

# 揮発性有機化合物の光化学反応に関する一考察

竹内和俊 渡邊剛久 石井克巳 内藤季和 中西基晴

## 1 はじめに

京葉臨海工業地帯に近接する千葉県環境研究センターでは、大気中のフロン類、有害大気汚染物質及び揮発性有機化合物 (VOC) の実態を把握するため、独自に GC/MS 法による自動連続測定装置を開発して調査研究を進めてきた<sup>1)</sup>。その結果、2007 年度以降この連続測定装置によるベンゼン濃度年平均値が環境基準値以下となるなど、工業地帯周辺地域の環境改善にも一定の役割を果たしている。

一方、環境基準達成率の極めて低い光化学オキシダント (Ox) の原因物質の一つである VOC については、成分となる化学物質の種類が多く、個々の化合物の光化学反応性については MIR (最大増加反応性 : Maximum Incremental Reactivity) 値<sup>2)</sup> 等によって評価されているが、実際の大気中でどのような成分がどのように光化学反応に関与しているのか検討された事例は少ない。そこで、本研究では、これまでに蓄積した自動連続測定装置の VOC 連続測定データを解析し、VOC が光化学生成にどのように関与しているのか検討を行ったので報告する。

## 2 解析方法

### 2・1 解析対象データ

2005 年度～2009 年度の VOC 連続測定データ及び市原岩崎西一般環境大気測定局 (岩崎西局) における Ox 等の大気汚染物質濃度及び風向・風速等の気象要素とする。

自動連続測定装置による測定成分数は 2009 年度の 43 成分が最大で、表 1 に GC からの溶出順にその成分を示す。このうち、2005 年度は CFC-12, i-Pentane, 2-Methyl-1-Butene, n-Pentane, cis-1,2-Dichloroethylene 及び Cyclohexane の 6 成分、2006 年度は CFC-12, cis-1,2-Dichloroethylene 及び Cyclohexane の 3 成分、2007～2008 年度は CFC-12 及び cis-1,2-Dichloroethylene の 2 成分を測定していない。

なお、自動連続測定装置は約 1 時間試料大気を採取し、次の 1 時間で分析を行っており、2 時間に 1 回のサイクルで分析が行われている。また、年間の測定時間は 2008 年度の 2355 時間から 2006 年度の 3589 時間の範囲で、3000 時間程度である。

### 2・2 炭素換算 VOC 濃度の推計

発生源の VOC 濃度測定法については環境省告示第 61 号 (2005) により規定されているが、環境大

表 1 2009 年度における自動連続測定装置による測定成分

CFC-12	n-Pentane	1,1,1-Trichloroethane	Tetrachloroethylene
Chloromethane	Isoprene	Benzene	Monochlorobenzene
CFC-114	1,1-Dichloroethylene	Tetrachloromethane	Ethylbenzene
Vinylchloride	Dichloromethane	Cyclohexane	p+m-Xylene
1,3-Butadiene	3-Chloro-1-propene	1,2-Dichloropropane	o-Xylene
Bromomethane	CFC-113	Trichloroethylene	Styrene
Ethylchloride	1,1-Dichloroethane	trans-1,3-Dichloropropene	1,1,2,2-Tetrachloroethane
i-Pentane	cis-1,2-Dichloroethylene	cis-1,3-Dichloropropene	4-Ethyl-toluene
CFC-11	n-Hexane	1,1,2-Trichloroethane	1,3,5-Trimethylbenzene
Acrylonitrile	Chloroform	Toluene	1,2,4-Trimethylbenzene
2-Methyl-1-Butene	1,2-Dichloroethane	1,2-Dibromoethane	

気中の VOC 濃度測定法の定めはない。そこで、ここでは常時監視項目の一つである非メタン炭化水素 (NMHC) が ppmC 換算 VOC 濃度であると仮定し、VOC 連続測定データとの関係について解析した。

NMHC が GC/FID 法により測定されていることから、各連続測定成分の FID に対する感度<sup>3)</sup>を考慮して FID 応答炭素数を定め、測定された濃度との積から ppmC 換算濃度を算出した。次に、その全成分の合計値を C-VOC として算出し、NMHC との関係について解析した。

### 2・3 未把握 VOC 成分濃度の推計

NMHC と C-VOC の関係から、 $NMHC \leq C-VOC$  の場合は C-VOC を VOC と見なした。また、 $NMHC > C-VOC$  の場合、自動連続測定装置の測定成分から、ここでは不足分を沸点の低い Ethane 等 (異性体を含めた Ethane, Propane, Butane, Ethene, Propene, Butene 及び Acetylene) として各物質の濃度を推計した。ただし、2005 年度については、Ethane 等及び Pentane として推計した。

そこで、Ethane 濃度を 1 とした場合の Ethane 等及び Pentane の存在比の測定例を表 2 に示す。なお、表の組成比は異性体を含めた値である。

調査地点、測定年代も異なるが組成比は大きくは変わらない。ただし、岩崎西では都環研に比べて Ethene 及び Acetylene が高く、Propane 及び Propene が低い値を示している。ここでは、長期間の測定結果に基づく表 2 の 2 番目の岩崎西の組成比を用いて、不足分の Ethane 等及び Pentane の濃度を推計した。

