



地球シミュレータ用 大気大循環モデルAFESの今

吉田 聡

海洋研究開発機構 地球シミュレータセンター
シミュレーション応用研究開発プログラム
地球流体シミュレーション研究グループ

榎本 剛

京都大学防災研究所

2012. 12. 12

日本における気象・気候モデルの技術的現状と今後の展開

@名古屋大学

AFES (AGCM for the Earth Simulator)

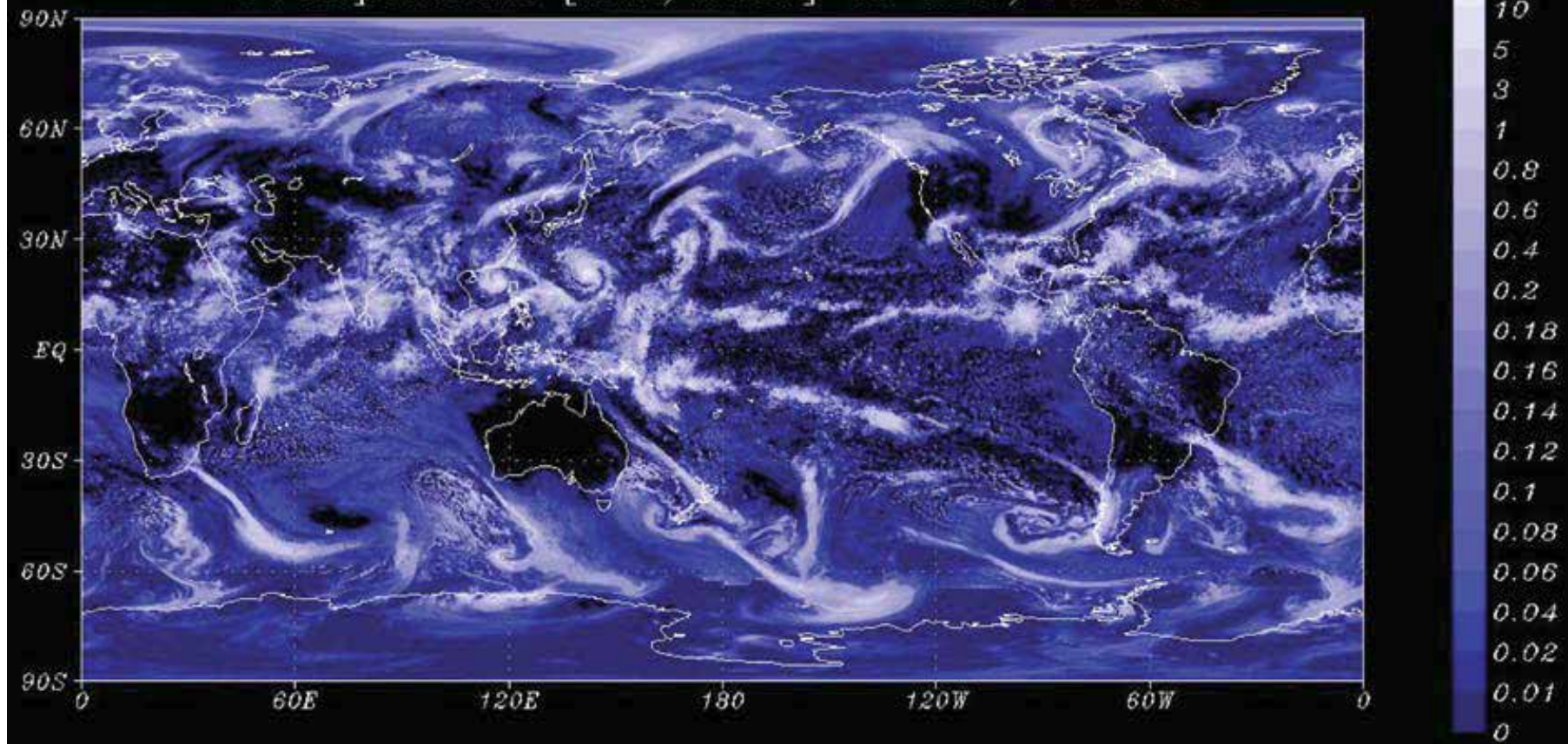
- 地球シミュレータ(初代)向けのAGCMとして、1998年から高度情報科学技術研究機構(RIST)、地球フロンティア研究システムによるタスクチームで開発開始
 - 前身のNJR(NASDA, JAMSTEC, RIST)は1995年から
- ベースはCCSR/NIES AGCM ver. 5. 4. 02
- 目標は「全球10km格子を5 TFLOPS」
- 実際は「26.58 TFLOPS(実効性能比65%)」を達成

