

3414 庄内平野で観測された短時間の風速変動

○荒木啓司 (鉄道総研) 楠研一 (気象研) 正 [土] 保野聡裕 (JR 東日本) 竹見哲也 (京都大)

正 [土] 今井俊昭 福原隆彰 (鉄道総研) 別所康太郎 星野俊介 (気象研)

Temporal Fluctuations of Wind Velocities Observed on the Shonai Plain

Keiji ARAKI, Toshiaki IMAI, Takaaki FUKUHARA, Railway Technical Research Institute, 2-8-38 Hikari-cho, Kokubunji City
Kenichi KUSUNOKI, Kotaro BESSHO, Shunsuke HOSHINO, Meteorological Research Institute
Yoshihiro HONO, East Japan Railway Company
Tetsuya TAKEMI, Kyoto Univ.

To study the time series of strong gusts and their fine-scale structure near the ground, surface meteorological observations were carried out on the Shonai plain for 18 months. The temporal wind fluctuations were investigated on the basis of the data observed simultaneously at 26 weather stations. In spite of the flatness of the study area, the frequency of large increments in wind velocities within 5 minutes was almost the same as that of strong downslope winds observed in the mountainous area. It is indicated that the frequencies of large increments in wind velocities in the Shonai Plain are higher than those in other windy area in Japan, especially in winter.

Keywords: wind velocity, surface meteorological observation, temporal fluctuation

1. はじめに

突風が原因とされる列車脱線転覆事故が最近4年間に2件発生している¹⁾²⁾。このような突風から列車の安全を確保するには、突風の発生時刻や発生場所に関する情報が不可欠であるが、突風(竜巻やダウンバースを含む)は寿命が短く、かつ局所的な現象であるため、鉄道沿線に設置された規制用風速計で得られる風速情報だけで有効な回避行動をとることは困難である。

そこで、筆者らは突風発生の実況を面的に捉えることを目的として、庄内平野においてドップラーレーダやゾンデ観測、数値シミュレーションにより上空の気流の詳細な三次元構造を観察、解析するとともに、高密度の地上気象観測を行い、上空の気流構造と地表面で生じる突風との関係を調べている³⁾。本発表では、高密度地上気象観測で得られた風データの分析から得られた地上付近で短時間に生じる風速変動について報告する。

2. 高密度地上気象観測の概要

2.1 観測方法

高密度地上気象観測のフィールドには、山形県庄内平野を選定した。この地域は、冬季季節風が卓越する気象的な特徴を有し、また平坦な地形が広がっていることでレーダー観測にも適している。この庄内平野全域を網羅するように地上気象観測施設をほぼ4km間隔で26地点に配置し、2007年10月より観測を開始した(Fig.1)。観測にはVAISALA社製ウェザートランスミッターWXT510を使用し、風向風速は1秒、降水量、気圧、気温は10秒サンプリングで各要素のデータを収録した。観測高度は地点によって異なるが、およそ地上5~7mである。

2.2 分析に使用したデータ

風速変動の分析には、高密度地上気象観測で2007年10月から2009年3月までの18か月間に得られた26観測点の風向風速データを用いた。1秒サンプリングで収録された風向風速データから、ノイズや異常値を除去したうえで1分代表値(平均風速、最大瞬間風速、標準偏差)を作成し、これらを基本データセットとして分析を行った。なお、本観測期間中における風向風速データの異常値ならびに観測機器トラブルによるデータ欠落を原因とする1分代表値の欠測率は0.4%(D3)~30.5%(C1)であり、26観測点平均では6.6%であった。

