特集

世界各国の風環境評価基準の比較・検討 (その2) Survey on various criteria for environmental wind conditions (Part 2)

村上 周三* ¹	片山 忠久* ²	小林 信行* ³	池田 耕一* ⁴
Shuzo MURAKAMI	Tadahisa KATAYAMA	Nobuyuki KOBAYASHI	Koichi IKEDA
大場 正昭* ⁵	小峯 裕己* ⁶	出口 清孝* ⁷	森川 泰成* ⁸
Masaaki OBA	Hiromi KOMINE	Kiyotaka DEGUCHI	Yasushige MORIKAWA

はじめに

本特集では、世界各国の建物周辺の風環境評価の基準・提案に関する文献・資料を網羅的に収集・整理すると共に、これらの内容を詳細にわたり分析・解釈し、相互に比較している。さらに、その妥当性あるいは問題点・疑問点等も検討され、筆者らの解説も加えられている。本報(その2)は、(その1)に続きその詳細な内容を報告するものである。内容の概要は次の通りである。

1. はじめに	} 前々号(43号)に(その1)として既に掲載
2. 資料の内容	
3. 世界各国の風環境評価基準の基本的内容	
4. 世界各国の研究者による風環境評価基準	
4.1 Davenportの風環境評価基準	
4.2 Penwardenの風環境評価基準	
4.3 Hunt, Poulton, Mumfordの風環境評価基準	
4.4 Melbourneの風環境評価基準	
4.5 Lawsonの風環境評価基準	
4.6 Gandemerの風環境評価基準	
4.7 Jacksonの風環境評価基準	} 本号(45号)に(その2)として掲載
4.8 村上らの風環境評価基準	
4.9 Cohenの風環境評価基準	
4.10 吉田らの風環境の分類と評価	
5. 評価の応用的側面に関する比較研究	
5.1 Arensの研究	
5.2 Sparksの研究	
6. おわりに	
執筆担当者一覧	
引用文献・参考文献	

-
- *1 東京大学生産技術研究所・教授・工博
Professor, Dr., Institute of Industrial Science, University of Tokyo
 - *2 九州大学大学院・総合理工学研究科・熱エネルギーシステム専攻・教授・工博
Professor, Dr., Interdisciplinary Graduate School of Engineering Sciences, Kyushu University
 - *3 東京工芸大学・工学部・教授・工博
Professor, Dr., Tokyo Institute of Polytechnics
 - *4 国立公衆衛生院・建築衛生学部・建築衛生室長・工博
Section Chief, Dr., Institute of Public Health
 - *5 東京工芸大学・工学部・助教授・工博
Associate Professor, Dr., Tokyo Institute of Polytechnics
 - *6 千葉工業大学・建築学科・助教授・工博
Associate Professor, Dr., Chiba Institute of Technology
 - *7 鹿児島大学・工学部・助教授・工博
Associate Professor, Dr., Kagoshima University
 - *8 大成建設(株)技術研究所・情報・数値解析室・工博
Researcher, Dr., Technical Research Institute, Taisei Corporation
(原稿受理:平成2年8月29日)

4.7 Jacksonの風環境評価基準

4.7.1 提案されている風環境評価尺度[15]

(1) 風速の評価スケール

風環境を評価するスケールとして、次のような2つの理由によりビュフォートのスケールを採用している。

"It is desirable to retain the Beaufort scale as the basis for a comfort scale, both because of its traditional and widespread use and because it contains a large number of the known effects of winds."

(2) 風速測定高さ

ビュフォートのスケールは、地上10mの高さの平均風速に基づいているが、建物周辺の風環境評価のためには、2m程度の高さが適当であると考え、評価で用いる風速の測定高さを2mとしている。

(3) 風速の基準高さの変更に伴う風速の換算方法について

高さを10mから2mにするためには、ESDUのデータ[6]に基づいて、変換ファクター 0.77を乗ずればよいとしている。

(4) 風環境評価のための標準状態 (Standard Condition) の設定

標準状態を以下の通りと規定している。

場 所：平坦な田園地帯

風 速：高さ2mにおける風速の水平成分の平均値

乱 れ：水平方向の乱れの強さを18%と仮定

その他：温度、湿度などは、その地方の代表値

"location : flat rural terrain

mean speed: mean in a horizontal plane at a height of 2m

turbulence : longitudinal turbulent intensity assumed to be 18%

others : temperature, humidity etc. typical of a temperate climate."

(5) 標準状態における風の影響に関するスケールの設定

表4-7-1に示すビュフォートのスケールに基づく新しいスケールを設定している。

(6) 評価対象としている風環境の標準状態への変換

風による被害は、平均風速 $\bar{u}$ と乱れの強さ I とで特徴付けられる $\hat{u}$ (gust-speed) によって起こると仮定する。ある現象をもたらす $\hat{u}$ は、評価地点であろうと標準地点であろうと変わらない。評価地点での突風 $\hat{u}$ を、

$$\hat{u} = \bar{u} (1 + 3 \times I)$$

で表わすとする。一方、標準状態の u_{se} は、

$$\hat{u}_{se} = \bar{u}_{se} (1 + 3 \times I_{se})$$

である。これらは、等しいはずであるから、

$$\bar{u} (1 + 3 \times I) = \bar{u}_{se} (1 + 3 \times I_{se})$$

となる。ここで、 $I_{se} = 18\%$ であることから、

$$\bar{u}_{se} = 0.65 \bar{u} (1 + 3 \times I) \quad (4-7-1)$$

となり、(4-7-1)式で、得られた $\bar{u}_{se}$ と表4-7-1とにより風による影響の内容を明かにすることができるとしている。

筆者らの解釈・注釈

1) ビュフォートスケール採用の妥当性について

Jacksonも指摘しているとおり、このスケールは古くから多くの人々に親しまれており、また、

Jackson 以外にも建物周辺の風環境評価尺度として採用している研究者が多く、このスケールを採用することに問題はないと考えられる。

2) 風速の基準高さについて

地上2mの高さとするのは妥当である。

表4-7-1 ビュフォートのスケールに基づく新しいスケール [15]

Wind effects vs mean windspeed under standard conditions.
The assumed duration of gust required is shown in brackets.

Mean speed (ms ⁻¹)	$\bar{u}_{se}^{*2}$	Effects observed or deduced
0		calm, no noticeable wind
2		wind felt on face clothing flaps(5), hair disturbed(3)* ¹
4		hair disarranged(5), dust and paper raised
6		
8		control of walking begins to be impaired violent flapping of clothes(5), progress into wind slightly slowed(10)
10		force of wind felt on body, umbrella used with difficlulty
12		blown sideways(2), inconvenience felt walking into wind, hair blown straight difficult to walk steadily, appreciably slowed into wind(10) noise on ears unpleasant
14		generally impedes progress almost halted into wind(10), uncontrolled tottering downwind(10) difficulty with balance in gusts(2)
16		unbalanced grabbing at supports(2)
18		people blown over in gusts(3)
20		
22		cannot stand(3)

*1: () 内の数値は、そのeffectを起こさせるのに必要な最低限度の継続時間 (秒)

*2: $\bar{u}_{se}$ とは、標準風速 (standard equivalent windspeed) のこと。

評価時間を5分としている。

3) 基準高さの変換方法について

変換ファクターについて、Jackson は ESDU 72026 のデータから約 0.77 となることが示されると述べているが、ESDU には、平坦で開けた田園地帯において地表風の指数分布における指数 α ($= 1/p$) の値が 0.15 であると示されているだけである。

Jackson は、この値を用いて地表風が指数分布に従うとして変換ファクターの値を推定したものと思われる。ただし、実際に $\bar{u}_2/\bar{u}_{10} = (2/10)^{0.15}$ を計算すると約 0.79 となり、Jackson の示した値より少し大きめとなる。

4) 標準状態の設定について

標準状態を具体的に規定している。このような方法は他に例を見ないものであり、評価の条件が明確に定義されており、分かりやすい。

5) 標準風速 $\bar{u}_{se}$ で整理されたビュフォートスケールについて

表4-7-1に示される風速は、Jacksonが本文で述べているとおり地上10mの風速を地上2mの風速に換算したものである。一般的なビュフォートのスケールやPenwardenが風環境評価用に提案したスケールなどにおける風速に0.77を乗じて対照すると、ほぼ対応する(表4-7-3参照)。

6) 一般環境の標準状態への変換方法の妥当性について

変換方法に関する一連の考え方は妥当なものである。

4.7.2 提案されている風環境評価基準における発生確率の考慮の仕方

この問題に関しては、ある実測例を示しながら次のように述べている。すなわち、ある評価対象地点(彼はB点と呼んでいる)における風環境の風速の発生頻度を考慮した評価は、既に、そこでの風環境が、許容しがたいことがわかっているA点(例えば強風の名所、ニュージーランドでは、北島の南端に位置するウェリントンなど)との比較によって行なう。

具体的には、まず風速の発生頻度(図4-7-1)がわかっている上空の点(例えば、地上150mの点)を基準点(Reference Point)と定める。

次に、基準点、A点、B点について風洞実験を行い、基準点の風速 $\bar{u}_{ref}$ ($=\bar{u}_{150}$) とA点、B点の風速 $\bar{u}_{(A)}$ 、 $\bar{u}_{(B)}$ についての風速比 $\bar{u}_{(A)}/\bar{u}_{ref}$ 、 $\bar{u}_{(B)}/\bar{u}_{ref}$ を求める。この比は、(4-7-1)式を用いて $\bar{u}_{se(A)}/\bar{u}_{ref}$ 、 $\bar{u}_{se(B)}/\bar{u}_{ref}$ に換算される。

そして、年間の累積風速出現時間について、ある値(例えば10時間)を定め、それに対応するような風速 $\bar{u}_{ref}(10)$ を図4-7-1を用いて求める。

次に、すでに得られている $\bar{u}_{se(A)}/\bar{u}_{ref}$ 、 $\bar{u}_{se(B)}/\bar{u}_{ref}$ の関係からA、B两点における同じ累積時間に対応する標準風速 $\bar{u}_{se(A)}(10)$ 、 $\bar{u}_{se(B)}(10)$ を求める。

これを幾つかの累積時間について行なう。その結果、A、B两点について表4-7-2に示すような値が得られる。そして、両者を比べ、似ていれば、B点(評価対象地点)はA点(許容しがたい風環境)とよく似た風環境であると考えられる。

図4-7-1 基準点(地上150m)の風速 $\bar{u}_{ref}$ ($=\bar{u}_{150}$) の風向別1時間平均値の累積頻度分布

風向 a:320+330+340, b:350+360+10,
c:20+30+40, d:160+170+180,
e:190+200+210

表4-7-2 A点、B点における標準風速 $\bar{u}_{se(A)}$ 、 $\bar{u}_{se(B)}$ の各年間累積時間に対応する風速の推定値

Calculated standard equivalent windspeed exceeded for various durations

Duration (h/yr)	$\bar{u}_{se}$ (ms ⁻¹)	
	Point A	Point B
1000	10	9
100	14	14
10	18*	19

* Point Aにおいて、年間10時間を超過する風速は、18m/sである。

1) 確率を考慮した考え方について

Jackson の風速の発生頻度を考慮した評価方法については既に述べたとおりであるが、いくつかの疑問点が残る。

- ①彼の言うA点（所謂、強風の名所）の風環境は許容しがたいことになっているが、どのような基準で見て許容できなかったのか明らかでないばかりでなく、A点の風環境について何等の具体的説明がないこと。
- ②A点とB点の累積時間を一定としたときの風速の値が、彼の示した例では似ている（similar）としているが、どのような基準で似ているとしたかが示されていないこと。
- ③その風速の値が似ていなかった場合、どのように解釈すべきかが示されていないこと。特に、A点に比べ、ある累積時間に対応する標準風速が小さい場合、その環境が許容されるか否かが不明である。
- ④A点のような比較すべき基準点がない場合でも、表4-7-1を用いればB点の評価が可能であると述べているが、具体的にどのようにするのか不明であること。

2) 以上を総合して判断すると、Jacksonは、一応、風速の発生頻度を考慮した評価法を提案しているようであるが、実際には、具体的な提案はなされていないのに等しいと言えよう。

この点に関しては、Jacksonも筆者らに対する私信の中で認めている。そのため、彼は“強風の発生頻度の評価は、提案した標準風速 $\bar{u}_{se}$ を、Melbourneのクライテリアが使えるように換算して行う”と述べている。そして、その評価方法を具体的に示すために図4-7-3を同封してきた。この図の横軸の U_e とは $\bar{u}_{se}$ のことであり、これはMelbourneのクライテリアの図（図4-7-2）の横軸の $\bar{u}$ （平均速度）を、(4-7-1)式を用いて換算したものと考えられる。ただし、(4-7-1)式を用いるに当たっては、一般の評価地点における乱れの強さは、Melbourneの記述に従って30%としているようである。例えば、Melbourneの図における許容風速8 m/sは、

$$\bar{u}_{se} = 0.65 \times 8.0 (1 + 3 \times 0.3) = 9.9 \text{ m/s}$$

と換算される。但し、Jacksonの $\bar{u}_{se}$ の平均化時間は5分、Melbourneの U_e のそれは60分であるが、この差異に関しては説明がされていない。

