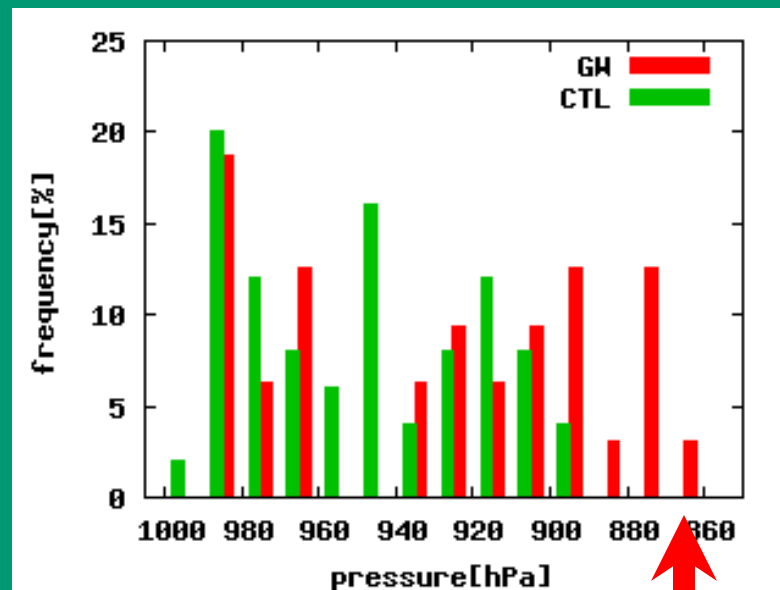
# 熱帯低気圧の強度変化

6-10月

## 最大風速



## 最低気圧

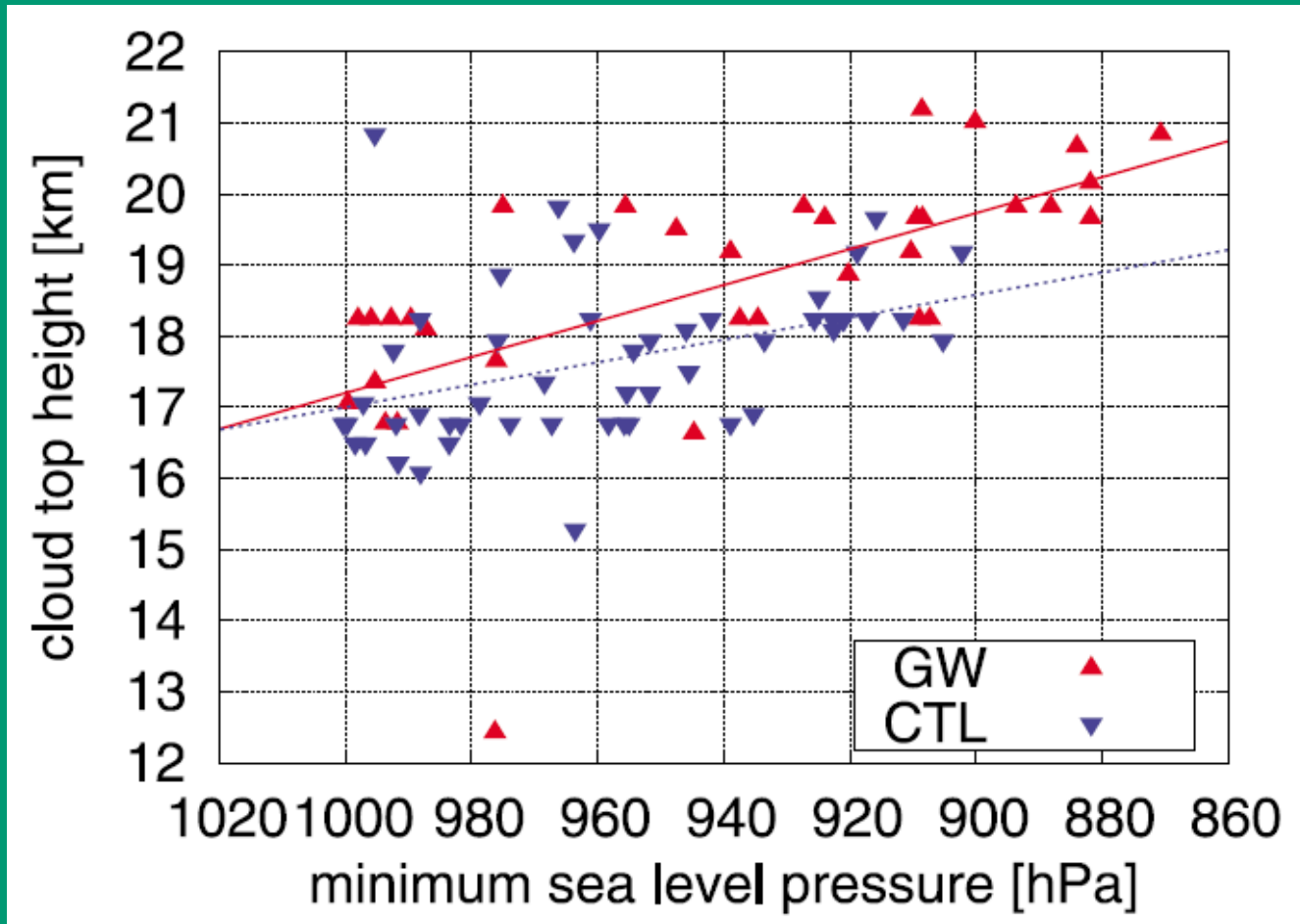


The most intense TC: 871 hPa

Under the global warming climate condition,  
intense tropical cyclone increases.



