

DNNを適用した類似台風検索システムの 課題と改善

TASK AND IMPROVEMENT OF A THE SIMILAR TYHOON SEARCH SYSTEM BASED ON A DEEP NEURAL NETWORK USING DEEP LEARNING

由良英作¹・田中耕司²・金淵中³・吉田達也⁴・前田茂穂⁴・東亮祐⁴・川嶋智和⁴
Eisaku YURA, Kohji TANAKA, Yeonjoong KIM, Tatsuya YOSHIDA, Shigeo MAEDA,
Ryosuke AZUMA and Tomokazu KAWASHIMA

¹正会員 修(工) (株)建設技術研究所大阪本社(〒541-0045 大阪市中央区道修町1-6-7)

²正会員 博(工) 大阪工業大学工学部都市デザイン工学科特任教授(〒535-8585 大阪市旭区大宮5-16-1)

³正会員 博(工) (株)建設技術研究所大阪本社(〒541-0045 大阪市中央区道修町1-6-7)

⁴正会員 国土交通省近畿地方整備局紀南河川国道事務所(〒646-0003 和歌山県田辺市中万呂142)

The currently operating Kumano River Flood Crisis Management System conducts a search for similar types of typhoons using Deep Neural Network (DNN) and by providing information on expected water level rise based on past typhoons. We support decision making leading to pre-disaster prevention behavior. This research aims to construct a more practical system by improving the accuracy of the similar typhoon retrieval method and improving the function of the system based on problems related to similar typhoon retrieval experienced through actual operation of the system.

Key Words : Deep Neural network, Deep learning, Similar typhoon researching system, Disaster prevention support system

1. はじめに

熊野川流域では、平成23年の台風12号による紀伊半島豪雨など、台風に起因する水害を多く経験している。そのため、国土交通省紀南河川国道事務所と新宮市・紀宝町・気象台では台風上陸5日前から情報連携を積極的に実施し、タイムラインに沿った事前防災行動が執られている¹⁾²⁾。

具体的には、台風接近の5日前よりタイムラインに基づく連携会議(テレビ会議)が行われており、関係市町、県、気象台、紀南河川国道事務所が、接近する台風に備えて、現在の状況の共有や今後の取り組み内容・体制を確認している。

河川管理者である紀南河川国道事務所は、この会議において、検索した類似台風に基づき今後の河川水位の見通しについての報告を行っている。これらの情報は、関係市町が水防体制や避難勧告発令の見通しを判断し、タイムラインに沿った事前防災行動を実施するうえで非常に重要なものとなる。

紀南河川国道事務所では、類似台風検索機能および水

防体制支援情報提供機能を有する熊野川洪水危機管理情報システム(以下「現行システム」)を2015年度より運用しており、2016年度に類似台風検索に関する改良が行われた³⁾⁴⁾⁵⁾。本研究は、現行システムの実運用を通して得られた課題を踏まえて、類似台風検索精度の向上およびシステムの操作性向上を行い、より実用的なシステムを構築することを目的とする。