一方、この図の縦軸は、Melbourneの図の縦軸が一定の風速を越える超過確率 P であったのに対し、累積時間となっている。ただし、daytime の考え方に従い $P = 1$ に対応するのは、1年間の全時間8760時間ではなく、その1/2の4380時間となると考えられる。

この図4-7-3を用いることにより、表4-7-1に示されるeffectsが発生する風速の累積時間（total duration time）が求められることになる。しかしながら、その累積時間が、許容されるか否かについては、Jackson自身による新しい提案はなく、すべてMelbourneの方法に倣うものと考えられる。

図4-7-2 Melbourneのクライテリア[24]

図4-7-3 Jacksonが書き直したMelbourneのクライテリア[Private Communication]

表4-7-3 ビュフォートの風力階級に関する各種スケール

(1) 気象庁風力階級表 (ビュフォートの風力階級) [理科年表より]

*1 地上2m高さ での風速	風 力 階 級	開けた平らな地面から 10mの高さにおける 相当風速		説 明		*2 およそ の波高
				陸 上	海 上	
m/s		ノット	m/s			m
0.2未満	0	1未満	0.3未満	平穏、煙はまっすぐに昇る。	波のような海面。	-
0.2~1.2	1	1-4	0.3-1.6	風向は、煙がなびくのでわかるが風見には感じない。	うろこのようなさざなみができるが波がしらにあわはない。	0.1(0.1)
1.2~2.5	2	4-7	1.6-3.4	顔に風を感じる。木の葉が動く。風見も動き出す。	小波の小さいもので、まだ短いがはっきりしてくる。波がしらはなめらかに見え、砕けていない。	0.2(0.3)
2.5~4.2	3	7-11	3.4-5.5	木の葉や細かい小枝がたえず動く。高い旗が開く。	小波の大きいもの。波がしらが砕けはじめる。あわはガラスのように見える。ところどころ白波が現われることがある。	0.6(1)
4.2~6.1	4	11-17	5.5-8.0	砂ほこりが立ち、紙片が舞い上る。小枝が動く。	波の小さいもので、長くなる。白波がかなり多くなる。	1(1.5)
6.1~8.2	5	17-22	8.0-10.8	葉のあるかん木がゆれはじめる。池や沼の水面に波がしらが立つ。	波の中ぐらいのもので、いっそうははっきりして長くなる。白波がたくさん現われる。(しぶきを生ずることもある)	2(2.5)
8.2~10.6	6	22-29	10.8-13.9	大波が動く。電線がなる。かさは、さしにくい。	波の大きいものができはじめる。いたるところで白くあわだった波がしらの範囲がいっそう広くなる。(しぶきを生ずることが多い)	3(4)
10.6~13.2	7	28-34	13.9-17.2	樹木全体がゆれる風に向って歩きにくい。	波はますます大きくなり、波がしらが砕けてできた白いあわは、すじをひいて風下に吹き流されはじめる。	4(5.5)
13.2~15.9	8	34-41	17.2-20.8	小枝が折れる。風に向って歩けない。	大波のやや小さいもので、長さが長くなる。波がしらの端は砕けて水けむりとなりはじめる。あわは明りのようなすじをひいて風下に吹き流される。	5.5(7.5)
15.9~18.8	9	41-48	20.8-24.5	人家にわずかの損害がおこる。(煙突がゆれ、かわらがはがれる)	大波、あわは濃いすじをひいて風下に吹き流される。波がしらはのめりくずれ落ち、逆巻きははじめる。しぶきのため視界がそこなわれることもある。	7(10)
18.8~21.9	10	48-56	24.5-28.5	陸地の内部ではめずらしい。樹木が根こそぎになる。人家に大損害がおこる。	波がしらが長くのしかかるような非常に高い大波。大きなかたまりとなったあわは濃い白色のすじをひいて風下に吹き流される。海面は全体として白く見える。波のくずれかたははげしく衝撃的になる。視界はそこなわれる。	9(12.5)
21.9~25.2	11	56-64	28.5-32.7	めったにおこらない。広い範囲の破壊を伴う	山のように高い大波。(中小船舶は一時波の陰にみえなくなることもある)海面は、風下に吹き流された長い白い色のあわのかたまりで完全におおわれる。いたるところで波がしらの端が吹きとばされて水けむりとなる。視界はそこなわれる。	11.5(16)
25.2以上	12	64以上	32.7以上		大気はあわとしぶきが充滿する。海面は吹きとぶしぶきのために完全に白くなる。視界は、著しくそこなわれる。	14(-)

*1 地上10mの風速に0.77をかけた値である。

*2 陸岸から遠く離れた外洋において生ずる波の高さのおおよその目安を与えるだけのものである。

波高のみを観測し、逆に風力を測定するのに用いてはならない。内海あるいは陸岸近くで沖に向う風の場合には波高はこの表に示された数値より小さくなり、波はとがってくる。

()内は、おおよその最大の波高を示す。

(2)Penwarden の風力階級[38]

Beaufort Number	Speed [m/s]	Effects
0,1	0 - 1.5	Calm, no noticeable wind
2	1.6- 3.3	Wind felt on face
3	3.4- 5.4	Wind extends light flag Hair is disturbed Clothing flaps
4	5.5- 7.9	Raises dust, dry soil and loose paper Hair disarranged
5	8.0-10.7	Force of wind felt on body Drifting snow becomes airborne Limit of agreeable wind on land
6	10.8-13.8	Umbrellas used with difficulty Hair blown straight Difficult to walk steadily Wind noise on ears unpleasant Windborne snow above head height(blizzard)
7	13.9-17.1	Inconvenience felt when walking
8	17.2-20.7	Generally impedes progress Great difficulty with balance in gusts
9	20.8-24.4	People blown over by gusts

4.7.3 まとめ

Jacksonの考え方は、評価地点の風速を、標準状態と定義した地点の風速に換算して評価するという点で新しい評価法であるといえるが、強風の発生頻度を考慮した評価基準に関しては新しい提案をしていない。

4.8 村上らの風環境評価基準

4.8.1 提案されている風環境評価基準 [32, 36]

2年間の風観測と住民の意識調査・被害調査結果 [17] 等を基に、表4-8-1に示す強風の発生頻度に基づく評価基準を提案している [32]。また、気温の影響を考慮した評価基準を表4-8-2のように提案している [36]。

4.8.1.1 強風の発生頻度に基づく風環境評価基準 [32]

村上らの風環境評価基準は、日最大瞬間風速の許容頻度を規定したもので、表4-8-1にその内容を示す。

(1) 評価に用いる風速

①評価風速：日最大瞬間風速 10, 15, 20m/s

- ・測定高さ：1.5m,
- ・評価時間：2～3秒

評価風速は三種類を設定しているが、簡易に評価を行う場合には、10m/sのみの評価値を用いても良いとしている。

②評価風速と環境障害の関連：

日最大瞬間風速

- 10m/s…ごみが舞い上がる。干し物が飛ぶ。
- 15m/s…立て看板・自転車等が倒れる。歩行困難。
- 20m/s…風に吹き飛ばされそうになる、等の現象が発生する。

表4-8-1 村上らの強風の発生頻度に基づく風環境評価基準 [32]

強風による 影響の程度	対応する 空間用途の例	評価する強風のレベルと 許容される超過頻度		
		日最大瞬間風速 (m/s)		
		10	15	20
		日最大平均風速 (m/s)		
		10/ G.F	15/ G.F	20/ G.F
ランク 1 最も影響を受けやすい 用途の場所	(住宅地の (野外レストラン 商店街)	10 % (37 日)	0.9 % (3 日)	0.08 % (0.3 日)
2 影響を受けやすい 用途の場所	(住宅街) (公園)	22 (80)	3.6 (13)	0.6 (2)
3 比較的影響を受けにくい 用途の場所	(事務所街)	35 (128)	7 (26)	1.5 (5)

● G.F. : ガストファクター (地上1.5m, 評価時間2〜3秒)
風の強い場所では1.6〜3.0程度,
通常の市街地では2.0〜3.5程度の値になる。

(2) 空間用途

用途に対する滞在時間の長短や風に対する影響の度合等を考慮して、評価しようとする場所を次の3つのランクに分けている。

ランク1…最も影響を受けやすい用途の場所 (例えば、住宅地の商店街、野外レストラン)

ランク2…影響を受けやすい用途の場所 (例えば、住宅街、公園)

ランク3…比較的影響を受けにくい用途の場所 (例えば、事務所街)

(3) 評価に際して風速の平均値を使用する場合

評価に用いる風速資料が平均風速の場合は、ガストファクター (G.F.) を適宜想定し、日最大瞬間風速 (評価風速) を G.F. で割り日最大平均風速に変換して適用するとしている。この場合、G.F. として次の値の範囲を示している。

- ・風の強い場所：1.6〜3.0,
- ・通常の市街地：2.0〜3.5,

ただし、G.F. の値をどのようにして想定するかは今後の大きな課題であるが、風の強い場所の既往の観測資料を参考にして、現状では2.0〜2.5程度の値を用いることが多いとしている。また、別の論文 [28,29] で、村上・川口らはG.F. を上空風との風速比の関数として表す方法のあることも提案している。

(4) 日単位の状況を評価に用いた理由

村上らは、日単位の風の状況を尺度に用いた理由・利点等について以下のように述べている。

- ①人間の生活が1日をサイクルとしているため、風の強弱の知覚も1日を単位としていることが多い。
- ②日単位の風速指標を用いると、風速の発生回数がそのまま日数になるので、年1回の強風・月1回の強風等の統計的計算の取扱いが大変簡便になり、一般居住者にもなじみやすい。

筆者らの解釈・注釈

- 1) 村上らの風環境評価基準は、長期間にわたる住民の風環境に関する意識調査と風観測の結果を基にしており、根拠が非常に明確な提案と言える。
- 2) 村上らの評価基準は、各種用途について3つの風速に対する風の許容発生頻度により評価しようとするものである。評価の概念は、Davenportの提案したものと同様である。ただし、Davenport は頻度 (発生回数) を固定して風速値を与えているが、村上らは風速を固定して頻度 (確率) を与えている。
- 3) 評価に際して平均風速を用いる場合に、G.F. の値の想定の方針に検討の余地があると言える。G.F. として2.5を与えることは、多少の予測誤差が入ることを考慮しても、安全側の選択と言えよう。また、風洞実験で風速のピークを再現する技術が未だ十分に確立されていない現在、ガストファクターを上空風との関数として表すことは、風洞実験の結果を用いて風環境を評価する際に1つの有力な指針を与えるものである。

表4-8-2 村上らの気温の影響を考慮した風環境評価基準 [36]
(日平均風速の出現頻度に基づく)

空間の用途		ランク1	ランク2	ランク3
		最も受けやすい用途の場所	受けやすい用途の場所	比較的受けにくい用途の場所
許容される頻度	日平均気温	日平均風速が1.5m/sを超える頻度(地上1.5mにおいて)		
	(10°C未満)	5.5%	13%	22%
	(10°C～25°C)	10%	22%	35%
	(25°C以上)	18%	35%	52%

4.8.1.2 気温の影響を考慮した評価基準 [36]

村上らは、市街地の風環境を計画する場合には、例えば高温で弱風時に不満・不快を感じることや、寒い時は暖かい時より強風の影響がきびしくなる等、気温の影響も考慮すべきであるとし、強風ばかりでなく弱風を含めて気温による影響の度合を検討し、気温の影響を加味した風環境評価基準を表4-8-2のように示している。

(1) 評価に用いる指標

①評価風速：日平均風速1.5m/s.

