

2006年7月20日発行

CONTENTS

■巻頭言： 実感と現実のギャップ	1
■特集： 工業ナノ材料のリスク評価 ①リスク評価とリスク管理	2
②排出と暴露	3
③ガバナンスに関する課題	4
■新客員研究員紹介： 生態リスク研究の課題	5
■新研究員紹介	5
■詳細リスク評価書： トリブチルスズ（TBT）	6
■お知らせ 学会発表	8
■編集後記	8

環境省環境保健部環境安全課
上家 和子



実感と現実のギャップ

暑い季節がやってきました。ことに都市部ではヒートアイランド現象のためか、天気予報の予想気温はすでに真夏並みとなっています。先ごろ、厚生労働省から平成16年の人口動態統計が発表され、少子化の進行が大きく報じられましたが、人口動態統計は悉皆調査で細かくみていくといろいろなことがわかります。たとえば、暑熱による死亡は449人、寒冷による死亡は244人でした。暑さ寒さは人の健康に対して事故的ばく露以外の環境因子としては最大の因子といえるかもしれません。しかし、暑熱による健康影響は「熱射病」という新鮮味のない言葉に集約され、暑さは日々実感し辟易し、かつ、多くの命が失われていても、ほとんど注目されません。

一方、紫外線は、かつては「真っ黒に日焼けした元気な子ども」などとポジティブに受け止められていたものが、一転、白人の皮膚がんデータなどから「浴びすぎに注意、子どもにも日焼け止めを」と全く逆の評価となり、注目度が高まっています。しかし日本人の皮膚がんの死亡率は、年齢構成の差異による影響を排除した年齢調整死亡率でここ30年間の年次推移をみると、むしろ減少傾向となっています。

人の健康や生態系への影響を最小限にするための環境管理をリスクベースで展開することは既に基本認識といえるでしょう。しかし、感覚的な実感は現実には起こっている事象や冷静なリスク評価結果と乖離しています。新しい要因、新たな状況、ことに海外の情報、さらには目新しい用語などから受ける感覚的な不安は大きく、一方、昔から知られている状況、古くから使っている物質、さらには耳に馴染んだ用語からはたとえ実際に曝されていても、被害が生じていてさえも、脅威を感じにくく、対策は進みにくい、というのが現実ではないでしょうか。

化学物質のリスク評価手法は進化し定着してきていますが、それらの結果をできるだけ正確に伝える情報提供手法についてはまだまだ未開発と言わざるを得ません。ゼロではないリスクについて、コミュニケーションをどう図るか、その手法の研究の必要性が痛感されます。

6月9日、環境安全課では、熱中症保健指導マニュアルと紫外線保健指導マニュアルをいずれも改訂して同時に環境省ホームページにアップしました。

http://www.env.go.jp/chemi/heat_stroke/manual.html

http://www.env.go.jp/chemi/uv/uv_manual.html

作りっぱなしのマニュアルを出しっぱなしにするのではなく、どのような反響があるのか（ないのか）検証していくことで、情報提供のあり方を捉える一助にもしていきたいと考えています。

特集：工業ナノ材料のリスク評価

①リスク評価とリスク管理

リスク管理戦略研究チーム 蒲生 昌志

ナノテクノロジーは、様々な分野でのブレークスルーが期待される最新の技術分野である。その特徴は、ナノメートル(10^{-9} m=1mmの100万分の1)のスケールで起きる新しい物質の性質を利用していることにある。既によく知られた物質、例えば金などでも、ナノメートルのスケールまで細かくすることによって、全く新しい性質を示すことが知られている。また、フラーレンやカーボンナノチューブのように、炭素のみで構成されていながら、その特殊な構造によってユニークな性質を示す材料を作り出すことができる。従来とは桁違いの強度、集積度、効率を達成することが期待される。

工業ナノ材料の持つ新規な物性への期待は、裏を返すと、新規なリスクへの懸念を意味することになる。ナノ粒子の有害性の特徴は今のところ必ずしも明らかとはなっていないが、ナノスケールのサイズの粒子は、表面積が大きいため生物活性が高い、生体内への吸収や体内での移動が容易であるといったことが指摘されている。

CRMは、産総研内部の他の研究ユニット、外部の研究機関や大学と連携して、工業ナノ材料のリスク評価研究に取り組み始めた。有害性評価としては、*invitro*試験から吸入暴露試験にいたるまで、階層化された有害性試験の実施を予定している。また、暴露評価としては、実環境での計測や、粒子の排出特性を把握するための模擬試験、環境中の挙動を把握するためのチャンバー試験を実施する。これらの各パートでの成果を集約し、最終的なアウトプットとしては、代表的なナノ材料の詳細リスク評価書を作成するとともに、工業ナノ材料のリスク管理への提言を行なうことにしている。

CRMの研究の一つの特徴としては、試験に供するナノ材料の調製と計測に相当の労力を割くことが挙げられる。一般にナノ材料は、強く凝集する性質を有しており、製造直後から暴露まで、一次粒子単体(一粒ずつバラバラ)で存在するのではなく、二次粒子(一次粒子同士や他の粒子と凝集して、ナノからミクロンサイズになったもの)として存在している。この凝集の程度は、粒子の挙動や有害性の発現に影響すると考えられており、実験等において観察された現象や値を解釈したり一般化したりするためには、あ

