



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)

2009年度成果発表会

国立オリンピック記念青少年総合センター(代々木)

2010年1月13日



本課題の目的

全球雲解像モデルを用いて 雲降水システムの気候予測に関する不確定性を低減

■ 手法

- ◆ 全球雲解像モデルにより出来るだけ長期の積分(3ヶ月～数年)を行い、気候場を得る。
- ◆ 全球雲解像モデル自体の信頼性向上
 - 実験→結果の検証→モデルの改良(サイクルの確立)
- ◆ 従来型大気大循環モデルとの比較・連携

■ 期待される成果

- ◆ 雲降水システム分布・時間変動のより現実的な再現
- ◆ 台風の発生・発達の実現・予測精度の向上
- ◆ 気候感度予測精度の向上



全球雲解像モデルとは

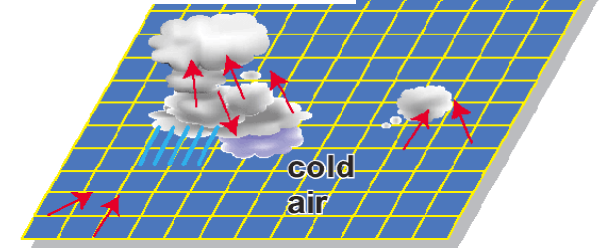
- モデル名: NICAM 非静力正20面体格子大気モデル
- 全球を数kmメッシュで覆い、地球全体の「雲」を解像する
- 地球シミュレータを有する日本が世界に先駆けて開発
- 次世代スーパーコンピュータで本格的に利用

熱帯擾乱のマルチスケール構造、季節内変動(MJO)、
熱帯低気圧の再現性の向上

従来型気候予測モデル

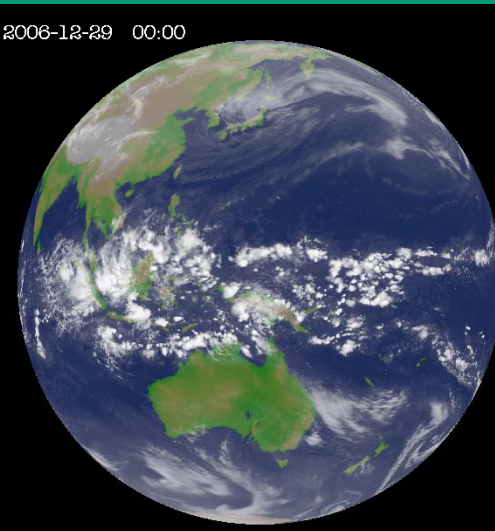
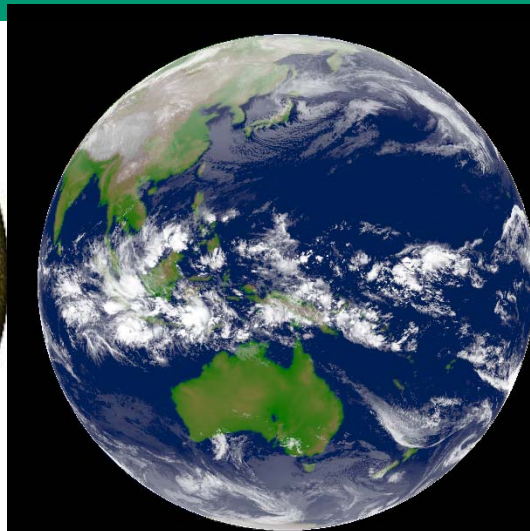


全球雲解像モデル



静止気象衛星

NICAMによる計算結果



計画概要

■ 研究1－3年目：モデルの改良

- ◆ 3ヶ月～年程度の全球雲解像モデルによる数値積分
- ◆ 全球雲解像実験データを観測データと比較し検証
- ◆ モデルの物理過程の改良

■ 研究3－5年目：プロダクト実験

- ◆ 改良した全球雲解像モデルを用いて、温暖化時を想定した実験を行い、気候感度を調べる。
 - 現在気候における再現性の向上
 - 将来、雲が増えるか減るか
 - 熱帯低気圧の強度や数の変化
- ◆ 数値実験の実施 => 計算結果の評価 => モデルの改良の新サイクルへ



平成21年度の計画

- 改良を進めた新しい物理過程による全球雲解像モデルを用いて、数か月程度の積分、温暖化を想定した実験を実施し、雲の変化について調べる
- 得られた数値データの雲降水過程の再現性について解析
- 衛星センサーシミュレータを利用した計算結果の検証

実行中の実験

◆ 2004年季節進行実験

- ◆ 6-10月の5ヶ月間: $dx=14\text{km}$
- ◆ 6月-: $dx=7\text{km}$
- ◆ エルニーニョかつ台風多い年
- ◆ 現在気候の1サンプル

◆ 2070-99年平均温暖化想定実験

- 6-10月の5ヶ月間: $dx=14\text{km}$
- AR4アンサンブル平均条件
- エルニーニョ的SST変化
- 現在気候との比較

◆ 水惑星実験

- CMIP5-Tier 1, clouds diagnostics
- 観測的なSST分布 Qobs
- +4K実験
- 波数1実験
- 3か月積分: $dx=14\text{km}$



物理過程の改良

■ 旧物理過程

- ◆ 雲微物理過程: Grabowski(1998) 水物質の予報変数3, 氷過程
- ◆ 境界層過程: 部分雲を含むMYNN2
- ◆ 放射過程: CO2倍増条件に対応するMSTRNX-AR5
- ◆ 陸面過程: バケツ
- ◆ 海洋過程: SST固定

■ 新物理過程

- ◆ 雲微物理過程: 水物質6カテゴリーsingle-momentスキーム(NSW6)
- ◆ 境界層過程: 同上
- ◆ 放射過程: 同上
- ◆ 陸面過程: MATSIRO
- ◆ 海洋過程: slab ocean model

■ さらなる物理過程の改良

- ◆ 雲微物理: two-momentスキームなどのさらなる精緻化に対するインパクト
- ◆ 境界層過程: MYNN2.5
- ◆ バイアス低減のための改良: 雲微物理スキームの調整、海面混合層モデル、サブグリッド対流の検討