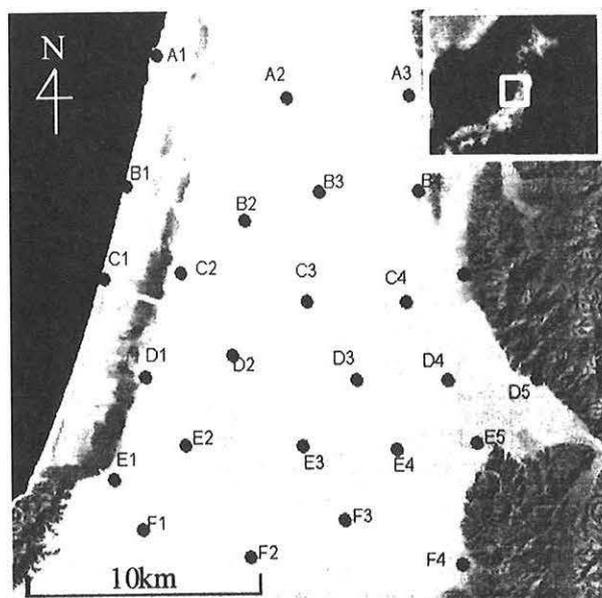


Fig.1 Distribution of weather stations on the Shonai Plain

3. 観測期間中における庄内平野の強風発生状況

風速変動の分析に先立ち、18 か月間に観測された 26 観測点の強風発生状況について調べた。各観測点における 15m/s 以上および 20m/s 以上の 1 分最大瞬間風速を強風と定義し、Fig.2 にその相対出現度数を示す。ここで相対出現度数とは、各観測点における 15m/s 以上もしくは 20m/s 以上の 1 分最大瞬間風速のデータ数を、18 か月分の 1 分間のデータ総数で除した値である。本観測期間では、海岸沿いの観測点である A1, B1 ならびに C1 での強風発生が多く、15m/s 以上の相対出現度数はそれぞれ 6.6%, 12.6%, 7.1%, 20m/s 以上はそれぞれ 1.6%, 4.1%, 1.8%であった。一方、上記の 3 観測点以外の観測点では強風発生状況に大きな違いはなく、例えばより内陸部の観測点ほど強風発生度数が小さい等の特徴を明瞭に見出すことはできなかった。

次に、庄内平野での強風発生の季節変化を確認するために、26 観測点で 18 か月間に観測された 15m/s 以上および 20m/s 以上の 1 分最大瞬間風速の相対出現度数を月別にまとめたものが Fig.3 である。この図より、庄内平野では 11 月～3 月を中心とした冬季に強風が発生していたことが分かった。また、これらの強風が観測されたときの風向を 26 観測点分についてまとめた Fig.4 より、庄内平野での強風時の卓越風向は西北西と北西に集中していたことから、庄内平野では日本海沿岸域での冬季の特徴的な気象場のもとで強風が発生していることが確認された。

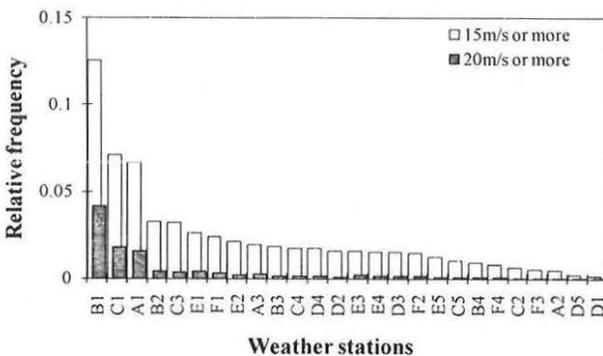


Fig.2 Relative frequency of 1-minute maximum wind velocities observed at 26 weather stations for 18 months

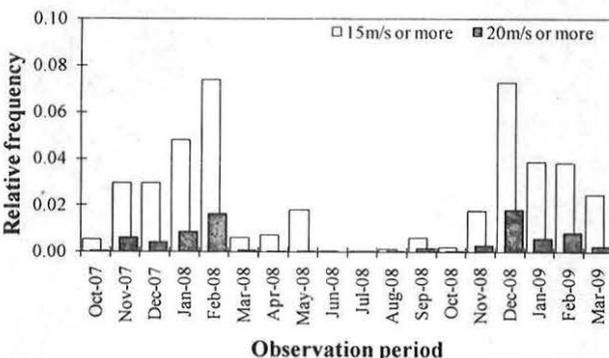


Fig.3 Monthly totals of the relative frequencies of 1-minute maximum wind velocities of 26 weather stations

