

# 欧州環境省、 過去の教訓からナノリスク規制を強く警告

小林 剛 (カリフォルニア大学環境毒性学部元客員教授)

## 1. 社会正義と企業そして環境

人間は高度の学習能力を持つ動物といわれている。しかし、その反面、多かれ少なかれ、必ず過ちを冒すことも、残念ながら事実である。これらを総合すると、場合によっては、人間以外の動物の方がむしろ賢明であるともいえるであろう。人間の失敗の多くは「邪念」に兆し、個人と組織とを問わず、自己利益第一や拝金主義、すなわち、「救いがたい欲望」に根ざしている。環境問題もこの例外ではない。動物には邪心がない。

今回、欧州環境省 (EEA) から、過去における環境問題への対応の誤りを反省したリポート「早期警告を生かせなかった教訓」が発行された。これは自己の「非」を絶対に認めない権威主義の悪弊が通例といわれている官僚主義の跋扈する環境行政機関としては、他の国々とは全く異なる立脚点である。もし、有害性の警告を生かしたならば、多くの死傷者を出さないで済んだであろう世界の環境災害—いわば人類の大失敗—を例示し、時には国の責任にも言及した画期的な「反省の検証」「懺悔録」である反面「警世の書」でもある。

このリポートには、1) 加鉛ガソリンによる精神障害誘発 2) 水俣病における民主主義と正義の挑戦 3) タバコ産業による有害研究結果の隠匿や操作 4) 50 年を経過した DDT による「沈黙の春」 5) 殺虫剤によるミツバチの激減 6) チェルノブイリの教訓をムダにした日本の原発事故などが含まれている。

さらに、これらの惨事の根底をなす「社会正義とイノベーション」の分野では、単なる「環境白書」の域から先行して 1) 不作為のコストと損益勘定 2) 早期警告提起者に対する社会的ハラスメントからの保護 3) 警告無視による犠牲者の救済 4) 早期警告を拒否する企業の体質 5) 予防原則をどうするのかなど、「よくぞ書いてくれた」といえる、重大であるにもかかわらず、かつて、各国政府のメスが加えられなかった「秘部」の実態を白日の下に曝している。

この EEA の勇気ある快挙は、志ある科学者らにとって絶賛されるであろうことは確実である。「過ちを繰り返すな」との EEA の悲願にも似た正論には熱烈な声援こそあれ、反対することは不可能であるに違いない。しかし、環境規制分野で、いわゆる「社会正義」が確固たる地歩を確立するには、なお多くの困難が待ち受けている。特に、よく言われる「企業の社会的責任やコンプライアンス」は「言うは易

く、行うは難し」で、資本主義の牙城に対しては、世論の風潮は半ば諦めの傍観状態を余儀なくされている。

## 2. ナノテクノロジーのあり方

EEA は、発足以来既に 10 年以上を経たナノテクノロジーの現状に対して、次のような勧告と評価を示している。

- 1) ナノテクノロジーは、過去のニューテクノロジーの過ちの例を繰り返すな。
- 2) ナノテクノロジーの開発のスタートにおいては、化学者と物質開発者のみが、EHS（環境・健康・安全）問題を考慮せずに、明確なデザインルールなしに強行した。それを補完するためには、遅まきながら、積極的な「グリーン・ナノテクノロジー」の導入が喫緊の課題である。
- 3) 現状では、政策決定者はナノリスクに対応できていない。
- 4) 予防原則の採択を妨げる状態が継続している。
- 5) 現状のままでは、ナノテクノロジーの発展は保証されない。

## 3. ナノテクノロジーに対する早期警告

超微小物質の毒性研究は、ディーゼル排気問題に触発されて急速な進歩を遂げたが、ナノリスクに対する最初の警告は、イノベーションとしてのナノテクノロジーの浮上直後の 1986 年、Drexler による先見の明として「創造のエンジン、来たるべきナノテクノロジーの時代」(Anchor Books 社)において、実に 27 年も前に予言している。

