

報 文

地表面粗度長を用いた瞬間風速に関する量的予報プロダクトの開発

小寺裕之*, 佐藤悦信**, 金森祥一***

An approach to estimating wind gusts from a function of roughness length

Hiroyuki KOTERA and Yoshinobu SATOU and Syouichi KANAMORI

要 旨

風に関する防災気象情報の充実が求められていることを踏まえ、粗度長の関数である計算式により突風率を推定することを試みた。この突風率を道内気象官署の観測値と比較した結果、観測とよい一致で推定できることが明らかになった。この結果、突風率と予想される平均風速を用いて瞬間風速を予想することができる。また、今後予定されているアメダスの瞬間風速配信の際、この推定された突風率は、観測された突風率と比較することにより、アメダスの風環境を評価するものさしとしても有効である。

1. はじめに

北海道内では、平成16年台風第18号により甚大な被害が発生したことを契機に風に関する防災気象情報の充実が求められている。風による被害は、瞬間的な風の強まりによって引き起こされるものであるが、現在気象庁には平均風速の予想値はあるものの瞬間風速を予測したプロダクトはない。しかし、突風率がわかっていたら、予想平均風速を用いて瞬間風速の見積りは可能である。そこで本研究では、国土地理院の平成9年版の国土数値情報を用いて、KONDO & YAMAZAWA (1986) 以降の観測環境の変化を反映させた粗度長を計算し、突風率を推定

した。

2. 調査資料

- ・国土数値情報土地利用メッシュ (平成9年)
- ・気象官署 (函館, 江差, 稚内, 羽幌, 留萌, 網走, 小樽, 札幌, 岩見沢, 帯広, 寿都, 釧路, 根室, 室蘭, 浦河, 紋別, 広尾) の日最大風速が8m/s以上の日の地上気象観測原簿 (95型地上気象観測装置運用開始日, 移転があれば移転後~2006.12.31)
- ・各気象官署の環境写真

* 観測部観測課観測システム運用室, ** 新千歳航空測候所,

*** 函館海洋気象台 (現関西空港地方気象台出雲空港出張所)

(2008年5月7日受領, 2008年12月12日受理)

3. 調査方法

KONDO & YAMAZAWA (1986) に倣って、国土数値情報の土地利用データを用いて、各気象官署の風向 8 方位毎に粗度長の計算を行い、桑形・近藤 (1992) の手法を用いて突風率を見積もった。

実況値との比較では、(日最大瞬間風速) / (日最大風速) を突風率とした。突風率には様々な定義があるが、北海道の防災気象情報では、次のように表現されている。例として、函館海洋気象台が平成 20 年 2 月 13 日に発表した気象情報の一部を示す。
「暴風雪に関する渡島・檜山地方気象情報 第 2 号
平成 20 年 2 月 13 日 11 時 20 分 函館海洋気象台発表

～中略～

<風と波の予想>

引き続き 13 日夕方まで

最大風速 北西の風

檜山地方 陸上 18メートル 海上
20メートル

渡島西部 陸上 15メートル 海上
20メートル

渡島北部・東部 陸上 15メートル 海上 18
メートル

波の高さ

渡島・檜山地方 4メートル

13 日夜のはじめ頃から 14 日昼前にかけて

最大風速 北西の風

渡島西部と檜山地方 陸上 20メートル 海上
23メートル

渡島北部・東部 陸上 17メートル 海上
20メートル

波の高さ

渡島西部と檜山地方 5メートル

渡島北部・東部 4メートル

最大瞬間風速は最大風速の 1.5 倍から 3 倍以上になる場合があります。

～以下略～

という表現が用いられており、最大風速は情報の期

間内の最大風速を、最大瞬間風速に関してはその期間の最大風速の 1.5 倍から 3 倍以上という表現を記述していることから、この定義が適していると考え

る。また、観測機器の違いによるデータ品質の差が出ないように、95 型地上気象観測装置で測定された値のみを採用した。本研究では強風時に着目しているが、小寺ら (2007) によると日最大風速 10m/s 以上の日の事例数では、各風向に分けた場合に統計をとるには不十分であった為、ある程度の事例数となる日最大風速が 8m/s 以上の日を調査対象日とした。

4. 計算結果と観測された突風との関係

(1) 粗度長の計算

KONDO & YAMAZAWA (1986) に倣って、1986 年以降の環境変化を反映させて粗度長の計算を行った。土地利用分類に対して、採用する粗度長の分類は第 1 表のとおりである。

国土数値情報の土地利用メッシュから約 100m × 100m (経度 4.5 秒 × 緯度 3 秒) の各格子に対して土地利用分類を読み取ることができる。また、建物用地については、気象官署の環境写真から分類分けを行い、札幌は 200cm、他は 110cm を採用した。

計算範囲は、風速計感部の高さを考慮に入れておおよそ 100 倍になる半径 2km (中心から 20 格子、アメダスは半径 1km) とした。第 1 図のように風向を中心とする 22.5 度ずつ、45 度の扇形内の格子を分類毎に数え、以下の式で粗度長 z_0 [m] を求めた。

$$z_0 = \frac{(0.4s_a + 1.25s_b + 1.1s_c + 2s_d)}{S} - 0.3 \quad \text{①}$$

$$S = s_a + s_b + s_c + s_d \quad \text{.....②}$$

ここで s_a , s_b , s_c , s_d はそれぞれ 40cm, 125cm, 110cm, 200cm に分類された格子の数である。この作業を各気象官署、8 風向毎に行った。

(2) 粗度長から突風率の推定

中立大気 of 地表面付近では対数則と呼ばれる③式が成立する。本研究では日最大風速 8m/s 以上を

対象にしているの、おおむね中立大気と見なせる。

$$u(z) = \frac{u_*}{\kappa} \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \dots\dots\dots ③$$

