

ナノ食品の壮大な「動物実験」

消費者はモルモット

小林 剛（カリフォルニア大学環境毒性学部元客員教授）

1. ナノ食品の「終焉の始まり」？

辛口のコメントで知られる米国の食品コラムニスト Jill Richardson 女史が、ナノ食品の現状について、次のような強烈かつ的確な警告を発している（News Democrat Leader-Kentucky, July 30, 2013）。

It's all just one grand experiment, and we're the guinea pigs.
（それは一つの壮大な実験であり、我々はモルモットにされている）

米国においては、最近、ナノ成分を取り入れた加工食品類の著しい増加に対して、消費者団体などが、販売商品から続々とナノ成分を検出し、商品へのナノ表示規制を要求している。彼女は、実際に、ベストセラーといわれている一流ブランドの、チョコレート・ドーナツ・ゼリー菓子・タルトなどの菓子類からナノ粒子類を検出し、既に大量生産食品での「ナノ化」の異常なまでの浸透実態を浮き彫りにしている。

わが国においても、ナノ食品衛生の調査は喫緊に必要とされているが、行政・企業・消費者の問題意識が低く、全く未着手であるのは残念である。このまま「放置」されれば、米国の二の舞に墮することは確実である。しかし、最近、ある消費者団体が実態調査に乗り出すとのことで、早急の成果によるナノ食品規制の序章を期待したい。

2. ナノ食品産業の暗部

Richardson リポートを見て驚いたことは、ナノ成分、例えば二酸化チタンの配合について、メーカー自身が知らないことがあり、ナノ食品原材料のサプライヤーのみがその秘密を握っている場合が多いという情報である。

この食品メーカー自身が、原材料のナノ化について、「聾棧敷」に置かれているとの推定は、環境保護と企業責任を推進している米国の NPO “As You Sow” の本年 2 月の調査によるものである（付属資料 2 として添付）。しかし、大企業の食品技術者が、原材料のナノ化を知らないとは信じ難い。大企業側の自

社製品への「かくありたい」（外見・風味・香味・食感などについての）との利己的な注文により、それに合わせてサプライヤーがナノレシピ材料を開発して食品メーカーに納入するという構図の方が自然である。メーカーは、強まりつつあるナノ食品批判の世論の動向を機敏に察知して、消費者の批判を免れるため、ナノ原材料の存在を熟知しているにもかかわらず、頬かむりして、責任を下請けの材料業者に押し付けているのでは、との穿った見方が強い。

この“*As You Sow*”の調査で最も注目すべきは、むしろ 2,500 社の食品会社のうち、回答を寄せたのは、僅か 26 社という、異常なまでの非協力乃至拒否的な態度である。ナノ食品リスクについての対話はおろか、話題にすることすら忌避して門前払いしている裏には、アメリカらしからぬアンフェアな暗部が垣間見える。

このような状態では、Richardson 女史が指弾する「人体実験」を招来し、関係者の知らないまま、ナノ食品は何の制約もなしに、大衆に継続的に大量に自由に市販され、慢性的影響の蓄積により、いわゆる多様な「ナノ疾患」を誘発する可能性は高いであろう。いうまでもないが、ナノ粒子類の毒性については、バクテリア・ウイルス・プリオンに続く「第四の病原体」（東京理科大学 武田ら、2009）といわれ、これを実証する科学データは、日毎に急カーブで増加し続けている。一方、ナノ成分の安全を実証し、リスクを否定する研究結果は、残念ながら筆者の知る限りでは見当たらない。

食品にナノ成分が添加される理由は、人工的で実質のないベネフィット、例えば、外見・食感・香味・風味であり、その最たるものは「ホワイトチョコレート」（酸化チタン添加）である。チョコレートが何故シロでなければならないのか、全く理解に苦しむ。（白いココアまで販売されている。）これらの商品の実体を知らずに購入する消費者自身も学習が必要である。Richardson 女史は、この風潮を“*new-fangled*”（軽蔑的に「新しがり屋の・新奇を好む」）とバッサリ斬り捨てている。本物の美味とは似て非なる、消費者の健康を無視した、必需品から程遠い有害物質による利益追求に他ならない。

3. ナノ食品規制への決断

現時点におけるナノリスクに対する評価は、「規制発動の臨界点を超えている」とする有識者の意見は著増の一途を辿っている。行政側から、規制しない理由として出てくるのは、相変わらず「科学的証拠が不十分」の常套句である。論理的には、完全に 100%の証拠の存在はあり得ず、科学水準の向上に伴い、限りなくそれに接近する。「百年河清を俟つ」では、国民の健康を守ることはできない。「先手必勝」が切に望まれる。

どのレベルの科学的証拠で、規制に踏み切るかについては多くの論議がある。海外、特に欧州の動向では、現存のデータは不十分と認識の上、むしろ不十分なるが故に「予防原則」に則り、適切な規制を行うとの思想が主流を占めている。「疑わしきは予防する」「予防医学原則」は極めて当たり前の常識的

な対応策である。

ところが、わが国では、逆方向に、「不十分だから規制しない」との詭弁を弄する主張が決定権を持っている。これは、意図的であるか否かにかかわらず、結果的に企業側にとって「好都合」であるが、「情報弱者」の国民や消費者の立場は軽視（無視）されている。日本の社会正義の存在が問われている。

