

調査研究

光化学オキシダントの濃度分布に関する解析（第2報） －二州地域における高濃度事例（2002年6月10日）について－

山田 克則・嶋崎 明宏・松本 和男

Research on the Distribution of Photochemical Oxidant Concentration (2)
－ An Incident at Nishuu Area on June 10, 2002 －
Katsunori YAMADA, Akihiro SHIMASAKI, Kazuo MATSUMOTO

前報において確認された光化学オキシダント濃度分布の類似性に基づき、平成14年度から敦賀地域と三方郡地域を合わせた二州地域が光化学スモッグに係る緊急時の措置の対象地域として新たに指定された。同年6月10日、同地域において高濃度オキシダントが観測され、福井県として12年ぶりの光化学スモッグ注意報が発令された。そこで、当日の状況について解析した。

1 はじめに

前報¹⁾で報告したように、移動測定車「みどり号」による調査結果等から、福井県三方郡地域における光化学オキシダント濃度分布について、東に隣接する敦賀地域との類似性が確認された。本県ではその結果に基づき、光化学スモッグに係る緊急時の措置の対象地域の見直しを行い、平成14年度から敦賀地域と三方郡地域を合わせた二州地域を新たな対象地域として指定した。同年6月10日に同地域において注意報発令基準の0.12ppmを超える高濃度オキシダントが観測され、福井県としては12年ぶりの光化学スモッグ注意報が同地域に発令された。そこで本報では、当日の状況について高濃度発生要因等を解析した結果を報告する。

2 光化学スモッグ注意報発令状況

本県においては過去に光化学スモッグ注意報が、昭和53年に1回、平成2年に3回、敦賀地域（敦賀市の区域）に発令されている。表1は平成14年の事例を含むこれまでの光化学スモッグ注意報発令状況を示したものである。同表にみられるように光化学オキシダント濃度が0.12ppmを超えたのは、昭和53年、平成2年の事例では中郷局（平成11年度末廃止）のみであったが、平成14年の事例では二州地域の3測定局すべてで0.12ppmを超えた。したがって汚染状況はこれまでで最も広域的であったといえる。

（詳細なデータは本県の大気汚染情報ホームページ参照：
<http://www.erc.pref.fukui.jp/tm/>）

表1 福井県におけるこれまでの光化学スモッグ注意報発令状況（資料：県環境政策課ほか）

年 (西暦)	昭和53年 (1978)	平成2年 (1990)			平成14年 (2002)		
発令地域	敦賀地域	敦賀地域			二州地域（敦賀市および三方郡の区域）		
発令日	6月5日	4月11日	5月10日	6月19日	6月10日		
発令時刻	15:10	13:00	15:50	15:50	16:40		
解除時刻	16:45	19:20	18:40	17:40	18:20		
地域内の 光化学 オキシダント 測定局	敦賀局・ 中郷局	敦賀局・中郷局			敦賀局・和久野局・三方局		
0.12ppm 以上の濃度 が観測され た測定局 (所在地)	中郷局 (敦賀市 道の口； 敦賀高等 職業訓練校)	中郷局 (敦賀市 道の口； 敦賀高等職業 訓練校)			敦賀局 (敦賀市 松栄町； 敦賀地方 合同庁舎)	和久野局 (敦賀市 新和町； 和久野 浄水場)	三方局 (三方町 中央； 町民 プール)
1時間値 最高濃度 (時刻)	0.128ppm (15時)	0.140ppm (16・17時)	0.157ppm (16時)	0.129ppm (15・16時)	0.128ppm (17時)	0.125ppm (16・17時)	0.121ppm (17時)
被害状況	－	なし	なし	なし	敦賀市内の福祉施設で、子供4人と大人2人が目やのどに異常を訴えたが、洗眼やうがいなどで回復した。		

