

産学官との連携



取材日：2022年11月25日
(一社) 日本科学機器協会 会議室

東京農工大学大学院 工学研究院教授

かみや ひでひろ

神谷 秀博 先生 に聞く

ナノテク、エネルギー、医療、食料まで、多様な分野で
進歩の鍵を握る微粒子研究 上

聞き手：梅垣喜通 日本科学機器協会 広報委員長
西岡光利 日本科学機器協会 広報副委員長
岡田康弘 日本科学機器協会 事務局長
(取材・撮影・編集協力：クリエイティブ・レイ(株) 安井久雄)

神谷 秀博 先生のプロフィール

【学歴】

1981年3月 名古屋大学工学部化学工学科卒業
1986年3月 名古屋大学大学院工学研究科化学工学専攻博士後期課程修了
工学博士 名古屋大学学位取得

【職歴】

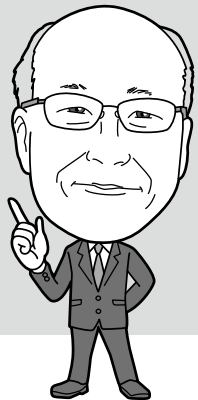
1986年4月 日本学術振興会特別研究員に採用(昭和61.5まで)
1986年6月 名古屋工業大学助手工学部に採用(平成元、2まで)
1989年3月 名古屋大学助手工学部に転任(平成5.3まで)
1993年4月 東京農工大学助教授工学部に昇任(平成7年大学院新設に伴い移籍)
2003年5月 東京農工大学教授 大学院生物システム応用科学研究所に昇任
2010年4月 同大学評議員、大学院生物システム応用科学府副学府長
2013年4月 同大学大学院生物システム応用科学府学府長(平成31年3月まで)
2017年4月 同大学 グローバルイノベーション研究院 (GIR)研究院長(令和2年3月まで)
2019年4月 同大学 副学長
2020年4月 同大学 理事・副学長(現在に至る)

【受賞】

2001年4月 日本機械学会産業化学機械部門「貢献表彰」
2001年8月 微粒子工学に関する研究により、「粉体工学情報センター学術奨励賞」(IP賞)
2005年5月 粉体工業技術協会、粉体工業展賞「ナノテクノロジーに関する貢献表彰」
2007年3月 化学工学会平成18年度学会賞「研究賞」
2011年9月 第二回鉄鋼環境基金「鉄鋼技術賞」
2013年8月 日本エアロゾル学会「高橋幹二賞」
2014年5月 Advanced Powder Technology, 「Best paper Award」
2016年3月 化学工学会粒子・流体部会「技術賞」
2017年3月 化学工学会平成29年度「学会賞・技術賞」
2021年5月 日本粉体工業技術協会「技術賞」
2023年1月 ホソカワ粉体工学振興財団「KONA award」
2023年3月 化学工学会 令和4年度「学会賞」

【主な専門領域】

界面構造設計等によるナノ粒子、微粒子の付着・凝集挙動制御を
基礎に材料、環境・エネルギー、医薬、顔料、さらに食料生産等の
諸分野への応用展開に取り組む。



材料・エネルギー・環境等
幅広い分野に関わる
微粒子集合体構造を研究

先生は粉体、微粒子、ナノ粒子を専門に研究され、様々な功績を挙げられています。研究内容についてご教示いただけますか。

神谷 簡単に言いますと「微粒子」という非常に細かい物質を対象に研究してきました。微粒子工学という分野になります。

微粒子は、有機、無機、生体などさまざまな分野で登場し、その付着、凝集の制御が新システム成功の鍵になることが多々あります。微粒子の付着・凝集特性を見極めたり、操ったりする研究を行ってきたわけです。微粒子の構造や表面状態、微粒子間相互作用を実験と計算シミュレーションを用いて求め、微粒子のブラウン運動による衝突・凝集の他、力や熱による粒子集合体の再配列、焼結現象等を基礎的に解明しています。こうした基礎的研究は、セラミックス等、様々な素材のナノ構造の制御、石炭や廃棄物、バイオマ

