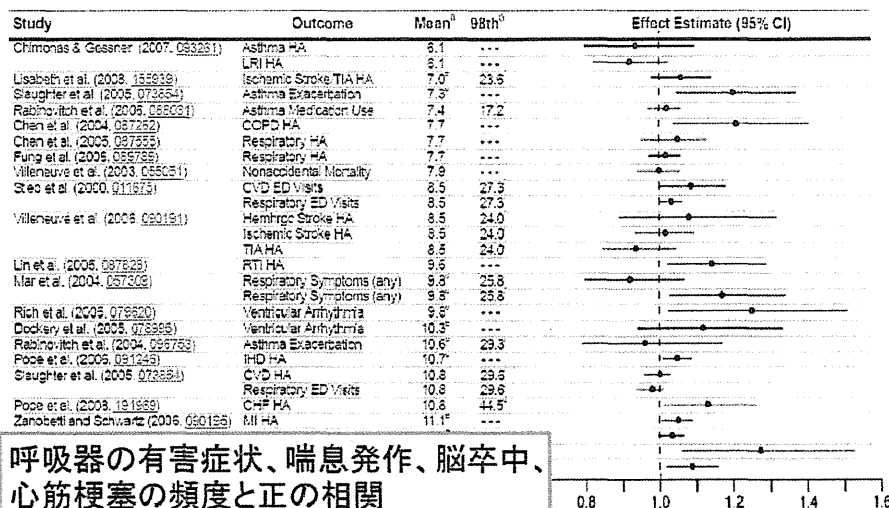


## PM2.5の疫学(短期曝露)

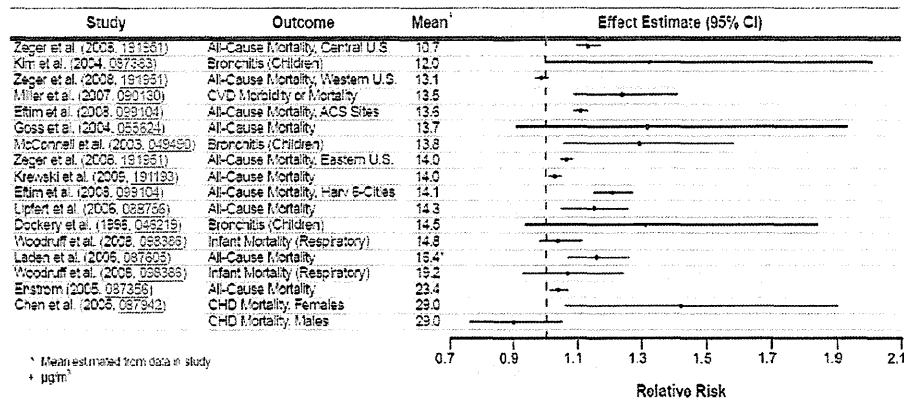


呼吸器の有害症状、喘息発作、脳卒中、  
心筋梗塞の頻度と正の相関

(米国 EPA, Integrated Science Assessment for Particulate Matter, 2009, p.2-14 より一部改)

お配りした資料はすごく細かくて申し訳ないのですが、こういった図の見方だけ少し説明したいと思います。ここに、「Effect Estimate」というのがありますが、これが何を示しているかと申しますと、PM2.5が $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、つまり、1立方メートルの中に $10\mu\text{g}$ 増えたときに、いろいろな疾患や死亡がどれだけ増えるかということを示した結果です。各項目のリスクがどれだけ増えるかということが、この数字で表されているのです。「1」というのがいわゆる平均値で、これよりも、比較的この右側に丸や棒や点が多いと感じて頂けるでしょうか。例えば1.1から1.2の辺りに多いと思うのですが、これが何を示しているかと申しますと、PM2.5が $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ 増えると、ここに書かれている様々な指標、疾患の発症率や死亡者数が、1.1倍とか1.2倍になっていたということなのです。実際に何人増えていたのかについては、もともと死亡者数や疾患の発症する人が何人いるかというバックグラウンドのデータが必要なので、数のことをこれだけで論じることは出来ないのですが、とにかく相対リスクとしてこういった数字が報告されているのです。さて、数字を理解していただいた上で内容を説明しますが、端的に申しますと、まずPM2.5の短期曝露については、呼吸器の有害症状と喘息発作、それから脳卒中や心筋梗塞の頻度と、そういうものを介した死亡の相対リスクが増えるということが示されています。PM2.5の短期曝露によって、それだけの変化・影響が出るということが、疫学的に示されているということです。ちなみにこれはEPAが、メタ解析といって、先ほど武田先生が示されたグラフのような形で報告される疫学のデータを沢山まとめて、このように並べて示した結果です。つまり、これは沢山ある疫学データを並べた結果なのです。

## PM2.5の疫学(長期曝露)



死亡(とくに心血管疾患)、気管支炎の発症率と正の相関。

(米国 EPA, Integrated Science Assessment for Particulate Matter, 2009, p.2-15)

長期曝露になるとこの数字は、もっと大きくなるのです。これは驚くべきデータなのですが、同じように平均のPM2.5が10~20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 程度のところ、この数字が「10」増えるとどれだけリスクが高まるかといったことを示しています。結果は1.1~1.4くらいと、やはり非常に高い相対リスクがあることを示しているのです。これは死亡ですね、特に心血管疾患の心血管疾患イベントの発症による死亡ですとか、肺・気管支炎ですとか、そういったものの発生率とPM2.5の濃度とが、長期曝露の影響として相関があるといったことが、はっきりと示されています。これだけ疫学でリスクがはっきりと証明されているものは、他にはそうないな、という所で、PM2.5は環境中の化学物質のうち、リスクの高い物質として、非常にはっきりと証明されているのではないかなと思っています。

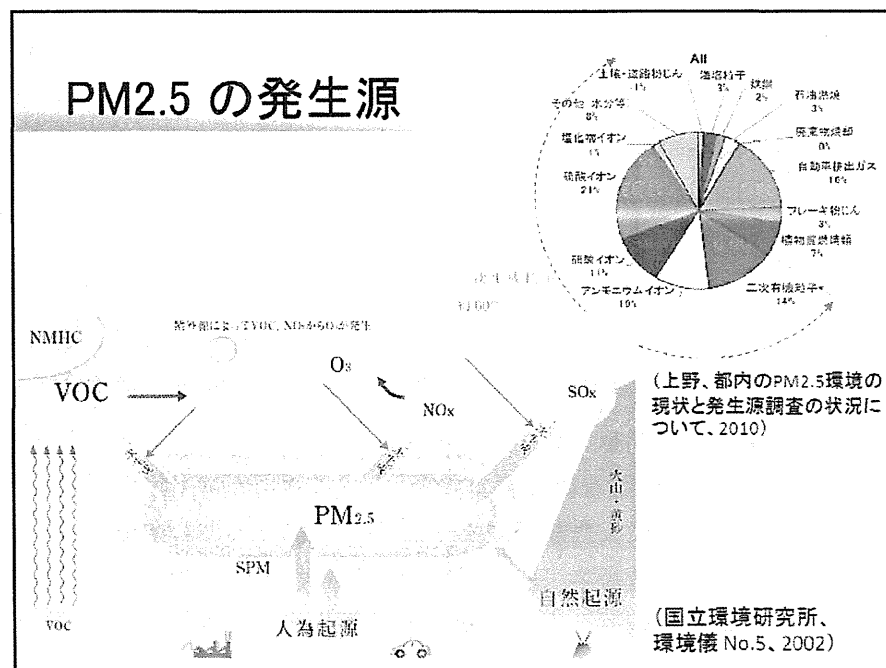
### PM2.5の環境基準値

- 年平均値 15  $\mu\text{g}/\text{m}^3$
- 日平均値 35  $\mu\text{g}/\text{m}^3$
- もっと厳しくする(基準値を下げる)可能性も議論されている。(米国 EPA)

