

## 第5 調査研究

# 1 報文

## 令和4年 京都市感染症発生動向調査事業における病原体検査成績

## 微生物部門

## Detection of pathogenic agents in the Kyoto City Epidemiological Surveillance of Infectious Diseases in 2022

## Division of Microbiology

## Abstract

Virological and bacteriological tests were performed using various specimens from patients in the Kyoto City Epidemiological Surveillance of Infectious Diseases in 2022. Of 49 patients, 14 were positive for viral and/or bacterial agents. An annual detection rate of these agents was 28.6% of the surveyed patients. 10 strains of viruses and 6 strains of bacteria were detected in total. *Seasonal Influenza viruses* were not detected.

## Key Words

Epidemiological Surveillance of Infectious Diseases 感染症発生動向調査、*Influenzavirus* インフルエンザウイルス

## 1 はじめに

本市では、昭和57年度から京都市感染症発生動向調査事業を行っている。当所においては、流行性疾患の病原体検索を行い、検査情報の作成と還元を行うとともに、各種疾患と検出病原体との関連について解析を行っている。本報告では、2022年（令和4年1月から12月まで）に実施した病原体検査成績を述べる。

## 2 材料と方法

## (1) 検査対象感染症

令和4年1月から12月までに病原体検査を行った疾病は、感染性胃腸炎、ヘルパンギーナ、感染性髄膜炎、咽頭結膜熱、手足口病、RSウイルス感染症及びその他（上気道炎）の計7疾病であった。

検査材料は、市内4箇所（小児科定点4箇所、インフルエンザ定点4箇所、眼科定点1箇所、基幹定点1箇所）の医療機関の協力により採取されたもので、患者49名から、ふん便23検体、鼻咽頭ぬぐい液23検体、髄液5検体、咽頭うがい液1検体の計52検体について検査を行った。

なお、世界規模で流行している新型コロナウイルス感染症の影響下で、患者数及び検体数が例年に比べると非常に少ない。

## (2) 検査方法

## ア ウイルス検査

検査材料を常法により前処理した後、培養細胞（FL「ヒト羊膜由来細胞」、RD-18S「ヒト胎児横紋筋腫由来細胞」及びVero「アフリカミドリザル腎由来細胞」）を用いてウイルス分離を行った。インフルエンザウイルスの分離には、培養細胞（MDCK「イヌ腎由来細胞」）を使用した。

分離したウイルスの同定には、中和反応、ダイレクトシーケンス法、蛍光抗体法（FA）及びリアルタイムRT-PCR法を用いた。

ロタウイルス、アデノウイルスの抗原検出には免疫クロマト法（IC）を用い、ノロウイルスについてはリアルタイムRT-PCR法により遺伝子検出を行った。

## イ 細菌検査

検査材料を、直接若しくは増菌培養後に分離培地に塗抹して分離を行った。

ふん便には、ドリガルスキー改良培地、SS寒天培地、TCBS寒天培地、エッグヨーク食塩寒天培地等を用いた。鼻咽頭ぬぐい液には、Q培地及び羊血液寒天培地（溶血性レンサ球菌）等を用いた。髄液は、遠心分離して得られた沈渣を羊血液寒天培地及びチョコレート寒天培地に塗抹して分離を行った。

分離した細菌の同定は、鏡検、生化学的性状検査、血清凝集反応、PCR法等により行った。

3 成績及び考察

(1) 月別病原体検出状況 (表 1)

各月の受付患者数は、6月が最も多く10名で、3月及び9月は受付がなかった。年間の受付患者49名のうち14名から16株の病原微生物を検出し、受付患者当たりの検出率は28.6%であった。

ウイルス検査では、被検患者49名中10名から10株のウイルスを検出した。被検患者当たりのウイルス検出率は20.4%であった。

検出ウイルスの季節推移をみると、例年夏季を中心に流行するエンテロウイルスは2月、8月及び11月に検出した。また、例年年間を通して検出が見られるアデノウイルスは6月、7月、8月の夏季にのみ検出した。ノロウイルスは、8月にのみ検出した。RSウイルスは6月、7月に検出した。インフルエンザウイルスは検査材料の搬入がなく、検出されなかった。

細菌検査では、被検患者17名中4名から6株の病原細菌を検出し、患者当たりの検出率は23.5%であった。

黄色ブドウ球菌及び下痢原性大腸菌は5月及び10月に検出し、サルモネラ属菌は5月にのみ検出した。

(2) 感染症別病原体検出状況 (表 2)

感染性胃腸炎は、受付患者数の42.9%、インフルエンザ、ヘルパンギーナ、咽頭結膜熱、RSウイルス感染症、A群溶血性レンサ球菌咽頭炎などの呼吸器疾患は、40.8%を占めていた。

主な感染症別の病原体検出率は、手足口病が50.0%、

感染性胃腸炎が42.9%、感染性髄膜炎が25.0%、RSウイルス感染症が18.2%であった。

主な感染症について、ウイルスの検出状況をみると、感染性胃腸炎では、アデノウイルス1種3株、ノロウイルス1種2株を、感染性髄膜炎では、エンテロウイルスを2種3株、RSウイルス2株の計5種10株を検出した。

また、細菌の検出状況をみると、感染性胃腸炎では、黄色ブドウ球菌3株、下痢原性大腸菌2株、サルモネラ属菌1株の計6株を検出した。

(3) 年齢階層別病原体検出状況 (表 3)

受付患者の年齢階層別分布をみると、0歳が19名(38.8%)で最も多く、次いで1~4歳の17名(34.7%)、5~9歳の7名(14.3%)、10~14歳の5名(10.2%)、15歳以上は1名(2.0%)であった。

年齢階層別の受付患者当たりの検出率は、0歳が21.1%(ウイルス2種2株、細菌2種3株)、1~4歳が41.2%(ウイルス4種6株、細菌1種1株)、5~9歳が42.9%(ウイルス2種2株、細菌2種2株)、10~14歳及び15歳以上は検出がなかった。

エンテロウイルスは1~4歳で1種2株、0歳で1種1株、アデノウイルスは1~4歳で1種2株、5~9歳で1種1株を検出した。ノロウイルスは1~4歳で1種1株、5~9歳で1種1株を検出した。RSウイルスは0歳で1株、1~4歳で1株を検出した。

インフルエンザウイルスは検出しなかった。

(4) 主な疾病と病原体検出状況

ア 感染性胃腸炎 (図 1-1、図 1-2)

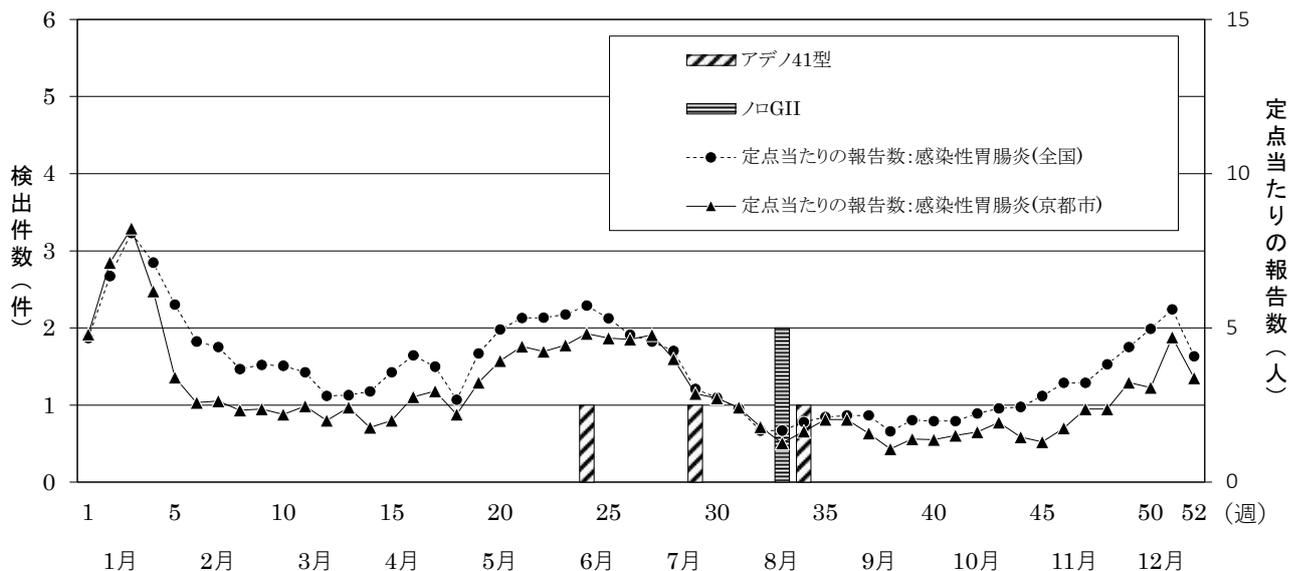


図 1-1 感染性胃腸炎患者における病原ウイルスの検出状況 (令和 4 年)

臨床診断名が感染性胃腸炎の受付検患者 21 名のうち9名からウイルス5株及び細菌6株を検出した。ウイルスでは、8月にノロウイルスのGIIを2株、6月、7月及び8月にアデノウイルスをそれぞれ

1株ずつ検出した。ロタウイルス及びエンテロウイルスは検出しなかった。

細菌では、黄色ブドウ球菌を5月に2株及び10月に1株、下痢原性大腸菌を5月及び10月に各1株、サルモネラ属菌を5月に1株検出した。

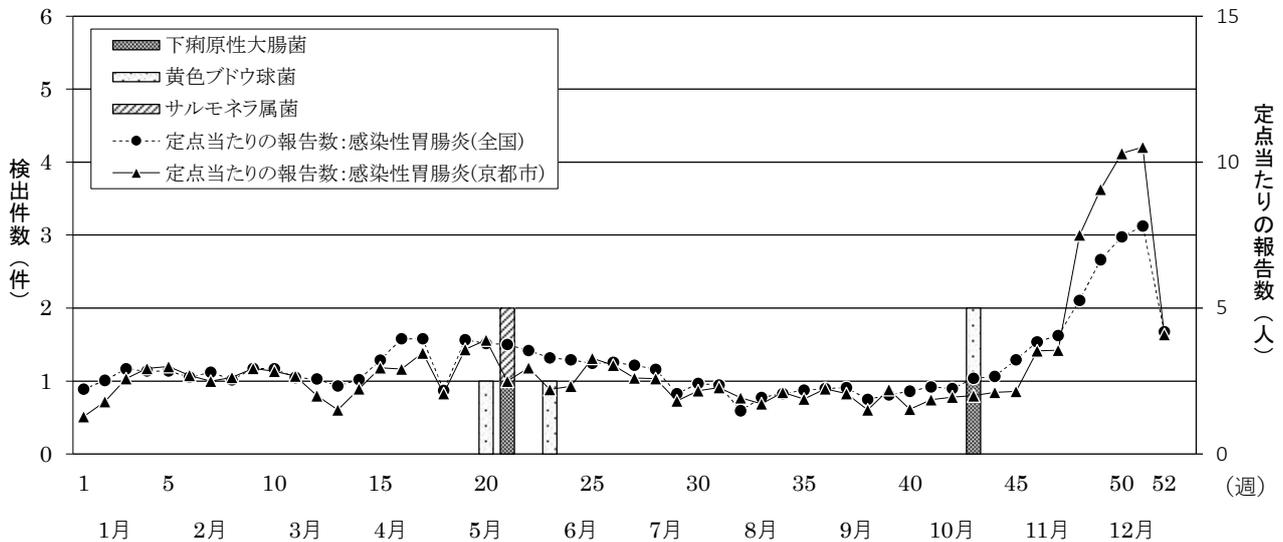


図1-2 感染性胃腸炎患者における病原細菌の検出状況（令和4年）

ヘルパンギーナ（図2）

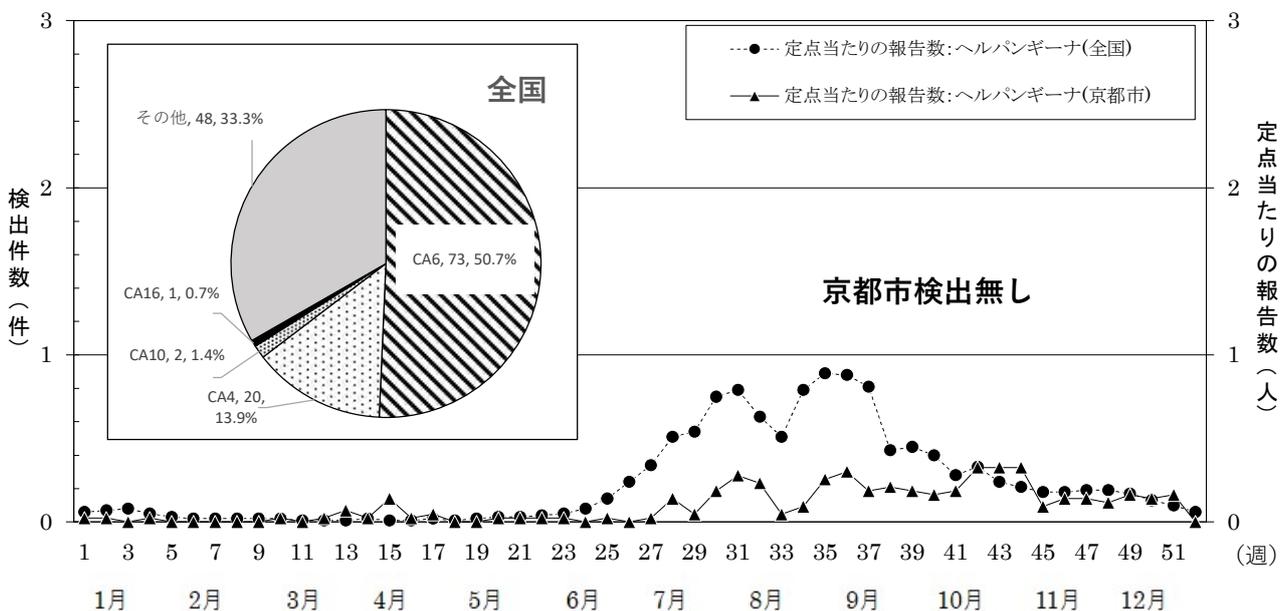


図2 ヘルパンギーナ患者における病原ウイルスの検出状況（令和4年）

ヘルパンギーナは例年、夏にかけて流行が見られる。令和4年は本市では7月、全国は6月から緩やかに増加し始め、10月に小さなピークを示して以降、減少した。

臨床診断名がヘルパンギーナの受付患者数は6名

であったが、病原体は検出しなかった。

全国の病原体検出状況では、令和4年は、コクサッキーA群ウイルス6型(50.7%)、4型(13.8%)の順にウイルスが検出された。

ウ インフルエンザ (図 3-1、図 3-2)

本市感染症発生動向調査患者情報によると、2021/22 (R3/4) シーズンは定点当たり報告数が 1.0 を超える週はなく、そのまま終息を迎えた。全国も同様であった。

本市では、インフルエンザウイルスの検出はなかった。全国では、2021/22 (R3/4) シーズンは、AH1pdm09 型を 3 株、AH3 型を 53 株であった。

また、本市感染症発生動向調査患者情報によると、2022/23 (R4/5) シーズンは令和 4 年 12 月の第 51 週に定点当たり報告数が 1.0 を超え、インフルエンザの流行期に入り、令和 5 年 1 月の第 5 週に警報レベル 30 を超えピークを形成後、減少し、終息を迎えた。全国でも同様に令和 4 年 12 月の第 51 週に定点当たり報告数が 1.0 を超え、流行期に入り令和 5 年

1 月の第 5 週に注意報レベルの 10 を超えた後、減少したが、シーズン終了まで 1.0 を下回ることなく推移した。

本市でのインフルエンザウイルス検出状況を見ると、令和 5 年 3 月の第 11 週に AH1pdm09 型を 1 株検出した。全国では、2022/23 (R4/5) シーズンは、AH1pdm09 型を 157 株、AH3 型を 3391 株、B 型 85 株であった。

日本ではインフルエンザの非流行期と考えられていた夏季や、海外渡航後に発症した者からの検出報告も近年増えており、患者発生と流行ウイルスの型別とを迅速かつ的確に把握する感染症発生動向調査は、インフルエンザの流行予防対策のためにも、今後ますます重要になると考えられる。

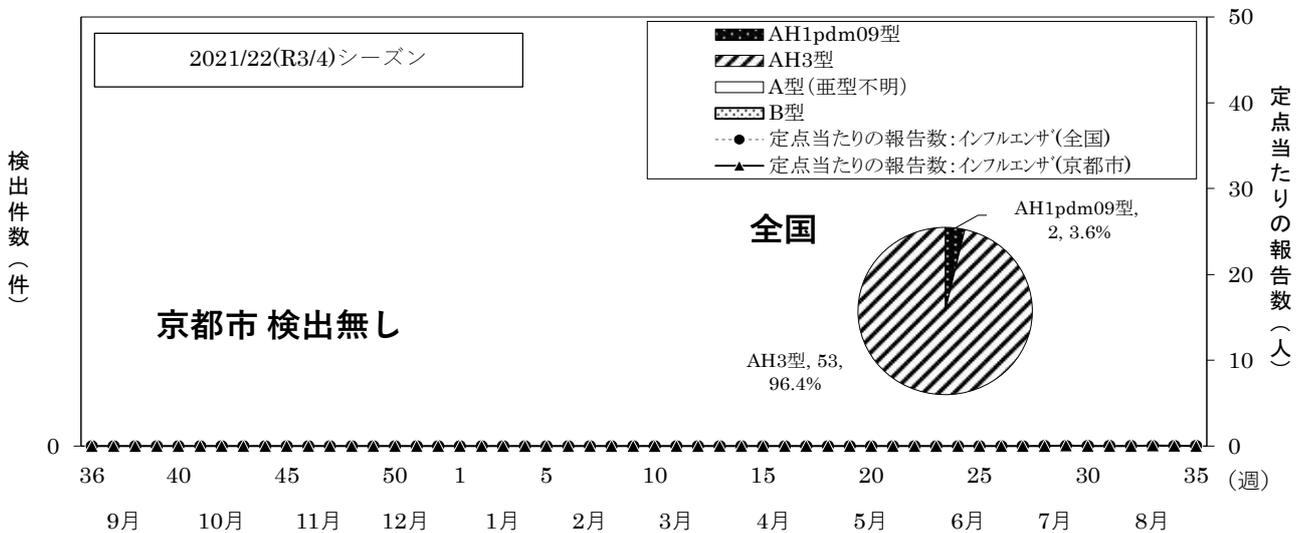


図 3-1 インフルエンザウイルスの検出状況 (令和 3 年 9 月～令和 4 年 8 月)

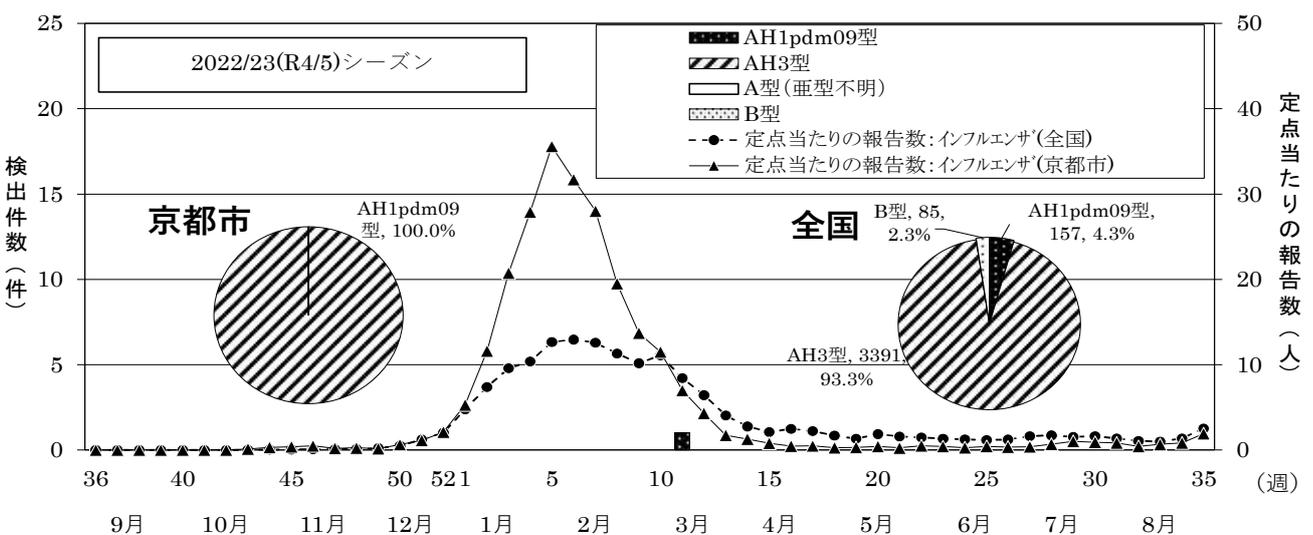


図 3-2 インフルエンザウイルスの検出状況 (令和 4 年 9 月～令和 5 年 8 月)

エ 咽頭結膜熱 (図 4)

本市における臨床診断名が咽頭結膜熱の受付患者数は3名であったが、病原体は検出しなかった。  
令和4年の全国の咽頭結膜熱におけるウイルスの検

出状況では、アデノウイルス2型が最も多く45.0%、次いで1型が15.0%、5型が6.6%、6型が3.3%であった。

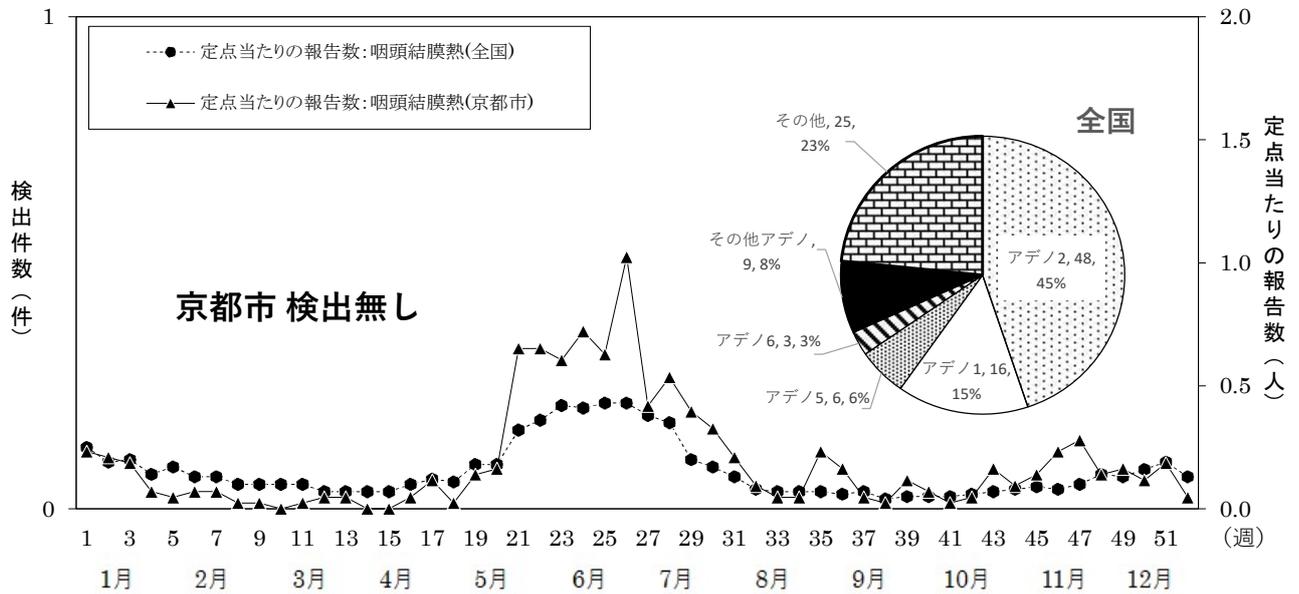


図 4 咽頭結膜熱患者発生状況と病原体検出状況 (令和4年)

オ 手足口病 (図 5)

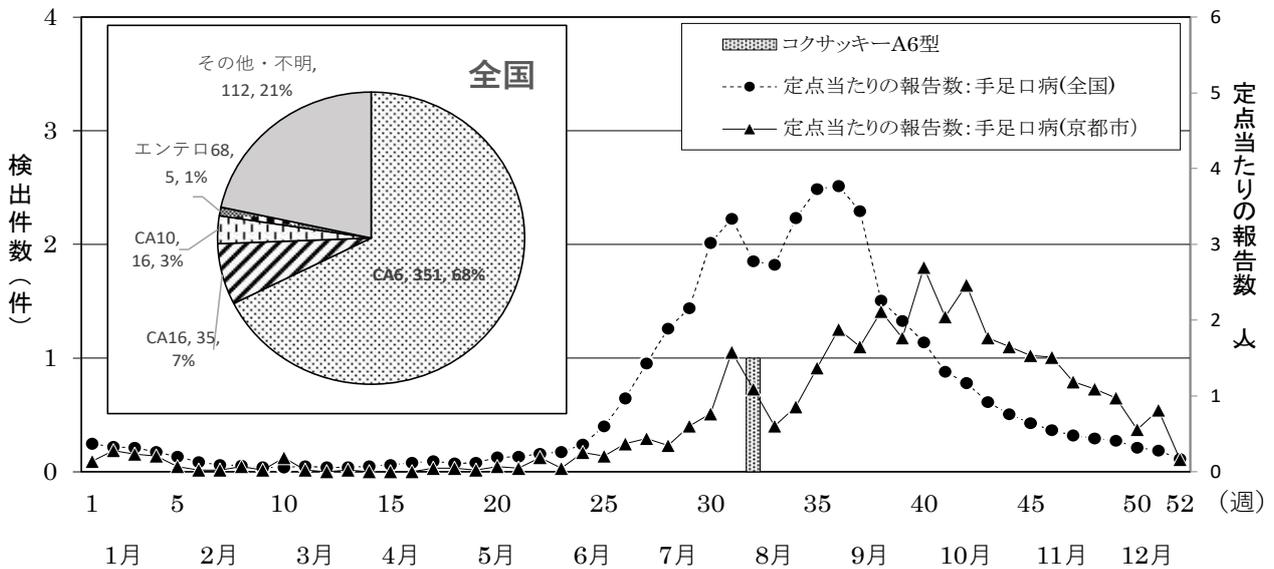


図 5 手足口病患者における病原ウイルス検出状況 (令和4年)

手足口病は例年、7月にピークが見られるが、令和4年は本市、全国共に6月から緩やかに増加し始め、本市は10月(第40週)、全国は9月(第36週)にピークを示して以降、減少した。

手足口病を引き起こすウイルスとしては、コクサ

ッキーA群ウイルス6型、10型、16型、エンテロウイルス71型が代表に挙げられるが、本市では、臨床診断名が手足口病の受付患者数は2名で、そのうち1名からコクサッキーA群ウイルス6型を1株検出した。エンテロウイルス71型は検出しなかった。

また、全国では、コクサッキーA群ウイルス6型が351株(68.0%)、16型が35株(7.0%)、10型が16株

(3.0%)、エンテロウイルス68型が5株(1.0%)、その他112株(21.0%)の計519株であった。

カ A群溶血性レンサ球菌咽頭炎(図6-1、図6-2)

本市における臨床診断名がA群溶血性レンサ球菌咽頭炎の受付患者数は0名で、A群溶血性レンサ球菌は検出しなかった。全国のT血清型別検出比率を

みると、劇症型溶血性レンサ球菌感染症事例で検出されることの多いT-1型の検出率は、全国で2.6%であった。

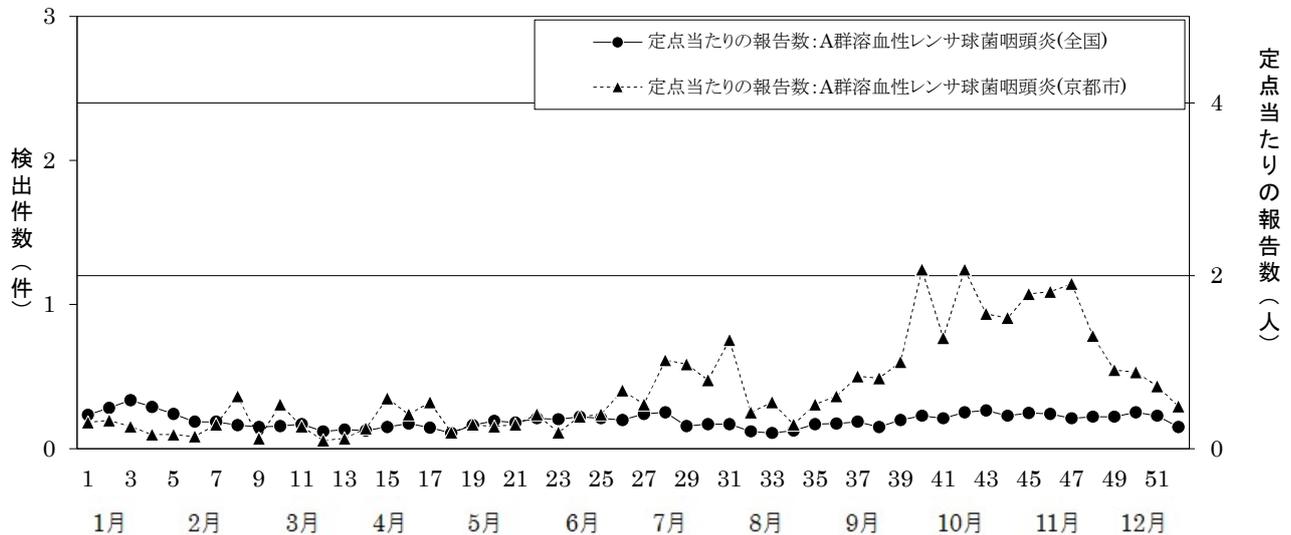


図6-1 A群溶血性レンサ球菌咽頭炎の報告数とT血清型別の病原体検出状況(令和4年)

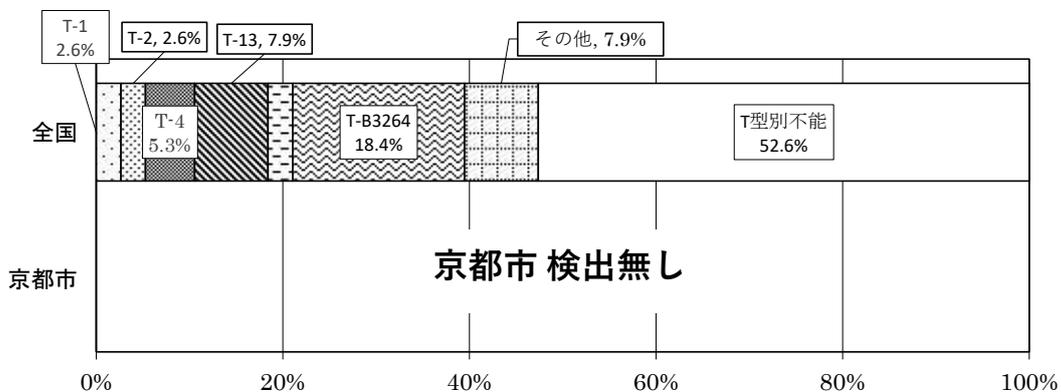


図6-2 A群溶血性レンサ球菌のT血清型別検出比率(令和4年)

(5) 検体別・検出方法別病原ウイルス検出状況(表4)

エコーウイルスは、25型の1株がRD-18S細胞で分離された。

コクサッキーウイルスA群は6型を2株、遺伝子検査によりウイルス遺伝子を検出した。

アデノウイルスは、41型が3株、遺伝子検査によりウイルス遺伝子を検出した。

ノロウイルスはG IIを2株、RSウイルスは2株を遺伝子検査によりウイルス遺伝子を検出した。

培養細胞法によるウイルスの検査体制はほぼ確立されているが、被検患者から採取した検体中に活性のあるウイルスが存在していることが必須条件となり、採取後の温度や期間等の保管条件によっては失活し検出できなくなる。また、分離困難なウイルスも存在するといった欠点がある。感染症発生動向調査においても、迅速な実験室診断が要請される傾向は年々ますます強まっており、検出率と迅速性の向上を目指して、培養細胞法と並行して可能な限り新

たな検査技術の導入を図っていかなければならないと考える。

#### 4 まとめ

(1) 京都市感染症発生动向調査事業における病原体検査（定点医療機関分）では、受付患者 49 名のうち 14 名 (28.6%) から病原体を検出した。ウイルスでは、被検患者 49 名中 10 名 (20.4%) から、エコー、コクサッキーA 群、アデノ、ノロ、RS のウイルス 5 種類 10 株を検出した。細菌では、被検患者 17 名中 4 名 (23.5%) から、黄色ブドウ球菌、下痢原性大腸菌及びサルモネラ菌の細菌 6 株を検出した。

(2) 感染症別病原体の検出率は、疾病の種類により異なり、手足口病が 50.0%、感染性胃腸炎が 42.9%、感染性髄膜炎が 25.0%、RS ウイルス感染症が 18.2%、であった。

(3) 新型コロナウイルス感染症流行の影響により、例年に比べて受付患者数が非常に少なかったため、ウイルス及び細菌の検出数も少ない年となった。

(4) 年齢階層別病原体検出状況では、5～9 歳の検出率が最も高く 42.9%で、次いで 1～4 歳の 41.2%、0 歳の 21.1%であった。受付患者数では、0 歳が 19 名 (38.8%) と最も多かった。

表1 月別病原体検出状況（小児科、インフルエンザ、眼科、基幹定点）

令和4年1月～12月

検体採取月		1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	計	病原体検出比率		
総受付患者数		2	3	0	4	9	10	8	4	0	3	2	4	49		52	
検査材料	ふん便	2	2	0	1	4	4	3	3	0	3	1	0	23			
	鼻咽頭ぬぐい液	0	1	0	3	4	5	5	0	0	0	1	4	23			
	髄液	0	1	0	0	2	2	0	0	0	0	0	0	5			
	咽頭うがい液	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1			
	気管吸引	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
病原体検出患者数		0	1	0	0	3	2	2	4	0	1	1	0	14			
患者当たりの検出率(%)		0.0	33.3	0.0	0.0	33.3	20.0	25.0	100.0	0.0	33.3	50.0	0.0	28.6			
ウイルス	被検患者数		2	3	0	4	9	10	8	4	0	3	2	4	49	62.5	
	検出患者数		0	1	0	0	0	2	2	4	0	0	1	0	10		
	患者当たりの検出率(%)		0.0	33.3	0.0	0.0	0.0	20.0	25.0	100.0	0.0	0.0	50.0	0.0	20.4		
	エンテロ	エコー25型											1		1		6.3
		コクサッキーA6型		1						1					2		12.5
	アデノ	アデノ41型						1	1	1					3		18.8
	ノロウイルスGII型									2					2		12.5
	RSウイルス							1	1						2		12.5
	小計		0	1	0	0	0	2	2	4	0	0	1	0	10		
	細菌	被検患者数		2	1	0	1	4	2	3	2	0	2	0	0		17
検出患者数		0	0	0	0	3	0	0	0	0	1	0	0	4			
患者当たりの検出率(%)		0.0	0.0	0.0	0.0	75.0	0.0	0.0	0.0	0.0	50.0	0.0	0.0	23.5			
黄色ブドウ球菌						2					1			3	18.8		
サルモネラ属菌						1								1	6.3		
下痢原性大腸菌						1					1			2	12.5		
小計		0	0	0	0	4	0	0	0	0	2	0	0	6			
合計		0	1	0	0	4	2	2	4	0	2	1	0	16	100.0		

表2 感染症別病原体検出状況（小児科、インフルエンザ、眼科、基幹定点）

令和4年1月～12月

疾病名	感染性胃腸炎	インフルエンザ	ヘルパンギーナ	咽頭結膜熱	手足口病	感染性髄膜炎	A群溶血性レンサ球菌咽頭炎	流行性角結膜炎	流行性耳下腺炎	RSウイルス感染症	その他	計（重複有）	計（重複無）		病原体検出比率（%）
総受付患者数	21	0	6	3	2	8	0	0	0	11	2	53	49		
検査材料	ふん便	18	0	0	0	1	3	0	0	0	1	23	23	52	
	鼻咽頭ぬぐい液	4	0	6	3	0	1	0	0	11	2	27	23		
	髄液	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	5	5		
	咽頭うがい液	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1		
病原体検出患者数	9	0	0	0	1	2	0	0	0	2	0	14	14		
患者当たりの検出率(%)	42.9	0.0	0.0	0.0	50.0	25.0	0.0	0.0	0.0	18.2	0.0	26.4	28.6		
ウイルス	被検患者数	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13	13		/
	検出患者数	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	4		
	患者当たりの検出率(%)	30.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	30.8	30.8		
	エンテロ	エコー25型					1						1	1	6.3
		コクサッキーA6型					1	1					2	2	12.5
	アノデ	アデノ41型	3									3	3	18.8	
	ノロウイルスGII型		2										2	2	12.5
	RSウイルス										2		2	2	12.5
小計		5	0	0	0	1	2	0	0	2	0	10	10	62.5	
細菌	被検患者数	17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	17	17		/
	検出患者数	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	4		
	患者当たりの検出率(%)	23.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	23.5	23.5		
	黄色ブドウ球菌		3										3	3	18.8
	サルモネラ属菌		1										1	1	6.3
	下痢原性大腸菌		2										2	2	12.5
	小計		6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	6	37.5
合計		11	0	0	0	1	2	0	0	2	0	16	16	100.0	

表3 年齢階層別病原体検出状況（小児科、インフルエンザ、眼科、基幹定点） 令和4年1月～12月

年齢		0歳	1~4歳	5~9歳	10~14歳	15歳以上	計	病原体検出比率（％）	
総受付患者数		19	17	7	5	1	49		
検査材料	ふん便	6	8	5	3	1	23		52
	鼻咽頭ぬぐい液	13	6	2	2	0	23		
	髄液	1	3	1	0	0	5		
	咽頭うがい液	0	1	0	0	0	1		
病原体検出患者数		4	7	3	0	0	14		
患者当たりの検出率(%)		21.1	41.2	42.9	0.0	0.0	28.6		
ウイルス	被検患者数		19	17	7	5	1	49	/
	検出患者数		2	6	2	0	0	10	
	患者当たりの検出率(%)		10.5	35.3	28.6	0.0	0.0	20.4	
	エンテロ	エコー25型	1					1	6.3
		コクサッキーA6型		2				2	12.5
	アデ	アデノ41型		2	1			3	18.8
	ノロウイルスGII型			1	1			2	18.8
	RSウイルス		1	1				2	12.5
小計		2	6	2	0	0	10	62.5	
細菌	被検患者数		4	6	3	3	1	17	/
	検出患者数		2	1	1	0	0	4	
	患者当たりの検出率(%)		50.0	16.7	33.3	0.0	0.0	23.5	
	黄色ブドウ球菌		2	1				3	18.8
	サルモネラ属菌				1			1	6.3
	下痢原性大腸菌		1		1			2	12.5
	小計		3	1	2			6	37.5
合計		5	7	4	0	0	16	100.0	

表4 検出方法別病原ウイルス検出状況

令和4年1月～12月

		検体の種類				検出 件数	培養細胞				イムノ クロマト	遺伝子 検査
		ふん便	鼻咽頭 ぬぐい液	髄液	気管吸引		FL	RD-18S	Vero	MDCK		
エンテロ	エコー25型	1				1	1					
	コクサッキーA6型	1		1		2						2
アデノ	アデノ41型	3				3						3
ノロウイルスGII型		2				2						2
RSウイルス		2				2						2
合計		6	3	1	0	10	0	1	0	0	0	9

京都市における光化学オキシダント濃度の長期経年変化の解析

Long-term Trend of the Photochemical Oxidant Concentrations in Kyoto City

伴 創一郎

Soichiro BAN

Abstract

In this study, we analyzed the long-term trend of the concentrations of photochemical oxidant (Ox) in Kyoto City during the period from FY1975 to FY2022. Concentrations of Ox, NO<sub>x</sub> and NMHC were measured at 10 ambient air monitoring stations in Kyoto City.

Increasing trends of annual mean Ox concentration and annual average of Ox concentrations during daytime (5-20h) were observed, meanwhile decreasing trends of annual maximum 1-hour Ox concentrations, annual 99th percentile of 8-hour daily maximum Ox concentrations averaged over 3 years, annual mean potential ozone concentration, and annual mean concentrations of NO<sub>x</sub> and NMHC, were observed during the period.

Concentrations of Ox and potential ozone averaged 3 years were compared between two periods FY1999–2001 and FY2009–2011, and it was shown that the difference of Ox concentration was larger than that of potential ozone, indicating that decrease of nitric oxide (NO) titration resulted in a net increase of annual mean Ox concentrations.

It is considered that there are 2 regimes in photochemical oxidant production process – NO<sub>x</sub>-sensitive and VOC-sensitive. To analyze the regional regimes of photochemical oxidant, the yearly change of NMHC /NO<sub>x</sub> concentration ratio at 4 monitoring stations in Kyoto city were investigated. It was found that Mibu monitoring station showed NO<sub>x</sub>-sensitive regime, meanwhile Daigo monitoring station and roadside air monitoring stations, Omiya and Yamashina, showed VOC-sensitive regime. In recent years, NMHC /NO<sub>x</sub> concentration ratio at Daigo monitoring station tended to increase, reflecting the reduction of NO<sub>x</sub> concentrations.

Key words

Photochemical oxidant/光化学オキシダント NO<sub>x</sub> /窒素酸化物 NMHC/非メタン炭化水素  
 Potential ozone/ポテンシャルオゾン VOC-sensitive/VOC 律速 NO<sub>x</sub>-sensitive/NO<sub>x</sub> 律速

1 はじめに

光化学オキシダントは（以下 Ox という）、窒素酸化物（以下 NO<sub>x</sub> という）、揮発性有機化合物（以下 VOCs という）が太陽光（紫外線）を受けて、光化学反応を起こすことにより生じる。オゾン、パーオキシアセチルナイトレート(PAN)、アルデヒド類そのほかの酸化物質の総称であり、その大部分がオゾン(O<sub>3</sub>)である。Ox は、光化学スモッグの原因物質である。

対流圏の O<sub>3</sub> は、対流圏の光化学反応によって生ずる O<sub>3</sub> 及び成層圏から流下する O<sub>3</sub> からなり、地域内外で排出された O<sub>3</sub> が前駆物質から生成する場合及び地域外で生成した O<sub>3</sub> が移流する場合があります。移流した O<sub>3</sub> も遠隔地の O<sub>3</sub> 濃度の増加要因となっている。図1に O<sub>3</sub> の光化学反応による O<sub>3</sub> の生成機構を示す。O<sub>3</sub> は、酸素と二酸化窒素の光分解反応で生成する。この反応は可逆反応である。大気中に VOCs が存在しない場合は、平衡状態となるため NO、NO<sub>2</sub>、O<sub>3</sub> はある一定濃度になる。大気中に VOCs が存在する場合は、VOCs が OH ラジカルや O<sub>3</sub> と反応してアルキルペルオキシラジカル (ROO・) を生成する。この ROO・が NO と反応してアルコキシラジカル(RO・)になる反応と、O<sub>3</sub> が NO と反応して NO<sub>2</sub> となる反応が競合するため平衡状態がずれて O<sub>3</sub> 濃度が増加する。つまり、NO<sub>x</sub> と VOCs は Ox の前駆物質であり、NO<sub>x</sub> 濃度と VOCs 濃度は、Ox 濃度の増加要因となっている。

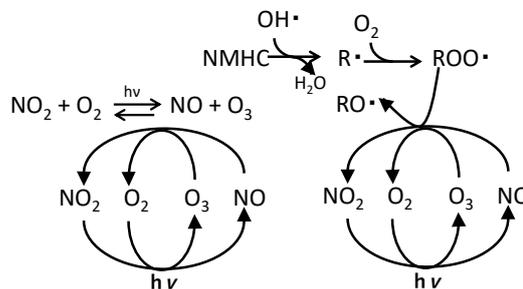


図1 O<sub>3</sub> の光化学反応による生成

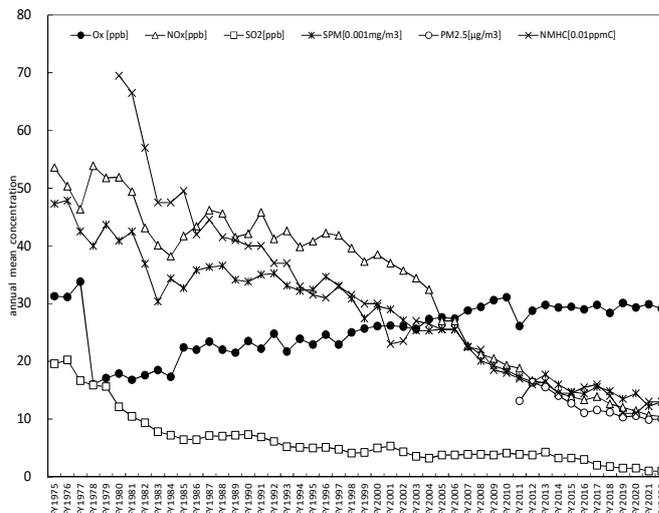


図2 京都市内の一般環境測定局における大気汚染物質濃度(年平均値)の経年変化

NO<sub>x</sub>については、自動車からの排出対策の施策として単体規制（短期規制、長期規制、新短期規制、新長期規制）、車種規制（自動車NO<sub>x</sub>・PM法）が実施されている。VOCsについては、大気汚染防止法の改正により、固定発生源からの排出規制が2006年より施行されている。

京都市では1968年より大気汚染物質の常時監視を実施している。京都市内の大気汚染物質の挙動の特徴として、三方が山に囲まれた内陸盆地に位置するため、大気中の汚染物質が拡散されにくく、発生量に比べて高濃度が出現しやすい点、京都府南部から阪神工業地帯に連なっており、南ないし南西の風向時に移流により濃度が高くなりやすい点があげられる。<sup>1)</sup>

様々な排出抑制施策の結果、京都市内の一般環境大気測定局における大気汚染物質濃度の年平均値は、NO<sub>x</sub>、SO<sub>2</sub>、SPM、PM<sub>2.5</sub>については、減少傾向の経年変化であり、環境基準を達成している。また、非メタン炭化水素(NMHC)として検出されるVOCs濃度についても減少傾向の経年変化で推移している。一方、O<sub>x</sub>の年平均値については、漸増傾向で推移しており(図2)、環境基準「1時間値が0.06ppm以下であること。」は、京都市内の全測定局で未達成の状況が続いている。全国的にもO<sub>x</sub>濃度の環境基準達成率は極めて低い状況である。今回、京都市内の一般環境大気測定局の1975年度から2022年度までのO<sub>x</sub>測定データについて、「昼間の日最高1時間値の年平均値」等の従来の指標および2014年に環境省から通知された新指標により経年変化を解析した。また、ポテンシャルオゾン(PO)、O<sub>x</sub>の前駆物質であるNO<sub>x</sub>、NMHC、NMHC/NO<sub>x</sub>比の経年変化についても解析を行ったので報告する。

## 2 方法

### (1) 解析対象局及び解析期間

調査対象の測定局は、京都市内の10の一般環境大気測定局(市役所、壬生、南、伏見、山科、左京、西京、久我、北、醍醐)とし、1975年度から2022年度までの、48年間のデータを解析対象とした。ただし南局は、2011年度で廃局となったため2011年度までのデータを解析対象とした。測定局の所在地を、表1、測定局の配置図を図3に示す。

### (2) 測定方法

#### ① O<sub>x</sub>

O<sub>x</sub>の測定法としては、「環境大気常時監視マニュアル」<sup>2)</sup>で、主に湿式法である吸光光度法(KI法)と乾式法である紫外線吸収法(UV法)が規定されている。京都市内の一般環境測定局の光化学オキシダント測定開始時期と湿式法(KI法)から乾式法(UV法)への変更時期を表2に示す。市内の測定局では、従来、KI法で測定を実施していたが、2002年度以降より、UV法へと、順次切替えがなされた。2006年度以降は、市内のすべ

でのO<sub>x</sub>測定局が、UV法へ切換えられている。KI法は、オキシダント(二酸化窒素を除く酸化性物質)を測定しており、UV法では「オキシダントのほとんどがオゾンである」とされることからO<sub>3</sub>のみを測定しているため、測定法の変更が測定結果に影響を及ぼしている可能性がある点に留意が必要である。この点について、「測定法の切り替えにより平均濃度に影響があったといえるが、長期的な濃度変動を解析検討するには影響が少ない」との当市の併行試験結果の報告がある。<sup>3)</sup>また、O<sub>x</sub>濃度の長期トレンドについて、O<sub>x</sub>測定法の変化の影響が表れている可能性がある点と指摘する報告もある。<sup>4)</sup>

また、O<sub>x</sub>濃度の測定については、2006年にJISが改正され校正法がKI法からUV法へ変更されたのに伴い、「環境大気常時監視マニュアル」<sup>2)</sup>が2010年3月に改訂され、全国的にトレーサビリティを考慮した統一的な精度管理体制が整備された。2010年度から順次、地域ブロック毎に二次標準器、自治体毎に三次標準器が設置され、2011年度以降は、新校正法に基づくデータとなっている。校正法の変更が、O<sub>x</sub>濃度の測定結果に影響を及ぼしている可能性が考えられる点に留意が必要である。

#### ② NO<sub>x</sub>

NO<sub>x</sub>、NO<sub>2</sub>の測定は、従来、吸光光度法で測定を実施していたが、2002年度以降は吸光光度法から化学発光法に順次切り替えがなされた。2008年度以降は、全ての測定局で、化学発光法で測定を実施している。

