

戦略的創造研究推進事業（社会技術研究開発）
2020(令和2)年度採択 プロジェクト企画調査
終了報告書

科学技術の倫理的・法制度的・社会的課題（ELSI）への
包括的実践研究開発プログラム

プロジェクト企画調査

「システム・デザインの手法による科学技術の社会インパクト
の可視化と共創システムの開発」

Visualization of the social impacts of science and technology by using systems
design approach for building co-creation systems

企画調査期間

2020(令和2)年9月～2021(令和3)年3月

調査代表者／Principal Investigator

調 麻佐志

東京工業大学 リベラルアーツ研究教育院 教授

SHIRABE Masashi

Professor, ILA, Tokyo Institute of Technology

1. 企画調査の概要

■概要：

科学技術の社会インパクトは、科学技術と社会のインタフェースで生じる科学技術と社会の多様かつ複雑な相互作用の産物であり、科学技術と社会が相互に影響を及ぼし合う過程で生み出される。したがって、科学技術研究をすすめる上で、科学技術研究の開始時点・実践時点・公開時点、それぞれの段階において、社会インパクトを的確に評価・検証し、研究に対してフィードバックとインタラクションを図ることが重要である。本企画調査は、現代の科学技術のもつ、科学技術と社会の多様で複雑な関係の中で生まれる社会インパクトについて、システム・デザインの手法を援用して、科学技術研究の開始時点・実践時点・公開時点、それぞれの時点で、社会インパクトを的確に評価・検証し、適切なフィードバックを得ることを目指し、社会インパクトを可視化する手法の基本設計を行う。

■参画・協力機関：

東京工業大学・慶應義塾大学・自然科学研究機構

■キーワード：

科学技術の社会インパクト、システム・デザイン、共創システム

■Summary:

The social impacts of science and technology (hereafter, ST) are products of the diverse and complex interactions between ST and society. Furthermore, they are created in the process of mutual influence between ST and society. In order to advance ST research, it is important to evaluate and verify such social impacts at every stage of ST research, and to provide feedback and interaction for the research.

Therefore, in this research, in order to evaluate and verify the social impacts generated in the diverse and complex relationship between ST and society at each stage from the start of ST research to its results are implemented in society, we will design a basic method for visualizing the social impact by using systems design methods.

■Joint R&D Organizations:

Tokyo Institute of Technology; Keio University; National Institutes of Natural Sciences

■Key words:

social impacts of science and technology; systems design; system for co-creation

2. 企画調査の目標

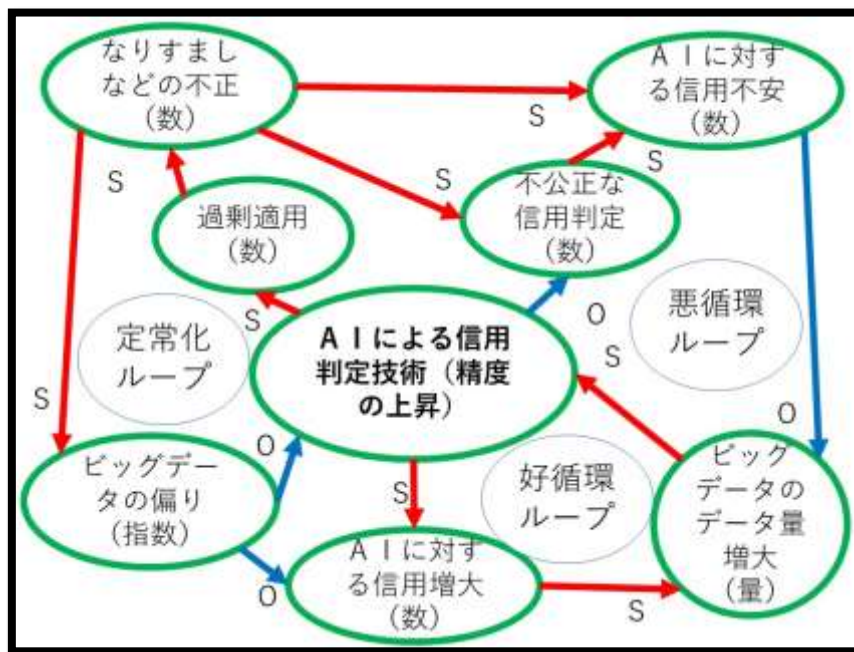
本企画調査は、複雑で多様な科学技術の社会インパクトを、システム・デザインの手法を用いてロジックモデルの形で可視化し、それにより複雑で多様なステイクホルダーが共創する方法について基本的な設計を行い、試行的な評価を実施した上で、その有用性や利用可能性等について確認を行うことを目標とする。将来的には、当該手法を活用して、研究の開始時点・途中時点・成果公開時点における社会インパクトを、これまで以上に的確に評価・検証可能になることを期待している。

