

京都大学工学部 正会員 ○池田有光
 京都大学工学部 正会員 平岡正勝
 俣リクルート 庄子房夫

1. はじめに

個々には少量でも、多数の発生源による重合した汚染が都市域の大気汚染の特徴である。しかし発生源の特性から、総量的な汚染物質の排出量抑制の具体的な手段を見つけ難いのが現状である。本研究は既存の多数の都市域を対象に、その規模・地形・産業構造・業種とその地域の複数種（いおう酸化物、窒素酸化物、粒子状物質、光化学オキシダント）の汚染レベルをとりあげ、汚染レベルと都市特性の関係を、統計的な方法によって検討したものである。

大気汚染濃度は、全国の常時監視局の測定データを用いたが、地域を代表する濃度という意味から自排局のデータは除き、一般局のデータのみを用いた。汚染項目は SO_2 濃度、 NO_x 濃度、降下煤じんの年間平均値、及び光化学オキシダントの昼間日最高一時間値の年間平均値である。地域の人間活動に関するデータ、都市特性を表すものとして工業統計データ、人口などの地域特性データがある。これは通産省統計部による昭和 55 年度工業統計表市町村編、と週刊東洋経済臨時増刊 1982 年版地域経済総覧 からピックアップしたもので、表 1 に利用した指標リストを示しておく。

2. 都市特性の解析

2.1 都市の分類

全国には昭和 55 年度現在約 650 の市が存在する。このうち特に人口数万程度の小都市では大気汚染局、気象観測所がない等、解析に必要なデータが存在しないものが多い。そこで諸データが解析に必要な程度まで揃っており、かつ解析のし易さから地形的に周囲の都市から大気汚染の移流による影響をあまり受けないであろうと推定される都市であること、そのうち大気汚染の特徴が把握できるように中程度の人口 20 万人以上、50 万人以下の都市を選びだした（表 2）。なお仙台市と広島市は人口 50 万人以上であるが、地方の中心都市という性格を持ち、人口以外の条件は他の都市と異なることから、解析の対象とする都市群に加えた。

2.2 特性データによる都市の分類

表 1 の諸特性項目を組合せて、都市規模、都市の人間活動度、都市密度等 7 つの観点から都市の分類と特性の明確化を行った。7 つの各ケースについての分類に用いた変数リストは表 3 に挙げる。図 1.1 から図 1.3 に 3 ケースについてのクラスター分析の結果を例示する。ケース 1 は都市規模という観点で分類を試みたものである。したがって社会特性データはいずれも絶対量を使い、人口の他に商業的要因、工業的要因を示すものとして、卸売業、小売業、飲食販売額、工業出荷額等を選んだ。人口、従業者数等 A から G のグループになるほど大きくなる傾向は同じである。ケース 2 には社会指標を人口で割った変数を用いた。表 4 は図 1.2 でグルー

表 1 利用した都市特性変数の評価リスト

1	都市面積
2	人口
3	世帯数
4	工場数
5	工場従業者数
6	工業出荷額
7	1人当たり工業出荷額
8	1人当たり卸売業出荷額
9	1人当たり飲食業出荷額
10	1人当たり小売業出荷額
11	乗用車保有台数
12	1人当たり都市公園面積
13	事業所数（非農林水産業）
14	従業者数（非農林水産業）
15	製造業出荷額
16	出荷額（食料品製造業）
17	（繊維工業で衣服その他繊維製品を除くものと除かないもの）
18	（木材・木製品製造業と家具・装備品製造業）
19	（パルプ・紙製造業）
20	（出版・印刷製造業）
21	（化学工業、石油製品・石炭製品製造業）
22	（ゴム製品製造業、なめし皮・同製品・毛皮製造業、窯業土石製品製造業）
23	（鉄鋼製造業）
24	（非鉄金属製造業、金属製品製造業）
25	（機械器具製造業、電気機械器具製造業、輸送用機械器具製造業、精密機械器具製造業）
26	（その他）

出荷額（万円）、面積（km²）

表2 解析対象とした都市 (39都市)

