

# 衛星観測シミュレータ COSP を用いた 気象研気候モデル MRI-CGCM3 の 雲の検証

こうしろ つよし  
\*神代 剛, 川合秀明, 行本誠史 (気象研)

# 背景

- 気候モデルにおける雲表現の精緻化
  - 混合比, 数密度が予報変数に
  - MRI-CGCM3: 2モーメントバルク雲スキーム
- 観測と比較して再現性を検証することが重要
  - 放射収支や全雲量だけでは不十分
  - 3次元分布も含めた詳細な比較検証が必要

検証には全球的・立体的に雲を観測できる衛星データが有用だが、  
雲量の定義がモデルとの間で不整合である等の問題があり、  
これまでは比較が難しかった



## 衛星観測シミュレータの登場

モデルを疑似観測した結果を衛星観測と直接比較することが可能になった

# 衛星観測シミュレータ COSP

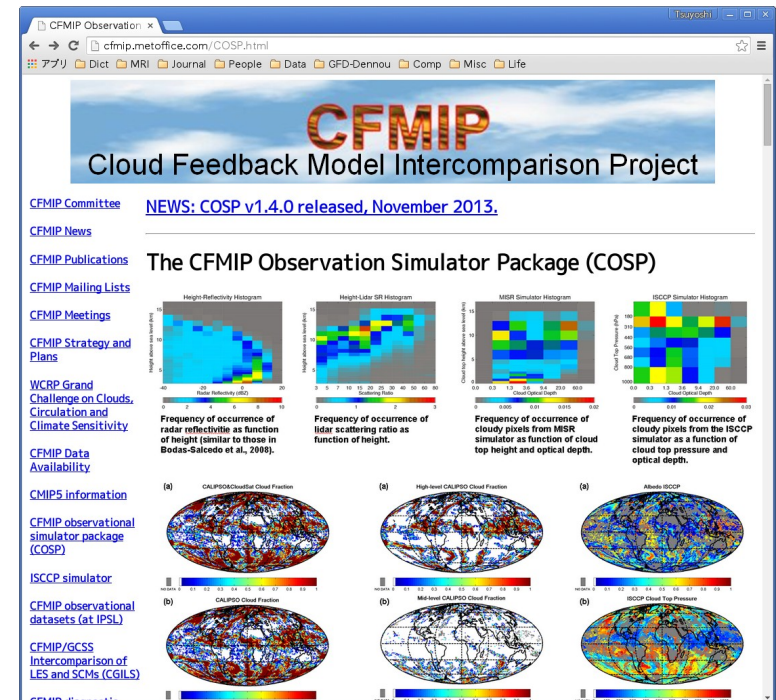
## CFMIP Observation Simulator Package

CFMIP (Cloud Feedback Model Intercomparison Project) の主導で開発された、複数の雲観測衛星測器シミュレータの統合パッケージ

<http://cfmip.metoffice.com/COSP.html>

- ISCCP simulator から発展
- 利用できるシミュレータ (それぞれ on/off が可能)
  - ISCCP
  - CALIPSO
  - CloudSat
  - MISR
  - MODIS
  - RTTOV (オプション)

CMIP5の一部として実施された  
CFMIP2実験の提出変数



- モデルに組み込んでインライン計算することを前提にした設計 (F90のモジュールとして統合)
- 比較観測データが整備: CFMIP-OBS <http://climserv.ipsl.polytechnique.fr/cfmip-obs/>

## 気象研気候モデル MRI-CGCM3 への組み込み

同梱のテストプログラムを参考にインターフェイス部 cosp\_driver.F90 を作成, COSPと結合

- 物理過程の最後でサブルーチン cosp\_driver\_\_run を実行 (デフォルト: 3時間毎)
  - 入力変数を一括で与えて, 順にシミュレータを実行し, 結果を得る (モジュール変数)
  - MRI-CGCM3の標準モニタの形式 (GrADS形式) でファイル出力する

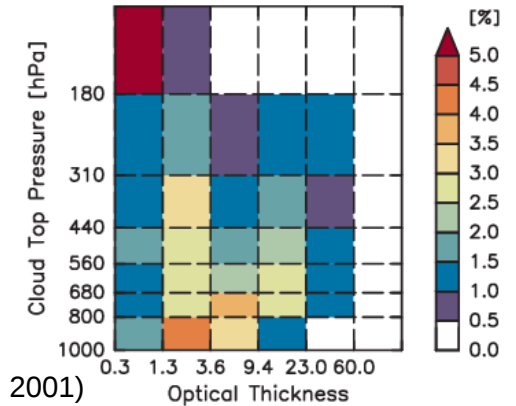
# ISCCP simulator

## ISCCP (International Satellite Cloud Climatology Project)

静止気象衛星により観測された赤外・可視の輝度温度を元に  
雲頂気圧・光学的厚さで分類した雲量 を算出したデータセット

= サブカラムで最も高い雲の雲頂気圧と  
サブカラム内のすべての雲による光学的厚さ  
で分類した頻度分布

ISCCP D1 (2000.7-2008.6)



### モデル変数

- ・光学的厚さ (670 nm)
- ・長波放射率 (10.5  $\mu\text{m}$ )
- ・気温
- ・気圧
- ・比湿
- ・地表面温度
- ・昼夜フラグ

・雲量

### ISCCP simulator (Klein and Jakob 1999, Webb et al. 2001)

#### ICARUS (The ISCCP Clouds and Radiances Using SCOPS)

- ・各サブカラムの赤外輝度温度を計算
- ・光学的厚さを考慮して衛星からみた雲頂温度を算出
- ・その温度に最も近いレベルの気圧を雲頂気圧とする

#### SCOPS (The Subgrid Cloud Overlap Profile Sampler)

雲の有無のサブカラムデータ  
を作成

下層雲の上に薄い  
上層雲がある場合  
に中層雲と誤判定  
される過程が再現  
されている!

