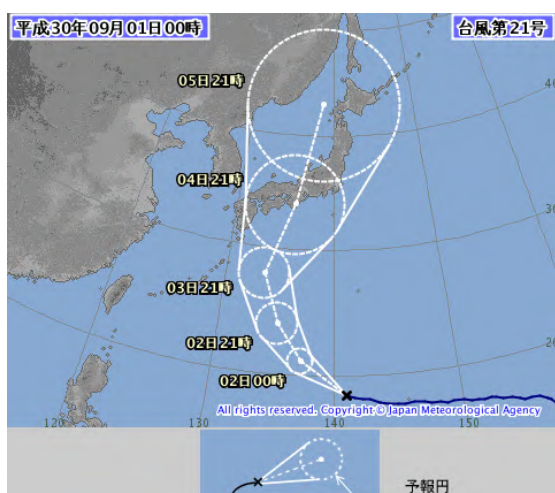


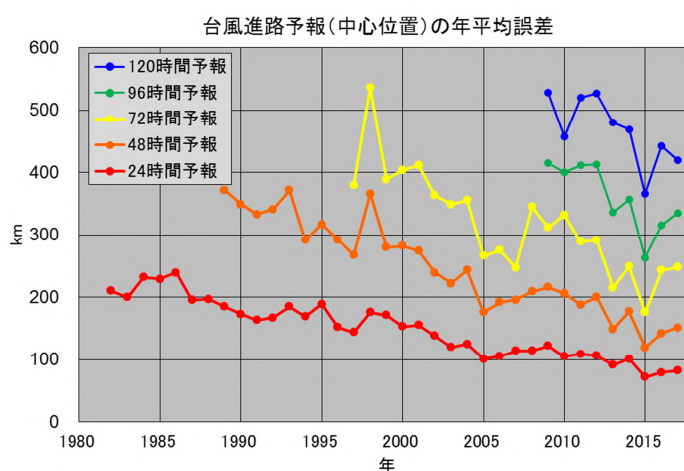
第6章 台風進路予報の高度化*

6.1 はじめに

気象庁は、北西太平洋にある台風に対して進路予報を実施しており、2009年に予報期間をそれまでの3日から5日に延長した(岸本, 2009)。進路予報は、第6.1.1図のように各予報時間の台風の中心位置が70%の確率で入ると予測される範囲を円(予報円)で示して発表している。予報円の中心は数値予報モデルの結果等を参考に決定し、半径は予測された進行方向や速度、アンサンブル予報システム(EPS)によるばらつき具合毎に、過去の統計から予め算出された値を用いている。気象庁では、数値予報モデルの改善や、進路予報に関する国際的動向を踏まえた予報手法及び現業作業手順の改善等を通じて、進路予報の改善を図ってきた。その結果、進路予報の精度は第6.1.2図のように着実に改善するとともに、予報円半径も縮小されている。本章では、進路予報に関する国際的動向、当庁における予報手法や現業作業手順の現状及び改善に向けた最近の取組についてまとめる。



第6.1.1図 5日進路予報の例

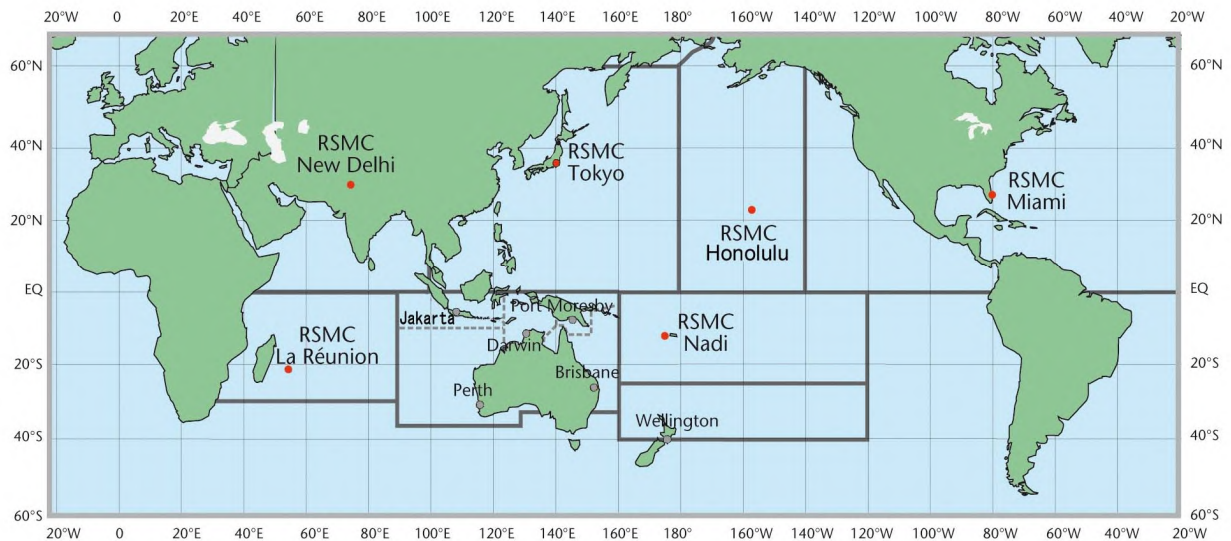


第6.1.2図 進路予報の年平均誤差の推移

6.2 国際的動向

気象庁は世界気象機関(WMO)の枠組のもと、北西太平洋の熱帯低気圧に関する地区特別気象センター(RSMC)に指名されており、台風解析・予報情報をリアルタイムで提供するなど、熱帯低気圧の解析・予報を行っているアジア太平洋の国や地域を支援している。第6.2.1図に示すように、世界には6つのRSMC(赤丸:東京、ニューデリー、ホノルル、マイアミ、レユニオン、ナンディ)と、それらを補完する6つの熱帯低気圧警報センター(TCWC)(灰色丸:パース、ダーウィン、ブリスベン、ポートモレスビー、ウェリントン、ジャカルタ)があり、それぞれの責任領域の熱帯低気圧に対する解析・予報情報をリアルタイムで提供している。本節では、各海域の責任機関(RSMC、TCWC)及び北西太平洋において気象庁(RSMC東京)以外に台風解析・予報を行っている4つの機関(米軍合同台風警報センター(JTWC)、中国気象局(CMA)、韓国気象庁(KMA)、香港天文台(HKO))から進路予報に関する情報を収集した結果を国際的動向として紹介する。情報収集にあたっては、WMO熱帯低気圧に関する国際ワークショップにおける報告資料(第8回: Elliott and Yamaguchi (2014)、第9回: Yamaguchi et al. (2018))や、各機関のHP等を参考にした。

*西村 修司、福田 純也(気象庁予報部予報課アジア太平洋気象防災センター)



第 6.2.1 図 各海域の責任機関

WMO の HP (<http://www.wmo.int/pages/prog/www/tcp/Advisories-RSMCs.html>) から引用。

6. 2. 1 進路予報期間と発表頻度

進路予報期間と発表頻度について、各海域の責任機関及び北西太平洋の各機関のものをそれぞれ第 6.2.1 表、第 6.2.2 表に示す。進路予報期間は気象庁も含め 5 日の機関が多い。RSMC ホノルル・マイアミでは、7 日への延長が検討され、部内では 7 日予報を実施しているが、精度がそれほどよくなく利用の仕方が難しいこと、台風が発生してから消滅するまでの台風期間の平均が 7 日よりも短いこと、強度予報の精度向上や発生予報の開発等の他の課題と比べて優先順位がそれほど高くないこと等の理由から、まだ部外発表には至っていない。発表頻度については、1 日 4 回が多いが、責任機関の自国に影響を及ぼす場合など、必要に応じてより高頻度に発表する機関が多い。

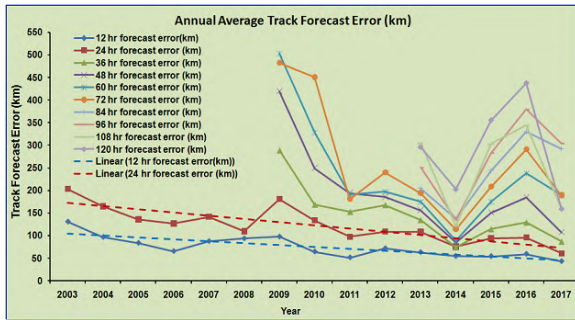
第 6.2.1 表 各海域の責任機関における進路予報期間と発表頻度

| 海域 | 機関 | 予報期間 | 発表頻度[1 日あたり] | 備考 |
|------------------|--------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|------------------------------------------|
| 北インド洋 | RSMC ニューデリー | 5 日 | 4 回 ※必要に応じて 8 回 | 2013 年に 3 日から 5 日に延長 |
| 北西太平洋 | RSMC 東京 | 5 日 | 8 回 ※1 日予報は 8 回 5 日予報は 4 回 | 2009 年に 3 日から 5 日に延長 |
| 中部太平洋 | RSMC ホノルル | 5 日 | 4 回 ※必要に応じて高頻度化 | 2003 年に 3 日から 5 日に延長 5 日から 7 日への延長を検討 |
| 北東太平洋 大西洋 | RSMC マイアミ | 5 日 | 4 回 ※必要に応じて高頻度化 | 2003 年に 3 日から 5 日に延長 5 日から 7 日への延長を検討 |
| 南インド洋 | RSMC レユニオン | 5 日 | 4 回 | 2010 年に 3 日から 5 日に延長 |
| 南太平洋 | RSMC ナンディ | 3 日 | 4 回 | |
| オーストラリア ア周辺海域 | TCWC パース・ダー ウィン・ブリスベン | 5 日 | 4 回 ※必要に応じて 8 回、24 回 | 2013 年に 3 日から 5 日に延長 |
| ニュージーラ ンド周辺海域 | TCWC ウェリントン | 1 日 ※ニュージーランドに 影響がある場合は 5 日 | 4 回 | |
| インドネシア 周辺海域 | TCWC ジャカルタ | 3 日 | 4 回または 8 回 | |

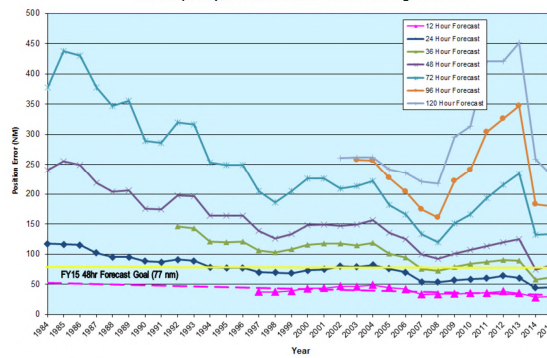
第 6.2.2 表 北西太平洋の各機関における進路予報期間と発表頻度

| 機関 | 予報期間 | 発表頻度[1日あたり] | 備考 |
|------|------|---------------------|----------------------------------|
| JTWC | 5日 | 4回 | |
| HKO | 5日 | 2回 ※必要に応じて8回、24回 | |
| CMA | 5日 | 4回 ※必要に応じて8回 | |
| KMA | 5日 | 4回 ※必要に応じて8回 | 2010年に3日から5日に延長 5日から7日への延長を検討 |

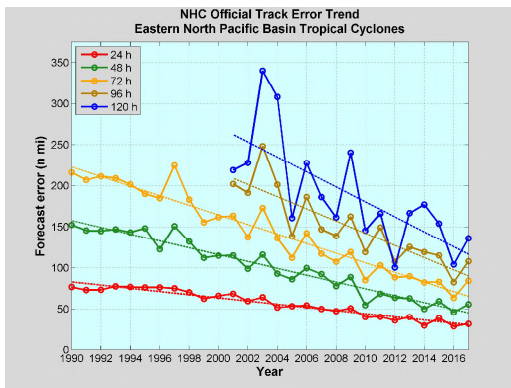
RSMC ニューデリー (北インド洋)



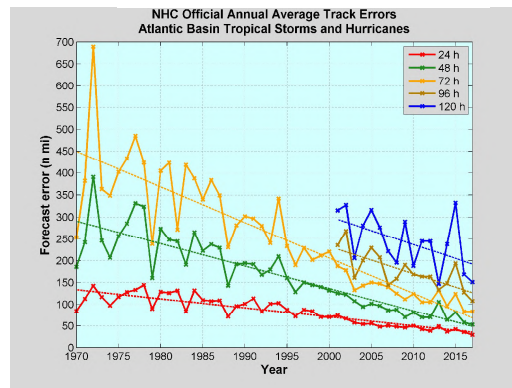
RSMC ホノルル (中部太平洋)



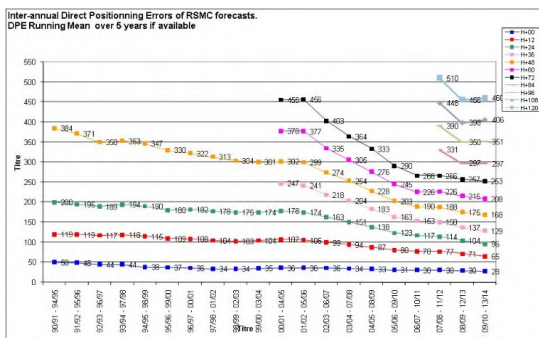
RSMC マイアミ (北東太平洋)



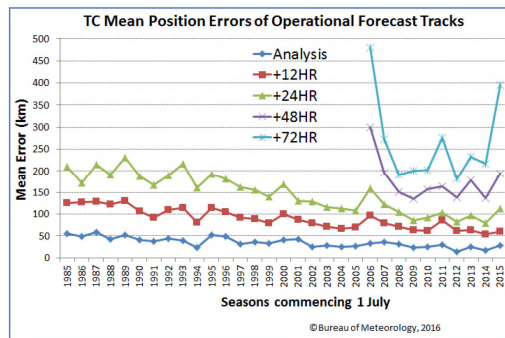
RSMC マイアミ (大西洋)



RSMC レユニオン (南インド洋)



TCWC パース・ダーウィン・ブリスベン (オーストラリア周辺)



第 6.2.2 図 各海域の責任機関における進路予報の年平均誤差の推移

RSMC ホノルルは第 8 回 WMO 熱帯低気圧 RSMC/TCWC 技術調整会合の報告資料 (http://www.wmo.int/pages/prog/www/tec/documents/Doc4.2-5_RSMC-Honolulu.pdf)、RSMC レユニオンは Elliott and Yamaguchi (2014)、その他は各機関の HP から引用。海域・機関によって横軸の期間、縦軸のスケールや単位が異なることに注意。

