

類似台風検索システムの精度向上による タイムラインへの活用について

東 亮佑¹

¹近畿地方整備局 紀南河川国道事務所 調査課 (〒646-0003 和歌山県田辺市中万呂142)。

熊野川では、平成23年の台風12号による出水で、甚大な被害を受けた。この被災を教訓とし、紀南河川国道事務所では事前防災行動計画（タイムライン）の策定し、そのことを目的として構築した中で、類似台風検索システムを構築した。当システムは過去の台風進路・気圧等を基に、接近する台風による熊野川の水位上昇量、パターンを予測し、迅速かつ確実な事前防災行動に繋げるものである。本稿は平成28年度に当システムを活用し、自治体とのタイムライン会議を進めるうえでの課題を抽出し改良結果を示すものであり、タイムラインにおける当システムの有用性と今後の取り組み方針について考察するものである。

キーワード タイムライン、類似台風、洪水予測

1. はじめに

(1) 熊野川の概要

熊野川は、その源を奈良県吉野郡天川村の山上ヶ岳に発し、途中で北山川と合流し、熊野灘に注ぐ流域面積 2,360km²、幹流流路延長 183km の一級河川である。紀南河川国道事務所では、図-2 のように熊野川本川は河口から 5km、支川市田川は本川合流点より 2km、支川相野谷川は本川合流点より 5.7km を国により管理している。



図-1 熊野川流域図



図-2 熊野川管内図

これを受け、熊野川では、平成23年12月に激甚災害対策特別緊急事業が採択され、再度災害防止を目的として、熊野川本川の河道掘削、堤防整備、堤防強化等及び、支川である相野谷川の輪中堤高上げ等を実施している。



写真-1 熊野川の越水による浸水



写真-2 鮎田水門付近の状況



写真-3 高岡輪中堤の転倒



写真-4 新宮市相筋地区の浸水

(2) 平成23年台風12号による被害

平成23年8月25日に発生した台風12号は、熊野川上流の大台ヶ原地点にて6日間の総雨量が2,000mmを超える未曾有の豪雨をもたらした。基準地点（相賀）においては、計画規模（19,000m³/s）を大きく上回る約24,000m³/sに達し、国管理区間沿川で約3,000戸の家屋浸水が発生するなど大きな被害が発生した。

2. タイムラインの策定

(1) タイムラインとは

近年、災害に対応するツールとして、2012年の米国のハリケーン「サンディ」においてニュージャージー州の防災に活用されたタイムライン¹⁾が注目されている。

タイムラインとは、事前にある程度被害の発生が見通せるリスクについて、被害の発生を前提に時間軸に沿った防災行動を策定しておくことである。

熊野川において、浸水被害を生じさせる水害の多くは台風によるものであるという特徴がある。これまでに発生した主要洪水を表-1に示す。

タイムラインを導入することによって、以下の効果が期待され、今後の災害対応に関する手段として非常に有

表-1 熊野川における主要洪水

発生年月日	降雨成因	被害状況		
		浸水面積(ha)	床上浸水(戸)	床下浸水(戸)
昭和57年8月	台風10号	約270	約580	約2080
平成2年9月	台風19号	約280	約210	約370
平成6年9月	台風26号	約180	約40	約80
平成9年7月	台風9号	約380	約380	約1050
平成13年8月	台風11号	約170	約70	約30
平成15年8月	台風10号	約130	約40	約10
平成16年8月	台風11号	約110	約40	約10
平成23年9月	台風12号	約430	約2160	約1160

※上記の浸水面積及び浸水戸数については新宮市・紀宝町の合計値

用なものである。

- ・ 早めの防災行動による避難行動・防災活動の余裕確保
- ・ 既往災害の「ふりかえり」を行うことにより、課題や教訓の継承が可能

(2) 熊野川タイムライン²⁾

紀南河川国道事務所では、従来、風水害対策運営計画に基づき、台風の進路を考慮しつつ、雨や水位の状況に応じて行動を実施する後追い型の防災行動を行っていた。しかし、水防警報や水位危険情報を出す際、昼夜問わず水防団待機・出動指示をする可能性があり、後追い型の防災行動では突然の待機・出動指示では対応しきれない恐れがある。沿川自治体へ操作委託している樋門や水門の操作時も同様で、河川管理施設の確実な操作ができない恐れがある。

