

台風時の突風特性について*

福島大学 渡邊 明 佐藤 彩花

1. はじめに

強風災害は、強風そのものによる被害と、強風に伴う突風による災害とがある。特に台風など強風が長時間継続するときは、その突風率が被害の拡大に寄与する。強風時の突風率は一般に 1.5 から 2 程度であることが知られているが、桑形(1993)は、近年の台風ほどこの突風率が大きくなっていることを指摘している。一方、渡邊(2013)は、1951 年からの 2012 年までの西太平洋域での台風発生数変動を調査し、100 年で 6.8 個減少していることを示している。しかし、2013 年は 31 個の台風が発生しており、20 年ぶりに 30 個を超える発生数となり、豪雨と強風に伴う被害も拡大している。台風に伴う豪雨についての研究は多いが、台風に伴う強風の研究は比較的少なく、特に、台風時の突風特性については観測の偶然性もあり、ほとんど研究されていない。台風は強風が吹くこと、中心が通過するときには M 型の風速分布をすることが一般的に知られているが、こうした平均的な強風の時でも、瞬間的に強風が出現し、それに伴う風害が発生することが多い。この突風特性を理解することで、強風災害をより的確に予測・軽減することが必要である。

ここではヴァイサラ超音波風向風速センサ WMT50 で 2 秒ごとに風向風速を観測することによって、台風の中心が福島上空を通過した 2013 年 9 月 16 日の台風 201318 号と、比較的近い福島沖を通過し、M 型風速分布が出現した 2013 年 10 月 16 日の 201326 号の突風特性について報告する。

2. 突風特性

一般に地上風 U_a は、接地境界層に位置しているので、設置高度 Z_a に対して、

$$U_a = \frac{u_*}{k} \ln\left(\frac{Z_a}{Z_0}\right) - (1)$$

で表現することができる。ここで u_* は摩擦速度で、 k は Kármán 定数、 Z_0 は粗度定数である。ここで主風向の風速の乱れの標準偏差を σ_u とすると、摩擦速度と

$$\frac{\sigma_u}{u_*} = f_u - (2)$$

との関係があり、 f_u は大気安定度の関数となる。大気安定度が中立の条件では 2.5 から 3 程度のものになることが知られている。最大瞬間風速 U_{max} は基本的に風速の乱れで発生すると考えられるので、

$$U_{max} = u + \alpha \sigma_u - (3)$$

と表現することができる。ここで α は、風速計の追従性や風速の乱れに依存する定数である。以上から

$$\frac{U_{max}}{U} = 1 + kf_u \alpha / \ln\left(\frac{Z_a}{Z_0}\right) - (4)$$

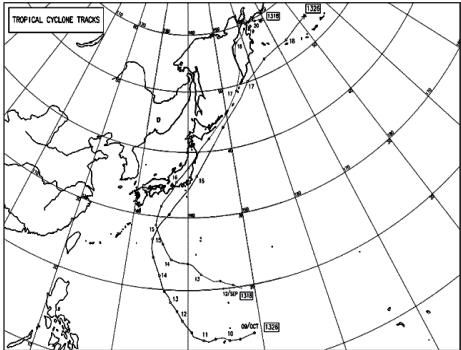
となり、 U を平均風速とすると、(4) 式は突風率となる。従って、突風率は安定度と風速変動の標準偏差および観測高度、粗度定数に依存し、一般に測定高度が高くなると突風率は小さくなり、粗度定数が大きくなると突風率は大きくなることがわかる。定点での風速観測では原理的に高度、粗度定数が一定なため、安定度と風速変動の標準偏差に依存する。桑形(2003)は、台風の突風率の経年変動を気象庁のデータを基に調査し、10 分平均風速では過去 40 年で 1.4 から 2.0 まで変動し、大きくなっていることを指摘している。