#### ③ NMHC

NMHCの測定は、水素炎イオン化検出法で実施している。

### (3) 解析方法

各測定局から得られた1時間値をもとに、以下の指標の計算値を算出し、濃度の経年変化の傾向を解析した。

#### ① O<sub>x</sub> 年平均値(全日の1時間値の年平均値)

当該年度の1年間に測定された欠測を除くすべての全日(1時~24時)の1時間値の総和を、その年度における測定時間数で除した値を当該年度の「年平均値」とした。

#### ② O<sub>x</sub> 昼間の1時間値の年平均値

「昼間」(5時~20時の時間帯で、1時間値としては6時~20時の15個)に測定された欠測を除くすべての1時間値を合計した数値を、その年度における昼間の測定時間数である「昼間測定時間」で割り算して、「昼間の1時間値の年平均値」とした。

#### ③ O<sub>x</sub> 昼間の日最高1時間値の年平均値

当該年度の年間の昼間(5時から20時まで)の日最高1時間値を算術平均して当該年度の「昼間の日最高1時間値の年平均値」とした。

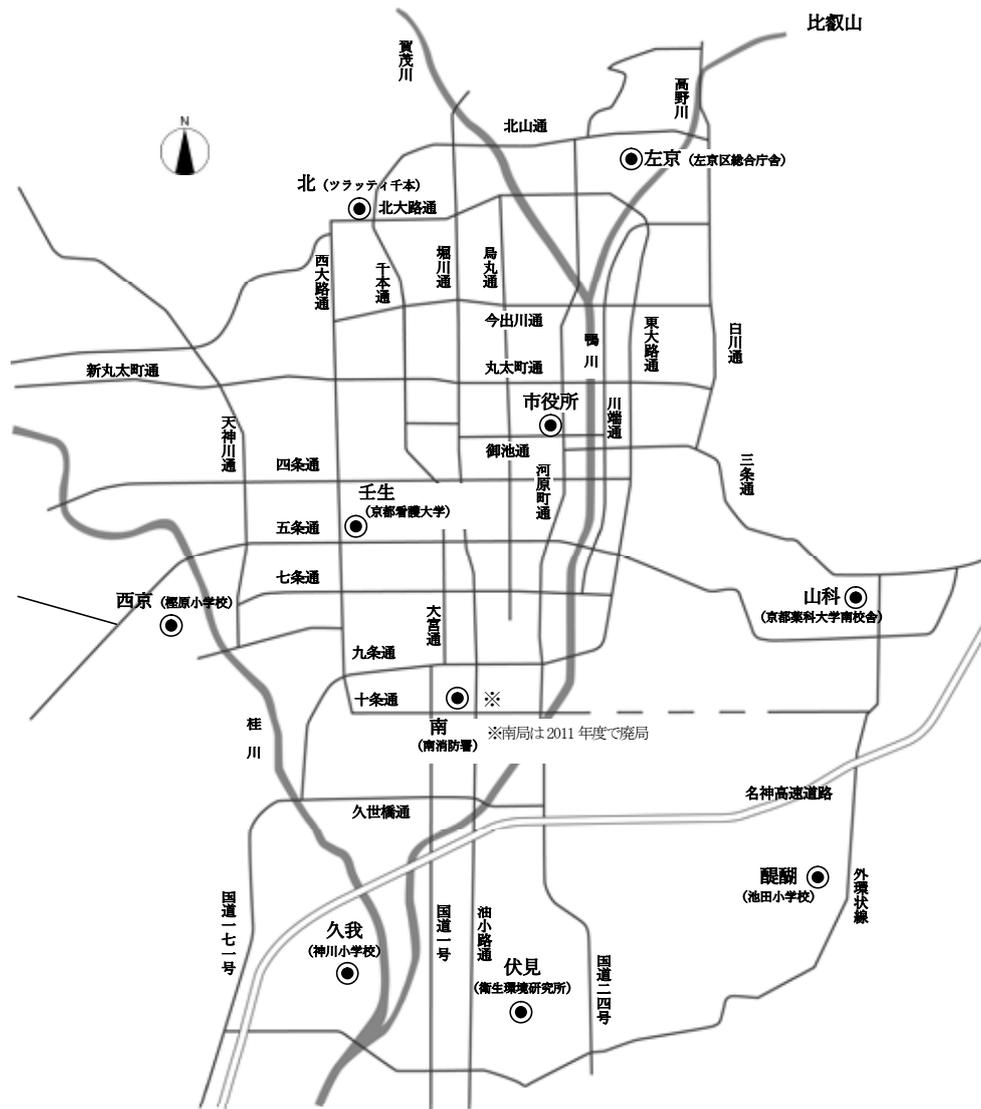


図3 京都市内の一般環境大気測定局の配置図

表1 京都市内の一般環境測定局の所在地

測定局番号	名称	所在地 (FY2023現在)	場所	移設等経過
101	市役所	中京区寺町通御池上る上本能寺前町488	京都市役所4階建て建物の屋上	市役所本庁舎改修工事に伴い'18年1月~20年3月測定局休止
102	壬生	中京区壬生東高田町1の21	京都看護大学 敷地内	2019年10月旧衛生環境研究所から移設
103	南 ※	南区西九条管田町4の1	南消防署 4階建て建物の屋上	※2012年3月廃局
104	伏見	伏見区村上町395	衛生環境研究所 3階	2022年3月伏見区総合庁舎から移設
105	山科	山科区御陵四丁野町1	京都薬科大学 南校舎校庭	
106	左京	左京測定局	左京区総合庁舎 2階	2011年5月旧高野福祉施設合同会館から移設
107	西京	西京区榎原三宅町24	榎原小学校 校庭	
108	久我	伏見区久我東町60の2	神川小学校 校庭	
109	北	北区紫野花ノ坊町23の1	ツラッティ千本 2階	
110	醍醐	伏見区醍醐鍵尾町17	池田小学校 校庭	

表2 京都市内の一般環境測定局の光化学オキシダント測定開始時期と乾式(紫外線吸収法)への変更時期

測定局番号	名称	Ox 測定開始	Ox湿式から乾式変更時期	測定項目と期間
101	市役所	1975年4月~	2006年4月~	SO2 (° 68~' 11), SPM (° 68~), NOx (° 75~), Ox (° 75~), PM2.5 (° 11~), WDWS (° 68~)
102	壬生	1973年7月~	2005年4月~	SO2 (° 70~), SPM (° 70~), NOx (° 72~), Ox (° 73~), PM2.5 (° 11~), HC (° 80~' 19), WDWS (° 70~), TEMP (° 70~' 19), HUM (° 80~' 19), SR (° 80~' 19)
103	南 ※	1973年7月~	2006年4月~	SO2 (° 70~' 11), SPM (° 70~' 11), NOx (° 72~' 11), Ox (° 76~' 11), WDWS (° 70~' 11)
104	伏見	1972年6月~	2002年4月~	SO2 (° 70~), SPM (° 70~), NOx (° 73~), Ox (° 72~), PM2.5 (° 23~), HC (° 23~), WDWS (° 70~), TEMP (° 19~), HUM (° 19~), SR (° 19~)
105	山科	1972年6月~	2002年4月~	SO2 (° 70~), SPM (° 70~), NOx (° 75~), Ox (° 72~), PM2.5 (° 13~), WDWS (° 70~' 11)
106	左京	1972年6月~	2002年4月~	SO2 (° 70~' 11), SPM (° 70~), NOx (° 73~), Ox (° 72~), WDWS (° 71~)
107	西京	1975年5月~	2006年4月~	SO2 (° 70~), SPM (° 70~), NOx (° 75~), Ox (° 75~), PM2.5 (° 13~), WDWS (° 71~)
108	久我	1973年8月~	2005年4月~	SO2 (° 71~' 11), SPM (° 71~), NOx (° 74~), Ox (° 73~), PM2.5 (° 13~' 19), WDWS (° 71~)
109	北	1974年5月~	2005年4月~	NOx (° 76~), Ox (° 74~), WDWS (° 82~)
110	醍醐	1980年6月~	2002年4月~	SO2 (° 80~' 11), SPM (° 80~), NOx (° 80~), Ox (° 80~), PM2.5 (° 11~), HC (° 80~), WDWS (° 80~), TEMP (° 80~' 11), HUM (° 80~' 11)

④ O<sub>x</sub> 昼間の1時間値の最高値

昼間(5時から20時まで)の1時間値で、当該年度で最高値となった1時間値を当該年度の昼間の1時間値の最高値とした。

⑤ ポテンシャルオゾン(PO)濃度<sup>5)</sup>

PO濃度[PO]の算出方法は、オゾンO<sub>3</sub>濃度[O<sub>3</sub>]、NO<sub>2</sub>濃度[NO<sub>2</sub>]、NO<sub>x</sub>濃度[NO<sub>x</sub>]を用いて次式のとおり算出した。

$$[PO]=[O_3]+[NO_2]-\alpha\times[NO_x]$$

$\alpha$ は発生源におけるNO<sub>x</sub>濃度に対するNO<sub>2</sub>濃度の比率であり、日本で推定されている一般的な値である「0.1」を使用した。

⑥ O<sub>x</sub>新指標<sup>6)</sup>

1年間の全ての時間について、8時間の移動平均値を計算し、一日ごとにその最高値(以下「日最高8時間値」とする。)を算出し、一年間で得られた日最高8時間値を、値の低い方から高い方に順に並べたとき、低い方(最低値)から数えて99%目の日数に該当する日の最高8時間値を日最高8時間値の年間99%タイル値とする。当該年度を含めた過去3年分の日最高8時間値の年間99%タイル値の移動平均値を、当該年度における光化学オキシダントの新指標として算出した。

⑦ NO<sub>2</sub>/NO<sub>x</sub>濃度比

NO<sub>2</sub>濃度とNO<sub>x</sub>濃度より、NO<sub>2</sub>濃度とNO<sub>x</sub>濃度の比(百分率)を算出し、NO<sub>2</sub>/NO<sub>x</sub>濃度比[%]とした。

⑧ NMHC/NO<sub>x</sub>濃度比

NMHCの年平均値[ppbC]およびNO<sub>x</sub>の年平均値[ppb]よりNMHC/NO<sub>x</sub>濃度比[ppbC/ppb]を計算した。

## 3 結果及び考察

(1) O<sub>x</sub>年平均値(全日の1時間値の年平均値)

O<sub>x</sub>の全日(1時~24時)の1時間値の年平均値の局別の経年変化(1975~2022年度)のグラフを図4に示す。解析期間中の各測定局の年平均値(全日)の「最大値」「最小値」「第1四分位数」「中央値」「第3四分位数」「平均値」を、測定局ごとに集計して算出した各測定局の濃度分布のグラフを図5に、年度ごとに集計して算出した経年変化のグラフを図6に示す。図6中の数値は当該年度の市内平均値である。解析期間中の「年平均値(全日)」の最大値は、1977年度の壬生局、伏見局、左京局の38ppb、最小値は、1978、79年度の南局の11ppbであった。解析初期には、濃度の変動が大きい傾向であったが、2011年度以降は、測定局間の濃度差が5ppb以内に収まっていた。局別集計の平均値の比較では、左京局が28.0ppbで最大で、南局が22.9ppbで最小であった。全集計データの平均は、25.3ppbであった。

経年変化の傾向は、解析期間において、1977年度が濃度の極大ピークであった(市内平均値33.8ppb)。1977~1978年度頃にかけては、濃度が大きく減少傾向にあり、その後、1984年度までは、ほぼ横ばいであったが、1984年度以降は、2010年度まで、

増加傾向にあった。その後、2011年度に市内平均値が5.0ppb低下しており濃度が大きく変動していた。これは、新校正法に基づくデータになったことが影響として考えられ、他都市のデータでも同様の現象が観察されている。2011年度以降は、漸増または横ばいの経年変化であった。

1970年代後半から80年代前半にかけて、O<sub>x</sub>年平均値が大きく減少傾向となった現象は、大阪府、兵庫県など近畿の他の自治体のデータでも報告されている。<sup>8)</sup>1970年代に入ってから実施された公害対策設備投資や排ガス規制の影響<sup>9)</sup>、1978年に光化学オキシダント測定方法の変更があり10%KI溶液法から2%KI溶液法に変更された影響等が考えられた。<sup>10)</sup>

年度と各年度の市内平均値の相関を求めたところ、全解析期間(1975~2022年度)の平均値の変化率は、0.20ppb/年であり、増加傾向の経年変化であった。2001~2022年度の平均値の変化率は、0.15ppb/年であり、漸増傾向の経年変化であった。各測定局間の濃度差は、経年毎に小さくなっており、2012年以降は26ppb~32ppbの濃度範囲に収束していた。

年平均値(全日)の濃度ランク別測定局数比率の推移を図7に示す。1977年度と1978年度の間、測定局数比率の大きな変動があり、1977年度は全ての局が30ppb以上であったのに対し、1978年度は、西京局を除く、全ての局で20ppb以下となり濃度ランクが低濃度側にシフトしていた。その後、1984年度以降は、20ppb以上の局数の比率が大きくなっており高濃度側にシフトしていた。1998年度以降は、25ppb以上の局数の比率が大きくなっており、2012年度以降は全局が25ppb以上となり、25-35ppbの濃度ランクに収束していた。

昼間の1時間値の年平均値の濃度ランク別測定局比率の度数分布の1981年度から2021年度までの10年毎の推移を図8に示す。これによると、経年的に最も測定局比率の高い濃度ランクが高濃度側にシフトしていた。関東・東海地域でも同様の現象が報告されている。<sup>4)1)</sup>

(2) O<sub>x</sub>昼間の1時間値の年平均値

昼間(5時~20時)の1時間値の年平均値の局別の経年変化(1975~2022年度)のグラフを図9に示す。解析期間中の各測定局の昼間の1時間値の年平均値の「最大値」「最小値」「第1四分位数」「中央値」「第3四分位数」「平均値」を、測定局ごとに集計して算出した各測定局の濃度分布のグラフを図10に示す。年度ごとに集計して算出した経年変化のグラフを図11に示す。図11中の数値は当該年度の市内平均値である。

解析期間中の「昼間の1時間値の年平均値」の最大値は、1977年度の左京局の45ppb、最小値は、1978、79年度の南局、1980年度の北局の13ppbであった。解析初期には、濃度の変動が大きい傾向であったが、2011年以降は、測定局間の濃度差が5ppb

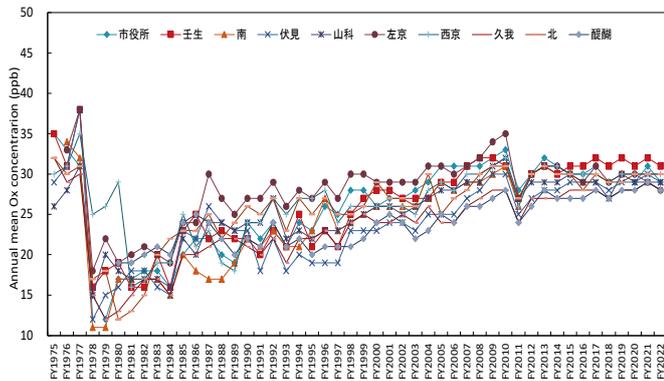


図4 O<sub>3</sub> 1時間値の年平均値の経年変化 (1975～2022年度)

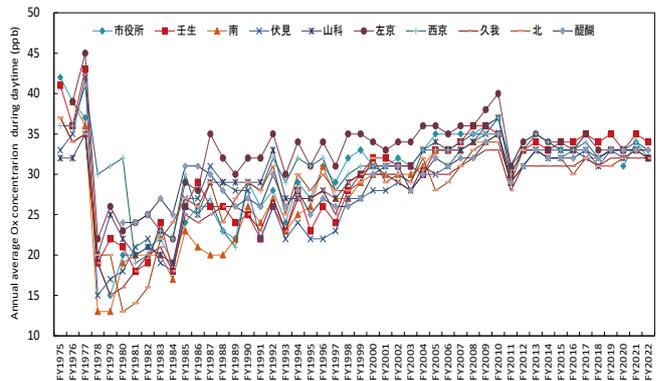


図9 O<sub>3</sub> 昼間の1時間値の年平均値の経年変化 (1975～2022年度)

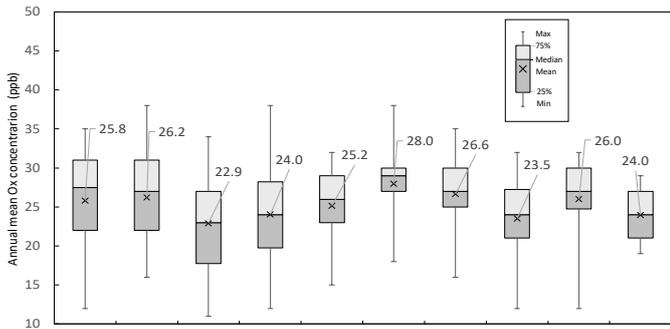


図5 O<sub>3</sub> 1時間値の年平均値の測定局別濃度分布 (1975～2022年度)

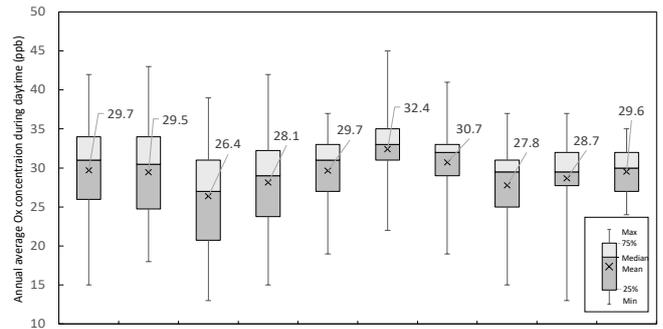


図10 O<sub>3</sub> 昼間の1時間値の年平均値の測定局別濃度分布 (1975～2022年度)

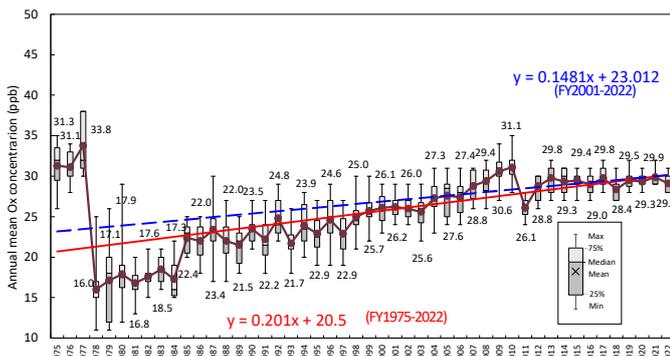


図6 O<sub>3</sub> 1時間値の年平均値の濃度分布の経年変化 (1975～2022年度)

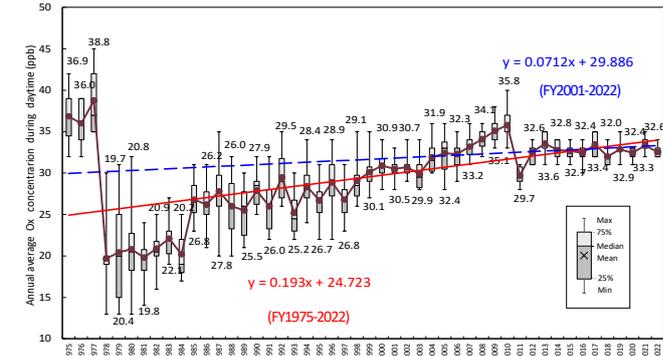


図11 O<sub>3</sub> 昼間の1時間値の年平均値の濃度分布の経年変化 (1975～2022年度)

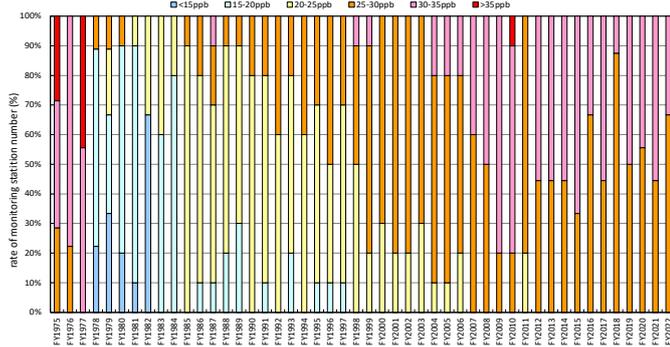


図7 O<sub>3</sub> 1時間値の年平均値濃度ランク別測定局数比率の推移

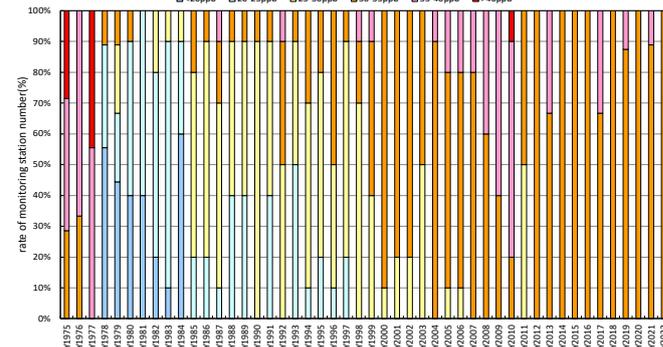


図12 O<sub>3</sub> 昼間の1時間値の年平均値濃度ランク別測定局数比率の推移

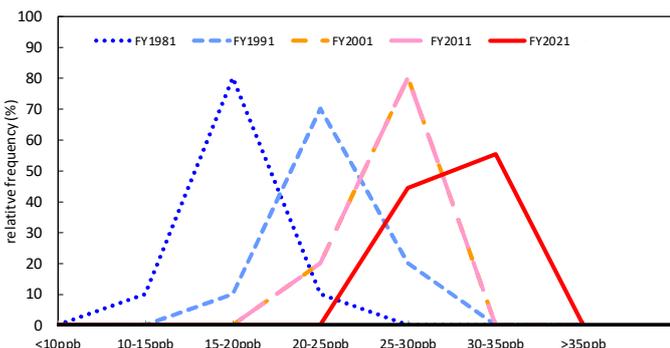


図8 O<sub>3</sub> 1時間値の年平均値濃度ランク別測定局比率の度数分布の推移

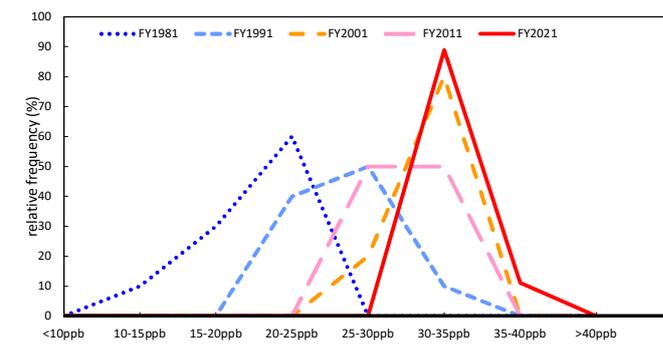


図13 O<sub>3</sub> 昼間の1時間値の年平均値濃度ランク別測定局比率の度数分布の推移

以内に収まっていた。局別集計の平均値の比較では、左京局が32.4ppbで最大で、南局が26.4ppbで最小であった。全集計データの平均は、29.3ppbであり、年平均値(全日)より4.0ppb大きい値であった。経年変化の傾向は、解析期間において、1977年度が濃度の極大ピークであった(市内平均値38.8ppb)。1977～1978年度頃にかけては、濃度が大きく減少傾向にあり、その後、1984年度までは、ほぼ横ばいであったが、1984年度以降は、2010年度まで、増加傾向にあった。その後、2011年度に市内平均値が6.1ppb低下しており濃度が大きく変動していた。2011年度以降は、漸増または横ばいの経年変化であった。昼間の1時間値の年平均値の経年変化は、年平均値(全日)と極めて類似した挙動を示した。年度と各年度の市内平均値の相関を求めたところ、全解析期間(1975～2022年度)の平均値の変化率は、0.19ppb/年であり、増加傾向の経年変化であった。2001～2022年度の平均値の変化率は、0.071ppb/年であり、漸増傾向の経年変化であった。各測定局間の濃度差は、経年毎に小さくなっており、2012年以降は31ppb～35ppbの濃度範囲に収束していた。

昼間の1時間値の年平均値の濃度ランク別測定局数比率の推移を図12に示す。1977年度と1978年度の間に、測定局数比率の大きな変動があり、1977年度は全ての局が35ppb以上であったのに対し、1978年度は、西京局を除く、全ての局で25ppb以下の値となり濃度ランクが低濃度側にシフトしていた。その後、1984年以降は、25ppb以上の局数の比率が大きくなっており高濃度側にシフトしていた。1998年度以降は、30ppb以上の局の比率が大きくなっており、2012年度以降は全局が30ppb以上となっており、30-35ppbの濃度ランクに収束していた。

昼間の1時間値の年平均値の濃度ランク別測定局比率の度数分布の1981年度から2021年度までの10年毎の推移を図13に示す。これによると、経年的に最も測定局比率の高い濃度ランクが高濃度側にシフトしていた。昼間の1時間値の年平均値の濃度の濃度ランク別測定局数比率の推移は、年平均値(全日)と類似した挙動を示していた。

### (3) Ox 昼間の日最高1時間値の年平均値

Oxの昼間の日最高1時間値の年平均値の局別の経年変化(1975～2022年度)のグラフを図14に示す。

解析期間中の各測定局の昼間の日最高1時間値の年平均値の「最大値」「最小値」「第1四分位数」「中央値」「第3四分位数」「平均値」を測定局ごとに集計して算出した各測定局の濃度分布のグラフを図15に示す。年度ごとに集計して算出した経年変化のグラフを図16に示す。図16中の数値は当該年度の市内平均値である。解析期間中の「昼間の日最高1時間値の年平均値」の最大値は、1975年度の市役所局の66ppb、最小値は、1980年度の北局の21ppbであった。局別集計の平均値の比較では、左

京局が49.0ppbで最大であり、南局が41.6ppbで最小であった。全集計データの平均は、45.7ppbであった。

経年変化の傾向は、1977年度が濃度の極大ピークであった(市内平均値58.8ppb)。1977～1978年度頃にかけては、濃度が大きく減少傾向にあり、その後、1984年度までは、ほぼ横ばいであったが、1984年度以降は、2010年度まで、増加傾向にあった。その後、2011年度に市内平均値が9.8ppb低下しており濃度が大きく変動していた。2012年度以降は、緩やかな減少傾向の経年変化であった。

年度と各年度の市内平均値の相関を求めたところ、全解析期間(1975～2022年度)の平均値の変化率は、0.16ppb/年であり、増加傾向の経年変化であったが、2001～2022年度の平均値の変化率は、-0.18ppb/年であり、減少傾向の経年変化であった。

昼間の日最高1時間値の年平均値の濃度ランク別測定局数比率の推移を図17に示す。1975年度から1977年度の間は、全ての局が50ppb以上の濃度ランクであったが、1978年度は、80%以上の測定局が40ppb以下となり、測定局数比率が低濃度側に大きくシフトしていた。

その後、1984年から2010年度まで、40ppb以上の局数の比率が大きくなっており高濃度側にシフトしていた。2012年以降は、45-50ppbの濃度ランクに収束している傾向であった。

昼間の日最高1時間値の年平均値の濃度ランク別測定局比率の度数分布の1981年度から2021年度までの10年毎の推移を図18に示す。これによると、1981年度から2001年度にかけては高濃度側にシフトしていたが、2001年度以降は、45-50ppbの濃度ランクに収束傾向で低濃度側にシフトしていた。昼間の日最高1時間値の年平均値の濃度ランク別測定局数比率の推移は、年平均値(全日)とは異なる挙動を示していた。

### (4) Ox 昼間の1時間値の最高値

Oxの昼間(5時～20時)の1時間値の最高値の局別の経年変化(1975～2022年度)のグラフを図19に示す。解析期間中の各測定局の昼間の1時間値の最高値の「最大値」「最小値」「第1四分位数」「中央値」「第3四分位数」「平均値」を測定局ごとに集計して算出した各測定局の濃度分布のグラフを、図20に示す。年度ごとに集計して算出した経年変化のグラフを図21に示す。図21中の数値は当該年度の市内平均値である。解析期間中の「昼間の1時間値の最高値」の最大値は、1975年度の市役所局の221ppb、最小値は、2011年度の北局の87ppbであった。局別集計の平均値の比較では、醍醐局が139ppbで最大であり、北局が116ppbで最小であった。全集計データの平均は、131.0ppbであった。「昼間の1時間値の最高値」は、測定局間の濃度差が大きく、年度ごとの変動も大きかった。風向き、気温等の測定局ごとに異なる測定日当日の気象条件の影響を受けていると考えら

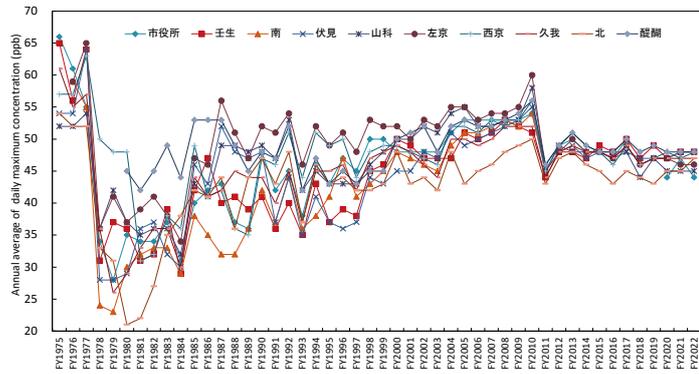


図14 0x 屋間の日最高1時間値の年平均値の経年変化 (1975~2022年度)

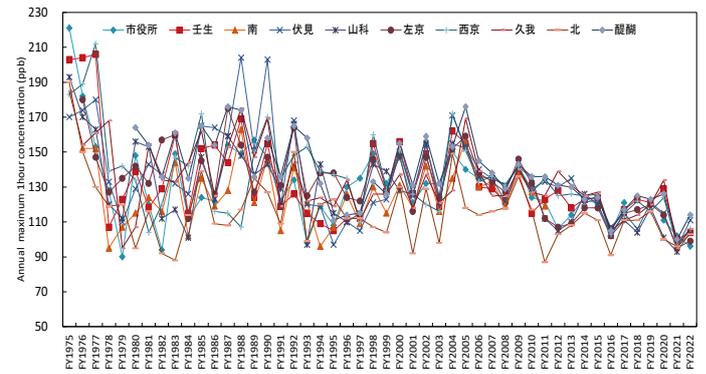


図19 0x 屋間の1時間値の最高値の経年変化 (1975~2022年度)

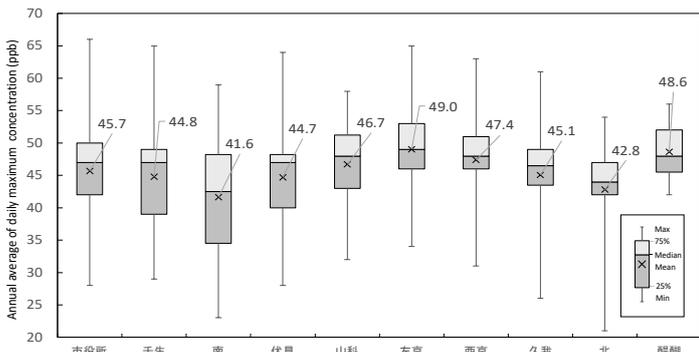


図15 0x 屋間の日最高1時間値の年平均値の測定局別濃度分布 (1975~2022年度)

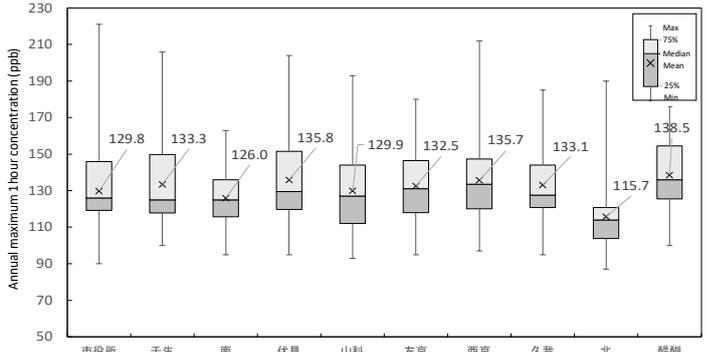


図20 0x 屋間の1時間値の最高値の測定局別濃度分布 (1975~2022年度)

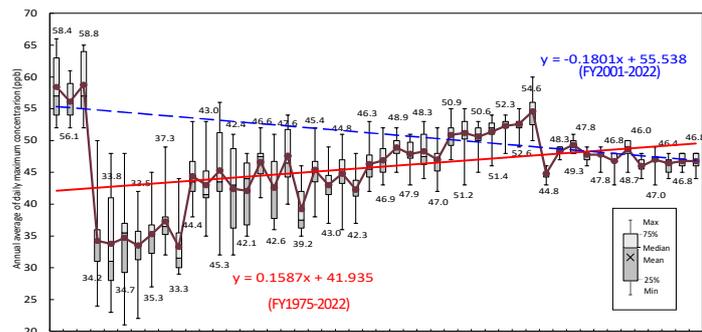


図16 0x 屋間の日最高1時間値の年平均値の濃度分布の経年変化 (1975~2022年度)

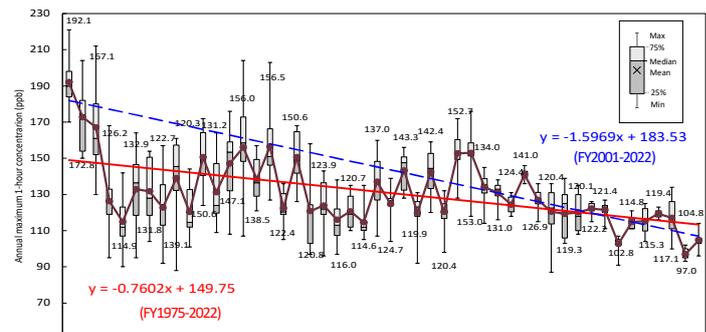


図21 0x 屋間の1時間値の最高値の濃度分布の経年変化 (1975~2022年度)

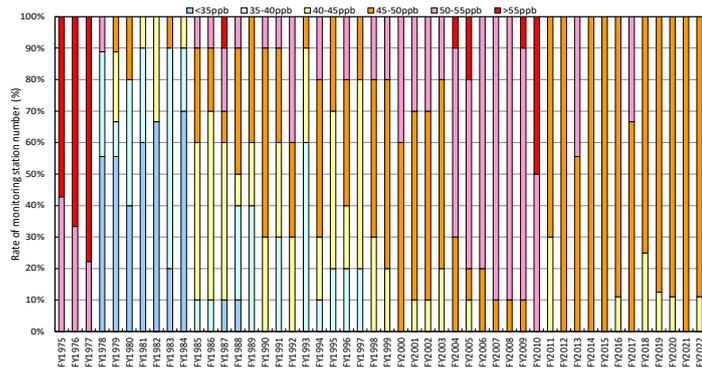


図17 0x 屋間の日最高1時間値の年平均値の濃度ランク別測定局比率の推移 (1975~2022年度)

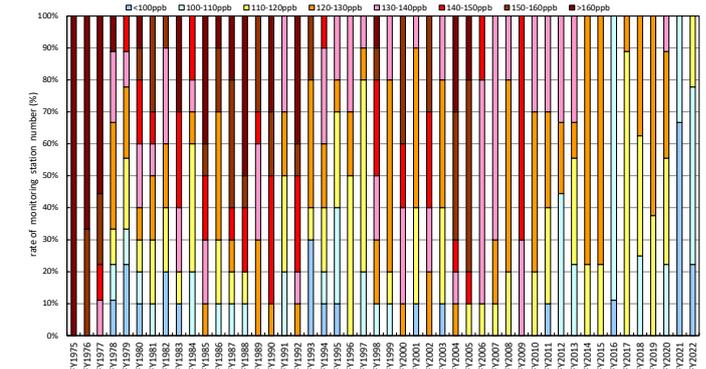


図22 0x 屋間の1時間値の最高値の濃度ランク別測定局比率の推移 (1975~2022年度)

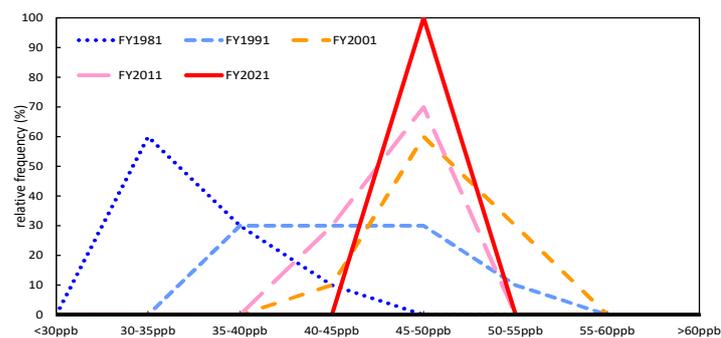


図18 0x 屋間の日最高1時間値の年平均値の濃度ランク別測定局比率の度数分布の推移

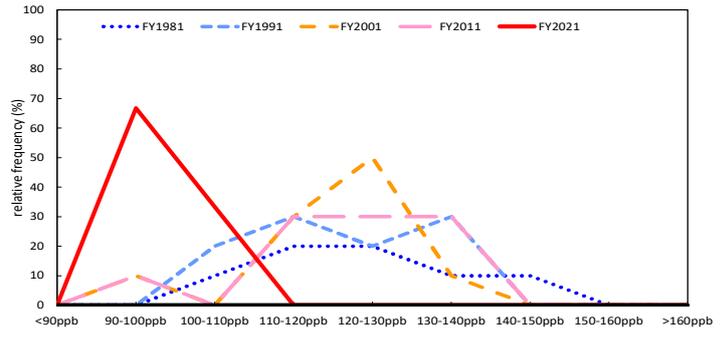


図23 0x 屋間の1時間値の最高値濃度ランク別測定局比率の度数分布の推移

れた。解析対象データの昼間の1時間値の最高値は全て60ppb以上の値であり、環境基準「1時間値が0.06ppm以下であること」は未達成であった。経年変化の傾向は、1975年度が濃度の極大ピークであった(市内平均値192.1ppb)。その後1979年度頃にかけて減少傾向となった。その後は、何度か漸増、漸減のトレンドを繰り返し、解析期間全体としては、減少傾向の経年変化であった。他の指標に比べて「昼間の1時間値の最高値」は、測定局間の濃度差が大きく、データのバラツキが大きかった。年度と各年度の市内平均値の相関を求めたところ、全解析期間(1975～2022年度)の平均値の変化率は、-0.76ppb/年であり、減少傾向の経年変化であった。2001～2022年度の平均値の変化率は、-1.60ppb/年であり、減少率が大きくなっていった。

昼間1時間値の最高値の濃度ランク別測定局数比率の推移を図22に示す。1975年度から1977年度の間は、濃度ランク150ppb以上の測定局が70%以上占めていたが、1978年度は、80%以上の測定局が140ppb以下となり、測定局数比率が低濃度側に大きくシフトしていた。その後、2009年度ごろまでは、測定局数比率は、年度ごとに大きく変動しており、一定の傾向は見いだせなかったが、2010年度以降については、低濃度側にシフトしていた。2022年度は、2020年度に比べて、測定局比率が低濃度側に大きく変動しており、全ての測定局が120ppb以下の濃度ランクとなっていた。昼間1時間値の最高値の濃度ランク別測定局比率の度数分布の1981年度から2021年度までの10年毎の推移を図23に示す。これによると、経年的に度数分布が低濃度側に収束していることが確認できた。昼間1時間値の最高値は、データのバラツキが大きい、減少傾向であり、京都市内の高濃度域のOx濃度が改善傾向であることが確認できた。

#### (5) ポテンシャルオゾン (PO) 濃度

Ox汚染の解析はオゾンO<sub>3</sub>濃度を指標として進められることが多いが、オゾンO<sub>3</sub>はNOと反応しNO<sub>2</sub>とO<sub>2</sub>に分解され濃度が減少する。この「NO+O<sub>3</sub>→NO<sub>2</sub>+O<sub>2</sub>」の反応によってオゾン濃度が減少する効果を「NOタイトレーション (titration) 効果」と呼ぶ。オゾン濃度の変動要因についてオゾン濃度だけに注目した場合、オゾン生成そのものによるものか、タイトレーションによるオゾン減少によるのかを判断することが困難である。そこで、O<sub>3</sub>のNOによる分解を補正したPOを指標として用いてOx濃度の変動の要因の様々な解析が行われている。<sup>4)</sup>

解析対象の局O<sub>3</sub>濃度[O<sub>3</sub>]、NO<sub>2</sub>濃度[NO<sub>2</sub>]、NO<sub>x</sub>濃度[NO<sub>x</sub>]を用いて次式のとおりPO濃度[PO]の年平均値を算出した。

$$[PO]=[O_3]+[NO_2]-\alpha\times[NO_x] \quad (\alpha=0.1)$$

PO濃度の年平均値(全日)の局別の経年変化(1975～2022年度)のグラフを図24に示す。

解析期間中の各測定局の「PO濃度の年平均値」の「最大値」「最小値」「第1四分位数」「中央値」「第3四分位数」「平均値」を測定局ごとに集計して算出した各測定局の濃度分布のグラフを、図25に、年度ごとに集計して算出した経年変化のグラフを図26に示す。図26中の数値は当該年度の市内平均値である。

解析期間中の「PO濃度の年平均値」の最大値は、1975年度の市役所局の62ppb、最小値は、1978年度の伏見局の28ppbであった。局別集計の平均値の比較では、南局が44.9ppbで最大であり、北局が39.8ppbで最小であった。全集計データの平均は、41.4ppbであった。

PO濃度の年平均値の経年変化の傾向は、解析期間において、1977年度が濃度の極大ピークであった(市内平均値52.4ppb)。1978年度に濃度が大きく減少し、その後、1984年度までは、横ばい傾向であった。1985年度以降は、2000年度まで、漸増傾向であった。2001年度以降は、減少傾向となり、2022年まで漸減傾向が続いている。2011年度に、濃度が5.7ppb低下しているが、これはOx濃度の校正法が新校正法に基づくデータになり、Ox濃度の年平均値が大きく減少していたことが影響していると考えられる。

Oxの年平均値(全日)が1984年度以降漸増傾向であったのに対し、PO濃度は、2001年度以降は漸減傾向であり異なる挙動を示した。PO濃度が減少傾向となった2000年度は、市内のNO<sub>x</sub>濃度の減少率が大きくなる時期と重なっており、NO<sub>x</sub>濃度の減少が大きく影響していると考えられた。

年度と市内平均値の相関を求めたところ、全解析期間(1975～2022年度)の平均値の変化率は、-0.057ppb/年であり、わずかに減少傾向の経年変化であった。2001～2022年度の平均値の変化率は、-0.42ppb/年であり、明確に減少傾向の経年変化であった。PO濃度の年平均値の濃度ランク別測定局数比率の推移を図27に示す。1977年度と1978年度の間は、測定局数比率の大きな変動があり、1977年度は全ての局が40ppb以上の濃度ランクであったのに対し、1978年度は、40ppb以下の局数が70%以上を占めていた。その後、1984年にかけて測定局比率は、低濃度側にシフトしていたが、1985年以降は、高濃度側にシフトしており、2010年にかけて40-45ppbの濃度ランクの比率が増加していた。2011年以降は、低濃度側にシフトしており、2020年以降は、全ての局が35-40ppbの濃度ランクに収束していた。PO濃度の年平均値の濃度ランク別測定局比率の度数分布の1981年度から2021年度までの10年毎の推移を図28に示す。

これによると、1981年度から2001年度にかけて測定局比率が高濃度側にシフトにしていたが、2001年度以降は、低濃度側にシフトしており、全ての測定局が35-40ppbの濃度ランクに収束している傾向であった。経年的に測定局間の度数分布のバラツキが少なくなっていた。

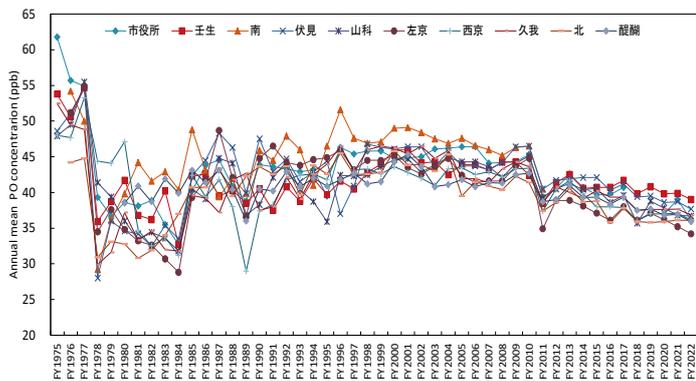


図24 POの年平均値の経年変化 (1975~2022年度)

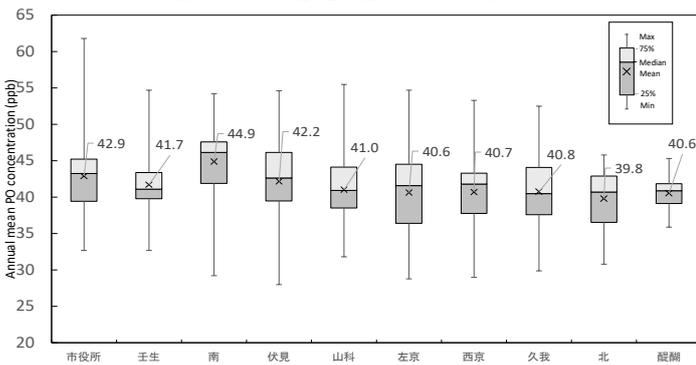


図25 POの年平均値の測定局別濃度分布 (1975~2022年度)

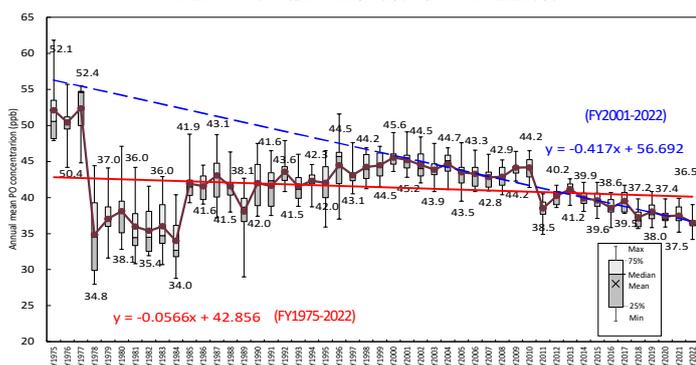


図26 POの年平均値の濃度分布の経年変化 (1975~2022年度)

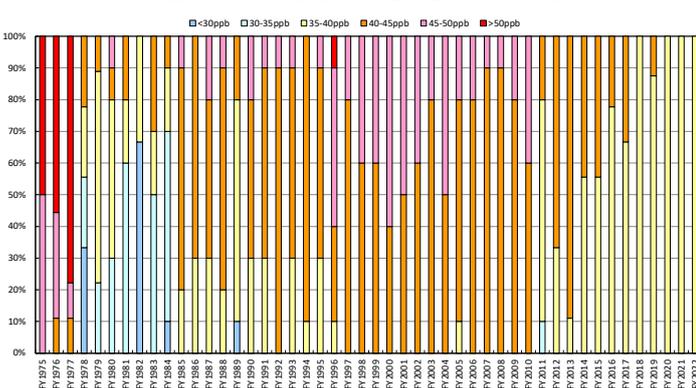


図27 POの年平均値の濃度ランク別測定局数比率の推移

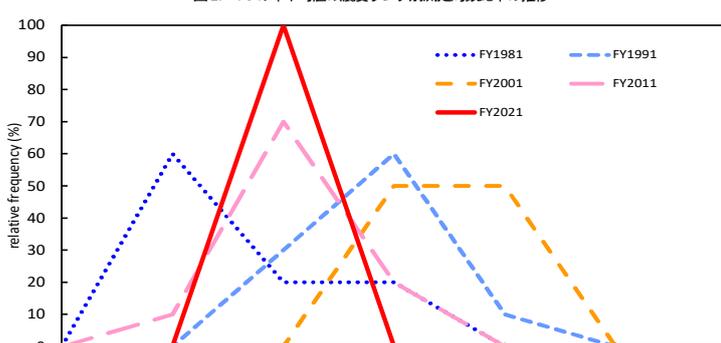


図28 POの年平均値の濃度ランク別測定局比率の度数分布の推移

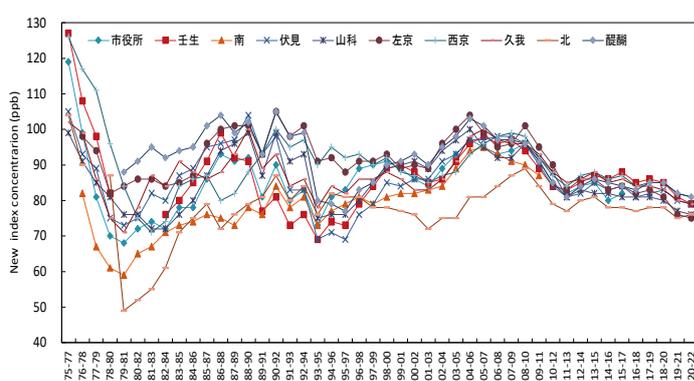


図29 Oxの新指標の経年変化 ((1975-77年度)~(2020-22年度))

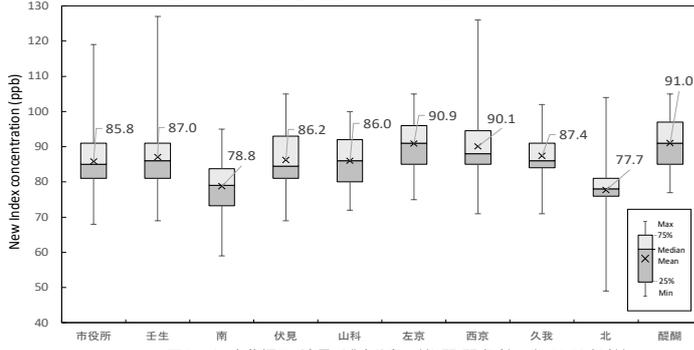


図30 Oxの新指標の測定局別濃度分布 ((1975-77年度)~(2020-22年度))