6. 2. 2 進路予報精度

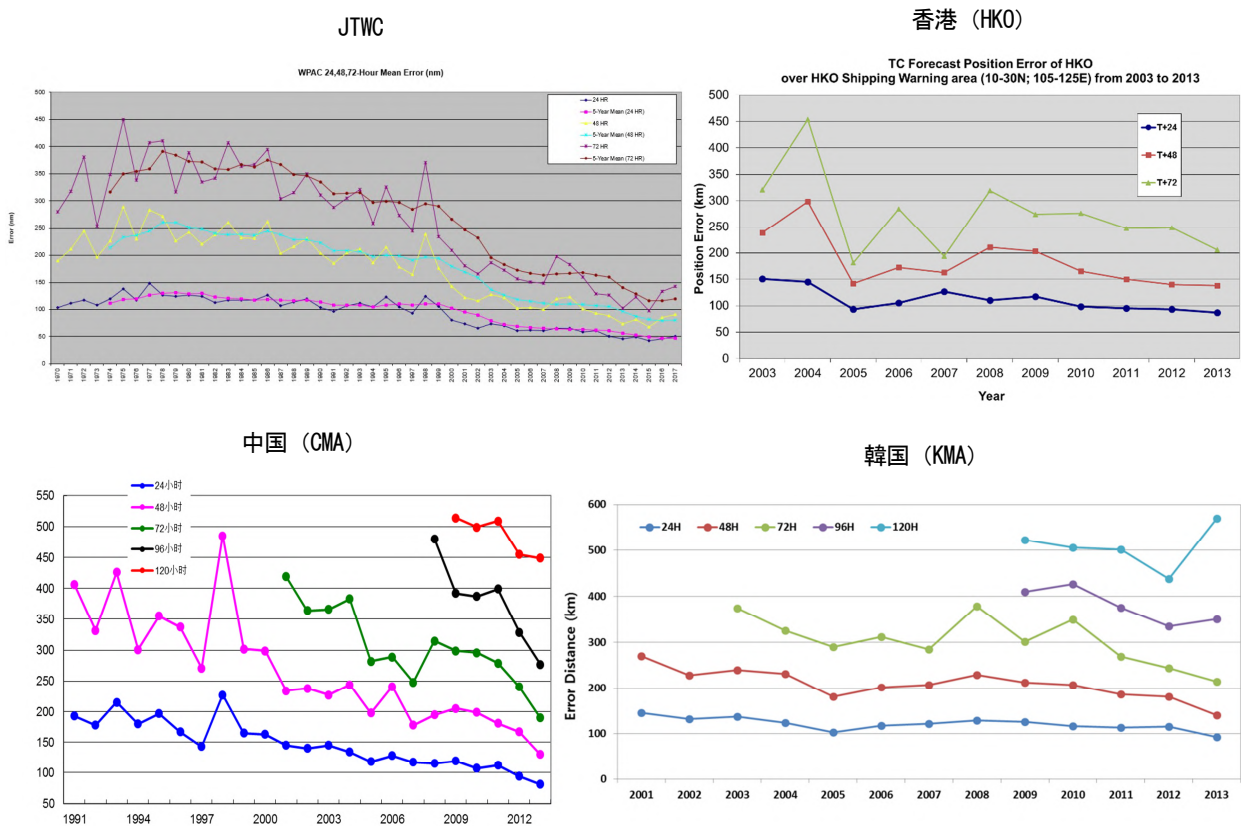
進路予報精度の推移について、各海域の責任機関及び北西太平洋の各機関のものをそれぞれ第 6. 2. 2 図、第 6. 2. 3 図に示す。主に熱帯低気圧の特性の違いに起因する年々変動はみられるものの、長期的にみれば、どの海域・機関についても精度が向上している。

6. 2. 3 進路予報精度向上の要因

進路予報精度向上の要因としては、進路予報に主に利用される数値予報モデルの精度向上及び利用手法の改善があげられる。以下、それぞれについて説明する。

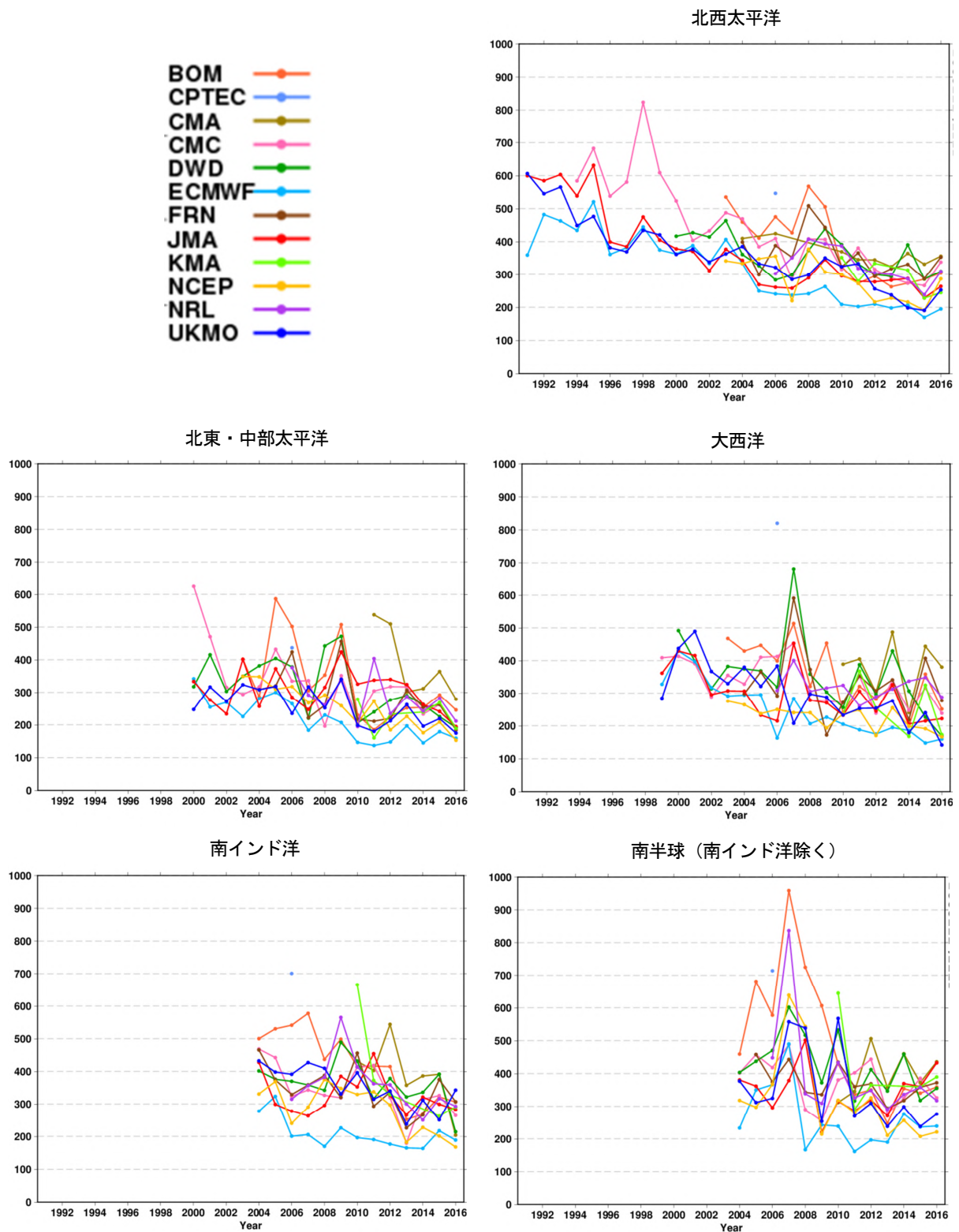
6. 2. 3. 1 数値予報モデルの精度向上

第 6. 2. 4 図に各海域での数値予報モデルによる 3 日進路予測の年平均誤差の推移を示す。熱帯低気圧の年間発生数が比較的少ない海域において年々変動が大きいものの、数値予報モデルの改良に伴い、各海域とも誤差が減少傾向にある。



第 6. 2. 3 図 北西太平洋の各機関における進路予報の年平均誤差の推移

HKO、CMA、KMA は Elliott and Yamaguchi (2014) から引用。JTWC は HP から引用。気象庁は第 6. 1. 2 図を参照。機関によって横軸の期間、縦軸のスケールや単位が異なることに注意が必要。



第 6. 2. 4 図 各海域での数値予報モデルによる 3 日進路予測の年平均誤差 [km] の推移

WMO 大気科学委員会及び世界気候研究計画合同科学委員会数値実験作業部会第 33 回会合における講演資料

(http://wgne2018.kishou.go.jp/files/PresentationFiles/1st_09Oct_Tuesday/TC_verification.pptx) から引

用。ただし、北インド洋は事例数が少ないため図略。

6. 2. 3. 2 数値予報モデルの利用手法の改善

各機関では数値予報モデルの利用手法の改善により進路予報の精度向上を実現している。

一つは、複数の数値予報モデルの進路予測結果を平均する手法（コンセンサス手法）の導入である。精度が高く独立性の高い数値予報モデルを活用するのが効果的で、特に長いリードタイムの予測では単独モデルの予測より精度が高くなる。以下にあげるコンセンサス手法が各機関の進路予報で現業利用されている。

- 単純コンセンサス手法：各数値予報モデルの進路予測結果を単純平均する手法
- 重み付けコンセンサス手法：各数値予報モデルの進路予測結果を精度等に応じて重み付けして平均する手法
- 選択的コンセンサス手法：最新の解析結果や直近の精度検証結果を用いて数値予報モデルを選択し、選択されたモデルの進路予測結果を平均する手法

一般的に各数値予報モデルの予測精度に応じて重み付けをすることで単純コンセンサス手法に対して数パーセント程度の精度向上が期待できる。しかし、各数値予報モデルは年々変更されること、また重み付けの効果はそれほど大きくないことから、コンセンサス手法を開発し、いち早く現業に導入した米国では主に単純コンセンサス手法を利用し、近年の進路予報の精度向上を実現している。

もう一つは、EPS の各メンバーの予測結果を平均する手法（アンサンブル平均手法）の導入である。長いリードタイムの予測においては、初期値等を変える前のコントロールメンバーよりも精度がよい傾向があるが、高解像度の決定論的数値予報モデル¹の予測より十分精度がよいとはいえない。この主な原因としては、EPS では計算機資源の制約から、決定論的数値予報モデルよりも低解像度の予測モデルを利用することが多く、強度や降水域の表現など台風の構造を粗くしか表現できていないことが考えられる。一方で、アンサンブル平均を求める際、台風の追跡に失敗したメンバー等を適切に除くことができれば精度が向上する可能性があり、今後調査する予定である。

6. 2. 4 不確実性の表現手法

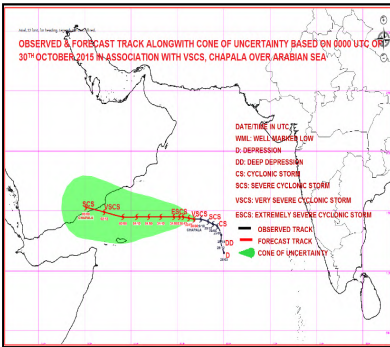
進路予報の不確実性を表現するため、気象庁は予報円を用いているが、各機関も様々な手法を用いている。各海域の責任機関における進路予報図及び不確実性の表現手法をそれぞれ第 6.2.5 図、第 6.2.3 表に、北西太平洋の各機関のものをそれぞれ第 6.2.6 図、第 6.2.4 表に示す。多くの機関で台風中心が 60～70%の確率で入る領域を円やコーン（以下、まとめて予報円と記す）で表現している。予報円の大きさについては、多くの機関が過去の予報誤差に基づき統計的に算出しているが、第 6.2.5 表に示すように、気象庁（RSMC 東京）、RSMC レユニオン、TCWC パース・ダーウィン・ブリスベンのみが、EPS のばらつき具合（スプレッド）の情報を活用して予報円の大きさを調整している。

6. 2. 5 アンサンブル予報の活用

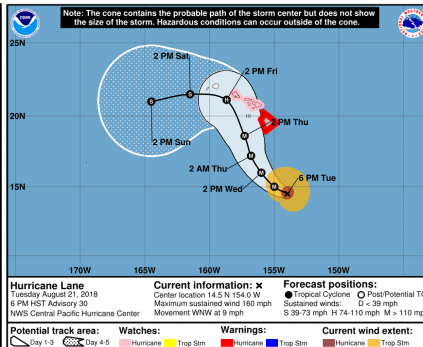
6.2.3 項で述べたように、EPS の結果を進路予報の位置決定に活用するのは、決定論的数値予報モデルよりも十分精度がよいとはいえない状況だが、多くの機関において予報の不確実性に関する情報、つまり予報の信頼度情報を得る目的で活用されている。例えば、第 6.2.7 図の左図のようにスプレッドが小さい事例では、予報の不確実性が低く、予報の信頼度が高いという情報が得られるし、右図のようにスプレッドが大きい事例では、予報の不確実性が高く、予報の信頼度が低いという情報が得られる。

¹ EPS のように複数の予測結果を出力するのとは対比して、1つの予測結果のみを出力する通常の数値予報モデルのことを決定論的数値予報モデルと呼ぶことがある。

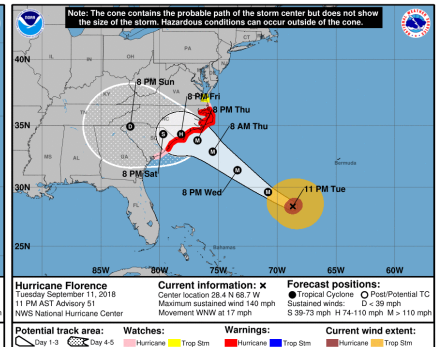
RSMC ニューデリー
(北インド洋)



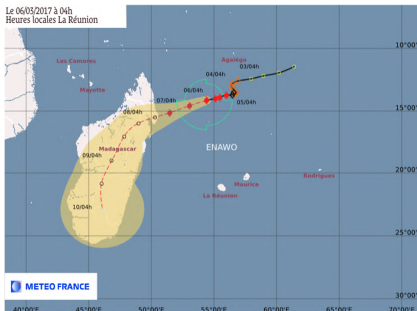
RSMC ホノルル
(中部太平洋)



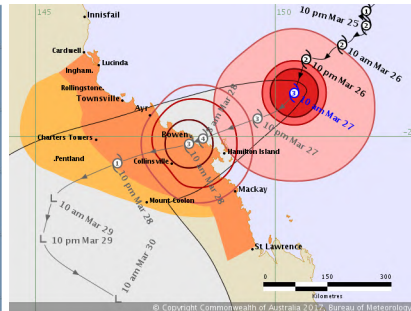
RSMC マイアミ
(北東太平洋・大西洋)



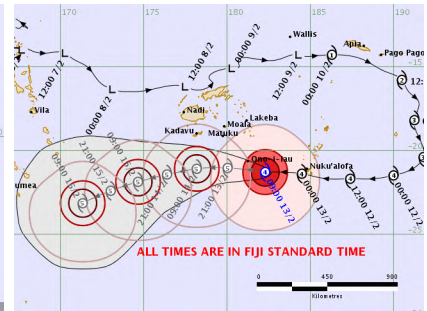
RSMC レユニオン
(南インド洋)



TCWC パース・ダーウィン・ブリスベン
(オーストラリア周辺)

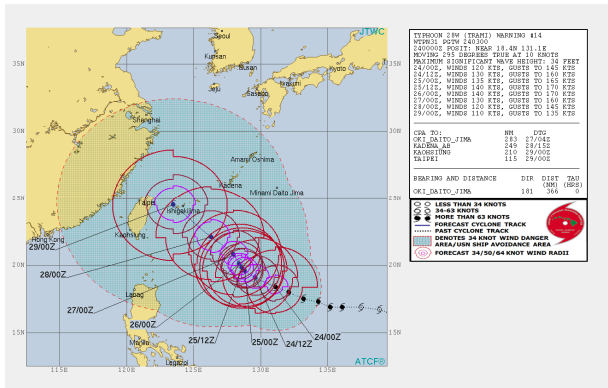


RSMC ナンディ
(南太平洋)

