慶應義塾大学学術情報リポジトリ
Keio Associated Repository of Academic resouces

Title	大気環境と健康影響を科学で結ぶ : 新しい手法と見方で、PM2.5の真の姿に迫る
Sub Title	
Author	田井中, 麻都佳(Tainaka, Madoka)
Publisher	慶應義塾大学理工学部
Publication year	2015
Jtitle	新版 窮理図解 No.19 (2015. 7) ,p.2- 3
JaLC DOI	
Abstract	
Notes	研究紹介
Genre	Article
URL	https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=KO50001002-00000019-0002

慶應義塾大学学術情報リポジトリ(KOARA)に掲載されているコンテンツの著作権は、それぞれの著作者、学会または出版社/発行者に帰属し、その権利は著作権法によって保護されています。引用にあたっては、著作権法を遵守してご利用ください。

The copyrights of content available on the KeiO Associated Repository of Academic resources (KOARA) belong to the respective authors, academic societies, or publishers/issuers, and these rights are protected by the Japanese Copyright Act. When quoting the content, please follow the Japanese copyright act.

研究紹介

今回登場するのは、
大気粉塵の捕集技術と物理化学特性の解明を手がける奥田知明准教授です。

大気環境と健康影響を科学で結ぶ

新しい手法と見方で、$PM_{2.5}$ の真の姿に迫る

近年、健康への影響が懸念されている、直径 2.5μm 以下の微小粒子状物質 $PM_{2.5}$。応用化学科准教授の奥田知明さんは、その $PM_{2.5}$ と、より大きな粒子の捕集技術の確立、さらには粒子の表面積濃度、帯電状態といった、物理化学特性の解明に取り組む。既成概念にとらわれることなく、新しい手法で物質の未知の特性を調べ、大気環境の真の姿を明らかにすることにより、人々の健康に役立てることを目指している。

サイクロン方式で $PM_{2.5}$ を捕集

2013 年、中国の大気中における $PM_{2.5}$ の濃度が急上昇し、日本への影響が懸念されたことから、$PM_{2.5}$ が大きな社会問題となった。大気汚染による公害問題は、それこそ 19 世紀まで遡るが、そのなかで直径 2.5μm 以下の微小粒子状物質について、より深刻な健康被害をもたらす可能性が指摘されるようになったのはずっと後の 1970 年代以降のことである。

粒子が細かくなることで、それは鼻腔や気管にとどまらず、肺胞深くまで汚染物質が到達し、呼吸器や循環器の疾患を引き起こす原因になることが問題だという。その対策として、米国では 1997 年に、日本では 2009 年に環境基準が定められた。

その後、各国で $PM_{2.5}$ の研究と対策が進められる中、奥田さんは、その捕集技術と物理化学特性の研究の両方に取り組んでいる。

「なぜ、捕集からやるのかといえば、実際の大気から採取した物質で実験をしない限り、人体への真の影響は解明できないと考えるからです。そこで、まずは、大気中の粒子状物質を大量に集めることから始めました」。

従来、大気中の $PM_{2.5}$ を捕集する技術としては、フィルターによるろ過方式が用いられてきたが、奥田さんは遠心力によるサイクロン方式を採用している。実はこれまで、サイクロン方式は、微小な粉塵の捕集には不向きだというのが常識だった。

