

丹後地域における SO₂, SPM 高濃度事例の検討

— 平成 21 年 9 月から平成 22 年 8 月について —

高倉 尚枝 谷口 延子 平澤 幸代
辻 昭博 日置 正 藤波 直人

A Study of Incidents with High Concentration of SO₂ and SPM in Tango Area from
Sep. 2009 to Aug. 2010

Naoe TAKAKURA Nobuko TANIGUCHI Yukiyo HIRASAWA
Akihiro TSUJI Tadashi HIOKI Naoto FUJINAMI

平成 21 年 9 月に京丹後市に設置した大気常時監視測定局の 1 年間の測定結果をみると、自動車排ガスや工場・事業場等の発生源の影響をほとんど受けていないと考えられた。しかしながら、SO₂ の 1 時間値の最大値が 8ppb 及び SPM の 1 時間値の最大値が 70 μ g/m³ 以上になった日を高濃度日と設定して抽出したところ、1 年間に高濃度日が 26 日あった。そのうち高濃度日が継続する事例は平成 22 年 3 月 20 日から 21 日と平成 22 年 5 月 20 日から 22 日の 2 事例であり、平成 22 年 3 月 20 日から 21 日はアジア大陸からの黄砂と越境大気汚染の影響、平成 22 年 5 月 20 日から 21 日は東アジア域からの越境大気汚染の影響が大きいと推定された。高濃度日 26 日のうち、広域的な汚染ではない 3 日を除いた 23 日について汚染原因を推定したところ、18 日が東アジア域からの越境大気汚染の影響があると考えられ、京丹後局は越境大気汚染の影響を受けやすい測定局であることが示唆された。

キーワード：大気汚染物質、環境基準、越境大気汚染、黄砂

key words : Air pollutants, Environmental quality standard, Trans-boundary air pollution, Asian dust

はじめに

近年、我が国における浮遊粒子状物質（以下、SPM）やオキシダント（以下、Ox）濃度上昇の原因として、大陸からの越境大気汚染物質の影響が指摘されている¹⁾。本府においても、周辺に発生源のほとんどない北部の測定局で SPM や Ox の濃度上昇が確認されていることから、事例解析を行い汚染の主な要因を分析することが重要になっている。一方で、越境大気汚染により SPM や Ox の濃度が上昇するときは、二酸化硫黄（以下、SO₂）の濃度の上昇も連動して見られることが多く、我々は、越境大気汚染の影響を評価する上で SO₂ は有効な指標であり、近隣に発生源がなく SO₂、SPM が低濃度であると考えられる地点で測定し、その地点における高濃度事例の解析を行うことは、越境大気汚染の影響を把握する有効な方法であると考えてきた²⁾。本府では、平成 17（2005 以下西暦）年度から測定局の配置を見直しており、2009 年に日本海に面した田園・農村地域である京丹後市に大気常時監視測定局（以下、京丹後局）を設置した。今回、1 年間の測定結果を取りまとめるとともに、観測された高濃度事例について SPM、ガス成分の挙動や後方流跡線による気塊の動きから、高濃度出現要因を検討したので報告する。

調査方法

1. 調査地点

調査地点を図 1 に示す。局舎設置場所は、北緯 35° 37' 35"、東経 135° 4' 27" で、京丹後市の中心部にあたる峰山盆地の旧峰山町域にある。京丹後市は、京都府の最北端に位置し、京都市へ直線距離で約 90 km、最も近い府内市である宮津市へ約 15 km、舞鶴市へは約 40 km であり、地形は全体として山地・丘陵地が多く平野が少ない。

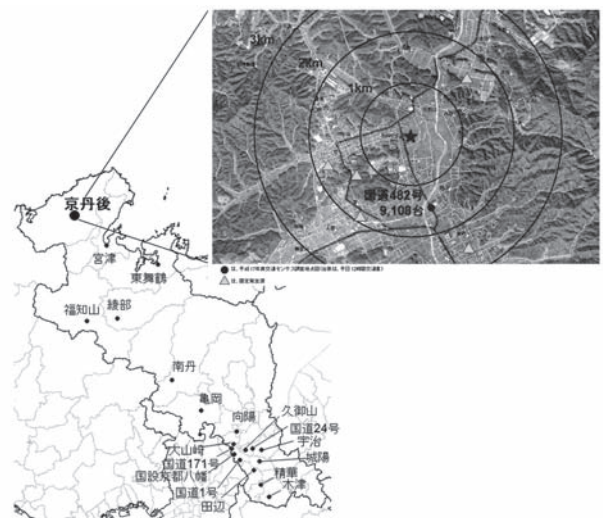


図 1. 京都府大気常時監視測定局配置図

●は、平成 17 年度交通センサス調査地点（台数は、平日 12 時間交通量）
△は、固定発生源

(平成 23 年 7 月 31 日受理)