②気温：日平均気温①10°C未満②10°C～25°C③25°C以上の三段階。

なお、日平均値を指標に用いている理由について、村上らは、通常気温の変化は風速に比べてはるかにゆっくりしており、長い時間スケールの平均値に人間の感覚は関連が深いため等、と述べている。

(2) 空間用途 強風の評価基準と同様(ランク1～ランク3)。

筆者らの解釈・注釈

1) 表4-8-2の提案に際して、長期間の観測・調査により、表4-8-1の基準における日最大瞬間風速10m/sが日平均風速で概ね1.5m/sに対応していることを明らかにしている。

2) したがって、気温を考慮した評価基準である表4-8-2は、表4-8-1の日最大瞬間風速10m/sの許容出現頻度の値を、日平均気温の違いによって補正したものと解釈できる。

4.8.2 評価基準提案の根拠－長期間の風観測と住民意識調査 [32, 36]

実在の高層建物周辺の風観測と、周辺住民に対する風環境状態についての意識調査・風害調査を2年間連続して行い、その結果を評価基準提案の基礎資料としている。風環境の評価基準を提案したもののうち、根拠の明確な数少ない論文と考えられるので、根拠についてやや詳しく解説する。

4.8.2.1 強風の発生頻度に基づく評価基準の場合 [32]

(1) 調査概要

14階建て集合住宅周辺の低層住宅の居住者(全17名)に対し、2年間(1977.9～1979.8)にわたり、風による被害・風に対する意識等に関する調査日誌の記入(毎日)を依頼し、同時に行った風観測とにより、風速と被害状況との関係、風速と住民の風に関する意識との関係等を詳しく分析したものである。

(2) 指標となる風速値

村上らは、居住者の風に関する意識構造が、生活サイクル等を考慮すると日単位の風速に関連が深いと述べ、風に関する感想や環境障害の程度等と風速との関係を図4-8-1のように整理している。この結果、日最大瞬間風速を指標として1日全体の風環境の評価段階、環境障害が次の3つに分類されるとしている。

図4-8-1 村上らによる風観測と住民意識調査結果 [32]

日最大瞬間風速 風環境の評価段階

発生する環境障害

(1日全体の風の感想)

- ・ 7～10m/s……Ⅲ風がやや強い ……グループ1 (例えば、歩行中髪や衣服が乱れた)
- ・ 10～15m/s……Ⅳ不快、Ⅴ風が強い……グループ2 (例えば、立て看板や自転車が倒れた)
- ・ 15m/s以上……Ⅵ危険を感じる ……グループ3 (例えば、歩行中吹き飛ばされそうになった)

これらと他の既往の資料を参考にして、日最大瞬間風速 10, 15, 20 m/sが¹⁾、1日全体の風環境評価を行う場合の指標として適切であると提案している。

(3) 強風の発生頻度に基づく評価基準

以上の調査によって得られたデータから、強風の影響を受けていない良好な場所や強風の影響を受けている場所等、様々な状況の場所とその風速超過頻度を対応づけ、既往の観測資料 [17, 26, 27, 40] も参照して評価基準を提案している。

4.8.2.2 気温の影響を考慮した評価基準の場合 [36]

(1) 調査概要 強風の場合と同じ

(2) 適風/非適風の概念の導入

村上らは、高温時で弱風の場合に不快さが増加することや、寒い時の方が暖かい時よりも強風の影響がきびしい等、気温の影響を考慮する必要があると考え、強風時のみに着目した評価基準をさらに進め、①適風、②非適風(風が弱すぎることにに基づく不満や、風が強すぎることにに基づく不満)という概念を提案し、気温の影響を考

(1) 「適風域」と「弱風による非適風域」「強風による非適風域」の設定

(2) 日平均気温の分類と、それに対する風環境評価の基準風速の設定

図4-8-2 気温の影響を考慮した住民意識調査結果の分析 [36]

慮して適風/非適風の範囲を調べた(図4-8-2(1))。

(3) 気温の影響を考慮した風環境評価基準

すでに提案した強風の評価基準において、日平均気温を①10℃未満②10℃～25℃③25℃以上の3つに分類し、気温の相違によって補正する方法を提案している。

具体的には、まず図4-8-2(2)より、適風域・中間域・非適風域等の境界に着目して、気温範囲ごとの評価風速としての風速値を求めた(例えば、適風域と非適風域の境界では、①日平均気温10℃未満で日平均風速1.3m/s、②10～25℃では1.5m/s、③25℃以上では1.7m/s)。次に、すでに提案した強風の評価基準における日最大瞬間風速10m/sの時の風環境の状況が、気温を考慮した場合の日平均気温10℃～25℃における日平均風速1.5m/sの状況に概ね対応づけられることを示した。さらに、強風の評価基準が出現頻度の値を規定する形式のため、気温の影響による日平均風速の違いを、風速値(日平均風速1.5m/s)を固定して風速値の違いに見合う分だけ出現頻度を変化させる形式になおした(例えばランク3の場合、②日平均風速1.5m/sの許容される超過頻度は、表4-8-1にならって35%に相当、①10℃未満の評価尺度1.3m/sは、1.5m/sの超過頻度で22%に相当、③25℃以上の評価基準1.7m/sは、1.5m/sの超過頻度52%に相当)。以上のような方法により、気温の影響を考慮した評価基準を提案している。

4. 8. 3 強風の影響に関する既往の評価基準との比較

(1) Davenport の風環境評価基準との比較

村上らは、Davenportの評価基準との比較を図4-8-3に示している。

①比較に用いたケース：東京都有楽町周辺の風洞実験結果。上空の風観測資料は東京都月島のものを用いた。

②村上らの評価基準の適用の仕方：日最大瞬間風速10m/sの評価値を採用している。ただし、市街地の風のガストファクターを2.0(～2.5)と仮定して10m/s(日最大瞬間風速)を5(～4)m/s(日最大平均風速)に変換し、その超過頻度を算出している。

③Davenport の評価基準の適用の仕方：

Davenport の基準(表4-8-3)によれば、例えば、Beaufort Scale 7(以下B.S.7と略す)の風が月1回吹けばUnpleasant(不快)となる。Davenportの発生回数と確率の関係理論を利用して、月島における観測データに基づいて、月1回の頻度は1時間平均風速の超過確率で0.3%になるという値を得た。また、B.S.7が不快であるから、B.S.6以下ならば容認できると解釈して比較を行っている。

図4-8-3より、村上らは、両者は大体対応しているが、風速の強いレベルに関しては村上の方がやや厳しい傾

Activity	Aress Applicable	RELATIVE COMFORT			
		Comfort	Tolerable	Unpleasant	Dangerous
1. Walking fast	Sidewalks	5	6	7	8
2. Strolling, skating	Parks, entrances skating rinks	4	5	6	8
3. Standing, sitting -short exposure	Parks, plaza areas	3	4	5	8
4. Standing, sitting -long exposure	Outdoor restaurants bandshells, theatres	2	3	4	8
Representative criteria for acceptability			<1/wk.	<1/mo.	<1/yr.

Units: Beaufort Number Temperatures >10°C

- 82 -

(A) Murakami's Criteria

(B) Melbourne's Criteria

(C) Davenport's Criteria

(3) Environment zone
のグレード

Zone	Activity or Effect
A	Long exposure, sitting or standing
B	Short exposure, sitting or standing
C	Strolling
D	Walking
E	Unacceptable but not dangerous
F	Dangerous

図4-8-4 Center of Charlotteのケースによる評価基準の比較 [33]
(村上らによる)

4.9 Cohenの風環境評価基準 [3]

Cohenは、文献のレビュー、4ヶ所の高層建物周辺での風と歩行者の行動の観測、並びに歩行者の風環境に対する感想の調査、風洞模型実験などを経て、風速と歩行者に及ぼされる影響の関係を得、検討を重ねた上、独自のCriteria（彼自身はStandardsと呼んでいる）を提案した。彼は、また、強風環境のCriteriaだけでなく、高層建物の設計に対するRecommendationsも提案した（1977）。なお、原著 [3] は124ページにわたる米国商務省に於てた報告書である。本章は、これを要約したものであるため、学会誌等の原著論文による引用が主な他の章に比べて、性格が大きく異なっている。

4.9.1 風速と歩行者に及ぼされる影響の関係

同報の実測、観察、実験のデータは膨大なものであり全てをここに収録することはできないが、Cohenが検討に用いたうちの主要なものを収録すれば、表4-9-1のとおりである。

4.9.2 提案されている風環境評価基準 [3]

4.9.2.1 風速と発生頻度に関する基準

表4-9-1に示されるような事例を基に、歩行者に対する安全性と快適性の基準を 表4-9-2のように提案している。

Cohenは、風環境基準を安全性に基づくものと快適性に基づくものの2つに分けて提案している。なお、表4-9-2の中の許容発生頻度は、以下のようなCohenの考え方に基づくものである。

(1) 全ての歩行領域に対する安全許容基準、並びに主歩道、特に高層建物の出入口の歩道における基準についてCohenは次のように考えた。

- ① この場合は、安全性のみの観点にたった基準であるべきで、表4-9-1に示される事例などから判断して、歩行者レベルでの平均風速が、9.1m/s(20mph)になると危険となる。

表4-9-1 Cohenの観測した強風による影響の事例 [筆者らにより編集]

平均風速 [m/s]	瞬間最大風速 (Gust) [m/s]	影 響
2.3~4.5		外気温が29~35℃に増加したときは、心地よく感じられた。
	9.1~11.3	歩行者の精神的平静さを乱した。
2.7~3.6	9.1~13.6	歩行者はひどく不快(nuisance)。
4.5		歩行者は、物を運びながらの通行に支障を感じるようになる。
4.5~6.8		ひどくあおられる。
	13.6~18.2	人によっては極めて困難な状況となる。
6.1	13.6	外気温-2.8℃のときは、きわめて不快。
6.4~8.2		外気温32℃、相対湿度50%のときには、比較的快適。
8.9	27.3	ガッチリした体格の人が吹き飛ばされた。
9.1	13.6~18.2	歩行したり、バランスを保つための努力が、通常的能力の限界をこえる。 傘が、5分も経たないうちに壊れる。
9.8		歩行者が、バランスを保持するのが著しく困難となる。
	19.5	歩行の際のバランス保持が困難。
	18.2~27.3	吹き飛ばされる危険。

注) ここで言う平均風速の評価時間は20分、gustの評価時間は約0.1秒、測定高さは1.8mとなっている。

表4-9-2 市街地風に関する歩行者の安全性と快適性の基準

活動領域	基準の提案	
	1時間平均風速	許容発生頻度
全ての歩行領域に対する安全許容基準	9.1m/s	0.1%
主歩道、特に高層建物の出入口の歩道	9.1m/s	0.1%
商店街の歩道やアーケードを含むその他の歩道	6.4m/s	5%
歩行や散歩のための広場や公園	3.6m/s	15%
ベンチやレストランのある広場、公園	2.3m/s	20%

図4-9-1 空港の気象観測所における風速の発生頻度の観測例[3]

② 論文末尾の Appendix に示された Penwarden [39] の方法に従い、

$$\frac{V_6}{V_{33}} = \left(\frac{6}{33} \right)^{0.28} = \left(\frac{1.8}{10} \right)^{0.28} \quad (4-9-1)$$

によって、市街地の1.8m(6ft)での風速9.1m/s(20mph)が気象観測所の10m(33ft)での風速の何m/sに当たるかを計算し、その風速が発生する頻度を図4-9-1のデータから読み取ると、そのような風速(14.4m/s,32mph)は、0.5~1%程度の頻度で発生していることがわかる。即ち、高層建物がなくとも(気象観測所がある空港のような広闊地では)これくらいの風が吹くことになり、都市の建物の目的が居住者に風に対する遮蔽を与えることでありとすれば、この発生頻度を1つの目標(goal)とすることができはるである。

③ (一方見方を変えて)危険な風速と言うものは、本来絶対に吹いてはいけないはずであるが、「絶対」に起こらないようにするのは、経済的観点からみて現実的とは言えない。そこで、仮に年に1回、即ち1時間(約0.01%)位は危険な風速が発生することを認めることは許されるであろう。

④ また、年に1時間よりはもう少し多くても良いかも知れない。但し、②で述べた広闊地の自然の気象状態において発生する頻度より高くなることは許されないであろう。

⑤ 次に、強風の発生状況を考えると、年1回の強風の発生と言ったとき1年の内のある1時間だけが許容レベルを越えると言うことは稀で、実際にはその1回は数時間(a few hours)に及ぶと考えられるとしている。

⑥ ③、④、⑤ を併せて考えると、危険な風の吹く頻度が年数回(a few occasions)、即ち時間で表して約10~15時間(approximately 10 to 15 hours)、つまり確率約0.1%程度は、強風の発生を許容できる。

筆者らの解釈・注釈

- ・安全性の観点に立った基準値として、平均風速 9.1m/s(20mph)は、村上・出口ら [25] の既往の研究と比べ、妥当な値であると言える。
- ・年間1回の発生頻度を確率に換算すると約0.01%になると述べているが、これは以下の計算によるものと考えられる。

$$\{1 \text{回} (=1 \text{時間}) / (365 \text{日} \times 24 \text{時間})\} \times 100 = 0.01\%$$

このように、年1回を簡単に年1時間として換算してしまっている良いかについては、統計的な定義から考えて大いに議論のあるところであるが、Cohen が年1回は年1時間を意味すると考えていることは、以下の文章から推察される。

“…… ‘less than once a year’ implies an occurrence frequency of less than one hour per year, or 0.01 percent.”

