

5. 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、次のとおり検討を行った。

5.1. 長期基準及び短期基準の必要性

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。

微小粒子状物質については、長期曝露による健康影響と短期曝露による健康影響の両者が示されている。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循環器疾患や呼吸器疾患の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。短期曝露による健康影響についても、同様に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健康影響が疫学知見や毒性学知見から示されている。

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みられる。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、発生源、地理的条件及び気象条件等の違いにより、同じ長期平均濃度でも、短期平均濃度の変動が少ない地域や大きい地域がある。図5.1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、変動が大きい地域では高濃度出現時に健康への悪影響が観察される可能性がある(図の点線囲み部分)ので、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、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する。

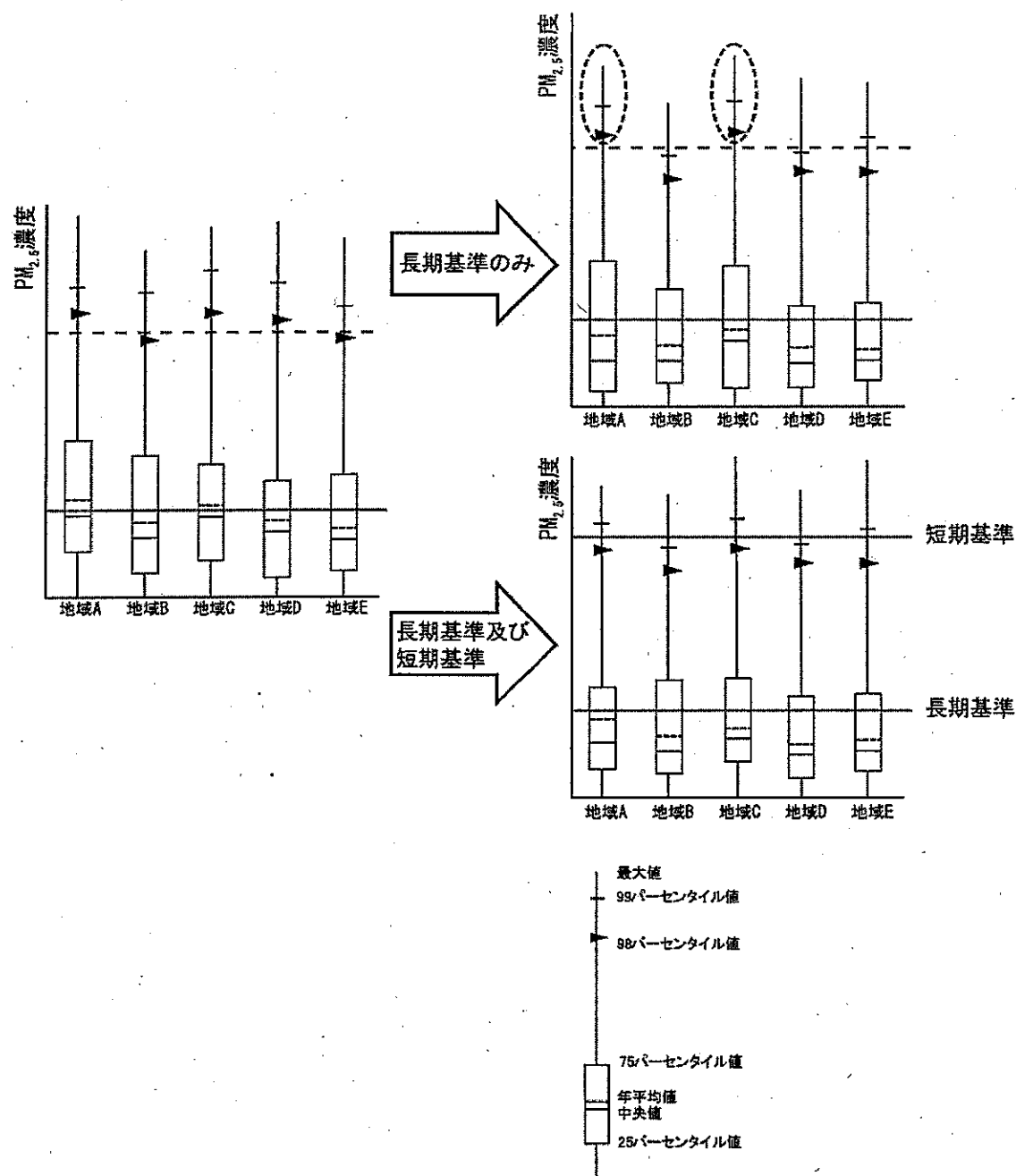


図 5.1. 長期基準のみの場合と長期基準と短期基準両者の場合の濃度分布概念図 (箱ひげ図は各仮想地域の微小粒子状物質濃度日平均値の分布を表す。点線は短期基準値に相当する水準を示す。)

5.2. 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どのような性質の健康影響が生ずるのか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央値付近の領域は、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、複数の知見において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、日米の疾病のリスクファクター分布等の相違の特徴や大気中濃度の相違の特徴に関する次の考察から、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、国内知見と国外知見の結果が異なっている可能性が示されているが、リスクファクターの分布、虚血性心疾患が全死因の中に占める割合及び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、国内では長期曝露影響が明確ではないものの、国外の疫学知見の結果や種々の毒性学知見の結果(循環器系や呼吸器系等の機能的、生化学的、形態学的な変化等)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国内でも急性心筋梗塞による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当たりのハザード比の大きさは国内の疫学知見の結果と類似していた。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、「4. 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、健康影響が観察される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 $18.0 \mu g/m^3$ (6都市の濃度範囲 $11.0 \sim 29.6 \mu g/m^3$) 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 $18.1 \mu g/m^3$ (6都市の濃度範囲 $11.4 \sim 29.0 \mu g/m^3$)、第2期では $PM_{2.5}$ 平均濃度(1990～1998年)は $14.8 \mu g/m^3$ (6都市の濃度範囲 $10.2 \sim 22.0 \mu g/m^3$)、全調査期間の $PM_{2.5}$ 平均濃度は $16.2 \mu g/m^3$ (6都市の濃度範囲 $10.8 \sim 24.6 \mu g/m^3$) 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 $18.2 \mu g/m^3$ (各都市の濃度範囲 $9.0 \sim 33.5 \mu g/m^3$)、その再解析結果では全体の $PM_{2.5}$ 平均濃度は $20.0 \mu g/m^3$ (各都市の濃度範囲 $10 \sim 38 \mu g/m^3$) であった。ACS拡張研究では、1979～1983年の $PM_{2.5}$ 平均濃度は $21.1 \mu g/m^3$ (濃度範囲 $9 \sim 34 \mu g/m^3$)、1999～2000年の $PM_{2.5}$ 平均濃度は $14.0 \mu g/m^3$ (濃度範囲 $5 \sim 20 \mu g/m^3$)、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 $17.7 \mu g/m^3$ (濃度範囲 $7.5 \sim 30 \mu g/m^3$) であった。