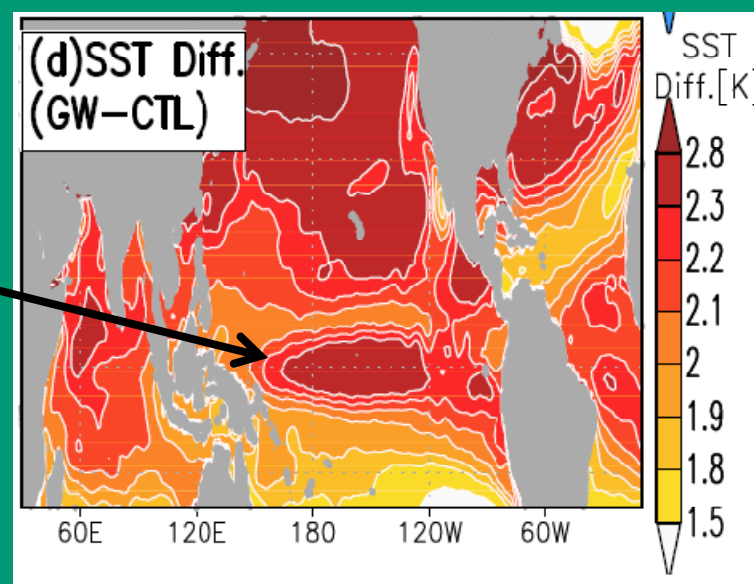
現在気候、将来気候：季節進行実験

■ 水平解像度：14kmで5ヶ月(JJASO)ラン

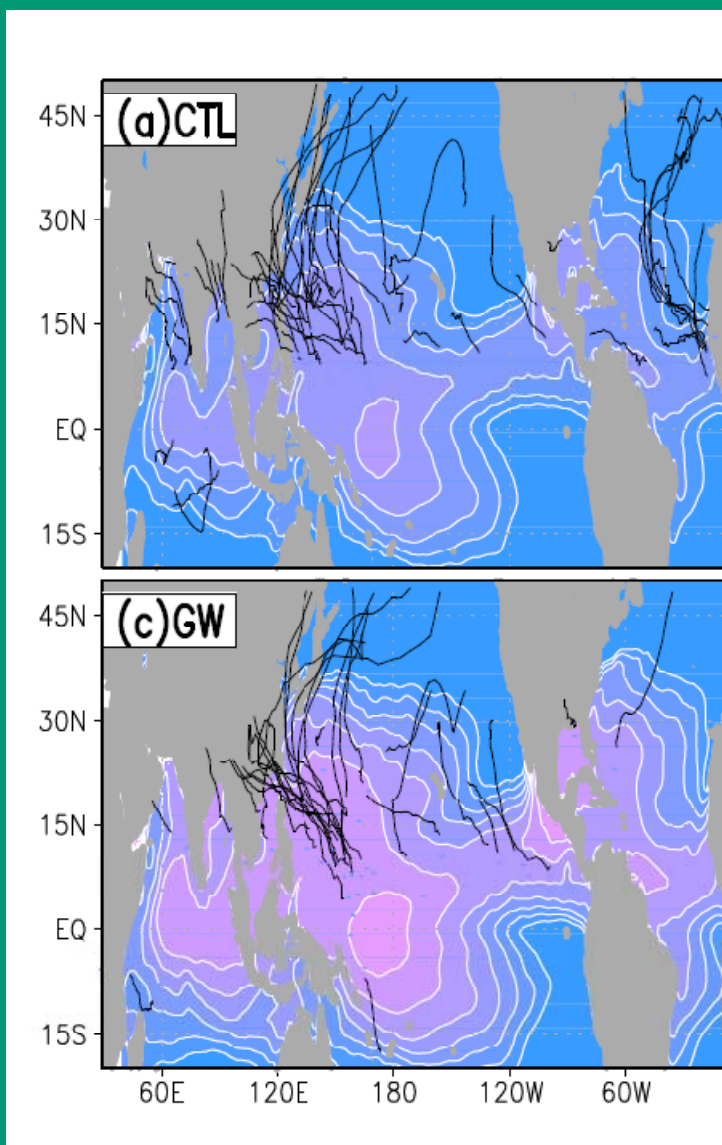
◆ コントロールラン(2004年)

◆ 温暖化想定ラン：2070-2099年の平均

- CMIP3(A1Bシナリオ)の平均SSTより
 - (将来) – (現在)の Δ SSTを2004年に上乗せして作成
- 海氷は、Mizuta et al.(2008)に従い作成
- CO2倍増
- Δ SSTの分布は
El Niño型のSST強制



熱帯低気圧トラックの変化



■ コントロールラン(CTL)

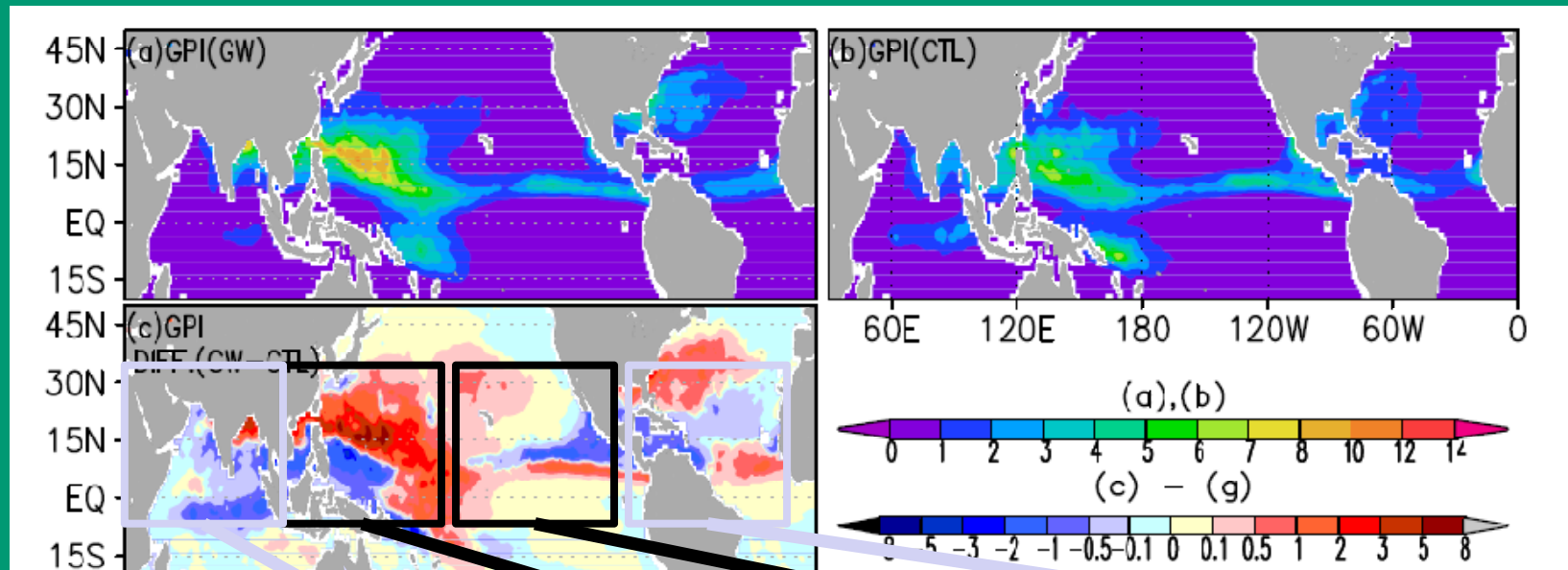
- ◆ 既存の気候モデルで課題だった西太平洋での熱帯低気圧が良く表現

■ 温暖化想定ラン(GW)

- ◆ インド洋と大西洋では減少
- ◆ 北大西洋西部では極端な減少
 - El Niño型のSST強制によるWalker循環の変化への応答



Genesis Potential Index (GPI) の変化



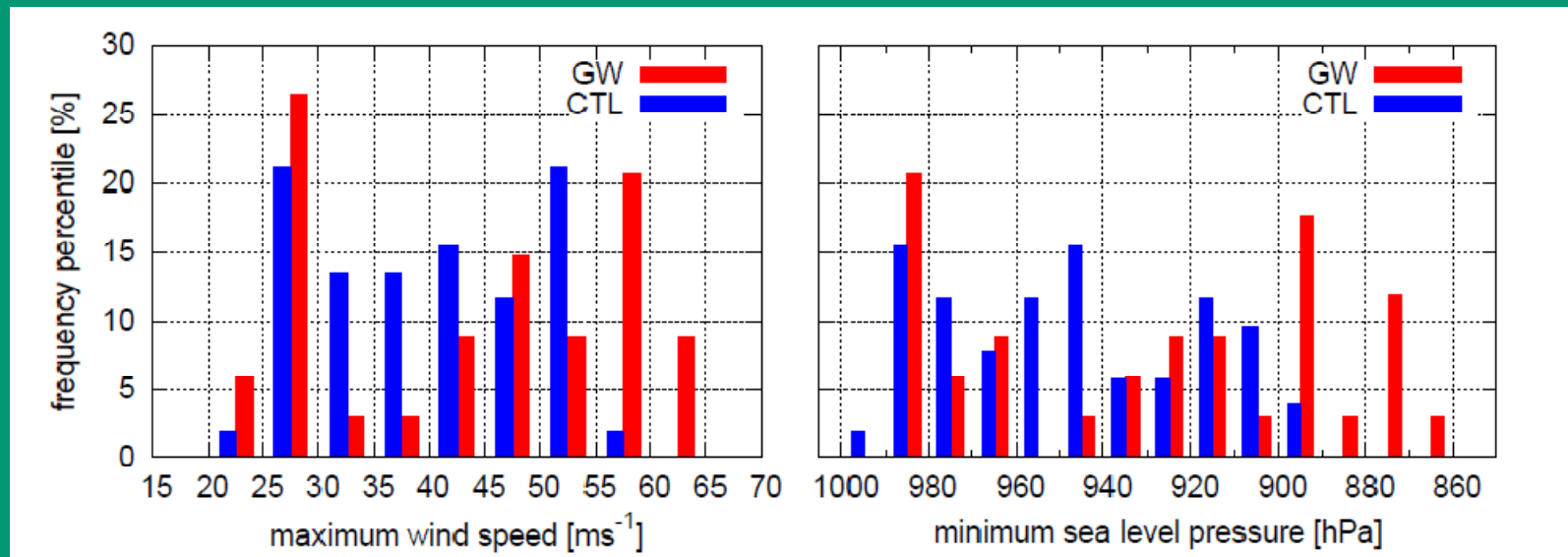
海域別発生数	インド洋	西太平洋	東太平洋	大西洋
現在気候(CTL)	13	22	7	10
温暖化想定(GW)	3	22	7	2

