

横浜市周辺の公共建築物と個人住宅における室内環境中化学物質の冬季実態調査

田中礼子^{1,2)}，内山茂久²⁾，稲葉洋平²⁾，櫻田尚樹²⁾

1) 横浜市衛生研究所，2) 国立保健医療科学院

研究要旨 居住空間の安全性確保を目的として，異なる室内環境に存在する化学物質を総合的に把握するため，オゾン，アルデヒド類，ケトン類，ギ酸，酢酸，二酸化窒素，二酸化硫黄，アンモニア，揮発性有機化合物（VOCs）を測定することが可能な各種の拡散サンプラーを用い，横浜市内の公共建築物18施設および横浜市周辺区域の個人住宅77戸における屋内・屋外での環境中化学物質濃度の冬季における実態を調査した。

公共建築物18施設においては屋内，屋外とも本研究で調査対象とした化学物質のうち，厚労省が策定した室内濃度指針値および暫定目標値を超過した物質はなかった。しかし，環境省が環境基準値を策定した物質のうち，ベンゼンの超過が3施設で認められたため，環境基準値を超過した施設の割合は17%となった。この3施設のうち1施設については屋内，屋外とも環境基準値（3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ）を超過しており，屋内が3.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，屋外が3.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ であった。他の2施設は屋内のみが環境基準値を超過し，それぞれ4.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，3.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ の屋内濃度を示していた。一方，個人住宅においては，77戸のうち，屋内において何らかの物質の濃度が指針値等を超過した住宅は24戸あり，指針値等を超過した住宅の割合は31%となった。なかには複数の物質が指針値等を超過した個人住宅もあった。

今回調査を行った公共建築物と個人住宅の空気環境の相違について調べた。測定対象とした55物質全ての室内濃度の合計値（総和）を比較したところ，公共建築物18施設の平均値は210 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ だったが，個人住宅77戸の平均値は490 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ であった。公共建築物の室内空気中化学物質の総和は個人住宅の43%であり，個人住宅よりも有意に低い（Welch's t test（片側）， $p < 0.01$ ）傾向を示した。また，個人住宅の中から公共建築物18施設の勤務者自宅24戸を抽出し，職場および自宅の室内空気質と在室時間を併せて検証することにより，個人の一日曝露量の評価を試みた。今回の冬季調査においては，パラジクロロベンゼン， α ピネン， d リモネン，二酸化窒素，ギ酸などの物質については公共建築物よりも個人住宅で高い室内濃度を示したため，在室設定時間が加味された結果，自宅の室内空気質の影響がより大きくなっていった。一方，オゾンについては屋外で過ごす時間を一日のうち1時間と短時間に設定したにもかかわらず，屋外空気質からの曝露が屋内空気質からの曝露よりも大きいと算出されたケースが3分の2の割合にのぼった。

A. 研究目的

室内環境中の化学物質には，厚生労働省による室内濃度指針値等が定められているものを含め多様な物質が存在し，建築物の種類や用途，室内の建材や什器等の使用状況などによって，室内空気質は異なってくる。居住空間の安全性確保のためには，様々な室内環境に存在する化学物質を総合

的に把握する必要がある。

人の生活サイクルの中で，長時間を過ごす代表的な居住空間が自宅である。また，勤労者にとっては職場もこれにあてはまる。その他，不特定多数の人が日中に利用する居住空間のひとつには公共建築物があげられる。公共建築物で日中を過ごすのは施設の利用者だけでなく，そこで働いてい

る人もいるため、公共建築物には職場としての側面もある。しかし、自宅と公共建築物とでは室内の建材や什器等以外に、広さや空調設備等も異なっており、室内空気質にも相違があることが予想される。本研究では、室内環境中の広範囲にわたる化学物質を測定することが可能な各種の拡散サンプラーを用い、公共建築物と個人住宅という異なる室内環境中の化学物質の冬季における実態を調査し、室内空気質を比較した。

B. 研究方法

調査期間および調査対象施設：調査は 2012 年度の冬季（2012 年 12 月～2013 年 3 月）に計 95 棟の公共建築物あるいは個人住宅にて実施した。

調査方法：屋内、屋外に 4 種類の拡散サンプラーを設置して 24 時間の捕集を行い、計 55 物質の室内濃度測定を行った。また、併せて室内の温湿度測定と、住宅の種類や家庭用品の使用状況などのアンケート調査を実施した。

用いた拡散サンプラーと測定対象物質：オゾン、カルボニル化合物測定用拡散サンプラー（DSD-BPE/DNPH）¹⁾を用いてオゾン、ホルムアルデヒド、アセトアルデヒド等 20 物質、VOCs 測定用拡散サンプラー（VOC-SD）を用いてトルエン、キシレン等 29 物質および TVOC（本研究において、TVOC は VOC-SD で測定した 29 物質の合計値とした）酸性ガス測定用拡散サンプラー（DSD-TEA）を用いて二酸化窒素、二酸化硫黄等 5 物質、そして塩基性ガス測定用拡散サンプラー（DSD-NH₃）²⁾を用いてアンモニアの 1 物質に関する測定を行った。これらの拡散サンプラーについての原理、作成方法、分析方法およびアンケート内容に関しては前報³⁾のとおりである。

B.1. 公共建築物における室内環境実態調査

横浜市内にある公共建築物18施設を調査対象とし、4種の拡散サンプラーを用いた屋内および屋外での24時間のサンプリングにより、公共建築物における室内環境の実態調査を行った。調査対象とした施設は全て特定建築物に該当する大規模施設、かつ、不特定多数の市民が利用する用途の施設を選定し（Fig. 1）、施設内の事務フロアおよび屋外にて測定を実施した。

B.1.1. 調査対象施設および調査箇所



Fig. 1. Location of public buildings in Yokohama City.

