



第3章 事例解析編

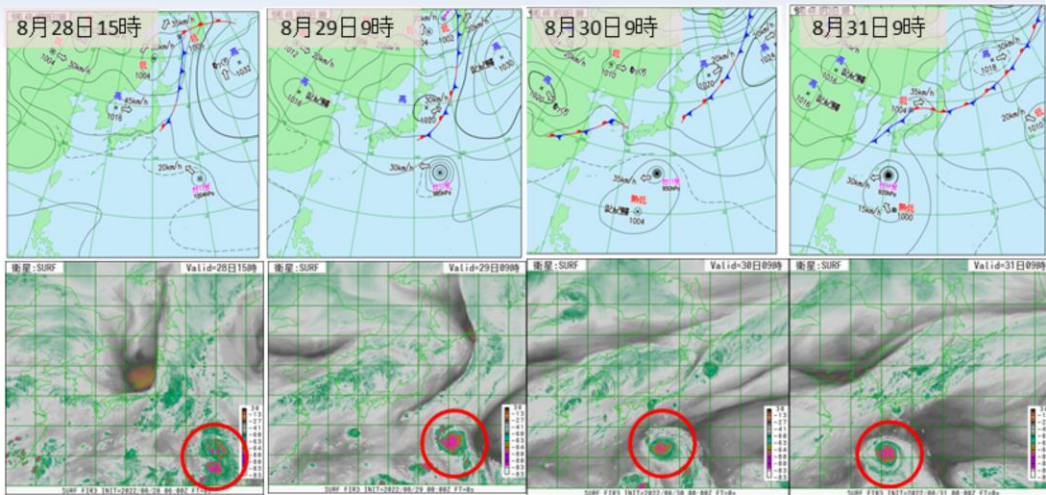
3.5 令和4年の台風の数值予報の結果 (台風第11号)

※以下のスライドの説明では、原則として令和4年の年は省略する。なお、速報としてまとめたものであるため、今後の調査により、考えられる要因等が変わる可能性があることに留意願います。

令和4(2022)年の台風の数值予報の結果として、8月28日15時に南鳥島近海で発生した台風第11号を取り上げる。この台風は、急速に発達しながら西寄りに進み、29日に東京都父島近海を強い勢力で通過した。父島では29日に最大瞬間風速48.4 m/s(南南西)を記録した。その後、31日に南大東島近海を猛烈な勢力で通過した。沖縄県北大東では31日に最大瞬間風速48.4m/s(南西)を記録した。9月2日には沖縄の南海上まで南下し、停滞した後、4日には、先島諸島を大型で強い勢力で北上した。沖縄県鏡原(宮古島市)では4日に最大瞬間風速40.1m/s(南南西)を記録した。5~6日は大型で強い勢力を維持したまま、東シナ海を北上後、対馬海峡を通過し、6日21時に日本海で温帯低気圧となった。

本節では、台風の進路・強度予測に絞って、数值予報結果を確認するとともに、予測誤差の考えられる要因等に関して述べる。なお、速報としてまとめたものであるため、今後の調査により、考えられる要因等が変わる可能性があることに留意願いたい。

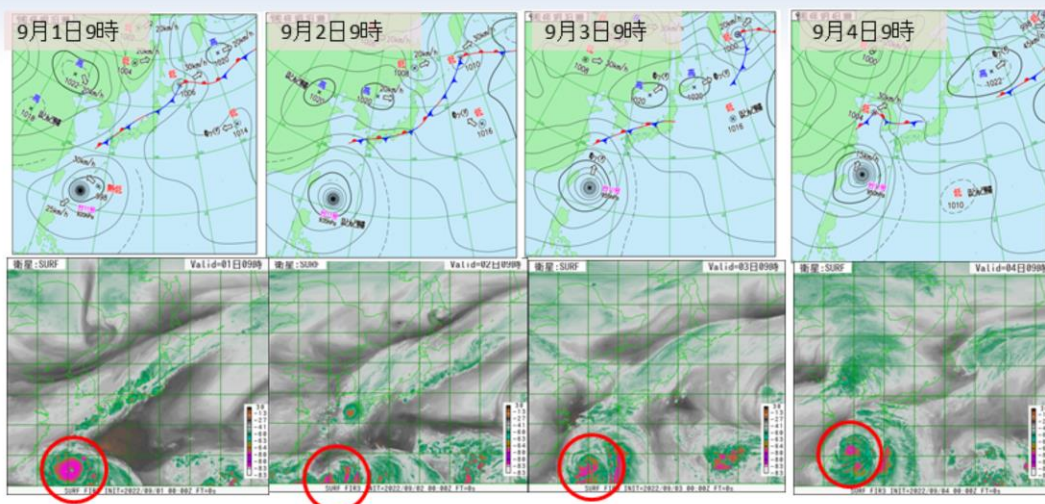
台風第11号に関する地上天気図・衛星水蒸気画像 (8月28日15時～8月31日9時)



8月28日15時に南鳥島近海で台風第11号が発生し、急速に発達しながら西寄りに進み、29日に東京都父島近海を強い勢力で通過した。その後、31日に南大東島近海を猛烈な勢力で通過した。

図は令和4(2022)年8月28日15時から31日9時にかけての地上天気図(上段)、気象衛星ひまわりによる水蒸気画像(下段)を示す。8月28日15時に南鳥島近海で台風第11号が発生し、急速に発達しながら西寄りに進み、29日に東京都父島近海を強い勢力で通過した。その後、31日に南大東島近海を猛烈な勢力で通過した。

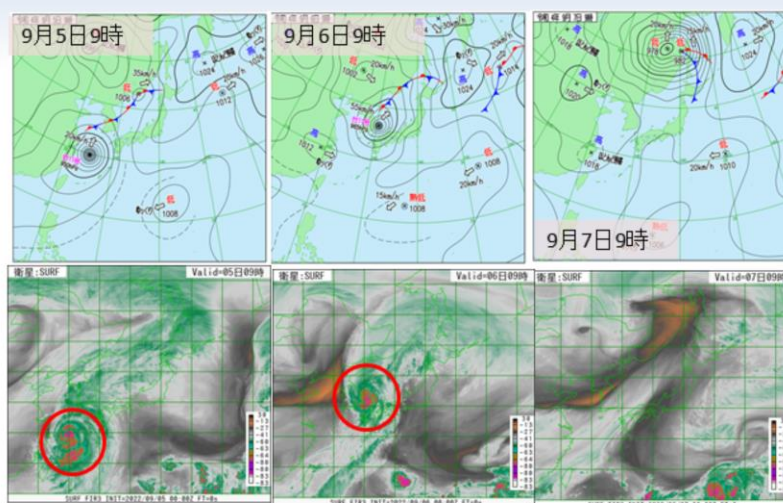
台風第11号に関する地上天気図・衛星水蒸気画像 (9月1日9時～9月4日9時)