そのため、台風の状況に応じた対応レベルを表-2のように整理した。台風の接近状況、水位状況から各レベルに分別し、いつまでに誰が何をしなければならないかについて整理している。例えばレベル2では専門調査員が流量観測施設の動作確認を行い、レベル3では電通・機械係が河川管理施設の点検業者へ待機指示を出す等具体的に整理した。

また、図-3に従来とタイムライン導入後の防災行動比較表を示す。従来では台風の進路や水位上昇等に合わせて防災行動を実施していたが、タイムラインを導入することで台風の上陸のおおむね3日前から防災行動を実施することにより、台風接近時における防災行動の余裕確保や必要な防災行動をより確実に行うことができる。

(3) 類似台風検索システム

タイムラインを進める上で重要な要素の1つとなるのが、具体的にどの程度の期間内で、どの程度の内容の事前防災行動を行う必要があるのか把握することである。熊野川の主要洪水は台風に起因するものが多いことから、過去の類似台風を検索し、当時の水位や浸水状況を時系列順に把握できれば、行動及び判断を支援できると考えら

表-2 各レベルの防災行動の事前整理

状況レベル	基準	防災行動項目	実行する係
レベル1	台風の発生～台風の中心位置が北緯20度以下、東経120度～145度にある	体制要員確保	全係
		河川管理施設の点検・調査	機械係
		災害対策用資機材の確認	地域防災調整官
		CCTV、テレメータの動作確認	電気通信係
		災害対策車の動作確認	機械係
レベル2	台風の中心位置が北緯20度以上、東経120度～145度にある～台風上陸2日前	工事施工業者への注意喚起	工務係
		流量観測浮子台下施設の現地動作確認	専門調査員
		洪水予測システム業者への注意喚起	調査係
レベル3	台風上陸2日前～水防団待機水位に達する	各種防災会議への出席	調査係
		流量観測業者待機指示	専門調査員
レベル4	水防団待機水位～冠氾注意水位に達する	航空写真撮影業者待機指示	専門調査員
		点検業者への待機指示	電通・機械係
レベル5	冠氾注意水位以上	災害対策車の事前移動	機械係
		水防警報（待機→準備→出動）	地域防災調整官
		洪水予測、水門・樋門の情報を自治体に提供	地域防災調整官
		水門・樋門操作員への出動指示	電通・機械係
		流量観測指示	専門調査員
		リエゾン派遣（必要時）	調査係
		冠氾操作指示	機械係
		監視体制強化	全係
		水門・樋門操作員の選定検討	機械係
		空席業者への出動指示	専門調査員
		避難・被災情報の収集	調査係
		被害情報を本局へ情報提供	地域防災調整官
		応急復旧対策を検討	工務係
		記者発表資料の作成	調査係

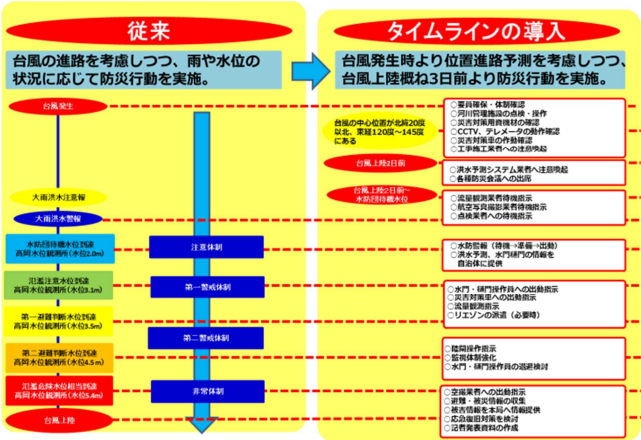


図-3 紀南河川国道事務所の防災行動の比較

れる。台風の状況に対して防災行動を行うタイミングを計るため、過去の類似台風の選定については、人の手で進路を計る。そこで、類似台風の選定を効率化するためのシステムを構築したものが類似台風検索システムである。

類似台風検索システムの運用方法は、統一河川情報システムから配信される現接近台風のデータを基に類似台風を検索することで、

- ① 当時の台風の水位の上がり方や浸水の範囲がわかる
- ② 過去の水防警報や避難指示のタイミングを把握することができる

これらのデータから、現接近台風に対して、水位の上がり方から水防警報のタイミング、あるいは避難勧告・指示のタイミングを計ることができるため、タイムラインにおける防災行動実施にあたって有益な情報となる。