る程度凝集の程度がコントロールされ、また計測により把握されている必要がある。実際、既存の報告には、この点において不十分なものが多い。

もう一つの特徴は、様々な研究グループの連携のもとに、有害性評価、暴露評価、リスク評価を一つのプロジェクトとして推進することが挙げられる。連携して相互に情報や技術を共有することで、リスク評価に必要とされる情報を効率的に取得することが可能である。例えば吸入暴露試験を行なうにしても、被験試料として入手した材料の不純物等を確認し、それを適度に分散し、分散状態を確認し、気中に噴霧し、動物に暴露し、臓器での存在量や形態を把握し、生体反応を検出するという多くのステップがある。これらの各ステップは、それぞれの専門分野の高度な技術を要するものであり、そういった専門分野が有機的に連携しなければ吸入暴露試験の実施は不可能である。

工業ナノ材料の種類や用途が、今後大きく拡大していくことを考えると、とくに将来の材料や用途のリスク評価には、ある程度の不確実性は避けられない。ナノ材料の種類や用途ごとにリスク評価を実施したとして、その結果とリスク管理のタイプとの関係を図1に概念図として示した。図中には、1)不確実性を考慮してもリスクの懸念はないので、その用途での使用は問題ない、2)可能な限りの対策をとってもリスクの懸念は払拭されず、その用途での使用は認められない、3)リスクの懸念があるため、使用・排出・暴露の削減対策を講じる、4)リスクの懸念があるため、材料の組成を工夫して有害性を低減する、5)一定程度のリスクを認めて許容する、6)不確実性が極めて大きくリスクの懸念が存在するため、暴露や有害性に関する情報を追加的に取得し、懸念を払拭する、といった様々なパターンを示した。

工業ナノ材料のリスク評価およびリスク管理が適切に行われることによって、工業ナノ材料による健康被害が生じることなく、また、人々のリスク不安も拡大することなく、ナノテクノロジーの技術発展と市民による便益の享受が達成されることを願っている。CRMとしては、そのための技術的基礎および考え方の基礎を提供できればと考えている。

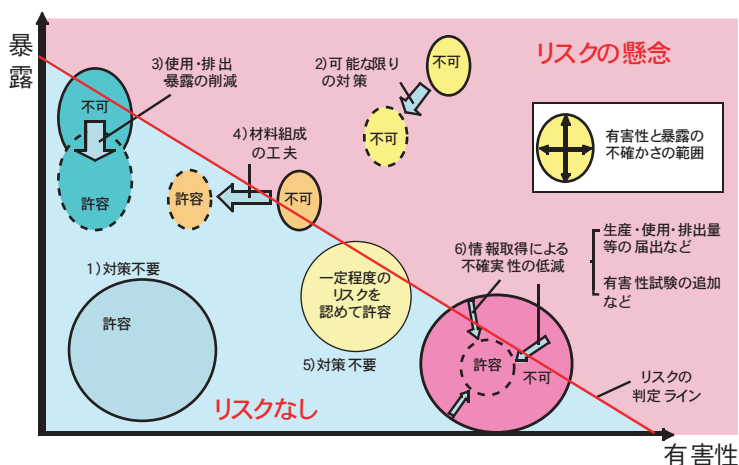


図1. リスク評価結果とリスク管理のタイプ

②排出と暴露

リスク管理戦略研究チーム 小倉 勇

工業ナノ材料の排出や暴露については、気中への排出および呼吸による暴露が最も危惧されている。その背景として、今までに様々な粒子で呼吸器への有害影響が見られていること、現状では労働環境が安全性評価の主対象とされていること、気中を介した暴露は労働環境や発生源周辺で起こる最も直接的な暴露であること、気中で特にナノ粒子は拡散・移動性が高いことなどがある。CRMの研究計画においても、主たる評価対象として気中への排出および吸気暴露を考えている。

工業ナノ材料の排出や暴露の状況は、一部の製造工場での測定例がわずかにあるのみで、十分に把握されていない。現状では工業ベースのナノ材料の製造、使用は限られており、今現在、ナノ材料への高暴露が起こりうるのは、研究機関およびナノ材料の製造工場などの労働環境であるといえる。しかし、今後、工業ナノ材料は様々な用途で使用され、急速に普及することが予想される。我々は、ナノ材料の製造、使用、消費、廃棄といったライフサイクル全体での排出・暴露可能性の評価、そして将来の普及を踏まえた予測的評価が必要であると考えている(図2参照)。

現状では、工業ナノ材料の排出より、非ナノテク由来の人為的なナノ粒子の排出の方が多いといえる。室内および屋外ともに気中には、自然由来や燃焼由来、工業プロセスなどによるナノサイズのエアロゾルが遍在している(室内・一般大気でおおよそ $10^3 \sim 10^5$ 個/cm³、調理・ディーゼル車など燃焼プロセスでおおよそ $10^5 \sim 10^6$ 個/cm³、熔融・鋳造、溶接、研削、切断、はんだ付けなどの様々な工業プロセスでおおよそ $10^5 \sim 10^7$ 個/cm³)。また、アスベストなどの繊維状無機粒子も遍在している(一般大気のアスベストがおおよそ $<0.1 \sim 1$ 本/L、その他無機繊維がおおよそ $1 \sim 10$ 本/L)。これらのバックグラウンドの粒子は、工業ナノ材料のわずかな漏洩を覆い隠してしまう可能性がある。また、バックグラウンドの粒子と工業ナノ材料との相互作用が考えられ、工業ナノ材料の排出や暴露を評価するには、バックグラ