# 温暖化による台風の構造変化



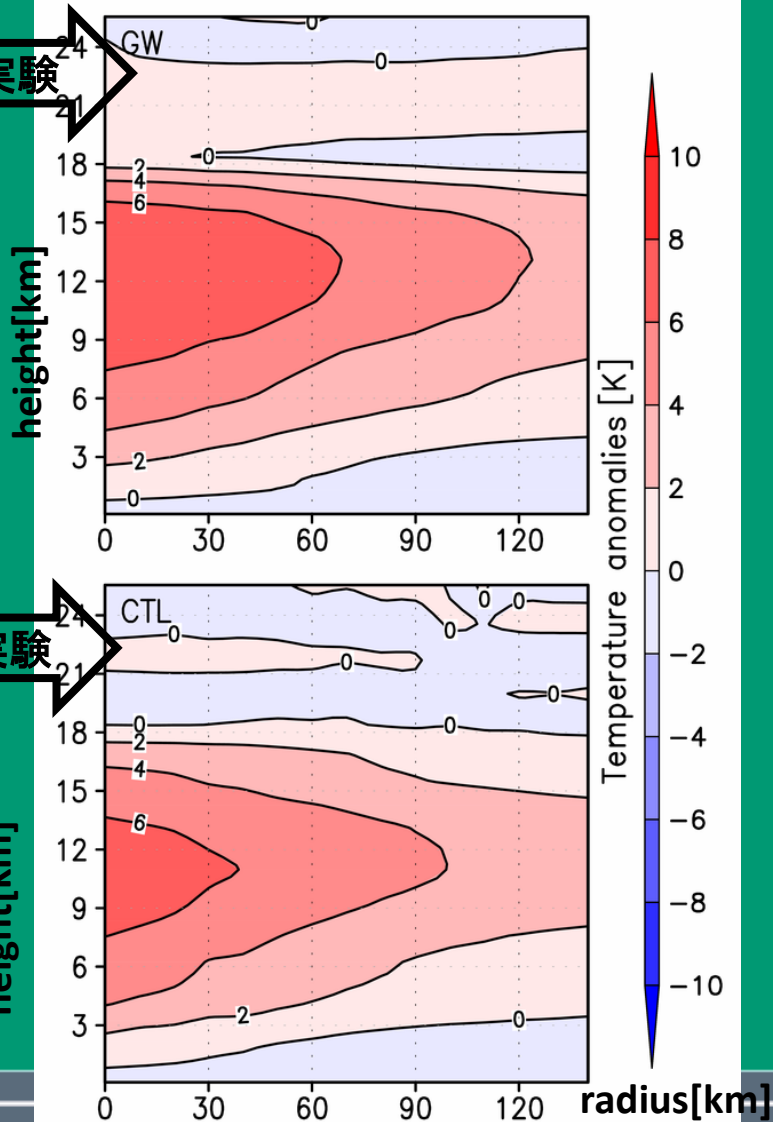
温暖化条件では、壁雲の高度の地表面気圧依存性が強くなる傾向がある



# 温暖化による台風の構造変化

14km mesh 5か月実験：現在実験/将来実験  
熱帯低気圧中心付近の温度偏差全ケースのコンポジット

将来実験



現在実験

カテゴリー	最盛期の中心気圧	観測	現在実験	将来実験
1	980hPa以上	21	20	15
2	965-979hPa	3	7	0
3	945-964hPa	10	11	3
4	920-944hPa	10	11	5
5	920hPa未満	3	6	11

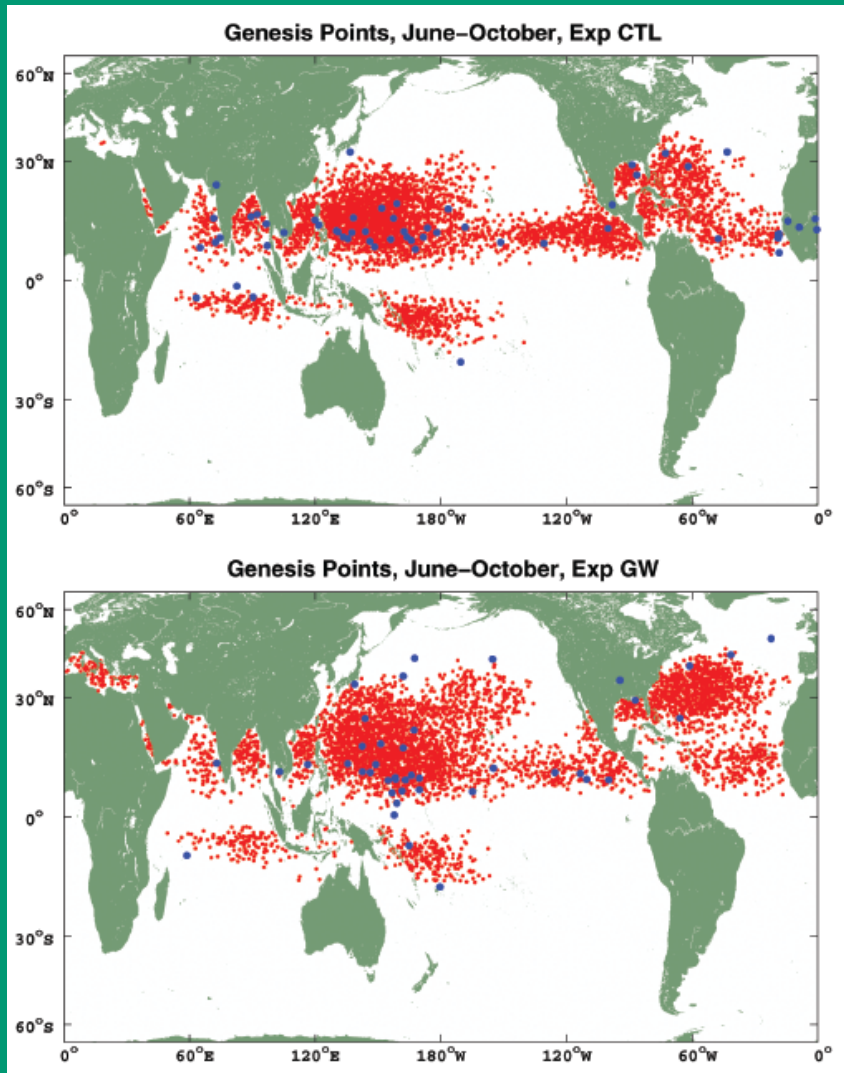
温度偏差の強い部分は将来の方が広域にわたる  
ただし強度の分布が異なるため単純に比較できない  
> 強度に分けた比較が必要

データ: Yamada et al. (2010)

Next Generation Climate Model



# 温暖化による熱帯低気圧の発生位置の変化



Emanuel, Oouchi, Satoh, Tomita and Yamada, 2010: Comparison of Explicitly Simulated and Downscaled Tropical Cyclone Activity in a High-Resolution Global Climate Model. *J. Adv. Model. Earth Syst.*, Vol. 2, Art. #9, 9 pp.