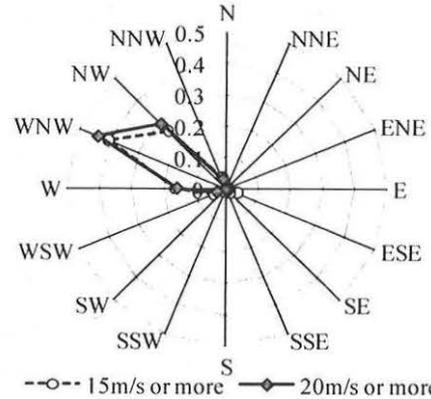


Fig.4 Relative frequency of wind directions observed at 26 weather stations when 1-minute maximum wind velocities exceeded the thresholds

4. 庄内平野で観測された短時間の風速変動

4.1 風速増加量の定義

本論文では、風速増加量という値を用いて庄内平野で観測された短時間の風速変動を分析する。ここでは風速増加量を定義するとともに算出条件について述べる。

地上気象観測網で得られた風速時系列データについて、ある基準時刻 t_0 から直前 n 分間に観測された最大瞬間風速を u_p 、直後 m 分間に観測された最大瞬間風速を u_f で表すことにする。 u_f から u_p を引き、この値が正の場合を $\delta(m,n)$ で表し、これを最大瞬間風速の風速増加量と呼ぶことにする (Fig.5)。

ここで、鉄道の強風時運転規制方法に照らして風速増加量を解釈すると、規制を解除する際の規制継続時間(規制値を下回ってから規制を解除するまでの様子見時間)を n 分、運転規制区間の通過所要時間を m 分とした場合に、運転規制区間を走行中に遭遇する可能性のある風速の立ち上がりの大きさが風速増加量 $\delta(m,n)$ で表されることになる。そこで、鉄道で一般的な規制継続時間が 10 分間から 30 分間であること、多くの運転規制区間における列車の通過所要時間が 10 分以内であることを考慮して、 $n = 15$ 分、 $m = 5$ 分を基準パターンとして風速増加量を求める一方で、 $n = 10$ 分、20 分、30 分、 $m = 10$ 分の場合についても算出した。また、一般的に瞬間風速 20m/s 程度もしくはそれ以上の強風に対して運転規制が行われている現状から、 n 分最大瞬間風速 u_p が 15m/s 以上の強風事例に対して、風速増加量を算出することとした。

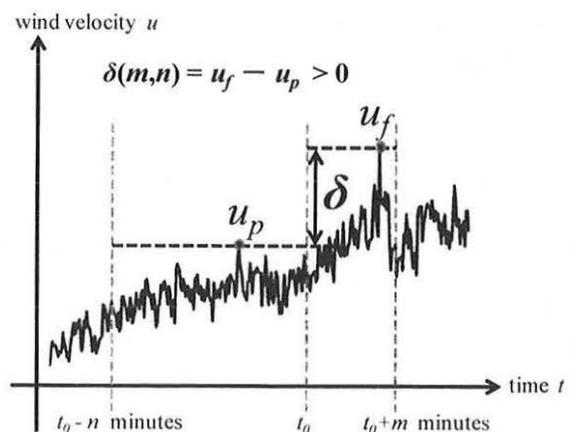


Fig.5 Definition of increment in wind velocity δ

4.2 庄内平野で観測された風速増加量

庄内平野の全 26 観測点で求めた風速増加量 $\delta(5,15)$ の相対出現度数を、国内の 3 地域 (P, S, R) で行われた同様の分析結果⁴⁾とともに Fig.6 に示す。この図より、本観測期間中の庄内平野における風速増加量の相対出現度数は、周囲が平坦で観測点が高所である S 地域 (観測高度約 100m) や P 地域 (観測高度約 40m) より大きく、山越え気流により風速変化が激しい山麓の R 地域とほぼ同じであることが分かった。

また、Fig.6 で示した風速増加量 $\delta(5,15)$ を 6 カ月毎に区分して示した Fig.7 より、庄内平野で生じる風速増加量の相対出現度は冬季に大きく、夏季には小さいことも示された。冬季に強風発生頻度が高く、夏季に低いという結果 (Fig.3) を踏まえると、庄内平野では冬季に大きな風速変動を伴う強風発生頻度が高い一方で、夏季には強風発生そのものが少ないうえに、強風時に生じる風速変動の規模も小さいという特性がうかがえる。