3. 類似台風検索システムの運用と課題

(1) 平成28年台風18号での運用状況

平成28年9月28日午前3時に台風18号の発生が気象庁より発表された。9月29日午前時点での5日進路予報



図-4 紀宝町テレビ会議の状況

より台風18号が紀伊半島を通過する恐れがあることから、紀南河川国道事務所では熊野川下流部減災対策協議会で検討された減災に係る取組方針に基づき、台風接近の5日前、平成28年9月30日17時より熊野川タイムラインを開始した。

今回発生した台風が熊野川にどれだけ影響を与えるのか把握し、タイムラインにおける防災行動を支援するため、類似台風検索システムから本台風と類似性を持つ台風の選定を試みた。

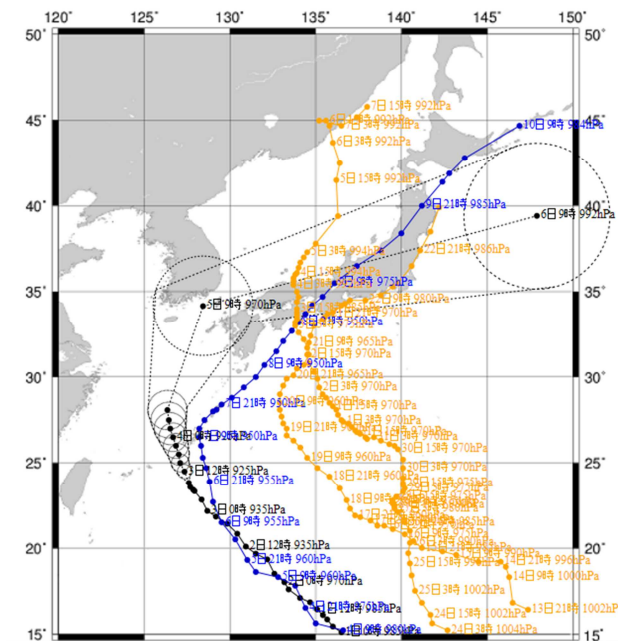


図-5 類似台風検索結果(10月3日9時時点)

類似台風検索より、コースの類似性の高い台風が5つ、中心気圧の類似性の高い台風が5つの計10台風が選定された。図-5はシステムより、コースの類似性の高い3台風を表示したものである。しかしながら、気象庁の予報では台風18号は日本海側に回り込んで上陸する進路が予想されており、類似台風検索システムで選定された10台風に日本海側を通過するコースを取るものはなかった。そのため、流域に強い降雨をもたらし、コースの類似性

が高い台風は無いと判断した。

(2) 実績台風による類似台風検索機能の検証

類似台風検索システムについて、実績台風を用いてシステムの検証を実施した。平成27年台風11号、平成28年台風10号、平成28年台風12号、平成28年台風18号の4事例を実績台風として検証に用いた。図-6に従来のシステムの類似台風検索結果を示す。

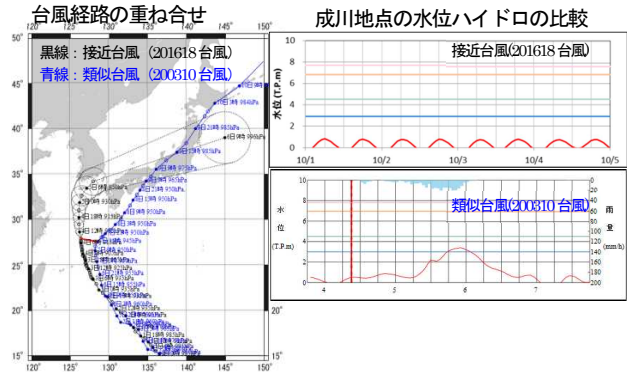


図-6 現行システムの類似台風検索結果(平成28年台風18号)

平成27年台風11号では、実績の台風経路と異なる経路の類似台風が検索されている。従来の類似台風検索での学習パターンとして、実績の台風経路と同様の経路の類似台風が無いことが原因と考えられる。

平成28年度の台風では、実績の台風経路と異なる経路の類似台風が検索されており、ハイドログラフがいずれも大きい値を示している。これは、現在の類似台風検索での学習パターンとして、実績の台風経路と同様の経路の類似台風が無いこと、検索対象が大洪水ばかりであることが原因と考えられる。

