

(86) 大気環境リスク評価のための気象シナリオ日の適用性とターゲットシナリオとしての利用法

玉井 昌宏¹・日比 俊輔²

¹正会員 大阪大学准教授 大学院工学研究科地球総合工学専攻 (〒565-0871 吹田市山田丘2-1)

E-mail: tamai@civil.eng.osaka-u.ac.jp

²学生会員 大阪大学大学院工学研究科地球総合工学専攻前期課程 (〒565-0871 吹田市山田丘2-1)

E-mail: hibi@civil.eng.osaka-u.ac.jp

前報で提案した大気環境リスク評価のための気象シナリオ日の適用性とそのターゲットシナリオとしての利用法について検討した。アメダス神戸の風向データの一日単位の変動パターンにより、種々のリスク評価期間に対する気象シナリオ日を選定した。選定された気象シナリオ日群により、神戸市域あるいは兵庫県域内の各種の気象要素と主要大気汚染物質の月、季節、年間の平均値や相対頻度分布を良好に再現できることを示した。加えて、この気象シナリオ日群により作成したNO_x、オキシダントや気温の相対頻度分布のパターン別の内訳を検討することにより、環境基準を超過するといった問題を引き起こす可能性のある気象シナリオを示した。

Key Words : risk analysis, atmospheric environments, meteorological scenario, sea and land breeze,

1. 研究の目的

大気汚染物質のリスク評価におけるシナリオとは、リスク評価期間において生起することが想定される様々な曝露イベントを何らかの方法で集約したもの、あるいは代表させたものと定義できる。汚染発生と気流場による輸送は、例えば、台風や竜巻などの極端な気象状況に起因して汚染が発生するようなケースを除けば、独立した事象として扱うことができると考えられる。筆者らは、汚染物質の発生に関連するシナリオと気流場に関するシナリオをそれぞれ発生源シナリオ、気象シナリオと呼んでいる。気象シナリオの選定に関連する研究例は、Dorling et al.¹⁾によるクラスター分析を利用したものをはじめ多数²⁻⁶⁾存在するものの、気象シナリオそのものの有効性については十分検討されていない。筆者らは、前報⁷⁾において、気象シナリオ日を用いた新しいリスク評価手法を提案した。ひと月、季節、1年間といった様々なリスク評価期間において、気象シナリオ日の実測データにより地上気象要素の頻度分布や各種汚染物質の平均濃度や濃度頻度分布が良好に再現されることを示した。

本方法の最も重要な特徴は、リスク評価を行う領域内

の地上1地点の1日単位の風向変動特性によりパターンを作成することである。しかしながら、このパターン作成に、一般的あるいは最適な手段はなく、対象地域の地形状況や風況を考慮しながら、試行錯誤の煩雑な作業を行うことになる。つまり、パターンの作成過程には任意性があるといわざるを得ない。前報では、アメダス大阪ポイントの風向時系列を用いて風向変動パターンを作成し、大阪平野内に適用可能な気象シナリオ日を選定した。本手法の汎用性を示すためには、より複雑な地形状況や風況をもつと考えられる他の地域への適用について検討する必要がある。

さて、気象シナリオ日は、それによりリスク評価期間の各種気象要素や大気汚染濃度の平均値や頻度分布を容易に求めることができるだけでなく、リスクに対する各パターンの重要度を提示できるという利点を有している。問題を引き起こしている、あるいはその可能性のある気象状況を明確にすることができる。筆者らは、このような気象状況あるいは気象シナリオ日のことをターゲットシナリオと呼んでいる。なんらかの汚染対策を検討する場合において、特異な条件、例えば「背景風が弱い晴天日」といった条件の下で対策を検討しても、その効果を

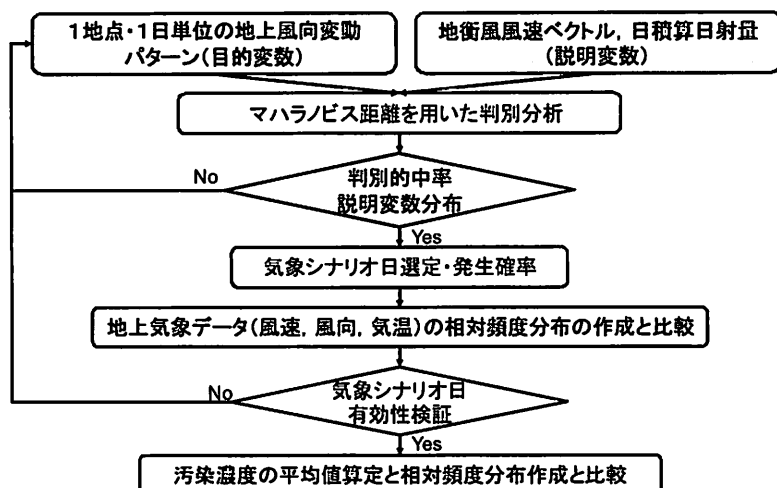


図-1 気象シナリオ日の選定方法

様々な気象状況の発現するリスク評価期間の中で定量的に評価することは困難である。これに対して、ターゲットシナリオを想定することにより、リスク評価の枠組みの中で対策の効果を定量的に評価できるようになる。

本論では、前報において提案した気象シナリオ日の選定方法の汎用性について検討する。アメダス神戸のデータを用いて一日単位の風向変動のパターン化を行って、種々のリスク評価期間に対する気象シナリオ日を選定する。このシナリオ日を用いて、神戸市域と兵庫県内のいくつかの地点の各種気象要素と大気汚染濃度の平均値や相対頻度分布を求めて、当該期間の実測値と比較することで、その適用可能性について検討する。これに加えて、各気象シナリオ日の気象状況や汚染濃度を比較検討して、ターゲットシナリオとしての利用法について言及する。

なお、本論において、パターンとは1日単位の地上風向の変動状況のことである。各パターンに分類された日の中で最も平均的な日として選択された日のことを気象シナリオ日と呼ぶ。

2. 方法

(1) 概要

気象シナリオ日の選定過程における主要な仮定は以下のとおりである。a) ここで扱う気象状況は地上付近の気流場（風況）のみであり、降水現象などその他の状況については考慮しない。b) メソスケール以下の空間スケールを対象とし、気流場の変動は1日以内に完結するものとする。c) リスク評価対象地域全体の様々な気象状況は、アメダス1地点の1日単位の地上風向時系列の変動特性（パターン）により分類できる。d) この風向変動パター

ンの発生条件（説明変数）は地衡風ベクトルと日積算全日射量の二つであるとする。e) d) の各説明変数の平均値を算出し、これに最も近い説明変数を持つ日を各パターンの典型的な日、すなわち気象シナリオ日であるとする。これらの仮定の良否については、地上気象や汚染物質濃度のデータを用いて検証される。図-1 は、気象シナリオ日の選定方法のフローチャートである。その詳細は参考文献7を参照されたい。

