

長野盆地における高濃度オキシダントの出現要因

野溝春子*・薩摩林光*・内田英夫*
鹿角孝男**・河原純一***

長野盆地で100ppbを超える高濃度オキシダントとなる要因を解明するため、1998年5月から7月にかけて長野盆地辺縁部の低山中腹及び群馬県境の四阿山中腹にオゾン計を設置し、測定結果を常時監視データと比較、検討した。調査期間中、長野盆地で光化学オキシダント濃度が100ppb以上となる状況が4回出現し、内2回は東京湾岸から汚染気塊が傾度風により短時間で流入したもので、他は輸送されてきた上層のオゾン濃度が高い状況下での盆地内の汚染物質の生成・蓄積と前日の東京湾岸からの汚染気塊流入・停滞によるものと推定された。

キーワード：光化学オキシダント、オゾン、長野盆地、傾度風、熱的低気圧、山風

1. はじめに

1977年から1980年にかけて行われた、長野市における高濃度光化学オキシダント(Ox)調査では、Ox日最高1時間値が0.06ppm以下であるための十分条件、0.10ppm以上になるための必要条件が示された¹⁾。また、夏期においては関東平野の大気汚染物質に起因するOxの移流が深夜に長野市へ到達する可能性があることが報告された^{2),3)}。1979年には、山腹を利用したOxの高度分布調査が行われ、長野盆地におけるOx濃度の高度分布等について報告されている⁴⁾。1982年に行われた調査では、関東地方から汚染気塊が流入し、上田盆地や長野盆地でのナイトスモッグを引き起こすことが報告されている⁵⁾。

長野盆地のOxの常時監視測定局は1984年以降7局となったが、1997年までの毎年、1時間値の最高値がいずれかの地点で100ppbを超えていた。この高濃度Ox出現原因を解明するため、1998年5月から7月に、盆地との標高差およそ180m及び標高差およそ1000mの山腹にオゾン(O₃)計を設置し、この測定結果、長野県内の常時監視測定(以下常監)局データ、八方尾根の国設局のO₃濃度、群馬県の常監データ及び気象庁データを用いて解析したので報告する。

2. 調査方法

2.1 測定地点、測定期間及び測定項目

測定地点を図1に示す。長野盆地は、標高およそ320～360mの紡錘形の盆地で、千曲川が南西から北東へと流れ、松本盆地から山間を流れ下った犀川が長野盆地で東西方向の流れとなり、千曲川に合流している。

1998年度の長野盆地のOx測定局は、東縁部に北から(旧)須坂保健所局(以下須坂)、長野市松代局(以下松代)、西縁部に北から長野市吉田局(以下吉田)、長野市後町局(以下後町)、衛生公害研究所局(現環境保全研究所安茂里庁舎、以下衛公研)、長野市篠ノ井局(以下篠ノ井)が位置し、盆地のほぼ中央部に長野市下氷飽局(以下下氷飽)が位置する。この内、後町には風向風速計がないため、南南東に約400m程離れた長野市新田町局(以下新田町)の風向風速データを代用した。

環境省国設八方尾根酸性雨測定所(以下八方尾根)は唐松岳から東へ延びる尾根上の標高1850m地点にあり、周囲は裸地、草地、低木帯となっている。

1998年5月から7月にかけて、長野盆地の西縁を形成する旭山(標高785m)中腹の阿弥陀寺観月堂(標高約540m、以下旭山)及び長野盆地東側の山脈を形成し群馬県境に位置する四阿山(標高2354m)中腹の菅平薬草栽培試験地(標高1410m、以下菅平)にO₃計を設置し、測定を行った。旭山測定地点は旭山山頂から南東方向に当たり、裾花川との標高差はおよそ180mである。

菅平測定地点は四阿山の南南西の斜面にあり、群馬県境の鳥居峠(標高約1360m)から北西2.5kmに

* 長野県環境保全研究所 環境保全チーム 〒380-0944 長野市安茂里米村 1978

** 長野県環境保全研究所 循環社会チーム、*** 松本保健所

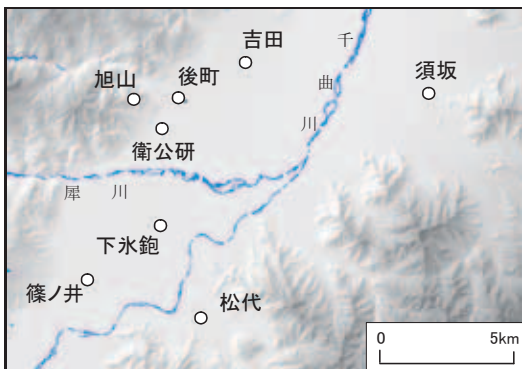
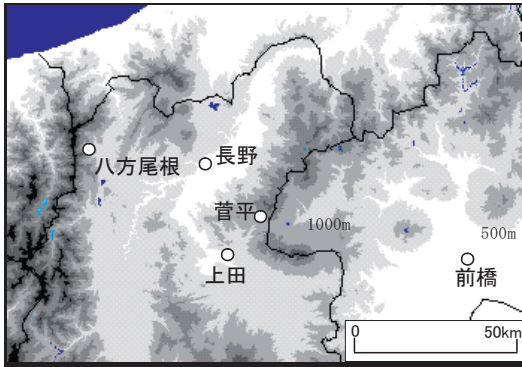