このような規制問題における「方向誤認/錯誤」は、世界で最も失敗した我が国のアスベスト対策や、水俣病における政府の「不作為」の問題など、反省すべき点として多々見受けられる。しかも、これらの惨害の責任は、「汚染者負担の原則」（PPP：Polluter Pays Principle）の限界を逸脱し、公害の原因企業に国民の税金を注入する事態を招いた。

今こそ、「消費者主権」（consumers' sovereignty）の原点に回帰し、積極的に予防的規制を取り入れ、ナノリスク問題においてアスベスト惨禍の再来を招かぬよう、将来に禍根を残さぬよう、速やかに十分な検討を開始することを要請する。わが国が、ナノリスク規制において、世界をリードする日の到来を願っている。

今回は、ナノ食品リスク・摂取毒性・生態系関連の話題として、次の資料を原報訳注文としてお届けする。

■ 付属資料 1

Jill Richardson: 「食品中のナノ粒子類は食べても安全か？」:

彼女の舌鋒鋭い論評をエンジョイされたい。

■ 付属資料 2

環境 NPO “As You Sow” 「ネット集団によるナノキャンデーのテストキャンペーン開始」:

クラウドファンディング（ネット上で、人と資金を集結して種々の社会運動を展開する新方式）を駆使して、有名食品ブランドからの二酸化チタンナノ粒子類粒子の検出は今後のナノ食品リスク追求の画期的ツールとして期待され、食品産業にとっては恐るべき脅威になるであろう。

■ 付属資料 3

New York Times ヘッドライン「食品中の粒子類を発見」:

ナノ食品のリスク問題が米国の代表的大新聞ニューヨークタイムスのヘッドラインに登場すること自体、今後における問題の拡大を示唆している。

■ 付属資料 4

国際食品労組「ナノテクノロジーは土壌および食物連鎖に脅威」:

国際機関（国連食糧農業機構・世界銀行など）は、全世界の人口増加に対する食糧増産の必要性から、農業におけるナノテクノロジーを「持続可能の強化」と位置づけているが、ナノ肥料「バイオソリッド」（廃水処理場汚泥）による汚染との両立に苦慮している。また、毒性が明白なカーボンナノチューブ（CNT）に対する安全な利用は、現在の技術水準では極めて困難である。これらナノマテリアルの食物連鎖への侵入は否定できず、6年前に、国際労組連合はナノ製品に対して、強固で包括的な監視強化を要求したがナノ商品の殺到には対抗できなかった。今後の脅威に対して、運動を推進すべきとの立場を表明している。目標はあるものの、具体策には目途がついていない。

■ 付属資料 5

米国農業・貿易政策研究所「土壌中のナノマテリアルと我々の将来の食物連鎖」:

米国では「ナノ肥料」は規制のないまま、安全テストは行われずに、既に使用されている。バイオソリッドへのナノチューブの含有は、特に問題視されており（バーデュー大学）、当面の農業従事者の健康保護の必要と、蓄積毒性による将来における生態学的影響の懸念が増大しつつある。

■ 付属資料 6

Science Daily「ナノ粒子の摂取毒性」:

ナノ食品の原点ともいうべき、毒性研究の新知見を取り上げている。ナノ毒性は、急性よりも慢性的である点、すなわち、おそらく数十年という長期的な蓄積影響への重視が読み取れる。毒性研究においては、急性影響の検出は比較的容易で対応し易いが、慢性すなわち潜伏性影響は、その初期段階での検出感度が低いため、対応は遅れがちで極めて困難である。

当面の応急策としては、アスベストにおける30～40年の潜伏期間の教訓に基づき、形状の酷似するカーボンナノチューブ（CNT）に対する予防的規制の早急な導入が必要である。現在までにCNTを含むナノマテリアル（NM）を扱った大学研究室、NM製造企業に属する（あるいは、属した経験のある）作業員（研究者を含む）をすべて登録し、定期的な健診（胸部レントゲン精査を含む）を実施すべきであり、

労働基準監督署はナノ作業場の環境衛生基準（米国に準じ）の遵守と、すべてのナノ作業者を有害業務従事者健診による健康管理を恒久的に励行すべきである。現状のまま推移すれば、「ナノ疾患」の多発は必至であろう。

付属資料 1

食品中のナノ粒子類は食べても安全か？

Jill Richardson

(News Democratic Leader-Kentucky, July 30, 2013)

訳注：小林 剛（カリフォルニア大学環境毒性学部元客員教授）

ナノ粒子類は、エムアンドエムズ（M&M's）やダンキンドーナツ（Dunkin' Donuts）、ジェル-O（JELL-O）のほかポップタルト（Pop-Tarts）（記者注）にまで使われている。科学者らは、それらを食べて安全かどうかについては知らない。政府はこれらの商品を規制していない。食品メーカーでさえ、自分の売っている食品にナノテクノロジーが利用されていることを知らない場合が多い。貴方も多分知らないであろう。