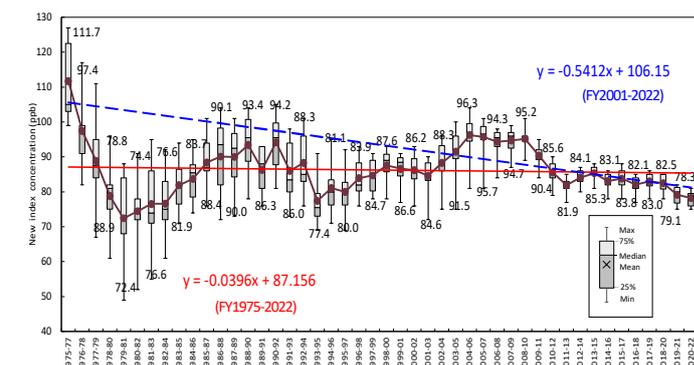


図31 Oxの新指標の濃度分布の経年変化 ((1975-77年度)~(2020-22年度))

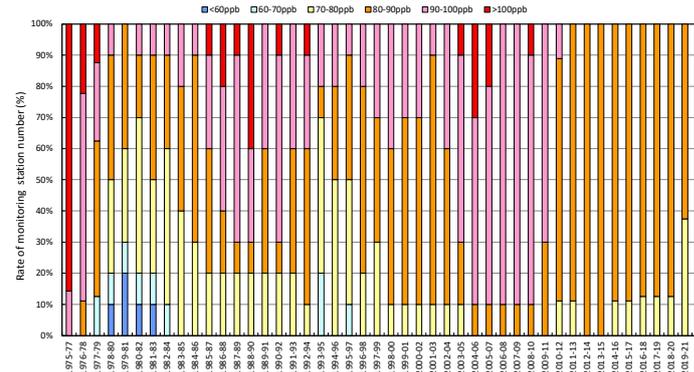


図32 Oxの新指標の濃度ランク別測定局数比率の推移

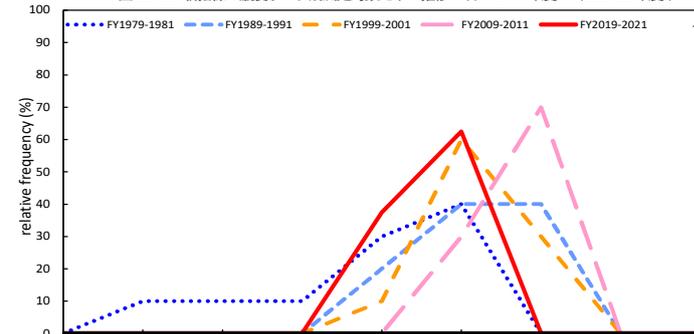


図33 Oxの新指標の濃度ランク別測定局比率の度数分布の推移

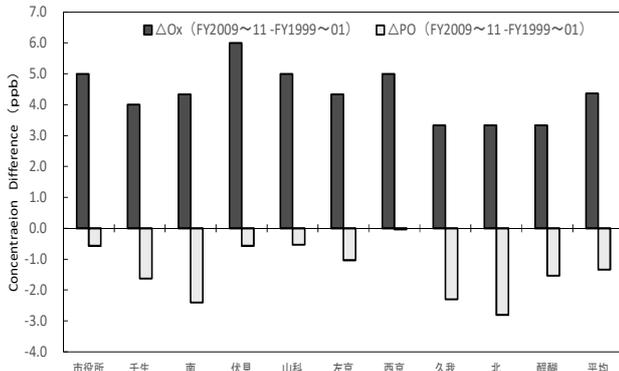


図34 OxとPOの年平均値の3年移動平均値の変化(2009~2011年度)と(1999~2001年度)

Ox濃度の変化量(ΔOx)とPO濃度の変化量(ΔPO)の関係については、ΔOxに比べΔPOが小さい場合、NOによるタイトレーション効果の影響が大きく、ΔOxとΔPOの差が小さい場合は、地域内生成または他地域からの移流により実質的にOxが増加していると報告されている。

平成25年度光化学オキシダント検討会報告書<sup>5)</sup>を参考に、各測定局のOxの年平均値と、POの年平均値の3年移動平均値の2009~2011年度と1999~2001年度との濃度差を解析した結果を図34に示す。全測定局で、ΔOxに比べΔPOのほうが小さい結果であり、タイトレーション効果で消費されるO<sub>3</sub>が減少した影響により、Oxの濃度が上昇していると考えられた。局別の解析では、南局が、ΔOxは、4.4ppb上昇し、ΔPOは2.4ppb低下しており、ΔOxとΔPOの濃度差が最大であった。南局は、他の測定局と比較してNO<sub>x</sub>濃度が高めの値で推移していたため、タイトレーション効果の影響が大きいと考えられた。

市内平均値では、ΔOxは、4.4ppb上昇し、ΔPOは1.3ppb低下していた。平成25年度報告書<sup>5)</sup>で示されている、東海、阪神の各地域と同程度の差であり、九州地域より大きかった。NOによるタイトレーション効果の低下による影響は東海、阪神地域と同程度であると考えられた。

#### (6) Ox新指標<sup>6)</sup>

Ox濃度の指標としては、従来「環境基準の達成状況」、「昼間の1時間値の平均値」、「昼間の日最高1時間値の年平均値」、「昼間の1時間値の最高値」などが用いられてきたが、気象的な要因による年変動が大きいため、長期的な環境改善効果を適切に示す指標として「日最高8時間平均値の年間99%タイル値の3年移動平均値」が新指標として、平成26年9月26日付けで環境省から通知された。<sup>6)</sup>日最高8時間値より、新指標を算出し、解析を行った。新指標(日最高8時間値の年間99%タイル値の3年移動平均値)の局別の経年変化(1975~1977年度)~(2020~2022年度)のグラフを図29に示す。

解析期間中の各測定局の新指標の「最大値」「最小値」「第1四分位数」「中央値」「第3四分位数」「平均値」を、測定局ごとに集計して算出した各測定局の濃度分布のグラフを図30に示

す。年度ごとに集計して算出した経年変化のグラフを図31に示す。図31中の数値は当該年度の市内平均値である。

解析期間中の新指標の最大値は1975-77年度の壬生局の127ppb、最小値は1979-81年度の北局の49ppbであった。局別集計の平均値の比較では、醍醐局が91.0ppbで最大であり、北局が77.7ppbで最小であった。全集計データの平均は、86.3ppbであった。1970年代、1980年代は、測定局間の濃度差が大きく、データのバラツキが大きかったが、2010年度以降は、測定局間の濃度差が少なくなり、80ppb付近の濃度に収束していた。

市内平均値の推移は、1975-77年度が最大であった(市内平均値111.7ppb)。その後は、1979-81年度まで減少傾向であった。1980-82年度以降は、1990-92年度まで漸増傾向となった。1991-93年度以降は、1993-95年度まで一度減少傾向となった後、2004-06年度まで再び漸増傾向となった。2005-07年度以降は、減少傾向が継続している。

年度と市内平均値の相関を求めたところ、全解析期間(1975-77年度~2020-22年度)の平均値の変化率は、-0.040ppb/年であり、全体として漸減傾向の経年変化であった。1999-01年度~2020-22年度の平均値の変化率は、-0.54ppb/年であり、明確に減少傾向の経年変化であった。「昼間の1時間値の最高値」は新指標と同様に、減少傾向の経年変化であったが、測定局間の濃度差、年度ごとの変動は、新指標のほうが小さかった。

新指標による濃度ランク別測定局数比率の推移を図32に示す。これによると1975-77年度は、100ppb以上の濃度ランクの比率が85%以上であったが、1976-78年度から1982-84年度の間は、100ppb以上の濃度ランクの割合が減少、80ppb未満の濃度ランクが増加し、徐々に低濃度側にシフトしていた。1983-85年度から2008-10年度の間は、80ppb以上の濃度ランクの割合が増加し、90-100ppbの濃度ランクに収束している傾向であった。2009-2011年度以降は、低濃度側にシフトし、80-90ppbの濃度ランクの割合が大きくなっていった。2020-22年度は、70-80ppbの濃度ランクが75%を占めており、測定局比率がより低濃度側にシフトしていた。新指標による濃度ランク別測定局数比率(1979-81年度)から(2019-21年度)までの10年毎の推移を図33に示す。これによると、1979-81年度は、測定局間の濃度差が多く、濃度ランク比率がバラついていたが、経年ごとに、測定局間のバラツキが小さくなっていった。1979-81年度から2009-11年度にかけては、最も局数比率の多い濃度ランクが高濃度側にシフトしていたが、2019-21年度のデータは低濃度側にシフトしており、80-90ppbの濃度ランクに収束していた。

新指標の経年変化の解析により、市内の高濃度域のOx濃度が低下傾向であることが確認できた。新指標は長期的な環境改善効果を示す指標として活用できると考えられた。

(7) NO<sub>x</sub> 濃度

O<sub>x</sub> の前駆物質である NO<sub>x</sub> 濃度の年平均値について解析した。当該年度の欠測を除く 1 時間値の合計値を測定時間数で割り算して、NO<sub>x</sub> 濃度の年平均値とした。

一般局の NO<sub>x</sub> 濃度の年平均値の局別の経年変化 (1975~2022 年度) を図 35 に示す。

解析期間中の各測定局の NO<sub>x</sub> 濃度の年平均値の「最大値」「最小値」「第 1 四分位数」「中央値」「第 3 四分位数」「平均値」を測定局ごとに集計して算出した各測定局の濃度分布のグラフを図 36 に示す。年度ごとに集計して算出した経年変化のグラフを図 37 に示す。図 37 中の数値は当該年度の市内平均値である。

解析期間中の NO<sub>x</sub> 濃度の最大値は、1980 年度の北局の 82ppb であった。最小値は、2020、21、22 年度の左京局の 8ppb であった。局別集計の平均値の比較では、南局が 55.1ppb で最大であり、左京局が 22.0ppb で最小であった。全集計データの平均は、33.4ppb であった。NO<sub>x</sub> 濃度は、2000 年度ごろまで測定局ごとの濃度差が大きく、南局、醍醐局は、高めの値、左京局は、低めの値で推移していた。2001 年度以降は、測定局間の濃度差は縮小傾向であった。NO<sub>x</sub> 濃度は、解析期間中継続して減少傾向の経年変化であった。2022 年度の NO<sub>x</sub> 濃度の年平均値の市内平均値は、10.4ppb であり、1975 年度の市内平均値 (53.6ppb) と比較すると 20%相当の濃度まで減少していた。

NO<sub>x</sub> については、自動車からの排出対策の施策として単体規制 (短期規制、長期規制、新短期規制、新長期規制)、車種規制 (自動車 NO<sub>x</sub>・PM 法) が実施されており、これらの排出削減施策の影響で大気中濃度が減少していると考えられた。

年度と市内平均値の相関を求めたところ、全解析期間(1975~2022 年度)の平均値の変化率は、-0.95ppb/年であり、減少傾向の経年変化であった。2001~2022 年度の平均値の変化率は、-1.3ppb/年であり、2001 年度以降は、濃度の減少率が増加していた。

(8) NO<sub>2</sub>/NO<sub>x</sub> 濃度比

NO<sub>2</sub> 濃度と NO<sub>x</sub> 濃度の年平均値の比(百分率)より NO<sub>2</sub>/NO<sub>x</sub> 濃度比を算出した。工場や自動車などの発生源から大気中に NO<sub>x</sub> が排出される段階では、NO<sub>x</sub> のほとんどは一酸化窒素 (NO) が占めているが、発生源から排出された NO が大気中を移動する過程で、大気中の酸素により NO が酸化されて NO<sub>2</sub> に変化するため、NO<sub>2</sub>/NO<sub>x</sub> 濃度比が大きくなる。一般に発生源の近傍にある測定局では NO<sub>2</sub> より NO が高く、発生源から離れた測定局では NO より NO<sub>2</sub> が高いと考えられるため、NO<sub>2</sub>/NO<sub>x</sub> 濃度比は、発生源の影響の度合い、窒素酸化物濃度に占める自動車排出ガスの影響度合いを示す目安として用いられている。

解析期間(1975~2022 年度)中の各測定局の NO<sub>2</sub>/NO<sub>x</sub> 濃度比データについて「最大値」「最小値」「第 1 四分位数」「中央値」「第 3 四分位数」「平均値」を年度ごとに集計し算出した濃度分布の経年変化のグラフを図 38 に示す。図 38 中の数値は当該年度の市内平均値である。年度と市内平均値の相関を求めたところ、全解析期間(1975~2022 年度)の平均値の変化率は、0.83%/年であり、増加傾向の経年変化であった。2001~2022 年度の平均値の変化率は、0.97%/年であった。2001 年度以降は、NO<sub>2</sub>/NO<sub>x</sub> 濃度比の増加率は増加していた。全市平均値と比較すると 1975 年度は、49.8%であったのに対し、2022 年度は 81.5%まで上昇していた。一般環境大気測定局において、経年的に、NO<sub>x</sub> 排出に占める NO<sub>2</sub> の割合が増加しており、自動車排出ガスの影響が少なくなっていることが考えられた。

## (9) NMHC 濃度

O<sub>x</sub> の前駆物質である NMHC 濃度の年平均値について解析した。NMHC(非メタン炭化水素)とは、非メタン炭化水素自動測定機で得られたメタン以外の炭化水素の総称である。

各測定局の当該年度の欠測を除く 1 時間値の合計値を、測定時間数で割り算して NMHC 濃度の年平均値とした。

一般局で NMHC の測定を実施している壬生局、醍醐局、伏見局の NMHC 濃度の年平均値および、市内平均値の経年変化を図 39 に示す。解析期間中の壬生局と醍醐局の NMHC 濃度データについて、「最大値」「最小値」「第 1 四分位数」「中央値」「第 3 四分位数」「平均値」を測定局ごとに集計して算出した各測定局の濃度分布のグラフを、図 40 に示す。

解析期間中の最大値は、1980 年度の壬生局の 750ppbC、最小値は、2019、20、22 年度の醍醐局の 110ppbC であった。局別集計の平均値は、壬生が 366.9ppbC であり、醍醐局が 252.8ppbC であり、壬生局のほうが高い値で推移していた。全集計データの平均は 303.2ppbC であった。

年度と市内平均値の相関を求めたところ、全解析期間(1975~2022 年度)の平均値の変化率は、-11.2ppbC/年であり、2001 年~2022 年度の平均値の変化率は、-7.4ppbC/年であり減少傾向の経年変化であった。2001 年度以降は、減少速度はゆるやかにになっていた。

VOCs については、大気汚染防止法の改正により、固定発生源からの排出規制が 2006 年度より施行されている。京都府の PRTR 届出排出量と届出外排出量(推計値)<sup>12)</sup>の合計値の 2003 年度から 2021 年度までの経年変化を図 41 に示す。京都府内の VOCs 排出量は、排出規制施行後、顕著に減少していた。京都市内の有害大気汚染物質モニタリング調査で測定した VOCs (トルエン、キシレン、ベンゼン、アセトアルデヒド、ホルムアルデヒド) の 2003 年度から 2022 年度までの一般環境中濃度

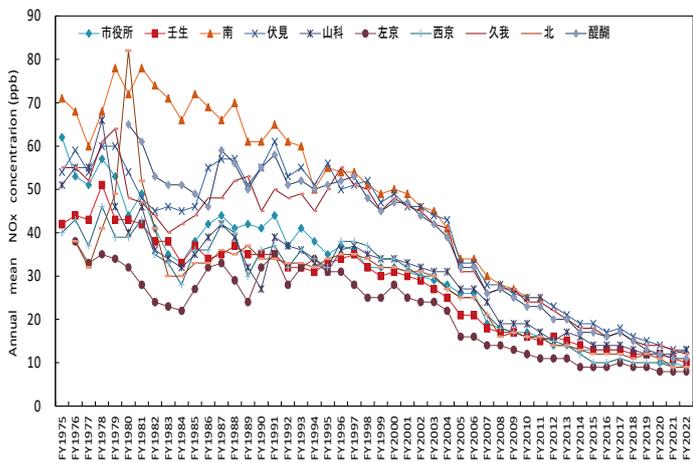


図35 NO<sub>x</sub>濃度の年平均値の経年変化 (1975～2022年度)

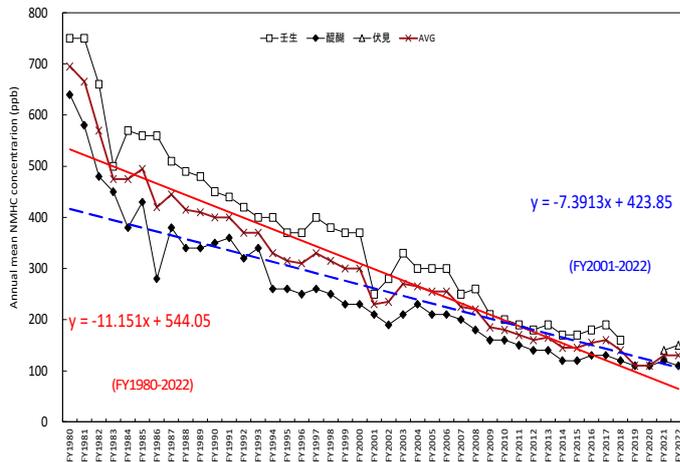


図39 NMHC濃度の年平均値の経年変化 (1980～2022年度)

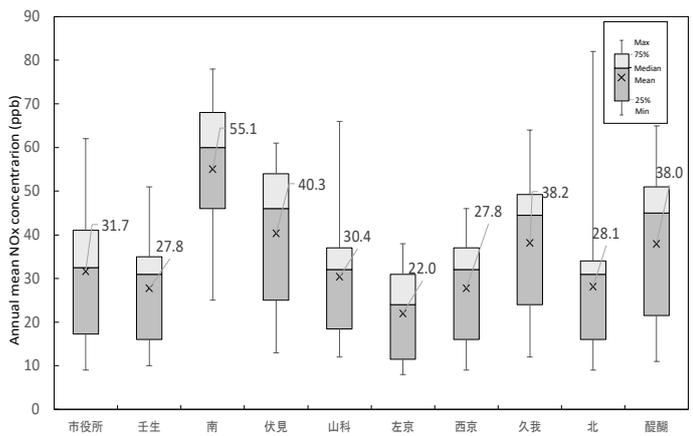


図36 NO<sub>x</sub>濃度の年平均値の測定局別濃度分布 (1975～2022年度)

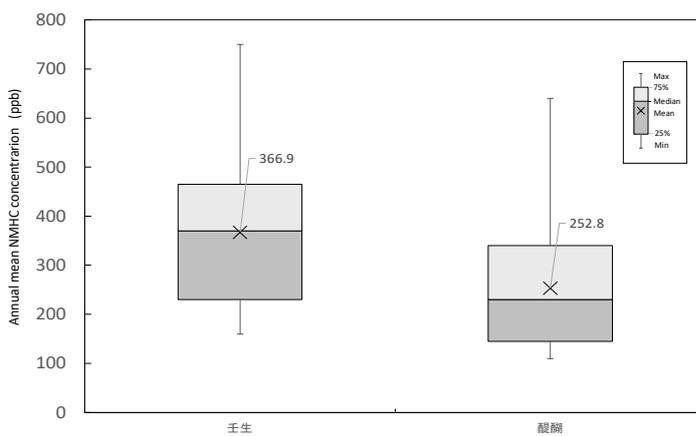


図40 NMHC濃度の年平均値の測定局別濃度分布 (1980～2022年度)

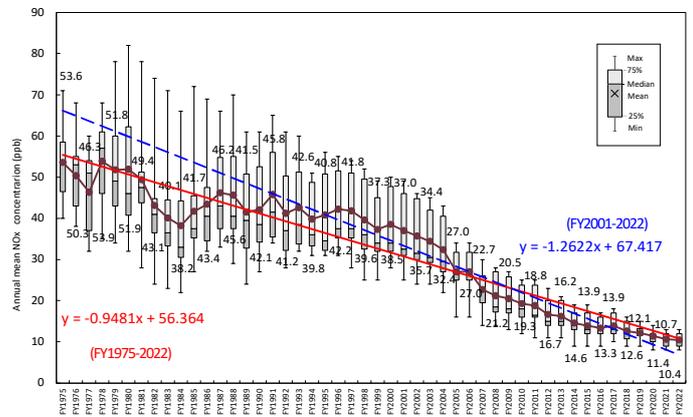


図37 NO<sub>x</sub>濃度の年平均値の濃度分布の経年変化 (1975～2022年度)

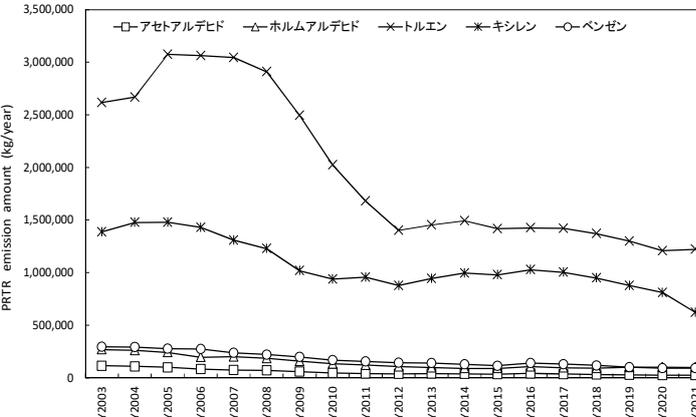


図41 京都府のVOCsのPRTR届出排出量と届出外排出量(推計値)の合計値の推移 (2003～2021年度)

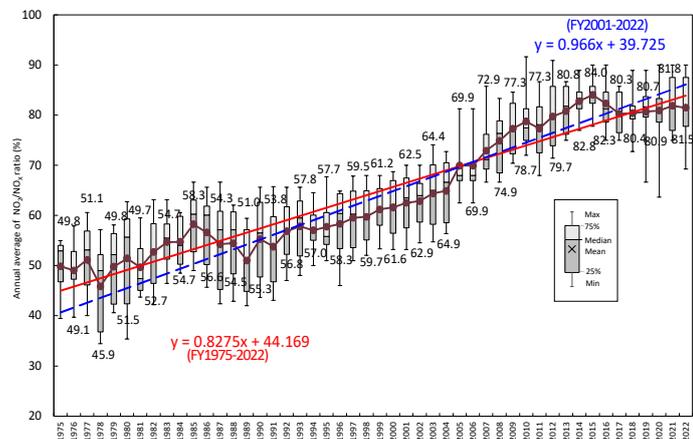


図38 NO<sub>2</sub>/NO<sub>x</sub>濃度比の経年変化 (1975～2022年度)

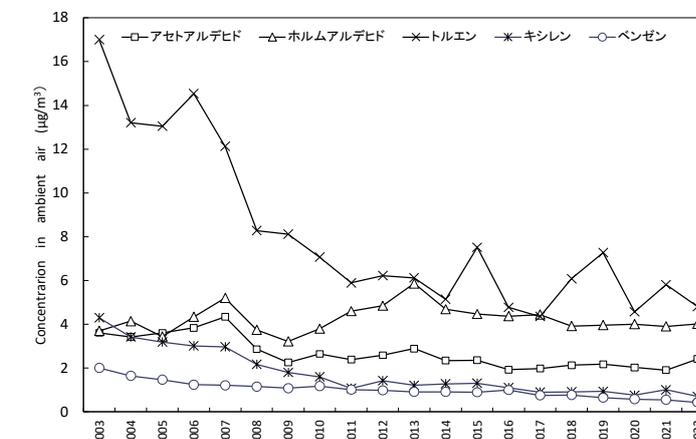


図42 有害大気汚染物質モニタリング調査 京都市一般環境のVOCs濃度 (2003～2022年度)

の経年変化のグラフを図42に示す。調査対象のうちホルムアルデヒド以外のVOCs濃度は減少していた。トルエンとキシレンは、排出量が多く、大気中濃度が高く、オゾン生成能が大きい成分とされているが、NMHC濃度の市内平均値と類似した減少傾向の経年変化で推移していた。PRTR排出データ、NMHC濃度の測定結果、有害大気汚染物質のVOCsの調査結果から、Oxの前駆物質となっているVOCs成分の京都市内の濃度は解析期間中、減少傾向であったことが確認できた。

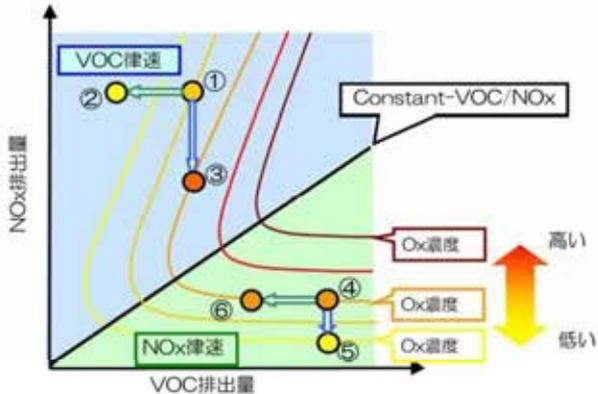


図43 オゾン反応における律速状態の概念図(環境省(2017)より引用)<sup>13)</sup>

(10) NMHC/NO<sub>x</sub>濃度比

Oxの生成はNO<sub>x</sub>とNMHC濃度のバランスの影響も受ける複雑なものであり、一般的に次の2種の特徴的な状態があることが知られている。<sup>13)</sup>(図43)

(i) VOC律速(NO<sub>x</sub>に比べVOCの比率がそれほど高くない状態) VOC排出量の削減(図①→②)でオゾン濃度が減少するが、NO<sub>x</sub>排出量の削減(図①→③)ではほとんど減少しない、または逆に増加する状態

(ii) NO<sub>x</sub>律速(NO<sub>x</sub>に比べVOCの比率が高い状態) NO<sub>x</sub>排出量の削減(図④→⑤)でオゾン濃度が減少するが、VOC排出量の削減(図④→⑥)でほとんど減少しない状態 Oxの適切な排出削減対策を決定するためには律速条件を把握することが重要であるが、律速条件はNMHC/NO<sub>x</sub>濃度比に強く依存することが報告されている。

神成らは、関西地域においてのNO<sub>x</sub>律速とVOC律速の境は、NMHC/NO<sub>x</sub>濃度比が6~12程度のところとしている。<sup>14)</sup>そこで、1980年度から2022年度までの京都市内の一般環境大気測定局(壬生局、醍醐局)、自動車排出ガス測定局(自排南局、自排山科局)の常時監視測定データのNO<sub>x</sub>とNMHCの年平均値を用いて、NMHC-NO<sub>x</sub>濃度散布図を作成し、O<sub>3</sub>生成レジームの解析を試みた。<sup>15)</sup>図44に壬生局、図45に醍醐局、図46に自排南局、図47に自排山科局のNMHC-NO<sub>x</sub>濃度散布図を示す。

図中NMHC/NO<sub>x</sub>濃度比6の直線より左上の領域がVOC律速、NMHC/NO<sub>x</sub>濃度比12の直線より右下の領域がNO<sub>x</sub>律速の領域としている。

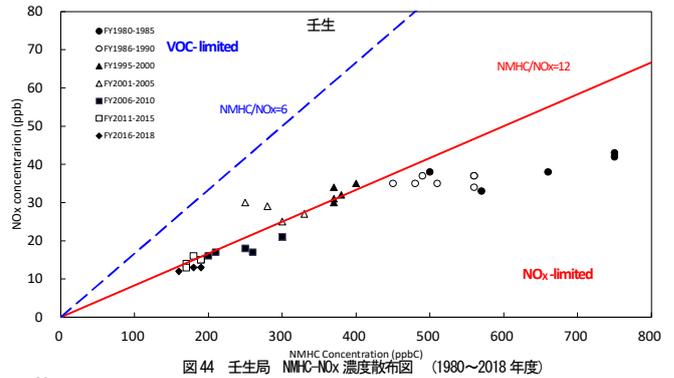


図44 壬生局 NMHC-NO<sub>x</sub>濃度散布図(1980~2018年度)

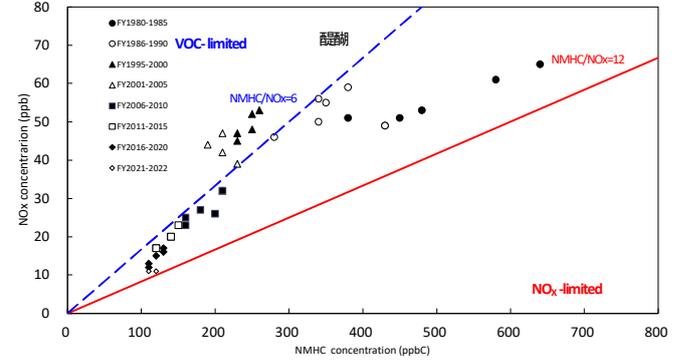


図45 醍醐局 NMHC-NO<sub>x</sub>濃度散布図(1980~2022年度)

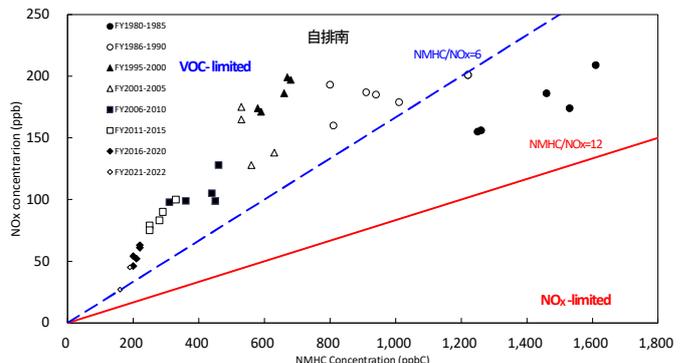


図46 自排南局 NMHC-NO<sub>x</sub>濃度散布図(1980~2022年度)

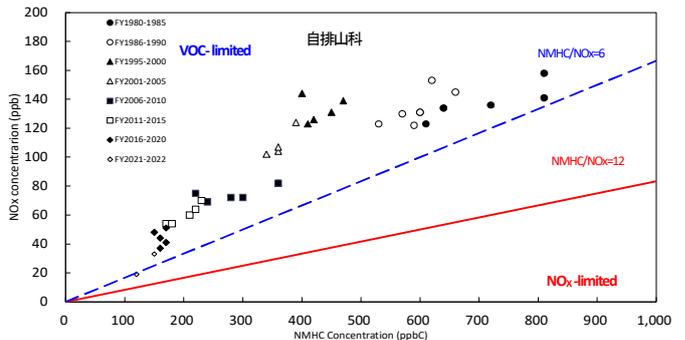


図47 自排山科局 NMHC-NO<sub>x</sub>濃度散布図(1980~2022年度)

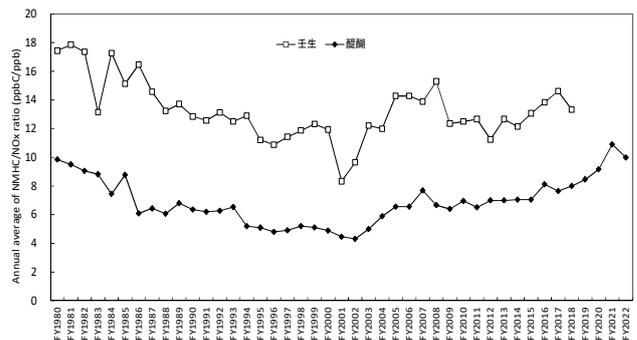


図48 壬生局と醍醐局のNMHC/NO<sub>x</sub>濃度比経年変化(1980~2022年)

一般環境大気測定局の壬生局は、NMHC/NO<sub>x</sub>濃度比12以上のデータが多くNO<sub>x</sub>律速の傾向であると考えられた。一方、醍醐局は、NMHC/NO<sub>x</sub>濃度比6以下のデータが多くVOC律速の傾向であると考えられた。

壬生局と醍醐局の1980年度から2022年度までのNMHC/NO<sub>x</sub>濃度比の経年変化のグラフを図48に示す。NMHC/NO<sub>x</sub>濃度比は、壬生局のほうが醍醐局より大きい値で推移していた。NO<sub>x</sub>濃度が醍醐局のほうが高い傾向であるためと考えられた。NMHC/NO<sub>x</sub>濃度比は、1980年度から2001年度まで減少傾向であった。この期間は、NMHC濃度の減少速度が、NO<sub>x</sub>濃度の減少速度より早かったと考えられた。2001年度以降は、増加傾向の経年変化で推移しており、この期間は、NO<sub>x</sub>濃度の減少速度が、NMHC濃度の減少速度より早かったと考えられた。

醍醐局の直近の2022年度のNMHC/NO<sub>x</sub>濃度比は、10.0[ppbC/ppb]となっており、VOC律速の状態から、VOC律速とNO<sub>x</sub>律速の間の混合律速の状態に移行しつつあると考えられた。

自排局の自排南局と自排山科局は、NMHC/NO<sub>x</sub>濃度比6以下のデータが多くVOC律速の傾向であると考えられた。自排局では自動車等のNO<sub>x</sub>発生源の影響が大きいため、NO<sub>x</sub>濃度がNMHC濃度に対して相対的に大きくなりVOC律速の傾向となっていると考えられた。

O<sub>x</sub>濃度の低減のために、NO<sub>x</sub>律速の傾向であった壬生局は、NO<sub>x</sub>排出の削減が有効であると考えられた。VOC律速の傾向であった自排南局、自排山科局は、VOC排出の削減が有効であると考えられた。現在は混合律速の状態にあると考えられる醍醐局については、NO<sub>x</sub>、VOCいずれの排出削減も有効であると考えられた。

(11) 注意報等発令日数と指標値の評価

解析期間中(1975年度～2022年度)の光化学スモッグ注意報等発令日数、O<sub>x</sub>濃度120ppb超過日数、年平均値(全日)、昼間の1時間値の年平均値、昼間の日最高1時間値の年平均値、昼間の1時間値の最高値、日最高8時間値の99%タイル値の市内平均値の経年変化を図49に示した。

注意報発令日数及び、120ppb超過日数の解析期間中の最大値は、1975年度の注意報発令日数9日、120ppb超過日47日であった。その後、1979年度まで減少傾向であったが、1980年度以降は、1992年度まで増加傾向となった。その後、1993年度から1997年度までは、注意報発令回数は、0～1日であり減少していたが、1998年度から2010年度までは、発令日数、120ppb超過日数とも増加傾向であった。2010年度の発令日数は、7日、120ppb超過日数は11日であった。2011年度以降は、発令日数、120ppb超過日数ともに激減しており、発令日数は、0～2日、

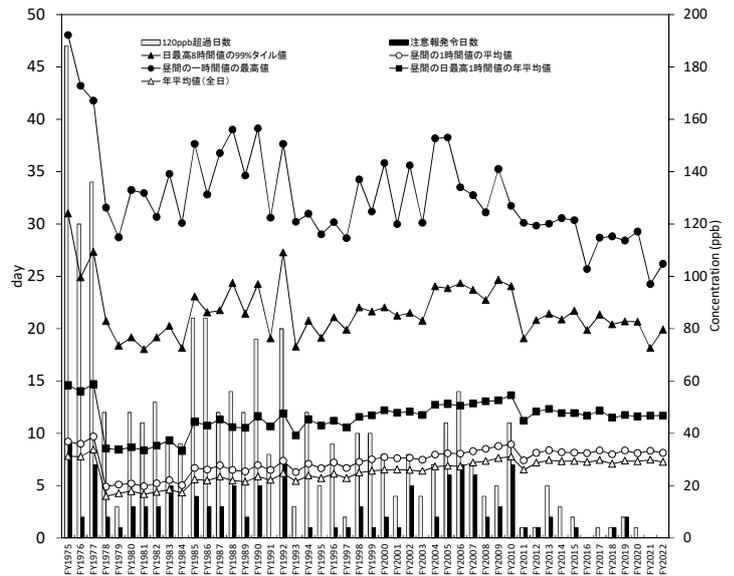


図49 注意報発令日数、O<sub>x</sub>120ppb超過日数、O<sub>x</sub>濃度指標の経年変化(1975～2022年度)

表3 注意報発令日数、O<sub>x</sub>120ppb超過日数、O<sub>x</sub>濃度指標間の相関係数(1975～2022年度)

	120ppb超過日数	注意報発令日数	昼間の1時間値の最高値	日最高8時間値の99%タイル値	昼間の日最高1時間値の年平均値	年平均値(全日)
120ppb超過日数						
注意報発令日数	0.695					
昼間の1時間値の最高値	0.855	0.734				
日最高8時間値の99%タイル値	0.729	0.768	0.809			
昼間の日最高1時間値の年平均値	0.303	0.370	0.399	0.735		
昼間の1時間値の年平均値	0.102	0.195	0.178	0.574	0.959	
年平均値(全日)	0.028	0.122	0.097	0.501	0.923	0.993

120ppb超過日数は、0～5日の範囲となっている。

解析期間中のO<sub>x</sub>濃度の指標については、昼間の1時間値の最高値、日最高8時間値の99%タイル値は、減少傾向の経年変化であったが、年平均値(全日)、昼間の1時間値の年平均値、昼間の日最高1時間値の年平均値は互いに0.9以上の強い相関があった。日最高8時間値の99%タイル値は、昼間の日最高1時間値の年平均値などの従来の指標より、高濃度域でのO<sub>x</sub>濃度の低下傾向が明確に確認でき、データのバラツキが昼間の1時間値の最高値より少なかった。注意報発令日数や120ppb超過日数との相関も高かったため、日最高8時間値の99%タイル値の3年移動平均値である新指標は、長期的な環境改善効果を示す指標として活用できると考えられた。

#### 4 まとめ

京都市内の一般環境大気測定局の1975年度から2022年度までの測定データについて、Ox 濃度、PO 濃度、NOx 濃度、NHMC 濃度、NMHC/NOx 濃度比の経年変化について解析を行った。

Ox 濃度については、「年平均値（全日）」「昼間の1時間値の年平均値」は、漸増傾向の経年変化で推移していたが、「昼間の1時間値の最高値」、「新指標(日最高8時間値の年間99%タイル値の3年移動平均値)」は、減少傾向に経年変化で推移しており、京都市の高濃度域のOx 濃度が低下傾向であることが確認できた。

PO 濃度の年平均値は、減少傾向で推移しており、近年のOx の年平均値の上昇は、NOx 濃度減少によるタイトレーション効果の縮小が寄与していると考えられた。

NOx 濃度については、減少傾向の経年変化であり、2001年度以降は減少速度が増加していた。NO<sub>2</sub>/NOx 濃度比は増加傾向の経年変化であり、排出削減施策の影響で、NOx 排出に占める自動車排出ガスの影響が減少していることが考えられた。

NMHC については、固定発生源からの排出規制等の排出抑制施策により、大気中濃度は、減少傾向の経年変化であった。京都市内の大気中のVOCs 濃度や京都府内のVOCs のPRTR 排出量も減少傾向で推移していた。

NMHC/NOx 濃度比の解析により、Ox 生成レジームの推定を実施したところ、壬生局はNOx 律速、醍醐局、自排南局、自排山科局はVOC 律速の傾向であると考えられた。

注意報発令日数とOx 濃度の指標の相関の解析を実施したところ、注意報発令日数、120ppb 超過日数、日最高8時間値の99%タイル値、昼間の1時間値の最高値は、互いに強い相関があった。

日最高8時間値の99%タイル値の3年移動平均値である新指標は、高濃度域のOx 濃度が、低下傾向であることが確認でき、長期的な環境改善効果を示す指標として活用できると考えられた。

今回、解析したデータ全体の傾向として、測定局間の測定値の差が経年ごとに小さくなっており、一定の濃度に収束傾向であった。Ox 高濃度要因としては、大陸を含む地域外からの移流、成層圏オゾンの降下、地域内での生成が考えられる。Ox の前駆物質であるNOx とNMHC の京都市内の濃度は減少しており、地域内での生成の寄与は、小さくなっている傾向であると考えられる。地域外からの移流などの広域的な汚染の影響が強くなった結果、測定局間の測定値の差が小さくなり、様々な指標が一定の値に収束傾向となったと考えられた。<sup>16)</sup>

京都市のOx 濃度は、全局で環境基準が達成できていない状況が継続しているため、Ox 濃度の常時監視によるモニタリングを注意深く継続していく必要があると考えられた。

#### 5 文献

- 1) 京都市の環境-平成20年度:京都市環境局地球環境政策部 地球温暖化対策(2009)
- 2) 大気常時監視マニュアル(第6版)環境省(2010)
- 3) 京都市における光化学オキシダント濃度の経年的な濃度変動傾向及び光化学オキシダント自動測定機の測定法変更に伴う測定データへの影響の検討 京都市衛生公害研究所年報 No77(2011)
- 4) 関東地方の夏期高濃度 Ox の長期的濃度変動要因の検討と前駆物質濃度削減効果の予測評価、大気環境学会誌、50 (2015)
- 5) 平成25年度光化学オキシダント調査検討会報告書(平成26年3月光化学オキシダント調査検討会)(2014)
- 6) 環境省水・大気環境局大気環境課長通知:光化学オキシダントの環境改善効果を適切に示すための指標(中間とりまとめ)について(平成26年9月26日、環水大大発第1409262号)
- 7) 環境省水・大気環境局大気環境課長通知:光化学オキシダントの環境改善効果を適切に示すための指標に係る測定値の取り扱いについて(平成28年2月17日、環水大大発第1602171号)
- 8) 日本における光化学オキシダント等の挙動解明に関する研究 国立環境研究所研究報告第193号 (2006)
- 9) 日本の公害問題の歴史的教訓 滋賀大学環境総合研究センター研究年報 Vol.14 No.1 (2017)
- 10) 光化学オキシダント測定法の検討経過-湿式オキシダント自動測定器を中心に-(前編) 大気環境学会誌 49 巻 6号(2014)
- 11) 福井県における光化学オキシダント濃度の推移について 福井県衛生環境研究センター年報 p75-83(2017)
- 12) 環境省:化管法PRTR インフォメーション広場 <http://www.env.go.jp/chemi/prtr/risk0.html>
- 13) 環境省:光化学オキシダント調査検討会報告書(平成29年3月)(2017)
- 14) 関東・関西地域における光化学オキシダント濃度の週末効果に関する解析 第2報 ダイナミックに変化するオゾン生成レジームの検証. 大気環境学会誌. 41:220-233. (2006)
- 15) 大阪における光化学オキシダント生成レジームに関する考察 大阪府立環水研報 1:9~14(2014)
- 16) 兵庫県における光化学オキシダントの新指標による解析 ひょうご環境創造協会兵庫県環境研究センター紀要第9号(平成30年度)p11-18

## 2 短報

## 京都市における新型コロナウイルス感染症発生動向調査 (2022 年)

## Surveillance of COVID-19 in Kyoto City (2022)

京都市衛生環境研究所 管理課疫学情報担当

○的場 教起

京都市での新型コロナウイルス感染症(COVID-19)発生動向調査を行い、事実上全数把握でなくなった9月26日以降は流行動態を推定した。2022年は報告数が前年の12.7倍となった一方、死亡割合は0.204%と1/3以下に減少した。流行動態の推定から、9月26日以降にも把握されていた以上の流行の発生が推定された。また、ワクチンは発症・重症化・死亡を有意に減少させており、その有効率は接種回数が多いほど高かった。

キーワード 新型コロナウイルス感染症、2022年、ワクチン有効率

Keyword COVID-19, in 2022, vaccination effectiveness

## 1. 緒言・目的

新型コロナウイルス感染症(以下、COVID-19)は、京都市において2020年1月に初めて報告された。京都府下では2021年4月よりワクチン接種が開始され、2022年1月頃からはいわゆるオミクロン株が検出されるようになった<sup>1)</sup>。

COVID-19は2021年2月に指定感染症から新型インフルエンザ等感染症に変更され、2類感染症相当(全数把握疾患)として扱われている。しかし、実際の取り扱いは徐々に緩和されており、2022年6月30日には発生届から職業・住所・症状・感染経路・感染地域等が削除され、同年9月26日には届出対象を高齢者や重症化リスクのある者に限定し、届出対象外の者は患者自身が健康フォローアップセンター(京都市においては、「京都市新型コロナ陽性者フォローアップセンター」)に登録をすることとされた<sup>2)</sup>。2023年5月8日には5類感染症に変更され、定点把握疾患として発生動向調査が行われるようになる予定である。

本研究は、2022年に本市で報告されたCOVID-19の症例を集計することで、同年1月から流行したオミクロン株及びその亜系統の特性を間接的に考察した。また2022年9月26日から報告対象が限定され、流行動態が不透明となっているため、その間の感染者数を推定した。

## 2. 方法

## (1)対象

新型コロナウイルス感染者等情報把握・管理システム(以下、HER-SYS)に登録された者のうち、2023年2月13日に次の条件で抽出された症例(以下、感染者)を対象とした。

- ・診断年月日が2020年1月1日～2023年2月13日
- ・感染区分が「感染者」

## (2)データのクリーニング

前項の条件で抽出された314,607人のうち395人は発生届の診断類型が「疑似症患者」であったが、うち314人は発生届と検査記録のいずれかまたは両方で検査陽性であったため、症状がある場合は「患者(確定例)」(以下、有症者)、症状がない場合は「無症状病原体保有者」(以下、無症者)とみなした。残る81人のうち、75人は発生届等に臨床診断(みなし陽性)の旨記載があり、6人は入院を要する疑似症の旨記載があったため、同様に有症者とみなした。また、診断類型が「感染症死亡疑い者の死体」である症例が2人いたが、どちらも発生届で検査陽性であったため、「感染症死亡者の死体」とみなした。

年齢階級は、発生届の生年月日から診断年月日時点の年齢を算出して決定した。性別は、発生届でその他又は不明である場合にはID管理の性別を採用した。年齢・性別が不明その他である場合には年齢・性別の集計に含めなかった。

感染者が死亡したか否かは、措置判定記録の現在のステータスから判定した。死因は、情報が十分に得られなかったため考慮しなかった。死亡年月日は、発生届または措置判定記録の最も古い日付を採用した。

症状・住所・感染経路は、2022年6月30日より発生届では報告されなくなったが、京都市の届出様式では発熱・咽頭痛・咳・肺炎像・咳以外の急性呼吸器症状については記載欄が残された。また、診断日が7月以降でもHER-SYSに記載がある場合には、感染経路を除き集計対象とした。

症状は、発生届の自由記述欄及び健康観察票は考慮しなかった。ただし、症状のうち「咽頭痛」は後から追加されているため、自由記述欄に「\*X\*痛\*」(「\*」は0文字以上の任意の文字列、「X」は「咽頭」または「喉」、「のど」、「ノド」

を表す)が含まれているものも併せて抽出した。

所在地の行政区は、ID管理より発生届に記載がある割合が多かったため、発生届から抽出した。個別に記載内容の検証は行わず、単純に部分一致したもののみ集計を行った。

感染経路は、COVID-19においてはほぼ飛沫・飛沫核感染(エアロゾル感染含む)であることが明らかにされており、また、昨年の集計から患者から聴取又は医師が判断することが困難であり、情報の信頼性が乏しいことが分かっているため<sup>3)</sup>、集計しなかった。

重症度は、発生届及び基礎情報、措置判定記録から抽出した。全て空欄であった場合には不明とし、複数種類の記載があれば最も重いものを採用した。

妊娠の有無は、基礎情報・発生届・疫学調査のいずれかに妊娠の記録がある症例とした。2,750人(0.87%)が妊娠していたが、妊婦の割合が極めて少ないだけでなく、妊娠週はそのうち728人(26%)しか記載がなく、中等症II以上の症例はなかった。また、男性や0歳、90歳代の症例が含まれるなど誤入力と思われる症例があり、情報の信頼性が低いことが懸念されたため、それ以上の解析を行わなかった。

ワクチン接種歴は、発生届又は疫学調査の情報のうち、最大の接種回数を採用した。ただし、6回以上等あり得ない接種回数が記載されていた場合は不明とみなした。京都市におけるワクチン接種人口は、ワクチン接種記録システム(以下、VRS)<sup>4)</sup>から情報を得て京都府のワクチン接種人口を算出し、京都府と京都市それぞれの年齢・性別人口比から割り戻して算出した。ただし、年齢は65歳未満又は65歳以上しか区分がないため、この2集団に限って集計した。なお、ワクチン接種回数の死亡減少分は考慮しなかった。

ワクチンの発症予防効果を算出するにあたっては、65歳未満については2022年9月25日時点、65歳以上については2022年12月31日時点の京都市の推定接種人口を母集団とし、この推定接種人口からそれぞれ2022年1月1日から9月25日まで(以下、全数把握期間)又は12月31日までに発症した感染者数を減算した値を、発症しなかった人口と推定してオッズ比を算出した。

ワクチンの重症化又は死亡予防効果を算出するに当たっては、65歳未満については全数把握期間、65歳以上については2022年全体の感染者を母集団とし、重症化又は死亡の有無で振り分けた人数からオッズ比を算出した。オッズ比の95%信頼区間(以下、CI)はWoolf法を用いて算出したため、オッズ比が0となる場合は95%CIが算出できなかった。オッズ比は、目的とするイベントが稀であればリスク比に近似できるとされるため、これらのオッズ比を用いてワクチンの有効性を算出した。なお、全数把握期間終了時点で

は65歳未満に対して5回目の接種はほぼ行われていなかったため、結果から除外した。

### (3) 流行動態の推定

2022年9月26日(第39週)以降も、65歳以上については全例が報告対象であり、それ以前と比べて報告数の変化は小さいと考えられる。日本では2022年1月からオミクロン株及びその亜系統が主流となっており、それ以前の流行株とは性質が異なることが指摘されている<sup>5)</sup>。そこで、2022年第1週～第38週における週別の65歳以上の感染者数と全感染者数について相関性を調べると(図1)、相関係数は $R=0.985$ であり、流行していない時期にデータが偏っているものの、強い正の相関性が認められた。そこで、65歳以上の感染者数を説明変数として全感染者数を推定した。