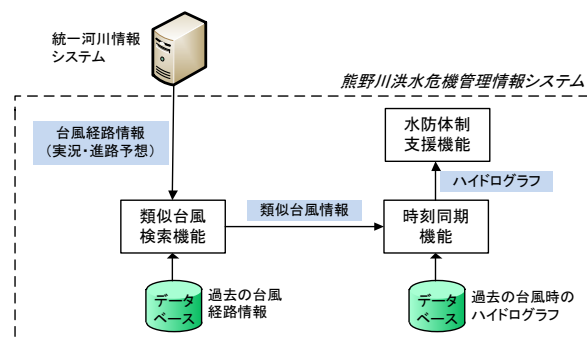


図-1 熊野川洪水危機管理情報システムのシステム構成

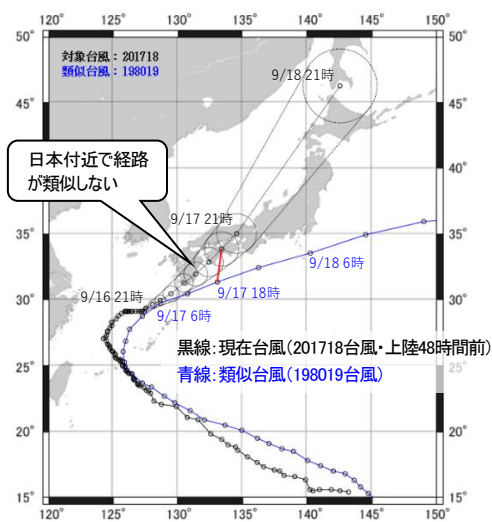


図-2 類似台風検索の検証事例

2. 実運用により得られた現行システムの課題

(1) 類似台風検索機能の課題と対応

2017年に日本へ上陸した4台風（3号、5号、18号、21号）について、類似台風検索の精度を検証した。検証方法として、各台風の上陸2日前および1日前の進路予想を用いた類似台風検索結果（検索順位第1位から第5位）を出力し、現在の台風と検索された類似台風の経路の適合性を目視により評価した。検証より得られた課題を以下に示す。

- ① いずれの台風も、比較的経路が類似した台風が検索されている。しかし、図-2に示すように、日本付近で経路が類似した台風が必ずしも検索されていない。これは、日本の南海上の経路も検索対象となっていることが原因であると考えられる。
- ② 201705台風のような迷走台風では、経路が類似しない台風が検索されることがある。これは、迷走部分の経路も検索対象となっていることが原因であると考えられる。
- ③ 経路が類似していても、降雨が少ない台風が検索されている。現行では、降雨の傾向は、類似台風の検索対象となっていない。
- ④ 201705台風のように、動きが遅く今後の予想進路が定まらない台風に対して、「進路を独自に指定して類似台風を検索したい」という要望がある。しかし、現行システムには、進路を独自に指定した類似台風検索の機能はない。

上記課題を踏まえて、本研究では次の検討を行った。

①②への対応として、日本付近に着目し、緯度等で検索範囲を限定した類似台風の検索方法を検討する。

③への対応として、現在の、コース、気圧、速度に加えて、雨量をパラメータとして考慮した類似台風検索を検討する。

④への対応として、台風の予想進路を手動で指定して類似台風を検索する手法を検討する。

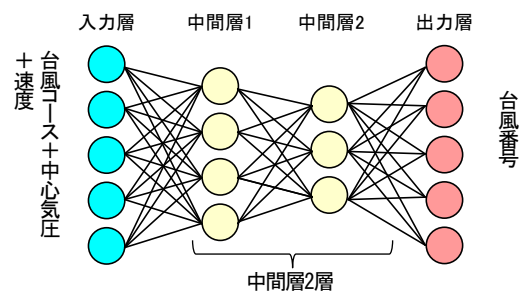


図-3 DNN（ディープニューラルネット）のモデル構成

(2) 水防体制支援情報提供機能の課題と対応

現行システムが有する水防体制支援情報提供機能について、紀南河川国道事務所における2017年度の台風時の利用実態を調査したところ、実運用では以下のような理由により利用されなかった。

- ・システムの操作方法が分かりにくい。
- ・多忙な水防体制時において、システム担当者が利用者へシステムの操作方法を説明する時間的余裕は無い。
- ・水防体制支援情報を記録する際の入力項目が多く、手間がかかる。水防体制時の多忙な状況下では、入力が追いつかない。

以上より、水防体制支援情報提供機能については、職員の利用が容易となるよう全面的な改良を行う。

3. 類似台風検索手法の改良方法の検討

(1) DNNの概要

現行システムの類似台風検索機能では、図-3に示すような、中間層を2層としたDNN（ディープニューラルネットワーク）を用いている。このような中間層が2層以上を有するニューラルネットワークによる学習を、深層学習と呼ぶ。深層学習では、大量の入力データからの共通要素の抜き出しによる次元数の減少や、各要素の優先順位を決定する処理の重みの設定を自動的に設定するといった手続きが自動的に行われる⁹⁾。