Blue: 全球非静力学モデルNICAMで計算された現在気候、および100年後の発生位置  
Red: ダウンスケールモデルで計算された位置





# 雲特性の検証と雲の将来変化

## 概要

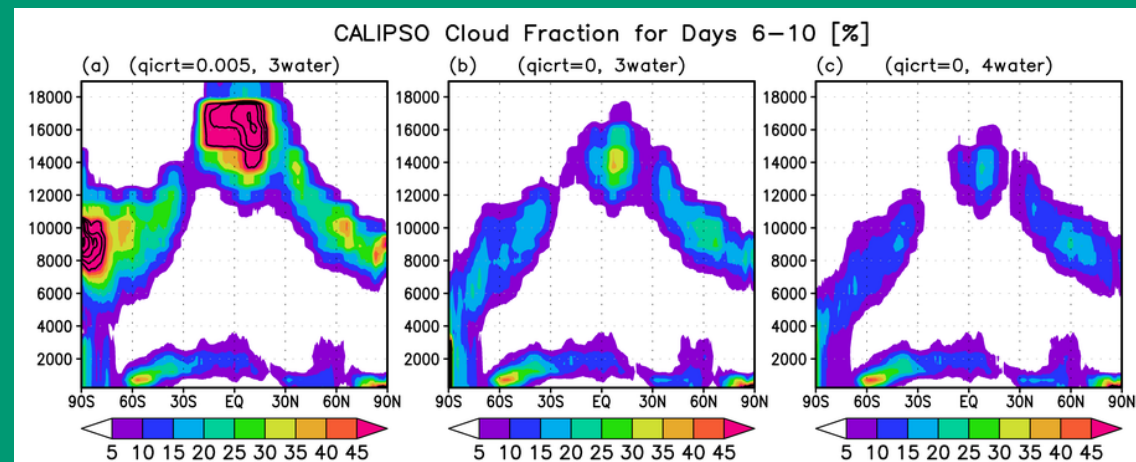
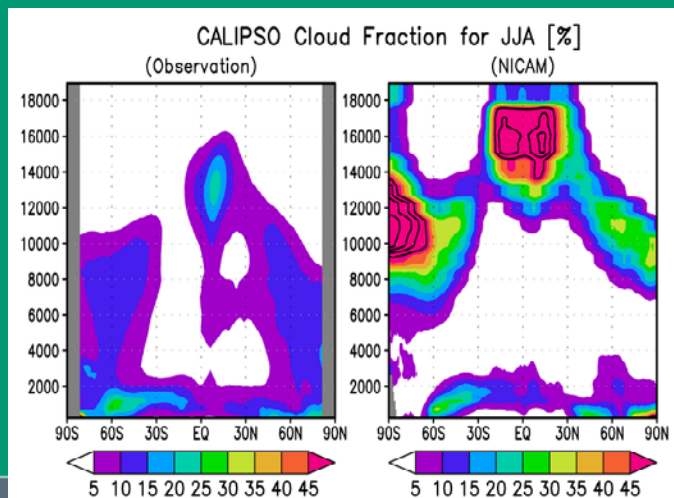
NICAMでは温暖化すると上層雲の面積が増加、雲氷の減少  
invisible clouds がvisible(薄い巻雲)になる  
雲氷の減少は、循環の弱化による

Iga et al.(2011,JCLI)

Satoh, M. et al.(2012,JCLI)

ISCCP雲量は観測的であったが、CALIPSO雲量が過剰であった  
雲物理の改良: 薄雲が検知できるCALIPSOによる検証

Kodama et al.(2011,submitted)



# 高度別ISCCP雲量 [%] (6~8月平均)

現在気候

将来変化

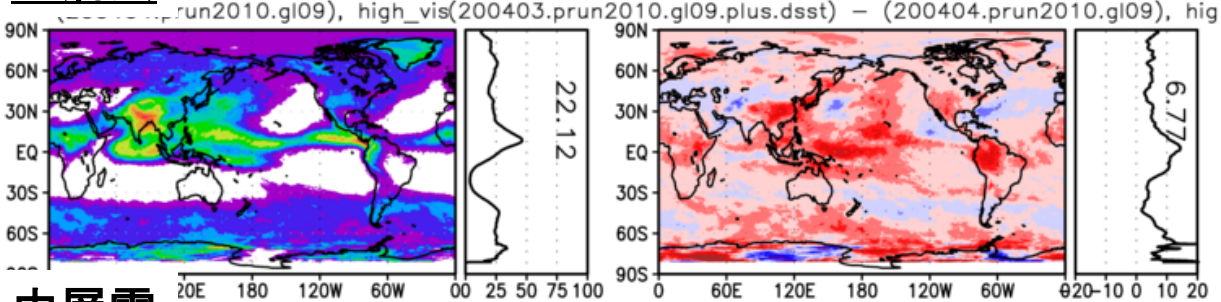
将来変化

雲頂高度

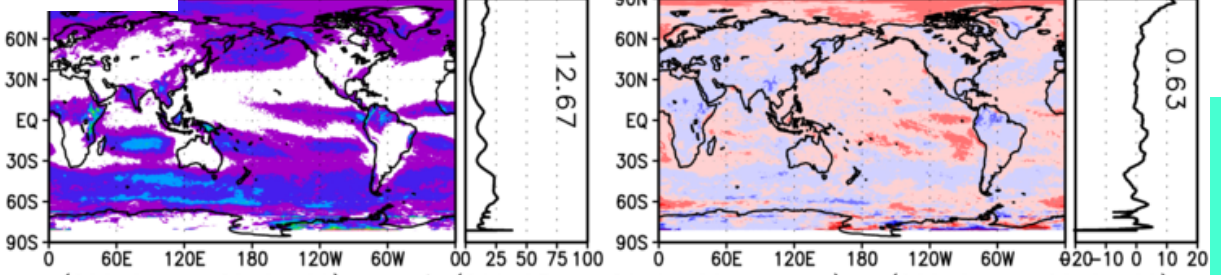
雲の厚さ

上層雲

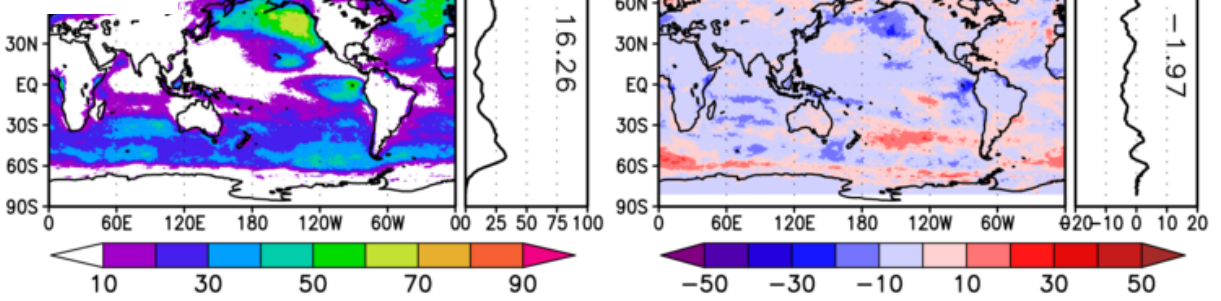
Cloud Fraction for 01jun2004 <= time < 01sep2004 [%]



