

参考資料1 「ヒートアイランド現象と光化学オキシダント等の大気汚染について」

ヒートアイランド対策を効果的に推進するには、ヒートアイランド現象が社会に及ぼす様々な影響をできる限り定量的に把握しつつ対策を進めることが重要です。環境省では、これまでに人の健康に及ぼす影響として夏季の熱中症や暑さによる睡眠阻害等を検討してきましたが、本マニュアルではヒートアイランド現象が大気汚染に及ぼす影響を検討します。

ヒートアイランド現象と大気汚染については、既往研究等で冬季のダストドームや夏季の光化学オキシダントとの関係が指摘されていますが、特に光化学オキシダントについては、環境基準の達成状況の改善が喫緊の課題となっています。そこで、本マニュアルでは主にヒートアイランド現象と夏季の光化学オキシダントの関係を検討します。

1. 既往知見の整理

光化学オキシダントによる大気汚染の状況や、ヒートアイランド現象との関係を分析した既往研究等を整理しました。

1.1 光化学オキシダントによる大気汚染の状況

1) 環境省「平成21年度大気汚染状況について」

光化学オキシダントの昼間の日最高1時間値の年平均値については、近年漸増しています。

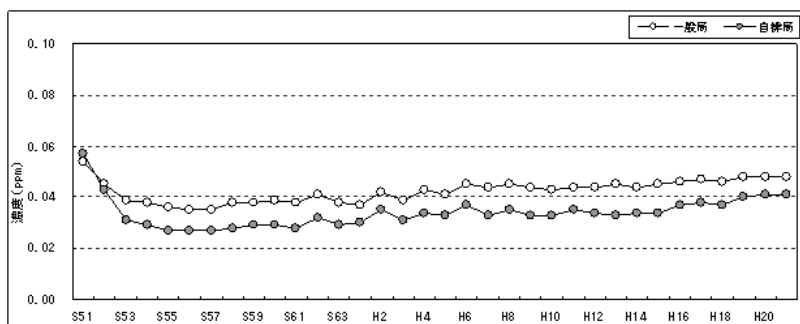


図1 光化学オキシダントの昼間の日最高1時間値の年平均値の推移

光化学オキシダントの前駆物質であるNO_xとNMHC（6時～9時の3時間平均値：全炭化水素から光化学反応性を無視できるメタンを除いたもの）はともに改善傾向を示しています。

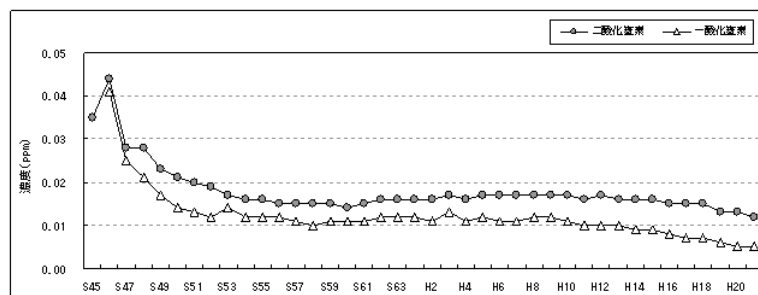


図2 二酸化窒素及び一酸化窒素濃度の年平均値の推移（一般局）

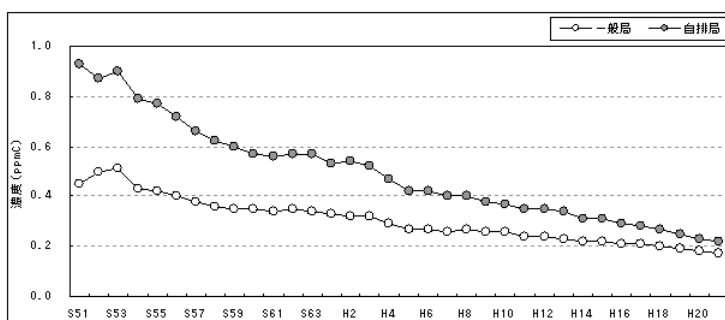


図3 非メタン炭化水素濃度（午前6時～9時の3時間平均値）の推移（一般局）

1.2 地域別の光化学オキシダントの挙動について

- 1) 大原利真編「日本における光化学オキシダント等の挙動解明に関する研究」国立環境研究所 研究報告 第195号、2007

光化学オキシダント濃度の月別パターンは地域ごとに異なります。全国的に春に光化学オキシダント濃度が高くなりますが、西日本では秋にも濃度が高くなり、東京や名古屋、大阪などでは夏季に60ppb以上出現する割合が増加します。

春と秋に光化学オキシダント濃度が高くなる現象については、高気圧に伴う成層圏・上部対流圏からの大気沈降や東アジア地域からの汚染物質の移流が要因と考えられます。ただし、高層大気の降下は、近年の光化学オキシダント年平均濃度レベルの上昇に及ぼす影響はほとんどないと考えられます。

