

ナノリスク問題で孤立する日本 ～2013 年頭トピックスを中心に～

小林 剛 (環境医学情報センター代表、医学博士)

1. 孤立化の背景

公表されない事実

この 10 年来、ナノテクノロジーの急成長により、ナノマテリアル (NM) の生産と消費量の急増は推定されてはいるものの、実際の数値や安全性データについては、ナノ企業による情報工作 (隠蔽や操作など) により、その実態は殆ど推測の域を出ていない。

このような状況下において、我が国のナノリスク研究者らは、研究費不足はもとより、テストサンプルの入手さえままならず、研究の進展は所期レベルから著しい遅滞を余儀なくされている。

さらには、筆者が努力している一般市民や消費者、学識・研究者、行政当局、関連学会、ナノ産業などの関係者に対するナノリスクの情報分析レポートの提供、NM の健康影響の啓蒙普及活動は、資金問題を含めて困難を極めている。また、本領域の有用なナノリスク情報の大部分は、先進諸国の研究機関や政府資料に頼らざるを得ない (日本政府による発行は殆どないため) のが実情である。

日本におけるこのようなナノリスク情報流通の閉塞と不活性化状態は、現在のナノ企業経営者の方針にとっては一見「好都合」のように見えるが、将来的には、ユーザーや関係者、特にナノリスク研究者の信頼を獲得できず、企業の繁栄に「自縄自縛」を招くことになりかねない。ナノ企業が自社製品の安全保証に責任を負い、政府が健康被害の賠償責任に応ずるための適切な法整備 (規制) が実現しない限り、我が国のナノテクノロジーに明るい未来は望めそうにない。

海外動向： EU の先進性

このような我が国の閉鎖的な現状にもかかわらず、海外先進国のナノリスク研究は、その成果の収穫期を迎え、消費者や有識者から規制を待望する機運は明らかに盛り上がりつつある。特に、EU においては、REACH (化学物質管理法) の高邁な理念、すなわち、①安全データなくして市販なし (no data, no market) ②事業者の挙証責任 ③「予防原則」の採択などをふまえて、2012 年 7 月「ナノリスク・ガバナンス・リ

ポート」を発行して、さらに、① NM を発ガン物質と認定し ② ナノ企業の不十分な情報開示を痛烈に非難し、特に、情報弱者である消費者の「選択の自由」への貢献を要求し、ナノ毒性研究の停滞は、ナノ表示義務の欠落すなわち法整備の欠陥が最大要因と断じている。

海外動向：米国の政策推進（付属資料 1）

米国においては、FDA(食品医薬品庁)は、NPO による 2006 年以來の NM 規制の提訴に屈して、遂に、① NM を TSCA（有害物質規制法）の対象になる「新規物質」と認定 ② NM のリスクの可能性を確認 ③ NM に対する新テスト法の必要性の確認などの諸政策を表明するに至り、規制実施への「外濠」は埋められ、民意の大勝利が実現している。しかも、NPO は依然として追撃の矛先を緩めていない。

また、NIOSH (国立労働安全衛生研究所)は、2011 年、① CNT (カーボンナノチューブ)の暴露限界勧告値 (REL) $7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ を決定し、健診励行を勧告 ② ナノ二酸化チタン(TiO_2)を職業発ガン物質と決定し、ナノテク労働者の健康保護に積極的に努力している。

さらに、米国政府の規制機関は相互の連携を強化し、ナノリスク問題に対処しようとしている（付属資料 1）。米国環境保護庁 (US EPA) および消費者製品安全委員会 (CPSC)の科学者らは、ペイントおよびコーティングにおけるナノテクノロジーの急激な拡大に鑑み、人間や環境に対する長期間における安全性問題を解決するため、新たに健康プロジェクトデータの収集についての協力を行っている。彼らは「ナノメーカーは、NM を含む製品の無害証明の確認が必要である。」と明言している。

今回、EPA と CPSC がターゲットとしているペイント類とコーティング類においては次のマテリアルの新領域が研究対象とされている

- ① CNT：過去の研究における毒性（発ガン性）検出に鑑み、さらに、モデル・テスト方法・急性健康影響の検出と予測の分野の研究を拡大する。
- ② セリウム酸化物：エレクトロニクスからバイオメディカルまでのあらゆる製品に利用が拡大しているため、その環境中への自然拡散による暴露リスクを検討する。
- ③ 二酸化チタン (TiO_2)：NM の中では、従来から、生産/消費量が突出していたが、先年来の光触媒コーティングへの利用により、その利用はさらに急増していると推定される。その上、昨年には、光触媒の劣化によるナノチタン粒子類の環境中放出が検出され、環境影響が世界的に大問題化している (Josune Olbarietta et al., 「流出水における光触媒コーティングの劣化：長期性能と二酸化チタンナノ粒子類の放出」、Applied Catalysis B: Environmental, 2012. 7. 23)。光触媒業界は、その対策に鋭意努力中と推察されるが、EPA はこの環境影響を重視し監視を強化していくと考えられる。

さらに、昨年秋、東京大学において「室内用光触媒」（日光/紫外線の誘発を必要としない有機物を分解する、チタンナノ粒子の基質構成の光触媒に銅化合物をコーティングする手法で新素材の可発現影響に成功し、99%以上の高い殺菌効果を示し、利用範囲の飛躍的拡大が期待されている）の開発成功が大々的に報じられた（読売新聞、2012. 10. 12）。しかし、この場合にも、銅化合物コーティングの解離およびチタンナノ粒子類粒子の劣化放出は、次段階で説明が不可避の大きな課題である。光触媒は日本発の革新技術であることから、その行方が憂慮されている。

ここで問題視されるのは、「過度の殺菌効果」による重大な副作用 (side effects) である。自然状態で静穏にバランスを保持している環境常在菌に対して、有用菌（善玉）と病原菌（悪玉）を無差別で全滅させる必要以上の殺菌行為は、人間（特に幼児）の完全な免疫システムの形成を阻害し、アレルギー・喘息のエピデミックを誘発（Midodzi et al., 2007）し、抗生物質耐性菌の著増による入院患者死亡の著増 [米国で約 10 万人 (US CDC, 2010)、欧州では約 15 万人(WHO, 2010)] を発生させるという極限の「脅威」ともいべき逆効果が報じられている。

ところが、衛生用品メーカーは、このような細菌学的知識を知ってか知らずか、消費者に対して徒に潔癖感を煽り、販売攻勢に躍起である。光触媒の殺菌効果においても、現在のような無制限状態を一時中止し、より包括的な見地から、健康と環境への影響を十分に検討し、適正な範囲での利用に限定すべきである。

前述の通り、NIOSH による TiO₂ の発ガン物質確定も、EPA-CPSC 共同研究強化の一因であろう。なお、IARC（国際ガン研究機関）は既に TiO₂ を「ヒトに対する発ガン性を示す可能性が高い」発ガン物質 2B と分類している（IARC, 2010）。