中層雲



下層雲



ISCCP Cloud Fraction Diff [%] for JJA  
03.new\_prun2010(gw)) - (200404.new\_prun2010

	-2.54	+3.71	+1.28	+0.34	+0.14	+0.12	+0.10				
High	-1.69	-0.51	-0.06	+0.26	+0.43	+0.30	+0.14				
	-0.19	-0.12	-0.04	+0.13	+0.32	+0.17	+0.07				
Midalt	-0.19	-0.21	-0.07	+0.06	+0.32	+0.14	+0.02				
	-0.22	-0.28	-0.14	+0.20	+0.53	+0.07	-0.01				
Low	-0.14	-0.31	-0.23	-0.13	-0.25	-0.19	-0.02				
	-0.04	-0.09	-0.06	-0.15	-0.49	-0.06	-0.00				
	Invis	Thin	Medium	Thick							
	-2.5	-2	-1.5	-1	-0.5	0	0.5	1	1.5	2	2.5

折れ線: 東西平均、数値 : 全球平均

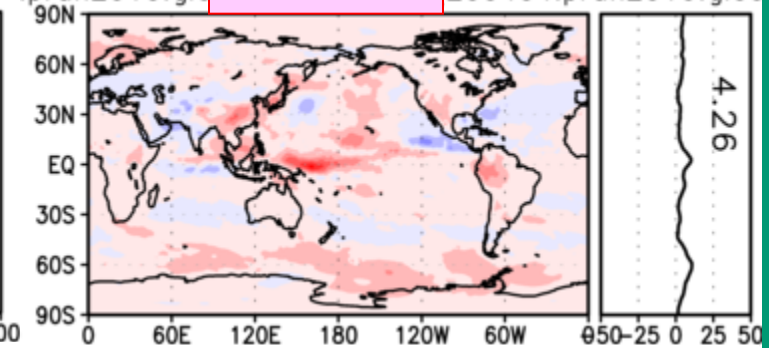
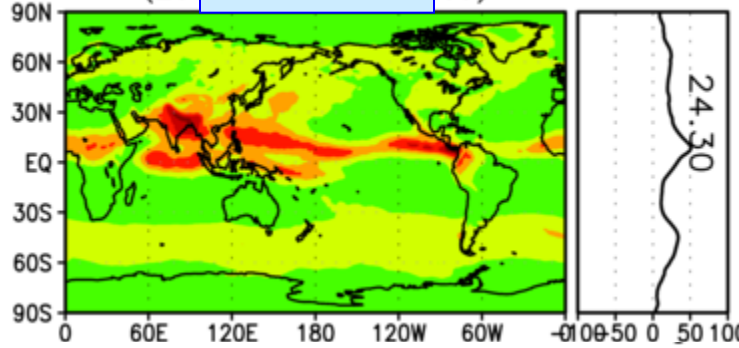


# 雲放射強制力 [W/m<sup>2</sup>] (6~8月)

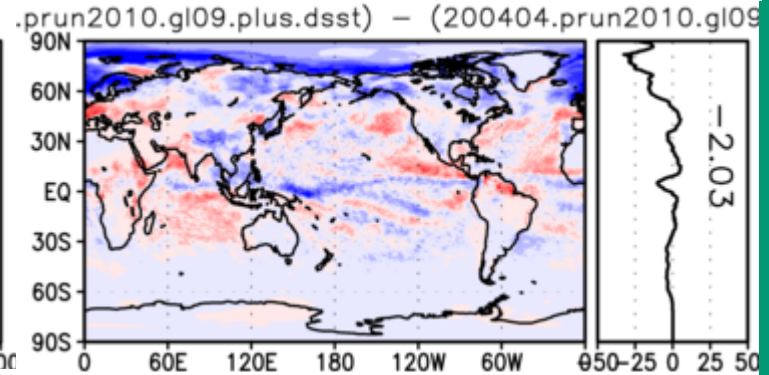
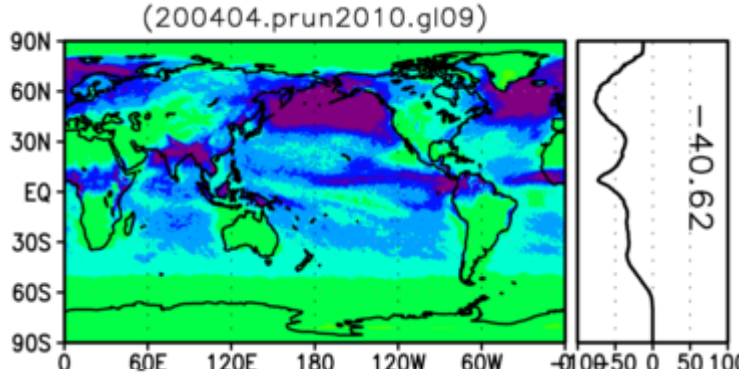
現在気候

将来変化

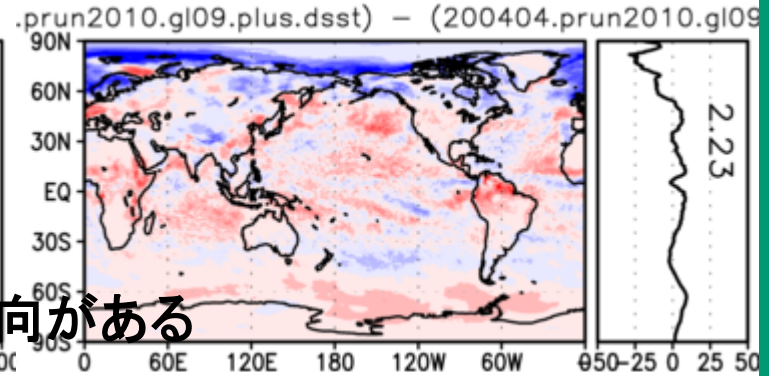
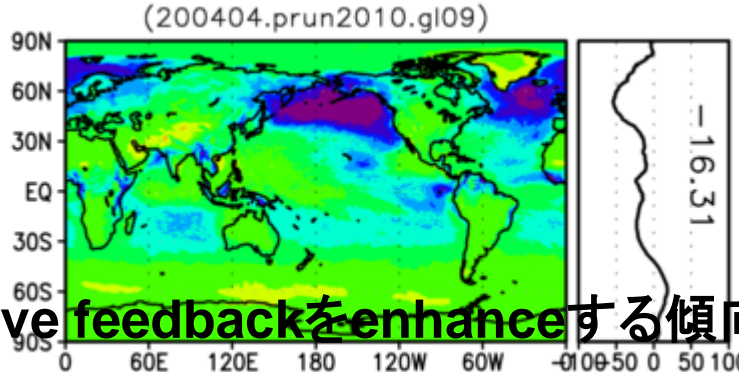
長波