ウンドの粒子の考慮が必須であるといえる。一方、工業ナノ材料の排出が限られている現状において、非ナノテク由来ナノ粒子に関する様々な研究および情報(例えば、計測技術、環境中動態、体内動態、有害ポテンシャルなど)は、今後の工業ナノ材料の評価に役立つといえる。CRMでは、研究項目の一つとして、非ナノテク由来ナノ粒子に関する情報の整理も進めている。

工業ナノ材料の排出や暴露を評価するためには、何らかの測定が必要となる。しかし、複雑な構造とユニークな性質を持つ工業ナノ材料について、その量や特性を単一の指標で表すことは難しい。個数濃度、表面積濃度、重量濃度などの様々な濃度指標が考えられ、さらにサイズ、形状、表面状態、凝集状態、溶解性、バックグラウンドの粒子や化学物質との相互作用などの情報も重要である。ナノ材料は一般に凝集した状態で存在するため、ナノ材料の排出や暴露に関する調査の際には、ナノサイズだけでなく、マイクロサイズも含めた粒径範囲の測定が必要であるといえる。マイクロサイズに凝集していたとしても、表面積や反応性などは概して一次粒子の大きさや特性に依存すること、また、体内で凝集した粒子が再分散する可能性があり、単体のマイクロサイズの粒子とは必ずしも同等ではない。CRMでは、粒子の量・サイズ・性状といった情報を含んだ定量・定性的な排出・暴露評価を行うために、複数の指標(複数の装置)による多角的な測定・評価を計画している。

CRMの今後の取り組みとして、1) 主要な排出プロセスからの排出実態の把握(現場での計測)、2) 実際の排出プロセスを模した排出模擬実験(攪拌、破碎、磨耗など)による排出特性およびその影響因子の評価、3) 排出・暴露特性のモデル化、および排出・暴露特性の評価手法の開発、4) 工業ナノ材料のタイプや用途での類型毎の排出・暴露シナリオ文書作成、を計画している。

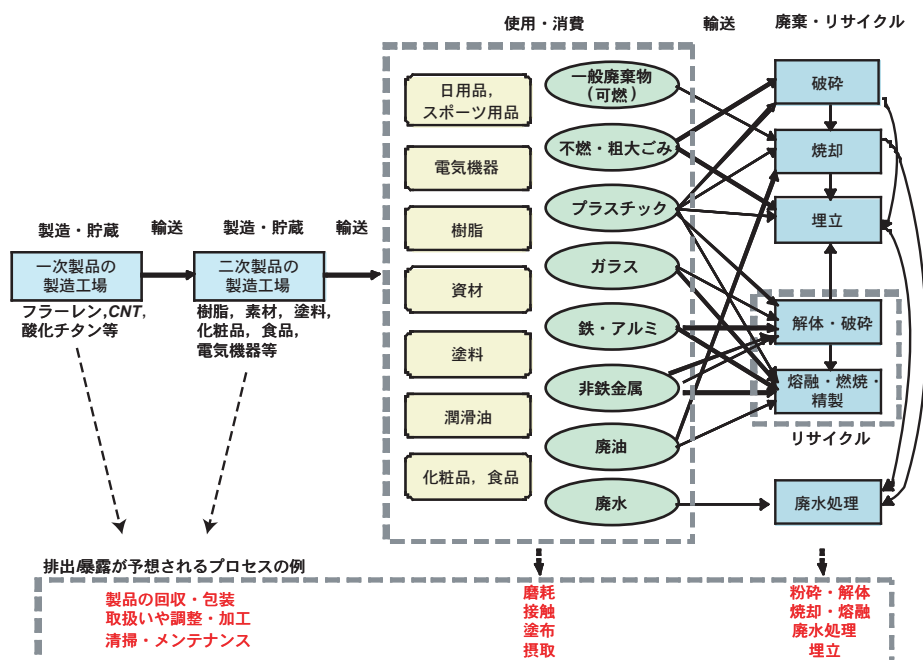


図2. 工業ナノ材料のライフサイクルと排出/暴露が予想されるプロセスの例

③ガバナンスに関する課題

リスク管理戦略研究チーム 岸本 充生

現在、欧米では社会がナノテクノロジーをどのように管理すべきかについて盛んに議論されている。主な論点は2つある。ナノテクノロジーに対して新たに法規制を作る必要があるか、企業の自主管理を積極的に進めていくべきか、それとも両者は両立すべきものか、および、一般市民がナノテクノロジーに関する意思決定にどのように参加していくべきかである。米国では、環境保護庁(U.S. Environmental Protection Agency)が2005年9月、ナノ材料自発的パイロットプログラムを提案した。ナノ材料に関して事業者がすでに持っている情報を自発的に提供する基礎プログラムと、追加的に情報を生産する詳細プログラムからなる。これに対して、2006年1月、ウッドロー・ウィルソン国際学術研究センター(Woodrow Wilson International Center for Scholars)は、現行の法規制体系はナノ材料特有の特性に対処できないこと、および、既存の法規制を改訂するのではなく新法を制定する必要があることを主張する報告書を公表した。新法の内容は、リスク管理という側面だけでなく、ナノテクノロジーの持つ潜在的便益をいかに引き出すかという側面も重視したものとなっている。英国の環境・食料・農村地域省(Department for Environment, Food and Rural Affairs)でも3月、自発的報告スキームが提案された。対象は人工的なナノ材料を開放状態で生産・使用・輸入している事業者で、提出すべき情報は事業者自身がすでに持っているもののみである。同時に政府は、部門ごとに、現行の規制やリスク評価手法がナノテクノロジーの急速な発展に対応できるかどうかに関して調査を実施中であり、すでに環境部門と食品部門からは中間報告が提出された。