#### 対策のための議論が深まるべき点

- より厳しく管理する場合のコスト
- PM2.5の組成、発生源
- 質量濃度以外の捉え方

そういったデータを踏まえて、PM2.5についてこのような環境基準値が設定されています。年平均として、 $15\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、1日の平均としては $35\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、これが今の基準値ですね。これをもっと厳しくする可能性というものも今、特にアメリカのEPAで議論されています（※2013年3月から、米国ではPM2.5の環境基準値が年平均では $12\mu\text{g}/\text{m}^3$ に改訂されました）。で、PM2.5は増えればリスクが高いのなら、とにかく減らせばいいのではないかということになるかもしれないのですが、単純にそうはいきません。それが可能ならそれでもいいのですが、そうはいかないというのが現実です。PM2.5対策のための議論が深まって欲しい点として私が考えるのは、主にこの3つです。なかでも特に上の2つですね。まず1つ目はコストと書きましたが、やはり対策するにはコストがかかること抜きでの議論はできません。もちろん、死んだり病気になってしまう人がいるんだったら、コストを払ってでも対策すべきだという声もあると思うのですが、我々が気を付けなくてはいけないのは、費用対効果と、リスクのトレードオフという2つの問題です。費用対効果というのは、どれだけのコストを払えば、どれだけリスクを回避できるのか、ということですね。リスクのトレードオフというのはどういったことかと申しますと、簡単に言うとコストを払うと、他の所にその分のコストを払えなくなるわけです。もしくは、我々がそのリスクを回避するために行動を変えるかもしれない、それによって、新しいリスクが生まれてしまうかもしれないのです。なので、この対策コストの問題を、他のリスクと併せて考えたときにどう対策するのがいいのかということ併せて、しっかりと議論されなくてはならない点であると思っています。



2つ目は、組成と由来（発生源）の問題です。今は一口に「PM2.5」と言って管理されていますが、あとは「SPM」ですね、より大きな粒子も含めたものについても環境基準値がありますが、そういった粒子はなぜ今、現行のようにリスクの管理、基準値の設定などがなされているのでしょうか。今はこれで良

いと言われていますが、これも考えるべき点があるのは事実です。今問題になっていることを例に挙げると、そのPM2.5が本当に中国由来かどうかということがあります。そういったものもあるとは思いますが、本当にどれだけのものが中国由来なのかというのは、私は疑問にも思っています。で、こういったことを考えなければいけないかと言うと、まずPM2.5にもいろいろあるんですね。そこで、組成をしっかりと見なければいけないんです。これも大変なことなので、すぐには出来ないかもしれないのですが、本当はこれがわからなくては由来もわからない。本来はその由来を特定して、どこから沢山出ているから、どこを管理すればいいのかということを考えたり議論したり、管理の方法を判断をしていくことが重要になるのです。あと3つ目は、今日のナノ粒子のお話の中にもありましたが、質量濃度以外の捉え方というのも場合によっては必要なと思っています。ナノ粒子は、粒子として存在していて生体影響が大きいものと言われているのですが、質量が非常に小さいんですね。大きいものを十分に減らせば小さいもの＝ナノサイズの粒子も減るといのであれば、質量での監視・管理でいいかもしれません。ただ、例えばエンジンの改良の結果として、大きいものだけが見かけ上減っていてもナノサイズのものは減っていないということになると、ここの数字（粒子の質量濃度）は減っていても、もしかしたら粒子は、特にナノ粒子は減っていないといったことが起こるかも知れません。実際にはある程度、大きな（マイクロサイズの）粒子とナノ粒子の量とは関連しているとも言われています。ただ、これからの技術の使われ方によってはナノ粒子が残ってしまう可能性もありますので、質量濃度以外の捉え方も少し注意点としては必要なと、特にナノ粒子の健康影響の可能性を考えると必要だと思っています。

さて、アウトラインを少し長く話してしまいましたが、もう少し説明を加えたいと思います。まずPM2.5っていろいろな所から出ているんです。実は、今日武田先生が紹介されたディーゼル排ガスだけではありません。これは、国立環境研究所の出されている図なのですが、武田先生のスライドの最後にもありましたように、PM2.5は火山とか黄砂といった自然起源のものもあり、つまり自然に発生するものもあります。そのために、PM2.5は決してゼロにはならないとも言えます。それから、人為起源といってエンジンや工場から粒子が出される場合もあります。さらに、ここにVOCとあるのは揮発性の有機化合物です。そういったものが大気中に出て、大気中のオゾンと反応すると、そこからPM2.5が出来る場合もあります。それからオゾンと、SOxやNOxとの反応でもPM2.5が出来ることが知られています。つまり、PM2.5には自然に出来るものもあれば、我々の産業活動によって出来るものもある・・・それを踏まえて、じゃあどこを管理すればPM2.5は減らせるのかといったことは考えなければいけないのです。こちら（右上の円グラフ）には少し量的な情報を出しましたが、これは東京都がPM2.5の組成を報告した内容です。こちら（右上の部分）はたしかに人為起源です。この中では、自動車排ガスはかなり多いんですね。ですが、一方で自然起源や二次生成粒子、他のものから出来てくるものも60%あります。これも含めてトータルの中で見ると、自動車排出ガスは16%ですね、これでも結構多いと思いますが、どこに力を使えばどれだけ管理が出来るのかということを考える上では、このようなデータが非常に重要であると考えています。

## 個数濃度は？

千葉県野田市(東京理科大学薬学部付近)の例

- ・ 屋外 10000～30000個/cm<sup>3</sup>
- ・ 幹線道路の歩道 10000～250000個/cm<sup>3</sup>  
(1秒ごとの値。午後2時ごろの時間平均値は6万～10万個/cm<sup>3</sup>)



