

室内汚染質としての体臭評価

Evaluation of Human Body Odor as Indoor Contaminant

大阪大学大学院工学研究科地球総合工学科

Division of Global Architecture, Graduate School of Engineering, Osaka University

山中 俊夫

Toshio Yamanaka

キーワード：体臭 (Human body odor)、二酸化炭素濃度 (Concentration of carbon dioxide)、嗅覚順応 (Olfactory adaptation)、嗅覚順応 (Olfactory adaptation)、知的生産性 (Workplace productivity)

1. はじめに

本稿では、室内における代表的汚染物質である人の体臭を取り上げ、体臭の正体や評価方法、二酸化炭素濃度との関係、順応特性、発生量、体臭・二酸化炭素濃度の知的生産性への影響などについて、最新の研究データを紹介するとともに、換気の指標としての二酸化炭素濃度の意義と問題点について考える。

構成としては、2章において、体臭に関する概論を述べ、3章において、研究例を紹介することとする。

2. 体臭についての概説

2.1 人間から発生する汚染物質の位置づけ

図-1 は Fanger¹⁾による 1800 年から 200 年間の換気哲学の変化を示した図である。

	パラダイム	汚染源
2000	快適性+(健康)	人間+建物
1935		人間
1900	伝染病	
1800	毒	

図-1 換気哲学の変遷¹⁾

19 世紀の頃、人は毒を吐いていると信じられていたが、その後は結核をはじめとする伝染病の病原菌の発生源であり、1935 年の Lehmborg²⁾ら、1936 年の Yaglou³⁾らの論文により、体臭を基にした必要換気量の考え方が世の中に広まることとなる。それ以降 50 年ほどの間、人間の体臭が最も主要な汚染質と考えられたが、1980 年代の換気量削減を契機として発生したシックビルディング症候群 (Sick Building Syndrome: SBS) により人間だけではなく、建物自体が空気汚染質の重要な発生源であることが認知され、換気のパラダイムシフトが起こることとなる。

室内空気汚染に取って重要な汚染質である体臭の正体は何であろうか。人間の体臭は主として皮膚から発生する臭気と口から呼吸によって発生する臭気に分類することができる。一方、実際の室内では、着衣や皮膚や頭髮に付着する化粧品や洗剤の香料なども含まれることとなる。香料などの成分を除外し、体臭 (Body Odor) より定義を明確にした生体発散物質 (bioeffluents) を対象として、Tsushima⁴⁾らは、皮膚

由来のものと呼気由来のものに分け、その成分分析や臭気強度や受容度などの主観評価を行い、人間が知覚できる知覚空気質 (Perceived Air Quality : PAQ) に対する影響としては、呼気由来の臭気はごく僅かであり、皮膚由来の臭気が支配的であることを示した。

1936年に、Yalouら²⁾は成人と子供とを対象に、入浴と下着の着替えの頻度によって、体臭の発生量が大きく異なることを実験で示したが、これも皮膚由来の体臭の増加と言える。

2.2 体臭の成分と特性

1) 体臭の成分

体臭の成分については、数多くの分析例があるが、着衣も含めた分析結果からは、Octanal、Nonanal、Decanal、Acetaldehyde、Hexanal、2E1H、Formaldehyde、Acetaldehyde、Acetoneなどが臭気に関係するものではないかと報告されており、人体のみならず、着衣や香料などの影響も内包されている。

2) 二酸化炭素との相関

歴史的に、人間の体臭は二酸化炭素濃度を用いて評価されてきた。何故ならば、体臭は多くの化合物から構成されることから、成分を用いた表記は現実的ではなく、人間は呼吸により常に二酸化炭素を放出しており、外気濃度を基準とした二酸化炭素の増加量分は体臭濃度に比例すると考えられるからである。

図-2の通り、檜崎ら⁴⁾は、在室者から発生するCO₂濃度と外来者入室時の臭気強度との関係を得ている。1980年代の測定に基づくものであるため、現在よりも外気の二酸化炭素濃度は低いと考えられるが、在室者一人当たりの室容積(気積)によらず、体臭強度がCO₂濃度の対数と線形関係にあることがわかる。一般環境におけるCO₂濃度基準は、建築物衛生法(3000m²以上の特定建築物)、建築基準法(中央式空調)いずれも1,000ppmを採用しているが、これは、外来者による知覚臭気が「微弱」に相当する濃度であることがわかる。

