

発行人：NPO 法人市民科学研究室 【会員を募集しています。電話もしくはホームページ「募集・相談窓口」にて受け付けています。】

●〒113-0033 東京都文京区本郷6-18-1 ●Tel&Fax： 03-3816-0574 ●HP：http://www.csij.org/ ●e-mail：renraku@csij.org

■本誌は市民科学研究室のホームページと併せて読んでいただくための月刊のニュースレターです（本体は無料）

今月のテーマ

多層カーボンナノチューブの 安全性を考える 上田昌文

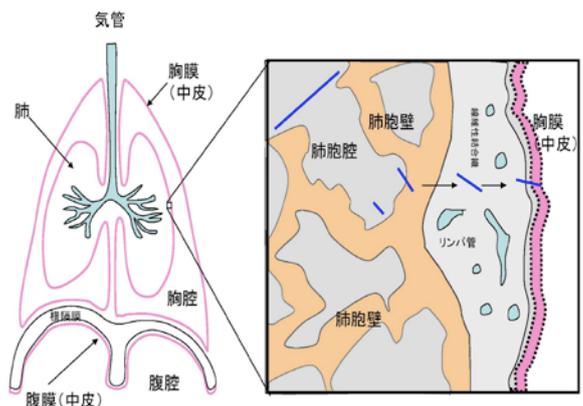
「ナノ」や「ナノテク」という言葉はかなり社会に浸透するようになった。白金ナノコロイド、抗菌ナノシルバー、ナノスチーム、iPod nanoなどの単語を耳にしたい人は多いはずだ。「極小の」イメージとして用いられる場合もあるが、定義上は、ナノマテリアル（ナノ材料）とは、一般的に基本構造の少なくとも1次元が1~100nm（1nmは10億分の1メートル）程度となる人工材料を指す。ナノマテリアルは一つ一つの粒子の大きさが小さく、全体としては表面積が大きくなるため、たとえば食品では体内に吸収しやすい、食感や風味が良くなる、日焼け止めや化粧クリームなどの化粧品ではなめらかである、皮膚への浸透力が高い、といった特徴を持つとされている。その反面、サイズが極めて小さいため、体内に取り込まれやすかったり、生体と反応しやすくなることで、遺伝子レベルを含めて人や環境に対して悪影響を及ぼす恐れが指摘されている。微小なセンサーによってモノや人の活動が追跡が可能になれば、倫理的な問題も出てくるだろう。

ナノテクのあり得るかもしれない負の影響に対して、各国政府はどう対応しているのだろうか。2000年に米国の国家ナノテクノロジー戦略（NNI）でナノテクノロジーの環境・健康・安全性についての課題が示された後、米国、英国やドイツなどの欧州でリスクの評価・管理についての指針が出されるようになった。2004年には、英国の王立協会と王立工学アカデミーが、ナノテクノロジーは大きな利益をもたらすかもしれないが、責任ある開発が必要であるという報告書『[『ナノサイエンスとナノテクノロジー：機会と不確実性』](#)』を公開した【今号に一部を翻訳】。この報告書では、ナノテクノロジーの健康と環境への影響については、特にナノマテリアルの製造過程における吸入や環境汚染を問題視し、ナノマテリアルを含む製品については製造から廃棄にいたるライフサイクル全体の安全性を検討すべきだとしている。こうした流れのなかで、OECDでは2006年に工業材料としてのナノマテリアルに関する作業部会を設置し、ナノマテリアルの有害性に関する情報収集や評価手法に関する検討など、国際的に協調した取り組みを進めている。日本でも2004年度からナノテクノロジーの社会的影響に関する取り組みが活発化し、内閣府を中心とする関係府省、大学、公的機関、産業界の関係者による継続的な議論が行われてきた。こうした動きにあわせ、関係各省の支援のもと、ナノテクノロジーの環境・健康・安全影響評価研究が続けられている。