(2) 地上風風向変動のパターン

本研究で対象とするのは、メソスケール以下の空間スケールの気流場である。これより大きい空間スケールをもつ気流場（これを以下では背景風と呼ぶ。）が相対的に強ければ、メソスケール以下の気流場もこの背景風の影響が支配的になる。通常、地衡風など、背景風の時間変動のスケールは一日以上であることから、相対的に背景風が強ければ、地上風についてもその風向の時間変動を無視することができると考える。一方、背景風が比較的弱い場合は、海陸風、山谷風など日射の影響によって発生する風が顕著になると考える。このような考え方から、ここでは、基本的に風向の時間変動のないパターンと、日射の影響によって風向変動の生じるパターンの2種類とする。前者については、地衡風の風向と地形状況等を勘案して、いくつかのパターンを設定する。また、リスク対象期間内の各日がいずれのパターンに属するかについては、地上風の昼間と夜間の時間平均風向の組み合わせによって判断できると考える。

(3) 風向のグループ化

アメダス神戸の観測ポイントは、大阪湾に面する神戸

表-1 風向のグループ化

対象	16風向	地上風の状況
西風	11-13	海岸線に沿って西寄りに吹く風
東風	2-4	海岸線に沿って東寄りに吹く風
山風	1,14-16	海岸線に交差して山から吹く風
海風	5-10	海岸線に交差して海から吹く風

市中央区に位置する。北側に六甲山地、南側に大阪湾に挟まれ、平地部は海岸線に沿って概ね北東-南西の方向に細長く伸びている。もちろん、この海岸線の方向は場所によって異なるので、この方角はあくまで目安である。アメダス神戸により観測される風は、こうした複雑な地形状況に強く影響されると考えられる。16方位を基に考えれば、概ね風向2と10が海岸線の方向であり、3～10の範囲は海から吹く風、11～16と1の風向は陸あるいは六甲山から吹く風ということになる。海岸線と六甲山地の尾根線は並行しており、海岸線沿いの地上風は発達しやすく、それに直交する風は発達しにくい状況にある。背景風がこの尾根線に近い風向を有する場合には、地上風もその影響を受けやすくなる。アメダス神戸ポイントは、大阪平野全体からみればその西端に位置しており、この平野において観察される気流場の影響も受けている。Mizuma⁹⁾によれば、この平野には広域的な海風が発生するとされ、その風向は概ね南西(風向10)である。また、大阪市付近で観察される陸風の風向は北東(風向2)である。後述するように、アメダス神戸ポイントの風向データを観察すると、まず海岸に直交する海風が発生

し、その後広域海風と同様の南西風へと移行する様子が認められる。これは、六甲山地により海岸線に直交する海陸風の発達が阻害されて、大阪平野の広域海風へと収束していく状況が現れているものと考えられる。以上のような地形状況や風況を勘案して、ここでは、表-1のように風向を分類分けすることにした。

図-2は、2003年4月16～30日の神戸アメダスの風向、大阪管区气象台観測の日積算全天日射量、地衡風の風速成分の時系列である。横軸は16日午前0時を原点とする時間である。地衡風ベクトルについては、輪島、潮岬、米子における高層気象観測の気圧のデータから算出した。方法の詳細については、参考文献7を参照されたい。

一般に海陸風が発生しやすいと考えられている相対的に地衡風が弱く、日積算全天日射量の大きい日に注目する。Time=264-312hr(27日午前0時～29日午前0時)においては、地衡風ベクトルの各成分の風速は概ね5m/s以下、日積算全天日射量は20MJ/m²以上であり、図示した期間内では相対的に地衡風が弱く、日射量が多いことがわかる。27日昼間には風向8を中心とした海風が発生し、Time=288hr頃の夜間には風向16あるいは風向1の北寄りの陸風となっている。28日の昼間において、風向が南東から南西、さらに西よりへと変化している。その後Time=310hr頃には北寄りの風に移行している。両日の一連の風向変動は海陸風交替を表示していると判断できる。次に、相対的に日射量が小さく、地衡風が弱いTime=96-120hr(20日午前0時～21日午前0時)では、上記のような明確な風向変化は認められず、概ね西寄り

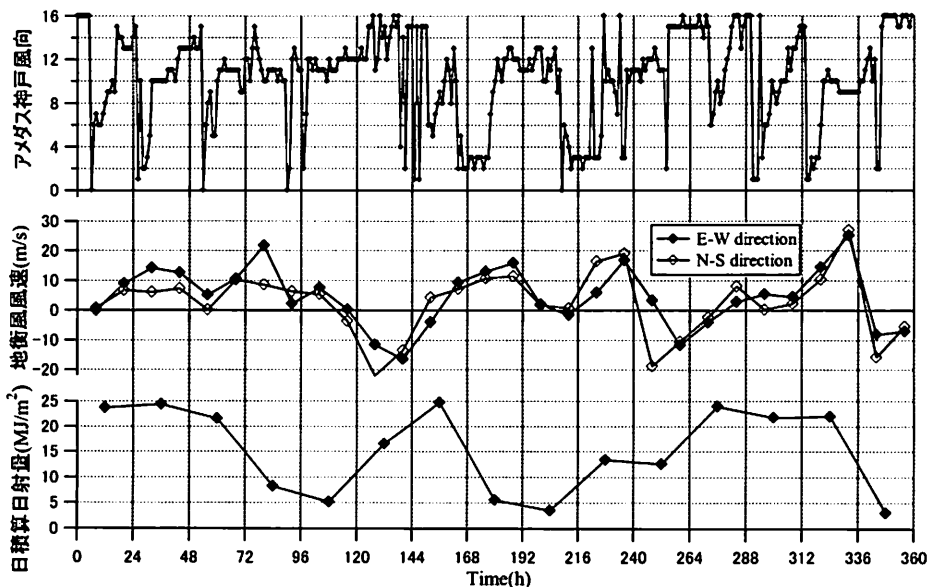


図-2 地上風向、日積算全天日射量、地衡風風速成分の時系列(2003年4月16～30日)

表-2 地上風向変動パターン

パターン	地上風向	
	昼間	夜間
W	西風	—
N	山風	—
A	海風	山風 or 東風
L	東風	—
S	海風	海風 or 西風

(注) — : いずれの風向でも良いことを意味する。

の風となっている。Time=192-216hr (24 日午前 0 時～25 日午前 0 時) 付近の時系列を見ると、風向が西あるいは南西から北東に変化している。この間に比較的微弱な地衡風が南西から南東へと変化しているのを勘案すると、この地上風の風向変動は地衡風の変動により引き起こされたものと推測される。このように、日射量が小さく、地衡風が微弱である場合には、六甲山地の尾根線に沿う方向の風が発生しやすくなると考えられる。Time=330hr 付近では地衡風の風向は南西よりであり、風速 15m/s 以上と強く吹いている。この期間には地上風も南西風となっている。同様の傾向は、Time=192, 240hr 付近においても認められる。Time=120-144hr の期間では、強い北東風が吹いているが、地上風は北寄りとなっている。このように、地衡風が相対的に強い場合には、地上風は地衡風の影響を強く受けると推測される。他方、Time=24, 166hr 付近のように、夜間から早朝にかけて南西よりの強い地衡風が吹いている場合に、北東の地上風が観測されることもある。これは、上層の南西風への連行の補償流として地上付近に北東風が発生することによるものではないかと推測する。地上風向の変動は、当該地域の地形条件のもとで、地衡風や日射量、大気安定度などに影響されて様々なパターンを示すが、上述のごとく、地衡風や日射量との関連を考慮すれば、いくつかの典型的なパターンに集約できる可能性のあることがわかる。