次に、質量濃度以外の考え方についてももう少し説明させていただきますが、この数字を見て、皆さんどう思われるでしょうか？ 結構多いんですよ、これ、立方メートルあたりではないです、立法「センチ」メートルです。1立方センチメートルの中に、実は粒子ってこれだけの数あるんです。なので、ないものではない、やはりゼロではないということは、知っておいて頂きたいなと思っています。あとは、これは環境・場所にもよりますが、屋内では、例えば我々の大学ですと4000～8000個/cm<sup>3</sup>という数字です。外ですと、ここには10000～30000個/cm<sup>3</sup>と書きましたが、大体は8000から、たまに原因がわからず多いときに70000とかになることもあるんですけど、それくらいの桁だと思っていただければと思います。で、道路沿いではどうなのかということなのですが、すごい数にまで増えるときがあるのです。これは大学の近くの幹線道路でも測りましたし、東京に来て測ったこともあるのですが、どちらでもそうでした。普通の屋外と変わらない8000個/cm<sup>3</sup>くらいのときもあるんですけども、高いときに「30万」近い値になるんです。これは、やはり道路を走っているものでナノ粒子を排出しているものがあるということ、はっきりと示していると思います。ただ、ずっとこの値(30万)ということはないんですね。ある、沢山粒子を出している、ナノ粒子を出している車が通った後に、スパイク状に増えて、一時的に増えてまた落ちてくるということが多いです。この数値は、1秒毎にその濃度を記録していった結果です。またやはり、平均値としても高いです。午後2時頃という車(とくにトラック)の多い時間帯での記録ですが、6万～10万個/cm<sup>3</sup>くらい平均でもあります。一方で、普通の屋外ですと、どんなに多くても6～7万個/cm<sup>3</sup>、普段は8000～3万くらいなので、やはり道路沿道は高いなあというのが事実であるということはわかっています。

質問「すみません、今の機械は、どれくらいの幅の粒子の大きさのものを測定できるんですか？」

ナノ粒子より大きいものまで含めて、直径20～1000nmの粒子の個数濃度を測れます。

「その測定器は高いんですか？」

100万… 安く手に入っても100万円くらいです。

なお、この機械では粒径分布の測定は出来ません。一方で、少し価格も上がってしましますが、粒径別にその個数濃度を測ることが出来る機械も開発されています。大きくて持ち運びが出来ないような物もあれば、これよりも小さく持ち運びが出来るものもあります。ただやはり、小型のもので粒径分布を取れる機械は、まだ10nm~20nmの大きさのナノ粒子までは測れないと思います。また、小型の機器ではまだ粒径分布は取れず、個数濃度を測定するのが精一杯というのが現状だと思います。ただ、この辺りの技術は現在かなり改善、発展していると思うので、ここ5年くらいでどんどん変わっていくかも知れません。

話は戻りますが、結局、ではPM2.5の質量濃度と併せてこの個数濃度をモニターすればいいのかということになるかも知れないんですが、社会の中ではやはりそう簡単に判断はできないんですね。実はこの個数濃度を測定する・個数をカウントするというのは、粒子の質量を測定するのとは、全く違った原理で行われます。なので、もし粒子の個数濃度をPM2.5の質量濃度と同じように全国で測定する場合には、そのこれまでとは別の原理に基づいた測定機器が必要になるのです。この機械でなくてもいいのですが、とにかく違った原理の機器が全国の測定地点で必要ということになると、かなりのコストを要します。なので、こういったものも必要であるよね、というのが私の提案ではありますが、これをすぐにモニターするというのは、不可能であろうということも、ご承知おき頂きたいと思います。

さて、ここで今話題になっているPM2.5が本当に中国から来ているのか、という辺りが次のテーマです。中国ではとにかくPM2.5が多い、もしくは増えているということなのですが、本当にそれが国境を越えてこちらにまで来ているのかということは、すごく今ニュースなどで取り上げられていて、私も心配しているところです。本当に中国由来のものが今年特別に多いのかという問いに対して、私は答えを持っていないのでそこはお話できないんですが、ここではPM2.5のデータや情報を読み取る時の注意点を少しお話したいと思います。…もしかしたら皆さん、ここはもうすでに完璧かもしれないのですが(笑)。今日は、ざっとここに3つ並べさせていただきました。

## PM2.5 — 数値解釈の注意点

- ① 一時点での値なのか、日平均値なのか、年平均値なのか
- ② 基準値と比べてどのレベルか、他の時期の数値と比べてどのレベルか
- ③ 地表からどの高さについてのものなのか

まず、ある値が一時点でのものなのか、1日平均値なのか、年平均値なのか、これが非常に大事です。私も先ほど、道路沿道について25万という数値を出しましたが、あれは一時的な値です。平均すると、時間平均値として6万~10万といった値もお示しました。そういったように、そもそもナノ粒子でなくても大気中のPM2.5というのは、時間によって、産業活動や風向きなどによっても大きく変動します。報道などでPM2.5の数値が出てくるときに、ときどき一体どの数字なのかというのが分からずに出てくる場合があるのですが、そこをしっかりと見たり、示してもらったりしなくてはいけないだろうと思います。とにかく大気中の粒子の量は、日内変動が大きく季節変動もありますので。繰り返して申し上げたいのは、例えば同じ「 $20\mu\text{g}/\text{m}^3$ 」であっても、1時間だけその濃度であったことと、1日平均してその濃度であったこと、もっと言うと、1年平均としてこれだけあったのかでは、その意味がまったく違うということです。先ほど環境基準値がありましたが、年平均で「20」という数字になれば基準値を超えているということになりますよね。一方で、1日平均でしたらこのくらいの数値になることも、結構あるのです。この変動には様々な要因がありますので、そこまで管理するのは無理でしょうし、とにかく実際に変動するものなのだと知っておいて欲しいと思います。つまり、ある数字をパッと見たときに、ああ危ないんだと思わずに、これがどれだけ継続するのかとか、継続していたのかとか、そういった情報に注意を払って頂きたいなと思っています。

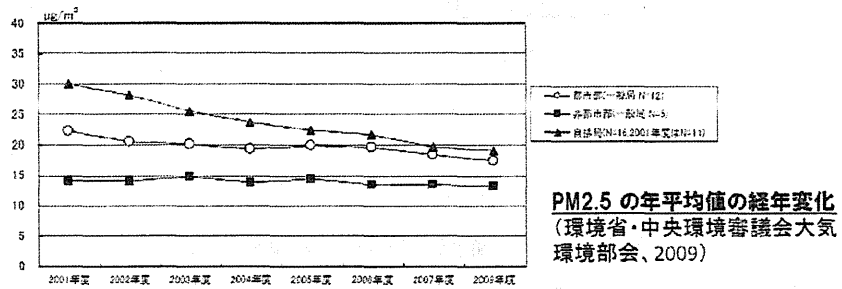
## ① 一時点での値なのか、日平均か、年平均か

- 大気中のPM2.5濃度、浮遊粒子状物質(SPM)濃度は、日内変動が大きい。
- 同じ「 $20\mu\text{g}/\text{m}^3$ 」でも、それがあの一時間だけその濃度であるのと、一日平均としてその濃度であるのでは全く意味が違う。