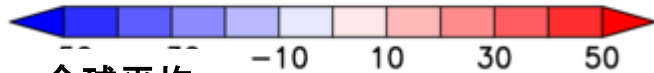
短波



正味



Positive feedbackをenhanceする傾向がある



折れ線: 東西平均、数値 : 全球平均

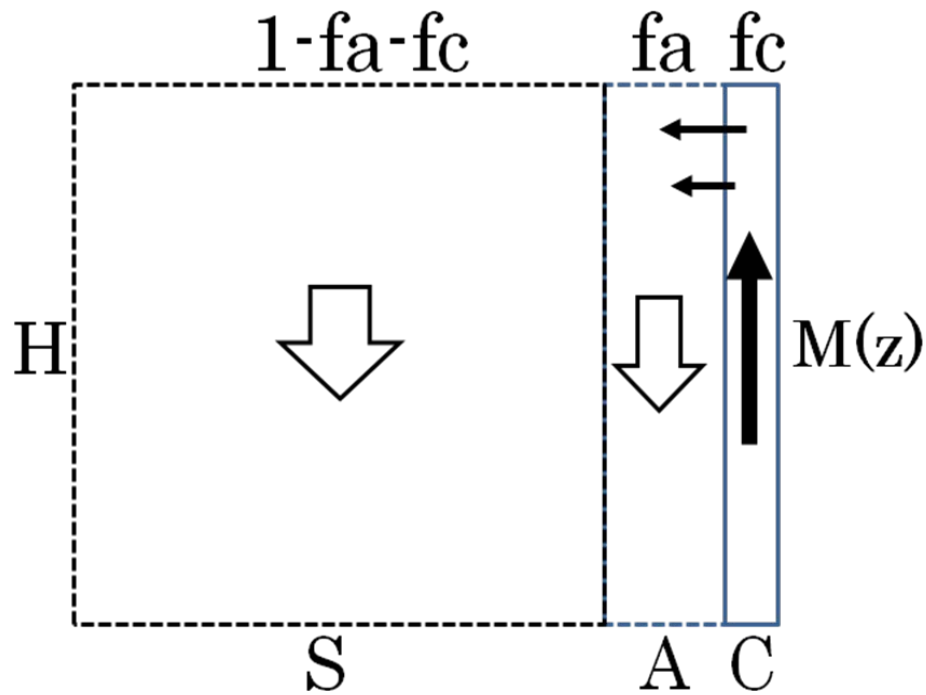


# コラムモデルによる解釈

雲氷の変化要因:

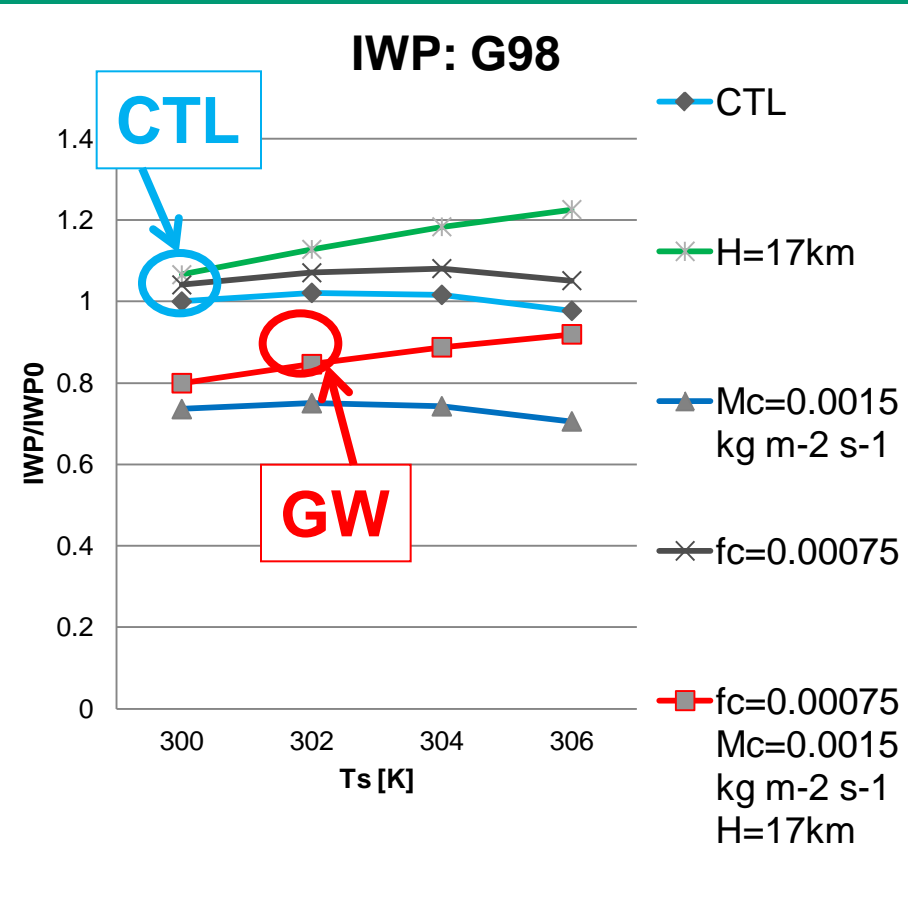
圏界面の上昇, Melting levelの上昇

雲微物理の温度依存性, 循環の弱体化



$$M(z) = M_0 \sin(z/H) \quad M_0 = 0.002 \text{ kg/m}^2 \text{ s}$$

$$H = 15 \text{ km}, \quad f_c = 0.001, \quad f_a = 0.2$$



Satoh et al.(2012,JCLI)

