

吉野川上流域における気象モデル(WRF)を用いた降雨予測システムの構築について

造田 康盛

四国地方整備局 吉野川ダム統合管理事務所 調査・品質確保課

(〒778-0040 徳島県三好市池田町西山谷尻4235-1)

近年頻発している突発的な集中豪雨に起因する河川の急激な増水等に対し、ダム放流操作の実施判断を的確に行う事が重要となっている。吉野川ダム統合管理事務所(以下:吉野川ダム統管)では、吉野川上流域の短期降雨予測の精度を向上させるため、最新の気象予測モデル「WRF」を用い、国交省として初めて流域に特化させた降雨予測システムを構築した。本論文では、WRFを用いた降雨予測の概要、および導入成果について紹介する。

キーワード 降雨予測, 気象モデル, WRF, データ同化

1. はじめに

近年頻発している突発的な集中豪雨に起因する河川の急激な増水等に対し、ダム放流操作の実施判断を的確に行ううえで、降雨予測の精度向上は非常に重要なものである。現在の降雨予測手法のひとつとして気象モデルが用いられており、最近では、様々な観測データの取り込みが可能になるなど、モデル自体の改良がなされてきていることや、計算機の演算能力の向上などにより、気象モデルによる降雨予測精度は向上していきいていると言える。我が国においても、日本全体を領域とした気象モデルが運用されているが、日本の国土の特徴とも言える急峻な山岳地帯や、複雑な地形が存在することから、局地的な大気現象を精度良く予測するまでには至っていない現状がある。これらに鑑み、吉野川ダム統管では、ダム上流域での集中豪雨による急激な増水に対し、ダム放流操作の実施判断を的確に行うことを目的とし、次世代の気象モデル「WRF」を用い、吉野川上流域に特化させた降雨予測システムを構築した。

本論文では、WRFを用いた降雨予測の概要、および導入成果について紹介する。

2. 気象モデルの概要

(1) 降雨予測手法の種類と特徴

降雨予測手法は大きく「運動学的手法」と「気象モデ

ル」の2種類に分類される。運動学的手法は、レーダで観測された雨雲について、過去から現在までの動きを追跡し、それらを基に将来の雨雲の位置と強さを推定する。気象モデルは、風、気温、気圧、水蒸気などで表される大気の状態変化を流体力学や熱力学などの物理学の法則等に則って計算し、将来予測を行う。気象モデルの概念を図-1に示す。

運動学的手法は、観測データの履歴から将来予測を行うことから、数分先から長くても数時間先といった非常に短時間先の予測によく用いられる。反面、雨雲の変形、発達、衰弱の予測や評価が困難であり、時間経過と共に急速に予測精度が低下する課題がある。気象モデルは、対象とする空間スケールの大きさによるが、数時間先から数日先の予測まで可能である。課題として、複雑な計算式をシミュレーションするため、実際の運用モデルとしての使用は一部の機関に限定しており、さらにプログラムは基本的に非公開であるため、これまでは河川管理・流域に特化したチューニングが困難であった。

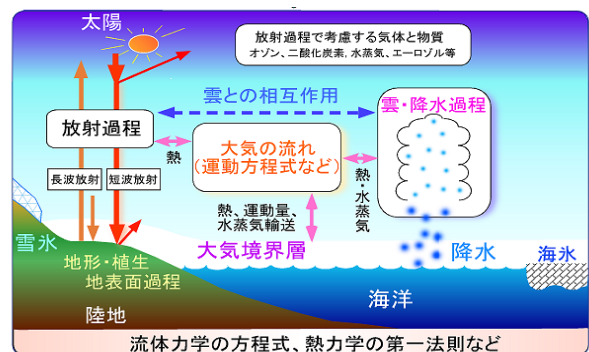


図-1 気象モデルの概念 (気象庁HPより)

