

温暖化に伴いスーパー台風は どこまで強くなるのか

- ◆ 台風は大気中のもっとも激しい気象システムであり、それに伴う強風と大雨は洪水や高潮などを引き起こし、毎年のように人間社会に甚大な災害をもたらしている。
- ◆ スーパー台風などの強い台風は、低頻度であるが、一旦、上陸すると極めて影響の大きな事象であり、その強度予測の高精度化と温暖化気候における台風の最大可能強度を量的に推定することは、影響評価研究などのシナリオの整備における重要な情報である。
- ◆ 防災の観点から台風の強度予測は極めて重要で、進路予測精度が年々向上しているのに対して、強度予測はほとんど精度が向上していない。これは台風の強度を決める要因が十分モデル化されていないからである。
- ◆ 台風の最大強度は海面水温（海洋の貯熱量）により、第1義的に決定される。一方で、台風は海洋に大きなインパクトを与える。
- ◆ 熱（潜熱・顕熱）を海面から奪う、海洋表層を攪拌する、深層からエクマン湧昇によって、海面水温を低下させる。
- ◆ 温暖化に伴い台風はどこまで強くなるのかを考える。

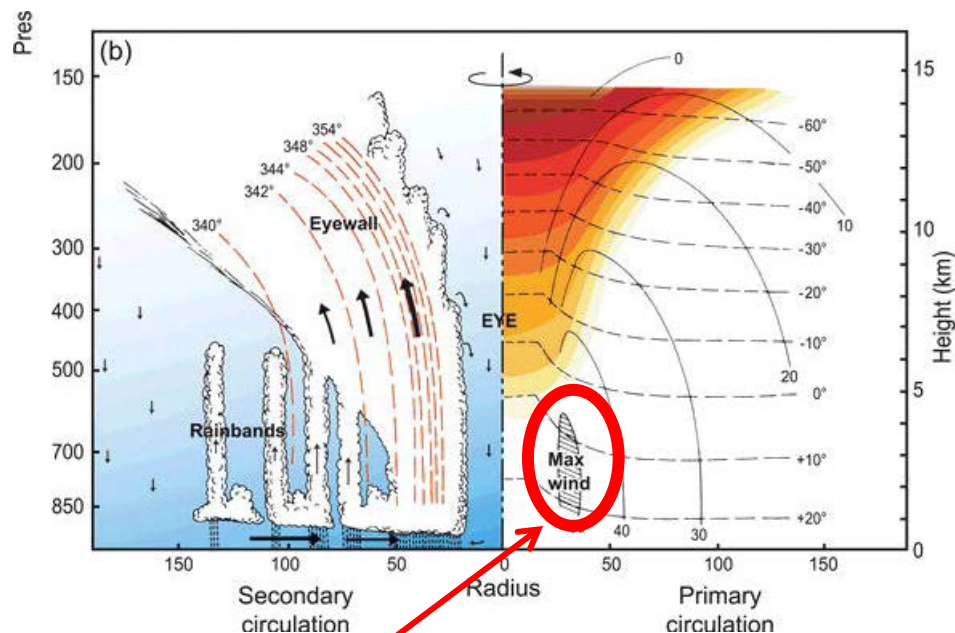
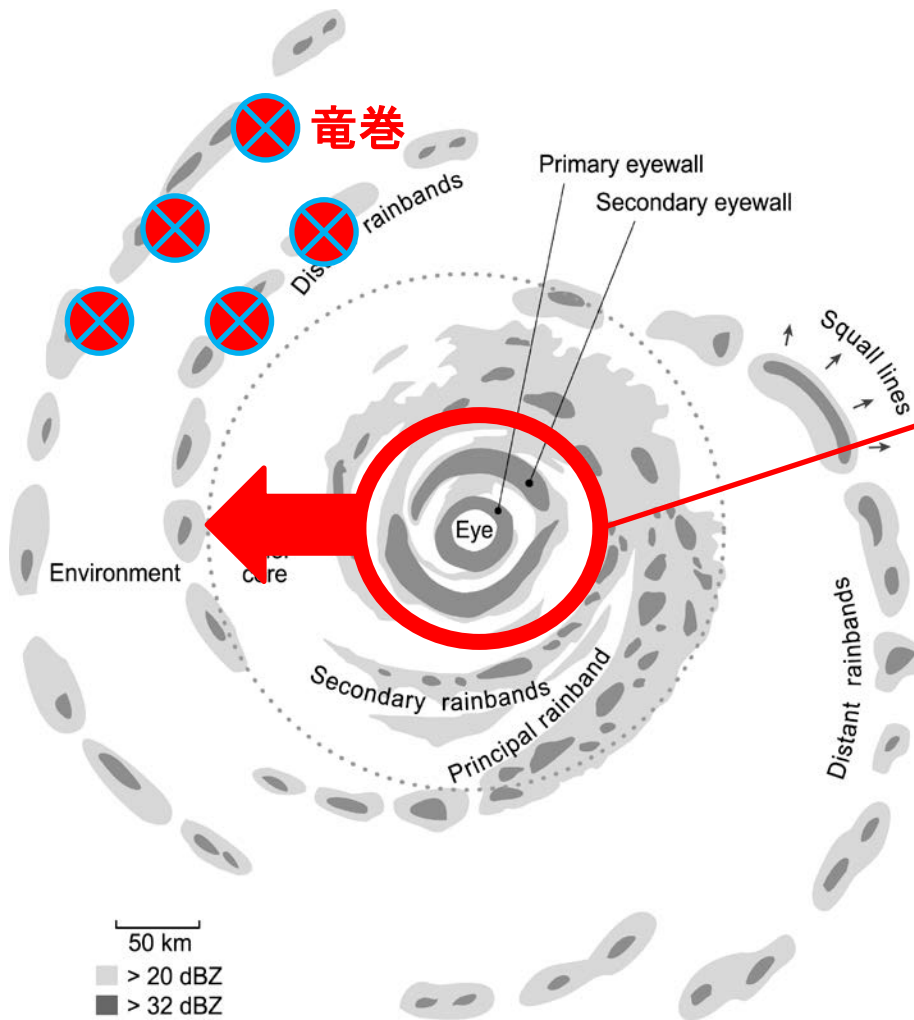
台風とは北西太平洋(赤道より北で東経180度より西の領域)または南シナ海の風速17m/s以上の風速を持つ熱帯低気圧

台風の階級	10分平均風速(m/s)	1分平均風速(m/s)
台風	17 m s^{-1}	19 m s^{-1}
強い	33－44 m s^{-1}	37.5－50 m s^{-1}
非常に強い	44－54 m s^{-1}	50－61 m s^{-1}
猛烈な	54 m s^{-1} 以上	61 m s^{-1} 以上

米国での西太平洋の熱帯低気圧の名前	10分平均風速(m/s)	1分平均風速(m/s)
Tropical Depression	<15.4 m s^{-1}	< 17.5 m s^{-1}
Tropical Storm	15.4-28.5 m s^{-1}	17.5-32.4 m s^{-1}
Typhoon	28.5-58.8 m s^{-1}	32.4-66.9 m s^{-1}
Super-typhoon	58.8 m s^{-1} 以上	66.9 m s^{-1} 以上

熱帯低気圧(台風)の構造

眼の壁雲と(スパイラル)レインバンド



最大風速

台風を特徴付ける量

- ◆ 強度: 中心気圧・最大地上風速
- ◆ 大きさ: 風速15m/sの半径(大型、超大型)
- ◆ 経路
- ◆ 移動速度
- ◆ 発生数(他に上陸数や接近数)

台風の強度は何が決めるのか

環境要因

- ◆海面水温（海洋上部の貯熱量）
- ◆大気の鉛直シア（下層と上層の風速差）
- ◆対流圏上部の気温
- ◆海洋の構造
- ◆大気の熱力学的構造（安定度・湿度）

内的要因

- ◆眼の構造（形や壁雲の入れ替わり）
- ◆スパイラルレインバンド
- ◆メソ渦

台風の強度(最大風速)はどれくらいか？

台風の中心気圧(p_c)と最大風速(v_m)の関係

$$v_m = 0.373(1000 - p_c) + 34$$

中心気圧 900 hPa $\Rightarrow$ 最大風速 71 m/s

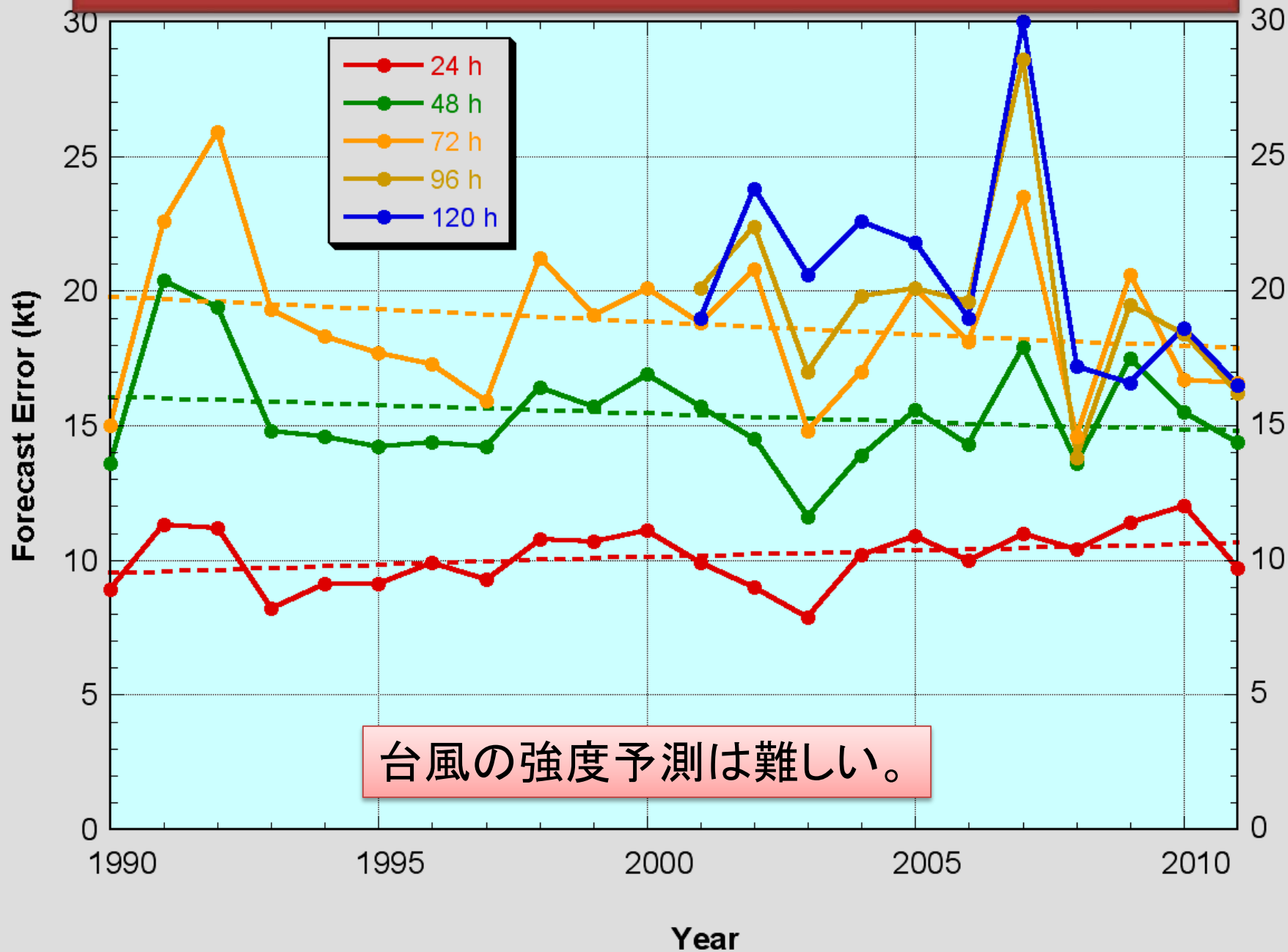
中心気圧 850 hPa $\Rightarrow$ 最大風速 90 m/s

中心気圧 700 hPa $\Rightarrow$ 最大風速 146 m/s (F5)

