

ドップラーレーダによる上層風の連続観測からみた 上空のオキシダントの地上への影響

清水 源治 高橋 照美^{*1} 若松 伸司^{*2}

The Observation of the upper air currents used by Doppler radar and the effect of the currents on the ground concentration of the oxidants in the east area of Pref. Yamanashi

Genji SHIMIZU, Terumi TAKAHASHI and Shinji WAKAMATSU

キーワード：オキシダント，上層風，ドップラーレーダ，山梨県東部

本県は笹子峠などを含む関東山地により，甲府盆地や富士川沿いの地域(県中西部)と相模川沿いの地域(県東部)に二分できる。ここで県東部に区分される地域は光化学スモッグ注意報の発令数が多く，平成2年度には全国3位(23回)，4年度には全国1位(20回)になったこともある。また健康被害の届け出も少なくなかった。

県東部でOx(オキシダント)濃度が高く注意報が多くなる理由については，これまで多くの調査や解析が行われてきた¹⁻⁸⁾。これによれば，相模川の谷沿いに吹く東寄りの風(E～SE, 以下, 東風)が関東平野の汚染気塊を取り込むことがその理由になる。そのため，風上の隣接都県(東京都, 神奈川県)で濃度が高くなった後，県東部では県境の上野原から高くなるが多かった。

ところが同じ東風でありながら，風上域の都県では濃度が低いのに県内の大気汚染測定局で高くなる例や県内の測定局でも風上局では低いのに風下局で高くなる例も少なくなかった。

Oxについては，ポテンシャルオゾン(以下, P_O)を算出してOxの消費分を補正したり⁹⁾，風の水平成分から汚染状況を説明する¹⁰⁻¹⁶⁾が多かった。ここでは新たに，これまで取り上げられることのなかった風の鉛直成分とOx濃度との関係について検討した。



図1 ドップラー音波レーダ PA-2型

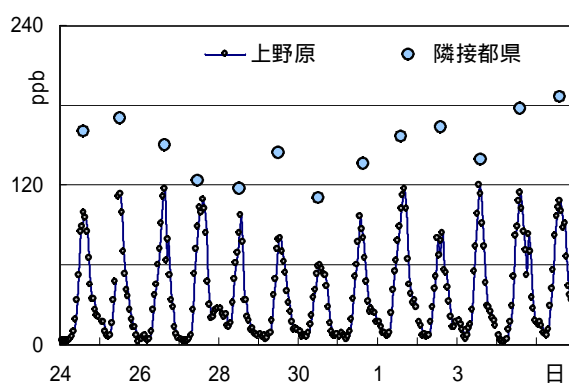


図2 上野原のOx濃度と隣接都県の日最高値

調査方法

1. 風の観測方法

地上から1000mまでを50mごとに20層に区切り，各層の水平方向および鉛直方向の風向と風速を測定して30分ごとの平均値を求めた。観測にはドップラー音波レーダ(フランス・レムテック社：PA-2型，高さ約3m，スピーカ196個，アンテナ1.3m×1.3m，図1)を用いた。このレーダは上空に超音波(21,000Hz, 30W)を発射し，大気中の微小粒子に反射して戻った音の三方向のドップラー偏位から風向と風速を算出する。

レーダによる観測は，平成7年7月24日から8月5日まで，明星電気(株)の協力で，上野原市鶴島地内(島田中学校構内，標高170m，上野原局から約2km)で行った。また必要に応じて，パイロットバルーンにより2000mまでの上層風を観測した。

2. 地表および上空のOx濃度の測定

地表のOx濃度は上野原局やその隣接局の1時間値を用いた。また測定局間の濃度を把握するためにO₃計により地上のOx濃度を測定した。また，飛行船やヘリコプターを用いて上空のOx濃度を測定した。

