

気象研究所地球システムモデルの 積雲対流スキーム

気象研究所

*吉村裕正、杉正人、川合秀明、新藤永樹

荒川理、行本誠史

気象研全球モデルグループ

内容

YS積雲対流スキーム

Yoshimura et al. 2015 (Mon. Wea. Rev.)

- 特徴
- 気象研究所地球システムモデルでの使用
- 気象庁GSM1403へのテスト的導入と積雲スキーム改良
- 高解像度(雲解像)モデルとの比較

多くの積雲対流スキームにとっての課題

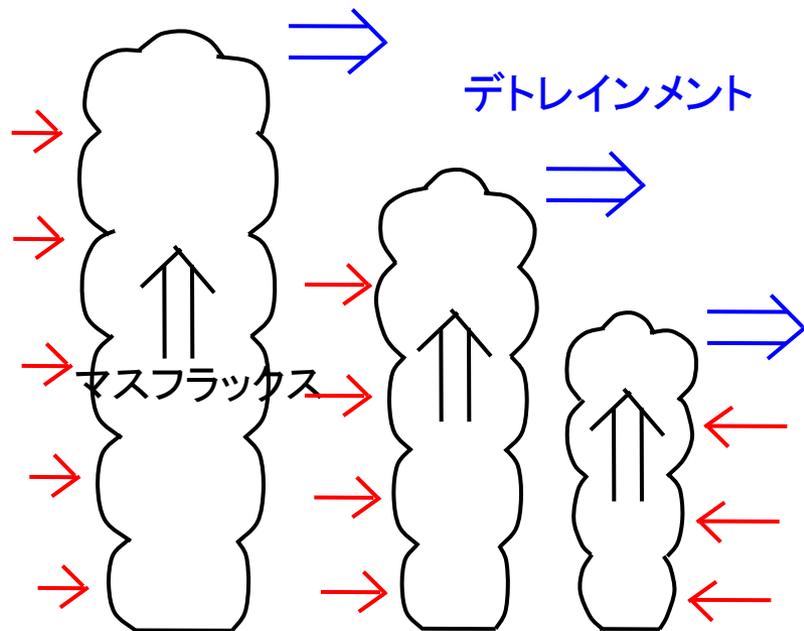
YS積雲対流スキームの特徴

エントレインメント率の違う積雲上昇流を2つ計算し内挿することにより、高さの違う複数の積雲上昇流を表現

- AS積雲対流スキーム(スペクトル型)、Tiedtke積雲対流スキーム(バルク型)の両方の考え方を取り入れる

Arakawa-Schubert積雲対流スキームと Tiedtke積雲対流スキーム

エントレインメント

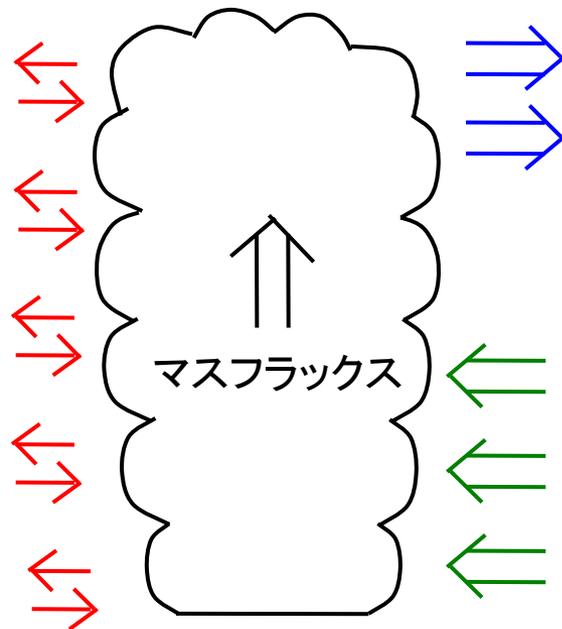


AS積雲(スペクトル型)