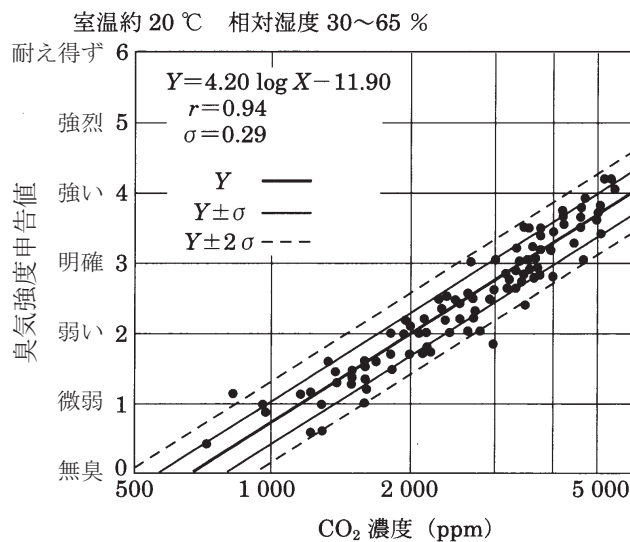


図-2 CO₂濃度と体臭の臭気強度との関係⁴⁾

2) 順応特性

人は体臭に対しては順応することが知られている。例えば、ASHAREの換気基準(ANSI/ASHRAE Standard 62.1-2019)では、在室者一人当たりの換気量は事務室で2.5 L/min、学校教室で5 L/minが用いられる。この値は日本の実務的設計値8.3 L/min(30m³/h)に比較すると少ないが、人は体臭に対しては順応すると説明されている。一人当たりの換気量が2.5L/hの場合、CO₂濃度は概ね2600ppmとなるが、この場合も体臭強度は「弱い」程度となることがわかる。ただし、実際には建材を対象とした床面積当たりの換気量があるので、CO₂濃度はそこまで上昇はしない。

図-3 は、着衣や香料制限を行い、体臭の発生量を最低限（ミニマム）にした場合と、通常の状態の場合での、室内 CO₂ 濃度と在室者・外来者それぞれの体臭の臭気強度との関係を示したものである。在室者は外来者と異なり、一定以上臭気強度が上昇せず、順応の効果が明確に読み取れる。

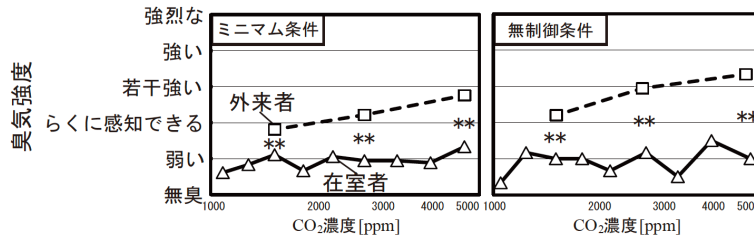


図-3 CO₂ 濃度と体臭の臭気強度との関係⁵⁾

歴史的に、人間の体臭は二酸化炭素濃度を用いて評価されてきた。何故ならば、体臭は多くの化合物から構成されることから、成分を用いた表記は現実的ではなく、人間は呼吸により常に二酸化炭素を放出しており、外気濃度を基準とした二酸化炭素の増加量分は体臭濃度に比例すると考えられるからである。

3) 知覚空気質の発生単位

体臭は歴史的に長く室内空気汚染の原因であることから、知覚空気質の発生源の単位として用いられる。標準的な成人 1 人当たりの生体発散物質発生量を 1 olf、1 olf の発生量を 10 L/min の新鮮外気で希釈したときの濃度を 1 decipol と定義し、すべての知覚できる空気汚染質を統一した単位で表現する手法が、1988 年 Fanger によって提案された。今その考え方は ISO 17772-1:2017 などの世界の新しい換気基準のベースとなっている。

4) 体臭の発生部位

ところで、人の体臭は大きく、皮膚から発生する臭気と口から呼吸によって発生する臭気に分類することができる。また、実際の室内では、着衣や皮膚、頭髮に付着する化粧品や洗剤の香料なども含まれることとなる。香料などの成分を除外した体臭（生体発散物質；bioeffluents）を対象として Tsushima ら⁶⁾は、皮膚由来のものと呼吸由来のものに分け、成分分析や主観評価を行い、人間が知覚できる知覚空気質（Perceived Air Quality：PAQ）に対する影響としては、呼吸由来の臭気はごく僅かであり、皮膚由来の臭気が支配的であることを示した。

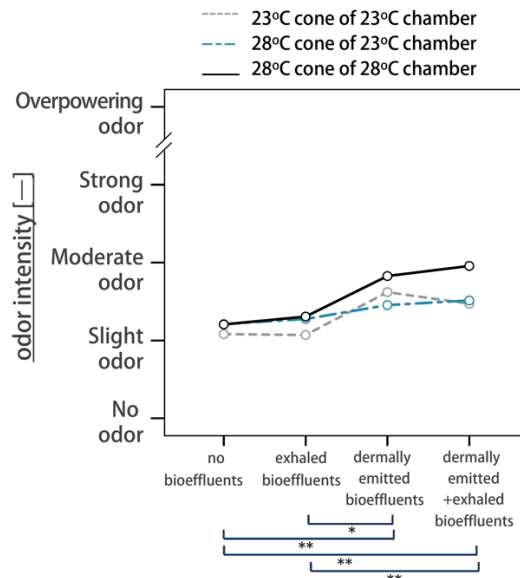


図-4 呼吸と皮膚発生の条件ごとの臭気強度⁶⁾

図-4は、呼気による室内CO₂濃度が2000ppmとなり、VOC濃度に影響を与えるオゾン濃度がほぼ0の条件において、各条件における臭気濃度を示したものである。横軸は、体臭なし (no bioeffluent)、呼気経由の体臭のみ (exhaled bioeffluents)、皮膚発生の体臭のみ (dermally emitted bioeffluents)、呼気経由及び皮膚発生の体臭の両方 (dermally emitted + exhaled bioeffluents) の4条件を示す。呼気経由の体臭は、臭気強度に殆ど寄与していないことがわかる。

