

## 〈論文〉

## 臭気基準の大気質評価に用いる嗅覚測定の手順に関する比較検討

樋口 能士<sup>1)</sup>, 鋤柄 高穂<sup>2)</sup><sup>1)</sup>立命館大学 理工学部 環境都市工学科  
(〒 525-8577 滋賀県草津市野路東 1-1-1 E-mail:higuchi@se.ritsumeai.ac.jp)<sup>2)</sup>立命館大学大学院 理工学研究科  
(〒 525-8577 滋賀県草津市野路東 1-1-1 E-mail:rv0068fs@kankyousystem.jp)

## 概要

著者らは、大気汚染がヒトの検知を妨げる程度を数値化することによる新しい大気質指標（臭気指数変化, Shift of Odor Index, SOI）を提言している。この数値を得るための嗅覚測定では、標準臭気の臭気指数の測定を無臭空気中と試料空気中で2回行う必要があり、既往の三点比較式臭袋法では手順が煩雑で被験者の過度の嗅覚疲労も懸念されている。そこで本研究では、手順を簡素化した六点比較法を新たに提言し、三点比較法とともに幹線道路環境大気のSOIを2方法で測定して、その結果を比較考察した。

キーワード：大気質指標, 嗅覚測定, 六点比較法, 幹線道路環境大気

原稿受付 2023. 6. 12 原稿受理 2023. 7. 21

EICA: 28(2・3) 38-45

## 1. 背景と目的

環境大気の質の評価では通常、ヒトの健康や社会基盤、生態系などへ及ぼす負の影響が判断基準となり、それぞれの物質あるいは物質群の濃度が基準として設定される。しかし、ヒトは常時呼吸を行い、吸引される空気は嗅覚器に暴露されていることから、意図しない臭気を感じたり空気質に違和感を感じたりすることは、生活上の支障となる<sup>1)</sup>。

我が国における悪臭苦情の件数は、2000年代前半を境に減少傾向にあったものが、ここ数年（2018年度以降）再び増加に転じている。かつての高度成長期における大規模事業場からの大量の排気、污水や畜産糞尿などに由来する大規模な悪臭公害が、悪臭規制の強化とともに減少していく反面、近年では、飲食店など都市域の小規模発生源による悪臭が顕著化している<sup>1,2)</sup>。このように、必ずしも劣悪な悪臭とまでは言えないような臭気にさえも不快を感じ、許容されないような、大気質に対する非常に高い意識を、現代の我々日本人の多くは有していると言える。

他方、2007年には悪臭防止法が改正され、嗅覚測定により悪臭を数値化して規制値として適用する臭気指数規制が導入された。従来の特定悪臭物質（22種類）による規制では対象外であったその他多くの臭気も規制の対象となることで、多様化する悪臭苦情への対応を図った<sup>3)</sup>。

悪臭は、空気が持つにおいの不快性が生活環境を劣化させる公害である。しかし、健康などに直接悪影響

を及ぼさず、かつ、においを感じない空気であれば、その環境大気は生活環境に負の影響を与えることはないであろうか。その問いに対し、筆者は、ヒトが本来感知できるはずのにおいを大気汚染が妨げているとすれば、その大気は、危険察知や快適環境享受を妨害するなど、生活環境の質を低下させている、と考えた。そうした観点から、筆者らは、「臭気指数変化 (Shift of Odor Index: SOI)」というヒトの嗅覚を基準とした独自の大気質指標を提言<sup>4)</sup>した (Fig. 1)。この指標では、ある標準臭気について、無臭空気希釈して得られる閾値と測定対象である汚染空気希釈して

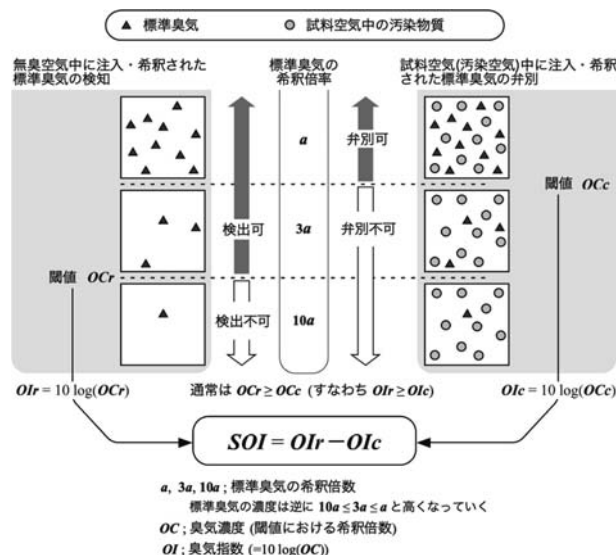


Fig. 1 Concept of the new air quality index SOI (Shift of Odor Index)