### シミュレータの設定 (MRI-CGCM3の場合)

- ・モデルのオーバーラップ仮定: 3  
1: max 2: rand 3: max/rand  
から選択
- ・仮定するサブカラム数: 120  
モデル解像度(degree) x 100  
が推奨値

※ MISR, MODIS simulator も同様:  
**SCOPS** の結果とモデルからの入力変数を持ちいて、  
それぞれの測器による観測を模した計算をおこなう

# CALIPSO & CloudSat simulator

## CALIPSO: ライダーによる雲観測衛星

### SCOPSの結果

雲の有無サブカラムデータ

### モデル変数

- ・雲水, 雲氷の混合比
- ・雲水, 雲氷の有効半径
- ・気温
- ・気圧

ActSim

(Chepfer et al. 2008)

532 nm ライダー  
減衰後方散乱強度  
を計算

統計  
処理

- ・散乱比のCFAD
- ・3次元雲量
- ・上中下層雲量  
(ISCCPに対応)

※ 散乱比: totalの減衰後方散乱強度と  
大気分子による減衰後方散乱強度との比

## CloudSat: レーダーによる雲観測衛星

### SCOPSの結果

雲の有無サブカラムデータ

### モデル変数

- ・降雨, 降雪フラックス
- ・雲水, 雲氷の混合比
- ・雲水, 雲氷の有効半径
- ・気温
- ・気圧
- ・相対湿度
- ・高度

降水の有無サブカラムデータ

混合比・  
有効半径

QuickBeam

(Haynes et al. 2007)

94GHz  
レーダー反射率  
を計算

統計  
処理

- ・レーダー反射率  
のCFAD

※ CFAD: Contoured Frequency by Altitude Diagram  
信号強度の高度別頻度分布

→ ある閾値以上は雲ありとみなせば, 雲量が求まる

# MRI-CGCM3の雲分布検証

## MRI-CGCM3 によるシミュレーション

CMIP5 大気+エアロゾルモデル歴史実験 AMIP with COSP v1.3.2

- ISCCP: 2000年1月–2009年12月
- MISR: 2000年1月–2009年12月
- CALIPSO: 2000年1月–2009年12月
- CloudSat: 2008年1月–2008年12月  
(MODIS も出力しているが, 本発表では省略)