一方、環境省の大気汚染物質広域監視システム「そらめ君」(<http://w-soramame.nies.go.jp/>)の情報によれば、当日、本県の南隣の滋賀県長浜地域でも光化学スモッグ注意報が発令された(発令時間:15:00~17:10)。しかし、日本全体で見ると、当日、光化学スモッグ注意報が発令されたのは、関東地区の群馬県西毛地域(12:00~19:00)と千葉県千葉地域(13:20~15:20)、中部地区の福井県二州地域、関西地区の滋賀県長浜地域の4地域のみであった。従って日本全体のスケールでは、当日の著しい光化学大気汚染は局所的なものであったといえる。

3 当日の光化学オキシダントの濃度分布

6月10日当日、二州地域の測定局および隣接する小浜局における光化学オキシダントの濃度分布が時刻とともにどのように推移したかをマップ形式で図1(9時~14時)、図2(15時~20時)に示した。同図には併せて矢印で風向を示すとともに、滋賀県における風向等の状況についても「そらめ君」や気象庁のホームページからの情報をもとに記載した。

時系列的な推移は以下のとおりであった。

- ・9時の段階では南東系の風が卓越し、オキシダント濃度はどの測定局も環境基準値0.06ppm(=60ppb)以下であった。
- ・10時になると、三方局、小浜局において風向が北寄りになり、三方局において最初にオキシダント濃度が環境基準値を超えた。
- ・11時になると、小浜局でもオキシダント濃度が環境基準値を超えた。
- ・12時になると、敦賀局でもオキシダント濃度が環境基準値を超えた。ただし、敦賀地域における風向は、南系のままであった(敦賀地域の風向は終日南系であった)。
- ・13時になると、オキシダント濃度が小浜局で最初に80ppbに達し、次いで14時には三方局で80ppbに達した。
- ・15時になると、敦賀、和久野局でもオキシダント濃度が80ppbに達した。一方、滋賀県の長浜局では濃度が120ppbを超過して長浜地域に光化学スモッグ注意報が発令された。長浜付近の風向は南東系であった。
- ・16時になると、敦賀局、和久野局でオキシダント濃度が120ppbを超過した。15時の80ppb台の濃度から1時間で約40ppbの急激な濃度上昇であった。この高濃度は継続すると予測されたことから、16時40分、二州地域に光化学スモッグ注意報が発令された。滋賀県の長浜局でも126ppbと高濃度が継続していた。
- ・17時になると、敦賀、和久野局に加え、三方局においてもオキシダント濃度が120ppbを超過した。しかし、滋賀県の長浜局では濃度が120ppb未満になり、17時10分に長浜

地域の注意報は解除された。

- ・18時になると、敦賀、和久野、三方局においても濃度が120ppb未満になり、18時20分、二州地域の注意報も解除された。
- ・19時、20時とオキシダント濃度は徐々に低下した。

4 気象状況の解析

本県において高濃度オキシダント(80ppb以上)が発生しやすい気象条件として表2が酒井ら^{2, 3)}によりまとめられている。そこで平成14年の注意報発令日の気象状況について同表の条件と比較するとともに、その他の気象要素についても解析を行った。

表2 高濃度オキシダントが発生しやすい気象条件

気圧配置	○北高南低型 ○移動性高気圧中心型 ◎南高北低型 ◎移動性高気圧後面型						
天気	前日の午後からおよび当日の天気が晴れまたは薄曇り						
	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月
日最高気温(℃)	21	22	26	30	32	28	23
気温日較差(℃)	12	12	9	9	9	10	14

4. 1 気圧配置

6月10日の気圧配置は図3のとおりであった。

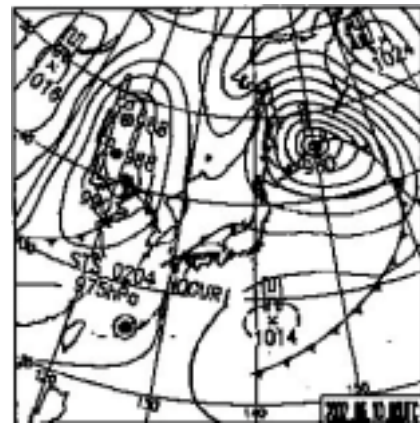


図3 平成14年6月10日9時の気圧配置図
(資料: 気象庁)