*1：現 富士・東部保健福祉事務所

*2：現 愛媛大学農学部

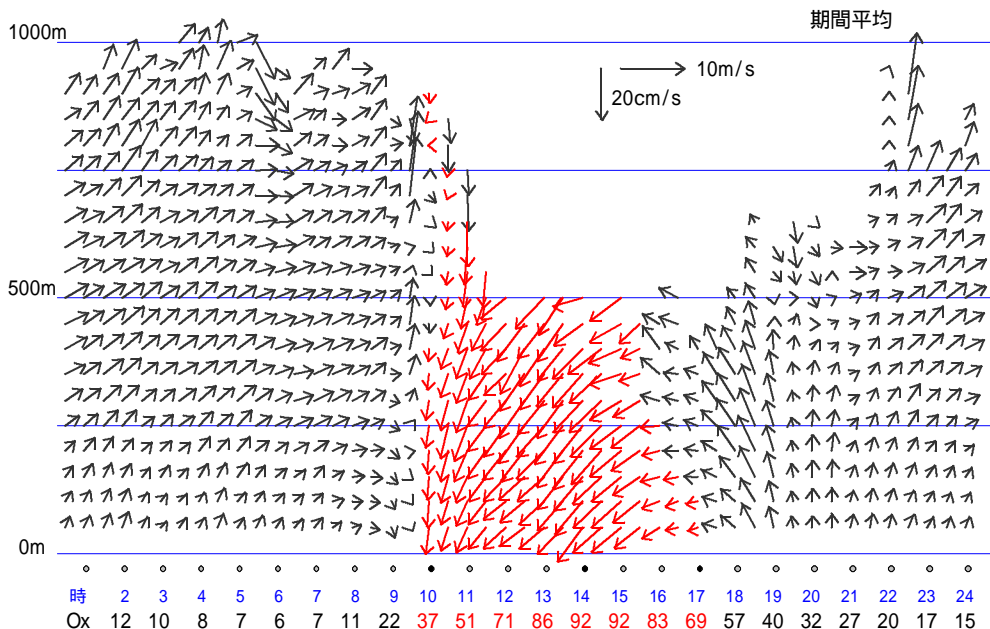


図3 上野原における上層風の期間平均値とOx濃度(ppb)
 矢印：左向き=水平方向のESE成分、右向き=WNW成分、下向き=下向きの成分
 (平成7年7月24日～8月5日、上野原市島田中学校構内、標高170m)

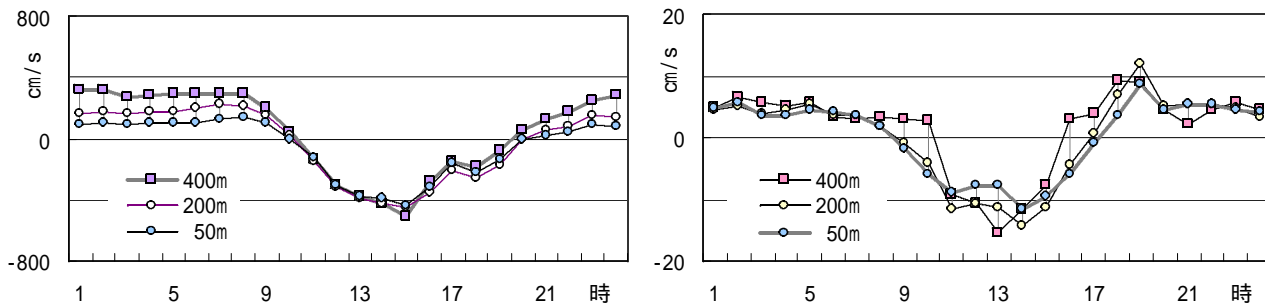


図4 各時刻の水平方向の風(左)および鉛直方向の風(右)
 (期間平均値、水平：負=ESE成分、鉛直：負=下降流)

結果および考察

1. 期間中の汚染概況

7年度は7月24日に東北南部まで一斉に梅雨明けし、関東地方は太平洋高気圧に覆われて安定した夏型の気圧配置になった。図2に隣接都県と上野原局のOx濃度を示した。調査期間中は、上野原局では昼間に東風が卓越しOx濃度が高くなる周期的な変化を繰り返した。隣接都県ではOxが120ppbを超える日が続いた。

また県東部でも100ppbを超える日が続き、7月25日と8月3日、4日には注意報が発令された。この期間、1時間の最高値は上野原局120ppb、風下16kmの大月局は134ppbであり、風下の大月局の最高値が上野原局より10ppb以上高い日は13日中7日間あった。最高値の期間平均値は、両局ともに92ppbであった。

Oxは地上で発生するNOなどに消費され、その濃度が下がる。この消費分を補正するために、次式、

$$PO = Ox + NO_2 - (NO + NO_2) / 10$$

からPOを算出することがある。しかしこの補正後も、最高値は上野原局137ppb、大月局147ppbであり、大月局の最高値が上野原局より10ppb以上高い日が4日間あってPOによる補正のみでは説明できない日が残った。しかしその平均値は、上野原局106ppb、大月局100ppbとなった。

2. 上層風の観測結果

上層風は、昼間の環境騒音レベルが高かったため400m以上の欠測が多かった。表1に500m層(450～500m)の測定結果を平均値で示した。平均値は全測定日のうち5日以上の測定値があったものを算術平均した。

図3には1000m層までの平均値を時系列で示したが、水平方向の風と鉛直方向の風には典型的な山谷風の日変化¹⁷⁾が見られた。この日変化は、まず9～10時に谷の横断面に両側斜面が上昇流、谷の中央部が下降流になる大気循環が生じ、この循環を保ったまま平野 谷間 山頂

表1 上野原の上層風の観測結果(500mまでの期間平均値)

