

# ナノテクノロジーの社会的影響に 関する問題の構造化

## STRUCTURING SOCIAL IMPLICATIONS OF NANOTECHNOLOGIES

中川 善典<sup>1</sup>

<sup>1</sup>博士 (工学) 東京大学大学院工学系研究科 社会基盤学専攻 (〒113-8656 東京都文京区本郷7-3-1)  
E-mail: nakagawa-y@civil.t.u-tokyo.ac.jp

ナノテクノロジーは社会に極めて大きな便益をもたらすことが期待されている反面、負の社会的影響が生じることも懸念されている。本論文はまず、ナノテクノロジーがいかなる性質を持った問題であるのかを明らかにすると同時に、これまで行われてきたナノテクノロジーの問題分析の仕方ではこの複雑な問題を十分に扱うことが難しいことを指摘する。そして、この問題を分析するための新たな手法を提示するとともに、それを実際に適用し、手法のフィージビリティを確認する。この手法は、問題の認識の異なる人々の間で議論を行う際の共通の土台となる可能性がある。

キーワード：ナノテクノロジー、問題構造化

### 1. はじめに

#### 1.1 ナノテクノロジー研究・開発の国際的な動向

近年、わが国を含む世界各国において、ナノテクノロジーの研究開発が国を挙げて強力に進められている。「ナノテクノロジー」の「ナノ」は「ナノメートル」の略であり、 $1\text{nm} = 10^{-9}\text{m}$ である。すなわち、ナノテクノロジーは $10^{-9}\text{m}$ のサイズのオーダーで原子・分子を制御し、物質に新しい機能を発現させることに関連した技術である。各国の詳しい動向は鈴木他(2006)<sup>1)</sup>に譲るが、世界の中で最も研究開発が盛んなのが米国、日本、EUである。米国では2000年にNational Nanotechnology Initiativeが設立され、国家プロジェクトとしてナノテクノロジーの開発に乗り出した。日本においては「ナノテク・材料」分野が2001年に、総合科学技術会議の「第二期科学技術基本計画」の重要四分野の一つに位置づけられた。EUでは2002年に発表された“EU 6th Framework Programme: 2002-2006”において、ナノテクノロジーが重要な位置を占めている。

このように各国・地域でナノテクノロジーが重視されていることは、この技術が社会の様々な面において極めて大きい利益をもたらすことが期待されていることを示唆する。「私の見解では、ナノテクノロジーの並外れた社会経済的な可能性がある中で、ナノテクノロジーの科学的・技術的進歩を止めることは非道徳的な

ことであろう」(Pillip<sup>2)</sup>, cited in Rip<sup>3)</sup>)という見解があるほどである。

しかし、こうした期待がある反面、様々な社会的な負の影響も懸念されている。ナノテクノロジーは社会を革新的に変化させる可能性を持った技術であるから、社会に極めて大きな利益をもたらす期待がある反面、甚大な負の影響を与えることの不安も根強く存在するのである。

このような状況の中で、欧米においては、専門家たちによって、ナノテクノロジーの社会的影響とはどのようなものなのか、社会としてどのような行動をすればよいのか(例えば規制のあり方等)などに関する議論が徐々に行われ始めている(日本においてはこの種の議論は現在のところ皆無である)。

竹村<sup>4)</sup>によれば、まずアメリカにおいては、2000年に発足したNational Nanotechnology Initiativeの活動枠組みの一つとしてすでに、「社会、倫理、法整備および教育・訓練」という項目が挙げられていた。その他、社会的影響に関するワークショップが開催されるなどしている。

一方、ヨーロッパでは、EUにおいて2004年に、ヨーロッパのナノテクノロジー戦略に関する報告書がまとめられ<sup>5)</sup>、責任ある取り組みのための課題等が提示された。その中には、人材育成、消費者保護などが含まれる。また、イギリスにおいては、王立協会と英国工学

協会とが報告書をまとめ<sup>6)</sup>、規制、社会・倫理的問題、健康等への悪影響等の観点から 21 の勧告を行った。このほか、社会的影響に関する国際会議も多く開催されている。

## 1.2 本研究の目的

以上のように、ナノテクノロジーの研究・開発の進展に伴い、少なくとも欧米においては、その社会的影響に関する議論も進んできた。しかし、その議論には課題もあるように見受けられる。ナノテクノロジーの社会的影響は極めて多岐に渡っており、かつ複雑である。各論者は各々の視点から問題を論じるが、それらは局所的であることが多く、それらの全体像を把握することはかなり難しい。また、問題を大局的に論じようとする場合、それぞれの論者が設定する問題整理の枠組みが場当たりのことが多い。そこで、本研究では、ナノテクノロジーの社会的影響という問題について、様々な論者が持つ認識の総体を明らかにし、それを分析するための枠組みを提示することを目的とする。

## 1.3 論文の構成

第 2 章では、ナノテクノロジーの社会的影響に関する議論を実際に紹介し、既存の議論にどのような課題があるのかを具体的に見る。第 3 章では、その欠点を補うための問題構造化の手法を提案する。そして、第 4 章ではその手法をナノテクノロジーの問題に実際に適用し、その意義について考察する。第 5 章はまとめと今後の課題である。

