

川崎市の光化学オキシダント高濃度現象解明にむけた海陸風日の解析について

Analysis of the day when the land-sea breeze circulation occurred to elucidate the high concentration phenomenon of photochemical oxidants in Kawasaki City

沼田 和也 NUMATA Kazuya
 山田 大介 YAMADA Daisuke

福永 顕規 FUKUNAGA Akinori
 中村 弘造 NAKAMURA Kouzou

要旨

川崎市の光化学オキシダント高濃度現象は、朝方は陸風で日中に海風に変化する海陸風循環が起こった日に生じやすい。海側に位置する大師の風向により海陸風日か否かを判定し、降雨の有無、気温、日射量、風速から、海陸風日の中で光化学オキシダントが高濃度になりやすい気象条件の日を抽出し、光化学オキシダントと非メタン炭化水素、二酸化窒素、一酸化窒素の経年変化を調査した。また、光化学オキシダントが高濃度になりやすい日における光化学オキシダント濃度と気象条件との相関を調べた。その結果、海風変化後の非メタン炭化水素、二酸化窒素及び朝方の一酸化窒素が光化学オキシダント高濃度現象に寄与していることが推察された。また、ある一定の気象条件下において、光化学オキシダント濃度は、日積算日射量との相関は見られず、日最高気温及び日平均風速と相関があることがわかった。

キーワード：光化学オキシダント、海陸風循環、非メタン炭化水素、二酸化窒素、一酸化窒素

Key words : photochemical oxidants, land-sea breeze circulation, non-methane hydrocarbon, Nitrogen dioxide, Nitric oxide

1 はじめに

本市において光化学オキシダント（以下、Ox）濃度の1時間値が120 ppb以上になる現象（以下、Ox高濃度現象）は、朝方は陸風（北系の風）であり、日中に海風（南系の風）へと変化する海陸風循環が起こった日（以下、海陸風日）に生じやすい。

Ox高濃度現象の解明にむけて、海陸風日かつOxが高濃度になりやすい気象条件が揃った日の常時監視データの傾向を把握することは非常に重要であるため、解析するうえでの海陸風日の気象条件を定義し、海陸風日か否かの判定作業を自動化した。

海陸風日と判定した日について、降雨量、気温、日射、風速のデータを用いて、Oxが高濃度になりやすい気象条件が揃った日（解析対象日）を抽出し、Ox高濃度日（市内の一般局9局（図1）のいずれかでOxの1時間値について120 ppb以上が観測された日）におけるOxと前駆物質である非メタン炭化水素（以下、NMHC）及び窒素酸化物（以下、NOx）との関係を調査した。

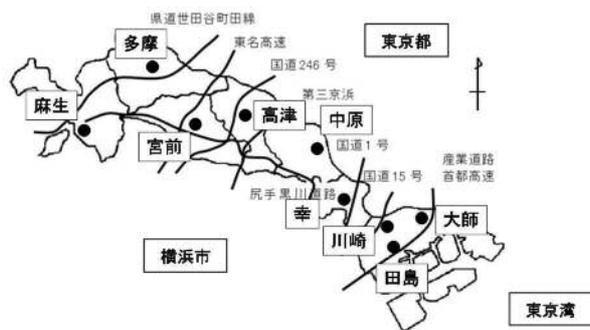


図1 川崎市内における一般局の位置

なお、Ox生成の原因物質とされているのは揮発性有機化合物（以下、VOC）とNOxであり、VOCの指標として一般局で測定しているNMHCを用いた。

本稿では、その調査結果について報告する。

2 調査方法

2.1 海陸風日判定方法

海陸風日の判定に必要となる①陸風及び海風の風向等の定義、②日中の時間の定義を変更可能としつつ、海陸風日の判定及び解析ができるExcelファイルを作成した。海陸風日か否かの判定は、表1の判定基準の判定1～3を全て満たすことを条件とした。なお、海陸風日か否かを判定するにあたっては、最も海に近い測定局である大師の風向を用いることとした。

本ファイルを用いて、2002～2019年度において光化学スモッグ注意報発令日（発令日）が可能な限り海陸風日と判定され、かつ、海陸風日と判定される全体の日数が極力少なくなるような風向条件を調べ、海陸風日の判定方法を決定した。