5) 体臭・二酸化炭素濃度の知的生産性への影響

人体の体臭と呼気由来の二酸化炭素が在室者の知的生産性に影響を及ぼすか否かについては、様々な研究者が研究をしているところであるが、まだまだ明確な結論は得られていないように思われる。図-5はFanger⁷⁾が2006年に発表した論文で紹介したものであるが、コールセンターでの作業成績が一人当たりの換気量が多いほど上昇するという結果が示されている。

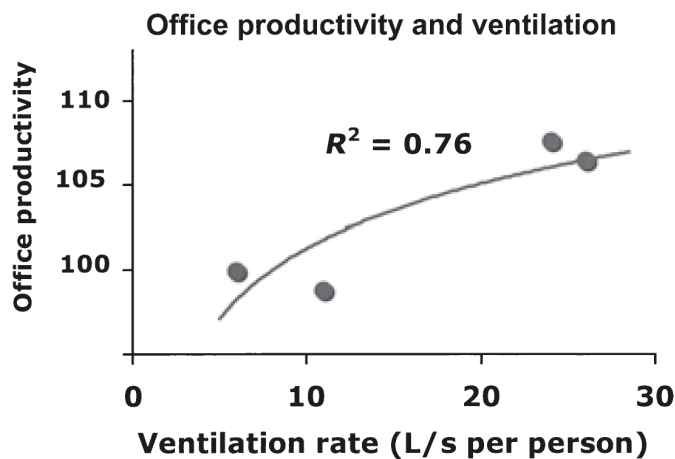


図-5 コールセンターにおける換気量とワーカーの知的生産性との関係⁷⁾

他にも、同様の結果は多くあり、例えば REHVA GUIDEBOOK でも、換気量とパフォーマンスとの関係が図-6の様の通り示されている。同図では、換気量が一人当たり 6.5L/h (23.4m³/h) の場合のパフォーマンスを 1 とした相対値で縦軸が示されている。換気量の増大によって、体臭、二酸化炭素、他の汚染質の濃度が減少するわけであり、体臭、或いは二酸化炭素単体の影響とは言えないことに注意が必要であると言える。

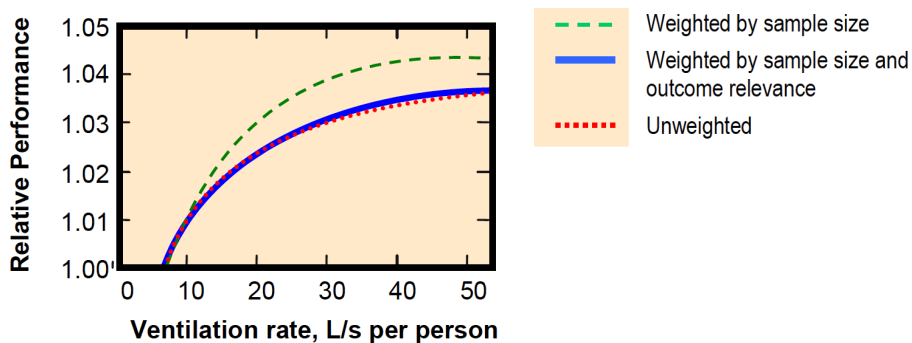


図-6 一人当たりの換気量とワーカーの相対パフォーマンスとの関係⁸⁾

興味深いのが、人体から発生する CO₂(M)とガスボンベから供給する CO₂(P)を区別して取り扱い、人体から発生する CO₂だけで CO₂濃度を上昇させた場合 (M-exposure) と人体から発生する CO₂濃度は変えずに、ボンベから Pure な CO₂ガスを供給した場合 (P-exposure) での、頭痛の強さ及び明瞭に考えることの困難さを比較した結果が、Zhang ら⁹⁾によって示された図-7である。

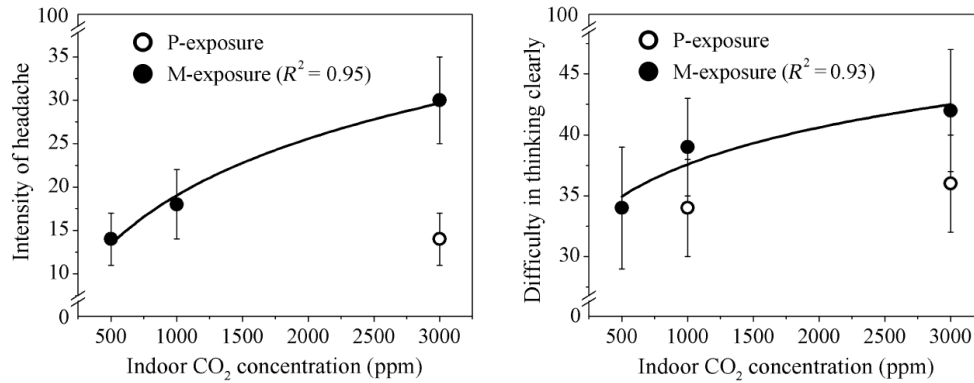


図-7 二酸化炭素濃度と頭痛の強さ及び明瞭に考えることの困難さとの関係⁹⁾

図-7からは、換気部作によって生じる頭痛や明瞭に考えることの困難さは、二酸化炭素のせいではなく、人体から発生する物質、つまり体臭（bioeffluentのみならず着衣や化粧品からの化学物質も含む）によるものであることが示唆されていることである。