このデータは時系列があり、時系列解析に説明変数を用いた手法が望ましいが、専用のソフトウェアを用いない場合、時系列解析には煩雑な手計算が必要となる。そこで、表計算ソフトウェア(Microsoft Excel)の標準機能で算出可能な線形回帰(最小二乗法)を採用した。なお、線形回帰の場合、説明変数と決定変数の間に比例関係を想定する場合と、変化率比が一定と想定する場合(両変数を対数変換する)がある。65歳以上の感染者数が全感染者数に占める割合を見ると(図2)、65歳以上の感染者数は平均10.7%(5.99%～17.3%)で概ね一定であったため、比例関係にあるとみなした。

なお、各変数については見かけの回帰を検出するため、事前に拡張Dickey-Fuller検定の手法を用いて単位根検定を行った。方法は以下のとおり。

ある変数について①式を考えるとき、 $\beta_1=1$ ならばその推移はランダムウォークであり、単位根が存在するといえる( $\varepsilon_t$ は一定の分散を持つ乱数)。

$$y_t = \beta_1 y_{t-1} + \varepsilon_t \quad \cdots \quad \text{①}$$

②式を想定するとき、この回帰式の帰無仮説は $\beta_2=0$ である。この帰無仮説が棄却されないのなら、①式において $\beta_1=1$ であり、単位根が存在することになる。すなわち、その変数の階差と元値の回帰式が有意なら、単位根が存在するといえる。

$$\Delta y_t = \beta_2 y_{t-1} + \varepsilon_t \quad \cdots \quad \text{②}$$

この単位根検定を各変数について行ったところ、それぞれのp値は説明変数で0.357、決定変数で0.377であり、両変数とも単位根が存在する可能性は低いと判断した。

### 3. 結果

#### (1) 罹患率、死亡割合、流行曲線

2022年、本市では280,043人の感染者が報告された。本市の2022年10月1日時点の推定人口は145万人であり、罹患率は0.193/年であった。つまり、本市人口千人当たり年間約193人が検査によって陽性と判明したことになる。2020年は3,553人(罹患率0.0024/年)、2021年は22,070人(0.0152/年)が報告されており、感染者は前年の12.7倍に増加した。

ただし、第39週以降、HER-SYSの感染者に占める65歳以上の割合が増加しており(図2)、後述するように報告数も減少していることから、観察期間を全数把握期間に限ると、感染者数は263,237人(罹患率0.248/年)であった。

全数把握期間の年齢階級・性別ごとの感染者数をみると、20-24歳が25,823人で最も多く、5-9歳が20,946人で次いで多かった(図3)。25歳未満の年齢階級では男性の方が、25歳以上では女性の方が多く、全体では女性の方がわずかに多かった(性比0.932)。同様に罹患率をみると、5-9歳が0.571/年で最も高く、50歳未満の年齢階級全てで全人口の罹患率(0.248/年)を上回った(図4)。男女の罹患率相対危険(=男性罹患率÷女性罹患率)は1.04であり、1.30であった2021年と比べて性別がほぼ差がなく、年齢階級別でも75-59歳(1.16)が最大、45-49歳(0.869)が最低であった。

全数把握期間に診断された感染者のうち、死亡した者は536人で、死亡割合(=死亡者数/感染者数)は0.204%であった。また、2022年9月26日~2022年12月31日(以下、対象限定期間)は死亡者が182人あり、2022年全体の死亡割合は0.256%であった。ただし、対象限定期間は65歳未満の感染者の報告が激減しているため、この死亡割合は実際よりも高く見積もられていると考えられる。なお、2021年に診断された感染者のうち、死亡した者は151人(死亡割合0.684%)であり、いずれにせよ死亡割合は昨年から減少している。2022年の死亡者の性比は1.38で男性が多く(413人)、2021年(1.24)よりも男性の占める割合が高くなった。年齢階級別にみると、70歳以上の年齢階級の死亡者が全体の9割以上を占めた一方、25-29歳を除く20歳以上の全年齢階級でも死亡者があり、10歳未満の死亡者も1人いた(図5)。男性で最も死亡者が多かった年齢階級は85-89歳(98人)、女性は90-94歳(71人)だった。2022年の死亡割合を性別・年齢階級別にみると、50歳以上の全ての年齢階級で男性の方が高く、また男女ともに年齢階級が高いほど死亡割合は高かった(図6)。

男女の死亡割合相対危険(=男性死亡割合÷女性死亡割合)は、65歳未満では2.86(男性の死亡割合0.0196%)、65

歳以上では1.82(同1.97%)であった。年齢階級別では大きなばらつきがあったが、相対危険が算出できた年齢階級では、全て1を超えて男性の方が高かった。

ただし、これらの死亡者は単にCOVID-19と診断された後、データ取得日までに死亡したか、あるいは死後にCOVID-19と診断された者である。死因が記載されている症例は11人のみ(うちCOVID-19は6人)であり、ここで言う死亡者の原死因は必ずしもCOVID-19ではない。

2020年から2022年における週ごとの新規陽性者数の推移を見ると、大まかに1月・5月・8月頃、年2~3回の流行があった(図7)。2022年第5週には、週当たりで2021年最大であった第33週(2,465人/週)の約4.8倍(11,760人/週)の感染者が報告された。2022年4月~5月頃(第14週~第20週)の流行は目立たなかったものの、それでも2021年第33週を上回り、3,500人/週を超える週がいくつかあった。2022年第30週(22,246人/週)にはこの年最大となり、一旦減少するも第51週(10,296人/週)には再び1万人/週を超える流行が見られた。

ただし、2022年第39週以降、発生届の届出対象が重症化リスクのある症例(65歳以上の高齢者を含む)に限定されたため、感染者は見かけ上少なくなっている恐れがある。HER-SYS及び京都市広報発表資料における週ごとの感染者数(フォローアップセンターの登録者数を含む)の推移を見ると、第39週以降大きな解離が見られた(図8)。また、入院者数と比較すると、第39週以降、HER-SYSはもとより広報発表資料の感染者数も比較的少なく推移していた。

累積死亡者数の推移を見ると、流行のピークから数週遅れて死亡者数が増加しており、2022年2月(第6週~第9週)が最も死亡者が多かった(179人/月。図7)。

#### (2) 症状

2022年~2022年における感染者の症状出現頻度を図9に示す。2022年6月30日に発生届の様式から症状欄が削除されたが、京都市では症状を限定して記載欄が残されており、その後も相当数が報告されているため、2022年は1月1日~6月30日(上半期)と7月1日~12月31日(下半期)に分けて記載する。2020年から2022年においては、発熱、咳、咽頭痛、全身倦怠感、頭痛の順に頻度が高かった。年ごとの比較では、咳以外の急性呼吸器症状、咽頭痛を除いておおむねどの症状の頻度も減少傾向にあり、特に嗅覚・味覚障害は2022年から大きく減っていた。一方、咽頭痛は次第に頻度が高くなっていった。

また、全数把握期間に「症状なし」と報告された無症者は29,451人おり(全感染者の11.1%)、2021年の1,941人(同

8.79%)からその割合は増加した。無症者の性比は0.923でわずかに女性が多かったが、感染者に占める無症者の割合では性比1.02とほぼ同程度だった。全数把握期間に診断された年齢階級・性別の感染者数に占める無症者の割合を図10に示す。1-4歳がやや高いものの、全体としては年齢階級が高いほど割合が上がる傾向が見られた。

### (3) 感染した場所

2022年の感染者のうち、感染地域が国外だったものは80人おり、内訳はアメリカ13人、ベトナム7人、フランス6人、イギリス・カナダ各4人、イタリア・タイ・チェコ・ポーランド各3人、オーストラリア・オランダ・韓国・シンガポール各2人、その他各1人が計19人、不明7人だった。なお、2021年は28人、2020年は11人だった。

2022年の感染者に占める感染場所の割合を図11に示す。なお、2022年6月30日に発生届の様式から感染地域欄が削除されている。最多は場所不明(79.3%)で、それ以外で最も多かったのは自宅(13.7%)であり、この2つで9割以上を占めた。自宅に次いで多かったのは学校等(2.43%)、福祉施設(児童)(1.33%)、福祉施設(高齢者)(1.16%)、それ以外の場所は1%未満であった。

2022年の感染者の所在地は、京都市内の居住者が273,944人(97.8%)であり、内訳は伏見区(19.7%)が最も多く、右京区(13.0%)、左京区(11.0%)がそれに続いた(図12)。

各行政区人口千人当たりの陽性者数を見ると、南区(204人)が最も多く、山科区(197人)、伏見区(194人)がそれに続いた。最も少ないのは東山区(175人)だった。

### (4) 重症度

2022年における感染者の重症度内訳は、無症状(0.983%)、軽症(85.5%)、中等症 I(1.43%)、中等症 II(0.474%)、重症(0.0568%)、不明(11.5%)であった。「新型コロナウイルス感染症診療の手引き」によると<sup>9)</sup>、「軽症」の定義は酸素飽和度(SpO<sub>2</sub>)が96%以上で呼吸器症状がないか、咳のみで呼吸困難がなく肺炎所見を認めないもの、「中等症 I」はSpO<sub>2</sub>が93%より大きく96%未満で呼吸困難・肺炎所見を認めるもの、「中等症 II」はSpO<sub>2</sub>が93%以下で酸素投与を要するもの、「重症」はICUに入室しているか人工呼吸器が必要なものである。なお、2021年時点では無症状と不明(未入力)が区別されず、「該当なし」とされていたが、2023年現在ではこの区分は廃止されている。

2022年における重症度の割合を性別・年齢階級別に見ると、男女ともに74歳以下の年齢階級では無症状と軽症が9割以上を占め、中等症 I 以上の割合は年齢階級が高くなる

ほど増加した(図13、14)。特に100歳以上の男性で中等症 I 以上の割合が約半数を占めたが、100歳以上の男性は19人、女性は253人と実数には大きく差があることに注意が必要である。

男女間での中等症 I 以上の割合の相対比を見ると、全体では男性の方が1.20倍高かった。年齢階級別では、1歳未満及び5-9歳、10-14歳を除く全ての年齢階級で1を上回っており、40-44歳(2.40)や25-29歳(2.37)など2を上回る年齢階級もあった(図13)。

### (5) ワクチン接種歴

VRS から得られた京都府のワクチン接種人口が京都府人口に占める割合(以下、接種率)の推移を図15に示す。京都府においては2021年4月よりワクチン接種が始まり、2021年内には2回接種率が約7割で頭打ちとなった。同年12月には3回目の接種が始まり、2022年7月頃には3回接種率の伸びが鈍化し、2022年末には約6割に達した。4回目(同年5月開始)と5回目(同年10月開始)も並行して行われたが、2022年末時点でのそれぞれの接種率は約4割、約2割である。

京都市の65歳未満(集計期間:全数把握期間)及び65歳以上(集計期間:2022年通年)の男女の感染者について、それぞれワクチン接種回数と発症又は重症化、死亡の有無でクロス集計を行い、オッズ比を算出した(表1~4)。発症又は重症化、死亡の予防効果について、ワクチンの有効率(=1-オッズ比)と95%CIを図16~18に示す。

発症予防効果は、接種者全体では1-2回接種では負の値(発症頻度を上げる)となったが、3回接種では34.4%(95%CI33.7%-35.2%)、4回接種86.0%(同85.7%-86.2%)、5回接種97.9%(同97.8%-98.0%)であり、3回以上の接種で有意に発症を減少させていた。性別では大きな違いがなく、年齢別では65歳未満で1-2回、65歳以上では1回又は3回接種(2回接種は未発症者が負の値となったため算出不能)が負の値となったが、65歳未満は4回、65歳以上は5回の接種で有効率が9割以上と高かった。

重症化予防効果は、接種者全体では2-3回接種を除いて有意ではなく、2回接種は61.3%(95%CI41.5%-74.4%)、3回接種は61.6%(同38.8%-75.9%)であった。年齢別・性別に見ると、65歳未満の接種群では重症化した感染者が少なく、男性の2回接種を除いて有意とは言えなかったが、65歳以上では男性で2-5回接種、女性で3-4回接種が有意に重症化を減少させていた(ただし、65歳以上女性の1回接種は負の値)。

死亡予防効果は、接種者全体では2-3回接種を除いて有

意ではなく、2回接種は37.2% (95%CI24.5%-47.8%)、3回接種は34.8% (同20.4%-46.6%)であった。年齢別・性別に見ると、65歳未満の接種群では重症化した感染者が少なく有意とは言えなかったが、65歳以上では男女ともに2-5回接種で有意に死亡を減少させていた。

#### (6) 流行動態の推定

回帰分析の結果は以下のとおりであった。

- ・得られた回帰式： $y = 6.39x + 1.40 \times 10^3$   
( $x$ ：65歳以上の感染者数、 $y$ ：全感染者数)
- ・決定係数  $R^2 = 0.971$
- ・説明変数の標準誤差：0.185
- ・ $p$ 値： $< 10^{-28}$

この回帰式を用いて流行曲線を描出した(図19)。その結果、第1週から第38週までのHER-SYSの感染者数とよく合致していた。推定された流行曲線から、第39週以降にHER-SYSでは見られない2022年3回目の流行があったと考えられる。この流行は2023年1週に最大(16,100±2,220人、95%CI)の感染者が発生し、2022年の推定感染者数は367,000±30,400人(同上)であったと推定された。この推定値は、HER-SYS(279,095人)はもとより京都市の広報資料(332,490人)よりも大きかった。

なお、この回帰式について残差分析を行ったところ(図20)、流行がない時期は残差が小さいものの、流行期には大きくなる傾向が見られた。このため、流行期にはこの回帰式の信頼性がやや劣る可能性がある。

## 4. 考察

前述の通り、COVID-19は2022年9月26日から届出対象が限定されており、報告数は激減している。健康フォローアップセンターの報告数と本研究の推定感染者数から(図19)、2022年3回目の流行があったことはほぼ間違いないと思われるが、その規模を含めて詳細は不明である。この期間の流行については部分的な情報しかないため、本研究の観察期間には全数把握期間と2022年通年のものが混在しており、解釈には注意を要する。

### (1) 罹患率

2022年における京都市の罹患率は0.193で、全国の罹患率(0.218)<sup>7)</sup>より2020年以来初めて低くなった。京都市における2020年の罹患率は0.00243、2021年は0.0152であり、2022年は昨年(0.0152)の10倍以上に増加した。

全数把握期間における年齢階級別罹患率を比較すると、5-9歳(0.571)が最も高く、10-14歳(0.488)、1-4歳(0.458)

がそれに続いた一方、75-79歳(0.0891)が最も低かった(図4)。2021年5月頃は、未就学児の罹患率は低く家庭内で両親など親族から感染してそれ以上感染を広げないことが多いと言われていたが<sup>8)</sup>、オミクロン株の流行以降、小児同士での感染機会が増加しているとされる<sup>9)</sup>。2022年における未就学児の罹患率は就学児童に次いで多く、以前とは逆に、児童福祉施設等で感染した未就学児が家庭内で感染を広げている可能性も想定される。

全数把握期間における男女別の罹患率相対危険を見ると、全年齢では1.04とわずかに男性の方が高いものの、昨年の1.30に比べほぼ差がなくなっており、年齢階級別にみても、0.877(35-39歳)~1.16(75-79歳)の間に収まっていた(図4)。感染者数全体が激増しているため、2021年はたまたま男性で発生が多かった可能性もあるが、オミクロン株の特性として感染のしやすさ自体には性別の違いがなくなってきている可能性も考えうる(ただし、後述するように死亡割合や重症度については、依然として性差が存在する)。別の理由として、2022年末には京都府人口の64%が3回目のワクチン接種を完了しており(図15)、65歳以上に限れば約9割が完了しているため、ワクチンが普及したために感染リスクの高い高齢者でリスクが減少し、結果として全体の性差が減少した可能性もある。

### (2) 死亡割合

2022年の京都市の死亡割合は0.256%(718人)で、2021年の0.684%(151人)、2020年の1.72%(61人)から2年連続で減少した。2022年の死亡者数は男性の方が多く、年齢階級・性別にみると、男性は85-89歳(98人)、女性は90-94歳(64人)の死亡者が最も多く、高齢者ほど死亡割合が多くなる一方、20歳未満の若年者でも死亡者があった(図4、図5)。全国でも少数ながら10歳未満の死亡者が報告されており、基礎疾患のない若年者も死亡しうると意識すべきであろう。

死亡割合の男女別の相対危険を見ると、全体では1.49で男性の方が死亡する割合が高く、年齢階級別にみても全ての年齢階級で1を上回っていた。また、65歳未満では2.86、65歳以上では1.82であり、65歳未満の方が相対危険は高かった。これは、男性であることよりも高齢者であることの方が高リスクであることを意味するかもしれないが、罹患率と同様、ワクチン接種は高齢者を優先して行われたため、相対的に高齢者のリスクが減少した影響が強いと思われる。

### (3) 流行曲線

流行時期は前後することがあるものの、2020年~2022年

の3年間では年2~3回の流行が見られた(図7)。年末年始(12~1月)、初夏(5月)、盛夏(8月)にピークを迎えることが多く、それぞれ正月・ゴールデンウィーク・お盆に対応すると見られる。この結果からCOVID-19は季節性があり、人が大きく動くイベントに連動して流行が発生すると考えられる。しかし、この3年間は行動様式が通常とは異なっていたため、季節外れの人の移動が抑制され、相対的に帰省・旅行シーズンの影響を強く受けた可能性がある。2023年以降、人々の行動様式がCOVID-19発生以前に戻っていくと、COVID-19の流行動態が変化する恐れがある。例えば、年間を通して散発的に流行を繰り返し、季節性がない感染症となることも考える。流行の開始を探知し、特性を把握することは重要であるため、今後の流行動態も継続して把握していく必要がある。

また、死亡者数の増加も劇的であり、2022年1回目の流行後の死亡者数は、2021年までの死亡者数を上回っていた。その後、2回目と3回目の流行後にも大きく死亡者数は増加しており、2023年執筆時点では1,000人を超えている。死亡割合は年々減少しているが、それを上回って罹患率が増加しており、今後も死亡者は増加していくことが強く懸念される。

#### (4) 症状

症状は非特異的な感冒様症状がその多くを占め、COVID-19に特異的な症状である嗅覚・味覚障害は2021年(16.9%)から0.863%と大きく減少した。その一方で、咽頭痛は2021年(19.0%)から34.7%と大きく増加していた(図9)。

オミクロン株は従来株と比較して、嗅覚・味覚障害が少なく、喉の痛みが多いことが報告されている<sup>10)</sup>。この特徴がオミクロン株から派生した変異株にも引き継がれ、2022年におけるCOVID-19の病態を変化させたと考えられる。また、肺炎像、重篤な肺炎、急性呼吸窮迫症候群、多臓器不全の頻度は2020年から減少傾向にあり、死亡割合が減少していることと関連していると思われる。ただし、京都市では独自に症状の記載欄を残したため、記載できる症状の割合はむしろ人為的に増えた可能性も否定できない。

感染者に占める無症者の割合を年齢階級別・性別に比較すると、1-4歳、85-89歳以上の年齢階級の女性で高くなる傾向があった(図10)。ただし、高齢者はリスクが高いことから積極的に検査が行われるため、感染者が発見する頻度が高い可能性がある。また、未就学児は全人口に占める人口が小さく、相対的に高く見えている可能性が否定できない。このため、特定の年齢層・性別で発病しない者が取り立てて多いわけではなく、どの感染者も一定の割合で発病し

ない、または潜伏期間が長い者がいると思われる。

#### (5) 感染した場所

感染した場所の欄が届出様式から削除された2022年6月30日までは不明の占める割合が65.5%だったが、それ以降は88.0%になっており、報告が大きく減少していた。2022年上半期における感染場所の割合を2020年及び2021年と比較すると、学校等、福祉施設(児童)の比率が大きく増加していた(図11)。2022年は20歳未満の年齢階級において罹患率が高かったため、必然的にこれらの患者が不特定多数の者と接しうる場所が報告されたと思われる。

行政区別の感染者数を見ると、伏見区が最も多く、右京区、左京区がそれに続いたが、人口1万人当たりの感染者数で比較すると、175人(東山区)~204人(南区)の範囲に収まり、16.6%の違いしかなかった(図12)。京都市市民は日常的に行政区をまたいで活動していると考えられ、所在地ごとに集計しても、感染した場所を必ずしも反映していないことが原因と考えられる。

#### (6) 重症度

2021年と同様<sup>3)</sup>、2022年も男女ともに年齢階級が高いほど中等症I以上の割合が多く、男性で特にその割合が高かった(図13、図14)。2020年から一貫して男性の方が重症度も死亡割合も高いため、オミクロン株についても男性であることは死亡及び重症化のリスクであることが指摘できる。

#### (7) ワクチン接種歴

京都府において、2022年1月1日には人口の約7割が2回目の接種を完了していた(図15)。2021年12月には3回目の接種が始まっており、8月には約6割が3回目の接種を終えた。4回目は2022年5月、5回目は同年10月に順次開始されたが、その接種回数は少なく、2022年末時点での接種状況は1回目完了が71.1%、2回目70.9%、3回目63.9%、4回目40.4%、5回目18.5%だった。

オミクロン株に対してはワクチンの効果が減弱すると言われているだけでなく<sup>11)</sup>、接種して時間が経つと効果が低下することが知られている<sup>12)</sup>。そのために複数の国家で接種して6ヶ月後に追加接種が行われているが、京都府での追加接種の割合は4回目で4割程度であり、5回目に至っては2割にも満たない。つまり、感染拡大を防ぐために十分なほどの集団免疫の達成には至らず、それが一因となって2021年を遥かに上回る流行が発生したと考えられる。

続いて、2022年におけるワクチンの有効率を推定した。発症予防効果については、推定される接種人口が感染者数

よりも小さくオッズ比が算出できない場合があったが(表 2、図 16)、これは京都府と京都市の人口比から接種人口を推定したこと、観察期間終了時点の接種人口を用いたことが原因と見られる。例えば、1 回接種した者が COVID-19 に感染した時点では、もっと多数の 1 回だけ接種した者がいたが、それらの大多数は感染することなく 2 回目、3 回目と接種していくか死亡してしまい、1 回接種した者は時間とともに減少していったと思われる。そのため、本研究の集計時期に比較的近い時期に接種が行われた 4-5 回接種については妥当な推定ができたが、接種時期が古い 1-3 回接種については母集団を過小に見積もっている可能性が高い。全体でも 3-5 回接種は有意に発症を減少させており(表 1)、ワクチンが COVID-19 の発症リスクや予後を増悪させたとは考えにくい<sup>19)</sup>。ワクチン接種後、効果が落ちる頃に追加接種を行えば、発症を予防する効果が期待できるであろう。

しかし、65 歳未満では男女ともに 4 回接種より 3 回接種の方が有効率は低く、65 歳以上でも 5 回接種より 4 回接種の方が有効率は低かった。このことから、ワクチンの効果は時間が経つと弱くなるのが裏付けされ、定期的に追加接種を行わなければならないことも示唆される。

重症化又は死亡予防効果について、全体では 4-5 回接種において有意ではなかったが、性別・年齢別に集計すると有意な結果となった(表 3、表 4、図 17、図 18)。ワクチン接種は高齢者から優先して始まったため、追加接種も高齢者から始まっており、4-5 回接種を受けた者は高齢者に多く、高齢者の 9 割以上が接種を完了している。だが、2022 年の感染者は 65 歳未満が占める割合は高い一方、重症者や死亡者は 65 歳以上で多かった。そのため、全体では年齢・性別に偏りがある集団を比較することになり、有意にならなかったと考えられる(表 1)。ワクチンを 2 回以上接種した 65 歳以上の男女は重症化及び死亡は有意に減少しており、ワクチンの効果を裏付けることができた。65 歳未満の男女では、接種回数によっては有意でなかったり、CI を算出できなかったりしたが、この理由は 65 歳未満では重症化・死亡が稀であるためである。CI が算出できなかった理由は重症化・死亡した者がおらず 0 除算が発生したためであり、この場合にはワクチンがほぼ完全に重症化・死亡を防いだとみなすこともできる。

なお、重症化又は死亡予防効果については、母集団を感染者としているため、感染・発症を予防したことによって重症化又は死亡しなかった分を除外しており、それぞれの有効率を低く見積もっている。それでもなお有効率があったため、実際にはさらなる効果が期待される。

ただし、ワクチン有効率については、複数の制限がある。

まず、発症しなかった人数は①京都府と京都市の人口比による推定、②接種回数別の人口からイベントがあった人数を減算することによる推定の二重の推定によって算出している。このため、真の値と推定値はある程度異なる可能性が否定できない。また、重症化又は死亡予防効果についても、接種回数別の人口は 1 年間で常に変化しており、その影響を考慮していない。その他、未接種者と接種歴不明者を区別していないことや、ワクチンの種類、ウイルスの株についても考慮していない。加えて、罹患率が高かったため、発症予防効果についてはリスク比をオッズ比で代用することによる影響も懸念される。

## (8) 流行動態の推定

ある程度の信頼性がある回帰式を得ることができ、HER-SYS からは観測されなくなっていた流行があったことを見出した。また、2022 年第 39 週以降に COVID-19 と診断されたとしても患者の利益は大きくないため、発生届の対象ではない(重症化リスクがない)軽症・無症状者全員が自主的に健康フォローアップセンターに登録するとは考えにくく、その人数を加算したとしてもサーベイランスとしては不十分であろう。推定された流行曲線は、健康フォローアップセンターの登録数を含んでいる京都市広報資料よりも大きく推移しており、COVID-19 のリスクを評価するにはある程度有益と思われる。

しかし、2022 年 2 回目の流行と比較すると、推定された 3 回目の流行は小さくみえるが、入院者数はやや大きく推移しており、推定された流行曲線とあまり合致しない。残差分析の結果から流行期には誤差が大きくなることが予想されるため、この回帰式では流行開始を感知することはできても、流行規模の大小を比較することは困難であろう。

また、今回は単純な最小二乗法を採用したため、時系列の情報は加味されておらず、全ての情報を重みづけせずに利用している。実際には遠い過去よりも直近の過去の情報の方が予測値に大きな影響を与えると予想され、時系列解析の方が適している。また、図 3 のとおり、65 歳以上の感染者数の割合は実際には一定ではなく、流行初期には小さく、流行末期に大きくなる傾向がある。これは当所の過去の研究でも明らかにしている<sup>3)</sup>。こうした点で誤差の大きさは否定できず、より高度かつ精度の高い別のモデルを用いた推定を行う必要があり、今後の課題としたい。

## 5. 総括

本研究は、2022 年における COVID-19 の特性を解析し、2021 年までと一部異なった特徴を見出した。これらの結果

は、オミクロン株が従来株と異なる特徴を持つことを間接的に裏付けていると思われる。また、ワクチン接種が発症・重症化・死亡を有意に減少させていたことを示唆した。

2023年5月8日より、COVID-19は五類感染症(定点把握疾患)に移行する予定である。現在、ワクチンの普及と治療薬の上市から、COVID-19を取り巻く状況は変化しつつある。死亡割合は減少してきているが、罹患率は爆発的に増加し、結果的に死亡者も大きく増加した。COVID-19と季節性インフルエンザはしばしば比較されるが、百年以上研究されてきたインフルエンザと比べ、COVID-19は出現から数年しか経っていない新しい感染症であり、その特性全てが理解されているわけではない。遺伝子変異が蓄積して病態が変化した場合、定点把握疾患となれば把握が難しくなることが懸念され、2023年5月以降は発生动向調査にこれまでと異なる困難さが想定される。法的な扱いが引き下げられても、COVID-19の脅威が小さくなるわけではない。コロナ禍は終わったのではなく、新たに始まると考えるべきであろう。定点把握疾患への移行後、流行動態の把握や年別比較に課題が生じるため、これらを今後の課題としたい。

## 7. 参考文献 (以下、全て2023年3月参照)

- 1) 国立感染症研究所、「SARS-CoV-2変異株について」  
<https://www.niid.go.jp/niid/ja/2019-ncov/2551-cepr/10745-cepr-topics.html>
- 2) 厚生労働省、「感染症の予防及び感染症の患者に対する医療に関する法律第12条第1項及び第14条第2項に基づく届出の基準等について(一部改正)」(令和4年6月30日付)  
<https://www.mhlw.go.jp/content/000958882.pdf>
- 3) 京都市衛生環境研究所年報 No. 88 p. 134-141、「京都市における新型コロナウイルス感染症の発生动向調査(2021年)」  
<https://www.city.kyoto.lg.jp/hokenfukushi/page/000177060.html>
- 4) デジタル庁、「ワクチン接種記録システム(VRS)」  
<https://info.vrs.digital.go.jp/>
- 5) 国立感染症研究所、「感染・伝播性の増加や抗原性の変化が懸念される 新型コロナウイルス(SARS-CoV-2)の変異株について(第25報)」  
<https://www.niid.go.jp/niid/ja/2019-ncov/2551-cepr/11794-sars-cov-2-25.html>
- 6) 厚生労働省、「新型コロナウイルス感染症診療の手引き(第9.0版)」  
<https://www.mhlw.go.jp/content/000936655.pdf>

- 7) 厚生労働省、「オープンデータ(新型コロナウイルス感染症について)」より算出した。  
<https://www.mhlw.go.jp/stf/covid-19/open-data.html>
- 8) 日本小児科学会「小児における新型コロナウイルス感染症(COVID-19)の現状と感染対策についての見解」  
[http://www.jpeds.or.jp/modules/activity/index.php?content\\_id=369](http://www.jpeds.or.jp/modules/activity/index.php?content_id=369)
- 9) 日本小児科学会、「生後6か月以上5歳未満の小児への新型コロナワクチン接種に対する考え方」、感染状況とワクチンに関する知見、5。  
[http://www.jpeds.or.jp/modules/activity/index.php?content\\_id=466](http://www.jpeds.or.jp/modules/activity/index.php?content_id=466)
- 10) UK Health Security Agency、「Investigation of SARS-CoV-2 variants: technical briefing 34」  
<https://www.gov.uk/government/publications/investigation-of-sars-cov-2-variants-technical-briefings>
- 11) 厚生労働省、「新型コロナワクチンQ&A、従来ワクチン(1価)による接種について、オミクロン株にも追加(3回目)接種の効果はありますか。」  
<https://www.cov19-vaccine.mhlw.go.jp/qa/0111.html>
- 12) 厚生労働省、「新型コロナワクチンQ&A、日本で接種が進められている新型コロナワクチンにはどのような効果(発症予防、持続期間等)がありますか。」  
<https://www.cov19-vaccine.mhlw.go.jp/qa/0011.html>
- 13) 厚生労働省、「新型コロナワクチンQ&A、ワクチンを接種した人が変異株に感染すると重症化しやすい(抗体依存性感染増強(ADE)になりやすい)のは本当ですか。」  
<https://www.cov19-vaccine.mhlw.go.jp/qa/0093.html>

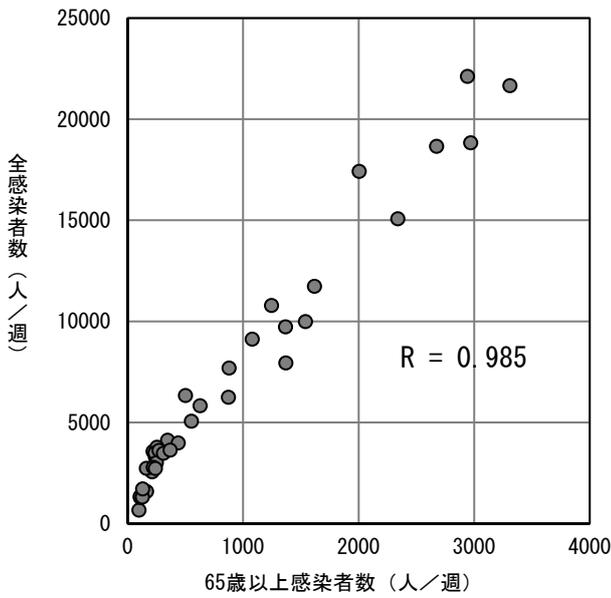


図1. 週ごとの全感染者数の65歳以上感染者数関係

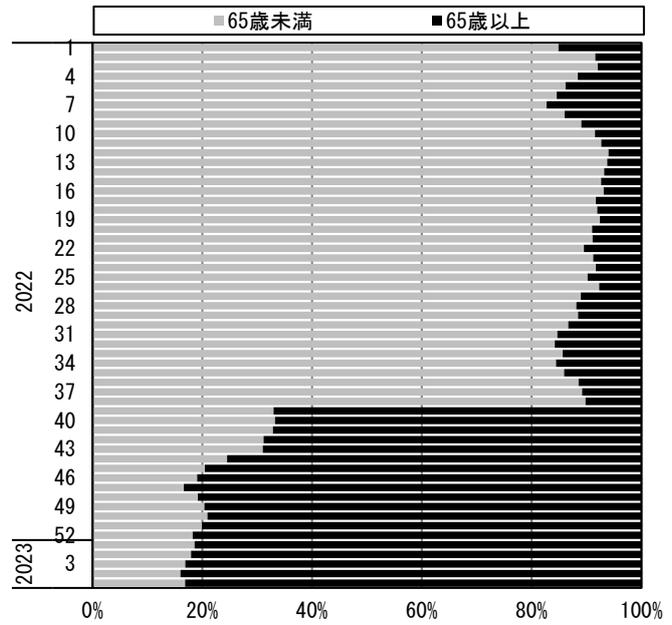


図2. 週ごとの全感染者数に占める65歳以上の割合

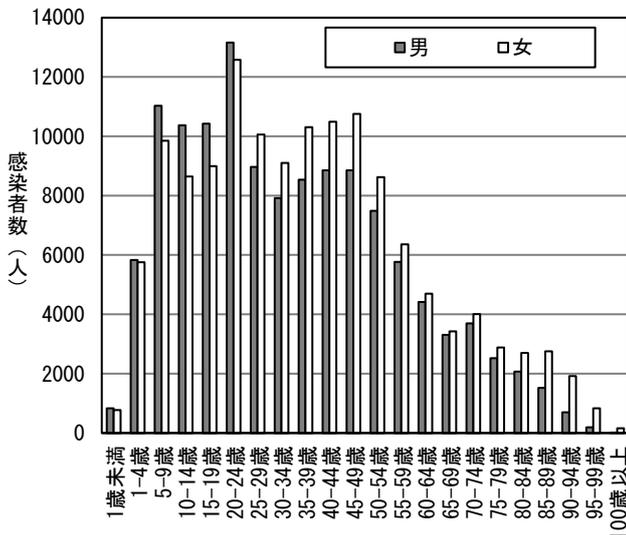


図3. 2022年1月1日～9月25日の年齢階級・性別感染者数

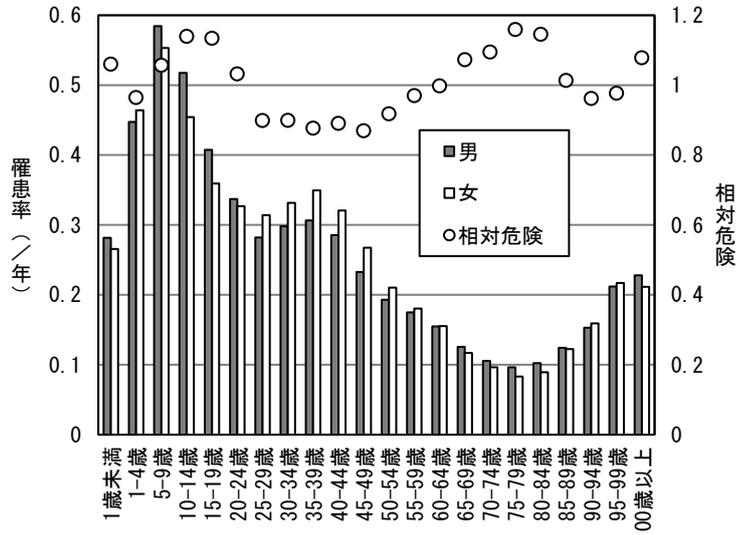


図4. 2022年1月1日～9月25日の年齢階級・性別罹患率

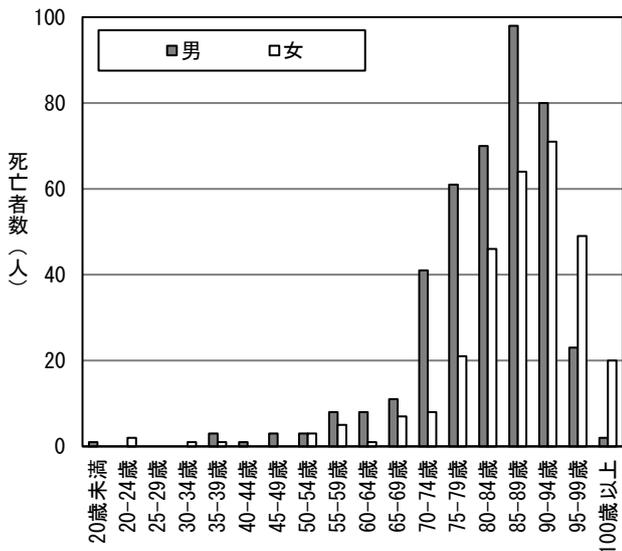


図5. 2022年の年齢階級・性別死亡者数

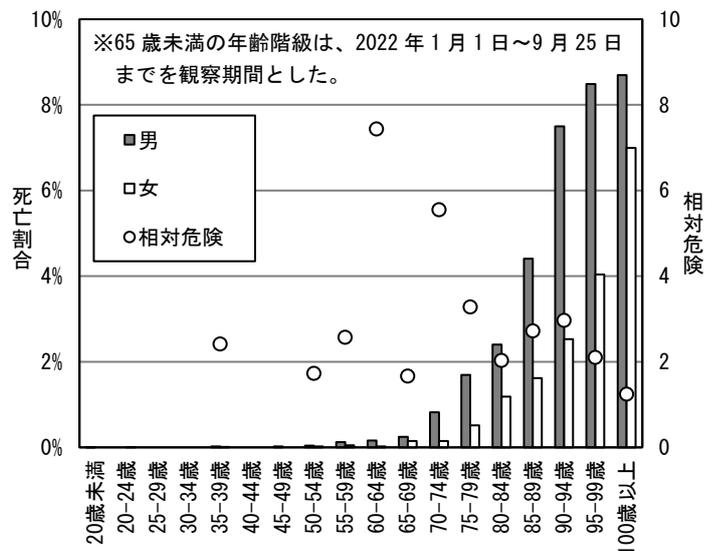


図6. 2022年の年齢階級・性別死亡割合

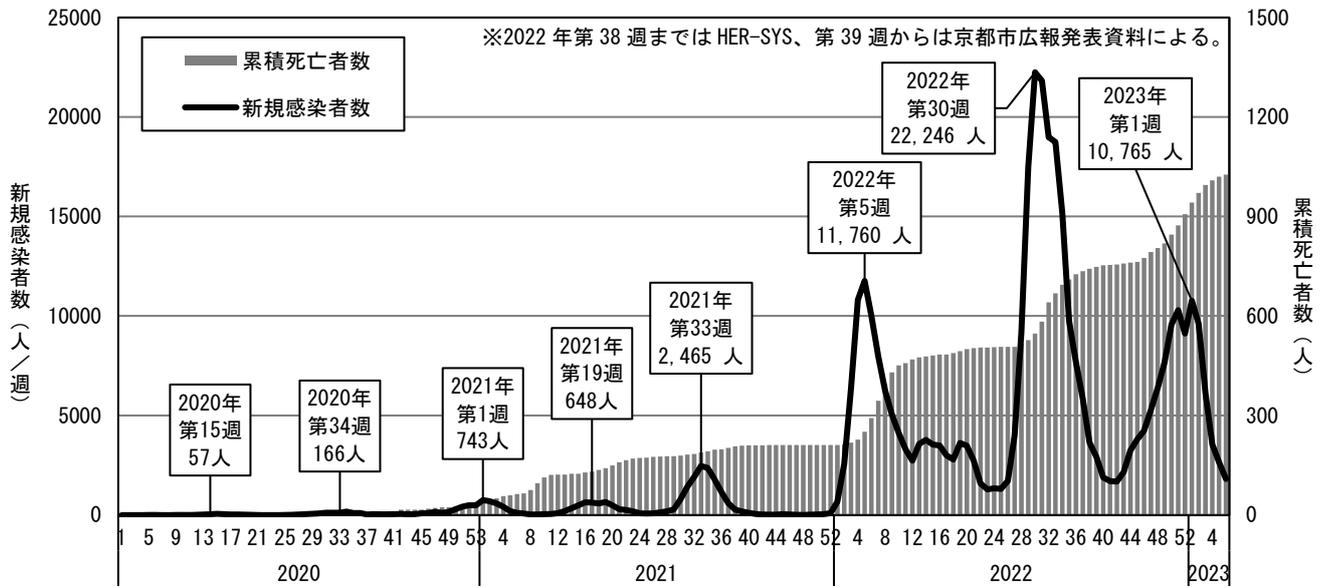


図7. 2020年第1週～2023年第5週におけるCOVID-19の週別新規感染者数と累積死亡者数

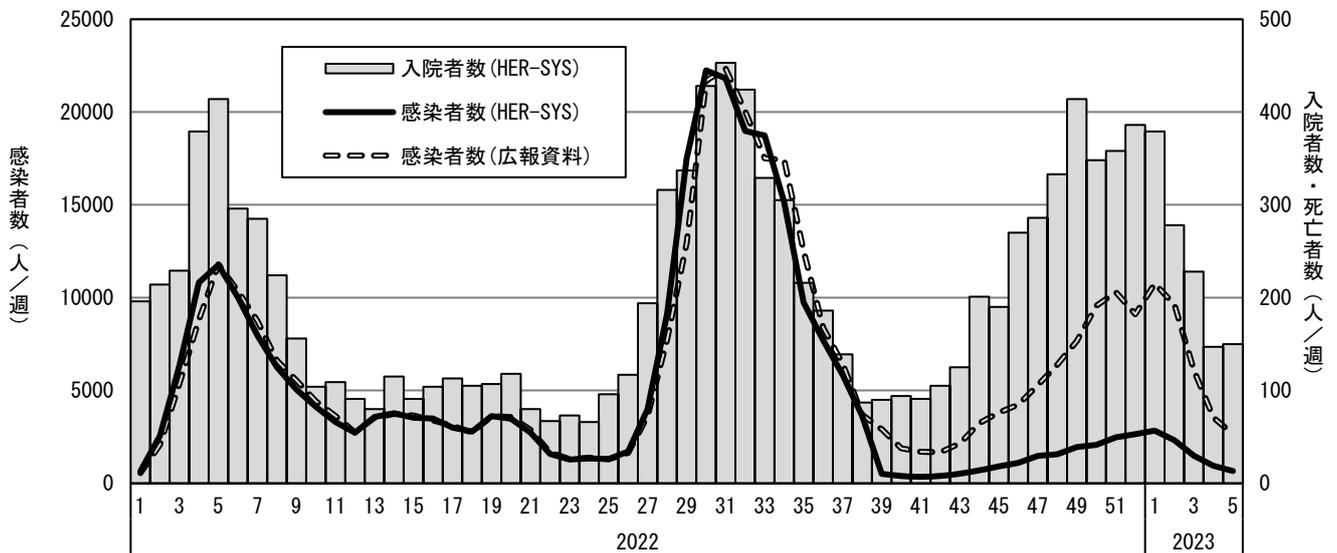


図8. 2022年第1週～2023年第5週におけるHER-SYSと京都市広報発表資料の週別新規感染者数と入院者数の比較

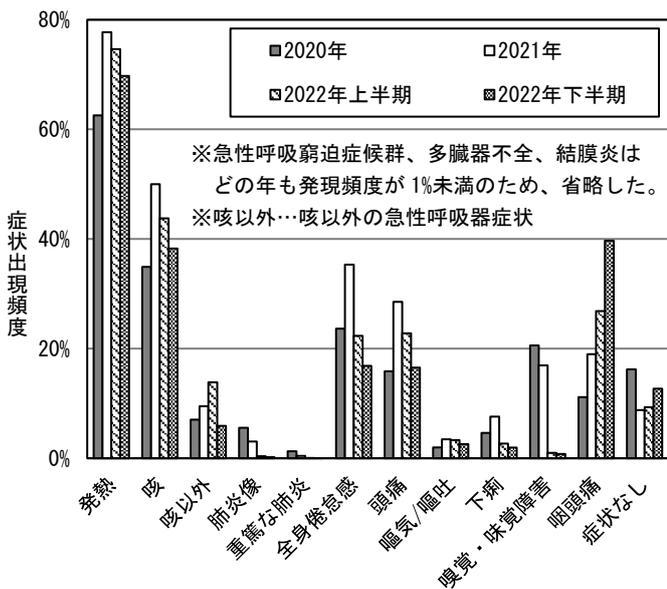


図9. 2020年～2022年における症状出現頻度の比較

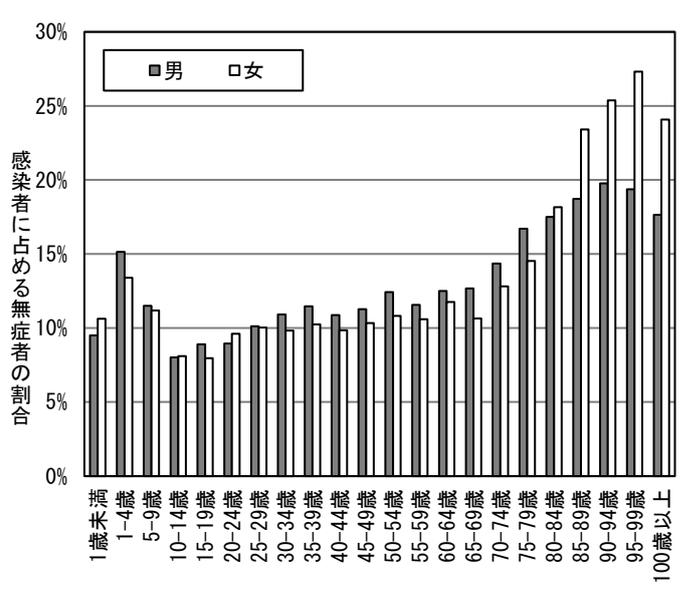
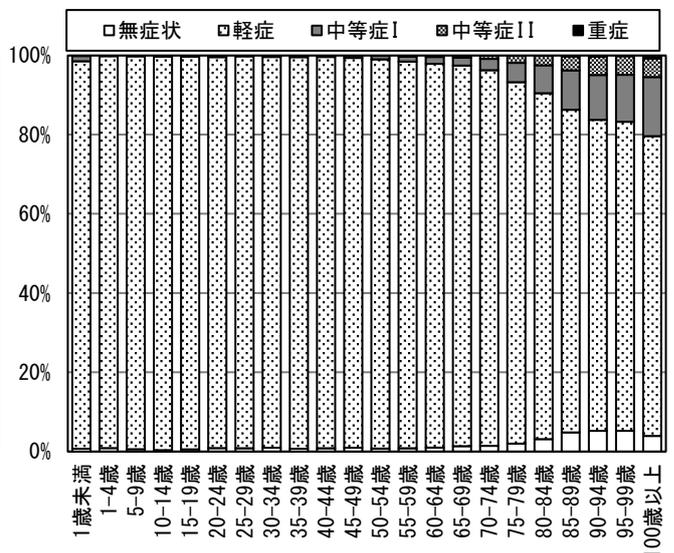
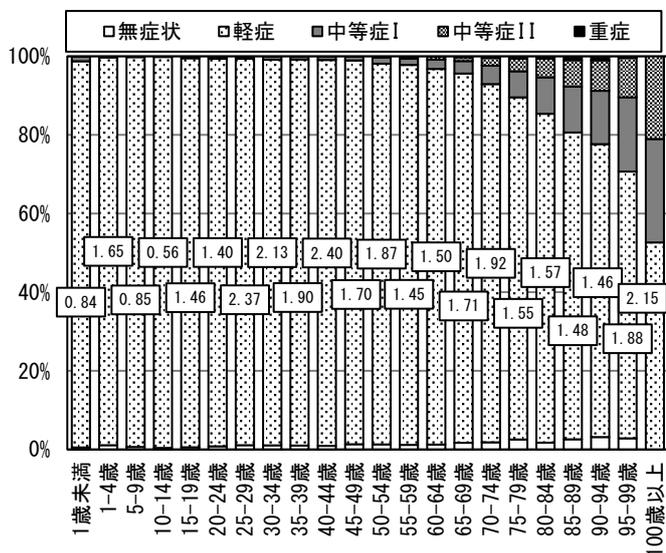
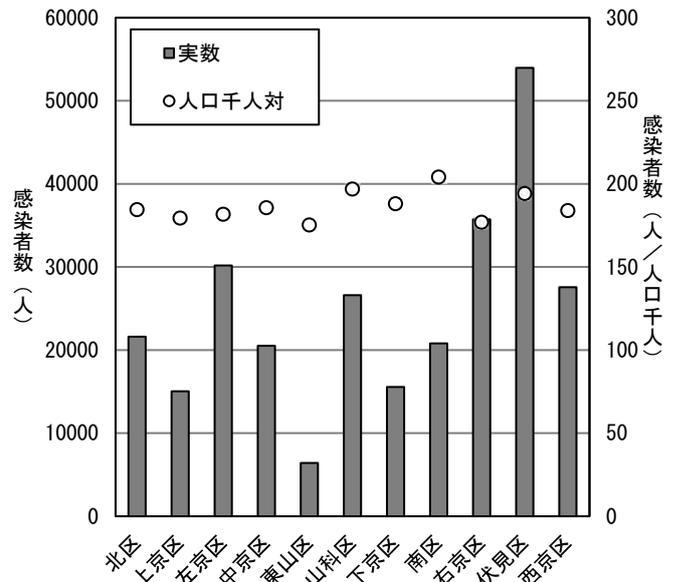
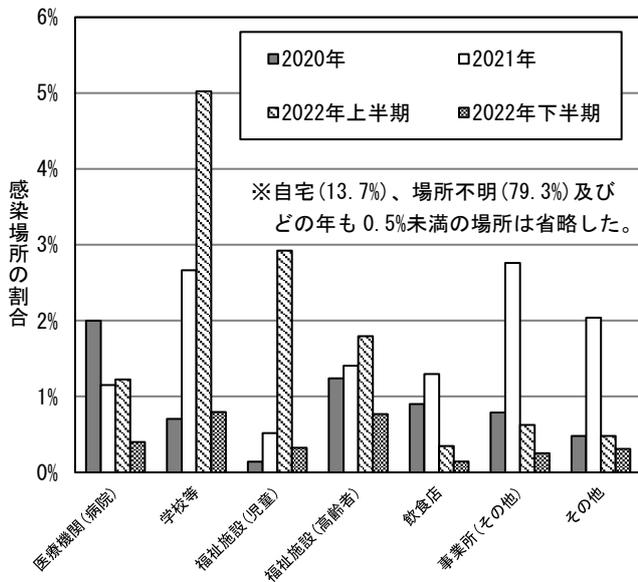


