

OpenFOAM による複雑地形周辺の風況予測に関する研究

徳島大学大学院 学生員 ○夏秋 圭佑 徳島大学 正員 野田 稔
 徳島大学 フェロー 長尾 文明

1. はじめに

風は地形の影響を大きく受け、複雑地形上では局所的に大きく変化する。風況予測の方法として従来は、現地観測、風洞実験が主であった。しかし、近年コンピュータの性能が著しく発達しており、それに伴い、数値流体力学が飛躍的に発展してきた。数値流体解析を用いることで、現地観測や風洞実験の莫大な時間と費用を要する、という短所を克服することができる。本研究では、広く一般的に公開されている数値流体解析のオープンソースソフトウェアである OpenFOAM を用いて徳島市にある地方気象台を中心とした地形モデルを生成し、徳島市付近の風況の解析を行った。得られたデータを元に、徳島地方気象台における風速を求め、観測データと比較し、解析範囲、メッシュの細かさ、すり付け部の範囲が解析結果に及ぼす影響を検討した。

2. OpenFOAM の概要

OpenFOAM¹⁾とは、複雑な物理モデルに対応し、複数の偏微分方程式で記述された工学的問題を解くためのオープンソースソフトウェアである。多面体格子で構成される三次元の非構造メッシュ上で記述された偏微分方程式を解くための基礎方程式の離散化は、有限体積法によって行われており、ここでは、標準 $k-\varepsilon$ 乱流モデルのソルバーを用い、定常解を求めた。効率の良いメモリ管理とプロセッサの数に比例する並列処理も可能である。

3. 解析概要

本研究では、国土地理院によって発行された「数値地図 50m メッシュ (標高)」を用い、徳島市にある地方気象台を中心とした地形モデルを生成し、解析を行った。図-1 に解析対象付近の地形図を示す。

地形モデル生成時、流入口に大きな山が存在するとその部分で大きな剥離が生じ、現実的でない流れが生じる可能性がある。そこで、中心から一定の距離よりすり付け部を作ることによって平坦な状態から滑らかに地形を生成し問題を回避した。具体的には、注目点から r_0 までは実標高、 r_0 から r_1 までは $\cos$ 関数を与え標高を徐々に小さくし、 r_1 より遠い距離は標高を 0 としている。本研究では、再現範囲を表-1 のように変化した。

境界条件として、流入面に風速 $U(z)$ 、乱れエネルギー $k(z)$ 、散逸率 ε の鉛直分布を与えた。風速 $U(z)$ 、乱れエネルギー $k(z)$ 、散逸率 ε は、次式で表される。

$$\frac{U(z)}{U_G} = \left(\frac{z}{z_G}\right)^\alpha, \quad k(z) = \frac{\sigma_u^2(z)}{1.2}, \quad \varepsilon(z) \cong C_\mu^{\frac{1}{2}} k(z) \frac{d\{U(z)\}}{dz} \quad (1)$$

ここで、 $U(z)$ は高さ z における平均風速、 U_G は基準高さ (境界層厚) における平均風速、 z_G は基準高さ、 α はべき指数である。そして、 $\sigma_u(z)$ は主流方向の風速変動の標準偏差であり、以下の式で表される。

$$\sigma_u(z) = U(z) \times 0.1 \left(\frac{z}{z_G}\right)^{-0.05-\alpha} \cdot \left(1 - 0.7 \frac{z}{z_G}\right)^{0.25} \quad (2)$$

本研究では、べき指数 $\alpha=0.2$ とし、基準高さ $z_G=1500\text{m}$ 、基準高さ (境界層厚) における平均風速 U_G を 1m/s としている。

4. 解析結果及び考察

初めに、今回行った解析で最も再現範囲が小さい $r_0=5\text{km}$ 、 $r_1=10\text{km}$ で八方位の風向について解析を行った。図-2 に生成された地形モデルを示す。再現されている地形の特徴は、注目点の西方向に標高約 300m ほどの眉山が再現されている。また、南西方向と南方向に標高約 200m の山が少し再現されている。図-3 に八方位の風

表-1 地形の再現範囲

解析領域 (km) (x, y, z)	$r_0(\text{km})$	$r_1(\text{km})$
(38, 38, 19)	5	10
(38, 38, 19)	10	15
(60, 60, 19)	15	20
(100, 100, 19)	35	50

向についての解析で得られた風速分布，図-4 に徳島地方気象台で観測された十六方位の風向の平均風速分布を示す．この結果から，図-3 に示した解析結果は，風向に対して風速値がほとんど変化していない．西方向の風速が少し低下しているのは，眉山の存在による影響と考えられる．