- ・発生確率0.1%という値は、以下の計算によったものと考えられる。

$$\{(3\sim 4)\text{回} \times (3\sim 4)\text{時間} / (365\text{日} \times 24\text{時間})\} \times 100 = 0.1\%$$

また、この0.1%という値は、①で述べた0.5～1%より十分低く、その条件と矛盾しないものとなっている。

・上記の計算では、“a few”と言う表現は「3～4」であると解釈している。

(2) 商店街の歩道やアーケードを含むその他の歩道について

この場合は、安全性だけでなく、快適性も考慮して基準が決められるべきだとしている。彼の実測結果によれば、風速が6.1m/secになると人がひどくあおられるし、この風速で気温が-3℃になると体感温度は-20℃にもなるので、5.9～6.4m/sあたりを快適性と安全性の両面からの許容限界としているようである。また、発生頻度については月に2～3日 (two or three days per month)、発生確率で約5%を限界 (limit) としている。

筆者らの解釈・注釈

- ・安全性と快適性の観点に立った基準値として、平均風速6.4m/s(14mph)は、村上、出口らの既往の研究と比べ、妥当な値であると言える。
 - ・これらの許容風速の平均値や発生頻度算出の根拠は、先の危険風速に対するもののほどの詳細な検討に基づくものではないようである。
- また、発生確率がどうして5%という値になるのか不明である。例えば、(1)に倣って以下のような計算をすると、

$$\{(2\sim 3)\text{日} \times 24\text{時間} \times 12\text{ヶ月} / (365\text{日} \times 24\text{時間})\} \times 100$$

発生確率は7～10%となる。

(3) 歩行や散歩のための広場や公園について

この場合は、快適性の基準のみによって定められるべきだと述べている。彼の観測によれば、風速2.7～3.6m/sになると歩行者はバランスを崩されるなど不快となるので(表4-9-1参照)、公園や広場においてはこのレベル以下であるべきだとしている。また、その際の発生頻度は週に1日 (one day per week)、即ち、約15%以下が許容 (permit) 範囲であるとしている。

筆者らの解釈・注釈

- ・快適性の観点に立った基準値として平均風速3.6m/s(8mph)は、村上、出口らの既往の研究と比べ、妥当な値であると言える。
- ・この場合の発生頻度の根拠も(2)の場合と同様、余り明確なものとはいえない。例えば、15%という値は理論的根拠の妥当性は別として、以下のような計算に関連しているものと推定される。

$$\{24\text{時間} \times 52\text{日} / (365 \times 24)\} \times 100$$

この計算結果は14%となるが、それを約15%としたものと思われる。

(4) ベンチやレストランのある広場、公園

これらの場所では人々は座っていることが多く、歩いている場合に比べ活動による代謝熱が少なくなるため、寒さに対し敏感になる。また、新聞や雑誌を読む人もいるので、これらの場所では、人々は、風から遮蔽 (sheltered) されなければならない、そのために風速は2.3m/s以下で、発生確率は15～20%以下であるべきだとしている。

筆者らの解釈・注釈

- ・この場合は、(3)の場合よりさらに快適性の占める意味が高くなるため、許容風速は低く、逆に発生頻度はやや高く考えたものと思われる。しかし、それらの数値の根拠はますます曖昧となってきているように思われる。

4.9.2.2 市街地において許容される建物の高さに関する基準

(1) 概要

Cohenは、単に市街地においての風速に対する基準を提案しただけでなく、Penwardenの方法に基づいて許容される建物高さの限界を計算し、これとその地方の年間平均風速との関連を示している(表4-9-3)。彼は、これ

表4-9-3 市街地において許容される建物の高さに関する基準

気象台における 年間平均風速 (m/s)	風環境に関するなんらの事 前評価もなしに建設できる 建物の高さの許容限界(m) (低い方の建物)	風洞実験をしないで(事前 評価*1は実施)建設できる 建物の高さの許容限界(m) (高い方の建物)
3.6~4.5	42	75
4.5~5.4	36	67.5
5.4以上	30	60

*1 例えば、机上予測などを指すものと思われる。

らの数値は以下のような事を示すと述べている。即ち、(この表に示されている高さ以下に建物さをを保っておけば、) 高い方の建物の周辺では、最も風が強くなる条件 (worst condition) においても、安全レベルを越える 9.1m/s(20mph)の風速の発生が、月に2日程度 (two days a month) 以下に収まると述べている。また、低い方の建物の周辺でも同様に、快適レベルを越える6.8m/s(15mph, 原文のまま)の風速の発生が、月に2日以下で収まるとしている。

筆者らの解釈・注釈

- ・許容される建物高さに関して提案しているのはCohenのみであり、きわめてユニークである。但し、許容される高さの提案に関する根拠には不明な部分も残る。
- ・風が最も強くなる条件とは、論文の appendix での記述などから判断して、Penwarden [39] の言う through flowの領域ではないかと考えられる。
- ・この部分の記述は、あたかもこの表の値が、低い方の建物の基準は快適性に基づいて、高い方の建物の基準は安全性の基準に基づいて提案されたように読みとれるが、具体的にどの様にして求めたのか詳しい記述がないので不明である。
- ・尚、表4-9-3の各値は、
 - i) R_H の値、
 - ii) 年5%の風速/年平均風速 (= R とする)

の2つが不明であるため検証はできない。しかし、逆にこの両者を適当に仮定することによって表4-9-3の結果を導くことができる。表4-9-3の各値を満足するi), ii) の組合せは多数あるが、ここでは以下のような各値を採用することにより検討を行った。

(2) 許容高さ提案の根拠についての考察

推論の流れを図4-9-2に示す。

①表4-9-3に示される年平均値と月に2日の頻度で発生する風速の関係について

表4-9-3に示されているのは年平均風速であるが、これとCohenの言う月に2日の頻度で発生する風速の関係を考える。

まず、月に2日の発生頻度について考えると、商店街の歩道やアーケードを含むその他の歩道に関する基準の際に述べたように、Cohenは月に2~3日の許容発生頻度を5%と言い替えているので、この場合も月に2日の発生頻度は、年約5%の発生頻度を意味していると解釈するのが妥当であろう。

次に、表4-9-3では、年平均風速の強弱によって評価対象地域を3つに分類していることに着目して、 R (=年5%の風速/年平均風速) の値もこの3つの地域内で異なると考える。即ち、年平均風速が大きくなるほど R の値は小さくなると想定し、年平均風速が弱い地域から順に、1.97, 1.62, 1.41程度と仮定する。従って、年5%風速は、風が弱い地域から順に、7.1, 7.3, 7.6m/sとなる。

②気象台の風速 V_{33} と市街地の風速 V' について

これについては、Penwardenの方法によっていると思われる。即ち

$$V_{33} = \frac{V'}{R_H \cdot S}, \quad R_H = V' / V_H, \quad S = V_H / V_{33} \quad (4-9-2)$$

図4-9-2 Cohenの許容建物高さH (ft) 設定の根拠の推論のフロー [筆者らが編集]

但し、1. 図中の $R_H = 1.2$ は高い方の建物を検討する場合で、低い方の建物の場合には

1.05程度と読みかえる。

2. R は、年平均風速が弱い地域から順に、1.97, 1.62, 1.41程度と仮定する。

ここで、 V_H は、高層建物の軒高 H での風速

但し、 R_H や S の数値については、具体的記載がないので以下のように推測する。

i) R_H

この値について、Cohenは、論文末尾のAppendixにおいてthrough flowの場合(即ち、風が最も強くなる場所)は1.2, corner flowの場合は、0.95であると述べている。前述した通り、Cohenは、この基準を考えるにあたって、最も風が強くなる条件(worst condition)を考えているようなので、高い方の建物を検討する場合の R_H の値としては、1.2を用いるのが適当と考えられる。なお、低い方の建物を検討する場合、筆者らは $R_H = 1.05$ 程度と仮定した。

ii) S

この値については、Penwardenの方法をそのまま踏襲し、 $S = (V_H / V_{33})$ の関係より求めている。即ち、気象台のある場所でのgradient wind speed V_g と V_{33} の関係は、gradient heightを900ft (270m)、風速の鉛直分布の指数を0.16として、

$$V_g / V_{33} = (900/33)^{0.16} = 1.7$$

の値を得、一方、市街地に関しては、gradient heightを1300ft (390m)、指数を0.28ととり、

$$V_H / V_g = (H/1300)^{0.28}$$

の関係をjている。これら2つから

$$S = V_H / V_{33} = (V_g / V_{33}) \times (V_H / V_g) = 1.7 (H/1300)^{0.28} \quad (4-9-3)$$

となる。

図4-9-3 Cohenのクライテリア計算図 [筆者らによる]

iii) 許容高さ H を求める式

以上の結果, (4-9-2) 式と (4-9-3) 式より, 許容建物高さ H を求める式が導かれる。

$$H = 1300 \cdot \left(\frac{1}{1.2} \cdot \frac{1}{1.7} \cdot \frac{V'}{V \times R} \right)^{1/0.28} \quad (\text{高い建物}) \quad (4-9-4)$$

$$H = 1300 \cdot \left(\frac{1}{1.05} \cdot \frac{1}{1.7} \cdot \frac{V'}{V \times R} \right)^{1/0.28} \quad (\text{低い建物}) \quad (4-9-4')$$

③推計した計算方法による結果

以上示したように, i) R_H , ii) R (=年5%の風速/年平均風速) の値を適当に仮定することにより, 表4-9-3の結果を得ることができ。

表4-9-3の結果を満足する i), ii) の組合せは多数あるが, ここで挙げた値に基づく計算図を 図4-9-3 に示す。文章中に詳細な記述がないため正確には不明であるが, Cohenもほぼここに示すような値を採用したものと推定される。

4.9.2.3 その他の提案

Cohenは以上の2つの他に、風環境に関する事前評価のために用意されるべきデータに対する要求事項、風洞実験に対する要求事項、建築計画上、配置計画上奨励される事項、などについてきわめて詳細な提案だけでなく、この問題に関する研究の将来展望まで行っているが、それらの内の主要なものを収録すれば以下の通りである。

1) 風洞実験に関する推奨事項 (Recommendations)

- ①強風箇所を明らかにする。
- ②計画建物による強風の発生頻度を予測する。
- ③風環境の適正さを安全性と快適性の基準にたって評価する。
- ④計画建物近隣の既存の高層建物周辺においても、計画建物に関連して発生する風環境の悪化を明らかにする。

2) 建築計画上の推奨事項

①建物の設計における推奨事項

- i) 板状の形状をした建物を、卓越風向に直角に配置することは避ける。
- ii) 平面形状が丸みを帯びた計画は望ましい。
- iii) 高さ10m程度の低層部 (Podium) 上に高層部が載るような計画は、地表近くの風環境を和らげるのに役立つ。
- iv) 地表付近の風環境は、いわゆるセットバック (stepping back) によっても改善される。
- v) 地表付近の風環境を和らげるために、樹木や壁、スクリーン等を用いるとうまくいくことがある。
- vi) 屋根や庇の利用も有効な解決策である。
- vii) 大きく開けた歩道を、卓越風向に沿って通すことは避ける。

②配置計画における推奨事項

i) 玄関の位置

- ・強風時にも風による影響を受けることなく入れる入口を確保するため、多くの玄関を設けるべきである。
- ・入口は建物の隅角部に設けられるべきではない。
- ・地下鉄駅から直接入れる入口を設けることは、風にさらされない玄関を確保することになる。

ii) 玄関ドア

- ・玄関ドアの設計に当たっては、室内外の圧力差に基づく障害を念頭におくこと。
- ・在来からの両開きあるいは片開きドア (swing door) は、風圧によって極端に開閉が困難になることがあるから、回転式ドアが望ましい。

iii) 歩道

- ・歩道は極端な強風域に設けてはならない。
- ・既に建設されたビルにおける強風域には、恒久的な防風対策が採られるまでロープを張って、人が入れないようにする。

iv) 駅・バス停

- ・これらの場所に強風域が発生するときには、スクリーン、植栽、壁等の防風対策を採ること。

v) 交差点

- ・交差点、地下鉄の入口等激しい人通りのある場所が、強風域に設けられることがないようにすること。

vi) 噴水

- ・噴水の水が風で乱されないようにすること。
- ・噴水の水に風が当たると、水が吹き飛ばされ、しぶきとなって人々にかかるので注意。
- ・風の強弱によって、噴水のパターンが変えられる様な設計となっていること。
- ・噴水は、最も風の静かな所に設けられること。

vii) 植栽

- ・防風のための植栽の選定に当たっては、植栽の専門家に相談し、投影面積が大きく風に対する抵抗が大きく、また大気汚染に対する耐性の強いものなどを選ぶこと。

3) 研究手法の評価と今後の研究課題

- ①熱線風速計は、降水さえなければ、屋外においても十分使用可能である。
- ②ビデオ画像の早送り分析は、集団の風環境に対する応答の分析には有効な手法である。個人の反応を分析するためには、実時間の解析をインタビュー調査結果と併せて行うなどの手法が必要となる。
- ③アンケート調査は、風が歩行者に与える影響を評価する上で重要なデータを与えてくれる。
- ④PenwardenとWiseの方法は、風環境問題を評価するための重要な手段であるが、さらに多くの風洞実験等で、裏付けられる必要がある。
- ⑤指数法則における指数の値は見直されるべきである。Cohenらの研究では、市街地においても、0.4とか0.28と言った値より、0.16の方が適当と考えられるケースがあった。
- ⑥Huntらの実験室実験は大変有用であったが、同様のことが実際の現場でも行われていれば、さらに価値あるものとなっていただろう。

筆者らの解釈・注釈

- ・ 以上のようなCohenの諸提案は、彼の経験とか常識などによるものと思われるが、その内容がわが国における提案ともきわめて似たものとなっていることは驚くべきことである。

4.9.3 まとめ

Cohenは、彼の基準を提案するに当たり、きわめて膨大な文献検索、風洞実験、現地での風と歩行者の行動の観測などを行っている(表4-9-1)。従って、それらの膨大なデータに支えられた風環境の基準値(表4-9-2)はかなり信頼度が高いと思われる。彼はまた、市街地における許容建物高さの提案をしているが、これは他の研究者にはみられない独自のものであると評価できるが、その根拠がいま一つ明確でないのが残念である。

4.10 吉田らの風環境の分類と評価

ここに示されている風環境評価に対する考え方は、一般向けの啓蒙書の中で発表されたものから引用したものである[16]。その内容は都内の観測地で測定された多数の累積頻度曲線データから住宅地、市街地、事務所街に対応した累積頻度曲線を定めて、年平均風速を尺度とした風環境評価基準により風環境を評価する方法を提案している。しかし、提案された風環境評価基準は通常の学術論文にみられるような細かい記述がなされていない。以下にその要約を述べる。