3. 解析対象とする台風の総観場

今回対象とする台風 201318 号と 201326 号の経路を第 1 図示す。第 1 図に示すとおり台風 201318 号は福島県上空を通過し、観測点はかなり台風の中心に近いところに位置していることが分かる。また、台風 201326

* Characteristic of gust at the surface wind under typhoon passing
by Akira Watanabe and Ayaka Sato

号は伊豆大島での大きな災害をもたらした台風であるが、福島県沖の太平洋岸を通過したものである。福島

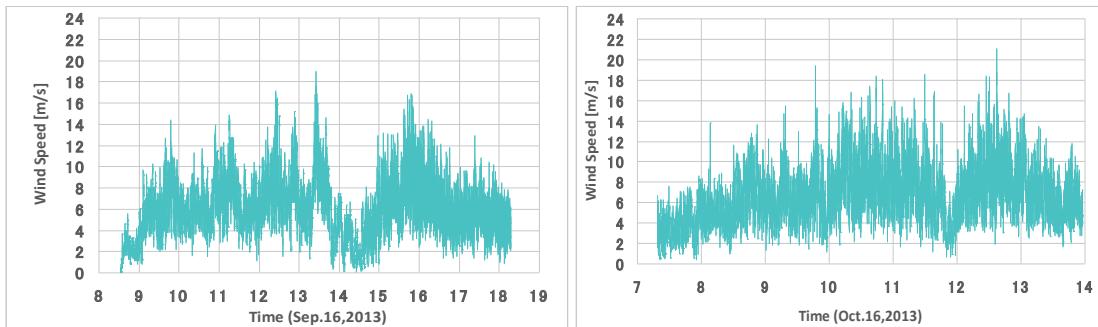


第1図 台風 201318 号と台風 201326 号の経路

市の地上観測では、9月16日13時40分に海面気圧で984.2hPaの最低値を記録し、台風の中心気圧に対応している。一方10月16日は10時に984.1hPaを示し、16日に中心気圧が最も高かった968hPaと比較して16hPaも高い値になっており、観測地点は中心より300km以上はなれていた。

4. 台風に伴う風速変動

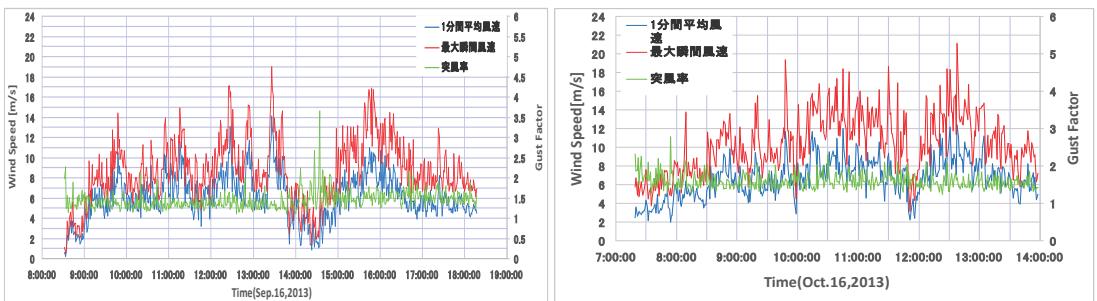
第2図に台風通過時の2秒間ごとの風速変動を示す。9月16日では14時30分頃を中心にM型の風速変動を示し、台風中心が観測点を通過したことが示唆される。しかし、福島市の最低気圧の出現は13時40分とM型の風速変動をする約50分前に出現していることが分かる。一方、10月16日には11時



第2図 台風通過時の風速変動(左図台風 201318 号、右図台風 201326 号)

50分ごろを中心にM型の風速変動を示し、最低気圧出現時刻より1時間50分遅くなっている。当然、地形効果もあり、強風出現が台風の中心近くの通過と一致するものではないが、かなり風速変動が最低気圧出現時より遅れて出現していることが一つの特徴として認められた。すでに Teshiba et al(2001), Shibagaki, et al(2003)や山下, 石原(2005)はwind profilerを用いて、台風軸対象の変形を示しており、台風軸が進行方向後面に傾いているとも推察される。なお、第2図からいずれの台風も近づいてくる時に顕著な周期性を持った風速変動が出現しているのに対して、台風後面では明確な周期性が存在しないことも一つの風速変動の特徴である。

