

解析領域の違いによるダム放流開始に着目した降雨予測研究

A study on the dam started releasing precipitation forecasts by differences of analytical region

北海道電力（株）総合研究所 ○正 員 平井祐次郎（Yujiro Hirai）

1. はじめに

気象庁配信データのうち降雨予測分布として閲覧できるものには、1～6 時間先を対象にした降水短時間予報などがある。しかしながら、近年ダム流域に見られる局地的な降雨に代表される予測していない降雨への対応がダム管理上重要となっており、このような降雨に対して要員確保などダム放流態勢の早期確立を図り初期対応の万全を期すためには、6 時間先以降の降雨予測分布等の情報を出来る限り早く把握することが求められている。

当社はダム管理支援を目的に、降雨予測として気象庁などの気象情報をベースに地域特性を考慮した気象予測・解析システム NuWFAS [ニューファス]¹⁾ (Numerical Weather Forecasting and Analysis System: 計算解像度: 3.3km), および流出解析として森林域における蒸発散過程ならびに地形情報を考慮した水循環解析プログラム HYDREEMS [ハイドリームズ]²⁾ (Hydrological Evaluation with Evapotranspiration Modeling System: 計算解像度 1km) を導入し³⁾ (いずれも電力中央研究所 (以下、電中研) が開発), これら 2 つの予測モデルを組み合わせ、リアルタイムで降雨・出水の予測を行うことができるシステムの構築を目指し研究を進めている。

本研究は夏季の降雨による出水を対象としており、融雪出水終了から降雪期までの期間でダム放流開始に着目して分類した降雨について、気象庁観測値と NuWFAS 予測結果を比較している。当初の解析領域は電中研の事前検討で得られたものであったが、この領域を拡げると NuWFAS 予測結果の精度が向上すると考えたことから、解析領域の違いによる評価を行っている。

本稿では NuWFAS の概要およびその解析領域の違いによる予測結果の事例について報告する。

2. 気象予測システムの概要

(1) NuWFAS 開発の背景

6 時間先以降の降雨予測として、気象庁の全球数値予報モデル GPV (Global Spectral Model: 以下、GSM) が配信されているものの、解像度が 20km と広くダム放流判断には十分な情報となりにくい。降雨予測分布を見るためには別途図画ツールを用意する必要がある。そこで電中研では、気象庁から配信される GSM などの数値気象予測値を初期・境界条件とし、解像度と出力形式を使用者が自由に設定できる気象予測・解析システム NuWFAS を開発した。なお電中研では、この NuWFAS を用いて台風を対象とした事例などを検討している⁴⁾。

(2) NuWFAS の特徴

NuWFAS は数値気象モデルである WRF モデル⁵⁾ (Weather Research and Forecasting Model) を核とした気

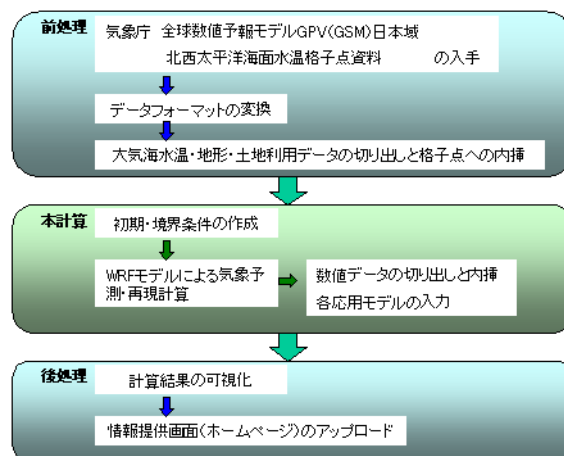


図-1 NuWFAS の流れ



図-2 解析領域（解析領域拡大前）

象予測・解析システムであり、気圧、3 次元風速場、気温とともに水蒸気や降水量などの気象場を計算することができる。計算メッシュの大きさを細かくすることによって、複雑な地形による風況や地形性降雨の計算が可能となる。図-1 に予測結果閲覧までの流れを示す。