- ④ ナノシルバー殺菌剤：EPA は、昨年、NPO などの強力な反対を押し切って、この発売を安全データの 4 年以内の追加提出を条件に突然認可したため、積極的な記述はなく、注目の姿勢のみに留めている。ここでも、前述の殺菌剤につきものの「ジレンマ」の問題が浮上し、販売開始後の動向をふまえて、EPA がこの問題をどのように捌くかが注目される。
- ⑤ ナノスケール鉄：本素材は、地下水の汚染物質除去が有望な用途とされていることから、コーティング・カプセル鉄ナノ粒子類の環境研究に意欲を見せている。米国の政府機関が、我が国では、全く未着手のこの分野の研究を重視していることが、彼我の技術レベルと応用範囲の格差を示唆しており、環境庁に期待したい。

EPA の国営化学物質安全持続性研究では、「人間がナノマテリアルにどのように暴露されるかを解明し、国民の健康や国土の環境に対するリスク評価が極めて重要である。」と明快な見解を表明している。

CPSC のナノテクノロジー・プログラムでは、「ナノマテリアルはポピュラーであるが、さらに、消費者への影響についての研究と知識が重要である。」と確固たる方向を明示している。

このような政府機関による「ナノリスク政策推進の宣言」は、政府として当然行うべき義務がある。それにもかかわらず、我が国ではなぜ行われぬのか、あるいは敢えて行おうとしないのかについて、国民はその依って来る真因を考えるべきである。

我が国では、行政機関の「縦割り」の縛りが、諸外国に比べて強いため、この米国のような省庁間の連携が行われず、予算の効果的使用が困難のようである。その好例は、我が国最大規模のナノリスク研究（5年間、20億円）は、環境・健康科学・厚生労働などの分野には無縁の産業振興官庁の主導により行われ、研究の独立と中立性の点に対して、海外を含め多くの識者から強い批判を浴びた。

海外動向：中国の急進

中国のナノテクノロジーの急成長には驚嘆すべきものがあり、既に数年前に米国を遥かに引き離し、その後も世界のトップを走り続け、その加速度はいささかも衰えを見せない。ナノテクノロジー関連特許の申請概数（2005-2008年）では、中国 3,750、米国 2,400、EU/韓国 1,250、日本 800、ドイツ 400 で、米国を 50%以上上回り、日本の 4.5 倍以上に達し、完全な「独り勝ち」の様相を呈している。

中国は、ナノテクノロジーの創業初期においては、労働安全衛生対策が不十分で、ナノ塗料のスプレー作業において、女子作業員 7 名に、チタンナノ粒子類の吸入による肺損傷の労災事故が発生し、そのうち 2 名が死亡するという世界初のナノテク惨事を経験した。本事件は香港発のロイター通信（2009-8-19）で発信され、世界のナノ産業に大きな衝撃を与えた。（しかし、わが国のメディアは、何故か全く報道していない。

しかし、その 3 年後、この事故を「反面教師」として、ナノ安全重視の方針を明確化した。昨年秋、北京で開催された NANOTOXICOLOGY 2012 において、中国科学アカデミーのザオ博士は「中国はナノテクノロジーの競争力を維持するため、ナノ安全研究を充実し、規制監視を強化する。」「中国のナノリスク研究への投資は、現在、製品開発費の僅か 3%程度であるが、これを直ちに改善して、米国の 6%を凌駕する体制を確立する。」との強い決意を明確に表明し、出席者に大きな感銘を与えた

（NANOTOXICOLOGY 2012 北京大会 資料）。

中国は共産党一党独裁国家（これは、「誹謗」ではなく、国家体制の特異性の表現）であり、このような大号令は迅速に徹底され、ナノテクノロジーにおける中国の優位性は今後も益々強化されることは確実である。これとは対照的に、我が国のナノ産業における、安全研究投資への忌避的な態度（毎日新聞 2009-4-7 科学欄「ナノテク安全対策の自主管理」）の結末は残念ながら自明であろう。

中国のナノテクノロジーが、米国を大きくリードして、世界ダントツのレベルにまで伸びてきた背景には、このような指導部の安全第一の賢明な政策に負うところが大きい。ナノ安全性の確立と予防的対策

の徹底なくしては、消費者はもちろん、若い作業員もナノ物質の発ガン性を聞いただけで、ナノ産業への就職を躊躇あるいは拒否するであろう。

ナノテクノロジーのリスクを容認して、それをいかにコントロールするかについて、ナノリスク・リテラシーを活発化すべきである。現代生活の維持には、有害物質を効果的に制御して、そのメリットを十分に抽出し、ベネフィットを最大限に享受することが不可欠である。ナノ産業は、その有害性を恐れる必要はなく、むしろ透明化して開示し、賢明に対処すべきで、現在の「隠蔽方針」は逆効果を誘発する可能性が大きい。

ところで、NANOTOXICOLOGY 国際学会を日本で開催して、海外の息吹を実感し、自国あり方（後進性？）を自省しては如何であろうか？ 関係者のご検討をお願いしたい。

日本孤立化の必然性

このように、ナノリスク規制指向や研究推進およびナノ労働者保護の奔流は、欧米はもとより中国においても大きく高まりつつあり、日本が何時まで現在のような「孤高」を維持できるか、世界中から奇異の目をもって注目されている。日本政府は、その「孤立」の欠陥政策によりもたらされるすべての悪しき結果について、全面的に責任を取るべきであろう。

現状の観察によれば、わが国の行政機関は、企業と消費者団体との間で、できるだけ規制を回避する一方、適切なタイミングをつかみ、かつての「不作為の汚名」をどのように巧みに回避するかについて「右顧左眄」しているように見える。その結果、世界各国のナノ規制法整備レースでは、日本は最後尾ランナーのポジションを確保する走行戦略は、企業寄りの「特異性」の点では傑出している。

ナノ企業と消費者団体は規制機関に対して、それぞれの立場から逆方向のアプローチを繰り返しているが、現時点では、前述の通り、消費者組織は非力で、資本力のある企業に太刀打ちできず、強力な行政権限を持つ規制機関は、この状態を「良し」として満足し、専ら「静観」を決め込んでいるようである。

この状態を辛うじて可能ならしめている最大の根拠は、NM を化審法における「新規物質」とは絶対に認めないという強固な基本方針にある。すなわち、例えば、発ガン性が実証されている CNT は単なる炭素であり、同じく発ガン物質の高活性光触媒の TiO₂ ナノ粒子類は、そのバルク状態の不活性の TiO₂ と同一視し、化審法の対象外として門前払いしている。

EU においては、前述の通り、NM 全般を「発ガン物質」として明確に認定しているにもかかわらずである。我が国の「行政感覚」が、海外諸国のように企業とは一線を画し、独立的なポジションを確保している認識といかに大きく乖離しているか、これより明らかである。

2. 年頭を賑わすナノリスク・トピクス

2-1 ナノ食品を食べさせられている事実 (付属資料 2)

情報凍結の実情

現在、食品メーカーが販売している多種多量の食品類に NM が混入され、フレーバー（風味・香味）やテクスチャー（食感）を良くし、さらには外観の色感を変え、ナノシルバーなどの抗菌成分入り包装資材が、腐敗防止や保存期限を延長させるなどのため、加工・操作が「行われている」、正確には「行われているらしい」。

IARC や NIOSH から「発ガン物質」と指定されているナノ酸化チタンを混ぜて、チョコレートのみならず、ココアまでホワイト化されているのをご存じだろうか。賢明な消費者は、その商品を拒否するであろう。しかし、現状では、売らんがため、そのような「暴挙」がまかり通っているのである。