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、 $PM_{2.5}$ 濃度がおおむね $15 \mu g/m^3$ 以下の地域と比較して、 $20 \mu g/m^3$ 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(U.S.EPA, 2005; WHO, 2006)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、 $12 \sim 13 \mu g/m^3$ 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 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ であった。

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 22～45 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)であり、PM_{2.5}/SPM の比を 0.7 として推計された PM_{2.5} 平均濃度は 24.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (濃度範囲 15～32 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)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 21～44 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)であり、PM_{2.5}/SPM の比を 0.7 として推計された PM_{2.5} 平均濃度は 24.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (濃度範囲 14～31 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)であった。三府県コホート研究においては SPM 濃度に基づいた 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 PM_{2.5} 平均濃度は 20～30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 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、PM_{2.5} 濃度が 27～31 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 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 PM_{2.5} 推計濃度の誤差を考慮すれば、おおむね 22～36 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 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リ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 PM_{2.5} 平均濃度は 15.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (濃度範囲 6.7～31.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)、1996～1999 年の PM_{2.5} 平均濃度は 13.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (濃度範囲 5.5～28.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)、1994～2000 年の PM_{2.5} 平均濃度は 13.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (濃度範囲 5.6～28.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)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 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 11.8～36.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)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 PM_{2.5} 平均濃度は 14.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (濃度範囲 5.8～20.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)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 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 19.2～28.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)であった。