ニューラルネットワーク⁷⁾は、図-4のような脳の神経細胞の仕組みを模倣した数学モデルであり、一定の入力データ（刺激）に対して、適合するデータを出力（反応）する仕組みである。

$$s = \sum_{n=0}^N w_n x_n \quad (1)$$

$$y = \text{sigmoid}(s) \quad (2)$$

素子への入力を $x_0, x_1, x_2, \dots, x_N$ 、出力を y 、結線の重みを $w_0, w_1, \dots, w_N$ 、閾値は結線重みの1つ w_0 として表す。

本研究では、ニューラルネットワークの学習方法として、誤差逆伝搬法を用いる。誤差逆伝搬法は、フィードフォワード型ニューラルネットワークの代表的な学習法であり、訓練データが与えられる都度、結線重みを微小修正するものである。

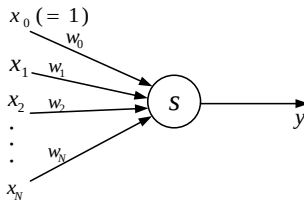


図-4 ニューラルネットを構成する素子の模式図

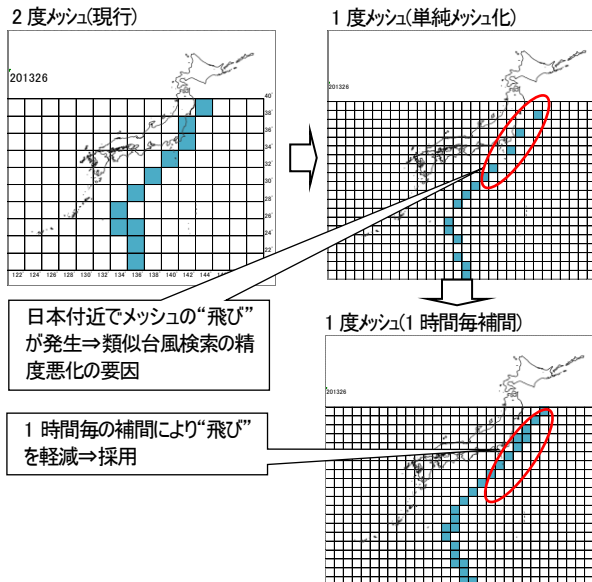


図-5 台風情報のメッシュ細分化

(2) 日本付近に着目した類似台風検索

現行システムの検索範囲は、北緯20度～40度、東経120度～150度の範囲を対象として、時点ごとの台風情報を「2度メッシュ」に変換した経路情報を用いている。熊野川の洪水危険度の判断を目的とした場合、台風が熊野川の西側を通過するか東側を通過するかなど、よりコースが類似した台風を検索することが求められる。したがって、日本付近に着目した検索を行うために、現行の検索範囲を「北緯25度以北」「北緯30度以北」に絞った検索を検討する。しかし、現行の2度メッシュで範囲を絞り込んだ場合、メッシュ数が少なくなり、最も重要な日本付近の類似台風検索の精度が悪化する懸念がある。以上を踏まえ、ここでは以下の検討を行う。

- ・台風情報メッシュを2度メッシュから1度メッシュに細分化する。
- ・類似台風の検索範囲を「北緯20度以北」に加えて、「北緯25度以北」「北緯30度以北」とする。

a) 台風情報のメッシュ細分化

気象庁の台風情報は、6時間または3時間毎に提供される。日本付近では、台風の色度は速くなるため、台風情報メッシュを単純に2度から1度に細分化した場合、メッシュの“飛び”が発生する。この“飛び”がある状態で類似台風検索を試行すると、従来の2度メッシュの場合に比べて、日本付近における類似台風検索精度が悪化した。そこで、6時間または3時間毎の台風情報を1時間毎に補間して1度メッシュ化する方法を採用した（図-5）。

表-1 類似台風検索モデルの精度検証条件(1)