峰山盆地は竹野川流域に形成された盆地であり、南北に竹野川が流れており東西を山地に囲まれている*1。京丹後局の設置場所は、京都府峰山総合庁舎の敷地の一角であり、局舎周辺は民家も点在するが、田園が広がっており、固定発生源については、大気汚染防止法に規定するばい煙発生施設のうちボイラーが3か所、乾燥炉及び廃棄物焼却炉が各1か所、それぞれ局舎から約1 km から3 km の距離にある。移動発生源については、西側に国道482号線（京丹後局からの距離約150 m、平成17年交通センサスで平日12時間交通量約9,100台）が存在する。

2. 調査期間

2009年9月1日から2010年8月31日までの1年間とした。

3. 測定項目及び測定方法

大気自動測定機を用い、SO₂は溶液導電率法（紀本電子工業(株)製 Model-332）、SPMはβ線吸収法（東亜ディーケーケー(株)製 DUB-32）、一酸化窒素（以下、NO）及

び二酸化窒素（以下、NO₂）は化学発光法（紀本電子工業(株)製 NA-721）、Oxは紫外線吸収法（東亜ディーケーケー(株)製 GUX-353）で測定した。また、風向風速（光進電気工業(株)製 MVS-350）についても測定した。1時間値は大気常時監視テレメータシステムにより収集し、解析を行った。日最大値がSO₂日最大値の年平均値4 ppb、SPM日最大値の年平均値34μg/m³の概ね2倍（SO₂、8 ppb、SPM、70μg/m³）以上になった日をそれぞれ高濃度日として抽出し事例解析を行った。事例解析に使用した後方流跡線は米国海洋大気圏局（National Oceanic and Atmospheric Administration）の HYSPLIT Trajectory Model を使用し作成した。起点は高度500m、1000m、1500mで濃度ピークが見られた時間から72時間さかのぼって計算した。