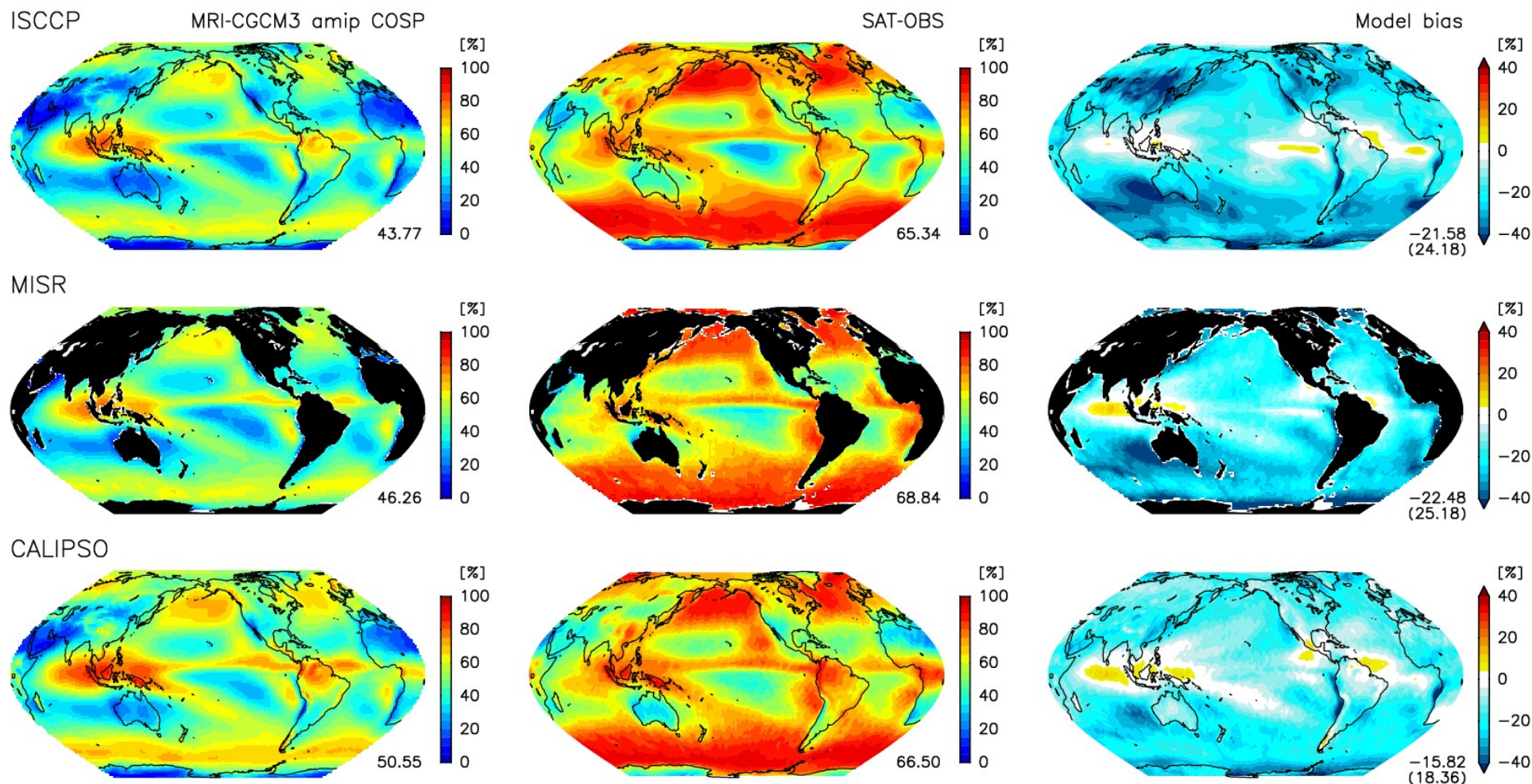
## 衛星観測データ

CFMIP-OBS <http://climserv.ipsl.polytechnique.fr/cfmip-obs/>

- ISCCP: 2000年7月–2008年6月
- MISR: 2000年12月–2009年11月
- CALIPSO: 2006年6月–2012年6月
- CloudSat: 2008年1月–2008年12月

