

台風予報改善のための研究の最前線

~社会の多様なニーズに応える~

気象研究所 研究成果発表会

安全で活力ある「新しい時代」を支える科学

2019年12月7日（土）

一橋大学一橋講堂

山口 宗彦

気象研究所 応用気象研究部 主任研究官

myamagu at mri-jma.go.jp

気象研究所における研究

2019～ 新しい5年計画(4分類・9課題)がスタート！

“応用気象” 研究

A課題: シームレスな気象予測の災害・交通・産業への応用に関する研究

シームレスな気象予測の災害・交通・産業への応用に関する研究

背景

- **温暖化適応:** 「気候変動適応法」の施行(平成30年12月予定)
 - 地方自治体に温暖化対策の策定が求められる。 → 数値モデルによる温暖化予測情報の重要性が増す。
- **災害・交通:** 「新たなステージに対応した防災・減災のあり方に関する懇談会」での国土強靱化の議論(平成27年1月)
 - 気象庁に技術開発が求められている。(交通政策審議会気象分科会)
- **産業気象:** 「気象ビジネス推進コンソーシアム」の構築(平成29年3月)
 - 成功事例の積み重ね、研究ベースでの事業の推進が求められている。

目的

- 気象情報を利用し、豊かで安全な生活をもたらすような世の中を実現すること。
- ・ 気象予測結果の信頼度・誤差情報の向上
 - ・ 気象情報利用者へ向けた各分野の専門家との協働・協創

概要

● 温暖化適応、災害・交通、産業気象

地域気候モデルの改良と気候予測、予測結果の信頼度評価と物理メカニズム解明

全球・メソアンサンプル予測の利活用、新たな予報ガイドスの開発

利活用気象データの評価と気候リスク管理、産業別気候指標開発



期待される成果

- **温暖化適応:**
 - ・ 適応策策定に資する高い確度の地域気候予測情報の創出。
 - ・ 極値気象の急激な変化の検出。
- **災害・交通:**
 - ・ 幅広い分野での気象リスク管理による生産性向上成功事例の積み上げ。
 - ・ 異業種・産学官連携による気象情報利活用コミュニティの創出。
- **産業気象:**
 - ・ 潜在的な利用者に対するメソアンサンプル予測の利活用の促進。

C課題: 気候・地球環境変動の要因解明と予測に関する研究



M課題: 地球システム・海洋モデリングに関する研究



台風は地球上で発生する最も激しい自然現象の一つで、大雨、強風、高潮など、さまざまな災害を引き起こす。

2019年第19号による広域の水害

2019年第15号による千葉県を中心とする強風

台風は、日本で暮らす上で避けることのできない自然現象である。

その予報精度を改善していくことは
永遠のテーマと言っても過言ではない。

台風の平年値

発生数 25.6 個

接近数 11.4 個

上陸数 2.7 個

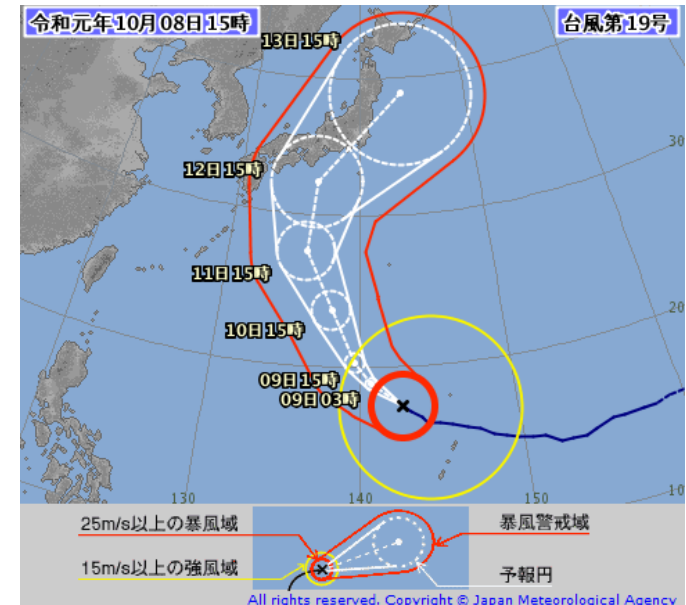
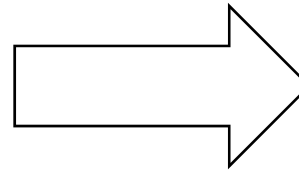
台風予報ができるまで

観測データ

数値予報資料

応用プロダクト
(ガイダンス)

