

【報文】群馬県における光化学オキシダント生成への寄与に着目した揮発性有機化合物（VOC）観測調査

坂本祥一 熊谷貴美代 田子博 木村真也* 齊藤由倫

Survey of Volatile Organic Compounds Focused on the Contribution to Photochemical Oxidant Formation in Gunma

Shoichi SAKAMOTO, Kimiyo KUMAGAI, Hiroshi TAGO, Shinya KIMURA*, Yoshinori SAITOH

前橋・館林・嬭恋の3地点で2020年夏季のOx濃度が上昇した晴天日にVOC調査を実施した。前橋・館林は嬭恋と比較して総VOC濃度、最大Ox生成能ともに高く、成分別では芳香族やアルカンの割合が高かった。アルカンではn-ブタン、イソブタン等、芳香族ではトルエン、m+p-キシレン等のOx生成能が特に大きく、これらの人為起源VOCの影響が大きいと考えられた。一方で嬭恋は植物起源VOCの割合が高いことが特徴的であった。前橋における昼夜別のVOC調査では、昼にアルデヒドは増加し、芳香族及びアルカンは減少する昼夜変動が確認された。昼夜のOx生成能は昼にアルデヒドとイソプレンが増加し、トルエン等の芳香族やイソブタン等のアルカンは減少した。

Key words : オゾン生成能 Ozone formation potential、地点特性 Regional characteristics、昼夜変動 Day-night variation

1. はじめに

近年の大気環境は全国的に対策等が行われてきたことにより改善し、ほとんどの常時監視項目で環境基準を達成している。しかしながら、光化学オキシダント（Ox）は環境基準達成率がほぼ0%であり、多くの地域でOx注意報が発令されている状態である（環境省、2021a）。群馬県も例外ではなく、環境基準達成率は0%（群馬県、2020）で、毎年Ox注意報も発令されており、大気環境における残された課題となっている。

揮発性有機化合物（VOC）は、窒素酸化物（NOx）とともに光化学オキシダント（Ox）の原因物質のひとつで、Ox汚染問題を考える上で重要な物質である。Ox対策の一環として工場等の固定発生源からのVOC総排出量を2010年度までに2000年度比で3割抑制することを目標とし、2006年からVOC排出抑制が開始された。その結果、2019年度の総VOC排出量は2000年度に対して55%削減された（環境

省、2021b）。VOCの総量評価指標として全国で常時監視測定がされている非メタン炭化水素（NMHC）濃度においても同様に減少傾向がみられ、2000年度は0.24 ppmC（全国一般環境大気測定局、6～9時における3時間平均値の年平均値）に対して2019年度は0.11 ppmCと5割以上減少した（環境省、2021c）。このVOC排出抑制対策によるOx低減効果は認められるものの（星ら、2013；光化学オキシダント調査検討会、2017）、Ox注意報が依然として発令されていることを考えると、Ox対策が容易でないことがうかがえ、さらなる対策の検討も必要な状況である。

VOCは種々の発生源から排出され、人為起源VOC（AVOC）だけでなく、植物由来VOC（BVOC）も多く存在する。BVOCの放出量はAVOC排出量より約8倍も大きく、気候変動の影響によりBVOC放出量は今後増加することも予測されている（Schneidemesser et al., 2015）。BVOCの対策等は難しいと考えられるが、BVOCは光化学反応性が高いものが多く、Ox

* 現 群馬県東部環境事務所

生成への影響や気候変動との関連を把握するためにもこれらを含めた VOC 調査は今後より重要性を増していくことが予想される。一方で、AVOC は対策による低減が可能な VOC であり、Ox への寄与が大きい物質の排出削減をすることができれば、効果的に Ox 低減に繋げることができる」と期待される。

しかしながら、NMHC 濃度は常時測定されているものの様々な VOC が混合した状態で測定しているため、NMHC 濃度からはこれを構成する個々の VOC の組成等は知ることができない。これらの個々の VOC はそれぞれ大気中で反応性が異なることが知られており (Atkinson, 2000)、Ox 生成への寄与を探るためには物質ごとの VOC 濃度の把握が重要となる。