■ 熱帯低気圧の発生数の変化はGPIの変化と整合的

- ◆ インド洋・大西洋で減少
- ◆ 東・西太平洋で変化無し
 - 増減のコントラストの形状に依存



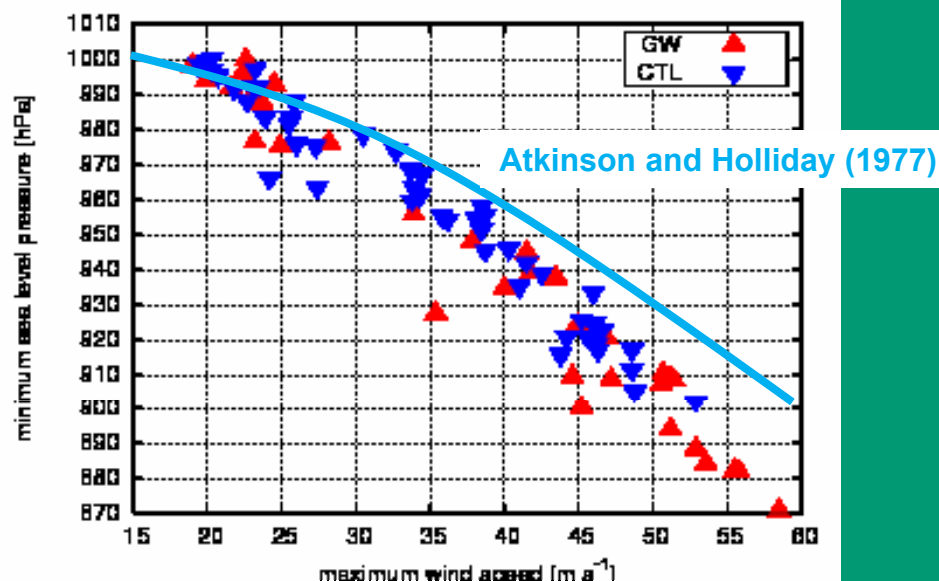
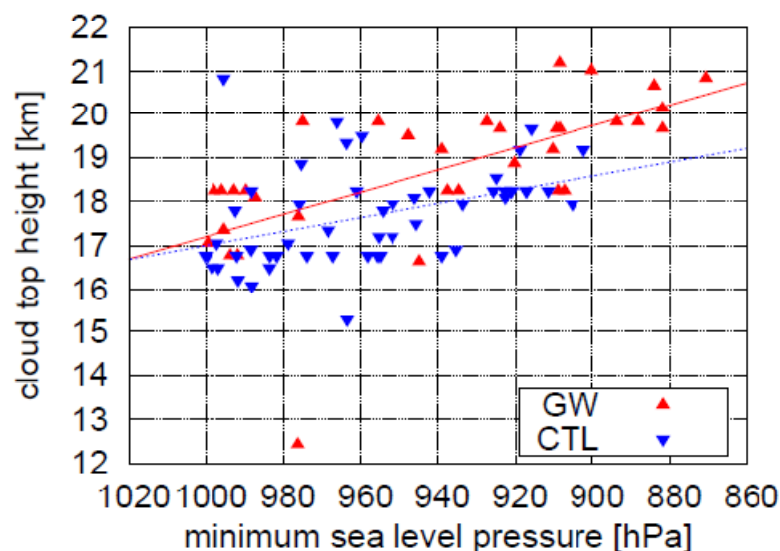
熱帯低気圧の強度の変化



- CTLでは現実的な強度の熱帯低気圧を表現
 - ◆ 中心気圧は従来型気候モデルで過小評価
 - 現在気候最低で930[hPa] [Oouchi et al. 2006]
- GWではCTLより強い熱帯低気圧が発生するようになる
 - ◆ 既往の研究とコンシステント
 - ◆ GWで最も強い熱帯低気圧は870[hPa]
 - ◆ 平均値は 963[hPa](CTL) => 940[hPa](GW)



強度の変化と構造の関係



- 鉛直構造(雲頂高度)と強度(最低中心気圧)の関係(右図)
 - ◆ 強度が強いと雲頂高度は高く
 - ◆ 温暖化するとその関係はより顕著になる
- 水平構造(最大風速)と強度(最低中心気圧)の関係(左図)
 - ◆ 今後の課題として—気圧に比べて風速が弱い—
 - 最大風速が発生する位置の中心からの距離とその間の気圧分布
 - 7km、3.5km等の高解像度実験との比較



新物理過程による実験結果

■ 現在気候状態

- ◆ 2004年夏季5か月実験 : 計算終了
- ◆ 将来気候実験(実行中)

■ 水惑星実験による将来の雲の変化

- ◆ コントロール実験
- ◆ +4K実験



ISCCP雲量 JJA2004

- 上層雲量は増加
- 中層雲は熱帯ではわずかに増加
- 下層雲量は減少

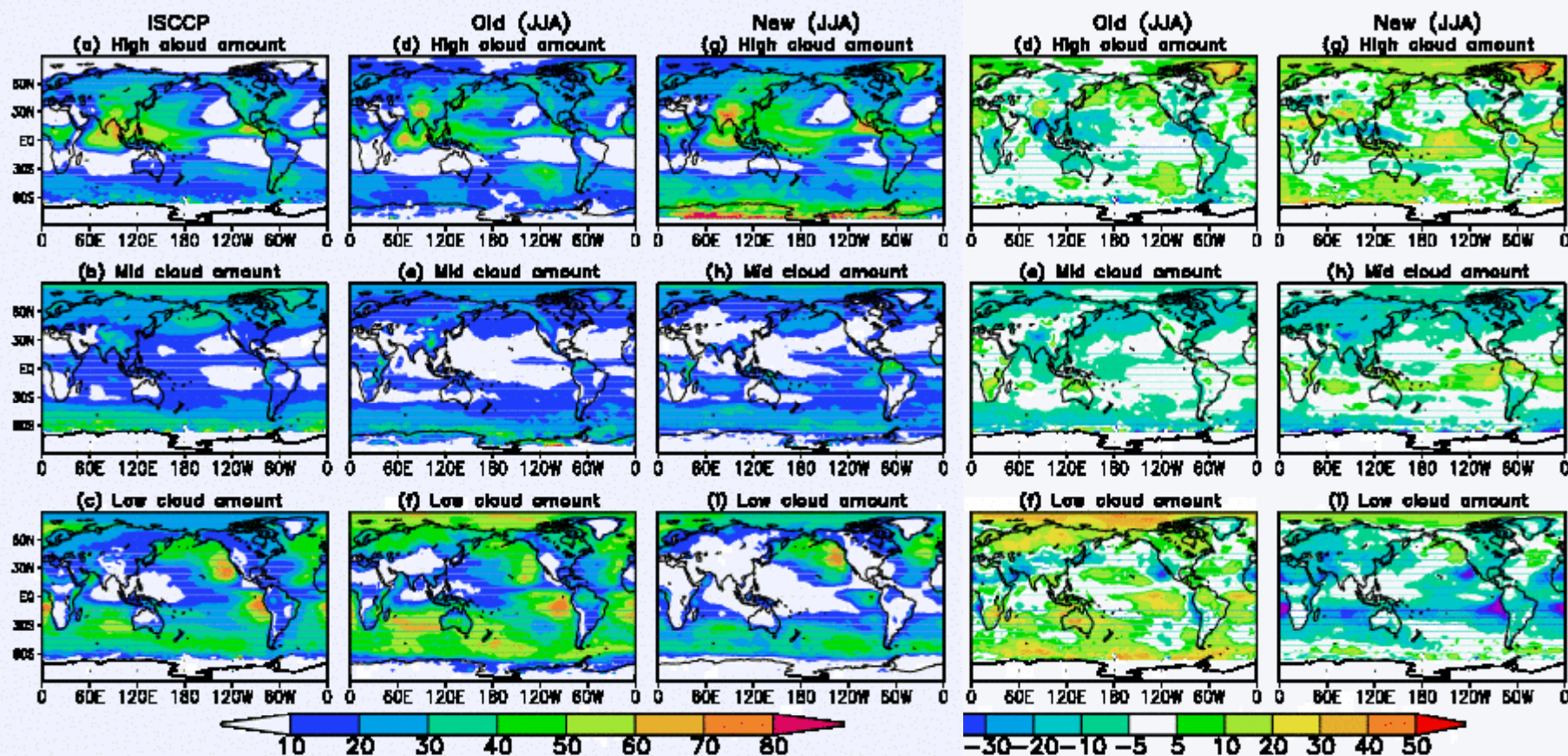
観測

旧物理

新物理

(旧) - (観測)