これらの検証より、大規模な台風だけでなく中小規模の台風のデータの拡充が必要であると考えられる。

4. 類似台風検索システムの改良

(1) 従来のシステムの課題

前項の実際の運用及び実績台風による類似台風検索機能の検証から、従来のシステムでは台風コースの類似検索の対象として大規模洪水を学習対象としており、検索結果も大規模な出水の予測となるため、中小規模の台風に対して実用的ではないこと、類似台風による降雨及びハイトグラフの予想を接近台風に対して適切に反映出来ないことが運用上の問題点として挙げられる。このことを踏まえて以下のような改良を試みた。

- ① 台風コースの類似検索の対象台風の追加
- ② 類似台風の降雨及びハイドロの登録
- ③ 類似台風と接近台風の時刻同期の改良

(2) データベースの拡充

従来のシステムには図-7で示されるような代表5パタ

ーンのハイドログラフやはん濫解析結果が表示されるが、最近の台風のパターンをみると必ずしも代表5パターンで分類できないことが確認されている。そこで、台風コースとそのときの被害を再度見直し、システムが適正に対応できるようにデータベースを更新した。

従来のシステムは平成26年までの台風を対象にデータベースが構築されている。システムの学習機会を増やすために平成28年度までに発生した台風も含めて、再度代表台風の見直しを行った。

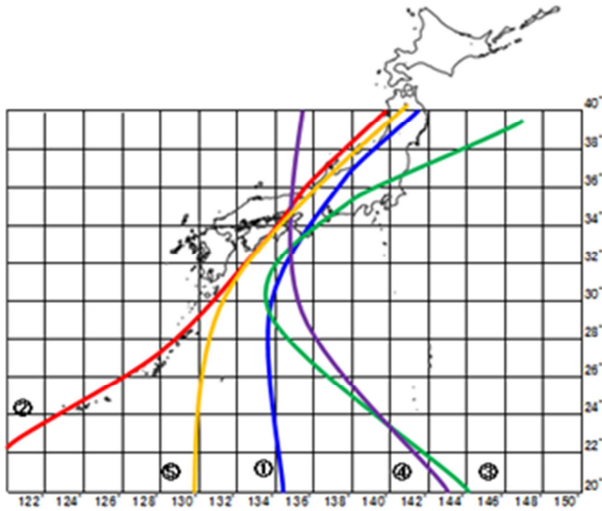


図-7 熊野川に災害をもたらした代表的な台風コース

従来システムでの類似台風検索機能では、熊野川に水害をもたらせた可能性のある台風として、1951年～2014年において熊野川流域から半径300kmの範囲を通過した計162台風のコースがデータベースに登録されている。

システム運用以降に発生した台風をデータベースに追加した。データベースに追加する台風の条件として、日本に「上陸」した台風（台風の中心が北海道・本州・四国・九州の海岸に達したもの）と、日本に「接近」（台風の中心が国内のいずれかの気象官署等から 300km 以内に入ったものとし、上陸 10 ケース、接近 9 ケースの計 19 ケースを追加した。

また、気候変動による疑似温暖化実験の伊勢湾台風 18 ケース、疑似温暖化実験の平成 23 年台風 12 号の計算結果 5 ケースを活用し、これらの台風データをシステムのデータベースに追加した。

(4) ニューラルネットワークを活用した台風コースの類似検索手法の改良³⁾⁴⁾

従来のシステムでは台風コース類似検索の対象として、熊野川において降雨量の多い21台風を対象としていた。これは、降雨量が少ない台風が検索されると降雨量が多い台風を見逃す可能性があること、過去似たようなコースを通る台風が多く、台風コース類似検索を行った際に学習による的中率が低くなることが理由である。

今回の検討では従来の熊野川の流域において降雨量の

多い 21 台風以外にその他の台風（平成 26 年以前の 162 台風と、前項に示した 42 台風）を追加し、従来の台風コースのみの検索に加えて、中心気圧、台風速度も検索の入力要素に加えるものとする。従来の台風コースのみでの学習では、多くの台風コースを学習した場合にニューラルネットワークのパターン認識の的中率は低くなることが予想されるが、中心気圧及び速度を学習要素に加えることで的中率が向上することが期待できる。

