

国立公害研究所 正員 ○ 森口 祐一
西岡 秀三

1. はじめに

都市には、産業、交通など種々の人間活動が高密度に集中している。なかでも、東京、大阪、名古屋といった巨大都市を中心として多くの中小都市を含む大都市域が形成され、これらの地域では、高密度かつ広域的な人間活動の集積がみられる。都市環境の汚染は、こうした人間活動の過度の集中の結果と考えられ、特定の発生源による局地的高濃度汚染が大幅な改善をみたのに対し、都市域という巨大な面的発生源による都市型汚染、広域汚染は未だに十分に解決されておらず、この問題を考えるには、都市的人間活動の密度、規模そのものを見直す必要があると考えられる。また、人間活動と汚染現象との間には、気象、地形といった人間の支配することのできない自然的条件が介在するため、人間活動の集積と汚染状況とは単純な比例関係では表しきれない。すなわち、同じ目標値を達成するためには、汚染の起こり易い条件の地域では、その分だけ都市活動が制限されなければならないことになる。

本研究は、こうした人間活動状況（社会的特性）及び自然条件と汚染の現状との関係を明らかにするものであるが、最終的には、環境面からみた都市活動の限度、あるいは適正な都市活動密度の程度について考察を加え、都市の適正配置という考え方を含めた国土利用の適正化の方向の検討に役立てようとするものである。ここでは大気環境汚染を対象とし、全国の都市の大気汚染の現状を把握した上で都市の諸特性と大気汚染との関係を主に統計的手法によって解析した。

2. 本研究の視点

2-1 都市大気汚染の巨視的解析法

都市には工場、事業所、住宅、自動車といった種々の発生源が集中し、多量の汚染物質を大気中に排出している。汚染物質排出量は都市の産業構造や自動車交通量といった人間活動特性から決まるものであり、これらの関係について、いくつかの調査^{1),2)}がなされている。都市の諸特性と大気汚染レベルの関係を求める一つの方法として、こうした発生源の分布や発生量から何らかのモデルによって環境濃度を求めることが考えられるが、従来の拡散モデルのような物理モデルを適用することは、ここで目的とする時間、空間スケールや必要とされるデータ量からみて適当ではない。特に、気象や地形といった自然条件に関するパラメータの決定が難しく、本研究の一つの目的である汚染の起こりやすさの地域比較には不適当である。そこで、発生量と汚染濃度の関係を統計的方法によって求める統計モデルの適用が考えられる。松田ら³⁾は、巨視的大気汚染モデルを提案し、SO_xを例に地方別の排出量と環境濃度の関係を調べ、比例関係からの乖離分が自然浄化力の差であるとして、これを地形、気象といった自然条件で説明している。本研究では発生源に関するデータが十分でないことを考慮し、さらにマクロなアプローチとして、汚染物質排出量を用いずに都市の諸特性と大気汚染レベルとの関係を直接に統計的手法により解析する方法をとった。このような方法では、現象のメカニズムを細かく知ることはできないが、全国的に汚染の現状と地域の特徴とを比較するという目的には精度からみても十分適用可能であると考えた。

2-2 本研究で対象とする時間、空間スケール

汚染物質の濃度は時々刻々変化し、空間的にも大きく変化するものであるが、ここではそういった詳細にわたる汚染状況の変化は対象としていない。ここで取り扱うのは主に年平均値のレベルであり、一つの都市のレベルである。「都市」をどのように定義するかが一つの議論の対象となろうが、本研究では単純に行政区としての「市」を一つの単位と考え、都市の諸特性に関するデータも、大気汚染物質濃度に関するデータ

も、一つの市を単位として収集した。一つの市に複数の大気汚染測定局がある場合にも内挿法等によって厳密な代表値を求めることは行わず、これらの単純平均を市の代表値とした。

3 都市大気汚染の現状把握

全国的な大気汚染物質濃度の分布をみると、汚染物質の種類によってかなり違った傾向を示す。一般環境大気測定局による測定結果⁴⁾によれば、NO_xやSO_xの濃度は主に大都市で高くなっている。粒子状物質も同様に都市部で高濃度であるが、都市周辺以外にも高濃度地域があり、やや特異な分布を示している。これに対し光化学オキシダントに関しては、大都市中心部よりも、中心部から数十km離れた周辺地域で汚染が著しい。すなわち、NO_xやSO_xについてはその排出量あるいは都市活動度と汚染濃度が比例関係に近いが、光化学オキシダントは、必ずしも汚染物質排出量の多い地域で高濃度とはなっていない。

