

大気汚染に係る環境保全目標の設定と評価

京都大学 正 塚谷 恒雄

1. はじめに

近年、大気汚染が地球規模の問題として認識されるにつれ、大気汚染の人体影響に関する知見、および環境保全目標の設定について、国際的合意を得るための作業が進行している。ここにいう「環境保全目標」には多くの概念と内容が含まれているため、これらの差異を正確に認識することがなければ、無用の混乱がおこることは避けられない。逆に言えば、「保全目標」についての現在の混乱は、概念が未整理であること、および基礎となった科学的知見の理解の不充分さにも起因していると考えられる。

(1) WHO (1964) の定義²⁾

大気汚染指標とその影響指標(原文では criteria for guides to air quality criteria)は、大気汚染の人および環境への影響の、性質と程度を測定できるようなものであり、判定条件(原文では guides to air quality)は、種々の程度の大気汚染が人、動植物および一般環境に及ぼす特異的な影響に関連した、濃度と暴露時間の組み合わせである。

(2) 香川(東海大学, 1979) の定義²⁾

Criteria (判定条件): 量・影響 ~ 反応関係に関する内外の文献を集め、分析方法、汚染源、汚染状況、動植物や人体などへの影響を項目別に分類し、なるべく暴露量の大小順に整理要約する。

Guides (指針): 集団の中の人の健康を保護するための暴露量を評価するために、criteriaの中から特に重要な特異的影響または反応を十数項目取り上げ、その影響または反応を引き起す暴露量を評価する。

Recommendations (推奨値): 集団の中の人の健康を適切に保護するための安全幅をみこんで暴露量を推奨する。guides と recommendations との間には、Safety Factor (安全係数) が介在する。

以上3つの概念は、純粋に科学的作業で、測定、生体影響などの専門家からなる Criteria 委員会の作業範囲であり、Recommendations に行政的判断の加わった factor を加味した Guidelines (指針値) や、それを政府機関が採用して法的に効力をもつ Standards (基準) は、Criteria 委員会のほかに社会経済学者・汚染防止技術研究者・行政官などの加わった委員会が行う行政的作業範囲に属する。

(3) 大気汚染基準の性格と相互関係³⁾

合理的な大気汚染基準のあり方の一つは次のようなものである。すなわち先ず、大気汚染暴露量と影響とに関する判定条件を整理し、判定条件に基づいて長期的な目標値としての環境目標基準を設定する。これに対応して、汚染物質の各排出源に係る排出目標基準および立地規制基準が設定される。次に防止技術の進展や国や地域の経済発展を勘案して、短期的な規制値としての環境規制基準が設けられ、これに対応して排出規制基準が設けられる。各汚染者は、立地規制基準と排出規制基準に関してのみ、法的拘束を受ける。

環境規制基準は、環境目標基準に到達するよう、可及的すみやかに段階的に改定される。改定の頻度と程度は、大気汚染の影響や被害の程度によって政策的に判断されるが、防止技術の開発と充実に對して incentive の役割を備えたものでなければならぬ。一方、判定条件は、大気汚染の改善や新たな問題の発生、および科学的知見の進展に応じて見なおしがなされる。これに対応して、環境目標基準、排出目標基準、および立地規制基準も改定されるが、排出規制基準改定への直接的強制力とはならない。この見なおしが適切に行われることを保証するのは、汚染と影響の集団における変化を観察する組織の確立と充実である。

2. 安全性の評価手法

判定条件は、各種の実験調査結果を評価し整理した科学的知見の要約であるが、多くの場合、人の健康や動植物に対する汚染物質の影響は、対照群 (Control) との比較において positive に叙述される。negative な結果は解釈がむずかしいために科学的知見とはなりにくい性質があり、また無影響であることは、有影響であることに比べてその証明が困難であるからである。一方、環境目標基準は、「その基準以内であれば、特定の影響に関する既存の影響検知技術水準の範囲内において、無影響であること」を必須条件として設定されなければならない。影響の顕在化によって受ける集団の被害と、それを放置することによって集団が享受する経済的利益との合理的な均衡点が未だ発見されていないからである。これが Criteria もしくは Guides と、Recommendations もしくは Standards との間に Safety Factor (安全係数) が必要であることの1つの理由である。