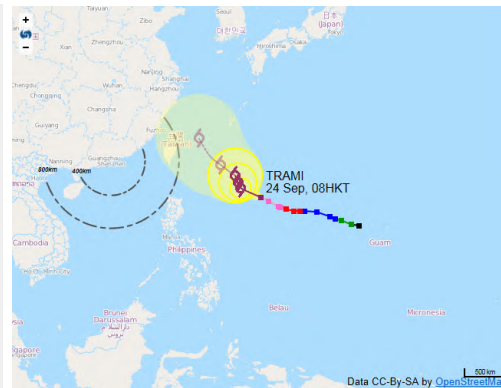


第 6.2.5 図 各海域の責任機関における進路予報図

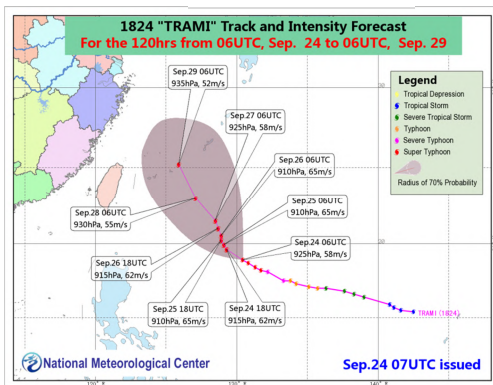
JTWC



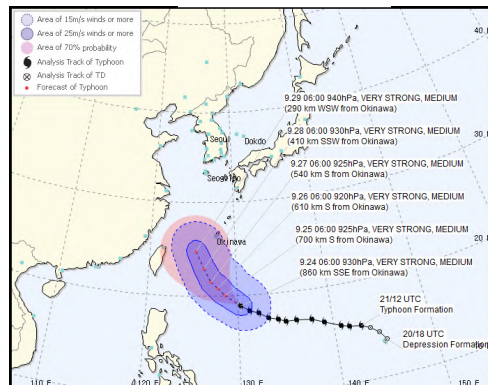
香港 (HKO)



中国 (CMA)



韓国 (KMA)



第 6.2.6 図 北西太平洋における各機関の進路予報図

第 6.2.3 表 各海域の責任機関における不確実性の表現手法

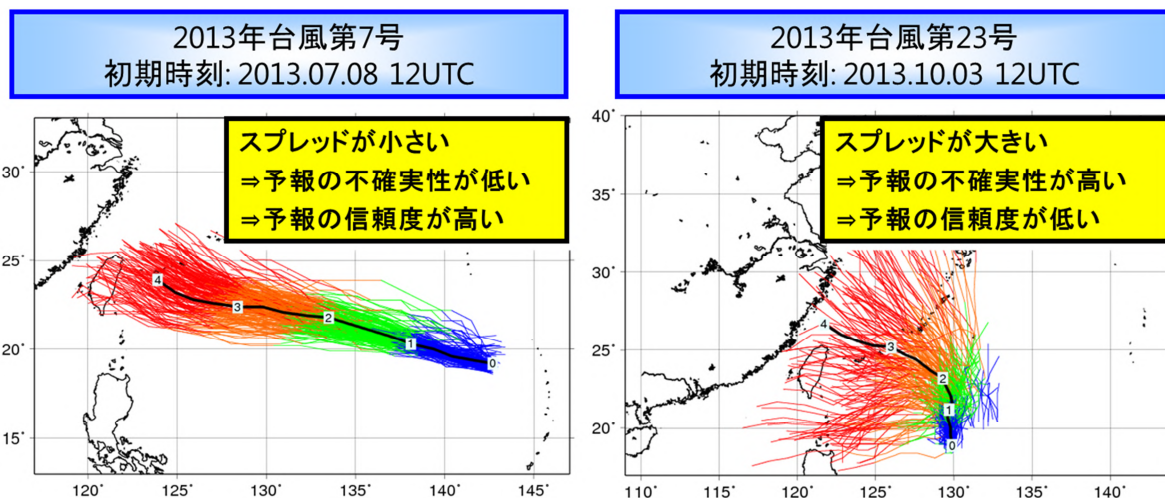
| 海域 | 機関 | 手法 | 定義 |
|-----------------|--------------------------|-----|--------------------|
| 北インド洋 | RSMC ニューデリー | コーン | 台風中心が 72% の確率で入る領域 |
| 北西太平洋 | RSMC 東京 | 円 | 台風中心が 70% の確率で入る領域 |
| 中部太平洋 | RSMC ホノルル | コーン | 台風中心が 67% の確率で入る領域 |
| 北東太平洋 大西洋 | RSMC マイアミ | コーン | 上記と同じ |
| 南インド洋 | RSMC レユニオン | コーン | 台風中心が 75% の確率で入る領域 |
| オーストラリア 周辺海域 | TCWC パース・ダー ウィン・ブリスベン | コーン | 台風中心が 70% の確率で入る領域 |
| 南太平洋 | RSMC ナンディ | コーン | 情報なし |

第 6.2.4 表 北西太平洋の各機関における不確実性の表現手法

| 機関 | 手法 | 定義 |
|------|------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| JTWC | エラー帯 | 最大風速 34kt 半径の予報に 5 年移動平均の進路予報誤差を加えた領域。 ただし、96/120 時間予報では 34kt 半径を予報しないため、72 時間 34kt 半径に当該時刻の進路予報誤差を加えた領域。 |
| HKO | コーン | 台風中心が 70% の確率で入る領域 |
| CMA | コーン | 台風中心が 70% の確率で入る領域 |
| KMA | コーン | 台風中心が 70% の確率で入る領域 |

第 6.2.5 表 各機関の予報円の算出手法

| 海域 | 機関 | 手法 | 予報円の算出手法 |
|-----------------|--------------------------|-----|---------------------------------------------------------------------------------|
| 北西太平洋 | RSMC 東京 | 円 | 3 日予報までは過去の予報誤差に基づき算出、4 日・5 日予報のみ気象庁の EPS のアンサンブルスプレッドを活用して算出。 |
| 南インド洋 | RSMC レユニオン | コーン | 台風予報官が気候学的予報円か、ECMWF の EPS のアンサンブルスプレッドに基づいた予報円を選択。後者を選ぶ場合が多い。 |
| オーストラリア 周辺海域 | TCWC パース・ダーウ イン・ブリスベン | コーン | デフォルトは、過去の予報誤差に基づく気候学的予報円。台風予報官が総観規模スティアリングメカニズム、コンセンサススプレッド、アンサンブルスプレッドに基づき調整。 |



第 6.2.7 図 アンサンブル予報活用による信頼度情報

6. 3 気象庁の最近の取組及び現状

本節では、進路予報に関する気象庁の最近の取組及び現状として、コンセンサス手法の導入及びさらなる数値予報モデル利用手法の高度化に向けた調査、予報円に関して 2016 年と 2017 年に実施した見直し及び 2019 年の台風シーズン前に予定している見直し、現状の現業作業手順について述べる。

6. 3. 1 コンセンサス手法の導入

6. 3. 1. 1 コンセンサス手法の先行調査

気象庁の進路予報は、2014 年までは主に気象庁の数値予報モデルの予測結果を基にしていたが、6.2 節で述べた国際的状況を踏まえ、2014 年に気象研究所が「選択的アンサンブル平均手法による台風予測に関する研究」(Nishimura and Yamaguchi, 2015 ; 西村, 2015) を実施した。同研究において、海外数値予報モデルの入手可能時刻も考慮した「単純コンセンサス手法(初期誤差補正²あり)」を用いて 2010～2013 年のデータに対して進路予測の精度検証を行った結果、同手法の有効性が示された。なお選択的コンセンサス手法の有効性は、スプレッドが大きい場合に若干改善したのみで限定的であった。

6. 3. 1. 2 コンセンサス手法の導入

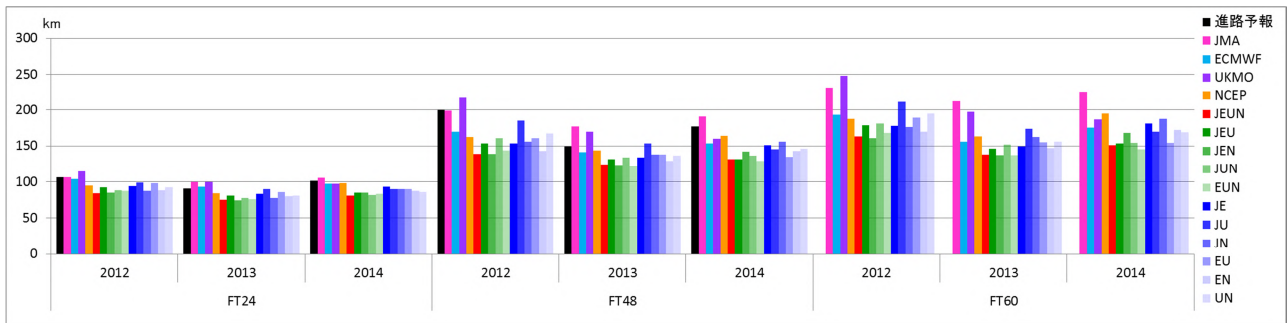
この先行調査の結果を基に、予報部予報課において 2012～2014 年の気象庁(JMA)・欧州中期予報センター(ECMWF)・米国環境予測センター(NCEP)・英国気象局(UKMO)の主要な 4 つの数値予報センターの全球数値予報モデルを利用し、コンセンサス手法の有効性を再検証した。その結果、第 6.3.1 図のように 4 モデルの単純コンセンサス手法(初期誤差補正あり：赤色)が全ての予報時間で安定して精度が高い結果が得られたことから、2015 年は同手法を主に利用することとした。また、毎年度末に検証を実施し次年度に利用するモデル・手法を見直すこととした。なお、気象庁の進路予報は、同手法の結果をそのまま利用するわけではなく、あくまで第一候補として利用し、予報官がコンセンサス手法で利用する数値予報モデルを取捨選択したり、前回予報からの変化や過去の知見など様々な点を考慮して調整したりしている(6.3.3 参照)。

6. 3. 1. 3 コンセンサス手法導入後の精度

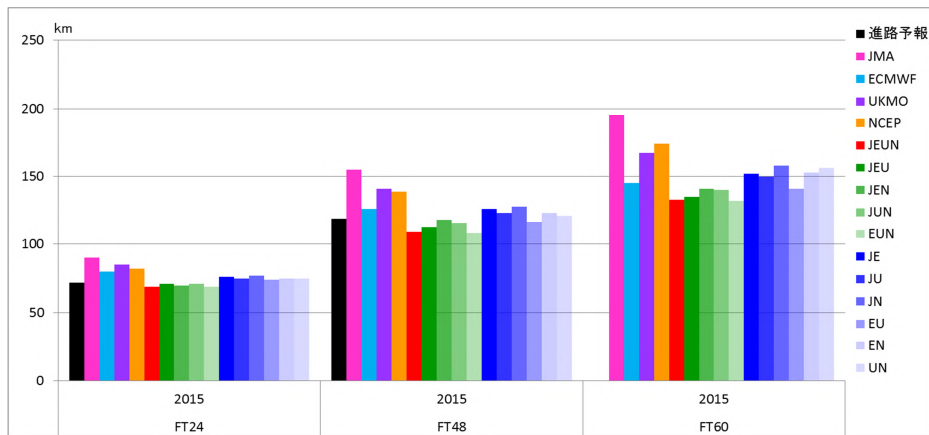
気象庁の進路予報は、2014 年までは主に気象庁の数値予報モデルの予測結果を基にしていたため、第 6.3.1 図でもわかるように精度は気象庁モデルと同程度であり、主要 4 モデルのコンセンサス手法の精度と比べて悪かったが、コンセンサス手法を導入した 2015 年の検証結果(第 6.3.2 図)をみると、気象庁の進路予報が気象庁モデルよりも大きく改善していることがわかる。また、その後も主要 4 モデルのコンセンサス手法の精度が最もよいことが確認されたことから、2016 年以降も同手法を主に利用している。第 6.1.2 図の気象庁の進路予報精度の推移をみると、2015 年にコンセンサス手法を導入して前年に比べて大きく精度が向上したが、その後 2016 年、2017 年とやや悪化している。これは、進路予報の精度はその年の台風の特徴に起因する年々変動の影響を受けるため、精度向上しているかどうかをみるためには、それらの影響を除く必要がある。例えば、2015 年はエルニーニョの影響で、台風が通常よりも東の海上で発生し、西～北西方向に速度をあまり変えずに長期間にわたり進む台風が多かったため、進路予報が容易な台風が多い年だった。そのような影響を除くため、第 6.3.3 図に、24、48 時間予報について、直前の 12 時間の移動から

² 気象庁の台風予報作業では、観測時刻から 50 分以内に台風の解析・予報電文を発信するため、例えば 09 時の予報作業には、03 時または前日 21 時の各機関の数値予報モデルを利用する。しかし 09 時の実況解析の中心位置と 03 時の 6 時間予報または前日 21 時の 12 時間予報の位置には少なからず誤差が発生するため、09 時の実況解析の位置と数値予報モデルの予測位置の差を、数値予報モデルの全予報期間の予測位置に加える処理のことを「初期誤差補正」と呼ぶ。

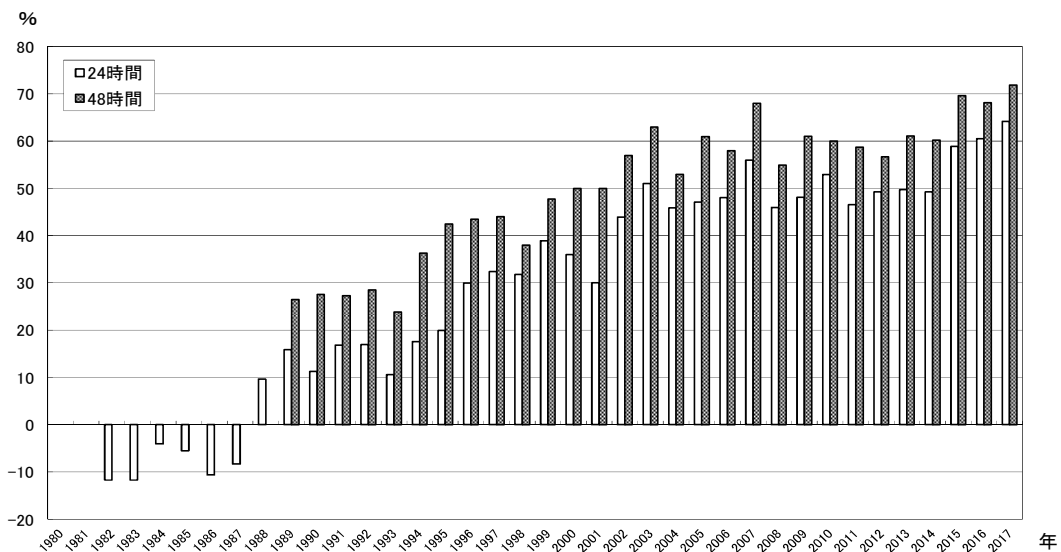
単純外挿した持続予報からの改善率を示す。2015 年～2017 年は、24、48 時間予報ともに改善率が 2014 年以前の改善率を上回っており、予報精度の向上が確認できる。



第 6.3.1 図 2012～2014 年の気象庁の進路予報と各数値予報モデルの進路予測結果の全ての組合せに対する精度検証結果
 左が 24 時間、中が 48 時間、右が 60 時間予報の結果。組合せは利用モデルの頭文字を並べて表示する。例えば、4 つのモデルの組合せは JEUN と表す。



第 6.3.2 図 2015 年の気象庁の進路予報と各数値予報モデルの進路予測結果の全ての組合せに対する精度検証結果
 表記は第 6.3.1 図と同様。

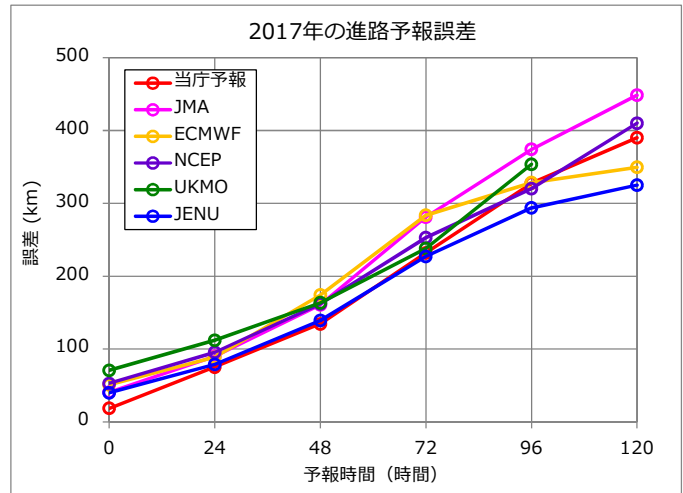


第 6.3.3 図 気象庁の進路予報の持続予報からの改善率の推移

白色が 24 時間予報、ハッチが 48 時間予報を表す。

6. 3. 1. 4 数値予報モデル利用手法の高度化に向けた調査

2017年の気象庁の進路予報、各主要4モデル及びそれらのコンセンサス手法の進路予測精度を第6.3.4図に示す。2015年に導入した単純コンセンサス手法（青色）は、非常に単純な手法だが、各主要4モデルのいずれよりも精度がよく非常に有効な手法である。一方で、2017年の北西太平洋の各機関の進路予報精度をみると、北西太平洋の他の機関も同様の手法を利用していると考えられ、精度にはあまり差がみられない（図略）。そこで、さらなる精度向上を図り他の機関に差をつけるべく、2017年度末から2015年～2017年の3年分のデータを用いて、数値予報モデルの利用手法高度化に向けた調査を開始した。



