

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

大橋 幸一郎¹

¹近畿地方整備局 紀南河川国道事務所 調査第一課 (〒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）の策定を行った。その中で、タイムラインの高度化に向けた取り組みとして、類似台風検索システムの構築を実施した。当システムは過去の台風の進路や気圧等を基に類似台風の選定を行い、より迅速かつ確実な事前防災行動を行うことを目的としている。本稿では、類似台風検索システムを構築し、平成27年度に活用した結果と課題についてとりまとめ、タイムラインにおける当システムの有用性とこれからの取り組みについて説明するものである。

キーワード 類似台風 タイムライン クロノロジー 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、幹線流路延長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を国管理区間として管理している。



図-1 熊野川流域図



図-2 熊野川管内図

(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）を大きく越える約24,000m³/sの洪水が起こり、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。

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に採択され、台風12号の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嵩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. 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、米国のハリケーンに対する取り組み¹⁾として導入しているタイムラインが注目されている。

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。

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

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。沿川自治体等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。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早めの防災行動を実施することができ、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. 熊野川洪水危機管理システムの構築³⁾

(1) 類似台風検索システムの構築

事前防災行動を認識し、行動する際に、災害対策本部を立ち上げ、その中で各班・係が業務をこなすのが通常の対応である。

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度以上、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
		流量観測浮子投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
		随こう操作指示	機械係
		監視体制強化	全係
		水門・樋門操作員の選避検討	機械係
		空稼業者への出動指示	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		

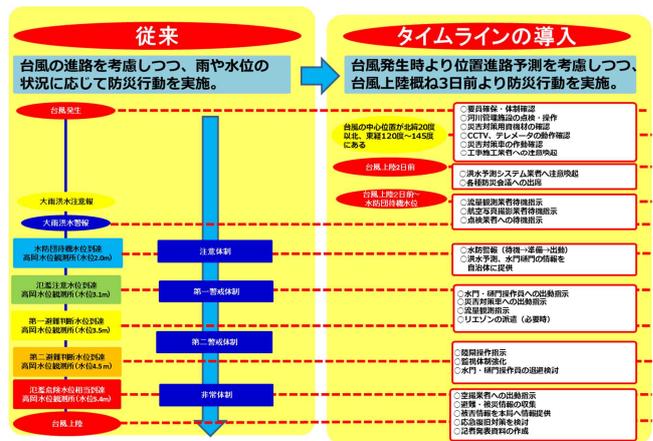


図-3 紀南河川国道事務所の防災行動の比較

今回策定した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起因の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れる。さらに、確実な行動の確認を行う上で、チェック機能も併せ持った防災行動記録(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。先に示したように、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、資料整理及びクロノロジーや防災行動の完了及び未了のチェックについては、最後まで人の手で進めていた。そのため、図4に示すような構成で、これらを効率化するためのシステム構築を行った。

実際の運用方法は、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

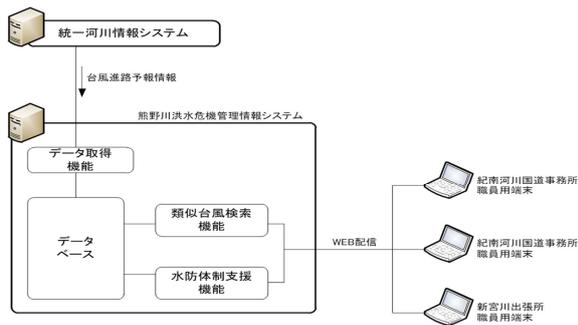


図-4 システムの概要

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。

(2) データベースに登録する台風の選定

類似台風検索システムにおける、台風のデータベース登録にあたって、熊野川に水害をもたらした可能性のある台風を整理する。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、検索システムのデータベースに登録した (162個)。

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、熊野川に被害を発生させていないものも対象にしてしまう可能性がある。ここで、水防体制を支援するために必要な台風情報とは数ではなく、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の提供であるので、162個の台風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
- ・治水基準点である相賀地点の流量が概ね10,000m³/s

以上となった台風

以上の結果から、表-3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した。また、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。台風の中心位置のトラックを繋げた線の情報では、台風コースの傾向を分析することが難しい。そこで、台風コースの整理方法として、北緯東経各2度のメッシュ情報として整理した。各メッシュサイズの例を図-5に示す。メッシュサイズを2度に決定した理由は、コースが判別できるとともに、データの“飛び”も発生しにくいサイズが2度のメッシュサイズであったからである。上記の方法で整理した台風コースを目視によってパターン分析することとした。