第3図に最大瞬間風速と1分間平均風速、及び1分間平均風速に対する突風率を示した。全体的に突風率は1.5付近を中心、2程度までの値を示しているが、突風率の上昇は相対的に平均風速が低風速の時に

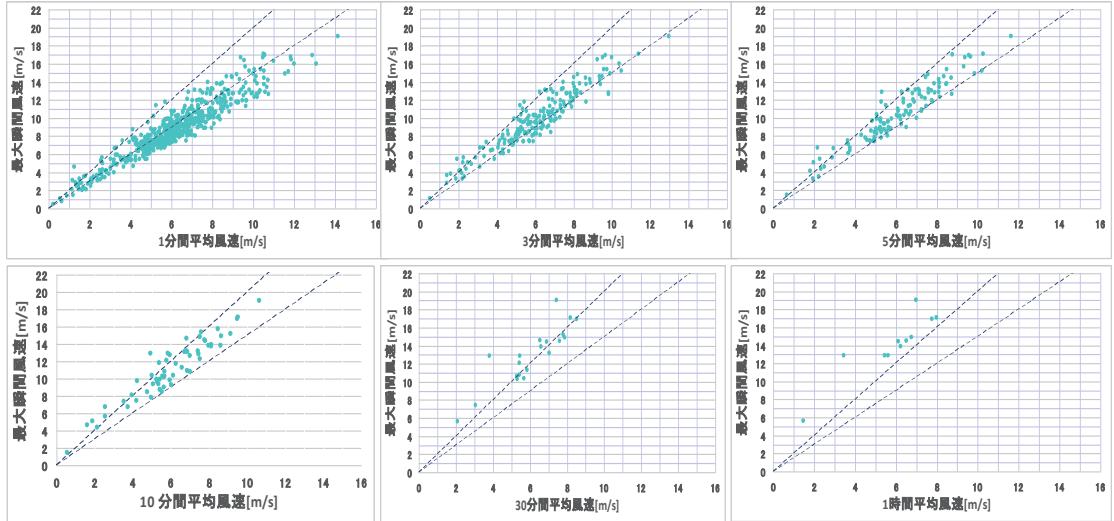


第3図台風 201318 号(左)と台風 201326 号(右図)の1分間平均風速変動とそれに対する突風率の変動

発生していることがわかる。また、同じM型の風速変動でも、福島沖を通過した台風 201326 号では低風速領域でも突風率は上昇しないのに対して、台風の中心が通過した台風 201318 号では突風率が急上昇している。これは平均風速の取り方と突風が吹く時間間隔に依存し、台風中心では平均風速は弱いが、比較的短い間