中心気圧 500 hPa $\Rightarrow$ **最大風速 マッハ 0.7?**

実際には温暖化に伴いどこまで台風は強くなり得るだろう？

熱帯低気圧の強度予測の誤差の年々変動

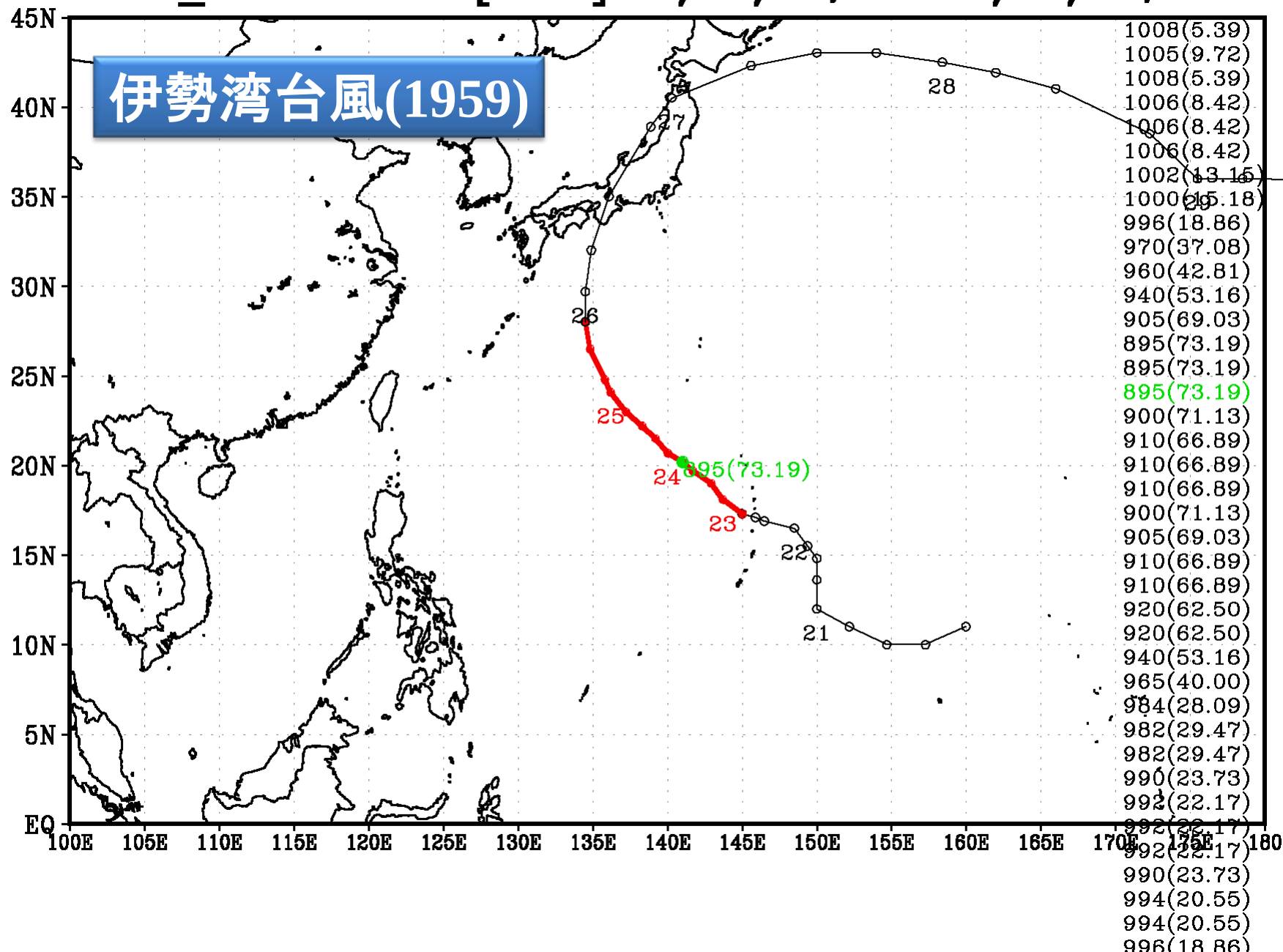


将来、温暖化したときに最も強いスーパー台風はどれくらい強くなるか？

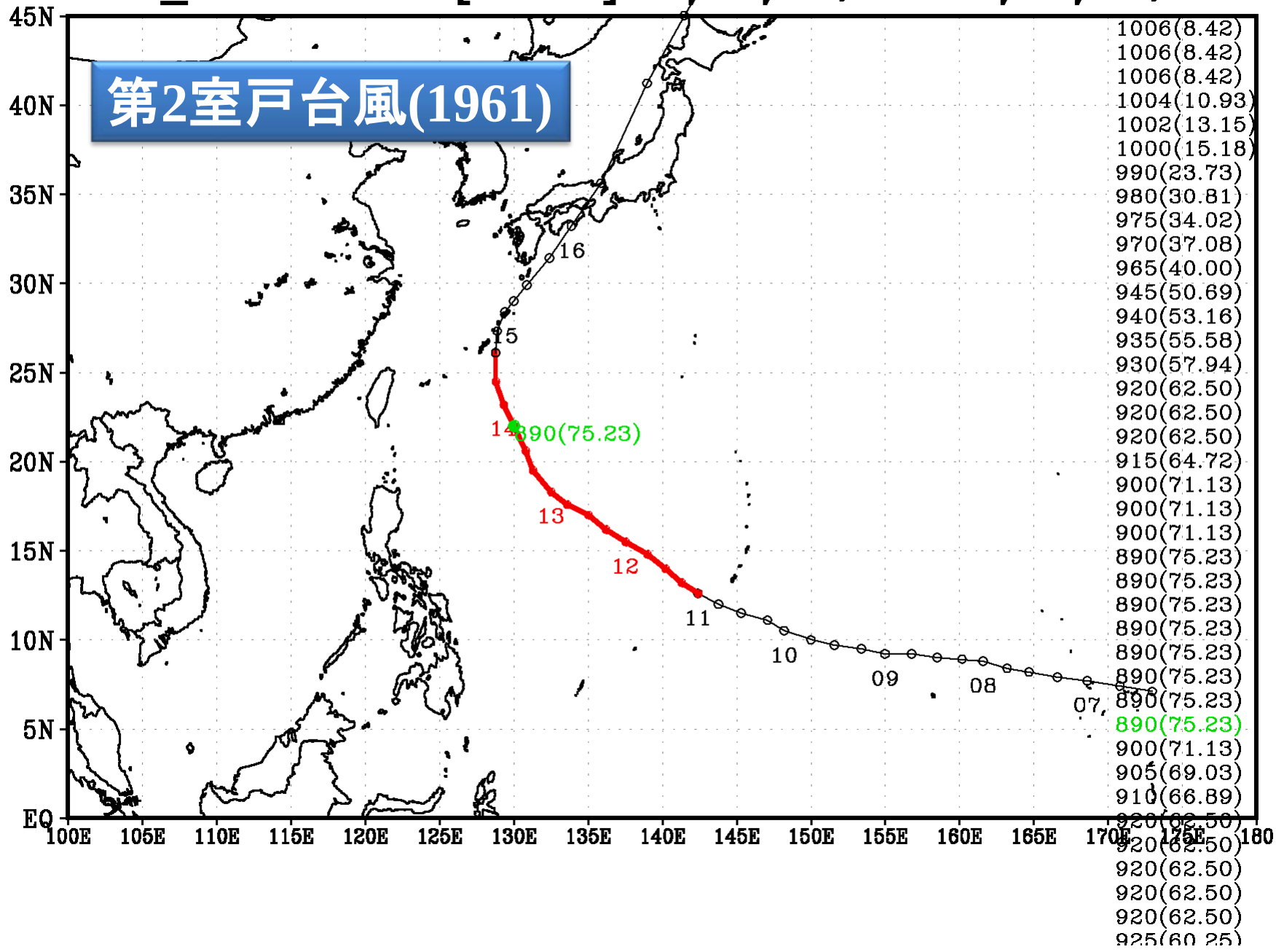
1. **観測的方法**：過去の観測された台風データから将来の台風の最大強度を推定する。
2. 理論的方法：気象の理論から温暖化気候における台風の最大強度を推定する。
3. 数値的方法：雲解像モデルを用いて温暖化気候における台風の最大強度を推定する。

JMA_RSMC T5915 [VERA] 59/09/20,00Z-59/09/29,12Z

伊勢湾台風(1959)