Next Generation Climate Model

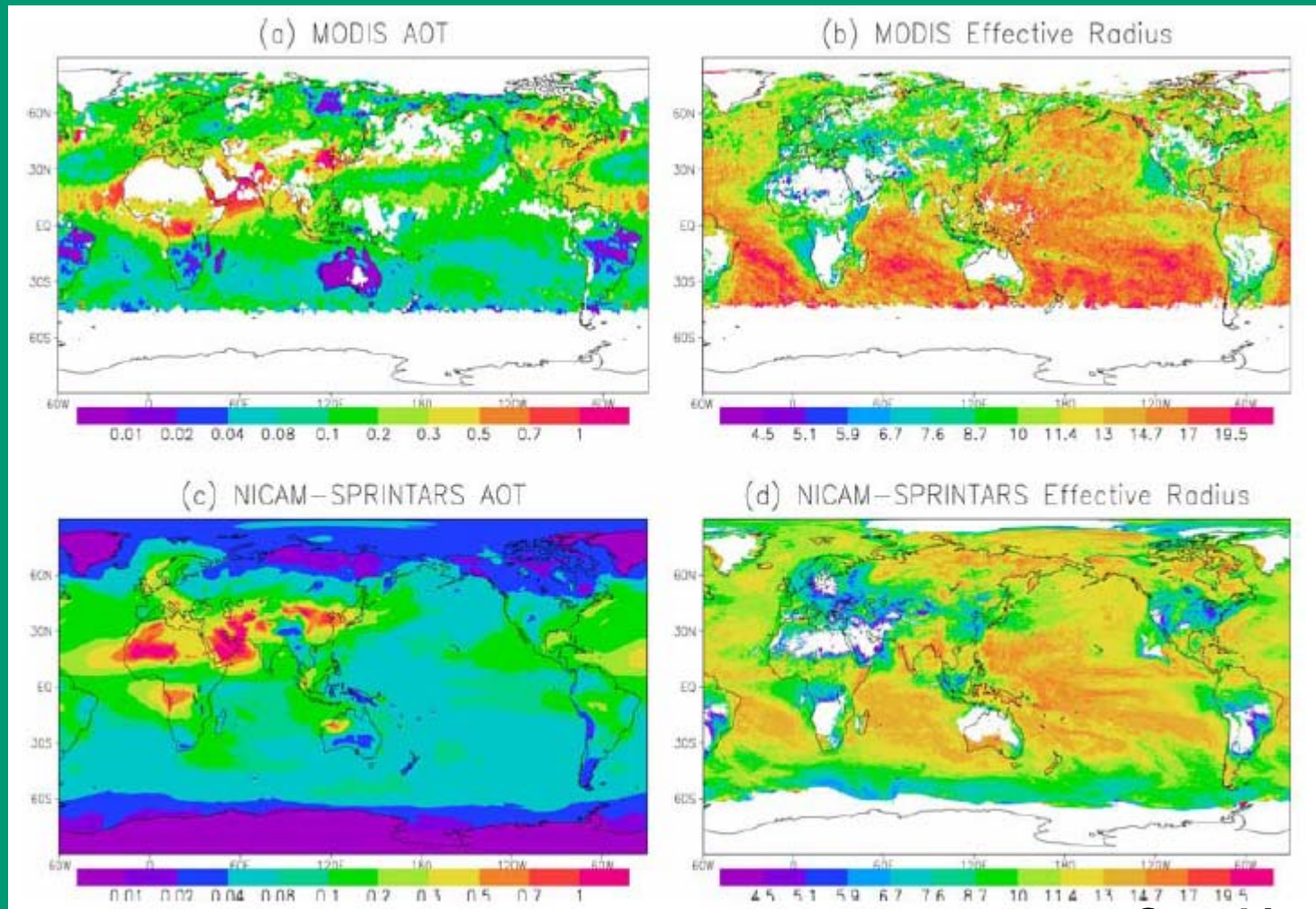


# 雲微物理スキーム開発

**double moment, aerosol coupling**  
**NICAM-SPRINTARS**



# 暖かい雲へのエアロゾルの影響

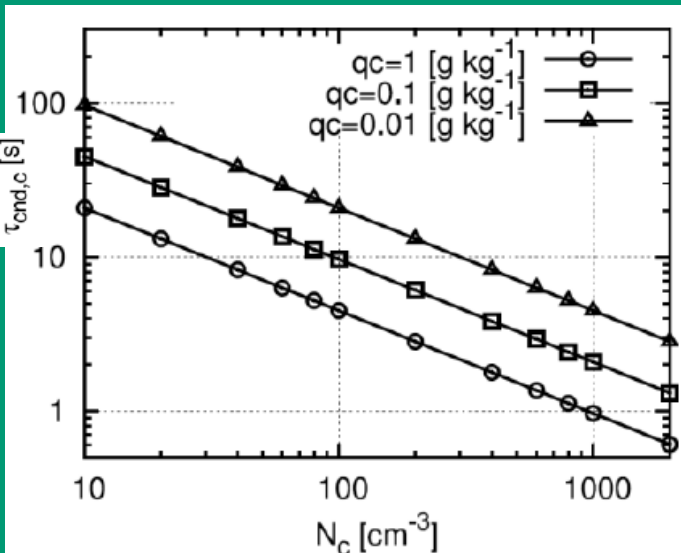


Suzuki et al. (2007)

エアロゾルは雲核形成を通して、雲の成長に地域差を生じさせる。  
大陸上や都市沿岸部ではエアロゾル=凝結核数が多い為に、雲の有効半径は小さい  
→エアロゾル間接効果によって惑星アルベドが上昇(アルベド効果+寿命効果)