そこで、ここでは、表-2 のような地上風の風向変動パターンを設定する。1 日の中で風向変動が発生する原因は日射によるものだけであるとし、海陸風交替を示すパターン A のみを設定する。海岸線に直交する風速ベクトル成分について、昼間と夜間の時間平均風向がそれぞれ海から陸へ、陸から海へと変化している場合に、海陸風が発生したものとする。六甲山の尾根線あるいは海岸線に沿う方向の地上風が発生しやすいことから、表-1 の西風あるいは東風が一日中連吹することを想定したパターン W と L を設ける。日射量の風向変動に及ぼす影響が大きいことを考慮して、これらのパターンの発生は昼間の時間平均風向が、西風あるいは東風となっていることによって判断する。さらに一日中海風あるいは山風が発生していることを想定したパターン S と N を設け

る。S については、昼間海風で、夜間に山風あるいは東風以外であることを条件とする。さらに、昼間山風であれば、山風パターン N が発生しているものとする。ここで、昼間と夜間の時間帯は、それぞれ 10-16 時と 23-翌日 5 時とする。ここで、平均風向は、アメダス神戸の各時間の 16 風向データを単位風向ベクトルに変換したのちに、それを単純に加算することにより求めた。

(4)説明変数と判別分析

地衡風の計算には、(財)気象業務支援センター発行の高層気象観測年報の潮岬、輪島、米子の 3 地点の観測データを用いる。地衡風は第 i 地点の海面更正気圧 p_i (hPa) の勾配から算出される。 p_i は、各地点の 925 hPa 面の高度 z_{925i} (m) と気温 t_{925i} (°C) を用いて、次式により計算した。

$$p_i = 925 \left[1.0 - \frac{0.0065 z_{925i}}{t_{925i} + 0.0065 z_{925i} + 273.13} \right]^{-5.257} \quad (2-1)$$

海面気圧は線形に変化すると仮定して、 p_i の空間勾配 ($dp/dx, dp/dy$) を計算する。さらに、地衡風風速成分は次式より算出される。

$$u = -\frac{1}{f\rho} \frac{dp}{dy}, \quad v = -\frac{1}{f\rho} \frac{dp}{dx} \quad (2-2)$$

ここに、 (u, v) (m/s) : 風速ベクトル、 $f (= 2\Omega \sin\phi)$: コリオリパラメータ、 ρ (kg/m³) : 地表大気密度、 Ω : 自転回転角速度 (rad/s)、 ϕ : 緯度である。ここで、緯度はアメダス神戸ポイントの緯度を、密度は同ポイントの海面高さに補正した密度を用いる。この密度は、上記の 3 つの高層観測地点の海面高さの大気密度 ρ_i を線形内挿することにより求める。

日積算日射量は、気象庁大阪管区気象台における観測値をそのまま用いた。

判別分析にはマハラノビス汎距離 (Generalized distance of Mahalanobis) に基づく非線形の正準判別分析法を用いる。この方法では、予めパターンに分類されたデータ (真の群) の説明変数の平均値 (中心) を求め、この各パターンの中心と各日の説明変数との距離によって、いずれのパターンに分類されるかを判断する。この結果を判別結果と呼び、あるパターンに属する真の群と判別結果との一致度を判別の中率と呼ぶ。判別の中率は、説明変数によってパターンがどの程度分類できるのかを示している。

(5)気象シナリオ日群の有効性の検証方法

気象シナリオ日の有効性を判断するために、風速、風向、気温の相対頻度分布の再現性について検討する。加

表-3 評価ケース

CASE	対象期間	概要
M	1 カ月	月別の気象シナリオ日を選出する (M1-M12)
S	季節(3 カ月)	季節別の気象シナリオ日を選出する (SSpring, SSummer, SAutumn, SWinter)
Y-M	1 年	M1-M12 の気象シナリオ日を使用する
Y-S	1 年	SSp,SSu,SA,SW の気象シナリオ日を使用する

表-4 CASE M の各パターンの気象シナリオ日と発生確率

Month	APR		MAY		JUN		JUL		AUG		SEP	
	Day	Prob.	Day	Prob.	Day	Prob.	Day	Prob.	Day	Prob.	Day	Prob.
W	20	0.20	—	—	12	0.18	24	0.19	22	0.19	19	0.17
N	9	0.10	—	—	—	—	31	0.26	—	—	27	0.20
A	27	0.30	10	0.66	7	0.47	28	0.32	20	0.22	17	0.30
L	15	0.20	26	0.17	4	0.21	23	0.10	—	—	23	0.10
S	7	0.20	19	0.17	17	0.14	11	0.13	5	0.59	9	0.23
	OCT		NOV		DEC		JAN		FEB		MAR	
	Day	Prob.	Day	Prob.	Day	Prob.	Day	Prob.	Day	Prob.	Day	Prob.
W	16	0.24	21	0.17	13	0.73	3	0.47	7	0.35	13	0.26
N	3	0.24	23	0.36	2	0.17	8	0.17	16	0.10	1	0.16
A	26	0.28	18	0.20	—	—	4	0.36	19	0.41	15	0.38
L	7	0.24	28	0.27	—	—	—	—	—	—	24	0.10
S	—	—	—	—	17	0.10	—	—	24	0.14	17	0.10

えて、大気環境リスク評価法としての有効性を示すために、神戸市と兵庫県の大気汚染常時監視データを用いて、主要な汚染物質の濃度の平均値と相対頻度分布について検討する。

アメダスデータ、大気汚染常時監視データともに、1 時間毎の観測データである。まず、これを用いて、第 j 番評価項目の第 i 番気象シナリオ日の相対頻度分布 $fd_{ij}(\bar{x}_j)$ を求める。ここに、 $\bar{x}_j$: 第 j 番項目の階級値、評価項目は風向、風速、気温、NOx、SO₂、SPM、OXIDANT(光化学オキシダント)である。さらに、次式により、気象シナリオ日群の第 j 番評価項目の相対頻度分布 $FD_j(\bar{x}_j)$ を計算する。

$$FD_j(\bar{x}_j) = \sum_{i=1}^{N_s} \left[r_i fd_{ij}(\bar{x}_j) \right] \quad (2-3)$$

ここに、 r_i : 第 i 番気象シナリオの発生確率、 N_s : 気象シナリオ日の総数である。以下では、この $FD_j(\bar{x}_j)$ をシナリオ相対頻度分布と呼ぶことにする。また、リスク評価期間全体のデータを用いて算出した相対頻度分布のことを実測相対頻度分布と呼ぶ。

気象シナリオ日群の第 j 項目のリスク評価期間に対する平均値 $\bar{q}_j$ は次式により計算する。

$$\bar{q}_j = \sum_{i=1}^{N_s} \left[\frac{r_i}{24} \sum_{k=1}^{24} q_{ijk} \right] \quad (2-4)$$

ここに、 q_{ijk} : 第 i 気象シナリオ日、第 j 項目の第 k 時の値である。この平均値を以下ではシナリオ平均値と呼ぶ。これとリスク評価期間全体のデータを用いた実測平均値とを比較する。

