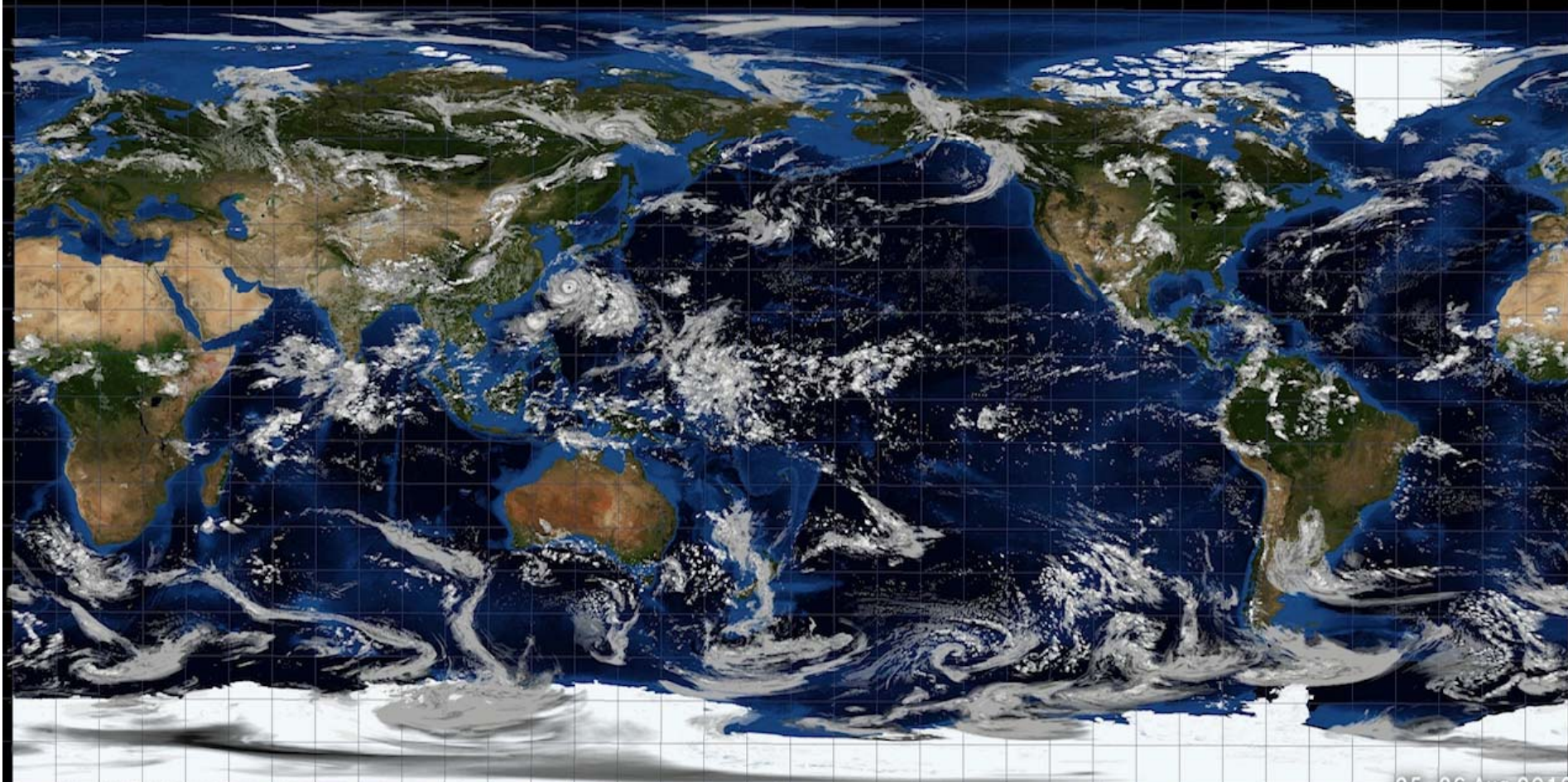


NICAMによる台風予測



25-26, Aug, 2012
TY: Bolaven
© NICAM project

TimeStep: 14

佐藤正樹（東京大学大気海洋研究所/JAMSTEC）

協力：中野満寿男、沢田雅洋、山田洋平、HPCI戦略プロジェクト

第6回気象庁数値モデル研究会「数値モデルによる台風予報の課題と展望」

2013年3月6日気象庁 Group web page <http://nicam.jp>

全球非静力学モデル NICAM

- 気候モデルの不確定性の最大要因
 - 格子間隔 10-100km の気候モデルでは積雲対流を解像できない。
 - 積雲パラメタリゼーションが不確定性の大きな要因
- 全球雲解像モデル
 - 格子間隔 km スケールの全球非静力学モデル
 - 対流雲を陽に表現
 - 非静力学正20面体大気モデル
Nonhydrostatic ICosahedral Atmospheric Model (NICAM)

2000年頃から開発開始: 東京大学+JAMSTEC

Tomita and Satoh(2005, *Fluid Dyn. Res.*), Satoh et al.(2008, *J. Comp. Phys.*)

2004年: 地球シミュレータを利用した世界初の格子間隔3.5km全球雲解像

Tomita et al.(2005, *Geophys. Res. Lett.*), Miura et al.(2007, *Science*)

2011年より: 「京」コンピュータ(神戸、理研) HPCI 戦略プロジェクト

分野3 防災・減災に資する地球変動予測

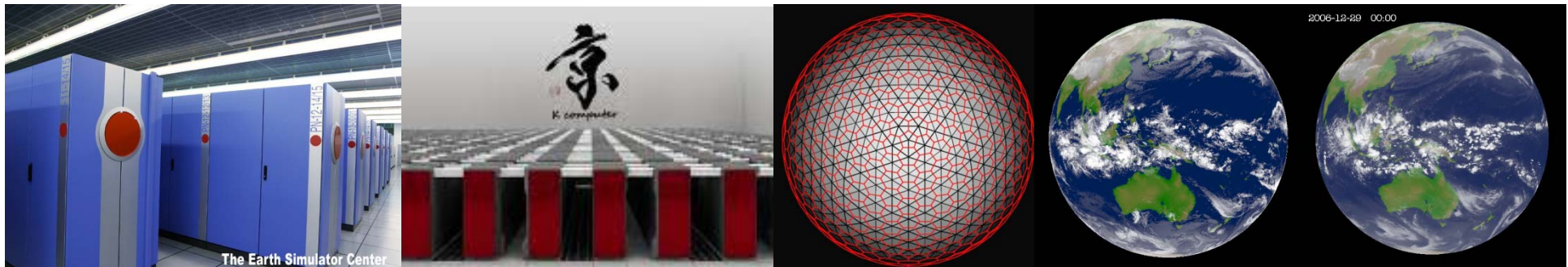
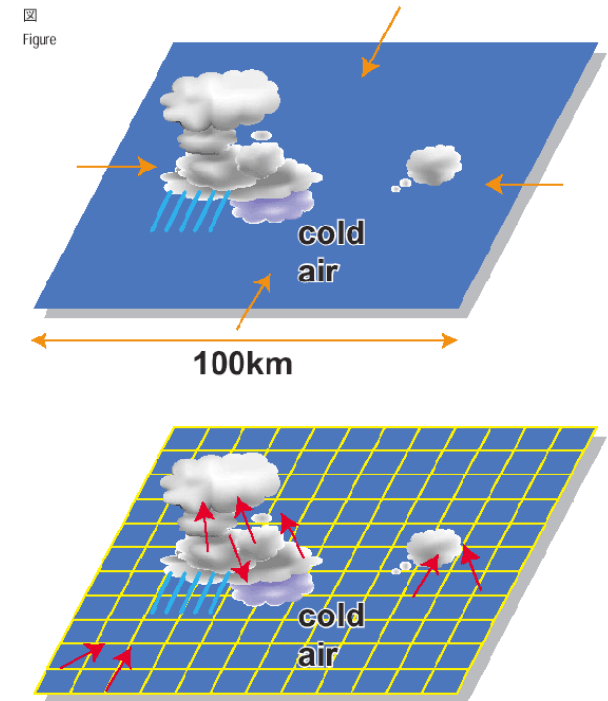
2週間以上の延長予測、地球温暖化による台風変化

さらなる高解像度へ: 格子間隔1.7km, 880m, 440m

国際的な連携

Athena プロジェクト (2009-10): COLA, NICS, ECMWF, JAMSTEC, 東京大学

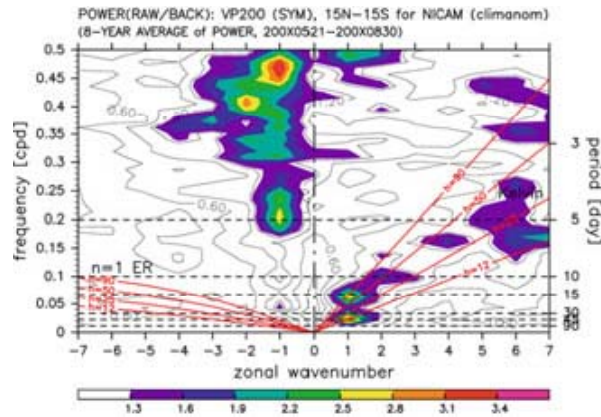
G8 ICOMEX (2011-): 日(NICAM) 独(ICON) 仏(DYNAMICO) 英(Gung-Ho) 米(MPAS)



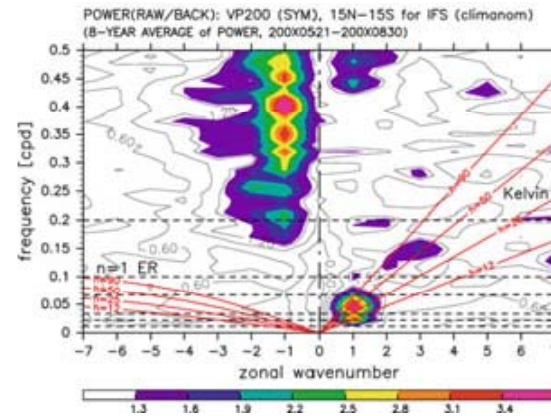
台風とMJO 季節内変動

Athena project: Satoh et al.(2012,Clim.Dyn.)

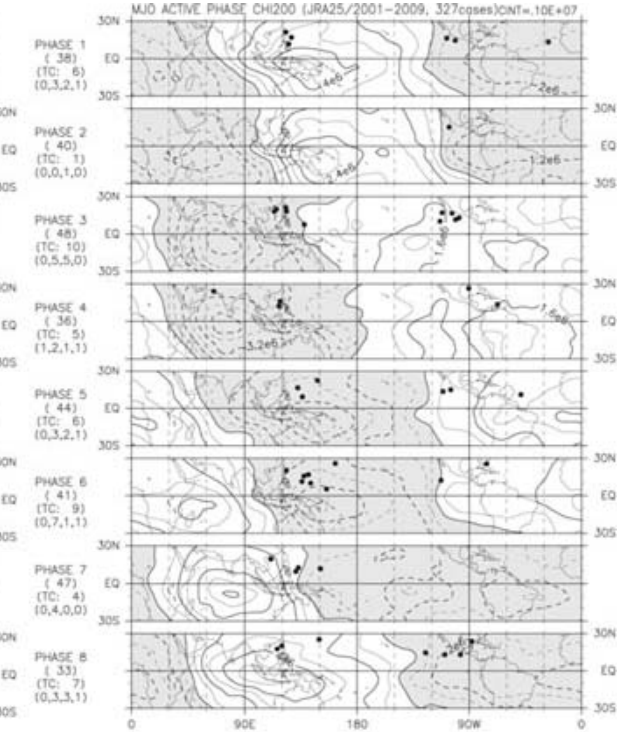
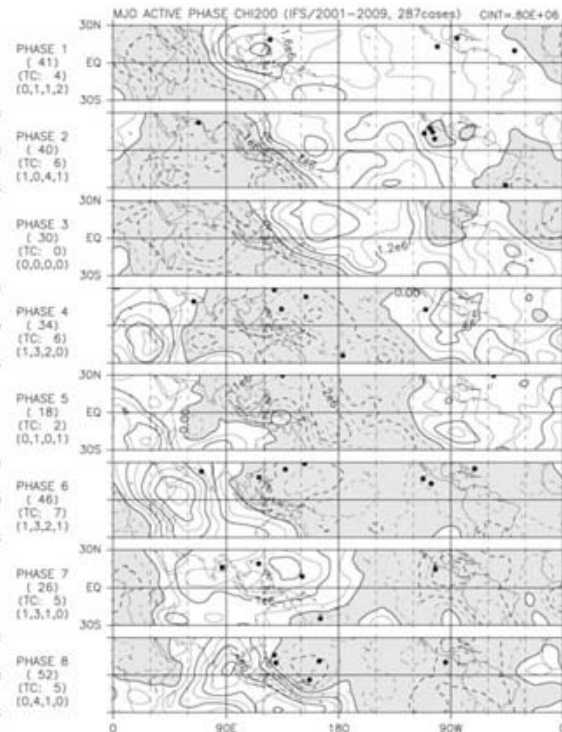
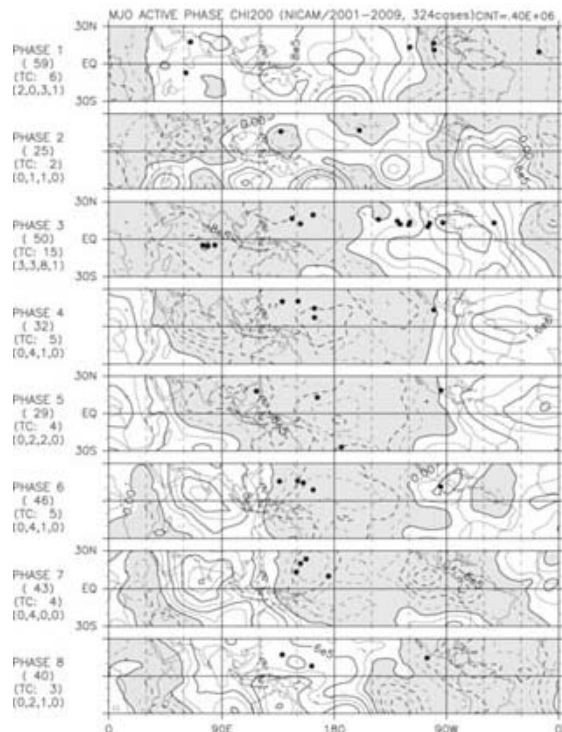
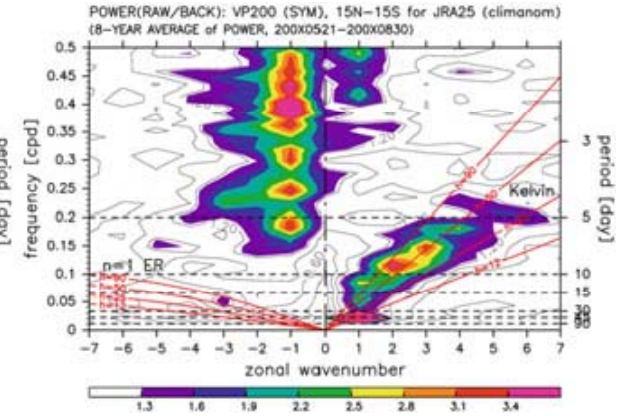
NICAM 7km



