

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

DEVELOPMENT OF THE SIMILAR TYPHOON SEARCH SYSTEM SUPPORTING
THE DISASTER PREVENTION AND MITIGATION ACTION PLAN BASED ON
THE RESULTS TYPHOON COURSE

田中耕司¹・由良英作²・佐々木昌俊²・白波瀬卓也³・下川晃生⁴・加藤翔⁴
Kohji TANAKA, Eisaku YURA, Masatoshi SASAKI, Takuya SHIRAHASE, Akio SHIMOKAWA
and Sho KATO

¹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)

²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)

³正会員 国土交通省近畿地方整備局河川部河川計画課 (前紀南河川国道事務所調査第一課)
(〒540-8586 大阪市中央区大手前1-5-44)

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)

It is necessary for the river administrator to predict the flood disaster and to do an appropriate judgment and action. The accuracy of the flood prediction model and system, which have been studied, has been higher than before one. We have grasped the flood disaster caused by some past typhoons and rearranging of the important duties contents of the river manager, for the expectation of the typhoon in making of the disaster prevention action plan. This paper describes the knowledge of the design and build of the supporting system of the flood fighting based on the disaster prevention and action plan. Moreover we developed the similar typhoon search system, which was combined with the neural network model, for supporting system of the flood fighting based on the disaster prevention and action plan.

Key Words : *Neural network, Similar typhoon research system, Supporting system of flood fighting, disaster prevention and action plan*

1. はじめに

近年、これまで経験したことがないような記録的な大雨や、巨大台風に伴う浸水等の水災害が頻発している。大型台風や集中豪雨等が相次ぐ我が国の現状に鑑み、国土交通省は2014 年中を目途に水災害対策について「日本型タイムライン (事前対応計画)」¹⁾の導入を計画している。

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。タイムライン先進国である米国では、2012 年のハリケーン・サンディ発生時に各地で多くの被害が出たが、ニュー・ジャージー州等ではタイムラインに基づき対応した結果、被害を縮小することに成功したという事例²⁾がある。

紀伊半島を襲来し、大量の降雨をもたらす台風に備えて、関係機関がそれぞれの責任においてタイムラインに

よる防災事前行動～BCP～災害復旧活動に至る行動を効率良く行うことが必要である。しかしながら、関係機関との連携も含めた統合化された防災事前行動計画を策定することは、調整等により難しい。

また、台風による河川水位等の判断基準も含めると、まだ課題が残されている中で、現状では、既往台風でのタイムラインによる防災事前行動の整理と今後の行動内容の精査が先決である。

本検討では、まず、紀南河川国道事務所におけるタイムラインでの行動を規定することを目的に、災害対策本部に規定されている組織、分掌および業務内容、さらに水防マネジメント計画で規定されている行動と判断などを、台風のトラックに応じた適切な行動と判断を時間軸上で検討し、クロノロジーの考えに基づくタイムラインでの防災行動に漏れがないようにシステム化の検討を行った。

さらに、熊野川流域において、既往の災害のほとんど

が台風成因による豪雨によって発生している。このため、台風の予報に対して、過去の類似台風を検索し、かつそのときの水位ハイドロや浸水被害状況を時系列の情報を提供することができれば、タイムライン上での防災行動の支援に繋がるものと考えられる。このような考えの基で、本研究では、台風発生から類似台風を検索し、その台風に沿って、タイムライン上の対応レベルとその事前行動内容を支援するシステムを開発した。

2. クロノロジーの概念と構想システム

(1) 防災事前行動におけるクロノロジーの位置づけ

防災事前行動を認識し、行動する際に、災害対策本部を立ち上げ、その中で各班・係が分掌に基づき業務をこなすのが通常の対応である。しかしながら、この本部の体制には台風の進路等が考慮されているケースは少ない。

一方で、気象庁等の予報により、台風は発生してから上陸するまでの時間を知ることができる。したがって、事前に準備できることをシステム化することで確実な判断・行動を執ることができる。さらに、確実な行動の確認をする上で、チェック機能も併せ持ったクロノロジーに基づくシステムの構築が必要である。ここに、クロノロジーとは、活動内容、気象情報、ライフライン状況、外部機関との連絡調整事項などのさまざまな情報を時系列で記録していくことを意味する。