項目	現行モデル (CASE1)	1度メッシュモデル (CASE2)
モデル種別	DNN	DNN
中間層	2層	2層
メッシュサイズ	2度メッシュ	1度メッシュ
モデル範囲	北緯20度～40度 東経120度～150度	北緯20度～40度 東経120度～150度
入力要素	コース、気圧、速度	コース、気圧、速度 (1hr補間)
入力ユニット数	450	1800
中間ユニット数	1層目：200、2層目：50	1層目：1800、2層目：1800
出力ユニット数	学習用に与えた台風数	学習用に与えた台風数
その他	-	過適合緩和のためドロップアウトを適用
学習データ	162台風 (1951～2014年)	162台風 (1951～2014年)
テストデータ	14台風 (2015～2017年)	14台風 (2015～2017年)

表-2 類似台風検索精度の評価方法

評価基準	評価	得点
北緯30度～35度で距離の最大が2.5度未満	○	1.0
北緯30度～35度で距離の最大が2.5度～5.0度未満	△	0.5
北緯30度～35度で距離の最大が5.0度以上	×	0.0

この方法により、メッシュの“飛び”が軽減される。

現行システムによる2度メッシュと、1度メッシュによる類似台風検索を実施し、検索精度を比較する。類似台風検索モデルの諸元を表-1に示す。

1度メッシュを採用したことにより、入力層のユニット数が大幅に増えたため、中間ユニット数の数を増やして対応した。しかし、モデルが複雑化するに伴い、過学習 (Overfitting) のおそれがあった。過学習とは、機械学習において、学習データに対しては適切に学習されているが、未知のデータに対しては適合できていない (汎化できていない) 状態である。本研究では、過学習を回避するために、ドロップアウト (Dropout) を適用した。ドロップアウトは、ニューラルネットワークを学習する際に、中間層のいくつかのノードを無効として学習を繰り返す、ネットワークの自由度を強制的に小さくして汎化性能を上げることににより、過学習を回避する手法である。

学習データとして1951年～2014年 (64年間) に発生し、熊野川の半径300kmの範囲を通過した162台風を与えて学習モデルを構築し、その学習モデルに、テストデータとして現行システム運用開始後の2015年～2017年に発生した14台風を与えて類似台風検索を実施した。検索結果として出力されるSoftmax関数の出力値を用いて類似台風の検索順位を付け、第1位から第7位までの類似台風検索結果を出力した。

出力した類似台風の検索結果を用いて、目視によりテスト台風と検索台風の経路の類似性を評価した。評価は日本付近に着目して、表-2に示す評価基準を用いた得点方式とし、テストデータとして与えた1台風毎に第1位から第7位までの評価得点を平均したものを、14台風分累加した。類似台風検索精度の評価範囲は、熊野川流域が位置する北緯30度から35度とした。

表-3 類似台風検索精度の評価結果(1)

ケース名	Case1	Case2
メッシュ	2度メッシュ	1度メッシュ
評価得点	9.43	10.50

表-4 類似台風検索モデルの諸元(2)

		北緯25度以北のケース	北緯30度以北のケース
項目		1度メッシュモデル (CASE3)	1度メッシュモデル (CASE4)
モデル諸元	モデル種別	DNN	DNN
	中間層	2層	2層
	メッシュサイズ	1度メッシュ	1度メッシュ
	モデル範囲	北緯25度～40度 東経120度～150度	北緯30度～40度 東経120度～150度
	入力要素	コース、気圧、速度 (1hr補間)	コース、気圧、速度 (1hr補間)
	入力ユニット数	1350	900
	中間ユニット数	1層目：1350、2層目：1350	1層目：900、2層目：900
	出力ユニット数	学習用に与えた台風数	学習用に与えた台風数
その他		過適合緩和のためドロップアウトを適用	過適合緩和のためドロップアウトを適用
学習データ		162台風 (1951～2014年)	162台風 (1951～2014年)
テストデータ		14台風 (2015～2017年)	14台風 (2015～2017年)

表-5 類似台風検索精度の評価結果(2)

ケース名	Case2	Case3	Case4
検索範囲	20度以北	25度以北	30度以北
評価得点	10.50	10.71	11.00

評価結果を表-3に示す。同表によると、2度メッシュの現行モデル (Case1) よりも、1度メッシュを採用したCase2の方が日本付近の検索精度は良いといえる。以上より、類似台風検索に関してメッシュの細分化は有効と評価し、システムに反映した。

b) 類似台風の検索範囲の絞り込み

前述の「1度メッシュ (1hr補間)」を適用した類似台風検索モデルをベースとして、モデル範囲を「北緯25度以北」および「北緯30度以北」とした場合の類似台風検索を実施する (表-4)。

