

近年の関東地方光化学スモッグ注意報発令状況の変化

石井 康一郎 上野 広行 内田 悠太 齊藤 伸治
松本 幸雄* 伊藤 政志**

(*統計数理研究所 **海外環境協力センター)

1 はじめに

東京都における光化学オキシダントは、1980年代以降、急性被害の多発するような高濃度の出現はなくなったが、依然として夏期の高濃度は頻発しており、原因物質である窒素酸化物(NO_x)と非メタン炭化水素(NMHC)双方の濃度が低下しているにも拘らず、現在に至るまで年平均濃度は上昇傾向を示している。

この間、 NO_x については、二酸化窒素(NO_2)の環境基準達成のため大気汚染防止法(以下、「大防法」という。)に基づく窒素酸化物総量削減計画(1972年)、東京都環境基本計画(1987年)および『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』(以下、「自動車 NO_x ・PM法」という。)に基づく NO_x ・PM総量削減対策(2004年)等が実施され、都内の排出量が年々低下してきた。一方、NMHCについても、排出量低減指導、低公害溶剤への転換等行政からの推進要請とこれらに対する企業の取組の効果により濃度は徐々に低減してきた。

2003年都は、高濃度光化学オキシダント出現頻度が増加しているため、オキシダント濃度上昇要因の解明と今後の施策検討を目的として光化学オキシダント対策検討会(座長 秋元肇 海洋研究開発機構プログラムディレクター)を設置した。2005年に検討会は『光化学オキシダント低減のためには、揮発性有機化合物(VOC)排出削減対策の必要性だけでなく、VOCと NO_x のバランスのとれた着実な削減が必要』との報告¹⁾をまとめた。

2005年6月に環境省は大防法を改正し、VOC排出量の9割を占める工場等の固定発生源に対する浮遊粒子状物質濃度低減対策として、法規制と業界の自主的取組を組み合わせ、VOC排出総量を(平成12年(2000年)度比で)3割程度抑制することとしたが、その効果は『(平成22年(2010年)度までに)光化学オキシダントについても注意報発令レベルを超えない測定局数は約9割まで向上すると見込まれる』²⁾としていた。

東京都においても、光化学オキシダント高濃度日の低減が必要として、蒸発系固定発生源からの排出量を平成22年度までに(平成12年度比)30%以上削減し、『平成28(2016)年度までに光化学スモッグ注意報発令日をゼロにする。』目標を東京都環境基本計画(2008年)³⁾に掲げている。

2010年度末のVOC排出量ベースの集計では、環境省の目標を上回る44%の削減が報告⁴⁾され、環境中NMHC濃度も2000年度比30%以上の低減となっている⁵⁾。

東京都の目標達成については、2016年度まで今後の推移を見守る必要があるが、環境省の予測については、2011年度の関東地方1都6県における注意報発令回数には大幅な減少に至らず、見込の数値に達していない。

本稿では、関東地方1都6県の光化学スモッグ注意報の発令回数を指標とし、大防法によるVOC削減対策導入前後6年間の発令回数を統計的に比較した。その結果、対策前後の発令回数の増減に地域差があることが明らかになった。その地域差について井上ら⁶⁾が予測したオゾン濃度感度レジームとの比較を行った。

なお、光化学スモッグ注意報は『オキシダント濃度が0.12ppm以上である状態になり、気象条件からみて、その状態が継続すると認められるとき』発令される。発令はその時点での判断なので速報性があり、また発令地域全体の状況を経験的に代表しているため、高濃度の発生状況を評価する指標として有効と考え、使用した。

2 データおよび解析方法

2000年から2011年までの関東地方1都6県の光化学スモッグ注意報発令回数を、VOC削減対策実施前(前期:2000~2005年)と後(後期:2006年~2011年)に分け、発令地域毎に月別に集計した。

解析方法は、注意報発令回数が対策前と後でそれぞれ発令確率 π_1 、 π_2 の二項分布に従うと仮定し、「対策前と後で発令確率が変わらなかった」という帰無仮説

($H_0: \pi_1 = \pi_2$) を、「対策の前後で発令確率は変化した」という対立仮説($H_1: \pi_1 \neq \pi_2$)に対して検定するものとした。集計したデータから、ある発令地域の前期および後期における発令回数 (m_1, m_2) とその期間内の全日数 (n_1, n_2) から観測発令率 ($p_1 = m_1/n_1, p_2 = m_2/n_2$) を求める。観測日数(n_1, n_2)が大きく発令率が小さいとき二項分布は正規分布に近づくため、帰無仮説 $\pi_1 = \pi_2$ のもとで(1)式の統計量 Z は標準正規分布に従う。この統計量 Z を用い、発令率 π_1 と π_2 の差の有無を検定した。

$$Z = (p_1 - p_2) / [(p \times (1 - p) \times (1/n_1 + 1/n_2))]^{1/2} \dots (1)$$

