

## アンサンブル予報を用いた台風性降雨シナリオに関する検討

### A Study of Scenario-type Information for Typhoon-related Rainfall with Ensemble Forecast Dataset

辻本浩史・本間基寛・増田有俊<sup>(1)</sup>・吉開朋弘<sup>(1)</sup>・井上 実

Hirofumi TSUJIMOTO, Motohiro HONMA, Aritoshi MASUDA<sup>(1)</sup>,  
Tomohiro YOSHIKAI<sup>(1)</sup> and Minoru INOUE

(1) 一般財団法人日本気象協会

(1) Japan Weather Association, Japan

#### Synopsis

Forecast circle has been used in Japan Meteorological Agency as a standard content to describe forecast uncertainty on typhoon central position. Although circle is a simple and familiar content for the general public use, it is not easy either to imagine high probability area inside circle or to suppose worst-case scenarios of typhoon-related rainfall in detail. We propose more beneficial method which represent typhoon track and typhoon-related rainfall using ensemble forecast dataset. Ensemble model of ECMWF consists of 50 perturbed and one control is used. Extracted tracks are classified to multiple groups using cluster analysis in consideration of the direction as well as the speed of typhoon. After bias correction considering frequency distribution, it is possible to obtain worst-case or mean scenarios of rainfall from each groups. We applied this method to Kanto-Tohoku heavy rainfall by typhoon No.18 in 2015. The result shows that the temporal and spatial characteristic of maximum rainfall extracted from most similar group to actual track is good agreement with the observed data in Kinugawa, and the water level exceeds flood danger level for a long time in Tamagawa in the case that typhoon track slightly shifted to the west.

**キーワード:** アンサンブル, クラスタ分析, 台風コース, 大雨シナリオ

**Keywords:** ensemble, cluster analysis, typhoon track, heavy rainfall scenario

#### 1. はじめに

地球温暖化の影響により強い台風の発生数、最大強度時の降水強度は増加するとの予測があり（気象庁（2014））、数日先までの台風進路や大雨に関する予測情報は防災・減災対策を検討する上で益々重要となっている。現在では国内外の様々な気象情報を容易に閲覧できるようになり、河川・道路管理者は気象庁や個別に契約した民間気象会社からの予測情報のみならず、国内外の気象サイトに自らアクセス

することで、より多くの情報から意思決定することも可能になった。例えばヨーロッパ中期予報センターのWebページ(ECMWF)には10日先までの平均海面気圧や850hPaの風速が1日間隔の動画で表示される機能があり、台風進路を利用者が直感的にイメージできるようになっている。

また、台風予報に用いられるモデルも従来の単一の予測計算によるものから初期値に摂動を与えて複数の予測計算を行うアンサンブルモデルへの移行が進み、気象庁の現業モデルとしても様々な改良が進

められている(山口(2008), 気象庁予報部(2014)). 本研究を開始した動機は, このような時代において日本国内で最も利用される台風予報の表示形態が「円で良いのか?」という点にある. 予報時刻の台風位置が予報円として描かれているが, 予報円自体が自治体の広さや河川流域に比べて大きく, かつ, 円内における確率の濃淡情報が明示されていない. このため, 利用者が確度の高いコースをイメージすることや, 国や自治体の防災担当者が最悪の降雨シナリオ・洪水シナリオを想定したタイムラインを検討するための情報としても十分ではない.

このような状況をふまえ, 本間ら(2015)はアンサンブル予測データをクラスター分析によって複数の台風進路に分類し, 進路毎の確率付きシナリオ型台風予測情報として提示する方法を示した. また, 不確実性を伴う予測情報の表現方法について一般市民を対象としたアンケート調査も実施している(本間ら(2016)).

本研究では, 台風進路の表示方法に加えて, アンサンブル予測データを活用して大雨リスク, 洪水リスクを評価する手法の検討を行った. これらの手法を平成27年関東・東北豪雨災害時に適用して鬼怒川における検証を行うとともに, 台風コースが僅かにシフトした場合の周辺流域における大雨・洪水リスクを検討した. 本稿の構成・研究手順をFig.1に示す.

## 2. 使用データと台風性降雨シナリオ作成

### 2.1 台風の予測進路抽出

#### (1) 使用データ

世界の気象機関で現業用アンサンブルモデルが運用されているが, 本研究ではヨーロッパ中期予報センターのAtmospheric model Ensemble 15-day forecast (ECMWF-ENS)を使用した. 予測時間, 空間解像度およびアンサンブルメンバー数等の面で総合的に優れた仕様であるのに加え, 日本気象協会が現業用として運用していることから研究成果の実証実験が容易であることが採用の理由である.

研究で用いた具体的なデータをTable 1に示す. また, 台風の最新位置については気象庁の全般台風情報を使用した.

#### (2) 予測進路抽出

アンサンブルメンバーの海面気圧データから以下の手順でメンバー毎の進路を抽出した(Fig. 2).

- ① 全般気象情報に記載された時刻と位置を基点とする.
- ② 前時刻および前々時刻の台風中心位置から移ベクトルを計算し予測進行範囲を限定.