エントレインメント率の違いによる雲頂高度の異なる複数の上昇マスフラックスを陽に計算する。
1つ1つの積雲上昇流はシンプルに計算。

乱流エントレインメント
乱流デトレインメント

組織的デトレインメント

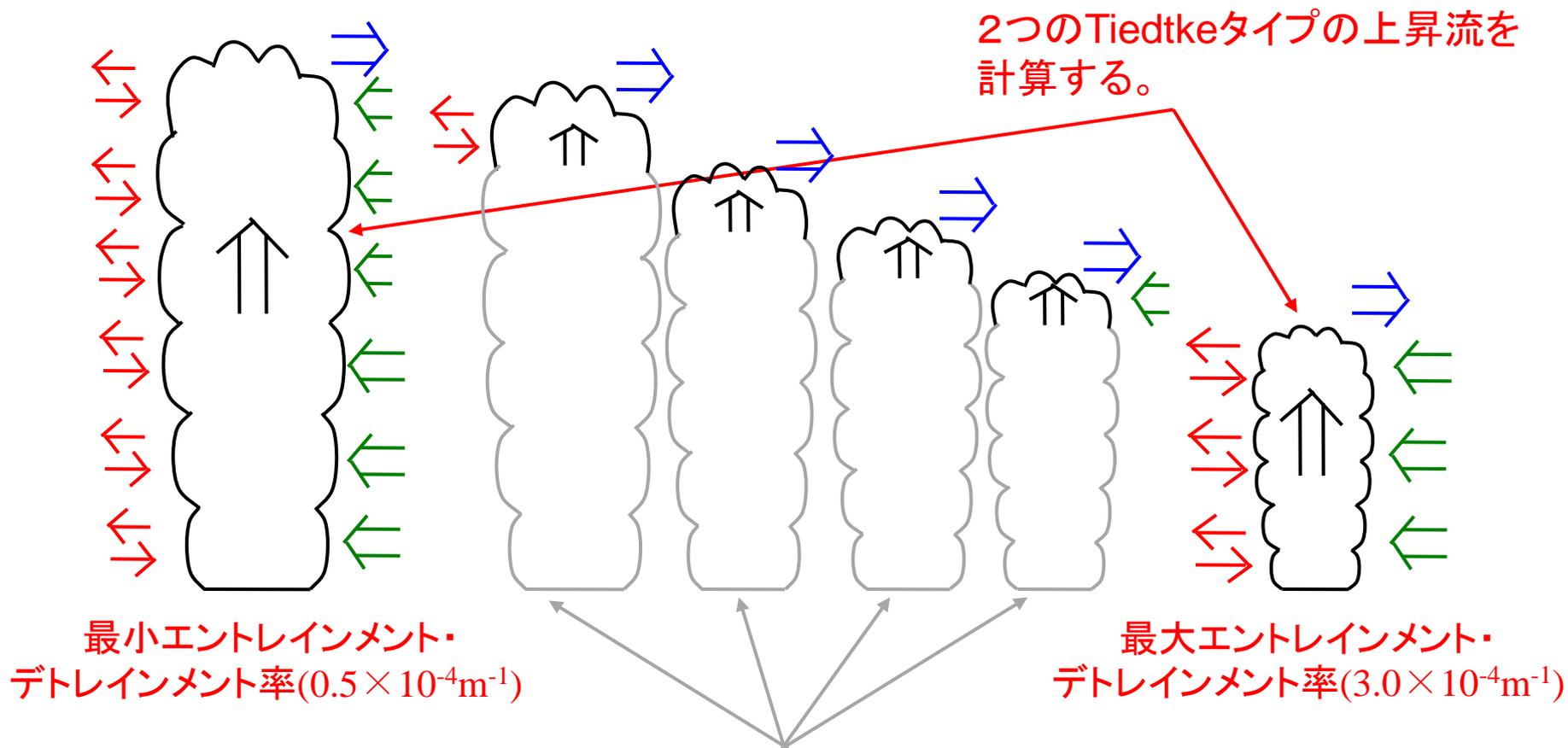


組織的エントレインメント

Tiedtke積雲(バルク型)

1つの上昇マスフラックスを下から一層一層計算する。
雲頂以外でのデトレインメントも考慮する。

YS積雲対流スキーム(2つの積雲上昇流を内挿)



2つのTiedtkeタイプの積雲上昇流の間エントレインメント率を持つ積雲上昇流が連続的に存在すると仮定する。

積雲中の気温や水蒸気量等は近似的に2つの積雲上昇流から線形内挿で求める。

⇒異なる背の高さの積雲を陽に表現する。

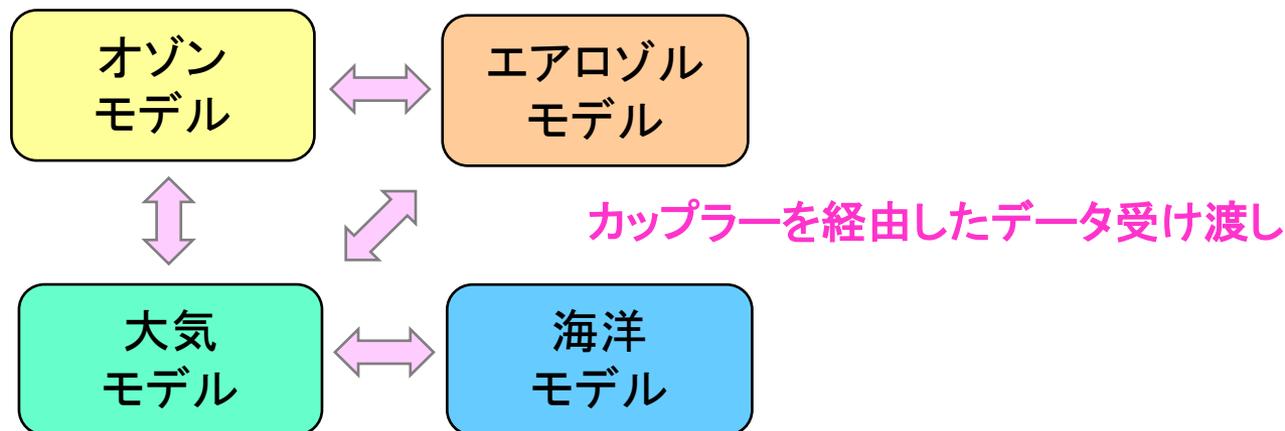
一層一層計算しながら、計算コストをあまり増やさず複数の背の高さの積雲を表現

補償下降流の計算

- 積雲対流に伴う補償下降流計算は、保存性・単調性を満たすセミラグランジュ法を使用
 - (補間はPRM法(Xiao and Peng 2004)を使用)
 - 単調(非負)で保存性を満たす自然な物質輸送が可能
 - CFL条件の緩和
 - CFL条件でマスフラックスを制限する必要がなくなる

地球システムモデルと積雲対流スキーム

- 海洋モデルと結合
 - 海水温がドリフトしないようにするためには、放射・雲が重要
- エアロゾルモデル、オゾンモデルと結合
 - エアロゾル・オゾン等の物質輸送も重要（積雲による輸送も）
 - 大気モデルで計算された積雲マスフラックスの情報を、エアロゾルモデル・オゾンモデルに送信
 - エアロゾルモデル・オゾンモデルでは、受信した積雲マスフラックスを使用して積雲による物質輸送計算を行う