第6.3.4図 2017年の精度検証結果

当庁の進路予報、各主要4モデル及びそのコンセンサス（JENU）を示す。

まず、現状、進路予報に利用できる各機関の単独モデル、それらのコンセンサス、各機関のEPSのアンサンブル平均及びそれらの初期誤差補正の有無といった既存資料のポテンシャルを把握するため、各時刻で最適な資料を選択できた場合の誤差について調査した。その結果、全ての資料のうち予報時間毎に最適な資料を選択できた場合は、3年平均誤差が概ね1日後30km、3日後100km、5日後200kmとなり、資料を単独モデルとそれらのコンセンサスに限定し、かつ全予報期間で同じ資料しか選択できない場合でも、1日後50km、3日後150km、5日後350kmとなった。事前の情報から最適な資料を選択する手法が見出せれば、気象庁の進路予報誤差の概ね1日後80km、3日後200km、5日後400kmを大きく改善できる可能性がある。

そのような手法を見出すため、以下の調査を実施した。

- 初期誤差補正による効果の予報時間後半への持続性
- 初期誤差が大きいメンバーを除外・補正した場合の誤差
- 予測誤差が大きいメンバーを除外した場合の誤差
- メンバー間の重み付けを最適化した場合の誤差
- 直近の最適なメンバー間の重み付けを適用した場合の誤差

その結果、これらの事前情報とその後の誤差の間の相関がそれほど大きくないため、誤差が十分小さくなる手法は見出せなかった。一方で、これらの調査において3年間一貫して精度が良かった手法は、主要4モデルの単純コンセンサス（24時間先までは初期誤差補正を実施）手法であったため、2018年にはその手法を採用した。今後も引き続き以下のような調査を行い、数値予報モデル利用手法の高度化に繋げたい。

- 誤追跡事例の除去（検証の土台としても必要）
- 台風の存在位置、進行方向・速度、強度によるクラス分け
- モデルの予測が大きく変化した場合の利用手法

6.3.2 予報円の見直し

6.3.2.1 従来の予報円

1997年に3日先までの進路予報を開始して以降、72時間先までの予報円半径は、進行方向と速度による区分毎に、過去の予報誤差の検証結果に基づいて算出していた。それ以降、2000年、2004年、2008年に最新の検証結果に基づいて半径の見直しを行い、特に2008年に行った見直しでは2004年から2007年の検証結果に基づいて予報円半径を算出した。

なお、96、120時間先の予報円半径については、2009年に5日先までの進路予報を開始した際、台風アンサンブル予報システム（TEPS）の積算スプレッドに基づく信頼度³毎に2004年～2007年の検証結果に基づいて算出した。その後、TEPSのメンバー数の11から25への増強や水平解像度の55kmから40kmへの高解像度化等の大幅な改良に伴い、2011年から2013年の試験結果に基づいて2014年3月に半径を見直した。

これらの72時間先まで、96、120時間先の予報円半径の見直しを反映した2016年1月時点での半径を第6.3.1表に示す。

第6.3.1表 2016年1月時点での予報円半径【海里】

| 予報時間 [時間] | 進行方向 ⁴ | 進行速度 V | | |
|--------------|-------------------|-----------|-------------------|-----------|
| | | V ≤ 10 kt | 10 kt < V ≤ 30 kt | V > 30 kt |
| 3 | 全方向 | 20 | 20 | 35 |
| 6 | 全方向 | 30 | 30 | 50 |
| 9 | 全方向 | 40 | 40 | 70 |
| 12 | 全方向 | 50 | 50 | 85 |
| 15 | 北西方向 | 55 | 55 | 95 |
| | その他方向 | 60 | 60 | |
| 18 | 北西方向 | 60 | 65 | 110 |
| | その他方向 | 70 | 70 | |
| 21 | 北西方向 | 65 | 70 | 120 |
| | その他方向 | 75 | 75 | |
| 24 | 北西方向 | 70 | 75 | 130 |
| | その他方向 | 85 | 85 | |
| 48 | 北西方向 | 110 | 140 | 210 |
| | その他方向 | 160 | 180 | |
| 72 | 北西方向 | 160 | 210 | 325 |
| | その他方向 | 220 | 250 | |

| 予報時間 [時間] | 積算スプレッドに基づく信頼度 ⁵ | | | | |
|--------------|-----------------------------|-----|-----|-----|-----|
| | A | A' | B | B' | C |
| 96 | 200 | 240 | 280 | 350 | 425 |
| 120 | 250 | 300 | 375 | 450 | 500 |

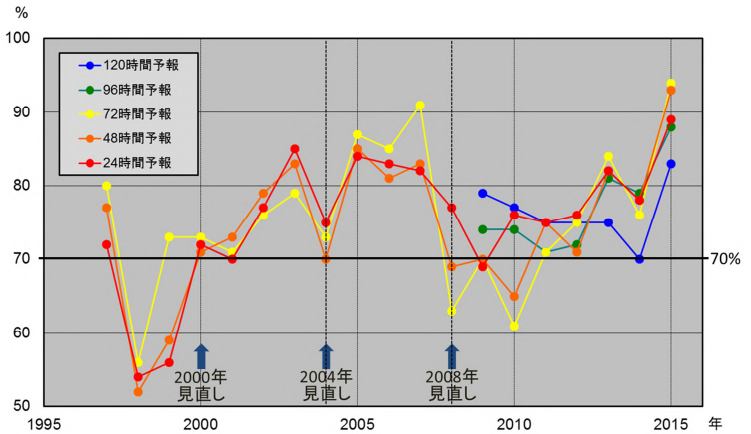
³ スプレッドは、ある予報時間の不確実性を表すものとして6時間間隔の予報時間毎に求め、積算スプレッドは、ある予報時間までの不確実性の履歴を表すものとして初期時刻からその予報時間までの6時毎のスプレッドを積算して求める。信頼度は、予報時間毎に統計期間全ての積算スプレッドを小さいものから並べ、事例数が40%、40%、20%の割合で入る区分をそれぞれ信頼度A（高）、B（中）、C（低）と定義する。

⁴ 全方向、北西方向、その他方向は、北方向0度からの時計回りを正方向として、それぞれ0～359度、260～359度、0～259度を表す。

⁵ 信頼度A'、B'は、A、B、Cのみの場合に半径が急激に変化するのを緩和するため、補完区分として導入した。

6. 3. 2. 2 2016年の予報円見直し

第 6.1.2 図に示すように、2008 年以降、数値予報モデルの精度向上や数値予報モデルの利用手法の改善等に伴い進路予報の精度が向上してきた。その結果、第 6.3.5 図に示すように、台風中心が予報円に入る確率が 70% を大きく超えるようになってきた。また、これまで、72 時間までと 96 時間以降で予報円半径の算出方法が異なっていたため、予報円半径の時間変化が不自然な場合があり、予報官が実際に想定される予報の不確実性に応じて半径を調整する場合



第 6.3.5 図 台風中心が予報円に入る確率の推移

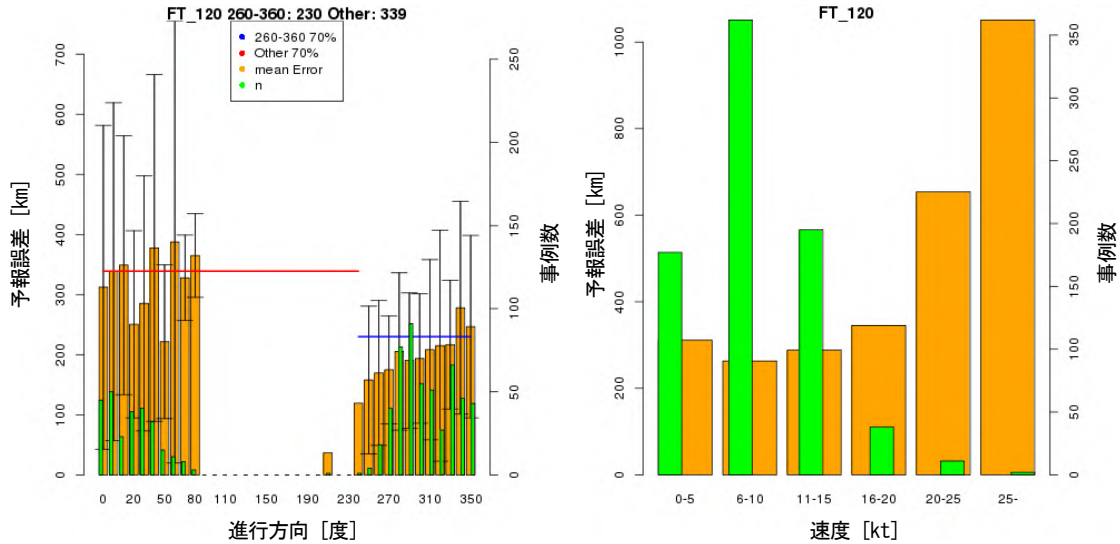
があった。これらの問題に対処するため、2016 年に最新の予報誤差の検証結果を用いて予報円半径の見直しを実施した。

まず、2011 年から 2015 年の予報誤差の検証を行った。第 6.3.2 表に台風の進行方向と速度による区分別に予報誤差の 70% 値から求めた予報円半径を示す。また、第 6.3.6 図に予報誤差の進行方向と速度との関係を示す。これらから、半径は速度が大きくなるとともに徐々に大きくなること、進行方向がその他方向のときに大きくなること、予報時間が 15 時間以降で速度が 30 kt を超える事例が少ないことがわかる。

第 6.3.2 表 2011 年から 2015 年までの予報誤差の検証結果に基づく予報円半径 [海里] ()内は事例数

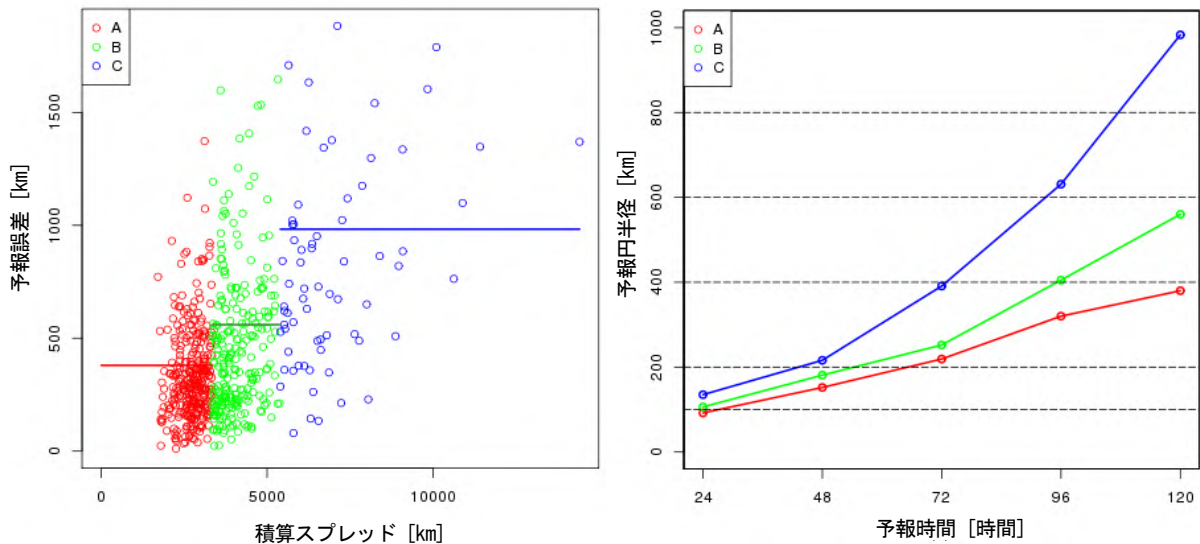
| 予報時間 [時間] | 進行方向 | 進行速度 V | | |
|--------------|-------|-----------|-------------------|-----------|
| | | V ≤ 10 kt | 10 kt < V ≤ 30 kt | V > 30 kt |
| 3 | 全方向 | 13 (251) | 19 (295) | 37 (30) |
| 6 | 全方向 | 21 (229) | 24 (285) | 31 (28) |
| 9 | 全方向 | 26 (227) | 31 (262) | 36 (26) |
| 12 | 全方向 | 36 (842) | 42 (1070) | 42 (26) |
| 15 | 北西方向 | 29 (106) | 37 (87) | 52 (23) |
| | その他方向 | 41 (95) | 53 (145) | |
| 18 | 北西方向 | 32 (109) | 46 (68) | 51 (20) |
| | その他方向 | 37 (81) | 61 (150) | |
| 21 | 北西方向 | 36 (91) | 47 (73) | 51 (18) |
| | その他方向 | 41 (83) | 71 (139) | |
| 24 | 北西方向 | 55 (1059) | 60 (673) | 49 (21) |
| | その他方向 | 59 (401) | 79 (324) | |
| 48 | 北西方向 | 96 (888) | 106 (447) | 67 (2) |
| | その他方向 | 113 (326) | 146 (189) | |
| 72 | 北西方向 | 130 (644) | 139 (316) | 299 (1) |
| | その他方向 | 166 (317) | 222 (149) | |
| 96 | 北西方向 | 191 (488) | 212 (195) | - (0) |
| | その他方向 | 234 (264) | 305 (126) | |
| 120 | 北西方向 | 228 (341) | 250 (134) | - (0) |
| | その他方向 | 331 (198) | 361 (112) | |

次に、TEPS 改良後の 2014 年から 2015 年のデータに対して、予報誤差と積算スプレッドの関係を調査した。第 6.3.7 図に積算スプレッドと予報誤差の散布図及び予報時間毎の予報円半径と信頼度との関係を示す。これらから、予報誤差と TEPS の積算スプレッドにはよい相関があること、また、信頼度が低いほど予報円半径が大きく、信頼度間での分離度が大きいことから予報円半径と信頼度にもよい相関があることがわかる。



第 6.3.6 図 予報誤差の進行方向と速度との関係

120 時間予報に対して、左は進行方向、右は速度との関係を示す。オレンジ色と緑色はそれぞれ平均誤差と事例数、赤線と青線はそれぞれその他方向と北西方向の 70% 予報円半径を示す。



第 6.3.7 図 予報誤差と TEPS 積算スプレッドとの関係

(左図) 120 時間予報に対する積算スプレッドと予報誤差の散布図。横線は信頼度毎の 70% 予報円半径を示す。

(右図) 予報時間に対する信頼度毎の予報円半径を示す。両図とも赤、緑、青色はそれぞれ信頼度 A、B、C を示す。

最後に、上記 2 つの検証結果の組合せとして、2014 年～2015 年の期間に対して、台風の進行方向と速度による区分を、さらに TEPS による信頼度 A～C で区分した検証結果を第 6.3.3 表に示す。さらに、以下の関係を基に、現業作業の複雑化を防ぐ観点から半径の選択肢を出来る限り減らすため、いくつかの区分の統合を行った。

