

原著

光化学オキシダント及びPM_{2.5}生成に寄与する揮発性有機化合物(VOC)の発生源寄与解析

梶原佑介・力寿雄・馬場義輝・山村由貴・中川修平・濱村研吾

OxやPM_{2.5}の生成に関与するVOCの実態把握のため、2016-2018年度にかけてVOCの連続測定を行った。その測定結果を基に発生源寄与解析を行った結果、測定対象VOCは9つの発生源に分類され、自動車排ガス成分がOxの生成に強く寄与する可能性を示した。また、対象としたVOCのうち、1,2-dichloroethane等が、OxやPM_{2.5}と共に大陸から長距離輸送された事実が確かめられたことから、これらの成分を観測することにより、越境大気汚染(移流)の影響把握ができると期待される。

[キーワード: VOC、Ox、PM_{2.5}、PMF、越境大気汚染]

1 はじめに

現在、我が国の大気汚染物質の中で環境基準の達成率が低い項目は光化学オキシダント(Ox)、次いでPM_{2.5}となっている。福岡県においても、2017年度の環境基準達成局(一般局)はそれぞれ0%(0/44局)、67%(22/33局)にとどまっております。大気環境行政にとって喫緊の課題となっている。Ox及びPM_{2.5}の前駆物質としては揮発性有機化合物(VOC)が挙げられるが、VOCの成分組成の実態、大気中での反応経路など未解明な部分も多い。また、大気シミュレーションモデルを使って環境改善効果を事前に評価し、大気環境政策を策定する上で必要不可欠な情報を得るためにも、VOCの実態把握は重要な課題となっている²⁾。

筆者らは2016年度から2018年度にかけて、VOCの高時間分解能・多成分同時測定を行い、その結果、年度別・季節別・時間帯別におけるVOCの成分組成に違いがあることを明らかにした³⁾。

本研究では、Positive Matrix Factorization(PMF)解析を用いて発生源寄与割合の推定を行った。PMF解析はPM_{2.5}の解析に近年活用されることが多いが、VOCについては、測定データが少ないことやVOCそのものの高反応性のために解析事例が少ない。本研究では、最終的に1072検体・60成分のデータセットを用意し解析を行ったところ、いくつかの興味深い知見が得られたので報告する。

2 方法

2・1 調査地点及び調査期間

調査地点は福岡県保健環境研究所の敷地内とし、約40mにわたってPTFEチューブを繋ぎ、連続サンプリングユニットを有した自動濃縮導入システム(ACS-2100, ジェルサイエンス株式会社製)により、大気試料を2時間間隔で採

取し、自動濃縮した後、ガスクロマトグラフィー質量分析装置(QP2010-Ultra, 株式会社島津製作所製)で測定した。測定条件は有害大気汚染物質測定マニュアルに準拠した。

調査期間は、2016年度はPM_{2.5}成分測定の試料捕集期間内とした(5.7-5.13, 7.23-7.29, 10.27-11.2, 1.21-1.27)。2017年度は大気汚染(Ox及びPM_{2.5})が高濃度と予報された時に適宜サンプリングを行った(4-9月)。2018年度は2016年度と同様にPM_{2.5}成分測定の試料捕集期間内とした(5.14-5.21, 7.19-7.29, 10.20-10.28, 1.18-1.27)。

2・2 調査項目

VOC対象成分としては、Oxの生成に寄与する炭化水素類として米国環境保護庁(EPA)のモニタリングステーションで測定されている成分に加え、有害大気汚染物質モニタリング調査の対象成分を含む全86成分とした。調査成分の概要は別報に示すとおりである³⁾。

Ox、PM_{2.5}、NO₂、NO_x、風向、風速は太宰府局の常時監視データを用いた。気温、湿度、紫外線はVOC採取地点に設置したデータロガー(TR-74Ui, 株式会社ティアンドデイ)を用いて計測した。

2・3 解析方法

解析にはEPAがWeb上で公開しているEPA PMF5.0を用いた。PMFは発生源に関するプロファイルを必要とせず、データセットのみで解析を行うことができることに最大のメリットがある。但し、堅牢なモデル解を得るには比較的大きな観測データセットを用意する必要があり、必然的に長期間・高時間分解能といった条件が必要となる。さらに、反応性に富むVOCを対象にするためには、可能な限り高時間分解能なデータセットが要求される。