A 26.58 Tflops Global Atmospheric Simulation with the Spectral Transform Method on the Earth Simulator

Satoru Shingu¹, Hiroshi Takahara², Hiromitsu Fuchigami³, Masayuki Yamada³,
Yoshinori Tsuda¹, Wataru Ohfuchi¹, Yuji Sasaki³, Kazuo Kobayashi³,
Takashi Hagiwara², Shin-ichi Habata², Mitsuo Yokokawa⁴, Hiroyuki Itoh⁵
and Kiyoshi Otsuka¹

- ¹ Earth Simulator Center, Japan Marine Science and Technology Center
3173-25 Showa-machi, Kanazawa-ku, Yokohama, Kanagawa 236-0001, Japan
singu@es.jamstec.go.jp
- ² NEC Corporation
1-10, Nisshin-cho, Fuchu-shi, Tokyo 183-8501, Japan
- ³ NEC Informatec Systems, Ltd.
3-2-1, Sakado, Takatsu-ku, Kawasaki, Kanagawa 213-0012, Japan
- ⁴ National Institute of Advanced Industrial Science and Technology
Tsukuba Central 2, Umezono 1-1-1, Tsukuba, Ibaraki 305-8568, Japan
- ⁵ National Space Development Agency of Japan
2-4-1, Hamamatsu-cho, Minato-ku, Tokyo 105-8060, Japan

AFES T1279L96
Precipitation [mm/hour] 03 SEP/15 21Z



Ohfuchi et al. (2004, JES)

成果

- AFESで培われたES向け最適化プログラミングは他のAGCMへ適用された(はず)。
- 全球10km解像度という夢物語を現実のものに。
 - ECMWFは2015年に10km解像度全球気象予報モデルを現業化予定 (AFES誕生から13年後)

ぼくたちの失敗

なぜ「10km」？

- 1993年「次世代機構モデル開発研究会(発起人:松野太郎)」
 - 「100 ~ 50km (T106 ~ T213) が第三世代モデル」
- 1995年ころ、「**全球10km、鉛直30層**」という研究者の発言があった。(「地球シミュレータ開発史より」)
- 10kmは静力と非静力の狭間
- 当時のMM5でさえ、10 ~ 5km格子が最先端