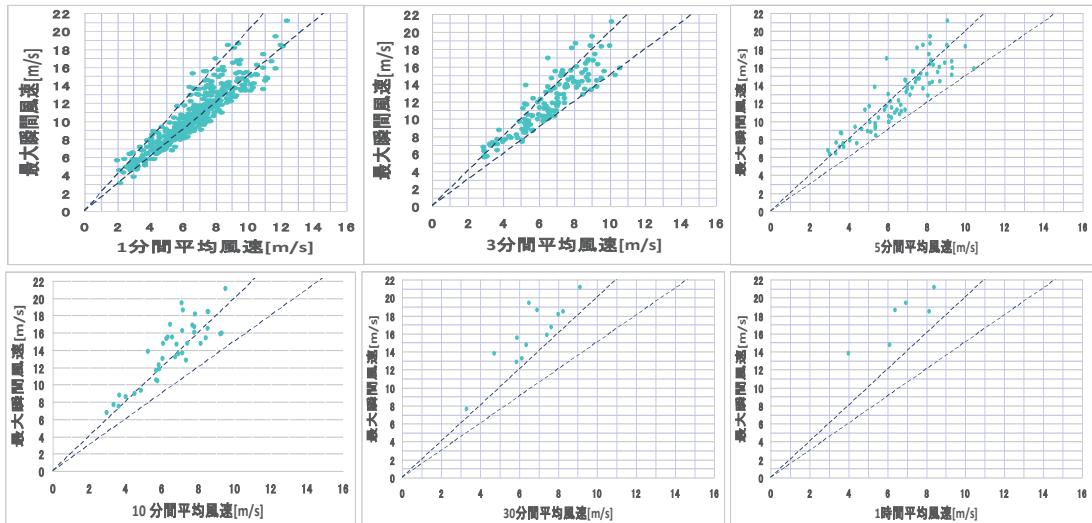
隔で平均風速の3倍を超えるような突風が出現することを意味している。それに対して、台風外郭では、平均風速が弱くなると突風の吹き方も比較的小さく、2倍程度以下に抑えられていると考えられる。

これらの関係をより明らかにするために平均風速の時間を変化させて、最大瞬間風速との変動を見たのが第4図、第5図である。第4図は台風201318号の各平均風速に対する最大瞬間風速との関係を示したものである。同図に示した突風率1.5と2.0の直線と比較すると、平均風速に対する最大瞬間風速は、平均風速の間隔を長くするほど大きくなっている。これは平均する時間が長くなるほど平均風速に対する最大瞬間風速の寄



第4図台風201318号の最大瞬間風速と平均風速の関係

直線は突風率1.5と2の領域を示す。上左図は1分間平均、上中央図は3分間平均、上右図は5分間平均、下左図は10分間平均、下中央図は30分平均、下右図1時間平均と最大瞬間風速の関係を示す。

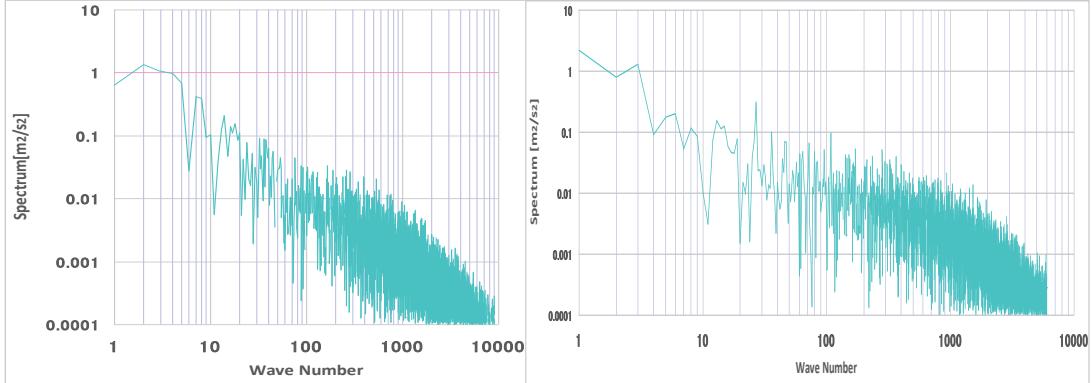


第5図台風201326号の最大瞬間風速と平均風速の関係

直線は突風率1.5と2の領域を示す。上左図は1分間平均、上中央図は3分間平均、上右図は5分間平均、下左図は10分間平均、下中央図は30分平均、下右図1時間平均と最大瞬間風速の関係を示す。