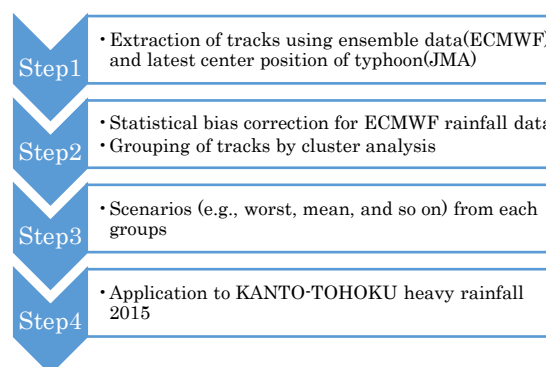


Fig. 1 Framework of this study

Table 1 Data used in this study

ECMWF	初期時刻	12UTC
	メンバー数	51
	最大予測時間	240hr
	時間間隔	3時間 (~144hr) 6時間 (144hr~)
	格子間隔	0.25°
	要素	平均海面気圧(hPa) 雨量(mm)
JMA	台風の位置	全般台風情報

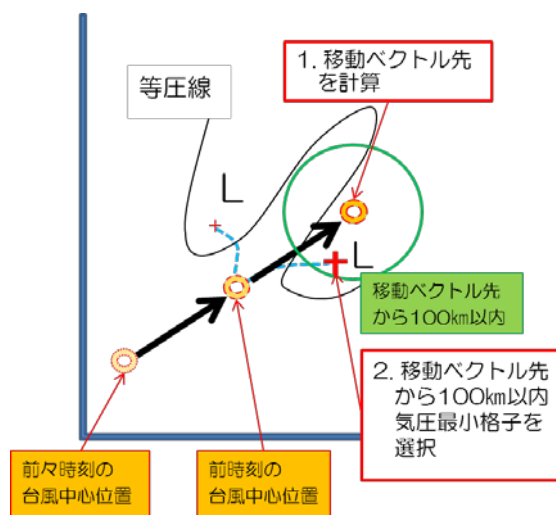


Fig. 2 Approximation of typhoon track trajectory from mean sea level pressure

- ③ 移動ベクトル終点を中心とする100km内で気圧が最小の格子を予測台風位置とする.
- ④ ②, ③を繰り返す

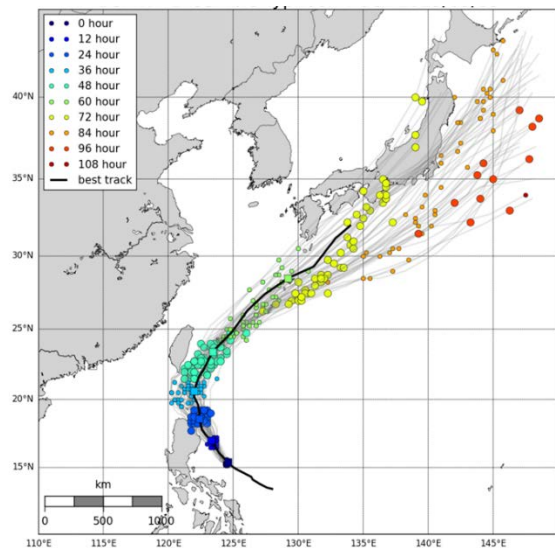


Fig. 3 Typhoon forecast tracks T1506 extracted from ECMWF-ENS (Initial: 2015.05.09 21JST)

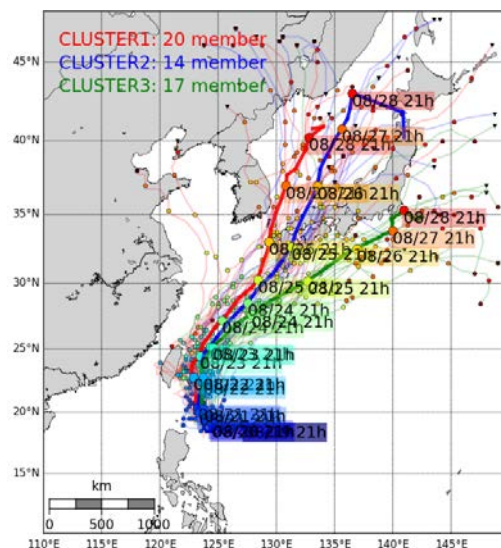


Fig. 5 Extracted tracks and three scenarios of T1515 by K-means cluster analysis (Initial: 2015.08.19 21JST)

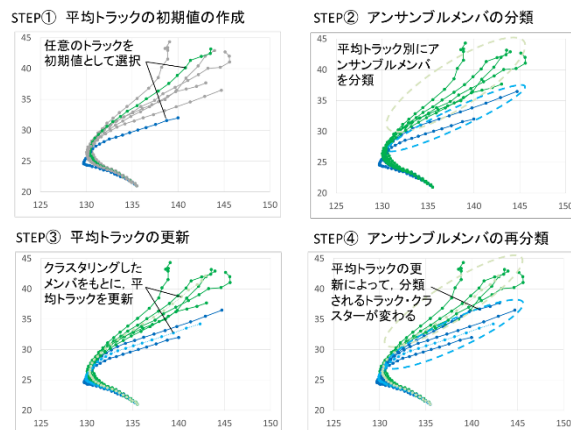


Fig. 4 Method of K-means cluster analysis

抽出の一事例として2015年5月9日21時（JST）における台風6号の位置とECMWF-ENSのデータから抽出された51メンバーの進路をFig. 3に示す。北緯20度付近で転向して48時間後の11日21時（JST）（緑色）には台湾の東方海上に進み、72時間後の12日21時（JST）（黄色）には予測位置が進行方向に沿って大きく広がる傾向を見せるものの、紀伊半島から東日本に接近・上陸する可能性を示している。実際の台風6号は黒実線で示すように12日18時に四国沖で温帯低気圧となり、その後東日本を進んだ。

