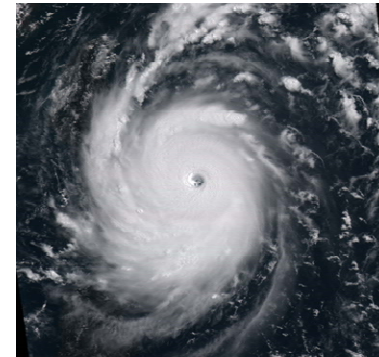


# スマート社会を支える

## 台風予報の高度化



第16回 環境研究シンポジウム「スマート社会と環境」

2018年11月13日（火）

一橋大学 一橋講堂

山口 宗彦

国土交通省気象庁気象研究所 台風研究部第一研究室 主任研究官

myamagu at mri-jma.go.jp

## 発表内容

台風予報

進路予報

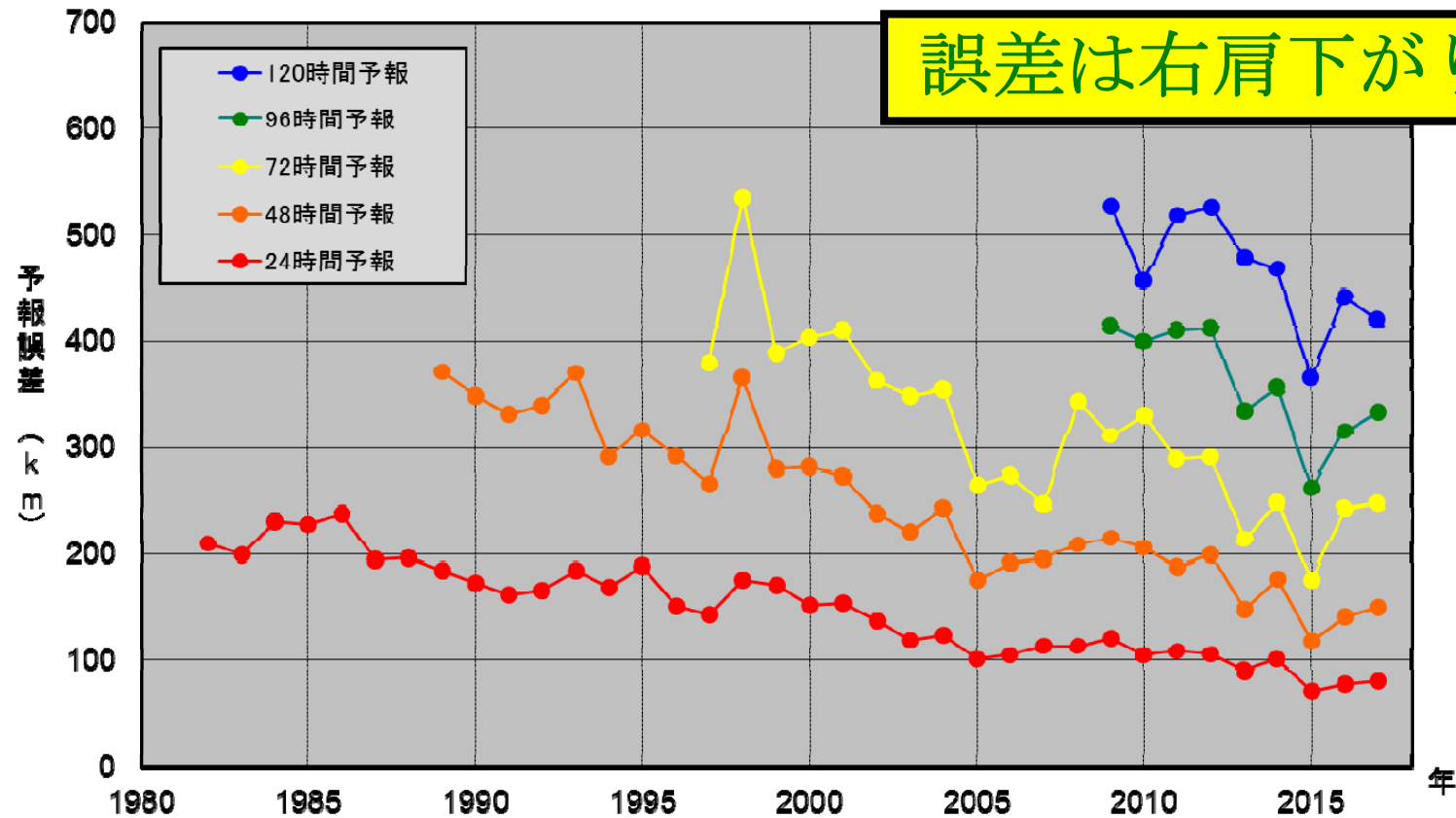
強度予報

発生予報

①それぞれの予報の現状と課題

②「リスクベース」の情報提供を目指して

# 進路予報：年平均予報誤差の推移



誤差は右肩下がり

台風進路予報(中心位置の予報)の年平均誤差

別の言い方をすれば

1997年の3日予報と2017年の5日予報が同程度 →  
過去20年でおおよそ2日分の誤差を改善している。

# 進路予報の改善の背景

数値予測システムの高度化

観測の拡充

スーパーコンピュータの性能向上

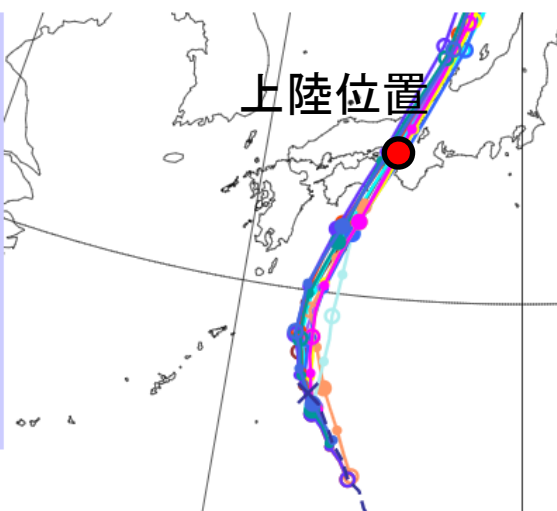


コンセンサス(Consensus)は「一致」「総意」を意味する。

## コンセンサス予報

JEBI (T1821) (27)	Initial time (UTC)
<input checked="" type="checkbox"/> BoM	2018090300
<input checked="" type="checkbox"/> MSC	2018090300
<input checked="" type="checkbox"/> CMA	2018090300
<input checked="" type="checkbox"/> DWD	2018090300
<input checked="" type="checkbox"/> KMA	2018090212
