

農産物のナノ粒子汚染

小林 剛*

1. はじめに

ナノテクノロジーが世紀の最先端イノベーションとして登場してから、早くも、約 10 年の年月を経た。ナノマテリアル (NM) の製品開発研究には、その有望性を期待した産業界により、莫大な資金が多年にわたり投資され、相応の成果を上げているといわれているが、それらの「副作用」すなわち EHS (環境・健康・安全) リスクの解明と低減の研究は、不十分な助成措置が主因となって、さほど進展は認められない。

EHS リスクの中で、最重要視されたのは、当然ながら、最優先の「ヒトの健康」であったが、生態系や動植物を含む「環境ハザード」に対する関心は、現時点でも二の次とされ、「跛行的な」実態は依然として変わらない。この点については、国としてのナノテクノロジーポリシーはもちろん、リスク分析専門家自身にも反省が求められるであろう。

今回、米国科学財団を主要スポンサーとし、カリフォルニア大学サンタバーバラ校の科学者を中心とする「ナノマテリアルの大豆生産への品質低下と収量減少へ有害影響」の実証実験は、重要農産物の大豆に対する「ナノ粒子汚染」(Nanoparticle Pollution: このネーミングは、今回初めて米国メディアに出現) という「盲点」乃至「欠落部分」について警鐘を鳴らした点で極めて意義深い。この研究の主要スポンサーの米国科学財団 (NSF) も、この重要な知見を高く評価し、ナノ製品のライフサイクル・サーベいの必要性を指摘し、下水汚泥の農地施用による甚大な農作物被害を憂慮し警告している。

筆者は、本論考において、今回の研究に対する反響として、スポンサー・研究当事者・メディアの論評を参考とし、視点による偏向性の検証を試みた。ナノ粒子類、特にディーゼル排気が大気汚染の最悪の元凶で、COPD (慢性閉塞性呼吸器疾患) の多発や心血管系疾患による死亡率の上昇、さらに肺ガンの増加までも引き起こした悲慘ではあるが貴重な教訓に鑑み、今回のナノ粒子汚染を試練の好機と受け止め、農作物から食物連鎖への拡大を阻止するため、この領域の本格的な研究の加速化が問われている。このリスクが手遅れになるほど、事態は深刻化し、回復コストの上昇は避けられない。

2. 本研究の概要および特質

本研究で取り上げられた NM は、ナノ酸化亜鉛 (化粧品類に多用) とナノ酸化セリウム (ディーゼル燃

料添加剤)である(それらの物質の毒性を含む概説は、付属資料中の訳者注に述べた)。前者(亜鉛)は家庭の排水から廃水处理場を経て、下水汚泥の畑地への施用により土壌に進入し、大豆の食用部分を含む植物体内全般に取り込まれ、食品の質に影響を与える。後者(セリウム)は、大豆農場で使用される大型ディーゼル農機具の排気から土壌に沈着蓄積し、大豆の根粒中の有用なホストバクテリアの窒素固定作用を完全に阻止する。そのため、大豆の生育は著しく阻害された(これより、化学肥料をより多く必要とした)。これらの結果から、NM 汚染土壌は、大豆の収量の減少と品質の低下を示す、という驚異的な結果を見出している。



大規模な大豆生産農場(米国)



ナノ粒子類混合土壌において生育した大豆の莢(さや)・根・葉・茎。通常は、根の部分の小結節(粒)には土壌を肥沃にするバクテリアを蓄えるが、本画像ではその内部は空洞化されている
(Patricia Holden/UCSB 提供)

前述の通り、本研究は最もユニークな着眼点から行われたパイオニア的検討である。従って今回の研究結果は特異なモデル条件下に限定され、極度に定性的にならざるを得なかったと推定される。特に、実験の出発点の初期暴露量は、メカニズム推測のため、毒性テストのセオリーとしては許容される。しかし、将来においては、可能な限り実際環境に近いセッティングの下で、体系的なフレームワークにより、以下の諸課題の検討と解決により、その重要性はさらに増大されると期待されている。