本研究では解析領域を図-2 に示すように 10km メッシュとなる「領域 1」とほぼ北海道が入る 3.3km メッシュの「領域 2」に設定し、当社ダム流域の降水分布を表現可能とした(解析領域を拡げることについては後述する)。2 つの領域の初期値として、海面温度には北西太平洋海面水温格子点資料を、3 次元風速場や気温などの気象情報には GSM (日本域) (20km メッシュ) を利用し、その日ごとの地球規模の気象場を反映させている。なお、降水量となる雨水や雪などの降水粒子は初期・境界条件として与えることができていない。

表-1 に WRF モデルの計算条件を示す。WRF のバージョンは 2.2 であり、降水粒子の発生・発達計算を行う

表-1 WRF モデルの計算条件（解析領域拡大前）

	領域1	領域2
地図投影法	ランベルト	
中心位置	43.0N, 142.5E	
水平解像度(格子数)	10km (99×99)	3.3km (129×129)
鉛直格子	36層	
予測時間	72時間	
時間間隔	60秒	20秒
力学過程	非静力学弾性	
境界層モデル	YSU	
水平拡散モデル	2D-Smagorinsky	
積雲対流モデル	—	
雲微物理モデル	New-Thompson	
短波放射モデル	Dudhia	
長波放射モデル	RRTM	
地表面モデル	Thermal diffusion	
初期値・境界値	気象庁:全球数値予報モデルGPV(GSM日本域) 気象庁:北西太平洋海面水温格子点資料	

雲微物理モデルは豪雨の再現に必要な「あられ」の計算を行う New Thompson モデルを用いている。

GSM（日本域）が1日4回、84時間先までのデータを提供しているが、本研究では初期日時から72時間先までの解析を対象とした。

3. NuWFAS の評価方法

NuWFAS の予測結果については、ダム放流態勢移行の判断材料として活用することが目的であるため、ダム放流開始操作を行った際の NuWFAS 予測値と実際の観測値を比較することにより予測精度の検証を行った。比較検討のための観測値として、国土交通省が全国に設置しているレーダーおよびアメダスなどから得られた降水量を組み合わせ、1km メッシュで解析した国土交通省「解析雨量」（Radar - AMeDAS Precipitation：以下、RAP）を用いる。

NuWFAS での降雨予測は主に翌日、翌々日を対象にしていることから、初期日時から72時間先までの累積値で評価する。北海道における RAP 観測値と NuWFAS 予測

