

22. 住民の健康被害防止に向けた光化学オキシダント生成能力の高い地域の推定

○花田 拓也 (大阪市立環境科学研究所)

【研究目的】

本研究では光化学オキシダント（以下、「O_x」とする。）の発生による住民の健康被害を防止することを目的とし、市内の大気のO_x生成能力に関する調査を行った。特に、O_x生成能力の高い大気が発生する地域を推定することにより、潜在的に健康被害のリスクが高い地域に関する知見を得ることを目指した。こうした知見は、今後のオゾン削減に向けた効果的な対策につながり、住民の健康被害防止に資するものと期待される。

【研究の必要性】

O_xの主成分であるオゾン（以下、「O₃」とする。）は、その前駆物質である窒素酸化物（以下、「NO_x」とする。）や揮発性有機化合物（以下、「VOC」とする。）が太陽からの紫外線を受けて生成する。NO_xやVOCの排出源は主に工場や自動車であり、これらについては各種法令に基づく排出規制により削減効果が現れてきているものの、O_xについては減少傾向がみられておらず、環境基準達成率は依然として極めて低い状況が続いている。

O_xは人体に対して有害であり、呼吸器などへ影響を与えることが知られている。これまでにも国内において大気中のO_xを原因とする喉の痛みや目の痛みなどの健康被害が発生している。特に大阪市のような都市部においてはNO_xやVOCの排出源が多いため、過去に大阪市でO_xの環境基準を達成した測定局は一つもなく、O_xの削減は大阪市の大気環境における喫緊の課題となっている。

O_xについては数多くの研究が進められてきたものの、前駆物質の組成によって生成量が大きく異なることや、これまでに把握されていない原因物質の存在が指摘されていることなどから、O_xの発生源の把握は困難であり、効果的な対策につながっていない。

こうした中、大阪公立大学において「オゾン生成速度測定装置」が開発された。本装置は人工光源を用いることで、前駆物質の組成や未知の原因物質の存在によらず、実大気が持つオゾンの生成能力を直接測定することが可能である。当センターでは大阪公立大学との連携により本装置が利用可能となっている。本装置を長期運用し、得られたオゾンのデータを解析することでO_x生成能力の高い大気が存在する地域の推定につながる情報が得られる。こうした地域を特定し対策を行うことは、O_xを効果的に削減していくうえで大変重要であり、地域住民の健康被害防止に資するものであると考える。

【研究計画】

本研究では、紫外光を透過する反応容器（石英製）と、紫外光を透過しない参照容器（UV カット処理を施した Pyrex 製）からなる装置を用いて観測を行った¹⁾（図1）。

装置内部に大気を導入し、人工光源を両容器に同時に照射することで、反応容器内では外気とほぼ同様に光化学反応が進行しオゾンが生成する。一方、参照容器内では紫外光が遮断されているため、オゾンの光化学生産は起こらない。

両容器を通過した大気に一酸化窒素（NO）を添加してオゾンを二酸化窒素（NO₂）に変換し、オゾンと NO₂の合計濃度、すなわちポテンシャルオゾン（PO）濃度を測定した。反応容器と参照容器における NO₂濃度の差が O₃生成量に相当する。O₃生成量が大きいほど、その大気は高い O_x生成能力をもつと考えられる。

本装置による測定は各季節ごとに約 1 か月間実施した。得られた O_x生成能力のデータと風向のデータをもとに CPF 解析を行い、測定地点周辺において O_x生成能力の高い大気がどの方向から到来したかを推定した。さらに後方流跡線解析と組み合わせた PSCF 解析により、気塊の輸送経路や通過時間をもとに、より広域的な O_x生成能力の起源について考察した。