(2) 次世代の気象モデルWRF

WRFとは、「Weather Research and Forecasting model」の略で、米国大気研究センター、米国環境予測センター、米国海洋大気庁、米国空軍気象局などが中心となり、実用的な天気予報とそれに関連する研究のために開発された現在において最新の気象モデルである。本モデルはオープンソースプログラムとして公表されており、誰でも自由に使用することが可能である。

主な特徴として、水蒸気量、雲、雨、雪、あられ、などの予報方程式からなる雲物理モデル、日射量、大気放射量などの放射モデル、地表面温度、土壌温度、土壌水分量、積雪量などの地表面モデル等、多数の力学法則が取り入れられていること。モデルに様々な観測値をなじませる手法（データ同化）が整備されていること。数メートルから数千キロメートルと言った幅広い領域に対応できることがあげられる。

これらの特徴により、対象とする区域に対して最適な予測区域と計算メッシュサイズの設定、独自データの反映が可能となり、河川管理を目的とした降雨予測精度向上を図ることができる。

(3) 国土交通省におけるWRFの検討経緯

WRFを用いた降雨予測システムの構築にあたり、国土交通省国土技術政策総合研究所において、平成19年度から平成20年度にわたりデータ同化の有無による精度向上の検証が実施されている。その結果、データ同化を実施することにより、局所的な短時間降雨予測精度の向上が図れるという検証結果を得ている。平成21年度に、国内の代表的水系への適用として、吉野川上流域を対象とした降雨予測システムを構築した。

3. 降雨予測の精度向上

WRFによる降雨予測の精度向上のため、その特徴を生かした以下の工夫を行った。

(1) 適切な計算領域及び計算メッシュ間隔の設定

計算領域は、台風・低気圧・前線などの降雨原因の特性を考慮して設定する必要があるが、吉野川上流域においては、やや南西部に空間を設けるように設定することが望ましい。計算メッシュ間隔については、より細やかにし、詳細な地形計算を行うことにより、地形性降雨など、特に山岳域での局地豪雨を精度良く予測することができる。つまり、「広く・細かく」設定すれば予測精度の向上が期待できるが、その分、予測結果の出力に時間を要するため、計算処理能力に見合った設定をしなければならない。

吉野川ダム統管のWRFで設定した計算領域を図-2に示す。予測計算時間を30分程度とし、吉野川上流域よりやや南西に領域を設けた設定とした。また、計算メ

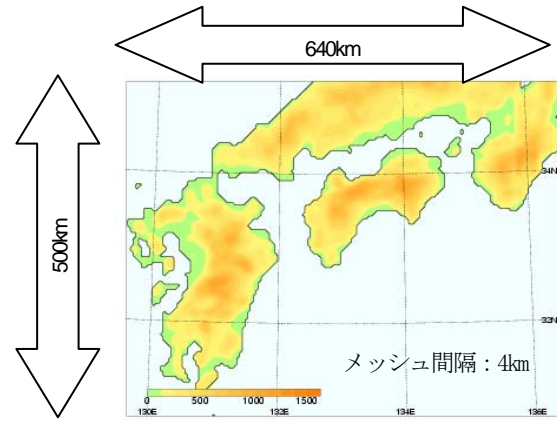


図-2 WRFの計算領域

ッシュ間隔については、予測精度の向上が確認された4kmに設定した。

(2) 最新の観測データの取り込み（データ同化）

気象モデルに観測データなどをなじませて取り込むことをデータ同化という。次の2項目についてWRFへデータ同化を行い、降雨予測精度の向上を図った。

a) ドップラーデータ

精度の良い降雨予測には、現在の雨雲の位置や強さなどなるべく正確な大気の状態に関するデータが必要である。気象庁が新たに展開しているレーダー雨量観測「ドップラーレーダー(図-3)」は、従来のレーダー雨量観測と比較し、降雨状況の観測とあわせて、反射してくる電波の波長から降雨地点の風の向きや強さも測定できるメリットがある。これらの観測値を計算初期値としてインプットし、局地豪雨の発生場所や雨量強度の精度の向上を図った。