B.2. 個人住宅における室内環境実態調査

横浜市およびその周辺地域にある個人住宅 77 戸を調査対象とし、4 種の拡散サンプラーを用いた屋内および屋外での 24 時間のサンプリングにより、個人住宅における室内環境の実態調査を行った。

B.2.1. 調査対象施設および調査箇所

横浜市およびその周辺地域にある個人住宅 77 戸の屋内および屋外

C. 結果と考察

2012年度の冬季における公共建築物18施設および個人住宅77戸における屋内と屋外の化学物質濃度（算術平均値，中央値，最大値）をTable 1に示す。

C.1. 公共建築物

C.1.1. 指針値等との比較

厚生労働省はホルムアルデヒド（100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ）、アセトアルデヒド（48 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ）、トルエン（260 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ）、キシレン（870 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ）、エチルベンゼン（3800 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ）、スチレン（220 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ）、パラジクロロベンゼン（240 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ）の室内濃度指針値を、暫定目標値としてTVOC（400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ）、暫定指針値案としてノナール（41 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ）を策定している。また、環境省は一般環境大気中のベンゼ

Table 1. The concentrations of gaseous compounds in indoor and outdoor air in winter at 18 public buildings in Yokohama City and 77 private houses around Yokohama City. ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Compounds	Public buildings in Yokohama (n=18)						Private houses around Yokohama (n=77)					
	Indoor air			Outdoor air			Indoor air			Outdoor air		
	mean	median	max.	mean	median	max.	mean	median	max.	mean	median	max.
formaldehyde	6.3	5.8	10	1.9	1.8	2.9	13	11	36	1.8	1.6	5.5
acetaldehyde	6.7	6.7	8.7	2.9	2.8	4.7	20	16	140	2.6	2.6	5.9
acetone	11	11	19	4.2	4.0	8.0	30	15	1000	3.7	3.3	9.7
acrolein	0.5	0.4	1.0	0.4	0.3	0.8	0.5	0.4	3.7	0.3	0.3	0.9
propanal	1.8	1.1	6.1	0.5	0.6	1.0	3.9	2.6	18.0	0.6	0.5	2.0
crotonaldehyde	0.5	0.4	1.4	0.5	0.5	0.9	0.5	0.4	5.1	0.4	0.4	1.5
2-butanone	2.1	1.6	6.4	1.2	1.1	2.5	1.7	1.2	23	0.9	0.7	4.2
benzaldehyde	1.0	0.9	2.5	0.7	0.6	1.3	0.9	0.7	4.5	0.5	0.6	1.4
<i>i</i> -valeraldehyde	0.5	0.6	1.0	0.4	0.5	1.3	0.5	0.6	1.6	0.4	0.5	1.6
valeraldehyde	0.6	0.7	1.4	0.7	0.7	1.6	0.9	0.7	6.0	0.6	0.6	1.7
<i>o</i> -tolualdehyde	0.5	0.4	1.4	0.6	0.8	1.3	1.6	0.8	61	0.6	0.8	2.1
<i>m+p</i> -tolualdehyde	1.0	1.0	2.3	0.7	0.8	1.3	2.5	0.9	120	0.7	0.8	2.3
hexanal	1.9	1.7	5.9	0.5	0.7	1.2	3.5	2.3	23	0.7	0.8	2.0
2,5-DMBA	1.1	1.1	2.7	1.0	1.1	1.6	1.2	1.1	5.2	1.0	1.1	2.3
heptanal	1.0	1.1	2.1	1.0	0.9	2.0	1.1	1.0	4.3	0.9	0.9	2.6
octanal	1.1	1.1	1.5	1.1	1.1	1.8	1.4	1.2	3.5	1.0	1.1	2.9
2-nonenal	0.6	0.4	1.7	0.7	0.9	1.9	0.7	0.9	2.2	0.8	0.9	4.5
nonanal	2.0	2.1	3.6	1.3	1.4	2.1	3.3	2.6	18	1.4	1.3	6.7
decanal	1.4	1.5	2.3	1.7	1.6	3.5	1.6	1.5	3.4	1.5	1.5	4.4
hexane	8.8	2.9	100	1.6	1.2	6.0	2.3	1.3	17	2.6	0.8	96
2,4-dimethylpentane	0.2	0.0	1.3	0.1	0.0	0.9	0.1	0.0	1.5	0.6	0.0	38
ethyl acetate	3.1	1.9	22	0.4	0.0	1.9	2.0	0.0	56	0.5	0.0	18
trichloromethane	0.1	0.0	0.8	0.0	0.0	0.4	0.7	0.4	8.2	0.1	0.0	1.5
1,1,1-trichloroethane	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	26	0.0	0.0	0.0
heptane	1.2	0.9	4.1	0.2	0.0	0.8	1.9	0.6	32	0.1	0.0	1.0
carbon tetrachloride	0.0	0.0	0.4	0.0	0.0	0.6	0.1	0.0	4.7	0.0	0.0	0.5
benzene	2.0	1.7	4.3	1.6	1.2	3.3	1.6	1.5	10	1.4	1.3	4.1
1,2-dichloroethane	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
trichloroethylene	0.3	0.0	2.5	0.1	0.0	1.1	0.1	0.0	1.7	0.0	0.0	0.8
1,2-dichloropropane	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
octane	0.4	0.3	2.0	0.1	0.0	0.3	2.4	0.0	110	0.1	0.0	0.9
toluene	13	9.1	52	9.4	6.7	56	8.3	6.0	53	5.4	3.6	55
butyl acetate	0.4	0.0	1.5	0.3	0.0	2.0	1.7	0.0	14	0.2	0.0	1.8
tetrachloroethylene	0.1	0.0	1.5	0.0	0.0	0.6	0.3	0.0	9.3	0.0	0.0	0.0
nonane	0.6	0.6	2.1	0.4	0.4	1.3	3.8	0.6	38	0.4	0.3	2.7
dibromochloromethane	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
ethylbenzene	3.3	3.0	6.3	2.2	2.0	4.5	2.2	1.9	6.5	1.4	1.2	4.3
<i>m,p</i> -xylene	4.7	4.3	7.2	3.5	3.5	6.3	4.5	3.3	16	2.8	2.7	6.3
<i>o</i> -xylene	1.7	1.6	3.3	1.2	1.2	2.6	1.8	1.2	7.4	1.0	0.9	4.4
total-xylene	6.4	5.9	10	4.6	4.6	8.8	6.3	4.4	23	3.9	3.7	11
α -pinene	0.1	0.0	0.8	0.0	0.0	0.3	7.8	2.0	120	0.1	0.0	1.6
decane	1.3	0.9	6.3	1.2	0.9	4.8	5.5	1.9	54	1.6	1.3	6.5
1,3,5-trimethylbenzene	0.9	0.7	2.4	0.4	0.4	1.3	1.0	0.6	6.2	0.5	0.4	1.8
1,2,4-trimethylbenzene	2.3	1.9	8.2	1.5	1.3	2.9	3.2	1.5	21	1.5	1.2	4.2
<i>d</i> -limonene	2.1	2.3	5.4	0.0	0.0	0.0	22	14	200	0.2	0.0	3.3
undecane	3.9	4.0	8.3	1.9	1.8	7.3	9.6	3.0	140	2.1	1.8	8.7
1,2,3-trimethylbenzene	0.4	0.3	1.5	0.2	0.3	0.7	0.8	0.3	7.0	0.3	0.2	1.0
<i>p</i> -dichlorobenzene	2.5	2.0	7.1	0.2	0.0	1.3	29	1.7	1600	0.9	0.0	34
TVOC	53	45	180	27	22	77	110	66	1600	24	18	170
ozone	0.8	0.7	2.6	23	24	35	1.0	0.7	6.4	29	30	55
acetic acid	45	40	96	32	28	81	87	76	330	41	31	150
formic acid	9.2	9.0	16	9.4	8.8	16	32	13	310	8.6	9.1	20
hydrogen chloride	1.6	0.8	10	1.4	1.0	5.4	2.0	0.8	20	1.7	0.6	25
nitrogen dioxide	37	32	81	43	36	84	150	40	1300	28	23	110
sulfur dioxide	0.8	0.8	3.0	2.1	1.8	5.5	0.8	0.6	12	1.5	1.4	5.4
ammonia	18	16	32	6.0	4.6	17	16	13	80	5.0	3.3	42
Temperature()	20	20	23	6.4	6.3	9.5	16	16	24	5.3	5.4	15
Humidity(%)	41	41	52	59	61	76	46	45	77	45	42	84