(5) 評価ケース

表-3 に本手法の適用性を検討するために設定された評価ケースを示す。ここでは 2003 年を評価対象年とする。評価期間として 1 カ月、季節(3 カ月)、1 年間の 3 種類を設定する。1 年間の評価については、月単位の評価ケースにより求めた気象シナリオ日 (CASE M の結果) を利用する CASE Y-M と季節単位の気象シナリオ日 (CASE S の結果) を利用する CASE Y-S について示す。

3. 結果と考察

(1) 気象シナリオ日の選出

表-4、5 はそれぞれ CASE M と S において選定されたパターン別の気象シナリオ日とその発生確率である。ここで発生確率とは、リスク評価対象期間全体の日数に占

表-5 CASES の各パターンの気象シナリオ日と発生確率

CASE	SSp		SSu		SA		SW	
Period	MAR-MAY		JUN-AUG		SEP-NOV		JAN,FEB,DEC	
	Day	Prob.	Day	Prob.	Day	Prob.	Day	Prob.
W	7-Mar	0.15	25-Jun	0.17	16-Oct	0.19	1-Jan	0.50
N	16-May	0.11	31-Jul	0.13	23-Nov	0.26	14-Jan	0.15
A	18-May	0.44	7-Jun	0.32	17-Sep	0.25	2-Jan	0.26
L	26-May	0.15	16-Jun	0.12	24-Nov	0.20	—	—
S	7-Apr	0.15	18-Aug	0.26	9-Sep	0.10	31-Dec	0.09

める各パターンの出現日数の割合である。表中の「—」は、当該パターンの出現日数が3日以下であって、分析対象とならなかったことを示している。

(2)気象シナリオ日の有効性

a) アメダス神戸の気象要素の頻度分布の再現性

CASE M の結果の一例として、図-3 に CASE M7 のアメダス神戸の風向、風速、気温の実測相対頻度分布とシナリオ相対頻度分布との比較を示す。横軸が風向、風速、気温の階級、縦軸は相対頻度である。風向、風速ともに二つの相対頻度分布が良好に一致していることがわかる。気温について、両者の一致度は、風向や風速に比較して劣っている。これは、気象シナリオ日を選出する際に、気温の情報が考慮されていないことに起因する。また、図-4 は、図-3(a)の風向のシナリオ相対頻度分布の各パターンの内訳である。各パターンの気象シナリオ日の相対頻度分布にその発生確率を乗じたものを、階級別に積み上げて示している。パターン W と N では、それぞれ西風と北風が卓越していることがわかる。また、海陸風交替のパターン A では、海風では風向 9 が卓越しており、陸風では風向 2-3、14-16 の風が発生していることがわかる。パターン L では大阪平野全体の陸風である風向 2-4 が卓越している。パターン S では、風向 10-11 が卓越しているが、このパターンは、昼間に海風であり、夜間に海風あるいは西風であることが分類条件となっている。昼間に海風が、夜間には西風が卓越していたことで、このような頻度分布になった。各パターンの頻度分布は大きく異なっているが、それらを合計することで、実測相対頻度分布と一致するシナリオ相対頻度分布が作られたことがわかる。

b) その他の地点における気象要素の頻度分布の再現性

本手法の特徴は、アメダス神戸 1 地点の風向変動パターンに、リスク評価対象地域に対する地点代表性を求めているのではなく、選択された気象シナリオ日にリスク評価期間全体に対する時間代表性を持たせようとしている点にある。加えて、一地点一日単位の風向変動パター

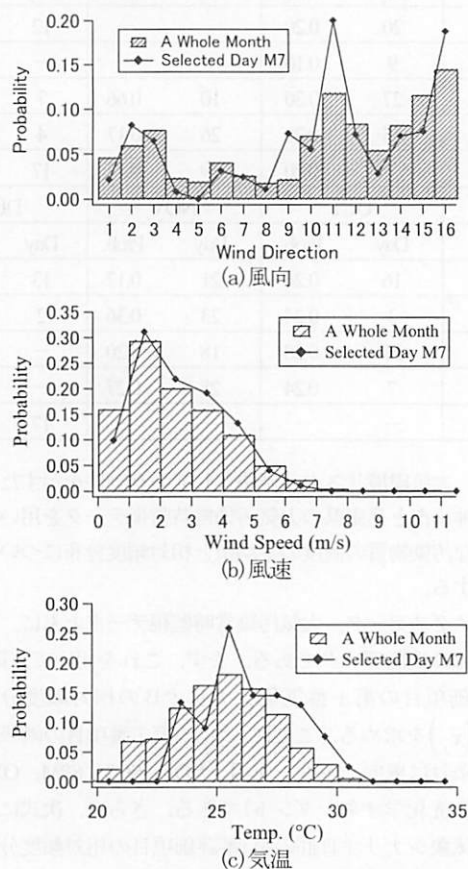


図-3 実測相対頻度分布とシナリオ相対頻度分布の比較(CASE M7, アメダス神戸)

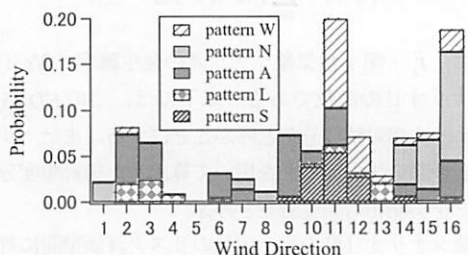


図-4 風向のパターン別シナリオ頻度分布(CASE M7, アメダス神戸)

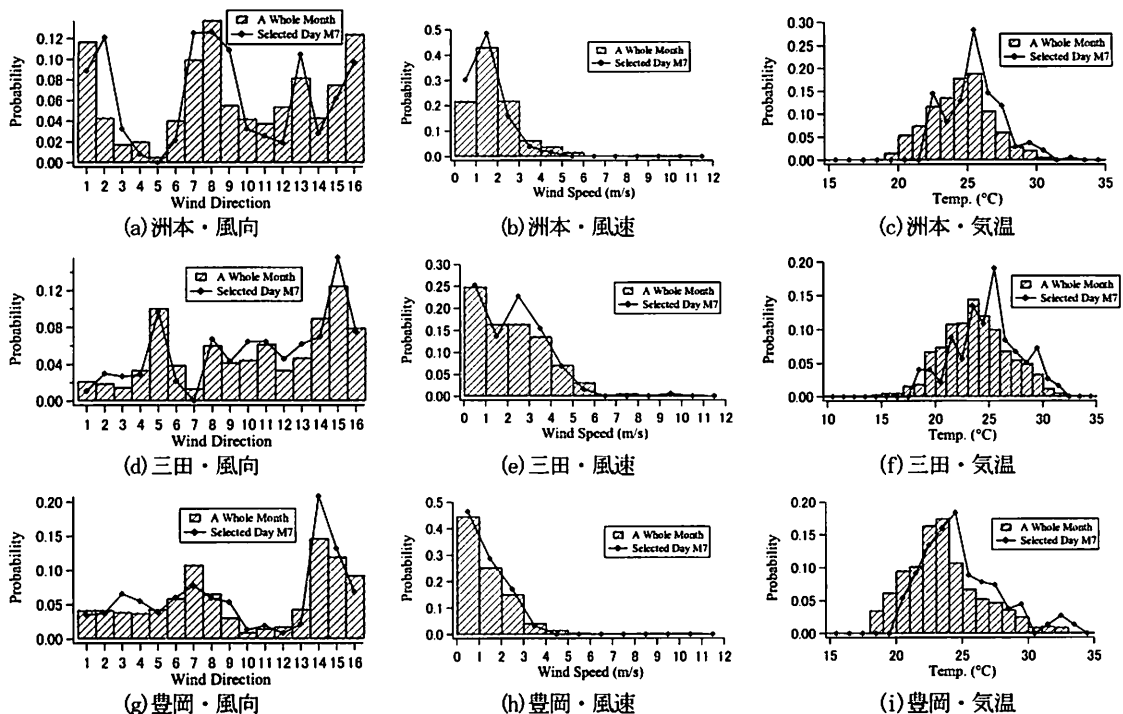


図-5 実測相対頻度分布とシナリオ相対頻度分布の比較 (CASE M7)