その後、カーボンナノチューブ類 (CNTs) については、2004 年、米国航空宇宙局 (NASA) が革新的材料の宇宙科学への利用に際し、その毒性について事前評価を行った。その NASA の中正かつ卓越した着眼点と実行力は賞賛に値する。この重要課題は、ジョンソン宇宙センター・ワイルラボラトリー毒性部長ラム博士（筆者の長年の友人）らにより、マウスに対する気管内注入法で行われ、呼吸器毒性として肉芽腫・繊維症の誘発という画期的な成果として発表された。ナノマテリアル (NM) の毒性に対する警戒の気運は、これを契機として、さらに急激に高まっていった。

2005 年以降においては、Oberdorster 教授ら（ロチェスター大学環境医学部）の一連の超微小粒子類の呼吸器毒性を含む健康影響についての多数の論文により、その広範囲で強力な危険性が実証され、NM の毒性研究について「ナノトキシコロジー」の研究領域が確立されるに至り、その有害性データは蓄積の一途を辿っている。

その間に日本発の画期的な研究として世界的に注目されたのは、国立医薬品食品衛生研究所の菅野らによる CNT のマウスの腹腔内注射による中皮腫（肺ガンの一種）の誘発（2008）、さらには、東京理科大学武田らによるチタンナノ粒子類の妊娠マウスへの皮下投与における産仔オスの精子生産能力の 20% 以上の低下および脳の病理学的変化と異常挙動の誘発など、新次元の「次世代影響」が 2009 年に報告された。このナノ毒性が被暴露者のみでなく、コドモの世代にまで悪影響として伝承される事実は重く受け止めるべきである。さらに、今後においては、3 世代以降多世代にわたるリスクについても検討が求められるであろう。

#### 4. ナノマテリアルの発ガン性の確定

発ガン性は、一般的な生体毒性とは全く異なり、許容量が認められないため、最強の毒性と見なされている。ナノサイズ二酸化チタンのラットにおける 2 年間の慢性吸入暴露による肺腺ガンの統計学的に有意の増加（Heinrich ら、1995）の結果評価により、米国国立労働安全衛生研究所（NIOSH）は、2012 年に至り、それらを職業性発ガン物質と認定するに至り、NM のリスクの重大性は確立された。因みに、IARC（国際ガン研究機関）は、既に、2010 年、二酸化チタンを「ヒトに対して発ガン性を示す可能性がかなり高い」として発ガン物質 2B に分類している。

さらに、欧州議会科学技術評価委員会は、2012 年 3 月、NM の毒性についての報告書「ナノセーフティ：ナノ粒子製品のリスクガバナンス」を発行し、次のような見解を示し、NM は発ガン物質であるとの明確な決定を下している。

#### 5. ナノマテリアルの毒性プロフィール

NM は、吸入・経皮・摂取などの経路により、体内の種々の血液バリア（肺胞・脳・胎盤その他）を通過して、標的臓器に沈着蓄積し、体内濃縮による活性細胞の放出増加を来し、生物体はそれらの除去能力を喪失し、酸化ストレスは細胞を損傷死滅させ、各臓器の機能低下のほか DNA にダメージを与え、遂にはガンまでも誘発する。これらの毒性発現機序と評価手法について、図 1~4 に示す。