図1はNO₂測定局のある全国の439市について都市活動度の指標として人口密度をとり、これとNO₂濃度の関係を見たものであるが、両者の間には高い相関がみられる。これに対して、オキシダントによる汚染度と人口密度の間には明確な相関はみられなかった。これは、オキシダントによる汚染が広域的であり、原因となる発生源と実際に汚染の生じる地域とが異なることが多く、一都市の中で発生要因と汚染現象を比較すること自体に無理があるためであろう。

NO_xやSO_xによる汚染についても、大都市域においては周辺都市からの寄与が大きな比重を占めることも考えられるが、図1を見る限りでは、一都市の人間活動度でかなりの部分が説明できると思われる。以下の解析では汚染物質として主にNO₂を取り上げて地域の特性ととの関係について詳しく解析する。

4. 20万都市についての解析

4-1 対象都市の選定

現在、全国に約650の市が存在する。このうち、人口数万程度の小都市には大気汚染測定局や気象観測点がないことが多く、必要なデータが十分に得られない。一方、百万都市のような巨大都市は市域が広く、市を一つの単位とした場合には、データの地域代表性に問題がある。こうした問題点を考慮し、ここでは人口20万人以上50万人以下の都市を対象都市とした。人口20万以上50万以下の都市は、昭和55年4月現在で計80市存在するが、このうち函館、福島、高槻、松山、宮崎の5市にはNO_xの観測局がないため、ここでの大部分の解析はこれらを除く75都市とした。対象都市の内訳を表1に示す。

4-2 都市特性を表す項目

大気汚染レベルに影響すると考えられる地域特性は大きく二つに分けることができる。一つは、市の人口や産業、土地利用といった人為的なものであり、もう一つは

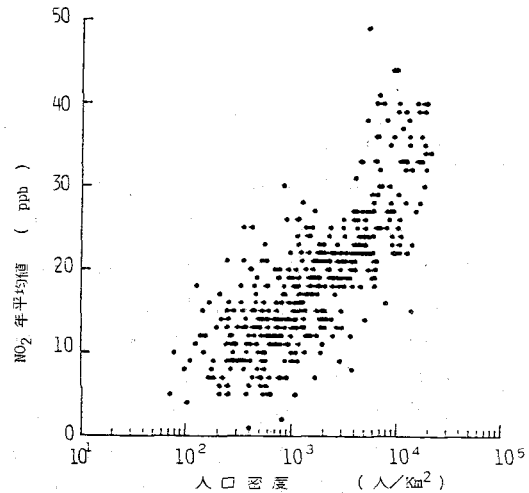


図1 人口密度とNO₂濃度との相関

表1 対象都市の内訳

a 地方別		b 人口規模	
北海道	3 (1)	20～30万	44 (2)
東北	8 (1)	30～40万	22 (3)
関東	22	40～50万	14
中部	17		
近畿	15 (1)		
中国	4		
四国	4 (1)		
九州	7 (1)		

c 県庁所在地かどうか	
県庁所在地	29 (3)
それ以外	51 (2)

(カッコ内はNO_xデータ欠測の都市数)

気象、地形といった人間の支配できない自然的なものである。都市を一つの面源と考えれば、そこからの排出強度に対応するのは面積当りの人間活動度であるから、人口密度、単位面積当り工業出荷額などの指標が汚染濃度に強く影響するはずである。自然的条件としては風速の影響が大きいことが予想され、また、盆地のように汚染物質が滞留しやすい地形にある都市では高濃度となることが予想される。そこで表2に示すような項目を説明変数として用意した。

