

## ～ナノ粒子の健康リスク～

## 私たちはいかにリスクを回避できるのか

梅澤 雅和

(東京理科大学総合研究機構戦略的環境次世代健康科学研究基盤センター)

今日は「私たちはいかにリスクを回避できるのか」という少し僕としては挑戦的なタイトルを付けさせて頂きました。私は東京理科大学の衛生化学の研究室で、ナノ粒子の毒性について研究をしています。当然そこからしっかりデータを出して、行政レベルでそのナノ粒子の有害性、リスクを管理、…出来れば勿論いいんですけど、そこまではまだすごく距離があるなど考えています。そこでその前に、私たちが何を出来るか、行政レベルでは動けなくても、私たちには何か工夫が出来るかもしれないと考えて普段研究をしています。何かルールを作るといよりは、工夫をしていくというところでしょうか。最後にそういう所まで皆さんと話し合えればいいなと思っております。よろしく願い申し上げます。

その前に、ナノ粒子の健康リスク、ナノ粒子の有害性というのがどういうものなのかということ、もう少し、基礎的な所からお話をしたいと思っています。まず、今日のアウトラインを示します。始めのこの「ナノ粒子の特徴と有害性の懸念」につきましても、上田さんと武田先生もお話されましたので、その内容もご参照ください。私はもう少し、基礎的なお話から紹介したいと思っています。本当は今回、アウトラインの上から2点（工業ナノ材料の安全性とリスクについて）が主な内容になるかと思っていたのですが、最近中国由来と言われるPM2.5の話題が非常に話題として挙がってきているところで、この点は私もいろいろと気になるところがあるのと、あとは注意点等をアウトプットしておきたいと思うところがあります。そこで、それを今日の内容にも加えました。今回、もしかしたらナノテクの粒子の方にしか興味がなく、PM2.5はいいよとか、PM2.5にしか興味がなく、ナノテクはいいよとか(笑)そういう方もいらっしゃるかも知れませんが、今日はその両方のお話をさせて頂きます。最後にそのリスクを軽減する工夫ですね、私たち自身の生活の中で、ナノ粒子のリスクを減少させるための工夫としてどういったことが考えられるか。以上をお話したいと思います。

環境と健康との係わりということが、私の一番関心のあるところなんです。私自身は実際に高校、大学1年までアトピー皮膚炎などを持っていたのですが、実際ちょっと都心に通っていたところから、理科大学の薬学のキャンパスが今の千葉県野田市という首都圏郊外に移って私の生活地域・環境が変わり、そのときから、かなり皮膚の状態が良くなったりして、証明は勿論僕一人の例で出来るわけではないんですが(笑)、環境って侮れないなあっていうことを私自身強く感じています。「環境」と言ってもいろいろあるのですが、大気環境ですとか、あとは水とか土壌、そこから出来る食品ですね、あとは栄養とか運動とか。こ

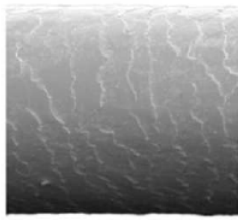
れら全て、「遺伝・自分自身」以外は全部「環境」と言えるものです。で、これは先ほど武田先生が紹介された病理の写真を撮られた菅又先生の言葉なのですが、「水や食べ物はしっかり表示されていれば買って選ぶことが出来るんですね、でも大気、外の空気というのは選べない」吸わされてしまうものであるということで、この大気環境と健康というのは非常に重要なものだと考えています。それから、今回のこのナノ粒子に関しては、食品に含まれているものもあるのですが、一番重要な問題の一つは職業的環境ですね。製造や廃棄の現場でナノ粒子が大気中に舞っていて、職場で、職業としてその環境に曝される人にリスクが及ぶのではないかと、そういうことがナノ粒子の健康影響として重要課題の核の一つになっています。それから、ナノメディシンという言葉がありますが、ナノスケールの医薬品もありますね。ただ少し、医薬品というのは他のものと違った形で規制・管理がなされています。そこで、ここは少し違った性質があるなと感じていることも含めて、今日お話ししたいと思います。

## ナノテクノロジーとナノ材料

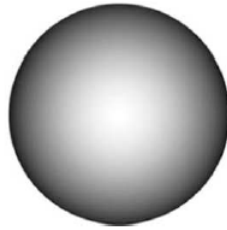
- 新規の性質
  - 高い活性(抗菌)
  - 独特の電気的特性
  - 優れた耐久性(繊維材料)
  - 独特の体内動態(医薬) ...

まずは「ナノ粒子の特徴と有害性の懸念」の、基礎的なお話からしたいと思います。最近あまり「ナノ」と謳われているものが増えていないというお話もありましたが、やはり「ナノ」と「製品」で検索をかけると、まだまだ沢山出てきます。例えば先ほど武田先生がお話されましたが、ナノ粒子の化粧品は透過性が高いと謳う商品もある一方で、本当に透過性が高いのか、透過したら（リスクを考えると）困るところもありつつ、本当に透過性が高いのかどうかについては、まだ「？」な部分もありますが、それでも活性が高い、例えば抗菌剤が高いですとか独特の性質があるとか、繊維としても丈夫な場合があるとか、体内動態が特殊であるとか、様々なメリットがナノ粒子にあることが知られています。そのナノテク、ナノ粒子、ナノ材料のメリットを生かして産業に生かそうといったことは、もう10年以上前から進められてきたことです。さて、まずはナノ粒子の特徴ですが、それをここに端的に4つ並べました（上図）。

## ナノ粒子の特徴



ヒトの髪の毛  
直径 60  $\mu\text{m}$



マイクロ粒子  
直径 60  $\mu\text{m}$



微粒子 (PM2.5)  
直径 600 nm

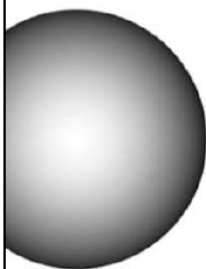


ナノ粒子  
直径 60 nm

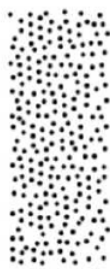
- 「25 ナノメートル」は「2.5 マイクロメートル (PM2.5)」の 100 分の 1  
 $25 \text{ nm} = 0.025 \mu\text{m} = 0.000025 \text{ mm}$   
 $2500 \text{ nm} = 2.5 \mu\text{m} = 0.0025 \text{ mm}$

これは、武田先生の資料にもありましたでしょうか。ナノ粒子は、まずとにかく小さいんですね。PM2.5 というのが話題になっていますが、PM2.5 は直径が例として  $0.6 \mu\text{m}$  とすると、その 10 分の 1 がナノ粒子ということになります。もっと言うと、 $2.5 \mu\text{m}$  を 100 分の 1 にしてようやく  $25 \text{ nm}$  なので、PM2.5 の 10 分の 1 から 100 分の 1、更に直径にして小さいと思って頂ければ良いと思います。そのナノ粒子は新規の有用な材料なのですが、生体への影響も懸念されているというのが、今の問題となっているところです。何故これが問題となっているかということについて、これから説明を差し上げます。まず、ナノ粒子を含む粒子の生体影響・健康影響は、粒子の表面で起こる反応によってもたらされるとよく言われています。そのために、粒子の表面積が重要になるのです。

## ナノ粒子の特徴—比表面積が大きい



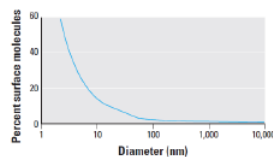
マイクロ粒子  
直径 60  $\mu\text{m}$



微粒子 (PM2.5)  
直径 600 nm



ナノ粒子  
直径 60 nm



表出する原子の割合も増える  
(Oberdorster et al. 2005)  
(Nel et al. 2006)