ところで、下田¹⁰⁾によれば、国際宇宙ステーション内空気のCO₂の最大値は7,000ppm (5.3mmHg)であり、通常は5,300ppm (4.0mmHg)で運用されている。宇宙船内では宇宙飛行士は完全に順応している状態を続けることから、体臭に気付くことはないと思われるが、慢性的な頭痛が生じている可能性が懸念される。

3. 在室者の体臭制御の有無が室内臭気評価に及ぼす影響ⁱⁱⁱ⁾

3.1 研究の背景と目的

日本の建物の室内環境はCO₂濃度を1000ppm以下に保つことで維持されている。呼気由来のCO₂は体臭強度の指標とされ、日本建築学会の環境基準では、CO₂濃度基準は外来者が入室した際に不快に感じない程度の換気量を要求するものである¹¹⁾。しかし、CO₂と体臭の発生量の比は、入浴後の経過時間、着衣の汚れの程度、化粧品などの香料の種類、発汗状態、化粧品などの香料の種類、発汗状態、年齢など多くの要因に依存しており、いかなる状態でもCO₂濃度1,000ppmが同じ体臭強度となるわけではないと考えられる。

そこで、嗅ぎ窓式無臭室法で在室者の体臭を制御した「ミニマム条件」、衣服や入浴に制限を設けない「無制御条件」、夏季想定空間で運動させた「発汗条件」、在室者が35歳以上の日本人である「35歳以上条件」、外国籍を有する「外国人条件」の5条件で実験を行い、体臭制御による評価の違い、在室者・外来者の評価の相違に関する考察を行った結果を紹介する。

3.2 在室者を汚染源とした室の知覚空気質評価

1) 実験概要

実験は2016年10月13日～1月14日に実施した。T&Tオルファクトメータ試験で正常な嗅覚を有すると認められた18～25歳の本学学生16名（男子8名女子8名、非喫煙者）を各日6名ずつ外来者パネルとし、在室者としては様々な条件での被験者を採用し、その条件による差異を明らかにすることを試みた。体臭発生源となる在室被験者としては、「ミニマム条件」、「無制御条件」、「発汗条件」については、22～25歳の本学学生6名（男子3名女子3名、非喫煙者）を、「外国人条件」については、22～27歳の本学外国人学生6名（国籍：ミャンマー(2)、マレーシア、インドネシア、インド、ロシア）を、「35歳以上条件」では39～65歳の日本一般人6名(男性5名、女性1名)採用し、それぞれ正当な報酬を支払った。

実験の再現性を確認するため、「ミニマム条件」では実験を3回実施し、その他の条件では1回ずつ実施した。「ミニマム条件」では、在室者に実験の前日からおの強い食事をとらない、支給したシャンプー・コンディショナー・ボディウォッシュを用いて入浴する、実験当日に化粧品や整髪料を使用しない等の制

限を設けた。また、実験時には麻が主材の衣服を着用させた。「無制御条件」「35歳以上条件」「外国人条件」では普段通りの格好で実験に参加させ、「発汗条件」では「ミニマム条件」の制御に加え臭気作成室入室前に夏季を想定した 35℃ 70%の空間に 10 分間滞在させ、そのうち 5 分間踏み台昇降運動させた。

場所は図-8 に示す本学学内の隣接する 2 つの実験室を使用した。一方の実験室内にある容積 7.65 m³ のチャンバーに在室者 6 名を入室させた。臭気作成室に体臭発生源として在室者 6 名を入室させた。体臭の臭気レベルを表す指標としては CO₂ 濃度を用いた。チャンバーには CO₂ 濃度が均一となるように 2 台のサーキュレーターを配置している。温湿度及び CO₂ 濃度は、小型温湿度計 (T&D 社製 RTR-53A)、小型 CO₂ 濃度計 (VAISALA 社製 GM70, T&D 社製 TR-76Ui) を用いて連続測定を行った。

CO₂ 濃度上昇の過程で、チャンバー内空気について在室者に評価させた。外来者には 1 人ずつ臭気作成室のある隣室に移動させて、臭気作成室内の検臭を行わせた後に評価させた。実験中は控室内の CO₂ 濃度が上昇しないように、常時窓を開放して換気を行った。評価は図-9 に示す評価項目に記入させた。なお受容度については 5 分程度の短時間と 8 時間程度の長時間の 2 通りの滞在を想定して評価させた。