次に、上述した疫学知見から抽出された濃度水準について検討を加えた。

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、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観察される濃度水準である。

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、 $12\sim 13 \mu\text{g}/\text{m}^3$ を下回る領域からであったとされている。しかしながら、この濃度領域における信頼区間の幅の広がり、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も非常に限られており、現時点では健康影響が観察される濃度水準とみ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、おおむね年平均値 $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ を超えており、死亡をエンドポイントとする知見とおおむね同じ濃度領域において健康影響が観察されていた。疫学研究においては、呼吸器症状や肺機能変化等の健康影響が、常に死亡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観察される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 $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 以上の濃度水準で影響がみられ、 $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ を下回る濃度領域において、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。

5.3. 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死亡、入院・受診及び機能・症状の変化等様々な健康影響が示されている。短期基準は、これらの健康への影響の防止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、気象条件等により数日間高い濃度が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低減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、98 パーセンタイル値と年平均値との関連性については、すべ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したがって関係が安定してくる(参考1)。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の濃度出現を低減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、この 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。

これらの知見のみならず最近の国内外の知見も含めて、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おおむね 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おおむね 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－影響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当たっては、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ごと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 $\text{PM}_{2.5}$ 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 $\text{PM}_{2.5}$ 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 $35\sim 38 \mu\text{g}/\text{m}^3$ であった(参考1)。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 $28\sim 44 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 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。

5.4. 長期基準及び短期基準の指針値

5.4.1. 主要な観点

次に、長期基準及び短期基準の指針値を導出するに当たっての主要な観点を示した。

- $\text{PM}_{2.5}$ 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、一般人口集団及び感受性の高い者・脆弱性を有する者を含む集団においても明確ではない。
- 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 $\text{PM}_{2.5}$ 濃度測定結果は、年平均 $6\sim 12 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 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、現時点までの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、 $\text{PM}_{2.5}$ 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。
- また、 $\text{PM}_{2.5}$ 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超過リスク ($10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 上昇当たり) として、多くが数パーセントである。
- この相対リスクは他の曝露要因・リスクファクター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すべ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。

- 公衆衛生の観点からは、大気汚染物質の影響に対してより敏感であり、また、より大きな健康リスクを生じうると考えられる感受性の高い者や脆弱性を有する者の健康影響にも慎重に配慮することが必要である。
- 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ものと解釈できる。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ること、将来の日本の疾病構造やリスクファクターの分布が米国に近づく可能性もあることから、現時点で発現している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、国内でも同様の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。微小粒子状物質と共存大気汚染物質の濃度は相関する場合があるために、疫学知見において両者の影響を明確に分離することが困難な場合が多い。一方で、微小粒子状物質と共存大気汚染物質の影響を区別できる知見が存在する。これらの点について、微小粒子状物質濃度を低減することによって微小粒子状物質の健康リスクが低減するだけでなく、微小粒子状物質の原因物質である共存大気汚染物質の濃度の低減も期待できることから、これらの大気汚染物質の健康リスクを低減させる効果をもたらすことが期待される。
- 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、どの期間の曝露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。また、長期曝露に関する国内外の疫学調査に関する多くの対象地域において、微小粒子状物質を含めた大気汚染物質濃度が低下傾向にある。このことが、長期曝露による健康影響が観

察される濃度の評価を更に不確かにする。

- 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環境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。

なお、長期基準及び短期基準の指針値における微小粒子状物質とは、第1章における検討を踏まえてPM_{2.5}のことをいう。

5.4.2. 長期基準の指針値

長期基準の知見の評価に基づき、国内外の長期曝露研究から一定の信頼性を持って健康リスクの上昇を検出することが可能となる濃度を、健康影響が観察される濃度水準として、次に示すように整理した。