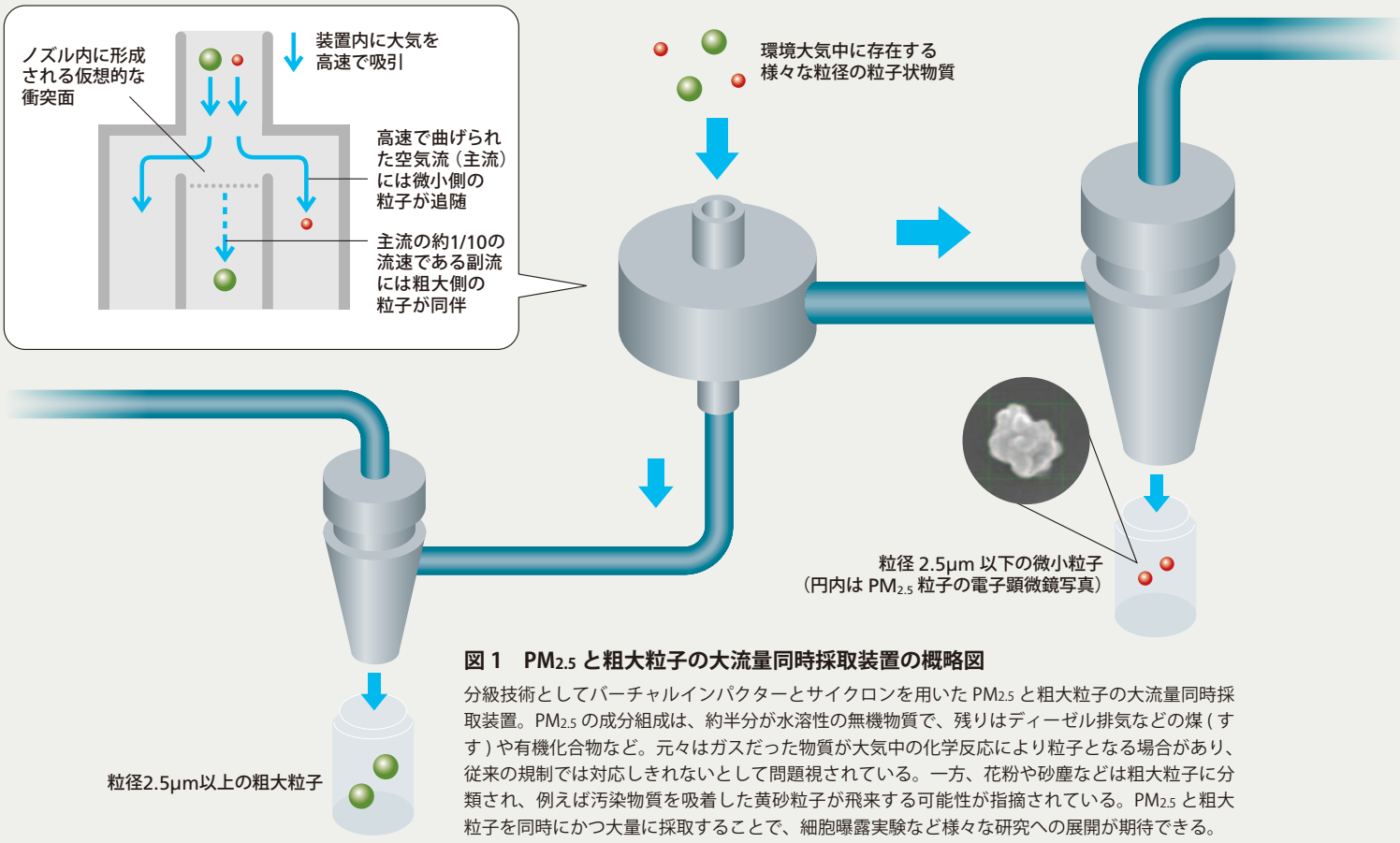

図 1　$PM_{2.5}$ と粗大粒子の大流量同時採取装置の概略図

分級技術としてバーチャルインパクターとサイクロンを用いた $PM_{2.5}$ と粗大粒子の大流量同時採取装置。$PM_{2.5}$ の成分組成は、約半分が水溶性の無機物質で、残りはディーゼル排気などの煤（すす）や有機化合物など。元々はガスだった物質が大気中の化学反応により粒子となる場合があり、従来の規制では対応しきれないとして問題視されている。一方、花粉や砂塵などは粗大粒子に分類され、例えば汚染物質を吸着した黄砂粒子が飛来する可能性が指摘されている。$PM_{2.5}$ と粗大粒子を同時にかつ大量に採取することで、細胞曝露実験など様々な研究への展開が期待できる。