産学官との連携

スなどの固体燃料の燃焼やガス化での灰微粒子の挙動制御など、材料・エネルギー・環境等の幅広い分野で重要であり、粒子集合体構造の制御に取り組んでいます。

先生が研究する微粒子は、具体的にどのような産業分野に関係してくるものなのでしょうか。

神谷 先に述べたように、かなり広い分野が関係あり、実際に関わってきた分野もかなり多岐に亘ります。いわゆるものづくりの工業的な業界では、セラミック材料から始めて、ナノ粒子を用いた素材や光触媒等があります。また、化学プラント関係にも大きく関わる分野です。石炭などの固体燃料を燃やした際に出る灰の微粒子が付着して、プラントの稼働に良くない影響をもたらしたりする現象を研究し、どうやって防ぐかにも取り組みました。こうしたエネルギー分野やPM2.5も微粒子なので環境分野の研究もあります。

また、薬品の開発や健康産業の分野とも関連があります。薬品でドラッグデリバリーという、届けた

い場所に薬を含む粒子やカプセルを届ける方法があります。

例えばガン細胞だけに付着してそこで抗がん剤を放出するカプセルを開発する試みなどにも関わっていました。

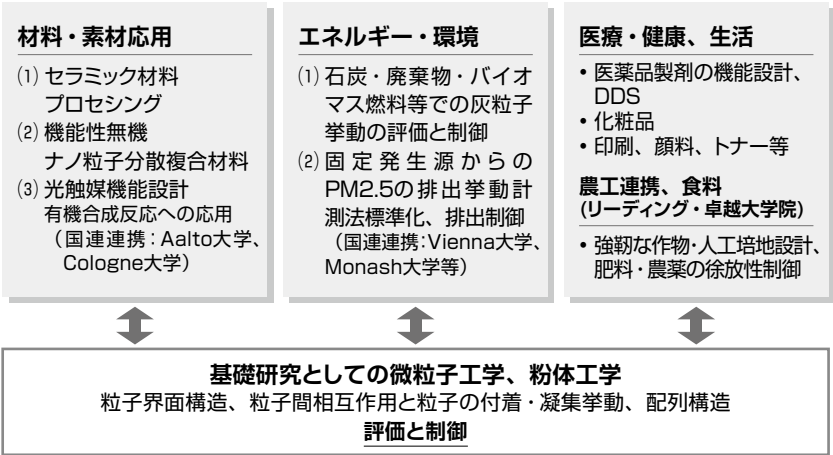
さらに食料の分野でも、ある在野の農業研究者と共同研究を行っています。日照りや異常気象などに負けない強靱な作物を作るのに粉体工学的に苗床の粒子の設計が非常に有効であるということが分かってきたのです。このあたりは、まだ研究の端緒に着いた段階ですが、農業分野は、その他、肥料、農薬など、微粒子や粉体関連技術がこれからますます貢献できそうな分野であるように感じています。

生活のあらゆるシーンに
関係する粉体と微粒子

粉体と微粒子は様々な産業分野と密接に関わるものですね。

神谷 我々の日常生活の周りは、粉体や微粒子だらけ、つまり粉だらけと言えます。身近に思いつくものだけでも歯磨き粉、化粧品のパウダー、コピー機やプリンタのトナー、衣服や日用品の顔料、もっと言うとリチウム電池なども粉体が活用され、また、スマホなど様々な電子機器に使用されている部品も微粒子技術が欠かせない状況です。

古代ピラミッド建築にも
粉体の力学が応用される



産学官との連携

神谷 学生への講義等で、粉体や微粒子に興味を持ってもらうため、「焚火をしたことがありますか」と、質問することがあります。物の燃焼も粉にすることで起きやすくなるのです。何故かという、比表面積が大きくなるためです。物を燃やすのに不可欠な酸素分子は固体の中になかなか入っていくことができず、燃焼反応は表面のみで起こります。ですので、細かくして表面積が大きくなるほど燃えやすくなります。

