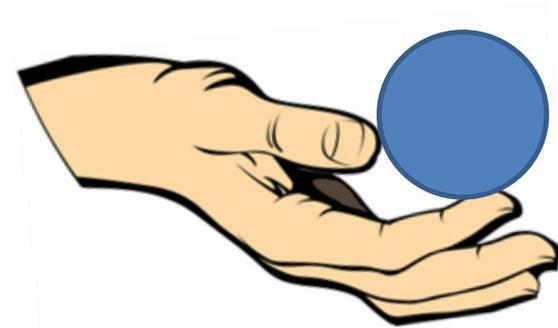


Part 4 台風予測の現状

まず、ボールを落とすことを例に 「予測する」ということを考える

- ボールを静かに手から落とす
- ボールは下に落ちる
- 重力だけがかけるとすると、
速度はt秒後に $v=9.8t$ (m/s)
落ちる距離は $x=4.9t^2$ (m)
と計算できる。
- すごいところは、物理に基づき
「ボールを落とす前から」
落下速度や距離が分かること。



石ころの落下を正確に 予測するために必要なもの

- 初期の状態

⇒ 静止状態か運動中か。

- 考慮する物理法則（物理モデル）

⇒ 重力だけを考えるなら、先ほどの式で落下速度と距離が計算できる。空気抵抗を考えるとより正確に計算できるはず！

正確な初期状態 + 正確な物理法則

→ 正確な予測

天気予報作成の手順

同化

observation

Analysis

Model

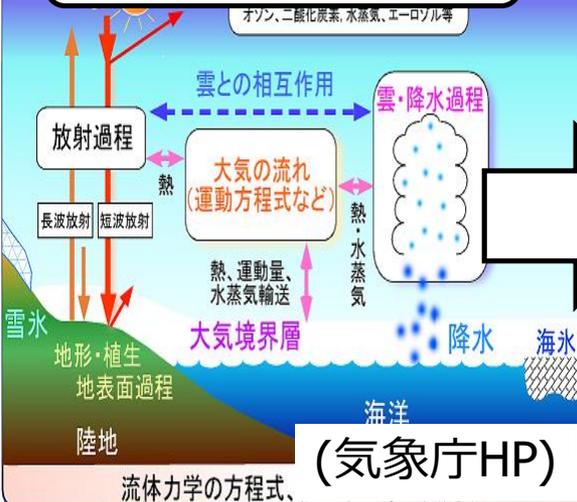
観測



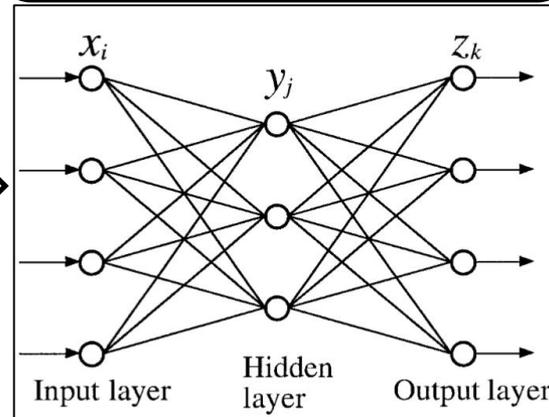
発表予報



物理モデル



ガイダンス
(機械学習で補正)

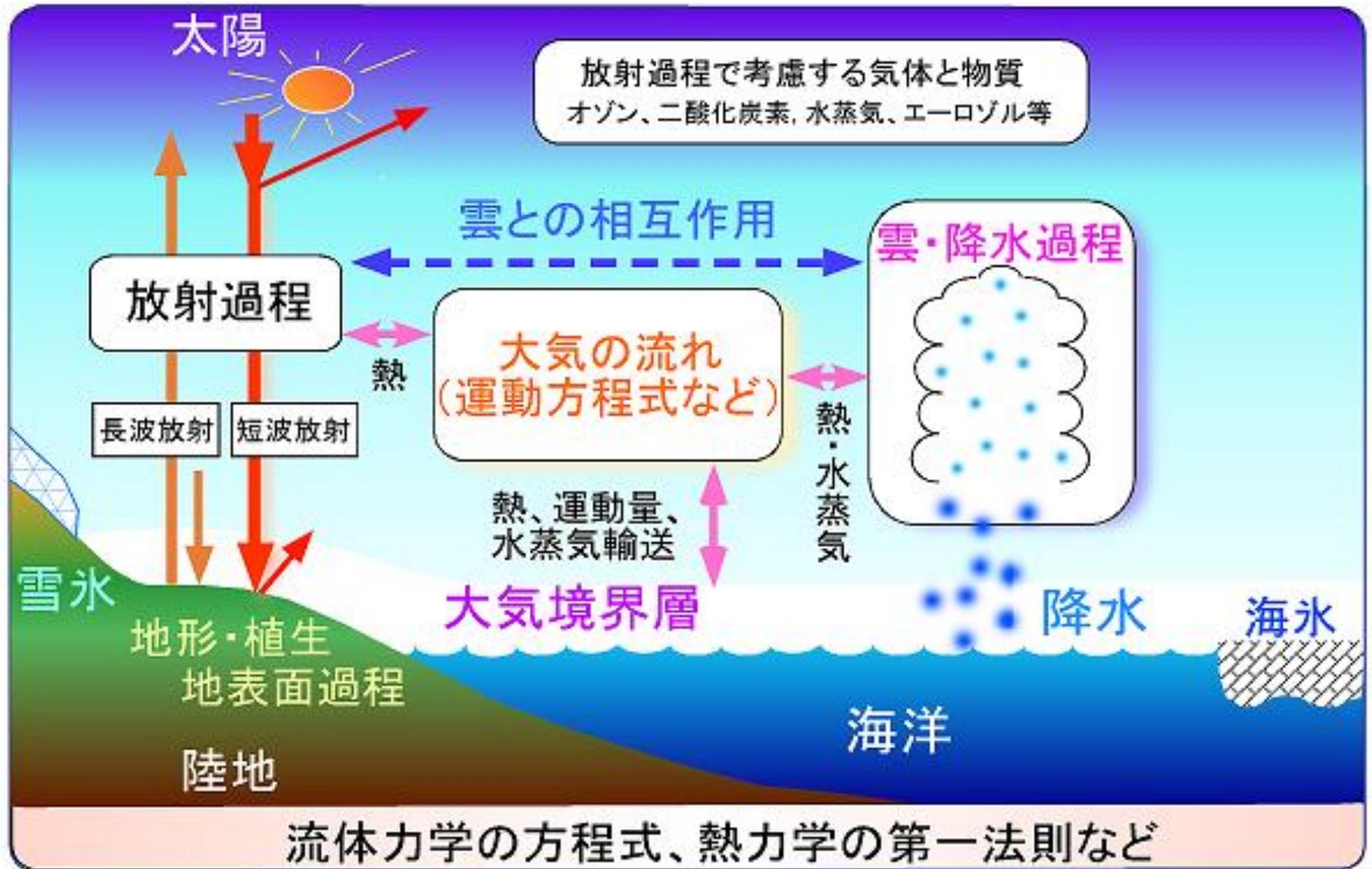


(Hsieh and Tang, 1998)