表1 海陸風日の判定基準

判定基準	
判定1	日中のX時～Y時において海風がA時間以上続くこと
判定2	判定1で真と判定された日について海風が継続し始めた時刻Z時よりも前に陸風がB時間以上続くこと
判定3	海風が継続し始めた時刻Z時がX時と同じ時刻であると判定された場合において、その直前の風向が海風でないこと

2.2 解析方法

海陸風日と判定した日について、降雨量を測定しており、かつ、大師の近くにある田島において日が昇り始めてから正午まで（6～12時）に降雨があった日を除いた（解析条件0）。その後、気温、日射量、風速によって、Oxが高濃度になりやすい気象条件の日を抽出した。具体的には、気温は9局の日最高気温の平均が30℃以上（解析条件1）、日射量は2局（幸、田島）の平均日積算日射量が10 MJ/m²以上（解析条件2）、風速は9局の日平均風速が3 m/s以下（解析条件3）をすべて満たす日を解析対象日として抽出した。ただし、解析条件2において2局とも欠測の日については、解析条件1及び解析条件3を満たす日を解析対象日とした。

解析対象日の日数、解析対象日における9局Ox高濃度の平均値及び大師のNMHC、二酸化窒素（以下、NO₂）、一酸化窒素（以下、NO）についての朝方（6時～9時）の平均値と海風変化後（陸風から海風へ変化した後の3時間）の平均値の経年変化を調査した。

3 結果と考察

3.1 海陸風日の判定

3.1.1 判定条件

発令日が可能な限り海陸風日と判定され、かつ、海陸風日と判定される全体的日数が極力少なくなるような風向条件は表2のとおりであった。

表2 海陸風日か否かを判定するための風向条件

項目	条件
海風の風向	南南西、南、南南東、南東、東南東
陸風の風向	東北東、北東、北北東、北、北北西、北西、西北西、西、西南西、CALM（風速0.4 m/s以下）
その他の風向	南西、東
海風継続時間	A：2時間
陸風継続時間	B：1時間
日中の時刻	X：6時～Y：19時

3.1.2 日数

表2の風向条件を用いて2002～2019年度の各日について海陸風日か否かの判定を行ったところ、海陸風日の日数の経年変化は図2のとおりであり、1年のうち約半分が海陸風日と判定されることがわかった。

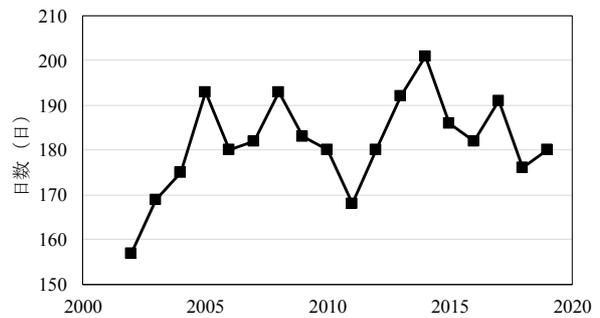


図2 海陸風日の日数の経年変化

3.2 解析対象日のOx、前駆物質

3.2.1 日数

解析対象日とOx高濃度日の日数の経年変化を図3に、各年度の各月における解析対象日の日数を図4に示す。図3より、年度あたりの解析対象日の日数は、20～40日前後で推移しており、解析対象日のうちの数日～十数日がOx高濃度日であった。また、図4より、解析対象日は8月が最も多く、次いで7月、9月の順であることがわかった。