装置型工業とは、産業中分類のうち、石油・石炭、化学、鉄鋼、非鉄金属、金属をさし、汚染物質排出原単位が大きいと言われる業種である。非装置型工業はこれらを除く業種を総称した。また、地形の数量化については小峯らの研究⁵⁾を参考に、地図から容易に読み取ることのできる指標を用いた。海岸距離、山地距離は市の中心位置（ここでは便宜上、市役所の位置とした）から最も近い海岸、山地までの直線距離である。ここでは、山地を標高200m以上の地域と定義し、市の中心位置が標高200m以上の場合は山地距離を0とした。また遮蔽度、臨海度とは、図2に示すように、市の中心から15km以内で、16方位の内、何方位が山（海）に囲まれているか、を示したものである。立地条件として取り上げた20km圏都市数、40km圏都市数とは、当該都市の中心から半径20km、40km以内にある市の数を言い、その都市規模によらず単純に加えあわせた。

4-3 対象都市の分類

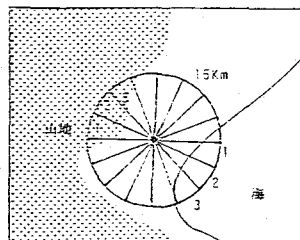
分析対象都市の特徴を明らかにするために、まず、いくつかの側面から対象都市の分類を行い、都市の類型と大気汚染の関係について調べた。表3～表4はそれぞれ、NO₂濃度、立地条件から対象都市を分類したものである。一方、都市活動特性からみた分類については既にいくつかの例があり、表5はJES日本環境技研が行った低汚染型都市の誘導に関する調査¹⁾の中で述べられているもので、人口や工業出荷額といった一般都市活動指標を用いた分類である。

これらの都市分類の相互関係をみるためのクロス集計表を表6～表7に示す。一般都市活動指標による分類とNO₂濃度による分類の関係をみると、衛星的都市（F）のNO₂

表 2 解析に用いた都市特性データ

検索用	・都市コード
人口	・総人口 ・人口密度 ・人口増減率 ・世帯あたり人口
土地利用	・農地面積率 ・建物面積率 ・交通用地面積率
産業	・工業出荷額総額 ・単位面積あたり非装置型（注）工業出荷額 ・単位面積あたり装置型（注）工業出荷額 ・単位面積あたり商業販売額
気象	・年平均気温 ・年平均風速
地形	・海岸距離 ・山地距離 ・標高 ・15Km遮蔽度 ・15Km臨海度
立地	・20Km圏の都市数 ・40Km圏の都市数

（注）装置型工業：石油・石炭、化学、鉄鋼、非鉄金属、金属
非装置型工業：上記以外の業種



遮蔽度 = 3 臨海度 = 3

図 2 遮蔽度、臨海度の考え方

表 4 立地条件による分類

	分類	都市数	主な都市
サ シ ス セ ソ タ チ	孤立型	13	函館、高知、青森など
	地方中心型	25	水戸、静岡、和歌山など
	中型都市域型	10	前橋、姫路、久留米など
	大都市後背型	6	平塚、岡崎、大津など
	大都市近郊型	14	市川、岐阜、西宮など
	過密都市域型	5	寝屋川、東大阪など
	超過密都市域型	7	川口、大宮、町田など

表3 NO₂濃度による分類

	分類基準	都市数	主な都市
1	年平均値	2	銅路、いわき
2	～10PPB	19	日立、金沢、高知など
3	10～15PPB	22	盛岡、静岡、倉敷など
4	15～20PPB	22	浦和、藤沢、沼津など
5	20～25PPB	8	川口、平塚、一宮など
6	25～30PPB	2	豊中、西宮
7	30～ P PB	5	
	測定点なし		

表 5 一般都市活動指標による類型化（JES 1977）¹⁾

	分類	都市数	主な都市
A	巨大都市		該当なし
B	大工業都市	1	東大阪
C	大規模中核都市		該当なし
D	大型商業都市	2	鹿児島、那覇
E	工業都市	5	日立、川口、八尾、倉敷、豊田
F	衛星的都市	5	豊中、寝屋川、横須賀、吹田、西宮
G	商業的都市	23	浦和、静岡、高松など
H	工業的都市	18	浜松、船橋、姫路など
I	地方的都市	7	いわき、山形など
J	地方的商業都市	7	青森、宮崎など