一方，図-4 の観測値では南西方向の風速が大きく低下していることが分かる．解析値と観測値とがまったく異なる結果となったのは，地形の再現範囲が不十分で実際にある標高が高い部分がほとんど再現されていないことが原因であると考えられる．

そこで，地形の再現範囲を徐々に大きくしていき，再現範囲が解析結果に及ぼす影響を検討した．図-5 は再現範囲を大きくした地形モデルである．今回，徳島市の平均風速で最も低下している南西の風速について地形再現範囲の影響を検討した．風速と中心からの距離 r_0 との関係を図-6 に示す．この結果から， $r_0=5\text{km}$ から $r_0=15\text{km}$ までの風速は約 0.8m/s から約 0.7m/s だったのに対して， $r_0=35\text{km}$ での風速は約 0.2m/s と大きく低下している．ここで，図-5 より，図-5(a)，(b) は南西方向に約 1200m を越える山が再現されていないのに対し，図-5(c) は南西方向に 1200m を越える山が再現されている．つまり，この山が南西方向からの風に対して強い減速結果を与え，徳島市周辺の風速を低下させていると思われる．逆に言えば，眉山のような小さな山は注目点付近の風速にあまり影響を与えていないことが考えられる．

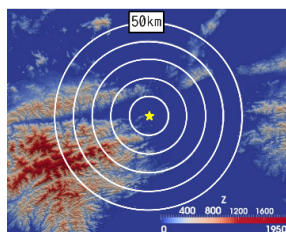


図-1 徳島市地図

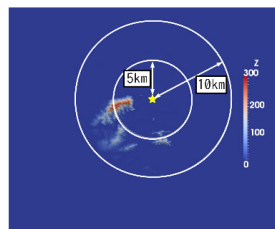


図-2 地形モデル ($r_0=5\text{km}$ ， $r_1=10\text{km}$)

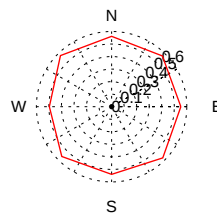


図-3 八方位風速分布 ($r_0=5\text{km}$ ， $r_1=10\text{km}$)

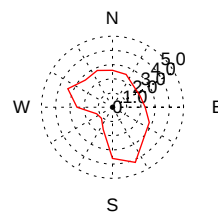
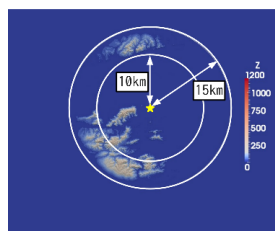
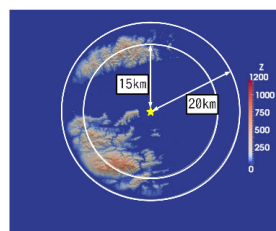


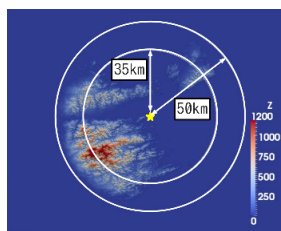
図-4 十六方位平均風速分布 (徳島地方気象台)



(a) $r_0=10\text{km}$ ， $r_1=15\text{km}$



(b) $r_0=15\text{km}$ ， $r_1=20\text{km}$



(c) $r_0=35\text{km}$ ， $r_1=50\text{km}$

図-5 再現範囲の拡大

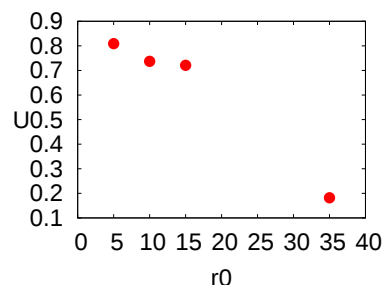


図-6 r_0 と U の関係 (南西風)

5. おわりに

本研究では OpenFOAM を用いて徳島市の風況を予測するために八方位の風向に対する解析と，地形モデルの再現範囲を変化させた解析を行った．実標高を再現した範囲で，中心からの距離を $r_0=5\text{km}$ とした時，8 方位の風速に大きな違いが見られず，再現範囲が不十分なことを確認した．

次に，地形の再現範囲を徐々に大きくしていき，注目点から南西の 30km 付近にある 1200m を越える山が再現されたケースにおいて徳島市周辺の風速が下がる結果となり，徳島における南西風が少なくともこの山の存在で低下している可能性が高いことが明らかとなった．

今後は地形の再現範囲をより大きいものにしていき，周辺地形が流れ場に及ぼす影響を検討していく必要がある．また，計算結果のメッシュ依存性についても同時に検討していく必要がある．

参考文献

- 1) OpenFOAM <http://www.openfoam.com/>