台風第11号は2日9時前後の時間帯には、沖縄の南海上で、停滞。4日には、先島諸島を大型で強い勢力で北上した。

図は令和4(2022)年9月1日9時から4日9時にかけての地上天気図(上段)、気象衛星ひまわりによる水蒸気画像(下段)を示す。台風第11号は2日9時前後の時間帯には、沖縄の南海上で、停滞。4日には、先島諸島を大型で強い勢力で北上した。

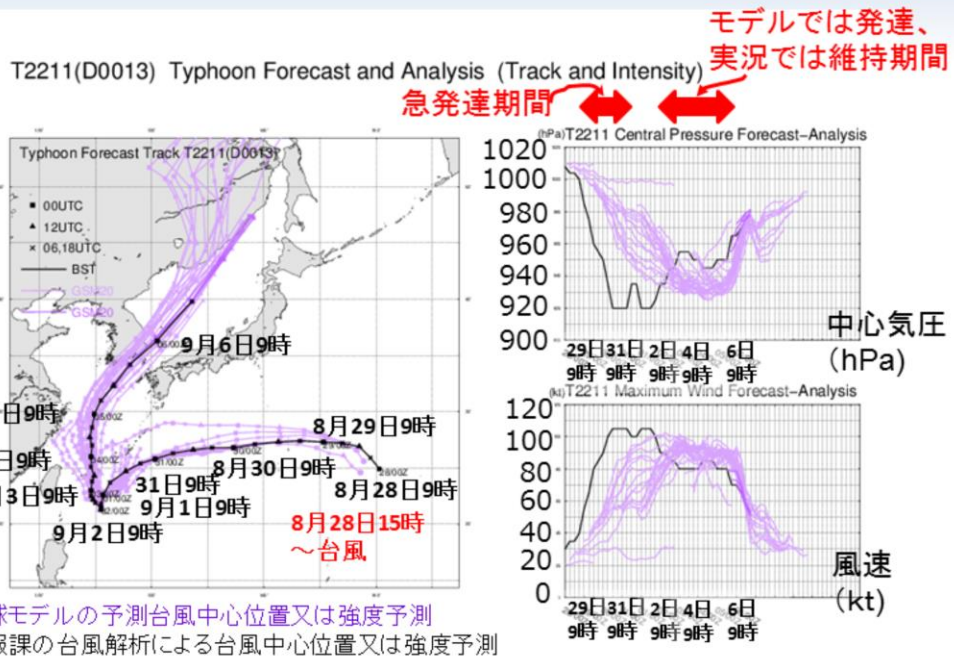
台風第11号に関する地上天気図・衛星水蒸気画像 (9月5日9時～9月7日9時)



台風第11号は5～6日は大型で強い勢力を維持したまま、東シナ海を北上後、対馬海峡を通過し、6日21時に日本海で温帯低気圧となった。

図は令和4(2022)年9月5日9時から7日9時にかけての地上天気図(上段)、気象衛星ひまわりによる水蒸気画像(下段)を示す。台風第11号は5～6日は大型で強い勢力を維持したまま、東シナ海を北上後、対馬海峡を通過し、6日21時に日本海で温帯低気圧となった。

台風第11号のGSMの全進路・強度予測結果の 台風速報解析との比較



台風第11号の全球数値予報システム(GSM)による予測位置(紫線)と台風速報解析位置(黒線)および強度(中心気圧(hPa:右上図)、風速(kt:右下図))を示す。予測位置については、令和4(2022)年8月28日9時初期値から9月6日15時初期値までのそれぞれ5.5日予測が描画されている。濃紫色ほど初期値が新しい。以下のような特徴が見られた。

(発生予測)

発生の直前に少なくとも1日前まで等圧線が閉じた閉曲線での擾乱を表現することができなかった(これを熱帯擾乱の発生予測ができなかったと定義する)

(進路予測)

1. 西進時(8月28日～31日): 台風速報解析に比べて、日本の南を北よりに発達することなく進む予測などが見られた
2. 停滞時(9月1日～2日頃): 台風速報解析に比べて、沖縄の南のやや東寄りの領域で停滞する傾向が見られた
3. 北上時(9月3日以降): 台風速報解析に比べて、東シナ海を西寄りに北上する傾向が見られた