ただし、 p は全期間における発令率で、

$$p = (m_1 + m_2) / (n_1 + n_2) \text{ である。}$$

この解析では、対立仮説 H_1 に対応して両側検定とした。それは、VOC 対策を取った結果として発令率が増加するか減少するかは解析前にはわからないという立場を取ったためである。一方、対立仮説として「発令率が減少した」($H_1: \pi_1 > \pi_2$)をとる立場もある。このときは片側検定となり、同じ有意水準に対して減少が検出されやすくなるが、そのような検定は、増加する ($\pi_1 < \pi_2$) という状況が論理的にあり得ない場合に限られなくてはならない。複雑な自然現象を対象としていることを考慮すればこれは難しいと思われる。結果を見るとわかるとおり、(物理的説明がつけられるかどうかは別に) 現実には増加した地域もあり、片側検定より両側検定の方がより適切と思える。

なお、この12年間に発令地域設定の見直しが行われている。埼玉県では2005年と2006年に、発令地区の変更と秩父地区への新地区の追加があったが、従来の地区名をそのまま使用した。神奈川県では2005年に、従来の「県央地域と県北地域」を「相模原地域と県央地域」へ再編したが、それぞれの2地域を合わせた領域は変わらないので、前期後期通じて「相模原+県央」地域として扱った。この場合、2地域に同時発令された回数とどちらか片方の地域だけに発令された回数を合算した。また、群馬県では2011年に、全面的な見直しにより地域区分の変更があった。この場合、11年間のデータは従来の地域区分であるため、発令回数が比較的多かった旧来の東毛(太田、大泉、館林)地域と県央伊勢崎地域について、大括りされた新区分での2011年の発令回数を加算した。

3 結果

表1 に前期と後期における発令回数を比較して示し

た。ここでの比較は、ほぼ全発令期間の5月~9月(全期)および本格的な光化学スモッグシーズンに限定した7月と8月(夏期)の2期間について行った。表中 Z の絶対値が1.96以上の場合5%水準で有意差があり、1.64以上の場合10%水準で有意差がある(いずれも両側棄却領域)。

表1 発令地域別光化学スモッグ注意報発令回数と帰無仮説の検定結果

都 県 名	発令地域名	全期 (5月~9月)			夏期 (7月、8月)		
		m ₁ 前期 回数	m ₂ 後期 回数	Z 統計量と 検定結果	m ₁ 前期 回数	m ₂ 後期 回数	Z 統計量と 検定結果
神奈川県	横浜	40	42	-0.23	26	29	-0.42
	川崎	42	46	-0.44	30	35	-0.65
	相模原+ 県央	24	39	-1.92 †	13	26	-2.14 *
	横須賀	19	25	-0.92	12	15	-0.59
	三浦	0	2	—	0	1	—
	湘南	19	36	-2.33 *	11	23	-2.11 *
	西湘	11	15	-0.79	6	8	-0.54
東京都	区東部	49	32	1.93 †	35	23	1.64 †
	区北部	46	27	2.27 *	35	22	1.79 †
	区西部	75	49	2.42 *	53	38	1.68 †
	区南部	56	43	1.34	39	32	0.87
	多摩北部	90	61	2.46 *	59	43	1.71 †
	多摩中部	70	55	1.39	47	41	0.68
	多摩西部	59	31	3.03 *	37	20	2.34 *
	多摩南部	57	53	0.39	38	38	0.00
埼玉県	南東部	78	53	2.27 *	55	40	1.65 †
	南中部	93	78	1.20	64	58	0.59
	南西部	109	70	3.07 *	75	47	2.77 *
	北東部	76	71	0.43	49	48	0.11
	北中部	91	83	0.64	56	57	-0.10
	北西部	99	61	3.14 *	61	37	2.60 *
	本庄	64	55	0.85	41	34	0.85
	秩父	32	13	2.87 *	21	7	2.70 *
千葉県	東葛	75	33	4.17 *	48	23	3.12 *
	葛南	51	26	2.91 *	33	20	1.00
	千葉	47	31	1.85 †	31	26	0.69
	市原	61	31	3.21 *	44	25	2.40 *
	君津	37	17	2.76 *	25	13	2.00 *
	印西	54	15	4.79 *	36	8	4.35 *
	成田	31	5	4.38 *	23	3	3.99 *
	北総	19	1	4.05 *	14	0	3.78 *
栃木県	南西部	59	43	1.63	32	20	1.73 †
	南部	61	55	0.58	38	27	1.43
	南東部	18	20	-0.33	12	11	0.21
	中央部	38	22	2.10 *	23	7	2.98 *
	北西部	10	5	1.30	4	0	—
茨城県	北東部	11	7	0.95	7	1	—
	竜ヶ崎	32	16	2.34 *	17	7	2.07 *
	土浦	24	9	2.63 *	15	5	2.27 *
	筑西	37	23	1.84 †	25	18	1.10
	下妻	12	21	-1.58	6	15	-1.99 *
	常総	18	21	-0.49	9	13	-0.87
群馬県	古河	60	34	2.75 *	41	21	2.65 *
	前橋	2	5	—	0	0	—
	県央伊勢崎	10	20	-1.84 †	6	9	—
	西毛高崎	24	11	2.22 *	11	6	1.23
	西毛藤岡	4	10	-1.61	2	4	—
	西毛富岡	18	11	1.31	5	4	—
	西毛安中	16	10	1.19	3	1	—
	東毛桐生	10	6	1.00	4	1	—
	東毛太田	10	24	-2.42 *	8	13	-1.11
	東毛大泉	6	19	-2.62 *	2	11	-2.52 *
	東毛館林	30	35	-0.63	15	24	-1.48
北毛渋川	26	3	4.31 *	10	1	2.73 *	

