

おろし風などの局所気象を精度良く計算できる 3次元風解析プログラムの開発

背景

わが国は国土の70%が山岳域であり、地形が複雑に変化する。そのため、欧米にくらべ風の変動が大きく、山岳域に建設される送電鉄塔や風車などには、台風時に近傍の地形の影響を受けて特に強い風の力が加わることがある。この風の力の算定のため、これまで、密度、温度を一定と仮定し、複雑な地形のもとでの風の変化を解析できるプログラム（略称：L-WIND）を開発してきた。このプログラムで風洞実験での風況を正確に再現できたが、実測結果より、遅い風速を与える場合があった。この原因は上空で気圧が低下し、空気密度が小さくなる、自然の大気場を考慮していないためであると考えられた。一方、天気予報などに用いられる気象計算では、広い範囲を対象としているので、予報に要する計算時間を大幅に短縮する必要があり、基礎式の簡略化や地形の凹凸の平滑化が行われている。そこで、わが国特有の複雑地形での局所的な気象条件を考慮した詳細な風の解析コードの開発が望まれた。

目的

密度、温度が変化する空気に対する、風速、気圧、気温、密度、ならびにそれらの乱流状態を厳密に定式化し、それらの式を高精度な数値解析法を使ってプログラム化する。そのプログラムで複雑地形上を吹く、より自然に近い風の解析を実施し、プログラムの持つ特性を把握する。

主な成果

1. 複雑地形上の風の解析プログラム（略称：M-WIND）の開発

- ①風の基礎方程式：風の持つ質量、運動量、エネルギーの保存、ならびに圧縮・膨張に伴う内部エネルギーや密度の増減を考慮した3次元非定常の方程式を基礎とした。また、乱流状態は浮力とせん断強さを導入した乱流モデル式で表わした。
- ②数値解析法とコード化：複雑な地形を表わすため、全ての方程式を地表面に沿わせた曲線座標に変換した。さらに、高次精度の差分法と陰的解法を用い、高精度かつ安定に数値解を求めることができるようプログラム化した。

2. M-WINDの特性

- ①3次元地形での風の場合：単純形状の単一峰では、峰の周囲で複数の水平循環流（図1）と上昇、下降流（図2）が発生した。すなわち、山からの反射による上昇風、下降風が交互に生じる山岳風や山の前面で斜面を駆け上がる流れとそれを押し戻す密度効果との相互作用により、強い循環流と速い上昇流、ならびに山の斜面を吹き降ろすおろし風（図2）の周期的な発生が再現できた。
- ②山岳域（図3）での風の場合：温度と密度の変化を考慮していない、L-WINDでの解析では、尾根の後の窪地での風速は尾根前面の平地での風速が遅い場合には実測値より遅くなり、速い場合には実測値に近づく傾向を示した（図4）。一方、M-WINDでの解析では、尾根を下り降りるおろし風が表現されるため、尾根の後の窪地での風速は観測と一致する傾向を示した（図4）。

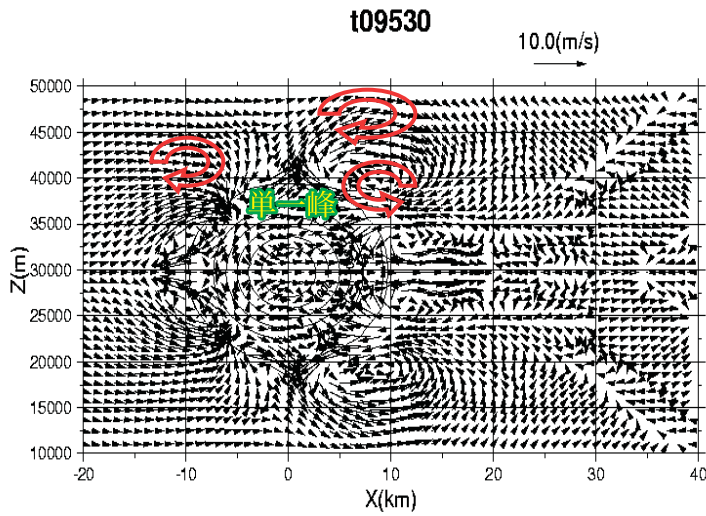
以上のことより、M-WINDでは自然の大気場で特徴的な周期的に変化する山岳風や山を下り降りるように吹くおろし風などの地形変化に起因する局所気象現象が解析できることなどが分かった。