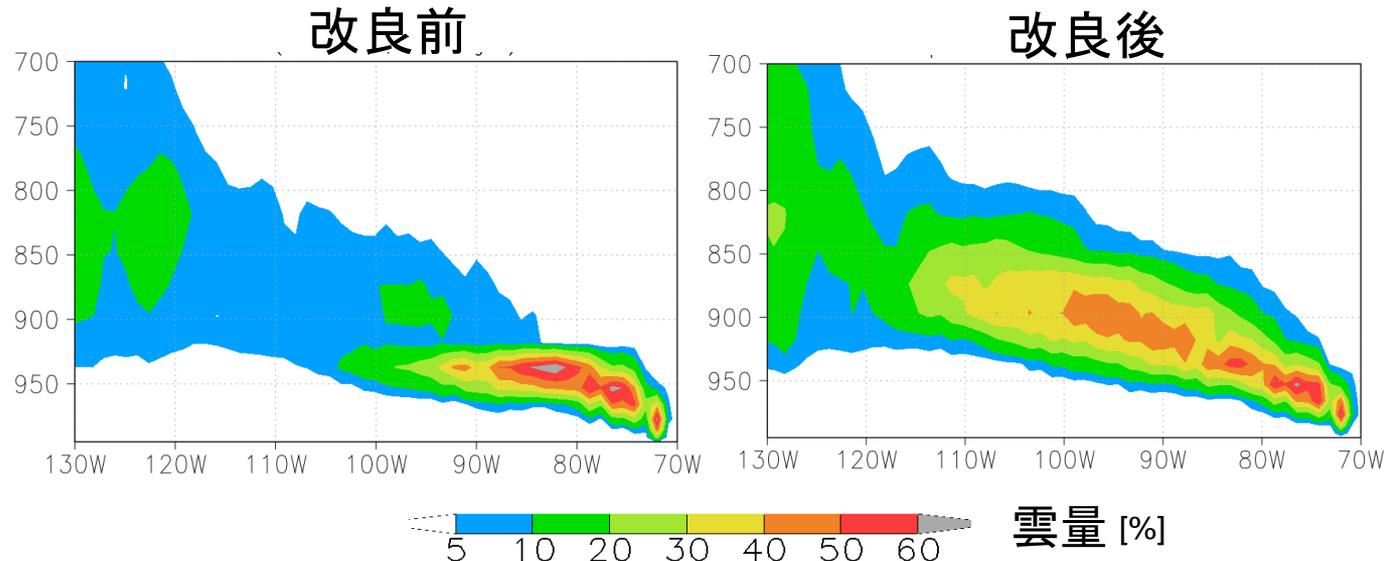


地球システムモデルにおける 積雲対流スキーム改良・チューニング例

- 雲・水蒸気量・ENSO振幅の調整 (by行本さん)
 - YS積雲中の雲水から降水への変換率が大きいほど特に中層で雲が減り乾燥する。またENSOの振幅が大きくなる。
- 亜熱帯層積雲の改善 (by川合さん、行本さん)
 - 層積雲スキームによる層積雲発生条件を満たす場所において、YS積雲による浅い積雲を抑制する改良

亜熱帯層積雲の
鉛直構造(7月)
南緯20度線
(ペルー沖)

川合さん 他
(2017年度春季大会A205)



GSM1403ベースモデルでの YS積雲対流スキームの改良

- 気象庁GSM(GSM1403)をベースに、テスト的にYS積雲対流スキームを導入
- YS積雲対流スキーム+Tiedtke雲スキームの組み合わせでの改良を試みる

組織的エントレインメントの変更

- YS積雲対流スキームの降水に不自然な縞模様が入る
- 組織的エントレインメントの変更により、不自然な縞模様がなくなることが分かった
 - (変更前) 水平収束のあるところでエントレインメントを大きくする。
 - (変更後) 乾燥しているところでエントレインメントを大きくする。
浮力を失いやすくなり、浅い積雲が立ちやすくなる。

以下のECMWFの式を使用

$$E_{up} = 0.75 \times 10^{-4} f_{\epsilon} \frac{M_{up}}{\bar{\rho}} (1.3 - RH) \left(\frac{q_{sat}(\bar{T})}{q_{sat}(\bar{T}_{base})} \right)^3$$

E_{up} : 組織的エントレインメント M_{up} : マスフラックス

RH : 相対湿度 (0~1) $q_{sat}(\bar{T})$: 飽和水蒸気量

$f_{\epsilon} = 1.4$ とする

その他の変更

- 積雲対流スキームの降水蒸発について、雲スキームと同等の式を用いる
- 積雲中の雲から降水への変換率が大きくなる方向の変更

10年AMIPランによるテスト実験

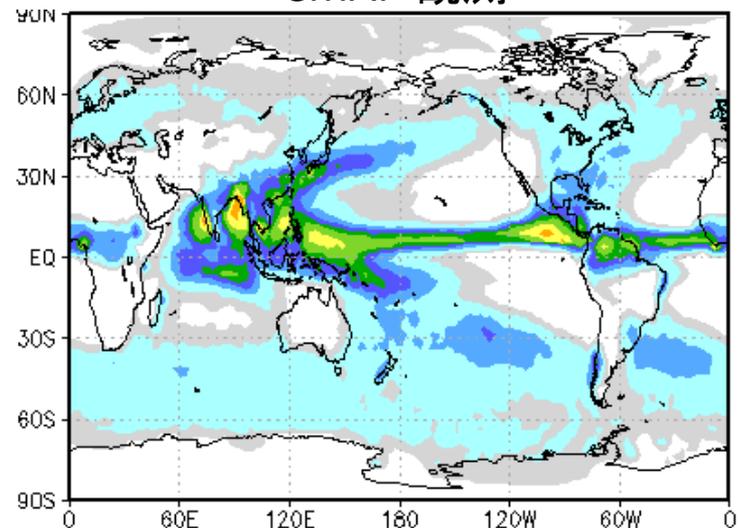
- SST: HadISST 1994-2003
- 解像度: TL319L100(水平約60km)
- モデル気候値(10年平均)を観測気候値と比較する