（上記の分類は昭和51年のものであるため、対象は68市である。）

表6 一般都市活動指標による分類とNO₂濃度による分類のクロス表

一般都市活動指標による分類		NO ₂ 濃度による分類					
		1	2	3	4	5	6
B	大工業都市					1	
C	大規模中核都市						
D	大型商業都市		1	1			
E	工業都市		1	2		2	
F	衛星都市				1	2	2
G	商業的都市	1	8	5	5	2	
H	工業的都市		1	6	10		
I	地方的都市	1	3	2			
J	地方的商業都市		2	4			

表7 立地条件による分類とNO₂濃度による分類のクロス表

立地条件による分類		NO ₂ 濃度による分類					
		1	2	3	4	5	6
サ	孤立型	2	5	3			
シ	地方中心型		11	11	2		
ス	中型都市域型		2	4	2	2	
セ	大都市近郊型		1	2	2	1	
ソ	大都市後背型			2	9	1	1
タ	過密都市域型				1	3	1
チ	超過密都市域型				6	1	

濃度が高いのに対し、工業都市（B、E、H）のNO₂濃度は必ずしも高くない。また、立地条件とNO₂濃度は相関が高く、過密都市域にある都市で高濃度となっている。衛星都市は過密都市域にあり、周辺の都市からの寄与が大きいため高濃度になるものと考えられる。また、地形から対象都市を分類してNO₂濃度との対応を調べたが明確な関係はなく、地形が支配的要因とはなっていない。

一方、表8はNO₂、SO₂、O_xの三物質による汚染状態から都市を分類したものである。AからDまでは、まずNO₂濃度によって分類し、さらにO_xによる汚染の度合いに応じて細分化した。EはSO₂濃度の高いグループである。これと、先に示した一般都市活動指標による分類との関係を見ると、衛星的都市がNO₂、O_x両方の汚染の著しいグループに属することが目につくが、全体としての関係は明らかではない。

4-4 都市特性とNO₂濃度の相関

測定局のある全市を対象とした場合に、人口密度とNO₂濃度とがかなり高い相関を示すことは、既に2-1で述べた。対象を20万都市に限った場合にも同様の傾向がみられた。表9に主な特性値とNO₂濃度の相関を示す。対象都市を人口規模で抽出したこともあって、人口、工業出荷額総額といった都市規模を表わす値とNO₂濃度はほとんど無相関であるのに対して、これらを面積で割った値や都市的土地利用率のように人間活動密度を表わす尺度との相関は高い。

表8 NO₂、SO₂、O_x三物質の汚染ランクによる分類

分類	都市名	汚染指数値の平均値			汚染度ランク		
		NO ₂	SO ₂	O _x	NO ₂	SO ₂	O _x
低汚染型	A1 秋田、調師	9.0	7.5	1.5	*	**	*
	A2 いわき、日立、佐世保、郡山	10.3	3.8	11.0	*	**	**
地方中核型	B1 旭川、鹿角、高知、那覇	15.8	6.8	1.3	**	*	*
	B2 富山、岐阜、豊橋、水戸、久留米、下関、宇都宮、金沢、八戸	14.2	6.6	10.6	**	*	**
	B3 高松、徳島、倉敷、市原、津井、足尾、静岡、沼津、福山、雲南、相模原、呉、四日市、和歌山	16.0	9.7	21.1	**	***	***
	B4 新潟、浜松、清水	14.3	6.3	26.3	**	*	***
	B5 大分、加古川	12.5	7.0	42.5	**	*	****
大都市近郊型	C1 西崎、豊田、松戸、春日井、船橋	20.8	8.8	7.0	***	**	**
	C2 大宮、富士、豊沢、明石、八王子、旭、沼津	22.6	9.4	20.4	***	***	***
	C3 越谷、大津、横浜、川崎、大宮、浦和	23.5	9.5	33.3	***	***	***
	C4 川越、枚方、市川、西宮、東大阪、八尾、平塚、厚狭川、茨木	24.2	10.3	53.3	***	***	****
#1	D 川口、豊中	30.5	11.0	16.5	****	***	**
#2	E1 山形	17.0	16.0	3.0	**	****	*
	E2 高崎、前橋、長野、町田	20.5	14.8	38.5	***	****	***

#1: NO₂高濃度型
#2: SO₂高濃度型

汚染指数値: NO₂及びSO₂については年平均濃度(単位: PPB)

O_xについては昼間の一時観測の最高値が環境基準(0.06 ppm)を超過した日数(単位: 日)