規制や自主管理の是非を論じるには、どの製品にナノテクノロジーが使用されているのかを把握することが大前提となる。3月に米国で発表されたナノテク製品インベントリーでは240あまりの製品が挙げられた。CRMでは現在日本版を作成中であるが、米国版にも日本製品が10種類ほど含まれていた。しかし、製品名に「ナノ」と入っていても必ずしもナノテク製品とは限らない。先日、ドイツで「マジック・ナノ」という洗剤を使用した100人余りに呼吸器症状が現れ、製品が回収されたが、その後の調べで当該製品にはナノテクノロジーは使用されていないことが分かった。このように製品名に「ナノ」が付いていても使用されていない可能性があり、逆に使用していてもナノ訴求していないものも数多い。そのため、ナノテク製品が市場にどのくらい出ているのかを正確に把握することは案外難しい。

社会に大きな影響を及ぼす可能性のある新技術に対しては、政府や事業者による管理だけでは対処できない。新技術のもたらす潜在的便益を享受するには、社会による受容が必要不可欠である。2006年5月にわれわれが実施した最新のインターネットアンケート調査では、ナノテクノロジーという名前を聞いたことがある人は95%に上り、そのうち9割の人が良いイメージを持っていた。悪いイメージを持っていると回答した人は4%にも満たない。ナノテクノロジーを使用していることを売り文句にしたテレビCMも多い。「iPodナノ」が売れたことが好印象を生み出しているのかもしれない。

ない。しかし、ドイツのマジック・ナノ騒動のように、何か事件や事故が起こってしまうと、新技術であるだけに信頼は崩れやすい。一度そういった事態に陥ると、信頼の回復には時間がかかり、社会として享受できたはずの便益を失ってしまう。リスクを避けるためには一見、予防原則を適用すればよいと思えるかもしれない。実際、ナノテクノロジーの技術開発のモラトリアムを求めるETCグループ(The Action Group on Erosion, Technology and Concentration)のようなNGOもある。最近では、8つの消費者・環境団体が、安全性試験が実施され、規制が導入されるまでの間、工業ナノ材料を用いたパーソナルケア製品の発売のモラトリアムと現在市場に出ている製品のリコールを米国食品医薬品局(U.S. Food and Drug Administration)に求めた。しかし、単純に新規技術の導入や開発を止めてしまうことは技術によって得られる潜在的な便益まで失ってしまうことになる。必要なことは、技術の持つプラス面を享受しつつ、マイナス面をいかにして最小化していくかという舵取りである。そのためにはガバナンスというアプローチが適している。ガバナンスとは、特定の誰かが管理するのではなく、社会の様々な関係者がそれぞれの役割を荷って、社会全体として調整・管理していくやり方を指している。関係者としては、中央政府、地方自治体、企業、消費者、マスメディア、NPO、学者などが挙げられる。国際リスクガバナンス協議会(International Risk Governance Council)は、ガバナンスにおける各主体の役割について主要各国の関係者にインタビューを行い、4冊の報告書にまとめた(A:政府、B:産業、C:研究機関、D:NGO)。

ナノテクノロジーのガバナンス体制を確立するためには、それを妨げる可能性のある3種類の不確実性を減らす必要がある。第一は健康・環境リスクに関する不確実性である。技術開発だけでなく、リスク評価のためにも予算や人材を配分する必要がある。技術の開発段階から平行してリスク評価を実施することは、事業者にとって開発に伴う無駄を低減することにもつながる。第二は法規制の不確実性である。将来的にどのような法規制を受けるのか予測が付かなければ企業も研究開発を効率的に実施することができない。健康や環境へのリスクを管理するうえでも、技術発展を促す意味でも、ガバナンスの体制を早期に確立することが求められている。第三の不確実性は社会受容性の不確実性である。科学者や産業界がいくらその便益の大きさを主張しても、その訴えが届かなかったり、人々がそれを望まなかったりすれば、新技術は社会に定着しない。そのため、リスクがきちんと管理されていることを分かりやすく示すとともに、消費者が便益を実感できることが重要である。

このような課題に答えるために、CRMは次のような研究計画を提案している。まず、既存の法規制体系をナノテクノロジーの社会的管理という視点から見直し、新たな対応が必要な部分があれば提言を行うこと、ナノテクを使った製品のインベントリーを作成し、市場への導入の現状を把握すること、そして一般人のナノテクノロジーに対する認知や感情の定点観測を行い、その動向と変化の原因を探ることである。

* 独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の平成18年度新規研究開発プロジェクト、「ナノ粒子特性評価手法の研究開発」の委託先として、独立行政法人産業技術総合研究所と学校法人産業医科大学が決定しました。CRMでは今後5年間にわたる共同プロジェクトの中で、工業ナノ材料のリスク評価手法の開発に取り組めます。