ところで、Fig.6 や Fig.7 では、26 観測点で得られた風速増加量 $\delta(5,15)$ をまとめて示しているが、この 26 観測点は庄内平野の海岸沿いから内陸部まで存在し、各地点の周辺地形にはそれぞれ特徴がある。そこで、26 観測点から周辺地形に類似性がある 15 の観測点を 3 つのグループに分類し (Table.1)、グループ毎の風速増加量を算出して風速増加量と観測点の周辺地形との間に関係があるかどうかを調べた。Fig.8 に 3 グループの風速増加量の相対出現度数を示す。この図によると、風速増加量の出現傾向と観測点の周辺地形との関係は明瞭ではなかった。風速増加量 6~9m/s の範囲で、グループ 1, 3 の相対出現度数はグループ 2 のそれより 1.2~2.0 倍程度大きい、オーダーが異なるほどの違いはなかった (いずれのグループも風速増加量 6m/s で 10^{-3} , 7~9m/s で 10^{-4} のオーダー)。一方で Fig.2 にも示したとおり、グループ 1 は 26 の観測点中で最も強風発生頻度の高い 3 地点が属しており、グループ 2 や 3 の観測点の強風発生頻度とはオーダーの差がある。この強風発生頻度の違いにも関わらず、風速増加量の相対出現度数に大きな違いがないこと、特にグループ 1 と 3 の差が僅かであったことは興味深い。山麓に位置するグループ 3 の観測点では、海岸沿いの観測点と比較して強風に見舞われる頻度そのものは少ないが、一度強風が発生すると地形の起伏の影響によって乱れが強くなることで大きな風速増加が生じている可能性が考えられる。なお、本文中に図示していないが、グループ 1~3 の風速増加量の相対出現度数を Fig.7 と同様に季節毎に調べたところ、冬季に比較して夏季の相対出現度数が小さい傾向が全てのグループで確認された。

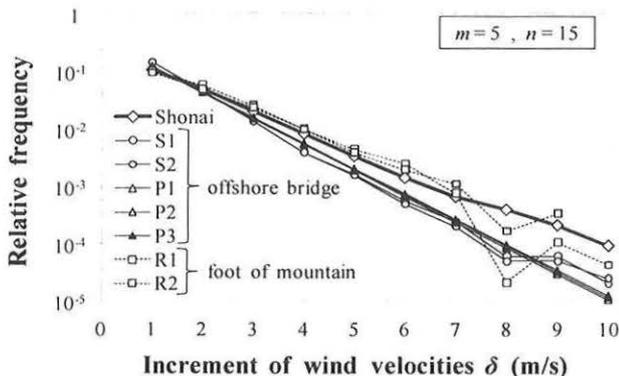


Fig.6 Comparison of the Shonai area to other areas with respect to increments of wind velocities

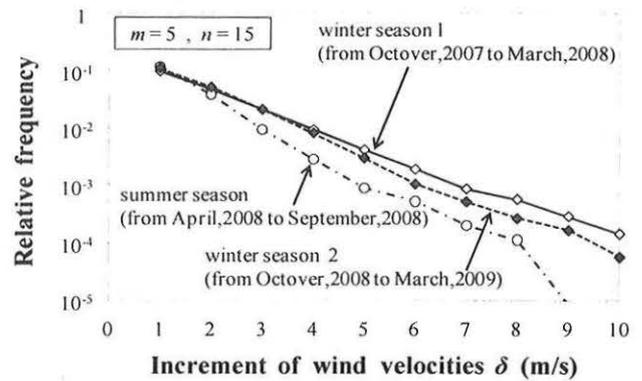


Fig.7 Relative frequency of seasonal increments of wind velocities observed at 26 weather stations

Table.1 Classification of 15-weather stations according to topographical feature

Group No.	Weather stations	Topographical feature of each weather station
1	A1,B1,C1	Coastal area
2	A2,B3,C3,D3,E3,F2	Central in the Shonai Plain
3	A3,B4,C5,D5,E5,F4	Inland (foot of mountain)