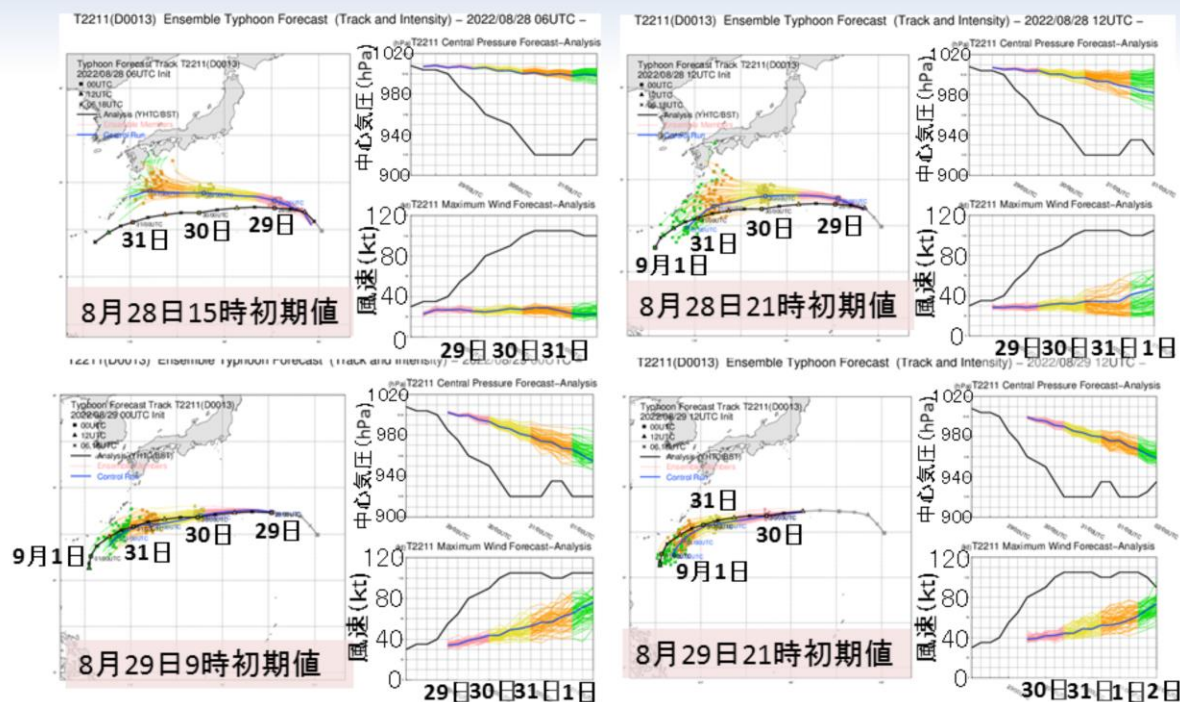
(強度予測)

1. 西進時: 台風速報解析に比べて、急発達が予測できなかった
2. 停滞時: 台風速報解析では衰弱する傾向であったが、発達を予測する傾向が続き、解析に近い予測ができなかった
3. 北上時: 台風速報解析では勢力を維持する傾向であったが、やや発達を予測する傾向が続き、解析に近い予測ができなかった。メソ数値予報システム(MSM)では、リードタイムが長いほど、台風の中心気圧が台風速報解析に比べてかなり低く、9月4日9時を対象とした48時間前以前の予測では900hPaを下回る結果となった。

東シナ海から日本の東海上にかけて海面水温は28℃以上で、台風の沖縄の南での停滞時や東シナ海北上時の再発達に寄与した可能性がある。

また、台風の急発達に関しては、近年多く発現しており、それによる強度予測誤差が拡大していることが指摘されている(Ito 2016; 伊藤 2018; 嶋田 2019)。2021年台風第14号においても台風の急発達が予測できていなかったことを確認している(気象庁情報基盤部 2021)。数値予報システムの観点からは、台風の急発達が予測できない要因として、数値予報モデルの解像度の影響などのほか、数値予報モデルの解像度に適した初期値を作成していることや、数値予報システムの安定運用の観点から中心気圧が不適切に深い構造の台風とならないような仕様として、それが挙げられる。そのため、初期値において実況と比較して中心気圧の浅い構造の台風となっている場合、実況のように中心気圧の深い台風を予測するのは困難な場合がある。

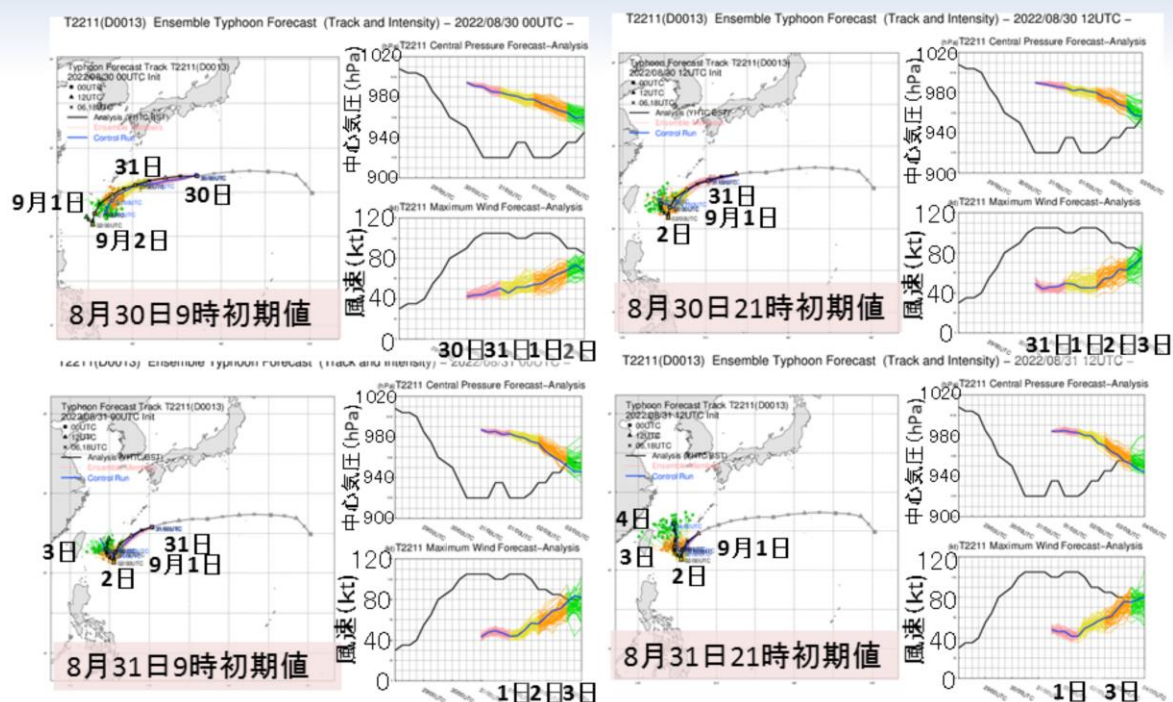
台風第11号の全球アンサンブル進路・強度予測結果 (8月28日～29日)



GEPSによる台風第11号の進路・強度予測(令和4(2022)年8月28日15時～8月29日21時初期値予測)の結果を示す。各初期値予測の左図が台風進路予測、右上図が中心気圧(hPa)の時系列予測、右下図が中心付近の最大風速(kt)を示す。なお、黒線は台風速報解析による追跡結果であり、日付は各9時時点のものを示す。色付の線は、GEPSの各メンバーの追跡結果であり、予測時間毎に色付けを変えている(例えば、8月28日15時初期値の場合は黄色は30日対象の予測結果を示している)。

