

大気汚染総合指標に関する研究

新井 真杉 門井 英雄

要 旨

国設大気測定網等の年間値データを用いて大気汚染総合指標を作成することを試みた。

統計的手法（主成分分析，標準得点）によって求めた指標のAPI(Air Pollution Index)-1,2は総合的な大気汚染状況をよく表し，大気汚染総合指標として有用である。

人体影響度を考慮するために，環境基準値で除する方法，環境基準超過率による方法で作成した指標のAPI-3,4,5は，米国で開発された時間値データを使用する手法(Pindex,PSI等)の簡易法となり得る。

1 まえがき

大気汚染状況を監視するために，国及び地方自治体において大気汚染観測網が整備され，現在，全国で1600余の測定局が設立されるに至っている。

そして，これらの測定局で得られた測定データの評価は，各汚染質濃度や環境基準適合率等によってなされている。

しかし，この様な個別の大気汚染質についての評価では，ある地点の総合的な大気汚染状況を把握することが困難であり，また一般住民にとって理解しにくい一面がある。

大気汚染を個別の汚染質でなく，総合的汚染指標としてとらえようとする試みは，米国において1970年代からあり，Pindex (Pollution Index)¹⁾，ORAQI (Oak Ridge Air Quality Index)²⁾，PSI(Pollutant Standards Index)^{3, 4)}等が最も代表的な手法である。我国においては，PSI等の手法を県単位の地域に適用した例^{5) - 7)}があるのみである。

なお，これらの手法は時間値データを必要とし，広い地域を対象とする場合，データ収集が困難であり，かつ，指標を算出するための計算量は膨大である。

そこで，国設大気測定網（以下NASNと記す）等の年間値データを用い，統計的解析等の簡易な手法に

より種々の大気汚染総合指標を求めることを試み，さらにこれらの手法を評価するためのアンケート調査を実施したので，その解析結果について報告する。

2 方 法

2・1 使用した大気汚染質データ

使用したデータファイルは国立公害研究所環境情報部情報調査室から借用した大気環境月間値年間値データファイル(昭和61年度一般環境大気測定局測定結果)である。

解析対象項目はSO₂，NO₂，SPM（浮遊粒子状物質）・SP（浮遊粉じん），Oxの4項目である。粒子状物質については，全国的にみてSPからSPMへの転換期であり，使用データをSPMデータに限定すると解析対象局数が減少するので，SPデータもSPMとして解析した（以下SPMと記す）。

種々の大気汚染総合指標を表1に示したNASN23測定所について算出した。

2・2 解析方法

2・2・1 主成分分析による方法

全国の一般環境測定局から4項目の解析対象項目が得られ，かつ欠測の少ない測定局879を選定した。

表1 国設大気測定所の設置状況

	測定所	所在地	用途地域
大気汚染測定所	札幌	札幌市北区北19条	住居商業
	仙台	仙台市本町	商業
	鹿島	茨城県鹿島郡神栖町	未指定
	市原	千葉県市原市郡本	住居
	東京	東京都新宿区百人町	住居
	川崎	川崎市川崎区田島町	住居
	新潟	新潟市大山	住居
	名古屋	名古屋市千種区田代町	住居
	大阪	大阪市東成区中道	準工業
	尼崎	尼崎市東難波町	住居
	松江	松江市西浜佐陀町	未指定
	倉敷	倉敷市美和町	商業
	宇部	宇部市神原町	住居
	北九州	北九州市小倉北区井掘	住居
大牟田	大牟田市有明町	商業	
環境大気測定所	野幌	江別市西野幌	未指定
	筈岳	宮城県遠田郡涌谷町	未指定
	筑波	茨城県新治郡新治村	未指定
	新津	新潟県新津市大字古津	住居
	犬山	愛知県犬山市大字犬山	未指定
	京都八幡	京都府八幡市男山雄徳	住居
倉橋島	広島県安芸郡倉橋町	未指定	
筑後小郡	福岡県小郡市大字井上	未指定	