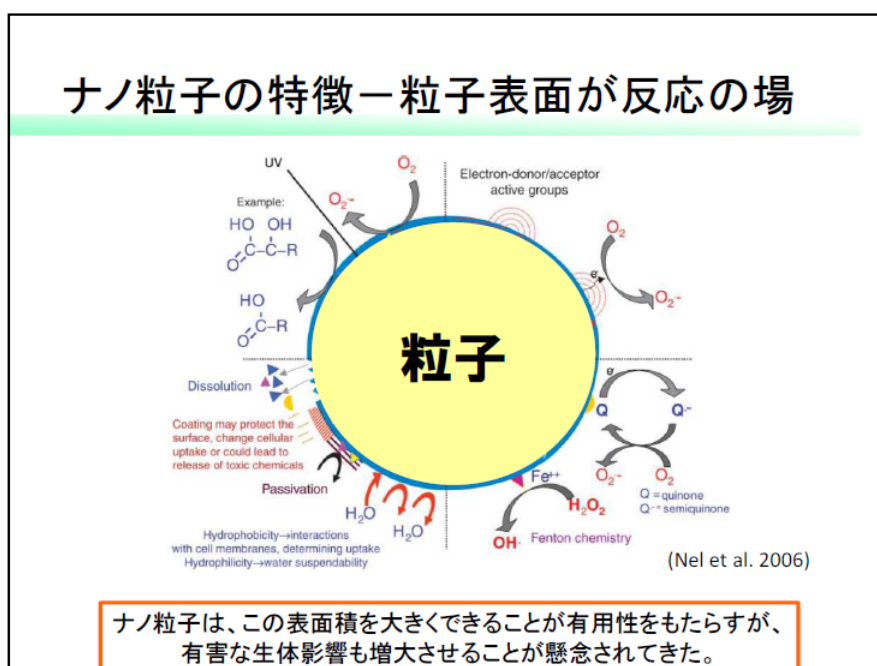
同質量で

	微粒子 (PM2.5)	ナノ粒子
直径	1	0.1 (10分の1)
表面積	1	10倍
個数	1	1000倍

※直径に反比例

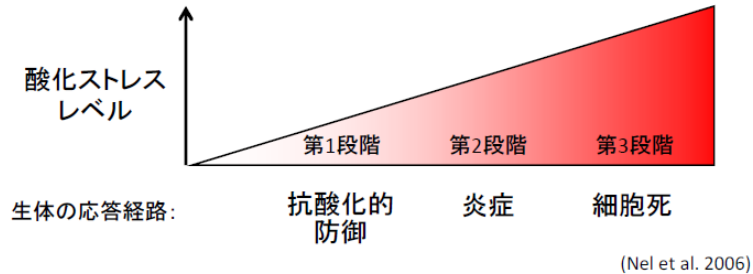
※直径の3乗に反比例

ここにはPM2.5とナノ粒子とを分けて示しましたが、粒子は直径が10倍であると、表面積は100倍に、質量（体積）は1000倍になります。なので、逆に「同じ質量の粒子」について比べると、直径が10分の1になると表面積が10倍になり、個数は1000倍になります。間違いのないように簡単に申し上げますと、同じ質量の粒子では、表面積は直径に反比例、個数は直径の3乗に反比例するのです。それから、小さくなるとただ表面積が増える、個数が増えるということだけでなく、小さくなることで粒子を構成する原子のうち、表面に出てくる原子の割合が増えるといったことも知られています。それでは何故、この表面積、表面の原子の割合が増えると問題になり得るのでしょうか。それは先ほども少し申しましたが、ナノ粒子、粒子というのは、その表面が反応の場であるためです。



これは2006年に発表された英文での総説（レビュー）にある図ですが、粒子の表面で様々な反応が起こるよね、ということが示されています。このときには、粒子の表面には様々な不純物が付いていることも含めて、例えば金属が付いていると、酸化還元反応が起こりやすいですとか、ラジカルの発生や酸化ストレスが生じやすいとか、脂質が酸化されたりとか、そういった反応が粒子の表面では起こるのではないかということが、ずっと指摘されていました。とにかくナノ粒子というのは、表面積を大きく出来ることが有用性をもたらす一つの要因なのですが、その表面積が大きいことによる反応性の高さは、逆に生体影響、悪影響といったところの反応性も高めてしまうのではないかということが懸念されてきたのです。この粒子の表面で、酸化ストレス、活性酸素種が産生されることは数多く報告されてきました。この「活性酸素」が増えてしまうと何が問題なのかということについては、これも先ほどと同じレビューで示されていて、ここではその図を日本語に直したものを示します。

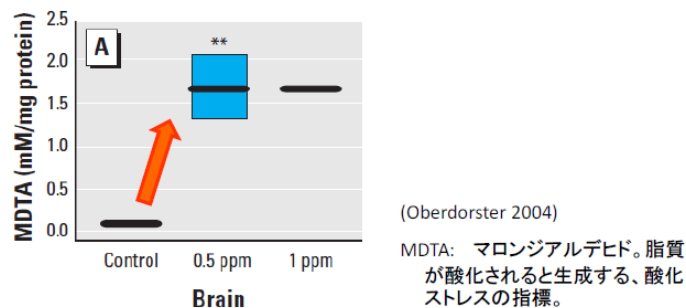
## 健康影響の懸念—大量で酸化ストレス・細胞死



細胞に大量のナノ粒子を作用させると、酸化ストレスが増大し、細胞死が生じるという報告が数多くなされた。

実は、活性酸素は実際に我々の体の中で、例えば、菌を殺して無毒化する役割を担ってもいるものです。なので、酸化ストレスはそのレベルが通常程度であれば、防御機能に活用されて、正常な生体防御反応を起こすというものです。ただし、これが過剰に増えてくると、炎症反応が起こったりですとか、もっと増えてしまうと細胞が死んでしまうのです。実際には、細胞が死を起こす過程で酸化ストレスレベルを上げる機構も生体は持っているのですが、その酸化ストレスレベルをナノ粒子が異常に上げてしまうのではないかとということが、ナノ粒子の毒性のメカニズムとしてよく指摘されてきたのです。これには「可能性」も含まれていますが、よく指摘されていることは確かです。例えばシャーレの上に細胞を培養して、そこに大量のナノ粒子を作用させると、酸化ストレスが増大して、細胞死が生じるという報告が10年前から多くなされました。ただし、「それは培養した細胞での話でしょ」ということではあったのですが、実際にこれが動物でもいくつか報告されたのです。