得られる閾値の差を、臭気指数の差として数値化することで、大気汚染がヒトのにおい検知を妨げている程度を数値化している。筆者らの既往の研究では、このSOI値を用いて自動車排気ガスで汚染された幹線道路近傍大気汚染の程度を数値化するなどを試みているが、この指標の最も大きな問題点は、1つの試料空気に対して臭気指数の測定を2回実施することから、測定が通常の嗅覚測定と比較して煩雑となることである。さらに、2つの臭気指数測定のうち1回では、無希釈の試料空気が全てのおい袋に充填していることより、度重なる汚染空気の吸入で被験者の集中力や嗅覚の低下が生じることも想定され、同じ被験者群の嗅覚の検知力が2つの臭気指数測定の間維持されずに適切な値が計測されていない、という状況が生じている可能性がある<sup>5)</sup>。

そうした課題を解決するための手段として、本研究では、既往の研究で提案した三点比較法(3点呈示2点選択)の代替方法として、新たに六点比較法(6点呈示3-5点選択)を提案し、両方法で実際の幹線道路近傍大気汚染のSOIを測定して、計測値の特性を比較検討した。

## 2. 方法

### 2.1 嗅覚測定の手順の概要

嗅覚測定に用いた器具類、臭気試料の希釈方法等は、我が国の悪臭防止法で規定された三点比較式臭袋法で用いられるものを使用、適用した。ただし、SOIの測

定では、無臭空気中および試料空気中で、それぞれ標準臭気試料の臭気指数を計測する。試料空気中の臭気指数の計測においては、無臭空気に代えて測定対象の試料空気を全てのおい袋に充填するが、充填は、試料空気採取袋とにおい袋をチューブで直結して試料空気をにおい袋が満充填となるまで試料空気採取袋から押し出す形で移動させた。

三点比較式臭袋法による悪臭の測定では、1回の試行で各被験者には3つの袋が同時に呈示され、その中から、試料空気が希釈・封入されている1つの袋を当てる、という作業を、明らかににおいが判別できる高濃度(低希釈倍数)試料から、においの判別ができなくなるまで一定倍率で低濃度試料に移行しながら試行が繰り返される。一方、既往のSOI測定では、後述の組成の標準臭気を3つの無臭空気の袋あるいは3つの試料空気(測定対象空気)の袋のうち2つに、濃度を変えて(濃度差3倍 or 3.3倍)それぞれ希釈・封入して被験者に呈示する。被験者は、標準臭気のおいの有無(◎:強い, ○:弱い, ×:無臭のそれぞれを3つの袋から必ず1つずつ選択)とその判定の確信度(C:自信がある, I:強いて選ぶと, G:あてずっぽう)を回答する試行を、標準臭気のおいがか全く判定できない低濃度(高希釈倍数)試料から、試行の度に前回の高濃度が低濃度の袋になるよう1段階ずつ濃度を上げながら、標準臭気のおいがはっきりと判別されるまで反復する。その試料呈示と判定結果からの被験者個人の閾値計算方法はFig. 2に示す通りである。以降、この既往の3点呈示2点選択によるSOI

各被験者に1回の試料呈示で以下の3つの袋を提供  
 Bag 1; 無臭空気あるいは汚染空気のみ(ブランク)  
 Bag 2; 高希釈倍数(低濃度)の標準臭気注入  
 Bag 3; 低希釈倍数(高濃度)の標準臭気注入

被験者は3つの袋を以下3種類に分ける(強制選択)

◎; 強い, ○; 弱い, ×; 無臭

さらに、◎および○と回答した袋に対しては、においが有ることの確信度を回答

C; 自信がある, I; 強いて選ぶと, G; あてずっぽう



試料呈示段階		n回目		(n+1)回目		(n+2)回目		log(個人閾値)
希釈倍率		30a	10a	3a	a			
回答パターン	①	E or G	C	C	C			$\frac{3\log 30a + \log 10a}{4}$
		G	C	C	C			
	②	E or G	I	C	C			$\frac{\log 30a + \log 10a}{2}$
		G	C	I	C			
	③	E or G	I	I	C			$\frac{\log 30a + 3\log 10a}{4}$
		G	I	I	I	C	C	
	④	E or G	I	I	I	I	I or C	$\log 10a$
		G	I	I	I	I	I or C	

※ E; 不正解(無臭/有臭の判定間違い)

※ Gと回答した希釈倍率よりも高い希釈倍率(=薄い)でのIやCの回答はGとみなす

※ Iと回答した希釈倍率よりも高い希釈倍率(=薄い)でのCの回答はIとみなす

標準臭気の希釈倍率を1段階ずつ下げて(濃度を上げて)試料呈示を繰り返し、表の回答パターンの①~④のいずれかとなった時点でその被験者への試料呈示は終了、個人閾値を表中の計算式により算出

