

環境基準の設定に当たっての指針値に関する検討

環境基準の設定に当たっての指針値について、長期曝露及び短期曝露による健康影響に関する知見の定量的評価の作業を踏まえ、以下のとおり検討を行った。

1. 長期基準及び短期基準の必要性

中央環境審議会大気環境部会微小粒子状物質リスク評価手法専門委員会報告において示されているように、微小粒子状物質等の大気汚染物質の濃度と人口集団の健康影響指標との関連において、長期曝露では、より低濃度で慢性影響が起こり、短期曝露では、より高濃度で急性影響が起こると考えられる場合には、それぞれの健康影響について環境基準を定めることが妥当であると考えられる。

微小粒子状物質の長期曝露による健康影響については、国内外で実施された 10 年以上の観察期間を持つコホート研究において、長期曝露に伴って発現する死亡リスクの上昇や症状、機能変化等の種々の健康影響の存在が示されている。

死亡のように短期曝露と長期曝露に共通してみられる地域の人口集団への健康影響をエンドポイントとする場合には、長期曝露影響に関するコホート研究から得られる健康リスクの上昇には、長期曝露の累積による影響に短期曝露による影響が重なっているとみなすことができるが、短期曝露影響として検出できるのは、基本的に短期的な濃度変動と関連する部分が主体である。一方で、微小粒子状物質への短期的な曝露に伴って発現すると考えられる呼吸器系や循環器系に関する種々の死亡リスクの上昇や症状、機能変化の健康影響が疫学知見や毒性学知見から示されている。具体的には、短期曝露影響の知見において、濃度の増加に伴って健康リスクが上昇する傾向がみられている。したがって、公衆衛生上の観点からは、長期曝露と短期曝露の両者による影響からの地域の人口集団の健康を適切に保護すること目的とした環境基準を設定することが必要である。

一般に、地域における微小粒子状物質の長期平均濃度(年平均値等)と短期平均濃度(日平均値等)の高濃度出現頻度の間には、経験的に高い相関が観察される。すなわち、長期平均濃度又は短期平均濃度の高濃度出現頻度に関する一方の基準を定めて、一方の平均濃度をその基準以下に低減する対策を図ることにより、もう一方の平均濃度に関しても低減効果が一定程度作用し、濃度分布全体が引き下げられることが期待される。しかしながら、両者の関

連性には統計学的な誤差変動が含まれること、短期曝露と長期曝露による健康影響の発生パターンには差があると考えられること、また、微小粒子状物質濃度は、地域によっては発生源条件や気象条件等の要因によって長期平均濃度のトレンドと短期平均濃度のトレンドが異なる場合がある。図 1 に概念的な説明を示したように、曝露濃度分布全体を平均的に低減する意味での長期平均濃度に関する基準(以下、「長期基準」という。)のみを設定した場合には、長期基準以下に低減しようとする効果が高濃度領域にも及ぶ地域があるとともに、高濃度領域の低減効果が不十分な地域が残る可能性(図中赤丸箇所)がある。曝露濃度分布のうち、高濃度領域の濃度出現を減少させる意味での短期平均濃度に関する基準(以下、「短期基準」という。)を長期基準と併せて設定することによって高濃度領域の低減効果をより確実に担保することができると考えられる。長期基準と短期基準の両者を設定することによって、微小粒子状物質の長期曝露及び短期曝露に関して地域の人口集団の健康の適切な保護が図られるものと考えられる。

