



台風予報の最新技術

永戸 久喜(えいと ひさぎ)

気象庁 予報部 予報課
アジア太平洋気象防災センター

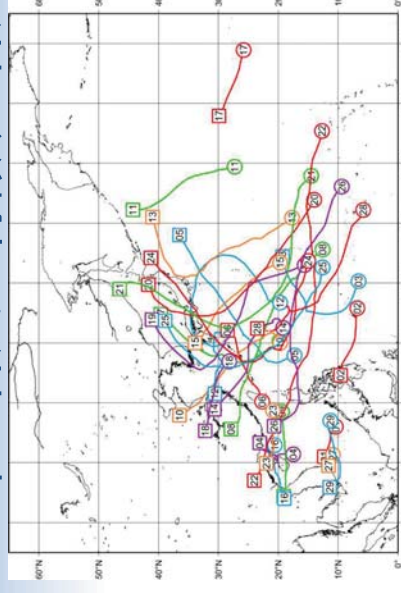
日本気象学会中部支部第23回公開気象講座
2019年6月16日、イ〜ブルなごや

はじめに

内容

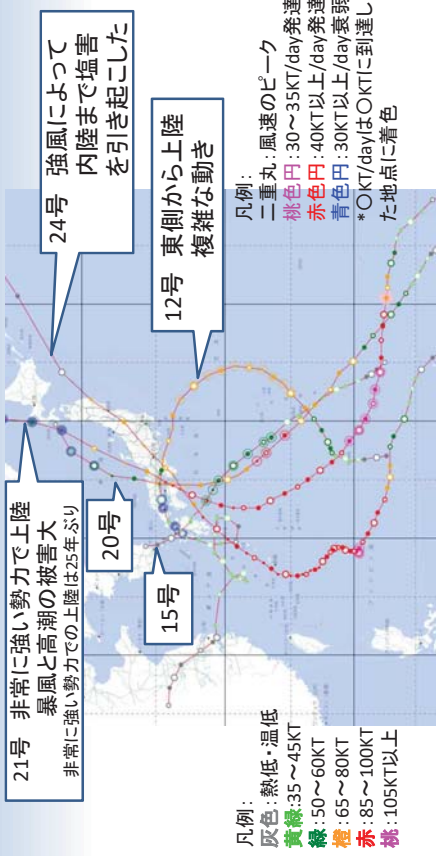
- はじめに
- 気象庁が発表する台風情報と国際的な役割
- 台風予報の技術
- 台風予報の最近の改善
- 今後の課題

2018年の台風の特徴(全台風)



- 2018年の台風の発生数は**平年より多い29個**、8月に9個発生(1951年以降、8月の発生数としては3位タイ)。
- 日本への**接近数は平年より多い16個**。日本への**上陸数は5個**。
- **猛烈な強さ(最大風速 $\geq 54\text{m/s}$)まで発達した台風は7個**。
(台風の最大風速のデータがある1977以降、1983年の6個を上回る**最多**)

2018年の台風の特徴(上陸した台風)



- 台風第12号は三重県に上陸した後、西日本を東から西に横断した初の台風(1951年以降)。
- 台風第21号は徳島県南部に非常に強い勢力で上陸。四国や近畿を中心に暴風や高潮等被害。(非常に強い勢力で上陸したのは1993年の第13号以来25年ぶり)

風水災等による保険金の支払い

過去の支払保険金(災害例)

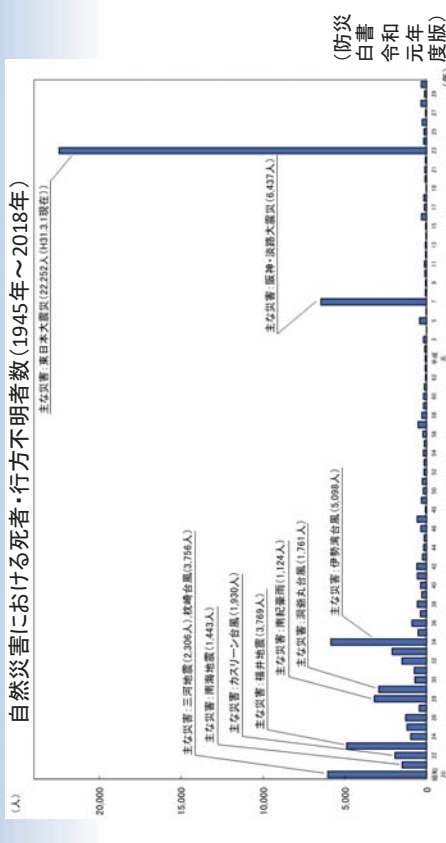
順位	災害名	地域	年月日	支払保険金(単位: 億円)		
				火災・新種	自動車	
1	平成30年台風21号	大阪・京都・兵庫等	2018年9月3日~5日	9,363	780	
2	平成33年台風19号	全国	1991年9月26日~28日	5,225	269	
3	平成16年台風18号	全国	2004年9月4日~8日	3,564	259	
4	平成26年2月雪害	関東中心	2014年2月	2,984	241	
5	平成11年台風18号	熊本・山口・福岡等	1998年9月21日~25日	2,847	212	
6	平成30年台風24号	東京・神奈川・静岡等	2018年9月28日~10月1日	2,946	115	
7	平成30年7月豪雨	岡山・広島・愛媛等	2018年6月28日~7月8日	1,673	283	
8	平成27年台風15号	全国	2015年6月24日~26日	1,561	81	
9	平成10年台風7号	近畿中心	1998年9月22日	1,514	61	
10	平成16年台風23号	西日本	2004年10月20日	1,112	179	
	一般社団法人 日本損害保険協会へ				89	
					1,380	
					合計	10,678
					海上	535
					合計	11,213