表 1 最終的に PMF 解析に用いた成分とその分類

NO.	Species	Slope		r ²	分類
		0.84	0.92		
1	cis-2-pentene	0.93	0.98	0.98	Strong
2	trans-2-pentene	0.99	0.98	0.98	Strong
3	isopentane	0.83	0.97	0.97	Strong
4	ethyl benzene	1.01	0.97	0.97	Strong
5	o-xylene	0.97	0.97	0.97	Strong
6	m,p-xylene	1.00	0.97	0.97	Strong
7	methyl cyclopentane	0.98	0.97	0.97	Strong
8	2-methyl pentane	0.92	0.96	0.96	Strong
9	2,3-dimethyl butane	0.84	0.96	0.96	Strong
10	m-diethyl benzene	0.93	0.95	0.95	Strong
11	1,2,3-trimethyl benzene	0.98	0.95	0.95	Strong
12	1-pentene	1.09	0.95	0.95	Strong
13	cis-2-butene	0.91	0.95	0.95	Strong
14	3-methyl hexane	0.91	0.95	0.95	Strong
15	2,3,4-trimethyl pentane	0.90	0.94	0.94	Strong
16	p-diethyl benzene	0.96	0.94	0.94	Strong
17	n-pentane	0.95	0.94	0.94	Strong
18	3-methyl heptane	0.91	0.93	0.93	Strong
19	o-ethyl toluene	0.91	0.93	0.93	Strong
20	trans-2-butene	0.80	0.93	0.93	Strong
21	2-methyl-1-pentene	1.03	0.93	0.93	Strong
22	1,2-dichloroethane	0.84	0.92	0.92	Strong
23	n-propyl benzene	0.90	0.92	0.92	Strong
24	2,2-dimethyl butane	1.00	0.92	0.92	Strong
25	1,3,5-trimethyl benzene	0.86	0.91	0.91	Strong
26	1,2,4-trimethyl benzene	0.83	0.91	0.91	Strong
27	m-ethyl toluene	0.90	0.91	0.91	Strong
28	2-methyl hexane	0.82	0.91	0.91	Strong
29	2,2,4-trimethyl pentane	0.67	0.90	0.90	Strong
30	1,2-dichloropropane	0.71	0.90	0.90	Strong
31	n-octane	0.80	0.90	0.90	Strong
32	p-ethyl toluene	0.80	0.89	0.89	Strong
33	n-undecane	0.83	0.88	0.88	Strong
34	2,3-dimethyl pentane	0.75	0.88	0.88	Strong
35	2-methyl heptane	0.86	0.87	0.87	Strong
36	beta-pinene	0.69	0.86	0.86	Strong
37	3-methyl pentane	0.79	0.85	0.85	Strong
38	n-decane	0.70	0.77	0.77	Strong
39	n-butane	0.42	0.74	0.74	Weak
40	n-heptane	0.67	0.72	0.72	Weak
41	n-nonane	0.55	0.67	0.67	Weak
42	1,1-dichloroethane	0.55	0.65	0.65	Weak
43	acrylonitrile	0.62	0.63	0.63	Weak
44	chloroform	0.94	0.62	0.62	Weak
45	alpha-pinene	0.40	0.62	0.62	Weak
46	isobutane	0.28	0.61	0.61	Weak
47	1,3-butadiene	0.59	0.58	0.58	Weak
48	2,4-dimethyl pentane	0.59	0.58	0.58	Weak
49	toluene	0.48	0.57	0.57	Weak
50	p-dichlorobenzene	0.31	0.57	0.57	Weak
51	benzene	0.70	0.56	0.56	Weak
52	cyclohexane	0.32	0.55	0.55	Weak
53	1,1,2-trichloroethane	0.27	0.54	0.54	Weak
54	monochlorobenzene	0.33	0.54	0.54	Weak
55	isopropyl benzene	0.55	0.53	0.53	Weak
56	methyl chloride	1.94	0.48	0.48	Weak
57	methyl cyclohexane	0.21	0.47	0.47	Weak
58	ethyl chloride	0.30	0.31	0.31	Weak
59	trichloroethylene	0.13	0.29	0.29	Weak
60	trans-1,3-dichloropropene	0.13	0.29	0.29	Weak