これまでに VOC 組成調査とともに Ox 生成寄与を解析した研究が行われてきた。例えば、竹内ら (2012) は埼玉県において季節別時間別に VOC 濃度変動を把握すると共に最大オゾン生成効率 (Maximum Incremental Reactivity: MIR) を用いた Ox 生成能による解析を行い、Ox 対策に有効と考えられる物質などを報告した。福崎ら (2018) は横浜市と東京都において夏季に VOC 同時観測調査を実施し、海風による大気塊の移流前後の VOC 濃度組成変化から高濃度 Ox 生成への寄与が大きい可能性のある物質等について報告した。このように VOC 組成を把握することは Ox 低減に向けた重要な知見となり得る。

VOC 濃度組成は大気中での反応により時々刻々と変化し、地点差や移流等の影響もあることから、地域ごとにその実態を把握することが重要と考えられる。しかし、群馬県においてはこれまで Ox 生成への寄与に着目した VOC 調査は行われてきておらず、県内における VOC 組成や地域間の差異、Ox 生成との関連等は明らかとなっていない。そこで本研究では、Ox 生成に寄与する VOC の実態を把握することを目的として 2020 年暖候期に VOC 調査を実施したのでその結果について報告する。

2. 調査方法

2.1. 調査概要

調査地点は大気常時監視測定局の一般局であ

る前橋、館林、嬭恋の 3 地点とした。各地点概況について、前橋は県央部の市街地郊外にあり、周辺は住宅地と農地である。館林は県南東部に位置し、周辺は市街地で工業が盛んな地域であり、Ox は県内で最も高濃度化しやすい。嬭恋は浅間山麓で農地と森林が広がっており、周辺には人為的発生源が少なく、県内のバックグラウンド地点である。

調査日は Ox 濃度が上昇しやすい夏季の晴天日を狙い、2020 年 6 月 16 日～17 日、8 月 3 日～5 日の期間で実施した。前橋は 10～18 時を昼間、18 時～翌日 10 時を夜間として昼夜別に、館林と嬭恋は 10 時頃を開始とした約 24 時間のサンプリングを行った。

2.2. 試料採取及び分析方法

分析対象物質は表 1 に示したアルカン 25 成分、アルケン 8 成分、芳香族 16 成分、BVOC 3 成分、アルデヒド 2 成分、その他 39 成分 (計 93 成分) である。試料採取及び分析は「有害大気汚染物質測定方法マニュアル」(環境省、2019a) に準じて行った。具体的には、アルデヒドを除く VOC 成分は、減圧したキャニスター (金属容器) に大気を採取し、ガスクロマトグラフ質量分析法により分析した。アルデヒドは DNPH カートリッジに捕集し、アセトニトリルで抽出後、高速液体クロマトグラフ法により分析を行った。

解析において、濃度が検出下限値未満の成分は検出下限値の 2 分の 1 の濃度として取扱った。また、各 VOC 濃度 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) に表 1 に示した MIR ($\text{g-O}_3/\text{g-VOC}$) (Carter, 2010) を乗じて生成しうる最大 Ox 生成能 ($\mu\text{g-O}_3/\text{m}^3$) を計算した。m-キシレンと p-キシレンは分析において分離できないため、MIR はそれぞれの平均値を用いた。Ox 等の大気汚染物質濃度データは常時監視データ (速報値)、気象データはそれぞれの地点の近傍の气象台又は AMeDAS のデータを使用した。なお、Ox の大部分が オゾン (O_3) であることから現在の常時監視で用いられている紫外線吸収法では O_3 を測定対象としているが、ここでは化学種として O_3 とする必要がある部分を除き、基本的に Ox と表記する。