### 2・4 MIR 値を考慮した VOC 濃度の推計

上述のようにして推計した Ethane 等及び表 1 に

示した測定成分の光化学反応性を考慮した仮想的な VOC 濃度を M-VOC として設定し、Ox 濃度や気象要素との関係について解析した。

この M-VOC は各成分の ppb 単位の濃度に MIR 値<sup>2)</sup>を乗じて算出、設定した。また、解析にあたっては、M-VOC に対する各成分物質の寄与率を算出して用いた。

なお、環境省告示第 61 号では Methane は VOC から除外されているが、大気中の濃度が約 1.8ppm と高く、0.0144 の MIR 値を有するため、ここでは M-VOC に加算した。また、MIR 値の記載されていなかった 3-Chloro-1-propene には 3-Chloropropene の値 11.98 を、1,1,2,2-Tetrachloroethane には 1,1,2-Trichloroethane の値 0.086 を使用した。

## 3 解析結果

### 3・1 NMHC と C-VOC の関係

一例として、2005 年度及び 2009 年度における ppbC 換算の NMHC 濃度と C-VOC の関係をそれぞれ図 1 及び図 2 に示す。

図 1 及び図 2 から、NMHC と C-VOC は比較的良好な関係にあることが分かる。しかしながら、C-VOC は 2005 年度で NMHC の平均 26%、2009 年度で 39% 程度の把握率に留まっており、連続測定成分だけでは NMHC を十分に説明することができない。因みに、2006 年度～2008 年度の回帰式は、2006 年度： $y=0.228x$  ( $R^2=0.429$ )、2007 年度： $y=0.291x$  ( $R^2=0.535$ )、2008 年度： $y=0.338x$  ( $R^2=0.484$ ) である。

なお、図 1 及び図 2 の 1 対 1 の赤線を越えるデータが存在する理由は、自動連続測定装置が約 1 時間

表 2 Ethane 等の成分組成比測定例

調査地点	データ数	主な炭化水素の Ethane を 1 とした組成比							
		Ethane	Propane	Butane	Pentane	Ethene	Propene	Butene	Acetylene
岩崎西 <sup>4)</sup>	57	1.00	1.56	2.68	1.17	2.88	0.58	0.67	1.52
岩崎西 <sup>5)</sup>	63	1.00	1.22	1.73	1.49	2.47	0.69	0.33	0.78
都環研 <sup>6)</sup>	28	1.00	1.59	2.31	1.66	1.50	1.11	0.60	0.60