SO₂, NO₂, SPMの年平均値及びOxの昼間の1時間値の年平均値を解析対象項目とし、各項目の原データ、自然対数変換、平方根変換の3様式について、歪度、尖度、 χ^2 検定を行い、各項目ごとに正規分布に近づく変換様式を求めた。

変換した4項目について主成分分析を行い、項目間集約を図った。

2・2・2 標準得点による方法

主成分分析による方法と同様のデータを用いて標準得点を求める式を算出し、NASNデータに適用した。

2・2・3 環境基準値で除する方法

大気汚染物質による人体影響を考慮した指標を作成しようとして、各汚染物質濃度(年間値データ)を環境基準値で除し、その単純和を求める方法を試みた。

使用データについては、SO₂, SPMは2%除外値、NO₂は98%値、Oxは1時間値の最高値を用いた。

環境基準値については、SO₂は0.04ppm、Oxは0.06

ppm、SPMは0.10mg/m³を用いた。NO₂の環境基準は1時間値の1日平均値が0.04ppmから0.06ppmまでのゾーン内またはそれ以下であることとなっているが、ここではゾーン下限値である0.04ppmを使用した。

2・2・4 環境基準超過率による方法

各大気汚染物質濃度が環境基準を超えた日数の割合(年間環境基準超過日数/年間有効測定日数)を合計して環境基準累積超過率を求めた。環境基準超過日数は、SO₂, NO₂においては日平均値が0.04ppm、Oxにおいては昼間の1時間値が0.06ppm、SPMにおいては日平均値が0.10mg/m³を超えた日数とした。

2・2・5 アンケート調査

以上述べた方法により、種々の大気汚染総合指標が算出されたが、これを評価する適当な方法がないので、評価のためのアンケート調査を実施した。アンケート回答者は大気汚染に関する研究及び行政に関わってきた本県職員30名である。アンケート対象測定所はNASN23測定所で、回答者に測定所の所在地及び大気汚染物質濃度を示した。汚染物質濃度は、SO₂, NO₂, SPMについては年平均値、Oxについては昼間の1時間値の年平均値である。

評価は、回答者の自由な視点と主観的判断に基づき、各測定所の総合的な大気汚染状況を全国レベルと比較することにより下記の5点法によって行われた。

1:良好 2:やや良好 3:普通 4:やや悪い 5:悪い

3 結果及び考察

3・1 主成分分析による方法

3・1・1 データの正規性の検定

全国の879測定局を対象にして、各大気汚染物質項目の正規性を検討した。その結果を表2に示す。

SO₂, NO₂, SPM(年平均値)は平方根変換において正規性が優れ、Ox(昼間の1時間値の年平均値)は原データにおいて正規性が優れている。

以上の結果からSO₂, NO₂, SPMは平方根変換データ、Oxは原データを用いて統計解析を行うこととした。

3・1・2 主成分分析による大気汚染指標の作成

大気汚染物質4項目の主成分分析結果を表3に示す。第1主成分の因子負荷量は、Ox以外の項目において大きく、第1主成分は1次汚染物質による大気汚染の程度を表していると考えられる。第2主成分の因子負荷量はOxにおいて大きく、第2主成分は2次汚染物質であるOxによる汚染を表していると考えられる。

表2 正規性の検定結果

項目	変換様式	歪度	尖度	χ^2
SO ₂	X	0.502	2.97	40.3
	In(X)	-0.400	3.07	16.5
	\sqrt{X}	0.073	2.70	7.4
NO ₂	X	0.529	2.91	74.7
	In(X)	-0.906	4.24	179.7
	\sqrt{X}	-0.088	2.80	38.2
Ox	X	-0.119	3.07	21.5
	In(X)	-0.908	4.17	147.6
	\sqrt{X}	-0.496	3.34	57.5
SPM	X	0.369	2.80	59.0
	In(X)	-0.342	2.81	61.5
	\sqrt{X}	0.022	2.57	45.5