評価結果を表-5に示す。同表によると、検索範囲が北緯20度以北のCase2よりも、北緯25度以北 (Case3) および北緯30度以北 (Case4) の方が、日本付近の検索精度は良いといえる。

以上より、類似台風の検索範囲の絞り込みは有効と評価し、システムを改良した。

(3) 降雨をパラメータとして加えた類似台風検索

コースが類似した台風でも、前線等の影響による上陸前の前期雨量の有無により、熊野川の洪水規模は異なる。降雨をパラメータとして加えた類似台風検索の目的は、台風コースに加えて台風上陸前の前期雨量の類似性を同時に把握することとなる。そこで、現在の「コース」「気圧」「速度」に加えて、「雨量」をパラメータとして考慮した類似台風検索を検討する。

雨量情報を、他の情報と等価のパラメータとして評価するために、各時刻の雨量情報を、各時刻のメッシュへ与えた (図-6)。各時刻の雨量情報として、熊野川流域平均24時間雨量を設定し、「気圧」「速度」と同様に正規化情報としてパラメータ化したものを類似台風検索モ

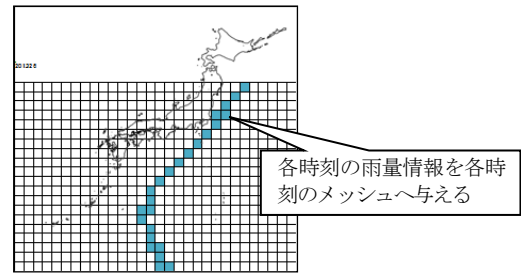


図-6 雨量情報のメッシュデータ化

表-6 類似台風検索モデルの精度検証条件(2)

		北緯20度以北のケース (前述)	降雨含む
項目		1度メッシュモデル (CASE2)	1度メッシュモデル (CASE5)
モデル諸元	モデル種別	DNN	DNN
	中間層	2層	2層
	メッシュサイズ	1度メッシュ	1度メッシュ
	モデル範囲	北緯20度～40度 東経120度～150度	北緯20度～40度 東経120度～150度
	入力要素	コース、気圧、速度 (1hr補間)	コース、気圧、速度 (1hr補間)、雨量
	入力ユニット数	1800	2400
	中間ユニット数	1層目：1800、2層目：1800	1層目：2400、2層目：2400
	出力ユニット数	学習用に与えた台風数	学習用に与えた台風数
その他		過適合緩和のためドロップアウトを適用	過適合緩和のためドロップアウトを適用
学習データ		162台風 (1951～2014年)	162台風 (1951～2014年)
テストデータ		14台風 (2015～2017年)	14台風 (2015～2017年)

表-7 類似台風検索精度の評価結果(2)

ケース名	Case2	Case5
パラメータ	コース、気圧、速度	コース、気圧、速度、降雨
評価得点	10.50	9.43

デルへ適用した (表-6)。

評価結果を表-7に示す。同表によると、降雨をパラメータとして加えたCase5の方が、経路の検索精度が悪くなった。また、降雨が強い場合は、降雨がある台風を類似台風として検索する傾向は見られたが、降雨が少ない場合は台風経路検索の精度を悪化させる結果が見られた。

熊野川の洪水危険度を判断するための類似台風検索として、台風経路の検索精度の向上が最重要視されている中、台風経路検索の精度を悪化させる要因となる降雨をパラメータとして含めるのは困難であると判断し、システムに反映しないものとした。なお、台風の経路と降雨波形のパターン等の水文情報を取り入れた深層学習のあり方については今後の検討課題である。

(4) 予想進路を手動で指定した類似台風検索

気象庁の台風の予想進路が定まらない場合に、予想進路を手動で指定した類似台風の検索手法として、DTW法 (Dynamic Time Warping：動的時間伸縮法) を適用する。DTW法は、2つの時系列データ対して、各時点の2点間の最小距離の累積値を算定し、その累積値が最小となる時系列データの組み合わせを最適とする手法である。