予報官



観測データや数値予報資料、
応用プロダクト等から、総合的に
判断して、台風予報を作成する。

発表の内容

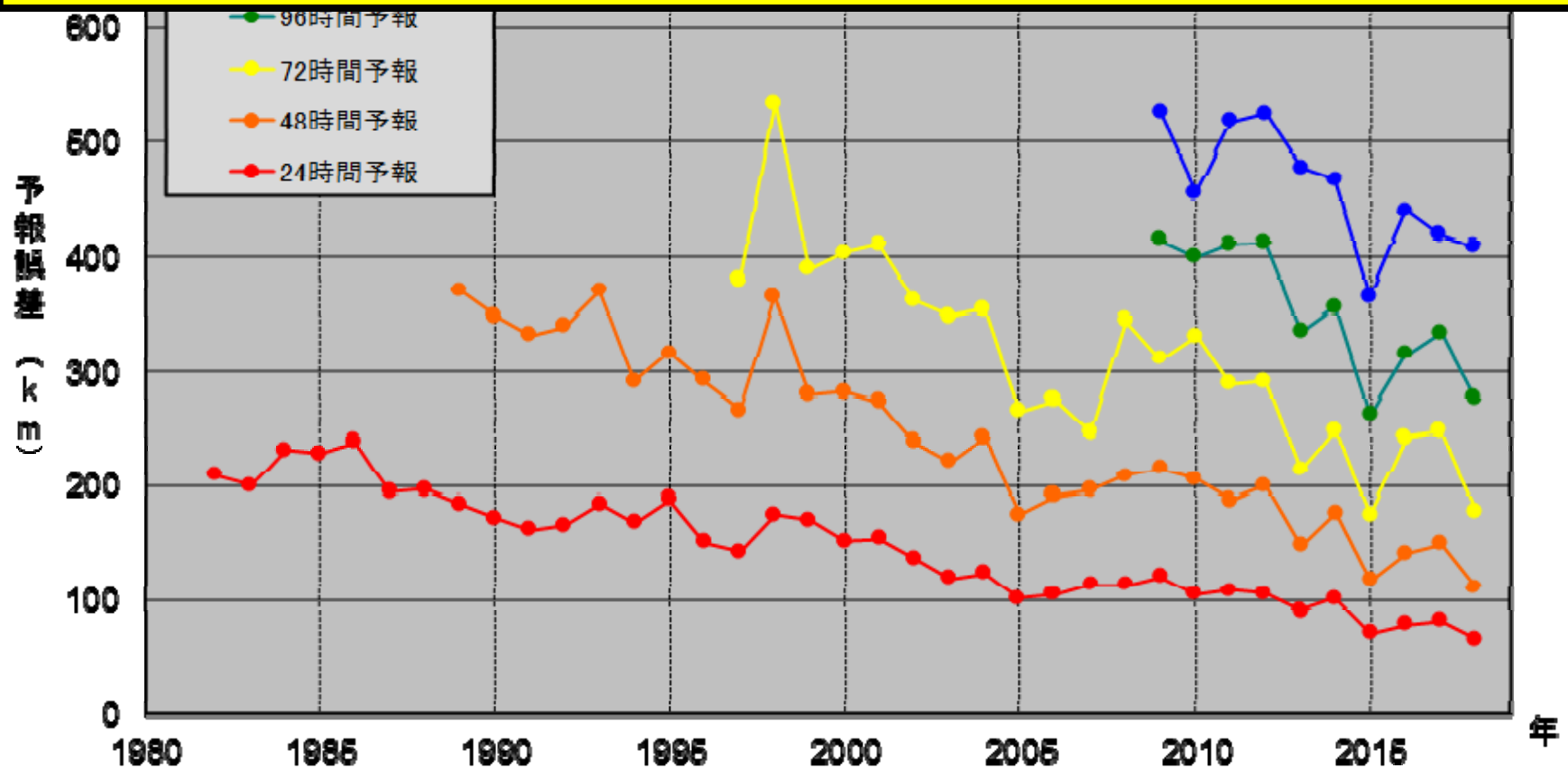
予報官の台風予報作業を支援するために、台風の進路、強度予報のための応用プロダクトを開発した。それらは既に、実際の気象庁の台風予報作業に取り込まれている。また、台風発生予報実現に向けた応用プロダクトの開発を行った。本発表では、これらの開発の成果について紹介する。