Fig. 2 Outlines of the procedures of odor bags presentation, answering patterns and calculation of threshold values in triangular odor bag method

測定方法を三点比較法と呼称する。

本研究では、三点比較法で試料呈示が繰り返し行われるのに対して、できる限り1つの臭気指数測定を1組のにおい袋呈示で完結させることを目的に、1回の試行で6つのにおい袋を用い、そのうちの3~5の袋に濃度を変えて（各段階間の濃度差3.16倍）標準臭気を希釈・封入して被験者に呈示する。臭気指数測定の前予備試験では、認知閾値濃度付近の3段階の濃度の標準臭気3袋を被験者に呈示して臭気強度を回答させることにより、各被験者のおおよその標準臭気に対する個人閾値（検知閾値）を推定する。その結果に基づいて、臭気指数測定では、6つのうちの3~5の標準臭気注入袋のうち、低濃度（高希釈倍数）側の1つ以上の袋はにおい検知ができず、かつ高濃度（低希釈倍数）側の1つ以上の袋はにおい検知ができることにより個人閾値が算出できるよう、各被験者に呈示する濃度段階を設定する。この新規提案の方法における試料呈示の組み合わせ、また確信度を含めた判定結果（◎：確実ににおいあり，○：においあり，×：無臭のいずれかの回答を6つの袋それぞれに対して必ず選択）から被験者個人の閾値を計算する方法は Fig. 3 に示す通りであり、この6点呈示3-5点選択によるSOI測定方法を、以降は単に六点比較法と呼称する。

被験者の嗅覚疲労を考慮し、三点比較法、六点比較法いずれにおいても、無臭空気希釈した場合の標準臭気の臭気指数（OI<sub>r</sub>）を先に計測し、続けて試料空気希釈した場合の標準臭気の臭気指数（OI<sub>c</sub>）を計測した。三点比較式臭袋法での計算方法と同様、各被験者の個人閾値の中から最大値および最小値をそれぞれ

1つずつ除いた残りのデータの平均値（図中のlog（個人閾値）の上下カット後の平均値の10倍値）でOI<sub>r</sub>およびOI<sub>c</sub>を求め、両者の差（OI<sub>r</sub>-OI<sub>c</sub>）をSOIとした。

被験者には6名以上の男女大学生を用い、環境省発行の嗅覚測定法安全管理マニュアルに従い、実験の趣旨、また被験者をいつでも辞退可能である旨を十分説明した上で測定を実施した。

## 2.2 標準臭気の組成と作製方法

既往の研究<sup>6)</sup>では、幹線道路近傍の自動車排気ガスで汚染された空気に対して、SOI値が比較的高くなる（＝標準臭気におい検知が妨害される）ような選択性を持たせるため、自動車排気ガス汚染大気中で検出される成分から主要な物質を選定して、排気ガス汚染空気と質が比較的類似した組成（Table 1）の標準臭気を作製して使用した。本研究においても、この組成の気体試料を標準臭気とした。

標準臭気作製には、成分である3物質の液体試薬を使用した。これら3物質の液体試薬のそれぞれを個別のにおい袋（近江オドエアーサービス）内で揮発させ、1,2,4-トリメチルベンゼンと1-ノネン（いずれも東京化成工業製）の濃度はガスクロマトグラフ装置（G-4000, FID検出器付き、カラム：BX-100, 60/80

Table 1 Composition of the standard odor

臭気物質名	濃度 (ppm)
アセトアルデヒド	0.045
1-ノネン	0.0027
1,2,4-トリメチルベンゼン	0.12

各被験者に6つの袋を同時に提供、被験者はそれぞれの袋に対してにおいあり（○）、無臭（×）を判定、さらに○の袋のうち確実ににおいありと判断される袋を◎に変更



この試験の前に、同じような段階で標準臭気を希釈した3袋で予備試験を行い、6袋で行う本試験では、標準臭気注入袋の少なくとも1袋は確実ににおいあり（◎or○）と判定され、かつ少なくとも1袋は無臭（×）と判定されるよう、被験者毎に希釈倍率 $a$ を設定

(1) 6袋中3袋に標準臭気を注入する場合

濃度段階	段階1	段階2	段階3	無臭	無臭	無臭	log(個人閾値)
希釈倍数	$a$	$3.16a$	$10a$	-	-	-	
回答	○	×					$\log a + 0.250$
	◎	×					$\log a + 0.417$
パターン	○	○	×				$\log a + 0.583$
	◎	○	×				$\log a + 0.750$
	◎	◎	×				$\log a + 0.916$