もう1つの理由は、科学的知見や判定条件の限局性である。すなわち人体実験であれ、疫学調査であれ、汚染物質の有害性の評価は複雑な生命現象の中から証明に適する単純実験系を抽出して行われるものであり、したがってその結果は、確率的からざるをえないばかりか、実験の対象や研究の方法に依存して得られるものである。「安全性の評価」とは、単純実験系における大気汚染の有害性と、現実の社会における大気汚染の有害性とのへたたりを判断し、大気汚染の悪影響が認められないような諸条件を求めることであるといえよう。

以下に更にわたって安全性の評価手法を略述する。

(1) 確率的からぎに対する評価

有害性の証明は、その対象が人、実験動物あるいは微生物にかかわらず、個体を単位とする有限個の集団を用いて行われる。いま大気汚染の暴露量が x のとき、影響が発生する真の反応率を p とすると、 n 個の均一な集団を用いた実験で r 個の個体が反応する確率 P_r は、2項分布 (更には超幾何分布) で示される。

$$P_r = \frac{n!}{(n-r)! r!} p^r (1-p)^{n-r}$$

n 個の対象集団のうち、すべての個体が反応しない確率は $(1-p)^n$ である。したがって明らかに、 n が相当大きくない限り、 n 個のうちに反応を呈する個体が認められないからといって、そのときの暴露量 x が無作用量であるとはいえず、また反応を呈する個体数が r 個だからといって $p = r/n$ と断定することもない。真の反応率は、 x を変化させて各段階での反応率を求め、暴露量と反応率とのあいだに適当な量・反応関係のモデルを想定することによってのみ、妥当なものを推定することができる。

量・反応関係 (Dose-response relationship) は、大気汚染に対する抵抗性に個体差があることを前提とする。抵抗力の個体差の分布を $g(x)$ とすれば、大気汚染が x のとき、集団中で $g(x)dx$ の割合の個体群が数値に耐えられなくなって反応を呈しはじめると考えられる。そのときの集団の反応率 p は $p = \int_0^x g(x)dx$ となる。量・反応関係とは、 x と p との関係をいうものであり、 $g(x)$ に想定する分布形によっていくつかのモデルがある。ゆが回の大気汚染疫学で用いられているモデルは $g(x) = \text{const.}$ としたものであり、理論的にはやや妥当性を欠くが、疫学調査の精度の裏からみれば、やむを得ないところもある。最も一般的なものとしては、 $g(x)$ に対数正規分布を想定するモデル (Log-probit model) がある。⁴⁾

いかに管理された実験においても、観測される反応率は上に述べた確率法則に支配されるため、求められる量・反応関係は推定でしかありえない。その推定例を図-1 の1実鎖線を示す。そして推定であるがゆえに、たとえば社会的に合意に達し得た最大許容反応率 P_0 があつたとしても、対応する暴露量を図-1 の X_0 のように定めた場合、現実の反応率が許容反応率 P_0 を上回る場合が確率 50% で発生する。このような事態の発生を防ぐには、暴露量 x の信頼区間を設け、その下限値 X_1 を最大許容暴露量とすることが必要である。 X_0 と X_1 との比をもって、個体差に由来する安全係数と呼ぶことができる。

なお図-1 は、大気汚染の指標として NO_2 平均濃度、影響の指標として 40~59 歳男女の持続性せきと

たん有症率を採用し、NO₂ 濃度が 0 のとき有症率も 0 となることを仮定して求めた log-probit model である。⁵⁾ いわゆる自然有症率の存在を想定し、これをこえないような暴露量を求める手法もあるが自然有症率という未知数が1個増えるため、時として図-1 の X₁ を下回ることがある。