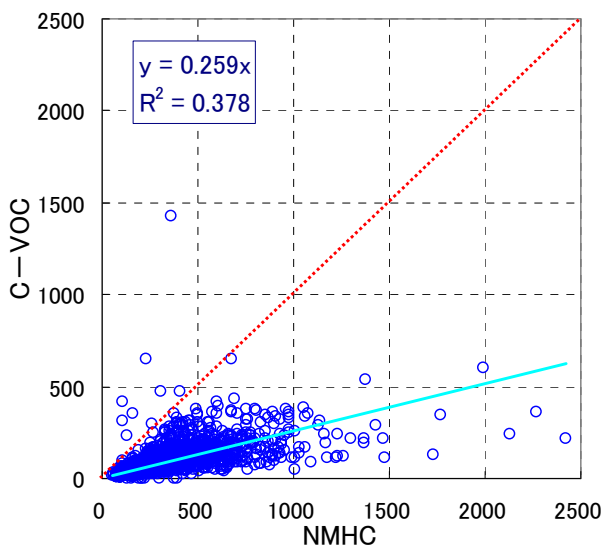


図 1 2005 年度における NMHC と C-VOC の関係

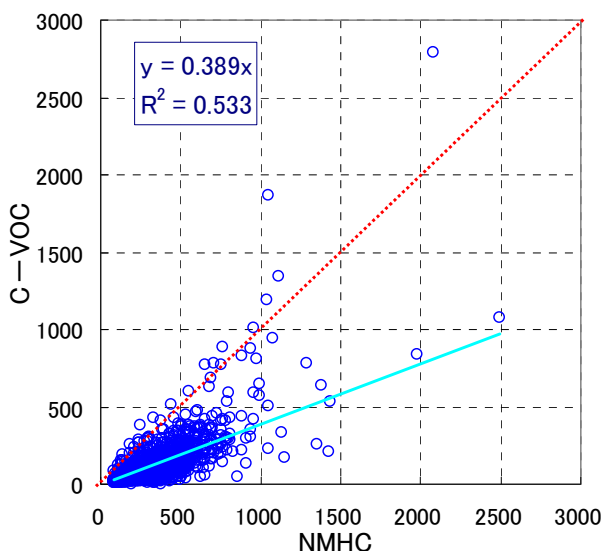


図 2 2009 年度における NMHC と C-VOC の関係

試料を採取しているのに対して、炭化水素計が短時間・複数回のスポット採取であることに由来すると考えられるが、1対1の赤線を越えるデータ数は少ない。

### 3・2 NMHCとM-VOCの関係

#### 3・2・1 NMHC及びM-VOC濃度の月変化

2005 年度～2009 年度の全調査期間における NMHC 濃度 (ppbC) 及び推計した M-VOC の月推移を図 3 に示す。

図 3 から、M-VOC は ppbC 換算の NMHC より平均で 114 ほど高い値 (Methane を含む) で推計さ

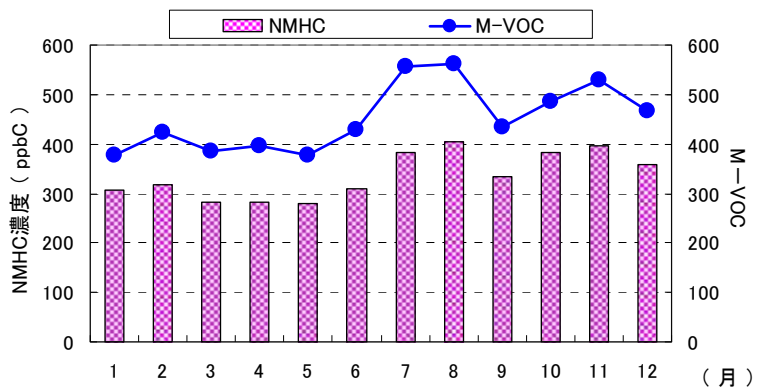


図 3 NMHC 濃度と M-VOC の月変化

れ、その月変化は図のように NMHC の月変化とほぼ一致している。これは、C-VOC の把握率が最大 40% 程度と低い結果に留まったためと考えられる。

#### 3・2・2 NMHC 及び M-VOC 濃度の風向特性

全調査期間における風向別 NMHC 濃度及び M-VOC 平均値を図 4 に示す。

図 4 から、風向別 NMHC 及び M-VOC も変化の傾向はほぼ一致しており、図のように NNW～SW の工場地帯方向からの値が大きい傾向にある。

#### 3・2・3 M-VOC 等の時刻変化

Ox 濃度、気温、NMHC 濃度及び M-VOC の全調査期間における時刻別推移を図 5 に示す。また、8 時～16 時における平均寄与率の高い成分の時刻別の寄与率の状況を図 6 に示す。

