

分子ロボットをめぐる

対話要点集

2020 年度版

分子ロボット倫理研究会

はじめに

この資料は、分子ロボット倫理研究会（代表 小長谷 明彦）が2020年度に主催した分子ロボットをめぐる7つの対話の記録と考察をまとめたものです。

7つの対話は、新型コロナウイルス感染症の流行によって急速に普及したオンライン会議システム Zoom を用いて行われました。

それぞれの対話は、テーマに応じて一般公募または個別に依頼した8名前後の参加者が、20分程度の情報提供を受けたあと、プログラムに沿って、チャットへの入力とディスカッションを行う形式です。

対話の結果から、分子ロボットの研究・開発、社会実装を進める上で価値のあるさまざまな知識が生み出され、対話の過程を通じて、分子ロボット研究者や協働する社会学者、多様な参加者との間で相互理解が進み、豊かな関係が形成されました。

この資料では、対話のファシリテーションに関する実務的な観点から、分子ロボット研究者の振る舞いに注目して7つの対話を見つめ直し、分子ロボット研究者、ひいては研究者一般が、社会の中で多様な人々と対話するときには有用な実践的知識を整理しています。

分子ロボット倫理研究会のメンバーや、協働される方々が、過去を振り返り、これからの対話を考えるよすがになることを願って。

分子ロボット倫理研究会
2022年2月

もくじ

はじめに	3
もくじ	4
第1章 対話の方法	7
分子ロボットをめぐる7つの対話	8
対話の意義	10
対話のモード	12
対話の有効範囲と一般化	14
プログラムの概要	16
バーチャル空間での対話	18
対話のルール	19
情報共有資料	20
専門家でない人（一般市民）との対話	21
第2章 問題の素描	23
分子ロボットをめぐる論点の広がり（技術）	24
分子ロボットをめぐる論点の広がり（一般）	26
一般市民から見た分子ロボット	28
農業関係者から見た分子ロボット	30
農業関係者から見た農業技術	32
技術の受容性に影響するローカルな知識システム	34
科学館での分子ロボット展示	36
分子ロボット基礎研究ガイドライン	38

第3章 対話の記録

	41
一般市民（第1回）「分子ロボットで、地球に優しい農業を」	42
一般市民（第2回）「分子ロボットで、よりよい世界を」	50
農業関係者（第1回）「分子ロボットで、地球に優しい農業を」	60
農業関係者（第2回）「分子ロボットで、地球に優しい農業を」	68
農業関係者（第3回）「農業技術のなかで分子ロボット技術を俯瞰する対話」	74
科学館関係者「科学館での分子ロボット展示コンテンツを構想する」	90
分子ロボット研究者「分子ロボット基礎研究ガイドラインを構想する」	96
おわりに	104

第1章 対話の方法

分子ロボットをめぐる7つの対話

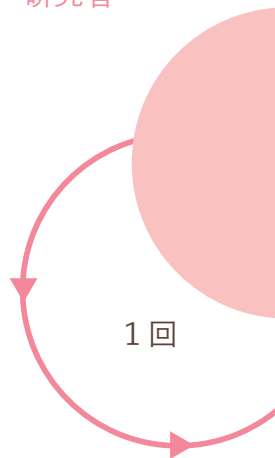
2020年度、分子ロボット倫理研究会（代表 小長谷明彦）は、分子ロボットをめぐる7つの対話を主催しました。

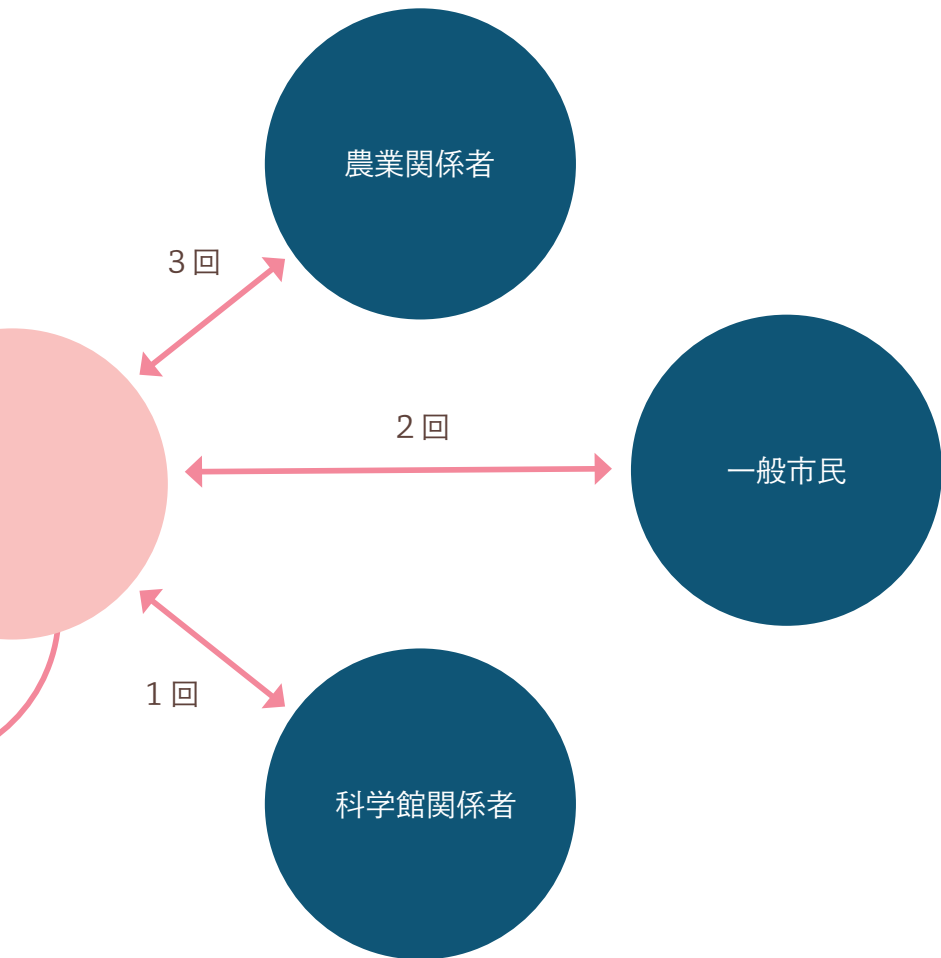
対話の場のあり方は、分子ロボット倫理研究会の定例ミーティング（毎週火曜日午前9時30分～10時）で議論し、科学コミュニケーション研究所が具体的なデザインと運営を担いました。なお、全ての対話は、新型コロナウイルス感染症の流行によって急速に普及したオンライン会議システム Zoom を用いて実施しました。

対話は、一般公募または個別に依頼した8名前後の参加者が、分子ロボット倫理研究会のメンバーから20分程度の情報提供を受けたあと、プログラムに沿って、チャットへの入力とディスカッションを行う形式です。

対話の結果から、分子ロボットの研究・開発、社会実装を進める上で価値のあるさまざまな知識が生まれ、対話の過程を通じて、分子ロボット研究者や協働する社会学者、多様な参加者との間で相互理解が進み、豊かな関係が形成されました。

分子ロボット
研究者





対話の意義

分子ロボット研究者が、社会の多様な人々と対話することの意義はなんでしょうか。

7つの対話の中で参加者が語ったこと、分子ロボット研究者自らが語ったことを踏まえて、3つの類型として整理しました。

パターン1：概念整理

専門知識をわかりやすく表現する行為を通じて、専門分野の概念整理が進む。とりわけ、分野横断的プロジェクトチーム内での共通理解が深まる。

パターン2：社会的条件理解

研究・開発の成果を実装する過程で社会が求める条件が明らかになり、研究・開発の内容へフィードバックできる。

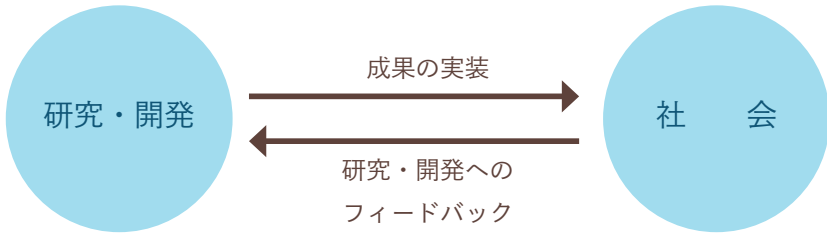
パターン3：研究活動の社会的文脈の理解

研究・開発が社会から独立した行為ではなく、社会の中で行われる営みであることを肌身で感じながら、自らの責任を果たし、社会の期待と懸念に対して応答することができる。

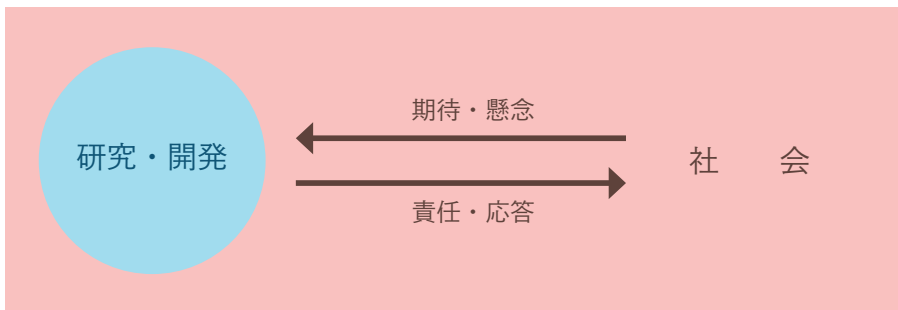
パターン 1



パターン 2



パターン 3



対話のモード

社会的課題をめぐる対話にはさまざまな様式と機能があります。対話の結果を利用する者、すなわち対話の結果を届ける宛先が対話の場の内側か外側にかによって二分できます。

前者は、対話の結果が言葉の次元に留まるか、現実の変化を目論むかによってさらに二分できます。

これらを合わせると、社会的課題をめぐる対話は、右図のような3つのモードに分類することができます。

分子ロボット倫理研究会が2020年度に実施した対話は、モード1に比重を置きつつ、分子ロボットの社会的課題を一般的に考えるための参照情報を生み出す、モード3の要素も持った対話といえます。