ここで u_* は摩擦速度、 $\kappa (= 0.4)$ はカルマン定数、 u は地上高度 z での風速を表している。一方、大気安定度の関数 f を用いて流れの乱れによる風速の標準偏差 σ_u と摩擦速度の関係式④や、風速計の追従性などに依存する定数 γ を用いて最大瞬間風速 u_{max} と平均風速 u との間に、関係式⑤が成り立つ。

$$\frac{\sigma_u}{u_*} = f \dots\dots\dots ④$$

$$u_{max} = u + \gamma \sigma_u \dots\dots\dots ⑤$$

これら③④⑤式から σ_u と u_* を消去して整理すると

$$\frac{u_{max}}{u} = 1 + \frac{\kappa f \gamma}{\ln\left(\frac{z}{z_0}\right)} \dots\dots\dots ⑥$$

と整理できる。ここで、 $\kappa f \gamma$ を a 、 z を風速計設置高 z_A と置き換え、ゼロ面変位 d を導入すると

$$\text{突風率} = 1 + \frac{a}{\ln\left(\frac{z_A - d}{z_0}\right)} \dots\dots\dots ⑦$$

とできる。なお、ゼロ面変位とは風に対する基準面

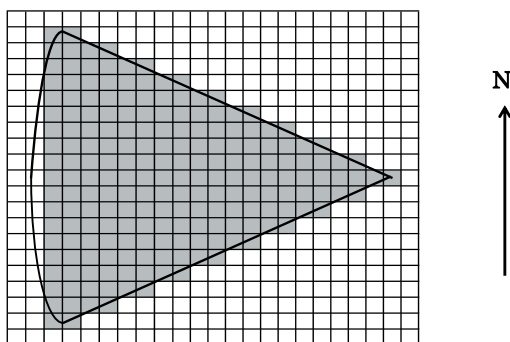
の補正量であり、地上建物や木々の密度に応じて決められる量で、その模式図を第2図に示す。同じ高さの木に対して木々の密度の違いにより上層の風の影響が及ぶ範囲が異なり、ゼロ面変位という補正量が必要になることがわかる。今後この⑦式をもとに議論する。また a は桑形・近藤 (1992) の調査結果によると2から5の間の値をとることがわかっている。

(3) 観測値との比較

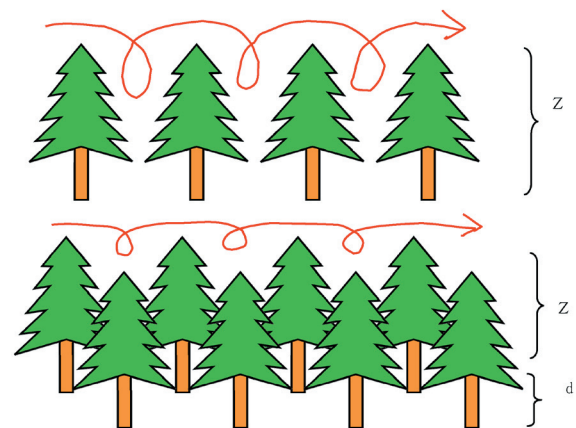
観測値から得られた突風率と粗度長から計算された突風率との比較を行った。突風率は⑦式を用いて、ゼロ面変位を0と仮定し、 a が3, 4, 5の場合をそれぞれ計算した。第3図に対応の良い場合と悪い場合の例を示す。ここで対応が良いとは、観測値と計算によって求めた突風率が一つの a の値で決まるような場合、つまり計算によって求められた突風率と観測値がグラフ上で相似形となるような場合を対応が良いとした。これは最終的にアメダスに本手法を適用する場合、一観測点につき一つの a の値を与えることを想定している為である。この結果、調査地点×8風向 (136) のうち、観測された強風 (風速 8m/s 以上) の頻度が10回以上の風向を対象にすると、約84% (108 / 128) の風向で対応が良かった。

第1表 土地利用をもとにした粗度長分類

40cm	田、その他農地、荒地、幹線交通用地、その他用地、河川地及び湖沼、海浜、海水域、ゴルフ場
125cm	森林
110cm	建物用地
200cm	建物用地(大都市)



第1図 西風向の粗度長を計算する場合の模式図



第2図 ゼロ面変位についての模式図

赤い線は風の流れを示す。

Z : 風に影響する範囲、d : ゼロ面変位

また、地表面環境の季節変化の代表例として、積雪の有無による突風率の変化についても調査を行った。ここでは積雪 50cm 以上の場合を積雪あり、それ以外の場合を積雪なしと区別し比較した。この時、有りと無しの場合それぞれ 5 回以上の頻度がある場合を比較対象とした。岩見沢の場合を例として第 4 図に示す。また結果を第 2 表にまとめた。積雪ありでは突風率が小さくなる傾向を示した気象官署の方が多かったものの、逆に突風率が大きくなる気象官署もあり、一概に積雪によって突風率が小さくなるとは言えなかった。突風率が小さくなる場合と大きくなる場合を風速計感部の高さを指標に区別した場合、20 メートルよりも高いと積雪に

よる影響がほとんど出ない、若しくは突風率を大きくし、20 メートルよりも低いと突風率を小さくする気象官署が多かった。この結果は、建築物の密度によるゼロ面変位の影響だと考えられる。しかし、影響があったとしてもそのインパクトは小さく、積雪による差よりもエラーバー（±標準偏差）の大きさの方がずっと大きい為、気象官署においては有意な差はないと考えられる。しかし、風速計感部の高さが低いアメダスに適用する際には注意が必要である。