ECMWF-ENSと気象庁の台風全般情報を用い、本研究で検討した手法で作成された台風予測進路が、転向位置、経路および進行速度を良好に表現していることが判る。

## 2.2 クラスタ分析

ECMEFから抽出された51メンバーの台風予測進

路（Fig.3）自体も予測の不確実性を示すコンテンツであるが、定量的な手法で2~3パターンに分類することで対応策の検討が容易になることも考えられる。台風によってもたらされる降雨について、辻本ら（2011）は進行速度が総降雨量に大きく影響することを示しており、単なるコースのみではなく速度も考慮した分類が重要となる。本研究では非階層的クラスタ分析手法の一つであるK-means法を応用した（神嶋（2003））。各時刻の台風中心位置の距離差（非類似度）を評価関数とし、この値が最小となるように台風進路をクラスタリングした。具体的手順をFig. 4に示す。K-means法ではステップ①において選択される進路に最適解が依存するため、本研究では乱数を用いて初期トラックを10,000パターン変化させ、その中で評価関数値が最小なものを求めた。また、クラスタの分類数もあらかじめ設定する必要があり本研究では分類数を1~4ケースとした評価関数値の変化傾向とシナリオとして選択しやすい（多すぎない）数などを考慮して分類数を3と設定した。

結果の一例をFig. 5, Fig. 6 に示す。2015年8月15日に発生した台風15号は8月19日21時の段階で非常に強い勢力（中心気圧：940hPa、中心付近の最大風速45m/s）を保ち西に進んでいた。8月19日21時時点で予測された3つのシナリオ（Fig.5）では台湾とフィリピン間で転向した後に先島諸島を8月23日21時頃通過するまで大きな違いは見られない。その後、沖縄付近でコースが2つに別れてクラスター1とクラスター2は九州接近・上陸シナリオ、クラスター3は南岸を関東沖に進むシナリオとなっている。九州に接近・

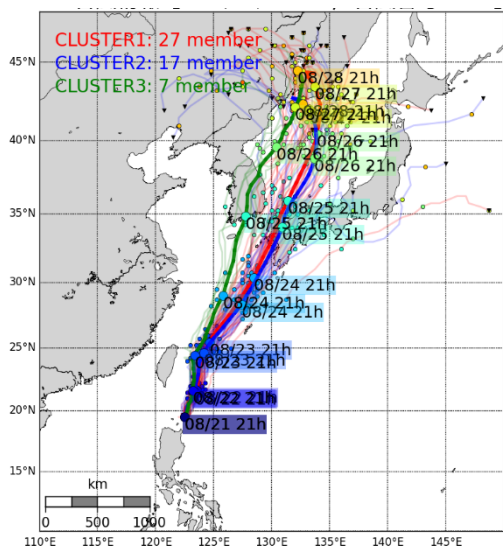


Fig. 6 Extracted tracks and three scenarios of T1515 by K-means cluster analysis: (Initial: 2015.08.21 21JST)

上陸するクラスター1,2についても進行速度には違いが見られる。速度が速いクラスター2では8月25日21時頃に鹿児島付近に上陸, 遅いクラスター1では8月26日21時頃に長崎半島に上陸するシナリオである。

2日経過した後の8月21日21時の結果 (Fig. 6) では南岸を進むシナリオはなくなり, 全51メンバーのうち44メンバーが8月24日の21時から8月25日の21時の間に九州西部に上陸する可能性が高いことを示している。結果として台風15号は8月25日6時過ぎに熊本県北部 (荒尾市付近) に上陸した。

以上の結果より, 51個の台風進路を経路と進行速度を考慮した複数 (本研究では3個) のクラスターに分類できることが判った。このような情報を最新データに随時更新しながら経過監視することで, 例えば防災対応タイムラインの台風上陸時刻やコースをより現実的に設定できるようになると思われる。

### 2.3 雨量のバイアス補正

ECMWF-ENSに限らず全ての数値予報モデルには誤差があり, 特に, 大雨に関しては積雲対流のモデル化や実地形をモデル化する際の平滑化等により過少予測傾向となることが多い。本研究では, 気象庁の解析雨量 (気象庁HP (2016)) とECMWF-ENSの比較により補正手法を検討した。台風3事例 (T1318, T1411, T1412) を対象として, 解析雨量が存在する日本周辺メッシュについてECMWF-ENS予測雨量と解析雨量の出現頻度を比較した (Fig 7)。解析雨量はECMWF-ENSにあわせるため0.25° (約30km) 内の3時間平均値を用いている。図に示されるように, 発生頻度が高い弱い雨はECMWF-ENSの予測頻度が高

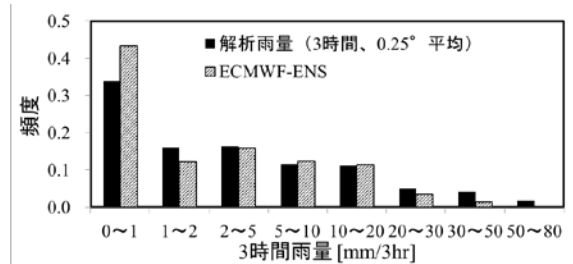


Fig. 7 Comparison of relative frequency distribution between radar-AMeDAS composites and ECMWF-ENS