モード1 相互理解・関係形成

対話によって生まれた成果を、対話の場で分かち合い、参加者間の相互理解、創造的な関係を形成するとともに、参加者間での議論の創出を繰り返し行っていきます。

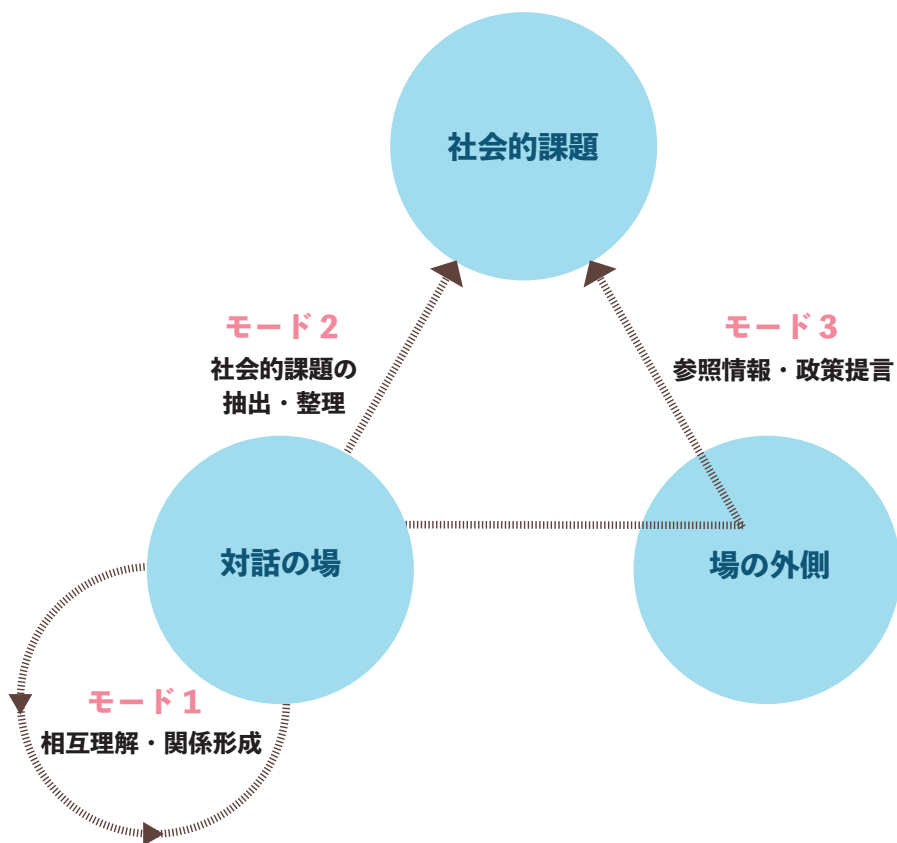
モード2 社会的課題の抽出・整理

対話によって問題を構築し、対話の場に参加する人々が解決に必要なリソースを持ち寄って、自律的な問題の解決を目指します。

モード3 参照情報・政策提言

対話の結果を、行政や事業者などの問題解決に必要なリソースを有する者へ届けたり、より広いコミュニティの間で共有することを目的とします。

コミュニケーションのエコシステム



研究者もこのどこかで、無理のない範囲／可能な範囲で積極的に関わっていくことがより良い対話と関係構築につながっていきます。

対話の有効範囲と一般化

対話は、モードに応じて結果の有効範囲と一般化する正当性が問われます。

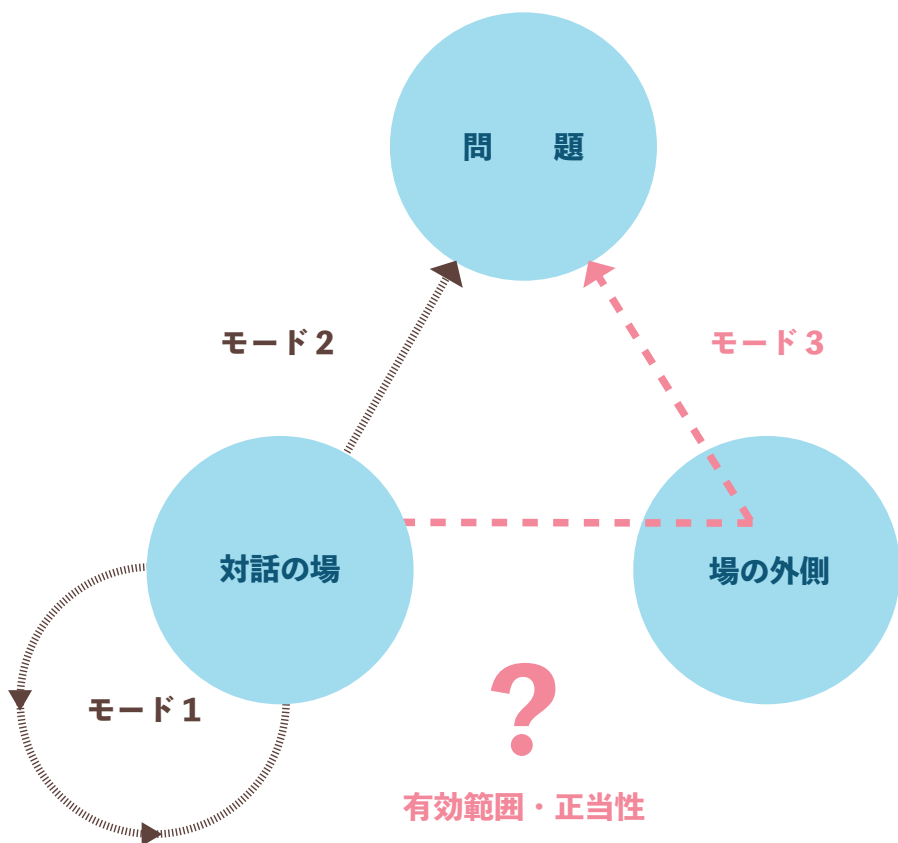
モード1、2の対話は、対話の場の内側で参加者の合意があれば、その範囲で有効であり、一般化する必要はありません。（ここでの合意の中には、たとえば「○○については、合意できない」ということも一つの合意になりえます。このような合意をメタ合意ということもあります。必ずしもある事象についての理解や意見が一致しなくとも、その一致しないこと自体が重要な結果になりえます。）

モード3の対話の結果は、ある日、ある時、ある場所で交わされた言葉の記録として固有の価値を持ちます。かけがえのない、一回性の場で生じた出来事としての重みを持っています。

他方、対話の場を超えて一般化し、政策のための参照情報とするためには、対話の結果をエビデンスとして採用する正当性が必要です。正当性を獲得する方法は、多くの検討が必要になるものです。例えば次にあげる点がより良く満たされているほど、参照情報としてより強い妥当性を持つと言えます。

- 1 科学的合理性
- 2 当事者性
- 3 統計的妥当性
- 4 社会的・政治的代表性

今回の対話実践においては、科学的合理性に関する視点の共有、そして当事者が持つ意見についての「語り」に研究者自身が触れることを大きな目標として行いました。その中で、普段の研究活動の中では知ることのできない、様々な意見や価値観に触れることが対話実践における大きな成果であったと言えます。



そのうえでモード3の対話の結果が要件を満たすか否かは、対話の場の構成と運営方法（＝デザイン）に依存します。また、必ずしも1回の対話で要件を具備する必要はなく、対話の結果から仮説を形成し、一般的な社会調査によって検証するという手続きを踏んだり、重要な案件では、組織的な議決、各種投票や選挙によって正当性を問うこともあります。

プログラムの概要

実施した対話の形式的な概要は次の通りです。

[実施日時] 平日夜または週末

[実施時間] 1回3時間

[実施方法] インターネット会議システム「Zoom ミーティング」

[参加者] インターネット掲示板、科学コミュニケーション研究所モニターバンクでの公募、または、テーマに関する当事者、専門家へ個別に依頼

[参加人数] 分子ロボット倫理研究会メンバー 数名
ゲスト参加者 数名

[参加者の選定基準]

当事者性（個別テーマに関する対話のみ）、
居住地、年齢、職業

[謝 金] 1時間あたり1200円（共同研究者等の辞退者を除く。）

[Zoomに関する参加者への配慮]