ンを目的変数とし、地衡風と日積算全日射量を説明変数とした判別分析を行っているが、この説明変数を介在させる理由は、説明変数の平均値によって気象シナリオ日を選択するためだけでなく、説明変数の空間スケールの大きさにより、気象シナリオ日の適用範囲を広域化させることにもある。地衡風ベクトルは、輪島、米子、潮岬の3地点の高層気象観測データをもとに算出されていることから、その値はこれらの地点間の相互の距離より大きな空間スケールを持つような気象状況を反映している。また、日積算全日射量は大阪管区気象台における1地点のデータを用いているが、ここでは、その空間分布や日変動を支配しているのは、積乱雲や集中豪雨といった短時間あるいは局所的な気象現象ではなく、高気圧や低気圧といったメソスケールより大きな気象現象であると考えている。このように仮定することにより、リスク評価を行おうとするメソスケール以下の領域内において、説明変数は同じ値をとると考えることができる。一方、各地点の地上風の風向風速は、地形条件や土地利用状況などによって、互いに異なる変動特性を持っている。リスク評価対象地域内で説明変数が同じになっても、発生する風向変動パターンは地点によって異なる。また、リスク対象地域内の様々な地点に対して、同様の分析を行ったとしても、同一の気象シナリオ日が選定される保証はない。従って、ここでは、リスク評価を行おうとす

る地域内の数地点において、気象シナリオ日として選択された日の時間代表性を、別途検証しなければならないと考えられる。

そこで、アメダス神戸ポイントの位置する神戸市沿岸地域とは異なる地形状況や気候条件を有するいくつかの地点で、相対頻度分布の比較を行う。ここでは、兵庫県内の洲本市、三田市、豊岡市に設置されたアメダスポイントのデータを用いた。洲本市は淡路島の東岸に位置しており、大阪湾に面している。三田は、三田盆地に位置し、瀬戸内海式気候に属するものの、神戸市沿岸域に比較してより内陸的な気候である。豊岡は兵庫県の日本海側の都市である。

図-5はCASE M7におけるアメダス洲本、三田、豊岡の風向、風速、気温の実測相対頻度分布とシナリオ相対頻度分布の比較である。いずれの地点においても、風向、風速、気温ともに二つの相対頻度分布は比較的良く一致している。また、風向と風速頻度分布の地点間の差異も良好に再現している。アメダス神戸1地点の風向変動パターンにより選定した気象シナリオ日が、広範囲の領域に適用可能であることがわかる。

(3)大気汚染物質のリスク評価手法としての有効性

図-6(a)～(d)に、NO_x、SO₂、SPM、OXIDANTに関する実測平均値とシナリオ平均値の比較を示す。

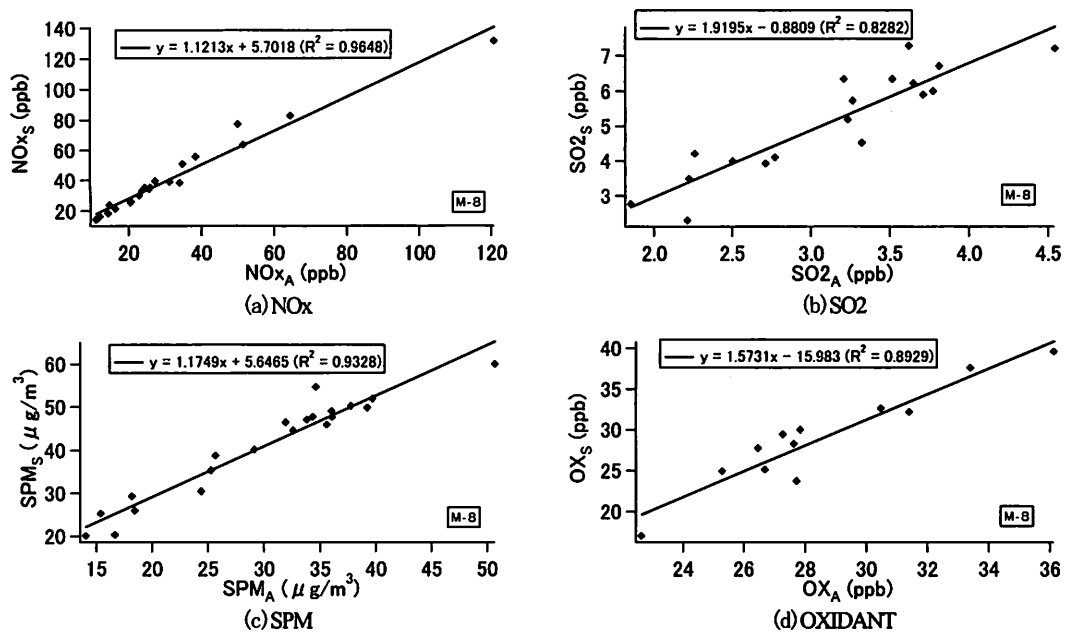


図-6 各種汚染物質の実測平均値とシナリオ平均値の比較（神戸市大気汚染調査報告掲載地点）

表-6 実測平均値とシナリオ平均値の回帰直線（CASE M）

	NOx			SO2			SPM			OXIDANT		
	a	b(ppb)	R ²	A	b(ppb)	R ²	a	b(μg/m ³)	R ²	A	b(ppb)	R ²
Jan.	0.95	-5.94	0.98	1.06	-0.89	0.81	0.68	-1.47	0.80	1.48	11.46	0.76
Feb.	1.00	-7.44	0.98	0.95	-0.55	0.95	0.92	-3.24	0.96	0.89	4.27	0.65
Mar.	1.12	3.90	0.99	0.96	0.12	0.95	0.98	2.15	0.93	1.02	-6.44	0.82
Apr.	0.86	2.95	0.98	1.01	0.19	0.91	0.96	1.95	0.98	0.83	6.93	0.94
May	0.87	2.37	0.99	0.98	0.89	0.77	1.04	0.78	0.96	1.13	5.61	0.90
Jun.	0.98	-5.06	0.98	0.84	0.16	0.74	0.87	0.97	0.97	1.25	-3.32	0.96
Jul.	1.03	-0.41	1.00	0.96	0.40	0.85	1.03	1.37	0.99	0.95	3.68	0.89
Aug.	1.12	5.70	0.96	1.92	-0.99	0.83	1.17	5.65	0.93	1.57	-15.9	0.89
Sep.	1.01	3.25	0.98	1.12	0.25	0.92	1.15	5.99	0.98	1.59	-11.9	0.85
Oct.	0.98	-1.59	0.99	0.99	-0.37	0.96	1.07	-2.06	0.96	0.96	1.91	0.93
Nov.	0.88	0.67	0.98	0.86	0.12	0.86	0.79	-0.76	0.95	0.91	3.02	0.94
Dec.	1.00	-5.31	0.98	1.07	-0.91	0.71	0.82	-2.60	0.91	1.19	-3.78	0.96
Ave	0.98	-0.57	0.98	1.06	-0.13	0.86	0.96	0.73	0.94	1.15	-0.37	0.87
Std	0.09	4.43	0.01	0.28	0.60	0.08	0.15	2.98	0.05	0.27	8.07	0.09