降水の6月気候値

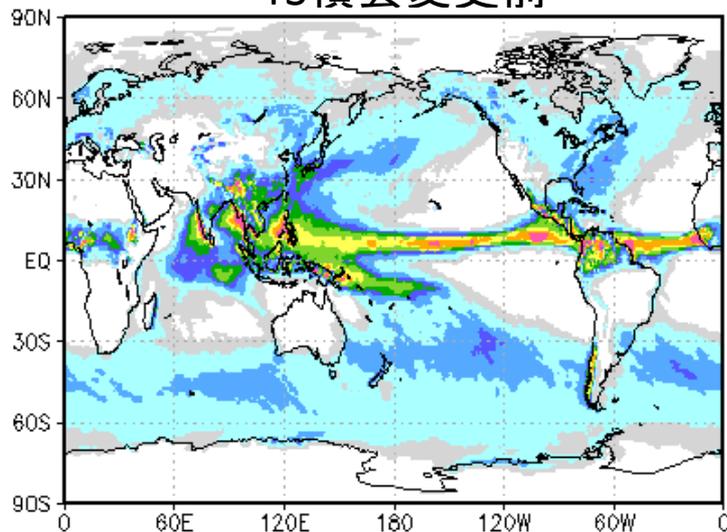
TL319L100(60km) 10年ラン

- 降水分布は良い
- 熱帯降水帯で降水が強い

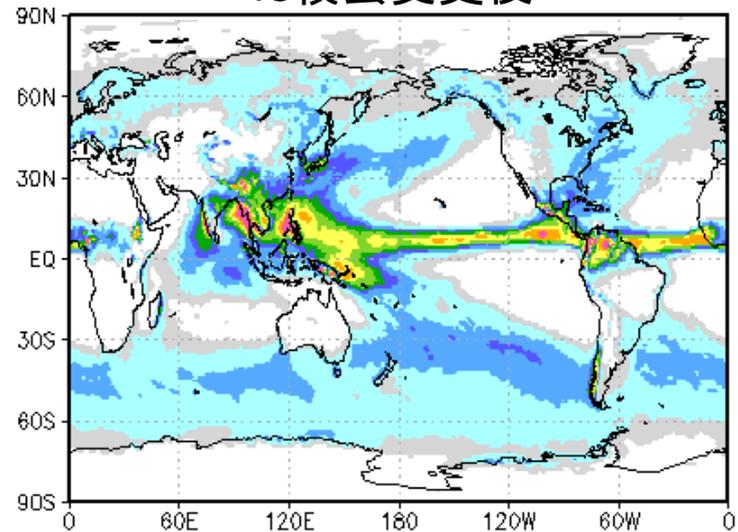
CMAP 観測



YS積雲変更前



YS積雲変更後

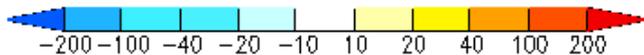
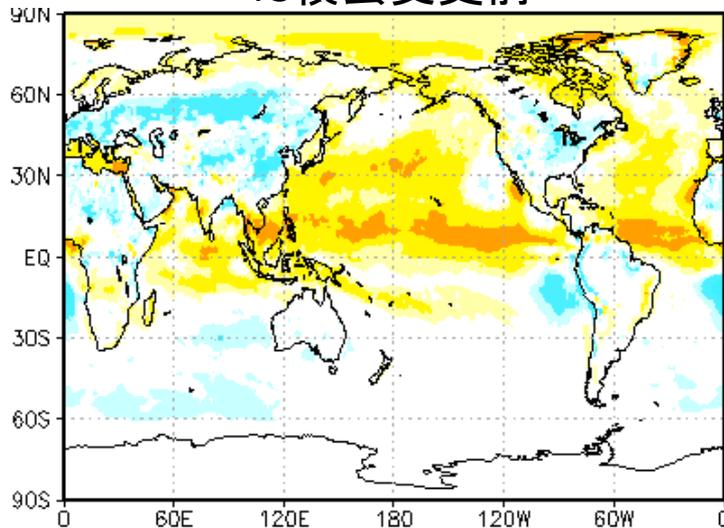


短波放射バイアス(上向きトップ) 8月気候値

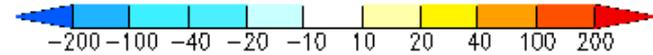
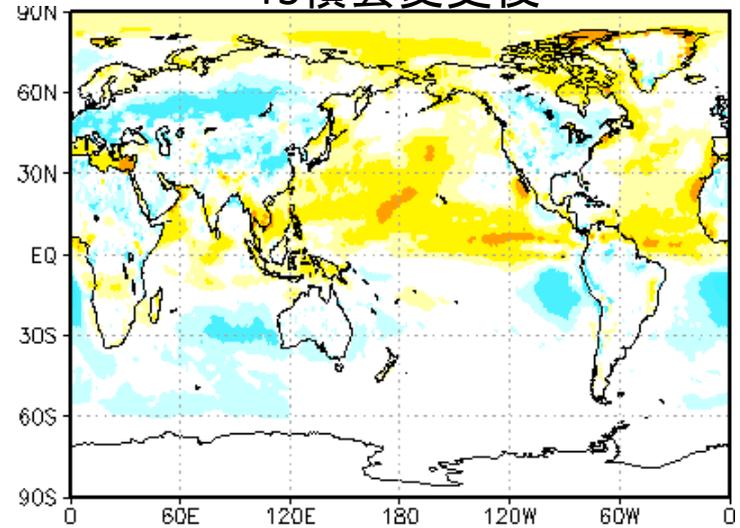
TL319L100(60km) 10年ラン

- 観測(CERES-EBAF)との差
- 海上で正(雲が過多)、陸上で負(雲が過少)のバイアスがあり
- YS積雲スキーム変更により、熱帯海上の正バイアスが改善(積雲中の雲水から降水への変換率を上げる方向の変更が寄与)

YS積雲変更前



YS積雲変更後



OLR

NCEP 観測

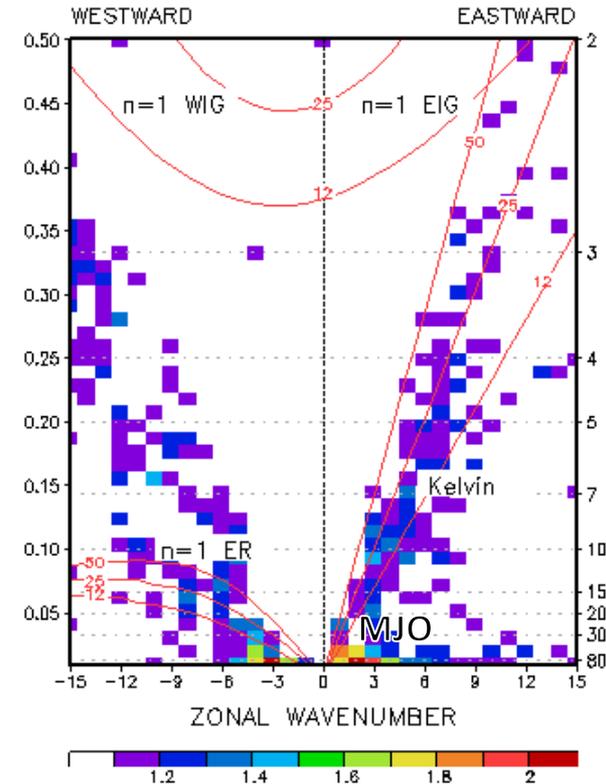
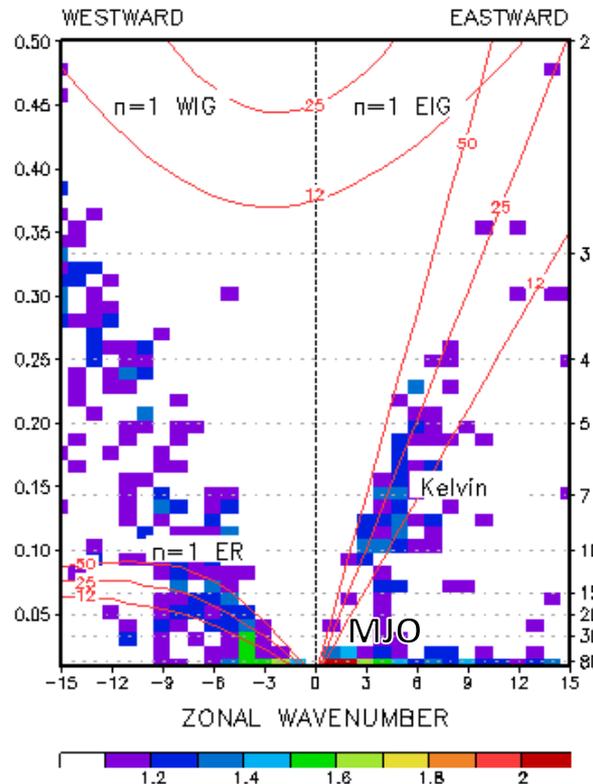
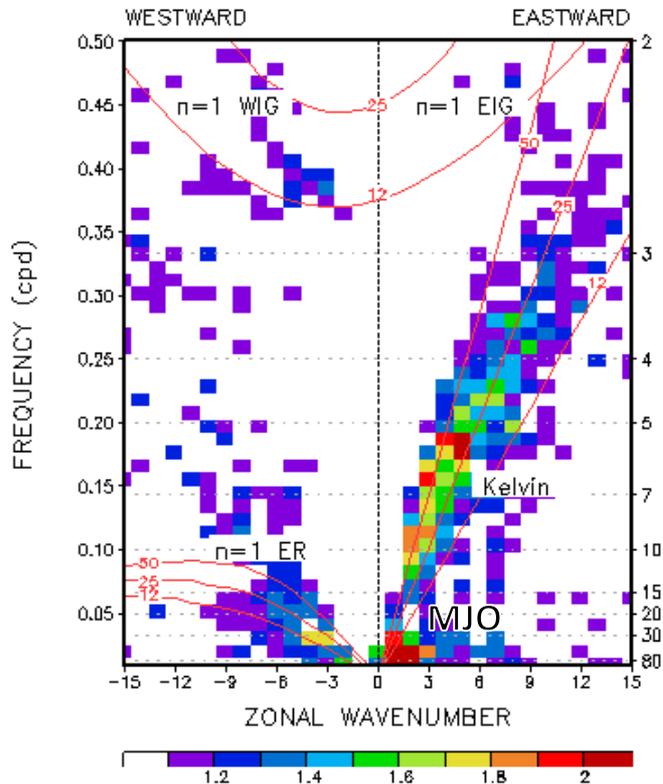
YS積雲変更前