3 結果及び考察

3・1 PMF解析の使用データ

計算にはVOCを測定した1072件のデータを用い、検出下限値(LOD)未満のデータはLODの1/2値で置き換えた。なお、データ全体の不確実性を検討した結果、最適であった15%を用いた。

解析に使用する成分は、実測値とPMFで計算された予測値との関係式の決定係数(r²)が0.25以上のものとし、0.25未満であった24成分の分類をBadとした(PMFでは、Badに分類されると解析から除外される)。また、0.25以上であったstyrene、1-buteneの2成分については別報³⁾で示したとおり、限られた期間に特異的に高濃度に検出されたものと判断しBadに置き換え、全体の解析精度を高めた。決定係数(r²)が0.75未満であった22成分については分類をWeakとした(PMFでは、Weakに分類されると不確実性が3倍となり、解析結果への寄与度が下がる)。表1に最終的にPMF解析に用いた成分とその分類を示す。

3・2 因子数の決定

因子(以下、Factorという。)数を6~10と仮定してFactor数を変化させながらPMFの基本実行を100回計算させたものを図1に示す。PMFでは、全データで計算されるQ(True)と外れ値を除外して計算されるQ(Robust)の分散が小さく、2つのQ値が次式で算出されるQの理論値Q(Theory)に近く、さらに各Q値の相対標準偏差(RSD)がより小さくなるFactor数が最適とされる⁴⁾。図1より、Factor=9と決定し以後の解析に用いた。

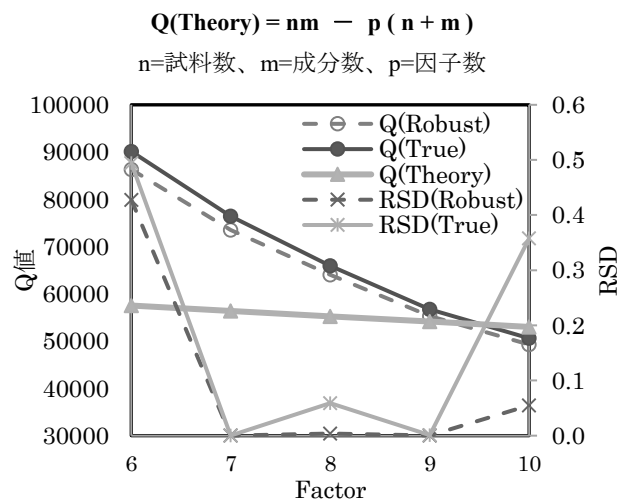


図 1 最適な Factor の検証結果

3・3 統計的妥当性の検証

PMF解析には、その解析結果の妥当性を判断するために、いくつかの評価方法が組み込まれている。本調査では、Bootstrap(BS)及びDisplacement(DISP)を用いた。BS解析結果を表2に示す。表2より、基本実行の各Factorと

BSの各Factorとの一致が80%以上あること、Unmappedに検出されないことから、Factorの数が適切であると判断できた。また、DISPにおいても解の安定を確認した。

表2 Bootstrapの結果

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	Unmapped
Boot Factor 1	97	0	0	0	2	0	0	0	1	0
Boot Factor 2	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0
Boot Factor 3	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0
Boot Factor 4	1	0	0	96	0	0	0	0	3	0
Boot Factor 5	6	0	0	0	94	0	0	0	0	0
Boot Factor 6	2	0	0	0	0	98	0	0	0	0
Boot Factor 7	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0
Boot Factor 8	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0
Boot Factor 9	0	0	0	1	0	0	0	0	99	0

3・4 Factorの割り当て

PMF解析で得られた各Factorの主要なプロファイルを表3に示す。表3では各成分が各Factorに何%ずつ割り当てられているかを示しており、その寄与度から以下のように発生源を推定した。