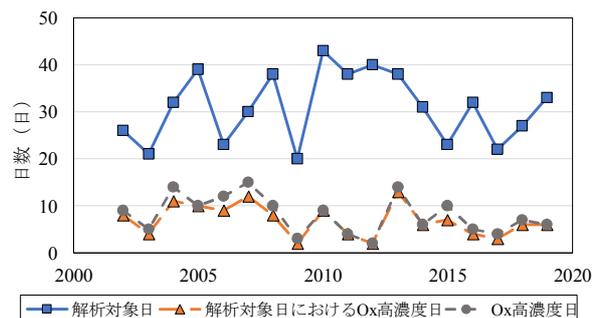


図3 解析対象日及びOx高濃度日の日数の経年変化

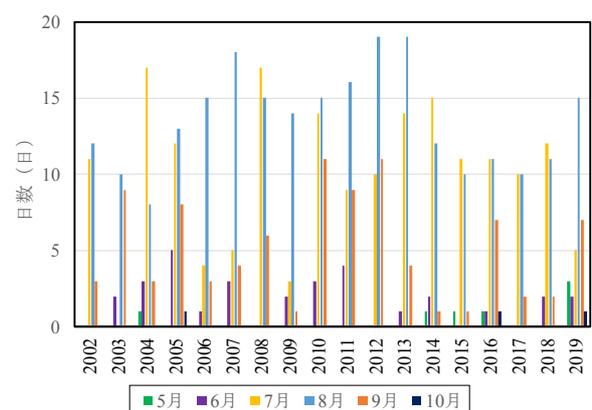


図4 各年度の各月における解析対象日の日数

3.2.2 海風変化時刻

解析対象日における海風変化時刻の頻度分布を図5に示す。また、それを3年ごとに区切った頻度分布図を図6に示す。

9時もしくは10時に海風に変化することが多く、特徴的な経年変化は見られなかった。

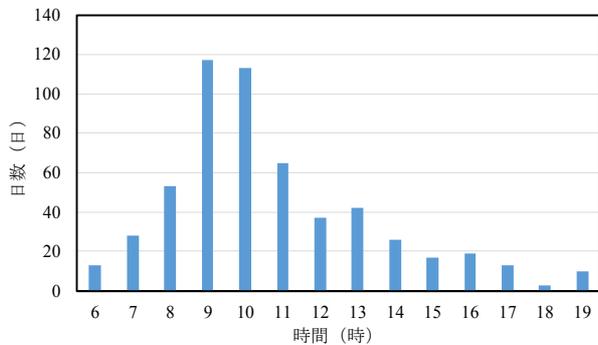


図5 解析対象日における海風変化時刻頻度分布

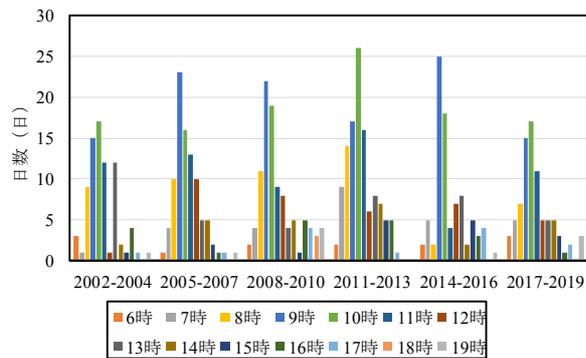


図6 解析対象日における海風変化時刻頻度分布（3年ごと）

3.2.3 O_x、NMHC、NO₂、NO

解析対象日における9局 O_x 最高濃度の年平均値の経年変化は図7のとおり70～110 ppb程度で推移しており、2006～2012年度は低下傾向であるが、2013年度に大幅に上昇し2013年度以降は低下傾向であった。

解析対象日の朝方と海風変化後における大師のNMHC濃度、NO₂濃度の経年変化は図8、図9のとおりであり、朝方と海風変化後の濃度はそれぞれ低下傾向であったことから、大師の海側に位置する臨海部の工業地帯からの排出量が減少していると考えられる。海風変化後と朝方のNO₂の濃度差はほとんど一定であり、NMHCの濃度差は2002～2010年度は概ね0.15～0.20 ppmC、2011年度以降は概ね0.10～0.15 ppmCとわずかに低下傾向であった。陸風に乗った朝方の空気塊が、光化学反応をせずに海風変化後の臨海部からの空気塊とともに流れてくると仮定すると、海風変化後と朝方の濃度差は臨海部由来であると考えられるため、海風変化後と朝方の濃度差の経年変化からも近年