ン(3 µg/m³),トリクロロエチレン(200 µg/m³),テトラクロロエチレン(200 µg/m³),二酸化窒素(60 ppb(113 µg/m³)),二酸化硫黄(40 ppb(100 µg/m³))の環境基準値を策定している。公共建築物18施設においては屋内,屋外とも本研究で調査対象とした化学物質のうち,厚労省が策定した室内濃度指針値および暫定目標値を超過した物質はなかった。しかし,環境省が環境基準値を策定した物質のうち,ベンゼンの超過が18施設中3施設で認められ,超過率は17%であった。3施設のうち1施設については屋内,屋外とも環境基準値を超過しており,屋内が3.8 µg/m³,屋外が3.3 µg/m³であった。また,この施設も含めて屋内が超過したのは計3施設で屋内超過率は17%,屋外が超過した施設は計1施設で屋外超過率は5.6%であった。なお,屋内のみが超過した2施設はそれぞれ4.3 µg/m³,3.8 µg/m³の濃度を示していた。屋外のみが超過した施設はなかった。

公共建築物において,なんらかの物質が厚労省および環境省で策定された指針値・暫定目標値・基準値(以下,指針値等)の50%以上の値を示した施設は18施設中13施設にのぼった。指針値等の50%以上を示した物質はベンゼンと二酸化窒素であった。ベンゼンは前述した基準値超過分も含めると,18施設中で屋内11施設,屋外8施設が環境基準の50%値を上回る数値を示していた。二酸化窒素については屋内における最大値が81 µg/m³,屋外における最大値が84 µg/m³など,18施設中で屋内3施設,屋外6施設が環境基準の50%値を上回る数値を示していた。

ベンゼンについて,公共建築物における屋内/屋外濃度比(以下,I/O比)の中央値は1.2であった。また,I/O比が1以下の施設は18施設中6施設,逆にI/O比が2.5以上の施設は1施設(屋内:3.8 µg/m³,屋外:1.1 µg/m³)であった。さらに,ベンゼン濃度の屋外と屋内の相関は公共建築物18施設全体では $r=0.661$ だったが,I/O比が2.5以上の1施設を除いた17施設での相関は $r=0.800$ と,高めの数値を示した。このことから,これら17施設のうち,屋内,屋外とも環境基準値を超過した1施設(I/O比:1.2)などの,屋内でベンゼン濃度が高めの値を示した施設は外気がその原因である可能生が考えられる。逆に,I/O比が2.5以上の1施設は屋内濃度が環境基準値を

超過していたが,この施設については屋内にベンゼンの放散源が存在する可能性がある。

二酸化窒素については,公共建築物におけるI/O比の中央値は0.78であった。また,I/O比が1以下の施設は18施設中12施設と約7割弱の割合を占め,屋外が屋内よりも高い濃度を示した施設が多かった。逆にI/O比が2.5以上の施設は1施設(屋内:81 µg/m³,屋外:32 µg/m³)であった。さらに,二酸化窒素濃度の屋外と屋内の相関は公共建築物18施設全体では $r=0.604$ だったが,I/O比が2.5以上の1施設を除いた17施設での相関は $r=0.877$ と,高めの数値を示した。このことから,これら17施設のうち,屋内で二酸化窒素濃度が高めの値を示した施設は外気がその原因である可能生が考えられる。逆に,I/O比が2.5以上であった1施設は屋内濃度が環境基準の50%値を上回る数値を示していたが,この施設については屋内に二酸化窒素の放散源が存在する可能性がある。

C.1.2. 個別の指針値等が設定されていない物質

公共建築物18施設において,TVOCを除いた個別の化学物質の中で最も濃度が高かった物質はヘキサン(屋内:100 µg/m³)で,2番目と3番目は酢酸(屋内:96 µg/m³,屋外:92 µg/m³)だった。また,平均値,中央値については,屋内で数値が最も高かった物質は酢酸であり,平均値が45 µg/m³,中央値が40 µg/m³だった。屋外において平均値,中央値が最も高かった物質は二酸化窒素であったが,指針値等が設定されていない物質としては酢酸の数値(平均値32 µg/m³,中央値28 µg/m³)が二酸化窒素に次いで高かった。

C.2. 個人住宅

C.2.1. 指針値等との比較

横浜市およびその周辺地域にある個人住宅77戸のうち,屋内において何らかの物質の濃度が指針値等を超過した住宅は24戸あり,指針値超過率は31%を示した。複数の物質が指針値等を超過した住宅もあり,屋内での延べ超過数は30物質であった。また,屋外において何らかの物質の濃度が指針値等を超過した住宅は3戸あり,指針値超過率は3.9%を示した。屋外での延べ超過数は3物質であった。以下に個人住宅77戸における指針値等超過の状況を示す。

アセトアルデヒドについては,屋内で指針値

(48 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) 等を超過した住宅が3戸あり、超過率は3.9%であった。3戸の住宅の屋内濃度はそれぞれ140 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 54 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 52 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ であった。また、屋外においてアセトアルデヒドが超過した住宅はなかった。

パラジクロロベンゼンについては、屋内にて指針値(240 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)を超過した住宅が1戸あり、超過率は1.3%であった。この住宅はパラジクロロベンゼンの屋内濃度が1600 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ と指針値の約6.7倍の数値を示した。また、この住宅は屋内のTVOCも1600 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ であり、個人住宅77戸の中でTVOCの暫定目標値(400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)を超過したのはこの住宅の屋内のみ(超過率:1.3%)であった。この濃度は個人住宅77戸の屋内、屋外において、全測定対象物質中で最も大きな数値であった。