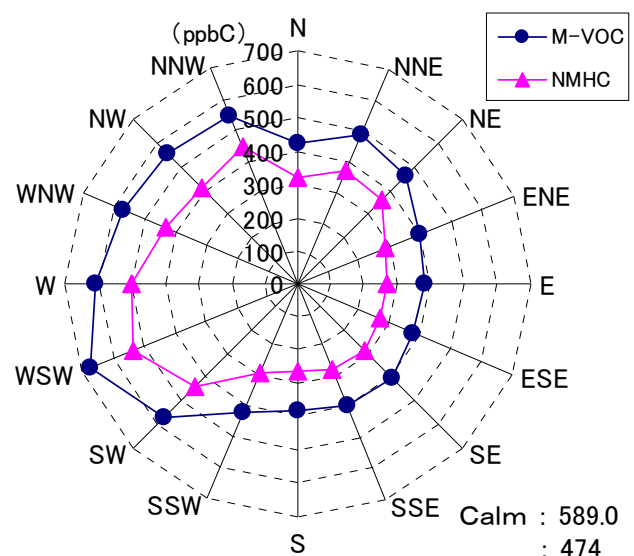


図 4 風向別 NMHC 濃度と M-VOC

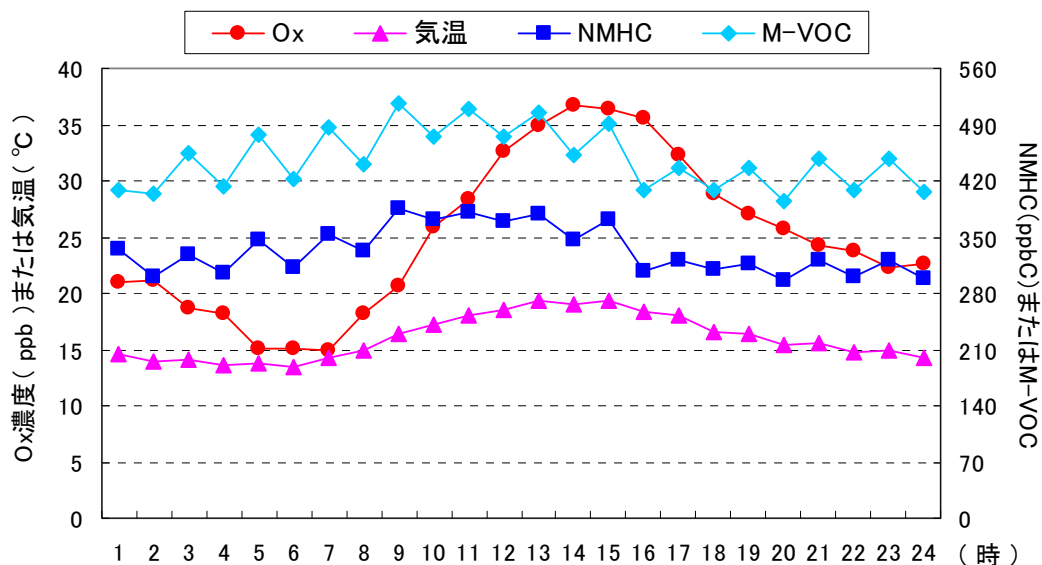


図 5 全調査期間における時刻別 Ox 濃度，気温，NMHC 濃度及び M-VOC の推移

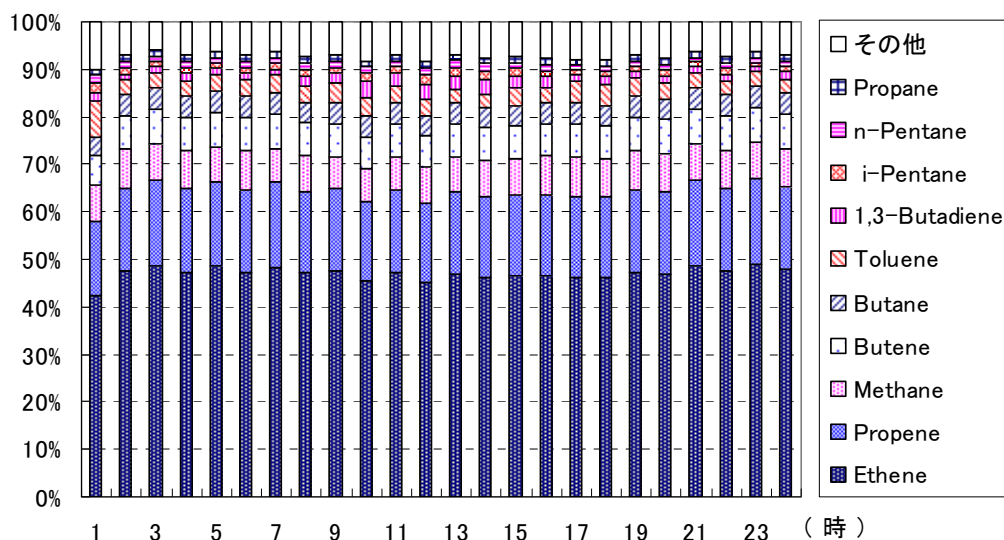


図 6 全調査期間における M-VOC に対する主要成分の時刻別寄与率

なお、図 5 の NMHC 及び M-VOC がジグザグとした推移を示しているのは、奇数時刻と偶数時刻の測定時間にアンバランスがあり、工場地帯近傍の岩崎西では NMHC 濃度の時刻による変化が大きいため平均値に系統的な差が生じたものである。

図 5 から、Ox と気温は日中の 14 時～15 時にピークとなる日変化を示している。一方、NMHC や M-VOC では 9 時～12 時にやや高くなる傾向が散見されるが、顕著な日変化は示していないと言える。こうした傾向は月別に見ても同様である。したがって、石油化学工業地帯近傍の岩崎西では、基本的に

は Ox の生成に必要な VOC が十分に供給されており、平均的に見ると Ox の日変化と NMHC や M-VOC の日変化に顕著な関係が認められないためと考えられる。

次に、図 6 から、寄与率の高い成分は濃度を推計した Ethene 等で、中でもオレフィン類の Ethene や Propene が高く、この両者の合計でいずれの時刻も平均 60%以上の寄与率を示している。また、光化学反応性が低いと考えられる Methane ではあるが、他の成分に対して大気中の濃度が高いため、いずれの時刻も 7%～8%の寄与率を示している。

連続測定の内容では Toluene や 1,3-Butadiene など比較的高い寄与率を示すが、Toluene では1時の平均寄与率が約 7.5%と高いものの概ね 3%~4%、1,3-Butadiene で 2%~3%程度の寄与率に留まっている。

連続測定の測定成分については、定期的にスキャン・モードでの測定を実施して成分の見直しを行ってきたことから、連続測定の VOC に成分として欠けているのは Ethane 等と考えるのが妥当である。したがって、平均的なプロファイルからは、岩崎西のような石油化学コンビナート地域周辺の光化学生成を低減させるためには Ethene や Propene の削減を進めていく必要があると言える。

### 3・3 Ox 高濃度日の M-VOC の特徴

平均的な M-VOC からは特段の傾向が認められなかったため、Ox 濃度の 1 時間値が 100ppb を超えた日を抽出して解析を行った。

抽出された日は、2005 年度が 8 月 14 日、15 日、9 月 1 日、11 日及び 13 日の計 5 日、2006 年度が 7 月 14 日、8 月 6 日及び 9 月 5 日の計 3 日、そして 2007 年度が 7 月 25 日、8 月 10 日、11 日、23 日、26 日及び 9 月 22 日の計 6 日の合計 14 日である。2008 年度及び 2009 年度には該当する日がなかった。

#### 3・3・1 Ox, NMHC 及び M-VOC の日変

一例として、2005 年 8 月 14 日及び 9 月 1 日の Ox 濃度、NMHC 濃度及び M-VOC の日変化パターンを図 7 に示す。

平均的なプロファイルからは Ox と NMHC や M-VOC の日変化に特段の関係は認められなかったが、Ox 濃度が 100ppb を超えた高濃度日の日変化を見ると図 7 のように Ox に先駆けるか Ox と同時に M-VOC も上昇する傾向にある。この傾向は、やや変化が不規則であった 2007 年 8 月 10 日を除き、全ての高濃度日に共通に認められた。