ナノ食品の真相はメーカーの情報工作のため、部外者には全く明らかでなく、消費者は何も知らずにナノ食品を「食べる」、正確には「食べさせられ」ている。この事実は、ナノ成分の表示が法的に義務化されていないことを奇貨として、メーカーは「消費者の十分な情報提供による選択の権利」を無視して、正々堂々(?)と消費者の選択の権利を剥奪し、企業利益の追究が行われているのである。

ナノ・スイーツ類の成分分析

米国の環境科学技術ジャーナル(2012年2月)は、市販の有名ブランド 20 種のスイーツ類（キャンデー・ガム・砂糖菓子など）には、すべてに二酸化チタン (TiO₂) ナノ粒子類を含み、その含有量の範囲は 0.07 ~ 5.1 μg/食品 1 mg と突きとめて、この種の研究として初めて公表した（付属資料 2 に図を示す）。ナノ食品は、2020 年には 200 億ドルにまで急増するとの予測が行われている中でのこの実測値の報告は、画期的な成果で、これを契機として、今後、商品中のナノ成分の測定値が続々と報告されるに伴い、消費者の反発は急上昇し、規制当局への圧力は強化されるであろう。米国の幼児（10 歳以下）の TiO₂ の最高摂取量は体重 1 kg 当り 1 日 1~2 mg との結論を下している。

ナノマテリアル摂取の健康影響

この問題に対する代表的見解として、米国安全エンジニア協会による次のようなコメントを紹介している。

「NM は食品を介して摂取され、免疫システム部位のパイエルブランク(注：白血球の一種であるリンパ

球の集合体)あるいは腸組織内小結節を介して吸収され、消化システムから血流中に移行し、生体のあらゆる部位に移動し、ダメージを生じさせる。」

これらのメカニズムによる損傷には、クローン病（注：消化管全体にわたる原因不明の非特異性慢性炎症性の難病）発生原因との示唆も含まれている。

ナノ・スイーツ摂取の次世代影響

東京理科大学ナノ粒子健康科学研究センター・武田らの研究（ファルマシア、2009）によれば、ナノチタン粒子は、体内の血流に侵入し、体内のすべての臓器に何らかの損傷を与える。

特に、注目すべきは、妊娠マウスへの TiO₂ ナノ粒子の投与の産仔オスには、生殖機能（精子生成能力の約 20%の低下など）・脳組織や機能および挙動の異常化などの次世代影響が報告され、TiO₂ ナノ粒子は細菌・ウイルス・プリオンに次ぐ「第四の病原物質」として警告が発せられ、世界に衝撃を与えている。ナノ・スイーツの摂取による次世代影響についての包括的な研究が是非とも必要である。食品メーカーには、安全性の実証が求められるのはいうまでもない。

2-2 ナノマテリアルの生物濃縮（付属資料 3）

英国王立化学協会は、環境科学：プロセスとインパクト誌（2012.12.12）の「NM の生物蓄積：現在の知識のレビュー」において 65 件の文献の包括的レビューを行い、次の指摘が注目されている。

生物濃縮レセプター

現段階において、有用性の点から採用されているレセプターは、ミジンコ・魚類・ミミズが多いことが集約された。

ミジンコについては、最近、ドイツのコブレンツールランダウ大学から、TiO₂ ナノ粒子類の水生生態学的影響として、通常の影響発現閾値（usual effects threshold）の 1/50 の低濃度の NM へのミジンコの暴露において、次世代の産仔の「遊泳挙動阻害」が報告され、研究者らは、「NM の危険性は想定以上で、それらがこのまま永久に放出される事態は規制すべき段階である。」と強く警告している（NanoWerk News, 2012.11.14）。

魚類についての NM 水生生態学的毒性研究の歴史は古く、Oberdorster ら（2004）により、フラーレン C₆₀ による若齢オオクチクロマスの酸化性ストレス誘発」を初めとして、ゼブラフィッシュなどによる多数の研究結果が報告されている。

その他では、ミミズやタバコツノムシ（植物毛虫）などによる NM の摂取を経由する陸生生態学的影響が認められている。

将来の課題

これらの食物連鎖の低位に含まれる基礎生物類は、すべて、明らかな「ナノ汚染」状態にあるため、定性的毒性はすでに確立されている。そのため、NM の環境中放出を極力防止することが、今すぐにも求められている。その行動と並行的に、精緻な生態学的蓄積モデルを開発し、定量的インパクトの評価が不可欠である。

特に、発ガン物質や長期（数十年にわたる）慢性潜伏性物質（特に、CNT などアスベスト類似物質）の NM については、用量－反応関係はゼロ点を通り、「閾値」は認められないため、格別の研究戦略と努力が求められる。

ナノリスクのコントロールは、往時の大気汚染にも匹敵する人類にとっての大きな受難であり、「予防原則」による「早期発見早期治療」の「予防医学的」制御が必要である。

現在、特段のハザードが顕在化していないとの楽観的な見方は本質的ではなく、危機感を軽視して子孫に災いを残すとすれば、それは現在に生きる人間として許されないであろう。すべての生物において、ナノ汚染は深く静かに進行中で、その蓄積は徐々に増加中で、減少することは全くあり得ないことを忘れてはならない。

この状況を「座して待つ」ことが許されるか否かについては真剣な検討が求められている。ナノ汚染に対する予防的法整備(規制)に反対するナノ企業は、その根拠を明らかにする責務がある筈である。利益第一の商業主義を優先して、国民の健康をリスクに陥れる状況を防止するため、行政には何をなすべきかが問われている。

2-3 米国農産物はナノ土壤汚染でピンチ（付属資料 4）

前項の水生および陸生生態学的影響のほか、中間媒体としてナノ汚染土壤による主要農産物の大豆への有害影響すなわち収量と品質の低下は、既報の PHOTO に見られる通り惨憺たる様相を呈している。広大な農場の土壤は、ナノ粒子類を含む汚泥肥料(ナノ亜鉛)、ディーゼル農業用重機の燃料添加剤（ナノセリウム）、ディーゼル排気粒子類(発ガン性物質)など 3 種類のナノ粒子類の「三連打」の相乗/相加作用を誘発し、土壤生産性は急激に悪化しつつある。

本研究は、カリフォルニア大学サンタバーバラ校の科学者らにより、米国科学財団の支援（2012）によ

り行われたが、関係者はこのナノ汚染問題を、将来の不気味な予兆と予防的に捉えて憂慮している。世界の穀倉である米国中西部諸州（カンザス・ミズーリなど）の農場は大豆生産の急落による影響を「死活問題」として憂慮している。しかし、直接の農業当事者以外は、この事態を対岸の火事と見ている向きが多い。

原発事故の例にもある通り、近い将来においては「ナノ除染」の問題と困難さ(殆ど不可能?)が浮上すると予想されているにもかかわらず、この極めて重要な研究への着手は、残念ながら全く聞いていない。

2-4 ナノサンスクリーンに新たな問題の出現

ナノサンスクリーンは、紫外線を効果的に防ぎ、皮膚ガンの予防に有効であることは良く知られている。しかし、その TiO₂ ナノ粒子の成分の有害性について、次の 2 件の重要な研究結果が発表され、製品としての重大な欠陥が明らかにされた。