表 1 分析対象物質とその MIR 値

| Group | VOC | MIR | Group | VOC | MIR | Group | VOC | MIR | Group | VOC | MIR | |
|--------------------|------------------------|------------------|------------------|------------------------|--------------|---------------------------|---------------------------|---------------------|-------------------|--------------------------|-----------------|------|
| alkane | 2,2,4-Trimethylpentane | 1.26 | alkene | 1,3-Butadiene | 12.61 | biogenic (BVOC) | Isoprene | 10.61 | others | Chloromethane | 0.04 | |
| | 2,2-Dimethylbutane | 1.17 | | 1-Butene | 9.73 | | α -Pinene | 4.51 | | cis-1,2-Dichloroethylene | 1.70 | |
| | 2,3,4-Trimethylpentane | 1.03 | | 1-Pentene | 7.21 | | β -Pinene | 3.52 | | cis-1,3-Dichloropropene | 3.70 | |
| | 2,3-Dimethylbutane | 0.97 | | 2-Methyl-1-pentene | 5.26 | aldehyde | | Acetaldehyde | | 6.54 | Dichloromethane | 0.04 |
| | 2,3-Dimethylpentane | 1.34 | | cis-2-Butene | 14.24 | Formaldehyde | | 9.46 | | HCFC123 | — | |
| | 2,4-Dimethylpentane | 1.55 | cis-2-Pentene | 10.38 | others | 1,1,1-Trichloroethane | 0.00 | HCFC141b | | — | | |
| | 2-Methylheptane | 1.07 | trans-2-Butene | 15.16 | | 1,1,2,2-Tetrachloroethane | — | HCFC142b | | — | | |
| | 2-Methylhexane | 1.19 | trans-2-Pentene | 10.56 | | 1,1,2-Trichloroethane | 0.00 | HCFC22 | | — | | |
| | 2-Methylpentane | 1.50 | aromatic | 1,2,3-Trimethylbenzene | | 11.97 | 1,1-Dichloroethane | 1.79 | | HCFC225ca | — | |
| | 3-Methylheptane | 1.24 | | 1,2,4-Trimethylbenzene | | 8.87 | 1,1-Dichloroethylene | 1.79 | | HCFC225cb | — | |
| | 3-Methylhexane | 1.61 | | 1,3,5-Trimethylbenzene | | 11.76 | 1,2,4-Trichlorobenzene | — | | Hexachloro-1,3-butadiene | — | |
| | 3-Methylpentane | 1.80 | | Benzene | | 0.72 | 1,2-Dibromoethane | 0.10 | HFC134a | — | | |
| | Cyclohexane | 1.25 | | Ethylbenzene | | 3.04 | 1,2-Dichloroethane | 0.21 | m-Dichlorobenzene | — | | |
| | Cyclopentane | 2.39 | Isopropylbenzene | 2.52 | | 1,2-Dichloropropane | 0.29 | o-Dichlorobenzene | 0.18 | | | |
| | Isobutane | 1.23 | m-p-Xylene | 7.80 | | Acrylonitrile | 2.24 | p-Dichlorobenzene | 0.18 | | | |
| | Isopentane | 1.45 | m-Diethylbenzene | 7.10 | | Benzyl Chloride | — | Tetrachloroethylene | 0.03 | | | |
| | Methylcyclohexane | 1.70 | m-Ethyltoluene | 7.39 | Bromomethane | 0.02 | trans-1,3-Dichloropropene | 5.03 | | | | |
| Methylcyclopentane | 2.19 | n-Propylbenzene | 2.03 | Carbon tetrachloride | — | Trichloroethylene | 0.64 | | | | | |
| n-Butane | 1.15 | o-Ethyltoluene | 5.59 | CFC11 | — | Vinyl chloride | 2.83 | | | | | |
| n-Decane | 0.68 | o-Xylene | 7.64 | CFC113 | — | | | | | | | |
| n-Heptane | 1.07 | p-Diethylbenzene | 4.43 | CFC114 | — | | | | | | | |
| n-Hexane | 1.24 | p-Ethyltoluene | 4.44 | CFC12 | — | | | | | | | |
| n-Nonane | 0.78 | Styrene | 1.73 | Chlorobenzene | 0.32 | | | | | | | |
| n-Octane | 0.90 | Toluene | 4.00 | Chloroethane | — | | | | | | | |
| n-Pentane | 1.31 | | | Chloroform | 0.02 | | | | | | | |

