

# WRF および OpenFOAM を用いた複雑地形上の局地風特性の解析

東京都立大学大学院 都市環境科学科 青木彩音, 新谷哲也

## 1. 研究背景と目的

山地に囲まれたダム貯水池では、複雑地形の影響により空間的に不均一な局地風場が形成され、貯水池内の流動や物質循環に大きな影響を及ぼす。一方、従来の貯水池流動解析では、限られた観測点の風を領域全体に一律に与えることが多く、実際の風場の空間分布を十分に考慮できない。鶴田ら(1999) [1]は、一様風の設定が湖流計算結果に影響を及ぼすことを示しており、風場の空間的不均一性を評価する必要がある。特に、小河内貯水池のような細長い谷地形では、地点ごとに風速・風向が大きく異なるため、限られた観測点のみから連続的な風場を把握することには限界がある。

このような課題に対し、空間的に連続した風場を把握する手法として、数値モデルの活用が有効である。WRF は広域気象場の再現に有効である一方、局所的な風場を詳細に表現するには空間解像度の制約がある。一方、OpenFOAM は複雑地形に沿った流れを高解像度で解析できるが、境界条件の設定に課題がある。

本研究では、小河内貯水池を対象に WRF による広域風場解析と OpenFOAM による定常数値解析を行い、複雑地形に起因する局地風場の空間構造を明らかにすることを目的とする。また、本研究は WRF-CFD 結合解析に向けた基礎的検討として位置づけられる。

## 2. 研究手法

小河内貯水池は、東京都奥多摩町に位置するダム貯水池であり、東西約 7 km、南北約 2.5 km の細長い湖面形状を有し、周囲を急峻な山岳地形に囲まれている。本研究では、山地貯水池における局地風場の特徴を把握するため、メソ気象モデル WRF および数値流体力学モデル OpenFOAM を用いた数値解析を行った。WRF では、対象期間における広域風況の時間変化を把握し、OpenFOAM では、複雑地形条件下における風場

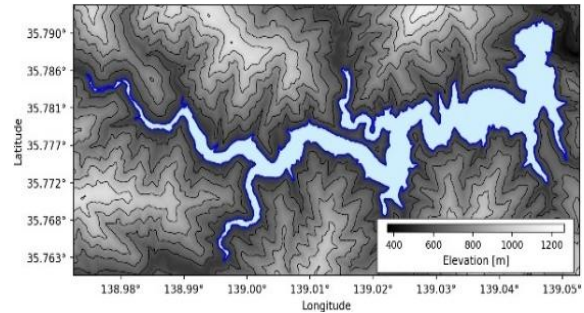


図 1 小河内貯水池概形

特性を明らかにするため、定常数値解析を実施した。具体的には、国土地理院 5mDEM を用いて小河内貯水池周辺の三次元地形モデルを構築し、実地形の起伏を反映した計算領域を作成した。計算領域は小河内貯水池周辺を含む 10 km × 10 km の範囲とし、領域上端は標高 2 km に設定した。また、計算領域外部から一様な風速および風向を与えることで外部気象条件を単純化し、地形に起因する風場構造に着目した。数値解析には、定常状態における非圧縮性乱流流れを対象としたソルバー simpleFoam を用い、乱流モデルとして RANS (Reynolds-Averaged Navier-Stokes) に基づく  $k-\epsilon$  モデルを採用する。得られた計算結果をもとに、流入風向条件の違いによる風場分布の差異を比較し、複雑地形が湖上風場の空間構造に及ぼす影響を評価する。

## 3. 解析結果

WRF による計算結果と小河内貯水池内 Mugiyama 観測地点での観測値の時系列比較を図 2 に示す。ここでは、WRF 標準地形データ (GMTED2010 30 arc-sec) を用いたケースおよび、GMTED2010 15 arc-sec を用いたケースにおける観測値の時間変化を比較した。その結果、風速については、地形データを高解像度化することで観測値に対する RMSE が 1.959 から 1.620 に低下し、再現性の改善が確認された。また、GMTED2010 30 arc-sec を用いたケースでは風速の時間変化が比較的なめらかであったのに対し、

GMTED2010 15 arc-sec を用いたケースでは、時間に伴う風速変動がより細かく表現された。しかしながら、観測値に見られるピーク値や短時間の変動幅には依然として差が認められ、観測値の振幅を十分に再現するには至らなかった。また、風向については、図2の時系列比較において、風向が切り替わる時間帯が観測値と概ね対応する箇所が見られたものの、短時間スケールの変動については十分に表現されなかった。そこで、風向の空間的な特徴を確認するため、図3に実測値とOpenFOAMによる計算結果の比較を示す。

