

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

「分子ロボット技術の社会実装に関する
RRI コミュニケーション実践の企画調査」

Planning Research on the Practice of RRI Communication
for implementation of Molecular Robotics to the Society

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

小宮 健

東京工業大学 情報理工学院 助教

KOMIYA Ken

Assistant Professor, School of Computing,
Tokyo Institute of Technology

1. 企画調査の概要

■概要：

本研究における最終的な達成目標は、分子ロボットの野外活用を中心的な事例としながら、革新的科学技術が社会になじむための新しい「研究者の自治」と「研究者自身が参加する持続的な科学コミュニケーション」の在り方を提示することである。そのため、分子ロボットの研究開発における「上流からの対話」と指針づくり、そして持続的なコミュニケーション実践の場づくりと、より良い研究活動のためのロードマップ作成を行い、その過程を通じた ELSI の分析を行う。とりわけ、分子ロボット技術のフィールドでの活用を目指している事例に注目し、地域における社会的対話実践の試行とヒアリング、ならびに科学館等との協働などを想定した持続的なコミュニケーションのための資料素案の作成とその活用方法の検討を通じて、本企画調査において研究開発プロジェクト実施に向けたフィージビリティスタディを行う。

■参画・協力機関：

東京工業大学、恵泉女学園大学、大阪大学、九州大学病院、北海道大学

■キーワード：

分子ロボット、対話実践、科学コミュニケーション

■Summary:

The ultimate goal of this study is to propose a novel type of "researcher autonomy" and "sustainable science communication in which researchers themselves participate" for the penetration of innovative science and technology into society, by investigating the field application of molecular robots as a central case study. To this end, we will cope with "dialogue from the upstream" and establishment of guidelines in molecular robotics research and development, ensure venues for sustainable communication practices, create a roadmap for better research activities, and analyze ELSI issues through this process. In particular, we will focus on the case study of application of molecular robot technologies in the field. In this planning research, we plan to implement trials of social dialogue practices and hearing opinions in local communities, development of a draft of materials for sustainable communication in collaboration with science museums or others, and consideration of how to use them, as a feasibility study for organizing the research and development project.

■Joint R&D Organizations:

Tokyo Institute of Technology, Keisen University, Osaka University, Kyushu University Hospital, Hokkaido University

■Key words:

Molecular Robot, Practice of Dialogue, Science Communication

2. 企画調査の目標

本研究における最終的な達成目標は、革新的科学技術が社会になじむための新しい「研究者の自治」と「研究者自身が参加する持続的な科学コミュニケーション」の在り方を提示することである。そのため本企画調査では、分子ロボットの野外活用を中心的な事例としながら、研究開発当初から技術開発を行う研究者・コミュニティ自らが ELSI/RRI の推進主体となって、地域との対話とその活用のための指針づくり、持続的な科学コミュニケーション実践の場づくりのための体制構築、そして研究開発プロジェクトで実施するより良い研究活動のためのロードマップ作成に向けた、フィージビリティスタディの設計を行う。

3. 企画調査の内容と結果

3-1. 実施項目

- 項目 1：北海道フィールドにおける社会的対話実践の模索・試行
- 項目 2：科学館等との連携を想定した科学コミュニケーション実践の準備

3-2. 実施内容と結果

■項目 1：北海道フィールドにおける社会的対話実践の模索・試行

本研究では、分子ロボットの環境・農業分野での活用を念頭としている。とりわけ研究開発プロジェクトにおいて、北海道のフィールドにおける地域との対話実践を試みることを想定し、本企画調査ではその対話実践のための予備的分析を行った。具体的には本企画調査の開始時から、新型コロナウイルス感染症の流行によりオフラインでの対話実践が困難であったことから、オンラインミーティングを活用して現地地域のステークホルダーを中心に、分子ロボット技術およびその実情と開発目的の共有を行った（将来像の共有・フィールドバックプロセスのスタート）。下図に示す研究開発プロジェクトに向けた構想にもとづいて、本企画調査で計画していた以下 (1)、(2) の二つの作業について、当初計画通り実施することができた。

企画調査

北海道フィールドにおける社会的対話実践の模索・試行

- ・北海道事例の過去の社会的対話実践からの教訓抽出
→GM作物、フードナノテク、ゲノム編集などの事例の調査と知見の分子ロボット研究コミュニティ内への共有
- ・北海道現地ステークホルダーへのヒアリング
- ・オンライン対話の試行