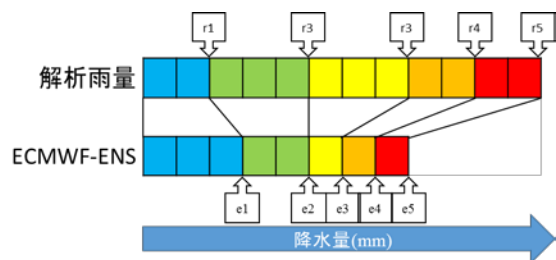


Fig. 8 Method of Bias correction considering frequency distribution

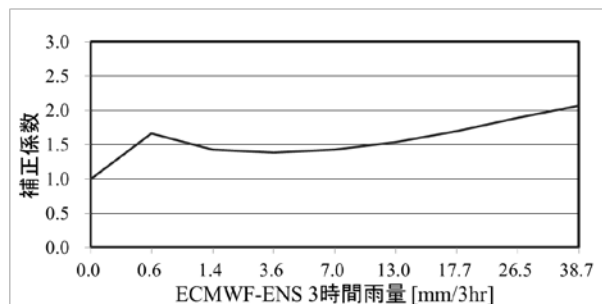


Fig. 9 Correction coefficient (threshold of radar-AMeDAS / threshold of ECMWF-ENS)

く, 頻度が低い大雨の現象はモデルの予測頻度が低くなっている。

気象庁 (2012) では数値予報結果の翻訳 (ガイドンスタ化) にあたり, 線形回帰, カルマンフィルター, ニューラルネットワーク等に加え, 発生頻度の低い大雨等の補正に重点を置く場合には頻度バイアス補正を用いている。本研究においてはFig. 8に示すように解析雨量の閾値 $r(i)$ を1, 2, 5, 10, 20, 30, 50, 80mmとした頻度分布とECMWF-ENS予測雨量の頻度分布が同じになるように予測雨量の閾値 $e(i)$ を調整し, 閾値の比を補正係数とした。結果をFig. 9に示す。概ね1.5~2倍程度の補正を行う結果となっている。Fig. 6に示す初期時刻8月21日21時において最も多くのメンバーを代表するクラスター1について8月26日6時 (105時間先) までの累積雨量分布図をレーダアメダス解析雨量と比較した結果をFig. 10に示す。宮崎県

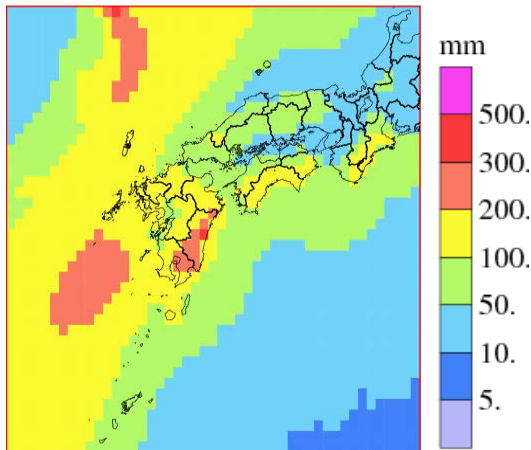
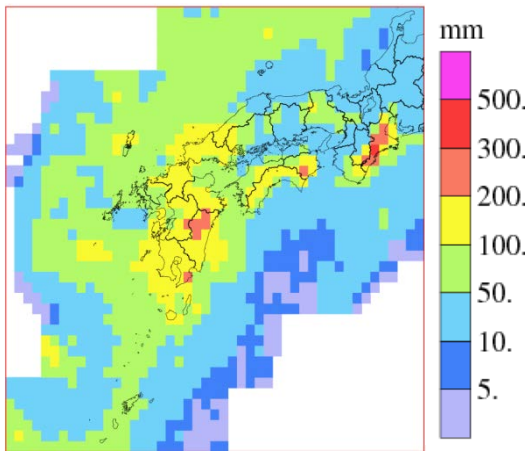


Fig. 10 Spatial distribution of accumulated rainfall : upper ; radar-AMeDAS composites, lower ECMWF-ENS after bias correction :2015-08-21 21JST (initial) - 2015-08-26 05JST

南部から大隅半島で予測雨量が過大，紀伊半島南東斜面では予測量が過少となっているものの，西日本の太平洋側を中心に200mm～300mmの累積雨量を概ね良好に予測していることが判る。

## 2.4 予測降雨シナリオ

ECMWF-ENSを用いた予測降雨シナリオの作成方法は様々考えられるが（例えば，全メンバー中の最大降雨シナリオ），台風が遠方にあり接近・上陸まで数日を要するような段階では平均的な予測降雨のシナリオを必要とするケースも考えられる．ここでは Fig. 11に示す四国中央部の吉野川上流早明浦ダムを対象として3個に分類された各クラスターに属するアンサンブルメンバーの平均値を用いて予測降雨シナリオとした例を示す (Fig. 12)．対象台風，初期時刻はFig. 6, Fig. 10と同じである．予測時点から降雨が開始するまで約3日あり，体制確保や事前検討には十分なリードタイムと思われる．九州西方海上を朝