このことは、Ox が 100ppb を超える高濃度の要件に NMHC 或いは VOC の濃度の上昇が関与していることを示唆していると考えられる。

#### 3・3・2 Ox 高濃度時の寄与成分の推計

上述のような日変化を示す M-VOC のうち、どの成分が光化学生成に寄与しているのかを見るため、

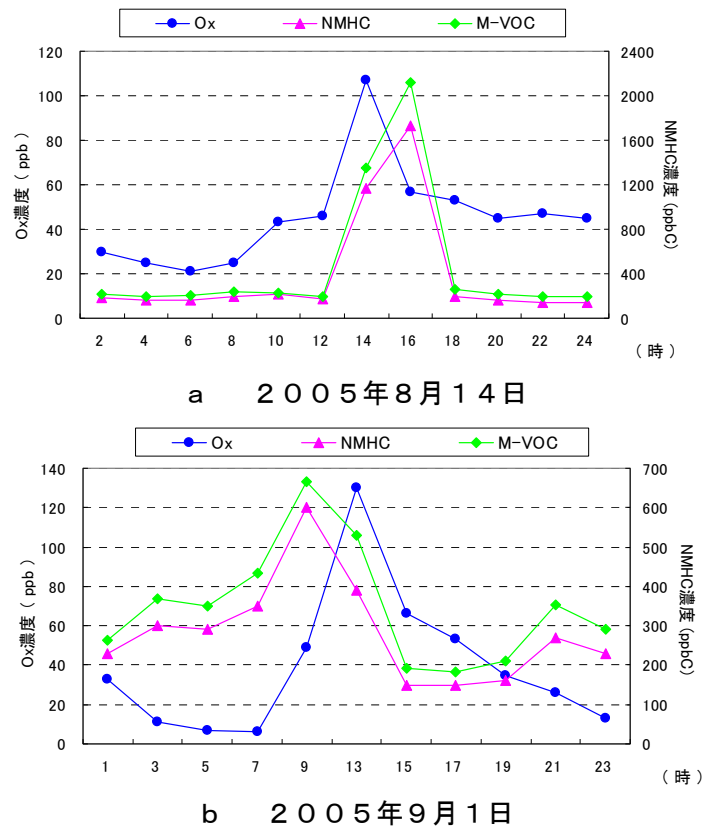


図 7 Ox 濃度、NMHC 濃度及び M-VOC の日変化

2005 年 8 月 14 日及び 9 月 1 日の Ox 濃度と Ethene, Toluene, 1,3-Butadiene 及び Acrylonitrile の寄与率の変化を図 8 に示す。

図 8 の a 図及び b 図から、Ethene は常に寄与率が高いものの、濃度を推計した成分であるため、Ox の日変化とは殆ど関係のない変化を示している。また、Toluene は d 図のように Ox 濃度の上昇時に寄与率が高くなる例もあるが、c 図のように夜間に高い寄与率を示す場合が多い。

一方、1,3-Butadiene 及び Acrylonitrile は図 8 の e 図~h 図のようにほぼ全ての高濃度日に、Ox の上昇に先駆けるか Ox と同時に寄与率が上昇しており、Ox の上昇と密接に関係した変化を示している。こうした顕著な関係が認められたのは 1,3-Butadiene 及び Acrylonitrile だけで、他の殆どの成分については顕著な関係は認められなかった。

#### 3・3・3 Ox 高濃度時の日中の寄与率の特徴

Ox 高濃度日の日中の 7 時~18 時における時刻別平均寄与率の高い成分を図 9 に示す。また、全期間及び高濃度日における日中の高寄与率の集計結果を表 3 に示す。ただし、全期間では日中の 8 時~16 時を、高濃度日では日中の 7 時~18 時を対象とした。