## 2. ナノテクノロジーの社会的影響に関する既存研究とその問題点

ナノテクノロジーの社会的影響に関する考察には、学術論文、各国政府や NGO 等による報告などがあり、その数は徐々に増加してきている。その大まかな傾向をごく簡単に掴むために、学術論文データベース Web of Science において“nano-”を含む単語 (nano, nanotechnology, nanotube, nanorobot, …) と、“social または societal”との両方を含む論文の公表数がどのように推移して来たのかを調べてみた。その結果、1999 年以前は合計 10 件に過ぎなかったにも関わらず、2000 年には 10 件となり、2001 年から 2005 年まではそれぞれ順に 3, 7, 13, 21, 30 件と、急速に増加してきている (2000 年の件数が突出しているのは、その年に米国で National Nanotechnology Initiative が設立していることと関係がある可能性がある)。

このような学術論文には、次のようなタイプのものが含まれる (必ずしも包括的ではない。また以下は論文

の要素であり、一つの論文が複数の要素を持っていることもあり得る)。

- (a) ナノテクノロジーの社会的影響を特定の視点から分類し、それぞれのカテゴリーにどのような論点があるのかを概観する<sup>9)10)18)19)20)</sup>。
- (b) そのように分類した際の一つのグループに特化し、そのグループ内の
  - (b1) 論点にどのようなものがあるかを概観する<sup>8)16)</sup>。
  - (b2) 論点に関する論争を整理したり、対立の原因を分析したりする<sup>13)14)</sup>。
  - (b3) 論点に関する新たな知見 (特に毒性学的な) を得る。
  - (b4) 論点を考察するための思考 (特に倫理的な) の枠組みを提示する<sup>7)11)12)</sup>。
- (c) ナノテクノロジーに関するメディア・一般市民の反応やその変化要因を明らかにする<sup>15)17)</sup>。

なお (b3) のタイプの研究に関しては、ナノテクノロジーへの人体への影響に関する科学的な知見を明らかにした研究が、医学系・薬学系のジャーナルにおいて大量に発表されている。

これらの分類の中で、(a) は最も基本的である。すなわち、(a) における知見が (b) における個々の論点を考察するための分析枠組みを提供し得るからである。言い換えれば、ナノテクノロジーの社会的影響という捉えどころのないものを分析する「切り口」を提供し、その後の議論の進み方に影響を与える。また、(a) においてそのような知見を得ておかなければ、(c) のような研究においてもナノテクノロジーの「何」に関する一般市民等の反応を対象とするべきかが分からない。

このような意味で (a) のタイプの研究は極めて重要である。しかし、このタイプの既存の研究には大きな問題がある。それは、異なるレベルの概念が混在した分類となっているという点である。その結果、

- 網羅性のチェックや向上が困難である。
- 分類されたグループ間の関係性を把握することが困難である。
- 二点目の結果として、それらの全体像を把握することが困難である。

といった問題が発生してくることが考えられる。このことを具体的に説明する。例えば、(a) のタイプの典型例として、Mills et.al. (2005)<sup>10)</sup>は次のような分類を行っている。

- Medical issues
- Privacy issues
- Economic and international issues
- Legal issues
- Education

- Health and safety issues

また、もう一つの典型例として、Lewenstein(2005)<sup>9)</sup>は以下のような分類を行っている。

- Environmental issues
- Workforce issues
- Privacy issues
- Human enhancement
- Intellectual property issues

これらの分類の中には、「技術分野」(medical issues, ...), 「社会や個人にとっての価値」(Privacy issues, environmental issues, ...), 「将来採りうるオプション」(Legal issues, Education, ...) という、3種類の異なる概念が混在しているのである。すなわち、既存の研究においては、ナノテクノロジーの社会的影響を分析するための明確な軸、あるいは枠組みが存在しておらず、またそのような軸が必要であるという認識もなかったように見受けられる。

そこで本研究では、「技術分野」「社会や個人にとっての価値」という二つの軸を採用し、社会的影響を分析する枠組みを提案する。この場合、二つの軸を通じて社会的影響を把握し、それに基づいて「将来採りうるオプション」を考察するという形で、三つの概念が相互に関係することになる。

なお、既存研究において、社会的影響の適切な枠組みに基づく分析が意識的に進められてこなかった背景には、「領域横断性」(interdisciplinarity) というナノテクノロジー特有の事情があると思われる。ナノテクノロジーは、英語ではしばしば Nanotechnologies と表記される<sup>1)</sup>ことから分かる通り、多くの分野にまたがる様々な技術の総称である (Nanotechnology is by no means one single effort. Rather, it is a complex of countless different projects with a huge variety of goals.<sup>7)</sup>; Nanotechnology... is interdisciplinary involving chemistry, physics, biology, and engineering, and in recent times toxicology.<sup>21)</sup>).

