汚染指標による大気環境の評価方法の検討 —新しい指標 AQI の提案と神奈川県地域における試算—

(1986 年 6 月 25 日 受理)

才木 義夫*・片桐 佳典**

大気環境を評価するための新しい汚染指標 AQI を提案し、神奈川県地域の大気環境の評価を試みた。大気環境指標としては、すでに Pindex, PSI, ORAQI が米国において提案されているが、AQI は PSI の方法を考慮して作成された、日本の大気環境に適用可能な実用的な指標である。

AQI の計算においては、環境基準の定められている SO_2 , NO_2 , CO , O_3 および粒子状物質を汚染物質とし、それぞれの (日平均濃度/環境基準) $\times 10$ (O_3 についてのみ日最高濃度) を計算してその最大値をその日の AQI とし、AQI に対応する汚染物質を主要汚染物質とした。また、ほかに環境基準を越えている物質 (AQI 11 以上) が存在する場合にはそれらを主要汚染物質に含めた。大気環境の評価を容易にするために、AQI の値を清浄、普通、汚染 1、汚染 2、汚染 3 の 5 段階に階級化した。AQI を神奈川県地域に適用した結果、県内の主要汚染物質とその汚染寄与が明確になり、AQI が大気環境指標として有効であることが認められた。

1 緒 言

大気環境の評価方法には、大気中における汚染物質濃度やその環境基準適合率など¹⁾による方法が一般的に行なわれているが、また汚染物質の生物^{2)~5)}、土壌⁶⁾などへの影響または蓄積量、大気エアロゾル中の炭素の形態⁷⁾、雨水成分濃度⁸⁾⁹⁾、オゾン濃度の日変動値¹⁰⁾などを指標とした評価方法も提案されている。大気汚染に関する指標としては、大気中の二酸化硫黄 (SO_2)、二酸化窒素 (NO_2)、一酸化炭素 (CO)、オゾン (O_3)、粒子状物質などの一

般的な大気汚染物質を因子とした汚染指標 Pindex¹¹⁾, PSI¹²⁾, ORAQI¹³⁾ などが報告されている。しかしながら、これらの指標は何れも米国で開発されたものであり、日本に適用する場合には日本の実態に合わせる工夫を行ない、新しい指標を作成することが必要である。

本研究では、大気汚染常時監視測定局 (以下測定局と略記する) の測定結果を用い、PSI の手法を考慮して汚染物質濃度と環境基準から日本に適用し得る実用的な指標 AQI (Air Quality Index) を検討し、神奈川県地域において試算した。大気環境の状況は、規制面からは環境基準への適合性によって評価されるが、AQI では主要汚染物質とその汚染寄与が明確になり、日常的な大気環境監視に有効である。

2 汚染指標による大気環境の評価方法

現在、米国においては PSI による大気環境の評価が広く行なわれているが、この方法は Ott ら¹²⁾によって研究され、その手法は Federal Register など¹⁴⁾¹⁵⁾に詳述されている。また Babcock¹¹⁾は Ott らの研究以前に Pindex を発表し、さらに Oak Ridge などにおいては ORAQI¹³⁾が使用されている。これらの指標の求め方はつぎのとおりである。

神奈川県公害センター特殊環境部, 210 川崎市幸区南幸町

** 神奈川県環境部大気保全課, 231 横浜市中区日本大通り

- 1) 環境庁大気保全局大気規制課監修, “昭和 60 年度日本の大気汚染状況”, ぎょうせい (1985).
- 2) 山下喜一, 石塚芳久, 落合昭吾, 才木義夫, 新倉 治, 分析化学, 16, 1251 (1967).
- 3) 光木偉勝, 中川吉弘, 高田亘啓, 大気汚染学会誌, 13, 26 (1978).
- 4) 石橋龍吾, 杉 泰昭, 木藤寿正, 大気汚染学会誌, 17, 63 (1982).
- 5) 小村 精, 村田敦子, 大気汚染学会誌, 19, 46 (1984).
- 6) 鈴木 伸, 立木英機, 中川良三, 大気汚染学会誌, 19, 452 (1984).
- 7) N. A. Kelly, G. T. Wolff, M. A. Ferman, *Atom. Environ.*, 16, 1077 (1982).
- 8) Y. Saiki, H. Makino, Y. Ohtsuka, K. Aihara, M. Kaneko, S. Miyazaki, Y. Himi, *Proceedings of the fourth international clean air congress 1974*, 592.
- 9) 玉置元則, 平木隆年, 渡辺 弘, 大気汚染学会誌, 20, 71 (1985).
- 10) 溝口次夫, 甲斐沼美紀子, 内藤正明, 国立公害研究所報告, 88, 77 (1986).