都市名	人口 区分	観測点数				
		SOx	NOx	SPH (SP)	DF	Ox
1 旭川	3	5	4	(5)	4	1
2 釧路	1	5	5	(5)	9	1
3 青森	2	2	2	2	4	—
4 八戸	1	9	9	6	12	9
5 秋田	2	14	8	(12)	10	2
6 山形	1	1	1	(1)	3	1
7 仙台	7	10	7	2 (8)	6	10
8 福島	2	3	3	—	6	3
9 いわき※	3	20	11	(21)	18	11
10 日立※	1	5	5	1 (4)	9	4
11 新潟	5	13	11	(14)	1	11
12 金沢	5	11	9	2 (9)	7	8
13 富山	3	11	8	11	19	5
14 福井	1	12	12	8 (4)	9	7
15 宇都宮	4	8	3	8	2	3
16 水戸	1	1	1	1	2	1
17 富士※	1	10	10	3 (7)	1	6
18 浜松	6	7	7	7	1	7
19 静岡	6	9	19	4 (5)	1	9
20 沼津※	1	5	1	(5)	1	1
21 豊橋※	3	8	3	1 (7)	4	2
22 豊田※	2	1	1	1	1	1
23 一宮※	2	1	1	1	7	1
24 四日市	2	10	5	(10)	20	5
25 大津※	1	2	2	(1)	1	2
26 奈良	2	1	1	(1)	3	1
27 和歌山	5	12	7	(12)	8	7
28 姫路	5	9	9	9	16	5
29 福山	3	10	7	1 (9)	19	6
30 呉	1	6	5	2 (4)	17	3
31 広島	7	7	7	2 (5)	11	7
32 大分	3	16	14	(16)	11	14
33 熊本	7	3	3	1 (2)	3	1
34 久留米※	1	3	1	(2)	6	1
35 鹿児島	6	3	2	(3)	18	2
36 那覇※	2	1	1	(1)	3	1
37 高松	3	4	3	(4)	1	3
38 高知	2	3	3	(3)	11	2
39 徳島	1	3	2	(2)	1	2

※印の都市は気象ポテンシャル推定を行わなかった。

人口区分	人口区分	人口区分
1 20~25万人	5 40~45万人	
2 25~30万人	6 45~50万人	
3 30~35万人	7 50万人~	
4 35~40万人		

ブ化された各グループごとに求めた各変数の平均値を各変数の全グループ平均値で割った正規化した値を示したものである。このケースは都市の産業・社会活動の活発さによって都市の特徴を導くという視点に立ったものである。豊田市は他市に較べてずば抜けて一人当りの工業出荷額が高く、日立市がそれに次いでいる。両市は工業都市の性格を強く表わしているといえる。グループ（イ）と（ロ）は低活動度都市といえる。奈良市は観光都市であることがうかがえる。グループ（ニ）は一人当りの工業出荷額が大きく、商業的要因が小さい工業型都市、グループ（ホ）は一人当りの商業、工業の規模が中程度である平均的活動度の都市、グループ（へ）は商業が非常に活発な商業都市といえる。