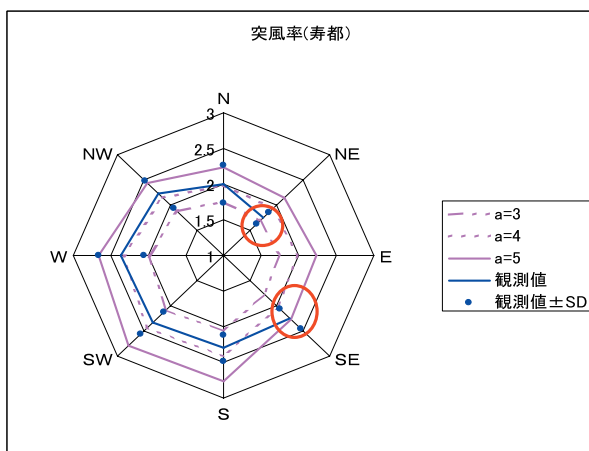
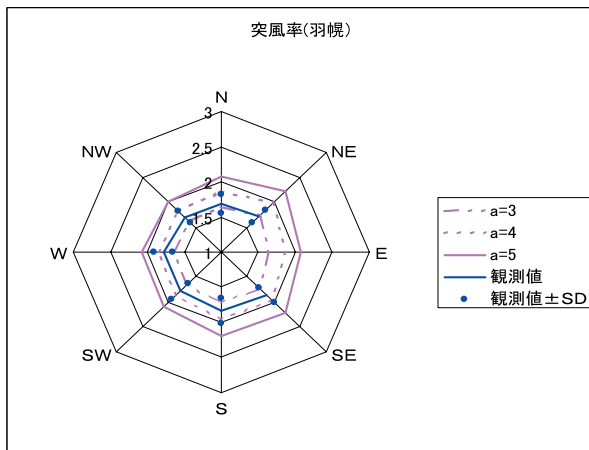
さらに、ゼロ面変位の影響についても調査した。建築密度に違いがあり風速計地上高度が近い札幌と釧路において比較をした結果を第 5 図に示す。

第 2 表 風速計感部の高さの違いによる積雪の突風率への影響

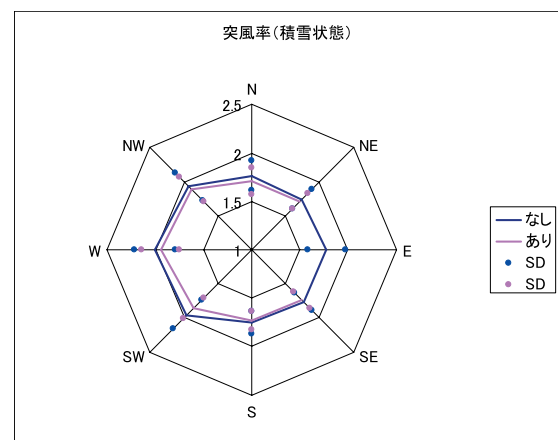
○：小さくなる △：どちらともいえない ×：大きくなる

－：事例なし 網掛けは風速計感部の高さが 20m 以下の地点

羽幌 21.4m	×	留萌 16.1m	○	網走 15.6m	○
札幌 59.5m	×	稚内 23.4m	×	小樽 13.4m	○
岩見沢 21.9m	○	帯広 11m	△	釧路 65.9m	－
根室 29m	－	寿都 13.4m	△	室蘭 18.2m	－
江差 19.4m	－	浦河 14.5m	－	紋別 18m	△
広尾 19.9m	△	函館 25.6m	△		



第 3 図 観測値と計算値の比較 (上段:対応の良い例 (羽幌)、下段:対応の悪い風向 (囲み)を含む例 (寿都))



第 4 図 積雪深 50 cm で場合分けしたときに観測された突風率 (岩見沢) “・” は±標準偏差 (SD) を示す。

釧路では $a=3$ より小さなところに観測値が分布するのに対し、札幌では $a=3\sim4$ に観測値が分布している。釧路の気象官署の環境写真を確認したところ、周囲の建物よりもかなり高いところに風速計感部が設置されており、ゼロ面変位は無視できると考えられる。一方で札幌ではビルが密になっており、ゼロ面変位の影響を受けていると考えられる。

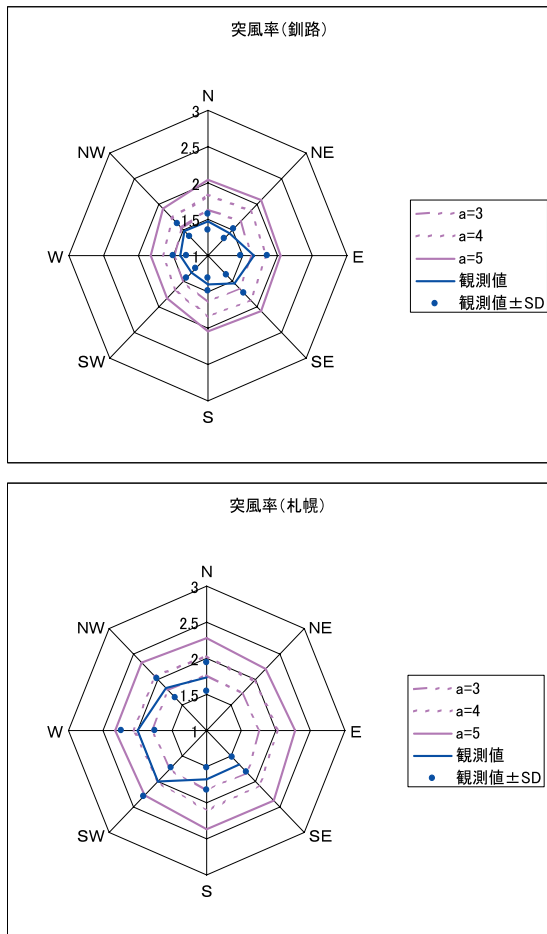
5. まとめ

ほとんどの気象官署において推定された突風率と観測値に大きな隔たりはなく、推定された突風率を用いて最大瞬間風速を見積もるという手法は有効であることが確認できた。したがって、平均風速の予想値が信頼できる場合、気象官署周辺の粗度長と、風速計感部の高さ、予想される平均風速から、瞬間風速の予測は可能であると考えられる。参考までに北海道の気象官署等の推定された突風率と渡島・