表3 各Factorの主要なプロファイル

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9
isobutane	33	0	3	2	17	4	16	2	21
n-butane	36	2	3	0	16	4	19	3	18
isopentane	35	2	2	0	9	4	41	6	0
n-pentane	38	2	7	4	10	3	25	5	7
alpha-pinene	0	75	0	4	5	0	3	0	14
beta-pinene	0	74	0	4	16	1	3	3	0
1,1-dichloroethane	0	0	79	8	7	0	0	0	6
1,2-dichloroethane	10	2	82	2	3	0	0	0	0
1,2-dichloropropane	0	2	83	0	6	1	0	4	4
1,1,2-trichloroethane	12	9	79	0	0	0	0	0	0
monochlorobenzene	8	4	69	6	8	0	1	4	1
n-decane	18	1	4	44	10	1	1	16	5
n-undecane	22	3	5	56	0	0	2	12	1
1,3,5-trimethyl benzene	2	3	0	42	9	2	2	6	34
1,2,4-trimethyl benzene	4	1	1	41	10	1	2	11	29
m-ethyl toluene	7	1	2	41	7	1	1	9	31
o-ethyl toluene	10	2	2	40	8	1	1	11	25
1,2,3-trimethyl benzene	4	0	2	44	7	2	1	8	32
2-methyl-1-pentene	13	7	5	0	46	0	16	4	9
acrylonitrile	19	0	12	2	67	0	0	0	0
methyl cyclopentane	0	5	0	0	21	71	3	0	0
cyclohexane	8	0	3	1	15	39	0	24	9
methyl cyclohexane	5	0	2	5	11	33	0	27	16
trans-2-butene	1	0	1	3	0	0	74	4	17
cis-2-butene	2	0	0	3	20	1	70	4	0
toluene	9	1	7	11	11	10	0	35	14
ethyl benzene	3	5	8	9	9	0	4	61	0
mp-xylene	0	3	6	12	13	2	3	39	23
2,3,4-trimethyl pentane	25	6	0	1	6	1	9	8	45
2-methyl heptane	25	10	0	0	0	3	6	10	46
1,3-butadiene	7	4	4	12	11	0	1	0	62

Factor1 : 低沸点燃料成分⁵⁾ (isobutane、n-butane、isopentane、n-pentane)

Factor2 : 植物起源成分⁶⁾ (alpha-pinene、beta-pinene)

Factor3 : 移流成分⁷⁾ (1,2-dichloroethane)

Factor4 : 高沸点燃料成分⁵⁾ (1,2,3-trimethylbenzene、m-ethyl toluene、1,2,4-trimethyl benzene)

Factor5 : 樹脂成分⁸⁾ (acrylonitrile、2-methyl-1-pentene)

Factor6 : 溶剤成分⁹⁾ (cyclohexane、methyl cyclopentane、

methyl cyclohexane)

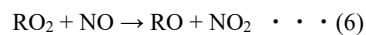
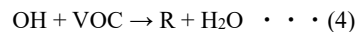
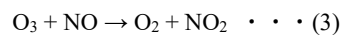
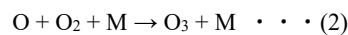
Factor7 : 液化石油ガス成分¹⁰⁾ (trans-2-butene、cis-2-butene)

Factor8 : 塗料成分¹¹⁾ (ethyl benzene、m,p-xylene、toluene)

Factor9 : 自動車排ガス成分¹²⁾ (1,3-butadiene)

3・5 常時監視項目等と各Factorとの関係

PMF解析で得られた各Factorについて、常時監視項目等との相関を表4に示す。Oxは紫外線と正の相関(0.50)、NO₂及び各種VOCと弱い負の相関があることが認められたが、これは下記(1)~(6)式の反応によると推測された¹³⁾。



hν : 光量子
M : 反応の第三体

Oxの生成と分解は清浄な大気状態では(1)~(3)式の通り平衡状態にあるが、VOCの存在下では(4)~(5)式の通りOHラジカルによる光化学反応を受け、RO₂ラジカルを生成する。生成したRO₂ラジカルは(6)式のようにNOと反応し、これは(3)式の反応と競合するため、結果Oxの高濃度化に寄与する。

ここで、Ox、PM_{2.5}、NO₂と各Factorの時刻別の濃度を図2に示す。朝の通勤時間帯に上昇したNO₂及び自動車排ガス成分(F9)は日中、上記反応により消費されOxを生成していることが示唆された。Oxと負の相関(-0.52)が最も大きい(F9)はNO₂と相関(0.65)が高いことから、NO₂とともに自動車から排出され、Oxの生成に強く寄与していることが示唆された。(F1-F2、F4-F7)も日中に光化学反応により消失し、Oxの生成に寄与していると推測された。一方、塗料成分(F8)は日中に濃度が上昇したが、これは気温上昇による揮散量の増加によると推測された。移流成分(F3)については、唯一Oxと弱い相関(0.37)があった。(F3)の主要成分は有機塩素系成分であり、これらは光化学反応性が低いためOx生成には関与はしないが移流成分としてOxと共に流入している可能性が示唆された。