図10. 2022年における年齢階級・性別無症者割合



※図 13 中に中等症 I 以上の性比(=男性割合÷女性割合)を示した。図 13、図 14 ともに全体から「不明」は除外している。

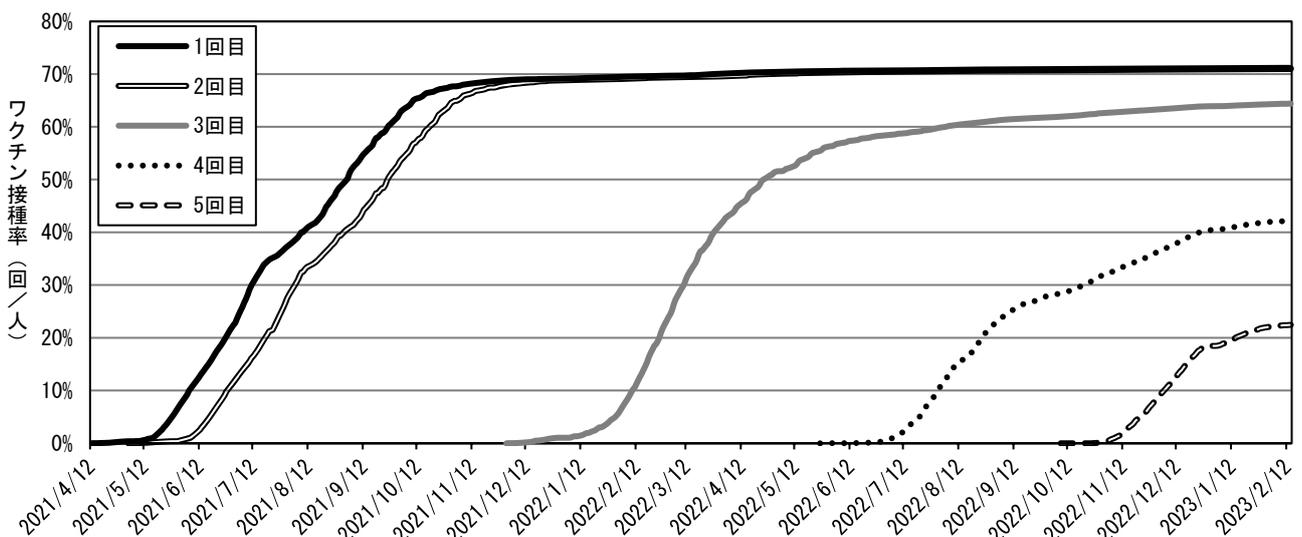


表 1. ワクチン接種歴ごとの発症又は重症化、死亡に対するオッズ比

	発症予防効果			重症化予防効果			死亡予防効果		
	発症	未発症	オッズ比 (95%CI)	重症	非重症	オッズ比 (95%CI)	死亡	生存	オッズ比 (95%CI)
未接種/不明	92,670	299,838	1 (対照群)	92	93,588	1 (対照群)	333	106,746	1 (対照群)
1回目	1,592	2,859	1.80 (1.69-1.92)	1	1,603	0.635 (0.0880-4.56)	9	1,809	1.59 (0.82-3.10)
2回目	78,509	46,857	5.42 (5.35-5.50)	30	78,794	0.387 (0.256-0.585)	171	87,340	0.628 (0.522-0.755)
3回目	57,307	282,736	0.656 (0.648-0.663)	22	58,253	0.384 (0.241-0.612)	137	67,373	0.652 (0.534-0.796)
4回目	13,195	303,974	0.140 (0.138-0.143)	13	13,575	0.974 (0.545-1.74)	56	14,251	1.26 (0.949-1.67)
5回目	1,745	265,770	0.0212(0.0203-0.0223)	1	1,798	0.566 (0.0790-4.06)	12	1,806	2.13 (1.20-3.80)

※ただし、斜体で示した値は推定値。発症については2022年の京都市人口、それ以外は感染者を母集団とした。

表 2. ワクチン接種歴・年齢階級・性別ごとの発症に対するオッズ比

	男性						女性					
	65歳未満			65歳以上			65歳未満			65歳以上		
	発症	未発症	オッズ比(95%CI)	発症	未発症	オッズ比(95%CI)	発症	未発症	オッズ比(95%CI)	発症	未発症	オッズ比(95%CI)
未接種/不明	42,692	130,038	1 (対照群)	3,900	11,413	1 (対照群)	39,845	148,042	1 (対照群)	4,837	18,040	1 (対照群)
1回目	725	1,130	1.95 (1.78-2.15)	86	212	1.19 (0.920-1.53)	36,128	27,450	4.89 (4.80-4.98)	128	464	1.03 (0.840-1.25)
2回目	34,663	63,504	1.66 (1.63-1.69)	3,293	-512	-	35,490	26,449	4.99 (4.89-5.08)	4,262	-575	-
3回目	18,735	185,009	0.308 (0.303-0.314)	5,502	9,277	1.74 (1.65-1.82)	24,276	196,876	0.458 (0.450-0.466)	7,468	14,511	1.92 (1.84-2.00)
4回目	746	34,815	0.0653 (0.0607-0.0702)	4,575	41,754	0.321(0.306-0.336)	1,240	50,582	0.0911 (0.0860-0.0965)	5,913	64,032	0.344(0.330-0.359)
5回目	-	-	-	734	91,319	0.0235 (0.0217-0.0255)	-	-	-	898	119,022	0.0281 (0.0262-0.0303)

※ただし、斜体で示した値は推定値。2022年の京都市人口を母集団とした。

表 3. ワクチン接種歴・年齢階級・性別ごとの重症化に対するオッズ比

	男性						女性					
	65歳未満			65歳以上			65歳未満			65歳以上		
	重症	非重症	オッズ比(95%CI)	重症	非重症	オッズ比(95%CI)	重症	非重症	オッズ比(95%CI)	重症	非重症	オッズ比(95%CI)
未接種/不明	12	43,053	1 (対照群)	50	3,971	1 (対照群)	3	40,171	1 (対照群)	18	4,984	1 (対照群)
1回目	0	728	0	0	89	0	0	641	0	1	129	2.15 (0.280-16.2)
2回目	1	34,824	0.103 (0.0130-0.792)	20	3,291	0.483 (0.287-0.812)	1	35,589	0.376(0.0390-3.62)	8	4,284	0.517 (0.225-1.19)
3回目	1	19,048	0.188 (0.0240-1.449)	16	5,608	0.227 (0.129-0.398)	0	24,552	0	4	7,709	0.144 (0.0490-0.425)
4回目	0	788	0	11	4,667	0.187(0.0970-0.360)	0	1,285	0	1	6,112	0.045(0.00600-0.339)
5回目	-	-	-	1	749	0.106(0.0146-0.769)	-	-	-	0	932	0

※2022年の感染者を母集団とした。

表 4. ワクチン接種歴・年齢階級・性別ごとの死亡に対するオッズ比

	男性						女性					
	65歳未満			65歳以上			65歳未満			65歳以上		
	死亡	生存	オッズ比(95%CI)	死亡	生存	オッズ比(95%CI)	死亡	生存	オッズ比(95%CI)	死亡	生存	オッズ比(95%CI)
未接種/不明	12	49,169	1 (対照群)	173	4,240	1 (対照群)	5	46,040	1 (対照群)	137	5,676	1 (対照群)
1回目	0	828	0	4	87	1.13 (0.410-3.11)	1	744	12.4 (1.44-106)	4	134	1.24 (0.450-3.39)
2回目	9	38,841	0.949 (0.400-2.25)	103	3,461	0.729 (0.569-0.935)	2	39,495	0.466(0.0900-2.40)	57	4,691	0.503 (0.369-0.687)
3回目	1	22,650	0.181(0.0240-1.39)	72	5,872	0.301 (0.228-0.397)	0	29,088	0	59	8,372	0.292 (0.215-0.397)
4回目	0	919	0	29	4,759	0.149 (0.101-0.222)	0	1,591	0	23	6,244	0.153(0.0980-0.238)
5回目	-	-	-	5	749	0.164 (0.0670-0.399)	-	-	-	6	940	0.264 (0.116-0.601)

※2022年の感染者を母集団とした。

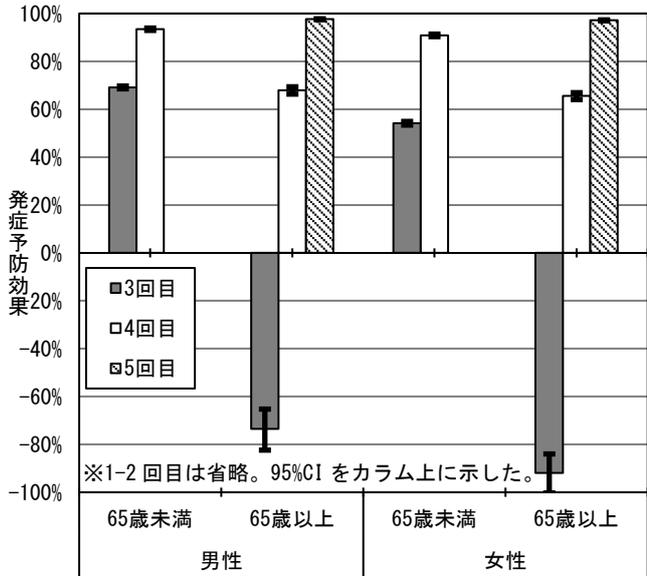


図 16. 接種歴別の発症に対するワクチン有効率

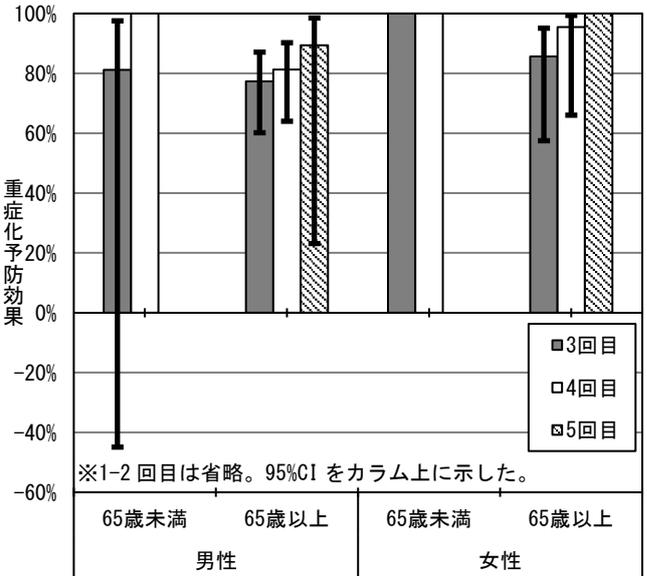


図 17. 接種歴別の重症化に対するワクチン有効率

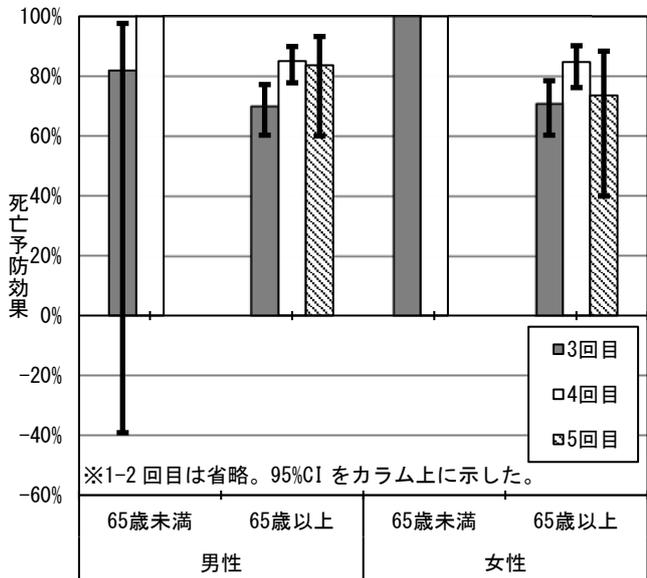


図 18. 接種歴別の死亡に対するワクチン有効率

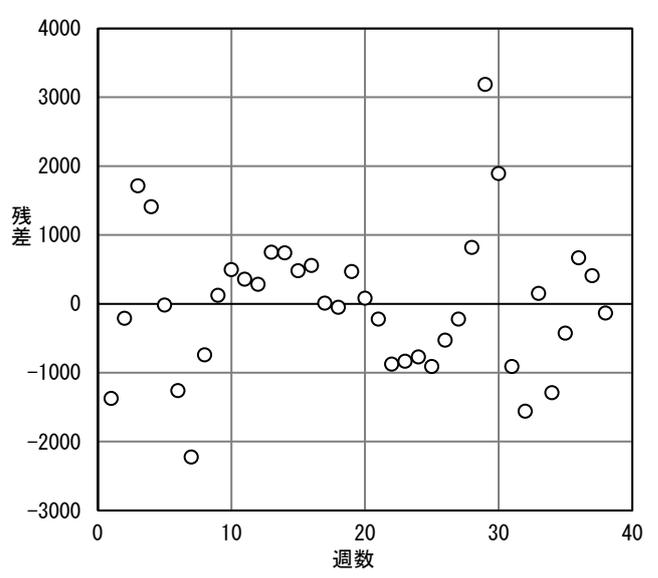


図 20. 感染者数推定回帰式の残差分布

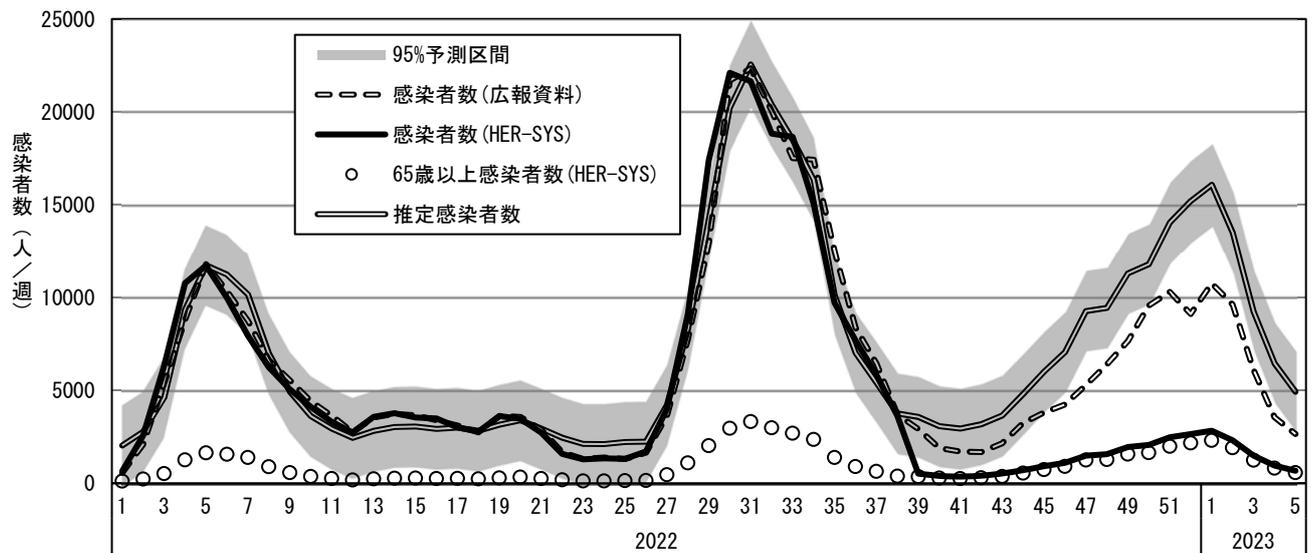


図 19. 京都市における COVID-19 感染者数の週別推定流行曲線

## ヒートマップを用いたデータ可視化による感染症発生动向の把握

## Data Visualization with Heatmap of Epidemiological Surveillance of Infectious Diseases

○吉澤 徳一\*

Norikazu YOSHIKAWA

定点把握感染症の全国推移をヒートマップ表形式で可視化した。色調は6段階とした上で、データ表記の工夫により実質的に7段階の階調とした。2次元の表現形式でありながら、3次元的な動向把握が可能になった。ヒートマップ地図を並べる表現方法と比較して、地域別推移が分かりやすく、描画面積が少なく済むことから、一覽性に優れていると考えられる。一方、地理的な広がりへの把握はヒートマップ地図が優れており、表と地図との併用で、感染症の広がりを面して捉えることがより容易になった。

キーワード： 定点把握、五類感染症、地方衛生研究所、データ可視化、感染症発生动向調査

Keywords： Sentinel surveillance, Category V Infectious Diseases, Public Health Institute, Heatmap, National Epidemiological Surveillance of Infectious Diseases (NESID)

## 1. はじめに

京都市衛生環境研究所管理課疫学情報担当では感染症法<sup>1)</sup>に基づく感染症発生动向調査事業<sup>2)</sup>において、地方感染症情報センター<sup>3)</sup>としての業務を担っており、同事業の趣旨及び目的<sup>4)</sup>に沿って業務を行っている。感染症週報<sup>5)</sup>では京都市の感染症情報を全国情報と併せて公開するほか、注目する感染症について注意喚起を促す内容をトピックスとして掲載している。また、こどもの感染症を取り上げたポスター<sup>6)</sup>を毎月作成し、保育所などの関連施設等に配布している。

## 2. 目的

感染症週報、トピックスあるいはこどもの感染症ポスターの作成に当たり、国からのNESID<sup>7)</sup>還元データ及び過去の推移を見ながら個別に評価検討しているが、これらに加えて全国あるいは行政区別に、面的な広がりを視覚的に捉えるための表現方法を開発する。

## 3. 方法

週単位で報告されている各定点把握感染症について、都道府県に対して疫学週を系列とする表を作成、各コマ(セル)には定点当たり報告数を記載し、それを感染症ごとに設

定した値に応じて色分けしたヒートマップを作成した。

色分けは白、薄橙、橙、濃橙、赤、紫の6色(6段階)を用い、報告が多くなるほど色が濃くなるグラデーションになるように設定した。各色分けの区切りとなる値(以下、しきい値)は、注意報・警報が設定されている場合は必ず用い、他の値は島根県感染症情報センター<sup>8)</sup>のしきい値(5段階設定)を参考に、最も濃い紫色は警報の1.5倍から2倍程度に設定した(表)。

なお、しきい値及び色調については流行の度合いが過少あるいは過大な印象で伝わることをないように心掛けた。

全国データでは、報告数が少ない場合、見かけ上ゼロ(0.00)となる場合があるので、0(報告なし)と0.00(報告あり)を明確に区別するために、0は「-」として表現した。これにより、色分けとしては6段階だが、視覚的には7段階の表現を可能にした。

実務的な作業としては、国のNESID還元データをエクセルのマクロ機能で取り込んで表を作成し、条件付き書式機能で色を付けた。作業工程は従前からのデータ処理に組み込み、新たな作業負担を生じないようにした。

行政区別や京都市周辺地域についても全国と同様に処理し、ヒートマップを作成した。

\* 京都市衛生環境研究所 管理課疫学情報担当

表 各感染症の警報・注意報基準値と色分けのしきい値

(数値は全て定点当たり報告数、しきい値以上を当該の色に設定する)

	インフル エンザ*	RSウイルス 感染症	咽頭 結膜熱	A群溶血 性レンサ球 菌咽頭炎	感染性 胃腸炎	水痘	手足口病	伝染性 紅斑	突発性 発疹	ヘルパン ギーナ	流行性 耳下腺炎	急性 出血性 結膜炎	流行性 角結膜炎
警報開始	30	設定なし	3	8	20	2	5	2	設定なし	6	6	1	8
警報終息	10	設定なし	1	4	12	1	2	1	設定なし	2	2	0.1	4
注意報	10	設定なし	設定なし	設定なし	設定なし	1	設定なし	設定なし	設定なし	設定なし	3	設定なし	設定なし
紫 <sup>*1</sup>	45	10	6	12	40	4	10	4	6	9	9	1.5	12
赤 <sup>*2</sup>	30	5	3	8	20	2	5	2	4	6	6	1	8
濃橙 <sup>*3</sup>	10	2.5	1	4	12	1	2	1	3	2	3	0.1	4
橙	5	1	0.5	2	6	0.5	1	0.5	2	1	2	0.08	2
薄橙	1	0.5	0.25	1	3	0.25	0.5	0.25	1	0.5	1	0.05	1
白	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
白	報告無しは「-」として記載												

\*1 警報開始基準値の1.5~2倍

\*2 警報が設定されている場合はその開始基準値

\*3 警報が設定されている場合はその終息基準値に準じて、注意報が設定されている場合はその基準値

#### 4. 結果及び考察

ヒートマップを作成することで、2次元の表現でありながら、3次元的動向把握が可能になった。

例として、手足口病では、第17週頃から九州沖縄地方で、第26週頃から関東地方、続いて東北地方で流行が広がる様子がわかる(図1)。また、インフルエンザでは、第40週頃までは報告が無く、「-」として表示されているコマが多いが、数字が入り出すとコマが埋まって行き、報告が徐々に増加するのを視覚的に捉えられ、同じ白色の表現でも2段階の表現が可能となっている(図2)。

このように、全国推移では、地域的な広がりやグラデーションで表現され、特に流行曲線でピークを形成する様な推移では、動向把握を「面」としてこれまで以上に的確に把握できるようになった。

全国の表は感染症週報の一部として毎週更新し、ホームページに掲載して広く一般に公開した。

行政区別・周辺地域保健所別推移では、定点数すなわち母数が少なく、バラつきが大きくなり極端な値をとりやすい。

このため全国ほど滑らかなグラデーションにはならないが、衛生行政担当職員等の専門職が動向を把握するには十分な表が得られた。

極端な値が視覚に与える影響から、評価にはある程度の疫学的バックグラウンドが必要と考え、現在のところ衛生行政担当職員に限り情報提供している。

また、視覚的効果や一貫性が高まったことで、行政区による偏りも把握が容易になった。

例として、RSウイルス感染症、感染性胃腸炎及び手足口病等では下京区の報告が目立って少なく(図3~5)、他方、A群溶血性レンサ球菌咽頭炎では右京区の報告が際立って多かった(図6)。これらの様な動向については、定点把握感染症であっても、報告状況の確認や積極的な疫学調査を検討する必要性を示唆している。

こうしたヒートマップを用いたデータの視覚化で、京都市における感染症の発生動向がこれまで以上に把握しやすくなった。

手足口病 全国推移 (2022年)

警報開始: 5 警報終息: 2 注報: 設定なし

凡例: 0-0.5 0.5-1 1-2 2-5 5-10 ≥10 (報告なし) -(ゼロ)

Table showing the national trend of hand, foot, and mouth disease in 2022. It includes a header with columns for prefectures (1-52) and a grid of data points. A legend at the top right indicates color-coded ranges from 0-0.5 to ≥10. A note at the bottom right identifies the data source as the National Center for Infectious Diseases.

図1 全国の都道府県別ヒートマップ(手足口病)

インフルエンザ 全国推移 (2022年)

警報開始: 30 警報終息: 10 注報: 10 流行入局: 1

凡例: 0-1 1-5 5-10 10-30 30-45 ≥45 (報告なし) -(ゼロ)

Table showing the national trend of influenza in 2022. It includes a header with columns for prefectures (1-52) and a grid of data points. A legend at the top right indicates color-coded ranges from 0-1 to ≥45. A note at the bottom right identifies the data source as the National Center for Infectious Diseases.

図2 全国の都道府県別ヒートマップ(インフルエンザ)

RSウイルス感染症 京都市周辺地域推移 (2022年)

Table showing RS virus infection trends in Kyoto and surrounding areas for 2022. Includes columns for region (e.g., 京都市, 北, 上京), date (1-52), and infection count. A color-coded legend at the top indicates intensity levels from 0.5 to 5.0.

図3 行政区別・京都市周辺地域ヒートマップ(RSウイルス感染症)

感染性胃腸炎 京都市周辺地域推移 (2022年)

Table showing infectious gastroenteritis trends in Kyoto and surrounding areas for 2022. Includes columns for region, date, and infection count. A color-coded legend at the top indicates intensity levels from 0.3 to 20.0.

図4 行政区別・京都市周辺地域ヒートマップ(感染性胃腸炎)

手足口病 京都市周辺地域推移 (2022年)

Table showing hand, foot, and mouth disease trends in Kyoto and surrounding areas for 2022. Includes columns for region, date, and infection count. A color-coded legend at the top indicates intensity levels from 0.5 to 5.0.

図5 行政区別・京都市周辺地域ヒートマップ(手足口病)

A群溶血性レンサ球菌咽頭炎 京都市周辺地域推移 (2022年)

Table showing group A streptococcal pharyngitis trends in Kyoto and surrounding areas for 2022. Includes columns for region, date, and infection count. A color-coded legend at the top indicates intensity levels from 0.1 to 4.0.

図6 行政区別・京都市周辺地域ヒートマップ(A群溶血性レンサ球菌咽頭炎)

## 5. まとめ

定点把握感染症の推移を表形式のヒートマップで表現することで、流行曲線だけでは把握しきれない地域的な広がりも含めた状況を時系列で表現することができた。

同様の表現方法は島根県感染症情報センターのホームページ<sup>8)</sup>で既に行われており、本研究でも多くの部分を参考にした。しかしながら、ホームページのシステムは各自治体によって様々である。データ処理方法も多様であり、仮に技術支援を受けたとしても、そのまま利用することは難しい。

例えば、島根県ではHTMLファイル<sup>9)</sup>を直接サーバにアップロードできるシステムであり、また、大阪府ではホームページ上で期間を設定するとグラフを動的に自動作成・CSVファイルダウンロードができるシステム<sup>10)</sup>を持ち、あるいは、川崎市<sup>11)</sup>では高度なウェブアプリケーションを備えたシステム(川崎市感染症情報発信システム(KIDSS)<sup>12)</sup>)を持っている。こういった自治体がある一方、多くの自治体の感染症情報センターでは、当該自治体ホームページ内の限られたページで静的な内容の情報を発信している。

京都市感染症情報センターにおいても、ホームページは京都市の公式サイト(京都市情報館<sup>13)</sup>)の一部であり、その作成手段は主に手入力による都度作成・更新とPDFファイル参照によるページ構成に限られている。

こうした制限の中で、新規機能を従前からのデータ処理に組み込み、全国や京都市周辺地域の流行状況を感染症ごとに単一ページにまとめた一覧性の高いPDFファイルで作成できたことは、発生動向調査事業<sup>2)</sup>の目的である、「感染症の発生情報の正確な把握と分析」<sup>4)</sup>に非常に役立つ。加えて、毎週の感染症情報をホームページや電子メールなどで広く周知することで「その結果の国民や医療機関への迅速な提供・公開」<sup>4)</sup>ができ、それを受けた医療・保健関連機関あるいは個人での「感染症に対する有効かつ的確な予防・診断・治療に係る対策が図」<sup>4)</sup>られ、「多様な感染症の発生及びまん延の防止」<sup>4)</sup>に資すると考えられる。

## 6. 文献及び注

- 1) 感染症の予防及び感染症の患者に対する医療に関する法律(平成10年法律第114号)。
- 2) 感染症発生動向調査事業実施要綱(執筆時点での最新改正は令和4年10月31日)、<https://www.mhlw.go.jp/content/10900000/001013340.pdf>
- 3) 京都市感染症情報センター、<https://www.city.kyoto.lg.jp/menu3/category/41-6-0-0-0-0-0-0-0-0.html>
- 4) 感染症発生動向調査事業実施要綱に記載されている趣旨及び目的より。以下部分引用、下線は著者「本事業は、感染症の発生情報の正確な把握と分析、その結果の国民や医療関係者への迅速な提供・公開により、感染症に対する有効かつ的確な予防・診断・治療に係る対策を図り、多様な感染症の発生及びまん延を防止するとともに、」。
- 5) 京都市感染症週報、<https://www.city.kyoto.lg.jp/hokenfukushi/page/0000074152.html>
- 6) 京都市こどもの感染症：市民・学校保育施設等を対象として、こどもの感染症に関する情報をポスター形式で作成・発行している。毎月更新しており、印刷して掲示するなど、誰でも自由に使用できる。<https://www.city.kyoto.lg.jp/hokenfukushi/page/0000146238.html>
- 7) National Epidemiological Surveillance of Infectious Diseasesの略称。感染症発生動向調査及び病原体検出報告を一元管理する、厚生労働省が所管する中央データベース。
- 8) 島根県感染症情報センター、<https://www1.pref.shimane.lg.jp/contents/kansen/>
- 9) HTMLファイル：HTMLとは、WEBページ(ホームページ)を作成するための言語で、「Hyper Text Markup Language(ハイパーテキスト・マークアップ・ランゲージ)」の略。HTMLが記述されたファイルがHTMLファイル。
- 10) 大阪府感染症情報センター、<http://www.iph.pref.osaka.jp/>
- 11) 川崎市感染症情報センター、<https://www.city.kawasaki.jp/kurashi/category/22-13-8-11-0-0-0-0-0-0.html>
- 12) 川崎市感染症情報発信システム、<https://kidss.city.kawasaki.jp/>
- 13) 京都市情報館：京都市の公式ホームページ、<https://www.city.kyoto.lg.jp/>

## カンピロバクター菌株におけるギランバレー症候群関連遺伝子の保有状況調査 及び新規型別法の検討

京都市衛生環境研究所 微生物部門

○植 貴俊、 富田 陽子、 原田 裕子、 筋篁 拓也、 中川 力、 清水 英信

細菌性食中毒のうちカンピロバクター属菌を原因とするものは、過去 20 年において事件数連続第 1 位であり、特に多いとされるカンピロバクター・ジェジュニ(以下、「*C. jejuni*」という。)の対策は喫緊の課題である。そこで本研究では、危険性の把握を目的として、本菌の合併症として知られるギランバレー症候群(以下、「GBS」という。)の関連遺伝子(*cgt-A*、*cgt-B*、*cst-II*)保有状況を調査した。その結果、食中毒患者から分離された *C. jejuni* 41 株のうち、3 つの遺伝子を保有していた株が 16 株(39.0%)、*cst-II*を単独保有していた株が 6 株(14.6%)検出された。同様に、鶏肉収去品から分離された *C. jejuni* 110 株のうち、3 つの遺伝子を保有していた株が 24 株(21.8%)、*cst-II*のみを単独保有していた株が 24 株(21.8%)検出された。

また、本菌の型の調査について、従来法では判定能が 50%程度の為、判定率向上を目指し、血清型関連遺伝子を判定する Multiplex PCR 法を検討した。分離株における型の判定率は、Penner 法が 43.7%、遺伝子型別法が 81.5%であった。

キーワード： ギランバレー症候群 (GBS)、カンピロバクター・ジェジュニ (*C. jejuni*)  
*cgt-A*、*cgt-B*、*cst-II*、Penner 法

### 1 はじめに

本菌による食中毒は、合併症として敗血症や髄膜炎、ギランバレー症候群(以下、「GBS」という。)など多くが知られている。特に GBS は、末梢神経障害により手足のしびれが先行し、後に四肢筋力の低下や深部腱反射の消失を主徴とする難治性疾患であり、一部の患者では後遺症が残る可能性がある。

GBS 発症の機序は、*C. jejuni* が自己抗体として障害する交差抗原仮説が知られている。GBS 発症に関連する酵素として、N アセチルガラクトサミン転移酵素(*Cgt-A*)、ガラクトース転移酵素(*Cgt-B*)、およびシアル酸合成酵素(*Cst-II*)が報告されている<sup>1,2)</sup>。

これらを踏まえ、本市で過去約 4 年間に分離された *C. jejuni* を用いて、GBS 発症の可能性がある *C. jejuni* の割合を調べるため、上記 3 つの酵素が持つ遺伝子(*cgt-A*、*cgt-B*、*cst-II*)の保有状況を調査した。

また、*C. jejuni* の型別については、食中毒事例において、同一の汚染源由来か否かの推定材料として行われており、重要な指標である。現在は、血清を用いた型別検査の一つ

である Penner 法が広く行われているが、型の判定率の低さが問題となっており、当所でも約 50%にとどまっている。そのため、型の判定率の向上を目的として、血清型関連遺伝子を判定する Multiplex PCR 法(以下、「遺伝子型別法」という。)を検討した。

### 2 目的

*C. jejuni* による GBS 発症に関連する遺伝子の保有率(以下「GBS 保有率」という。)を調査し、カンピロバクター食中毒の危険性を把握する。

*C. jejuni* における遺伝子型別法を検討し、*C. jejuni* の型別の判定率を向上させることで食中毒の原因食品や原因施設の特定に寄与する。

### 3 方法

#### (1) 材料

平成 31 年 4 月から令和 4 年 12 月までに分離された *C. jejuni* 菌株 151 株(うち食中毒患者由来 41 株、鶏肉収去品由来 110 株)を用いた。また、GBS 関連遺伝子の陽性コントロールとして、当該遺伝子を保有している標準菌株(ATCC43432 株)を使用した<sup>3)</sup>。

(2) DNA 抽出方法

菌株をカンピロバクター選択分離用培地に塗布し、微好気条件で 42℃、24~48 時間培養した。形成された *C. jejuni* 集落からアルカリ熱抽出法により DNA を抽出した。

(3) GBS 保有率調査

*cgt-A*、*cgt-B*、*cst-II*について、対応する遺伝子領域のプライマーを用いて PCR 検査法により検出した。反応試薬は Ex Taq Hot Start Version (Takara Bio) を使用し、95℃ 5 分の後、94℃ 30 秒、55℃ 30 秒および 72℃ 60 秒を 30 サイクル、72℃ 5 分の反応条件で行った<sup>4),5)</sup>。

(4) 遺伝子型別法の検討

今野らの文献<sup>6)</sup>を参考に、計 27 対のプライマーについて、PCR 増幅断片が接近しないよう 4 グループの反応系に分けて Multiplex PCR 検査法による検討を行った。反応試薬は Multiplex PCR Assay Kit Ver. 2 (Takara Bio) を使用し、94℃ 1 分の後、94℃ 30 秒、58℃ 60 秒および 72℃ 60 秒を 35 サイクル、72℃ 5 分の反応条件で行った。

なお、従来の Penner 法と区別するため、結果の表記は g を冠して表示する。

(5) Penner 法

カンピロバクター免疫血清(デンカ生研)を用いた。

4 結果

今回調査した GBS に関連する *cgt-A*、*cgt-B*、*cst-II* の遺伝子検出について、食中毒患者から分離された *C. jejuni* 41 株のうち、3 つの遺伝子を保有していた株が 16 株 (39.0%)、*cst-II* を単独保有していた株が 6 株 (14.6%) 検出された。同様に、鶏肉収去品から分離された *C. jejuni* 110 株のうち、3 つの遺伝子を保有していた株が 24 株 (21.8%)、*cst-II* のみを単独保有していた株が 24 株 (21.8%) 検出された (図 1 及び表 1)。

*C. jejuni* の型別法の検討については、分離株 151 株における型の判定率は、Penner 法が 43.7% (66 株/151 株)、遺伝子型別法が 81.5% (123 株/151 株) であった (表 2)。

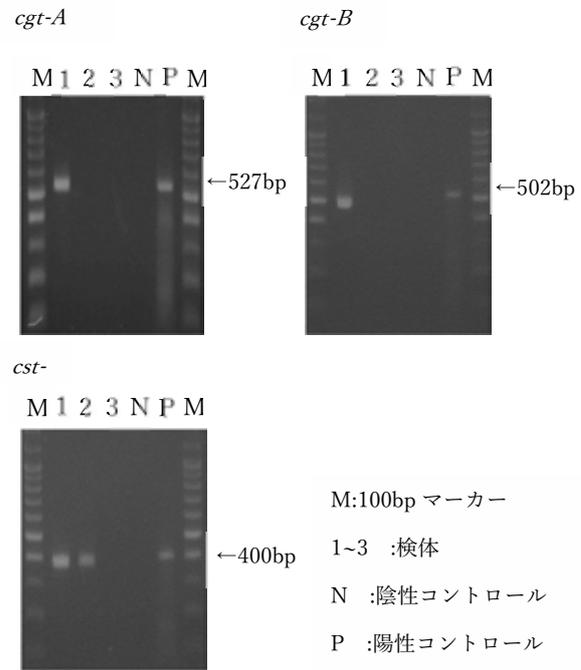


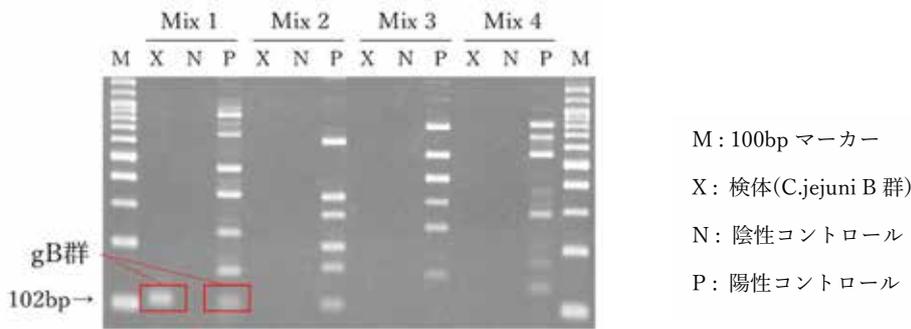
図 1 GBS 関連遺伝子の PCR 結果

表 1 GBS 関連遺伝子の検出集計

	<i>cgt-A</i>	<i>cgt-B</i>	<i>cst-II</i>	食中毒患者	鶏肉収去品	計
パターン1	+	+	+	16 (39.0%)	24 (21.8%)	40 (26.5%)
パターン2	-	-	+	6 (14.6%)	24 (21.8%)	30 (19.9%)
パターン3	-	-	-	19	62	81
計				41	110	151

表 2 型別検査による型の判定数集計比較

検査法	判定数	不明	計
Penner法	66 (43.7%)	85	151
遺伝子型別法	123(81.5%)	28	151



Mix1; gB群:102bp, gC群:149bp, gI群:229bp, gZ6群:341bp, gO群:450bp, gN群:653bpおよびgE/U群:857bp  
 Mix2; gZ7群:100 bp, gR群:161bp, gK群:201bp, gS群:280bp, gG群:342bpおよびgA群:607bp  
 Mix3; gA群:148bp, gF群:185bp, gR群:251bp, gL/U群:325bp, gV群:420bp, gY群:541bpおよびgZ群:741bp  
 Mix4; gE/V/Z4群:128bp, gZ5群:170bp, gZ2群:279bp, gD群:370bp, gI群:540bp, gD群:652bpおよびgP

図2 *C. jejuni* B群株を例とした Multiplex PCR 法による型別検査結果

5 考察

GBS 関連遺伝子において、3 つの遺伝子を保有する株(表 1 パターン 1)、*cst II*のみを保有する株(表 1 パターン 2)、及び 3 遺伝子を保有していない株(表 1 パターン 3)が検出された。*cst II*のみ保有する株について、GBS 発症の可能性は不明であり、かつ Koga らの研究<sup>7)</sup>では、GBS 患者由来株において、3 遺伝子を保有する株がほとんど(96%)を占めるとの報告がある。このため、3 遺伝子を保有する株(表 1 パターン 1)に着目して考察する。

本市で分離されたヒト由来の *C. jejuni* について、39.0%の株がこれら 3 遺伝子を保有する結果となった(表 1)。検体数は少ないものの、これは北尾、伊藤ら<sup>1),2)</sup>の報告と類似する結果であった。*C. jejuni* 食中毒由来の GBS 発症割合は、0.1%程度であるが、3 遺伝子保有の *C. jejuni* は、潜在的なリスク要因になる可能性が唆された。また、鶏肉収去品と食中毒患者の保有比率を比較すると、ヒト由来株のほう

が高い比率だったが、検体種類ごとの比較結果を評価するためには、今後も継続的な調査が必要と考えられる。

*C. jejuni* の型別方法の検討について、Penner 法では型別不明だった 85 株のうち 62 株を遺伝子型別法で型を判定することができた(表 3)。特に gB 群のうち半数以上の株や gG 群のすべての株は遺伝子型別法でのみ判定された。従来 43.7%の判定率だったところ、今回検討した遺伝子型別法では 81.5%の株の型を判定することができ、判定率が向上した(表 2 及び図 3)。これは、食中毒調査の感染経路の推定やその他疫学調査での活用に期待できる結果となった。さらに、本法は 27 対のプライマーを用いた Multiplex PCR 法を採用しているため、初回の調整はやや煩雑であるが、Penner 法と比較すると検査にかかる時間や費用は軽減されることが考えられる。

一方で、Penner 法で型を判定した株のうち、遺伝子型別法で不明だった 5 株はすべて Z 群であった。この結果は今

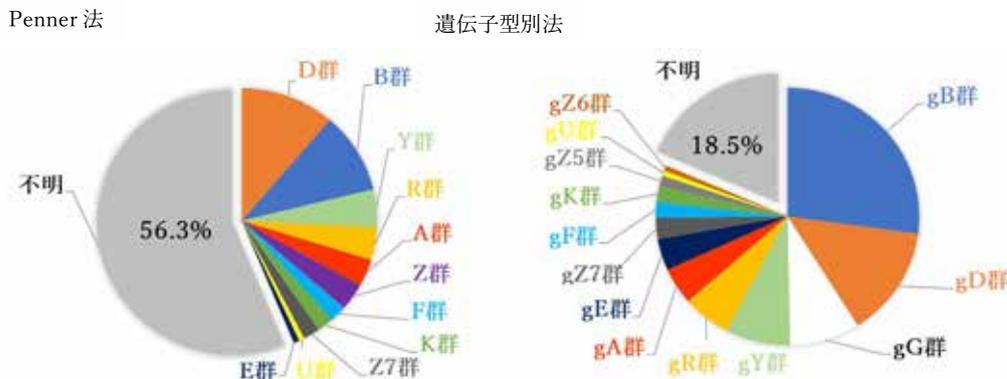


図3 Penner 法と MultiplexPCR 法による遺伝子型別法結果の比較

表3 *C.jejuni* の型別法による検出数比較

群別	Penner法	遺伝子型別法		
	株数	Penner法との一致株数	不明株で判定した株数	株数
A群 / gA群	5	5	2	7
B群 / gB群	15	15	26	41
D群 / gD群	17	17	4	21
E群 / gE群	1	1	5	6
F群 / gF群	3	3	0	3
G群 / gG群	0	0	13	13
K群 / gK群	3	3	0	3
R群 / gR群	6	6	3	9
U群 / gU群	1	1	0	1
Y群 / gY群	7	7	5	12
Z群 / gZ群	0	0	0	0
Z5群 / gZ5群	0	0	2	2
Z6群 / gZ6群	0	0	1	1
Z7群 / gZ7群	3	3	1	4
判定数	66		62	123
不明	85			28
合計	151			151

野ら<sup>6)</sup>の報告とも一致する内容であり、今後はgZ群の検出用プライマーの条件検討が必要である。両法で不明だった23株についても同様に新規の検討が必要と考える(表3)。

さらに、これら2つの調査研究を元に、GBSに関連する3つの遺伝子が検出された*C.jejuni* 40株の型別傾向を見ると、最も多かった株がgB群(25株)であり、ついでgD群(9株)であった(図4)。他の文献<sup>1)</sup>ではB群、C群、D群、O群、R群が多く検出されており、類似する結果であったことから、GBSに関連する*C.jejuni*の型別傾向に関連性が示唆された。

以上のことから、本市における*C.jejuni*のGBS関連遺伝子保有状況の把握、及び新規型別法により判定率を向上させることができた。今後も継続して*C.jejuni*のGBS保有率の調査及び検査法の検討を進め、カンピロバクター食中毒に対する危険性を周知し、危害防止更には原因食品や施設の特定に寄与していく。

6 謝辞

今回*C.jejuni*の遺伝子型別法の検討で検査手順の指導及び陽性コントロールを提供して下さった国立感染症研究所の山本章治様に厚く御礼申し上げます。



図4 GBS関連遺伝子を保有する*C.jejuni*の型別傾向

7 参考文献

- 1) 北尾孝司 他: ヒトおよび鶏から分離された *Campylobacter jejuni* におけるギラン・バレー症候群関連遺伝子の保有状況調査
- 2) 伊藤武 他: カンピロバクター感染症とギランバレー症群, IASR, vol. 20, No5, May (1999)
- 3) Oralak Serichantalergs. et al: Distribution of genes related to Type 6 secretion system and lipooligosaccharide that induced ganglioside mimicry among *Campylobacter jejuni* isolated from human diarrhea in Thailand
- 4) Nachamkin, I. et al: *Campylobacter jejuni* from patients with Guillain-Barré syndrome preferentially expresses a GD1a-Like
- 5) Koga, M. et al: *Campylobacter* gene polymorphisms as a determinant of clinical features of Guillain-Barré syndrome
- 6) 今野貴之 他: 国内の *Campylobacter jejuni* 血清型別に対応した改良 Penner PCR 型別法
- 7) Koga, M. et al: Comprehensive analysis of bacterial risk factors for the development of Guillain-Barré syndrome after *Campylobacter jejuni* enteritis

## 窒素キャリアガスGC-ECDによるPCB分析条件の検討

Polychlorinated Biphenyl Analysis by GC-ECD using Nitrogen Carrier Gas

伴 創一郎 松原 三佳

Soichiro BAN Mika MATSUBARA

## Abstract

Helium is the most frequently used carrier gas of Gas chromatography (GC), but increasing demand has caused a worldwide helium shortage. This has forced scientists to look for alternative carrier gases for GC analysis. Though nitrogen is more cost-effective, analysis method using nitrogen carrier gas tends to yield longer retention time, due to the low optimum linear gas velocity and rapid band broadening. We examined the GC-ECD analysis method for Polychlorinated Biphenyl (PCBs) using nitrogen carrier gas.

When analyzing a PCB standard using Rtx-5MS (30m, id0.32mm, df0.25um) column at a nitrogen gas linear velocity of 36cm/sec, some peaks resulted in poor separation and shape. When the linear velocity was set to 14cm/sec, peak separation and shape were significantly improved and equivalent to those of helium analysis, but analytical time in this method was 70min, significantly longer than that of helium analysis.

When the analytical capillary column was changed to shorter column, DB-5 (20m, id0.18mm, df0.18um) and the linear velocity was set to 25cm/sec, peak separation and shape were equivalent to those of helium analysis and the analytical time was 38min, significantly improved and shorter than that of helium analysis. The relative standard deviation of the PCB standard analysis using this method (n=7) was 5.57%.

The data proved that the GC-ECD method using nitrogen carrier gas tested in this study was applicable for PCBs analysis.