3. 結果および考察

3.1.3 地点の VOC 濃度

各調査日の前橋、館林、嬭恋の3地点における成分グループ別の VOC 濃度を図 1 に示す。前橋のデータは昼夜別データをその採取時間によって加重平均をとった値である。6月の調査日は、前橋・館林共に最高気温が 30℃程度まで上昇し、6月17日には Ox 最高値が前橋で 94 ppb、館林で 86 ppb となった。8月の調査日は、前橋・館林共に連日 30℃を超え、8月5日には 35℃以上の猛暑日となった。Ox 濃度も上昇し、Ox 最高値は連日、前橋では 80 ppb 程度、館林では 100 ppb 以上となった。

前橋と館林では6月と8月の総 VOC 濃度（全グループの濃度和）を比較すると8月の方が高かったが、今回の調査結果では日々の Ox 最高値や最高気温、各成分との明瞭な関係は明らかとならなかった。そのため、以降は3地点の組成の特徴を主として考察することとし、6月と8月の全調査日の地点別平均濃度とその構成比を図 2 に示す。

はじめに、3地点の総 VOC 濃度を比較すると、館林 (41 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)、前橋 (32 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)、嬭恋 (22 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) の順に高かった。総 VOC 濃度が県内のバックグラウンド地点である嬭恋の倍に相当する館林では、周辺の間人活動による AVOC 発生源の状況を反映していると考えられた。

成分グループ別の VOC 濃度構成比をみると、

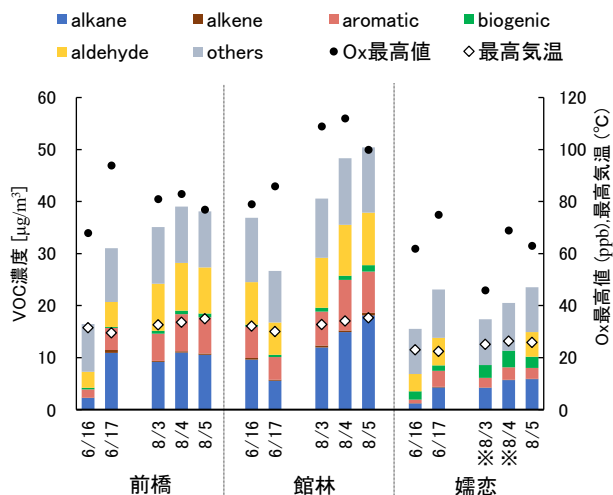


図 1 各調査日の VOC 濃度、Ox 最高値、最高気温（※アルデヒドは欠測）

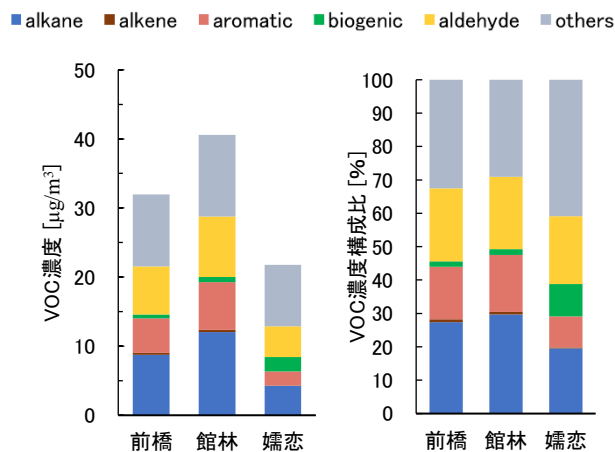


図 2 3地点の VOC 濃度(左)とその構成比(右) (全調査日平均)

前橋と館林は比較的類似した濃度構成比であった。その他成分を除くと、アルカン（それぞれ 27%、30%）、アルデヒド（22%、22%）、芳香族（16%、17%）の順に構成比が高く、BVOC は前橋と館林とも 2%であった。嬭恋ではアルデヒド（20%）、アルカン（19%）、BVOC（10%）、芳香族（9%）の順に高かった。嬭恋は前橋・館林と比較してアルカンや芳香族の割合は低く、BVOC の割合が大きいことが特徴的だった。AVOC 発生源が少ない一方で、周辺の森林からの BVOC 放出が大きい嬭恋の地点の特徴を表しているものと考えられた。