こうした状況の中、昨年（2008年）の前半に世界的に大きな動きがあった。その発端は日本の国立医薬品食品衛生研究所（国衛研）と英国のエジンバラ大学がそれぞれ発表した論文にある。これらの論文では多層カーボンナノチューブ（次ページの【要点】を参照）のマウスに対する腹腔内投与試験からアスベストのような中皮腫を確認したとして社会的にも注目を集めた。国衛研のグループは、がん抑制遺伝子を欠損させたマウスを用いて、腹腔内への多層カーボンナノチューブの投与実験を実施した。この実験で中皮腫の発生を確認した同グループは2008年2月、国内学術誌に多層カーボンナノチューブがアスベスト（石綿）のような中皮腫を引き起こす可能性を指摘した論文を発表し、毎日新聞は「がん誘発か」と報じた。この研究に協力していた東京都健康安全研究センター（都安研）では、遺伝子改変をしていない正常ラットの腹腔内への多層カーボンナノチューブの投与実験を実施し、中皮腫の発生を確認、2月22日にその結果を都のホームページ上に公表した。なお、中皮とは、胸腔や腹腔などの体腔表面を覆う膜のような組織であり、それぞれ胸膜、腹膜と呼ばれる（図1）。

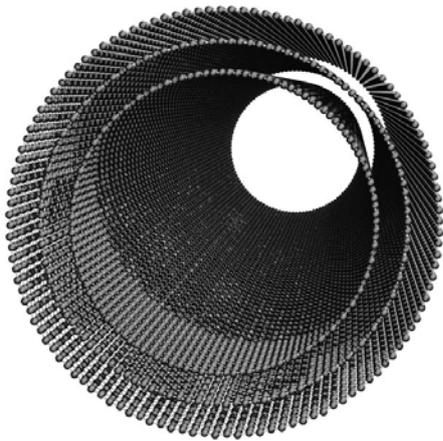
また、英国エジンバラ大学の研究グループは、複数の多層カーボンナノチューブとアスベストを用いて、繊維長や直径などの特性の差がどのような影響をもたらすかを評価する実験を正常なマウスを用いておこなった。この結果、繊維長の長い多層カーボンナノチューブとアスベストについて異物巨細胞と病変部面積の増加を確認、2008年5月20日に学術誌のオンライン版に発表した。海外主要メディアはエジンバラ大学の研究が発表された同日、カーボンナノチューブがマウス試験によってアスベスト同様の反応を示すことを一斉に報じた。日本でも日本経済新聞やNHKニュースは22日に、カーボンナノチューブが中皮腫を引き起こすおそれについて報道している。8月に海外の環境NGOである地球の友オーストラリアは「[『カーボンナノチューブ（CNT）が新しいアスベストかもしれないという証拠が続々と』](#)」を著し、カーボンナノチューブの潜在的な危険性を訴えている。

市民研が共同研究に参加している「[『先進技術の社会影響評価（テクノロジーアセスメント）手法の開発と社会への定着』](#)」プロジェクトではこのたび、「多層カーボンナノチューブに関するリスク評価・管理の最近の動向」というノートを取りまとめた。次ページの【要点】では、このノートを引用しながら、このような動きを受けたナノマテリアルに対する政府や企業の対応を検証している。■



1 多層カーボンナノチューブ(MWCNT)とは？

昨年の騒動で安全性の問題が疑われたのは、多層カーボンナノチューブである。カーボンナノチューブ（CNT: carbon nanotube）とは単原子層の炭素シート（グラフェン）を筒状に巻いたナノ材料をいう。同じ重さの鉄にくらべて数百倍の強度を持つ、細くて軽い素材である。テニスラケットや自転車のハンドル、野球用バットといった市販のスポーツ用品には、すでに CNT が使われているものもある。また、立体構造の違いにより半導体になるという特徴を持つために、スーパーコンピュータ用の半導体や、電気をよく通し、低い電圧で電子を放出するためにテレビのディスプレイ、熱伝導性に優れるために放熱板などに応用されている。他にも水素をよく吸着する性質があるため、燃料電池用の水素貯蔵材料としての利用も期待されている。さらには、地球から静止軌道まで伸びる宇宙エレベーターを実現する素材としても注目されるようになった。CNTは日本が1981年の原理的発見から主導を取っている研究開発領域であり、2006年度現在、製造技術および高機能材料分野、エネルギー・環境分野で日本勢が優位である。日本では特にエレクトロニクス関連への応用を意識した研究開発が重要な位置を占めていると見られている。世界的な市場規模は2004年で200億円程度であると推定され、順調に成長すれば2010年には1,000億円超の市場となるという予測もなされた。