あとは、少しでもPM2.5が増えると問題なのかということに関してなのですが、確かに増えるとリスクは高まるのですが、どれくらいの健康影響を起し得るかということを考えると、基準値と比べてどのレベルかということ、一つの参考にして頂ければと思います。

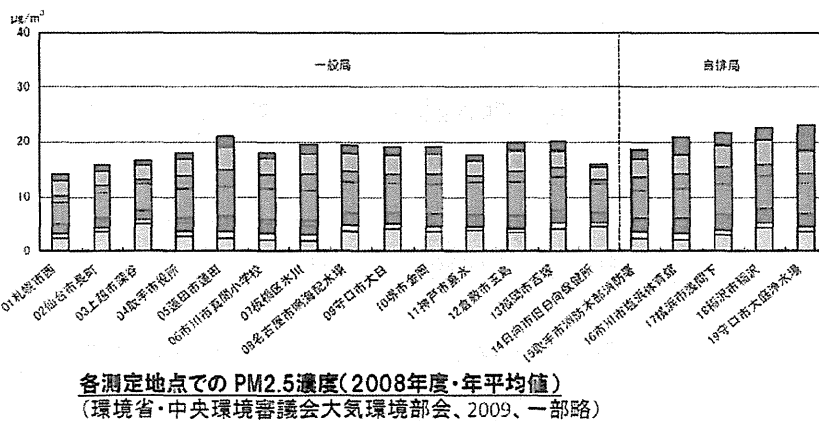
② 基準値や、他の時期の数値と比べてどのレベルか

- 健康影響の大きさ(高濃度が短期的か、長期的かも重要)を推測するために、基準値との比較を。
- 以前の数値と比べてどうか。(※本当に〇〇由来か?)



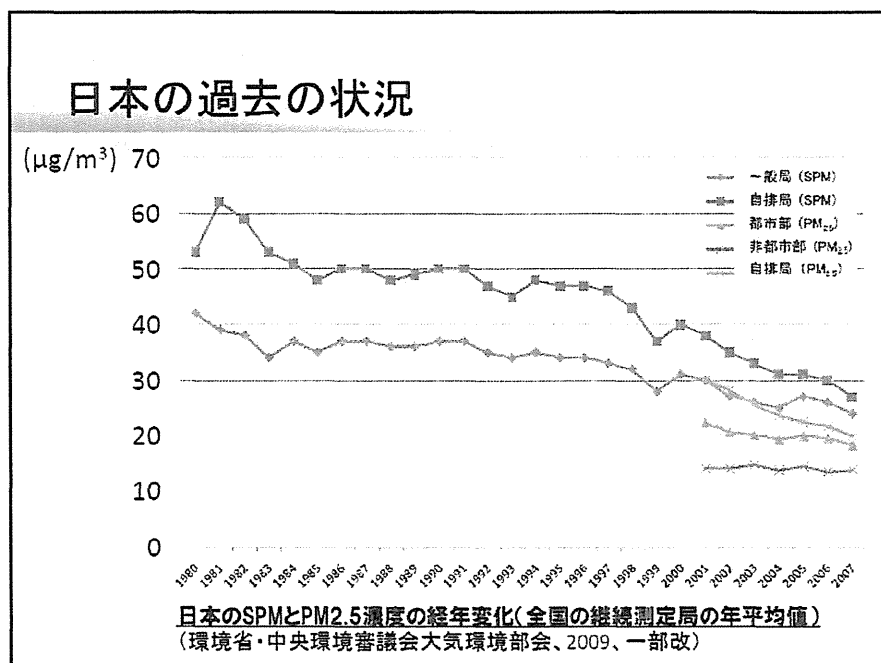
② 基準値や、他の時期の数値と比べてどのレベルか

- もともと地域差があることにも注意。





あと重要なのは、他の時期の数字と比べてどの程度なのかという点です。例えば今、福岡辺りで非常に問題になっていたり、あと横浜や東京でも数値を人々の目に触れやすい形で公開するという動きだったり活発になっていると思うのですが、今の数値が、問題となった時期より前と比べて増えているのかどうかというのは、考慮すべき非常に重要な点です。つまり、基準値との比較とそれが続くかどうかという点に併せて、以前の数値と比べてどうかということも重要なのです。PM2.5を含む大気環境のデータを公開しているものには、環境省の「そらまめ君」というシステムがありますが、そういったものを活用して今の値と以前のものとを確認する必要があります。その値を、この問題についてしっかり議論する際には確認しなくてはならないなと思っています。例えば、今問題になっているPM2.5が本当に中国由来だったら、今回の問題が起こる前と比べて増えているはずなのですが—そこを実はまだ私は確認し切れていないのですが—確認される必要があると思うのです。で、もっと言うと、季節による変動もあるので、直前の時期だけではなく、1年前や2年前の同じ時期の数値とも比べられる必要があるかと思っています。



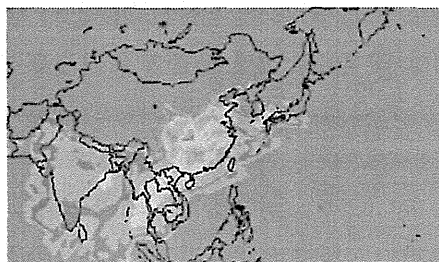
これはですね、環境省の、日本のPM2.5の環境基準値を決めた審議会・部会の報告書から引用させて頂きましたが、PM2.5の年平均値の推移はこのようにわかっています。実はPM2.5のモニターが始まったのが2001年なのですが、まず「自排局」が道路の沿道で自動車排出ガスを中心にモニターする測定局なのですが、そこでのPM2.5も(質量濃度として)かなり減ってきているんですね。それ以外の一般局でも、非都市部は10年ほど前とあまり変わらないのですが、都市部で少しずつ改善されつつあるというのが事実です。ただこれは、各地点の年平均値の平均がこの値なので、年平均「15」という今の基準値をまだ達成していない所も、そもそもかなり多いというのが現実です。あと先ほど、日内変動と季節変動のお話をしましたが、実は結構地域差もあります。これについても同じ資料から引用しましたが、ここが「15」ですね、年平均値なので、この15を下回っていれば基準値達成ということになります。この