## Key words

Polychlorinated Biphenyl /ポリ塩化ビフェニル (PCB) ECD/電子捕獲型検出器  
Nitrogen Carrier /窒素キャリアガス Peak Resolution/分離度

## 1 はじめに

ポリ塩化ビフェニル (PCB) は、絶縁油、可塑剤、塗料として幅広い分野で用いられていた化学物質であるが、環境への残留性や生物蓄積性がきわめて強く、日本では、使用、生産が禁止となっている。また、一日摂取許容量 ( $5 \mu\text{g}/\text{kg}/\text{day}$ ) 及び魚介類の暫定的規制値が設定されており、これに基づき水質環境基準 (検出されないこと) が設定されている。

本市では、工場・事業所排水、河川水質、河川底質、地下水、土壤中のPCBの試験検査を行っており、キャリアガスとしてヘリウムガスを用いるGC-ECDによる分析を行っている。ヘリウムガスについては、2018年度から供給不足が度々発生しており、2023年度現在も、中国などの新興国の需要の急増、米国での設備トラブル、コンテナ物流の混乱等、様々な要因が重なり、供給不足が深刻な状態である。<sup>1)</sup>

ガスクロマトグラフのキャリアガスを他の代替ガスに切り替えることができれば、ヘリウムの消費量を節約することができるため、代替ガスによるガスクロマトグラフ分析の必要性が高まっている。

ヘリウムの代替ガスとしては、水素ガス、窒素ガスが代表的である。水素ガスは、ヘリウムガス使用時に近い分離効率を維持しつつ、高い線速度で分析を行うことができる可能性があるが、可

燃性ガス、引火性ガスであるために、排気設備、警報装置など設備面で安全対策が必要となり、コスト面で問題となる。窒素ガスは、ヘリウム、水素と比較すると、最適な分離効率を得られる線速度の幅が狭いため、ヘリウムガス使用時と同等の分離を得るためには、分析時間が長くなる傾向があるが、不燃性の安価で安全なガスであり、供給も安定しているため、窒素ガスでガスクロマトグラフ分析が可能となれば、コスト面、安全面のメリットが大きい。

代替ガスをキャリアガスとして使用する、GC-ECDによるPCB分析については、東京都により水素キャリアガスによる分析<sup>2)</sup>が報告されているが、窒素キャリアガスによる報告は少ない。今回、窒素ガスをキャリアガスとして使用した、GC-ECDによるPCB分析の分析条件の検討を行ったので報告する。

## 2 方法

## (1) 標準品

PCB標準品は、カネクロール (KC) 希釈液 KC-300、KC-400、KC-500、KC-600 (GLサイエンス社製) を等量混合して使用した。

## (2) 試薬

標準品の希釈、および試料の前処理に使用するヘキサンは、関東化学製の残留農薬、PCB分析用を用いた。

(3) 試料の前処理

試料の前処理は、JIS K0093:2006 工業用水・工場排水中の PCB 試験方法<sup>3)</sup>に従って実施した。

(4) ガスクロマトグラフ装置

島津製作所製：GC-2014B

オートサンプラー：AOC20i 注入量：2 $\mu$ L

注入口温度：250 $^{\circ}$ C

注入モード：Splitless

制御モード：線速度

メイクアップガス：N<sub>2</sub> 130kPa

ECD：電流 1nA 検出器温度 310 $^{\circ}$ C

3 結果及び考察

(1) 分析条件の検討

当研究所で現在、日常の水質検査の分析で使用しているヘリウムをキャリアガスとして使用する PCB の分析条件を表1の分析条件1に示す。使用カラムは、内径0.32mm 膜厚0.25 $\mu$ m 長さ30mの Rtx-5MS カラムで、オープン初期温度 60 $^{\circ}$ C、キャリアガス線速度 36cm/sec、昇温プログラム時間 40 分の分析条件で分析を実施している。表1の分析条件1で分析した PCB 標準 KC-mix0.25ppm のクロマトグラムを図1に示す。ピークの照合は、JIS K0093:2006<sup>3)</sup>を参考にした。クロマトグラムに示すピーク番号は、JIS K0093 附属書2表1<sup>3)</sup>記載のピーク番号である。

窒素キャリアガスでの分析条件を検討するにあたり、はじめに分析条件1の日常検査で使用している Rtx-5MS カラムを使用してキャリアガスを窒素に変更して、分析条件を検討した。分析条件1と同じ線速度 36cm/sec、同じ昇温プログラムの条件で分析を実施したところ、ピーク No.6, 7, No.11, 12, No.22, 23, No.51, 52, No.57, (58,59)等のピークの分離がヘリウム分析時と比べて不良であった。分離が不良であったピークを分離度を表2に示す。分離度を改善するため、キャリアガス線速度と、カラムオープンの昇温プログラムを検討した。線速度を 10cm/sec ~20cm/sec の間で変化させて PCB 標準の測定を実施した結果、内径0.32mm、長さ30m カラムでは、線速度 14cm/sec の条件で、ピーク分離と分析時間のバランスが最適であると考えられた。また、カラムオープンの昇温プログラムについて検討した結果、2段目のレートに 5 $^{\circ}$ C/min から 2 $^{\circ}$ C/min に変更したところ、ピーク分離が改善した。最終的に、表1の分析条件2で、ヘリウム分析時と同様の分離パターンのクロマトグラムが得られた。分析条件2で PCB 標準 KC-mix 0.25ppm を分析したクロマトグラムを図2に示す。分析条件2での各ピーク分離度を表2に示す。ピーク分離は改善したが、分析時間が、70分となりヘリウムガスの条件1に比べて30分長くなった。

分析条件2の内径0.32mm、長さ30m カラムでは、分析時間

表2 KC-mix ピーク分離度

peakNo.	分析条件1(He)	分析条件1(N <sub>2</sub> )	分析条件2(N <sub>2</sub> )	分析条件3(N <sub>2</sub> )
No6,7	0.629	0.269	0.764	0.874
No11,12	0.951	0.673	1.135	1.152
No22,23	1.063	0.804	1.284	1.331
No51,52	0.308	0	0.451	0.415
No57,(58,59)	1.131	0.891	1.363	1.191

表3 KC-mix 0.25ppmのピーク高さ

peakNo.	分析条件1(He)	分析条件2(N <sub>2</sub> )	比
13	58181	27651	0.48
32	69212	33509	0.48
46	64865	30317	0.47
52	47652	21659	0.45
57	56875	28338	0.50
64,65	70130	33221	0.47
79	77665	39266	0.51

が長くなったため、分析時間の短縮を目的として、カラムサイズの内径を小さくし、カラム長を短くした内径 0.18mm、膜厚 0.18 $\mu$ m、長さ 20m の DB-5 カラムを新たに導入し、分析条件を検討した。窒素キャリアガスの線速度を 10cm~30cm/sec の間で変化させて、PCB 標準の分析を実施した結果、線速度を小さくすると分離度は大きくなるが、ピーク高さが小さくなり、検出感度が悪くなる現象が確認された。条件検討を重ねた結果、線速度 25cm/sec でピーク分離度と検出感度のバランスが最適であると考えられた。カラムオープンの昇温プログラムの条件を検討した結果、2段目のレートを分析条件1と同じ 5 $^{\circ}$ C/min に設定しても、各ピーク分離度は、条件1のヘリウム分析時と同等以上であったので、最終的に表1の分析条件3に記載の分析時間 38 分の条件で分析を実施することとした。分析条件3で PCB 標準 KC-mix 0.25ppm を分析したクロマトグラムを図3に示す。分析条件3での各ピーク分離度を表2に示す。ピーク分離度は、分析条件1と比較して良好であった。カラム内径を小さくすることで、注入口の圧力が高まり、カラム長を短くすることで、線速度を小さくしても溶出時間が早くなり、ヘリウム分析時より短い分析時間で同等以上の分離度で分析が可能であった。

(2) 検出感度の比較

ヘリウムをキャリアガスとして使用する分析条件1と窒素をキャリアガスとして使用する分析条件2の検出感度を比較するため、PCB 標準 KC-mix0.25ppm を分析条件1と分析条件2で分析を実施し、クロマトグラムの各ピークのピーク高さを比較した。結果を表3に示す。窒素キャリアガス分析時のピーク高さはヘリウムキャリアガス分析時に比べて約 5 割のピーク高さであり、検出感度は低下していたが水質汚濁に係る水質環境基準の定量下限 0.0005mg/L を検出するのに十分な感度を有していた。

表1 GC-ECD 分析条件

	分析条件1	分析条件2	分析条件3
Carrier gas	Helium	Nitrogen	Nitrogen
Column	Rtx-5MS (Restek) 30m x id 0.32mm x df 0.25 $\mu$ m	Rtx-5MS (Restek) 30m x id 0.32mm x df 0.25 $\mu$ m	DB-5 (Agilent) 20m x id 0.18mm x df 0.18 $\mu$ m
Oven temp. program	60°C(2min)→20°C/min→160°C →5°C/min→300°C(5min) Total (40min)	60°C(2min)→50°C/min→170°C →2°C/min→280°C →10°C/min→300°C(9min) Total (70min)	60°C(2min)→40°C/min→170°C →5°C/min→300°C(7.5min) Total (38min)
Linear Velocity	36cm/sec	14cm/sec	25cm/sec

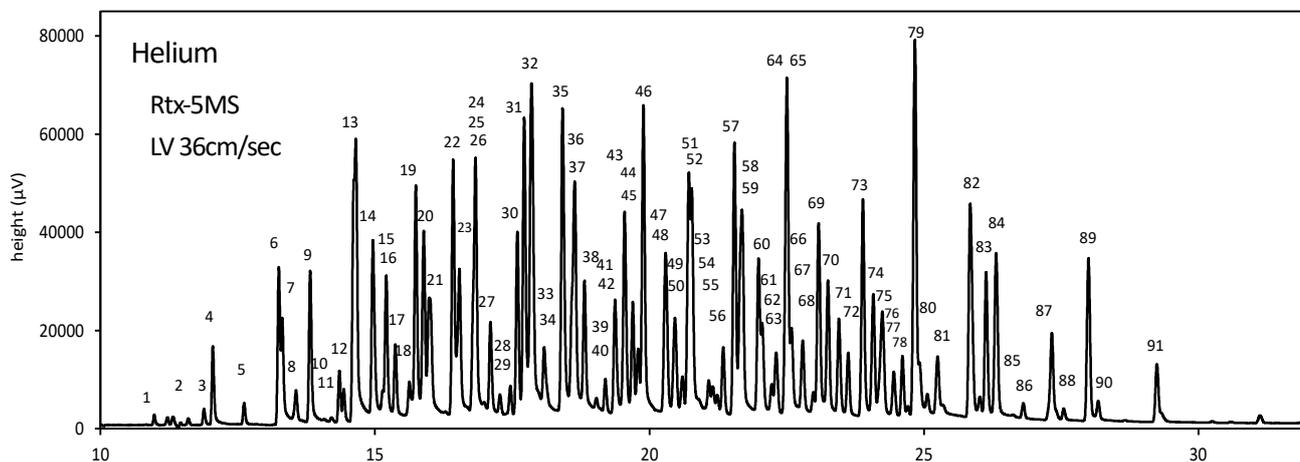


図1 分析条件1(ヘリウムキャリアガス)で分析した KC-mix 0.25ppm クロマトグラム

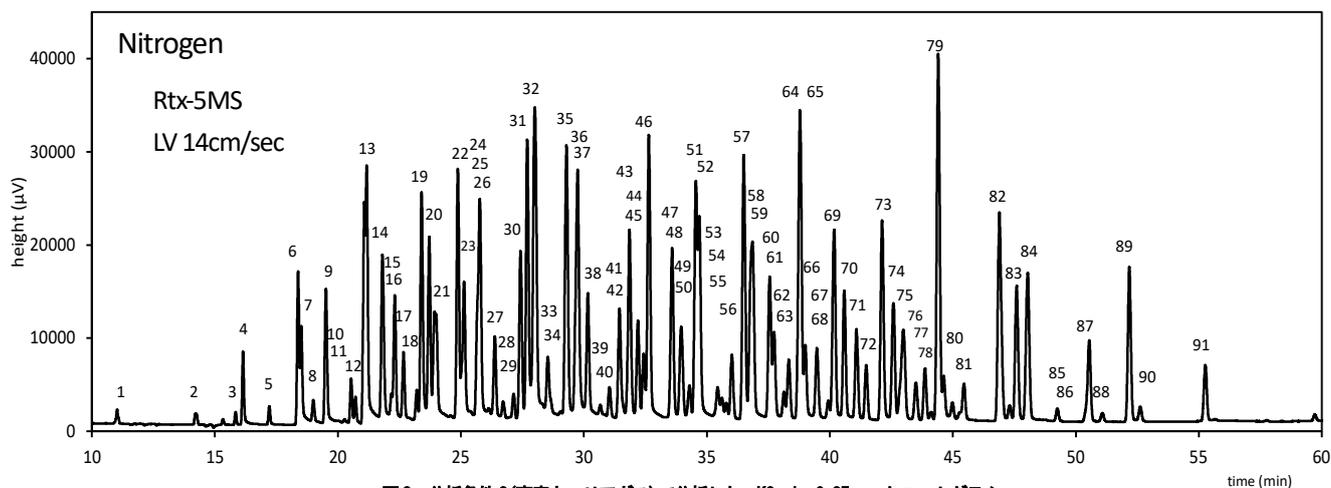


図2 分析条件2(窒素キャリアガス)で分析した KC-mix 0.25ppm クロマトグラム

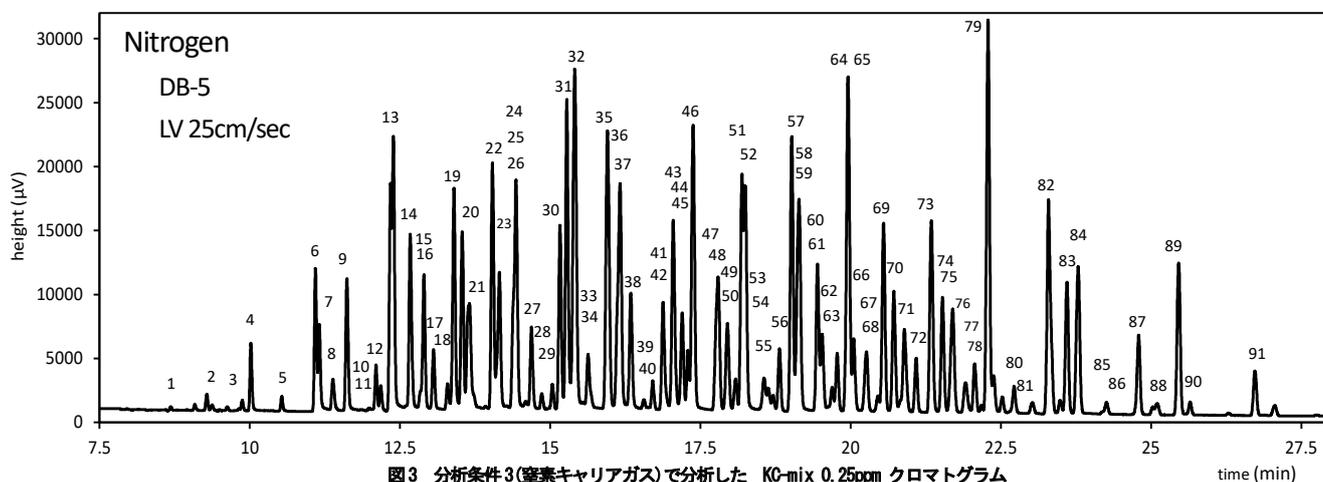


図3 分析条件3(窒素キャリアガス)で分析した KC-mix 0.25ppm クロマトグラム

## (3) 繰り返し分析の変動係数

PCB標準0.25ppmを、ヘリウムキャリアガスの分析条件1、窒素キャリアガスの分析条件2及び3で7回繰り返し分析を実施し、各データのピーク高さよりCB<sub>2</sub>%合計値を算出し変動係数を計算した。結果を表4に示す。窒素キャリアガスを用いた分析はヘリウムと同程度に安定して測定できることが確認できた。

表4 繰り返し分析の変動係数

	分析条件1(He)	分析条件2(N <sub>2</sub> )	分析条件3(N <sub>2</sub> )
RSD%	6.48	3.64	5.57

表5 実試料(地下水)の分析結果

	分析条件1(He)	分析条件2(N <sub>2</sub> )	分析条件3(N <sub>2</sub> )
ΣCB <sub>2</sub> %	0.373	0.365	0.367
PCB濃度	0.0005mg/L未満	0.0005mg/L未満	0.0005mg/L未満

## (4) 実試料の分析

2022年8月に採取した地下水試料について、ヘリウムキャリアガスの分析条件1、窒素キャリアガスの分析条件2および3で分析を実施した。結果を表5に示す。窒素キャリアガスの分析条件のクロマトグラムは、感度低下により、ピーク高さは小さくなっていたが、ピークの出現パターンは、ヘリウム分析時と同等であり、定量結果も同等の結果が得られた。

## 5 文献

- 1) ヘリウム供給問題とGC-MSのキャリアガス Journal of the Mass Spectrometry Society of Japan 71巻2号 p.81-82 (2023)
- 2) 水素キャリアガスを用いたGC-ECDによるPCB分析の検討 東京都健康安全研究センター研究年報71号 p141-145(2020)
- 3) 工業用水・工場排水中のポリクロロビフェニル(PCB)試験方法 日本産業規格 JIS K 0093 (2006)

## 4 まとめ

窒素ガスをキャリアガスとして使用した、GC-ECDによるPCB分析の分析条件の検討を行った結果、内径0.32mm長さ30mのカラムでは、線速度を14cm/secとする条件でヘリウム分析時と同等の分離のクロマトグラムが得られたが分析時間が70分と長くなった。内径0.18mm長さ20mのカラムでは、線速度を25cm/secとする条件でヘリウム分析時より短い分析時間で、同等以上の分離度のクロマトグラムが得られた。

今回検討した窒素キャリアガスによる分析は、ヘリウムガス分析に比べて、検出感度は低下していたが、実試料の分析でもヘリウム分析時と同等の結果が得られたため、日常分析にも使用可能であり、ヘリウムガス使用量を削減できるため、有用であると考えられた。

### 3 他誌掲載論文、学会発表等

1 他誌掲載論文

なし

2 学会発表等

- (1) 伴創一郎、松原三佳：窒素キャリアガス GC-ECD による PCB 分析条件の検討、第 37 回全国環境研協議会東海・近畿・北陸支部研究会、書面開催(2023 年 1 月)
- (2) 松下由衣、西村仁志、伊藤裕美、福本智也：LP-ICP-MS による魚介類中のメチル水銀迅速分析法の妥当性評価、第 59 回全国衛生化学技術協議会年会(2022 年 10 月)

## 4 衛生環境研究所セミナー

## 令和4年度 衛研セミナー発表演題

・日時 令和5年2月28日(火) 午後2時00分～午後4時20分

・場所 京都市衛生環境研究所 1階 大会議室

	テーマ	所属	発表者
1	京都市における新型コロナウイルス感染症の流行動態推定	管理課	的場 教起
2	ヒートマップを用いたデータ可視化による感染症発生動向の把握	管理課	吉澤 徳一
3	残留動物用医薬品の一斉試験法(改良法)の適用拡大に向けた取組(牛乳)	生活衛生部門	村上 兆司
4	LC-ICP-MSによる魚介類中のメチル水銀迅速分析法の妥当性評価	生活衛生部門	松下 由依
5	京都市における光化学オキシダント濃度の長期経年変化の解析	環境部門	伴 創一郎
6	牛における <i>Rhodococcus equi</i> 感染症の一症例について	食肉検査部門	蛭名 麻千子

## 京都市における新型コロナウイルス感染症の流行動態推定

管理課 疫学情報担当

〇的場 教起

## 1. 緒言・目的

新型コロナウイルス感染症（以下、COVID-19）は2021年2月に指定感染症から新型インフルエンザ等感染症に変更され、2類感染症相当（全数把握疾患）として扱われているが、実際の取り扱いには徐々に緩和されている。2022年9月26日（第39週）には届出対象が高齢者や重症化リスクのある者に限定され、届出対象外の者は患者自身が健康フォローアップセンターに登録をすることとされた。このため、COVID-19は2022年第39週から正確な感染者数を把握することが困難になっている。

新型コロナウイルス感染者等情報把握・管理システム（以下、HER-SYS）上の入院者数・死亡者数をみると、第39週以降にも増加しているが、HER-SYSと京都市の広報資料（健康フォローアップセンターの登録数を含む）上の感染者数の間には大きな解離があり（図1）、把握できていない感染者が多く存在することが予想される。そこで本研究では、現在まで市中感染の主流となっているオミクロン株が検出されるようになった<sup>1)</sup>2022年1月からのHER-SYSの情報を基に、2022年第39週以降の京都市の流行動態を推定する。

## 2. 対象・方法

HER-SYSに登録された者のうち、2023年2月13日に次の条件で抽出された登録症例（以下、感染者）を対象とした。以下、特記ない場合は診断日を基準とする。

- ・報告年月日が2020年1月1日～2023年2月13日
- ・感染区分が「感染者」

2022年第39週以降も、65歳以上については全例が報告対象であるため、それ以前と比べて報告数の変化は小さいと考えられる。日本では2022年1月からオミクロン株が主流な株となっており、それ以前の流行株とは性質が異なることが指摘されている。そこで、2022年第1週～第38週における週別の65歳以上の感染者数と全感染者数について相関性を調べると（図2）、相関係数は $R=0.985$ であり、流行していない時期にデータが偏ってはいるものの、強い正の相関性が認められた。そこで、65歳以上の感染者数を説明変数として全感染者数を推定することとした。

このデータは時系列データであり、時系列解析に説明変数を用いた手法が望ましい。だが、時系列解析には専用の

ソフトウェアが必要であり、手計算では煩雑となる。そのため、表計算ソフトウェアの標準機能で分析可能な線形回帰（最小二乗法）を採用した。なお、線形回帰の場合、説明変数と決定変数の間に比例関係を想定する場合と、変化率が一定と想定する場合（両変数を対数変換する）がある。65歳以上の感染者数が全感染者数に占める割合を見ると（図3）、65歳以上の感染者数は平均10.7%（5.99%～17.3%）で概ね一定であったため、比例関係にあるとみなした。

また、各変数については見かけの回帰を検出するため、事前に単位根検定を行った。方法は以下のとおり。

ある変数について①式を考えると、 $\beta_1=1$ ならばその推移はランダムウォークであり、単位根が存在するといえる（ $\varepsilon_t$ は一定の分散を持つ乱数）。

$$y_t = \beta_1 y_{t-1} + \varepsilon_t \quad \cdots \quad \text{①}$$

②式を想定するとき、この回帰式の帰無仮説は $\beta_2=0$ である。この帰無仮説が棄却されないのなら、①式において $\beta_1=1$ であり、単位根が存在することになる。すなわち、その変数の階差と元値の回帰式が有意なら、単位根が存在するといえる。

$$\Delta y_t = \beta_2 y_{t-1} + \varepsilon_t \quad \cdots \quad \text{②}$$

この単位根検定を各変数について行ったところ、それぞれのp値は説明変数で0.357、決定変数で0.377であり、両変数とも単位根が存在する可能性は低いと判断した。

## 3. 結果

回帰分析の結果は以下のとおりであった。

- ・得られた回帰式： $y = 6.39x + 1.40 \times 10^3$   
（ $x$ ：65歳以上の感染者数、 $y$ ：全感染者数）
- ・決定係数 $R^2=0.971$
- ・説明変数の標準誤差：0.185
- ・p値： $<10^{-28}$

この回帰式を用いて流行曲線を描出した（図4）。その結果、第1週から第38週までのHER-SYSの感染者数とよく合致しており、ある程度の信頼性がある回帰式が得られた。推定された流行曲線には、第39週以降にHER-SYSでは見られない2022年3回目の流行があったと考えられる。この流行は2023年1週に最大（16,100±2,220人、95%予測区間）の感染者が発生し、2022年の推定感染者数は367,000±

30,400 人であったと推定された。この推定値は、HER-SYS (279,095 人) はもとより京都市の広報資料 (332,490 人) よりも大きかった。

なお、この回帰式について残差分析を行ったところ (図5)、流行がない時期は残差が小さいものの、流行期には大きくなる傾向が見られた。このため、流行期にはこの回帰式の信頼性がやや劣る可能性がある。

#### 4. 考察

ある程度の信頼性がある回帰式を得ることができ、HER-SYS からは観測されなくなっていた流行があったことを見出した。また、2022 年第 39 週以降は COVID-19 と診断されたとしても患者の利益は大きくないため、発生届の対象ではない、すなわち重症化リスクがない軽症・無症状者が自主的に健康フォローアップセンターに登録するとは考えにくく、その人数を加算したとしてもサーベイランスとしては不十分であろう。推定された流行曲線は、健康フォローアップセンターの登録数を含んでいる京都市広報資料よりも大きく推移しており、COVID-19 のリスクを評価するには有益と思われる。

しかし、2022 年 2 回目の流行と比較すると、推定された 3 回目の流行は小さくみえるが、入院者数はやや大きく推移しており、推定された流行曲線とあまり合致しない。残差分析の結果から流行期には誤差が大きくなることが予想されるため、この回帰式では流行開始を感知することはできても、流行規模の大小を比較することは困難であろう。

また、今回は単純な最小二乗法を採用したため、時系列の情報は加味されておらず、全ての情報を重みづけせずに利用している。実際には遠い過去よりも直近の過去の情報の方が予測値に大きな影響を与えると予想され、時系列解析の方が適している。また、図 3 のとおり、65 歳以上の感染者数の割合は実際には一定ではなく、流行初期には小さく、流行末期に大きくなる傾向がある。これは当所の過去の研究でも明らかにしている<sup>2)</sup>。こうした点で誤差の大きさは否定できず、より高度かつ精度の高い別のモデルを用いた推定を行う必要があり、今後の課題としたい。

#### 5. 参考文献

- 1) 国立感染症研究所、「SARS-CoV-2 変異株について」  
<https://www.niid.go.jp/niid/ja/2019-ncov/2551-cepr/10745-cepr-topics.html>
- 2) 京都市衛生環境研究所年報 No. 88 p. 134-141、  
 「京都市における新型コロナウイルス感染症の発生動向調査 (2021 年)」

<https://www.city.kyoto.lg.jp/hokenfukushi/page/0000177060.html>

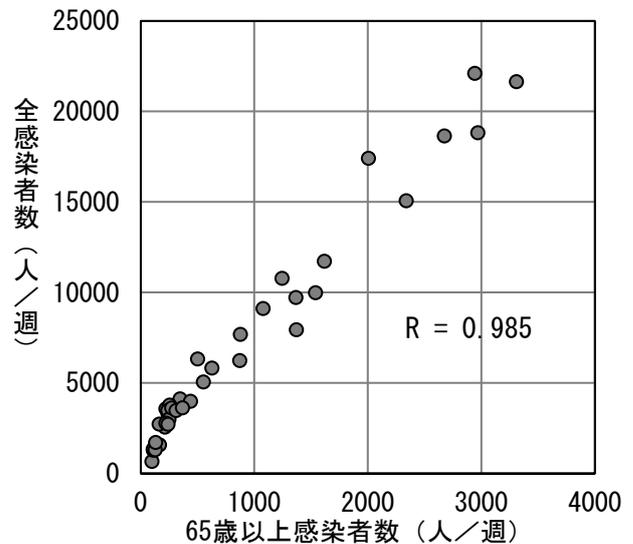


図 2. 週ごとの全感染者数・65 歳以上感染者数

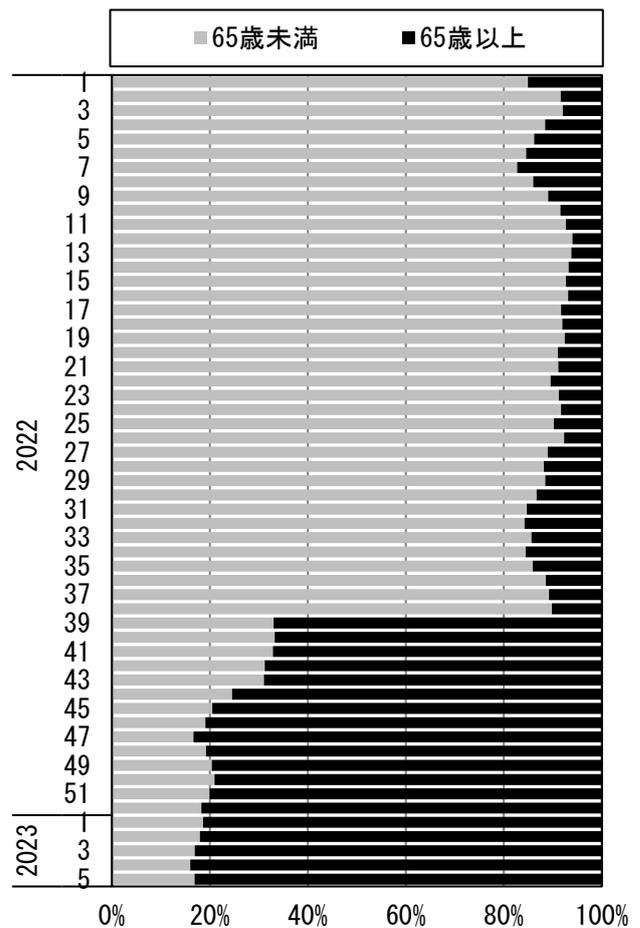


図 3. 全感染者数に占める 65 歳以上の割合

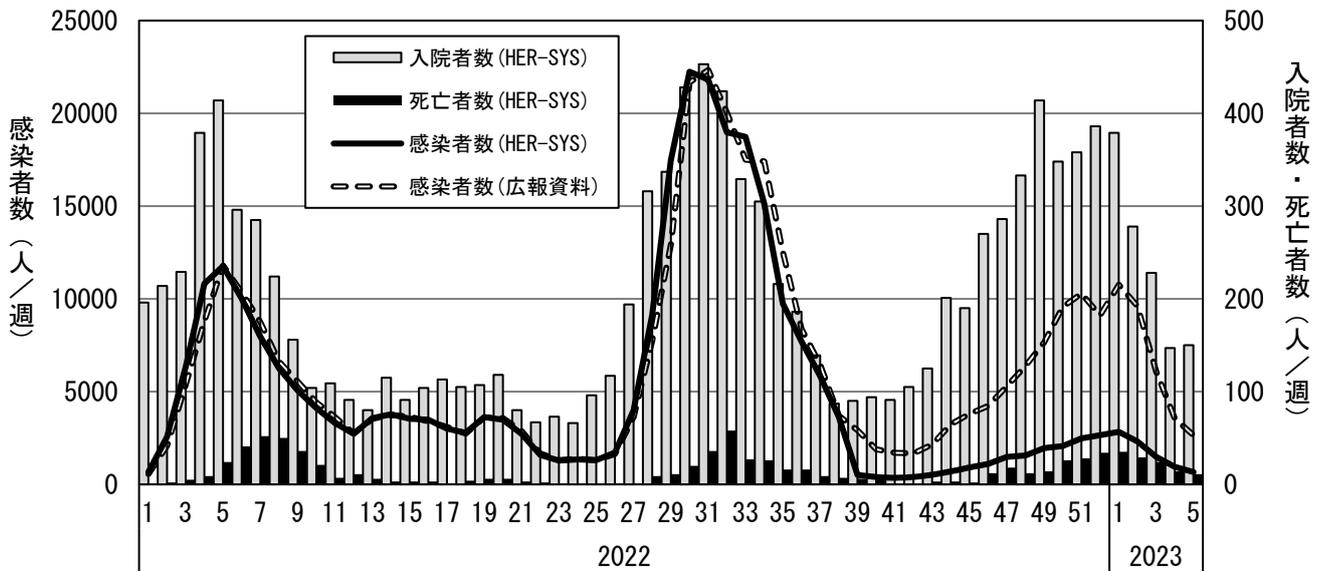


図1. 京都市における COVID-19 感染者数の HER-SYS・広報資料間の比較

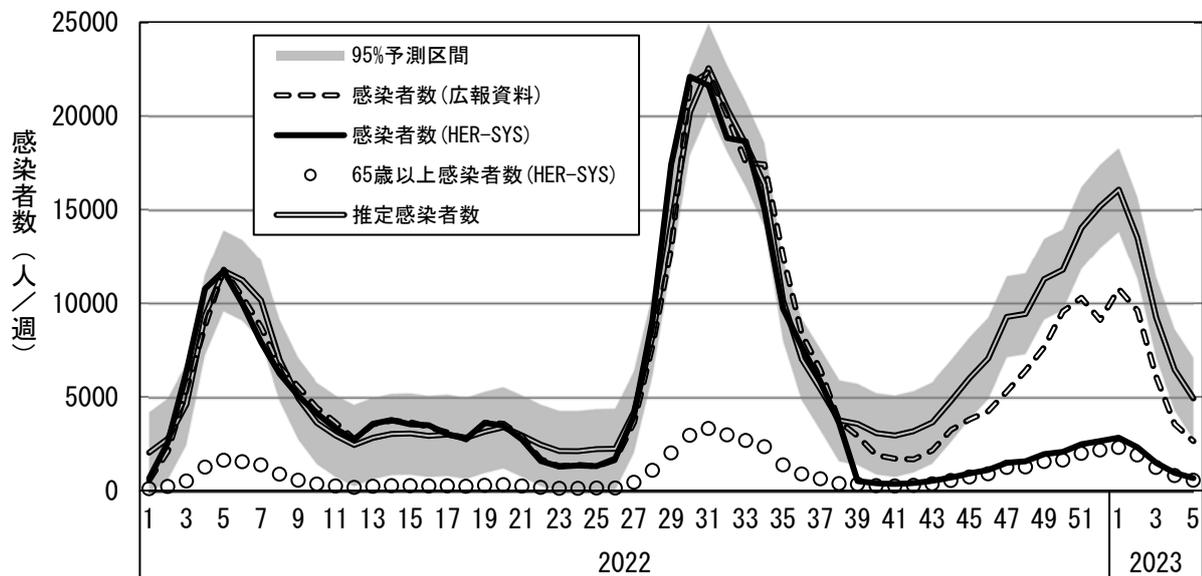


図4. 京都市における COVID-19 感染者数の推定流行曲線

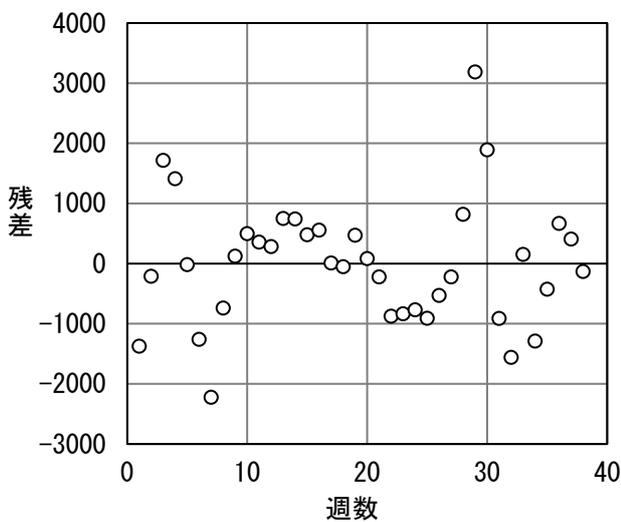


図5. 回帰式の残差分布

## ヒートマップを用いたデータ可視化による感染症発生動向の把握

管理課疫学情報担当 吉澤 徳一

### 1. はじめに

京都市衛生環境研究所管理課疫学情報担当では感染症法に基づく感染症発生動向調査事業において、地方感染症情報センターとしての業務を担っており、同事業の趣旨及び目的に沿って業務を行っている。

感染症週報では京都市の感染症情報を全国情報と併せて公開するほか、注目する感染症について注意喚起を促す内容をトピックスとして掲載している。また、こどもの感染症を取り上げたポスターを毎月作成し、保育所などの関連施設等に配布している。

### 2. 目的

感染症週報トピックスやこどもの感染症ポスターの作成に当たり、国からの還元データ及び過去の推移を見ながら個別に評価検討しているが、これらに加えて全国あるいは行政区別に、面的な広がりを見えるための表現方法を開発する。

セミナー発表では、いくつかの感染症について通常用いられる流行曲線との対比に加え、アニメーション的な手法も用いて解説する。

### 3. 方法

定点で把握されている各感染症について、都道府県に対して疫学週を系列とする表を作成、各コマ(セル)には定点当たり報告数を記載し、それを感染症ごとに設定した値に応じて色分けした表(ヒートマップ)を作成した。

色分けは白、クリーム、黄、オレンジ、赤、紫の6色(6段階)を用い、報告が多くなるほど色が濃くなるグラデーションになるように設定した。各色分けの区切りとなる値(しきい値)は、注意報・警報が設定されている場合は必ず用い、他の値は島根県感染症情報センターのしきい値(5段階設定)を

参考に、最も濃い紫色は警報の1.5倍から2倍程度に設定した。

全国データでは、報告数が少ない場合、見かけ上ゼロ(0.00)となる場合があるので、0(報告なし)と0.00(報告あり)を明確に区別するために0は「-」として表現した。これにより、色分けとしては6段階だが、視覚的には7段階の表現を可能にした。

実務的な作業としては、国の還元データをエクセルのマクロ機能で取り込んで表を作成し、条件付き書式機能で色を付けた。

行政区別や京都市周辺地域についても全国と同様に処理し、ヒートマップを作成した。

### 4. 結果及び考察

ヒートマップを作成することで、2次元の表現でありながら、3次元の動向把握が可能になった。

全国推移では、地域的な広がりやグラデーションで表現され、特に流行曲線でピークを形成する様な場合は、動向把握を「面」としてこれまで以上に的確に把握できるようになった。

全国のヒートマップは感染症週報の一部としてホームページに掲載し、広く一般に公開した。

行政区別推移では、定点数すなわち母数が少なく、バラつきが大きくなり極端な値をとりやすい。このため全国ほど滑らかなグラデーションにはならないが、衛生行政担当職員等の専門職が動向を把握するには十分な表が得られた。

極端な値が視覚に与える影響から、評価にはある程度の疫学的バックグラウンドが必要と考え、現在のところ衛生行政担当職員に限り情報提供している。また、視覚的効果や一覧性が高まったことで、行政区による偏りも把握が容易になった。

これらのヒートマップを用いたデータの視覚化で、京都市における感染症の発生動向がこれまで以上に把握しやすくなった。

## 残留動物用医薬品の一斉試験法（改良法）の適用拡大に向けた取組（牛乳）

生活衛生部門

○村上兆司、藤木学、中山岳明、梶野朱里、松本剛芳、福本智也

## 1 はじめに

動物用医薬品は、畜水産動物の疾病の予防や治療などを目的として使用され、畜水産食品の安定した供給に欠かせないものとなっている。しかし、食品中に残留する動物用医薬品による人体への影響が危惧されることから、これらには残留基準値が設定されている。なお、我が国では、残留動物用医薬品についてポジティブリスト制度が導入されており、残留基準が定められていない動物用医薬品にも一律基準が適応されるため、より多くの項目に対してスクリーニングを行う必要がある。

また、残留動物用医薬品の分析については、厚生労働省通知「食品中に残留する農薬等に関する試験法の妥当性評価ガイドラインについて」（以下、「ガイドライン」という。）<sup>1)</sup>に基づき、その試験法の妥当性を予め評価することが求められている。

当部門では、残留動物用医薬品の分析において、分液漏斗による液液分配を利用した一斉試験法（以下、「従来法」という。）を行っていたが、近年、QuEChERS法を応用・改良した新たな一斉試験法（以下、「改良法」という。）をいくつかの検体種で導入している。

現在、牛（筋肉、腎臓）、豚（筋肉、腎臓）、鶏（筋肉、肝臓）については妥当性評価を実施し、実務に改良法を取り入れたところであるが、その他の検体種では妥当性評価は未だ実施できておらず、従来法で検査しているのが現状である。そこで、改良法を利用できる検体種を拡大し、一斉試験法の充実及び検査の効率化を図ることを目的とし、乳について新たに妥当性評価を実施したので報告する。

## 2 方法

## (1) 試料

牛乳

## (2) 試薬等

蒸留水：富士フィルム和光純薬（株）製 HPLC 用

メタノール：ナカライテスク（株）製 HPLC 用

アセトニトリル：ナカライテスク（株）製 HPLC 用

ギ酸：富士フィルム和光純薬（株）製 LC/MS 用

無水硫酸マグネシウム 4.0g、無水塩化ナトリウム 1.0g、クエン酸三ナトリウム二水和物 1.0g 及びクエン酸二ナトリウム 1.5 水和物 0.5g：RESTEK 社製 Q-sep QuEChERS extraction salts

固相カラム：Agilent Technologies 社製 Bond Elut C18 (500mg/6mL)

Agilent Technologies 社製 Bond Elut PSA (500mg/3mL)

メンブレンフィルター：アドバンテック（株）製 DISMIC-13HP (PORE SIZE：0.20 μm)

HPLC 用カラム：（株）島津製作所製 Shim-pack HR-ODS 3.0 mm i.d. x 150 mm 粒子径 3 μm

動物用医薬品標準品：和光純薬工業（株）製動物用医薬品混合標準液 PL-1-3 及び PL-2-1

その他個別標準品 30 成分

個別標準品は、各成分 10mg を 0.1%ギ酸メタノール 10mL で溶解したものを標準原液（1000 μg/mL）とし、混合標準液として 10 μg/mL（一部は 20 μg/mL）に調製したものを使用した。

## (3) 装置

高速液体クロマトグラフ：島津製作所（株）製 LC-30AD

質量分析計：島津製作所（株）製 LCMS-8030

## (4) 測定条件

## ア LC 条件

移動相：0.1 %ギ酸水溶液 (A 液) 及びアセトニトリル (B 液)

グラジエント条件 (B 液)：

1% (0 min) → 100% (25 min) → 100% (30 min) → 1% (30.01 min) → 1% (40 min)

流速：0.2 mL/min

カラム温度：40 °C

注入量：10 µL

## イ MS 条件

ネブライザーガス流量：1.5L/min

ドラインガス流量：15 L/min

ヒートブロック温度：400 °C

DL 温度：250 °C

イオン化法：エレクトロスプレーイオン化 (ESI) 法

インターフェイス電圧：+ 4.5 kV (Positive mode)、- 3.5 kV (Negative mode)

測定条件：表 1 のとおり

表1 分析対象薬物と測定条件

No.	薬物名	ESI	前駆イオン (m/z)	測定イオン (m/z)	No.	薬物名	ESI	前駆イオン (m/z)	測定イオン (m/z)
1	thiabendazole deriv	+	217.80	190.95	29	sulfamerazine	+	265.10	92.10
2	lincomycin	+	407.20	126.15	30	tiamulin	+	494.30	192.10
3	levamisole	+	205.10	178.00	31	sulfamethoxypyridazine	+	281.10	156.05
4	albendazole	+	240.10	133.10	32	sulfadimidine	+	279.10	92.15
5	diaveridine	+	261.20	123.25	33	josamycin	+	828.20	109.10
6	trimethoprim	+	291.10	123.15	34	sulfamonomethoxine	+	281.10	156.05
7	marbofloxacin	+	363.20	72.35	35	sulfisozole	+	240.10	156.20
8	pyrantel	+	207.10	150.10	36	sulfachlorpyridazine	+	284.70	156.00
9	ofloxacin	+	362.20	318.30	37	sulfadoxine	+	311.10	156.00
10	ormethoprim	+	275.20	123.15	38	sulfamethoxazole	+	254.10	155.95
11	ciprofloxacin	+	332.20	314.25	39	miloxacin	+	264.30	246.25
12	sulfisomidin	+	279.10	124.10	40	sulfisoxazole	+	268.10	156.00
13	danofloxacin	+	358.20	340.20	41	oxolinic_acid	+	262.20	244.20
14	TBZ	+	202.10	175.00	42	ethopabate	+	238.20	136.00
15	enrofloxacin	+	360.30	342.35	43	sulfadimethoxine	+	311.10	156.00
16	orbifloxacin	+	395.90	295.05	44	sulfabenzamide	+	277.10	156.15
17	xylazine	+	221.10	90.10	45	sulfaquinoxaline	+	301.00	156.05
18	morantel	+	221.00	122.95	46	bromacil	+	261.00	204.95
19	difloxacin	+	399.90	382.10	47	flubendazole	+	314.00	282.05
20	tripelennamine	+	256.20	211.10	48	nalidixic_acid	+	233.20	215.20
21	clopidol	+	192.00	101.10	49	flumequine	+	261.80	244.00
22	pyrimethamine	+	249.10	177.00	50	menbutone	+	259.00	241.00
23	sulfacetamide	+	215.10	92.05	51	praziquantel	+	313.20	203.15
24	carazolol	+	299.10	116.20	52	ketoprofen	+	255.10	105.10
25	sulfathiazole	+	256.00	156.00	53	warfarin	+	309.10	163.00
26	sulfadiazine	+	251.10	156.00	54	rifaximin	+	786.50	754.40
27	sulfapyridine	+	250.00	156.00	55	coumatetralyl	+	293.10	175.00
28	oxibendazole	+	250.20	218.25	56	2-acetylamino-5-nitrothiazole	-	185.90	139.00

(5) 測定溶液の調製

試験溶液の調製のフローを図1に示した。試料 5.0 g を量り採り、今回妥当性評価を実施した 56 物質を含む混合標準を添加し、30 分間静置した。その後、蒸留水 2.5mL 及び 0.5%ギ酸含有アセトニトリル 15 mL を加え、1 分間ホモジナイズを行い、Q-sep QuEChERS exteaction salts を加え、1 分間振とうした。これを遠心分離 (1,930×g、5 分間) した後、アセトニトリル層から 6mL を分取し、蒸留水 1mL と混和したものを抽出液とした。0.4%ギ酸含有[アセトニトリル及び水 (85:15)]混液 15 mL でコンディショニングした Bond Elut C18 及び Bond Elut PSA に抽出液を負荷し、溶出液を採取した。さらにカラムに 0.4%ギ酸含有[アセトニトリル及び水 (85:15)]混液 10 mL を負荷し、得られた溶出液を先の溶出液と合わせ、1-プロパノール 10 mL を加えて、40°C以下で減圧濃縮した後、窒素気流下で溶媒を完全に除去した。残留物に 0.1 %ギ酸含有[アセトニトリル及び水 (1:9)]混液 2 mL を加え、超音波及び遠心分離処理を経て得られた溶液を DISMIC-13HP (PORE SIZE : 0.20 μm) に通じ、測定溶液とした。

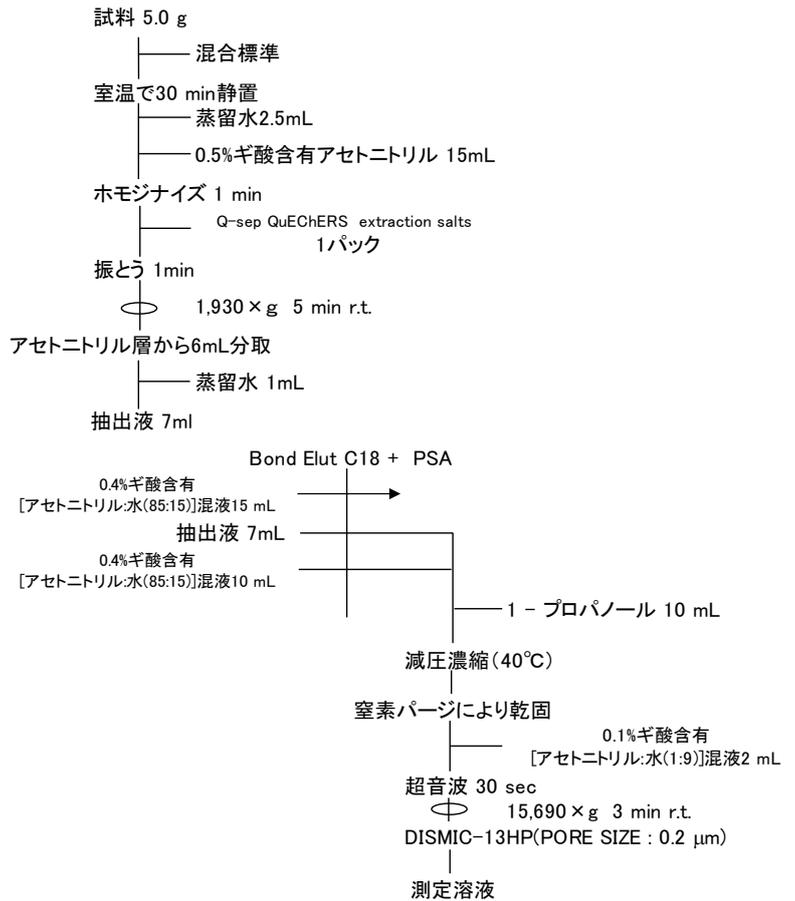


図1 測定溶液の調製方法

(6) 検量線

検量線は、ブランク検体から得られた測定溶液を用いて、各成分 0、0.001、0.005、0.01、0.015、0.05、0.1 及び 0.15 μg/mL の 8 点でマトリックス検量線を作製した。

(7) 妥当性評価の方法

各物質の混合標準溶液を作製し、1 日 1 回 (2 併行)、5 日間実施する枝分かれ実験計画により、妥当性評価試験を実施した。添加濃度は一律基準の 0.01 ppm 及びその 10 倍の 0.1 ppm とした。これにより得られたデータを基に、表 2 のガイドラインの基準に従い評価を行った。

表2 ガイドラインにおける妥当性評価試験の評価基準

(1) 選択性

定量限界と基準値の関係	妨害ピークの許容範囲
定量限界 ≤ 基準値 1/3	< 基準値濃度に相当するピークの 1/10
定量限界 > 基準値 1/3	< 定量限界濃度に相当するピークの 1/3
不検出	< 定量限界濃度に相当するピークの 1/3

(2) 真度(回収率)及び精度

濃度 (ppm)	真度(回収率) (%)	併行精度 (RSD%)	室内精度 (RSD%)
≤ 0.001	70~120	30 >	35 >
0.001 < ~ ≤ 0.01	70~120	25 >	30 >
0.01 < ~ ≤ 0.1	70~120	15 >	20 >
0.1 <	70~120	10 >	15 >

(3) 定量限界

基準値が定量限界と一致している場合あるいは「不検出」の場合

① 添加試料の試験結果に基づく真度、併行精度及び室内精度が(2)の表の目標値を満足していること。

② クロマトグラフィーによる測定では、定量限界濃度に対応する濃度から得られるピークは、S/N比 ≥ 10 であること。

### 3 結果及び考察

乳を用いた妥当性評価の結果を表3に示した。ガイドラインの基準を満たす動物用医薬品の総数を従来法と改良法で比較すると、19物質から49物質となり、一斉試験として検査可能な動物用医薬品の総数を増やすことができ、妥当性が確認できた。また、精製までの検査時間が改善でき、検査の効率化が図れた。

一方で、ガイドラインの評価基準に適合しなかった物質については、真度や併行精度、室内精度がわずかにガイドラインの評価基準から外れた物質もあったことから、今後、改良法を用いた収去検査等での精度管理データの蓄積及び見直しを行うことで、分析可能な物質を増やしていくことが期待できると考える。

表3 妥当性評価試験の結果

No.	薬物名	従来法	改良法	No.	薬物名	従来法	改良法
1	thiabendazole deriv	x	o	29	sulfamerazine	o	o
2	lincomycin	x	x	30	tiamulin	o	o
3	levamisole	x	o	31	sulfamethoxypyridazine	x	o
4	albendazole	x	o	32	sulfadimidine	o	o
5	diaveridine	x	o	33	josamycin	o	o
6	trimethoprim	x	o	34	sulfamonomethoxine	o	o
7	marbofloxacin	x	x	35	sulfisozole	o	o
8	pyrantel	x	o	36	sulfachlorpyridazine	o	o
9	ofloxacin	x	o	37	sulfadoxine	o	o
10	ormethoprim	x	o	38	sulfamethoxazole	o	o
11	ciprofloxacin	x	x	39	miloxacin	x	x
12	sulfisomidin	x	o	40	sulfisoxazole	o	o
13	danofloxacin	x	x	41	oxolinic_acid	x	o
14	TBZ	x	o	42	ethopabate	o	o
15	enrofloxacin	x	o	43	sulfadimethoxine	o	o
16	orbifloxacin	x	o	44	sulfabenzamide	o	o
17	xylazine	x	o	45	sulfaquinoxaline	o	o
18	morantel	x	o	46	bromacil	x	o
19	difloxacin	x	o	47	flubendazole	o	o
20	tripelennamine	x	o	48	nalidixic_acid	x	o
21	clopidol	x	o	49	flumequine	x	o
22	pyrimethamine	o	o	50	menbutone	x	o
23	sulfacetamide	x	o	51	praziquantel	x	o
24	carazolol	x	o	52	ketoprofen	x	x
25	sulfathiazole	x	o	53	warfarin	x	o
26	sulfadiazine	o	o	54	rifaximin	x	o
27	sulfapyridine	o	o	55	coumatetralyl	x	x
28	oxibendazole	o	o	56	2-acetylamino-5-nitrothiazole	x	o

### 4 参考文献

- 1) 厚生労働省医薬食品局；食品中に残留する農薬等に関する試験法の妥当性評価ガイドラインの一部改正について. 2010.