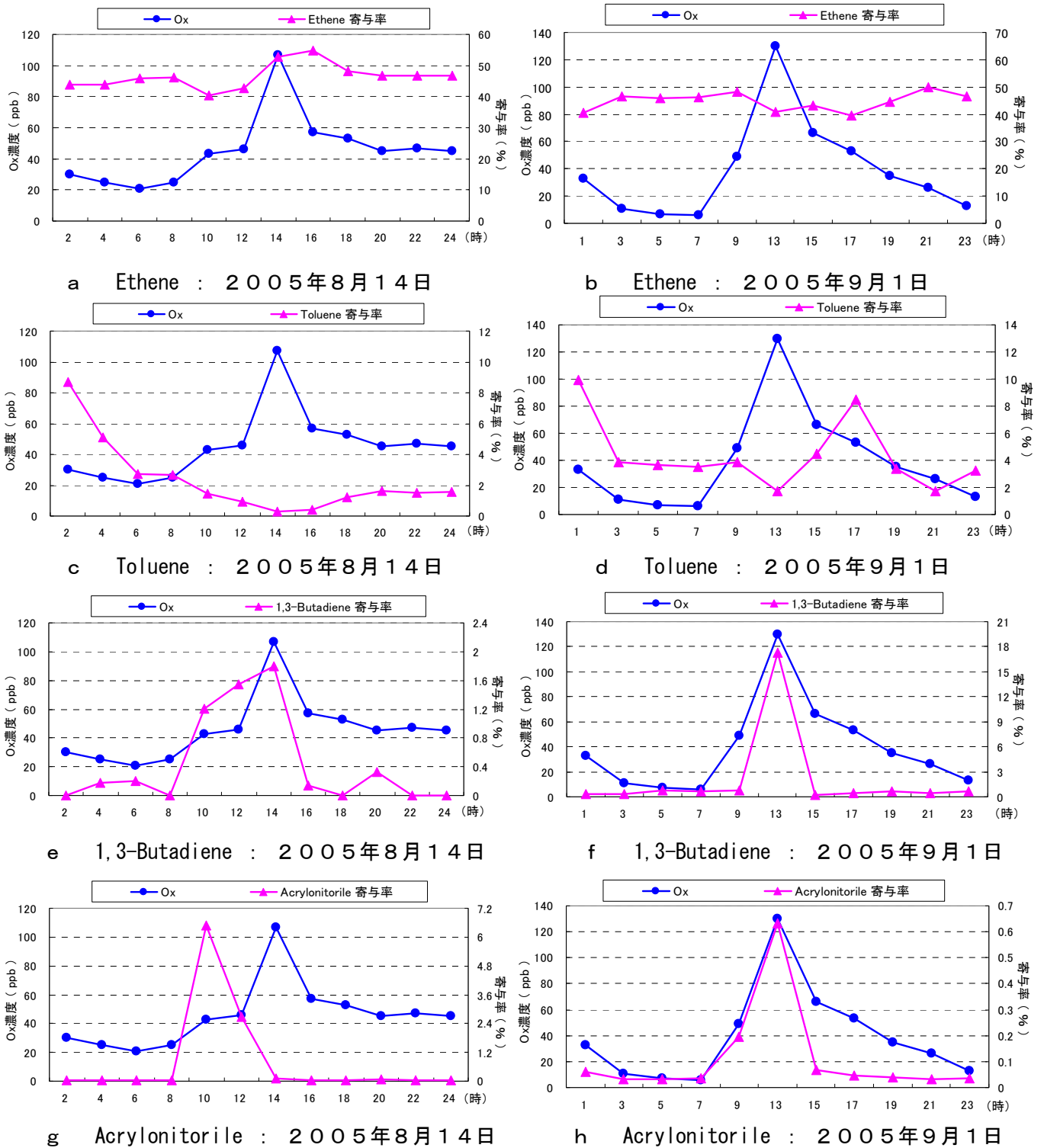


図 8 高濃度日におけるOx濃度及び主要成分の日変化

図 9 から、平均的に Ethane 等の推計した成分が高い傾向は図 6 の全期間の結果と同様であるが、1,3-Butadiene や Acrylonitrile の寄与率が全期間のデータよりは高くなっていることが分かる。

表 3 から、全期間では工場地帯の特性を受け、平均的に最も高い寄与率が推計された Ethene を超え

る高い寄与率を示す測定成分が比較的多く認められる(図 1 及び図 2 の NMHC と C-VOC の関係を示す図の 1 対 1 の線を上回るデータ)が、その中には 1,3-Butadiene 及び Acrylonitrile も含まれている。また、高濃度日では Ethene の寄与率を超える成分はないが、1,3-Butadiene 及び Acrylonitrile が 2