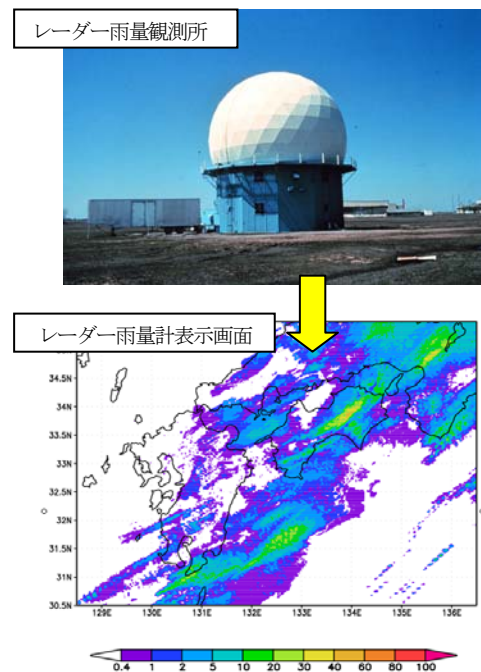


図-3 ドップラーレーダー観測

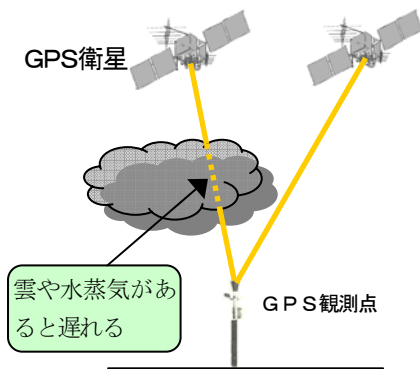


図4 GPS可降水量測定原理

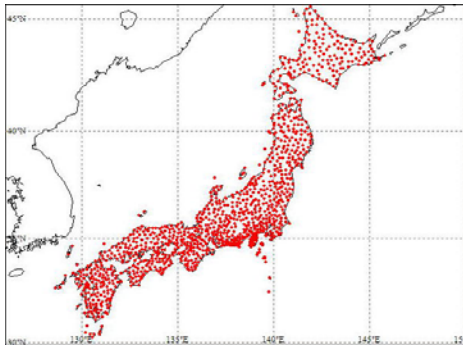


図5 全国約1200箇所のGPS観測点の配置

b) GPS可降水量

GPS可降水量とは、GPS衛星から発射された電波がGPS観測所点に届くまでに、大気中の水蒸気が多いほど到達時間が遅れる性質を利用し、上空の大気に含まれる水蒸気量を測定したものである。(図-4) GPS観測所は、国土地理院が全国に約1200箇所展開しており、ほぼ日本全土におけるの大気中の水蒸気量を測定可能である。(図-5)

大気中の水蒸気量をWRFにデータ同化させることで、局地的豪雨の発生するタイミングや1回の雨で降る総雨量の予測精度向上を図った。

4. 構築した気象モデルの降雨予測精度評価

吉野川ダム統管で構築したWRFの降雨予測精度検証にあたり、台風、低気圧、前線の3つの降雨原因について検証を行った。ここでは代表として台風の1事例を紹介する。また、過去100事例における検証についても紹介する。なお、比較対象として気象庁の気象モデル「MSM」の予測結果を用いた。

(1) 台風における予測事例(平成21年台風9号)

a) 降雨概況

平成21年台風9号が紀伊半島沖を北上し、その後進路を東に向け、日本の南海上を東進した。台風が持ち込んだ湿った空気の影響で、8月9日~10日にかけて四国全体でまとまった雨が降り、吉野川流域では、早明浦上