同図から、当日は沖縄付近の小規模な台風が本州に接近しつつあるものの本県付近は南海上に中心を持つ高気圧の勢力下にある。等圧線はほぼ東西方向に伸び、全体としては南高北低型ないしは移動性高気圧後面型とみなされる気圧配置である。したがって当日の気圧配置は表2の高濃度オキシダントが発生しやすい気象条件に合致するものであった。

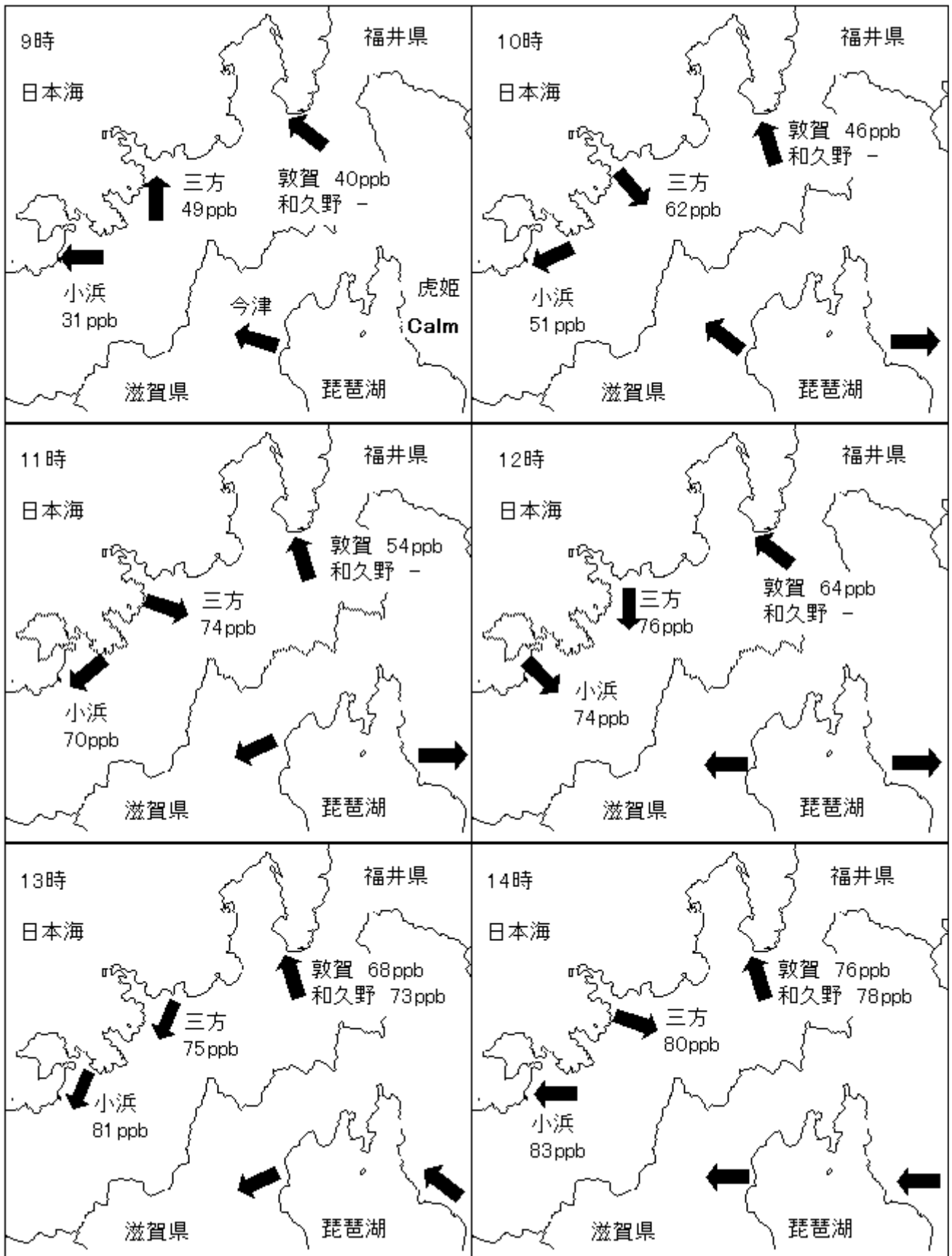


図1 平成14年6月10日の光化学オキシダントの濃度分布 (9時~14時)