(2) システムの構想

上記のようなコンセプトで具体的なシステムを構想する際に、以下の観点から事務所内の業務を支援する必要がある。システムの構想としては、図-1に示すように、水防体制支援システムと類似台風検索システムの2つが連動することで、効率よく支援できるものと考えられる。

このようなシステムを実現するに当たり、以下のような基本的な要件を整理した。

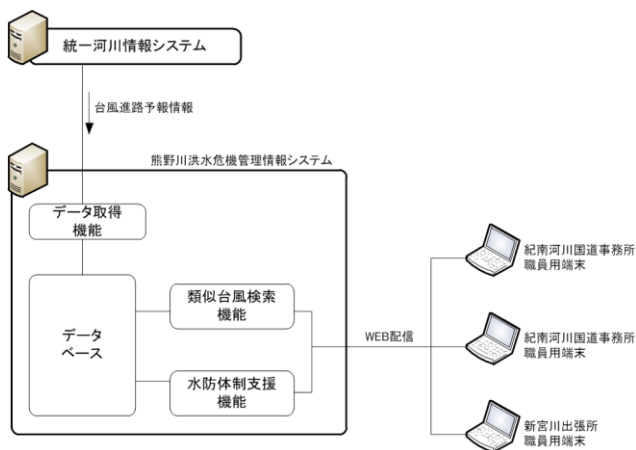


図-1 熊野川洪水危機管理情報システムの構成

- ・ 熊野川流域において過去に災害が発生した主要台風の情報を元に、気象庁の台風進路予想をもとに類似台風を抽出する。
- ・ 類似台風をもとに、予想される水位ハイドロやはん濫状況を表示する。
- ・ 類似台風をもとに、水防体制に係る支援情報を提供する。
- ・ 状況レベルに応じて必要な水防行動を提示するとともに、実施した行動を記録する。
- ・ 行動記録（クロノロ）を出力する。

3. 類似台風検索システム

(1) 熊野川流域に襲来した台風の選定

熊野川に水害をもたらした可能性のある台風情報を整理する。熊野川に水害をもたらした可能性のある台風として、半径300kmの範囲を通過した台風を、162個抽出した。台風経路は、WEBサイト³⁾から取得することができる。なお、これらの台風情報（経路（緯度経度）、風速、中心気圧等）は、検索システムのデータベースに登録した。

ここで、検索システムとして、162個の台風を類似台風の候補にすると、数が多いため業務に混乱を生じさせる可能性もある。また、熊野川に大きな出水をもたらし、かつ被害を発生させていないものも対象にしてしまう。そこで、水防体制を支援するために必要な台風情報は、数ではなく、代表的な台風での水位、流量の予想や浸水被害の状況といった情報を提供できればいい。そこで、これらの中から以下の条件に合致する台風のみを選定した。

- ・ 熊野川において降雨量の多い台風
- ・ 治水基準点 相賀地点流量が概ね10,000m³/s以上となった台風

以上の結果から、表-1に示す21台風が選定された。この21台風の水文水理資料から想定される水位流量情報や、想定浸水範囲や浸水深について整理することとした。

(2) 選定された台風の特性

選定された21台風については、それぞれどのような特性を持つのかを検討した。線の状態では台風コースの傾向を分析し辛いので、台風コースを北緯東経各2度のメッシュ情報として整理し、目視により台風コースのパターンを分析することとした。この結果、図-2に示すように、21台風のコースを以下に示す5つのコースに分類した。また、台風のコースと気圧配置、前線の有無などを表-1のように整理した。