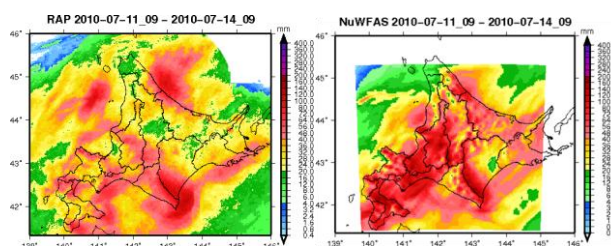


図-3 2010年7月11日9時初期値における72時間降水量累積分布（左：RAP，右：NuWFAS）

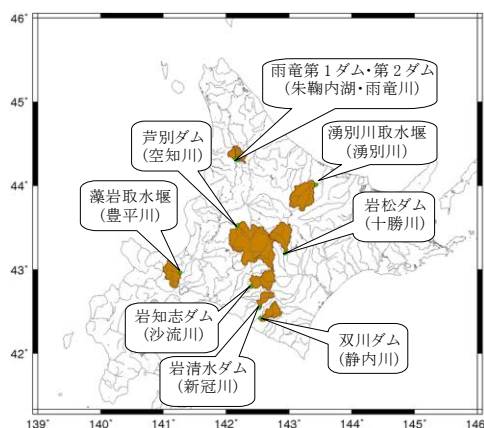


図-4 流域図

値との比較の一例を図-3に示すが、この2つの降水量累積分布図で定量評価を行うのは困難である。そのようなことから、図-4に示す当社の水力発電所がある主要な水系の最下流ダムを代表として流域平均降水量の72時間累積値を NuWFAS 予測値と RAP 観測値でそれぞれ算出したもので評価することを考え、 $R = (\text{NuWFAS 予測値} \div \text{RAP 観測値})$ を算出した。つまり、 $R > 1$ であれば降雨の空振りを、 $R < 1$ であれば降雨の見逃しとして予測したことになる。 $R > 1$ となることは安全側の判断ができるためダム放流態勢の万全を期すことが可能であるが、 $R < 1$ の場合は降雨を予測していないためダム放流態勢移行への時間的余裕がなくなる可能性がある。なお、この $R \leq 0.5$ を NuWFAS の予測結果が RAP 観測値とあまり一致していないという1つの指標として仮に定めることとする。

4. 解析領域拡大前の NuWFAS 予測結果

ダム放流開始に着目した降雨を分類しており、この作業が終了している2010年降雨について記述する。

a. 2010年7月12日降雨

この降雨は NuWFAS 予測結果と実際の降雨状況が比較的一致しているものである。2010年7月11日9時および2010年7月12日9時の天気図⁶⁾を図-5に、2010年7月11日9時初期値のRAPによる72時間降水量累積分布と NuWFAS 予測で得られる72時間降水量累積分布を前述の図-3に示す。この降雨は、梅雨前線上の低気圧が日本海を東に進み、暖かく湿った空気の流入で前線活動が活発化し、東日本に大雨をもたらしたものであるが、今回Rを算出した8流域では全て1以上であった。

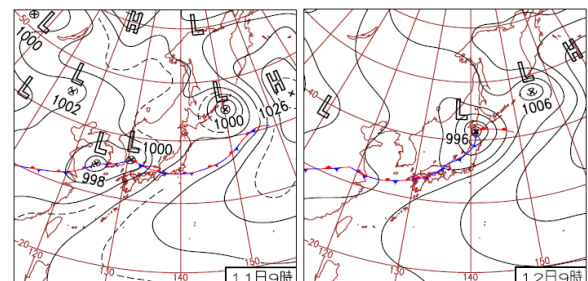


図-5 2010年7月11日9時および12日9時の天気図

b. 2010年8月23日降雨

この降雨は NuWFAS 予測結果と実際の降雨状況があまり一致していないものであり、停滞前線を伴った低気圧が沿海州から北海道を通過する天気であった。この時の天気図を図-6に、2010年8月22日9時初期値のRAPによる72時間降水量累積分布と NuWFAS 予測で得られる72時間降水量累積分布を図-7に示す。図-7を見ると、

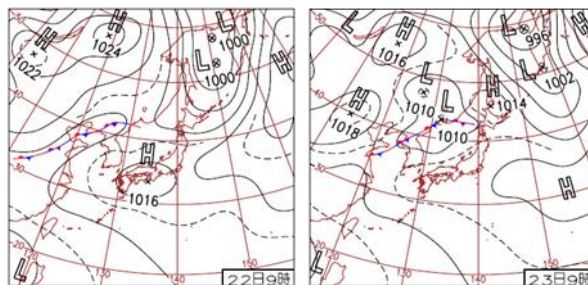


図-6 2010年8月22日9時および23日9時の天気図

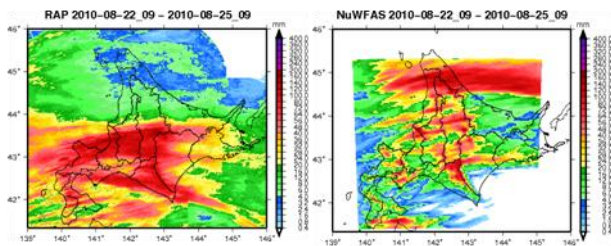


図-7 2010年8月22日9時初期値における72時間降水量累積分布(左:RAP, 右:NuWfas)