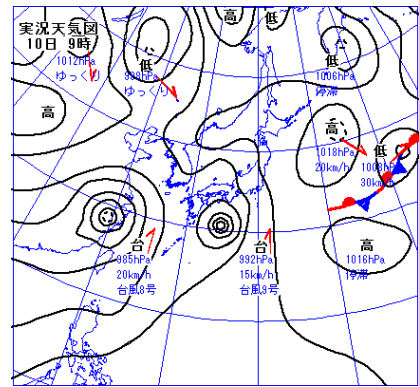


図6 平成21年8月台風9号天気図

流域の本川(アメダス)で、9日に184mm、10日に86.5mmの降雨を観測した。(図-6)

b) 予測結果

8月10日0時からの2時間後予測の結果を見ると、気象庁MSMに比較して、WRFは四国の大雨を良好に再現できている。(図-7丸内)。

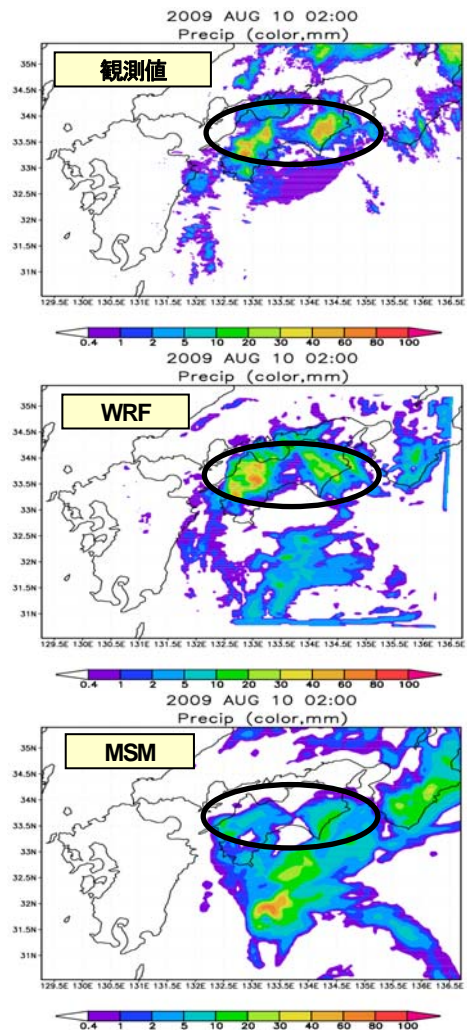


図7 8月10日0時から2時間後の予測結果

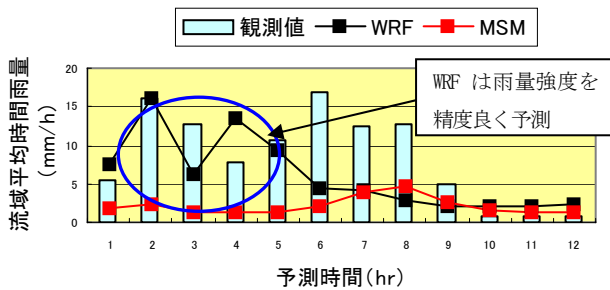


図-8 8月9日から12時間予測

また、8月9日6時からの12時間予測では、気象庁MSMは直近の強い雨を予測できていないのに対し、WRFはピークの時間がややずれている以外は概ね精度よく強雨を予測できている。(図-8丸内)

(2) 過去100事例の精度検証結果

2008年2009年の2年間における100降雨事例についてWRFと気象庁MSMの精度比較を行った。ここでは、精度指標として回帰係数と相関係数を用い、池田ダム上流域、富郷ダム上流域、早明浦ダム上流域の3流域について検証結果を紹介する。(図-9)