(新) - (観測)



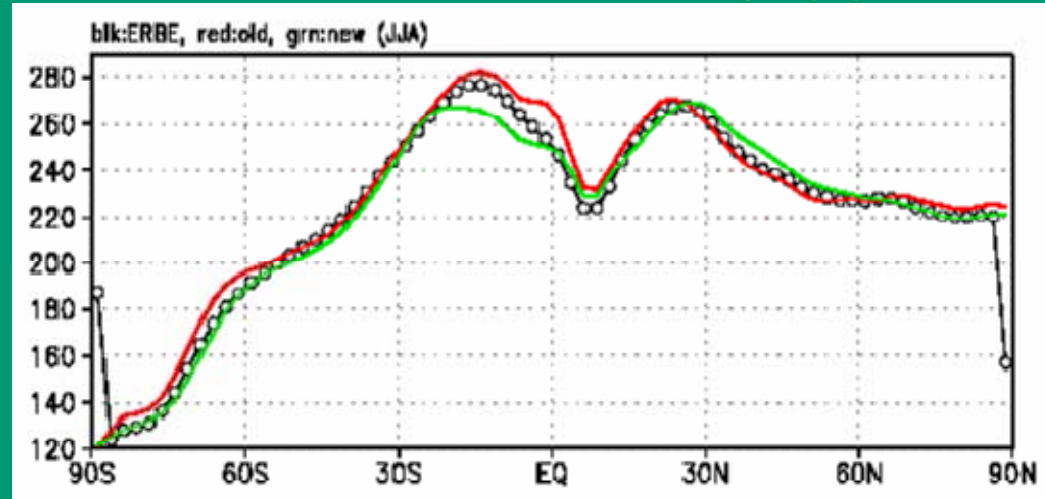
放射収支 JJA2004

黒:観測(ERBE)

赤:旧物理

緑:新物理

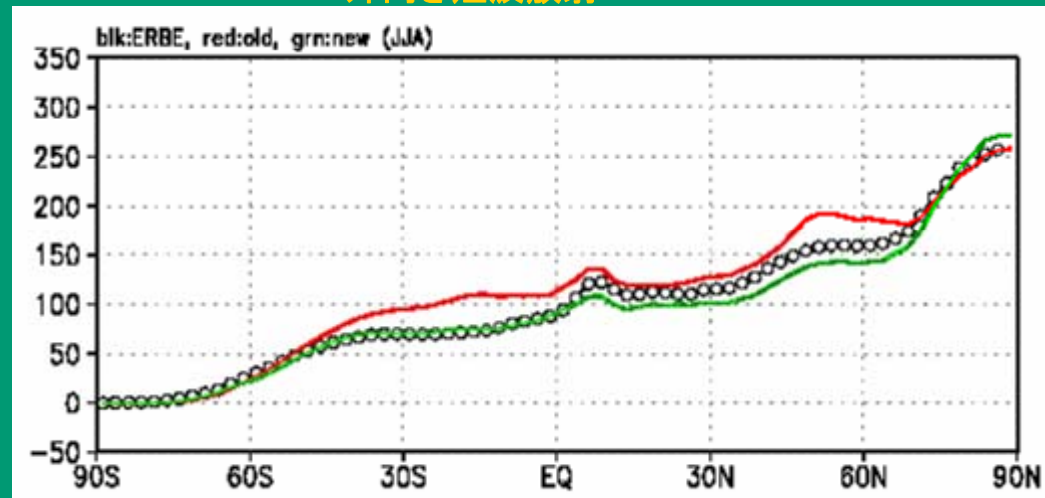
外向き長波放射



南半球中高緯度や北半球亜熱帯の改善
(西太平洋の負バイアスの軽減に対応)
南半球熱帯で負バイアス
(上層雲の過剰化に対応)

南半球の過大が全体的に改善
(下層雲の減少に対応)

外向き短波放射



帯状平均 成層 JJA2004

線: 雲水+雲氷+雪(+霰) 5mg/kg毎

熱帯上層雲の増加
・熱帯上層の暖湿化

亜熱帯下層雲の減少
・境界層一下部自由大気の
間の熱交換増大による
境界層の湿度の低下

[km]

湿度

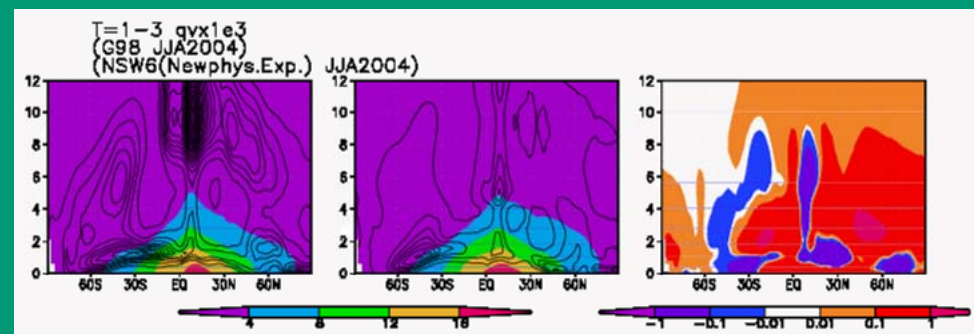
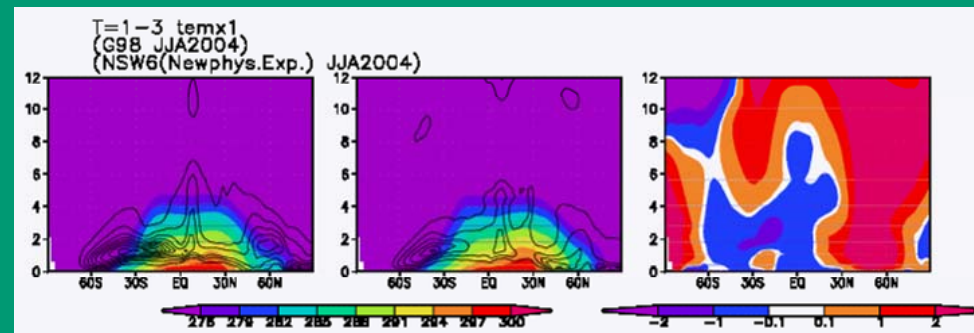
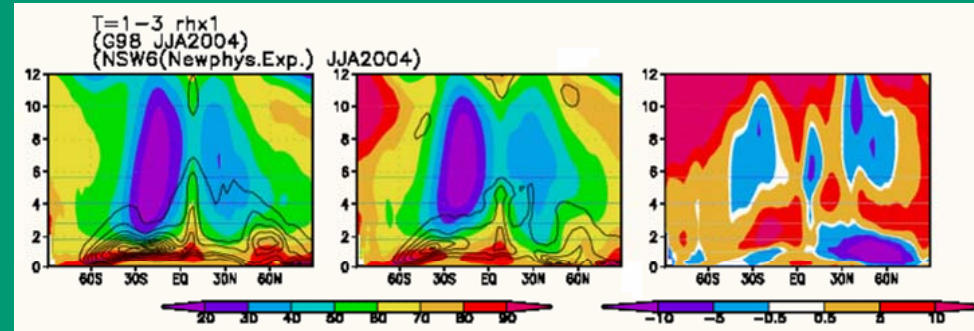
気温