図1 測定地点(上図：広域，下図：長野盆地)

位置する。また、八方尾根の東南東およそ55kmの距離にある。

前橋のデータは、群馬県の常監データを用いた。気圧、気温、降水量及び常監局以外の風向・風速は気象庁のデータ⁶⁾を使用し、天気図は気象庁天気図⁷⁾に加筆作成した。

2.2 測定方法

旭山及び菅平測定地点では、当所(標高360m)で校正したO₃濃度計(dasibi 1003-AH)で測定し、菅平の測定値は高度補正した。なお、八方尾根のO₃濃度は同地点の現地気圧で補正されたものを使用した。

また、長野県及び長野市の常監局のOx計は全て吸光光度法(中性ヨウ化カリウム法)であった。

3. 結果及び考察

3.1 調査期間中のOx濃度と気象

調査期間中、長野盆地内で、5時から20時のOx濃度が常監局のいずれかで100ppb以上となった日は、5月16日、23日、28日及び6月18日の4日であった。最高値は5月16日16時須坂の119ppb、次いで5月23日14時下水鉤の113ppbであった。5月23日

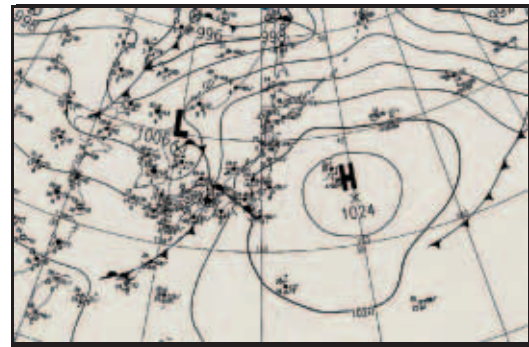


図2 気圧配置(1998年5月16日12時)

には須坂を除く各測定局が期間中の最高値となった。また、夜20時から翌朝5時までの夜間においてOx濃度が100ppb以上となったのは、5月23日24時後町の103ppb、24日2時吉田の104ppbであった。

調査期間中、長野盆地が2日以上連続して高気圧に覆われたのは、5月14～16日、20～24日、26～28日、5月30～6月1日、6月16～18日、7月5～8日、13～15日の7回であった。5月及び6月は移動性高気圧またはシベリア高気圧、7月は太平洋高気圧またはオホーツク高気圧の影響下にあった。

3.2 5月16日のOx高濃度出現要因

13日夜明け前に寒冷前線が通過し、長野で5mm、菅平で3mmの降雨となった。14日より移動性高気圧下となり、15日は高気圧の中心、16日には高気圧後面にあって日本海の西から低気圧が接近し(図2)、長野では夜に雨となった。

図3に5月14～17日の長野盆地内常監3地点と旭山、八方尾根及び菅平のOx濃度経時変化を示す。14日後半から16日にかけての八方尾根のO₃濃度レベルはほぼ横這いで、およそ60～70ppbであったが、16日正午前より上昇し、15時には85ppbの最高濃度となった。菅平では八方尾根とほぼ同じレベルであったが、16日14時には100ppbを超え、15時に八方尾根を30ppb近く上回る113ppbとなった。

長野盆地常監各局におけるOx日最高値は各局とも14日と15日がほぼ同じ値で、15日の盆地内最大値は下水鉤の75ppbであった。16日正午頃のピークは前日の最高濃度より各局それぞれ8～18ppb高く、盆地内の最大値は下水鉤の93ppbであった。旭山では16日5時のO₃濃度が前日5時に比べ約20ppb高く、50ppb近い値となっていた。このとき新田町の風向は、裾花峡からの山風の状態にあった。長野

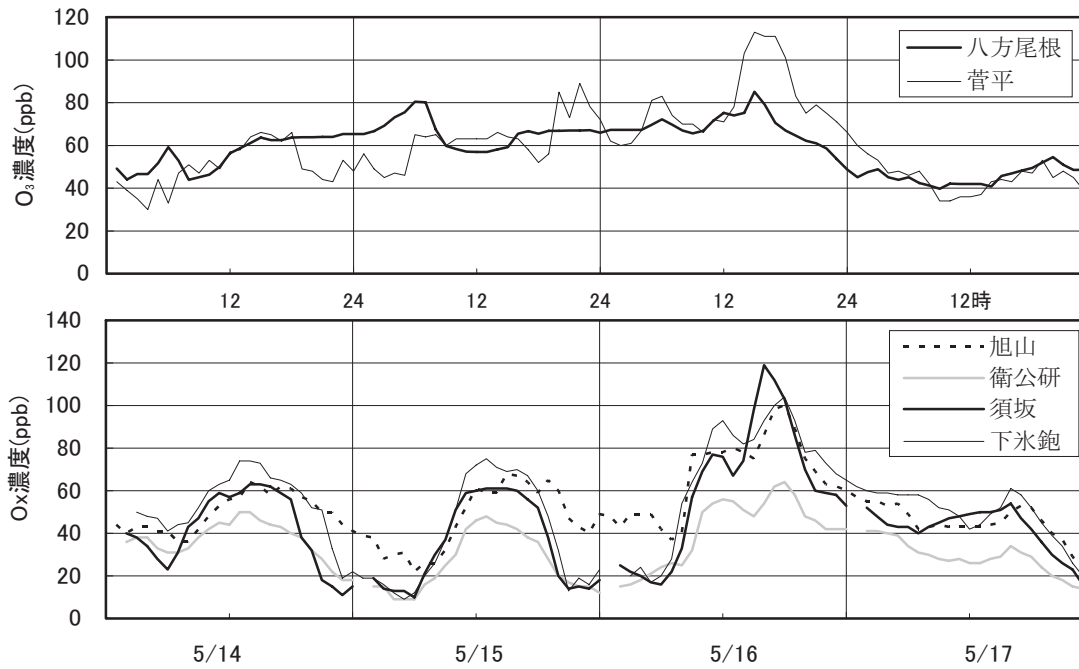


図3 長野盆地と菅平及び八方尾根のOx濃度(1998年5月14～17日)