【図2 多層カーボンナノチューブ】

カーボンナノチューブの中でも、図2のようにさまざまな直径と長さを持つ複数の同心円のカーボンナノチューブが、入れ子状に積層したものを多層カーボンナノチューブ（MWCNT: multi-walled carbon nanotube）と呼ぶ。単層カーボンナノチューブ（SWCNT）の直径が1nmのオーダーであるのに対し、MWCNTは数10nmのオーダーである。市場価格は種類や純度などによって異なるが、推定ではSWCNTが1~10万円/g、MWCNTは数百円~2万円/g程度で販売されている。2006年の国内推定使用量は、SWCNTの約100kgに対し、MWCNTは約60トンである。MWCNTのほとんどは半導体トレイに使用するために樹脂に混ぜ練られている。将来は導電ペースト、蓄電デバイス、燃料電池、医療への応用が期待されている。

2 政府の取り組みは？

CNTの潜在的な有害性を示唆した研究を受けて、厚生労働省は2008年2月7日、「[ナノマテリアル製造・取扱い作業現場における当面のばく露防止のための予防的対応について](#)」を関連ビジネス団体、労災防止関連団体、都道府県労働局に通知している。この通知では、MWCNTなどのナノマテリアル製造企業に対して、製造設備や作業工程、作業管理、保護具などについて取るべき対応を示している。また、東京都も2月22日に「[カーボンナノチューブ等に関する安全対策について（提案要求）](#)」を発表した。この中では厚労省に対し、健康リスク評価研究の一層の推進、職業曝露および環境中への飛散防止策の実施、CNT等の実態把握および情報の提供を求めている。6月には近藤正道議員から同様の質問主意書が参議院に提出されている。

厚労省は通知を受け、作業現場の実態を踏まえたより具体的な管理方法を示すとともに、曝露防止対策上の現状と課題についても検討していく必要があることから、労働基準局と医薬食品局で専門家による検討会を設置して2008年3月から検討を進めた。労働基準局による検討会では、労働現場におけるナノマテリアル対策の実効を上げるために、作業現場の実態を踏まえた、より具体的な管理方法を示すとともに、曝露防止対策上の現状と課題についても検討し、11月に報告書としてまとめた。医薬食品局による検討会では、ナノマテリアルの開発状況および最新の科学的知見、規制の現状を整理し、安全対策にかかる現在の課題と、今後の具体的対応について示した報告書を今年の3月に出した。環境省でも2008年6月に「ナノ材料環境影響基礎調査検討会」を立ち上げ、有害性評価が不確定な段階からでも、予防的取り組みの観点から、曝露防止に留意した製造・使用等を行う仕組みを構築することが有益であるという基本的な立場を示した。国内での使用実態、毒性情報、環境管理技術などをまとめた「[工業用ナノ材料に関する環境影響防止ガイドライン](#)」を策定し、2009年3月に公表した。

経済産業省では2007年に民間の調査会社に委託してナノテクノロジーに関連する研究活動、製造活動がおこなわれている研究機関や製造事業所の現状を調査するとともに、海外での管理事例を調査し、自主管理ガイドラインを作成して公表していた。これは、ナノマテリアルの製造・加工工程や作業管理、清掃・廃棄物管理、保護具などのあり方について基本的な方針を示したものである。経産省ではこのガイドラインをナノテクノロジー関連団体の会員企業に対して周知するとともに、ガイドラインに沿った自主的な取り組みを促していたが、今回のCNTの問題を受け、2008年11月から製造産業局で研究会を立ち上げてナノマテリアル製造事業者等における自主的な安全対策のあり方について検討を進めた。その後、検討対象とするナノマテリアルの定義・範囲、安全対策にかかる国内外の取り組み、対応の基本的方向と具体的対応についてまとめた「[ナノマテリアル製造事業者等における安全対策のあり方研究会 報告書](#)」を2009年3月に出した。

3 企業の対応は？

米国では 2000 年以降 CNT の研究開発は順調であるが、日本では 2002 年以降低迷気味である。その理由として、日本の公的資金が投入されているプロジェクトでは、基礎研究と製品化利用を目指した研究が混在したため、高品質の CNT 合成には成功したものの、市場化に向けたコンセプトが形成されなかったと推察される。一方で、市場ではメディアによるナノテックブームの盛り上がりにより、「ナノ」とうたったイメージ先行の商品が出回ったものの、本命の研究開発において技術成果がなかなか生まれなかったため、2002 年を境にブームが収束していった。たとえば、ナノテクノロジーやナノ材料に関する日本の代表的な国際展示会である「[nano tech 国際ナノテクノロジー総合展・技術会議](#)」では、出展者数・来場者数が年々順調に増加しているにもかかわらず、CNT の素材に関連した出展をおこなっていると申告した出展者数は伸び悩んでいる。そのような中でも日本のエレクトロニクス関連企業は着実に特許を取得し、研究開発を進め、商品化による成功も見せ始めている。