- 同じ速度・信頼度の場合の進行方向による予報誤差の違いは比較的大きい
- 同じ進行方向・信頼度の場合の速度による予報誤差の違いは比較的小さい（その他方向信頼度 AB を除く）
- 同じ進行方向・速度の場合の信頼度 A と B の予報誤差の違いは比較的小さい

結果として、信頼度 A と B を統合し、その他方向信頼度 AB の場合以外は速度による区分分けをしないこととした。

第 6.3.4 表に最終的な予報円半径、第 6.3.8 図に予報円半径の変化例を示す。本見直しにより、予報円半径は一部の例外を除き概ね 20%～40%小さくなった。また、TEPS 積算スプレッドに基づく信頼度区分については、現業システムの制約により、これまでと同様 96、120 時間予報のみに導入した。一方で、96、120 時間予報に新たに進行方向と速度による区分を導入したことにより、第 6.3.9 図に示すように、予報円半径の不自然な時間変化が一部解消した。

本見直しは 2016 年 6 月から導入され、2016 年台風第 1 号から適用された。台風中心が予報円に入る確率の推移について、2016 年を含んだものを第 6.3.10 図に示すが、本見直しの効果もあり確率が小さくなって 70%に近づいており、より適切になっていることがわかる。

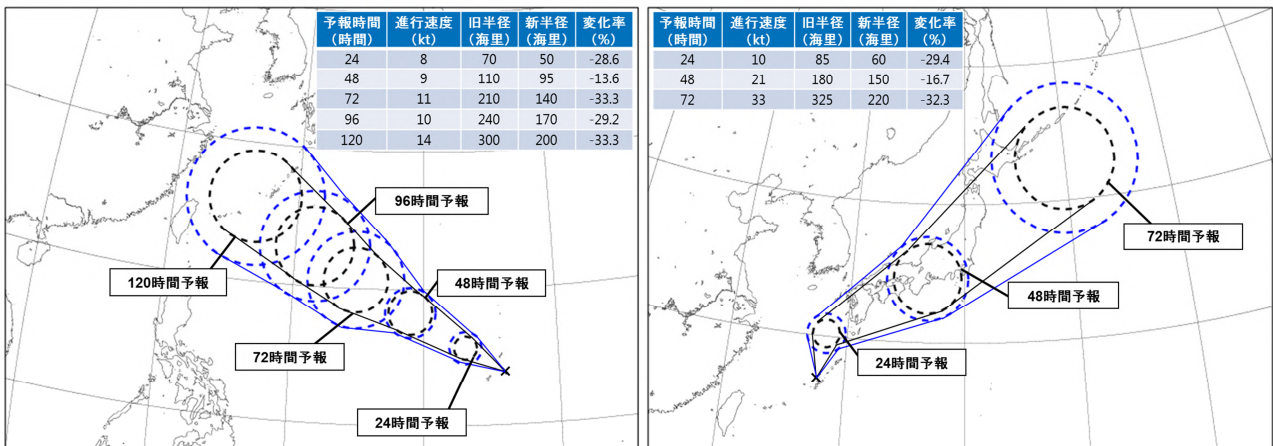
第 6.3.3 表 2014 年から 2015 年までの予報誤差の検証結果に基づく予報円半径 [海里] ()内は事例数

| 予報時間 [時間] | 進行方向 | V ≤ 10 kt | | | V > 10 kt | | |
|--------------|-------|-----------|-----------|----------|-----------|-----------|----------|
| | | A | B | C | A | B | C |
| 24 | 北西方向 | 42 (224) | 59 (199) | 67 (61) | 55 (146) | 54 (171) | 75 (47) |
| | その他方向 | 48 (104) | 60 (63) | 73 (27) | 65 (56) | 57 (63) | 78 (51) |
| 48 | 北西方向 | 78 (251) | 95 (162) | 119 (46) | 73 (113) | 92 (137) | 110 (28) |
| | その他方向 | 91 (81) | 100 (68) | 170 (30) | 103 (34) | 125 (68) | 102 (36) |
| 72 | 北西方向 | 112 (204) | 123 (116) | 167 (30) | 109 (102) | 124 (118) | 147 (10) |
| | その他方向 | 140 (79) | 152 (68) | 242 (35) | 155 (37) | 150 (59) | 241 (36) |
| 96 | 北西方向 | 157 (175) | 192 (98) | 235 (24) | 169 (84) | 197 (71) | 265 (1) |
| | その他方向 | 190 (73) | 240 (68) | 434 (20) | 269 (22) | 242 (61) | 435 (46) |
| 120 | 北西方向 | 185 (142) | 271 (77) | 367 (14) | 197 (83) | 252 (47) | 78 (1) |
| | その他方向 | 253 (54) | 283 (55) | 536 (18) | 287 (35) | 365 (72) | 711 (36) |

第 6.3.4 表 2016 年の予報円見直し後の予報円半径 [海里] ()内は信頼度

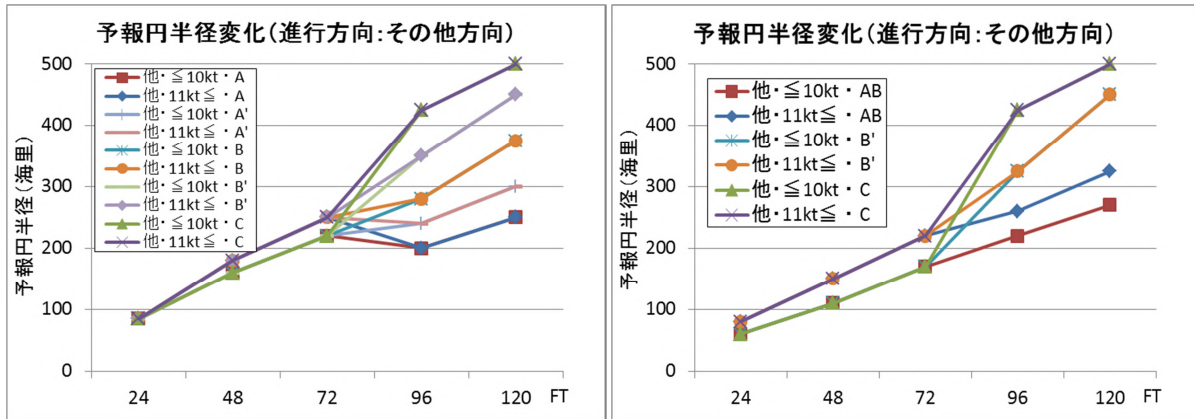
信頼度 B' は、AB、C のみの場合に半径が急激に変化するのを緩和するため、補完区分として導入した。

| 予報時間 [時間] | 進行方向 | 速度 V | | |
|--------------|-------|-------------------------------|-------------------|-------------------------------|
| | | V ≤ 10 kt | 10 kt < V ≤ 30 kt | V > 30 kt |
| 3 | 全方向 | 15 | 20 | 25 |
| 6 | 全方向 | 20 | 25 | 30 |
| 9 | 全方向 | 25 | 30 | 35 |
| 12 | 全方向 | 30 | 40 | |
| 15 | 北西方向 | 35 | 45 | |
| | その他方向 | 40 | 50 | |
| 18 | 北西方向 | 40 | 50 | |
| | その他方向 | 45 | 60 | |
| 21 | 北西方向 | 45 | 55 | |
| | その他方向 | 50 | 70 | |
| 24 | 北西方向 | 50 | 60 | |
| | その他方向 | 60 | 80 | |
| 48 | 北西方向 | 95 | 110 | |
| | その他方向 | 110 | 150 | |
| 72 | 北西方向 | 130 | 140 | |
| | その他方向 | 170 | 220 | |
| 96 | 北西方向 | 170 (AB) / 240 (C) | | 170 (AB) / 240 (C) |
| | その他方向 | 220 (AB) / 325 (B') / 425 (C) | | 260 (AB) / 325 (B') / 425 (C) |
| 120 | 北西方向 | 200 (AB) / 350 (C) | | 200 (AB) / 350 (C) |
| | その他方向 | 270 (AB) / 450 (B') / 600 (C) | | 325 (AB) / 450 (B') / 600 (C) |



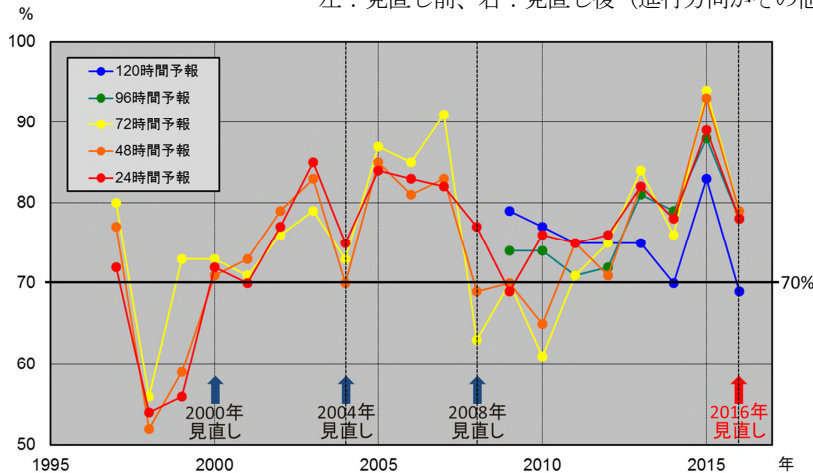
第 6.3.8 図 2つの進行方向の台風に対する予報円半径の変化例

見直し前の予報円を青色で、見直し後の予報円を黒色で表す。左図は北西方向に進んでいた 2015 年第 9 号の 2015 年 7 月 5 日 03 時の事例、右図はその他方向に進んでいた 2014 年第 19 号の 2014 年 10 月 12 日 03 時の事例。



第 6.3.9 図 2016 年の予報円見直し前後の半径の予報時間に対する変化

左：見直し前、右：見直し後（進行方向がその他方向の場合）



第 6.3.10 図 2016 年までの台風中心が予報円に入る確率の推移

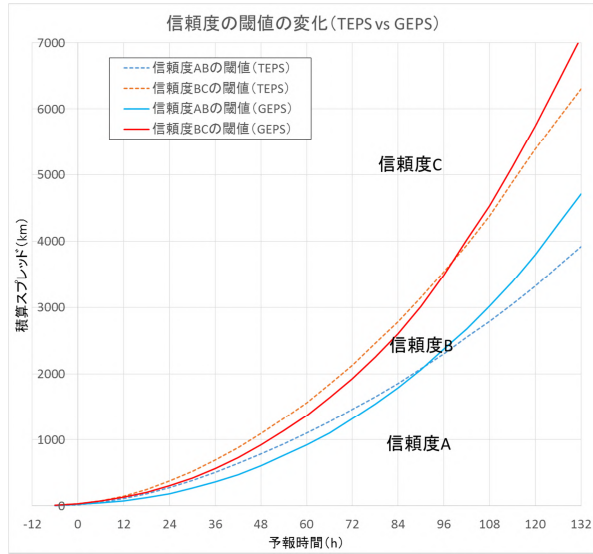
6. 3. 2. 3 2017 年の予報円見直し

気象庁では、2017 年 1 月にそれまでの TEPS や他の EPS を統合し、使用する予報モデルと摂動作成手法の改良等を加えた新たな EPS である全球アンサンブル予報システム (GEPS) を運用開始した (山口, 2017)。台風進路予測については、2015 年から 2016 年の期間に対する検証結果において、24 時間から 120 時間の全ての予報時間について進路予測誤差が小さくなるなど、様々な点で改善がみられた。

96、120 時間予報の予報円半径を GEPS に基づくものに見直すため、2015 年から 2016 年の GEPS の試験データと同期間の TEPS のデータそれぞれに基づく予報円半径の特性の違いについて調査した。第 6.3.11 図に信頼度 AB、BC 間の積算スプレッドの閾値の違いを示す。予報モデルの特性の変化を反映し、予報時間の前半は GEPS による閾値の方が小さく、予報時間の後半は大きくなっている。第 6.3.12 図に TEPS と GEPS における予報円半径と信頼度との関係を示す。TEPS、GEPS ともにより相関が確認できるが、GEPS の方が予報時間前半でより相関が強く、後半で弱くなっている。また、GEPS では、半径の予報時間に対する変化が滑らかになっていることがわかる。

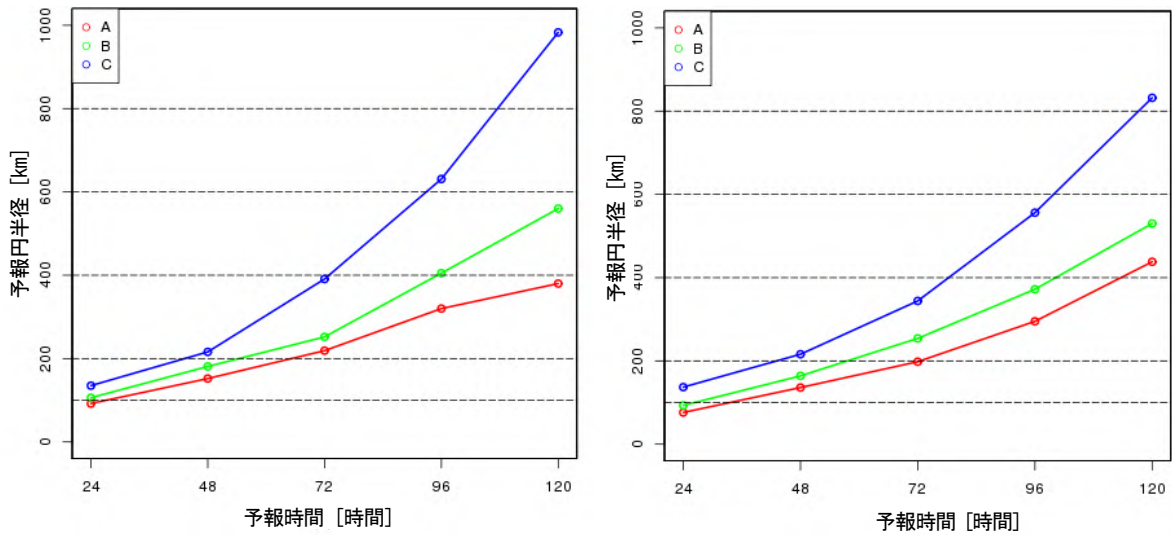
次に、TEPS と GEPS に対して、台風の進行方向、速度、信頼度の区分毎の予報円半径を比較した。GEPS と TEPS は区分間の半径の変化に同様の特性を持っていたため、信頼度 A と B を統合し、その他方向信頼度 AB の場合以外は速度による区分分けをしないこととした。第 6.3.5 表に 96、120 時間予報における TEPS、GEPS による予報円半径の違いを示す。また、第 6.3.13 図に示すとおり、TEPS による予報円は 72 時間予報から 96 時間予報で半径が急激に大きくなる場合があったが、GEPS ではそれが緩和されていることがわかる。