(注) 発令率の差は(前期)-(後期)である。

*は5%水準で有意差あり、†は10%水準で有意差ありを示す。

(全期: $n_1 = n_2 = 918$ 日、夏期: $n_1 = n_2 = 372$ 日)

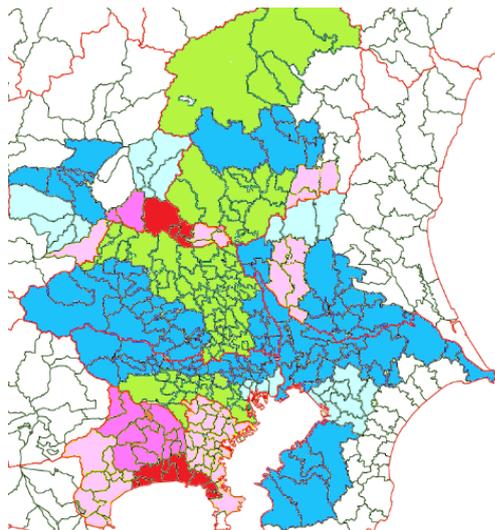
Z 欄数字の色分けの凡例は図1、図2に同じ。

表1においては、有意差がある地域については、Zの符号で増加(負)と減少(正)を区別する。なお、発令回数の少ない地域(前後期ともに10回未満の発令回数)は発令率に差があったかどうかの判断をせざーを付した。

(1) 全期(5月~9月)における発令回数の増減

全期を対象とした注意報発令率の差の検定結果を表1左欄に、その分布を図1に示した。発令回数の増減程度は関東地方で一様ではないが、「有意差がある減少した地域」と「有意差なしの地域」が多く、「有意差がある増加した地域」は少なかった。5%水準で有意差があった地域のうち減少($Z \geq 1.96$)であったのは、図1の■色部分で東京都23区の北・東・西部地域と多摩の西・北地域、埼玉県南東部、南西部、北西部と秩父地域、千葉県君津・市原と東葛・葛南・印西・成田・北総地域、茨城県古河と竜ヶ崎・土浦地域、群馬県北毛渋川と西毛高崎地域(旧区分)ならびに栃木県中央部地域であった。

発令回数が5%水準で有意差があった地域のうち増加($Z \leq -1.96$)であったのは、■色部分で神奈川県湘南地域と群馬県東毛太田・大泉地域(旧区分)であった。有意差なしの地域は、□色および■色の部分で神奈川県東部(横浜、川崎)、栃木県南東部地域と茨城県下妻・常総地域ならびに東京都23区南部、多摩中・南部地域、埼玉県中央部(南中部、北東部、北中部、本庄)地域、栃木県南部・南西部・北西部・北東部地域であった。



■ : $z \geq 1.96$ □ : $1.96 > z \geq 1.64$ ■ : $1.64 > z > 0$
 □ : $0 \geq z > -1.64$ ■ : $-1.64 \geq z > -1.96$ ■ : $z \leq -1.96$
 □ : 発令が少ない地域

図1 関東地方1都6県の光化学スモッグ注意報発令地域における統計量zの分布(5月~9月)

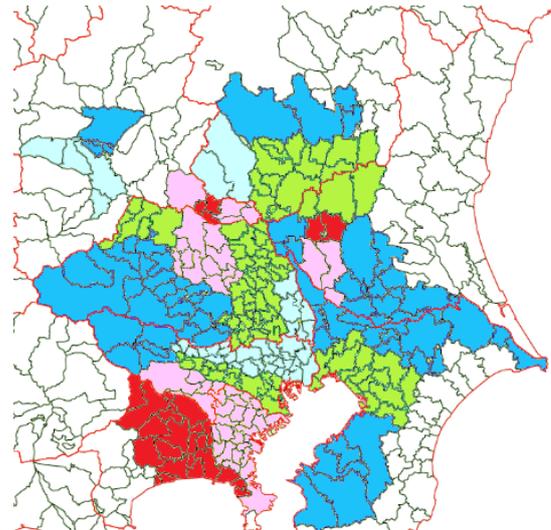
概観すると、関東地方中央部の千葉・茨城県から東京都と埼玉県境にかけて帯状の地域とそれに繋がる千葉県房総半島の東京湾側は5%または10%水準で有意差があつて、かつ減少した地域であり、群馬県中央部と栃木県中央部にも同様な有意差があつて、かつ減少となった地域が存在していた。しかし、神奈川中央部地域と群馬県東毛・伊勢崎地域では発令回数が5%または10%水準で有意に増加であった。

(2) 夏期(7月および8月)における発令回数の増減

夏期を対象とした注意報発令率の差の検定結果を表2右欄に、その分布を図2に示した。図1に比べ発令回数有意差なしの地域がやや広がっていた。

発令回数が5%水準で有意差があった地域のうち、減少したのは、図2の■色部分で東京都多摩西部、千葉県市原・君津地域、北部4地域とそれらに繋がる茨城県(竜ヶ崎、土浦、古河)地域、埼玉県西部(南西部、北西部、秩父)地域、群馬県前橋・渋川地域および栃木県の中央部地域であった。