YS積雲変更後

Symmetric

Symmetric

Symmetric



YS積雲スキームの組織的エントレインメントの変更(乾燥大気でエントレインメントを大きくする)等によりMJOが強まる

Kelvin波のシグナルが弱い

7km解像度での積雲対流スキームテスト

- 地球シミュレータ課題で7km解像度でのテストを行う

課題「複数の次世代非静力学全球モデルを用いた高解像度台風予測実験」

竹内義明¹、吉村裕正¹、川合秀明¹、新藤永樹¹、杉正人¹、

和田章義¹、沢田雅洋¹、山口宗彦¹、入口武史¹、

中野満寿男²、那須野智江²、

大西領²、佐々木亘²、川原慎太郎²、淵上弘光³

1. 気象研究所、2. 海洋研究開発機構、3.(株)NEC情報システムズ

- 以下の3つの7km非静力学全球モデルを使用した台風予測実験を行っている

- DFSM(二重フーリエ級数モデル) 気象研究所開発(GSMの高速化版)

- NICAM(正二十面体格子モデル) JAMSTEC,AORI開発

- MSSG(陰陽格子モデル) JAMSTEC開発

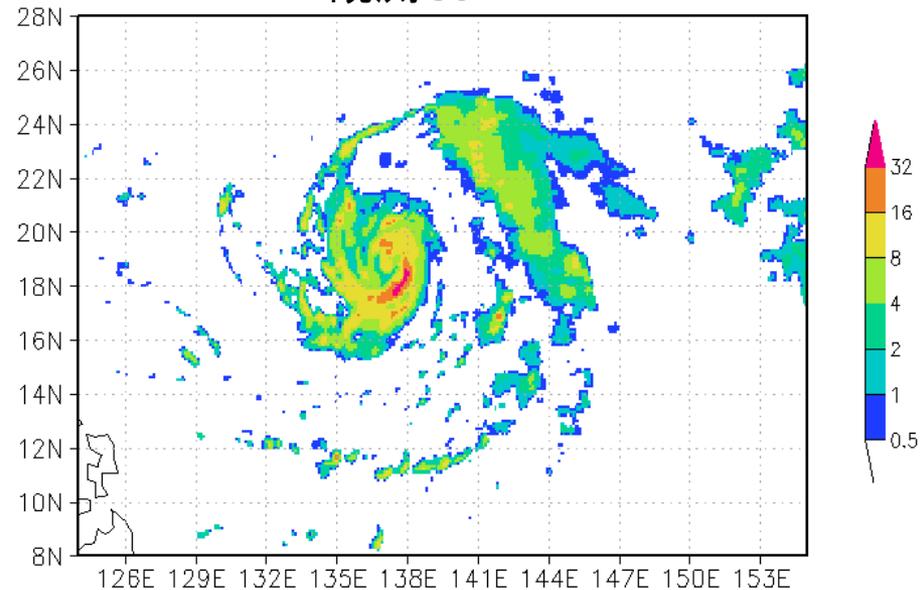
- 中野さん論文(Nakano et al. 2017) 実験設定・結果

台風周辺の降水 観測との比較

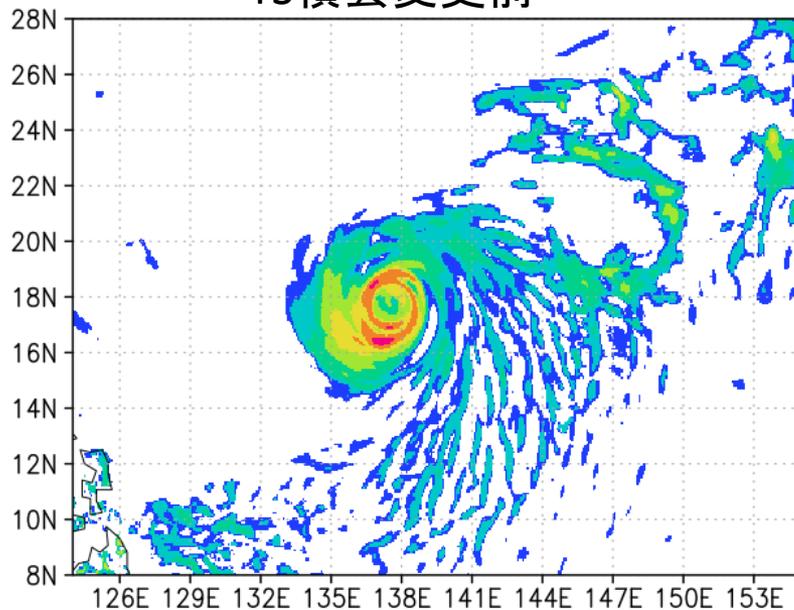
2013年10月10日12UTC初期値
降水時刻2013年10月13日05UTC
(前1時間降水量)