これらの知見は、これまでの「定説」を覆す新学説であり、ナノサンスクリーンの有害性を根本から見直すことが、化粧品メーカーおよび皮膚医学界に求められるであろう。

プールにおけるナノサンスクリーンの使用は危険(附属資料 5)

ナノサンスクリーン中の TiO₂ ナノ粒子は、紫外線中で水と反応して化学的活性化によりフリーラジカル (FR) (遊離基) があるいは活性酸素類として知られる有害化学物質を生成する。この FR は、生体内で脂質・蛋白質・DNA にダメージを与え、突然変異を誘発し、発ガンへ移行する可能性が想定され、さらに、皮膚老化のサインの発症原因となる。

この FR の生成を防止するため、ナノサンスクリーン製品中の TiO₂ ナノ粒子の表面にはコーティング (水酸化アルミニウムなどの) 加工が行われる。それらは、従来は、安定して不活性と言われてきた。しかし、これらは日光暴露下において塩素添加のプール水に分解されて、水酸化ラジカルを放出する (Environmental Health News, 2012. 10. 5) (Innovation Society, 11. 12. 2012.)。

ナノ成分をコーティングしたサンスクリーンを含む化粧品類については、今回の塩素以外の化学物質や諸条件を含む多様なケースにおける検討が必要である。最終的には、適用条件の限定と、皮膚ガン予防効果と FR 傷害との間の優先度評価が必要となるであろう。なお、前述の通り、光触媒塗料の場合には、水と日光暴露のみでの TiO₂ ナノ粒子の劣化放出が検出され、その建築物塗装などへの大量の使用から、ナノ環境汚染への脅威が懸念されている。

ナノ材料は皮膚を貫通する（付属資料 6）

従来の研究の殆どでは、皮膚に適用された TiO₂ ナノ粒子は、皮膚外層を貫通しないとの結論が下されてきた。この理由は、ナノ粒子類が凝集し易いためと説明された。しかし、カリフォルニア大学サンタバーバラ校の Keller 教授らは、ブタの皮膚表面に適用された液体中の凝集 NM は、日光により小塊に分解され、皮膚を通過する、との研究結果を発表した (PLOS ONE, November 14, 2012)。

この光線誘発の TiO₂ 凝集体の解離現象は、日光暴露の数分後に起こり、暗所との比較研究では約 3 倍の TiO₂ の存在が認められた。ここでも、光触媒放出の TiO₂ ナノ粒子は単離状態 (free) が多く、その高い生体活性による有害性が憂慮されている。

3. むすび —ナノリスク研究者への期待—

2013 年の年頭に当たり、最新のナノリスク・トピックスを概観し、ナノリスク問題は、依然として、継続的かつ累積的に、世界的な拡大への指向にあることを確認した。しかし、日本においては、先年の原発事故の陰に隠れて、沈黙化に陥っているように感じられるが、実際は、放射能汚染に匹敵する重大な課題であり、ナノテクノロジー関係者はリスク・コントロールに対する自己の「哲学」を確立する岐路に立たされていることを確信した。

わが国の科学者・研究者は、自身の研究そのもののみ没頭し、いわゆる「タコ壺」スタイルで、その社会的意義や影響への関心は低く、自己の領域に閉じこもり、対外的発言のないことが「美德」とされてきた。

この風潮は、古典的な米国発の「アセッサはマネージメントに介入すべきではない」との「リスクアセスメントとリスクマネージメントの分断思想により増幅されてきた経緯がある。しかし、この思想は旧世紀に属し、包括性が尊重される現代では、もはや、真実にはほど遠いことが明確で通用しない。

すべての学術研究結果がもたらすものはベネフィットのみでなく、デメリットに対しても注目し警戒しなければならない。特に、イノベーションにはハザードを伴うことが多く、必要ならば、リスクを率直に発表し、その改善の基礎として提供すべきである。この場合には「沈黙は金」は通用しない。科学者は社会とは無縁に近い現実逃避的な態度に堕して「象牙の塔」に閉じこもるべきではなく、企業に対しても「科学ベースの正論」を直言し、むしろ、科学的弱者や庶民の味方として物申すべきである。

かつて、先人の原子物理学者らが、彼らの研究成果の原子爆弾への利用に反対し、平和運動を推進した教訓は、ナノリスク問題においても、あり難く拝借すべきである。リベラル・サイエンティストの勇氣ある発現を切に望んでいる。

謝辞：

筆者が、この数年来、ほぼマンスリーのペースで発行してきました「環境医学ニュースレター」に対して、一の読者の方々から、「ナノリスク・コバヤシ・ファイル」として有効にご利用下さっている旨のご礼状を頂いております。筆者として、まことに有り難く、厚く御礼申し上げます。今後とも、タイムリーな情報収集と適正な分析を心掛けてまいりますので、よろしくご愛読のほどをお願い申し上げます。

小林 剛 拝

(付属資料 1)

2012-12-24

米国、ナノセーフティ研究を強化
PAINT SQUARE NEWS, 2012 年 12 月 17 日
訳：小林 剛

ペイントおよびコーティングにおけるナノテクノロジーは、野火のように拡大している。しかし、この人気のあるマイクロ材料の、長期間における人間や環境での安全性が問われている。

米国政府の研究者らは、新しく公示された計画において、この問題への解答を計画している。

米国環境保護庁 (US EPA) および消費者製品安全委員会 (CPSC) は、ナノマテリアル(NM) の人間の健康および環境へのインパクトを評価する健康プロジェクトについて協力を行っている。

ナノマテリアルは、現在、数百種類もの消費者製品に用いられているが、それらの開発と商品化は、人間と環境への影響についての十分な知識を上回っている。

ナノマテリアルは、人間の毛髪の 10 万分の 1 の幅を持ち、十分には解明できないユニークな特性を有している、と政府は述べている。

また、メーカーその他の利害関係者らには、これらの物質を含む製品は無害であることを証明することのできる方法の確認が求められている、と言っている。

コーティング中のナノマテリアル類

EPA は、ペイント類やコーティング類に用いられるナノマテリアルを含む新しい研究には、次のマテリアルが含まれると述べている。

カーボンナノチューブ：カーボンナノチューブは、ペイントやコーティング中での多様な利用が見出されている。それらは、過去の研究において、ある種の毒性インパクトを示している。EPA 研究は、カーボンナノチューブについてのデータ・モデル・テスト方法・急性健康影響のベストの検出と予測の方法を示すであろう。

最近、フラーレンカーボンナノチューブを用いた新しい抗腐食性のスチールコーティングの開発者に 10

万ドルの助成金が与えられた。

2011 年には、科学者らはカーボンナノチューブを用いる氷結防止コーティング技術の開発を研究している。

セリウム酸化物：ナノスケールのセリウム酸化物はエレクトロニクスからバイオメディカル用品まで、あらゆるものに用いられている。EPA は、多くの用途に用いられた加工セリウム酸化物は、それ自身が環境中に自然に拡散し、暴露リスクを増加させると報告している。

