

ゼロからわかる PM_{2.5}のはなし

PM_{2.5}連載企画 スペシャルインタビュー

京都大学 名誉教授 内山 巖雄氏

「PM_{2.5}問題の今」を聞く～PM_{2.5}による健康影響と今後の対策

2014/02/13

ゼロからわかる PM_{2.5} のはなし

松本 真由美

国際環境経済研究所理事、東京大学客員准教授



PM_{2.5}の健康影響調査や日本でのPM_{2.5}対策はどのような状況なのか。環境基準、注意喚起のための指針値策定に携わる京都名誉教授・内山 巖雄氏に伺いました。

PM_{2.5}のハーバードの健康影響調査が、日本での研究のきっかけ

——PM_{2.5}が問題になっていますが、いつ頃から問題視されたのでしょうか？



内山 巖雄（うちやま・いわお）氏プロフィール

昭和50年東京大学医学部医学科卒業。昭和50年～52年東京大学医学部附属病院内科研修医。昭和52年～東京大学医学部第2内科非常勤医師。昭和57年国立公衆衛生院労働衛生学部研究員。昭和61年～62年米国ハーバード大学公衆衛生大学院客員研究員。平成元年国立公衆衛生院労働衛生学部 部長。平成13年 京都大学大学院工学研究科環境工学専攻教授。平成15年 京都大学大学院工学研究科都市環境工学専攻教授。平成21年 京都大学を定年退職 京都大学名誉教授。専門分野は公衆衛生、環境保健学。大気汚染物質の生体影響。有害化学物質のリスク評価、リスクコミュニケーション、シックハウス症候群と化学物質過敏症に関する調査、研究。微小粒子状物質(PM_{2.5})の環境基準、注意喚起のための指針値策定に携わる。

内山 巖雄氏（以下敬称略）：日本ではもともとSPMという浮遊粒子状物質の基準が数十年前からあり、大きさが10μm以下と定義していました。それが日本での環境基準になりました。1990年代頃からアメリカでは、10μm以下の中でも粒径が2.5μm以下の粒子が、より生体に影響が強いことが問題視されました。ハーバード大学の6都市調査が発表され、大気汚染と死亡率などの関連性を比べてみると、PM_{2.5}、つまり2.5μm以下の粒子との関連が一番強く出たのです。

その後、日本では大気環境学会でアメリカや WHO（世界保健機関）の専門家をお呼びして微小粒子状物質の問題についてシンポジウムを開催しました。当時、日本では PM_{2.5} はほとんどデータがありませんでしたので、海外で起きている問題を知ることが、取り組みの初めでした。10μm 以下の SPM（浮遊粒子状物質）という言葉が、日本では略語として通っていましたが、2.5μm 以下の微小粒子は PM_{2.5} というようになりました。はじめの頃は「PM_{2.5} って、午後 2 時半のことですか？」とよく聞かれたものです。今では笑い話ですが。

——90 年代初め頃、PM_{2.5} は一般の方には馴染みのない言葉だったのですか。

内山：PM_{2.5} は、研究者や自治体の方にも馴染みのない言葉でした。当時の大気環境の状況では、SPM であれオゾンであれ NOx であれ、疫学調査をやっても死亡を指標にする限り何も有意な関連は認められず、昭和 40 年代のような激しい大気汚染は克服したというのが一般的な考えでした。

ですから、ハーバード大学の調査結果には非常に驚きました。たしかに PM_{2.5} を指標に取れば明らかに死亡率との関係が出てくるということ。さらに大気汚染ですから呼吸器への影響、ぜんそくや慢性気管支炎などが主に健康影響として考えられていましたが、PM_{2.5} を指標にとると心肺疾患、すなわち心臓や心血管疾患への影響があることが初めて指摘されたのでした。その後日本でも研究を行い、2009 年に環境基準を作りました。