結果及び考察

1. 風向・風速

図2に月別風配図を示す。平均風速は、2.5 m/sで、府

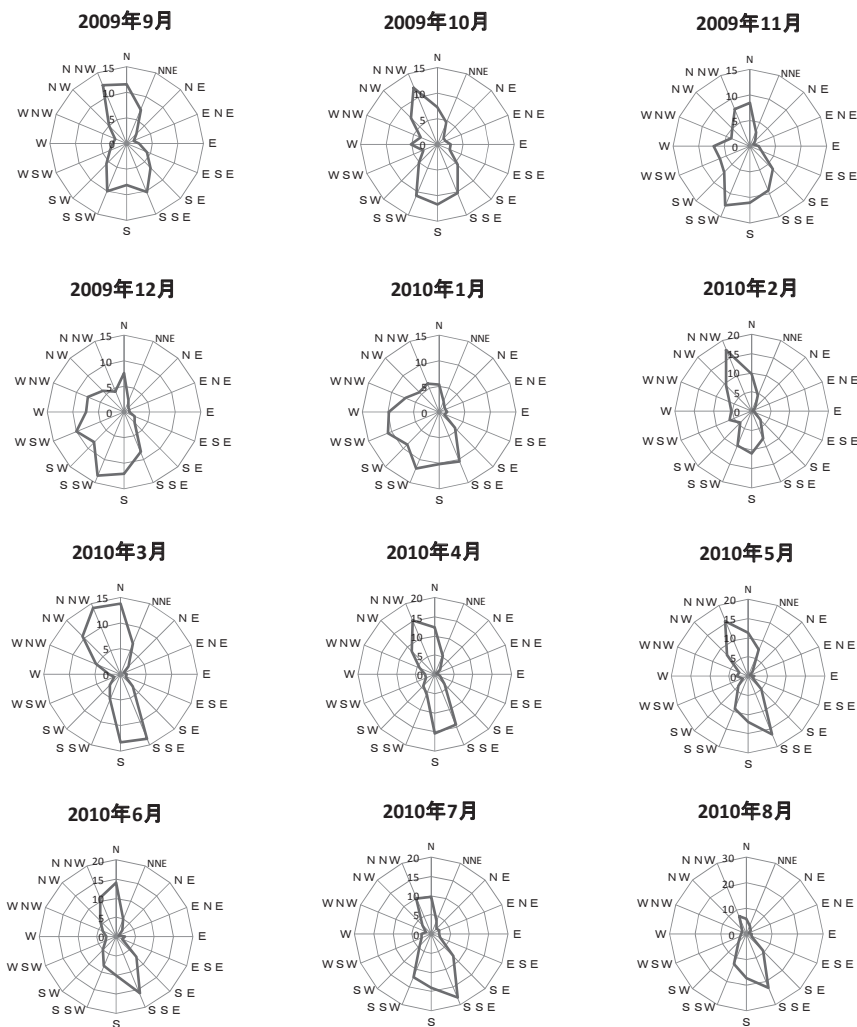


図2. 京丹後局月別風配図（2009年9月～2010年8月）
数字は出現割合（%）

* 1 京丹後市防災会議. 2008. 京丹後市地域防災計画 ,9-11

内の他の一般大気環境測定局 (1.3 ~ 2.5 m/s) と比較すると、風が強かった。主風向は、SSE-S、もしくはNNW-Nであり海陸風と山谷風の複合風系の影響が大きいと考えられる。11月から1月は海陸風の影響がその他の時期より小さくなり、京丹後局南西方向にある山地からの山風が卓越したため、S-SSWの風が多かったと考えられる。

2. 測定結果の概要

京丹後局におけるSO₂、SPM、NO、NO₂及びOxの年間測定結果を表1に示す。

SO₂については、年平均値は、0.003 ppmであり京都府内の他の一般大気環境測定局 (0.002 ~ 0.004 ppm) と同程度であった。SPMについては、年平均値は、0.016 mg/m³であり、京都府内 (0.016 ~ 0.022 mg/m³) で最も低いレベルであった。NOについても、年平均値は0.001 ppmであり京都府内 (0.001 ~ 0.010 ppm) で最も低いレ

ベルであった。NO₂についても、年平均値は、0.004 ppmであり、京都府内 (0.004 ~ 0.016 ppm) で最も低いレベルであった。いずれも項目も環境基準と比較すると非常に低濃度であった。

Oxについては、1時間値の最高値が0.116 ppmであり、環境基準 (1時間値0.06 ppm) より高値であったが、光化学スモッグ注意報の発令基準である0.120 ppmには達しなかった。昼間 (5 ~ 20時) の年平均値は、0.039 ppmであり京都府内 (0.033 ~ 0.042 ppm) では比較的高かった。Oxは、1日のうちでは昼間に高く、1年のうちでは春季に高い傾向が見られた。

3. 風向別濃度

図3に各測定項目の風向別平均濃度を示す。SO₂、SPM、NO、NO₂については全方向において環境基準と比較して非常に低濃度で、継続的な高濃度事例は見られなかったため、特定の発生源の影響は小さいということが

表1. 京丹後局における大気環境基準項目の年間測定結果 (2009年9月1日~2010年8月31日)

(a) SO ₂		
有効測定日数	(日)	363
測定時間	(時間)	8711
年平均値	(ppm)	0.003
1時間値が0.1ppmを超えた時間数とその割合	(時間)	0
日平均値0.04ppmを超えた日数とその割合	(日)	0
1時間値の最高値	(ppm)	0.013
日平均値の最高値	(ppm)	0.006
日平均値の2%除外値	(ppm)	0.005
日最高1時間値の年平均値	(ppm)	0.004
日平均値が0.04ppmを超えた日が2日以上連続したことの有無		無
環境基準の長期的評価による日平均値が0.04ppmを超えた日数	(日)	0
(b) SPM		
有効測定日数	(日)	360
測定時間	(時間)	8659
年平均値	(mg/m ³)	0.016
1時間値が0.20mg/m ³ を超えた時間数とその割合	(時間)	6
日平均値0.10mg/m ³ を超えた日数とその割合	(日)	1
1時間値の最高値	(mg/m ³)	0.458
日平均値の最高値	(mg/m ³)	0.112
日平均値の2%除外値	(mg/m ³)	0.050
日最高1時間値の年平均値	(ppm)	0.034
日平均値が0.10mg/m ³ を超えた日が2日以上連続したことの有無		無
環境基準の長期的評価による日平均値が0.10mg/m ³ を超えた日数	(日)	0

(c) NO		
有効測定日数	(日)	358
測定時間	(時間)	8616
年平均値	(ppm)	0.001
1時間の最高値	(ppm)	0.036
日平均値の最高値	(ppm)	0.012
日平均値の年間98%値	(ppm)	0.003