(2) 実験調査対象に由来する評価

実験が動物を対象として行われた場合、いうまでもなく種差を考慮した安全性の評価が必要である。WHO の窒素酸化物に係るクライテリア専門会議は、NO₂ のガイドラインとして1時間単独暴露最大値を 0.10 ~ 0.17 ppm と提案している。⁶⁾ 同会議では、動物に影響が認められる短時間最低濃度 0.5 ppm に対し、NO₂ のバックグラウンド値は 0.0025 ppm であるから、安全係数は 200 以下であり、また汚染源から離れた小村でも 0.025 ppm に達することがあるので、實際上、最大の安全係数は 20 であるとされた。次いで同会議は、動物実験結果を人に適用する場合の最小の安全係数を 3~5 と提案し、公衆の健康保護のための指針値を上のようにしたのである。ただし種差による安全係数の最小値が 3~5 であるとの特段の根拠はなく、これは人体実験結果等も考慮した専門会議の総合判断の結果と解すべきであろう。

人体実験は動物実験とは異なり、種差に関する安全評価の必要がない。しかし倫理的制約などによって、大気汚染の暴露実験対象者は健康人であることが多く、二のような実験結果をもとに病人や弱者を含む人口集団の安全性評価を行うには、やはり安全係数の導入が不可欠である。図-2 は健康人集団と患者集団との反応度を比較したものである。⁷⁾ 暴露濃度は高く、かつ急性影響をみたものであるが、低濃度慢性影響に関しても同様の傾向が存在すると考えられ、弱者集団のための安全係数導入の必要性を示唆するものである。

疫学研究は広義の人体実験であるといえよう。大気汚染の疫学調査においても、実験系の安定性を確保し反応のばらつきが大きい弱者群を排除するために、対象者集団の均質化を図ることが要求される。それゆえわが国の大気汚染疫学調査は、その対象を 30 歳以上女子、40~59 歳男女、学童などの群に限定することが多い。しかし一方で、60 歳以上の人口群が呼吸器疾患に鋭敏であることを示す結果も得られ、⁸⁾ 慢性気管支炎患者群の死亡率がその他の群の死亡率に比べて年齢とともに増大していることも示されている。また呼吸器疾患、肺気腫、肺性心による死亡は、慢性気管支炎症状を呈する者の群で正常群の数倍に達することも知られている。二のように慢性気管支炎は、決して軽微な疾患ではなく、人生にとって思いがけないほど重大な疾患である。そしてその重大性は加齢とともに増大する。

以上から推察できるように、動物実験結果の安全性評価には種差に由来する安全係数が必要であり、人を対象とした実験調査結果の安全性評価にあたっては、それが乳幼児・老人・妊産婦・アレルギー素因者もしくは病人などの弱者を対象としたものではない限り、弱者集団保護のための安全係数を考慮しなければならない。しかし現

図-1・Log-probit model による量・反応関係の推定例

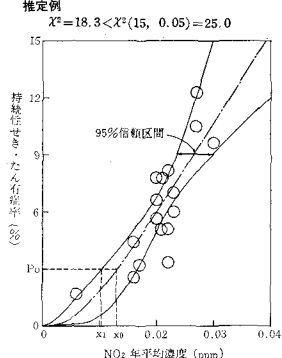


図-2a・健康人(14名)の NO₂ 暴露による気道抵抗の変化

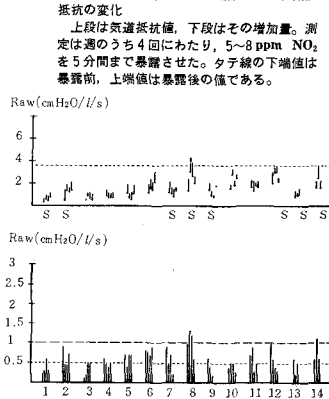
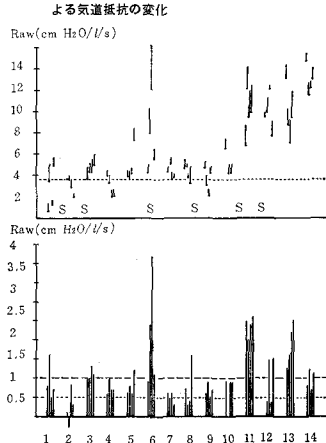