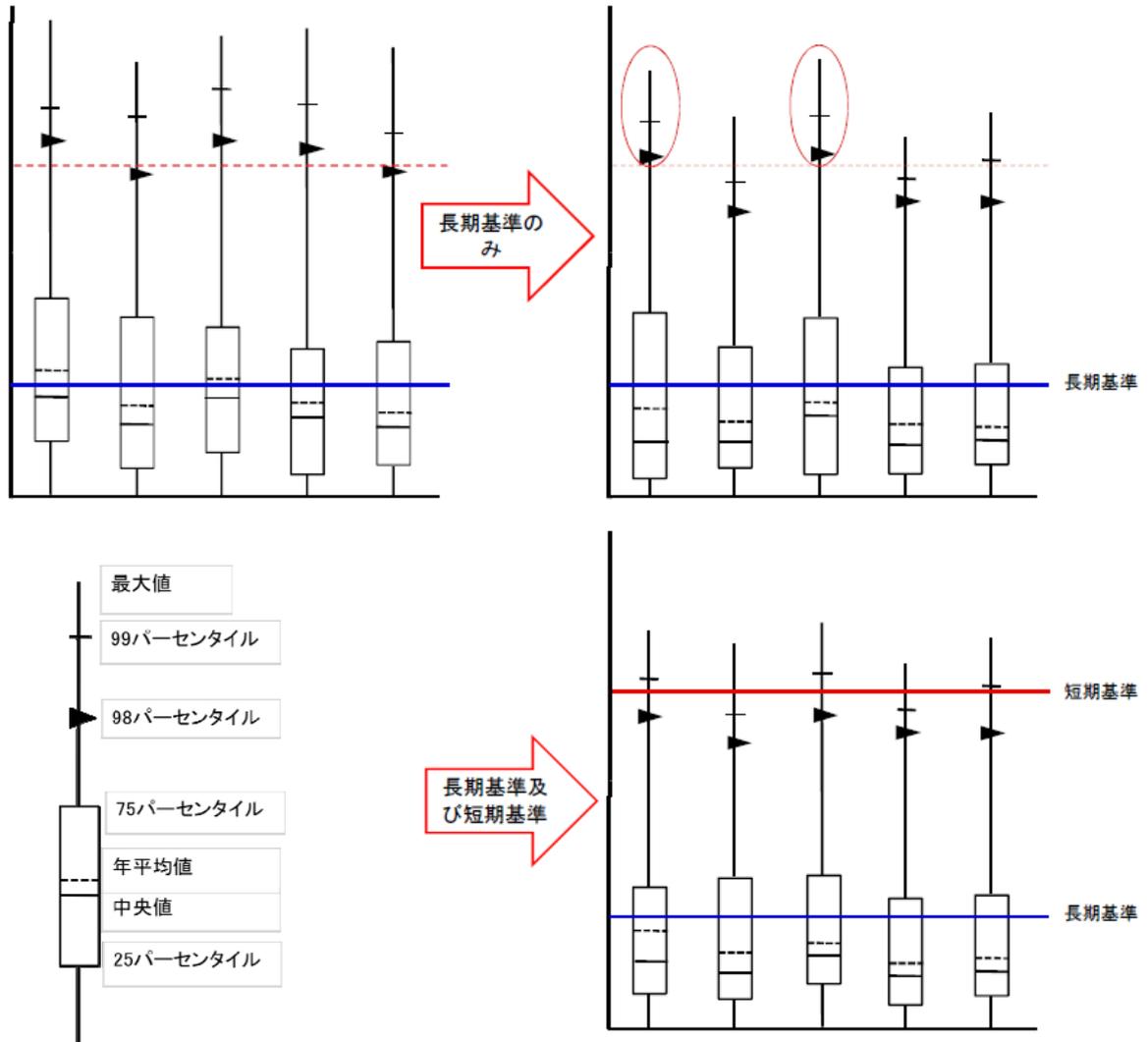


図 1. 長期基準のみの場合と長期基準と短期基準両者の場合 (箱ひげ図は各仮想地域の PM_{2.5} 濃度日平均値の分布を表す。赤点線は短期基準値に相当する水準を示す。)

2. 長期基準の考え方と知見の評価

先に述べたように、長期平均濃度と短期平均濃度の高濃度出現頻度の間には高い相関が観察されることから、長期基準は短期曝露による健康影響に関しても一定の低減効果を持つことが期待できるが、長期曝露による健康影響を低減することが第一義的な役割である。

これまで行われてきた微小粒子状物質への長期曝露影響に関する疫学研究では、数年から十数年という調査期間における曝露と健康影響との関連性が検討されてきた。どの程度の長さの曝露によって健康影響が生ずるのか、また、どの程度の期間の曝露が最も健康影響と関連するかについては明確とはなっていない。しかしながら、長期基準として年平均値を採用した場合には、1年を超える期間の累積的な曝露による健康影響についても保護することができ