発令回数が5%水準で有意差があった地域で、増加したのは図2 ■色部分で神奈川県(相模原+県央)と湘南地域、茨城県下妻地域および群馬県東毛大泉地域であった。有意差なしの地域は、図2の□色および■色の部分で、神奈川県川崎と横浜地域、東京都多摩南・中部ならびに23区南部地域であった。



■ : $z \geq 1.96$ □ : $1.96 > z \geq 1.64$ ■ : $1.64 > z > 0$
 □ : $0 \geq z > -1.64$ ■ : $-1.64 \geq z > -1.96$ ■ : $z \leq -1.96$
 □ : 発令が少ない地域

図2 関東地方1都6県の光化学スモッグ注意報発令地域における統計量zの分布(7月および8月)

全期の分布と比較すると、群馬県西毛地域の大部分と栃木県北部地域は白色になっているが、これは前後期ともに夏の発令回数が10回未満であり増減の判断するのに適切でなかったためである。

群馬県および栃木県では、夏の発令回数が全期の50%程度と南関東の60~70%に比べて低いことが特徴である。

発令回数が5%有意水準で減少した地域を夏期と全期で比較すると、東京都と埼玉県分布が夏期に狭くなり、その結果関東平野中央部を北西に貫く地域が有意差なしとなっている。また、発令回数が有意に減少した地域は全期に比べて周辺部だけに偏っている。全発令回数に占める夏の割合を前期と後期で比べると、神奈川県、埼玉県と茨城県では前後期同程度であったが、東京都と千葉県では前期より後期が高くなっており、近年夏の増加が分布の変化に影響していると思われる。

(3) 数値シミュレーションによる推定結果との比較

井上ら^{5,6)}は、三次元数値モデルを用い、2002年の関東地方全域を対象として、2種類の発生強度が異なる植物起源VOC (BVOC)インベントリを使用し、VOC削減対策を実施した場合のオキシダント濃度低減効果の分布を予測し、関東地方のオゾン濃度感度レジーム(NOx律速、VOC律速といった化学的な感度領域)としてまとめている。その結果、当時のレジームは2種類のうち大きい方のBVOC発生強度(小さい方の約2.5倍)を用いた予測分布に近く、夏季の複数日を対象としたシミュレーションではVOC削減によるオキシダント低減効果が期待できる地域(VOC_sensitive)は都心部およびその周辺地域であり、その外周は大部分がNOx削減によるオキシダント低減効果が期待できる地域(NOx_sensitive)であるとしている(本稿末尾の6 参考図参照)。

また、以上の2地域の間は両方の対策による低減効果が期待できる地域(mixed sensitivity)と、O₃濃度がNOx、VOCのいずれの排出量にも影響されない状態である(Insensitive)地域であるとしている。VOC削減対策は2008年度から全国的に導入されたが、関東地方ではこれ以前から自動車NOx・PM法等によりNOx削減対策が取り組まれており、NOx濃度およびNMHC濃度は低減している。両オキシダント原因物質の削減対策が同

時に進行している時、注意報発令回数の減少がどちらの原因物質の濃度低下の効果によるものか分からない。そこで井上らのオゾン感度レジーム^{6,7,8)}で示された4つの地域区分における濃度低減率(NMHC濃度はVOC濃度に代用できないので、NOx濃度を使用した。)との対応を検討した。図3は井上らが予測した時期と一致する夏期について、夏期平均NOx濃度の低減率と発令回数の増減を示すZとの散布図である。ただし、低減率(%) = {1 - (後期NOx濃度 / 前期NOx濃度)} × 100 である。

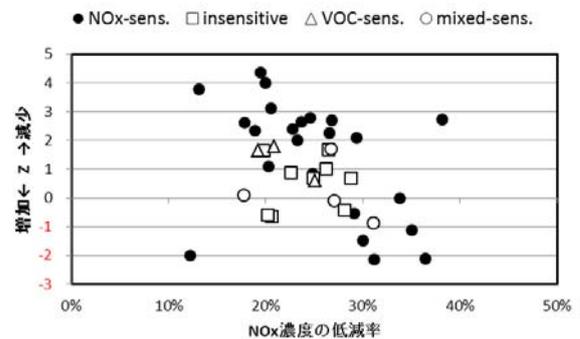


図3 注意報発令地域における統計量 Z とNOx濃度低減率との関係(夏期)

なお、図3のオゾン濃度感度レジームの地域区分は井上らの図から著者が読み取ったものであり、目安である。図3中●がNOx_sensitive地域のプロットである。そのうち図2中の■色と□色(発令回数が10%以下の有意水準で減少した)領域のプロットは、図3でZ>1.64であり、NOx濃度の低減率とZは対応しており、井上らの予測と整合している。しかし、発令回数が有意に増加した神奈川県(相模原+県央)、湘南地域および茨城県下妻地域など図2中の■色と□色の地域でも、NOx濃度が低下している。これらの地域でZとNOx濃度低下率とが井上らの予測と整合しないことについては、予測上の課題として次の点を検討する必要があると思われる。