3. 企画調査の内容と結果

3-1. 実施項目

■項目1：システム・デザインの手法の社会インパクトへの適用

システム・デザインの手法（因果ループ図、イネイブラー法・バリュー・グラフ法）を、社会インパクトの評価に適用する。その際、様式1で挙げた重点領域のうちから、2つのテーマを実際にこれらの手法を適用する。想定 の 2 領域は、ゲノム編集・遺伝子改変技術（バイオ）および AI・人工知能の 2 領域である。加えて当該の 2 領域は技術領域としては巨大なため、さらに絞り込む。ゲノム編集・遺伝子改変技術については、ゲノム編集を中心に遺伝子改変技術の魚類（食用）への応用を対象とした。また、AI・人工知能領域では、自然言語処理を当初分析の対象としたものの、絞り込みが不十分と判断されたため、その中でも機械翻訳に注目した。



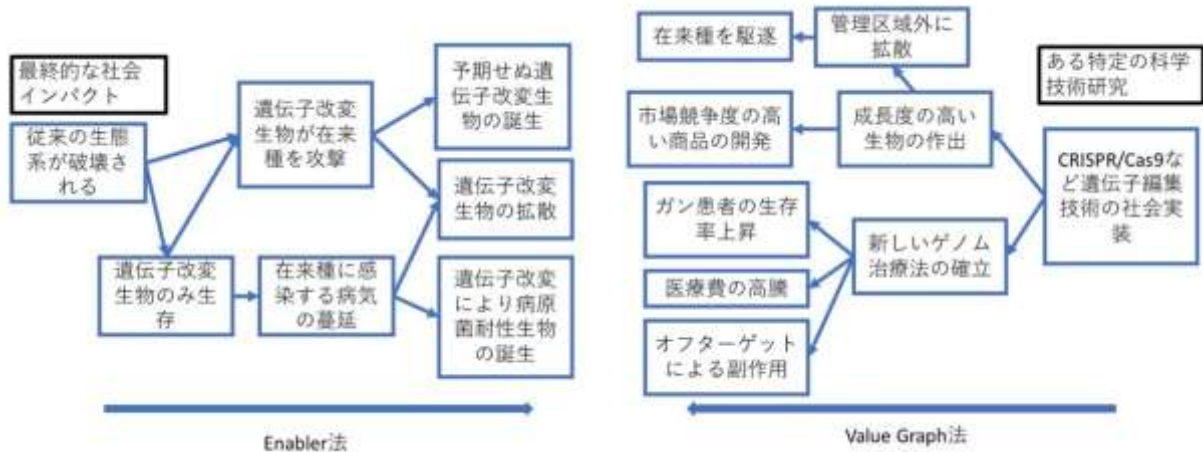
(1) 因果ループ図の適用 (AI・人工知能を例に)