水蒸気

旧物理

新物理

(新)-(旧)



水惑星実験

■ CMIP5 Tier1

雲の変化を調べるのに
適した実験

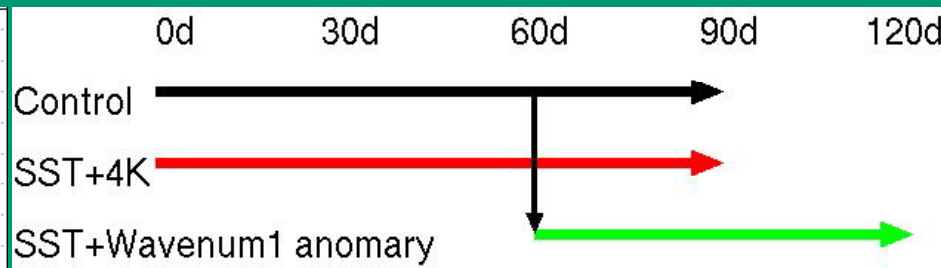
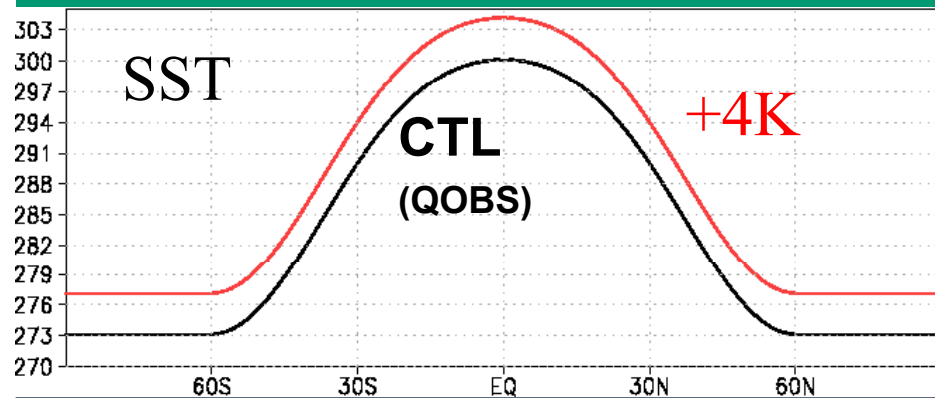
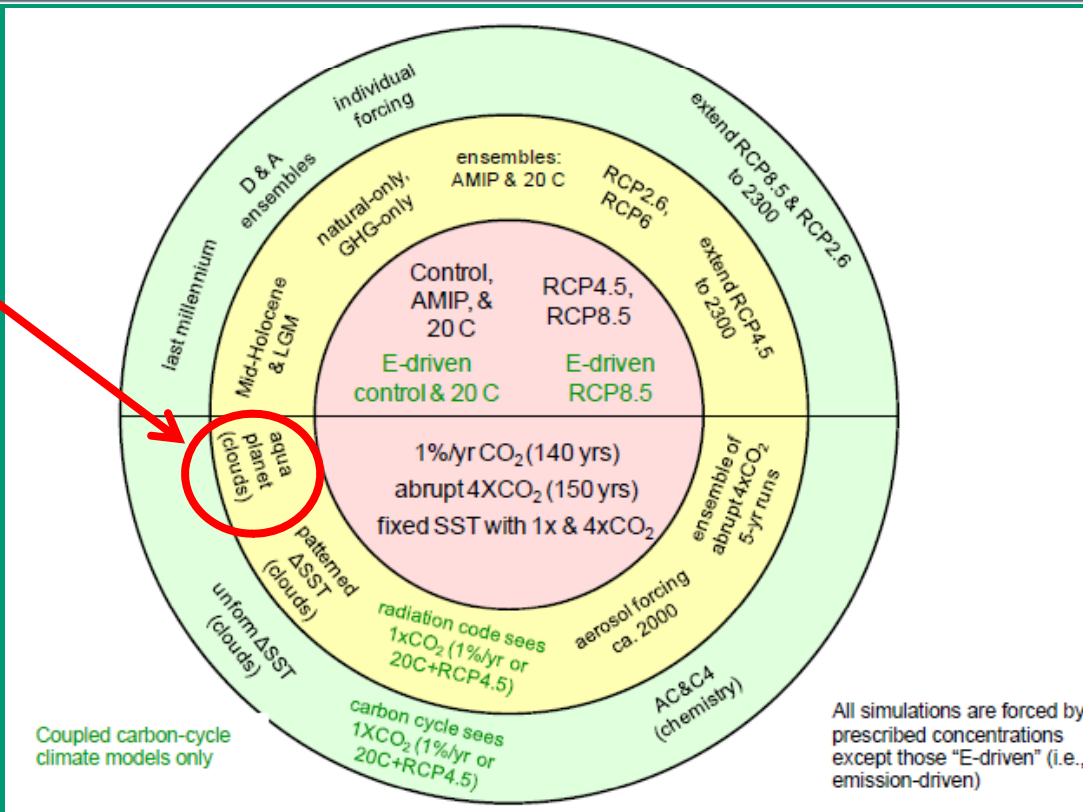
■ SST分布

- ◆ Control (Qobs)
- ◆ +4K(Qobs+4K)
- ◆ +Wavenumber 1

■ 水平解像度14km

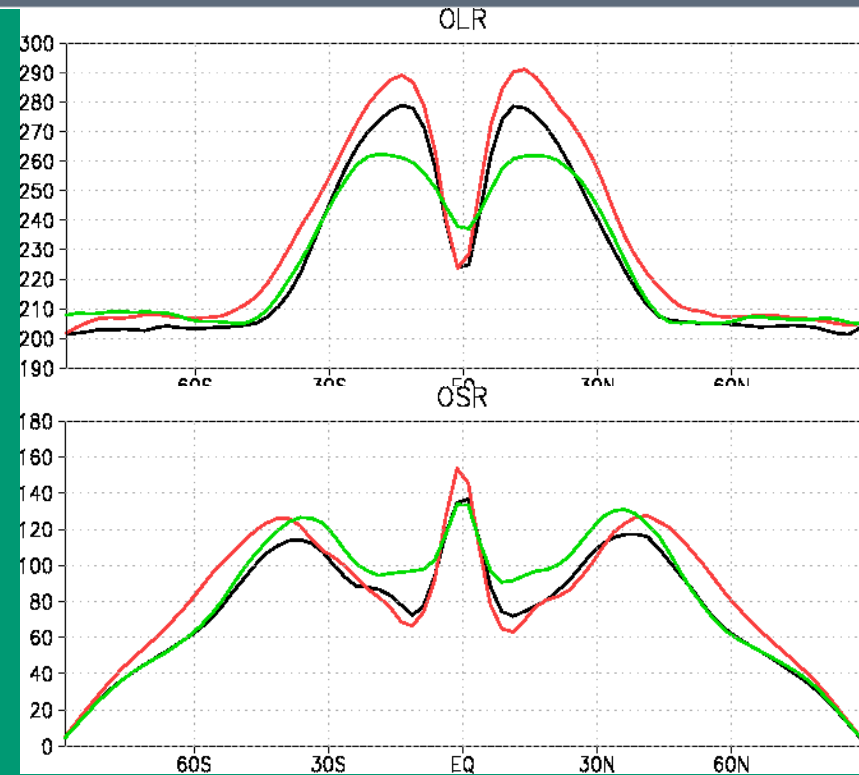
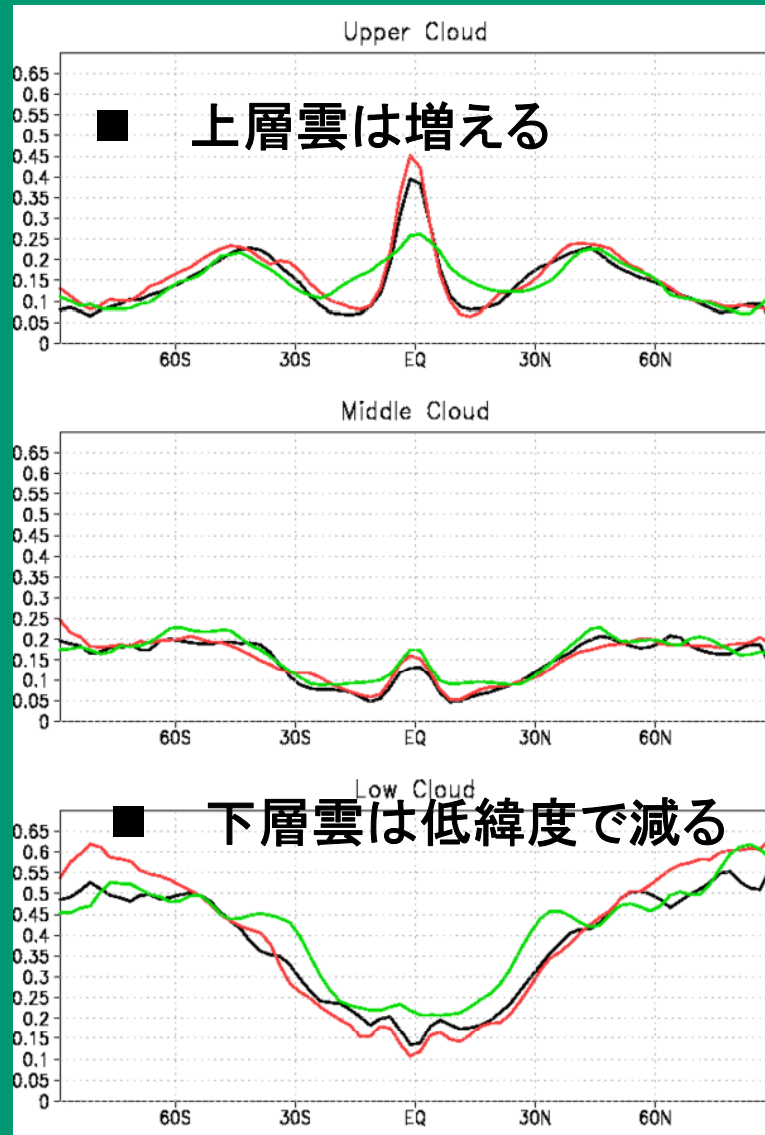
■ 新物理過程