予報官の補正



モデルで考える物理法則



(気象庁HP「数値予報とは」)

観測とモデル

- 観測では現在の状態までしか分からないが、モデルを用いることで将来予測が可能となる。
- ところが、モデルを用いて予測を行うためには、正確な初期値を用意する必要がある。
→地球大気全体を20度等温としてもシミュレーションは動くが、予測には役立たない。
- 正確な初期状態(各地点の風速・気温・湿度)などを観測に基づいて推定する必要がある。

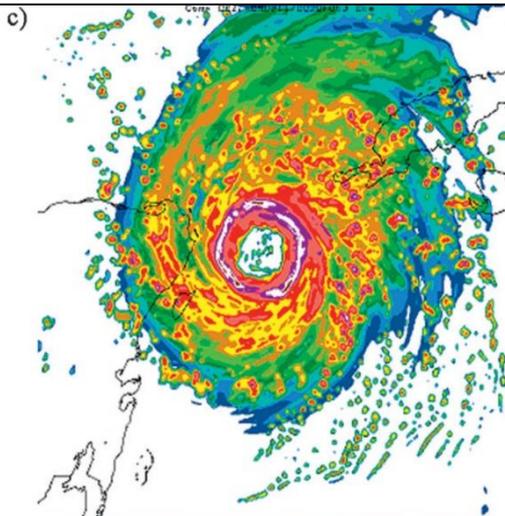
初期状態の推定は難しい

- 観測データ自身にも誤差があるので、真の値はわからない
 - 観測データは時空間的に密には存在しない（海上や上空などでは特に難しい）
- ⇒問題を軽減するために**同化**という作業を施す