(d) NO ₂		
有効測定日数	(日)	358
測定時間	(時間)	8616
年平均値	(ppm)	0.004
1時間値の最高値	(ppm)	0.030
日平均値の最高値	(ppm)	0.012
1時間値が0.2ppmを超えた時間数とその割合	(時間)	0
1時間値が0.1ppm以上0.2ppm以下の時間数とその割合	(時間)	0
日平均値が0.06ppmを超えた日数とその割合	(日)	0
日平均値が0.04ppm以上0.06ppm以下の日数とその割合	(日)	0
日平均値の年間98%値	(ppm)	0.009
98%値評価による日平均値が0.06ppmを超えた日数	(日)	0

(e) Ox		
昼間測定日数	(日)	365
昼間測定時間	(時間)	5375
昼間1時間値の年平均値	(ppm)	0.039
昼間の1時間値が0.06ppmを超えた日数と時間数	(日)	68
昼間の1時間値が0.12ppm以上の日数と時間数	(時間)	405
昼間の1時間値が0.12ppm以上の日数	(日)	0
昼間の1時間値の最高値	(ppm)	0.116
昼間の日最高1時間値の年平均値	(ppm)	0.051

示唆された。Oxについては、NW-NNEで43～45 ppbを示し、他方位と比較して高濃度であった。これは、北寄りの風がOxの濃度が高くなりやすい昼間に卓越しやすいことが原因と考えられる。

4. SO₂、SPM 高濃度事例

高濃度日は、SO₂について16日、SPMについて11日抽出された。SO₂、SPMとも高濃度になった日が1日あったため高濃度日として抽出した日は年間26日であった。SO₂高濃度日は12月から2月の冬季に、SPM高濃度日は3月から5月の春季と、8月に主に発生していた(表2)。京都府及び近隣府県の測定局でSO₂又はSPMの広域的な濃度上昇が見られなかった3日を除く23日についてSPM、ガス成分の挙動や後方流跡線による気塊の動きから高濃度になった原因を検討した。このうちSO₂高濃度日とSPM高濃度日が連続した2事例について以下に述べる。

4-1. 2010年3月20日～21日の事例

期間内に、全国的に大規模な黄砂が観測された事例である。3月20日～21日における京丹後局のSO₂、SPMの1時間値の推移を図4に示す。20日は12時にSO₂が9ppb、17時にSPMが72μg/m³と最大値になった。21日は風向が1時に北西に切り替わるとともにSPMの上昇が始まり6時に458 μg/m³と最大値を示したが、SO₂は高

濃度にはならなかった。20日12時及び17時、21日6時の後方流跡線解析結果を図5に示す。20日12時及び17時は、中国南部の沿岸から九州、瀬戸内海、大阪湾付近を通過して京丹後局に気塊が到達していた。21日6時はモンゴル方面から気塊が到達していた。図6に20日9時、21日9時の地上天気図を示す。20日は、朝鮮半島にある低気圧に伴う温暖前線に向かう暖かい風が日本列島に入ったため、汚染物質の発生源である中国沿岸地域から混合層の中を気塊が長時間輸送されていたと考えられる。21日は、低気圧から延びる寒冷前線が通過し北西の風に切り替わり、寒冷前線後面の沈降性の大気に支配されたことにより、上空の気塊が京丹後局へ到達したと考えられる。また、アジア地上天気図によると19日頃にゴビ砂漠付近で砂塵あらしが発生していた。気象庁のホームページで公開されている舞鶴海洋気象台^{*2}の観測データによると20日は、12時以降視程がやや低下しており、この日のSPM計テープろ紙のスポットは灰褐色であった。21日は2時20分からもや、4時30分から煙霧、5時から14時まで黄砂が観測されており、SPM計テープろ紙を確認したところ、21日のSPM高濃度期間とスポットが黄

表2. 京丹後局においてSO₂が8ppb以上、SPMが70μg/m³以上を観測した日(2009年9月1日～2010年8月31日)

月	日	SO ₂ (ppb)	SPM(μg/m ³)
9月	20日	9	
12月	26日		99
1月	30日	8	
	13日	13	
	18日	10	
	19日	8	
	20日	9	
2月	25日	9	
	31日	9	
	18日	10	
	22日	8	
	23日	8	
3月	24日	9	
	20日	9	72
	21日		458
4月	4日	8	
	12日		72
5月	4日		85
	5日		77
	20日		91
	21日	8	
	22日	8	
8月	14日		75
	20日		79
	22日		73
	26日		79