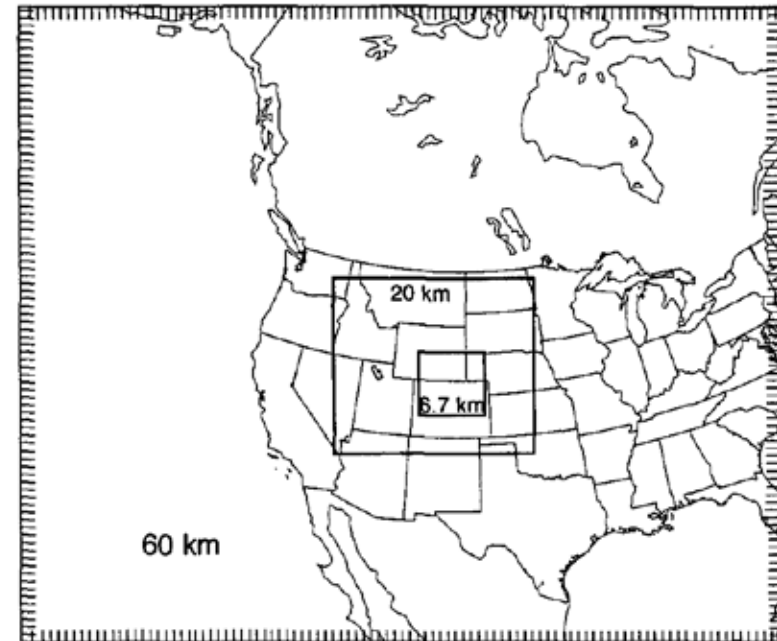


FIG. 18. Domain configuration for operational MM5 forecasts during WISPIT. Outermost domain has a 60-km resolution; middle domain is 20 km; smallest domain has a 6.7-km resolution. Tick marks on the 60-km grid indicate the grid spacing.

Davis (1995, MWR)

なぜ「5 TFLOPS」？

○ 気象・気候シミュレーションの解像度(格子間隔)

モデル	現在	地球シミュレータ
地域モデル	20 - 30 km	~1km
大循環モデル(AGCM)	50 - 100 km	5 - 10km



- ◆ 経度, 緯度方向: 4000 x 2000, 鉛直方向: 数10
- ◆ 時間ステップ: 現在の1/10程度

Cray C90でAGCMシミュレーションを実施した場合の実効処理速度(約4-6ギガフロップス)の1000倍の実効処理速度(約5テラフロップス)

地球シミュレータの開発目標は、当時のスーパーコンピュータの性能の約1,000倍、約5TFLOPSとされた

「地球シミュレータ開発史」から

- 10 km解像度は全ノード専有で25年分/年
- 「5年間全ノード専有」できれば100年積分

宝の持ち腐れ

- 10km (T1279) AFESの必要計算資源
 - 7200ノード時間/1ヶ月積分 T239なら8年積分
- 当時のAFES割り当てノード時間 (ES全体の1%弱)
 - 10万ノード時間 T1279で1年積分 T239なら100年積分
(温暖化プロジェクト並み(30%)あっても30年積分しかできない)
- 10km解像度は気候モデルとしては使えない。
- 数日積分なら領域メソモデルで足りる。
- 高解像度でないと計算性能が出ない。
- Ohfuchi et al. (2004) では計36日積分のみ。

親戚？他人？MIROCとの微妙な関係

- 物理過程はCCSR-NIES AGCM (現MIROC) のままで、高解像度向けではない
 - Emanuel積雲スキームの導入 (他人化)
- 気候モデルとしては放射、陸面過程が重要
 - MSTRNX、MATSIROの導入 (親戚化)
 - これらの改良はまずMIROCに導入されるので、常に後追い、。。
- JAMSTEC内での生き残りに怯える日々

AFESの今

- AFES ver. 4.1
- 実効性能: 10% (T239 on ES2)
- 開発人員: 2名
 - 吉田@ESC & 榎本@京大防災研
- ソース管理: git
- ドキュメント管理: wiki
- ユーザ: 10名くらい
- 水平解像度: T19, T39, T79, T119, T239, T639 (いわゆる**第三世代モデル**)
- 鉛直解像度: L48 (~ 2hPa)、L56 (~ 0.1hPa)
- 出力形式: GrADS
- 入力形式: AFES形式
- 計算資源: 2万ノード時間/年 (=T239 100年積分)