因果ループ図を作成する。たとえば、この分野で基盤技術の一つとなりえる「AIによる信用判定技術の精度向上」が、どのような影響を及ぼすかについて、因果ループ図を作成していく（上図（説明用イメージ）参照）。因果をループでつないでいく過程で、好循環ループ、悪循環ループや定常化のループを見出すことができる。これらのループが、それぞれ、この技術が進展していった場合の、ポジティブ、または、ネガティブな社会インパクトになり得ると考えられる。因果ループ図を作成する際には、ウェブ情報を含む文献調査に加えて当該分野の専門家や当該分野に関するリスク研究やリスクコミュニケーション・対話の専門家・実践者に対してインタビューを実施し、その知見を参考とする。

(2) システム・デザインの手法による図的表現の展開(ゲノム編集・遺伝子改変技術を例に)

システム・デザインの手法を活用して、(1)で見いだされた項目間の関係や社会インパクトについて理解やコミュニケーションを促進する図的な表現を展開する。たとえば、(1)の

ように因果ループ図によって見出されたポジティブまたはネガティブな社会インパクトを最終的なゴールとしたイネイブラー法を適用し、それらのインパクトを成り立たせる要因について分析する。また、同時に、特定の基盤技術からスタートしたバリュー・グラフを活用し、対象の上位目的と想定される影響から将来像を予測する。イネイブラー法ならびにバリュー・グラフ法により、社会インパクトと基盤技術の双方からのロジックをつなげることができる(下図参照)。



■項目 2：社会インパクトの可視化を支援するデータセット（辞書）の作成

項目 1 で適用するシステム・デザインの手法の 2 つ（イネイブラー法、バリュー・グラフ法）は発想法の一種であり、その発想を支援するデータセット(辞書)を新聞記事に共語分析の手法を適用して作成し、そのデータセットの有用性を評価する。具体的には、特定の技術領域を指し示す言葉（たとえば、AI・人工知能）を含む記事に着目して、語や語の組み合わせについて特徴度を計算することで、当該技術領域に特徴的な語や語の組み合わせをリストアップする。このリストから手作業により発想支援データセットを抽出・作成する。

■項目 3：手法および作成した図的表現の評価

項目 1 で作成したロジックモデルを含む図的表現について、当該科学技術分野の研究者、さらには当該分野にかかるメタ科学の研究者・URA・科学コミュニケーターなどからヒアリングを実施して、その有用性や適用範囲、限界や特性などを検証するとともに、改善点を明らかにする。さらに、この検証を経て、手法を確立させ、科学技術研究の開始時点・途中時点・成果公開時点において、どのようなフィードバックが可能かについて、実践的な提案を行う。