IFS T2047



JRA



HPCI戦略分野3(全球)
通年積分(2004年6月～)の台風と
将来通年積分(21世紀後半の6月～)の台風との比較

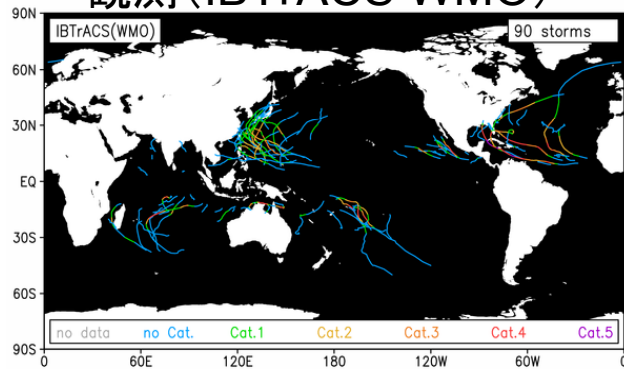
By 山田洋平

実験設定

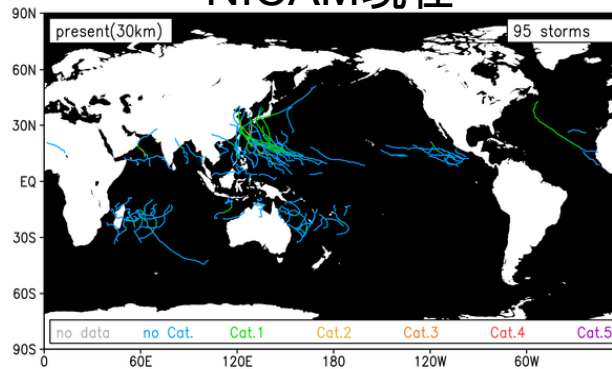
- 現在
 - 初期値: 2004年6月1日(NCEP-FNL)
 - 期間: 2005年5月31日まで
 - 解像度: 7km, 14km, 30km
 - (比較のため積雲パラメタリゼーションは使用しない)
 - 境界値: Reynolds OI SST (weekly)
- 将来
 - 初期値: 2004年5月1日(NCEP-FNL)
 - 期間: 2005年5月31日まで(最初の一月はスピナップとみなす)
 - 解像度: 7km, 14km, 30km
 - (比較のため積雲パラメタリゼーションは使用しない)
 - 境界値: Reynolds OI SST (weekly) + Δ SST
 - Δ SST: CMIP3 MME (気象研究所水田氏提供)
 - CO₂濃度は現在の2倍

解像度別台風分布と将来変化

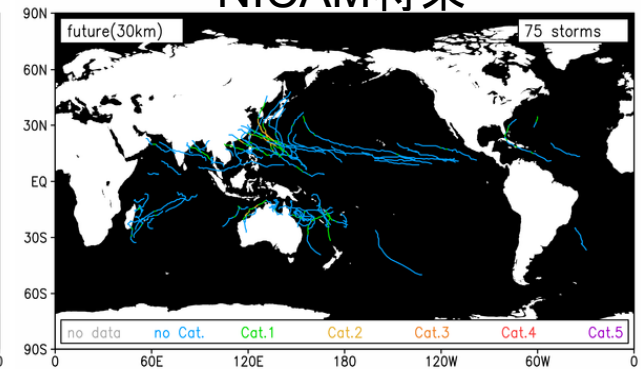
観測 (IBTrACS WMO)



NICAM現在



NICAM将来

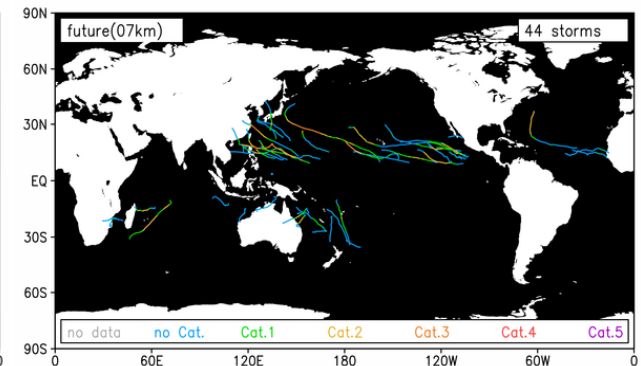
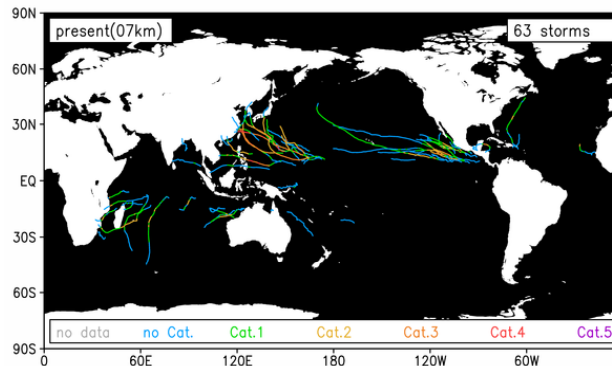
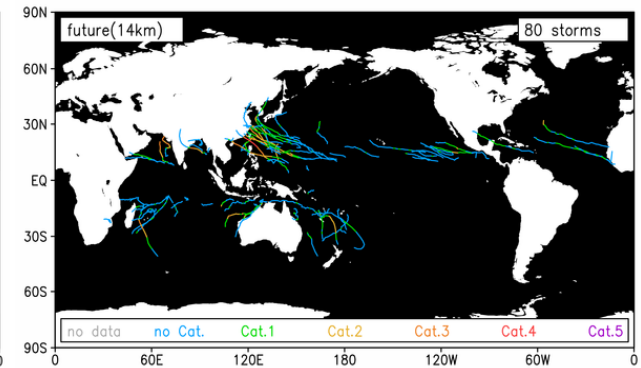
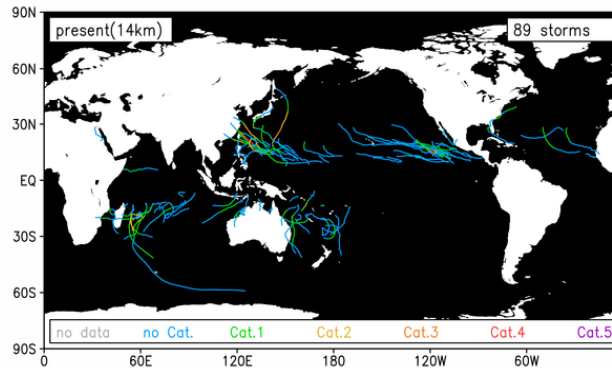


2004年6月～2005年5月までの台風の分布
(将来は21世紀後半の6月～5月まで)