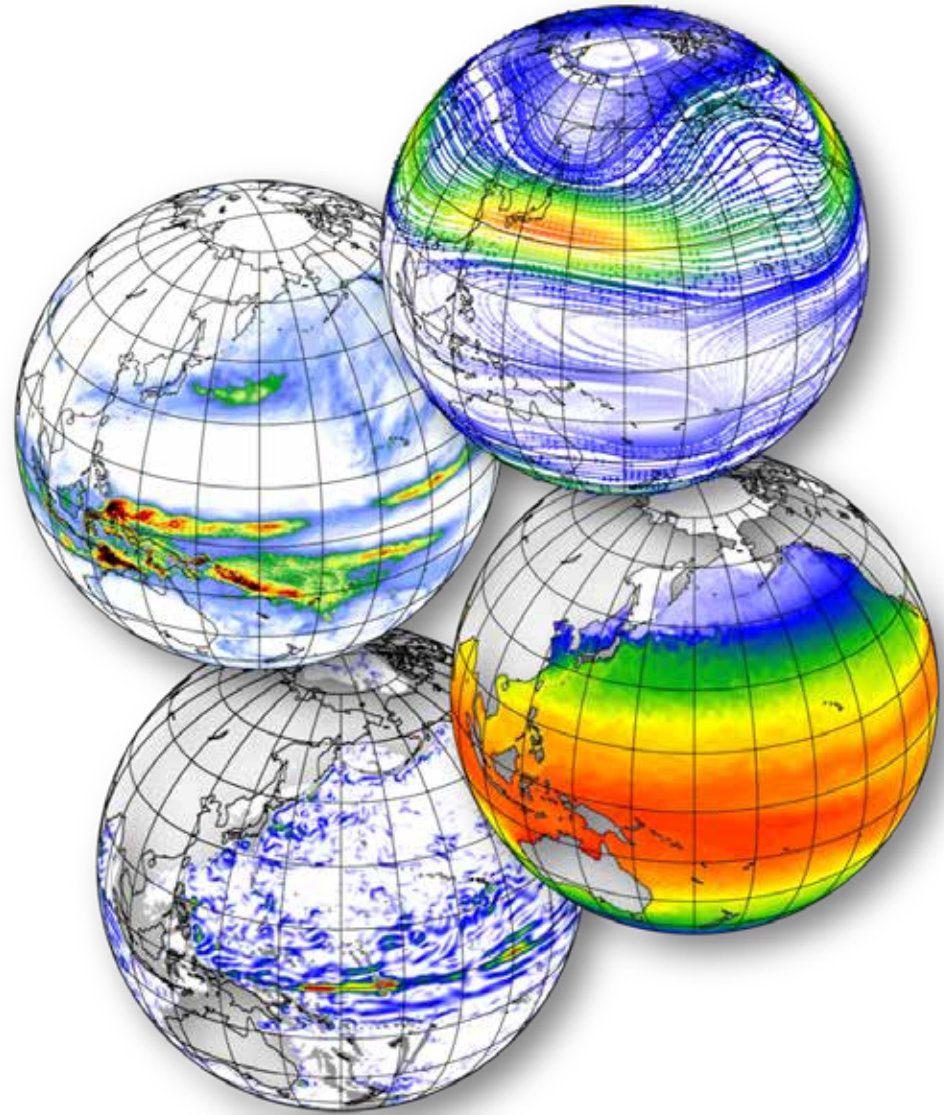
開発履歴 (Ohfuchi et al. (2004) 以後)

- Ver. 2: Emanuel, MSTRNX導入 (Enomoto et al. 2008)
- Ver. 3: 下層雲スキーム改良 (Kuwano-Yoshida et al. 2010)
- Ver. 4: 移流スキーム改良 (Enomoto 2008)、ES2向け最適化
- Ver. 5?
 - Emanuelスキーム改良 (Kuwano-Yoshida 準備中)
 - NICAM、MIROCで行われたES2への最適化の導入
- MATSIROや海氷過程の改良は手つかず