図-2b・慢性気管支炎患者(14名)の NO₂ 暴露による気道抵抗の変化



在の大気汚染医学、就中大気汚染疫学は倫理的制約などによって短期的急性影響を指標にしろか、慢性影響であれば調査手法上の制約のために正常人を対象としてしか影響評価をしておらず、弱者集団に関する知見は乏しい。知見が乏しいゆえに弱者集団保護のための安全係数は、科学研究の対象・課題としては恣意的・経験的・慣行的な性格を帯びてくる。

(3) 影響指標と検知技術に由来する評価

大気汚染、特に気体状有害物質や複合汚染物質が人体に与える障害の機序は、僅かの例外をのぞいてその多くが未解明である。これは一般の自然科学の実験とは異なって、大気汚染の人体実験には倫理的、生物学的および社会的制約があるからである。そのため人体実験は、その影響が恒常性や代償機能の範囲内にあるような短期暴露実験に限定される。また生体現象である大気汚染影響の、検知技術上の制約もあって、このような短期的かつ可逆的影響をもたらす大気汚染暴露量は、現在のところ相当に高レベルのものであり、たとえば NO_2 は 0.1 ～ 数 ppm 以上である。一方、大気汚染に関する内外の多くの疫学研究は、そのような高レベルに対してはるかに低位にある大気汚染暴露が、人口集団における慢性的呼吸器疾患多発現象の重要な一因であることを、相当程度の確信をもって結論づけている。

このように人体実験において可逆的急性影響をもたらす高レベル大気汚染暴露と、疫学研究において得られた知見である非可逆的慢性影響をもたらす比較的低レベルの大気汚染暴露との違いは、現在の大気汚染影響研究において究明しなければならぬ問題の1つといえよう。換言すれば、人体実験における、可逆的急性影響が初めて認められるのはあるレベルの高濃度短期暴露であって、それ以下のレベルでは影響を認めることができない、という知見は、単に検知技術に依存した1つの仮説にすぎないと考えられる。Hinshaw が述べるように、⁹⁾ 慢性的呼吸器疾患は、きわめて長期間でかつ比較的緩和な大気汚染暴露の蓄積効果が疑いもない原因の1つである。

以上から明らかなように、人体実験の影響指標が可逆的であっても、それによって求められた「最大無作用暴露量」を安全評価する際には、単に短時間暴露量の年平均値などによる裏面表示（短時間値の平均値換算）ではなく、影響指標と検知技術に由来する安全係数が必要である。なまの人体実験といえる疫学研究においては、影響指標として BMRC 法による慢性気管支炎有病率、「持続性せきとたん」で示される単純性慢性気管支炎有病率、罹病率、あるいは死亡率などが採用されている。このような疫学調査結果においても、弱者保護のための安全性評価とは別に、影響指標に関する安全評価が必要である。すなわち指標として重篤な影響が採用された結果については、図-1 の P_0 を低く、かつ信頼区間の信頼係数を高くとらねばならない。

3. いおう酸に物に係る環境基準

昭和44年に最初に設定され、同48年に改定された SO_2 の環境基準は、次の条件を人の健康障害防止をめやすとした最低限の条件としている。すなわち ① 病人の症状の悪化が疫学的に証明されないこと、② 死亡率の増加が証明されないこと、③ 慢性閉塞性呼吸器症状の有病率の増加が証明されないこと、④ 年少者の呼吸機能の好ましからざる反応ないし障害が疫学的に証明されないこと。

環境基準専門委員会は、以上4つは充分条件ではないことに留意した上で、長期暴露の1つの資料として非特異的反応としての「持続性せきとたん」（疫学的診断基準による）の最低有病率に対処する汚染の程度として、 SO_2 濃度年間平均値 0.04 ppm を求めた。この値に付帯して残された問題点を列挙すれば次の通りである。すなわち ① 判定条件のほとんどが疫学調査結果を基礎としたものであり、 SO_2 は対象地域集団が暴露されている大気汚染の総合指標であったこと、② 「持続性せきとたん」の最低有病率は、40歳以上の成人を対象とした疫学調査によって得られた過渡的なものであること、③ 汚染とそれによる人口集団への影響には地域差があり、ところによっては年平均濃度 0.04 ppm が保たれていても、先の「最低限4条件」に抵触する場合もあること。以上である。