トラックの色は最大風速を示している。

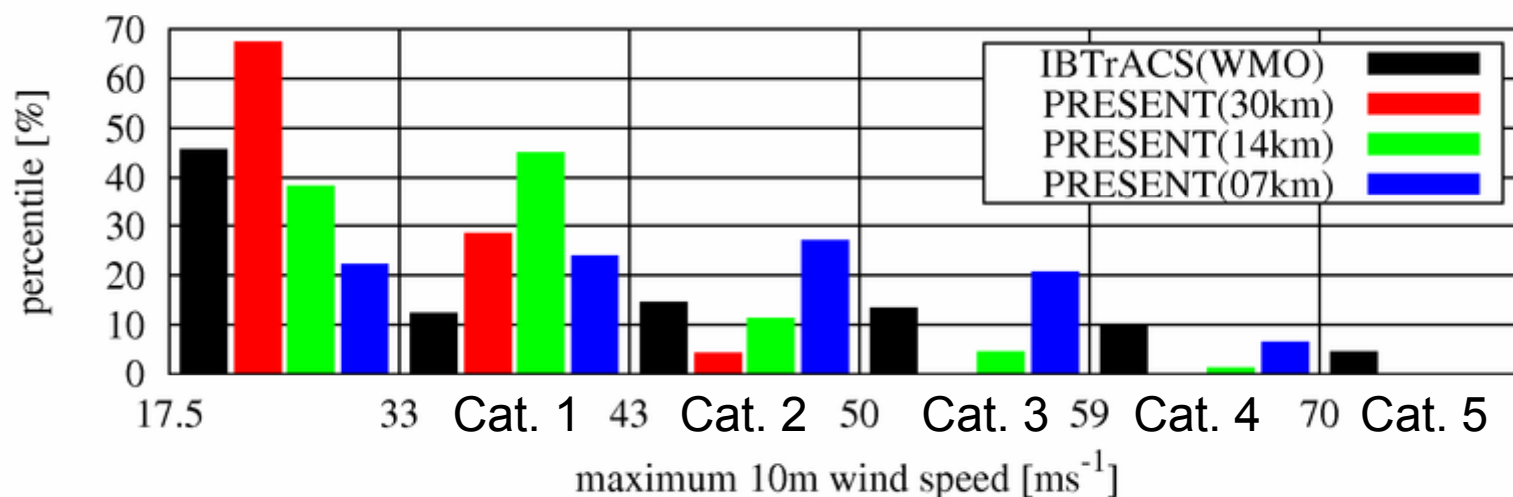
色分けはSaffir Simpson Hurricane Scaleに相当

全ての解像度で将来は台風減少

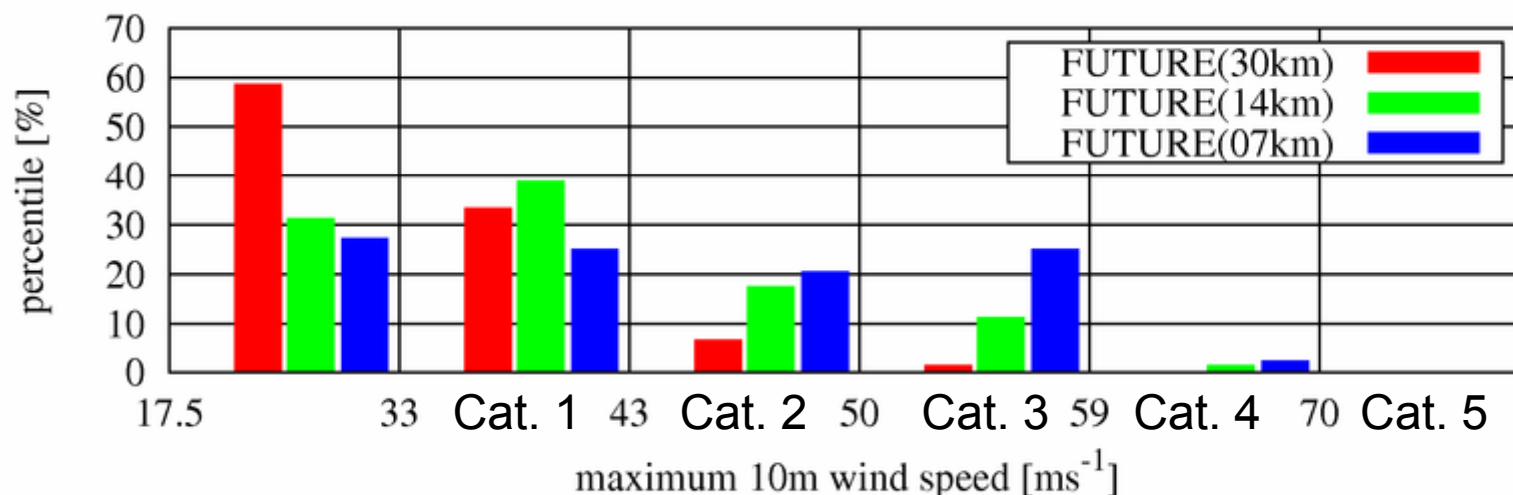


解像度別最大風速の発生頻度と将来変化

現在
⇒



将来
⇒



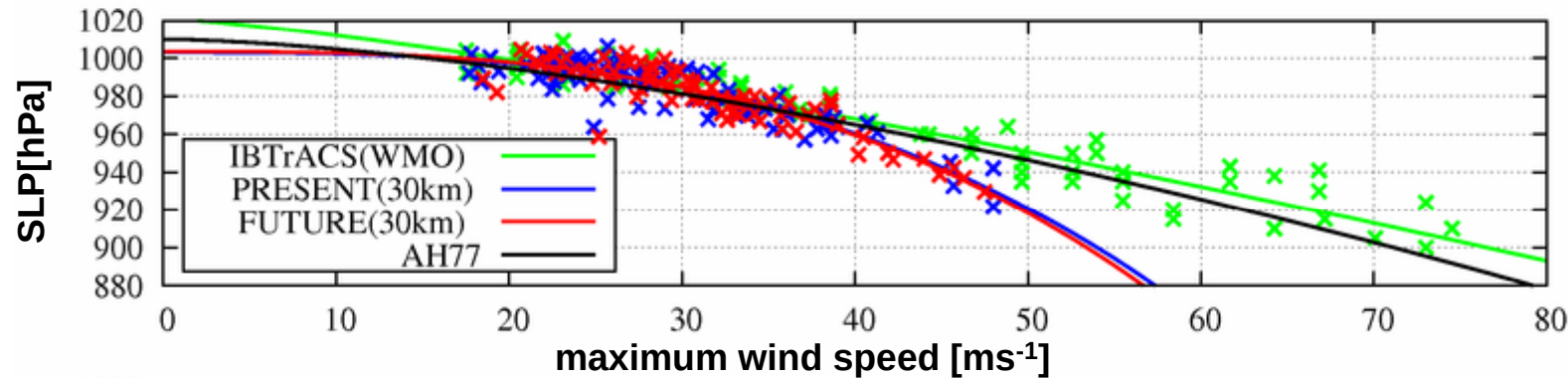
棒グラフの色はモデルの水平解像度と観測を示す

風速のビンはSaffir-Simpson Hurricane Scaleに相当

解像度が増すとCategory 3,4 の強い台風が発生するようになる

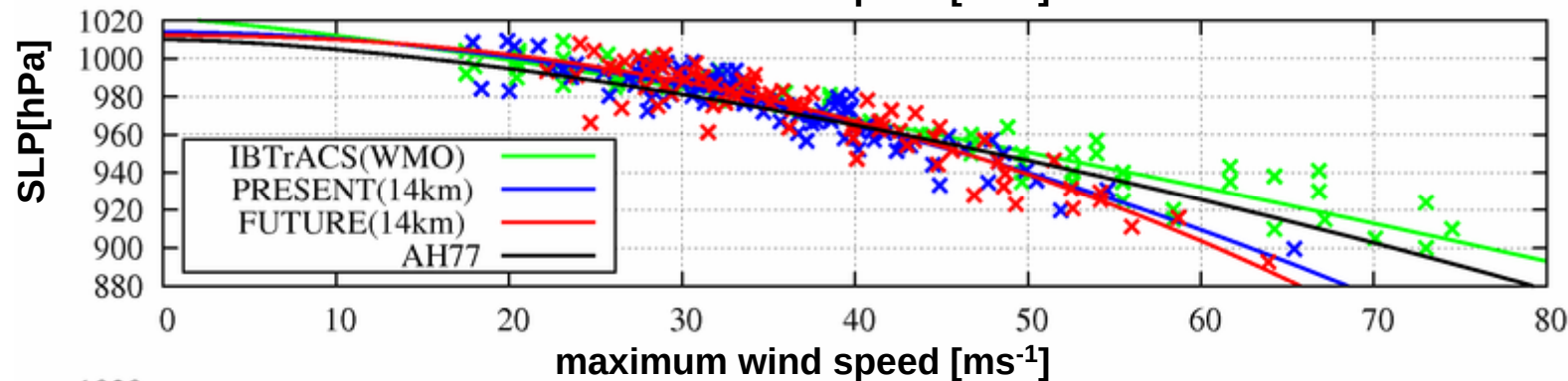
将来実験では強い台風の発生割合が増す

解像度別最大風速と最低中心気圧の関係と将来変化



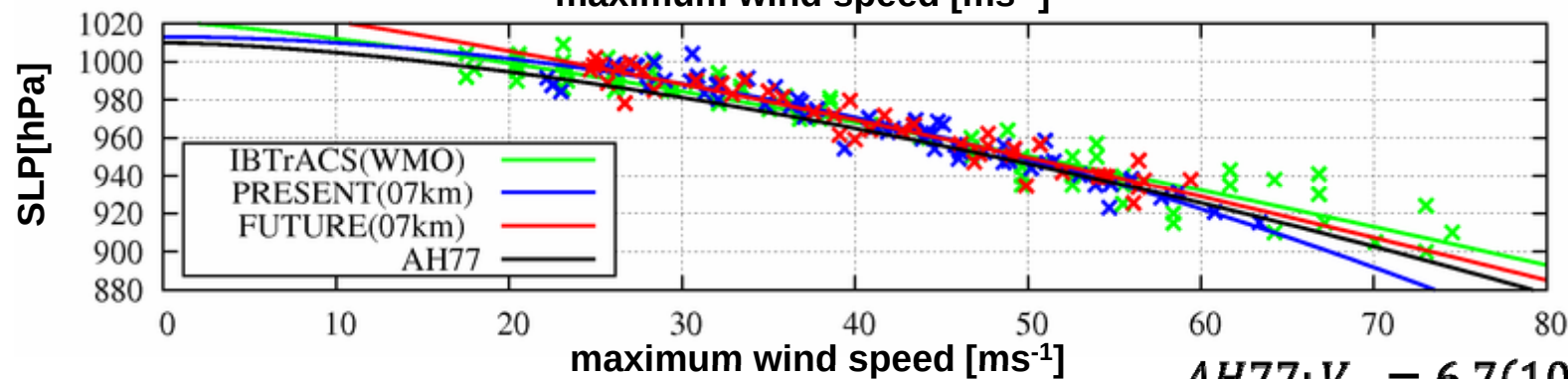
30km実験

←



14km実験

←



7km実験

←

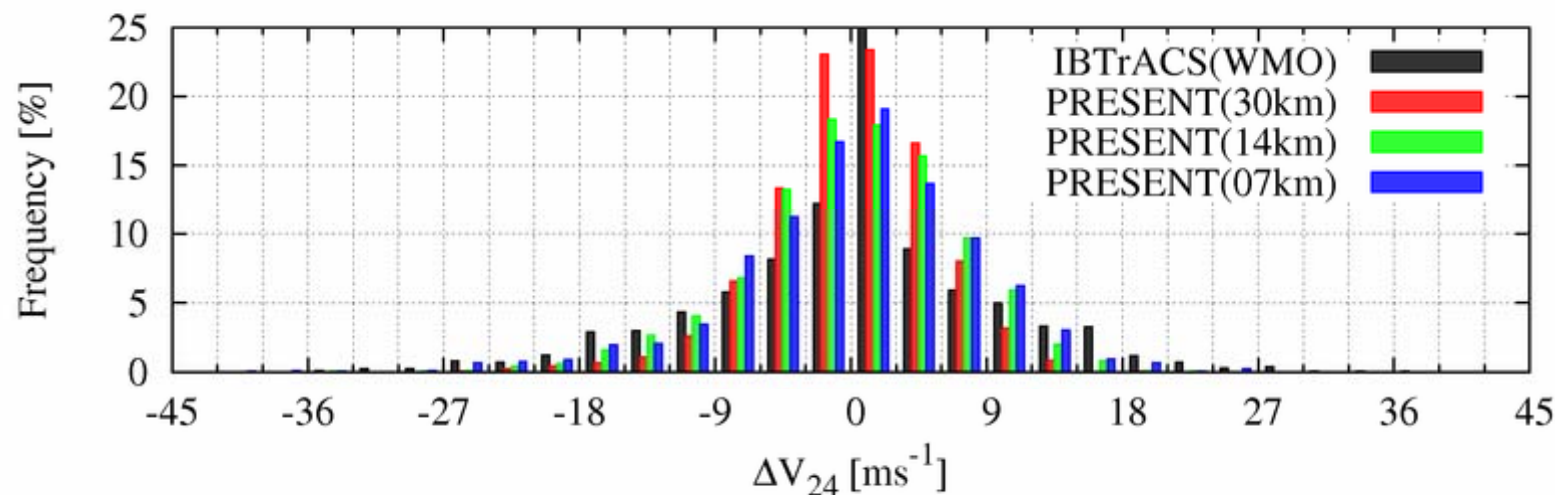
黒

$$AH77: V_m = 6.7(1010 - p_c)^{0.644}$$

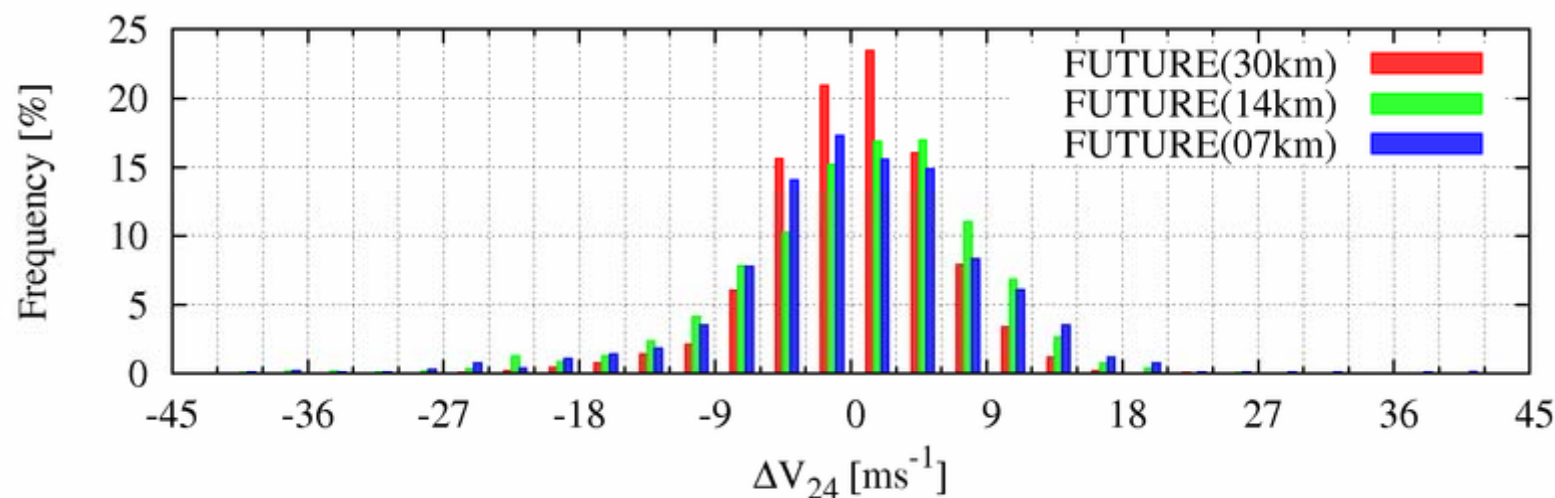
解像度が増すとAtkinson & Holliday 1977 (AH77)の経験式および観測に近づく
現在と将来での違いは解像度によって異なる → 実施中の長期実験でサンプル数を増やして比較

解像度別24時間最大風速変化の割合と将来変化

現在
⇒



将来
⇒



24時間以内の最大風速の変化は高解像度モデルで大

将来でも顕著な変化は観られない

台風の最大発達強度と最大風速の変化は関係があることが観測で示されている (Kaplan & DeMaria 2003)

→ モデルで上記関係が再現されているかを調べる

ここまでのまとめと今後の課題

- 7,14,30kmの全てで
 - 発生数は将来実験で減少
 - 強い台風の発生割合は将来実験で増加
 - 既往の研究と同じ傾向
- 高解像度で
 - 強い台風の発生割合増加
 - 気圧と風速の関係は観測およびAH77の経験式に近づく
 - 24時間以内の最大風速の発達割合が増加する
 - 台風の発生数が減少(観測から離れる)(特に現在実験)

今後

- 高解像度での発生数の減少について、環境場との関係
- 最大風速の発達割合と台風の最大発達強度との関係
- 14kmの長期積分(30年積分)

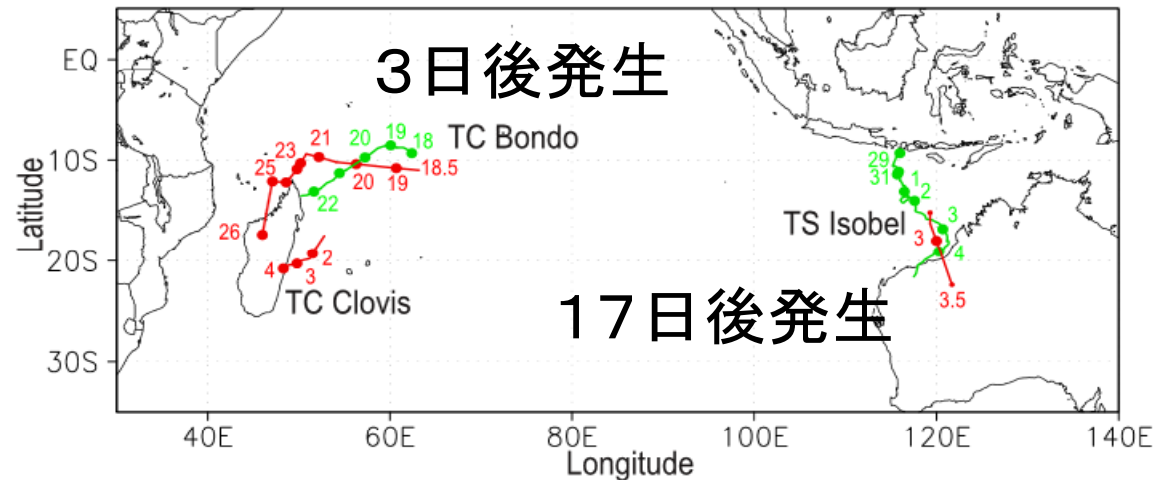
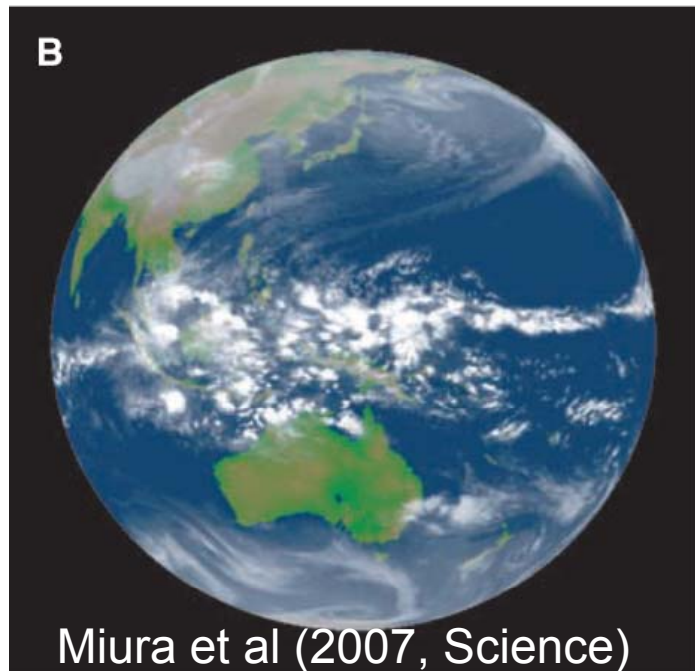
NICAMによる 2004年夏季の台風予測

中野 満寿男(JAMSTEC)

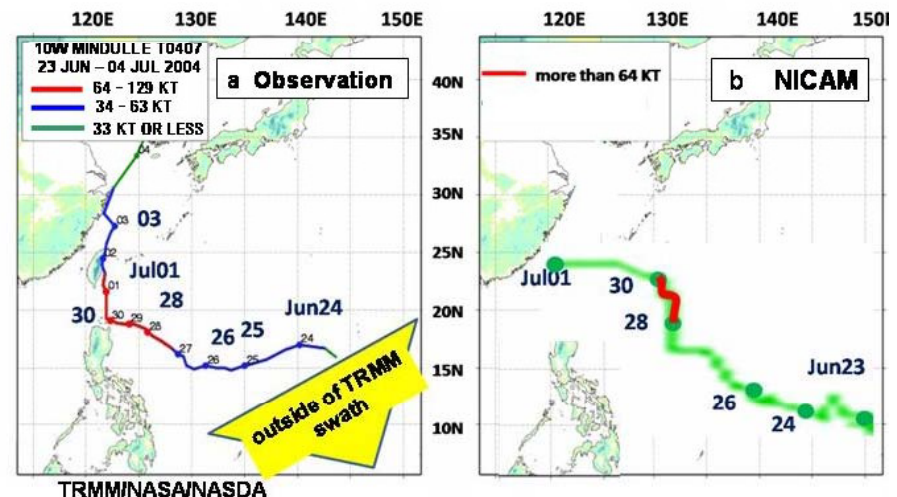
~~Computonic~~ NICAM shock

2006年12月15日初期値

2006年12月31日(15日後)



Fudeyasu et al.(2008, GRL)



Oouchi et al.(2009, SOLA)