類似台風検索機能について、多量のデータから適合度の高いデータのパターン認識が可能な「ニューラルネットワーク手法」を用いている。ニューラルネットワークとは神経細胞の仕組みを模倣した数学モデルであり、入力データに反応し、適合するデータを出力する仕組みである。類似台風検索システムではニューラルネットワークを用いて過去のメッシュ化された台風コースのパターンを学習し、台風発生時には実況と予測の台風コースを入力することで学習したパターンに適合した台風番号を出力するものである。

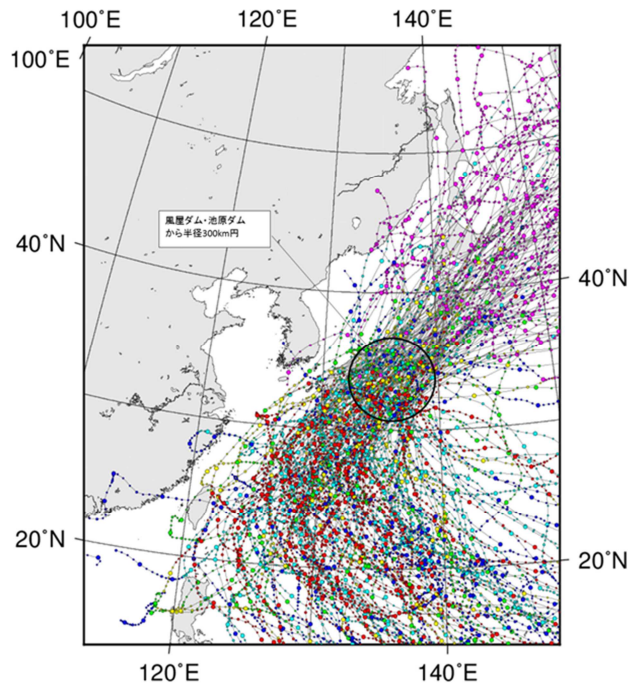


図-8 従来システムに登録されている台風

上記のように入力要素を増やす場合、従来のシステムで使用している検索手法を改良する必要がある。本検討では検索手法として図のような以下のケースを実施し、最適な検索手法を導入する。

- ① 従来のニューラルネットワークの拡張による検索
- ② 深層学習を適用した検索

従来のシステムでの類似台風検索機能では、中間層を1層とした3層の階層型ニューラルネットワークモデル(ANN)を用いている。対して、中間層を2層以上有するニューラルネットワークに学習させることを一般に深

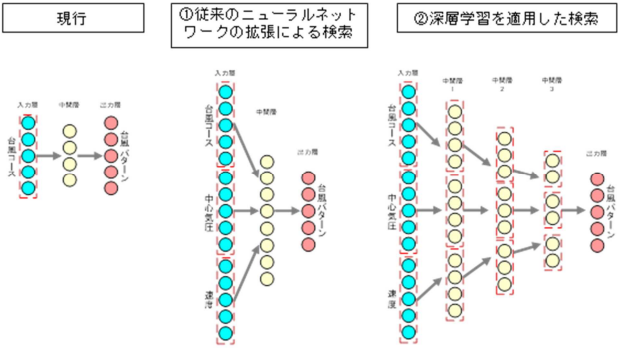


図-9 台風コース検索手法の改良

層学習という。本検討での深層学習の手法としてディープニューラルネットワーク（DNN）を用いた。DNNは階層型ニューラルネットワークの中間層を2層以上としたモデルである。

(5) 台風コース検索手法の検討

DNNによる学習モデルを用いた類似台風検索の検証を行った。従来から使用していたニューラルネットワーク（ANN）とDNNを比較対象とし、入力値の条件として、

- ① コースのみ
- ② コース+気圧
- ③ コース+気圧+速度

を設定し、実績台風の計181台風の入力値を与え、検索値（出力値）を算定した。検索値は0.0～1.0の範囲で出力され、全ての検索値を合計すると1.0となる。検索値が最も大きくなるものが検索1位となる。本検討は、構築したモデルへ学習に用いた入力値をテストデータとして与えて、検索値を算定し、検索値の最も大きい最適台風が元のテストデータとして入力した台風と一致しているかどうかを確認する。各学習モデルの検証結果を表に示す。

ANNを用いた3ケースはいずれも的中率が低い結果となった。さらに、入力するパラメータが増えるとともに的中率が低下する傾向が見られた。中間層を1層としたモデルに2～3つのパラメータから最適化を実施するとパ