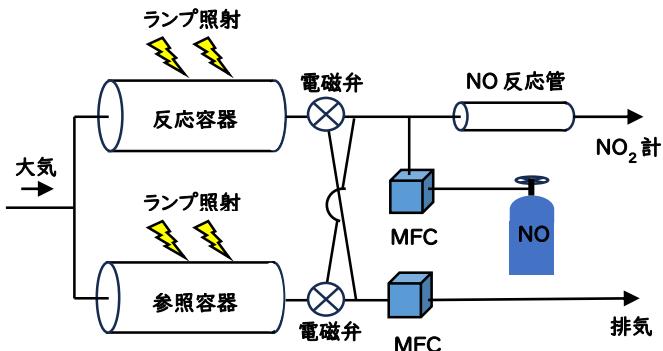


図 1 装置概要

【実施内容】

測定装置	：オゾン生成速度測定装置（大阪公立大学開発）
測定地点	：大阪市立環境科学研究センター（大阪市東成区中道 1-3-3）
測定期間	：2024 年 1 月～2 月（2024 年冬）、2024 年 5 月～6 月（2024 年春）、 2024 年 8 月～9 月（2024 年夏）、2024 年 11 月（2024 年秋）、 2025 年 2 月～3 月（2024 年冬）、2025 年 5 月～6 月（2024 年春）
その他データ	：国設大阪測定局 風向風速データ ²⁾ 米国海洋気象庁（NOAA）気象データ
解析手法	：PO データの時系列解析、風向・風速を用いた CPF 解析、NOAA 気象データを用いた PSCF 解析

後方流跡線解析には NOAA が公開している大気輸送モデル HYSPLIT³⁾（Version 5.3.0）を利用した。これらの解析は解析ソフト R (version 4.5.0) 上で行い、結果を図示した。

【結果】

O_x生成能力の日内変動を確認するため、各測定日の同時刻の測定値平均をプロットした。例として、2024 年春季および夏季の結果を図 2 および図 3 に示す。全季節で夜間から明け方にかけて O_x生成能力が高くなりやすい傾向が認められた。また、一部の季節では 18 時

前後に急激な高値が観測された。夜間から明け方の増加は、気温低下や大気循環抑制による NO_x・VOC の滞留が要因と考えられ、17 時前後のピークは通勤時間帯の交通量増加が影響していると推測される。

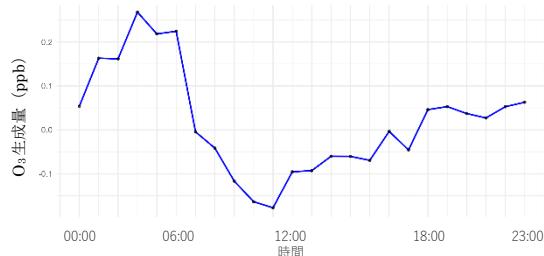


図 2 2024 年春 日内変動

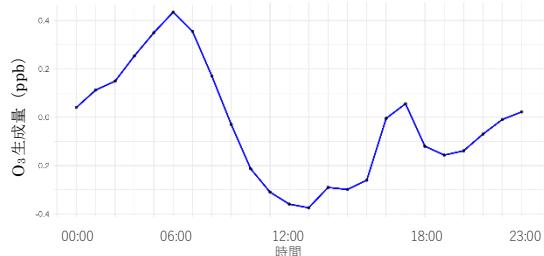


図 3 2024 年夏 日内変動

○CPF 解析（局所的発生源の推定）

観測地点周辺の O_x 生成能力が高い地域を推定するため、CPF（条件付き確率関数）解析を実施した。CPF 解析では、O_x 生成能力が一定値を超えた際の風向・風速を集計し、どの方向・どの風速で O_x 生成能力が高くなりやすいかを確率として示す解析である。

本研究では、O_x 生成能力の上位 25% に対応する風向・風速を解析した。解析した結果を図 4 から図 7 に示す。地図については Google Map から引用した。これらの結果から、比較的風速が小さい場合に O_x の生成能力が高くなりやすいことが示された。測定地点西側・北側には交通量の多い道路があることから、交通起源の NO_x が O_x 生成能力に寄与していると考えられる。また、春・夏季では北西風でも高濃度が観測され、北西方向の交差点・大阪城公園付近からの風が O_x 生成能力の増大に影響している可能性が示唆された。