そのような矢先、昨年に厚労省が出した通知は、企業にとって、現場での取り組みというよりもビジネスに対する影響が大きかった。ナノ材料関連企業には、通知を受けて、製品利用者への注意喚起をおこなったり、会社としての環境安全管理体制を示したところもある。ただビジネスとして見ると、将来の法規制によって現在の投資が無駄になるかもしれないことや、企業イメージが低下するといった恐れが生まれ、企業を消極的な姿勢にしたことは否めないだろう。実際に、CNT などナノ材料を扱っていたベンチャー企業には、安全性についての騒動を受けて銀行からの融資が止まってしまったところもあった。また、研究開発自体が凍結されたところや、末端市場が動くまで自主的に待機することを決断した CNT の製造企業もあったという。こうして企業研究者は、経営リスクを怖れる経営者、事故リスクを怖れる現場作業員、そして顧客という三方からの圧力により、研究に対して後ろ向きになっているのが現状だと思われる。

4 予防的アプローチとは？

政府は過去のアスベスト問題に関して、当時の科学的知見に応じて関係省庁による対応はなされていたものの、「**予防的アプローチ**」に対する認識や関係省庁間の連携が必ずしも十分でなかったとの反省が生まれていた。予防的アプローチとは、「完全な科学的確実性がなくても深刻な被害をもたらすおそれがある場合には対策を遅らせてはならない」という考え方である。ナノ材料への厚労省の対応は、この反省を踏まえて予防的アプローチを適用したものであり、他のどの国の行政当局より早い対応であったと言われている。これは国衛研による研究成果に基づいてなされたと見られているが、公式な説明は与えられていない。CNT に限らずナノ材料を対象とし、ナノ材料の特性によらず一律に対策を適用することも、通知の根拠が見えにくい一因である。これは、ナノに関わるそれぞれの業界からの圧力があつたため、CNT の有害性についての論文と通知との関係を明示することができず、結局、横並びで広く曖昧な網がかけられることとなった、と推察することができるだろう。

5 MWCNT は第 2 のアスベストか？

国衛研やエジンバラ大学の研究グループは CNT とアスベストが繊維状物質であるという類似性に着目し、細長さが有害性に関係するという仮説（スタントン=ポット仮説）に基づいて MWCNT の有害性を評価しようとした（図 3）。しかし、細長さが支配因子であるかどうか、有害性を示す用量に下限値（閾値）があるかどうか、ナノチューブが実際に腹腔に到達するかどうかはまだ確認されていない。一般にリスクは「有害性」と「曝露」の積で表される。そのため、曝露にも注目した研究プロジェクトが**産業総合技術研究所**を中心として進められている。そこでは気管からの吸入という自然な経路による CNT の有害性評価試験法を確立し、曝露評価と組み合わせたリスク評価を目的としている。だが、吸入曝露試験法の確立もさることながら、曝露評価についても、実環境データに基づく適切な曝露シナリオの作成にはまだ課題が多いとみられる。さらに、いずれの研究についても言えることであるが、動物実験において有害性が示されたとして、そこからどのようにヒトへの有害性を推定するかという点でもまだ議論の余地が大きい。

MWCNT の生産量は年間約 60 トンであるが、アスベストは年間およそ 30 万トン、これまでに累積 1,000 万トン使用されてきた。また、MWCNT はアスベストのように建材製品として大量かつ環境に直接放出されるような使われ方はしていない。したがって、曝露量や曝露機会という点から見て、MWCNT は第 2 のアスベストというほどの危険性をただちに生ずることはないといえる。ただし、CNT が世界的に期待されているナノ材料であり、それに対して研究開発に力が入れているということを考えると、ますます厳正なリスク評価・管理の取り組みが求められるのは間違いない。

より柔軟で適正なリスク管理に向けて何が必要か、極めて有用な材料が有害性を持つ恐れが見出された場合に納得のいく予防的対応をどう築いていくか——多層カーボンナノチューブはそのことを私たちに鋭く突きつけている。



【図 3 MWCNT の細長さが有害性に関係するという仮説】

今号の記事論文から

市民科学研究室が毎月提供する記事・論文はすべて、どなたでもホームページからダウンロードできるようにしています。今月は4本を掲載します。

まず、**五島綾子**さん（サイエンスライター、元静岡県立大学教授）の連載「科学技術コミュニケーションを問う」の第5回目★**「科学の評価は専門家の仲間内」**です。科学者の仕事はどう評価され業績となるのか、その仕組みをとともわかりやすく説明しています。