図 1 生体内メカニズム

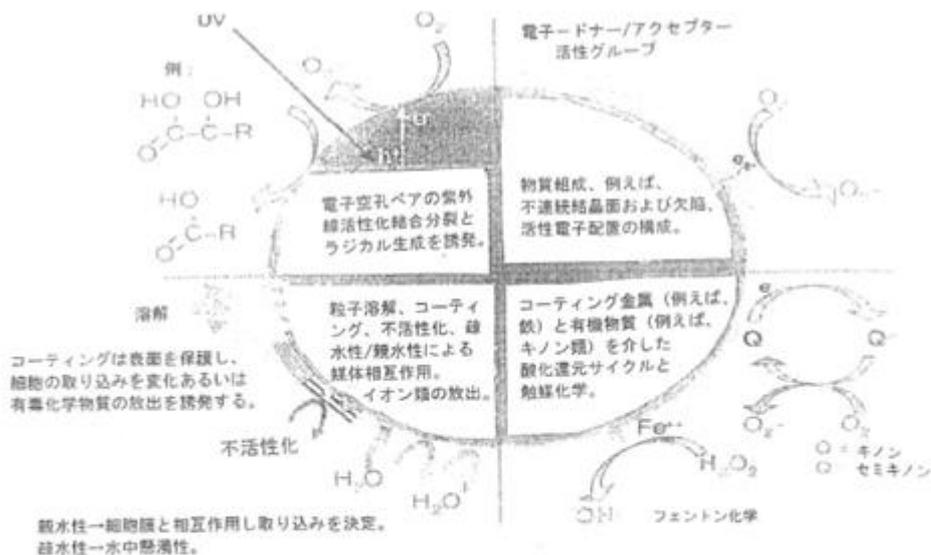


図 1. ナノ粒子製品 (MPNs) の生物学的組織との相互作用メカニズム。図には、物質の組成・電気的構造・化学結合表面成分（例えば、金属含有）・表面コーティング（活性あるいは不活性）・溶解性を示し、表面成分とコーティングの寄与と他の環境ファクター例えば紫外線活性化との相互作用を含む (Nel et al. 2006, Xia et al. 2009 を改作)。