観測



シミュレーション



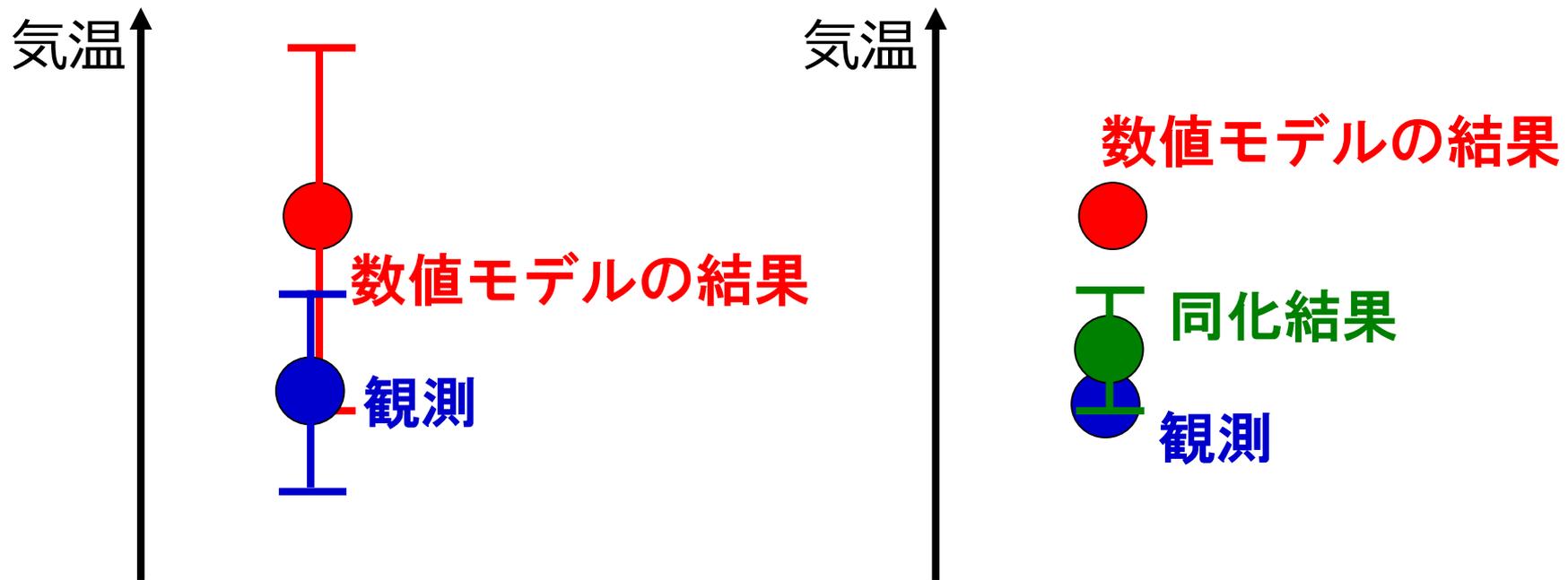
+

=

同化結果

初期状態の推定値
として予報に使う

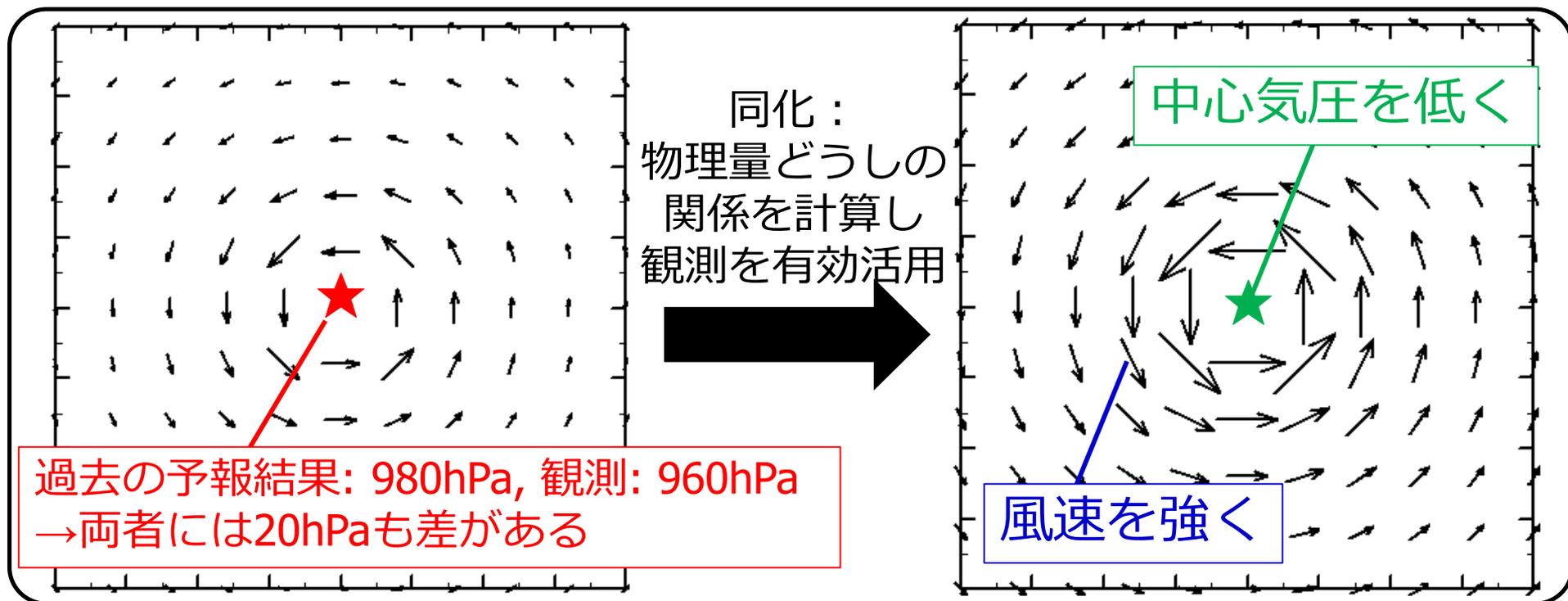
観測 + 数値モデル ⇒ 同化結果



- 観測の誤差標準偏差 σ_{Obs} とモデルの誤差標準偏差 σ_{Model} に応じて、重み付けを行う。同化結果の誤差標準偏差 σ_{Assim} は両者より小さくなる。
- 観測と数値モデルの結果を組み合わせた結果、そのいずれよりも誤差の小さい変数が出た。

同化：観測データ＋共分散のシミュレーション

- 台風を中心気圧の観測が得られたとする
⇒中心気圧の修正で終わるのはもったいない
- 例：中心気圧が低いとき風速は強い⇒風速も同時修正
- 中心気圧と風速を確率的な変数とみなし、両者の共分散も物理法則に従うとしてシミュレーション
- 同化の数学的なバックボーンは機械学習と同じ



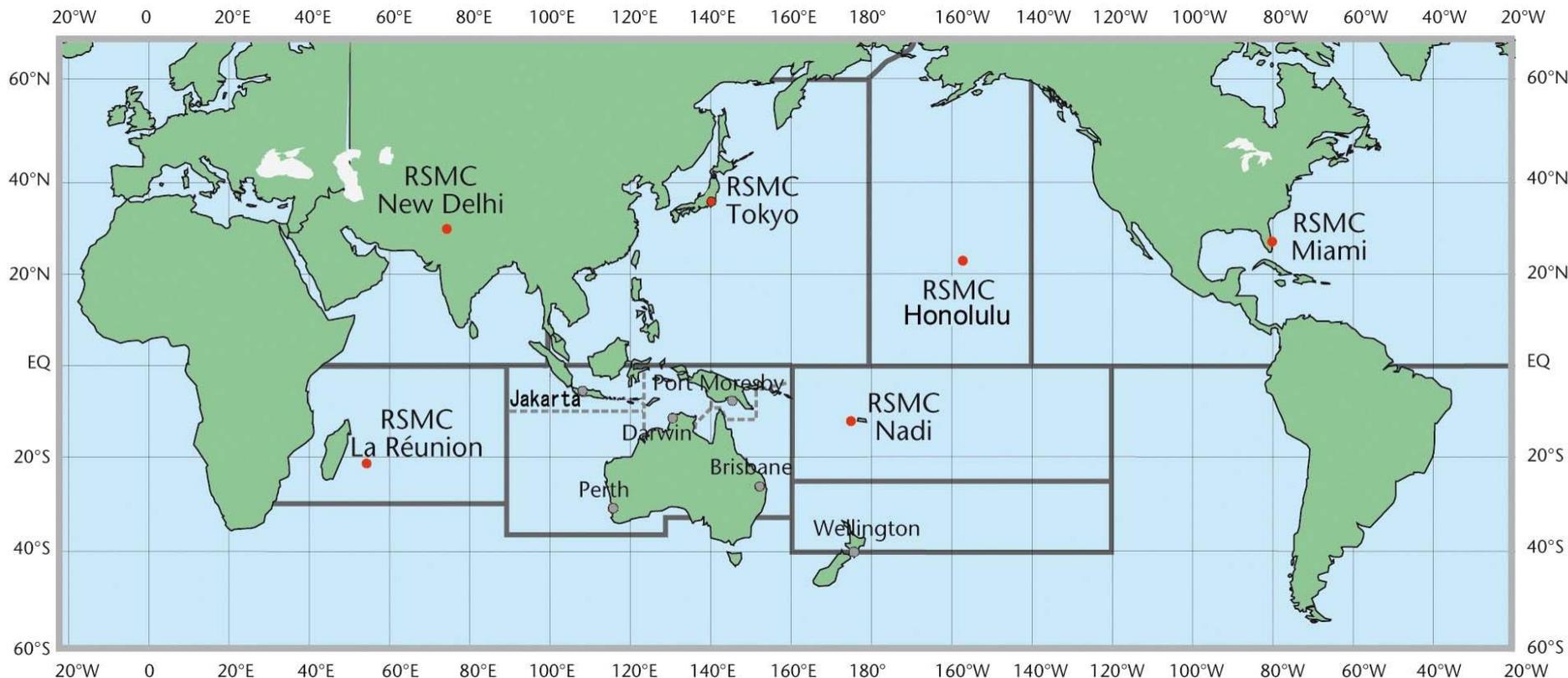
最後は統計的 + 人の手で補正

- モデルの予測は完全ではないので、ニューラルネットワークなどで、補正を施している。
- 予報官は様々な情報を踏まえて必要があれば補正を施し、最終判断をして予報を発表する。



台風予報の国際的な枠組み

- 世界気象機関(WMO)のWorld Weather Watch programという枠組みの中でいくつかの地域特別気象センター(RSMC)が関係各国に台風情報を提供している。気象庁は北西太平洋を担当。