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、20 µg/m³を健康影響が観察される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、15～20 µg/m³の濃度範囲を超える領域では健康影響が観察される。

国内の死亡以外の疫学研究からは25 µg/m³を健康影響が観察される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15 µg/m³を健康影響が観察される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の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の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PM_{2.5}濃度としておおむね2～3 µg/m³の変動幅を考慮する必要がある。

我が国における微小粒子状物質の健康影響が観察されるとみなせる濃度水準は20 µg/m³であり、現時点では循環器疾患に対する健康リスクの状況は米国とは異なっているものの、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はない。また、微小粒子状物質の健康影響は、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、その知見の質や量から科学的信頼性は年々増している。したがって、国内知見を重視して考えると指針値を検討するための出発点となる濃度は $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ であるが、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観察される濃度水準は $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ であり、この濃度水準にも考慮すべきである。

その上で、主要な観点として前述した内容と健康影響が観察される濃度水準に加えて疫学知見に特有な不確実性が存在することにも考慮して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。

5.4.3. 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。

5.4.4. 指針値の提案

本専門委員会は、現時点で収集可能な国内外の科学的知見から総合的に判断し、地域の人口集団の健康を適切に保護することを考慮して微小粒子状物質に係る環境基準設定に当たっての指針値としての環境濃度を次のように提案する。

長期基準の指針値 年平均値 $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下

短期基準の指針値 日平均値 $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下

長期基準及び短期基準の指針値としての環境濃度は、様々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。

5.5. 参考文献

- U.S.EPA. (2005) Review of the National Ambient Air Quality Standards for Particulate Matter: Policy Assessment of Scientific and Technical Information. EPA-452/R-05-005a
- WHO. (2006) Air Quality Guidelines, Global update 2005 World Health Organization Regional Office for Europe. Copenhagen.
- 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. (2008) 微小粒子状物質の定量的リスク評価手法について.

6. 環境基準達成状況の評価

6.1. 環境基準達成状況の評価

大気環境測定濃度と環境基準を比較して、測定濃度が環境基準を達成したか評価するための手法には、①大気汚染物質の短期的変動に着目して評価をする短期的評価の手法、②大気汚染物質の長期間にわたる濃度分布に対する評価を実施する長期的評価の手法がある。

短期的評価をするための手法として、測定を行った日の1時間値の1日平均値若しくは1時間値(一酸化炭素(CO)は8時間平均値)について、環境基準値(1時間値又は1日平均値)と比較して評価する場合がある。長期的評価をするための手法として、測定を行った日の1時間値の1日平均値のうち年間2%除外値や98パーセンタイル値の日平均値の代表値と比較して評価する場合と1年平均値で評価する場合がある。

今般、微小粒子状物質、すなわちPM_{2.5}の環境基準の設定に当たって、PM_{2.5}の長期基準や短期基準の考え方を踏まえ、PM_{2.5}の大気環境濃度が環境基準を達成したかを評価するための手法の検討を行った。

また、黄砂時等の特異的現象によって、PM_{2.5}濃度の一時的な上昇をもたらすことが考えられることから、黄砂時等の特異的現象による評価への考慮について検討を行った。

6.2. 微小粒子状物質に係る環境基準達成状況の評価

PM_{2.5}の環境基準について、微小粒子状物質の曝露から人の健康の保護を図る観点から、曝露濃度分布全体を平均的に低減する意味での長期基準と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基準の両者を定めることとされており、長期基準及び短期基準に関する平均化時間に対応した環境基準達成状況の評価が必要である。

長期基準に関する平均化時間に対応した環境基準の評価方法としては、測定結果の年平均値と長期基準を比較することが妥当である。

短期基準に関する平均化時間に対応した環境基準の評価方法としては、短期基準が健康リスクの上昇や統計学的な安定性を考慮して98パーセンタイル値を超える高濃度領域の濃度出現を減少させるために設定されることを踏まえれば、長期的評価として測定結果の98パーセンタイル値を日平均値の代表値として選択し、短期基準と比較することが妥当である。