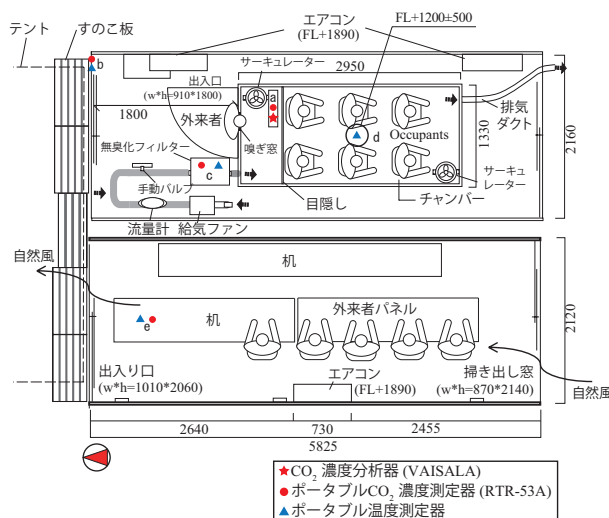


図-8 実験室平面図 [mm]

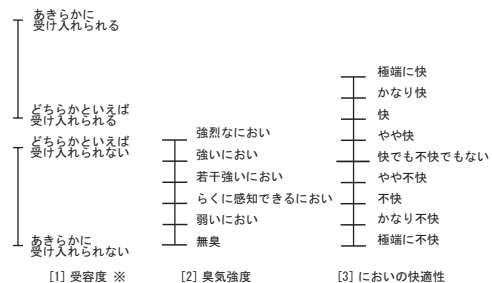


図-9 評価尺度

2) 実験手順

①臭気の作成

在室者入室後、図-8 の測定点 a での CO₂ 濃度が所定濃度に達すると換気ファンを動作させ手動バルブの調整によってチャンバー内の CO₂ 濃度を定常化させた。

②インストラクション

外来者には嗅ぎ窓からチャンバー内に顔を入れ自然な呼吸を 2 回する等、検臭方法に関して指示を与えた。また、検臭する臭気が健康な男女数名が滞在する室の空気のおいであることを告知した。これは実験の途中で人のおいだと気づかれることにより、評価に影響が出るのを防ぐためである。在室者・外来者ともに評価の仕方・タイミング等に関する指示も行った。タイムスケジュールイメージを図-10 に示す。

③CO₂ 濃度上昇過程における在室者による空気質評価

在室者には CO₂ 濃度上昇の過程で 1,080、1,270、1,800、2,170、3,260、4,030 ppm 時のチャンバー内空気質について評価させた。

④CO₂ 濃度定常状態での空気質評価

換気ファンを動作させ、1,500、2,650、5,000 ppm の設定濃度で CO₂ 濃度を定常化したチャンバー内の空気質について在室者・外来者に評価させた。外来者には、外来者側コンテナから在室者側コンテナへの移動途中に外気で数回深呼吸させた。その後、図-11 に示すように嗅ぎ窓からチャンバー内に顔を十分に入れて検臭を行わせた後、すぐに評価させた。また外来者には各濃度で 10 月 13 日は 1 人につき 1 回ずつ (のべ 6 回)、10 月 13 日以外の実験日は 1 人につき 3 回ずつ (のべ 18 回) 評価させた。

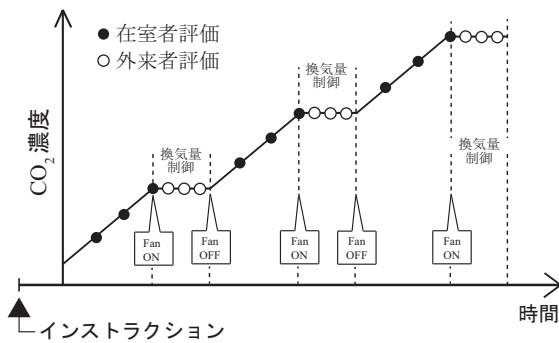


図-10 実験のタイムスケジュール

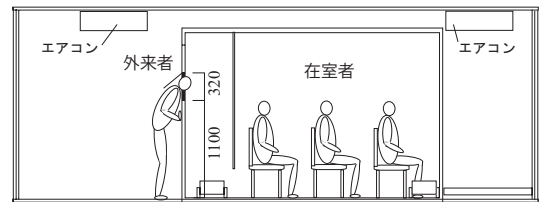


図-11 外来者による検臭方法

⑤外来者による空気質についての自由記述

外来者には検臭後、控室に戻りチャンバー内の空気質について自由に記述させた。

3.3 結果と考察

1) CO₂ 濃度制御

図-8 の測定点 a における CO₂ 濃度の経時変化例として、2016 年 10 月 13 日の実験時の CO₂ 濃度測定結果を図-12 に示す。在室者が入室を完了し、ファンを停止した時点から CO₂ 濃度は上昇していき、ファンを操作することで所定濃度を維持できており、意図した濃度調整ができていることがわかる。なお、また各実験日における給気の CO₂ 濃度は、ミニマム条件で 432, 434, 518 ppm、無制御条件で 527 ppm、発汗条件 489 ppm、35 歳以上条件 473 ppm、外国人条件で 441 ppm であった。