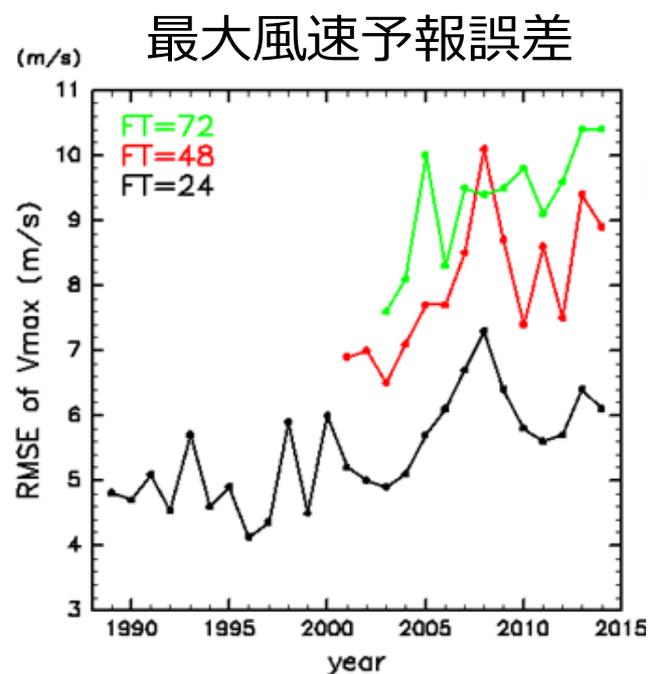
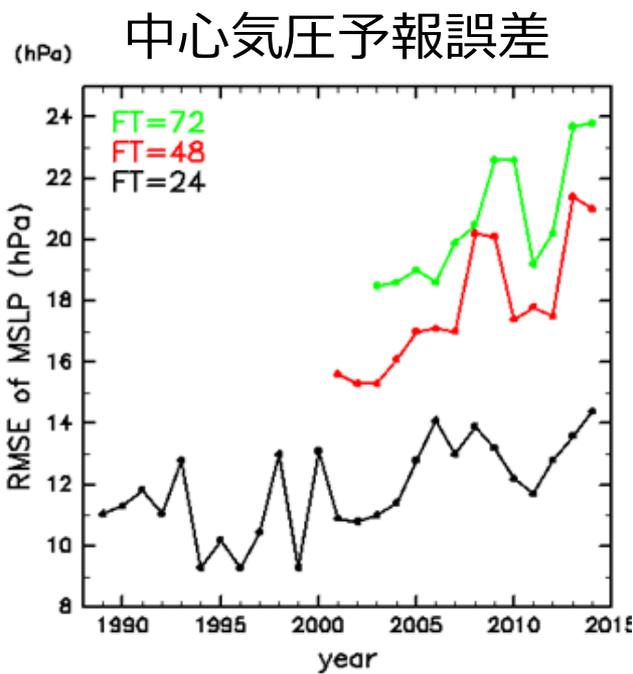
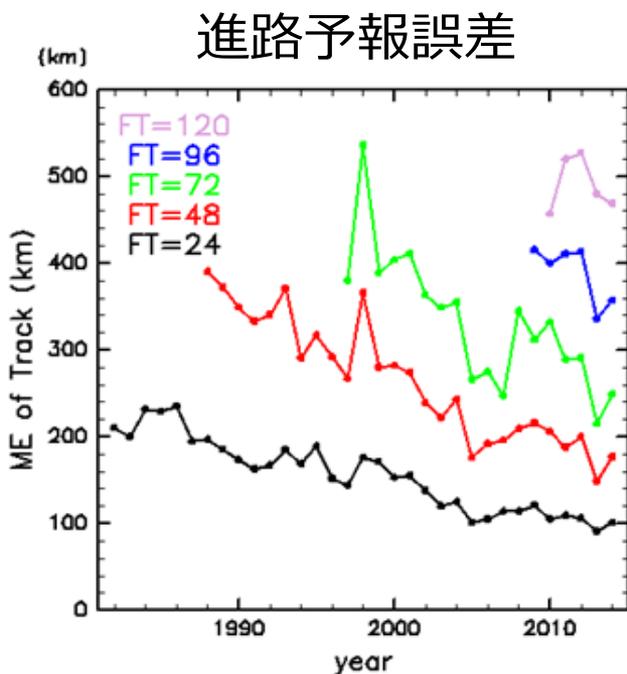


気象庁が発表する台風予報

- 進路予報：5日まで
 - 気象庁(JMA)の全球モデルGSM
 - ECMWF, UKMO, NCEPの予報も積極的に活用(2015-)
- 強度予報：3日まで
 - GSM+強度に関する統計SHIFOR (位置などの関数)
 - 統計-力学モデルSHIPS, 台風モデルCHIPSの予報も積極的に活用(2017 for a trial use)
- 発生予報：1日以内の台風発生の可能性を発表

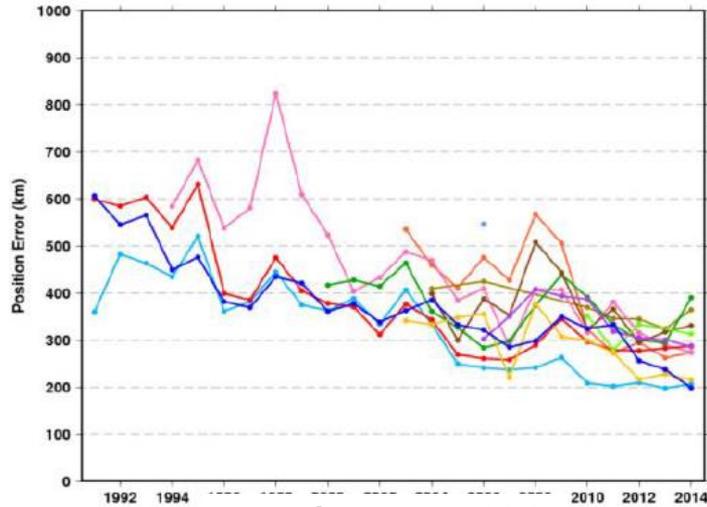
RSMC Tokyoによる台風発表予報の誤差

- 気象庁は各国のモデル結果などをもとに各国の機関や一般に向けた予報（発表予報）を作成する。
- 進路予報の誤差は減少し続けている。
- 中心気圧と最大風速に代表される強度予報の誤差は若干の増加傾向にある。
- この増加傾向は急発達率増加に関係しているかも？