(一般社団法人 日本損害保険協会)

※千万円単位で四捨五入を行い、算出しています。
http://www.sonpo.or.jp/new/statistics/disastr/pdf/mdev/c_tsuuiga.pdf
 ※そのため、各項目を合算した額と合計額の値が一致しません。

- 風水害等による保険金の支払額の高額10件のうち、8件が台風による被害
- 昨年の台風第21号、第24号でも甚大な被害をもたらされた
- 多大な人的・経済的被害をもたらす台風に対して、早期に確実に備え、減災に資する情報を伝達するとともに、そのために予報精度を向上させる必要がある。

自然災害における死者・行方不明者数



- 過去には、台風によって多くの犠牲者をもたらされ、1959年の伊勢湾台風では、台風による災害では最多となる5000人を越える死者・行方不明者が出た。
- 最近では、2004年の台風第23号、2011年の台風第12号により、それぞれ98名の死者・行方不明者が出た。

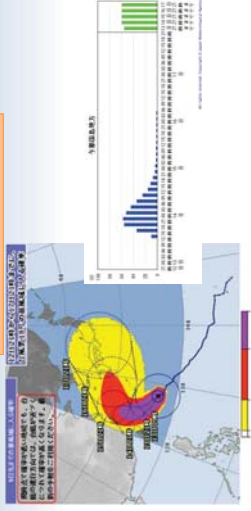
気象庁が発表する台風情報と国際的な役割

台風情報の種類

実況と5日先までの予報



暴風域に入る確率



台風に関する気象情報

平成30年台風第24号に関する情報 第66号
平成30年9月29日16時41分 気象庁予報部発表

(見出し)
大津で非常に強い台風第24号は、29日朝から30日朝にかけて関東地方に最も近づきます。沖縄・奄美では暴風や高浪、大雨、高潮に被害を警戒してください。30日から10月1日にかけては、西日本から北日本にかけての広い範囲で暴風や高浪、大雨、高潮に被害を警戒する必要があります。

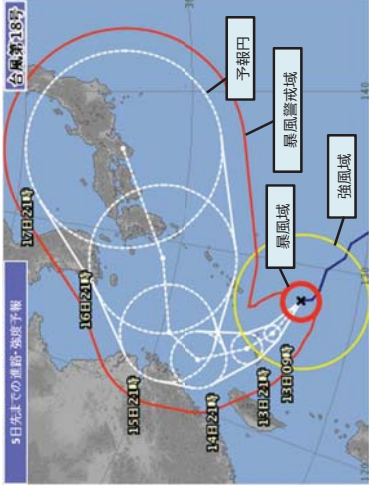
(本文)
【台風の状況と予想】
大型で非常に強い台風第24号は、29日16時には那覇市の北西の海上にあって、1時間あたりおよそ20キロメートルの速で北北東へ進んでいます。中心の気圧は950ヘクトパスカル、中心付近の最大風速は45メートル、最大瞬間風速は60メートルです。

発達する熱帯低気圧に関する情報



台風の実況

内容	発表時間	発表要素
実況	0時、3時、6時、9時、12時、15時、18時、21時の約50分後	台風の中心位置、進行方向と速度、中心気圧、最大風速(10分間平均)、最大瞬間風速、暴風域、強風域
1時間後推定	毎正時の約50分後	
	毎正時の約50分後	



暴風域

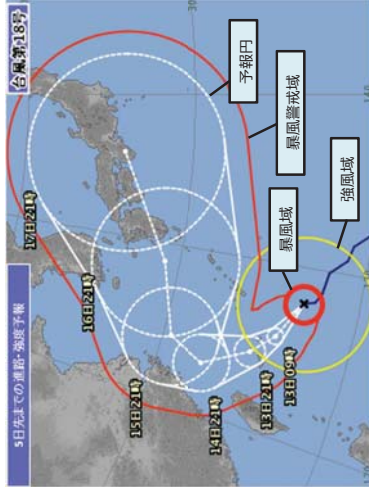
- ✓ 風速(10分間平均)が25m/s以上の暴風が吹いている/地形の影響等がない場合に吹く可能性のある範囲

強風域

- ✓ 風速(10分間平均)が15m/s以上の強風が吹いている/地形の影響等がない場合に吹く可能性のある範囲

台風の予報

内容	発表時間	予報時間	発表要素
1日(24時間)予報	0時、3時、6時、9時、12時、15時、18時、21時の約50分後	12時間先、24時間先	予報円の中心・半径、進行方向・速度、中心気圧、最大風速、最大瞬間風速、暴風警戒域
5日(120時間)予報	3時、9時、15時、21時の約50分後	5日先まで24時間毎	