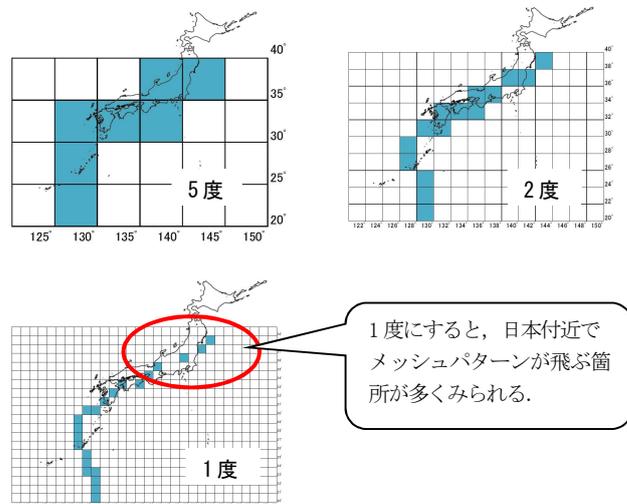


図-5 メッシュで表現された台風のコース

【例 平成26年台風19号 (201419)】

この結果、21台風のコースを図-6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-3に整理した。

表-3 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	

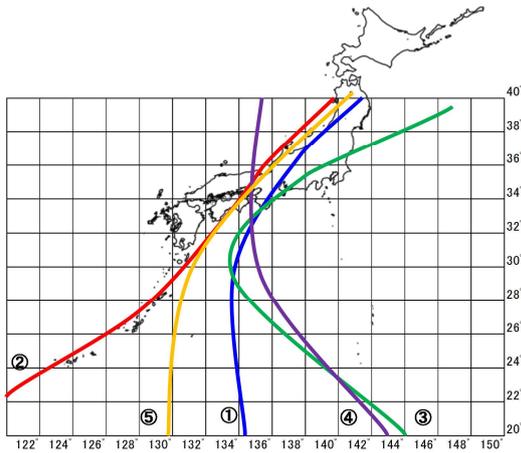


図-6 選定された21台風のコース

- 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

(3)ニューラル・ネットワークによる台風検索

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て、以下の手順で検索を行った。詳細については、様々な文献等⁴⁾で紹介されていることから、説明を割愛する。

- 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記録（学習）する。
 - ・データを学習させることで、発生した台風に対して最も類似したパターンを選定することが可能である。
 - ・入力、図-5のメッシュ化した台風コースを想定
 - ・出力は、表-3の台風番号を想定
- 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。

構築したネットワークモデルを用いて、学習計算後、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。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)水防体制支援システムの構築とタイムラインの課題

熊野川洪水危機管理情報システム上で、類似台風検索システムとは別に、災害対策本部運営計画、水防計画書より防災行動項目を整理し、状況レベルごとに防災行動を整理した水防体制支援システムを構築した。

統一河川情報等より得た現接近台風の予測データを基に現在状況がどのレベルにあるかを表示し、いつ、誰が、何をしなければならないのかを抽出している。

また、このシステムには各班の役割、災害行動の対応、未対応をチェックする機能がある。これらを駆使することで、

- ①いつ、誰が、何をするのかを把握でき、漏れの無い防災行動が可能となる。
- ②従来口頭もしくは手書きで行っていた防災行動のチェックがシステム上で可能となり、かつ関係職員に共有ができる。

これらの利点から、より確実な事前準備、河川情報提供、河川管理施設の操作へ寄与すると考えられる。

タイムラインにおける防災業務の中で、レベル2では、必須項目（直ちに対応すべき事項）が多く、必要に応じて実施す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ということを示している。

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。

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	

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、紀伊半島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るが、レベル3,4では時間を確保することが難しくなることがわかった。これは、太平洋上を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ることが想定される。今後、速度によらず、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重要である。

4. 平成27年9月台風18号でのシステム運用

前述のシステムを、平成27年9月台風18号接近時に実際に使用した。その際の類似台風の選定及び水防体制支援システムの操作実績から、今後のシステム運用上における課題の抽出を行った。