表-7 実測平均値とシナリオ平均値の回帰直線（CASE S）

	NOx			SO2			SPM			OXIDANT		
	a	b(ppb)	R ²	A	b(ppb)	R ²	a	b(μg/m ³)	R ²	A	b(ppb)	R ²
SSp	0.92	2.62	0.99	1.15	0.19	0.90	1.05	5.88	0.93	1.06	-0.59	0.85
SSu	1.05	-0.47	0.99	1.01	-0.36	0.90	1.00	-1.79	0.99	1.18	-5.05	0.97
SA	1.01	-1.16	0.98	1.02	0.03	0.86	0.94	5.58	0.94	1.28	-4.62	0.90
SW	1.05	-7.44	0.98	1.13	0.90	0.85	0.98	-2.84	0.95	1.07	-2.05	0.86
Ave.	1.01	-1.61	0.99	1.08	0.19	0.88	1.00	1.71	0.95	1.15	-3.08	0.90
Std.	0.06	4.22	0.00	0.07	0.53	0.03	0.04	4.67	0.02	0.10	2.12	0.05

神戸市大気汚染調査報告に掲載された各地点のデータを用いた。図中のシンボルは各地点を表している。実線は回帰直線であり、その数式と決定係数が併せて示されている。実測平均値とシナリオ平均値が概ね一致していることがわかる。

各ケースの実測平均値とシナリオ平均値の関係を定量的に把握するために、表-6、7 に、回帰直線の勾配 a 、シナリオ平均値軸の切片 b 、決定係数 R^2 の月別、季節別の値を示す。決定係数は、CASE M と S とともに、いずれの物質についても高く、0.70 を下回るものはない。また、前報⁷⁾の大阪府域の解析結果に比較して決定係数 R^2 が相対的に高い。これは、各計測地点における大気汚染物質の濃度変動よりも、計測地点間の濃度レベルの差異のほうが大きいことによると考えられる。CASE M の NO_x については、勾配 a の平均値は 0.98、標準偏差 0.09 と相対的に小さい。切片 b の平均値は -0.57 と小さいものの、標準偏差は 4.43 であり、この物質の濃度レベルが 40ppb 程度であるとすれば、10%程度の変動があると見ることができる。CASE S についても、切片 b の絶対値が多少大きくなっているのを除けば、CASE M と同様の傾向である。 NO_x については、いずれの季節も決定係数 R^2 は 0.98 を超えており、シナリオ平均値は実測平均値を良好に再現していると判断できる。 SO_2 については、 NO_x に比較して、勾配 a の変動が大きく、決定係数 R^2 も小さい。切片 b の標準偏差の絶対値は小さいが、 SO_2 の濃度レベルを 3.0ppb とすれば、それで規格化し

た標準偏差は 20%程度であり、 NO_x に比較して大きい。このように SO_2 の再現性が劣るのは、 SO_2 など観測される硫酸化物の多くが、国外から遠距離飛来したものであることに関係している。より予測精度を向上させるためには、ここで想定しているメススケールより大きな空間スケールの気流場の輸送を考慮することが必要であると考えられる。SPM については、 NO_x と同程度の予測精度である。OXIDANT の a は平均値 1.15、標準偏差 0.27 と、シナリオ平均値が 15%程度過大に評価される傾向がある。切片 b の変動も大きく、再現性はあまり高くない。本手法では、各パターンの気象シナリオ日として説明変数の平均値に近い日を選択しており、いずれのパターンにおいても荒天日が除外される可能性が高いと考えられる。この物質が光化学反応により生じることを勘案すると、気象シナリオ日として比較的天気の良い日を選択されたことが、シナリオ平均値の過大評価の原因であると考えられる。

図-7 は大気汚染常時監視データの兵庫南部ポイント（神戸市兵庫区御崎町、地点番号 28105010）における NO_x 、 SO_2 、SPM、OXIDANT の濃度の実測相対頻度分布とシナリオ相対頻度分布の比較である。評価ケースは CASE Y-M と Y-S であり、CASE M あるいは S を 1 年間分積算したものになっている。CASE Y-M では表-4 の 48 日分、Y-S では、表-5 の 19 日分でシナリオ相対頻度が計算されている。横軸と縦軸は、それぞれ各汚染物質の濃度レベルと相対頻度である。棒グラフは実測相対頻

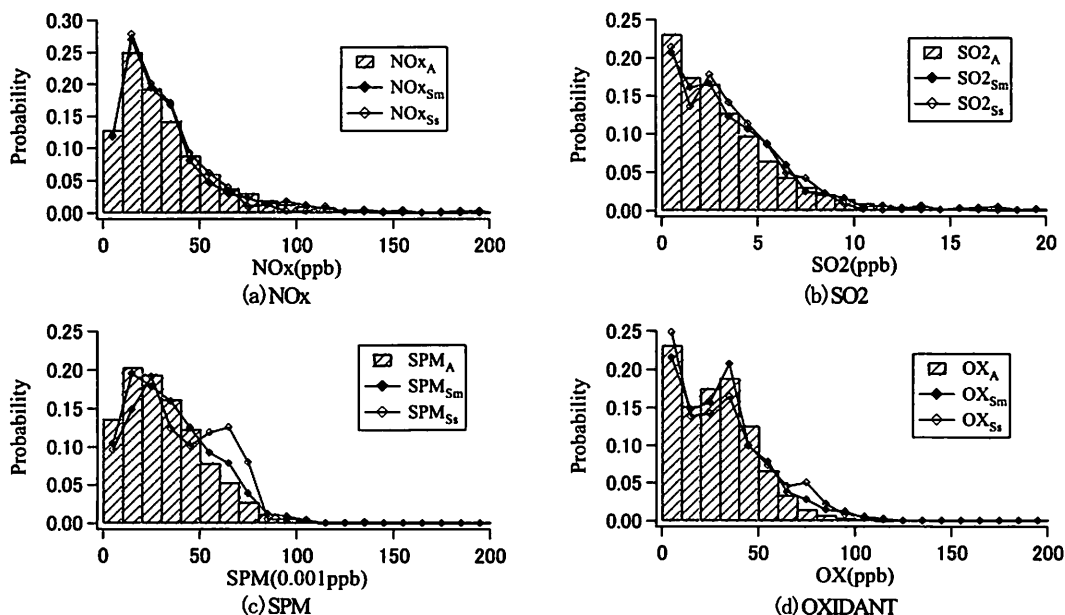


図-7 各種汚染物質のシナリオ相対頻度分布と実測装置頻度分布の比較 (CASE Y-S, Y-M, 兵庫南部)