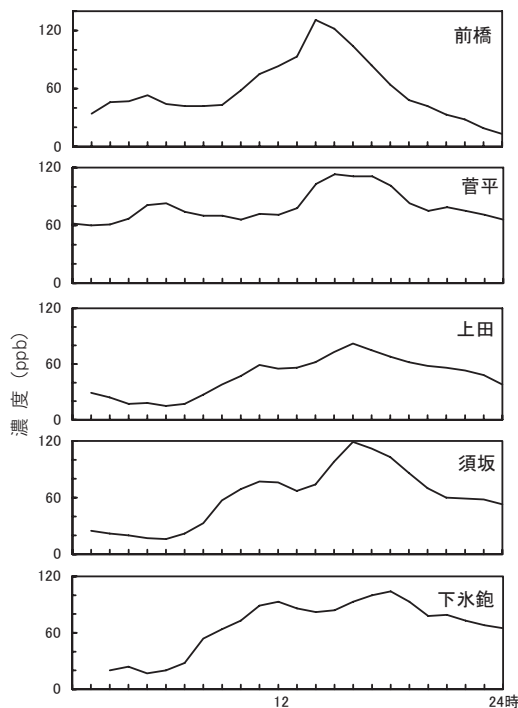


図4 オキシダント濃度経時変化 (1998年5月16日)

盆地上空の夜間のOx濃度が高かったことが16日12時前後の盆地内におけるOx高濃度の一要因とみられる。

16日は、16時に須坂で119ppb、18時には下水鉋で104ppb及び旭山100ppbのそれぞれ日最高濃度となった。16日の群馬県前橋のOx濃度は14時に

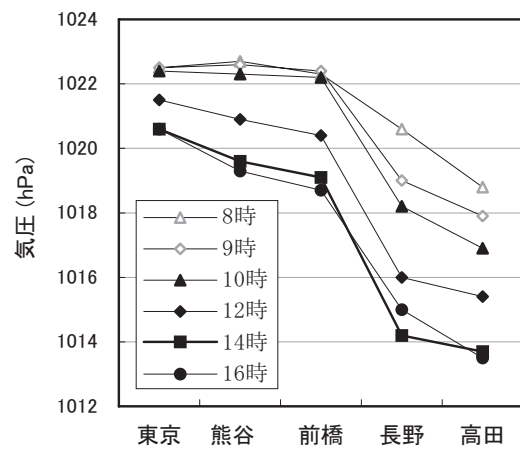


図5 1998年5月16日の時刻別海面気圧

日最高濃度131ppb、上田合庁では16時に日最高濃度82ppbであった(図4)。16日の時刻別海面気圧を図5に、16日15時の風向・風速を図6に示す。長野の気圧は14時に最低となり、同時に東京との海面気圧差も最大の6.4hPaとなった。前橋地方気象台では10時～22時の風向がESE～SE、この間の最大風速は13時の6.9m/sであった。15時の風向は上田合庁がSEで群馬県側からの風が入る時の状態、菅平SSE、須坂 Eで群馬県側からの風が入る状態、下水鉋 S で上田からの風が入る状態にあった。上

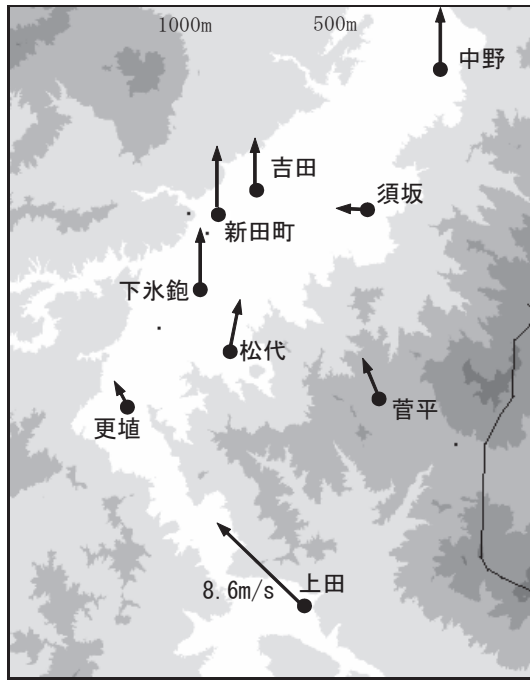


図6 O_x高濃度時の風系(1998年5月16日15時)