科学館等との連携を想定した科学コミュニケーション実践の準備

- ① 分子ロボットが社会の中で馴染む形で活用・研究がなされている将来像のロードマップ共創
 - ② ①のプロセスから、より良い将来像にとつての課題となるELSIの抽出を行う
- ・日本科学未来館等との協働の模索・調整
 - ・協力者との連携・連絡、ネットワークキング

研究開発プロジェクト

根源的な問いと最終的に目指す価値・インパクト

革新的科学技術が社会に根付いていくうえで必要な問いの探索

- ・新しい「研究者の自治」の形
- ・研究者自らによる持続可能な科学コミュニケーション実践の在り方

特徴と期待されるインパクト

- ・分子ロボットという萌芽段階の革新的な科学技術の社会実装に関わる「上流からの対話実践」
- ・あくまで科学者コミュニティが主体となって能動的かつ自律的に行うELSI/科学コミュニケーション実践の模索

これまでの積み重ねとネットワークを活かしながら発展させていく

(1) 北海道事例に関する過去の社会的対話実践からの教訓抽出

北海道は、BSE 問題をめぐる風評被害、そして GM 作物の野外使用をめぐる議論の経験を持つ地域である。そして北海道大学の研究グループを中心としながら、GM 作物、フードナノテク、ゲノム編集など萌芽的科学技術をめぐる農業活用における多くの蓄積がなされてきた経緯がある。

本研究では、これらの先行する知見・経験を整理し、分子ロボット技術の農業・環境利用における教訓へ適切に変換するためのプロセスを設定する。本企画調査における作業の時系列としては、本項目の(2)の作業を行った後、そこで得られた知見を活用して教訓抽出を行うものである。とりわけ、北海道において行われてきた社会的対話実践の取り組みとして、以下の3つの事例に注目して、本企画調査が終了する3月末に向けて作業を進めている。

- ① 2007年のGMOをめぐるコンセンサス会議 (e.g. 小林 2007)
- ② ナノテクノロジーの食品利用 (フードナノテク) をめぐる対話実践である「ナノトライ」事例 (三上ほか 2009; 立川・三上 2013)
- ③ ゲノム編集作物をめぐる対話実践 (三上・立川 2019; 北海道大学 2019)

またそれらの対話実践の実施者らからも知見の引き出しを行う。

(2) 北海道現地ステークホルダーへのオンライン対話の試行とヒアリング

本研究提案時には、研究協力者らの協力を得て、すでに北海道十勝地区の農業者らとのコンタクトを始めていた。また、本企画調査の前身であるHITE領域「分子ロボット ELSI 研究とリアルタイム技術アセスメント研究の共創」プロジェクト (研究代表者:小長谷明彦 恵泉女学園大学、2021年3月迄)では、同地域の農業者らと小規模なオンラインワークショップの取り組みを開始しており、本企画調査もこれと連携して10月24日にワークショップを実施した。また、分子ロボット技術のフィールド利用について、それを利用する直接の当事者である農業者らと、生産された農産物を消費する一般市民とのあいだで、技術への理解・受け止め方の差異なども比較・分析し、「上流からの対話」における指針づくりに反映させるため、オンラインで参加者を募った一般市民向けのワークショップも10月25日に同様の内容で実施した。毎週定例のミーティングを行うなかで、ワークショップについて事前・事後の準備や分析内容を議論したことで、分子ロボット研究者の側から提供する情報も、社会対話実践の観点からみて専門的で難解な内容や、過度に期待を煽るもの、逆にネガティブな面を強調し過ぎるものになることを避けることができた。ワークショップに参加した分子ロボット研究者にとっては、萌芽的な科学技術について過不足なく市民に伝えて目指すべき将来像を共創する上での第一歩となる、科学コミュニケーション実践の場となるものであった。

研究者からの適切な情報提供へのリアクションとして、農業者や市民の率直な意見をヒアリングすることが可能になり、想定よりも充実した成果を得ることができた。これらは分子ロボット技術に限らない、他の分野や領域における萌芽的科学技術に対する論点の検討においても有用な、普遍的なフレームワークの一つと考えられる。