太平洋側で夏季に光化学オキシダント濃度が高くなる要因については、光化学反応が促進されることによると考えられます。

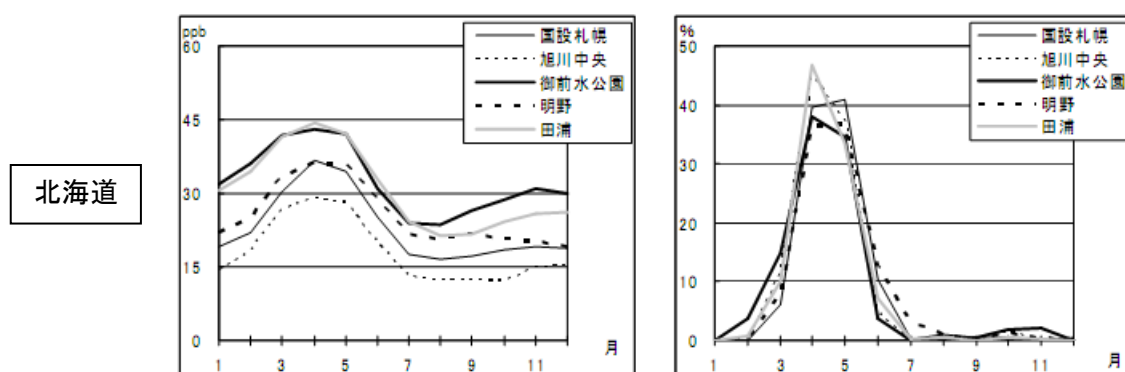


図4 地域別・月別の光化学オキシダント平均値（左）及び60ppb以上出現割合（右）その1

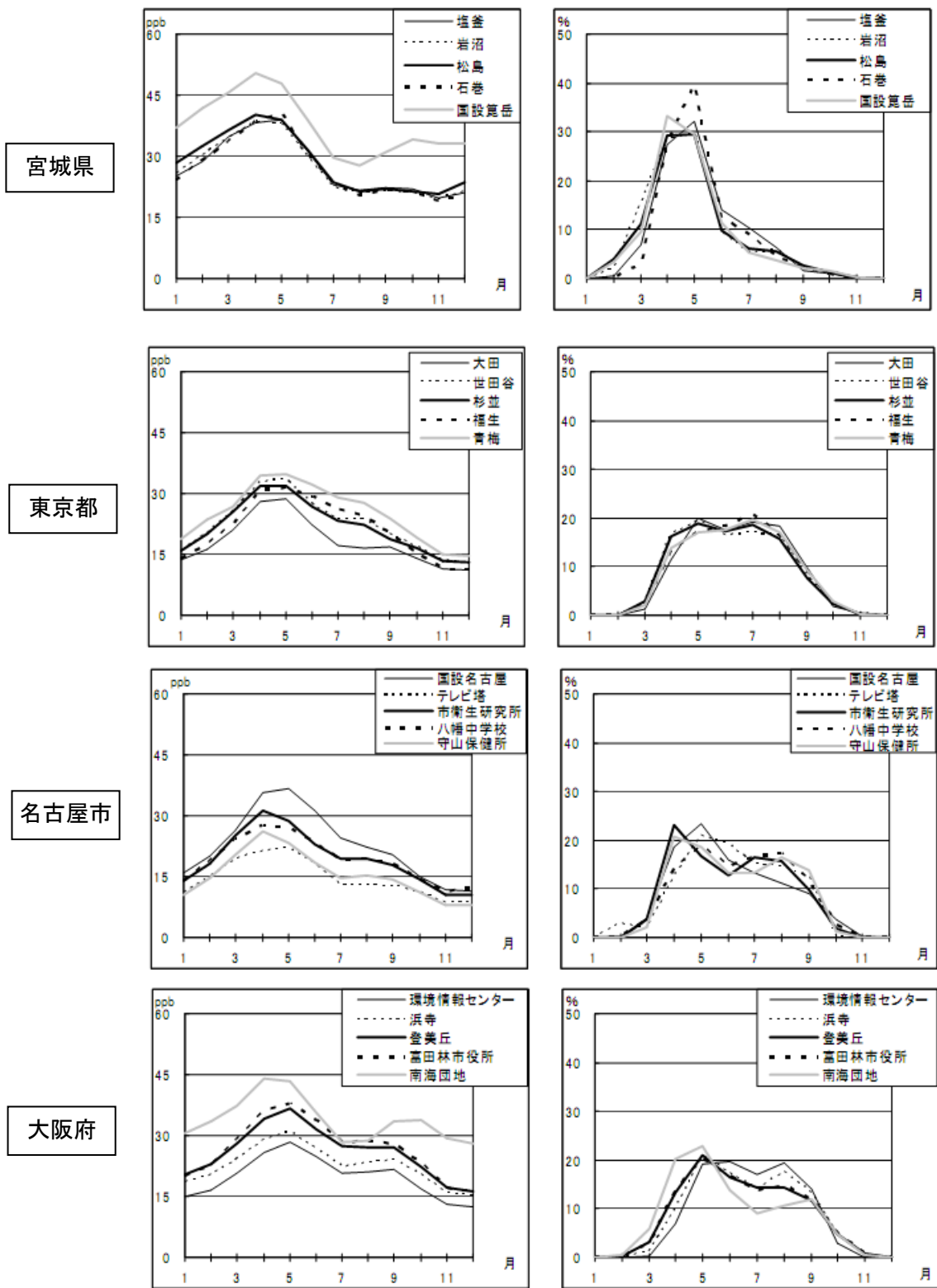


図5 地域別・月別の光化学オキシダント平均値（左）及び60ppb以上出現割合（右）その2

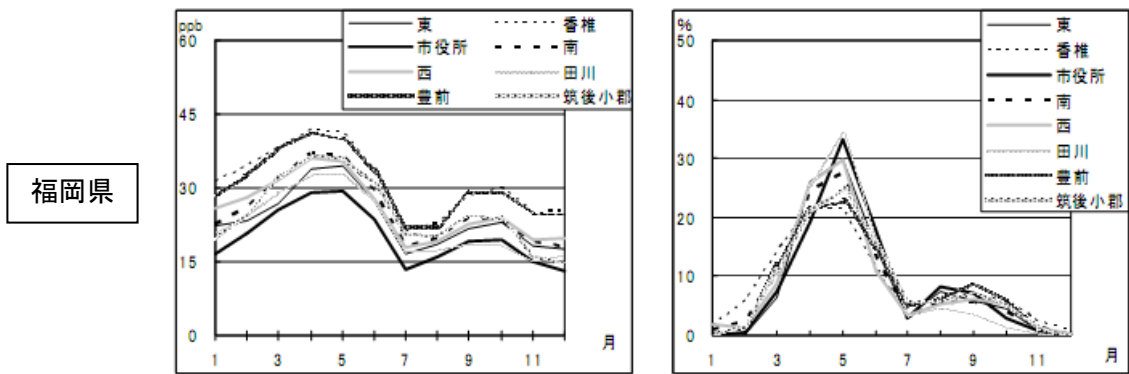


図6 地域別・月別の光化学オキシダント平均値（左）及び60ppb以上出現割合（右）その3

1.3 気温などの気象変化と光化学オキシダントについて

1) 大原利眞「最近の光化学オキシダント汚染の実態－全国及び関東地域の経年変動－」資源環境対策、39、2003

気温上昇は光化学オキシダント濃度の上昇をもたらします。関東地域における夏季のシミュレーション結果によると、気温が2℃上昇するとオゾン昼間平均濃度が4%程度増加します。また、暖候期の光化学オキシダント高濃度発生頻度と日最高気温平均値の間には正の相関関係があると言われています。しかし、1985～99年において、日本全国の年平均地上気温は5年間移動平均で見ると約1℃上昇していますが、気温と光化学オキシダント濃度の変動傾向は一致しておらず、必ずしも明らかではありません。

また、紫外線量が増加すると光化学反応が進み、光化学オキシダントが増加する可能性があります。気象庁観測結果によると、館野（つくば）における紫外域日射量（波長290～325nm）は1990年以降上昇しており、その年平均値は1990～2000年で約10%増えています。このような紫外線量の増加が光化学オキシダント上昇の一因となった可能性は否定できませんが、その定量的な評価はなされていません。

2) 吉門洋「近年の光化学オキシダント濃度変化の一要因」大気環境学会誌、vol. 39、2004

天気図を用いた判定では、1989～1991年と比較して2000年、2001年には夏季に関東地方が高気圧圏内に入る日が増加しており、好天日の増加は平均気温の上昇や期間積算紫外線量の増加につながり、これらの年の光化学オキシダント高濃度増加の一因となった可能性もあります。

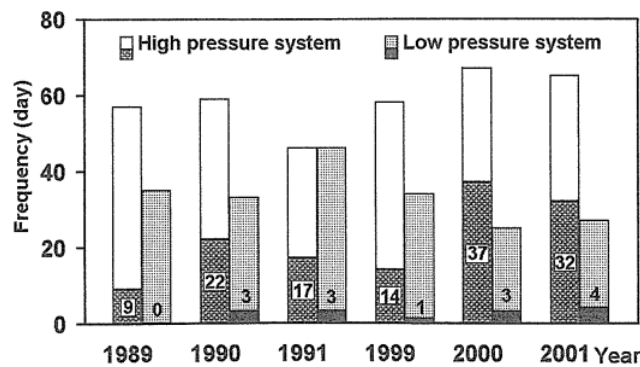


図7 9時の天気図により関東地方を高気圧下、低気圧下で分類した結果

(6～8月：下段のパターン及び数値は光化学オキシダント高濃度日※の日数)

※光化学オキシダント高濃度日とは、ここでは昼間に120ppb以上が2時間以上続いた日と定義している。

3) 東京都「光化学オキシダント対策検討会報告」2005

1976年度から2002年度の4～9月について、東京管区気象台における各種気象要素と、「1都6県解析エリア」における昼間(5～20時)の光化学オキシダント濃度のエリア内平均値(A)、エリア内最高値(B)、エリア内の局ごとの最高値の平均(C)とのそれぞれの相関を調べた結果、(A)・(C)は気象要素の中で日積算日射量と最も高い相関があり、次いで昼午前の平均風速との相関がみられました。(B)は日積算日射量、日最高気温、昼午前平均風速の順に相関がみられました。また、日積算日射量の大きい日の割合が多い年は(A)～(C)の4～9月平均値が高くなる傾向があるなど、年ごとの気象要素の特徴と光化学オキシダント濃度の高低との間には関係があることがわかりました。

1981年以降の光化学オキシダント濃度(4～9月)の増加傾向について、統計的に気象要因との関係を分析したところ、日積算日射量、日最高気温、午前中の平均風速の長期的な経年変化は、光化学オキシダント濃度上昇の主要因とはならないと考えられます。

4) 秋元肇、若松伸司、大原利真、加藤征太郎、吉門洋、石井康一郎、上野広行、木下輝昭、宮川正孝、芳住登紀子「東京都におけるオキシダント濃度の解析(Ⅱ)ー近年の濃度上昇要因についてー」大気環境学会年会講演要旨集、2004

1990～2002年の4～9月の東京都常時監視測定局のデータ、東京管区気象台のデータを用い、気温、風速、日射量などの気象要素の変動が光化学オキシダント濃度の上昇に及ぼす影響を解析しました。

気象要素の変動が光化学オキシダント濃度に影響を与えていますが、実際の光化学オキシダント濃度の観測値の上昇率0.65ppb/年のうち、0.50～0.53ppb/年(約79%)は、日射量、風速の変動以外の要因であることが示されています。

1.4 ヒートアイランド現象が海風に及ぼす影響と光化学オキシダント

1) 吉門洋「地域気象が支配する日本の大気汚染」大気環境学会誌、2007

東京湾から北西方向に海風が吹き込む場合、海風前線の内陸側で海風と逆向きの循環が形成され、埼玉県南部によどみ状態が数時間継続します。この海風の停滞は、東京の大都市域のヒートアイランドに強く影響されており、数値モデルでも確認されています。大規模局地風系の形成・発達に伴ってこのよどみ域も消滅し、海風前線も内陸に向かって急速な進行を再開します。

埼玉県南部のよどみ域に汚染物質が蓄積し、さらに、前線部分で上空に持ち上げられた汚染物質もよどみ域に集中して凝縮され、午後の海風に運ばれて関東北部の光化学オキシダントが高濃度となります。

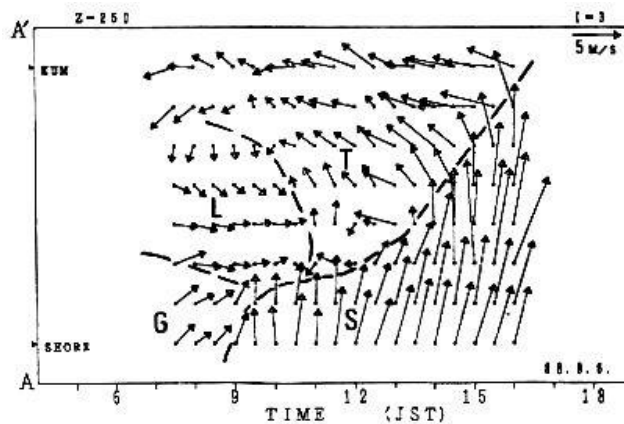


図8 海風前線の東京区部の内陸側境界付近での停滞
(縦軸は東京から熊谷(70km)までの北西方向の距離を表している)

2) 大原利真編「日本における光化学オキシダント等の挙動解明に関する研究」国立環境研究所 研究報告 第195号、2007

大阪平野における海風の到達は、陸域において経年的に遅れを生じる傾向にあります。光化学オキシダントの内陸への移流は海風の内陸への侵入に伴い発生しており、海風前線の後面に光化学オキシダント高濃度が発生すると考えられます。最高濃度出現時刻は経年的に遅くなる傾向が認められます。

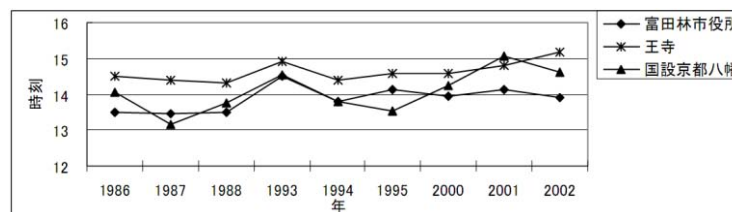


図9 光化学オキシダント日最高出現時刻の推移(5~8月海風日のみ平均)