記者注：

エムアンドエムズは、ビーンズ状のチョコレートを砂糖でコーティング（糖衣）して、種々に着色され表面に「m」の白い文字が表示されている。開発の発端は、太平洋戦争中に、夏季の暑さで溶けるチョコレートに閉口した兵士からの要望であった。



ダンキンドーナツは、種々のドーナツを主力商品としたファースチフード店のブランド名で、世界 29 カ国に約 6,000 店舗を展開している。



ジェル-O は、クラフト食品のゼリー菓子のブランド名で、主成分は豚皮由来のゼラチンと芳香剤・砂糖・人工甘味料である。



ポップタルトは、ケロッグ社（コーンフレークで有名な）の、子供向けの朝食で、給食にも登場するため、アメリカでは知らない子はいないほど有名ブランドである。タルト（焼き菓子）の生地で甘味の強いジャムを挟んでいる。



何れも、米国の巨大食品企業で、その支配力と寡占化は突出しており、消費者の健康と安全に対する責任は極めて大きいことはいうまでもない。

では、ナノ粒子類について述べよう。

ナノ粒子類は極めて小さい粒子類で、10 億分の 1 のナノメートルで測定しなければならない。ナノ粒子類をフットボールのサイズとすれば、赤血球はフィールドのサイズになるであろう。ナノ粒子類は新しい 200 億ドルビジネスの心臓部である。

新規テクノロジーについて、最も重要で知らねばならない問題はサイズである。銀あるいは二酸化チタンのような一般的な物質が小さく縮小する場合には新しい特性を獲得する。

銀はナノ形状において、強力な抗微生物特性を取得する。企業は、悪臭を発生しないナノシルバー加工のソックスの販売により既に利益を上げている。

悪臭のないソックスは、良いことのように聞こえる。しかし、ナノシルバーは安全なのか？ 銀は一般的には安全な金属であるが、そのナノ粒子類は、より大きい分子が行けない場所でも、入っていけるのに十分な小さいサイズを持っている。例えば、それらは血液-脳バリアを通過できる。ある化学物質が安全だとしても、それはナノ形状の小さい場合における安全は意味しない。

シルバーや二酸化チタンのような一般的なナノ粒子類を用いた以前の研究では、懸念が浮上している。環境団体「As You Sow」は、ナノ粒子類は細胞を貫通し、細胞機能を阻害すると指摘している。それにもかかわらず、National Nanotechnology Initiative（米国政府ナノテクノロジー戦略）は、過去 3 年間に製品開発に対して、安全テストよりも 16 倍の予算を使っている。

ところで、貴方の食品中のナノ粒子類はどうなっているのか？

二酸化チタンは、白色色素として用いられている一般の食品添加物である。2012 年に、通常の食品中における二酸化チタンの存在がテストされた。彼らは、M&M' s、Betty Crocker Whipped Cream Frosting、Jell-O Banana Cream Pudding、Mentos、Trident and Dentyne gums、Nestle' Original Coffee Creamer などの商品から二酸化チタンを見出した。

環境団体「As You Sow」は、次いで、粉末砂糖をコーティングしたダンキンドーナツとホステスをテストし、それら双方には、ナノサイズの二酸化チタンが含まれていた。食品メーカーは、何故、粉末砂糖に白色色素を入れる必要があるのか？

ここが問題である。ナノテクノロジーは、既に我々の食品に入ってきている。

そして、不幸なことに、誰もがこの奇をてらった材料を信頼していない。サイズの問題が現実存在しているにも関わらず、規制として取りあげられていない。食品中の化学物質が合法であるとすれば、ナノ形状も合法であり、表示は不要なのである。

消費者は、既に何トンものナノ粒子類を栄養剤、トランス脂肪、アレルゲンとして摂取している。我々は食品中に何が入っているかを知る必要があり、政府は食品メーカーに指示して我々に知らせるべきである。しかし、ナノ粒子類の場合には、それらのサプライヤーが扱っているため、食品メーカー自身さえ、自社の製品にナノが入っているかどうかを知らないことがある。

我々の食品にナノ粒子類が含まれていないとしても、それらは食品包装物からしみ込むのではない

か？ ナノ粒子類は包装から食品中に移動するのではないか？ これらについては、未だ、誰も知らない。

この現状は、まるで壮大な実験であり、我々はモルモットなのだ。

もし、貴方が自身の身体へのナノ粒子類の侵入を避けたいならば、それらの人間における消費が安全と証明されるまで、最善の方法は、有機食品を買い、加工食品を避けることである。

今後、それらの安全が証明されるならば、それは努力する価値が有るであろう。もし、貴方が新鮮なフルーツや野菜を買い求め、ドーナツやキャンディを避けるならば、健康増進となるであろう。

しかし、我々の社会全体としては、この点が個人の責任に任されていることは受け入れられない。特に、消費者は食品中におけるこれらの微小粒子類の存在を知る方法がない点は容認できない。手っ取り早い最初のステップは、ナノ粒子類含有食品への標示である。食品メーカーに対しては、それらの安全が証明されるまでは、食品への添加を許可すべきではない。

米国連邦政府は、本年 9 月、ナノテクノロジーのリスクと管理についての討議を開催する。適切な安全テストが完成するまで、我々の食品からナノ粒子類を追放しようではないか。