NSW6, MYNN2



温暖化時の雲の変化

■ ISCCP simulator



- OLRは増える。Cloud forcing は増えているので、SST上昇による効果
- OSRはITCZ及び高緯度で増える。ITCZでは下層雲の減少とは対応しないが、上層雲が効いている。東西一様な水惑星なためか？



他のGCMでの水惑星実験と比べてどうか？

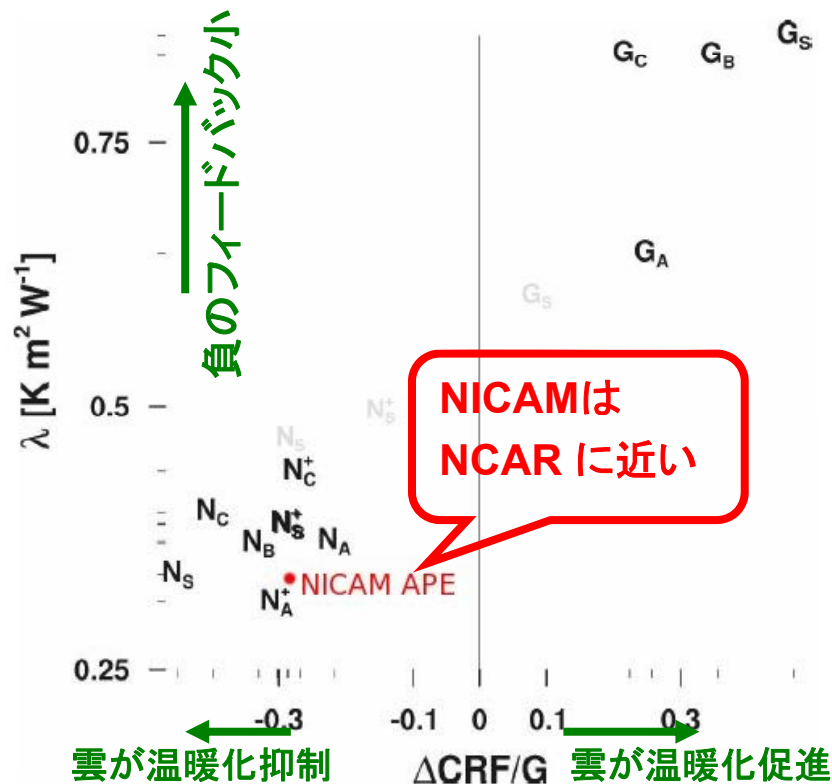


FIG. 4. Climate sensitivity parameter λ vs $\Delta\text{CRF}/G$ for all configurations of both GCMs; black symbols represent the tropically averaged values. The symbols correspond to abbreviations of each configuration, where the large letter gives the GCM being used ($G = \text{GFDL AM}$, $N = \text{NCAR CAM}$), the subscript is the SST configuration (S for standard, $A-C$ for aquaplanets), and a superscript “+” denotes the T85 version of the NCAR CAM. The two nearly overlain symbols are the T85 versions of the standard and aquaplanet B configurations. Gray symbols denote the globally averaged values from the standard configurations.

Medeiros et al.2008

定義 (SST+4K時の変化量)

$$G = \Delta\text{OLR} + \Delta\text{OSR}$$

$$\Delta\text{CRF} = \text{雲強制変化量}$$

$$\lambda = 4\text{K} / G$$

NICAMの結果: NCARに近い

温暖化時の放射の負のフィードバックの度合い

雲による効果: 温暖化抑制

熱帯の上層雲の増加: 旧物理過程と同じセンス



Tsushima et al.(2010)



まとめ

- 2004年夏季(エルニーニョ年)について季節変化実験
 - ◆ 温暖化想定実験
 - ◆ 熱帯低気圧の変化
 - ◆ 数の減少、強度の増加は既往研究と整合的
 - ◆ Genesis Indexの変化と整合的、雲特性の変化を議論
 - ◆ 新物理実験については実行中
- 物理過程の改良
 - ◆ 大気上端での放射フラックスの向上
- 水惑星実験による雲量変化
 - ◆ 熱帯上層雲の増加: 旧物理過程と同じ傾向
 - ◆ 下層雲は低緯度で減少、高緯度で増加
 - ◆ 雲は温暖化を抑制する方向に働く結果になった
- さらなる改良
 - ◆ バイアスの低減: 降水の過剰、熱帯低気圧
 - ◆ 雲放射相互作用の精緻化: two-moment scheme
 - ◆ 衛星データによる検証



その他



3年後の目標と達成度

- 全球雲解像モデルを用いて、季節から年程度のシミュレーションを実施し、季節進行に伴う雲降水システムの変動を捉える。従来型AGCMの弱点であるアジアモンスーン等の熱帯の雲降水システムのより現実的な再現を目標とするとともに、放射フラックス、降水量といった気候特性の再現の改善を図る。特に、現在気候における夏季・冬季、エルニーニョ・ラニーニャ期といった異なる環境場における雲降水システムの再現精度の向上を図る。
- 全球雲解像モデルと高解像度衛星データ等の観測データとの雲降水システムに関する定量的な比較を行い、全球雲解像モデルの特性について把握する。
- モデル結果と現実データの比較によって明らかになったモデルの不十分な点を改善すべく、物理過程の改良を行う。具体的には、氷を予報変数にした雲物理スキームの精緻化、湿潤過程をより詳細に考慮した境界層スキームの導入等が課題になる。これらのスキームを改良し実験を行い、さらなる改善をめざす。
- 従来型AGCMとの比較：全球雲解像モデルと同一な条件下での実験を行い、AGCMと全球雲解像モデルの特性の差について明らかにする。
- 定量的には、従来の気候モデルに要求される再現精度以上を目標とする。具体的には、短波放射 $5\text{W}/\text{m}^2$ 、長波放射 $10\text{W}/\text{m}^2$ 、上層・中層・下層の高度別の雲量を10%以内とする。これらは観測精度にも幅があることに留意する必要がある。特に、降水量、雲量の空間分布、モンスーンの季節進行、台風の発生数等についての再現精度の向上をめざす。