3-2. 実施内容と結果

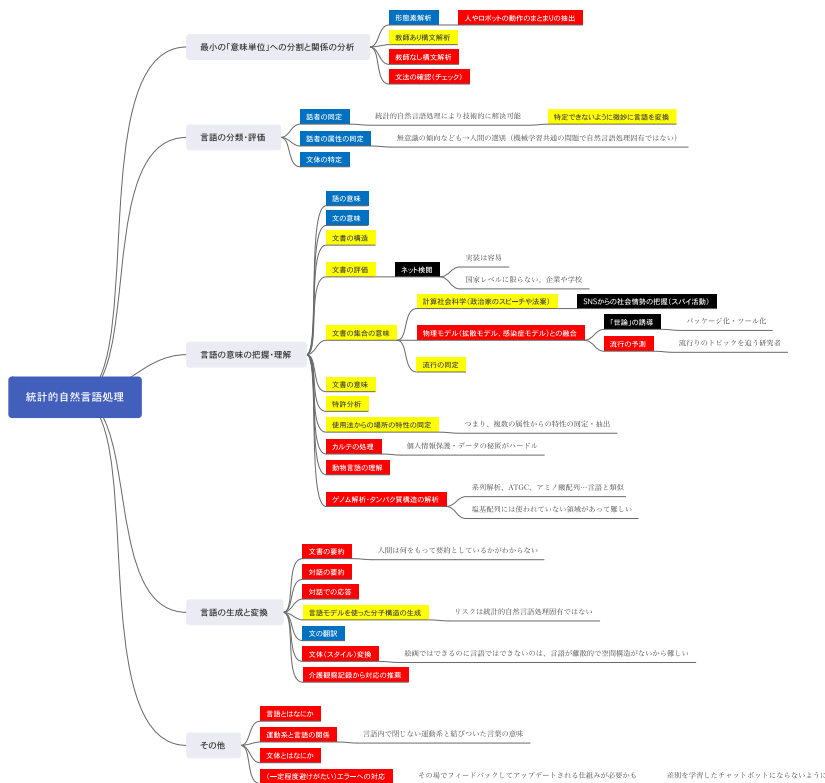
■項目 1：システム・デザインの手法の社会インパクトへの適用

AI とゲノム編集・遺伝子改変技術という 2 つの技術領域を例としてロジックモデル等を作成して社会インパクトの可視化を試みた。最初に、文献調査を経て、また専門家へのアクセシビリティを考慮するなどして、前者で統計的自然言語処理、後者ではゲノム編集を中心とする遺伝子改変技術の魚類への適用を対象とした。

(1) 因果ループ図の適用

<統計的自然言語処理>

文献調査および専門家からの聞き取りに基づいて当該技術の状況（とくに技術の適用状況）を可視化した（下図）。大別すると言語処理にかかる4つの領域とその他言語を離れた領域があり、その中での技術の具体的適用の状況が3つに色分けして（**実用化**／**研究フロンティア**／**将来の研究ターゲット**）表現されている。詳細は見ずとも図から明らかなように、統計的自然言語処理という括りにはあまりに多様な技術的適用があるため、全体を対象に因果ループ図等を作成しても、（一定程度具体性のある）社会インパクトを適切に把握することは困難である。そこで、技術の具体的適用として機械翻訳に着目して聞き取りを経て因果ループ図を作成した。因果ループ図によると、機械翻訳の「質向上」と企業のコスト削減圧力によって機械翻訳への発注が増えており、結果として、新人・中堅レベルの翻訳家の収入が減少し、翻訳家のなり手も減少し益々機械翻訳が増えるという**悪循環が発生**するなど、翻訳家のエコシステムが破壊されていること、それに加えて機械翻訳への発注増によりポストエディット業務が増えたことが新人・中堅翻訳家のスキルを蝕んでいることなどが可視化された。これらは重要な（負の）社会インパクトを示唆するものの、システム・デザインの手法によらずとも聞き取りを行えば容易に到達できる知見であり、現段階では、この領域の分析から特筆される成果は得られていない。