ベンゼンについては、6戸で環境基準値(3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)の超過が認められ、超過率は7.8%であった。6戸の住宅のうち1戸については屋内、屋外とも環境基準値を超過しており、屋内が5.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 屋外が4.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ であった。また、この住宅も含めて屋内が超過した住宅は計4戸で屋内超過率は5.2%、屋外が超過した住宅は計3戸で屋外超過率は3.9%であった。なお、屋内のみが超過した3戸の住宅はそれぞれ10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 3.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 3.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ の屋内濃度を、屋外のみが超過した2戸の住宅は3.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 3.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ の屋外濃度を示していた。ベンゼンについて、個人住宅におけるI/O比の中央値は0.99であった。また、I/O比が1以下の住宅は77戸中41戸と半数以上にのぼり、屋外が屋内よりも高い濃度を示した住宅が多かった。逆にI/O比が2.5以上の住宅は5戸であった。さらに、ベンゼン濃度の屋外と屋内の相関を調べたところ、個人住宅77戸全体では $r=0.570$ だったが、I/O比が2.5以上の住宅5戸を除いた72戸での相関は $r=0.858$ と高めの数値を示した。これら72戸の住宅のなかで、屋内、屋外とも環境基準値を超過した1戸(I/O比:1.2)など、屋内でベンゼン濃度が高めの値を示した住宅は外気がその原因である可能生が考えられる。逆に、I/O比が2.5以上の5戸の住宅のうち2戸は屋内濃度が環境基準値を超過していたが、この2戸の住宅については屋内にベンゼンの放散源が存在する可能性がある。

二酸化窒素については、21戸で環境基準値(113 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)の超過が認められ、超過率は27%であった。これらは全て屋内の値であり、個人住宅屋内において最大で1300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ の濃度を示した住宅が1戸、次いで1100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ の濃度を示した住宅が2戸あった。これらの数値は個人住宅77戸における全測定対象物質中で、前述したパラジクロロベンゼンとTVOC(各1600 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)に次いで大きな値であった。二酸化窒素については、個人住宅におけるI/O比の中央値は2.1であった。また、I/O比が1以下の住宅は77戸中27戸、逆にI/O比が2.5以上の住宅は77戸中30戸だった。なお、屋内で環境基準値の超過が認められた21戸のうち19戸は、I/O比が2.5以上の住宅30戸の中に含まれていた。二酸化窒素濃度の屋外と屋内の相関は個人住宅77戸全体では $r=0.089$ だったが、I/O比が2.5以上だった住宅30戸を除いた47戸での相関は $r=0.731$ と、やや高めの数値を示した。これら47戸のうち、屋内で二酸化窒素濃度が高めの値を示した住宅は外気がその原因である可能生が考えられる。逆に、I/O比が2.5以上

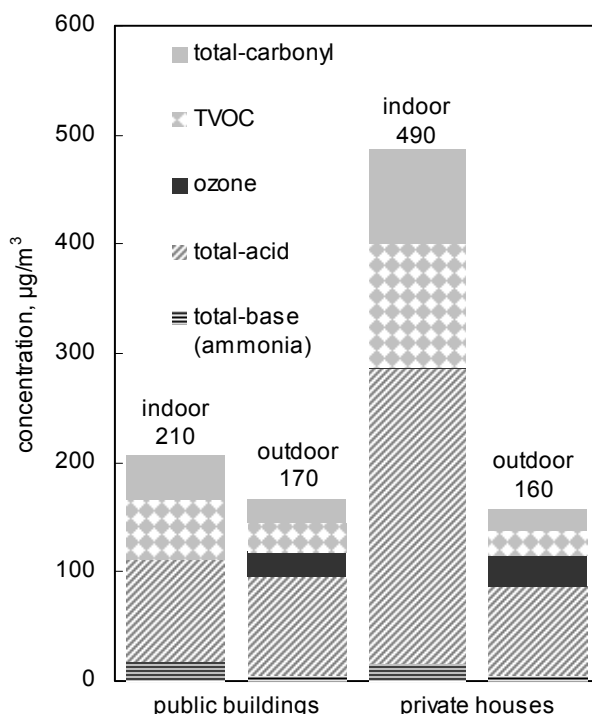


Fig. 2. The mean concentrations of total gaseous compounds in indoor and outdoor air in winter at 18 public buildings in Yokohama City and 77 private houses around Yokohama City.

であった 30 戸の住宅のうち、特に屋内で環境基準値の超過が認められた 19 戸については屋内に二酸化窒素の放散源が存在する可能性がある。

C.2.2. 個別の指針値等が設定されていない物質

個人住宅において高い濃度を示した住宅があった物質は、前述したパラジクロロベンゼン、TVOC、二酸化窒素であったが、個別の指針値が設定されていない物質のなかではアセトン(最大値:屋内、1000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)、酢酸(最大値:屋内、330 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)、ギ酸(最大値:屋内、310 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)などの物質について、高い濃度を示した個人住宅があった。

C.3. 公共建築物と個人住宅

C.3.1. 測定値の比較

公共建築物と個人住宅の空気環境について比較を行った。各建築物ごとに、本調査で測定対象とした 55 物質全ての濃度の合計値(総和)を求め、この平均値を公共建築物と個人住宅で比較した (Fig. 2)。なお、平均値の差の検定には Welch's t test (片側)を用いた。屋外濃度については公共建築物と個人住宅の平均値はそれぞれ 170 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、160 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ であり、有意差はなかった。一方、屋内濃度については、公共建築物 18 施設の平均値は 210 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、個人住宅 77 戸の平均値は 490 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ と、公共建築物は個人住宅の 43% の値であった。公共建築物における化学物質の屋内濃度の総和は個人住宅よりも有意に低かった ($p < 0.01$)。