- ①南から北向きに進み、近畿地方付近を横断するコース
- ②南西方向から近畿地方へ一直線に進むコース
- ③南東方向から北西方向に進み、四国沖付近で大きく屈

表-1 選定された台風の諸元と分類されたコース

No	台風番号	出水名	発生時期	コースの分類	最低気圧 (hPa)	上陸直前気圧 (hPa)	日本付近の前線	前線の位置	日本付近の通過速度	相賀地点		備考
										2日雨量 (mm/2day)	実績水位 (m)	
1	195313	S280925	9月	①	900	930	有り	南寄り	速い			
2	195817	S330825	8月	①	970	970	有り	南寄り	速い			
3	195915	S340927	9月	①	895	950	有り	南寄り	速い	361.0	16.40	伊勢湾台風
4	196016	S350830	8月	①	970	970	有り	東寄り	速い			
5	196524	S400917	9月	⑤	935	945	有り	南寄り	速い	260.7	7.10	
6	196804	S430728	7月	③	925	970	有り	北寄り	ゆっくり・速走	529.4	13.60	
7	197123	S460830	8月	③	915	970	有り	東寄り	ゆっくり	345.0	10.82	
8	197506	S500822	8月	②	965	970	有り	東寄り	速い	486.2	13.15	
9	198210	S570801	8月	④	900	960	有り	東寄り	速い	364.0	10.42	
10	199019	H020919	9月	⑤	890	985	有り	北寄り	速い	380.0	12.56	
11	199426	H060929	9月	①	925	945	有り	東寄り	速い	401.0	11.99	
12	199709	H090726	7月	①	920	960	有り	北寄り	ゆっくり・速走	547.0	13.57	
13	200111	H130821	8月	③	960	965	無し	—	ゆっくり	513.0	11.72	
14	200310	H150808	8月	⑤	945	950	有り	北寄り	速い	408.0	10.58	
15	200411	H160804	8月	④	996	998	有り	北寄り	速い	293.0	11.86	
16	200423	H161020	10月	⑤	940	950	有り	南寄り	速い	293.6	11.80	
17	201106	H230718	7月	③	935	960	無し	—	ゆっくり・速走	627.0	12.78	
18	201112	H230902	9月	④	970	970	無し	—	ゆっくり	1159.6	19.18	平成23年台風12号
19	201115	H230920	9月	③	940	950	有り	真ん中	速い	288.9	10.56	
20	201318	H250916	9月	③	960	980	有り	北寄り	速い	444.0	10.08	
21	201411	H260810	8月	⑤	935	970	有り	真ん中	速い	546.0	10.85	

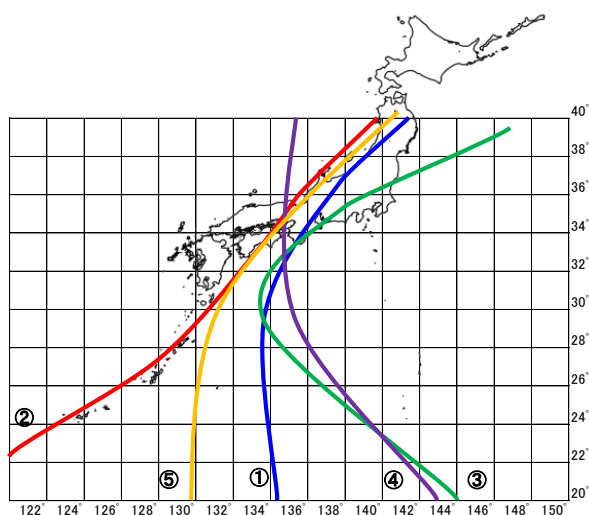


図-2 選定された21台風のコース

曲し東北方向へ進むコース

- ④南東方向から紀伊半島の南岸に進み、その後北向きに日本列島を横断するコース
- ⑤南南西方向から四国沖に進み、その後、北東方向に進むコース

ここで取り上げた台風は、いずれも「熊野川において降雨量の多い台風」であり、これらはいずれも熊野川の周辺を通過している。したがって、熊野川の水防体制を予想する場合に、過去の台風コースを把握しておくことは非常に重要である。

台風コースは、太平洋高気圧および大陸性高気圧の勢力により、コースが決まる。両者の勢力バランスは様々な場合が考えられるが、過去の台風コースから分類すると、本検討で設定した5パターンで概ねカバーできると考えられる。台風コースの分類することで、発生中