ると考えられる。一方、長期基準として1年よりも長い平均化時間を採用することは、大気汚染状況の評価に時間的な遅れを生じさせることになる。また、1年よりも短い季節や数ヶ月間の曝露による健康影響に関する知見は現時点では限られており、長期基準として1年よりも短い平均化時間を採用することは困難である。したがって、長期基準としては年平均値を採用することが妥当であると考えられる。

今般、統計学的に有意な相対リスクを示す疫学知見において、対象地域の濃度の平均値又は濃度範囲の中間付近の領域は、研究対象のデータが最も集中するため、最も健康影響が確からしいと水準と考えられるが、これらの水準と併せて、濃度－反応関係の統計学的信頼区間の幅の広がりや相対リスクの上昇についても留意して、複数の知見から健康影響が確からしい濃度を見いだすための評価を行った。

なお、日米の疾病構造の相違の特徴や大気中濃度の相違の特徴に関する以下の考察から、国外の疫学知見も含めて評価することは公衆衛生の観点からも妥当と考え、評価を進めることとした。

- 循環器疾患については、国内知見と米国知見の結果が異なっている可能性が示されているが、リスクファクター及び修飾因子の分布や虚血性心疾患の罹患率の違い等の疾病構造の違いによって結果に差が生じていると解釈できる。現時点において、日本では長期曝露影響が顕在化していないものの、米国の疫学知見の結果や種々の毒性学知見の結果(心筋梗塞モデルによる不整脈誘発、自律神経機能への影響、呼吸器刺激、血管系の形態的な変化や血液性状の変化等)を踏まえれば、心疾患に関するリスクが高い者に関して、微小粒子状物質による影響を受けている可能性を否定するものではない。さらに、短期曝露と死亡に関する疫学知見では、国外知見と同じように急性心筋梗塞死亡リスク上昇がみられている。
- 肺がん死亡については、国外知見において統計学的に有意な影響がみられる知見と有意ではないが影響がみられる知見の両者があるが、いずれの場合も単位濃度あたりのハザード比の大きさは類似しており、日本における疫学知見とも一致していた。死亡以外の呼吸器系に対する影響については国内外の知見に大きな相違はみられていない。
- 日本と米国では、硫酸塩濃度等の粒子状物質中の成分にはやや違いがみられること

が報告され、硫酸塩が微小粒子状物質の健康影響に関して重要な成分である可能性を示唆する知見も存在するものの、現在の知見では特定の成分が健康影響と関連していることを示す明確な証拠はない。

まず、環境基準の設定に当たっての指針値を検討するための出発点として、「微小粒子状物質の健康影響に関する定量的評価」で示した死亡やその他の種々のエンドポイントについてPM_{2.5}への長期曝露との関連性を報告している個々の疫学研究(コホート研究等)における対象地域の平均濃度や濃度－反応関係に関する情報に基づいて、健康影響が生ずることが確からしい濃度水準を整理した。

死亡をエンドポイントとするコホート研究のうち、米国6都市研究のオリジナル研究における6都市全体の全調査期間のPM_{2.5}平均濃度は18.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (6都市の濃度範囲11.0～29.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)であった。米国6都市拡張研究の第1期では6都市全体のPM_{2.5}平均濃度(1980～1985年)は18.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (6都市の濃度範囲11.4～29.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)、第2期ではPM_{2.5}平均濃度(1990～1998年)は14.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (6都市の濃度範囲は10.2～22.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)、全調査期間のPM_{2.5}平均濃度は16.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (6都市の濃度範囲10.8～24.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)であった。ACS研究のオリジナル研究では、全体のPM_{2.5}平均濃度は18.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (各都市の濃度範囲9.0～33.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)、その再解析結果では全体のPM_{2.5}平均濃度は20.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (各都市の濃度範囲は10～38 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)であった。ACS拡張研究では、1979～1983年のPM_{2.5}平均濃度は21.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (濃度範囲9～34 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)、1999～2000年のPM_{2.5}平均濃度は14.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (濃度範囲5～20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ で)、1979～1983年と1999～2000年の期間を合わせた平均ではPM_{2.5}平均濃度は17.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (濃度範囲は7.5～30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)あった。米国6都市研究及び米国6都市拡張研究では、対象地域数が少ないために濃度－反応関係について精密な検討を行うことに制限があるが、PM_{2.5}濃度が概ね15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下の地域と比較して、20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超える地域で死亡リスクの上昇がみられているとみなすことができる。ACS拡張研究では、PM_{2.5}濃度と相対リスクの関係について平滑化された濃度－反応関係とその信頼区間が示されている。米国EPA等の健康影響評価文書では、この図に基づいて濃度－反応関数の信頼区間の幅が広がることが示されたのは、12～13 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ を下回る領域からであったとされている。