二酸化チタン：ナノ二酸化チタンは、ペイント類やコーティング、その他の製品に用いられている。本年 3 月、Dechmal/CVI ワーキンググループは、ペイントに用いられたナノ二酸化チタンは紫外線により活性化され、大気汚染物質や表面上の真菌/バクテリアを殺菌するとの研究が報告されている。

しかし、2011 年、国立労働安全衛生研究所(NIOSH)は、空気中の二酸化チタン超微小粒子には発ガン可能性があると発表した。

ナノシルバー：このナノ材料は、バクテリアや悪臭を除去する多様な物質に包含されてきた。

最近、特許が許可された 2 種類のコーティング・システムが、食品および医療機器のカビやバクテリアを防除するために導入された。メーカーは、ナノシルバー複合剤を用いた特許の防止メカニズムは「永久的」で、環境と共存でき、コーティング・フィルム上のカビやバクテリアに対する長期間の防除機能を発揮する、と述べている。

鉄：ナノスケールの鉄は、長年、研究されてきたが、一つの有望な利用は、地下水からの汚染除去である、と EPA は言っている。防錆ポリマー・コーティング中のカプセル化された鉄ナノ粒子類は、将来、有害化学物質で汚染された地下水の浄化に用いられるであろう、と指導的な水の専門家は述べている。

国際研究協力

本研究は、ナノ粒子類の発生源確認、それらの人体や環境との相互作用の確定、持続可能な製造プロセスの開発などを重視した大規模国際協力の一部である。

「これらの製品開発に用いられるナノテクノロジーやナノ材料は、我々の日常生活を進歩させるが、人間がナノ材料にどのように暴露されるかを解明し、人々の健康と環境に対するリスクの評価が重要である。」と、EPA の国営化学物質安全持続性研究ディレクターの Tina Bahadori 博士は述べている。

彼女は「この革新的な研究は、ナノマテリアルの知識を大きく前進させ、将来におけるナノマテリアルの、より高い持続性と有効性の計画についての十分な情報をもたらすであろう。」とも付言している。

消費者製品安全委員会 (CPSC) ナノテクノロジー・プログラムのマネージャー Dr. Treye Thomas は、「ナノマテリアルはポピュラーではあるが、さらに、消費者への影響についての研究と知識が重要である。」「CPSC のスタッフは、この新興テクノロジーの規制に含まれる課題に熱心に取り組んでおり、健康と安全の懸念に対応するため、テスト方法や暴露データの開発における協力を満足している。」と語っている。

(付属資料 2)

2012-12-20

貴方は食品中のナノ粒子類をもう食べている

環境ニュース誌 Grist : 2012-12-03

Twilight Greenaway

訳：小林 剛

私は、この数年来、食品中におけるナノテクノロジーの役割を注視して来たことから、今月の E マガジンの「ナノを食べる」という記事に興味を持った。その中で、E 誌の編集長 Britta Belli 氏は、食品および農業におけるナノテクノロジーの役割の増大と、現在における監視と規制の欠落、この成長分野の情報と透明性について高度の必要性に対して深い考察を示している。

ナノテクノロジーには、粒子類のナノスケールにおける加工 (engineering) と操作 (manipulation) が含まれる。いわゆる「ナノ粒子類」は、ナノメートルあるいは 1 メートルの 10 億分の 1 のサイズである。例えば、ナノ粒子は、フットボールフィールドにおける赤血球のサイズである。一部のナノ粒子類は天然に存在することが知られている (カラメル食品中に存在するカーボンナノ粒子類や、銀容器はナノサイズの銀粒子類を放出する) が、それらのラボラトリー内で加工されたナノ粒子類には、環境健康影響が懸念されている。

ここで問題なのは、殆どの物質がサイズにより異なる挙動を取ることである。ナノテク産業は、ここ数年来、「物質は加工あるいは自然プロセスによりナノスケールを短縮すると、マクロスケールと比較して、突然、全く異なる特性を発揮し、色の変化、伝導性、透明性などのユニークな利用を可能にする。」とやってきた。

現在、ナノ粒子類が、加工食品において、栄養素の送達、鮮度延長、濃縮・着色剤として用いられる点を考えると、これらの「異なる特性」は不安を生じさせるであろう。また、最低でも、それらの健康インパクトの徹底的な研究を実施するのに十分な理由になるであろう。

実際、食品会社に対しては、ナノサイズの成分や、それらの安全についての疑問点の開示は求められていない。Belli 氏は、「それに反して、政府の立場からは、サイズの大きい相対物質の安全性がテストされているナノ形状の銀や鉄あるいはチタンなどは、基本的には違いがなく、行政機関は『一般的に安全と確認される条項』 (Generally Recognized as Safe : GRAS) の下で、食品への使用を認めている。」と述べている。

「食品包装中におけるナノ粒子類 (Belli 氏によれば、2020 年には 200 億ドル規模の市場への成長が予想されている) について調べているが、バナナ工場でナノコーティングが行われているとは知らなかった。」
「私が一番驚いたことは、ナノ粒子類はすでに多くの食品に入っていることであった。」

Belli 氏は、次のようにも述べている：

ナノ粒子類は、包装材料において、浄水、固化防止・ゲラチン形成剤として、また、紫外線防止、微生物生育防止、汚染検出などに用いられる。二酸化チタンは、ペイント類・紙類・プラスチック類を含む製品に、ナノ形状として膨大な量が添加されているほか、

大多数のハミガキや、Mentos・Trident・Dentyn などのガム、M&M・Betty Crocker ホイップクリームフロースティング・Jello バナナクリーム・バニラミルクシェークポップタルト・ネスレオリジナルコーヒークリーマーなどを含む多くの加工食品に白色色素として使用されている。これらの製品は、環境科学・技術ジャーナル 2012 年 2 月のレポートに掲載され、我々は毎日ある量の二酸化チタン (TiO₂) を摂取しており、10 歳以下の幼児の消費量は、砂糖菓子・キャンディー・ガム・その他のスイーツにより、最大 (体重 1kg 当たり 1 日 TiO₂ 約 1-2 mg) との結論を出している。

ナノテク粒子類の摂取は、工場環境内での吸入よりも重要視されていないが、Belli 氏は、それについての少数の研究の存在を指摘し、最近のコーネル大学の研究では、ナノ粒子を摂取後のニワトリの鉄吸収能力から、ヒトのナノ粒子類の摂取は安全と見なしている。その中で、研究者らは粒子類への急性暴露は、ニワトリの腸壁内膜組織 (intestinal wall lining structure) を変化させることを発見したが、研究リーダーは「広く研究され、安全と見なされたそのようなナノ粒子類は、他の有害化合物の過剰吸収への移行のように、やっと検出できる変化を生じさせる」と述べている。

ナノ粒子類の摂取の健康影響の問題について、Belli 氏は米国安全エンジニア協会の次のウェブサイトを引用している：

ナノ粒子類は、飲料水・食品添加物・食品の表面ダスト・ハミガキ・歯科充填物およびインプラントを介して摂取されるであろう。それらのナノ粒子類は、次いで免疫防衛システム部位のパイエル・プラーク (Peyer's Plaques) あるいは腸組織内の小結節を介して吸収される。消化システムに進入したナノ粒子類は血流中に移行し、生体のあらゆる所に移動し、ダメージを生じさせる。