表9 主な都市特性とNO₂濃度の相関

項目	NO ₂ 濃度との相関係数	
	昭和54年	昭和55年
人口密度	0.640	0.668
建物面積率	0.646	0.692
単位面積当り工業出荷額	0.515	0.556
単位面積当り商業販売額	0.432	0.446
20Km圏都市数	0.665	0.676
40Km圏都市数	0.658	0.670
人口	0.112	0.043
工業出荷額	-0.050	-0.009

サンプル数 75

4-5 重回帰分析による要因項目の抽出

4-3で述べた都市分類、および4-5で述べた単相関分析で大体の傾向が明らかにされた。本節では自然条件を加えて重回帰分析を行い、大気汚染レベルを説明する要因を抽出した。説明変数は表4にあげた変数を用い、変数増減法によって有意な変数の選択を行なった。ここでは表4の変数のうち、人口、産業、土地利用を都市変数と呼び、以下、気象変数、地形変数、立地変数と名付けることにする。

まず、都市変数のみを用いて分析を行ない、地形変数、気象変数、立地変数を順次加えて分析し、最後に全変数を用いて分析した。その結果を表10に示す。選択された変数、重回帰係数の変化から、都市変数が支配的な要因とみられるが、ケース2～4でその他のグループ（気象、地形、立地）を加えた場合には、それぞれから有意な変数が選択されている。地形変数からは遮蔽度、臨海度が選択されたが、遮蔽度、臨海度を除いて変数選択を行った場合には、海岸距離が有意な変数として抽出された。気象変数から風速が選択されたこととあわせて、自然条件としては汚染物質の滞留しやすさを表す変数が選択されている。

全変数を用いた場合に選択されたのは、交通用地面積率、単位面積当り非装置型工業出荷額、15km遮蔽度、40km圏都市数の4変数であった。内訳は、都市変数2、地形変数1、立地変数1であり、気象変数からは選択されなかったが、遮蔽度が地形、気象の両方を代表していると考えられる。これによる回帰式は、

$$Y = 1.38X_1 + 0.046X_2 + 0.141X_3 + 0.330X_4 + 10.17$$

(4.35) (3.24) (6.46) (2.76) (9.76)

$R = 0.8247$

(カッコ内はt値)

Y NO₂ 年平均濃度 (PPB)

X₁ 交通用地面積率 (%)

X₂ 面積当り非装置型工業出荷額 (億円/平方km)

X₃ 40km圏都市数 (市)

X₄ 15km遮蔽度 (方位/16方位)

となった。工業集積度を表す変数のうち排出原単位の小さい業種のほうが選択されたことは、実態とうまく結びつかず、さらに詳しく検討する必要がある。

ここで選択された4変数で各都市の汚染濃度を説明した場合に、どんな都市でどの変数が意味をもつかを見る

表10 重回帰分析による要因の抽出

ケース	1	2	3	4	5
変数の組合わせ					
都市変数	○	○	○	○	○
気象変数		○			○
地形変数			○		○
立地変数				○	○
説明変数の総数	11	13	16	13	20
重回帰係数 (全変数)	7.82	7.98	8.22	8.19	8.58
選択後	7.71	7.86	7.94	8.10	8.25
都市					
人口					
人口密度					
人口増減率	+	+	+		
世帯当り人口					
農地面積率	-	-	-	-	
建物面積率	+	+	+		
交通用地面積率	+	+	+	+	+
工業出荷総額					
単位面積当り非装置型工業出荷額	+	+	+	+	+
装置型工業出荷額					
単位面積当り産業販売額					
気象					
年平均気温					
年平均風速		-			
地形					
海岸距離					
山地距離					
標高					
15km遮蔽度					+
15km臨海度			-		
立地					
20km圏都市数					
40km圏都市数				+	+