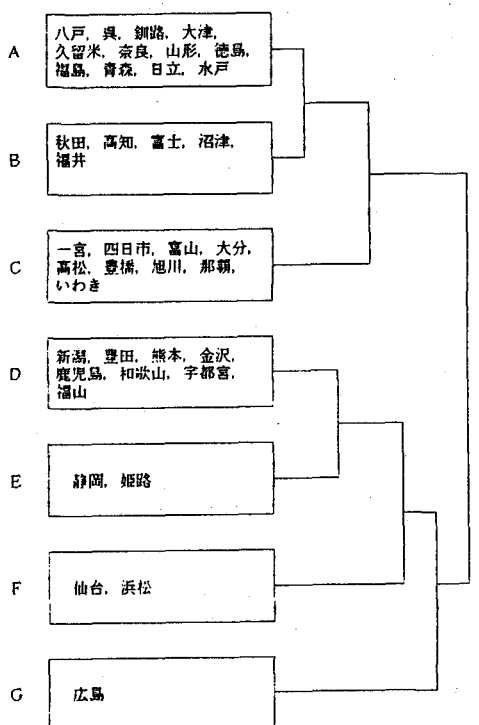


図1.1 都市規模による分類（ケース1）

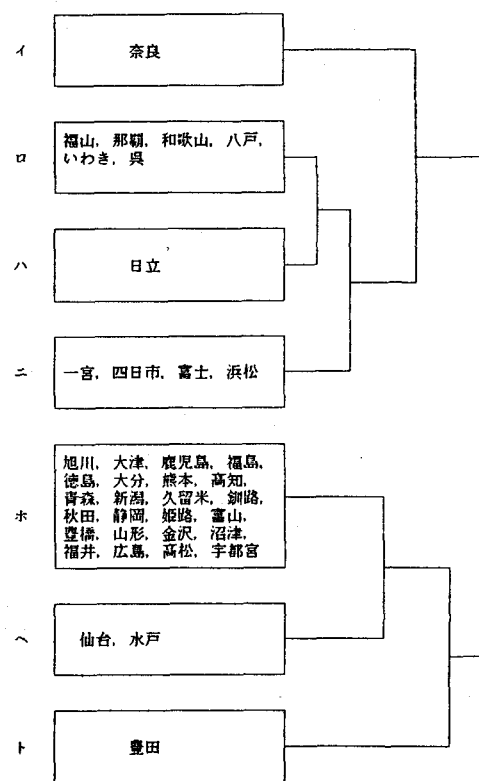


図1.2 都市の人間活動度による分類（ケース2）

ケース3のクラスター分析で使った変数についてはケース2の場合と同様に変数の正規化平均値を示すと表5になる。

このケースは都市面積で社会特性量の数値を割ったものを変数にしている。これは都市特性を密度で示そうとするものである。表5から那覇市は際立って高密度な商業都市といえる。グループ(1)(2)(3)は面積当り産業の大密度都市、このうちグループ(1)は工業型の密度が高い。グループ(4)(5)は産業の平均的密度都市であり、グループ(6)は産業の低密度都市といえる。ケース1でFグループに属する浜松市、仙台市がケース3においても同じグループであることから面的な都市密度と絶対量的な都市規模の両面においてもよく類似しているといえよう。

以上の都市特性をより理解しやすくするためにクロス表を作成した。表6.1～表6.2にそれぞれの結果を示す。これらの結果をまとめると、次の5つの都市群がケース1、ケース2、ケース3の全てのケースにおいて同じグループとなる。

(B, ホ, 1) ----- 高知市、沼津市

(C, ホ, 1) ----- 富山市、高松市

(D, ホ, 1) ----- 新潟市、熊本市

(D, ホ, 4) ----- 鹿児島市、宇都宮市

(A, ホ, 6) ----- 青森市、福島市、大津市、山形市、徳島市

これらの都市群は、都市規模、都市活動度、都市密度という観点からそれぞれ類似している。ケース2の都市の人の活動度は人口とはあまり関連性をもたない。

ケース1からケース3までの段階で類似した都市群をケース4の都市群と比較すると、鹿児島市と宇都宮市が同グループに、青森市、大津市が同グループに、福島市と徳島市が同グループに属する。しかしケース1とケース4との間には目立った特徴を見つけにくい。