のVOC排出対策効果を確認することができた。

解析対象日における大師の朝方 O_x 及び朝方と海風変化後のNO濃度の経年変化は図10のとおりであり、朝方と海風変化後のNO濃度はそれぞれ2013年度までは減少傾向で2013年度以降はほとんど一定であった。2013年度以降、朝方O_xが高い傾向にあることから2012年度までは、朝方滞留していたNOによってO_xが消費されていた(NOタイトレーション効果)が、2013年度以降はその効果が極めて小さくなった可能性があると考えられる。なお、朝方と海風変化後のNO濃度は、2002～2009年度までは差があったが、2010年度以降はほとんど一定であった。

2002、2006、2010、2014、2018年度における解析対象日について大師の9～12時のNMHCとNO_x及び中原以北(中原、高津、宮前、麻生、多摩)におけるO_x最高濃度の関係を図11～図15に示す。

図11～15より、NMHCとNO_xは相関があることがわかる。また、近年はNMHC、NO_xともに低下しているにも関わらず、O_x高濃度日は出現し続けていることが見て取れる。

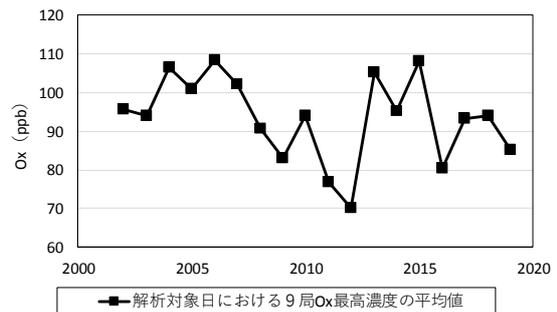


図7 解析対象日における9局O_x最高濃度の年平均値の経年変化

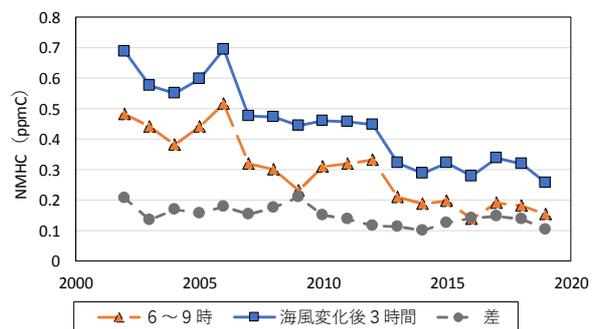


図8 解析対象日の朝方と海風変化後における大師のNMHC経年変化

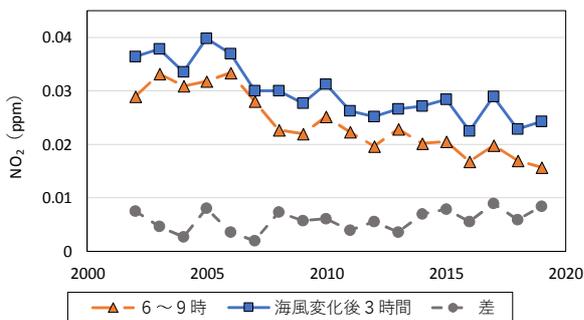


図9 解析対象日の朝方と海風変化後における大師のNO₂経年変化