第1主成分におけるOxは、他の項目と異なり負符号である。すなわち、Ox濃度が高いほど、スコアが小さくなることになり、大気汚染指標を考える場合は、Oxを主成分分析の対象項目から除くべきであると考えた。

SO₂、NO₂、SPM3項目の主成分分析結果を表4に示す。第1主成分の因子負荷量は3項目とも大きく、第1主成分は1次汚染質による大気汚染の程度を表しているといえる。

そこで筆者らは、大気汚染総合指標のひとつとして次に示すAPI-1(Air Pollution Index-1)を提案する。

$$API-1 = 0.556 \times \frac{\sqrt{SO_2} - 2.50}{0.430} + 0.617 \times \frac{\sqrt{NO_2} - 3.93}{0.941} +$$

$$0.558 \times \frac{\sqrt{SPM} - 6.08}{0.892}$$

SO₂、NO₂: 年平均値(ppb)

SPM: 年平均値(μg/m³)

各項目の重み付けは、主成分分析結果のベクトル値を用いて行った。また各項目の測定値を標準化し、(測定値-平均値)/標準偏差の型とした。

API-1をNASNに適用した結果を図1に示す。川崎、大阪、東京、尼崎等の社会活動の活発な地点において指標値が大きく、筧岳、新津、野幌、筑波等の社

表3 主成分分析結果(4項目)

項目	因子負荷量	
	第一主成分	第二主成分
SO ₂	0.809	0.097
NO ₂	0.913	0.112
Ox	-0.663	0.728
SPM	0.789	0.382
固有値	2.55	0.69
寄与率(%)	63.8	17.5
累積寄与率(%)	63.8	81.3

会活動が活発でない地点において指標値が小さい傾向が認められる。

API-1はOx以外の汚染質による大気汚染を表す指標であるので、これとは別にOxによる汚染を表す指標が必要である。

そこで、Ox(昼間の1時間値の年平均値)について、全国879測定局の平均値(24.7ppb)と標準偏差(5.61)を算出し、標準得点(Standard Score)を求める次式SS(Ox)を作成した。

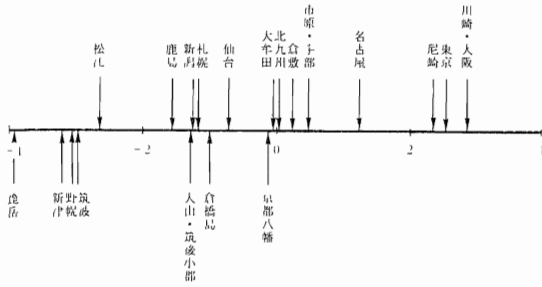
$$SS(Ox) = \frac{Ox - 24.7}{5.61}$$

SS(Ox)をNASNに適用した結果を図1に示す。社会活動が比較的活発でない地点において指標値が大きい傾向があり、気塊の輸送過程において生成される2次汚染質の特徴を示している。

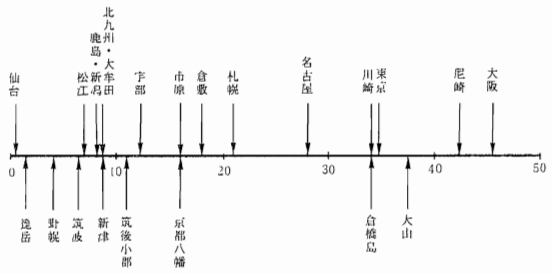
表4 主成分分析結果(3項目)

項目	因子負荷量	
	第一主成分	第二主成分
SO ₂	0.830	0.515
NO ₂	0.920	-0.004
SPM	0.832	-0.508
固有値	2.23	0.52
寄与率(%)	74.3	17.5
累積寄与率(%)	74.3	91.8