1. 台風の進路
2. 台風の強度（中心気圧や最大風速）
3. 台風の発生

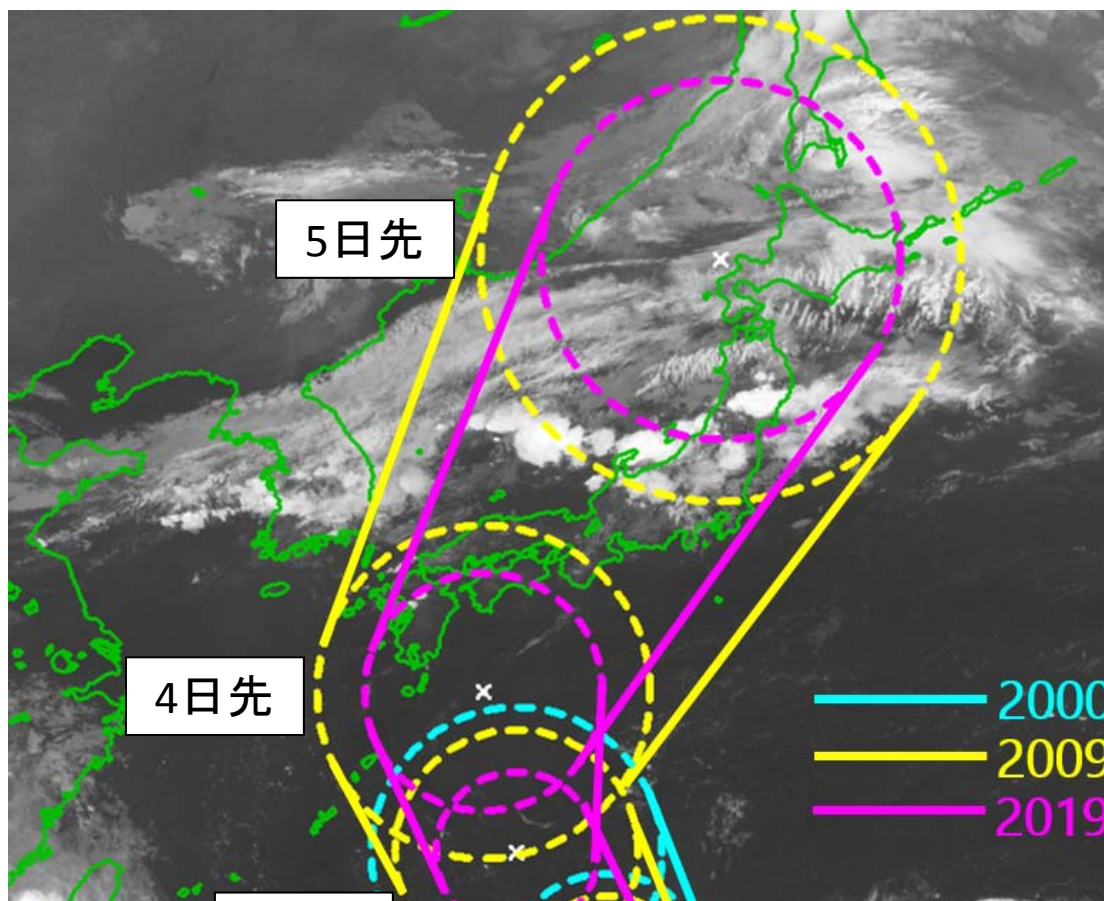
1. 台風の進路

過去20年で誤差は半分に！

2000年頃は3日先の予報誤差は400 km程度（およそ東京-大阪の直線距離）であったが、近年では200 km以下まで減少している。



平均的な予報円の大きさも小さくなっている



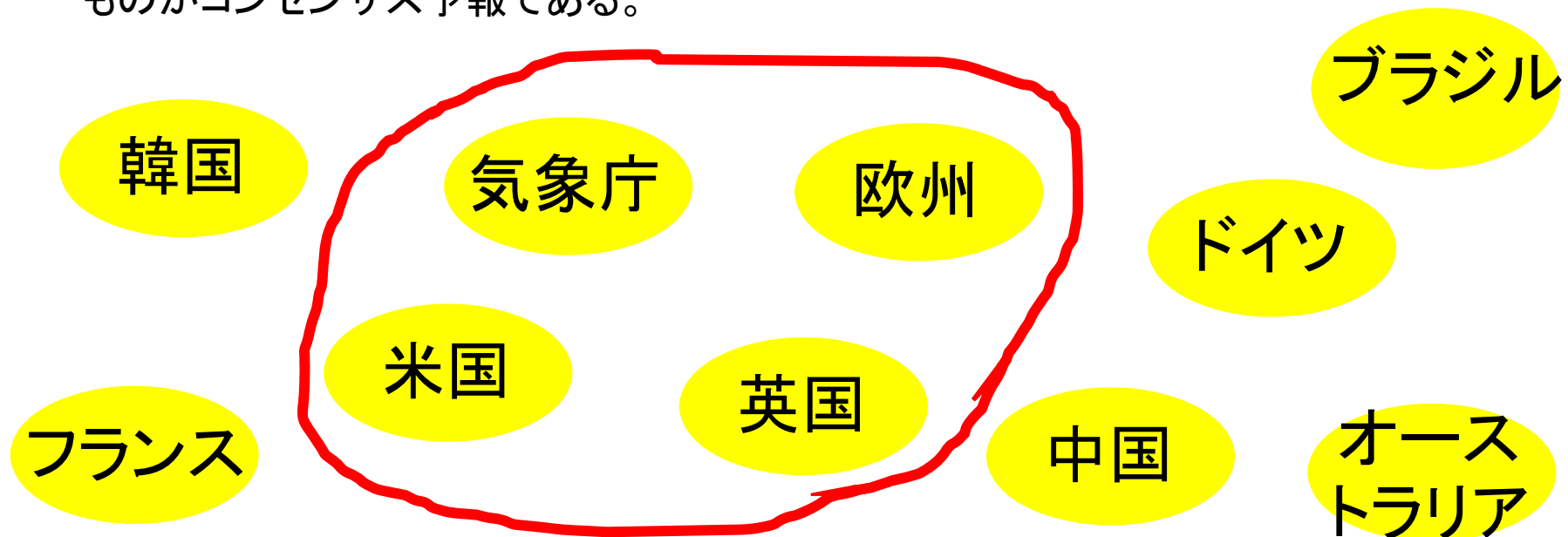
予報円とは何か？
円内に台風の中心が入る確率
が70%の円

予報円の大きさが次第に大きくなるのは、台風が大きくなるということではなく、将来の予報ほど予報位置の誤差が大きくなることを反映している。

予報精度の改善に伴って予報円の大きさが小さくなっている。
また、気象庁は2009年に、予報期間を3日先から5日先へと延長した。予報期間の延長には予報精度の改善が背景にある。

コンセンサス予報の導入 (2015年)

- 台風予報を含む今日の天気予報では、全球数値予報モデルや領域数値予報モデルなどの数値予報モデルが基盤となっている。
- 数値予報モデルとは、大気の運動と状態の変化を支配している物理法則に基づいて、観測された現在の状態から将来の状態を予測するためのコンピュータプログラムである。
- 数値予報モデルは気象庁だけでなく海外の気象局でも運用されていて、その結果はリアルタイムで気象局間で共有されている。これらの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である。



コンセンサス予報の例 (2019年第18号)



- 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精度が良くなるということは2000年代はじめの研究で既に明らかになっている。
- このコンセンサス予報は気象庁だけでなく、進路予報を行なっている世界の気象局で用いられている標準的な手法である。

台風予報円の改善 (2019年6月) ～マルチセンターアンサンブル手法の導入～

	2019年5月まで
3日先予報まで	過去の進路予報誤差等の統計量を利用
4, 5日先予報	気象庁全球アンサンブル予報を利用

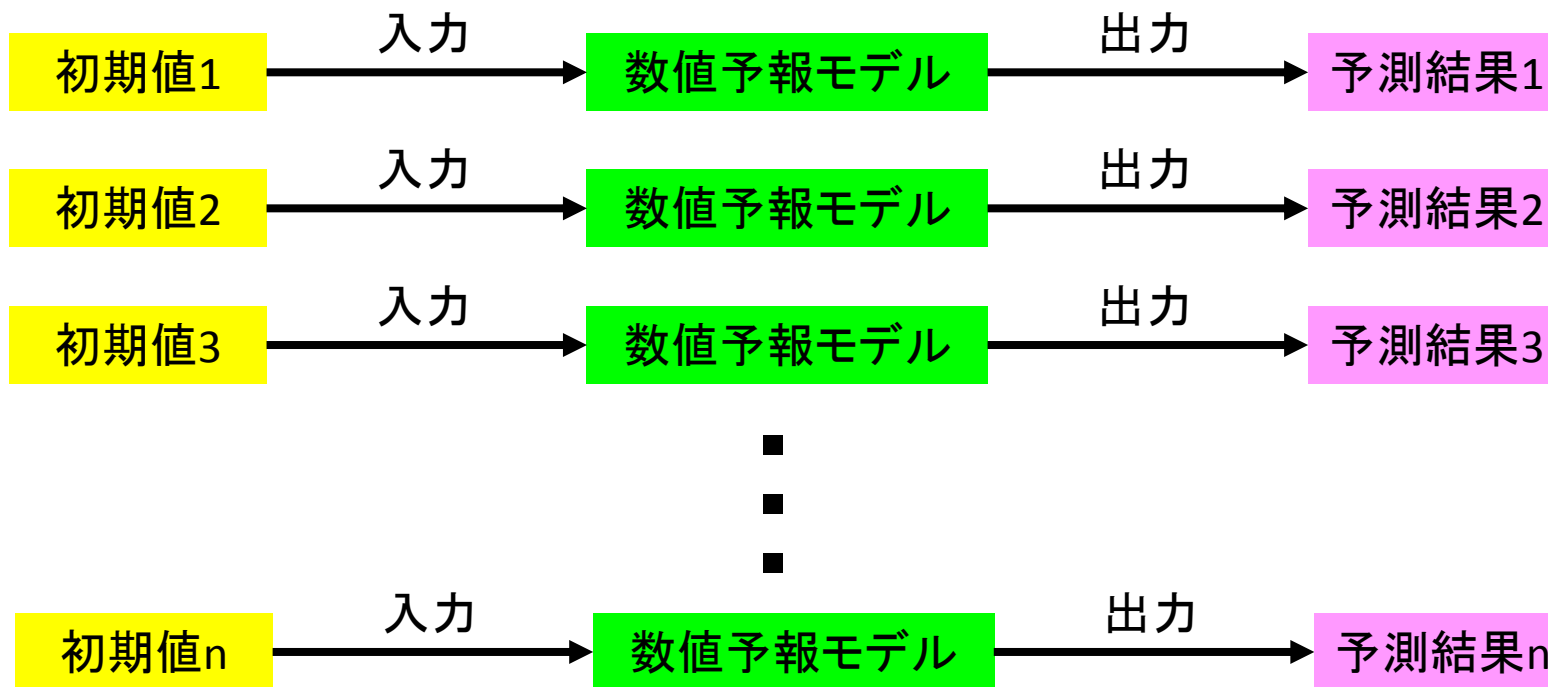
	2019年6月以降
5日先予報まで	気象庁に加え、欧州、英国、米国の全球アンサンブル予報を利用