事前の接続練習、イベント中の全体説明と個別対応、
チャットと音声だけで完結するプログラム構成

[主催／情報提供]

分子ロボット倫理研究会

[イベントデザイン／ディレクション／情報提供資料の作成支援／ファシリテーション／オペレーション／ユーザーサポート／記録・レポート]

科学コミュニケーション研究所

実体的なプログラムの概要は、以下の通りです。

■ 基本形

1 自己紹介

2 専門家からの情報提供と質疑応答

3 テーマに関する事前評価（4段階評価（評価できる、どちらかという
と評価できる、どちらかという
と評価できない、評価できない）と理由）

4 チャットワークと対話

テーマに関する以下の点を3つ記載した後、順番に発表し、全体で対話する。

5-1 評価できる点

5-2 評価できない点

5-3 疑問点

6 疑問点に対する専門家からの応答

7 テーマに関する事後評価（方法は、事前評価と同様。）

バーチャル空間での対話

新型コロナウイルス感染症の流行により、フィジカル空間での対話イベントの実施が困難になり、Zoomなどのオンライン会議システムを使ったバーチャル空間での対話が急速に普及しました。

バーチャル空間は、フィジカル空間と異なる特徴を持ち、フィジカル空間での対話手法をそのまま使い回すことができませんが、オペレーションやファシリテーションを工夫することで、フィジカル空間の不完全な模倣を超えた、創造的な対話を生み出すことができます。

- ・物理的に共有できるモノの力、五感で共有できる感覚の力など、フィジカル空間で生まれる場の力が制限される
- ・コミュニケーションにおける言語の役割が大きくなり、より論理的な対話を実現する
- ・参加者マネジメントが容易であること、会場運営が不要であること、録音・録画・中継が容易であること、紙の資料を配布する必要がないことなど、ロジスティクスの負担が小さく、低コストで満足度の高いイベントが可能に
- ・時間と場所の制約が少なく、遠方にお住まいの方、育児や介護に従事している方、疾病や障がいのために移動が難しい方など、これまでイベントに参加することができなかった多様な方に間口を広げることができる

対話のルール

さまざまな属性、背景を持った人々が集まって対話を行う場合、対話を捉える視点や向き合い方の多様性が問題になることがあります。

対話ルールが明示的に示されない場では、社会での権力勾配、言語運用能力の個人差などによって、特定の参加者に有利なルールが採用され、対話の方向性に大きな影響を与えてしまいます。

ごく単純な、誰もが共感しやすいルールを人工的に定めることで、外部条件を相対化し、公平な対話の機会と創造的な関係を生み出すことができます。

- ・一人ひとりの考え、想いを大切にする。
- ・おたがいの違いや多様性から学び合う。
- ・全員が話せるチャンスをつくる。
- ・いつも考えていることにとどまらず、
その場で感じたこと、
話し合いの中で生まれたアイデアを大切にする。
- ・フラットな関係で話し合うために、
おたがいを「さん」づけで呼ぶ。

情報共有資料

分子ロボットについて専門家コミュニティの外部の人と対話する際、参加者がどれだけ具体的に分子ロボットをイメージできるかが、対話の成否を分けるポイントの一つです。そのためには、一般的な情報共有の留意点、分子ロボットに関する固有の観点を理解して、情報共有資料を作成する必要があります。

■一般論（例）

- 1 伝えたいことの2つ手前から書くこと
→ お互いに共有できる問題から始めること
- 2 スライド1枚に情報を詰め込まず、1トピック1枚とすること
→ 一口サイズにして咀嚼を助けること
- 3 目線が行ったり来たりせず、スムーズに情報が展開されること
→ スライドの中で迷子にさせないこと
- 4 説明は文章ではなく箇条書きで書くこと
→ 耳と目で別々の作業をさせないこと
- 5 図表から読み取れる内容を端的な言葉で表現すること
→ 図表を解釈できない参加者を前提に

■各論（例）

- 1 「ロボット」=人型ロボットという先入観を解きほぐし、センサ、プロセッサ、アクチュエータ、シャーシからなるシステムとして理解できるように工夫する。
- 2 生物の体がさまざまな生体分子の働きでできていることをイメージできるように工夫する。
- 3 DNA =遺伝子という誤解から予想される懸念を回避できるように留意する。

専門家でない人（一般市民）との対話

一般市民と専門家との対話は、専門分野に関する用語や問題を捉える枠組み、制度や政策、歴史などに関する共通理解を期待できないことから、さまざまな問題を孕んでいます。

研究室や学会、競争的資金の面接審査といったさまざまな場面で培ってきた対話の「うまさ」が、一般市民との対話では裏目に出ることもある点に留意しましょう。

■留意点（例）

- 1 参加者の懸念を広く知りたいときは、質問に対して防衛的にならず、思いを受け止めて、発想を広げる契機とする。
- 2 懸念が表明されたとき、「そうならないように設計する」という回答は、議論を打ち切ってしまう。
- 3 技術への期待に対しては未来志向で語り、懸念については現実志向で語ると、可視化される期待と懸念が均衡を欠く。期待も懸念も同じ目線に立って議論をすることが重要。
- 4 「よい質問ですね」という慣用表現はつつい使ってしまうがちですが、発話者間の関係性を先生と生徒のような、質問を評価する者とされる者に二分してしまうリスクもあります。ちょっとした表現に気をつけるだけで、対等な対話になりやすくなります。
- 5 当事者は、直面する問題について語ることはできるが、解決策を知っているわけではない。（解決策を案出するより、問題を構築する対話の方がやさしい。）

第2章 問題の素描

分子ロボットをめぐる論点の広がり

今回の対話実践で意識した分子ロボットの論点やキーワードの広がりを、分子ロボットのライフコースを意識した形で図示してみました。

タイプ

- ・アメーバ型
- ・スライム型
- ・多胞型
- ・ハイブリット型

材料

- ・生体分子のみ
- ・混合
金属材料
非金属・無機材料
プラスチック

分子

- ・自然
- ・人工

ライフコース

生産

- ・工業的
- ・生体内

流通

- ・乾燥
- ・凍結
- ・生体

使用

- ・自己組織化
- ・遺伝子組換え体

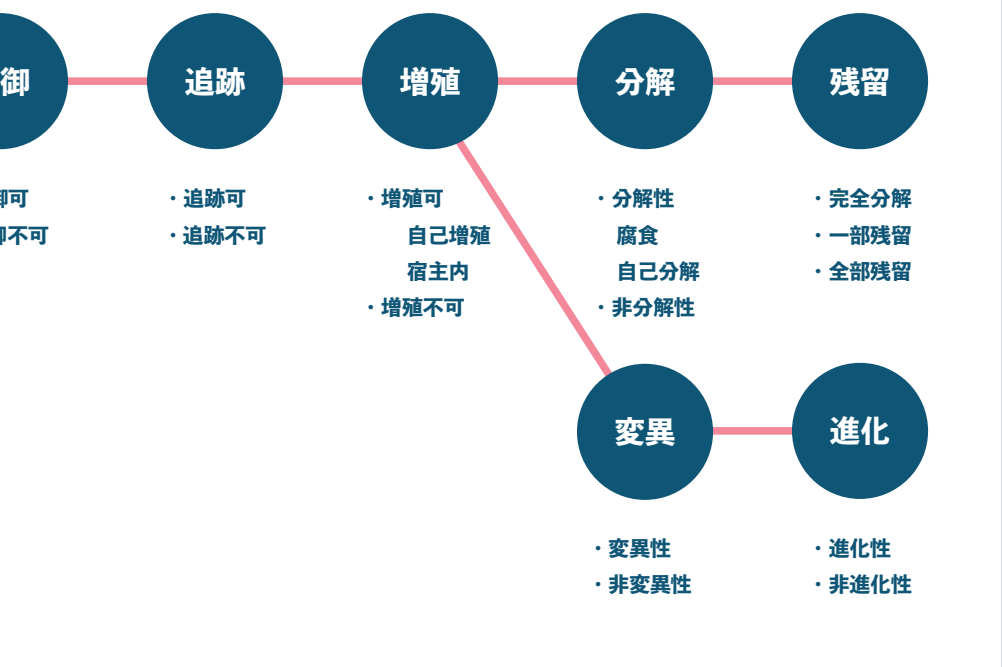
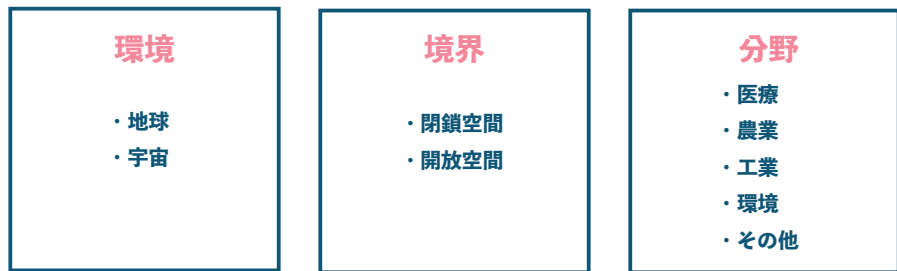
作用