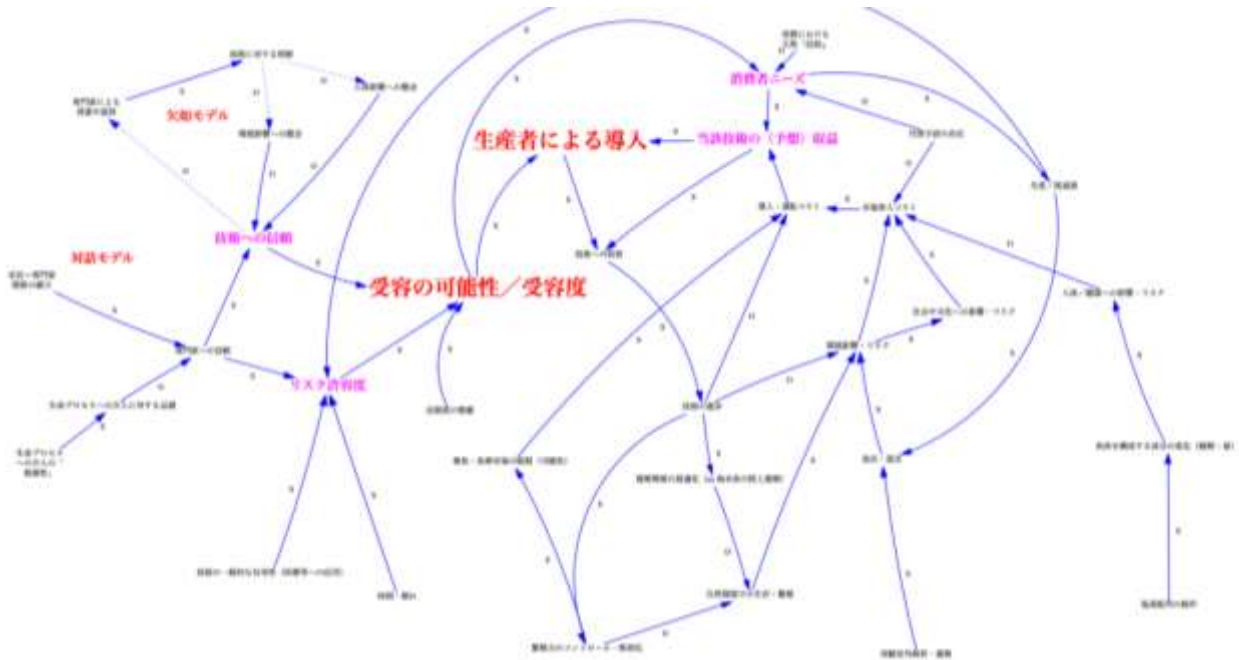


<遺伝子改変技術の魚類への適用>

統計的自然言語処理技術と並行してゲノム編集技術の社会インパクトを分析するにあたって、前者が対象とする領域の粒度が高すぎたためはじめ適切なループ図が作成できなかったことを省みて、当初から粒度が低くなるよう、ゲノム編集技術を中心に遺伝子改変技術の魚類への適用を分析対象とした。そこで、専門家からの聞き取りと文献調査を実施して、因果ループ図を作成した。

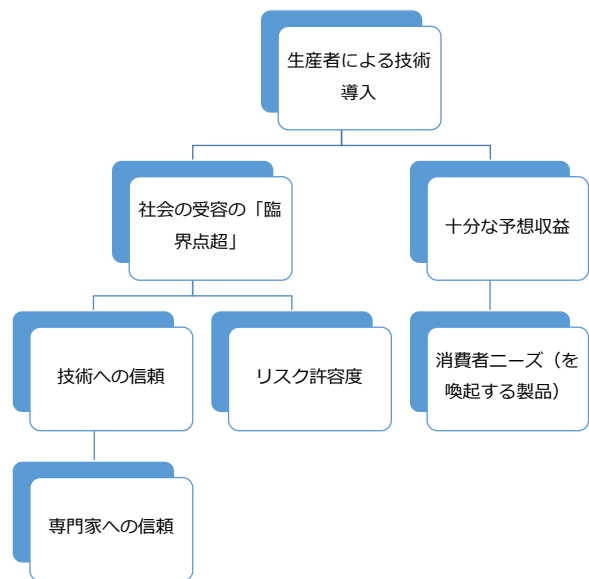
さらに、当該の因果ループ図を使用して、項目3の評価を兼ねてリスク研究者・科学コミュニケーターなどへの聞き取りを行い、以下のように因果ループ図を精緻化した。

消費者および生産者の動向に詳しい専門家などの知見とこの因果ループ図に基づいて現状を分析すると、(1) ゲノム編集技術の社会的受容度が一定程度になれば、「生産者による技術導入→技術投資→技術進歩→コスト低減→収益工場→技術導入」などの「好循環」が発生し魚類への導入が一気に進み得ること、(2) 技術の専門家は市民の知識が不十分なため技術への信頼が低く、そのため技術が受容されないと現状を評価していること、(3) 市民（消費者）と生産者は、遺伝子組み換え食品とは比べ物にならない程にゲノム編集技術に対する忌避感が低く、その一因は医療への応用可能性への高評価にあること、が予想された。