平成7年7月23日～8月5日

m	～0:30	～1:00	～1:30	～2:00	～2:30	～3:00	～3:30	～4:00	～4:30	～5:00	～5:30	～6:00	
-500	367	5 312	5 335	5 340	6 298	6 283	5 288	6 281	6 274	5 288	5 297	3 308	3
-450	364	4 303	5 328	6 328	6 294	6 275	6 291	6 277	6 278	5 294	6 298	4 306	3
-400	349	5 297	5 324	6 312	7 286	6 268	6 295	5 276	5 282	5 296	6 292	4 298	2
-350	323	4 263	5 310	6 289	6 265	5 257	5 290	5 272	5 274	5 288	6 278	4 285	3
-300	270	4 258	5 279	6 257	6 237	4 235	4 265	4 255	5 247	5 268	6 254	4 266	3
-250	218	4 215	5 230	6 212	6 207	3 200	4 220	4 221	5 208	5 235	6 224	4 239	3
-200	168	4 163	5 177	6 171	5 175	3 157	4 170	3 175	6 164	5 193	6 186	4 203	3
-150	125	4 123	5 134	5 132	5 135	4 120	4 128	3 131	5 122	5 151	5 145	4 159	3
-100	91	4 97	5 107	5 102	5 101	4 96	3 107	3 102	4 92	5 123	4 112	4 123	3
- 50	80	5 92	5 103	6 95	6 91	4 90	3 102	4 95	4 85	5 114	4 102	5 112	4
平均	236	4 212	5 233	6 224	6 209	4 198	4 216	4 209	5 203	5 225	5 219	4 230	3
m	～6:30	～7:00	～7:30	～8:00	～8:30	～9:00	～9:30	～10:00	～10:30	～11:00	～11:30	～12:00	
-500	304	3 289	3 294	3 277	2 236	2 155	3 54	8 17	-3 -36	-4 -94	-12 -147	-11 -387	-8
-450	291	3 291	3 303	4 279	3 237	3 156	3 69	11 2	-3 -67	-6 -143	-11 -214	-10 -383	-10
-400	286	2 300	3 308	4 283	3 241	4 152	2 84	10 -11	-4 -101	-7 -165	-11 -248	-12 -370	-10
-350	291	2 307	3 306	4 278	4 237	4 150	1 88	8 -27	-6 -117	-9 -161	-11 -280	-10 -330	-8
-300	291	2 298	3 288	4 259	3 225	4 146	-1 77	5 -35	-8 -120	-11 -167	-13 -290	-10 -327	-11
-250	271	3 276	3 257	3 239	2 204	3 138	-2 69	2 -34	-9 -116	-13 -184	-13 -294	-10 -346	-12
-200	228	3 228	4 217	2 212	1 179	1 123	-3 58	0 -30	-9 -108	-12 -193	-12 -294	-10 -348	-11
-150	177	3 175	4 177	2 179	1 151	0 103	-3 45	-1 -29	-9 -103	-10 -182	-10 -262	-9 -344	-9
-100	139	3 133	4 149	2 149	0 131	0 86	-3 34	-1 -30	-9 -100	-9 -165	-9 -286	-8 -336	-7
- 50	128	4 121	4 142	3 140	1 130	0 86	-3 29	-1 -33	-10 -102	-9 -158	-10 -285	-8 -337	-8
平均	241	3 242	3 244	3 230	2 197	2 129	-1 61	4 -21	-7 -97	-9 -161	-11 -260	-10 -351	-9
m	～12:30	～13:00	～13:30	～14:00	～14:30	～15:00	～15:30	～16:00	～16:30	～17:00	～17:30	～18:00	
-500		-426 -11	-374 -14	-439 -4			-465 -9			-276 4		-131 4	
-450	-434 -14	-397 -13	-396 -14	-435 -9			-466 -7	-314 -8	-254 4	-288 3		-150 6	
-400	-376 -17	-390 -14	-401 -12	-453 -12	-527 -10	-497 -6	-300 -3	-257 9	-205 2	-102 5	-160 9	-212 9	
-350	-384 -14	-390 -13	-415 -12	-457 -13	-492 -11	-469 -4	-323 -2	-283 7	-226 1	-187 2	-204 9	-262 11	
-300	-397 -14	-406 -13	-417 -15	-451 -13	-489 -12	-461 -8	-402 -7	-286 2	-241 1	-186 2	-225 7	-282 10	
-250	-413 -14	-417 -12	-423 -15	-450 -15	-472 -12	-461 -9	-452 -9	-281 0	-240 1	-199 2	-229 6	-291 11	
-200	-362 -12	-416 -11	-418 -14	-447 -15	-454 -13	-455 -10	-443 -8	-267 -1	-236 0	-189 1	-238 4	-279 10	
-150	-404 -9	-403 -9	-407 -12	-433 -13	-442 -11	-450 -10	-420 -7	-285 -2	-216 -1	-189 0	-228 3	-257 8	
-100	-367 -7	-387 -9	-402 -11	-413 -13	-437 -10	-443 -10	-393 -8	-271 -2	-190 -1	-168 -1	-222 2	-236 5	
- 50	-386 -7	-382 -8	-401 -11	-385 -13	-439 -10	-441 -10	-381 -8	-268 -4	-183 -1	-143 -1	-222 2	-229 5	
平均	-391 -12	-401 -11	-405 -13	-436 -12	-469 -11	-461 -8	-381 -7	-272 1	-230 1	-170 1	-216 5	-233 8	
m	～18:30	～19:00	～19:30	～20:00	～20:30	～21:00	～21:30	～22:00	～22:30	～23:00	～23:30	～24:00	
-500	-145 6	22 -2	87 0	80 -3	76 1	164 2	122 3	212 2	267 5	288 7	314 6	312 5	
-450	-107 8	0 3	60 4	102 0	105 1	141 1	127 4	218 4	259 5	266 6	304 6	297 4	
-400	-140 11	-26 7	14 5	91 4	113 3	129 1	138 5	211 4	243 6	259 6	280 5	277 3	
-350	-174 13	-71 9	-3 5	41 5	96 4	127 1	130 5	189 5	222 6	238 5	249 5	254 3	
-300	-200 14	-94 10	-17 4	25 6	68 5	118 2	111 5	156 5	197 6	207 4	215 4	221 2	
-250	-229 15	-110 10	-26 3	17 6	46 6	105 3	90 5	123 5	171 6	176 4	177 4	179 2	
-200	-245 14	-111 10	-25 4	10 6	28 7	87 4	69 5	95 5	145 5	147 4	134 4	133 3	
-150	-236 12	-96 10	-22 5	10 6	14 7	66 5	52 5	72 5	117 5	120 4	103 4	98 4	
-100	-216 9	-73 8	-21 4	10 5	3 6	49 5	42 5	58 5	96 5	100 4	87 4	76 4	
- 50	-208 9	-65 8	-19 5	9 5	1 6	44 5	39 5	55 5	90 5	95 4	83 4	71 4	
平均	-190 11	-62 7	3 4	39 4	55 5	103 3	92 5	139 5	181 5	189 5	195 5	192 3	