——ハーバード大学の調査結果が PM_{2.5} の健康影響を明らかにし、日本でも PM_{2.5} の研究をはじめのきっかけになったのですね。

内山：PM_{2.5} の環境基準ができた時は、一部の人間では話題になりましたが、最近話題になっている PM_{2.5} は、北京の大気汚染に関する報道からだと思います。実は以前から、北京のアメリカ大使館は PM_{2.5} の濃度を計測し、北京の数値が高いことを発表していました。その数値データは、中国の発表する値とは違っていたため、どちらが本当かと議論になっていたのです。そうした中、北京の高速道路が見えないほどスモッグがひどい状況になっている映像が配信され、日本にも PM_{2.5} が飛んで来ていると心配したのです。中国大陸からの由来の物を抑えることについては、日本ではどうしようもないわけですから。

しかし、PM_{2.5} は北京から飛んできたというよりも、元々日本にもあったものですので環境基準を作りました。基準を作った 2009 年当時から徐々に濃度は下がってききましたが、去年ですと全国の測定局のうち 3 割程度しか環境基準は満たしていない状況です（図 1）。

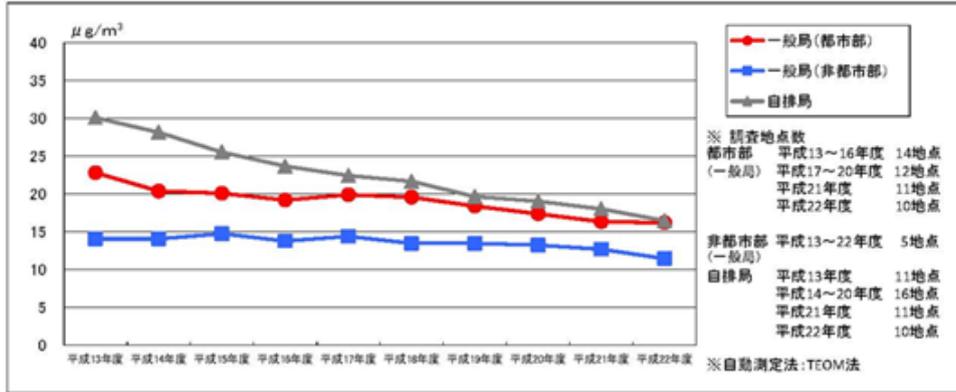


図1 PM_{2.5}濃度の経年変化

注) TEOM 法は標準測定法との等価性を有していないが、平成13年度から継続的に調査を行っている。

最近、ディーゼルエンジン対策から二次生成粒子対策へと変更

——3割程度しか環境基準を満たしていないのですか？

内山: PM_{2.5}の環境基準を満たすことは、実際大変なことです。環境基準を作ると測定法と対策を同時に打ち出します。初めはディーゼルエンジンの黒煙対策に力を入れました。石原前東京都知事がペットボトルの中に黒い煤煙を入れて記者会見しましたが、あれは非常に細かい粒子で、PM_{2.5}の主原因だと説明したわけです。

特に沿道のぜんそくや公害患者の方々に対してはディーゼルエンジン対策を第一に考え、ディーゼル車の排気ガス規制を先行して厳しくしていったのですが、最近PM_{2.5}のうち元素炭素(軽油を燃やした時に出てくるPM_{2.5}物質)は15~20%くらいに寄与率が低下してきていることがわかってきました。ディーゼル対策をこれ以上やってもPM_{2.5}はあまり減らないでしょう。現在は二次生成粒子、つまりいろいろな物から二次的に出てくる物について対策を取ることに主眼をおいています。