筆者の Jill Richardson は食品コラムニストで、「アメリカのレシピ：我々の食品システムは何故破壊されたのか、どのように修復させるのか？」の著者である。

付属資料 2

ネット集団、ナノキャンディーの
テストキャンペーンを開始Nanowerk News, Feb 7th, 2013

訳注：小林 剛（カリフォルニア大学環境毒性学部元客員教授）

企業責任と環境保健を推進する NPO の “As You Sow”ⁱ は、昨日「割れ目からすり抜ける食品中のナノマテリアル問題」（“Slipping Through the Cracks: An Issue Brief on Nanomaterials in Food”）という資料を公開した。本資料には 2,500 社の食品会社の、製品中のナノマテリアルの使用についての調査結果のほか、ダンキンドーナツ（右写真）のトッピングの白色砂糖中の二酸化チタンナノ粒子類の検査機関の結果などが含まれている。



より多くの一般的な食品製品をテストするため、“As You Sow” は Indiegogoⁱⁱにおいてクラウドファンディング・キャンペーンを同時に発足させた。“As You Sow” の CEO (最高経営責任者) Andrew Behar は「我々は M&M’ s（チョコレートボール）やポップタルト（焼き菓子）、トライデントガム（チューインガム）などのナノマテリアルのテストに十分な資金の獲得を計画している。」と述べている。

ⁱ この米国のネット集団 “As You Sow” は、クラウドファンディング（“crowdfunding”）の形態により、不特定多数の人が、インターネット経由で、他のグループや組織に財源の拠出や協力を行う、ネット時代の新しい投資や意見表明運動の推進装置である。将来的には、資金に乏しい消費者や市民運動を飛躍的に発展させる起爆剤と期待されている。

ⁱⁱ Indiegogo は、国際クラウドファンディングのサイトで、誰でも各分野（映画・音楽・チャリティ・ベンチャー企業・劇場など）に参加あるいは投資できるシステムで、若者を中心に急速に拡大し、企業の社会的責任の追求や行政の不作為などの指弾に対して、「弱者」の強力なツールとして、その導入は急増している。

彼は「この未規制のニューテクノロジーが我々の食品サプライの中に進入して来ているのは明らかである。それらの安全テストは不十分で、どの製品がナノマテリアルを含んでいるかについての透明性は全く存在しない。我々の調査から学んだことは、多くの食品会社が、自社の製品にナノマテリアルが入っていることを知らないことである。」とも言っている。

ナノマテリアルは食品産業に革命をもたらすといわれてきた。例えば、脂肪が入っていない製品をクリーミーな液状にする、フレーバーを強める、サプリメントのデリバリーを増強する、明るいカラーを作る、食品の鮮度を長持ちされる、腐敗を知らせる仕組みなどである。少数ではあるが、食品中のナノマテリアルの安全を示す研究もある、実際、科学者らは今でも、ナノ粒子類が体内でどのように作用するか、適切なテスト方法について研究中である。

「今まで、食品中のナノマテリアルについては多くの論議が行われてきたが、公衆衛生へのリスクについての情報は極めて少ない。」「ナノマテリアル含有食品が商業的に継続して販売される前に、さらに十分な科学的検討が必要である。」と “As You Sow” の会長で、この資料の共著者の Danielle Fugere は述べている。

現在、米国においては、ナノマテリアルを含む食品製品や食品包装に対する表示の必要条件是存在しない。食品医薬品局 (FDA) は、ナノマテリアルは一般的には安全であるとは見なされないが、ナノマテリアルが我々の食品サプライに急速に進出してくる可能性にもかかわらず、毒性暴露を決定し、あるいは、規制に移行するためには、十分なステップを踏まねばならない、と声明している。

ナノマテリアルは小さなサイズのため、より大きな粒子類の行けない場所にも行くことができる。食品および食品包装中のナノ粒子類は、摂取・吸入・皮膚貫通によりアクセスを獲得できる。ひとたび、我々の身体内部に入ると、ナノ粒子類は細胞壁を貫通し、血液およびリンパに進入する。そこから、粒子は生体内を循環し、骨髄・リンパ節・脾臓・肝臓・心臓などの感受性の高い標的部位に到達し、血液-脳バリアも横断する。

“As You Sow” の調査結果は、食品・食品包装・サプリメント会社は、ナノマテリアルの使用について明らかにしていない。調査用紙は、食品業界の 2,500 社に送付され、これらには最大規模の食品加工会社 100 社、最大規模の食品供給会社 50 社、最大規模の食品小売業者 75 社、トップクラスの包装会社 25 社、トップクラスのファーストフード業者 50 社、サプリメント 187 社が含まれる。回答があったのは僅か 26 社のみで、それらの 1/3 は、彼らの製品やサプライチェーンへのナノマテリアルの存在を知らないことを認めた。安全テストが不十分あるいは行っていないこの新しい食品添加物について、正式なポリシーを持っていたのは僅か 2 社のみであった。

Fugere は、「企業はナノ加工マテリアルの問題に対して、積極的かつ高い透明性により対応する必要が

ある。」「製品中にナノ材料が使われているか否かを知らない、あるいは、これらの材料による人間の健康や環境への危害を理解していないことは、これらの企業への投資家に重大なリスクをもたらす。」と述べている。