図 2 細胞影響

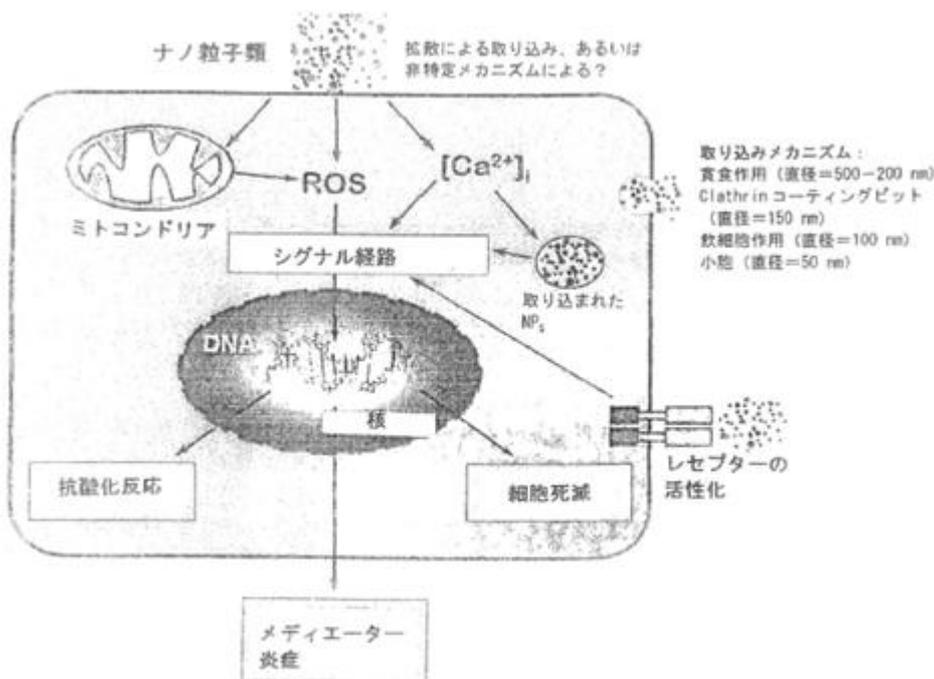


図 2. ナノ粒子製品 (MPNs) の細胞に対する影響のモデル (Donaldson & Stone 2003, Krug et al. 2006 を改作)。

図 3 生物学的動態

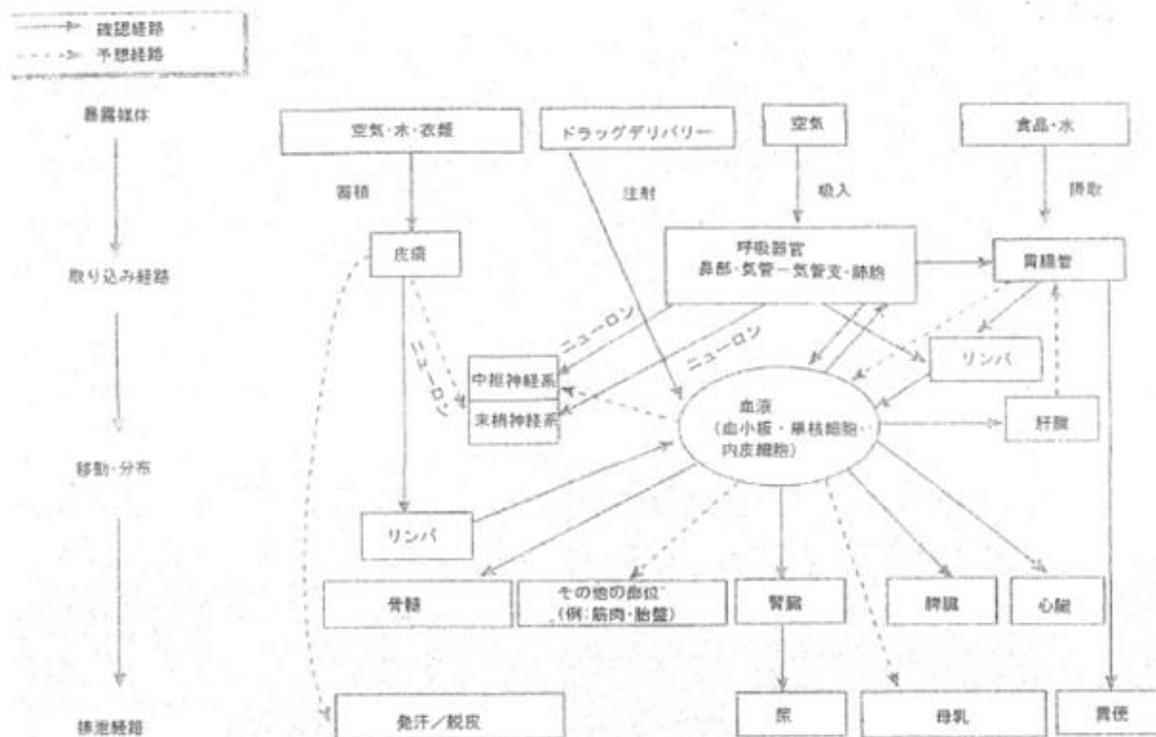


図 3. ナノ粒子製品 (MPNs) の生物学的動態。多くの取り込みと移動の経路が実証されているが (矢印)、その他の経路 (破線の矢印) は仮説で、検討が必要である。重要な標的部位における蓄積や残留のような移動速度と、それらの根底のメカニズムについては大部分が未知である。これらのほか、有害影響の可能性は、大部分が MPNs の表面および核の物理-化学的特性に依存している。また、疾病あるいは傷害の生物について、定性的および定量的変化と、中枢神経系 (CNS) および末梢神経系 (PNS) の検討も必要である (Oberdörster et al. 2005)。