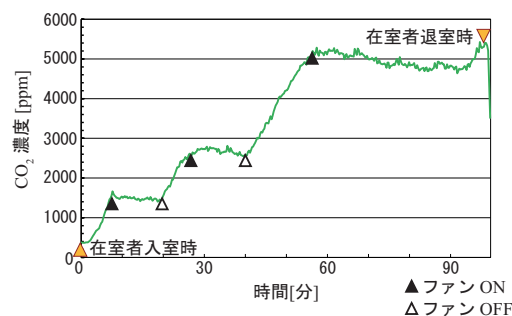


図-12 CO₂ 濃度経時変化例

2) 臭気強度

臭気強度結果を図-13 に示す。在室者と外来者の評価について t 検定を行った。ただし、ミニマム条件に関しては、在室者評価は 6 名 3 日間の 18 データを、外来者評価は 6 名 1 回 (1 日目) の 6 データと 6 名 3 回 2 日間 (2, 3 日目) の 36 データをあわせた 42 データをそれぞれ 18 名 1 回、42 名 1 回のデータとして算出した。他の条件に関しては、各濃度条件に対して、在室者 6 名 1 回ずつの 6 データ、外来者は 6 名 × 3 回を 18 名 × 1 回と見なして、検定をかけているので、正しい検定ではなく、あくまで参考値である。

図-13 から、在室者外来者間で「らくに感知できる」近辺を境に差が見られ、在室者に嗅覚順応の影響が見られた。在室者は「発汗条件」で初期臭気強度を高め評価し、汗のにおいに関しては強めに知覚した。外来者は「ミニマム条件」で若干低く評価しており、化粧品や衣服、汗のにおいが付加されると臭気強度をやや強く知覚することが分かった。多国籍の在室者の間では他人の国籍の人のにおいになじみがないためか、他の条件に比べて「外国人条件」では在室者も CO₂ 濃度の上昇に伴い若干上昇する傾向が見られた。

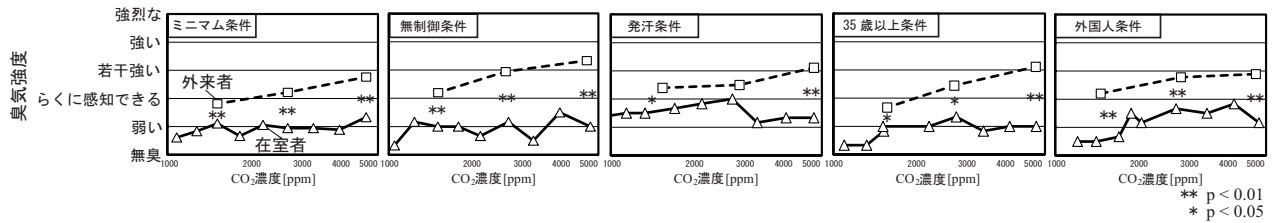


図-13 CO₂濃度と臭気強度との関係

3) 快・不快度

CO₂濃度と各実験日の快・不快度との関係を図-14に示す。臭気強度と同様、快・不快度もt検定(参考値)を行っている。全条件を通して、在室者、外来者ともに「快でも不快でもない」近辺に評価した。有意差のある濃度もあるが、図-13の臭気強度ほど在室者と外来者の評価に差は見られなかった。外来者による評価を見ると、CO₂濃度の上昇に伴い若干不快側に移行する傾向が見られたが、在室者の評価は実験を通してほぼ横ばいであった。

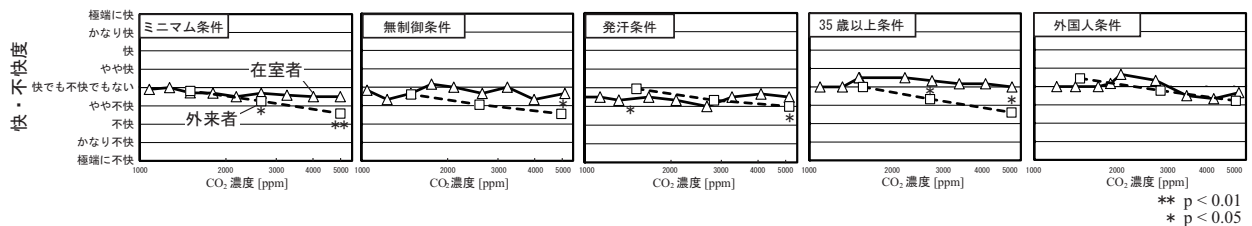


図-14 CO₂濃度と快・不快度との関係

4) 受容度

CO₂濃度と各条件での受容度(短時間)との関係を図-15に、受容度(長時間)との関係を図-16に示す。臭気強度、快・不快度と同様のt検定(参考値)を受容度に対しても行っている。多くの条件で外来者は在室者よりも受け入れられない側に評価し、特に「無制御条件」では外来者在室者間の差が顕著であった。在室者評価は「発汗条件」では多少受け入れられる程度が弱く、臭気強度との対応が見られた。5分間(短時間)と8時間(長時間)の滞在を想定させた受容度を比較すると、在室者評価はそれほど差がないのに対して、外来者は長時間の受容度でやや受け入れられない評価となった。「外国人条件」では臭気強度の傾向を反映してか、在室者の受容度が低く、外来者とほぼ同程度の受容度を示している。