(1)類似台風の選定

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について検討し、選定を行った。気象庁の発表では、台風18号は9月7日午前3時に発生し、上陸予想地点は紀伊半島の東側になる予報であった。この類似台風の選定は後の事前防災行動の動きに影響を与えるため、早急に決定する必要があった。その中で、紀南河川国道事務所では一つの決定方針として、台風が北緯25度付近に到達するまでに類似台風を選定することとした。類似台風検索を台風発生確認後の9月7日16時および北緯25度付近まで接近した9月8日9時の時点でを行った。

この2回の類似台風検索によって、コースの類似性の高い台風が9つ、中心気圧の類似性の高い台風が5つ、計14台風が選出された。一方で、台風18号は、紀伊半島の東側に上陸後、近畿地方周辺を通過し、日本海に抜けることが気象庁から予報されていた。検索によって選出された14台風の中で、上記予報を満たした台風は1つのみとなり、昭和57年8月台風10号(8210)が検索から選出された。選定した類似台風を図-7に示す。しかし、昭和57年8月台風10号(8210)の中心気圧は予測最低気圧900hPaで、台風18号の中心気圧は予測最低気圧985hPaと大きく相違する結果となっていた。これらも踏まえて、総合的に判断した場合、この台風が最も類似していると判断した。

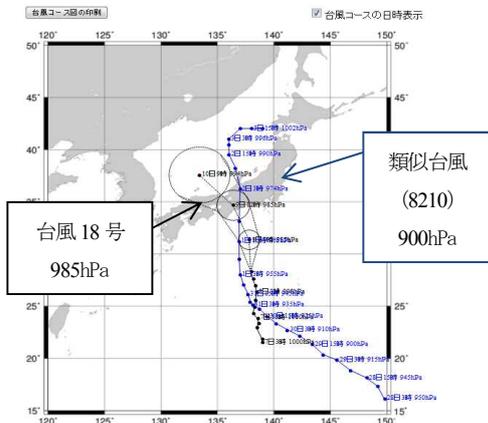


図-7 類似台風検索結果

(2)防災体制

＜台風発生時（タイムライン始動）＞

台風が発生したタイミングで、類似台風の選定作業と同時進行で、事務所の事前防災行動として、レベル2、レベル3の対応を行った。レベル2、レベル3の実施行動については、今回台風発生から最接近までの期間が、気象庁の予報では2日間しか猶予がなかったため、7月14日～7月16日に接近した台風11号時に詳細にレベル2、レベル3の確認をしていたことから、今回台風接近時では再度確認の範囲で実施することにした。このような判断が可能になった背景には、水防体制支援システムに台風11号時の行動を保存していたことがある。これから先データの蓄積が進むことで、台風接近時の行動がより効率化できることが期待できる結果となった。

＜上陸1日前（類似台風選定時）＞

類似台風の選定が完了したことで、類似台風と台風18号を時刻同期させ、水防警報等の発令時刻、水位・流量のピーク時刻を予測する。類似台風との時刻同期の方法として、

- ①選定時点の台風位置情報を元に時刻同期させる方法
- ②上陸予定時間を元に時刻同期を行う方法

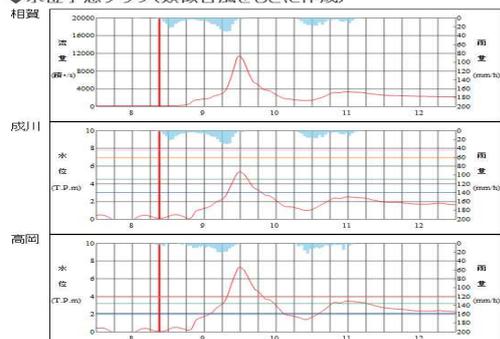
の2つの方法で時刻同期を行った。①の方法では、台風18号のピーク流量・水位のタイミングが9月9日午前3時となった。気象庁発表の上陸予定時間は9月9日12時頃の予報となっており、上陸予定時間より9時間早くピークとなる結果となった。これは、昭和57年台風10号は台風18号より進行速度が速かったためであると考えられる。

次に、②の方法で時刻同期すると、ピーク流量・水位のタイミングが9月9日12時となり、台風上陸時間とほぼ同じとなった。よって時刻同期は②の方法で実施した。時刻同期を行ったことによる水位予測と、水防体制支援システムへの反映状況を図-8に示す。結果として、支川相野谷川流域の高岡地区で、9月9日午前2時に水防警報を発令するという予測となった。この時刻を目安に、気象庁の予報等に注意しながら防災行動を行うこととなった。

