

## 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

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

山口 敦<sup>1)</sup>

荒木 隆之<sup>2)</sup>

石原 孟<sup>3)</sup>

Atsushi YAMAGUCHI<sup>1)</sup> Takayuki ARAKI<sup>2)</sup> Takeshi ISHIHARA<sup>3)</sup>

### 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 時間先の瞬間風速の高精度な予報が強く求められている。しかし、過去に提案された瞬間風速予報モデル[1]では、気象予報データと現地観測データの平均的な関係を予報しているため強風時に平均風速と変動風速を過小評価するのに加え、ピークファクタを経験式から求めた固定値を用いているため、瞬間風速の予報に課題が残されている。

本研究では、平均風速と変動風速の予報誤差を考慮することにより強風時の平均風速と変動風速の予報精度を向上させるとともに、ピークファクタを忘却係数付き最小二乗法により動的に同定することにより瞬間風速の 6 時間先予報精度を向上させる。

### 2. 風速予報システムの概要

瞬間風速  $\hat{u}$  は、一般的に平均風速  $u$ 、変動風速  $\sigma_u$ 、ピークファクタ  $p$  を用いて表すことができる。

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

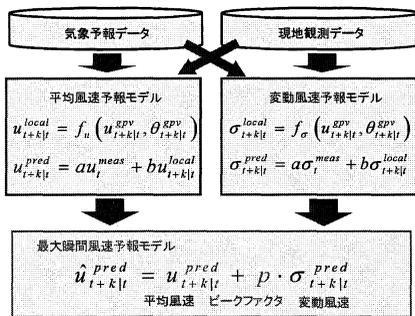


図1 瞬間風速予報の概要

本研究では、平均風速および変動風速の予報には、ARX モデルによる予報モデル[2]を使用した。図1に本研究で使用した予報システム全体の概要図を

示す。

### 3. 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、数値気象予報データから局所風速を予報する際に気象予報風速と現地観測風速の平均的な関係をモデル化していた。図2に数値気象予報データと観測風速との実際の関係と従来の手法によるモデルを示すが、強風時に風速を過小評価する傾向があった。

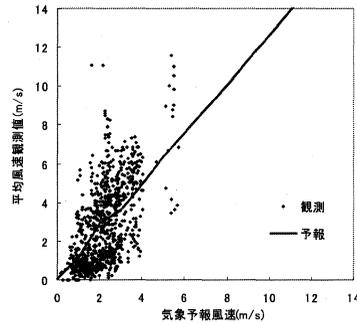


図2 気象予報風速と現地観測風速

本研究では予報値に予報誤差を加えることにより強風時の最大風速を予報することを考えた。予報誤差は予報時間が長くなるにつれ大きくなると考えられることから、まず予報誤差を予報時間  $k$  の関数として過去の予報風速と観測風速を用いて予報誤差  $\tilde{\varepsilon}_k$  を学習させた。

また、予報誤差は風速が大きい時ほど大きくなることも考えられることから、予報誤差が平均風速とに比例すると仮定し、(2)式により、最終的な風速別予報時間別の予報誤差  $\varepsilon_{u,k}$  を求めた。

$$\varepsilon_{u,k} = \frac{u}{u_c} \tilde{\varepsilon}_k \quad (2)$$

ここで、 $u_c$  は基準風速であり、本研究では 5m/s とした。

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

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

最後に、平均風速の予報値  $u_{t+k|t}^{pred}$  に(2)で求めた風速別予報時間別の予報誤差を加え、最終的な予報値  $u_{t+k|t}^{pred,N}$  とした。

$$u_{t+k|t}^{pred,N} = u_{t+k|t}^{pred} + \varepsilon_{u,k} \quad (3)$$

この結果、図 3 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。

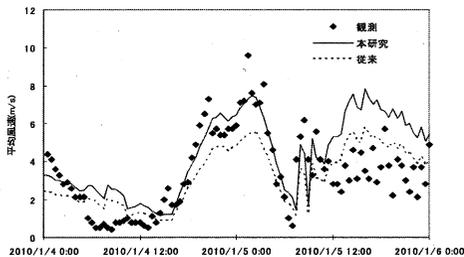


図 3 平均風速の 6 時間先予報結果

変動風速についても同様に(4)式により求めた予報誤差を加えるモデルを提案した。

$$\varepsilon_{u,k}^{\sigma} = \frac{\sigma_u}{\sigma_{u_c}} \tilde{\varepsilon}_{\sigma,k} \quad (4)$$

ここで、 $\sigma_{u_c}$  は基準変動風速であり、本研究では 1m/s とした。図 4 に変動風速の予報値と観測値を示すが、変動風速の予報精度も改善されていることがわかる。

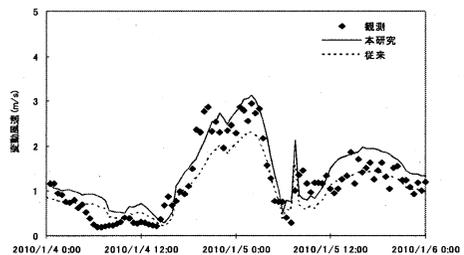


図 4 変動風速の 6 時間先予報結果

#### 4. ピークファクタの動的同期手法

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 5 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。

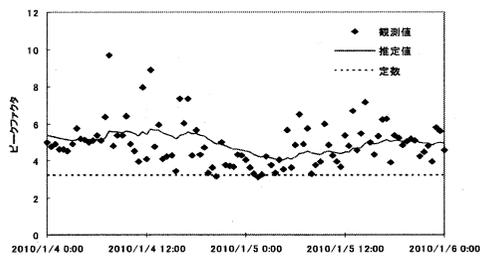


図 5 ピークファクタの観測と推定結果

図 6 には瞬間風速の予報結果と観測結果を示すが、本研究により、瞬間風速の予報精度がさらに改善された。

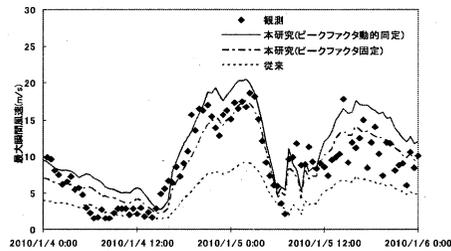


図 6 瞬間風速の 6 時間先予報結果

#### 5. まとめ

本研究では、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] 河原吉秀, 山口敦, 三須弥生, 石原孟, ARX モデルを用いた信頼区間付き最大瞬間風速予報手法の開発, 第 65 回土木学会年次学術講演会, 2010. [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