月別変化 (旧物理実験)

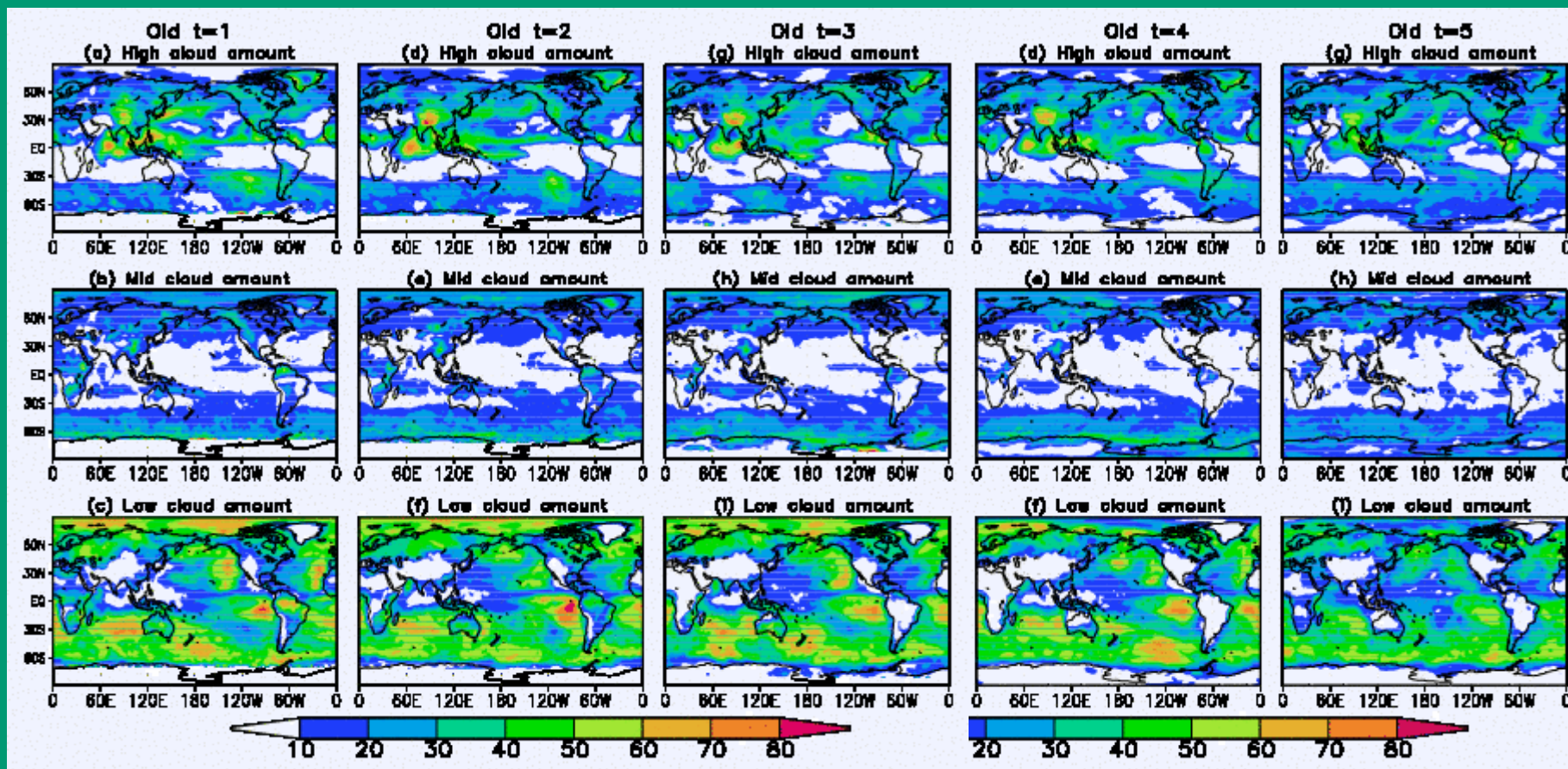
6月

7月

8月

9月

10月



月別変化 (新物理実験)