(2) システム・デザインの手法による図的表現の展開

前項のゲノム編集魚類に関する因果ループ図では①異なるフェーズの要素や関係、および異なる観点(関心)に従って対象となった要素や関係が同居していること、加えて、聞き取りにより、②技術の専門家とメタ科学の研究者が把握する市民像がずれていることが明らかになった。後者については、技術の受容に否定的な市民に対して「欠如モデル」で対応しようとする技術の専門家という構図が通例であるのに対して、本事例では専門家は変わらず「欠如モデル」ながら市民は技術の受容にさほど否定的でないという「ボタンの掛け違い」が見られる。この状況を端的に表す図として、調査計画でも述べたイネイブラー法を適用して社会インパクト(この場合は技術の生産者による導入からの展開)を成り立たせる要因を明らかにしたのが右図である。当該技術にかかるメタ科学の専門家が観測した市民の意識が一般的であるならば、現状で魚類を含むゲノム食品の展開と障害となっているのは、リスク問題ではなくむしろ強くニーズを喚起する製品・生產品の不在によると考えられ、それを含む状況を図は的確に示している。



さらに技術の専門家が意識する技術受容にかかる状況を明確にするためにシステム・デザインの手法を援用して価値連鎖を可視化した(右下図)。図から明らかなように、優劣の問題ではないにせよ、技術受容にかかる文脈の中で技術を受容した市民も(受容するだけにとどまらず)価値連鎖の中でハブとなり積極的な役割を果たしていることが確認される。

■項目 2：社会インパクトの可視化を支援するデータセット(辞書)の作成

可視化に関する専門家インタビューや評価(すなわち項目 1, 3)を優先したために、本項目については年度末に集中して分析をすすめる。現報告書執筆時点では、特定の技術領域を指し示す言葉(たとえば、AI・人工知能)を含む記事のサンプルをまずは対象にして予備的な分析を行っているが、関連技術のメタ科学の研究者や URA がリスク予測や対話のために練り上げてきた項目や観点のリストに匹敵し得るものは生み出されていない。

■項目 3：手法及び作成した図的表現の評価

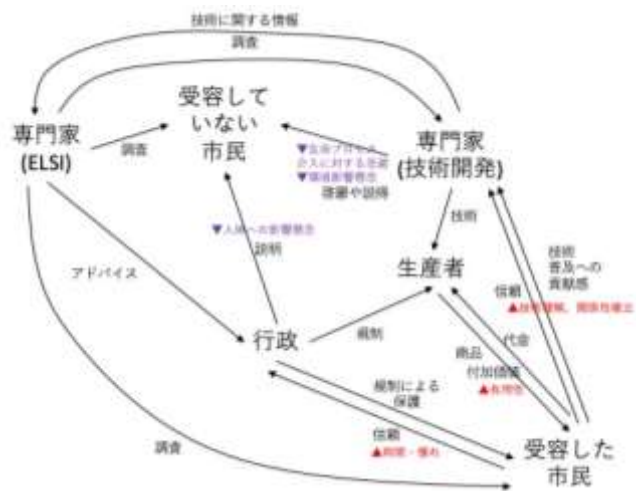
図的表現の作成プロセスにおいて経験的に、またインタビューを通じて、手法及び図的表現に関して以下の特性・課題等が明らかになった。