左欄:ESE-WNW成分、負の値はESE風(単位cm/s) 右欄:上下成分、負の値は下降流(単位cm/s)

に向かう谷風(東風)が午後まで続いた。夕刻には谷の中央部が上昇流となる循環に変わるが谷風は残り、横断面の循環を保ったまま夜間には谷風とは逆方向の山風(西風)に代わり翌朝に至った。このように東風は山頂の温度が、下降流は谷の両尾根の温度が下がるまで続き、二方向の風系はそれぞれ独立していた。

図4に代表高度の各時刻の水平方向の風と鉛直方向の風を示した。水平方向の風は西風が上層ほど強かったが、

東風には高度差による違いは見られず15時に4～6m/sになった。鉛直方向の風にも大きな違いは見られず、昼間は10cm前後の下降流、夜間は5～10cm/sの上昇流があった。また上層になるほど下降流の出現時刻が遅く消失時刻も早くなる傾向が見られた。

3. 地上のOx濃度と下降流

図3に上野原局のOx濃度(期間平均値)を数値で示し

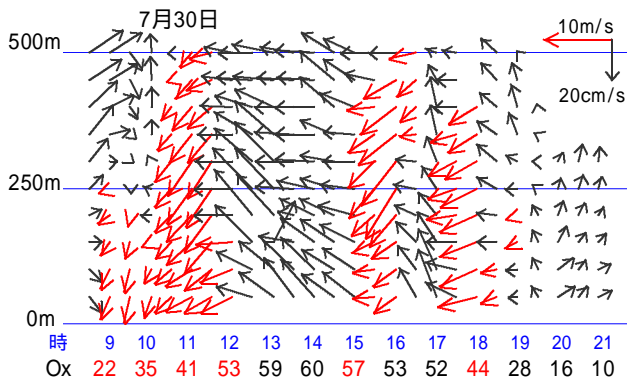


図5 下降流が見られない場合(7月30日)

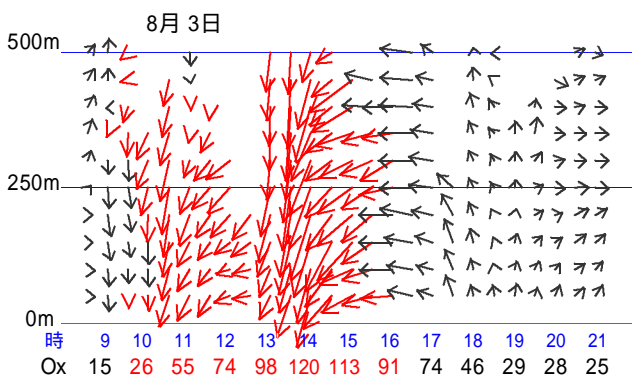


図6 強い下降流が生じた場合(8月3日)