- ①井上らの予測時点(2002年)以後原因物質排出量が低減し、感度レジームが大きく変化した可能性があること。(本解析で使用した濃度は2000~2005年平均である。)
- ②特に、神奈川県地域は井上らの感度レジームの予測結果の検証において実測値がなかった地域⁹⁾であること。
- ③高濃度光化学オキシダントはしばしば広域的に発生するが、下妻地域は注意報の増減傾向が隣接地域とは異なっているため、ローカルな発生源など予測時に不明で

あった局地的な影響のあることが推定されること。

なお、VOC-sensitive地域ではNOx濃度低減が逆にオゾン増加に作用することもある⁶⁾とされている。図3の中△プロットはいずれもNOx濃度が低減している領域にあるため、注意報発令回数増減の説明にはこのことも考慮する必要がある。同様に光化学オキシダントの原因物質であるNMHC濃度の低減率と統計量Zとのプロットを図4に示した。

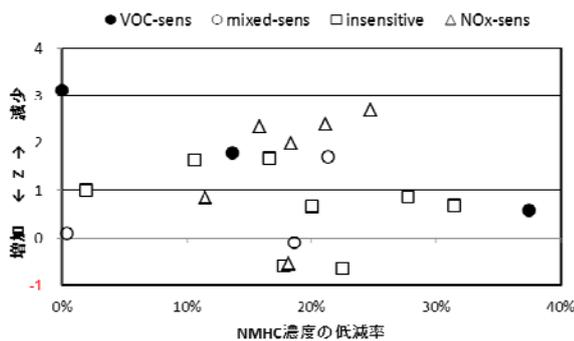


図4 注意報発令地域における統計量ZとNMHC濃度低減率との関係（夏期）

NMHC濃度は、この場合VOC濃度に対する代表性がなく、オゾン濃度感度レジームを判断するのに適切な指標ではないとされている⁶⁾ため、参考として掲げたものである。図4中●はVOC-sensitive地域のプロットであるが、Z値の大きいプロットで低減率が0となるなど、Z値とNMHC低減率の関係には整合は見られなかった。

(4) 東京都内の発令地域状況

東京都の8発令地域について、本解析での発令回数の増減と井上らのオゾン濃度感度レジームとの対応を表2に示した。東京都内は区部北地域の一部と区部西地域の大部分がVOC-sensitiveの、多摩西地域と多摩南地域がNOx-sensitiveの感度レジームにある。これらに挟まれるその他の地域は、mixed_sensitivity またはinsensitiveの感度レジームにある。

表2 夏期のZと都内発令地域の感度レジームの対応

発令地域	Z	増減	主な感度レジーム
区東部	1.64 *	減	insensitive
区北部	1.79 *	減	VOC-sensitive, insensitive
区西部	1.68 *	減	VOC-sensitive
区南部	0.87	減	insensitive
多摩北部	1.71 *	減	insensitive, mixed-sensitivity
多摩中部	0.68	減	insensitive, mixed-sensitivity
多摩西部	2.34 †	減	NOx-sensitive
多摩南部	0	なし	NOx-sensitive

注)*は5%水準で有意差あり、†は10%水準で有意差あり
感度レジームは目安として示したものである。

VOC_sensitive感度レジームにある区部北・西地域での発令回数 は5%水準で有意な減少である。この地域ではNMHC濃度の低減率は、7月と8月の平均濃度でそれぞれ14%、17%であり、発令回数の減少とNMHC濃度の低減率とが整合している。感度レジームがNOx_sensitiveにある多摩西部地域では発令回数が5%水準で有意な減少であり、NOx濃度低減率は81%であって井上らの予測と整合する。

しかし、同じくNOx_sensitiveの感度レジームにある多摩南部では、発令回数の有意差なし、NOx濃度低減率66%であり、予測との整合がみられない。このように都内地域での注意報発令の減少については感度レジームによる予測とほぼ一致するが、一部には整合しない地域も存在する。光化学オキシダント対策の方向性を決める上で、地域がどのようなオゾン濃度感度レジームにあるかを知ることの重要性は神成ら^{9,10)}によっても指摘されている。関東地方のオゾン濃度感度レジームは、井上らが初めて2002年時点での分布を予測し、それを検証した結果として報告し、実環境での議論を行ったものである。

本稿で解析したオキシダント注意報発令回数の地域別減少は、井上らの予測とほぼ一致している。しかし、一部整合しない地域が存在しており、このことは予測調査時点から原因物質濃度の変化に起因するレジームが一部変化した可能性を示唆している。

今後の光化学オキシダント濃度低減対策を進めるためには、現在のオゾン濃度感度レジームを調査・確認し、地域毎にレジームに対応した効率的な原因物質削減対策の方向性を検討する必要があると思われる。なお感度レジームを判定するための閾値については、(NMHC/NOx)比の大小によっては明確に区分されない⁷⁾ため、HNO₃やH₂O₂濃度を測定し(HNO₃/O₃)比または、(H₂O₂/HNO₃)比により区分する必要があることが明らかにされている^{11, 12, 13)}。