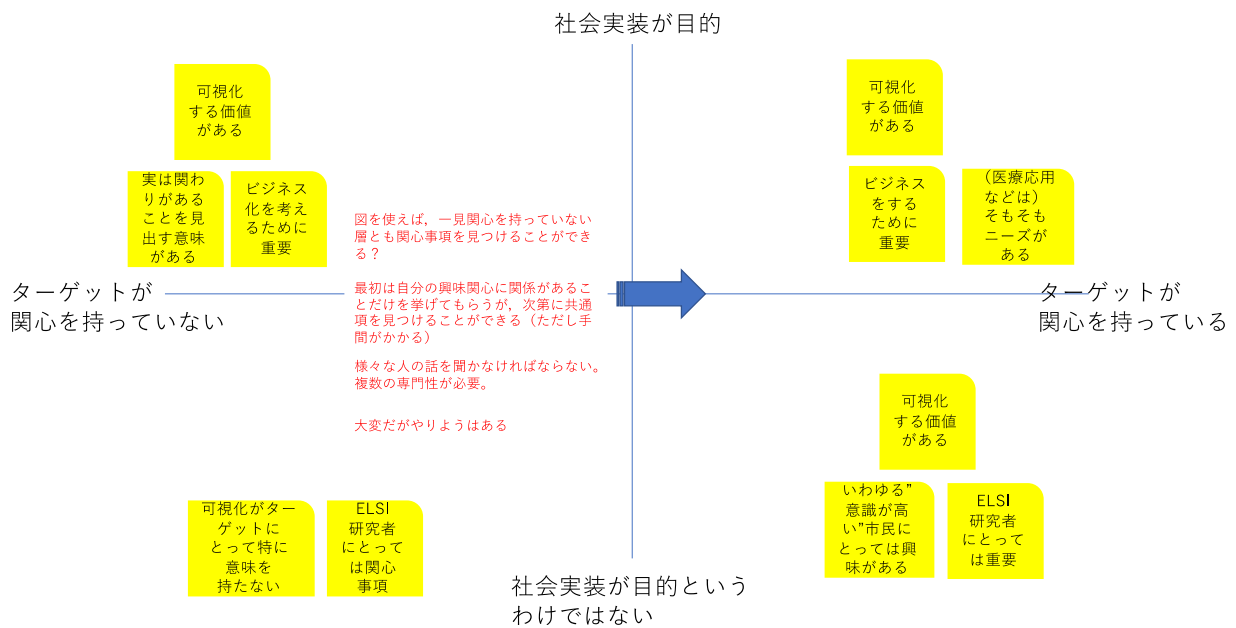
<対象とする技術領域の粒度>

本企画調査で使った手法にのみ限定される議論ではないが、社会インパクトを想定する際にどのような粒度で技術を対象にするかは分析の有効性や結果を左右する主要な要因の一つである。AI(あるいは統計的自然言語処理)やゲノム編集といった大きな括りで技術を捉えても、技術の適用の方向すら多様であり文明論的な議論を別にすれば、各方向の適用のインパクトの単なる寄せ集めしか見いだせない。他方で、当該技術を使ったプロダクトやサービスを提供する側(典型は企業)の視点で議論した場合には、個別具体的な適用とそのインパクトが焦点化されることとなり、それらは当然重要な問題ではあるが、しばしば公的な議論の対象から乖離してしまう。したがって、マクロ(技術適用の全域)とマイクロ(具体的プロダクト等のレベル)でなく特定方向の技術の適用(いわば中範囲の適用)を対象とする**メゾレベル**(たとえば公的なガイドライン等作成のための議論がなされるレベル)の**取り扱いが重要**であり、また本企画調査で採用する手法を使った社会インパクトの探索もそのレベルにおいて効力を発揮すると評価される。

<手法利用の目的>

本企画調査は社会インパクトの可視化のための手法を開発するものであるが、その手法を**どのような対象にどのような目的で使用するかによって手法の有効性や評価が変わる**という指摘を受けた。実際、下図に模式的に示されるように技術の社会実装を目的とするか否かによって可視化手法の有用性は大きく変わる。加えて、聞き取りの中で JST・RISTEX のプログラムという枠組みの下で専ら対話の促進を目的とするような手法の意義について疑問が投げられることもあり、さらに、調査研究の中でも市民の技術に対する忌避感の移ろいややすさが明らかになるなど、対話の重要性は否定できないものの、その限界が顕在化している。技術が抱える潜在的なリスクを軽視するという意味ではなく、しかしパターナリズムに陥らない技術の社会実装を支援するツールの開発をどう実施するかは今後検討されるべき課題である。