- 11) L. R. Babcock, *J. Air Pollut. Control Assoc.*, 22, 653 (1970).
- 12) W. R. Ott, W. F. Hunt, *ibid.*, 26, 1050 (1976).
- 13) W. A. Thomas ed, 日本化学会訳編, “環境質の指標”, 丸善 (1974) p. 195.
- 14) EPA, Federal Register, 41, No. 174, 37660-37671, September 7 (1976).
- 15) EPA, Rapid Techniques for Calculating the Pollutant Standards Index (PSI), EPA-600/4-79-039, June (1979).

(1) Pindex

Pindex では SO_x , NO_x , CO , O_x , HC , 粒子状物質の6種類と Solar Radiation ($\text{cal}/\text{cm}^2 \cdot \text{d}$) が測定対象になっている。計算式はつぎの(1)式のとおりである。

$$\text{Pindex} = \frac{\text{粒子状物質}(\mu\text{g}/\text{m}^3)}{375} + \frac{\text{SO}_x(\mu\text{g}/\text{m}^3)}{1430} + \frac{\text{NO}_x^*(\mu\text{g}/\text{m}^3)}{510} \\ + \frac{\text{CO}(\mu\text{g}/\text{m}^3)}{40,000} + \frac{\text{HC}^*(\mu\text{g}/\text{m}^3)}{19,300} + \frac{\text{O}_x^*(\mu\text{g}/\text{m}^3)}{214} \\ + \text{SYN}^{**} \quad (1)$$

*: Solar Radiation により補正した濃度

** : SO_x または粒子状物質の項のどちらか低い方の値

(1)式において各項の分母の数値は当時のカリフォルニア州の環境基準などから求めた許容因子 (tolerance factor) である ($\mu\text{g}/\text{m}^3$ に換算)。

熊沢ら¹⁶⁾は Pindex の手法を大阪府の常時監視データに適用し、府下各地の Pindex を米国各地の Pindex と比較している。

(2) PSI

PSI では SO_2 , NO_2 , CO , O_x , 粒子状物質, 粒子状物質 $\times\text{SO}_2$ の6項目が測定対象になっている。計算式はつぎの(2)式のとおりである。

$$\text{PSI} = \max\{I_1, \dots, I_6\} \quad (2)$$

ここで $I_1, \dots, I_6$ は各項目について濃度-PSI 相関図から求めた subPSI である。この相関図は縦軸に PSI を 0~500 の範囲で目盛り、横軸に濃度を取り、図中に各種の環境基準をプロットして各点を直線で結んだ折れ線グラフである。PSI の手法では(2)式の PSI に対応する物質および PSI 100 以上の物質を汚染の原因物質 (pollutant responsible または critical pollutant) と定義している。

伊勢ら¹⁷⁾は PSI の手法で東京都内3地点の大気環境を解析し米国のカリフォルニア州などと比較している。

(3) ORAQI

ORAQI では SO_x , NO_2 , CO , O_x , 粒子状物質を測定対象としつぎの(3)式で計算を行なう。

$$\text{ORAQI} = (5.7 \sum_{i=1}^5 (C_i/S_i)^{1.37}) \quad (3)$$

ここで C_i = 汚染物質 i の濃度, S_i = 汚染物質 i に対応する EPA の環境基準

これら3種類の指標の内、Pindex, ORAQI は各物質について求めた濃度/基準値の和を基本としているのに対して PSI は各項目について求めた subPSI の内の最大値を指標としている。このことから Pindex, ORAQI では各項目の中で一部に異常に高い濃度の物質が存在する場合でも合計値であるために指標としては低くなり大気の悪い状況を十分に表わしえないが、一方、PSI は最大値を指標としているために汚染の原因物質とそれによる高濃度汚染の状況を的確に表現し得ると考えられる。これらのことから Pindex, ORAQI は汚染物質全体を考慮した長期的広域的な複合汚染の評価に有効であるが、PSI の手法はそれぞれの汚染物

質の中で高濃度の物質に着目した地域的な環境評価に適しており、日常的な大気環境の監視に有効であると考えられる。なお、Pindex, ORAQI と PSI は以上のように計算手法が基本的に異なるためにこれらのデータの比較は従来行なわれていない。

現在日本においては、環境基準との対比において、 CO , SO_2 による汚染は低下しているが NO_2 , O_x , 粒子状物質による汚染が問題になっている。またこれら3物質の地域的な挙動はかなり異なっており、神奈川県の場合¹⁸⁾では、 NO_2 , 粒子状物質は都市域において高いが山間部においては低く、一方、 O_x はこの逆の傾向が見られる。このような一定地域内において局地的に主要な汚染物質が異なる場合の日常的な環境評価手法としては、Pindex, ORAQI に見られるような平均的な手法に比較して PSI の手法が適切であると考えられる。