- 予報円
 - ✓ 台風の中心が到達すると予想される範囲
 - ✓ 予報した時刻に、この円内に台風の中心が入る確率は70%

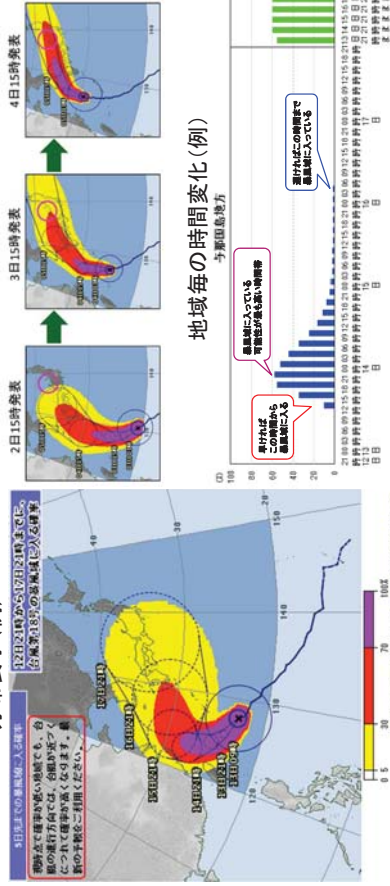
暴風警戒域

- ✓ 台風の中心が予報円内に進んだ場合に5日(120時間)先までに暴風域に入るおそれのある範囲全体

暴風域に入る確率

内容	発表時間	発表要素
地域毎の時間変化	3時、9時、15時、21時の約60分後	5日(120時間)先までの3時間毎及び24・48・72・96・120時間先までの確率
分布表示	3時、9時、15時、21時の約70分後	

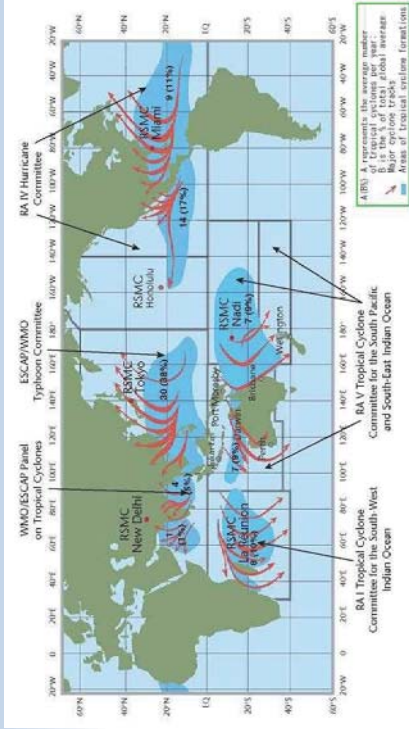
分布表示(例)



地域毎の時間変化(例)

与那国島地方

熱帯低気圧に関する地区特別気象センター



http://www.meteo.fr/temps/domtom/La_Reunion/webcms9.0/lang/jais/faq/FAQ_Ang_F.html

- 世界気象機関は、熱帯低気圧が発生する海域毎に地区特別気象センター（RSMC）を指名
- 世界に6つあり、各々の責任領域において、熱帯低気圧の監視、命名、解析・予報の発表、域内の国・地域の予報技術や防災能力の向上に資する研修等を実施する役割を負う
- RSMC東京気象センター（気象庁）はその一つで、発生数が世界で最も多い、北西太平洋と南シナ海（東経100度～180度、0度～北緯60度）を担当

熱帯低気圧RSMC東京センター

- 気象庁は、1989年より北西太平洋・南シナ海を責任領域とする「熱帯低気圧RSMC東京センター」を運営、今年で運用開始30周年に。
- 東京センターは、台風の監視、命名、解析・予報の発表、研修等を実施。
- 東・東南アジア各国は、東京センターが発表する情報を元に、国内の台風情報の発表や防災対応を実施。

「熱帯低気圧RSMC東京センター」の活動

台風解析・予報等の即時情報の提供
台風に関する解析や予報、予報の根拠、数値予報、気象衛星等の情報を域内の各国や地域にリアルタイムで提供。

気象衛星

台風解析・予報

数値予報

衛星・高層予報

台風に関する情報の提供及び技術協力
台風の事後解析、発生シーズンの台風の特徴、予報評価等の情報を提供、国際的なセミナーや研修を実施。

台風予報管理研修

ひまわり画（衛星）研修

- 域内の国や地域の台風解析・予報、地域防災力向上に主導的な役割を果たしている。

台風予報の技術

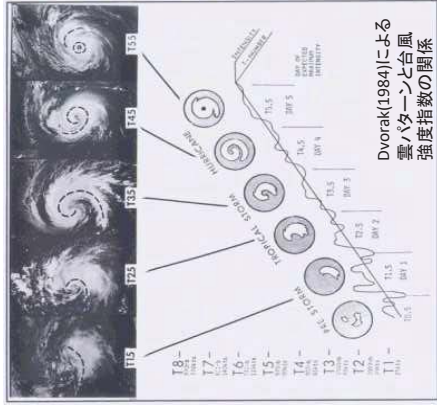
台風の監視・解析

- 台風は、ほとんどの期間、観測データの少ない海洋域に存在する。
- そのため、全ての利用可能なデータを適用して監視・解析する。
- 各データを長所を生かしつつ、併用する。