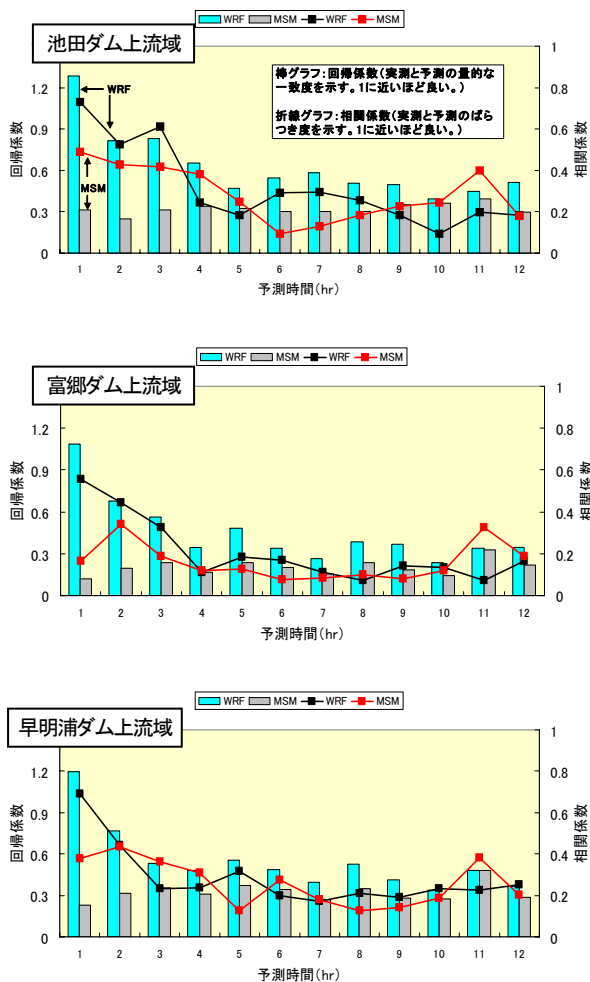


図-9 過去100事例における各流域毎の12時間予測

WRFは、気象庁MSMと比較して1時間後～8時間後程度まで高い精度であり、9時間後以降は気象庁MSMと同程度の精度となっている。

5. 課題整理及びまとめ

今回、吉野川上流域においてデータ同化処理を行ったWRFは、1～8時間先の予測については精度改善効果があった。特に台風性の降雨で、気象庁MSMの予測が過小評価となった場合において、大きな改善効果がみられた。一方で、前線性の降雨においては、データ同化処理を行ったWRFは、過大予測となる場合もあった。

概ね予測精度の向上が確認できたWRFであるが、今回は、データ蓄積の関係上から約2年間の大雨季例での解析結果であるため、まだ検証数も少ないのが現状である。今後も予測計算を継続しつつ検証内容を充実させ、WRFの特性を踏まえた適用範囲を明確にすることにより、予測区域と計算メッシュサイズの最適化や、パフォーマンスの高い計算機の投入による予測計算時間の短縮化など、さらなる予測精度の向上に向けた対応が可能となる。

今回の検討結果に基づく今後の追加検討事項を下記に示す。

(1) 降雨原因別の特性解析

降雨原因別(台風・低気圧・前線性など)の予測特性をより明確にし、降雨原因別の予測確立を明記できるシステムへ改良する。

(2) 流域別の特性解析

流域面積ならびに流域特性による予測特性を調査し、各流域に応じた予測計算の条件を再設定する。

6. 今後の展開について

吉野川ダム統管で運用している吉野川ダム群の高水・低水管理を行う「統合管理システム」において、従来の貯留関数法による流出予測に代わる「分布型流出予測システム」を平成21年度に導入している。最新の流出解析モデルである「分布型」へ最新の気象予測モデル「WRF」を用いた降雨予測結果を用いることで、流出予測精度のさらなる向上が図れると考えている。今後は、分布型と連携させた流出予測結果を用いた洪水調節のシミュレーションの機能を統合管理システムへ追加するなど、WRFを用いた降雨予測の活用を進めていく予定である。

当事務所において先駆となって構築した「WRFを用いた降雨予測システム」が、他の関係機関においても活用され、河川管理やダム管理のみならず、地域の危機管理など幅広い分野に寄与していくことを期待している。