半月先のMJOを予報でき
台風発生も再現！

「京」の登場

ES2



(c)ESC/JAMSTEC

京



(c)AICS/RIKEN

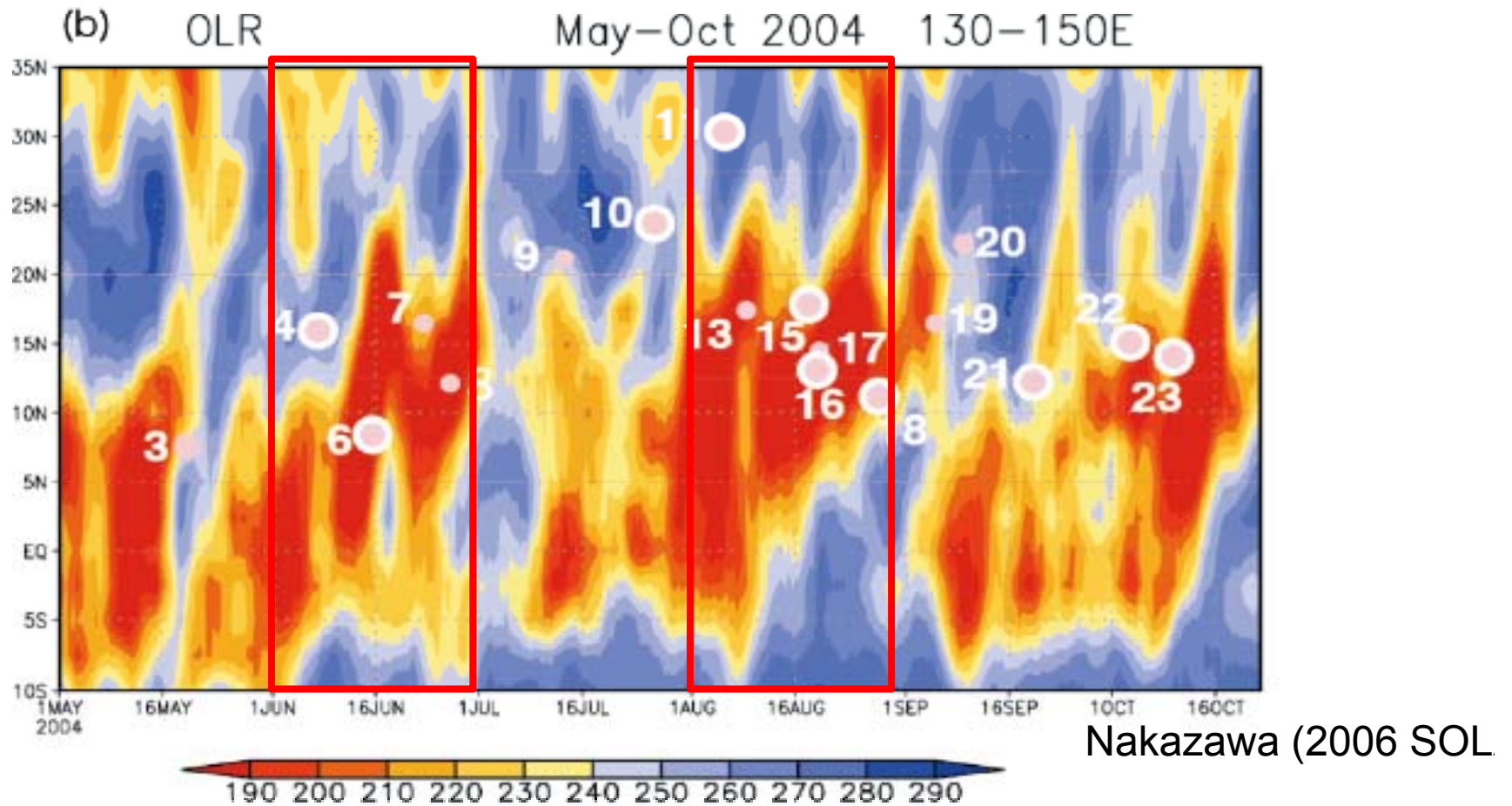
GL09 (14km) 30日積分

40ノード(全資源の25%)で 24時間
640ノード(全資源の0.7%)で 13時間

ES2でまあまあ大変だった計算が、
同時に何本も、速く、できるようになった

デモから科学的知見へ

2004年の夏



周期約60日の顕著な季節内振動
6月と8月に台風が多く発生

本研究の目的

2004年8月の初期値アンサンブル実験を
多数行う

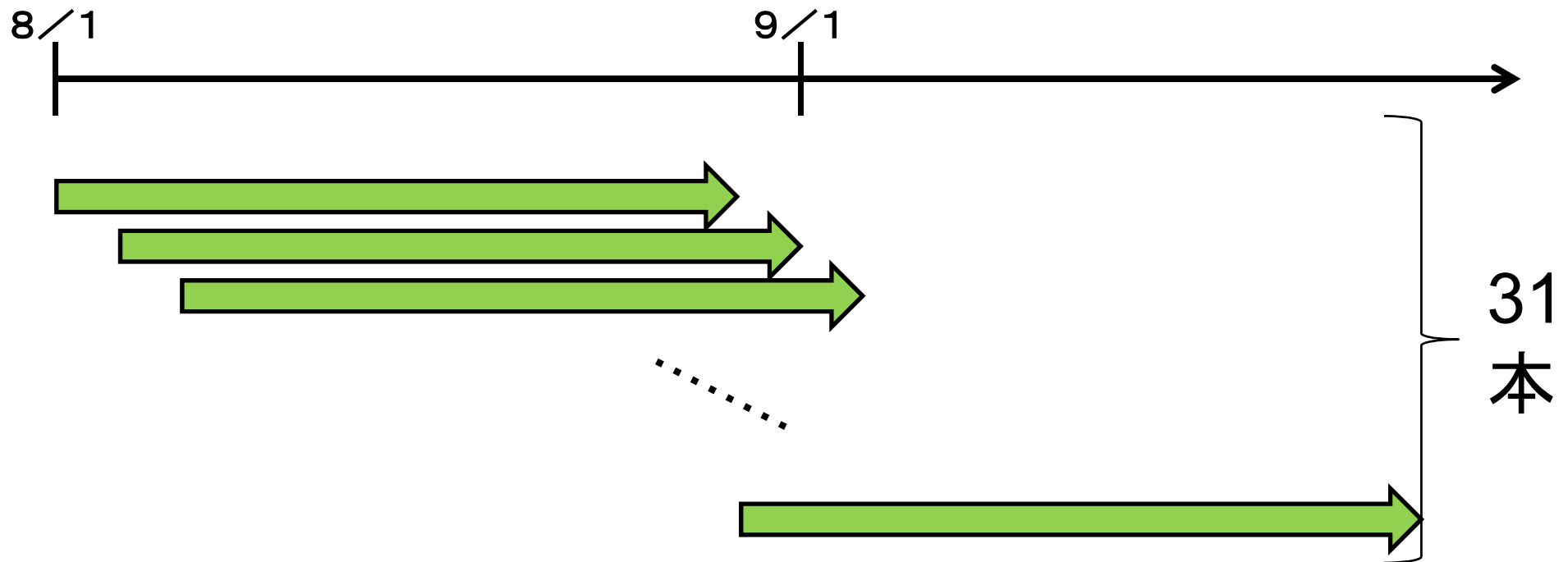
- 北西太平洋の季節内変動を再現できるのか？
- 8月の多い台風発生と9月の少ない台風発生は予測できるのか？
- 予測できたケースとできなかったケースは何が違ったのか？

予報スキル改善に何が重要なのか明らかに

(今日はまだ途中経過)

実験設定

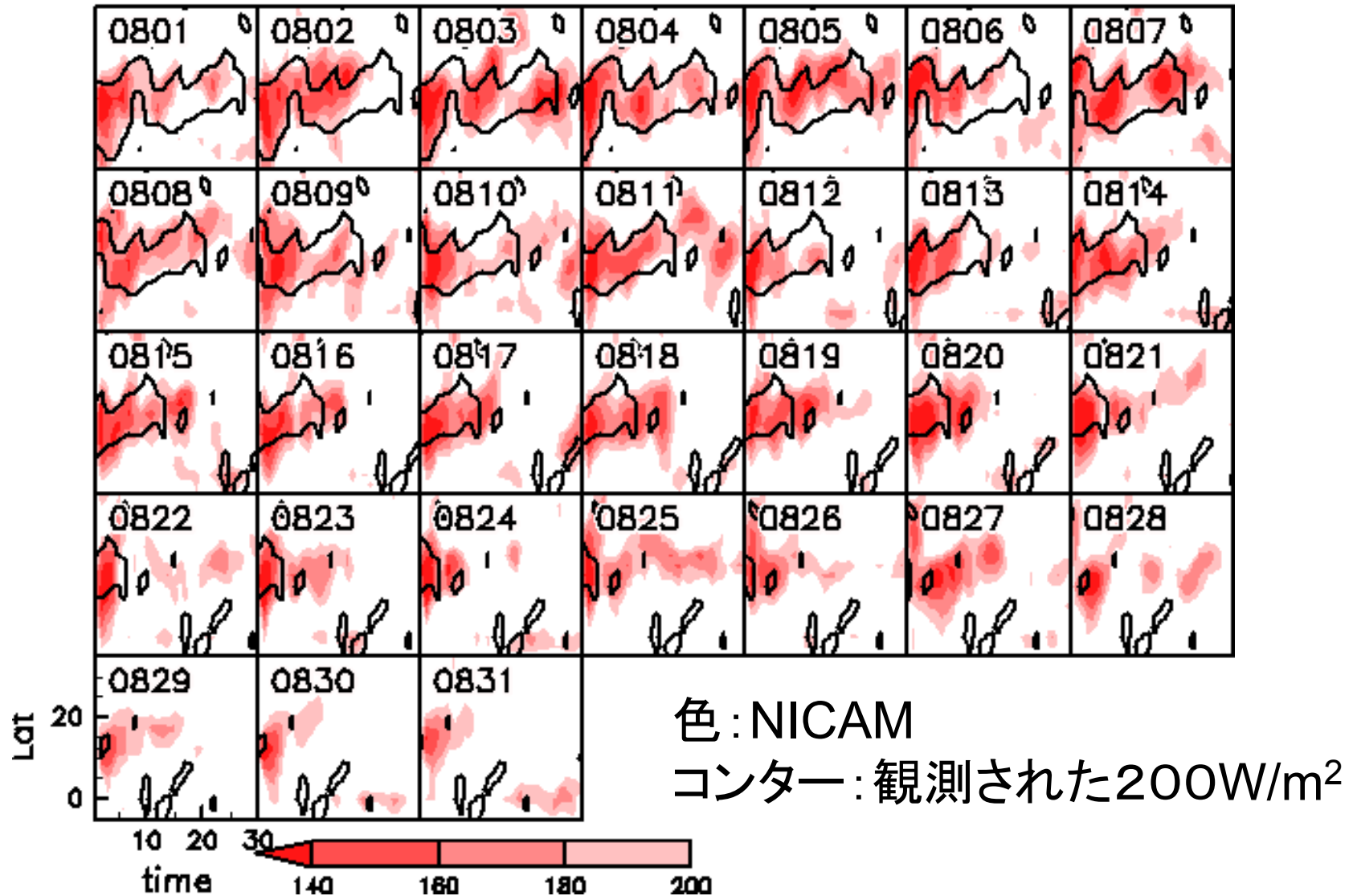
- GLO9 (14km) 30日積分を初期値を1日ずつずらして31本実行。
- 初期値: ERA-Interim
- 雲物理: NSW6 対流パラメタリゼーションなし
- 海洋混合層あり 陸面: MATSUSIRO



総出力データサイズ: 圧縮しても16TB

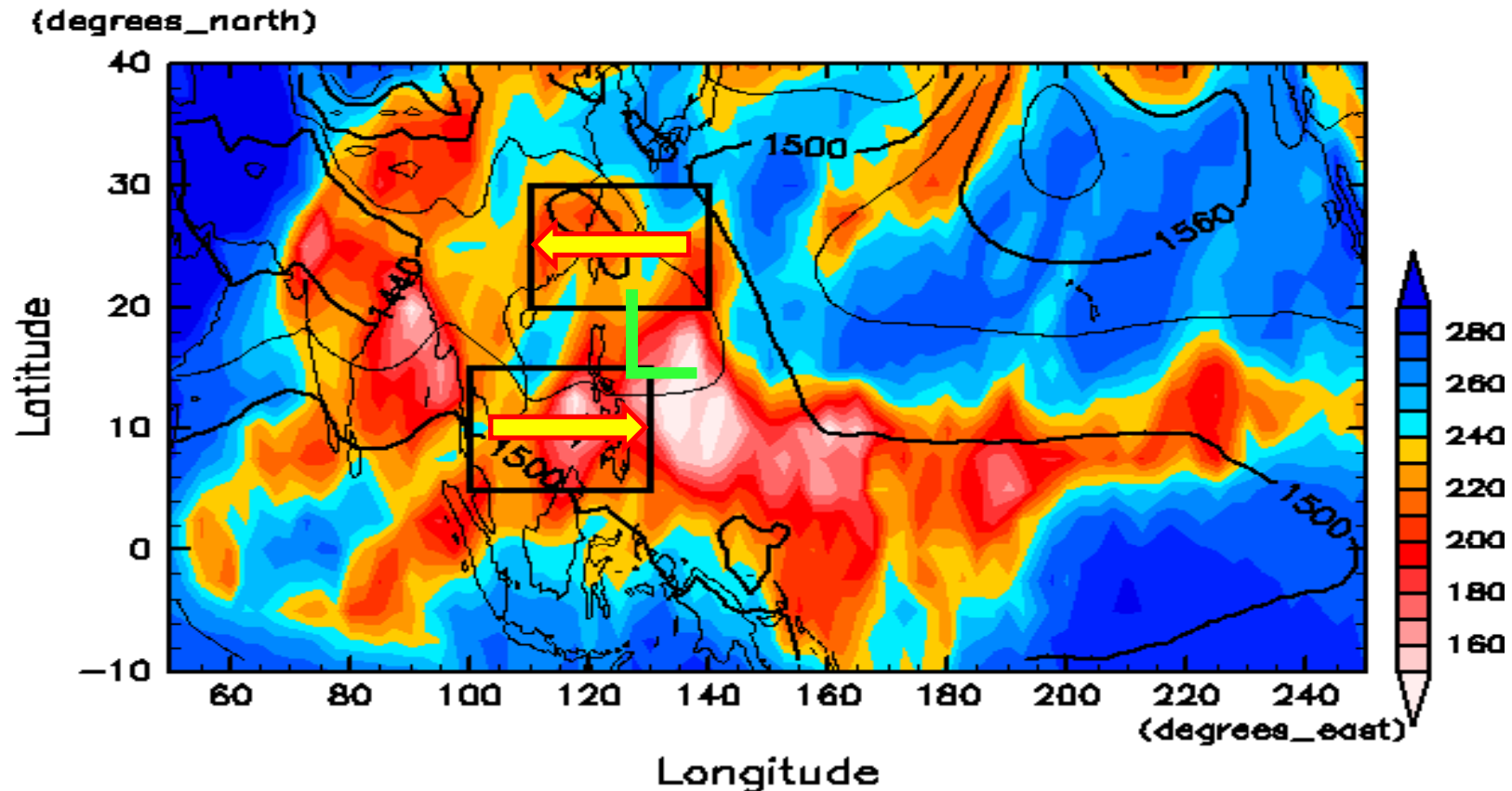
対流の北進の再現性

OLR 120-150Eの平均



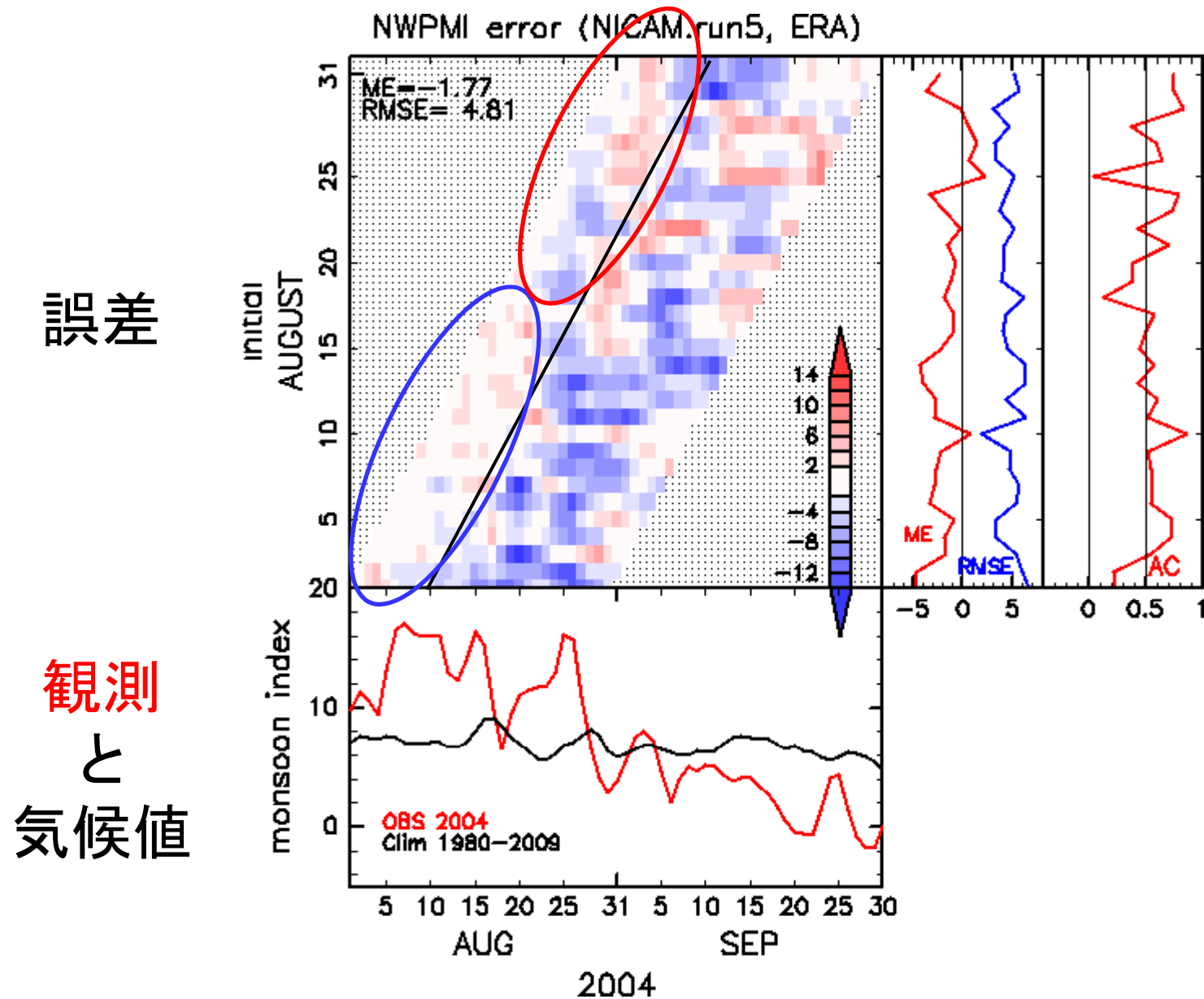
北西太平洋モンスーンインデックス (NWPMI)