<p>静止気象衛星観測</p> <p>赤外画像</p> <p>可視画像</p> <p>New!</p> <p>海上大気変動風 (AMV)</p>	<p>極軌道衛星観測</p> <p>マイクロ波イメージャ画像</p> <p>マイクロ波イメージャ全天候型海上風</p> <p>マイクロ波サウンダ気温</p>	<p>地上・海上・高層観測</p> <p>風や気圧を直接観測可能な観測点がまばら</p> <p>アメダス</p>
<ul style="list-style-type: none"> • 広範囲を均質且つ常時観測可能 • 上層雲や厚い雲の下の観測が難しい 	<ul style="list-style-type: none"> • 高分解能 • 日本付近のみ 	<ul style="list-style-type: none"> • 風を直接観測可能 • 日本付近のみ

台風の解析

- ・ 台風の中心位置、強度（最大風速・中心気圧）、大きさを決定
- ・ 常時観測可能な静止衛星の雲画像からの推定が基本



- ・ ドボラック法
 - ✓ 台風の特徴的な形状を示す静止気象衛星の雲画像から台風の中心位置や強度を推定する方法
 - ✓ アメリカの気象学者 Vernon Dvorakによって開発された。
 - ✓ 現在も世界各国の気象機関はドボラック法またはドボラック法を改良した手法で熱帯低気圧の解析を行っている
- ・ ドボラック法の課題
 - ✓ 上層雲に覆われると解析精度が悪い
 - ✓ 雲パターンが不明瞭だと解析精度が悪い
 - ✓ 夜間の中心位置の解析精度が悪い

台風の解析

- ・ 台風の中心位置、強度（最大風速・中心気圧）、大きさを決定
- ・ 極軌道衛星観測データ等により、静止気象衛星観測を補充

中心位置

強度

大きさ

マイクロ波イメージャ画像

マイクロ波散乱計海上風

New!
海上大気追跡風(AMV)

アメダス

地上・海上観測

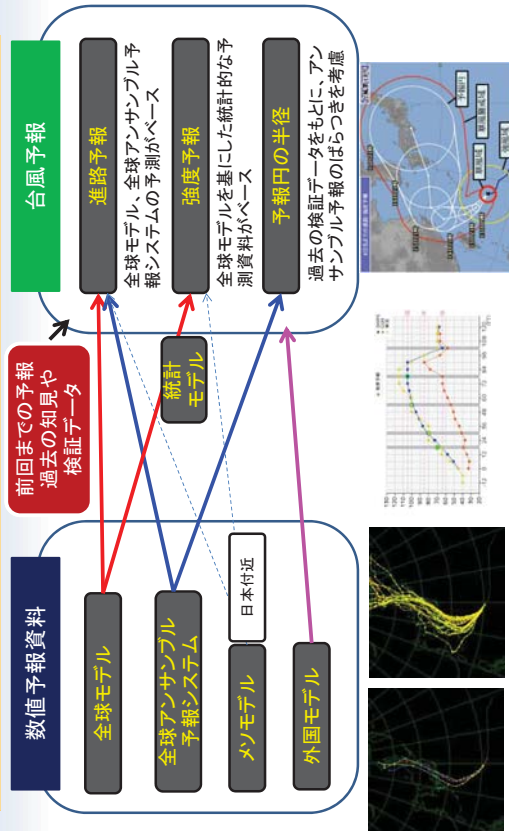
ドボラック解析の中心位置を基に、マイクロ波観測、レーダーや、アメダスの風向風速変化などから決定

ドボラック解析の最大風速を基に、マイクロ波観測や地上・アメダス観測などから決定

海上風観測データを基に強風域を決定

台風の予報

- ・ 解析をベースとして、各種数値予報資料を利用して予報を行う。



数値予報

- ・ 物理法則に基づき、地球大気の数値シミュレーション
- ・ 予測の客観化や精度向上に寄与し、気象予報業務を支える基盤技術

① 世界中から集めた観測データをもとに、スーパーコンピュータを用いて現在の大気状態を再現（初期値作成）

様々な観測データ
気象レーダー、アメダス、衛星観測...など

物理法則に則り、スーパーコンピュータを用いて未来の大気状態をシミュレーション（数値予報モデルによる予測計算）

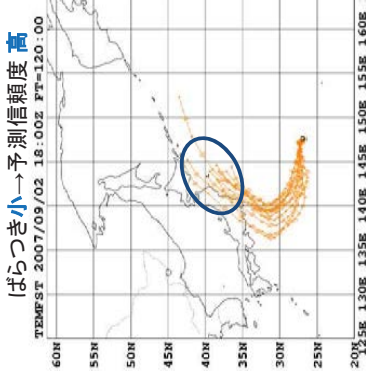
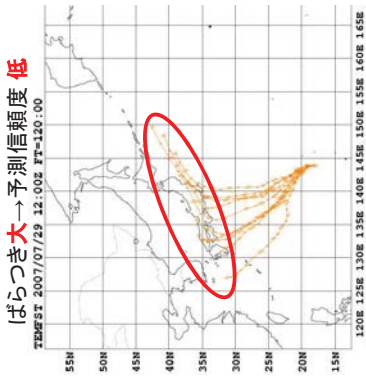
沖合いにある台風を再現！