組織的エントレインメントの変更(格子
収束量によらないようにする)により、
不自然な縞模様がなくなった

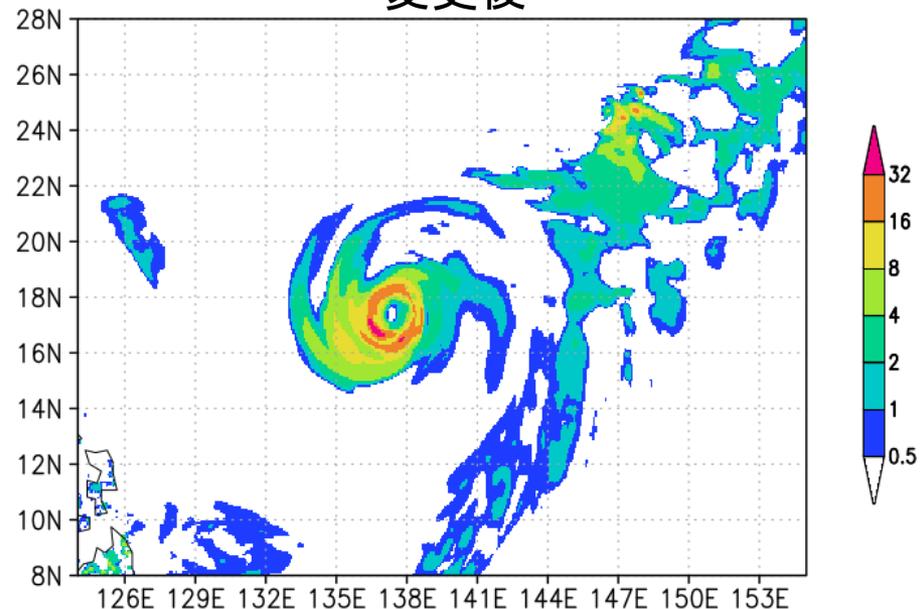
観測GSMAP



YS積雲変更前



変更後

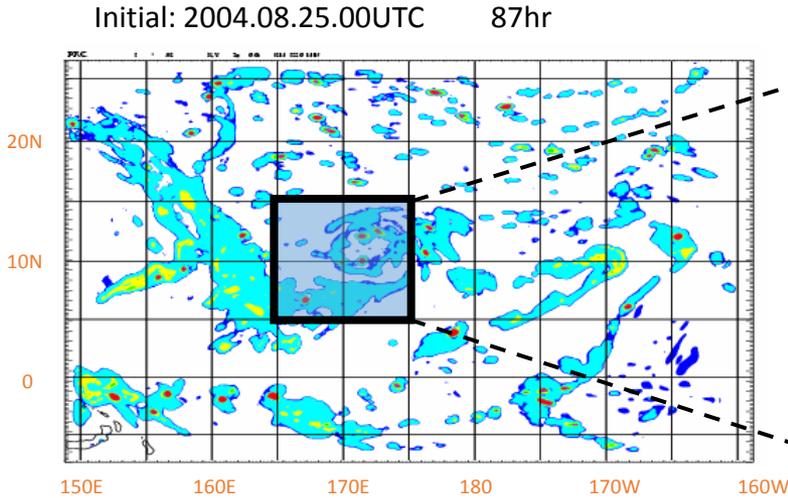
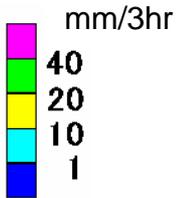


高解像度(雲解像)モデルとの比較

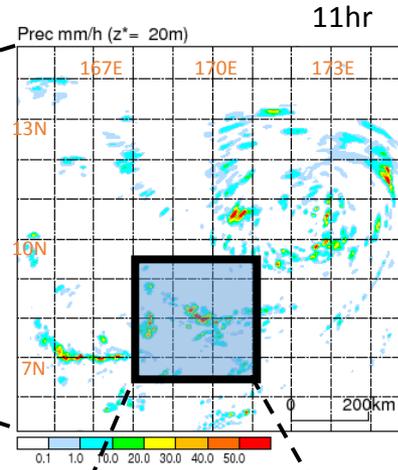
- 気象研NHM(解像度200m)での実験 (by杉さん)
- Large-Eddy Simulation (LES)との比較 (by新藤さん)

Tropical convection simulation with 18km – 200m resolution NHM

18km-NHM
($\Delta x=18\text{km}$)

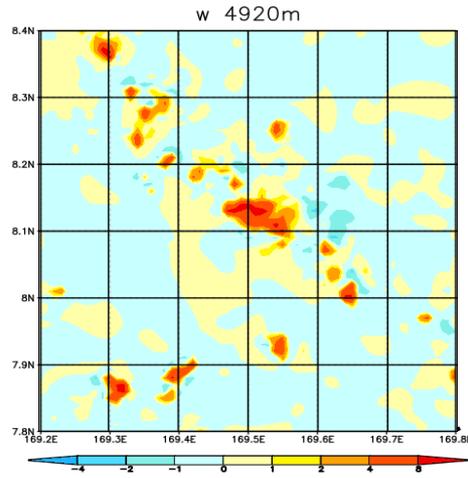


Initial: 2004.08.28.00UTC

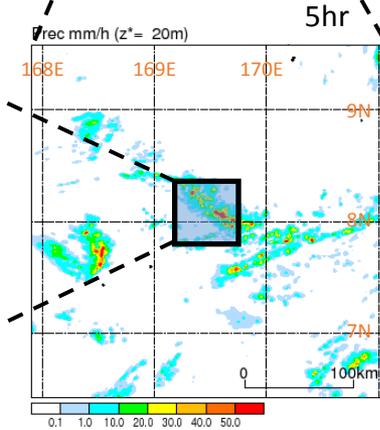


3km-NHM
($\Delta x=3\text{km}$)

200m-NHM
($\Delta x=200\text{m}$)