(2) 6袋中4袋に標準臭気を注入する場合

濃度段階	段階1	段階2	段階3	段階4	無臭	無臭	log(個人閾値)
希釈倍数	$a$	$3.16a$	$10a$	$31.6a$	-	-	
回答	○	×					$\log a + 0.250$
	◎	×					$\log a + 0.417$
パターン	○	○	×				$\log a + 0.583$
	◎	○	×				$\log a + 0.750$
	◎	◎	×				$\log a + 0.916$
	◎or○	○	×				$\log a + 1.083$
	◎	◎	×				$\log a + 1.250$
	◎	◎	◎	×			$\log a + 1.417$

(3) 6袋中5袋に標準臭気を注入する場合

濃度段階	段階1	段階2	段階3	段階4	段階5	無臭	log(個人閾値)
希釈倍数	$a$	$3.16a$	$10a$	$31.6a$	$100a$	-	
回答	○	×					$\log a + 0.250$
	◎	×					$\log a + 0.417$
パターン	○	○	×				$\log a + 0.583$
	◎	○	×				$\log a + 0.750$
	◎	◎	×				$\log a + 0.916$
	◎or○	○	×				$\log a + 1.083$
	◎	◎	×				$\log a + 1.250$
	◎or○	◎	×				$\log a + 1.583$
	◎	◎	◎	×			$\log a + 1.750$
	◎	◎	◎	◎	×		$\log a + 1.916$

回答パターンが上表のいずれかとなれば、その被験者への試料呈示は終了、そうならない被験者については希釈倍率を変えて再試験、個人閾値を表中の計算式により算出

Fig. 3 Outlines of the answering patterns and calculation of threshold values in hexamerous odor bag method



mesh, 3φ×5 m, ジーエルサイエンス)にて, アセトアルデヒド(富士フィルム和光純薬製)濃度についてはガス検知管(133SB, 光明理化学工業)にてそれぞれ測定して3成分の既知濃度試料を作製し, ガス流量計(DC-2A, シナガワ)で容積を計量して無臭空気を封入したサンプリングバッグ(PA EEK-3, ジーエルサイエンス)に3成分の既知濃度試料を注入することにより, 標準臭気を作製した。

### 2.3 測定対象の試料空気の採取

試料空気は, 2022年11月~2023年1月の期間に滋賀県草津市, 常時大気観測局である自排草津局の試料採取口前にて採取し, 適宜, 観測局の測定データとSOI値とを比較した。採取には, アルミコーティングフィルム素材のサンプリングバッグ(DF50, 近江オドエアーサービス), および大容量採取用ハンディポンプ(DC1-N50, 近江オドエアーサービス)を使用した。

本研究の目的, すなわち, 三点比較法と六点比較法の比較という趣旨で, 試料空気採取後に両測定を順次実施して両方法によるSOIをそれぞれ求めたのは2022年度のみであり, 基本的に本研究ではこの年度の測定結果を取り扱うが, 比較データとして, 三点比較法のみを実施した2017年度~2019年度の測定結果, および六点比較法のみを実施した2021年度の測定結果(いずれも10月~1月に測定)を引用した。

## 3. 結果

### 3.1 測定結果の概要

測定結果の概要をTable 2に示す。三点比較法, 六点比較法での平均値(標準偏差)はそれぞれ8.5(2.2), 3.5(2.2)であった。この平均値の差は1%水準で有意(対応のあるデータについてのt検定, 片側

検定で $p=1.3\times 10^{-6}$ )であり, 標準偏差については分散の差の検定で有意差は認められなかった(F検定, 両側検定で $p=0.456$ )。また, 三点比較法と六点比較法での値には5%水準有意で正の相関( $r^2=0.366$ , F検定, 片側検定で $p=0.037$ )が認められ, これらの結果を総合すると, 六点比較法によるSOI値は, 三点比較法による値と比較して常に一定程度低い値となる特性があり, 本実験の結果より, その差は5程度であると判断された。

測定日により, SOI値とともに大気汚染物質(窒素酸化物, オゾン)の濃度にも変動があったが, SOI値と大気汚染物質濃度との間には明確な相関は見られなかった。

### 3.2 過年度のSOI測定結果との比較

三点比較法と六点比較法でのSOI同時測定を行った2022年度の測定結果について, 過去の年度での測定値と比較した結果を, それぞれFig. 4およびFig. 5に示す。三点比較法では, 2017年度の測定結果で平

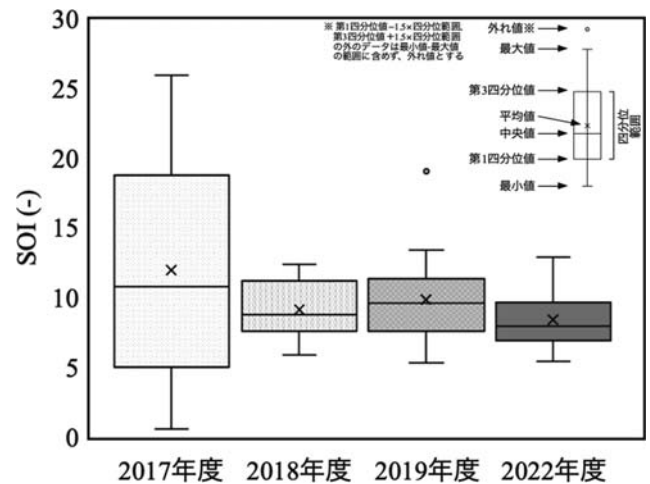


Fig. 4 Comparisons of SOI values measured by triangular odor bag method among measured fiscal years