GSMの予測と同様に8月28日初期値の予測は、台風速報解析に比べて、全体的に日本の南海上を北寄り西進する予測となっていた。その後、29日初期値の予測では、台風速報解析に近い予測結果であった。また、急発達の予測はなかった。

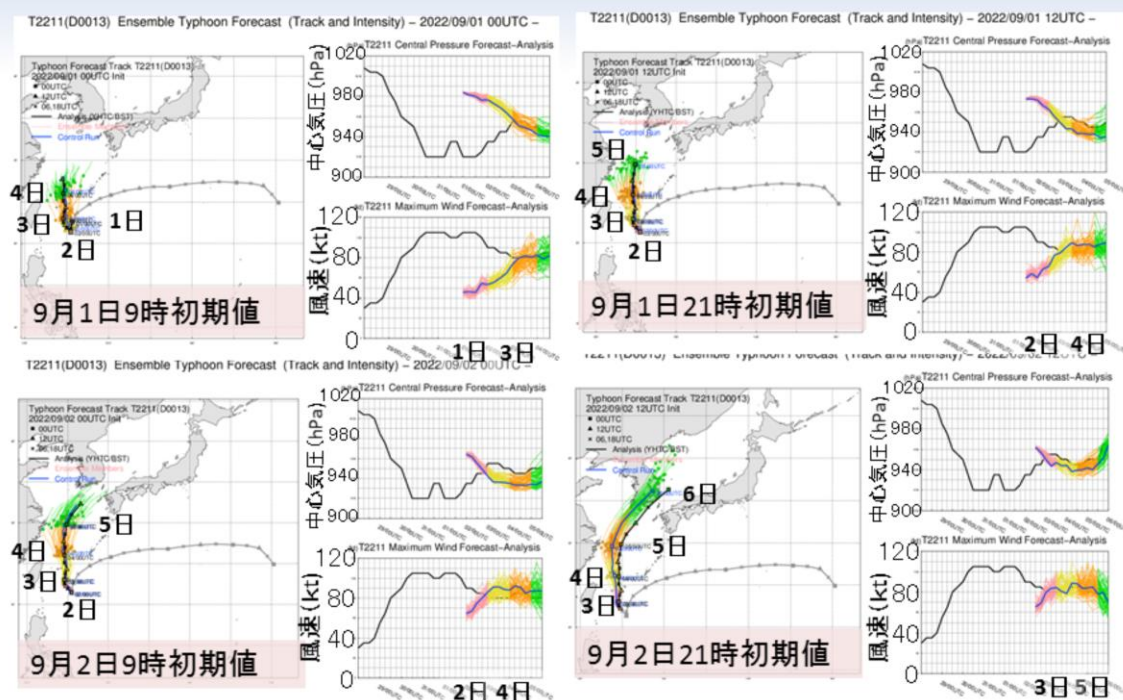
台風第11号の全球アンサンブル進路・強度予測結果 (8月30日～31日)



GEPSによる台風第11号の進路・強度予測(令和4(2022)年8月30日9時～8月31日21時初期値予測)の結果を示す。各初期値予測の左図が台風進路予測、右上図が中心気圧(hPa)の時系列予測、右下図が中心付近の最大風速(kt)を示す。なお、黒線は台風速報解析による追跡結果であり、日付は各9時時点のものを示す。色付の線は、GEPSの各メンバーの追跡結果であり、予測時間毎に色付けを変えている(例えば、8月30日9時初期値の場合は緑色は9月2日対象の予測結果を示している)。

GSMの予測と同様に8月30日初期値の9月2日前後の予測は、台風速報解析に比べて、沖縄の南で停滞する位置が全体的にやや北東側にずれる傾向が見られた。その後、31日初期値の予測では、台風速報解析に近い予測結果であった。強度については、台風速報解析では勢力を維持から衰弱する傾向であったが、それに対して、やや発達を予測する傾向が続いた。

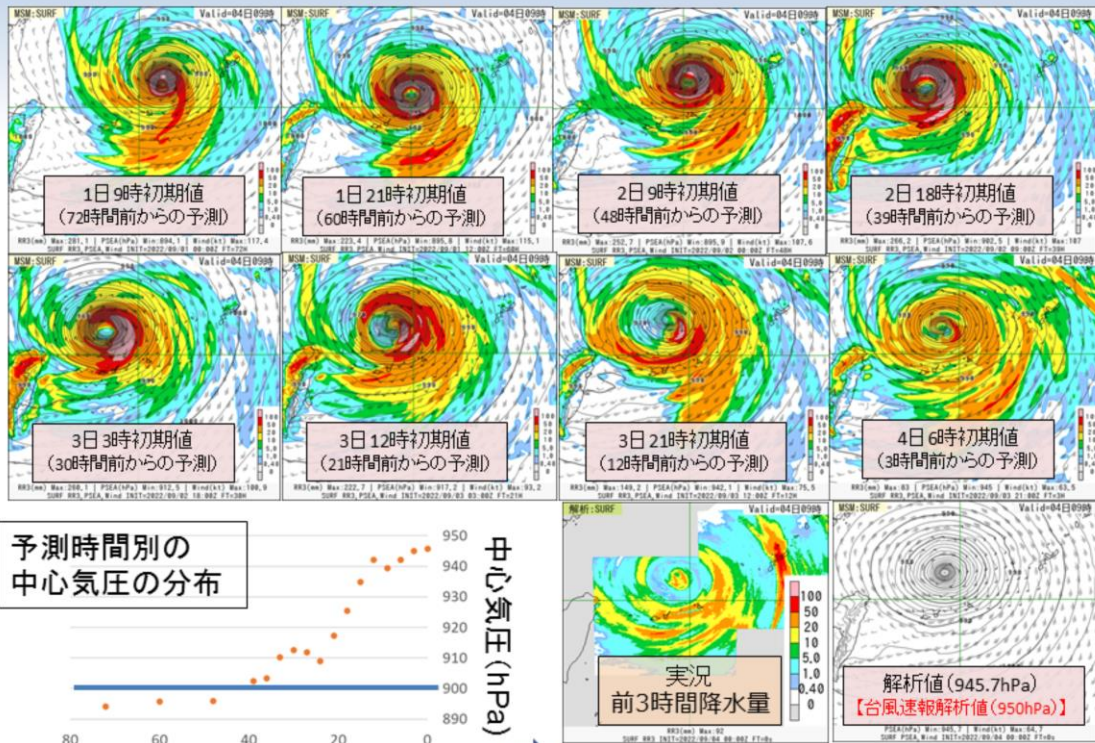
台風第11号の全球アンサンブル進路・強度予測結果 (9月1日～2日)