檜山管内のアメダスにおける推定された突風率（共に $a=3$ の場合）を第3表に示す。また、実際には各風向で地形や建物等の細かい分布、高さが違う。これらの要素も、⑦式における定数部分 a に持たせるとすれば、各風向で a の値は異なる。各風向に対して a を決めてやれば、さらに正確な予測値を得られる可能性もある。

積雪の粗度長に対する影響には、二つの影響が考えられる。一つは積雪によって地表面自体が上昇すること、もう一つは、積雪による粗度の低下（粗度に影響する物の高さの低下、雪に覆われることによる粗度の低下の二種）である。これは、相反する影響を及ぼす。つまり、地表面の上昇は突風率を大きくする方向に作用し、粗度の低下は小さくする方向に作用する。これらの影響のうち、どちらが大きくなるかを調べるのが不可欠である。

今回の結果からは、風速計感部の高さが20メー



第5図 釧路と札幌の観測値比較

第3表 北海道の気象官署等の突風率と渡島・檜山管内のアメダスにおける突風率（共に $a=3$ の場合）

	h [m]	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
旭川	46.4	1.67	1.69	1.67	1.72	1.65	1.65	1.68	1.68
広尾	19.9	1.59	1.60	1.59	1.62	1.82	1.89	1.87	1.93
紋別	18.0	1.59	1.60	1.59	1.64	1.87	1.90	1.84	1.91
江差	19.4	1.94	1.90	1.94	1.90	1.74	1.60	1.59	1.57
浦河	14.5	1.98	2.00	1.98	1.69	1.61	1.61	1.62	1.76
室蘭	18.2	1.96	1.87	1.96	1.86	1.63	1.65	1.74	1.95
寿都	13.4	1.74	1.69	1.74	1.76	2.06	2.07	2.00	1.86
根室	29.0	1.68	1.65	1.68	1.77	1.69	1.69	1.68	1.64
釧路	65.9	1.63	1.66	1.63	1.65	1.63	1.50	1.49	1.55
帯広	11.0	1.88	1.99	1.88	1.88	2.10	2.07	2.08	2.09
岩見沢	21.9	1.85	1.79	1.85	1.80	1.81	1.88	1.77	1.60
札幌	59.5	1.77	1.72	1.77	1.82	1.82	1.76	1.80	1.79
小樽	13.4	1.78	1.65	1.78	1.98	1.84	2.03	2.02	1.99
網走	15.6	1.64	1.61	1.64	1.63	1.88	1.97	1.93	1.84
留萌	16.1	1.90	1.82	1.90	1.98	1.80	1.60	1.61	1.61
羽幌	21.4	1.64	1.74	1.64	1.73	1.72	1.65	1.64	1.61
稚内	23.4	1.56	1.56	1.56	1.59	1.75	1.75	1.71	1.76
鶴	9.4	2.09	2.05	2.09	2.25	2.09	1.92	1.86	1.86
米岡	10.4	1.86	1.90	1.86	1.67	1.65	1.65	1.65	1.65
熊石	8.0	1.98	2.23	1.98	1.71	1.71	1.71	1.81	1.95
奥尻	6.5	1.72	1.72	1.72	1.72	2.06	1.72	1.72	1.72
今金	7.9	2.27	2.21	2.27	2.15	2.02	2.03	1.93	2.03
せたな	6.5	1.95	2.10	1.95	1.93	1.89	1.77	1.76	1.81
松前	9.4	1.80	2.03	1.80	1.70	1.68	1.68	1.68	1.82
木古内	9.4	1.68	1.74	1.68	1.68	1.80	2.10	2.18	2.23
高松	10.1	1.77	1.76	1.77	1.89	1.89	1.80	1.76	1.67
北斗	6.4	1.79	1.83	1.79	1.72	1.72	2.04	2.09	1.77
川汲	6.5	2.16	1.83	2.16	2.48	2.51	2.50	2.55	2.33
森	8.0	1.81	1.73	1.81	2.04	1.91	1.93	2.15	2.14
八雲	9.4	2.02	2.00	2.02	1.89	1.90	1.92	2.12	2.08
長万部	6.5	1.78	1.74	1.78	1.83	1.94	2.01	1.90	1.79

トルより低いところでは突風率を小さくする傾向が見られた。これは風速計感部の高さが低い気象官署は比較的周辺建物の密度が低い地域にあり、雪に覆われることによる物質表面粗度の低下と、幾何学的粗度に影響する建物高さの低下（建物高さ数メートルに対して 50 センチ）が、積雪による地表面自体の上昇による影響（感部の高さ 20 メートルに対して 50 センチ）よりも大きい為だと考えられる。一方、風速計感部の高さが 20 メートルよりも高い気象官署は、突風率に及ぼす影響はほとんど見られなかった。これは、積雪があったとしてもゼロ面変位による補正量の方が大きい為、積雪による影響は出ていないと考えられる。つまり、積雪はビルや建物のすき間に埋まるが、その高さはせいぜいゼロ面変位として仮想される高さでしかない。その為風速計高度の風には影響を与えない。