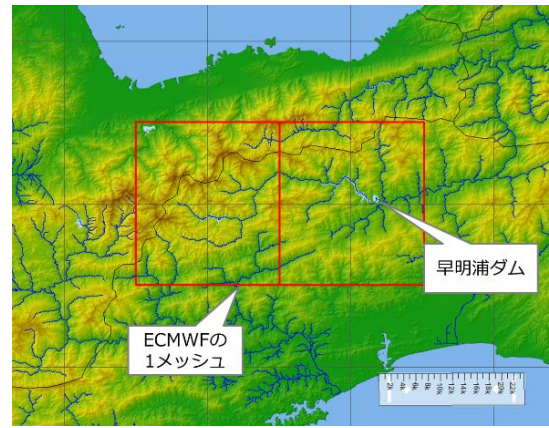


Fig. 11 Map showing the upper Yoshino River basin and location of Sameura Dam

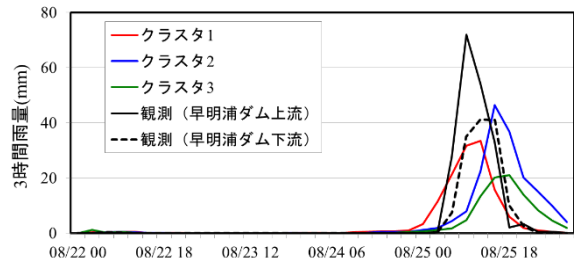


Fig. 12 3hours precipitation forecasted scenarios over the Sameura Dam basin issued on 2015-08-21 21JST in comparison with observation

鮮半島に進むシナリオ（クラスター3）では最大3時間雨量20mm，累積雨量90mm程度であるが，クラスター1，クラスター2では進行速度の違いから降雨波形に時間的なずれがあるものの，累積雨量は130mm～170mm程度となっている．これらは早明浦ダム下流域の観測雨量とほぼ一致しているが，上流域の観測雨量と比較すると過少である．上流域の急峻な山岳地形の効果が反映されていないことも原因の一つと思われる．

## 3. 平成27年9月関東・東北豪雨への適用

### 3.1 気象・水文状況の概要

2015年9月6日9時に発生した熱帯低気圧は日本の南海上を北上し，9月7日の21時に北緯25度付近で台風18号となった．その後，発生から約36時間という比較的短時間で9月9日9時過ぎに愛知県知多半島に上陸した台風18号は，日本海に進んだ後に温帯低気圧となった．台風18号（温帯低気圧）と東海上の台風17号の影響により南から湿った空気が流れ込み関東地方と東北地方では大雨となった．特に鬼怒川上流

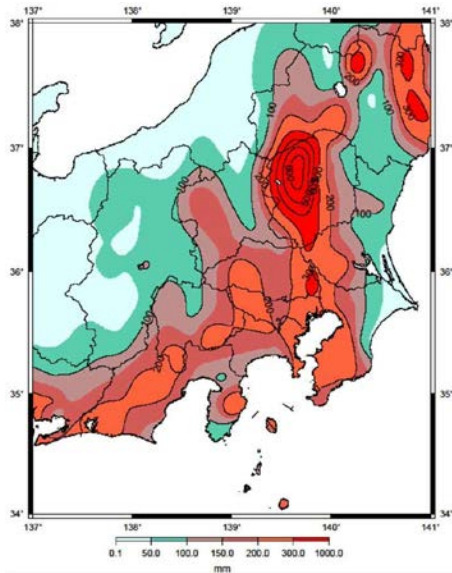


Fig. 13 Observed total rainfall distribution based on the ground gauge and radar information

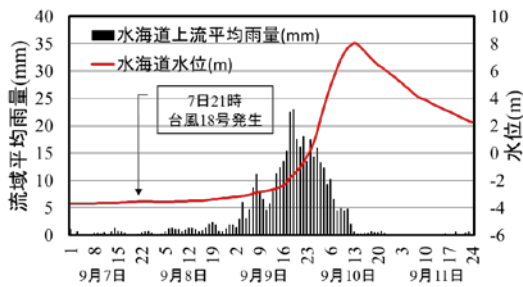


Fig. 14 Observed water level at Mitsukaido and basin averaged rainfall based on the ground gauge and radar information

部では複数の線状降水帯が長時間停滞した結果、日光市今市で9月7日から9月11日にかけての総降水量が647.5mmとなるなど記録的な大雨となり、鬼怒川が破堤して大規模な浸水被害が発生した。総降水量の分布図をFig. 13に、鬼怒川流域（茨城県水海道地点）の水位変化と地上雨量とレーダを用いて作成された流域平均雨量の時間変化図をFig. 14に示す。南北の降水帯が停滞した鬼怒川流域を中心に大雨となっているが、荒川や多摩川の上流部にも200mm～300mmのまとまった雨が降っており、多摩川支川の浅川では氾濫判断水位を超える洪水となった。

### 3.2 予測降雨シナリオ

#### (1) 鬼怒川流域の予測降雨シナリオ

台風発生から上陸までの時間が短かったこともあり、当時の新聞等に台風18号による大雨警戒の記事が掲載され始めるのは9月8日の夕刊時点からであり、

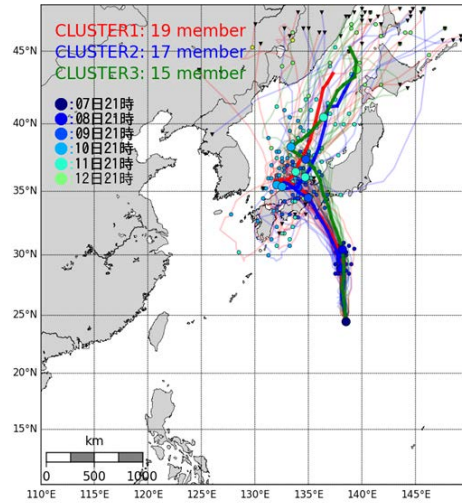


Fig. 15 Extracted tracks and clustering three scenarios of T1518 (Initial: 2015.09.07 21 JST)