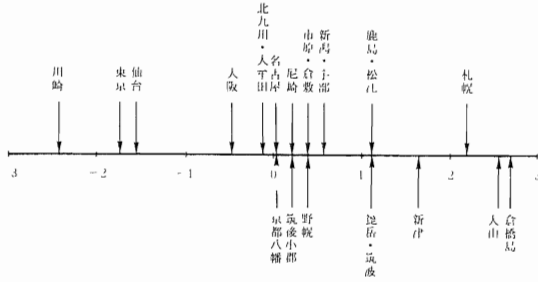
[API-1]



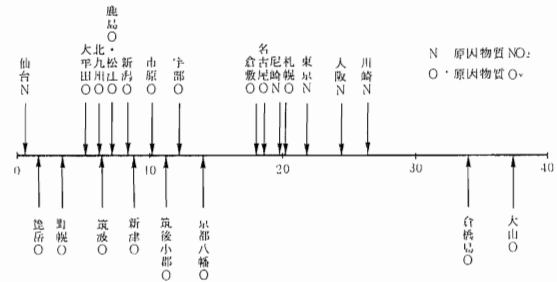
[API-4]



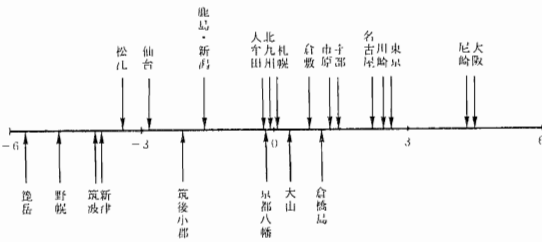
[SS(Ox)]



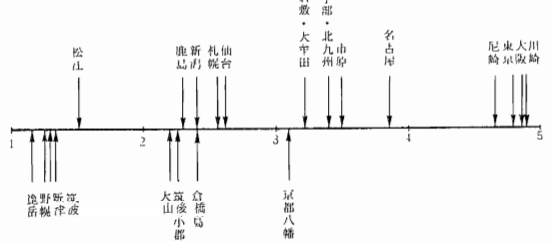
[API-5]



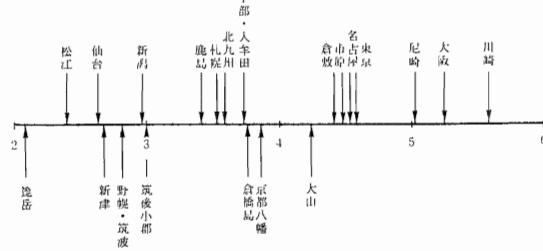
[API-2]



[アンケート評点]



[API-3]



註：図の上段は大気汚染測定所
下段は環境大気測定所

図1 各測定所のAPI値及びアンケート評点

3・2 標準得点による方法

主成分分析による方法と同様のデータを用いて、各項目ごとに879測定局の平均値と標準偏差から標準得点を求める式を算出した。4項目の標準得点の単純和である次式(API-2)を大気汚染総合指標のひとつとして提示する。

$$API-2 = \frac{\sqrt{SO_2-2.50}}{0.430} + \frac{\sqrt{NO_2-3.93}}{0.941} + \frac{Ox-24.7}{5.61} + \frac{\sqrt{SPM-6.08}}{0.892}$$

API-1式との差異は、項目数の違いと各項目の重み付けの有無である。API-2式をNASNに適用した結果を図1に示す。API-1式を適用した結果と同様の傾向が認められる。

3・3 環境基準値で除する方法

主成分分析及び標準得点による方法はいずれも全国のデータを統計的に処理し、ある地点の大気汚染状況が全国的にみて、どの程度のレベルにあるかを数値化したものである。これに対して次に試みる手法は環境基準を基にしている。

我が国の環境基準は人の健康に係る環境基準として定められているが、環境保全のための行政上の努力目標としての性格も持っており、基準値自体は、必ずしも科学的な許容限度を意味するものではない。

