札幌におけるオゾン濃度の平日と休日による違い

山口　小雪・稲飯　洋一（札幌管区気象台予報課）

1.　はじめに

対流圏オゾン（O_3）は、光化学オキシダント（Ox）の主成分であり、窒素酸化物（NOx＝一酸化窒素（NO）＋二酸化窒素（NO_2））や非メタン炭化水素（NMHC）を主とする揮発性有機化合物（VOCs）などのO_3前駆物質から光化学反応により生成される二次大気汚染物質である。また、O_3は温室効果ガスでもあり、その変動による有効放射強制力の不確実性の範囲は広く、温暖化した将来の気候においてO_3がどのように応答するのかもよく理解されていない。

さらに、世界各国の都市域において、O_3前駆物質であるNOxやVOCsの排出量が少ないはずの休日の方が、平日よりもO_3濃度が高くなる現象（Ozone Weekend Effect, OWE）が報告されており（Sicard et al., 2020）、その要因について議論が続いている。国内においては、O_3濃度の高い東京（Sadanaga et al., 2012）や大阪（藤原ほか, 2012）などでOWEが確認されているが、札幌ではこれまで報告されていない。そこで、本研究では、それらの先行研究とは地理的気候的特徴の異なる札幌におけるO_3とその前駆物質の濃度の変動を解析し、OWEの有無および要因について考察する。

2.　データと解析方法

Ox（O_3）、NO、NO_2、NOx、NMHCデータは、環境省大気汚染物質広域監視システム「そらまめくん」（https://soramame.env.go.jp/）（速報値）による1時間値データを使用した。地点は札幌管区気象台から約2 km北方の国設札幌大気環境測定所を選択した。なお、この地点におけるOxの測定方法は、O_3濃度を測定する紫外線吸収法であるため、本研究ではOx濃度をO_3濃度として用いた。また、解析に用いた各気象要素の観測データについては、札幌管区気象台が観測している1時間値データを使用した。

解析は、OWEに注目するため、稲飯ほか（2023; 2024）と同様の手法で、平日と休日を区分し、また、光化学反応によるO_3の生成が活発化する晴れの日のみを解析対象とした。さらに、季節による変化を考察するため、4月から6月までを春季、7月から9月までを夏季、10月から12月までを秋季、1月から3月までを冬季として、解析した。

3.　解析結果

図1に2023年10月から2024年9月までの季節別、かつ、平日/休日別の平均値として計算されたNOx、NMHC、O_3濃度の日変動を示す。

NOxの主な排出源は、自動車や火力発電所、工場などであり、その濃度は、大きな季節変動を持つ一方で、全ての季節において、朝と夜間に高く、日中の午後は低いことが示されている。また、光化学反応に寄与する朝の時間帯において、休日より平日の方が高い傾向がある。

NMHCの排出源は、ガソリンや有機溶剤などの人為起源のものと、植生など自然起源のものがある。NMHC濃度は、春季と夏季においては日変動や平日と休日による差は顕著ではない。一方で、秋季と冬季においては、朝と夜間に濃度が高く、日中の午後は低いという日変動が明瞭であり、休日よりも平日の方が高い傾向にあることが示されている。

O_3 濃度は、全ての季節に共通する特徴として、夜間から朝にかけて低く、日中の午後に高濃度となる日変動が示されている。夏季以外の季節においては、特に日中の濃度に注目すると、平日よりも休日の方が高くなっている。上述の O_3 前駆物質である NOx や NMHC 濃度が低い休日の方が、平日よりも O_3 濃度が高くなっており、札幌において OWE が生じていたと考えられる。

4. OWE についての考察

札幌で、（夏季を除く）春季、秋季、冬季に OWE と見られる休日における O_3 濃度の増加が確認された。その要因について、まず CARB（2001）で提唱された 7 つの仮説の内の一つ「NO による O_3 消失仮説」について検証を行った。この仮説は休日における NO 排出量の減少が、NO による O_3 消失反応の減少を通して、O_3 濃度が増加に寄与するというものである。この NO による O_3 消失反応で生成される NO_2 を O_3 濃度に加えたポテンシャルオゾン（$PO = O_3 + NO_2$）を保存量とみなすことで、このメカニズムの検証を行ったところ、秋季と冬季の OWE については、この「NO による O_3 消失仮説」によるの解釈が可能であるという結果が得られた。一方で、春季の OWE については、上記仮説では解釈を得られず、別の「Ox 生成速度レジーム仮説」ついても検証を行った。しかし、明瞭な解釈を得るには至らなかった。

参考文献

California Air Resources Board., 2001.
藤原大ほか: *大気環境学会誌*,47,2,2012.
Sadanaga, Y. et al.: *Aerosol Air Qual. Res.*,12,161–168,2012.
Sicard et al.:*Environmental Research*, 191, 110193,2020.
稲飯ほか:*細氷*,69, 2023.
稲飯ほか: *第 29 回日本大気化学討論会*,69, 2023.

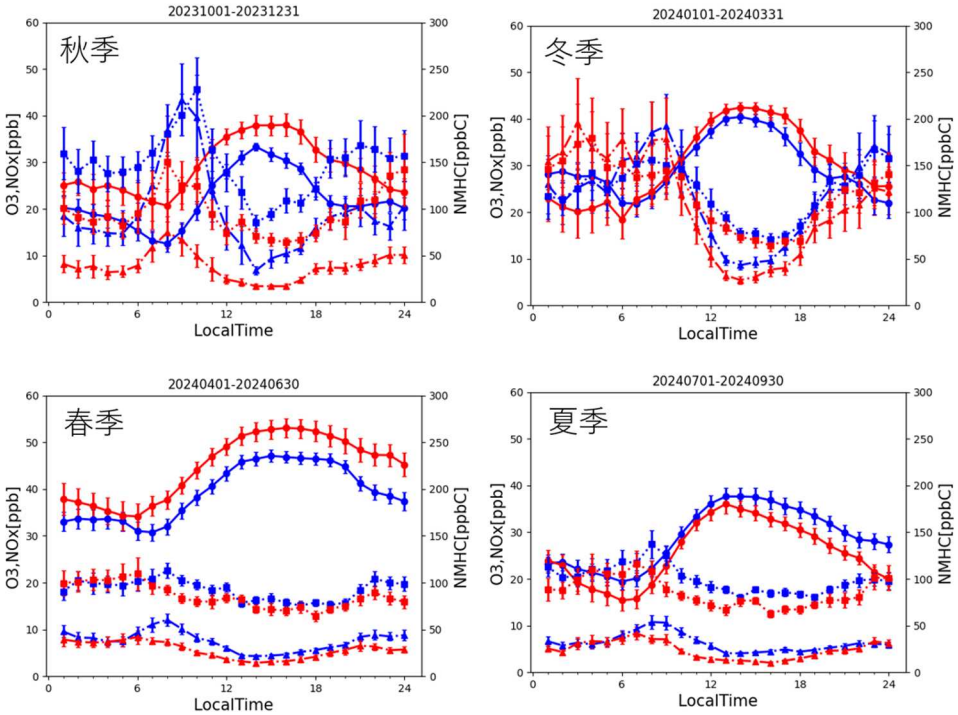

図 1： 2023 年 10 月から 2024 年 9 月までの秋季（右上）、冬季（左上）、春季（左上）、夏季（右下）における平日（青）/休日（赤）別の NOx（一点鎖線▲）、NMHC（点線■）、O_3（実線●）濃度の平均日変動。バーは標準誤差を示す。