このような問題点があるために、専門委員会は安全評価対策として、濃度値を年平均値から日平均値に表示換えし、日平均値 0.04 ppm をもって人の健康を保護するうえで維持されるべき SO₂ 濃度条件とし、SO₂ 1 時間値 0.1 ppm なる条件とともに委員会報告の提案とした。

すなわち、「1 時間毎に 1 時間の空気を採取して溶液導電率法により測定した場合には

- (1) 24 時間平均 1 時間値に対し 0.04 ppm
- (2) 1 時間値に対し 0.1 ppm」である。

引き続き環境庁は公害対策基本法（第 9 条）に則り、SO₂ に係る環境基準として、上の濃度条件が「年間を通じ 98 % 以上満足される」ような濃度水準を設定した。換言すれば、年間の日平均値の 98 % 値が 0.04 ppm 以下であることが、わが国の SO₂ に係る環境基準となったのである。この条件を再度年平均値に等価表示すると、全国平均では、年平均 0.02 ppm 程度になり、先の専門委員会の値（年平均値 0.04 ppm）に比べて、結果として「安全係数 2」が SO₂ 環境基準に加味されていることになる。

以上の SO₂ に係る環境基準を現時点で再吟味すると、ざしあたり以下 2 つの問題が指摘できよう。第 1 は、安全評価に関するものである。専門委員会によって判定条件として採用された SO₂ の限界濃度は、調査によって差はあるものの 0.032 ~ 0.035 ppm であって、同委員会が求めた年平均値 0.04 ppm は、これらの概数（a round number）である。よって巻間いわれている「安全係数 2」も厳密なものではない。

第 2 は SO₂ 濃度の測定手法に関するものである。近年の溶液導電率法に基づく SO₂ 連続自動測定の精度は、測定機器の性能向上（いわゆる高感度型の登場）と、保守管理技術の向上によって、現在の判定条件が求められた頃と比べて飛躍的に高くなっている。JIS B 7952-1977 およびその他の報告によれば、従来型測定機による測定値を x 、高感度型測定機のそれを y とすると、 $y = \alpha + \beta x$ なる 1 次関係があるとのことである。従来型測定機で SO₂ 濃度を測定して設定された環境基準値を、年平均値 $\bar{x}$ 、98 % 値 x_{98} とすれば、測定手法の変更による新しい環境基準値 $\bar{x}'$ および x'_{98} は、濃度の頻度分布を対数正規型として、

$$\text{平均値において} \quad \bar{x}' = \alpha + \beta \bar{x}$$

$$98 \% \text{ 値において} \quad x'_{98} = x_{98} (\alpha / \bar{x} + \beta) \exp \left\{ (\beta - 1) \sigma \left\{ y_{98} - \sigma (\beta + 1) / 2 \right\} \right\}$$

と変更しなければならぬ。 $\alpha = 0.01$ ppm, $\beta = 1$ として $\bar{x}' = 0.01$ ppm, $x'_{98} = 0.02$ ppm と、現行基準の約 1/2 なる数値が導かれる。

いくつかの大気汚染事前予測のための拡散計算において、測定手法による精度補正をせず、実測値と計算値との比較を行い所要パラメータの決定をし、予測計算を実施する例がみられる。特に未汚染地域での補正の影響は大きく、無意味な拡散計算は徒勞というべきであろう。