図 4 毒性評価手法

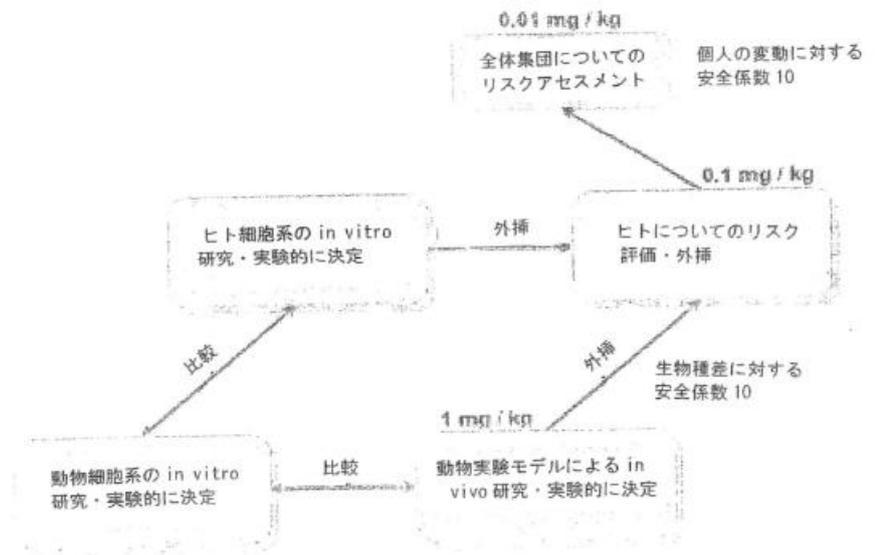


図 4. ヒトにおけるナノ粒子製品類 (MPNs) の毒性評価。実験的に決定された閾値（ここでは 1 mg/kg と仮定）と生物種差と個体差およびヒトとの間の相互関係。本図は、ヒトについての閾値限界の固定に 100 の最少係数を示す (Krug & Wick 2011)。

## 6. 欧州環境省レポートの「忠告」

今回の欧州環境省のレポートには、従来のいわゆる「勧告」以上の熱意が感じられ、ここでは、あえて、その「忠告」を列挙し、読者諸氏のご参考に供したい。

- ナノ規制の欠落。米英での自主報告制度の大失敗は企業の利己的本質を露呈。
- 規制担当者には専門家を充当。被規制者（ナノ企業）と同レベルの知識が必要。
- ナノマテリアルの研究・生産部門の安全衛生環境は劣悪（メディアの報告）。
- ナノ開発研究者自身にリスク無視の風潮あり。
- ナノ企業による規制機関への不当な圧力の証拠あり。
- リスク軽視のベネフィットの追求者には再教育が必要
- 現在の知識レベルによる予防的規制が必要。「麻痺状態」を回避せよ。
- ナノ企業による過度の利益追求は、リスク研究を阻害。
- 規制の独立性を維持せよ。推進派の政府・企業の影響を排除せよ。
- リスク警告者に対する社会的ハラスメント（論文発表拒否など）からの保護。

## 7. ナノテクノロジーにも「安全文化」を

先般の原発事故以来、その「安全文化」が注目されている。原子力規制委員会は、高速増殖炉「もんじゅ」に関し、電力会社や原子カムラの「安全神話」に対して、「安全文化の劣化」を厳しく批判している。この状況はナノテクノロジーにおいても「酷似」しており、次頁の参考資料「原子力の安全文化」の「原子力」を「ナノテクノロジー」と読み替えると、そのままナノ産業にも適用できるほどである。

特に、ナノマテリアル開発の第一線で活躍する研究者や管理者らは、高等教育を受けた優秀な人々であるにもかかわらず、現状では安全第一の意識が極めて低いと批判されているが、将来のナノテクノロジー発展のため、ナノ安全の先頭に立って頂くよう強く要望する。ナノ関連作業（研究開発・製造等）の環境についても、ワシントンポスト紙の現場取材から、最先端科学とは裏腹の極めて劣悪な汚染状態と厳しく非難されている。

ナノテクノロジーが、「第二の原発」のような安全軽視に陥らぬよう、関係者の努力が問われている。ナノマテリアルの毒性は極めて慢性的に推移し、その発ガン性は数十年の潜伏期間が予測されている。今こそ、早急に徹底的に予防対策を取らないと、将来、かつてのアスベストの惨事のように、一斉に「ナノ肺ガン」の大量発生が勃発する可能性が否定できない。

## 電気事業連合会

## 原子力の安全文化とは

## 安全文化（セイフティカルチャー）

「安全文化（セイフティカルチャー）」という考え方は、1986年に発生したチェルノブイリ事故の原因の調査と検討の結果をきっかけとして生まれました。調査にあたった国際原子力機関(IAEA)の国際原子力安全諮問グループ(INSAG=International Nuclear Safety Advisory Group)は、事故の原因を分析していく中で、この事故の根本的な原因として、そもそも現場の作業員も、また原子力発電所の運転にあたっている事業者も、そして国レベルでも、原子力の安全に対する考え方や意識そのものに問題があるのではないかと、それは「文化」と呼べるほどの深さと広さをもって、個人や組織あるいは社会の意識や行動を左右しているのではないかと疑問を提起しました。