<input checked="" type="checkbox"/> UKMET	2018090300
<input checked="" type="checkbox"/> NCEP	2018090300
<input type="checkbox"/> ECMWF tracked by JMA	2018090300
<input checked="" type="checkbox"/> ECMWF tracked by ECMWF	2018090212
<input checked="" type="checkbox"/> JMA	2018090300
<input checked="" type="checkbox"/> JMA Ens. mean	2018090300
<input checked="" type="checkbox"/> ECMWF Ens. mean	2018090212
<input checked="" type="checkbox"/> NCEP Ens. mean	2018090218
<input checked="" type="checkbox"/> UK Ens. mean	2018090218

CHECK ALL CLEAR ALL CONSENSUS RESET  
Latest Analysis 2018090303 UTC

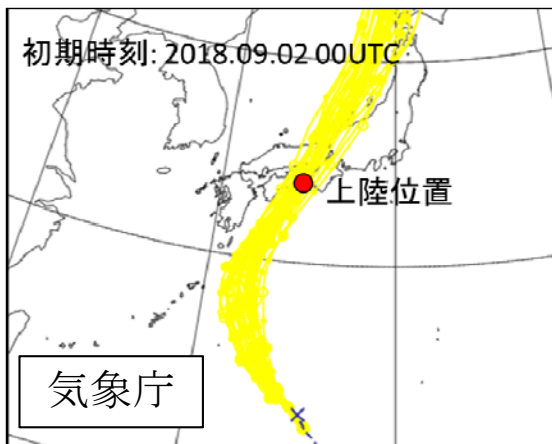


複数の予測結果の平均をとったものがコンセンサス予報。個々の予測結果を用いるよりも、コンセンサス予報の方が平均的に(多事例で検証を行えば)精度が良くなる。

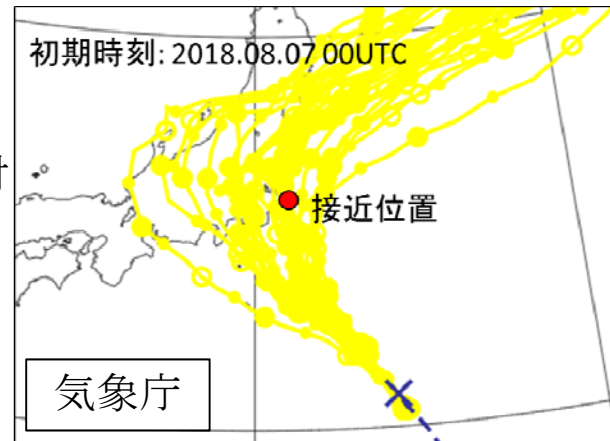
海外の数値予測システムの結果を含む、2018年台風第21号(Jebi)の進路予測(上陸のおよそ1.5日前の予測)