本見直しは 2017 年 6 月から導入され、2017 年台風第 3 号から適用された。



第 6.3.11 図 TEPS と GEPS における信頼度 AB、BC 間の積算スプレッドの閾値

赤線と青線はそれぞれ信頼度 AB 間、信頼度 BC 間の積算スプレッド閾値、点線と実線はそれぞれ TEPS と GEPS における結果を示す。



第 6.3.12 図 TEPS と GEPS における予報円半径と信頼度の関係

左図が TEPS、右図が GEPS における結果。赤、緑、青色はそれぞれ信頼度 A、B、C の結果を示す。

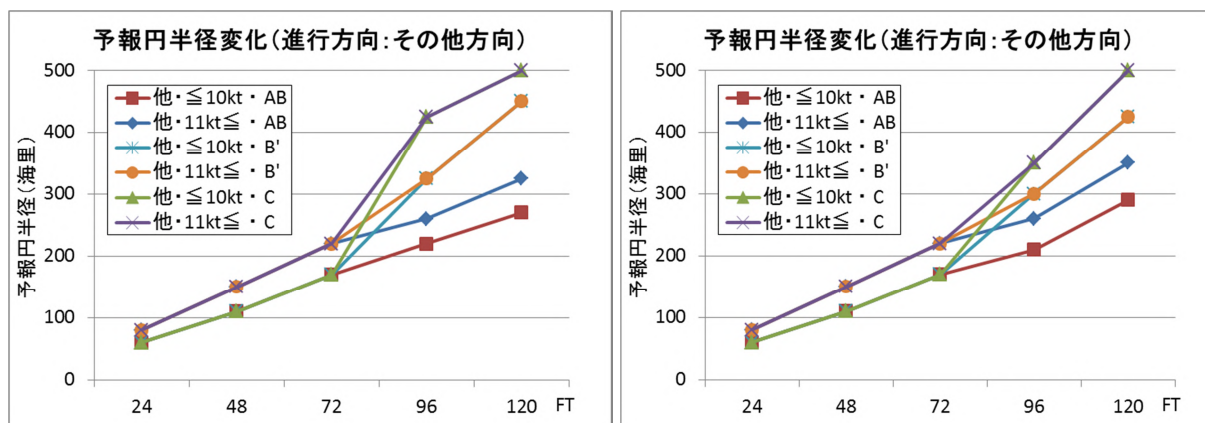
第 6.3.5 表 96、120 時間予報における TEPS、GEPS による予報円半径 [海里] ()内は信頼度

(a) TEPS

| 予報時間 [時間] | 進行方向 | 速度 V | |
|-----------|-------|--------------------------------|--------------------------------|
| | | V ≤ 10 kt | V > 10 kt |
| 96 | 北西方向 | 170 (AB) / 240 (C) | 170 (AB) / 240 (C) |
| | その他方向 | 220 (AB) / 325 (B') / 425 (C) | 260 (AB) / 325 (B') / 425 (C) |
| 120 | 北西方向 | 200 (AB) / 350 (C) | 200 (AB) / 350 (C) |
| | その他方向 | 270 (AB) / 450 (B') / 500 (C) | 325 (AB) / 450 (B') / 500 (C) |

(b) GEPS ※北西方向についても、AB、C のみの場合に半径が急激に変化するのを緩和するため、補完区分 B' を導入。

| 予報時間 [時間] | 進行方向 | 速度 V | |
|-----------|-------|--------------------------------|--------------------------------|
| | | V ≤ 10 kt | V > 10 kt |
| 96 | 北西方向 | 160 (AB) / 200 (B') / 240 (C) | 160 (AB) / 200 (B') / 240 (C) |
| | その他方向 | 210 (AB) / 300 (B') / 350 (C) | 260 (AB) / 300 (B') / 350 (C) |
| 120 | 北西方向 | 200 (AB) / 290 (B') / 375 (C) | 200 (AB) / 290 (B') / 375 (C) |
| | その他方向 | 290 (AB) / 425 (B') / 500 (C) | 350 (AB) / 425 (B') / 500 (C) |



第 6.3.13 図 TEPS、GEPS による半径の予報時間に対する変化

左：TEPS、右：GEPS（進行方向がその他方向の場合）

6. 3. 2. 4 2019 年の予報円見直しに向けて

これまで、現業システムの制約等により、72 時間までと 96 時間以降で予報円半径の算出手法が異なるため、予報円半径の時間変化が不自然な場合があった。2016 年と 2017 年の予報円見直しにより大分改善されたものの、完全には解消されていない。この問題を解決するため、2019 年の台風シーズン前に現業システムの改修を行い、全ての予報時間で進行方向、速度、アンサンブルスプレッドに基づく信頼度による区分を統一的に用いることが可能となる予定である。それに向けて、どのような手法・区分を用いればよりよい予報円となるかについて、2016 年から 2017 年の 2 年間のデータを用いて調査を進めている。あわせて、これまでは 96 時間以降に GEPS に基づく予報円を用いてきたが、現在予報円の中心位置決定には他機関の数値予報モデルも利用していることから、他機関の EPS 及びそれらの組合せも調査の対象とした。

ここで、よい予報円とは、以下の 2 点を満たすものとする。

- － 平均半径ができるだけ小さい
- － 半径と予報誤差の相関がよい（区分間の分離度が大きくメリハリがある、アウト라이어率⁶が小さい）

まず、台風の進行方向・速度毎に過去の予報誤差から算出する統計的手法と、アンサンブルの積算スプレッドによる信頼度毎に過去の予報誤差から算出する力学的的手法（そのうち、単独アンサンブルを用いるものと、複数のアンサンブルを組合せるマルチアンサンブルを用いるものの 2 つに分類）の合計 3 つの手法について比較を行った。第 6.3.14 図に、3 つの手法における気象庁の進路予報誤差と 48、96 時間予報の予報円半径の散布図とともに、相関係数と平均半径を示す。これをみると、平均半径は 3 つの手法でそれほど変わらないものの、相関係数は統計手法、単独アンサンブル、マルチアンサンブルの順によくなり、区分間の分離度も大きくなっていることがわかる。また、第 6.3.15 図に、単独・マルチアンサンブルにおける気象庁の進路予報誤差の累積相対度数分布を示す。赤点線内では、マルチアンサンブルの方が、信頼度 A で予報誤差の大きい事例の割合が減っており、青点線内では、信頼度 C で予報誤差の小さい事例の割合が減っており、アウト라이어率が減っていることがわかる。以上から、マルチアンサンブルを用いた予報円が、統計的手法、単独アンサンブルを用いた予報円よりもよいと考えられる。また、マルチアンサンブルの中では、主要 4 機関のマルチアンサンブルが最もよい予報円となっていた。

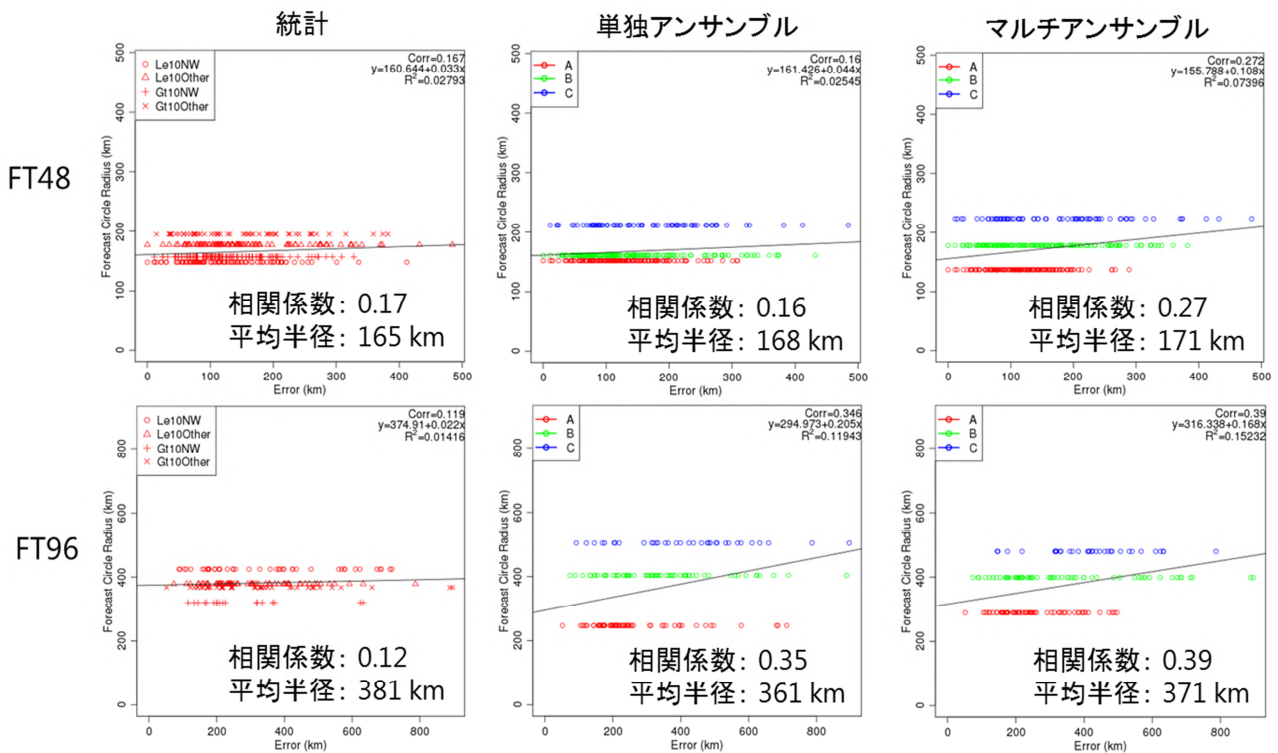
次に、第 6.3.14 図の統計的手法の図をみると、進行方向が北西方向の方がその他方向よりも半径が大き

⁶ 例えば、信頼度 A で予報誤差が大きい事例の割合や、信頼度 C で予報誤差が小さい事例の割合のこと。

く、また、速度が大きい方が半径が小さい場合があることがわかる。これは従来みられていた関係と異なることから、予報誤差の進行方向や速度との関係を調査した。その結果、第 6.3.16 図にみられるように、2016 年から 2017 年の検証結果では、予報誤差と進行方向や速度との間に明確な関係性は無くなっていることがわかる。これは、2015 年以降にコンセンサス手法を導入したことや、数値予報モデルの精度向上等により、予報誤差が進行方向や速度に依らなくなったことが考えられる。

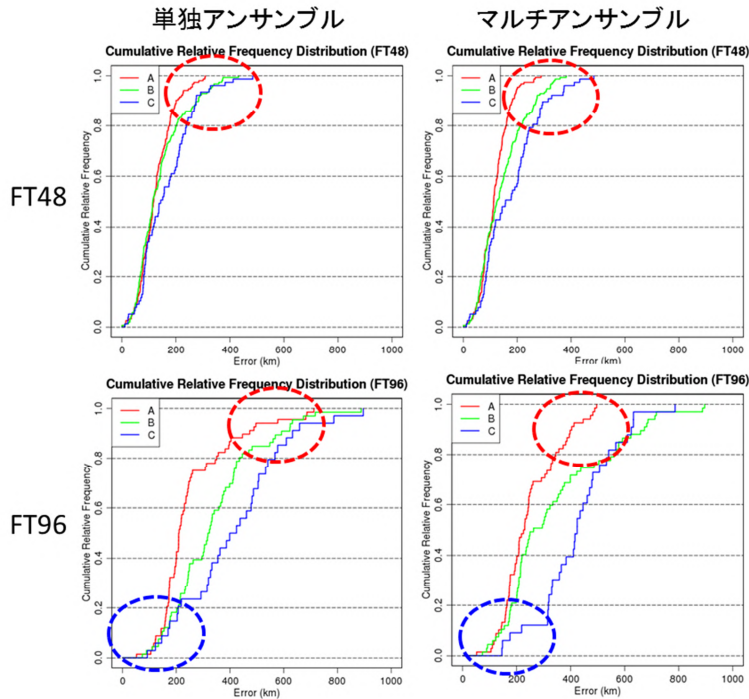
また、信頼度による区分数を変化させた場合の予報円についても調査したところ、区分数を 4 つ以上にすると区分毎の事例数が少なくなり、信頼度間で予報円半径の逆転がみられたため、区分数は 3 つが妥当であることもわかった（図略）。

以上より、2019 年の台風シーズンから用いる新しい予報円としては、全予報時間に対して、進行方向と速度による区分は廃止し、主要 4 機関のマルチアンサンブルの積算スプレッドに基づく信頼度 3 つに区分する案を作成している。この他、信頼度の事例数の割合を現行の A:B:C=40%:40%:20%から変化させた場合の効果等についても調査を進めている。2018 年が終わった段階で、2016 年から 2018 年の 3 年分のデータを用いてあらためて調査を行い、最もよい予報円となる手法・区分を 2019 年の台風シーズンから導入する予定である。



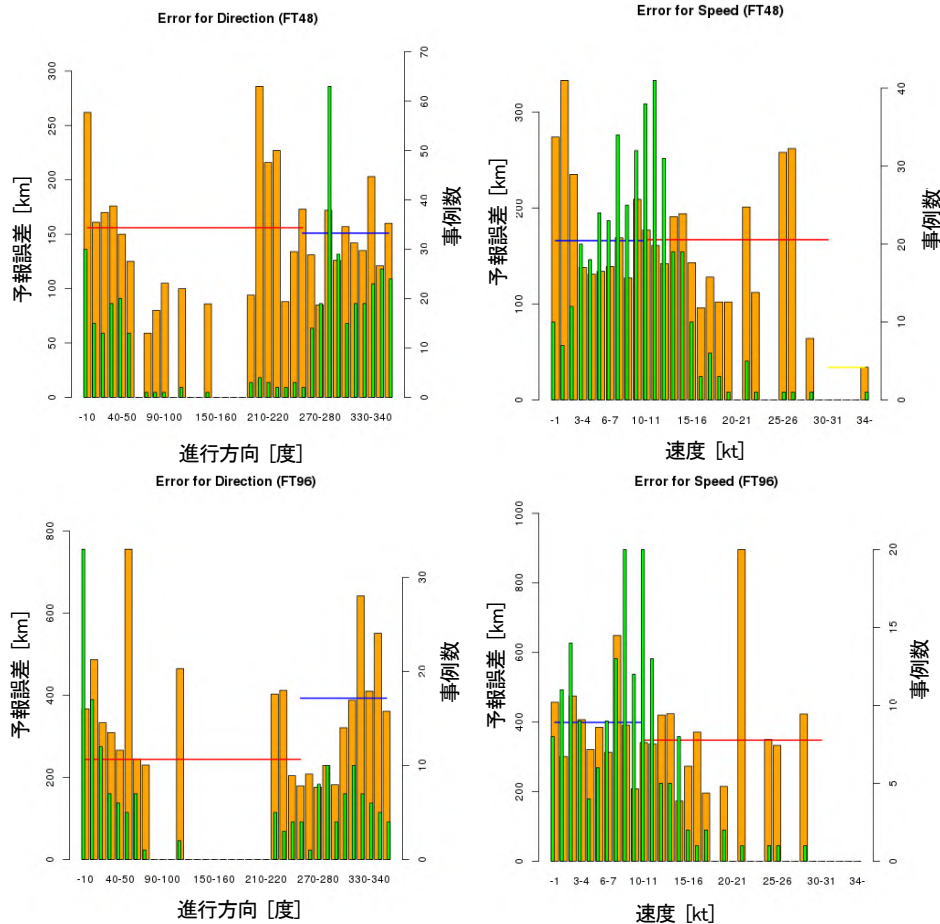
第 6.3.14 図 統計的手法、単独・マルチアンサンブルにおける予報円半径と当庁の進路予報誤差の関係

予報円半径と当庁の進路予報誤差の散布図。左列が統計的手法、中列が単独アンサンブル（GEPS）、右列がマルチアンサンブル（主要 4 アンサンブル）の結果。上段が 48 時間予報、下段が 96 時間予報。統計的手法は台風の進行方向（北西:NW・その他:Other）と速度（10kt 以下:Le10、超:Gt10）で区分し、単独・マルチアンサンブルは信頼度 ABC（40%:40%:20%）で区分。



第 6.3.15 図 単独・マルチアンサンブルにおける当庁の進路予報誤差の累積相対度数分布

左列が単独アンサンブル (GEPS)、右列がマルチアンサンブル (主要 4 アンサンブル) の結果。上段が 48 時間予報、下段が 96 時間予報。単独・マルチアンサンブルともに信頼度 ABC (40%:40%:20%) で区分。赤点線内ではマルチアンサンブルの方が、信頼度 A で予報誤差の大きい事例の割合が減っており、青点線内では信頼度 C で予報誤差の小さい事例の割合が減っている様子がわかる。