* : 網掛は京丹後局のみピークがみられたことから、広域的な汚染ではないと考えられる日
数字はその日の1時間値最高濃度

* 2 http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php?prec_no=61&prec_ch=%8B%9E%93s%95%7B&block_no=47750&block_ch=%95%91%92%DF&year=2010&month=3&day=20&elm=&view=p1 (2011.6.20 現在)

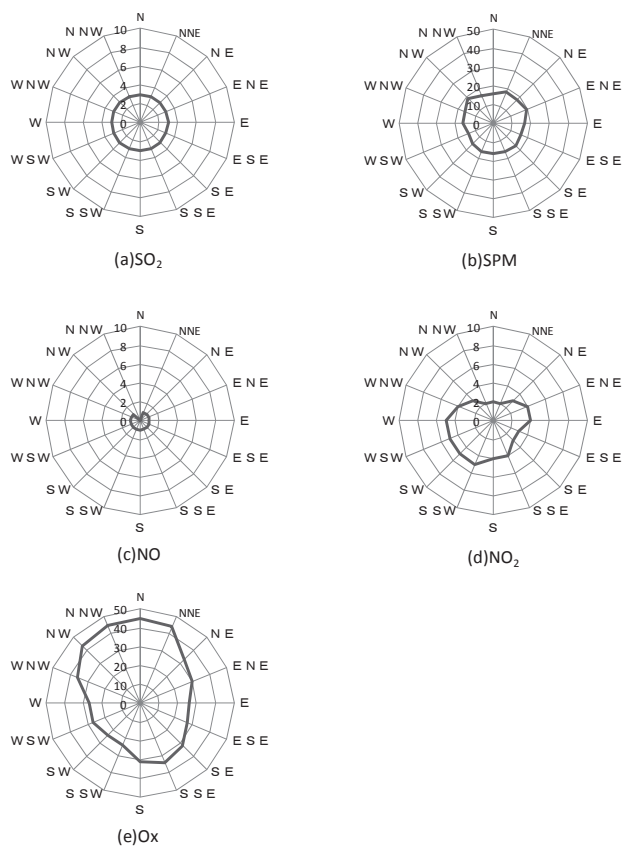


図3. 京丹後局風向別平均濃度(2009年9月～2010年8月)

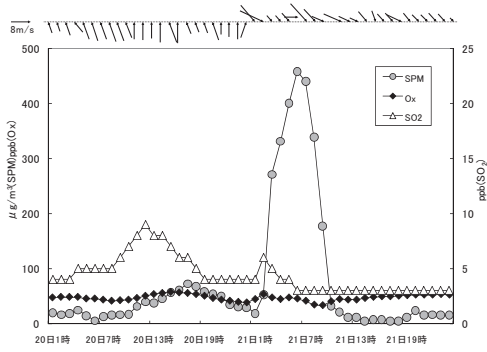
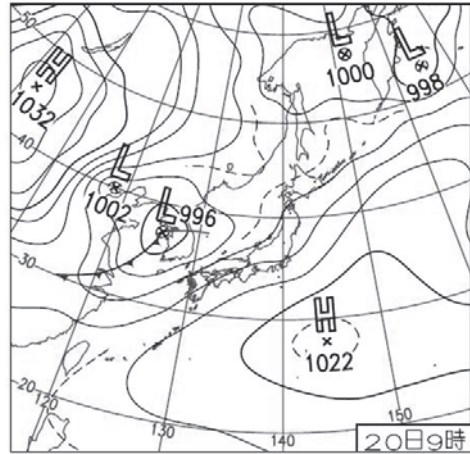
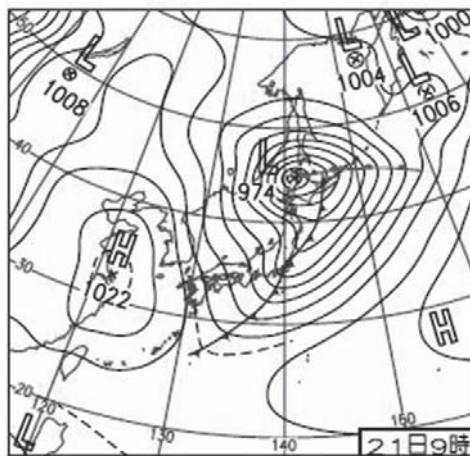


図4. 2010年3月20日～21日のSO₂,SPM,Ox濃度経時変化

横軸 時刻及び風向
縦軸 SO₂,SPM,Ox1時間値



2010年3月20日



2010年3月21日

図6. 2010年3月20日～21日の地上天気図
(気象庁日々の天気図より抜粋)