RAPの分布図では北海道の南半分に多くの降水があったが、NuWfasの予測結果では北海道北部、上川地方および日高山脈で多くの降水となり、降水量分布が異なるものとなった。またRの値も空知川、豊平川および静内川の3流域で0.5以下となった。NuWfas予測結果がこのような観測値とあまり一致しなかった理由として、前線の南から流れてくる暖かく湿った空気の評価が適切でなかったことを考え、次節で示すように解析領域を広げて比較検討することとした。

5. 解析領域拡大後のNuWfas予測結果

(1)解析領域拡大

夏季において太平洋高気圧が発達し、北海道に前線が停滞もしくは低気圧が通過する場合、NuWfasの降雨分布とRAPとが異なることがある。これは、NuWfasの初期時刻においては解析領域内で雨雲がないこと、解析領域外から流入する雨雲を再現できないことが原因と考えられる。海上からの雲をはやく計算上に表すとNuWfasの降雨分布が実況となるRAPの分布に近づくと考え、次のように解析領域を広げることとした。

- ・解析領域2の諸元は現行と同じとする。
- ・解析領域1の格子間隔を20kmとし、解析に要する時間(格子点数)は現行と同程度とする。
- ・GSM(日本域)の提供する範囲(北緯20°~50°、東経120°~150°)を勘案して北側および東側の境界を設定する。

拡大した解析領域を図-8に示し、図-2の解析領域に対し南西側に広がった。なお領域1で計算格子を10kmから20kmに変更したことにより本州などの地形の再現性は低下するものの、領域を広げることで雨雲の生成・成長の再現は良くなると考えている。

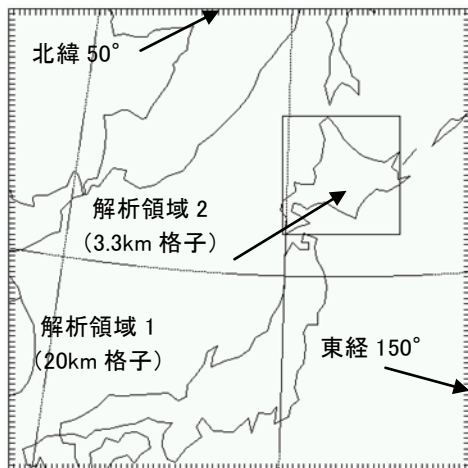


図-8 拡大後の解析領域

(2)解析領域拡大後のNuWfas予測結果詳細

前述した2010年7月12日降雨および2010年8月23日降雨に加え、解析領域を広げた効果が確認できた一例として2010年8月30日降雨について記述する。

a. 2010年7月12日降雨

2010年7月11日9時を初期日時とした72時間降水量累積分布を図-9に示す。解析領域拡大の前後で日本海での分布が異なるものの、ダム流域を見るとほぼ同じ分布となった。またRの値も拡大前と同様に8流域全てで1以上となった。

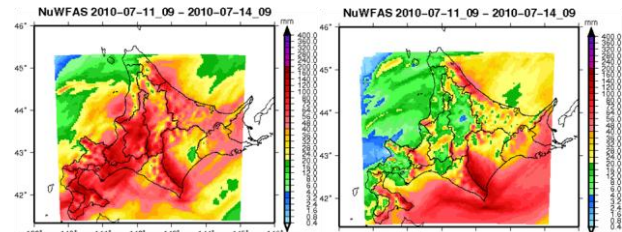


図-9 解析領域の違いによるNuWfas予測72時間降水量累積分布(2010年7月12日降雨, 左:拡大前, 右:拡大後)

b. 2010年8月23日降雨

2010年8月22日9時を初期値とした72時間降水量累積分布を図-10に示す。上川地方の一部で分布が異なるものの、全体を見るとほぼ同じ分布となった。またRの値も空知川、豊平川および十勝川の3流域で0.5以下となり、拡大前と同じ傾向となった。