Belli は、当然のことながら、これらの科学的所見の多くは、極めて少ないハード・サイエンスに基づき、過渡的であると指摘している。数十億ドル企業において、科学への慎重なアプローチを欠く場合には、そのようなことがよく言われる。遺伝子組換え食品との比較は避けられない。

実際、食品医薬品庁(FDA)の化学研究者 Timothy Duncan は、ナノテク企業が数千の食品および包装製品の研究開発段階にあることを認め、昨年、Nature Nanotechnology 誌に、「食品産業は、遺伝子組換え食品で起こった大衆の反発を恐れて、ナノ食品の導入からの後退に二の足を踏んでおり、一部の国における大衆は、食品の本質の不法改変を恐れている。」と書いている。

メディアがナノテクノロジーと食品に関する大きな問題や、食品の動向の詳細なリストを取り上げないのは、食品産業が遺伝子組換え食品で学んだ透明性重要性であるとの教訓とは全く反対の状況を示している。

Tom Philpott が 2010 年に Grist 誌で述べた意見のように、メディアにおける食品中のナノテクは最後に表面化した大問題で、「遺伝子組換え食品の場合と同様に、最初にひとまとめに発表し、後でリスク評価をする戦略のようだ。」と語っている。

(付属資料 3)

2013-01-05

加工ナノマテリアルの生物蓄積

Nanowerk、2012-12-21

訳：小林 剛

消費者および工業製品中における加工ナノマテリアル類 (ENMS)の広範な利用により、それらが、一度、生態系中に放出されると、そのインパクトへの懸念が浮上する。過去 10 年間には、ENMS の短期急性毒性影響については多くの研究が行われたが、生物蓄積のような慢性的発現影響についての研究は、2~3 年前に始まったばかりである。

2012 年 12 月 12 日、環境科学：プロセスとインパクト誌は「加工ナノマテリアルの生物蓄積：現在の知識のレビュー」として、水・土壌・底質における生態学的に重要な暴露条件における ENMS の生物蓄積について、現存研究における量的比較を重視した 65 件の文献の包括的レビューを行っている。

研究者らは、ミジンコ・魚類・ミミズなどが、最も一般的に用いられている生態学的レセプターであることを見出した。現在の証拠は、魚類およびミミズにおける ENM の蓄積は総じて低く、それぞれの対数生物濃縮ファクターは 0.85-3.43 (L kg⁻¹)および 2.21 -0.4 (L kg⁻¹)の範囲を示した。

低栄養状態で生物に蓄積された ENMS の高栄養状態の動物への移行は、特異な食物連鎖に依存して変化することが検討された。筆者は、このレビューは課題と知識のギャップを確認し、今後の進路を示しているとの結論を下した。

出典：英国王立化学協会

(付属資料 4)

2112-12-23

ナノテク革命は米国中西部の農作物に脅威

Kansas City Star 紙、2012-11-30

Scott Canon

訳：小林 剛

急速に発展中のノーハウは、我々の制服を汚れにくくし、人工骨はさらに実用化され、ディーゼルの燃費は良くなっている。

ナノテクノロジーは、チリダニを巨大に見せるスケールの働きで悪臭を消し、汚染を除去する人工宇宙に存在する顕微鏡的驚異を構築している。

この研究は未だ揺籃期であるが、新興の商業的利用の展開を追尾することにより、米国中西部の農作物は、将来におけるナノテクノロジーによる脅威を示唆している。

カリフォルニアの科学者らは 2 種類の金属ナノ粒子類を含む土壌に大豆を植え、この超微小成分が小石のように土壌中に沈着するか、あるいは植物の一部になるかを検討した。

亜鉛酸化物を混合した土壌においては、大豆の収量は通常よりやや良好であった。しかし、セリウム酸化物を負荷した土壌では、植物の葉の生育は悪く、大豆の莢は弱小化を示した。

これらの 2 例において、研究者らは、微小粒子は植物の一部を構成したと報告している。

科学者らは、この問題について、カンサス州、ミズーリ州、その他の穀倉地帯の農地において、加工ナノ粒子類が数十年にわたり蓄積していると推測している。

「このような問題は、他の場所でも起こるであろう。我々は、その意味を学び始めたばかりである。」と、カリフォルニア大学サンタバーバラ校環境微生物学の Patricia Holden 教授は述べている。

彼女の研究は、本年初期の米国科学アカデミー紀要で報告され、ナノテクノロジーについての新しい懸念を提起した。一部の批判においては、その問題は科学者らが危険の可能性を解決する前に、近代経済および世界環境に、迅速に統合されつつある、と主張している。

「我々はこの問題を楽し観する前に、十分に考究して、一つのモデルにまとめる必要がある。」と Food and Water Watch (食品と水の監視)消費者グループの副代表の Patty Lovera は述べている。

今冬の小麦や来秋のトウモロコシの収穫に対しては、誰も危機感を抱いていない。そして、一部のアナリストは、この研究は農夫らが畑で見出すよりも、汚染を過大評価しているようだ、と語っている。

「彼らは、一塊の土壌から、大げさな結論を出している。大豆の収穫はそんなに悪くならないだろう。」とウッドロー・ウイルソンセンターの新興ナノテクノロジー・プロジェクト (PEN) のシニア・リサーチャーの Todd Kuiken は述べている。

しかし、彼は、「それは未解決の大きなパズルの一部を埋めているに過ぎない。ナノ粒子類は植物に吸収され、植物の食糧製造能力を低減させる。」と付け加えた。

ナノテクノロジーは農産物の収穫に脅威であるか否か、ナノ粒子類を含む穀類が家畜や人間に危険であるか否かを確認するには、未だ長い道のりが必要である

Kuiken は、植物の成長に対する汚染物質、現在の環境に有害なナノ粒子類のレベル、ナノテクノロジーのより広範囲の利用の可能性などについて、我々が未だその全容を知らないことが問題だ、と見なししている。

環境中における一般的な人工ナノ粒子類の挙動の解明の一部は、そのサイズの問題である。それらは極めて小さく、見出すのは困難である。科学者らは、その検出には機器類の不足を歎じている。

ナノテクノロジーは、視認が不可能なほどの微小サイズで働き、分子や原子レベルで物質を化学的に結合させ、操作および加工が行われる。その微小サイズにおいて、物質は貴重な新しい質 (qualities) を獲得できる。

最大のサイズのナノ粒子類は、印刷されたページの 10 分の 1 のサイズである。最小のナノ粒子類はそれらの 500 分の 1 である。

この数年間、ナノテクノロジーの価値の増大が実証されている。1996 年、ノーベル賞を受賞したライス大学の Richard Smalley は、電子や医薬品として、微小で正確な成分を作り得る 60 個の原子による極めて貴重な新しいスーパーカーボンを発見した。

ナノテクノロジー研究についての米国の連邦予算は、年間 20 億ドル近い。

それは、ある範囲の製品と製造プロセスを生み出している。ナノテクノロジーは、ビタミン類や医薬品の吸収をより容易にすることができる。それはペイントをより明るく、また、より長持ちさせる。それは皮革をなめし、金属類をより硬くし、スマートフォンのスクリーンをさらに薄く、より鮮明にするために用いられる。