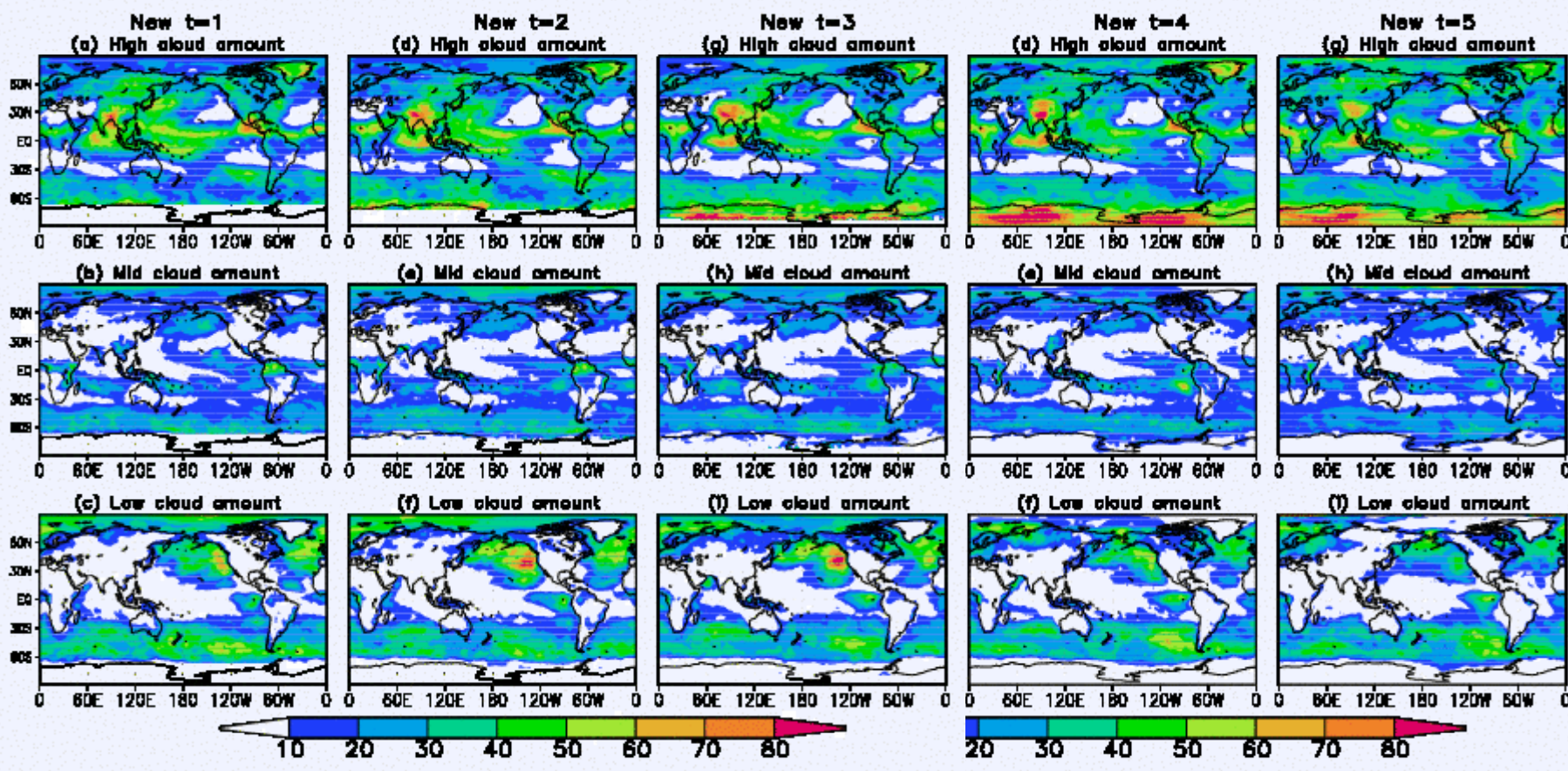
6月

7月

8月

9月

10月



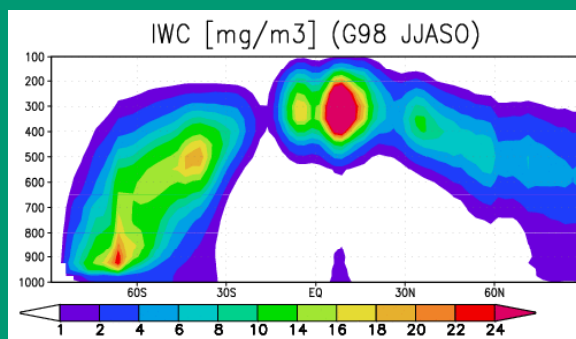
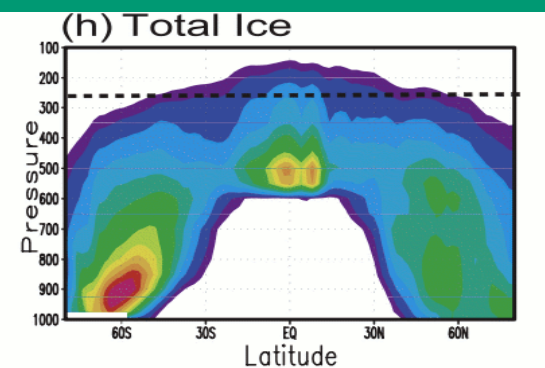
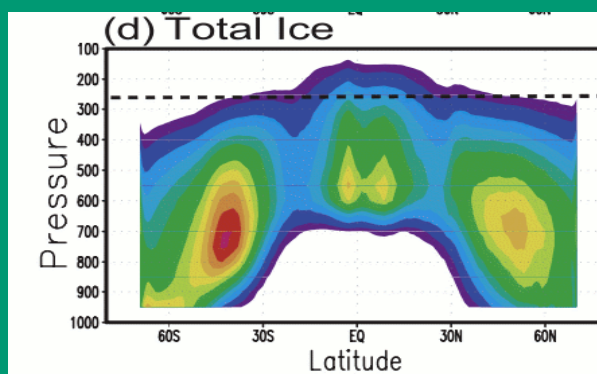
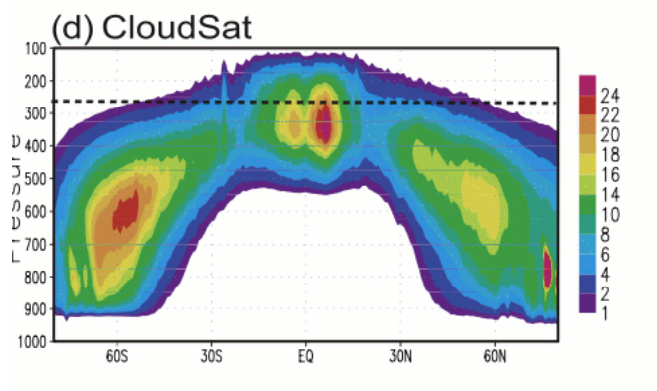
帯状平均 雲氷分布(1)

全球的な空間分布の特徴を捉えている
過剰は雲氷生成は収まっているが、
今後の、より適切な氷物質交換への改善に
期待

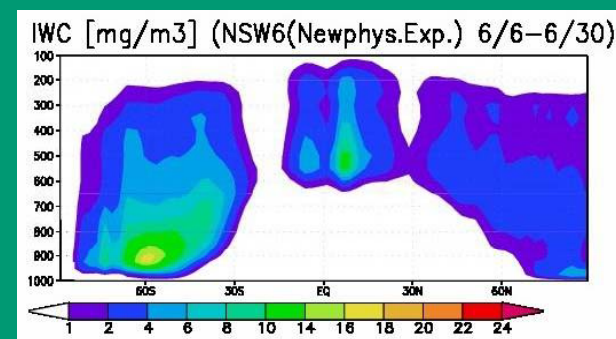
観測

既存雲解像-likeモデル:(RAVE)

(fvMMF)



NICAM (旧物理)



(新物理)

上段はWaliser et al. (2009)より

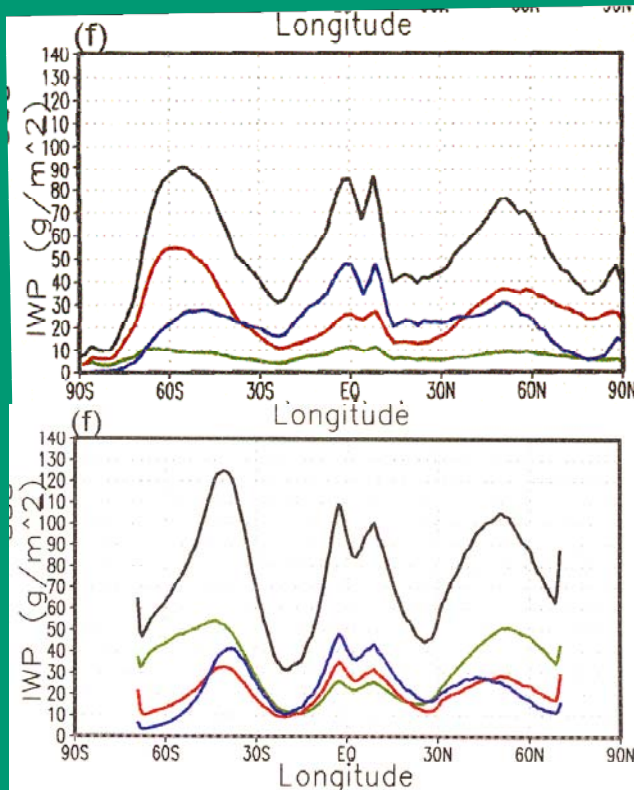


帯状平均 雲氷分布(2)

旧微物理モデルその氷の量は雪水が全体の氷の量のほぼ全てを占めている。新微物理モデルでは、各カテゴリへ適切に分配されている (詳細な配分はモデル間で異なるものの、これまで行われている雲解像型GCMに近い結果となっている)

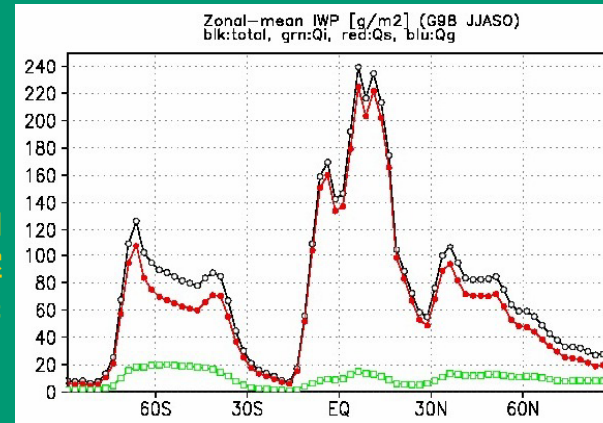
※旧微物理の縦軸のみ、その他と異なることに注意

既存雲解像-likeモデル

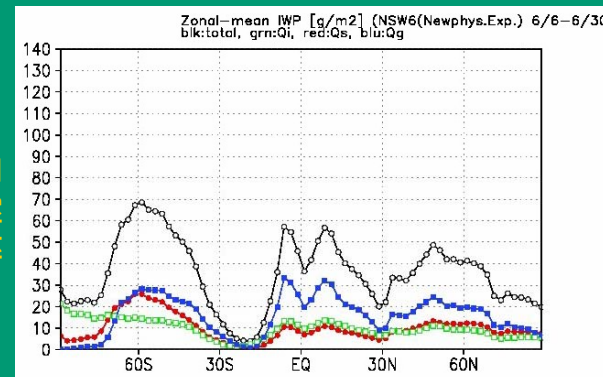


Waliser et al. (2009)より

NICAM



旧物理



新物理

黒:和
緑:雲氷
赤:雪水
青:雹