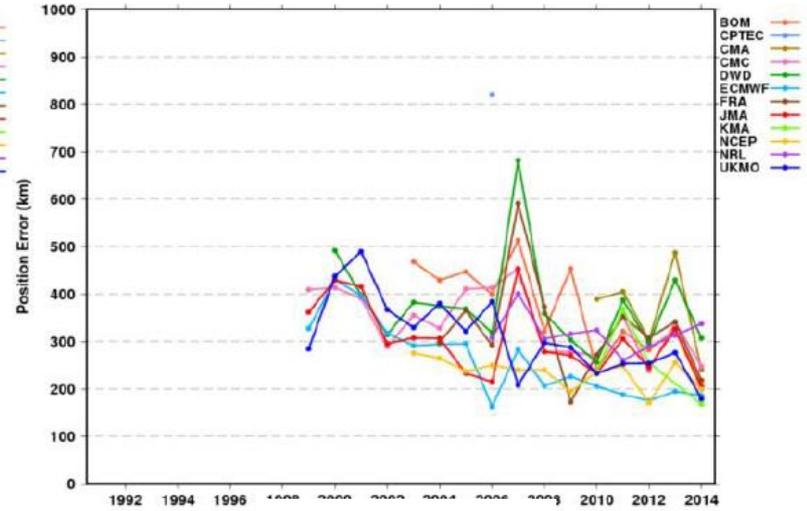


各国機関のモデルによる台風進路の3日予報誤差

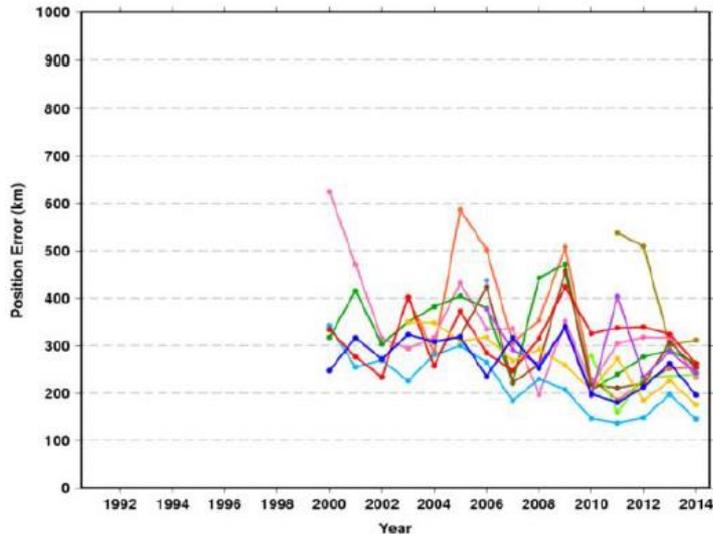
北西太平洋



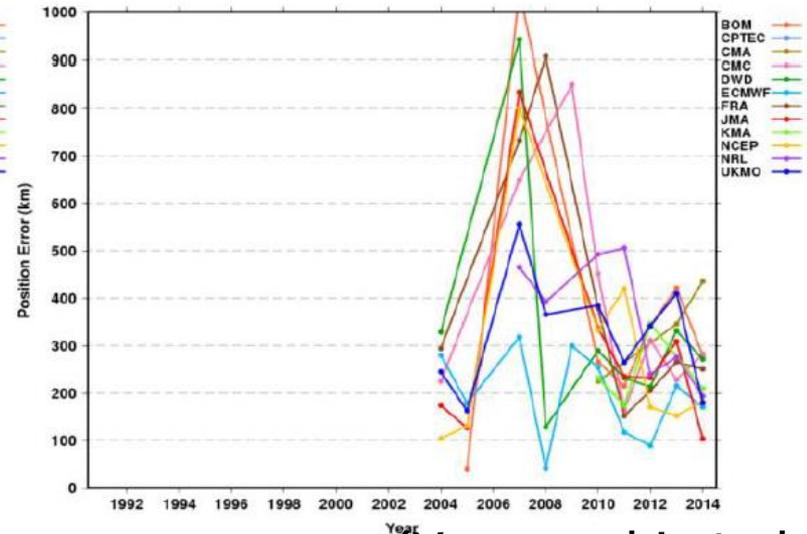
北大西洋



北東太平洋



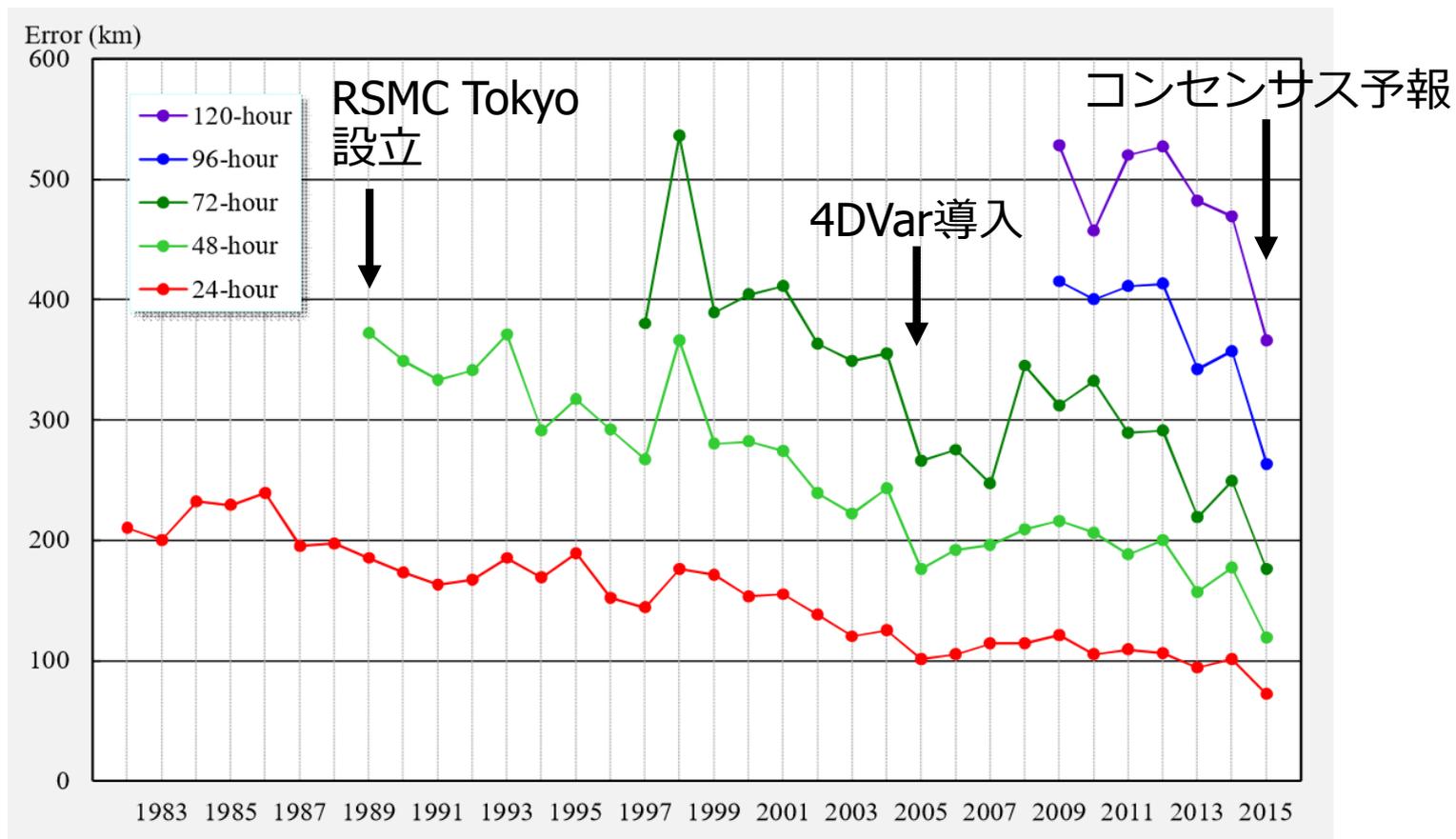
インド洋



(Yamaguchi et al., 2017)