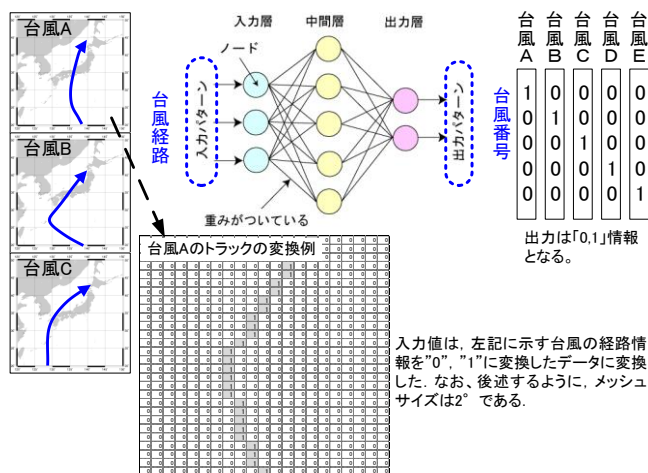


図-3 ニューラル・ネットワークを用いた台風コースの認識

の台風に対する進路予想をイメージしやすくなると考えられる。

(3) ニューラル・ネットワークによる検索方法

類似コースによる台風検索機能として、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・ネットワークを用いた。ニューラル・ネットワークについては、様々な書籍⁴⁾で紹介されており、ここではこの説明は割愛するが、本研究では、図-3に示すように、以下の手順で検索を行った。

- ①ニューラル・ネットワークを用いて、過去の台風コースのパターンを学習する。
 - ・入力は、メッシュ化した台風コースを想定
 - ・出力は、台風番号を想定
- ②台風発生時は、「実況+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。

ここで、台風コースをメッシュ化するに当たり、メッシュサイズをどのようにするのが課題となった。図-4には、メッシュサイズを5度、2度および1度にした例を示す。メッシュサイズが5度の場合、サイズが大きいため、コースが明瞭に出にくい。したがって台風コースのパターンとして認識し難いといえる。一方で、メッシュサイズを1度にし、より細密にすると、コースのパターンははっきりするが、日本付近において台風の速度が速まるため、メッシュが飛び箇所が多くみられる。このメッシュの“飛び”は、ニューラル・ネットワークにおける検索において不安定要因になると考えられる。そこで、メッシュサイズを2度にする事で、コースが判別できるとともに、メッシュの“飛び”も発生しにくいいため、このサイズでのメッシュ化を図った。

構築したネットワークモデルを用いて、学習計算後、学習モデルを用いて計算に利用した台風コースを入力し、入力した台風を検索可能か検証した。これによれば、熊野川近傍を通過した台風による学習（162台風）では、的中率は21%と低い。この原因として、同様のコースを通過する台風が多いために、的中が困難となったと考えられる。

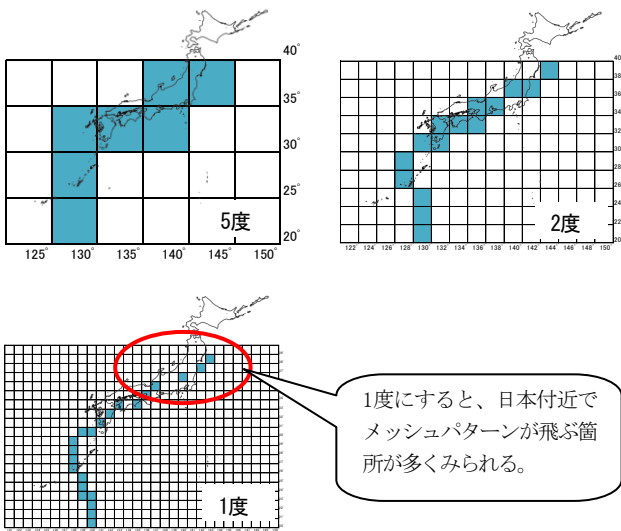


図-4 台風コースのメッシュ化
【例 平成26年台風19号 (201419)】

表-2 既往台風での検証計算結果

項目	CASE1 熊野川近傍を通過した台風による学習	CASE2 熊野川において降雨量の多い台風による学習
学習数	162	21
的中数	34	21
的中率	21%	100%