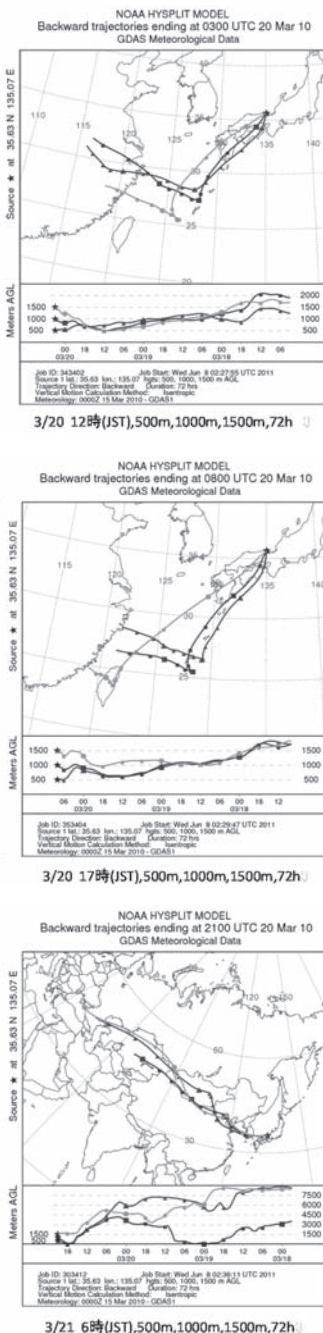


図5. 2010年3月20日～21日の後方流跡線解析結果

褐色を呈していた期間が一致していた。SO₂、SPM 大気汚染常時監視局データ (速報値) の広域分布図*3を見ると、20日は西日本を中心にSO₂、SPMが上昇しており、21日は、全国的にSPMが上昇していた。これらのことから20日のSO₂、SPM高濃度については越境大気汚染及び国内発生源の影響、21日のSPM高濃度の原因は黄砂と推定された。20日について、越境大気汚染と国内発生源のどちらの影響が大きいかはわからなかった。

4-2. 2010年5月20日～22日の事例

期間内に、西日本を中心にSO₂及びSPMの高濃度が観測された事例である。京都府では21日に南部地域で光化学スモッグ注意報が発令され、京丹後局でもOxが116 ppbとなった。5月20日～22日における京丹後局のSO₂、SPM及びOxの1時間値の推移を図7に示す。20日は12時～19時にSO₂が7 ppb、20時にSPMが91μg/m³のピークがみられる。21日及び22日は、21日17時と22日10

* 3 http://www.cr.chiba-u.jp/~database/wiki/wiki.cgi?page=AEROS_soramame_images (2011.6.20 現在)

～11時にSO₂に8 ppbのピークが見られるがSPMの濃度は20日よりやや低下した。20日20時、21日17時、22日10時の後方流跡線解析結果を図8に示す。いずれも後方流跡線解析から大気汚染物質の排出量が多いと考えられている中国北東部³⁾から朝鮮半島を通過して気塊が到達していた。舞鶴海洋気象台では21日から22日にかけて黄砂と発表されていたが、同時期の京丹後局のSPMは前日と比べて低い値であり、SPM計テープろ紙を確認したところ、20日から22日までほぼ同じ灰褐色であり黄砂の影響は少ないと考えた。図9に20日9時、21日9時、22日9時の地上天気図を示す。鶴野ら⁴⁾が述べているように春の移動性高気圧の通過に伴い、高気圧性の時計回りの循環に汚染物質が含まれ、中国大陸から日本域を含むスケールでの長距離輸送が生じる気圧配置であったと予想された。また、九州南部に停滞前線があり、気圧傾度が小さく高温でSO₂、SPMやOxの濃度が上昇しやすい気象条件であった。22日には停滞していた前線は消え去り大陸から低気圧が接近し、それとともにSO₂、SPM、Oxとも濃度が低下した。SO₂、SPM大気汚染常時監視局データ(速報値)の広域分布図を見ると20日から22日にかけて西日本全域でSO₂、SPMが上昇しておりSPMの高濃度域は、九州地域から中国地域、近畿地域と時間が遅くなるにつれて西から東へ広がっていた。期間中、環境省による松江のライダー観測⁴⁾で高濃度のエアロゾルが観測されており、九州大学・国立環境研究所によるシミュレーションモデル⁵⁾でも高濃度の硫酸塩を含む気塊が日本に飛来していた。20日はSO₂、SPM、Oxとも、府南部の局より京丹後局のほうが高い傾向があり2007年に福岡で大陸からの影響を受けてOxが高濃度となったと推定されている事例⁵⁾と同様の傾向がみられた。その結果本事例のSO₂、SPM高濃度の原因は越境大気汚