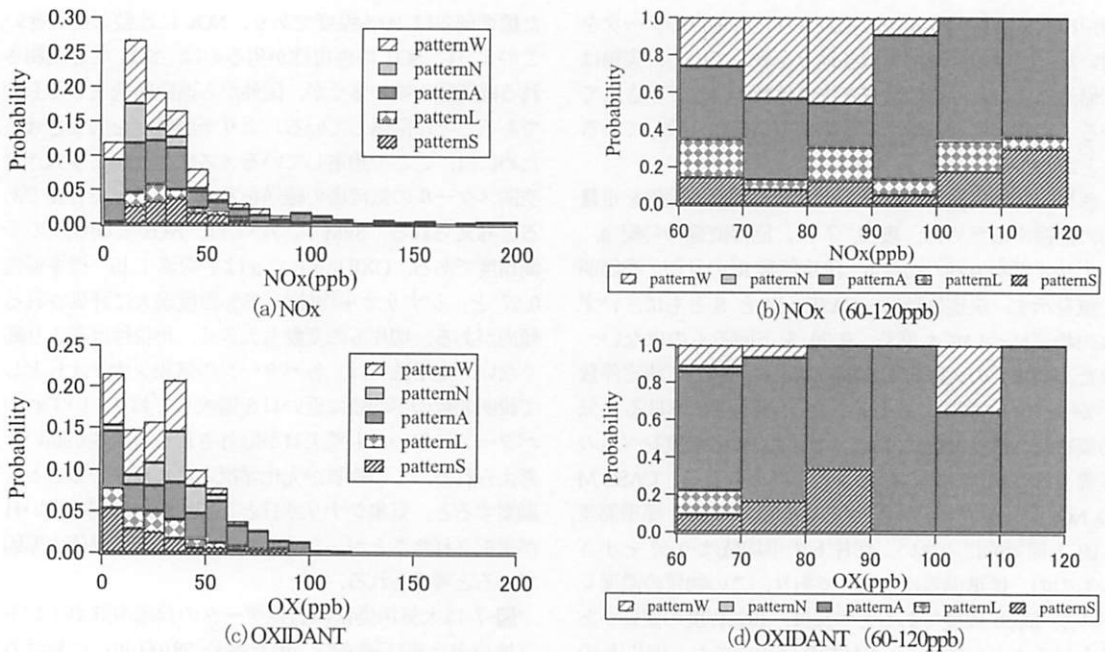


図-8 NOx とオキシダントのパターン別のシナリオ相対頻度分布 (CASE Y-S)

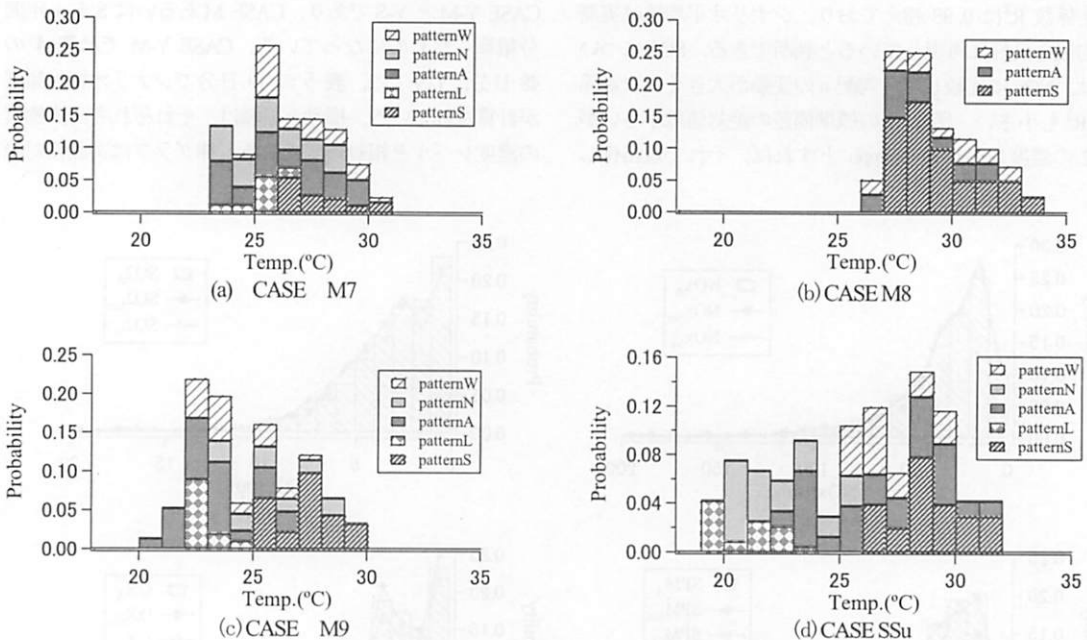


図-9 気温のパターン別のシナリオ相対頻度分布

分布、折れ線グラフはシナリオ相対頻度分布である。黒塗りシンボルと白抜きシンボルは、それぞれ CASE Y-M と Y-S である。各汚染物質ともに、シナリオ頻度分布は、実測頻度分布を良好に再現していることがわかる。特に OXIDANT は二つのピークを有する頻度分布であるが、

それをうまく再現できている。但し、このような分布形状になる原因については不明である。

次に、CASE Y-M と Y-S のシナリオ相対頻度分布を比較すると、SO₂やSPMではY-Mの分布の方が再現性が良い。これは、上述のごとく、気象シナリオ日の日数が

多いほど再現性が高くなるからである。

(4) ターゲットシナリオとしての利用法

既述のとおり、本手法を用いることにより種々の問題を発生させる可能性のある気象状況を特定することができる。ここでは、まず、図-8において環境基準を超える濃度値が比較的高頻度で観測されている NO_x と OXIDANT について、濃度とパターンとの関係を検証する。図-8(a)は、図-7(a)で示した兵庫南部の NO_x のシナリオ相対頻度分布をパターン別に積み上げたものである。パターン N では 60ppb 以下の低濃度の範囲で出現頻度が高いことがわかる。また、60ppb 以下の低濃度のレンジにおいては、パターン A、W、S の順に頻度に占める割合が大きい。NO_x の環境基準値が 40~60ppb であることを考慮して、図-8(b)に 60~120ppb のレンジの頻度分布の内訳を割合で表す。これは、(a)の各パターン相対頻度を各濃度レベルの相対頻度で規格化したものである。(b)図より、60ppb を超える高濃度レベルにおいては、海陸風交替のパターン A と西風日 W の頻度分布に占める割合が高い。兵庫南部ポイントの北側には、阪神高速道路神戸線、国道 2 号線といった交通量の多い幹線道路が東西に走っている。北寄りの風が一日中継続するパターン N よりパターン A や W が高濃度となるのは、この観測地点とこれらの幹線道路との位置関係よりも、各パターンの気象状況の影響が大きいことを表している。特に、パターン A と W は、既述の通り、比較的地衡風が弱い状況で発生し、地上風も微弱であることから、高濃度の汚染物質が観測される可能性が高くなる。