田合庁の風速は14時9.8m/s、15時8.6m/sであり、長野と東京との気圧差が最大になった時刻と上田合庁の風速最大時刻とが一致していた。また、鳥居峠の東約5kmにある群馬県田代(標高1230m)では、15時には風向E、風速4m/s、15時を除く9時～19時はNE系の風であり、長野県境へ向かう風であった。東京、熊谷、前橋、長野及び高田の海面気圧を時刻毎に結ぶ線は、10時以降全て右肩下がりとなった。傾度風⁸⁾による東京湾岸地域から長野を経て日本海側へ向かう気塊の輸送が10時頃から始まり、14時頃に長野県への流入が最大になったとみられる。また、新潟県高田では14時に気温31.9℃を観測しており、同時刻の東京の気温が25.4℃であったことから、フェーン現象となる山越えの風であったことがわかる。以上のことから、移動性高気圧による晴天が続いて汚染物質が蓄積した後に、日本海の西から弱い低気圧が接近し、この低気圧に吹き込む傾度風により東京湾岸から汚染気塊が短時間に輸送され、長野盆地のO_xが高濃度になったものと考えられる。

14～17日のO_x濃度、一酸化窒素(NO)濃度、二酸化窒素(NO₂)濃度及び浮遊粒子状物質(SPM)濃度を図7に示す。4日間でSPM濃度が最高となったのは衛公研、須坂ともにO_xと同じく16日であった。NO₂濃度は15日から16日にかけての夜間が4日間で最も高く、この比較的高濃度NO₂による16日の光化

学生成量増加も12時前後の盆地内のO_x高濃度の一因とみられる。

3.3 5月23,24日のO_x高濃度出現要因

長野は5月17日に6mm、18日に2mmの降水があった後、20日から日本海を中心を持つ移動性高気圧に覆われるが、シベリア高気圧が北から張り出し、22日からシベリア高気圧の勢力下となった。長野の日最高気温は20日25.9℃、21日27.8℃、22日30.1℃、23日29.7℃であった。24日には前線を伴う低気圧が日本海の西から接近し、長野は8時以降雨となった。

20～24日のO_x濃度の経時変化を図8に示す。八方尾根では、20～22日のO₃濃度は昼間およそ60ppb、夜間およそ80ppbの高濃度横這い状態にあり、その後22日午後から23日にかけて増加傾向となって23日22時に96ppbに達した。一方、菅平のO₃濃度は20日から24日にかけて増加傾向を示し、22日17時に113ppbの最高濃度となった。

長野盆地内のO_x日最高濃度は、21日が下水鉋及び篠ノ井の84ppb、22日が篠ノ井の90ppb、23日が下水鉋の113ppbであった。下水鉋では100ppb以上の高濃度が12時から18時まで続いたが、13時から18時までNE系の風であった。20日から21日にかけての夜間及び21日から22日へかけての夜間には常監各局で30ppb前後の小ピークがみられ、このとき、旭山では50ppb前後であった。22日から23日にかけての夜間の小ピークは全地点で前夜より高くなり、常監局での最大は23日1時篠ノ井の54ppb、旭山では22日23時の76ppbであった。23日から24日にかけての夜間にはピークは更に高くなり、旭山では23日24時106ppb、後町24時103ppb、吉田24日2時は104ppbであった。

各地点毎のO_x日最高値の増加量は20日から21日にかけては7～16ppb、21日から22日にかけては2～9ppb、22日から23日にかけては15～28ppbであった。長野盆地内の日毎の最高値と比較すると、それぞれ13ppb、6ppb、23ppbの増加であり、次第にO_xが蓄積したものとみられる。20日午後から22日午前にかけては八方尾根のO_x濃度レベルは70～80ppbで増加していないこと、また、上田合庁で20日夕～夜のピークがみられないことから、21日の盆地内のO_x生成による増加量はおよそ10～15ppbと推定された。

関東平野の東部では、22日8時頃より風速5m/s

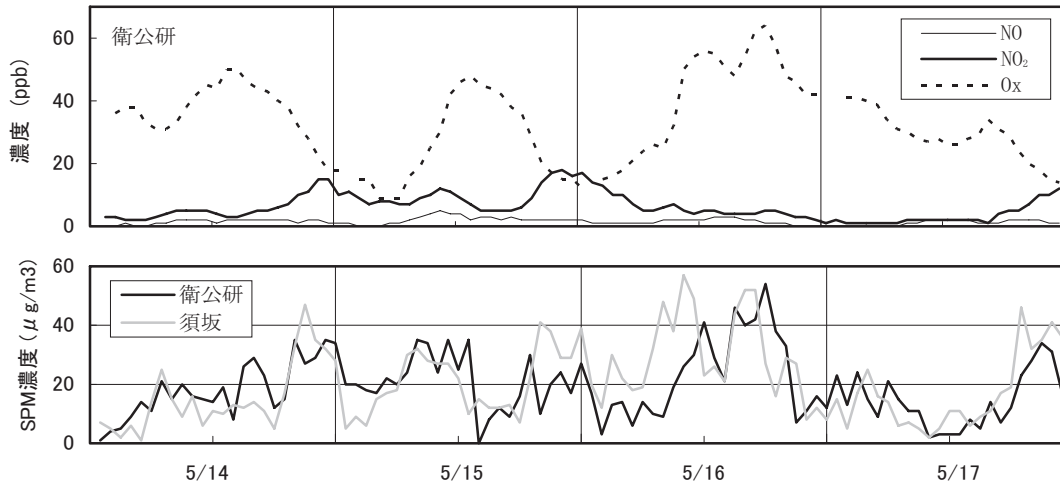


図7 長野盆地のOx,NOx,SPM濃度(1998年5月14~17日)