これが僕らの生きる道

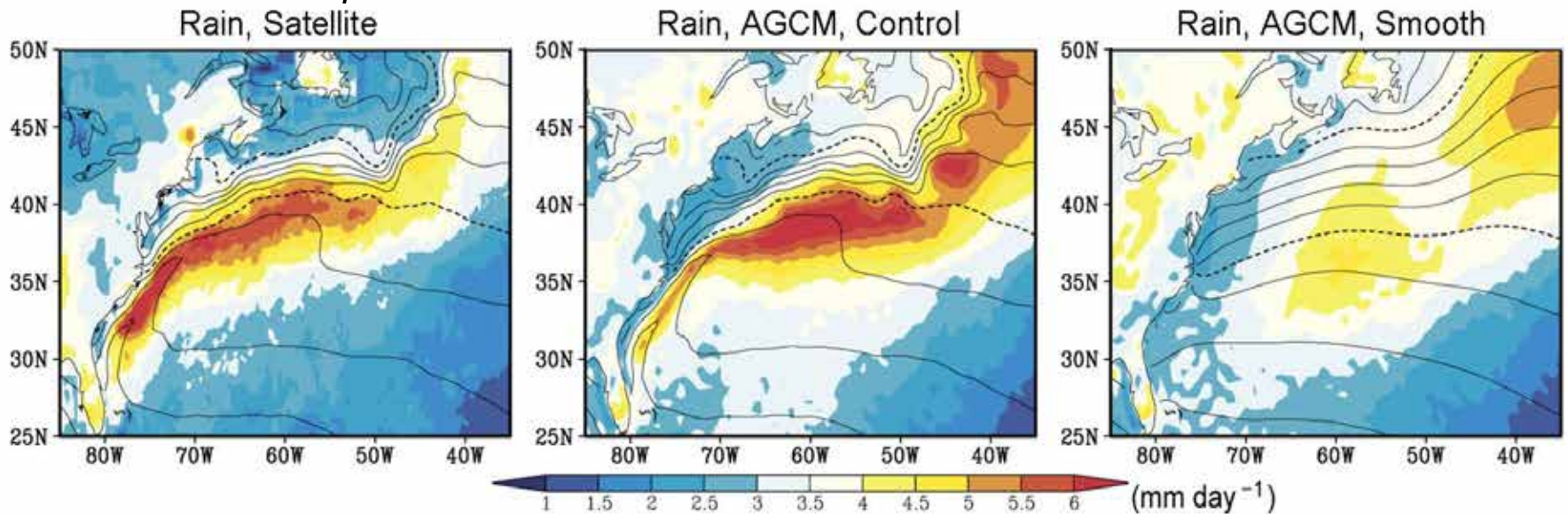
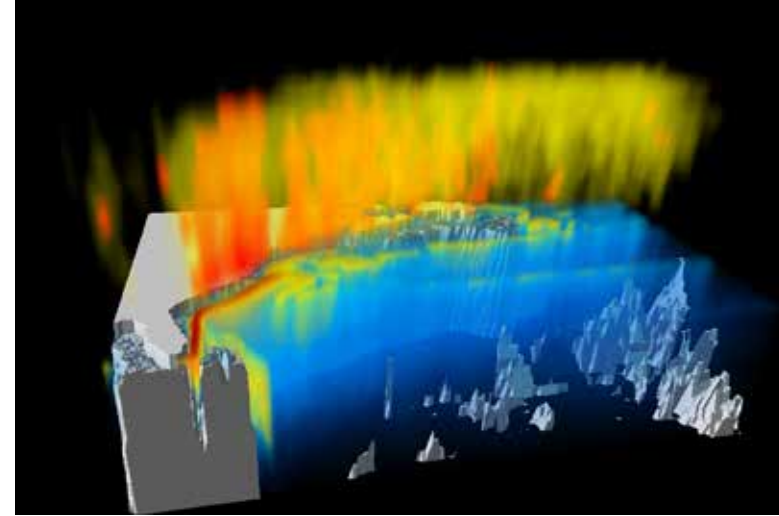
CFESの中のAFES