# LC-ICP-MSによる魚介類中のメチル水銀迅速分析法の妥当性評価

○松下 由依、西村 仁志、伊藤 裕美、福本 智也  
(衛生環境研究所 生活衛生部門)

## 1 目的

魚介類中の水銀については、昭和48年厚生省通知の中で、一部の魚種を除き、暫定的規制値（総水銀0.4 mg/kg、うちメチル水銀0.3 mg/kg）が設定されている<sup>1)</sup>。

本市では、総水銀検査はマイクロ波分解-還元気化原子吸光分析法で行っており、公定法に比べより迅速かつ安全に検査を実施することができている<sup>2)</sup>。しかし、メチル水銀検査については公定法であるベンゼン抽出-ガスクロマトグラフィー電子捕獲型検出法を用いており、煩雑な操作や回収率の低さなどに苦慮している。

令和3年度、米国食品医薬品局（FDA）の元素分析マニュアルで採用されている高速液体クロマトグラフィー-誘導結合プラズマ質量分析法（LC-ICP-MS）による魚介類中のメチル水銀定量法<sup>3)</sup>を改良し、魚介類中のメチル水銀を正確かつ迅速に分析できる方法（以下「改良法」という。）を検討した<sup>4)</sup>。この方法をもとに、「食品中の金属に関する試験法の妥当性評価ガイドライン」（以下「ガイドライン」という。）に準じて妥当性評価を行ったところ、良好な結果が得られたので報告する。

## 2 方法

### (1) 試料

#### ア 選択性

選択性の評価については、イワシを用いた。

#### イ 真度および精度

認証標準物質としてタラ魚肉粉末 NMIJ CRM 7402-a（メチル水銀認証値：水銀として  $0.58 \pm 0.02$  mg/kg）を用いた。添加回収試験用ブランク試料としては、脂肪量の異なる3魚種（モンコイカ：低脂肪種、マス：中脂肪種、ハマチ：高脂肪種）を用いた。脂肪については、事前の調査で、その量が多くなるほどメチル水銀の定量値がばらつく傾向が示唆され、今回、改めてその影響についても評価した。

### (2) 試薬

L-システイン塩酸塩一水和物およびL-システインは富士フィルム和光純薬(株)製、酢酸アンモニウムはシグマアルドリッチ社製を用いた。

### (3) 標準液

塩化メチル水銀（ナカライテスク(株)製）を1%L-システイン塩酸塩一水和物水溶液（1%L-Cys）に溶解し、0.3、1、3（規制値に相当）、6、9  $\mu\text{g Hg/L}$  の検量線用標準液を用時調製した。

### (4) 測定条件

表1に示す。

(5) 試料溶液の調製

調製フローを図1に示す。

(6) 妥当性評価

ア 選択性

水銀を含まないブランク試料として入手できたイワシを用いて、試料量別(0.5 g、1.0 g)の添加回収試験(添加量:水銀として0.15 µg)を実施することで、マトリクス成分による定量の妨害の程度を評価した。

イ 真度および精度

認証標準物質および添加試料を用いて、分析者1名が試料各2個を5日間分析する枝分かれ実験を行い、各パラメータを求め、評価した。添加試料については、水銀を含まないブランク試料の入手が困難であったため、ガイドラインの注釈に従い、水銀濃度が規制値の1/2以下であることを確認した試料に規制値の1/2レベルのメチル水銀を添加し、調製した。

ウ 定量下限

推定定量下限付近濃度の標準液(0.3 µg Hg/L、図2)を連続10回測定した際に得られる測定値の標準偏差の10倍を装置定量下限値として求めた。

表1 装置測定条件

LC	
装置	島津 LC-20A
カラム	GL Sciences Inertsil ODS-3 (5 µm、内径 4.6 mm×長さ 150 mm)
カラム温度	40°C
移動相	0.1%L-システイン +0.1%酢酸アンモニウム
流速	1.0 mL/min
注入量	50 µL
ICP-MS	
装置	島津 ICPMS-2030
高周波出力	1.2 kW
サンプリング深さ	5.0 mm
プラズマガス流量	8.0 L/min
補助ガス流量	1.10 mL/min
キャリアガス流量	0.70 L/min
試料導入 チャンバー	同軸ネブライザー サイクロンチャンバー (電子冷却)
プラズマトーチ	ミニトーチ
Hg 質量	202

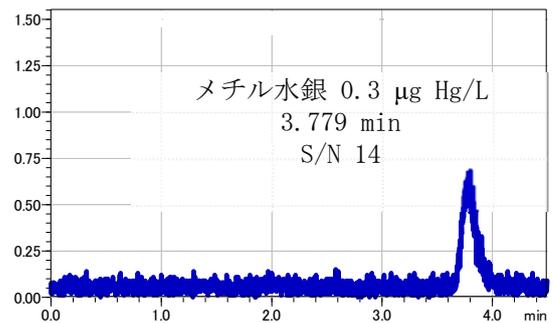


図2 クロマトグラム

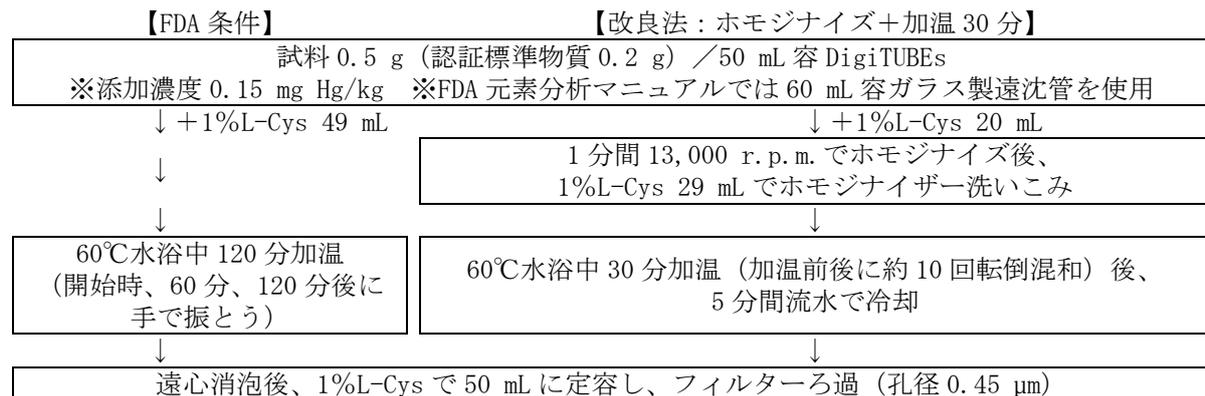


図1 試料溶液の調製フロー

3 結果および考察

(1) 定量下限および検量線

装置定量下限値は 0.17 µg Hg/L (試料換算値 : 0.017 mg Hg/kg) と、規制値の 1/10 濃度から定量可能であることを確認した。検量線の直線性については、決定係数が 0.998 以上と良好であった。

## (2) 選択性

試料量別の添加回収試験における回収率は、0.5 g では 96.2%、1.0 g では 97.6%と試料量を増やしてもほとんど差はなく、マトリクス成分による定量の妨害を受けないと判断した。

## (3) 真度および精度

結果を表 2 に示す。認証標準物質の真度 (回収率) は 98.2%、その他の試料についても約 99% と良好な結果であった。併行精度および室内精度についても、すべての試料でガイドラインの目標値を満たしていた。また、脂肪量の違いによる差は今回の評価では認められなかった。

## (4) メチル水銀の割合

魚介類中のメチル水銀は、当初は測定技術上の問題もあり、総水銀の 75%程度とみなされていたが、近年は、特殊な魚種を除き、90%以上がメチル水銀であると認識されている<sup>5)</sup>。今回、改良法により定量したメチル水銀は、マイクロ波分解-還元気化原子吸光分析法により定量した総水銀の約 87%~106%の割合であり、同様な結果が得られた (表 2)。

表 2 結果

試料名	脂肪量 (%)	真度 (%)	併行精度 (RSD%)	室内精度 (RSD%)	メチル水銀 (mg/kg)	総水銀 (mg/kg)	メチル水銀の割合 (%)
認証標準物質*	—	98.2	3.1	3.2	0.570 (0.58)	0.584 (0.61)	97.5 95.1
モンコイカ	0.39	98.9	1.0	3.3	0.117	0.110	105.9
マス	6.2	99.5	1.5	3.5	0.053	0.057	94.1
ハマチ	21	99.5	1.3	4.2	0.096	0.110	86.6
目標値	—	80~110	10>	15>	—	—	—

※カッコ内は認証値

## 4 まとめ

LC-ICP-MS を用いた魚介類中のメチル水銀分析法の妥当性評価を行ったところ、すべての試料でガイドラインの目標値に適合した。また、総水銀に対するメチル水銀の割合の評価結果からも、改良法は正確かつ迅速にメチル水銀を定量できることが確認された。

## 参考文献

- 1) 厚生省環境衛生局長通知、昭和 48 年 7 月 23 日、環乳第 99 号 (1973)
- 2) 並河 幹夫：京都市衛生環境研究所年報、83、89-90 (2017)
- 3) Susan C. Hight and John Cheng: U. S. FDA Elemental Analysis Manual, Section 4.8(2008)
- 4) 西村 仁志ら：第 58 回全国衛生化学技術協議会年会講演集、104-105 (2021)
- 5) 千葉 美子ら：宮城県保健環境センター年報、37、47-51 (2019)

# 京都市における光化学オキシダント濃度の長期経年変化の解析

京都市衛生環境研究所  
環境部門 伴創一郎

## 1 はじめに

光化学オキシダントは（以下Oxという。）、窒素酸化物（以下NOxという）、揮発性有機化合物（以下VOCsという）が太陽光（紫外線）を受けて、光化学反応を起こすことにより生じる。オゾン、パーオキシアセチルナイトレート（PAN）、アルデヒド類その他の酸化物質の総称であり、その大部分がオゾン(O<sub>3</sub>)である。Oxは光化学スモッグの原因物質である。

対流圏のO<sub>3</sub>は、対流圏の光化学反応によって生ずるO<sub>3</sub>及び成層圏から流下するO<sub>3</sub>からなり、地域内外で排出されたO<sub>3</sub>が前駆物質から生成する場合及び地域外で生成したO<sub>3</sub>が移流する場合があり、移流したO<sub>3</sub>も遠隔地のO<sub>3</sub>濃度の増加要因となっている。

図1にO<sub>3</sub>の光化学反応によるO<sub>3</sub>の生成機構を示す。O<sub>3</sub>は、酸素と二酸化窒素の光分解反応で生成する。この反応は可逆反応である。大気中にVOCが存在しない場合は、平衡状態となるためNO、NO<sub>2</sub>、O<sub>3</sub>はある一定濃度になる。大気中にVOCが存在する場合は、VOCがOHラジカルやO<sub>3</sub>と反応してアルキルペルオキシラジカル(ROO・)を生成する。このROO・がNOと反応してアルコキシラジカル(RO・)になる反応と、O<sub>3</sub>がNOと反応してNO<sub>2</sub>となる反応が競合するため平衡状態がずれてO<sub>3</sub>濃度が増加する。つまり、NOxとVOCsはOxの前駆物質であり、NOx濃度とVOCs濃度は、Ox濃度の増加要因となっている。

NOxについては、「自動車から排出される窒素酸化物及び粒子状物質の特定地域における総量の削減等に関する特別措置法」（自動車NOx・PM法）に基づく排出削減対策が2004年より実施されており、VOCsについては、大気汚染防止法の改正により、固定発生源からの排出規制が2006年より施行されている。

京都市では1968年より大気汚染物質の常時監視を実施している。京都市内の大気汚染物質の挙動の特徴として、三方が山に囲まれた内陸盆地に位置するため、大気中の汚染物質が拡散されにくく、発生量に比べて高濃度が出現しやすい点、京都府南部から阪神工業地帯に連なっており、南ないし南西の風向時に移流により濃度が高くなりやすい点があげられる。<sup>1)</sup>

様々な排出抑制施策の結果、京都市内の一般環境大気測定局における大気汚染物質濃度の年平均値は、NOx、SO<sub>2</sub>、SPM、PM<sub>2.5</sub>については、減少傾向の経年変化であり、環境基準を達成している。また、非メタン炭化水素(NMHC)として検出されるVOCs濃度についても減少傾向の経年変化で推移している。一方、Oxの年平均値については、漸増傾向で推移しており(図2)、環境基準「1時間値が0.06ppm以下であること。」は、京都市内の全測定局で未達成の状況が続いている。全国的にもOx濃度の環境基準達成率は極めて低い状況である。今回、京都市内の一般環境大気測定局の1975年度から2021年度までのOx測定データについて、「昼間の1時間値の年平均値」等の従来の指標および2014年に環境省から通知された新指標により経年変化を解析した。また、ポテンシャルオゾン(PO)、Oxの前駆物質であるNOx、NMHC、NMHC/NOx比の経年変化についても解析を行ったので報告する。

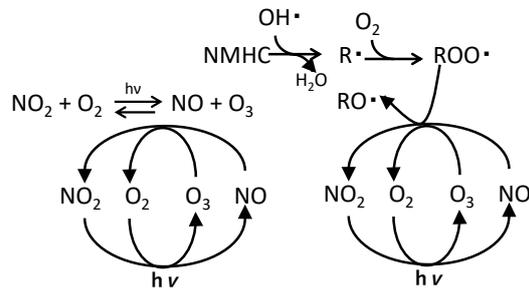


図1 O<sub>3</sub>の光化学反応による生成

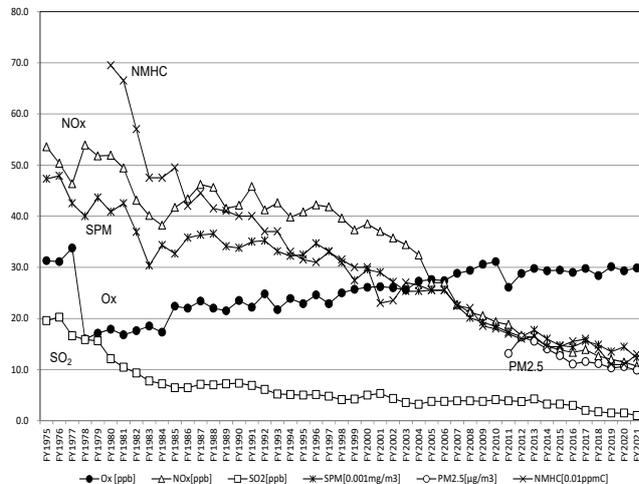


図2 京都市内の一般環境測定局における大気汚染物質濃度(年平均値)の経年変化

## 2 方法

### (1) 解析対象局及び解析期間

調査対象の測定局は、京都市内の10の一般環境大気測定局(市役所、壬生、南、伏見、山科、左京、西京、久我、北、醍醐)とし、1975年度から2021年度までの、47年間のデータを解析対象とした。ただし南局は、2011年度で廃局となったため2011年度までのデータを解析対象とした。測定局の所在地を表1、測定局の配置図を図3に示す。

### (2) 測定方法

#### ① Ox

Oxの測定法としては、「環境大気常時監視マニュアル」<sup>2)</sup>で、主に吸光度法と紫外線吸収法が規定されている。京都市内の測定局では、従来、湿式である吸光度法(KI法)で測定を実施していたが、2002年度以降より、湿式から乾式である紫外線吸収法(UV法)へと、順次切替えがなされた(表2)。2006年以降は、市内のOx測定局のすべてが紫外線吸収法(UV法)へ切換えられている。湿式であるKI法は、オキシダント(二酸化窒素を除く酸化性物質)を測定しており、UV法では「オキシダントのほとんどがオゾンである」とされることからO<sub>3</sub>のみを測定しているため、測定法の変更が測定結果に影響を及ぼしている可能性がある点に留意が必要である。この点について、「測

表1 京都市内の一般環境測定局の所在地

測定局番号	名称	所在地 (FY2022現在)	場所	移設等経過
101	市役所	中京区寺町通御池上る上本能寺前町488	京都市役所4階建て建物の屋上	市役所本庁舎改修工事に伴い'18年1月~20年3月測定局休止
102	壬生	中京区壬生東高田町1の21	京都看護大学 敷地内	2019年10月旧衛生環境研究所から移設
103	南 ※	南区西九条管田町4の1	南消防署 4階建て建物の屋上	※2012年3月廃局
104	伏見	伏見区村上町395	衛生環境研究所 3階	2022年3月伏見区総合庁舎から移設
105	山科	山科区御陵四丁野町1	京都薬科大学 南校舎校庭	
106	左京	左京測定局	左京区総合庁舎 2階	2011年5月旧高野福祉施設合同会館から移設
107	西京	西京区椋原三宅町24	椋原小学校 校庭	
108	久我	伏見区久我東町60の2	神川小学校 校庭	
109	北	北区紫野花ノ坊町23の1	ツラッティ千本 2階	
110	醍醐	伏見区醍醐鍵尾町17	池田小学校 校庭	

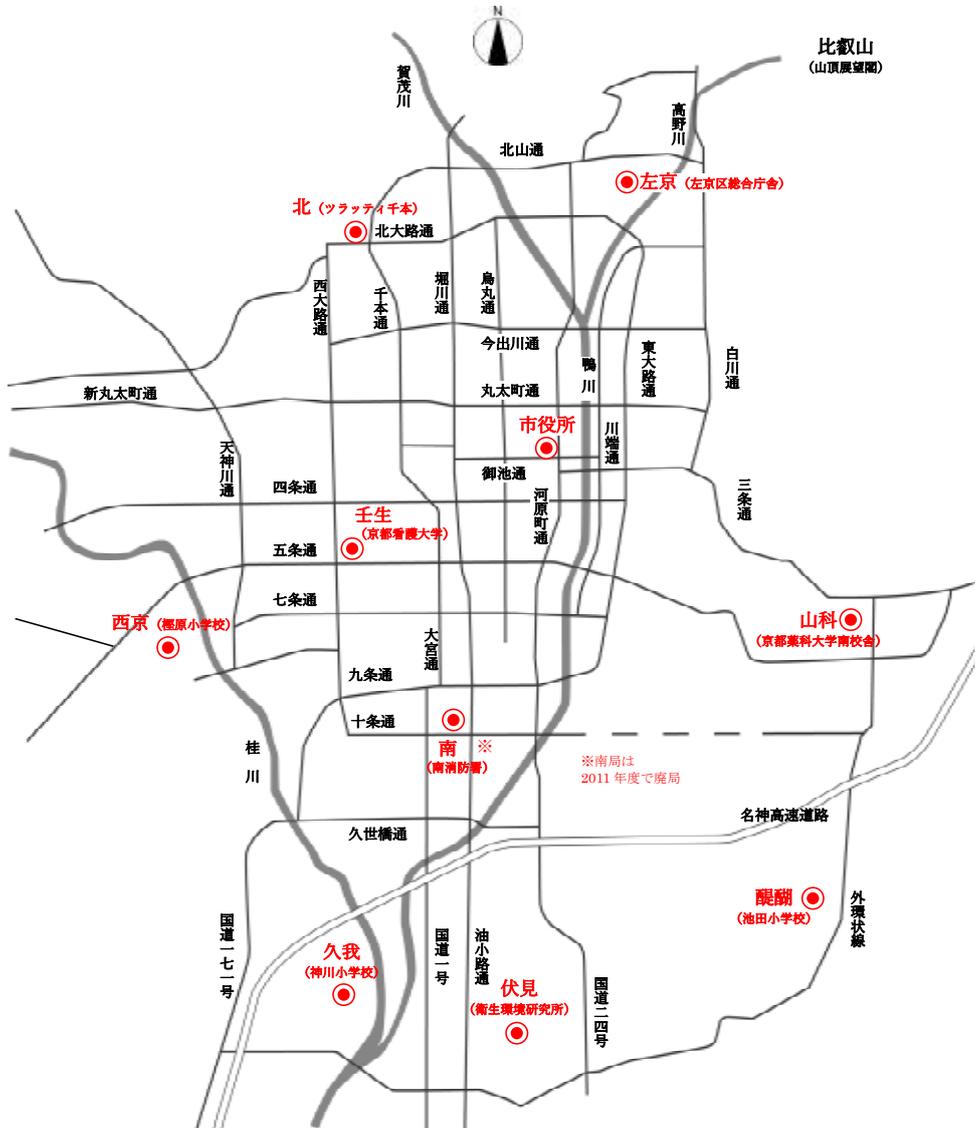


図3 京都市内の一般環境大気測定局の配置図

表2 京都市内の一般環境測定局の光化学オキシダント測定開始時期と乾式(紫外線吸収法)への変更時期

測定局番号	名称	Ox 測定開始	Ox 湿式から乾式 変更時期	測定項目と期間
101	市役所	1975年4月~	2006年4月~	SO2 ('68~), SPM ('68~), NOx ('75~), Ox ('75~), PM2.5 ('11~), WDWS ('68~)
102	壬生	1973年7月~	2005年4月~	SO2 ('70~), SPM ('70~), NOx ('72~), Ox ('73~), PM2.5 ('11~), HC ('80~'19), WDWS ('70~), TEMP ('70~'19), HUM ('80~'19), SR ('80~'19)
103	南 ※	1973年7月~	2006年4月~	SO2 ('70~'11), SPM ('70~'11), NOx ('72~'11), Ox ('76~'11), WDWS ('70~'11)
104	伏見	1972年6月~	2002年4月~	SO2 ('70~), SPM ('70~), NOx ('73~), Ox ('72~), PM2.5 ('23~), HC ('23~), WDWS ('70~), TEMP ('19~), HUM ('19~), SR ('19~)
105	山科	1972年6月~	2002年4月~	SO2 ('70~), SPM ('70~), NOx ('75~), Ox ('72~), PM2.5 ('13~), WDWS ('70~'11)
106	左京	1972年6月~	2002年4月~	SO2 ('70~'11), SPM ('70~), NOx ('73~), Ox ('72~), WDWS ('71~)
107	西京	1975年5月~	2006年4月~	SO2 ('70~), SPM ('70~), NOx ('75~), Ox ('75~), PM2.5 ('13~), WDWS ('71~)
108	久我	1973年8月~	2005年4月~	SO2 ('71~'11), SPM ('71~), NOx ('74~), Ox ('73~), PM2.5 ('13~'19), WDWS ('71~)
109	北	1974年5月~	2005年4月~	NOx ('76~), Ox ('74~), WDWS ('82~)
110	醍醐	1980年6月~	2002年4月~	SO2 ('80~'11), SPM ('80~), NOx ('80~), Ox ('80~), PM2.5 ('11~), HC ('80~), WDWS ('80~), TEMP ('80~'11), HUM ('80~'11)

定法の切り替えにより平均濃度に影響があったといえるが、長期的な濃度変動を解析検討するには影響が少ない」との当市の併行試験結果の報告がある。<sup>3)</sup> また、0x 濃度の測定においては、2006年にJISが改正され校正法がKI法からUV法へ変更されたのに伴い、「環境大気常時監視マニュアル」<sup>2)</sup>が2010年3月に改訂され、全国的にトレーサビリティを考慮した統一的な精度管理体制が整備された。2010年度から順次、地域ブロック毎に二次標準器、自治体毎に三次標準器が設置され、2011年度以降は、新校正法に基づくデータとなっている。校正法の変更が、0x 濃度の測定結果に影響を及ぼしている可能性が考えられる点に留意が必要である。

#### ②NO<sub>x</sub>

NO<sub>x</sub>、NO<sub>2</sub>の測定は、従来、吸光光度法で測定を実施していたが、2002年度以降は吸光光度法から化学発光法に順次切り替えがなされた。2008年度以降は、全ての測定局で、化学発光法で測定を実施している。

#### ③NMHC

NMHCの測定は、水素炎イオン化検出法で実施している。

#### (3) 解析方法

各測定局から得られた1時間値をもとに、以下の指標の計算値を算出し、濃度の経年変化の傾向を解析した。

##### ①0x 昼間の1時間値の年平均値

「昼間」(5時～20時の時間帯で、1時間値としては6時～20時の15個)の1時間値を用いて年平均値を算出した。

##### ②0x 昼間の1時間値の最高値

「昼間」(5時～20時の時間帯で、1時間値としては6時～20時の15個)の1時間値で、当該年度で最高値となった1時間値を当該年度の昼間の1時間値の最高値とした。

##### ③ポテンシャルオゾン (PO) 濃度<sup>4)</sup>

PO濃度[PO]の算出方法は、オゾンO<sub>3</sub>濃度[O<sub>3</sub>]、NO<sub>2</sub>濃度[NO<sub>2</sub>]、NO<sub>x</sub>濃度[NO<sub>x</sub>]を用いて次式のとおり算出した。 $[PO] = [O_3] + [NO_2] - \alpha \times [NO_x]$

$\alpha$ は発生源におけるNO<sub>x</sub>濃度に対するNO<sub>2</sub>濃度の比率であり、日本で推定されている一般的な値である「0.1」を使用した。

##### ④0x 新指標<sup>5),6)</sup>

1年間の全ての時間について、8時間の移動平均値を計算し、一日ごとにその最高値(以下「日最高8時間値」とする。)を算出し、一年間で得られた日最高8時間値を、値の低い方から高い方に順に並べたとき、低い方(最低値)から数えて99%目の日数に該当する日の最高8時間値を日最高8時間値の年間99%タイル値とする。当該年度を含めた過去3年分の日最高8時間値の年間99%タイル値の移動平均値を、当該年度における光化学オキシダントの新指標として算出した。

##### ⑤NO<sub>2</sub>/NO<sub>x</sub>比

NO<sub>2</sub>濃度とNO<sub>x</sub>濃度より、NO<sub>2</sub>濃度とNO<sub>x</sub>濃度の比(百分率)を算出し、NO<sub>2</sub>/NO<sub>x</sub>比[%]とした。

##### ⑥NMHC/NO<sub>x</sub>比

NMHCの年平均値[ppbC]、NO<sub>x</sub>の年平均値[ppb]よりNMHC/NO<sub>x</sub>比[ppbC/ppb]を計算した。

### 3 結果及び考察

#### (1) 0x 昼間の1時間値の年平均値

昼間(5時～20時)の1時間値の年平均値の局別の経年変化(1975～2021年度)のグラフを図4に示す。

解析期間中の各測定局の昼間の1時間値の年平均値の「最大値」「最小値」「第1四分位数」「中央値」「第3四分位数」「平均値」を、測定局ごとに集計して算出した各測定局の濃度分布のグラフを図5に、年度ごとに集計して算出した経年変化のグラフを図6に示す。

解析期間中の「昼間の1時間値の年平均値」の最大値は、1977年度の左京局の45ppb、最小値は、1978-79年度の南局、1980年度の北局の13ppbであった。解析初期には、濃度の変動が大きい傾向であったが、2011年以降は、測定局間の濃度差が5ppb以内に収まっていた。局別集計の平均値の比較では、左京局が32.4ppbで最大で、南局が26.4ppbで最小であった。

経年変化の傾向は、解析期間において、1977年度が濃度の極大ピークであった(市内平均値38.8ppb)。1977～1978年度頃にかけては、減少傾向にあり、その後、1984年度までは、ほぼ横ばいであったが、1984年度以降は、2010年度まで、増加傾向にあった。その後、2011年度に、0x濃度の低下が市内で見られた。これは、新校正法に基づくデータになったことが影響として考えられ、他都市のデータでも同様の現象が観察されている。2011年度以降は、緩やかな増加傾向の経年変化であった。

年度と各年度の市内平均値の相関を求めたところ、全解析期間(1975～2021年度)の平均値の変化率は、0.20ppb/年であり、増加傾向の経年変化であった。2001年～2021年度の平均値の変化率は、0.082ppb/年であり、漸増傾向の経年変化であった。

各測定局間の濃度差は、経年毎に小さくなっており、2012年以降は31ppb～35ppbの濃度範囲に収束していた。

昼間の1時間値の年平均値の濃度ランク別測定局数比率の推移を図7に示す。1977年度と1978年度の間、測定局数比率の大きな変動があり、1977年度は全ての局が35ppb以上であったのに対し、1978年度は、西京局を除く、全ての局で25ppb以下の値となり濃度ランクが低濃度側にシフトしていた。その後、1984年以降は、25ppb以上の局数の比率が大きくなっており高濃度側にシフトしていた。1998年以降は、30ppb以上の局数の比率が大きくなっており、2012年度以降は全て30ppb以上となっており、30-35ppbの濃度ランクに収束していた。

昼間の1時間値の年平均値の濃度ランク別測定局比率の度数分布の1981年度から2021年度までの10年毎の推移を図8に示す。

これによると、経年的に最も測定局比率の高い濃度ランクが高濃度にシフトし、測定局比率も高くなっていった。関東・東海地域でも同様の現象が報告されている。<sup>4),7)</sup>

#### (2) 0x 昼間の1時間値の最高値

昼間(5時～20時)の1時間値の最高値の局別の経年変化(1975～2021年度)のグラフを図9に示す。

解析期間中の各測定局の昼間の1時間値の最高値の「最大値」「最小値」「第1四分位数」「中央値」

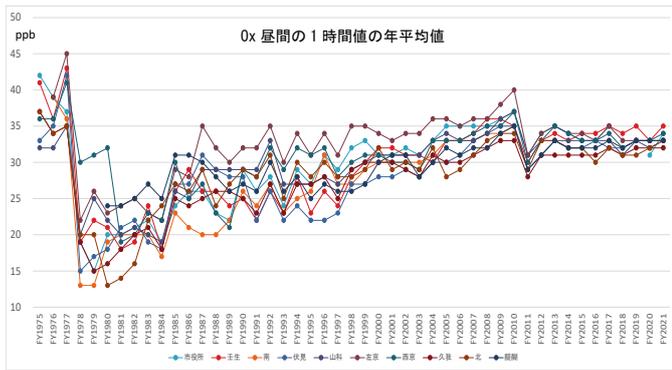


図 4 0x 昼間の 1 時間値の年平均値の経年変化 (1975~2021 年度)

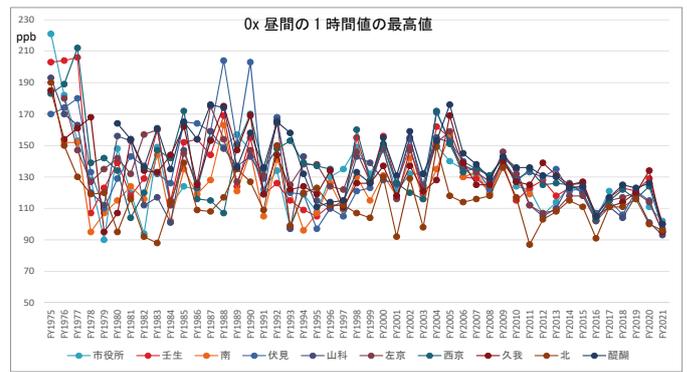


図 9 0x 昼間の 1 時間値の最高値の経年変化 (1975~2021 年度)

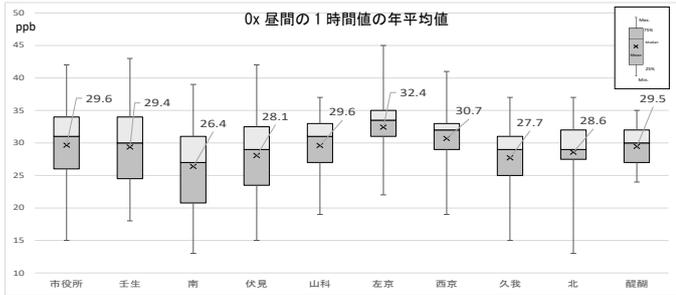


図 5 0x 昼間の 1 時間値の年平均値の測定局別濃度分布 (1975~2021 年度)

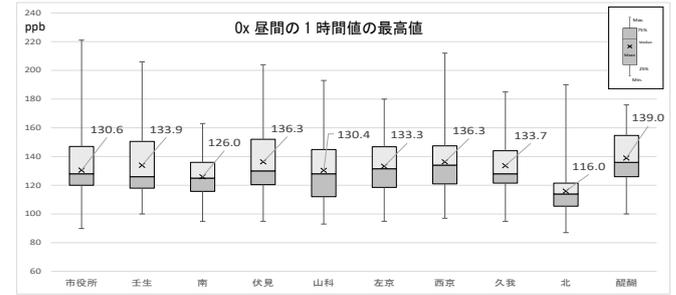


図 10 0x 昼間の 1 時間値の最高値の測定局別濃度分布 (1975~2021 年度)

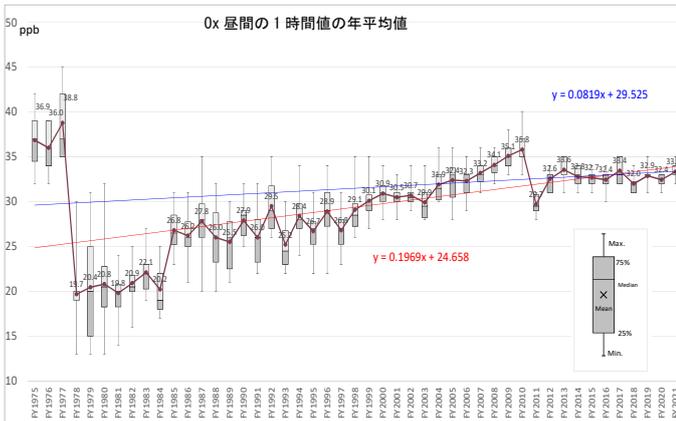


図 6 0x 昼間の 1 時間値の年平均値の濃度分布の経年変化 (1975~2021 年度)

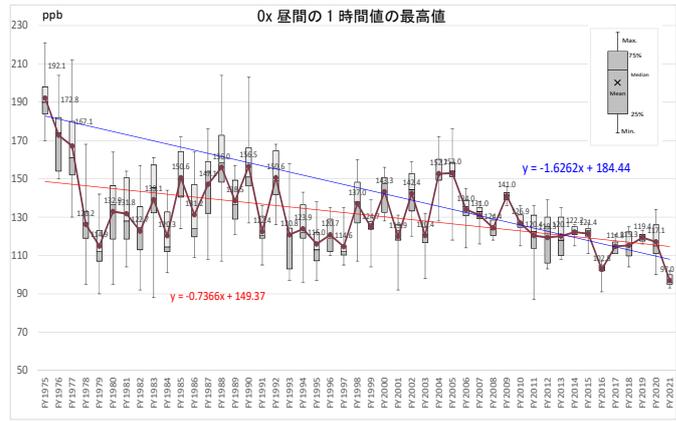


図 11 0x 昼間の 1 時間値の最高値の濃度分布の経年変化 (1975~2021 年度)

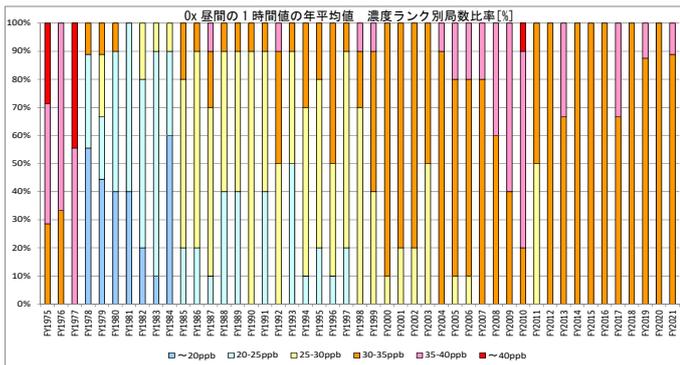


図 7 0x 昼間の 1 時間値の年平均値濃度ランク別測定局比率の推移 (1975~2021 年度)

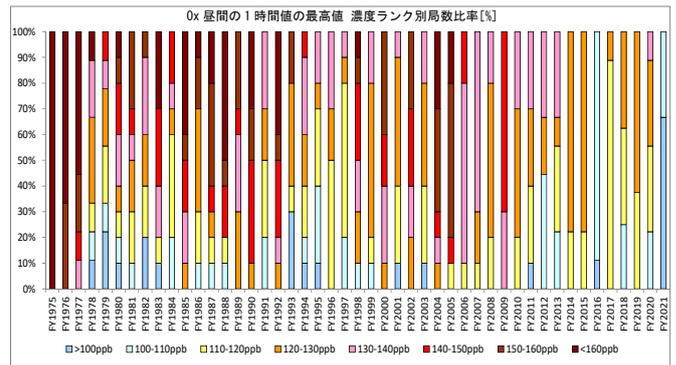


図 12 0x 昼間の 1 時間値の最高値濃度ランク別測定局比率の推移 (1975~2021 年度)

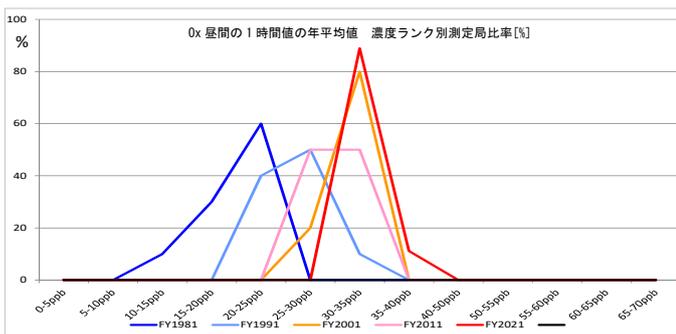


図 8 0x 昼間の 1 時間値の年平均値濃度ランク別測定局比率の度数分布の推移

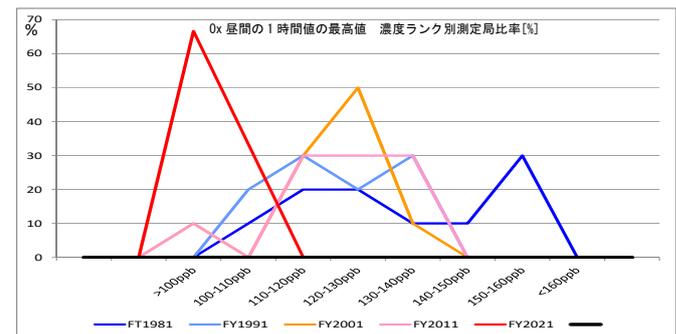


図 13 0x 昼間の 1 時間値の最高値濃度ランク別測定局比率の度数分布の推移

「第3四分位数」「平均値」を測定局ごとに集計して算出した各測定局の濃度分布のグラフを、図10に、年度ごとに集計して算出した経年変化のグラフを図11に示す。

解析期間中の「0x 昼間の1時間値の最高値」の最大値は、1975年度の市役所局の221ppb、最小値は、2011年度の北局の87ppbであった。局別集計の平均値の比較では、醍醐局が139ppbで最大であり、北局が116ppbで最小であった。

「昼間の1時間値の最高値」は、測定局間の濃度差が大きく、年度ごとの変動も大きかった。風向き、気温等の測定局ごとに異なる測定日当日の気象条件の影響を受けていると考えられた。

解析対象データの昼間の1時間値の最高値は全て60ppb以上の値であり、環境基準「1時間値が0.06ppm以下であること」は未達成であった。

経年変化の傾向は、1975年度が濃度の極大ピークであった(市内平均値192.1ppb)。その後1979年度頃にかけて減少傾向となった。その後は、何度か漸増、漸減のトレンドを繰り返し、解析期間全体としては、減少傾向の経年変化であった。他の指標に比べて「昼間の1時間値の最高値」は、測定局間の濃度差が大きく、データのバラツキが大きかった。

年度と各年度の市内平均値の相関を求めたところ、全解析期間(1975～2021年度)の平均値の変化率は、 $-0.74\text{ppb}/\text{年}$ であり、減少傾向の経年変化であった。2001～2021年度の平均値の変化率は、 $-1.62\text{ppb}/\text{年}$ であり、減少率が大きくなっていった。

昼間1時間値の最高値の濃度ランク別測定局数比率の推移を図12に示す。

1975年度から1977年度の間は、濃度ランク150ppb以上の測定局が70%以上占めていたが、1978年は、80%以上の測定局が140ppb以下となり、測定局数比率が低濃度側に大きくシフトしていた。その後、2009年度ごろまでは、測定局数比率は、年度ごとに大きく変動しており、一定の傾向は見いだせなかったが、2010年度以降については、低濃度側にシフトしていた。2021年度は、2020年度に比べて、測定局比率が低濃度側に大きく変動しており、全ての測定局が110ppb以下の濃度ランクとなっていた。

昼間1時間値の最高値の濃度ランク別測定局比率

の度数分布の1981年度から2021年度までの10年毎の推移を図13に示す。これによると、経年的に度数分布が低濃度側に収束していることが確認できた。

昼間1時間値の最高値は、データのバラツキが大きいが、減少傾向であり、京都市内の高濃度域の0x濃度が改善傾向であることが確認できた。

### (3) ポテンシャルオゾン (P0) 濃度

0x汚染の解析はオゾン $\text{O}_3$ 濃度を指標として進められることが多いが、オゾン $\text{O}_3$ はNOと反応し $\text{NO}_2$ と $\text{O}_2$ に分解され濃度が減少する。この「 $\text{NO} + \text{O}_3 \rightarrow \text{NO}_2 + \text{O}_2$ 」の反応によってオゾン濃度が減少する効果を「NOタイトレーション(titration)効果」と呼ぶ。オゾン濃度の変動要因についてオゾン濃度だけに注目した場合、オゾン生成そのものによるものか、タイトレーションによるオゾン減少によるのかを判断することが困難である。そこで、 $\text{O}_3$ のNOによる分解を補正したP0を指標として用いて0x濃度の変動の要因の

様々な解析が行われている。<sup>4)</sup>

解析対象の局 $\text{O}_3$ 濃度 $[\text{O}_3]$ 、 $\text{NO}_2$ 濃度 $[\text{NO}_2]$ 、 $\text{NO}_x$ 濃度 $[\text{NO}_x]$ を用いて次式のとおりP0濃度 $[\text{P0}]$ の年平均値を算出した。 $[\text{P0}] = [\text{O}_3] + [\text{NO}_2] - \alpha \times [\text{NO}_x]$  ( $\alpha = 0.1$ )

P0濃度の年平均値の局別の経年変化(1975年～2021年度)のグラフを図14に示す。

解析期間中の各測定局の「P0濃度の年平均値」の「最大値」「最小値」「第1四分位数」「中央値」「第3四分位数」「平均値」を測定局ごとに集計して算出した各測定局の濃度分布のグラフを、図15に、年度ごとに集計して算出した経年変化のグラフを図16に示す。

解析期間中の「P0濃度の年平均値」の最大値は、1975年度の市役所局の62ppb、最小値は、1978年度の伏見局の28ppbであった。

局別集計の平均値の比較では、南局が44.9ppbで最大であり、北局が39.9ppbで最小であった。

P0濃度の年平均値の経年変化の傾向は、解析期間において、1977年度が濃度の極大ピークであった(市内平均値52.4ppb)。1978年度に濃度が大きく減少し、その後、1984年度までは、横ばい傾向であった。1985年度以降は、2000年度まで、漸増傾向であった。2001年度以降は、減少傾向となり、2021年まで漸減傾向が続いている。2011年度に、濃度が大きく低下しているが、これは0x濃度の校正法が新校正法に基づくデータになり、0x濃度の年平均値が大きく減少していたことが影響していると考えられる。

0x昼間の1時間値の年平均値が1984年度以降漸増傾向であったのに対し、P0濃度は、2001年度以降は漸減傾向であり異なる挙動を示した。P0濃度が減少傾向となった2000年度は、市内の $\text{NO}_x$ 濃度の減少率が大きくなる時期と重なっており、 $\text{NO}_x$ 濃度の減少が大きく影響していると考えられた。

年度と市内平均値の相関を求めたところ、全解析期間(1975～2021年度)の平均値の変化率は、 $-0.047\text{ppb}/\text{年}$ であり、わずかに減少傾向の経年変化であった。2001～2021年度の平均値の変化率は、 $-0.41\text{ppb}/\text{年}$ であり、明確に減少傾向の経年変化であった。

P0濃度の年平均値の濃度ランク別測定局数比率の推移を図17に示す。

1977年度と1978年度の間、測定局数比率の大きな変動があり、1977年度は全ての局が40ppb以上の濃度ランクであったのに対し、1978年度は、40ppb以下の局数が70%以上を占めていた。その後、1984年にかけて低濃度側にシフトしていたが、1985年以降は、高濃度側にシフトしており、2010年にかけて40-45ppbの濃度ランクの比率が増加していた。2011年以降は、低濃度側にシフトしており、2020年以降は、全ての局が35-40ppbの濃度ランクに収束していた。

P0濃度の年平均値の濃度ランク別測定局比率の度数分布の1981年度から2021年度までの10年毎の推移を図18に示す。

これによると、1981年度から2001年度にかけて測定局比率が高濃度側にシフトにしていたが、2001年度以降は、全ての測定局が35-40ppbの濃度ランクに収束している傾向であった。経年的に測定局間の度数分布のバラツキが少なくなっていた。

0x濃度の変化量( $\Delta 0x$ )とP0濃度の変化量( $\Delta$

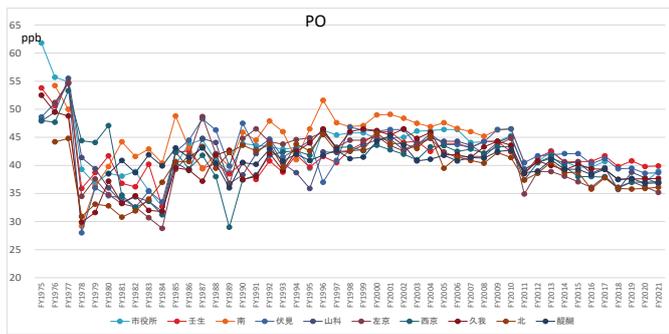


図14 POの年平均値の経年変化(1975～2021年度)

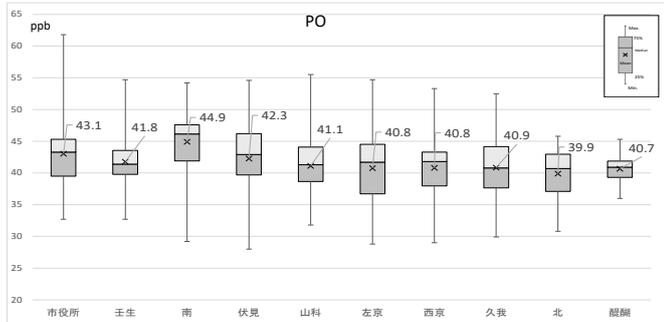


図15 POの年平均値の測定局別濃度分布(1975～2021年度)

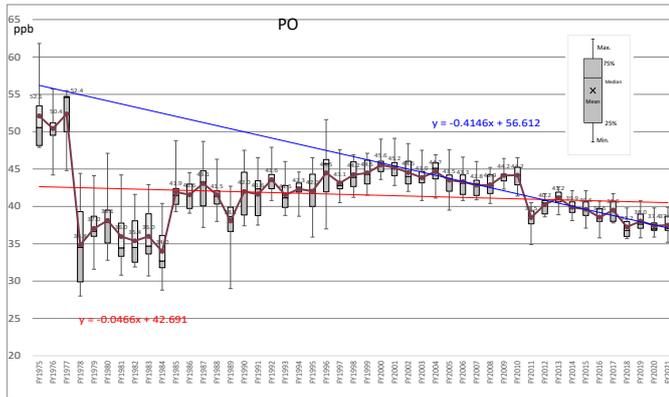


図16 POの年平均値の濃度分布の経年変化(1975～2021年度)

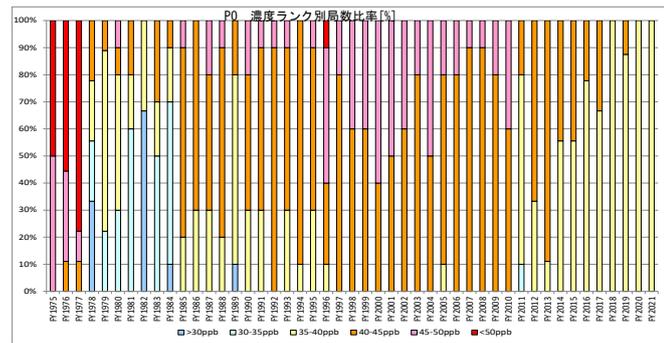


図17 POの年平均値の濃度ランク別測定局数比率の推移(1975～2021年度)

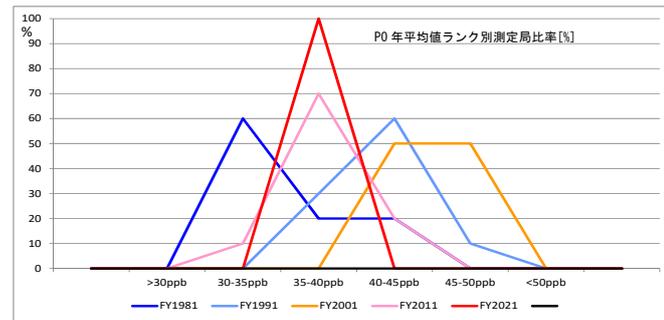


図18 POの年平均値の濃度ランク別測定局比率の度数分布の推移

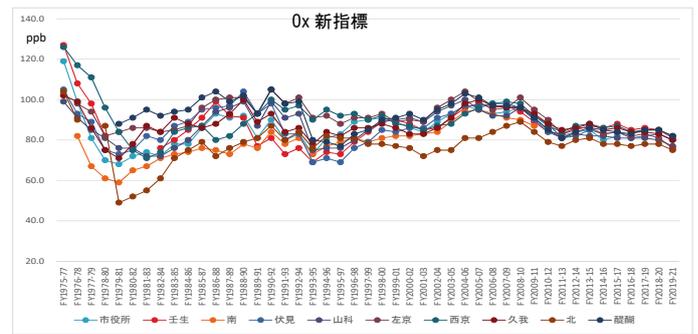


図19 O<sub>x</sub>新指標(日最高8時間値の年間99%タイル値の3年移動平均値)の経年変化((1975-77年度)～(2019-21年度))