なお、NMHC 濃度（11 時～翌日 10 時の時間値平均値）と今回調査した総 VOC 濃度に構成炭素数を乗じた炭素換算濃度を比較した結果、NMHC 濃度のうち本調査測定成分が占める割合は前橋で平均 33%（最小 23%～最大 39%）、館林で平均 31%（最小 28%～最大 36%）であった（嬭恋は NMHC 濃度を測定していない）。この割合が低い要因としてエタン、プロパン、エチレンなどの炭素数が 2～3 の低級炭化水素やアルコール、エステル、ケトン等の含酸素化合物等、測定対象外の VOC が存在していることが考えられた。これらの把握できてない VOC 成分についても無視できない Ox 生成への寄与を持つ可能性があることから、今後これらの成分も把握できることが望ましい。

3.2.3 地点の最大 Ox 生成能

各 VOC 濃度と MIR から見積もった最大 Ox 生成能とその構成比（全調査日平均）を図 3 に示す。Ox 生成能においても館林（130 $\mu\text{g-O}_3/\text{m}^3$ ）、前橋（101 $\mu\text{g-O}_3/\text{m}^3$ ）、嬭恋（70 $\mu\text{g-O}_3/\text{m}^3$ ）の順に高かった。成分グループ別ではいずれの地点もアルデヒドの Ox 生成能が最も高く、構成比でも全体の 50%を超えていた。前

橋・館林では次いで芳香族（それぞれ 23%、25%）、アルカン（11%、12%）、BVOC（4%、3%）であり、Ox 生成能でもその構成比は類似していた。一方、嬭恋では前橋・館林と異なり、アルカン（8%）や芳香族（13%）より BVOC（25%）の Ox 生成能が高かった。Ox 生成の観点では、前橋・館林ではアルデヒド、芳香族、アルカンの順に寄与が高く、嬭恋ではアルデヒドに次いで BVOC の寄与が大きいことが明らかとなった。

VOC 成分別の最大 Ox 生成能平均値の各地点上位 10 成分を表 2 に示す。ホルムアルデヒドが 3 地点で 1 位、アセトアルデヒドが前橋と館林で 2 位、嬭恋で 3 位であった。アルデヒドは発生源からの一次排出と光化学反応による二次生成の両者が考えられるが、石井ら（2010）はホルムアルデヒドの一次排出に対する二次生成の比率は夏季の東京都の都市部で 2 倍程度、郊外部では 10 倍程度であること、Tago et al.（2005）は群馬県の夏季では 80%程が二次生成のホルムアルデヒドであること、太田ら（1987）は群馬県（高崎）の夏季でホルムアルデヒドの