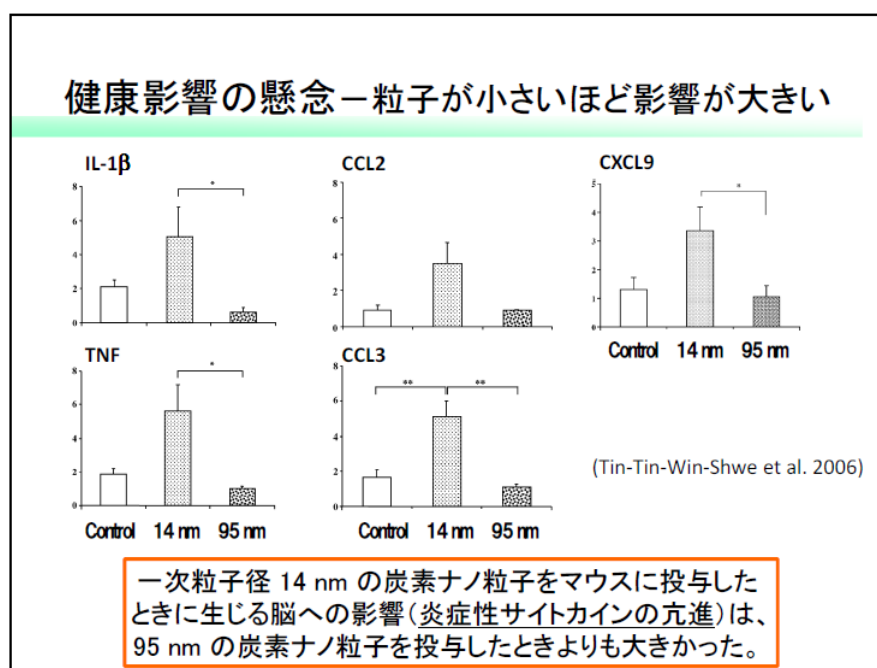
## 健康影響の懸念—魚の脳に酸化ストレス



0.5 ppm のフラーレンを含む水中で48時間飼育した魚(オオクチバス)の脳で、過酸化脂質の増加が認められた。

これ（前ページ下図）は実は、私が研究室に入る直前に見た論文にあったもので、研究室に入った頃に大学院生の先輩たちが驚いて騒いでいたものです。ここでは、魚の脳に酸化ストレスが生じるということが報告されたのです。どのような条件で得られた結果かと申しますと、魚を飼育する水の中にフラーレンを入れまして、そのときに0.5ppmのフラーレンを含む水槽で48時間、つまり2日間オオクチバスという魚を飼育したら、その脳で過酸化脂質の増加が認められたと。そういう論文が発表されたのです。これがおそらく動物で、動物の組織でナノ粒子により大きな影響が生じる可能性をと指摘した、初めての論文と言って良いと思います。続いて、「本当にそれが、粒子が小さいために起こった問題なのか」というところが議論の焦点になったのですが、確かに粒子が小さいほど大きな影響が生じることが、いくつかの論文で報告されました。これ（下図）は、一次粒子径（元の粒子一つのサイズ）が14nmと95nmとを用いて、各々を投与したときの影響を比較した論文に載っていた図です。この論文では、粒子径の異なる2種類のカーボンブラックのナノ粒子を、各々マウスの、ここでは鼻腔内に投与し、そのときに起こった脳への影響を報告したものです。ここに5つ、評価した指標が書いてありますが、いずれも炎症性サイトカインやケモカインといって、炎症を誘導するようなタンパク質をコードする遺伝子の発現量を測定したとご理解頂ければと思います。それぞれのグラフで、左が粒子を投与していないもの、右が大きめの粒子を投与したもの、真ん中がナノ粒子=14nmのカーボンブラックを投与したときの結果を示したものです。この5つの指標で比較した結果、マウスの鼻腔内にナノ粒子を投与したときにだけ、そこに一番近い脳の領域でこれらの遺伝子の発現が亢進した、つまり炎症反応を誘導するような影響が認められたことを報告した内容になっています。

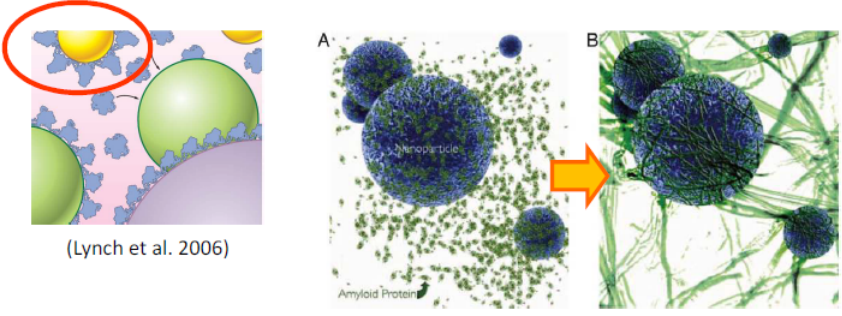
では、どうしてそういったことが起こるのかについて、その理由をもう少し違った観点から説明をしている研究者もいらっしゃいます。



ここ（下図）に3種類の粒子（大きさの異なる紫、緑、黄のもの）が示されていますが、これ（紫）は非常に大きな粒子で、緑は少し小さい粒子、黄色のものは更に小さい粒子と頂ければと思います。また、先ほど粒子は表面で反応すると申し上げましたが、粒子は表面に様々な物質を吸着させたり、粒子同士が表面どうしでくっ付いて凝集したりと、様々なものを吸着させる性質もあります。で、この粒子の表面に生体高分子、例えばタンパク質や脂質も吸着するのですが、粒子は小さくなれば小さいほど表面が湾曲しているのです、吸着した体内の物質の性質を大きく変えるのではないかと指摘されています。小さい粒子の方が、生体高分子の構造に大きな変化を及ぼし易いということです。それから、これは例としてアミロイドというアルツハイマー病に関係するタンパク質の名前が書かれているのですが、可溶性のアミロイドが水に溶けている状態、すなわちタンパク質が水に溶けている状態の中にナノ粒子を入れると、粒子表面で反応が起こってタンパク質の性質が変わって不溶性になりますよ、と・・・こういった形でナノ粒子はタンパク質を変性させることがありますよ、ということ報告した論文もあります。つまり、ナノ粒子は表面上で生体高分子と反応し、タンパク質の変性等をもたらす可能性があるということ。その結果、例えば可溶性タンパク質の不溶化とか、そういうことも起こすのではないかと指摘されているのです。さて、ここまでで紹介した報告は、ナノ粒子を水槽の中に入れたときに魚で何が起きたかとか、細胞に添加したら何が起るかという話でしたが、実際に我々が吸ったらどうなるかといったことも、数多く報告されています。

**健康影響の懸念—ナノ粒子の表面上で生体高分子変性**

サイズの小さい粒子の方が湾曲が強く、  
生体高分子の構造に変化を及ぼしやすい。



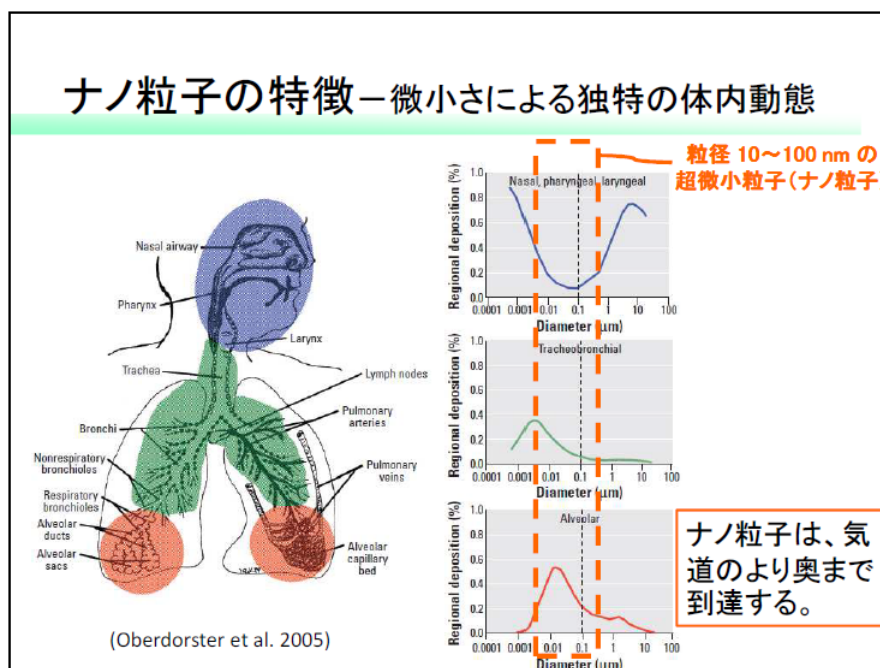
(Lynch et al. 2006)

(Colvin & Kulinowski 2007)