WHI研究は1994～1998年に参加者を登録して、平均約6年間の追跡を行ったコホート研究であるが、PM_{2.5}の曝露濃度の解析には2000年の年平均値を用いており、対象地域のPM_{2.5}平均濃度は13.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、濃度範囲は3.4～28.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ あった。

日本における三府県コホート研究では、調査期間 10 年(1984~1993 年)の 6 地域の SPM 平均濃度は $35.5\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、濃度範囲は $22\sim 45\mu\text{g}/\text{m}^3$ であり、 $\text{PM}_{2.5}/\text{SPM}$ の比を 0.7 として推計された $\text{PM}_{2.5}$ 平均濃度は $24.9\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、濃度範囲は $15\sim 32\mu\text{g}/\text{m}^3$ であった。調査期間 15 年(1984~1998 年)の 6 地域の SPM 平均濃度は $35.2\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、濃度範囲は $21\sim 44\mu\text{g}/\text{m}^3$ あり、 $\text{PM}_{2.5}/\text{SPM}$ の比を 0.7 として推計された $\text{PM}_{2.5}$ 平均濃度は $24.6\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、濃度範囲は $14\sim 31\mu\text{g}/\text{m}^3$ であった。三府県コホートにおいては SPM 濃度に基づいた $\text{PM}_{2.5}$ 濃度推計の誤差を約 $5\mu\text{g}/\text{m}^3$ と見積もっていることから、対象地域の $\text{PM}_{2.5}$ 平均濃度は $20\sim 30\mu\text{g}/\text{m}^3$ と考えることができる。三府県コホート研究では対象地域数が少ないために、米国 6 都市研究と同様に濃度-反応関係について精密な検討を行うことに制限があるが、 $\text{PM}_{2.5}$ 濃度が $27\sim 31\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超える地域で死亡リスクの上昇がみられているとみなすことができる。三府県コホート研究における $\text{PM}_{2.5}$ 推計濃度の誤差を考慮すれば、概ね $22\sim 36\mu\text{g}/\text{m}^3$ と考えられる。

死亡以外のエンドポイントに関する疫学研究のうち、肺機能の変化に関するカルフォルニア子供研究からいくつかの報告があり、対象 12 地域の 1994 年の $\text{PM}_{2.5}$ 平均濃度は $15.3\mu\text{g}/\text{m}^3$ (濃度範囲 $6.7\sim 31.5\mu\text{g}/\text{m}^3$)、1996~1999 年の $\text{PM}_{2.5}$ 平均濃度は $13.8\mu\text{g}/\text{m}^3$ (濃度範囲 $5.5\sim 28.5\mu\text{g}/\text{m}^3$)、1994~2000 年の $\text{PM}_{2.5}$ 平均濃度は $13.8\mu\text{g}/\text{m}^3$ (濃度範囲 $5.6\sim 28.5\mu\text{g}/\text{m}^3$) であった。

呼吸器症状に関する米国 6 都市研究において、子供の呼吸器症状との関連性に関する報告では、対象地域の $\text{PM}_{2.5}$ の調査前 1 年平均値(1980~1981 年)は $21.1\mu\text{g}/\text{m}^3$ (濃度範囲は $11.8\sim 36.7\mu\text{g}/\text{m}^3$) であった。呼吸器症状に関する米国・カナダ 24 都市研究では 1988~1991 年の $\text{PM}_{2.1}$ 平均濃度は $14.5\mu\text{g}/\text{m}^3$ (濃度範囲 $5.8\sim 20.7\mu\text{g}/\text{m}^3$) であった。

我が国における呼吸器症状に関する微小粒子状物質曝露影響調査の全国 7 地域の $\text{PM}_{2.5}$ 濃度は、ベースライン調査時で平均濃度 $25.2\mu\text{g}/\text{m}^3$ (濃度範囲 $19.2\sim 28.4\mu\text{g}/\text{m}^3$) であった。