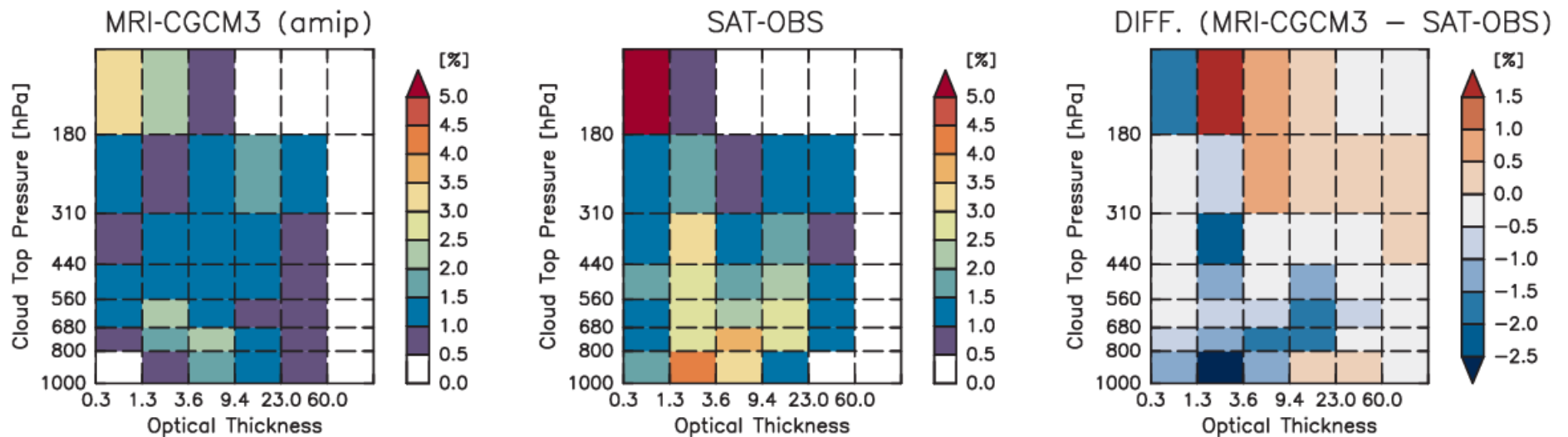


# 全雲量の全球分布



どの衛星データでみても、全球平均で20%程度の過少評価

# ISCCP diagram

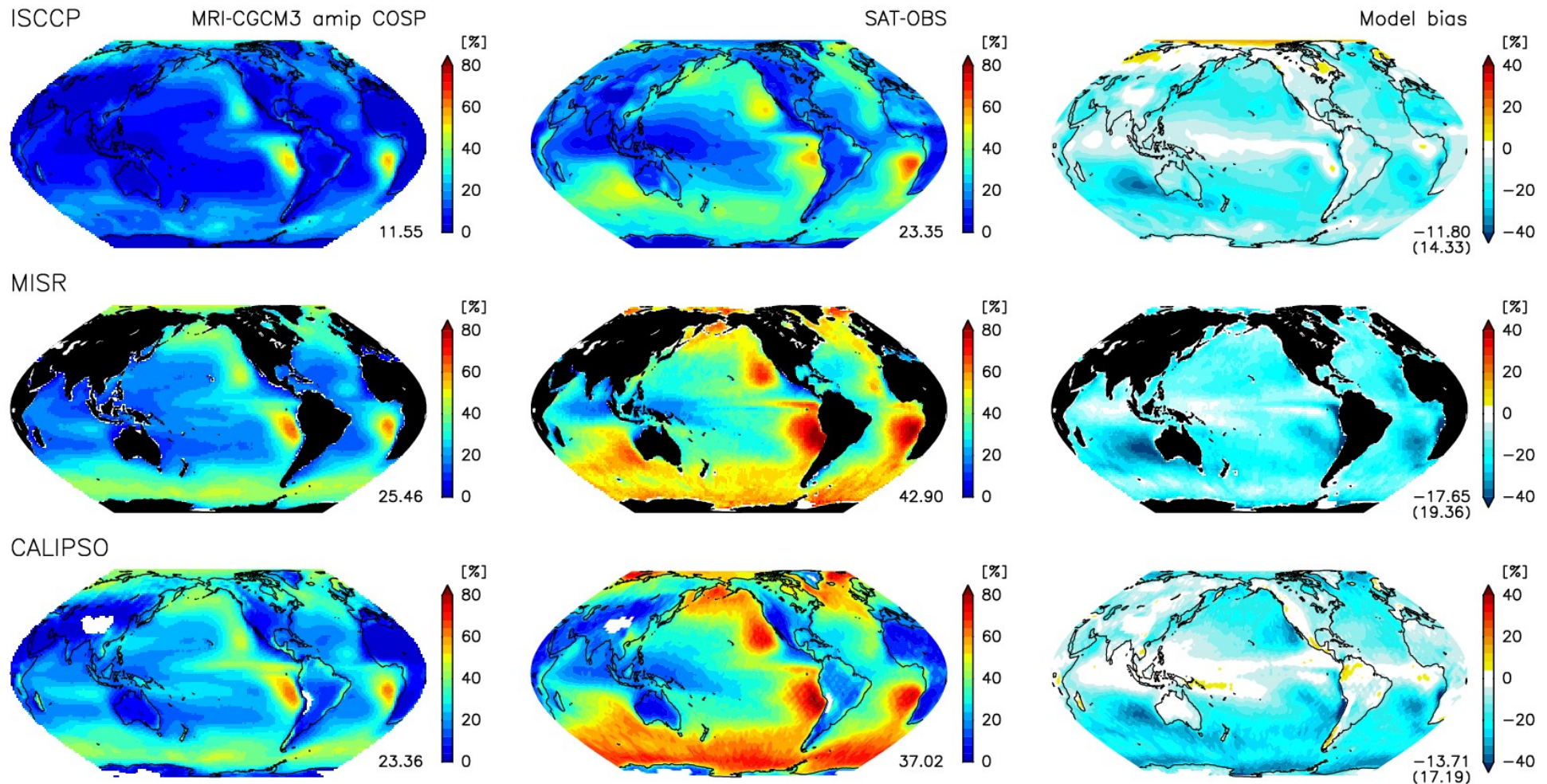


全球的な特徴:

- 中・下層雲量が少ない
- 上層雲が光学的に厚い



# 下層雲量の全球分布

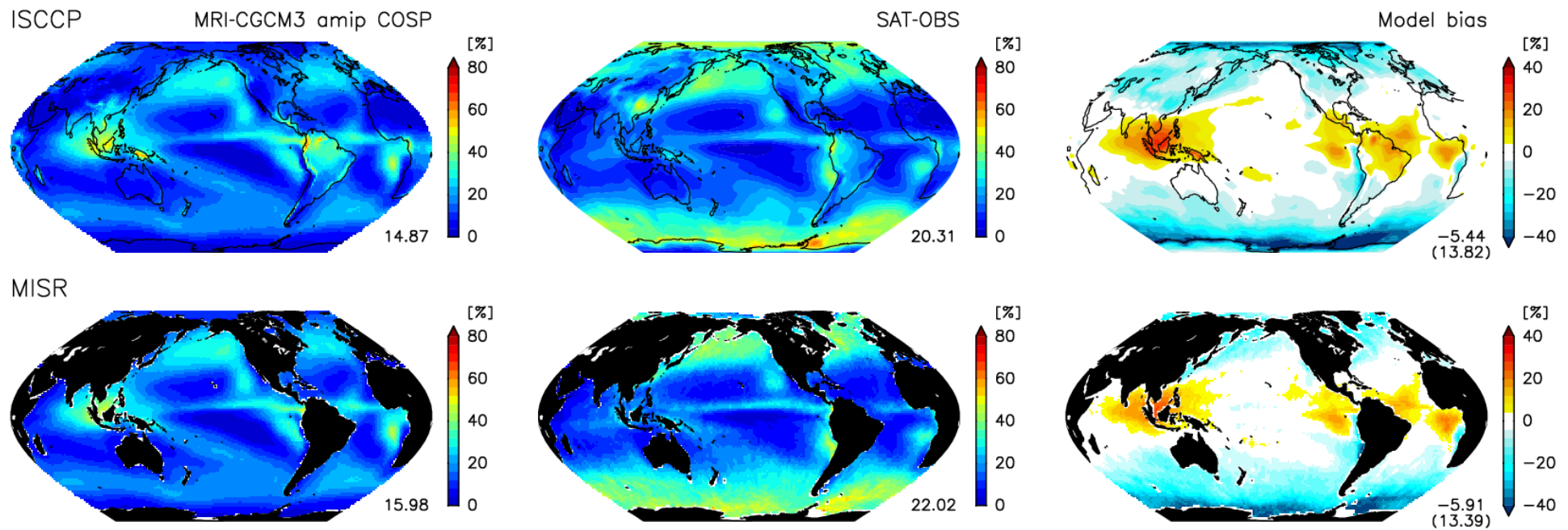


どの衛星データでみても、全球平均で15%程度の過少評価

- 中緯度, 特に南大洋
- 亜熱帯大陸西岸の下層雲域

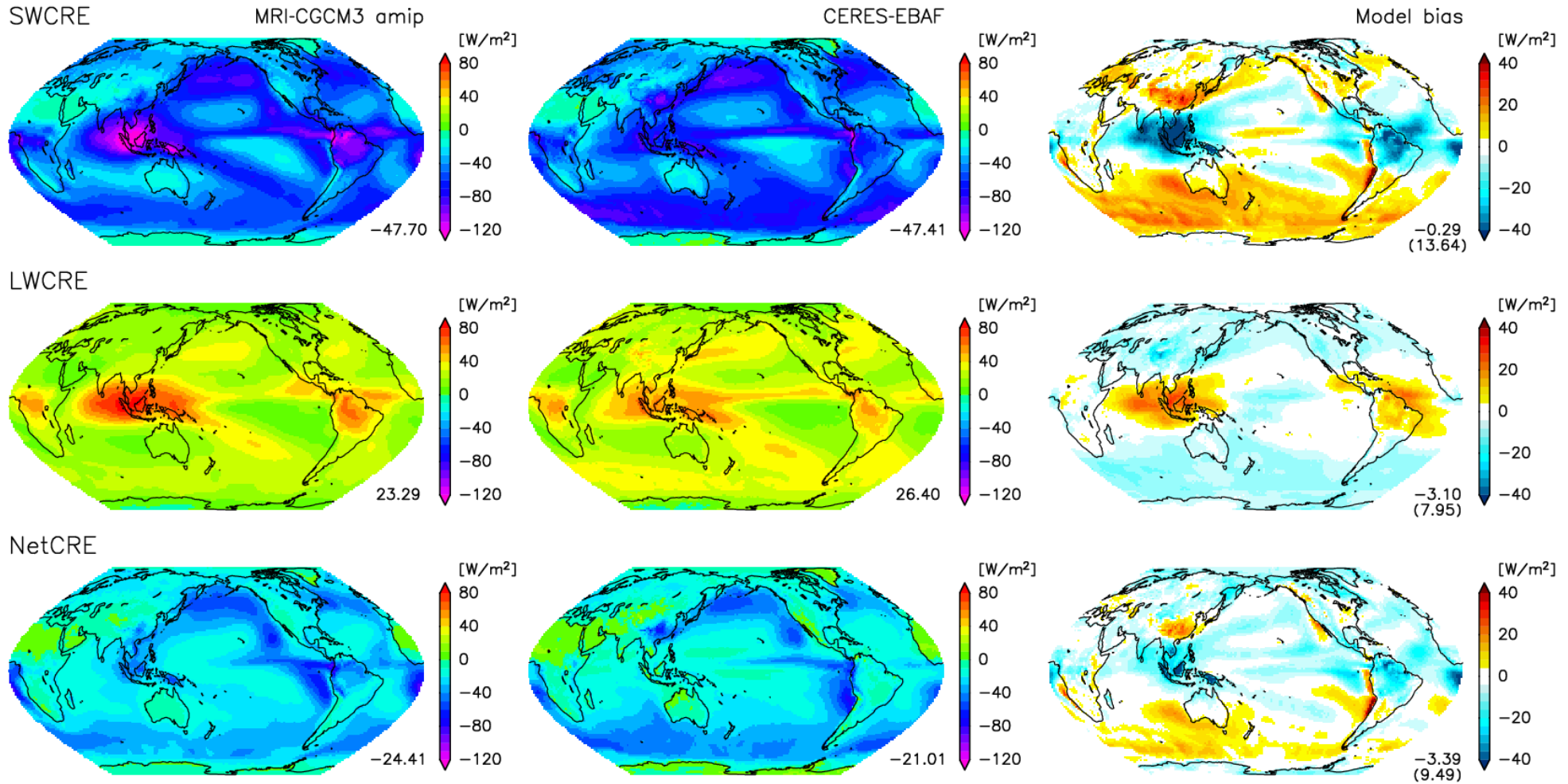
# 光学的に厚い雲の雲量の全球分布

( $\tau > 9.4$ )