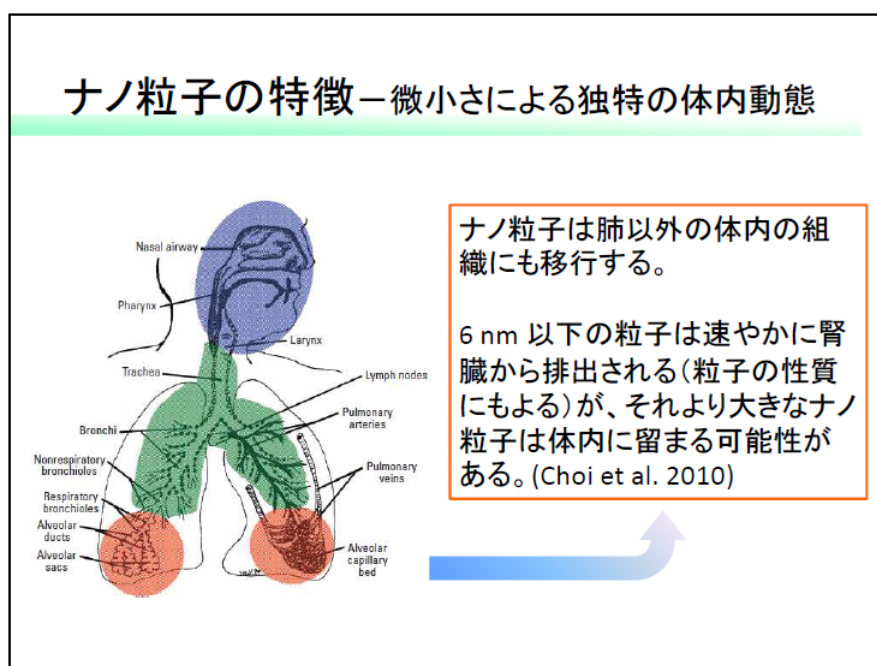
ナノ粒子が表面上で生体高分子を変性させる。例えば、可溶性タンパク質の不溶化が起こる可能性がある。(Linse et al. 2007)

結論から申しますと、10nm から 100nm 程度の粒子というのは、気道のより奥まで到達するということが知られています。これは一つの模式図、シミュレーションの結果なのですが、大きな粒子は鼻腔や喉の辺りという極めて上気道の上の方でトラップされるので、奥には到達しないだろうということが、まず示されています。一方で、それよりも小さな粒子、10nm から 100nm の粒子というのは、この図の赤で示された肺胞の領域、つまり肺の一番奥の領域にまで到達するのではないかと指摘され

ているのです。実はもっと小さなものになると、これはどれだけ大気中にあるかはわからないのですが、空気の流れに乗りにくくて、奥まで到達しないのではないかということも、この図では示されています。

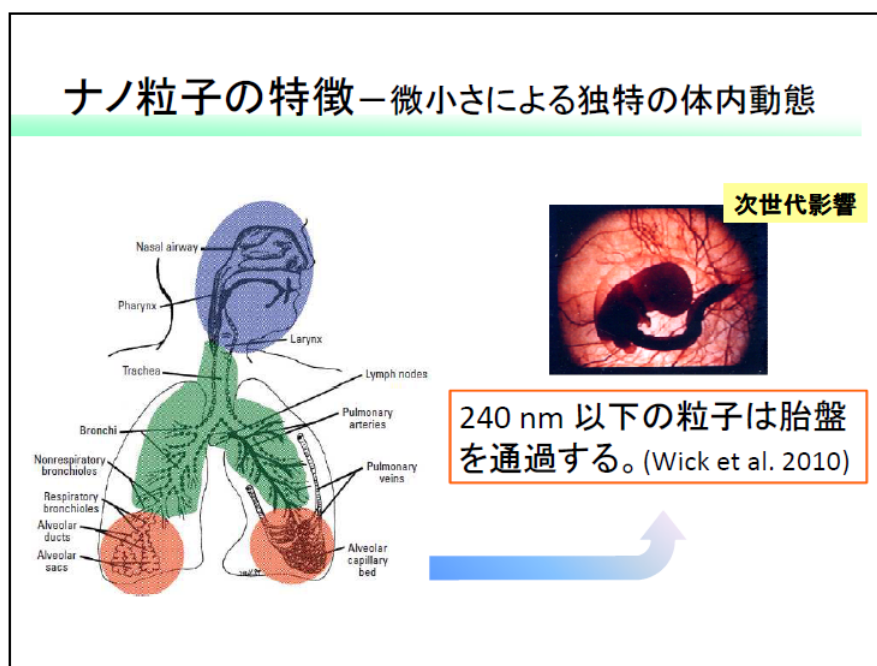


とにかくナノ粒子として問題になっているもののうち10nmから100nmといった粒子は比較的気道の奥、すなわち肺胞の近くまで到達してしまうのです。加えて、影響の及ぶのが肺だけなのであれば肺だけ注意すれば良いのかもしれないのですが、実はナノ粒子の影響というのは、これを吸ったときに肺以外にも起こることが知られています。どのような影響があるのかについては、後でまた疫学的な研究の報告も紹介しますが、その何故肺以外にも影響が及ぶかというメカニズムの一つとして、ナノ粒子が肺だけでなく肺以外の組織にも移行していくことが知られています。





一方で、もっと小さな粒子、報告では「6nm」以下とされているのですが、それ以下の粒子は速やかに腎臓から排泄されるので体内には留まらないんだけど、それよりも大きい6から100nmとか、そういった範囲の大きさの粒子は体内に留まる可能性があるのではないかということも、これまでに報告されています。実際にはどのくらいのサイズだったら排出されるかとか、体内に分布するかということは、サイズ以外の粒子の性質にもよると思われるので、データが足りないところもあるんですが、このような報告があるということが事実としてあります。それから先ほどの武田先生のお話にもありましたが、次世代影響ということも問題になっています。まず、どれくらいの大きさの粒子だと子供に移行するかということなのですが、240nm以下の粒子は胎盤を通過出来るのではないかということが、すでにはっきりと示されています。

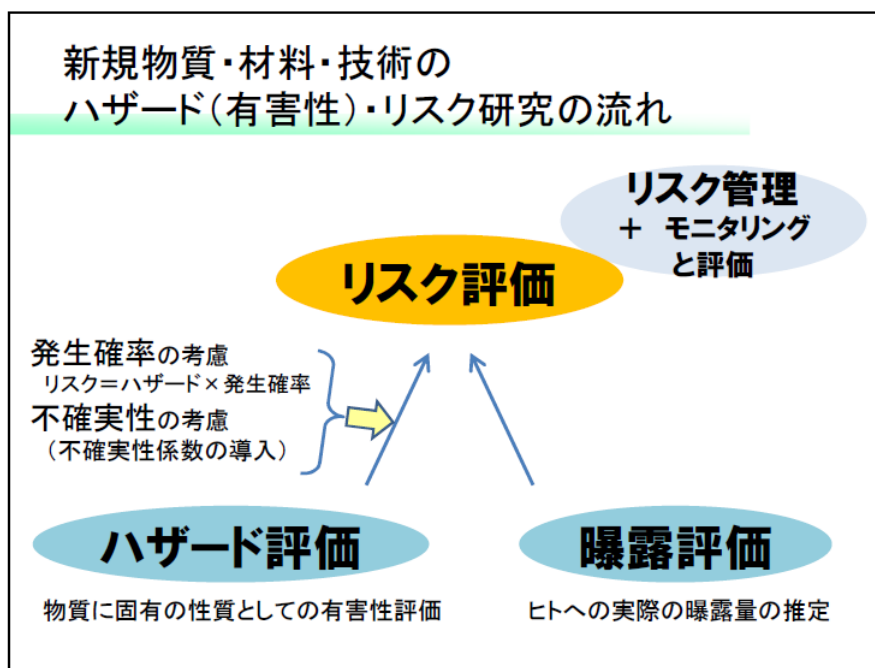


一方で、粒子の性質によってはこれ以上小さくても胎盤を通過せず、子供に移行しないということも報告されています。そのため、「240nm」という値もあくまでも目安なのですが（極めて大きい粒子は子供に移行しない）、ナノ粒子のようにある大きさ以下の粒子の一部は子供、胎児に移行して実際に影響を及ぼしてしまうのではないかと懸念されています。詳細については、先ほど武田先生が紹介した通りです。