# 冷たい雲へのエアロゾルの影響

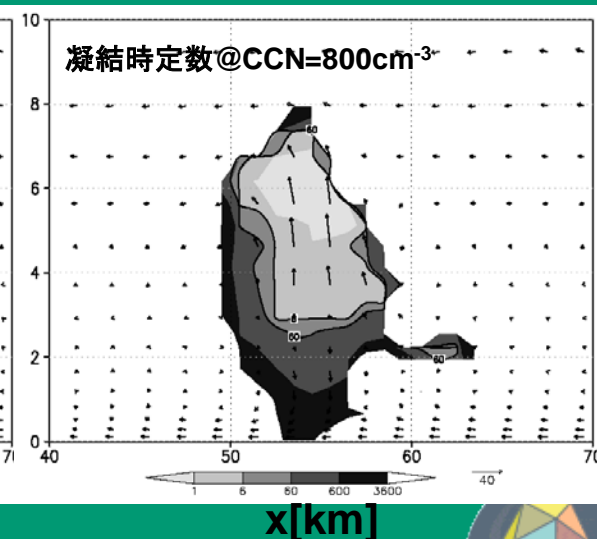
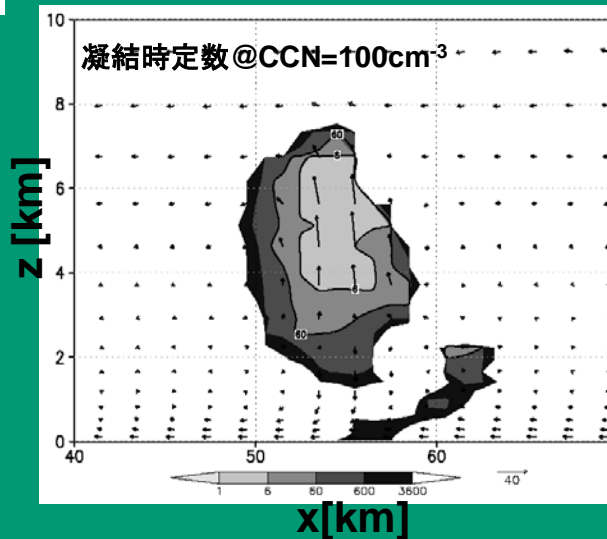
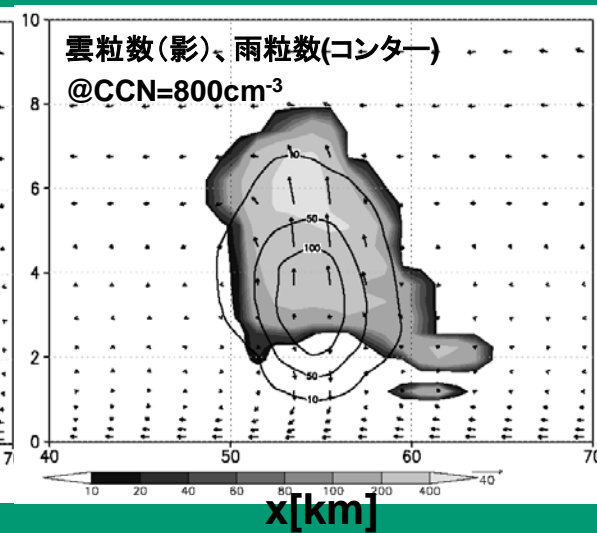
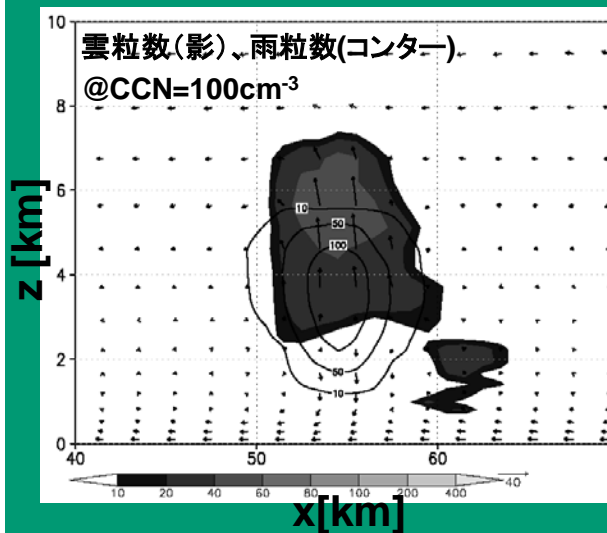
(凝結成長効果; Seiki and Nakajima, 2012)



凝結成長のtimescaleは  
雲粒個数に反比例

$$\tau_{cond,c} \equiv \left\{ \frac{1}{\rho q_{vs}} 2\pi G_{liq} D_c(\bar{x}_c) F_{wa}(\bar{x}_c) N_c \right\}^{-1}$$