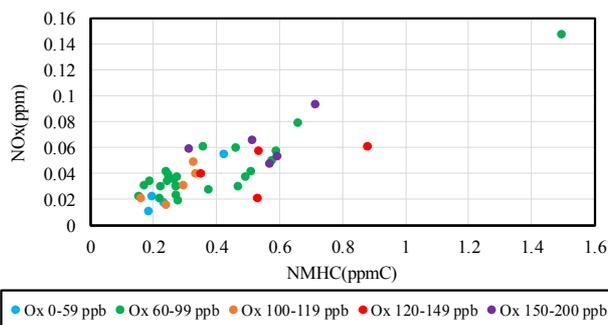


図13 2010年の解析対象日におけるNMHC、NO_x、Ox

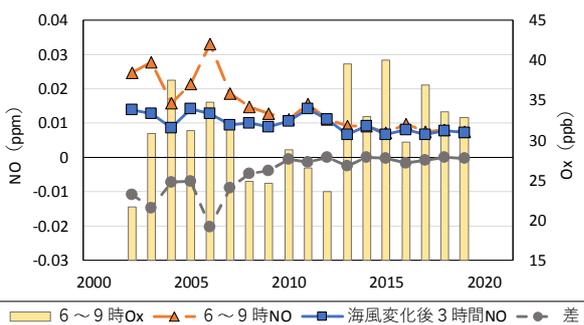


図10 解析対象日の朝方Ox及び朝方と海風変化後における大師のNO経年変化

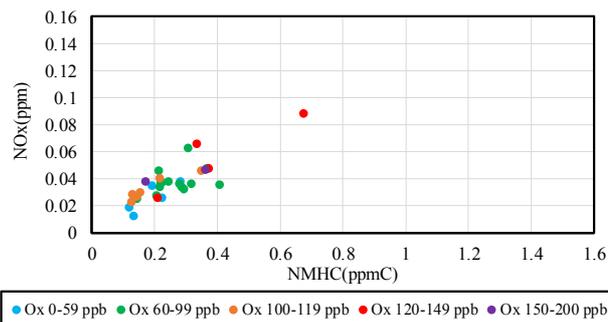


図14 2014年の解析対象日におけるNMHC、NO_x、Ox

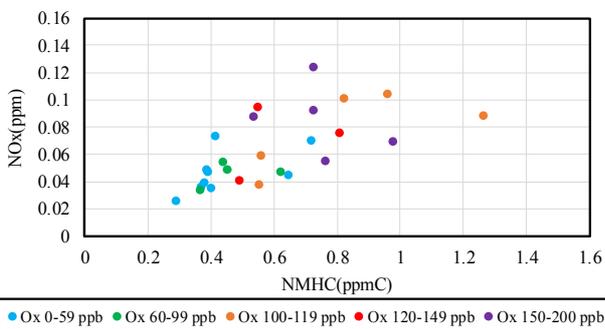


図11 2002年の解析対象日におけるNMHC、NO_x、Ox

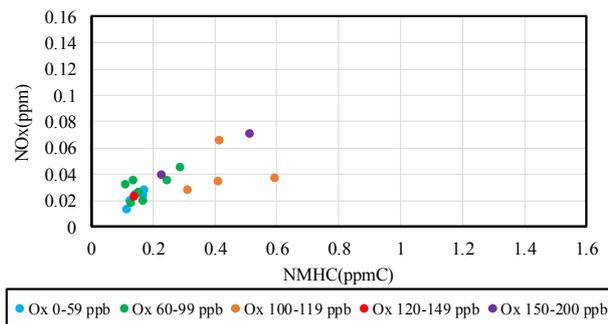


図15 2018年の解析対象日におけるNMHC、NO_x、Ox

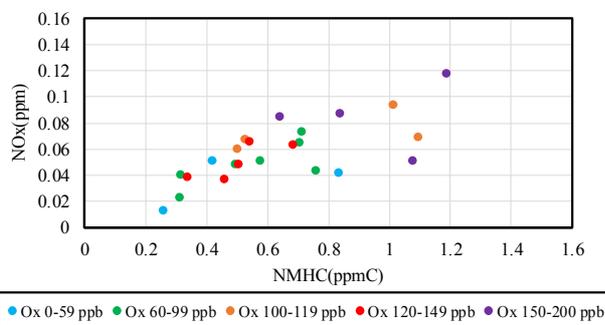


図12 2006年の解析対象日におけるNMHC、NO_x、Ox

3.2.4 2012年及び2015年以降の特徴

3.2.4.1 解析対象日の日数

図3より、2012年は、解析対象日の日数は多いが、Ox高濃度日は少ない年であった。2015年以降は、2010～2013年と比べると解析対象日の日数が少なく、Ox高濃度日は4～10日であった。

3.2.4.2 解析対象日におけるOx、前駆物質

図7より、解析対象日における市内最高Ox濃度の年平均値について、2012年は解析対象期間内で最も低かった。2015年以降については概ね低下傾向であり、2016年が他の年に比べて低濃度であった。