さて、そのようなナノ粒子のリスクを回避するためにこういったことに注意する必要があるのか、何を解決しなくてはいけないのかということ、次にお話ししたいと思います。いろいろあると思います。毒性学研究的な課題もあります。それからリスク管理としての課題もあります。そこで今日は、リスク評価ですとか、リスク管理のされ方と併せてお話をしたいと思います。先日の岩波『科学』（2012年10月号）にも書かせていただいたのですが、「ナノ粒子のリスク管理に向けて解決すべき課題」は主にこの3つだと私は考えています。まず、ナノ粒子の有害性をどういった指標で評価すればいいのか、逆に言い

ますと、こういった性質のナノ粒子はこういった影響を及ぼすのかといったことを、簡単に分類・評価できる方法・指標が必要だなと思っています。次に、ナノ粒子の高感度かつ定量的な検出技術の確立が必要だと思っています。実際にナノ粒子は小さいということと、質量がないということがあって、それを検出すること、また、検出は出来ても非常に少ないものまで捕えられるかということや、量的にどうかということまでしっかり評価することが、非常に難しいのが現実です。なので、これはナノテクノロジーの発展の中でもっとしっかりしなくてはいけない部分だと思っています。最後に、曝露シナリオの区別です。つまり、「こういったナノ粒子はこういった風に使われるから、こういった形で我々に曝露されるのか」ということを、ナノ粒子ごとにもっとしっかりと区別して議論することが必要ではないかと考えています。

一つ一つについて、順に説明をしていきたいと思っています。実際に最終目標の一つとしては、行政レベルで新規の物質や材料—ここではナノ材料に焦点を絞っていますが—それに新しい技術ですとか、そういったものの有害性・リスクを管理していくことが挙げられますが、これはそこに至るまでにどういったことが必要かということを示した図です。



簡単に言うと、最後はリスクをなんとか監視（モニタリング）をしながら、しっかり管理していきますよと・・・モニタリングもして管理方法の妥当性も評価しながらやっていきますよ、という所にまで、最終的に行きたいんですね。それを行政レベルで行うためには、少なくともリスクをしっかりと評価されなくてははいけません。その評価のためには何が必要かと言うと、例えばまず「ナノ粒子の有害性」をしっかりと評価すること、それから、「ナノ粒子が実際我々にどの程度曝露されるか」ということを、必要なケースごとに分けて、つまり場合分けをして評価していく必要があります。次に、先日の岩波『科学』にも書かせて頂いたのが、有害性にしても曝露量にしても実験的にしか証明が出来ないので、ここには

確率とか不確実性といった要素も入ってくるということにも注意が必要だということです。さて、まず私の専門である毒性学としては何が必要かということについては、とにかくこの「有害性評価」をして、様々な性質を持つであろうナノ粒子ごとの安全性をしっかりと評価できる方法を作ることが求められています。それから、今後も様々な新しいナノ粒子が出来ることを考えると、出来る限り低コストで、かついろいろな毒性を、網羅的に評価できる方法というのが必要となるだろうというのが重要な課題の一つです。今、網羅的に生体応答を解析する手段もなくはないのですが、日本も含めてアメリカとかでも、そこから得られるデータをどういう風に使って、ナノ粒子を含む様々な化学物質の有害性をどのように上手く分類していくかというのは、今まさに研究されている段階です。とにかくそういったことを有害性の研究、ハザード研究から見出す必要があるというのが、今第一に重要な課題の一つで、これは実際に我々も薬学部としてしっかりと取り組んでいるところです。

### 解決すべき課題①

- 様々な性質を持つナノ粒子ごとの安全性を、  
**低コストかつ網羅的に評価できる方法と  
評価指標**の確立

#### ハザード評価

物質に固有の性質としての有害性評価

それを、ナノ粒子の  
有害性(ハザード)研究から  
見出す必要がある。

### 解決すべき課題②

- **生体試料中に分布**した微量のナノ粒子を  
**定量的に検出できる技術**の改善・確立

ヒトの体にどのように影響を及ぼすのか？

#### ハザード評価

物質に固有の性質としての有害性評価

⇔ ナノ粒子の体内動態  
(生体内への吸収、分布、  
排出)の評価も困難

さて次に、ナノ粒子が実際に人に対してどの様に影響を及ぼすのか、どの様に影響を及ぼす可能性があるのかということを考える上では、そのナノ粒子の体内動態ですね、体の中でどの様に分布するか、つまりどう吸収され、分布して、そして排出されるのかということ、しっかり評価することが必要になります。しかしそれが、先ほども申し上げました通り、非常に困難なのが現実です。ここに、他にもあると思うのですが、ナノ粒子を検出するための代表的な方法を挙げました。

## 解決すべき課題②

- ・ **生体試料中に分布した微量のナノ粒子を定量的に検出できる技術の改善・確立**

	ICP-MS	蛍光	電子顕微鏡
定量性	○	○	×
感度	×	△	○
	詳細な分布は判らない。質量の小さいナノ粒子を高感度に研究できない。	蛍光色素により標識したものしか検出できない。	広い範囲を観察するのに、極めて多大な労力を要する。

1つ目のこの「ICP-MS」というのは、ナノ粒子に限らないのですが、化学元素を定量的に解析する方法です。例えば二酸化チタンでしたら、二酸化チタンが体のどこにどのくらい分布するかというのは、一応これを使えばわかります。しかし問題は、まずこのICP-MSでは、ある程度そこに質量がないと検出できません。なので、その質量の小さいナノ粒子を高感度で検出することは、実際に出来ていませんし、おそらく出来ないのではないかと考えています。それから、例えば動物を使って肝臓にこれだけ移行するとか、蓄積するとか、腎臓に行くとか肺に行くとか、そういった大雑把な分布はわかるのですが、組織の中のどの細胞に分布するかですとか、それがどういう風に移動するのかとかいった詳細な分布というのは、この方法ではわからないというのが現実です。何故かと申しますと、この方法では生体試料をですね、全て混ぜてしまって（粉碎して）その中にある元素がどのくらいかということしか測れないので、生体試料の中の詳細な分布まではわからないためです。一方、感度を上げるということについては、顕微鏡を使って調べるという方法があります。電子顕微鏡を使えば、非常に分解能が高いので、細かいもの（構造）を見ることが出来ます。なので、これを使うとナノ粒子がどこにあるかということと、あと形状、形までしっかりと確認することが出来ます。ただし、これは非常に狭い範囲しか観察することが出来ないため、広い範囲を観測するためには、出来ないと言っていいくらい、労力を要するというのが現実です。広い範囲を見られないと何がいけないかと言うと、結局定量が出来ない、つまりどのくらいの量がそこにあったかわからないというのが問題になるのです。で、その中間的な性格を持つもの

に蛍光顕微鏡がありまして、蛍光でナノ粒子を検出するといったものも非常に有用な技術なのですが、これはそもそもナノ粒子が蛍光を発するか、もしくは蛍光色素で標識できれば（粒子に付けられれば）良いのですが、そういったものを付けられない粒子ですとか、そもそもその粒子が蛍光を出さないとか、この方法で検出出来ないものは沢山あって用途が限られてしまうというところで、これも万能ではないのが現状です。この技術については、私自身はこの分析技術の分野には弱いのですが、実際にそういったことも研究を進めている人が多いので、しっかりこれらの点は改善されていって欲しいなと思っています。