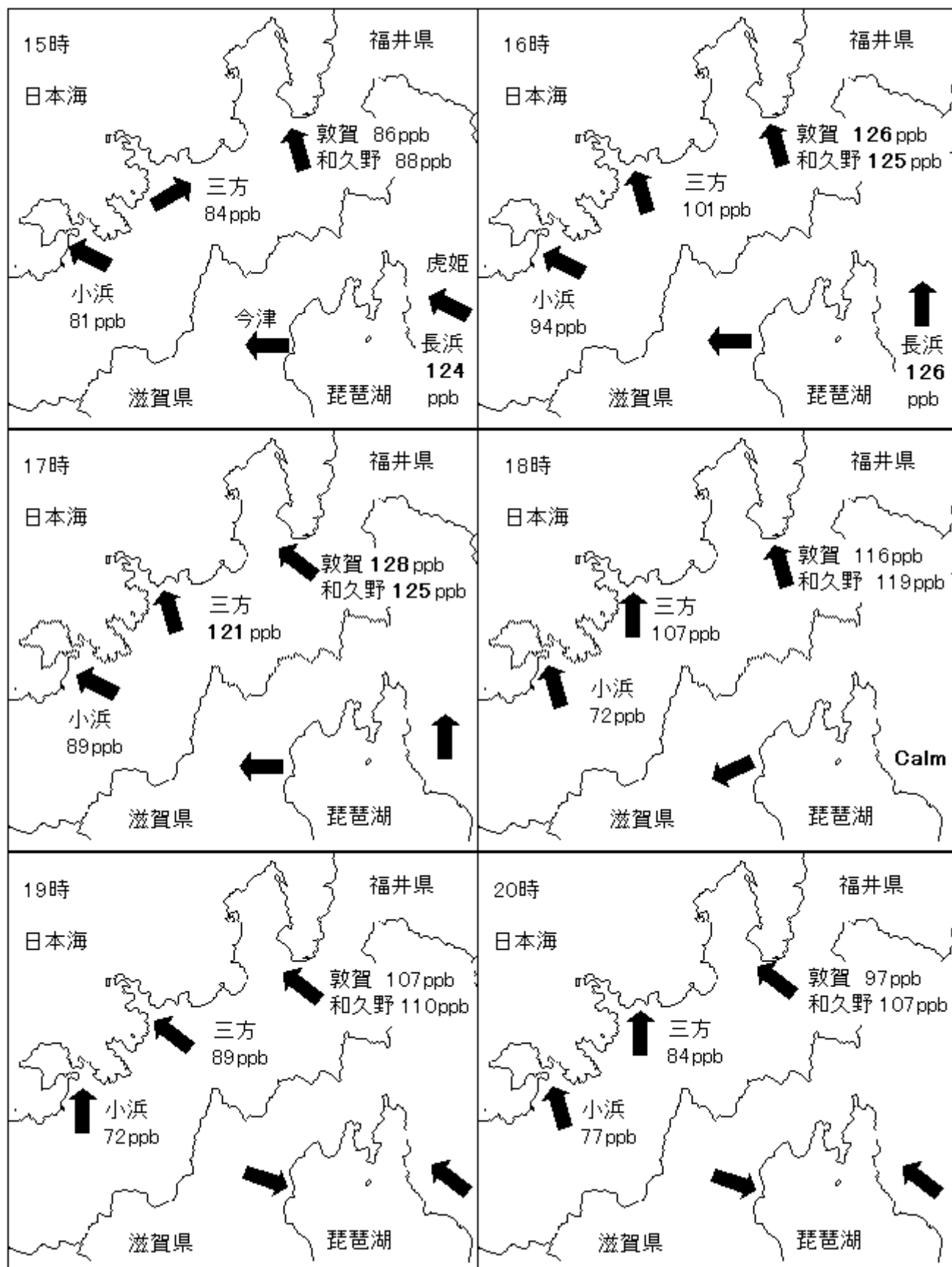


図2 平成14年6月10日の光化学オキシダントの濃度分布 (15時～20時)