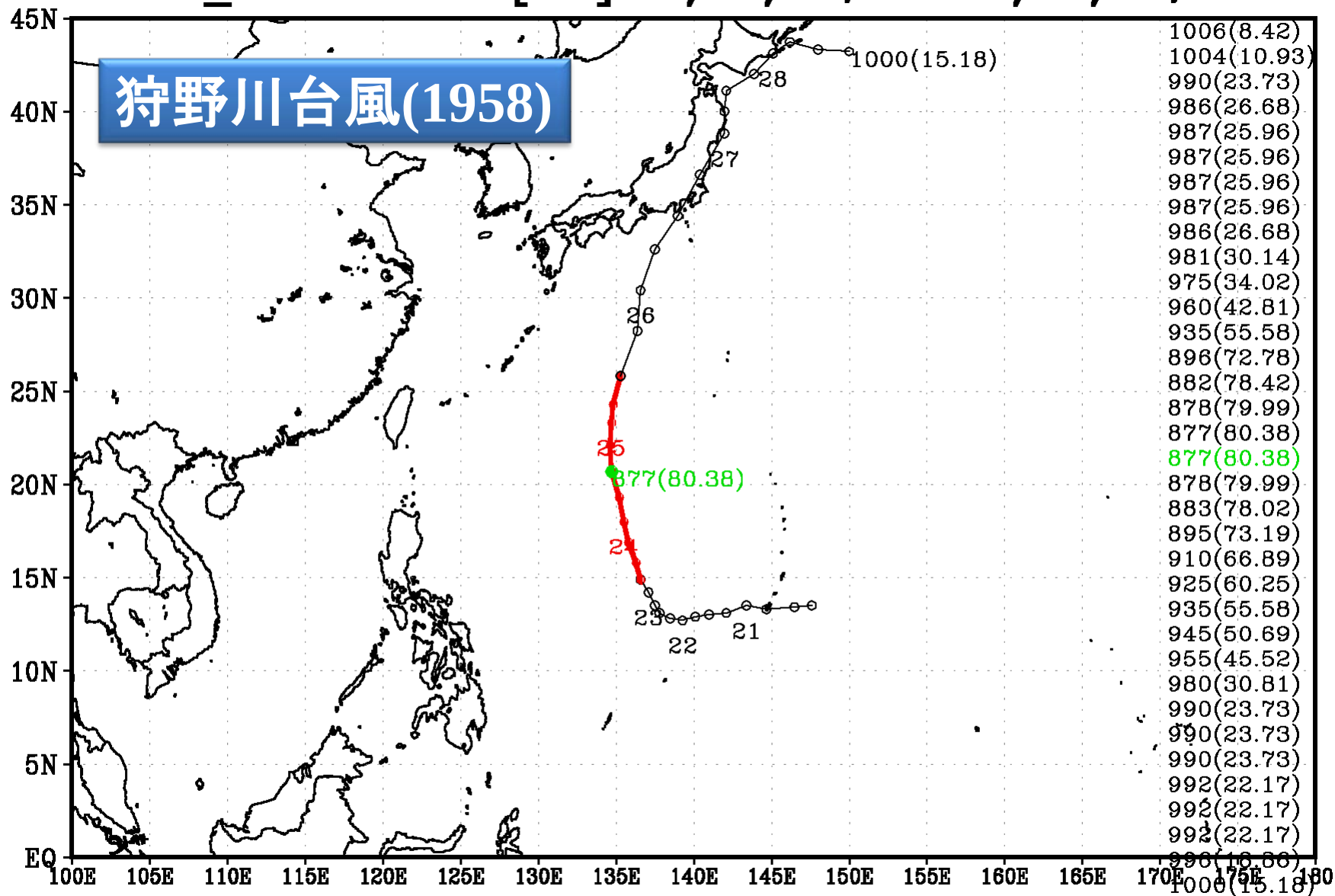


JMA_RSMC T6118 [NANCY] 61/09/06,12Z-61/09/20,00Z

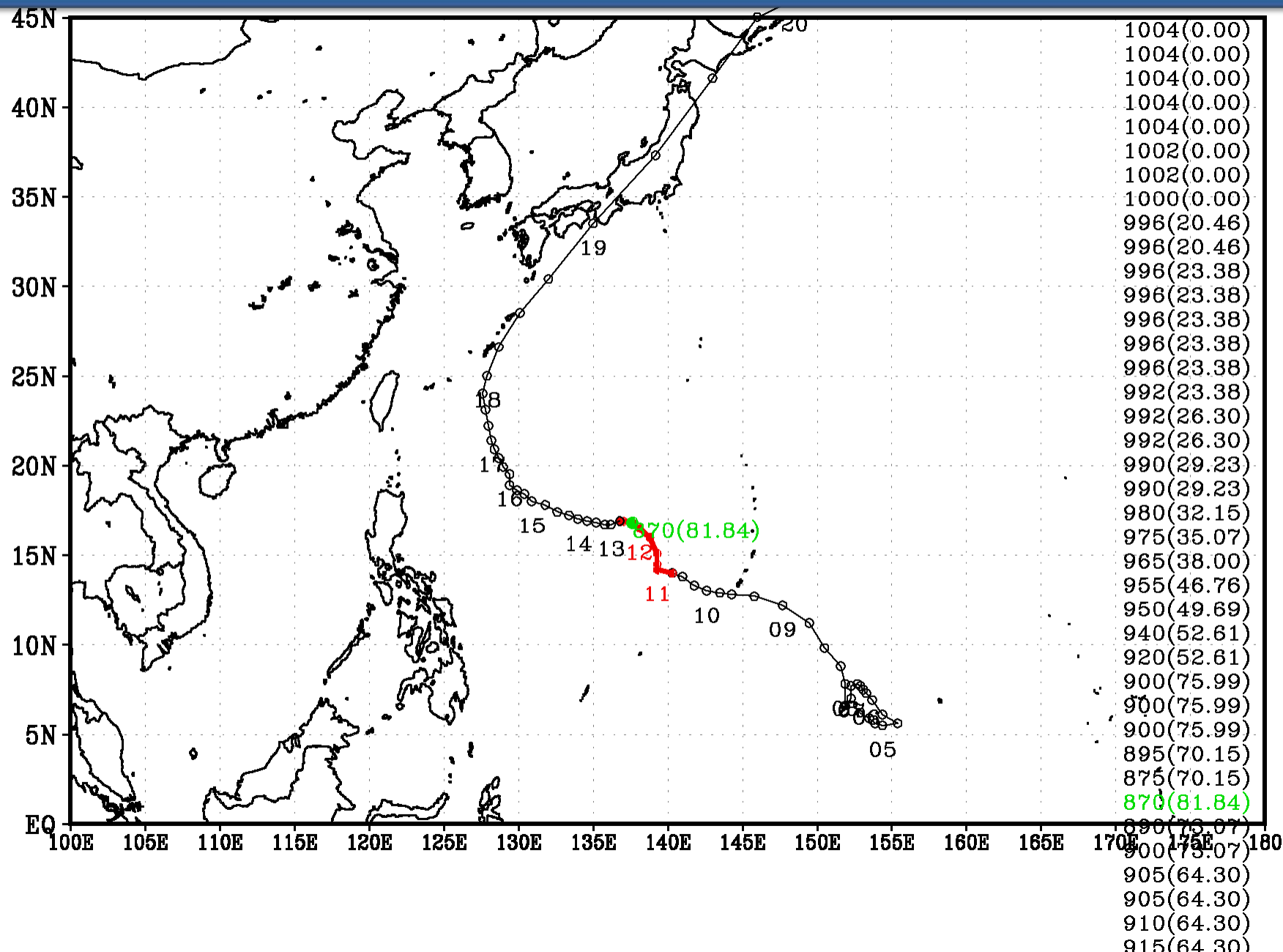


JMA_RSMC T5822 [IDA] 58/09/20,06Z-58/09/28,18Z

狩野川台風(1958)

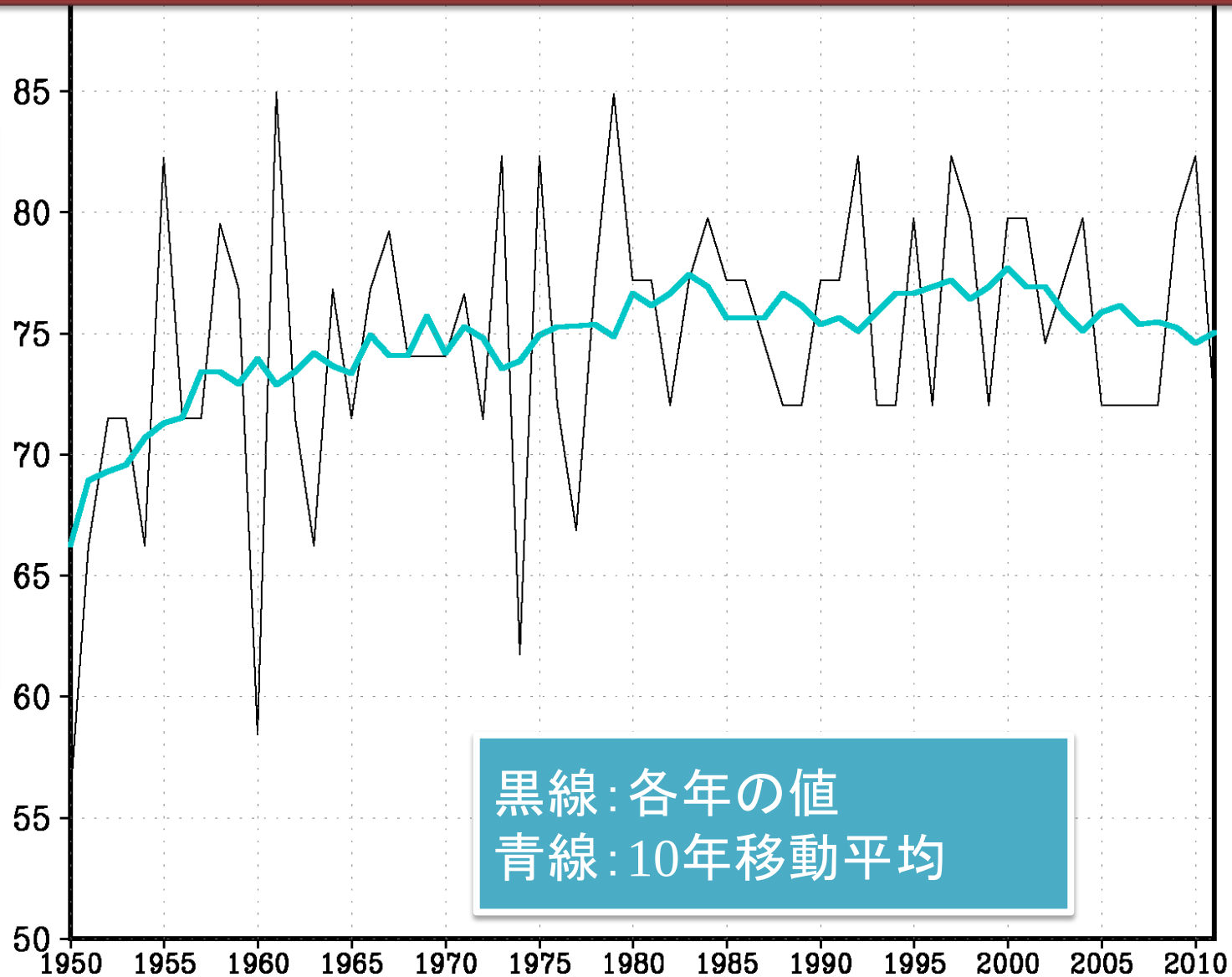


観測史上最低気圧を記録したスーパー台風 TIP(1979)



各年の最も強い台風の最大地上風速の年々変動 JTWCの1分平均の風速 (1950～2011年)