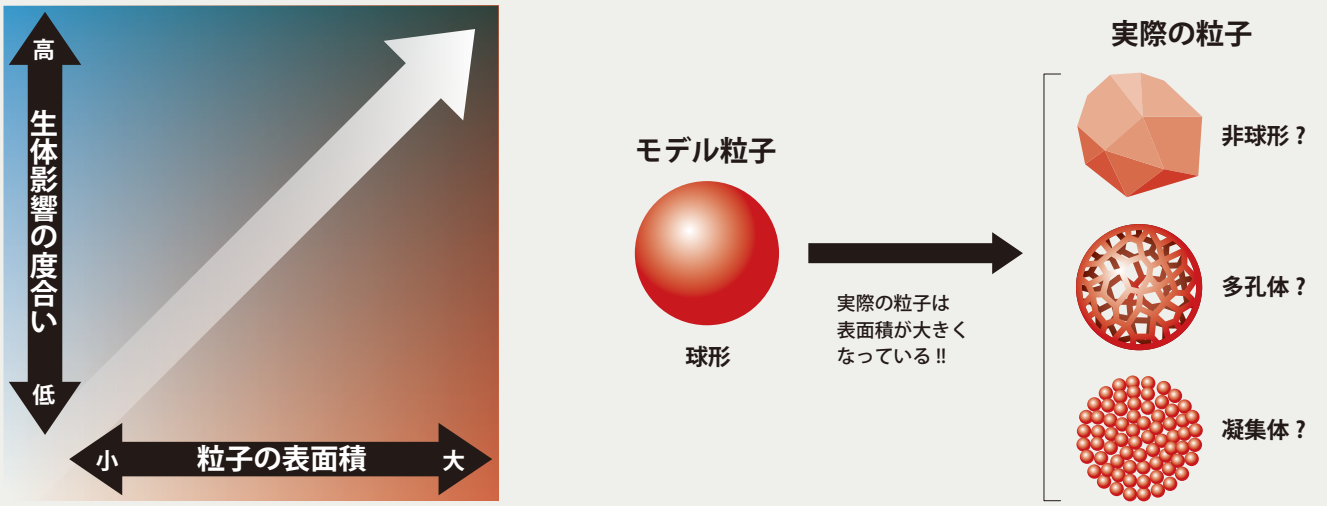

図２　微小粒子状物質の表面積と生体影響

同一の化学組成を持つ物質であっても、その表面積が異なると、生体への影響が異なる場合がある。粒子の表面積が大きくなると、粒子表面の化学反応や汚染物質吸着促進のため、生体への有害性が大きくなる可能性がある。実環境大気中の粒子は球形ではなく、非球形や凝集体であると表面積は増大するが、その実測はこれまでにほとんど行われていない。

「フィルターだと目詰まりしますし、フィルターに吸着したまま取り出せない物質もあるはずです。そこで、フィルターを使わない方法としてサイクロンを採用したのですが、従来、サイクロンは大きい粒子の捕集に使われていて、$PM_{2.5}$ の採取に使用したという論文はわずかしかありませんでした。ところが、実際にやってみるとほとんど採取できてしまった。いまだにサイクロンの専門家には信じてもらえません」と言って奥田さんは笑う。

そもそも大気粉塵には、$PM_{2.5}$ とともに、鼻や喉に悪影響を及ぼす花粉など、粒径が 10μm 弱程度の大きな粒子も多く含まれる。そこで、奥田さんはサイクロンを２つ用いて、１分間に 1,200 リットルの大気を吸い込む流路に工夫を凝らし、流速を変えることで二系統に分ける「バーチャルインパクター」により、同時に大小の粉塵を選り分けて捕集する独自の装置を開発した。

「反響が大きく、今では僕の手法に倣った装置が各地で取り付けられ始めています」と、奥田さんは自負している。

表面積濃度をリアルタイムに測る

奥田さんの最近のもう１つの研究が、粒子状物質の表面積濃度をリアルタイムに測る研究である。

「これまで、$PM_{2.5}$ の化学組成だけが問題とされてきましたが、実は物質の状態により生体へ与える影響に違いがあるのです。例えば、$PM_{2.5}$ のほとんどは、小さな粒子が凝集した集合体ですが、集合体は表面がでこぼこで、たんなる球体に比べて、表面積が大きいのです。そのため、より生体に悪影響を及ぼすことがわかっています」。

カーボンナノチューブとマウスによる吸入実験では、粒子の表面積が大きくなるにつれ、マウスの気道組織の炎症が促進されることが確認されている。また、表面積の大きさに比例して、大気中の有害物質を粒子表面に吸着しやすくなる。そこで、奥田さんは、「拡散荷電法」により、イオンを発生させたチャンバー内に試料をくぐらせ、粒子を帯電させて、下流でその電流値を測ることにより、リアルタイムに表面積濃度を割り出す装置を利用。2013 年より、データ収集に取り組んでいる。

「2015 年３月からは福岡大学、産業技術総合研究所、国立環境研究所などと共同で、より多くの化学成分濃度と粒子の表面積をリアルタイムで計測し、時系列による違いを観察し始めています。現在の環境基準では質量しか定められていませんが、いずれ、表面積濃度も指標の１つに加えられるようになるかもしれません」。

微粒子の帯電状態を調べる

さらに近年、粒子が生体内へ吸入される際に、粒子の荷電数に伴い、生体への沈着量が増加することが明らかになってきた。

「人体の気道模型による実験では、帯電している粒子のほうが、していない粒子に比べて約６倍も多く気道に吸着することが明らかになりました。ということは、大気中の有害物質の濃度が６倍高いことと同じですよね。しかし、ここに着目している研究者は、ほとんどいません」。

そこで、奥田さんは、電極板の間に粒子を通過させ、流路を分岐させた下流の粒子数を粒子カウンターで測定するという「電気移動度法」により、粒子の帯電状態のリアルタイム測定にも取り組んでいる。

「面白いのは、時々刻々とプラスとマイナス、それぞれに帯電している粒子のバランスが変わることです。宇宙線の影響だけでこれほどまでに変わることは考えられないため、ほかに排気ガスや高圧電線など、何らかの原因があるはずですが、これまでほとんど調べられてこなかった。当然、装置もすべて手づくりです。未知の領域だけに、大きなやりがいを感じています」。

既知の世界も、既成概念を取り払って見方を変えれば、未知の世界が広がっている。奥田さんのユニークな視点が、大気環境のさらなる知見を生み出すことに期待したい。

（取材・構成　田井中麻都佳）