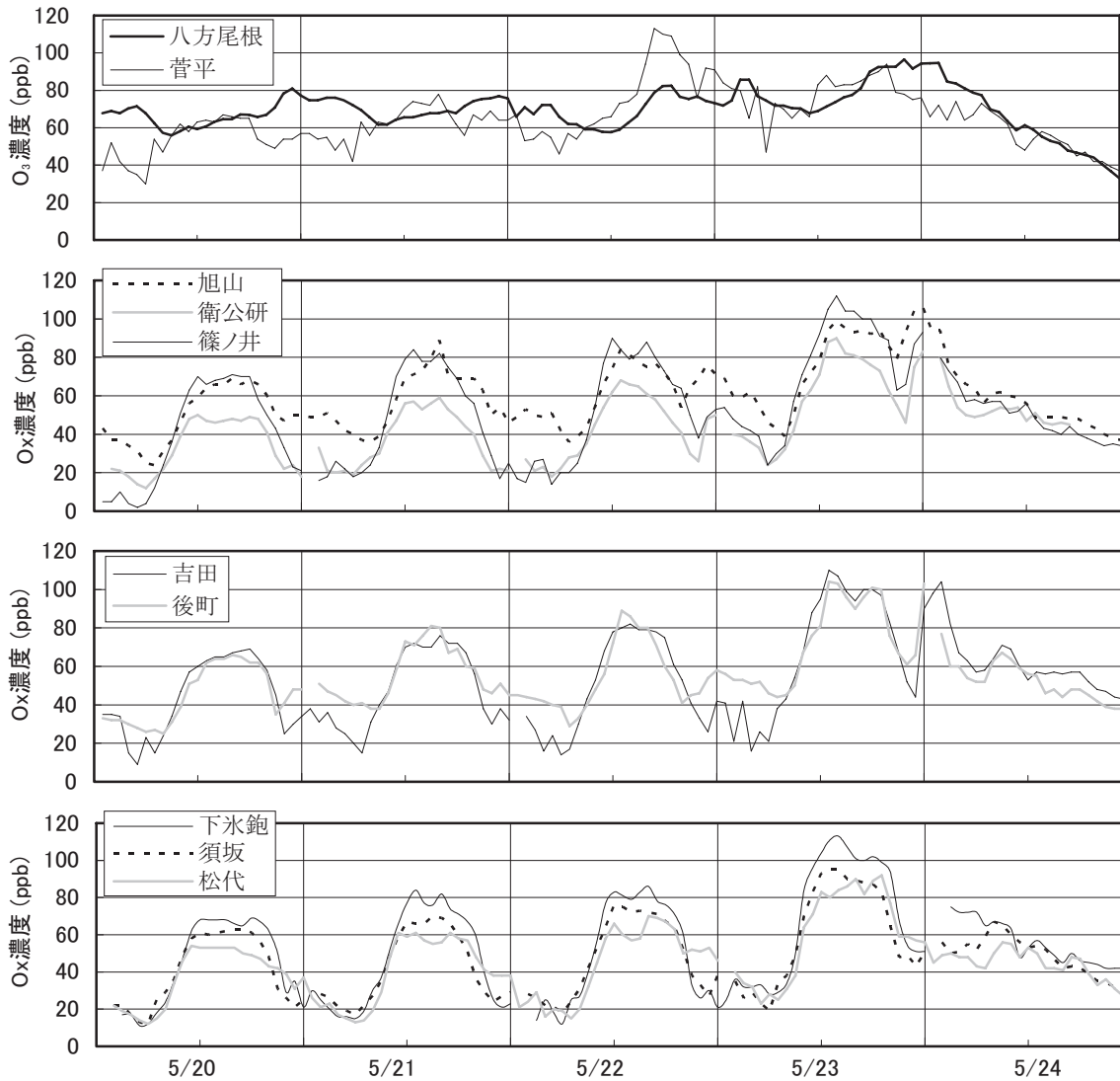


図8 長野盆地と菅平及び八方尾根のOx濃度(1998年5月20~24日)

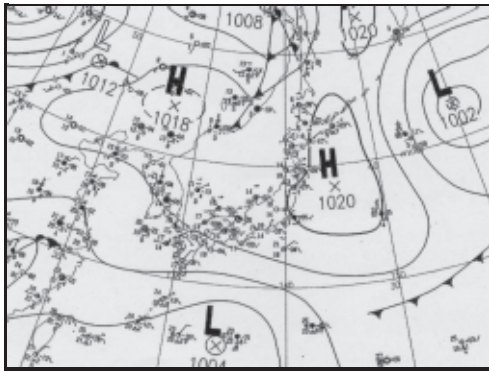


図9 気圧配置(1998年5月22日18時)