ナノ粒子類は、近年、サンスクリーンや化粧品など一般の場での使用が増加している。シルバーベースのナノ粒子類は、ソックスの悪臭を減らす。

しかし、悪臭防止の特性は、ナノテクノロジーの危険を考える好例である。貴女のストッキングは細菌を防ぐため、良い匂いがする。しかし、それらを洗濯した後、分解産物は下水処理場に入り、何が起こるか？

Food & Water Watch の Lovera は、これらの抗菌剤は下水プラントにおいて、汚泥を分解する細菌に対して、さらに難しい問題を起こしていると批判する。下水処理場からの農場の肥料は、ナノ粒子類の濃度を増加させ、おそらく、彼らの大豆に吸収されるであろう。

ナノテクノロジーにブレーキをかけることは単純ではなく、望ましくもないであろう。結局、その問題は貴重な環境掃除人 (environmental scrubber) が立証するであろう。

カンサス州立大学の著名な化学教授の Ken Klabunde は、化学兵器の解毒用品のナノテクノロジー研究会社からスピンオフした。その会社では、中国から輸入された壁板からのスカンクあるいは腐敗卵のような悪臭を消す製品も販売していた。

Klabunde は、すべてのニューテクノロジーには、危険の可能性が存在すると認識している。彼は、キーとなるセーフガードは、物質の安全性の固守であると言っている。例えば、企業は、人々への脅威が知られている鉛などの物質をナノテクノロジーにより混合しないことである、と述べている。会社により用いられている亜鉛やセリウムには有毒性はない。

彼は、周期律表には、ナノ形状に製造できる多くの物質が存在し、強い毒性を示すであろう。もし、我々が慎重を欠くならば、それらは想定外の影響をもたらすであろう、と述べている。

(付属資料 5)

2013-01-06

サンスクリーン中の二酸化チタンは危険なラジカルを生成

The Innovation Society, 2012-12-11

Sachcha Schwarzkopf

訳：小林 剛

サンスクリーン・ローションや衛生用品は、それらに含まれる化合物 (例えば、二酸化チタン)により、日光を吸収/反射して紫外線から皮膚を守る。コーティングされた二酸化チタンナノ粒子類は、日光中で安定を維持する。しかし、新しい研究では、保護コーティングは分解して、フリーラジカルを形成することが、初めて示された。フリーラジカルは DNA にダメージを与え、老化と発ガンに移行する可能性がある。

要約

皮膚ガンの主要なリスクファクターは日光の紫外線(UV)の過剰暴露である。サンスクリーンは、UV 照射から皮膚を守り、皮膚ガンのリスクを減少させる。2012 年には、米国において、最も一般的な皮膚ガンすなわち基底細胞および扁平上皮細胞皮膚ガンの新患診断数は 100 万人以上に上ると予想されている(米国ガン協会 2012)。さらには、最も致命的な皮膚ガンである黒色腫 (メラノーマ) の新患は 8 万人以上と推定されている。

サンスクリーン・ローションや衛生用品は、それらに含まれる化合物 (例えば、二酸化チタン)により、日光を吸収/反射して紫外線から皮膚を守る。二酸化チタン (TiO₂) 粒子類は、これらの製品に広く使用されている。最近、メーカーは二酸化チタンナノ粒子類を使用し始めた。極小粒子類は、より大きい粒子類よりも紫外線を反射できる。

しかし、二酸化チタンの粒子類およびナノ粒子類は欠点を有している。それらは、日光中で、水と反応して酸素を含むフリーラジカルあるいは活性酸素類として知られる有害化学物質を生成する (Konaka et al., 1999)。フリーラジカルは生体内で脂質・蛋白質・DNA と反応する。特に懸念されるのは、フリーラジカルは DNA にダメージを与えることである。フリーラジカルの DNA へのアタックにより、ガンに移行する可能性のある突然変異を生じさせる。さらに、皮膚老化のサインは、フリーラジカルに起因する (Pan et al., 2009)。このフリーラジカルを防止するには、サンスクリーンや衛生用品中に用いられている二酸化チタンナノ粒子類のコーティングが必要である。このコーティングされたナノ粒子類は UV に対しては防止するが、水との直接の接触はない。これらのコーティングの安全性についての研究は限定的

であるが、以前の研究では、それらは安定し、不活性であることが示唆されている (Auffan et al., 2010)。

彼らはどのようなことをしたのか？

この研究では、水泳プールの消毒のために添加された塩素が、サンスクリーン・ローション中の二酸化チタンナノ粒子類にコーティングされた水酸化アルミニウム ($\text{Al}(\text{OH})_3$) を分解するか否かを検討した。研究者らは、水泳プール水に次亜塩素酸ナトリウムを加えて消毒した。次亜塩素酸ナトリウムは、ブリーチ (漂白剤) に用いられる塩素化合物で、水泳プールの消毒に広く利用されている。彼らは、まず、種々の濃度の塩素添加プール水が、ナノ粒子類のコーティングにダメージを与えるか否かを検討した。二酸化チタンナノ粒子類による市販サンスクリーン・ローション (Neutrogena, SPF 30) (注)が、種々の濃度のプール水に加えられた。5 種類の塩素レベルは、0 から 7 ppm の範囲とした。典型的なプール水は、1 ~ 3 ppm の塩素を含んでいる。45 分後に、コーティングの変化を決定するため、ナノ粒子類が分析された。次いで、彼らは塩素添加プール水中のコーティングされたナノ粒子類が日光に暴露された場合に、どのくらいの量の活性酸素が生成されるかを測定した。その粒子類は、5 ppm の塩素を含むプール水に 7 日間置かれた。次に、水を人工光に暴露され、活性酸素の一形態であるヒドロキシル(水酸化)・ラジカル (OH ラジカル)が測定された。(注：SPF=Sun Protection Factor/紫外線防御指数)

彼らは何を発見したのか？

ナノ粒子類を、0.2~7 ppm の塩素添加プール水に浸すと、保護コーティングは徐々に分解した。コーティングの分解は、塩素レベル 0.4 ppm において観察された。コーティングの除去量は、塩素レベルに比例した。塩素添加のないプール水では、コーティングに変化は見られなかった。本研究の結果より、コーティングの除去には塩素が重要であることが示唆された。さらに、著者らはプール水中のその他の成分、例えば、カルシウムやリン酸塩などが、コーティングの分解に寄与することを示唆した。また、本研究は、あるタイプのフリーラジカル、ヒドロキシル(OH)ラジカルは、人工日光と塩素添加水の双方に暴露された際に生成されることを示した。しかし、塩素を欠く場合には、 OH ラジカルは生成されなかった。ヒドロキシルラジカルはフリーラジカルの最も危険なタイプである。

その結果は何を意味するか？

塩素添加の水泳プール水は、人々を太陽の UV 光線に対して守るサンスクリーンに用いられている二酸化チタンナノ粒子類の表面上の防護コーティングを除去する能力を示す。日光下では、コーティングなしのナノ粒子類は水と反応して、有害なフリーラジカルを生成する。これらのフリーラジカルはガンやその他の疾患に移行する細胞 DNA を損傷するが、サンスクリーン・ナノ粒子類による全体的なヒトの健康リスクについては知られていない。この研究は、二酸化チタンナノ粒子類の表面上の防護コーティングが水中で分解されることを初めて示したものである。今まで、コーティングは安定的であると信じら