実際に、丸太のままでは火が付きづらいので薪割りをして表面積を大きくします。そして火をつけると、木材の中の有機化合物が熱分解されてメタンや水素などの揮発性ガスが発生し、まずガスが燃えます。この現象を「揮発分燃焼」と言います。一方で木材の表面では揮発しない炭素だけが炭になります。揮発性ガスが燃え切ると、次は炭が燃えます。これを「チャー燃焼」と呼びます。そして炭が燃え切ると不燃の成分が灰として残ります。石炭火力でも塊のままでは燃えないので、粉にして燃やしています。

もう1つ、学生への講義のはじめに「ピラミッドの埋葬室は、粉体の摩擦力を利用して扉が密閉された」という話をしています。ピラミッドで、王の棺や財宝などが安置されていたとされる埋葬室に続く通路は、最終的に巨大な石の扉によって閉ざされていました。この石の扉を閉じる時に、後に理論化はされましたが、粉体の特性を利用していたと思われます。

その仕組みを説明します。**図1**のように埋葬室へ続く通路の天井に縦に穴を掘り、その穴の下面に陶磁器で蓋をし、その上に砂の層を作ります。その砂の層の上に支柱を差し、支柱の上に最後に閉める石の扉を置いていたと考えられています。

つまり砂の層と支柱を通じ、巨大な石の扉を支えていたわけです。そして、下端の陶磁器を割りますと砂はサラサラと流れ、伴って支柱は沈んでいき、その上に載せた石は通路に降りて塞ぐ、という仕組みだったわけです。

ちなみに映画「インディ・ジョーンズ」では、主人公が、遺跡を探索していて、誤ってボタンを押すと天井から砂がパラパラと降って閉じ込められそうになるシーンがありましたが、この仕組みの影響ではないかと推測しています。

この仕組みに粉体の特性が利用されているかという、砂というのが強い摩擦力を持っていますから、砂と壁の摩擦力で上側の荷重を支えられるようになります。水の場合は水深に比例して水圧は

大きくなりますが、砂の場合はある一定の圧力に達すると、それ以上大きくなることはありません。そのため下部の陶磁器の蓋に一定以上の圧力がかからない仕組みになっていました。

この原理は、1895年に発表されたJanssenの論文で原理を定式化されました。どうやら古代エジプトの人々は、この原理を理解し、巨石の扉を閉める仕組みを用意できたというわけです。

人類と粉体の関係は、とても古い歴史があるわけですね。

神谷 食品の粉についても古い歴史があります。例えば石臼と小麦です。小麦は米と違って粒のままでは美味しくないので、石臼で粉にしてから、練り、成形し、発酵させてパンや麺にして食べることが広まってきました。澱粉質が化学結合などをするによって粘りが生まれ、それが麺のコシに繋がるという現象があります。これも粉だからこそ実現できるということが歴史の中で使われてきたわけです。

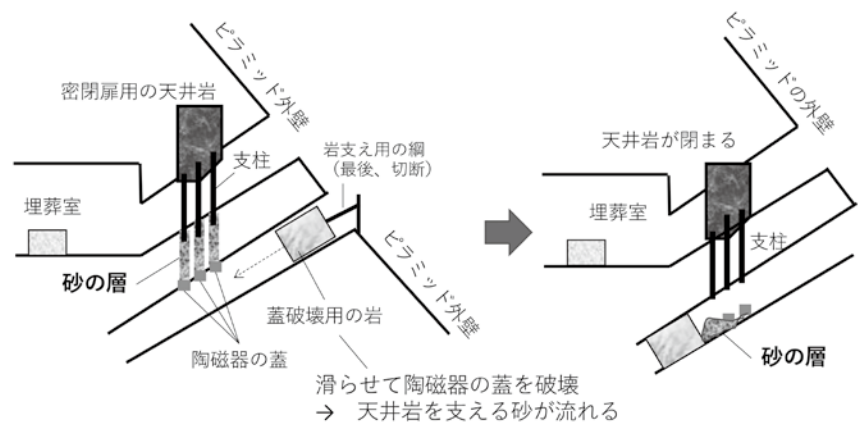


図1 古代から長い歴史 ピラミッドの中に、粉体の摩擦力を利用した自動扉

産学官との連携

微粒子のことについて、先生の研究の変遷を伺いながら、お聞かせいただけますか。

神谷 若い頃に遡ると、博士論文は「微粉体層の時間依存型現象」に関するテーマに取り組んでいました。集じんフィルターの表面に溜まった粒子を払い落とす操作を時間という視点から研究しました。払い落としの際の力は、弱い力でも繰り返し加えると破断して落ちるという現象が、きっかけでした。粒子の集合体である粉体層の力学的な破壊現象を、「時間依存型現象」の側面から研究した、基礎研究ということになります。