を超える北東風が入り始め、群馬県でも9時頃より東寄りの風となった。一方、長野県内は各地の海面気圧を比較すると、午後、松本付近を中心とする熱的低気圧¹⁰が発生していたとみられる。また、AMEDAS各地点の風向・風速から、22日17時の長野県下は大規模海風の状態にあったとみられる。22日17時には上田合庁で日最高値の101ppbとなり、風向が前橋、上田合庁ともにSE系となっていること、また田代で12時から17時がENE~NNEの県境へ向かう風となっていること、前橋では22日12時に日最高値112ppbであったことなどから、関東側から汚染気塊の流入があったものとみられた。22日18時の気圧配置を図9に示す。また、同日は長野県中部の岡谷及び諏訪で19時のOx濃度が112ppb、長野県南部の飯田でも17時112ppbとなり、諏訪の風向がSE系、飯田が南寄りの風であったことから、広域的に県外から汚染気塊の流入があったものとみられる。長野盆地と上田盆地の間にある(旧)更埴保健所局(以下更埴)の風向は22日21時頃より北寄りから南寄りに変わり、これとともに上田へ到達した汚染気塊が長野盆地への侵入を開始したとみられる。更埴の南寄りの風は明け方まで続くが、千曲川に沿って長野盆地の更に北にある飯山では、22日20時から23日朝まで殆ど無風の状態が続く、汚染気塊は長野盆地付近に留まったものとみられる。

23日は須坂を除く長野盆地各地点でOx濃度が調査期間中最大となり、100ppb以上の地点は、後町13時104ppb、篠ノ井14時112ppb、下水鉦14時113ppbであった。前日の汚染気塊の侵入が長野盆地の日中の高濃度Oxの原因になったものとみられる。

23日夜間のOx濃度は、24時に旭山106ppb、衛公研83ppb、後町103ppb、篠ノ井93ppb、また24日2時に吉田で104ppbのピークがみられた。高濃度時の各地点の風向はそれぞれ最寄りの川の谷筋と一

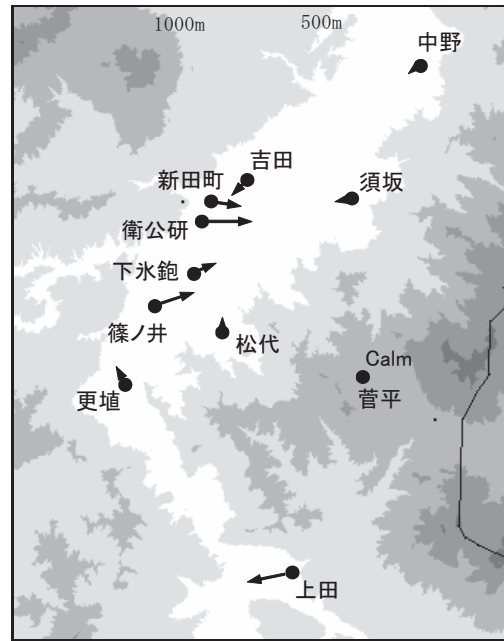


図10 Ox高濃度時の風系(1998年5月23日23時)

致しており、山風によって上空に滞留した高濃度Oxが降下したものとみられる。23日23時の風系を図10に示す。後町の南南東約400mにある新田町は22時より、衛公研は23時より、篠ノ井は22時より山風とみられる局地風下にあった。深夜のピークは22日から23日にかけての夜も見られ、同様の風系であったが、常監局での最高は篠ノ井の54ppb、旭山は76ppbであった。上田では23日20時に関東地方からの移流とみられる75ppbのピークがあり、更埴保健所局では23日21時から南寄りの風となっていることから、この汚染気塊が千曲川沿いに流下して夜中に長野盆地に至ったとみられる。しかし、上田、菅平とも濃度は22日夜より低く、八方尾根の値とはほぼ同程度であったことから、23日の長野盆地西縁部の夜間の高濃度Oxは、昼間の高濃度Oxが停滞し、上空の高濃度部分が山風となって降下したとみるのが妥当である。

長野盆地3地点のSPM濃度を図11に示す。衛公研、篠ノ井、須坂とも22日から24日午前にかけて漸増傾向がみられた。最高値は24日1時の衛公研116 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ で、夜間のSPMはOxとともに高濃度となった。Ox高濃度時のSPMとしては、調査期間中、このときが最も高かった。

3.4 5月28日のOx高濃度出現要因

長野盆地では、下水鉦で28日19時に101ppbとなった。28日夕の県下は三陸のはるか東に中心をもつ

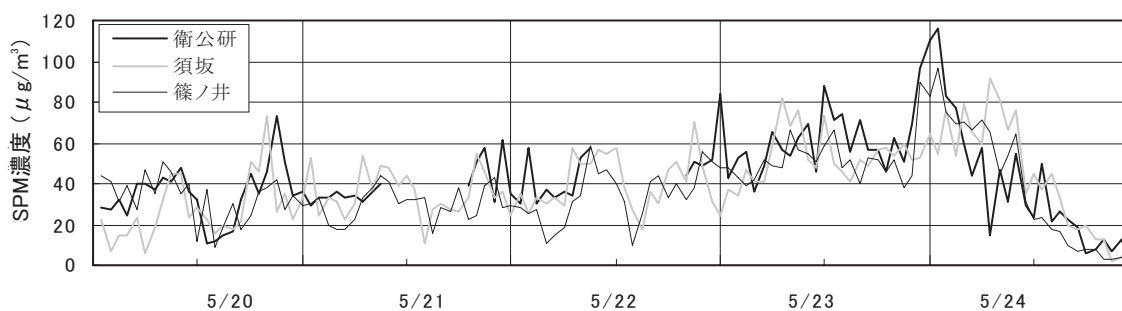


図11 長野盆地と菅平及び八方尾根のOx濃度(1998年6月16～19日)