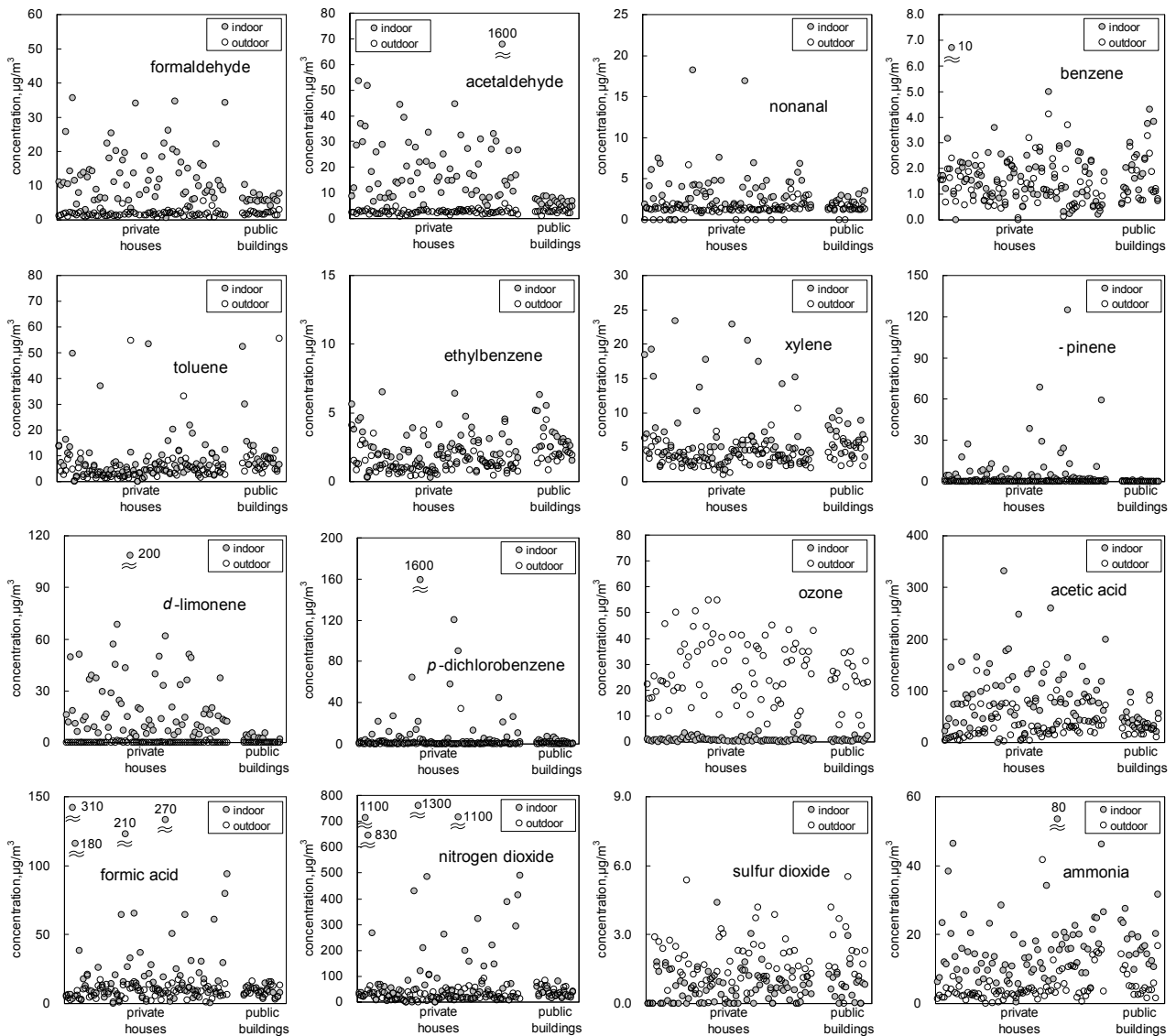


Fig. 3. Concentrations of gaseous compounds in indoor and outdoor air in winter at 18 public buildings in Yokohama City and 77 private houses around Yokohama City.

Fig. 3 に公共建築物と個人住宅における主な化合物の濃度分布を示す。各物質ごとに、公共建築物と個人住宅との比較を行った。平均値の差の検定には Welch's t test (片側) を用いた。

カルボニル化合物：屋内における平均値について、ホルムアルデヒドは公共建築物が $6.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ と、個人住宅 ($13 \mu\text{g}/\text{m}^3$) の 48% の値を示し、アセトアルデヒドは公共建築物が $6.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ と、個人住宅 ($20 \mu\text{g}/\text{m}^3$) の 34% の値を示した。ノナールは公共建築物が $2.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ と、個人住宅 ($3.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$) の 61% の値を示した。ホルムアルデヒド、アセトアルデヒド、ノナールとも、公共建築物屋内の数値は個人住宅屋内よりも有意に低い値を示していた (いずれも $p < 0.01$)。一方、屋外における平均値については、公共建築物と個人住宅のホルムアルデヒドはそれぞれ $1.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $1.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$, アセトアルデヒドは $2.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $2.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$, ノナールは $1.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $1.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ と、3 物質ともそれぞれほぼ同じ値であり、公共建築物と個人住宅とで屋外の数値に有意差はなかった。また、これら 3 物質はいずれも屋内の方が屋外より高い平均値を示していた。

VOCs：トルエンの屋内における平均値は公共建築物が $13 \mu\text{g}/\text{m}^3$ と、個人住宅 ($8.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$) の 157% の値を示し、公共建築物の方が個人住宅よりも有意に高い数値を示していた ($p < 0.05$)。また、屋外では公共建築物が $9.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ と、個人住宅 ($5.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$) の 174% の値を示したが、公共建築物と個人住宅とで屋外の数値に有意差はなかった。

エチルベンゼンについては、屋内における平均値は公共建築物が $3.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ と個人住宅 ($2.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$) の 150% の値を示し、屋外における平均値は公共建築物が $2.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ と個人住宅 ($1.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$) の 157% の値を示した。屋内、屋外とも公共建築物の方が個人住宅よりも有意に高い値を示していた ($p < 0.01$)。

キシレンの屋内における平均値は公共建築物と個人住宅がそれぞれ $6.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $6.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ と、ほぼ同じ値を示した。屋外では公共建築物が $4.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ と、個人住宅 ($3.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$) の 118% の値を示したが、屋内、屋外とも公共建築物と個人住宅とで有意差はなかった。

