

氏名	細井 真理
博士の専攻分野の名称	博士 (学術)
学位記号番号	博理工甲第 835 号
学位授与年月日	平成 23 年 3 月 23 日
学位授与の条件	学位規則第 4 条第 1 項該当
学位論文題目	北関東における高濃度光化学オキシダントの発現と気象特性に関する研究
論文審査委員	委員長 教授 坂本 和彦 委員 教授 吉門 洋 委員 准教授 王 青躍 委員 連携准教授 三輪 誠

論文の内容の要旨

大気中の光化学オキシダント (Ox) は、自動車、工場、およびさまざまな産業活動から大気中に排出される NO_x や炭化水素 (NMHC) をもとに太陽紫外線による光化学反応で二次生成され、高い濃度では光化学スモッグ、人の呼吸器障害、植物の生育不良や収量減をもたらす有害な大気汚染物質である。国の排出抑制政策によって NO_x や NMHC 濃度は減少傾向にもかかわらず Ox 濃度は増加傾向にあり、一般環境大気測定局では Ox の環境基準 (60 ppb/1-h) を満たすレベルにない。関東地方では首都圏から遠い北関東のローラル地域でも、NO_x や NMHC の排出が少ないにもかかわらず、Ox が 120 ppb を超えるような高濃度になることがある。北関東の高濃度 Ox 事象についてはこれまで研究事例がなく、北関東での高濃度 Ox 発現の状況とその発現がどのような気象条件のもとで起きるか解明するものである。

北関東の代表する地点として関東最北にある那須塩原、沼田の、比較する地点として関東中央部の小山、熊谷、東京都区内の一般環境大気観測局の 1 時間値データを用いた。気象データは気象官署、AMeDAS の 1 時間値と館野高層気象観測値を利用した。局地気象図の作成には汎用の Generic mapping tool (GMT) を気象事象に適用したソフトを用いた。検討したデータ期間は 1999 - 2006 年の 8 年間である。

Ox の光化学生成が活発な暖候期 (4 - 9 月) では、北関東の NO_x、NMHC 濃度は東京都区の 1/3 - 1/2 のレベルである。北関東で 120 ppb (光化学スモッグ注意報レベル) を超えるような高濃度は、東京都区や関東中央部の濃度レベルや頻度には及ばないものの毎年発生する状況にある。

Ox 濃度に密接に関係すると考えられる紫外線強度、気温、風向・風速について北関東の Ox 濃度との関係を調べ、北関東では南寄りの風向の時に高濃度になる傾向がみられた。南からの Ox の移流によるものと仮説のもとに、関東地方の夏季に優勢な海風の規模と上層の逆転層の有無に着目し、大規模海風 (午前中から夕方まで持続し沿岸から北関東までの長距離にわたって吹く海風) と逆転層の有無の条件を組合せ、北関東と風上の関東中部の Ox 濃度を比較して北関東での高濃度発現の気象条件を検証した。その結果、北関東で 120 ppb を超える濃度になるときは、大規模海風が形成されかつ沈降性逆転層 (高気圧の下降気流による乾燥性の逆転層) が存在する気象条件で、風上の南部都市域の Ox が高濃度の場合であることがわかった。北関東に到達する高濃度 Ox の気塊について、周辺の風速・風向を使って逆距離加重法により後方にたどる方法で後方流跡を求めた。流跡線は東京から北関東に至る海風の経路を明らかにし、かつ流跡線上の一般局

の O_x 濃度がピークになる時刻は風下ほど遅くなることがわかり、南の高濃度 O_x が海風によって輸送される状況を示した。大規模海風や逆転層の形成を Synoptic scale でみると、関東地方の南東または東の北太平洋に高気圧が存在することと一致することを明らかにした。

さらに北関東の O_x 高濃度日の時刻毎の局地気象を調べた。GMT による局地気象図で等圧線分布の日内変化を調べた結果、北関東と関東中央部で共に 120 ppb を超える高濃度事例 (Type A) では、長野県と福島県の双方に熱的低気圧 (TL) が午前中から夕方まで出現し、その位置や影響範囲をほとんど変えることが無い。また関東中央部は 120 ppb 超えの高濃度でも北関東は 70 ppb 以下と高濃度に至らない事例 (Type C) では、TL の出現は長野県のみで、その位置や影響範囲は午後にかけて東方向に移動する。Type A では北関東は 2 つの TL に挟まれる結果、風向が南寄りで長く持続することになり、Type C では TL の東への移動に伴って北関東部分は北寄り風に変化する。南部が高濃度であっても、北関東の風向の違いが O_x 濃度を決定付けている。熱的低気圧の位置や移動を決めているのは等温線分布に依存することも局地気象図で示された。このように等圧線の日内変化を分析することで O_x のような移流性がある大気汚染質の地域的な濃度特性を説明することが可能である。

原因物質の排出源から遠く離れた地域における O_x 高濃度事象について、その原因の一つとして気象を考える場合、本研究による解析手法は有効な方法になると考える。近年は O_x についても濃度の予報が試みられつつあるが、 O_x のみならず原因物質が少ない地域における大気汚染物質の高濃度事象に関して、どのような濃度事象がどのような気象構造のもとで起きるかを把握することは、高濃度になるメカニズムを把握する上で重要と思われる。また O_x の環境基準を達成すべく実施される抑制施策に気象要因による輸送効果などを考慮することも必要であろう。

今後の課題としては、濃度評価の対象を点ではなく面的に広げる解析方法と、影響する気象要素を網羅するため「主成分分析」のような統計分析も必要と考える。

論文の審査結果の要旨

当学位論文審査委員会は、当該論文の発表会を平成 23 年 2 月 8 日に公開で開催し、約 40 分の発表の後、本論文に関する詳細な質疑を行い、論文内容を審査した。