2. 夏季における光化学オキシダントの高濃度化とヒートアイランド現象の関連性の分析

既往研究からは、光化学反応による高濃度オキシダントの発生が、夏季の太平洋側地域で問題となっていることが分かります。近年の光化学オキシダントの高濃度化との関係については、日射等の気象条件やヒートアイランド現象との関連性を検討した事例は見られるものの、明確な結論は得られていません。そこで、太平洋側地域である関東地域において、夏季のヒートアイランド現象を対象とし、国立環境研究所環境データベース大気環境時間値データファイル等の大気汚染データの時間値を用い、光化学オキシダントが高濃度化する現象を捉えてヒートアイランド現象との関連性を考察します。

2.1 東京及び埼玉における夏季の光化学オキシダントの経年変化

東京都及び夏季主風向の風下側にあたる埼玉県を対象に、季節別の光化学オキシダントの経年変化を図9に示しました。対象とした測定局は、1980～2009年の30年間継続して測定している大気汚染常時監視一般局（東京都：33局、埼玉県：41局）です。

全般的な傾向としては、光化学オキシダント濃度は70年代後半に急速に低下し、80年代後半に最も低くなった後、冬季（11～1月）を除き上昇傾向が見られます。月平均濃度では春季（4～5月）の上昇が大きいものの、日最大値の月平均値や60ppb以上の出現述べ時間は夏季の上昇が目立っています。さらに注意報レベルの120ppb以上の出現述べ時間は、2000年代の中ごろを中心に夏季に増加していました。

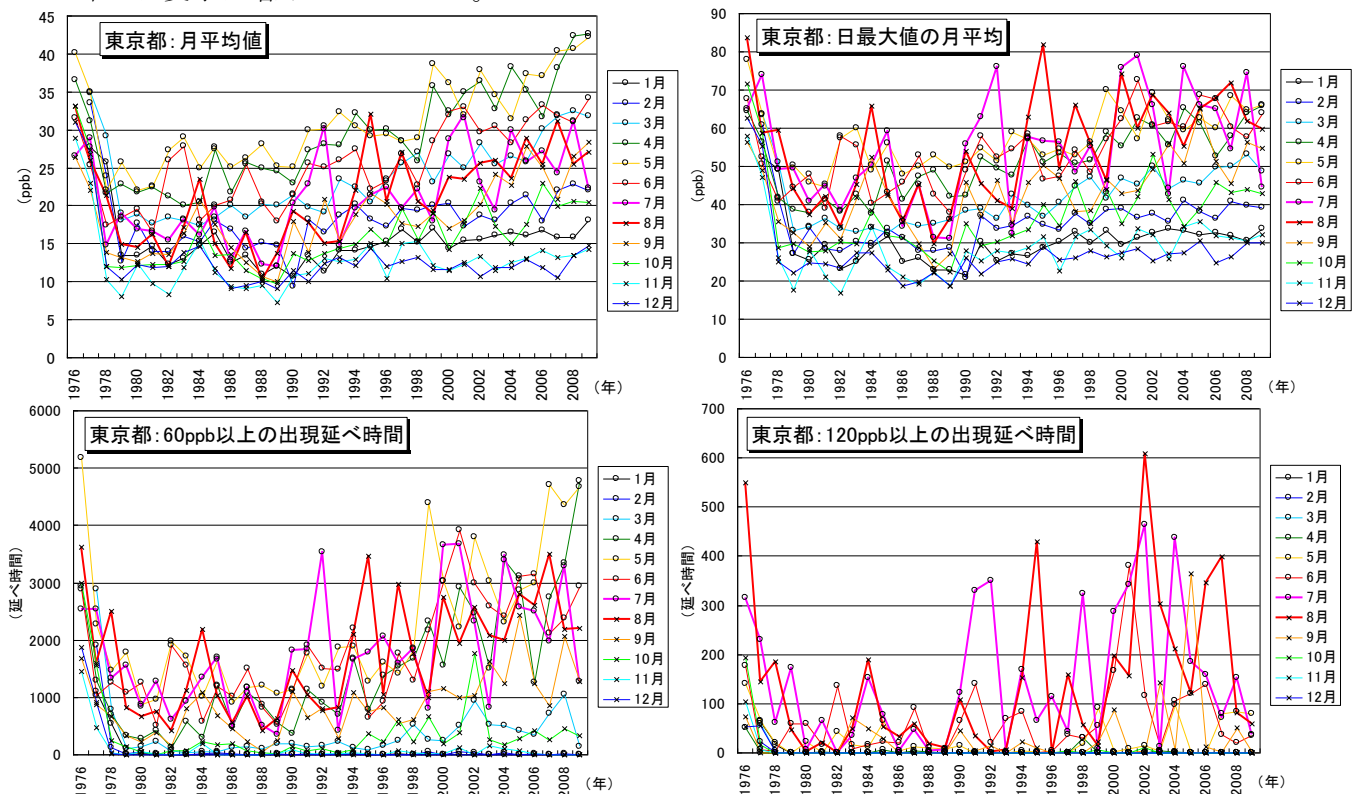


図10 東京都における光化学オキシダントの月別経年変化
対象は1980～2009年の30年間継続して測定している33の一般局

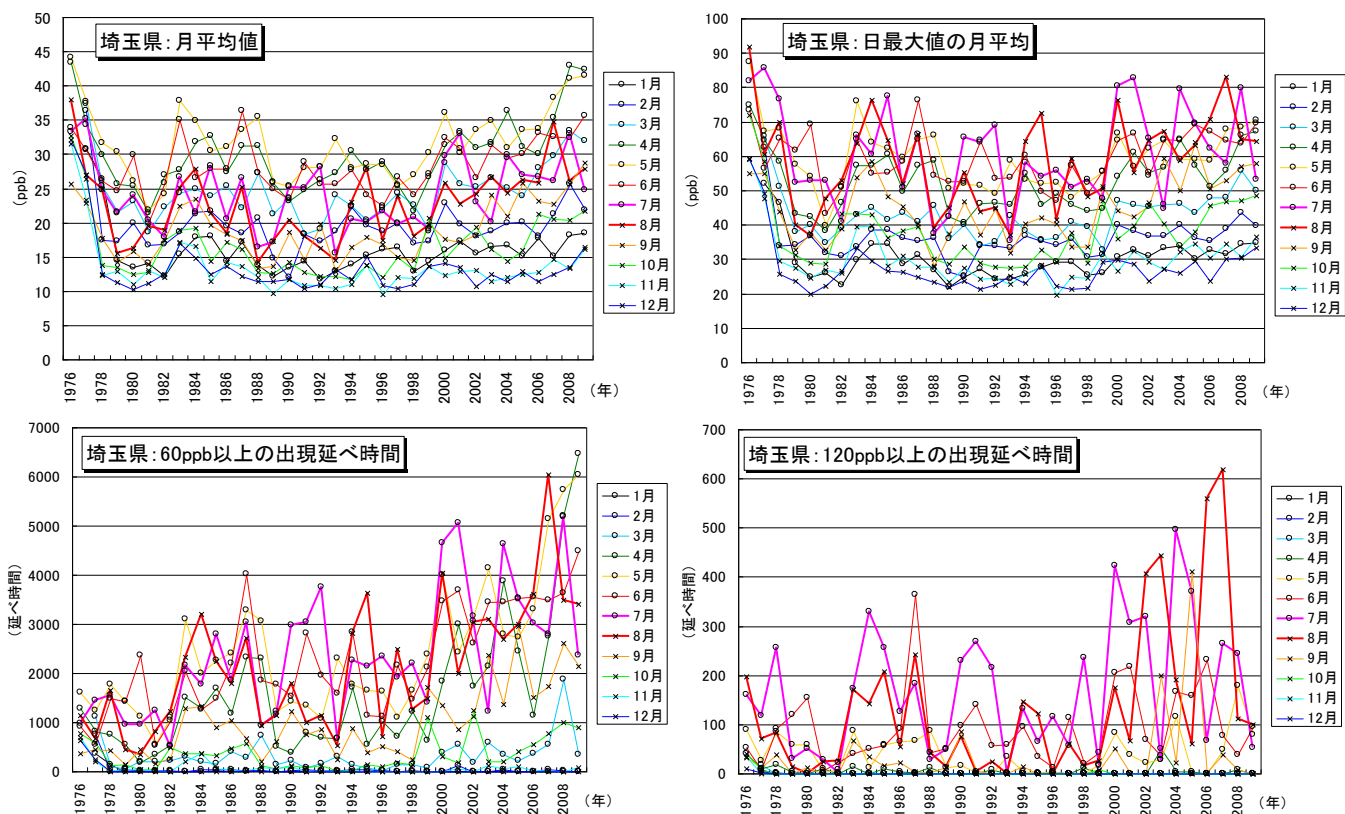


図 11 埼玉県における光化学オキシダントの月別経年変化
 対象は 1980~2009 年の 30 年間継続して測定している 41 の一般局

2.2 東京及び埼玉における高濃度光化学オキシダントの発生と要因との関係性

高濃度光化学オキシダントの出現は、気象（日射量、気温、風速）や前駆物質（NO_x、VOC）など様々な要因との関係が指摘されています。そこで、東京と埼玉における高濃度光化学オキシダントの出現状況と各要因との関係を整理しました。