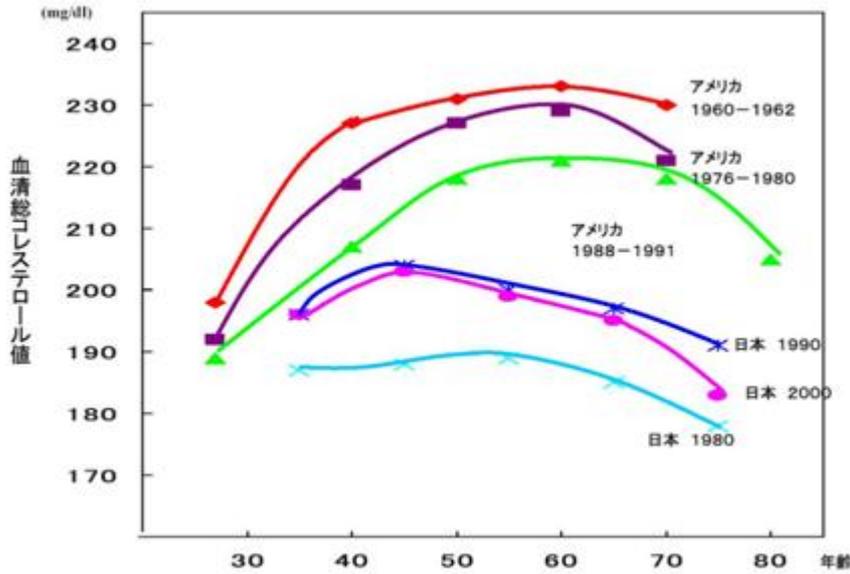
欧米で指摘される循環器系や動脈硬化への影響が、日本でも当てはまるとは限らない

—いろんな発生源があることから PM_{2.5} は対策が難しいですね。



内山：一つ問題としてあるのは、欧米で言われるほど、日本で疫学調査をやってみてもはっきりとした健康影響の結果が出ないということです。特に循環器系に対する影響はアメリカほどはっきり出ていません。アメリカの微小粒子と日本とでは発生源も多少違うので、PM_{2.5}の微小粒子の成分が違うから影響が違うのか、それとも欧米人と日本人では、特に循環器系の動脈硬化の度合いが大きく違うからなのかわかりません。

動脈硬化を起こしている人が PM_{2.5} を身体に取り込んだ場合、さらにダメージが加わって影響が出るとも考えられます。圧倒的に欧米は心筋梗塞の死亡率やコレステロールが高いなど、動脈硬化の度合いが高い。死亡構造や疾病構造が違います。日本は死因の一番は癌で、2位が心疾患、3位は脳血管疾患でしたが、最近では肺炎が3位になっています。しかも心筋梗塞で亡くなる方の割合は、欧米に比べるとずっと低い。コレステロールの血中濃度の値を比較しても、欧米人は非常に高いが、日本人は低い（図2）。だから、更にそこに何か加わっても影響がはっきり出ないのではないかと等いろいろな説があり、健康影響についてははっきり言うことは難しい状況です。



Source: HANES and National Cardiovascular Survey of Japan.

図2 日米男性の年齢別血清総コレステロール値の推移 (上島ら)

—欧米ではPM_{2.5}と健康影響は、科学的な根拠があるのでしょうか？

内山：アメリカが基準を出して、それに日本が倣ったわけですが、さらに2012年にアメリカでは基準を厳しくしています。今まで年平均値15だったのを12 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ にして、さらに2012年末にカナダで、12 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ より低い濃度でも影響が出ているというレポートが出されました。先日WHO（世界保健機関）の専門家とも間接的に話しましたが、WHOも現在のガイドラインは10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ですが、それを見直す可能性があるようです。

日本は現在15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ で3割しか達成していませんので、基準を10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ にしたら、達成するのはかなり困難になります。10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下の基準を達成するには、よほど山間部のきれいなところでなければ無理ですから。日本ではまだ循環器疾患の健康影響との関連性がはっきりしない中で、今後対策をどうするかという問題があります。

—日本よりもアメリカなど海外で先に問題になっていたわけですね。

内山：欧米、特にアメリカで最初に注目され、いち早く環境基準を作りました。次いでEUも出し、WHOが国ごとに参考になるガイドラインを出し、日本はそれに比べれば10年遅れて環境基準を作りました。アメリカは2012年にレポートを出した時に、このまま何もしなくても2020年にはほぼ12 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ を達成できだろうと書いています。現在、アメリカの平均が7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ くらいですが、12 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超える都市も基準を厳しくしたことで、PM_{2.5}の濃度は減ってきており、2020~2030年には全部達成できると見られます。