次に、上述した疫学知見から抽出された指針値の目安となる濃度水準について検討を加えた。

$\text{PM}_{2.5}$ への長期曝露との関連性を報告している死亡に関するコホート研究や死亡以外の呼吸器系への影響に関する横断研究における対象地域の濃度範囲のうち、 $\text{PM}_{2.5}$ 濃度が $20\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以上の範囲については、国内外の多くの疫学知見において対象地域の濃度範囲の平均を超える水準であり、濃度-反応関係に関する検討においても健康影響が生じることが確からしいとされる濃度水準とみなせる。

PM_{2.5} への長期曝露との関連性を報告しているコホート研究の中で、対象地域の PM_{2.5} 平均濃度が 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ を下回っているものに WHI 研究があるが、この研究の対象集団における心血管疾患死亡率は日本における一般集団とは大きく異なっており、リスクファクターの分布も異なっている。また、曝露濃度として 2000 年の PM_{2.5} 濃度のみを用いていることから、曝露濃度に関する不確実性が大きいと考えられる。

ACS 拡張研究では、PM_{2.5} 濃度と相対リスクの関係について平滑化された濃度－反応関係とその信頼区間が示されており、米国 EPA 等の健康影響評価文書では、濃度－反応関数の信頼区間の幅が広がることが示されたのは、12～13 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ を下回る領域からであったとされている。しかしながら、低濃度領域における信頼区間の幅の広がり、低濃度領域における対象地域数にも依存するものであり、濃度－反応関係の統計学的信頼性のみを反映するものではない。

カリフォルニア子供研究では、対象 12 地域の全体的な傾向として、PM_{2.5} 濃度と肺機能の成長の遅延に関連がみられているが、平均濃度が 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ を下回る複数の地域と、平均濃度が 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 付近の地域において肺機能の成長に差があると結論づけることは困難である。

15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ を下回る濃度領域に関するその他の疫学知見は非常に限られており、ここで示した疫学知見における濃度－反応関係に関する不確実性も大きいと考えられ、現時点では健康影響が生じることが確からしいとされる濃度水準と見なすことはできない。

国外知見において、死亡以外の呼吸器症状や肺機能変化等のエンドポイントの健康影響に関して関連を報告している知見の平均濃度は、概ね年平均値 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超えており、死亡をエンドポイントとする知見と概ね同じ濃度領域において健康影響を示していた。疫学研究においては、死亡より重篤度の低い呼吸器症状や肺機能変化等の健康影響が、常に死亡のような重度の健康影響より早期に、又は低濃度で検出できるとは限らない。これはエンドポイントを評価する手法の精度等にも関連することである。今回の評価では、死亡をエンドポイントとして見いだされた健康影響が生じることが確からしい濃度水準よりも低い濃度で、死亡以外の健康影響が生じている確かな知見はなかった。

国内知見については、国外知見と比較して限られた情報であるが、死亡及び死亡以外のエンドポイントのいずれにおいても推計誤差も含めて 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超える濃度水準で影響がみられ、20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下の濃度領域において、現時点では健康影響がみられていない。しかしながら、PM_{2.5} への曝露による健康影響に関して、人種差や微小粒子状物質の成分の違いによって影響が異なることは明らかでないことから、平均濃度 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下の濃度領域において健康影

響を示している国外知見も含めて評価することは妥当と考える。

3. 短期基準の考え方と知見の評価

微小粒子状物質への高濃度の短期曝露に伴って発現すると考えられる呼吸器系や循環器系における種々の症状や機能変化をはじめとするさまざまな健康影響が示されている。短期基準は、これら健康影響からの保護が第一の役割と考えられる。そのため、長期平均濃度と短期平均濃度の高濃度出現頻度に関する統計学的な関連性を考慮したうえで、長期基準のみでは十分に低減することが困難である短期的な高濃度曝露による健康影響を防止する観点で、短期基準を設定することが考えられる。

多くの微小粒子状物質への短期曝露の疫学研究では日平均値、若しくは数日平均に基づいた関連性が報告されている。24時間よりも短い1時間から数時間の曝露による影響を報告している疫学研究も存在するが、これらの知見は限定的であり、かつ、日平均値基準によっても、それより短い平均化時間の曝露による健康影響からも一定程度保護できると考えられる。さらに、数日間持続するエピソードによる健康影響についても、日平均値基準によって保護することが可能である。したがって、短期基準として日平均値の高濃度出現頻度を採用することが妥当であると考えられる。