4. 窒素酸化物に係る環境基準

昭和 53 年 3 月、NO₂ に係る判定条件算専門委員会は、NO₂ の健康影響についての判定条件と指針値を提案した。指針は、短期暴露について 1 時間暴露として 0.1 ~ 0.2 ppm、長期暴露について年平均値として 0.02 ~ 0.03 ppm、ただし長期暴露の NO₂ は種々の汚染物質を含む大気汚染の指標汚染物質として着目するというものである。同月、中央公害対策審議会はこれを了承して答申とした。環境庁は同年 7 月、総合政策的行政判断の下に、この指針値の年平均 0.02 ~ 0.03 ppm を日平均値に等価表示し、NO₂ に係る環境基準とした。但し、測定方法の変更が同時に行われたために、厳密な等価表示ではない。

上に述べた専門委員会は、わが国の 4 つの疫学調査を解析して、複合汚染下の NO₂ 平均濃度が 0.02 ~ 0.03 ppm 以上の地域で、NO₂ と単純性慢性気管支炎（持続性せきとたん）有病率との関係が見出されたと述べている。この判定条件は、長期暴露についての指針値の重要な根拠の 1 つになっている。同委員会はこの解析にあたり、自然有病率や量・反応関係の概念は用いず、単に各調査毎の最低有病率を示す地区と差があるところの

NO₂ 濃度を求めたのであるが、しかしそれらは 0.015 ~ 0.022 ppm の範囲にあって、今のところと限值の 0.03 ppm の科学的根拠とその意味するところは不明である。東京都の委員会は¹⁰⁾ 専門委員会の判定条件は 0.02 ppm 以上では NO₂ とともに有症率も増大する傾向があると読みなおすべきであり、0.03 ppm に特段の意味はなく、0.02 ~ 0.03 ppm の範囲における各有症率には有意の増加傾向が認められると述べている。

NO₂ に係る指針値は、単独の科学的知見に基づいて求められたものではなく、各判定条件を総合判断して提案されたものである。しかしこの指針値は、先に述べた安全性の評価をする以前のものであり、各判定条件から求められた「影響が認められる」暴露条件を総合判断して得たものである。それは、特定集団（調査対象集団）の相当部分が、NO₂ もしくは NO₂ を指標とする大気汚染に対して反応を開始する暴露条件を示したものであり、特定集団における無反応暴露条件ではない。

改定された NO₂ の環境基準には、したがって安全性が評価されておらず、しかもその数値は反応率が増大をはじめる暴露条件に一致しているために、早晚再検討されるべき性格を有している。

5. おわりに

わが国では、いくつかの大規模開発地域や各種公共事業の計画・実施段階で、あるいは私企業の立地段階で、環境影響事前評価が実施される例が多い。大気汚染についても、事前予測結果が環境保全目標との関連で評価される。この環境保全目標は、目下のところ国の環境基準に一致させて設定することが多い。しかし一方で、たとえ予測値が目標値を確実に下回ったとしても大気汚染が免罪されるものではない、との理由で当該事業の進捗が止められることも多い。これは一つには、地域住民の誤解に基いたものであることもあるが、他方、事前評価を行う者の目標値に対する理解に不十分なところがあり、それが地域住民を説得しきれないがため、住民の不信任の発現である場合もある。多くの人が、目標値のもつ性格、限界値に理解を深められることを期待したい。

参考文献

- 1) WHO: Atmospheric Pollutants, WHO Technical Report Series No. 271, 1964.
- 2) 香川順: 空気調和・衛生工学, 第53巻, 第1号, 1979.
- 3) 坂谷恒雄: 労働衛生, 第34巻, 第11号, 1979.
- 4) Finney, D.J.: Probit Analysis, Cambridge University Press, 1971.
- 5) 坪田信孝: 日本公衛誌, 第27巻, 第3号, 1980.
- 6) WHO: Oxides of Nitrogen, Environmental Health Criteria 4, 1977.
- 7) Nieding, G. van: (Unpublished).
- 8) 近畿地方大気汚染調査連絡会: ばい煙害影響調査報告(五十年総括), 1969.
- 9) Hinshaw, H.C.: 呼吸器病, 原沢監訳, 広川書店, 1973.
- 10) 東京都: 東京都 NO_x 検討委員会報告書, 昭和54年3月.