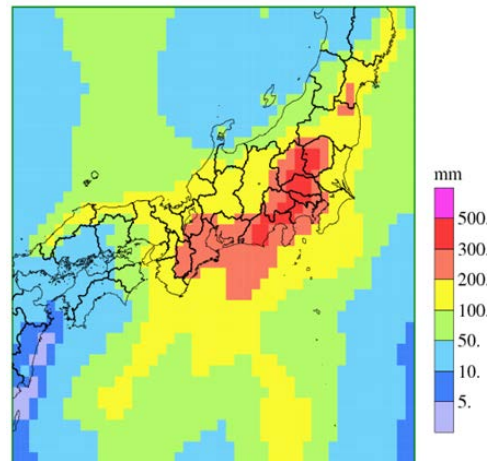


Fig. 16 Bias corrected 96hourly rainfall distribution of CL3-mean (2015-09-07 21JST - 2015-09-11 21JST)

記事の内容も冠水被害が出た浜松や上陸が予測される中部地方を意識したものが多い。ここでは、台風が発生した9月7日21時時点における予測降雨シナリオについて検討した。

ECNWF-ENSから抽出された台風18号の台風進路とクラスター分類した結果をFig. 15に示す。日本上陸まではアンサンブルメンバーのスペルッド（バラツキ）が小さく、分類されたクラスターのいずれもが東海地方から紀伊半島にかけて上陸する結果となっている。その後日本海に達したあたりでスペルッドが急速に大きくなるとともに進路も不明瞭になっている。実際の台風18号は9月9日15時に温帯低気圧になった後9月11日までほとんど停滞しており、Fig. 15の結果と一致している。

実際の進路に近いクラスター3（CL3）に属する15

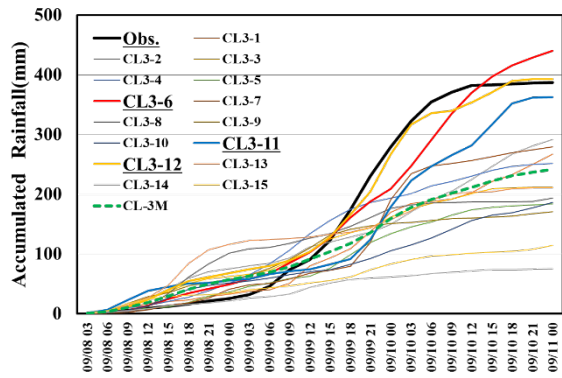


Fig. 17 Accumulated precipitation CL3-forecast over the Kinugawa River basin issued on 2015-09-07 21JST in comparison with observation

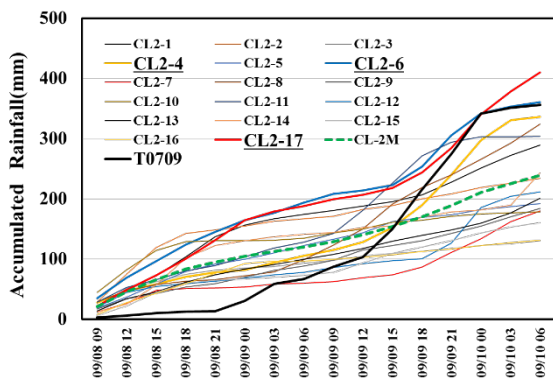


Fig. 18 Accumulated precipitation CL2-forecast over the Tamagawa River basin in comparison with observation issued on T0719

メンバー平均の4日間累積雨量分布をFig. 16に示す。静岡県および関東地方には南北に300mmから500mmの降雨域が広がっておりFig. 13の分布特性と良く一致している。

洪水発生2日前の早い段階でのシナリオとして、鬼怒川、荒川、多摩川といった関東地方の主要河川全域にわたり厳重な警戒態勢を想定すべき事を示している。Fig. 17はクラスター3に含まれる15メンバーと平均値および観測値の4日間累積雨量変化図(マスカープ)を示している。15メンバーの中で4日間累積雨量が上位となるCL3-6, CL3-11, CL3-12については観測値とほぼ同程度の雨量となっている。

## (2) 多摩川流域の予測降雨シナリオ

台風が発生した9月7日21時点ではFig. 15に示すように進路が僅かに西にシフトして荒川流域や多摩川流域に大雨が集中するシナリオ(クラスター1,2)も考えられた。ここでは多摩川を対象として予測降雨シナリオを検討した。過去10年程度の期間中、多摩川では2007年9月台風9号(T0709)により上流の小河

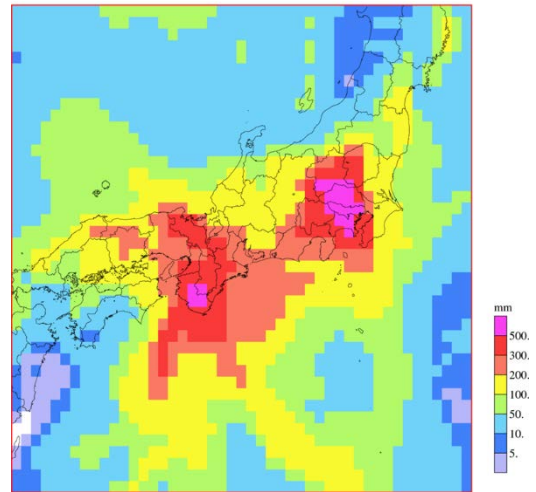


Fig. 19 Bias corrected 96hourly rainfall distribution of CL2-17 (2015-09-07 21JST - 2015-09-11 21JST)