# アンサンブル予報：予報の不確実性を予報する

気圧配置等により、予報の不確実性は台風ごと、初期時刻ごとに異なる。

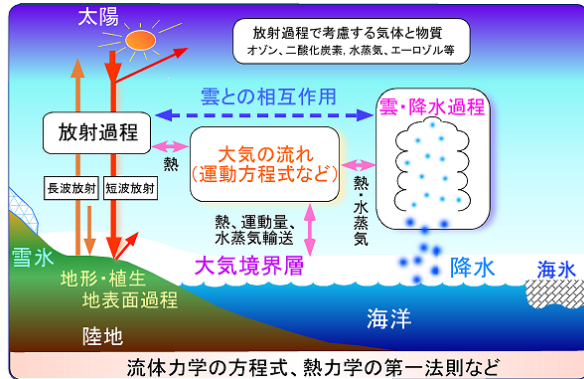


2018年第21号(左)と第13号(右)に対するアンサンブル予報で、それぞれ27通りの予測を行っている。



# アンサンブル予報

大気の流れを支配する物理法則



それを記述した方程式

$$\frac{\partial \bar{u}}{\partial t} = 2\Omega \bar{v} \sin \phi + \bar{F}_1 + \bar{F}_2 + \bar{F}_n + \bar{G}$$

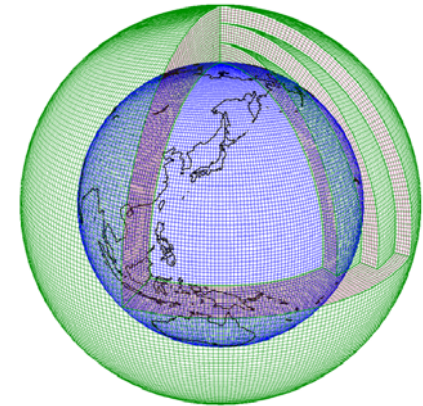
$$2\Omega \bar{u} \sin \phi + \frac{1}{a} \frac{\partial \bar{\Phi}}{\partial \phi} = \bar{J}$$

$$\frac{\partial \bar{\Phi}}{\partial p} = -\frac{R\bar{T}}{p}$$

$$\frac{\partial \bar{T}}{\partial t} - \Gamma \bar{w} = \bar{Q}_1 + \bar{Q}_2 + \bar{Q}_n + \bar{S}$$

$$\frac{1}{a \cos \phi} \frac{\partial}{\partial \phi} (\bar{v} \cos \phi) + \frac{\partial \bar{w}}{\partial p} = 0$$