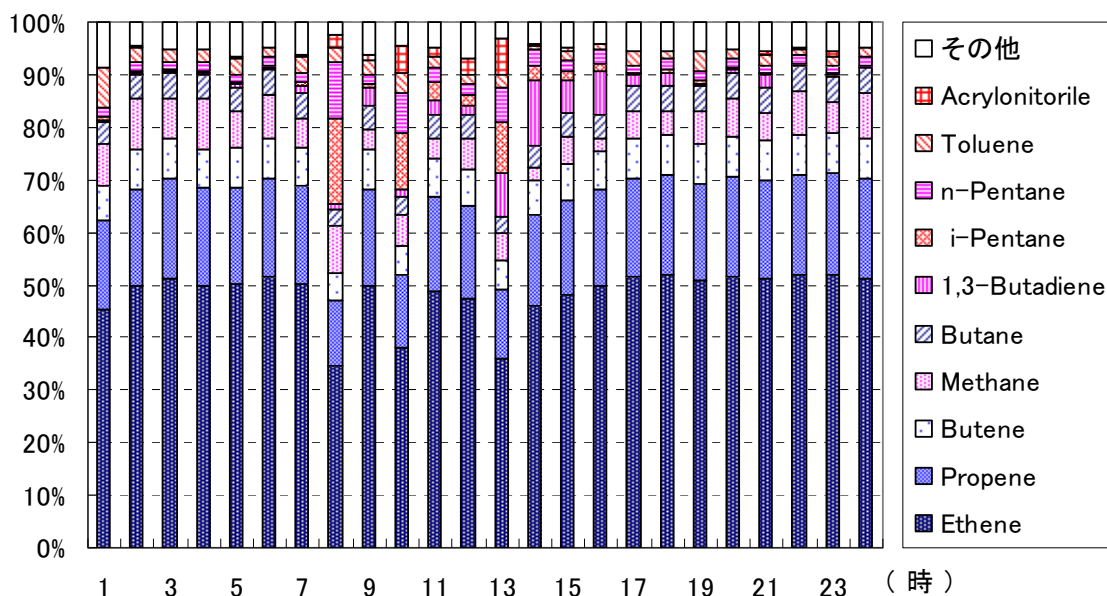


図 9 高濃度日における日中7～18時のM-VOCに対する成分の平均寄与率

表 3 各成分のM-VOCに対する寄与率最高値

区分		時 刻																								全 時間帯 最高値	日中の 時間帯 最高値	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24			
全期間	1,3-Butadiene	61.7	27.2	45.8	53.4	58.7	61.2	40.3	63.0	85.7	76.2	89.1	60.7	70.2	57.9	81.2	82.1	86.6	72.5	59.3	38.0	69.3	44.2	32.0	53.7	89.1	89.1	
	Toluene	73.4	54.4	48.7	64.0	87.2	64.9	85.0	54.8	65.3	76.8	81.6	47.3	56.6	42.8	73.5	40.1	89.5	58.3	86.1	41.1	45.5	50.2	53.8	50.4	89.5	81.6	
	n-Hexane	71.2	81.0	46.6	39.8	74.8	75.0	48.5	77.9	43.6	38.9	32.5	36.7	19.3	53.9	29.6	13.5	10.3	21.2	35.1	23.8	22.8	45.7	61.5	18.7	81.0	77.9	
	i-Pentane	50.0	44.6	34.2	41.7	39.4	53.7	44.7	42.2	29.7	49.0	36.9	65.6	65.2	45.2	49.0	30.5	29.4	17.9	40.9	48.8	14.0	24.2	12.1	16.8	65.6	65.6	
	Acrylonitorile	17.1	23.4	9.5	25.0	12.8	14.1	30.1	11.6	42.0	29.8	20.8	23.8	49.7	37.0	64.9	47.5	34.9	16.9	13.2	7.9	7.7	10.5	8.6	9.1	64.9	64.9	
	Methane	46.6	23.2	43.2	23.3	36.4	32.2	46.2	28.8	58.9	22.4	41.8	48.0	50.7	33.4	62.9	23.3	89.1	28.6	61.7	32.5	49.1	36.9	49.3	31.3	89.1	62.9	
	Ethene	57.9	57.3	58.2	57.2	58.1	57.3	58.3	57.7	58.3	57.7	58.4	57.5	58.2	56.4	58.3	57.4	58.3	57.0	58.1	56.8	58.5	58.3	58.0	56.9	58.5	58.4	
	p+m-Xylene	24.6	18.6	13.2	16.7	12.7	32.7	18.3	15.0	27.2	18.5	21.3	38.5	22.1	39.7	51.6	21.0	38.9	16.9	40.5	17.2	16.8	12.0	17.8	12.0	51.6	51.6	
	Isoprene	9.7	57.6	4.9	31.5	3.3	37.8	7.7	26.0	6.8	38.4	11.0	17.3	12.5	8.1	32.5	49.3	21.8	46.5	7.5	42.4	7.0	39.9	6.9	11.9	57.6	49.3	
	Vinylchloride	29.6	8.3	48.9	21.0	37.7	29.5	26.6	6.8	24.7	27.8	20.3	9.5	27.3	45.7	14.7	30.7	12.0	11.2	17.8	71.0	24.9	8.2	40.2	30.3	71.0	45.7	
	高濃度日	Ethene	56.6	55.3	56.7	55.7	56.5	56.7	55.2	47.3	55.4	54.0	56.5	50.7	54.8	54.0	54.4	57.4	58.3	55.0	57.7	56.5	57.7	55.2	57.4	55.1	58.3	58.3
		1,3-Butadiene	2.2	0.1	0.3	0.5	4.3	0.2	3.7	3.8	12.8	3.3	15.8	2.4	38.4	40.6	26.7	39.0	15.1	6.3	0.8	3.7	18.8	0.2	0.7	0.2	40.6	40.6
Acrylonitorile		0.9	0.0	1.1	0.1	0.3	0.0	3.8	11.6	6.6	14.5	4.0	5.1	40.0	1.3	2.9	0.3	0.6	0.1	0.2	0.1	7.7	0.0	8.6	0.0	40.0	40.0	
i-Pentane		2.8	0.6	0.9	0.9	0.4	0.5	1.3	36.7	1.3	30.3	14.8	2.6	22.4	4.1	6.0	2.3	0.4	1.4	1.3	0.5	0.6	0.4	0.8	0.3	36.7	36.7	
n-Pentane		4.4	4.2	4.3	4.2	4.3	4.3	4.4	33.5	4.4	28.4	11.9	3.9	20.6	5.0	5.0	5.1	4.7	4.6	4.6	4.4	4.6	4.7	4.5	4.4	33.5	33.5	
Propene		20.9	20.4	20.9	20.5	20.8	20.9	20.3	17.4	20.4	19.9	20.8	18.7	20.2	19.9	20.0	21.1	21.5	20.3	21.3	20.8	21.3	20.3	21.1	20.3	21.5	21.5	
n-Hexane		18.0	0.6	0.6	2.2	9.8	0.9	3.3	14.4	1.8	9.0	2.9	1.7	5.3	2.2	1.2	1.3	1.8	2.1	1.2	2.8	0.8	3.4	0.7	1.8	18.0	14.4	
Methane		13.6	15.0	13.2	14.3	12.8	14.2	10.2	11.7	8.0	11.2	8.8	12.6	12.6	3.4	13.3	4.5	14.2	10.0	12.3	12.2	7.5	13.2	9.3	13.0	15.0	14.2	
Toluene		48.7	8.7	4.4	5.1	12.2	2.7	7.1	4.3	4.3	10.2	3.8	2.4	6.6	1.2	4.5	2.0	8.5	2.3	8.9	3.2	4.0	1.5	3.2	4.1	48.7	10.2	
Butene		8.4	8.2	8.4	8.3	8.4	8.4	8.2	7.0	8.2	8.0	8.4	7.5	8.1	8.0	8.1	8.5	8.6	8.2	8.6	8.4	8.6	8.2	8.5	8.2	8.6	8.6	