表6・1をみると産業活動規模と都市規模の大

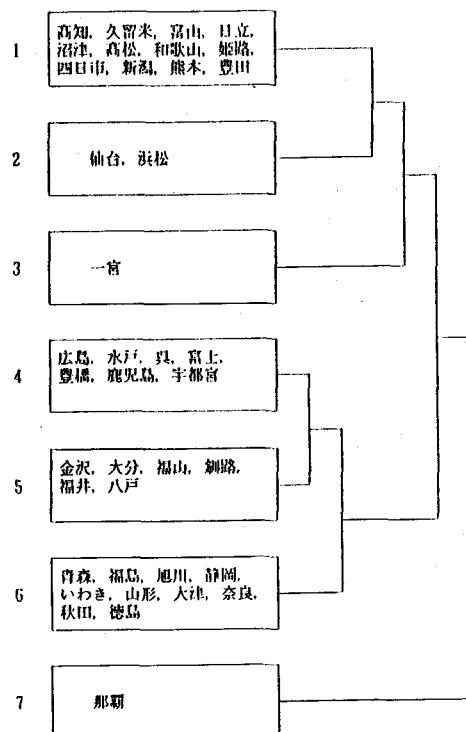


図1.3 都市の密度による分類（ケース3）

表3 それぞれの分類に用いた変数

Case	区分名称	分類に用いた変数
1	都市規模による分類	人口(2)、工場数(4)、工場従業者数(5)、工業出荷額(6)、乗用車保有台数(11)、事業所数(非農林水産業)(13)、卸売販売額(80)、小売業販売額(90)、飲食業販売額(100)
2	都市の人間活動度による分類	1人当たり工場数(40)、1人当たり工場従業者数(50)、1人当たり工業出荷額(60)、1人当たり乗用車保有台数(110)、1人当たり事業所数(非農林水産業)(130)、1人当たり卸売業販売額(8)、1人当たり小売業販売額(9)、1人当たり飲食業販売額(10)
3	都市の密度による分類	面積当たり工場数(400)、面積当たり工場従業者数(500)、面積当たり工業出荷額(600)、面積当たり乗用車保有台数(1100)、1人当たり事業所数(非農林水産業)(1300)、1人当たり卸売業販売額(800)、1人当たり小売業販売額(900)、1人当たり飲食業販売額(1000)
4	製造業業種構成による分類	製造品出荷額11種(食料品(16)、せんい(17)、木材(18)、パルプ・紙(19)、出版・印刷(20)、化学(21)、ゴム・窯業(22)、鉄鋼(23)、非鉄金属(24)、機械(25)、その他(26))
5	商業的社会指標による分類	卸売販売額(80)、小売業販売額(90)、飲食業販売額(100)
6	工業的社会指標による分類	工場数(4)、工場従業者数(5)、工業出荷額(6)、事業所数(非農林水産業)(13)
7	産業的社会指標による分類	工場数(4)、工場従業者数(5)、工業出荷額(6)、事業所数(非農林水産業)(13)、卸売販売額(80)、小売業販売額(90)、飲食業販売額(100)

小がよく対応していることがわかる。ただ豊田市は工業規模のみが際立って大きいためD-7*のところに現われている。

都市の内部の特徴をよく表わすものはケース2とケース3であろう。表6.2はそのクロス表であるが、これによると表の左下側ほど面積当り、一人当たりとも産業活動が活発でなく、右上端ほど活動が活発なことを示している。

表4 ケース2で分類されたグループの正規化された変数の平均値

	都市数	1人当り 卸売業 販売額 (8)	1人当り 飲食業 販売額 (9)	1人当り 小売業 販売額 (10)	商業平均	1人当り 工業 出荷額 (60)
イ	1	0.25	0.75	0.76	0.59	0.23
ロ	6	0.50	0.78	0.86	0.71	0.91
ハ	1	0.29	0.62	0.79	0.57	2.23
ニ	4	0.62	0.84	0.91	0.79	1.95
ホ	24	1.17	1.07	1.05	1.10	0.68
ヘ	2	2.34	1.44	1.30	1.70	0.36
ト	1	0.29	1.06	0.77	0.71	6.50

商業平均 =
$$\frac{(8) + (9) + (10)}{3}$$

表6.1 ケース1による分類とケース7による分類のクロス表

	1*	2*	3*	4*	5*	6*	7*	
A	久留米 八戸 ほか 全10市 (1)		呉 日立					都市規模小
B	秋田 高知			沼津 横井 富士				
C	旭川	那覇 高松	いわき 一宮 ほか 全6市 (2)					
D		熊本 鹿児島 宇都宮 新潟 金沢	和歌山 福山				豊田	
E			静岡 姫路					
F				仙台		浜松		
G					広島			都市規模大
	産業規模小 ————— 産業規模大							