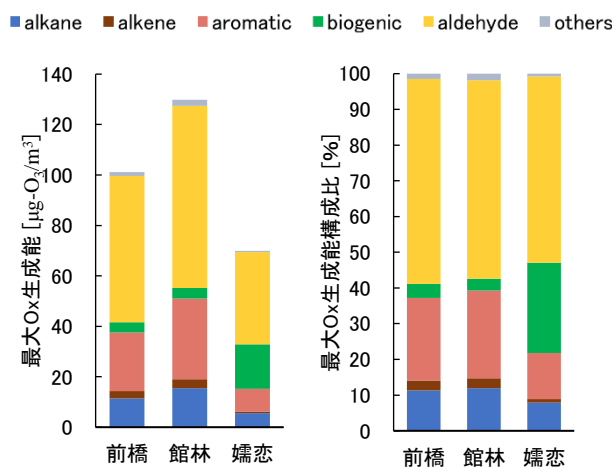


図 3 3 地点の最大 Ox 生成能(左)とその構成比(右)（全調査日平均）

表 2 3 地点における最大 Ox 生成能平均値の上位 10 成分

単位： $\mu\text{g-O}_3/\text{m}^3$

| ランク | 前橋 | | | | 館林 | | | | 嬭恋 | | | |
|-----|------------------------|-----|------|-----|------------------------|-----|------|-----|------------------------|------|------|-----|
| | VOC | 平均 | 最小 | 最大 | VOC | 平均 | 最小 | 最大 | VOC | 平均 | 最小 | 最大 |
| 1 | Formaldehyde | 40 | 18 | 54 | Formaldehyde | 48 | 33 | 56 | Formaldehyde | 15 | 19 | 29 |
| 2 | Acetaldehyde | 18 | 7.7 | 23 | Acetaldehyde | 24 | 18 | 27 | Isoprene | 14 | 8.4 | 20 |
| 3 | Toluene | 9.6 | 2.9 | 14 | Toluene | 15 | 9.2 | 24 | Acetaldehyde | 6.9 | 8.5 | 16 |
| 4 | m+p-Xylene | 3.6 | 1.2 | 5.1 | m+p-Xylene | 4.9 | 3.0 | 5.8 | Toluene | 4.2 | 0.92 | 6.8 |
| 5 | Isoprene | 3.0 | 0.81 | 5.0 | Isobutane | 4.1 | 1.0 | 7.9 | α -Pinene | 2.6 | 0.77 | 4.5 |
| 6 | Isopentane | 2.5 | 0.53 | 3.8 | n-Butane | 2.8 | 1.5 | 3.7 | Isopentane | 1.3 | 0.29 | 2.0 |
| 7 | Ethylbenzene | 2.4 | 0.61 | 3.6 | Ethylbenzene | 2.8 | 1.8 | 3.3 | n-Butane | 1.1 | 0.25 | 1.6 |
| 8 | n-Butane | 2.2 | 0.49 | 2.9 | 1,2,4-Trimethylbenzene | 2.7 | 1.9 | 3.3 | m+p-Xylene | 0.99 | 0.40 | 1.9 |
| 9 | 1,2,4-Trimethylbenzene | 2.2 | 0.83 | 3.0 | Isopentane | 2.5 | 1.2 | 3.6 | Ethylbenzene | 0.85 | 0.15 | 1.4 |
| 10 | Isobutane | 1.7 | 0.36 | 2.4 | α -Pinene | 2.1 | 0.99 | 4.3 | 1,2,4-Trimethylbenzene | 0.80 | 0.50 | 1.2 |

約 5 割、アセトアルデヒドの約 6 割が二次生成であることを推計し報告している。このことから夏季のアルデヒドの多くは他の VOC から二次生成し、それ自身の Ox 生成能も大きいことから Ox 生成に大きく影響していると考えられた。また、地点により若干異なるもののアルカンでは n-ブタン、イソブタン、イソペンタン、芳香族ではトルエン、m+p-キシレン、エチルベンゼン、1, 2, 4-トリメチルベンゼンが Ox 生成能で上位を占めていた。これらはガソリンや塗料溶剤等に多く含まれる成分であり（横田ら、2012；環境省、2019b）、Ox 生成への AVOC の影響が大きいことがわかった。

孺恋では BVOC であるイソプレンが 2 位、 α -ピネンが 5 位であり、前述したアルカンや芳香族の成分と並んで Ox 生成能が高かった。さらに、前橋でもイソプレンは 5 位、館林でも α -ピネンが 10 位であることから、平野部の地点でも一定の BVOC の寄与があることが推察された。

3.3 前橋における昼夜別 VOC 調査結果

前橋の昼夜別調査のうち、8 月 3 日から 5 日の連続 3 日間の成分グループ別 VOC 濃度を図 4 に示す。この 3 日間は比較的同じ気象条件が続いた。最高気温は連日 30℃を超え、日中は南東寄りの風になり、南東部からの移流の影響を受けやすい気象状況だった。Ox は 80 ppb 付近まで上昇した。各成分の濃度変化をみると、アルデヒド類は昼に増加し、一方で、アルカンと芳香族は昼に減少する傾向がみられた。

昼夜の Ox 生成能変化から物質ごとの Ox 生成の寄与を探るため、昼夜の最大 Ox 生成能の

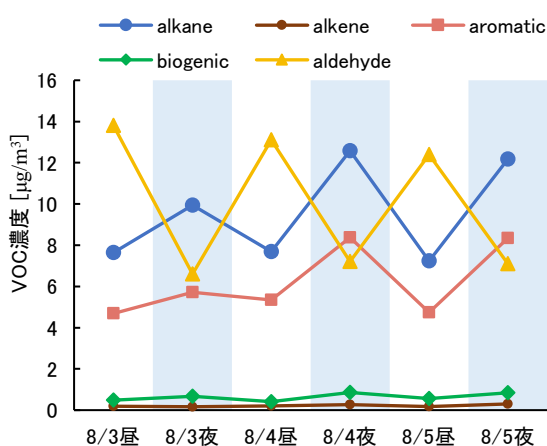


図 4 前橋の昼夜別 VOC 濃度変動 (8 月 3 日～5 日)