- より現実的な条件（特にナノマテリアルの濃度について）による検討
- 主要ナノマテリアル（生産消費量を重視した）と主要農産物（米麦を含む）との組み合わせ条件によるリスク評価範囲の拡大
- リスクメカニズムの解明
- リスクの定量的評価（閾値の設定および「総量規制」の算出基礎
- リスク内容の拡大（品質・収量とその他の）
- 品質低下の詳細
- リスク低減方法の開発（金属の代替やコーティングその他による）
- フィールドサーベイの拡充（NM のライフサイクルなど）
- 大豆農場対策（現況からの総量規制）
 - ・ NM のホットスポット（高濃度危険サイト）の調査と農地利用の回避
 - ・ 大型ディーゼル農機具の規制/代替
 - ・ 下水汚泥施用の規制/代替

3. まとめ

今回のような影響範囲の大きな研究結果に対する消費者のメンタリティは、かつての遺伝子組み換え作物（GMOs）に対する根強い不安に見られるように、「自然志向」「無農薬」「有機栽培」の時代風潮にはなじまない。そのためには、農作物生産におけるリスクの最小化への徹底的な対策の実施が基本的に不可欠であろう。さらには、それらの成果について、透明性の高い情報公開やステークホルダーとの緊密な対話が必要である。

我が国においても、その一歩として、特産品の米について、早急に、農業関連研究機関における「ナノ汚染対策」の検討を開始すべきであろう。

最後に、今回の「大豆のナノ粒子汚染研究」は、米国では大きく取り上げられたにも関わらず、何時ものことながら、わが国の主要メディアにおいては何故か報道されていないようである。

*Takeshi KOBAYASHI, M.D.

1972 年 横浜市立大学医学部研究科修了

1991 年 カリフォルニア大学環境毒性学部客員教授

2009 年 東京理科大学ナノ粒子健康科学研究センター客員教授

付属資料

全米科学財団：ナノマテリアル製品は大豆の品質と生育 および収穫量に有害影響と発表

訳注：小林 剛

2012 年 8 月 21 日

最近の研究は、ナノマテリアル製品は大豆の品質と生育および収穫量に有害影響を及ぼす、と発表した。

科学者らは、現在、シャンプー・整髪料・白髪染め・サンスクリーンなどの消費者製品によく用いられているナノマテリアル製品は、農産物の品質と収穫量に有害である、と全米科学財団紀要の電子版において発表した。

ナノマテリアル製品 (MNM_s)は、原子および分子スケールにおける操作により製造された人造物質である。それらのヒトの健康および環境への影響は、多くの科学研究の対象となっている。

カリフォルニア大学サンタバーバラ校ブレン環境科学/管理研究所の環境科学者で研究リーダーの John Priester は「消費者製品中に多く使用されている MNM_s は、最終的には廃水処理場に流入する可能性が高い。」と述べている。

従来方式により処理された廃水は、通常の栄養分豊富な一次的な資源であり、農民はこの処理済の水を有益に利用し、農地は肥料として取り込む。しかし、MNM_sの使用の増大に伴い、土壌中での MNM_sの増加と食品サプライ中への進入の可能性が懸念されている。

Priester と彼の研究チームは、土壌ベースの農作物について、環境に対する影響を十分に検討した研究はなかったと考えている。研究者らは、大豆の生育について、大量生産のナノマテリアルにより変化した土壌における種子段階から、大豆の十分な生育についての知識のギャップを埋めるため努力した。

大豆は、世界的な主要農産物である。それらは、世界で五番目に大きい農産物で、米国では二番目の位置を占めている。さらに、2009 年においては、米国は 296 億ドルの国産大豆を輸出しており、研究には適切な対象である。

本研究への主要な助成は、米国科学財団（NSF）により行われた。この研究の実施において、Priester は、NASA 推進ラボラトリーラボラトリー、アイオワ州立大学、カリフォルニア州プレザントン市 Xradia 社、カリフォルニア大学リバーサイド校、韓国 Konkuk 大学、米国農務省農業研究サービス、テキサス大学エルパソ校などの科学者らと共同研究を行った。

科学者らは、2 種類の MNM_s、すなわち、酸化セリウム（ナノ-CeO₂）および酸化亜鉛（ナノ-ZnO）（訳者注：ディーゼル排出物減少に用いられる燃料添加剤）は、土壌ベースの農作物の品質と収穫量に著しい影響を与えることを見出した。