ターン認識に限界があると考えられる。DNNを用いたケースではいずれも的中率が100%となり、入力するパラメータが増えるとともに検索値が増加する傾向が見られた。中間層を2層あるいは複数の層にすることで、パラメータを増やすことに対して、より強く入力値に対する台風の特性を認識していると評価できる。

以上より、類似台風検索の学習モデルとしてDNNを用いてコース・気圧・速度の3つのパラメータを入力するモデルの優位性が確認できた。

(6) 類似台風と現在台風の時刻同期の改良

類似台風のハイドログラフをもとに、接近中の台風による水位上昇を予想するために時刻同期を行う。従来システムでは接近台風の現時刻の位置と類似台風の位置より判断して時刻同期を図っていた。しかしながら、この方法では台風位置とハイドログラフの時点の関係がわかりにくく、水位のピーク時刻を見誤るおそれがある。そこで、台風進路予想のうち日本列島への最接近予想位置をもとに、類似台風との時刻同期を自動で行うように機能を改良した。また、同期時刻を微調整できるように手動で時刻同期を行う機能を設けた。

熊野川下流部減災対策協議会で検討された減災に係る取組方針に基づき、台風時に開催されるタイムライン連携会議において、紀南河川国道事務所は今後の河川水位の予測、水防警報や洪水予報等の見通しを関係県市町に提示する必要がある。その際の資料として類似台風や時刻同期後のハイドログラフやハイドログラフより算定した水防警報や洪水予報の予測日時を1枚にまとめた情報提供用資料を出力する機能を開発した。

類似台風検索機能の検証として、平成27年台風11号におけるシステムを利用したシミュレーションを実施した。表に同台風の概要を、図に同台風時のハイドログラフを示す。シミュレーションにより得られた台風上陸の3～1日前の類似台風検索結果を図に示す。

シミュレーション結果によると、高岡地点の避難判断水位の到達を台風上陸2日前（7月15日）には7月17日の7時頃に避難判断水位に到達すると予想している。これは

表-3 台風コース検索手法の検討ケース

No	ケース名	モデル種別	中間層	ユニット数	入力値	出力値	学習数
1	ANN_コース	ANN ニューラルネット ワーク	1層	2	コース	台風番号	181台風
2	ANN_コース+気圧		1層	2	コース、気圧	台風番号	181台風
3	ANN_コース+気圧+速度		1層	2	コース、気圧、速度	台風番号	181台風
4	DNN_コース	DNN ディープニューラル ネット	2層	1層目150 2層目 50	コース	台風番号	181台風
5	DNN_コース+気圧		2層	1層目200 2層目 50	コース、気圧	台風番号	181台風
6	DNN_コース+気圧+速度		2層	1層目200 2層目 50	コース、気圧、速度	台風番号	181台風

表-4 2015年7月台風11号の概要

項目	内容
発生期間	2015/7/4~7/18
上陸日時	7/17 0:00頃
ピーク水位	成川 (7/17 7:00) 7.0m 高岡 (7/17 9:00) 8.5m

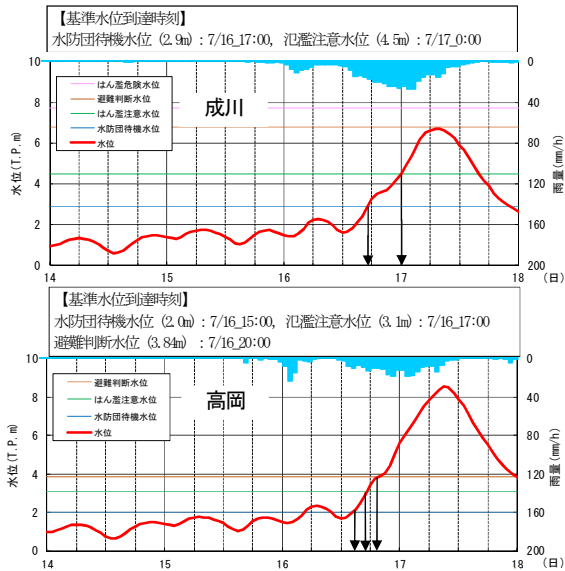


図-10 2015年7月台風11号のハイドログラフ

実際の到達時刻（7月16日20時頃）と比べて12時間程度遅い。しかしながら、上陸までに2日間程度の猶予があること、台風上陸前日からは気象庁の予測雨量を用いて6時間先までの予測水位を算出する熊野川洪水予測システムを用いて水位予測を実施することを考えると、水防体制支援を目的とした今後の河川水位の予想として実用的なものであると言える。タイムライン連携会議におい