スーパーコンピュータ

九州へ接近する予測！

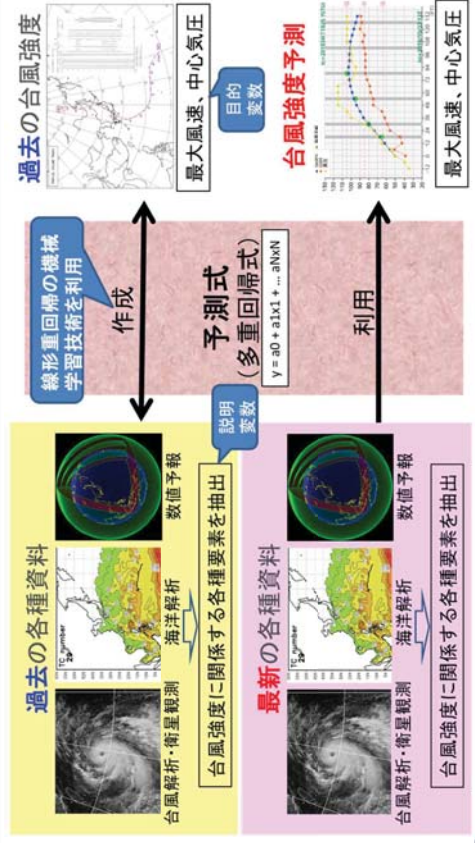
アンサンブル予測

- 初期値や数値予測モデルの不完全性により、数値予測の予測結果には不確実性があるが、単独の予測計算ではそれを見積もることができない
- 初期値等が僅かに異なる複数の予測結果を用いることで、予測の不確実性や信頼度に関する情報が得られる



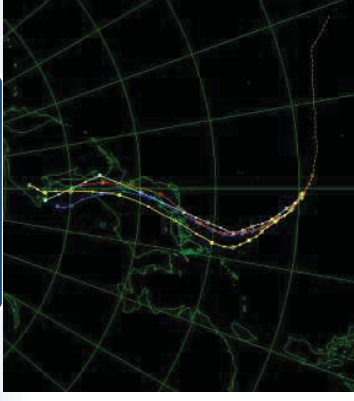
台風強度予測のための統計力学モデル

- 台風の強度を、実況値や数値予測モデルの予測進路に沿った海面水温等やモデルの出力値などの環境場の値から多重回帰式を用いて統計的に予測する資料。

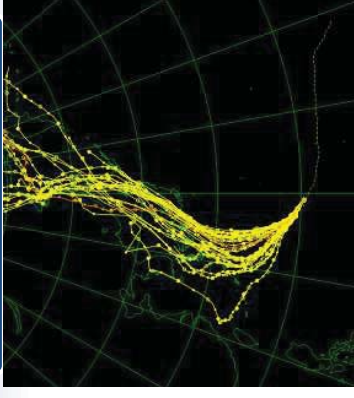


台風進路予報

全球モデル (イメージ)



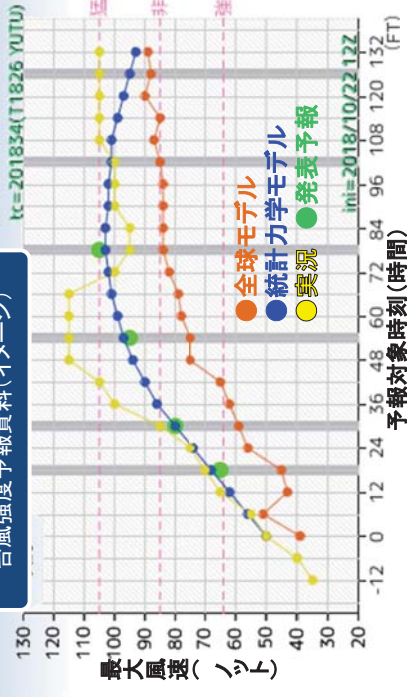
全球アンサンブル予報 (イメージ)



- 各種数値予報資料をベースに進路予報案を検討・作成
- 前回までの予報や各数値予報資料の特性、及び過去の知見を踏まえて検討、必要に応じて修正

台風強度予報

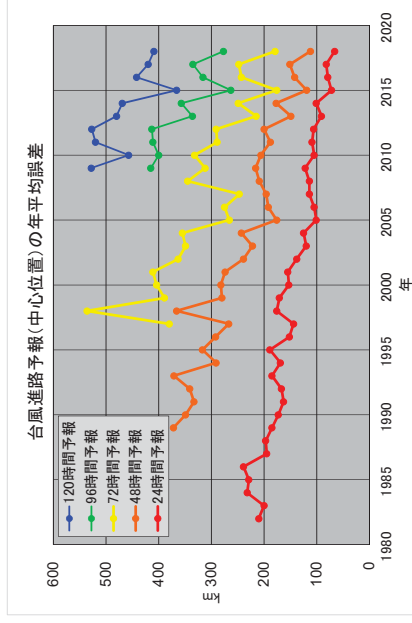
台風強度予報資料 (イメージ)