進路予測の改善に向けて

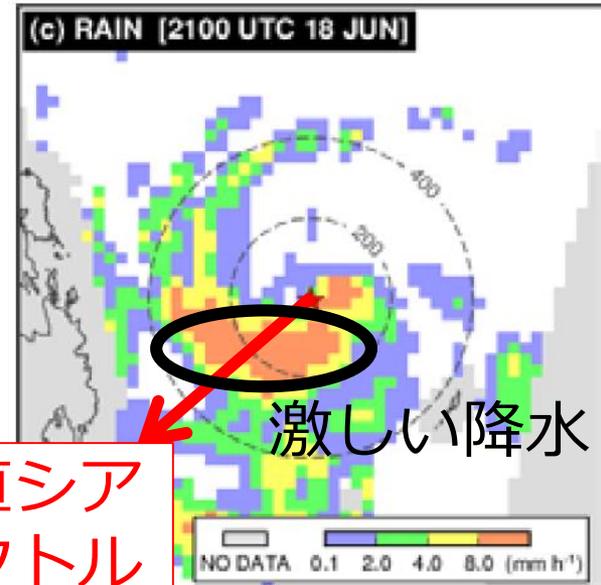
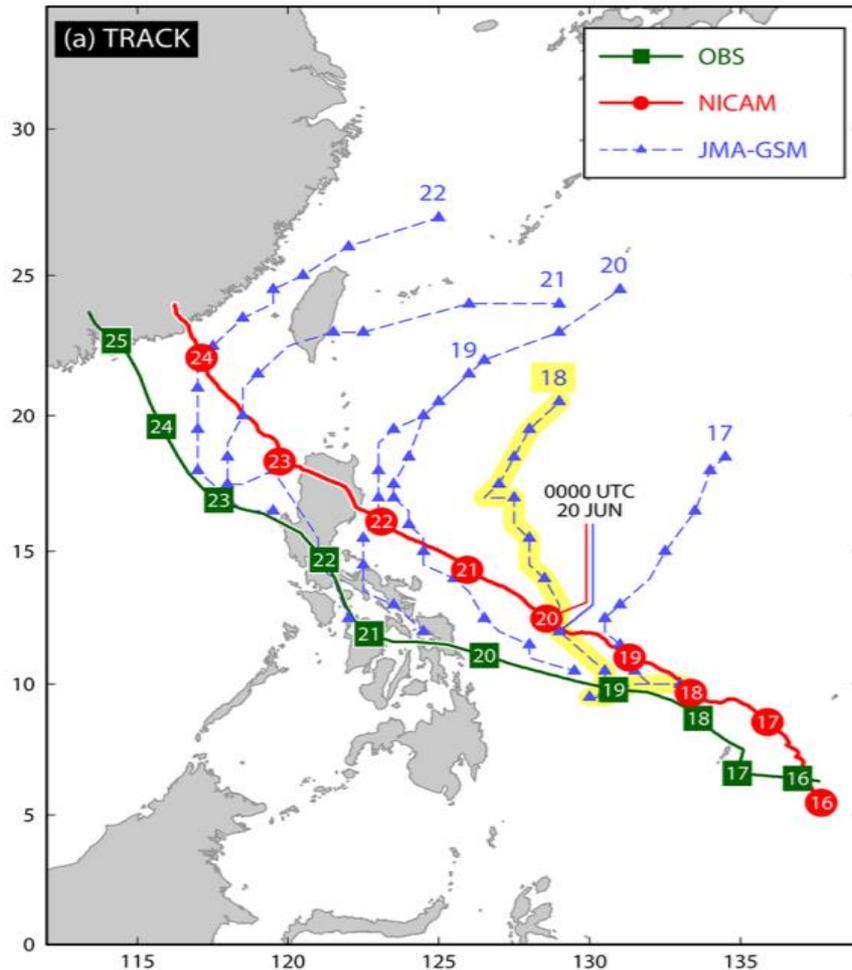
- コンセンサス予報の開始
 - 気象庁は2015年からGSMのほかに、ECMWF, UKMO, NCEPの予測も積極的に活用している。



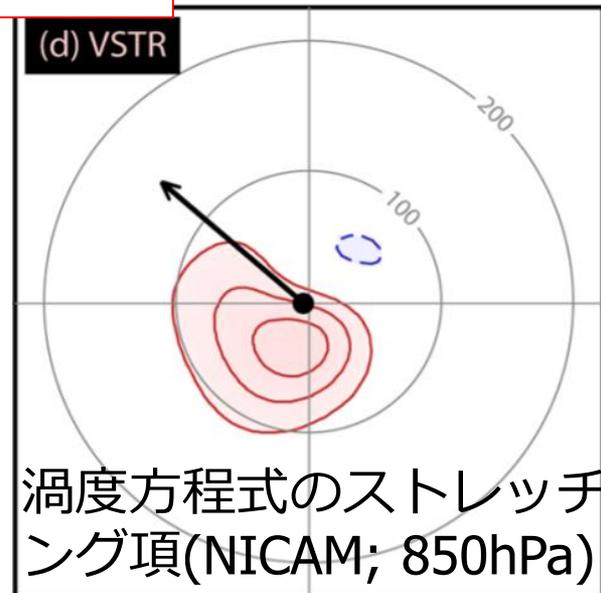
(RSMC Tokyo annual report)