アンサンブル予報とは

通常の数値予報

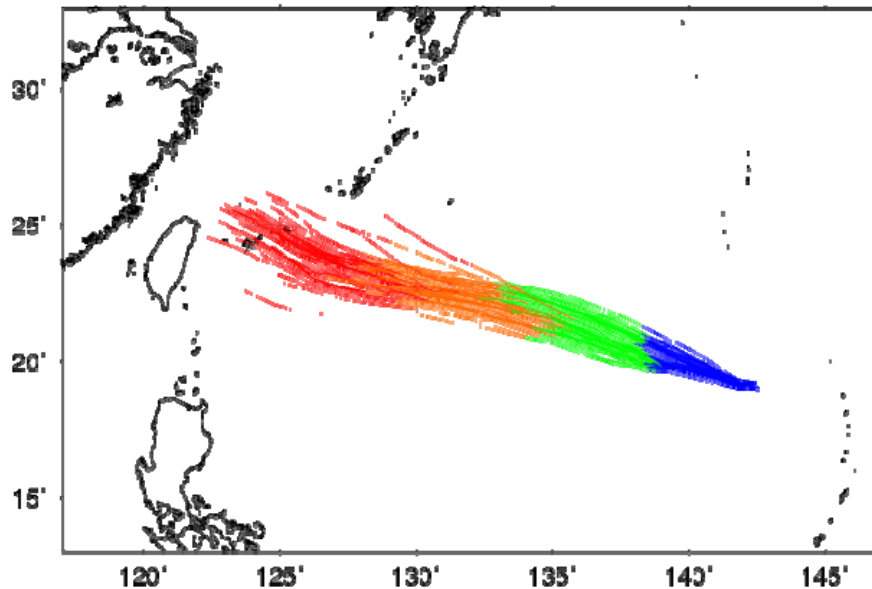
得られた複数の予測結果がお互いに似ていれば、今回の予測結果の信頼度は高い、逆にばらつきが大きければ不確実性が高いと判断することができる。