なお、長期的評価に関する評価方法は、長期基準と短期基準による評価が存在することと

なるが、測定結果(年平均値及び 98 パーセンタイル値)について、それぞれ長期基準及び短期基準と比較することを基本に、それぞれの基準に関する環境大気測定局の達成若しくは非達成を評価することが適切である。

6.3. 黄砂時等の特異的現象に関する評価への考慮

黄砂については、その粒子の中に PM_{2.5} も含み、黄砂期間中は PM_{2.5} 濃度に上昇がみられる日も存在している(参考 2)。黄砂発生頻度や黄砂の程度が年によって変動するため、年平均値と 98 パーセンタイル値との統計学的安定性が低下する。SPM の環境基準の評価においても黄砂発生頻度や黄砂の規模によって基準の達成に影響がみられ、PM_{2.5} の環境基準を設定する際にも同様の影響が懸念される。

しかしながら、黄砂期間の健康影響を曝露期間全般の健康影響から特定することは現時点では困難であり、評価の対象とする期間から黄砂期間を除いて評価することは適切ではなく、黄砂期間についても評価の対象とする期間に含めることが適当である。

ここでは、黄砂等の特異的現象による高濃度検出時の取扱いに関して、環境基準の達成に関する評価方法への考慮について検討を行った。

6.2.において示すとおり、長期的評価の評価方法として、①測定結果による年平均値と長期基準を比較して評価し、②測定結果による 98 パーセンタイル値と短期基準を比較して評価することとして、黄砂時等の特異的現象の取扱を検討する。

長期基準に関する評価において、黄砂期間、非黄砂期間の健康影響が区別できないことから、黄砂期間に関わらず評価することが適切である。なお、長期的評価は施策の効果を見る観点も含むことから、長期基準による評価が非達成のときに、非黄砂期間中の測定結果の平均値を算定し、その数値が長期基準を達成している場合にあつては、黄砂の影響で非達成と注釈をつけて評価することが考えられる。

短期基準に関する評価において、黄砂期間、非黄砂期間の健康影響が区別できないことから、黄砂期間に関わらず評価することが適切である。なお、長期的評価は施策の効果を見る観点も含むことから、短期基準による評価が非達成のときに、非黄砂期間中の測定結果の中から 98 パーセンタイル値を選定し、その数値が短期基準を達成している場合にあつては、黄砂の影響で非達成と注釈をつけて評価することが考えられる。

なお、黄砂期間か否かの判別は、地方公共団体が、当該都道府県内又は及びその近傍に

にある気象庁の観測所において黄砂が観測された日について、大気測定局ごとに黄砂の影響があると判断した期間とすることが適切である。

また、黄砂以外にも火山の噴火や山火事等、PM_{2.5}濃度の上昇の原因となる特異的現象が特定される場合で、地方公共団体が環境基準達成の評価に影響を与えると判断できる場合には、黄砂期間の評価方法を準用して評価を実施することも考えられる。

7. まとめと今後の課題

7.1. まとめ

微小粒子状物質に関して、米国では $PM_{2.5}$ の大気環境基準が 1997 年に設定された後、2006 年 9 月に基準の改定が行われた。WHO (世界保健機関) では微小粒子状物質の環境目標値に関するガイドライン 2005 年版 (WHO, 2006) が 2006 年 10 月に公表された。また、EU においても、2008 年 6 月に $PM_{2.5}$ の限界値に関する EU 指令が公布された。

我が国においても、これらの動向を踏まえ、一般大気環境における微小粒子状物質の曝露と健康影響との関連性を明らかにすることを目的として、1999 年度より「微小粒子状物質曝露影響調査研究」が開始され、2007 年 7 月にその成果が取りまとめられ公表された (環境省, 2007)。さらに、国内外の知見を基に微小粒子状物質に係る健康影響を評価する「微小粒子状物質健康影響評価検討会」が 2007 年 5 月から開催され、2008 年 4 月に検討結果が、「微小粒子状物質健康影響評価検討会報告書」 (環境省, 2008) として取りまとめられた。この報告書では、微小粒子状物質は総体として一定の影響を与えていることが示されたが、環境目標値設定のための定量的リスク評価に係る手法については十分に検討をすべきとされた。