解析的に解けないので  
数値的に解く



## いろいろある アンサンブル予報

複数の初期値を用意する

物理過程の計算にランダムな  
ノイズの加える

物理過程のパラメータを複数用いる

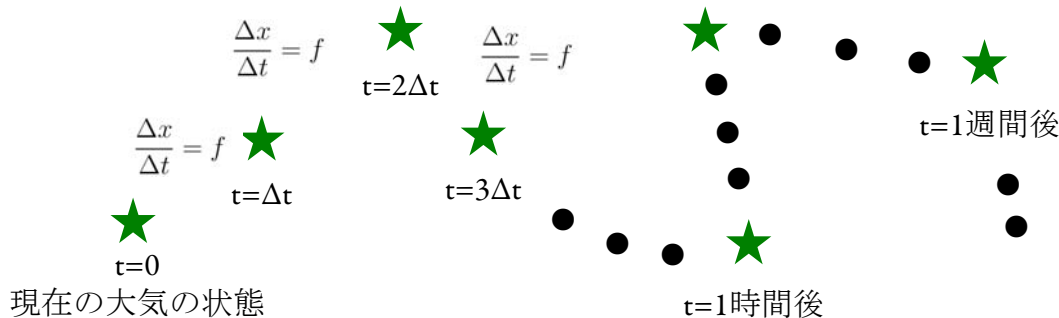
いろいろなセンターの  
予測結果を使う

### 大気のカオス的特徴による予報の不確実性

初期値の小さな差が将来大きく増大する

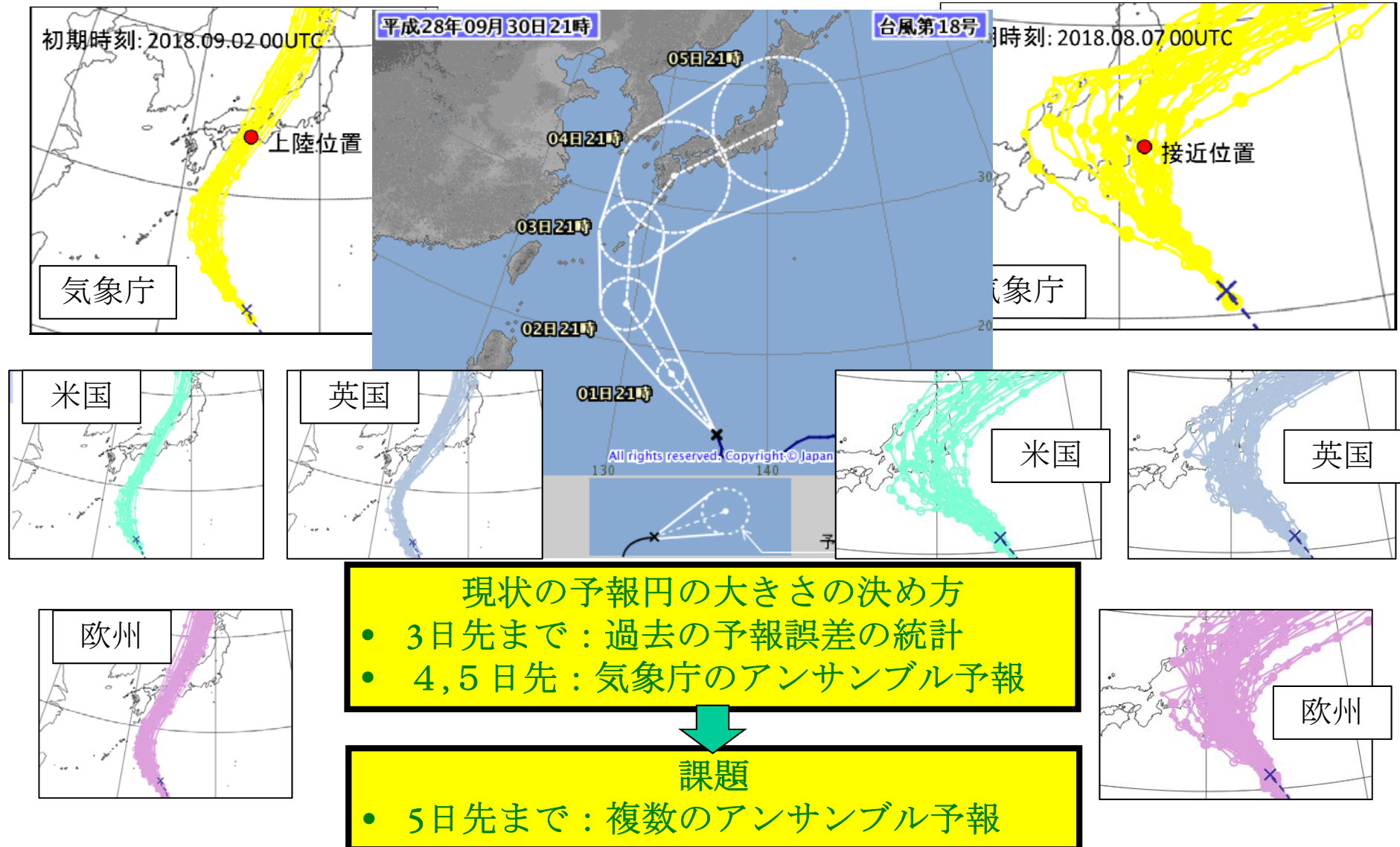
### 数値モデルに起因する予報の不確実性

離散化や物理過程の不完全性による誤差も生じる



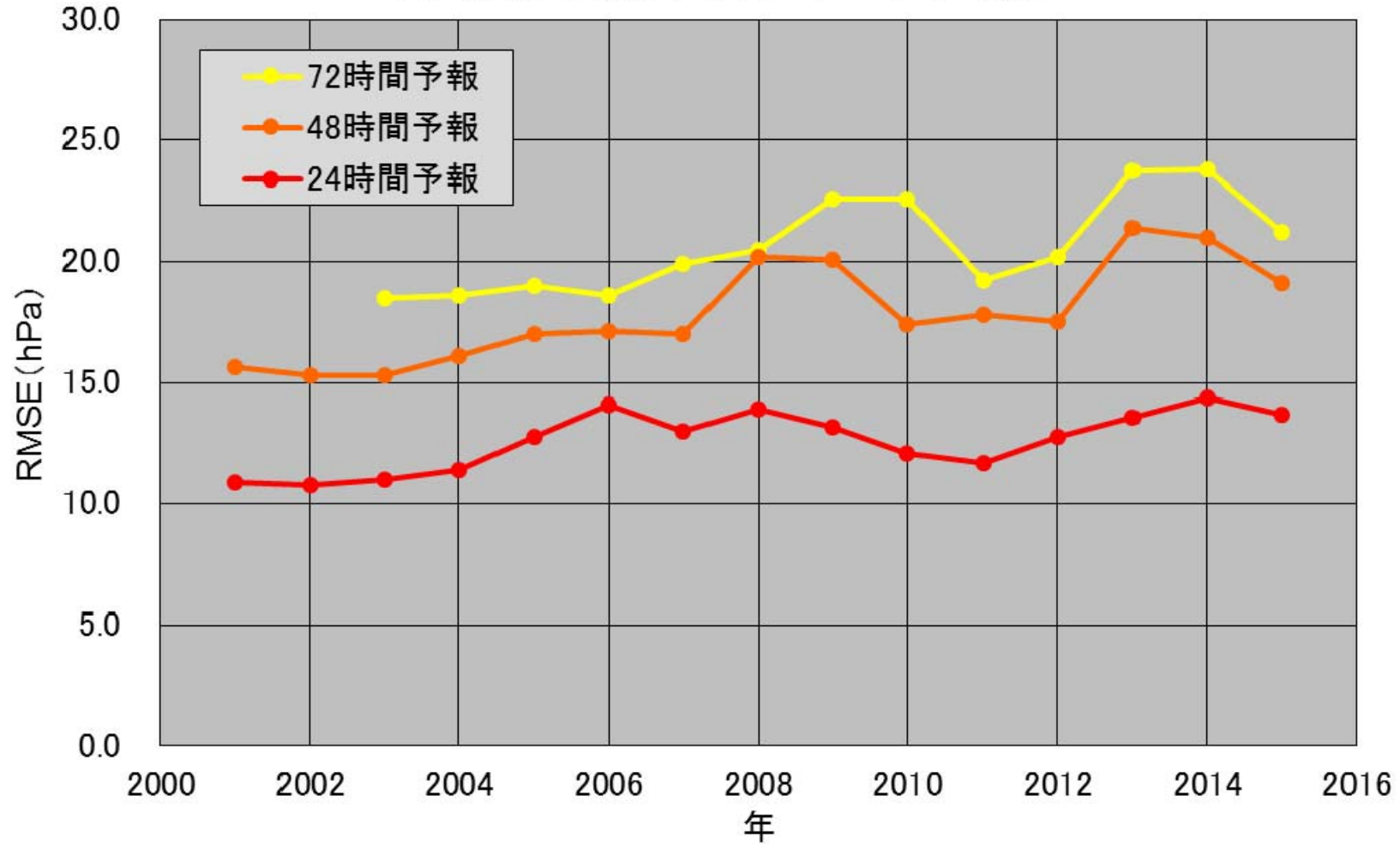
# アンサンブル予報：予報の不確実性を予報する

気圧配置等により、予報の不確実性は台風ごと、初期時刻ごとに異なる。



# 強度予報：年平均予報誤差の推移

台風強度予報(中心気圧)の年平均誤差



進路予報と異なり、誤差の減少が見られない。