- 統計力学モデルをベースに強度予報案を検討・作成
- 前回までの予報や過去の知見を踏まえて検討、必要に応じて他の資料や環境場の状況等を加味して修正

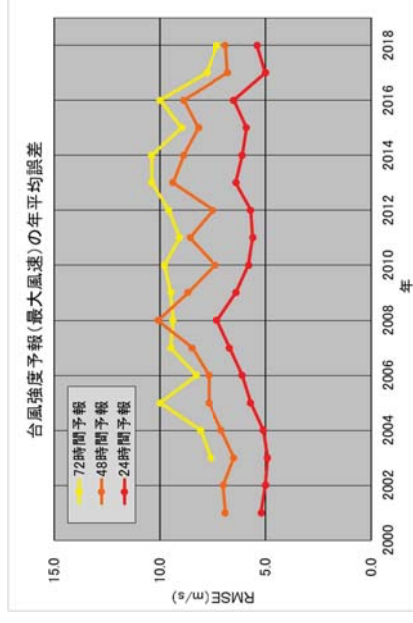
進路予報(中心位置)精度の経年変化

- 数値予報モデルの改良や数値予報モデルの利用手法の改善等により、進路予報の精度は着実に向上
- 2018年の進路予報精度は過去最高レベル
誤差は24時間予報で約70km、72時間予報で約180km、120時間予報で約410km



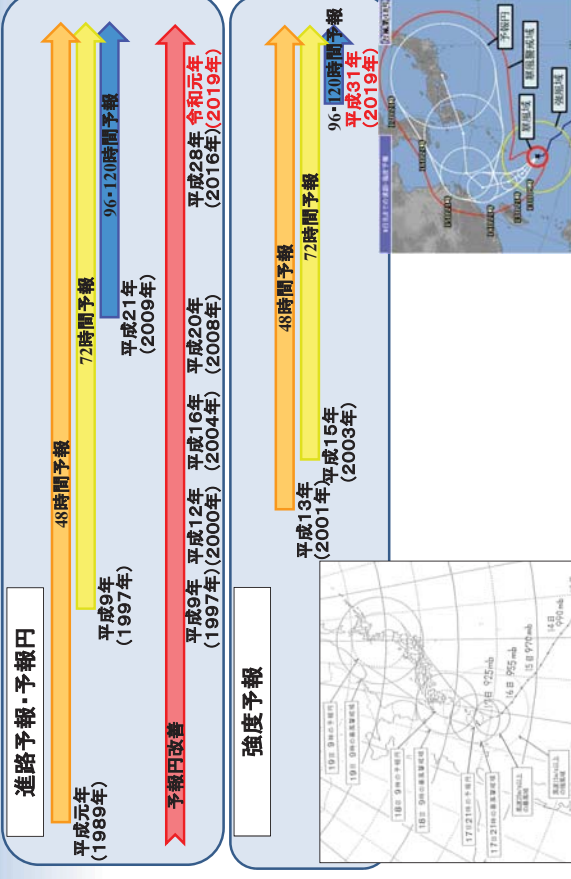
強度予報(最大風速)精度の経年変化

- 進路予報のような明確な精度向上はないが、統計的に台風強度を予測する手法の開発や、数値予報モデルの精度向上により、近年、精度は向上しつつある。
- 2018年の強度予報精度は、比較的精度の良かった昨年とほぼ同じ。
誤差は24時間予報で5.4m/s、72時間予報で7.3m/s。

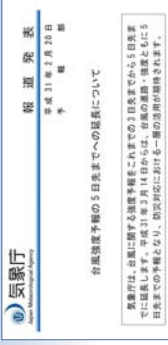


台風予報の最近の改善

気象庁の台風予報の主な改善

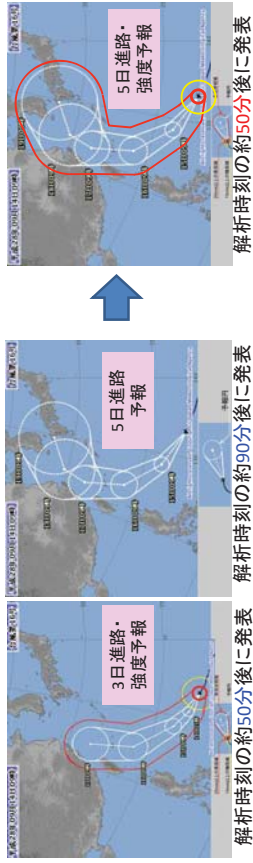


台風強度予測の改善と予報期間延長

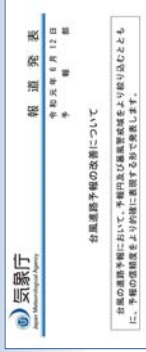


平成31年2月20日気象庁予報部報道発表
「台風強度予測の5日先までへの延長について」

- 3日先まで発表している**台風の強度予測を2019年3月14日12時(日本時間)以降、最初に発生した台風から5日先まで延長**する。これにより、台風予報は**進路・強度とも**に5日先までとなる。
- 5日先までの**予報の発表時間がこれまでより短くなる**(解析時刻の約90分後⇒約50分後)。