DTW法を適用した「予想進路を手動で指定した類似台風検索手法」を次に示す。

- ①手動で台風経路を指定：予想される進路を、手動で5点程度指定する。
- ②類似台風の検索：5点程度の指定経路と類似する経路をもつ過去の台風を、DTW法により検討し、最小距

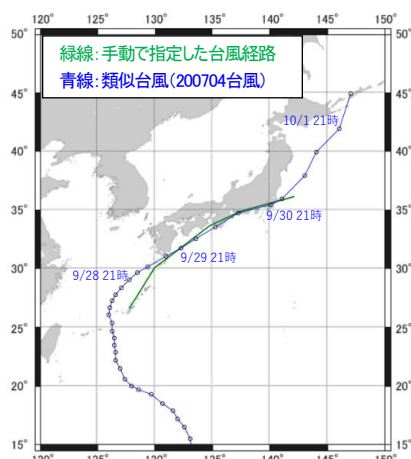


図-7 予想進路を手動で指定した類似台風の検索例

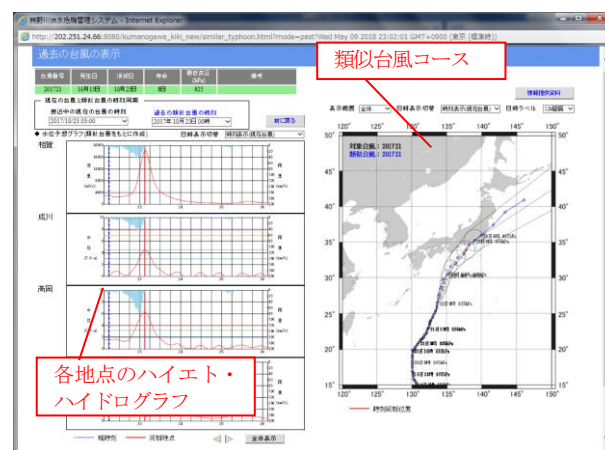


図-9 類似台風検索結果画面

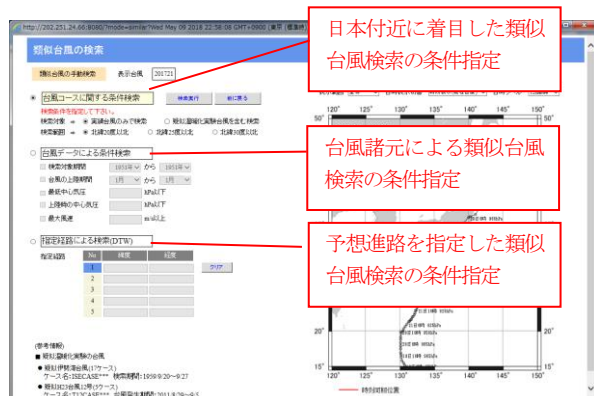


図-8 類似台風検索の条件設定画面

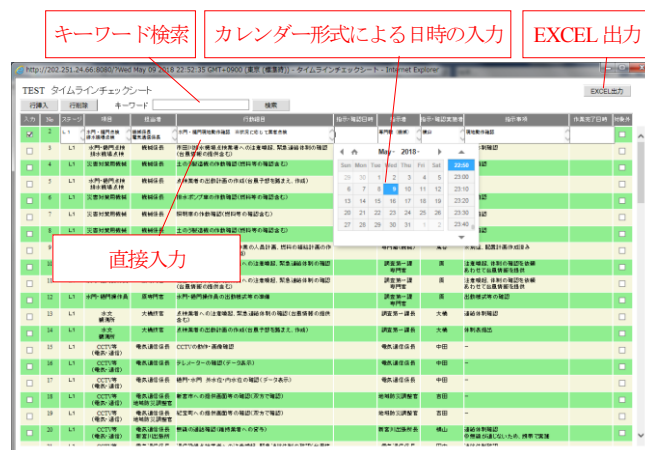


図-10 タイムラインチェックシート入力画面

離の累積値の昇順に順位をつける。

上記手法をもとに、予想進路を手動で指定して類似台風検索を実施したところ、図-7のように、経路が類似した台風を検索した。以上より、本手法は有効と評価し、システム改良に反映した。