日本は何も対策をしなければ減るかという減らないでしょう。特に中国大陸から来るものを上乗せすると、西日本では厳しいものがあります。

——国内の排出もありますが、中国から飛来してくる分も考えると、日本は PM_{2.5} が今後増えるか減るかという予測は難しいでしょうか？

内山：徐々に減っていることは減っているのですが、どこで頭打ちになってしまうのか、さらにもう少しは減っていくのか予測が難しい。特に二次生成粒子というのは SO_x や NO_x のガス状物質からできますので、ガス状の物質は少しずつは減ってくる可能性はあります。しかし、ディーゼル排ガスや工場からの排出物は寄与率としてはかなり小さくなっていますので、そこを厳しくしても直ぐには減ってくれません。

タバコと放射線と比べた場合、PM_{2.5}の健康リスクは？

——健康影響についてお聞きしたいのですが、仮にたばこや放射線と比べて危険度を図ることはできますか？

内山：たばこと比べますと圧倒的に濃度が違いますが、少なくとも喫煙している方の肺がんの70%はたばこが原因だと言われ、受動喫煙でも肺がんが増えるということは、疫学的にわかっていますのでたばこに比べると、PM_{2.5}の現状のリスクはそれほど大きくないでしょう。

喫煙はボランティアなリスク（自発的なリスク）ですので、自分で止めることや避けることができます。大気汚染や空気中の化学物質は、インボランティアリスク（受動的なリスク）ですから自分では避けることのできないリスクです。リスク論で言うと、受動的なリスクは自発的なリスクの許容度に比べて、1/100～1/1000 と言われていて、たばこの害を1としたら PM_{2.5}の環境基準は1/1000より下でないといけない。今や都市型公害と言って国民にも責任があるというのは環境基本法にも書いてあります。車や廃棄物などには国民にも責任があります。

放射線については、現状の福島のことを言っているのか、一般のバックグラウンドにある放射線を言っているのかによりますが、バックグラウンドにある放射線に比べれば PM_{2.5}の方が疫学としてリスクはあります。

——では、NO₂などの他の大気汚染物質と比べて、PM_{2.5}のリスクはどうでしょうか？

内山：発がん物質が入っており、循環器系に影響を及ぼし、急性的な致命的なものもあるという観点から見ると、PM_{2.5}の方がリスクは高いと言えるでしょう。しかし NO₂ から生成される硝酸塩が PM_{2.5}の二次生成粒子になっていると考えると、大気汚染全体として捉えますので、どちらが危険かという視点によって違ってきます。

微小粒子はなぜ健康に悪い影響があるのか？

——PM_{2.5}のような微小粒子はなぜ健康に悪影響があるのでしょうか？

内山：10μm 以上のものは呼吸器に入る量が少なく、だいたい鼻に引っ掛かり、粒子が重たいですのでそこで止まってくれます。スギ花粉は30μm 程度ですので、鼻に留まって鼻炎程度しか起こしません。もっと細かいブタクサの花粉などは鼻の奥まで入ると気管支ぜんそくを起こすこともあり深刻です。細かければ細かいほど鼻の奥の方に入り、肺の奥まで入っていくため、小さい粒子は危険です。

もうひとつの問題として、粒子の外側にいろいろな化学物質が付いてきます。例えば自動車の排出粒子だと、その周りに軽油・ガソリンに含まれるさまざまな有害物が表面に付着します。大きな粒子の表面積 1 個分と比べると、同じ重さでも小さな粒子の表面積の方が合計すれば大きくなりますので、PM_{2.5}のまわりに付着する物質の量が多くなっている可能性があります。

さらに PM_{2.5} の付着成分が血液の中まで入っていく、あるいは非常に小さい粒子だと肺のリンパ管を通って中に入ってしまうという説もあります。動物実験などではディーゼル排出粒子が脳にまで入ったというデータもあり、非常に細かくなると肺房の間隙を通して身体の中に入り、呼吸器以外の全身症状を起こす可能性があります。そのため PM_{2.5} のような小さい粒子の方がより健康に大きな影響を出すと言われます。

PM_{2.5}の健康影響を受けやすい人は？ 日常生活のPM_{2.5}対策は？

——どんな人が PM_{2.5} の健康影響を受けやすいのでしょうか？



内山：高感受性者としては、当然子供や高齢者が入りますが、ぜんそくを持っている方の症状が悪化する、または咳が増える場合が多いと思います。今回の暫定指針でも暫定指針値の 70μg/m³ 以下でも高感受性者は、症状があるところに刺激が加わるからです。欧米で重視しているのは心疾患を持っておられる方、元々心臓の疾患や動脈硬化がある方は、PM_{2.5} によって健康影響を受けます。