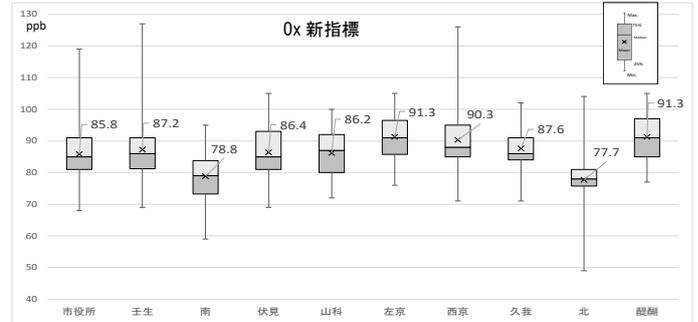


図20 O<sub>x</sub>新指標の測定局別濃度分布((1975-77年度)～(2019-21年度))

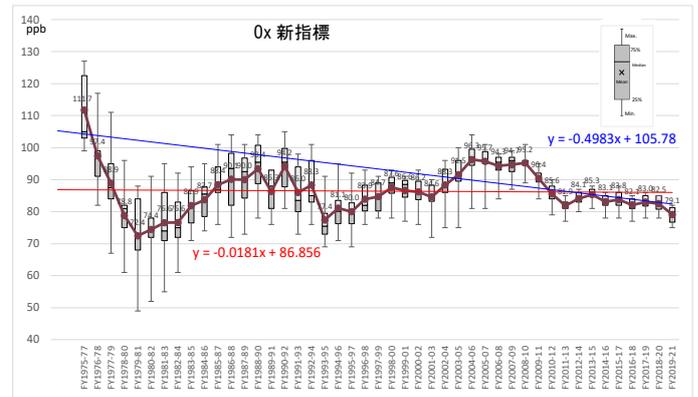


図21 O<sub>x</sub>新指標の濃度分布の経年変化((1975-77年度)～(2019-21年度))

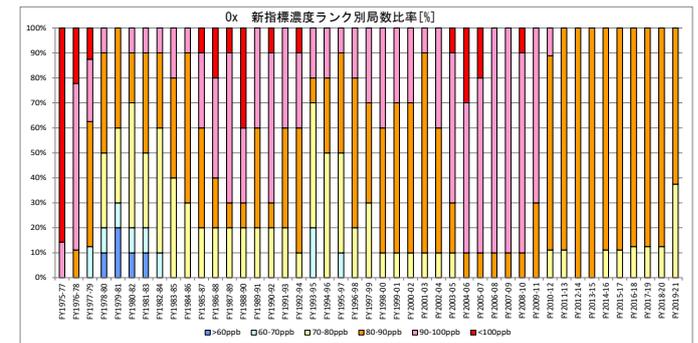


図22 O<sub>x</sub>新指標の濃度ランク別測定局数比率の推移(1975-77年度)～(2019-21年度))

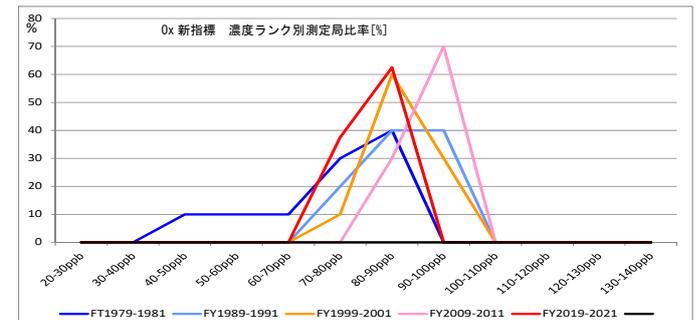


図23 O<sub>x</sub>新指標の濃度ランク別測定局比率の度数分布の推移

P0) の関係については、 $\Delta O_x$  に比べ  $\Delta P0$  が小さい場合、NO によるタイトレーション効果の影響が大きく、 $\Delta O_x$  と  $\Delta P0$  の差が小さい場合は、地域内生成または他地域からの移流により実質的に  $O_x$  が増加していると報告されている。

平成 25 年度光化学オキシダント検討会報告書<sup>4)</sup>を参考に、各測定局の  $O_x$  の年平均値と、P0 の年平均値の 3 年移動平均値の 2009~2011 年度と 1999~2001 年度との濃度差を解析した結果を図 24 に示す。

全測定局で、 $\Delta O_x$  に比べ  $\Delta P0$  のほうが小さい結果であり、タイトレーション効果で消費される  $O_3$  が減少した影響により、 $O_x$  の濃度が上昇していると考えられた。局別の解析では、南局が、 $\Delta O_x$  は、4.4ppb 上昇し、 $\Delta P0$  は 2.4ppb 低下しており、 $\Delta O_x$  と  $\Delta P0$  の濃度差が最大であった。南局は、他の測定局と比較して  $NO_x$  濃度が高めの値で推移しているため、タイトレーション効果の影響が大きいと考えられた。

市内平均値では、 $\Delta O_x$  は、4.4ppb 上昇し、 $\Delta P0$  は 1.3ppb 低下していた。平成 25 年度報告書<sup>4)</sup>で示されている、東海、阪神の各地域と同程度の差であり、九州地域より大きかった。NO によるタイトレーション効果の低下による影響は東海、阪神地域と同程度であるとと考えられた。

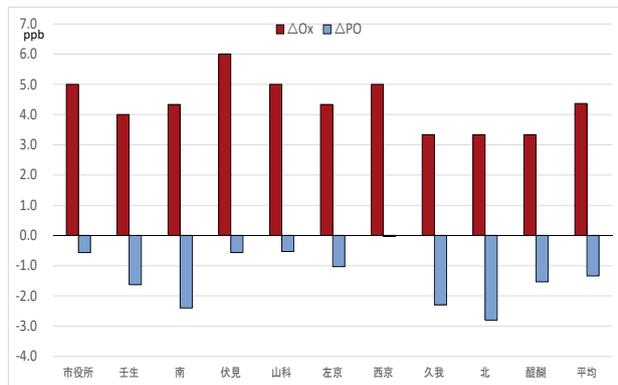


図 24  $O_x$  と P0 の年平均値の 3 年移動平均値の変化 (2009~2011 年度) と (1999~2001 年度) の差

(4)  $O_x$  新指標<sup>5)6)</sup>

$O_x$  濃度の指標としては、従来「環境基準の達成状況」、「 $O_x$  昼間の 1 時間値の平均値」、「昼間の 1 時間値の最高値」などが用いられてきたが、気象的な要因による年変動が大きいため、長期的な環境改善効果を適切に示す指標として「日最高 8 時間平均値の年間 99% タイル値の 3 年移動平均値」が新指標として、平成 26 年 9 月 26 日付けで環境省から通知された。<sup>5)</sup> 日最高 8 時間値より、新指標を算出し、解析を行った。

新指標（日最高 8 時間値の年間 99 パーセントタイル値の 3 年移動平均値）の局別の経年変化 ((1975~1977 年度)~(2019~2021 年度)) のグラフを図 19 に示す。

解析期間中の各測定局の新指標の「最大値」「最小値」「第 1 四分位数」「中央値」「第 3 四分位数」「平均値」を、測定局ごとに集計して算出した各測定局の濃度分布のグラフを、図 20 に、年度ごとに集計して算出した経年変化のグラフを図 21 に示す。

解析期間中の新指標の最大値は 1975~77 年度の壬生局の 127ppb、最小値は 1979~81 年度の北局の 49ppb

であった。局別集計の平均値の比較では、醍醐局が 91.3ppb で最大であり、北局が 77.7ppb で最小であった。1970 年代、1980 年代は、測定局間の濃度差が大きく、データのバラツキが大きかったが、2010 年度以降は、測定局間の濃度差が少なくなり、80ppb 付近の濃度に収束していた。

市内平均値の推移は、1975~77 年度が最大であった (市内平均値 111.7ppb)。その後は、1979~81 年度まで減少傾向であった。1980~82 年度以降は、1990~92 年度まで漸増傾向となった。1991~93 年度以降は、1993~95 年度まで一度減少傾向となった後、2004~06 年度まで再び漸増傾向となった。2005~07 年度以降は、減少傾向が継続している。

年度と市内平均値の相関を求めたところ、全解析期間 (1975~77~2019~21 年度) の平均値の変化率は、 $-0.018$ ppb/年であり、全体としては、わずかに減少傾向の経年変化であった。1999~01 年度~2019~2021 年度の平均値の変化率は、 $-0.50$ ppb/年であり、明確に減少傾向の経年変化であり、「昼間の 1 時間値の年平均値」とは異なる挙動を示した。また、「昼間の 1 時間値の最高値」は新指標と同様に、減少傾向の経年変化であったが、測定局間の濃度差、年度ごとの変動は、新指標のほうが小さかった。

新指標による濃度ランク別測定局数比率の推移を図 22 に示す。これによると 1975~77 年度は、100ppb 以上の濃度ランクの比率が 85% 以上であったが、1976~78 年度以降 1982~84 年度の間は、100ppb 以上の濃度ランクの割合が減少、80ppb 未満の濃度ランクが増加し、徐々に低濃度側にシフトしていた。1983~85 年度~2008~10 年度の間は、80ppb 以上の濃度ランクの割合が増加し、90~100ppb の濃度ランクに収束している傾向であった。2009~2011 以降は、低濃度側にシフトし、80~90ppb の濃度ランクに収束していた。2019~21 年度は、2018~20 年度に比べて 70~80ppb の濃度ランクが 25% 増加傾向しており、比率がより低濃度側にシフトしていた。

新指標による濃度ランク別測定局数比率 (1979~81 年度) から (2019~21 年度) までの 10 年毎の推移を図 23 に示す。

これによると、1979~81 年度は、測定局間の濃度差が多く、濃度ランク比率がバラついていたが、経年ごとに、測定局間のバラツキが小さくなっていった。

1979~81 年度から 2009~11 年度にかけて、最も局数比率の多い濃度ランクが高濃度側にシフトしていた。2019~21 年のデータは低濃度側にシフトしており、80~90ppb の濃度ランクに収束していた。

(6)  $NO_x$  濃度

$O_x$  の前駆物質である  $NO_x$  濃度の年平均値について解析した。当該年度の欠測を除く 1 時間値の合計値を測定時間数で割り算して、年平均値とした。

一般局の  $NO_x$  濃度の年平均値について、局別の経年変化 (1975~2021 年度) を図 25 に示す。

解析期間中の各測定局の  $NO_x$  濃度の年平均値の「最大値」「最小値」「第 1 四分位数」「中央値」「第 3 四分位数」「平均値」を測定局ごとに集計して算出した各測定局の濃度分布のグラフを図 26 に、年度ごとに集計して算出した経年変化のグラフを図 27 に示す。

解析期間中の  $NO_x$  濃度の最大値は、1980 年度の北

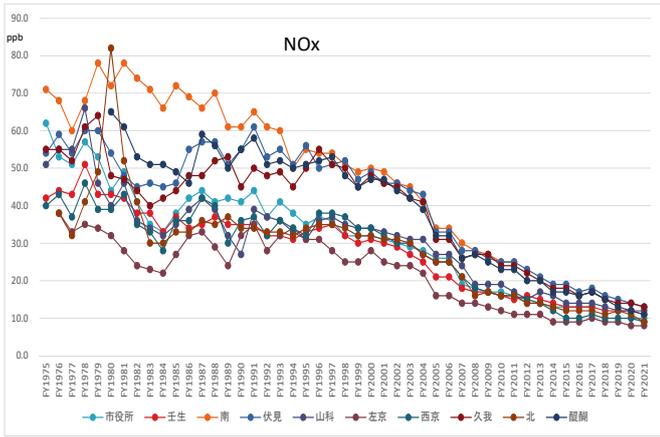


図25 NOx 濃度の年平均値の経年変化(1975～2021年度)

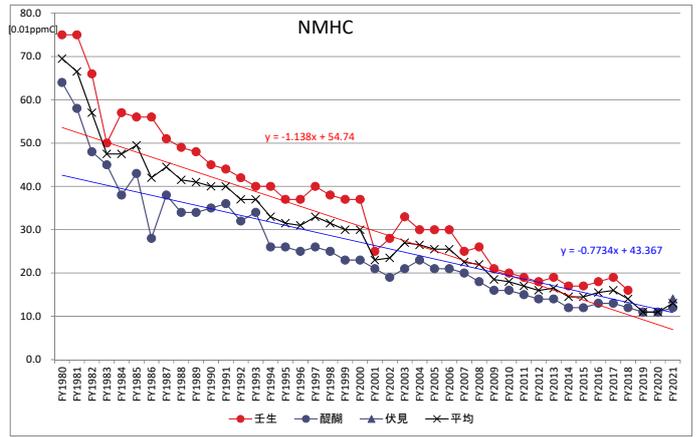


図29 NMHC 濃度の年平均値の経年変化(1980～2021年度)

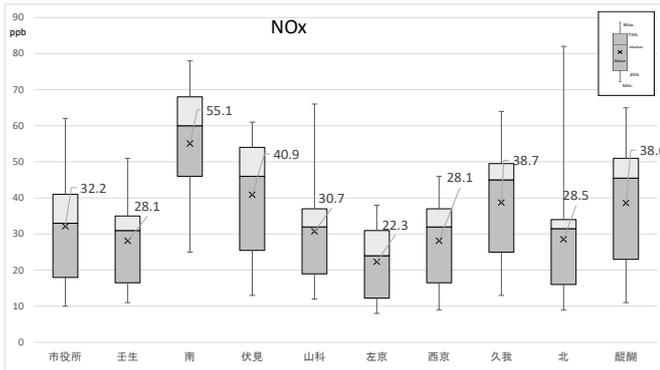


図26 NOx 濃度の年平均値の測定局別濃度分布(1975～2021年度)

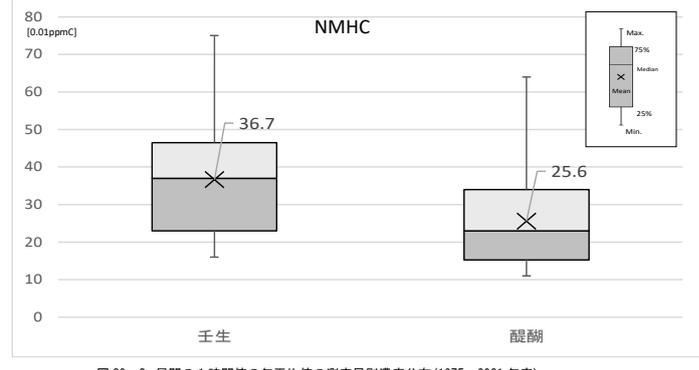


図30 0x 昼間の1時間値の年平均値の測定局別濃度分布(1975～2021年度)

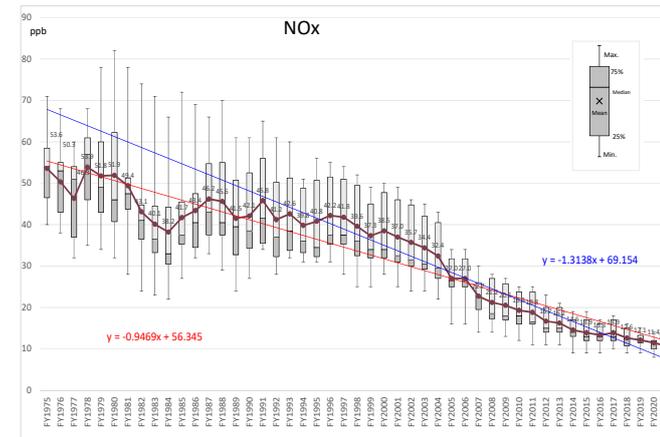


図27 NOx 濃度の年平均値の濃度分布の経年変化(1975～2021年度)

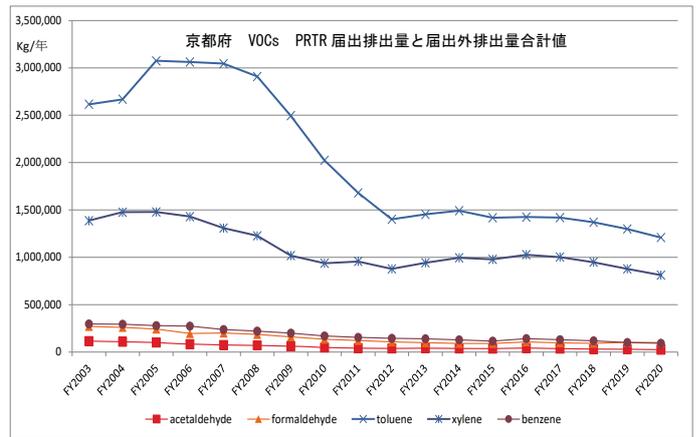


図31 京都府のVOCsの届出排出量と届出外排出量(推計値)の合計値の推移(2003～2020年度)

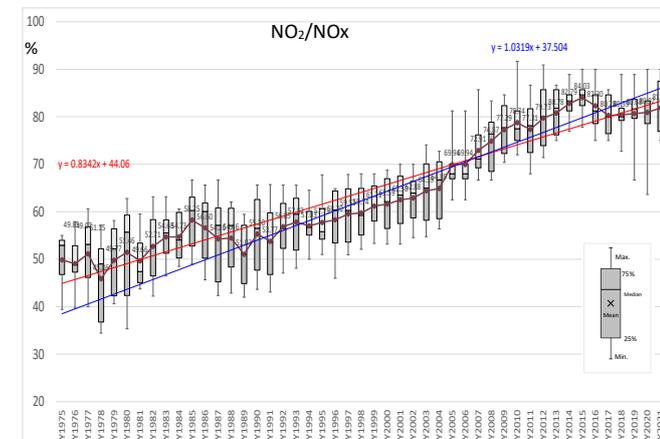


図28 NO2/NOx 比の経年変化(1975～2021年度)

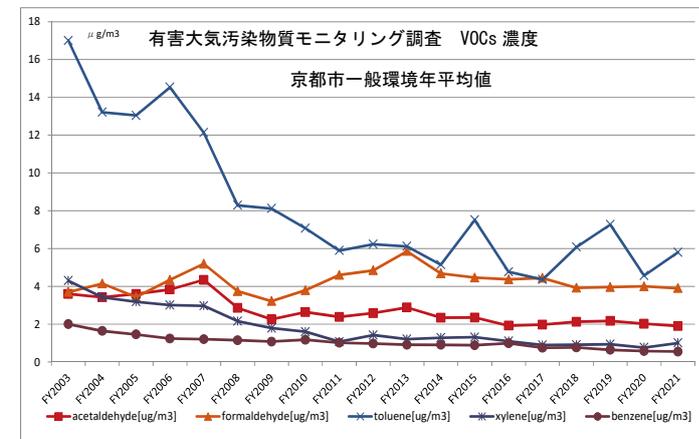


図32 有害大気汚染物質モニタリング調査 京都市一般環境のVOCs濃度(2003～2021年度)

局の 82ppb であった。最小値は、2020 年度、2021 年度の左京局の 8ppb であった。

局別集計の平均値の比較では、南局が 55.1ppb で最大であり、左京局が 22.3ppb で最小であった。

NO<sub>x</sub> 濃度は、2000 年度ごろまで測定局ごとの濃度差が大きく、南局、醍醐局は、高めの値、左京局は、低めの値で推移していた。2001 年以降は、測定局間の濃度差は縮小傾向である。

NO<sub>x</sub> 濃度は、解析期間中 減少傾向の経年変化であった。2021 年度の NO<sub>x</sub> 濃度の年平均値の市内平均値は、10.7ppb であり、1975 年度の市内平均値 (53.6ppb) と比較すると 20%相当の濃度まで減少していた。

NO<sub>x</sub> については、「自動車から排出される窒素酸化物及び粒子状物質の特定地域における総量の削減等に関する特別措置法」(自動車 NO<sub>x</sub>・PM 法)に基づく排出削減対策が 2004 年より実施されており、排出削減施策の影響で大気中濃度が減少していると考えられた。

年度と市内平均値の相関を求めたところ、全解析期間 (1975~2021 年度) の平均値の変化率は、-0.95ppb/年であり、減少傾向の経年変化であった。2001 年~2021 年度の平均値の変化率は、-1.3ppb/年であり、2001 年度以降は、濃度の減少率が増加していた。

(7) NO<sub>2</sub>/NO<sub>x</sub> 比

NO<sub>2</sub> 濃度と NO<sub>x</sub> 濃度の年平均値の比 (百分率) より NO<sub>2</sub>/NO<sub>x</sub> 比を算出した。

工場や自動車などの発生源から大気中に NO<sub>x</sub> が排出される段階では、NO<sub>x</sub> のほとんどは一酸化窒素 (NO) が占めているが、発生源から排出された NO が大気中を移動する過程で、大気中の酸素により NO が酸化されて NO<sub>2</sub> に変化するため、NO<sub>2</sub>/NO<sub>x</sub> 比が大きくなる。

一般に発生源の近傍にある測定局では NO<sub>2</sub> より NO が多く、発生源から離れた測定局では NO より NO<sub>2</sub> が高いと考えられるため、NO<sub>2</sub>/NO<sub>x</sub> 比は、発生源の影響の度合い、窒素酸化物濃度に占める自動車排出ガスの影響度合いを示す目安として用いられている。

解析期間 (1975~2021 年度) 中の各測定局の NO<sub>2</sub>/NO<sub>x</sub> 比データについて「最大値」「最小値」「第 1 四分位数」「中央値」「第 3 四分位数」「平均値」を年度ごとに集計し算出した濃度分布の経年変化のグラフを図 28 に示す。

年度と市内平均値の相関を求めたところ、全解析期間 (1975~2021 年度) の平均値の変化率は、0.83%/年であり、増加傾向の経年変化であった。2001 年~2021 年度の平均値の変化率は、1.0%/年であった。2001 年以降は、NO<sub>2</sub>/NO<sub>x</sub> 比の増加率は増加していた。

全市平均値と比較すると 1975 年度は、50%であったのに対し、2021 年度は 80%まで上昇していた。

一般局において、経年的に、NO<sub>x</sub> 排出に占める NO<sub>2</sub> の割合が増加しており、自動車排出ガスの影響が少なくなっていることが考えられた。

(8) NMHC 濃度

O<sub>x</sub> の前駆物質である NMHC 濃度の年平均値について解析した。NMHC (非メタン炭化水素) とは、非メタン炭化水素自動測定機で得られたメタン以外の炭化水素の総称である。

各測定局の当該年度の欠測を除く 1 時間値の合計

値を、測定時間数で割り算して年平均値とした。

一般局で NMHC の測定を実施している壬生局、醍醐局、伏見局の NMHC 濃度の年平均値および、市内平均値の経年変化を図 29 に示す。

解析期間中の壬生局と醍醐局の NMHC 濃度データについて、「最大値」「最小値」「第 1 四分位数」「中央値」「第 3 四分位数」「平均値」を測定局ごとに集計して算出した各測定局の濃度分布のグラフを、図 30 に示す。

解析期間中の最大値は、1980 年度の壬生局の 0.75ppmC、最小値は、2020 年度、2011 年度の伏見局の 0.11ppmC であった。局別集計の平均値の比較では、壬生が 0.37ppmC であり、醍醐局が 0.26ppmC であり、壬生局のほうが高い値で推移していた。

年度と市内平均値の相関を求めたところ、全解析期間 (1975~2021 年度) の平均値の変化率は、-1.14[0.01ppmC]/年であり、2001 年~2021 年度の平均値の変化率は、-0.77[0.01ppmC]/年であり減少傾向の経年変化であった。2001 年度以降は、減少速度はゆるやかになっていた。

VOCs については、大気汚染防止法の改正により、固定発生源からの排出規制が 2006 年度より施行されている。京都府の PRTR 届出排出量と届出外排出量 (推計値)<sup>8)</sup> の合計値の経年変化を図 31 に示す。京都府内の VOCs 排出量は、排出規制施行後、顕著に減少していた。

図 32 に京都市内の有害大気汚染物質モニタリング調査で測定した VOCs (トルエン、キシレン、ベンゼン、アセトアルデヒド、ホルムアルデヒド) の 2003 年度から 2021 年度までの一般環境中濃度の経年変化のグラフを示す。調査対象のうちホルムアルデヒド以外の VOCs 濃度は減少していた。トルエンとキシレンは、排出量が多く、大気中濃度が高く、オゾン生成能が大きい成分とされているが、NMHC 濃度の市内平均値と類似した減少傾向の経年変化で推移していた。

PRTR 排出データ、NMHC 濃度の測定結果、有害大気汚染物質の VOCs の調査結果から、O<sub>x</sub> の前駆物質となっている VOCs 成分の京都市内の濃度は解析期間中、減少傾向であったことが確認できた。

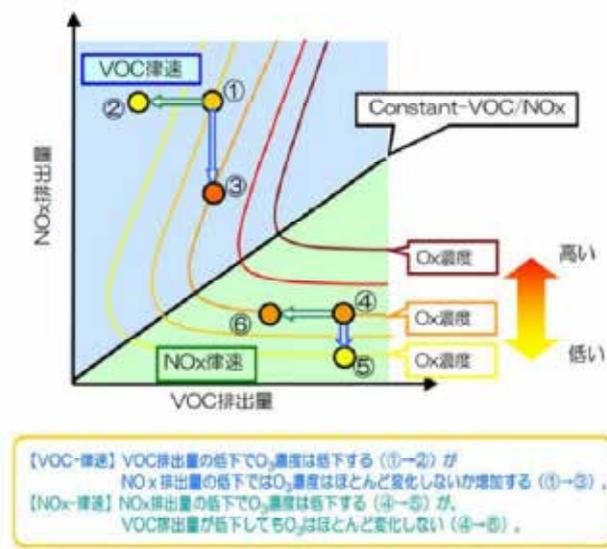


図 33 オゾン反応における律速状態の概念図 (環境省 (2017) より引用)<sup>9)</sup>

(9) NMHC/NO<sub>x</sub> 比

O<sub>x</sub> の生成は NO<sub>x</sub> と NMHC 濃度のバランスの影響も受ける複雑なものであり、一般的に次の 2 種の特徴的な状態があることが知られている。<sup>9)</sup> (図 33)

(i) VOC 律速 (NO<sub>x</sub> に比べ VOC の比率がそれほど高くない状態)

VOC 排出量の削減 (図①→②) でオゾン濃度が減少するが、NO<sub>x</sub> 排出量の削減 (図①→③) ではほとんど減少しない、または逆に増加する状態

(ii) NO<sub>x</sub> 律速 (NO<sub>x</sub> に比べ VOC の比率が高い状態)

NO<sub>x</sub> 排出量の削減 (図④→⑤) でオゾン濃度が減少するが、VOC 排出量の削減 (図④→⑥) でほとんど減少しない状態

O<sub>x</sub> の適切な排出削減対策を決定するためには律速条件を把握することが重要であるが、律速条件は NMHC/NO<sub>x</sub> 比に強く依存することが報告されている。

神成らは、関西地域においての NO<sub>x</sub> 律速と VOC 律速の境は、NMHC/NO<sub>x</sub> 比が 6~12 程度のところとしている。<sup>10)</sup>そこで、1980 年度から 2021 年度までの京都市内の一般環境大気測定局 (壬生局、醍醐局)、自動車排出ガス測定局 (自排南局、自排山科局) の常時監視測定データの NO<sub>x</sub> と NMHC の年平均値を用いて、NMHC-NO<sub>x</sub> 濃度散布図を作成し、O<sub>x</sub> 生成レジームの解析を試みた。<sup>11)</sup>

図 34 に壬生局、図 35 に醍醐局、図 36 に自排南局、図 37 に自排山科局の NMHC-NO<sub>x</sub> 濃度散布図を示す。図中 NMHC/NO<sub>x</sub> 比 6 の直線より左上の領域が VOC 律速、NMHC/NO<sub>x</sub> 比 12 の直線より右下の領域が NO<sub>x</sub> 律速の領域としている。

一般環境大気測定局の壬生局は、NMHC/NO<sub>x</sub> 比 12 以上のデータが多く NO<sub>x</sub> 律速の傾向であると考えられた。一方、醍醐局は、NMHC/NO<sub>x</sub> 比 6 以下のデータが多く VOC 律速の傾向であると考えられた。

壬生局と醍醐局の 1980 年度から 2021 年度までの NMHC/NO<sub>x</sub> 比の経年変化のグラフを図 38 に示す。NMHC/NO<sub>x</sub> 比は、壬生局のほうが醍醐局より大きい値で推移していた。NO<sub>x</sub> 濃度が醍醐局のほうが高い傾向であるためと考えられた。NMHC/NO<sub>x</sub> 比は、1980 年度から 2001 年度まで減少傾向であった。この期間は、NMHC 濃度の減少速度が、NO<sub>x</sub> 濃度の減少速度より早かったと考えられる。2001 年度以降は、増加傾向の経年変化で推移していた。この期間は、NO<sub>x</sub> 濃度の減少速度が、NMHC 濃度の減少速度より早かったと考えられる。醍醐局の直近の 2021 年度の NMHC/NO<sub>x</sub> 比は、10.9[ppbC/ppb]となっており、VOC 律速の状態から、VOC 律速と NO<sub>x</sub> 律速の間の混合律速の状態に移行しつつあると考えられた。

自排局の自排南局と自排山科局は、NMHC/NO<sub>x</sub> 比 6 以下のデータが多く VOC 律速の傾向であると考えられた。自排局では自動車等の NO<sub>x</sub> 発生源の影響が大きいため、NO<sub>x</sub> 濃度が NMHC 濃度に対して相対的に大きくなり VOC 律速の傾向となっていると考えられる。

NO<sub>x</sub> 律速の傾向であった壬生局は、NO<sub>x</sub> 排出をさらに削減することにより、O<sub>x</sub> 濃度を減少させることができると考えられた。VOC 律速の傾向であった醍醐局、自排南局、自排山科局は、VOC 排出量をさらに削減することにより O<sub>x</sub> 濃度を減少させることができると考えられた。

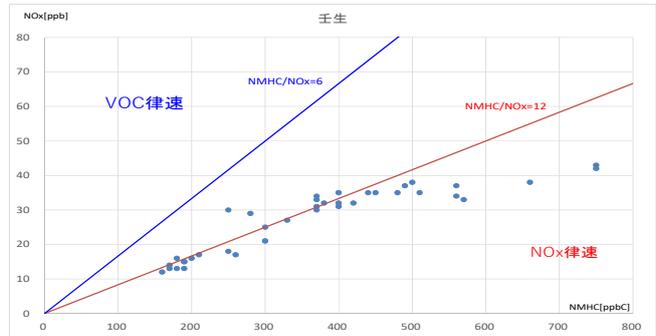


図 34 壬生局 NMHC-NO<sub>x</sub> 散布図 (1980~2018 年度)

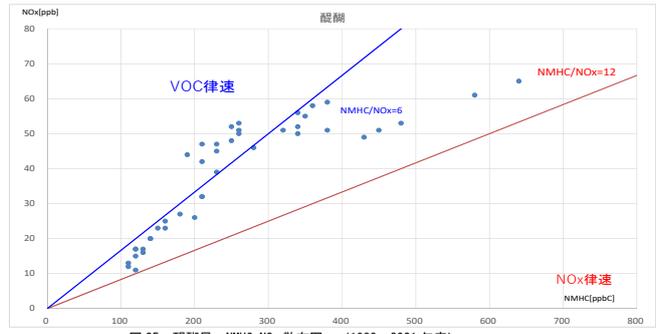


図 35 醍醐局 NMHC-NO<sub>x</sub> 散布図 (1980~2021 年度)

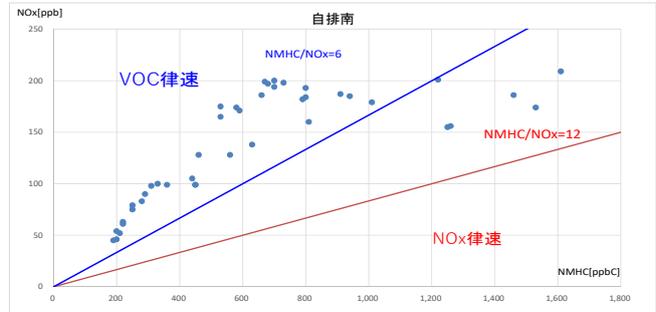


図 36 自排南局 NMHC-NO<sub>x</sub> 散布図 (1980~2021 年度)

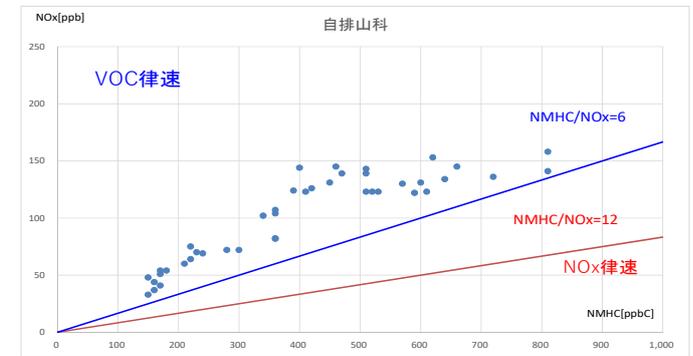


図 37 自排山科局 NMHC-NO<sub>x</sub> 散布図 (1980~2021 年度)

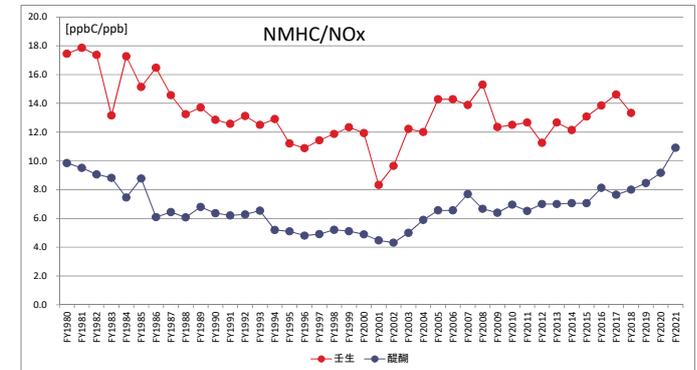


図 38 壬生局と醍醐局の NMHC/NO<sub>x</sub> 比経年変化 (1980~2021 年度)

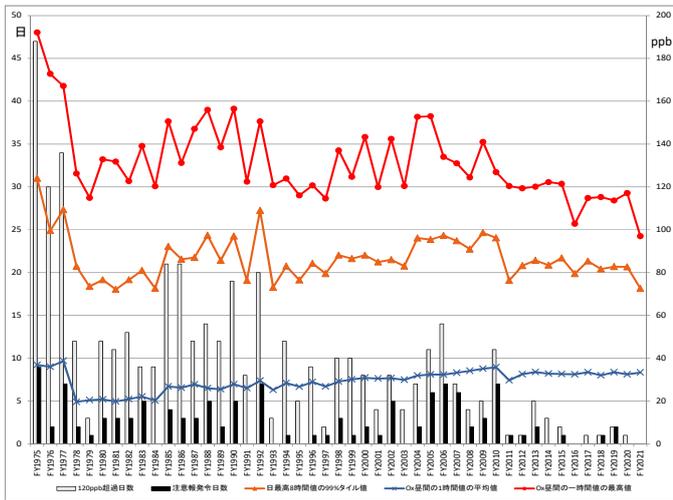


図 39 注意報発令日数、Ox120ppb 超過日数、Ox 濃度指標の経年変化(1975～2021 年度)

表 3 注意報発令日数、Ox120ppb 超過日数、Ox 濃度指標間の相関係数

	注意報発令日数	120ppb超過日数	日最高8時間値の99%タイル値	昼間の1時間値の平均値	昼間の1時間値の最高値
注意報発令日数					
120ppb超過日数	0.695				
日最高8時間値の99%タイル値	0.768	0.729			
昼間の1時間値の平均値	0.176	0.085	0.556		
昼間の1時間値の最高値	0.734	0.855	0.808	0.154	

10) 注意報等発令日数と指標値の評価

解析期間中(1975年～2021年)の光化学スモッグ注意報等発令日数、Ox濃度120ppb超過日数、昼間の1時値の平均値、昼間の1時間値の最高値、日最高8時間値の99%タイル値の市内平均値の経年変化を図39に示した。

注意報発令日数及び、120ppb超過日数の解析期間中の最大値は、1975年度の注意報発令日数9日、120ppb超過日47日であった。その後、1979年度まで減少傾向であったが、1980年度以降は、1992年度まで増加傾向となった。その後、1993年度から1997年度までは、注意報発令回数、0～1日であり減少していたが、1998年度から2010年度までは、発令日数、120ppb超過日数とも増加傾向であった。2010年度の発令日数は、7日、120ppb超過日数は11日であった。2011年度以降は、発令日数、120ppb超過日数ともに激減しており、発令日数は0～2日、120ppb超過日数は0～5日の範囲となっている。

解析期間中のOx濃度の指標については、昼間の1時間値の最高値、99%タイル値は、減少傾向の経年変化であったが昼間の1時間値の年平均値は、漸増傾向の経年変化で推移していた。

項目間の相関を解析した結果を表3に示す。注意報発令日数、120ppb超過日数、99%タイル値、昼間の1時間値の最高値は、互いに0.69以上の強い相関があった。

99%タイル値は、昼間1時間値の年平均値では、確認できなかった高濃度域でのOxの低下傾向が確認でき、データのバラツキが昼間の1時間値の最高値より少なかった。注意報発令日数や120ppb超過日数との相関も高かったため、99%の3年移動平均値である新指標は、長期的な環境改善効果を示す指標として活用できると考えられた。

4 まとめ

京都市内の一般環境大気測定局の1975年度から2021年度までの測定データについて、Ox濃度、PO濃度、NOx濃度、NMHC濃度、NMHC/NOx比の経年変化について解析を行った。

Ox濃度については、「昼間の1時間値の年平均値」は、増加傾向の経年変化で推移していたが、「昼間の1時間値の最高値」、「新指標(日最高8時間値の年間99%タイル値の3年移動平均値)」は、減少傾向に経年変化で推移しており、京都市の高濃度域のOx濃度が低下傾向であることが確認できた。

PO濃度の年平均値は、減少傾向で推移していた。2010年度と2001年度のOx濃度とPO濃度の年平均値の3年移動平均値の変化量を解析したところ、 $\Delta O_x > \Delta P_0$ であったため、近年のOxの年平均値の上昇は、NOx濃度減少によるタイトレーション効果の縮小が寄与していると考えられた。

NOx濃度については、減少傾向の経年変化であり、2001年度以降は減少速度が増加していた。NO2/NOx比は増加傾向の経年変化であり、自動車NOx・PM法などの排出削減施策の影響で、NOx排出に占める自動車排出ガスの影響が減少していることが考えられた。

NMHCについては、固定発生源からの排出規制等の排出抑制施策により、大気中濃度は、減少傾向の経年変化であった。京都市内の大気中のVOCs濃度や京都府内のVOCsのPRTR排出量も減少傾向で推移していた。

NMHC/NOx比の解析により、Ox生成レジームの推定を実施したところ、壬生局はNOx律速、醍醐局、自排南局、自排山科局はVOC律速の傾向であると考えられた。2001年度以降は、NMHC/NOx比が上昇傾向であり、NOx濃度の減少速度がNMHC濃度の減少速度を上回っていると考えられた。

注意報発令日数とOx濃度の指標の相関の解析を実施したところ、注意報発令日数、120ppb超過日数、日最高8時間値の99%タイル値、昼間の1時間値の最高値は、互いに強い相関があった。

日最高8時間値の99%タイル値の3年移動平均値である新指標は、高濃度域のOx濃度が、低下傾向であることが確認でき、昼間の1時間値の最高値と比べてデータのバラツキが少なく、120ppb超過日数との相関も高かったため、長期的な環境改善効果を示す指標として活用できると考えられた。

今回、解析したデータ全体の傾向として、測定局間の測定値の差が経年ごとに小さくなっており、一定の濃度に収束傾向であった。

Ox高濃度要因としては、大陸を含む地域外からの移流、成層圏オゾンの降下、地域内での生成が考えられる。Oxの前駆物質であるNOxとNMHCの京都市内の濃度は減少しており、地域内での生成の寄与は、小さくなっている傾向であると考えられる。地域外からの移流などの広域的な汚染の影響が強くなった結果、測定局間の測定値の差が小さくなり、様々な指標が一定の値に収束傾向となったと考えられた。<sup>12)</sup>

京都市のOx濃度は、全局で環境基準が達成できていない状況が継続しているため、Ox濃度の常時監視によるモニタリングを注意深く継続していく必要があると考えられた。

## 5 文献

- 1) 京都市の環境-平成 20 年度：京都市環境局地球環境政策部 地球温暖対策課(2009)
- 2) 大気常時監視マニュアル(第 6 版)環境省(2010)
- 3) 京都市における光化学オキシダント濃度の経年的な濃度変動傾向及び光化学オキシダント自動測定機の測定法変更に伴う測定データへの影響の検討 京都市衛生公害研究所年報 No77、p93(2011)
- 4) 平成 25 年度光化学オキシダント調査検討会報告書(平成 26 年 3 月光化学オキシダント調査検討会)(2014)
- 5) 環境省水・大気環境局大気環境課長通知：光化学オキシダントの環境改善効果を適切に示すための指標(中間とりまとめ)について(平成 26 年 9 月 26 日、環水大大発第 1409262 号)
- 6) 環境省水・大気環境局大気環境課長通知：光化学オキシダントの環境改善効果を適切に示すための指標に係る測定値の取り扱いについて(平成 28 年 2 月 17 日、環水大大発第 1602171 号)
- 7) 福井県における光化学オキシダント濃度の推移について：福井県衛生環境研究センター年報 p75-83(2017)
- 8) 環境省：化管法 PRTR インフォメーション広場 <http://www.env.go.jp/chemi/prtr/risk0.html>
- 9) 環境省：光化学オキシダント調査検討会報告書(平成 29 年 3 月)(2017)
- 10) 関東・関西地域における光化学オキシダント濃度の週末効果に関する解析 第 2 報 ダイナミックに変化するオゾン生成レジームの検証. 大気環境学会誌, 41:220-233. (2006)
- 11) 大阪における光化学オキシダント生成レジームに関する考察 大阪府立環水研報 1:9~14(2014)
- 12) 兵庫県における光化学オキシダントの新指標による解析 ひょうご環境創造協会兵庫県環境研究センター紀要第 9 号(平成 30 年度)p11-18

牛における *Rhodococcus equi* 感染症の一症例

食肉検査部門 ○蛭名麻千子、平岩悟

## 1. はじめに

*Rhodococcus equi* (以下 *R. equi*) は、世界各国に分布し、一般的に子馬で重篤な肺炎や腸炎を引き起こす疾患の原因として知られている<sup>1)</sup>。人獣共通感染性をもち<sup>2)</sup>、人や他の動物での感染も認められているが<sup>3)</sup>、牛での報告は極めて少ない。2022年1月に、京都市と畜場において、肺や各リンパ節に乾酪壊死様の病変及び骨盤腔部に膿瘍の形成を認める症例が発生し、保留・細菌学的検査を行った結果、*R. equi* 感染症と判定し全部廃棄措置をとった。

当部門における牛の *R. equi* 感染症の判定は初の事例であり、牛での報告は極めて少ない。本研究では、その概要について報告する。

## 2. 材料及び方法

当該牛は、31か月齢の黒毛和種の雌であった。生体検査及び解体前検査では、特に異常は認められなかった。解体後検査において肺や各リンパ節に乾酪壊死様の病変及び骨盤腔部の骨折と膿瘍の形成を認め、膿毒症を疑い保留した。異常を認めた脾臓、腎臓、肝臓、肺、筋肉(骨盤腔部の膿瘍付近)及び各リンパ節(縦隔リンパ節、肺門リンパ節、肝門リンパ節、内腸骨リンパ節、腸間膜リンパ節及び胃門リンパ節)を採取した(図1~3)。

原因菌を特定するため、採取した組織についてそれぞれ好気、嫌気条件下で細菌学的検査を行った。各検体の新鮮創を羊血液寒天培地(栄研化学;以下血液寒天培地)にスタンプして画線した。採取した各検体1gをトリプトソイブイオン培地(栄研化学)10mlに無菌的に接種し、37℃、24~48時間で増菌培養を行った。増菌培養したトリプトソイブイオン培地は、24時間及び48時間培養時に、培養液1白金耳を血液寒天培地に画線塗抹し、37℃、24~48時間で培養を行った。培養後、複数臓器で共通して発育した菌のコロニーの形態、性状を確認するとともに、グラム染色を実施し、菌の形態や染色性等を確認した。なお、嫌気培養は、変法GAM血液寒天培地(自家調整)を用いて行った。複数臓器で共通して発育した菌について、37℃、24時間で増菌培養を行い、VITEK2 Compact(ビオメリュー)を用いて菌種同定を行った。同定試験の結果、非選択培地上でオレンジ色の色素(オレンジ色素)を産生するかについての確認が必要となった。増菌培養後、保存してい

た当該菌を再び血液寒天培地に塗抹し、37℃で色素が確認できるまで培養した。



図1. 肺の多発性膿瘍



図2. 縦隔リンパ節



図3. 骨盤腔部の膿瘍

## 3. 成績

腎臓の表面はやや粗造で、凹凸を認めた。肺の膿瘍は3×4cm大で、全葉にわたり形成されていた。縦隔、肝門、肺門及び内腸骨リンパ節に境界明瞭な淡黄色の結節が形成されており、その外観は乾酪壊死様であった。内腸骨リンパ節の一部や、胃門及び腸間膜リンパ節は融解していた。骨盤腔部の膿瘍は、ハンドボール大の大きさで、骨内部にまで達し、骨膿瘍を形成していた。

細菌学的検査について、検体をスタンプした培地においては24時間培養時点でコロニーの形成は認められたが、共通菌を疑うものは認められなかった。嫌気条件のいずれの培地においても、膿毒症の原因菌を疑うコロニーは認められなかった。好気条件において、トリプトソイブイオン培地で48時間増菌培養後に、血液寒天培地に画線塗抹し24時間培養した結果、筋肉、腎臓及び内腸骨リンパ節から、共通菌を疑うコロニーの形成が認められた。肉眼的には、正円、つやのある非溶血性の乳白色小コロニーが観察された。菌の性状は、グラム陽性短桿菌で、カタラーゼ試

験陽性であった。

上記の3部位における共通菌を疑うコロニーについて、VITEK2による菌種同定を行ったところ、3検体から *R. equi* が分離された。その結果から追加で行ったコロニーの色素産生性に関して、コロニー発育初期は乳白色であったが、72時間培養程度で *R. equi* に特徴的なオレンジ色を呈していた(図4)。



図4. 血液寒天培地上の発育コロニー

#### 4. 考察

上記の成績が得られたことに加えて、VITEK2により99%の確率で *R. equi* と同定されたことから、本症例は *R. equi* 感染症であると判定した。

当個体では、骨盤骨折が認められ、骨盤腔部に膿瘍が形成されていた。*R. equi* は土壌中に存在する細菌であり<sup>4,5)</sup>、骨折時に *R. equi* が骨盤腔内に侵入し、その後リンパ行性に全身に感染が広がったと考えられる。

#### 5. まとめ

当部門において、牛における初の事例である *R. equi* 感染症を判定した。*R. equi* 感染症は多発性膿瘍を形成することもある。膿瘍の発生が一部の臓器に限られている場合は、その部分のみの廃棄となるが、複数の部位に膿瘍が認められた場合は膿毒症と診断し、と畜場法に基づき全部廃棄処分となるため、畜産業界において大きな経済的損失をもたらす。また、*R. equi* 感染症は人獣共通感染症であり、免疫不全状態では日和見感染する可能性がある。*R. equi* は家畜飼育場の環境土壌中に広く分布しており、飼育環境を清潔に保つことが人及び動物の感染拡大防止にとって重要となる。

*R. equi* による牛の症例の報告は極めて少ないため、この報告が今後の畜産業界やと畜検査の一助になれば幸いである。

#### 6. 参考文献

[1] 高井伸二：子馬のロドコッカス・エクイ感染症(総説)、家畜診療、63、73-82(2016)

[2] Sonsiray Álvarez-Narváez, et al. : Spread of Multidrug-Resistant *Rhodococcus equi*, United States, Emerg Infect Dis, 27, 529-537 (2021), (DOI: 10.3201/eid2702.203030), (accessed 2022-07-29)

[3] Lucjan Witkowski, Magdalena Rzewuska, et al. : Molecular epidemiology of *Rhodococcus equi* in slaughtered swine, cattle and horses in Poland, BMC Microbiol, 16, 98 (2016), (DOI:10.1186/s12866-016-0712-9), (accessed 2022-07-29)

[4] R J Martens, S Takai, et al. : Association of disease with isolation and virulence of *Rhodococcus equi* from farm soil and foals with pneumonia, J M Vet Med Assoc, 217, 220-5 (2000), (DOI:10.2460/javma.2000.217.220), (accessed 2022-07-11)

[5] M D Barton, K L Hughes : Ecology of *Rhodococcus equi*, Vet Microbiol, 9, 65-76 (1984), (DOI:10.1016/0378-1135(84)90079-8), (accessed 2022-07-14)

---

発行日 令和6年3月  
発行 京都市衛生環境研究所  
〒612-8369  
京都市伏見区村上町 395 番地  
☎(075)606-2676 / eikouken@city.kyoto.lg.jp

---