これを受け、2008 年 6 月、中央環境審議会大気環境部会に微小粒子状物質リスク評価手法専門委員会が設置され、2008 年 11 月に検討結果が取りまとめられ、公表された。この報告書では、疫学データや解析手法の充実により現在の大気環境濃度でも検出可能となった健康リスクに関する定量的なリスク評価手法が示された (微小粒子状物質定量的リスク評価手法専門委員会報告)。

これらの報告書や国内外の疫学その他の分野の科学的知見等を踏まえ、微小粒子状物質に係る環境基準の設定について、2008 年 12 月 9 日、環境大臣から中央環境審議会に微小粒子状物質に係る環境基準の設定について諮問がなされた。この諮問を受け、2008 年 12 月 19 日、中央環境審議会大気環境部会に本専門委員会が設置された。

本専門委員会は、微小粒子状物質の判定条件及び指針値の検討を行うため、2009 年 2 月 4 日に第 1 回委員会を開催して以降、109 回にわたって委員会を開催して精力的に調査・審議を進めてきた。

本専門委員会は、微小粒子状物質定量的リスク評価手法専門委員会報告、微小粒子状物質等に係る国内外の疫学その他の分野の科学的知見等を踏まえ、微小粒子状物質に関する

特性や人の生体内での挙動、環境大気中濃度、健康影響に関する定性的評価、健康影響に関する定量的評価、定量的評価の検討を踏まえた環境基準の設定に当たっての指針値に関する検討、環境基準の達成状況の評価に関する調査・審議を行った。

特性及び人の生体内での挙動について、微小粒子状物質の特性(物理的特性、生成機構、化学組成、発生源)及び人の生体内での挙動の事項を整理した。これらの情報を踏まえ、粒子状物質に関する微小粒子と粗大粒子を区分する粒径を検討した。

環境大気中濃度について、我が国における微小粒子状物質の大気中濃度の現状について、質量濃度や成分濃度の測定結果をまとめるとともに、日本と米国の大気中濃度に関する成分濃度の相違についても整理を行った。

微小粒子状物質の健康影響に関する定性的評価について、呼吸器系、循環器系(心血管系)、免疫系、発がん影響等の毒性学知見に基づく影響メカニズム、短期曝露影響及び長期曝露影響における死亡、入院・受診及び症状・機能変化に関する疫学知見の評価、疫学知見に基づく因果関係の評価、循環器疾患への影響に関する国内外の相違に関する考察、毒性学知見及び疫学知見によるエンドポイントごとの有害性評価の作業を行った。

微小粒子状物質の健康影響に関する定量的評価について、定量的評価の考え方及び定量的評価に関する疫学知見の抽出の考え方を示し、この考え方に基づき定量的評価に資する長期曝露影響及び短期曝露影響に関する疫学知見の抽出や対象地域の平均値や濃度範囲、濃度－反応関係等に関する情報を整理するとともに、定量的評価において考慮すべき観点を示した。併せて、曝露量－影響関係を示す毒性学知見を示した。

環境基準の設定に当たっての指針値の検討について、これらの定量的評価の作業を踏まえ、長期基準及び短期基準の必要性、長期基準の考え方と知見の評価、短期基準の考え方と知見の評価の作業を踏まえつつ、指針値を導出するに当たっての主要な観点も含めて評価を行い、長期基準及び短期基準の指針値の検討を行った。

環境基準達成状況の評価について、長期基準及び短期基準に関する評価手法の検討を行うとともに、黄砂時等の特異的現象に関する評価への考慮について検討を行った。

本専門委員会は、現時点で収集可能な国内外の科学的知見から総合的に判断し、地域の人口集団の健康を適切に保護することを考慮して微小粒子状物質に係る環境基準設定に当たっての指針値として次の環境濃度を提案する。