PM_{2.5}に関しても (F3)と相関(0.40)があった。従来、移流成分の指標としては、1,2-dichloroethaneが有力な成分とされていたが⁷⁾、1,1-dichloroethane、1,2-dichloropropane、1,1,2-trichloroethane、monochlorobenzene等も移流成分の指標となり得る可能性が示唆された。

表 4 常時監視項目等と各 Factor との相関

r	Ox	PM _{2.5}	NOx	NO ₂	PO	紫外線	気温	湿度	風速	F 1	F 2	F 3	F 4	F 5	F 6	F 7	F 8	F 9	
Ox	1.00																		
PM _{2.5}	0.28	1.00																	
NOx	-0.42	0.09	1.00																
NO ₂	-0.37	0.13	0.95	1.00															
PO	0.93	0.35	-0.09	-0.01	1.00														
紫外線	0.50	0.12	-0.17	-0.22	0.43	1.00													
気温	0.39	0.21	-0.41	-0.43	0.25	0.45	1.00												
湿度	-0.60	-0.24	0.18	0.21	-0.56	-0.66	-0.36	1.00											
風速	0.45	-0.02	-0.31	-0.36	0.33	0.39	0.15	-0.39	1.00										
F 1	-0.19	0.25	0.25	0.24	-0.06	0.02	0.04	-0.02	-0.29	1.00									
F 2	-0.35	-0.07	-0.04	-0.09	-0.41	-0.04	0.42	0.23	-0.24	0.06	1.00								
F 3	0.37	0.40	-0.11	-0.09	0.35	0.06	0.08	-0.05	0.10	-0.08	-0.26	1.00							
F 4	-0.30	0.01	0.38	0.39	-0.14	-0.25	-0.11	0.26	-0.37	0.27	0.26	-0.11	1.00						
F 5	-0.16	-0.13	0.23	0.26	-0.09	-0.11	-0.03	0.21	-0.14	-0.04	0.25	-0.33	0.40	1.00					
F 6	-0.26	0.09	0.16	0.12	-0.27	-0.10	0.02	0.18	-0.13	0.05	0.24	0.01	0.13	0.19	1.00				
F 7	-0.16	-0.06	0.15	0.14	-0.11	-0.10	-0.05	0.11	-0.10	0.11	0.04	-0.11	0.12	0.10	0.20	1.00			
F 8	-0.10	0.13	0.36	0.34	0.03	0.00	-0.03	0.05	-0.09	0.28	0.06	-0.02	0.45	0.16	0.25	0.11	1.00		
F 9	-0.52	-0.08	0.72	0.65	-0.29	-0.30	-0.43	0.32	-0.37	0.38	0.08	-0.15	0.45	0.16	0.14	0.32	0.42	1.00	