アンサンブル予報

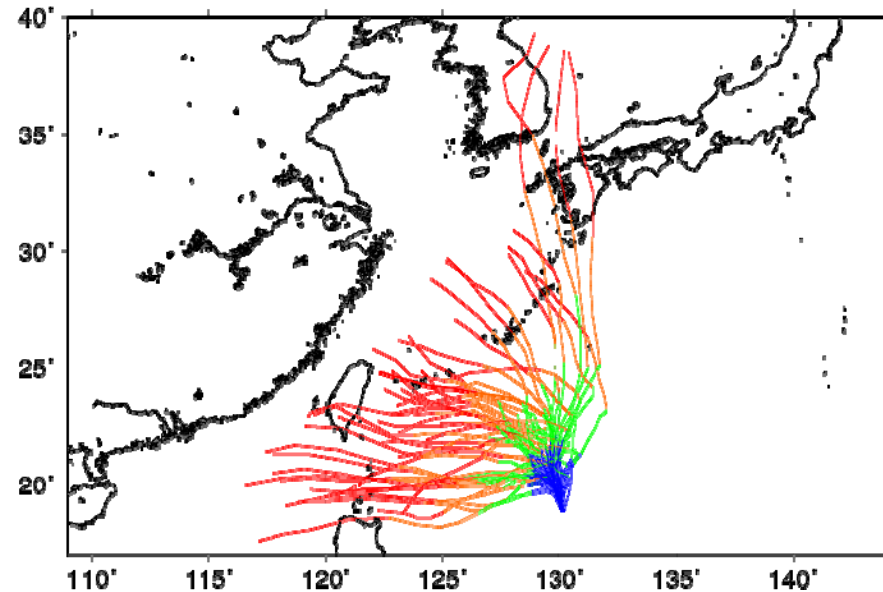


アンサンブル予報の例

ばらつきが小さい例



ばらつきが大きい例

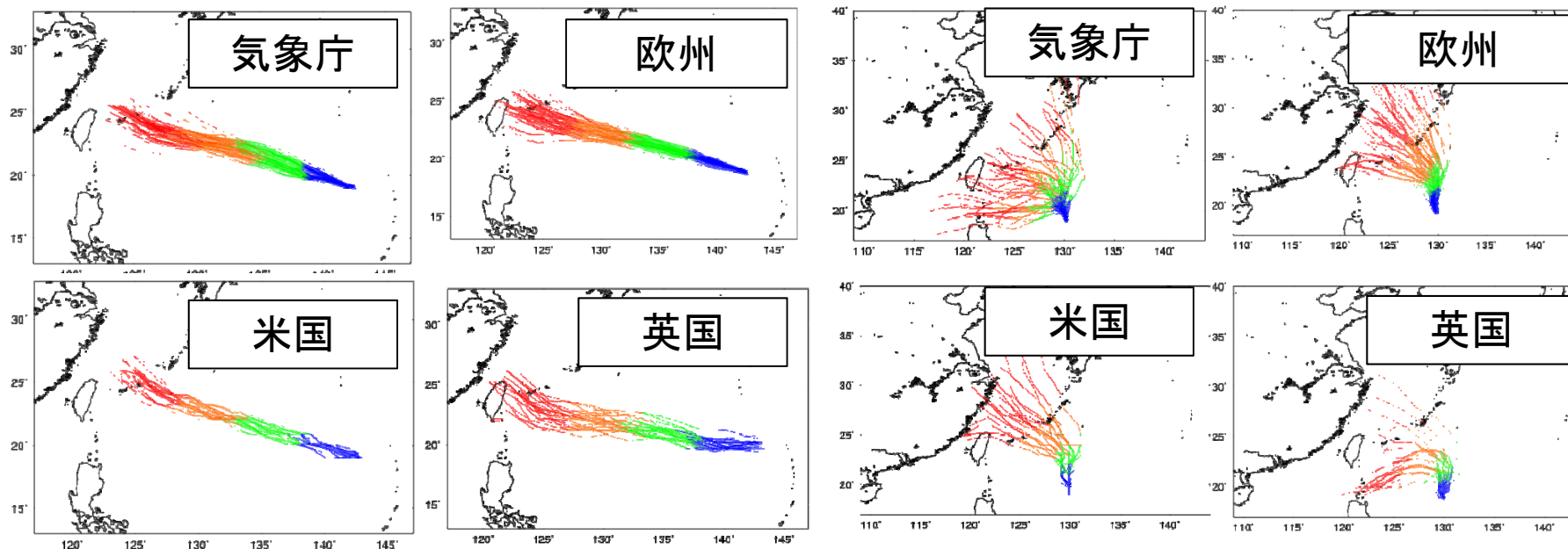


ばらつき具合は、そのときの気圧配置等によって大きく異なる。同じ台風でも、予報の初期時刻が変わるとばらつきの大きさも変わる。

マルチセンターアンサンブル手法による台風予報円

ばらつきが小さい例

ばらつきが大きい例



- アンサンブル予報は気象庁だけでなく海外の気象局でも運用されていて、その結果はリアルタイムで気象局間で共有されている。
- 精度の高い4つのアンサンブル予報を用いることで、より適切に予報円の大きさを決定できることがわかった。

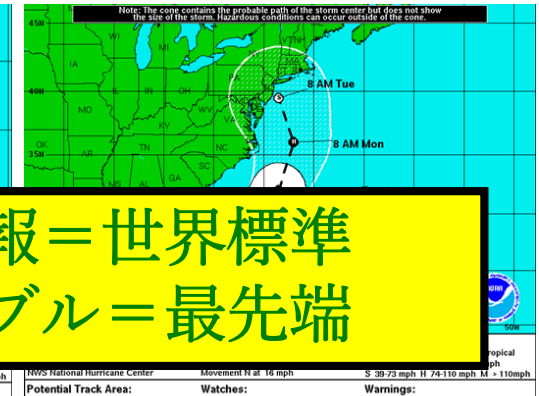
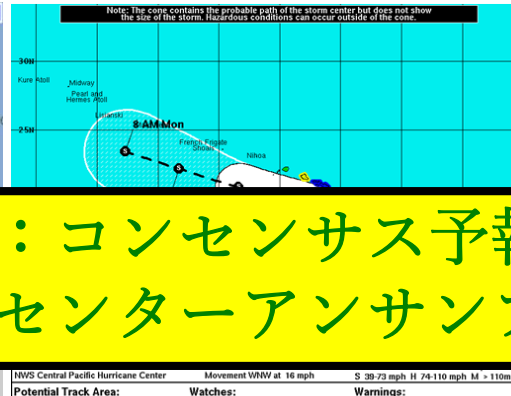
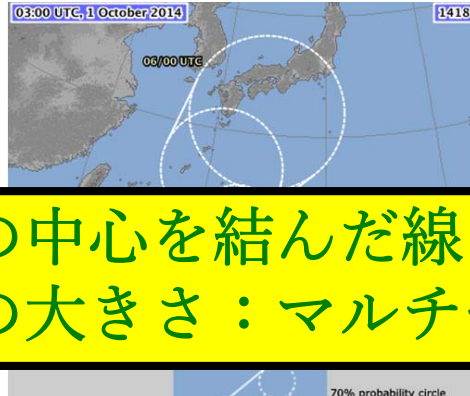
世界の台風(熱帯低気圧)進路予報

北インド洋

北西太平洋

中部太平洋

北東太平洋/
北大西洋



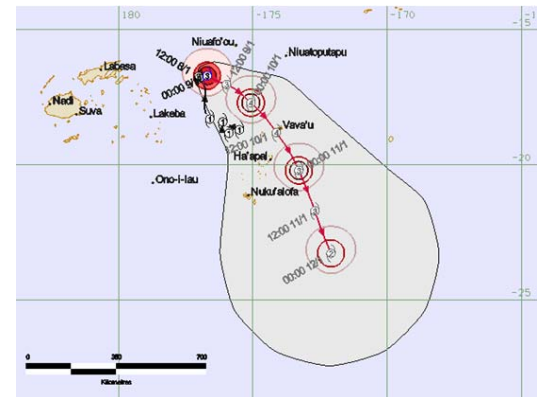
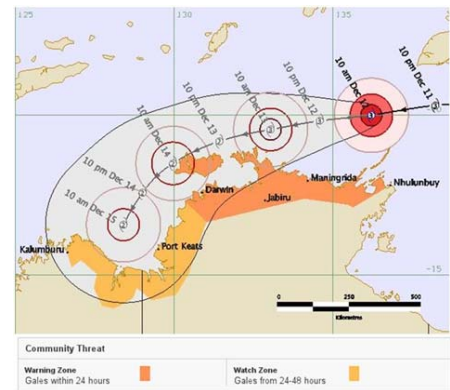
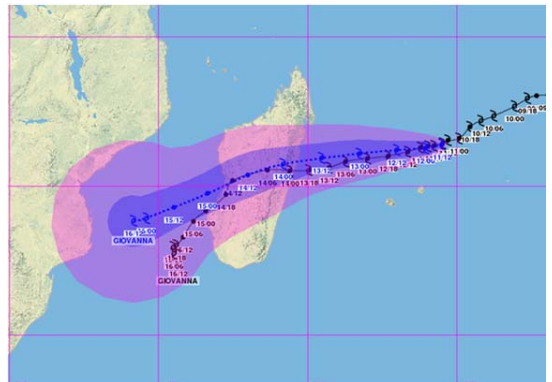
予報円の中心を結んだ線：コンセンサス予報＝世界標準
予報円の大きさ：マルチセンターアンサンブル＝最先端

Time in UTC, IST = UTC + 0530 hrs
Observed track
Forecast track
Circle with radius as climatological track forecast error
Cone of uncertainty
Predicted landfall zone of TC