### 解決すべき課題③

- 各場面で議論に挙がるナノ材料は、どの用途に応用するものなのか。
- どのような曝露シナリオが想定されるのか。

医薬なのか、化粧品なのか。  
環境放出は限定的なのか。  
職業曝露が問題なのか。

曝露シナリオを混同せずに、  
建設的な議論を。

### 曝露評価

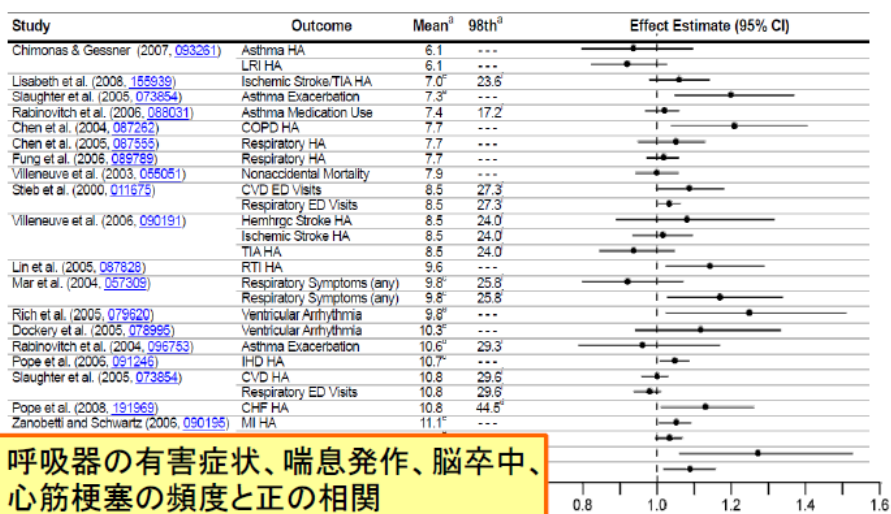
ヒトへの実際の曝露量の推定

さて、今までこの話（生体影響評価手法・指標の確立と、ナノ粒子の高感度かつ定量的な検出技術の確立の必要性）をしてきましたが、もう一点は、「曝露評価」。これは他の化学物質の場合でも重要なのですが、実際に我々がどれだけのナノ粒子に曝露されるのかを評価することが、リスク評価には必要になります。結局、ほとんど曝露されないものであったら、それは別に行政で管理する必要がないのです。ただ、今そのナノ粒子、ナノマテリアルが非常に多くの面で使われているという現実がありまして、それがもし環境中に放出される場面があって、我々に曝露される、我々がそれに触れる機会が増えていくとしたら、その評価がリスク評価、リスク管理に必要ということになります。今私は、「と、したら」という言葉で表現しましたが、とにかくここをしっかりと評価する必要があるのです。これは現在研究が進んでいるところでもありますが、そういうことを含めてナノ粒子、ナノマテリアルのリスクの問題に関して効果的な議論がなされているか、ここが少し私の気にしている所です。結局「その」ナノマテリアル、ナノ粒子が、医薬として応用され得るものなのか、化粧品に入っているようなものなのか、環境放出はあり得るけれども極めて限定的なのか、それとも非常に多い場面があるのかとか、そういった点が重要なのです。例えば、はじめに申し上げた職業曝露のように、生産段階とか廃棄の段階で放出され得ると、その場で仕事をする人たちに危険が及び得るのかですとか、そういったことをしっかりナノ粒

子ごとに、曝露され得る場面を分けてリスクの問題は議論されなくては、建設的な議論は出来ないのではないかと思います。例えば、あるナノ材料が医薬として応用されようとしている場合でも、そのリスクについて論じるときに、吸うかも知れないから、吸ったときの危険性、安全性を研究しなきゃいけない、という議論が一緒に行われることがあるのです。でも医薬で、もちろん吸入の医薬品もありますけれども、医薬として管理されているもので、環境放出されて、我々が吸う機会があるものというのはそうないと思って良いと思うんですよね。そういった感じで、その材料がどういったことに応用されて、どういった場合に我々がそれに曝露されるのかというのを分けて議論することが必要ではないかな、と考えています。話は変わりますが、化粧品や食品は、医薬品と比べて安全性の基準が非常に弱いです。それは、基本的にその必要性もないと考えられてきたところもあると思いますが、逆に医薬品と言うのは、極めてこれでもかというくらいに厳しい規制とも言える、製造から投薬の段階に至るまでかなり厳しいルールが決められています。何故かというと、医薬品というのは病気になった人を治すという目的があるので、体に作用することを目的として作られているんですね。なので、有害な作用が起こらないようかなり厳しい規制がなされています。そのために、ナノ粒子を医薬として使う場合に関しては、ある程度その医薬品の一つ一つについての安全性試験などが、かなりしっかりと行われるはずなんです。なのでこれに関しては私は、それほど懸念をしておらず、そのルールがしっかり有効に働けばいいなと思っているくらいです。しかし、化粧品ですとか、あとは職業的曝露の問題や環境放出から懸念されるリスクですとか、そういったところは、やはりしっかりと、どれくらい我々はそれに触れるのかということも含めて評価しなければいけないなと考えています。

さて、ここから最近話題になってしまった大気環境中の微小粒子、PM2.5のお話をしたいと思います。まずは疫学報告の報告を簡単に紹介します。先ほど武田先生も少し紹介されましたが、PM2.5に関しては疫学報告のデータがしっかり出ているのです。とくにアメリカでは、EPA(環境保護庁)で5年に1度そのデータを評価し直して、基準値も変える必要があるかないかとか、それをしっかりと議論しようということがルールとして決められているので、しっかりと成果がまとめられています。そこで、今日はそこから少し引用して紹介します。

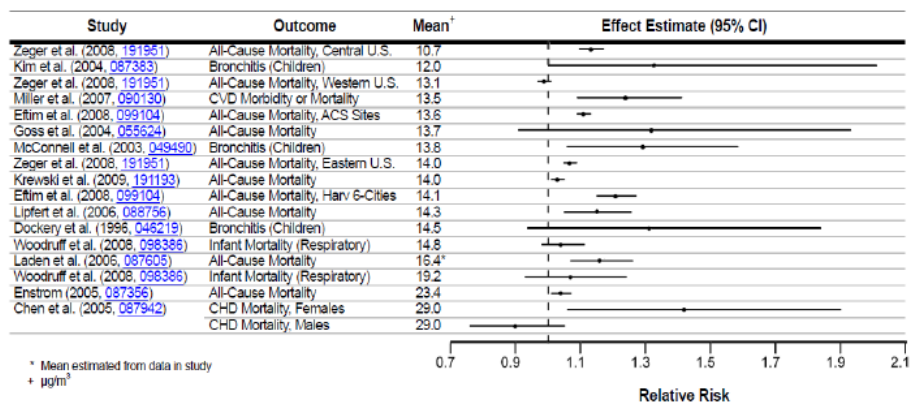
## PM2.5の疫学(短期曝露)



(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、疾病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病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

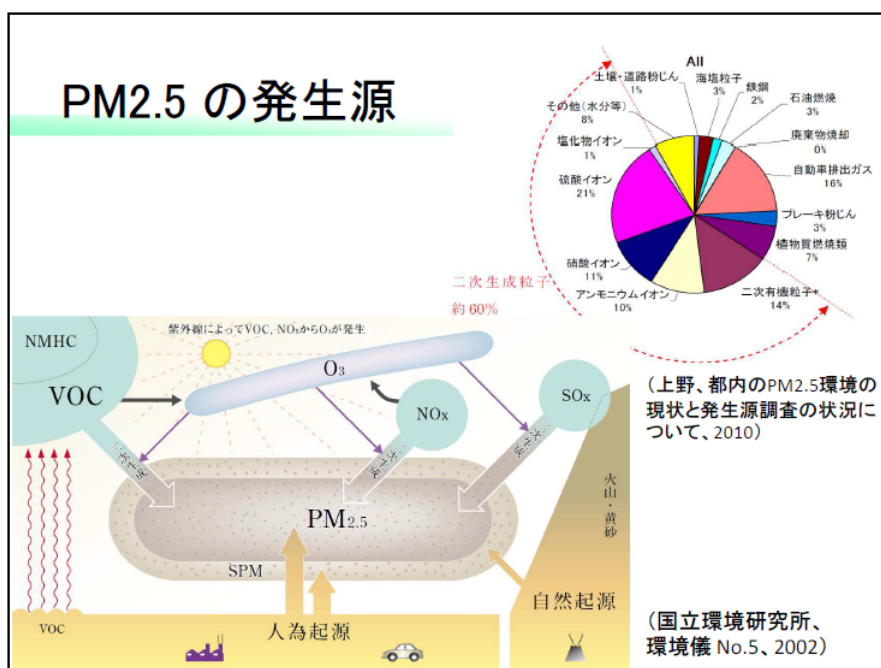
- 年平均値 15  $\mu\text{g}/\text{m}^3$
- 日平均値 35  $\mu\text{g}/\text{m}^3$
- もっと厳しくする(基準値を下げる)可能性も議論されている。(米国 EPA)