この現象は、例えばセラミックスの原料粉体を、金型に充填して繰り返し圧力をかけると、時間とともに、粒子層は、徐々に緻密、均一になっていきます。これは、粒子の凝集構造が、繰り返しの力で徐々に壊れていくため起こるものです。繰り返しでなくても、錘を載せ、一定の圧力をかけても、徐々に密度は増加し、均一な成型体になります。

先生は、最初からセラミックスや材料に興味をお持ちだったのでしょうか。

神谷 学部生時代は名古屋大学工学部化学工学科に進みました。当初は機械工学志望でしたが、結果的には、化学工学が性に合っていて、良かったと思います。

卒論は違う研究室でしたが、修士課程からは、粉体工学の分

野を選びました。もともと関心を持っていた環境問題として東海地方の四日市ぜんそくがあり、大気汚染防止という観点から集塵技術の重要性を感じました。そして、粉体分野を専攻した最大の理由や原点は、研究室の主宰者の神保元二教授の人柄と考え方に大きな敬意を抱いておりました。

神保先生の元で学位取得後、ご縁があって名古屋工業大学の材料工学科の無機材料コースの研究室で助手をすることになりました。ここがセラミックスの機械的特性を専門とする研究室でした。研究室の主宰者の高津学教授は、研究対象のセラミックスサンプルは自作するとのポリシーをお持ちでした。この分野の研究では、普通は製造企業等からセラミックスサンプルの購入・提供を受けて機械的な特性を評価するものです。私は高津研に所属し、セラミックスの作り方を学びました。セラミックス原料粉を混ぜ、練って、乾かして、成型して、焼結して、研磨して…と、しっかり製造プロセスを勉強させていただきました。大変でしたけども、この経験は粉体の重要性や材料への理解を深め、後のテーマ設定や産業界との連携に、大変役に立つことにもなり、高津学先生には深く感謝しております。

ナノテクとエネルギーは今後の重要技術として1980年代に強く認識する

粉体の中でも、環境関連、セラミックスと経験されたわけですね。

神谷 環境や材料の研究を進めていく中で、非常に高い先見性、将来に対する提言を神保先生にいただきました。1980年代の半ばでしたが、「今後20年、30年先に重要になることが2つある。1つは超微粒子（つまりナノ微粒子）、もう1つは粉体の高温での物性。」という提言をいただきました。

ナノテクノロジーが、日本を含めて世界的な注目が集まるようになった大きなきっかけは、2000年にアメリカのクリントン大統領がナノテクノロジー・イニシアティブを掲げたことでした。神保先生は、既に1980年代にその重要性を提言していたわけです。実際に、現在、いわゆるナノ粒子と呼ばれる超微粒子の研究を、私もスタートしました。

もう1つの「粉体の高温での物性」については、1993年に名古屋大学から東京農工大学に移つてすぐ、その重要性に直面しました。農工大では堀尾正毅教授と同じ研究分野に所属したのですが、研究分野名が「エネルギー化学工学」で、採用の条件はエネルギーに関する研究をすることでした。

そこで半年ほど、エネルギーと粉体が関係するテーマを模索している中で遭遇したのが、石炭や、廃棄物を燃焼する際に発生する「灰」の付着問題でした。

1990年代頃に入つてすぐ、オイルショックのような状況があり、「石油に代わり石炭を活用する」国家プロジェクトが数多くありました。その中で、石炭燃焼の際に発生する灰の微粒子がプラント内に付着