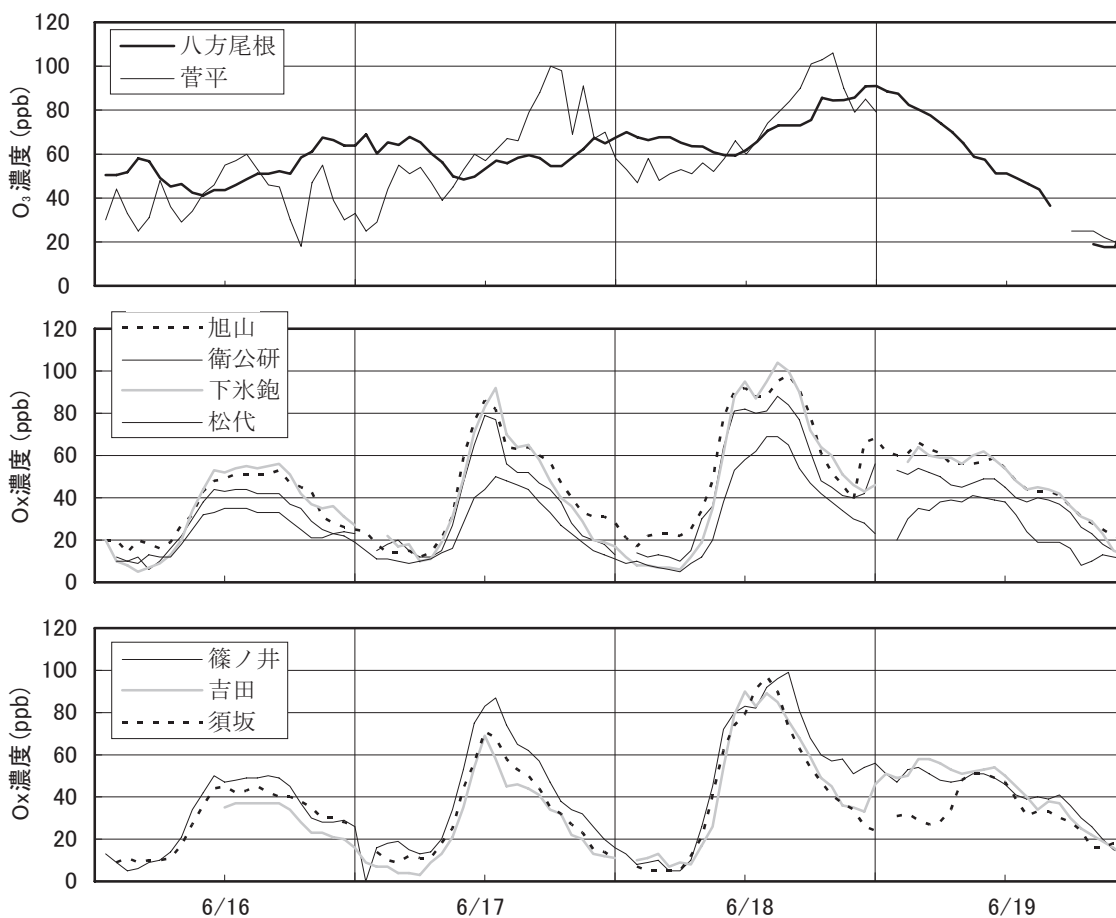


図12 長野盆地と菅平及び八方尾根のOx濃度(1998年6月16～19日)

高気圧の南西の縁にあり、上田合庁では28日12～16時の風速が10m/sを超えていた。高気圧から吹き出す傾度風により、東京湾岸からの汚染気塊が比較的短時間で長野盆地に到達し、高濃度Oxがもたらされたものとみられる。5月16日のような低気圧に吹き込む場合とは異なり、フェーン現象はみられなかった。

6月14日に長野で停滞前線による4.5mmの降水があり、16日には大陸から移動性高気圧が日本海に中心を移して張り出し、17日午後にかけてやゝ発達したが、その後は弱まり、18日午前に消滅した。17日の長野盆地は青森県の西の日本海に中心を持つこの高気圧の南の縁に位置していた。この間、本州南岸には停滞前線が横たわっていた。長野の日最高気温は、16日25.0℃、17日29.3℃、18日32.5℃であった。

3.5 6月18日のOx高濃度出現要因

6月16日～19日のOx濃度経時変化を図12に示す。八方尾根のO₃濃度は16日から17日にかけての夜間と17日から18日にかけての夜間は60～70ppbのほぼ同レベルであったが、18日23時及び24時には3日間の最高値91ppbとなり、その後19日21時の18ppbまで減少した。一方、菅平の17日最高値は18時100ppb、18日最高値は20時106ppbとなり、八方尾根とは異なる挙動を示した。

長野盆地での16～18日のOx濃度は下氷鉋が最も高く、18日15時には104ppbとなった。同地点の日最高濃度の増加量は、16～17日が36ppb、17～18日が12ppbであった。18日15時の長野盆地の風系は、須坂がNNW、その他の地点はNNE～ENEであった。