従って、個々の専門家は自らの専門分野には精通しているとしても、個々の分野を横断的に把握し、全体像を把握することが非常に難しい。「ナノテクノロジー」という言葉の定義の曖昧さが「研究開発動向の把握、将来の技術革新の見通し、社会的影響評価の不透明さにつながっている」<sup>1)</sup>という指摘がなされているが、統一した明確な用語の定義の難しさも、ナノテクノロジーの領域横断性や全体像把握の困難性の端的な表れであろう。

### 3. 問題構造化手法の提案

本研究は、前章で述べたような背景を踏まえ、ナノテクノロジーの社会的影響に関する問題を分析する枠組みの提案を目的としているが、本章ではその核となるアイデアを述べる。

#### 3.1 既存手法のレビュー

本節では、問題構造化に関する既存研究をレビューする。まずは、公共政策の古典的な教科書である Dunn<sup>22)</sup>に基づき、問題構造化 (Problem Structuring) の概念について紹介する。

##### (1) 問題構造化

公共政策の扱う問題においては、同じ事実 (例えば犯罪や環境汚染や貧困をあらわす統計の数字が上昇しているという事実) がステークホルダー間でまったく違った形で解釈されるという事態がしばしば発生するため、「どうい問題を解決すればいいのか」に関する意見対立が生じる。そこで、政策分析の第一段階としての問題構造化が重要な役割を果たす。問題構造化とは、継続的に反復する政策探求の一局面であり、そして、そこにおいて分析者は、異なるステークホルダーが持つ、相対立する問題の諸定式化の間を行ったり来たりしながら探索するのである (Problem Structuring... is a continuously recurring phase of policy inquiry in which analysts search among competing problem formulations of different stakeholders<sup>22)</sup>)。なお、前章までで述べたように、ナノテクノロジーは様々な分野にまたがっており、またその社会的影響も極めて広範である。従って、専門家やステークホルダーによって、ナノテクノロジーの何が問題であるかについての認識が大きく異なることは容易に想像できる。ナノテクノロジーの社会的影響は、問題構造化が必要な問題の典型的な例である。

このように、一つの状況に対する認識の仕方が人により様々であるという状況を出発点として、問題の定式化を共有していくという考え方は、公共政策のみならず、組織の戦略立案においても重要視されており、ソフト・オペレーション・リサーチ (Soft OR) という分野において、様々な手法 (Problem Structuring Methods; PSMs) が提案されている<sup>23)</sup>。

なお、Soft OR の源流であるオペレーション・リサーチ (OR) は第二次世界大戦中に、いかに戦争を効果的に行うかを考える中で英米軍により開発された。イギリスでは Operational Research, アメリカでは Operations Research と呼ばれる。それが転じて、主に数学的なアプローチにより経営問題の意思決定を支援する分野となった。しかし、1960年代後半以降、この伝統的 OR

に解決できない問題が認識されるようになってきた。そのような問題の持つ特徴としては

- 人により達成したい目標が異なり、合意が形成されていない。
- 解決策を講じた結果に不確実性がある。
- 絶対的な解決策は存在しない。

などがある<sup>25)</sup>。そして、こうした問題に対処するべく生まれたのが **Soft OR** である。

## (2) 認知マップ

上記のように、問題構造化手法 (PSMs) は多く存在するが、その多くは人々の状況認知を可視化して認識の共有を促進することを目指している。そこで、本節では認知マップの手法を紹介する。この手法は問題構造化手法のいくつか、特に **SODA(Strategic Options Development and Analysis)**<sup>26)</sup>において重要な役割を果たしている。

認知マップ (Cognitive map) とは、人々がある状況に関して認識している事柄やそれらの間の因果関係を図示したものである。すなわち、認知マップとは言葉と矢印とからなるダイアグラムであり、アイディアや行為が因果関係によって互いに矢印によってリンクされている。そして、その矢印は「どのようにして一つのアイディアや行為が別のものを生じさせるか」を表している<sup>24)</sup>。そして、こうしたマッピングは次のような場合に有効であるとされている：

- 仕事や私生活において、有効な戦略を立てたい場合。
- 説得力ある議論を行いたい場合。
- 論理的なコミュニケーションをしたい場合。
- 対立を理解したりマネージメントしたりする場合。
- ある状況を、それが起こらなかったときと対比したほうが理解しやすい場合。

最後の5点目の項目は次のような意味であろう。何か物事を理解したいとき、それとは別の物事と対比して考えた方が理解が容易な場合がある。認知マップでは現実に起こっている現象の因果関係 (A) と同時に、現実には起こらなかった現象の因果関係 (B) も書き込むことが可能である。(B) までも図示することで、(A) の位置づけをよりよく理解することができる。

これは、4点目の項目とも通じる。異なる人が対立する因果関係を思い描いていた場合、それらを同時に認知マップに表現することで、両者の違いをより明確に認識することが可能になる。次章ではナノテクノロジーに関する認知マップが示されるが、そこにおいても互いに矛盾する因果関係を一枚のマップに表示することで、認識のギャップを明示化することが可能になる。

なお、認知マップの歴史は、イギリスの分析哲学者 Steven Toulmin(1948) の心理学論文 'Cognitive Maps in Mice and Men' や、心理学者 George Kelly が 1955

年に提唱した **Personal Construct Theory**<sup>27)</sup>にまで遡ることができる<sup>24)</sup>。

## 3.2 提案する手法

以上のレビューを踏まえ、本節では新たな問題構造化手法の基本的な考え方を紹介する。その基本的な考え方を図-1 に示した。中央の雲のような形のものが、ナノテクノロジーにより引き起こされる社会的な状況である。これについての認識の仕方は人により異なり、誰もその実態を明確に掴んではいない。従ってその輪郭は曖昧である。雲の比喩を用いた所以である。

そして、本研究ではこの曖昧なものに二つの軸（あるいは分析の枠組み）を導入し、それに沿った切断面を考えることで、その実態を把握しようとする。第一の軸はナノテクノロジーの技術的側面 (Technological aspects) であり、第二の軸は社会的価値の側面 (Social value aspects) である。前章で述べたように、ナノテクノロジーは様々な分野の技術の総称であるが、第一の軸は、ナノテクノロジーにより引き起こされる様々な社会的状況変化を、どの技術分野に対応した状況の変化かという観点から分類するための軸である。第二の軸は、様々な社会的状況変化を、どの社会的価値に関係した変化かという観点から分類するための軸である。