(5) 東京都内の常時監視測定局の状況

これまで、速報性のある光化学スモッグ注意報の発令回数により、2000年以降の高濃度光化学オキシダント発生状況の変化を解析したが、大気常時監視データが確定した段階で、測定局濃度を用いてさらに定量的に解析する必要がある。

ここで、東京都内の常時監視測定局のデータを用いて、これまでと同様の解析を試みた。用いたデータはオキシダント濃度120ppb以上の時間数である。解析結果を表3に示した。発令回数による有意差検定結果(表1)と概ね整合しているが、全期および夏期とも120ppb以上の時間数を用いた結果の方がZ値が大きく、表1より高度に有意差を示した。注意報の発令回数にはない継続時間が入ったことで指標がより定量化されたためと思われる。

各発令地域の発令回数増減と地域内測定局の120ppb

表3 都内測定局別120ppb以上の時間数と帰無仮説の検定結果

区分	期間 測定局名	全期(5月~9月)			夏期(7月、8月)		
		m ₁	m ₂	Z	m ₁	m ₂	Z
区東部	千代田区神田司町	53	25	3.17 *	46	24	2.64 *
	中央区晴海	90	37	4.71 *	60	32	2.93 *
	港区台場	48	26	2.56 *	36	21	1.99 *
	江東区大島	72	38	3.25 *	59	34	2.60 *
	江戸川区鹿骨	100	51	4.00 *	78	45	2.99 *
	江戸川区春江町	110	65	3.41 *	79	53	2.28 *
	江戸川区南葛西	69	45	2.25 *	49	36	1.42
区北部	荒川区南千住	176	78	6.18 *	132	69	4.48 *
	足立区西新井	119	50	5.32 *	85	45	3.53 *
	葛飾区鎌倉	138	59	5.65 *	100	47	4.40 *
区西部	国設東京新宿	7	34	-4.22 *	6	31	-4.12 *
	中野区若宮	227	101	7.00 *	157	84	4.75 *
	杉並区久我山	112	63	3.72 *	75	52	2.05 *
	板橋区本町	146	54	6.53 *	105	49	4.54 *
	練馬区石神井町	197	112	4.86 *	130	95	2.36 *
	練馬区北町	224	90	7.61 *	154	84	4.59 *
区南部	品川区豊町	126	88	2.61 *	87	70	1.37
	品川区八潮	101	53	3.88 *	76	40	3.36 *
	目黒区碑文谷	82	72	0.81	56	63	-0.65
	大田区東糞谷	80	52	2.44 *	54	45	0.91
	世田谷区世田谷	168	92	4.74 *	119	78	2.95 *
	渋谷区宇田川町	105	56	3.87 *	78	53	2.20 *
多摩北部	小平市小川町	281	153	6.19 *	180	108	4.30 *
	東大和市奈良橋	200	126	4.12 *	127	80	3.30 *
	清瀬市上清戸	234	100	7.38 *	157	66	6.16 *
	西東京市田無町	240	163	3.86 *	154	115	2.41 *
多摩中部	立川市泉町	123	107	1.06	82	71	0.90
	府中市宮西町	165	110	3.33 *	104	82	1.63
	調布市深大寺南町	120	62	4.31 *	71	53	1.63
	小金井市本町	209	106	5.84 *	138	62	5.42 *
	狛江市中和泉	154	105	3.06 *	94	86	0.60
西多摩	青梅市東青梅	223	76	8.55 *	141	42	7.38 *
	福生市本町	191	78	6.92 *	119	54	4.98 *
多摩南部	八王子市片倉町	70	76	-0.50	47	43	0.42
	八王子市館町	168	72	6.22 *	99	45	4.53 *
	町田市市中町	129	126	0.19	76	78	-0.16
	町田市能ヶ谷	142	134	0.48	87	98	-0.82
	多摩市愛宕	109	75	2.51 *	67	48	1.78 †

注) 発令率の差は(前期)-(後期)である。

*は5%水準で有意差あり、†は10%水準で有意差ありを示す。

(全期: n₁=n₂=19,260時間、夏期: n₁=n₂=5,580時間)

以上の時間数の増減は、区部東・北地域と多摩北・西地域では全期および夏期とも傾向がよく一致していた。区部西地域では全期および夏期ともに、発令回数の差は5%または10%水準で有意で減少であって、120ppb以上の時間数の差では測定局の内6局中5局が全期および夏期ともに5%水準で有意で減少であり一致している。しかし、国設東京新宿局のみ全期および夏期とも5%水準で有意な増加でこれらと逆になっている。新宿局が広い緑地内にあることを考慮して検討する必要がある。区部南地区は全期および夏期ともに発令回数では有意差がないが、時間数では全期で6局中5局が、夏期で3局が、5%水準で有意差があり、減少となっていた。

多摩中部地域では、全期および夏期ともに発令回数では有意差がないが、120ppb以上の時間数では5局中4局が全期5%水準で有意差があり、減少となっていた。さらに夏期には小金井本町局のみ5%水準で有意差があり、減少であった。