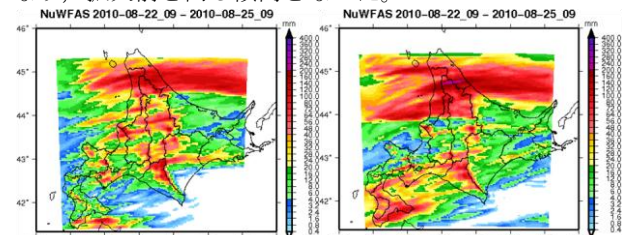


図-10 解析領域の違いによるNuWfas予測72時間降水量累積分布(2010年8月23日降雨, 左:拡大前, 右:拡大後)

c. 2010年8月30日降雨

この降雨は発達した低気圧がサハリン周辺に位置したものであり、この時の天気図を図-11に示す。また、2010年8月29日9時を初期値とした72時間降水量累積分布を図-12に示す。RAPによる降水量累積分布図では道南地方で多くの雨が降った地域もあるが、道内各地で降雨が示されている。それに比べ解析領域が拡大される前のNuWfas予測結果では道東で降雨のない結果となり、解

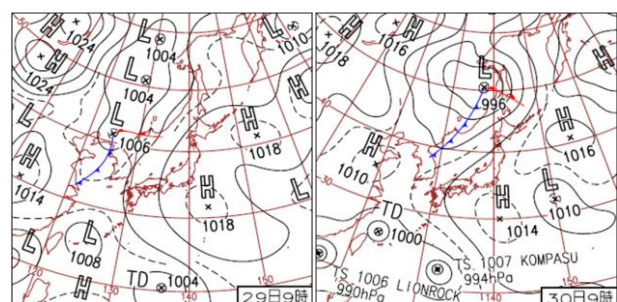


図-11 2010年8月29日9時および30日9時の天気図

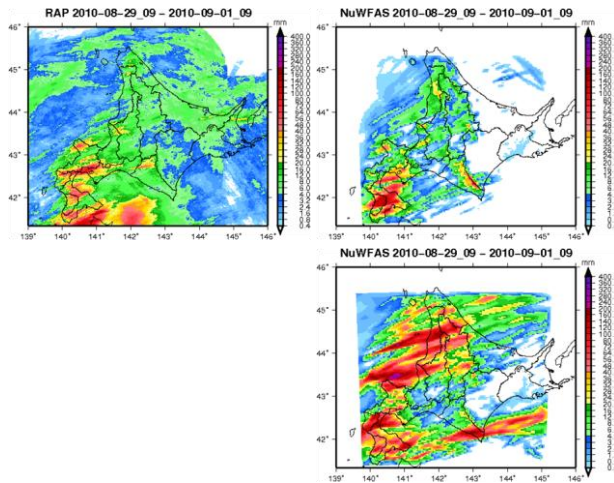


図-12 2010年8月29日9時初期値における72時間降水量累積分布(左:RAP, 右上: NuWFA5 解析領域拡大前, 右下: NuWFA5 解析領域拡大後)

析領域を拡大した後では石狩地方北部から留萌地方にかけて RAP よりも多くの降水量となる解析結果となったが、十勝地方および釧路地方の一部を除き降雨のある結果となった。またRの値も日高地方の3流域(静内川, 新冠川, 沙流川)で解析領域拡大前と比べ小さくなったものの、8流域の単純平均は0.75から0.85へと良くなり(降雨の空振りとなる $R > 1$ のものは $R = 1$ として単純平均した)、解析領域を広げることは有効となる見通しを得た。

(3)降雨分布と風向の関係

2010年7月12日降雨および2010年8月23日降雨では解析領域を広げたとしても NuWFA5 の予測結果が大きく変わらなかったことから、暖かく湿った空気かどのような経路で北海道に到達するかに着目した。風向風速を含む NuWFA5 初期日時の出力値は世界各国で同時刻に観測されたものを内挿していることから、この初期日時の風向風速を見ることにした。