4. 熊野川洪水危機管理情報システムの改良

(1) 類似台風検索機能の改良

類似台風検索機能は、気象庁から受信した現在の台風情報をもとに類似台風を検索するものである。類似台風検索の条件設定画面として、3章で検討した類似台風検索手法の改良方法を反映するように現行システムを改良した(図-8)。設定条件による類似台風検索結果は、現在台風と類似台風コースの重ね合わせ図と各地点のハイト・ハイドログラフを合わせて表示する(図-9)。

(2) 水防体制支援情報提供機能の改良

水防体制支援情報提供機能を改良し、図-10に示すタイムラインチェックシートの入力機能を構築した。本機能は、台風発生時のタイムラインに基づく事前防災行動を所内のイントラで一覧表示し、職員の相互入力および進捗状況の情報共有を行うものである。各行動の担当職員は、基本的に実施した行動の日時を入力するだけである。システムに不慣れな職員でも直感的に操作できるよ

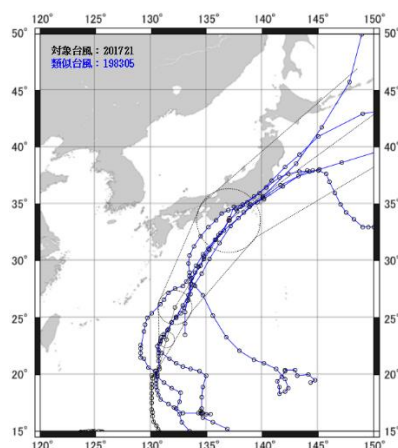


図-11 類似台風検索結果の重ね合わせ

う、機能を工夫した。

5. システム改良効果の検証

201721台風を用いて、類似台風検索機能の改良効果を検証した。同台風の上陸2日前の進路予報による検索結果(検索順位第1位～第5位)の重ね合わせを図-11に、類似台風の諸元を表-8に示す。これらより、日本付近で経路が極めて類似した台風を検索できたことが分かる。一方、経路が類似したこれらの台風の累加雨量は、検証対象台風と比べて、いずれも小さかった。

表-8 類似台風の諸元 (201721 台風上陸2日前)

検索順位	台風名	最低気圧(hPa)	累加雨量(mm)	備考
0	201721	925	579	検索対象
1	198305	895	239	
2	199114	984	135	
3	195821	920	193	
4	200422	920	149	
5	196718	980	212	