# 機械学習を用いた強度予報

## 線形重回帰式

$$y = \alpha x_1 + \beta x_2 + \gamma x_3 + \dots$$

y: 予報値(現在から各予報時刻までの強度変化量)

$x_1, x_2, x_3, \dots$ : 説明変数

$\alpha, \beta, \gamma, \dots$ : 回帰係数

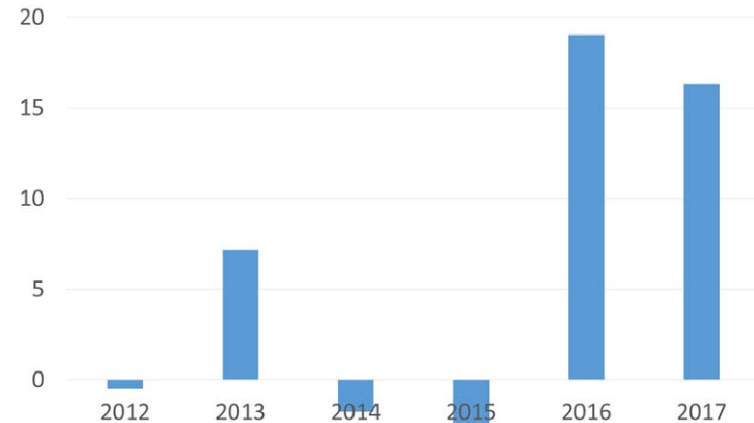
説明変数には、**現在の台風強度**や**海面水温**、**気象庁全球モデルの予報結果**から算出される**風の鉛直シア**、**水蒸気量**など**26個の変数**を使用している。

$\alpha x_1, \beta x_2, \gamma x_3, \dots$ の各項の大きさを比較することによって、どの項(効果、物理量)がどの程度y(強度変化量)に寄与しているか知ることが出来る。



予報官が予報結果を解釈しやすい

改善率(%)