非断熱加熱分布の表現→進路予報精度向上

- 非断熱加熱分布に波数 1 の非軸対称成分があるときは、その再現性が進路に効くことがある。

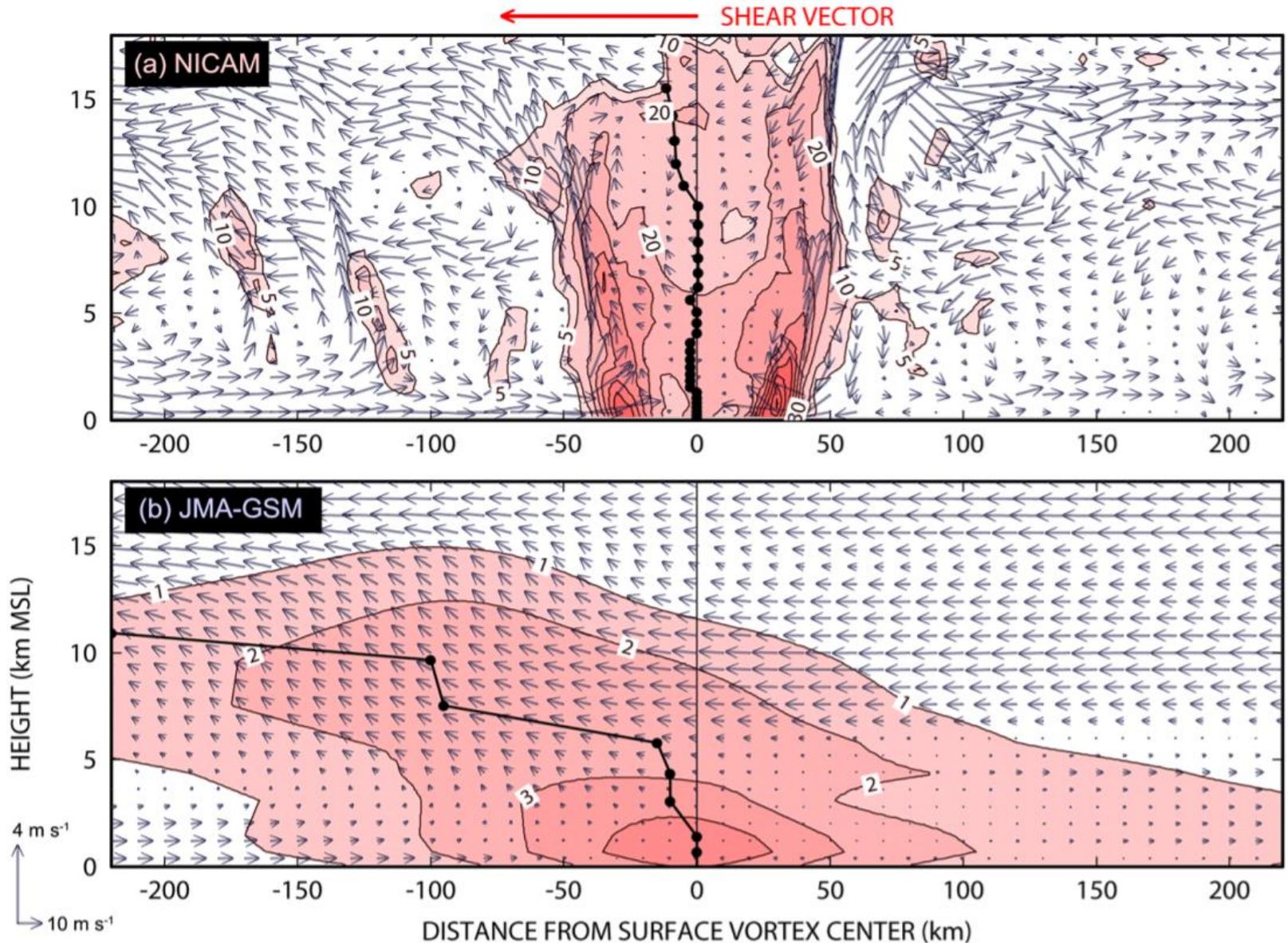


鉛直シア
ベクトル



(Yamada et al. 2016)

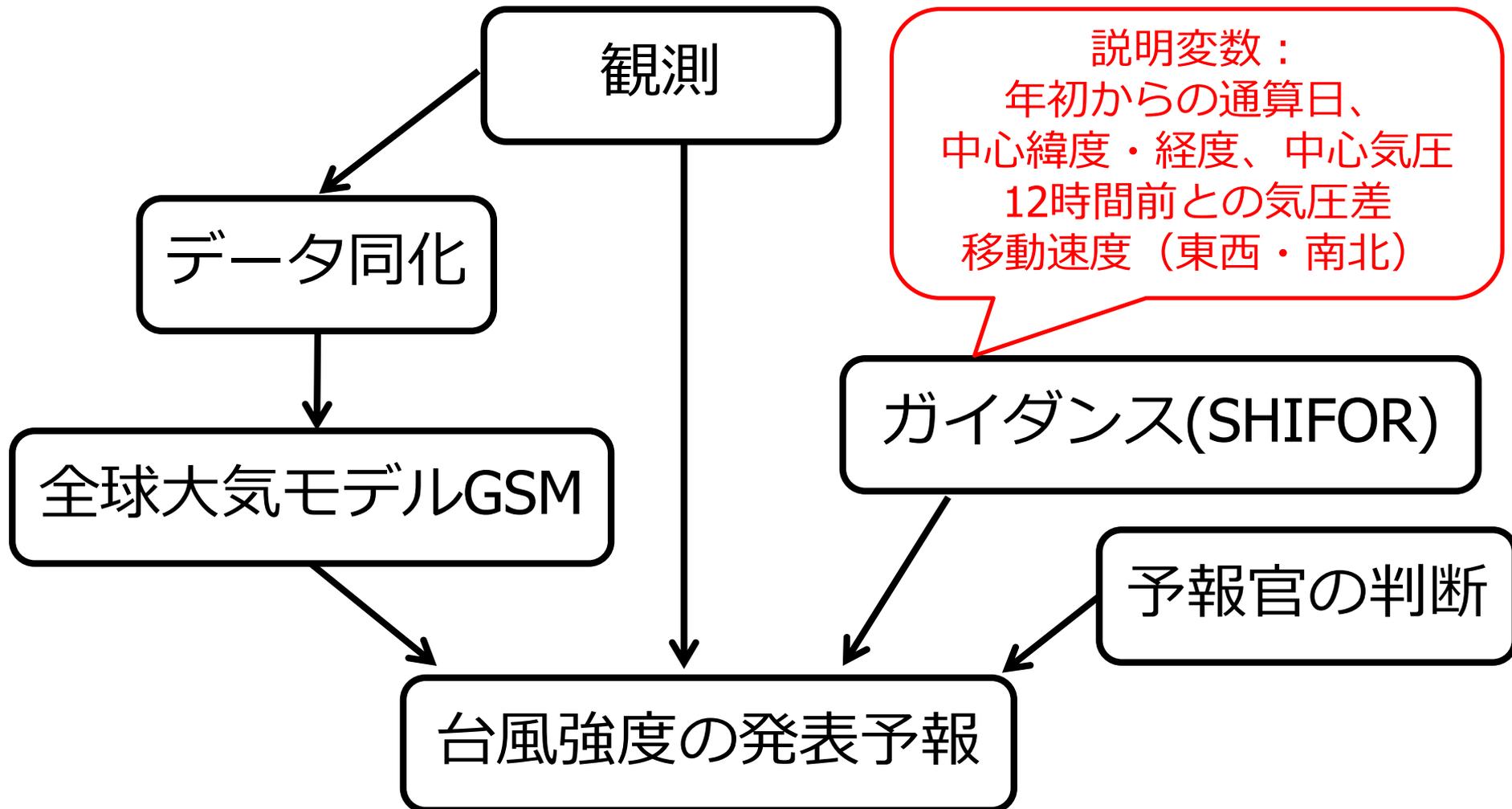
NICAMとGSMで再現された渦度場



(Yamada et al. 2016)