4. 2 天気

敦賀における前日（6月9日）および当日（10日）の天気は次のとおりであった（資料：気象庁）。

前日(昼)	晴れ
前日(夜)	晴れのち一時薄曇り
当日(昼)	晴れのち薄曇り
当日(夜)	曇りのち一時雨

したがって天気についても表2の条件に合致していた。

4. 3 日最高気温

敦賀における当日の最高気温は31.6℃であった。これは表2の条件（26℃）をはるかに上回る暑さであり、高濃度オキシダントの発生条件を十分に満たしていた。

なお、これまでに光化学スモッグ注意報が発令された日の最高気温は以下のとおりであり、1回目の事例を除き、いずれも月1位ないし3位の日最高気温を記録した日であった。

昭和53年6月5日	26.1℃（同月18位）
平成2年4月11日	23.6℃（同月2位）
平成2年5月10日	28.1℃（同月1位）
平成2年6月19日	31.6℃（同月3位）
平成14年6月10日	31.6℃（同月2位）

（資料：気象庁）

また、過去15年間に於いて敦賀で6月に気温が30℃を超えた日数を調べたところ、表3のような結果であった。

表3 6月に気温が30℃を超えた日数（敦賀局）
（*：光化学スモッグ注意報発令日）

年	6月に気温が30℃を超えた日数
H元年(1989)	2日（4,27日）
H02年(1990)	6日（11,14,19*,21,23,24日）
H03年(1991)	5日（11,12,26,28,29日）
H04年(1992)	0日
H05年(1993)	0日
H06年(1994)	1日（26日）
H07年(1995)	1日（30日）
H08年(1996)	1日（16日）
H09年(1997)	3日（19,26,27日）
H10年(1998)	0日
H11年(1999)	3日（6,14,15日）
H12年(2000)	4日（7,15,16,30日）
H13年(2001)	4日（25,26,28,29日）
H14年(2002)	4日（7,8,10*,13日）
H15年(2003)	0日

同表から、超過日数は年によりかなりの変動があり、光化学スモッグ注意報が発令された平成2年の6回をピークとしてそれ以降、少なめに推移したことが認められる。このことは平成2年以降平成14年まで12年間にわたり注意報が発令されなかった要因のひとつと推定される。

4. 4 気温日較差

敦賀における当日の最低気温は14℃であり、気温日較差（最高気温と最低気温との差）は17.6℃であった。この値は6月の値としては昭和55年6月6日に記録した18.2℃以降の最大値であり（資料：気象庁）、表2の条件（9℃）をはるかに上回る値であった。気温日較差が大きくなったのは前日から当日にかけての夜間に天気が良かったため、放射冷却により地表付近の気温が低下し、昼間は逆に強い日射により気温が上昇したためと考えられる。放射冷却が著しいと地表付近の大気安定度が強安定になり、窒素酸化物などの一次汚染物質が多く蓄積される。これに昼間、強い日射が照りつけることにより光化学反応が進み、高濃度オキシダントが生成したものと考えられる。

図4は敦賀局における二酸化窒素濃度の経時変化について平成14年6月の平均値と9日午後から10日午前にかけての値とを比較したものである。同図から9日夜23時から10日朝4時までの間、6月平均値を上回る濃度を示しており、二酸化窒素の蓄積が認められる。