高濃度光化学オキシダントの出現頻度が増加した2000～2009年の7～8月の620日間を対象に、高濃度の出現頻度の高低と上記要因との関連性の有無を把握するために、各濃度ランクがおおよそ100日程度となるよう、表1のとおり7段階に分けました。ただし、濃度ランク1については極端な高濃度の状況を把握するため、他の濃度ランクとくらべて少ないものの40日間程度を対象としました。分析の対象とした大気汚染監視局は、2000～2009年の10年間継続して測定している102の一般局（東京都47、埼玉県：55）です。

表1 高濃度光化学オキシダントの出現頻度と濃度ランク（対象620日）

濃度ランク	120ppb 以上の 出現延べ時間数/日	60ppb 以上の 出現延べ時間数/日	対象日 数
1	100 以上	条件なし	43
2	20 以上 100 未満	条件なし	83
3	20 未満	600 以上	106
4	20 未満	150 以上 600 未満	92
5	20 未満	40 以上 150 未満	90
6	20 未満	1 以上 40 未満	102
7	0	0	104

高濃度光化学オキシダントの出現頻度別に各要因の1日の平均的な経時変化パターンを見ると、全ての要因で濃度ランクとの関連性が見られました。NO_xとNMHCについては、光化学オキシダント濃度ランクが高いほど、特に朝方に高濃度となっている傾向が見られました。風速については、光化学オキシダント濃度ランクが高いほど、深夜から明け方に弱風となっており、熊谷では夕方に風が強くなる傾向が見られました。気温と日射量については、光化学オキシダント濃度ランクが高いほどともに高く、強くなっている傾向が見られました。

ヒートアイランド現象がもたらす気温の上昇も要因の一つとして影響していると考えられますが、上述した複数の要因が重なることで、高濃度光化学オキシダントが発生している可能性があります。

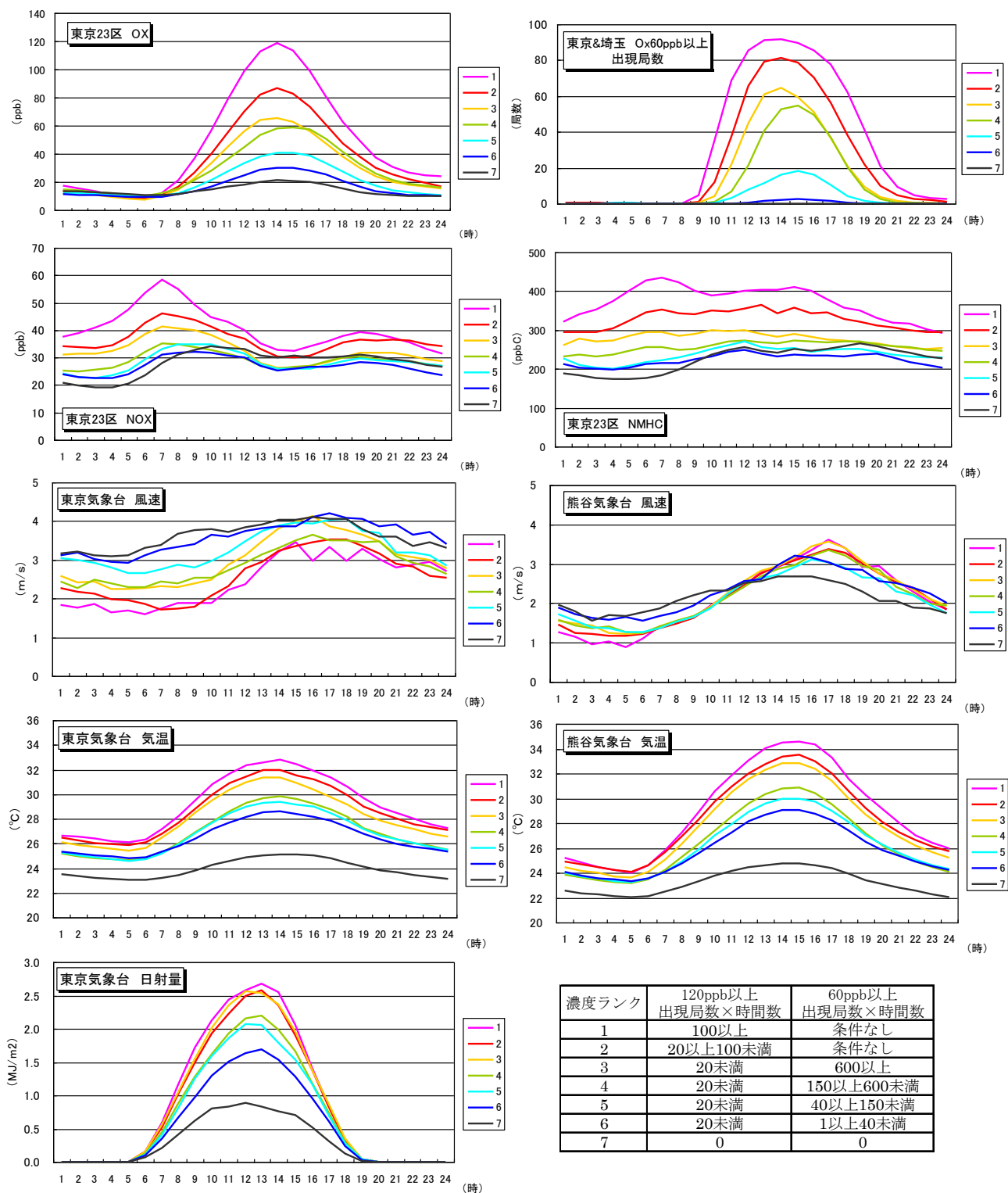


図 12 光化学オキシダント濃度ランク別の要因等の経時変化

2000～2009年の7～8月の620日間における高濃度光化学オキシダント出現頻度をランク分けした光化学オキシダントは2000～2009年の10年間継続して測定した東京都及び埼玉県の102の一般局を対象に集計
 NOx及びNMHCについては2000～2009年の10年間継続して測定した東京都23区内の一般局を対象に集計

2.3 前駆物質が朝方に高濃度化する現象の詳細把握

既往の知見からは、近年の光化学オキシダント濃度の増加に気温上昇等の気象変化が寄与する割合は高くないことが指摘されています。一方で、光化学オキシダントの前駆物質である NO_x と NMHC との関係については、 NMHC/NO_x 比の変化による影響について検討が行われているものの、これらの前駆物質の平均的な濃度は経年的に低減傾向にあることから、各々の前駆物質の濃度との関連性については注目されていません。しかし、上述のように、高濃度光化学オキシダント出現時には NO_x や NMHC が朝方を中心に高濃度となっている状況が見られ、このことも高濃度光化学オキシダントの出現に寄与している可能性が考えられます。オキシダントの生成は複雑なメカニズムを有しており、前駆物質の朝方の高濃度化と、午後には内陸地域の高濃度光化学オキシダントが出現することの因果関係については今後詳細な検討が必要になると考えられますが、本マニュアルにおいては NO_x や NMHC が朝方に高濃度になることとヒートアイランド現象との関連性を考察します。ただし、NMHC の測定局は多くないため、主に NO_x を対象に考察をすすめます。

1) NO_x 成分 (NO 、 NO_2) の挙動

朝方は、元来静穏な状況が多いために大気がよどみやすく、自動車交通が多い都心部で NO_x 濃度が上昇するのは一般的な状況です。 NO_x 成分の挙動を調べることで、 NO_x 濃度の上昇している要因を把握することができます。

ここで、図 12 で見た NO_x の経時変化を NO と NO_2 に分けると、光化学オキシダント濃度ランク 1 の朝方の NO_x 濃度の上昇は、ベースとしての NO_2 濃度が高いところに NO の濃度上昇が加わった結果であることが分かります。このことから、 NO_x の朝方の高濃度化は、都心部で自動車などから排出された排出ガスが滞留して発生しているものと考えられます。(図 13 参照)

ただし、その後の NO 濃度の挙動は特徴的であり、光化学オキシダント濃度ランクが高いほど、7時以降、急激に低下しており、オキシダントや VOC による反応が活発になっていると推察されます。

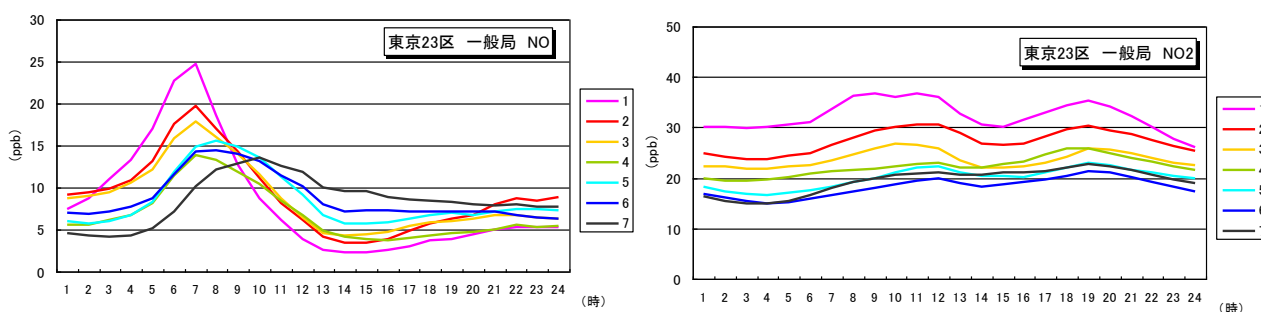


図 13 光化学オキシダント濃度ランク別の NO 、 NO_2 の濃度変化

2) 朝方に NOx 濃度が高くなる事例分析

朝方に NOx が高濃度化し、かつ午後に高濃度光化学オキシダントが出現した典型的な日として平成 16 年 7 月 7 日の東京都及び近隣 4 県(茨城県、埼玉県、千葉県、神奈川県)の風向風速(WIND)、NOx、光化学オキシダント(Ox)、気温(TEMP)の1時間ごとの推移を図 14~16 に示しました。