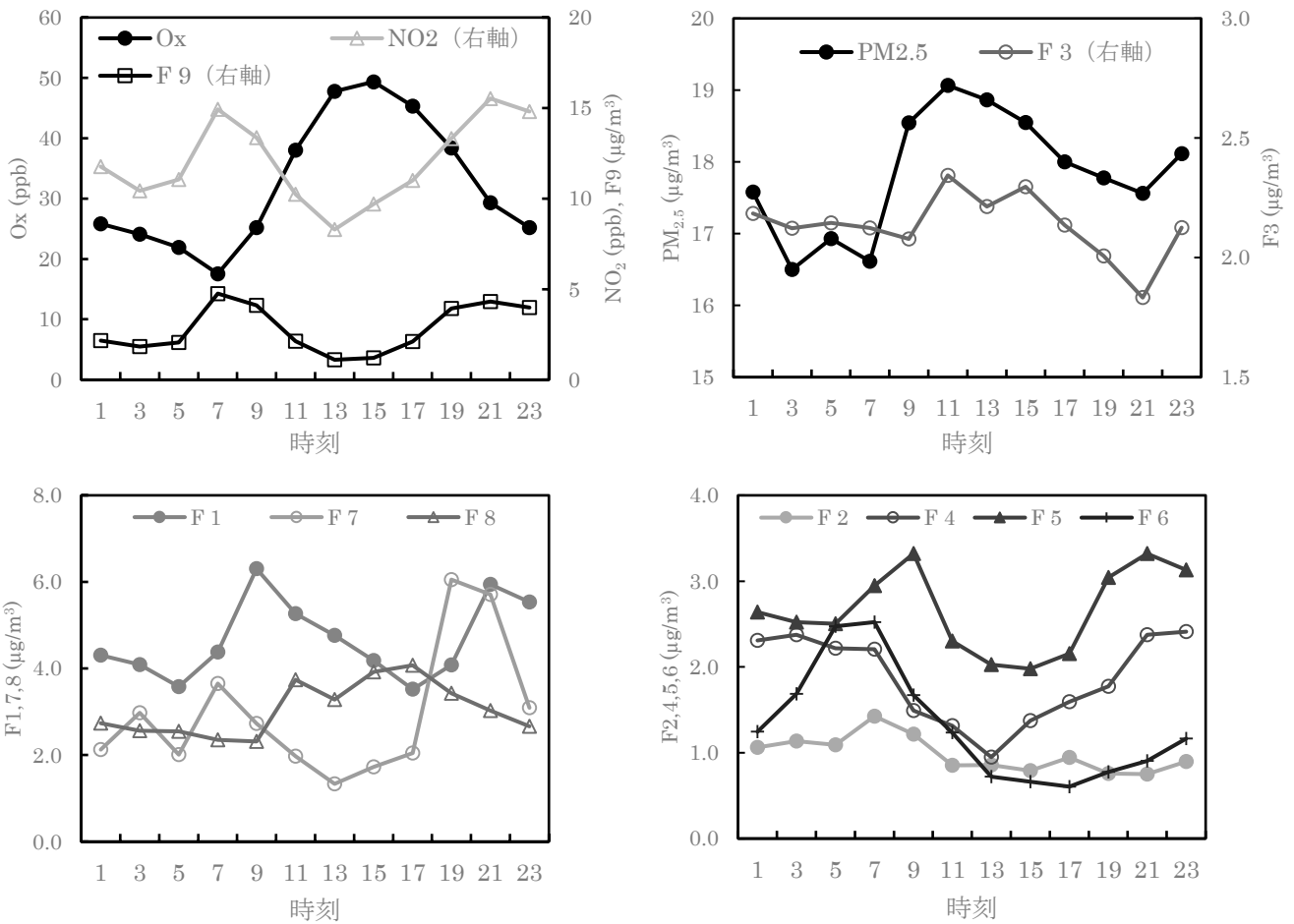


図 2 Ox、PM_{2.5}、NO₂ と各 Factor の時刻別の濃度

3・6 移流成分(F3)と後方流跡線

移流成分(F3)と気流の関係について、後方流跡線解析(起点：太宰府市、上空1000m)による評価を行った。図3は15時採取の検体(n=91)のうち(F3)の寄与推定濃度の高い上位15検体分の後方流跡線(3日間)を描いたもので、図4は下位15検体分の後方流跡線(3日間)を描いたものである。

本研究では国立環境研究所地球環境研究センターが開発

したMETEX(Meteorological Data Explorer)を用いて計算・描写を行った¹⁴⁾。

図3に示すように、(F3)の寄与が高い場合は、後方流跡線は主に大陸方面を示しているが、これは(F3)の主要成分である有機塩素系化合物は反応性が低いため、消失せずに長距離輸送されていると推測される。図4では、大陸方面からの流跡はあまり見られなかった。