本資料の共著者の Michael Passoff は「食品企業は、自社の製品や包装中にナノ材料の存在の有無を知るため、サプライヤーに対して綿密な調査を行い、ナノ材料についてのポリシーを開示すべきである。」「消費者や利害関係者は、企業に対して、ナノ材料に関する質問を行い、ナノ加工食品の表示を主張すべきである。」「遺伝子組換え農産物や BPAⁱⁱⁱについての消費者の激怒を考慮すると、企業は自社の信望と財務状態に対してマイナスのインパクトを引き起こすような、大衆による類似した反発の防止に努める必要がある。」と語っている。

ⁱⁱⁱ BPA はビスフェノール A の略で、プラスチックなどの原材料として、世界で最も売れている化学品の 1 種である。しかし、その含有製品からの浸出による内分泌攪乱作用が懸念されている。その安全性評価の研究結果は、企業がスポンサーによる場合と、独立研究機関との間で大きく異なり、安全性評価の偏向が露呈され、企業エゴが表面化している。

付属資料 3

食品中の粒子類を発見

STEPHAN STROME

The New York Times, Business Day, February 5, 2013

訳注：小林 剛（カリフォルニア大学環境毒性学部元客員教授）

テクノロジーにより分子サイズにまで破碎された物質であるナノマテリアルの食物連鎖への進入が、有名な食品やそれらの包装を通じて始まっている。しかし、食品会社は、それを利用している認識に乏しいことが、企業の説明責任の強化を求める NPO グループの新しいレポートにより報じられている。

企業の説明責任要求を目的とする NPO グループの As You Sow は「一部の食品会社は、その製品中にナノマテリアルが存在していることさえ知らない。」と述べている。2,500 社にも及ぶ As You Sow のナノマテリアル使用に関する調査に回答した僅か 26 社の中には、ペプシコ、ホールフーズ (Whole Foods)^{iv}、ピザハット、タコベル (Taco Bell)^v が含まれている。

「回答を寄せた 26 社の中でナノマテリアルを使用していないのは僅か 14 社に過ぎなかった。」と、As You Sow の CEO (最高経営責任者) Andy Behar と語っている。多くの食品会社は、脂肪の追加なしに製品を、よりクリーム状にし、フレーバーを強化・改良し、外見を明るくするなどに役立つナノテクノロジーに興味を示している。

ナノマテリアルの小さいサイズは、より大きい粒子類では行けない体内の場所に行くことができ、細胞中に進入する。それらは、摂取や吸入後に血流中に見出される一方、健康影響の研究は限定的で、マウスや細胞における有害影響が示されている。

「我々はナノ反対の立場ではない。我々は、それらが食品や食品包装で使用される前に安全であるこ

^{iv} Whole Foods は、米国の大手食料品スーパーマーケットチェーンで比較的高級品を扱い「グルメスーパー」とも言われ、カナダ・英国を含めて 270 店舗以上を展開している。

^v Taco Bell は、タコスを主要商品とする大規模ファーストフードのフランチャイズ 店舗は 6,500 以上といわれる。

とを示すよう求めている。」と Behar 氏は述べている。

彼は、「EU はナノマテリアル含有食品の表示を要求し、欧州食品安全庁 (EFSA) は食品および動物飼料中のナノマテリアルのアセスメント指針を発行している。」と語っている。

昨年 5 月、米国食品医薬品局 (FDA) は、「食品中のナノマテリアルの安全を決定するための十分なデータは存在しない。」という異例の重要声明を発表した。

米国環境保護庁(EPA)は、化粧品のような消費者製品に使われている種々のナノ粒子類を評価中である。

As You Sow は、多様な砂糖ふりかけドーナツにおけるナノ粒子類の存在をテストした。独立ラボラトリーの支援を得て、ホステス・ドネットおよびダンキンドーナツ・パウダーケーキにおいて、10 ナノメートル以下の二酸化チタンマテリアルの存在を見出した。二酸化チタンは白い物質を明るくするために用いられている。種々のナノ物質については、EPA が検討中である。

ダンキンドーナツのスポークスウーマンの Michelle King は「As You Sow の知見の信頼性確認について、サプライヤーと協議中である。」と述べている。ホステスブランドはテスト中は営業を中止し、工場を閉鎖した

注：本記事は、New York Times 2013 年 2 月 6 日、New York 版 B5 ページのヘッドライン “Study Looks At Particles Used in Food” として掲載された。

付属資料 4

ナノテクノロジーは土壌および食物連鎖に脅威

国際食品労組 (IUF)

数千種類もの未検査製品にナノテクノロジーが組み込まれ、原子および分子レベルの天然および合成材料の操作が、食品包装・化粧品・スポーツ機材・衣料品・家庭用品などにおいて、既に商業生産の段階に入っており、それらは人間の健康や環境へのインパクト評価の規制枠組みなしに増加し続けている。加工ナノマテリアル類 (ENMs) の急性毒性を指摘するラボラトリー研究の研究数は増加している。例えば、多くの ENMs に用いられている遍在的なカーボンナノチューブは、肺内の毒性学的変化に明白な関連性を示している。国連食糧農業機関 (FAO)、世界銀行その他の国際機関は、「持続可能な強化」(sustainable intensification) の名目で、農業におけるそれらの利用促進を中止できない。