新客員研究員紹介

生態リスク研究の課題

私はこれまで、数理モデルを用いてさまざまな生態現象を研究してきました。捕食者の餌選好性と食物網の安定性の関係、共進化理論からみた食物網グラフが持つ性質の予測、進化的安定性と自己絶滅の理論、天敵特異的防御がもたらす捕食者同士の相利関係、イワシとサバの資源変動仮説、サバの最適漁獲方針、エゾシカ保護管理計画、ミナミマグロの絶滅リスクと将来の資源回復予想、日本産維管束植物の絶滅リスク評価と愛知万博環境影響評価への応用など、新たな理論的概念の提唱から、実際の環境政策への具体的な貢献まで、降りかかった課題に対して可能な限り数理生態学による解を求めるよう努めてきたつもりです。

私が卒業研究から大学院時代を過ぎた数理生物学の研究室は国内にごくわずかしかなく、言わば外様研究者として、さまざまな職を渡り歩いてきました。学問分野も、生態学、水産学、環境リスク学と変わってきました。ですから、生態リスクを扱う現在も、化学物質だけでなく、漁業や開発による生物へのリスクを統一的に評価する方法を考えています。

化学物質の生態リスクについては、果たして土地開発や、漁業の乱獲、外来種の侵入などに比べて、どこまで深刻な問題か、私自身よくわからないところがあります。漁業では個体数を半減させることは持続可能な漁業にとってむしろ奨励されてきた歴史があります。水産資源の生存率を3分の1に減らす程度に留めようなどという指針もあるのに対し、化学物質では1割の個体に生殖異常が出たら規制対象にする場合があると聞いたときは、これらを統一したリスク概念で科学的に説明できるのか、心もとなく感じました。

他方、トリブチルスズが巻貝類に与えた影響は甚大でした。明らかに、生態リスクを考えるべき対象はあります。典型的な事実から出発すれば、合理的な解を見出すことができ、生態リスクについての考え方を整理できるはずです。

絶滅危惧種の判定法でも、国際基準ではミナミマグロがシロナガスクジラより深刻と判定されるなど、不合理な面が多々あります。これは予防原則の誤用の産物だと思います。しかし、リスクが必ずしも実証されない前提（外挿など）を用いて評価される場合があるならば、それは予防原則と



横浜国立大学大学院環境情報研究院
教授 松田 裕之

同じ理念に基づくはずで。予防原則についても、考え方の整理を進めてきました。

現在、最も注目しているのは順応的管理という考え方です。不確実なものを単に安全側に見るのではなく、管理を実施する中でその前提を検証し、不必要な前提を改めていくことが重要です。予防原則は過剰な対応を将来見直すことに意義があるのです。化学物質のリスク管理にも、この順応的管理の考え方を導入したいと考えています。

【略歴】

- ・1985年 京都大学大学院理学研究科後期博士課程卒業（理学博士）
- ・1986年 日本医科大学助手
- ・1990年 農林水産省中央水産研究所主任研究官
- ・1993年 九州大学大学院理学部生物学教室助教授
- ・1996年 東京大学海洋研究所助教授
- ・2003年 横浜国立大学大学院環境情報研究院教授

ホームページアドレス:

<http://risk.kan.ynu.ac.jp/matsuda/>

新研究員紹介



水圏環境評価チーム
外来研究員 永井 孝志

筑波大学大学院生命環境科学研究科にて水中の重金属の存在形態が藻類の増殖に与える影響についての研究で学位を取得しました。現在、筑波大学にて日本学術振興会(JSPS)特別研究員として研究を続ける傍ら、CRMでは水圏環境評価チームの一員として、重金属の存在形態を考慮したリスク評価の手法開発に取り組みたいと考えています。CRMにおいて自分の研究の幅を広げつつ、また自分の専門知識を生かしてリスク評価に貢献できればと思います。



詳細リスク評価書： トリブチルスズ (TBT)

堀口 文男

はじめに

トリブチルスズ(TBT)は、生物に対する防汚効果とその持続期間、製造の簡易さから、船底への生物付着防汚物質として船底塗料に利用されていた。しかし、船底に付着する生物以外の海洋生物にも有害な影響を及ぼしていることが次第に明らかとなり、世界各国において諸規制が施行された。それ以後、TBTの環境水中濃度は低下してきているが、環境水中のTBT濃度の低下が、はたして海洋生物を保護するに十分なレベルにまでリスクを低減しているのかどうかは、明らかにされていない。本研究では、東京湾におけるTBTの排出と挙動を数値モデルで再現し、モデル計算より算出された底層での溶存態TBT濃度を用いてマガキとアサリに対するリスクを評価した(図1)。