産学官との連携

し、閉塞などを起こすトラブルが頻発しました。

さらに、高温集塵という、燃焼排ガス中の灰の微粒子をセラミックフィルターで取り除き、クリーンな高温高压の排ガスを使ってガスタービン発電をするプロセスが開発されました。セラミックスフィルターで捕集した粒子層を払い落とすため、逆方向から空気圧をかけて払い落すのですが、付着性が高温では高まり、フィルターから落ちなくなり、詰まりました。この詰まりにより、フィルターは破損し、石炭発電システムが停止する事態が発生しました。石炭をガス化するシステムでも同様の灰付着により、プラントが停止しました。

プロジェクトの旗振り役だった経済産業省、NEDOにとっては大問題でした。そんな時に、この「高温での粉体物性の重要性」を1980年代から唱えていた神保先生の説を思い出しました。当時は、なぜ将来重要になるのかは、全く予想できなかったのですが…。

私は、ホソカワミクロン社が開発した微粒子の付着性を測定する装置を、高温用に改造し、高温での粉体の付着性の評価と制御というテーマを導き出しました。

そして、石炭を燃やした時にプラントで起きていた、灰の粒子の問題を解決に導いたということですね。

神谷 はい、それに貢献することが出来ました。

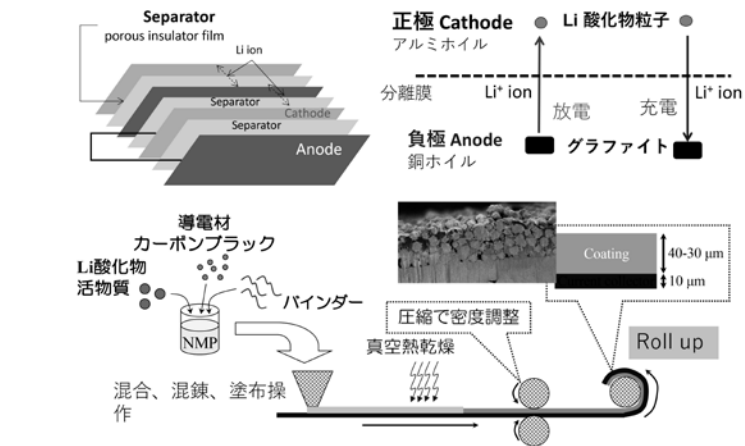


図2 ノーベル賞友関係:リチウム電池の原理と電極の製造プロセス

研究の歩みを伺っていると、日本の産業の変遷や課題とリンクして来たように感じます。

神谷 結果的にそうになっています。やがて地球温暖化問題から石炭を使ったプラントなどは下火になりましたが、次はPM2.5が問題になり、環境や健康分野の研究テーマが対象となりました。ナノテクノロジー分野の研究は、材料関係とともに、印刷、化粧品、医薬品、食料品、その他の分野に広がっています。

リチウム電池やコンデンサーにも粉体の技術が関係する

神谷 セラミックスにおける粉体プロセスで培った技術分野の応用に、図2に示すリチウム電池製造プロセスがあります。リチウム電池は、リチウム酸化物と、カーボンブラックという導電性炭素を混ぜたペーストを30から40ミクロンほどに薄く金属箔表面に塗布した薄膜が電極材になっています。粒子を練って薄膜を作るという技術は、日本が

非常に優れている分野です。

リチウム電池の仕組みは、正極がリチウム酸化物粒子とカーボンブラックのコーティング層で、負極は炭素の薄層が何層も重なったグラファイトと呼ばれる炭素の粒子で構成されています。充電するときは、リチウムイオンが負極のグラファイトの方へ移動します。反対に放電するときは、リチウムイオンが正極の方に戻るといった単純な原理です。

この時に、特に正極でのリチウム酸化物やカーボンのコーティング層が均一でないと、リチウム酸化物が電子を放出してリチウムイオンが負極に移動する電池としての機能が十分発揮できない問題が発生します。電極内の構造の精密さを技術力で競っているわけです。

また、リチウム電池が火を吹いた事故の原因は、グラファイトに移動して、放電時に正極に移動するリチウムが、元に戻らず枝状に伸び、正極と負極を分離する膜を突き破り、ショートして、大電流が流れ、加熱し、発火するということで起きます。安全性を考慮すると本当に綺麗で均一な層ができていないと