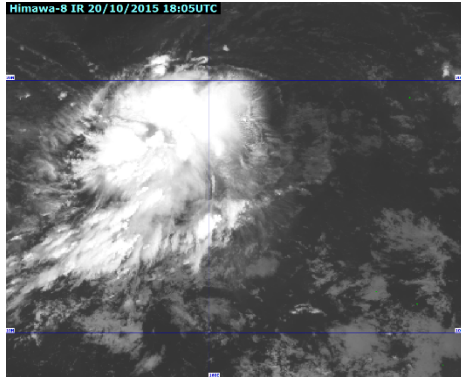


本システムを2019年3月より現業運用する。同時に予報時間を現在の3日先から5日先へと延長する。

予報誤差の改善率の経年変化(3日予報)。改善率は、持続・気候学的な手法に基づく予測に対して計算している。機械学習による予測手法を取り入れた2016年以降、改善率が大きくなっている。

# 国際標準となりつつある発生予報

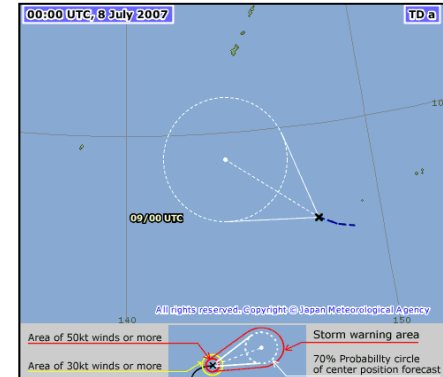
## 気象庁の現状



衛星画像から「台風  
の卵」を見つけ、



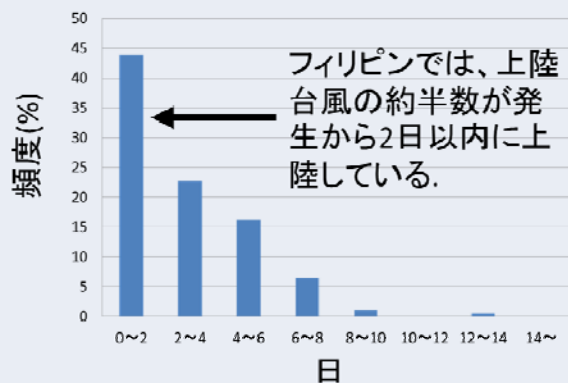
24時間以内に台風になる  
ことが予想される場合、



24時間先までの進路と強度  
の予報を発表する。

## [頻度分布図] 台風の発生から何日で上陸するか?

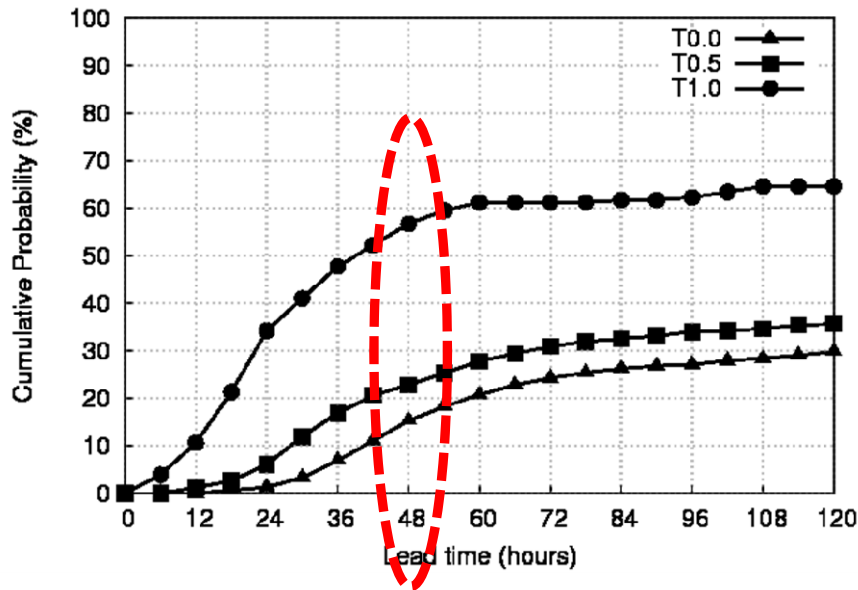
### フィリピン



### 日本



十分なリードタイムを  
持って台風に備えるた  
めには台風の発生に関  
する予測情報の拡充が  
重要である。



例えば、T数0.0, 0.5, 1.0で解析された「台風の卵」が48時間（2日）以内に台風になる確率は、それぞれ15, 23, 57%である。

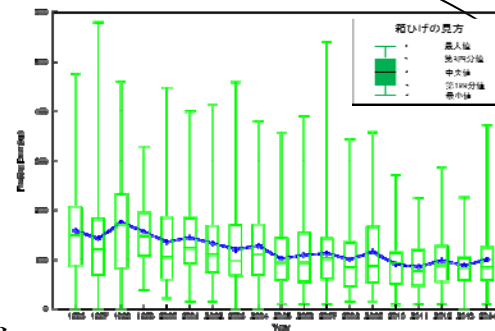
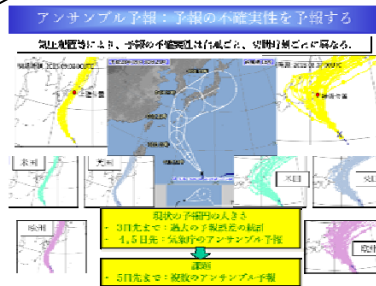
これに対して、アンサンブル予報の半分以上の予測メンバーがこの卵を数値予測モデルの中で表現していると、確率が上昇する。