したがって、積雪状態においては⑦式を次の二通りの場合で使い分ける必要があると考えられるが、いずれにしても積雪による影響は無視できるほど小さい。しかし本結果をアメダスに適用した場合は、アメダスの風速計感部の高さ 10 メートル弱に対しては、積雪の影響は無視できない可能性もある。

積雪深 > 仮想地表面高度

$$\text{突風率} = 1 + \frac{a}{\ln\left(\frac{z_A - s}{z_0 - s'}\right)} \quad \dots\dots\dots ⑦'$$

積雪深 < 仮想地表面高度

$$\text{突風率} = 1 + \frac{a}{\ln\left(\frac{z_A - d}{z_0}\right)} \quad \dots\dots\dots ⑦''$$

ここで、s は積雪深、s' は積雪による粗度長低下分である。

ゼロ面変位については、調査対象の気象官署における風の鉛直分布データがないことから、二地点（釧路、札幌）による比較を行った。その結果、ゼロ面変位の突風率への影響はあるにせよ、a を補正することにより、ゼロ面変位を陽に考慮しなくても観測値の捕そくは可能であると考えられる。

積雪やゼロ面変位等の影響は瞬間風速の予測には必要な要素ではあるが、現段階ではその影響の見

積りやそれを補正する手法については検討しなかった。また、これらの量や a の値は観測値があつてはじめてわかるものであり、アメダスに適用する際に予め決めることは出来ない。

これらの結果から、本手法の有効性は確認されアメダスに適用することも可能であると考えられる。しかし、積雪やゼロ面変位等の影響が大きい可能性もあるので、観測データが蓄積されてから影響を評価し、a の値を決めてやる必要はある。

6. 今後の課題

今後新型アメダスでは、瞬間風速が配信されるようになるので、観測データを蓄積した上で、再解析を行い a の値を決めてやる必要がある。また、積雪やゼロ面変位等、今回の気象官署では無視できた要素の再評価も必要である。この際、観測値から得られた突風率が計算によって見積もられた突風率と大きく異なる場合には、アメダスの風観測環境を疑う必要もある。こういった意味では、このアメダス毎に推定された突風率は風観測環境を評価するものさしとしても有効である。この為、渡島・檜山管内のアメダスだけでなく、全道、全国のアメダスにも利用されることが望ましいと考える。

また、2007 年 12 月より瞬間風速の観測方法が 0.25 秒瞬間値から 3 秒間移動平均に変わった。瞬間風速が 20m/s 以上の場合、従来の測定方法に比べ、10% 程度観測値が小さくなるとの調査結果もあることから、本手法を用いて瞬間風速を予測した場合、過大評価してしまう可能性がある。したがって、新観測方法にも適応できる変換式等を導き出す必要もある。

さらに、本手法では近年甚大な被害をもたらしている竜巻やダウンバースト等に伴う突風は予測できないことにも注意が必要である。

謝辞

この調査研究を行うにあたり近藤純正東北大学名誉教授をはじめ、気象研究所三上正男物理気象研究部第二研究室長、並びに萩野谷成徳主任研究官、気象大学校木下宣幸准教授、本庁地球環境・海洋部

気候情報課隈部良司調査官等, 多くの方々に研究の方針の指導, 助言等をいただき, 大変お世話になりました. ここに謝意を表します.

参考文献

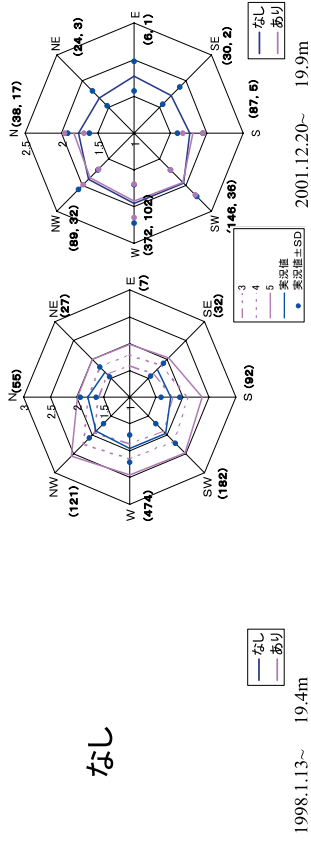
Kondo, J. and H. Yamazawa (1986) :
AERODYNAMIC ROUGHNESS OVER AN
INHOMOGENEOUS GROUND SURFACE,
BOUNDARY-LAYER METEOROL., Vol.35,
pp331 – 348

桑形恒男・近藤純正(1992) : 風速計高度や粗度の
違いを考慮した1991年台風19号の強風解析,
自然災害科学, Vol.11, No.2, pp87 – 96