4.10.1 累積頻度曲線による風環境の分類[16,45]

吉田らは都内で観測したデータから風速の累積頻度と地域との関係を次のように求めている。

(1) 観測概要

- ①測定期間 1978.12 ~ 1982.11 の4年間
- ②測定点 東京都内80数ヶ所
- ③測定高さ 主として5 ~ 10 m (その後の文献[47]では8~11 mと記されている)
- ④測定時間 毎正時の10分間平均風速

(2) 観測した風速の累積頻度曲線

観測データを分析した結果、風速の累積頻度曲線が次の3つの用途に分類できることを提案した。

- A) 住宅地 2~3階建ての低層建物が主体であり、高層建物はまばらにしか存在しない(測定高さ10m)。
- B) 市街地 低層建物、中層建物が混在している(測定高さ10m)。
- C) 事務所街 中高層建物が主体であり、場合によっては超高層建物も点在する(測定高さ5m,10m)。

図4-10-1に累積頻度曲線を示す。

・ 追記 その後の文献[47]では住宅地、市街地、事務所街の分類を詳しく規定して

- A) 住宅地 木造家屋及び5階建て以下の建物が主として存在する、いわゆる住宅地(6階以上の建物高さの範囲に入らない地域)
- B) 低中層市街地 低層と中層建物が混在する低中層市街地(6~12階建物の高さの範囲内に入る地域)

図4-10-1 実測データに基づく風速の累積頻度曲線

図4-10-2 風環境評価曲線

注) 図中のスクリーントーンは図4-10-1の累積頻度曲線の幅を見積もって貼った。

C) 中高層市街地 主として中層以上が存在する中高層市街地（13階程度以上の建物の高さの範囲内に入る地域）

としている。

(3) 風環境評価のための分類

図4-10-1を基に住宅地、市街地、事務所街のそれぞれの風環境の境界を示す曲線を図4-10-2のように定めて、この3本の曲線により区分された領域は

- 領域A 住宅地としての風環境
- 領域B 市街地としての風環境
- 領域C 事務所街としての風環境
- 領域D 好ましくない風環境

の評価基準を示すと述べている[16]。

筆者らの解釈・注釈

- 1) 図4-10-1に都内で測定された多数の風速累積頻度曲線を住宅地、市街地、事務所街の3つの区域に分類して示している。観測地の風環境について善し悪しの判断は示されていない。
- 2) 図4-10-1において測定高さが異なることに対して、どのような考慮がなされたのか記述がみられない。また風環境評価をどの高さのレベルで考えるのかも記述がみられない。
 - ・追記 その後の文献[47]では、観測高さの違いによる累積頻度分布に関する検討例が報告されている。
- 3) 図4-10-2では各地域における風速の許容範囲が示されている。ここで領域AとB、領域BとCの境界線は図4-10-1で示された領域A、Bの各風速累積頻度曲線群の下限線として、領域CとDの境界線は領域Cの中央線よりも低めの線として描かれている。

図4-10-1における風環境の善し悪しが示されていないので、境界線をどのように決めたのかその根拠が不明である。実測の体験をもとに境界線を決定したようである。

4.10.2 年平均風速による風環境の分類と評価[16]

(1) 風環境の分類と評価

各領域に対する累積頻度の境界線を超えるかどうかで評価しようというものであるが、結果として年平均風速を尺度として用いた風環境評価を提案している。風の発生頻度がワイブル分布で表わされるとすると、通例では年平均風速は累積頻度 55～60%の風速に相当する。従って、累積頻度55～60 %になる風速を一つの目安として図4-10-2を参考に風環境評価基準を次のように定めている。

- a) 年平均風速1.2 m/s 以下 住宅としての風環境
- b) 年平均風速1.7 m/s 以下 市街地としての風環境
- c) 年平均風速2.2 m/s 以下 事務所街としての風環境
- d) 年平均風速2.2 m/s 超過 好ましくない風環境

(2) CΓ法による年平均風速の算出方法

評価地点の年平均風速を計算する方法は次のように行う。

上空風向 a で風速 v 以上の風が発生する頻度を、ワイブル分布を用いて

$$P(V \geq v | a) = A(a) \cdot \exp[-v/C(a)]^{k(a)} \quad (4.10.1)$$

$A(a)$: 風向 a の発生頻度 C , k : ワイブル係数

で表す。

年平均風速はワイブル分布の平均値 μ に相当するので

$$\mu = C \cdot \Gamma(1/k + 1) \quad (4.10.2)$$

Γ : ガンマ関数

となる。

風速比 $R(a)$ が分かっている場合、ある風向 a のときに風向 a が受け持つ地上レベルの年平均風速 $\mu_s(a)$ は

$$\mu_s(a) = A(a) \cdot R(a) \cdot C(a) \cdot \Gamma[1/k(a) + 1] \quad (4.10.3)$$

となるので、全風向では

$$\mu_s = \sum \mu_s(a) \quad (4.10.4)$$

となり、この風速 μ_s を評価基準に照らし合わせて風環境を評価する。なお、関数 Γ の計算には簡便な式を提示している。

筆者らの見解

- 1) 年平均風速のような単純な尺度を用いて風環境を評価することができれば、それは簡便で望ましい方向である。強風に関する風環境の評価風速として年平均風速を用いているのはこの尺度だけである。ここに示す方法は簡便なものであり、強風の累積頻度分布を考慮した方法を検討中であることを示唆している。
- 2) 年平均風速には乱れや瞬間最大値の情報が十分には反映されていないので、強風障害を問題とする場合には、これらに関する配慮が十分でないと考えられる。

また、市街地における風速の頻度分布には、しばしば強風の領域に裾を引く傾向がみられることがある。この強風は平均風速に与える影響は小さいが、風環境に及ぼす影響は大きい。

3) 地上の年平均風速 μ だけを求めるのであれば、ワイブル分布は必ずしも必要とされない。しかし、ここで提案している C Γ 法ではワイブル分布を必要としている。

4) ここで提案された風環境の分類と評価は都内での風観測データに基づいているので、都内以外の地域にこれが適用できるかどうかについては検討の必要性がある。

5. 1 Arensの研究[1]

5.1.1 序

- (1) 安全性・快適性と風の関係。
- (2) 安全・快適の限界風速とその風速の超過確率。
許容すべき超過確率。
- (3) 計画敷地内の局所風と周辺地域の風との関係。
風洞模型実験による検討。
- (4) 風速を減らすための設計手法。

5.1.2.1 風の力学的影響

$$U_s = U (1 + a \cdot T I) \quad (5.1.1)$$

U_s : Equivalent steady wind
 U : 平均風速
 a : 定数
 TI : 乱れの強さ

- 94 -

表5-1-1 Jacksonによる発生する現象と U_{se} の関係[15]

Wind Effects Versus Standard Equivalent Mean Wind Speed Under Standard Conditions

Standard Equivalent Mean Wind Speed, in meters per second	Effects Observed or Deduced
0	Calm, no noticeable wind
2	Wind felt on face Clothing flaps (5)* Newspaper reading becomes difficult (Ref. 2)
4	Hair disarranged (5), dust and paper raised, rain and sleet driven (Ref. 2).
6	
8	Control of walking begins to be impaired Violent flapping of clothes (5), progress into wind slightly slowed
10	Umbrella used with difficulty
12	Blown sideways (2), inconvenience felt walking into wind, hair blown straight Difficult to walk steadily, appreciably slowed into wind (10) Noise on ears unpleasant
14	Generally impedes progress Almost halted into wind, uncontrolled tottering downwind (10) Difficulty with balance in gusts (2)
16	Unbalanced, grabbing at supports (2)
18	People blown over in gusts (3)
20	
22	Cannot stand (3)

*The minimum gust duration required for each effect to be experienced is given, in seconds, in parentheses.

5.1.2.2 風の熱的影響

熱的な快適性に影響を及ぼすものとしては、気温・放射熱量（太陽と地表）・湿度・風・人の着衣量及び行動量がある。熱的快適性は、身体と皮膚の温度、熱伝達率の関数であり、暑い時は更に、発汗の程度がこれらに加わる。

今までに、戸外にいる人の熱的快適性に関して開発されたモデルは定常状態の熱平衡モデルである。このような仮定が妥当なためには長時間暴露が必要であるが、実際には戸外での暴露時間はもっと短い。現在、1分間隔毎に身体の熱的反応を計算するコンピュータープログラムが出来ており、これを用いて風環境の熱的設計基準が判る見込みである。ただし、衣服の通気特性などの実験的情報が欠如している。また、屋外におけるモデルの検証が必要である。

5.1.3 快適性・安全性とプロジェクトの許容性（2章）

人に対する風の影響を知ることにより、これ以上の風は許すべきでない、或は望まれていないという限界が提案されている。

- (1) BRE[46] 5 m/s :不快を感じ始める 10 m/s :明らかに不快 20 m/s :危険
- (2) Huntら[11] 表5-1-2
- (3) 村上ら[25] 一様流でない場合は、3 m/s 程度で歩行に影響が出始める
10 m/s ~ 15 m/sで歩行困難

筆者らの解釈・注釈

- 1) BREの U は1時間平均風速
- 2) Huntらの u_s は乱れを考慮した瞬間風速に近いもの
- 3) 村上らの風速は評価時間3秒の瞬間風速である。

表5-1-2 Huntらによる風環境と風速範囲[11]

Wind Velocity Limits

Wind and Effect	Criterion*
Steady uniform wind:	
For comfort and little effect on performance	$\bar{u} < 6 \text{ m/s}$
For ease of walking	$\bar{u} < 13 \text{ m/s}-15 \text{ m/s}$
For safety of walking	$\bar{u} < 20 \text{ m/s}-30 \text{ m/s}$
Nonuniform winds (u varies by at least 70% over a distance less than 2 m):	
To avoid momentary loss of balance and to be able to walk straight	$\bar{u} < 9 \text{ m/s}$
For safety (for elderly people this criterion may be too high)	$\bar{u} < 13 \text{ m/s}-20 \text{ m/s}$
Gusty Winds**:	
For comfort and little effect on performance	$u_s < 6 \text{ m/s}$
Most performance unaffected	$u_s < 9 \text{ m/s}$
Control of walking	$u_s < 15 \text{ m/s}$
Safety of walking	$u_s < 20 \text{ m/s}$

* $\bar{u}$ is averaged over short periods, on the order of seconds.

** u_s is defined in Eq. (5.1.1).

筆者らの解釈・注釈

- 1) 表 5-1-2 中の風速 $\bar{u}$ について Arens は脚注において数秒のオーダーの時間の平均値と記述しているが、原著論文[11]にはその様な記述はなく、風洞実験における Steady wind の mean windspeed と書いてあるだけである。
- 2) このことから考えて $\bar{u}$ は風洞風速であり、もっと長い時間の平均値と思われる。なお、原著論文[11]では、 $\bar{u}$ ではなく u の表示になっている。

これらの風速限界が得られたら、設計者はその限界を超える時間の割合を算定しなければならない。快適性に関しては余り高くない風速に対して高い確率（10～20%）の許容限界を適用するのが妥当であり、安全性に関しては、より高い風速に対して、より低い確率（0.1%）の許容限界を適用すべきである。多くの研究者が、限界風速や、それを超える風速の許容頻度を提案している。

- (1) Melbourne[24]：図5-1-1. 1時間平均風速の1年間の昼間の時間について超過確率で表示している
- (2) Isyumov & Davenport[13,14]：1時間平均風速と年間におけるその風速の発生回数で表示している
- (3) Cohen[3]：表5-1-3
- (4) Penwarden[38]：5 m/s(1時間平均)の超過確率が20%以上なら防風対策を実施している。超過確率が10～20%なら、苦情はあるが対策は未実施である。超過確率が10%以下なら、苦情はないということを示している。

Comparison of Various Criteria for Environmental Wind Conditions for Daylight Hours, for Relative Turbulence Intensity of 15%.