1分平均の風速



黒線: 各年の値
青線: 10年移動平均

年

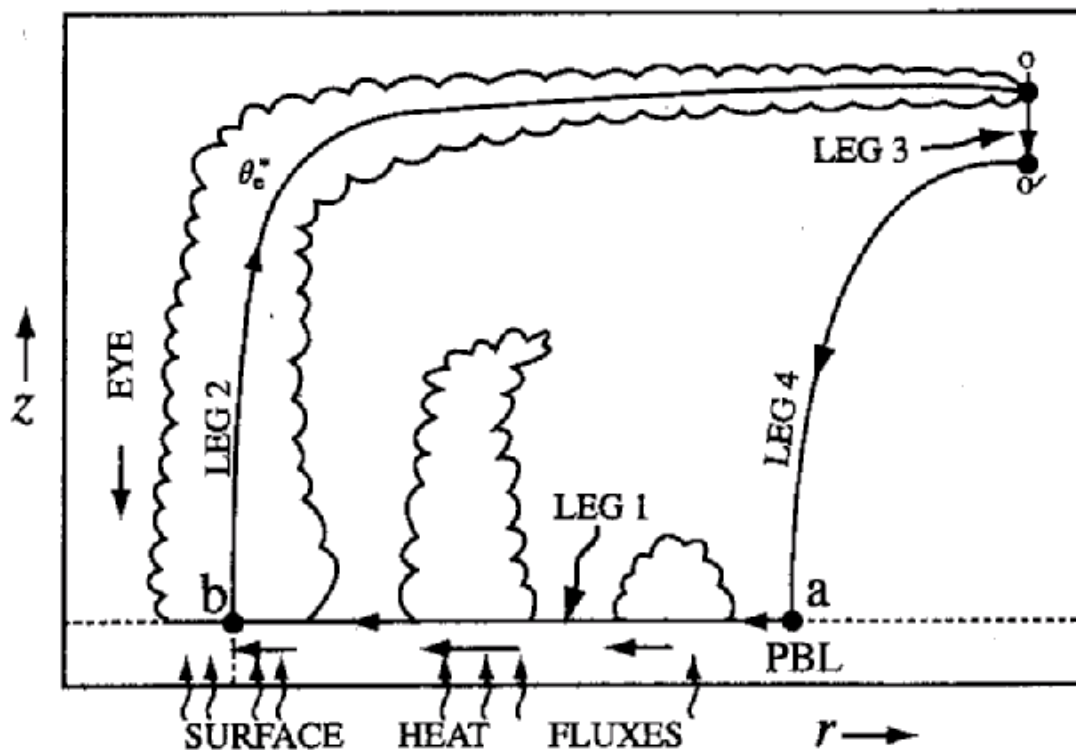
将来、温暖化したときに最も強いスーパー台風はどれくらい強くなるか？

1. 観測的方法：過去の観測された台風データから将来の台風の最大強度を推定する。
2. **理論的方法**：気象の理論から温暖化気候における台風の最大強度を推定する。
3. 数値的方法：雲解像モデルを用いて温暖化気候における台風の最大強度を推定する。

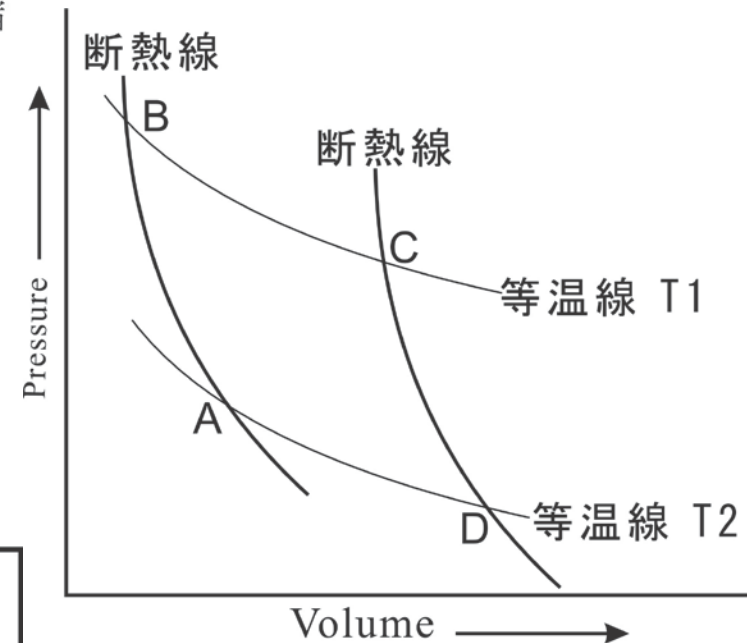
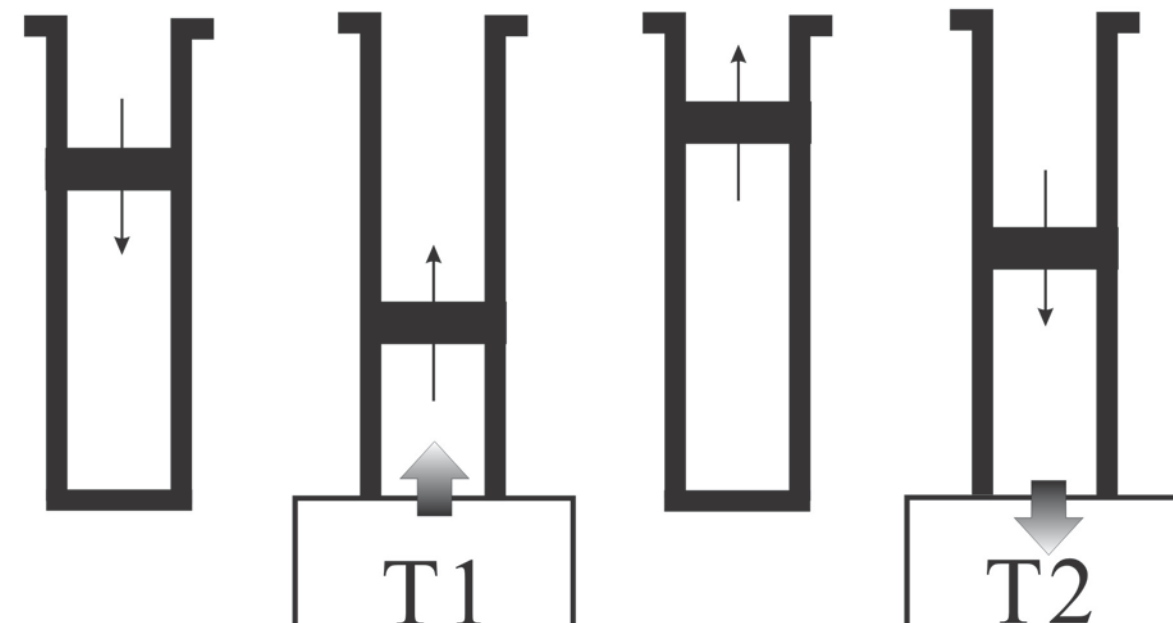
台風の最大強度の理論

台風とは、海を高熱源、対流圏上層を冷熱源とするカルノーサイクルと考える。

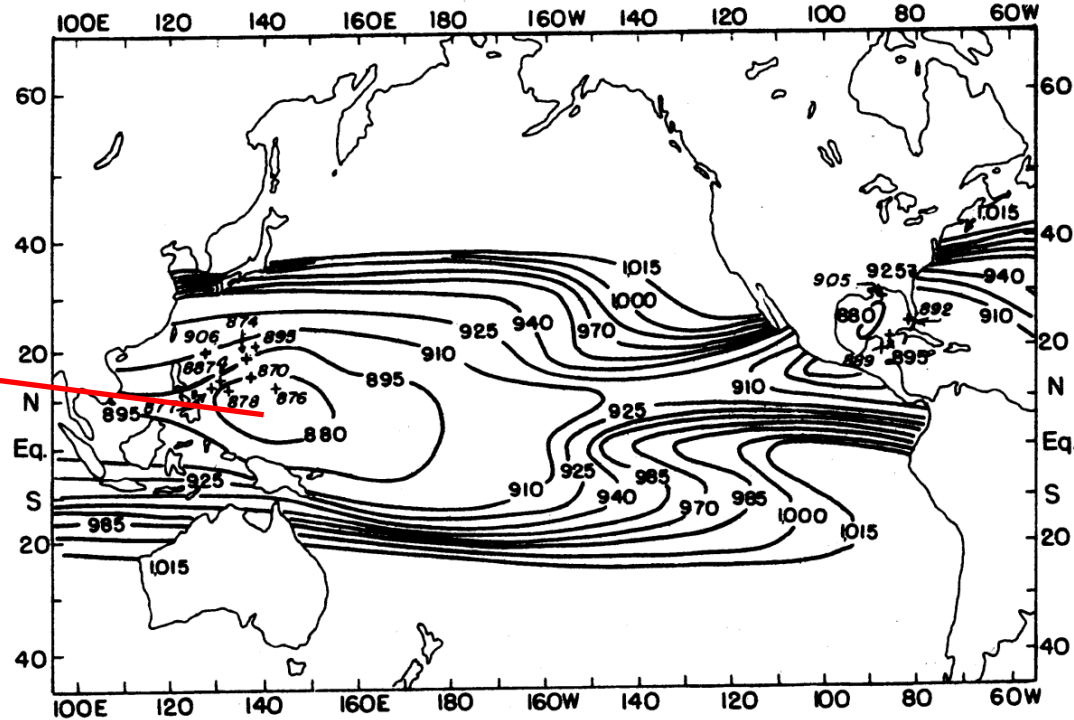
それらの温度差によって決まる熱力学的効率が大きいほど台風の強度は大きくなる。



(I) 断熱圧縮 (II) 等温膨張 (III) 断熱膨張 (IV) 等温圧縮

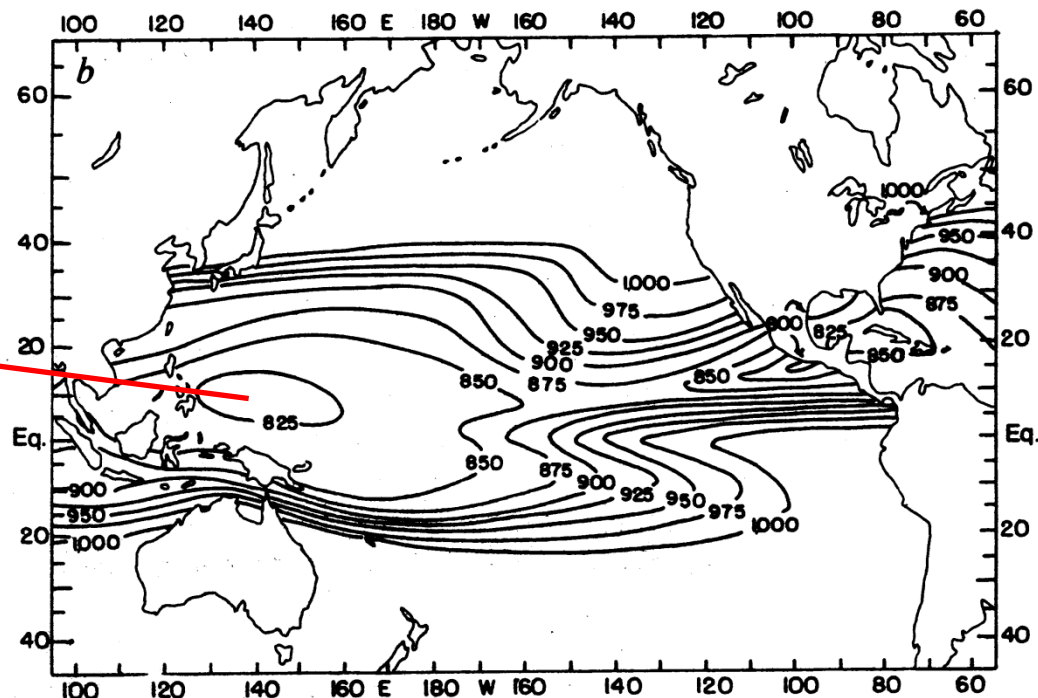


880 hPa



現在気候における
台風の到達可能最
低中心気圧(MPI)