一方、大気汚染質濃度を人体影響レベルで評価しようとする場合、各汚染質濃度を人体影響度に換算するため汚染質ごとの関数が必要であるが、既存の科学的知見(動物実験、疫学調査等)からこれを求めるのは非常に困難である。

すなわち、異なる汚染質による影響を人体影響度という等価の数値に換算することは、汚染質間の相乗作用、慢性被害と急性被害、汚染質による被害症状発現の違い等の存在により、ほとんど不可能であるといえる。

したがって人体影響度を考えるとき、現時点においては環境基準を用いざるを得ない。前述のPindex, PSI等の指標においても米国の環境基準、警報レベル値等を基に時間値レベルのデータを概括的な人体影響度に換算している。

PindexはBabcockら¹¹⁾により開発された指標で、

各汚染質ごとに環境基準値を基にし次式により日単位で汚染状況を評価しようとするものである。

$$Pindex = \frac{PM}{375} + \frac{SO_x}{1430} + \frac{NO_x}{514} + \frac{CO}{40000} + \frac{HC}{19300} + \frac{O_3}{214} + SYN$$

汚染質濃度の単位は $\mu g/m^3$ である。SYNはSO_xまたはPMのPindex値の低い方の値であり、相乗効果を表す項である。

筆者らはPindexに換わる簡易法として環境基準を基にした次式(API-3)を作成した。

$$API-3 = \frac{SO_2}{40} + \frac{NO_2}{40} + \frac{Ox}{60} + \frac{SPM}{100}$$

SO₂:2%除外値(ppb)

NO₂:98%値(ppb)

Ox:1時間値の最高値(ppb)

SPM:2%除外値($\mu g/m^3$)

API-3をNASNに適用した結果を図1に示す。API-1, API-2と同様の傾向が認められるが、Ox濃度が高く、他の汚染質濃度が低い犬山は汚染方向へ、Ox濃度が低く、他の汚染質濃度が高い東京は清浄方向へや移動している。

3・4 環境基準超過率による方法

環境基準値で除する方法と同様に人体影響の視点から、各大気汚染質が環境基準を超えた日数の割合(年間環境基準超過日数/年間有効測定日数)を合計して環境基準累積超過率を求め、API-4とした。

環境基準値は、環境基準で除する方法と同様の数値を使用した。

API-4をNASNに適用した結果を図1に示す。API-1, 2, 3と異なった傾向を示している。O_x濃度が高く、他の汚染質濃度が低い犬山、倉橋島の指標値が社会活動の活発な東京、川崎と同レベルの汚染状況を示しているのが特徴的である。

前述のPSIは、米国のEPAによって開発された指標で、その計算方法を次ぎに示す。各汚染質濃度をPSI指標値(人体影響度)に換算し、1日ごとの各汚染質のうち最も高い指標値をその日の代表値とする。そして、その代表値がどの汚染質に起因するかを明示する。

すなわち、PSIは各汚染質を加法的に処理して指標を求めるのではなく、最大の指標値を示す汚染質がその日の人体影響度を支配するという考え方であり、他の汚染質による情報は棄却される。

このPSI的思考を本研究に適用して次の指標(API-5)を得た。API-4が累積超過率を求めたのに対し、API-5は、ある測定点における各汚染質の超過率(年間)のうち最大値をその他点の代表値とする。そして、その原因となる汚染質を示す。

API-5をNASNに適用した結果を図1に示す。API-4に比べてOx濃度の高い犬山、倉橋島の指標値が大である。汚染の原因物質は、川崎、大阪、東京、尼崎等の社会活動の活発な地点はNO₂であり、他の地点はほとんどOxである。本研究においては、NO₂の環境基準を下限值の0.04ppmとしたが、上限値の0.06ppmを用いれば、Oxがより多く原因物質になるであろう。