これらについてももう少し詳しく説明する。まず、技術的側面については

- ナノ材料技術 (nanomaterial technologies)
- 電子工学技術 (electronic technologies)
- 医療技術 (medical technologies)
- 環境技術 (environmental technologies)
- エネルギー技術 (energy processing technologies)
- 航空・宇宙技術 (aeronautical and aerospace technologies)

などの側面が挙げられる<sup>9)10)18)19)20)</sup>。また、社会的価値の側面については

- 国家安全保障 (national security)
- 治安 (social security)
- 健康 (human health)
- 国際的な正義 (global justice)
- 知的財産保護 (property right protection)
- 経済的利益 (economic benefit)
- 自然環境 (natural environment)
- 人間の諸能力向上 (Enhanced human performance)

などが挙げられる<sup>7)28)</sup>。ただし、現時点では限られた文献調査をもとに項目をリストアップしているに過ぎず、今後は両方の軸に関して網羅性を高めていく必要がある (本論文は包括性を目指すよりもむしろ、分析枠組みを提示することに主眼を置いている)。ただし、

第2章で紹介した既存の研究と異なり、分類の概念が明確であるため（どちらの軸もそれぞれ、同じレベルの概念のみが並列されている）、網羅性を高めることは比較的容易なはずである。

図-1において、水平方向の切断面を考える。これは、社会的価値の側面の中から特定のの一つを選ぶことを意味する（例えば「健康」だとする）。この切断面には、様々な技術的側面が現れる。これは、「健康」という社会的価値が、様々な技術的側面とかかわりを持っていることを意味する。従って、この切断面においては、ナノテクノロジーの各技術的側面が、どのようにして「健康」という価値に影響を与えるのかに関する因果関係を考えることが出来る。もちろん、その因果関係の認識の仕方は人によってことなるが、それを一枚の認知マップに表し、矛盾している箇所は矛盾していることを明示することで、どのような認識のばらつきがあるのかが表現される。

次に、この図において、水平方向の切断面を考える。これは、技術的側面の中から特定のの一つを選ぶことを意味する（例えば「医療技術」だとする）。この切断面には、様々な社会的価値の側面が現れる。従って、この切断面においては、「医療技術」が様々な社会的価値にどのように影響を与えるのかに関する因果関係を考えることができる。

なお、以上の因果関係に関しては、今後社会として採るべき行動（例えば規制のあり方）とその帰結に関する認識も、同時に表現することができる。

以上のようにして、二つの軸を用いてナノテクノロジーの社会的影響を捉えるという点が、本研究のアイディアの核心である。

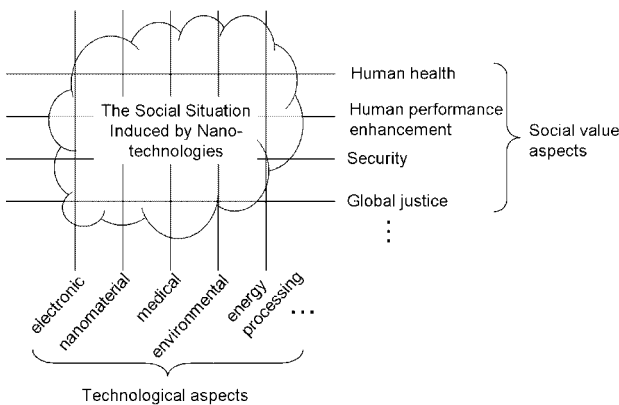


Fig. 1 問題の分析枠組の模式図

こうした二次元的な分析の最大の特徴は、双対性である（図-2）。すなわち、水平方向の切断面に現れる因果関係の認識を集めたものと、鉛直方向の切断面に現れる因果関係の認識を集めたものとは、理論的には全

く同じ情報量を持つという点である（理論的とは、双方の軸においてリストアップされた各側面に漏れが無ければという意味である）。

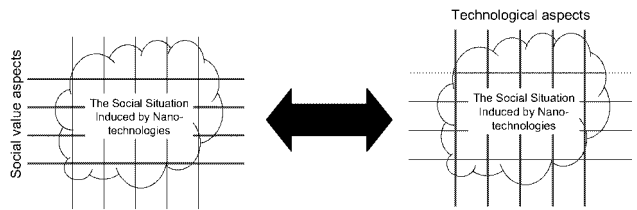


Fig. 2 双対性

このような双対性を導入することには、以下のようなメリットがある：

- 一方の観点から収集した情報（例えば社会的価値毎に収集した情報）を別の観点（技術的側面）に変換することができ、これにより情報の収集効率の向上が見込める。すなわち、社会的価値毎に状況を捉えようとする人もいれば（一般市民や社会科学的思考をする人はその傾向が強いかもしれない）、技術毎に状況を捉えようとする人（技術者はその傾向が強いかもしれない）もいるだろうが、本手法によれば、どちらのタイプにも対応した情報収集が可能になる。
- 上記の二つのタイプの人の間のコミュニケーションの媒体となることができる。
- 社会的価値の諸側面間の関係性を、共通の技術的側面を通じて理解することができる。また逆に、技術的諸側面間の関係性を、共通の社会的価値の側面を通じて理解することができる。これにより、ナノテクノロジーの社会的影響の全体像を把握することができる。