Initial: 2004.08.28.06UTC

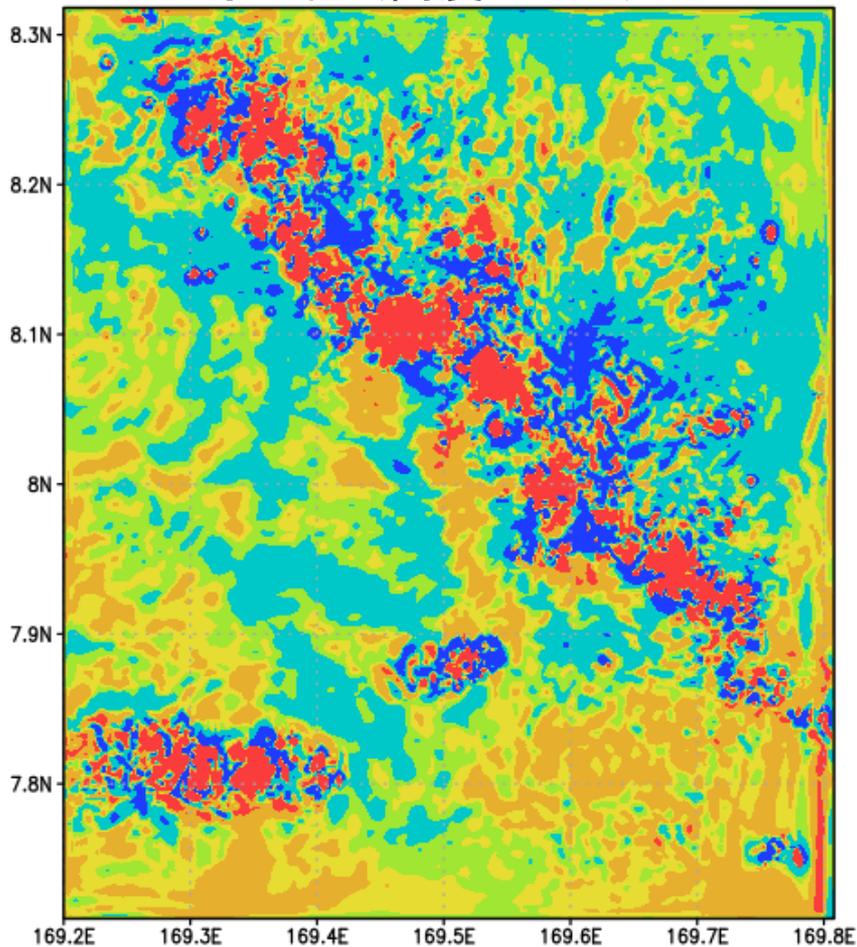


1km-NHM
($\Delta x=1\text{km}$)

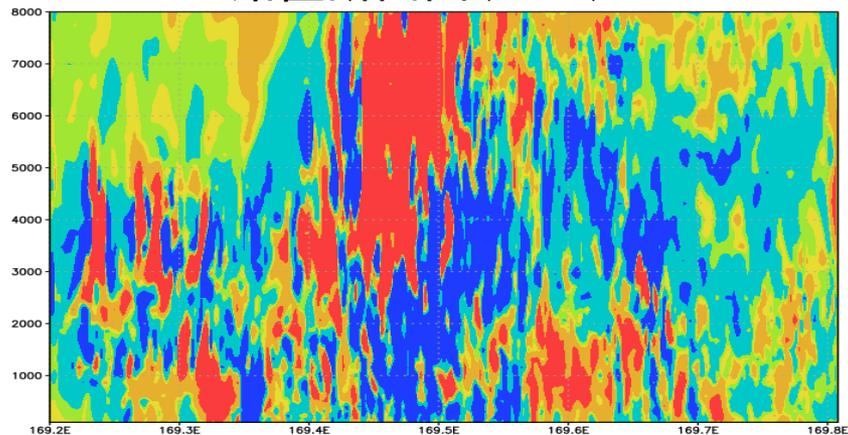
NHM $\Delta x=200\text{m}$ 鉛直流w

0.5m/s以上の下降流は青、上昇流は赤

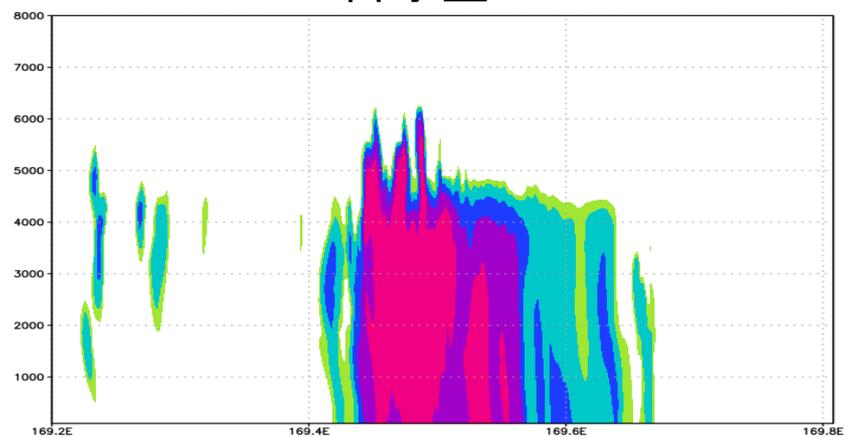
水平図 (高度4200m)



鉛直断面図 (8.1N)



降水量



下降流(青)は、降水を伴うダウンドラフトと対応していないものがある
(重力波に伴う下降流とも考えられる)