今後の展開

送電鉄塔に作用する強風と気象、地形条件の関係を明らかにする。また、風力発電所での風況算定に適用する。さらに、季節毎に異なる地表面の植生や湿乾状態の変化ならびに雲や雨などのモデルを追加して複雑な山岳地形に起因する豪雨の発生などの局所的な気象現象の解明を図る。

主担当者 地球工学研究所 流体科学領域 研究参事 田中 伸和

関連報告書 「局所気象解析コードの開発—乾燥空気の風解析コード（M-WIND）の作成とその基本特性—」電力中央研究所報告：N04001（平成16年6月）



半径10km、高さ1,500mの単一峰（ $X=0$ 、 $Z=30,000\text{m}$ を中心とする同心円）の前後に3対の水平循環流が生じている。この循環流は、図2の上昇風、下降風と関係して周期的に変動している。また、峰の下流30km付近に風の収束域が発生している。なお、流入風は図の左から、高さ3,000mで25m/秒になる風速分布として与えている。

図1 上空から見た単一峰周りの風速ベクトル（地面から50m高さの風）

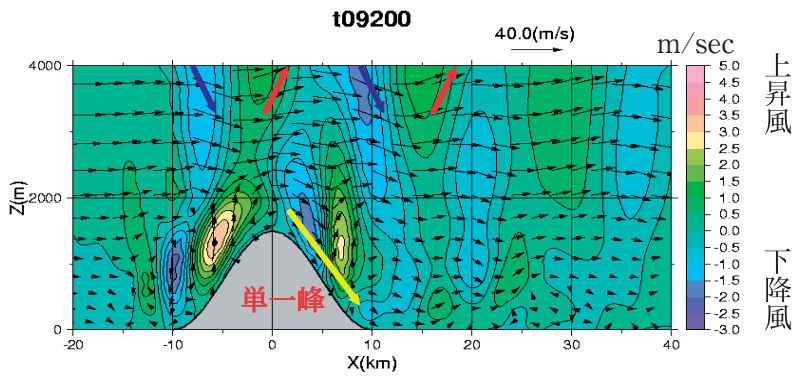


図1の峰を越える風は、その峰の前後で斜面からの反射による上昇風、下降風を交互に生じている。とくに、峰の前面では、斜面を駆け上がる風は密度効果により押し戻され、峰を越えられなく周囲に流される。この変化は、周期約2,000秒（30分）で繰り返される。また、峰の後面では、斜面を下る“おろし風”（黄色矢印）が生じている。

図2 峰を越える風の風速ベクトルと鉛直風速成分コンター図

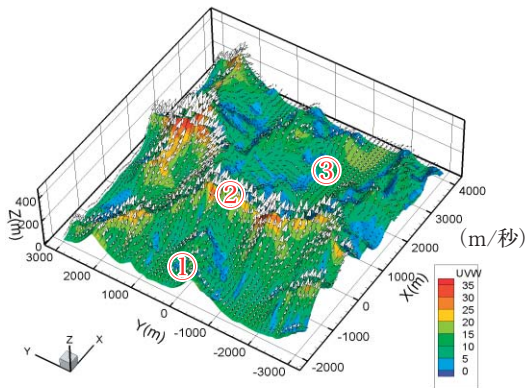


図3 山岳域の地形と観測点ならびに風速の分布
①：平坦地、②：尾根頂上、③：窪地、
色：風速の絶対値、
矢印：地面に沿う風速ベクトル

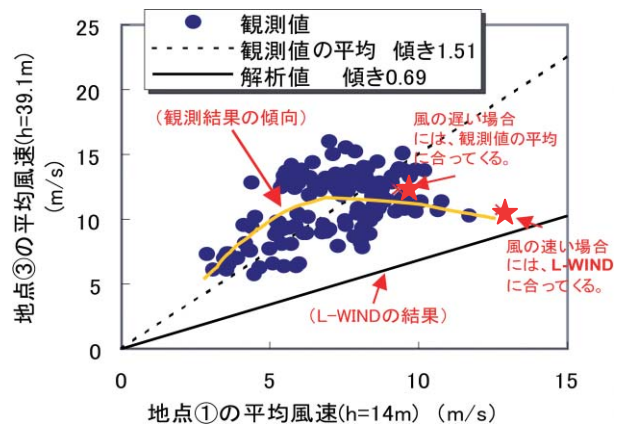


図4 実測値と解析結果の比較（hは観測点の高さ）
実線：等温・等密度の結果（L-WIND）、
★：M-WINDでの結果