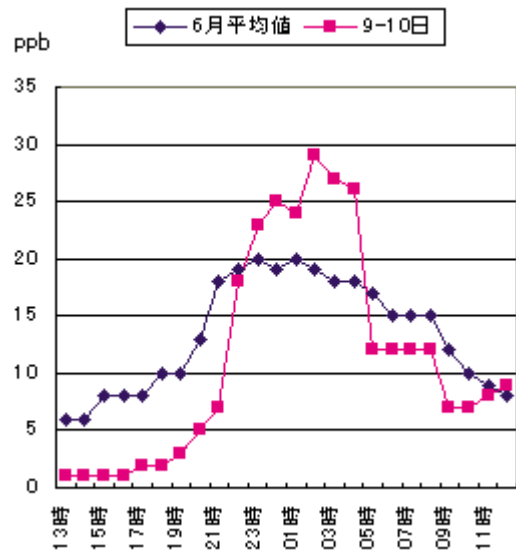


図4 二酸化窒素濃度の経時変化（敦賀局）

4. 5 風速

風速に関しては表2の条件には含まれないが、社団法人日本気象協会発行の「大気汚染気象予報指針」⁴⁾においては東京での高濃度オキシダント発生に係る気象条件のひとつとして「風速が4m/s未満」と記載されている。しかし本県においては過去に風速4m/s以上でも高濃度の事例があり、高濃度オキシダント発生に係る気象条件からは除外されている。今回（6月10日）の事例においても敦賀における風速は日中4m/sを超えていた（図5）。