825 hPa



二酸化炭素が2
倍になった気候
における台風の
到達可能最低
中心気圧

Emanuel, 1985

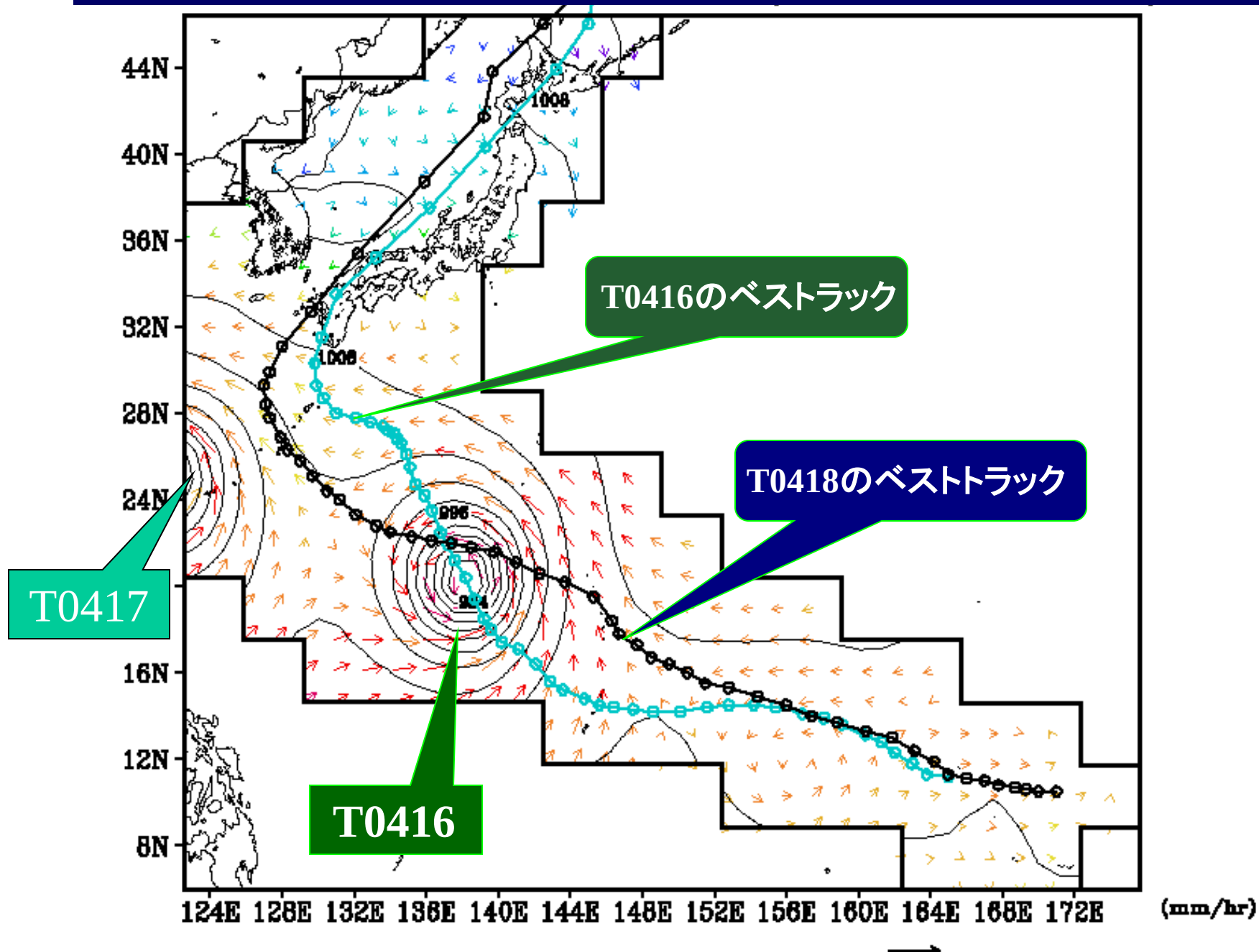
将来、温暖化したときに最も強いスーパー台風はどれくらい強くなるか？

1. 観測的方法：過去の観測された台風データから将来の台風の最大強度を推定する。
2. 理論的方法：気象の理論から温暖化気候における台風の最大強度を推定する。
3. **数値的方法**：雲解像モデルを用いて温暖化気候における台風の最大強度を推定する。

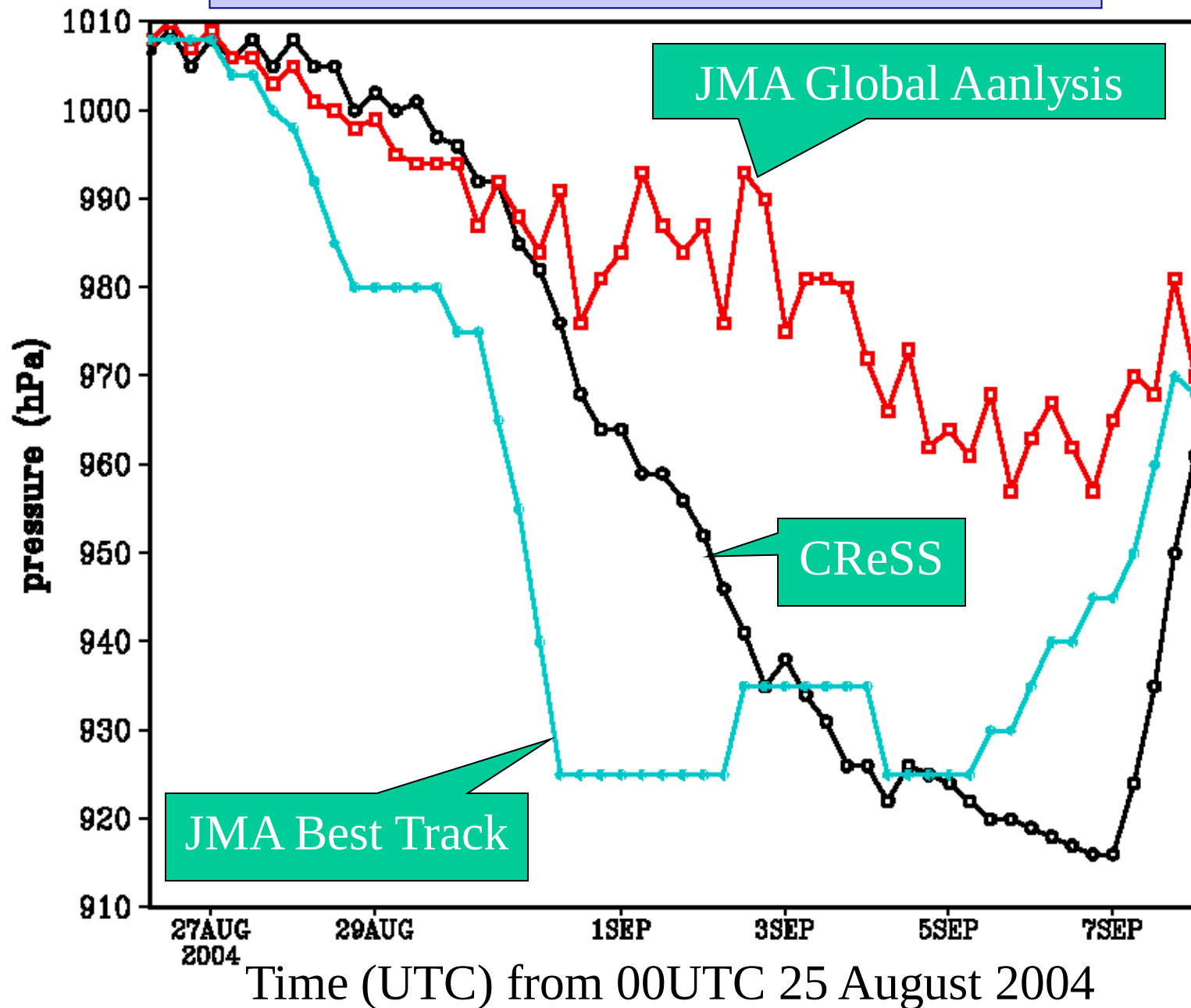
台風の数値シミュレーションの困難

- 台風全体のスケールは1000kmに及ぶ。このため全体の構造や移動を表現するためには、広い計算領域が必要。
- 台風を駆動するエネルギー源は、大きさが数キロメートルから数10km程度の積乱雲とその群である。このため台風の駆動源を表現するためには、高解像度の計算が必要。
- 積乱雲の水とエネルギー循環は、そのなかの雲・降水過程が規定する。このため詳細な雲物理が必要。台風の数値予報は非常に大規模な計算になる。

タイリング領域法を用いた台風0416・0418号のシミュレーションの初期値



2004年台風18号の中心気圧の時間変化



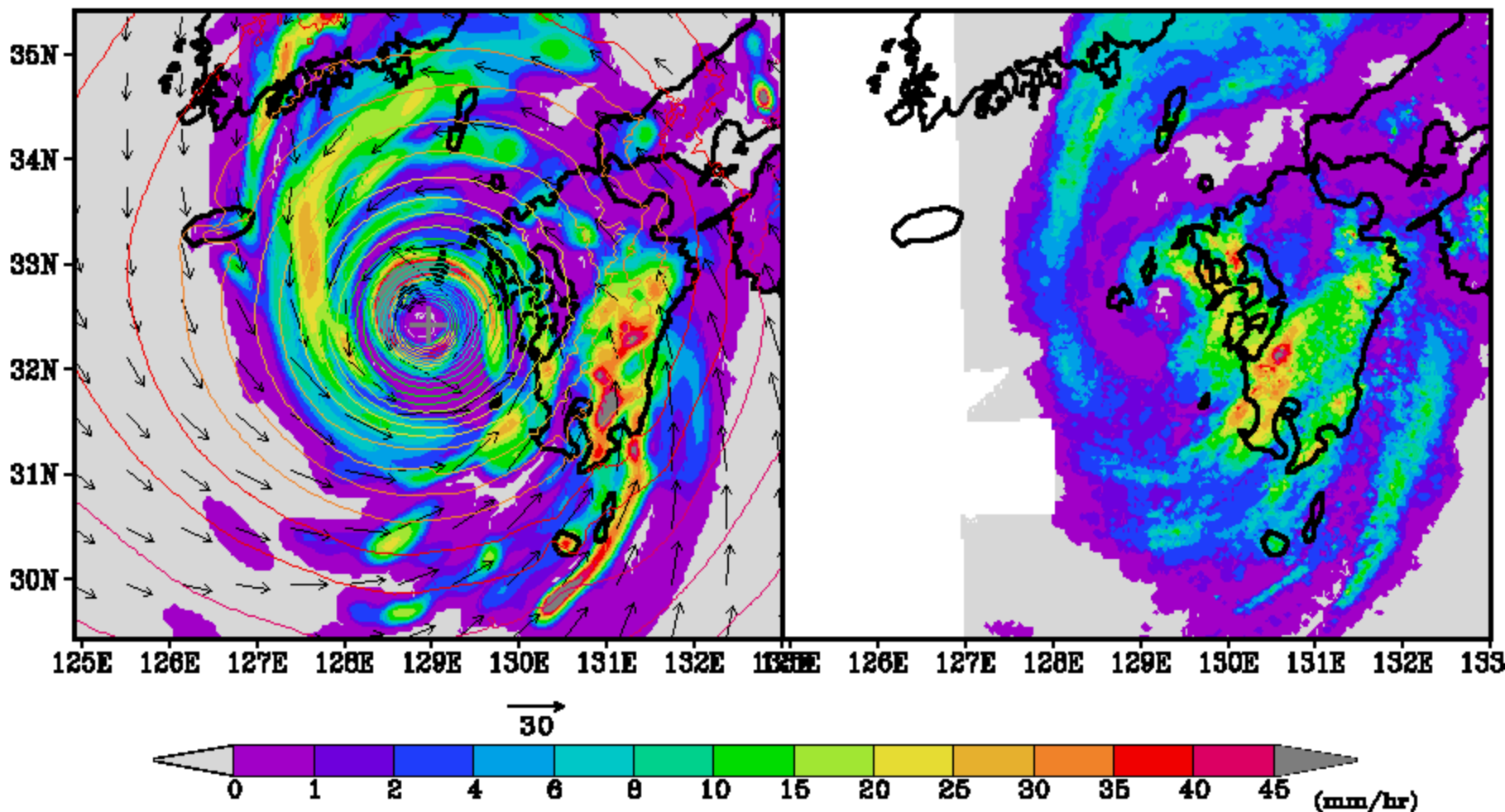
雲解像モデルの結果と観測の比較：初期値から312時間(13日目)
台風0418号は長崎県西方海上に中心がある。降水量の比較。