小寺裕之・佐藤悦信・金森祥一(2007) : 渡島・檜
山地方の突風について(その1), 平成18年
度札幌管区気象研究会誌

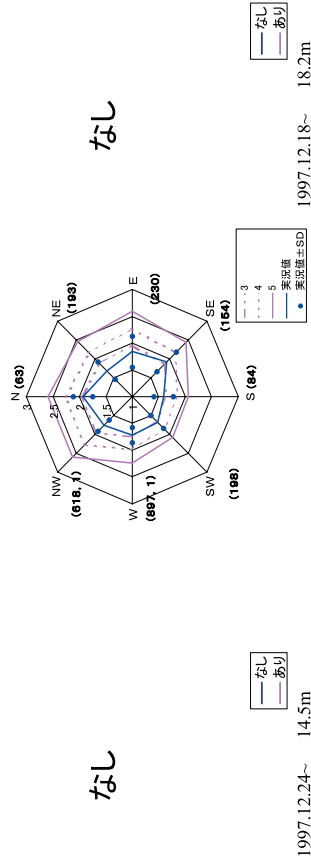
北海道内気象官署 江差

広尾



浦河

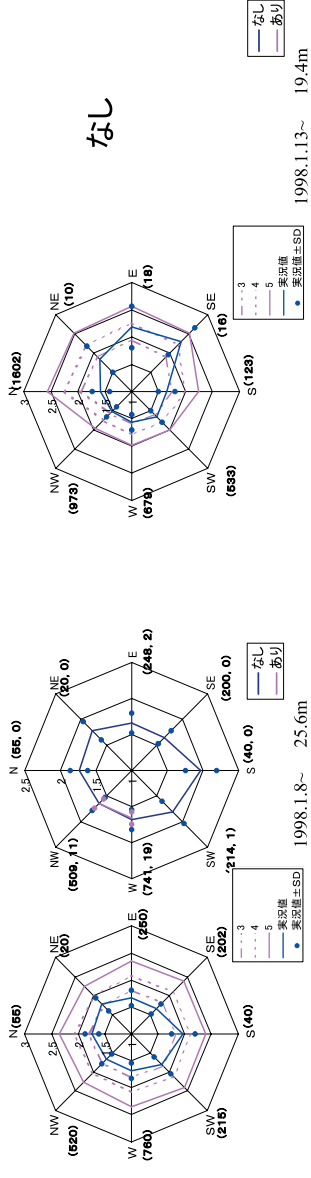
室蘭



各風向の括弧内数字は事例数
積雪比較 (左) は (なし、あり) の順
右下は、調査開始～、風速計高度

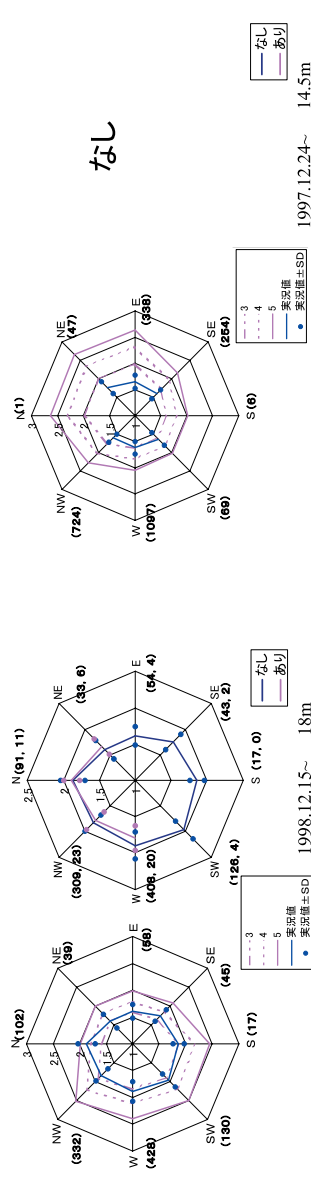
函館

根室



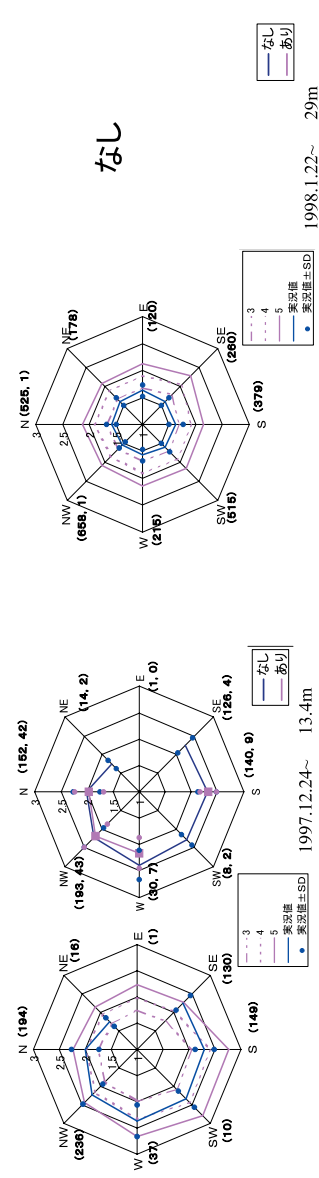
紋別

根室

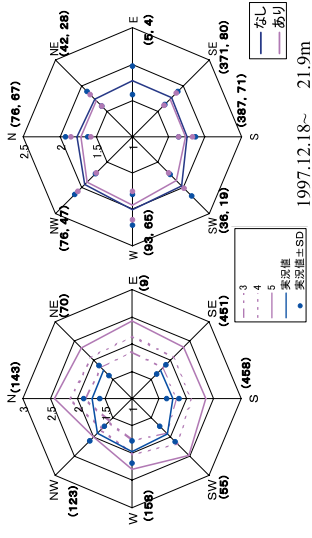


寿都

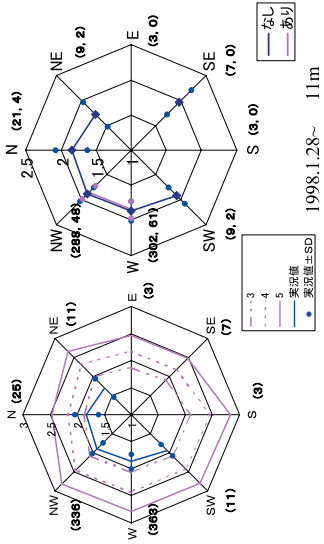
根室



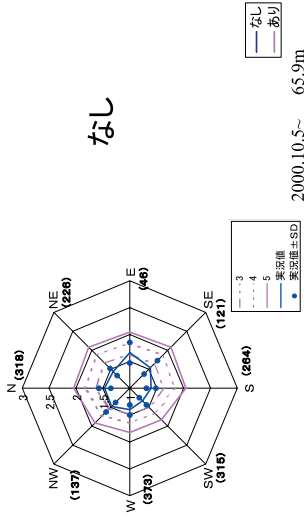
岩見沢



帯広