Priester と同僚らは、茎の長さや葉の数の測定により、植物の成長をモニターした。水分のストレスと金属暴露により影響される葉の数により全部の葉の面積が推算され、植物の健康状態のバロメーターが得られた。

Priester が大変驚いたのは、ZnO ナノ粒子類に暴露された植物の大豆の高濃度の亜鉛で、この金属成分は取り込まれて、食用植物全般に分布されていたことである。また、「高濃度の CeO₂ においては、根小結節（root nodule）における窒素固定が停止される」と述べ、ナノ-CeO₂ による植物の成長と収穫量の低下を認めている。

ナノ-ZnO 暴露の場合には、食品としての大豆の品質に有害影響を及ぼした。ナノ-CeO₂ のケースでは、土壌の肥沃レベルを低減させた。

科学者らは論文において「これらの結果は食品サプライに大きなリスクであることを示している」と述べている。彼らは、合成肥料の増加は窒素固定の喪失と相殺され、大豆やその他のマメ科植物は大気中の窒素を天然の肥料へ変換して利用するプロセスを取る」と付言している。

全米科学財団生物学部門プログラム局長の Alan Tessier は「これらは極めて重要な知見で、彼らは環境インパクトを検討する際には、ナノマテリアル製品のライフサイクルの追跡調査が重要性であることを解明した」「もし、これらのテストされたナノマテリアルがバイオソリッドあるいは農業用灌漑システムに移入した場合には、それらは農業生産に甚大な悪影響をもたらすであろう」と述べている。

Priester は「ナノマテリアルが農業土壌への進入を完全に防ぐことは難しいであろう。しかし、ナノマテリアル類は、それらが環境中に放出された際のインパクトを最小化するように加工できるであろう」と語っている。

彼は「粒子類の溶解を極度に延長させる、あるいは、無害成分のコーティングなどは、農産物食品への有害影響防止に有用であろう」と述べている。

一方、研究者らは、ZnO および CeO₂ ナノ粒子による大豆のその他の面や土壌システムへの影響についても検討し、植物ダメージの指標や土壌中での微生物群落の変化を追究している。また、彼らは植物組織中のこの二つのナノマテリアルの特定、取り込みによる大豆中のミクロおよびマクロ栄養素の変化についても研究している。

ナノ粒子は農産物にリスク

訳注：小林 剛

BBC ニュース：科学と環境版

Jonathan Ball、2012 年 8 月 21 日

広範囲に用いられている「ナノ粒子類」の形状を有する二種類の化学物質が、農作物を通じて拡大し、それらの成長と土壌の肥沃性への有害影響が示された。

ナノ粒子類の利用は増加中であるが、それらの環境インパクトの解明は不十分である。

米国科学アカデミー紀要に発表されたリポートにおいて、排気ガス中や、一部の肥料中のナノ粒子類は、大豆と周囲の土壌に有害影響を及ぼすことが報告された。

ナノ粒子類は、植物の成長に必要なバクテリアに有害である。

ナノ粒子は、直径の少なくとも一つが 100 ナノメートル (nm) 以下の粒子と定義されている。1 ナノメートルの長さは、サイズスペクトルの顕微鏡視覚限界末端に位置し、1 ミリメートルは 100 万ナノメートルに相当する。

ナノ粒子類は「ナノマテリアル」としても知られ、化粧品・コーティング材・燃料添加剤など多くの目的で用いられている。それらはドラッグデリバリーやリリースなどの医学的用途についての研究が増加している。

それらの影響の多くは十分に研究されているが、一部の作用機序についての解明は不十分である。広範囲の長期にわたるナノ粒子類の使用は、環境に対し、じわじわと浸透し (trickle down)、植物・動物・人間の健康にまで、目に見えない影響を誘発する。

この研究において、チームをリードしたカリフォルニア大学の Patricia Holden は、2 種類の一般的に使用されているナノ粒子類による大豆の生育への影響をテストした。