以上のことから、著者らは PSI の方法を考慮して日本の大気環境の評価に使用し得る指標 (AQI) を検討した。

3 AQI の計算方法

3.1 使用する大気汚染物質のデータ

AQI では環境基準の定められている SO_2 , NO_2 , CO , O_x (オキシダント), 粒子状物質の5種類を対象とした。これらの物質の濃度は、現在全国の多くの自治体の測定局において常時測定されており、指標の計算に有効に使用し得る。測定局におけるこれらの物質の測定方法は SO_2 溶液導伝率法, NO_2 Saltzman 法, CO 非分散赤外線吸収法, O_x 中性ヨウ化カリウム法, 粒子状物質光散乱法 (F 値補正) である。

なお、前に述べた5物質以外の汚染物質については、現在環境基準が定められておらず、常時監視データも少ないと考えられるので本研究では前記の5物質を対象とした。測定データは SO_2 , NO_2 , CO が1時間値の日平均値 (ppm), 粒子状物質が1時間値の日平均値 (mg/m^3), O_x が1時間値の最高値 (ppm) とし、対応する環境基準 (一般環境の基準) も同一時間単位の数値 (SO_2 0.04 ppm, NO_2 0.04 ppm, CO 10 ppm, O_x 0.06 ppm, 粒子状物質 0.10 mg/m^3 , なお NO_2 の環境基準は 0.04~0.06 ppm の範囲であるがここではその下限値とした) を用いた。汚染物質濃度は、測定局においては1時間値を単位として測定されているが、濃度の経時変化は物質によって異なり、1時間値をそのまま指標計算に用いた場合には数値はかなり複雑に変動すると考えられるので指標に使用することは適切でない。PSI においても日平均値を用いており、大気環境の日常的な指標としては日平均値を基本単位とすることが適切であると考えられる。 O_x に関しては、おもに光化学反応によって生成されるためにその日最高値が重要と考えられるので1時間値の日最高値を基本単位とした。

3.2 AQI の計算手順

つぎの(4)式によって AQI を計算する。

$$\text{AQI} = \max\{y_1, \dots, y_5\} \quad (4)$$

ここで $y_1, \dots, y_5$ はつぎの(5)式から求めた各物質の subAQI である。

$$\text{sub AQI} = \frac{1 \text{ 時間値の日平均値 } (\text{O}_x \text{ のみ日最高値})}{\text{環境基準}} \times 10 \quad (5)$$

16) 熊沢安正, 中島泰知, 大気汚染研究, 第15回大気汚染全国大会号, 9, 546(1974).

17) 伊勢 淳, 鈴木泰允, 産業公害, 14, 133(1978).

18) 神奈川県, 神奈川の大気汚染, 昭和58年度(1983).

ここで係数 10 は subAQI の数値を 0~40 の範囲の整数とし、後に述べる階級化を容易にするためである。

(4)式においては各汚染物質について求めた subAQI の内の最大値を AQI と定めたが、このことから、AQI の値は各汚染物質の中より環境基準との対比において、もっとも汚染に寄与している物質を抽出し、数値化したことになり、これによって大気環境が評価し得ると考えられる。(4)式は PSI の(2)式と類似しているが(2)式の subPSI は米国の各種の環境基準を考慮した濃度-PSI 相関図から求めるのに対して、subAQI は濃度/環境基準から計算される。現在日本においては環境基準は一般環境の基準と緊急時の基準があるが、環境の実態は一般環境の基準が適用される地域が大部分であり、緊急時の基準については、濃度レベルの低い注意報あるいは警報の基準が一部地域に適用されている

Table 1 Calculated AQI in Kanagawa Prefecture from 1984・4 to 1985・3

No.	Monitoring station ^{a)}	Calculated AQI		
		n	range	mean
1.	Kawasaki city Air pollution monitoring center	268	3~35	9.8
2.	Kawasaki city Takatsu ward office	352	2~34	8.5
3.	Yokohama city Kanagawa Prefectural office	310	3~29	9.4
4.	Yokosuka city City hall	316	2~24	9.0
5.	Yokosuka city Kurihama administration center	360	2~26	8.2
6.	Miura city City hall	350	1~20	7.4
7.	Zushi city Fire station	348	2~25	8.8
8.	Kamakura city City hall	354	1~20	7.5
9.	Fujisawa city City hall	321	1~22	6.9
10.	Chigasaki city City hall	354	2~29	8.1
11.	Hiratsuka city City hall	349	2~25	7.9
12.	Odawara city City hall	319	2~30	8.3
13.	Minamiashigara city City hall	301	1~18	6.6
14.	Hatano city City hall	328	2~30	8.0
15.	Isehara city City hall	314	1~27	8.0
16.	Atsugi city City hall	340	3~20	8.2
17.	Yamato city City hall	325	2~33	8.8
18.	Zama city City hall	304	3~33	9.6
19.	Sagamihara city City hall	345	3~24	9.0
20.	Aikawa sub-ward Sub-ward hall	340	2~24	7.6
21.	Tsukui sub-ward Nakano	308	1~16	6.8