CReSS Simulation

00:00Z 07SEP2004

Radar-AMeDAS Observation

00:00Z 07SEP2004

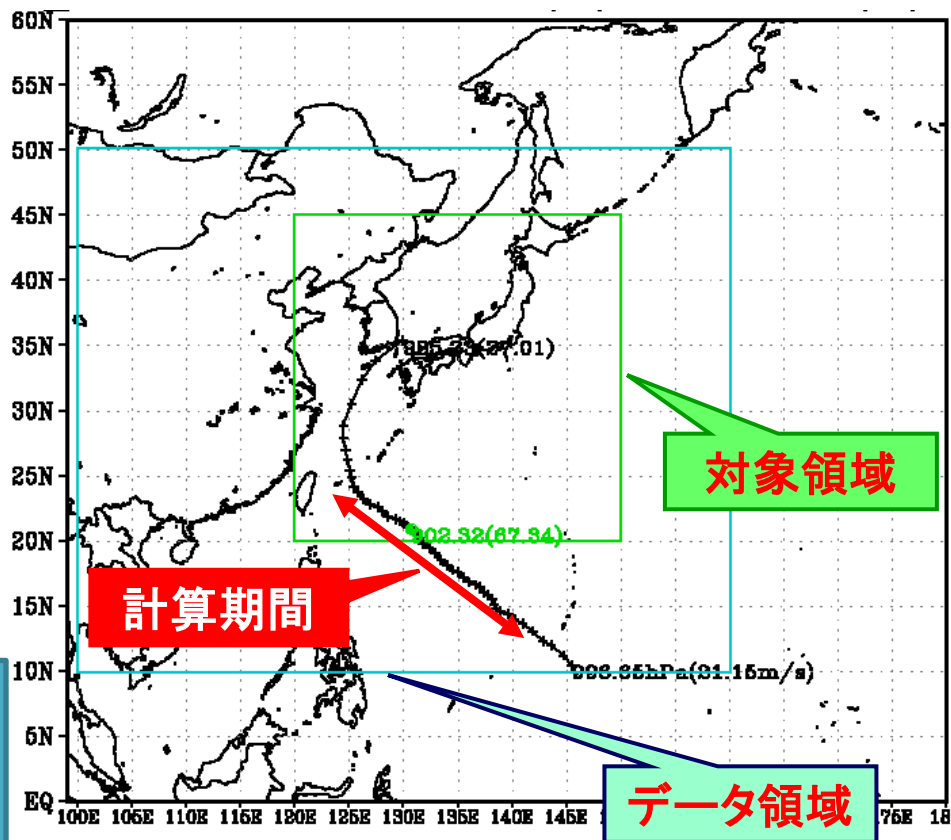


現在気候・温暖化気候の台風についての雲解像実験

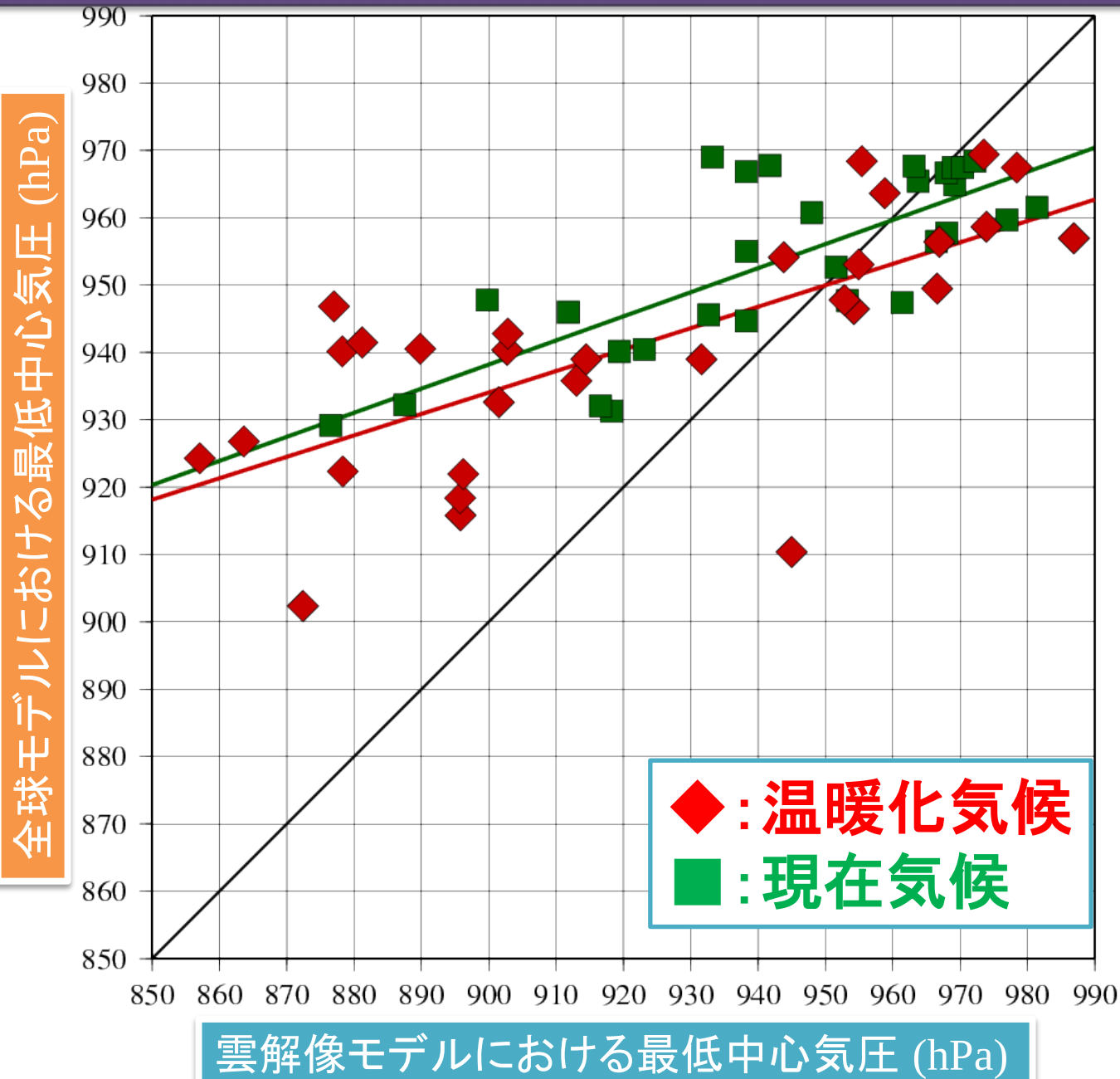
気象研究所20kmGCMを用いた現在気候・温暖化気候の前期実験・後期実験で抽出された台風のうち、次の条件で選択した台風について、雲解像モデルCReSSを用いたシミュレーション実験を実施した。

1. 台風のライフタイムの中で、最低中心地上気圧が970hPa以下になること。(発達した強い台風であること。)
2. そのときの中心の位置が、東経120－150度、北緯20－45度の領域(図中の緑の枠)にあること。(シミュレーションを行うために、十分データがある領域に最発達時があること。)