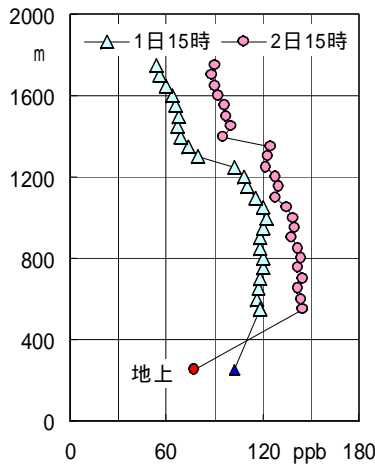


図7 上野原上空のOx濃度
(平成7年8月1、2日15時、Y軸:気圧高度)

表2 上空調査時の上野原局のOxとPOの濃度

	7/27	7/28	8/1	8/2
上空300m(Ox)	138	116	118	145
測定局 (Ox)	99	97	102	78
測定局 (PO)	113	115	115	96

単位 ppb



図8 上空のOx調査の飛行コース

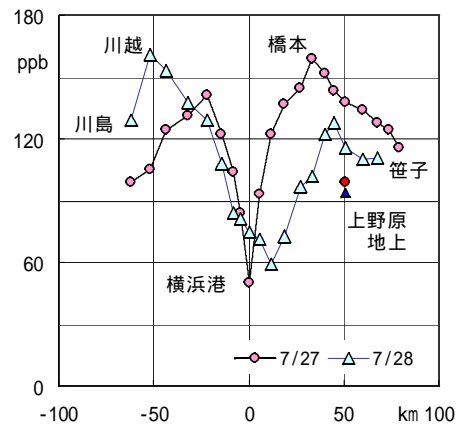


図9 上空のOx濃度(平成7年7月27、28日11~14時)

た。その濃度は下降流が生じる時間帯から高くなり、下降流が続く間は上昇を続けて14時に92ppbになった。しかし同じ東風であっても、下降流がなくなる16時以降からは濃度が下がり続けた。

Oxは、地表付近ではNOなどの一次汚染物質に常に消費される。したがってその濃度を維持したり上昇させるためには、地表以外の場所からOxが供給される必要がある。今回の観測結果から、消費前のOxを含む上層の大気を地表に移動させる役割は下降流が負うと考えられた。

下降流の有無が地表のOx濃度に影響を及ぼしたと考えられる例を図5、図6に示した。7月30日は昼間に東風が卓越したが、12時~15時の間は下降流が見られなかった。

隣接都県のOxは110ppbになる局があったが、上野原局では60ppbを超えることがなかった。他方、8月3日は13時に20cm/sを超える強い下降流が生じて14時には120ppbになった。隣接都県のOx最高値は140ppbであり、この日の上野原局の濃度はこれに近かった。

4. 上空の汚染気塊の規模

下降流によりOx濃度が高くなる場合、上空にはOxの汚染気塊の存在が不可欠である。そこで、上空の汚染気塊の存在の有無を知るために、8月1、2日15時に上空1800m(気圧高度)までの濃度を測定した(図7)。その結果、両日ともに120ppbを超える気塊が上空1250~1350m(対地高