1~6時の状況を見ると、全体的に風が弱く、1時には埼玉の南東部に風の収束域が現れ、NOxの濃度が上昇しており、以降徐々に収束域が南下し、6時には23区を中心部付近に収束するようになり、23区内にもNOx濃度が140ppbを超える地点が複数見られます。5時の時点の気温分布は、23区では27.5℃を超える地点が見られるものの東京西部では24℃程度の地点があり、その温度差は3℃以上になっていました。風の収束域と気温分布との関係について、1時には収束域である埼玉の南東部に高温域が見られますが、時間の経過とともに相対的な高温域は23区内に移っています。

その後7時以降は気温が上昇し、風が次第に強くなりNOxの高濃度域は解消されます。昼前くらいから海風が吹き始め、昼ごろから東京西部の光化学オキシダント濃度が上昇し14時には180ppbを超える地点も見られます。高濃度光化学オキシダントのエリアは、東寄りの風が卓越する中、海風の発達とともに北西部へ流され、18時には都心部の光化学オキシダント濃度は40ppb程度まで低下し、埼玉県西部には180ppb以上の高濃度域が残っています。

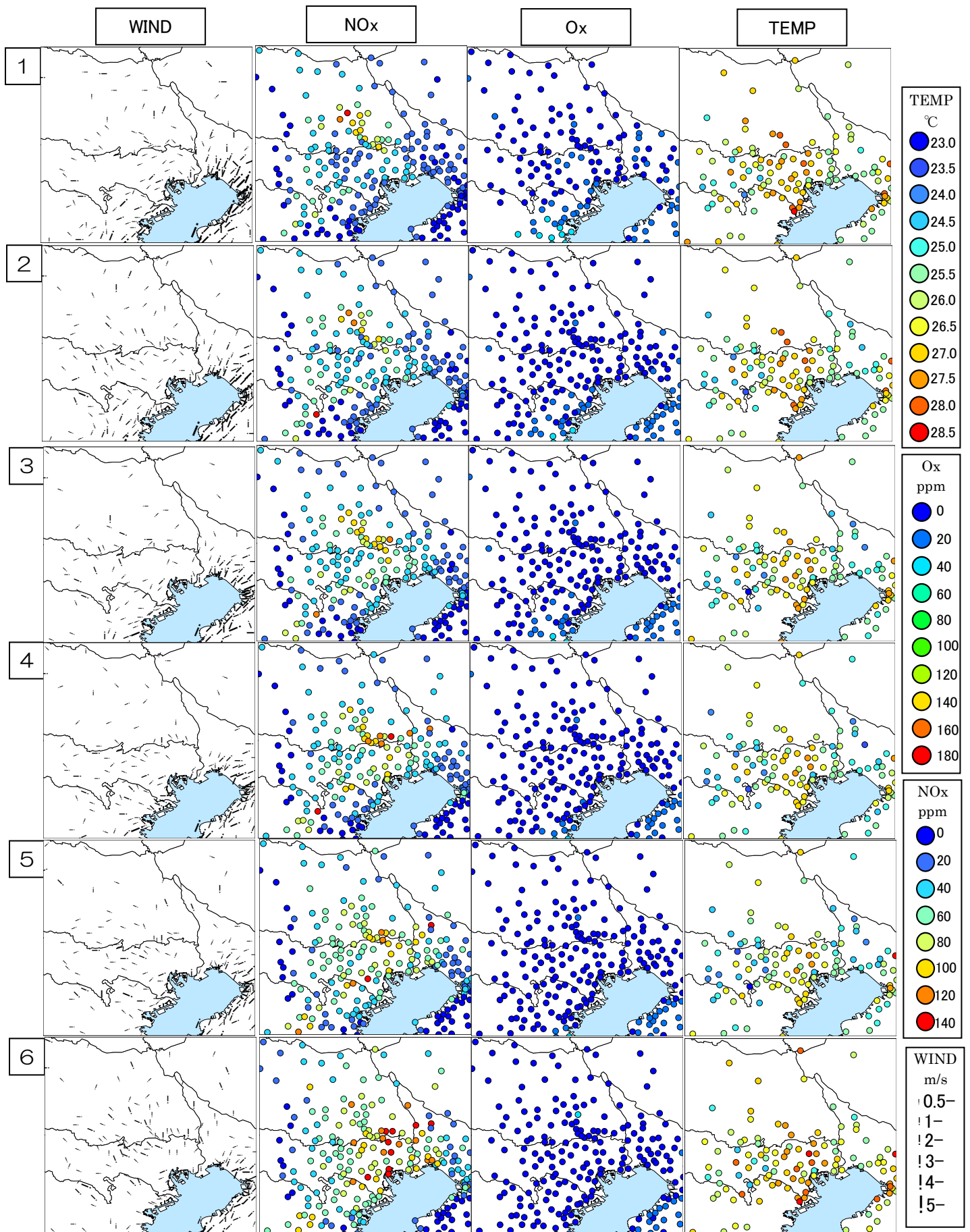


図 14 2004/7/7 東京周辺の気象及び NOx、Ox の濃度分布変化 (1 ~ 6 時)