GEPSによる台風第11号の進路・強度予測(令和4(2022)年9月1日9時～9月2日21時初期値予測)の結果を示す。各初期値予測の左図が台風進路予測、右上図が中心気圧(hPa)の時系列予測、右下図が中心付近の最大風速(kt)を示す。なお、黒線は台風速報解析による追跡結果であり、日付は各9時時点のものを示す。色付の線は、GEPSの各メンバーの追跡結果であり、予測時間毎に色付けを変えている(例えば、9月1日9時初期値の場合は緑色は4日対象の予測結果を示している)。

1日～2日9時初期値の予測では、台風速報解析に近い予測結果であったが、2日21時初期値の予測では、台風速報解析に比べて、全体的に西側を北上する結果であった。強度については、台風速報解析では勢力を維持から衰弱する傾向であったが、それに対して、やや発達を予測する傾向が続いた。

台風第11号のMSMによる予測結果(9月4日9時対象)



(リードタイム長い) 予測時間(FT) (リードタイム短い)



気象庁 Japan Meteorological Agency

令和4年度数値予報解説資料集

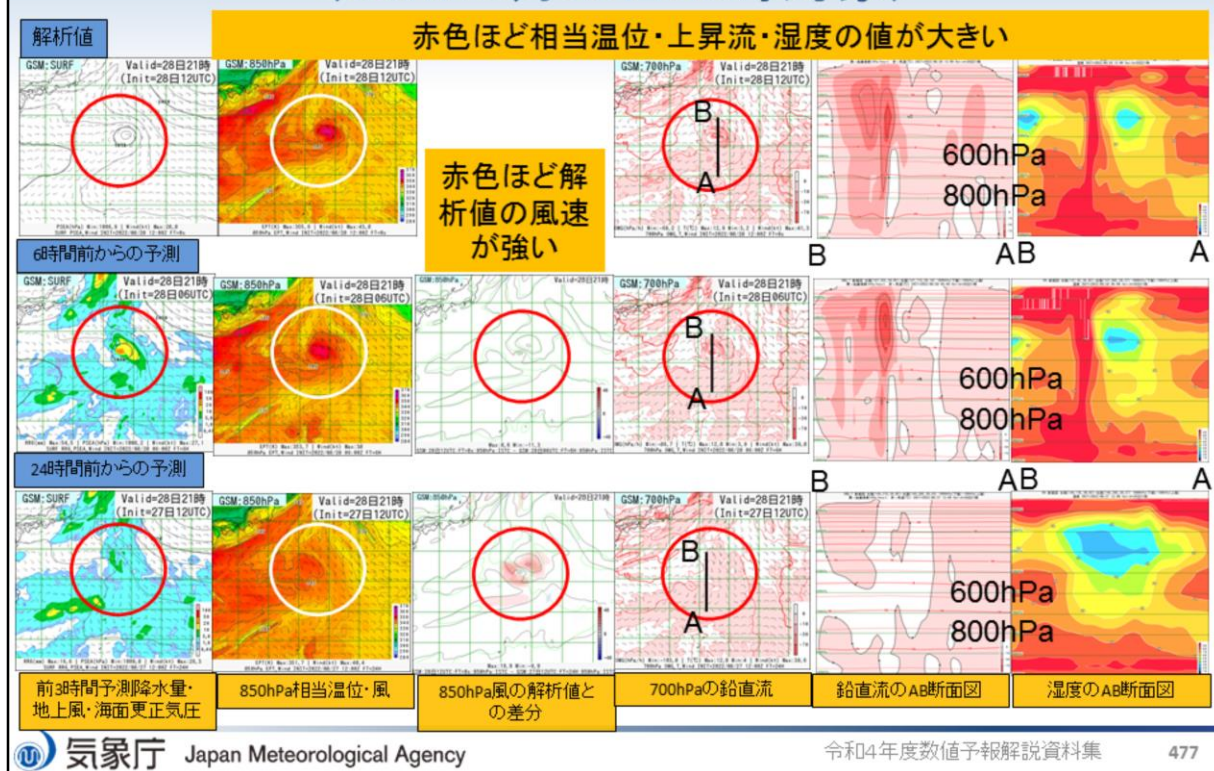
476

MSMによる台風第11号の強度予測結果を令和4(2022)年9月4日9時を対象として予測時間別に示す。掲載の72時間前～3時間前からの予測図はすべて、前3時間降水量(mm)・地上風(kt)・海面更正気圧(hPa)である。下段の図は右から解析値(地上風(kt)・海面更正気圧(hPa)のみ)、実況(前3時間降水量)、予測時間別の中心気圧の分布を示す。

リードタイムが長いほど、台風の中心気圧が、台風速報解析に比べてかなり低く、48時間以前の予測では900hPaを下回る結果となった。12時間前からの予測よりリードタイムが短くなると、実況に近い中心気圧となった。予測中心気圧がかなり低くなった48時間以前の予測では、中心付近で100mm以上の予測降水量が集中する特徴が見られた。その後、予測中心気圧が高くなるほど、中心付近の100mm以上の予測降水量は見られなくなる特徴が見られた。

台風の強度予測に関する取り組みとして、MSMでは初期値固定で海面水温(全球海面水温解析値)の利用から、令和4年3月に1次元海洋混合層モデルを導入して、台風強度の過発達傾向の予測を改善させた(気象庁 2021)が、本事例で見られるように、まだ課題があることを示唆している。

台風第11号の発生直後の環境場の違い (GSM:8月28日21時対象)