- ・生物
体表面
体内
細胞内
核内
- ・無生物

制御

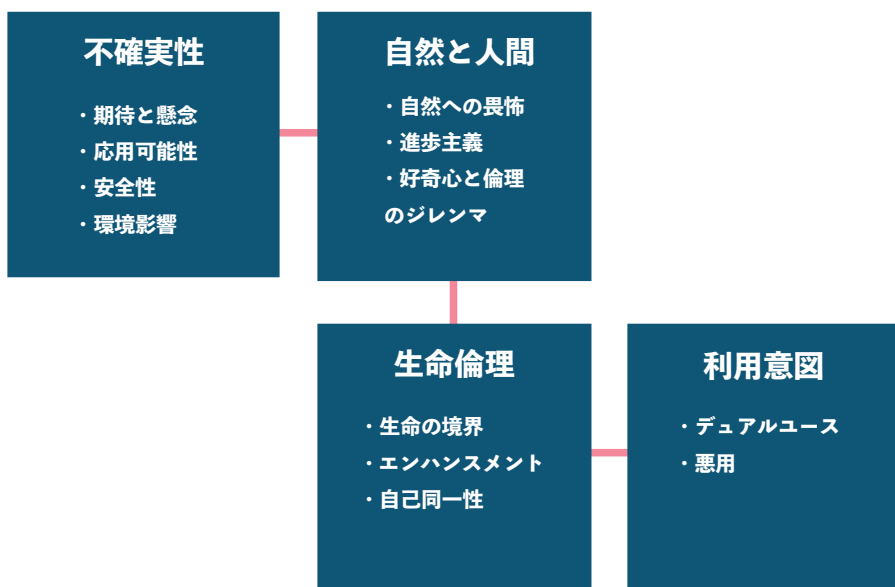
- ・制御
- ・制御

(技術)



分子ロボットをめぐる論点の広がり

対話実践の中で登場してきた論点やキーワードを分類・整理しています。整理しています。対話における素朴な「語り」の中に、様々な視点や論点が込められていますが、不確実性を起点として、相互に絡み合いながら、倫理的・法的・社会的課題（ELSI）が生じる可能性があることが分かります。



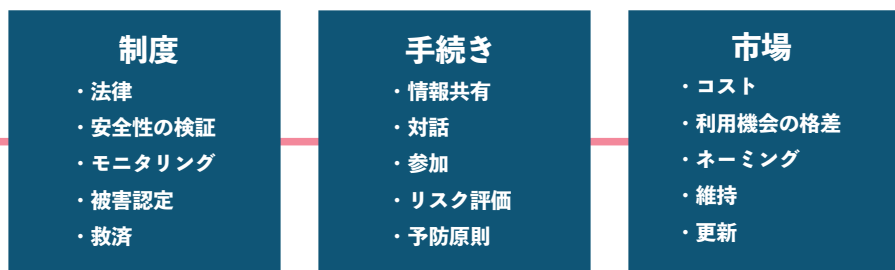
倫理的課題

(一般)

分子ロボット技術に関わる ELSI 論点の素描については下記の書籍の中でも議論が行われています。

村田智（編）『分子ロボティクス概論』CBI 学会出版，2019.

https://cbi-society.org/home/documents/eBook/ebook3_MolRobo_color.pdf

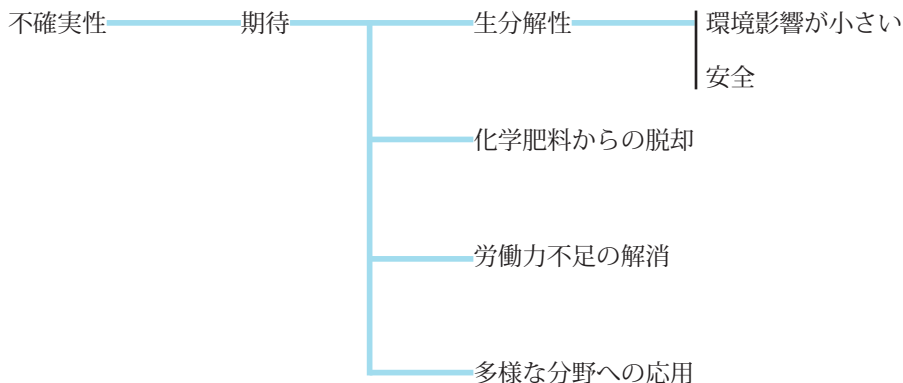


法的課題

社会的課題

一般市民から見た分子ロボット

評価できる点



不確実性は、無限の可能性と捉えて期待を読み込むか、環境や健康に対する不安要素として捉えるかで、評価できる理由にも、評価できない理由にもなります。

評価できる点として挙げられる項目は、専門家からの情報共有資料に含まれていたもの、そこから一歩進んで発想を広げたものがほとんどです。

他方、評価できない点として挙げられる項目は、分子ロボットが生体分子を利用するために生じる生命倫理、分子ロボットを具体的にイメージできないことから生じる漠然とした不安を除いて、分子ロボットを他の技術（例：遺伝子組換え技術など）に置換してもそのまま成り立つ一般的な意見が多く見られました。

評価できない点

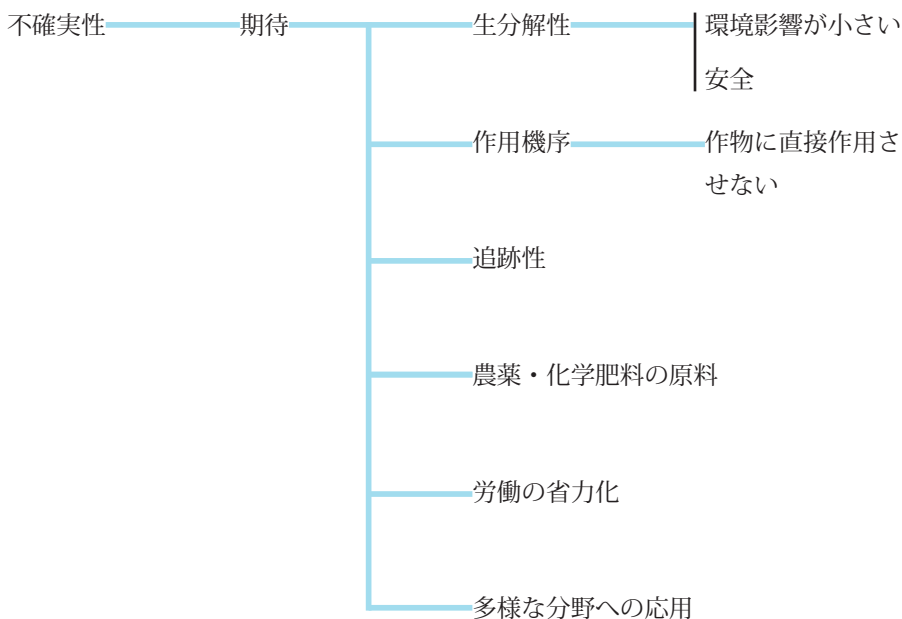
不確実性 ———— | 環境影響
| 健康影響
| 突然変異

イメージ不足 ———— | 漠然とした怖さ

先端技術 ———— | 生命倫理 ———— | 生体分子の利用
| 生命との境界
デュアルユース（悪用）
開発費 ———— | 高コスト ———— | 経済性
| 公平性
開発期間 ———— | 実用化の遅れ
進歩主義への懐疑 ———— | 自然に対する畏怖の喪失
| 景観変化
法規制
実用性 ———— | 耐久性
| 更新性

農業関係者から見た分子ロボット

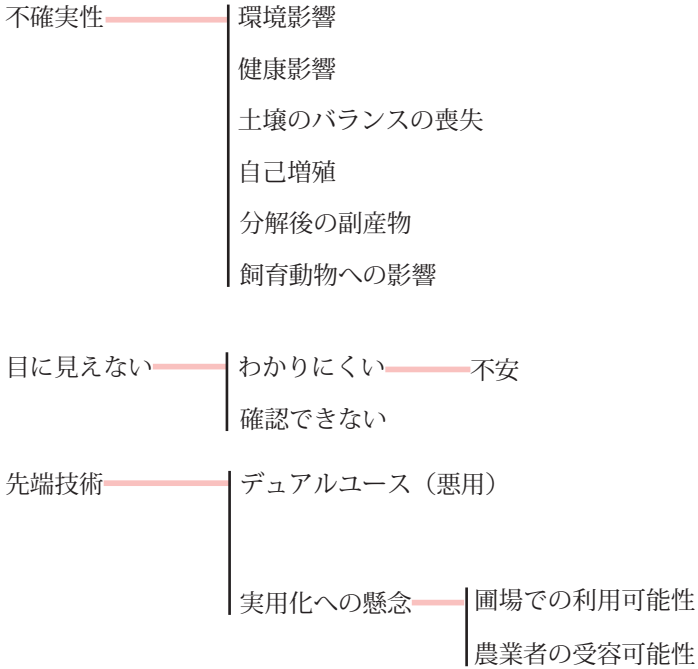
評価できる点



一般市民と比べて、分子ロボットの使用場面を想定した具体的なイメージを持っており、評価できる点も、評価できない点も、農業関係者として知識と経験に結びついており、技術一般に当てはまる論点はほとんどありませんでした。