<手法の限界と特性>

本企画調査で利用したシステム・デザインの手法に、人々は必ずしも馴染みがないものの、説明さえあれば比較的容易に使えたと評価された。それでも、上記メゾレベルの技術領域を対象に因果ループ図などを作成するには属人的な能力に頼らざるを得ない。すなわち、インタビュー・スキルに加えて、インタビューを通じて当該の技術およびその社会でのあり方についてある程度の理解力が要求される。一方で、一度可視化されれば、上図のように当該技術に関心がある層を対象とする限りは、図は技術の社会実装を支援するのに効力を発揮する。したがって、上記のような能力を備えた人材、たとえば科学コミュニケーターの協力を得て、手法の普及を図るべきであろう。

<有用性と適用範囲>

聞き取りにおいて本企画調査で開発してきた手法を活用する際に有効なセッティングとして以下の3つが指摘された。本調査に至る際には、科学コミュニケーターやURAなどと協働して、これらの手法の有効性を検証することが求められる。

- (1) 対象となる技術について十分な理解に結びつき得る説明を行ったのちに、グループで各ステークホルダーの立場（たとえば、消費者、生産者、行政…）をロールプレイし、その役割に基づいて要素と関係を書き込むことを立場を変えて繰り返すことで因果ループ図を完成し状況全体の可視化を行うワークショップ。
- (2) レディメイドの因果ループ図などの図を対象として、各要素や関係のあり方を参加者が議論・検討して当該技術の社会インパクトをめぐる関係について深い理解を促すグループワーク。
- (3) 特定の状況や課題を引き起こす条件をイネブラー法などにより可視化して、その状況を回避あるいは促進する方法を生み出すことを支援するための専門家を対象とした可視化。

4. 企画調査実施体制

東京工業大学グループ

代表者①：**調麻佐志** 東京工業大学（科学技術社会論）

役割：全体の統括、グループワークによる因果ループ図の構成・ロジックモデル作成、可視化支援データセットの作成・評価

実施者①：**小泉周** 自然科学研究機構（大学研究（研究力分析・社会インパクト分析））

役割：グループワークによる因果ループ図の構成・ロジックモデル作成、ロジックモデルの評価

実施者②：**鳥谷真佐子** 慶應義塾大学（システム・デザイン）

役割：システム・デザイン技法の提供と改善、グループワークのファシリテーション

評価／専門知識
の提供

協力者（五十音順）

江間 有沙	（AI 技術の倫理問題に関する助言および本プロジェクトの手法の評価）
川本 思心	（遺伝子改変技術に対する市民のリスク認知に関する助言）
標葉 隆馬	（遺伝子改変技術のリスク認知に関する助言）
白井 哲哉	（遺伝子改変技術の社会インパクトに関する助言および本プロジェクトの手法の評価）
杉原 桂太	（AI 技術の倫理問題に関する助言）
高橋 さきの	（機械翻訳が翻訳業界に与えるインパクトに関する助言）
詫摩 雅子	（科学コミュニケーションに関する助言および本プロジェクトの手法の評価）
成瀬 清	（ゲノム編集技術の理解およびその直接の効果や普及に関する助言）
三上 直之	（遺伝子改変技術に関する市民と専門家のコミュニケーションに関する助言）
持橋 大地	（AI 技術の理解およびその直接の効果や普及に関する助言）
八代 嘉美	（遺伝子改変技術およびライフサイエンス全般におけるリスク問題に関する助言）
吉田 省子	（遺伝子改変技術に対する生産者と市民のリスク認知に関する助言）

〈実施体制図〉

5. 主な活動実績

- 1) テレビ番組：NHK（2020年12月20日）「パンデミック激動の世界（6）」
<<https://www.nhk.or.jp/covid19-shogen/theme/theme6/440572.html>>