長期基準の指針値 年平均値 $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下

短期基準の指針値 日平均値 $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下

ここでいう、微小粒子状物質とは、 $\text{PM}_{2.5}$ ⁱをいう。

微小粒子状物質に係る環境基準の達成状況の評価は、次の考え方を基本に行うことを提案する。

- ① 長期基準に関する評価は、測定結果の年平均値を長期基準(年平均値)と比較する。
- ② 短期基準に関する評価は、測定結果の1日平均値のうち年間98パーセンタイル値を代表値として選択して、これを短期基準(日平均値)と比較する。

微小粒子状物質の健康影響に関しては、その閾値の有無を明らかにすることは困難であることから、今般提示した指針値等についても、研究の進歩による新しい知見をこれに反映させるべく、一定期間ごとに改めて評価、点検されるべきである。

なお、粒径が $2.5 \mu\text{m}$ から $10 \mu\text{m}$ までの粗大粒子は、体内に吸入された後に気道で捕捉され沈着することが知られており、呼吸器系への影響を示唆する知見も少数ながら存在するが、現時点において定量的評価を行うための疫学知見が十分に得られていないものと考えられる。

これらの粗大粒子の曝露から人の健康を保護するため、当面、既存の浮遊粒子状物質に係る環境基準を維持しつつ、粗大粒子の曝露による健康影響に関する科学的知見の蓄積に努めることが適当である。

7.2. 調査研究に関する今後の課題

今回の指針値の提案に当たって、非常に数多くの信頼性の高い科学的知見を基に評価を行ってきたが、その一方で様々な不確実性が存在することも前提に評価を進めてきた。これらの不確実性を減ずるために今後取り組むべき調査研究に関する今後の課題を指摘しておく。

ⁱ $\text{PM}_{2.5}$ の測定法は、微小粒子状物質測定法専門委員会報告を参照

微小粒子状物質の健康影響に関する数多くの知見が収集されているが、我が国の微小粒子状物質の健康影響に関する知見は、米国を中心とした国外の知見と比較して少ない状況にある。

今般の評価において示された様々な不確実性の減少に努めるため、死亡や死亡以外の様々なエンドポイントを対象に、感受性の高い者・脆弱性を有する者も含めた地域集団を対象とした国内知見の充実を図り、我が国における微小粒子状物質の環境大気中濃度の測定及び曝露による健康影響の現状を把握する必要がある。具体的には、次に示される知見の蓄積が望まれる。

- 微小粒子状物質の大気環境濃度が減少傾向にある近年の大気環境の状況も踏まえ、国外の疫学研究の対象地域の濃度範囲と同程度の地域も対象に加えた曝露濃度範囲の疫学研究
- 国内知見では関連が必ずしも明確ではない循環器疾患への影響に関して、循環器疾患患者や循環器疾患に対するリスクの高い者も対象とした疫学研究
- 微小粒子状物質の成分濃度の異なる様々な地域を対象とした成分組成の相違に着目した疫学研究

また、我が国の疫学研究の充実と併せて、微小粒子状物質への曝露人口分布の情報を蓄積し、影響度評価としてのリスク削減予測に取り組む必要がある。

さらに、毒性学研究においても、我が国の一般環境大気を用いた影響メカニズムに関する知見を充実するため、様々な健康影響指標を対象として高感受性群も含めた CAPs 曝露や成分組成の相違に着目した実験的研究に取り組む必要がある。

上記のほかに粗大粒子や超微小粒子の健康影響に関する研究にも取り組む必要がある。

これらの調査研究の課題の存在に関わらず、環境基準の設定に当たっての指針値を検討するだけの信頼性の高い科学的知見が現在も十分に蓄積されていると本専門委員会は考えるが、ここに示される課題に関する調査研究が充実され、今後、微小粒子状物質についての判定条件に反映されることを期待する。

7.3. 参考文献

WHO. (2006) Air quality guidelines, Global update 2005 World Health Organization Regional Office for Europe. Copenhagen.

環境省. (2007) 微小粒子状物質曝露影響調査報告書.

環境省. (2008) 微小粒子状物質健康影響評価検討会報告書.

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. (2008) 微小粒子状物質の定量的リスク評価手法について.