米国農業・貿易政策研究所 (IATP) は、最近の重要な研究「土壌中のナノマテリアル類と我々の将来の食物連鎖」において、加工ナノマテリアルの進出増加から生じる土壌の健全性と食品生産に対する特異なリスクを解明している。ナノマテリアルは、肥料や農薬を通じて土壌から食物連鎖に侵入可能である。また、それらは、消費者や商業的利用から増加する廃物処理のナノ残留物のバイオソリッドを介して農耕地にも侵入する。

食品生産のベースである土壌の健全性は、有機物質・微生物類・大小の生物相・ミネラル成分・気候その他の条件などの脆弱な生態学的バランスに依存している。このデリケートなバランスは容易に破壊されやすく、致命的な場合があり得る。現在の食糧生産の方法は、自然のプロセスの場合よりも 1000 倍の速さで土壌を破壊している。

IATP により提示された証拠は、農業における ENMs の深刻なインパクトを指摘している。このポテンシャルリスクの回避は、土壌へのバイオソリッドの侵入を防止するため、予防原則の適用により保証すべきである。

土壌の多様性は、食糧に対する人間の普遍的な権利を守るために重要なエレメントである。しかし、現在、その防護を確保するための国家あるいは国際的な枠組みは存在しない。この法律上のブラックホールは、消費者商品や労働者の健康と安全について、ナノテクノロジーに特化した規制の完全な欠落から構成されている。

6 年前、IUF、US AFL-CIO アメリカ労働総同盟産別会議 (US AFL-CIO)、国際ベーカリー・製菓・タ

バコ・製粉労組 (BCTGM)、全米鉄鋼労組などを含む 44 の国際公衆衛生・政策・環境労組の国際連合は、すべてのレベルのナノテクノロジーとその製品についての強固で包括的な規制監視の要求を開始した。

この運動は市場に殺到する商品の低減には失敗した。肉眼では見えない脅威に対抗して、困難ではあるが、新しい、より広いサポートによる運動を推進すべきである。

付属資料 5

土壌中のナノマテリアルと
我々の将来の食物連鎖

Steve Suppan

米国農業・貿易政策研究所 (IATP)

March 2013

訳：小林 剛（カリフォルニア大学環境毒性学部元客員教授）

概観

自然資源の制約が強まる中で増加する人口への食糧供給について、世界銀行、国連食糧農業機関 (FAO)、その他の国際機関は、農業生産の将来に対して「持続可能の強化」(sustainable intensification) を推進している。農業作物へのナノテクノロジーテクニクの導入は「持続可能の強化」について提案されたツールの一つである。これらの利用には、農薬へのナノシルバー粒子類の添加により有害生物への効果を高め、ナノ金属酸化物の添加によりナノ堆肥の施肥から生じる土壌病原体を標的とする農薬の使用量を減少させ、ナノシリコンの添加により植物の水分吸収効率を高め、肥料のポリマーコーティング中の DNA ベースのナノバイオセンサーは、植物根部のイオンシグナルによるデマンド（要求）と同量の肥料のみを放出する。

これらの夫々の利用は、それ自体の機会・リスク・知識のギャップを示している。今までのところ、政府はナノテクノロジーに対する規制とその程度について審議する一方、加工ナノマテリアル類 (ENMs) とナノ化製品の商品化を許可してきた。欧州委員会による規制と企業の「自主規制」の混合状態による 10 年間の暫定的措置は「本質的には現存の規定により規制されているが、ナノテクノロジーのユニークな特性から見て、その適用については疑問が呈されている。一部の団体からは、特異的な厳格な規制が主張されているが、世界の行政機関の戦略は、本質的には、ナノテクノロジーに対しては現存の規制スキームの拡大を探っている。最近の数年間には、自主的な方法が公的機関から承認され、企業は信頼を構築すべく、安全とデータ収集に努力している。」

政府間のナノテクノロジーに特異的な規制を策定するか否かの論議の結果として、政府は、未だ、ナノ特化のリスクアセスメントは実施せず、ナノ化製品のプレマーケットおよびポストマーケットの安全アセスメントも要求していない。そのようなアセスメントの欠落にもかかわらず、FAO/WHO のエキス

パート会議は「ナノテクノロジー由来の食品製品は、近い将来には、世界の消費者の使用増加が予想される」と報告している。」

20 年以上前に、二人の高名な毒性学者は「ナノテクノロジーは広範に使用される前に、それらの環境や人間の健康への懸念を慎重に検討すべきである。」とアドバイスしているナノテクノロジーは、一部の医療用を除き、政府や企業、さらに大学ベースの会社までもが、このアドバイスを無視している。その結果、政府は、何らのプレマーケット・アセスメントなしに、数百種の（おそらく数千種以上の）ENM_s 含有の消費者製品の市販を許可している。