PSIの手法を県単位の地域に適用した伊勢ら⁵⁾、才木ら⁶⁾、岡崎⁷⁾の報告についてみると、原因物質はほとんどOxであり、本研究結果と同じ傾向を示す。

3・5 アンケート調査結果

以上述べた各種の大気汚染総合指標を評価するためにアンケート調査を実施した。職種(研究職と行政職)による評点の差が微小であったので、30名の評点を算術平均し、その地点の評点とした。その結果を図1に示す。また、アンケートの評点と各種の大気汚染総合指標との相関関係を表5に示す。

表5 アンケート評点と指標値の相関

指標	API-1	API-2	API-3	API-4	API-5
相関係数	0.994*	0.920*	0.897*	0.704	0.450

* : 0.01で有意

アンケート評点と最も相関があるのはAPI-1とAPI-2であり、これらの統計的手法によって作成された指標が、大気汚染に関わってきた職員が感覚的に把握している大気汚染状況を最もよく説明するものであるといえる。

API-3,4,5はAPI-1,2に比べアンケート評点との相関が顕著でない。この理由としては、API-3,4,5は人体影響の視点で作成された指標であるのに対して、

アンケート評点は、各測定点の総合的な大気汚染状況を全国レベルと比較して得られた数値であることが考えられる。

しかし、人体影響の視点に立ち、かつ簡易な手法で得られる大気汚染指標を求める行政需要に応えるには、Pindex, PSI等に換えてAPI-3,4,5を用いることが有効であろう。

4 まとめ

国設大気測定網(NASN)等の年間値データを用い、一般住民にも容易に理解できる総合的な大気汚染状況を示す指標(大気汚染総合指標)を作成することを試み、次の知見を得た。

- (1) データの正規性検定の結果、SO₂、NO₂、SPMは平方根変換、Oxは原データにおいて正規分布に近づくことが明らかになった。
- (2) 統計的手法(主成分分析、標準得点)によって求められた指標のAPI-1,2はアンケート調査結果との相関が顕著であり、総合的な大気汚染状況を最もよく説明しており、大気汚染総合指標となり得る。
- (3) 環境基準値で除する方法及び環境基準超過率による方法によって求められた指標のAPI-3及びAPI-4,5は人体影響の視点に立つ指標で、その算出のための計算量は時間値データを使用した従来法(Pindex, PSI等)に比べ著しく少ない。
- (4) 本研究で得られた指標と従来法との比較は今後の検討課題である。

謝 辞

本研究を行うにあたり、御指導を賜った国立公害研究所総合解析部 森口祐一氏に深く感謝の意を表します。

また、本研究に使用した大気環境月間値年間値データファイルは国立公害研究所環境情報部情報調査室から借用したファイルであり、その貸出に際して御協力をいただいた新藤純子氏に深謝いたします。

なお、データの電算処理については、当所の五井邦宏、東島正哉両氏の御助力をいただきました。深く感謝いたします。

文 献

- 1) L.R.Babcock : A Combined Pollution Index for Measurement of Total Air Pollution, J. Air Pollut. Control Assoc., 20,653-659, 1970.
- 2) 日本化学会訳編 : 環境質の指標, 丸善, 202-210, 1974.
- 3) W.R.Ott and W.F.Hunt : A Quantitative Evaluation of the Pollutant Standards Index, J. Air Pollut. Control Assoc., 26,1050-1054, 1976.
- 4) EPA : Guideline for Public Reporting of Daily Air Quality, Pollutant Standards Index (PSI), Federal Register,41,37660-37671, 1976.
- 5) 伊勢淳・鈴木康允 : 複合大気質の総合的評価法, 産業公害, 14,133-139,1978.
- 6) 才木義夫・片桐佳典 : 神奈川県地域における汚染指数(PSI)による大気環境の評価, 大気汚染学会誌, 21,551-556,1986.
- 7) 岡崎淳 : 大気汚染総合指標による千葉県の大気環境の評価(1), 千葉県公害研究所研究報告, 19(1), 13-24,1987.