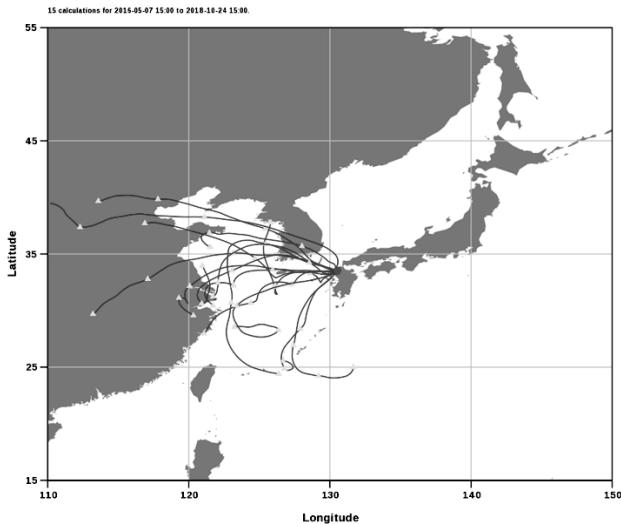


図3 (F3)の上位15検体分の後方流跡線(3日間)

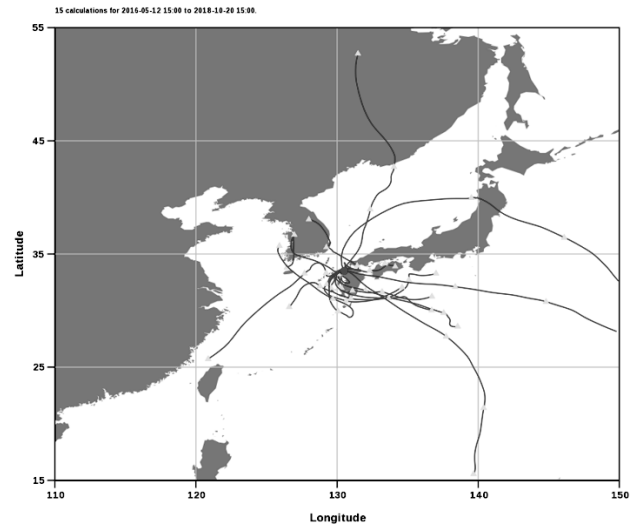


図4 (F3)の下位15検体分の後方流跡線(3日間)

3・7 移流成分(F3)を用いたOx高濃度事例の考察

福岡県では、Ox濃度が100ppbに接近した時点で、①県内の深夜・早朝(21時~5時)のOx濃度範囲、②離島(壱岐・対馬・五島)のOx濃度範囲、③後方流跡線の方位の3条件を基に、高濃度Oxの原因が大陸からの移流かどうか判断する。さらに、Ox濃度が120ppbを超過しさらなる悪化の恐れがある場合は注意報を発令する。この時、高濃度Oxの発生原因が大陸からの移流と判断され、県内の主要ばい煙排出者に操業抑制要請を行ったとしても、Ox削減効果は限定的なものとなる。越境大気汚染の影響を強く受ける本県では、国境を越えた対策が必要であり、他国に対策を促す際、

多岐側面からの確度の高い移流判断が重要となる。そこで今回、移流成分(F3)に着目した。

本調査期間の15時時点においてOx濃度が高かった上位15検体について、現状の移流の判断基準に沿って行った解析結果を表5に示す。その結果、移流と判断されたのはNO.1とNO.8のみであった。しかしながら、後方流跡線の方向や移流成分濃度範囲から考えると、移流の影響によりOx濃度が上昇したと思われるケースもみられた。

今後、Ox濃度が100ppbを超過するような状況でVOC調査を行い、(F3)の挙動を明確にできれば、(F3)を新たな移流の判断基準として活用することも可能と思われる。

表5 現状の移流の判断基準に沿った解析結果

NO.	日時	判定項目1	判定項目2	判定項目3	15時時点					現状の移流判断
		県内の深夜、早朝(21時~5時)のOx濃度が70ppb以上を県内3カ所以上で観測	離島(壱岐、対馬、五島)のOx濃度がいずれかで90ppb以上を観測	後方流跡線の方位が概ね大連から上海(北北西~西南西)	Ox (ppb)	PM _{2.5} (μg/m ³)	F3 (μg/m ³)	紫外線 (mW/cm ²)	湿度 (%)	
1	2017.5.30	○	○	○	91	29	4.5	0.8	30	○
2	2017.5.29	×	○	○	89	23	5.6	0.9	17	×
3	2018.5.15	×	×	○	87	35	6.1	0.7	24	×
4	2018.6.3	○	×	×	83	35	2.0	0.6	41	×
5	2018.5.14	×	×	○	81	28	9.2	0.8	32	×
6	2017.5.1	○	×	○	73	31	6.6	0.5	57	×
7	2017.5.31	○	×	×	70	33	2.7	0.3	37	×
8	2017.5.8	○	○	○	69	50	3.0	0.5	19	○
9	2016.5.7	×	×	○	68	38	7.6	1.1	52	×
10	2017.9.20	×	×	○	67	38	9.0	0.5	42	×
11	2017.7.21	×	×	○	67	29	5.1	0.9	48	×
12	2017.5.2	×	×	○	67	30	3.1	0.9	33	×
13	2017.5.7	×	×	○	67	33	1.9	1.3	8	×
14	2016.5.13	×	×	×	65	14	0.6	0.9	33	×
15	2018.7.19	×	×	×	65	44	0.3	0.8	38	×
平均(n=91)					48	19	2.1	0.8	42	