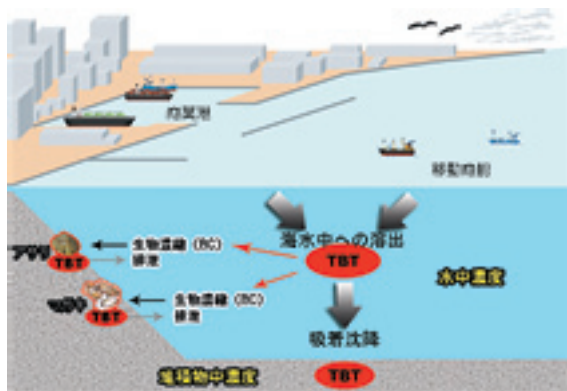


図1. TBTの東京湾への排出と挙動

TBT排出源の推定

TBTの使用形態や排出源を推定するにあたり、TBTを含む有機スズ化合物全般の物性と用途も考慮に入れて網羅的に排出源とその寄与を調査して東京湾でのTBT排出源の検討を行った。既往文献から整理したTBTの排出源としては、1)移動商船と商業港、2)漁港とマリーナ、3)ドックと造船所、4)火力・原子力発電所等の冷却施設、5)養殖場と定置網、6)不特定多数のTBT取り扱い施設、7)港湾内の底泥(二次汚染源)が挙げられる。

これらの排出源から、移動商船の航路と入港・停泊する場所で、船底塗料の影響が大きいと考えられる商業港を選択し、数値モデルに組み込み、1)日本有数の海上交通の過密海域であり、商船の入港隻数が多いことから負荷が高いと推定され、2)商船の航路を特定でき、3)数値モデルで定量的かつ時系列的な評価を実施する上で不可欠な統計データの入手が可能であることから「東京湾」を対象海域とし、TBTのリスク評価を実施した。

環境水中濃度分布の推定

1970年代にTBTの使用が急激に増加して以来、TBTはマリーナや造船所、ドック、航路、防汚剤が含まれる塗料で処理された漁網や養殖施設、冷却水システムなどの周辺の海水、堆積物、生体から検出されている。しかし、各国における諸規制の効果を反映して、TBTの環境中及び生体中濃度は減少傾向にあることがモニタリング調査により確認されている。

TBTの環境中濃度の推計は、CRMで開発した化学物質運命予測モデルを使用した。このモデルは、流動場と懸濁物質の分布を利用し、TBT濃度を計算できる。汚染源は移動商船の航路および入港・停泊する場所であり、船底からの溶出量は規制以前の1990年を想定した。

有害性評価

環境中の生物に対する化学物質のリスクは個体群または生態系の存続を評価エンドポイントと考えるべきであるが、評価対象海域に生息しているTBTに敏感である生物種を選定して生態リスク評価とした。また商品価値の高い水産生物種の生物量の維持を評価エンドポイントに設定してリスク評価を行った。

対象生物は対象海域に生息してTBTに最も感受性が高く生物種として重要なマガキと対象海域の主要な漁業資源であるアサリを選定した。

評価のエンドポイントは、マガキが石灰沈着異常、アサリが成長阻害とした。アサリについては、慢性毒性試験の報告例はないので、近似種の慢性毒性データを考慮した。また、毒性試験値についてはKlimisch *et al.*¹⁾に従ってデータの信頼性についても評価した。

評価に用いる無影響濃度(NOEC)は、それぞれの最低影響濃度(LOEC)の文献値である①マガキ:2 ng TBTF/L、②アサリ:10 ng TBTO/Lから、ビノスガイでのLOEC/ NOEC比を基に推定した(表1)。推定されたNOECは、それぞれTBT基として1.0 ng/L、4.1 ng/Lであった。

表1. 評価エンドポイントの設定に採用した毒性データの信頼性

生物種	マガキ <i>Crassostrea gigas</i>	アサリ (ホンビノスガイ) <i>Mercentaria mercenaria</i>
試験物質	TBTF	TBTO
エンドポイント	石灰沈着異常	成長阻害
LOEC (文献値)	2 ng TBTF/L ²⁾	10 ng TBTO/L ³⁾
NOEC (TBT基)	1.0 ng/L	4.1 ng/L
信頼性評価	2	2

TBTF: フッ化トリブチルスズ (Tri-butyl tin Fluoride)

TBTO: ビス(トリブチルスズ)=オキシド(Tri-butyl tin oxide)

リスク評価

対象生物に対するTBTのリスクは、無影響濃度(NOEC)/推定環境中濃度(EEC)で定義される暴露マージン法(MOE法)で評価した。MOE値が不確実性係数(UF; Uncertainty Factor)より大きければリスクなし、UF以下であればリスクありと評価される。

$$MOE = \frac{NOEC}{EEC} \begin{cases} > UF \cdots \text{Risk なし} \\ \leq UF \cdots \text{Risk あり} \end{cases}$$

リスクは、MOE法で得られた値とUFとを比較して評価する。ここではマガキ、アサリ(近似種)のNOECを用いてMOEを算出しているので、共にUF=1とした。

1990年(規制前)のアサリのMOE値については、荒川河口付近のMOEが最も小さく、年間を通じて1以下となった(図2)。マガキのMOE値の変動はアサリと同様の傾向がみられるが、年間を通じて1以下であるため、生息域全域で石灰沈着異常になる可能性が考えられる。

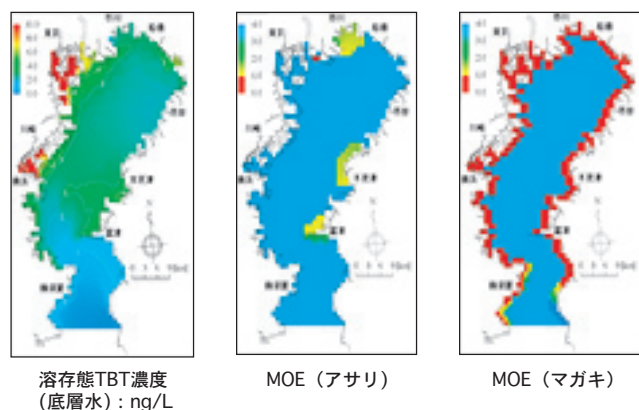


図2. アサリとマガキに対するリスク評価(1990年平均)
(MOE値が1以下であればリスクあり)