**中央環境審議会大気環境部会
微小粒子状物質環境基準専門委員会委員名簿**

H21. 4. 1 現在

委 員	* ¹	加藤 順子	三菱化学メディエンス株式会社安科研事業部 顧問
	* ²	坂本 和彦	埼玉大学大学院理工学研究科 教授
		佐藤 洋	東北大学大学院医学系研究科 教授
臨時委員	○	内山 巖雄	京都大学 名誉教授
専門委員	* ^{1,2}	新田 裕史	独立行政法人国立環境研究所環境疫学研究室 室長
		安達 修一	相模女子大学栄養科学部管理栄養学科公衆衛生学 教授
		上島 弘嗣	滋賀医科大学社会医学講座福祉保健医学 特任教授
		香川 順	東京女子医科大学 名誉教授
		川本 俊弘	産業医科大学医学部衛生学講座 教授
		工藤 翔二	財団法人結核予防会複十字病院 院長
	* ¹	佐藤 俊哉	京都大学大学院医学研究科社会健康医学系専攻 医療統計学 教授
		関澤 純	独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構 食品総合研究所 特別研究員
	* ¹	祖父江 友孝	国立がんセンターがん対策情報センター がん情報・統計部 部長
	* ¹	高野 裕久	独立行政法人国立環境研究所環境健康研究領域 領域長
	* ¹	武林 亨	慶應義塾大学医学部公衆衛生学 教授
	* ²	田邊 潔	独立行政法人国立環境研究所化学環境研究領域 上級主席研究員
	* ²	椿 広計	大学共同利用機関法人情報・システム研究機構 統計数理研究所リスク解析戦略研究センター長
		富永 祐民	愛知県がんセンター 名誉総長
	* ²	内藤 季和	千葉県環境研究センター 主席研究員
	* ²	平木 隆年	財団法人ひょうご環境創造協会兵庫県環境研究センター 大気環境科長
		丸山 浩一	東京都児童相談センター長
	* ²	溝畑 朗	大阪府立大学産学官連携機構 特認教授
		横山 榮二	元国立公衆衛生院 院長

○：委員長

*¹：作業会合（健康影響）

*²：作業会合（曝露情報）

微小粒子状物質環境基準専門委員会審議経過

第1回 平成21年2月4日

議事

- (1) 微小粒子状物質環境基準専門委員会の設置について
- (2) 微小粒子状物質に係る取組みについて
- (3) 大気汚染に係る環境基準の現状について
- (4) 検討の進め方等について
- (5) その他

第2回 平成21年3月4日

議事

- (1) 微小粒子状物質の健康影響について
- (2) 微小粒子状物質の大気・体内中の挙動について
- (3) 微小粒子状物質の粒径について
- (4) その他

第3回 平成21年3月27日

議事

- (1) 疫学知見や毒性学知見に基づく定量的評価について
- (2) その他

第4回 平成21年4月16日

議事

- (1) 疾病構造の国内外の相違について
- (2) 大気中濃度の国内外の相違について
- (3) その他

第5回 平成21年4月28日

議事

- (1) 微小粒子状物質濃度変動に関する統計的特性
- (2) 長期・短期曝露影響に関する疫学知見の定量評価
- (3) 環境基準の設定に当たっての指針値に関する検討
- (4) その他

第6回 平成21年5月28日

議事

- (1) 微小粒子状物質の健康影響について
- (2) 環境基準の設定に当たっての指針値案について
- (3) 環境基準の評価方法について
- (4) その他

第7回 平成21年6月11日

議事

- (1) 微小粒子状物質環境基準専門委員会報告書案について
- (2) その他

第8回 平成21年6月18日

議事

- (1) 微小粒子状物質環境基準専門委員会報告書案について
- (2) その他

第9回 平成21年6月26日

議事

- (1) 微小粒子状物質環境基準専門委員会報告書案について
- (2) その他

第10回 平成21年8月24日

議事

- (1) 「微小粒子状物質に係る環境基準の設定について（答申案）」の別添1（微小粒子状物質環境基準専門委員会報告）に対するパブリックコメントについて
- (2) その他