

【1】緒言

環境省では、一般大気環境における微小粒子状物質(PM_{2.5})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、平成11年度(1999年度)より「微小粒子状物質曝露影響調査研究」を開始し、平成18年度(2006年度)にかけて計8年間にわたって、曝露、疫学、毒性学の3つの分野について各種調査研究を継続的に実施し、我が国における微小粒子状物質の曝露と健康影響との関連性に関する知見の集積を図ってきた。

本報告書は、平成11年度から18年度まで実施してきた「微小粒子状物質曝露影響調査研究」の成果をとりまとめたものである。

これらの調査の成果を紹介するのに先立ち、本調査研究を実施するに至った背景や実施の経緯、調査概要等について簡単に触れることとしたい。

1990年代当時までの粒子状物質にまつわる国内外の状況を概説すると、我が国においては、1972年に粒径10 μ m以下の粒子状物質(浮遊粒子状物質(SPM)と規定)の大気環境基準が設定され各種対策を講じてきたが、1980年初頭ごろから、自動車、特にディーゼル車からの排ガスの寄与の増大等もあってSPM濃度の改善は進まず、SPM環境基準達成率は大都市地域を中心に低い水準で推移していた。この状況を踏まえ、国においては新車に対する排出ガス規制の逐次強化、自動車NO_x・PM法に基づく各種施策、低公害車の普及促進等を推進し、自治体においても八都府市によるディーゼル車運行規制(2003)等の施策が進められ、現在は、大都市域の一部局地で環境基準未達成の地点が残っているものの、環境基準の達成状況は全体として近年改善傾向にある。

一方、米国においては、1971年に全浮遊粒子(TSP: Total Suspended Particles)を対象とした大気環境基準を設定したのち、1987年の第1次改定で大気中の粒径10 μ m以下の粒子状物質(PM₁₀と規定)を指標とした基準に変更された。しかし、1990年代初めごろから、PM₁₀の濃度の日別変動が日別死亡率の変動と関連するとの報告が相継ぎ報告され始め、さらに1993年にいわゆるHarvard Six Cities Studyが、その関連はより微小な、即ち粒径2.5 μ m以下の粒子状物質(PM_{2.5})により顕著であることを報告した。また、これらの報告の多くは、PM₁₀又はPM_{2.5}と死亡率の関連が、1)慢性心肺疾患患者においてより明らかであり、2)大気中PM₁₀濃度が日平均値150 μ g/m³(当時の米国における環境基準値)以下においても観察されることを報告している。これらの報告を契機に、PM₁₀又はPM_{2.5}と死亡率や各種健康指標との関連に関する調査報告が短期間に国際的にもさらに増加した¹。これらの疫学報告に基づき、米国は1997年、粒子状物質の環境基準を改定し(第2次改定)、従来のPM₁₀の基準値にPM_{2.5}の基準値を新たに加え、さらに2006年の第3次改定では、PM_{2.5}に関してより厳しい値が採用された。

このように、疫学知見に関する1990年代の国際的な多数の報告、また米国における1997年のPM_{2.5}の環境基準設定を受けて、微小粒子状物質の健康影響に対する国際的な関心が高まり、我が国においても微小粒子状物質の健康影響に関する検討の必要性についての機運が高まってきた。

しかしながら、当時、日本国内では、微小粒子状物質に関する測定手法の検討に関する調査を平成9年度から進めていたものの、我が国における大気環境中の微小粒子状物質のヒトへの曝露量やその健康影響に関する知見はほとんどない状況にあった。

そのような状況を踏まえ、環境省は、我が国での一般大気環境における微小粒子状物質の

¹ 2004年版米国PM Criteria Documentsによれば、PMと日死亡率に関するものだけで、1996年版Criteria Documents発行時に約35編、その後2004年版発行時までには80編以上が報告されている。

曝露と健康影響に関する科学的知見を蓄積し、曝露と健康影響との関連性を明らかにすることが、大気環境行政上の最重要課題の一つであるという認識のもと、平成 11 年度（1999 年度）より「微小粒子状物質曝露影響調査研究」を開始し、曝露、疫学、毒性学の 3 つの分野について各種調査研究に着手した。

本調査研究の実施にあたっては、2 回の準備会合を経て、微小粒子状物質とその曝露影響に関する専門家から構成された「微小粒子状物質曝露影響調査検討会」を設置し（平成 12 年 3 月に第 1 回検討会を開催）、調査研究の計画設計・策定、実施、解析及び評価に関する総合的・包括的な検討を行うとともに、当該検討会の下に、各分野の専門家から成る 3 つのワーキンググループを設置し（曝露評価ワーキンググループ、疫学ワーキンググループ、毒性評価ワーキンググループ）、専門的かつ実務的見地から検討作業を実施することとした。すなわち、この微小粒子状物質に関する調査研究は、大気汚染と健康影響の問題に対する大気環境行政としての大規模なプロジェクト研究であった。

各調査研究の具体的な計画設計に際しては、曝露研究、疫学研究及び毒性学研究に関する着眼点や調査手法等について、米国の環境基準の設定根拠となった疫学や毒性学の研究論文も参考にしながら、また、各ワーキンググループ相互に関連する部分も検証しつつ、検討会及び各ワーキンググループで議論を重ね、検討を進めてきた。具体的には、各ワーキンググループは年に 1~2 度の公式会合において年間の業績まとめと翌年以降の計画の検討を行い、その結果を検討会に報告し、検討会はその報告について吟味し意見を述べるという様式をとった。また、検討会やワーキンググループの開催以外にもワーキンググループに属する委員等と個別に議論を深めつつ研究を進めることとした。