このような対話の経験から、応用分野の専門家が、新しい技術の応用に関する対話を行う際には、対話を解釈するための対照として、また不足する論点の補完として、技術の応用先の関係者ならびに一般市民による対話を合わせて行うのがよいでしょう。

評価できない点



農業関係者から見た農業技術

評価できる技術と理由

技術	理由
肥料	使い勝手、より自然なものに
農薬	少量で有効
農業資材	生分解性
品種改良	受精卵移植（例：酪農における繁殖）
情報技術	生産管理
搾乳ロボット、ドローン	省力化
バイオガス	再生資源の利用
雪割り（畑に積もった雪を割るように雪かきすること）	労働負荷の低減
増収量技術	収益性

当然ながら、有効性、収益性、安全性、経済性が高い技術は評価されています。他方、収量が増えたとしても、文化を破壊し、環境へ悪影響を与えるような技術に対してはそれを評価するような発言はありませんでした。

実態はともかくとして、自然なイメージをもつ技術は、科学的、人工的なイメージをもつ技術と比べて評価されています。たとえば、酪農の繁殖作業で行う受精卵の移植は受け入れられても、遺伝子組換え、ゲノム編集はほとんど低評価です。

評価できない技術の理由として、理解不足が多く挙げられています。注目すべきは、科学的なメカニズムとしては理解が不足しており、「よくわからない」と語られることがあったとしても、肥料や農薬などの従来技術は大きな対価を払って利用されていることです。さらに、自然由来と謳われた土壌改良剤の新製品は、その科学的メカニズムが理解できないあるいは高コストのものであっても、新規に導入した経験についての語りもありました。ただし、その場合も、新規に導入したものが、少なくとも、作物や収量への弊害が経験的に見られないことなどがその後の使用の条件となっていることが伺える発言がありました。

評価できない技術・よくわからない技術

技術	理由
肥料	理解不足
農薬	高コスト、理解不足、不安
自然由来の土壌改良剤	理解不足、高コスト
搾乳ロボット	期待はずれ
バイオガス	自然の循環を断つ
増収量技術	文化の破壊、総合的にマイナス
遺伝子組換え、ゲノム編集	理解不足、手続き、不安
代替肉	命への感謝、農業経営、食べ物と言えるか

いずれにせよ、農業実践の中で培われた現場感覚と観察に基づく判断があることに対する視点が必要になります。

このような「語り」に渗む日常の実践や価値観に触れる中で、必ずしも目的志向的でない普段からの対話の重要性に研究者側が気づいていくということもありました。このような素朴な対話の積み重ねが信頼関係を構築していく素地になっていきます。

遺伝子組換え、ゲノム編集は、評価できない理由として理解不足が挙げられていますが、比較的新しいゲノム編集はともかく、数十年の歴史をもつ遺伝子組換えがいまだに理解されないことは興味深い事実です。これらの技術は、導入プロセスへの不満も評価できない理由として挙げられます。

代替肉については、安全性や環境影響の前に、そもそも食べ物と言えるのか、という大前提が問われています。

技術の受容性に影響する ローカルな知識システム

よくわからない技術は、必ずしも受容されない技術ではなく、よくわからない技術には、受容されるものとされないものがあります。農業関係者との対話(第3回)は、技術の理解と受容性の関係が複雑であることを示しています。

対話の中では、理解が不足したまま導入している技術として、天然由来の新たな土壌改良剤が話題になりました。

遺伝子組換え、ゲノム編集を評価しない理由の一つとして理解不足が挙げられ、分子ロボットも同様であることから、天然由来の新たな土壌改良剤が、理解不足のまま受容されるメカニズムを考えることは、分子ロボットの受容性を検討する上で役に立つでしょう。

天然由来の新たな土壌改良剤を導入した参加者からは、その理由として、

- ・信頼できる営業マンから紹介されたこと
- ・利用している同業者の意見
- ・自分でテストした実感（少なくとも悪影響はなかったという実感があること）

が、挙げられました。

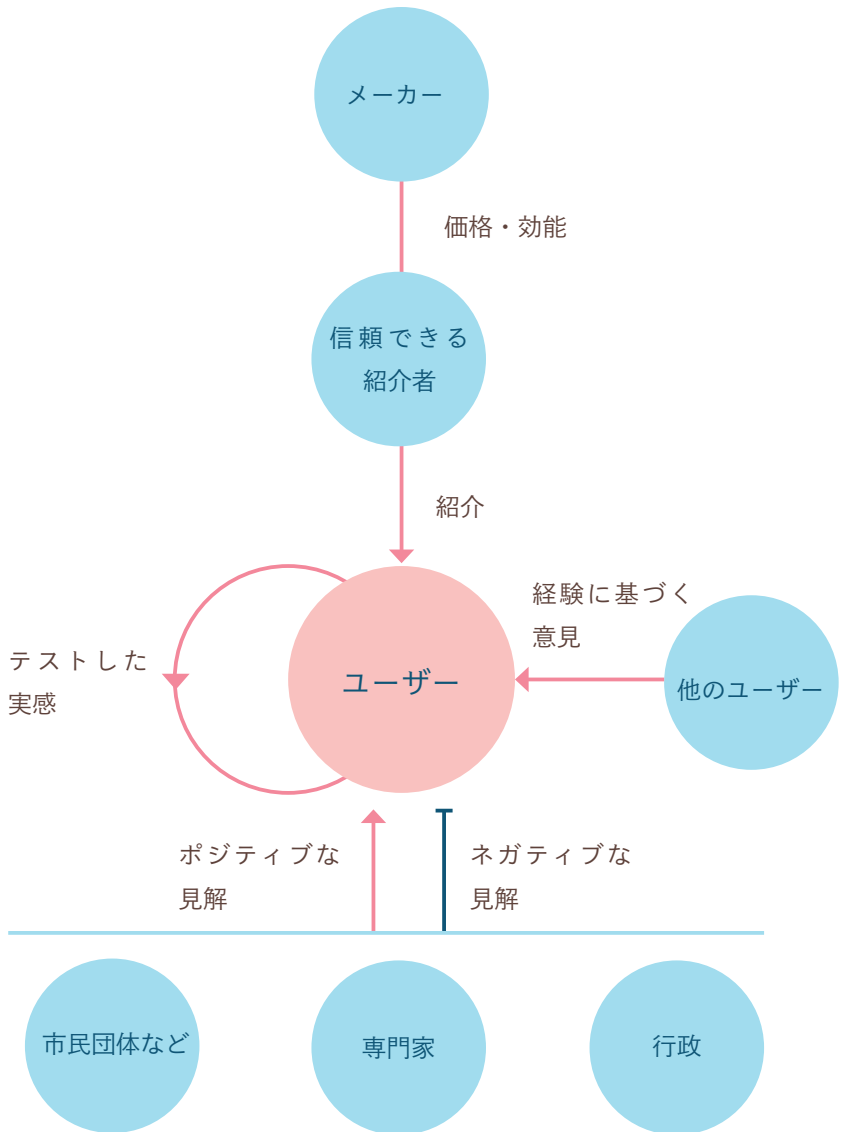
また、新しい農業資材を購入する際の判断基準をたずねた事後アンケートでは、上記に加えて、

- ・価格と効能
- ・消費者団体との取り決め

などが挙げられました。

これらを総合し、ユーザーの判断に影響を与えることが考えられる行政、専門家などを加えると、右図のようにローカルな知識システムを描くことができます。

実際は、より多様な要素が複雑に絡み合っていると考えられますが、少なくとも、ユーザーの理解を深める試みだけでは、技術の受容性を高めることが難しそうだといえるのではないのでしょうか。



科学館での分子ロボット展示

展示のアイデア

- 1 分子レベルで起きていることをしっかり説明する展示
 - ・身体没入型の展示
 - ・映像展示
 - ・VR /AR を用いた展示
 - ・ハンズオンの展示
- 2 未来を考える展示
 - ・来館者が分子ロボットを構想するアイデアシート
 - ・分子ロボットの未来を青天井で考えるワークショップ
- 3 ホンモノに触れる展示
 - ・研究者のパッションを共有するトーク・イベント

展示制作の検討項目

- 1 ターゲット
- 2 内容と形式
- 3 分子ロボットをメインピックとする必然性
- 4 他の展示との連携
(全ての展示と分子ロボットを絡める科学館ジャックなど)
- 5 サイズ、強度などの物理的条件
- 6 運営コスト
- 7 予算
- 8 耐用年数
- 9 (新型コロナウイルス感染症流行下での) 消毒

分子ロボットをめぐる ELSI の展示

1 肯定的な意見

- かつての原子力の展示は夢のエネルギーのような展示だったが、3.11 後、利用者から疑問の声があがった。経年によって新しい課題が出てくることもある。出展者側には現状の課題にはこのように取り組んでいる、と見せてもらっている。その時その時の研究者のスタンスの提示をすることが大事。原子力以外のエネルギーの展示も置くなど、科学館はいろんな側面から学べるようになっていっているので、利用者には良い面も悪い面も持ち帰っていただけるように配慮していると思う。