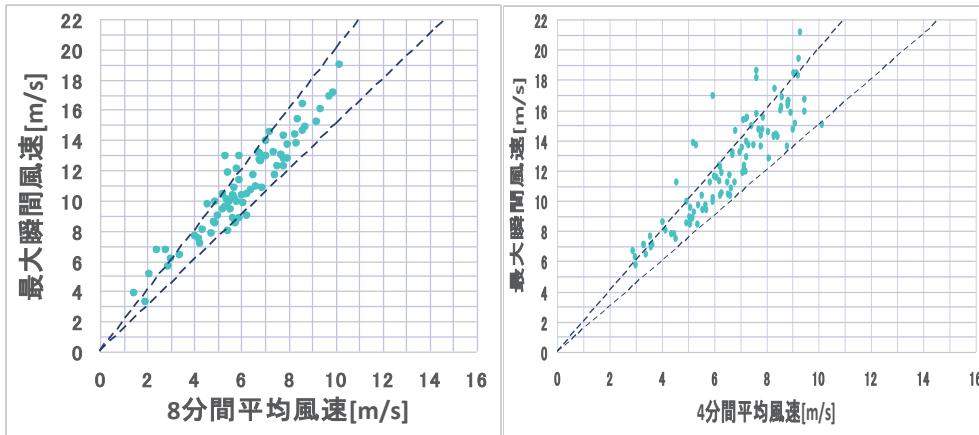
与率が小さくなるからと考えられる。一般に気象庁では平均風速を10分間で測定して、突風率はおおよそ1.5から2.0といわれているが、台風201318号では10分平均で求めた突風率が1.5から2.0の間に入っている。一方、台風201326号でも平均風速を求める時間が長くなるほど突風率が大きくなる傾向は第4図と同じであるが、もっとも突風率が1.5から2.0の間に収束しているのは平均風速が3分で求めた場合である。この理由

は前述のとおり、突風が平均風速に寄与する率が小さくなるほど突風率が大きくなるためと考えられる。これを確認するため、両台風の風速変動の spectrum を計算した。第 6 図は台風 201318 号と台風 201326 号の spectrum である。台風 201318 号では波数 15, 36, 76, 165 付近で顕著な spectrum が認められるが、波数 36 付近の卓越周期は、目視で観測できる約 40 分周期と一致している。この卓越周期のうち 1 分以上の周期で最



第 6 図 台風 201318 号(左図)と台風 201326 号(右図)の Spectrum(m^2/s^2)

も短い卓越周期である 165 波数(約 8 分)を用いて平均風速を求め、最大瞬間風速との関係を示したものが第 7 図である。第 4 図と比較すると、全体的に突風率 1.5 から 2.0 の間に収束しているのがわかる。また、台風 201326 号でも波数 3, 27, 36, 47, 72, 108 で spectrum が卓越している。このうち最も卓越している周期は 14.8 分であるが、1 分以上の最も短い周期の卓越周期は 3.7 分である。これが第 5 図で 3 分平均が最も 1.5 から 2.0 に収束している原因と考えられる。台風 201318 号と同様、4 分間平均と突風率の関係を第 8 図に示す。