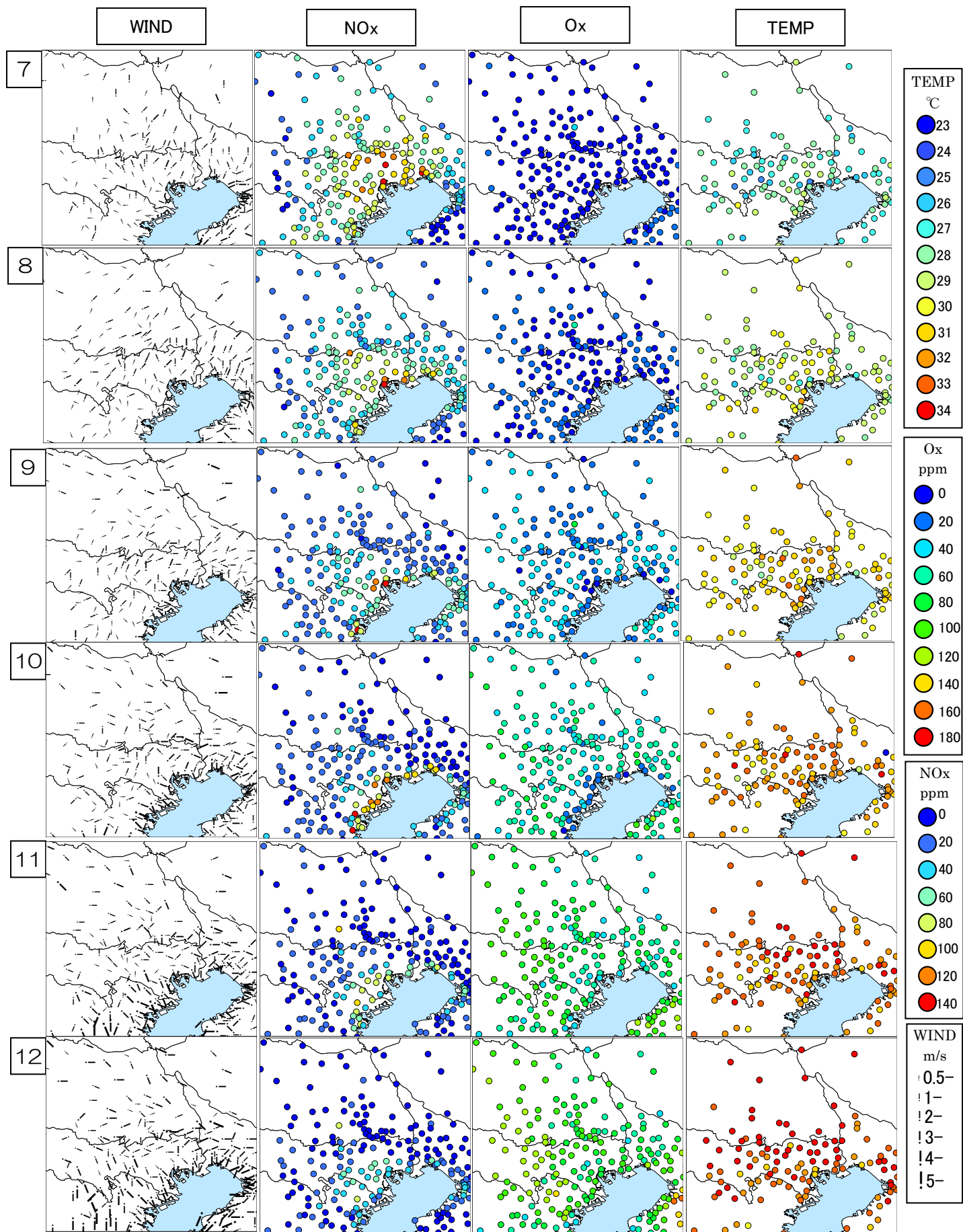


図 15 2004/7/7 東京周辺の気象及びNOx、Oxの濃度分布変化（7～12時）

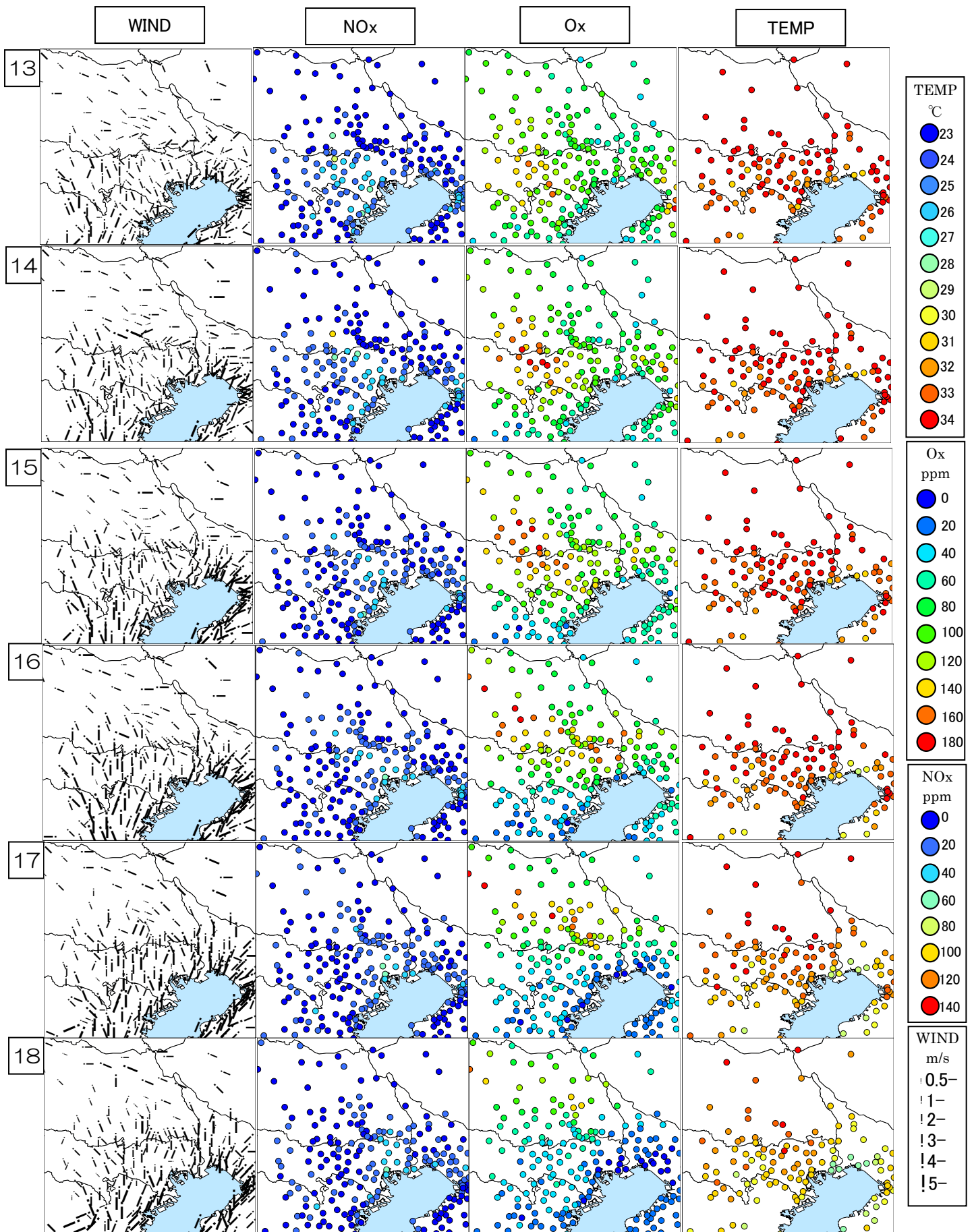


図 16 2004/7/7 東京周辺の気象及び NOx、Ox の濃度分布変化 (13~18 時)

3) NOx 高濃度化の鉛直構造

平成 16 年 7 月 7 日の事例では、明け方に都心部に風が収束していることと、都心部の NOx 濃度の上昇が見られましたが、このときの NOx 濃度の鉛直分布を確認するため、東京タワー 25m、125m、225m の NOx の経時変化を調べました。上空 225m においても 3 時には 80ppb、6 時には 90ppb を超えており、都心部への大気の収束が大気汚染物質を上空に持ち上げていることが推察されます。

なお、東京タワー 25m、125m、225m における NOx 濃度の平均的な経時変化を見ると、125m、225m 地点の濃度は 25m 地点にくらべて 2～3 割程度低くなっており、明け方に上空の NOx 濃度が地上の濃度と同じように上昇することは一般的ではありません。

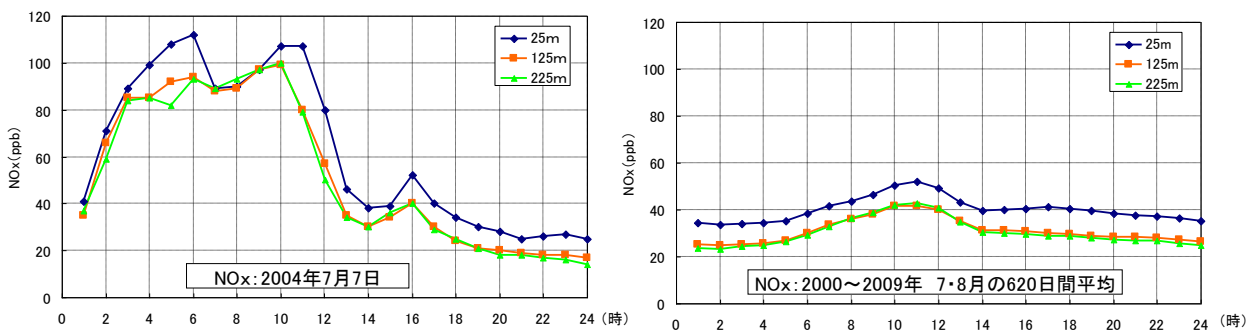


図 17 東京タワー高度局における NOx の経時変化 (左：2004 年 7 月 7 日、右：平均的な変化)

平成 16 年 7 月 7 日の東京タワーにおける明け方の気温変化を見ると、地上 (4 m) は前日から徐々に低下して 2 時からほぼ一定となるのに対し、上空の気温は 0 時に最低となり、その後上昇傾向を示し、64m では 3 時にピーク、205m では朝まで徐々に上昇していました。

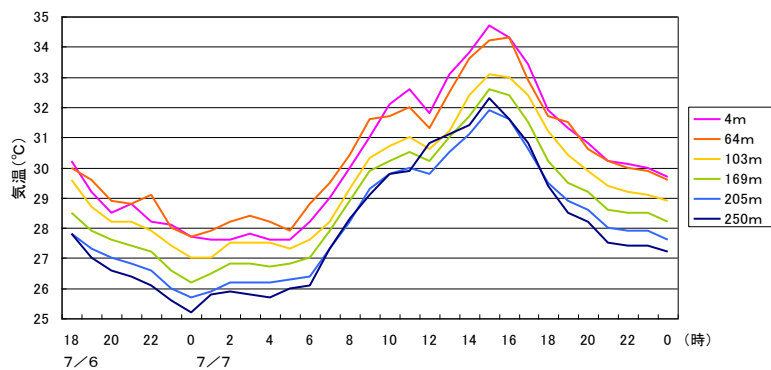


図 18 2004 年 7 月 7 日の東京タワーの高度別気温経時変化

2.4 前駆物質の高濃度化とヒートアイランド現象

1) ヒートアイランド現象と風の収束

静穏下において都心部に向かう風の存在は、これまでに多くの研究や調査で明らかにされており、ヒートアイランド現象による影響の一つとして指摘されています¹。東京における研究事例²では、夜間に都心部に吹き込む風速 1 m/s 程度の低気圧性の風が確認されています。

気温が相対的に高い場所に風が収束するメカニズムは、気温が高いところが低圧部になることによるものですが、東京区部で観測された気温と気圧の関係を定量的に検討した結果では、気温が 1℃高いと気圧が 0.13hPa 低下することが報告されています³。

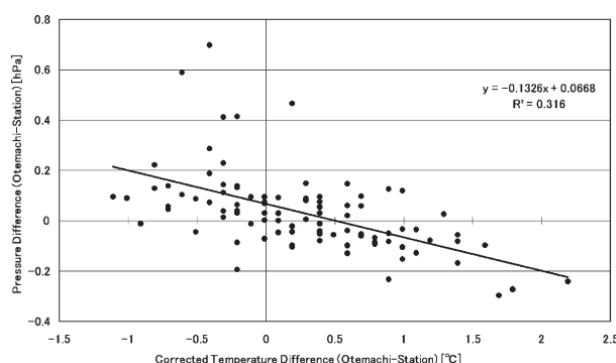


図 19 地上気温差と海面気圧差の散布図³

水平面上で空気の流れがどの程度集まってきているのか、もしくは拡散しているのかを表す指標として「水平発散 : Divergence」が用いられます。「水平発散」とは、図 20 のように、複数地点の風ベクトルを用いて単位時間当たり面積が増加（もしくは減少）する割合を示すものです。

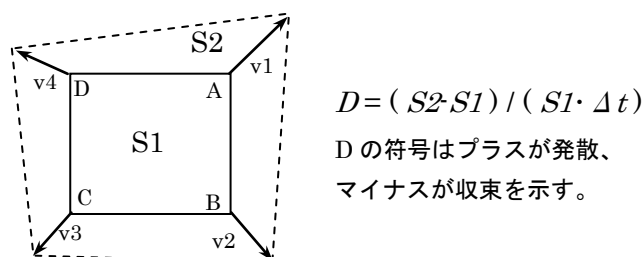


図 20 水平発散の概念図

水平発散の求め方には、面的な格子点の風向風速を推計して格子ごとに発散量を求めて把握する方法⁴や、一定の円の中に含まれる複数の観測された風向風速から平面近似により求める方法⁵