第 6.3.16 図 予報誤差の進行方向と速度との関係

上段は 48 時間予報、下段は 96 時間予報に対して、左列は進行方向、右列は速度との関係を示す。オレンジ色と緑色はそれぞれ誤差 70% 値と事例数、左図の赤線と青線はそれぞれ他方向と北西方向の 70% 予報円半径、右図の青線と赤線はそれぞれ 10kt 以下、超の 70% 予報円半径を表す。

6.3.3 現業作業手順

6.3.1 項で説明した各種調査結果に基づき、気象庁では、台風進路予測に主要 4 機関の数値予報モデルのコンセンサス手法を主に利用している。以下に進路予測の現業作業手順を説明する。

なお 2018 年現在、気象庁が進路予測で利用している数値予報モデルは以下のとおりである。

全球モデル（略称：説明）

GSM：気象庁の全球モデル

EC：ECMWF の全球モデル（IFS）

UKMO：UKMO の全球モデル（UM）

NCEP：NCEP の全球モデル（GFS）

全球 EPS（略称：説明）

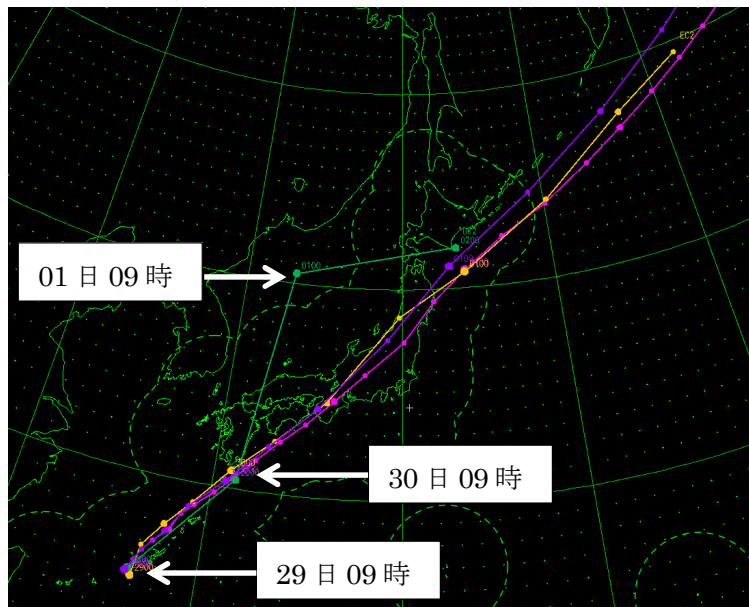
GEPS：気象庁の全球 EPS

EC-EPS：ECMWF の全球 EPS（ENS）

UKMO-EPS：UKMO の全球 EPS（MOGREPS）

NCEP-EPS：NCEP の全球 EPS（GEFS）

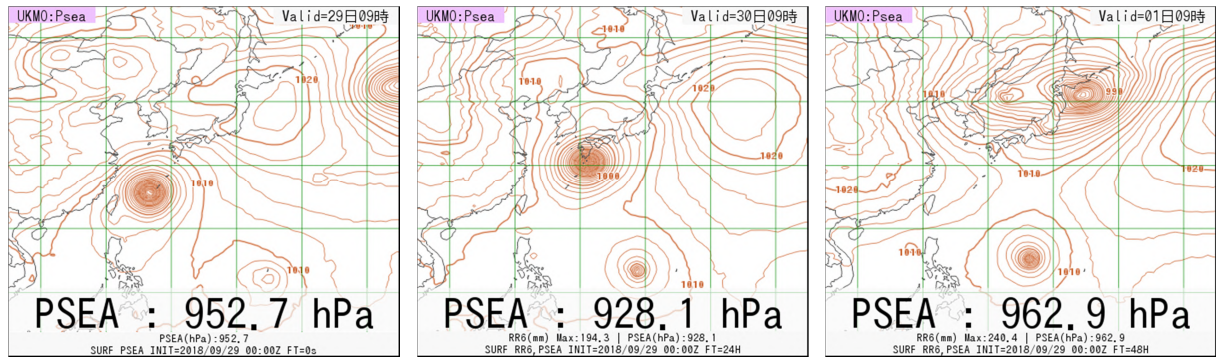
- (1) 4 機関の全球モデルの予測結果から熱帯じょう乱の中心位置を追跡（自動処理）する。EPS については、各メンバーの追跡結果を各機関から受け取り、アンサンブル平均のみ自動処理で計算している。
- (2) 4 機関の全球モデルの中心位置追跡と実況解析や地上予想天気図を比較し、誤追跡の有無を検討する。第 6.3.17 図に、4 機関の数値予報モデルによる進路予測のモニター図の例、第 6.3.18 図に、UKMO の 24 時間毎の地上予想天気図を示す。この 2 つの図を比較すると、UKMO（緑色）の 2018 年 10 月 1 日 09 時は誤追跡であると判断できる。



第 6.3.17 図 中心位置の誤追跡を含む 4 機関の数値予報モデルによる進路予測のモニター図の例

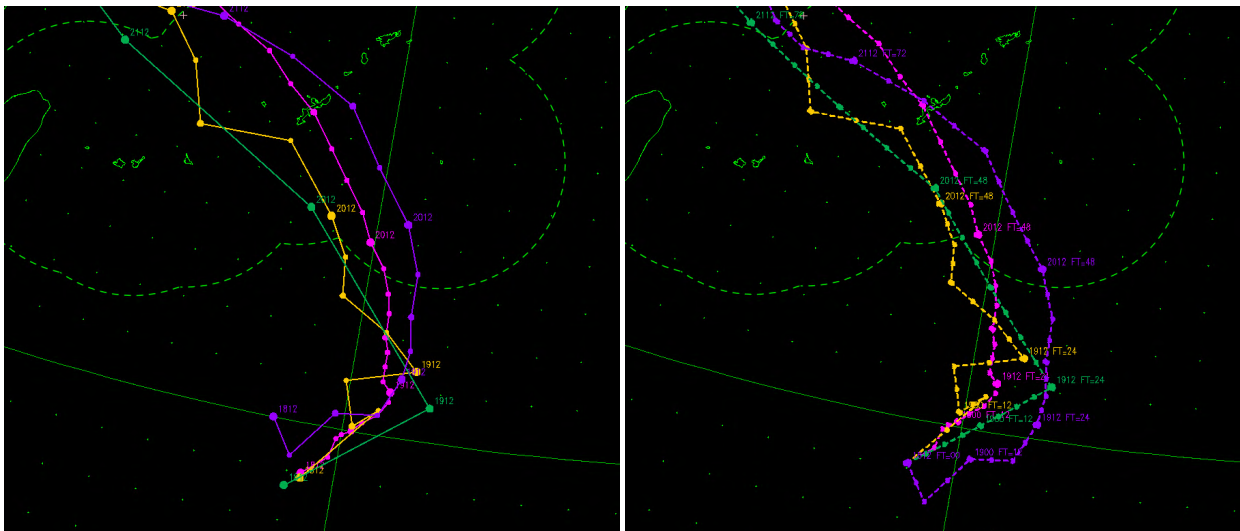
2018 年台風第 24 号に対する 2018 年 9 月 29 日 09 時の解析時刻における事例。

マゼンダが GSM、青色が NCEP、黄色が EC、緑色が UKMO の追跡結果をそれぞれ表す。



第 6.3.18 図 UKMO の 9 月 29 日 09 時～10 月 1 日 09 時の 24 時間毎の地上予想天気図

- (3) 誤追跡が明らかな場合は、コンセンサスの対象から除外する。なお特定のモデルをコンセンサスから除外した場合、必要に応じて以下の手順でコンセンサスメンバーの補充を行う。
- ① 同じ機関の全球 EPS の平均データを利用
 - ② 同じ機関の 1 つ前の初期時刻の中心追跡を利用
 - ③ ①及び②がともに利用できないと判断した場合は、3 機関以下の全球モデルでコンセンサスを行う。
- (4) コンセンサスに利用する各モデルのデータを初期誤差補正 (6.3.1.1 参照) し、そのデータでコンセンサスを計算し、5 日先までの予測位置を作成する。第 6.3.19 図に各モデルの予測位置と実況解析の中心位置で初期誤差補正した予測位置の例を示す。なお初期誤差補正が何時間先まで有効であるかについては、6.3.1.4 を参照願いたい。
- (5) コンセンサスの結果を基に 12 時間～120 時間の予想位置を決定する (第 6.3.20 図、第 6.3.22 図参照)。
- (6) 決定した予想位置から、進行方向・速度を計算する (第 6.3.21 図、第 6.3.23 図参照)。



第 6.3.19 図 各モデルの予測位置と初期誤差補正済み予測位置の例

2018 年台風第 10 号に対する 2018 年 7 月 18 日 21 時の解析時刻における各モデルの予測位置 (左) と初期誤差補正した予測位置 (右) の例。

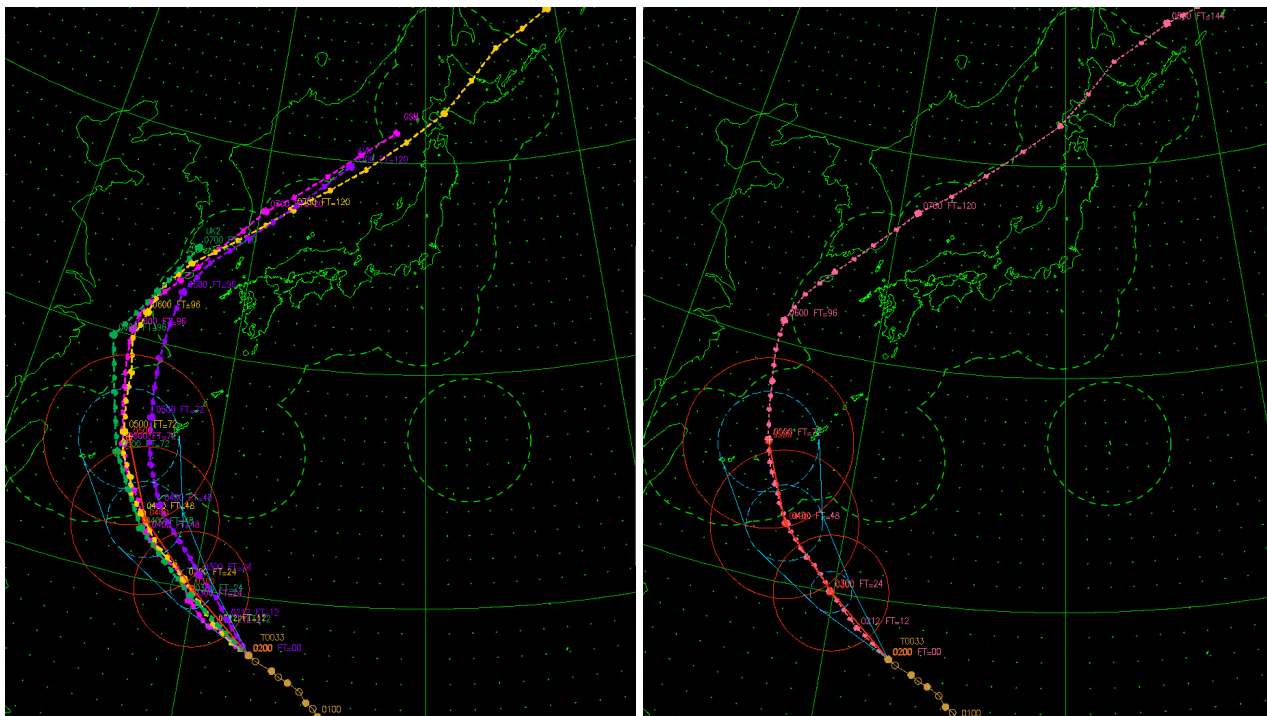
- (7) 過去の知見や前回の予報を考慮し、予想位置や進行方向・速度の変化が適切であるか検討し、必要に応じて修正する。
- (8) 12 時間～72 時間予報までは進行方向・速度を基に統計的手法により、96 及び 120 時間については、GEPS の積算スプレッドに基づく信頼度と進行方向・速度を基に予報円を計算する（第 6.3.24 図参照）。また 96 及び 120 時間予報については、各予報時間の GEPS の全メンバーを描画し、予報円に概ね 70% 程度が入っているかを確認する（第 6.3.25 図参照）。なお予報円の大きさについても、過去の知見や前回の予報を考慮し、その大きさや変化が適切であるか検討し、必要に応じて修正する。

ここまでが、進路予報の作業で、その後以下の手順で強度予報を作成する。

- (9) 強度予報ガイダンス・統計ガイダンス等を基に各進路予報位置での最大風速・最大瞬間風速・中心気圧・暴風域などの強度とじょう乱種別（熱帯低気圧化・温帯低気圧化など）を予報する。
- (10) 進路予報（進行方向・速度、予報円など）と強度予報（最大風速・最大瞬間風速・暴風域）を図及びグラフ表示し、予報の連続性などを確認する。

第 6.3.20～6.3.25 図に 2018 年台風第 25 号に対する 2018 年 10 月 2 日 09 時の解析時刻における進路予報作業画面を示す。

このように、2018 年現在、主要 4 機関の全球数値予報モデルによるコンセンサス手法を主に利用しているものの、実況解析や数値予報モデルによる地上予想天気図から誤追跡が明らかなモデルの除外、代替りのメンバーの補充、位置・進行方向・速度・予報円半径の前回の予報からの変化、予報時間毎の変化が適切かどうかの検討、その結果や過去の知見に基づく調整など、予報官が果たすべき役割は大きい。



第 6.3.20 図 3 日進路予報の数値予報モデル表示画面

各モデルの予測値表示（左）、コンセンサス予測値表示（右）

3日予報入力

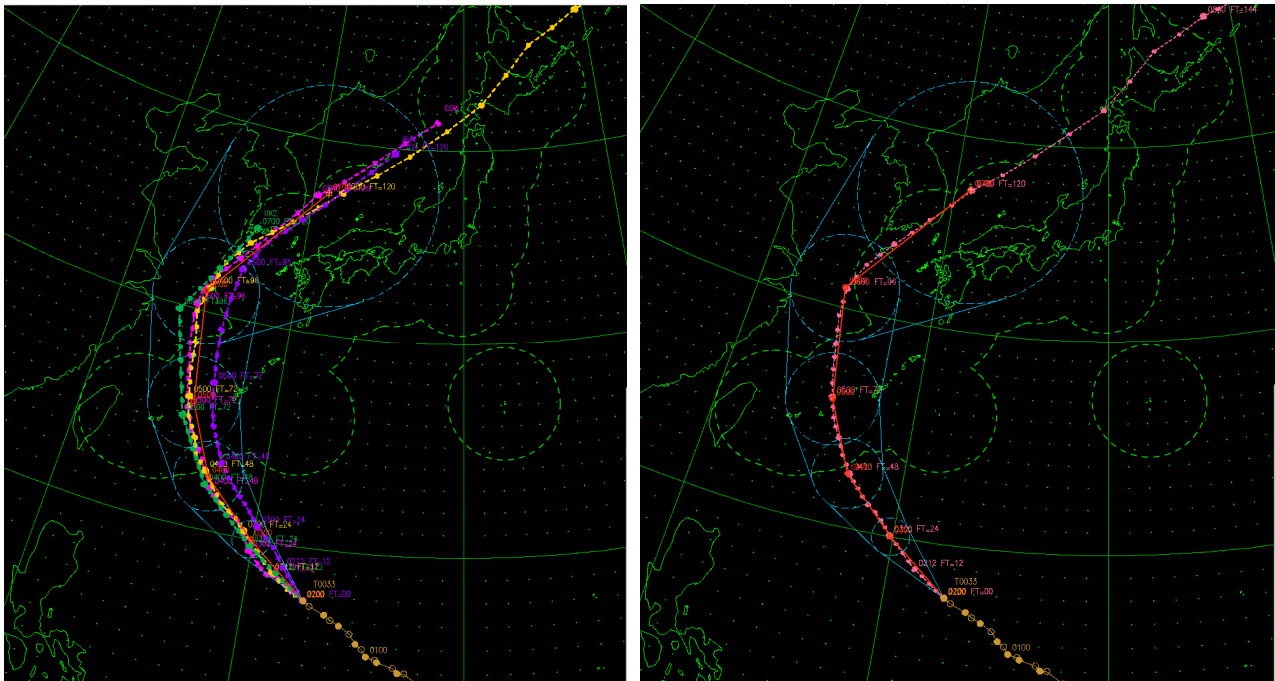
12時間予報 あり なし 位置詳細 あり なし 低気圧化 - 時間後 温低化 TD化 位置詳細へ (F1) 閉じる (F4)