予報円の改善



令和元年6月12日気象庁予報部報道発表
「台風進路予測の改善について」

- 予報円の大きさは、過去の台風進路予測の精度を基に統計的に算出
 - ✓ 台風進路予測の精度向上を踏まえ、**新たな統計に基づく見直しを実施**
- 予報円の大きさを算出する際に、以下の2種類の手法を利用
 - ① 台風の進行方向と速度毎に算出(5日先までの全ての予報時間)
 - ② アンサンブル予測のばらつきに基づく信頼度毎に算出(4日先以降の予報時間)
 - ✓ ①の手法では、大気の流れに応じた予報の信頼度を予報円に反映することができないため、**②の手法を全ての予報時間に適用**
 - ✓ ②において、アンサンブル予測のばらつきからよりの確に**予報の信頼度を見積もる**ことが望ましいため、**当庁以外の複数のアンサンブル予報結果を利用**

- 新たな統計に基づき算出することで、予報円半径が平均的に小さくなる。
- 算出手法の改善により、全ての予報時間において、予報の信頼度をより適切に反映した予報円となる。

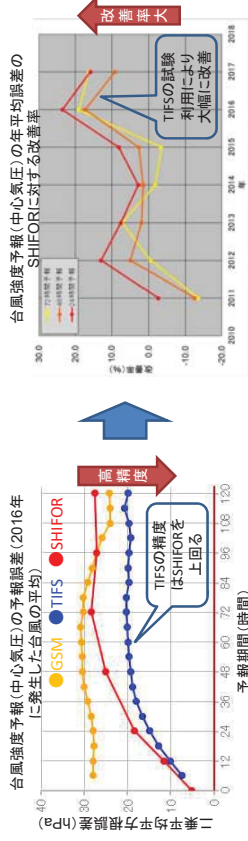
統計力学モデルTIFSの開発と現業利用

- 米国立ハリケーンセンターが開発した統計力学モデルSHIPS※1をベースに、北西太平洋の台風に応用するための変更、独自の工夫と改良 → TIFS※2と命名

※1 Statistical Hurricane Intensity Prediction Scheme

※2 Typhoon Intensity Forecasting Scheme based on SHIPS

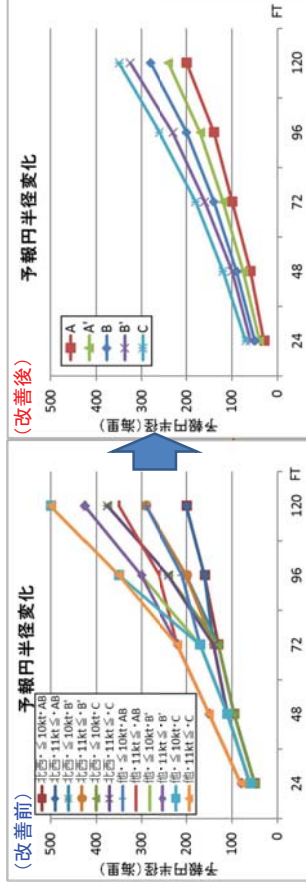
- 5日(120時間)先までの予測期間を通じて、従前の強度予報資料(全球モデルGSM・統計モデルSHIFOR)を上回る**予測精度**を実現。
- 2016年からのTIFSの試験利用により、それ以前と比較して予報精度が大幅に改善していることを確認。



- TIFSの開発と現業利用、及び台風予報官の設置と予報作業の効率化 ⇒ 台風強度予報精度の向上と予報期間延長・発表時間短縮を実現

予報円半径の算出手法の改善

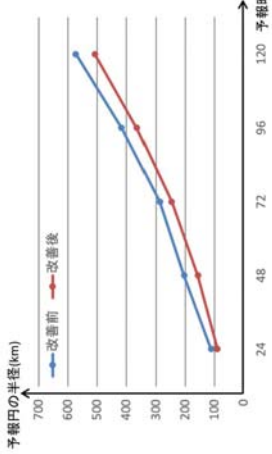
改善前	改善後
統計期間 2011～2015年	2016～2018年
算出区分 1～3日予報 進行方向と速度	アンサンブル予測に基づく信頼度
4～5日予報 進行方向と速度	アンサンブル予測に基づく信頼度
利用モデル 単独(気象庁)	複数(気象庁と外国気象機関)



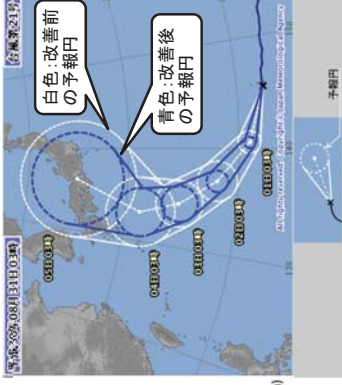
予報円改善の効果(1)

- 最新の予報誤差の検証結果を反映して、**予報円半径は平均約20%小さくなる。**

改善前後の予報円半径(予報時間毎、平成28～30年の検証結果)