＜上陸10時間前（選定結果のタイムライン反映）＞

今回の台風では、9月9日午前2時頃に注意体制に入る可能性が高くなったことを受けて、深夜に防災体制を実施する形で防災行動計画を見直した。また、水位予測を確認すると、高岡地区でピーク時7m付近まで上昇する予測となっていたため、レベル5を見越して準備する必要がある結果となった。ただし、選定台風と今回発生台風との間で中心気圧が大きく違うため、その部分に関しては注意して実情を見ていく必要がある。また、類似台風の選定結果について沿川自治体に情報共有した。図-9に紀宝町とのテレビ会議中の状況を示す。

◆水位予想グラフ(類似台風をもとに作成)



種別	状況	予想日時	予想日時の判定基準
水防警報	高岡水防警報(準備)	00:00 00時	高岡の水位が警戒水位に達した時
	高岡水防警報(発令)	00:00 00時	高岡の水位がはん濫注意水位に達した時
	成川水防警報(準備)	00:00 00時	成川の水位が警戒水位に達した時
洪水予測	相野川はん濫注意警報	00:00 00時	相野川の水位がはん濫注意水位に達した時
	相野川下流はん濫注意警報	00:00 00時	相野川の水位が下流はん濫注意水位に達した時
	相野川下流はん濫危険警報	00:00 00時	相野川の水位が危険水位に達した時

図-8 ピーク流量と水位予想グラフおよび水防体制支援システムへの反映



図-9 紀室町テレビ会議の状況

＜上陸時(台風最接近時)＞

台風18号接近時、実際、降雨量は予想されたほどではなかった。最も水位が上がる予測であった相野谷川高岡水位観測所の水位は2m程度で収まる結果となった。予測と水位が大きくずれた理由として、類似台風と実際台風の間にある中心気圧差によるものが大きいと考えられる。類似台風選定時に、台風コースだけでなく、実際の台風の状況を注視していく必要があると認識していたが、想像以上に水位が上がらず、レベル4に移行しなかった。

(3)システム運用における課題

台風18号接近時にシステムを運用してみて、一番の課題となったのが、過去台風からの選定であるため、現接近台風とのずれが生じる点である。このずれはタイムラインの対応時間に直結するため、ずれが大きいほど、確実な行動をとれない可能性が高くなる。類似台風の結果だけでなく、気象庁の台風予報、降雨予報値、洪水予測結果から適宜情報収集し、総合的に防災行動を判断す

ることが必要なることを改めて確認した。現在のシステムでは、図-10に示すように、トップ画面で洪水予測システムや気象庁ホームページとリンクしており、他のシステムと連携を取りやすい内容に構築している。

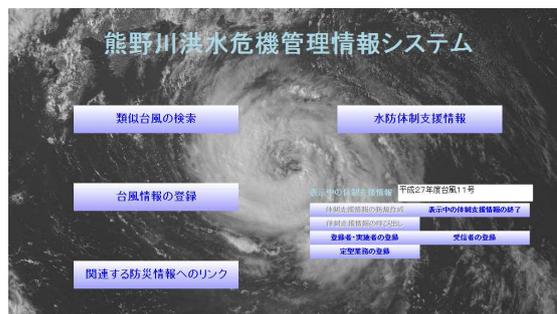


図-10 洪水危機管理情報システムのトップ画面

また、類似台風の選定までの速度が、後の事前防災行動に変化をもたらすことから、迅速な類似台風選定が必要となってくる。今回の台風のような、発生から接近までの時間が短い台風にも対応できるように、誰でも素早く選定できるよう、ある程度の選定基準が必要になると感じた。

5. おわりに

タイムラインのさらなる高度化のため、熊野川洪水危機管理情報システムを構築し、平成27年の出水時に活用した。結果として、台風18号に類似した台風を選定し、過去の台風を例にして、事前防災体制を行うための参考となった。

今後の課題として、類似台風と実際の台風の間にあるずれをどうタイムラインに反映させるのか考える必要がある。この課題に対して、実際の台風に対してどのような行動を行ったのか記録し、実績とシステムによる防災行動計画とのずれを蓄積していくことが重要である。蓄積したデータから、情報のずれについて精度向上を図ることで、タイムラインにおける防災行動を確実に行うことができ、さらなる防災、減災につながると考えている。

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) 加藤：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管内技術論文、防災・保全部門：No.09
- 3) 田中・由良・佐々木・白波瀬・下川・加藤：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、2015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