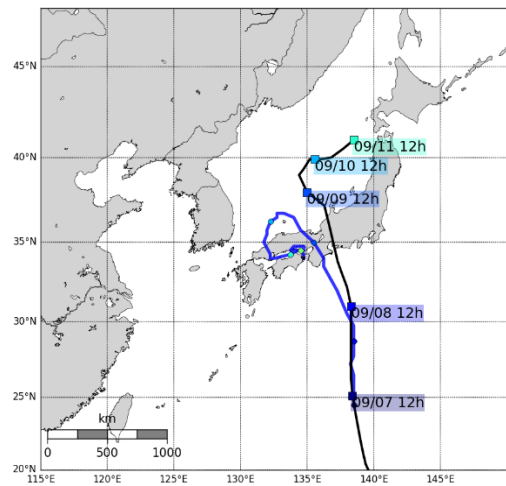


Fig. 20 Forecast track of CL2-17(blue line) and best track (black line)

内ダムで総雨量710mm(観測史上最大)、石原基準点で流域平均2日雨量372.9mm(戦後3位)の大雨を記録した。この大雨により石原地点(上流域面積1240km<sup>2</sup>)では計画高水位(5.94m)を超える6.02mを記録するなど1982年(昭和57年)以来の大洪水となり、一部の地域では積んだ土嚢の一段目まで洪水水位が達した。

西にシフトするシナリオの中でクラスター2(CL2)に含まれる17メンバーと平均値およびT0709の2日間累積雨量をFig. 18に示す。17メンバーの中でCL2-4, CL2-6, CL2-17等はT0709と同程度か上回る雨量のシナリオとなっている。クラスター2の中で最も危険なシナリオとなるCL2-17の予測総雨量分布図をFig. 19に、その台風進路をFig. 20に示す。神奈川、東京都および埼玉県のほぼ全域が総雨量500mm以上で覆われている。台風の進路が僅かに西にシフトしただけで多摩川、荒川など関東地方西部の主要河川では過去

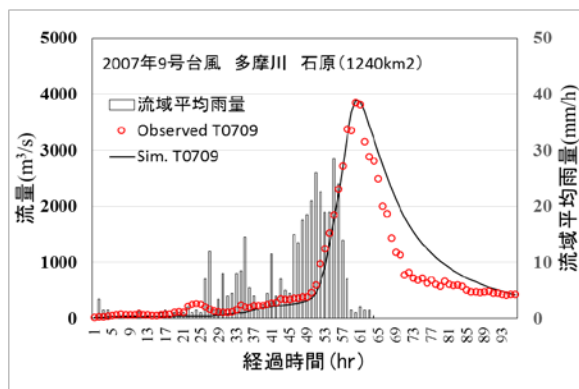


Fig. 21 Time series of the observed and simulated discharge at Ishihara station and basin averaged rainfall

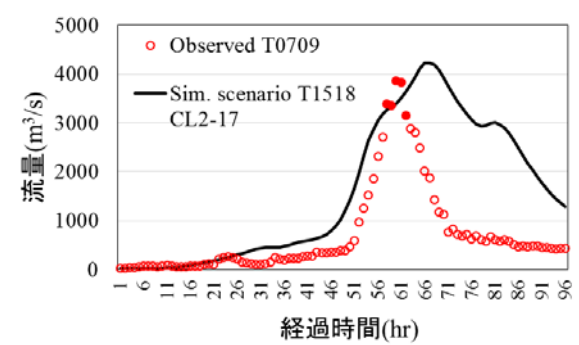


Fig. 22 Simulated hydrograph (black line) at Ishihara of scenario CL2-17 and comparison with observed data in T0709 (circle). Filled circles represent the duration of flood dangerous water level.

に経験したことが無い様な大雨が降り、同時多発的に大洪水が発生する危険性があったことが判る。

### (3) 多摩川流域の予測洪水シナリオ

多摩川流域にとって最も危険な雨のシナリオであるCL2-17の予測雨量を入力とした場合の洪水・氾濫計算については、例えばSayama et al. (2012) のように詳細な分布型降雨流出・氾濫モデルを用いた解析手法が考えられる。しかしながら、本研究では早期の段階で洪水規模を想定して対応策を検討するための支援資料という位置づけを考慮して、式(1)、式(2)に示される非線形二価貯留関数（寒地土木研究所(2016)）による簡易計算を行った。

$$\frac{dS}{dt} = r_e - q \quad (1)$$

$$S = k_1 q^{p_1} + k_2 \frac{d}{dt} (q^{p_2}) \quad (2)$$

ここに、 $S$ は貯留高(mm)、 $r_e$ は有効降雨強度(mm/h)、 $q$ は流出高(mm/h)、 $k_1, k_2, p_1, p_2$ はパラメータである。

2007年台風T0709時のハイドログラフを用いてパラメータの同定を行った結果をFig. 21に示す。洪水逓減部での精度に課題が残るものの立ち上がりからピーク付近にかけては非常に高い適合度となっている。同定されたパラメータは $k_1 = 45, k_2 = 109.9, p_1 = 0.6, p_2 = 0.465$ となった。また、有効降雨強度 $r_e$ の算出にあたっては、累積雨量200mmまでの流出率を0.3とし、ピークの位置を合わせるために遅れ時間を2時間としている。