れてきたが、それらの研究は、塩素の影響を検討していなかった。コーティングなしの二酸化チタンナノ粒子類は、日光と水の存在下で、フリーラジカルを生成することは良く知られている。フリーラジカルは、これらの化学物質類は酸化ストレスと DNA ダメージにリンクし、ガンに移行する可能性があるため、ヒトの健康の懸念となっている。これらの研究者は、実験のために、ラボラトリー調製の塩素添加プール水を用いた。この結果は、より高い塩素レベルでは、コーティングの分解はより多いことを示している。本研究でテストされた塩素レベル（0.2~7 ppm）は、大多数の塩素添加水泳プールで用いている濃度（1~3 ppm）と同レベルであるため、実際の条件を代表している。サンスクリーン・ローションは、通常、水泳前に使われ、多くの水泳プールは塩素殺菌されているため、ヒトの暴露について特に重要である。また、この知見は、湖水・河川・海洋のような塩素を含まない水においては、その防護コーティングの除去はないことも示唆している。しかし、自然水の化学成分の大きな変化、その他の粒子コーティングの安定性および活性酸素生成に寄与するその他のファクターについては検討されていない。

さらに、本研究は、コーティングされたナノ粒子類は、日光に暴露された際にはフリーラジカルが生成されることを見出したが、それは塩素添加水に限られている。そのフリーラジカルは、防護コーティングの除去後においてのみ生成すると推定される。本研究では、水酸化アルミニウムの 1 種類のコーティングのみで検討されている。粒子類のコーティングに用いられる他のマテリアルには、ポリマー類・シリコン・マグネシウム・水酸化ジルコニウムなどがある。塩素添加水中でのその他のコーティングの分解について決定するには、さらに研究が必要である。この知見は、二酸化チタンのコーティングをデザインするグリーン・ケミストに対して、塩素添加水泳プールを含むあらゆるタイプの水で安定性を有し、活性酸素類を生成しない、という課題を提示している。次の研究段階はヒトの健康リスクの決定になるであろう。コーティングなしのナノ粒子類からの活性酸素類ガンや皮膚ダメージのリスクファクターになるであろう。それらの安全性は、サンスクリーンによりもたらされるベネフィットを考慮して評価されるべきである。

出典：Environmental Health News

(付属資料 6)

2013-01-07

日光は二酸化チタンナノ粒子類の健康リスクを増強
Bren School of Environmental Science & Management
University of California Santa Barbara
Event & Media, Samuel Bennett

訳：小林 剛

二酸化チタン(TiO_2)は、皮膚に直接適用する化粧品やサンスクリーンを含む商品に最も広く使用されている加工ナノマテリアル (ENP) である。ナノスケールの TiO_2 は、ある種の細胞に、ある条件下で毒性を示すため、 TiO_2 が皮膚バリアを貫通し、皮膚下の細胞に脅威を形成するか否かを検討するため、多くの研究が行われてきた。

これらの研究の大多数では、表面に適用された TiO_2 は皮膚の最も外側の層を貫通しないことを示している。その理由は、液体中に ENPS が含まれる場合には、ENPS の小さな集団は、皮膚を通過するには大き過ぎる「より大きな団塊」に凝集し易いためである。しかし、Bren School の Arturo Keller 教授のラボラトリーは、日光への暴露により、液体中の凝集した ENPS は、より小さい団塊に分解され、皮膚を通過できることを示唆している。

この「光誘発による TiO_2 ナノ粒子類は皮膚を貫通できる」のタイトルの論文筆頭著者は、Bren School の PhD 学生の Samuel Bennett で、彼の共著者は Keller 教授および彼の以前の学生の Dongxu Zhou (PhD 2012)、PhD 学生 Randall Milke である。本論文は、11 月 14 日にジャーナル PLoS ONE で発表された。

この研究者らは「我々の研究では、ナノ粒子類の液体混合物は、自然の太陽光に暴露された場合に微小ナノ粒子類は、より大きなナノ粒子類の団塊から分離することを見出した。」と述べている。この現象において、我々の光誘発による解離が皮膚バリアへの移動と貫通を促進するか否かを検討した。我々は、二酸化チタンナノ粒子類を、日光の存在下で、人間の皮膚に似ているブタの皮膚表面に適用し、それらは皮膚を貫通できることを見出した。

この論文の著者らは、その要約の中で、この「光線誘発の解離現象」は、凝集セオリーあるいは「皮膚貫通毒性学的パラダイム」の何れにおいても報告あるいは検討されなかった、と説明している。彼らは、液体中の TiO_2 凝集体は日光への暴露の僅か数分後に、

直径 280 nm 以下から 230 nm に縮小し、解離現象が起こった。さらに、自然日光下で液体ナノ粒子懸濁

液に暴露されたブタの皮膚内には、暗所での同一懸濁液の暴露と比較して約 3 倍の量の TiO₂ が認められた。

著者らは、「これらの知見は、大多数の文献と著しいコントラストを示し、本研究で用いられた TiO₂ はコーティングがなく (bare)、有機物質も含まれないにしても、我々の結果は、化粧品やその他のスキンケア商品に含まれる皮膚表面適用の TiO₂ は、以前に考えられていたよりも高い移動性を (much more mobile) 示唆している。

PLOS ONE 収載原著要約：

「光誘発解離の TiO₂ ナノ粒子類は皮膚貫通が可能」

多くの水性状況下において、金属酸化物ナノ粒子類は他のナノ粒子類を誘引し、静電気とファンデルワールス相互作用のバランスの結果として、断片的な凝集体 (fractal aggregates) を形成する。粒子類の凝集作用は一世紀以上の間研究されてきたが、凝集状態への光線の影響は、十分には解明されていない。ナノ粒子類の移動性と毒性は凝集体のサイズの関数として示され、一般的にはサイズの減少に伴い増加し、光誘発の解離作用は大きな影響を示すであろう。我々は、周囲の光やその他の光源による凝集体からの解離は部分的で、微小ナノ粒子類集合体は、間質スペースを經由して皮膚プロフィール内に容易に拡散できることを示した。この光誘発の解離の発見は、凝集セオリーあるいは皮膚貫通毒性学的パラダイムの何れにおいても、今まで報告あるいは検討されなかった。我々の研究結果は、光線暴露の数分後において、TiO₂ 集合体の流体力学的直径は 280 nm 以下から 230 nm 以下への減少を示した。我々が自然日光の存在下でナノ粒子類懸濁液に暴露したブタの皮膚における TiO₂ は 200 mg kg⁻¹、これに対して暗所の場合には僅か 75 mg kg⁻¹ であった結果は、ナノ粒子類の進入に対する光の影響を示している。これらの結果は、光誘発の解離は健康に重要な影響を有することを示唆している。

注：PLOS ONE 誌は、2006 年から Public Library of Science 社より発行されている、オープンアクセスの査読付き科学雑誌で、科学と医学の一次調査の研究を扱っている。採択率は 70% で、掲載料は 1,350 米ドル、インパクトファクター (学術雑誌の影響度を図る指標) は 4,411 (2012) でかなりの上位を占めている。