本論文は、関東地方において、首都圏のみならず、NO_x や NMHC の排出が少なく首都圏から 150 km も離れた北関東のルーラル地域でも 120 ppb を超える高濃度が観測されることがあるが、この北関東の高濃度 O_x 発現と気象条件の関係について調査・検討・解析しているものである。

以下に論文内容を示し、学位論文審査の結果を要約する。

第 1 章 序論

光化学オキシダント (O_x) は高い濃度では光化学スモッグの要因、人の呼吸器障害、植物の生育不良をもたらすなど有害な大気汚染物質である。関東地方では首都圏のみならず、NO_x や NMHC の排出が少なく首都圏から 150 km も離れた北関東のルーラル地域でも 120 ppb を超える高濃度を発現することがあり、本研究は北関東の高濃度 O_x 発現と気象条件の関係を解明しようとするものである。

第 2 章 北関東の光化学オキシダント濃度の地域的、季節的特徴

関東最北の沼田、那須塩原にある一般環境大気観測局の 1 時間値を用いて北関東の O_x 濃度とし、比較のため熊谷、小山、東京区部の濃度を参照した。気象データは気象官署、AMeDAS の 1 時間値と館野高層気象観測値を利用した。局地気象図の作成には Generic mapping tool (GMT) を用いた。検討したデータ期間は 1999 - 2006 年の暖候期 (4 - 9 月) である。

北関東で光化学スモッグ注意報レベルの 120 ppb を超える年間発現日数は約 3 日である。4 - 9 月に、北関東の NO_x、NMHC 濃度は東京都区部の 1/3 - 1/2 と低いレベルである。O_x が 100 ppb を超える高濃度領域では首都圏で NO_x、NMHC との相関がみられるが、北関東では相関がみられない。従って北関東での高濃度 O_x は前駆物質濃度に依存するものではなく、移流等を主たる要因と考えられる。

第 3 章 北関東の高濃度オキシダントと広域気象条件の関係

紫外線強度、気温、風向・風速について北関東の O_x 濃度との関係を調べ、特に南寄りの風向の時に高濃度になる傾向がみられた。南からの高濃度 O_x が移流する仮説のもとに、海風の規模と上層の逆転層の有無に着目した。大規模海風 (午前中から夕方まで沿岸から北関東までの長距離を吹く海風) と逆転層の条件を組合せた気象パターンごとに北関東での高濃度発現との関係を検証した。その結果、北関東で 120 ppb を超える濃度になるときは、大規模海風が形成されて沈降性逆転層 (高気圧の下降気流による乾燥した逆転層) が存在する気象条件で、かつ風上の南部都市域の O_x が高濃度になる場合であることがわかった。逆距離加重法による後方流跡解析により東京から北関東に至る海風の経路を明らかにし、かつ流跡線上の O_x 濃度がピークになる時刻が風下ほど遅くなることから南の高濃度 O_x が海風によって輸送されることを示した。大規模海風や逆転層を形成する Synoptic 気象場は、関東地方の南東または東の北太平洋に高気圧が存在することであることを明らかにした。

第 4 章 北関東の高濃度オキシダントと局地気象条件の関係

北関東の O_x 高濃度日について局地気象の日内変化を検証した。北関東と南部都市域で共に 120 ppb を超える高濃度事例 (Type A) では、長野県と福島県に熱的低気圧 (TL) が形成され、その位置や影響範囲は

日中ほとんど変わらなかった。南部都市域は 120 ppb 超の高濃度でも北関東は高濃度に至らない事例 (Type C) では、TL の出現は長野県のみで、その位置や影響範囲が午後にかけて関東地方に移動する。Type A では北関東では北寄り風に変化する。南部が高濃度であっても、北関東の風向の違いが O_x 濃度を決定付けている。熱的低気圧の位置や移動を決めるのは等温線分布の挙動に依存することも局地気象図で示した。このように局地気象の日内変化を分析することにより O_x のような移流性のある大気汚染質の地域的な濃度特性を説明できることの重要性を示した。

第5章 北関東の NO_x 、NMHC 濃度の特徴および風系との関係

北関東の NO_x 、NMHC、SPM について特に風向との関係を分析した結果、 NO_x 、NMHC の濃度はほとんど風系に依存しないことがわかり、移流はしないか、したとしても途中で反応により消失したと考えられる。SPM は南寄り風の場合に濃度が高くなるため移流または O_x による生成が考えられる。

第6章 総括

原因物質の排出源から離れた地域における O_x 高濃度事象と移流との関連性を示す場合に、海風などの風系の性質や逆転層との関係、および局地気象の日変化を分析する手法の重要性を示した。大気汚染質濃度に関するモデル予測は進展しているが、どのような濃度事象がどのような気象構造のもとで起きるかを理解することは重要であり、本研究はそのための解析の一手法を示した。

以上に要約したように、本論文では、 NO_x や NMHC の排出が少なく首都圏から 150 km も離れた北関東のルーラル地域でも 120 ppb を超える高濃度が観測されるが、この北関東の高濃度 O_x 発現と気象条件の関係について調査・検討・解析し、このような濃度事象がどのような気象構造のもとで起きるかを明らかにしている。

本論文に関わる内容を 1 編の論文として学術誌 (Water, Air, and Soil Pollution) に公表し、さらに 2 編目の論文を投稿稿 (Atmospheric Environment) し、審査中 (掲載見込み) である。この 2 編の論文により、学位論文の内容はほぼ全体が公表されることになる。当学位論文審査委員会において、このような状況を慎重に審議し、本論文は博士 (学術) の学位を授与するにふさわしい内容を備えていると判断し、合格と判定した。