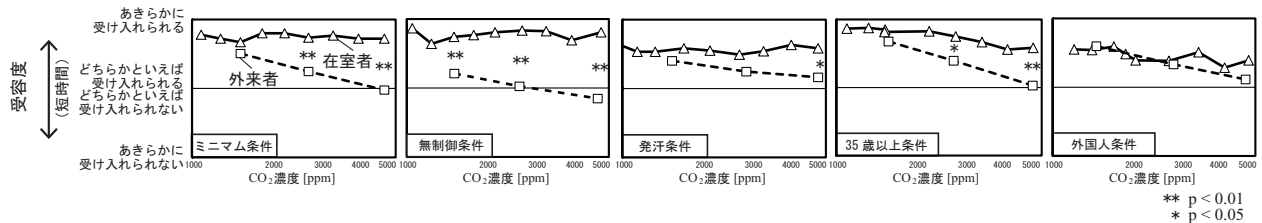


図-15 CO₂濃度と受容度(短時間)との関係

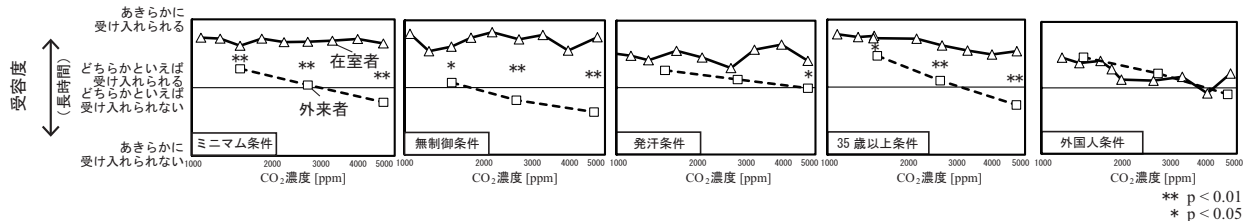


図-16 CO₂濃度と受容度(長時間)との関係

3.4 非容認率の算出のための統計モデル

今回の実験では、受容度は受容側と非受容側の二つの連続スケールに分かれているため、そのどちら側に申告をしているかで、非容認率を求めることができる。しかし、日本建築学会基準¹¹⁾では、容認・非容

認の二択の場合には、信頼性を得るには 60 人のパネルが必要と記されている。今回の実験では、連続尺度としてのデータを有していることから、そのデータを用いた非容認率の推定方法について検討を行った。

ポイントとしては、受容度の評価においても、正規分布を仮定することと、6 人×3 回の様に、同じ被験者が複数回評価を行う場合の平均値の分散を理論的に求めた上で、真の非容認率の信頼区間を推定することにある。ここでまず、評価値を個人間誤差分布と個人内誤差分布に分けて捉え、同条件同濃度でのデータを各パネルごとに 1 つずつ抜き出した場合の確率密度分布には、個人間誤差と個人内誤差が含まれている。図中の σ_s はサンプルデータの、 σ は個人の平均値の、 σ_p は個人内の確率密度分布の標準偏差を示す。いずれも正規分布を仮定すると、(1)式が得られる。

$$\sigma_s^2 = \sigma^2 + \sigma_p^2 \quad \dots \dots (1)$$

また、n 人の被験者に対して、m 回の繰り返し評価を行った場合、その平均値の分散 σ_{mma}^2 は次式で得られる。

$$\sigma_{mma}^2 = \frac{n(m \cdot \sigma)^2 + n \cdot m \cdot \sigma_p^2}{(n \cdot m)^2} \quad \dots \dots (2)$$

今回の実験では、外来者パネルの評価において、同条件、同パネルで 3 回の評価を行っていることから、不偏分散である σ_s と σ_p を求めることができ、(1)式に代入することで、 σ_{mma}^2 を求めることができる。さらに、(2)式を用いることで、6 人×3 回の平均値の分散を求めることができる。(添え字の a は平均値を意味する。) ここで、個人内のばらつきの影響を除外し、個人間のばらつきによる平均値の変動を考慮することで、図-17 に示す受容度の確率密度分布において、受け入れられない側に評価した割合 (図中の面積) が推定される「真の非容認率」と考えることができる。通常の方法と異なり、この方法では非容認率においても $\pm 1.96\sigma$ より、95%信頼区間を算出することができる大きなメリットがある。

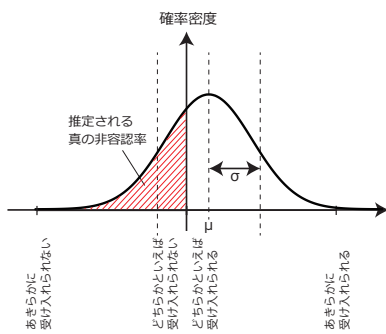


図-17 真の非容認率の推定方法

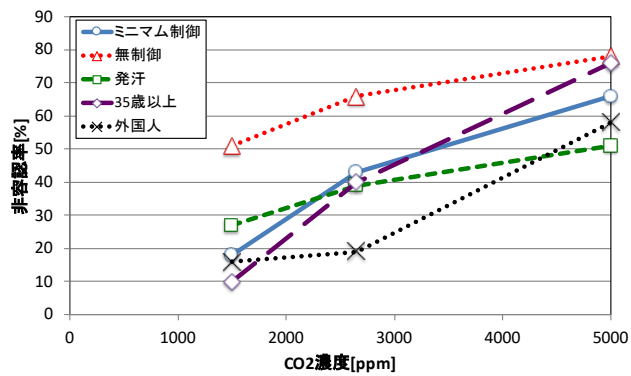


図-18 CO₂ 濃度と真の非容認率 (短時間) との関係

ここで、今回のミニマム条件を対象として算出した受容度 (短時間) について、CO₂ 濃度との相関を図-18 に示す。

図-18 より、いずれの条件においても、CO₂ 濃度と非容認率の間には、相関関係があり、CO₂ 濃度が高いほど、非容認率が高くなること、また、無制御の場合に最も非容認率が高く、特に低い CO₂ 濃度において、他の条件との差異が見られることがわかった。臭気規準ともなっている 20%前後の非容認率においては、在室者の属性や着衣、化粧品使用の状況によって非容認率の差異が大きいとも言え、体臭と CO₂ 濃度との関係は一定のばらつきを持つものと理解することが重要と言える。

3.5 まとめ

本章では、嗅ぎ窓式無臭室法により行った在室者を汚染源とした空気汚染質についての曝露実験について紹介し、在室者の体臭制御の有無、年齢、国籍などが及ぼす影響について検討した。また、少人数の実験

から、受容度の分散より、同じパネルが複数回の評価を行う場合の非容認率の理論的な推定方法を提案し、ミナム条件での非容認率の推定を行った。なお、本研究は大阪大学工学研究科倫理委員会の承諾を得て実施している。

4. おわりに

外気の二酸化炭素濃度が年々増加しつつある現在、カーボンニュートラル社会への転換が求められ、必要換気量に関する考え方も再考が進んでいる。空気調和・衛生工学会の SHASE-S 102-2022 換気規準・同解説”では、換気設計のための室内 CO₂ 濃度基準値を 1,000ppm から外気濃度+700ppm へと変更している。pure な二酸化炭素の人体影響については、今後ますますの研究が必須であり、外気濃度+700ppm だけではなく、知的生産性の観点からの基準値の設定も必要となるものと考えられる。

註

本稿の一部は、以下の既発表書籍・解説等を抜粋・再構成したものである。

- i) 室内環境学会編：「2-1 ヒト」、室内環境の事典，朝倉書店，(2023)
- ii) 山中俊夫・崔 ナレ：においと香りの心理学，一嗅覚順応と体臭の特性および香りの効用一，空気調和・衛生工学，第 97 巻，第 5 号，31-38，(2023)
- iii) 山中俊夫，竹村明久，甲谷寿史，桃井良尚，相良和伸，吉本梨紗：在室者による空気汚染質の評価手法に関する研究（その 7）在室者の体臭制御の有無が室内臭気評価に及ぼす影響，日本建築学会 2017 年度大会学術講演梗概集，環境工学，669-670，(2017)

参考文献

- 1) Fanger, P.O. : THE PHILOSOPHY BEHIND VENTILATION: PAST, PRESENT AND FUTURE, Proceeding of INDOOR AIR '96, Vol.4, pp.3-12,(1996)
- 2) Yaglou, C.P. et al. : VENTILATION REQUIREMENTS, ASHVE Transactions, Vol.42, pp.133-162,(1936)
- 3) Tsushima S., et al.: Sensory evaluation and chemical analysis of exhaled and dermally emitted bioeffluents, Indoor Air, Vol.28, No.1, pp.146-163,(2018).
- 4) 日本建築学会：室内空気質環境設計法，技報堂出版，p.110，(2005) .
- 5) 山中俊夫ら：在室者による空気汚染質の評価手法に関する研究(その 7)，日本建築学会 2017 年度大会学術講演梗概集，pp.669-672，(2017) .
- 6) Tsushima S., Wargocki P., Tanabe S.: Sensory evaluation and chemical analysis of exhaled and dermally emitted bioeffluents, Indoor Air, Vol.28, No.1, 146-163, (2018)
- 7) P. Ole Fanger : What is IAQ?, Indoor Air ; 16: 328-334, (2006)
- 8) Pawel Wargocki, Olli Seppänen (editors) : Indoor Climate and Productivity in Offices, REHVA Guidebook, No.7 (2006)
- 9) X. Zhang, P. Wargocki, Z. Lian, C. Thyregod : Effects of exposure to carbon dioxide and bioeffluents on perceived air quality, self-assessed acute health symptoms, and cognitive performance, Indoor Air, Vol.27, Issue 1, 47 – 641, (2017)
- 10) 下田 隆信：宇宙ステーションの空気環境を創る環境制御・生命維持システム，Medical Gases, 16 (1) : 8, 7-12, (2014)
- 11) 日本建築学会：AIJES-A0003-2019 室内の臭気に関する対策・維持管理規準・同解説，日本建築学会環境基準 AIJES-A003-2019, (c2019)
- 12) 池田馨，山中俊夫，竹村明久，甲谷寿史，桃井良尚，相良和伸，山田響子：在室者から発生する汚染質の評価手法に関する研究（その 2）嗅ぎ穴を用いた無臭室法による評価，平成 26 年度空気調和・衛生工学会近畿支部学術研究発表会論文集，89 - 92, (2015)