(1) 久留米、八戸、青森、大津、水戸、山形、釧路、徳島、奈良、福島
(2) いわき、一宮、富山、四日市、大分、豊橋

2.3 汚染レベルによる都市の分類

汚染物質の発生源制御は都市によって特徴を有する。S0 に加えられてきた規制のうちK値規制は16ラ

表5 ケース3で分類されたグループの標準化された変数の平均値

	都市数	面積当り 卸売業 販売額 (800)	面積当り 飲食業 販売額 (900)	面積当り 小売業 販売額 (1000)	商業平均	面積当り 工業 出荷額 (600)
1	12	1.19	1.17	1.14	1.17	1.71
2	2	1.93	0.95	1.11	1.33	1.45
3	1	1.60	2.53	0.90	1.68	1.64
4	7	0.98	0.85	1.05	0.96	0.94
5	6	0.81	0.60	0.81	0.74	0.69
6	10	0.43	0.47	0.54	0.48	0.22
7	1	3.32	6.23	4.64	4.73	0.58

商業平均 =
$$\frac{(800) + (900) + (1000)}{3}$$

表6.2 ケース3による分類とケース2による分類のクロス表

	イ	ロ	ハ	ニ	ホ	ヘ	ト	
1		和歌山	日立	四日市	久留米 新潟 ほか 全8市 (1)		豊田	
2				浜松		仙台		面積当たり 高産業密度 都市
3				一宮				
4		呉		富士	豊橋 鹿児島 宇都宮 広島	水戸		面積当たり 中産業密度 都市
5		八戸 福山			釧路 大分 福井 金沢			
6	奈良	いわき			大津 山形 ほか 全8市 (2)			面積当たり 小産業密度 都市
7		なは						商業高密度 都市
	低活動 都市	やや 低活動 都市	工業型活動都市		商業型 活動 都市	商業型 高活動 都市	工業型 高活動 都市	

(1) 久留米、新潟、富山、姫路、熊本、沼津、高知、高松
(2) 大津、山形、徳島、福島、青森、秋田、旭川、静岡

表 7 正規化平均濃度 (SOx, NOx, 降下ばいじん)

クラス	SOx	NOx	Ox	降下ばいじん
A*	1.23	1.16	1.15	1.19
B*	1.14	(1.38)	(1.01)	(1.88)
C*	1.18	1.15	0.98	0.71
D*	0.91	0.58	0.79	(1.75)
E*	0.91	0.77	1.19	1.92
F*	0.89	0.93	0.98	0.90
平均濃度	8.84 (ppb)	26.03 (ppb)	32.82 (ppb)	5.21 (t/km ² /月)

() データ個数が1つの場合

ンクに分けられており、さらにこの対象都市で総量規制が加えられているのは富士市、姫路市、和歌山市、および福山市の特定の都市に限られる。従ってこのような規制の程度の違いは、当然のことながら類似の社会指標をもつ都市であっても汚染の違いとなって現われるであろう。また地形・気象条件、発生源条件がすべて都市によって異なることが、大きく汚染レベルに影響する。以上のことを前提として汚染特性と都市特性を考える必要がある。

前節で 39 都市を選出して都市分類を行ったが、大気汚染濃度データの中で表 1 に示すように観測点の少ないものも多い。

ここでは SOx, NOx 降下ばいじんおよび光化学Oxの各汚染濃度値を説明変数として、汚染レベルの面から都市の類似性を検討した。ここで Ox 濃度のデータのない青森市を除き、鹿児島市の降下ばいじんのデータは桜島火山の影響で異常に高い値を示すことにより同市も除外した。そのため本節で扱う都市数は 37 となった。

汚染濃度による 37 都市のクラスター分析による分類結果は図 2 である。なお観測点が少ない都市のデータは都市域の代表汚染レベルを評価しているとは限らないのでどの観測項目も 2 地点以内の都市については同図中で都市名に () を付記した。