2008年度の時点で大部分達成されていませんが、地域ごとに見ると高い所では一般局でも20くらい、低い所では14、それくらいの違いがあるのです。例えば、最近よく報道で取り上げられる福岡を例にしますと、例えば福岡での以前のデータがないといった場合に、じゃあ東京のデータと比べればいいのかというと、そうは言えないかも知れないのです。もともとPM2.5濃度に地域差はあるということには、注意が必要かと思えます。あとは、今の中国の状況についてですが、様々な報道がされています。200~800 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ とか、そういう数字が報告されているのが現状でしょうか。ちょっと僕は、事実確認をしきれてないんですけども、しかも、「200~800」というのが、どのくらいの期間の平均値かというのも、私はちょっとフォローしきれてないのですが。一方でこれは、日本の過去30年の年平均のデータです。環境省からの先ほどと同じ資料からのグラフです。年平均値として、日本もつい30年前の、これはPM2.5ではなくSPMですが、今より2倍ほども高かったというのが現実です。とくに主に自排局の、つまり自動車排ガス由来と思われるものが、「30~60」と今よりも2倍多かったですね。で、自排局だけでなく一般局でのSPM、大きな道路以外の地点での測定値ですが、それもかなり減ってきたということがわかります。PM2.5については、モニターが始められたのが2001年なので、そこからしかデータがないのですが、先ほども紹介した通り、PM2.5も少しずつ減ってはきています。実際に僕がこの数字見たときにまず思ったことは、SPMやPM2.5はこれまで比較的上手くレギュレーションされてきたのかな、ということです。もちろん、その過程でいろいろあったとは思いますが。あとはですね、中国ではこの数字（年平均値）が100とか200とか、それ以上といった数字であるとしたら、かなり高い濃度ということになると思います。日本でのこの30年間を見た限りでは、PM2.5でなくSPMでも、つまりSPMというPM2.5とそれより大きな粒子を含めた濃度でも、「60」とかが全国の年平均値であったわけです（これよりずっと高濃度だった地域も、もちろんあったとは思いますが）。それと比べると、長い期間の平均値としてPM2.5やSPMが数百 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ となると、非常にこれは問題だな、と。一方で日本ではこれくらいでしたということも知って頂きたいと思えます。

### ③ 地表からどの高さについてのデータなのか

- 「健康影響」を考えた場合に重要なのは、あくまで「地表近くの」濃度。

⇔ 上空での濃度と地表近くでの濃度とが、どのように相関するのかに注意を。  
(色の意味に注意を。)



あと、最後にもう一点私が少し気になっているのは、地表からどの高さについてのPM2.5のデータについて議論をしているのか、という点です。地上からのどの高さについてのデータか、ということです。このような図、結構センセーショナルな絵が出るんですね。僕の理解が正しければなんですけども、これは地表から上空1000mまでの平均のものとして出ています。これは、シミュレーションのデータなのですが。我々への健康影響を考えたときに、我々が実際に吸うのは地表近くのものなので、地表近くの濃度というのが非常に重要になるわけです。なので、この図を見るときには2つの点に注意が必要かなと思っています。端的には、上空での濃度と、地表近くでのそれとがどの様に相関するのかということに注意が必要だと思うんですけども、主な注意点は2つあると思います。1つは、上空にあるものがどれだけ降下してくるかですね、これはタイムラグもあると思います。なので、これ（このPM2.5の流れ）が去ったから問題なくなるのかって言ったら、それも違うと思いますし、一方で、降下して来なければ地表近くにいる我々は吸わないかもしれませんので、その辺りがもう少ししっかり明らかになって欲しいなと思っています。ただ、このデータは、実はシミュレーションのデータで、実際の測定値ではありません。実際には、地表近くの値というのは様々な要因が絡むために予測できないので、このデータが有効に活用されなければ困ると思います。が、これは地表近くについてのデータではないということは、我々がもう少し知っておかなくてはいけないように思います。で、もう1点注意しなければいけないのは、地表では気流は上空より弱いので、滞留する可能性が無くはないということです。そのため、実際の濃度はこれで示されているより低いかもしれないということと、高いかも知れない、両方の可能性があります。とにかくそういう所に注意が必要かなと、この図を見ながらいつも私は考えています。

「大気汚染にいろいろ測定をやってきた歴史はあるわけですが、都市部でこのくらいの汚れ方のときに、高さ別に測ってみたら、大体このくらいの割合になっているとか、気象条件の関係でこういう様な分布になりそうだ、みたいな話はないんですかね？」

そのような例を私は聞いたことがないのと、私はシミュレーションが専門ではないので、そこはちょっと情報を網羅的にフォローしきれないんですけども、そういったことがはっきりと、分けて解析されることで、実際の健康影響ですとか環境への影響を考える上でもっとしっかり使える、もっと重要になるものではないかと思っています。が、そこが出来てないのが現状かと思っています。

「一般的にはシミュレーションの高さって何メートルなんですか？」

「一般的」なことはすみません、私は存じ上げていませんが、今回のPM2.5についてよく出てきているものは、地表から1000mの平均濃度として出されているはずで、他の取り方をしているものもあるかも知れませんが、私の見ているのはそれです。おそらくやはり、そのくらいの高い範囲まで含めた濃度でないと、シミュレーションができないということもあり、今はそのようなものが使われているのだと思います。

## リスクを回避するためにできること

### リスク管理のレベル

- ・ 行政レベルでの規制
- ・ 企業の工夫
- ・ 子どもの生活環境への働きかけ

### 研究のステージ

- ・ 疫学研究の結果
- ・ 動物モデルでの結果
- ・ 次世代影響

## 我々の研究課題

- ・ 高感受性集団への影響
- ・ 次世代影響
- ・ 動物とヒトの種差
- ・ 低用量での影響

最後に、私自身が出来ることを考えてみたいと思うんですが、私は大学で研究もしていますが、一方で家に帰れば、1歳の子供がいる父親でもあります。やはりその、粒子の健康影響ですとか、粒子以外のこともあります。どうやって我々が健康に過ごすかということ考えたときに、勿論行政レベルでリスク管理して欲しいなって考えることも多々あります。が、実際にはそこまで至るには、非常に難しいプロセスがありますので、その前に我々が出来るのは何かな、ということをよく考えています。例えば行政レベルで規制するためには、まず環境で言えば、疫学的研究の結果が必要だと思うんです。でも、これ私がつよく疑問に思うのは、つまり人が死ななきゃ何も出来ないのか、ということなんです(苦笑)。そこは、それだけではちょっと“手遅れ”だなと正直感じます。もう少し化学物質ですとか、我々が産業で使うものに関しては、もう少ししっかり管理がされていますけども、かなりしっかりしたデータが出てこない、それもできないのが現実です。企業の気風もあると思います。企業で安全性を検証して使っていくとか、環境への放出を管理していくとか、そういった工夫も出来ると思います。そういったことは、我々がやっているような動物モデルの結果を踏まえて考えてくれるような企業も実際にありますし、より上手く、こういった研究の結果が活用されればいいな、と思っています。で、我々は実際に、ナノ粒子の次世代影響へのデータを持っているわけですが、そういったことも考えた上で、私が家に帰って考えるのは、子供の生活環境をどうしたら良いのかなということです。といっても、正直なところまだあまり斬新なアイデアはないんですけど、大きなトラックが通るような道路沿いには、小学校の校庭を作らないとか、校庭はブロックできるよう、校舎のこちら側(幹線道路の反対側)にグラウンドを作るとか。屋内には空調もあると思いますけど、換気のための空気を取るところは道路から離

れたところから取るとか、道路だけでなく工場とかもあるかもしれませんが。そういった所から少しづつ何か変わったらいいなと。今も勿論ある程度そういった働きかけとかあると思うんですけども、そういった働きかけがもっとしっかり生かされていくといいなと考えています。…実はちょっとそれ以上のアイデアが今ないわけではないんですけど・・・(忘れてしまいました)。

