巻頭言

市街地の風通しはどのように計られるか

How the ventilation through and over urban blocks is measured and evaluated?

加藤 信介*

Shinsuke KATO

人々が健康で快適に暮らすための市街地の風環境とは、どのようなものであろうか。またそのような市街地の風環境を実現するためにはどのような手段があるのであろうか。このような素朴な問題に、直ちに答えることはなかなか難しい。

市街地の風環境の多くの部分は、人の力の及ばない自然現象である。これを人が制御するのはたやすいことではない。強風に対する建物など構造物の安全を考える場合に、風の強さを人がコントロールする可能性を考えることはない。強風の程度を確率的に予測し、安全が担保されるよう構造物を設計することがせいぜいである。この意味で強風に対し人は極めて受け身、passiveな対応を取る。構造物に被害をもたらすほどでなく、日常の暮らしに好ましくない影響を与える程度の強風であると、話が違ってくる。風の強さは防風林や防風フェンスなどによりある程度コントロールされる。高層建物の建設に伴ういわゆるビル風は、基本的には建物形状や防風フェンスなどにより、歩行者レベルの範囲で相応にコントロールされる。

さらに弱い風はどうであろう。市街地の風は、市街地底部で生成、排出される汚染質や排熱を輸送、希釈し、日常の暮らしに好ましくない影響を与えないようにすることが期待されている。屋外の気温が体温より低ければ、風は相応の人体冷却能力を持ち、太陽放射により受熱する人体や建物を効果的に冷却する。この市街地の底部で、日常の暮らしを守っている風とは、一体どの程度のものであろうか。汚染質や排熱から日

常の暮らしを守るのに有効な風を確保するには、どのような工夫が必要となるのであろうか。どのようなことをすると、そのような有用な風の恩恵を得ることができなくなるのであろうか。これらの疑問は、「市街地の弱風環境」として、風工学に関わる先達が継続的に検討を続けてきているが、強風被害に比べて被害や不利益が明確でないが故に軽く扱われ、弱風に対する対応は、社会的なコンセンサスの得られた答えがあまりないように思われる。

市街地で建物が密集すると、風通しが悪化し、風による汚染質や排熱の輸送や希釈の効率が悪化する。現在は、過度の密集を避けるため密集度を示す建物の建坪率や容積率などを一定限度以内に制限すること、また公園や道路などの空地面積をコントロールすることにより市街地の密集度をコントロールしている。この結果、市街地の風通しの悪化はある程度、防止されている。しかし市街地の密集度と風通しの程度の関係や、日常の暮らしに影響を与えるほどの風通しの悪さは一体どの程度のものであるかに関しては、定量的説明ができるほど明確ではない。

巻頭言のこの一文をお借りして、筆者は市街地の風通しの計り方とその最低標準の考え方を読者諸兄に披露し、そのご批評を仰ぎたいと考える。筆者の考え方の基本は以下に挙げる。

- ① 風通しは連続する空気の流れ方を評価するものである。従ってこれを点(ポイント)単位で評価することは難しい。ある程度の連続した領域で評価される。

* 東京大学生産技術研究所 教授
Professor, Institute of Industrial Science, the University of Tokyo

すなわち、任意の広がりを持つ領域内で、風通しは計測され、評価される。たとえば、風通しを良く示す風量を、ポイントで定義することは難しいが、領域で定義することは容易である。領域が定義されれば、領域を通過する風量も定義できる。ポイントで定義される風に関する物理量も、領域内の分布性状などが評価されて風通しを表す指標とされる。分布性状を表す最も簡単な指標は空間平均値である。

- ② 風は確率統計的な現象であるが故に、風通しは、春夏秋冬もしくは年間などのある程度の期間の統計値として評価される。
- ③ 一般に風通しを示す風の強さは風速で表される。しかし風速は風向を持つベクトル量である。風の強さを表すには、ベクトルよりスカラーである風の運動エネルギーを用いる方が便利である。
- ④ 風の強さを表す運動エネルギーは、汚染質や排熱の排出能力、すなわち輸送能力を直接には表さない。風通しは、汚染や排熱の排出の効率、風による輸送の効率を表す換気効率指標によって表される。

筆者は、このような前提から市街地の風通しは、建物外壁などによってその輪郭が形成される任意の領域内の運動エネルギーの空間平均値と汚染や排熱の排出効率を表す換気効率指標で計ることを提案している。具体的な換気効率指標としては、評価する領域内で一様にトレーサーを発生させた場合の領域内空間平均濃度とトレーサー発生量で定義される流量である PFR(Purging Flow Rate)を提案している。