- 熱帯対流域で過大評価
- 中緯度, 特に南大洋で過少評価

# 雲放射効果

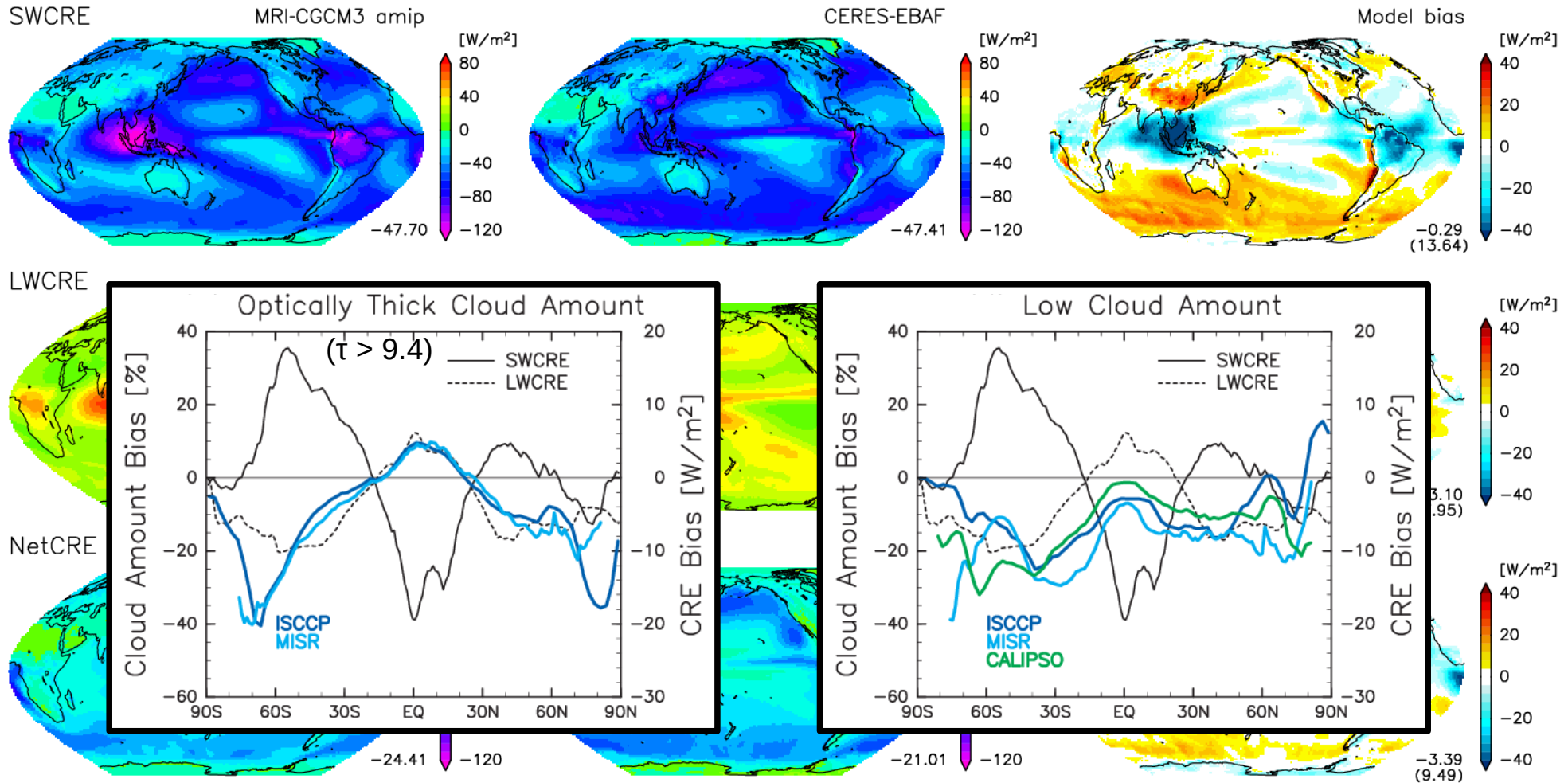


短波放射効果の違いが大きい

- 熱帯対流域で負バイアス
- 中緯度, 特に南大洋で正バイアス



# 雲放射効果



短波放射効果の違いが大きい

- 熱帯対流域で負バイアス  $\iff$  光学的に厚い雲が過剰
- 中緯度, 特に南大洋で正バイアス  $\iff$  下層雲が過少・光学的に薄い

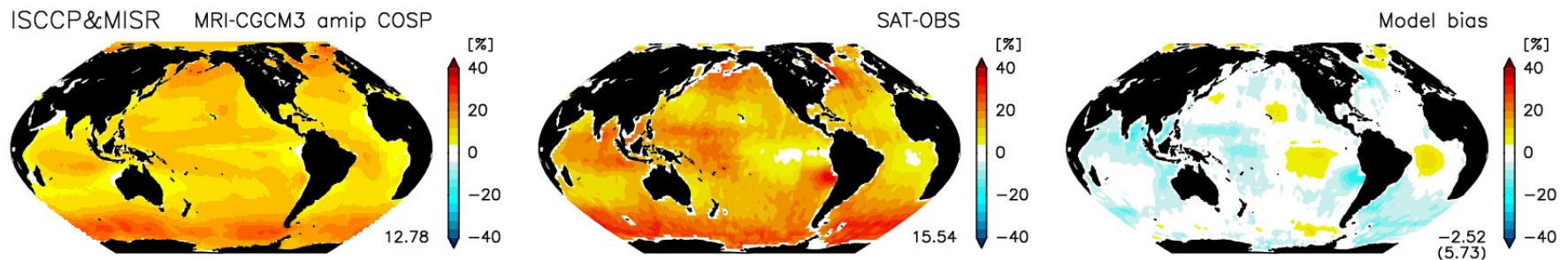
# 衛星の複合利用: ISCCP & MISR

MISR (Multi-angle Imaging SpectroRadiometer)

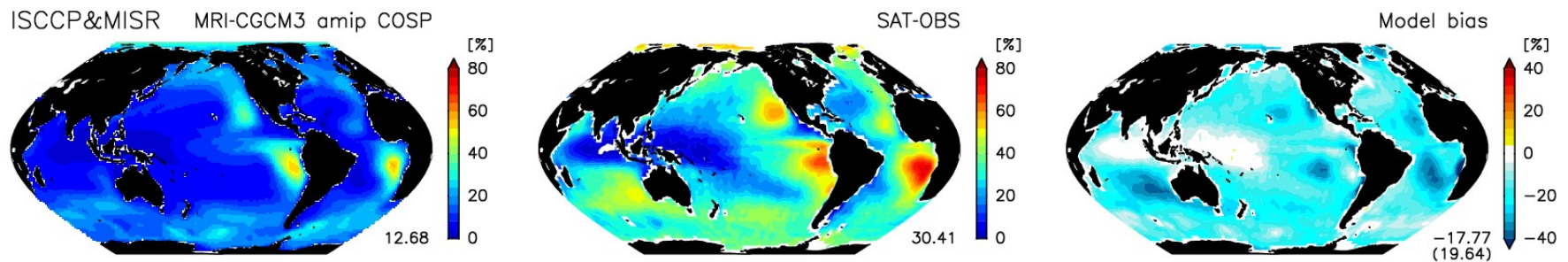
stereo-imaging technique: 雲の重なりが検出できる

多層雲 (multilayer cloud) の雲量: Marchand et al. (2010) による手法

Estimated Multilayer Cloud Amount (ISCCP HM – MISR HM)