Table 2 Results of the measurement of SOI and other atmospheric environmental monitoring (FY2022)

測定日 (mm/dd)	SOI (六点比較法)	SOI (三点比較法)	気温 (°C)	湿度 (%)	風速 (m/sec)	NOx 濃度 (ppm)	O <sub>3</sub> 濃度 (ppm)
11/21	7.1	8.1	14.7	84	0.8	0.010	0.025
11/22	5.4	8.7	14.9	84	0.8	0.017	0.015
11/28	0.7	5.8	10.0	79	0.7	0.049	0.004
11/29	0.7	5.5	16.0	77	1.6	0.014	0.022
12/05	0.4	7.5	9.6	65	1.0	0.012	0.024
12/06	1.7	6.8	10.5	55	2.3	0.005	0.033
12/13	3.7	7.9	8.4	94	1.6	0.032	0.004
12/19	5.0	12.9	1.7	53	4.1	0.011	0.029
01/10	4.7	11.8	4.9	65	0.8	0.006	0.034
01/16	4.6	9.8	9.3	85	1.7	0.023	0.008
01/23	4.6	7.6	3.0	88	0.7	0.014	0.024
01/30	3.3	9.2	3.1	63	3.5	0.022	0.023
平均	3.5	8.5					
変動係数 (%)	62.1	26.5					

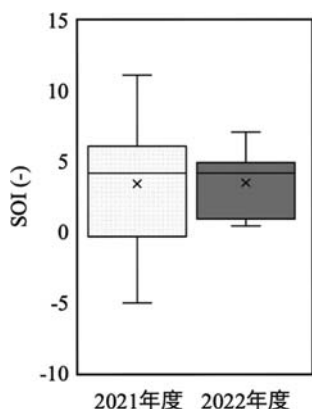


Fig. 5 Comparisons of SOI values measured by hexamerous odor bag method between measured two fiscal years

均値、ばらつきともに大きな値となっているが、以降の値は比較的同程度の値となっている。環境試料の測定であり、採取試料自体に平均値やばらつきに経年変化があることは想定されるが、測定地点は採取時刻(概ね午前9時前後)を含めてこの間不変であったことから、2017年度と2018年度以降で劇的な変化が生じたとは考えづらく、この差(とりわけばらつきの差)は、測定者の経験に基づく試験手順の改善などによる誤差要因の抑制によるものと考えられた。この傾向は、六点比較法でも同様であった。ちなみに、三点比較法での2017年度-2022年度間、六点比較法での2021年度-2022年度間の分散の差はいずれも1%有意( $F$ 検定, 片側検定で $p=7.5 \times 10^{-5}$ ,  $9.0 \times 10^{-3}$ )であった。

## 4. 考 察

### 4.1 標準臭気の無臭空気中での臭気指数(OIr)からみたSOIの測定精度と出力幅

測定毎のOI<sub>r</sub>, OI<sub>c</sub>, SOIはTable 3に示す通りであった。SOIは、無臭空気希釈した場合の標準臭気の臭気指数(OI<sub>r</sub>)から試料空気希釈した場合の標準臭気の臭気指数(OI<sub>c</sub>)を引いた値、すなわちOI<sub>r</sub>-OI<sub>c</sub>で求められる数値であるが、OI<sub>r</sub>の測定では、無臭空気、標準臭気ともに常に同一の試料であるので、OI<sub>r</sub>の値のばらつきは、測定者による操作精度のばらつきや被験者群の臭気検知力の日変動によって生じていると考えられる。しかし、三点比較法と六点比較法は同じ被験者群で行われており、測定順による偏りもない(三点→六点の順で行う日と六点→三点の順で行う日での測定値の偏りは見られなかった)ため、三点比較法と六点比較法でSOI値のばらつきに差があるとすれば、それは測定方法により測定者による操作精度のばらつきに差が生じるためと推察される。そこで、三点比較法と六点比較法のOI<sub>r</sub>の変動係数を比較すると、統計的な有意差はなかったものの(変動係数の二乗の比の $F$ 検定, 片側検定で $p=0.094$ )、六点比較法で小さい結果となった。さらに過年度も含めてOI<sub>r</sub>のばらつきを比較した結果はTable 4の通りとなり、2022年度に六点比較法で計測した結果がもっともばらつきの低い結果となった。