2007年のアサリのMOE値は1より大きくなり、成長阻害を起こす可能性は低いと予測される(図3)。またマガキも1以下のMOE値は認められず、石灰沈着異常を起こす可能性はなくなるであろうと予測される。

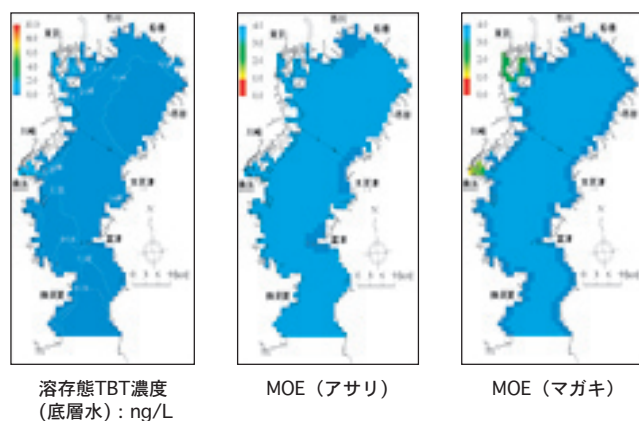


図3. アサリとマガキに対するリスク評価(2007年平均)
(MOE値が1以下であればリスクあり)

◆リスク管理と対策費用推計

各国のリスク管理対策は、フランスと米国が船長25 m未満の船舶へのTBT塗料の適用を規制し(フランス:禁止、米国:溶出速度を4 $\mu\text{g}/\text{cm}^2/\text{day}$ 未満に設定)、英国が水質安全基準値(2 ng/L)の設定と小型船での使用を禁止した。ヨーロッパ、アジア諸国でTBTの規制が実施され、近年では環境水中のTBT濃度は低下した。我が国でも1992年からのTBTの自主規制により排出の削減を実施している。国際海事機関(International Maritime Organization)のTBT規制の条約が発効すると2008年以降TBTの使用は禁止されることから、環境水中のTBT濃度がさらに低下すると期待され、リスク管理対策に有効であると考えられる。

TBT塗料の使用禁止を想定したコスト解析の事例には船底塗料を使用しないケースを対象とした非現実的な報告や、

非スズ(Tin Free)船底塗料(TF塗料)には加水分解型と水和型があるにもかかわらず、その種類が明確になっていない報告がある。Damodaran *et al.*⁴⁾により報告されているこれらを明確にした事例を参考にして2004年時点のTF塗料の動向について、海運関係と大型船舶に使用するTF塗料を製造している塗料会社に対してヒアリング調査を実施し、対策費用の推計を行った。

ヒアリング調査からコストの増加は塗料代のみと考えられる。TBT塗料と加水分解型TF塗料の価格差について試算したところ、TF塗料が、1 m^2 あたりの単価の価格差として約123～134円高くなっている。我が国の海運関係会社が管理している大型船舶(コンテナ船)についてみると1隻あたりの塗料代の差はTF塗料が150万円(幾何平均値)前後高くなり、日本で登録されているコンテナ船全体の1回(2.5年)の船底塗料費は、TF塗料がTBT塗料より約3億円(208隻×150万円)、1年で約1.25億円高くなる結果となった。

◆まとめ

本リスク評価は、既往文献に報告されているTBTの暴露レベルと生物への影響を要約した。また、環境水中におけるTBT濃度を予測するモデル開発について述べるとともに、既往文献と現地調査から取得したデータを用いて、開発したモデルの検証も行った。有害性評価ではマガキとアサリを対象生物に選定し、評価エンドポイントを決定した。リスク評価方法はEECとNOECの比をとるMOE法を採用し、UFと比較した。1990年は両種共にリスクのある結果となったが、2007年にはリスクはなくなると予測された。

TBT代替品については、各メーカーで現在開発中の塗料もあり、その有害影響に関し利用できる情報がほとんどないのが現状である。したがって、TBT代替品の機能と環境影響の評価を行い、代替品の毒性、生物蓄積性、代替品に交換した場合の経済的利害等、船底塗料が自然環境及び経済環境に及ぼす効果についての検討が今後の課題である。

<参考文献>

- 1) Klimisch HJ, Andreae M, Tillmann U (1997). A systematic approach for evaluating the quality of experimental toxicological and ecotoxicological data. *Regulatory Toxicology and Pharmacology* 25: 1-5.
- 2) Chagot D, Alzieu C, Sanjuan J, Grizel H (1990). Sublethal and histopathological effects of trace levels of tributyltin fluoride on adult oysters *Crassostrea gigas*. *Aquatic Living Resources* 3 : 121-130.
- 3) Laughlin RB Jr, Gustafson R, Pendoley P (1988). Chronic embryo-larval toxicity of tributyltin (TBT) to the hard shell clam *Mercenaria mercenaria*. *Marine Ecology-Progress Series* 48: 29-36.
- 4) Damodaran N, Toll J, Pendleton M, Mulligan C, DeForest D, Kluck M, Felmy J. (1998). Cost- benefit analysis of TBT self-polishing copolymer paints and tin-free alternatives for use on deep-sea vessels. Princeton Economic Research, Inc. & Parametrix, Inc. USA.