本企画調査では上記のワークショップをさらに発展させて、「研究者の自治」の在り方を示すという本研究構想の土台となる、基礎研究ガイドラインの作成に向けたヒアリングおよび論点抽出の一環として、農業技術のなかで分子ロボット技術を俯瞰する対話ワークショップを2月10日にオンラインで実施した。北海道の農業者らを対象として、分子ロボットに限らずゲノム編集など他の先端技術から農薬や化学肥料などの従来技術まで、さまざまな農業技術について農業関係者がどのような考えや思いを持っているかを明らかにする対話を通じて、農業者と研究者の継続的な対話の場を生み出す仕組みを考える契機となった。そこで得られた分子ロボット技術の環境・農業利用に関する懸念や関心に関する予備的な

知見について、次年度に申請予定である研究開発プロジェクトではさらに分析を進め、基礎研究ガイドライン作成の議論において活用するとともに、研究者自身が参加する持続的な社会的対話実践の方法論を深めていく構想である。

■項目 2：科学館等との連携を想定した科学コミュニケーション実践の準備

分子ロボット技術は、DNA コンピューティングなどの技術を背景としながら、DNA や RNA などの生体分子を素材としたナノスケールのロボットのデザイン・構築・活用を目指してきた領域である。分子ロボットをより良い形で社会実装する上では、人や環境への適用における社会的課題、デュアルユースの問題をはじめとして数多くの倫理的・法的・社会的課題（Ethical, Legal, and Social Issues: ELSI）に取り組む必要がある。分子ロボット技術の新しい展開と適切な社会実装のためには社会との対話が不可欠であるが、その質・量ともにまだ不十分であり、方法論を洗練させながらより積極的に試みていく必要があるという問題意識に至ったことが、本研究構想の重要な背景となっている。

そこで本企画調査では、研究開発プロジェクトにおいてより実践的かつ継続的な社会対話を実施するための体制構築の準備に取り組んだ。本企画調査の代表者、調査実施者らはこれまで、分子ロボット研究分野での国際研究コンペティションにおける ELSI 議論の奨励や、分子ロボティクス年次大会等における分子ロボット倫理シンポジウムの開催を継続して行ってきた。分子ロボット技術という新しい技術の環境・農業利用に関する可能性については、上記の項目 1 で北海道での対話実践の準備を行っており、本項目ではこれと並行して、分子ロボット技術分野の若手研究者に対して ELSI や責任ある研究とイノベーション（Responsible Research and Innovation）に関する対話へのより積極的な参加を呼びかけ、持続的な科学コミュニケーション活動の在り方について議論する準備を進めた。

具体的には 11 月 8 日、9 日にオンラインで行われた第 4 回分子ロボティクス年次大会で、基礎研究ガイドラインに関する講演や分子ロボット倫理に関する対話を行い、12 月 19 日にオンラインで行われた科研費・学術変革領域（A）「分子サイバネティクス」のキックオフシンポジウムでは、分子ロボット研究における ELSI や RRI にへの取り組みの必要性に関する講演を行った。これらの活動が下地となり、学部生や大学院生、若手研究者を含む参加者を得て、分子ロボット関連研究者と科学技術倫理や社会科学の研究者が、基礎研究ガイドライン作成の必要性や意義、方針について議論するオンラインワークショップを 2 月 4 日に実施した。

なお、この一連の取り組みは、研究者の世代を超えて受け継がれていくべき社会的対話の経験であるが、代表者らは HITE 領域での経験を経て、通常の研究・教育活動を行いながら対話的取り組みを行うこと、社会とのコミュニケーションを継続することの困難さという、技術開発を行う研究者が共通して抱える課題を強く認識・実感している（JST 2013; Shineha et al. 2017）。このような背景から、社会からの期待や懸念を把握し、意見のフィードバックを得ながら研究者が持続的に実施できるような、実現すれば他の分野にとっても重要な意義を持つ科学コミュニケーション実践の場づくりの在り方を提示することを目指し、研究開発プロジェクトで実施する科学館等での科学コミュニケーション実践に向けて、より多くの分子ロボット研究者が参加するための動機付け、連携体制の構築という目的を持って行ったものである。