- OFESとの結合モデル
- 長期(100年以上積分)
 - CFES mini
 - T119AFES + 0.5度OFES
- 短期(数十年積分)
 - CFES standard
 - T239AFES + 0.25度OFES



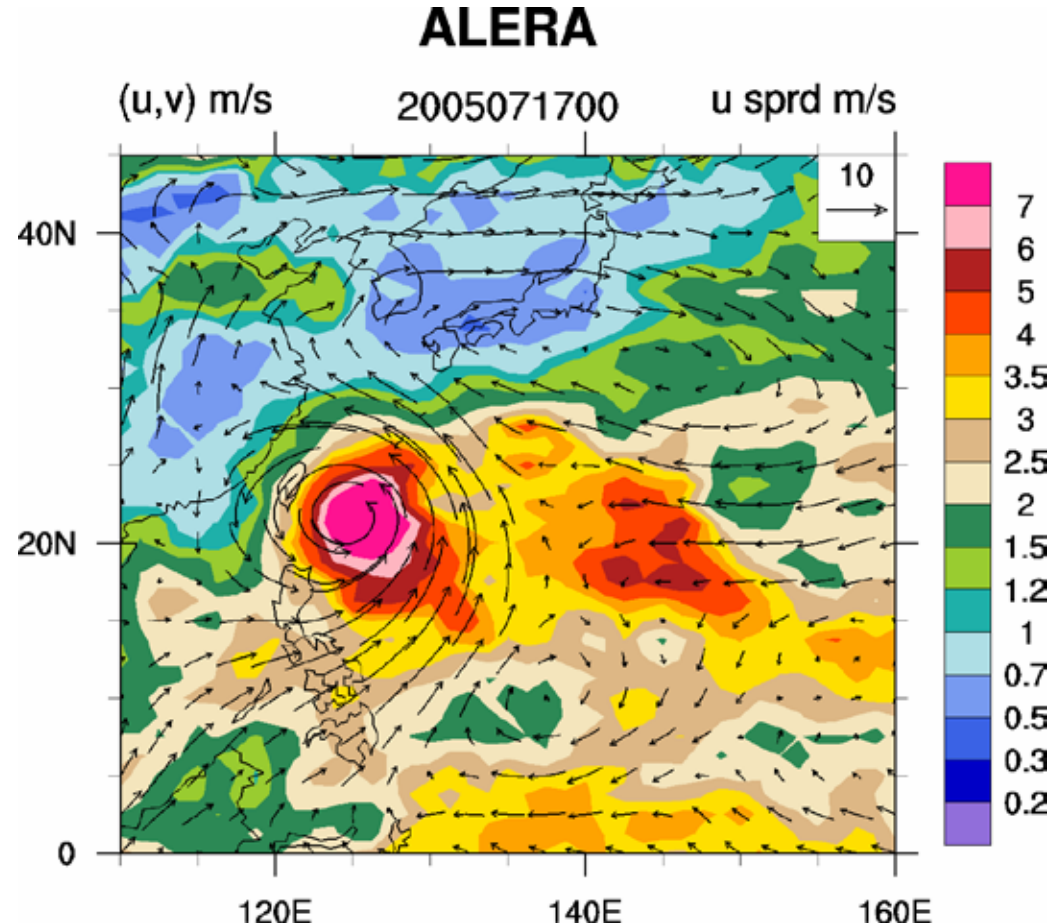
中緯度大気海洋相互作用

- 中緯度海面水温前線域 (黒潮親潮、メキシコ湾流) での大気応答
 - T239 20年積分+SST感度実験
 - T79, T119水惑星実験 (東大)
 - CFES std., CFES mini