——PM_{2.5}の影響を受けないようにするために日常生活の中でどうしたら良いのでしょうか？

内山：普段の健康管理としては、PM_{2.5}をなるべく吸わないこと、体内に取り入れないことしかありません。

——日常生活の中でPM_{2.5}が発生するものには何がありますか？

内山：物が燃えれば、いろいろなPM_{2.5}は発生します。例えば、家でもフライパンで食物を焼いたり炒めたりすれば、蒸気や煙にはPM_{2.5}が入っています。それからガスの炎からも少し出ています。

——調理でもPM_{2.5}は発生するのですか！

内山：室内空気の成分分析をやっていくと、調理でも物を焦がした時に出てくる物には、多環芳香族炭化水素（PAHs）等いろいろな有害物質が入っています。ガスを炊けば必ずNO_xは出ます。屋外よりは室内で調理をした場合の方がNO_x濃度はよほど高い。物を燃やせば必ず酸素と窒素が結びつくわけですから。またガスコンロでも石油ストーブでもそこからは必ずPM_{2.5}が出てきます。

ただ屋内でPM_{2.5}が高い時は、室内でたばこを吸ったり調理をしている時や冬にストーブを焚く時など、非常に限られています。それ以外は通常は、屋外が1としたら、屋内の濃度は粒子状物質で0.7くらい、ガス状の物質ならば0.9くらいと考えられ、閉め切ってしまうと屋内の方が屋外より低くなります。ですから注意喚起が出るほど高い時は、あまり換気をせずに外出もしないようにする。外出する場合はマスクを着用すること。PM_{2.5}は非常に微小粒子ですので、スギ花粉用のマスクでは大きな物しかカットできないので、国家規格で微小粒子でも大丈夫なマスクを使ってください。ただ細かい粒子までカットするマスクは、息をするにも苦しいし、歩いている際に着用していると15分くらい歩くと苦しくなってしまいますが。

——PM_{2.5}が日常でも発生すると伺い、対策の難しさを感じます。

内山：暫定指針値を超えたからといってすぐに影響が出るわけではありませんし、そんなに気にして暮らさなくてもいいです。今の環境基準は年平均値が15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下で日平均値が35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下と決められていますので、それを満たしていれば、日本ではまずそれほど問題ではありません。主に年間の長期影響を見ているので、1日程度35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超えたから大変というわけではありません。

環境基準を作りましたが、短期の影響については日平均値で35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ と区切っています。ただPM_{2.5}はオキシダントと同じように急性影響もある程度あるわけです。あまりPM_{2.5}の数値が高くなると、ぜんそくの人には咳が出たり発作を起こしたり、循環器の人には具合が悪くなることがありますので、注意喚起の暫定値として70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

にしています。ただ $70\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超えても全然問題ない人もいますし、いわゆる感受性の違いによって、急性影響はその時なんでもなければそれほど心配はありません。

—どこまで解明されているのでしょうか？

内山：アメリカでも、特に呼吸器以外の循環器系への健康影響のメカニズムは、まだ解明されていないことが多いです。ただ直接血液の中に有害物質が溶け込み、心臓に作用している場合と、神経系を介して肺に作用している場合、それから化学物質が溶け込むことによって血液が固まりやすくなり、炎症を起こしやすくなるなど、いろんなメカニズムが推測されています。仮定を立てて動物実験がいろいろ行われてきました。さらに人体への影響についてはボランティアの人たちの実験が欧米では時々行われています。日本ではボランティア実験はほとんどできないので、環境省の研究班が動物実験をやっているところです。