2 どちらかというとき積極的な意見

- 研究者がもつ懸念点もどんどん展示として出すのがいい。スタンスとして、加害者、被害者、傍観者の 3つの視点がある。
- 体験するまでは新しい技術のメリットを感じてもらえにくい。メリットを 1つでも感じなければ、直感的にネガティブな方になってしまう。問いかけ、働きかけがキーになるのでは。
- SDGs をテーマにしたイベントで、真の面を伝えることも大切と感じている。興味のない人にどのように伝えるのかが自分にとって課題。科学館は興味のある人が来る場所というイメージがある。ロボットの悪用やディストピアを考えるなど、教育じみていないイベントが逆に教育につながることもある。まずは、興味のない人向けの活動を考えている。

3 どちらかというとき消極的な意見

- 分子ロボットのネガティブ性について今は語る必要はない。
- 個人的には、科学館はネガティブな側面にも触れる場だと思う。だが、地域科学館としては、来館者層の低年齢化、設置者側の理解がある。展示として落とし込むには、いろいろ事情が複雑（例：プロトセルのWS）。メリットがわからないと、不安なイメージのほうが勝ってしまう。
- デメリットを気にするというよりも、デメリットを乗り越える技術の紹介としてこれからも行っていきたい。展示して終わり、ではなく。

分子ロボット基礎研究ガイドライン

分子ロボット基礎研究ガイドラインに対する 市民の意見と論点のリスト

評価できる点

客観的な視点の獲得

リスクマネジメントの推進

社会へのメッセージ

研究者・学生へのメッセージ

議論の効率化

研究へのフィードバック

評価できない点

イメージ、発想の固定化

研究の行きすぎた制限

ガイドラインの形骸化

柔軟性の喪失

研究コミュニティの分断

参加者へのインセンティブ

社会の不安を喚起

問題への懸念

よくわからない点（疑問点）

ガイドラインの策定主体

ガイドラインに関するコンセンサス

ガイドラインの目的

分子ロボット固有の論点

概念の定義

ガイドラインの形式と内容

策定スケジュール

ガイドラインのメンテナンス

ガイドラインの先行事例

今後の課題

ガイドラインのあり方

関与者の拡大

付録 対話の記録

一般市民（第1回）「分子ロボットで、地球に優しい農業を」

目的 分子ロボットに対する一般市民の期待、懸念、疑問点を明らかにする。

日時 2020年8月30日

場所 Zoom ミーティング

主催 分子ロボット倫理研究会

協力 科学コミュニケーション研究所

情報提供 「分子ロボットで地球に優しい農業を」（小長谷明彦）

参加者 一般市民 5名（公募）
分子ロボット倫理研究会

参加者	居住地	職業	年代	性別
A	大阪府	会社員	20代	男性
B	大阪府	個人事業主	20代	女性
C	岩手県	主婦 養蜂家	40代	女性
D	宮城県	主婦	50代	女性
E	大阪府	会社員	50代	男性

話題提供を受けて分からなかったこと、詳しく知りたいこと

参加者	質問
A	分子ロボットとは、クローンやアンドロイドと呼ばれるものとは違うのですか？
B	分子ロボットが使用された農業で作られた物をヒトが摂取すると、分子ロボットが人に害を与えることはないのでしょうか？
C	日本は世界的にも化学肥料を多く使っているとのことですが、なぜですか。（面積に対し人口が多いからでしょうか）
D	一度作成された分子ロボットの寿命はどのくらいあるのでしょうか？また役目を終えた分子ロボットの残骸の様なものは発生しませんか？それが逆に自然に悪影響を及ぼす心配はないのでしょうか？
E	ロボットはアメーバみたいな動くものですか

事前評価

参加者	事前評価	理由
A	1	自然にも人にもほぼ害を与えないものができるならば（リスク、ベネフィットを超えるならば）、役に立つ技術だと思しますので、高評価です。
B	2	農業や化成肥料の代わりになるなら良いと思った為
C	2	化学肥料に頼っている現在の日本の農業からの脱却を期待したいと思いました。まだ、未知の部分も多いということで2。
D	1	人の手の回らないところで活躍し、自然環境的に優しいものであれば、とても良いと思います。
E	2	分子ロボットは初めて聞きましたが、品種改良や、遺伝子組み換えみたいなものなのかと考えています。重要なのは安全性だと思いますが、そこがクリアになれば問題ないと思います。ただ遺伝子組み換えのように完全にクリアになるにはかなり時間がかかると思います。

事後評価

参加者	事後評価	理由
A	1	研究者が技術だけを考えているのではなくて、社会への影響を考えながら研究されているのは、非常に心強いなと思いました。
B	2	後世にも害の及ぼさないように長い目で見て、みんなの幸せにつながるものであり、現在の不具合を解消し、より安全、自然になるのであれば技術開発はすすめて良いと思う。農業もいずれは、血となり肉となるので、利益優先でなく、安全なものなら良いと思います。
C	2	初めて触れる世界の話でしたが様々な説明を聞くうちに今の生活に希望を持たせてくれるロボットだと感じました。
D	1	コロナ禍における希望の光にもなってほしいです。
E	1	安全性に問題がなく美味しい野菜が食べられるなら大歓迎です。ただし分子ロボットの構造が一般の方が理解するには複雑で不安感を煽るのではないかと思います。（コロナに代表されるようによくわからないものに対し人は漠然とした不安感、恐怖を抱きます）一般の消費者に理解を得るためには慎重に進める必要があると思いました。

評価できる点

*環境

- ・環境負荷の低減
- ・生態系を壊さずに自然の恵みをいただけそうな点
- ・環境にやさしい農業の実現が望める
- ・自然環境に優しい点
- ・環境保全

*労働力

- ・農作業の人手不足が解消されそうな点
- ・担い手の減少への対応
- ・農業の最大化ができる（農業従事者が少ない、人口減少の日本にとって良いこと）
- ・自動で活動してくれる点

*安全

- ・ヒトへの安全性
- ・自然にも人間にも農薬や化成肥料よりも安全そうな印象な点
- ・安全性の観点

*化学肥料

- ・化学肥料からの脱却

*分解性

- ・分解性が良ければなお良い

評価できない点

*不確実性

- ・新しい技術なので何が起こるか分からないこと
- ・なんだかまだ、新しいものなので、安全性が信用できない
- ・未知な部分が多い点
- ・他への影響はないのか？
- ・新しい技術に対する不安
- ・分子ロボットが残存し続けて、むしろ環境負荷になること
- ・分子ロボットが残存し続けて、むしろ人の健康を損ねること

*イメージ

- ・分子ロボットというのが漠然と怖いイメージ（ロボットという文言）

*実用化

- ・完全にクリアになり実用化→浸透までの時間

*経済性、公平性

- ・農業のロボット化で大農家と小さい農家の格差が広がりそう。高くて実際には大農家しか買えなそう。そして、小さい農家が淘汰されていってしまう懸念
- ・ロボットのコストは？維持にかかる負担は？

*景観

- ・ロボットが入ってきたら美しい日本の農村の四季の営みが変わってしまうのではないかな不安

*開発費

よくわからない点（疑問点）

*製造方法

- ・どの様に作るのか？
- ・工場で機械的に作るのですか？

*流通方法

- ・どのように流通させるのか
- ・ユーザーに安心感を持ってもらうことが大切だと思いますが、どんな販促の方法を考えているのか
- ・文言だけ聞いても怖いイメージが払拭できないため、どんどん説明していく必要があると思います。

*研究開発の現在と未来

- ・分子ロボットの技術は現時点でどういったことまで進んでいて具体的に何ができるのか？
- ・現時点のアメーバ型の分子ロボットだと何ができるのか？
- ・今後の多細胞型の分子ロボットだと何ができるようになるのか？

*エンハンスメント

- ・なぜ、ひとはどこまでも進化しようとしてしまうのか。
- ・なぜ、分子ロボットをつくったほうがよいのか？→なぜ進化を求めてしまうのでしょうか。

*経済性

- ・分子ロボットの購入費用、維持費用→どのようなメンテナンスが必要になるのか？
- ・分子ロボットのコスト

*不確実性

- ・農薬とか化成肥料とかも安全性をうたい売られたあとにやはり方向性が間違っていたとすることがある。何を信じていいのやら。

一般市民（第2回）「分子ロボットで、よりよい世界を」

目的 分子ロボットに対する一般市民の期待、懸念、疑問点を明らかにする。

日時 2020年10月25日

場所 Zoom ミーティング

主催 分子ロボット倫理研究会

協力 科学コミュニケーション研究所

情報提供 「分子ロボットで地球に優しい農業を」（小長谷明彦）

参加者 一般市民 8名（公募）
分子ロボット倫理研究会

参加者	居住地	職業	年代	性別
A	東京都	アルバイト	20代	女性
B	神奈川県	学生	20代	その他
C	東京都	フリーター	30代	女性
D	東京都	主婦	30代	女性
E	大分県	自営業(ITコンサルタント)	30代	男性
F	千葉県	主婦	40代	女性
G	大阪府	兼業主婦	50代	女性
H	宮城県	個人事業主	50代	女性