パラジクロロベンゼンについては、屋内におい

て平均値では公共建築物が $2.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ と、個人住宅 ($29 \mu\text{g}/\text{m}^3$) の 8.6% の値であったが、中央値では公共建築物と個人住宅はそれぞれ $2.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $1.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ とほぼ同じ値を示していた。パラジクロロベンゼンには、個人住宅屋内にて $1600 \mu\text{g}/\text{m}^3$ と指針値 ($240 \mu\text{g}/\text{m}^3$) を超えて突出した数値を示した住宅が 1 戸あったが、他の個人住宅 (77 戸中 76 戸) および全公共建築物 18 施設の屋内濃度は指針値の半分の値である $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下であった。このため、個人住宅屋内における濃度は平均値と中央値とが乖離した数値となった。なお、パラジクロロベンゼンが突出した数値を示した 1 戸を除いた個人住宅屋内 (76 戸) における平均値、中央値を算出すると、それぞれ $8.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $1.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ となる。この個人住宅屋内 (76 戸) の平均値を公共建築物と比較したところ、個人住宅の方が有意に高いという結果となった ($p < 0.01$)。一方、屋外の平均値については、公共建築物と個人住宅はそれぞれ $0.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $0.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ とほぼ同じ値であり、有意差はなかった。また、パラジクロロベンゼンは屋内の方が屋外より高い平均値を示していた。パラジクロロベンゼンの発生源となる防虫・防臭剤などの化学製品 (パラジクロロベンゼン製剤) の使用状況により数値が大きく分かれたと思われる。

ベンゼンの屋内における平均値は公共建築物と個人住宅がそれぞれ $2.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $1.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ を、屋外においてはそれぞれ $1.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $1.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ を示した。屋内、屋外とも公共建築物と個人住宅とで有意差はなかった。

テルペン類、 α -ピネンおよび d -リモネンについては公共建築物と個人住宅の屋内濃度に大きな相違が見られた。 α -ピネンの屋内における平均値は公共建築物が $0.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ と、個人住宅 ($7.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$) の 1.3% の値を示し、 d -リモネンの屋内平均値は公共建築物が $2.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ と、個人住宅 ($22 \mu\text{g}/\text{m}^3$) の 9.5% の値を示した。 α -ピネンおよび d -リモネンについては、公共建築物屋内の数値は個人住宅よりも有意に低い値を示していた (いずれも $p < 0.01$)。一方、屋外における α -ピネンおよび d -リモネンの平均値は公共建築物および個人住宅とも平均値が $0 \sim 0.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ と、検出されていないものも多く、ほとんど差は認められなかった。 α -ピネンおよび d -リモネンは木材から多く検出される

が、個人住宅には木造の住宅が含まれるのに対し、今回調査対象とした公共建築物は全て鉄筋コンクリート製である。建材の種類の違いがこの相違の一因になっていると考えられる。

オゾン：屋内におけるオゾンの平均値は公共建築物と個人住宅がそれぞれ $0.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、 $1.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ であり、公共建築物と個人住宅とで屋内におけるオゾン濃度に有意差はなかった。屋外については公共建築物と個人住宅がそれぞれ $23 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、 $29 \mu\text{g}/\text{m}^3$ の値を示した。なお、調査対象とした全建築物のオゾン濃度の平均値は屋外が $28 \mu\text{g}/\text{m}^3$ と、屋内 ($1.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$) の 28 倍であり、屋外のオゾン濃度は屋内よりも有意に高い数値であった ($p < 0.01$)。

酸性ガス：屋内における二酸化窒素の平均値は公共建築物が $37 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、個人住宅は $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ と、個人住宅は公共建築物の約 4 倍の値を示し、個人住宅の方が公共建築物よりも有意に高い値を示していた ($p < 0.01$)。一方、屋外の平均値は公共建

築物、個人住宅がそれぞれ $43 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、 $28 \mu\text{g}/\text{m}^3$ であり、公共建築物の方が個人住宅よりも有意に高い値を示していた ($p < 0.01$)。二酸化窒素について、個人住宅の I/O 比の中央値は 2.1 と、公共建築物 (0.78) の約 2.7 倍の数値を示していた。二酸化窒素は燃焼によって発生するが、公共建築物については測定箇所が事務フロアであったため、ガスコンロを使用している施設はなかったが、個人住宅においては 77 戸中 51 戸でガスコンロを使用していた。また、公共建築物の中には燃焼系暖房器具を使用している施設はなかったが、個人住宅においては、燃焼系暖房器具を使用していた住宅が 77 戸のうち 18 戸あった。公共建築物と個人住宅の I/O 比の相違は、屋内における二酸化窒素濃度の相違が主な要因であり、なかでもガスコンロや燃焼系暖房器具の使用状況の相違に由来すると考えられる。さらに、個人住宅において燃焼系暖房器具を使用していた住宅 18 戸のうち 16 戸では二酸化窒素の I/O 比が 2.5 以上となってい