図5-1-1 Melbourneによる種々の風環境評価基準の比較（昼間の時間帯，乱れの強さ15%）[24]

筆者らの解釈・注釈

- 1) この図5-1-1はMelbourne[24]のオリジナルの図にArensがCohenらの提案[3]を付け加えたものである。

表5-1-3 Cohenによる市街地の歩行者に対する安全・快適の基準[3]

Pedestrian Safety/Comfort Standards for Urban Winds

Activity Area	Hourly mean wind speed in meters per second (miles per hour)	Permitted occurrence frequency, as a percentage	Permitted frequency considering only daylight hours, as a percentage
All pedestrian areas limit for safety	9.1 (20)	0.1 (= 10 h/yr)	0.2
Major walkways, especially principal egress path for high-rise buildings	9.1	0.1	0.2
Other pedestrian walkways, including street and arcade shopping areas	6.4 (14)	5	10
Open plazas and park areas walking, strolling activities	3.6 (8)	15	30
Open plazas and park sitting areas, open-air restaurants	2.3 (5)	20	40

筆者らの解釈・注釈

- 1) Arensは表5-1-3に示された基準はCohenらの数多くの観測に基づいて決められたものであると記述している。文献[3]によれば、ここに記された基準となる風速値は極めて多くの観測値から求めたもので妥当なものと判断される。
- 2) 一方、確率を決める過程、根拠に関しては種々の説明はなされているものの明確な記述はない。しかしながらここに示された確率は妥当な数値である。
- 3) また、表5-1-3の右端の欄の確率（昼間の時間だけを考慮）やカッコ内の確率に対応する時間（= 10 h/yr）はArensがCohenのものにMelbourneの考え方を適用して付け加えたものである。

これらの基準を適用する際には、風の観測データの評価時間と基準風速の評価時間の差異に気を付ける必要がある。両者が異なる場合には図5-1-2のような関係を用いて補正を行う必要がある[21]。また、肌寒い環境下では、風の力学的影響に基づく基準風速よりも低い風速で熱的不快性を引き起こすこと、滞在時間が長かったり、活動量が少ない時は熱的不快性を過小評価しがちであることに注意する必要がある。

5.1.4 計画敷地における地上近くの風の推定（3章）

設計者は計画初期の段階から建物周辺での安全・快適性を検討すべきである。検討は基本的には次のように行われる。

- (1) 敷地の気象特性の調査と第一次計画案の決定。場合によっては風洞模型実験を行う。
- (2) 環境影響評価
- (3) 問題があればプロジェクトの設計変更をし、実験を行う。良い結果が得られる迄これを繰り返す。

Variation of Wind Speed with Averaging Time, for Velocity Ranges of Beaufort Scale

図5-1-2 評価時間による風速値の変化

ところで、歩行者レベルで風が強くなるのは、一般に次の3つの流れによる。

- (1) 建物風上面上部に発生する渦（風上面上部の高い圧力により引き起こされる）
- (2) 建物隅角部の流れ（風上面の高圧と風下面・側面の低圧の圧力差による）
- (3) 建物間の狭い部分の流れ

例えば、Gandemer[9]は建物周りの風の流れを可視化している。

Penwarden, Wiseら[39]は基本的な形状の建物周りの風速を実験的に調べた。

プロジェクトの検討には風洞実験により、建物周辺の気流分布を調べるのが最善である。風洞実験の内容は次のようである。

- ・風洞実験結果 代表風速に対する割合で表示
- ・測定点 格子の各交点
- ・測定計器 熱線風速計、圧力検出による風速計
- ・実験風向 観測された風のデータを基に決定

5.1.5 計画敷地における不快または危険な風の頻度の推定（4章）

風洞実験結果と気象観測資料を基に、対象地区において風の力学的不快性（危険性）が起こる確率、熱的不快性が起こる確率を求める過程が図5-1-3に示されている。

このような確率を求めるために必要な気象資料としては、風向別の風速累積頻度分布、同時刻における風速・気温・日射に関するデータなどが必要である。

筆者らの解釈・注釈

- 1) Arensによる図5-1-3の確率推定のプロセスは建築計画の立場の設計者にとっては大変有用なものになっており、優れた説明図と考える。

5.1.6 風害の回避と緩和（5章）

建物の設計変更に関する風害の回避又は緩和方法として、以下のものが考えられる。

- (1) 見附面積が大きい壁面を卓越風向に対して直角に配置しない。
- (2) 円形や多角形の形状の採用

風の力学的影響に基づいた不快や危険

気象データ、実験データの
インプット

熱的、気候的影響に基づいた不快

各々の対象地点について u 、 u_g の
不快、危険の限界風速を決める

各風向に対し、不快、危険の限界
風速に対応する基準風速を計算す
る

各風向に対する限界の基準風速を
超える頻度のデータ

風向頻度による重み付けと全風向
に対する合計

不快や危険の可能性

平均気温
日影図
熱的な快適山核

各々の地点に対する日なたと日影
における不快の限界風速を決める

各風向に対し、日なた、日影にお
ける限界風速に対応する基準風速
を計算する

各風向に対する日なた、日影にお
ける限界の基準風速を超える頻度
のデータ

風向頻度による重み付けと全風向
に対する合計

日なたと日影の頻度による重み付
け

不快の可能性

風洞実験からの無次元風速と乱れ
のデータ

風速の累積頻度分布

風向頻度分布

日照率

図5-1-3 不快や危険の起きる確率推定のプロセス (Arensによる)

(3) 日除けやキャノピーの採用

(4) 歩行者用通路と出入口は、高層建物の風上側隅角部には設置しない

(5) 卓越風向に直面した出入口は回転扉を用いるようにする

(6) 歩行者レベルで水平方向の風を弱めるためには植栽を用いても良いが、下降流（ダウンウォッシュ）に対しては効果がない

これらの対策は、設計変更された後の模型を用いて再び風洞実験を行い、満足できるデザインが得られるまで、分析・設計変更・風洞実験を繰り返すべきである。また、建設費用や日射に対する影響など多角的な面から対策を評価しなければならない。

5.1.7 設計時において風害問題を解決する手順（6章）

- (1) 認識：まず始めに、風は解決可能な計画上の課題であるという広い認識が必要である。風環境に対する法的規制は、この認識を広めるとともに、コンサルタント誕生の促進に役立っている。
- (2) イニシャルデザイン：概要の計画段階で、専門書やコンサルタントを頼りにして、敷地計画、容積、通路の位置などにおいての設計ミスがないように努めるべきである。
- (3) 概略設計段階での風洞模型実験：デザインが進むと同時に様々な模型を用いて風洞実験を行うのが望ましい。実験には実際の設計に携わっている人も立ち会い、その場で模型を修正する等の共同作業を行うことが望ましい。
- (4) 風荷重用風洞実験中での周辺気流のチェック：風の専門家は風圧に関する風洞実験を行うと同時に、周辺気流のチェックも行くと良い。風圧に関する実験では、詳細な模型を用いて、全ての主要な風向について測定が行われる。この段階の実験結果は風環境の改善のためには、建築設計者にとってはやや時期が遅いが、まだ改善の余地はある。また、この分析結果は、法的規制を満足していることを証明する報告書としても利用される。

5.1.8 結論 (7章)

快適、安全に対する風の影響について述べ、いろいろな研究者の提案した許容風速の限界について概説した。これらの許容風速限界は、その平均化時間と乱れの成分に強く影響される。ここでは、これらの許容限界を超えるであろう合計時間について提案された設計用クライテリアを示した。

戸外の歩行者に影響する可能性のある建物の設計者は、建物周辺気流の性状とその地域の風の頻度分布についての気象データとを関連付けることによって、その計画建物がクライテリアに適合するかどうかを予測しなければならない。

一般的に、問題を引き起こす建物の形状はよく似ているが、多くの都市域では周辺建物の配置が複雑であるので、風洞実験を行うのが妥当である。模型実験を行った計画建物が許容されるかどうかの決定の過程を示した。

現在、普通に行われているよりも、もっと早い段階で風の解析が行われれば、設計者は問題を起こすような形状を、予め避けることができる。

5.2 Sparksの研究 [43]

Sparksらは論文 [43] で、米国 Charlotte (North Carolina) での風環境評価の ケーススタディー に対し、Melbourne, Davenport, Murakami, Penwarden の4研究者の提案による評価基準を適用し、相互に比較している。以下に、論文を要約して解説する。

5.2.1 Introduction

Sparksらは、風環境評価の指標ならびに風速資料としてfastest-mileを用いており、この理由を次のように述べている。

“風環境の変化を風洞実験により前もって評価するには、風洞実験結果と気象官署の風データ、評価基準の組み合わせが必要である。気象官署が風洞内で模型化でき、かつ長期間の連続的な風向風速記録が必要であるが、次のような理由から通例理想的にはいかなることが多い。①米国では普通、風の記録は空港から得られるが、それは市街地から遠いことが多く、空港までを模型範囲にすると、風洞実験の地域模型が適切な大きさでなくなる等不都合が生ずる。②連続的で統計的解析に有効な記録は普通手に入らず、容易に入手できるのは“daily fastest-mile wind speed”である。”

5.2.2 Center of Charlotte に対する風洞実験の概要

(1) 測定概要：

①対象：the Center of Charlotte (図5-2-1)、縮尺1/240、実物相当で直径370mの模型を使用。

②測定：Irwin [12] 開発のomnidirectional wind sensorを用い、実物高さ1.7m相当でのmean, rms, peakを測定し、reference speed (approach flowにおける同じ高さの風速) で基準化 (いわゆる建設前後の比率)。この基準化の方法は、建物の影響による風環境の変化が大きく表現される利点がある、としている。

③ reference speedの測定：風洞内、実物相当360m高さの位置でピトー管により実際に測定。これから、1.7m高さ相当のreference speedに変換。変換には風洞で測定した鉛直プロファイルを用いる。

(2) reference speed - 実物と風洞との対応：

空港 (実物) のfastest-mile wind speed に相当する風洞内reference speed (アプローチフローにおける高さ1.7m相当風速) は次のようにして得られるものと仮定している。

①空港のreference height 6.1m (=20ft) におけるfastest-mile wind speed を、mean hourly wind speed に変換する (すなわち、瞬間風速であるfastest-mileを平均風速に変換する)。

・fastest-mileは、風速によって平均化時間 (測器の時定数) が決まる。これが既知ならば、Durst [5] の資料を用いてmean hourly wind speedに変換できるとしている。

②平均値に変換された風速を gradient wind speed に変換 (典型的な open country のプロファイルのベキ指数 $\alpha = 0.14$, gradient height = 274mを用いる)。

③空港と市街地近傍のgradient wind speedは等しいとし、gradient wind speed を1.7m高さの風洞内のreference speedに変換する (approach windのプロファイル $\alpha = 0.31$, gradient height = 427mを用いて変換)。

(3) 出現頻度決定のための風速資料：

市街地のある風速に相当するdaily fastestmile wind speed は以下の通りに決定される、としている。

図5-2-1 Center of Charlotteのケーススタディ (Sparksによる) [43]

図5-2-2 鉛直風速プロファイル(筆者ら作成)

- ①市街地のある点である風が吹いた場合、これを実験によって求められた風速比を用いて風洞内の建物がない場合の同じ高さの風速 (reference speed) に変換する。
 - ②鉛直プロファイルを用いて、空港の reference speed (高さ6.1m相当) を求める (上記(2)の逆)。
 - ③この平均風速を、対応するfastest-mile wind speedに変換する。
- 風速の超過頻度を求めるために、daily fastest-mile wind speed の気象資料を用いている。

筆者らの解釈・注釈

- 1) 風洞内で peak wind speed を測定するIrwinの方法は、風速に応じた圧力を測定しており、形状が鉛直軸に対称のため水平方向での指向性が少ない。ただし、建物近傍等に鉛直成分がある場合には正確でないと言われており、この装置で測定した風速の peak 値の信頼性に関しては十分な検討がなされているとは言い難い。

- 2) 風洞でpeakを測定する実験諸条件について、実物と風洞との評価時間の対応、極値peakの分布に対する条件等がどのように考慮されているかは不明である。
- 3) 5.2.2 (2), (3)における風速の平均値の変換については、空港と計画市街地での gradient wind speed が等しいとして、それぞれの鉛直プロファイルを仮定して双方を関連づけており、妥当と思われる(図5-2-2参照)。
- 4) fastest-mile wind speed の明確な定義については、これを扱った文献から次のように解釈される[10, 12]。
 - ① fastest-mile wind speedは風程である。ただし、風が1 mile進むのに要する時間 t [sec] を測定し [mph] で表わす。(fastest-mile wind speedは $1/t$ [mile per sec] となり、これに3600をかけて mphの単位になおす。)
 - ② 平均化時間 t は、 $t = 3600/U_f$ で表される (fastest-mile wind speedを U_f とする)。すなわち風速値により平均化時間が変わる。
 - ③ ある平均化時間 t に関して、1時間平均風速とfastest-mile wind speedの関係は既往の資料(図5-2-3)により求められるので、任意のfastest-mile wind speedに対応する1時間平均風速が求められる。
- 5) 5.2.2 (2)においてSparksらはgradient heightを274m ($\alpha = 0.14$), 427m ($\alpha = 0.31$)としているが、最近ではこれよりもっと高いと見なす資料もある。

Ratio of probable maximum speed averaged over period t to that averaged over one hour

図5-2-3 Fastest-mile wind speedと平均化時間 t (Simiu [41] より)
(1時間平均風速に対するfastest-mile wind speedの比)

5.2.3 wind speed criteria

(1) 提案されている各種風環境評価基準の比較を容易にするため、空間用途について standard zoneを表5-2-1のように設定。

表5-2-1 風環境における空間用途(Sparksによる) [43]

Wind environment zones	
Zone	Activity or Effect
A	Long exposure, sitting or standing
B	Short exposure, sitting or standing
C	Strolling
D	Walking
E	Unacceptable but not dangerous
F	Dangerous

表5-2-2 各種クライテリアの特徴に関するSparksらの解釈(筆者ら作成)