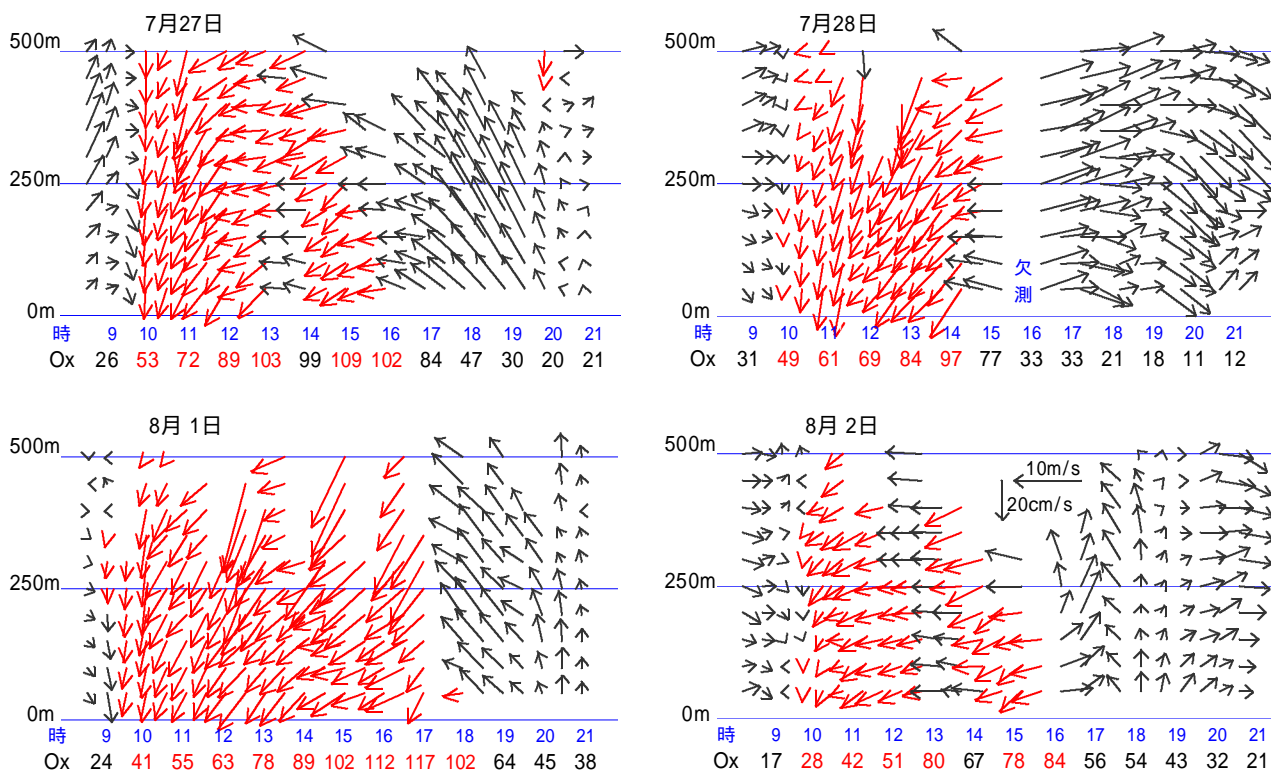


図10 上野原の上層風(7月27日、28日、8月1日、2日)

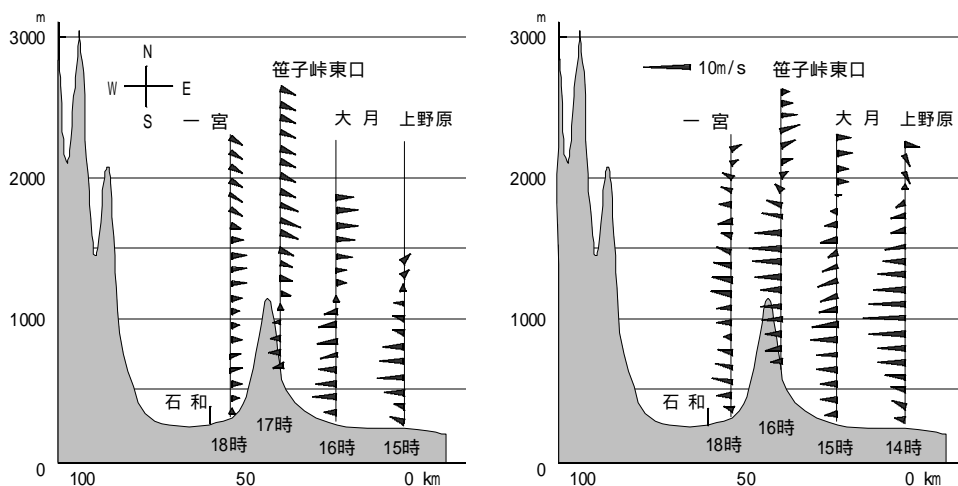


図11 県東部と甲府盆地東縁の上層風 (左図：平成7年7月10日、右図：8月4日)

度1000~1100m)の高さまで及んでいた。

またこの汚染気塊の広がりを知るために、7月27、28日11~14時に、川島(埼玉県) 横浜港 上野原 笹子のコース(図8)で対地高度約300m(気圧高度300~900m)の濃度を測定した。その結果、27日は橋本付近に、28日は川越以北に150ppbを超える高濃度の中心を持つ大きな汚染気塊が存在した。上野原を含む県東部はこの気塊の外縁にあたり、その濃度も高かった(図9)。横浜港など都心部では濃度が低かったが、地上局のP0濃度は他地点上空のOxのみであり、都心部では上空でもOxが消費されていた。

以上の結果から、Oxの汚染気塊は関東平野から県東部上空にまで広がる大規模なものであり、その高さは1000m

を超えることがわかった。

ここで、上空調査時の上野原局のOxとP0の濃度を表2に示した。7月28日と8月1日の調査時は上空のOxと地上のP0の濃度がよく一致した。ところが、7月27日と8月2日は両者に差が生じ、8月2日の場合その差は約50ppbになった。図10に、これら4日間の上層風の観測結果を示したが、下降流の有無が地上のOx濃度に及ぼす影響は明らかであった。上空との濃度差が特に大きかった8月2日は一日を通してほとんど下降流は見られなかった。