南インド洋

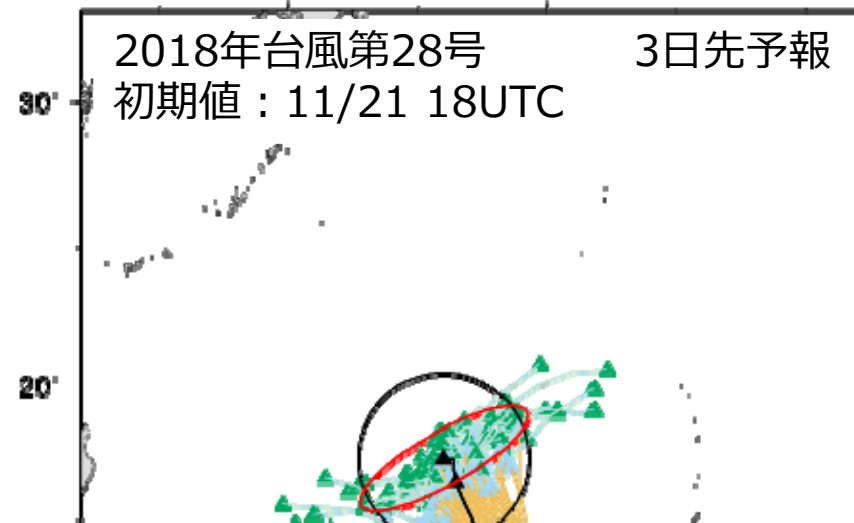
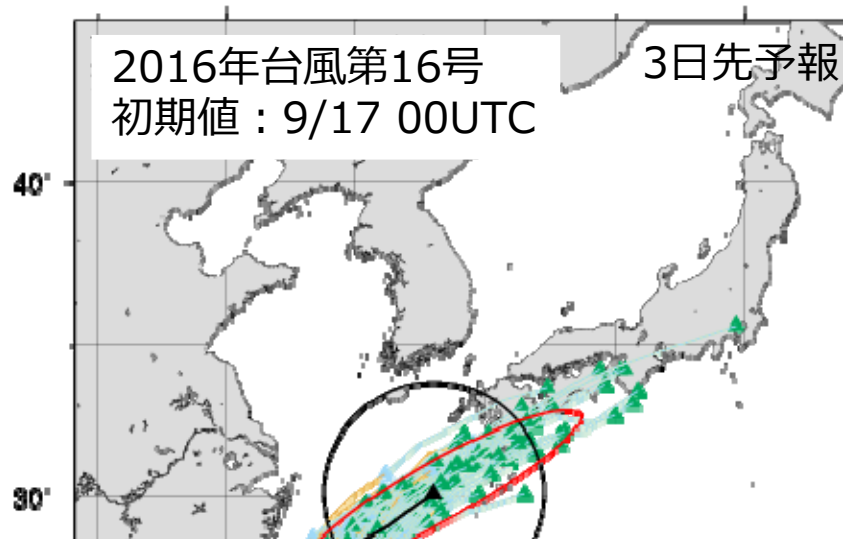
オーストラリア周辺域

南部太平洋



予報円から予報楕円へ

(現在取組中の研究開発で、
直ちにこの手法が予報業務に導入されるわけではない)



予報楕円を導入することにより:

- 予報円よりも面積が減少(15~20%程度)
- 移動速度もしくは移動方向の不確実性の把握
- 防災上留意すべき領域をよりの的確に示すことができ、メリハリのある防災対応ができる可能性

移動速度にばらつき

移動方向にばらつき

2. 台風**の強度**

(中心気圧や最大風速)

強度予報が難しいわけ

- 強度予報には、進路予報に見られたような右肩下がりの予報誤差の減少はみられない。このような傾向は気象庁だけでなく海外の気象局にもみられ、また台風の発生する北西太平洋域だけでなく他の海域にもみられる。**強度予報の改善は世界共通の課題である。**
- 台風の強度は台風の移動に比べると物理的にかなり複雑である。基本的に台風はその周辺の風によって流されて移動する。したがって、ある程度スケールの大きい風の場合が予測できれば、台風の進路も精度良く予測できる。
- それに対して台風の強度には、海面水温、海洋貯熱量、風の鉛直シア、内部構造、スパイラルバンドなどなど**非常に多くのことが関係していて、かつそれらが複雑に絡みあっている。これらを数値予報モデルで矛盾なく予測することは至難の業である。**

5日先台風強度予報の導入に向けて

第8回熱帯低気圧に関する国際ワークショップ
(2014年)