インターネットの広告によれば、ENM_s は既に「ナノ肥料」として使用されている。政府は肥料中の ENM_s を規制していないため、彼らは製品をテストせず、当然のこととしてナノ製品であると主張している。メーカーは企業秘密としているため、消費者および工業製品中の ENM_s の量の測定は極めて困難であるが、最も広範囲に使用されている ENM_s は 250 種以上に及び、ある学術研究では、米国内だけの年間生産量は 40,000 トン以上と推定している。

理論的には、ナノサイズの肥料栄養成分は、ナノスケールの植物の葉の気孔からより多くの栄養成分を効果的に利用できる。しかし、ENM_s の肥料と、水処理残留物「バイオソリッド」(biosolid) の投与により、土壌微生物と細菌叢は慢性的に暴露され、植物そのもの葉も毒性物質と化学的に反応する。ENM_s の毒性がマクロスケールの対応物質よりも強いのは、「粒子サイズ・形状・結晶構造・表面積・表面化学反応・表面電荷によると考えられている」。表面積—質量比の急増により、ナノサイズ化は毒性物質の生物学的利用能の増強と、マクロスケール物質では貫通できない組織中に生物学的に蓄積される。

我々は、ここで、フィールド試験における ENMS の土壌の健康と生物学的多様性への影響の問題を提起し、その後の農業土壌への商業的および慢性的施用についてレビューする。肥料における ENM_s の意図的使用で懸念される問題のみならず、米国環境保護庁 (EPA) により「利便的に利用される廃水処理残留物」と確認された「バイオソリッド」中の ENM_s の偶発的な存在についても検討された。最近、パーデュー大学の研究者は、「バイオソリッドの農地への施用は、現在では標準的な手法（少なくとも、米国では）である。もし、それらのバイオソリッドにナノチューブが含まれているとすれば問題である」と述べている。

この問題には、多くのジレンマが含まれている。米国の規制機関は、労働者保護のため、カーボンナノチューブをカバーする、ナノに特化した新規の規則案を提案し始めたばかりである。しかし、この規則がバイオソリッド中のナノチューブを施用する農業労働者らを保護できるかについては明らかではない。カーボンナノチューブ (CNT_s) を含むバイオソリッドを施用する農場労働者らは、長時間労働で、CNT_s に暴露されるラボラトリーのラットの肺の苦痛すなわち「肺の炎症・繊維症・毒性学的変化などのリスクに曝されるであろう。CNT_s が皮膚細胞に接触した場合には、生物学的化学物質は細胞ダメージの

増加を示す。」

土壌の健康と生物学的多様性を守るため、肥料やバイオソリッド中の ENM_s の規制をサポートするための、十分な情報とベースの広い整合性は存在しない。土壌中の ENMS の最終的な規制に向かったの第一歩は、農業作業員・土壌微生物学者・肥料メーカー・生物エンジニア・関連民間団体代表者らの参加によるテクノロジー・アセスメントのシリーズである。このようなテクノロジー・アセスメントは専門外の人々に対して科学情報を提供し、商品化や技術投資特に公共資金による投資以前に、ENM_s およびナノ化製品に関する疑問を提起するであろう。エキスパートと一般人のハイブリッドによるテクノロジー・アセスメントは、生物学的多様性の進展についての会議に、専門家—市民による科学/技術アセスメントのメソッドロジーの一部を引き出すことができる。しかし、ナノ肥料についての比較的小さな局所的な焦点は、参加者の間の種々の知識の混合とマッチングを必要とするであろう。このプロセスは、より広い天然資源とテクノロジー利用の社旗的背景についても検討されよう。

結論

科学者らは、本レポートでレビューされた進路打開の実験の再現あるいは進展を求めるであろう。米国の農地における肥料として用いられるバイオソリッドの普及において、もし、これらとフォローアップ実験のデザインやデータの評価に大きなエラーがなければ、規制機関は困難な決定に直面するであろう。彼らが、ナノ材料が土壌の健康やバイオソリッドの製造や施用に従事する人々の健康を害するのに十分な蓄積はせず、安価な栄養素のバイオソリッドの肥料を望むとすれば、許可は継続されるであろう。あるいは、彼らがピアレビュー（研究内容の信頼性審査）された科学に基づき、下水処理場で作られるバイオソリッドの施肥作業が、ナノ材料製造/加工工場に類似すると判断した場合には一時停止の結論を下すであろう。モラトリアムは、土壌中のナノ材料の安全化の方法があるか否かを決定し、バイオソリッドに依存せずに土壌健康を構築する方法を研究する時間を可能にするであろう。

モラトリアムは、市民テクノロジーアセスメントの結果の包含も可能にするであろう。テクノロジーアセスメントは、ナノテクノロジー製品開発についての公共ファンドを民間—公共パートナーシップに投資する前に実施すべき、より広範囲の当然の注意義務である。現時点では、米国政府には、一つのテクノロジーの適用を他の公共政策あるいはテクノロジーの目的を達成するために比較できる公的テクノロジーアセスメントは存在しない。