日本の20都市研究の結果において、98パーセンタイルを超える濃度領域でリスクがより大きく上昇している傾向がみられる等、長期基準のみでは十分に制御することが困難な高濃度出現時において健康リスクが上昇することが考えられる。その一方、統計学的な安定性をみると、年平均値と98パーセンタイルを超える濃度領域との関係は不安定となる。全国の大気測定局におけるPM_{2.5}濃度の解析結果によると、日平均値の年間98パーセンタイル値(以下、「98パーセンタイル値」という。)と年平均値との関連性については、全ての年度で決定係数が0.8以上となり、パーセンタイルが小さくなるに従って関係が安定してくる。環境基準の評価において、地域における大気汚染に対する施策の効果等を的確に判断することが求められることから、統計学的な安定性の観点は重要である。したがって、これらの健康リスクの上昇や統計学的な安定性を踏まえれば、短期基準は98パーセンタイルの高濃度領域を制御することを目的に設定することが適切であると考えられる。すなわち、長期基準(年平均値)を設定することによって濃度分布の大部分の濃度を低減するとともに、健康リスクの上昇のみられる高濃度領域の濃度を低減するために98パーセンタイル値を目安として短期基準を設定することによって、長期及び短期曝露による健康影響をそれぞれ適切に防止することができると考えられる。

その観点から、まず短期曝露影響に関する健康影響がみられる疫学知見において 98 パーセンタイル値を算出した。次に年平均値の指針値に対応する 98 パーセンタイル値を算出し、その 98 パーセンタイル値を下回る濃度領域で健康影響がみられるか検証することによって、日平均値の指針値を定めることが考えられる。

米国の PM_{2.5} の日平均値の基準値は、PM_{2.5} への短期曝露影響に関する疫学知見を検討し、有意な関係を報告した疫学研究では、98 パーセンタイル値が約 39 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ を上回る研究が多数を占め、30~35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ の範囲内では有意な関係を示す疫学知見は少数で、この濃度範囲を下回る水準における研究は極めて限られていることから、24 時間基準値を 35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ としている。

その後の知見も含めて、同様の評価を行うと、日死亡及びその他のエンドポイントと PM_{2.5} への短期曝露に関して有意な関連を示した国外の複数都市研究において、各都市の年平均値は概ね 13~20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ の範囲であり、対応する 98 パーセンタイル値は 39 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超えていた。日死亡について有意な関係を示す単一都市研究における 98 パーセンタイル値は 32~59 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ の範囲であった。死亡以外のエンドポイントについて、有意な関係を示す単一都市研究における 98 パーセンタイル値は 47~69 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ の範囲であった。

日本における日死亡に関する疫学知見においても、各対象地域の調査期間中の 98 パーセンタイル値は 31~55 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ であった。また、地域別にみた場合に、統計学的に有意な日死亡リスクの上昇を示した地域の調査期間中の 98 パーセンタイル値は概ね 44~47 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ であった。多くの地域で、これらの濃度を超える領域において死亡リスクの上昇が示されていた。また、肺機能に関する研究において、ピークフロー値の有意な低下を示した地域の 98 パーセンタイル値はこれらの濃度を超える水準であった。毒性学知見において、低濃度領域においても呼吸器系及び循環器系への影響に関する曝露量-効果関係を示す結果から、これらの濃度を超える領域において各種指標の影響がみられていた。

年平均値と 98 パーセンタイル値との統計学的な関連性は地域によって異なり、米国における両者の関係が日本においても保たれているという保証はない。また、両者の関係は経年的にも変動する等、発生源やエピソード的な高濃度出現の影響を受けていることも考えられることから、年平均値の指針値に対応する 98 パーセンタイル値の算出にあたっては、日本の大気環境を反映することが妥当である。具体的には、気象等の要因による年毎の変動やその他の誤差

要因も考慮して、これまで日本国内の各地で実測されてきた PM_{2.5} 濃度に関する測定値をすべて用いて算出された回帰式に基づいて、統計学的な信頼区間も考慮することによって、最も安定した 98 パーセンタイル値を見いだすことができると考えられる。