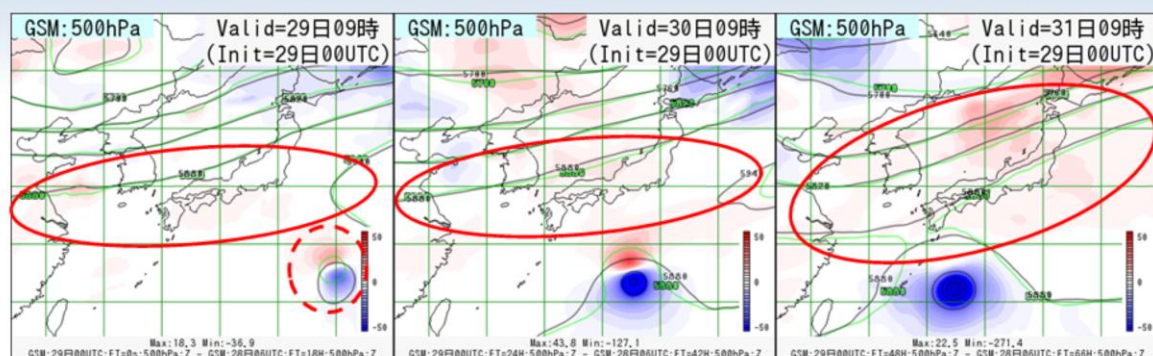


台風第11号の発生直後として令和4(2022)年8月28日21時を対象としたGSMでの環境場を確認する。図は左から順に前3時間降水量(mm)・地上風(kt)・海面更正気圧(hPa)で黄色や橙色ほど予測降水量が多い、850hPaの相当温位(K)・風(kt)で赤色ほど相当温位が高い、850hPa風の解析値との差分(kt)で赤色ほど解析値の方が風速が強い、700hPaの鉛直流(hPa/hour)で赤色が濃いほど鉛直流が強い、鉛直流(hPa/hour)のAB鉛直断面図で凡例は700hPaの鉛直流に同じ、湿度(%)のAB鉛直断面図で赤色ほど湿度が高いことを示す。また、上段から順に解析値、6時間前からの予測、24時間前からの予測を示す。対象としている熱帯擾乱を赤丸ないし白丸で表示している。なお、解析値や6時間前からの予測に利用された解析値には台風ポーガスが入っているが、24時間前からの予測には入っていない。

対象としている熱帯擾乱に着目すると、台風ポーガスが入っている解析値や6時間前からの予測では、等圧線が閉じた閉曲線での擾乱を表現し、中心付近では予測降水量や高相当温位の集中と顕著な上昇流、それに伴う湿潤域(高湿度を目安)の鉛直方向の立ち上がりが見られた。一方で、24時間前からの予測では、それらの特徴ははっきりと見られない。また、850hPa風の解析値との差分を見ると台風中心付近と中心から南西側の領域の風速が弱いことが分かった。この領域では、海面からの潜熱フラックスが解析値や6時間前からの予測のものに比べて値が小さい傾向(図略)が見られた。

これらのことから対象としている熱帯擾乱の中心の南西側の領域での風速が弱いことにより、海面からの潜熱フラックスの供給が弱くなり、熱帯擾乱の発達を抑えられ、GSMのモデル自身での熱帯擾乱の発生予測ができなかった可能性がある。

台風第11号西進時(8月28日～31日)の予測進路の違いについて (8月28日15時初期値と29日9時初期値からの各予測の比較)



【特徴】 赤色の塗りつぶしの色が濃いほど、29日の解析値又は予測値の高度場が高い

- ① 28日15時初期値の29日9時の台風の位置が解析値に比べて北側に位置(赤破線円)
- ② 28日15時初期値では発達する予測はなかったが、29日9時初期値では急発達した
- ③ 29日9時初期値予測は28日15時初期値予測に比べて、太平洋高気圧の西へ張り出しが台風の西進と共に強まった(赤実線円)

28日15時初期値では日本の南を北よりに発達することなく進む予測となった要因は、①で28日15時初期値の台風の中心位置が解析値に比べて北側であったことと③の28日15時初期値予測では29日9時初期値予測に比べて、太平洋高気圧の西へ張り出しが弱かったことから、日本の陸地近くを西進することができ、予測進路に差が生じたと考えられる。また、②の28日15時初期値予測では発達しなかったことも、太平洋高気圧の西へ張り出しをおさえる方に寄与したことが考えられる。

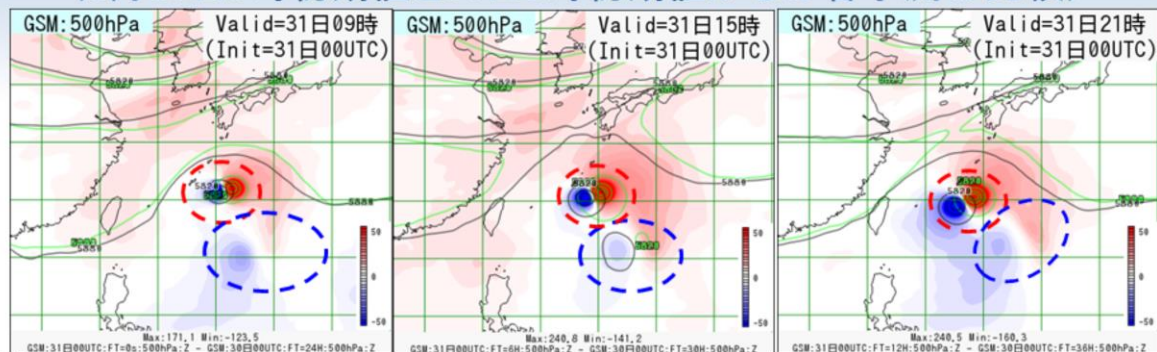
台風の西進時に台風速報解析に比べて、令和4(2022)年8月28日15時初期値では日本の南を北よりに発達することなく進む予測となったことについて、500hPa高度予測差図(左図:8月29日9時を対象とした8月29日9時初期値(黒線:FT=0)—8月28日15時初期値(緑線:FT=18)、中図:8月30日9時を対象とした8月29日9時初期値(黒線:FT=24)—8月28日15時初期値(緑線:FT=42)、右図:8月31日9時を対象とした8月29日9時初期値(黒線:FT=48)—8月28日15時初期値(緑線:FT=66))の図から推測する。赤色の塗りつぶしの色が濃いほど、29日の解析値又は予測値の高度場が高いことを示す。

