

予報誤差とピークファクタの変動を考慮した瞬間風速と風向の予報

Forecasting of maximum gust and wind direction considering the prediction error and time varying peak factor

山口 敦¹⁾

石原 孟

Atsushi YAMAGUCHI¹⁾ Takeshi ISHIHARA³⁾

1. はじめに

スキー場等への交通手段として使われているゴンドラは瞬間風速が 15m/s を超えると運行できなくなるため、6 時間先の瞬間風速や風向の高精度な予報が強く求められている。著者らは従来、予報誤差とピークファクタの変動を考慮した瞬間最大風速の予報手法を提案してきた[1]が、予報誤差が平均風速に比例するとした仮定の妥当性が示されていなかったのに加え、地形を考慮した風向の予報もできないという課題が残されていた。

本研究では、局所的な地形を考慮した風向の予報手法を提案するとともに、予報誤差を過去の予報実績から風速のノンパラメトリック関数として推定する手法を提案し、瞬間風速の 6 時間先予報精度を向上させるとともに、風向の予測精度を向上させる。

2. 風速と風向の予報システム

瞬間風速 $\hat{u}$ は、一般的に平均風速 u 、変動風速 σ_u 、ピークファクタ p を用いて予報することができる。

$$\hat{u} = |u| + p\sigma_u \quad (1)$$

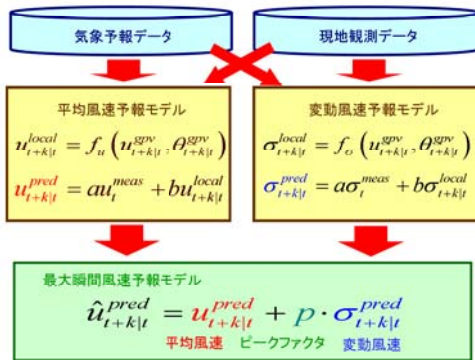


図1 瞬間風速予報の概要

従来の研究では局所的な平均風速の予報値

$|u|_{t+k|t}^{pred}$ を(2)~(3)式により予測していたが、この手法では地形の影響を考慮した風向の予報ができない。

$$|u|_{t+k|t}^{local} = f(|u|_{t+k|t}^{GPV}, \theta_{t+k|t}^{GPV}) \quad (2)$$

$$|u|_{t+k|t}^{pred} = a(\theta, k)|u_t^{meas} + b(\theta, k)|u|_{t+k|t}^{local} \quad (3)$$

本研究では(2)~(3)式に代わり、(4)式~(9)式を用いることにより平均風速 $|u|_{t+k|t}^{pred}$ と風向 $\theta_{t+k|t}^{pred}$ の予報を可能にした。式中の各パラメータはノンパラメトリック回帰[2]により推定した。

$$u_{t+k|t}^{local} = f(u_{t+k|t}^{GPV}, \theta_{t+k|t}^{GPV}) \quad (4)$$

$$u_{t+k|t}^{pred} = a_u(\theta, k)u_t^{meas} + b_u(\theta, k)u_{t+k|t}^{local} \quad (5)$$

$$v_{t+k|t}^{local} = f(v_{t+k|t}^{GPV}, \theta_{t+k|t}^{GPV}) \quad (6)$$

$$v_{t+k|t}^{pred} = a_v(\theta, k)v_t^{meas} + b_v(\theta, k)v_{t+k|t}^{local} \quad (7)$$

$$|u|_{t+k|t}^{pred} = \sqrt{(u_{t+k|t}^{pred})^2 + (v_{t+k|t}^{pred})^2} \quad (8)$$

$$\theta_{t+k|t}^{pred} = atan2(v_{t+k|t}^{pred}, u_{t+k|t}^{pred}) \quad (9)$$

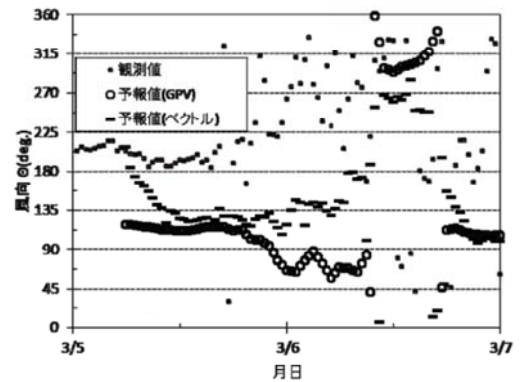


図2 風向予報の例

1) 東京大学大学院工学系研究科 講師
Assistant Professor, The University of Tokyo

2) 東京大学大学院工学系研究科 教授
Professor, The University of Tokyo

このようにして予報した風向の一例を図 2 に示す。もとの GPV(数値気象予報データ)の風向に比べ、予報精度が向上していることがわかる。また、2011 年 12 月 11 日から 2012 年 4 月 1 日の風向の予報誤差の RMSE を予報時間別に示したのが図 3 であるが、予報初期に予報誤差が低く、予報時間が長くなるにつれて予報誤差が増大していることがわかる。