[注] 表中の+は変数増減法で選択された変数に対する重回帰係数の符号
サンプル数=15

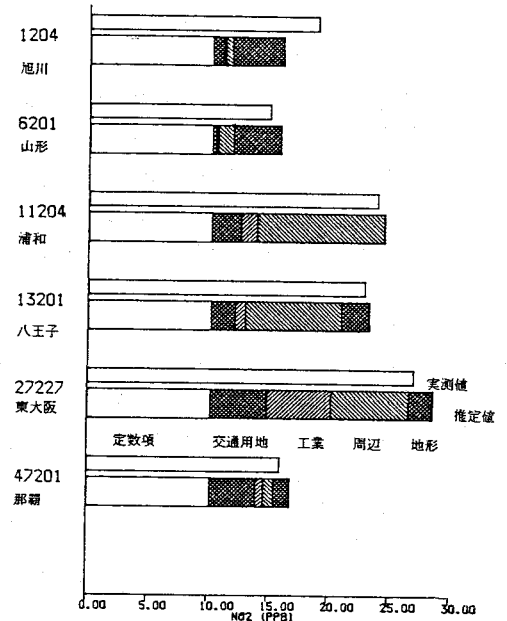


図3 4変数による重回帰の結果

ために、元のデータを回帰式に代入して各項目の寄与を調べた。図3は主要な都市について、各説明変数と偏回帰係数の積、および定数項を表したものである。説明変数間の相関等のために、ここで示した各項の割合が、そのまま各変数の寄与率を表すわけではない⁶⁾が、各都市の特徴をみることは可能であろう。旭川、山形では地形の影響がかなりあること、大都市圏にある浦和、八王子といった都市では周辺に多くの都市があることが、高濃度となる一つの要因となっていること等が読み取れる。

4-6 都市活動密度の適正化についての試算

これまでの一連の分析から、都市活動密度が高く、周辺を都市に囲まれた大都市域で都市変数、立地変数の寄与が大きく、高濃度を示すことがわかった。そこで、これらの都市活動密度を全75都市について平均化した場合の濃度分布を4-5で得た回帰式を用いて試算した。但し、ここでは、 X_1 として交通用地率の代わりに人口密度を用いた（交通用地率と人口密度は相関が高く、どちらを用いても大差はない）。すなわち、自然条件（遮蔽度）及び立地条件（周辺の都市数）は現状と同じとし、75の都市の人口、工業出荷額の合計をそれぞれの都市の面積に比例配分して、すべての都市の人口密度、工業出荷額密度が同じであるというケースを想定した。その結果、現状では75都市の NO_2 濃度の人口加重平均値が18.4PPB、年平均値20PPBをこえる都市数が29であるのに対して、平均化した場合は人口加重平均値が15.9PPB、年平均値20PPBを超過する都市数は9となる。しかし、この平均化は非現実的であり、一つの目安にすぎない。

5 おわりに

20万都市における NO_2 による汚染についての解析を中心に、都市大気汚染の種々の要因について解析した結果、次のようなことが明らかにされた。

- 1) 一般都市活動指標による都市分類と大気汚染レベルの関係でみると、工業的都市よりも衛星的都市で高濃度となっていること
- 2) 面積当りの都市活動度が大気汚染レベルに影響する大きな要因であること
- 3) 過密都市域では周辺都市からの寄与が大きいこと
- 4) 遮蔽度の大きい（まわりを山に囲まれた）都市では、地形の影響で濃度が高くなること
- 5) これらの結果を用いて都市活動の適正化の試算を行なった結果、都市活動密度を平均化することにより年平均値20PPBをこえる都市数がかなり減ること

今回は線型重回帰を主に用いたが、地形や気象の影響をさらによく表現するにはモデルの構造自身の変更が必要であろう。また、20万都市に限定して解析したため、対象都市を広げてここでの解析結果を再検討する必要がある。ここでは、最終目的である都市活動の適正化については十分な検討を行うことができなかったが、今後さらに検討を加え、定量的な評価を行っていきたい。

参考文献

- 1) JES日本環境技研(1977) 低汚染型都市活動の誘導に関する調査
- 2) 計量計画研究所(1977) 巨大都市地域における大気環境管理モデル策定調査
- 3) 松田ら(1980) 巨視的大気汚染モデル、計測と制御 19(7), 713~716.
- 4) 環境庁大気保全局(1981) 昭和55年度一般環境大気測定局測定結果報告
- 5) 小峯ら(1980) メッシュデータを用いた地形因子解析法による任意の地点の平均風速の推定方法に関する研究、天気、27(12), 17~27.
- 6) 奥野忠一ほか(1971) 多変量解析法、日科技連.