本研究は国内外のこれまでの「上流からの市民参加」事例と比較しても、より上流からの対話実践を試みる点、また過去の多くの事例と異なり対話実践を社会科学者ではなく、あくまで科学者コミュニティが主体となって能動的かつ自律的に行う点が特徴となっている。これは、今後の科学者の自治の在り方にモデルを提示するという意味においても重要である。そのような新しい「研究者の自治」を実践していくためには、研究開発の「上流」

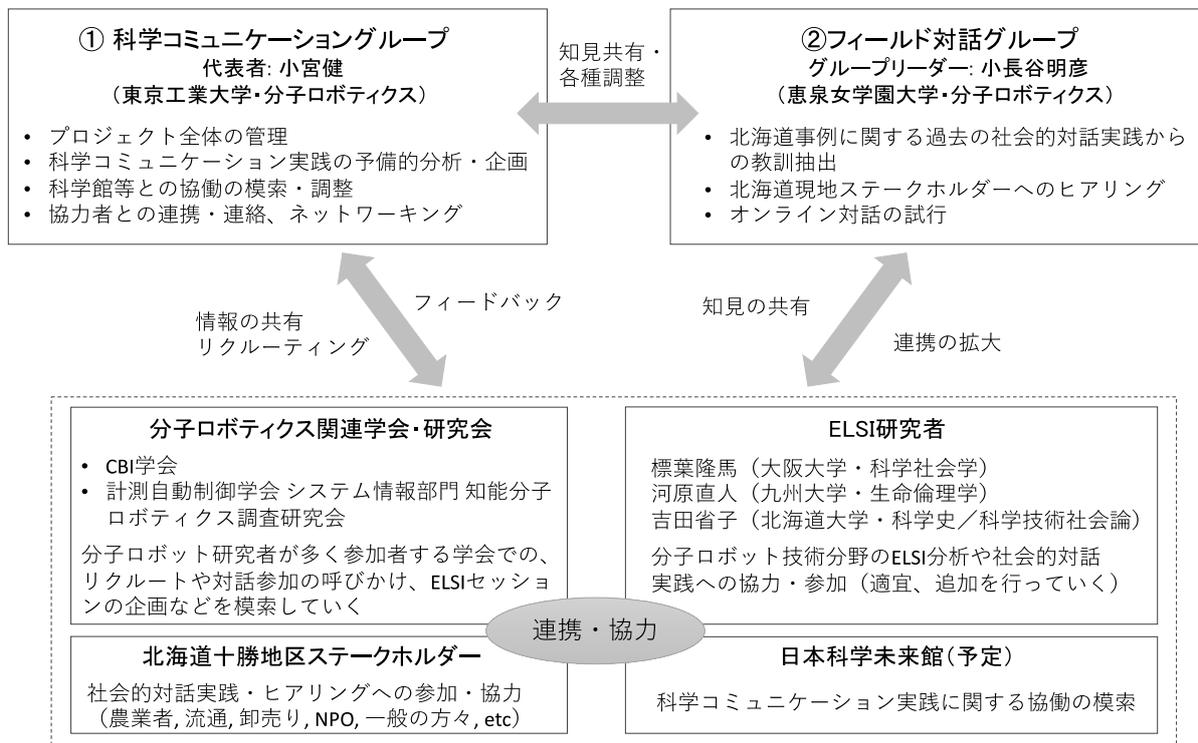
からの定常的な社会とのコミュニケーションが不可欠となる。しかしながら、昨今の競争的環境の中で、各世代の研究者自らが参加する持続的な科学コミュニケーション実践とは如何にして可能であるのか、という問いについても取り組み、対応策や方法論の創出を模索する必要がある。その一つとして、社会対話における専門性を持った専門家と科学技術研究者が緊密に連携することで、個人あたりの作業負荷を低減しつつ、効果的な対話を実現することをこころみる。本研究では、分子ロボットの将来像を対話を通じて市民と共創していくための場、ならびに実践の専門家のリソースとして、日本科学未来館等との連携を構想している。本研究で計画する科学コミュニケーション活動のコアとなるアイデアは以下の二点である。

- ① 分子ロボットが社会の中で馴染む形で活用・研究がなされている将来像の共創を行う。
- ② ①のプロセスから、より良い将来像にとっての課題となる ELSI の抽出を行う。