大豆は商業的に極めて重要な農産物で、それは量的に五番目に大きい農作物で、食用油および豆腐のような植物蛋白の最大の原料である。

研究者らは、酸化亜鉛および酸化セリウムのナノ粒子類を重視している。酸化亜鉛は化粧品の一般的な成分で、最終的には下水処理により生じる固形排出物の汚染物質となる。一部のディーゼル燃料中の酸化セリウムは、粒子類の排出減少に用いられている。

以前の BBC ニュース/科学と環境版では、土壌を用いない水耕栽培で生育した大豆に対するナノ粒子類の影響を報告したが、今回のチームは、この新論文で、自然条件により近い状態における大豆の生育を示している。

彼らは、温室内で、増量したナノ粒子類の存在下で大豆を生育し、植物の成長をモニタリングした。また、植物の種々の部位におけるナノ粒子類の蓄積も綿密に検討した。

酸化亜鉛存在下の植物は、実際には、ナノ粒子類不在で生育した対照植物よりもやや良好な成長を示した。しかし、亜鉛は葉と豆を含む植物の食用部分において増加を示した。

亜鉛そのものは重要な食用サプリメントで、その不足は開発途上国の国民の大きな健康問題となっているが、酸化亜鉛ナノ粒子類はラボラトリーにおける哺乳類細胞に対し毒性作用を示す。

訳者注：亜鉛不足と疾患：亜鉛は体内では DNA や蛋白質の合成、味蕾（舌にある味を感じる細胞）の形成、生殖機能の維持などに必要な成分で、不足すると、味覚障害・貧血・うつ状態・皮膚炎・精子数の減少・子供の場合には成長障害を起こす。また、亜鉛は免疫機能に関連し、不足の場合には免疫力が低下し、感染症に罹りやすい。

しかし、亜鉛は多くの食品に含まれているため、普通の食生活において亜鉛が不足することはない。但し、外食などに偏った場合などには注意が必要である。成人一人当たりの必要摂取量は 1 日 9 mg 程度である。

しかし、亜鉛は、元来、毒性の強い金属で、大量摂取は中毒症状や臓器機能の低下などの障害を起こすため、1 日 30mg 以上の亜鉛の日常的摂取は危険である。

しかし、ヒトへの影響を十分に検討するため、科学者らは、比較的低レベルのナノ粒子類を用いる実験を行っている。

高レベルの酸化セリウムの存在下での栽培では、大豆の生育は著しく妨げられた。

セリウムは植物の根への進入が可能である。大豆はマメ科植物の一員である。それらの植物の根のホスト細菌は、空気中の窒素を変換し、植物の成長に要するいわゆる窒素固定を行う。

このセリウム成分は、バクテリアの窒素固定能力を完全に阻止するように見える。

訳者注：セリウム（Cerium）は、軟らかく銀白色の延性に富む金属で、空気中で容易に酸化される。希土類元素として最も豊富にしている。その用途は、触媒、排出物を還元する燃料添加剤、ガラスやエナメル着色剤として、また、その酸化物はガラス研磨剤・スクリーン蛍光体・蛍光灯などの重要成分である。

セリウムの毒性については、次の化審法資料を参照されたい。

3.健康リスクの初期評価

セリウム化合物はかつて血液抗凝固剤としてひろく利用されたことがあり、静脈内注射に伴う副作用として悪寒、発熱、頭痛、筋肉痛、腹部痙攣、血色素尿などがあった。しかし、セリウム及びその化合物を取り扱う労働者にそのような症状の障害が発生したという報告はない。

本物質の発がん性については十分な知見が得られなかったため、非発がん影響に関する知見に基づいて初期評価を行った。

無毒性量等として、経口ばく露については、ラットに希土類元素の硝酸塩混合物を投与した中・長期毒性試験から得られた NOAEL 60 mg/kg/day（体重増加の抑制）をセリウムに換算した 21 mg/kg/day を無毒性量等に設定する。吸入ばく露については、ラットに酸化セリウムを吸入させた中・長期毒性試験から得られた LOAEL 5 mg/m³（気管支リンパ節のリンパ組織増生など）を採用し、ばく露状況で補正して 0.89 mg/m³ とし、LOAEL であるために 10 で除し、さらに試験期間が短いことから 10 で除した 0.0089 mg/m³ をセリウムに換算した 0.0072 mg/m³ を無毒性量等に設定する。