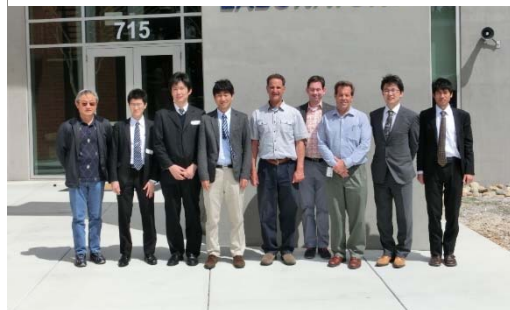
米国の研究者による発表

機械学習による強度予報
技術を導入することで、進
路予報ほどではないが強度
予報の改善がみられる

協力関係を構築

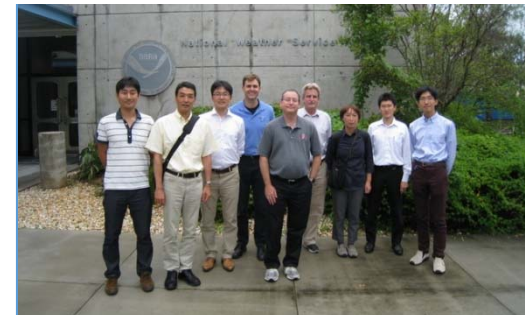
2015年4月

米国海軍研究所

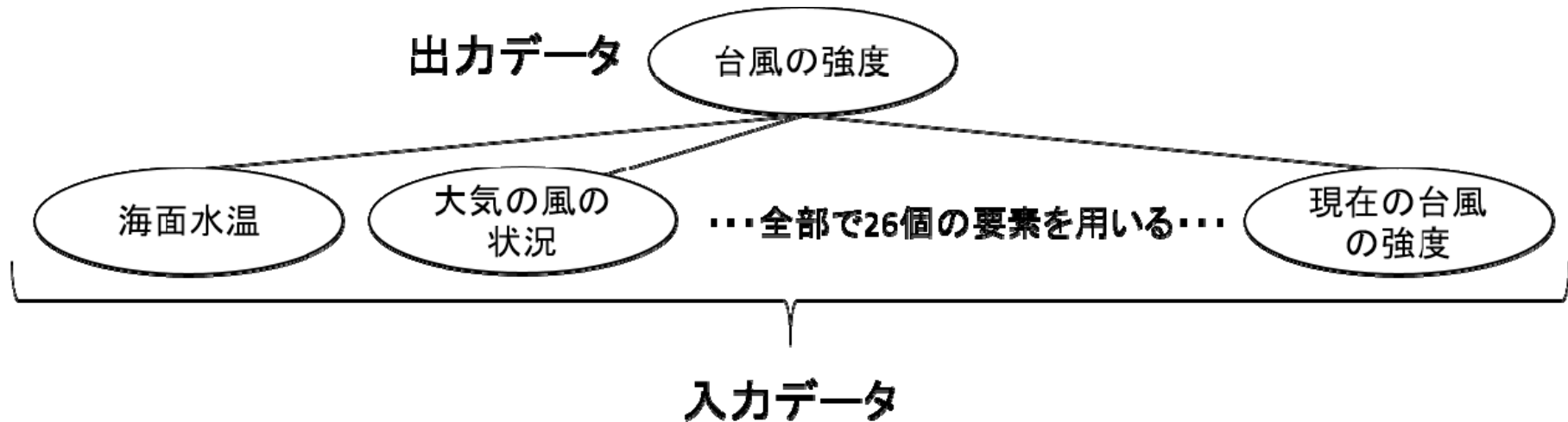


米国ハリケーンセンター

2015年10月



機械学習を用いた強度予報

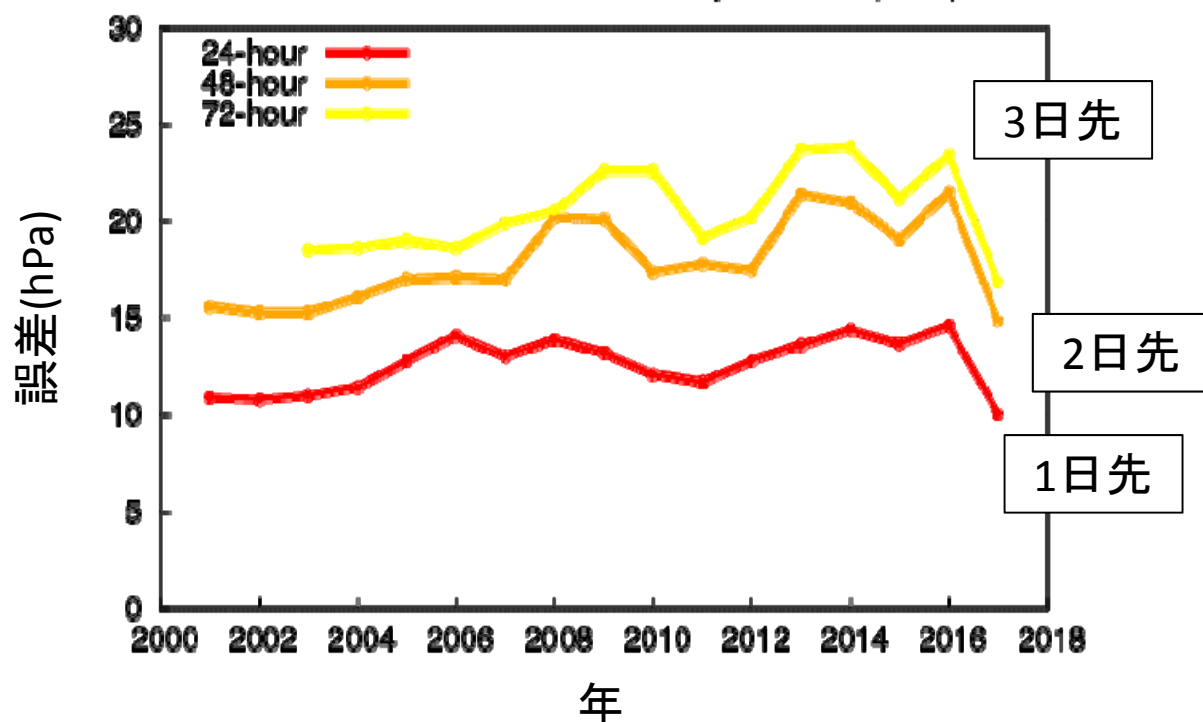


学習：過去の大量のデータを使用して、大気環境場などから台風の強度を求める計算式を作成する。

予報：作成した計算式と現在の大気環境場などを用いて、対象とする台風の強度を予測する。

台風強度予報の改善 (2019年3月)

- この手法を2016年から試験的に台風予報に使用してきた。
- この試験運用を通して、強度予報の精度が大幅に改善されることが確認できたため、気象庁では2019年3月からこの手法を正式に運用している。
- 2018年に気象庁スーパーコンピュータを更新し、全球モデルの予報時間を5日先まで延長していたこともあり、上記手法の導入と同時に、台風強度予報の予報期間を3日先から5日先までに延長した。



3. 台風が発生

熱帯域における対流活動

- 熱帯域では積乱雲が活発に発生し、それらが集まって「**熱帯擾乱**」と呼ばれる雲の塊が生成される。
- 台風(最大風速17.2 m/s 以上)まで発達する熱帯擾乱もあれば、そうでない熱帯擾乱も存在する。

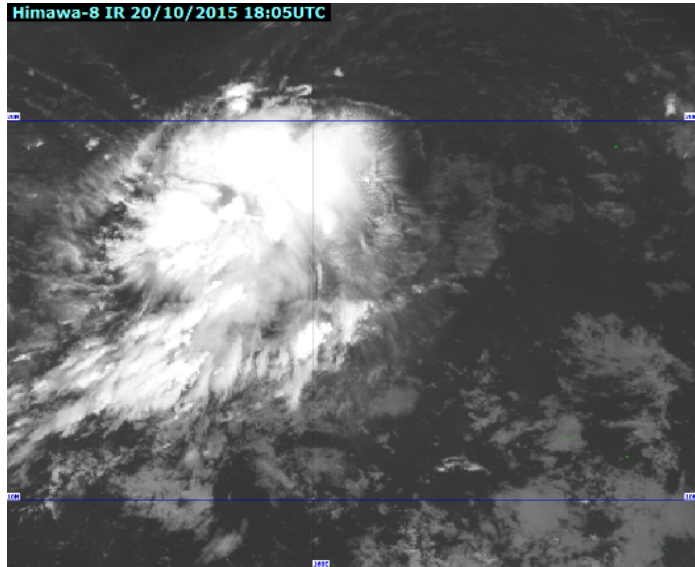
「ひまわり」による衛星画像

(2015年9月1日～2015年9月30日)