一方、熊野川において降雨量の多い台風による学習（21台風）では、的中率は100%と高い。これは、学習ケースが少ないために学習が容易であったためと考えられる。

4. タイムラインにおける防災行動の抽出

災害対策本部の運営計画、水防計画書に示されている警戒体制での行動から、防災行動の項目出しを行った。また、班や係の担当者の行動を明確にするために、体制別に整理した。次に、過去の防災行動から実態を把握し、複数回の災害対応から行動項目に漏れないかを確認した。最後に、防災行動の項目と実際の防災行動を関連づけ、実行可能な基本的な防災事前行動を設定するとともに、表-3に示す防災行動タイムラインにおけるレベルを、既往台風の位置から設定した。

レベル2では、主に台風気象情報の収集分析や、水門や樋門等の河川工作物の準備、電子通信設備の確認・準備が必須項目で、その項目の細部を見ると非常に多くの内容となっている。レベル3からは巡視やダム情報の収集、河川工作物等の操作の確認や、洪水予報、流量観測の出動指示を行う。レベル4では、洪水被害の把握、関係機関への水防・災害対応を順次行っていくことが想定され、必須項目は、現場での発生している現象に応じた対応となっているため、少なくなっている。レベル5においては、水門樋門等の操作、災害対策用機械の運転など現地災害対応を行うことを設定した。

表-3 タイムラインのレベル設定

Level	基準
2	台風の中心位置が北緯20度以北、東経120~145度内~台風が当該地域上陸（通過）の2日前
3	台風が当該地域上陸（通過）の2日前~水防団待機水位
4	水防団待機水位~はん濫注意水位
5	はん濫注意水位以上

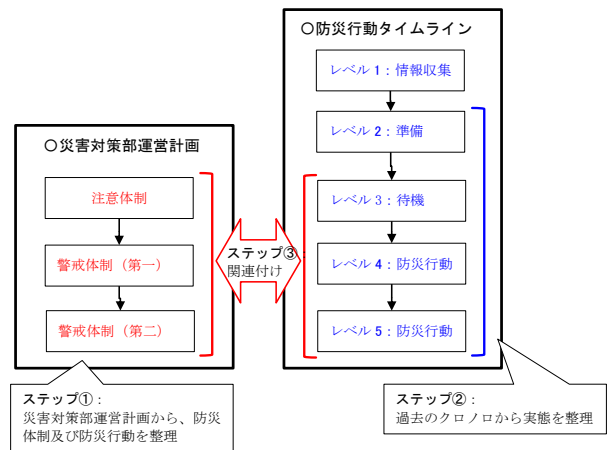


図-5 防災行動の抽出方法

表-4 各レベルにおいて確保される時間

代表的な台風	レベル2	レベル3	レベル4	備考欄
S34.9.27	9時間	2.5日間	2.3日間	伊勢湾台風
S50.8.22	1.8日間	1.2日間	2時間	
S43.7.28	2.5日間	21時間	12時間	
H23.9.2	6.3日間	10時間	3時間	紀伊半島大水害
H2.9.9	2.5日間	1.7日間	4時間	

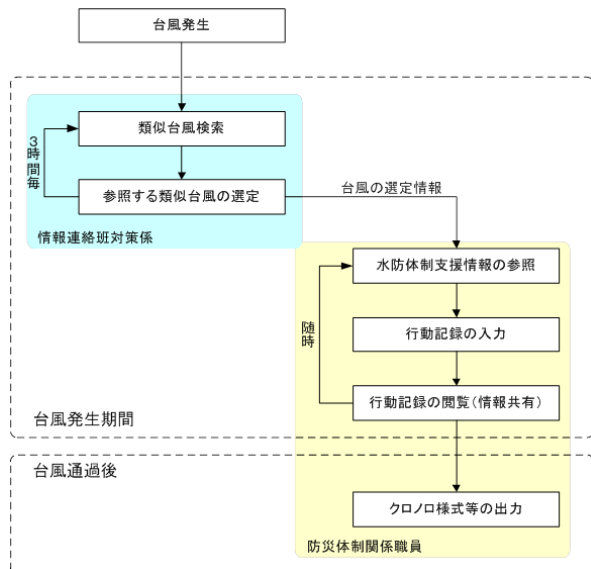


図-6 システムの利用の流れ

業務内容の中で、レベル2では、必須項目（直ちに対応すべき事項）が多く、必要に応じる事項が少ないことがわかった。レベル3以降では、台風が接近するに伴って、河川の水位、雨量などを確認しながら、必要に応じて実施する事項のウェイトが多くなる。