話題提供を受けて分からなかったこと、詳しく知りたいこと

参加者	質問
A	分子ロボットが活用できる場や有用性について理解できましたが、今、最も分子ロボットの研究が進んでいる場はどこでしょうか。
B	現段階での分子ロボットの寿命はどのくらいあるのでしょうか？また役目を終えたロボットの残骸はどうなりますか？
C	分子ロボットというのは、目に見えるか見えないかという大きさかと思いますが、それを使いたいのに、ウツカリ見失ったりしないのか？という事が気になりました。→信号を常に発していたりするのでしょうか。
D	将来的には大きな分子ロボットを作れば良いと言われていましたが、分子ロボット自体に知能を付けるのか、そうではなくてあらかじめプログラムした状態で分子ロボットを活用させるのかどちらの方向性でしょうか？
E	分子ロボットの完成は何年後をめざしていますか？
F	今現在の微生物程度のものであるということでしたが、将来こういうものを作ろうと開発を進めているという具体的なものはありますか？
G	<ul style="list-style-type: none">・研究の先進国 / 地域等はあるのでしょうか。・現段階で具体的に利用できることはありますか。・今後、分子ロボットが発達し、広く利用できるようになったとした場合、ご専門の方からして真っ先に着手したい分野や事例というものがありますか。
H	なし

事前評価

参加者	事前評価	理由
A	1	専門家や職人が減少している現在で、微細な作業を実現できる分子ロボットは職人の代用となりえる可能性があるから。
B	2	現在開発段階ということで、現在世界が抱えている様々な課題解決を解決してくれるツールになっていくことを期待したいです
C	2	将来性があり、様々な分野で有効活用できると感じたため、完成時期や段階を踏まえて2を選ぶのが妥当だと思ったから。
D	2	人体や環境にも優しそうで、後の処理も害が無さそうなのがよいですが、高額になりそうな予感がします。
E	2	安全に地球や人間や動物に害がなく、残渣も残らないのであれば、科学の発展は良いと思う医療分野での開発が進みガンを食べてくれるアメーバとかミトコンドリアを活性化してくれるアンチエイジングアメーバとかできたら嬉しい。前もいったかもしれないですが、ぜひ生殖医療分野で卵子活性化、卵子老化防止の分子ロボットを開発してほしいと思ったので。
F	2	知識もないので期待を込めて。分子の変化によりいろいろ変わって広がっていくのかなと思い、無限大の可能性があるように感じたため。
G	1	医療や薬学など、幅広い分野で役立つことができると思うから。ただし、コストの面ではまだ課題があるのでは？とも考えています。あと、新たな法律を作らないと悪用されかねない面もありそうだと感じました。
H	2	分子ロボットならではの多様な利用方法や広い分野での利用が可能になるかもしれないということだったため評価できると思われました。しかし、生体分子というあたりで倫理的な懸念があるように感じます。

事後評価

参加者	事後評価	理由
A	1	機物による作成が前提で、環境に影響しない事が一番評価できると思った。
B	2	これまでのお話で人体の実用までにはまだ課題も多いことが分かりましたが、それらをクリアしていくことで現在困っている人達への希望の光になって行ってくれたらと言う希望を込めて評価致します。
C	1	医療や農業もそうですが、生活に密接しているところで大いに活躍できると思います。
D	2	夢のような未来が開そう。病気治療だけではなくて予防医療の分野にも特化していただきたい。肥満とか予防接種とか。でも高額になってしまいそうなので、実際には保険適用でなければ手が出ないと思う。医療保険での高額医療にも対応出来るように行く行くはなると思うけど。実現したら地球に優しい人体に優しい素晴らしいロボットなので、お財布にも優しくあってほしい。
E	2	デメリットを考えるときりがありませんし、悪用されたり、法的なものを考えると複雑なことにはなりますが、聞いていて単純におもしろい!! なにかしら、小さくてもいいので世に早く、私が生きている間に発展していくのを見たいと思いました。
F	2	単純ですが、SF 作品でよくある技術が現実世界でも実現できる可能性が出てきてワクワクします。法律や倫理面、金銭面でさまざまな問題もあると思いますが、今まで技術不足で救うことができなかった人を救え、あらゆる問題が解決できるのは素晴らしいと思います。
G	1	全体を通して分子ロボットがもつ大きな可能性、特に医療や農業といった分野は人類全体に関わってくるものですし、総じて評価ができるものと思います。一方、これからの面もあることからやはり不安がぬぐい切れないことや価格や実用化などの実現性を踏まえて2としました。
H	2	分子ロボットならではの多様な利用方法や広い分野での利用が可能になるかもしれないということだったため評価できると思われました。しかし、生体分子というあたりで倫理的な懸念があるように感じます。

評価できる点

*可能性

- ・現在開発段階ということで、現在世界が抱えている様々な課題を解決してくれるツールになっていくことを期待したいです。
- ・将来性があり、様々な分野で有効活用できると感じたため、完成時期や段階を踏まえて2を選ぶのが妥当だと思ったから。
- ・知識もないので期待を込めて、分子の変化によりいろいろ変わって広がっていくのかなと思ひ、無限大の可能性があるように感じたため。
- ・分子ロボットならではの多様な利用方法や広い分野での利用が可能になるかもしれないということだったため評価できると思われました。

*医療分野への応用

- ・医療や薬学など、幅広い分野で役立つことができると思うから。
- ・医療分野での開発が進みガンを食べてくれるアメーバとかミトコンドリアを活性化してくれるアンチエイジングアメーバとかできたら嬉しい。前もいったかもしれないですが、ぜひ生殖医療分野で卵子活性化、卵子老化防止の分子ロボットを開発してほしいと思ったので。

*安全・環境

- ・人体や環境にも優しそうで、後の処理も害が無さそうなのがよいですが、高額になりそうな予感がします。
- ・安全に地球や人間や動物に害がなく、残渣も残らないのであれば、科学の発展は良いと思う。

*労働力

- ・専門家や職人が減少している現在で、微細な作業を実現できる分子ロボットは職人の代用となりえる可能性があるから。

評価できない点（1/2）

*進歩主義

- ・あまりに便利になりすぎると変な方向に進みやしないか心配。
→不便ぐらいが丁度良いこともある

*自然への恐れ

- ・人間がなんでも作ってしまうと、自然や動物を大事に思えなくなり地球を壊してしまう懸念がある

*悪用

- ・新たな法律を作らないと悪用されかねない面もありそうだと感じました。
- ・悪用されることが無いか心配
- ・悪用されて殺人の凶器にされるリスク。証拠を立証できるのか？

*生体分子

- ・生体分子というあたりで倫理的な懸念があるように感じます。

*突然変異

- ・突然変異などで、急におかしくなったり、なにか副作用など起きたりしないか不安。

*耐久性等

- ・静電気によって、壊れたりしないか。分子ロボットなので、あまり関係ないかもしれないが、今まで電子製品を使おうとして、静電気で何個か壊したことがあるので、疑問に思いました。
- ・活用方法や持続時間等も問題になると感じました。

*生命の境界

- ・生体とロボットの境界が曖昧な点（主観ですが...）

*法規制

- ・もし法規制する時に、法律を制定する側にも知識がないと、分子ロボットに関する法律を制定するのも困難なのは
- ・法的な法制度等の有無→技術先行では色々と不安

*知名度

- ・世間一般の知名度が低い？

評価できない点（2/2）

*更新性

- ・知識を学ぶことや、組織が更新する機能などがない場合は、一番はじめに作られた組織はメンテナンスなどや更新できないと劣化していく一方になるのではないか。

*不確実性

- ・ロボット自身の判断による単独操作にすると誤作動の恐れが高まり、ネットワークによる通信操作にすると管理できる人員不足が懸念される。
- ・人間が作るものは完璧はないので、やはり何かしらの不具合や害が発生しそうな懸念がある点
- ・ミスしたときの損害が大きくなりそう

*安全性

- ・遺伝子組み換え食品のように、安全性が懸念される。
- ・今後予期せぬトラブルが発生した際、安全は担保されるのか？
- ・安全面・衛生面での懸念点があると思います。
- ・プログラムのみで機能するだけでなく、問題や緊急事態が発生した際に、応用できるのか、それを人体に取り込んだ時の副作用が起きないか。その点が気になる。
- ・肥料等に使うのはよいが、人体に入れるのには誤動作等も含めて怖い

*実用化

- ・人類の進化に例えると、今は2段階目との事ですので、実用化されるのがいつになるのか？
- ・実用化されてからも高額になりそうなので、大量生産出来て幅広く無理なく行き渡るまでにはどれ程の歳月がかかるのか？

*経済性、公平性

- ・コストの面ではまだ課題があるのでは？とも考えています。
- ・当初のコスト面は膨大になりそうで、財力が無ければ手が出せなさそう・・・
- ・開発されたばかりだと高額になりがちなので、必要としているのに手が出ないという方がどうしても出てしまうであろうと予想される点。→劣化版や機能をしばった物が最初から出てくると、中小企業や一般の方でも手が出しやすいと思います。
- ・高額で結局なかなか導入できず、普及しづらい。
- ・高額で一部の人・団体しか買ったり使ったりすることができない