Aerosolが多い → 凝結・蒸発が多い  
 → 潜熱が対流活動を活発化  
 → 氷雲を多く形成する

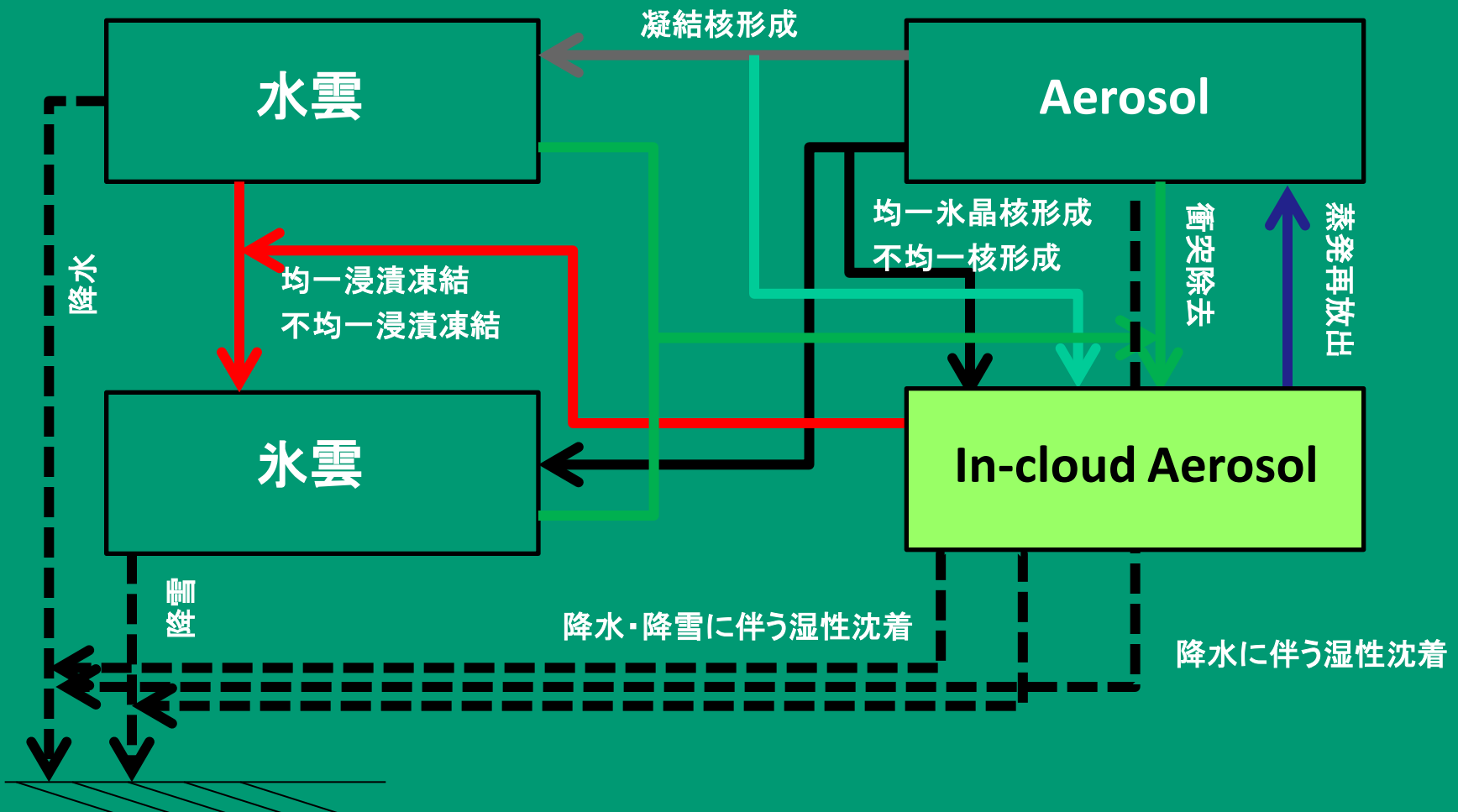


雲粒数を予報する事で、エアロゾルによる凝結核数密度変化の影響を評価可能

Model



# 雲・エアロゾル相互作用の精緻化



従来のエアロゾル間接効果の見積もり(by IPCC)は水雲とエアロゾルの相互作用のみ

Aerosolに加え、新たにIn-cloud Aerosolを予報 (従来はIn-cloud ratioを固定)

氷晶核形成・凝結核形成・衝突除去・重力落下の計算の精緻化

凍結過程の理論的定式化

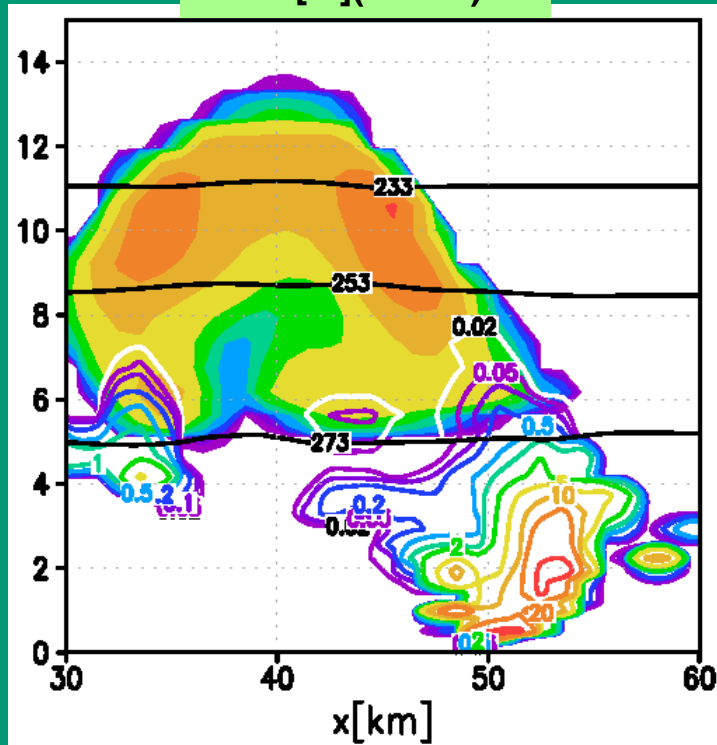
エアロゾル再蒸発によって、対流圏上部・中部へのエアロゾルの効率的な輸送





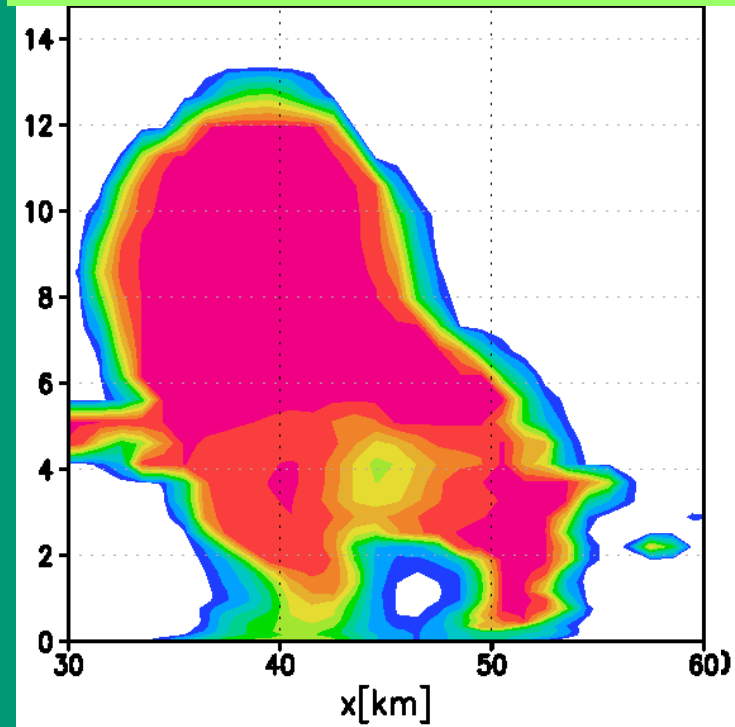
# 雲・エアロゾルの鉛直分布

NC [cm<sup>-3</sup>](contour)  
NI [l<sup>-1</sup>](shade)



In-cloud Ratio

(In-cloud Aerosol/Total Aerosol)



- ◆ 対流雲内部ではエアロゾルがほぼ全て雲粒内に取り込まれている  
In-cloud ratio (by cloud) ~ 1 (e.g., ratio=0.3 in a climate model)
- ◆ Anvil下における雨による湿性沈着は半分以上が雨粒内に取り込まれている  
In-cloud ratio (by rain) = 0.5 ~ 0.7
- ◆ GCMの対流性の雲・降水過程によるエアロゾル輸送・再分配のparameterizationへ

# まとめ

## ■ 気候場の再現性

- ◆ 熱帯低気圧の強度、構造、季節内振動(MJO)
- ◆ 降水分布のバイアスの改善が課題
- ◆ 衛星データを利用した雲降水の再現性の検証: 衛星シミュレータの利用

## ■ 熱帯低気圧の将来変化

- ◆ 熱帯低気圧の強度が強くなり、発生数が減少
- ◆ 熱帯低気圧の構造変化の議論が可能

## ■ 雲と降水

- ◆ 温暖化条件では、IWPが減って、上層雲が増える
- ◆ 正のフィードバックの要因になり得る
- ◆ 上層雲増大のメカニズム
  - ・ 質量フラックスの減少効果がIWPの減少にきく

## ■ モデルの高度化

- ◆ 雲微物理過程の開発: 2モーメントスキーム、エアロゾル結合
- ◆ サブグリッド対流、乱流スキーム、放射スキーム