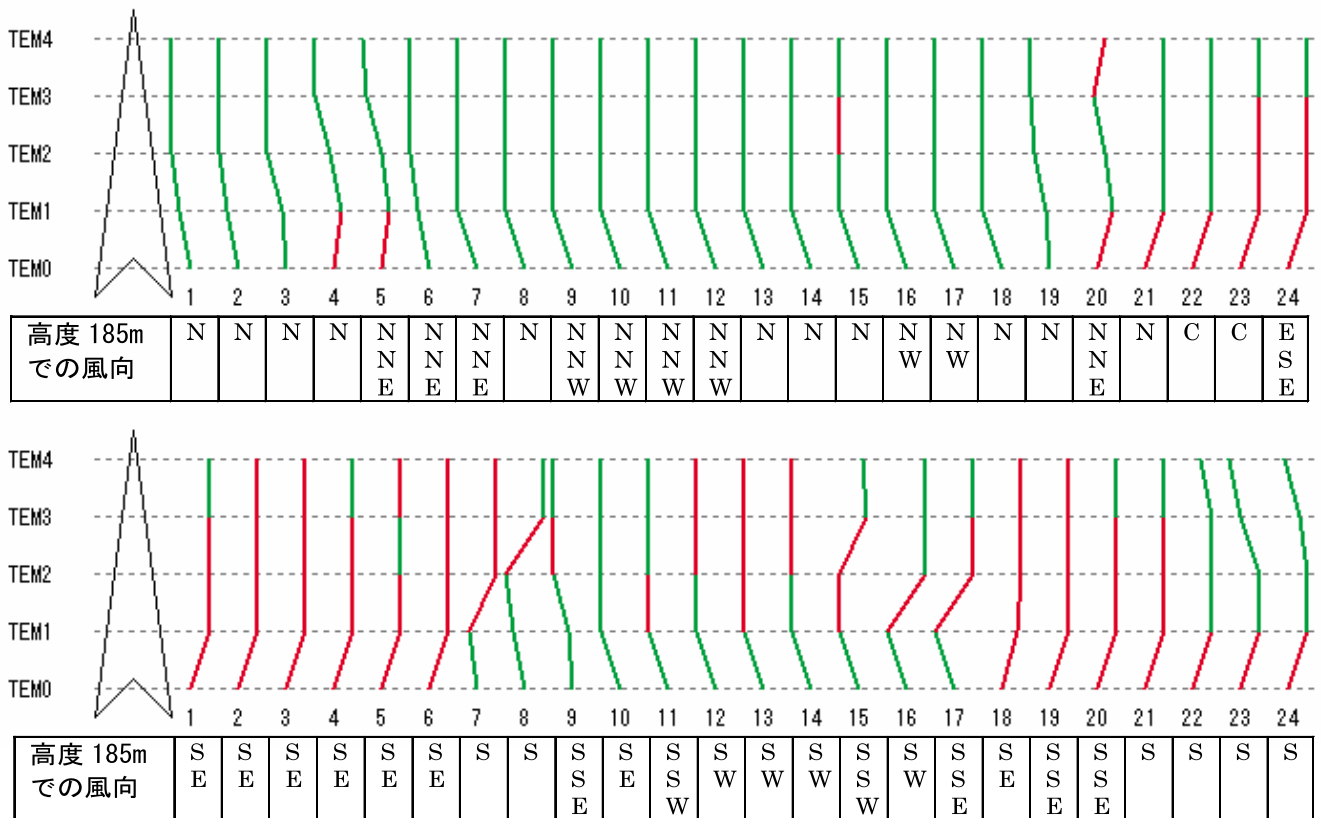


図6 三国における気温逆転状況（平成14年6月9日（上段）～10日（下段） 気象三国局）
（濃い部分が逆転層を示す。ただし、概略図であり、各層の線分の傾きが正確な気温勾配を示すものではない。
また、等温層は逆転層に含めている。 TEM4:185m TEM3:144m TEM2:95m TEM1:45m TEM0:2m）

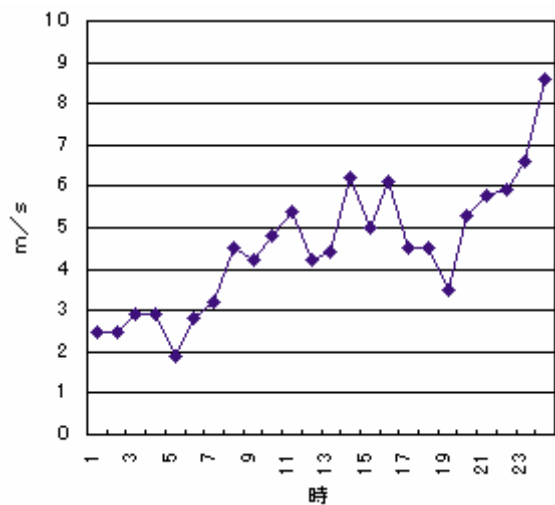


図5 敦賀における平成14年6月10日の風速
（資料：気象庁）

4. 6 気温逆転層

本県では敦賀から約60km北方に位置する気象三国局において地表から高度185mまでの気温の常時測定を行っている。夜間は放射冷却によって地表付近の気温が上空の気温よりも低くなる接地逆転層が発達する。この接地逆転層は通常、昼間の日射により地表が暖められて解消し、大気安定度が不安定となって汚染物質は上空へ拡散するが、上空に逆転

層が存在する場合にはそれ以上の高度への拡散が妨げられる。前述した「大気汚染気象予報指針」によれば、上空に移流性（前線性）や沈降性の逆転層（安定層）が存在することが高濃度オキシダントが発生しやすい気象条件のひとつとされている。

図6は平成14年6月9日と10日の気温逆転状況を示したものであるが、同図によれば6月9日は日中はほとんど逆転がなかったが、20時から放射冷却による接地逆転層ができた。この接地逆転層は翌10日7時に解消しはじめ、10時には185mまで逆転なしとなったが、11時から南西(SW)系の風が入るとともに上空に再び逆転層が出現し、そのあと終日、逆転層が解消することはなかった。

したがって6月10日は上空に逆転層が存在し、大気汚染物質の拡散が妨げられて高濃度オキシダントが発生しやすい気象条件であったと認められる。

4. 7 風向

風向は大気汚染濃度の測定値に大きく影響する。6月10日の風向は敦賀地域では終日南系であった。当日南隣の滋賀県で高濃度オキシダントが観測されたが、同県でも南系の風向であったことから、南風に乗って高濃度オキシダントが県境を越えて敦賀地域に移流してきたと考えられる。16時に敦賀局で観測された濃度126ppbは15時に滋賀県の

長浜局で観測された濃度124ppbとほぼ同レベルであったが、通常、大気汚染は移流の過程で拡散や分解により濃度が低下すると考えられることから、拡散や分解による濃度低下を補う新たなオキシダントが移流の過程で光化学反応によって生成されたものと考えられる。