5. 東風の規模

Oxの汚染気塊は東風によって関東平野から県東部上空

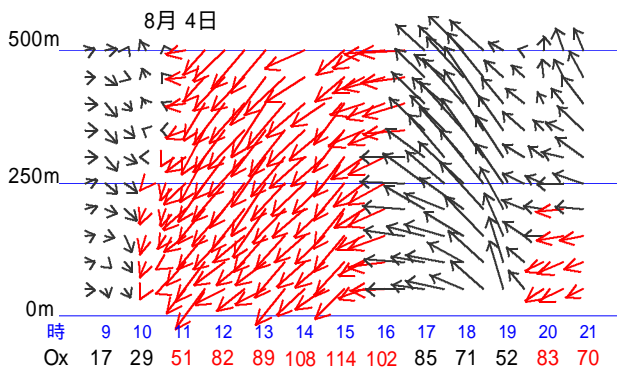


図12 上野原の上層風(8月4日)

表3 上層風観測時(図11)のOxとP0の濃度

	上野原	大月	笹子	石和
時刻	14時	15時	16時	18時
Ox	108	117	120	91
P0	127	126		100

*: 笹子は上層風観測時の濃度 単位 ppb

に広がる。この東風の規模を知るためにパイロット・バルーンを用いて上野原以西の上層風を観測した。結果を100mごとの風向・風速の平均値で図11に示した。図中、右側が平野側(東側)になり、上野原から30~40kmの距離に笹子峠がある。笹子峠から左側(西側)が甲府盆地になり、南アルプスに至る。

ここで7月10日と8月4日はともに、下層に東風が吹き込み上層では反対向きの風が吹く大規模な循環風が見られた。この循環は7月10日は笹子峠までであったが、8月4日はさらに規模が大きく盆地にまで及んだ。両日ともに隣接都県ではOx濃度が120ppbを超え、上野原でも高濃度になった。

循環が大規模であった8月4日の上層風を図12に示した。東風は11時~15時の間は安定した下降流を伴い、上空の大気を地表に運んでいた。表3に、この日の上層風観測地点近傍局のOxとP0の濃度を示したが、上野原局、大月局、笹子の濃度に差はなく、この影響は石和局に及んだ。このように平野から侵入する東風は汚染気塊を盆地にまで広げることがあった。

6. 風下局との関係

期間中の上野原局の風向の出現頻度は、西風が48%と最も多かったがその平均風速は0.9m/sと弱く、東風は31%で平均風速は2.8m/sと強かった。これらは上層風の観測結果によく一致したが、東風の消失時刻は上空50m層より早かった。そのため最高風速の出現時刻は50m層より早い13時になり、Oxの最高濃度の出現時刻14時より早かった(図13)。また東風出現時のOxの平均濃度は高く、上野原局では71ppb、風下の大月局では68ppbであった。

表4に上野原局または大月局のOx濃度が120ppb以上になった7年度の8日間のOxとP0の濃度を示した。両局には

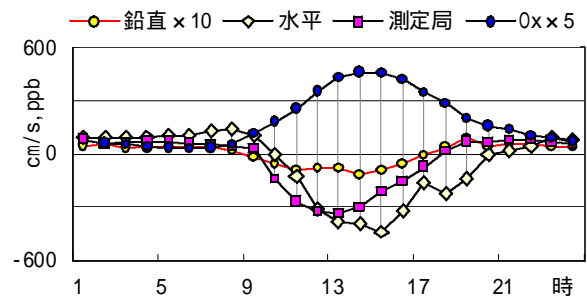


図13 50m層の風と上野原局の風速とOx濃度
負の値は東風または下降流

表4 上野原局と大月局のOxとP0の濃度および風速

年 月 日	時	上野原			時	大月		
		Ox	P0	WS		Ox	P0	WS
95 5 10	13	112	130	38	14	115	127	62
	14	135	150	51	15	128	140	48
	15	132	145	49	16	122	134	47
95 7 10	14	116	128	37	15	90	100	48
	15	123	141	44	16	103	111	42
	16	100	117	37	17	110	119	20
95 7 25	12	111	129	38	13	107	114	50
	13	113	134	38	14	123	136	37
	14	99	114	26	15	74	81	14
95 8 3	13	98	112	24	14	100	109	22
	14	120	137	30	15	126	137	33
	15	113	133	32	16	134	147	27
95 8 4	16	91	108	20	17	109	122	20
	14	108	127	36	15	117	127	36
	15	114	131	32	16	125	136	31
95 8 8	16	102	122	14	17	112	126	4
	14	92	105	35	15	103	111	18
	15	103	118	27	16	123	134	39
95 8 9	16	101	113	23	17	111	122	21
	13	109	126	41	14	107	114	40
	14	117	131	37	15	125	134	45
95 8 7	15	115	126	40	16	135	145	37
	16	102	113	32	17	121	132	30
	13	123	138	34	14	123	133	51
95 9 7	14	138	155	25	15	141	156	21
	15	128	150	14	16	130	147	13

: P0最高濃度が一致 単位 Ox, P0: ppb, 風速: 0.1m/s

最高濃度の出現時刻に1時間の差があるため、表中の時刻もこれにあわせて。ここで、Oxが120ppb以上になった日数は、上野原局4日、大月局7日と差が生じた。またP0の濃度で比較しても、最高値が1時間の差で合致する例は4日(表中、印)と少なかった。また期間中は風速が極大になった次の時刻にOx濃度が最大になったが(図14)、これにあてはまる例も少なかった。