一方で、SOIの変動係数を比較すると、三点比較法よりも六点比較法で大きな値となっており、この差は1%水準で有意であった( $F$ 検定, 片側検定で $p=4.4 \times 10^{-3}$ )。三点比較法でのSOI値は、総じて六点比較法での値+5程度となっており、仮にこれを三点比較法で生じている系統誤差と考えれば、六点比較法は、

Table 3 Comparisons of OI<sub>r</sub>, OI<sub>c</sub> and SOI values between hexamerous and triangular odor bag methods (FY2022)

測定日 (mm/dd)	六点比較法			三点比較法		
	OI <sub>r</sub> (無臭空気中の標準 臭気の臭気指数)	OI <sub>c</sub> (試料空気中の標準 臭気の臭気指数)	SOI	OI <sub>r</sub> (無臭空気中の標準 臭気の臭気指数)	OI <sub>c</sub> (試料空気中の標準 臭気の臭気指数)	SOI
11/21	33.5	26.4	7.1	27.7	19.6	8.1
11/22	31.4	26.0	5.4	29.9	21.2	8.7
11/28	29.3	28.6	0.7	31.1	25.4	5.8
11/29	29.3	28.6	0.7	35.4	30.0	5.5
12/05	34.8	34.4	0.4	41.1	33.6	7.5
12/06	28.1	26.4	1.7	32.0	25.2	6.8
12/13	31.9	28.1	3.7	30.9	23.0	7.9
12/19	37.3	32.3	5.0	37.2	24.3	12.9
01/10	34.5	29.8	4.7	36.6	24.7	11.8
01/16	36.0	31.4	4.6	41.6	31.8	9.8
01/23	33.1	28.5	4.6	29.9	22.3	7.6
01/30	34.8	31.4	3.3	34.7	25.5	9.2
平均	32.8	29.3	3.5	34.0	25.5	8.5
変動係数 (%)	8.8	8.8	62.1	13.3	16.6	26.5

**Table 4** Comparison of OIr values among measured fiscal years and between two measurement methods

	三点比較法				六点比較法	
	2017年度	2018年度	2019年度	2022年度	2021年度	2022年度
平均	26.1	24.7	17.4	34.0	29.1	32.8
標準偏差	5.86	2.96	5.01	4.51	7.12	2.88
変動係数 (%)	22.4	12.0	28.7	13.3	24.5	8.78

**Table 5** Comparisons of estimated required time of sample odor bag presentations and other factors between two measurement methods (FY2022)

	六点比較法	三点比較法
総試料呈示回数 (回)	215	519
1名当り SOI 1 測定当り平均呈示回数 (回)	2.7	6.5
1呈示当り想定所要時間 (min)	8	4
SOI 1 測定当り平均所要時間 (min)	25.5	26.0
1名当り SOI 1 測定当り臭気平均暴露回数 (回)	16.6	16.2

三点比較法よりも SOI 値の大小をより明瞭にする誤差要因の少ない測定法であると推察することができる。

**4.2 三点比較法と六点比較法での測定過程の比較**

本研究では、被験者や測定者への負担を減らすことを目的に、新たに簡易測定法として六点比較法を提案し、従来の三点比較法と同時に同じ試料空気を測定することで、両方法を比較した。実際に、1つの試料空気の SOI 測定に要した時間のうち、被験者が調整試料（標準臭気を希釈注入した無臭空気 or 試料空気の袋と注入していない袋の組み合わせが、三点比較法では OIr、OIc の測定でそれぞれ 2~4 回、六点比較法ではそれぞれ 1~2 回呈示される）を判定している時間については、いずれの方法でも OIr と OIc の測定の合計で 25 分程度を要していたが、2つの方法による SOI 測定を順に準備、実施する煩雑さの理由から、それぞれの測定に要した時間を正確に測定することは困難であった。そこで、測定記録にある各被験者への調整試料呈示の全履歴から、改めて、1 試料空気の SOI 測定で被験者群への試料呈示に要すると考えられる平均的な時間を、下式により再計算した。

$$T_{mean\_3} = T_{single\_3} \times N_{mean\_3} \tag{式 1}$$

$$T_{mean\_6} = T_{single\_3} + T_{single\_6} \times N_{mean\_6} \tag{式 2}$$

$T_{mean\_3}$  ( $T_{mean\_6}$ ) : 三点比較法 (六点比較法) で、1 試料空気の SOI 測定に要する被験者群への平均試料呈示時間 (min)

[※以降、添字  $\_3$ 、 $\_6$  はそれぞれ、三点比較法、六点比較法を表す]

$T_{single}$  : 1 組の調整試料呈示から被験者の判定終了までに要する時間 (min)

$N_{mean}$  : 1 試料空気の SOI 測定に要する 1 被験者への平均試料呈示回数 (調整試料の呈示組数)