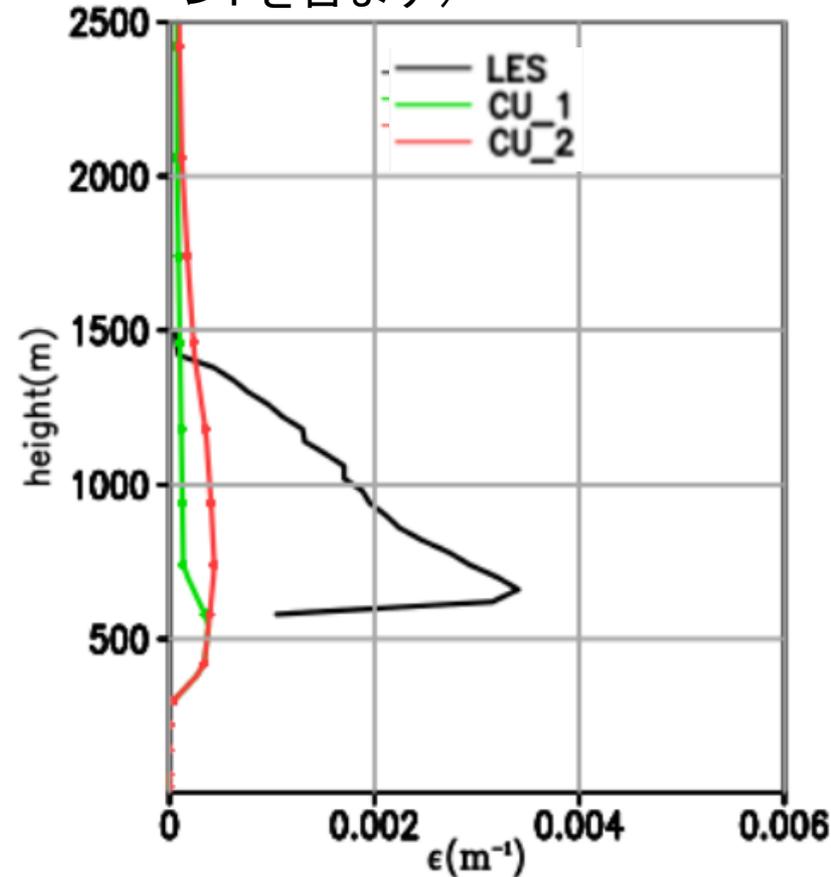
図: 杉さん作成

雲解像モデルで積雲についての知見を得て、積雲対流スキーム改良に生かせれば

LESとの比較

- LESとMRI-AGCM鉛直一次元モデルとの比較
- LESはUCLA LES
 - 水平格子間隔100m
 - 鉛直格子間隔40m
 - Warm Rain
- 浅い積雲の立つ環境場で実験
⇒YS積雲で浅い積雲のエントレインメント率をより大きくする必要があることが判明
(乾燥大気で組織的エントレインメントを大きくする変更により、ある程度改善される可能性あり)

LESとYS積雲スキームのエントレインメント率の違い
(ただし、組織的エントレインメントを含まず)

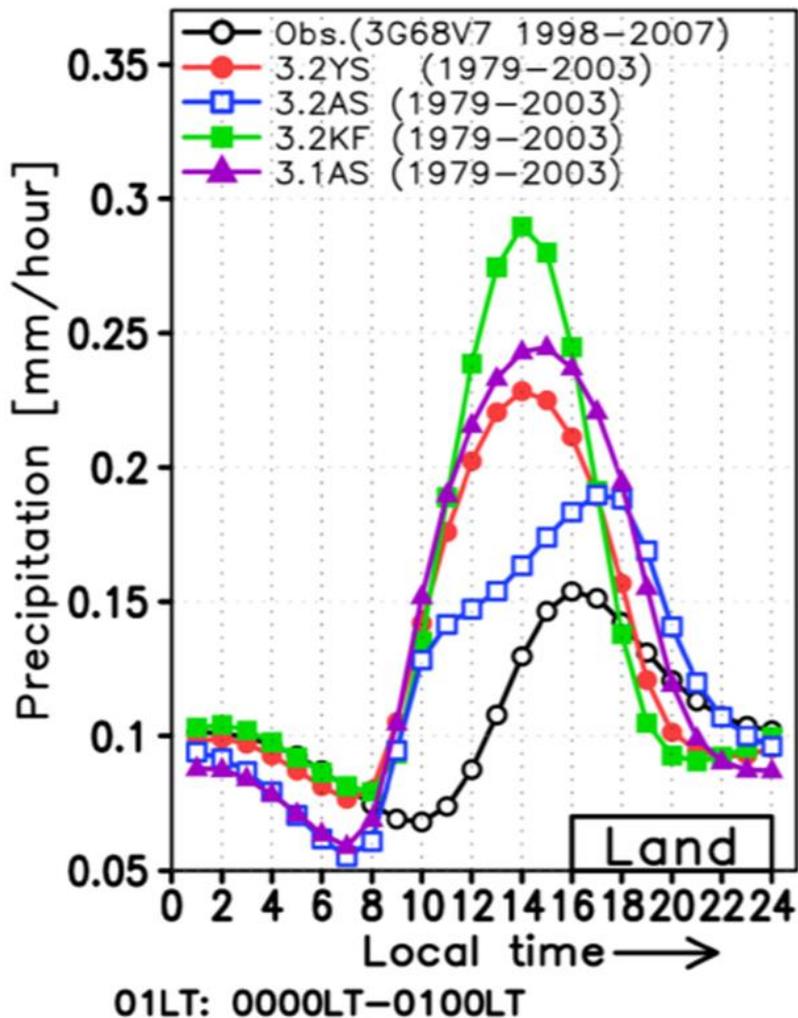


図：新藤さん作成

多くの積雲対流スキームにとっての課題

- 降水の日周期で、降水増加のタイミングが早い
 - 地表付近・境界層での気温上昇にすぐに反応して積雲対流を立ててしまう
 - 反応を遅らせる仕組みが必要
 - 積雲に関する変数の予報変数化は1つの方向性
- 陸上での雲の過少
 - 積雲対流の占める割合 σ (積雲による雲量)を計算していない($\sigma \ll 1$ と近似している)ことも一因？

降水の日周期



降水日周期(年平均)

30S~30Nの陸上

観測

黒: TRMM 3G68V7/PR

モデル

大気モデル MRI-AGCM3.2 or 3.1

赤: YS積雲

緑: KF積雲

紫: AS積雲(DCAPEトリガリングなし)

青: AS積雲(DCAPEトリガリングあり)

DCAPEトリガリング: 力学過程による
CAPEの時間変化率(DCAPE)が負だと、
積雲対流スキームの発動を抑制

Arakawa et al. 2015 (WGNE BlueBook)

気象研荒川さん

全体的に降水の強まるタイミングが早い

積雲対流に関する変数の予報変数化

- 予報変数化することにより過去の履歴が反映される
- YS積雲スキームでは積雲の変数を診断的に求める
- 気象庁Arakawa-Schubertでは、雲底マスフラックスが予報変数（予報方程式で時間発展を求める）
- Piriou and Gueremy 2013 (WGNE BlueBook), 2016 (WGNE-31)では、積雲中の雲水・雲氷・降雨・雪・鉛直速度を予報変数に
 - 積雲の占める割合 σ も $\sigma \ll 1$ と近似するのではなく計算で求める（おそらく予報変数にしている）
 - 降水日周期や降水強度分布が改善されている
 - より現実に近い積雲モデルになっていると考えられる
 - 難易度は非常に高い

まとめ

YS積雲対流スキーム

- エントレインメント率の違う積雲上昇流を2つ計算し内挿することにより、高さの違う複数の積雲上昇流を表現
- 気象研究所地球システムモデルで使用
- 気象庁GSM1403にもテスト的に導入し、更に改良を試みる
 - 組織的エントレインメントの変更(乾燥しているところで大きくする)
⇒7km解像度での降水分布、MJOの強度等が改善
- 高解像度(雲解像)モデルと比較を行う
 - 浅い積雲の立つ環境場でエントレインメント率をより大きくする必要

多くの積雲対流スキームにとっての課題

- 降水の日周期で降水増加のタイミングが早い
- 陸上での雲の過少
- 積雲中の水物質・鉛直速度の予報変数化、積雲の占める割合を計算することが、改善のための1つの方向性