	【クライテリアの特色】	【fastest-mile風速を用いた場合の適否】
Murakami	<ul style="list-style-type: none"> あるpeak wind speedが起り得る年間の日数の限度を規定している。 	<ul style="list-style-type: none"> □Murakamiのケースはfastest-mile風速のデータが適用しやすい。
Melbourne	<ul style="list-style-type: none"> 1年間におけるpeak wind speedの出現頻度に基づく。 □年最大風速の昼間の出現に基づくもので、すぐにfastest mileを適用できる。ただし、次のような仮定が必要。 ・風速の超過回数は、1日に1回しか数えない。 ・風速データは昼・夜との区別が出来ないので、年2回出現というのが昼間1回出現に等しい(昼夜出現の頻度が等しい)。 □Melbourneのクライテリアはもともと年最大風速に基づいているので、この形式のクライテリアを用いることは風速の出現確率の特性に何らの仮定も必要がない利点がある。 	
Davenport	<ul style="list-style-type: none"> 与えられたmean hourly wind speedの出現の頻度に基づく。 	<ul style="list-style-type: none"> □DavenportとPenwardenは、出現頻度または時間割合に基づいており、これは日数/年にすぐには変換できない。そこで次のように仮定する。
Penwarden	<ul style="list-style-type: none"> ・実際の状況の観察に基づき平均風速の越える時間割合として表される。それは、不満の生じるような状況と改良の対策がとられるような厳しい状況の時とについて表示される。 	<ul style="list-style-type: none"> ・もし、mean hourly 風速が、ある風速を1回でも超過しているとすれば、1日中、その風速を超過したものとみなす。これは、少々安全側に(conservative)解釈していることになる。

表5-2-3 各種風環境評価基準の比較(Sparksによる) [43]

Wind speed criteria					
Murakami	Zone	Melbourne	Zone	Davenport	Zone
$\hat{V} > 10\text{m/s}$ less than 37 days/yr.	A/B	$\hat{V} > 10\text{m/s}$ less than 2 days/yr.	A	$\bar{V} > 5\text{m/s}$ less than 37 days/yr.	A/B
$\hat{V} > 10\text{m/s}$ between 37 and 80 days/yr.	C	$10\text{m/s} < \hat{V} < 13\text{m/s}$ more than 2 days/yr.	B/C	$5\text{m/s} < \bar{V} < 7.5\text{m/s}$ more than 37 days/yr.	C
$\hat{V} > 10\text{m/s}$ between 80 and 128 days/yr.	D	$13\text{m/s} < \hat{V} < 16\text{m/s}$ more than 2 days/yr.	D	$7.5\text{m/s} < \bar{V} < 10\text{m/s}$ more than 37 days/yr.	D
$\hat{V} > 10\text{m/s}$ more than 128 days/yr.	E/F	$16\text{m/s} < \hat{V} < 23\text{m/s}$ more than 2 days/yr.	E	$\bar{V} > 10\text{m/s}$ more than 37 days/yr.	E/F
		$\hat{V} > 23\text{m/s}$ more than 2 days/yr.	F		

Penwarden's conditions are (a) if the mean wind speed exceeds 5m/s for more than 146 days/year remedial measures are likely to be needed (b) if it is exceeded between 73 and 146 days/year complaints are to be expected but no action is likely to be taken (c) if it is exceeded less than 73 days/year then conditions are likely to be satisfactory.

(2) 比較に用いた風環境評価基準

Sparksらは四人の研究者による基準をこのケーススタディーに適用して比較している。すなわち、Melbourne, Davenport, Murakami, Penwarden である。また、これらの評価基準については表5-2-2のように自分の解釈を述べている。

(3) Sparksらは風速の出現頻度の表示に年間発生日数を用いている。また、四人の研究者によって提案された風環境評価基準を、確率の尺度を年間発生日数に変換して表5-2-3のように比較している。

筆者らの解釈・注釈

- 1) standard zone と各研究者の設定した用途との関係は表5-2-4のようになり、概ね妥当である。
- 2) 適用した4基準の特色(表5-2-2)について、Sparksらはほぼ正しく解釈している。
- 3) Murakamiの基準は風速の発生頻度の表示が日最大風速の年間発生日数になっているので、Sparksらが行っているfastest mile wind speedを用いた評価に受け入れられやすい。

表5-2-4 Standard zoneと各研究者による
空間用途の関係(筆者ら作成)

std. zone	Murakami	Melbourne	Davenport
A long exposure	最も影響を受けやすい (商店街・野外レクリ)	stationary long exposure (outdoor restaurant)	standing, sitting
B short exposure		stationary short exposure (window shopping,	-long exposure
C strolling	影響を受けやすい (住宅街・公園)	standing, sitting in plazas)	strolling, sitting -short exposure
D walking	比較的影響を受けやすい (基幹街道)	walking in main public access way	strolling, skating
E Unacceptable but not dangerous	ランク外 (不適合)		walking fast
F dangerous		dangerous	

表5-2-5 ケーススタディの結果(Sparksによる) [43]

Average Number of days per year specified wind speeds are exceeded								
Location	Peak Wind Speeds				Mean Wind Speeds			
	10m/s	13m/s	16m/s	23m/s	5m/s	7.5m/s	10m/s	
2	10	2	0	0	58	11	2	
3	27	6	2	0	89	26	7	
4	64	21	7	1	191	64	21	
5	9	3	1	0	15	2	0	
6	56	22	9	2	162	55	19	
7	4	1	0	0	8	1	0	
9	33	9	3	0	120	28	8	
10	21	5	2	0	63	13	2	
12	5	1	0	0	9	2	0	
13	53	20	7	2	176	65	20	
14	42	10	3	0	129	37	6	
15	13	5	1	0	44	11	1	
17	31	9	3	0	88	29	5	
18	18	5	1	0	30	5	1	
19	22	6	2	0	81	10	2	
20	15	4	1	0	12	2	0	
23	26	7	1	0	83	26	6	
24	9	3	1	0	27	3	1	
25	17	3	1	0	55	12	2	
30	13	3	1	0	50	7	2	
31	21	5	1	0	71	13	3	
33	24	6	2	0	46	7	1	
34	17	6	2	0	43	9	2	
39	6	2	0	0	18	4	1	
40	44	13	6	0	84	27	9	

- 4) Sparksらは、Melbourneの評価基準における確率の表現が昼間のみを対象とし、また、昼夜の発生頻度が等しいと仮定して、Melbourneにおける年1回は Sparks の評価では年2日の頻度に対応する、と解釈した。回数を単純に2倍して良いかは不明である。
- 5) Davenport, Penwardenの評価基準において、発生確率を年間発生日数に変換するには、年間の日数に確率(例えばワイブル分布における許容超過確率)をかけて、昼間の確率になおすため2倍している。例えば、37日/年というのは、365日に確率を掛けて $365 \times 0.05 = 18.25$ 日、2倍して $18.25 \times 2 = 36.5 \approx 37$ 日と算出している。このような方法で発生頻度を確率値から単純に日数に変換するのは本来不可能であり、大いに疑問がある。DavenportのNumber of storms の考え方 [4] を正しく解釈して用いていない。

5.2.4 WIND DATA

- (1) ある点のある風速に対応する空港でのfastest-mile wind speed は、風洞実験から得られた風速比(8風向で整理されている)を用いて得られるとしている。
- (2) 出現頻度決定のための資料は、1974.1(出版中で最も古い記録)～1978.12(風向記録が変更された)の5年間の記録を用いたと述べている。
- (3) Center of Charlotte のケーススタディから得られた結果(ある風速の超過する年間の日数)を表5-2-5に示す。また、これに表5-2-3の評価基準を適用すると、計画街区の風環境が図5-2-4～図5-2-7のように評価されると報告している。

筆者らの解釈・注釈

- 1) 空港と市街地とを平均風速の比率を用いて関連づけているが、風洞で測定したピーク値と実物での瞬間値であるfastest-mile wind speedの関係も、平均値の比率に等しいとみなして対応づけられている。
- 2) 表5-2-5の実験結果については、Gust Factorが市街地の一般的な値より不当に低いとMurakamiより指摘されている(後述のComment (5.2.7節)参照)。

図5-2-4 Murakamiの基準を適用した結果(Sparksによる) [43]

図5-2-5 Melbourneの基準を適用した結果(Sparksによる) [43]

図5-2-6 Davenportの基準を適用した結果 (Sparksによる) [43]

図5-2-7 Penwardeの基準を適用した結果 (Sparksによる) [43]

5.2.5 DISCUSSION OF THE RESULTS

(1) North Carolina National Bank (高さ152m) 周辺の風環境の影響評価に関し、各種基準を適用した結果、Sparksらは、それらの相違を次のように解釈している。

①用いたアプローチは異なるが、Melbourne と Penwarden の評価の結果は本質的には同じである。

点3, 4, 5, 6, 9, 10, 13, 14, 17の領域は満足されない状況。

点6, 13 では特に満足されない (Penwardenでは 点4 も)。

②Davenportの評価基準はMelbourneとPenwarden の結果ほど厳しくはない。しかも、この解析で用いたDavenportの基準の適用の仕方が安全側 (conservative) になっているということを考慮するならば、DavenportとMelbourne, Penwardenとの違いは実際にはもっと大きくなる。

③Murakamiの評価基準によれば、この部分は基本的には“sheltered area”であると示唆している。

(2) 現実の風の状況を観察する意義、及び観察結果を次のように報告している。

①理想的には、データ換算の技法(data reduction technique)の適用性の良し悪しや用いた評価基準の相対的な利点を認識するために、現場での実測が必要である。ただし、現時点で得られる資料のすべては状況観察という証拠の断片である。

②現実の状況は、MelbourneやPenwardenが示唆したほどは厳しくはないが、Murakamiが示したものよりも厳しいものであった。

(3) North Carolina National Bank, Radisson Hotel とそのすぐ隣の建物に関する強風の対策について、次のように説明している。

①North Carolina National Bank と Radisson Hotelの間は風の強いことで有名で、この部分はドアを変更。

②強風日に(点7を通らないように)通路を閉鎖。

③直径2mの縦型の回転可能ブロンズディスクを、点9と5の間に設置。なお、当初速く回転しすぎたので安全のため速度を遅くした、と説明。

(4) 風速の変動についてSparksらは以下のように考えを述べている。

人間の応答に対して風の変動は重要であるが、これは通例、評価基準としては前提としている乱れ強さが示されているのみである。また乱れ強さを仮定して平均からピークへ又はその逆の変換がなされるが、この場合、乱れ強さは15%~30%と見積られているのが普通である。

Sparksの実験結果もほぼこの程度になっているが、まれに乱れの大きい(100%以上)地点もあり、また、これらは必ずしも低風速の地点とも限らない、と述べている。

筆者らの解釈・注釈

1) 風環境評価に関し、乱れの重要性を認めている。

2) 風環境に関して当該建物現場の状況を述べているが、どの程度の体系的な観測を行っているかについては不明である。

5.2.6 CONCLUSIONS

(1) Sparksらは各種風環境評価基準の比較に対して、用いた方法の問題点を以下のように指摘している。

①空港のfastest-mileを市街地風の状況に変換する方法の妥当性。

②空港と市街地との距離 (10kmの距離がある)。

③空港での鉛直風速分布の風向に対する同一性。又、風速の記録状況 (理想的な状況が保たれているわけではない)。

(2) Murakamiの風環境評価基準については次のように感想を述べている。

①Murakami の基準がフィットしないと思われるのは残念である。なぜなら、daily fastest mile wind speedの記録を用いるには理想的な形であるからである。

②一つの問題は、activityと出現頻度の関係である。Murakamiは、ある風速を設定しactivityにより出現頻度を変えていることである。しかし、MelbourneやDavenportは出現の頻度を設定して、風速を変えている。(尤も、Penwardenは風速を固定して出現頻度を変化させているが…。)

(3) 測定について、Irwin [12] の装置が mean はもとより容易に peak, rmsを測定可能にした。風の乱れの人

体影響を評価するのに適当であり、かつ利用できる気象データを十分に活用した風環境評価基準を設定するのにもっと多くの考慮がなされるべきである、と述べている。

筆者らの解釈・注釈

- 1) daily fastest mile を利用した評価の形式について、Murakami の評価基準が最も適していると評価している。
- 2) 出現頻度を考慮した評価基準の表現において風速値を固定するか確率値を固定するかの2つの立場があることは、すでにLawson [21] が指摘しており、広く認められていることである。

5.2.7 Comment by Murakami [34]

Murakami の評価基準が Melbourne, Davenport や Penwarden のそれと大きく異なっていることに対し、Murakami[34]は論文末尾に収録されたコメントを発表している。それは、風洞実験の結果を用いてMurakamiの基準に適用するには peakではなくmean speedを用いるべきであり、彼自身がSparksのデータを用いて作成した結果(図5-2-8)では他の結果と比べて大きな相違は生じていない、と反論するものである。この根拠について、Murakamiは次のように主張している。

- 1) Sparksの表5-2-5において、peak wind 10m/sの発生日数とmean wind 7.5m/s のそれとがよく対応している。これは、ガストファクターが1.3であることを示唆するもので、市街地の値としてあまりにも小さく、open terrain のものに匹敵する。
- 2) これは peak wind speed が正しく測定されているかどうかに関して疑問を与えるものである。
- 3) もし、一般の市街地として適切と考えられるガストファクターの値(例えば2.0)を用いると、peak wind 10m/sは mean wind 5m/sに縮小される。
- 4) mean speed 5m/sの発生日数(Sparksの表5-2-5)を用いてSparksの図5-2-4を書き改めれば図5-2-8Aのようになり、Murakami の基準は Melbourne と Davenport のほぼ中間に位置する。