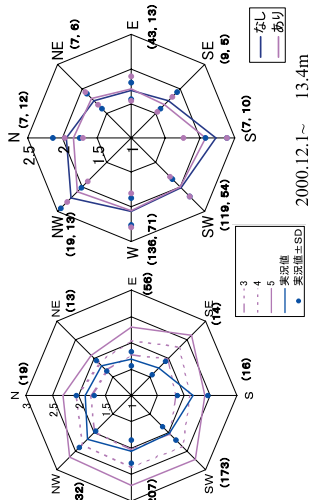


釧路

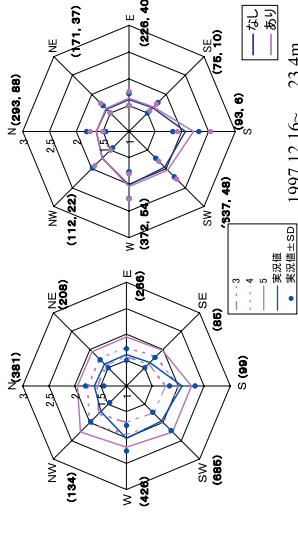


なし

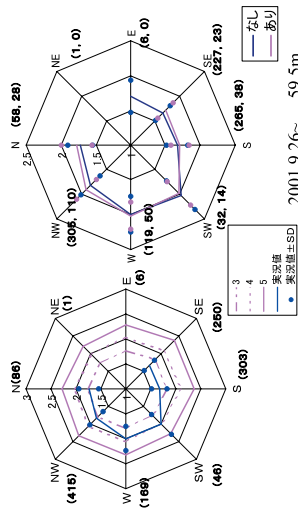
小樽



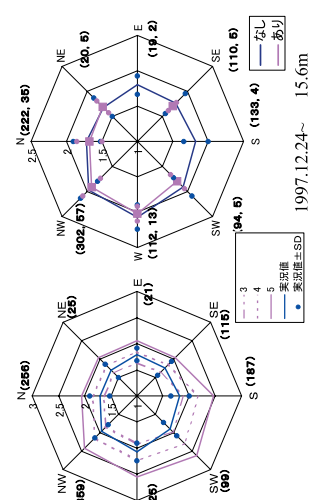
稚内



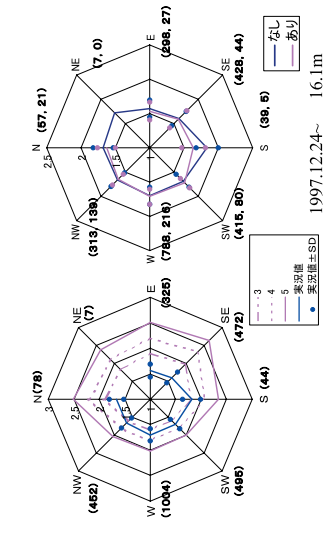
札幌



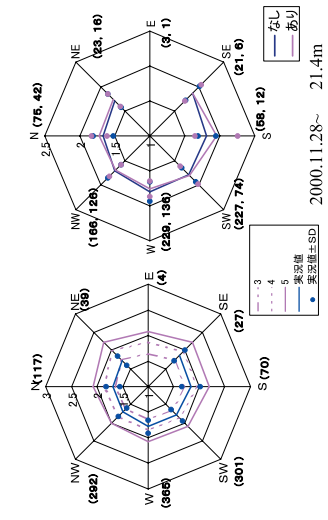
網走



留萌

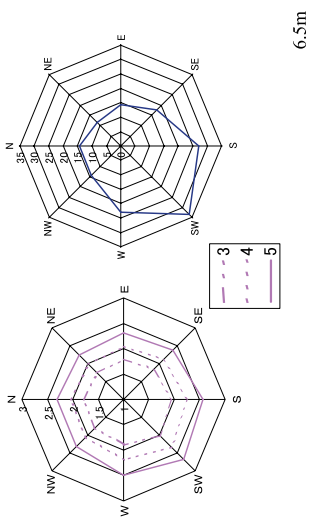


羽幌

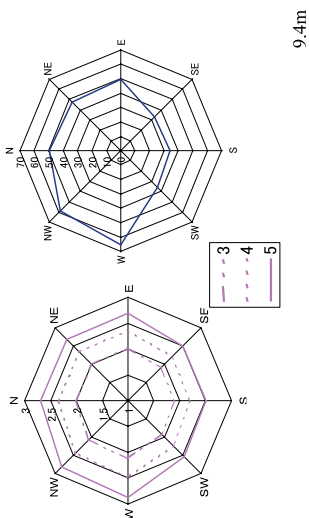


渡島・檜山地方アメダス

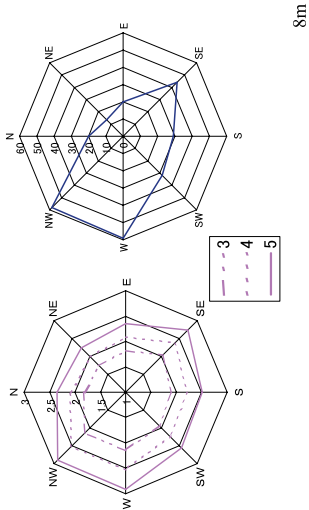
長万部



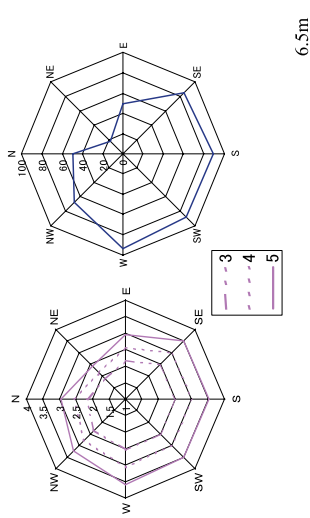
八雲