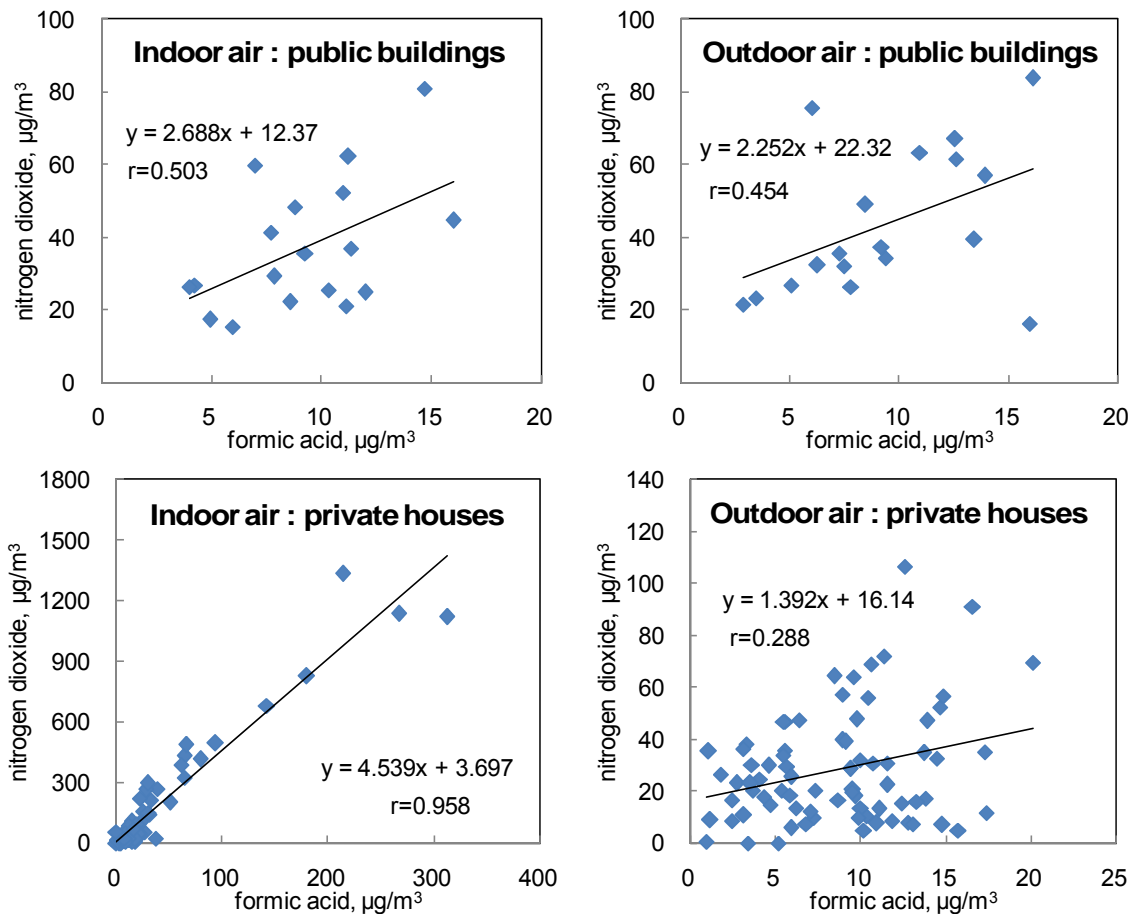


Fig. 4. Relationship between formic acid and nitrogen dioxide concentrations measured in indoor and outdoor air in winter at 18 public buildings in Yokohama City and 77 private houses around Yokohama City.

た。燃烧系暖房器具の使用は室内の二酸化窒素濃度の上昇に大きく寄与しているものと考えられる。

酢酸の屋内における平均値は公共建築物が 45 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ と、個人住宅 (87 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) の 52% の値を示した。公共建築物屋内の数値は個人住宅よりも有意に低かった ($p < 0.01$) 。屋外については、公共建築物と個人住宅の平均値がそれぞれ 32 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 41 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ であり、公共建築物と個人住宅とで有意差はなかった。

ギ酸の屋内における平均値は公共建築物が 9.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ と、個人住宅 (32 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) の 29% の値を示した。公共建築物屋内の数値は個人住宅よりも有意に低かった ($p < 0.01$) 。屋外については、公共建築物と個人住宅の平均値がそれぞれ 9.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 8.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ であり、公共建築物と個人住宅とで有意差はなかった。冬季においては、ギ酸の室内濃度は二酸化窒素との相関が高いことから燃烧系暖房器具との関連が示唆されている⁴⁾。Fig. 4 に公

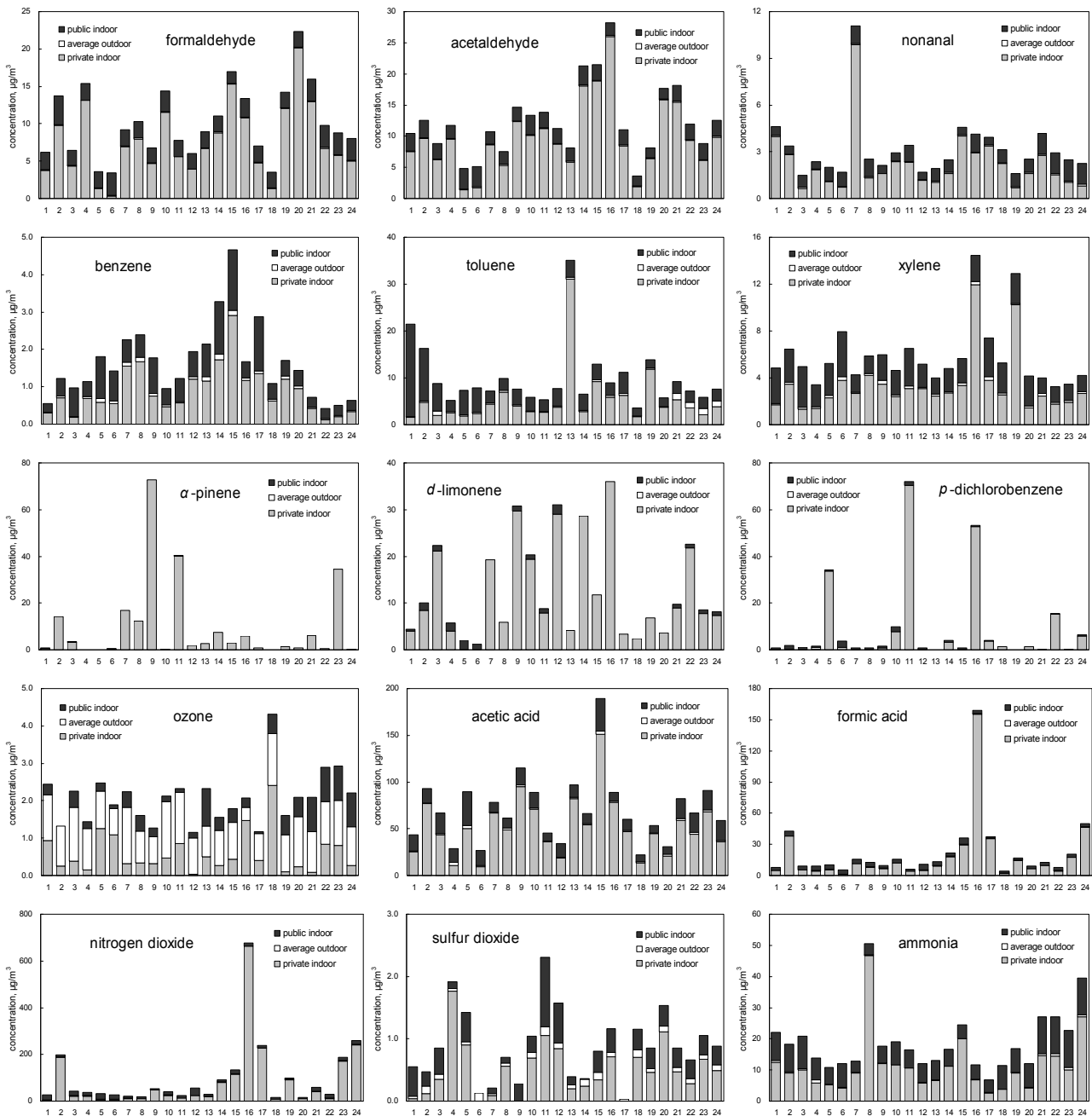


Fig. 5. Concentrations over personal environmental exposures at public building (9-hour), personal house (14-hour) and outdoor air (1-hour) in Yokohama City in winter.