多摩南部地域では、両期間とも発生回数では有意差なしであるが、120ppb以上の時間数では八王子市館局と多摩市愛宕局のみ両期間とも5%または10%水準で有意差があり、減少となっていた。同一地域内にある測定局で発令回数の増減変化傾向が異なるのは、高濃度時の光化学オキシダント濃度分布が地域内で偏りのある可能性が考えられ、地域内での空気塊の移流や発令地域内外の発生源などのローカルな影響についても調査する必要があると思われる。

ここで、(3)と同様に測定局ごとに算出した夏期のZとNOx濃度の低減率をプロットし、井上らのオゾン濃度感度レジームとの対応を図5に示した。

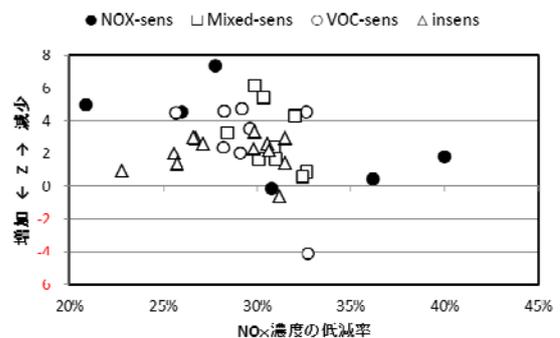


図5 都内測定局における統計量ZとNOx濃度低減率

●がNOx-sensitive地域での、□がMixed-sensitivity地域でのプロットであるが、高いZ値はNOx濃度の低減率と整合している。しかし、Z値とNOx濃度の低減率が整合しない地点もあり、(3)で述べたように感度レジームやローカルな発生源等についての調査・検討が必要と思われる。なお、VOC-sensitive地域の中、Z値がマイナス（時間数増加）でNOx濃度の低減率がマイナスであるプロットについては、オゾン濃度感度レジームの予測では、NOx濃度低下がオゾン濃度の増加に作用すること⁷⁾もあるとされており、確認する必要があると思われる。夏期のZとNMHC濃度の低減率をプロットし図6に示した。(3)で述べたようにNMHC濃度はオゾン感度レジームを判断する指標としては適切ではないため、参考として掲げたものである。●がVOC-sensitive地域のプロットであるが、発令回数有意に減少（Z>1.96）とNMHC濃度低減率は概ね整合している。

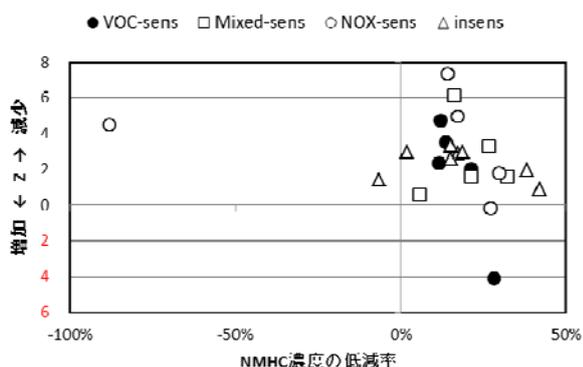


図6 都内測定局における統計量ZとNMHC濃度低減率

4 まとめ

VOC削減対策導入前後12年間の関東地方における光化学スモッグ注意報発令回数を発令地域毎に統計的に比較し、地域分布の特徴をまとめた。そのうちの夏期の結果について井上らのオゾン濃度感度レジームから予測される効果との比較を行った。さらに、都内の大気常時監視測定局のオキシダント120ppb以上の時間数についても同様な解析を行った。以上をまとめると次のとおりである。

(1) 全期における前期から後期への注意報発令回数の増減程度は関東地方で一様ではなく、地域による違いがみられた。発令回数に有意差（5%水準）があつて減少した地域は、千葉県北部・茨城県南部・埼玉県東部・東京都北部の関東地方中央部の大きなブロック、埼玉県秩

父と東京都多摩西部、千葉県房総半島市原・君津地域、群馬県中央部および栃木県中央部であつた。発令回数に有意差（5%水準）があつて増加した地域は、神奈川湘南地域と群馬県東毛地域の一部であつた。

(2) 夏期における前期から後期への発令回数の地域による増減程度は、差が有意（5%水準）で減少した地域が全期に比べて縮小し、関東地方中央部のブロックと千葉県北部と茨城県南部となつた。また、東京都多摩地域と群馬県東毛地域も縮小した。発令回数の差が有意（5%水準）で増加した地域は神奈川県中央部と茨城県下妻地域であつた。

(3) 井上らが予測したオゾン濃度感度レジームの地理分布と夏期の発令回数の増減分布を比較するため、Zと前期後期間のNOx濃度低下率の対応させたところ、発令回数が有意に減少した地域のうちNOx-sensitiveレジームとされた地域では、両者の整合が見られた。しかし、NOx-sensitiveレジームとされた地域であっても発令回数が増加した地域については整合が見られなかった。この点の解明のためにオゾン濃度感度レジームの変化が示唆されるなどの予測上の課題を掲げた。

(4) 東京都内の発令地域については、NOx-sensitiveレジームである多摩西部地域のNOx濃度低減率と発令回数減少とが整合していた。しかし、同じくNOx-sensitiveレジームである多摩南部地域は発令回数の増減に有意差なしであり、NOx濃度低減率とは整合しなかった。