熱帯擾乱が台風まで発達するかどうか、
予測できないだろうか？

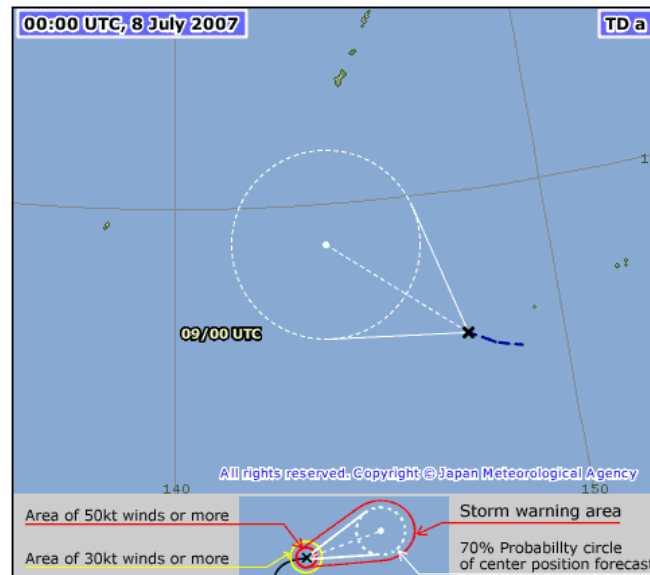
台風の発生に関する情報



衛星画像から「台風の卵」を見つけ、



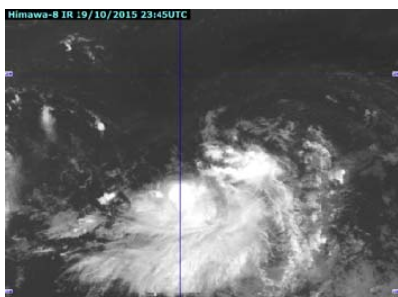
24時間以内に台風になることが予想される場合、



24時間先までの進路と強度の予報を発表する。

2日先台風発生予報

熱帯擾乱
(台風のためご)



衛星データを使用した場合

T数	2日先台風発生確率(%)
0.0	15
0.5	23

この手法を用いることにより、信頼度「低」、「中」、「高」といった予測の信頼度情報をつけて2日先の台風発生予報を実現できる可能性がある。

YES ← → NO

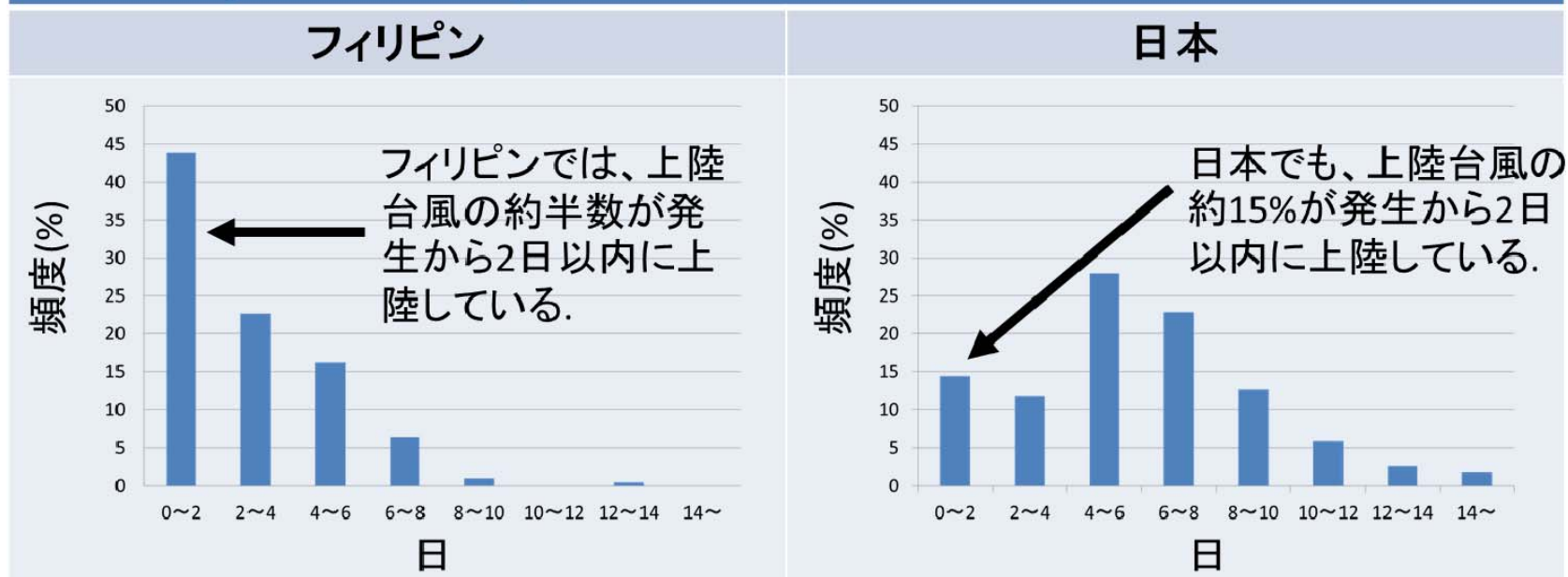
2日以内にこの台風のたまでが台風になる確率が高い。

2日以内にこの台風のたまでが台風になる確率が低い。

T数	2日先台風発生確率(%)
0.0	34
0.5	47
1.0	80

台風の発生予報の重要性

[頻度分布図] 台風の発生から何日で上陸するか？



- 最近の研究で、台風の発生する平均緯度が北上している、また台風が最大強度となる平均緯度も北上しているという研究が発表された。
- 十分な準備期間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。

まとめ

近年の研究開発により、台風の進路・強度予報の改善を実現するとともに、台風の発生予報など新しい台風予測情報の実用化に向けた取り組みも行っている。

進路予報

2015年にコンセンサス予報を導入。予報精度が更に改善した。
2019年にマルチセンターアンサンブル手法による予報円を採用した。これは最先端の手法である。

強度予報

2019年に機械学習による台風強度予測システムの現業運用を開始した。予報精度の大幅な改善が見られたことから、台風強度予報の予報時間を3日先から5日先へと延長した。

発生予報

衛星解析と全球アンサンブル予報を用いた、2日先台風発生予測のための予測資料を開発した。
また、マルチセンターアンサンブル手法による台風発生予測(例えば、5日先台風発生予測)のための予測資料を開発した。

今後の課題

予報精度の向上、予報期間の延長、予報の不確実性の推定、新しい予報プロダクトの開発など、台風予報の高度化に関する研究は、気象災害に強いレジリエントな社会、また気象情報を有効に活用する社会の構築に重要な役割を果たすことが期待される。

一方、さらなる予報精度の改善に向けた課題も、進路・強度・発生予報それぞれの分野で多く残されている。気象研究所では、これらの課題に真正面から取り組み、防災気象情報がより効果的に活用される社会の実現に向けて研究開発を進める計画である。

ご清聴ありがとうございました。