



筆

新鮮空気はどれほど必要か

檜 崎 正 也*

去年、建築学会で発表した研究が何故か半年後に「人いきれ解消法みつけた」という仰々しい見出しで新聞に載り、お陰でこの記事を書く破目に陥った。その編集委員会の帰路、応化の大先輩から「CO₂で上手く測れるのかね」と質問された。確かに人による空気汚染やその評価は複雑で、簡単に把握できる代物でない。以下に室空気汚染とその主観評価に関する研究が何故必要なのか、またそれに関する知見を述べ、ご質問に対する答としたい。

1. 換気の目的の変遷¹⁾

大勢の人が集まる室で、不快になったり、頭痛・吐き気など気分を損ねることがある。この原因について17世紀頃から種々論じられている。化学者ラボアジエ（仏、1777年）は「この不快感はCO₂の増加が原因である」と唱えた。この説はその後100年近く支持された。衛生学者ペッテンコーフェル（本誌 Vol. 36, No. 1 に戸倉先生が「続うたかたの記」で紹介された森鷗外の先生、独、1862年）は「この不快感は温・湿度やCO₂の増加、O₂の減少だけでなく、皮ふや肺から発生する微量な有機物（人間毒）に原因があり、これはCO₂濃度に比例する」と唱えた。この説もその後20年の間支持され、多くの研究者が、この人間毒の存在を解明するべく努めた。結局不快感の主原因は過度の暖かさによるもので、CO₂は通常の室で経験する濃度なら何ら不快感を助長しないことが明らかになった。このようにその時代を代表する人の意見を覆すには可成りの時間を要するようだ。

現在では人が在室すると、熱環境の悪化、CO₂の増加、O₂の減少、粉じん・微生物・体

臭の増加などの空気汚染が進行し、CO₂濃度はこの汚染の指標として意義があると考えている。一般にこの汚染をあるレベル以下に抑えるために換気をするが、この量をいくらにすればよいのか明白な解答は得られていない。

前述のペッテンコーフェルは「長時間在室する室のCO₂濃度は0.07%以下に、通常の室では0.1%以下に保つべきだ」と主張した。前者は約50m³/h・人、後者は30m³/h・人の必要換気量に対応している。換気量50m³/h・人は19世紀後半の衛生学者や生理学者に受容され、マサチューセッツ州条例やASHVE（米国暖房・換気学会）基準に採用された。その後、このように大きな換気は必要でないとし、ニューヨーク換気委員会（1930年）は教室では①再循環空気を用いても何ら健康上障害はない、②換気量は約17~25m³/h・人が適当であると提案し、外気量の軽減化を計った。この結果、臭気の問題がクローズ・アップされた。

レンベルグら（米、1935年）は「換気量8.5m³/h・人以下なら外来者・在室者ともに不快になる。これをなくすには約20~45m³/h・人が必要である」と唱えた。またヤグローら（米、1936年）は「体臭を不快に感じないための換気量は1人当りの気積5.7m³/人の室で約27m³/h・人、8.6m³/人の室で約20m³/h・人が必要で、気積によって換気量を変えるべきで、CO₂濃度は汚染の指標にならない」と唱えた。この説は臭気の減衰を考慮したものと思われるが、その原因について明確な説明はなされてない。しかし、この説はペッテンコーフェルのCO₂基準と同様に、その後、英国の換気規格など広く各国で受容された。日本でも現行のビル管理基準はCO₂濃度0.1%を採用している。

このように現在の空気質または必要換気量の基準は半世紀前の資料に準じており、宇宙衛星

*檜崎正也（Masaya NARASAKI）、大阪大学、工学部、建築工学科、教授、建築環境工学

が飛び交う時代に甚だ奇異にも感じるが、これが現実である。近年この種の検討は余り要望されなかったし、建物計画に際し従来の方式を無批判に踏襲して来た。しかしオイルショックという事態がこの換気に対する認識に一大転換をもたらすきっかけとなった。