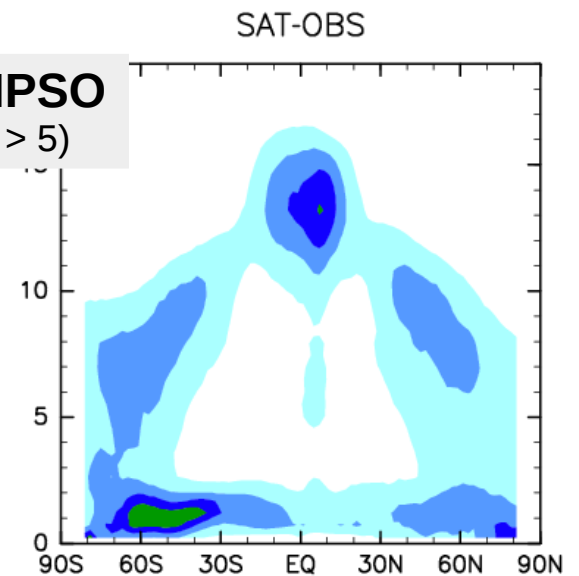
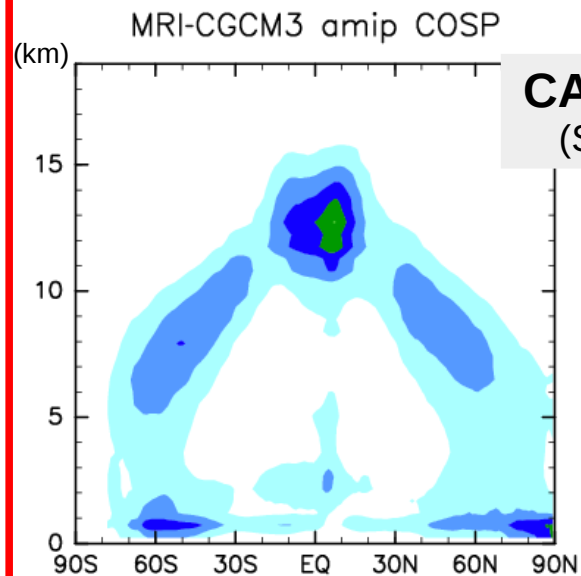
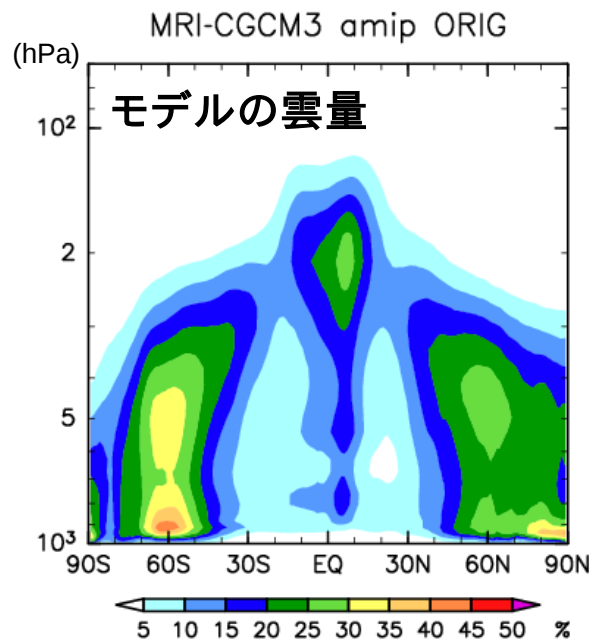
Estimated Single-layer Low Cloud Amount (MISR L – [ISCCP HM – MISR HM])



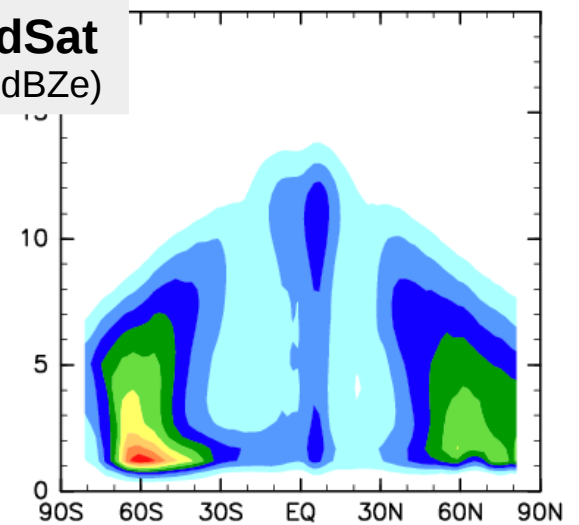
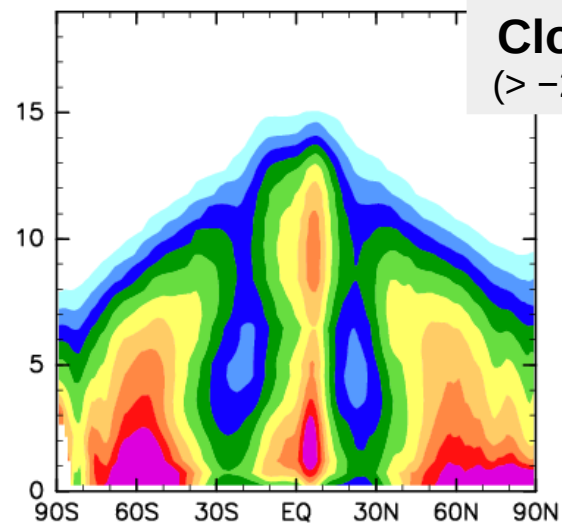
雲量バイアス: 多層の雲 << 一層の雲



# CALIPSO & CloudSat 東西平均雲量



CALIPSO  
(SR > 5)