「そういった中で、空気清浄機とか、脱臭機とか、その辺のレベルでは絶対粒子は取れないものなんでしょうか？」

粒子ですね、「ここ」(一般的な室内空気)に浮いている粒子をある程度回収するには、空気自体をここに通す必要がありますよね。もちろん換気としてここから空気を取るときに、そこにフィルターを通すことは出来ます。実際エアコンとかでもフィルターを掃除するように、フィルターってあるんですけど、実際「ここ」にある粒子とかは、なかなか空気清浄機とかでは取れないかな、とは思っています(※空気清浄機によっては、集塵機能のデータを示しているものもありますが、実際の運転環境・運転状況によって効果は大きく変わると思われます)。あと、粒子の捕集の問題は、やはりフィルターは使い続けると詰まってしまうんですね。定期的に交換しなくてはいけないですとか、そういったことがあるので、かなり性能のいいフィルターとかも開発されつつあるので、もしかしたら上手くいくかもしれませんが、ちょっと今は空気清浄機で粒子を回収し続けるというのは、なかなか難しいかなとは思っています。

「今の質問にちょっと関連すると思うんですけども、よく中国で、日本人の中国の学校なんかは空気清浄機をいっぱい置いたりとかしてやってますよね、室内から屋外に出さないだとかしていますけど、ああいうことの効果っていうのは、もしきちんと測って見たら、実は十分じゃなかったみたいなこともあり得る話ですか？」

何をもって十分かというのはありますが、勿論その対策が有効かどうかということも、測ればわかると思います。実際に、例えばある清浄機を置いてみました、では、ある化学物質が減っていましたか、粒子が減っていましたか、ということはモニターできると思います。その辺りのモニターや評価がどこまでなされているかということも、私は少し気にしています。その評価をしっかりとせずに、物だけ何か揃えてやったっていうのは、なかなか…気休めにはなると思いますが、どうかな、とは思っています。

「今でしたら、アスベスト用のマスクっていうのはあると思うんですけど、ナノ粒子とか、PM2.5用のマスクっていうのはあるんでしょうか？」

特に「PM2.5用」というものはないと思いますが、実は数年前に1個論文が出ていまして、高性能のマスクでなくても、マスクを着けるだけで、実はある程度粒子って数・量は減らせるよね、っていうことは報告されています。なので、普段からマスクをする必要はないと思いますが、例えば粒子の多い日

にマスクをするのは有効な対策になると思います。もちろん今の、インフルエンザとか、私もすべては存じ上げないんですけども、ウイルスカットですとか、そういう高性能のマスクも出ておりますので、それも有効だと思われます。実際、ウイルスとナノ粒子は同じくらいの大きさですよ。なので、実は結構な効果があるのではないかなと思っています。花粉症と同じで、効果はあると思います。確か今、PM2.5が問題になっているので、これ以上ある数字を越えたらあまり屋外に出ないように注意報を出そうとかそういう議論もなされていると思うんですけど（※講演会の4日後、2013年2月27日に環境省から発表がなされました）、そういった場合も同じようにマスクをするとか、そういったことを対策の1つとして取れるんですね。なので、そういった数字をしっかりと人々が理解できるような形で出して行くっていうのは、重要というか、有効なことだと思っています。

「子供の吸う量と大人の吸う量はやっぱり違うんですよね？ やっぱりそうすると、健康影響が大人と子供じゃ全然レベルが違うってことになるんでしょうか？」

はい、呼吸量が確かに違います。ただ、体の大きさも違うので、体の大きさ当たりの吸う量としてはあまり変わらないかもしれません。よく我々が医薬品、薬もそうなんですけども、実際には体重当たりで体内に入った量が重要になるので、必ずしも子供が吸う量が少ないから影響が少ないということにはならないと思います。あと、もう1点は、子供は発達期なので、発達のプロセスに何か影響してしまうと、大人になったときに大人が影響を受けた場合とは違う影響が出てしまうことがあるということは、少なくとも可能性としてはかなり懸念はされていますし、実験的にもいくつか証明されているところです。そういったことも注意点として考えられると思います。

「ナノ粒子として機械で測定で何個って出たんですけど、その1個1個っていうのは1種類じゃなくて、いろいろなものが入っているんですよね？ そうすると、悪さの程度もものすごく悪いのもあれば、そうでもないものも混じっているんで、トータルで数ですよ。それぞれそうすると性質が違うでしょうから、空中にありますよって言うても同じ状態じゃなくて、軽いつて仰ったから、下に沈むんじゃないかって、ふわっと花粉みたいな想像なんですけど、常に舞っているのかな、と思ったんですけど、それで外なんかで屋外で測ったと仰って、例えば森林で測れば極端に減るのかな？ とか、想像してたのと、天気しだいかなっていうのもあるのかなと。雨が降ったらやっぱり一緒に落ちてくるものなんですか？ それとも関係ないんでしょうか？」

はい、いろいろ入っています。天気には、その通り左右されます。雨の場合、ある程度減ったりもしますが、他にもいろいろな要因がありますので、一概に雨が減れば絶対に減るってわけでもないのが現状です。

「花粉だと沈みそうな気がするんですけど？」

粒子も同じような部分が多々あると思います。ただ、本当に他の要因もかなりあるので、雨が降れば絶対に減るといってもいいですし、難しいですね。僕ももう少し測ればわかるかなと思って、結構歩いて回ったんですけど。

「粒子は増えていくのは想像できるんですけど、自然に分解して減っていくと想像していいのですか？ 放射性物質みたいに、常にあるのか、それともどンドン飛んできたのが増える一方なのか、常に分解して増えては減り、って思えるのかどうか？」

確かに先ほど雨のお話がありましたが、雨の水とかに吸着して、そのまま海に落ちて、ただの化学物質になるってことは十分考えられます。それが一番減る、確かに先ほどの図には発生源しかなかったの、回収の方は書いてありませんでしたが、そういったことで減りますね。あとは光で分解するもの、ものによってはあります。あとは、凝集して小さいものが大きくなって、沈むといったことはあります。一番大きく寄与するのは、やはり水への吸着と粒子どうしの凝集ですかね。それが一番大きいと思います。

「ここも渋谷区ですけど、渋谷区の初台であの100万円の機械を1日メーカーに頼み込んで何人かで測った経験があるんですね、そうしましたら、初台の甲州街道と環七の交差点、道路が4重くらいになっているんですけど、本当に変動が激しいんです、それで、絶対バックグラウンドとして、道路以外の所も測らないと駄目よ、っていうことで、そのエリアには代々木公園しかなかったの、代々木公園の中へ入って行って測ったら、あまり下がらないんですね。初台ほどでは勿論ないんですけども、そこそこ何でこんなに数はあるの？みたいな…原因はわからないんですよ。そういうもの？なんですかね。」