以下の3つの特徴が見られる。

- ① 28日15時初期値の29日9時の台風の位置が解析値に比べて北側に位置
- ② 28日15時初期値では発達する予測はなかったが、29日9時初期値では急発達した
- ③ 29日9時初期値予測は28日15時初期値予測に比べて、太平洋高気圧の西へ張り出しが台風の西進と共に強まった

これらの特徴から、28日15時初期値では日本の南を北よりに発達することなく進む予測となった考えられる要因は、①で28日15時初期値の台風の中心位置が解析値に比べて北側であったことと③の28日15時初期値予測では29日9時初期値予測に比べて、太平洋高気圧の西へ張り出しが弱かったことから、日本の陸地近くを西進することができ、予測進路に差が生じたことである。また、②の28日15時初期値予測では発達しなかったことも、太平洋高気圧の西へ張り出しをおさえる方に寄与した可能性がある。

台風第11号停滞時(9月1日～2日頃)の予測進路の違いについて (8月30日9時初期値と31日9時初期値からの各予測の比較)



【特徴】

赤色の塗りつぶしの色が濃いほど、31日の解析値又は予測値の高度場が高い

- ① 30日9時初期値の31日9時の台風の位置が解析値に比べて東側に位置(赤破線円)
- ② 30日9時および31日9時初期値解析・予測では、台風の南東側に熱帯擾乱(30日9時初期値予測では31日初期値予測の東側に位置(青破線円))が存在。台風や熱帯擾乱の周辺では31日9時初期値予測は30日9時初期値予測に比べて、太平洋高気圧が強い
- ③ 30日9時および31日9時初期値解析・予測では、②により、台風と熱帯擾乱との相互作用(台風は南西進、熱帯擾乱は北東進)による動きがそれぞれ見られた

8月30日9時初期値と31日9時初期値の予測では、台風と熱帯擾乱との相互作用は起きていたとみられるが、予測に差が生じた考えられる要因は、それぞれの位置の差の寄与が大きいことである



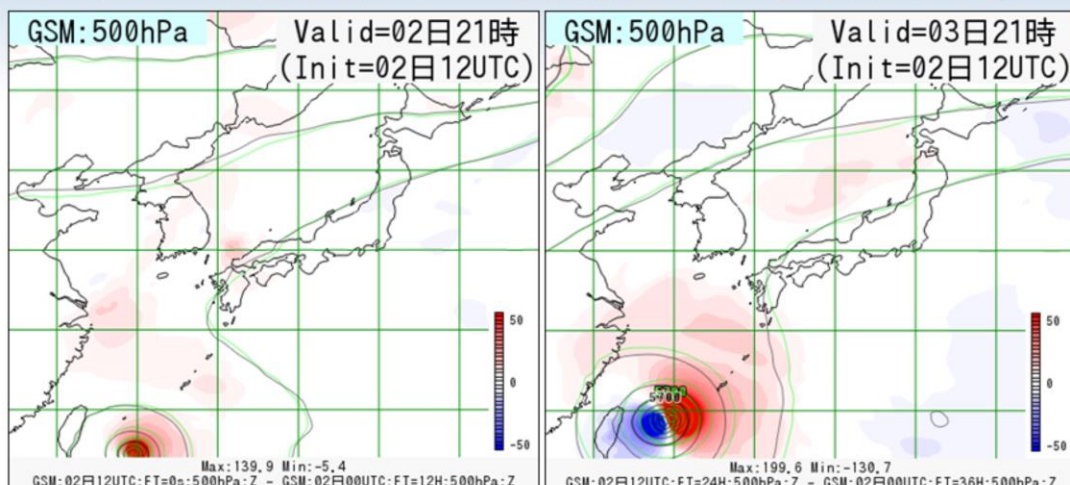
台風の停滞時に台風速報解析に比べて、沖縄の南のやや東寄りの領域で停滞する傾向が見られたことについて、500hPa高度予測差図(左図:令和4(2022)年8月31日9時を対象とした8月31日9時初期値(黒線:FT=0)―8月30日9時初期値(緑線:FT=24)、中図:8月31日15時を対象とした8月31日9時初期値(黒線:FT=6)―8月30日9時初期値(緑線:FT=30)、右図:8月31日21時を対象とした8月31日9時初期値(黒線:FT=12)―8月30日9時初期値(緑線:FT=36))の図から推測する。赤色の塗りつぶしの色が濃いほど、31日の解析値又は予測値の高度場が高いことを示す。

以下の3つの特徴が見られる。

- ① 30日9時初期値の31日9時の台風の位置が解析値に比べて東側に位置
- ② 30日9時および31日9時初期値解析・予測では、台風の南東側に熱帯擾乱(30日9時初期値予測では31日初期値予測の東側に位置)が存在。台風や熱帯擾乱の周辺では31日9時初期値予測は30日9時初期値予測に比べて、太平洋高気圧が強い
- ③ 30日9時および31日9時初期値解析・予測では、②により、台風と熱帯擾乱との相互作用(台風は南西進、熱帯擾乱は北東進)による動きがそれぞれ見られた

これらの特徴から、8月30日9時初期値と31日9時初期値の予測では、台風と熱帯擾乱との相互作用は起きていたとみられるが、予測に差が生じた考えられる要因は、それぞれの位置の差の寄与が大きいことである。

台風第11号北上時(9月3日以降)の予測進路の違いについて (9月2日9時初期値と2日21時初期値からの各予測の比較)



左図において、2日21時対象の2日9時の予測値および21時の解析値との間の台風の中心位置や大きさなどの差は小さかった。右図の3日21時対象の2日9時および21時初期値の予測の比較では、台風の東側や北側で赤色の塗りつぶしの色が濃い領域が広がっていた。2日21時初期値の予測では9時初期値予測に比べて、太平洋高気圧の縁の部分を中心に張り出しが強いことを示している。この傾向は、その他の初期値比較でも確認できた。このことが、台風速報解析に比べて、東シナ海を西寄りに北上した要因の可能性はある。