産学官との連携

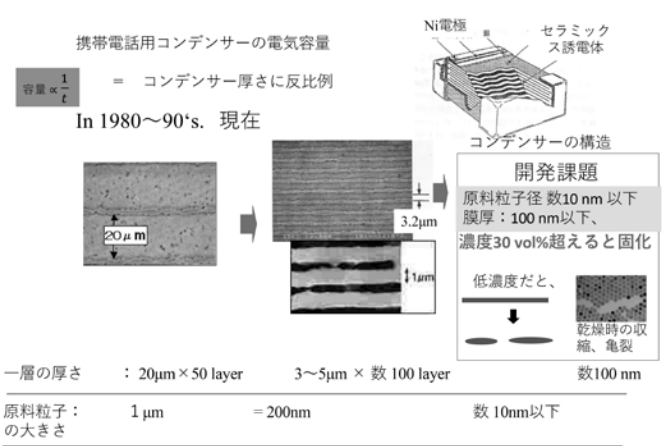


図3 BaTiO3コンデンサーの薄層化

いけません。その技術は日本の得意分野なのです。

粉体を扱う技術がしっかりしているからこそ、良質なリチウム電池を生産できるわけですね。

神谷 セラミックスの他にコンデンサーの分野においても、日本は非常に優れていると言えます。コンデンサーは、図3のようにチタン酸バリウムとニッケルの電極が交互に塗布されている構造です。この層は、薄いほど多くの電気を蓄えることができるので、薄いほど小型で高容量なコンデンサーとなります。ペースト状の粉体の塗布の分野は、日本が圧倒的に強く、コンデンサーのシェアは日本が多くを占めています。コンデンサーは現在でも一層の厚みをより薄く、性能をより高くする試みは続き、粒子径100 nmの原料粒子を用い、一層の厚みが1 μmほどまで薄くなっています。粒子径が数十nm以下のナノ粒子を使うことで、更に薄い層を作る試みも進んでいます。しかし、ナノ粒子の利用には、ひとつ重大な

課題があり、流動性のある粒子分散液の粒子濃度を高くすることができないのが、壁になっています。

少し専門的で難しいのですが、大きさが100nmの微粒子は、粒子の体積濃度が50%、を含むスラリー（固体粒子と液体との混合物）を流動性良く調整することが出来ます。しかし、ナノ粒子の場合は流動性のあるスラリーの粒子濃度は、せいぜい20~30%が限界です。それ以上濃度を高くしようとすると、スラリーが固まって流れなくなってしまいます。この濃度では乾燥時にすき間ができてしまいます。

メーカーの方から「ナノ粒子を使い、膜厚を100ナノメートル以下にしたい」と相談を受けることもあります。ナノ粒子は凝集性が高いのですが、粒子の表面に界面活性剤を吸着すると分散させるところまでは上手くいったのですが、未だに高濃度化はできていません。

本当に研究が様々な分野と関連があるんですね。

神谷 テーマだけを見ると広すぎ

るようにも見えますが、基盤研究で微粒子と粉体をきちんと行ってきましたので、そのベースから各テーマを深め、有用な成果に繋がれていると思います。逆に言うと、微粒子と粉体の基盤研究のベースがあるので、各分野でそれぞれ完全に独自性を発揮できているとも言えるかなと思います。

いわゆる自分だけの強みがあるということですね。

神谷 そう言えると思います。

ちなみに、東京農工大学は理系でも女子学生の比率が比較的高いのですが、研究室のテーマに「化粧品」に関することを掲げていた時があり、その一時期は研究室の女子学生比率が増加し、過半数を占めたこともありました。女性比率が高いのは、農工大は工学部と農学部が一つの大学になっていることが理由の一つかもしれません。農学部は女性の方が過半数を超えています。食料や健康など、関心の高い人が女性に多いのかもしれません。

全般にあてはまるわけではないと思いますが、研究室で特に女性が多い時は男性だけよりも活気がありました。多様性は重要です。

化粧品会社との共同研究が終わり、テーマから外したところ、急に女子学生比率が減りましたが、この分野を志望する女性も依然多いです。就職を決めて来たりするのも、男性よりも女性の方が早く、しっかりしている人が多いように思います。