図3より、複数の観測地点において、風が周囲の谷地形に沿う方向へ偏向している様子が確認された。このことから、小河内貯水池周辺では、地形の起伏や谷の向きが、局所的な風向形成に影響を及ぼしていると考えられる。

以上より、WRFは広域的な風況の時間変化を概ね捉えられるものの、山岳地形に囲まれた貯水池周辺における局所的な風速・風向の変動を詳細に再現するには限界があることが示唆された。この結果は、複雑地形に支配された局所風場を把握するためには、より高解像度の地形表現に基づく解析手法の導入が必要であることを示唆している。一方、OpenFOAMによる高解像度定常数値解析の結果からは、小河内貯水池周辺の複雑地形に起因して、湖上風場が空間的に大きく変化する様子が確認された。計算領域外部境界から一様な風速および風向を与えたにもかかわらず、湖面上では風速の増減や風向の偏向が生じ、地点ごとに異なる風況が形成された。特に、谷地形に沿った風の加速、湖岸付近における減速、尾根部周辺における風向の変化など、既往研究(松永ら,2017)<sup>[2]</sup>により報告されている地形に起因する風場構造と整合的な特徴が確認された。

#### 4. まとめ・今後の展望

本研究では、WRFおよびOpenFOAMを用いて複雑地形上の局所風特性を解析した。その結果、WRFは広域気象場を扱うモデルであるため、本研究対象である空間スケールの小さい山地貯水池周辺における局所的な風速・風向の変動を

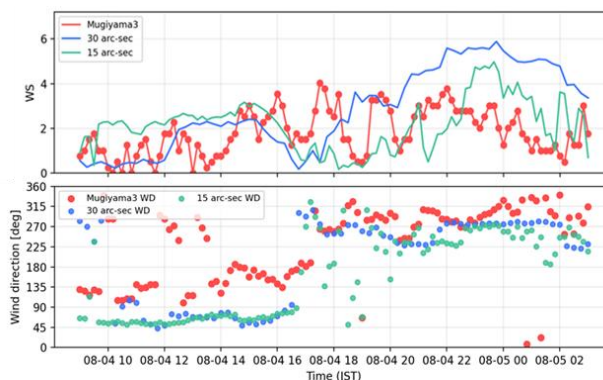


図2 WRFによるMugiyama地点の解析結果

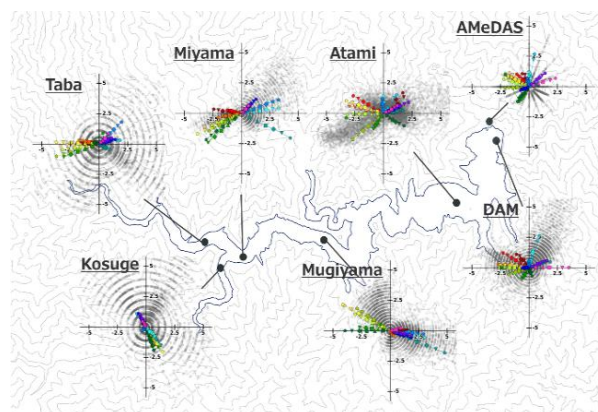


図3 実測値とOpenFOAM計算値の比較

十分に再現することは困難である可能性が示された。一方、OpenFOAMの解析により、地形起伏や湖面形状に起因して風場が空間的に大きく変化することが確認され、複雑地形が局所風場形成に与える影響が明らかとなった。

以上の結果から、広域気象モデルと局所CFDモデルはそれぞれ異なる役割を持ち、両者を組み合わせ合わせた解析手法の必要性が示唆された。今後は、WRFとOpenFOAMの結合解析、非定常解析の導入、および境界条件設定手法の高度化を通じて、複雑地形上における局所風場解析の精度向上を図る予定である。

#### 参考文献

- [1]鶴田泰士, 石川忠晴: 小川原湖における風速分布の現地観測, 水工学論文集, 第43巻, pp. 1043-1048, 1999.
- [2]松永真弥, 横山勝英, 上田博茂, 小泉明, 山崎公子, 兼安智也, 木村慎一: ダム貯水池における湖上風の現地観測とその推定方法に関する研究, 土木学会論文集 B1 (水工学), 第73巻, pp. I\_943-I\_948, 2017.