* 「詳細リスク評価書シリーズ8トリブチルスズ」は、丸善株式会社から出版されています。また、概要版をCRMのホームページで公開しています。
<http://unit.aist.go.jp/crm/>

* TBT詳細リスク評価書は、(独)新エネルギー・産業技術総合開発機構からの受託研究「化学物質総合管理プログラム・化学物質リスク評価及びリスク評価手法の開発プロジェクト」と産総研独自の研究資金で行われてきた研究の成果です。

Information

お知らせ

◆学会発表(2006年8月～10月)

■国際暴露解析学会／国際環境疫学学会

フランス、パリ、9月2～6日

International Society of Exposure Analysis/
International Society of Environmental Epidemiology
September 2-6, Paris, France

篠原直秀、片岡敏行、高峰浩一、中村利美、本橋勝紀、西島宏和、佛願道男、蒲生昌志：Measurement of indoor-outdoor and inter-room air exchange rates and concentrations of VOCs and carbonyl compounds for risk assessment
小野恭子、岩田光夫：The exposure assessment and the risk assessment of para-dichlorobenzene for Japanese general population

■第16回日本数理生物学会大会

九州大学、9月16～18日

Japanese-Korean Joint Meeting for Mathematical Biology

加茂将史：A population level ecological risk assessment

■環境毒性化学会 2006年アジア/太平洋会議

北京大学、9月18～20日

SETAC Asia/Pacific 2006
September 18-20, Peking University, China

中西準子：招待講演（タイトル未定）

林 彬勲：Population-level ecological risk assessment in the context of chemical substances management

牧野良次、吉田喜久雄：Comparison of human health risks from exposure to toluene and xylenes in Japan with "quality adjusted life-years (QALYs)"

小林憲弘、吉田喜久雄：Risk assessment of lead for Japanese infants and children based on blood-lead concentrations

東野晴行、吉門 洋、米澤義堯、中西準子：Exposure and risk assessment of hazardous air pollutants in Japan

石川百合子、東海明宏、川口智哉、白浜光央：Watershed model for chemical risk assessment in Japan

孟 耀斌、林 彬勲：Investigation on an approximation of concentration-response relationship from usual ecotoxicity data for population-level ecological risk assessment

■第47回大気環境学会年会

東京、9月20～22日

梶原秀夫、高井淳、吉門洋：MET-LISモデルと実測濃度値を用いた高濃度観測地点周辺における発生源逆解析

篠崎裕哉、東野晴行：地理情報システム（GIS）を用いた沿道人口分布の推定

井上和也、東野晴行、吉門洋、安田龍介：NOxとVOCに対するオゾン感受性指標についての3次元数値シミュレーションによる検討

小野恭子、蒲生吉弘、豊田照子：大気拡散モデルを用いた大気中6価クロム濃度の推定および実測値との比較

恒見清孝、和田英樹：アンチモンの大気排出量の推定

川本朱美、恒見清孝：大気中金属成分濃度の解析によるニッケルの発生源寄与推定

岸本充生：VOC排出削減対策のリスク削減効果と費用の推計

篠原直秀：室内における発生源からの化学物質の放散挙動とその測定法

■第9回海洋環境モデリング・セミナー

ブラジル、リオデジャネイロ、10月9～11日

The 9th International Marine Environmental Modelling Seminar
October 9 - 11, Rio de Janeiro, Brazil

堀口文男、伊東永徳、大川健、市川哲也、江里口知己、中田喜三郎：Ecological risk assessment of copper pyriithione (CuPT) in Tokyo Bay

堀口文男、中田喜三郎、桃井幹夫、江里口知己、大川健：Development of an ecological risk assessment model for Seto-Inland Sea of Japan

Editor's Comment 〈編集後記〉

CRMの第二期中期目標の課題のひとつに「新規技術体系のリスク評価・管理の枠組み」の確立があります。ニュースレター第16号では、特集として「工業ナノ材料のリスク評価」を取り上げました。ナノテクノロジーは様々な分野への適用が期待され、既に製品化されている適用もある有望な新技術です。技術開発の過程でリスクが見逃され健康被害をもたらす、また、時には誤ったリスク評価によって有益な技術が葬り去られたといったこれまでの失敗を繰り返さないために、CRMの新たな挑戦が始まりました。

* 禁無断転載複写：ニュースレター掲載記事の複写、転載、磁気媒体等の入力等は、発行者の承諾なしには出来ません。
* この印刷物は、環境にやさしい紙とインクを使用しています。

お問い合わせ・連絡先



独立行政法人産業技術総合研究所 化学物質リスク管理研究センター

〒305-8569 つくば市小野川16-1
Phone 029-861-8257 FAX 029-861-8934
E-mail: crm-webmaster@m.aist.go.jp URL: <http://unit.aist.go.jp/crm/>

2006年7月20日発行 第16号
発行者：独立行政法人産業技術総合研究所
化学物質リスク管理研究センター
企画・編集：有限会社 イカルス・ジャパン 武居綾子
プリント・デザイン 株式会社デジタル印刷