次に、市民研の低線量被曝研究会が3月末に実施した★**「広島&長崎への調査旅行の報告」**を次号と2回にわたって、メンバーの**柿原泰**と**瀬川嘉之**が行います。訪問の順とは逆になりますが、今回は長崎報告の前半をお読み下さい。

今回のテーマであるナノテクのリスクに関連して、【今月のテーマ】でふれた英国王立協会の報告書から、第5章★**「健康と環境と安全性に対するありえるかもしれない悪影響」**の翻訳を掲載します。

それ以外は、専門的な複雑な内容のものも含まれますが、現在市民科学研究室が共同研究で取り組んでいるテーマである「フードナノテクノロジー」に関連する、最近の重要な資料を3点、翻訳しています。

・アイルランド食品安全局による入門的パンフレット★**『ナノ技術と食品』**

・スイスのテクノロジーアセスメント機関である「スイス技術評価センター」の報告書の要約版★**『食品部門におけるナノテクノロジー』**

・欧州食品安全機関（EFSA）科学委員会の科学的見解をまとめた★**『ナノ科学技術により生じる食品と飼料の安全に対する潜在的危険』**

いずれも欧州各国がフードナノテクノロジーの社会受容に関してどう動き始めているかを知る格好の資料です。

こんな団体・サイト・ブログに出会った！

とにかく、覗いてみてください……。毎月4つを紹介。

●**生活総研・未来年表** 博報堂が提供する未来予測関連の記事の集成。うまく分類され非常に使いやすい。

●**goo Research ポータル** アンケートや統計資料を用いた独自調査の報告が世相の分析として有用で面白い。

●**Good News Japan** 愛知県とその周辺地域を中心とした、エコで元気がでる情報サイト。地域メディアの新機軸。

●**サステナ・ラボ** サステナビリティ・プランナーの足立直樹氏のブログ。環境問題全般を易しく鋭く語る。

広報サポーター／ML参加者を募集中！

【会員へのお願い】リーフレットや『市民科学』をいろいろな所で配ったり、人が集う場所に置いたりできる方を募集！

【会員へのお願い】市民研メーリングリスト（現在40数名）に加入して、いろいろな意見のやりとりしたい方を募集！

以上、詳しくはホームページをご覧ください。

市民研 この先のイベント

詳しくは同封チラシ、ホームページをご覧ください。

●7月12日（日）10時30分～12時30分

子ども料理科学教室 出前授業（「発酵」の授業）

主催：まちだ実験し隊

場所：まちだ中央公民館（042-728-0071）

●7月16日（木）午後6時半～9時

第31回市民科学講座

こどもを産むという選択

～現代日本の未妊・不妊・高齢出産事情

講師：河合蘭さん（出産ライター）

場所：アカデミー文京・学習室

（シビックセンター地下1階、春日駅から徒歩1分）

参加費：1000円

●7月18日（土）10時30分～12時30分

子ども料理科学教室「野菜の甘さを生かしたクッキー作り」

主催：文京区立駒本小学校 PTA+市民科学研究室

場所：文京区立駒本小学校3F 家庭科室

参加費：500円（子どもさんは20名限定、申し込み順）

●7月20日（月、祝日）午後2時～5時半

長崎原爆投下の経緯を再構成する

講師：桑垣豊さん（近未来生活研究所）

場所：アカデミー向丘（南北線東大前駅から徒歩3分）

参加費：無料

●9月17日（木）午後6時半～9時

第32回市民科学講座

「科学コミュニケーションに何が求められているか～制度化と社会批判のはざままで」（仮題）

場所：文京区アカデミー茗台・学習室

形式：五島綾子さん、市民研メンバー、科学コミュニケーター数名らの発表をふまえた、参加者との総合討論

『babycom EYE 子どもと電磁波』発売中



市民研の上田が監修しました。電磁波問題入門書として最適だと、大変好評です。フルカラー32ページ、1冊500円です。お求めは市民科学研究室まで。送料はこちらで負担いたします。

四角で囲った資料(□□□)は、その資料名などを入力して検索すれば本体そのものを簡単にPDFファイルなどでダウンロードできます。★を付けたものは、市民科学研究室のホームページに掲載しています。お問い合わせくだされば、どの資料につきましてもより詳しい紹介をさせていただきます。