表 7 は各グループで平均化した各変数値を各変数の全体平均値で割り基準化した値を示している。これによるとグループ (A*) は全成分にわたって相対的濃度が高く、グループ (C*) は SOx, NOx は高く、Ox が低い。グルー

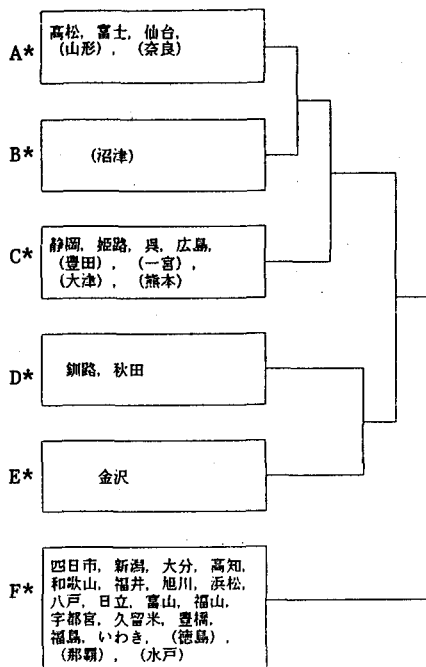


図 2 汚染濃度による分類 (ケース 7)

表 8 汚染濃度による分類とケース 3 による分類のクロス表

	1	2	3	4	5	6	7	汚染度
A*	高松	仙台		富士		(山形) (奈良)		DF
B*	沼津							
C*	姫路 (熊本) (豊田)		(一宮)	呉 広島		静岡 (大津)		SO NOx
D*					釧路	秋田		
E*					金沢			
F*	四日市 新潟 はか 全 7 市 (1)	浜松		(水戸) 宇都宮 豊橋	大分 福井 八戸 福山	徳島 旭川 福島 いわき	(那覇)	DF
	面積当たり大産業密度都市			面積当たり中産業密度都市		面積当たり小産業密度都市	商業高密度都市	

(1) 四日市, 新潟, 高知, 和歌山, 日立, 富山, 久留米

ブ (D*) と (E*) は SOx, NOx は低いが降下ばいじんが高い。グループ (F*) はいずれの成分も濃度が低い。

沼津市は、表 2 に示すように NOx, 降下ばいじん、および O₃ の濃度観測点は 1 地点のみであるので、この結果を評価すべきではないかも知れない。グループ (D*) の降下ばいじん値についても信頼性が乏しい。

以上のことから SOx と NOx との相対的高濃度汚染はグループ (A*) から (F*) の順位で低下する傾向がある。一方 O₃ と降下ばいじん濃度はグループでよく似た傾向を示し、最高濃度はグループ (E*) で次いでグループ (A*) となり、低濃度はグループ (C*) (D*) である。O₃ 汚染は一都市単位を越えた広域汚染を特徴とすること、また O₃ 濃度の特徴はとくに春から夏期に顕著になるが、これを年間値としているため、あまり大きな差はなく特徴を把握しにくい。

都市規模や工業規模、商業規模と汚染との関係は必ずしも明確でなく、むしろ表 7、表 8 に示されるように一人当りの活動の活発さや面積当りの産業密度と関連性が高い。しかし、表 8 で四日市・和歌山・富山・日立の諸都市は産業密度区分では高いグループに属すにもかかわらず、低汚染レベルグループに属する。これは汚染源が総量規制と K 値規制できびしくおさえられ環境濃度が低くなったことによるものと推定される。

3. おわりに

ここでは統計的に都市特性データと汚染の関係を求めようとしたが、汚染レベルには発生源の位置・地形・気象条件が大きな影響をもつことが推定される。従って物理モデルの利用が必要となるが、そのためには詳細な発生源のデータ、汚染データが必要であり、今後の問題として残されている。

文献

- 1) 通産大臣官房調査統計部；昭和55年度工業統計表市町村編
- 2) 週刊東洋経済臨時増刊号；1982年版地域経済総覧
- 3) 環境庁大気保全局大気規制課；昭和55年度一般環境大気測定局測定結果報告書(1981)