確かにいろいろな環境による増減は多分にあると思います。実は僕は皇居前広場にいったことがあります。そのときは、道路沿道で見られる粒子濃度のスパイクは意外と消えるな、と思いました。そこはすぐ近くに内堀通りがあるんですけど、100mくらい離れると大通りのすぐ脇（歩道）と大きく値が違う場合もあります。なので、やはりいろいろな環境や地形が影響するとは思いますがね。

それから、先ほど僕も、大気中の浮遊粒子が地表で滞留することがあると申しましたが、滞留しやすい場所というのもあり得るのではないかなと思いました。例えば森林のように木の多い公園みたいな所で、もしかしたら（気流が入らないと）粒子が中々入らないかもしれないんですけど、一回入ったときにももしかしたら滞留しやすいとかいうのはあるかも知れません。そこまで一つ一つ、対策していくのは難しいですけども。

あと、先ほどの話（粒子には「いろいろなものが入っている」こと）に戻りますが、実際にはナノ粒子もPM2.5もいろいろなものがあります。一方で環境中のSPMやPM2.5は質量でモニターされていて、そこには成分という要素は一切入っていません。というのは、疫学研究の方でも示しましたが、まずは

量だけ管理すれば、ある程度リスクを減らせるだろうといった目論見・根拠がはっきりと示されているので、量だけでモニターするということになっていると思うのです。ただ、今後本当にもう少し技術が発展してきて、もうちょっと工夫したら、もっとこのリスクは減らせるんじゃないの、となったときに、今よりも簡単に粒子の性質や組成元素を解析する技術もできていて、リスク管理の方法が変わっていくという可能性は十分考えられると思います。実際に「PM2.5」での環境基準・管理というのも、その一例だと思うんですね。それまでSPMとしてだけモニターして、管理するしかなかかったのが、より小さいものを分けて測れるようになって。で、実はSPMは少なくともPM2.5が多いと状態があるかも知れないっていうことでPM2.5が監視されるようになってきているということがあるので。同様に、少なくとも今監視されているのは量だけですが、これからそこは変わる、これから、と言っても長いスパンですが…そういうことは考えられると思います。

+++

だいぶお話してしまいましたが。さて、わたしは実際に理科大・薬学部で実験していて、疫学研究は出来ないんで、実験でこそ示して行きたいと強く思っていることがいくつかあります。まずは、全ての人を見たときに影響がなければ「影響はない、対策しなくてもいい」、ではなくて、実は例えばある疾病を持った人とか、感受性の高い人がいるかもしれない・・・実際にその例もいくつか知られてはいるんですが・・・そういう所への影響はどうなのかということを示して、それを踏まえたリスク管理の重要性を訴えられるような研究をしていきたいなと思っています。あとは次世代影響ですね。次世代って、次の世界を作っていく存在なので、しかも感受性が高いと言われてますし、そこへの影響はしっかりと示していきたいなって思っています。あとは、動物で影響が検出されても人に本当に影響があるの、ということは常に問われるんですけど、そこはしっかりやっつけていかなければいけないということと、加えては、用量反応性ですとか、先ほど申し上げたどの成分がナノ粒子の健康影響として重要なのかとかはしっかり詰めていきたいなと思っています。ここは非常に難しい課題ではあるのですが、今でもここは研究していて、これからの課題の多い部分かなと思っています。様々なご意見など頂ければ幸いです。ありがとうございました。



## ◆質疑応答◆

「梅澤先生にご質問なんですが、生活上の私たちに出来るレベルの対応っていうのは、私の頭の中で浮かぶのは、放射性物質も、PM2.5も、基本的に花粉症対策だよって言うことを言ってるんですね。っていうのは、くっ付き易いのは髪の毛とか、キューティクルに引っかかるからですね。ですから若い方がフードの丸い毛皮を付けて歩いているのはすごい気になるんですね。特に3.11の後なんかはね。そうじゃなくて、なるべくツルツルしたのを上着にする、それから家の中に入るときはよく払うとか、あるいはコロコロローラーみたいので取り除く、特に小さいお子さん活発に遊ぶような方は、ちょっとお母さんがそれをやるとか、それからやっぱり髪の毛の次に溜まるのが運動靴とか靴下ですよ、圧力があれるからだと思うんですが、そういうことを考えれば、これまで以上にお母さんが小さいお子さんの履物を洗ってあげるですとかね、マスクについても先ほどありましたけど、しないよりした方が感受性の高い方は絶対いいし、ウイルス対策になったって高いマスクだったら、いいかなっていう風に思うんですね。私たちのレベルで多分出来ることって言ったら、今ぱっと浮かぶのはそれくらいなんですけど…」

梅澤：自己防衛手段ですね。

「それから、項目は今さっとならないんですけど、東京とはこの、PM2.5の今年の問題が起こる前に、どんどんモニタリング減らしているんですよ。環境局のHPをじっくり見ると、消えて行ってるのが結構あるんですね。だから、そういった面で声を上げる。モニタリングって、なんでもないとくも必要なんだよと、何かあったときにものが言えるのは、日常のモニタリングなんだよ、っていうことを皆さんの中で強く持っていたきたいなっていうことを、頼まれると話しているんですけど。」

梅澤：なるほど。

「それからですね、私たちに一番身近な、機械の中で、一番ナノ粒子の発生装置といえるのは、コピー機だっっていうのを聞いたことがあるんですけど、その点何かの知見があれば教えてください。」

梅澤：実際にトナーから、曝露評価の部分からですけど、出ているということが知られています。ただ、換気の状態と使用頻度には因ると思います。レーザープリンターのトナーから出て、空気中に放出されるということは知られています。でも、これも一時的な濃度上昇なので、それが起こるとしてもかなり頻度が高く、かつ毎日そこにいるということになると問題になるかも知れませんが、やはりその頻度や平均値と併せて考えることが必要だと思います。ただ、確かに曝露評価として、ここからナノ粒子が出ることは証明されています。あともう一つは、ファンデーションですね。化粧品は日焼け止めみたいに塗っているだけであれば平気だと思っていたんですけど、ファンデーションは使うときに舞って

て、そこにチタンが検出されるっていうことも、我々の研究ではないんですが、はっきりとデータで示されています。でもこれも、1日1~2回でしたら、それほどには気にしなくてもいいのかも知れません。

「はたくときに吸ってしまうということですか？」

梅澤：そうですね、はたくときですね。そういった場合にも、職業的に曝露され得る人の場合、製造の段階ではなくても、吸入の可能性はあるとは言えます。

「産業活動が発展する以前は、自然界にはどの程度だったか、推定は出来るんですか？」

梅澤：そのデータは勿論見たこともないですし、それはわかりません。ただ、私が今持っているデータから判断する限り、道路から離れた場所で測った結果と、先ほど申し上げた道路沿道・歩道上で測った結果との差があればあると考えると、産業活動の一つとして、自動車排ガス、もっと言うとディーゼル排ガス、あとは実はバイクから出ているんですけど、そこから粒子が出ていることは間違いなしだと思います。産業革命以前よりも濃度が多くなったかどうかは、勿論データもありませんし、わかりませんが。