第 7 図 台風 201318 号の 8 分間平均風速と最大瞬間風速の関係

第 8 図 台風 201326 号の 4 分間平均風速と最大瞬間風速の関係

す。3 分平均よりやや突風率が 1.5 から 2.0 の間に収束していることが分かる。

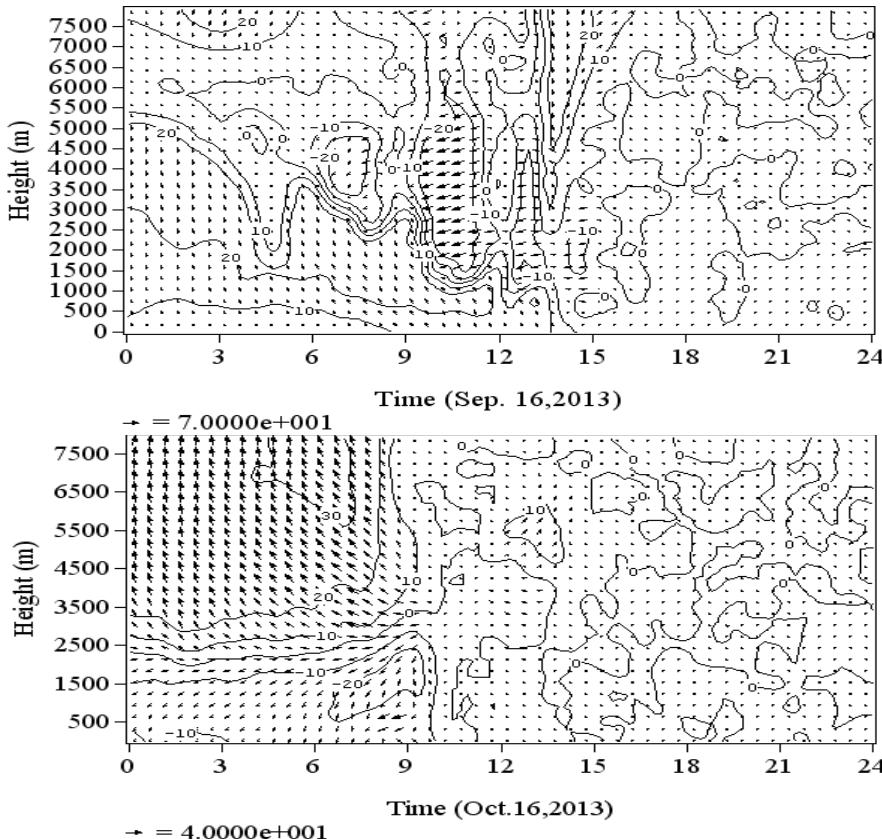
突風率は突風出現周期との関係で変化し、周期に合わせて求

めることでこれまで指摘してきた 1.5 から 2.0 付近に収束することが分かった。しかし、それぞれの自然現象の卓越周期を予測的に入理解することは困難であるが、平均時間に関係なく、平均風速が大きくなると相対的に突風率は収束する傾向を示している。

突風率は、風速の平均時間とは直接関係しているのではなく、風速変動の間隔に依存し、現象に適合した周期を用いれば 1.5 から 2.0 付近に収束する。

5. 台風の立体構造

台風通過時の風速分布の立体構造については、MU Radar を用いた Teshiba et al(2001), Shibagaki, et al(2003)の観測や渡邊(1995), 山下, 石原(2005)らの wind profiler を用いた観測などがある。第 9 図は福島

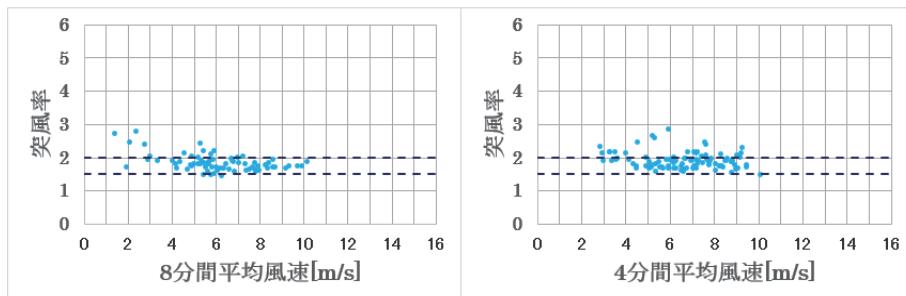


第9図 台風 201318号(上)と台風 201326号(下)の10分間平均風速の鉛直一時間変動

著な風向変化が出現しており、上層で南東風、下層で北東風が卓越している。この強風が10時ごろおさまり、その後の南西風への風向変化に伴いM型の風速変動が出現している。すなわち、地上でのM型風速変動は必ずしも台風中心の通過に伴って出現しているわけではなく、風向変化をもたらす大気擾乱の通過に伴う出現していることがわかる。