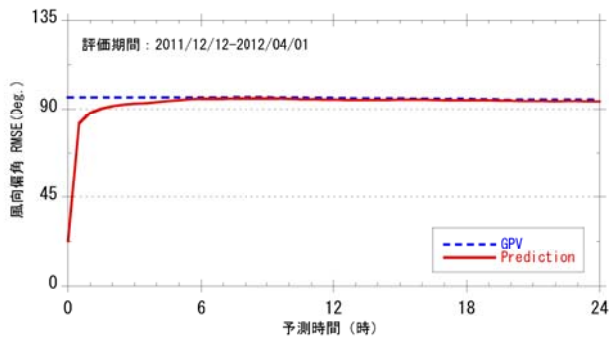


図 3 風向予報誤差の RMSE

3. ピークファクタの動的同定手法

このモデルと Ishizaki[3]によって提案されたピークファクタを用いて瞬間風速を予報した結果を図 6 に示す。従来モデルと比較して予報精度が向上したが、強風時の予報精度にはまだ問題が残されていることがわかる。Ishizaki によるピークファクタは、風速 30m/s を超える暴風を対象としていたため、本研究で対象としている 15m/s 程度の風速の時には、図 4 に示すようにほとんどの場合において過小評価している。そこで本研究では、忘却係数付き最小二乗法によりピークファクタを過去 6 時間の観測データを用いて動的に同定した。なお、平均風速を予報する時には過去 3 ヶ月のデータを使用しているため、本研究では二つの時間スケールを考慮したマルチタイムスケールモデルを使用することとなる。

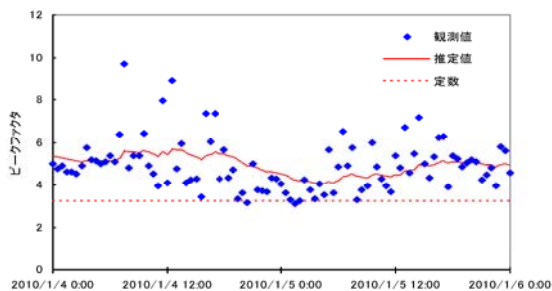


図 4 ピークファクタの観測と推定結果

4. 予報誤差を考慮した平均風速と変動風速の予報

従来の手法[1]では平均風速と変動風速の予報誤差を(10)～(11)式に示すように、平均風速に比例するとしてモデル化していた。

$$\epsilon_{u,k} = \frac{u}{u_c} \tilde{\epsilon}_k \quad (10)$$

$$\epsilon_{u,k}^{\sigma} = \frac{\sigma}{\sigma_{uc}} \tilde{\epsilon}_k^{\sigma} \quad (11)$$

本研究では、平均風速と変動風速の予報誤差を、(12)～(13)式に示すように風速の関数としてモデル化し、関数を過去の予報値と実測値の差からノンパラメトリック回帰により推定した。

$$\epsilon_{u,k} = f_{\epsilon u}(u, k) \quad (10)$$

$$\epsilon_{u,k}^{\sigma} = f_{\epsilon \sigma}(u, k) \quad (11)$$

この結果、図 5 に示すように従来の予報モデルでは過小評価していた強風時の風速予報が改善された。

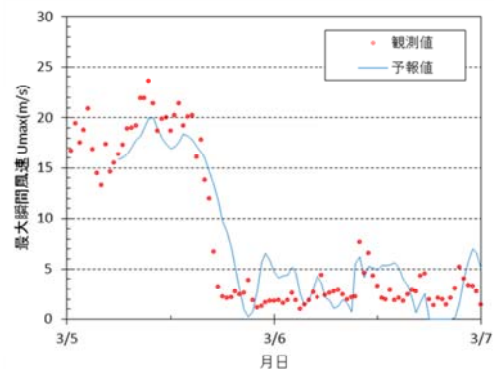


図 5 最大瞬間風速の 6 時間先予報結果

5. まとめ

本研究では、従来の風速に加え、風向の予報手法を提案するとともに、平均風速、変動風速について風速別の予報誤差を考慮することにより強風時の平均風速、変動風速の過小評価を改善すると共に、ピークファクタを動的に同定することにより強風時の瞬間風速の予報精度を向上させた。

参考文献

- [1] 山口敦, 荒木隆之, 石原孟, 予報誤差とピークファクタの変動を考慮した瞬間風速予報, 日本風工学会年次大会 2011.
- [2] T.S.Nielsen: Online Prediction and Control in Nonlinear Stochastic Systems, Department of Mathematical Modeling Technical University of Denmark Ph.D. Thesis, July 2002.
- [3] H.Ishizaki, Wind Profiles, Turbulence Intensities and Gust Factors for Design in Typhoon-prone Regions, *J. Wind Eng. Ind. Aerodyn.*, 1983