T数	統計	統計+アンサンブル予報
0.0	15	35
0.5	23	47
1.0	57	79

衛星解析とアンサンブル予報を組み合わせることによって、例えば、「低」・「中」・「高」のような信頼度情報を付けて2日先の台風発生予報を実現できる可能性がある。

# 課題

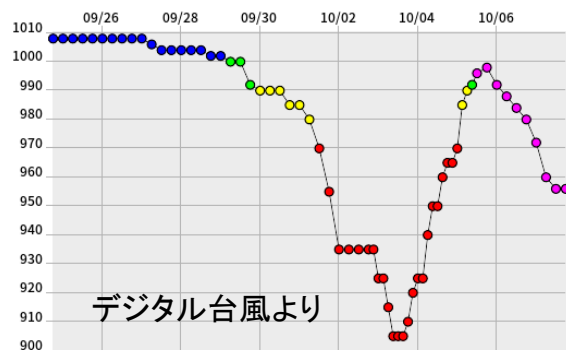
## 進路予報



複数のアンサンブル予報を用いた予報円の作成

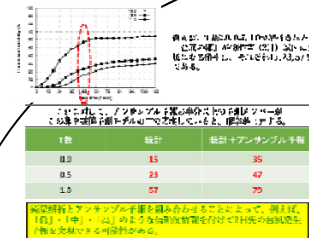
大外し事例の削減

## 強度予報



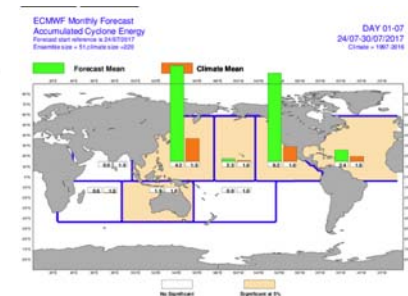
急発達の予測精度向上

## 発生予報



発生予報の実現 (発生なし情報を含む)