### 3.3 本手法の方法論的特色

本研究のように、認知マップを用いて問題構造化を行う手法は多い。例えば、本章（1）で触れた Soft OR の一手法である SODA はその典型である。ただし、SODA はあらゆる因果関係を一枚の図に表そうとするため、本手法のような形で構造化・整理された結果を出すことはできない。

一方、加藤他<sup>29)</sup>は広域交通政策に関する問題構造化を行うにあたり、関係アクター（地下鉄事業者、鉄道事業者、地方自治体、バス事業者、中央省庁道路行政担当部局など）にインタビュー調査を実施し、各アクターごとの認知マップを作成している。これは、対象としている状況に一つの軸を導入し、その軸のいろいろな側面における切断面を考えていると解釈することができ、本研究と通じる部分がある。しかし、ここに

においても、本研究が提示したような「双対性」という概念は扱われていない点に、違いがある。

#### 4. 提案手法のナノテクノロジーへの適用

本章では、前章で提案した分析枠組を実際にナノテクノロジーの問題に適用し、認知マップを作成する。次いで、これがナノテクノロジーの分野においてどのような意義を持ちうるのかを考察する。

##### 4.1 ナノテクノロジーへの適用

第2章の(a)~(c)で引用した文献等をもとに、各切断面について様々な論者が持っている因果関係を認知マップの形にまとめた。それらのうち主要な例を図-3から図-10に示す。このうち、水平方向の切断面(特定の社会的価値における切断面)が図-3から図-7であり、鉛直方向の切断面(特定の技術における切断面)が図-8から図-10である。

これらの図の見方は次の通りである。例えば、国際的な正義に関する切断面である図-7においては、様々な要素から“Benefits for developing countries”へと、またそこから“Eradication of third world poverty”へと矢印が向かっている。これは、ナノテクノロジーが様々な方向から発展途上国に利益をもたらし、それにより貧困が削減されるという認識を持っている人が存在することを意味する。逆に、“Reinforcement of global inequalities between rich and poor”に矢印が向かっている。これは、ナノテクノロジーが格差を逆に助長するという認識を持っている人が存在することを意味する。そして、相対立する認識があることを明示するため“In contrast to”と表示してある。このように、矢印の下流には、その切断面に関係した価値についての要素が現れる。

ここで着目すべきことは、矢印の上流側には複数の技術的側面が現れているという点である。例えば“Energy storage, production and conversion technologies”はエネルギー技術に、また“Better and cheaper disease diagnostics for people and crops”は医療技術に、また“Water purification technology”はナノ材料技術に属する。第3章(2)で、一つの社会的価値における切断面には、様々な技術的側面がどのようにその社会的価値に影響を及ぼすかについての因果関係が現れることを説明したが、そのことはこうして確かめられる。

なお、この図-7においては、矢印の下流にグレーで薄く表示されている要素がある(例えば“Environmental protection”)。これは、この要素が別の水平方向の切断面における話題であることを意味する。実際、図-3においては、この要素が現れている。すなわち、「自然環境」

という価値の側面と「国家安全保障」という価値の側面とは、“Water purification of industrial wastewater, exhausted gas, soils etc.”という技術的側面を媒体として、相互に関係し合っている。第3章(2)において双対性を導入することのメリットを列挙したが、そのうちの三点目(社会的価値の諸側面間の関係性を、共通の技術的側面を通じて理解することができる)は、このようにして確かめられる。

次に、鉛直方向の切断面の図の見方を、図-8を例として説明する。この図においては、ナノテクノロジーによる医療技術がいくつかの社会的価値(太線の四角で囲まれた要素)に影響を与える様子が示されている。ここにおいて着目すべきことは、この図の中に複数の社会的価値の側面が現れているという点である。一つの技術的側面における切断面には、様々な社会的価値の側面が現れることがこうして確かめられる。

また、この図に表れる複数の社会的価値は、医療技術という技術の側面を通じて互いに関連し合っていることも確かめられる。

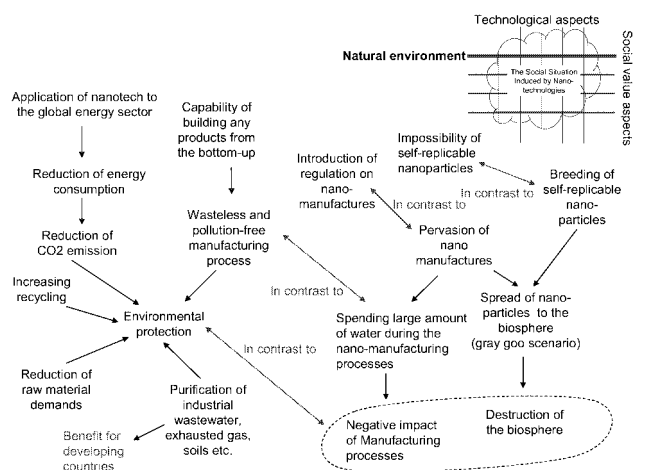


Fig. 3 自然環境

##### 4.2 補足

以上のようにして、本論文で提案した手法を実際にナノテクノロジーの社会的影響に関する問題に適用することができた。これにより、人々の認識の違いを表現することが可能になった。本節では、そのことに関してもう少し詳しい補足を行う。