OLR&Z850 0811-0815



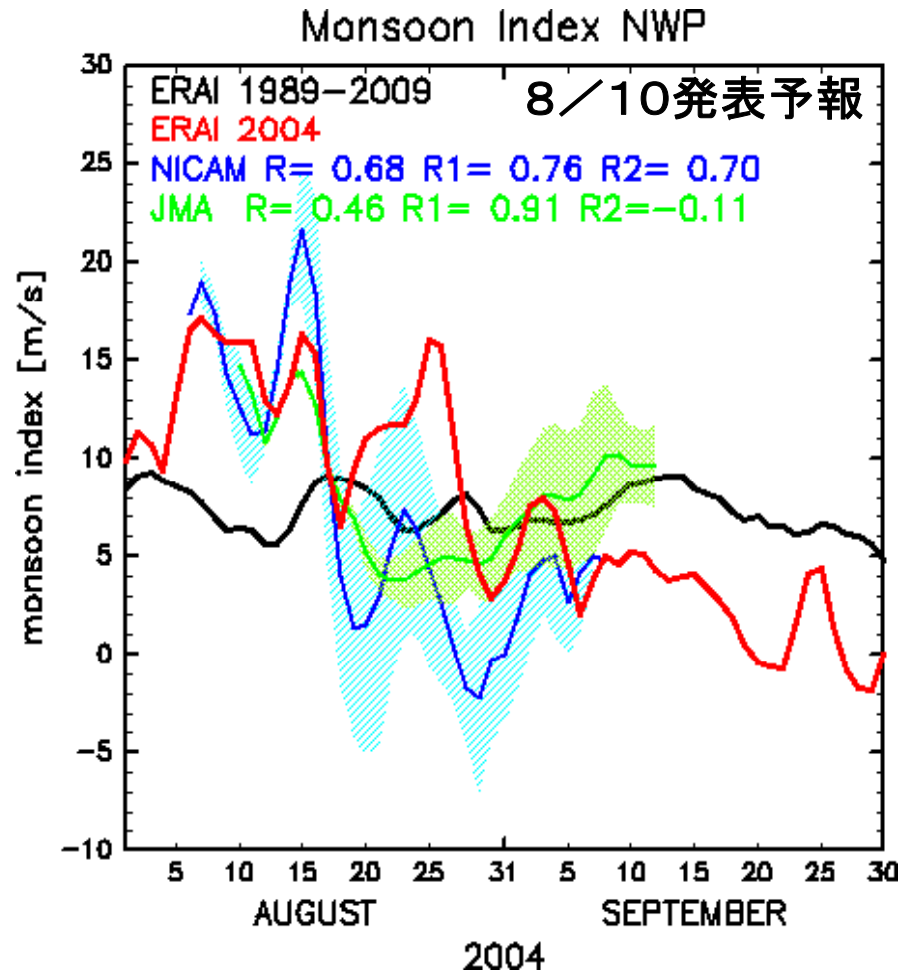
正のアノマリーならモンスーントラフが発達している

モンスーンインデックスの再現性

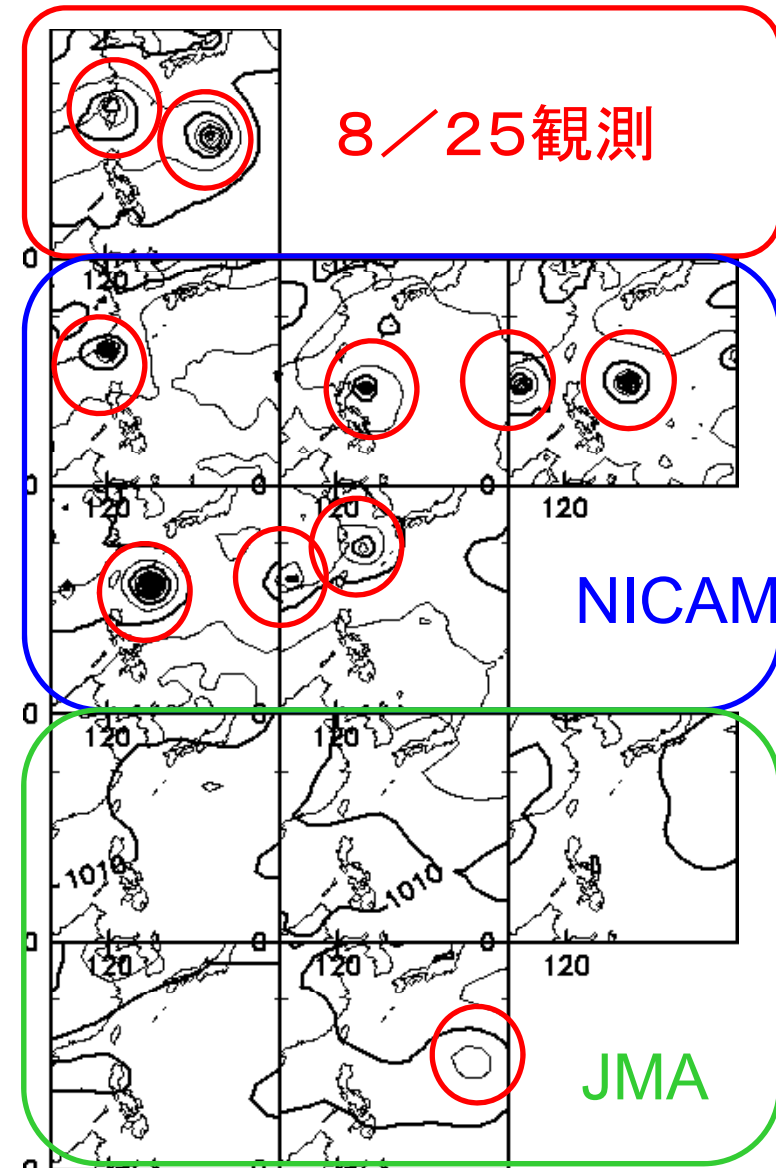


夏の季節内振動の予測可能性

北西太平洋モンスーンインデックスがどの程度予測可能か？



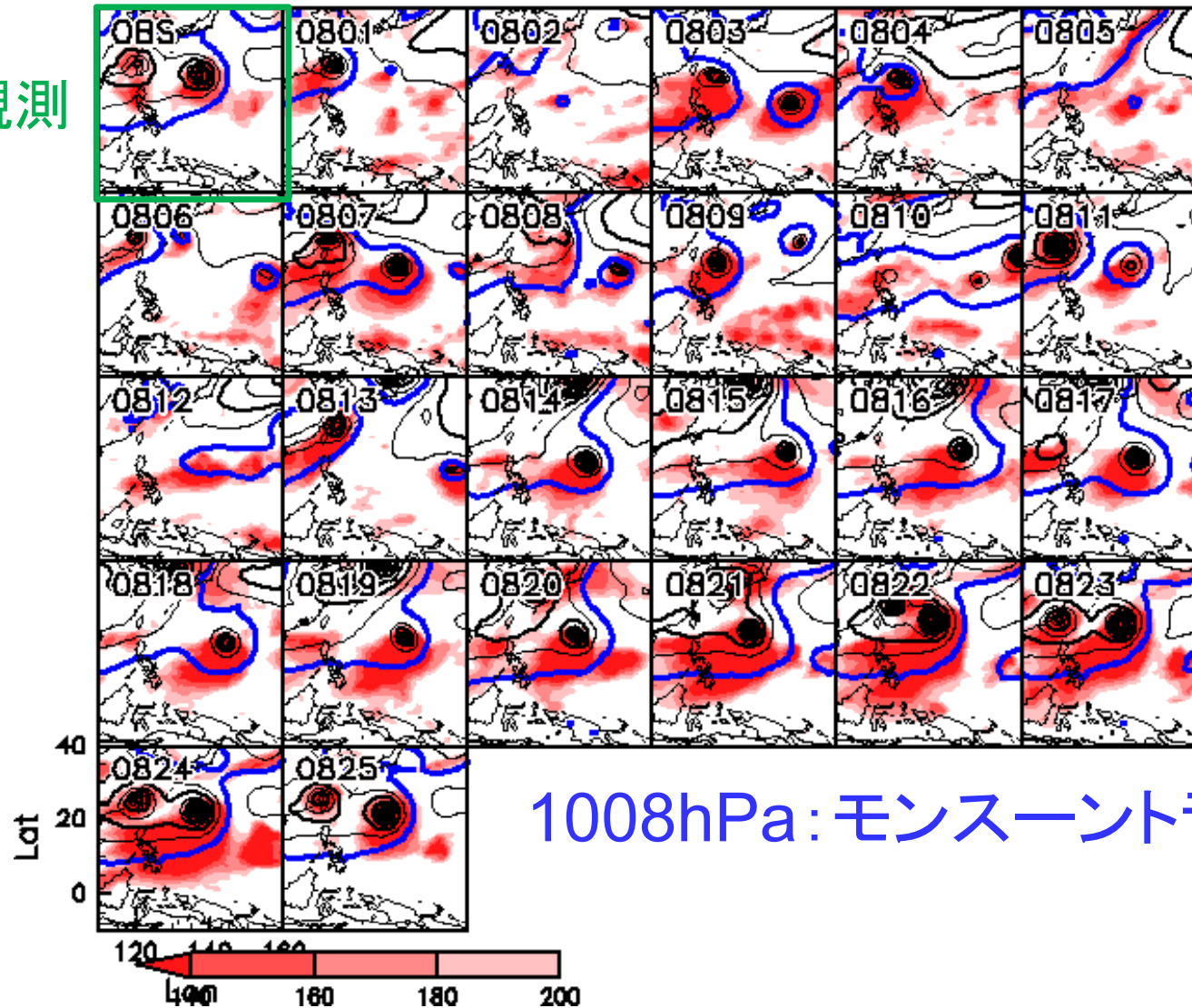
予測可能日数は10日前後でJMAと同程度。
NICAMは台風の発生も予測できている。



8月25日のSLPとOLR

SLP & OLR 0825-0825

観測



1008hPa: モンスーントラフの目安

まとめ

- モンスーンインデックスは10日程度予測可能
- ただし初期時刻の季節内振動の位相により予測可能日数が変わっていそう
- 8月25日の10日程度前からモンスーントラフと台風の位置をよく再現できた

(Q)2004年がたまたまいいのではないか？？？？

(A)2000年代の8月の再予報(10年×4本=40本)を実施しJMAの1ヶ月再予報データと比較する予定

第6回気象庁数値モデル研究会
「数値モデルによる台風予報の課題と展望」の資料

2012年の台風予報実験

沢田雅洋(AORI)

内容

- ・2012年5-6月の台風
- ・develop/nondevelopの違いは？

GPIを短い時間スケールで使ってみて、台風の発生ポテンシャルの診断に有効か？

目的：台風発生の予測スキルの評価・台風形成をコントロールする要因の解明

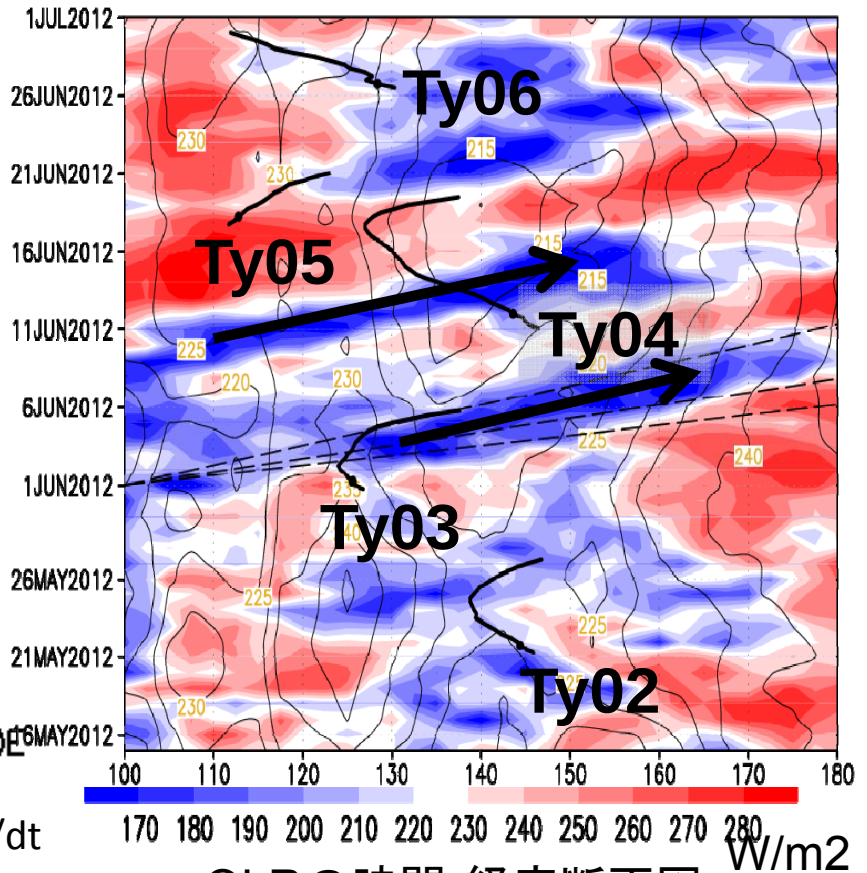
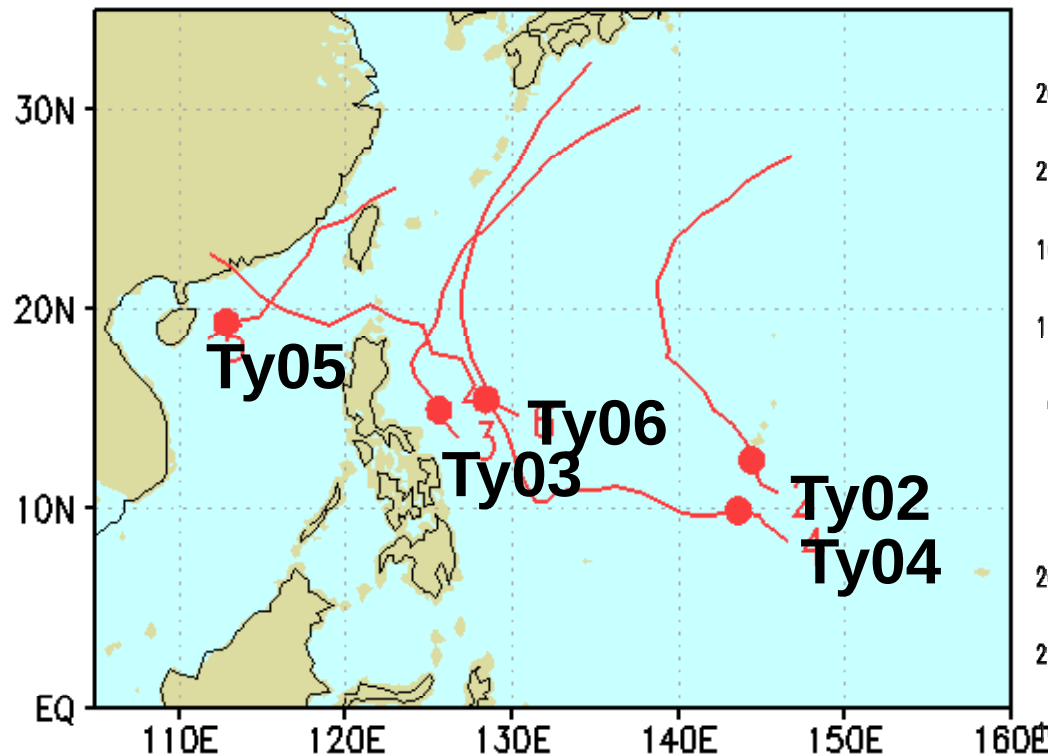
予報実験：NICAM(g109) 2012年5月15日-5月31日、6月2, 5, 8日を初期日に30日予報
(すきまの6月1-15日計算中)、