経口ばく露については、土壌を摂取すると仮定した場合、セリウムの予測最大ばく露量は 0.45 μg/kg/day 程度であった。無毒性量等 21 mg/kg/day と予測最大ばく露量から、動物実験結果より設定された知見であるために 10 で除して求めた MOE（Margin of Exposure）は 4,700 となる。従って、土壌からの本物質の経口ばく露による健康リスクについては、現時点では作業は必要ないと考えられるが、飲料水等からのばく露量については不明であるため、経口ばく露については情報収集等を行う必要がある。

吸入ばく露については、一般環境大気中の濃度についてみると、セリウムの予測最大ばく露濃度は 0.0078 μg/m³ 程度であった。無毒性量等 0.0072 mg/m³ と予測最大ばく露濃度から、動物実験結果より設定された知見であるために 10 で除して求めた MOE は 92 となる。従って、本物質の一般環境大気の吸入ばく露による健康リスクについては、情報収集に努める必要があると考えられる。

ナノ粒子類のより広範の毒性について、スコットランド Heriot-Watt 大学の Vicky Stone 教授は「ナノ粒子類は「同等に危険」(equally hazardous)でも、「同様に安全」(equally safe)でもない」「その影響は、ナ

ノ粒子類の物理的/化学的特性に依存すると見られ、科学者らはそれらの十分な解明を目指し、それにより将来はそれらの特性に基づく毒性あるいは安全性を予測できる」と述べている。

著者らは「土壌中におけるナノマテリアルの増加は、土壌ベースの農作物の品質と収穫量に有害影響を与え、化学肥料の使用の増加を招くであろう」との結論を下している。

カリフォルニア大学サンタバーバラ校の 科学者らがナノ粒子類の大豆への影響を検討

訳注：小林 剛

2012 年 8 月 20 日

カリフォルニア大学サンタバーバラ校プレスリリース

サンスクリーン・ローション・化粧品などに含まれる微小の金属ナノ粒子類は、その日のうちに排水として流出、あるいは製造後に廃棄される。これらのナノ粒子類は最終的には農業用土壌に進入し、懸念を生じさせる。環境科学者のグループらは、2 種類のナノマテリアル製品（MNM_s）による汚染土壌における大豆の生育についての重要な研究を行った。

そのチームは、カリフォルニア大学サンタバーバラ校（UCSB）ベレン環境科学/管理研究所の科学者により指導された。また、カリフォルニア大学ナノテクノロジー環境影響センター（CEIN）と提携し、UCLA（カリフォルニア大学ロサンゼルス校）、UC リバーサイド校、テキサス大学エルパソ校、コロンビア大学、その他の国内および国際パートナーによる 2,400 万ドルの協力を得て実施された。研究論文の筆頭著者のブレン研究所教授の Patricia Holden は「過去数十年の間に、我々の社会は環境に対して、より多くの関心を持つに至り、我々の政府や科学者らは新しいタイプの化学成分の安全性についての疑問を抱くようになった」「それは、このタイプの研究に反映している」と述べた。

彼女は、本研究は米国科学財団（NSF）および米国環境保護庁（EPA）よりの助成を得て、ナノマテリアルを含む新技術の環境影響を発見するために行われ、その究極のゴールは環境において、より共存できる代替物（more compatible substitute）の発見を支援することである、と説明している。

大豆は、世界の農産物生産の第 5 位で、米国では第 2 位を占め、その重要性から、また、MNM_s に脆弱である点から選定された。この研究結果は、土壌への MNM_s の進入により、大豆の収穫量と品質が有害影響を受けることを示している。

科学者らは、酸化亜鉛と酸化セリウムという一般的な 2 種類のナノ粒子類の、温室内の土壌中の大豆の生育について研究した。酸化亜鉛は、化粧品・ローション・サンスクリーンなどに用いられている。酸化セリウムは一酸化炭素産生を最小化するための触媒コンバーター中の成分として、燃焼促進のため燃料に添加されている。セリウムは大気を経由して土壌に進入しディーゼル燃料燃焼物とともに放出され