若手研究者にとって科学コミュニケーションを行う場の不足は、かねてより指摘されてきた問題である（標葉ほか 2009; JST 2013）。そのような課題を考える際、定常的な科学コミュニケーションの場として、科学館は重要なメディアといえる。萌芽の科学技術を巡るベネフィットと ELSI 的視点からの展示としては、英国ロンドン科学博物館における遺伝子組換え作物の展示などが挙げられる。そこでは、GMO に関する説明の展示の上で、観覧者へのアンケートを取得し、その結果をリアルタイムに見られるような工夫をしている。例えばその結果、GMO を巡る意見の相違や分布、そして賛成と反対がおよそ半々となる社会の相を垣間見ることが出来る。このような展示を分子ロボット事例でも試作し、更にはボード上に様々な意見を書ける形の参加型展示を模索する。このような展示に研究者、キュレーター、サイエンスコミュニケーターも巻き込みながら、一般の人々からの定常的な意見の収取を行えるようなハブの形成を行う。

本研究では、日本科学未来館や全国各地に設置された科学館等に注目しており、研究開発プロジェクトで行う具体的なコミュニケーション実践の企画の具体化に向けて、本企画調査において科学館での分子ロボット展示コンテンツを構想するワークショップを、1月25日にオンラインで実施した。これまで接点のなかった、各地域の科学館スタッフやキュレーター、サイエンスコミュニケーター、展示制作会社スタッフらと分子ロボット研究者が対話を行うことができた。その結果、まだ萌芽段階にある分子ロボット技術について、展示を行う際に関心を喚起するための切り口や課題となる点のほか、社会受容における各段階で伝えるべき点や、地域の科学館での展示において実際的な制約となる点など、多様な論点で相互理解を深めるとともに、今後の研究開発プロジェクトに向けたネットワーキングの機会としても有用であった。

4. 企画調査実施体制



〈実施体制図〉

5. 主な活動実績

- 1) 会議・イベント (研究会): 分子ロボット倫理研究会 (2020年9月15日~2021年2月16日) 「分子ロボット倫理研究会定例研究会 (全17回)」 オンライン開催
- 2) 会議・イベント (ワークショップ): 分子ロボット倫理研究会 (2020年10月24日) 「分子ロボットで、地球に優しい農業を (第2回)」 (オンライン市民対話: 農業者向け) オンライン開催
- 3) 会議・イベント (ワークショップ): 分子ロボット倫理研究会 (2020年10月25日) 「分子ロボットで、よりよい世界を」 (オンライン市民対話: 一般市民向け) オンライン開催
- 4) 口頭発表: 小宮健 (2020) 「分子ロボット将来像の共創に向けて」『第4回分子ロボティクス年次大会 (併催分子ロボット倫理シンポジウム)』 オンライン開催
- 5) 会議・イベント (シンポジウム): 分子ロボット倫理研究会 (2020年11月8日) 「分子ロボット倫理シンポジウム」 オンライン開催
- 6) 会議・イベント (シンポジウム): 分子ロボット倫理研究会 (2020年11月9日) 「分子ロボット倫理オンライン対話ルーム」 オンライン開催
- 7) 口頭発表: 小宮健 (2020) 「ELSI関連の活動について」『科研費・学術変革領域 (A) 「分子サイバネティクス」 キックオフシンポジウム』 オンライン開催

- 8) 口頭発表：小長谷明彦 (2020) 「パネルディスカッション「分子ロボティクスから分子サイバネティクスへ」」『科研費・学術変革領域 (A) 「分子サイバネティクス」 キックオフシンポジウム』オンライン開催
- 9) 会議・イベント (ワークショップ)： 分子ロボット倫理研究会 (2021年1月25日) 「科学館での分子ロボット展示コンテンツを構想する」(バーチャル空間ワークショップ) オンライン開催
- 10) 会議・イベント (ワークショップ)： 分子ロボット倫理研究会 (2021年2月4日) 「分子ロボット基礎研究ガイドラインを構想する」(バーチャル空間ワークショップ) オンライン開催
- 11) 会議・イベント (ワークショップ)： 分子ロボット倫理研究会 (2021年2月10日) 「農業技術のなかで、分子ロボット技術を俯瞰する対話」(オンライン市民対話：農業者向け) オンライン開催