1992年にINSAGは報告書をまとめ、その中で、

安全文化とは、『原子力施設の安全性の問題が、すべてに優先するものとして、その重要性にふさわしい注意が払われること』が実現されている組織・個人における姿勢・特性(ありよう)を集約したもの。

と定義しています。つまり、「安全文化」とは、組織と個人が安全を最優先する風土や気風のことで、

## 社会全体の安全確保のための努力

「安全文化」のあるところでは、原子力に携わる組織は、安全最優先という考え方のもとに安全対策をとります。また、現場の作業員一人ひとりに至るまで、原子力に携わるすべての人が、安全確保のために誠実な努力を行い、責任を果たします。

「安全文化」は、事業者、作業員、国など産学官のさまざまなレベルで原子力に関わる人たちの具体的な積み重ねを通じて育成され、組織の風土として、また、携わる人の気風として定着し、さらに社会全体が安全に対する認識を高めることにつながっていくと期待されます。

世界の原子力発電事業者は、チェルノブイリ事故の教訓を受けて、1989年に原子力発電所の安全と信頼性を高めることを目的に「世界原子力発電事業者協会(WANO)」を設立しました。

付記：「民間提言」に経産省が関与原発の再稼働や輸出求める（朝日新聞デジタル 5月19日）

ナノテクノロジーは、世紀のイノベーションといわれている折から、ナノ企業は安全文化の構築に努力すべきで、政府としては国民に対して、ナノリスクについての説明責任があり、丁寧な解説を行い、十分な情報開示に徹すべきである。

適正な規制は、国民、ナノ産業、政府のすべてが必要としている。それはナノイノベーションの大成にも不可欠である。企業側はこの点を理解すべきである。

原発事故の責任は、東京電力のみでなく、政府も分担するとしている。ナノテクノロジーについても、その安全責任は企業のみでなく、政府にもあると考えるべきではないか。

ナノテクノロジーの重大人身事故は、2009 年、中国において発生し、世界のナノ産業を震撼させたが、その後においても、ナノ労働環境は、さほど改善されていないとの報告が多いのは極めて残念である。このような大事故が、もし、日本において発生した場合には、ナノ産業は一挙に信望を失い、壊滅的な打撃を蒙るであろう。しかし、この種の可視的な急性毒性よりも恐るべきは、徐々に確実に進行する慢性影響である。

ナノマテリアルで懸念されている吸入発ガン性は、数十年の潜伏期間が予想されている。ナノテクノロジー全般とナノ作業員（研究者を含む）の安全を確保するには、①作業規範の整備（責任者の指名やアクセス規制等）②作業環境の完備（衛生工学的密閉構造、特定清掃方式など）③個人衛生（全身的保護具システム、ナノ作業衣の隔離管理）④健康管理（就業者の登録、健診システムの導入）⑤労働基準監督署の指導監督を要請するなど総合的な対策が不可欠である。

最後に、ナノリスク警告者に対する社会的ハラスメントは社会正義上大きな問題である。例えば、筆者は、ある大学の環境機関誌から、ナノリスクに関する原稿を、著者の意見は尊重するとの前提条件で依頼されたが、脱稿後に、約束に反して、内容に異論を唱えて掲載拒否を行うなど、産学癒着の「利益相反」と編集権乱用の不条理を経験している。

**参考文献**：欧州議会は、NM の発ガン性の重要文献として、特に次の 3 件を挙げている。

Petersen & Nelson (2010)：「ナノマテリアル誘発の酸化性メカニズムと測定」

Kovacic & Somanathan (2010)：「ナノ粒子類のバイオメカニズム（毒性物質・抗毒性物質・治療）」

Becker et al. (2011)：「ナノ粒子類の発ガン性：それらの製品からの放出と調節」

欧州環境省リポートには、参考文献として、実に 138 件を挙げているが割愛する。