¹ Oke, T.R. Boundary Layer Climates 2nd edition, Routledge, London, 1987

² 例えば、河村武：都市気候の分布の実態，気象研究ノート，133，1977

³ 高橋一之、高橋日出男、三上岳彦、横山仁、安藤晴夫、赤坂郁美：静力学平衡を仮定して補正したデータによる東京都心部の気圧低下の検出，天気，58(2)，2011

⁴ 藤部文昭、浅井富雄：関東地方における局地風に関する研究 第2部：東京のヒートアイランドに伴う地上風系，天気，No.26，1979

があります。ここでは後者の平面近似による方法を採用し、円内の観測点の風の U、V 成分を平面近似することでその微分である水平発散を求めます。一定の円については、おおよそ東京 23 区を包含する皇居を中心とする半径 15km 圏内を設定しました。

任意に定めた各領域内の原点から観測点 i までの距離 x_i, y_i を求め、風速の X 成分、Y 成分を U_i, V_i とし、最小二乗法により次式で近似し、係数 A~F を求めました。

$$U_i = Ax_i + By_i + C \cdots (1)$$

$$V_i = Dx_i + Ey_i + F \cdots (2)$$

水平発散は次式で表されます。

$$D = \partial U / \partial x + \partial V / \partial y \cdots (3)$$

ここで、 $\partial U / \partial x = A, \partial V / \partial y = E$ であるから、(3) 式は以下のように表すことができます。

$$D = A + E \cdots (4)$$

D が正であれば発散、負であれば収束です。

水平発散とヒートアイランド現象との関係性を見ると、郊外にくらべて都心部の気温が高いほど、収束が強くなる傾向が見られました。都心部の気温として、夜間における顕熱フラックスが大きい都心 9 区にある一般局（7 局）の平均気温を用い、郊外については東京 23 区の外縁部にあたる皇居を中心とした半径 15~30 km 圏内（30 局）の平均気温としました。都心 9 区は平成 14 年度環境省報告書⁶から夜間平均大気熱負荷量が $50W/m^2$ を超えている千代田区、中央区、港区、新宿区、文京区、台東区、墨田区、渋谷区、豊島区です。

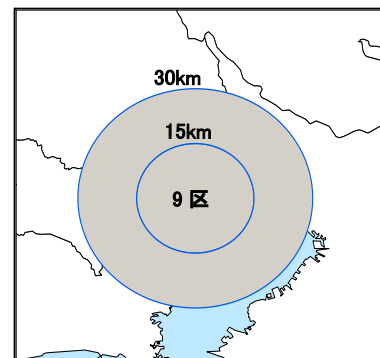


図 21 皇居を中心とする各距離圏

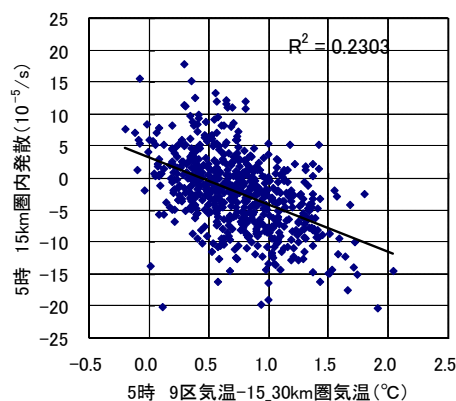


図 22 5 時における都心部—郊外の気温差と水平発散の関係

2000~2009 年 7~8 月の 620 日間

⁵ 甲斐憲次、浦健一、河村武、Park ONO H-S：東京環状八号線道路付近の上空に発生する雲（環八雲）の事例解析，天気，No.42，1995

⁶ ヒートアイランド対策手法調査統括委員会、環境情報科学センター：平成 14 年度ヒートアイランド現象による環境影響に関する調査検討業務報告書，2003 年 3 月

なお、上記の圏域に 30～40km 圏、40～50km 圏も加え、各圏域の明け方 5 時の平均気温を水平発散の程度別に見ると、全体的に都心 9 区の気温が最も高く、郊外に行くほど気温が低下し、30～40km 圏と 40～50km 圏では気温の違いはあまり見られませんでした。また、収束が強くなるほど（水平発散がマイナスになるほど）、都心と郊外の気温差が大きくなる傾向にあることが分かります。

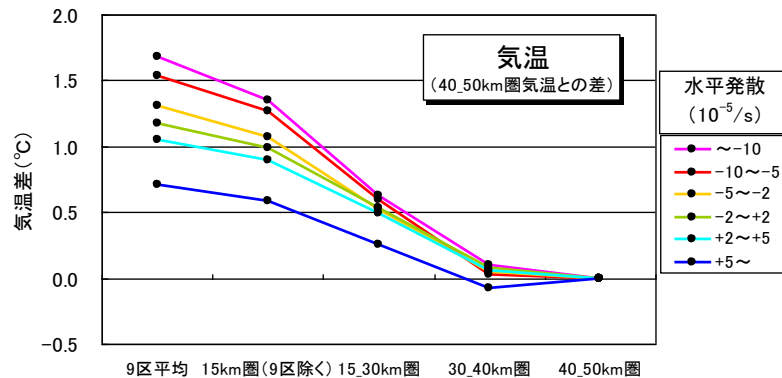


図 23 5 時における都心部と郊外の気温差（水平発散の程度別）

2) 風の収束と前駆物質の高濃度化

風の収束が都心部の大気汚染濃度に及ぼす影響を見るため、NO_x と NMHC、さらには光化学オキシダントの前駆物質ではないものの、夜間においては成分が安定している SPM の 3 つの物質について、半径 15km の水平発散と深夜から朝にかけての濃度変化量との関係を調べました。深夜から朝方の濃度変化量は以下のように計算しました。

$$\text{濃度変化量 (1～7時)} = (\text{5～7時の最大濃度}) - (\text{1～3時の最低濃度})$$

ただし、一般的に大気汚染濃度の上昇は風の強さによって影響されるため、東京 23 区内の 3～5 時の平均風速で 1～2 m/s の日のみを抽出しました。また、大気汚染の発生源強度を一定とするため、土日・祝日（お盆の時期となる 8/10～8/20 も含む）及びその翌日を除きました。結果は、風の都心部への収束が強くなるほど、大気汚染濃度の上昇量が大きくなる穏やかな傾向が見られました。その関係性は、NO_x よりも NMHC や SPM でわずかながら良好でした。

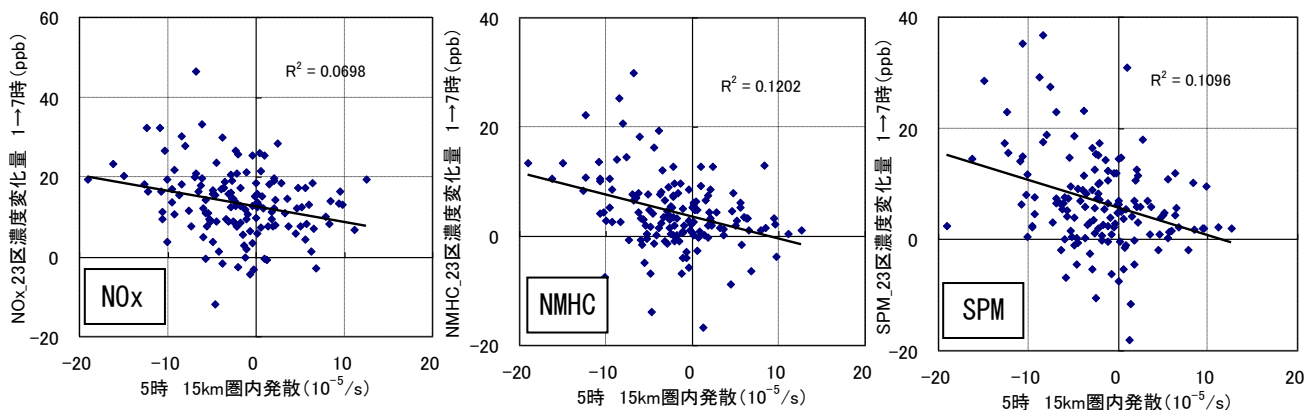


図 24 5 時における水平発散と大気汚染濃度変化量との関係（左から、NO_x、NMHC、SPM）

土日・祝日及びその翌日を除き、3～5 時の 23 区内地上平均風速が 1～2 m/s のみを抽出した

次に、水平発散と東京タワー25m、125m、225mのNOx濃度上昇量との関係を見ると、収束が強くなるほど上空濃度が上昇する傾向が見られるものの、バラつきが大きく、明瞭ではありません。これは、半径15km圏内の収束に対し、圏域内の上空濃度を東京タワーの1地点のみで代表させたことによる影響であると推察されます。