差分 (3 日間平均) を計算し、顕著に増加した上位 3 成分と減少した上位 10 成分を表 3 に示す。昼に増加したのはホルムアルデヒドとアセトアルデヒド、イソプレン (BVOC) であった。これらは MIR 値が大きく、大気中での反応性は高いため、Ox 生成に係る光化学反応による消失量も大きいことが予想される。しかしながら、アルデヒドでは前述したように大気中での光化学反応による生成量が多いと考えられることから、光化学反応による生成量が消失量を大きく上回って日中の濃度が上昇したと考えられた。アルデヒドは最大 Ox 生成能も高いため、前駆物質となる VOC の低減によってアルデヒドの二次生成量を減少させることが Ox 対策として重要であると考えられた。イソプレンについては光量と葉温の上昇に伴い植物から昼に多く放出される物質 (Guenther, 1993) であることから、日中の放出量が消失量を上回っていると考えられた。イソプレンも最大 Ox 生成能が大きいと、昼の Ox 生成への寄与が高いと考えられた。

一方、昼に減少したのはトルエンやキシレン等 (芳香族)、イソブタンやイソペンタン (ア

表 3 昼夜の最大 Ox 生成能の差分の上位 3 成分(上)と下位 10 成分(下)(3 日間平均)

| 単位: $\mu\text{g-O}_3/\text{m}^3$ | | |
|----------------------------------|----------|------------|
| 増加した物質 | Group | Ox 生成能昼夜差分 |
| Formaldehyde | aldehyde | +42 |
| Acetaldehyde | aldehyde | +10 |
| Isoprene | biogenic | +1.2 |
| 減少した物質 | Group | Ox 生成能昼夜差分 |
| Toluene | aromatic | -4.1 |
| m+p-Xylene | aromatic | -2.6 |
| 1,2,4-Trimethylbenzene | aromatic | -2.4 |
| α -Pinene | biogenic | -1.5 |
| 1,2,3-Trimethylbenzene | aromatic | -0.94 |
| 1,3,5-Trimethylbenzene | aromatic | -0.89 |
| o-Xylene | aromatic | -0.83 |
| Isobutane | alkane | -0.80 |
| Isopentane | alkane | -0.77 |
| n-Butane | alkane | -0.70 |

ルカン)、 α -ピネン (BVOC) であった。仮に夜の Ox 生成能をベースと考え、昼の Ox 生成能減少が Ox 生成に係る光化学反応による消失と考えれば、これらの物質の Ox 生成への寄与が大きいことが推察され、人為発生源から排出されるこれらの芳香族やアルカンの排出抑制が Ox 濃度低減に有効な可能性も考えられる。しかしながら、現時点では推測の域を超えない。芳香族やアルカンの濃度変動は他の要因であることも十分に考慮しつつ、今後調査データを蓄積し、気象条件等も踏まえた解析により検証していく必要がある。

4.まとめ

前橋・館林・嬬恋の3地点で Ox 濃度が上昇した晴天日に VOC 調査を実施した。総 VOC 濃度は館林、前橋、嬬恋の順に高かった。前橋・館林では嬬恋と比較してアルカンや芳香族の割合が大きく、AVOC の影響を反映している結果と考えられた。一方で、嬬恋は BVOC の割合が大きいことが特徴的であった。

各 VOC 濃度から最大 Ox 生成能を計算した結果、前橋・館林ではアルデヒド、芳香族、アルカン、嬬恋ではアルデヒドに次いで BVOC が Ox 生成への寄与が大きいことが明らかとなった。アルカンでは n-ブタン、イソブタン、イソペンタン、芳香族ではトルエン、m+p-キシレン、エチルベンゼン、1, 2, 4-トリメチルベンゼン等の Ox 生成能が特に大きく、これらの AVOC が Ox 生成への影響が大きいと考えられた。