産学官との連携

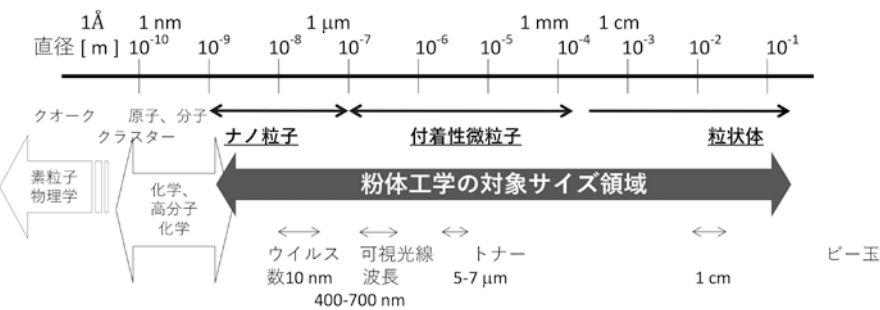


図4 粉体の対象サイズ

粉体や粒子と呼ぶのはどこまでのサイズ？

そもそも「粉体」と呼ぶのは、どれくらいの大きさになるのでしょうか。

神谷 図4 に示しますが、小さな方は、10のマイナス9乗メートル、すなわち1ナノメートルくらいまでを粉体として扱います。これ以上小さい粒子は、粒子として安定せず、原子、分子がくっついたり離れたりするクラスター状態になります。1ナノよりも小さい物は、素粒子物理の世界になってしまいます。1ナノメートルくらいの大きさになると、原子数が1000個くらいになり、粒子として安定します。1ナノより大きくて100ナノまでの範囲を「ナノ粒子」と呼びます。「100ナノより小さいものをナノ粒子と呼ぶ」とアメリカ化学会も提唱しています。

100ナノより大きいものは、実用的に使われていて、1ミクロンまでの粒子がサブミクロン粒子と呼ばれています。コピーのトナーは7ミクロンくらいです。トナーは、粒子の表面にナノ粒子が打ち込まれていて、7ミクロ

ンの粒子が直接触れないことで、付着性が弱くなることを利用しています。一時期、トナー性能の向上を目指した、電子写真の研究会、分科会は多数の人が集まりました。しかし、7ミクロンのトナーが付着せず流れやすい粒子として開発されると、人間の目の分解能は10ミクロンが限界なので、それ以上、トナーが細かくなっても、画質に影響がないということになりました。となると、それまで様々な企業が興味を持って研究会に参加していましたが、出席者が突然減少しました。

そして、更に粒が大きくなり、ビー玉くらいのサイズになると、岩石学や土木工学の領域になってきます。私が研究対象としている粉体、微粒子のサイズは1ナノメートルから1ミリメートルくらいの間の領域ということになります。

コロナ禍で注目が高まる健康・粉体・ウイルス研究

神谷 最近は「健康と粉体」というテーマでも研究が進んでいます。これはコロナ禍の影響もあって注目されている分野です。

ウイルスも大きさだけを見て見ると“微小な粒子”の1つですね。その理解にも超微粒子の知見が役立つわけですね。

神谷 図5 に示すように大体10ミクロンよりも大きい粒子は鼻腔や咽頭、マスクで捕捉できますが、10ミクロンよりもちいさな粒子はどんどん呼吸器の中に入ってしまいます。一時話題になったPM2.5は2.5ミクロン以下です。これほど小さくなると肺胞にまで侵入します。最も肺内包への沈着率が高いのは、20～50 nmくらいの粒子で、それより小さくなると沈着せずに、呼吸と一緒に吐き出されます。