第2章で述べたことと一部重複するが、ナノテクノロジーの社会的影響に関する人々の認識の違いとしては、少なくとも次の四点を挙げることができよう：

- (a) ナノテクノロジーの定義が人により異なる。
- (b) ナノテクノロジーの社会的影響を分類する方法が人により異なる。

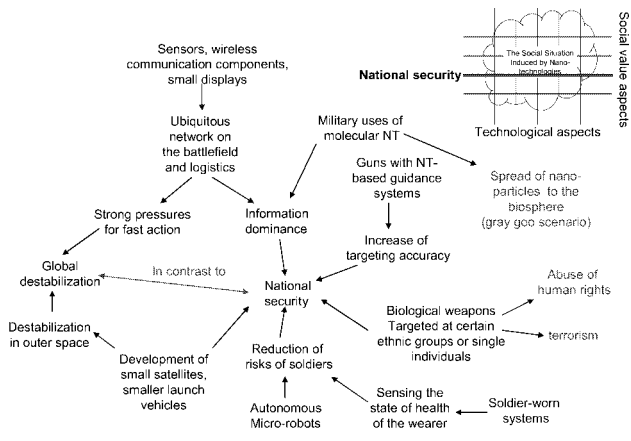


Fig. 4 国家安全保障

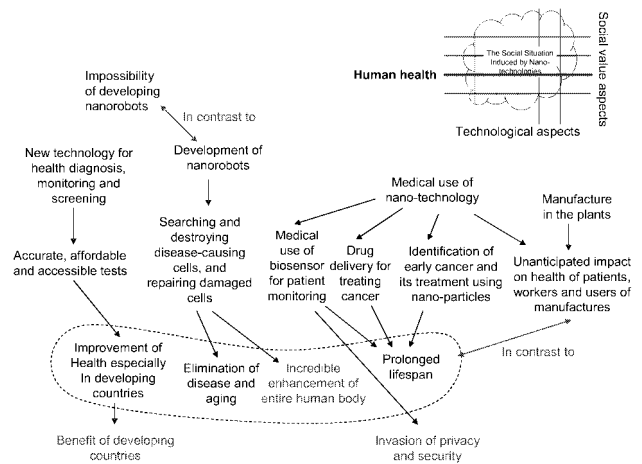


Fig. 6 健康

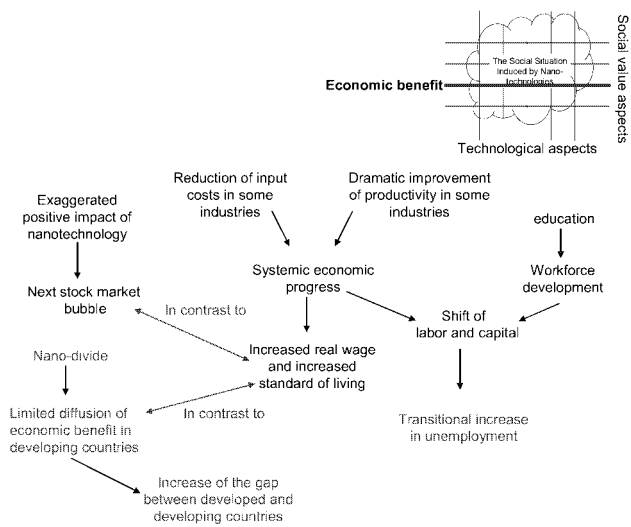


Fig. 5 経済的価値

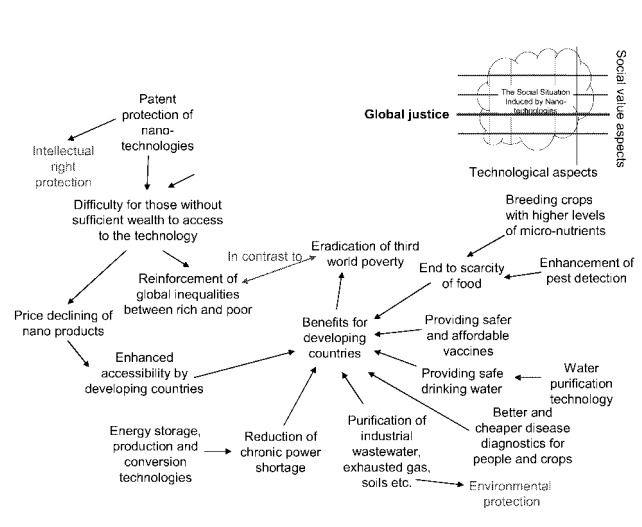


Fig. 7 国際的な正義

- (c) 将来に何が起こるかについての因果関係の認識が人により異なる。
- (d) 将来にどのようなオプションを採るかに関する選好が人によりことなる。
- これらの違いは、本研究で提案した分析枠組みにおいては以下のように解釈できる：
- (a<sup>0</sup>) 人により想定している技術的側面が異なる（認識している鉛直方向の切断面のセットが人により異なる）。
- (b<sup>0</sup>) 人により、どの水平方向の切断面を認識しているかが異なる。
- (c<sup>0</sup>) 人により各切断面における因果関係の認識が異なる。
- (d<sup>0</sup>) 人により、各切断面における因果関係の中に入るオプションが異なる。
- このようにして、様々な種類の認識の違いを、本研究で提案した分析枠組の中で表現することが可能になる。