これら、市街地内の定められた領域内の風の運動エネルギーの空間平均値や、汚染質や排熱をその領域から排出するのに有効となる流量 PFR は、上空風の統計データと風洞実験や C F D (Computational Fluid Dynamics)で解析される領域内の風性状から、期間の統計的性状を評価することが可能となる。すなわち、風通しを評価する特定の領域で、一定の風の運動エネルギーが生じる確率や、一定の流量 PFR が生じる確率を、たとえば、この領域は、夏季の暑熱時、風の運動エネルギーが $0.5\text{m}^2/\text{s}^2$ 以上になる累積頻度は 15%、1 週間の内 1 日程度、逆に $0.5\text{m}^2/\text{s}^2$ 以下となる時間は 6 日間もあるとか、この領域内の風量 PFR を空間の容積で除した換気回数が 60 回/h 以上になる累積頻度は 85%、逆に 1 週間の内 1 日程度は、評価する領域の換気回数が 60 回/h 以下になるといった評価が可能になる。

では、次に市街地の最低限の風環境としては、どの程度の風の運動エネルギー、風量 PFR もしくは換気回

数が必要となるのであろうか。この問題に答えることはかなり難しい。筆者としても自信を持って提案できる論拠を現状では持ち合わせていない。しかしそのたたき台の考え方をここで紹介しよう。規準には上空風の統計的性質によって変化する相対規準と全国あるいは世界で一律に適応可能となる絶対規準の 2 種類が考えられる。簡単な規準は相対規準であろう。建物も何もないオープンな領域を仮想的に考え、上空風の統計データから対応する運動エネルギーや風量 PFR もしくは換気回数の統計的な評価をこの障害物のない仮想的領域で行う。このオープンな領域での値に比較して、たとえば 1/10 の値を最適規準とする。これは市街地という人工の障害物により自然の風を利用できる可能性、利用の potential が制限されても、ワンオーダーすなわちその 1/10 程度は確保されるべきという主張である。オーダーに意味があるので 1/20 でも 1/5 でも 1/10 と同じである。自然の風を余裕を持って使っているのであれば、ワンオーダー以内の変化であれば、それでも意味のある利用が可能であろうと考える。これが 1/100 になってしまうともはないに等しいと考える。

絶対規準を考えるのは極めて難しい。市街地で発生する汚染質であれば人の健康に影響を及ぼす汚染質の濃度から最低限の換気風量を演繹することも可能と思われるが、ことの順番が異なるという批判に耐えられない。汚染質は汚染質であり、排出量のコントロールが先で、排出量を given として風量の規準を設けるのは気が引ける。以下に絶対規準を考える際の、現時点での一つの考え方を示す。これは科学的根拠も明確でなく、今後の検証も不可欠であることは無論である。市街地の風通しの最低規準を考える一つのたたき台として読者諸兄に紹介する。市街地の風通しはこれに接する建物の室内環境を担保するという考え方を出发点にしている。

- ① 室内で都市ガスなどの危険物質を誤って放出してしまったとか、様々な汚染質が放出されてしまった場合、窓（窓の大きさは建築基準法で一定の大きさが求められている）などの外部との開口を通じてこれを屋外に急いで排出することが必要となる。都市ガスであれば爆発の危険もあるので換気扇のスイッチを入れるわけにはいかない。窓を開けてたとえば 20 分で部屋の空気を入れ換えるのであれば、最低限の換気量として換気回数、6 回/h 程度が必要となる。（一般に換気回数 2 回程度で室内の空気は外気と入れ替わると考えられる）

② 建物に接する屋外の風通しは、この空気の入れ替わり担保するため、そのオーダー以上、すなわち 10 倍以上の換気回数が必要であろう。すなわち市街地の風通しとしての換気回数は 60 回/h 程度は欲しい。この 60 回/h の換気量が 1 週間の内 6 日間は確保される、すなわち 85% の累積頻度で確保できれば、ごく偶にしかない緊急時にも必要な換気が担保されるものと考えて良いのではなかろうか。

③ 室内で風を感じるには、実験的に風速 30cm/s 以上の風が必要である。運動エネルギーで評価すれば、 $0.05\text{m}^2/\text{s}^2$ 程度である。窓などの開口部を通じてこの運動エネルギーを室内で確保するのに、屋外にはそのオーダー以上、すなわち 10 倍の運動エネルギーを持った風が必要であろう。すなわち、市街地の風通しとして $0.5\text{m}^2/\text{s}^2$ 程度の風の強さが室内で自然の風を感じるのに必要と思われる。

④ 室内で自然の風を感じる必要があるのはそう度々あることではない。風を感じる頻度は一週間に一日程度すなわち 15% の累積頻度を確保できれば、建物の窓などの開口部を開けば風を感じることを忘れない、すなわち自然の風を感じることもできる生活を送ることができるのではないか。

上記の議論には科学的根拠が薄弱であることは否めないが、一つの目安として、市街地の風通しとして、運動エネルギー $0.5\text{m}^2/\text{s}^2$ が 15% 以上、PFR に基づく換気回数 60 回/h が 85% 以上の累積頻度を持つことが望ましいとすることが可能ではないかと考える。今後、上記仮説を検証する研究を行うとともに、読者諸兄のご批判を仰ぎたい。

参考資料

加藤、石田、ト、黄、「Void 空間の風環境評価に関する研究、その 1、その 2」、日本風工学会誌 第 32 巻第 2 号（通号第 111 号）平成 19 年 4 月