2001～2008 年までの国内の PM_{2.5} 濃度測定値に基づく年平均値 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ に対応する 98 パーセンタイル値は、年平均値の測定誤差及び回帰式の 95%信頼区間も考慮すると 35～38 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ であった。また、個々の 98 パーセンタイル値の 95%信頼区間で推定すると、年平均値 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ に対応する 98 パーセンタイル値は 28～44 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ となっており、相当程度の変動があることが示されている。このことは、長期基準のみの設定では 98 パーセンタイル値が高濃度領域に広がる状況があり得ることを示している。

4. 長期基準および短期基準の指針値

4.1. 主要な観点

以上に示した死亡及び死亡以外の呼吸器症状や肺機能など種々のエンドポイントの健康影響に関する国内外の疫学知見から抽出した、健康影響が生ずることが確からしいとされる濃度水準を出発点として、以下に示したいくつかの観点から評価を行った。

- PM_{2.5} の健康影響については閾値の有無を明らかにすることができない状況であり、そのため多くの疫学研究の対象地域における濃度範囲の下限付近やそれを下回る濃度領域における健康リスクの大きさは、一般人口集団及び高感受性集団を含めて不明確である。
- 我が国の人為起源由来粒子の影響が少ないと考えられる地域の PM_{2.5} 濃度測定結果では、年平均 6～12 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ であり、この濃度領域においても閾値の有無は明らかではないことからいくらかの健康リスクが存在する可能性は否定できないが、その健康リスクの存在を明確にすることはできない。この点に関して、不明確なリスクを完全に除去するのではなく、現在、疫学知見において存在することが示唆される健康リスクを低減する観点から指針値を導くことが適切である。
- 疫学研究における濃度範囲全域をみた場合に、PM_{2.5} への長期曝露による死亡及び死亡以外のエンドポイントに関するリスク上昇は相対リスク(10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 上昇当たり)としてほとんどが 1.5 以下であり、多くは 1.1～1.4 程度であった。
- PM_{2.5} への短期曝露による死亡及び死亡以外のエンドポイントに関するリスク上昇は 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 上昇当たり数パーセント程度であった。
- この相対リスクは他の曝露要因・リスク要因と比較して必ずしも大きくはなく、集団を構成す

る個人の個別的な因果関係を推測できるものではないが、公衆衛生の観点から低減すべき健康リスクを示すものである。大気汚染による曝露は、人の嗜好や生活パターンによらず全ての者に健康影響を及ぼしうるものであって、避けることが困難である。

- 指針値の検討において、その根拠となる疫学研究で示されている微小粒子状物質の健康影響に関しては、想定されるメカニズムに関連する毒性学研究やその他の多くの疫学知見によって支持されるものであり、近年それらの知見は更に充実している。定量的評価の対象となりうる疫学知見は必ずしも多くはないが、それを支持する多くの毒性学知見と疫学知見が存在する。
- 循環器疾患への影響に関しては、国内知見では関連が必ずしも明確ではない等日米の疫学研究の結果が異なる可能性も示されている。この相違については、日本と米国のリスクファクター及び修飾因子の分布や疾病構造の違いによって結果に差が生じていると解釈できるが、将来の日本の疾病構造やリスクファクターが米国に近づく可能性もあることから、健康リスクの大きさは異なるものの、国内外の疫学知見や種々の毒性学知見を踏まえ、国内でも影響が生じる可能性がある。
- 大気汚染の人及び人口集団の健康への影響は各種の段階の健康影響として観察されうるが、大気汚染物質と健康影響は両者とも多様性があり、その関係は複雑である。微小粒子状物質は多様な成分により構成されており、ガス状物質を含む環境大気中の挙動の複雑さがこれに加わるために、微小粒子状物質と共存汚染物質による影響とを明確に分離することが困難な場合が多い。一方で、微小粒子状物質は単独でも健康影響を示す知見は存在することから、微小粒子状物質の対策によって健康リスクを低減させる効果をもたらすことも期待される。
- コホート研究における曝露評価においては、調査観察期間のうちどの期間を曝露期間とするかによっても、濃度－反応関係に関わる検討結果が変わりうる。しかしながら、現時点では、どの期間が最も健康影響と関係するかについて明らかとなっていない。
- 微小粒子状物質の濃度には測定誤差や推計誤差が含まれる。また、疫学研究の対象集団の曝露量には大気中濃度の空間分布や種々の曝露量を規定する要因に関わる変動が加わる。