(5) 都内測定局におけるオゾン濃度120ppb以上の時間数に対して、発令回数と同様の検定を行った。発令地域の発令回数増減傾向と地域内の測定局における120ppb以上の時間数増減傾向は、区部東・北・南地域と多摩地域ではほぼ同じであつた。しかし、区部西地域の国設東京新宿局は地域内の他局が減少に対し増加と逆（いずれも5%水準で有意）であつた。同局の地域特性を検討する必要がある。

今後の課題として、本解析は発令地域の発生源のみが光化学オキシダントに影響していることを前提としているため、気象条件や移流を考慮した地域を対象とした解析が必要である。

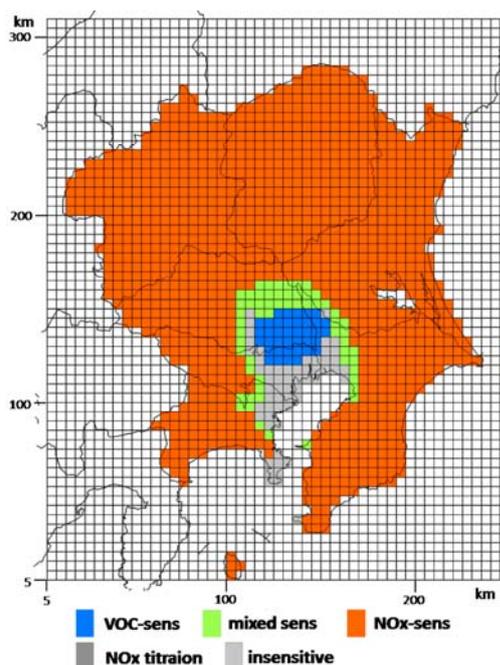
5 謝辞

本稿に対するご意見をいただいた井上和也氏（産業技

術総合研究所)に深く感謝申し上げます。各県の光化学スモッグ(オキシダント)注意報発令回数は各県のホームページから入手したが、一部過去のデータについては、埼玉県環境科学国際センター米持真一氏、千葉県環境研究センター石井克巳氏、群馬県衛生環境研究所熊谷貴美代氏、茨城県霞ヶ浦環境科学センター鴨志田元喜氏、栃木県保健環境センター荒川涼氏にご教示いただいた。ここにお礼申し上げます。なお、2011年の各県の環境濃度データは速報値である。各県の環境濃度データは東京都環境局環境改善部を通じて入手した。

6 参考図

モデルにより推定された夏季の日最高地表オゾン濃度に対する感度レジーム地理分布(植物起源VOC排出量として最近の大き目の推定値を入力した場合の結果、2002年7月31日)(文献8より著者の許可を得て転載)



参考文献

- 1) 東京都環境局：光化学オキシダント対策検討会報告書(2005)
- 2) 環境省環境管理局长：大気汚染防止法の一部を改正する法律の施行について(通知)平成17年6月17日付環管大発第050617001号)
- 3) 東京都環境局：東京都環境基本計画(平成20年3月)
- 4) (環境省)揮発性有機化合物(VOC)排出インベントリ検討会：揮発性有機化合物(VOC)排出インベン

トリについて(2012)

http://www.env.go.jp/air/osen/voc/inventory/rep_h2403/01main.pdf

- 5) 星純也：光化学大気汚染の現状－発生源の変化と常時監視データを中心として－、大気環境学会関東支部講演会 改善されない光化学大気汚染問題に我々はどうに対応するか－その3 要旨集、pp.5～10(2012)
- 6) 井上和也、吉門洋、東野晴行：関東地方における夏季地表オゾン濃度のNO_x、VOC排出量に対する感度の地理分布 第II報 光化学指標の実測に基づく推定、大気環境学会誌、45(5) pp.195～204(2010)
- 7) 井上和也、安田龍介、吉門洋、東野晴行：関東地方における夏季地表オゾン濃度のNO_x、VOC 排出量に対する感度の地理分布 第I報 大小2種類の植物起源VOC 排出量推定値を入力した場合の数値シミュレーションによる推定、大気環境学会誌、45(5) pp.183～194(2010)
- 8) 井上和也：地域別発生源対策の提案と課題、大気環境学会関東支部講演会 改善されない光化学大気汚染問題に我々はどうに対応するか－その3 要旨集、pp.11～14(2012)
- 9) 神成陽容：オゾン生成レジームを正確に判定することの重要性、大気環境学会関東支部講演会要旨、pp.1-4(2011)
- 10) 神成陽容、大原利真：オゾン週末反転現象のメカニズム、大気環境学会誌、44(2) pp.82～90(2009)
- 11) A.Martilli, A. Neftel, G. Favaro, S. Sillman, and A. Clappier : Simulation of the ozone formation in the northern part of the Po Valley, Journal of Geophysical Research, 107(D22), LOP 8-1～8-17(2002)
- 12) Sanford Sillman and Dongyang He : Some theoretical results concerning O₃-NO_x-VOC chemistry and NO_x-VOC indicators, Journal of Geophysical Research, 107(D22) ACH 26-1～26-15(2002)
- 13) 中西準子、篠崎裕哉、井上和也：詳細リスク評価書シリーズ24 オゾン－光化学オキシダント－ pp.158～169 丸善(2009)