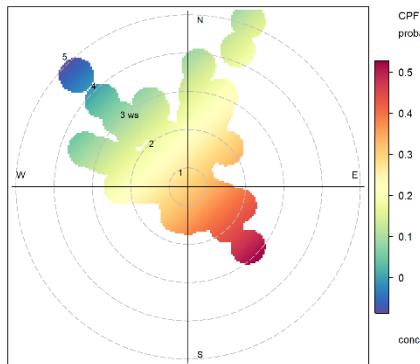


図 4 2024 年春 CPF 解析図



図 5 排出源方向の推定

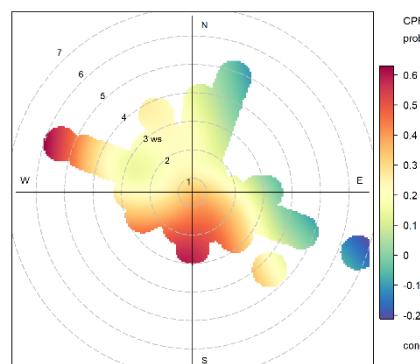


図 6 2024 年夏 CPF 解析図



図 7 排出源方向の推定

○PSCF 解析（広域的発生源の推定）

より広域の影響を評価するため、PSCF（潜在的発生源寄与関数）解析を行った。PSCF 解析では、測定地点に到達する気塊の経路（後方流跡線）を計算し、通過経路をグリッドに区切る。各グリッドで、通過回数（全通過数）と 0x 生成能力の増大に寄与した回数（生成能力の高い大気の通過数）を集計し、PSCF 値を算出する。値が大きいほど、そのグリッドが 0x 生成能力の高い大気の由来に寄与する可能性が高いことを示す。

$$PSCF = \frac{\text{高生成能力大気の通過回数}}{\text{全通過回数}}$$

本解析では、観測時間を起点として 72 時間前までの後方流跡線を解析した。結果の例を図 8 から図 11 に示す。

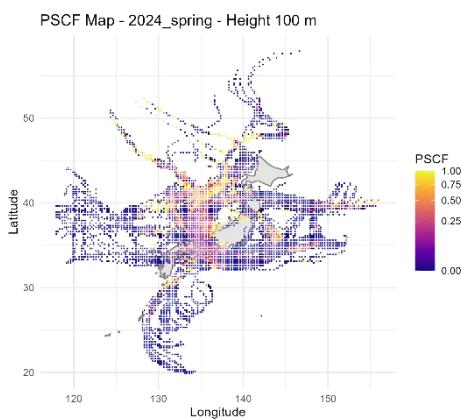


図 8 2024 年春 PSCF 解析図(日本)

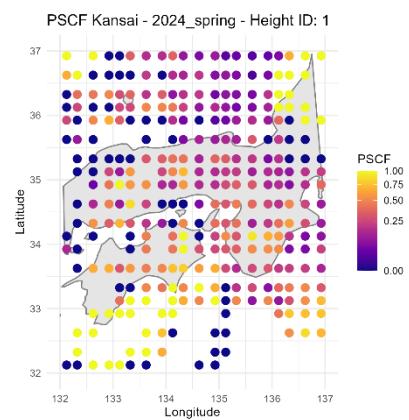


図 9 2024 年春 PSCF 解析図(関西)

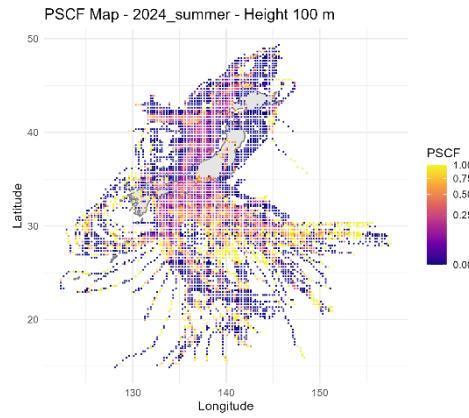


図 10 2024 年夏 PSCF 解析図 (日本)