て紀南河川国道事務所から関係市町に向けてこれらの水位予測を提示することにより、防災活動の円滑化を図ることが可能となる。

5. おわりに

類似台風検索システムを平成27年度、平成28年度に熊野川タイムラインで運用し、運用した実績から判明した精度の課題について、DNNといった深層学習を利用した手法を用いて精度向上を図った。今後、実際に台風が際の実運用を通じて、精度の検証を実証していく必要がある。また、天気図や気圧配置等を検索のパラメータとして組み込むことで、降雨要因毎の検索並びにデータベースの有効活用方法として過去の降雨・水位と深層学習を利用した事前の洪水予想の高度化を図っていきたいと考えている。

参考文献

- 1) 国土交通省：米国ハリケーン・サンディに関する現地調査、先を見越した水害対応（事前行動計画）について、平成25年10月
(<http://www.mlit.go.jp/river/kokusai/disaster/america/>)
- 2) 大橋：類似台風検索システムを活用した防災行動計画について、防災・保全部門：No.11
- 3) 由良・田中・金・吉田・武市・大橋・前田：深層学習を利用したNeural Networkによる類似台風検索システムの開発、河川技術論文集第23巻、2017年6月
- 4) 熊沢：学習とニューラル・ネットワーク、電子情報通信工学シリーズ、森北出版、1998年7月

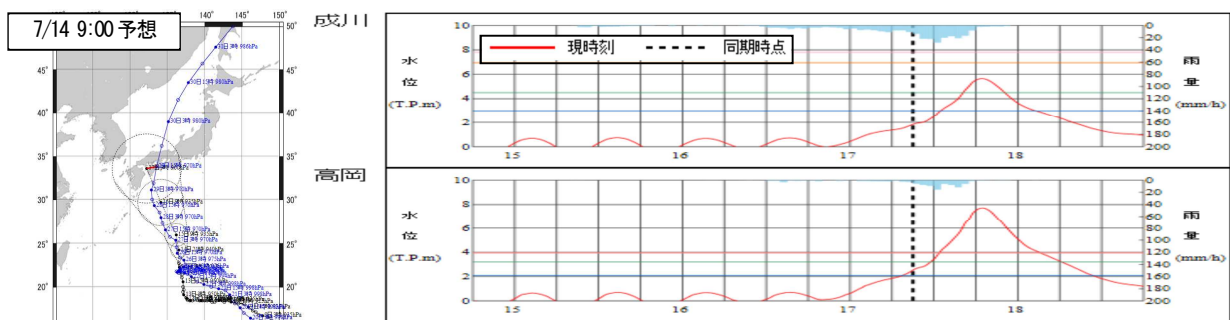


図-11 2015年7月台風11号の3日前の類似台風とその雨量・水位（同期後の結果）

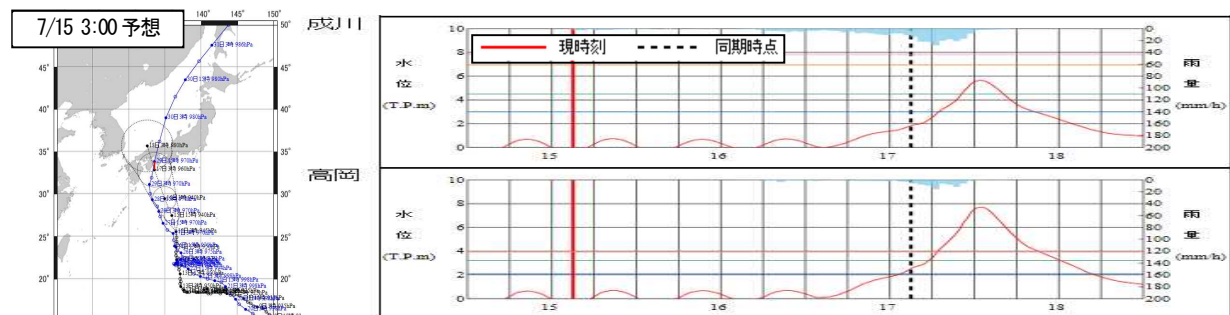


図-12 2015年7月台風11号の2日前の類似台風とその雨量・水位（同期後の結果）