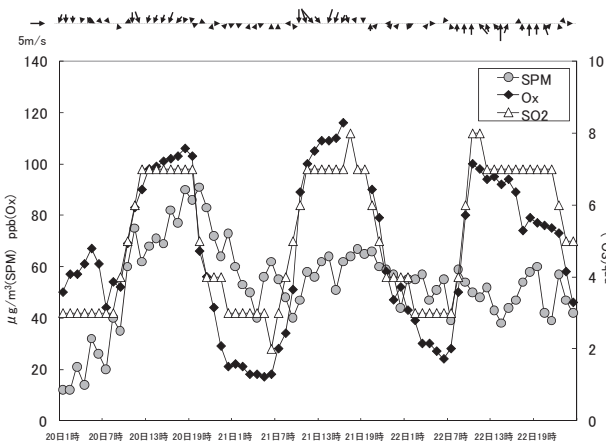


図7. 2010年5月20日～22日のSO₂,SPM,Ox濃度経時変化
 横軸 時刻及び風向
 縦軸 SO₂,SPM,Ox1時間値
 Oxの21日17時から19時は点検のため欠測

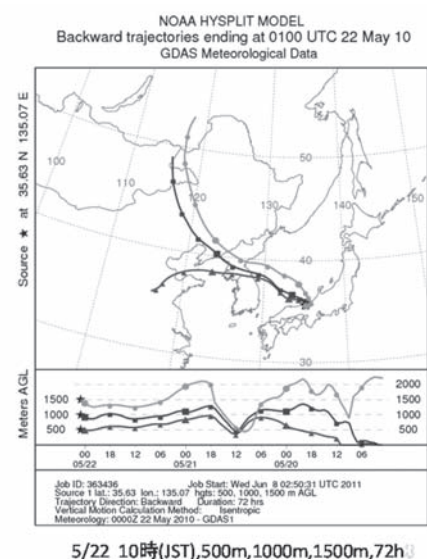
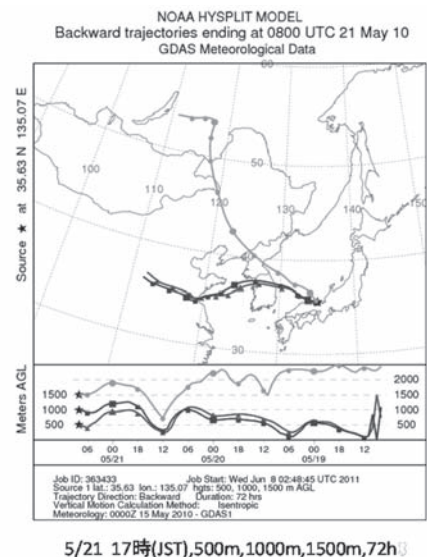
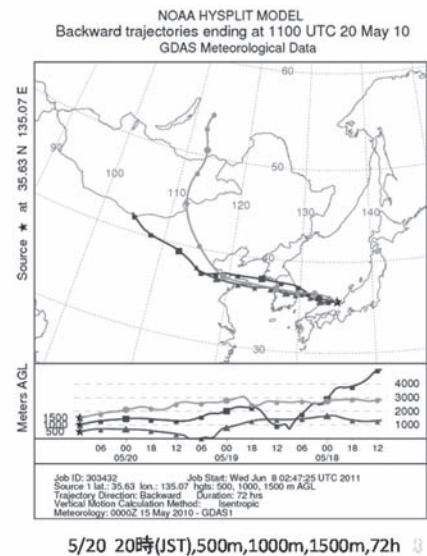