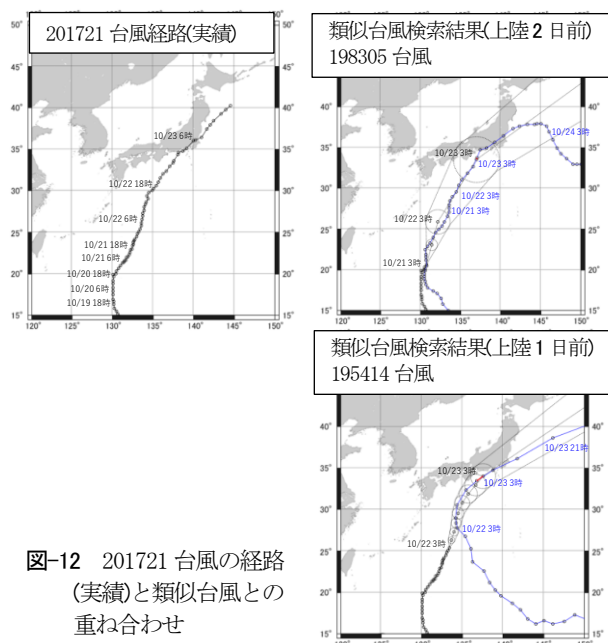


図-12 201721 台風の経路 (実績)と類似台風との重ね合わせ

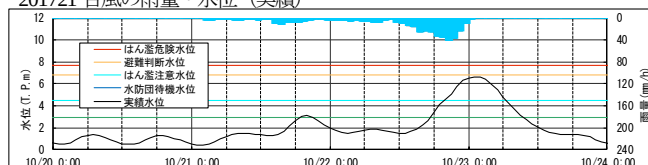
201721台風と上陸2日前および1日前の類似台風検索第1位の経路の重ね合わせを図-12に示す。またこれらの類似台風のハイドログラフを、検証台風の日時と時刻同期したものを図-13に示す。同図より、上陸2日前でハイドログラフのピーク時点を概ね正確に予想していることから、水防体制に入る時期を事前に予想できるという意味で、本システムは一定の役割を果たすものといえる。しかし、タイミングは予想できたが、類似台風のハイドログラフは検証台風と比べて小さく、大規模出水の台風を検索できていない。

本研究では、台風経路の類似性を重要視して検索精度の向上を図ったことから、類似経路の検索精度は良好である。しかし、経路が類似していても、降雨規模が大きく異なる場合が多く存在する。本研究では、降雨を他の経路情報と等価のパラメータとして、類似台風の検索モデルを検討したが、良好な結果が得られなかった。したがって、降雨規模の類似した台風を検索するための新たな手法の検討が必要である。

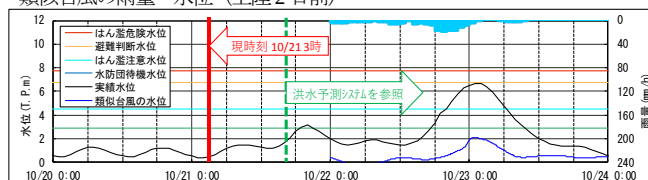
6. おわりに

本研究では、類似台風検索機能の改良として、主に台風経路の類似性に関する精度向上を図ることが出来た。しかし、降雨の類似性を含めた台風検索については課題が残った。今後の対応として、類似台風検索の目的を再

201721 台風の雨量・水位 (実績)



類似台風の雨量・水位 (上陸2日前)



類似台風の雨量・水位 (上陸1日前)

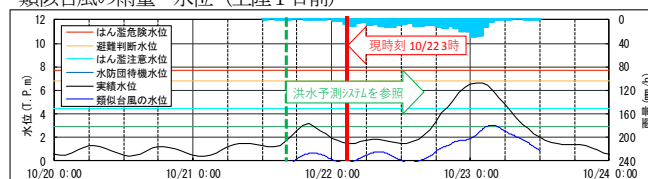


図-13 201721 台風と類似台風のハイドログラフ

度整理したうえで、必要な類似台風結果が得られるよう検索モデルおよび機能を改良したいと考えている。例えば、気圧配置の類似した台風の検索により、降雨の傾向が類似した台風を検索できる可能性がある。

また水防体制支援情報提供機能は、現場の利用実態を踏まえて、職員のシステム操作の負担を大幅に軽減したシステムへ改良した。これについて、実運用により操作実態を検証していく必要があると考えている。

参考文献

- 1) 加藤翔：熊野川タイムラインの取り組みについて，平成27年度近畿地方整備局研究発表会 論文集，防災保全部門No.9
- 2) 大橋幸一郎：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，平成28年度近畿地方整備局研究発表会 論文集，防災保全部門No.11
- 3) 東亮祐：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，平成29年度近畿地方整備局研究発表会 論文集，防災保全部門No.10
- 4) 田中耕司，由良英作，佐々木昌俊，白波瀬卓也，下川晃生，加藤翔：実績台風進路に基づく防災事前行動計画の作成とそれを支援する類似台風検索システムの構築，河川技術論文集,第21巻，pp.443-448，2015.6.
- 5) 由良英作，田中耕司，金淵中，吉田達也，武市真裕子，大橋幸一郎，前田茂穂：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，pp.97-102，2017.6.
- 6) 岡谷貴之：深層学習，講談社，2015.4.
- 7) 熊沢逸夫：学習とニューラルネットワーク，1998.7.

(2018. 4. 3受付)