前橋における昼夜別の VOC 調査を実施し、最大 Ox 生成能の差分を解析した結果、アルデヒドとイソプレンは昼に増加した。これらは日中の生成(放出)量が消失量を上回り、光化学反応性も高いため、Ox 生成への寄与が大きいと考えられた。一方で昼に減少したのは芳香族やアルカンの成分であった。この減少が Ox 生成に係る光化学反応による消失であれば、これらの日中の Ox 生成への関与が考えられるが、他の要因による変動である可能性もあり、さらなる検討が必要である。

なお、本報で報告した VOC 観測結果は Ox 濃度が上昇した限られた調査日のデータを解析し

たものであり、VOC と Ox 生成、気象条件との関係等を明らかにするためには今後も継続した調査の実施が求められる。

謝辞

本研究は国立環境研究所と地方環境研究所による II 型共同研究の一環として実施しました。

文献

- Atkinson R. 2000. Atmospheric chemistry of VOCs and NOx. *Atmospheric Environment*. **34**:2063-2101.
- Carter W.P.L. 2010. Updated chemical mechanisms for airshed model application, revised final report to the California air resources board. <https://ww3.arb.ca.gov/regact/2009/mir2009/mir10.pdf> (2020 年 6 月閲覧)
- Guenther A.B., Zimmerman P.R., Harley P.C., Monson R.K., Fall R. 1993. Isoprene and monoterpene emission rate variability: model evaluations and sensitivity analyses. *J. Geophys. Res.* **98**(D7):12609-12617.
- 群馬県環境森林部環境政策課. 2020. 令和 2 年版環境白書.
- 星純也, 石井康一郎. 2013. 関東地域における揮発性有機化合物 (VOC) 排出量の変化と光化学オキシダント生成の関係について. *大気環境学会誌*. **48**(5):215-222.
- 福崎有希子, 石倉淳士, 星純也, 小森陽昇, 志村徹, 松永壮, 上野広行. 2018. 横浜市と東京都における夏季の揮発性有機化合物 (VOC) 同時観測調査. *大気環境学会誌*. **53**(1):13-24.
- 石井康一郎, 上野広行, 藤田進, 梶井克純, 加藤俊吾, 中島吉弘. 2010. 大気中ホルムアルデヒドの生成排出比率の推定. *東京都環境研究所年報*. 141-143.
- 環境省. 2019a. 有害大気汚染物質測定方法マニュアル.
- 環境省. 2019b. 揮発性有機化合物 (VOC) 排出インベントリ報告書 (平成 31 年 3 月).
- 環境省. 2021a. 令和 3 年版環境白書・循環型社会白書・生物多様性白書.
- 環境省. 2021b. 揮発性有機化合物 (VOC) 排出インベントリ報告書 (令和 3 年 3 月).

- 環境省. 2021c. 令和元年度大気汚染状況について . <https://www.env.go.jp/press/109397.html> (2021年8月閲覧)
- 光化学オキシダント調査検討会. 2017. 光化学オキシダント調査検討会報告書.
- 太田正雄, 鶴田治雄. 1987. 沿岸都市域及び内陸域におけるアルデヒド類の挙動. 全国環境研究会誌. **12(3)**:117-122.
- Tago H., Kimura H., Kozawa K., Fujie K. 2005. Formaldehyde concentrations in ambient air in urban and rural areas in Gunma prefecture, Japan. *Water, Air, and Soil Pollution*, **163**:239-280.
- 竹内庸夫, 松本利恵, 唐牛聖文. 2012. 埼玉県における揮発性有機化合物の地域的・時間的濃度変動の特徴と光化学オキシダントとの関係. 大気環境学会誌. **47(3)**:127-134.
- von Schneidemesser E., Monks P.S., Allan J.D., Bruhwiler L., Forster P., Fowler D, Lauer A, Morgan W.T., Paasonen P., Righi M., Sindelarova K., Sutton M.A. 2015. Chemistry and the linkages between air quality and climate change. *Chem. Rev.* **115(10)**: 3856-3897.
- 横田久司, 上野広行, 石井康一郎, 内田悠太, 秋山薫. 2012. ガソリン給油ロスによる VOC の排出について. 大気環境学会誌. **47(5)**:231-239.