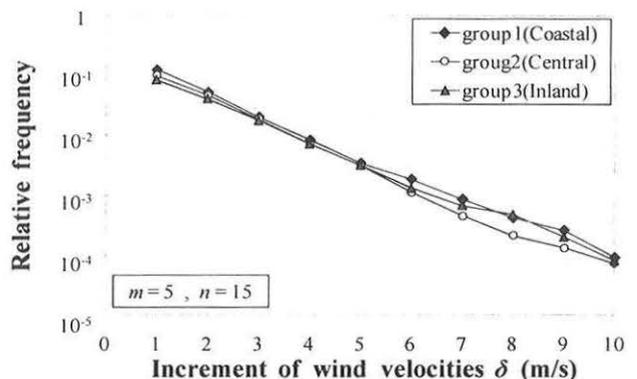


Fig.8 Relative frequency of increments of wind velocities observed at three-weather-stations groups

4.3 パラメータ m , n の違いと風速増加量

最後に、庄内平野に展開した 26 観測点の高密度地上気象観測網で得られた風速データから、 $n = 10$ 分, 15 分, 20 分, 30 分に対してそれぞれ $m = 5$ 分, 10 分の計 8 ケースの組み合わせについて風速増加量の相対出現度数を分析した結果について述べる。

Fig.9 に $m = 5$ 分として $n = 10$ 分, 15 分, 20 分, 30 分の 4 ケースの全 26 観測点分の風速増加量の相対出現度数を、Fig.10 には $m = 10$ 分とした場合の 4 ケースの相対出現度数を示す。また、標準パターン ($m = 5$ 分, $n = 15$ 分) における風速増加量 5~10m/s の範囲の相対出現度数を 1 とした場合の、各ケースの相対出現度数の比を Table.2 に示す。これらの図表から、 m が同じ場合には、 n を大きくするほど風速増加量の相対出現度数が小さくなる傾向が確認された。 $m = 5$ 分, $n = 15$ 分の標準パターンを基準にした Table.2 によると、 $m = 5$ 分, $n = 20$ 分とした相対出現度数の比は 0.75~0.89, $m = 5$ 分, $n = 30$ 分としたケースでは 0.51~0.74 となった。また、 n が同じ場合には、 $m = 5$ 分よりも $m = 10$ 分で風速増加量の相対出現度数が大きく、風速増加量 5~10m/s の範囲でみると、 $m = 5$ 分, $n = 15$ 分の風速増加量の相対出現度数を 1 とした場合、 $m = 10$ 分, $n = 15$ 分では 2.04~2.31 の相対度数比と

なっていた (Table.2). 前節で示した国内の強風地 (P, S, R) でも, この結果と同様の傾向が確認されている⁵⁾. このことから, 強風発生とこれに伴う大きな風速変動は, 時間的に全くランダムな現象ではなく, ある基準時刻 t_0 周りの数十分間内にある程度連続的に発生しやすい現象であることが示唆される.

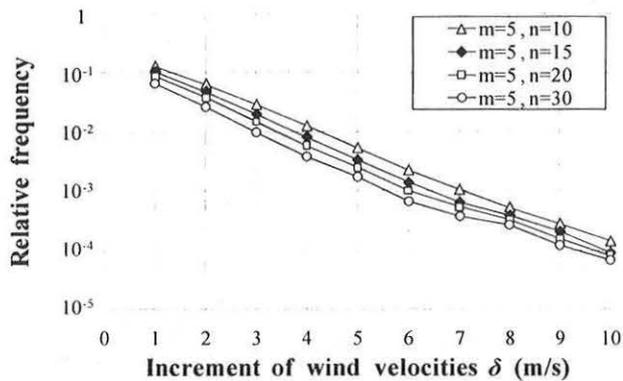


Fig.9 Relative frequency of increments of wind velocities observed at 26 weather stations ($m = 5, n = 10, 15, 20, 30$)