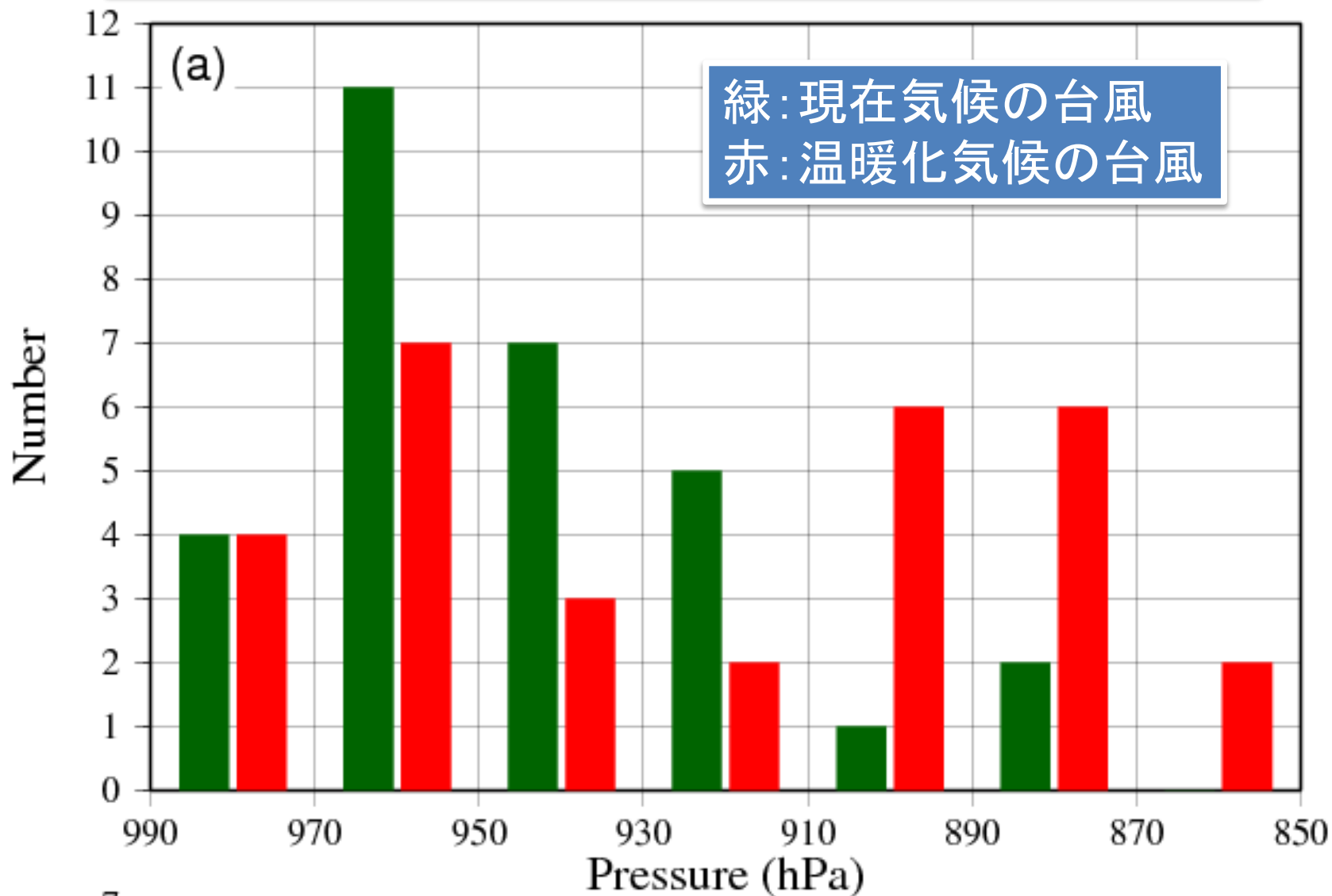
現在気候:30事例の台風
温暖化気候:30事例の台風



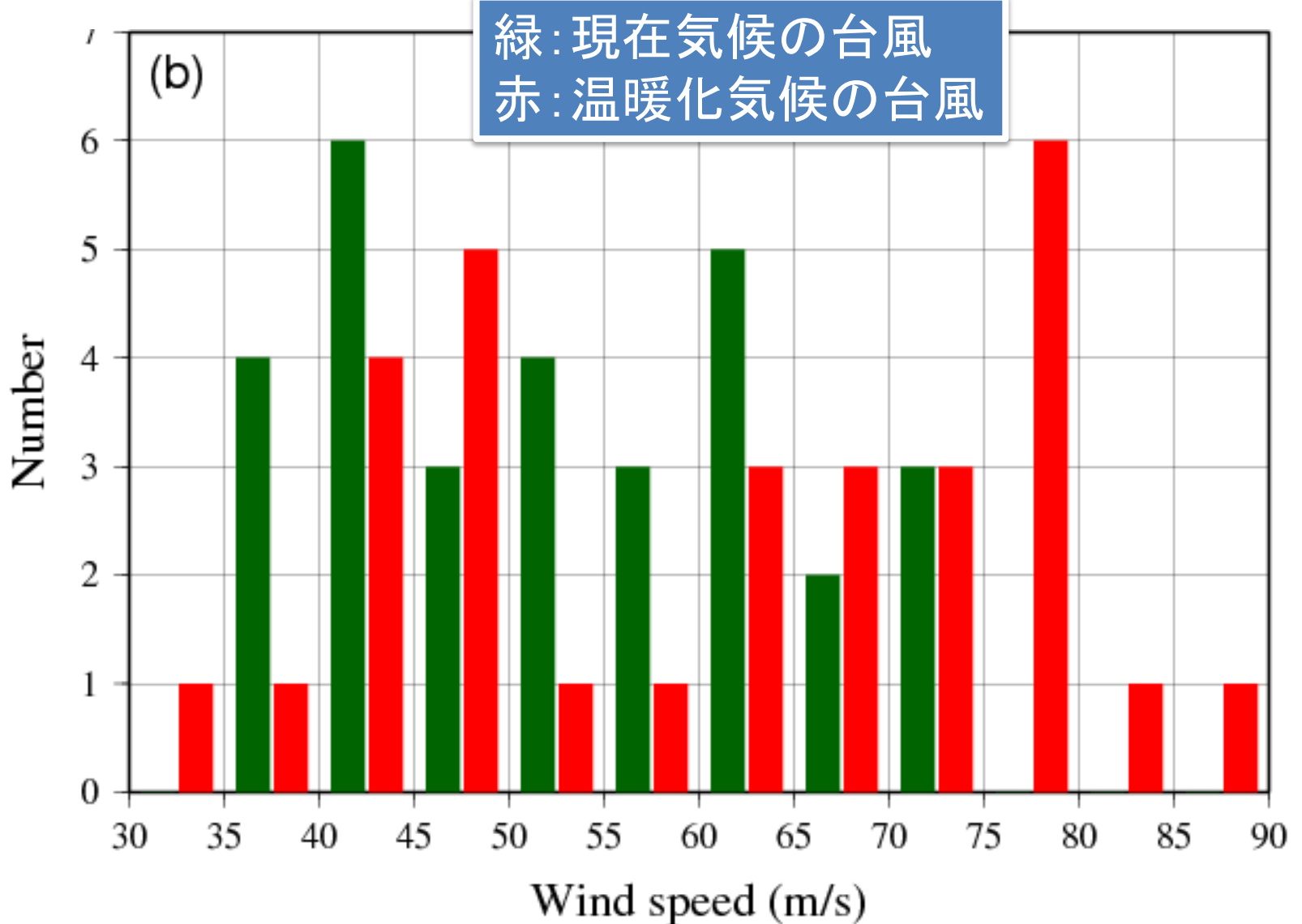
AGCMと雲解像シミュレーションの最低中心気圧の散布図



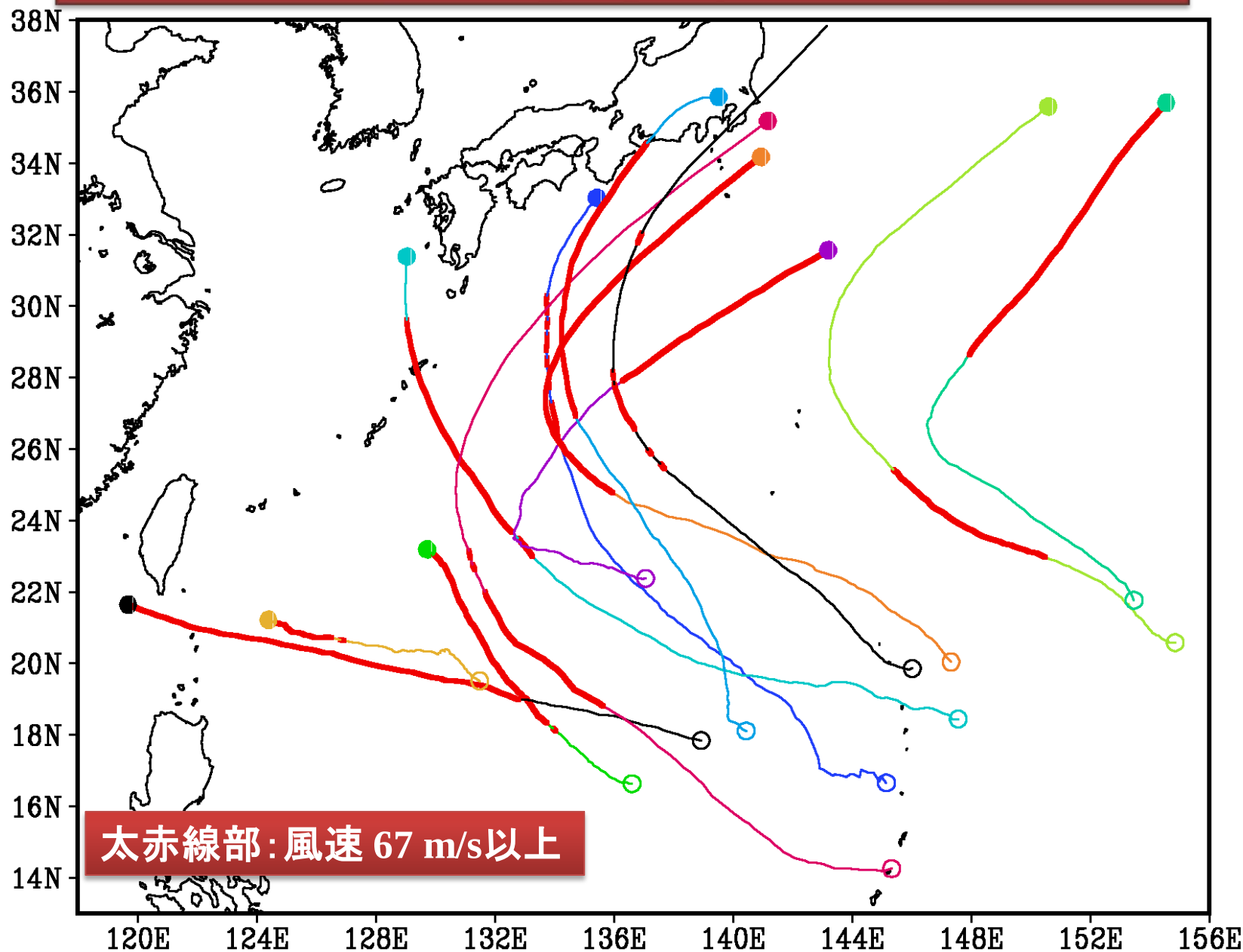
台風の最低中心気圧についてのヒストグラム



台風の最大地上風速についてのヒストグラム

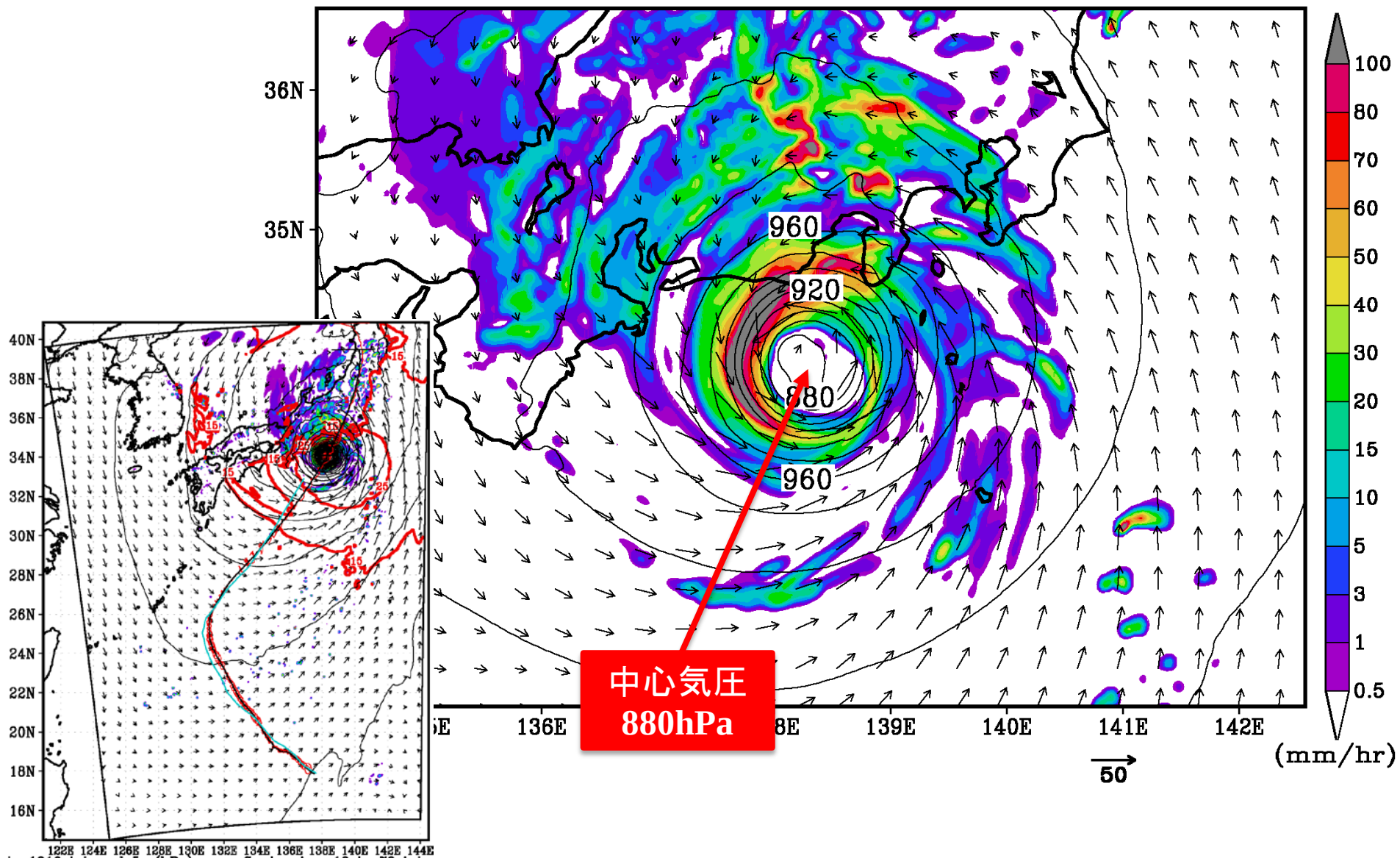


温暖化気候で発生したスーパー台風のトラック



温暖化気候において、スーパー台風の強度を維持して
日本に上陸する台風（後期実験の一事例）

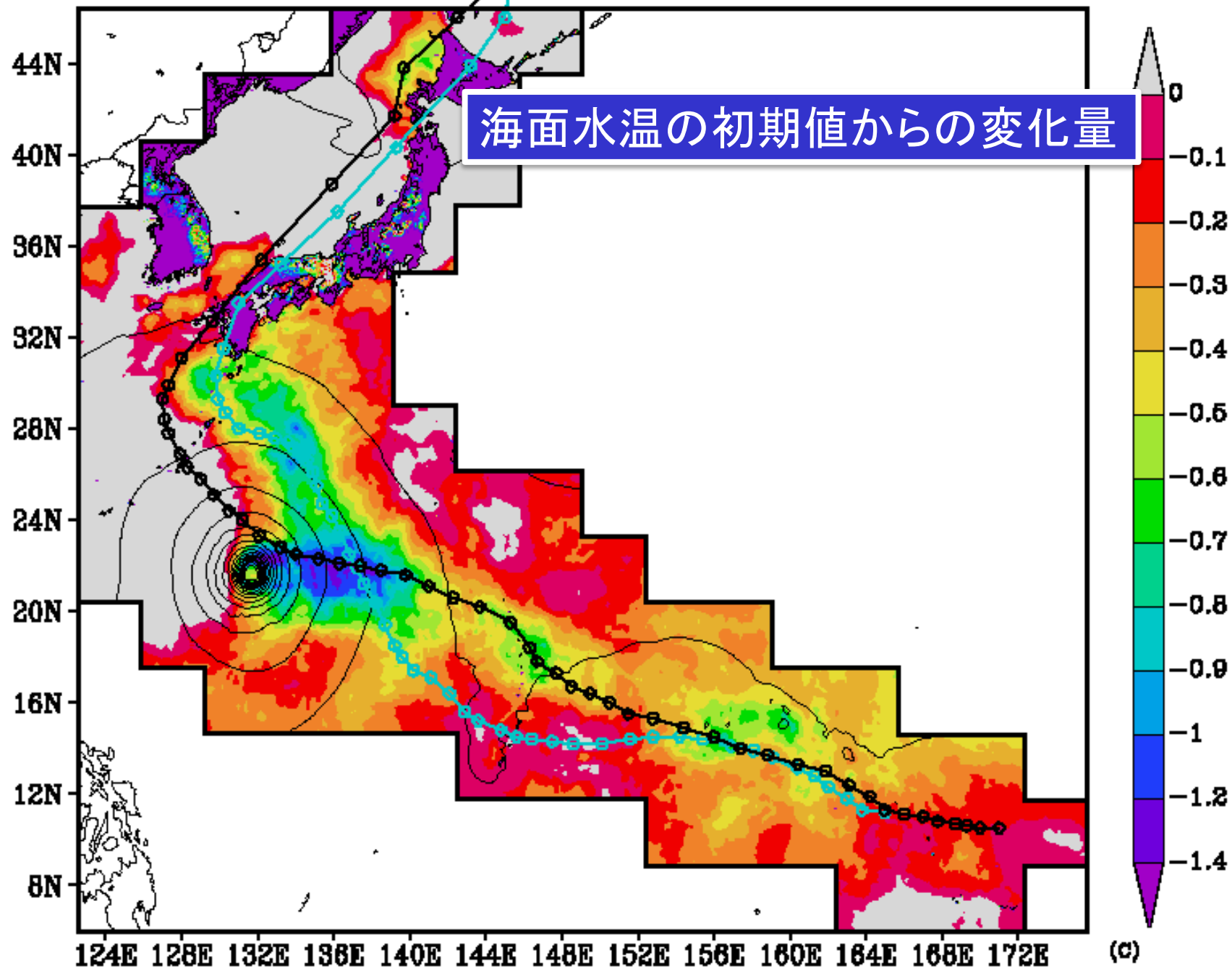
12:00Z 16SEP2076

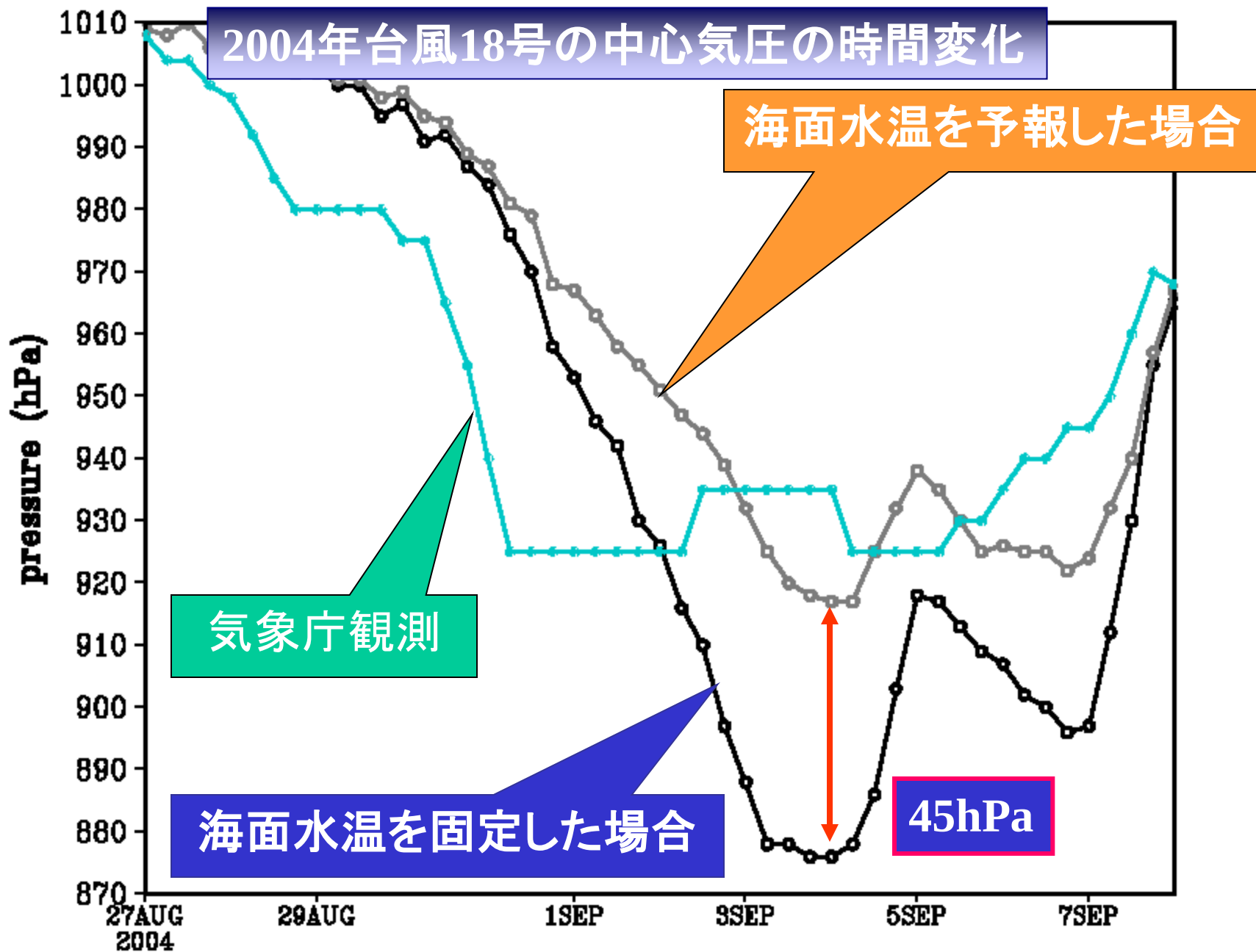


数値的方法により台風強度のさら
なる精度のよい推定のために

非静力学大気海洋波浪結合モデル
の開発

18:00Z 03SEP2004 SST, TG (T0418TL4kmGA03)





CPU1

CPU2

CPU3

CPU4

CPU5

CPU6

CPU7

CPU8

雲解像大気モデル

(Cloud Resolving Storm Simulator)

名古屋大学