曝露研究（曝露評価ワーキンググループ担当）については、本調査研究開始前から先行的に実施していた PM_{2.5} 濃度測定手法検討を踏まえ、平成 12 年度に、疫学研究の本格調査実施に先立つ形で「大気中微小粒子状物質（PM_{2.5}）質量濃度測定方法暫定マニュアル」を策定した。この暫定マニュアルを用いて、疫学研究に必要な大気中 PM_{2.5} 濃度の測定を平成 13 年度より開始し、収集した PM_{2.5} 曝露データを疫学解析に活用するとともに、これら集積した曝露データを年度・季節・地域・局種別に整理・解析し、測定方法上の課題や限られた測定地点数などの制約はあるものの、わが国における大気中 PM_{2.5} 質量濃度及び成分組成の実態把握に努めた。PM_{2.5} 測定については、暫定マニュアル策定後も採取装置や自動測定機器、測定分析手法などの計測技術の進展が見られたことを踏まえ、PM_{2.5} 濃度の測定と並行して、これら計測技術に関する情報を随時収集整理し、暫定マニュアルの記述内容の再検討を進めた。また、疫学研究において重要な個人曝露量の評価の検討に資するべく、PM_{2.5} 個人曝露濃度測定方法についても検討した。

疫学研究（疫学ワーキンググループ担当）については、我が国の微小粒子状物質の健康影響に関する疫学的知見を得るため、諸外国の疫学研究等を参考に、微小粒子状物質の影響に関する量的な評価が可能なデザインを優先し、複数のエンドポイント、研究手法を組み合わせた疫学調査を複数の地域で実施し、微小粒子状物質の短期間及び長期間曝露による呼吸器系及び循環器系への影響について検討することとした。調査開始当初は、PM_{2.5} 濃度測定手法の検討と並行して、各種短期影響調査の着手や長期影響調査の研究デザインの検討を進めた。その後、測定方法暫定マニュアル策定を受けて、平成 13 年度から、大気中 PM_{2.5} 濃度測定とともに、全国 7 地域を対象とした長期影響調査を開始し、平成 18 年度まで計 5 年間の継続調査を実施した。短期影響調査のうち、入院や受診等の研究では、病院や小学校等の協力が前提であり結果として実施可能な地域や期間が限られたこと、一部研究では PM_{2.5} 濃度データが得られず SPM 濃度データで代用したことなど、様々な制約の中ではあったが、いくつかの健康影響指標や集団を対象にした調査研究を実施した。また、日死亡に関する研究では、

総務省の人口動態統計調査目的外使用許可を得て、全国 20 地域における平成 14～16 年の死亡データと PM_{2.5} 濃度データを用いた大規模な疫学研究を実施した。

毒性学研究（毒性評価ワーキンググループ担当）については、我が国の微小粒子状物質の健康影響に関する毒性学的知見を得るため、諸外国の疫学研究で報告されている PM_{2.5} 曝露に対する高感受性群（心肺疾患の患者、老齢）に着目し、実際に大気環境中に存在する微小粒子状物質の高濃度短期間曝露による呼吸器及び循環器系への生体影響について検討した。現実大気における PM_{2.5} 曝露による生体影響やその機序について限られた数の実験動物で検討するには、より高い濃度の大気中 PM_{2.5} の吸入曝露実験を行う必要があるため、米国等での研究で活用されている濃縮大気粒子（Concentrated Air Particles : CAPs）曝露システムを用いた PM_{2.5} の高濃度短期吸入曝露実験を実施することとした。調査開始当初からこの CAPs 曝露システムの仕様・設計検討に着手し、平成 14 年度までに同システムの製作・設置を完了させ、平成 15 年度から同システムを用いた各種 CAPs 吸入曝露実験を実施した。実際の実験では、曝露チャンバー容積の制約上、1 回の実験で使用可能な動物個体数に限りがあったこと、実験日によって曝露濃度が大きく異なり CAPs 曝露濃度をコントロールできなかったこと、気象条件によっては大気中の湿度影響により濃縮装置のスリットが詰まる場合があったことなど、実験上のいくつかの制約条件も踏まえ、各研究ともに CAPs 曝露実験を複数年にわたり実験時期も変えて数回（6～8 回程度）繰り返し実施することとした。また、同システムが製作・稼動されるまでの期間は、予備的研究として、サンブラで捕集した大気中微小粒子状物質の有機抽出物を用いた気管内投与実験等を行った。

調査研究の計画時には予想もしなかったような状況の変化やトラブル等に遭遇するのは調査研究の常であり、本調査研究においても然りであった。例えば、疫学研究に関して、疫学長期影響調査における対象地域について、調査開始前における全国の SPM と NO₂ 濃度を参考に、地域間の PM_{2.5} 濃度に一定の幅が得られるように選択したが、粒子状物質による汚染の全国的な改善の影響を受けて、測定により得られた PM_{2.5} 濃度が地域内変動に比して十分な大きさの地域間差ではなくなり、調査成績の評価に一定の制約を来たしたこと、また上述したように、動物実験研究に関して、原理的には初歩的なトラブルであったがこれまで米国では経験をしたことがなく予測困難であった、我が国の高湿度気候の影響による CAPs 曝露システムの濃縮装置のスリットが目詰まりによって、曝露実験の回数が制約されたことなどが挙げられよう。

各ワーキンググループでは、これらのような様々な制約条件やトラブルを克服し、8 年間という研究期間を有効かつ効果的に活用すべく、調査研究を設計し、実施してきたところであり、本調査結果を通じて、一定の有用な科学的知見を得ることができたものとする。各種調査研究の内容及び結果等の詳細については、この後紹介する各ワーキンググループ報告書をご覧ください。

長期間にわたり本調査研究に精力的に従事されてきた各ワーキンググループの座長及びメンバーの方々、並びに真摯に評価に当たられてきた検討会委員の方々に感謝申し上げます。