図8より、大師のNMHCについて、2012年は2007～2011年と同程度であり、2015年以降は2012年よりも低濃度で横ばいであった。その中で6～9時、海風変化後ともに最も低濃度となった年は、2016年であった。

図9より、大師のNO₂について、2012年は2015年度

以降と同程度であった。2015年以降はわずかに低下傾向であり、その中で6～9時、海風変化後ともに最も低濃度となった年は、2016年であった。

図10より、大師のNOについて、2012年は2015年以降と比べるとわずかに高く、2015年以降は横ばいであった。

2012年は、2002～2019年の中で解析対象日における市内Ox最高濃度が最も低い年であり、2015年以降と比べるとNMHCとNOが高かった。

3.2.5 解析対象日におけるOxと気象条件の相関

解析対象日における市内Ox最高濃度と気象条件(日最高気温、日平均風速、日積算日射量)との相関を調査した。その結果を図16～図21に示す。

市内Ox最高濃度と相関が高かったのは、日最高気温と日平均風速であり、日積算日射量とはほとんど相関が見られなかった。

2012年は2015年以降と比較すると、風速と日射量が低い傾向であり、Oxが高濃度になりにくい気象条件であるとは言えない結果となった。

近年、川崎市において、NOx及びVOCの排出量削減が進んできたが、気温は上昇傾向、風速は低下傾向にあるため、Ox濃度が高濃度になりやすい気象条件が揃う日が年々増える恐れがある¹⁾。そのため、Ox高濃度現象の原因究明と対策は、より一層重要な行政課題として取り組む必要があると思われる。