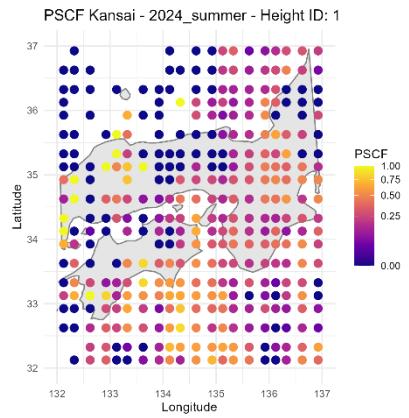


図 11 2024 年夏 PSCF 解析図 (関西)

PSCF 解析図では、グリッドの寄与が大きい順に黄、赤、紫、青のように色を変化させて示した。春季では、日本海や大陸付近に黄色いグリッドが比較的多く、大陸由来の大気が 0x 生成能力に寄与している可能性が示唆された。これは、春季に大陸からの季節風によって長距離輸送される大気汚染物質が大阪の 0x 生成に寄与している可能性が考えられる。

一方、夏季では太平洋上に寄与の高いグリッドが観測され、関西地域に焦点を当てた解析図では太平洋側に加えて西側の地域にも寄与の大きい地点が示された。これは、夏季に海洋性の風や局所的な対流活動が活発になることにより、海洋から運ばれる大気や西側の都市

圈由来の大気が 0_x 生成能力に影響を与える可能性を示唆している。

【考察と今後の課題】

本研究では、オゾン生成速度測定装置を用いて大阪市における 0_x 生成能力を季節ごとに観測し、その日内変動や発生源特性を解析した。全季節で夜間から明け方にかけて 0_x 生成能力が高くなる傾向が認められ、一部の季節では夕方に急激な高値が現れることが分かった。これらの変動は、夜間の大気の滞留や通勤交通による NO_x ・VOC の供給が関与していると考えられる。CPF 解析の結果からは、風速の小さい条件下で 0_x 生成能力が高くなりやすく、測定地点周辺の道路交通が 0_x 生成能力に大きく寄与していることが示唆された。さらに、春・夏季には北西方向からの風でも高い生成能力が観測され、交差点や大阪城公園周辺からの影響が考えられた。PSCF 解析では、春季に大陸・日本海由来、夏季に太平洋および西側地域由来の寄与が高いことが明らかとなり、長距離輸送および局地的発生源の双方が 0_x 生成能力に影響している可能性が示された。

これらの結果から、大阪市における 0_x 生成能力は局地的な交通起源排出だけでなく、広域的な輸送の影響も受けることが明らかとなった。今後は、VOC の詳細成分分析や気象条件との統合解析を行い、より定量的な寄与評価を進める必要がある。

【参考文献】

- 1) Y. Sadanaga, S. Kawasaki, Y. Tanaka, Y. Kajii, H. Bandow, *Environ. Sci. Technol.* 2017, 51, 2871.
- 2) 大阪府の大気情報（ダウンロード）<https://taiki.kankyo.pref.osaka.jp/download/>
- 3) A. F. Stein, R. R. Draxler, G. D. Rolph, B. J. B. Stunder, M. D. Cohen, and F. Ngan, (2015). NOAA's HYSPLIT atmospheric transport and dispersion modeling system, *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 96, 2059-2077

【経費使途明細】

使 途	金 額
1. 校正用資材（マスフローコントローラー、チューブなど）	303,116 円
2. 校正用ガス	0 円
3. 交通費（現地調査）	0 円
4. その他消耗品等	0 円
合 計	303,116 円
大同生命厚生事業団助成金	300,000 円