六点比較法では、予備試験として、標準臭気に対する各個人の検知閾値推定のために臭気強度回答試験を

実施しており、これが 3 つのにおい袋を使用しているため、三点比較法での調整試料呈示時間の 1 回分を加算している。計算結果を **Table 5** に示す。表では、1 組の調整試料呈示、すなわち、三点 (六点) 比較法で 3 袋 1 組 (6 袋 1 組) の試料が 1 回呈示されて被験者がそれを判定し、次の 1 組の試料が呈示されるまでの 1 サイクル当りに必要な時間 ( $T_{single}$ ) を、それぞれ 4 分 (8 分) と仮定している。この結果、両方法とも、1 試料空気の SOI 測定において、被験者に 25 分程度の試料呈示時間を要すると推算された。これは実際に要したおおよその時間が再現されたと考えられ、六点比較法では少なくとも、被験者への試料呈示時間に大きな削減効果はないことが確認された。

また表では、1 試料空気の SOI 測定において 1 人の被験者がにおいのある袋 (OIr 測定での標準臭気注入袋、および OIc 測定における全袋) に暴露される平均回数、また、1 試料空気の SOI 測定において平均的に消費されるにおい袋の数も、それぞれ下式により計算されている。

$$E_{mean\_3} = N_{meanOIr\_3} \times 2 + N_{meanOIc\_3} \times 3 \tag{式 3}$$

$$E_{mean\_6} = 3 + N_{meanOIr\_6} \times 4 + N_{meanOIc\_6} \times 6 \tag{式 4}$$

$E_{mean}$  : 1 試料空気の SOI 測定で 1 被験者がにおいのある袋に暴露される平均回数

$N_{meanOIr}$  ( $N_{meanOIc}$ ) : 1 試料空気の OIr (OIc) の測定に要する 1 被験者への平均試料呈示回数 (調整試料の呈示組数)

式 3 は、三点比較法において、OIr 測定では 1 組 3 袋のうち 2 枚の袋で標準臭気に暴露され、OIc 測定では全ての袋が試料空気 (自動車排気ガス汚染大気) で充填されているために 3 袋でにおい (標準臭気あるいは試料空気+標準臭気) に暴露されていることを表している。式 4 は、六点比較法では、予備試験の臭気強度回答で標準臭気に 3 回、OIr 測定では 1 組 6 袋の調整試料のうち 3~5 枚の袋で標準臭気に暴露されるが



ここではその平均値として4枚とし、OIc測定では6袋全てで暴露されていることを表している。この計算結果より、六点比較法によるおの暴露回数(=袋の消費枚数)は、三点比較法と比較して微増しており、六点比較法によるおの暴露の頻度低減効果はないと判断された。

#### 4.3 六点比較法の利点と今後の検討課題

本研究より、新たに考案した六点比較法では、従来の三点比較法と比較して、同一試料での繰り返し測定時にみられるばらつきが軽減され、その結果として、測定値であるSOI値の出力の大小がより鮮明に表れた。その一方で、本来目的としていた被験者へのおの暴露の軽減や測定の簡素化という点については、暴露回数、測定時間等から判断して、六点比較法における優位性は認められなかった。

六点比較法でSOIの出力が鮮明となった要因として、三点比較法で常時六点比較法と比較して+5程度のSOIが測定されるという現象が系統誤差となっている、と推察した。その差を生じさせる原因として、六点比較法と三点比較法の測定方法の差異について考える。

最初に指摘される相違点として、六点比較法が6の袋におのの有無を1つずつ独立に判定するため◎、○、×の個数には縛られないのに対して、三点比較法は1組の調整試料の袋の中から◎と○と×を1つずつ選択しなければならない強制選択である、という点である。もう一つの相違点は、六点比較法では、一度に渡される6つの袋の中の3~5袋に注入される標準臭気の範囲の中に個人閾値が入るよう濃度段階が設定されるため、被験者が6つの袋から標準臭気を感じできる袋を1つも見つけられないという状況にはなりづらく、においありの可能性が高い袋と確実に無臭の袋を両端の基準として、その他の袋におのを相対比較出来る点である。

そこで、被験者が正しく標準臭気の「においあり」と判定できた全回答数(◎と○の回答数の合計)のうち占める「明らかににおいあり」の回答(三点比較法ではCの回答数、六点比較法では◎の回答数)比率をまとめた結果がTable 6である。両方法ともにOIrとOIcでこの比率に変化はなかったが、三点比較法では六点比較法と比べて明らかにこの比率が高かった(母比率の差のZ検定、片側検定で1%有意、

