におい物質濃度依存による
質的嗅感覚の変化点に関する研究

2025 年度

大同大学大学院　工学研究科

博士後期課程　材料・環境工学専攻

磯崎　文音

目次

第１章 序論 1

１－１． 本研究の背景と目的 1
１－２． 嗅覚特性に関する既往の研究 4
１－２－１． においの伝達機構 4
１－２－２． においの受容特性 5
（１）変調 5
（２）順応 5
１－２－３． におい感覚の個人差 6
１－３． 消臭法の分類 6
１－４． 本研究の位置付け 7
１－５． 本論文の構成 8
参考文献 10

第２章 におい袋法における精度管理に関する無臭空気の性能評価とにおい袋への物質吸着の測定 14

２－１． はじめに 14
２－２． 活性炭を用いた無臭空気の性能評価 15
２－２－１． 無臭空気の作成方法 15
２－２－２． 特定悪臭物質の定量分析 15
（１）分析方法 15
（２）結果・考察 17
２－２－３． 無臭空気のにおい質評価 18
（１）評価方法 18
（２）結果・考察 20
２－２－４． 小括 21
２－３． におい袋に対するにおい物質の吸着測定 21
２－３－１． 試験方法 21
（１）におい袋に対するにおい物質吸着の測定方法 21
（２）各試料の機器分析方法 22
（３）基準試料調製方法 25
① 硫化水素 25
② トルエン 25
③ イソ吉草酸 25
④ アセトアルデヒド 25

⑤ スカトール……25
２－３－２．　結果および考察……25
２－３－３．　小括……27
２－４．　まとめ……27
参考文献……28
第３章 硫黄系化合物を用いたにおい物質濃度に対する質的変化に関する検討……30
３－１．　はじめに……30
３－２．　硫化メチルの物質特性について……30
３－３．　個人の嗅覚閾値特定に関する試験……31
３－３－１．　試験方法……31
（１）試験概要……31
（２）試料作成方法……31
（３）パネルと注意事項……33
（４）嗅覚閾値算出方法……33
３－３－２．　結果および考察……34
（１）個人の嗅覚閾値の検討……34
（２）硫化メチル物質濃度および臭気指数に対する評価の比較……34
３－４．　におい質評価試験……36
３－４－１．　試験方法……36
（１）試験概要……36
（２）試料作成方法……36
（３）評価方法と嗅覚閾値の算出方法……36
（４）パネルと注意事項……36
３－４－２．　におい質評価の解析方法……36
（１）臭気濃度区分……36
（２）平均値の有意差検定……37
（３）におい質評価に基づくパターン類似率……37
３－４－３．　結果および考察……38
（１）におい質に対する個人差の検討……38
（２）快・不快度からの検討……39
（３）におい質評価からの検討……40
① においが変化する濃度の検討……40
② 変化するにおい質の詳細……42
３－５．　まとめ……43
参考文献……44

第４章 窒素系化合物を用いたにおい物質濃度に対する質的変化に関する検討 46

４－１． はじめに 46
４－２． スカトールの物質特性について 46
４－３． T&T オルファクトメーター試薬を用いたスカトールのにおい質評価試験 47
４－３－１． 個人の嗅覚閾値特定に関する試験 47
（１）試験方法 47
① 試験概要 47
② 提示試料 47
③ パネルの選定 47
（２）結果および考察 48
４－３－２． におい質評価試験 48
（１）試験方法 48
① 試験概要 48
② 提示試料 50
③ パネル選定方法 51
（２）結果および考察 51
① 物質濃度と臭気強度の関係 51
② 物質濃度と快・不快度の関係 52
③ 各物質濃度と臭気強度の平均値 53
④ におい質評価からの検討 55
４－３－３． 小括 59
４－４． ガス化スカトールを用いた個人の嗅覚閾値特定およびにおい質評価試験 60
４－４－１． 試験方法 60
（１）試験概要 60
（２）試料調製方法 61
（３）試料濃度の測定 61
（４）パネルとパネルに対する試験の注意事項 62
（５）嗅覚閾値算出方法 63
４－４－２． 結果 63
（１）スカトールの個人の嗅覚閾値 63
（２）臭気指数と臭気強度の関係 64
（３）臭気指数と快・不快度の関係 65
（４）臭気濃度に対するにおい質評価 66
４－４－３． 考察 68
（１）平均値プロフィールによるにおい質の類似性の検討 68
（２）因子得点によるにおい質の変化の検討 69

（3）臭気濃度と非容認率の関係の検討 71
４－４－４． 小括 72
４－５． まとめ 73
参考文献 74
第５章 低濃度順応時における高濃度臭気のにおい質評価に関する検討 76
５－１． はじめに 76
５－２． 順応状態におけるにおい連続提示時間の検討 77
５－２－１． 試験方法 77
（1）試験概要 77
（2）測定項目・評価方法 78
（3）パネルと試験環境 79
５－２－２． データ解析方法 80
５－２－３． 結果 80
５－２－４． 小括 81
５－３． 低濃度順応時における高濃度臭気のにおい質評価に関する検討 81
５－３－１． 試験方法 81
（1）低濃度臭気の検討 81
① 試料作成方法 81
② 官能評価方法 82
（2）順応群と非順応群における高濃度臭気のにおい質評価および比較試験 83
① 試料作成方法 83
② 官能評価方法 84
５－３－２． におい質評価のデータ解析 85
（1）平均値の有意差検定 85
（2）におい質評価に基づくパターン類似率 85
５－３－３． 結果 86
（1）低濃度臭気のにおい質 86
（2）非順応群の高濃度臭気のにおい質 86
（3）順応群の高濃度臭気のにおい質 86
５－３－４． 考察 90
５－３－５． 小括 92
５－４． まとめ 93
参考文献 94
第６章 結論 95
本論文に関連する発表論文 98

謝辞.....99

第１章　序論

１−１．本研究の背景と目的

香りは我々の生活を豊かにし、感情や記憶、行動にまで影響を及ぼす重要な要素である。食事や住空間、身だしなみなど日常のあらゆる場面で香料が用いられ、現代の生活にかかせない存在となっている。香料は用途によって、経口的に摂取される飲食物に用いられる食品香料と経口的に摂取されない製品に用いられる香粧品香料[1)]の 2 種類に分類される。食品香料は、食品衛生法において食品添加物の一種[2)]として位置付けられ、食品が本来持つ香りの再現や強化を目的として用いられている。2020 年には食品香料の年間使用量が 1,272 t に達し、2001 年以降の調査で最も多く[3)]、近年の豊かな食生活に必要不可欠な要素といえる。香粧品香料は、一般的にフレグランスと呼ばれ、化粧品やハウスホールドなどに使用されている。2023 年の香料の出荷額は 1,905 億円であり、生産額は 3.2 %増加しており[4)]、香料市場は近年増加傾向にある。この市場拡大の背景には、アロマオイルや柔軟剤、衣類用の香り付き製品の普及[5)]により、個人が日常的に香りを身にまとう文化が定着したことが挙げられる。かつて香水は百貨店や高級ブランドなどで扱われる嗜好品であったが、近年ではドラッグストアや雑貨店など、より身近な販売チャネルを通じて容易に入手できるようになり、香りは嗜好や自己表現の一部として日常生活に深く浸透している。このような香り活用市場の拡大は、香りが生活の快適性や心理的満足に寄与する一方で、嗅ぐ人や時と場所によっては不快なにおいとして生活環境に負の影響を及ぼす場合がある。

香りは我々の生活を豊かにする一方で、臭気は時に、快適な生活環境を損ねる要因となる。日本では、第二次世界大戦後の高度経済成長期において、産業の発展に伴い工業や事業所、下水処理施設、畜産施設などを発生源とする悪臭公害が深刻化した。1970 年には、苦情件数が約 15,000 件、1972 年は 20,000 件を超えた[6)]。このような状況の中、1971 年に環境庁（現在は環境省）が主管となり、悪臭防止法が制定され[7)]、アンモニア、メチルメルカプタン、硫化水素、硫化メチル、トリメチルアミンの 5 物質が特定悪臭物質に指定され、濃度規制が導入された[8)]。以降も対象物質は段階的に拡充され、現在の特定悪臭物質 22 物質が規制対象[9)]となっている。自治体の指導や事業所の対策により、産業型の悪臭苦情は減少し、1993 年には、約 10,000 件まで低下した。産業型の悪臭に

よる屋外の環境における臭気が低減したことで、飲食店やサービス業、個人住宅など、日常生活に密接した発生源からの苦情が増加し、臭気問題は多様化し、より身近な生活環境で生じるようになった[10]。複数のにおい物質が混在する複合臭では、従来の濃度規制による対策が困難であることから、1995 年の法改正により、嗅覚測定法による臭気指数規制が導入され、人の感覚に基づく評価が取り入れられた。これにより、悪臭対策の焦点は「濃度」から「人が感じるにおい」へと移行し、生活環境の快適性がより重視されるようになった。しかし、悪臭苦情件数は 2001 年に野外焼却のダイオキシン問題により[11]、23,776 件の過去最多となったが、徐々に減少し、2019 年には 12,025 件となった[12]。さらに近年では、新型コロナウイルス感染症の流行に伴う外出制限や在宅時間の増加により、住宅内や近隣の生活環境におけるにおいへの意識が高まっている。

1990 年代に行われた一般住宅における不快なにおいに対する意識調査では、生ごみ臭、調理臭、排水口臭、トイレ臭、たばこ臭などが気になる臭気として挙げられている[13)-15)]。なかでも、調理臭や生ごみ臭などキッチンを発生源とするにおいが気になるとされている[16)17)]。2020 年の不快なにおいに対する意識調査でも、生ごみ臭、調理臭、トイレ臭は気になる臭気に挙げられており、30 年間変化していない[18)]。

さらに近年、急速に進行する高齢化により、2025 年 9 月時点で 65 歳以上の人口割合は 29.4 %に達し、本格的な超高齢社会を迎えている[19)]。在宅で高齢者を介護する家庭が増加するなかで、住宅内のにおい環境にも変化が生じている。在宅介護でのにおいの実態調査では、高齢者の部屋に対する不満の中で最も多いのが「部屋のにおい」であり、その主な要因「排泄物臭」が挙げられる[20)]。

このように、においは快と評価され、生活を豊かにする「香り」と、不快と評価され、生活を損なう要因となる「臭気」の二面性を有している。このにおいに対する二面性は、一部のにおい物質のにおい質にも存在している。すなわち、同一のにおい物質でも濃度の変化により快い香りとして知覚される場合と不快な臭気として知覚される場合がある。この濃度依存的質変化を有する代表的なにおい物質としては、硫化メチル、スカトールなどが挙げられる[21)]。

硫化メチルは、低濃度では野菜のクッキング臭、高濃度で海苔の佃煮様で刺激の強い臭気を持つと報告されている[21)]。悪臭防止法に定められる特定悪臭物質に指定され[22)]、生ごみ臭の主要成分として検出されており、特に野菜くずから高濃度で発生することが知られている[23)]。また、高齢者のおむつ交換時における排泄物の臭気測定でも、硫化メ

チルが検出されている[24]。一方で、硫化メチルは新茶の時期の若芽や抹茶や玉露の原料葉を製茶した際に生成過程において生成され、緑茶をいれたときの香り立ちの重要な香気成分でもある[25][26]。さらに、食品衛生法施行規則において食品添加物[2]としても指定されている。

スカトールもまた、低濃度では清涼感のある快いにおい、高濃度で糞便様の不快臭であることが知られている[27]。介護現場における排泄物[28]や畜産現場での豚の排泄物から検出されている[29]ことから、屋内外問わず広く対策が求められる物質である。一方で、微量香気成分として[30]アニマルノートに分類され、フレーバーやフレグランスに用いられている[30]。1917 年にコティ社が発売した「シプレ」を起源としたシプレ調の香水は、ベルガモットを中心としたシトラスノート、モスノート、そしてアニマルノートの調和により構成されている[31]。硫化メチルやスカトールは生活環境において、対策が必要な悪臭物質であると同時に、香料として生活を豊かにする 2 つの側面を持っている物質である。

このにおい物質における二面性は嗅覚メカニズムが深く関係している。においは嗅覚受容体の応答による電気信号の組み合わせにより検知されることが知られており、においの感じ方に影響を及ぼす要因として、におい物質の種類、濃度、におい物質の組み合わせなどが挙げられる。濃度依存的質変化の特性を有する物質は濃度の変化に伴い活性化される受容体の種類や数が変化することで、知覚されるにおい質が変化すると考えられている[21]。各受容体によるにおい物質への応答の研究は近年盛んに行われており、スカトールについては嗅覚受容体 OR2L3 が応答することが解明され、その応答を抑制するアンタゴニスト香料も発見されている[32]。

しかし、におい物質の濃度変化に伴って人がどのようににおいを感じるかなどのいわゆる嗅感覚を用いた嗅覚特性の研究はまだ少ない。硫化メチルやスカトールのように濃度依存的質変化の特性を有するにおい物質について、どの濃度でにおい質が変化するのか、その変化の様相はまだ明らかになっていない。

そこで本研究では、嗅覚受容体の応答により生じるにおい物質濃度依存的質変化の特性を有するにおい物質に着目し、におい質の変化点とどのようににおい質が変化するのかその様相を解明することを目的とする。また、嗅覚にはにおいの連続的な提示により感覚強度が低減する嗅覚順応という特性が存在する。嗅覚順応は、におい物質濃度依存的質変化の特性と同じく、嗅覚受容体の応答が関係している。そこで同一物質の低濃度

臭気で順応させた後、高濃度臭気に曝露した場合の不快感の軽減ができるか否かを検討する。

対象物質としては、先に述べた通り、室内環境での発生が確認され、悪臭対策が求められる硫化メチルとスカトールとする。また、濃度によるにおい質の変化を検討するにあたり、低濃度臭気を用いる測定の精度の確認が必要となる。嗅覚閾値の測定における正確性の向上のためにも、におい袋法で用いる無臭空気の性能を確認する。さらに、におい袋へ注入したにおい物質が袋内壁への吸着により減少する影響を把握するため、回収率（におい袋への試料を注入した濃度に対して、嗅ぐ時に吸引できた濃度を示す割合）を測定する。

本論文は、次の諸点についてまとめたものである。

（Ⅰ）三点比較式臭袋法にて低濃度臭気を用いる試験に対する無臭空気の精度の必要性を述べ、現在用いられている無臭空気について、機器測定と嗅覚測定の 2 方向から無臭性の検討を行い、把握する。

（Ⅱ）三点比較式臭袋法で用いるにおい袋内に対するにおい物質の吸着により、実際に吸引できているにおい物質の割合である回収率を求める。

（Ⅲ）硫化メチル、スカトールのにおい質が変化する濃度を明らかにする。嗅覚受容体が関わる現象のため、同濃度でも個人のにおいの感じ方に差が生じると考え、個人閾値を特定した上で、におい質が変化する濃度の検討を行う。スカトールに対しては、（Ⅱ）で得られた回収率を考慮して、個人閾値の特定を行う。

（Ⅳ）（Ⅲ）で得られた結果を総合して、変化点の知見を応用し、濃度の異なる同一のにおい物質を用いた感覚的消臭法への活用を検討する。濃度依存的なにおい質変化と嗅覚受容体の応答により生じる現象である嗅覚順応を組み合わせ、「不快でない」低濃度臭気で順応させた状態で「不快な」高濃度臭気を曝露し、高濃度臭気の不快度軽減について、検討を行う。

１−２．嗅覚特性に関する既往の研究

１−２−１．においの伝達機構

嗅覚メカニズムの研究は、1991 年にリチャード・アクセル博士とリンダ・バック博士[33)]の研究によって、7 回膜貫通型受容体に属する嗅覚受容体が発見され、より一層盛んに行われるようになった。におい分子は鼻腔の天井に存在する嗅粘膜（嗅上皮）に溶け

込み嗅繊毛上の嗅覚受容体と結合する。嗅細胞によって、電気信号に変換され、軸索を介して脳の嗅球、高次の中枢である大脳嗅皮質へと伝えられる[34)35)]。なお、粘膜にはにおい分子が溶け込むよう水溶性のにおい物質結合タンパク質が存在し、におい分子と結合することで嗅覚受容体へ送られる[36)]。東原の研究[34)]により、嗅覚受容体はそれぞれ構造の異なる鍵穴構造を有しており、あてはまるにおい分子が結合することで、においの質が判別できることが分かっている。におい分子と嗅覚受容体が結合すると、G タンパク質が活性化し、それに伴い、アデニル酸シクラーゼも活性化させる。アデニル酸シクラーゼは ATP（アデノシントリ燐酸）を cAMP（サイクリック AMP、環状アデノシン-モノ燐酸）に変化させ、cAMP の濃度が上昇し、繊毛表面にある GNG チャンネルと結合することで GNG チャンネルが有する陽イオンを通す穴が開き、陽イオンが嗅繊毛内に流れ、電位差が生じるため、電気信号に変化される[34)]。

１−２−２．においの受容特性

（１） 変調

変調とは、におい物質を混ぜ合わせることで新しいにおいとして感じさせることである[37)]。嗅覚受容体レベルでは、あるにおい物質が別のにおい物質の受容を促進するアゴニストと受容を阻害するアンタゴニストとして作用するため、においの感じ方が変化する。アゴニストとアンタゴニストを混合させた状態で嗅覚受容体を刺激するとアンタゴニストによって嗅覚受容体の応答が抑制されることが報告されている[38)39)]。また、ヒトの嗅覚受容体の応答は複合したにおい物質の応答パターンはその単一のにおい物質の応答パターンの単純な応答の合計ではないことが示された[40)]。

難波[41)]らは、ヘキサン酸の嗅覚受容体の応答から、嗅覚受容体の応答を阻害し、においい質を変化させるアンタゴニスト化合物の同定により、ヘキサン酸臭の低減することを述べた。光田[42)]らは、n-吉草酸とシトラス調の芳香の混合した試料において、官能評価によるにおい質の変化と嗅覚受容体応答の双方向より変調が確認されたと述べている。

（２） 順応

順応とは、連続的なにおい刺激により、受容器レベルでの感度の低下[27)]を意味する。大迫ら[43)]は、呼吸量における順応のモデル化を行い、山中ら[44)]は酢酸エチルを用い、順応モデルのパラメーターの同定を行い、モデルの有用性を述べた。竹村ら[45)]は、においの連続提示を間欠的に行うことで香り強度の低下は緩やかであり、間欠曝露であっても

繰り返し回数が多いほど香り強度が低下すると述べた。斉藤ら[46]は、トリメチルアミンを用い、10 分間のにおいの連続提示による感覚強度の測定を行い、順応/慣れの時間依存性と知覚との関係について、5 種類の型に分類されるとしている。におい物質ごとの順応の特性としては、Jacob ら[47]は吉草酸、スカトール、酪酸の悪臭と酢酸アミル、シス−3−ヘキセノールリナロールの心地よい匂いでは、悪臭のほうが刺激の変化に敏感で順応しやすいと述べた。樋口ら[48]はにおい物質の高濃度と低濃度の場合の連続提示において、感覚強度の変化としては、低濃度のほうが感覚強度の反応がゆるやかであり、高濃度は急激であると述べている。

１−２−３．においの個人差

斉藤らは[49]、三点比較式臭袋法を用い、20 人を対象に、検知閾値の測定を行い、におい物質によりばらつきはあるが、個人の検知閾値で 10〜1000 倍の差が見られたとしている。岩崎ら[50]は 10 代〜60 代の男女を対象にイソ吉草酸、スカトール、メチルシクロペンテノロンを対象に 5-2 法により検知閾値の測定を行い、加齢により、イソ吉草酸に対する検知閾値が高くなり、女性の方が、スカトールに対する検知閾値が高くなるといった年齢、男女間での差が生じる物質が存在するとしている。

１−３．消臭法の分類

においの消臭法はメカニズムの違いによって大きく 4 つに分類されている。悪臭物質を化学的に分解する「化学的消臭法」、悪臭成分を吸着する「物理的消臭法」、微生物による悪臭物質を分解や悪臭を発生させる微生物の活動を抑制することでにおいの発生を抑える「生物的消臭法」[51]、そして、芳香を用いて悪臭を感覚的に感じなくさせる「感覚的消臭法」[51][52]である。なかでも、「感覚的消臭法」は嗅覚メカニズムに寄与した消臭方法であり、複数のにおい物質に対し、複数の嗅覚受容体の応答による電気信号の組み合わせにより、においの感じ方が変化し、不快であったにおい物質のにおい質を変化させる。近年では、嗅覚メカニズムの嗅覚受容体の仕組みからにおいを感じないマスキング剤が発見[53]されるなど、におい・かおりの分野で最も注目されている研究の一つである。

１−４．本研究の位置付け

嗅覚に関する研究の多くは、嗅覚受容体センサーを用いた細胞レベルでの応答解析に重点が置かれている。一方、生活環境で問題となる悪臭や生活臭の評価と対策は、最終的には人がどのように「感じるか」という感覚レベルでの判断に基づく必要がある。このため、人のにおい感覚を対象に、におい物質の濃度や提示条件に応じた感覚的変化を明らかにすることは、においという感覚事象を扱う上で重要な研究課題といえる。

近年、社会環境の変化に伴い、生活空間におけるにおい問題は多様化している。硫化メチルはその典型例であり、野菜くずや排水の分解過程で発生する悪臭物質としてしばしば問題視され、生活環境中では悪臭として対策が求められる。一方で、食品や飲料の香気成分としても利用されている。硫化メチルは、緑茶、海苔などの発酵食品に特有の香りを形成する重要な成分であり、食文化の多様化とともに食品香料としての利用が拡大している。したがって、このようなにおい物質の感覚特性を明らかにすることは、快適な生活環境の創造と食品・香料産業の双方にとって意義が大きいと考えられる。

同様に、スカトールも濃度により印象が大きく変化する代表的な物質である。スカトールは、排泄物臭の代表成分として知られ、特に在宅介護や高齢者施設などにおいて不快臭の原因物質として対策が求められている。しかし、高濃度では不快であるが、微量ではジャスミン様の香りやアニマルノートとして感じられ、香水やフレーバーに利用される。高濃度では悪臭として対策が求められる一方で、香料として有効に活用されているという二面性を持つことから、スカトールの感覚特性の解明は実用的観点からも重要である。

本研究では、これら二面性を有するにおい物質を対象に、物質濃度および提示時間がにおいの強度と質に及ぼす影響を検討し、「不快ではない」低濃度への順応が「不快な」高濃度の不快度を軽減するかどうかを明らかにすることを目的とした。また、低濃度試験における無臭空気の精度およびにおい袋への吸着特性を検証し、嗅覚測定の信頼性向上も図る。

本研究は、従来の嗅覚受容体レベルの応答解析にとどまらず、人の実際の感覚に基づくにおい制御という新たな視点を導入するものである。本研究により得られる知見は、生活空間の快適化や介護・医療現場での臭気管理、食品・香料分野における香料利用など、多様な分野における感覚的消臭法や香り設計の技術開発の基盤となる。

１−５．本論文の構成

本論文は、6 章で構成されており、その構成は図 1 - 1 に示すとおりである。

第 1 章では、背景と目的、既往の研究、本研究の位置づけを述べた。

第 2 章では、嗅覚測定における精度管理の観点から、無臭空気の性能およびにおい袋へのにおい物質の吸着特性を評価する。低濃度のにおい感覚評価を行う際に、におい質を正確に把握するために測定精度の管理が不可欠である。精度に影響する要因として、無臭空気の性能および測定するにおい物質のにおい袋への吸着が挙げられる。そこで、無臭空気については定量分析および官能評価により無臭性を確認し、におい物質ごとの吸着特性を測定することで、吸着の起こりやすさの差異を明らかにする。

第 3 章では、低濃度と高濃度でにおい質が変化する硫黄系化合物である硫化メチルに着目し、におい質の変化する濃度を明らかにする。におい質の評価には個人の嗅覚閾値の差が影響する可能性から、個人の嗅覚閾値の特定を行い、におい物質濃度と臭気濃度を比較し、におい質評価への影響について検討し、におい質の変化する濃度を明らかにする。

第 4 章では、低濃度と高濃度でにおい質は変化する窒素系化合物であるスカトールに着目し、におい質の変化する濃度を明らかにする。T&T オルファクトメーター試薬の 1 つである液体スカトールを用いて、個人の嗅覚閾値の特定、におい質の変化する濃度について傾向を確認する。そこで得られた知見をもとにガス化したスカトールを用いて、個人の嗅覚閾値の特定とにおい質が変化する濃度について明らかにする。

第 5 章では、におい質変化点の知見の応用として、スカトールに対して不快でない低濃度で順応させた後に高濃度を曝露した場合の、不快度の軽減およびにおい質の変化について検討する。まず、低濃度で順応させる順応状態を再現するため、においの連続提示に対する感覚強度の変化から、提示時間を設定し、低濃度スカトールによる順応後に、高濃度スカトールを曝露したときのにおい感覚評価を測定し、不快度軽減について明らかにする。

第 6 章では、本研究の成果を総括し、今後の課題を示した上で結論とする。

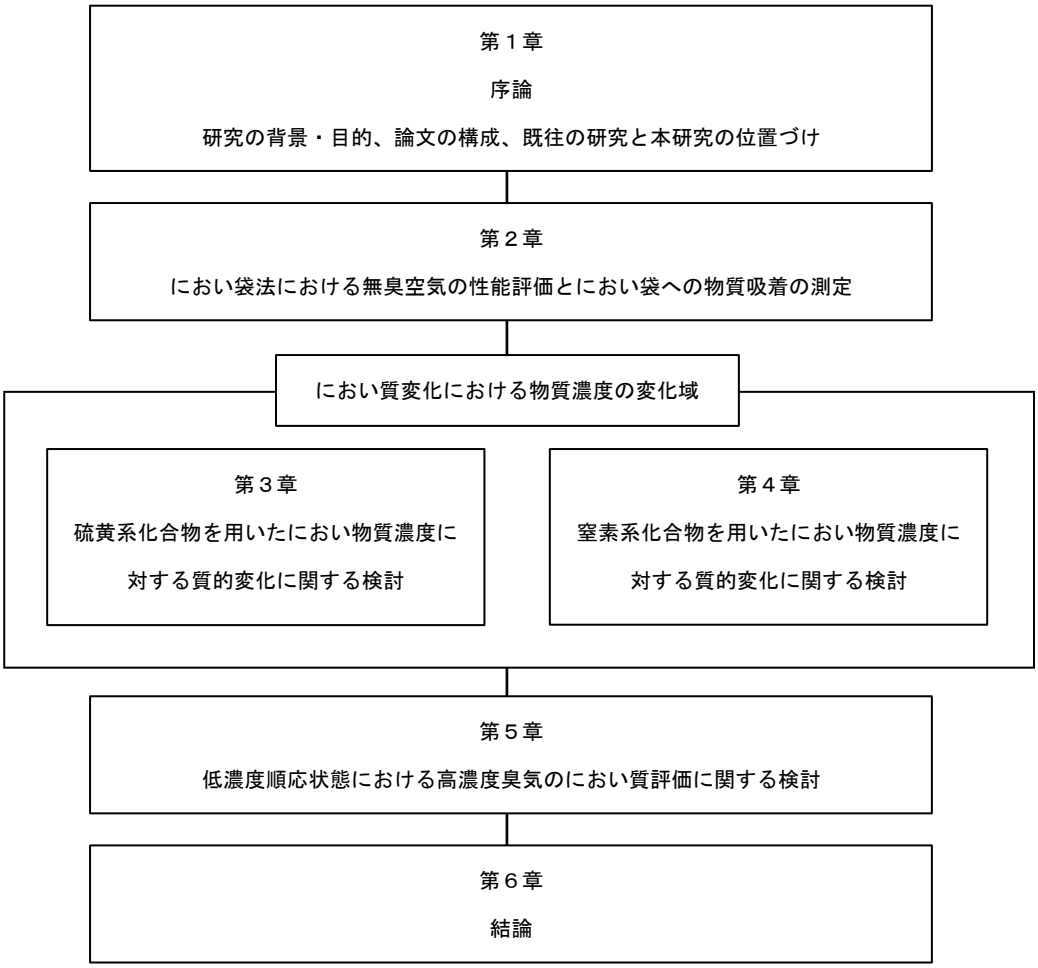

第１章
序論
研究の背景・目的、論文の構成、既往の研究と本研究の位置づけ
第２章
におい袋法における無臭空気の性能評価とにおい袋への物質吸着の測定
におい質変化における物質濃度の変化域
第３章
硫黄系化合物を用いたにおい物質濃度に
対する質的変化に関する検討
第４章
窒素系化合物を用いたにおい物質濃度に
対する質的変化に関する検討
第５章
低濃度順応状態における高濃度臭気のにおい質評価に関する検討
第６章
結論

図　1－1　本論文の構成

参考文献

1) 堀内 哲嗣郎：香り作りの材料を知る，におい・かおり環境学会誌，Vol.36，No.4，pp.187-193，2005.

2) 食品衛生法，昭和二十二年法律第二百三十三号.

3) 稲井 隆之，浮田 英生，大橋 篤志，樺沢 正志，児高 由以子，澤野 友信，関谷 史子，土屋 一行，寺川 将樹，長屋 有紀子，松井 敏晃，久保田 浩樹，建部 千絵，佐藤 恭子，多田 敦子：日本における食品香料化合物の使用量調査結果(2020年)，日本食品科学学会誌，Vol.30，No.3，pp.158-164，2023.

4) 日本経済新聞社：NIKKEI COMPASS 香料，https://www.nikkei.com/compass/industry_s/0070（参照日:2025年11月20日).

5) 光田 恵:家庭科とにおい教育，日本家政学会誌，Vol.66，No.12，pp.633-638，2015.

6) 岩崎 好陽：においとかおりと環境，アサヒビール株式会社，2010.

7) 悪臭防止法，昭和四十六年六月六日法律第九十一号，1971.

8) 諸井 澄人：悪臭防止法改正の経緯―臭気指数規制導入を中心に―，におい・かおり環境学会誌，Vol.43，No.6，pp.388-394，2012.

9) 岩崎 好陽：悪臭公害のこれからの規制手法についての提案，におい・かおり環境学会誌，Vol.46，No.3，pp.229-233，2015.

10) 由衛 純一：特集 臭気指数規制導入と臭気対策―悪臭防止法と臭気指数規制―，におい・かおり環境学会誌，Vol.35，No.6，pp.266-268，2004.

11) 増田 淳二：特集「快適で安心な生活環境を求めて」悪臭公害とにおい環境，生活衛生，Vol.50，No.5，pp.307-312，2006.

12) 環境省：令和5年度悪臭防止法等施行状況調査報告書，https://www.env.go.jp/content/000295622.pdf （参照日：2025年11月12日).

13) 光田 恵，山崎 古都子，大迫 政浩，西田 耕之助：住環境における快適性因子としてのにおい事象について―第2報 居住意識におけるにおいの位置付け―，臭気の研究，Vol.22，No.3，pp.42-43，1991.

14) 光田 恵，山崎 古都子，大迫 政浩，西田 耕之助：住環境における快適性因子としてのにおい事象について―第5報 住居内の不快なにおいに対する意識―，臭気学会口演要旨集，pp.22-23，1992.

15) 光田 恵，山崎 古都子，大迫 政浩，西田 耕之助：生活環境中のにおいに対する居

住者の意識に関する研究，家政学研究，Vol.38，No.2，pp.116-126，1992.
16）松井 静子，楢崎 正也，山中 俊夫，平石 年弘：厨房における臭気発生源と臭気評価，日本建築学会計画系論文集，No.460，pp.31-38，1994.
17）光田 恵，磯田 憲生，久保 博子，梁瀬 度子：居住内の生ごみ臭に対する評価と影響要因，家政学研究，Vol.42，No.1，pp.39-48，1995.
18）近藤 早紀，棚村 壽三，萬羽 郁子，光田 恵：居住者による生活環境評価とにおい意識―第2報　住居内のにおいの意識―，第45回人間-生活環境系シンポジウム報告集，pp.43-44，2021.
19）総務省統計局：統計トピック No.146 統計からみた我が国の高齢者―「敬老の日」にちなんで―2025 年，https://www.stat.go.jp/data/topics/pdf/topics146.pdf（参照日：2025年11月12日）.
20）村田 順子，光田 恵，板倉 朋世，毛利 志保，棚村 壽三：在宅介護の実態と介護環境の評価―在宅介護環境下におけるにおいに関する研究―，日本建築学会環境系論文集，Vol.81，No.725，pp.599-606，2016.
21）川崎 通昭，堀内 哲嗣郎：嗅覚とにおい物質，社団法人におい・かおり環境協会，2006.
22）光田 恵，磯田 憲生，久保 博子，梁瀬 度子：生ごみ臭の許容レベルに関する研究，日本建築学会計画系論文報告書，No.475，pp.35-40，1995.
23）光田 恵：住環境における生ごみ臭の評価と制御方法に関する研究，奈良女子大学大学院人間文化研究科生活環境学専攻，pp.127-132，1996.
24）板倉 朋世，光田 恵，棚村 壽三：高齢者のおむつ交換時における排泄物の臭気特性に関する研究，日本建築学会環境系論文集，Vol.73，No.625，pp.335-341，2008.
25）W. Holscher，H. Steinhart：Thermally Generated Flavors (T. H. Parliment ed.)，ACS Symposium Series，p.204，American Chemical Society，Washington D.C.，1994.
26）R. Tressl：Thermal Generation of Aromas (T.H. Parliment ed.)，ACS Symposium Series 409，pp.285-301，American Chemical Society，Washington D.C.，1989.
27）斉藤 幸子，井濃内 順，綾部 早穂：嗅覚概論―臭気の評価の基礎―，公益社団法人におい・かおり環境協会，2014.
28）水谷 千代美：介護現場の不快臭とその対策，日本家政学会誌，Vol.70，No.8，pp.562-

566, 2019.
29) 松原 英隆,今村 弥生,小山 太:ゲルパーミエーションクロマトグラフィー(GPC)による豚の排泄物に含まれる臭気物質の分画,におい・かおり環境学会誌,Vol.45, No.2, pp.143-152, 2014.
30) 合成香料編集委員会：合成香料 化学と商品知識, 化学工業日報社, 2016.
31) 荒井 綜一, 小林 彰夫, 矢島 泉, 川崎 通昭：最新 香料の事典, 朝倉書店, 2013.
32) 三原 尚, 村井 正人, 寺田 育生, 桑原 裕香理, 小林 剛, 佐野 昇, 石田 賢哉, 星野 邦秀, 平野 奈緒美：嗅覚受容体技術および調和型消臭技術を用いた介護臭低減香料の開発, 日本化粧品技術者会誌, Vol.57, No.1, pp.42-49, 2023.
33) Buck, L., Axel, R.：A novel multigene family may encode odorant receptors—a molecular basis for odor recognition, Cell, Vol.65, pp.175-187, 1991.
34) 渋谷 達明, 外池 光雄（編）：においの受容, フレグランスジャーナル社, 2002.
35) 渋谷 達明, 市川 真澄（編）：匂いと香りの科学, 朝倉書店, 2007.
36) Pelosi, P.：Odorant-binding proteins—structural aspects, Annals of the New York Academy of Sciences, Vol.855, pp.281-293, 1998.
37) 光田 恵,岩橋 尊嗣,棚村 壽三:きちんと知りたい においと臭気対策の基礎知識, 日刊工業新聞社, 2018.
38) Spehr, M., Gisselmann, G., Poplawski, A., Riffell, J.A., Wetzel, C.H., Zimmer, R.K., Hatt, H.：Identification of a testicular odorant receptor mediating human sperm chemotaxis, Science, Vol.299, pp.2054-2058, 2003.
39) Oka, Y., Omura, M., Kataoka, H., Touhara, K.：Olfactory receptor antagonism between odorants, The EMBO Journal, Vol.23, pp.120-126, 2004.
40) Mountassir, F.E., Belloir, C., Briand, L., Thomas-Danguin, T., Le Bon, A.M.：Encoding odorant mixtures by human olfactory receptors, Flavour and Fragrance Journal, Vol.31, pp.400-407, 2016.
41) 難波 綾, 齋藤 菜穂子, 中村 純二：嗅覚受容体の応答特性と受容体制御による匂いの感じ方の変化, オレオサイエンス, Vol.15, No.9, pp.401-406, 2015.
42) 光田 恵, 竹下 剛司, 花岡 早苗, 近藤 早紀, 立松 健司, 黒田 俊一：感覚的消臭の変調作用における嗅覚受容体応答の変化, 人間と生活環境, Vol.30, No.1, pp.1-8, 2023.

43) 大迫 政浩，西田 耕之助，松井 三郎：嗅覚順応モデルの提案と空間設計への適用方法に関する一考察，空気調和・衛生工学会論文集，No.46，pp.11-19，1991.
44) 山中 俊夫，竹村 明久，甲谷 寿史，桃井 良尚，相良 和伸，永井 雄喜：嗅覚閾値の非定常応答に基づく嗅覚順応モデル，日本建築学会環境系論文集，Vol.79，No.702，pp.655-662，2014.
45) 竹村 明久，南田 高希，脇山 雄多，杉本 泰世：間欠噴霧される香り強さの時系列評価指標の提案，室内環境，Vol.28，No.2，pp.93-104，2025.
46) 斉藤 幸子，飯尾 心，小早川 達，後藤 なおみ：持続提示する臭気に対する感覚的強度の多様な時間依存性，におい・かおり環境学会誌，Vol.35，No.1，pp.17-21，2004.
47) Tim J.C. Jacob, Carina Fraser, Liwei Wang, Veronica Walker, Simon O’Connor：Psychophysical evaluation of responses to pleasant and mal-odour stimulation in human subjects—adaptation, dose response and gender differences，International Journal of Psychophysiology，Vol.48，No.1，pp.67-80，2003.
48) 樋口 隆哉，西田 耕之助，樋口 能士，武内 伸勝，土橋 隆二郎：悪臭の評価因子としての嗅感覚の時間特性に関する実験的検討，大気汚染学会誌，Vol.29，No.6，pp.313-322，1994.
49) 斉藤 幸子，飯田 健夫，坂口 豁：嗅気物質に対する嗅感覚特性，製品科学研究所研究報告，No.102，pp.13-23，1985.
50) 岩崎 好陽，中浦 久夫，石黒 辰吉：嗅覚パネルの閾値の個人内変動について，大気汚染学会誌，Vol.18，pp.133-156，1983.
51) 森本 祐輔，中村 祐子，皆川 和則，北島 幸太郎，長谷川 靖之：芳香・消臭剤の感覚的消臭試験法，日本官能評価学会誌，Vol.16，No.2，pp.104-109，2012.
52) 岩橋 尊嗣：消脱臭剤の最近の動向，環境技術，Vol.26，No.2，pp.98-106，1997.
53) 倉橋 隆，福井 寛，光田 恵：トコトンやさしいにおいとかおりの本，日刊工業新聞社，2011.

第２章　におい袋法における無臭空気の性能評価とにおい袋への物質吸着の測定

２−１．はじめに

濃度依存的質変化の特性を有するにおい物質におけるにおい質変化の起こる濃度域およびその変化点を検討するには、人が提示された濃度のにおいをどう感じるかが重要であり、測定には人の嗅覚を用いる必要がある。なかでも、公定法として定められる三点比較式臭袋法は、悪臭防止法に基づく測定法であり、臭気指数規制[1)]に用いられている。また、屋外の臭気測定だけにとどまらず、室内においても日本建築学会環境基準（以下、AIJES）のにおい袋法が採用されており、嗅覚閾値の測定[2)]や調理臭、介護臭の実態調査[3)4)]、焼肉臭に対する内装材の脱臭性能評価[5)]、たばこの臭気濃度測定[6)]など室内空気環境の研究でも広く利用されている。三点比較式臭袋法は、岩崎らによって開発され[7)]、容量 3L のポリエステル製袋（以下、におい袋）を用い、無臭空気を封入した袋 2 つと試料を無臭空気で所定の希釈倍数に希釈した有臭袋 1 つの計 3 つの袋をパネルが嗅ぎ、においの有無を判定する方法である[8)]。測定精度の管理については、環境省による「嗅覚測定法精度管理マニュアル[9)]」が整備され、公益社団法人におい・かおり環境協会においても、品質及び性能が確認された推奨製品の周知等が行われている。

一方、三点比較式臭袋法は、公定法として比較的高濃度の臭気を用いる場合が多く、排出口における測定法では定量下限値が臭気指数 12[10)]とされている。しかし、本研究の目的は、におい物質の濃度変化に伴うにおい質の変化点を明らかにすることであり、嗅覚閾値付近の低濃度におけるにおい質評価が必要である。このとき、希釈・提示に用いる無臭空気は低濃度のにおい質評価へ干渉しないために、無臭空気自体に高い精度が求められる。ところが、これまでに無臭空気そのものの性能を定量的、定性的に評価したものは報告されていない。

さらに、におい袋は使用時ににおい物質が袋内壁へ吸着する可能性が指摘されている。例えば、永田らは、におい物質の嗅覚測定においてにおい袋への吸着が生じた可能性を示唆している[11)]。袋内壁へのにおい物質の吸着は提示濃度が低下することにより、嗅覚閾値測定の精度への影響も懸念されており、本研究で対象とするスカトールは特に回収率が低いと報告されている[12)]。

そこで本章では、三点比較式臭袋法に対し、①無臭空気の性能評価、②におい袋への

物質の吸着（回収率）の測定を行う。無臭空気の性能評価では、三点比較式臭袋法で用いられる活性炭により作成した無臭空気を対象に、特定悪臭物質 22 物質および酢酸について、検知管法およびガスクロマトグラフ分析計（GC）による定量分析を行い、無臭性を定量的に確認した。加えて、においは低濃度であっても複数のにおい物質が混在することで複合臭として検知される可能性があることから、官能評価によるにおい質の確認も併せて行う。

におい袋への物質吸着の測定では、におい袋内に注入したにおい物質濃度に対し、評価時に人がそのにおい袋内の空気を吸引する時にどの程度濃度が保持されるかを回収率として求める。対象物質は、本研究で用いるスカトールに加え、比較対象として生活環境の中で悪臭対策が必要とされる代表的なにおい物質 4 種とした。比較のために用いる物質としては、スカトール同様、排泄物臭の成分から硫化水素、イソ吉草酸、アセトアルデヒド[13~15]を選定した。また、建材や家具などから発生し、室内において検出されやすいトルエン[16]も選定した。

２−２．活性炭を用いた無臭空気の性能評価

２−２−１．無臭空気の作成方法

無臭空気はアクリル樹脂製の円筒形で上部に 9 方分配管があるケース(近江オドエアーサービス(株）)に粒状活性炭を入れたものに空気を通し、製造した。活性炭は製造前に無臭水で洗浄し、115 ℃の恒温槽で 24 時間以上乾燥させたものを使用した[17]。におい・かおり環境協会の推奨を受けている試料採取用袋 30L（FL-F-030L、近江オドエアーサービス(株)）に無臭空気を充填した。なお、試料採取用袋内への物質吸着を考慮し、無臭空気で 3 回共洗いを行った。

２−２−２．特定悪臭物質の定量分析

（１） 分析方法

アンモニアの定量分析は検知管法で行い、気体採取器(ＡＰ-20、光明理化学工業(株)）、検知管は（105ＳＤ、光明理化学工業(株）)を用いた。その他の特定悪臭物質および酢酸の定量分析は悪臭防止法で定められる公定法に基づき、ガスクロマトグラフ分析計を用いて行った。硫化物、トリメチルアミン、アルデヒド類の測定に用いた装置および分析条件を表 ２-１に、VOC、メチルイソブチルケトン・酢酸エチル、イソブタノール、脂

肪酸の分析装置および分析条件を表 2-2に示す。なお定量分析はすべての物質で2回行った。

表 2－1　硫化物、トリメチルアミン、アルデヒド類の分析装置および分析条件

測定物質	硫化物	トリメチルアミン	アルデヒド類
装置	GC－14B((株)島津製作所)		
検出器	FPD	FID	FTD
カラム	Chromosorb W 60/80 AW-DMCS-ST, 25%β, β Oxydipropionitrile 25%(信和化工㈱)	Chromosorb W 60/80 AW-DMCS, Diglycerol+TEP+KOH(15+15+2%)(信和化工㈱)	InertCap 1, 100% Dimethylpolysiloxane (ジーエルサイエンス㈱)
カラムの長さ	3.1m	3.1m	30m
カラムの径	3.2mm	3.2mm	0.25mm
Splitの有無	無	無	無
捕集管加熱装置 (フラッシュサンプラー)	FLS-1((株)島津製作所製)		－
キャリアガス	N2(超高純度)		He(超高純度)
燃焼ガス	H2(超高純度)、Air		H2(超高純度)、Air(超高純度)
カラム温度	70℃	70℃	100℃(1分間保持)→200℃(昇温20℃/min)
検出温度	150℃	150℃	300℃
試料導入部温度	130℃	130℃	250℃
ガス流量	40ml/min	40ml/min	5ml/min

表 2-2 VOC、メチルイソブチルケトン・酢酸エチル、イソブタノール、脂肪酸の分析装置および分析条件

	VOC	メチルイソブチルケトン、酢酸エチル	イソブタノール	脂肪酸類
装置	GC－14B((株)島津製作所)			GC－2014((株)島津製作所)
検出器	FID			FID
カラム	Chromosorb W 60/80 AW-DMCS, SP-1200+Bentone34 5+1.75%（信和化工㈱）	Chromosorb W 60/80 AW-DMCS, Ucon LB-550X 25%(信和化工㈱)	Chromosorb W 60/80 HP, Polyethyleneglycol 1500 25%(信和化工㈱)	Graphite Carbon 60/80, FFAP+H3PO4 0.3+0.3%(信和化工㈱)
カラムの長さ(m)	3.1m	3.1m	3.1m	1.6m
カラムの径(mm)	3.2mm	3.2mm	3.2mm	3.2mm
Splitの有無	無	無	無	無
捕集管加熱装置（フラッシュサンプラー）	FLS-3((株)島津製作所製)			
キャリアガス	N2(超高純度)			N2(超高純度)
燃焼ガス	H2(超高純度)、Air			
カラム温度	50℃→100℃（昇温5℃/min）	90℃	40℃→90℃（昇温10℃/min）	80℃→220℃（昇温25℃/min）
検出温度	180℃	180℃	200℃	250℃
試料導入部温度	180℃	180℃	180℃	250℃
ガス流量	40ml/min	40ml/min	40ml/min	40ml/min

（2） 結果・考察

無臭空気に対する特定悪臭物質22物質および酢酸の定量分析結果を表 2-3に示す。ばらつきが少ないことから、2回の測定結果で解析をおこなった。2回の測定結果から、酢酸のみ検出下限値以上で検出された。硫化水素、アセトアルデヒド、プロピオン酸、ノルマル酪酸、ノルマル吉草酸、イソ吉草酸、トルエン、スチレン、キシレン、酢酸エチルはクロマトグラフのピークが僅かに検出されたものの、検出下限値以下であり、その他の物質はピークが認められなかった。酢酸のみ検出されたが、閾希釈倍数は1未満であることから、におい質への影響は少ないと考えられる。硫化水素、メチルメルカプタン、トリメチルアミン、ノルマル吉草酸、イソ吉草酸は閾値より検出下限値が高かったため、上記5種の物質では、におい質に影響ないレベルまで除去できているかは、不明確である。活性炭を用いて製造された無臭空気は上記5種を除く他の特定悪臭物質および酢酸に対し、各物質単体での影響ないと考えられるレベルまで除去できていることが明らかになった。

表 2－3　特定悪臭物質および酢酸の定量分析結果

単位：ppm

物質名	測定結果		検出下限値	閾値
	1回目	2回目		
アンモニア	N.D.	N.D.	0.2	1.5
硫化水素	Tr.	N.D.	0.0005	0.00041
硫化メチル	N.D.	N.D.	0.0005	0.003
二硫化メチル	N.D.	N.D.	0.0005	0.0022
メチルメルカプタン	N.D.	N.D.	0.0005	0.00007
トリメチルアミン	N.D.	N.D.	0.0016	0.000032
アセトアルデヒド	Tr.	N.D.	0.0001	0.0015
プロピオンアルデヒド	N.D.	N.D.	0.0001	0.001
イソブチルアルデヒド	N.D.	N.D.	0.0001	0.00035
ノルマルブチルアルデヒド	N.D.	N.D.	0.0001	0.00067
イソバレルアルデヒド	N.D.	N.D.	0.0001	0.0001
ノルマルバレルアルデヒド	N.D.	N.D.	0.0001	0.00041
プロピオン酸	Tr.	Tr.	0.0001	0.0057
ノルマル酪酸	Tr.	N.D.	0.0001	0.00019
ノルマル吉草酸	Tr.	Tr.	0.0001	0.000037
イソ吉草酸	N.D.	Tr.	0.0001	0.000078
トルエン	Tr.	N.D.	0.0003	0.33
スチレン	Tr.	N.D.	0.0003	0.035
(o)キシレン	Tr.	N.D.	0.0003	0.38
(m)キシレン	Tr.	N.D.	0.0003	0.041
(p)キシレン			0.0003	0.058
メチルイソブチルケトン	N.D.	N.D.	0.0028	0.17
酢酸エチル	N.D.	Tr.	0.0028	0.87
イソブタノール	N.D.	N.D.	0.005	0.01
酢酸	0.0036	0.0040	0.0001	0.006

（注）N.D.：未検出（クロマトグラム上でピークが認められない）

Tr.：ピークは認められるが検出下限値未満

2－2－3．無臭空気のにおい質評価

（1） 評価方法

2-2 で作成した無臭空気を充填したにおい袋に鼻あてを装着し、自己吸引にて評価させた。評価項目は 11 段階臭気強度評価、9 段階快・不快度評価、2 段階容認性、SD 法によるにおい質評価である。11 段階臭気強度評価尺度を表 2-4 に 9 段階快・不快度評価尺度を表 2-5 に 2 段階容認性評価尺度を表 2-6 に SD 法におけるにおい質評価項目および尺度を表 2-7 に示す。臭気強度は AIJES に基づく 6 段階臭気強度表示法[17]を用いたが、より詳細に臭気強度の変化をみるため、間隔を 0.5 とし、11 段階で回答させ

た。パネルは T&T オルファクトメータを用いた嗅覚試験に合格し、正常な嗅覚を有すると判断できる 21～22 歳の女子 5 人とした。官能評価は評価に対するばらつきの確認も行うため、パネル 5 人に各 2 回行った。

表 2－4　11 段階臭気強度評価尺度

	0	無臭
	0.5	
	1	やっと感知できるにおい
	1.5	
	2	何のにおいであるかわかる弱いにおい
	2.5	
	3	楽に感知できるにおい
	3.5	
	4	強いにおい
	4.5	
	5	強烈なにおい

表 2－5　9 段階快・不快度評価尺度

	+4	極端に快
	+3	非常に快
	+2	快
	+1	やや快
	0	快でも不快でもない
	−1	やや不快
	−2	不快
	−3	非常に不快
	−4	極端に不快

表 2－6　2 段階容認性評価尺度

	1	受け入れられる
	2	受け入れられない

表 2-7　SD 法に基づくにおい質評価項目および尺度

A	非常にAと思う	Aと思う	ややAと思う	どちらでもない	ややBと思う	Bと思う	非常にBと思う	B
明るい								暗い
柔らかい								かたい
静かな								うるさい
重い								軽い
好き								嫌い
鋭い								鈍い
甘い								酸っぱい
清潔								不潔
鮮やかな								ぼやけた
刺激的な								穏やかな
永続的な								一時的な
自然な								人工的な
こってり								あっさり
清々しい								うっとうしい
覚醒的な								鎮静的な
あたたかい								つめたい
華やかな								地味な
きれい								汚い
はっきりした								ぼんやりした
水っぽい								油っぽい
植物的な								動物的な

（2） 結果・考察

無臭空気に対する臭気強度評価の結果を図 2-1 に示す。臭気強度の平均値は 0.64、標準偏差 0.57 であり、一定のばらつきが認められた。一方で、各評価データをみると、臭気強度 1 以下と評価した n 数は 9 データであった。臭気強度 1 は検知閾値に相当することから、無臭空気に対する平均値的な評価としては、臭気を検知できないレベルであるといえる。さらに、快・不快度の平均値は全データで「どちらでもない」を示す快・不快度 0 であり、そのにおいが「容認できない」と回答した割合を示す非容認率は 0 %であった。

以上より、無臭空気が複数のにおい物質が合わさった複合臭としてにおい質に与える影響は検知レベル以下であることが明らかになった。なお、臭気強度がにおい質を認知閾値である臭気強度 2 に達していないことから、本節では結果を記載しない。

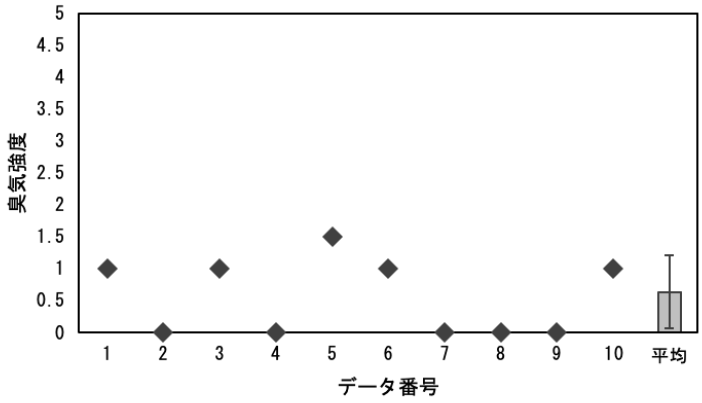


図 2－1　無臭空気に対する各パネルおよび平均の臭気強度評価

2－2－4．小括

本節では、におい・かおり環境協会推奨の製品を用い、活性炭を通し作成した無臭空気に対し、特定悪臭物質 22 物質および酢酸の定量分析および官能評価によるにおい感覚評価を行い、性能を評価した。得られた知見を以下に示す。

1) 無臭空気に対する特定悪臭物質 22 物質および酢酸ついての成分分析は全ての物質で閾希釈倍数が 1 未満であり、におい質に影響しない濃度まで低減できていることを確認した。
2) 無臭空気の官能評価では、臭気強度の平均値は、検知閾値の 1 未満であり、快・不快度の平均値は、「どちらでもない」の 0 であった。このことから、官能評価においても、におい質に影響をするレベル以下であることが明らかとなった。

以上の結果より、活性炭を用いて作成した無臭空気は、嗅覚測定において低濃度の評価を行うために、十分な無臭性を有していると判断した。

2－3．におい袋に対するにおい物質の吸着測定

2－3－1．試験方法

（1） におい袋に対するにおい物質吸着の測定方法

各におい物質を用い、試料採取用袋（フレックサンプラーF タイプ、近江オドエアーサービス株式会社）に基準となる気体の試料（以下、基準試料）を調製した。基準試料をにおい袋（3L のポリエチレンテレフタレート製、近江オドエアーサービス株式会社）

に活性炭を用いて調製した無臭空気により希釈した試料を調製した（以下、希釈試料）。希釈試料は基準試料注入直後の経過時間における袋内の濃度変化が起こりやすいため、室温 23～25 ℃で 30 分放置した。三点比較式臭袋法では、初期の提示濃度を各におい物質の閾値から 30 倍の濃度（3 L におい袋に 100 mL の試料を注入）で開始することが一般的であり、3 倍系列で希釈倍数を増加させ、3～4 段階で試験が終了するようにすすめる。これを考慮し、閾希釈倍数 300 を目安に基準試料の注入量を調製した。なお、におい袋法では、におい袋に試料を注入した際に試料による共洗いを実施しないため、本試験でも共洗いは実施せず、行った。

基準試料および希釈試料は、機器分析にて濃度を測定した。測定した基準試料濃度から、希釈試料濃度を計算上で求めたもの（以下、計算値）と測定した希釈試料濃度（以下、実測値）から、式 2-1 よりにおい物質濃度の回収率を計算する。

回収率（%）＝実測値（ppm）/計算値（ppm）×100　（式 2-1）

各物質について、基準試料 2 試料とその希釈試料 2 試料の計 4 試料を測定した。機器分析法による悪臭物質測定における室内変動係数が 0～14.5 %の範囲[18]にあることから、本研究では、4 回の測定値の平均値から±15%の範囲外を外れ値とし、外れ値を除いた測定値の算術平均値を回収率とした。

（2） 各試料の機器分析方法

分析方法は公定法に則り、硫化水素、トルエン、イソ吉草酸はガスクロマトグラフ（GC-2014、株式会社島津製作所）（以下、GC）、アセトアルデヒドは高速液体クロマトグラフ（CTA-20A、株式会社島津製作所）（以下、HPLC）をそれぞれ用いた。スカトールはガスクロマトグラフ質量分析計（GCMS-QP2010Ultra、株式会社島津製作所）（以下、GC-MS）を用いた。硫化水素、トルエン、イソ吉草酸の分析条件を表 2-8 に、アセトアルデヒドの分析条件を表 2-9 に、スカトールの分析条件を表 2-10 に示す。

硫化水素の分析方法は、試料を流量 100 mL/min で濃縮した試料濃縮管（試料濃縮管ヒーター付、ジーエルサイエンス株式会社）を液体アルゴンで冷却した状態で GC に接続し、キャリアガスを流し濃縮管を 70 ℃まで加熱上昇させ、GC に導入し、測定した。試料の濃縮量は基準試料の 1 回目が 5 mL、2 回目が 3 mL、希釈試料は 100 mL とした。

トルエンの分析方法は、シリンジで一定量測り取り試料を GC に直接注入し、測定した。注入量は基準試料が 200 μL、希釈試料が 1 mL とした。

イソ吉草酸の分析には、水酸化ストロンチウム被覆ガラスビーズ（ジーエルサイエンス株式会社）を充填したガラス製の試料捕集管を用いた。試料は 1000 mL/min の流量で試料捕集管に捕集し、針を装着せずに捕集管加熱炉に設置して 180 ℃まで加熱後、冷却した。冷却後、捕集管に針を装着し、再び加熱炉に設置し、液体のギ酸を 20 μL 注入して、180 ℃まで加熱し GC に導入し、分析を行った。試料濃縮量は基準試料が 200 mL、希釈試料が 2500 mL とした。

アセトアルデヒドの分析方法は捕集剤として、2,4-Dinitrophenylhydrazine をコーティングした球状シリカゲルが充填された試料捕集管（InertSep mini AERO DNPH、ジーエルサイエンス株式会社）を用いた。試料は、流量 300 mL/min で試料捕集管に捕集した。その後、アセトニトリルを 3 mL 吸引した注射器、試料捕集管、共栓付き試験管の順に連結し、捕集管から溶出した。得られた溶出液にアセトニトリルを加えて全量を 5mL に調整し、濃縮液とした。濃縮液をオートサンプラー（SIL-20A、株式会社島津製作所）で HPLC に 10 μL 注入し、測定した。試料濃縮量は基準試料が 10 mL、希釈試料が 3000 mL とした。

スカトールの分析方法には、ポーラスポリマービーズ（Tenax TA、ジーエルサイエンス株式会社）を充填した試料捕集管を用いた。試料は、流量 300 mL/min で試料捕集管に捕集し、窒素で 3 分間パージした。試料捕集管をオートサンプラー（AOC-20i、株式会社島津製作所）にて、GC-MS に導入し、測定した。試料濃縮量は基準試料が 1000 mL、希釈試料が 2500 mL とした。

表 2－8　硫化水素, トルエン, イソ吉草酸の分析条件

測定物質	硫化水素	トルエン	イソ吉草酸
検出器	FPD	FID	FID
カラム	β,β'－Oxydipropionitrile 25% Chromosorb W60/80 HP-ST (ジーエルサイエンス(株))	SP-1200+Bentone345 +1.75% Chrompsprb W60/80 AW-DMCS (ジーエルサイエンス(株))	FFAP+H3PO4 0.3＋0.3% Graphite Carbon 60/80 (ジーエルサイエンス(株))
捕集管加熱装置	FLUSH SAMPLER FLS-1 ((株)島津製作所)	FLUSH SAMPLER FLS-3 ((株)島津製作所)	FLUSH SAMPLER FLS-3 ((株)島津製作所)
キャリアガス	N_2(超高純度)	N_2(超高純度)、Air	N_2(超高純度)、Air
燃焼ガス	H_2(超高純度)、Air	H_2(超高純度)、Air	H_2(超高純度)、Air
カラム温度	70℃	50℃(5min 保持) →(5℃/min加温) 100° C	80℃ → (30℃/min) 220℃
検出温度(℃)	150	180	250
試料導入部温度(℃)	130	180	250
ガス流量(ml/min)	50	40	50

表 2－9　アセトアルデヒドの分析条件

検出器	UV検出器(λ = 254 nm)
カラム	Inertsil C4, 内径4.6mm,長さ 250mm, 膜圧5μm (ジーエルサイエンス(株))
オーブン	LC-20AD ((株)島津製作所)
移動相	A: 水、B: アセトニトリル
溶離モード	アイソクラティック
流量(ml/min)	1.0
カラム温度(℃)	40

表 2－10　スカトールの分析条件

カラム	InertCap Pure-WAX, 内径0.25mm 長さ60.0m , 膜圧0.25μm (ジーエルサイエンス(株))
キャリアガス	He
ガス流量(ml/min)	3.8
試料導入部温度(℃)	250
注入モード	分割注入、分割比 10:1
カラムオーブン温度	50℃(5min 保持)→ (20℃/min)250℃(5 min 保持)
MSインターフェース温度(℃)	250
イオン源温度(℃)	200
イオン化法	電子衝撃(EI)、0.3 kV
測定モード	フルスキャン
スキャン範囲	m/z 35-500

（3） 基準試料調製方法

① 硫化水素

2L の試料採取用袋に 1.8 L の無臭空気を充填し、36 ppm の硫化水素ガス（大陽日酸 JFP 株式会社）を 200 mL 注入し、22～25 ℃で 30 分間放置させたものを基準試料とした。

② トルエン

3 L の試料採取用袋に 3 L の無臭空気を充填し、99.5 %液体トルエン（富士フイルム和光純薬株式会社）を 15 μL 注入し、50 ℃で 30 分間放置させた気化ガスと無臭空気の混合ガスを 2 L の試料採取用袋に移し替えたものを基準試料とした。

③ イソ吉草酸

3 L の試料採取用袋に 3 L の無臭空気を充填し、98 %液体イソ吉草酸（関東化学株式会社）を 200 μL 注入し、50 ℃で 30 分間放置させた気化ガスを 10 L の試料採取用袋に無臭空気で 10 倍希釈したものを基準試料とした。

④ アセトアルデヒド

10 L の試料採取用袋に 10 L 無臭空気を充填し、1300 ppm のアセトアルデヒドガス（大陽日酸 JFP 株式会社）を 300 mL 注入し、22～25 ℃で 30 分間放置させた混合ガスを基準試料とした。

⑤ スカトール

3 L の試料採取用袋に 3 L の無臭空気を充填し、98 %固体スカトール試薬（4LLLE-HO、東京化成工業株式会社）を 0.05 g 注入し、22～25 ℃で 30 分間放置させた昇華ガスと無臭空気の混合ガスを 10 L の試料採取用袋に 10 倍希釈したものを基準試料とした。

2－3－2．結果および考察

各物質の回収率の結果を表 2-11 に示す。硫化水素は、におい袋内における濃度の計算値が 0.048～0.051 ppm であったのに対し、実測値は 0.018～0.020 ppm であり、回収率は 36～42 %となり、計算値と比較して実測値の顕著な低下がみられた。トルエンは、におい袋内における濃度の計算値が 69～78 ppm であるのに対し、実測値は 49～64 ppm

であった。回収率は 71～84 %であり、他の物質と比較すると、回収率は高い傾向にあった。イソ吉草酸は、におい袋内における濃度の計算値が 0.019～0.032 ppm であるに対し、実測値は 0.0019～0.0040 ppm であった。回収率は 6～21 %であり、著しく低下した。アセトアルデヒドは、におい袋内における濃度の計算値が 0.0038～0.0039 ppm であるに対し、実測値は 0.0031～0.0037 ppm であった。回収率は 79～98 %であり、高い回収率を示した。スカトールは、1 試料が外れ値のため、3 試料のデータで解析を行う。におい袋内における濃度の計算値が 0.0021～0.0028 ppm であるに対し、実測値は 0.00065～0.00099 ppm であり、回収率は 31～36 %であった。

各物質における測定結果に基づく平均回収率を図　2 - 2 に示す。平均回収率は硫化水素が 39 %、トルエンが 77 %、イソ吉草酸が 12 %、アセトアルデヒドが 91 %、スカトールが 34 %であった。回収率が最も高いアセトアルデヒドと最も低いイソ吉草酸では、8 倍の差があり、におい物質によりにおい袋内への吸着に大きな差があることが明らかとなった。

におい袋に対するにおい物質の吸着の要因としては、化学的吸着と物理的吸着の両者が考えられる。化学的吸着においては、におい物質が有する官能基とにおい袋の材質であるポリエチレンテレフタレート（以下、PET）との間での水素結合の影響が考えられる。カルボン酸基（-COOH）を有するイソ吉草酸やインドール構造にアミノ基（-NH）を有するスカトールは水素結合の供与体または受容体として作用し、PET のエステル基（-COO-）との間に強い相互作用を形成する可能性が考えられる。

物理的吸着は主にファンデルワールス力によるものが考えられ、一般的に分子量が大きくなるほど、分子間の力は大きくなる [19]。本研究で用いられるにおい物質の分子量でみると、分子量 131.18 のスカトールや、分子量 102.13 のイソ吉草酸は平均回収率が低い、すなわち袋内への吸着が大きい傾向にあるといえる。

閾値は回収率を考慮すると、アセトアルデヒドは測定値の約 0.9 倍が閾値といえるのに対し、イソ吉草酸は測定値の約 0.1 倍が閾値となる。以上のように、におい物質の閾値を三点比較式臭袋法で求める際には、におい物質ごとの回収率を考慮する必要がある。

表　2－１１　各物質の回収率の結果

	硫化水素				トルエン				イソ吉草酸				アセトアルデヒド				スカトール		
試料番号	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3
計算値(ppm)	0.048	0.048	0.051	0.051	78	78	69	69	0.019	0.019	0.032	0.032	0.0039	0.0039	0.0038	0.0038	0.0028	0.0021	0.0021
実測値(ppm)	0.020	0.019	0.018	0.019	64	56	58	49	0.0040	0.0019	0.0030	0.0020	0.0035	0.0031	0.0037	0.0037	0.00099	0.00065	0.00075
回収率(%)	42	40	36	37	82	72	84	71	21	10	9	6	89	79	98	97	35	31	36

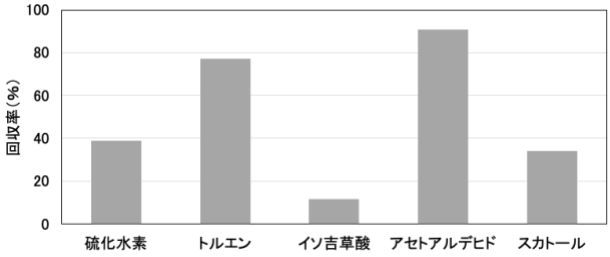


図 2-2　各物質の平均回収率

2-3-3．小括

本節では、スカトール、硫化水素、トルエン、イソ吉草酸、アセトアルデヒドを対象に臭袋法に用いられるにおい袋に対するにおい物質の回収率を測定した。得られた知見を以下に示す。

1) 臭袋法に用いられるにおい袋に対するにおい物質の平均回収率は、硫化水素が 39 %、トルエンが 77 %、イソ吉草酸が 12 %、アセトアルデヒドが 91 %、スカトールが 34 %であり、物質ごとの回収率には最大 8 倍の差が見られた。
2) 特にイソ吉草酸は PET への吸着性が高いことが示唆された。
3) におい袋を用いた閾値測定においては、におい物質の吸着特性に応じて回収率を考慮する必要があることが明らかになった。
4) スカトールは他の 4 物質と比較すると、回収率は低く、嗅覚閾値測定の際、回収率を考慮した算出が必要であると考えられる。

以上の結果より、におい袋に対するにおい物質の回収率は物質によって、大きく異なり、本研究で用いるスカトールは他の物質と比較し、回収率が小さいことから、嗅覚閾値測定の際、算出された閾値に対して、回収率によって補正する必要があることが明らかになった。

2-4．まとめ

本章では、低濃度の臭気を測定するにあたり三点比較式臭袋法で用いる活性炭により作成した無臭空気の性能評価として、特定悪臭物質 22 物質および酢酸について、定量分析を行い、無臭性を定量的に確認した。また、複合臭として検知される可能性を考慮し、官能評価によるにおい質の確認も併せて行った。次に、スカトールを含む 5 物質を

対象ににおい袋へ注入したにおい物質が袋内壁への吸着により減少する影響を把握するため、回収率の測定を行い、嗅覚閾値を正確に測定する検討をおこなった。得られた知見を以下の通りである。

1) 活性炭を用いて作成した無臭空気は特定悪臭物質 22 物質および酢酸の定量分析では、すべての全ての物質で閾希釈倍数が 1 未満であり、におい質に影響しない濃度まで低減できており、官能評価では、におい質に影響するレベル以下に管理できていることから、低濃度の臭気の測定で用いても影響が少ないと考えられる。

2) におい袋への物質吸着の測定として、スカトールを含む 5 物質の回収率を測定し、物質ごとで回収率に大きく差があり、回収率の低いにおい物質を測定する際は回収率を考慮する必要性といえる。スカトールの回収率は 34 %と比較的低いことから、スカトールの嗅覚閾値を測定する際は、回収率を反映させた嗅覚閾値を算出する必要がある。

参考文献

1) 環境省環境管理局：臭気指数規制ガイドライン，環境省，2001.

2) 永田 好男：臭気物質の嗅覚閾値の測定について―「三点比較式臭袋法による臭気物質の閾値測定結果」（日環セ所報 No.17，1990）の報告を振り返って―，におい・かおり環境学会誌，Vol.43，No.6，pp.401-407，2012.

3) 張 江，加藤 信介，成 旻起，千野 聡子，金 鐘訓：料理臭に対する嗅覚実験結果を用いた CFD 解析，日本建築学会環境系論文集，Vol.75，No.650，pp.347-353，2010.

4) 光田 恵，村田 順子，棚村 壽三：在宅介護環境のにおいに関する研究 ―第 1 報 在宅介護環境のにおいのレベル―，日本建築学会大会学術講演梗概集（東海），pp.871-872，2012.

5) 吉田 和之，磯本 淳貴，今井 秀秋，光田 恵，柏原 誠一，松田 克己：焼肉臭気成分の同定と市販内装材の臭気低減効果の検討,におい･かおり環境学会誌,Vol.39,No.2，pp.126-134，2008.

6) 光田 恵，萬羽 郁子，北川 舞，棚村 壽三：においの容認性に基づく基準値に関する研究―加熱式たばこのにおいを対象として―，日本建築学会環境系論文集，

Vol.89, No.825, pp.688-693, 2024.
7) 岩崎 好陽, 福島 悠, 中浦 久雄, 矢島 恒広, 石黒 辰吉：三点比較式臭袋による臭気の測定（I）－発生源における測定－, 大気汚染学会誌, Vol.13, No.6, pp.246-251, 1978.
8) 日本建築学会：室内の臭気に関する対策・維持基準・管理規準・同解説, 日本建築学会, 2005.
9) 環境省：嗅覚測定法精度管理マニュアル, 環境省, 2014, https://www.env.go.jp/air/akushu/seido/index.html（参照日：2025年11月10日）.
10) 環境省環境管理局大気生活環境室, 社団法人におい・かおり環境協会：嗅覚測定マニュアル, 環境省, 1996, p.55.
11) 永田 好男：臭気物質の嗅覚閾値の測定について ―「三点比較式臭袋法による臭気物質の閾値測定結果」（日環セ所報 No.17, 1990）の報告を振り返って―, におい・かおり環境学会誌, Vol.43, No.6, pp.401-407, 2012.
12) 永田 好男, 竹内 教文：三点比較式におい袋法による臭気物質の閾値測定結果, 日環セ所報, No.17, pp.77-89, 1990.
13) 水谷 千代美:介護現場の不快臭とその対策,日本家政学会誌,Vol.70,No.8,pp.562-566, 2019.
14) 星加 安之, 武藤 義一：Tenax-GC 試料捕集管を用いる空気中微量インドール類のガスクロマトグラフ分析, 分析化学, Vol.27, No.8, pp.520-524, 1978.
15) 板倉 朋世, 光田 恵, 棚村 壽三：高齢者のおむつ交換時における排泄物の臭気特性に関する研究, 日本建築学会環境系論文集, Vol.73, No.625, pp.335-341, 2008.
16) 伊藤 康孝, 鳥越 順之, 長谷川 雅一：新築建物における化学物質による室内空気汚染の実態調査, 空気調和・衛生工学大会学術講演論文集, pp.41-44, 2014.
17) 日本建築学会：室内の臭気に関する嗅覚測定法マニュアル, 日本建築学会, 2010.
18) 環境省 環境管理局大気生活環境室:“悪臭対策行政ハンドブック”,環境省,2002.
19) 吉田 泰彦, 安藤 寿浩, 蒲生 西谷美香, 田島 正弘, 宮崎 芳雄, 矢尾板 仁, 好野則夫：“基礎科学1 物質の構成と変化”, 実教出版, 2006.

第３章　硫黄系化合物を用いたにおい物質濃度に対する質的変化に関する検討

３−１．はじめに

においは、物質濃度の上昇によって強度変化だけでなく、におい質が変化するものが存在する[1)]。この濃度依存的質変化の特性を有する物質濃度によって応答する嗅覚受容体の数や種類が変化することでにおい質が変化することが報告されている[2)]。一方で、におい質が変化すると判断される濃度域、その境界としての変化点に関する知見は十分でない。嗅感覚に基づき、におい物質濃度より生じるにおい質変化の変化点を解明することは、快適な生活環境の設計、制御における基礎的なデータとして重要であると考える。さらに、室内のにおい環境において、においの印象や快適性の観点から、濃度だけでなく、におい質がどのように変化をするのかを捉えることが重要である。

そこで本章では、濃度依存的ににおい質が変化するとされる硫黄系におい物質である硫化メチルを対象とし、官能評価により質的嗅感覚の変化点およびにおい質の変化の様相を明らかにすることを目的とする。本研究では、官能評価において、におい質が変化した境界の濃度を変化点と定義した。変化点の解明は、まず、パネルごとに個人の嗅覚閾値を特定した上でにおい質に関する官能評価を実施した。硫化メチルのにおい物質濃度および臭気指数に対する臭気強度評価の関係を比較し、質的嗅感覚の変化点を解析・考察する際に、基準を物理量にするべきか、感覚量にするべきかを確立する。その上で選定した基準に基づき、変化点とにおい質評価の関係を検討するとともに室内において不快でないレベルに対応する空間の臭気濃度を求める。さらに、変化点を基準ににおい質がどのように変化したかを詳細に検討する。

なお、嗅覚閾値付近の低濃度では、希釈に用いる無臭空気の無臭性が評価を左右し得るため、本章の試験には第２章で性能評価を行った無臭空気を用い、低濃度域のにおい質評価の妥当性を担保した。

３−２．硫化メチルの物質特性について

硫化メチルは、CAS 番号 75-18-3、化学式 CH3-S-CH3、分子量 62.14、比重 0.845、融点− 83.2 ℃、沸点 37.5 ℃[3)]である。水への溶解度は 25℃のとき 22.0g/L と報告されている[4)]。嗅覚閾値は 0.0030 ppm[5)]であり、におい質は物質濃度により変化することが知られており、低濃度で野菜のクッキング臭、高濃度で海苔の佃煮様で刺激の強い臭気を持

つことが明らかになっている[2]。

３−３．個人の嗅覚閾値特定に関する試験

３−３−１．試験方法

（１） 試験概要

硫化メチルの気体を作成し、三点比較式臭袋法を用い、閾値算出を行った。試料の提示には鼻あてを用い、自己呼吸で吸引させた。硫化メチルは 0.8 ppm で臭気強度 4 を示す[5]ことが明らかになっており、強いと感じる臭気から徐々に強度の低下をみることと試験の行いやすさを考慮し、初期の提示試料の濃度は 1 ppm とした。また有臭として選定したものに対し、11 段階臭気強度評価、9 段階快・不快度評価、2 段階容認性、SD 法によるにおい質および自由記述の評価を行った。11 段階臭気強度評価尺度を表 ３-１、9 段階快・不快度評価尺度を表 ３-２、2 段階容認性尺度を表 ３-３、SD 法によるにおい質を表 ３-４に示す。臭気強度は 2-2-3 と同様、AIJES に基づく 6 段階臭気強度表示法[6]の間隔を 0.5 刻みとし、11 段階で回答させた。SD 法によるにおい質評価は硫化メチルのにおい質の表現に必要とされる対になる単語 16 項目を選定した。

（2） 試料作成方法

10 L 試料採取用袋（FL-F-010L、近江オドエアーサービス(株)）に活性炭を通した無臭空気を 10 L 充填し、マイクロシリンジ（80300、ハミルトン社）を用い、99 %硫化メチル試薬（1021-31103、ジーエルサイエンス(株)）を 0.3μL 注入した。なお、液体を気化させるため、40 ℃に設定した恒温槽で 2 時間置いたものを原臭とした。原臭は濃度を把握するため、試験使用直前にガス検知管（パイロテック No.53、(株)ガステック）、熱分解機器（パイロチューブ No.840、ガステック）、気体採取器（GV-100S、(株)ガステック）を用いたパイロテック測定システムで濃度測定を行った。なお、パイロテック測定システムを用いた濃度測定は、あらかじめガスクロマトグラフ分析計との対応を確認しており、測定精度が十分に確保できていることを確認した上で、本試験に用いた。提示試料は求めた原臭濃度をもとに無臭空気を充填したにおい袋への注入量を算出し、作成した。

表 3－1　11 段階臭気強度評価尺度

	0	無臭
	0.5	
	1	やっと感知できるにおい
	1.5	
	2	何のにおいであるかわかる弱いにおい
	2.5	
	3	楽に感知できるにおい
	3.5	
	4	強いにおい
	4.5	
	5	強烈なにおい

表 3－2　9 段階快・不快度評価尺度

	+4	極端に快
	+3	非常に快
	+2	快
	+1	やや快
	0	快でも不快でもない
	−1	やや不快
	−2	不快
	−3	非常に不快
	−4	極端に不快

表 3－3　2 段階容認性尺度

	1	受け入れられる
	2	受け入れられない

表 3-4　SD 法によるにおい質

A	非常にAと思う	Aと思う	ややAと思う	どちらでもない	ややBと思う	Bと思う	非常にBと思う	B
清潔								不潔
甘い								すっぱい
あっさり								こってり
嫌い								好き
華やかな								地味な
穏やかな								刺激的な
鈍い								鋭い
柔らかい								かたい
重い								軽い
清々しい								うっとうしい
きれい								汚い
鮮やかな								ぼやけた
水っぽい								油っぽい
植物的な								動物的な
薄っぺらい								厚みのある
はっきりした								ぼんやりした

（3） パネルと注意事項

パネルは、データの代表性、信頼性を確保するため、T&T オルファクトメータを用いた嗅覚試験に合格し、正常な嗅覚を有すると判断できる 19～21 歳の健康な男女 10 人とした。また、パネルにはあらかじめ次の注意事項を与え、試験前に試料の安全性についての説明を行い、同意の上で試験に参加させた。 注意事項は以下の通りである。

・飲食は試験の 15 分前までに済ませる。

・前日は必ず入浴し、洗体する。

・当日は香水や衣服の洗剤、柔軟剤などにおいがするものの着用は控える。

・当日は納豆、にんにく、ネギ、ニラ、コーヒーなど臭いが強い食べ物の接種は避ける。

（4） 嗅覚閾値算出方法

個人の嗅覚閾値は、AIJES に基づき、三点比較式臭袋法の提示濃度において、不正解だった濃度とその一段階上の提示濃度の平均値を算術平均にて算出し、得られた中間の

濃度とした[6)]。

3−3−2．結果および考察

（1） 個人の嗅覚閾値の検討

10 人で実施した個人の嗅覚閾値特定に対する試験の個人嗅覚閾値および上下 1 データずつカットし、算術平均にて求めた平均閾値を表 3-5 に示す。永田らの閾値[5)]である 0.003 ppm と比較すると、平均では若干高い値となった。個人の閾値を比較すると最大で 100 倍の差がみられたことから同濃度を提示していても、感じている強さである感覚強度に 100 倍の差がみられることが明らかになった。そのため、におい質の変化を明らかにするには，感覚強度の個人差を相殺した指標での検討が不可欠である。

表 3−5　10 人で実施した個人閾値特定に対する試験の個人の嗅覚閾値

パネル	個人閾値(ppm)
①	0.065
②	0.020
③	0.020
④	0.020
⑤	0.0065
⑥	0.0020
⑦	0.00065
⑧	0.00065
⑨	0.00065
⑩	0.00065
全平均	0.0136
上下1データカット平均	0.0088

※背景色灰色：上下カット時省くデータ

（2） 硫化メチル物質濃度および臭気指数に対する評価の比較

10 人で実施した個人の嗅覚閾値特定に対する試験の物質濃度および臭気指数に対する臭気強度の関係を図 3-1、図 3-2 に示す。物質濃度の対数に対する臭気強度と臭気指数に対する臭気強度を比較すると、臭気指数に対する相関係数の方が強い相関を示した。全体的な傾向では、臭気強度は物質濃度の対数より臭気指数の方が強い相関を示したことから、個人閾値の差が影響していると考えられる。そのため、個人の嗅覚閾値を基にした感覚量である臭気指数に対する質の変化を検討していく必要がある。

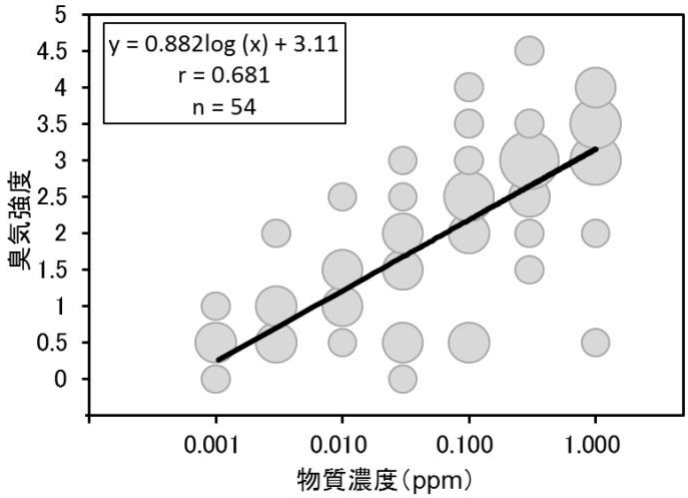


図　3－1　10 人で実施した個人の嗅覚閾値特定に対する試験のにおい物質濃度と臭気強度の関係

（注）丸の大きさは回答した人数を示す

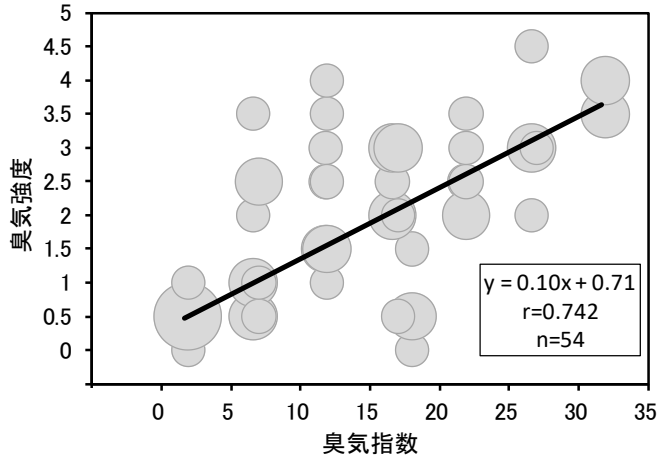


図　3－2　10 人で実施した個人の嗅覚閾値特定に対する試験の臭気指数と臭気強度の関係

（注）丸の大きさは回答した人数を示す

３−４．におい質評価試験

３−４−１．試験方法

（１） 試験概要

3-3-1 で作成した試料に対し、3-3-1 と同様の評価項目でにおい質評価を行った。各試料の提示には 5 分間のインターバルを設け、上昇法で行い、鼻あてを使用し、吸引させた。

（２） 試料作成方法

3-3-1 と同様とする。 3-3-2 で得られた結果から、5 段階の濃度を設定し、試料作成を行った。提示試料濃度を

表３-６に示す。

表３−６　におい質評価に対する官能評価の提示資料濃度

試料名	濃度(ppm)
A	0.0008
B	0.004
C	0.008
D	0.08
E	0.8

（３） 評価方法と嗅覚閾値の算出方法

3-3-1 と同様の評価項目でにおい質評価を行った。個人嗅覚閾値は 臭気強度 1 以下と回答した濃度とその一段階上の提示濃度の平均値を算術平均にて算出し、得られた中間の濃度とした。

（４） パネルと注意事項

パネルはデータの代表性、信頼性を確保するため、T&T オルファクトメータを用いた嗅覚試験に合格した 18〜19 歳の健康な男女 25 人とし、注意事項等は 3-3-1 と同様である。

３−４−２．におい質評価の解析方法

（１） 臭気濃度区分

SD 法によるにおい質評価を基に、臭気濃度ごとのにおい質についてにおい質の特徴および変化を明らかにする。なお、臭気濃度は臭気濃度 1〜3 未満、臭気濃度 3〜10 未

満…と 3 倍系列ごとに分けたものを群とし、各臭気濃度群単位で解析を行った。

（2） 平均値の有意差検定

有意差検定には、統計解析ソフト（エクセル統計バージョン 4.09、株式会社社会情報サービス）を用いた。一元配置分散分析を行い、各項目の平均値に対する比較を行った。

（3） におい質評価に基づくパターン類似率

各形容詞対で有意差が見られなかったことから、SD 法におけるにおい質評価を総合的に解析するため、臭気濃度ごとのにおい質の類似性について検討を行った。ＳＤ法によるにおい質評価を基に、平均値プロフィールを作成し、その平均値プロフィールのパターン類似率から、各条件のにおい質の類似性を検討した。パターン類似率は、比較する 2 つの試料に対し、評価パターンの類似率を示した指標であり、機器分析によって得られるスペクトルとして数値群パターンを解析する必要上から発展してきたものである。2 つの数値群パターンＡ（a_1、a_2、…a_n）とパターンＢ（b_1、b_2、…、b_n）とのパターン類似率をＳ（A,B）とすると、次式で示される [7)、8)]。

$$S(A,B)=\frac{\sum_{i=1}^{n}a_i b_i}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}a_i^{\,2}}\sqrt{\sum_{i=1}^{n}b_i^{\,2}}} \qquad \cdots\text{（式３－１）}$$

パターン類似率は、2 つのパターンが共通の成分をまったく含まない場合には 0 となり、パターンが類似するほど 1 に近づく数値である。完全に同一のパターンの場合、パターン類似率は 1 となる。

大迫らは、におい質に基づくパターン類似率と、感覚的類似度を示す 11 段階類似度尺度との関係を明らかにしている [7)]。その結果、パターン類似率が 0.9 以上の場合には類似度 4.5～6.5 程度で「かなり酷似している」、0.8 以上の場合には類似度 3～5.5 程度で「やや酷似している」と判断できることが明らかになり [8)] その後、高齢者施設の低濃度臭気 [9)]や生活環境における不快臭 [10)]などで用いられているパターン類似率を用いた。

本章では、これらの既往研究における判断基準を参考に、提示した各試料間のパターン類似率 0.8 を基準として検討する。

３−４−３．結果および考察

（1） におい質に対する個人差の検討

25 人に実施した試験により得られた各パネルの臭気指数に対する快・不快度の動向を図 ３-３、図 ３-４に示す。快側に注目すると、パネル a、パネル m は、常に快と評価している。硫化メチルのにおい質は常に快と回答する者が少数であるが存在することが考えられる。これらのパネルは、自由記述欄に「コーンポタージュ」と記述しており、硫化メチルのにおい質として「コーンポタージュ」を想起させることがあり、快側に回答しているものと推測できる。

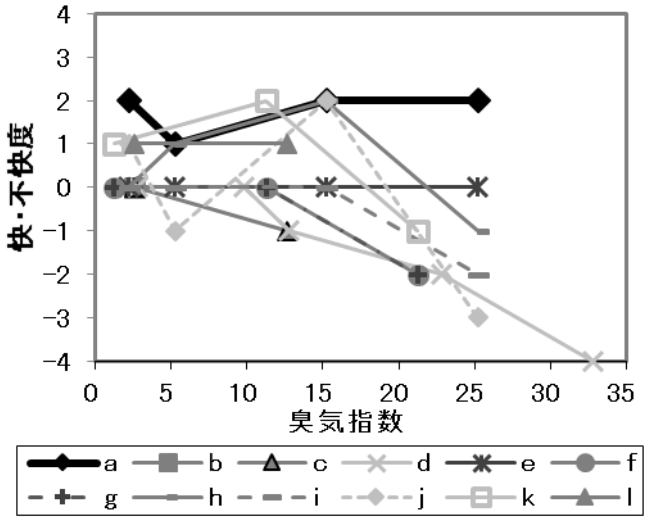


図 ３−３　各パネルの臭気指数に対する快・不快度の変化（パネル a〜パネル l）

（注）臭気指数が上昇した場合での快側の評価をしているパネルを黒線で示した

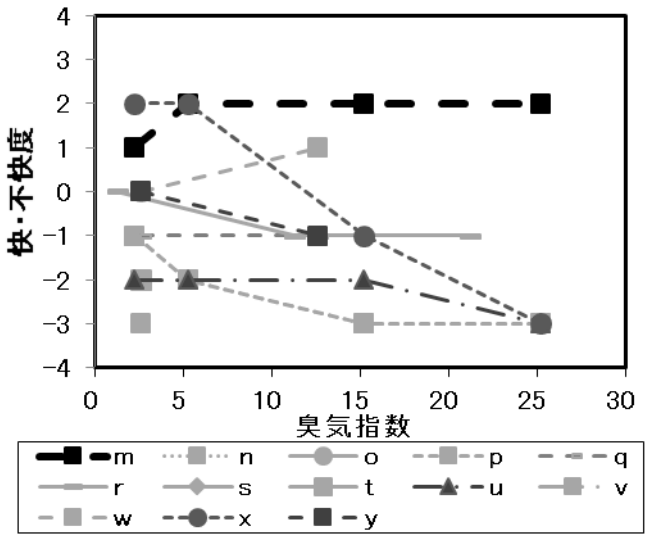


図 3－4　各パネルの臭気指数に対する快・不快度の変化（パネルｍ～パネルｙ）

（注）臭気指数が上昇した場合での快側の評価をしているパネルを黒線で示した

（2） 快・不快度からの検討

25 人に実施した試験により得られた臭気指数に対する快･不快度の関係を図 3-5 に示す。先に述べた通り、硫化メチルにおいて高濃度でも快側に評価するパネルが存在する一方、全体では臭気指数が上昇するにつれて、不快側の評価が増加している。本節では、全体的な傾向をみるため、回帰直線から不快と感じられる臭気指数を算出する。快から不快へと評価が変化する変化点を快･不快度-1 とすると、不快度-1 の時には臭気指数 19（臭気濃度 80）であった。よって、硫化メチルは個人の閾値から 80 倍の濃さになると、におい質が不快な評価になることいえる。

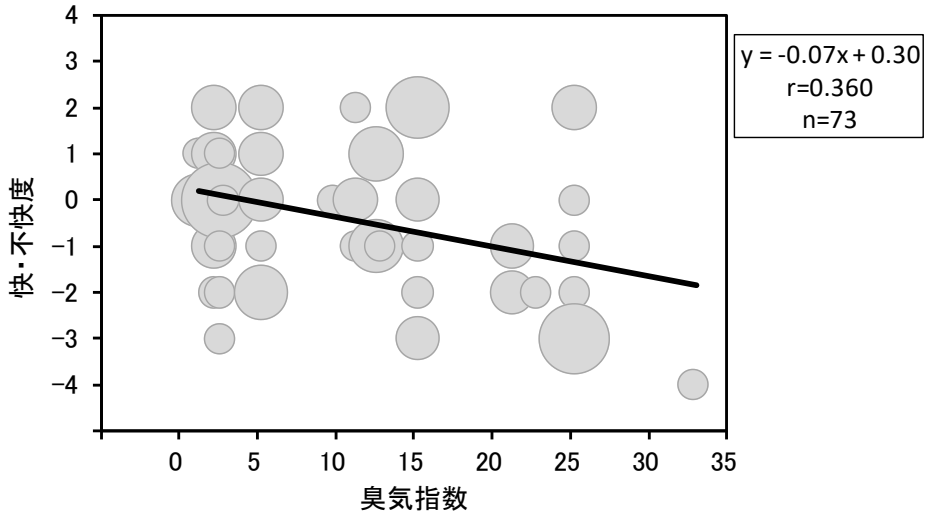


図 3－5　25 人に実施した臭気指数に対する快・不快度の関係

(注)丸の大きさは回答した人数を示す

（3） におい質評価からの検討

① におい質が変化する濃度の検討

硫化メチルのにおい質は個人差もみられたが、個人差を含め、SD 法で得られたにおい質評価からにおい質変化に対し、検討を行う。25 人に実施したにおい質に対する官能評価で得られたにおい質評価をもとに、臭気濃度群で解析を行う。

各臭気濃度に対する平均値プロフィールを図 3-6 に示す。形容詞の系統ごとに 4 つに分類し、表示した。「快適性」として「きれい」「清潔」「清々しい」などを、「刺激性」として「穏やかな」、「鈍い」などを、「印象」として「華やかな」「鮮やかな」などを、「状態」として「あっさり」「甘い」などを分類した。また、左側にプラスと考えられる形容詞、右側にマイナスと考えられる形容詞とした。SD 法を用いたにおい質評価における平均値プロフィールに基づき「どちらでもない」を 0 とし、-3～+3 までの 7 段階における両側尺度での各臭気濃度群間のパターン類似率を図 3-7 に示す。「臭気濃度 1～3 未満」と「臭気濃度 3～10 未満」の低濃度間、「臭気濃度 100～300 未満」と「臭気濃度 300～」の高濃度間では中濃度間と比較し、隣接群における類似率が高いことが明らかとなった。各臭気濃度群間のパターン類似率を「臭気濃度 1～3 未満」と「臭気濃度 3～10 未満」等の 3 倍間隔、「臭気濃度 1～3 未満」と「臭気濃度 10～30 未満」等の 10 倍間隔、「臭気濃度 1～3 未満」と「臭気濃度 30～100 未満」等の 30 倍間隔、「臭気濃度 1～3 未満」と「臭気濃度 100～300 未満」等の 100 倍間隔、「臭気濃度 1～3 未満」と

「臭気濃度 300～」の 300 倍間隔と臭気濃度群の間隔ごとのパターン類似率に着目する。臭気濃度 10 倍間隔のパターン類似率において、「臭気濃度 10～30 未満」と「臭気濃度 100～300 未満」では類似率 0.34 であり、他の 10 倍間隔の類似率と比較し、非常に低い値となった。また、30 倍間隔の「臭気濃度 3～10 未満」と「臭気濃度 100～300 未満」ではパターン類似率 0.322、100 倍間隔の「臭気濃度 1～3 未満」と「臭気濃度 100～300 未満」ではパターン類似率 0.403 と低いことから、臭気濃度 100 未満と臭気濃度 100 以上でにおい質評価のパターンが変化している可能性が示唆された。

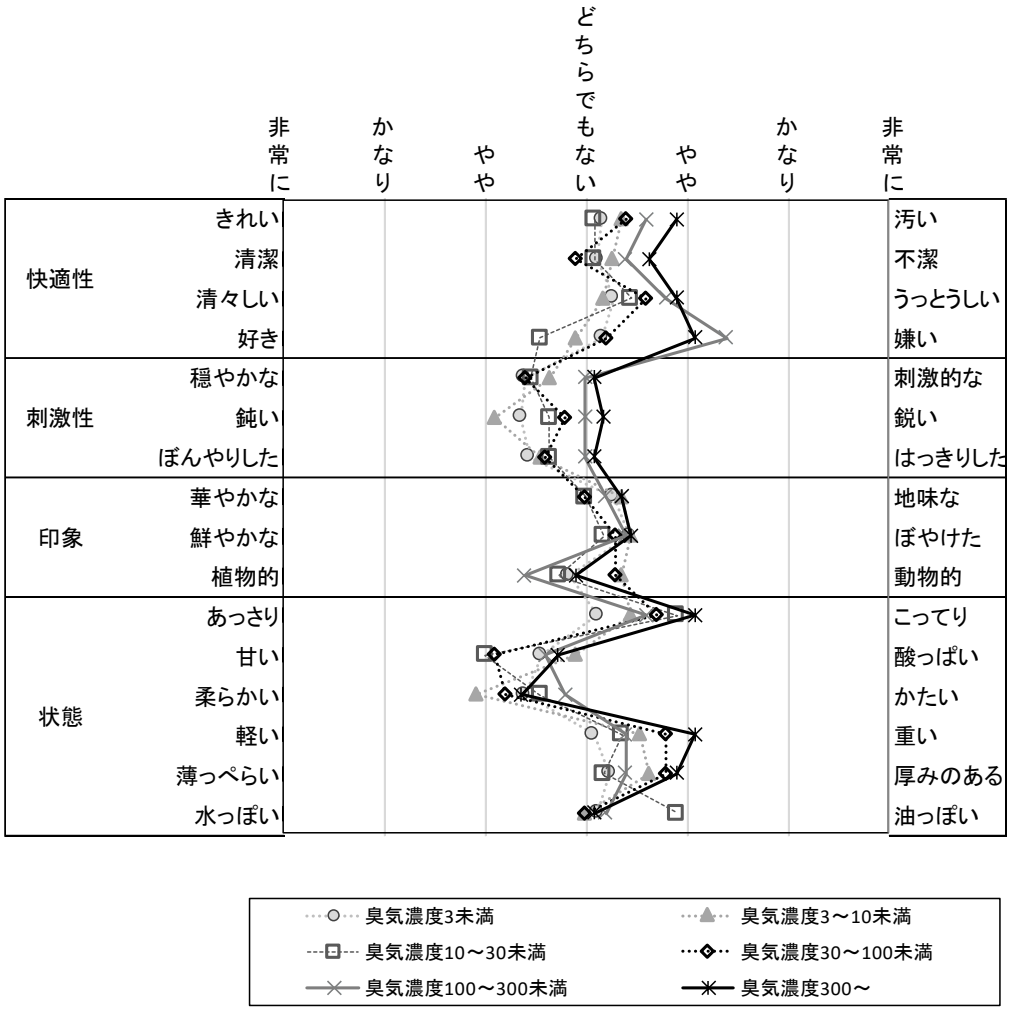


図 3-6　におい質に対する官能評価で得られた臭気濃度 3 倍系列ごとの平均値プロフィール

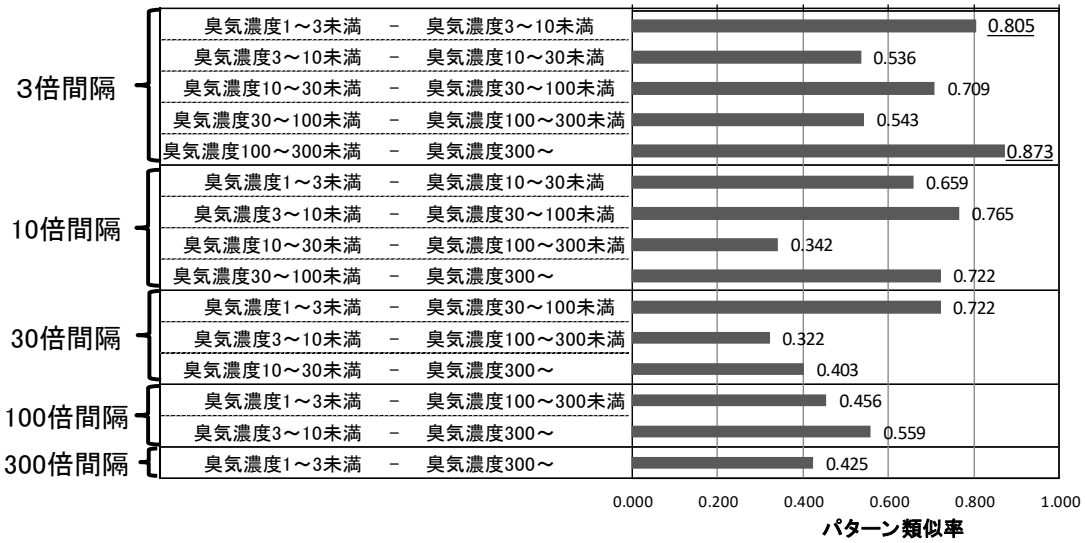


図 3－7　においに対する官能評価で得られた SD 法に基づく
においの臭気濃度ごとのパターン類似率

（注）1. 項目は物質濃度（w/w）、数値はパターン類似率
2. 下線の数値はパターン類似率 0.800 以上を示す

②　変化するにおい質の詳細

前節の結果より、におい質は臭気濃度 100 を境に平均値プロフィールのパターンの変化が見られたことから、「臭気濃度 100 未満」と「臭気濃度 100 以上」2 群でのにおい質について解析を行う。

図 3-8 に「臭気濃度 100 未満」、「臭気濃度 100 以上の平均値プロフィールと各項目における有意差検定の結果を示す。「印象」「状態」は臭気濃度が変化しても、ほぼ同位置にプロットされており、差は見られなかったが、「快適性」「刺激性」は「印象」「状態」と比較し、「臭気濃度 100 未満」と「臭気濃度 100 以上」の評価に差がみられた。「臭気濃度 100 以上」では、「臭気濃度 100 未満」よりマイナス側に評価されていた。各項目に対し、有意差検定を行った結果、「清々しい - うっとうしい」「好き-嫌い」「鈍い-鋭い」の評価に対し、5%水準で有意な差が認められた。このことから、臭気濃度 100 以上でうっとうしさ、鋭さが上昇し、嫌いなにおい質になる。自由記述では、臭気濃度 100 未満では「やさしい」「甘い」などがあるのに対し、100 以上では「はっきり」「濃い」など刺激のあることを想起させる言葉が多くみられた。

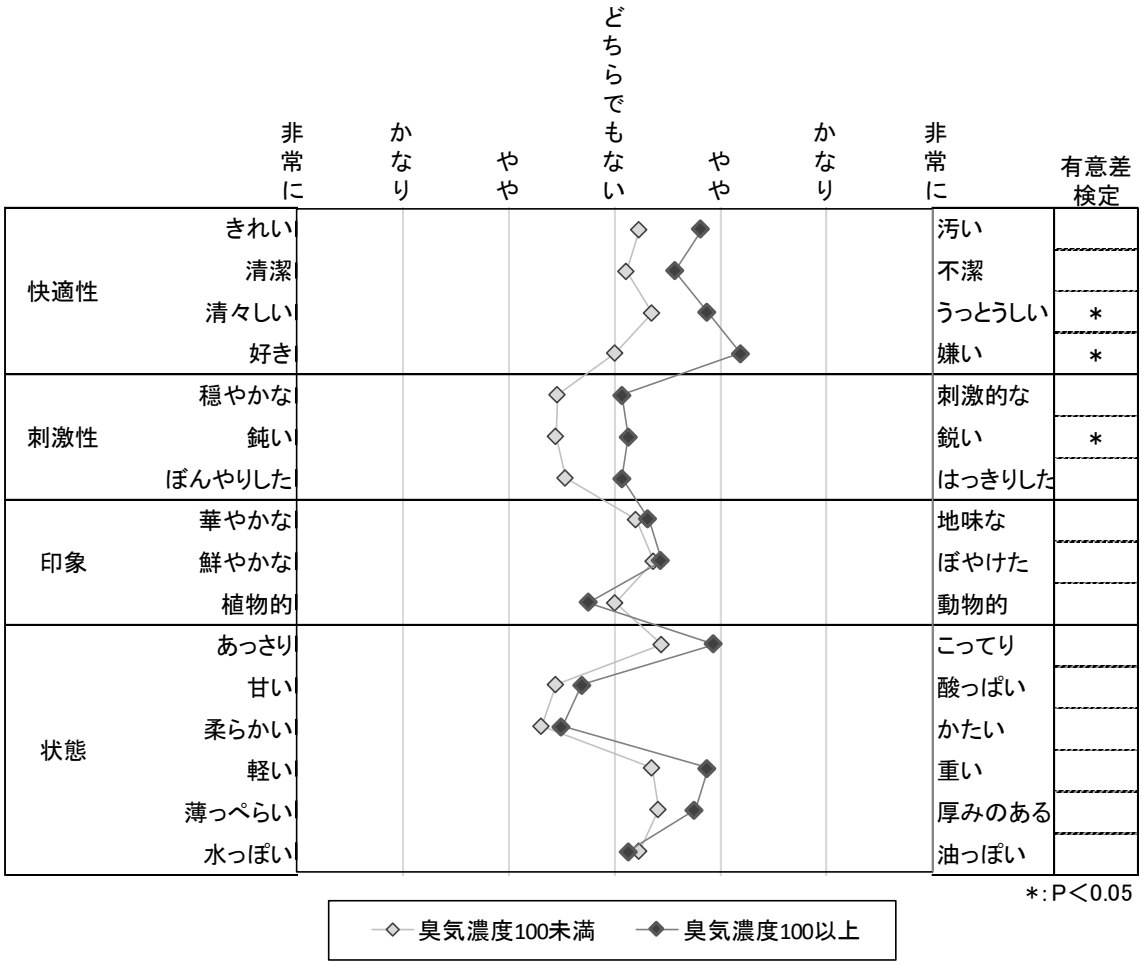


図 3－8　におい質に対する官能評価で得られた
「臭気濃度 100 未満」と「臭気濃度 100 以上」の平均値プロフィール

3－5．まとめ

本章では、高濃度と低濃度でにおい質が変化する硫化メチルに対し、におい質が変化する濃度を明らかにすることを目的に、個人の嗅覚閾値と官能評価を行った。得られた知見を以下の通りである。

1) 臭気強度に対し、におい物質濃度に比べ、個人の閾値を基にした臭気指数の相関が高く、におい質の検討には、個人の嗅覚閾値の差から生じる濃度の個人差を省ける感覚量である臭気濃度および臭気指数を用いる必要があることが明らかになった。

2) におい質に変化が現れる物質濃度は個人の閾値で 100 倍の差があることが影響

し、におい質に変化が現れる濃度を明確にすることはできなかった。

3) 硫化メチルのにおい質は個人差が顕著にみえる物質であり、全体では臭気濃度が上昇するにつれ、不快度が高くなる傾向にあるが、臭気濃度が上昇しても、常に快と感じる被検者が一定数存在することが確認できた。

4) におい物質濃度を閾値に基づく臭気濃度に変換して検討すると、硫化メチルのにおい質の変化点としては、臭気濃度 80 で明確に不快の評価となり、臭気濃度 100 でにおい質評価にも変化がみられることが明らかとなった。したがって、個人の閾値から 80 倍の濃さになると、快・不快度が不快側の評価になり、100 倍になるとにおい質のうっとうしさ、鋭さが上昇することが明らかとなった。

参考文献

1) 斉藤 幸子, 井濃内 順, 綾部 早穂, 吉井 文子, 中野 詩織：嗅覚概論―臭気の評価の基礎, 公益社団法人におい・かおり環境協会, 2014.

2) 川崎 通昭,堀内 哲嗣郎：嗅覚とにおい物質, 社団法人におい・かおり環境協会, 2006.

3) 公益社団法人におい・かおり環境協会：ハンドブック悪臭防止法（六訂版), ぎょうせい, 2020.

4) 厚生労働省：職場のあんぜんサイト　安全データシート　硫化ジメチル, https://anzeninfo.mhlw.go.jp/anzen/gmsds/75-18-3.html（参照日：2025 年 11 月 12 日).

5) 永田 好男, 竹内 教文：三点比較式臭袋法による臭気物質の閾値測定結果, 日環セ所報, No.17, pp.77-89, 1990.

6) 日本建築学会:室内の臭気に関する嗅覚測定法マニュアル　日本建築学会環境基準 AIJES-A007-2010, 2010.

7) 大迫 政浩ほか：におい質パターンによる複合臭の評価方法の検討（第 1 報）基本臭の推定, 大気汚染学会誌, Vol.25, pp.46-55, 1990.

8) 大迫 政浩ほか：におい質パターンによる複合臭の評価方法の検討（第 2 報）複合臭の強度およびにおい質の推定, 大気汚染学会誌, Vol.25, pp.56-65, 1990.

9) 光田 恵, 平井 真貴, 吉野 博, 池田 耕一：臭気感覚評価からみた高齢者施設にお

ける低濃度臭気測定法の検討，におい・かおり環境学会誌，Vol.36，No.1，pp.1-11，2005.

10）大黒 さゆり，光田 恵，棚村 壽三，内山 一寿：生活環境における不快臭の主成分の解明および官能評価による手法の提案,におい･かおり環境学会誌,Vol.53,No.5,pp.285-294，2022.

第４章　窒素系化合物を用いたにおい物質濃度に対する質的変化に関する検討

４−１．はじめに

前章では、濃度依存的質変化の特性を有する硫黄系におい物質である硫化メチルを対象に、におい質が変化した濃度の境界を質的嗅感覚の変化点と定義し、個人の嗅覚閾値を踏まえた上で変化点を解明した。また、個人の嗅覚閾値の差を考慮するため、感覚量である臭気指数を用いた解析を行う必要性を示した。

本章では、硫化メチルと同様に濃度依存的ににおい質が変化する特性を有し、スカトール[1)]を対象とし、スカトールのにおい質が変化する濃度の変化点を同定するとともににおい質の変化の様相を明らかにすることを目的とする。

本検討は二段階で行う。第一に、T&T オルファクトメーター試薬として市販される液体スカトールを用いて、個人ごとの嗅覚閾値を特定し、におい質が変化し始める濃度の傾向を把握する。液体試料は濃度の管理が容易であり、におい質変化の傾向を把握するための官能評価に適している。しかし、揮散挙動や各パネルによる試料と鼻まで距離の差などで、実際、嗅いでいる試料の濃度が安定しない可能性がある。そこで、第二に、ガス化したスカトールを用いた試験を実施し、個人の嗅覚閾値を特定した上でにおい質関する官能評価を実施した。第３章の結果より、本章も嗅感覚におけるにおい質の変化は感覚量を用いて、変化点とにおい質がどのように変化したかを詳細に検討する。さらに臭気濃度とにおい質の関係から、AIJES で示されている室内の臭気に関する推奨値、許容値[2)]に対応するスカトールの臭気濃度も明らかにする。

なお、無臭空気は第３章同様に、第２章で妥当性を担保したものを用いる。加えて、スカトールはにおい袋に対するにおい物質の回収率が低いため、嗅覚閾値の算出では第２章で得られた回収率を反映し、閾値の補正を行う。

４−２．スカトールの物質特性について

スカトールは、CAS 番号 83-34-1[3)]、化学式 C_9H_9N、分子量 131.18、融点 76℃、沸点 266℃、蒸気圧 0.0053mmHg/25℃である[4)]。天然では、動物性香料の一つでエチオピアのアビシニア高原に生息するジャコウ猫の雌雄にある分泌腺のうの分泌物であるシベット[5)]チーズ、ミルクに含まれている。におい質は物質濃度により変化することが知ら

れており、低濃度では清涼感のある快いにおい、高濃度で糞便様の不快臭といわれている[6]。スカトールの受容には嗅覚受容体 OR2L3 が応答することが解明され、その応答を抑制するアンタゴニスト香料も発見されている[7]。

４−３．T&T オルファクトメーター試薬を用いたスカトールのにおい質評価試験

４−３−１．個人の嗅覚閾値特定に関する試験

（１） 試験方法

① 試験概要

個人の検知閾値は、パネル選定試験に用いられている 5-2 法により測定した。5-2 法とは、5 本のにおい紙のうち、2 本に有臭試料、3 本に無臭液をついたものをパネルに嗅がせ、においの付いた 2 本を選び出す試験である[1]。

試料提示は最も濃い濃度から行い、正解したら 1 段階低い濃度を提示し、1 本でも外れる濃度まで実施した。検知閾値の算出は 1 本でも外れた濃度と 2 本とも正解した最も低い濃度の中間の濃度を個人の検知閾値とした。

② 提示試料

試料は嗅覚測定用基準臭である T&T オルファクトメーター試薬の液体スカトール（第一薬品産業株式会社）10^{-8}、$10^{-7.5}$、10^{-7}、$10^{-6.5}$、10^{-6}、$10^{-5.5}$、10^{-5}（w/w）の濃度を用いた。液体スカトールの溶剤は流動パラフィンであった。

③ パネルの選定

スカトールは検知閾値の個人差が大きい物質として知られており、スカトールに対する個人の検知閾値は 10^{-12} 倍（1 兆倍）の差があり、最も感度の高いパネルは 10^{-14}、最も感度の低いパネルは 10^{-2} である[8]。そのため、本研究では、パネル選定試験に合格したパネルのうち、高木らが示したスカトールの検知閾値分布において、80%以上のパネルの閾値が入る濃度範囲を検知閾値とする者を対象とした。すなわち、パネル選定試験に用いられるスカトール試薬濃度 10^{-8} 以上 10^{-5} 以下の検知閾値を有する者をパネルとした。

パネル候補者 21 人に検知閾値の測定を行い、検知閾値が外れていないことが確認されたパネルに対し、におい質評価を行い、物質濃度におけるにおい質の変化を検討した。

パネル属性としては、非喫煙者の 19〜22 歳の男女 21 人（男性 5 人、女性 16 人）である。なお、本試験はヘルシンキ宣言の精神に則り実施した。試験開始前に試験内容をパネルに十分説明し、試験中も途中辞退が可能である点を伝え、参加同意が得られた者のみをパネルとして採用した。

（2） 結果および考察

検知閾値測定試験の個人の検知閾値を表 4 - 1 に示す。個人でみると、最も検知閾値の高いパネルが $10^{-6.25}$、最も検知閾値の低いパネルが $10^{-8.75}$ であった。前記で示した本試験のパネル選定基準である個人閾値 10^{-8} 以上 10^{-5} 以下であったパネルは 21 人であり、2 人のパネルは選定基準から外れていたため、2 人を除く 19 人をパネルとして採用する。既往の研究において、1015 人を対象としたスカトールの検知閾値の分布によると、10^{-5} は全体の 23%、10^{-6} の検知閾値は全体の 46%、10^{-8} は全体の 6%であり、合わせると約 75%を占める [8]。これらの結果を踏まえると、本研究の 19 人パネルの閾値は一般的な検知閾値を有していることがわかる。

表 4－1　個人の嗅覚閾値

（w/w）

パネル	個人閾値	パネル	個人閾値	パネル	個人閾値
1	$10^{-8.75}$	8	$10^{-7.25}$	15	$10^{-6.75}$
2	$10^{-8.25}$	9	$10^{-7.25}$	16	$10^{-6.75}$
3	$10^{-7.75}$	10	$10^{-7.25}$	17	$10^{-6.75}$
4	$10^{-7.75}$	11	$10^{-7.25}$	18	$10^{-6.75}$
5	$10^{-7.75}$	12	$10^{-6.75}$	19	$10^{-6.75}$
6	$10^{-7.75}$	13	$10^{-6.75}$	20	$10^{-6.75}$
7	$10^{-7.25}$	14	$10^{-6.75}$	21	$10^{-6.25}$

4－3－2．におい質評価試験

（1） 試験方法

① 試験概要

パネルは配布された試料の蓋を開け、瓶の開口から 2 cm 程度の距離からヘッドスペースガスを普通の呼吸で吸引し、におい質評価を行った。各試料の提示は嗅覚順応の発生を考慮し、評価終了後から 5 分間のインターバルを設けて提示した。評価項目は、10 段階の臭気強度、9 段階の快・不快度、2 段階の容認性、および SD 法によるにおい質

とした。臭気強度評価尺度を図 4-1、快・不快度評価尺度を図 4-2、2 段階容認性評価尺度を図 4-3、におい質評価項目を表 4-2 に示す。10 段階の臭気強度評価尺度は AIJES では 0〜5 の間隔を 1 とした 6 段階尺度が用いられている[2)]が、本試験では感覚強度の差をより詳細に把握するために、臭気強度評価尺度の検知閾値以上である臭気強度 1〜5 の間隔を 0.5 とした 10 段階尺度を使用して評価させた。におい質評価の項目には、第 3 章の硫化メチルを対象とした検討にて用いられた用語を使用した。一部には形容詞になっていない用語も含まれているが、そのまま用いた。

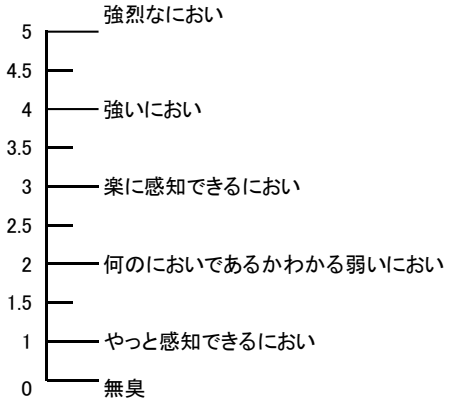


図 4－1　10 段階臭気強度評価尺度

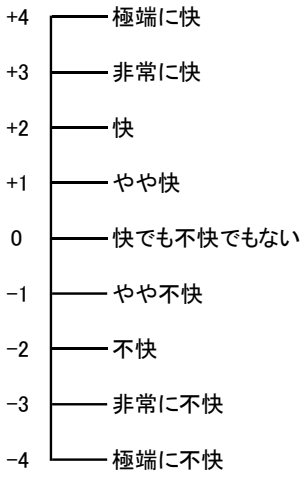


図 4－2　9 段階快・不快度評価尺度

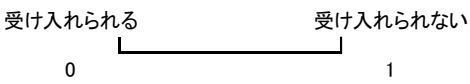


図 4－3　2 段階容認性評価尺度

表 4－2　SD におけるにおい質評価尺度

1 非常に	2 かなり	3 やや	4 どちらでもない	5 やや	6 かなり	7 非常に
明るい		暗い		永続的な		一時的な
柔らかい		かたい		自然な		人工的な
静かな		うるさい		こってり		あっさり
重い		軽い		清々しい		うっとうしい
好き		嫌い		覚醒的な		鎮静的な
あたたかい		つめたい		清潔		不潔
華やかな		地味な		鮮やかな		ぼやけた
鋭い		鈍い		刺激的な		穏やかな
甘い		酸っぱい		きれい		汚い
はっきりした		ぼんやりした				

②　提示試料

スカトールは 5-3-1 と同様のものを用いた。提示濃度は 10^{-8}〜10^{-5} の範囲かつ、5-3-1 で測定した個人の検知閾値で最も低い検知閾値が $10^{-7.75}$ であったため、$10^{-7.75}$ 以上の濃度 $10^{-7.5}$、10^{-7}、$10^{-6.5}$、10^{-6}、$10^{-5.5}$、10^{-5}（w/w）を用いた。容量 20 mL の褐色の試料保存瓶（スクリュー管瓶 No.5、アズワン株式会社）にスカトール液体試料 500 μL を入れ、蓋を占めて 15 分間放置し、ヘッドスペースの濃度を均一にした状態で、パネルに提示した。

なお、蓋を占めてからの放置時間は、予備試験にて、試料を注入した瓶をそれぞれ異なる放置時間で準備し、3 人で臭気強度の評価を行った結果、15 分以降で臭気強度の評

価が一定になったことから、15 分でヘッドスペース中の濃度が平衡に達していると判断し、室温 23～25 ℃、15 分放置とした。

③ パネル選定方法

5-3-1 と同様とする。

（2） 結果および考察

① 物質濃度と臭気強度の関係

臭気強度の解析においては、5-3-1 で示した各パネルの検知閾値を考慮し、各パネルがにおいを感じる検知閾値以上の試料の回答のみを解析に用いた。第 3 章の結果より、濃度差におけるにおい質変化の研究では、個人の閾値を基準にした臭気指数を用いて、検討されている。本試験では、パネル選定により、標準的な閾値を有するものをパネルとすることで個人差の影響を考慮したため、物質濃度を用いて検討する。

スカトール試薬の物質濃度と臭気強度の関係を図 4 - 4 示す。横軸に物質濃度、縦軸に臭気強度、丸の大きさは回答した人数を示す。近似式 $y = 1.01\log10(x) + 8.67$、 $R^2 = 0.443$ である。物質濃度 10^{-7} は臭気強度 1～1.5 と評価されており、物質濃度 10^{-5} では、臭気強度 1～5 と評価にばらつきがあるが、90%のパネルが臭気強度 3 以上と評価している。全体的に、物質濃度が上昇するにつれて、臭気強度が上昇することがわかる。臭気指数と臭気強度を関係についても確認し、近似式 $y = 1.54\log10(x) + 1.00$、 $R^2 = 0.224$ であった。物質濃度と臭気強度の関係と比較すると、R^2 が低いことから、物質濃度を基準として検討を行う。

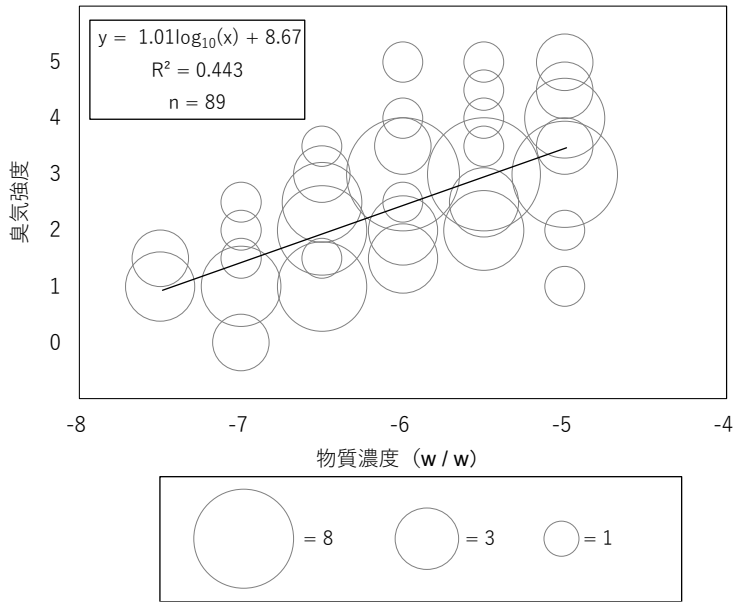


図 4－4　スカトール試薬の物質濃度と臭気強度の関係

（注）横軸は物質濃度 10^{-n} の n で対数目盛、丸の大きさは回答者数を示す

②　物質濃度と快・不快度の関係

快・不快度の解析においても、臭気強度の解析と同様、各パネルがにおいを感じる検知閾値以上の試料の回答のみを解析に用いた。

スカトール試薬の物質濃度と快・不快度の関係を図 4-5 に示す。横軸に物質濃度、縦軸に快・不快度、丸の大きさは回答した人数を示す。近似式 $y = -0.875 \log10 (x) - 6.86$、$R^2 = 0.316$ である。物質濃度 10^{-6} 未満では快よりの回答がみられ、物質濃度の上昇に伴い、不快度が上昇する傾向がみられる。スカトールは低濃度で白い花を想起させる香り[1)]として、香水の微量成分としても使用されていることから、低濃度では快側の回答するパネルが存在することが考えられ物質濃度の上昇に伴い、快側から不快側へと変化するが、評価において明確に不快側を示す「やや不快」の-1 の物質濃度は $10^{-6.7}$ になる。

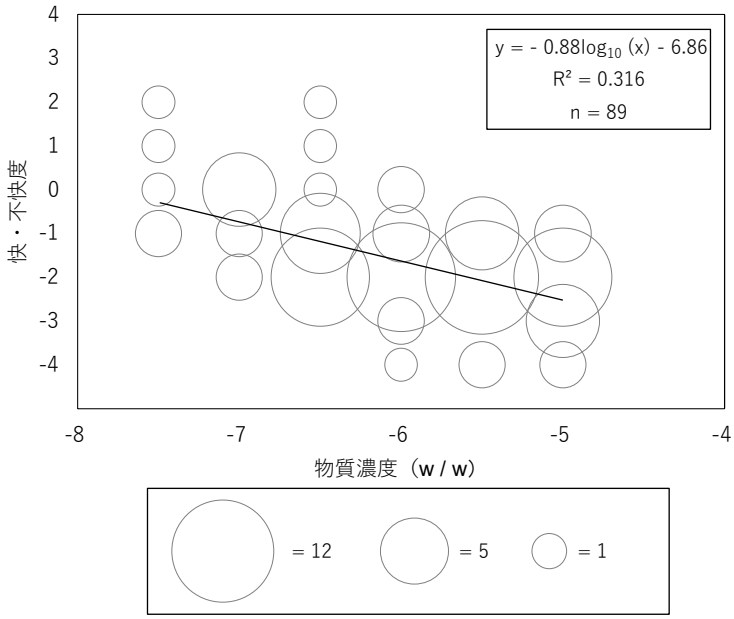


図 4－5　スカトール試薬の物質濃度と快・不快度の関係

（注）横軸は物質濃度 10^{-n} の n、丸の大きさは回答者数を示す

③　各物質濃度と臭気強度の平均値

臭気強度の平均値の算出は、回答が 5 人以上得られた物質濃度において行った。各物質濃度における臭気強度の平均を図　4 - 6 に示す。横軸に物質濃度、縦軸に臭気強度を示す。物質濃度間の臭気強度に対する有意差検定を表　4 - 3 に示す。有意差検定の解析にはエクセル統計（バージョン 4.07、株式会社社会情報サービス）を用いた。臭気強度（平均値）を従属変数、濃度水準を要因として一元配置分散分析を行った。分散分析で有意差が認められた場合には、群間差の所在を明らかにするため、事後比較として Tukey–Kramer 法 [9]による多重比較検定を行った。検定はいずれも両側検定とした。物質濃度ごとの臭気強度の平均値を比較すると、$10^{-0.5}$ 差では、$10^{-6.0}$ と $10^{-6.5}$ の間でのみ 10 % 水準で有意な傾向にあった。物質濃度の 10 倍差で比較すると、10^{-7} と 10^{-6} では 0.1 %水準で、$10^{-6.5}$ と $10^{-5.5}$ では 5 %水準で有意な差が認められた。このことから、$10^{-6.0}$ と $10^{-6.5}$ の間で臭気強度の差が感じられる傾向にあると考えられる。

物質濃度 10^{-7} において、臭気強度 1.1 を示し、検知閾値以上認知閾値未満であり、においは感じているが、におい質まで評価ができていないと考えられる。物質濃度 $10^{-6.5}$ 以上は臭気強度 2 以上の認知閾値以上であり、においの質を感じているといえる。本研究はにおい質が変化する濃度を明らかにすることを目的にしているため、$10^{-6.5}$ 以上の

物質濃度の評価で比較、検討を行う必要がある。

快・不快度の平均値の算出は、回答が 5 人以上得られた物質濃度において行った。各物質濃度における快・不快度の平均値を図 4-7 に示す。多重比較の結果、$10^{-6.5}$ と 10^{-5} では、1 %水準で有意な差が認められた。また、$10^{-6.5}$ で、-1 の「やや不快」を下回り、明確に不快側に傾いている。このことから、$10^{-6.5}$ で、におい質に変化がある可能性が考えられる。

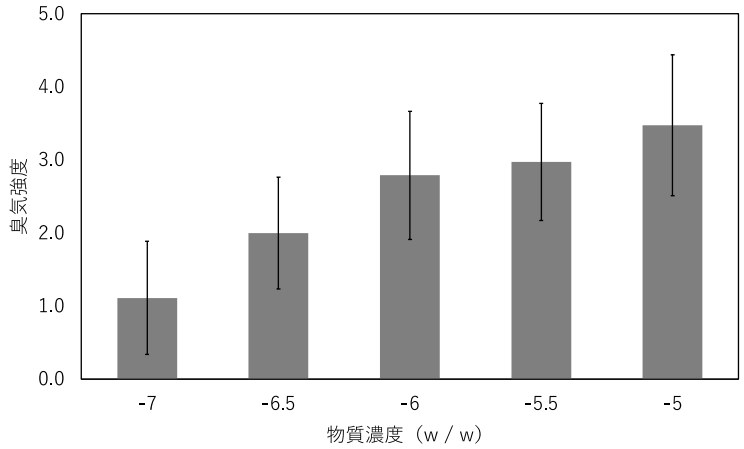


図 4－6　各物質濃度における臭気強度の平均値

（注）横軸は物質濃度 10-n の n を示す

表 4－3　各物質濃度における臭気強度の有意差検定

	$10^{-7.0}$	$10^{-6.5}$	$10^{-6.0}$	$10^{-5.5}$	$10^{-5.0}$
$10^{-7.0}$		—	***	***	***
$10^{-6.5}$			†	*	***
$10^{-6.0}$				—	—
$10^{-5.5}$					—
$10^{-5.0}$					

（注）一元配置の分散分析による多重比較検定（エクセル統計バージョン 4.07）による有意差検定

***：p＜0.001、**：p＜0.01、*：p＜0.05、†：p＜0.1、 —：有意差なし

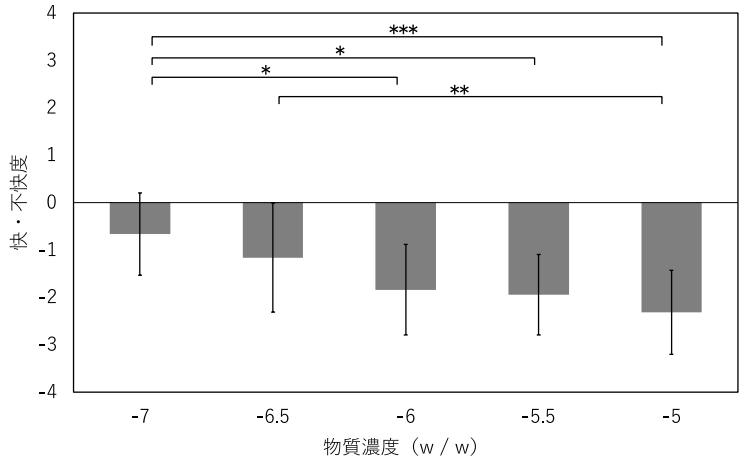


図 4－7　スカトール試薬の各物質濃度における快・不快度の平均値

（注）１. 多重比較検定（エクセル統計バージョン 4.07）による有意差検定

*****：p＜0.001、**：p＜0.01、＊：p＜0.05**

２. 横軸は物質濃度 10^{-n} の n を示す

④　におい質評価からの検討

物質濃度ごとの SD 法のにおい質評価に基づく平均値プロフィールを図　4-8 に示す。なお、平均値プロフィールの作成は、回答が 5 人以上得られた物質濃度の試料において行った。評価項目を系統ごとに 3 つに分類し、「清潔感」として「軽い」「好き」「清潔な」など、「印象」として「明るい」「柔らかい」「静かな」など、「刺激性」として「鋭い」「刺激的な」「永続的な」などとした。また、左側にポジティブと考えられる項目を、右側にはネガティブと考えられる項目とした。

全体のにおい質の評価を見ると、10^{-7} のみは「軽い–重い」「清潔–不潔」「鮮やかな–ぼやけた」「こってり–あっさり」「きれい–汚い」「自然な–人工的な」の項目で他の濃度との間で平均値に 1 以上の差がある。これは認知閾値未満のため、におい質を明確に評価できていないといえる。

各濃度におけるにおい質を総合的に評価するため、物質濃度ごとの平均値プロフィールを比較することで、類似性を検討する。パターン類似率の算出方法は第 3 章で示したとおりである。高齢者施設の低濃度臭気 [10]など既往の臭気に対する研究でも用いられている指標である。パターン類似率に対する類似性の評価基準は生活環境における不快臭 [11]や卵料理のイメージ評価 [12]の研究でパターン類似率が 0.9 以上の場合には、類似性が高いと判断されている。本研究でもパターン類似率 0.9 をにおい質の変化の目安とす

る。

各試料のパターン類似率を図 4-9に示す。10^{-5} と $10^{-5.5}$、$10^{-5.5}$ と $10^{-6.0}$ でパターン類似率が 0.9 以上であり、におい質が酷似しているといえる。10^{-6} と $10^{-6.5}$ で 0.9 未満となることから、10^{-6} と $10^{-6.5}$ は、におい質が酷似しているとはいえず、におい質の変化がみられると考えられる。一方、$10^{-5.0}$ と $10^{-6.0}$ をみると、パターン類似率 0.955 であり、0.9 以上であるため、酷似しているといえる。このことから、10^{-6} から $10^{-6.5}$ の間ににおい質の変化点が存在する可能性が考えられる。

以上の結果をもとに、スカトールの特徴である低濃度で白い花を想起させる香り、高濃度で糞便臭のにおい質がどのように変化するかをみるため、におい質評価に用いた「刺激的な–穏やかな」と「好き–嫌い」の評価に着目して検討を行った。各物質濃度における「刺激的な–穏やかな」の評価に対する平均値と有意差検定の結果を図 4-10に、「好き–嫌い」の評価に対する平均値と有意差検定の結果を図 4-11に示す。なお、平均値は、回答が 5 人以上得られた物質濃度の試料で算出した。「刺激的な–穏やかな」の評価は、10^{-6} 以上の濃度では、「刺激的な」側であったのが、$10^{-6.5}$ で「どちらでもない」になり、濃度の低下に伴い、「穏やかな」へと変化がみられた。各濃度の「刺激的な–穏やかな」の評価の平均値の有意差検定を行ったところ、$10^{-6.5}$ と 10^{-5}、10^{-7} と 10^{-5} で、5 %水準で有意な差が認められた。スカトールは濃度低下に伴い、穏やかなにおい質へと変化し、$10^{-6.5}$ 以下の濃度になると、その傾向が顕著になることが明らかになった。「好き–嫌い」の評価は、物質濃度の上昇に伴い、におい質は嫌い側に変化した。各濃度の「好き–嫌い」の評価の平均値の有意差検定を行ったところ、$10^{-6.5}$ と 10^{-5}、10^{-7} と 10^{-5} で、1%水準で有意な差がみられ、10^{-7} と $10^{-6.5}$ で、5 %水準で有意な差が認められた。スカトールは $10^{-6.5}$ より高濃度で穏やかでも刺激的でもないやや嫌いなにおい質から、やや刺激的で嫌いなにおい質へと変化することが明らかになった。

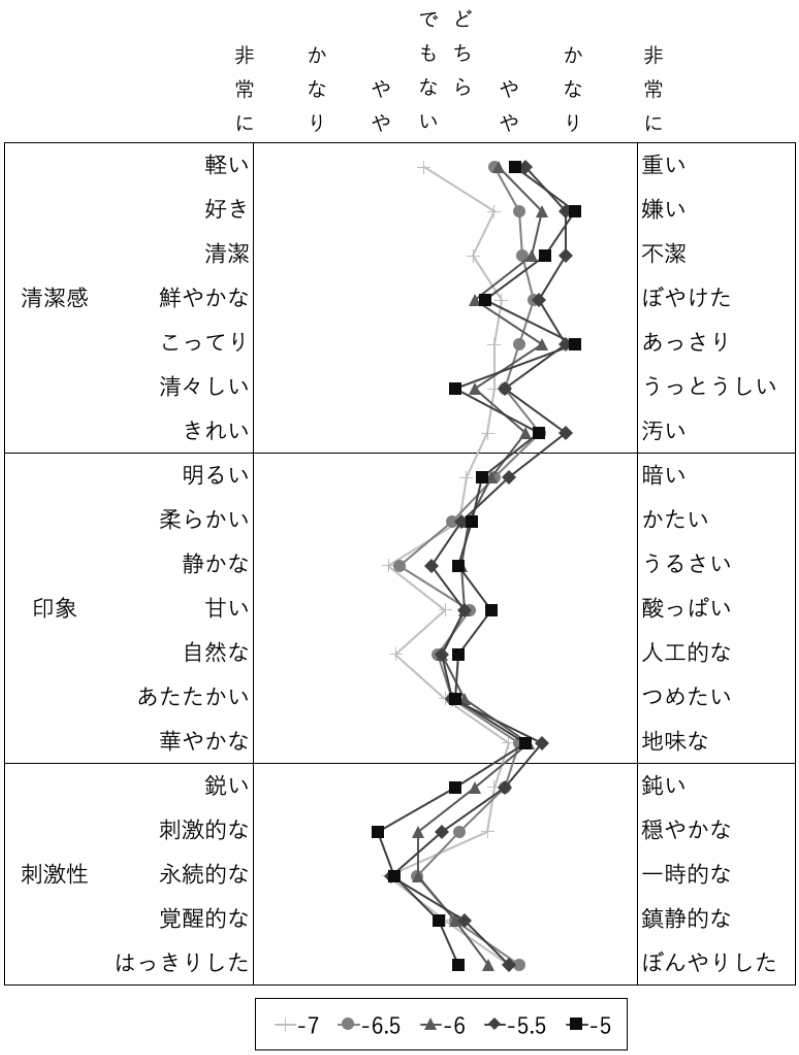


図 4-8　スカトール試薬の各物質濃度の SD 法における平均値プロフィール

（注）凡例は物質濃度 10^{-n}(w/w)の n を示す

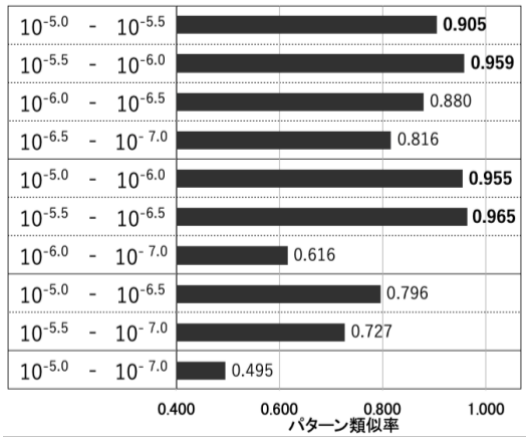


図 4－9　物質濃度間のにおい質におけるパターン類似率

（注）項目は物質濃度（w/w）、数値はパターン類似率、

太字の数値はパターン類似率 0.900 以上を示す

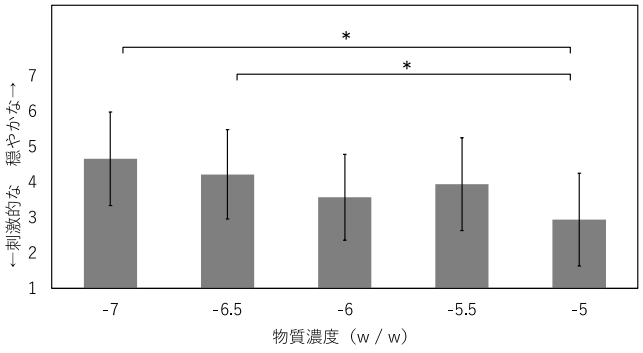


図 4－１０　各物質濃度における 「刺激的な-穏やかな」の評価に対する平均値

（注）t 検定（エクセル統計バージョン 4.07）による有意差検定　＊：p＜0.05

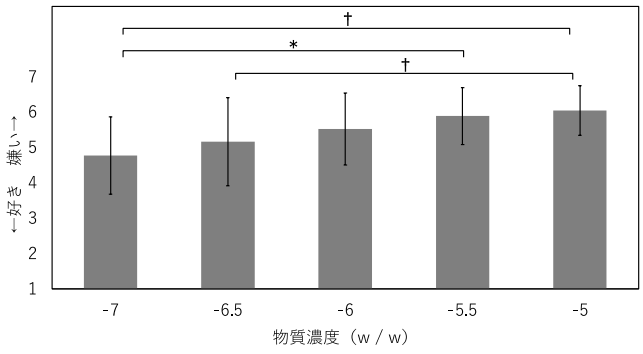


図 4－１１　各物質濃度における 「好き-嫌い」の評価に対する平均値

（注）t 検定（エクセル統計バージョン 4.07）による有意差検定　＊：p＜0.05、†：p＜0.1

４−３−３．小括

本節では、高濃度と低濃度でにおい質が変化する物質であるスカトールに対して、T&T オルファクトメーター試薬を用いた嗅覚閾値の測定およびにおい質評価を行い、濃度依存的におい質変化の傾向を確認することを目的に検討を行った。得られた知見は以下のとおりである。

1）本研究のパネルの検知閾値は $10^{-7.75}$〜$10^{-6.25}$ に分布し、スカトールに対し、一般的な検知閾値を有していることが明らかとなった。

2）臭気強度は物質濃度の上昇に伴い、上昇し、$10^{-6.0}$ と $10^{-6.5}$ の間で差を感じられる傾向にあることが明らかになった。

3）快・不快度は物質濃度の上昇に伴い、やや快側から不快へと変化する傾向にあり、物質濃度 $10^{-6.7}$ で明確に不快側を示すことが明らかになった。

4）各濃度におけるにおい質の類似性を検討すると、10^{-6} と $10^{-6.5}$ でにおい質が変化していることが明らかになった。

5）スカトールのにおい質の特徴である「好き−嫌い」、「刺激的な−穏やかな」の評価は $10^{-6.5}$ より高濃度になると、穏やかでも刺激的でもないやや嫌いからやや刺激的で嫌いへと変化することが明らかになった。

以上の結果から、スカトールのにおい質が変化するのは、$10^{-6.5}$ であると推察される。においの測定には、一般的に個人の閾値測定に用いられるにおい紙による 5-2 法[1)]と、環境中のにおいの濃さを人の閾値に基づいた臭気濃度で求める公定法や AIJES で示されるガスを用いた三点比較式臭袋法[2), 14)]がある。本試験の検知閾値の測定には、5-2 法を用いた。しかし、液体を紙につけてにおいを嗅ぐため、におい紙と鼻の距離などにおいの嗅ぎ方や温湿度などの環境条件の影響によって、におい紙から鼻腔内に届くにおい物質の濃度に誤差が生じている可能性が考えられる。

次節では、各パネルにおける鼻腔内を通過する物質濃度のばらつきを最小限に抑えるため、気体スカトール試料を用いたにおい質評価を行い、スカトールのにおい質が変化する濃度をより正確に検証する。

４−４．ガス化スカトールを用いた個人の嗅覚閾値特定およびにおい質評価試験

４−４−１．試験方法

（1） 試験概要

公定法として定められる三点比較式臭袋法[14)]を用いて、嗅覚閾値の測定を行った。三点比較式臭袋法とは、試料を入れた有臭袋 1 つと無臭空気を入れた無臭袋 2 つの 3 つの袋を 1 組として、パネルに嗅がせ、においのある袋を選定させる方法である。有臭袋の試料濃度を徐々に薄くし、不正解になった時点で試験終了となる。パネルが正解した最低濃度と正解した最低濃度の 1 段階低い濃度の中間の濃度を閾希釈倍数（においを感じられなくなるまでの希釈倍数）としている。

本試験では、パネルが有臭として選定したものに対し、におい質を評価させた。評価項目と評価尺度を表 4 - 4 に示す。AIJES に示される 6 段階臭気強度評価尺度を 0.5 刻みとした 11 段階臭気強度評価尺度、9 段階快・不快度評価尺度、2 段階容認性尺度および SD 法によるにおい質評価を用いた。

三点比較式臭袋法での注入量は、3 倍系列であり、3 倍程度の濃度差があれば、臭気強度の差異を判断できるとされている。第 3 章でも臭気濃度 1〜3 未満、臭気濃度 3〜10 未満、臭気濃度 10〜30 未満、臭気濃度 30〜100 未満の間隔で検討したことから、本節でもその値となるよう調整し、提示した。

表 4－4　評価項目と評価尺度

11段階臭気強度評価	9段階快・不快度評価
0 無臭	+4 極端に快
0.5	+3 非常に快
1 やっと感知できるにおい	+2 快
1.5	+1 やや快
2 何のにおいであるかわかる弱いにおい	0 快でも不快でない
2.5	−1 やや不快
3 楽に感知できるにおい	−2 不快
3.5	−3 非常に不快
4 強いにおい	−4 極端に不快
4.5	2段階容認性評価
5 強烈なにおい	1 受け入れられる
	2 受け入れられない

SD法によるにおい質評価（尺度と評価項目）

1	2	3	4	5	6	7
非常に	かなり	やや	どちらでもない	やや	かなり	非常に

きれい — 汚い	柔らかい — かたい
清々しい — うっとうしい	静かな — うるさい
好き — 嫌い	軽い — 重い
あっさり — こってり	甘い — 酸っぱい
鈍い — 鋭い	つめたい — あたたかい
ぼんやりした — はっきりした	華やかな — 地味な
鎮静的 — 覚醒的な	鮮やかな — ぼやけた
穏やかな — 刺激的な	一時的 — 永続的な
明るい — 暗い	自然な — 人工的な

（2） 試料調製方法

におい袋（3 L のポリエチレンテレフタレート製、近江オドエアーサービス株式会社）に固体の 98 %スカトール試薬（3-Methylindole、東京化成工業株式会社）0.05 g を入れ、無臭空気 3 L を充填し、22～25 ℃の室内で 30 分放置し、ガス化した。そのバッグ中には、固体のスカトールが含まれるため、バッグ内の濃度が安定しにくい。そのため、そのバッグからガスを採取し、無臭空気を入れた 10 L 試料採取用袋（10 L のポリエチレンテレフタレート製、フレックサンプラーF タイプ、近江オドエアーサービス株式会社）で 10 倍希釈したものを原試料とした。なお、におい物質が試料採取用袋の内面に吸着することによるにおい物質濃度の低下を防ぐため、同試料で 2 回共洗いを行った。

（3） 試料濃度の測定

作成した試料の濃度を把握するため、試験直前にガスクロマトグラフ質量分析計（GC-2014、株式会社島津製作所）を用いて、濃度測定を行った。スカトールの分析条件を表 4 - 5 に示す。試料捕集管にポーラスポリマービーズ（Tenax TA、ジーエルサイ

エンス株式会社）を充填し、試料の入った試料採取用袋に試料捕集管、吸引ポンプ、ガスメーターの順で接続し、流量１ L/min で 3L 捕集した。

試験は 2 日間行い、それぞれ原試料を作成、濃度測定を行った。濃度測定の結果、1 日目に作成した原試料濃度は 0.00013 ppm、2 日目の原試料濃度は 0.015 ppm であった。原試料は 2 日間とも、同様の作成方法で行ったが、固体試料をガス化させた温度が、1 日目は 22 ℃、2 日目は 25 ℃で差があったため、原試料の作成日により、濃度に差が生じたと考えられる。

表 4－5　スカトールの分析条件

装置	GC－2014((株)島津製作所製)
検出器	FID
カラム	Silicone SE−30, Shinwasorb−S 60/80 (ジーエルサイエンス(株))
捕集管加熱装置	FLUSH SAMPLER FLS−3 ((株)島津製作所)
キャリアガス	N_2(超高純度)
燃焼ガス	H_2(超高純度)、Air
カラム温度	180℃
検出温度	200℃
試料導入部温度	200℃
ガス流量	40mL/min

（4） パネルとパネルに対する試験の注意事項

T&T オルファクトメーターの 5 基準臭を用いたパネル選定試験に合格し、においの判定を行うのに適した嗅覚を有すると認められた 19～22 歳の男女 25 人（男性 7 人、女性 18 人）とした。1 日目はパネル 8 人（男性 3 人、女性 5 人）で、2 日目はパネル 17 人（男性 4 人、女性 13 人）で行った。

なお、本試験はヘルシンキ宣言の精神に則って実施した。試験開始前に試験内容をパネルに十分説明し、試験中も途中辞退が可能である点を伝え、参加同意が得られた者のみをにおい質評価パネルとして採用した。また、パネルによる臭気発生の影響を考慮し、

あらかじめ以下の注意事項を与えた。

・飲食は試験の 15 分前までに済ませる。

・前日は必ず入浴し、洗体する。

・当日は香水やにおいの強い衣服の洗剤、柔軟剤などにおいがするものの使用は控える。

・当日はにんにく、ネギ、ニラ、納豆、コーヒーなどにおいが強い食べ物の摂取は避ける。

（５） 嗅覚閾値算出方法

有臭袋の試料濃度を徐々に薄くし、不正解になった時点で試験終了となる。パネルが正解した最低濃度と正解した最低濃度の 1 段階低い濃度の中間の濃度を閾希釈倍数（においを感じられなくなるまでの希釈倍数）としている。

４−４−２．結果

（１） スカトールの個人の嗅覚閾値

嗅覚閾値の測定で得られたスカトールの個人の嗅覚閾値を表 ４-６に示す。全データの平均閾値は 1.3×10^{-5} ppm であり，外れ値の影響を抑えるため、上下各 4 人分のデータを除外した場合、平均閾値は 1.1×10^{-5} ppm であった。上下各 4 人分の除外は、三点比較式臭袋法において 6 人のパネルによる測定時に、上下各 1 人分のデータを除外する処理に基づくもの [15]であり、本試験のパネル数 25 人に対して同等の除外割合となるよう設定した。

におい物質は他の物体に吸着することが知られており、試料採取用袋やにおい袋の内壁へにおい物質が吸着し、試料濃度の低下がみられる場合がある。そのため、試料採取時に、採取する試料の濃度を一定に保つため、一度試料を採取して袋内ににおい物質を吸着させた後、試料を排出し、再度同じ袋を用いて試料を採取する共洗いを行う [15]など対策が行われる。一方で、本研究で採用した公定法である三点比較式臭袋法では、試料を注入するときの共洗いは必要とされていない [14]。そのため、本研究でも公定法に準拠して試験を実施した。しかし、におい袋の内壁への吸着から、注入した濃度に対し、人が吸引する濃度が低下することが考えられる。第２章でスカトールに対するにおい袋を用いたにおい物質の回収率は 34 ％であった。すなわち、におい袋に注入したにおい物質のうち、34％の濃度でしかパネルに提示できず、注入量から算出したにおい物質濃度と実際の提示濃度で乖離がある。そのため、本試験では、提示濃度に回収率を乗じた数

値に補正することで、実際にパネルが嗅いだ濃度に補正した。

におい袋に対するスカトールの回収率である 34 %で補正すると、上下各 4 人分のデータを除外した場合、平均閾値は 4.3×10^{-6} ppm であった。永田らの測定した閾値である 5.6×10^{-6} ppm[16]と補正後の平均閾値を比較すると，1.3×10^{-6} ppm 低い値となった。永田らの閾値の用いられた回収率は注射器に対する回収率を求めており、注射器は内部への吸着に加え、シリンジとプランジャーの隙間から漏洩の可能性があるため、回収率 13 %とにおい袋の回収率に比べ、低い値となったと考えられる。ただし、永田らの閾値は注射器に対する回収率 13 %のみ補正に用いているのに対し、我々はにおい袋に対する回収率 34 %のみ用いている。そのため、実際はにおい袋と注射器それぞれの回収率を考慮すると、元の閾値の約 25 分の 1 に相当する 4.7×10^{-7} ppm となった。

表 4－6　スカトールの個人の嗅覚閾値

被検者番号	閾値 (ppm)	被検者番号	閾値 (ppm)	被検者番号	閾値 (ppm)
1	1.9×10^{-6}	9	7.4×10^{-6}	17	1.7×10^{-5}
2	3.7×10^{-6}	10	7.4×10^{-6}	18	1.7×10^{-5}
3	6.5×10^{-6}	11	7.4×10^{-6}	19	1.7×10^{-5}
4	6.5×10^{-6}	12	7.4×10^{-6}	20	1.7×10^{-5}
5	6.5×10^{-6}	13	7.4×10^{-6}	21	1.7×10^{-5}
6	6.5×10^{-6}	14	7.4×10^{-6}	22	2.0×10^{-5}
7	6.5×10^{-6}	15	7.4×10^{-6}	23	2.0×10^{-5}
8	6.5×10^{-6}	16	1.7×10^{-5}	24	3.7×10^{-5}
				25	3.7×10^{-5}
全データ平均閾値(ppm)				1.3×10^{-5}	
上下4データカット平均閾値(ppm)				1.1×10^{-5}	
におい袋の回収率を考慮した閾値(ppm)				4.3×10^{-6}	
におい袋と注射器の回収率を考慮した閾値(ppm)				4.7×10^{-7}	

（注）背景がグレーのデータは上下カットの対象とする

（2） 臭気指数と臭気強度の関係

嗅覚閾値の測定で得られたスカトールの個人の嗅覚閾値を基準に提示濃度に対する臭気濃度を算出し、次式より人間の嗅覚の感覚量に対応した臭気指数[5]に変換した。

（臭気指数）＝10×log（臭気濃度）・・・（式４－１）

スカトールの臭気指数と臭気強度の関係を図 4-１２に示す。横軸に臭気指数、縦軸

に臭気強度、丸の大きさは回答した人数を示す。近似式は $y = 0.17x + 0.85$、決定係数は $R^2 = 0.494$ である。全体でみると、臭気指数の上昇に伴い、臭気強度も上昇する傾向がみられた。

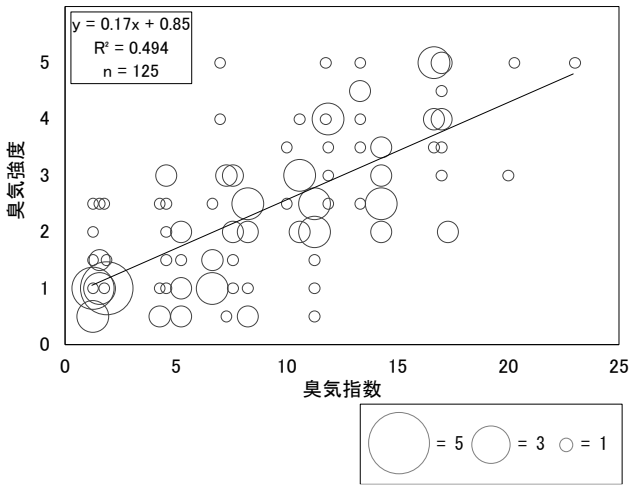


図 4－１２　スカトールの臭気指数と臭気強度の関係

（注）丸の大きさは回答者数を示す

（3） 臭気指数と快・不快度の関係

スカトールの臭気指数と快・不快度の関係を図 4-１３に示す。横軸に臭気指数、縦軸に快・不快度、丸の大きさは回答した人数を示す。近似式は $y = -0.13x - 0.05$、決定係数は $R^2 = 0.323$ である。全体でみると、臭気指数の上昇に伴い、不快側の評価になる傾向がみられた。

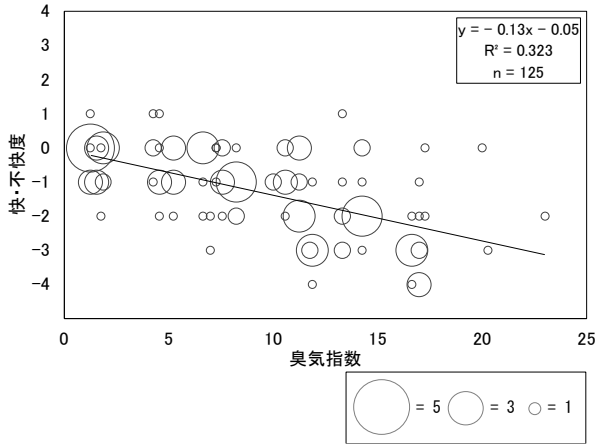


図 4−１３　スカトールの臭気指数と快・不快度の関係

（注）丸の大きさは回答者数を示す

（4） 臭気濃度に対するにおい質評価

第 3 章の結果より、においの感じ方には個人の嗅覚閾値に対する寄与が大きいことから、本節では、提示濃度を希釈したときちょうどにおわなくなる希釈倍数である臭気濃度[5)]に換算し、解析を行った。嗅覚閾値は個人によって異なるため、個人の嗅覚閾値を基準にそれぞれ臭気濃度を算出した。算出された臭気濃度を「臭気濃度 1〜3 未満」「臭気濃度 3〜10 未満」「臭気濃度 10〜30 未満」「臭気濃度 30〜100 未満」の 4 区分に分け、解析を行った。

SD 法におけるにおい質評価の結果をもとに統計解析ソフト（エクセル統計バージョン 4.09、株式会社社会情報サービス）により主因子法による因子分析[19)]を行い、得られたバリマックス回転後の因子負荷量を表 4-7 に示す。なお、寄与率の低かった「鈍い - 鋭い」「明るい - 暗い」「柔らかい - かたい」「静かな - うるさい」「つめたい - あたたかい」「華やかな - 地味な」「一時的な - 永続的な」「自然な - 人工的な」の 8 項目は除外した。最小固有値を 1 とすると、３つの因子が抽出され、第３因子までの累積寄与率は 69.1%であった。第 1 因子は「好き - 嫌い」、「甘い - 酸っぱい」、「きれい - 汚い」等の負荷量が大きく、「快適性」と解釈した。第 2 因子は「軽い - 重い」、「あっさり - こってり」の負荷量が大きく「軽量性」と解釈した。第 3 因子は「はっきりした - ぼんやりした」、「鮮やかな - ぼやけた」、「覚醒的な - 鎮静的な」の負荷量が大きいことから「覚醒性」と解釈した。

因子分析で得られた因子をもとに作成した SD 法における平均値プロフィールを図

４-１４に示す。図の左側にポジティブと考えられる項目を、右側にネガティブと考えられる項目を置いた。

因子の分類でみると、「覚醒性」の評価では、臭気濃度区分に対する評価の推移に傾向がみられなかったが、「快適性」、「軽量性」の評価では、臭気濃度が低いほど、左側のポジティブ寄りの評価となり、臭気濃度の上昇に伴い、右側のネガティブ寄りの評価へと変化していくことがわかる。

臭気濃度区分ごとの平均値の変化量に着目すると、「快適性」では「臭気濃度 1〜3 未満」と「臭気濃度 3〜10 未満」の間と、「臭気濃度 3〜10 未満」と「臭気濃度 10〜30 未満」の間のすべての項目において「臭気濃度 1〜3 未満」と「臭気濃度 3〜10 未満」に比べ、「臭気濃度 3〜10 未満」と「臭気濃度 10〜30 未満」のほうが大きく変化した。一方、「軽量性」では「臭気濃度 1〜3 未満」と「臭気濃度 3〜10 未満」のほうが「臭気濃度 3〜10 未満」と「臭気濃度 10〜30 未満」に比べ、大きく変化した。

表 4−7　におい質評価の基づく因子負荷量

評価項目	第1因子	第2因子	第3因子	因子名
好き　ー　嫌い	0.751	0.460	0.013	
甘い　ー　酸っぱい	0.724	0.080	−0.140	
きれい　ー　汚い	0.710	0.573	−0.001	快適性
穏やかな　ー　刺激的な	0.673	0.221	−0.599	
清々しい　ー　うっとうしい	0.622	0.589	0.046	
あっさり　ー　こってり	0.257	0.728	−0.112	軽量性
軽い　ー　重い	0.147	0.725	−0.296	
はっきりした　ー　ぼんやりした	−0.234	−0.185	0.767	
鮮やかな　ー　ぼやけた	0.254	0.115	0.751	覚醒性
覚醒的な　ー　鎮静的な	−0.195	−0.312	0.675	
寄与率(%)	26.774	21.421	20.893	
累積寄与率(%)	26.774	48.195	69.088	

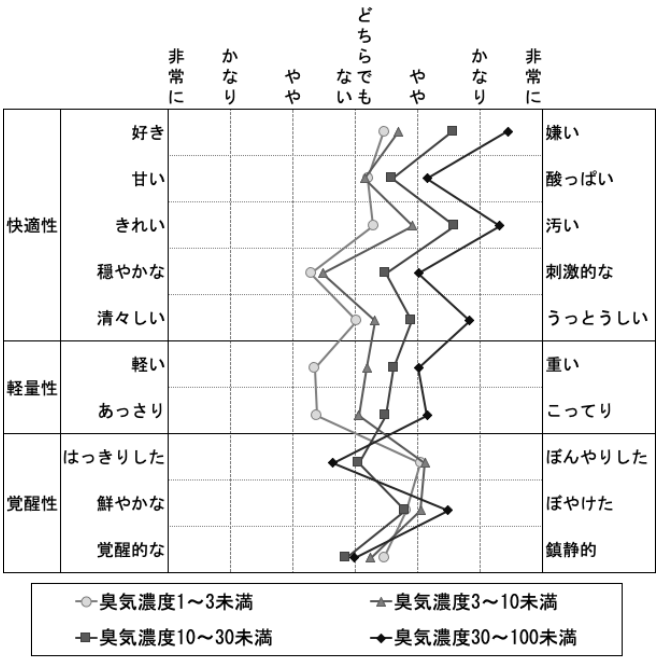


図 4－１４　各臭気濃度区分の SD 法に基づく平均値プロフィール

４−４−３．考察

（1） 平均値プロフィールによるにおい質の類似性の検討

におい質の変化をより定量的に把握するため、図 4-１４の臭気濃度区分における平均値プロフィールに対する類似性について検討した。パターン類似率の算出方法は第 3 章で示したとおりである。臭気濃度区分間のパターン類似率を図 4-１５に示す。

第 3 章の硫化メチルを対象としたにおい質変化の検討では、パターン類似率 0.800 以上を酷似していると判断されていることから、本研究でも 0.800 を基準に検討する。

隣接する臭気濃度区分でみると、「臭気濃度 1～3 未満」と「臭気濃度 3～10 未満」はパターン類似率 0.749、「臭気濃度 3～10 未満」と「臭気濃度 10～30 未満」はパターン類似率 0.607 と、パターン類似率が 0.8 未満であり、におい質が酷似していないといえる。一方、「臭気濃度 10～30 未満」と「臭気濃度 30～100 未満」はパターン類似率 0.843 であり、におい質が酷似しているといえる。このことから、スカトールのにおい質は、臭気濃度 3 で変化しはじめ、臭気濃度 10 を超えると、臭気濃度 3 までとは異なるにおい質に変化すると考えられる。また、臭気濃度 10 以上から臭気濃度 100 程度までは、におい質が類似しているといえる。

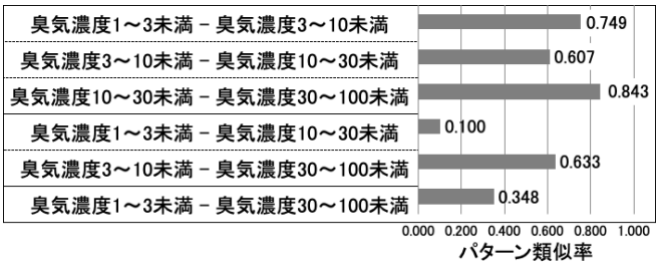


図 4－１５　各臭気濃度区分のにおい質におけるパターン類似率

（2） 因子得点によるにおい質の変化の検討

においの質の変化を詳細に検討するため、表 4-7で抽出された因子の組み合わせで構成した平面上に、各臭気濃度区分における因子得点をプロットした結果を図 4-１６に示す。本研究の因子分析は25人のパネルを対象としたものであり、サンプルサイズとしては大きくはないが、第3章でも同程度のサンプルサイズで行われており、傾向を把握する上では妥当であると考えられる。快適性は「臭気濃度 1～3 未満」、「臭気濃度 3～10 未満」はともに同程度の快側に位置し、臭気濃度 10 を超えると不快側に推移し、臭気濃度の上昇に伴いより不快側に傾くことがわかる。軽量性は「臭気濃度 1～3 未満」では高いが、「臭気濃度 3～10 未満」ではどちらでもないへ、臭気濃度 10 以上で低いに推移する。覚醒性は、臭気濃度に対する傾向がみられなかった。このことから、スカトールのにおい質は臭気濃度3で、軽さのあるあっさりとしたにおいから重くこってりしたにおいと変化し、臭気濃度 10 以上でやや快から不快へとにおい質は段階的に変化することがわかる。

においの質の変化の有意性を検討するため、表 4-7のにおい質評価の項目ごとに、各臭気濃度区分の平均値に対する有意差検定を行った。「きれい - 汚い」の評価に対する各臭気濃度区分における平均値と有意差検定の結果は図 4-１７のように示す。有意差検定には、統計解析ソフト（エクセル統計バージョン4.09、株式会社社会情報サービス）を用いた。一元配置分散分析を行い、各項目の平均値に対する比較を行った。多重比較検定は各グループの標本サイズが等しくないことから、標本サイズの差がある場合でも、十分な精度が確認されている Tukey-Kramer 法[11]を用いた。評価項目ごとの棒グラフでは、評価項目ごとに図で表す必要があり、例えば、「臭気濃度 1～3 未満」と「臭気濃度

3〜10 未満」の間で、どの評価項目で有意な差がみられたか、一目で判断しづらい。そのため、各臭気濃度区分間のにおい質評価項目の平均値に対する有意差検定の結果をまとめたものを表 4-8 に示す。「臭気濃度 1〜3 未満」と「臭気濃度 3〜10 未満」を比較すると、「快適性」の「きれい - 汚い」、「軽量性」の「軽い - 重い」、「あっさり - こってり」の項目において 10%水準で有意傾向がみられた。「臭気濃度 1〜3 未満」と「臭気濃度 10〜30 未満」では「快適性」の「穏やか - 刺激的な」、「清々しい - うっとうしい」、覚醒性の「はっきりした - ぼんやりした」において 5%水準で有意な差がみられ、「快適性」の「好き-嫌い」、「きれい-汚い」、「軽量性」の「軽い-重い」、「あっさり-こってり」において 1%水準で有意な差がみられた。また、「臭気濃度 3〜10 未満」と「臭気濃度 10〜30 未満」でも、「快適性」の「好き-嫌い」、「きれい-汚い」、「穏やか-刺激的な」、覚醒性の「はっきりした-ぼんやりした」において 5%水準で有意な差がみられた。

このことから、臭気濃度 3 以上であっさりと軽いにおい質から重くこってりしたにおい質に変化する傾向にあり、臭気濃度 10 以上できれいで好まれるにおい質から、汚く嫌悪感を抱くにおい質へと変化するといえる。これは低濃度で白い花を想起させるにおい、高濃度で糞便臭 [15]という以前からいわれているスカトールのにおい質の特徴と類似している。スカトールのにおい質は、臭気濃度 3 未満では軽くあっさりとした清潔感をもつものから、臭気濃度 3 でやや重くこってりした重量感が増しはじめ、臭気濃度 10 で明確に不快性が増し、嫌悪感を抱くにおい質へと変化することが明らかになった。

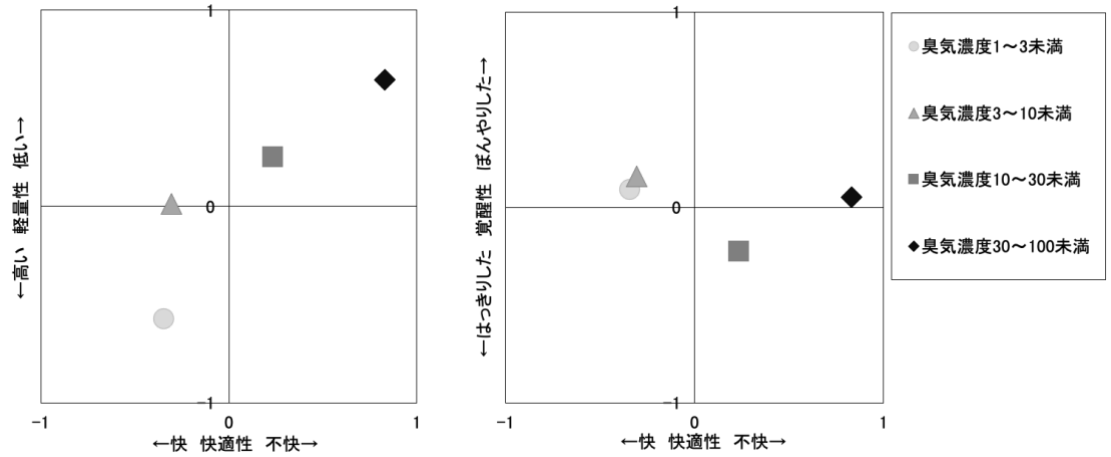


図 4-16 各臭気濃度区分の因子得点のプロット図

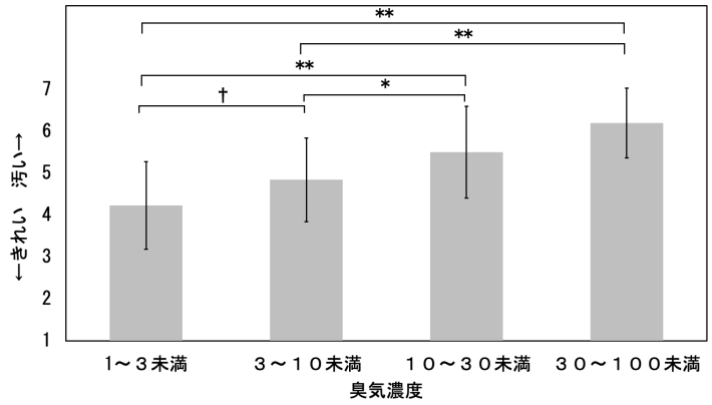


図 4－１７　各臭気濃度区分における「きれい―汚い」の評価に対する平均値

（注）有意差検定　†：p＜0.1，＊：p＜0.05，**：p＜0.01

表 4－8　各臭気濃度区分間のにおい質評価項目の平均値に対する有意差検定結果

		快適性					軽量性		覚醒性		
		好き	甘い	きれい	穏やかな	清々しい	軽い	あっさり	はっきりした	鮮やかな	覚醒的な
3倍間隔	臭気濃度1～3未満 － 臭気濃度3～10未満			†			†	†			
	臭気濃度3～10未満 － 臭気濃度10～30未満	*		*	*				*		
	臭気濃度10～30未満 － 臭気濃度30～100未満	*				*					
10倍間隔	臭気濃度1～3未満 － 臭気濃度10～30未満	**		**	*	*	**	**	*		
	臭気濃度3～10未満 － 臭気濃度30～100未満	**	*	**	*	**		*	*		
30倍間隔	臭気濃度1～3未満 － 臭気濃度30～100未満	**	*	**	*	**	**	**	*		

（注）有意差検定　†：p＜0.1，＊：p＜0.05，**：p＜0.01

（3） 臭気濃度と非容認率の関係の検討

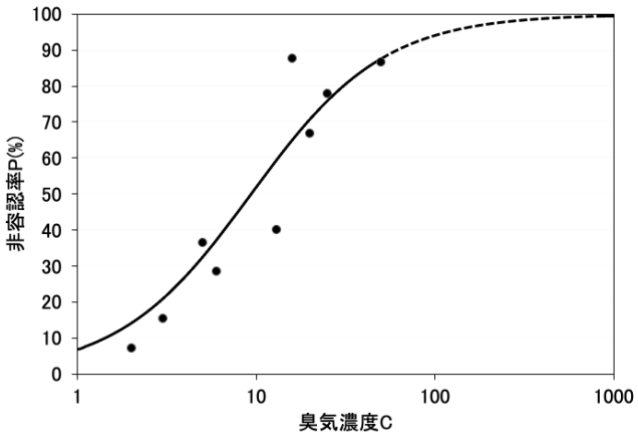
各臭気濃度に対する容認性評価で、各臭気濃度の評価者総数と「受け入れられない」と回答した人数から求めた非容認率を表 4-9 に示す。なお、無臭である臭気濃度 1 と評価者総数が 5 人以下の臭気濃度は除いた。表 4-9 の結果をもとに、臭気濃度と非容認率の関係から AIJES で示されている解析方法に従って、各臭気濃度と非容認率にロジットモデルを適用して求めた。臭気濃度と非容認率の関係を図 4-１８に示す。回帰式は、$\ln(P/(100-P)) = 2.69\log(c) - 2.61$、決定係数は、$R^2 = 0.829$ となった。AIJES では、非容認率 20 %以下を推奨値、非容認率 30 %以下を許容値[5]としている。図 4-１８から、推奨値である非容認率 20 %のときは臭気濃度 3、許容値である非容認率 30 %のときは臭気濃度 5 となった。一般の室内におけるスカトールの濃度は推奨値である臭

気濃度 3 以下に制御し、大きな臭気発生が伴う場合やトイレなどでは許容値が用いられるため[5]、臭気濃度 5 以下に制御する必要がある。推奨値が臭気濃度 3 以下という点は前記で示されたにおい質が変化する臭気濃度が 3 であることと一致しており、非容認率の観点からも変化点は妥当であると判断できる。

表 4－9　各臭気濃度の評価者総数と容認性評価で
「受け入れられない」とした評価者数から求めた非容認率

臭気濃度	2	3	5	6	13	16	20	25	50
評価者総数(人)	14	11	10	12	14	8	6	9	15
「受け入れられない」とした評価者数(人)	1	2	4	4	6	7	4	7	13
非容認率(%)	7.1	18.2	40.0	33.3	42.9	87.5	66.7	77.8	86.7

(注)非容認率（%）=（受け入れられない人数）/（回答数）× 100



●：スカトールの実測値

——：ロジットモデルによる回帰線（測定範囲）

------：ロジットモデルによる回帰線（推定範囲）

回帰式：ln (P/(100-P)) = 2.69log (C) - 2.61 (R^2 = 0.829)

図 4－１８　スカトールの臭気濃度と非容認率の関係

4－4－4．小括

本研究では、高濃度と低濃度でにおい質が変化するスカトールに着目し、個人の嗅覚閾値の特定を行い、臭気濃度および臭気指数に対し、におい質の変化する濃度と質的特徴を明らかにすることを目的に検討を行った。得られた知見は以下のとおりである。

1)　本試験のパネルのスカトールに対する全体の平均嗅覚閾値は 1.3×10^{-5} ppm であ

った。また、上下 4 人を除外した場合の平均は 1.1×10^{-5} ppm であった。におい袋と注射器に対する回収率を考慮すると 4.7×10^{-7} ppm であった。

2) スカトールは臭気指数の上昇に伴い、臭気強度が上昇し、快・不快度が「どちらでもない」から不快側に変化する傾向にあった。

3) におい物質濃度を閾値に基づく臭気濃度に変換して検討すると、スカトールは個人閾値から 3 倍の濃度で軽くあっさりしたにおいから重くこってりとしたにおい質へ変化し始めることが明らかとなった。

4) スカトールは AIJES の臭気規準に基づく推奨値である非容認率 20 %のときの臭気濃度は 3、許容値である非容認率 30 %のときの臭気濃度は 5 であることが明らかとなった。

5) スカトールにおいて、におい質評価から求めたにおい質が変化する濃度が臭気濃度 3 であることは、臭気濃度と非容認率の関係から求めた推奨値が臭気濃度 3 以下であることと一致した。

4−5．まとめ

本章では、高濃度と低濃度でにおい質が変化するスカトールに対し、におい質が変化する濃度および室内におけるスカトールの濃度の制御・管理の目安として、AIJES で示されている室内の臭気に関する推奨値、許容値に対応するスカトールの臭気濃度の検討を行った。T&T オルファクトメーター試薬による液体スカトールの評価と、ガス化スカトールを用いた嗅覚閾値試験およびにおい質評価試験を実施し、におい質が変化する濃度を多角的に検証した。得られた知見は以下の通りである。

1) スカトールは平均の嗅覚閾値が 1.3×10^{-5} ppm であり、上下 4 人を除外した場合の平均は 1.1×10^{-5} ppm であった。におい袋と注射器に対する吸着や漏れなどを考慮した回収率を反映すると 4.7×10^{-7} ppm であった。

2) 個人の嗅覚閾値を基準に提示したにおい物質濃度を臭気濃度に換算した結果、スカトールは臭気濃度 3、すなわち個人閾値より 3 倍の濃度で「軽くあっさりした」から「重くこってりとした」へとにおい質が変化し始めることが明らかになった。

3) スカトールについて、AIJES の臭気規準に基づく評価を行った結果、非容認率が 20%となる推奨値に対応する臭気濃度は 3、また、非容認率が 30 %となる許容値に対応する臭気濃度は 5 であることが確認された。

参考文献

1) 岩崎 好陽：臭気の嗅覚測定法，公益社団法人におい・かおり環境協会，2013.
2) 日本建築学会：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，2019.
3) 東京化成工業株式会社：3-メチルインドール（製品コード：M0347），https://www.tcichemicals.com/JP/ja/p/M0347（参照日：2026年1月4日).
4) 堀内 哲嗣郎：におい・かおり 実践的な知識と技術，フレグランスジャーナル社，2006.
5) 荒井 綜一，小林 彰夫，矢島 泉，川崎 通昭：最新 香料の事典，朝倉書店，2013.
6) 斉藤 幸子，井濃内 順，綾部 早穂：嗅覚概論 臭気の評価の基礎，公益社団法人におい・かおり環境協会，2014.
7) 三原 尚，村井 正人，寺田 育生，桑原 裕香理，小林 剛，佐野 昇，石田 賢哉，星野 邦秀，平野 奈緒美：嗅覚受容体技術および調和型消臭技術を用いた介護臭低減香料の開発，日本化粧品技術者会誌，Vol.57，No.1，pp.42-49，2023.
8) 高木 貞敬：嗅覚測定のための基準臭と T&T 式オルファクトメーター，嗅覚障害―その測定と治療，医学書院，pp.1-14，1978.
9) 吉田 道弘:不等標本サイズの場合の Tukey の多重比較法:精密計算に基づく Tukey-Kramer 法の評価，計算統計学，Vol.2，No.1，pp.17-24，1989.
10) 光田 恵，平井 真貴，吉野 博，池田 耕一：臭気感覚評価からみた高齢者施設における低濃度臭気測定法の検討，におい・かおり環境学会誌，Vol.36，No.1，pp.1-11，2005.
11) 大黒 さゆり，光田 恵，棚村 壽三，内山 一寿：生活環境における不快臭の主成分の解明および官能評価による手法の提案,におい･かおり環境学会誌,Vol.53,No.5,pp.285-294，2022.
12) 片山 喜美子，林 辰美：食行動の因子についての考察（第 III 報）家庭における卵の使用状況と卵料理のイメージ，BEACON，Vol.13，pp.85-91，1978.
13) 川崎 通昭，堀内 哲嗣郎：嗅覚とにおい物質，公益社団法人におい・かおり環境協会，2005.
14) 公益社団法人におい･かおり環境協会:ハンドブック悪臭防止法,ぎょうせい,2020.
15) 棚村 壽三，光田 恵，毛利 志保，小林 和幸，濱中 香也子：定常的なにおいに対

する居住者とパネルの感覚評価の比較 住宅の LDK におけるにおいのレベルに関する研究，日本建築学会環境系論文集，Vol.76，No.664，pp.555-561，2011.
16）永田 好男，竹内 教文：三点比較式臭袋法による臭気物質の閾値測定結果，日環セ所報，No.17，pp.77-89，1990.
17）鵜沼 秀行，長谷川 桐：改訂版 はじめての心理統計学，東京図書，2016.

第５章　低濃度順応時における高濃度臭気のにおい質評価に関する検討

５−１．はじめに

第 3 章、第 4 章で濃度依存的質変化の特性を持つ硫化メチルおよびスカトールを対象ににおい質が変化した濃度の境界である質的嗅感覚の変化点やにおい質の変化の様相を明らかにした。この結果から、同一のにおい物質であっても濃度域によって感覚的なにおい質評価が変化し、濃度の管理によってにおい質や不快度を制御できる可能性を示唆した。

一方、嗅覚は連続的なにおい刺激によって感覚強度が低下する順応が存在し、嗅覚受容体の応答の減衰によって生じる現象である[1)]。本研究では濃度依存的質変化を有する物質の特性と嗅覚順応を組み合わせることで新たに、当該物質において低濃度順応によって、その後の高濃度臭気の提示に対する応答を抑制できる可能性があると考えた。

そこで本章では、前章までに得られたにおい質変化点の知見を応用し、「不快ではない」低濃度臭気で嗅覚順応を起こした後、「不快な」高濃度臭気を曝露した際、高濃度臭気のにおい感覚が緩和されるかを検討することを目的とする。対象物質はスカトールを採用した。硫化メチルは高濃度臭気の快・不快度評価に対し、大多数のパネルが不快と評価する一方、一定数が快と評価し、濃度変化に伴うにおい質の感じ方の個人差が大きいことが示唆された。濃度依存的質変化と順応の影響を体系的に検討することが困難であることが考えられる。これに対し、スカトールは、高濃度で全パネルが不快と評価し、低濃度では白い花を想起させるにおい、高濃度では糞便臭といわれ[1)]、室内環境でも制御が求められる物質である。

本章ではまず、スカトールによる順応状態を起こすため、におい物質の連続提示に伴う感覚強度の経時変化を測定し、順応状態を形成するのに必要な提示時間を設定する。次に得られた提示時間に基づき、低濃度スカトールによる順応状態と非順応状態の 2 条件で高濃度臭気を曝露し、におい感覚評価およびにおい質評価を比較することで不快度の軽減とにおい質の変化を明らかにする。

５−２．順応状態におけるにおい連続提示時間の検討

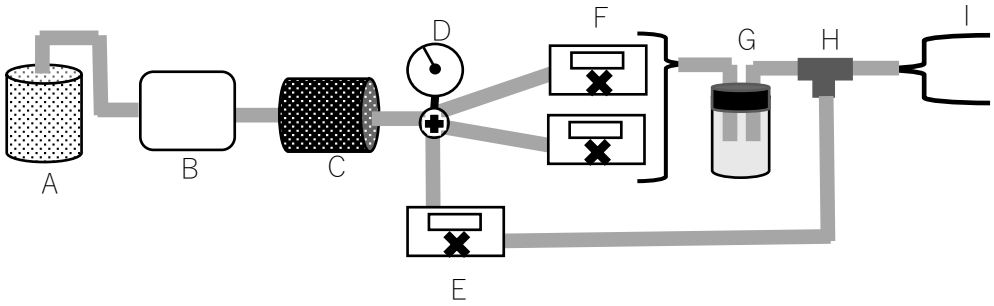
５−２−１．試験方法

（１） 試験概要

本試験では、試料の希釈を自動的に行い、所定の希釈倍数に調製された試料ガスを安定して供給できる装置であるオルファクトメーター[2)]を用いて、動的な試料提示を行った。におい提示装置を図　５-１に示す。本装置は、シリカゲルおよび活性炭を通過させて調製した無臭空気を原ガス作成用と希釈用の 2 系統に分岐し、各流路に設けた流量調整器により希釈倍数を制御する構造である。

バイアル瓶には、固体の 98 %スカトール試薬（3-Methylindole，東京化成工業株式会社）0.56 g を封入し、恒温装置により 20 ℃に保持した。バイアル瓶のヘッドスペースに無臭空気を流して得られたガスを原ガスとし、この原ガスを無臭空気でさらに希釈することにより、一定濃度になるよう調整したものを提示試料とした。得られた試料を連続的に提示し、提示時間の経過に伴う感覚強度の変化を測定した。原ガス作成用には、流量範囲の異なる 2 種類の流量調整器を設置し、臭気強度に応じて使い分けた。流量範囲は、原ガス作成用で 10〜100 mL/min および 1〜10 mL/min、希釈用で 100〜1000 mL/min とした。

提示濃度は、6 段階臭気強度評価において「楽に感知できるにおい（臭気強度 3)」[2)]となるよう、パネルごとに希釈倍数を調整した。パネルごとに臭気強度 3 に調整したスカトールの原ガスに対する無臭空気での希釈倍数は 220〜670 倍であった。提示流量は 1 L/min、提示時間は 40 分間とした。パネルは鼻あてから約 3 cm の位置に着座し、楽な姿勢でにおいを嗅いだ。におい提示の状況を図　５-２に示す。



Ａ：シリカゲル　Ｂ：ポンプ　Ｃ：活性炭　Ｄ：圧力調整バルブ
Ｅ：無臭空気用流量調整器（最大流量１Ｌ/min、最低流量 100 mL/min）
Ｆ：高濃度試料ガス作成用流量調整器（最大流量 100 mL/min、最低流量 10 mL/min または最大流量 10 mL/min、最小流量 1 mL/min）
Ｇ：試料入りバイアル瓶　Ｈ：分配器　Ｉ：ガラス製鼻あて
＊：用いる試料により選択する

図 5－1　においの提示装置



図 5－2　においの提示の様子

（2） 測定項目・評価方法

感覚強度の測定には、Time Intensity（以下、TI とする）スケールを用いた。TI スケールを図 5-3 に示す。パネルには、レバー操作により感覚強度を評価させた。拡大した TI スケールを図 5-4 に示す。スケールは左端に 0 とし、左から 4 分の 3 の位置に矢印を記し、においを感じないときが 0 とし、初期提示時の感覚強度が矢印の位置に設定し

た。感覚強度が上昇した場合はレバーを右方向に、減少した場合は左方向に移動させ、感覚強度を連続的に記録した。データは 1 秒ごとに記録した。パネルには、TI スケールの操作方法と「矢印が初期提示時の感覚強度を示すこと」、「0 がにおいを感じない状態を示すこと」のみ説明した。



図 5-3　TI スケール



図 5-4　スケール

（3） パネルと試験環境

パネルはパネル選定試験に合格した 19～21 歳の男女 6 人（男性 2 人、女性 4 人）であり、非喫煙者とした。なお、本試験はヘルシンキ宣言の精神に則って実施した。また，試験開始前に試験内容をパネルに十分説明し、試験中も途中辞退が可能である点を伝え、参加同意を得られた者のみをにおい質評価パネルとして採用した。

試験室は室温 23.2～28.7 ℃、湿度 24.9～74.7 %とし、換気を十分に行うことで無臭状態を保持する。

５−２−２．データ解析方法

本試験では、初期濃度における感覚強度を TI 値 100、スケール 0 のときの感覚強度を TI 値 0 と定義し、解析を行った。試験では 1 秒ごとに感覚強度のデータを記録したが、既往の研究では、におい提示開始 4 秒で感覚量の低下が見られる[2)]と報告されている。したがって、本研究では、4 秒ごとの TI 値の平均値を算出し、解析に用いた。また、パネル 5 については安定したデータが得られなかったため、解析対象から除外し、残り 5 人のデータについて解析を行った。

５−２−３．結果

スカトールの連続提示における経過時間に対する平均 TI 値の推移を図 ５-５に示す。本試験では、連続提示開始後、感覚強度の上昇がみられたパネルがおり、これは臭気強度 3 程度の楽に感知できるにおいが連続的に提示されたことで、においを吸引する部分のにおい物質が滞留し、鼻腔内のにおい物質濃度が上昇したためと考えられる。そのため、TI 値が 100 になった時点から経過時間における推移を確認した。

感覚強度の全体的な推移としては、開始から感覚強度が減少し、TI 値 45 付近まで低下するとその後は TI 値 45〜65 の間を推移した。感覚強度の低下に対する所要時間を見ると、感覚強度は初期値の 4 分の 3 になる TI 値 75 までに 1 分 32 秒、感覚強度が初期の半分である TI 値 50 までに 3 分 36 秒かかった。次に所要時間 1 分あたりの感覚強度の低下を見ると、開始後 1 分で TI 値 84 と、初期の感覚強度から 16 %の低減がみられた。提示時間 1 分は、濃度を制御した室内環境において「1 分間滞在する」状況を再現可能であり、実空間への応用可能性の観点からも妥当であると判断した。

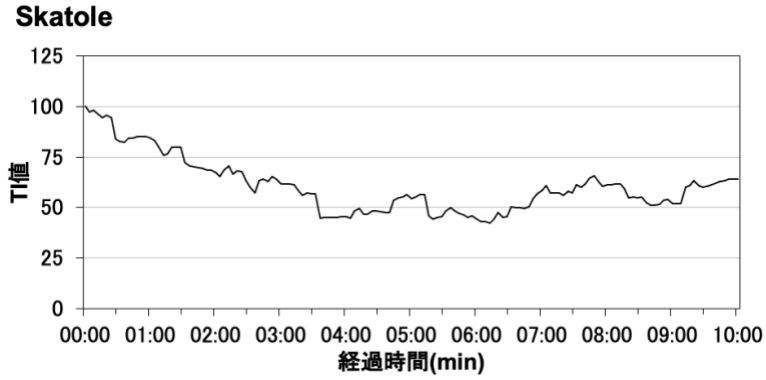


図 ５−５　スカトールの連続提示における経過時間に対する平均 TI 値の推移

５−２−４．小括

本節では、スカトールの連続提示における感覚強度の経時変化を測定し、スカトールによる順応状態を得るために必要な提示時間を決定することを目的とした。その結果、スカトールは連続提示により感覚強度が低下し、TI 値 50 に達するまでに約 3 分 30 秒かかる。しかし、実空間への応用を考えた場合、濃度を制御した室内環境で 3 分 30 秒間滞在するには長すぎる。そこで、提示開始後およそ 1 分間で TI 値 84 となることから、1 分で順応が生じていると判断し、濃度を制御した室内環境において「1 分間滞在する」状況を再現可能であり、実空間への応用可能性の観点からも妥当であると判断した。以上より、次節におけるスカトールの提示時間は 1 分に設定した。

５−３．低濃度順応時における高濃度臭気のにおい質評価に関する検討

５−３−１．試験方法

（１） 低濃度臭気の検討

① 試料作成方法

第２章で確認を行った活性炭を用いて調製した無臭空気を充満させた 10L の試料採取用袋（F タイプ 10L、近江オドエアーサービス株式会社）内で固形スカトール（98％3-Methylindole、東京化成工業株式会社）50 mg を 22〜25 ℃の室内で 30 分間放置し、ガス化したものを原臭とした。原臭の濃度が高すぎたため、10L の試料採取用袋を用いて、10 倍に希釈し、原臭とした。バック内表面への吸着を抑えるため、同様の試料で共洗いを行った。

原臭の濃度分析はガスクロマトグラフ分析計(GC-2014、株式会社島津製作所)にて行った。測定条件を表 ５-１に示す。第 2 章で行った三点比較式臭袋法を用いた閾値測定において、におい袋の回収率を考慮したスカトールの閾値は 4.3×10^{-6} ppm で、永田らの嗅覚閾値 5.6×10^{-6} ppm[3)]と近い値であった。そのため、本章では、閾値を 6.0×10^{-6} ppm として、提示する臭気濃度となるよう原臭の注入量を算出し提示試料を調製した。提示試料濃度を表 ５-２に示す。

第 4 章の結果より、臭気濃度 3 でにおい質の変化が認められたため、本試験でも、臭気濃度 3 に調整したが、パネル 3 人による予備試験において快・不快度の平均が-1 を示し、不快性が認められた。本研究の目的はパネルが不快性のない濃度のスカトール試料

で順応させることで、高濃度提示時の不快度が軽減できないかを検討するものである。そのため、順応時に用いる試料は不快度が生じないレベルに調整する必要がある。以上を踏まえ、低濃度試料として臭気濃度 2 に調整したスカトールを用いることにした。

表 5－1　スカトールの分析条件

装置	GC-2014(㈱島津製作所)
検出器	FID(㈱島津製作所)
カラム	Silicon SE-30,Sfinwasord-S 60/80 (ジーエルサイエンス㈱)
捕集管加熱装置	FLUSH SAMPLER FLS-3 (㈱島津製作所)
キャリアガス	N_2(超高純度)
燃焼ガス	H_2(超高純度),Air
カラム温度	180℃
検出温度	200℃
試料導入部温度	200℃
ガス流量	40mL/min

表 5－2　提示試料濃度

	提示試料濃度(ppm)	提示試料量(L)	回数(回目)	試料濃度(ppm)	注入量(L)
低濃度 臭気濃度2	0.000013	10	1	0.010	0.012
			2	0.0082	0.015
高濃度 臭気濃度100	0.00063	3	1	0.0102	0.35
			2	0.0082	0.43

②　官能評価方法

低濃度試料がパネルに不快を感じさせないことを確認するため、官能評価によるにおい質の評価を行った。低濃度試料で満たされた 10L の試料採取用袋にシリコンチューブと鼻パッドを接続し、パネルに自発呼吸により 2 回吸入させ、評価させた。パネルは公定法の T&T オルファクトメーターの 5 基準臭を使用し、におい紙を用いた 5-2 法によるパネル選択試験に合格した非喫煙者の男女 6 人（男性 2 人、女性 4 人）とした。

低濃度試料は、11 段階臭気強度評価尺度、9 段階快・不快評価尺度、および 2 段階容認性尺度を用いて、評価させた。11 段階臭気強度評価尺度を図 5-6、9 段階快・不快評価尺度を図 5-7、2 段階容認性尺度を図 5-8 に示す。なお、臭気強度は AIJES で定める 6 段階臭気強度評価尺度[4]を 0.5 刻みとした 11 段階尺度を使用して評価させた。なお、本試験はヘルシンキ宣言の精神に則り実施した。また、試験開始前に試験内容を

パネルに十分に説明し、試験中も途中辞退が可能であることを伝え、参加同意を得られた者のみをにおい質評価パネルとして採用した。

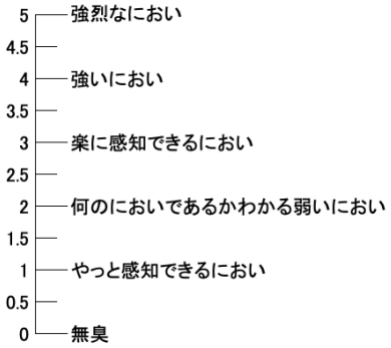


図 5-6 11 段階臭気強度評価尺度

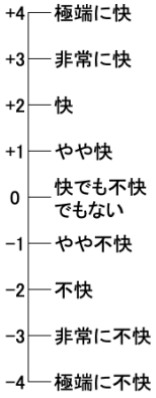


図 5-7 9 段階快・不快度評価尺度

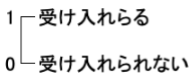


図 5-8 2 段階容認性評価尺度

（2） 順応群と非順応群における高濃度臭気のにおい質評価および比較試験

① 試料作成方法

4-1-1 と同様の方法で試料調製を行った。高濃度臭気は第 4 章で得られた結果より、明らかに不快な値を示す臭気濃度 100 に調整した。なお、高濃度試料については、第 2 章で明らかとなったスカトールのにおい袋における回収率 34 %を参考に、サンプル注

入量を算出した。順応で使用する低濃度試料は、物質濃度が低いため、高濃度の回収率がそのまま適用できないと考え、通常 2 回の共洗いを 3 回行うことで、試料注入の際の採取用袋内表面への吸着を防いだ。試験は、2 日間にわたって実施し、その都度、新たに試料を調製した。

② 官能評価方法

本試験では高濃度臭気をあらかじめ低濃度臭気で嗅覚順応を起こさせた状態（以下、順応群）と何も嗅がせず、嗅覚順応していない状態（以下、非順応群）での高濃度臭気を嗅いで評価する 2 条件の比較を行った。

嗅覚順応を起こすための低濃度臭気の提示方法は斎藤ら [2)]が行った臭気の時間依存強度と知覚特性の研究で動的な臭気提示が行われていたことから、本研究でも低濃度臭気は動的に提示を行った。提示装置を図 5 - 9 に示す。提示試料の流量は Pathak らの研究で健康な成人男性の 1 分間の呼吸量が 6.7±0.5L/min[6)]であることから、7L/min とした。流量は試料採取用袋の上に板と重り（2800g）を置き、自重にて袋内の低濃度試料を押し流すことで調整した。5-2 の結果より、スカトールを 1 分間提示することで初期提示の感覚強度を 100 とすると、84 に減少することから、感覚強度は低下がみられるといえるため、試料提示時間は 1 分間とした。

高濃度臭気はにおい袋に鼻あてをつけ、鼻呼吸 2 回で自己吸引させ、評価させた。順応群における高濃度提示は、低濃度臭気の 1 分間提示終了直後、高濃度臭気を提示した。

非順応群では、パネルは高濃度のにおいのみを嗅いで評価させた。順序の影響を考慮し、パネルを 2 つのグループに分け、A グループは順応群→非順応群、B グループは非順応群→順応群の順で試料を提示し、評価させた。各群の評価の間には順応群からの回復と休息状態の維持を考慮して、15 分間の休息を設けた。休息では、パネルに水を提供し、集中力保持のため、課題として数独のパズルを実施した。試験は 2 日間に分けて実施した。パネルは、パネル選択試験に合格した非喫煙者の男女 10 人とした。試験室は 22～25℃に設定し、換気を十分に行うことで無臭状態を保持した。評価項目は 5-3-1 (1) に加え、におい質を詳細に検討するため、SD 法におけるにおい質評価を行った。SD 法におけるにおい質評価の指標を表 5 - 3 に示す。評価項目は第 4 章を参考とした。

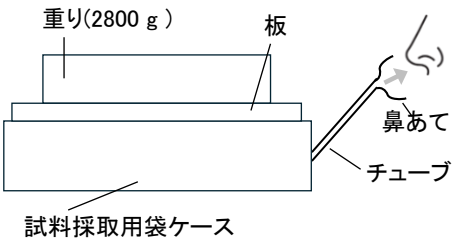


図 5－9　試料提示装置

表 5－3　におい質評価尺度

1 非常に	2 かなり	3 やや	4 どちらでもない	5 やや	6 かなり	7 非常に
穏やかな		刺激的な		静かな		うるさい
新しい		古い		好き		嫌い
軽い		重い		鮮やかな		ぼやけた
華やかな		地味な		あたたかい		つめたい
はっきりした		ぼんやりした		清々しい		うっとうしい
あっさり		こってり		柔らかい		かたい
きれい		汚い		明るい		暗い

5－3－2．におい質評価のデータ解析

（1） 平均値の有意差検定

低濃度臭気、非順応群、順応群の 3 条件における 11 段階の臭気強度評価尺度、9 段階快・不快評価尺度、および SD 法によるにおい質評価の平均について t 検定により各条件間の比較を行った。t 検定の解析にはエクセル統計バージョン 4.07（株式会社社会情報サービス）を用いた。

（2） におい質評価に基づくパターン類似率

パターン類似率の算出方法は第 3 章で示したとおりである。生活環境における不快臭や卵料理などについてパターン類似率を用いて検討された既往の研究[7), 8)]では、パターン類似率 0.95 以上で差異がわからないほど酷似していると報告されている[9)]。本研究では、提示試料が同一のにおい物質かつ同一濃度で、パネルの嗅感覚が順応している条件と順応していない条件を比較することで、パネルが評価する軽微なにおい質の変化を比較することが想定される。そのため、パターン類似率 0.98 をにおい質の変化の目安とした。

５−３−３．結果

（１） 低濃度臭気のにおい質

低濃度臭気は臭気強度が 1.2、快・不快度が-0.3、非容認率が 17 %であった。臭気強度評価尺度では、臭気強度 1 が検知閾値、臭気強度 2 が認知閾値を示している。したがって、低濃度臭気はにおいを検知しているが、におい質を認知できるほどの強度ではなかった。快・不快度は-0.3 で、明確に不快とされる-1 には至らなかった。AIJES では、室内臭気の基準値を設定する際に用いられる非容認率は 30 %が許容値であり、20 %が推奨値とされている[4]。本試験の低濃度臭気の非容認率は 17 %であり、推奨値を下回った。このことから、室内空間において対策が必要となるほどの臭気レベルとはいえない。

以上より、低濃度臭気は不快感を与えず、臭気対策が必要とされる規準を下回ることから、本試験における順応時に用いる試料として適切であると判断した。

（２） 非順応群の高濃度臭気のにおい質

非順応群に対する高濃度臭気の評価は臭気強度が 3.6、快・不快度が-1.7、非容認率が 70 %であった。順応していない状態での高濃度臭気は、においが楽に感知でき、におい質もわかる強度であり、明確に不快と感じられる臭気である。非容認率は AIJES の室内の臭気の許容値である 30 %を超えていることから、対策が必要なレベルと判断できる。

（３） 順応群の高濃度臭気のにおい質

順応群に対する高濃度臭気の評価は臭気強度が 3.2、快・不快度が-1.4、非容認率が 50 %であった。順応群と非順応群の臭気強度の平均値の比較を図 ５-１０に示す。順応群、非順応群の臭気強度を比較すると、有意な差は認められなかったものの、非順応群より順応群の方が臭気強度が 0.4 低下した。低濃度臭気と非順応群の高濃度臭気に対する臭気強度の平均値の比較を図 ５-１１に、低濃度臭気と順応群の高濃度臭気に対する臭気強度の平均値の比較を図 ５-１２に示す。低濃度臭気と非順応群を比較すると、t 検定において 0.1 %水準で有意な差が認められたのに対し、低濃度臭気と順応群は 1 %水準で有意な差が認められた。順応群、非順応群とともに有意な差が認められたものの、非順応群の方が低濃度との臭気強度の差がより顕著であった。

順応群と非順応群の快・不快度の平均値の比較を図 ５-１３に示す。順応群、非順応群の快・不快度を比較すると有意な差は認められなかったが、非順応群より順応群のほうが快・不快度が 0.3 緩和した。低濃度臭気と非順応群の高濃度臭気に対する快・不快

度の平均値の比較を図　5-１４に、低濃度臭気と順応群の高濃度臭気に対する快・不快度の平均値の比較を図　5-１５に示す。低濃度臭気と非順応群を比較すると、t 検定において 5%水準で有意な差が認められたのに対し、低濃度臭気と順応群は有意な差が認めらなかった。これにより、非順応群では低濃度臭気の快・不快度に明確な差が認められたが、順応群では差を認められなかった。

順応群と非順応群の非容認率の比較を図　5-１６に示す。順応群、非順応群の非容認率を比較すると有意な差は認められなかったが、非順応群より順応群のほうが 20%低下した。低濃度臭気と非順応群の非容認率の比較を図　5-１７に、低濃度臭気と順応群の非容認率の比較を図　5-１８に示す。サンプル数が 10 名と少ないことからフィッシャーの独立確率検定を採用し、低濃度臭気と非順応群を比較すると、p＝0.059 であり、1％水準で有意な傾向が見られた。さらに関連性の強さを評価する Cramer's V は 0.516 で強い関連性が認められた。

以上の結果から、同一の臭気であっても先に低濃度で順応させることで臭気強度、快・不快度、非容認率ともに減少、緩和、低下傾向にあることが明らかとなった。

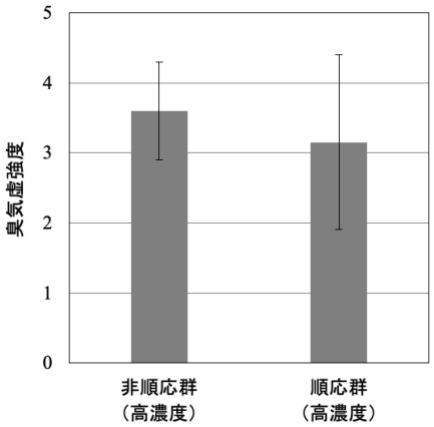


図　5−１０　非順応群と順応群の高濃度臭気に対する臭気強度の平均値の比較

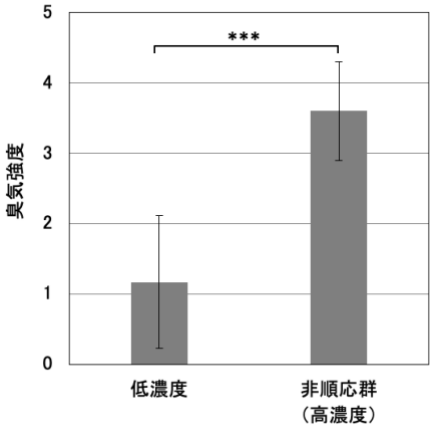


図 5－１１　低濃度臭気と非順応群の高濃度臭気に対する臭気強度の平均値の比較

（注）t 検定による有意差検定　***：p＜0.001

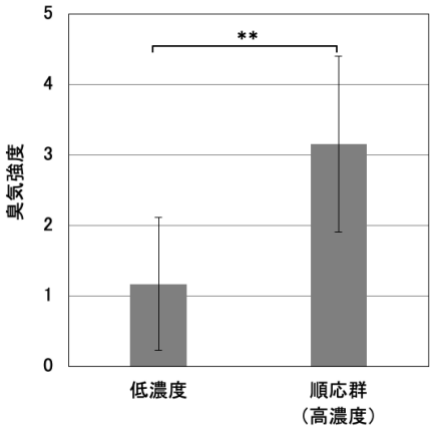


図 5－１２　低濃度臭気と順応群の高濃度臭気に対する臭気強度の平均値の比較

（注）t 検定による有意差検定　**：p＜0.01

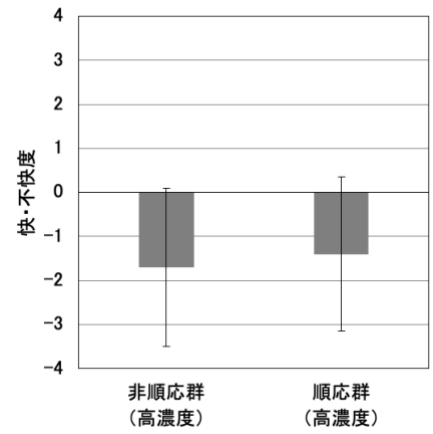


図 5－１３　非順応群と順応群の高濃度臭気に対する快・不快度の平均値の比較

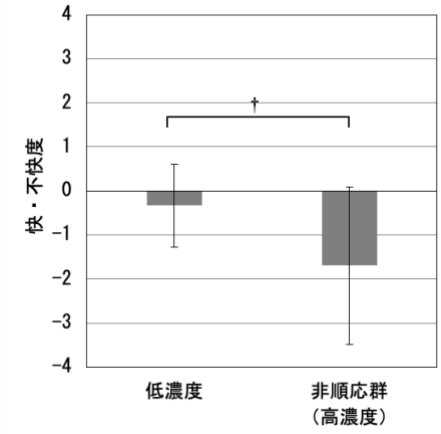


図 5−１４　低濃度臭気と非順応群の高濃度臭気に対する快・不快度の平均値の比較

（注）t 検定により有意差検定　†：p＜0．1

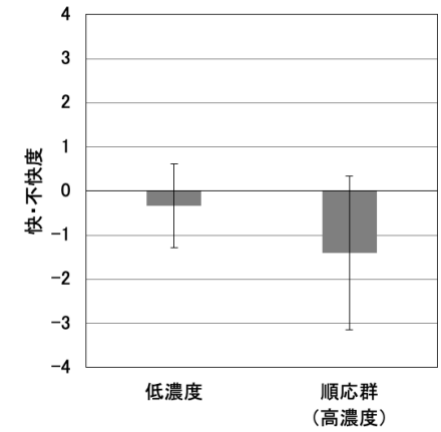


図 5−１５　低濃度臭気と順応群の高濃度臭気に対する快・不快度の平均値の比較

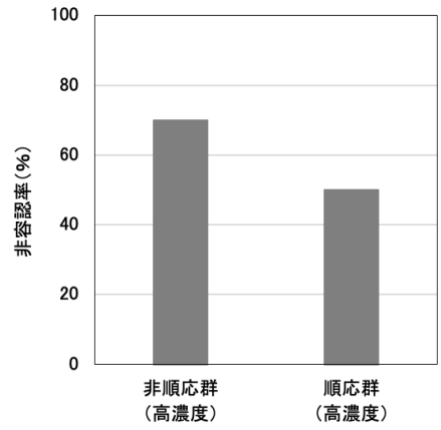


図 5−１６　非順応群と順応群の高濃度臭気に対する非容認率の比較

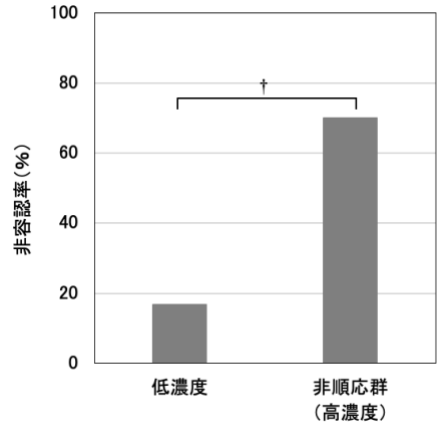


図 5－１７　低濃度臭気と非順応群の高濃度臭気に対する非容認率の比較

（注）フィッシャーの独立確率検定による有意差検定　†：p<0．1

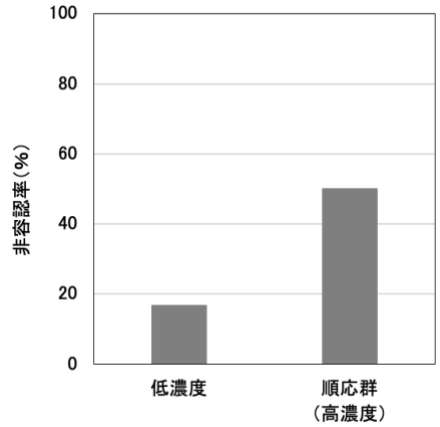


図 5－１８　低濃度臭気と順応群の高濃度臭気に対する非容認率の比較

5－3－4．考察

低濃度臭気と順応群および非順応群の高濃度臭気に対する臭気強度の平均値に対する有意差検定において、低濃度と非順応群の間に 0.1 %水準で有意な差がみられ、低濃度と順応群の間に 1 %水準で有意な差があった。一方で、快・不快度の平均値に対する検定では、低濃度と非順応群の間に 10 %水準で有意な差がみられ、低濃度と順応群の間に有意な差は認められなかった。これらの結果は、嗅覚順応の特性が関係していると考えられる。嗅覚順応とは、連続的なにおい提示により感覚強度が低下する現象である。嗅覚順応の直接的な影響として臭気強度の低下がみられ、臭気強度の低下により二次的な影響として不快度の軽減が起こる。したがって、低濃度と順応群および非順応群の間で快・不快度より臭気強度の方が顕著な差がみられたのは、嗅覚順応の影響が強く作用

したためと考えられる。

順応群と非順応群における高濃度臭気のSD法によるにおい質評価の平均値プロフィールの結果を図 5-19に示す。左側にポジティブな項目、右側にネガティブな項目を表示した。両条件の平均値プロフィールに基づくパターン類似率は0.929であった。先に述べた通り、本章では、パターン類似率 0.95 をにおい質の変化の目安としていることから、同一のスカトール臭気の評価であるが、におい質が同一とはいえないことが示された。

におい質を詳細に検討するため、順応群と非順応群の各におい質評価の項目の平均値に対してt検定を行った。結果に対し、有意差が認められた「清々しい−うっとうしい」の評価に対する平均値を図 5-20に示す。順応群と非順応群の評価を比較すると、5%水準の有意な差が認められた。このことから、スカトールを低濃度で順応した状態で高濃度臭気を曝露することにより、人が評価するにおい質の「うっとうしさ」が軽減されることが明らかになった。スカトールのにおい質は低濃度で白い花を想起させるにおい、高濃度で糞便臭と言われている[1]ことから、順応した状態で高濃度臭気を評価したとき、におい質は低濃度よりの評価となった。

個人の評価をみると、「清々しい−うっとうしい」の項目では10人中6人が、非順応群より順応群で清々しい側に評価していた。

ヒトの嗅繊毛の細胞膜には、凹型の立体構造を持つ嗅覚受容体が存在しており、これに凸型のにおい分子が結合することで電気信号が脳に伝達され、においが認識される。ヒトの嗅覚受容体は約400種類存在し、それらの組み合わせによって様々なにおい質を認識している[1]。

本試験では、低濃度順応によって高濃度スカトールと同じ嗅覚受容体の一部をあらかじめ活性化させた。この順応により、高濃度臭気を曝露した際に応答する嗅覚受容体の数や種類が減少し、その結果、認知されるにおい質が変化したと考えられる。スカトールの認知に関して、スカトールのアンタゴニスト化合物を用いずとも、低濃度順応により高濃度臭気の不快度が緩和され、におい質が「うっとうしい」から「清々しい」に変化することが確認された。

嗅覚順応は臭気強度が低下し、それに伴う二次的な作用として不快感の低減する特徴がある。また、におい質は複数の嗅覚受容体の組み合わせで認知されるため、一部の受容体の活性が順応により抑制されることで、認知されるにおい質も変化する[9]。低濃度

スカトールを用いて順応した状態で、高濃度スカトールを曝露した場合、低濃度のスカトールによってすでに反応した嗅覚受容体が高濃度のにおい分子に対する応答を抑制し、不快度の軽減とにおい質の変化をもたらしたと考えられる。

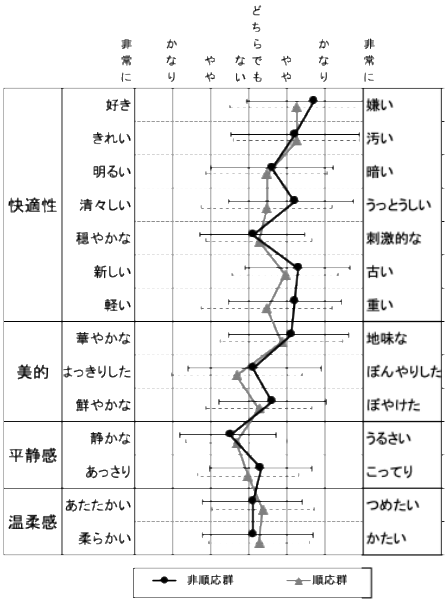


図 5-１９　SD 法に基づく平均値プロフィール

（注）プロット内の線は標準偏差を示す

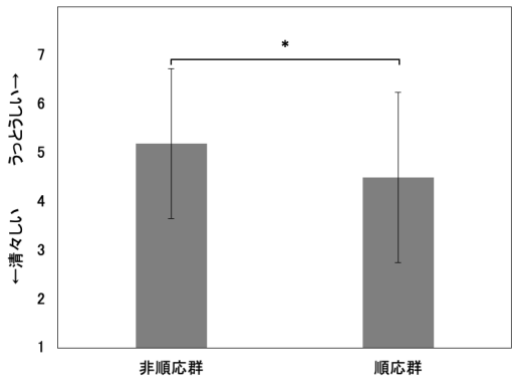


図 5-２０　非順応群と順応群の高濃度臭気に対する「清々しい―うっとうしい」の評価の平均値

（注）t 検定による有意差検定　＊：$p<0.05$

5-3-5．小括

本節では、低濃度のスカトールで嗅覚順応を起こさせた後、不快に感じられる高濃度

のスカトールを提示した際に、におい感覚を緩和できるかを検討した。その結果、以下の知見が得られた。

1) スカトールは順応群と非順応群の高濃度臭気の評価を比較すると、順応群では臭気強度の低下、不快度の軽減、非容認率の低下がみられた。
2) スカトールは低濃度で順応させた順応群と非順応群に対し、高濃度臭気に対する評価が同一の臭気であるにもかかわらず、同一の臭気として認知されていないことが明らかになった。
3) 順応群のにおい質評価は、非順応群と比較して、より「うっとうしさ」が軽減される傾向があり、嗅覚順応がにおい質の評価に影響を及ぼすことが明らかとなった。

5−4．まとめ

本章では、前章までに明らかにしたスカトールの濃度依存的なにおい質変化の知見を応用し、嗅覚受容体の応答に基づく現象である嗅覚順応と組み合わせた条件下において、高濃度臭気のにおい感覚がどのように変化するかを検討した。特に、「不快でない」低濃度臭気による順応が、その後に提示される「不快な」高濃度臭気の評価に及ぼす影響を、臭気強度、不快度、容認性およびにおい質から明らかにすることを目的とした。得られた知見は以下の通りである。

1) 連続提示開始後 1 分間で感覚強度が約 15 %低下することが確認された。1 分間の連続提示は、実空間における短時間滞在を想定した条件としても現実的であり、安定した順応状態を形成する条件として妥当であると判断した。
2) スカトールは、低濃度で順応させた順応群と順応させていない非順応群に高濃度臭気を曝露させ、におい感覚評価を行った結果、順応群は非順応群と比較して臭気強度が低下し、不快度が軽減され、非容認率も緩和されることが明らかになった。これにより、低濃度臭気による順応が、高濃度臭気に対する不快な感覚評価を軽減することが明らかになった。
3) 順応群と非順応群では、同一の高濃度臭気であっても認知されるにおい質が異なることが明らかとなった。順応群では、非順応群と比較して、より「うっとうしさ」が軽減される評価となった。これにより、嗅覚順応が感覚強度の低下にとどまらず、におい質そのものの知覚にも影響を及ぼす可能性が示唆された。

今後スカトールが悪臭の一部として存在する高齢者介護環境の複合臭などの臭気対

策として[10]、不快でない低濃度のスカトールを用いて、不快な高濃度臭気の感覚的消臭対策を検討することが課題である。

参考文献

1) 斉藤 幸子，井濃内 順，綾部 早穂：嗅覚概論―臭気の評価の基礎―，公益社団法人におい・かおり環境協会，2014.
2) 斉藤幸子，綾部早穂，小早川毅彦：持続臭の時間的強度変化と知覚特性との関係，におい・かおり環境学会誌，39 巻，6 号，pp. 399-407，2008.
3) 永田好男・竹内教文：三点比較式臭袋法による臭気物質の閾値測定結果，日環セ所報，No.17，pp.77-89，1990.
4) 日本建築学会：室内の臭気に関する対策・維持管理規準・同解説,2019.
5) Pathak, A., Velez-Roa, S., Xhaët, O., Najem, B., van de Borne, P. : Dose-dependent effect of dobutamine on chemoreflex activity in healthy volunteers, British Journal of Clinical Pharmacology, 62 , (3) , pp. 272-279，2006.
6) 大黒さゆり，光田恵，棚村壽三，内山一寿：生活環境における不快臭の主成分の解明および官能評価による手法の提案，におい・かおり環境学会誌，53 巻，5 号，pp. 285-294，2022.
7) 片山潔，林敏弘：食行動要因に関する研究（第 3 報）家庭における卵の利用と卵料理のイメージ，ビーコン，13 巻，pp. 85-91，1978.
8) 大迫政浩，西田耕之助：におい質パターンによる複合臭の評価方法の検討，大気汚染学会誌，25 巻，第 1 号，pp.56-65，1990.
9) 光田 恵，竹下 剛司，花岡 早苗，近藤 早紀，立松 健司，黒田 俊一：感覚的消臭の変調作用における嗅覚受容体応答の変化、人間と生活環境、2023 年 30 巻 1 号 p. 1-8

第６章　結論

本研究では、嗅覚受容体の応答により生じるにおい物質濃度依存的質変化の特性を有する硫化メチルとスカトールを対象に、におい質の変化点とどのようににおい質が変化するのかその様相を解明することを目的とした。また、同一物質の低濃度臭気で順応させた後、高濃度臭気を曝露した場合の不快感の軽減ができるか否かを検討した。

さらに、濃度によるにおい質の変化を検討するにあたり、低濃度臭気を用いる測定の精度の確認および求められる嗅覚閾値の正確性の向上のため、におい袋法で用いられる無臭空気の性能を確認するとともに、におい袋へ注入したにおい物質が袋内壁への吸着により減少する影響を把握するため、回収率（におい袋への試料を注入した濃度に対して、嗅ぐ時に吸引できた濃度を示す割合）を測定した。

第 1 章では、本研究の背景と目的、論文の構成を示すとともに、既往の研究および本研究の位置づけについて述べ、本論文の有用性を示した。

第 2 章では、閾値付近の低濃度のにおい感覚評価を行うにあたり、におい袋法における無臭空気の性能評価およびにおい袋の内壁に対するにおい物質の回収率の測定を行った。無臭空気に対し、特定悪臭物質および酢酸に対する定量分析を行い、すべての物質が閾希釈倍数 1 未満であった。におい感覚評価では臭気強度は検知閾値以下であり、におい質に与える影響は検知レベル以下であった。におい袋に対する物質吸着としては、におい物質ごとに差がみられ、スカトールの回収率は 34 %であり、正確に嗅覚閾値を測定するには、回収率を考慮する必要があることが明らかになった。

第 3 章では、濃度依存的質変化の特性を有する硫化メチルを対象に濃度に対するにおい質の変化点の検討を行った。におい物質濃度と個人の閾値を基にした臭気指数に対する臭気強度評価では臭気指数の方が相関が高く、濃度に対するにおい質の検討には、臭気濃度および臭気指数を用いる必要があることが明らかになった。硫化メチルのにおい質評価は濃度上昇に伴い、一定数「快」と評価するパネルが存在していた。硫化メチルは臭気濃度 80 で不快と評価され、臭気濃度 100 で明確にうっとうしさ、鋭さが上昇することが明らかとなった。

第 4 章では、同じく濃度依存的質変化の特性を有するスカトールを対象に濃度に対するにおい質の変化点の検討を行った。スカトールは臭気濃度 3 で「軽くあっさりした」

から「重くこってりとした」へとにおい質が変化し始めることが明らかになった。さらに、日本建築学会環境基準に基づく非容認率が 20 %となる推奨値に対応する臭気濃度は 3 となり、におい質の変化する臭気濃度との対応がみられた。

第 5 章では、前章で得られた知見の応用として、濃度依存的なにおい質変化と同じく、嗅覚受容体の応答により生じる現象である嗅覚順応を組み合わせた条件下でのにおい感覚の変化を検討した。スカトールの連続提示による感覚強度の計測を行い、スカトールは 1 分間の連続提示で感覚強度が約 15 %低下することが明らかになった。これにより、臭気濃度 2 の「不快でない」低濃度スカトールを 1 分間連続提示し、順応させた後、「不快な」高濃度を提示し、順応状態の「順応群」と順応していない状態の「非順応群」で不快度軽減、におい質の変化について検討を行った。順応群では臭気強度の低下、不快性の軽減、非容認率の緩和がみられた。におい質評価では、同一の高濃度臭気を評価した際、嗅感覚は同一のにおい質として認知しておらず、順応群のにおい質評価は、非順応群と比較して、より「清々しい」と感じられることが明らかとなった。

第 6 章では、本研究から得られた知見をまとめ、以下を本論文の結論とした。

におい物質濃度依存的質変化を有する代表成分である硫化メチルとスカトールのにおい質の変化点と様相を解明した。また、スカトールにおいて、不快に感じないレベルの低濃度臭気によって順応させ、不快な高濃度臭気を曝露させた。これにより不快度軽減という、「感覚に基づくにおい制御」という新たな視点の導入による臭気対策法を示した。従来のにおい物質の除去を主とした悪臭対策だけでなく、人がどのように感じるかという嗅感覚を軸としたにおい環境設計への展開の可能性が示された。

今後の課題としては、硫化メチルを含む多様なにおい物質について、におい袋への吸着特性および回収率の体系的な把握を行い、嗅覚閾値測定の信頼性をさらに向上させる必要があると考える。これにより嗅感覚に基づく、におい物質濃度に対するにおい質を把握することが可能になる。

また、低濃度臭気を用いた嗅覚順応における高濃度臭気曝露に対する不快度軽減への検討では、スカトール単体に限定しており、実生活での芳香剤など香粧品香料への利用を念頭においた、スカトールを含む複合臭での検討を行うことで、感覚的消臭法としての実用性を高めることができると考えられる。

さらに、今回はにおい袋を用いた試験であったが、生活空間のみならず、介護・医療現場などの実空間での応用を見据えた検証を進める必要がある。その検証により、嗅感

覚に基づく感覚的消臭法および香り設計技術の基盤として、臭気管理、さらには経験に依存してきた香料の調香による感覚の数値化などの実用的な活用を目指した検討が課題である。

本論文に関連する発表論文

原著論文

論文題目および発表者	発表機関および年月	関連章
硫化メチルの濃度差における臭気質変化に関する研究 磯崎　文音，光田　恵，棚村　壽三	におい・かおり環境学会，48 巻，2 号，pp. 130–139，2017 年 3 月	第 2 章、第 3 章
におい袋におけるにおい物質の吸着に関する検討 磯崎　文音，光田　恵	におい・かおり環境学会，57 巻，1 号，pp. 39–42，2026 年 1 月	第 2 章
スカトールの濃度差によるにおいの質的変化に関する研究 －T&T オルファクトメーター試薬を用いた検討－ 磯崎　文音，光田　恵	人間と生活環境，第 32 巻，第 2 号，pp. 23–29，2026 年(掲載予定)	第 4 章
スカトールのにおい質における変化点に関する考察 磯崎　文音，光田　恵，棚村　壽三	日本建築学会環境系論文集，第 90 巻，第 838 号，pp. 602–608, 2025 年 12 月	第 4 章
A study about the evaluation of the quality of a high concentration odor under an adaptation state with a low concentration odor focusing on skatole Ayane ISOZAKI, Megumi MITSUDA and Toshimi TANAMURA	Journal of the Human-Environment System, Volume 27, Issue 1, pp.23-31, April 2025	第 5 章

謝辞

本論文の執筆を終わるにあたり、研究の遂行および本論文の執筆において、ご多忙の中、終始一貫して熱心にご指導ならびにご鞭撻を賜りました、大同大学建築学部建築学科かおりデザイン専攻　光田恵教授に深く感謝申し上げます。また、同専攻　颯田尚哉教授、近藤恵美教授には測定法などについてご指導を賜りました。さらに、本論文執筆にあたり、ご助言いただきました大同大学大学院工学研究科材料・環境工学専攻　専攻長　川福基裕教授、大同大学大学院工学研究科都市環境デザイン学専攻　専攻長　嶋田喜昭教授、東京科学大学環境・社会理工学院建築学系　鍵直樹教授にも厚く御礼申し上げます。

元大同大学　棚村准教授、株式会社豊田中央研究所　榊原清美氏、岩井幸一郎氏、今枝孝夫氏、トヨタ自動車株式会社　中島毅彦氏、加藤和広氏には貴重なご助言をいただきました。改めて心より深く感謝いたします。当時の本学技術員西中川保氏、本学技術員岸上奈美江氏、非常勤講師荒川保美氏には実験装置の使用法などのご助言をいただきました。実験にご協力いただいた 4 年生の玉井里奈氏、原田真氏ならびに、パネルとしてご協力いただいた当時大同大学かおりデザイン専攻の皆様に御礼申し上げます。

最後に、本研究における実験にご協力くださいました方々に、厚く御礼申し上げます。