図8. 2010年5月20日～22日の後方流跡線解析結果

* 4 <http://www.lidar.nies.go.jp/Matsue/>

* 5 <http://www-cfors.nies.go.jp/~cfors/index-j.html>

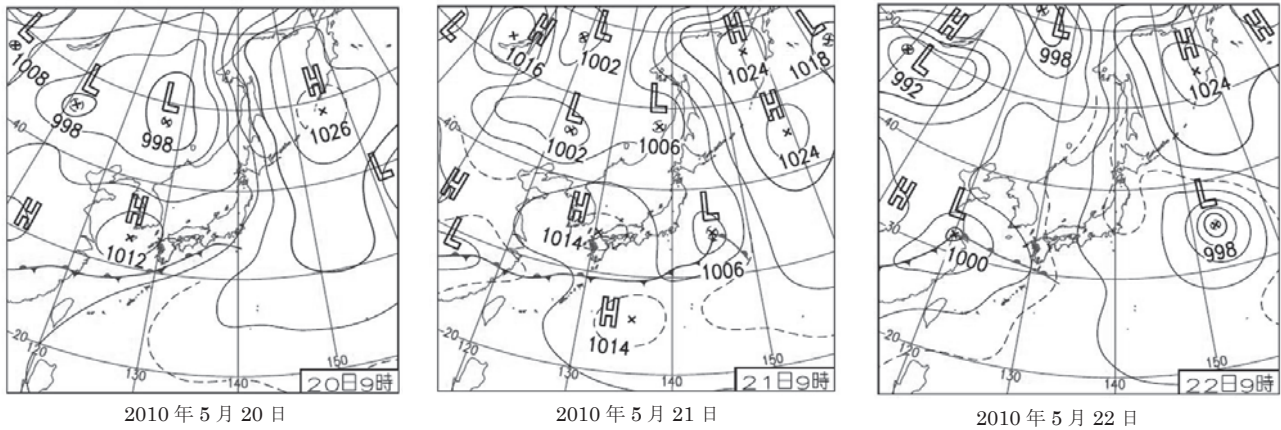


図9. 2010年5月20日～22日の地上天気図（気象庁日々の天気図より抜粋）

染による影響と推定された。21日と22日は、府南部の局の方がSO₂、SPM、Oxとも高くなり光化学反応による二次粒子生成及び拡散の阻害の影響があると考えられたが、すでに前日もこれらの成分は高濃度であり、後方流跡線解析の結果からも大陸から移流した汚染物質が光化学反応に大きく寄与したと推測される。以上より、京丹後局の5月20日～22日の事例は越境大気汚染が高濃度の主因であり、汚染物質の濃度が上がりやすい気象条件も影響したと考えられる。

4-3 期間内の高濃度日

SO₂、SPM 高濃度日のうち、京都府及び近隣府県の測定局で広域的な濃度上昇が見られなかった3日を除く23日について、4-1、4-2と同じ方法で解析し、原因を推測したところ、越境大気汚染の影響があった可能性があると考えられる日が18日あった。

5 まとめ

京丹後局は、自動車排ガスや工場・事業場等の発生源の影響をほとんど受けておらず大気汚染物質の濃度が低い測定局と考えられる。一方で、SO₂、SPMの濃度が普段の2倍以上に上昇する日があった。SO₂、SPM高濃度日が連続した2事例について解析を行ったところいずれも越境大気汚染の影響を受けていた可能性があると考えられた。また、年間に観測されたSO₂、SPM高濃度日23日のうち越境大気汚染の影響を受けた可能性があると考えられる日が18日あった。京丹後局は京都府への越境大

気汚染の影響を把握する測定局として重要であり、粗大粒子、微小粒子の粒径別の測定や成分分析等精度の高い観測を行っていくことが必要である。また、日本海沿岸域が連携して精度の高い観測を行うことにより、越境大気汚染の影響を明らかにしていく必要があると考えられる。

謝辞

京都府丹後保健所環境衛生室及び丹後広域振興局の皆様には京丹後局開設及び常時監視業務の実施にあたりひとかたならぬお世話になりました。心より感謝いたします。

引用文献

- 1) 光化学オキシダント等に関する共同研究グループ 大原利貞編. 2010. 光化学オキシダントと粒子状物質等の汚染特性開明に関する研究. 国立環境研究所研究報告,203,145-150.
- 2) 河村秀一,日置正,藤波直人. 2009. 2007年度における京都府内のSPM高濃度事例の解析結果. 全国環境研究会誌,34,141-152
- 3) 独立行政法人国立環境研究所編.2006. 大陸規模広域大気汚染に関する国際共同研究(特別研究). 国立環境研究所特別研究報告 SR-65-2006,34
- 4) 鶴野伊津志,若松伸司,植田洋匡,村野健太郎,酒巻史郎,栗田秀實,薩摩林光,寶来俊一.1997. 春季の移動性高気圧通過時の九州地域での二次汚染物質と火山性SO₂の挙動. 大気環境学会誌,32,404-424
- 5) 岩本真二,大石興弘,田上四郎,力寿雄,山本重一.2008. 福岡県における光化学オキシダントの高濃度要因の分類. 大気環境学会誌,43,175-176