水平解像度14km、NSW6、積雲パラなし

比較：ECMWF-ens/det 15(32)/10日予報、T639~319/T1279(32~64km/16km)

2013.3.6 気象庁講堂

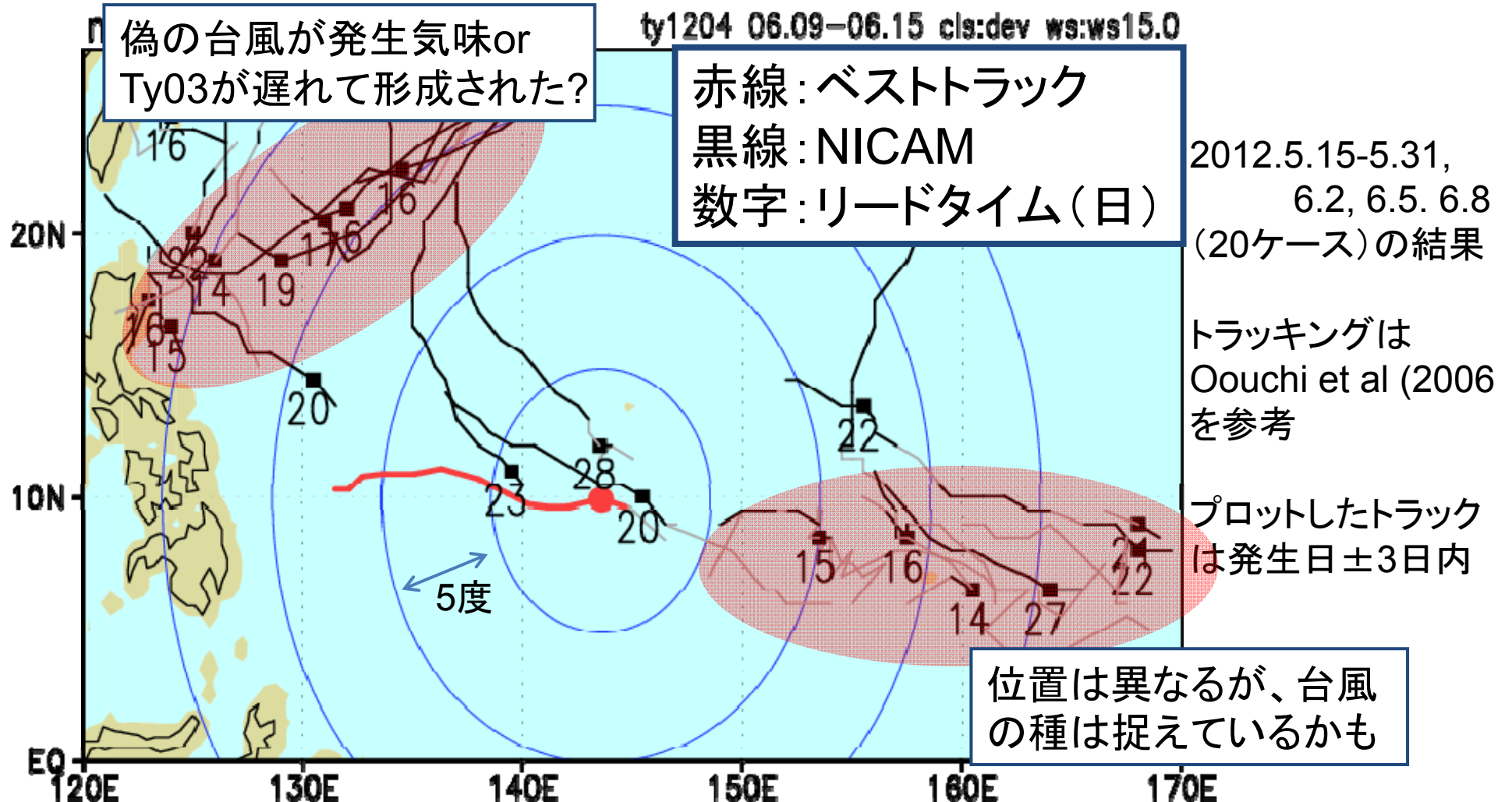
2012年5-6月の台風



OLRの時間-経度断面図
(NOAA, 5S-5Nで平均)

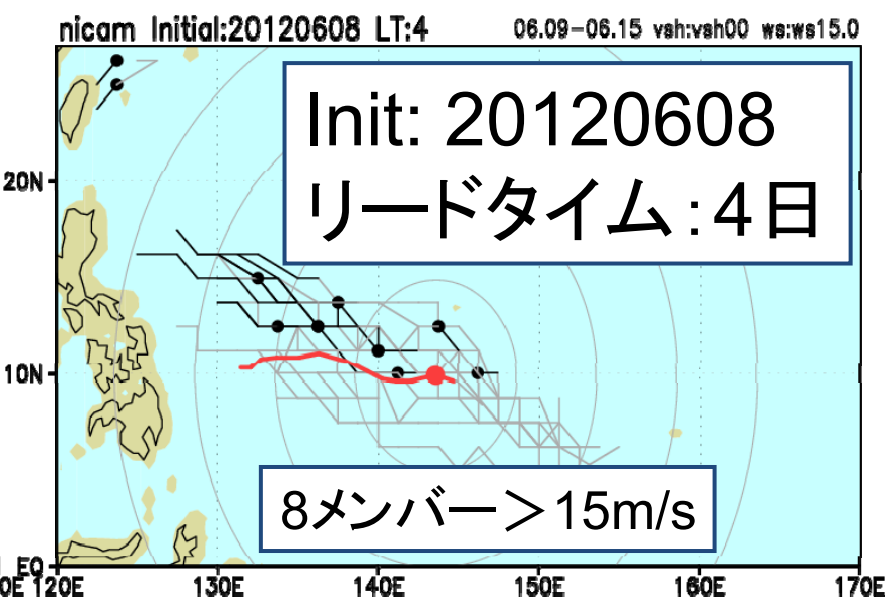
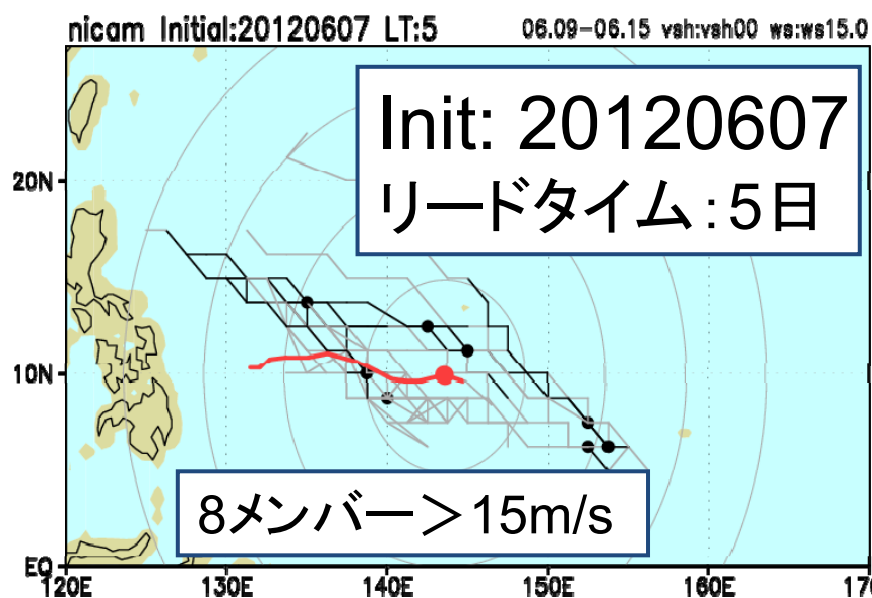
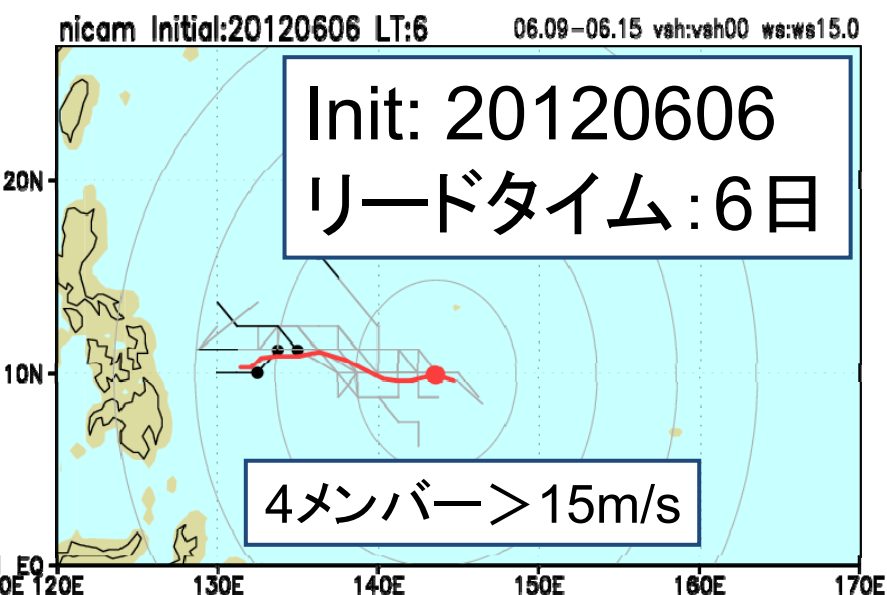
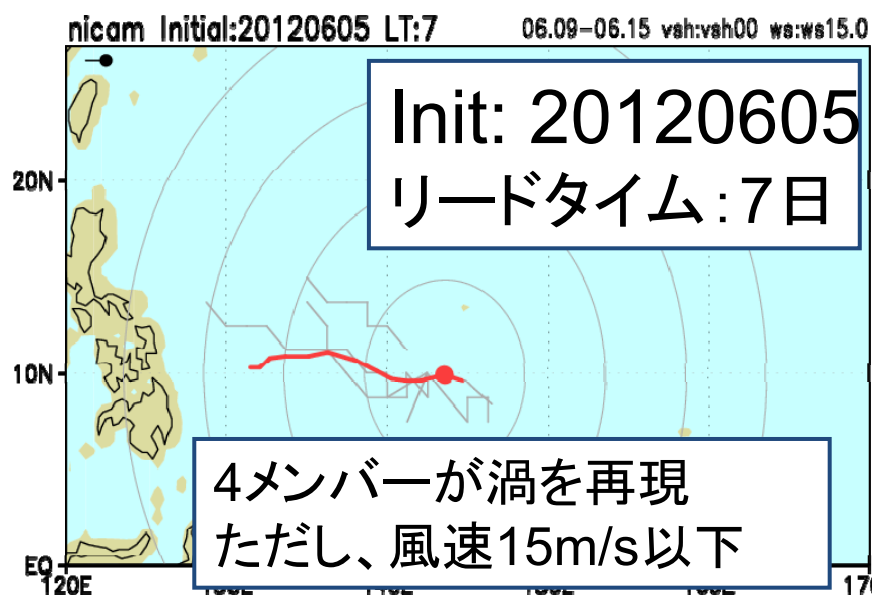
名前	発生/消滅日時(UTC)	Pmin	dp/dt
Ty02	SANVU 05.22 00 - 05.28 00	975	-15
Ty03	MAWAR 06.01 06 - 06.06 06	960	-20
Ty04	GUCHOL 06.12 06 - 06.20 00	930	-40
Ty05	TALIM 06.17 18 - 06.20 18	985	-7
Ty06	DOKSURI 06.26 12 - 06.30 00	992	-8