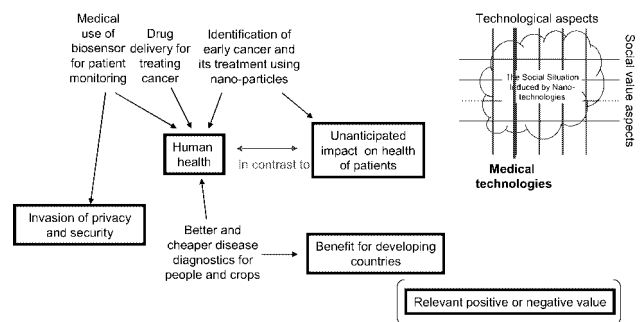


Fig. 8 医療技術

## 5. まとめと今後の課題

ナノテクノロジーの社会的影響には様々な要素があり、非常に複雑な問題である。本研究は、社会的影響に関する論文をレビューし、既存の枠組みではこの複雑な問題を十分に扱えないことを指摘し、「双対性」と

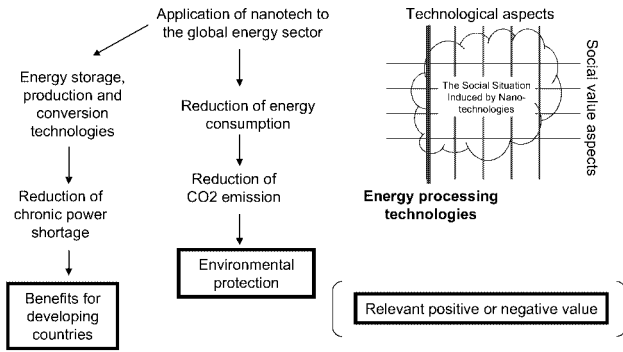


Fig. 9 エネルギー技術

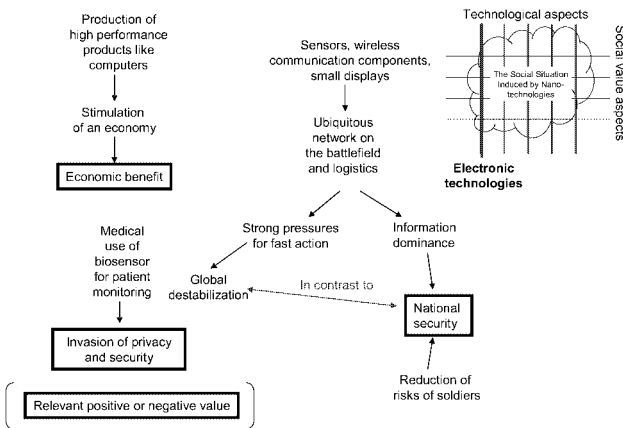


Fig. 10 電子工学技術

いう特徴を持つ新たな分析枠組みを提案した。そして、実際にその分析枠組みをナノテクノロジーの社会的影響という問題に適用し、手法のフィージビリティを確認した。

本手法は、人々の認識の違いを上手く表現できるという特徴を持っている。したがって、問題構造化の道具としてのみならず、リスクコミュニケーションの道具としても利用することが可能であろう。たとえば、複数の人たちが互いに異なったリスク認識を持っている場合、お互いがどういう位置にあるのかをこの手法をもとに確認しあうことが可能であろう。このように、異なる認識を持つ人たちの間で議論をする際の土台としての役割を、本手法に期待することができる。また、ナノテクノロジーに関する知識を持たない人への情報伝達の道具としても利用可能であろう。

今後の課題としては、第一に、二つの軸だけでは表現しきれない事象をどう扱うかを考察する必要がある。例えば、認知マップが時間とともに変化してゆく様子を表現することは、現在の方法では不可能である。本手法で扱った二軸以外にどのような軸が重要であるのかを考察する必要がある。

第二に、本研究はあくまでも問題構造化の枠組みを提案することを目的としているため、情報収集は文献調査のみに基づく限定的なものにならざるを得なかった。従って、今後はインタビュー調査を繰り返し、情報の包括性を向上させてゆくことが必要である。

第三に、本論文で提案した手法はあくまでも問題構造化のための手法であり、意見対立がある中で意思決定を行うことまでは、支援することができない。意思決定の問題をいかに扱うかは、今後に残された課題である。例えば、論文で示した諸切断面の間の優先順位を考えることが、その第一歩であるかもしれない。