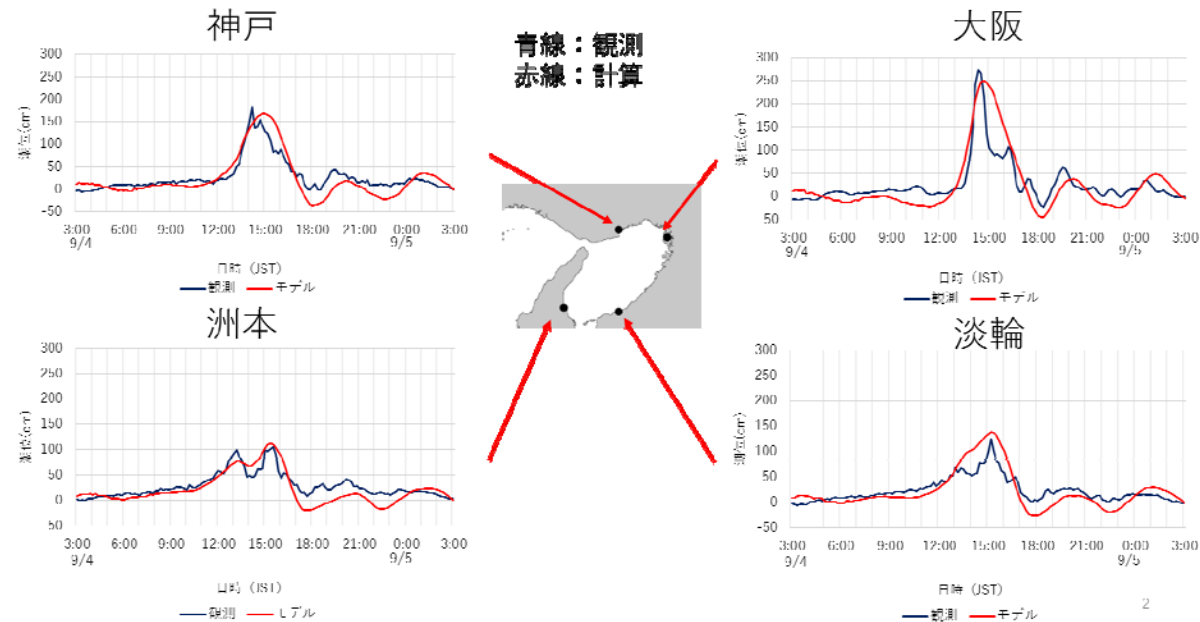
長期予報



# 「リスクベース」の情報提供を目指して ~台風第21号の高潮を例に~

単純な気象条件に基づく警報や予報に加え、  
結果として起こりうる災害や被害に関する予測情報の提供

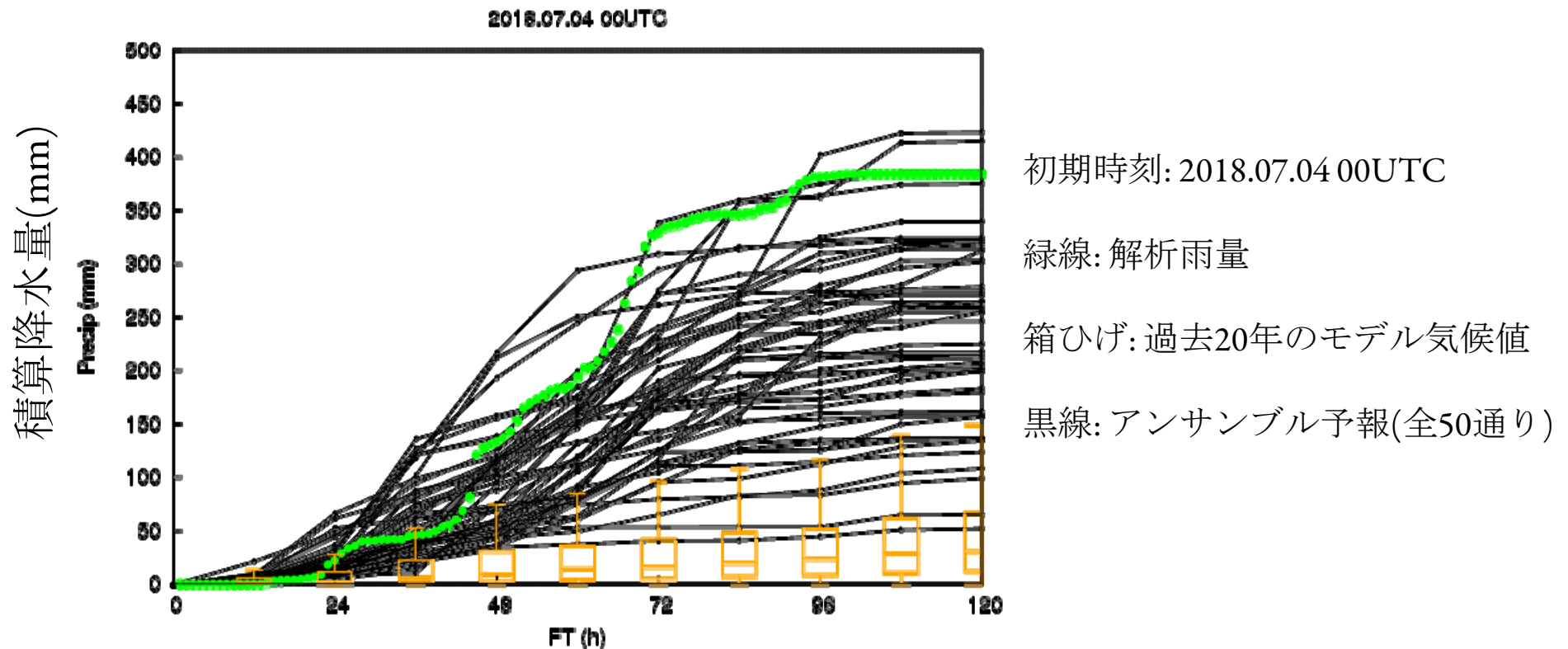
## 検潮所地点の潮位偏差計算結果



進路の予測精度が高く、高潮の予測精度も高かった。少なくとも、1日以上リードタイムを持って、潮位や潮位が高くなるタイミングを高精度で予測できた。

# 「リスクベース」の情報提供を目指して ~平成30年7月豪雨を例に~

## あるダムにおける降水量の予測



少なくとも、2日以上のリードタイムを持って、モデル気候値と比べて異常な降水が高確率で予測されていた。

# 最後に

- 全体にみると、スーパーコンピューターの性能向上、数値予報システムの高度化、観測の拡充などにより、台風の予報精度は上がっている。→ 今後このやり方が「王道」.
- 台風情報を含め気象情報の利用者のニーズは多様化している。1人の研究者、1つの大学、研究機関が出来ることには限界があり、分野間の連携が更なる気象・防災情報の提供に不可欠. → 「研究学園」という地の利をいかした研究の推進.
- 財政事情が厳しく、今後少子高齢化が進む時代において、どこまでをハードで防災・減災し、どこまでをソフトで防災・減災するのが重要. → 予測精度の向上を目指すとともに、(その限界にも考慮しつつ) 情報の利用促進がスマート社会の実現に向けて重要.