6.まとめ

特に強風をもたらす台風に伴う突風の出現特性を解明するため、2013年に観測地点近くを通過した2つの台風の突風率を求め、その特性を解析した。その結果、突風率は平均風速を求める時間に依存し、平均風速を求める時間が長くなるほど大きくなることがわかった。これは、平均風速に対する突風の寄与が小さくなることと生じるものである。従って、突風をもたらす現象で風速変動の卓越周期を解析し、求めた現象の周期性に



第10図 台風 201318号(左図)と台風 201326号(右図)の平均風速と突風率

大学 wind profiler で観測した台風 201318号と 201326号の地上から高度 8kmまでの10分ごとの風向・風速分布と、卓越した南北成分の風速分布を示したものである。台風 201318号では高度 2500mより上空では、風速のM型分布は12時ごろ出現しており、地上付近の出現と大きくずれているのが分かる。地上付近のM型分布は台風の中心というより高度 3000m以上の上空の風向変化に伴って出現している。一方、台風 201326号では、高度 2500m付近に顕

合わせて突風率を求めてみると、これまで一般に指摘されてきた突風率 1.5から 2.0 の間に収束することが分かった。第10図は今回対象とした台風 201318号と 201326号の風

速変動周期性に対応した突風率を示したものである。台風 201318 号では平均風速 5m/s 以上の領域で突風率は 1.5 から 2.0 の間に収束している。一方、台風 201326 号では風速 6m/s 付近出突風率 2.8 を示しているものの、それ以上では 1.5 から 2.3 の間に収束している。

前述の通り、突風率は摩擦速度や粗度定数、安定度に依存する主風向の標準偏差と関連したものである。今回観測した M 型風速変動はいずれも大きな風向変化を伴っており、摩擦速度の大きな変化が無くとも σ_u の値が大きくなる現象を扱っている。従って、突風率は基本的に大きくなることが示唆される。特に、台風 201318 号では M 型を示す中心付近で突風率が大きくなっているのはこのためと考えられる。

強風災害の予測、軽減を目的として、強風をもたらす台風がどの程度の突風率を有するか、また、その突風率はどのように変動するかを明らかにするため、2 秒毎の風速を計測し、その特性を解析したが、おおよそ突風率はこれまで指摘されてきた 1.5 から 2.0 付近に収束することが分かった。従って、一般には気圧傾度力から求められる風速の 2 倍程度を最大瞬間風速として対策を取る事が妥当な対策と考えられる。

なお、ここでは直接風向変動と大気成層を考慮した安定度の観点からの考察はしていないが、式(4)との関係で精査することが必要であり、今後の課題とする。

引用文献

- 桑形恒男, 1993 : 大型台風にともなった気象官署の突風率の長期変化, 天気, Vol. 40, No. 2, 91-97.
- Shibagaki, Y., M. D. Yamanaka, M. Kita-Fukase, H. Hashiguchi, Y. Maekawa, and S. Fukao, 2003: Meso-alpha-Scale Wind Field and Precipitating Clouds in Typhoon 9426 (Orchid) Observed by the MU Radar, J. Meteor. Soc. Japan, Vol.81, 211-228.
- Teshiba, M., H. Hashiguchi, S. Fukao, and Y. Shibagaki, 2001: Typhoon 9707 observations with the MU radar and L-band boundary layer radar, Annales Geophysicae, Vol.19, 925-931.
- 渡邊明, 1995 : 境界層レーダーによる台風 26 号の強風の構造観測, 東北地域災害科学的研究, Vol. 31, 15-19.
- 渡邊明, 2013 : L-band radar で観測した台風 201217 号の強風構造, 東北地域災害科学的研究, Vol. 49, 1-4.
- 山下順也, 石原正仁, 2005: ウィンドプロファイラが捉えた台風 0416 号の風の場の変化, 天気, Vol. 52, No. 7, 539-547.
- 気象庁 : 気象統計情報 http://www.data.jma.go.jp/fcd/yoho/typhoon/route_map/bstv2013.html