小さすぎると人の体をすりぬけていくのですね。意外です。

神谷 一番、肺に沈着しやすい粒子サイズの代表例は、実はウイルスで、肺に沈着しやすい大きさです。その結果、肺に炎症が起き、呼吸困難を引き起こし、最悪の場合は死に至らしめるわけです。ウイルスや微粒子が呼吸器に沈着する仕組みを踏まえ、粉体をコントロールする技術により、呼吸器の特定の部位に薬を届ける手法の研究は進んでいます。しかし、薬の場合は確実に所定の量を処方する必要があり、薬を正確に処方する技術がまだ確立されていないというのが現状です。ただ、気管支に付着するインフルエンザの治療薬の供給法としての吸入法は、実用化にも成功しています。

また皮膚の場合は、200ナノメー

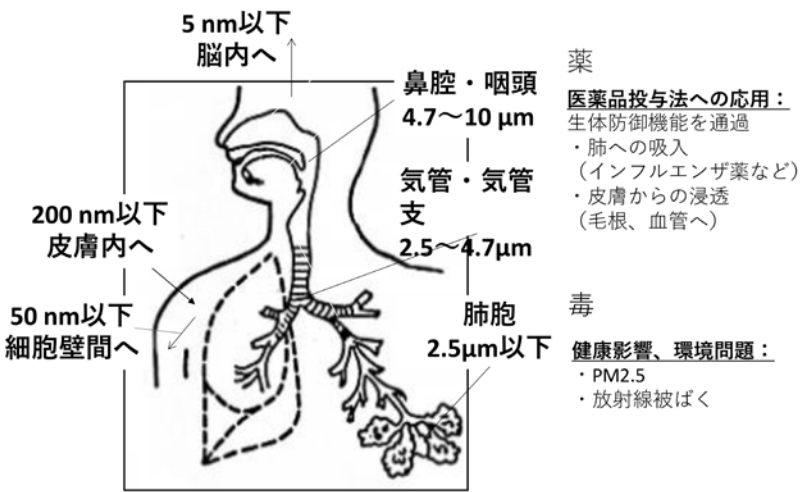


図5 医薬、健康、環境との関係:「毒にも薬にもなる微粒子」

トル以下のものは皮膚の毛穴に入ります。ある企業の、毛穴の奥まで入り込むことを謳っている育毛剤は、大体200ナノのサイズのカプセルです。それより小さくしすぎると、細胞壁を乗り越してしまうので、とどめたい毛穴にとどまる大きさにマイクロカプセルサイズを制御しているわけです。

さらに、5ナノメートル以下になると、今度は人間の最大の防御機能を有する脳の硬膜を通過するようになります。アルツハイマー薬などはここを透過するようなサイズのナノ粒子の使用が検討されているようです。

化学工学などで研究されていた粉体や微粒子のことが、医療や創薬などのライフサイエンスにも影響を広げているというのは、とても興味深いです。

神谷 ただし、ここにも注意点があり、粒子は“薬にもなるけど毒にもなる”ということです。薬の場合では、今話してきたような治療の期待が出来ます。肺への吸引、そして特に皮膚に塗るタイプの薬の研究は活発です。薬には“徐々に有効な成分を放出する”という機能が求められますので、血管に注射して一気に液体の薬を注入する方法は、実は、薬効を維持す

産学官との連携

る面では、良くなく、カプセルに入れて徐々に放出する機能の開発など、色々な課題もあるようです。「粒子が毒になってしまう」例としては、PM2.5はまさにそうです。特に、放射性物質を含む粒子は大変危険です。放射線を受けても、体内には残りませんが、微粒子状の放射性物質は体内に入ると、肺に滞留して体内で放射線を出し続けてしまいます。その結果、例えば肺がんを引き起こすことになり、非常に危険なわけです。

アメリカはこうした問題があることを知っていたのか、かなり早い時期、1994年の論文で、莫大な研究費により、粒子が肺に沈着する確率の計算結果を発表しています。この研究は、放射線障害の防御研究所が取り組んでいたことなので、軍事的な影響を見極めようという狙いもあったのかもしれませんが。

粒子の研究が進むことで便利に発展するメリット、その一方で、粒子が持つ危険性の研究も進歩していく必要性を感じます。

次号「科学の峰々」では、引き続き神谷 秀博先生にお話を伺います。

生物は“統一性”を持つ一方で
楽しいほどに“多様性”を持ちます。
物理化学とは違うこの点を解明してきました