予報値入力

| 全選択 | 緯度 | 経度 | 予報円 | 移動方向 | 速度 | 気圧 | 1000半径 | 風記事 | 最大風 | 瞬間風 | 強風域 | 暴風域 |
|------|------|-------|-----|------|----|-----|--------|------|-----|-----|---------|--------|
| FT0 | 17.7 | 132.7 | 0 | 300 | 11 | 915 | 140 | 中心 | 105 | 150 | ALL 240 | ALL 90 |
| FT12 | 42.3 | 143.6 | 40 | 70 | 35 | 984 | 150 | 記事無し | 50 | 70 | ALL 0 | ALL 0 |
| FT24 | 20.0 | 129.9 | 50 | 310 | 9 | 925 | 150 | 中心 | 100 | 140 | ALL 0 | ALL 90 |
| FT48 | 22.4 | 127.3 | 95 | 320 | 9 | 935 | 150 | 中心 | 95 | 135 | ALL 0 | ALL 90 |
| FT72 | 25.6 | 125.7 | 130 | 340 | 9 | 940 | 150 | 中心 | 90 | 130 | ALL 0 | ALL 90 |

入力補助と計算

第 6.3.21 図 3日予報作業画面



第 6.3.22 図 5日進路予報の数値予報モデル表示画面

各モデルの予測値表示 (左)、コンセンサス予測値表示 (右)

5日予報入力

予報の省略
 時間以降は省略 閉じる (F4)

予報値入力

| 全選択 | 緯度 | 経度 | 予報円 | 移動方向 | 速度 |
|-------|------|-------|-----|------|----|
| FT0 | 17.7 | 132.7 | 0 | 300 | 11 |
| FT24 | 20.0 | 129.9 | 50 | 310 | 9 |
| FT48 | 22.4 | 127.3 | 95 | 520 | 9 |
| FT72 | 25.6 | 125.7 | 130 | 340 | 9 |
| FT96 | 31.0 | 124.8 | 160 | 350 | 14 |
| FT120 | 37.2 | 131.0 | 350 | 40 | 20 |

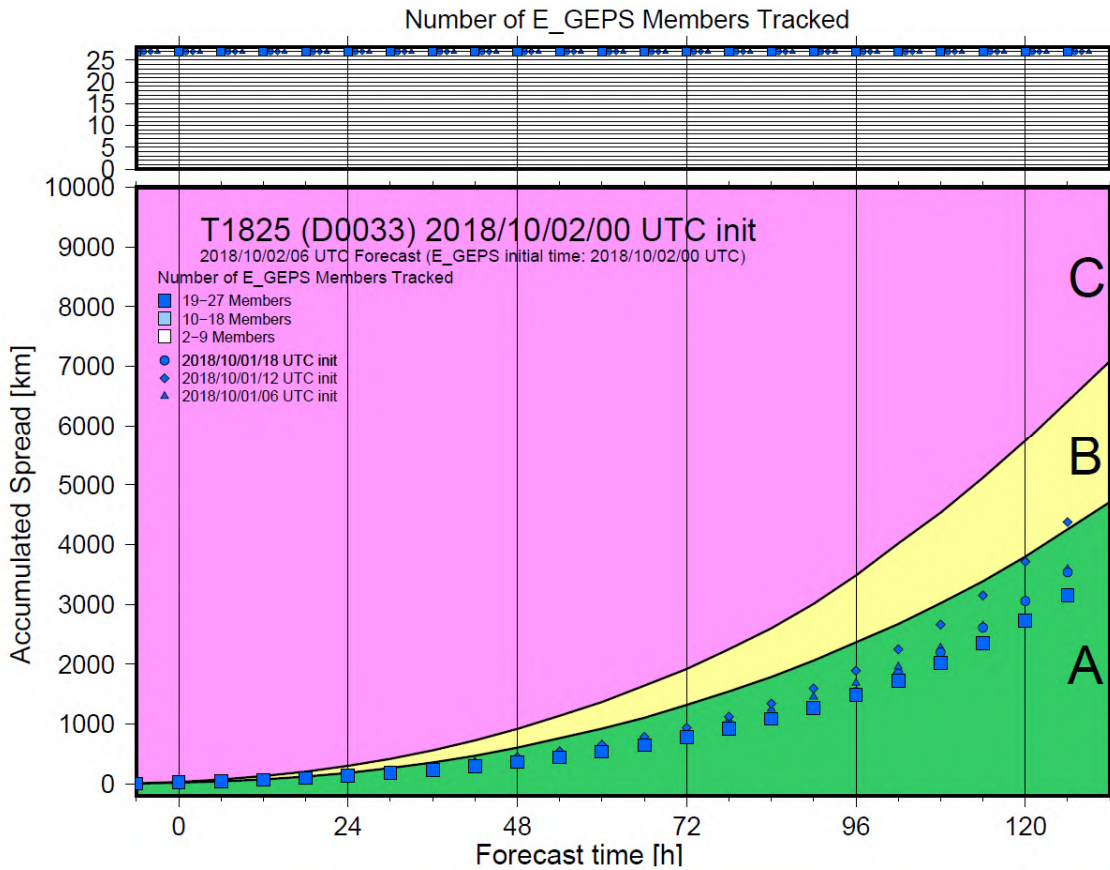
入力補助と計算

入力値消去 96 予報円

移動計算
 北西(260-359)AB 160NM
 北西B' 200NM
 北西C 240NM
 |
 他AB_10kt以下 210NM
 他AB_11kt以上 260NM
 他B' 300NM
 他C 350NM
 前回
信頼度G参照

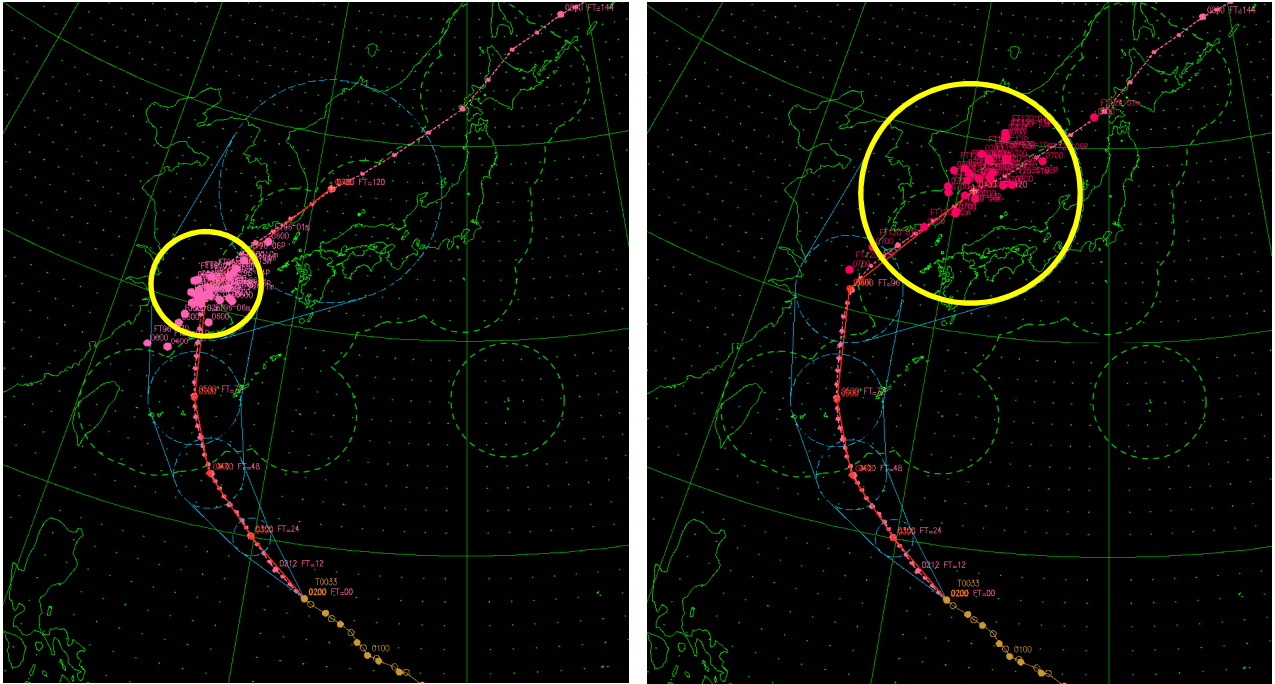
北西(260-359)AB 200NM
 北西B' 290NM
 北西C 375NM
 |
 他AB_10kt以下 290NM
 他AB_11kt以上 350NM
 他B' 4.25NM
 他C 500NM
 前回
予報省略判定

第 6.3.23 図 5 日進路予報作業画面



第 6.3.24 図 5 日進路予報の信頼度を定める GEPS の信頼度情報図

上図は追跡可能なメンバー数の予報時間変化、下図は積算スプレッドの予報時間変化を示し、■は最新、●は6時間前、◆は12時間前、▲は18時間前の計算結果に対するものをそれぞれ示す。



第 6.3.25 図 5 日進路予報の GEPS メンバー表示画面

左図は 96 時間後の予報円を強調表示し、GEPS の各メンバーの 96 時間後の予測位置を重ね合わせて表示。

右図は 120 時間後の予報円を強調表示し、GEPS の各メンバーの 120 時間後の予測位置を重ね合わせて表示。

6.4 まとめ

気象庁では、数値予報モデルの改善や、進路予報に関する国際的動向を踏まえた予報手法及び現業作業手順の改善等を通じて、進路予報の改善を図ってきた。

まず、国際的動向をまとめると、進路予報期間は気象庁を含め 5 日の機関が多く、発表頻度については、1 日 4 回が多いが、責任機関の自国に影響を及ぼす場合など、必要に応じてより高頻度に発表する機関が多い。進路予報精度は、主に熱帯低気圧の特性の違いに起因する年々変動はみられるものの、長期的にみれば、どの海域・機関についても精度が向上している。精度向上の要因としては、数値予報モデルの精度向上、及びコンセンサス・アンサンブル平均手法の導入等の利用手法の改善があげられる。また、進路予報の不確実性は、気象庁を含む多くの機関で台風中心が 60~70%の確率で入る領域を円やコーンで表現している。予報円の大きさは、多くの機関が過去の予報誤差に基づき統計的に算出しているが、気象庁、RSMC レユニオン、TCWC パース・ダーウィン・ブリスベンのみが、EPS のスプレッドの情報を利用して予報円の大きさを調整している。その他、多くの機関が予報の不確実性に関する情報を得るために EPS を活用している。

次に、気象庁の予報手法や現業作業手順に関する最近の改善と現状についてまとめる。気象庁の進路予報は、2014 年までは主に気象庁の数値予報モデルの結果を基にしていたが、2014 年の気象研究所における先行調査を受けて、本庁において気象庁・ECMWF・NCEP・UKMO の主要な 4 つの全球数値予報モデルの単純コンセンサス手法の有効性が確認できたことから、2015 年以降は同手法を主に利用している。その結果、2015 年以降はそれ以前に比べて精度が大きく向上した。また、さらなる精度向上を図るため、2017 年度末から数値予報モデルの利用手法高度化に向けた調査を開始した。その結果、事前の情報から最適な資料を選択する手法が見出せれば、精度を大きく改善できる可能性があることがわかった。そのような手法を見出すため、引き続き調査を実施し、数値予報モデル利用手法の高度化につなげたい。

また、予報円については、近年、進路予報の精度向上に伴って台風中心が予報円に入る確率が 70%を大きく超えるようになった。また 72 時間までと 96 時間以降で予報円半径の算出方法が異なるために予報円半径の不自然な時間変化がみられる場合があった。これらの問題に対処するため、2016 年 6 月に最新の予報誤差の検証結果に基づく予報円半径を導入した。その結果、予報円半径は概ね 20%~40%小さくなり、台風中心が予報円に入る確率は小さく、より適切になった。また、96、120 時間予報に新たに進行方向と速度による区分を導入したことにより、予報円半径の不自然な時間変化が一部解消した。さらに、2017 年 6 月に、96、120 時間予報の予報円半径を 2017 年 1 月に運用を開始した GEPS に基づくものに更新した結果、予報円半径の不自然な時間変化がさらに緩和された。予報円半径の不自然な時間変化を完全に解決するため、2019 年の台風シーズン前に、全ての予報時間で統一的な手法に基づく予報円を導入する予定である。それに向けて、現在どのような手法・区分を用いればよりよい予報円となるかについて調査を進めている。現状、全予報時間に対して、進行方向と速度による区分は廃止し、主要 4 機関のマルチアンサンブルの積算スプレッドに基づく信頼度 3 つに区分する案を作成している。2018 年が終わった段階で、あらためて調査を行い、最もよい予報円となる手法・区分を導入する予定である。

これらの国際的動向や調査結果を踏まえて、予報作業手順についても改善に努めている。2018 年現在、主要 4 機関の全球数値予報モデルによるコンセンサス手法を主に利用しているものの、実況解析や数値予報モデルによる地上予想天気図から誤差が明らかなモデルの除外、代替りのメンバーの補充、位置・進行方向・速度・予報円半径の前の予報からの変化、予報時間毎の変化が適切かどうかの検討、その結果や過去の知見に基づく調整など、予報官が果たすべき役割は大きい。

このように、今後も国際的動向に注視しながら、予報手法や現業作業手順の改善等を通じて、進路予報の精度向上に向けて取り組んでいきたい。

参考文献

- 岸本賢司, 2009: 台風 5 日進路予報. 平成 20 年度量的予報研修テキスト, 気象庁予報部, 103-112.
- 西村雅人, 2015: 選択的アンサンブル平均手法による台風予測に関する研究, 気象大学校 2014 年度卒業論文, 1-29.
- 山口春季, 2017: 全球アンサンブル予報システムの導入, 平成 29 年度数値予報研修テキスト, 気象庁予報部, 35-41.
- Elliott, G. and M. Yamaguchi, 2014: Topic 1: Motion -Recent Advances-. WMO 8th International Workshop on Tropical Cyclones (https://www.wmo.int/pages/prog/arep/wrrp/new/documents/T1_AdvancesinForecastingMotion_GElliott_MYamaguch_5dec2014i.pdf).
- Nishimura, M., and M. Yamaguchi, 2015: Selective Ensemble Mean Technique for Tropical Cyclone Track Forecasts Using Multi-Model Ensembles. Tropical Cyclone Research and Review, 4(2), 71-78.
- Yamaguchi, M., H. Titley and L. Magnusson, 2018: Topic 6.3: Current and potential use of ensemble forecasts in operational TC forecasting. WMO 9th International Workshop on Tropical Cyclones (https://www.wmo.int/pages/prog/arep/wrrp/tmr/documents/IWTC-9_Subtopic_6-3.pdf).