共建築物と個人住宅の屋内および屋外におけるギ酸濃度と二酸化窒素濃度との関係を示す。公共建築物、個人住宅とも屋外よりも屋内の方が相関が高く、中でも個人住宅屋内においては $r=0.958$ と非常に高い相関が認められた。燃焼系暖房器具が使われていたのは個人住宅屋内のみであったために、個人住宅屋内ではギ酸と二酸化窒素との相関が高くなったと考えられた。

二酸化硫黄の屋内の平均値は公共建築物、個人住宅とも $0.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ であり、公共建築物と個人住宅とで有意差はなかった。一方、屋外における二酸化硫黄の平均値は公共建築物が $2.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ と、個人住宅 ($1.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$) の 140% の値を示した。二酸化硫黄の平均値は屋外の方が屋内よりも高い数値であった。

塩基性ガス：屋内におけるアンモニアの平均値は公共建築物が $18 \mu\text{g}/\text{m}^3$ と、個人住宅 ($16 \mu\text{g}/\text{m}^3$) の 113% の値であった。また、屋外については公共建築物と個人住宅がそれぞれ $6.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、 $5.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ の値を示し、屋内、屋外とも公共建築物と個人住宅とで有意差はなかった。なお、調査対象とした全建築物のアンモニア濃度の平均値は屋内が $16 \mu\text{g}/\text{m}^3$ と、屋外 ($5.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$) の約 3 倍であり、屋内のアンモニア濃度は屋外よりも有意に高い数値であった ($p < 0.01$)。

C.3.2. 冬季における個人の一日本露濃度の推定

調査対象の公共建築物は市民利用施設であると同時に、そこで働いている人にとっては職場でもある。今回調査を行った個人住宅の中には、公共建築物での勤務者自宅が一部含まれる。個人住宅 77 戸の中から、公共建築物 18 施設の勤務者自宅 24 戸を抽出し、職場 (公共建築物 18 施設) および自宅 (抽出された個人住宅 24 戸) の室内空気質と各場所での在室時間を併せて検証することにより、個人 (24 名) の一日本露量の評価を試みた。なお、一日の暴露濃度は、職場 (公共建築物屋内) で過ごす時間を 9 時間、屋外で過ごす時間を 1 時間、自宅屋内で過ごす時間を 14 時間と仮定し、それぞれの 24 時間平均濃度に、 $9/24$ 、 $1/24$ 、 $14/24$ を乗じたものを合計して暴露濃度を算出した。なお、屋外濃度は、公共建築物と個人住宅における各屋外濃度の平均値を採用した。24 名の公共建築物屋内、屋外、自宅屋内における暴露濃度を Fig. 5 に示す。人は室内で過ごすことが多いため、室

内空气中化学物質が多いと暴露量も増える。特に、比較的長時間を過ごすことが多い自宅の室内空気質は、暴露に対する寄与が大きくなる。今回の冬季調査において、パラジクロロベンゼン、 α -ピネン、 d -リモネン、二酸化窒素、ギ酸などについては、公共建築物よりも個人住宅で高い室内濃度を示していた。このため、このような物質については在室設定時間が加味された結果、自宅の室内空気質の影響がより大きくなった。一方、オゾンについては屋外で過ごす時間を一日のうち 1 時間と短時間に設定したが、屋外の数値に比べて屋内の数値が大幅に小さかったため、24 名のオゾン暴露濃度の I/O 比をそれぞれ算出したところ、平均値が 1.1、中央値が 0.80 であった。また、24 名中の 16 名については在室設定時間が加味されているにもかかわらず、オゾン暴露濃度の I/O 比が 1 を下回っており、屋外からの暴露の方が屋内からの暴露よりも大きいと算出された。

D. 結論

横浜市内の公共建築物 18 施設と、横浜市およびその周辺地域にある個人住宅 77 戸の屋内・屋外において、空気環境中の広範囲にわたる化学物質を測定することが可能な各種拡散サンプラーを用いたガス状化学物質の測定を行い、冬季における汚染の実態把握を行った。

公共建築物 18 施設においては屋内、屋外とも本研究で調査対象とした化学物質のうち、厚労省が策定した室内濃度指針値および暫定目標値を超過した物質はなかった。しかし、環境省が環境基準値を策定した物質のうち、ベンゼンの超過が 3 施設で認められ、超過率は 17% であった。なお、この 3 施設のうち 1 施設については屋内、屋外とも環境基準値を超過していた。一方、個人住宅においては、77 戸のうち、屋内において何らかの物質の濃度が指針値等を超過した住宅は 24 戸あり、指針値超過率は 31% を示し、なかには複数の物質が指針値等を超過した個人住宅もあった。

また、今回調査を行った公共建築物と個人住宅の室内環境について比較を行ったところ、公共建築物の室内空气中化学物質の総和は個人住宅の 43% であり、個人住宅に比べて有意に低い数値であった。

さらに、個人住宅の中から公共建築物18施設の勤務者自宅24戸を抽出し、職場および自宅の各室内空気質に在室時間を併せて検証することで、個人の一〇日暴露量の評価を試みた。今回の冬季調査において、パラジクロロベンゼン、 α -ピネン、 d -リモネン、二酸化窒素、ギ酸などについては、公共建築物よりも個人住宅で高い室内濃度を示したため、このような物質については在室設定時間が加味された結果、自宅の室内空気質の影響がより大きくなった。一方、オゾンについては屋外で過ごす時間を一日のうち1時間と短時間に設定したにもかかわらず、屋外空気質からの暴露が室内空気質からの暴露よりも大きいと算出されたケースが3分の2の割合にのぼった。

文 献

- 1) Uchiyama, S.; Inaba, Y.; Kunugita, N. A diffusive sampling device for simultaneous determination of ozone and carbonyls. *Analytica Chimica Acta* **2011**, *691*, 119-124.
- 2) Yamada, T.; Uchiyama, S.; Inaba, Y.; Kunugita, N.; Nakagome, N.; Seto, H. A diffusive sampling device for measurement of ammonia in air. *Atmospheric Environment* **2012**, *54*, 629-633.
- 3) 内山茂久; 稲葉洋平; 榎田尚樹 拡散サンプラーを用いた居住環境中に存在する化学物質の全国実態調査 平成24年度厚生労働科学研究費補助金(健康安全・危機管理対策総合研究事業) 分担研究報告書 **2013**, 15-26
- 4) 所翌萌; 内山茂久; 稲葉洋平; 中込秀樹; 榎田尚樹 拡散サンプラーを用いた冬季と夏季における室内空气中化学物質の全国調査 - 無機ガス状物質 - 平成25年室内環境学会学術大会講演要旨集, **2013**, 21(2), 108-109.