4.2. 長期基準の指針値

国内の死亡に関するコホート研究からは、PM_{2.5}濃度推計誤差も考慮して、20µg/m³を死亡

リスクが上昇することが確からしい濃度水準とみなせる。

国外、特に米国における死亡に関するコホート研究からは、 $15\sim 20\mu\text{g}/\text{m}^3$ の濃度範囲が長期曝露により死亡リスクが上昇することが確からしい濃度水準の下限領域であるとみなせる。

国内の死亡以外の疫学研究からは概ね $25\mu\text{g}/\text{m}^3$ を健康影響が生ずることが確からしい濃度水準であると考えられる。

国外の死亡以外の疫学研究からは概ね $15\mu\text{g}/\text{m}^3$ を健康影響が生ずることが確からしい濃度水準であると考えられる。

コホート研究においては、調査観察期間のうちどの期間を曝露期間とするかによっても、濃度－反応関係に関わる検討結果が変わりうる。各コホート研究で示されている濃度の経年変化傾向等から推測すると、観察期間中の最も濃度が高い期間と最も濃度が低い期間の平均濃度を比較すると、曝露期間選択の違いによって $\text{PM}_{2.5}$ 濃度としておよそ $2\sim 3\mu\text{g}/\text{m}^3$ の変動幅を考慮する必要がある。

指針値の導出については、国内知見を出発点とすると、 $20\mu\text{g}/\text{m}^3$ である。一方、知見が充実している国外知見から見いだされる健康影響が生ずることが確からしい濃度水準は $15\mu\text{g}/\text{m}^3$ である。

我が国における微小粒子状物質の健康リスクは $20\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下ではみられず、循環器疾患への健康リスクの状況は米国とは異なっているものの、微小粒子状物質の健康影響に関しては、人種差や微小粒子状物質の成分の差によって健康影響が異なることは明らかでないこと想定されるメカニズムに関連する多くの毒性学知見や疫学知見によって支持されるものであり、その確からしさは新たな知見により年々増していることを踏まえれば、国外知見から見いだされる健康影響が生ずることが確からしい濃度水準 $15\mu\text{g}/\text{m}^3$ を考慮すべきである。そのうえで、主要な観点として前述した内容と疫学知見から抽出した健康影響が生ずることが確からしい濃度水準を総合的に評価した結果、長期基準として年平均値 $15\mu\text{g}/\text{m}^3$ が最も妥当であると判断した。

この濃度水準は、さまざまな重篤度の健康影響に関して、現時点では我が国における人口集団の健康の保護のために維持されることが望ましい水準であると考えられる。

4.3. 短期基準の指針値

短期曝露による健康影響がみられた国内外の複数都市研究から導かれた 98 パーセンタイ

ル値は $39\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超えると考えられた。

日死亡、入院・受診、呼吸器症状や肺機能などに関して、有意な関係を示す単一都市研究における 98 パーセンタイル値の下限は $30\sim 35\mu\text{g}/\text{m}^3$ の範囲と考えられた。

健康影響がみられた疫学研究における 98 パーセンタイル値は、年平均値 $15\mu\text{g}/\text{m}^3$ に対応する国内の $\text{PM}_{2.5}$ 測定値に基づく 98 パーセンタイル値の推定範囲に含まれていた。

以上のことから、長期基準の指針値である年平均値 $15\mu\text{g}/\text{m}^3$ と併せて、日平均値 $35\mu\text{g}/\text{m}^3$ を短期基準の指針値とすることが最も妥当であると判断した。

$\text{PM}_{2.5}$ への短期曝露による死亡、並びに死亡以外の種々のエンドポイントとの有意な関連性を報告している疫学研究の対象地域における年平均値の水準からみれば、年平均値 $15\mu\text{g}/\text{m}^3$ を長期基準とした場合には、濃度分布が平均的に引き下げられることによって短期的な濃度変動幅が低減し、短期曝露影響についても一定程度の健康保護の効果が期待できる。このことにより、微小粒子状物質の長期曝露影響及び短期曝露影響に関して十分な健康の保護が図られるものと考えられる。