a) See Fig. 2.

状況である。したがって、指標に使用する基準としては、一般環境の基準が適当であり、3.1 においてもこれを使用した。

なお、環境基準は人体影響を考慮して定められた数値であるが、短期的影響と長期的影響の違いがあり、AQI を直接人体影響と結びつけることは困難である。しかし、濃度を環境基準で除した数値は汚染の大きさにほぼ対応しており、この数値が大きいほど、大気環境は悪化していると考えられ、AQI は大気環境の指標となる。これらの計算の過程は PSI の場合と異なっている。計算例として、SO₂, NO₂, CO, O₃, 粒子状物質のそれぞれの sub-AQI がそれぞれ 4, 11, 3, 4, 4 の場合、AQI は最大値の 11 で、後に述べる主要汚染物質は NO₂ となる。また、最大値を示す主要汚染物質が、たとえば 3 種類存在した場合に主要汚染物質は 3 種類となる。

3.3 AQI による大気環境の階級化

汚染指標は PSI に見られるように階級化することによって大気環境の評価が容易になると考えられるが、ここではつぎのように AQI を 0~40 の間で 5 段階に区分して大気環境を評価した。

Fig. 1 Evaluation of the air quality by AQI in Kanagawa Prefecture from 1984・4 to 1985・3

The number shown in the upper left denotes the station number in Table 1

N (NO₂), O (O₃), P (suspended particulate)

Fig. 2 Local distribution of frequency (d/d, %) over AQI 11 in Kanagawa Prefecture from 1984.4 to 1985.3

The number denotes the station number in Table 1

N (NO_2), O (O_x), P (suspended particulate) : main pollutant of the highest ratio

Fig. 3 Daily variation of AQI in Sagami-hara city of Kanagawa Prefecture from 1984.4 to 1985.3

N (NO_2), O (O_x), P (suspended particulate) : main pollutant

AQI	大気環境のレベル
0~5	清浄 (clean)
6~10	普通 (moderate)
11~20	汚染 1 (polluted 1)
21~30	汚染 2 (polluted 2)
31~40	汚染 3 (polluted 3)

ここで AQI 10 の値は(4), (5)式からもわかるように環境濃度が環境基準と等しい。また AQI 11 以上は環境基準を越えて汚染されていることを示しており, ここでは汚染 1~3 でランクした。また AQI 10 以下, すなわち大気環境が環境基準以下の状態を二分して清浄と普通にランクした。

3.4 主要汚染物質

PSI の手法においては PSI に対応する物質および subPSI 100 以上の物質を汚染の原因物質と定義している。このことは主要な汚染物質を正しく認識する上で重要であると考えられるので AQI においても AQI に対応する物質および subAQI 11 以上の物質が存在する場合にはそれらを含めて主要汚染物質と定めた。

4 AQI による神奈川県地域の大気環境の評価

神奈川県地域において AQI を計算し, 大気環境の評価を行った。汚染物質の測定地点は神奈川県内の 21 地点であり, その測定局名を後に述べる表 1 に, 地図上の位置を後に述べる図 2 に示した。これらの測定局は神奈川県のはほぼ全県に分散しており, これらの測定局のデータによって県内の大気環境が評価し得ると考えられる。なお, これらの測定局には道路に近く, 局地的な汚染の影響のある自動車排ガス測定局は含まれていない。測定期間は 1984 年 4 月から 1985 年 3 月までの 1 年間である。表 1 に 21 測定局における AQI の計算結果を示した。図 1 は階級別の AQI の頻度(日/日, %)を主要汚染物質とともに『汚染』の多い順に示したものである。『汚染 1~3』の頻度は都市域の測定局 No. 3 (横浜市) で 29.7%, No. 4 (横須賀市) で 29.7%, No. 1 (川崎市) で 28.7% などが多い。これらの測定局のおもな主要汚染物質は No. 3, No. 1 が NO₂, No. 4 が O₃ である。また『清浄』の頻度は山間部の測定局 No. 13 (南足柄市) で 33.9%, No. 21 (津久井町) で 30.8% などが多く, これらの測定局は O₃ が主要汚染物質となっている。このことから AQI によって県内の各地域における主要汚染物質とその汚染寄与が明らかにされ, 汚染の地域性が明確に理解される。