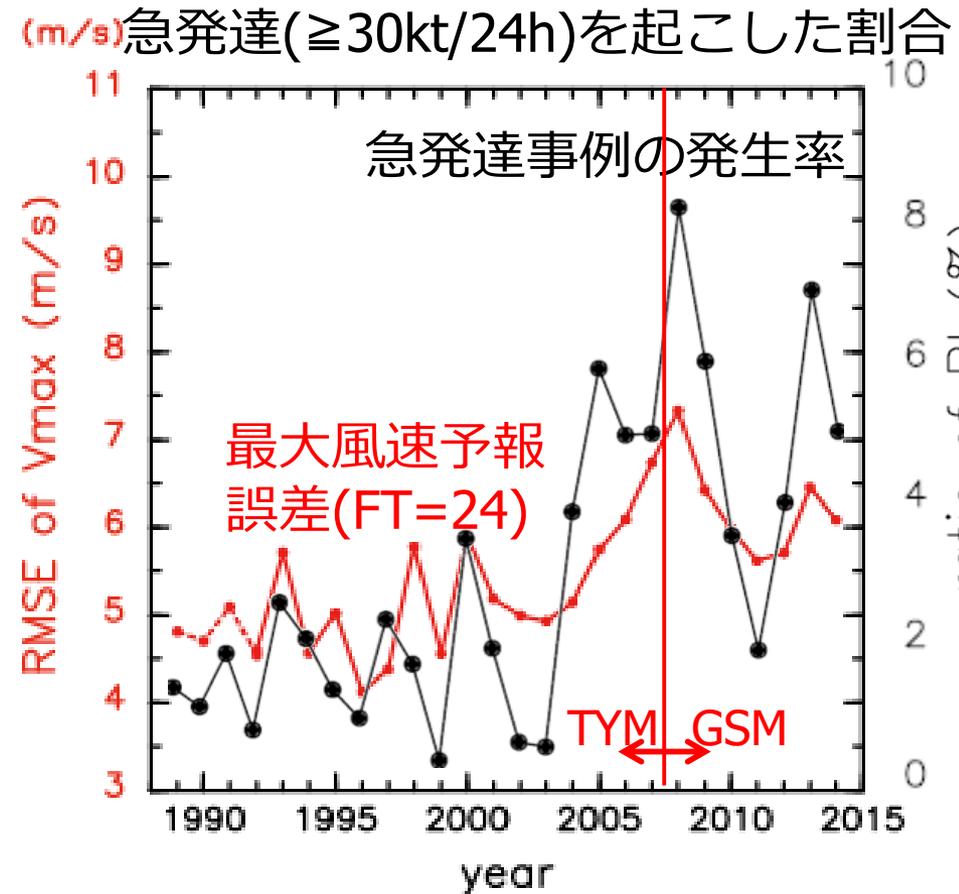
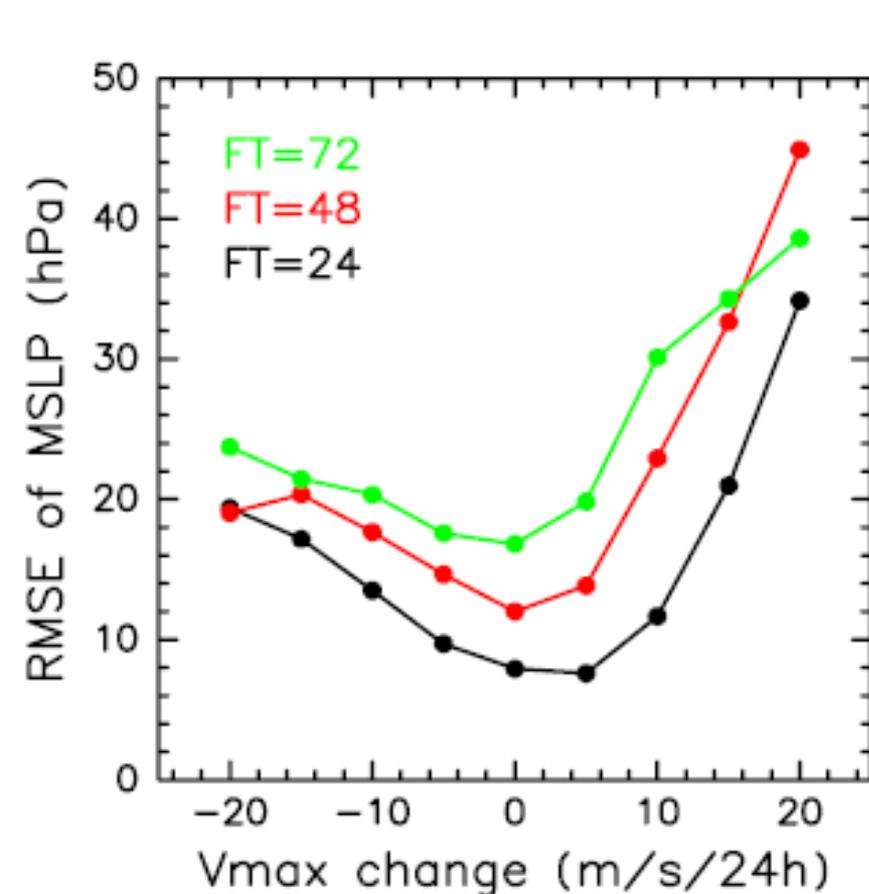
気象庁による台風強度予報(今後変わる)

- ・時間の制約もあり、気象庁では $\Delta x \sim 20\text{km}$ の全球大気モデルを台風強度予測のベースモデルとしている



強度予報誤差が増加しているのはなぜ？

- 発達率で予報誤差を分類⇒急発達時に誤差が大きい
- 2004年以降、急発達の発生率は倍になっている。



(Ito, 2016, SOLA)

台風強度予報精度を高めるために

観測

- 通常の観測 + 台風ボーガス
→ 航空機を用いた機動的観測

データ同化

- 4次元変分法(共分散の初期値：気候値)
→ 海面交換係数の最適化、Hybrid法

シミュレーション

- 大気モデルGSM($\Delta x \sim 20\text{km}$)
→ 高解像度大気海洋結合モデルCMSM

補正+予報官の判断

- 緯度・経度などに基づいた補正
→ MPIなどを使って統計的補正

例えば：MPIを統計的な補正に使う

- 気象庁の発表予報の誤差とMPIを比較した。
- 発表予報値とMPIが大幅に異なるときは、MPIに若干近づける⇒この補正だけで強度予報誤差は5-7%減少