#### 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が今、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っていうのは、私は疑問にも思っています。で、ど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って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かなと思っています。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えるのであれば、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に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相関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かなと、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、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いうことを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。

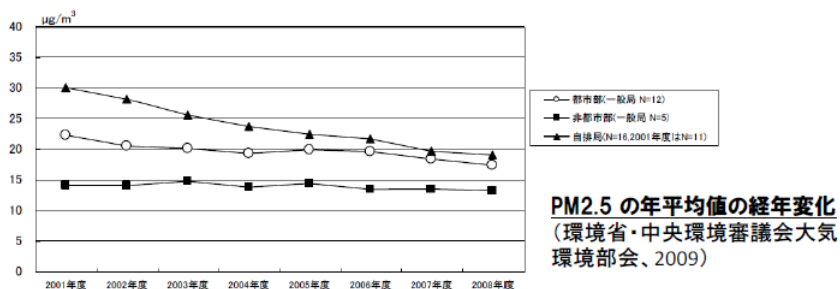
### ① 一時点での値なのか、日平均か、年平均か

- 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見ると、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。

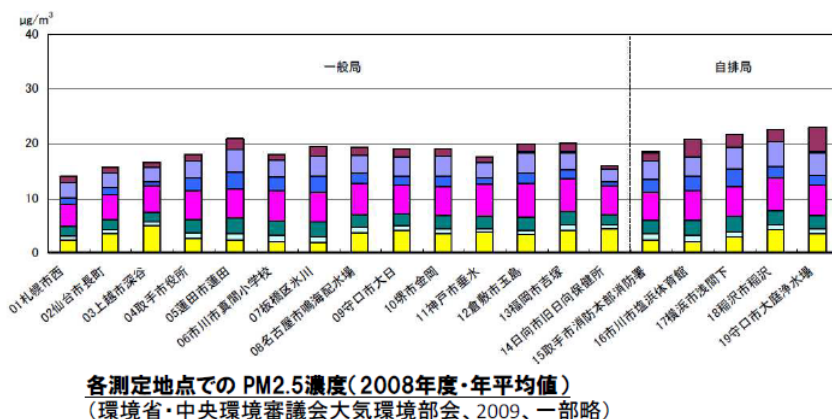
## ② 基準値や、他の時期の数値と比べてどのレベルか

- 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?)

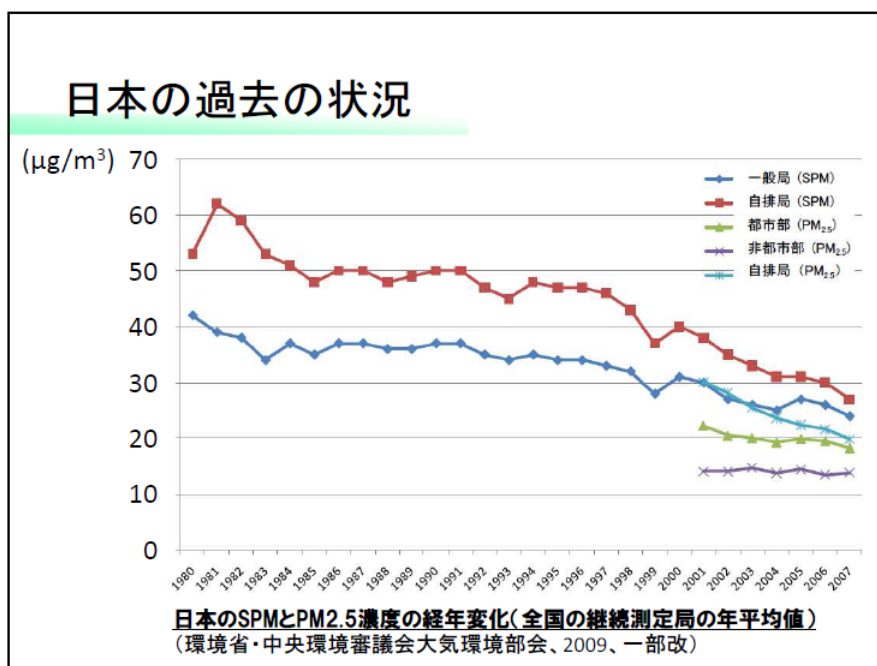


## ② 基準値や、他の時期の数値と比べてどのレベルか

- 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には確認しなくてはいけ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。



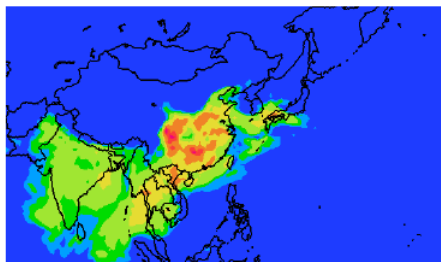
これはですね、環境省の、日本のPM2.5の環境基準値を決めた審議会・部会の報告書から引用させて頂きましたが、PM2.5の年平均値の推移はこのようにわかっています。実はPM2.5のモニターが始まったのが2001年なのですが、まず「自排局」が道路の沿道で自動車排出ガスを中心にモニターする測定局なのですが、そこでのPM2.5も(質量濃度として)かなり減ってきているんですね。それ以外の一般局でも、非都市部は10年ほど前とあまり変わらないのですが、都市部で少しずつ改善されつつあるというのが事実です。ただこれは、各地点の年平均値の平均がこの値なので、年平均「15」という今の基準値をまだ達成していない所も、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、注意が必要かと思います。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ことも、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。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います。

### 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、高さ別に測って見たら、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てないんですけども、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すが。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を考えたときに、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、これ私がすごく疑問に思うのは、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ィ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というのは、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？」

特別に「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うわけでもないですし、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で、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、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ね。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、その一例だと思っんですよね。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っ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ことを言ってるんですね。というのは、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、圧力があれかか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、いいかなって風思うんですね。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、項目は今さっと出ないんですけど、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、なんでもないとときも必要なんだよと、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い

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だけあると考えると、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のないと思います。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、わかりないですが。

「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、車があれだけ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いっていないんですね。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、経皮毒性はないんでしょうか。」

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くる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っていう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、それでも売れ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

企業が逸脱した行為を行っているわけではないからなのかも知れません。

武田：この辺りの問題は常に抱えておりました、健康食品を始めですね、きちんと企業が安全性を確認してから市場に出ているわけでは全くないので、宣伝文句で謳っているごく一部を計測して、こんな効果がありますよ、って言うてるだけのものが基本的に多いんですよね。

「非常に漠然とした質問なんですけども、先ほどロンドンスモッグのお話が出てましたけども、あれって60年くらい前の話ですよ。それで約1万人くらいの方が死んだわけですよ。それに比べて専門家の方から見て、今の中国の今回の事態っていうのは、どんな感じなんでしょう。単純に比較なんか出来ないとは思いますが。」

武田：似ているような現象だとは思うんですよ。ロンドンのスモッグ、あれは霧と一緒に入っていて、水滴に硫酸とかいろいろな物質が入っていて、粒子も勿論くっ付いてはいたんですけど、水成分と硫酸成分を含んでいたのです。硫酸酸性の液体って影響が強くなるんですよ。その液体を吸ったことで、肺を痛めたり、いろいろなことが起こったと思うんです。で、今回の中国での問題は、硫酸酸性のものをどれだけ粒子として吸ってしまっているか、あるいは、循環器まで影響が及んでいるかっていうところの問題だと思うんです。あと、統計をきちっと取っているかですね。それによって数字が出てくるとは思いますけど。もしかしたらそういう統計を取っていくと、1年にしっかり取ったらそういう数が出てくるかも知れません。とにかく、似たようなことは起こっていると言えると思います。