筆者らの解釈・注釈

- 1) ガストファクターが1.3になるというのは、 $10\text{m/s} \div 7.5\text{m/s} = 1.3$ による。

5.2.8 Reply of Sparks et al. [43]

Sparks et al. は、peak wind speedの測定に誤りがあるとのMurakamiの主張は受け入れられない旨、以下のよう反論している。

- 1) Sparksの測定でガストファクターが1.33で小さいと推測しているのは、Murakami が不適切な情報を用いていると信ずる。これは、論文の表5-2-3から推論することは全く不可能であり、オリジナルデータに戻らなければならない。
- 2) オリジナルデータでは、ガストファクターは次に示す値であったと報告している。
1を少しこえる位小さい値…ホテルと銀行の間のギャップを風が直面しているとき
8程度の高い値 ……低い平均風速のところ
また、peakよりも乱れ強さの方が状況を表す尺度としてベターであると述べ、それが8%~313%の間であったとしている。
- 3) もし、peakが低目に測定されていたとしたら、peak windに基づくMelbourneの結果も“less severe”になるはずであるが、実際にはそうではない。
- 4) Murakamiの基準についての問題に対する説明は、文献[30]が適正な形でなかったことに起因する。もし、指摘のようにmeanについて用いるならば、その他の評価基準と矛盾のない結果になる。

筆者らの解釈・注釈

- 1) 風洞実験でpeakを再現することはきわめて難しい問題であり、まだ確立されていない手法である。安易にpeak値を評価の風速尺度として用いることには疑問が残る。ちなみに、風洞での乱れが313%というのは大きすぎて同意し難い。また、市街地のガストファクターが1を少し越えるくらい小さい値というのも、既往の観測結果から見て小さ過ぎる値である。

図5-2-8A Murakamiの基準を適用した結果(Murakamiによる) [43]

図5-2-8B Melbourneの基準を適用した結果(Murakamiによる) [43]

図5-2-8C Davenportの基準を適用した結果(Murakamiによる) [43]

6. おわりに

本報告は世界各国で現在までに提案されている主な風環境評価尺度、基準に関する報告、調査等を集め、詳細な検討・解釈を行い問題点や疑問点を洗いだしたものである。この種の文献研究においては他に類を見ない広範な内容の報告である。

本報では計12の風環境評価尺度、基準に関する提案の検討を行ない、できる限り同一の方式で内容を検討することを試みた。その結果これらの基準・尺度等の間には単なる考え方の違いの他に、基準としての優劣も存在することが認められた。これらの提案された基準を評価する際には、特に重要な着眼点が3つあると考えた。

そのうちの1つは、いうまでもなく提案された基準の根拠の明確さである。即ち、本報で紹介した提案の中には詳細な調査、実測に基づいて提案されたものもあれば、極めて根拠が不明確で直感的な提案と解釈せざるを得ないものも含まれており、実際に利用する際には慎重な姿勢が必要である。

2つめは、基準の基本的な考え方に係わる点である「瞬間的な強風とその出現頻度」の取扱いかたである。即ち、環境障害は主として強風に関連してもたらされ、その強風の発生現象は“storm”的に捉らえるのが自然である。したがって、風環境評価基準としては当然強風の発生頻度を考慮した形式のものが望ましいと考えられる。世界の風環境評価基準の主流はこの考え方に基づいている。そして、この強風と頻度の捉らえ方には、頻度を固定して、風速値を設定とするものと風速値を固定してその出現頻度を設定とするものの2系統の考え方がある。

3つめは、提案されている基準の適用のしやすさに係わる点である。都市の風環境の設計に具体的に貢献するためには、判りやすい風環境の予測・評価体系を構築する必要がある。風環境評価基準はこの体系の1構成要素である。いくつかの基準についてはこの体系が既に構築されておりその代表的なプロセスとしては、風洞実験結果と上空の気象データから地上付近の強風の発生頻度を予測し、これを基準と照らし合わせて最終的に評価するというものである。この評価体系のあり方としては、建築・都市の環境デザイナー及び居住者がその意図を充分理解でき、馴染みやすいものであることが望ましい。

現在の風環境の評価基準は1例を除いて強風に着目したもののみであるが、世界的に進行する都市の温暖化傾向に対処するためにも今後弱風環境も含めた検討が必要である。そこでは当然気温の影響も考える必要がある。更に、現在提案されている強風に着目した基準に対しても温度の影響の組み込み等、一層の検討が必要となる。

以上のように風環境評価基準は未だ問題点も多く、今後は更に研究を重ね、信頼性の高い風環境評価の基準を定着させる必要がある。

米国の風工学会議ではPEDESTRIAN COMFORTというセッションが設けられ、風環境の評価や歩行者の快適性に関して継続的かつ深く議論されている。我が国でもこのような風環境問題やその評価に関する積極的な研究が必要であると考えられるので、今後もこれを継続する予定である。又、今回検討対象とした期間（1987年12月まで）以後に発表された研究についても、近い将来に報告する機会を持つ予定である。

最後に本特集の執筆担当者を以下に示す。

執筆担当者一覧

(その1) = 43号(前々号) (その2) = 45号(本号)

1章 村上	4.7 池田
2, 3章 村上・出口	4.8 出口・片山
4章	4.9 池田・森川
4.1 小林・小峯	4.10 大場・小林
4.2 出口・小峯	5章
4.3 小峯	5.1 小林
4.4 村上・森川	5.2 出口
4.5 出口・小峯・大場	6章 村上・森川
4.6 出口	

引用文献・参考文献

- [1] E. Arens, On considering pedestrian winds during building design, International Workshop on Wind Tunnel Modeling Criteria and Techniques for Civil Engineering Applications, (1982), Washington.
- [2] W. S. Chepil, Dynamics of soil movement, *Soil Science*, **60**, (1945), pp. 305-320, pp. 397-411, pp. 475-480.
- [3] H. Cohen, T. I. McLaren, S. M. Moss, R. Petyk, E. H. Zube, Pedestrians and winds in the urban environment, *UMSS/IME/R-77/13, University of Massachusetts*. (1977).
- [4] A. G. Davenport, An approach to human comfort criteria for environmental wind conditions, *Colloq. on Building Climatology*, (1972), Stockholm.
- [5] C. S. Durst, Wind speeds over short periods of time, *Meteorological Magazine*, **89**, (1960), 181-186.
- [6] *ESDU 72026*, Characteristics of wind speed in the lower layers of the ground, Strong winds (Neutral atmosphere) 18 (1972).
- [7] J. Gandemer, Wind environment around buildings; Aerodynamics Concepts, *Proc. Int. Conf. on Wind Effects on Buildings and Structures*, (1975), London.
- [8] J. Gandemer, Aerodynamic studies of built-up areas made by C. S. T. B. at Nantes, France, *J. Industrial Aerodynamics*, **3**, (1978) 227-240.
- [9] J. Gandemer, Discomfort due to wind buildings, Aerodynamic Concept, *NBS Technique Note*, (1978), 710-9.
- [10] S. C. Hollister, The engineering interpretation of weather bureau records for wind loading on structures, U. S. Dept. Commerce, *NBS Building Science*, (1979), 151-164.
- [11] J. C. R. Hunt, E. C. Poulton and J. C. Mumford, The effects of wind on people; New criteria based on wind tunnel experiments, *Building and Environment*, **11**, (1976) 15-28.
- [12] H. P. A. H. Irwin, A simple omnidirectional sensor for wind-tunnel studies of pedestrian level winds, *J. Wind Engineering and Aerodynamics*, (1981), 210-239.
- [13] N. Isyumov and A. G. Davenport, The ground level wind environment in built-up areas, *Proc. 4th Int. Conf. on Wind Effects on Buildings and Structures, London*, (1975) 403-422.
- [14] N. Isyumov, Studies of the pedestrian level wind environment at boundary layer wind tunnel of the Univ. of Western Ontario, *J. Industrial Aerodynamics*, **3**, (1978), 187-200.
- [15] P. S. Jackson, The evaluation of windy environments, *Building an Environment*, **13**, (1978) 251-260.
- [16] 風工学研究所(編), これだけは知っておきたいビル風の知識, 鹿島出版, (1984).
- [17] 国土開発技術研究センター・住宅・都市整備公団建築部, 高層建築における周辺気流の影響とその対策に関する研究(その1)～(その3), (1981, 12～1982, 5)
- [18] T. V. Lawson, Method of presenting data about environmental wind conditions, *TVL/7110, Univ. Bristol*, (1971).
- [19] T. V. Lawson, Presentation for data about the wind environment of buildings, *Symp. on External Flows*, (1973).
- [20] T. V. Lawson and A. D. Penwarden, The effects of wind on people in the vicinity of buildings, *Proc. Conf. on Wind Effects on Buildings and Structures*, (1975), London.
- [21] T. V. Lawson, The wind content of the built environment, *J. Industrial Aerodynamics*, **3**, (1978) 93-105.
- [22] T. V. Lawson, *Wind effects on building I, II*, Applied Science Publishers, (1980).
- [23] W. H. Melbourne and P. N. Joubert, Problems of wind flow at the base of tall buildings, *Proc. 2nd Int. Conf. on Wind Effects on Buildings and Structures*, Tokyo, (1971) 105-114.
- [24] W. H. Melbourne, Criteria for environmental wind conditions, *J. Industrial Aerodynamics*, **3** (2/3), (1978) 241-249.
- [25] S. Murakami, K. Uehara and K. Deguchi, New criteria for wind effects on pedestrians; New criteria based on outdoor observations, *Proc. Int. Conf. on Wind Engineering*, (1979), Colorado.

- [26] S. Murakami, K. Uehara and H. Komine, Amplification of wind speed at ground level due to construction of high-rise building in urban area, *J. Industrial Aerodynamics*, **4**, (1979), 343-370.
- [27] 村上周三・上原清, 市街地低層部における風の観測 その2 超高層建物建設による周辺気流の変化-建物周辺気流に関する研究(X), 日本建築学会論文報告集, 第279号, (1979), 127-135.
- [28] 村上周三・藤井邦男, 市街地低層部における風の性状と風環境評価に関する研究(2)-長期間観測による市街地低層部の風の統計的性質について-, 日本建築学会論文報告集, 第310号, (1981), 88-97.
- [29] 村上周三・丸田蔵・岩谷祥美・藤井邦男・川口彰, 市街地低層部における風の性状と風環境評価に関する研究II-強風時における市街地低層部の変動風の性状-, 日本建築学会論文報告集, 第314号, (1982), 112-120.
- [30] S. Murakami, Wind-tunnel modeling applied to pedestrian comfort, *Proc. Int. Workshop on Wind-tunnel Techniques for Civil Engineering Applications*, (1982), Washington, .
- [31] 村上周三, 都市の風害問題と確率, 建築雑誌, **97**, 1194, (1982), 3236.
- [32] 村上周三・岩佐義輝・森川泰成, 居住者の日誌による風環境調査と評価尺度に関する研究(4)-市街地低層部における風の性状と風環境評価に関する研究III-, 日本建築学会論文報告集, No. 325, (1983) 74-84.
- [33] 村上周三, 風環境評価尺度の比較について, 日本建築学会大会学術講演梗概集, (1983), 505-506.
- [34] S. Murakami, Discussion on Session 19; Wind environment and shelter, *J. Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, **15**, (1983), 169-173.
- [35] 村上周三・川口彰, 超高層建物周辺における市街地風の統計的性状, 日本建築学会大会学術講演梗概集(構造系), (1984), 1051-1052.
- [36] 村上周三・森川泰成, 気温の影響を考慮した風環境評価尺度に関する研究-日平均風速と日平均気温に基づく適風・非適風環境の設定-, 日本建築学会論文報告集, No. 358, (1985) 9-17.
- [37] M. Ohba, N. Kobayashi, and S. Murakami, Study on the assessment of environmental wind conditions at ground level in a built-up area,--based on long-term measurements using portable 3-cup anemometers, *7th Int. Conf. on Wind Engineering*, (1987), Aachen.
- [38] A. D. Penwarden, Acceptable wind speeds in town, *Buildings Science*, **8**, 3, (1973) 259-267.
- [39] A. D. Penwarden and A. F. E. Wise, Wind environment around building, *Building Research Establishment Report*, (1975).
- [40] 勝田高司・村上周三・上原清, 市街地低層部における風の観測-建物周辺気流に関する実験的研究(V), 日本建築学会論文報告集, 第231号, (1975), 81-88.
- [41] E. Simiu, R. H. Scanlan, *Wind effects on structures*, John Wiley & Sons,
- [42] P. R. Sparks and J. Elzebda, A comparison of pedestrian comfort criteria applied to a city center, *J. Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, **15**, (1983), 123-132.
- [43] P. R. Sparks, Discussion on Session 19; Wind environment and shelter, *J. Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, **15**, (1983), 169-173.
- [44] 吉田正昭・真田早敏・藤井邦男・浅見豊・岩佐義輝・深尾康三・川口彰, 新宿副都心の風-市街地の特性(1), (2), 第5回構造物の耐風性に関するシンポジウム論文集, (1978).
- [45] 吉田正昭・丸川比佐夫, 市街地における風観測-その1 風速の累積頻度と地域の関係, 日本建築学会大会学術論文梗概集, (1983), 2387-2388.
- [46] A. F. E. Wise, Wind effects due to group of buildings, *Current Paper, BRS*, (1970).
- [47] 中村修・吉田正昭・横谷恵二・片桐純治, 市街地の風の性状-主に風速の累積頻度からの検討, 第9回風工学シンポジウム論文集, (1986), 73-78.