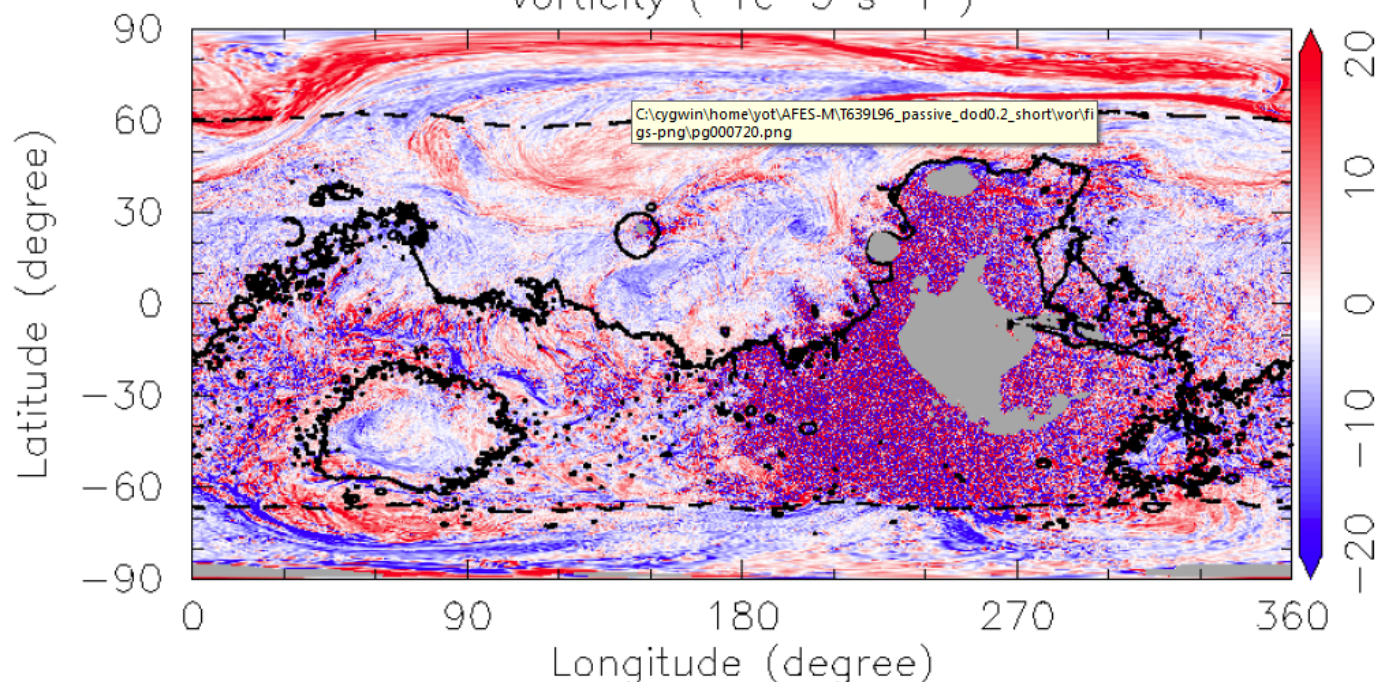
予測可能性、観測システム

- AFES+LETKFアンサンブルデータ同化
 - ALERA: T159 x 40メンバー
 - ALERA2: T119 x 63メンバー
 - CLERA-A: CFES mini x 40メンバー
- LETKFは他のモデルでも続々導入中、。



• 4 hPa 気圧面での渦度分布

Year 1, Ls = 216.1 degrees, 0.0 hour
vorticity ($1e-5 \text{ s}^{-1}$)



- 惑星規模から~10 km まで様々な水平規模の擾乱を表現
 - 低緯度の多数の小規模渦群(対流活動起源と考えられる),
 - 局所的な地形の起伏に伴う流れ.

AFES未来の会

- CMIPモデル、現業モデルのちょっと先(斜め上)？
- 日本標準ではなく世界標準？
 - RRTM放射モデル
 - セミラグ化
 - σ -pハイブリッド
 - 非静力化
- 領域モデル、同化システムとの連携？
 - ALERA、CLERA
 - AFES-CReSS
- その他の物理過程をup-to-dateする人員が、、。
 - 共通ライブラリを利用？