謝辞： 本研究を行うにあたり、独立行政法人 物質・材料研究機構の竹村誠洋氏には情報のご提供等を通じて大変お世話になりました。また、電力中央研究所の鈴木達治郎氏、東京大学法学部の城山英明教授、物質・材料研究機構の兵頭知明氏、University of Twente (The Netherlands) の Arie Rip 教授、National Science Foundation (USA) の Mihail Roco 氏、Ministry of Economy, Trade and Industry (France) の Françoise Roure 氏には、本研究の内容について貴重なコメントを頂戴しました。これらの方々に心より感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 鈴木達治郎・松村哲夫・木村幸・上野貴弘：ナノテクノロジー研究開発と社会的影響評価-エネルギー分野における課題とわが国にとっての示唆-, 電力中央研究所報告, 2006.
- 2) Philip, J.B., US Under-Secretary of Commerce: 'Responsible nanotechnology development', in SwissRe workshop, Dec 2004.
- 3) Rip, A.: 'Addressing Societal Implications of Nanotechnology (in Europe)', 2nd International Dialogue on Responsible Research and Development of Nanotechnology in Tokyo, 27, 28 June 2006.
- 4) 竹村誠洋: ナノテクノロジーの社会的影響に関する欧米の取り組み, 化学生物総合管理 第1巻第1号, pp.57-73
- 5) European Commission: Towards a European Strategy for Nanotechnology, 2004.
- 6) Royal Society and Royal Academy of Engineering: Nanoscience and nanotechnologies: opportunities and uncertainties, 2004.
- 7) Gordijn, B.: Nanoethics: From utopian dreams and apocalyptic nightmares towards a more balanced view, Science and Engineering Ethics, Vol. 11(4), pp. 521-533, 2005.
- 8) Bürgi, B.R. and Pradeep, T.: Societal implications of nanoscience and nanotechnology in developing countries, Current Science, Vol.90(5), 2006.
- 9) Lewenstein, B.V.: What counts as a 'social and ethical issue' in nanotechnology, Hyle-International Journal for philosophy of Chemistry, Vol.11(1), pp.5-18, 2005.
- 10) Mills, K. and Fleddermann, C.: Getting the best from nanotechnology: approaching social and ethical implications openly and proactively, IEEE Technology and Society Magazine, Winter 2005, pp.12-26, 2005.



- 11) Preston, C.J.: The promise and threat of nanotechnology: Can environmental ethics guide us?, *Hyle-International Journal for philosophy of Chemistry*, Vol.11(1), pp.19-44, 2005.
- 12) Schiemann, G.: Nanotechnology and Nature: On Two Criteria for Understanding their Relationship, *Hyle-International Journal for philosophy of Chemistry*, Vol.11(1), pp.77-96, 2005.
- 13) Bueno, O.: The Drexler-Smalley Debated on Nanotechnology: Incommensurability at Work? , *Hyle-International Journal for philosophy of Chemistry*, Vol.10(2), pp.129-152, 2005.
- 14) Lopez, J.: Bridging the Gaps: Science Fiction in Nanotechnology , *Hyle-International Journal for philosophy of Chemistry*, Vol.10(2), pp.83-98, 2005.
- 15) Toumey, C.: Narratives for nanotech: anticipating public reactions to nanotechnology, *Techne: Research in Philosophy and Technology*, Vol.8(2), 2005.
- 16) Altmann, J.: Military use of nanotechnology: perspectives and concerns, *Security Dialogue*, Vol.35(1), pp.61-79, 2004.
- 17) Bainbridge, W.S.: Sociocultural meaning of nanotechnology: research methodologies, *Journal of nanoparticle research*, Vol.6, pp/.285-299, 2004.
- 18) Roco, MC.: Science and Technology Integration for Increased Human Potential and Societal Outcomes, *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1013, pp.1-16, 2004.
- 19) Weil, V.: Zeroing in on ethical issues in nanotechnology, *Proceedings of the IEEE*, Vol.91(11), pp.1976-1979, 2003.
- 20) Mnyusiwalla, A., Daar, A.S. and Singer, P.A.: 'Mind the gap: science and ethics in nanotechnology, *Nanotechnology*, Vol.14, pp.R9-R13, 2003.
- 21) Albrecht, M.A., Evans, C.W. and Raston, C.L.: Green chemistry and the health implications of nanoparticles, *Green Chemistry*, Vol.8, pp.417-432, 2006.
- 22) Dunn, W.N.: *Public Policy Analysis: An Introduction*, Third edition, Prentice Hall, 2003.
- 23) Rosenhead, J, and Mingers, J.(ed.): *Rational Analysis for a Problematic World Revisited*, Second edition, Wiley, 2001.
- 24) Bryson, J.M., Ackermann, F., Eden. C. and Finn, C.B.: *Visible Thinking: Unlocking causal mapping for practical business results*, Wiley, 2004.
- 25) Rosenhead, J.: *What's the Problem?—An Introduction to Problem Structuring Methods*, *Interfaces*, 26(6), 117-131, 1996.
- 26) Eden, C. and Ackermann, F.: *SODA—The Principles*, in Rosenhead, J, and Mingers, J.(ed.), *Rational Analysis for a Problematic World Revisited*, Second edition, Wiley, 2001.
- 27) Kelly, G.A.: *The Psychology of Personal Constructs*, New York, NY: Norton, 1955.
- 28) Arnall, A.H.: *Future Technologies, Today's Choices*, A report for the Greenoeace Environmental Trust, 2003.
- 29) 加藤浩徳・城山英明・中川善典: 広域交通政策における問題把握と課題抽出手法—関東圏交通政策を事例とした分析—, *社会技術論文集 Vol.3*, pp.214-230, 2005.

---

## STRUCTURING SOCIAL IMPLICATIONS OF NANOTECHNOLOGIES

Yoshinori NAKAGAWA<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Research Associate, Dr. Eng. The University of Tokyo

Nanotechnology is expected to have a big positive impact on society, but at the same time there are big concerns about its negative impacts. In the present paper, firstly I clarify the characteristic of the problem of social implications of nanotechnology, and at the same time I will imply that existing frameworks are not enough to successfully deal with this complex problem. Secondly, I will propose a new framework to analyse this problem. Then finally I will apply this new framework to the problem of nanotechnology, and show its feasibility. There is a possibility that it will serve as a common ground for discussion among people with different recognitions.

Key Words : Nanotechnology, Problem structuring