DX = 4km

初期値・水平境界条件.: GPV from NPD/JMA

非静力海洋モデル

(NonHydrostatic Ocean model for ES)

海洋研究開発機構

DX = 4km, DZ = 2 m for top 100 m

初期値・境界条件: JCOPE2 再解析

乱流クローザーモデル (Furuichi et al., 2012; Nakanishi & Niino, 2009)

波浪モデル

マイアミ大学(Donelan et al., 2012)

DX = 4km

ES用ベクトル化作業終了

$E(x, y, \theta, \sigma)$

θ 波向 [rad] 24グリッド

σ 波の振動数 [1/s] 36グリッド

まとめ

- ◆ 現在気候・将来気候における**台風**の**最大強度**を精度よく推定することが求められている。
- ◆ それには観測、理論、シミュレーションなどの手法があるが、ここでは数値モデルを用いて強度を推定する。
- ◆ 雲解像モデルを用いた実験では、温暖化気候において、最も強い台風は850~860hPa、80~90m/sに達する。
- ◆ 台風の強度は**海面水温(海の貯熱量)**が、第1義的に決めている。一方、台風は海面を冷やす(潜熱・顕熱、上層を攪拌、深層から湧昇)。
- ◆ 台風の最大強度をより精度よく推定するため「**気候変動リスク情報創生プログラム**」の研究を実施している。