もし、台風が予測進路からはずれ、流域に被害をもたらすような降雨が発生しなくても、行政側の事前準備が万全である状態になることを示している。

このような体制の下で、既往の特性の異なる台風が接近したことを想定し、各レベルでの時間を算定した。その結果を表-4に示す。

これによれば、伊勢湾台風でのレベル2での事前準備に要する時間を確保することが、台風の色度が高いため厳しく、余裕がない状況にある。一方で、レベル3、4では2日程度あるため、レベル3段階でレベル2の残務があっても、挽回できる結果となった。また、規範道大水害をもたらした平成23年9月台風12号は、レベル2の時間が長く、事前準備の時間が確保できなかったことがわかったが、レベル3、4では時間が確保することが難しくなることがわかった。これは、太平洋上ゆっくり進みながらも、台風上陸前から降雨が降り続いたことから、河川水位が台風上陸前から上昇し、レベル3、4での対応が迫られる中で時間が確保できないという状況にあったことが予想された。このような台風では、事前準備において、個別の災害を想定したより細やかな準備をすることが必要になると考えられる。

このようにタイムラインでの対応を考える際には、台風に着目しても、特性の違いにより、それぞれのレベルでの対応に要する時間の確保が難しくなることが想定されるため、今後、速い台風、迷走やゆっくり進みながらも降雨・流出が上陸前に発生することも踏まえた防災体制を想定しておくことが今後の課題である。

5. 熊野川洪水危機管理情報システムの構築

(1) システムの基本要件

図-1に示した2つのシステムで構成される熊野川洪水危機管理情報システムの概略的な構成は、以下の通りである。

- ・ 本システムは、「データ取得機能」「類似台風検索機能」「水防体制支援機能」の3つより構成し、データベースを介して各種データを交換するシステムとする。
- ・ 台風進路予報に関する情報は、統一河川情報システムより取得する。
- ・ 複数の職員の利用が予想されるため、情報提供はWEBにより配信する。

図-6は、システムの利用の流れを示している。これは、まず職員が、類似台風を検索し、類似していると判断した場合、過去台風のトラックから、当該時刻に同期し、レベルの自動設定、防災行動の参照、行動の記録といった一連の作業の流れを示している。この流れに沿った機能設計を行った。

(2) システムの機能

類似台風検索機能は、以下のような特徴がある。

- ・ 台風コース以外にも、最低中心気圧、台風発生年月、上陸時の中心気圧、最大風速での検索が可能（図-7参照）
- ・ 類似台風のうち、代表台風については、現況河道条件でのハイドログラフや時系列の浸水深と範囲に関する情報を提供（図-8参照）
- ・ 検索後の類似台風の経路を現時刻と同期させ、水防体制、洪水予警報、樋門水門等の施設操作準備や開始に関する日・時刻の情報提供

一方、水防体制支援機能は、以下の特徴を持つ。

- ・ 予想されている台風と類似している台風を指定した場合、その台風の進路と位置からレベルを自動設定（ユーザによる修正は可能）
- ・ システム側で、レベル応じた災害対策本部の班・係の定型作業内容を一覧表示し、作業が完了した