る。

酸化亜鉛粒子類は、廃水処理場のプロセスを経るにつれて、溶解、粒子として残留、粒子として再形成のプロセスを経る。廃水処理の最終段階においては、バイオソリッドと呼ばれる固体物質として残り、米国の多くの地方において土壌に施用されている。この固形物質は土壌の肥料として、廃水処理期間中に捕捉された窒素とリンに還元し、土壌への酸化亜鉛と酸化セリウムの進入経路となる。

科学者らは、EPA が公共廃水処理施設への産業金属の直接廃棄を制限するための前処理プログラムの要求に注目している。しかし、研究チームは、廃水処理プラントシステムにおいて測定可能の、汚泥バクテリアの活性化に高い親近性を有する MNM_s については、モニタリングも規制も行われていないと述べている。論文の著者らは、大豆の生産は化石燃料を動力とする機材により行われているため、MNM_s は排気を通じて土壌に蓄積されると指摘している。

この研究では、酸化亜鉛および生物学的に蓄積された亜鉛を含む土壌により生育された大豆には、それらの茎・葉・豆への吸収が認められた。食品としての質にも影響が見られたが、植物中の亜鉛がイオンあるいは塩の形状であればヒトには無害であろう、と Holden は述べている。

酸化セリウムのケースでは、そのナノ粒子類の生物学的蓄積は認められないが、植物の成長は妨げられた。通常は、大気中の窒素をアンモニアに変換する共生的なバクテリアが蓄積する部位の根の小結節の変化は、土壌中の MNM_s の増加に必要な化学肥料の利用増加を示している。

Holden は、農業におけるこれらのナノ粒子類の高濃度の可能性については、「ホットスポットは、マテリアルの製造工場の近くや放出場所での存在があり得る」「これらの合成ナノマテリアルの量や状態について、我々が現在持っている情報は極めて限定的である」「我々はそれらが消費者製品に利用され、排水に流出していることを知っている」と述べている。

論文筆頭著者の John H. Priester は UCSB のホールデンラボラトリーのスタッフサイエンティストである。その他の共著者は、UC CEIN、アイオワ州立大学、Xrada 社、UC リバーサイド校、NASA/JPL、カリフォルニア工科大学、USDA、テキサス大学エルパソ校から参加している。

2012-09-17

ナノ粒子汚染は農作物の成長を妨害

訳注：小林 剛

Wired Science: Dave Mosher

2012 年 8 月 23 日

金属ナノ粒子類は、サンスクリーン・化粧品・ディーゼル燃料・消臭ソックスなどのすべてに含まれる成分である。また、それらは最終的には、不明確な点もあるが、面倒な影響を伴って土壌に帰着する。

ナノ酸化亜鉛および酸化セリウムという 2 種類の一般的なナノマテリアルを混合した土壌での大豆の生育についての新しい研究では、それら農作物中に蓄積し、自然に土壌を肥沃させるバクテリアの成長を妨害する、と報告している。

カリフォルニア大学サンタバーバラ校 (UCSB) の環境微生物学者 Patricia Holden は、「以前の研究では、植物はナノ粒子類の全体 (whole nanoparticles) を吸収することが示されたが、それらは水耕栽培の温室で行われ、本物の土壌は著しく異なっている。我々は大部分のナノ粒子類は土壌中の粘土に固定されると考えていたが、それらはバクテリアと植物から生物学的に利用されていることに驚いている」と述べている。

8 月 21 日発行の米国科学アカデミー紀要において、Holden は「しかし、同時に、我々な大豆を怖がるべきではない。我々には未だ多くの未知の部分がある」と語っている。

酸化亜鉛および酸化セリウムの二種の物質は、通常、ナノ粒子類に製造されている。例えば、サンスクリーンは HIV (エイズウイルス) と同じくらい小さいナノ酸化亜鉛粒子を用い、白い残渣を残すことなく紫外線を吸収する。この粒子類は最終的には排水を経て下水汚泥となり、肥料として農家に売却されている。

ディーゼル燃料中の酸化セリウムは燃焼効率を向上し、触媒コンバーター中で、自動車フィルター排気の汚染を減少させる。それは排気中に放出され、直接、土壌にあるいは下水に流入し、最後には畑地で最終結末を迎える。