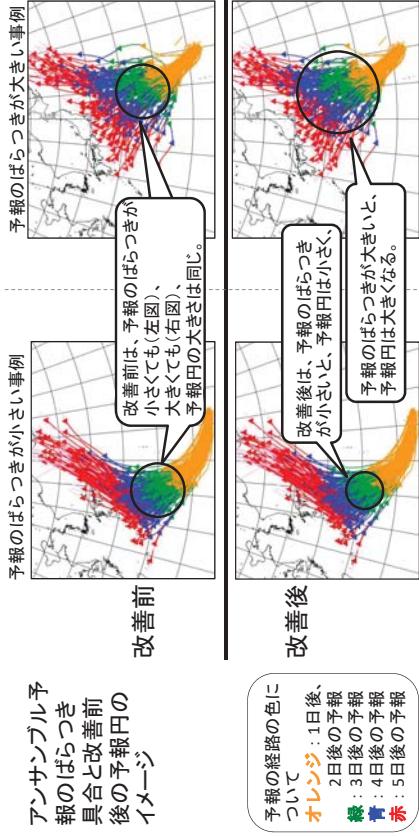
改善前後の予報円の比較(平成30年台風第21号 8月31日03時予報の例)



予報円改善の効果(2)

- 全ての予報時間で統一的手法が導入され、72時間先までの予報円半径にも、**アンサンブル予報に基づく大気の流れに応じた予報の信頼度が反映される。**
- 単独のアンサンブル予報よりも複数のアンサンブル予報を用いることで、**予報の信頼度をより的確に表現した予報円**となる。

アンサンブル予報のばらつきが小さい事例
報のばらつき具合と改善前後の予報円のイメージ

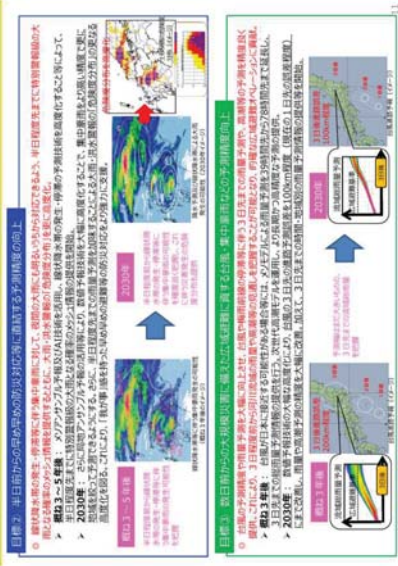


予報の経路の色について
オレンジ: 1日後、2日後の予報
緑: 3日後の予報
青: 4日後の予報
赤: 5日後の予報

今後の課題

- 予報精度の更なる向上への要請
- 台風等による大規模水害を想定した広域避難の検討
 - 早い段階からの精度の高い台風予報が必要とされている
- 交通政策審議会気象分科会提言(平成30年8月20日)
 - 目標と取組の具体的内容(～半日程度～3日程度)

- 目的: 確かな広域避難対策ペレージョンに貢献するための台風等の予測精度向上
- 2030年までに、数値予報技術の大幅な高度化により、**台風の3日先の進路予測の誤差を100km(現在の1日先の誤差程度)程度にまで改善すること**等を目指す



今後の課題

- ・ 台風監視能力の強化、及び解析精度向上
 - － 各種観測データの新規利用、及び利用手法の高度化
- ・ 進路予報精度向上
 - － 数値予報の精度向上、及び利用手法の高度化
 - － 予報の信頼度の表現方法の改善(予報円の改善)
- ・ 強度予報精度向上
 - － 数値予報の精度向上、及び統計モデルの改善・新規開発
 - － 急発達の予測精度の改善
 - － 強風域の予測情報の追加
- ・ 発生予報
 - － 5日先程度までの発生可能性情報の提供に向けた検討・開発

まとめ

- ・ 気象庁は、台風による災害に対して、早期に確実に備え、災害の軽減に資する各種情報の提供を行っています。
- ・ それに加え、国際的な枠組みの中で、北西太平洋と南シナ海の台風の監視・予報を行う責任を担っており、責任領域内の国や地域の台風予報及び気象防災を支援するため、情報の提供、技術支援、人材の育成等を行っています。
- ・ 台風の予報には、各種衛星観測、地上・海上観測、レーダー観測等、様々な観測データや、各種数値予報資料が活用されており、気象庁では、それらを有効に活用して予報精度を高めるための各種技術開発を行っています。
- ・ 台風による災害を軽減するための台風情報の改善は常にもとめられており、今後も、それに資する更なる予報精度向上を目指した技術開発を進めて行く必要があります。

台風発生予報

- ・ 発生予報の現状
 - ✓ 気象庁では、24時間以内に台風になると予想した熱帯低気圧の情報を発表
 - ✓ 他の海域では、何らかの形で2~5日程度先までの発生に関する予報を発表
- ・ 5日先程度までの発生可能性情報の提供に向けて
 - ✓ アンサンブル予報等を活用した予測手法の開発・検証
 - ✓ 情報の形式・内容等の検討

気象庁の発生予報(例)



米国の5日先までの発生予報(例)