これらのパラメータを用いてCL2-17を入力とした計算を行った結果をFig. 22に示す。なお、CL2-17は3時間雨量の時系列データであるため、流出計算では1/3の時間雨量として等分に与えた。Fig. 22には比較の為にFig. 21に示されたT0709の観測結果も開始時刻を同一にして示している。赤く塗りつぶされた時間帯はT0709時の石原地点水位が氾濫危険水位5.20mを超えた期間(2007年9月7日4時~8時)に相当する。図よりCL2-17による洪水はピーク流量ではT0709をやや上回る程度であるものの長時間(約20時間)にわたって氾濫危険水位を超える可能性があったことが判る。

また、多摩川の上流域・山岳部に大雨の地域が集中したT0709と異なり、T1518の最悪シナリオCL2-17では流域のほぼ全域に記録的な雨が降ることになる。秋川、浅川等の主要支川も過去最大規模の洪水になった可能性も高い。ECMWF-ENSによる降雨シナリオを入力とした流域全体の洪水・氾濫リスクの評価手法の確立が重要である。

## 4. おわりに

本研究では、ECMWFのアンサンブル予測モデル(ECMWF-ENS)を用いた台風性降雨シナリオの策定プロセスを提案し、平成27年9月関東・東北豪雨への適用を行った。得られた結論と課題を以下に示す。

- ECMWF-ENSと台風の最新位置情報から51パターンの台風予測進路の抽出を行う手法を開発した。
- クラスタ分析手法を用いて51パターンの台風予測進路をコースと進行速度が類似する複数のグループに分類する手法を検討した。進行速度を考慮した分類を行うことで、類似したコースでも予測降雨のシナリオが異なるグループを分類できることが判った。
- ECMWF-ENSの予測雨量が過少傾向であることを改善するために、大雨時の補正に重点をおいた頻度バイアス補正を用いた。
- 検討した手法を平成27年9月関東・東北豪雨に適用した。洪水発生2日前の時点で、実際のコー



- スに最も近いシナリオの予測累積雨量は鬼怒川（水海道地点上流域）で最大約400mmとなった。これは実際の値に良く一致しており、早い時点で記録的な大雨を予測できていた。
- ▶ 同じく2日前の時点で予測進路が僅かに西へシフトした場合の大雨シナリオを調べた。その結果、大雨が集中する地域も荒川や多摩川流域にシフトし、例えば多摩川流域での最悪シナリオでは総雨量500mm以上の記録的な大雨が想定できた。
  - ▶ 多摩川に最悪シナリオの雨が降った場合の洪水規模を貯留型の流出モデルを用いて推定した。その結果、氾濫危険水位を長時間にわたって超過することが判った。
  - ▶ 本研究で提示した手法により台風による広域の大雨シナリオを早期の段階で定量的に提示できることが判った。今後は、分布型の流出モデルと組み合わせることで、洪水リスクシナリオについてもメッシュ情報として評価できるように検討・改良を進めて行く。

### 参考文献

- 神島敏弘 (2003) : データマイニング分野のクラスタリング手法 (1), 人工知能学会誌, 第18号, pp. 59-65.
- 気象庁予報部 (2012) : 数値予報の基礎知識と最新の数値予報システム, 平成24年度数値予報研修テキスト, pp. 42-53.
- 気象庁 (2014) : 異常気象と気候変動の将来の見通し, 異常気象レポート2014, pp. 156-199.
- 気象庁予報部 (2014) : 改良・高度化された全球数値予報システムと週間・台風アンサンブル予報システム
- の特性およびガイダンスの改良, 平成26年度数値予報研修テキスト, pp. 49-71.
- 気象庁 HP (2016) : 解析雨量, <http://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/kurashi/kaiseki.html>, (参照2016-03-23).
- 辻本浩史・久保田哲也・多田泰之・菊池英明・森島成昭・吉田真也・西真佐人 (2011) : 土砂災害の誘因的な観点からみた降雨特性の変化と今後の課題について, 平成23年度砂防学会研究発表会概要集, pp. 4-5.
- 土木研究所寒地土木研究所 (2016) : 研究アーカイブ 流出解析のためのプログラムライブラリ, <http://river.ceri.go.jp/contents/archive/theme/theme08/research2557.html>, (参照2016-06405)
- 本間基寛・増田有俊・吉開朋弘・辻本浩史 (2015) : アンサンブル予測を利用したシナリオ型台風予測情報の検討, 日本災害情報学会第17回研究発表大会, pp. 180-181.
- 本間基寛・新井恭子・鈴木靖・木谷和大・辻本浩史 (2016) : 不確実性を伴う災害情報の表現方法に関する言語学的検討, 京都大学防災研究所年報, 第59号, pp.153-159.
- 山口宗彦 (2008) : 気象庁台風アンサンブル予測システム, 天気, 第55巻, pp. 73-76.
- ECMWF : ヨーロッパ中期予報センター (ECMWF) HP, <http://www.ecmwf.int/>, (参照2016-03-22)
- Sayama, T., Ozawa, G., Kawakami, T., Nabesaka, S. and Fukami, K (2012): Rainfall-runoff-inundation analysis of the 2010 Pakistan flood in Kabul River basin, Hydrol. Sci. J., 57, pp.298-312.

(論文受理日 : 2016年6月11日)