## CALIPSO

比較的よく一致しているが、

- ・下層雲が全球的に過少
- ・南大洋では差が大きい
- ・熱帯上層雲はやや過剰

## CloudSat

全球的にかなり過大評価  
→ 降水の影響

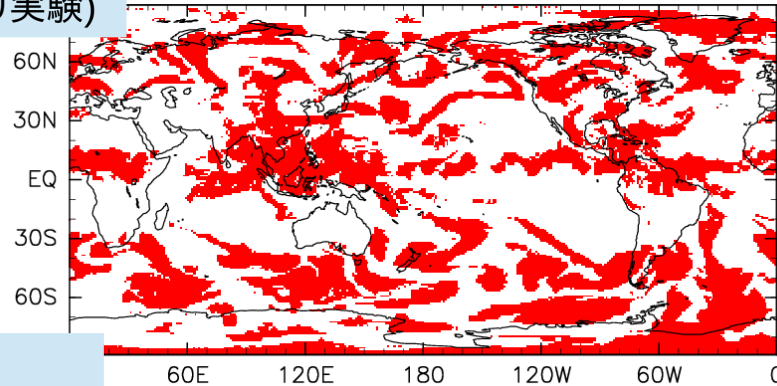
(いずれも2008年平均)

# CloudSat simulator 結果と降水分布

MRI CGCM3 amip 2008-07-01 00:00:00 [4500 m 付近]

COSP  
雲ありグリッド  
(降水あり実験)

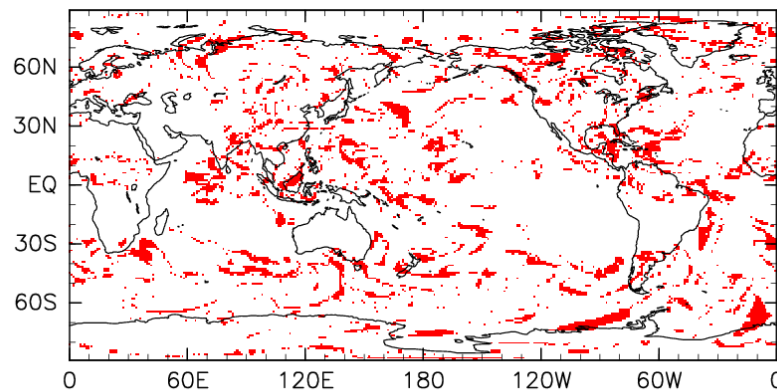
COSP CloudSat cl+pr [z=10]



COSP  
雲ありグリッド  
(降水あり実験 - 降水なし実験)

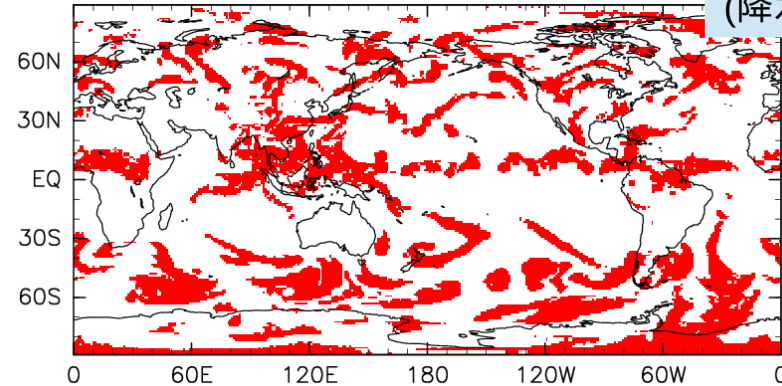
= 降水のみで雲ありと  
判定されたグリッド

COSP CloudSat (cl+pr)-cl [z=10]



COSP  
雲ありグリッド  
(降水なし実験)

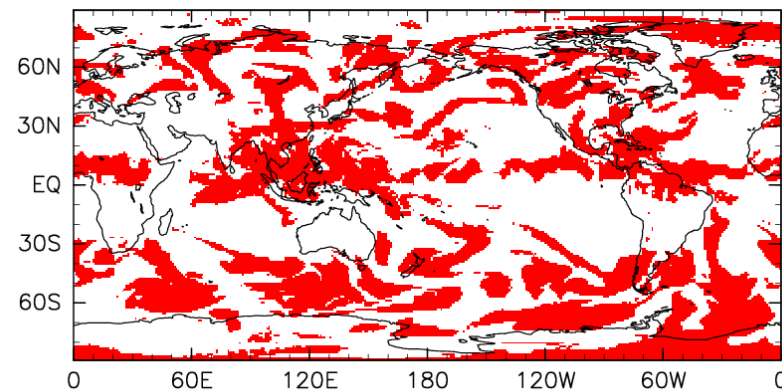
COSP CloudSat cl [z=10]



モデルの  
降水ありグリッド

~ 0.01 mm/day

MODEL pr > 1e-7 kg/m<sup>2</sup>/s [z=13]



弱い降水が頻繁にみられる  
→ 気候モデルの問題点?

# まとめ

気象研究所の気候モデル MRI-CGCM3 に、衛星観測シミュレータ COSP を組み込み、衛星観測と比較して雲の再現性を評価することが可能になった。比較結果はモデルの改良を進めるのに大きく役立っている。

現在、CMIP6に向けた次期バージョンを開発・調整中。  
雲を中心に放射・降水・エアロゾルと関わる部分も改良されてきている。  
CMIP5版でのCOSP出力と比較することで、改善点や残された問題点を調べていきたい。

CMIP5/CFMIP2で提出されたCOSP出力は、単にモデルの雲検証のためだけでなく、雲フィードバックや気候感度のメカニズム研究に幅広く利用されるようになった。CMIP6では、さらにCOSP出力の重要性が増すと思われる。今後もCFMIPへの参加を通じて、国際的な研究協力を進めていきたい。