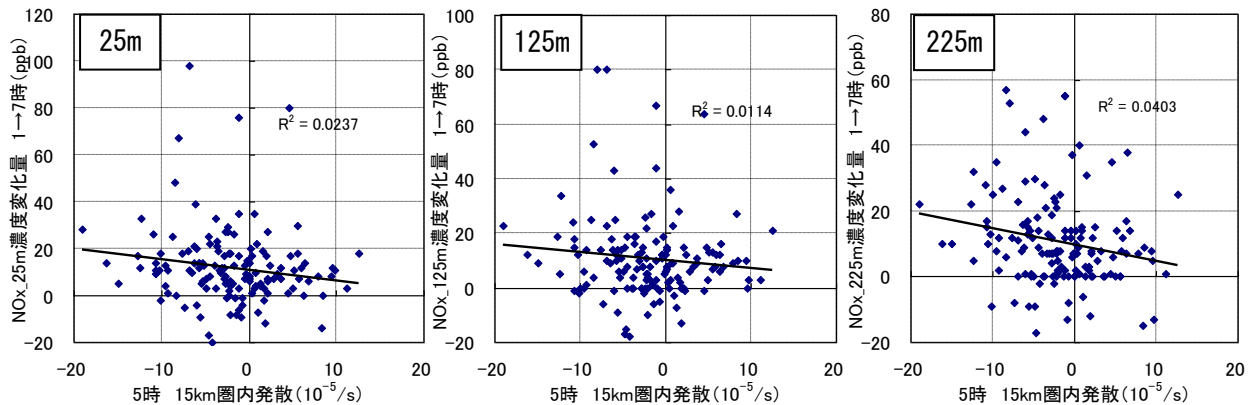


図25 5時における水平発散と上空NOx濃度変化量との関係
 土日・祝日及びその翌を除き、3~5時の23区内地上平均風速が1~2m/sのみを抽出した

3) 風の収束と前駆物質の濃度分布

都心部への風の収束が面的な大気汚染の状況に及ぼす影響を検討するため、皇居から10kmごとの圏域の朝6時のNOxとNMHC濃度について、水平発散・収束の強度別にその関係性を見ました。

NOxでは一定して都心部の濃度が高いが、収束が強くなるほど都心部のNOx濃度の上昇幅が大きくなる傾向が見られました。

NMHCについては、23区の縁辺部にあたる10~20km圏内の濃度が高くなる傾向が見られます。これはNOxが自動車による都心部での排出が多いのに対し、NMHC

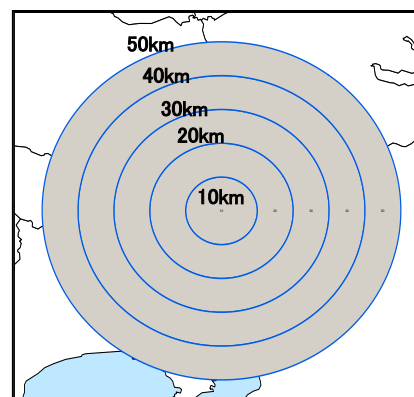


図26 皇居を中心とする各距離圏

の発生源は塗装施設やガソリンスタンド、化学プラントなど、必ずしも都心部に集中していないことに起因すると考えられます。都心部にあたる10km圏内のNMHC濃度は、水平発散が $-2 (10^{-5}/s)$ 以上の場合、30~40km圏よりも低くなります。しかし、水平発散が $-5 (10^{-5}/s)$ 未満になると20~30km圏よりも高くなっており、これには都心部への風の収束が10~20km圏の高濃度なNMHC大気を都心部に移流させていることに起因するものと推察されます。

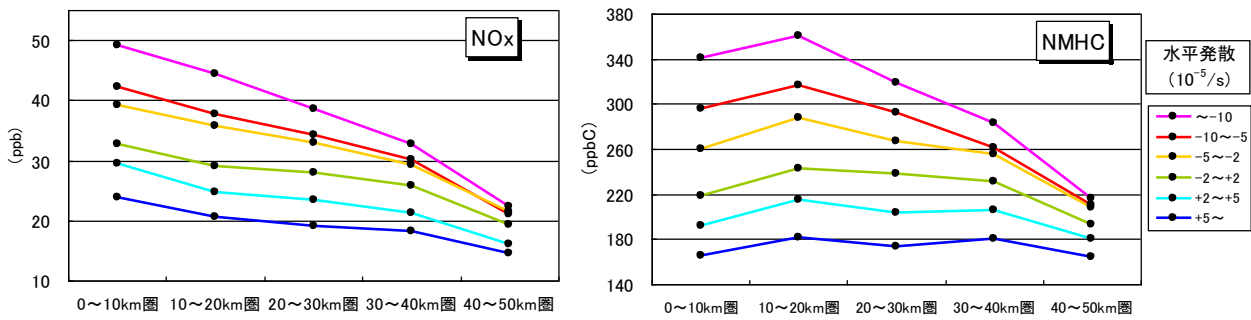


図 27 6時における都心部と郊外の大気汚染濃度（水平発散の強度別）

3. まとめ

これまでの解析から、朝方に NOx の濃度が高くなる現象は図 28 のように表すことができます。都心部の NOx 濃度の 3 次元的な上昇は、東京 23 区程度の範囲で、都心部が暖かく周辺部の気温が相対的に低くなるヒートアイランド現象によって、都心部への風の収束が継続することによる影響と考えられました。

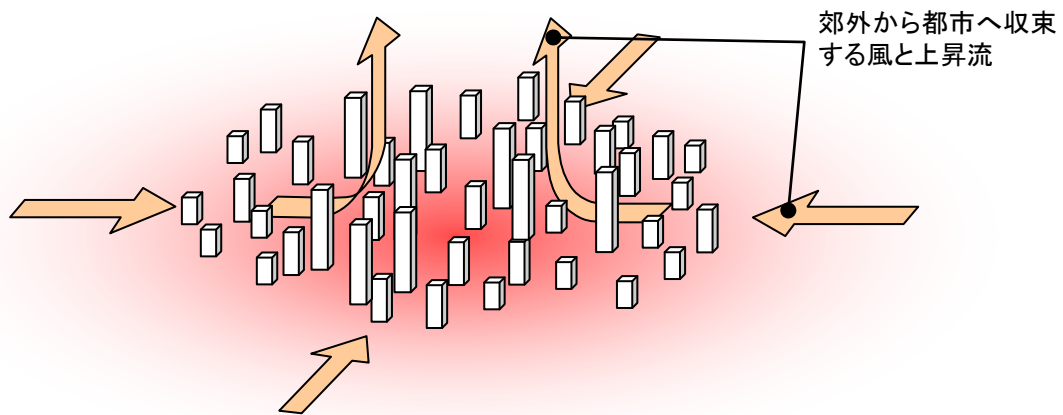


図 28 都市における朝方の風の収束と上昇流のイメージ

ただし、都心部への風の収束は、関東地方の海陸風の挙動における一時点を切り取ったものであり、takahashi⁷が指摘しているようにヒートアイランド現象が深夜から明け方にかけて陸風を都心部に停滞させ、そのことが都心部の大気汚染を助長させることにつながっていると考えられます。

NOx や NMHC の 3 次元的な濃度上昇が、高濃度光化学オキシダントの出現にどの程度影響するかについては気象の総観場や複雑な光化学反応過程を考慮しつつ慎重に検討する必要があります。

⁷ K.Takahashi, T.Mikami, H.Takahashi, INFLUENCE OF THE URBAN HEAT ISLAND PHENOMENON IN TOKYO ON LAND AND SEA BREEZES, The seventh International Conference on Urban Climate, 2009

すが、光化学オキシダント濃度ランク 1 とした 43 日間のうち、41 日間 (95%) は朝 5 時の 10km 圏内、15km 圏内の水平発散がマイナス、すなわち収束している状況でした。

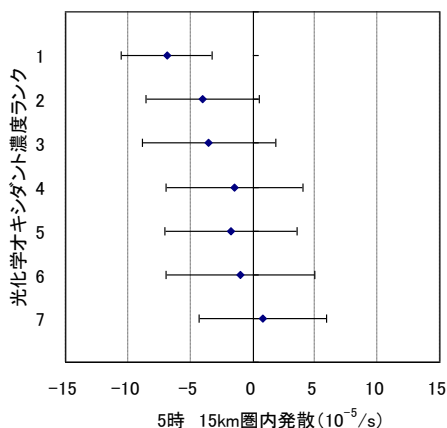


図 29 5 時の発散 (平均と標準偏差: σ) と光化学オキシダント濃度ランク

また、NO_x が朝方 (5~7 時) に一日のピークとなる「朝方ピーク」パターンの出現割合とそのときの平均濃度の経年的な変化を調べました。「朝方ピーク」パターンの出現割合は年ごとのばらつきがあるものの、増加傾向にあることが分かります。濃度については、1998 年以前までは 40ppb 前後で横ばいであり、その後 10ppb 弱低下したものの 10 年間程度続き、2008 年に一段と低下しています。

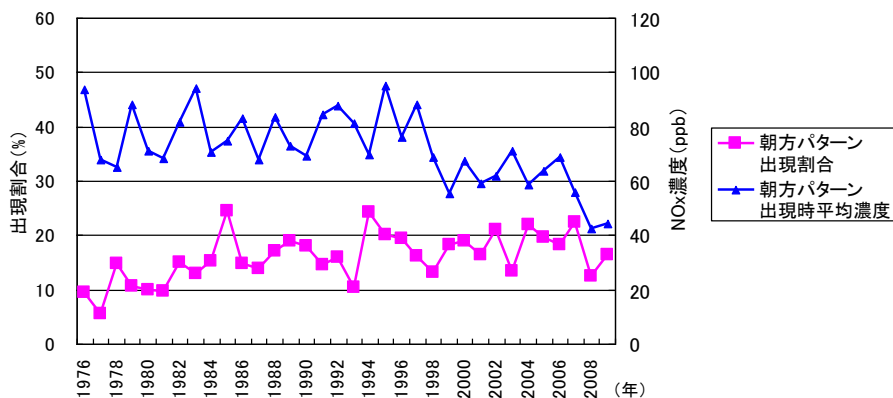


図 30 朝方に NO_x 濃度が高くなる割合と出現時の平均濃度の経年変化