初期値アンサンブル実験-Ty04の事例-

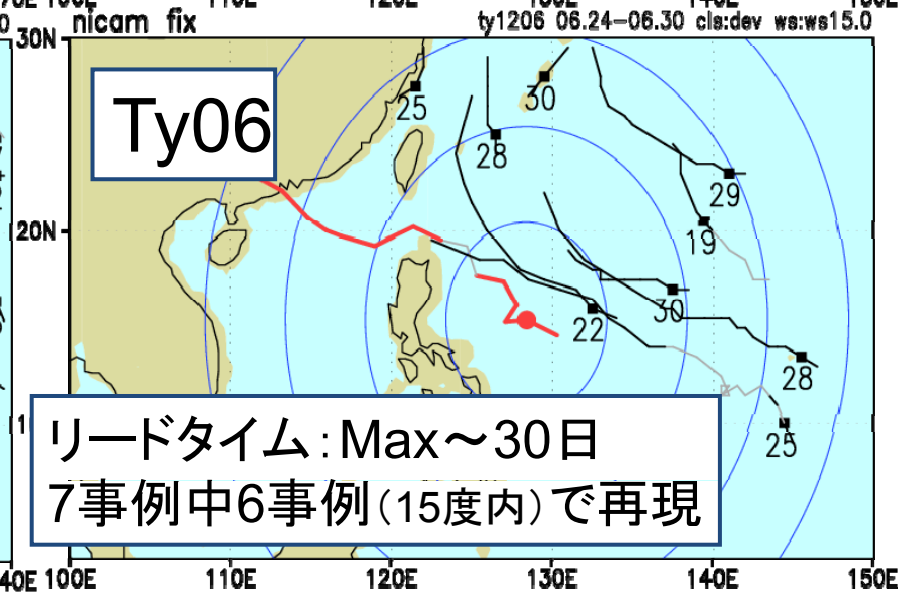
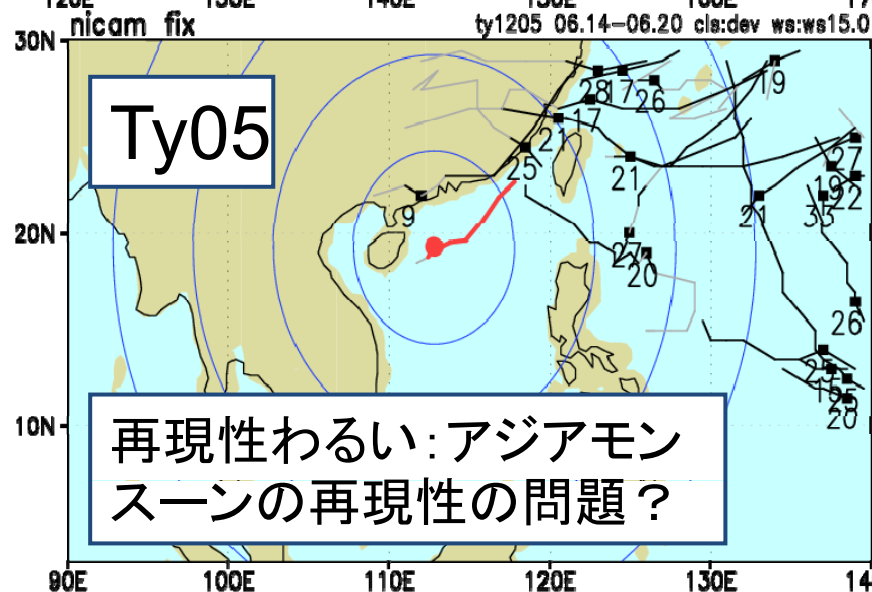
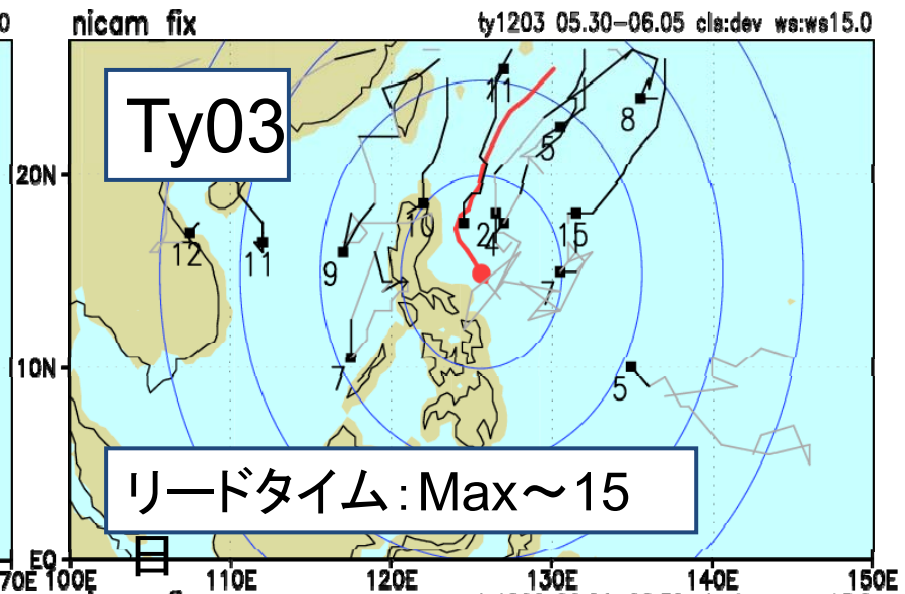
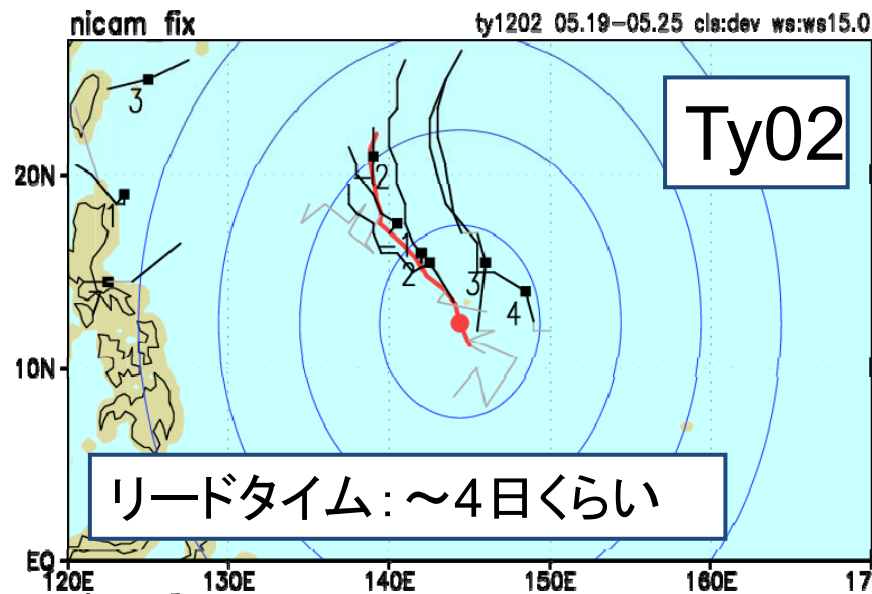


台風発生 of 4週間前の初期値で台風を再現
(ベストトラックでの発生位置15度内に20 事例中6事例あり)

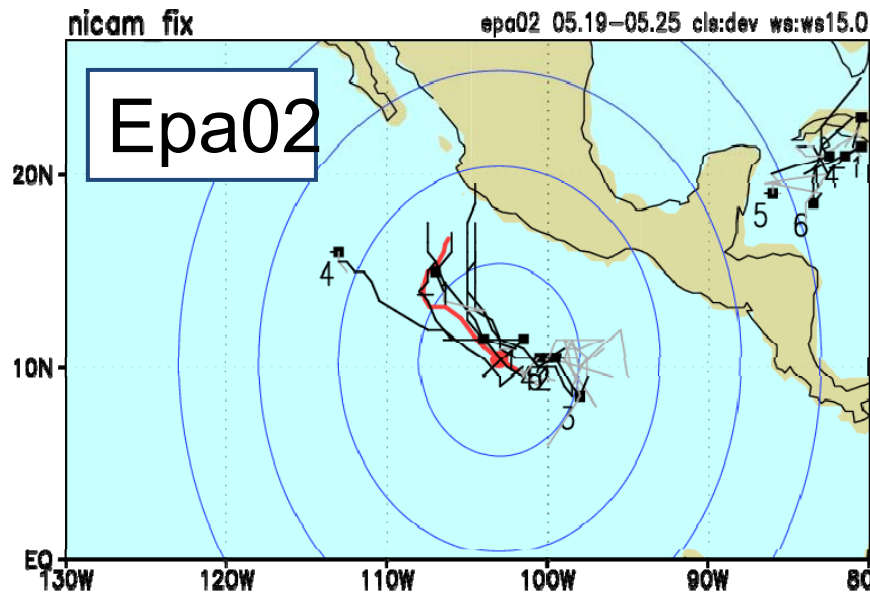
EC-ensemble予報(51メンバー)-Ty04-



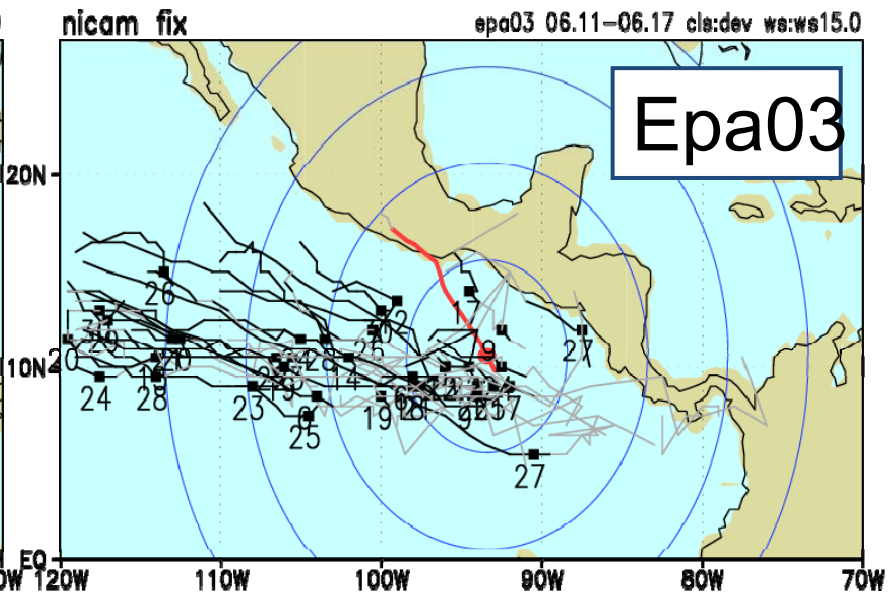
初期値アンサンブル実験-WNP-



初期値アンサンブル実験-EPA-



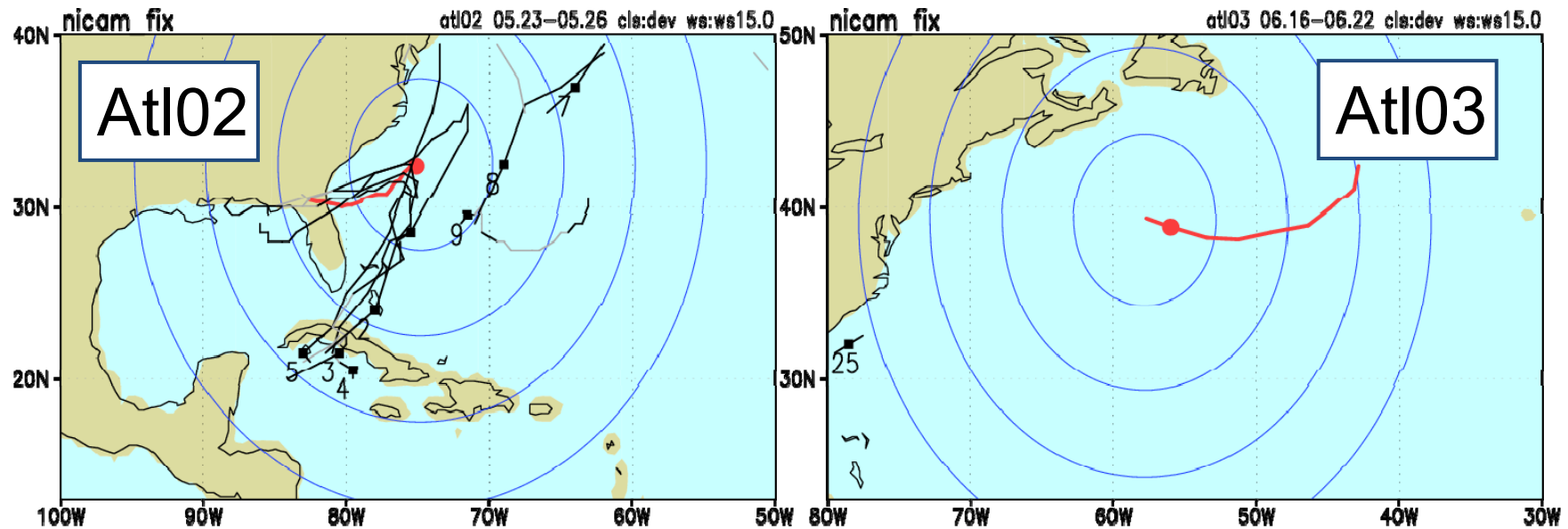
リードタイム: ~5日くらい
トラックもよく再現している



リードタイム: Max~28日
ほとんどの事例で再現
台風が2つ形成する事例もあり

名前	発生/消滅日時(UTC)	Pmin
Epa02 BUD	05.21 03 - 05.26 12	960
Epa03 CARLOTTA	06.14.03 - 06.17.00	976

初期値アンサンブル実験-ATL-



リードタイム: ~9日くらい
妙な動きも再現している

全事例で再現できず
かなり高緯度で形成した事例
=> 中緯度の擾乱起源は難しい?

名前	発生/消滅日時(UTC)	Pmin
Atl02 BERYL	05.26 03 - 05.30 15	992
Atl03 CHRIS	06.19.21 - 06.22.09	987

実験結果-Ty04の事例-

台風に至った事例

Init: 2012.5.15

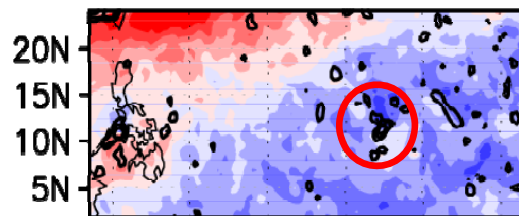
台風発生 of 28日前

台風に至らなかった事例

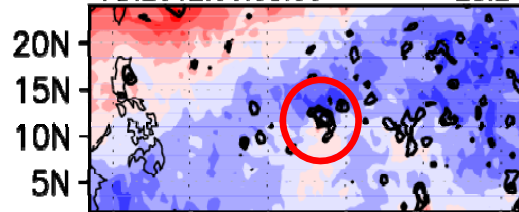
Init: 2012.5.17

台風発生 of 26日前

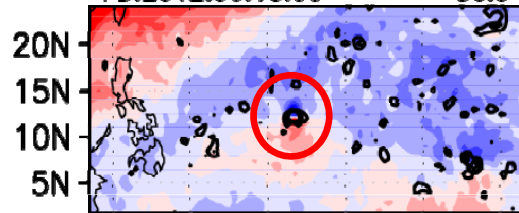
ERA-interim



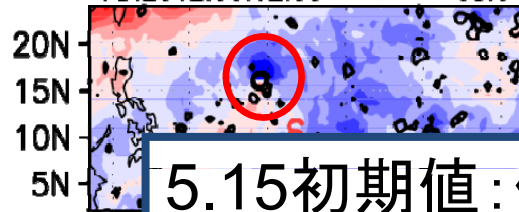
FD:2012.06.08.00 28.2



FD:2012.06.10.00 56.9

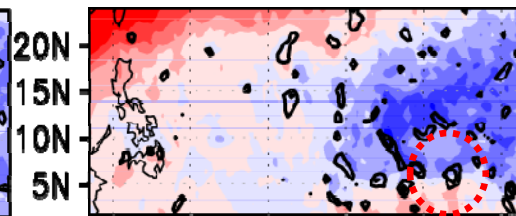


FD:2012.06.12.00 68.6

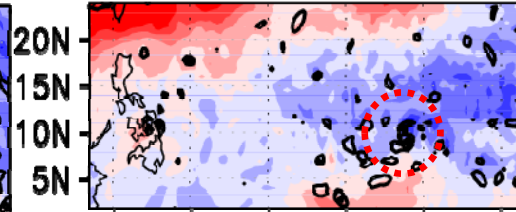


120E

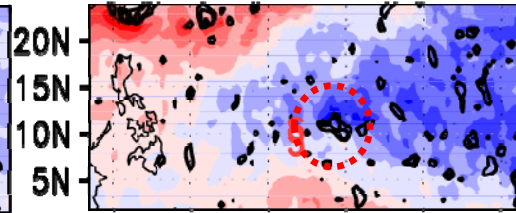
-12 -9



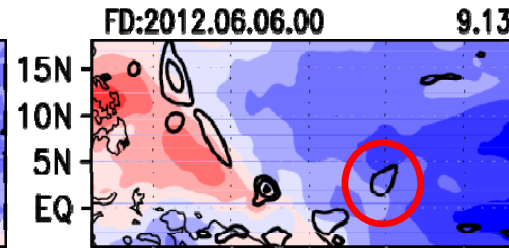
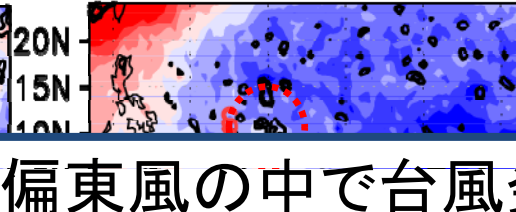
FD:2012.06.10.00 22.7



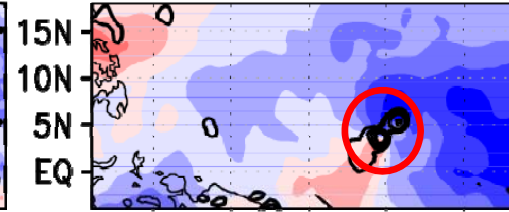
FD:2012.06.12.00 14.6



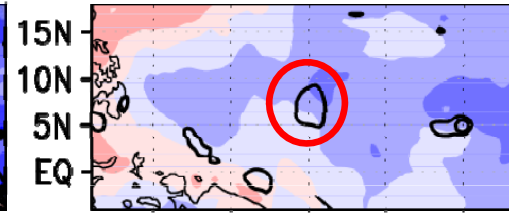
FD:2012.06.14.00 46.5



FD:2012.06.08.00 27.8



FD:2012.06.10.00 6.61



FD:2012.06.12.00 5.85



§ besttrack

カラー

U850

等値線

渦度850

4, 8, 16x10⁵ /

5.15初期値: 偏東風の中で台風発生=>実況に類似

5.17初期値: 渦擾乱はあるが発達せず=>偶然???