図 2 は AQI 11 以上の頻度(日/日, %)の地域分布を主要汚染物質とともに示したものである。また図 3 は AQI の経年変化の一例として測定局 No. 19 (相模原市) における結果を示した。図 2 では測定局 No. 1, 3, 4 などは汚染度が高く, 主要汚染物質は No. 1, 3 が NO₂, No. 4 が O₃ であり, 図 1 と同様に AQI 11 以上においても汚染の地域性が見られる。また図 3 では夏期は O₃, 冬期は NO₂ が主要な汚染物質であることがわかり, 大気環境に関する季節的な知見が得られ, これらのことから, AQI が汚染指標として有効であることが認められた。

5 PSI と AQI による大気環境の評価結果の比較

PSI と AQI を比較した場合, subPSI または subAQI の求め方, 階級化の方法および各汚染物質の測定方法などが相違してい

Fig. 4 Relation between PSI annual mean and AQI annual mean from 1984.4 to 1985.3

The number denotes the station number in Table 1

るが, 手法に類似点も見られるので, PSI と AQI の関係を年平均値によって比較した。PSI の結果は既報¹⁹⁾の数値を使用した。

図 4 に神奈川県内の各測定局における PSI 年平均値と AQI 年平均値(表 1) の関係を示した。両者の相関係数は, 測定局 No. 1, 2, 3 をのぞくと(いずれも都市域に存在し NO₂ 濃度が高く, 米国と日本の環境基準の違いの影響を受けたものと思われる), 0.680 であり, かなりのばらつきが見られる。これにより AQI と PSI の直接的な比較はかなり困難である。また, 著者らは既報¹⁹⁾において, PSI の方法に準じて神奈川県地域の大気環境を評価したが, PSI は山間部の O₃ 濃度の高い地域で高いが, 都市域の NO₂ の影響の大きい地域では低く見積もられ, PSI による方法では大気環境の実態を適切に評価し得ないことが認められた。AQI においては, 4 で示したように, このような問題点はなく, 大気環境の評価方法として, AQI の手法は有効であると考えられる。

6 結 言

大気汚染常時監視測定局における SO₂, NO₂, CO, O₃ および粒子状物質の 5 物質のデータから, 1 時間値の日平均値/環境基準(O₃ についてのみ 1 時間最高値)を計算し, それらの内の最大値を AQI と定め大気環境の評価を行なった。AQI によって大気環境を清浄, 普通, 汚染 1, 汚染 2, 汚染 3 の 5 段階に階級化し, 神奈川県地域の大気環境を評価した結果, 県内の主要汚染物質とその汚染寄与が明確になった。PSI のほか従来の評価法と比較して AQI が日常的な大気環境の評価に有効に使用し得ることが認められた。

19) 才木義夫, 片桐佳典, 大気汚染学会誌, 21, 551(1986)。

Evaluation of Air Quality by Pollution Index—A Proposal of New Index AQI and the Application to Kanagawa Prefecture—

Yoshio SAIKI* and Yoshinori KATAGIRI**

*Kanagawa Prefectural Environmental Center, Special Air Quality Department ;
Minamisaikai-cho, Saiwai-ku, Kawasaki-shi 210 Japan*

*** Kanagawa Prefectural Government, Air Quality Preservation Division ; Nihonodori
Naka-ku, Yokohama-shi 231 Japan*

A new Index AQI (Air Quality Index) is proposed for evaluation of air quality. The application to Kanagawa Prefecture is also presented. Pindex, PSI and ORAQI were already proposed in the United States as combined air pollution indexes, but they had some difficulties in application to the situations in Japan, because of differences of air quality, air quality standards and so on. In calculation of AQI, SO₂, NO₂, CO, O_x and suspended particulate were chosen as air pollutants. Sub-AQI was defined as (daily mean concentration/air quality standard)×10 for each pollutant except O_x. Sub-AQI of O_x was taken as daily maximum concentration. The largest sub-AQI was defined as AQI, and the pollutant which gave AQI was taken as a main pollutant. Pollutants of the sub-AQI of which exceeded 11 were also included in main pollutants. AQIs were divided into 5 ranks, clean, moderate, polluted 1, polluted 2 and polluted 3 for simplification of evaluation. The evaluation of AQI for the environmental air in Kanagawa Prefecture agreed well with the actual situation of air quality.

~~~~~