4 まとめ

本調査では、VOCを2時間毎という高時間分解能で測定し、最終的に1072検体・60成分のデータセットを用いてPMF解析を行い、以下の知見を得た。

- ① VOCの発生源を低沸点燃料成分、植物起源成分、移流成分、高沸点燃料成分、樹脂成分、溶剤成分、液化石油ガス成分、塗料成分、自動車排ガス成分の9つに分類することができた。
- ② 朝の通勤時間帯に上昇した自動車排ガス成分は、日中に消費されOxの生成に強く寄与していることが示唆された。
- ③ Ox及びPM_{2.5}は移流成分と共に流入していることが示唆された。また、移流成分の指標としては、1,2-dichloroethaneが有力な成分とされていたが、1,1-dichloroethane、1,2-dichloropropane、1,1,2-trichloroethane、monochlorobenzene等も移流成分の指標となり得ることが示唆された。
- ④ 移流成分の挙動が移流の判断基準に追加できる可能性が示唆された。

- 1) 福岡県：環境白書平成30年版，134.
- 2) 大原利眞：大気環境学会誌，52(3)，A67-A71，2017.
- 3) 梶原佑介ら：福岡県保健環境研究所年報，第45号，178-181，2018.
- 4) 船坂大ら：大阪市立環境科学研究所報告，第77集，65-70，2015.
- 5) 横田久司ら：大気環境学会誌，47(5)，231-239，2012.
- 6) 平澤幸代，北野隆一，齋藤義弘：京都府保健環境研究所年報，第62号，36-41，2017.
- 7) 村岡俊彦ら：大気環境学会誌，49(4)，187-197，2014.
- 8) 吉門洋ら：大気環境学会誌，41(3)，164-174，2006.
- 9) 市原真紀子，東條俊樹：大阪市立環境科学研究所報告，第77集，49-54，2015.
- 10) 吉海俊彦：燃料協会誌，第41巻，第428号，955-967，1962.
- 11) 水越厚史ら：東京都立産業技術研究センター研究報告，第4号，8-11，2009.
- 12) 山本暁人ら：京都市衛生公害研究所年報，第73号，2006.
- 13) 中谷郁夫，竹田一彦，佐久川弘：People & Environment，43(1)，2017.
- 14) 国立環境研究所地球環境研究センター：METEX，<http://db.cger.nies.go.jp/metex/web-metex.jp.html> (2019/2/8 アクセス)

文献

(英文要旨)

Analysis of source contribution of volatile organic compounds to photochemical oxidants and fine particulate matter

**Yusuke KAJIHARA, Hisao CHIKARA, Yoshiteru BABA, Yuki YAMAMURA
Shuhei NAKAGAWA and Kengo HAMAMURA**

*Fukuoka Institute of Health and Environmental Sciences,
Mukaizano 39, Dazaifu, Fukuoka 818-0135, Japan*

To obtain a true value of the contribution of volatile organic compounds (VOC) to photochemical oxidants (Ox) and fine particulate matter (PM_{2.5}), we conducted serial analysis of VOC during 2016–2018 and source apportionment. The generation sources of VOC were divided into nine types, including the potential contribution to Ox by VOC from vehicle emissions. VOC such as 1,2-dichloroethane were detectable in ambient air together with Ox and PM_{2.5}. This indicates a potential mechanism of transboundary air pollution by VOC.

[Key words ; VOC , Ox , PM_{2.5} , PMF , transboundary air pollution]