番目及び3番目に高い最高値を示している。

こうしたOx高濃度日の解析結果を考慮すると、Oxが高濃度となる気象条件が整った中で、石油化学コンビナート近傍の岩崎西では1,3-ButadieneやAcrylonitorileの濃度が上昇することにより光化学生成が促されることを示していると言える。ただし、この1,3-Butadiene及びAcrylonitorileのMIR値はそれぞれ12.61及び2.24で、1,3-Butadieneの値は高いがAcrylonitorileの値はそれほど大きなものとは言えない。一方、1,3-Butadiene及び

AcrylonitorileはABS樹脂の工業材料として同時に使われているため、Acrylonitorileは見かけ上1,3-Butadieneと同様の挙動を示している可能性があることも考えられる。

#### 4 おわりに

本報では、当センターで開発した自動連続測定装置によるVOC或いはその成分の光化学反応に対する影響について検討するため、M-VOCと言う仮想のVOCを設定して解析を試みた。その結果、NMHC

に対する連続測定成分の把握率が低かったため、平均的なプロフィールからは特段の関係が認められなかった。

一方、Ox 濃度 1 時間値が 100ppb を超える高濃度日の変動から、Ox 濃度の上昇に対する NMHC や M-VOC の影響が認められ、VOC の成分としては 1,3-Butadiene や Acrylonitrile の影響を認めることができた。

なお、今回の解析では自動連続測定装置で測定されていない低沸点成分を Ethene 等としたが、そのほかにも大気中の濃度はそれほど高くないと考えられるが、MIR 値が 9.46 と比較的高い Formaldehyde などが光化学生成に関与していることも十分に考えられる。したがって、今後はここで検討した Ethene 等に加えて、こうした未把握成分の影響も考慮した上で、連続測定成分のうち光化学反応に対する寄与率の高い成分に絞った新たな成分を対象に調査研究を行うことが望まれる。

## 引用文献

- 1) 中西基晴, 水上雅義 : 固体吸着-加熱脱着-GC/MS 法による大気中 VOCs 連続自動測定法の検討. 第 42 回大気環境学会講演要旨集, 307 (2001).
- 2) William P. L. Carter : UPDATED MAXIMUM INCREMENTAL REACTIVITY SCALE AND HYDROCARBON BIN REACTIVITIES FOR REGULATORY APPLICATIONS. California Air Resources Board Contract 07-339 (2010).
- 3) 実験化学講座 続 9 ガスクロマトグラフィー. 日本化学会編, 147 (1965).
- 4) 環境大気中における炭化水素成分測定結果. 千葉県公害研究所 (1984).
- 5) 中西基晴, 竹内和俊, 松浦章良 : 大気中の炭化水素成分の長期継続調査. 千葉県公害研究所, 28, 33~40 (1987).
- 6) 木下輝昭, 石井康一郎, 上野広行, 芳住登紀子 : 東京都における環境大気中の炭化水素成分について. 東京都環境科学研究所年報 2004, 59~64 (2004).

### A Study of Photochemical Reaction of Volatile Organic Compound

Kazutoshi Takeuchi , Takehisa Watanabe , Kastumi Ishii , Suekazu Naito , Motoharu Nakanishi

大気中のフロン類、有害大気汚染物質及び揮発性有機化合物 (VOC) の実態を把握するため当センターが独自に開発した GC/MS 法による自動連続測定装置で測定されている VOC 及びその成分を対象に、その光化学反応性について解析、検討した。解析は、VOC の各成分物質の濃度と MIR (最大増加反応性: Maximum Incremental Reactivity) 値の積から算出した仮想的な M-VOC を対象に行った。

その結果、連続測定成分だけでは十分に非メタン炭化水素 (NMHC) を説明できなかったため、平均的なプロフィールからは光化学オキシダント (Ox) と M-VOC に特段の関係は認められなかった。一方、Ox 濃度 1 時間値が 100ppb を超える高濃度日を対象にした解析結果から、Ox 濃度の上昇に NMHC や M-VOC の上昇が関係していることが認められた。また、VOC の成分としては 1,3-Butadiene や Acrylonitrile が石油化学コンビナート周辺地域の Ox 濃度上昇に関与していることが伺えた。

キーワード : 揮発性有機化合物, VOC, 光化学反応, MIR, 光化学オキシダント, Ox, NMHC