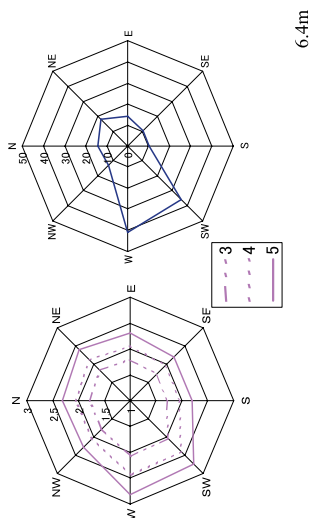
森



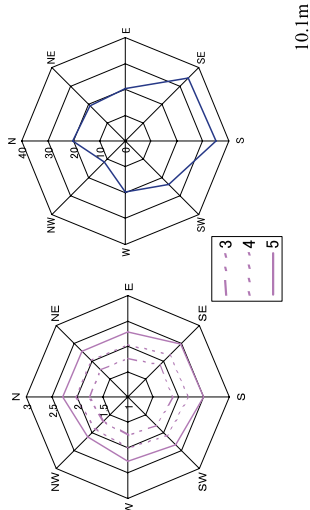
川汲



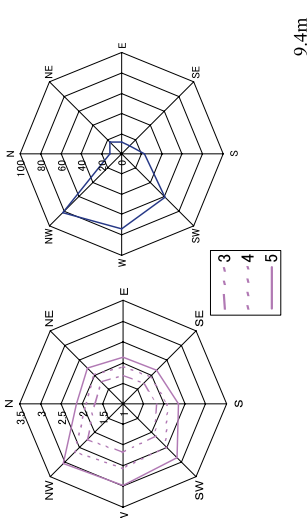
北斗



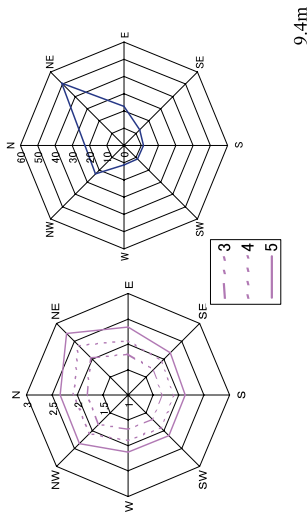
高松



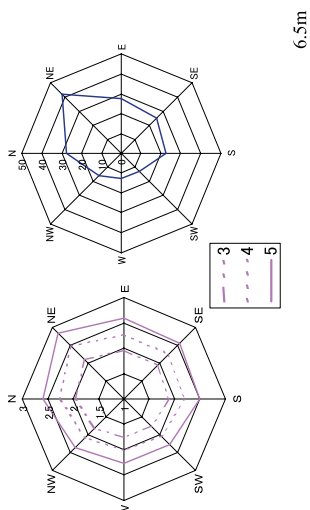
木古内



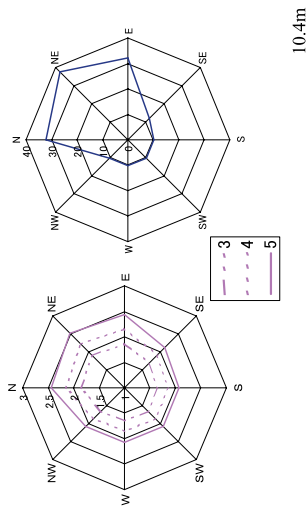
松前



せたな

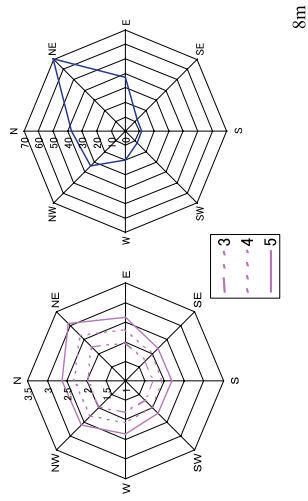


米岡

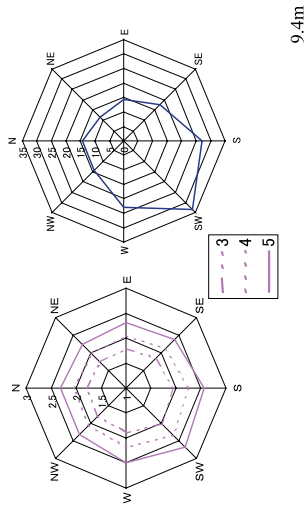


左図：計算による突風率
 右図：風向別粗度長 [cm]
 右下は、風速計高度

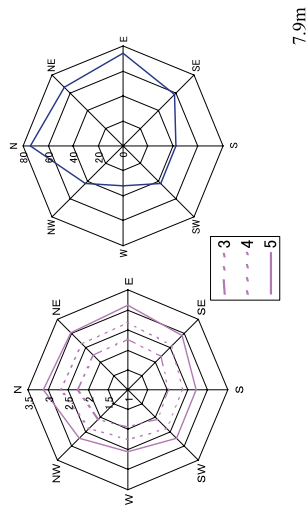
熊石



朝



今金



奥尻