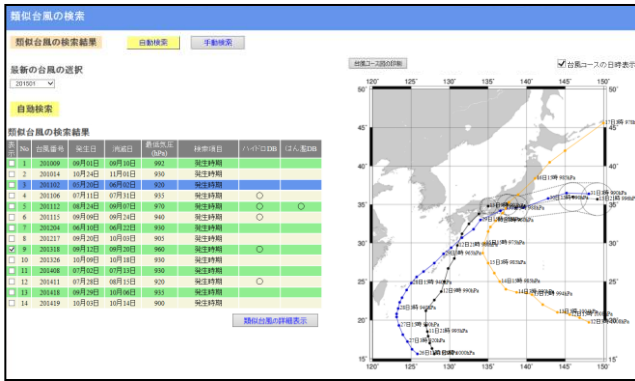


図-7 類似台風の自動検索結果

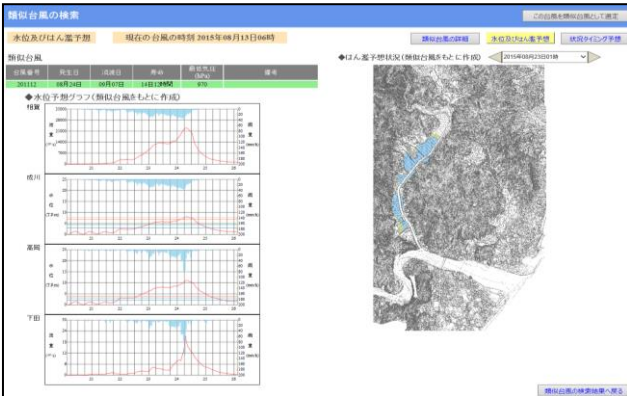


図-8 類似台風のハイドロ・浸水情報

段階でチェック等の入力が可能（作業の見逃し防止）（図-9 参照）

- 定型，不定型作業項目のいずれも、任意入力可能な画面（図-10 参照）
- 各班・係の詳細なレベルに応じた業務遂行状況の確認画面
- 樋門の操作状況を入力でき、画面で確認（樋門を管理している出張所の職員も入力可能）

システムの開発環境は、以下の通りである。

- OS : Windows Server 2012 Standard R2
- 開発言語 : Visual C# 2010, HTML + JavaScript, PHP5
- データベース : Posgre SQL 9.2
- 端末環境 : Web ブラウザ : IE 8, モニタ解像度 : 1,366×768PIC

6. おわりに

本研究で得た成果は以下の通りである。

- 台風のルート検索方法に、ニューラル・ネットワークを適用し、類似台風の探索を行うエンジンを開発した。既往台風のトラックをメッシュ単位で近似する方法を考案して探索できるようにした。
- 主要洪水をもたらした台風のトラック、気圧配置、前線位置、洪水規模などの指標を設定し、トラックのパ

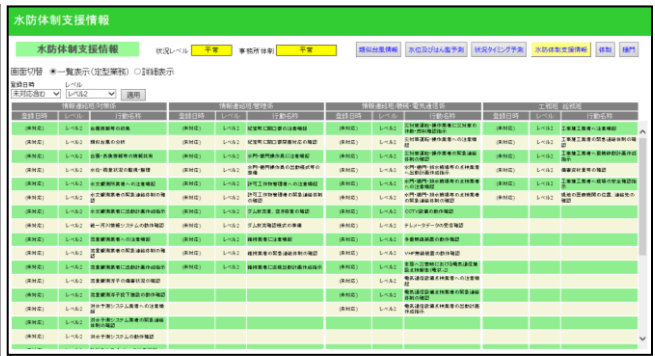


図-9 定型業務の一覧表示と対応状況



図-10 行動記録の入力・編集

ターンを選定した。その結果、伊勢湾台風のような太平洋高気圧が東側に位置し、かつ勢力が弱く、台風が紀伊半島に直進的に進路が予想されるとき、タイムラインで設定した防災事前行動の遅延等の影響がある可能性がある。また、紀伊半島大水害をもたらしたゆっくり進む台風においては、事前準備に要する時間は十分に確保できると考えられるが、上陸前の降雨流出による洪水の発生といったレベル3, 4段階での迅速な対応を行うための災害が同時多発的に起きた場合をそうしておくような事前準備が必要となる。

- システムの機能として、気象庁発表の台風進路予想を下に上記の類似台風が検索でき、かつその類似台風における河川水位・氾濫の状況を表示するとともに、災害対策本部の体制（レベル2～5）における防災事前行動を表示する機能を開発した。

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) 国土交通省・防災関連学会合同調査団：米国ハリケーン・サンディに関する調査調査（第二班），平成25年7月
- 3) 北本朝展／国立情報学研究所：デジタル台風，(<http://agora.ex.nii.ac.jp/digital-typhoon/>)
- 4) 熊沢逸夫：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。

(2015. 4. 3受付)