2. 現在の換気目的

オイルショック以後、各国で省エネルギー政策が採られ、建物の断熱化が推進された。断熱性を強化すればするほど、建物の全熱損失のうち漏気も含む外気負荷の占める割合は大きくなり、換気量の軽減化、建物の気密化が一層要請された。このような状況下で、米国では必要換気量は $8.5\text{m}^3/\text{h}\cdot\text{人}$ (CO_2 濃度約 0.25% に対応) という省エネ基準を打ち出した²⁾。この結果、所謂、省エネビルで在室者に頭痛・嘔吐、目・鼻への刺激症状を訴える人々が出て、新聞紙上を賑わした。これは換気不足で、建材・複写機などから発散した汚染物質が高濃度になったためと言われている。

この事故は体臭が直接人体に害作用を及ぼしたとは考えられないが、換気不足による空気汚染は複合汚染であり、これの人体影響を評価することは極めてむづかしい。外気や作業場における空気汚染の人体影響は今まで比較的よく研究されているが、住宅のように子供・老人・病人がそこで生活の大部分を費やす一般生活環境における調査・研究はすくなく、室空気質をどのように維持すればよいのか、また換気をどの程度すればよいのかなど明確な解答はまだない。

従来、換気は熱・水蒸気、臭気を含む汚染物質を除去し、良好な環境を保つ有効な手段であったが、現在、熱・水蒸気は冷・暖房によって、ある程度処理できる。従って換気目的も変化している。本来、空気質が健康上障害にならないければ、その浄化の手段は換気でなくても良いはずである。近年日本でも省エネの考えに基づき、 CO_2 は無毒であるから、その基準は 0.2% とか 0.3% でもよいと主張する人もいる。しかし CO_2 が直接健康上障害がなくても、空気汚染の指標であることを考えると、単純にその毒性のみで基準値を云々することは危険であり、外気（新鮮空気）は人間にとって必要不可

欠のものである。アポロ宇宙計画で、最初 O_2 が充分あればよいと考え、 O_2 ボンベを持参したが、現在では自然大気そのものが必要だとして、その圧縮空気を持参している。また室空気の健康上の影響度からだけでなく、障害は認められなくても、不快性あるいはより良い環境保持の面から換気を定めても良いように思う。そこで我々は従来通り体臭を感じない程度の換気は最低限必要と考える。換気せずに脱臭した場合でも、脱臭しない場合と同じ換気は必要と考える。現代の科学技術にすべてを委ねるのは不安であり、自然力により浄化され、長い年月、人類が慣れ親んだ自然大気は我々に必要である。

3. 体臭の主観評価

前記の主旨により、人が主な汚染源である室の CO_2 濃度と入室者であるパネルの臭気評価の関係をヤグローと同じ手法で調べた。実験は椅坐作業をしている男子大学生のいる室にパネルが入室した直後の臭気の強度と不快度を申告させ、その時の CO_2 濃度との対応をとった。

臭気を定量化するために、体臭の構成成分の各濃度を測定すればよいが、生憎く我々はこれらのごく微量な濃度を測定する技術を持ち合わせてない。これに代るものとして、臭気申告値と対照して得られる体臭に似た芳香性物質（ピリジンや酢酸アルミ）の濃度より定量化する方法もある。一昨年ファンガー博士（デンマーク）を訪れ、この酢酸アルミを嗅いだが、外国人と日本人の違いかもしれないが、それは体臭というよりは薬品臭の感が強く、体臭の再現性はむづかしいと思った。我々はもっとも簡単に直接的な官能試験法による臭気申告値と CO_2 濃度の対応から定量化を試みた。

臭気強度の判定には、公害など悪臭テストに利用されている三点比較式臭袋法があるが、日常慣れている臭気を微妙に区別することは難しく、結局、パネルが無臭室から実験室に入った直後の嗅覚による評価を採った。このテスト法はヤグローと同じ方法で進歩していない。