欧米化していくと、PM_{2.5}の感受性が高くなる可能性も

—基準値以下の値であれば健康に問題はないのでしょうか？

内山：リスクの考え方として、影響に閾値のあるものとないものがあります。影響に閾値があると考えられる物質に関しては、その閾値を求めて、更に普通は 1/10~1/100 くらいの安全域をとって環境基準を決めていました。SPM も閾値がある物質として基準を決めましたが、PM_{2.5} は肺がんの可能性があるとすると閾値がない可能性があります。ただし PM_{2.5} は混合物ということもあり、今までの疫学調査は、PM_{2.5} は閾値があるのかないのかをはっきり決めることができないというのが結論です。

日本ではだいたい年平均値が $25\sim 30\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超えると肺がんの死亡が増えてきました（図 3）。ぜんそくの方はもう少し数値が低い所でも影響があるかもしれない。循環系では、日本では影響があるというデータは、まだ得られていません。欧米人と日本人では動脈硬化の程度や心筋梗塞でなくなる方の数も圧倒的に違うので、疫学調査に出ない可能性があります。しかし、だいたい日本は欧米の 10~20 年遅れて欧米化しているので、将来的には日本人も欧米のように感受性が高くなっていくかもしれません。

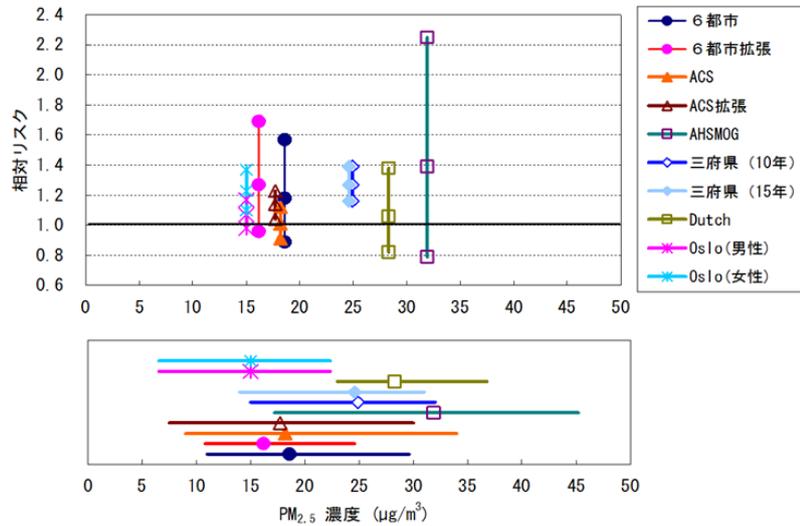


図3 肺がん死亡に関する疫学知見のまとめ

上図：研究対象地域のPM_{2.5}の濃度範囲の中央値（若しくは平均値）に対するリスク比（PM_{2.5}濃度10µg/m³当たり）とその95%信頼区間
 下図：研究対象地域のPM_{2.5}濃度範囲とその中央値（若しくは平均値）

今後の日本のPM_{2.5}対策は？

—これから日本では、どのような対策を取るのでしょうか？

内山：これは本当に難しく、環境基準を作るのに2~3年かかってしまいました。現在も委員会を開き、環境基準の検証をしたり、新たな文献を集めています。ベンゼンなど有害大気汚染物質のように閾値のない発がん物質として考えることも検討しましたが、PM_{2.5}はまず閾値があるかどうか分かりませんし、欧米のデータと日本のデータも違うわけです。また日本のデータはまだそれほど蓄積されていない面もあります。現在の環境基準は科学的根拠をもとに5年毎に見直す予定で、いろいろな研究・調査を続けています。

日本の環境基準は、維持することが望ましい値ということになっているので、それ自体に罰則規定はありません。しかし、その環境基準を担保するための排出基準が作られます。その排出基準には罰則規定があります。例えば自動車メーカーも排出基準を満たさなければ車は販売できませんので、環境基準を作れば必ずそれを守る努力がなされます。

環境省は、その基準を設定した理由を各業界に説明しなければなりません。日本では、環境基準が決められているSPMについては、少なくとも死亡率に関係し、短期影響があるような濃度ではないと思われていましたが、PM_{2.5}という微小粒子で見ると健康影響が出ることがわかってきたことは、反省すべき点でもあります。PM_{2.5}は、

長期的な視野で対策をしていかなければならないと考えています。