ここでP0濃度が合致しなかった日のうち、7月10日は

大月局で東風が西風に変わったことによる。この日以外は両局ともに東風は夕刻まで卓越し、8月3日と8月9日は上野原局の1時間後に大月局でも同じP0濃度になった。ところが大月局ではその後も濃度は上がり続け、両局のP0の最高値に差が生じた。

このことは、大月では下降流が上野原より長く続いた可能性を示唆し、隣接地点であっても水平方向の風と同様に鉛直方向の風にも差が生じることをうかがわせた。また8月8日は、上野原では濃度が十分に高くなる前に下降流が消失したと考えられた。

このように水平方向の風だけでは十分に解明できなかった部分を、鉛直方向の風で説明できる可能性が大きかった。また鉛直方向の風を観測することは、測定局の配置を行う際や隣接局間の測定値の関連性を知る際には重要になると考えられた。

ま と め

上野原で梅雨明け後の上層風を観測し、Oxとの関係を検討した。その結果、次のことが明らかになった。

- 1) 上野原では、東風(ENE~SE)が下降流を伴うとOx濃度が高くなり上昇流に変化すると濃度が下がった。この下降流は、Oxを上空から地表に移動させる役割を負うと考えられた。
- 2) 観測期間中に上空のOx濃度を測定したところ、関東平野の汚染気塊は県東部上空にまで広がり、上野原ではその高さが1000mを超えていた。
- 3) 上空にこのような汚染気塊があった場合、東風の規模が大きければ、その影響は甲府盆地に及んだ。しかし汚染気塊があっても下降流がなければ、地上のOx濃度は高くならなかった。
- 4) またP0を算出して風下の大月局と比較したが、P0濃度が合致しない日は両局上空の下降流の有無で説明できる可能性があった。

なお本報告は、「平成7年度産学官共同促進事業¹⁸⁾」のもとで行われた国立環境研究所、東京工業大学、神奈川県環境科学センター、明星電気(株)との共同調査結果の一部を再解析した。

文 献

- 1) 気象研究所:局地風と大気汚染物質の輸送に関する研究,気象研究所技術報告,11,285-294(1984)
- 2) 阿相敏明ら:神奈川県西部地域における大気汚染発生機構の解明(2),神奈川県環境科学センター研究報告,18,7~16(1995)
- 3) 若松伸司:関東地域の山岳および海上における光化学大気汚染,第37回大気環境学会講演要旨集,496(1996)

- 4) 清水源治ら:山梨県における光化学大気汚染の特徴,第37回大気環境学会講演要旨集,494(1996)
- 5) 清水源治,高橋照美:山梨県大月における浮遊粒子状物質のキャラクタリゼーション,第38回大気環境学会講演要旨集,618(1997)
- 6) 片谷教孝:山梨県東部における高濃度オキシダントの流入経路の解析,第41回大気環境学会講演要旨集,351(2001)
- 7) 花輪健司,片谷教孝:山梨県の光化学オキシダントの流入経路の解析,第44回大気環境学会講演要旨集,351(2003)
- 8) 鈴木伸彦,片谷教孝:山梨県東部における光化学オキシダントの期限の解析,第46回大気環境学会講演要旨集,339(2005)
- 9) 鶴野伊津志,若松伸司:冬期の高濃度NO₂汚染の光化学ボックスモデルによる解析,大気汚染学会誌,27(5),246-257(1992)
- 10) 鶴田治雄ら:相模湾、伊豆諸島海域上での大気汚染物質の輸送過程およびバックグランド濃度に関する調査,横浜市公害研究所報,3,35-52(1978)
- 11) 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(1)日変化を伴う風系の構造,天気,26,595-604(1979)
- 12) 若松伸司ら:関東地方における光化学汚染質の地域分布と局地気流,大気汚染学会誌,16(3),119-214(1981)
- 13) 若松伸司ら:東京首都圏地域における光化学スモッグの航空機観測について,大気汚染学会誌,16(4),146-157(1981)
- 14) 阿相敏明ら:神奈川県西部地域の光化学オキシダント発生機構解明調査,第22回大気汚染学会講演要旨集,216(1981)
- 15) 鶴田治雄ら:海陸風循環に伴う一次および二次物質濃度の相模湾上における日変化,第22回大気汚染学会講演要旨集,219(1981)
- 16) 栗田秀實,植田洋匡:大気汚染物質の長距離輸送とメソスケール気象の関係,第25回大気汚染学会講演要旨集,293(1984)
- 17) 浅井富雄ら:気象の事典,266-267,平凡社(1988)
- 18) 山梨県企画県民局企画課:大気汚染物質の立体的移流・拡散モデルの検討,平成7年度産学官共同促進事業研究成果報告書,34-49(1996)