台風の北上時に台風速報解析に比べて、東シナ海を西寄りに北上する傾向が見られたことについて、500hPa高度予測差図(左図:令和4(2022)年9月2日21時を対象とした9月2日21時初期値(黒線:FT=0)―9月2日9時初期値(緑線:FT=12)、右図:9月3日21時を対象とした9月2日21時初期値(黒線:FT=24)―9月2日9時初期値(緑線:FT=36))の図から推測する。赤色の塗りつぶしの色が濃いほど、2日21時の解析値又は予測値の高度場が高いことを示す。前述の全球アンサンブル予測結果から2日9時初期値予測が2日21時初期値予測に比べて台風進路予測が実況に近いことから、2日21時初期値予測における東シナ海を西寄りに北上する傾向時の誤差の一端を見ることができ

る。左図において、2日21時対象の2日9時の予測値および21時の解析値との間の台風の中心位置や大きさなどの差は小さかった。右図の3日21時対象の2日9時および21時初期値の予測の比較では、台風の東側や北側で赤色の塗りつぶしの色が濃い領域が広がっていた。2日21時初期値の予測では9時初期値予測に比べて、太平洋高気圧の縁の部分を中心に張り出しが強いことを示している。この傾向は、その他の初期値比較でも確認できた。このことが、台風速報解析に比べて、東シナ海を西寄りに北上した要因の可能性はある。

まとめ(その1)

- 台風第11号について、GSMおよびGEPSを中心に台風の予測結果を確認した(台風強度の過発達傾向の予測のみMSM)
 - 発生予測
 - 発生の直前に少なくとも1日前まで等圧線が閉じた閉曲線での擾乱を表現することができなかった
 - 進路予測
 - 西進時(8月28日～31日):台風速報解析に比べて、日本の南を北よりに発達することなく進む予測などが見られた
 - 停滞時(9月1日～2日頃):台風速報解析に比べて、沖縄の南のやや東寄りの領域で停滞する傾向が見られた
 - 北上時(9月3日以降):台風速報解析に比べて、東シナ海を西寄りに北上する傾向が見られた
 - 強度予測
 - 西進時:台風速報解析に比べて、急発達が予測できなかった
 - 停滞時:台風速報解析では衰弱する傾向であったが、発達を予測する傾向が続き、解析に近い予測ができなかった
 - 北上時:台風速報解析では勢力を維持する傾向であったが、やや発達を予測する傾向が続き、解析に近い予測ができなかった

令和4(2022)年台風第11号の数値予報の予測結果について、まとめた。

まとめ(その2)

- 発生予測ができなかったことについて
 - 擾乱中心の南西側の領域での風速が弱いことにより海面からの潜熱フラックスの供給が弱くなり、熱帯擾乱の発達を抑えられ、GSMのモデル自身での熱帯擾乱の発生予測ができなかった可能性がある
- 台風の西進時に台風速報解析に比べて、28日15時初期値では日本の南を北よりに発達することなく進む予測となったことについて
 - 28日15時初期値の台風の中心位置が解析値に比べて北側であったこと
 - 28日15時初期値予測では29日9時初期値予測に比べて、太平洋高気圧の西へ張り出しが弱かったこと
 - 上記2つの理由により、日本の陸地近くを西進することができ、予測進路に差が生じた可能性がある。また、28日15時初期値予測では発達しなかったことも、太平洋高気圧の西へ張り出しをおさえる方に寄与した可能性がある
- 台風の停滞時に台風速報解析に比べて、沖縄の南のやや東寄りの領域で停滞する傾向が見られたことについて
 - 台風の南側に熱帯擾乱があり、台風と熱帯擾乱との相互作用は起きていた可能性がある。予測に差が生じた考えられる要因は、台風と熱帯擾乱の位置の差の寄与が大きいことである

まとめ(その3)

- 台風の北上時に台風速報解析に比べて、東シナ海を西寄りに北上する傾向が見られたことについて
 - 2日21時初期値の予測では9時初期値予測に比べて、太平洋高気圧の縁の部分を中心に張り出しが強い。このことが、台風速報解析に比べて、東シナ海を西寄りに北上した要因の可能性がある
- 西進時に台風速報解析に比べて急発達が予測できなかったことについて
 - 数値予報システムの観点から台風の急発達が予測できない要因の1つとして、数値予報システムの安定運用の観点から初期値の段階で中心気圧の深い構造の台風とならないような仕様となっていることが挙げられる
 - 実況と比較して中心気圧の浅い構造の台風から、実況のように中心気圧の深い台風をリードタイムの短い間に予測することは困難と考えられる
- 台風が停滞時や北上時に再発達する予測が続いたことについて
 - GSMで利用する海面水温が東シナ海から日本の東海上にかけて 28°C 以上で、台風の沖縄の南での停滞時や東シナ海北上時の再発達に寄与した可能性がある。東シナ海で 28°C 以上あり、再発達に寄与した可能性がある
- 台風強度の過発達傾向の予測について(MSM: 2022年9月4日9時対象)
 - リードタイムが長いほど、台風の中心気圧が、台風速報解析に比べてかなり低く、48時間以前の予測では900hPaを下回る結果となった。中心付近で100mm以上の予測降水量が集中する特徴が見られた



参考文献

- Ito, K., 2016: Errors in tropical cyclone intensity forecast by RSMC Tokyo and statistical correction using environmental parameters. *SOLA*, **12**, 247–252
- 伊藤耕介, 2018: 台風の予測精度向上に資する先端的研究の現状. 第11回気象庁数値モデル研究会, http://pfi.kishou.go.jp/Presen2018/2_ito.pdf, (参照2021-11-14)
- 上野充, 2000: 数値モデルによる台風予報. 気象研究ノート, **197**, 131-286.
- 嶋田宇大, 2019: 台風強度予報の改善に向けて取り組むべき研究課題. 第51回メソ気象研究会, http://pfi.kishou.go.jp/Presen2019/5_shimada.pdf, (参照2021-11-14)
- 気象庁情報基盤部, 2021: 台風第14号. 令和3年度数値予報解説資料集, 気象庁情報基盤部, 495–513.
- 気象庁, 2021: メソ数値予報システムの鉛直層増強、予報時間延長、物理過程の改良: 数値予報開発センター年報(令和3年), 気象庁 数値予報開発センター, 92–109.