ナノマテリアルの有害影響を検討するため、Holden らのチームは、農場土壌を用いた温室において大豆

を栽培した。彼女は「大豆は世界で最も重要な農産物の一つで、根粒中のバクテリアは、空气中窒素を固定によりそれらを生育させる」と述べている。土壌の一部は、高濃度の（increasing concentration）ナノ酸化亜鉛およびナノ酸化セリウムと混合された。亜鉛混合の土壌で生育された農作物は、通常の土壌よりも多くの亜鉛を吸収した。一方、ナノ酸化セリウム大豆の根の周囲に蓄積し、植物の成長を阻害した。

ナノ粒子類混合土壌において生育した大豆の莢（さや）・根・葉・茎。根の部分の小結節（粒）は土壌を肥沃にするバクテリアを蓄える。画像提供：Patricia Holden/UCSB

Holden は「酸化セリウムは高濃度においては、窒素固定を完全に停止させる」「根の小結節は存在しているが、内部は空（から）で、バクテリアは機能していない」と述べている。

彼女のチームは、亜鉛ナノ粒子類がそのまま全体か、あるいは溶けて食べられる自然の状態で吸収されるのかは決定していない。また、実験に用いられた酸化セリウムの濃度は、実際の土壌の場合よりも極度に高い、とも言っている。

「しかし、土壌中のナノ酸化セリウムのホットスポット（危険地点）では、我々の採用した濃度と同レベルの可能性はある」とも述べている。

この研究には参加していないカーネギーメロン大学の環境エンジニアの Gregory Lowry は、本研究に対して驚異的（eye-opening）であるが、ナノ粒子類製品の環境への脅威に対して、何か有用な提言をするには、より現実的な条件が求められ、と語っている。

また、投与量が高いのみならず、「研究者らはメーカーから直接入手したナノ粒子類を用いているが、それらは土壌中で見出される形状とは異なり、かなり変化している」とも述べている。

Lowry は、例えば、ナノ酸化亜鉛が下水汚泥や土壌に進入した場合、それらはバクテリアや有機物質に付着し、化学的形狀を変化させる。同様に、酸化セリウムの場合も、その粒子類は土壌中での混合により変化するであろう」と言っている。

「この研究での吸収による影響や窒素固定の阻害は、過大評価であろう」とも語っている。

本研究に関与していないデューク大学の環境エンジニア Mark Wiesner は、Lowry の意見に同意している。また、彼は「農場では、おそらく廃水処理の汚泥を大豆畑に使わないであろう」とも語っている。

彼は「大豆は、自身の肥育機能を持っている豆類のため、汚泥を与える必要はない」「ここでの唯一の問

題は、別の作物への転作の場合である」と付言している。

これらの批判に対して、Holden は「我々のチームは、最初にその種の問題を検討した。」「これらのすべての粒子がどのような形状なのか、また、その他のナノマテリアルが土壌に進入するのは誰も知らない。しかし、初期の研究には、理論的な最初のステップでの添加物質として、十分に特性が解明されたナノマテリアルを採用している」と、Wired SCIENCE 社あての E-mail で書いている。

本研究のアプローチへの意見の相違にもかかわらず、Wiesner は農業土壌におけるナノ粒子類の研究の試みは、大きな前進の一步である、と述べている。

Wiesner は「この研究は、ナノマテリアルが単に有害であるか否かの域を超えている。それは食物連鎖のベースに何らかの影響があり得ることを示している。本研究が、たとえ、十分には現実的でないとしても、将来の研究の原動力になるであろう」と述べている・

これら三人の研究者のすべては、Lowry が唱えた「百万ドルの疑問」すなわち「ナノ粒子類は安全なのか、そして、それらを規制すべきか」に対し、最低でも、部分的な解答を希望している。

「我々は、たとえ、ナノ粒子類を規制しようとしても出来ない立場にある。我々はそれらの多くの有用な用途を排除して、それらの製造を世論により非難することだけ是可以する。」「(しかし、) 赤ん坊を風呂水の中に投げ込むようなことには注意が必要である」と Wiesner は語っている。