なお、過去の光化学スモッグ注意報発令日においても敦賀地域の風向は南系であり、汚染物質の移流の影響があったと推定されている^{5, 6)}。

風向が大気汚染濃度の測定値に影響したとみなされる別の例として当日午前中の三方局の濃度推移が挙げられる。当日最初にオキシダント濃度が環境基準値60ppbを超えたのは10時の三方局であったが、同時刻に風向がそれまでの南系(陸風)から北系(海風)に変化している。この風向の変化により南系の風で日本海方面に移流した大気が北系の風で吹き戻されてきたと考えられ、大気が吹き戻されてくるまでの過程において光化学反応によって生じたオキシダントが三方局において観測されたものと考えられる。同様に当日最初にオキシダント濃度が80ppbを超えたのは13時の小浜局であったが、このときの風向も北寄りであり、やはり大気が吹き戻されてくるまでの過程において光化学反応により生じたオキシダントが観測されたものと考えられる。

5 まとめ

本県で12年ぶりに光化学スモッグ注意報が発令された平成14年6月10日のオキシダントの濃度分布および気象状況について解析した。その結果、次のことが明らかになった。

- ・当日は風向が南系から北系に変化した三方局、小浜局において最初にオキシダント濃度が上昇した。
- ・敦賀地域では風向が南系のままであったが、16時に急激に濃度が上昇し、光化学スモッグ注意報発令基準値の120ppbを超えた。
- ・1時間前の15時に南隣の滋賀県の長浜地域においてオキシダント濃度が120ppbを超えており、16時も高濃度が継続していた。
- ・17時には三方局を含む二州地域の全域でオキシダント濃度が120ppbを超えた。
- ・当日の気象状況は高濃度が発生しやすい気象条件に合致していた。

今回の事例から、14年度に三方郡地域と敦賀地域とを合わせた二州地域を光化学スモッグに係る緊急時の措置の新たな対象地域として指定したことは妥当であったと認められる。また、今後の緊急時対策に向けて次のことが挙げられる。

- ・今回と同様な気象状況が再現した場合には高濃度オキシダント発生の可能性が高い。
- ・滋賀県におけるオキシダント濃度や風向の状況に注目する必要がある。
- ・オキシダント濃度が80ppb台から120ppb台へと1時間に40ppb近くも上昇する場合があることに注意する必要がある。

本県では大気汚染緊急時になった場合に市町村等の関係機関が迅速に対応できるよう、オキシダント濃度が90ppb(=環境基準値60ppbと注意報発令基準値120ppbとの中間値)に達した場合にあらかじめ通報(告知)することとしている。しかし、今回の事例のように1時間のうちに80ppb台から120ppb台にいきなり濃度上昇することもあることから、光化学スモッグ監視体制としては90ppbに達していなくても十分警戒する必要がある。このことを踏まえ、本県の大気汚染監視システムでは、高濃度オキシダント検出時の警報ブザー鳴動レベルを従来の90ppbから80ppbに設定変更し、濃度上昇時の監視体制を強化した。

光化学大気汚染対策は全国共通の課題であり、光化学オキシダントの挙動に関する国立環境研究所と地方環境研究所との共同研究が平成13年度から実施されている⁷⁾。本県も共同研究に継続参加し、オキシダントに関する情報を共有するとともに今後とも高濃度事例の解析等を行って知見、経験を積み重ね、光化学大気汚染対策の向上に役立てたい。

参 考 文 献

- 1) 酒井忠彰他：光化学オキシダントの濃度分布に関する解析，福井県環境科学センター年報，31，pp.29-39，2001.
- 2) 酒井信行他：オキシダント濃度上昇時の気象条件について(第2報)，福井県公害センター年報，7，pp.80-90，1977.
- 3) 酒井信行他：オキシダント濃度上昇時の気象条件について(第3報)，福井県公害センター年報，8，pp.163-170，1978.
- 4) 大気汚染気象予報指針，社団法人日本気象協会，1976.
- 5) 正通寛治他：光化学スモッグ注意報発令時における高濃度出現要因の検討，福井県公害センター年報，19，pp.70-95，1989.
- 6) 正通寛治他：光化学スモッグ注意報発令時の高濃度出現要因について，福井県環境センター年報，20，pp.77-89，1990.
- 7) 若松伸司編：西日本及び日本海側を中心とした地域における光化学オキシダント濃度等の経年変動に関する研究，国立環境研究所研究報告 第184号，2004.