図-8(c)、(d)は、それぞれ OXIDANT の相対頻度のパターン別の積み上げグラフとその 60ppb 以上のレンジのパターン別の割合を示している。この物質の環境基準である 1 時間当たり 60ppb を下回るレベルにおいては、パターン W、A、S の占める割合が大きい。60ppb を超える濃度レベルの大半がパターン A において発生していることがわかる。この理由は、上記の NO_x と同様であると考えられる。NO_x 濃度が 60~120ppb になる時間の約 70%はパターン W と A において生じる。同様に、OXIDANT について、環境基準値 60ppb を超える時間の約 80%はパターン A の中で生じている。このように、NO_x や OXIDANT について、環境基準を超える高濃度が出現しやすいパターンは A と W であり、大気汚染対策について検討する場合には、これらのパターンを想定するのが良いと考えられる。

次に、ヒートアイランド現象や熱帯夜対策という観点からターゲットシナリオについて考える。図-9は、アメダス神戸の気温データのシナリオ相対頻度分布のパターン別の内訳である。(a)、(b)、(c)、(d)は、それぞれ

CASE M7、M8、M9、SSu である。熱帯夜日とは日最低気温が 25℃以上になる日を指す。CASE M7 と SSu では、パターン S において日最低気温が 25℃以上になっていることがわかる。CASE M9 では、パターン W とパターン S で日最低気温が 25℃以上になっている。CASE M8 においては、全てのパターンで熱帯夜日となっているが、それらの中でもパターン S は出現頻度が高く、気温も全体的に高い。一般的に熱帯夜が発生するのは、海陸風交替が発生するような日であると考えられがちであるが、パターン A では全体的に高温域に分布しているものの、最低気温は 25℃を下回っている。パターン S のように夜間に海域からの風が継続する日に熱帯夜となるのは、大阪湾の夏季の海面水温が非常に高いことに起因すると考えられる。⁹⁾ 一方、パターン N と L は、これらが発生しなかった CASE M8 を除いて、比較的气温が低く、日最高気温が 30℃を超える真夏日になっていないことがわかる。30℃以上の高温状態は、主としてパターン S によって生じていることがわかる。これらのことから、真夏日の高温対策や熱帯夜対策の検討には、パターン S あるいは W がターゲットシナリオとなると考えられる。

4. 結論

前報で提案した気象シナリオ日を用いた大気環境リスク評価手法の他地域への適用性と気象シナリオ日のターゲットシナリオとしての利用法について検討した。

リスク評価対象地域として神戸市域あるいは兵庫県域内を想定して、アメダス神戸の風向変動データの一単位の変動パターンにより、種々のリスク評価期間に対する気象シナリオ日を選定した。選定された気象シナリオ日群により、対象地域内の諸地点の各種気象要素と大気汚染物質の月、季節、年間といった期間の平均値や頻度分布を良好に再現できることを示した。

また、環境基準を超過するといった問題を引き起こす可能性のあるパターンを見出すために、NO_x、OXIDANT と気温のシナリオ相対頻度分布のパターン別の内訳を検討した。NO_x や OXIDANT については、パターン A と W において環境基準を上回る可能性が高いこと、また、パターン S や W において日最低気温が 25℃以上の熱帯夜になることが多いことがわかった。なんらかの対策を検討する場合には、これらの気象パターンがターゲットシナリオになり得ると考えられる。

本論文では、本手法の検証の過程で、汚染物質がいつ、どこで発生したのかについて全く考慮しなかった。しかしながら、気象シナリオ日以外の日に、あるいはリスク評価対象地域外で発生した汚染物質が多分に含まれていて、それが既述の検証結果を左右しているという可能性

について排除することはできない。例えば、長期間排出された汚染物質が滞留し、概ね定常な空間濃度分布が形成されている場合を想定すれば、気象シナリオ日は検証結果になんら影響を及ぼさないことになる。従って、本手法のリスク評価法としての有効性は、各種汚染物質の排出の様態についても吟味したうえで、検証する必要があると考えられる。この点については、今後の検討課題としたい。

参考文献

- 1) S.R. Dorling, T.D.Davis and C.E. Picce,(1992) : Cluster Analysis : A Technique for Estimating the Synoptic Meteorological Controls on Air and Precipitation Chemistry - Methods and Application- , Atmospheric Environment, Vol.26A, No.14, pp.2575-2581.
- 2) S.R. Dorling, T.D.Davis and C.E. Piece (1992) : Cluster Analysis : A Technique for Estimating the Synoptic Meteorological Controls on Air and Precipitation Chemistry - Results from Eskdalemuir, South Scotland, Atmospheric Environment, Vol.26A, No.14, pp.2583-2602.
- 3) J.B.Brook, P.(1995) : Aggregation of Selected Three-Day Periods to Estimate Annual and Seasonal Wet Deposition Totals for Sulfate, Nitrate, and Acidity. Part I : A Synoptic and Chemical Climatology for Eastern North America, J. of Applied Meteorology, Vol.34, pp.297-325.
- 4) T.D.Davis, G. Farmer and R. J. Barthelmie(1990) : Use of Simple Daily Atmospheric Circulation Types for the Interpretation of Precipitation Composition at a Site (Eskdalemuir) in Scotland, 1978-1984, Atmospheric Environment, Vol.24A, No.1, pp.63-72.
- 5) 吉門洋, 白川泰樹, 中野俊夫, 工藤泰子, 鈴木基雄(2006) : メソスケール気象モデルを用いた長期平均濃度評価手法の検討 (Ⅰ) 気象パターン分類と関東平野の NOx 評価, 大気環境学会誌, 第 41 巻, 第 1 号, pp.1-14.
- 6) 吉門洋, 椿貴博, 佐々木寛介(2006) : メソスケール気象モデルを用いた長期平均濃度評価手法の検討 (Ⅱ) 高濃度オゾン評価への適用の試み, 大気環境学会誌, 第 41 巻, 第 1 号, pp.15-26.
- 7) 玉井昌宏, 川原大典, 有光剛 : 大気環境リスク評価のための気象シナリオ日の選択方法, 環境工学研究論文集, Vol.47, pp.515-525, 2010.
- 8) M.Mizuma(1995) : General Aspects of Land and Sea Breezes in Osaka Bay and Surrounding Area, J. of Meteorological Society of Japan, Vol. 73, No.6, pp.1029-1040.
- 9) 玉井昌宏, 有光剛(2008) : 大阪平野における夏季夜間気温と海陸風の関係, 環境システム論文集, Vol.36, pp.397-405.

(2011.5.30 受付)

Applicability of the Meteorological Scenario Days for Risk Analyses of Atmospheric Environments and Their Usage as Target Scenarios

Masahiro TAMAI and Shunsuke HIBI

Dept. of Civil Engineering, Osaka University

We proposed in the preceding paper a new method to select meteorological scenario days representing a variety of daily meteorological conditions which occur in estimation periods for risk analyses of atmospheric environments. Purposes of the present study are to demonstrate an applicability of the method and to examine a usage of the scenario days. In the present study, the meteorological scenario days were selected by using typical daily fluctuation patterns detected in wind direction time-series of the AMeDAS Kobe. The applicability was verified by that ensemble means or ensemble relative frequency distributions both of meteorological elements and of air pollutant concentrations observed in the scenario days agreed well with true means or true frequency distributions of risk estimation periods. By comparing ensemble relative frequency distributions of pollutant concentrations of each scenario, scenario days which can cause some environmental damages were selected as target scenarios.