「先ほどの梅澤先生のところの解決すべき課題のハザード評価のところですね、1なんですけど、これで低コストかつ網羅的評価についての方法って書かれているんですけど、これ、ここまでのいろいろな話を聞いてると、例えば今、単純にナノを作るのに砕いて小さくするだけじゃなくて、表面が影響するっていうので表面を加工するために、いろいろ商品をメーカーごとにやっていると思うんですけど、そうするとメーカー単位で同じナノ品といっても、いろいろ違うものが出てくると思うんですけど、そうするとメーカー単位は網羅的かつ低コストとなると、何を基準に評価しているいろいろな話があると思うんですけど、もうちょっと具体的にどのような動きをされているのかと教えて頂きたいんですけど。」

梅澤：はい、私のいう網羅的にというのは、生体影響としての網羅性です。それを遺伝子発現で捉えたりですとか、それをトライしているんですけど、ここで生体現象、生体応答を網羅的に捉えるところがポイントになるかなと思います。影響を、まずは網羅的に評価するしかないんですよ。その結果として、ある性質を持ったもの、もしくはある毒性を持ったものの影響が、こういった指標でそれが明らかになるんだっていうことを、ワンセットもしくは何セットの実験で明らかにできれば、それだけをやればいいというのを将来示したいと思っています。例えばある1項目とか、もしくは5項目、とか10項目、とか。網羅的なデータをベースにして、最終的にはそういったある限定的な数の評価手法で評価すれば、全ての新規物質の安全性を評価できますよ、という手法を確立するのが、我々の目指すところです。

武田：先ほどの質問では、粒子サイズも不揃いであるというところを多分気にされていると思うんですけど、私がいくつか見たデータでも、同じような技術を使っていて作られた製品でも、粒子のサイズの分布がずれていたりと、100nmと言っているのに結構幅があったりとかいう例は非常に多いです。データを見る限り。ですから、サイズにきちんと統一した評価というのは、かなり難しいなというか、手強いだろうなという感じは持っています。

「PM2.5の基準値について、WHOとかのものがあると思いますが、どうなっているのか教えて下さい。」

梅澤：まずWHOの数値（ $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ ）は目標値です。なので、基準値としてあるものではありません。それから、全体の平均ではなくて、ポイントポイントということだと思うんですけど、地点ごとのデータをしっかり比較することで、それと既存の何が相関しているのかを見て、それでは何に気を付けたら良いのか、どこからの排出に気をつけた方が良いのかっていうのは、確かに明らかになると思います。ただ実はですね、結構海から来たりもするので、海塩など、海洋由来の粒子もあるので、なかなかその地域差で、排出源特定とかも難しいですから、やはり、元素…環境分析もかなり進んではいますので、地点ごとのレベルよりも、元素の方が重要なかなと思っています。研究としてはですね。

「ナノとかPM2.5とか、そういった空気を運ってくるのはともかく、それと共に、電磁波とか、放射能とか、そういった影響で、体内で活動性が変わるっていうのはあるんでしょうか？」

梅澤：かなり限られたナノ粒子については、もしかしたらあるかも知れません。もっと言うと、電磁波と、例えば磁波が反応する粒子とを組み合わせると医薬を作ろうとかいう動きはあります。ただ、自然界にそれがどれくらいあるのかっていうことについては、無いと言って良いほどなんじゃないかな、と思います。それから、おそらく複合汚染のことも気にされているのではないかなと思うのですが、安全係数や不確実係数、そういうことがしっかりと基準値とかに入っている限りは、複合汚染の恐れは大きくないのではないかなという議論も聞いたことがあります。まあ、ナノに関しては、基準値自体ありませんので、まあ、その辺りはまだこれからですね。

武田：それについて一言、お答えしておきますと、それとこれがこういう曝露状況で、こういう濃度で組み合わせあった場合、こういう影響が出るみたいなことを明らかにした研究は、かなり少ないんですね。私が見る限り。例えば酸化ストレスの問題一つを取っても、放射線によるものもあり得るし、ナノ粒子によるものもあり得るし、電磁界の場合もあり得るだろうっていう話はあるんです。そういう意味で、複合的な影響っていうのを、否定することは出来ないんですけど、どれくらいあるのかということを知るのは、かなり難しい状況です。

「梅澤さんの最初のところで、大きさによって、小さければ入りやすいとかではなくて、大きさによって入りにくく出やすい、という違いがあるような話がありましたよね。かつ、武田先生のお話だと、

ナノ粒子の入る対象が胎児の脳とかには入りやすいということでしたが、それは脳が非常に重要な場所で、成長期で特に注目するからだという点と、大きさによる入りやすさ、特に脳ってというのは本当は普通入らないはずですよ。その入りやすさのところの研究ってというのは、もうちょっとその、大きさとの関係はどういう風に考えられているんですか？」

梅澤：まず、武田先生が示されたデータも、私が生体組織に入りやすいと申し上げた、6~240nmの間に入っている粒子なのです。実際に例えばここ（室内空気の中）にあるナノサイズの粒子というのも、一番多い粒子の直径が70~100nmだったりするので（場所によって違ったりもするので一概には言えないんですが）、なので、例としてそのくらいの大きさの粒子が、どのような挙動（体内動態）を示して、子供に行くのか、脳に行くのか、という点を考えるのは重要なことだと思います。あとは、小さければ入りやすいわけではないことについては、これは研究レベルで証明されていなくて私の推測なのですが、まずおそらく当然、細胞より大きいものは細胞が取り込めませんし、ある程度細胞内に入りやすい大きさはあるんですね。となると、粒子は小さければ小さいほど入るのではと思われるかもしれませんが、極めて小さいものは、排出できる経路に乗っかるんじゃないかと思うんです。一方で、排出の経路に乗らないと体内に侵入、もしくは蓄積することになります。その、入るけれども排出されないという大きさの範囲があるのが、このナノの問題に深く係わっているのではないのかなあ、というのが、証明はしていませんが、私の今このナノに関する安全性に関する考えです。

「そこは実験とかで証明できる可能性は…？」

梅澤：大変で…難しいです。今、トライはしています。ただ、技術的にはまだいくつも壁があると思います。

武田：追加の答えなんですけど、私たちが見ていたのは、生物の中で非常に大事なところ、生殖系まで先にやっていたということがあって、そこを先に優先的に見てきたというところがあります。そうしていたら、偶然脳にもナノ粒子が見つかったというところなのです。本来なら私たちの脳は、厚いバリアで完全に守られているはずなんですけど、母親から行った粒子の場合にはどういうわけか子供の脳で見つかってしまう。そのため、バリアがあまりないときに子供に入り込んだのが、脳にこう影響を与えているのかもしれない、というところなのです。ちょっと、当初の私たちにも、考えられないことが起こっていたんですね。

「その物質の特殊ケースなのか、あるいはサイズによって起こり得る？」

武田：特殊ケースとはあまり考えていません。1種類のナノ粒子についてだけ確認したわけではないので。…というか、私が使ってきたナノは、大体影響が来るんですよ。子供の脳に。だからそんなに特殊なものとは考えていません。それから、大人には大丈夫かということ、多分大丈夫だと思うんですけど

ど、実験的には私たちの研究では、あえて大人の脳にも入るようにして観察するというをやっているんですね。そこにナノ粒子を入れてしまうということをやっているんです。ある条件のもとですと、入ってしまうんです。ですから、大人は完全に大丈夫かっていうと、そうでもないっていうのも、私たちの実験的な結果です。■