市民は、政府が土壌の健康と農産物収穫を向上させるため、ナノテクノロジーに「次の工業革命」の推進に困難な投資を行い、ナノ化土壌添加物よりもリスクが少なく安価なものであるか否かを冷静に評価するために待つことはできない。我々は、ここでレビューした技術的に綿密な研究を行った生物学者や化学エンジニアらを、他の専門家や政府および民間企業の設立者などとの話し合いのみに任せるべきではない。生物学エンジニア・土壌科学者・農業者・関係市民などによるナノ化土壌添加物についての確固

たるテクノロジーアセスメントの可及的速やかな確立は、ナノテクノロジーが我々の土壌について安全か否かについての理解を早めるであろう。そのようなテクノロジーアセスメントは、例えば、農地に広がるバイオソリッドのプレナノの不十分な規制のような、その他の環境・公衆衛生問題とオーバーラップする可能性が高いが、そのオーバーラップは、ナノに特化したリスクやベネフィットの言葉の定義として面倒なコンセプトであるが、農業ナノテクノロジーの大望をより良く反映しているであろう。

畑から食卓への農業ナノテクノロジーの利用においては、環境中の最終結末の決定に必要なデータ取得に必要な緊急な公共政策が求められている。食品中の ENM_s を食べるリスクに対しては、土壌の健康についてのリスクよりも大きな注意を払うことは理解できる。しかし、我々の食べ物は健康で持続可能な土壌から生まれるのである。米国においては、土壌は専門家や農業者でない人々から、土壌はそのようなものであると当然と考えられてきたことは、数百万エーカーの農地中の ENM_s の存在の可能性は、法律および慣例における土壌の健康を守るために、市民のほか科学者らまでの動員を推進するならば感謝すべきことである。

付属資料 6

ナノ粒子の摂取毒性

Science Daily, June 26, 2013

訳：小林 剛（カリフォルニア大学環境毒性学部元客員教授）

米国の研究者らによれば、通常遭遇する一般的な環境レベルのナノ粒子類の摂取は、過度の毒性を生じさせることはない、といわれている。しかしながら、十分とは言えないとしても、腸の免疫機能や蛋白質プロファイルおよび微生物バランスに微妙な変化を誘発する慢性暴露を決定する証拠は存在している。最近の国際バイオメディカル・ナノサイエンス・ジャーナルで、研究者らは意図的あるいは偶発的に摂取したナノ粒子類の毒性について、現存のラボラトリーと実験動物研究を比較した。彼らのレビューによれば、研究者らは通常の暴露レベルの摂取においては、急性毒性による健康問題の発生の可能性は起こりそうにないと決定した。さらに、細胞レベルの毒性を示すことが多い *in vitro*（試験管内）のラボラトリーテストでは、有害影響をより少なく示す傾向のある *in vivo*（生体内）テストとの関連性は認められなかった。

アナーバーのミシガン大学ラボラトリー動物医学の Ingrid Bergin と、インディアナポリスのインディアナ大学医学部の Frank Witzmann は、「ナノサイズ（1-100 nm）範囲の粒子類の使用は消費者製品や医薬品で見出され、これらには抗菌性があるとされ、使用が増加中のナノシルバーなどの粒子類が含まれる。ナノ粒子類には、同一物質の非ナノ相対物とは化学的物理的挙動が異なるため、興味深く有用な特性を有している」と説明している。

ナノ粒子類は、現在、リポソーム類や関連物質、食品色素、いわゆる「健康サプリメント」の天然フレーバーの増強剤として用いられている。また、それらは、シルバーナノ粒子類でコーティングされた抗菌ハブラシ、食品や飲料の容器、幼児の哺育衛生器具などにも用いられている。さらに、副作用を低減するため、特定の疾患部位の医薬品の輸送にも利用されている。ナノ粒子類は、実際に、純品の金属や合金から金属酸化物ナノ粒子類に及ぶ極めて広範囲に及んでいる。消費者製品における利用の増加により、これらの小サイズの物質が、従来の同一物質と比べて特異な毒性影響を示すのではないかという懸念が持たれている。

ナノ粒子類の健康リスク評価の困難には、異なる物質と形状が異なる特性を示す点が含まれる。さらに暴露ルート（例えば、摂取や吸入）は毒性の可能性に影響を及ぼす。米国の研究者らは、摂取ナノ粒子類の毒性について特化した現存の文献を評価した。彼らは、食事サプリメントとしての意図的摂取に

加えて、水中に存在するナノ粒子類、あるいは、コーティングされた消費者製品の分解産物による非意図的摂取を指摘している。また、吸入されたナノ粒子類は咳により吐き出され、嚥下されて、腸管を介して排出される摂取ハザードとなる。

彼らのレビューに基づき、このチームは「摂取ナノ粒子類は、典型的な暴露レベルでは急性あるいは深刻な毒性影響は示さないように見える」との結論を下している。それにもかかわらず、現存の文献類はナノ粒子類が組織中に蓄積し長期影響を示すか、それらは消化管の中で微生物集団に微妙な変化を及ぼすかの評価には不適切である、と付言している。研究者らは、生体細胞への実際の暴露レベルによる毒性の細胞ベースのアセスメントに用い得る粒子類濃度には、より良い方法の必要性を強調している。そのような方法は、現在、in vivo テストと比較して、摂取ナノ粒子類の毒性を過大予測しているラボラトリーの in vitro テストの予測値を改善するであろう。