「放射能の内部被曝みたいなことは、PM2.5にもあるのか、あと、放射能みたいに魚から循環して人間が食べるよ、みたいのはあるんですか？そういうことは、放射能と違って考えなくてもいいのか、考えなきゃいけないのかはいかがですか？」

梅澤：食物連鎖みたいなものですかね。人までは証明はまだされていませんが、生態系・エコシステムの中の食物連鎖で水系生物の中で濃縮されるとか、そういったことは、ヨーロッパの報告であります。ナノ粒子に関して。なのであり得るとは思います。

上田：先ほど小林さんの資料の中でも、農作物への移行ってことも、確認されたものがありますから、当然起こっていると思います。

「先ほどの武田先生のスライドで、ちらっと出て消えてしまったんですけど、ナノの吸入毒性と経口摂取の所でクローン病って書いてあるんですけど、あれに何か危険が出てくるのかな、それで何か腸に影響があるとかの論文があるんですか？」

武田：いや、あれは私たちの仮定の話で、現在増えている病気と、粒子が関わっているだろうなと予想しながらこれから明らかにしていかなきゃいけない研究テーマということで書いていました。

梅澤：実はナノ粒子は細胞の分化に影響をする部分が多いなという印象を持ってまして、すぐにそ

の疾病との関わりを証明するのは難しいんですけど、例えばその免疫に関する細胞への分化が、体内にナノ粒子が侵入したときに起こってしまうということがあると、そういう疾病とも関連する可能性があるということで、今後の研究課題として我々は持っています。

「武田教授の講義でパソコンの画面上に使われるフィルムも、ナノスケールでの開発がされてるって出たような気がしたんですけど、例えばの話、そういうものに開発されていって、それが熱伝導やなんかで揮発して空中に舞うっていう危険性はないんでしょうか。例えばアスベストみたいに、吸っちゃった場合に職業曝露リスク、私も事務でパソコンとか使っているんで、そういうリスクを考えなきゃいけないんでしょうか？」

梅澤：ナノパネルと言って、そのナノスケールの厚さのパネルがあるということですよ。

「例えば難燃剤なんかはパソコンから揮発して空中を汚染するっていう話は、臨床の患者から聞いたことがあるんですよ、そうすると、そういうアスベスト問題じゃないけど、家電製品だとかに変わった場合にそういうリスクも考えなきゃいけないんでしょうか。」

武田：そのナノ粒子が出てくるようなことを考えると、車があれば毎日走ってあれだけ多量にナノ粒子を撒いているので、そういうところの環境汚染が一番大きいかなと考えていて、それぞれの製品から出てくるナノ粒子っていうのは、まだそんなに心配するところまでしていないんですね。粒子としてはやはり、もっと多量に出ていてそれを私たちが吸ってしまうというものがあるような気がします。

梅澤：(ナノパネルからのナノ粒子の放出は) やはり揮発性のものと違って、飛散するということは決して多くないと思います。やはりそれは、機械的に物理的な破壊がないと起こらないと思われそうです。あとは製品にどういった形でナノ粒子が入っているかも重要です。ナノパネルの場合、おそらくあれはナノ技術であって、ナノ粒子は入っていないと思うんですけど。なので、環境放出はないと思います。

それから、素材からナノ粒子が剥がれ出て環境中に放出されるみたいなことは中々起こらないと思うんですけど、1つ可能性が懸念されているのは、建物の壁や窓ガラスに二酸化チタンなんかを塗ってですね、汚れが付かないようにする技術が普及し始めているんですね。それが長い時間経って劣化していった場合にどうなるか、というような事例はちょっとあり得るので、注意しています。実際に測定したデータはまだないのですが、可能性としてはこれが普及すればするほど、環境中に出てくる割合もやっぱり大きくなり、注意が必要かなあという気はしています。

武田：そのときは相対的に、数の問題で、今ばら撒かれている他のナノ粒子と比べてどのくらいの割合になるかっていう所が重要になると思います。長年かかって出てくるものと、年中多量に撒かれているものと、やはりトータルに考えなくてはと思うんですよ。だから、剥がれて環境中に放出され得る

よ、というだけで急に危ないということは、まだ言えない状況だと思います。他に多量に撒かれているものがある、というのが現実でありますので。

「ナノに関しては、経皮毒性はないのでしょうか。」

梅澤：はい、武田先生の講演の中で少しお話も（健常な皮膚を透過しての毒性はないか、極めて小さいと思われる）あった通りですが、酸化チタンを含めてナノ粒子が、我々の健常な皮膚を透過する可能性は極めて低い、もしくはないと思います。一部の化粧品で、ナノ化したものが透過すると謳っていますが、物質が皮膚を透過するというのは非常に難しいのです。医薬品の開発で、皮膚を吸収して効くような薬を開発するっていうのは、大事な問題なんですけど、薬を透過させるというのも非常に難しいのです。なので、皮膚に対する毒性はもしかしたらあるかも知れませんが、経皮毒性から体内に入っての毒性発現というのは、ほとんどないと思って良いと思います。

上田：その辺は、私もわからないところですけども、例えば化粧品の中でも、結構粗悪なものといえますか、コーティングが不十分じゃないとか、非常に強い界面活性剤使っているとか、っていう場合とかは、いくらかそういう懸念が生じるかなとは思ってはいます。もちろん傷か付いていたりとか、元々病気を持っているみたいな、皮膚が痛んでいるみたいな場合は入ってしまうかもしれないのですが、そういう化粧品の質の良い悪いとどうも関連している部分があるのではないかな、という気もしています。

武田：皮膚のバリアは非常に良く出来ていて、ちょっとやさっとじゃ物質が中々入らないようにはなっているみたいです。ただ、非常に良く出来ている角質が剥がれてしまうとやっぱり入ってしまうという所で、やっぱりそう角質が剥がれたような状態に化粧品などを当たらないようにする、ということですかね。

「ちょっと外れちゃうかもしれないんですけど、先ほどのナノの粒子の細かさからいうと、あんまり効果がないうって空気清浄機なんですけど、エアコンに付いています空気清浄機能が、もっと小さい微粒子イオンが発生するだとか、冷蔵庫とかも最近イオンが発生するっていうのが、怖くて使えないって消費者センターにも聞いたんですけど、やっぱりよくわからないんですね。それで、メーカーに聞いて下さったんですけど、どうも説明書通りの説明しかなくて、これしかお伝えできません、ということだったんですけど…。」

梅澤：実際にデータがないというのは、もう間違いない答えだと思います。で、何故かと申しますと、先ほど僕が申しました医薬品と違って、他の消費者製品っていうのは、消費者製品のリスク評価っていうのが議論にありますけど、あれって全部は実施されていませんよね。なので、データがないのです。なので、問い合わせても答えがないのは当然というか、仕方がない、それが事実で嘘がないというのは事実です。あとは、それでも売ってしまうというのは、今ここに規制がかかっていないので、そこも今