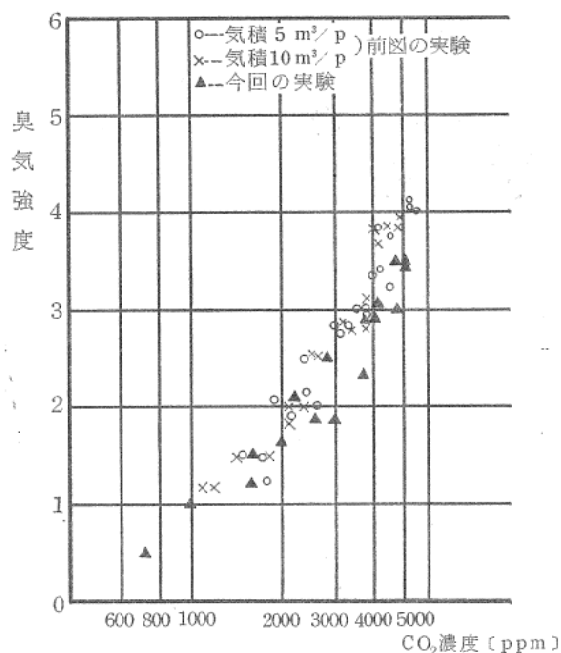
実験の信頼性を高めるために条件設定の統一化に注意した。パネルが嗅覚機能テストにより異常のないことを確かめたり、実験前に臭気評

価に慣れる訓練をした。また、在室者・パネルともに前日の入浴、着替え、食事・喫煙・化粧品使用などの規制を行った。さらに実験室は建材・物品などから臭気発生のないように周壁をアルミ箔で覆い、事前に活性炭で脱臭した。余談だが嗅覚テストの際、糞に似た臭いのする薬品、スカトールをこぼし、この臭気が建物中に充満した。この原因を知らない他の研究室では、同室者同志で相手がその発生源であると思ひ込み、不愉快になったり、ある人はトイレ使用后、自室でも廊下でもいやな臭いが鼻につき、てっきり自分が失態したものと思ひ込み、うろたえるなどのパニックが発生した。この臭いが消えるまで数日間実験は中止した。このようにして実験は進められ、その結果主に下記のことになった。

1) 図に椅坐作業の CO_2 濃度と臭気強度申告値を示す。図中の○印と×印は2年前のもので、▲印は今回のもので、前回とは実験室とパネル構成員の一部が違った。前述の先生の疑問も臭気の主観評価の信頼性にあったと思うが、このようなテストにしては比較的ばらつきも少なく、 CO_2 濃度と臭気強度はよく対応しており信頼できるものと思う。

2) 我々の仲間同志でも、ヤグローの気積別必要換気量の提案に対し、何故こうなのか、臭気の吸着作用のためとか、換気量測定に疑問があるなど色々と議論していたが、決定的な意見はなく、結局、ヤグローのものがそのまま長年の間、必要換気量を定める資料として採用されていた。今回の実験は何ら斬新な実験ではないが、図の如く、気積に無関係に CO_2 濃度と臭気強度が一对一の対応を持つことを実証しており、大げさに言えば、半世紀間も支持されていたヤグロー説を覆えすものであると自画自賛している。

3) ベッテンコーフェルが提案した CO_2 0.1%基準は明白な根拠のないままに長年支持されてきた。今回、在室者が椅坐作業の条件で、入室前、安静にした場合と運動を負荷し、発汗した場合の CO_2 濃度とパネルの臭気申告値との対応を求めたが、 CO_2 濃度0.1%程度の汚染では、ほとんどの入室者が不快感を持たないの



で、基準値としては可成り安全側であり、省エネの観点から、もうすこし緩和できる可能性があるように思える。

4. おわりに

在室者が主な汚染源である室の必要換気量または空気質基準は半世紀前の資料に基づいていたが、最近省エネルギー化を契機に、これらの見直しが行われている。この空気汚染の人体影響はごく微弱であり、種々の人、種々の曝露状態があるため、在室者のうち何割の人が不快に感じなければよいかなど、統計的処理を要する。また単なる数学的処理だけでなく、そこには人の意識や考え方が介入してくる。これらは不安定なもので、時代を反映する要素もあるため、この基準作りは慎重に、また絶えず検討すべきものであろう。

引用文献

- 1) A. K. Klaussら「History of the Changing Concepts in Ventilation Requirements」ASHRAE Journal. June, 1970. 石原正雄「環境調整の技術史(2)換気の技術(3)」建築学会近畿支部研究報告集(計画系)昭和56年6月, P.157. C. P. Yaglouら「Ventilation Requirements」ASH&VE Trans, Vol.42, 1936, P.133
- 2) ASHRAE Standard. 62-1981, 「Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality」