COMMENTARY

ヒトと生活環境のにおい

Human and Life Environmental Odor

光田 恵

Megumi MITSUDA

大同大学かおりデザイン専攻 Odor and Aroma Design Course, Daido University

(Received February 19, 2018; Accepted February 19, 2018)

1. はじめに

本特集で述べられてきたとおり、近年、におい成分の質量分析の進歩は目覚ましいものがある。においの分析特集の総括にあたり、においの分析において忘れてはならないヒトの感覚に焦点を当て、ヒトと生活環境のにおいの関係について述べる。

生活環境のにおいに関しては、従来、屋外の悪臭としての側面が強く、健康被害につながるもの、あるいはその信号として受け止められていた。当時、悪臭発生源は特定できる限定的なものとされていた。しかし、次第にその発生源である工場等の近傍へと市街地が拡大し、人々にとって悪臭問題が身近なものとなっていった。そのような中、1971年に悪臭防止法が制定され、悪臭対策が進み、生活環境の悪臭問題は、ある程度解決されたかに思われていた。実際、1993年まで悪臭苦情件数は減少の一途をたどり、ピーク時の約半数の1万件を切るまでになった。しかし、その後、野焼き焼却、飲食店や近隣住宅からのにおいなど、限定的な発生源ではなく、生活の中にある身近なにおいが悪臭苦情の対象となってきた。1994年以降、苦情件数は増加傾向に転じ、2003年には苦情件数が、悪臭防止法制定当時よりも多くなった。近年、徐々に減少しているが、いまだに1万件以上の苦情が寄せられている。

苦情件数が増加した1990年代に、屋内においても空気環境の大問題が顕在化した。シックハウス症候群である。主に住宅内の空気質が原因で、体調不良が引き起こされた。省エネルギー対策のための気密性の向上により換気が不十分となったこと、化学物質を多く含む新建材が用いられるようになったことが原因とされている。原因物質は、主に揮発性有機化合物であり、ヒトが刺激やにおいを感じることができるものであった。この空気質の問題も生活環境のにおいに対する意識が向上する契機となった。においは、快適性にかかわる要素であり、また健康にも影響する

要素として改めて認識されるようになったのである。

生活環境のにおいは、多種多様な化学物質からなる複合臭である。そのようなにおいを分析するためさまざまな測定法が用いられている。生活環境のにおいの測定方法は、嗅覚測定法、官能評価法など感覚的な方法とセンサーによる測定や化学物質分析などの機器測定法に大別される。においがヒトによって知覚される感覚事象であることを考えれば、ヒトの感覚を無視することはできない。生活環境において、においの分析をする必要性や場面を考えると、主として次の場面があげられる。①環境のにおいの善し悪しを判断する場面、②悪臭対策を検討する場面、③対策を適用したときの効果を評価する場面である。

本稿では、においの分析特集の総括にあたり、ヒトの感覚に基づいた身近な環境のにおいの分析について眺めてみたい。

2. 生活環境のにおいの測定法

生活環境のにおいの測定・評価では、対象がいわゆる悪臭か芳香かで異なる場合がある。悪臭測定の場合にはその対策が主な目的となるため、客観的な数値化が必要となり、臭気の定量的な測定が中心となる。一方、芳香の場合には、嗜好性などの評価も重要になるため、においの質に関係する定性的な測定を加味する必要がある。図1は、生活環境のにおいの測定に用いられる主な方法をまとめたものである。図に示した方法のほかに、においの影響を脳波や血流量などの生理的变化から測定する「生体計測法」もある。

ヒトの嗅覚による測定法としては、図1に示すとおり、希釈法によりにおいの濃さを測る方法と、評定尺度を用いて強さや不快度を測定する方法に分けられる。

希釈法により求められるにおいの濃さを表す指標として、「臭気濃度」という指標がある。臭気濃度は、その臭気を無臭の清浄な空気希釈したとき、丁度におわなくなったときの希釈倍数のことである。そのため、においの発生量や臭気対策の目標値を臭気濃度で求めると、脱臭効

図1. 生活環境におけるにおいの測定方法。

率や必要換気量を求めることができ、臭気対策計画を立てることができる。臭気濃度の測定には、日本の悪臭防止法および建築学会臭気規準¹⁾では、三点比較式臭袋法が採用されている。一方、ヨーロッパ基準では、においの希釈を装置によって自動で行い、濃度調整したにおいを送気して評価者（パネル）に評価させる、いわゆる動的的方法とされるオルファクトメーター法が採用されている。

評定法で求められる指標としては、においの強さを数値化する臭気強度、においの快・不快の程度を数値化する快・不快度が主なものである。臭気強度、快・不快度については、対象とするにおいに応じてさまざまな尺度が国内外で用いられているが、日本建築学会臭気規準などでは図2に示す6段階の臭気強度尺度と、9段階の快・不快度尺度が採用されている。図2の6段階臭気強度尺度では、「1」を何かにおいがあると感じることができる最低濃度である「検知閾値」、「2」をそのにおいがどんなにおいであるかわかる最低濃度である「認知閾値」としている。においの快・不快には、においの質や評価者の嗜好性などが影響するため、快・不快度評価はパネルの属性（例えば、性別、年齢など）に特に左右されやすく、個人差が大きくなる傾向にある。

においの善し悪し、臭気対策の効果などにおいを総合的に判断する方法として容認性がある。日本建築学会の臭気規準では、60名のパネルにより、図2の「受け入れられる」「受け入れられない」を用いて評価し、受け入れられない割合が20%（非容認率20%）を臭気基準値とすることになっている¹⁾。

においの質を評価する場合、快か不快かを捉えるには先に述べた快・不快度尺度が使用されるが、何のにおいであるのか、どのような質であるのかなど詳細に把握したい場合には、一方法としてSD法（semantic differential method; 20程度の形容詞対について通常7段階で評価させ、情意的意味を客観的に測定する方法）が用いられている²⁾。

図1の機器測定法の中で、現地での測定に適しているのは検知管法とにおいセンサー法である。検知管法は、あら

5	強烈なにおい
4	強いにおい
3	らくに感知できるにおい
2	何のにおいであるかわかる弱いにおい(認知閾値)
1	やっと感知できるにおい(検知閾値)
0	無臭

+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

受け入れられない
受け入れられる

図2. おいへの評価尺度。

（注）上段：6段階臭気強度尺度，中段：9段階快・不快度尺度，下段：容認性尺度。

図3. 焼肉臭の臭気指数とにおいセンサー値の関係。

かじめにおい物質の種類と濃度を推測し、検知管の種類を選定し用いる必要がある。においセンサーとして現在市販されているのは、主に小型・軽量の半導体センサーであり、現地での連続的な測定に適している。においセンサーは、においの構成物質により応答が異なるため、応答しやすい物質が存在すると、においセンサーの値は高めに表示される。また、温湿度などの環境要素に対する影響についても把握しておく必要がある。においセンサー値のみではヒトが感じるにおいの強弱の判断が難しいため、図3のように、ヒトの感覚量とにおいセンサーの値についてあらかじめ検量線を作成したうえで³⁾、においセンサーを用いると、においセンサー値から感覚量を推定できる。なお、図中の臭気指数とは、(臭気濃度)=10 (臭気指数/10) の関係にあり、臭気濃度へ変換できる。

また、においをガスクロマトグラフ質量分析計などで、定性定量分析ができれば、においを構成している物質とその濃度が求められ、対策を講じる際などの対象物質を定めることができる。におい物質の分析においては、ヒトのにおい物質に対する感度を把握し、それに対応する感度を機器が有する必要がある。また、単一物質の濃度とそれらが混ざり合ったときに感じるにおいの強さや質が異なることも把握しておく必要がある。そこで、次の「3. においの感じ方」では、各物質に対するにおいの感じ方について述べる。

3. においの感じ方

生活環境のにおい分析においては、ヒトのにおいに対する感じ方を知っておく必要がある。ここでは、例として悪臭防止法において特定悪臭物質として指定されている22

物質を取り上げる。各物質に対するヒトの感度を知るには、各物質の検知閾値（けんちいきち：においを検知できる最小濃度）が重要な資料となる。表1は、22物質の検知閾値を示したものである^{4),5)}。検知閾値には、ppbからpptレベルのものが少なくない。また、検知閾値の大小を比較すると、各物質の差は大きく、最も検知閾値が高いアンモニアと、最も低いトリメチルアミンでは約47,000倍の差がある。アンモニアとトリメチルアミンが同じ濃度検出されてもヒトの感覚では、大きな違いがあることになる。

また、室内環境の化学物質による健康影響を考慮し、厚生労働省において13種類の化学物質の指針値が策定されている。昨年、15年ぶりにその一部の物質の指針値が引き下げられ、新たに3種類の化学物質の指針値が提案された。これらの指針値とヒトの検知閾値を比較すると、検知閾値のほうが指針値よりも低い物質がある。たとえば、アセトアルデヒド（指針値0.03 ppm, 検知閾値0.0015 ppm）、スチレン（指針値0.05 ppm, 検知閾値0.035 ppm）などである。これらの物質は、室内において指針値以下に制御されていても、においが感じられる場合があり、ヒトの感覚にそった分析を行うには、健康影響として考える化学物質濃度よりもさらに低い濃度の分析が必要となる。

次に、においの物質濃度とにおいの強さ感覚の関係について述べる。図4に、特定悪臭物質でもある硫化水素とスチレンの濃度と臭気強度（においの強さ）の関係⁴⁾を示す。この図の硫化水素に着目すると、濃度が100 ppmから1 ppmへ低減された場合、物質の除去率は90%であるが、縦軸の臭気強度は5の「強烈なにおい」から4の「強いにおい」へ低下しただけであり、臭気が除去されたという実感は得にくい状況であることがわかる。では、実感を得る

表1. 特定悪臭物質の臭気質と検知閾値

物質名	におい	検知閾値 (ppm)
アンモニア	し尿のようなにおい	1.5
メチルメルカプタン	腐った玉ねぎのようなにおい	0.000070
硫化水素	腐った卵のようなにおい	0.00041
硫化メチル	腐ったキャベツのようなにおい	0.0030
二硫化メチル	腐ったキャベツのようなにおい	0.0022
トリメチルアミン	腐った魚のようなにおい	0.000032
アセトアルデヒド	刺激的な青ぐさいにおい	0.0015
プロピオンアルデヒド	刺激的な甘酸っぱい焦げたにおい	0.0010
ノルマルブチルアルデヒド	刺激的な甘酸っぱい焦げたにおい	0.00067
イソブチルアルデヒド	刺激的な甘酸っぱい焦げたにおい	0.00035
ノルマルパレルアルデヒド	むせるような甘酸っぱい焦げたにおい	0.00041
イソパレルアルデヒド	むせるような甘酸っぱい焦げたにおい	0.00010
イソブタノール	刺激的な発酵したにおい	0.011
酢酸エチル	刺激的なシンナーのようなにおい	0.87
メチルイソブチルケトン	刺激的なシンナーのようなにおい	0.17
トルエン	ガソリンのようなにおい	0.33
スチレン	都市ガスのようなにおい	0.035
<i>o</i> -キシレン	ガソリンのようなにおい	0.38
<i>m</i> -キシレン	ガソリンのようなにおい	0.041
<i>p</i> -キシレン	ガソリンのようなにおい	0.058
プロピオン酸	刺激的な酸っぱいにおい	0.0057
ノルマル酪酸	汗くさいにおい	0.00019
ノルマル吉草酸	むれた靴下のようなにおい	0.000037
イソ吉草酸	むれた靴下のようなにおい	0.000078

図4. 硫化水素とスチレンの濃度と臭気強度の関係。

ためには、10 ppmの硫化水素について、どの程度の除去率が必要なのであろうか。日本建築学会臭気規準において、基準値である非容認率20%の値が臭気強度で示されているものに生ごみ臭1.4、調理臭2.1などがある。この値を参考に、非容認率20%の臭気強度を約2とし、2に相当する硫化水素濃度（0.01 ppm）までに低減するための除去率を求めた。10 ppmを0.01 ppmにする必要があるため、99.9%の除去率が必要となる。99.9%の除去率と聞くと、無臭になるように思われるが、実際には臭気強度としては2に感じられるわけである。これは、物質濃度とにおい感覚には以下のフェヒナーの法則があることによる。

単一のおい物質が中程度の濃度の場合、一般的に、臭気強度がにおい物質濃度の対数に比例するというフェヒナーの法則が成り立つと言われている。式（1）の a 、 b の値は図4の硫化水素とスチレンで異なるように、におい物質によって異なる。

$$I = a \cdot \log C + b \quad (1)$$

I : 臭気強度, C : においの成分濃度, a : 傾き, b : 常数

単一の物質の場合には、その濃度と臭気強度の関係が求まれば、成分濃度を測定することでおおよそその感覚を掴むことができる。しかし、注意が必要なのは複合臭の場合である。各物質によるマスキング、相乗作用などの嗅覚特性も絡み合い、その評価はより複雑になる。対策においても複合臭を構成しているにおい物質を選択的に除去すると、元の複合臭と物質構成比が異なり、異なったにおい質に感じられ、元より不快になる場合がある。また、においが単一物質であっても除去原理が分解などの化学反応による場合、対策を行った対象物質の濃度は低下しても反応中間体や副生成物によってにおい感覚としては低減しないことがあるのである。

ところでそもそもヒトは、1日の大部分を過ごしている室内空間で、どのようなにおいを意識し、どのようなにおい物質で構成された環境で生活しているのだろうか。次の4では、「室内のにおいの分析事例」を紹介する。

4. 室内のにおい分析事例

住宅内に関しては、生ごみ臭、調理臭、排水口臭、トイレ臭、たばこ臭などが居住者に意識されており、においが気になる場所としては、台所・食堂、便所、居間があげられる場合が多い。超高齢社会において医療・福祉施設が注目されており、施設環境の質的向上にも目が向けられている。そのような中、施設内においてもしばしば取り上げられており、施設のスタッフや介護者の気になるにおいとして、居室・病室、汚物処理室、便所などに存在する排泄物臭がある。居室・病室における排泄物臭は、おむつ交換やポータブルトイレ使用時のような排泄関連時に感じられ、特に、多床室での排泄行為が部屋全体のにおい環境に影響を及ぼすため対策が望まれている。このほか、医療・福祉施設では医薬品臭、薬品臭などが、オフィス等では、体臭、たばこ臭、建材臭、かび臭などが臭気対策の対象となりうる¹⁾。

それでは、ヒトはどの程度のにおいの濃さの環境で生活しているのだろうか。40軒の住宅のLDK測定された臭気濃度をみると、平均値で約100、調理直後は約400、調理終了1時間後は約200であった⁶⁾。また、築32年の病院の病室の臭気濃度は230であり⁷⁾、犬と猫が15匹程度のペットショップの臭気濃度は130～1,000であった⁸⁾。喫煙室内では、喫煙直後は臭気濃度730～1,300、喫煙1時間後が31～130であった⁹⁾。

以上より、室内の臭気濃度は数百程度と言える。すなわち、室内のにおいを数百倍に薄めなければ、におわくならないレベルの中で、ヒトは生活していることになる。

これらの室内空間のにおいはどのような物質から構成されているのだろうか。室内空間のにおい物質については多数存在しているが、ここでは、各室内空間において共通して分析が行えた悪臭防止法で指定されている特定悪臭物質と酢酸の分析結果を紹介する。結果は表2のとおりである^{2), 8), 9), 11)～13)}。室内においても、多種の特定悪臭物質が検知閾値以上の濃度で検出されている。アンモニアが高濃度検出されているが、アンモニアは検知閾値が高く、においとしては感じられるレベルではない。一方、アセトアルデヒドは、分析を行っていない生ごみ臭以外で検出されており、いずれも検知閾値以上の濃度である。各室内空間において共通して分析できた特定悪臭物質の中では、アセトアルデヒドが室内空間のにおいを構成する物質として必ず存在していることになる。

5. おわりに

におい物質の分析、センサーでの測定など機器測定技術の進歩は、近年目覚ましいものがある。しかし、におい分析は、化学物質がヒトの鼻腔内を通過し、においという現象を引き起こす「におい」の分析であるということを忘れてはならない。そうした意味で、本稿では、におい分析に重要なヒトの感覚に焦点を当て、ヒトが生活している身近な環境のにおいと関係性を述べてきた。

生活環境において、におい分析を必要とする主な3場面

表2. 室内のにおい物質分析結果（特定悪臭物質と酢酸濃度）【単位：ppb】

物質名／試料	焼肉臭	ペット臭	生ごみ臭	病室	高齢者施設 使用済み おむつ	喫煙室にて 採取した臭気	公衆トイレにて 採取した臭気	閾値
硫化水素	<0.9	<0.1	<50	2.02	3.41	N.D.	—	0.41
メチルメルカプタン	N.D.	<0.1	1300	N.D.	17.66	<0.07	—	0.07
硫化メチル	N.D.	N.D.	72	N.D.	<0.1	N.D.	—	3
二硫化メチル	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	2.75	N.D.	—	2.2
アセトアルデヒド	200	13.7	—	15.7	22.71	13.95	8.984	1.5
プロピオンアルデヒド	N.D.	N.D.	—	N.D.	<0.2	4.19	N.D.	1
ノルマルブチルアルデヒド	N.D.	N.D.	—	N.D.	—	12.8	N.D.	0.67
イソブチルアルデヒド	N.D.	N.D.	—	N.D.	—	4.17	N.D.	0.35
ノルマルバレールアルデヒド	N.D.	N.D.	—	N.D.	—	14.42	N.D.	0.41
イソバレールアルデヒド	N.D.	N.D.	—	N.D.	—	7.74	N.D.	0.1
プロピオン酸	N.D.	0.9	—	<0.5	32.37	0.44	0.05	5.7
ノルマル酪酸	N.D.	0.3	—	<0.3	17.98	0.17	0.01	0.19
ノルマル吉草酸	N.D.	<0.2	—	<0.2	16.31	0.01	0.00	0.6
イソ吉草酸	N.D.	<0.2	—	<0.2	3.24	0.08	0.00	0.078
酢酸	—	14.3	<200	—	—	14.24	1.23	6
イソブタノール	N.D.	—	—	—	—	N.D.	—	0.011
アンモニア	794.36	500	200	560.12	—	851.95	565.5	1500
トリメチルアミン	3.44	N.D.	—	7.71	—	N.D.	6.228	0.032
酢酸エチル						20.11	—	
メチルイソブチルケトン						0.15	—	
トルエン	0.5	—	—	—	—	19.27	—	330
スチレン	0.69	—	—	—	—	N.D.	—	35
p-キシレン	0.29*	—	—	—	—	2.73	—	58
m-キシレン	—	—	—	—	—	3.29	—	41
o-キシレン	—	—	—	—	—	0.66	—	380

*p, m, o-キシレンをまとめて示している。

— 分析をしていないことを示し、N.D.（不検出）は検出下限未満であることを示している。

ごとに機器分析とヒトの感覚の関係をまとめると次のようになる。

- (1)「環境のにおいの善し悪しを判断する場面」では、基準値等が化学物質濃度で示されている場合でも、ヒトの感度やヒトの快・不快の感覚を念頭に評価をする必要がある。
- (2)「悪臭を対策するための手法を検討する場面」では、対策を構築するための対象物質の決定には、化学物質分析は重要な位置を占める。しかし、ここでもヒトの各物質に対する感度を考慮し、化学物質濃度とヒトの感覚を対応させて対象物質を決定しなければならない。
- (3)「対策を適用した時の効果を評価する場面」では、対策のための対象物質濃度のみに注目して分析しても、複合臭のにおい低減効果を評価したということにならない場合がある。

ヒトの感覚には、個人差や日変動、順応などがあり、いずれの場面においても、ヒトのにおい分析にのみ頼るのは難しいということと言うまでもない。におい物質の分析、センサーを用いた測定により、客観的なデータが得られれば、環境の善し悪しの判断や臭気対策の構築、対策の性能評価に有効と言える。

においの分析においては、ヒトの嗅覚を用いた測定法と機器測定法の各方法の特徴を把握した上で、目的に合わせて組み合わせて実施することが、現状では必要ではないだろうか。

最後に、本特集が質量分析技術のさらなる向上へとつながる一助となることを期待したい。

文 献

- 1) 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（2005）。
- 2) 棚村壽三，光田 恵，小林和幸，濱中香也子，におい・かおり環境学会誌，**42**(4)，285（2011）。
- 3) 棚村壽三，光田 恵，佐々木寛篤，小林和幸，におい・かおり環境学会誌，**41**(6)，434（2010）。
- 4) 悪臭法令研究会，“四訂版ハンドブック悪臭防止法”（2004）。
- 5) 永田好男，竹内教文，日本環境衛生センター所報，**17**，77（1990）。
- 6) 棚村壽三，光田 恵，毛利志保，小林和幸，濱中香也子，日本家政学会誌，**62**(5)，289（2011）。
- 7) 板倉朋世，光田 恵，日本建築学会環境系論文集，**73**（625），327（2008）。
- 8) 光田 恵，棚村壽三，浅野幸康，藤井泰樹，久保吉人，第36回人間-生活環境系シンポジウム報告集，37（2012）。
- 9) 棚村壽三，萬羽郁子，長谷博子，岩橋尊嗣，光田 恵，第38回人間-生活環境系シンポジウム報告集，129（2014）。
- 10) 板倉朋世，光田 恵，日本建築学会環境系論文集，**73**（625），327（2008）。
- 11) 光田 恵，磯田憲生，久保博子，梁瀬度子，日本建築学会計画系論文集，**475**，35（1995）。
- 12) 板倉朋世，光田 恵，棚村壽三，日本建築学会環境系論文集，**73**(625)，335（2008）。
- 13) 川合秀治，山本圭介，河村優希，大橋哲二，光田 恵，棚村壽三，日本建築学会大会学術講演梗概集D-2，893（2012）。