上田合庁では、16日及び17日には夕方から夜にかけては西寄りの風であり、東京湾岸からの汚染気塊によるOx濃度のピークがみられなかった。しかし、前橋では16日～18日の午後は全てSE系の風となっていること、田代の風向が17日11時～21時ENE～NE、18日9時～24時ENE～NNEで長野県側へ向かう風向であること、また、最も群馬県に近い軽井沢測候所の風向も17日は10時以降、18日は12時以降、全て東寄りの風となっていることから、菅平の17日18時、18日20時の高濃度Oxはいずれも関東側からもたらされたものとみられる。

長野盆地内で18日の日中に100ppb以上の高濃度Oxが出現したのは、17日午後に関東側から盆地上空に汚染気塊が侵入したことが一因とみられる。また、18日の長野の日最高気温が32.5℃と高く、盆地内の光化学生成も多かったものとみられる。

長野盆地3地点のNO₂濃度はOxとは逆に昼間低く、夜間高い傾向を示し、最大値は篠ノ井18日2時の24ppbであった。SPM濃度は衛公研、篠ノ井、須坂とも17日から18日にかけて漸増し、最大値は衛公研18日24時87 μg/m³、篠ノ井18日19時70 μg/m³及び須坂18日19時91 μg/m³となり、Ox濃度の増加に伴って増加していた。

4. まとめ

1998年5月から7月にかけて、長野盆地西縁の旭山中腹(標高540m)及び群馬県境の鳥居峠に近い四阿山中腹(標高1410m)にオゾン計を設置して測定を行い、大気常時監視データ及び気象データを使用し、長野盆地における高濃度Ox出現要因を解析し

た。この調査期間中における高濃度Oxの出現は、次の理由によると考えられる。

- (1) 移動性高気圧に連日覆われた後、日本海の西から接近する弱い低気圧に吹き込む傾度風が東京湾岸の汚染気塊を短時間で長野盆地へ運び、盆地内のOx濃度は100ppb以上となった。このとき、八方尾根も同時刻に日最高値となったが、四阿山中腹に比べ30ppb近く低い濃度であった。
- (2) 長野盆地が高気圧に連日覆われた後、高気圧の南西の縁となった日において、傾度風により東京湾岸からの汚染気塊が夕刻に長野盆地まで到達し、100ppb以上の高濃度Oxが出現した。
- (3) 長野盆地が移動性高気圧に覆われて3日目、関東地方が高気圧の中心の南になったとき、関東平野に吹く東寄りの風により汚染気塊が長野盆地東側の山地を越えて流入し、また夕方から夜にかけても関東から汚染気塊の移流があり、これが盆地内で生成蓄積したOxとともに翌日の昼間の長野盆地のOx濃度を押し上げ、高濃度となった。この高濃度Oxは夜間に盆地西縁部の山風によって降下し、100ppb以上の高濃度が出現した。浮遊粒子状物質はOxとともに高濃度となったが、このときが最も高濃度であった。
- (4) 青森県の西の日本海に中心を持つ移動性高気圧の南の縁となったとき、関東平野に吹く東寄りの風により、長野盆地の東側の山地を越えて関東側から汚染気塊が侵入し、翌日のOx濃度を押し上げ高濃度になると考えられた。

謝 辞

長野盆地の高濃度オキシダントの出現要因を解析するに当たり、データをご提供下さった長野市、群馬県環境保全課、長野県地球環境課、また菅平薬草栽培試験地の使用を許可して下さいました長野県業務課に深謝いたします。

文 献

- 1) 長野県生活環境部公害課、長野県衛生公害研究所(1980)長野市における高濃度オキシダント調査(昭和52年・53年)。
- 2) 長野県生活環境部公害課、長野県衛生公害研究所(1981)長野市における高濃度オキシダント調査(昭和54年・55年)。

- 3) 栗田秀實, 佐々木一敏, 内田英夫, 薩摩林光 (1985) 長野盆地および上田盆地における高濃度オキシダント, 長野県衛生公害研究所研究報告, **8**, 24~29.
- 4) 佐々木一敏, 栗田秀實, 内田英夫 (1983) 山腹を利用した光化学オキシダントの高度分布調査, 長野県衛生公害研究所研究報告, **6**, 13~16.
- 5) 長野県生活環境部公害課, 長野県衛生公害研究所 (1983) 昭和57年度環境庁委託業務結果報告書光化学オキシダント緊急時対策検討調査.
- 6) 気象庁ホームページ気象観測(電子閲覧室)
<http://www.data.kishou.go.jp/>
- 7) 気象庁: 気象庁天気図, 平成10年5月~7月
- 8) R.A.Cox, A.E.J.Eggleton, R.G.Derwent, J. E.Lovelock and D.H.Pack (1975) Long-range transport of photochemical ozone in north western Europe, *Nature*, 255, 118~121.
- 9) 長野地方気象台技術課 (1987) 長野県における日変化する風の地域特性について, 気象庁研究時報, **39**, 13-26.
- 10) 栗田秀實, 植田洋匡 (1986) 傾度風が弱い場合の大気汚染物質の長距離輸送と熱的低気圧および総観気象の関係, 大気汚染学会誌, **20**, 251~260.

Cause of the high density of photochemical oxidant in Nagano basin

Haruko NOMIZO*, Hikaru SATSUMABAYASHI, Hideo UCHIDA,
Takao KATSUNO and Junichi KAWARA

* *Nagano Environmental Conservation Research Institute, Environmental Conservation Team,
1978 Komemura, Amori, Nagano 380-0944, Japan.*