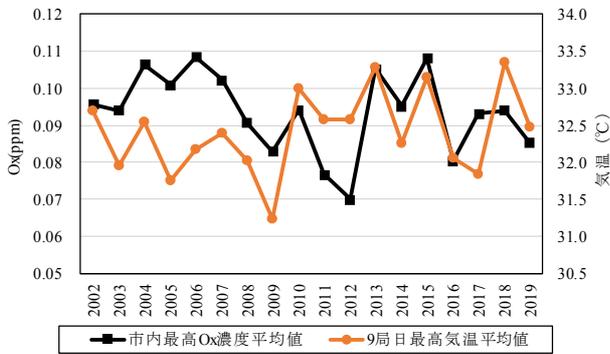


図16 解析対象日における市内最高Ox濃度平均値と9局日最高気温平均値の経年変化

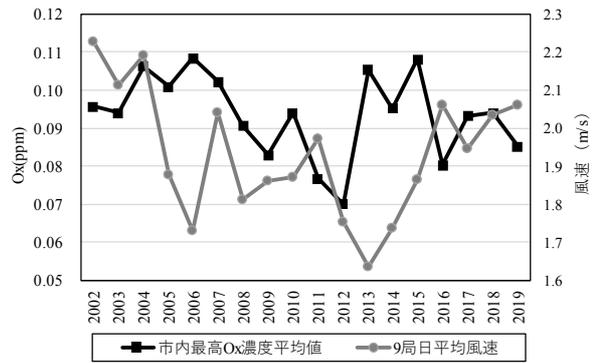


図17 解析対象日における市内最高Ox濃度平均値と9局日平均風速の経年変化

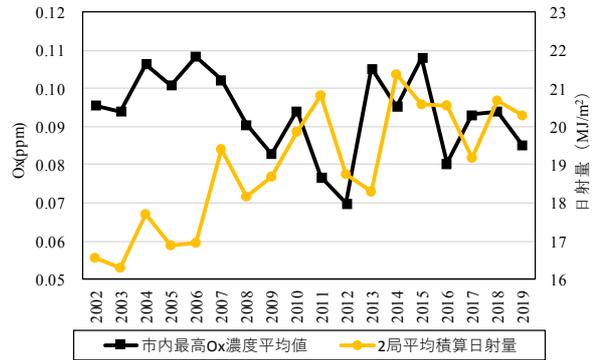


図18 解析対象日における市内最高Ox濃度平均値と2局平均積算日射量の経年変化

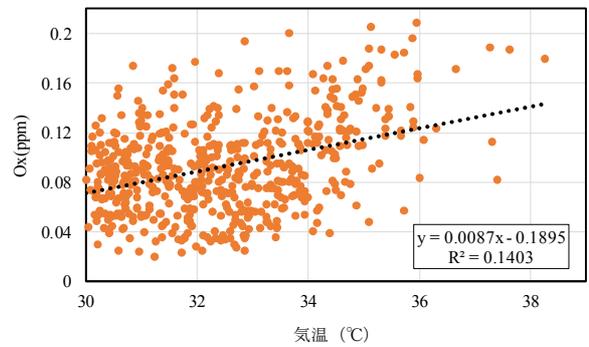


図19 解析対象日における市内最高Ox濃度と9局日最高気温平均値

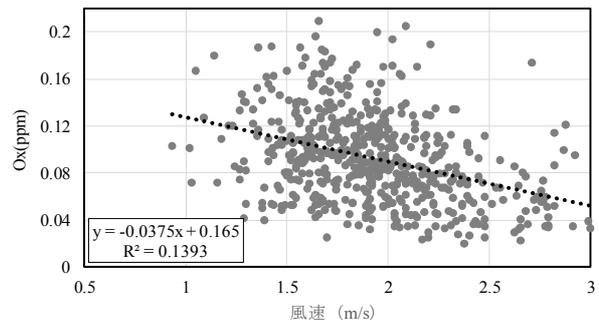


図20 解析対象日における市内最高Ox濃度と9局日平均風速

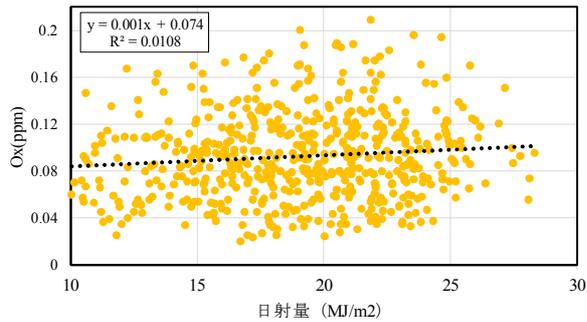


図 21 解析対象日における市内最高 O_3 濃度と 2 局平均積算日射量

5 まとめ

- (1) 海陸風日の条件を決定したうえで、海陸風日か否かの判定を自動でできる Excel ファイルを作成した。
- (2) 解析条件（降雨の有無、気温、日射量、風速）を設定し、解析対象日を抽出して、解析対象日の日数及び市内 O_3 最高濃度の年平均値についての経年変化を調べた。
- (3) 年間の解析対象日の日数は、経年的な増減の傾向は見られなかったが、年間 20～43 日であり、年によって倍以上の差があることがわかった。
- (4) 解析対象日における市内 O_3 最高濃度の年平均値については、70～110 ppb 程度で推移しており、2013 年以降にのみ着目すれば近年はわずかに減少傾向であった。
- (5) 解析対象日における大師の朝方と海風変化後の NMHC、 NO_2 、 NO は、それぞれ経年的に減少傾向であったが、 NO の低下により、 NO タイトレーション効果が小さくなった可能性が示唆された。
- (6) 2012 年は 2015 年以降と比べると、解析対象日における NMHC と NO が高く、風速と日射量が低い傾向であった。これらを踏まえると、 O_3 が高濃度になりにくい気象条件の年であったとは言えないが、解析対象日における市内 O_3 最高濃度は 2002～2019 年の中で最も低い特異的な年であった。
- (7) 解析対象日における市内 O_3 最高濃度と相関が高かった気象条件は、日最高気温と日平均風速であり、日積算日射量とはほとんど相関が見られなかった。
- (8) 近年、川崎市において、 NO_x 及び VOC の排出量削減が進んできたが、気温は上昇傾向、風速は低下傾向にあるため、 O_3 濃度が高濃度になりやすい気象条件が揃う日が年々増える恐れがある。

文献

- 1) Akinori Fukunaga et al., 2021, Relationship between Changes over Time in Factors, Including the Impact of Meteorology on Photochemical Oxidant Concentration and Causative Atmospheric Pollutants in Kawasaki, Atmosphere, 2021, 12, 446, 8-14