(m/s)

台風に至った・至らなかった事例の違い

台風に至った事例

Init: 2012.5.15

台風に至らなかった事例

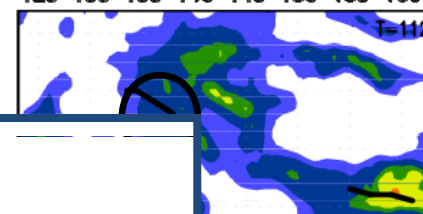
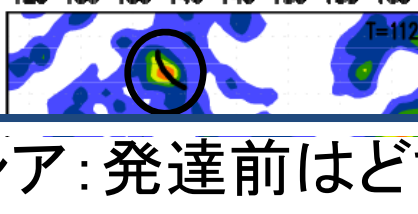
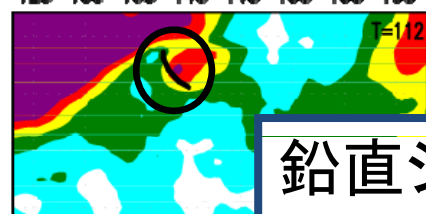
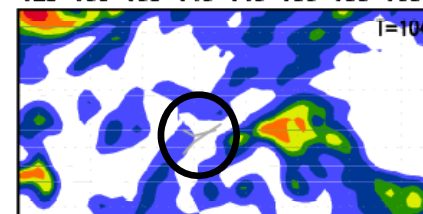
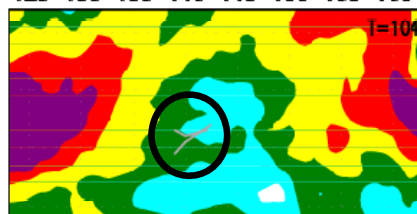
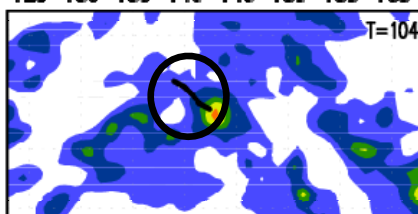
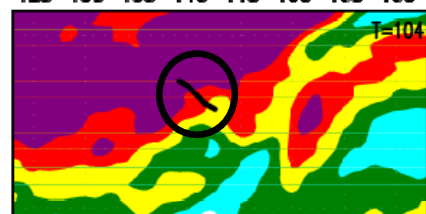
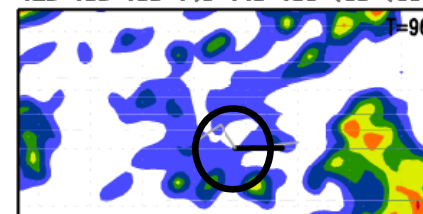
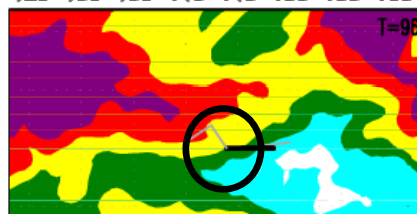
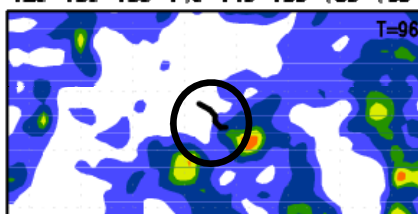
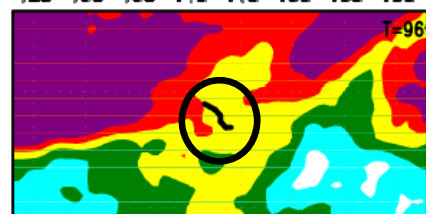
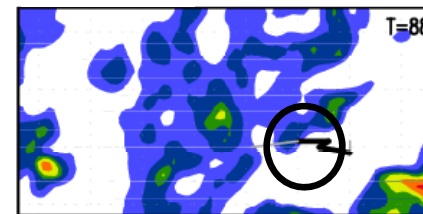
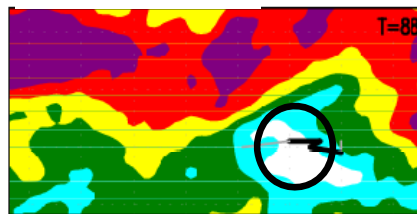
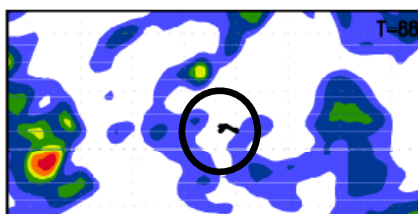
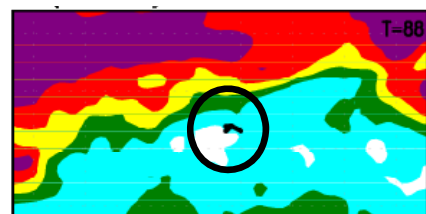
Init: 2012.5.17

鉛直シア

RH700

鉛直シア

RH700



鉛直シア: 発達前はどちらの事例も弱い
中層RH: 5.15初期値は局所的に高い(結果??)

4 8 12

0 45 90 135 180

まとめ

■2012年5-6月に発生した9事例の台風の再現性

- ・NICAM: 台風発生を4週間前から再現する事例あり
フィリピン東沖やEPA(東風が卓越していた事例?)
- ・リードタイムが短くても台風が再現されない事例もあり
- ・中緯度で発生した台風は再現されず
(リードタイムが短い場合は計算待ち)
- ・ECのリードタイム: ~1週間(多事例で確認する必要あり)

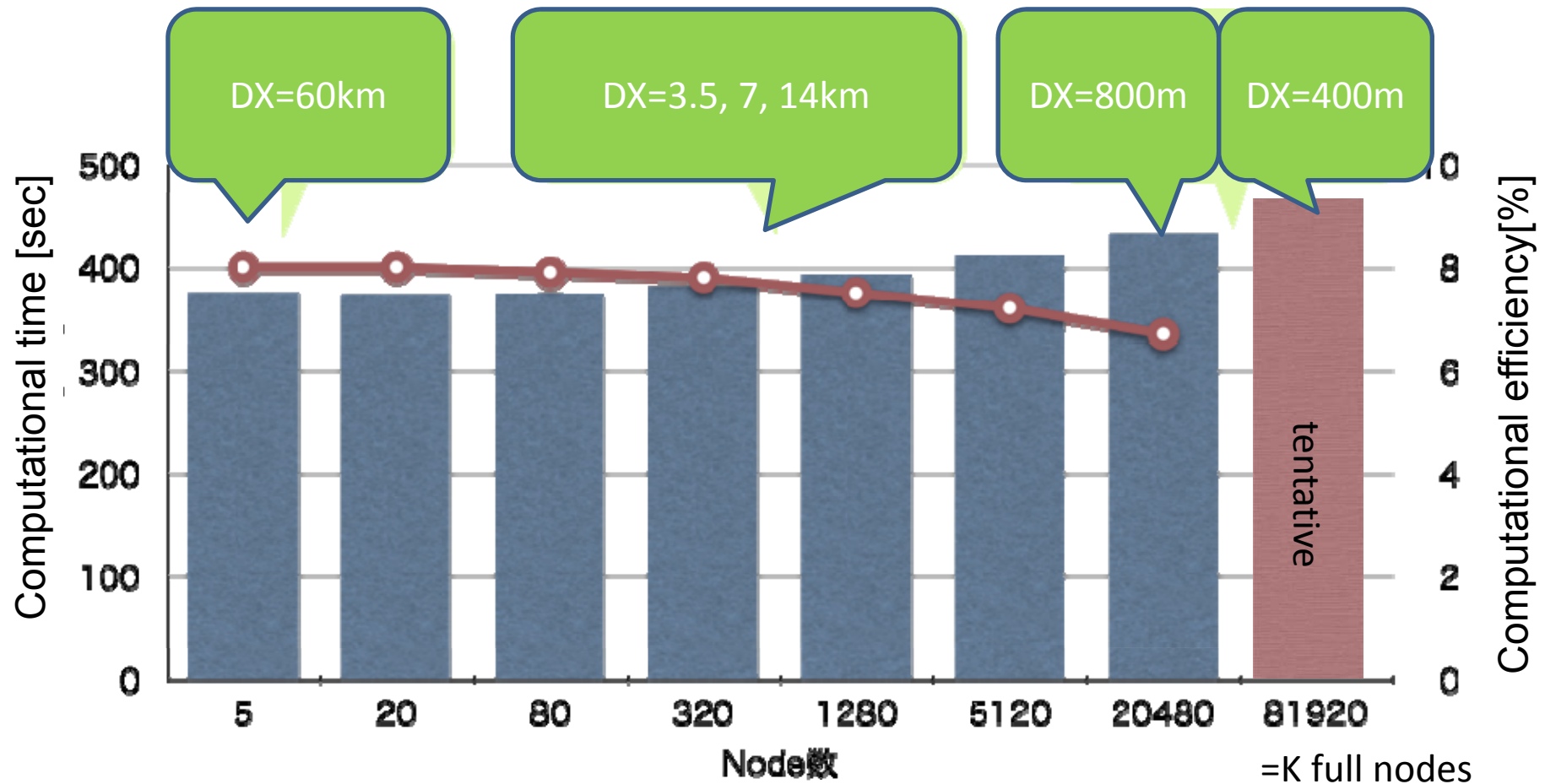
■台風に至った事例と至らなかった事例の違い

- ・鉛直シア: 顕著な差は見られず
シアの方向も大事かもしれない(Nolan et al. 2012)
- ・相対湿度: 中層で局所的に高い湿度(原因?結果?)

今後: 発達した・しない台風の違いについて、事例を増やし
詳細に物理的要因を調べる

NICAM performance on K-computer: Sep. 2012

- Measurement up to 20000 nodes (weak scaling)
- Experiment done until 81920 nodes (K full nodes), tentative
- Good scaling for the major modules ($\alpha=0.94\sim0.97$)



800mメッシュ全球雲解像シミュレーション

(1) 分解能をどこまで上げ、どれくらい長い計算をするか

- 全球非静力学モデル (NICAM) で世界最高解像度 (水平800m, 鉛直100層) による2日間積分を実施
- 京を駆使して初めて可能

(2) 必要な計算資源

- 800mメッシュNICAM 2日積分実験には京の**全ノード(81920)**、**フルノードで4日間を利用: 767万ノード時間**
- 収束性、ケース、スピンアップ10日: 7km~1.6kmメッシュ: 829万ノード時間
- **合計 1,386万ノード時間、ディスク容量: 1PB**

(3) 研究の背景

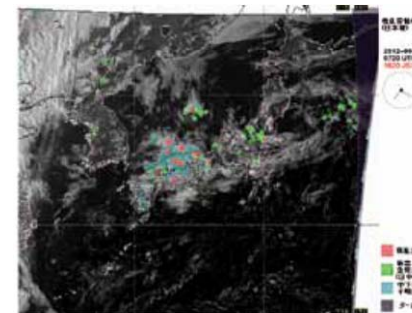
- 全球雲解像モデルの解像度問題へ決着をつける: 集中豪雨予測には1kmメッシュ以下が必要とされているが、今まで3.5kmメッシュが全球での最高解像度、地球全体の対流雲シミュレーションの収束性は未知。
- 世界で初めて、大気雲擾乱の最小要素である対流のライフサイクルの全球での統計的性質を示し、今後の延長予報、台風変化予測のための全球雲解像モデル研究のベースを確立する必要。
- 全球モデルの必要性: マルチスケール1kmから1万km、世界中の多様な雲

(4) 実施体制

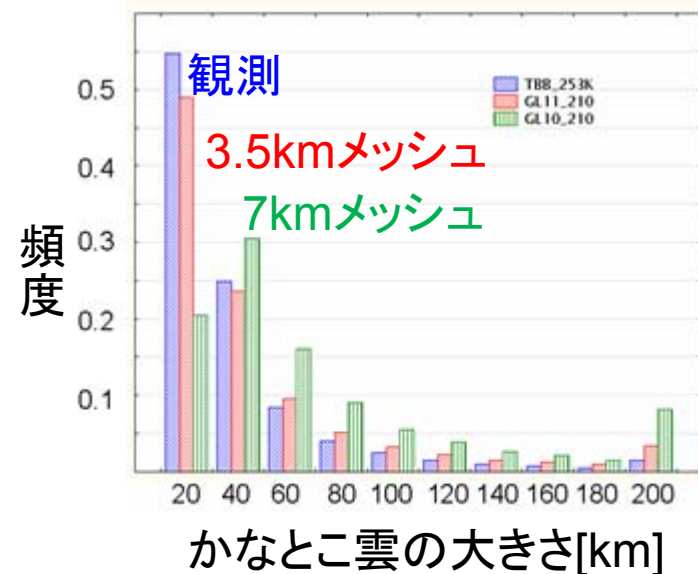
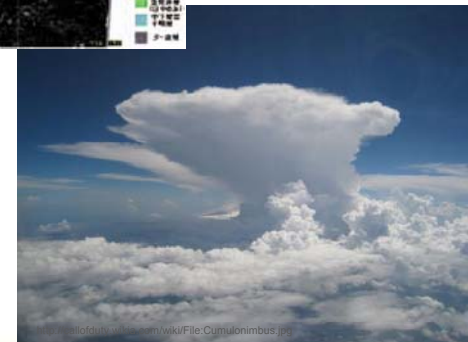
- 海洋研究開発機構・次世代気候モデル開発グループ・全球雲解像モデリングチーム
- 東京大学大気海洋研究所
- 協力機関: 理化学研究所計算科学研究機構複合系気候科学研究チーム

(5) 世界の動向

- 全球を対象とした1km以下メッシュによる計算例はない。
- NICAMや S 5による全球3.5kmメッシュが 来の最高解像度計算。
- 全球非静力学モデルの開発は世界 国で進行中(ドイツ IC N、アメリカMPAS等)。
- NICAMと同様のモデルやピーク性能で京を するスパコンが進出。
- 「京」の全系を用いて、世界に先駆けて次世代へのブレークスルーとなる計算を行うことが められている。



対流発生ポテンシャル。静止気象衛星により提供されている積乱雲情報。



対流雲のかなとこ雲の大きさの頻度分布。来の最高解像度3.5kmでもまだ収束しない。