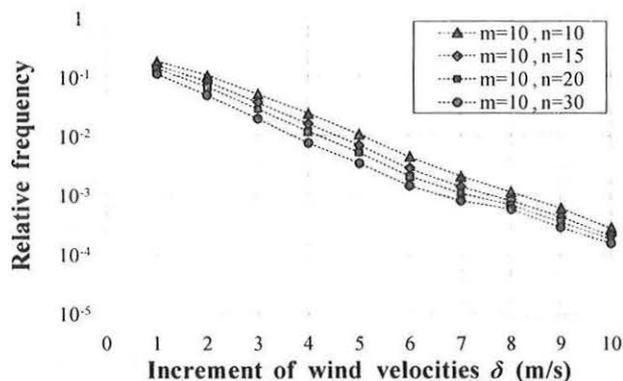


Fig.10 Relative frequency of increments of wind velocities observed at 26 weather stations ($m = 10, n = 10, 15, 20, 30$)

Table.2 Relative frequency ratio of $\delta(m,n)$ based on relative frequency of $\delta(5,15)$

$n \backslash \delta$	$m=5$				$m=10$			
	10	15	20	30	10	15	20	30
5	1.59	1	0.75	0.51	3.16	2.04	1.54	1.03
6	1.60	1	0.73	0.49	3.19	2.03	1.48	1.02
7	1.62	1	0.83	0.59	3.18	2.13	1.66	1.25
8	1.35	1	0.83	0.69	2.89	2.12	1.75	1.50
9	1.35	1	0.74	0.60	2.90	2.07	1.74	1.39
10	1.54	1	0.89	0.74	3.08	2.31	2.01	1.69

5. まとめ

庄内平野に展開した地上気象観測網で 18 カ月間にわたって得られた 26 観測点の風速データの分析を通じて, 庄内平野の強風特性ならびに短時間に生じる風速変動特性に関して以下の知見を得た.

- ① 冬季に西北西や北西の風向下での強風発生頻度が高く, 特に海岸沿いの観測点でこの傾向が顕著であった.
- ③ 高密度地上気象観測網は平坦な地形に展開されたにも関わらず, 山越え気流が卓越する山麓の強風域と同程度の頻度で大きな風速増加量が生じていた.

- ③ 風速増加量の相対出現度数は, 風速増加量が多いほど冬季に大きく, 夏季には小さかった.

6. おわりに

本論文では, 庄内平野に展開した高密度地上気象観測網で観測した風向風速データに基づき, 風速変動特性の分析を行った. その結果, 庄内平野は平坦な地形であるにも関わらず, 山麓の強風域と同程度の頻度で短時間に大きな風速増加が生じており, 主に冬季に大きな風速変動を伴う強風発生頻度が高い可能性が示唆された. 今後さらに観測データの詳細な分析を行い, 風速変動特性の一般化を進めていく予定である.

謝辞

本研究は, 独立行政法人鉄道建設・運輸施設整備支援機構の「運輸分野における基礎的研究推進制度」事業により研究助成を受けている.

参考文献

- 1) 航空・鉄道事故調査委員会 : 鉄道事故調査報告書 東日本旅客鉄道株式会社 羽越線砂越駅～北余目駅間 列車脱線事故, pp.95, 2008.
- 2) 航空・鉄道事故調査委員会 : 鉄道事故調査報告書 九州旅客鉄道株式会社 日豊線南延岡駅構内 列車脱線事故, pp.24, 2008.
- 3) 荒木啓司, 楠研一, 保野聡裕, 竹見哲也ほか: 日本海に面した平野の地表面における風速変動特性, 日本風工学会誌 平成 21 年度年次研究発表会梗概集, 第 34 巻第 2 号, pp.109-110, 2009.
- 4) 島村泰介, 福原隆彰, 今井俊昭: 風速の時間変動に及ぼす気象条件と周辺地形の影響, 鉄道総研報告, Vol.19.No.10, pp.45-50, 2005.
- 5) 福原隆彰, 島村泰介, 今井俊昭: 風速の時間変動を考慮した強風時運転規制の評価法, 鉄道総研報告, Vol.21.No.1, pp.13-18, 2007.