比較的 NuWFA5 の予測値が観測値と一致した2010年7月10日9時の風向風速を図-13の左側に、あまり一致しなかった2010年8月22日9時初期値の風向風速を図-13の右側にそれぞれ示す。北海道へ到達する雨雲は、左側の図を見ると太平洋から進入するものであり、右側の図を見ると日本海から進入するものとなっている。従って、風向風速が降雨予測の精度を左右する1つの要因になっていると考えられる。

このようなことから、風向風速に着目して2010年8月30日降雨を見ることとする。この降雨では豊平川の当

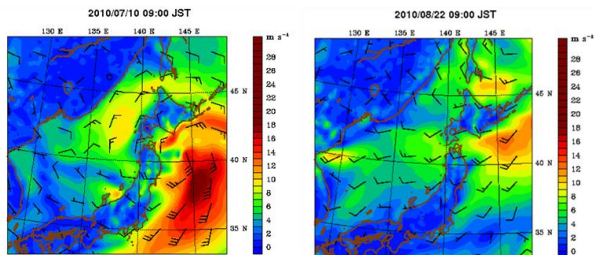


図-13 NuWFA5 初期日時における風向風速出力結果(左:2010年7月10日9時, 右:2010年8月22日9時)

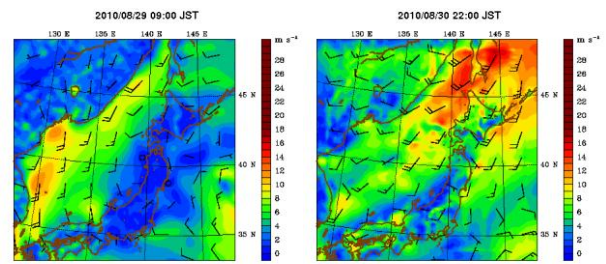


図-14 初期日時2010年8月29日9時のNuWFA5 風向風速出力図(左:初期日時の2010年8月29日9時, 右:2010年8月30日22時)

社ダムで放流を開始しており、この流域において時間雨量が1mm以上となった時刻が2010年8月30日22時であることから、この時刻と初期日時である2010年8月29日9時のNuWFA5で得られる風向風速を図-14に示す。初期日時では北海道へ進入してくる強い風は見当たらないものの、降雨の降り始めとなる2010年8月30日22時には日本海西側の強い流れに引っ張られるように太平洋側から北海道に雨雲が進入するものとなり、2010年7月12日降雨の風向風速と同じ傾向となったことから、解析領域を広げた効果が見られたものと考えられる。

6. まとめ

当社ではダム管理支援を目的に降雨予測および流出解析に関する研究を進めており、降雨予測について WRF モデルを核とした気象予測・解析システムである NuWFA5 を用いて水平解像度3.3kmで研究を進めている。ダム管理支援の点から見ると NuWFA5 を用いた降雨予測は十分活用できるものであり、解析領域を広げることは有効となる見通しを得た。

今後は、流出解析 HYDREEMS の適用性を確認し、入力する雨量データとして気象庁配信の RAP および降水短時間予測、NuWFA5 を組み合わせたシステム構築の研究を進めていく予定である。

最後に本研究を進めるにあたり、(財)電力中央研究所地球工学研究所流体科学領域: 豊田康嗣主任研究員をはじめ、社内外の多くの方にご指導・ご協力をいただいていることに深く感謝を申し上げます。

参考文献

- 1) 和田ら: 電中研一地域気象解析・予測システム(MARS)の開発, 電力中央研究所研究報告 N06016, 2007年
- 2) 豊田ら: 森林域における蒸発散過程を考慮した流出解析モデルの開発, 電力中央研究所研究報告 N05003, 2006年
- 3) 平井ら: ダム放流支援を目的とした気象予測システムの導入, 電力土木誌, No.356, pp.107~111, 2011年11月
- 4) 豊田ら: 気象予測モデルと連携した出水予測手法の開発—九州地方に來襲する台風事例, 電力中央研究所研究報告書, N08058, 2008年
- 5) W. C. Skamarock, et al., A description of the advanced research, WRF Version 2, NCAR/TN-468, 2005.
- 6) 気象庁 HP