$p < 1.0 \times 10^{-14}$ )。六点比較法では、実際には◎の回答比率が低く、多くのおのにおいありの袋が、楽には感じできない低濃度でありながら正しく感知されていた。逆に三点比較法では、I(強いて選ぶ)という回答とともにかすかなにおいを正しく評価することが難しく、さらに、標準臭気のおの濃淡が判定できない中での強制選択という条件下で、特にOIcの測定時に、試料空気中の標準臭気の有無を誤って逆に判断してしまう、という状況も多々生じていた。三点比較法によるこうした事象は、においの感知を妨げる程度を計測するというSOI測定の目的に合致した現象と見ることもできるが、回答のしにくさに起因してOIcがOIrと比較して過剰に低く評価されているとすれば、SOI値が不当に高い値を示す系統誤差が生じていたとみなすこともできる。この点については、例えば、無臭、あるいは標準臭気の検知が妨害されない(SOI=0)試料空気、今回のような三点比較法、六点比較法の同時測定を行う、などの方法で、今後再検証を行う必要がある。

## 5. 結 論

本研究では、筆者らが提唱している「大気の汚染がヒトのおのにおいの検知を妨げる程度」という臭気基準の大気質指標、SOIの測定に際して、既往の三点比較法に代わる方法として新たに六点比較法を提案し、その特性について実験的に検証した。

三点比較法と六点比較法で同一の幹線道路大気を繰り返し測定した結果、両方法でのSOI値の平均値はそれぞれ8.5および3.5であった。この約5の測定値の差は毎回同様に生じていたが、SOI測定で毎回計測するOIr(無臭空気中の標準臭気の臭気指数)の値の変動が少なく、逆にSOI値の変動係数が高いことから、六点比較法の方が高い測定精度を有し、出力幅の広いSOI測定方法であると判断された。一方で、本来、六点比較法は三点比較法の測定の煩雑さや被験者の嗅覚への負担を軽減することを目的に考案されたが、それらの改善効果は見られなかった。両方法の測定値の差異や六点比較法の優位性については、さらに、SOIが0に近い試料空気での測定値比較などによる検証が必要と考えられた。

Table 6 Comparison of the situations on the detection of standard odor between two measurement methods (FY2022)

	六点比較法	三点比較法
正しく「においあり」と検出された袋の総数(回)	408	584
正しく「においあり」と検出された袋のうち「明らかににおいあり」と判定された袋の比率(%)	25.7	59.8

## 参考文献

- 1) 環境省水・大気環境局大気生活環境室：悪臭防止法パンフレット～住みよいいにおい環境を目指して～, <https://www.env.go.jp/content/900397555.pdf> (2019)
- 2) 鈴木克彦：におい・かおり環境行政の最近の取組, 第35回におい・かおり環境学会講演要旨集, pp. 2-3 (2022)
- 3) 環境省環境管理大気生活環境室：「臭気指数規制導入のすすめ」パンフレット, <https://www.env.go.jp/content/900405270.pdf> (2023年5月31日閲覧)
- 4) 樋口能士, 韓盛喜, 羽子岡努：臭気の検出能力測定に基づく新規大気質指標の提案, 大気環境学会誌, Vol. 43, No. 5, pp. 284-294 (2008)
- 5) 山本良, 岡部圭哉, 傍示薫平, 樋口能士：大気質指標 SOI の計測で実施する嗅覚測定における昇順試料呈示と確信度回答の適用, 第25回におい・かおり環境学会講演要旨集, pp. 30-31 (2012)
- 6) 森彬人, 星川和也, 樋口能士：模擬道路空気を用いた大気質指標 SOI における嗅覚測定精度の検証(第2報)～模擬空気の組成と嗅覚測定手順の再検討～, 第28回におい・かおり環境学会講演要旨集, pp. 113-114 (2015)

## Comparison of Alternative Procedures of Olfactometry Used in an Odor-based Air Quality Evaluation

Takashi Higuchi<sup>1)†</sup> and Takaho Sukigara<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> College of Science and Engineering, Ritsumeikan University

<sup>2)</sup> Graduate School of Science and Engineering, Ritsumeikan University

† Correspondence should be addressed to Takashi Higuchi:

College of Science and Engineering, Ritsumeikan University

E-mail: [higuchi@se.ritsumei.ac.jp](mailto:higuchi@se.ritsumei.ac.jp)

### Abstract

Authors have already proposed a new air quality index, in which the level of obstructing the sense of smell is quantified, called Shift of Odor Index (SOI). The olfactometry for obtaining the values of this index requires the measurement of odor index in standard odor twice, with the background of odorless air and with of sample (contaminated) air. Therefore, if triangular odor bag method is applied to this measurement, it becomes complicated and may lead nasal fatigue to olfactory subjects. This study newly proposed hexamerous odor bag method to make the measurement more simplified, and SOI values of highway-peripheral atmosphere were measured with both hexamerous and triangular methods, and the results were compared and discussed.

**Key words:** air quality index, olfactometry, hexamerous odor bag method, highway-peripheral atmosphere