よくわからない点（疑問点）（1/2）

*安全性試験

- ・分子ロボットが世の中に出てくるまでに治験とかやはり何段階も薬と同じように認可されるまで、段階があるとおもうのですが、どのような段階を踏んで世の中に出てくるものなのでしょうか？
- ・薬と一緒に人体を使った治験を行う必要があると思いますが、人体を使った治験を行う予定とかはありますか？

*法規制

- ・日本内外で法的な規制等の動きはありますか。

*専門家が想定するリスク

- ・現段階でどのような危険・トラブルが想定されているのでしょうか？
- ・研究者間で最もハイリスクと考えられていることはなんなのでしょうか。

*専門家かからみた倫理問題

- ・倫理問題は具体的にどのような内容が考えられるのでしょうか？専門家からのご意見をお聞きしたいです。
- ・研究者視点で持つ分子ロボットへの知的的好奇心と、倫理観との狭間で悩むことはありますか？

*分解性

- ・福島の原子力施設でロボットも活用されている様だが、故障して止まってそのまま放置されているという様な話も聞くので、人体に悪影響のある環境で使用し、その後、何事もなく、地球に還元される様になるのか。

*研究開発の現在と未来

- ・現段階で具体的に利用できることはありますか。
- ・分子ロボットは現段階でどんな分野でどの程度活用されているのか？

*将来

- ・海洋マイクロプラスチックを食べてくれる分解してくれる分野で使えますか？・分子ロボットで世界をよくするために使える分野ということですが、先生方は実はどの分野で展開したいと思っていますか？
- ・今のところ医療とか農業とかに大いに活用出来ると思うのですが、それ以外の分野では既存のロボットに勝る点がありますでしょうか？

よくわからない点（疑問点）（2/2）

*経済性、市場性

- ・素朴な疑問として現段階での価格はおいくらくらいになるのでしょうか
- ・分子ロボットは言うなれば、生産→消滅する事が決まっている物かと思いますが、それを供給実現する際の物流はどうなのか。一秒を争うような場面は少ないと思うが、血液や臓器を運んだりする時の様な緊急性のある場合に対応出来るのか。
- ・分子ロボットが普及した場合のメンテナンスやアフターフォローなどまた別のそういった専門技術者が必要になってくるのではないか。

農業関係者（第1回）「分子ロボットで、地球に優しい農業を」

目的 分子ロボットに対する農業関係者の期待、懸念、疑問点を明らかにする。

日時 2020年8月29日

場所 Zoom ミーティング

主催 分子ロボット倫理研究会

協力 科学コミュニケーション研究所

情報提供 「分子ロボットで地球に優しい農業を」（小長谷明彦）

参加者 農業関係者 5名（依頼）
分子ロボット倫理研究会

参加者	居住地	職業	年代	性別
A	北海道	農業（米作）	40代	女性
B	北海道	会社役員	50代	男性
C	北海道	農業（畜産）	50代	女性
D	北海道	農業（畑作）	50代	女性
E	北海道	農業（酪農）	60代	女性

話題提供を受けて分からなかったこと、詳しく知りたいこと

参加者	質問
A	持続可能な農業が循環の輪のなかで達成されるという説明はわかりました。その循環を分断するのが農薬や化学肥料という事もわかりました。そこで分子ロボットがどのように環境にやさしく作用するかが全くイメージできません。
B	農業用分子ロボットで何が出来るのか。例えば肥料、農薬、サプリメントなどを作ってというお話でした。そこのお話を掘り下げてお聞きしたいです。例えば農薬のかわりとしてどんなコトができてどんないい効果を得られるのでしょうか。
C	どの分野でも実際に利用するときに、分子ロボットを回収できるのか。
D	もちろん役立つための研究なのですが、漠然としていて、どんな問題が起こるのか想像できません。現段階でどんな問題が想定されているのか教えていただければと
E	初めて聞く内容で難しいです。今ある分子ロボットの事を想像すると、負荷軽減するアシストスーツ？該当するのかな？と。環境でいうと難しいです。 例えば、有害雑草～主に海外から持ち込まれるような種子～の植物を選択的に枯死させるようなことができるのか？倫理的に、というところがネックになるのでは？1番の問題はそこになるのか？

事前評価

参加者	事前評価	理由
A	2	もし本当に環境に配慮し農薬や化学肥料が少なくなるならクリーン農業といえると思った。
B	1	可能性が無限に広がっているという意味において、とても面白い研究だと思う。
C	4	今の時代できるならやってもいいと行かない世の中。そのためこのような丁寧なやり取りが行われてるのだと理解した。今の所わからなさ過ぎて怖いイメージ。
D	2	問題は倫理的なところ。そこをクリアできるのであれば評価できると思う。私たちが環境に優しい農業を考えているのは同じだから。ただし、理解を得たり、本当に環境に優しいと評価できるまでは時間をかけて丁寧に進めていく必要があると思った。
E	2	効果的な使い方をピンポイントにするなら化学農薬の軽減のようなことができると思った。

事後評価

参加者	事後評価	理由
A	2・3	万が一分子ロボット導入によって、環境が良くなりや農業者が今よりもおいしいものや量が収穫可能なら評価できるが、絶対はないと思っているため、3。いろんな対策をし、実現できればいいのですが。まだまだ信頼するまでは難しい。
B	1	社会に役に立つ技術になることが可能であるが、兵器にも利用できるほどの恐ろしい側面もあるかとおもった。話を聞きながらサバクトビバッタは生物兵器なんじゃないかって気がしてきた。だからこそ倫理を大事にされて、これからも研究頑張ってください。最近僕らが説得されてしまうのは「地球の人口爆発のことを考えれば必要でしょ」という文句であるため、こういうところじゃない議論で僕らを納得させていただければとおもいます。
C	3	やはり科学者の方々の倫理観に頼らざるを得ない状況に不安を感じます。農業分野に分子ロボットの技術を使うことでバラ色の農業生産が出来るとはちょっと考えにくいです。確かに農業には環境や生産自体にも問題はたくさんありますが分子ロボットをとまだ思えません
D	2	日々の中で朝と夜とでは患者発生数が違っており情勢が刻々と変わる中でも、一生懸命やっていると感じる
E	2	可能性として、探って欲しいと思うし、今後の進化についていろんな所で検証してもらいたいと思います。良いところも悪いところも、これから見えるのかな。ミクロな視点マクロな視点、いろんな方向からみていきたい。

評価できる点

*環境

- ・クリーン農業を考える事ができた。
- ・環境のことも考えて農業が出来るのではないかと将来性が見えた点
- ・本当に地球にやさしい農業が実現できるなら多くの人に理解されるかもしれません。

*労働力

- ・農薬や化学肥料が低減できれば、それに伴いそれらを撒くエネルギーコストの抑制だけでなく、労働の省力化にもつながる点。

*可能性

- ・分子ロボットの可能性。
- ・なんでもできるという万能感

*作用機序

- ・作物に直接作用しないところ (DNA 解析)
- ・DNA 解析でいろんなことが考えられる世の中になった点

評価できない点

*不確実性

- ・分子ロボットのマイナス点があるのではないか
- ・ジュラシックパークの映画であったように、自然界の中で人知を超えることが起こってしまうのではないかという危惧・食べ物を作っている業なので何か体に悪い事なのではないかと疑ってしまう

*イメージ

- ・やはりわかりにくいこと。
- ・説明が少ないとイメージが良くないことと思ってしまう
- ・コロナウイルスでもある通り、一般の目に見えない、確認できないというのは、不安要素である

*実用化

- ・面積拡大の中で取り扱えるのか
- ・みんなが取り組むことができるのかという疑念
- ・いい技術だからといってすぐ農業者が取り入れるとは思えない点→それこそ丁寧な対話が必要になると思う。

*環境影響

- ・リンの土壌中における役目は多様であるにもかかわらず、ある一部分をクローズアップしてしまうと、バランスを崩し他への影響が出てしまう
- ・循環はその地域、土地で微妙なバランスの上で成り立っているものなので、よいからと導入してみんなが良くなるか疑問がわいてしまいました。

*デュアルユース

- ・兵器にも利用できるほどの恐ろしい側面もあるかとおもった。
- ・世間一般の知名度が低い？

よくわからない点（疑問点）

*製造方法

- ・分子ロボットがどのように作られるのか、例えばシャーシはどのようなものなのかと疑問。それが添加物とかなのかな？

*使用するイメージ

- ・分子ロボットが実際どのように農業分野に参入、導入されるのか思いうかばない
- ・分子ロボットが農業分野で働くイメージがわからない
- ・分子ロボットを扱う農家の様子が思い浮かばない
- ・具体的にどう動いているかわからない。植物体にどのように入っていくのか。実用化されとりんを遊離させるときにどうなるのか。根から入るのか葉っぱからはいるのか。

*制御

- ・分子ロボットと通信ができるようになりますか？
- ・分子ロボットを土壌に放ってから外から制御できますか？

*環境

- ・分子ロボットによって環境はよくなる？このままでいくと環境はどうなる？不安は尽きません
- ・やはり分子ロボットの介入によって環境がどうなるのか気になります。

*分解

- ・最後には吸収されるとあったが、何も土中には残らないのかな？

*生命の境界

- ・分子ロボットは生き物なんですか？

農業関係者（第2回）「分子ロボットで、地球に優しい農業を」

目的 分子ロボットに対する農業関係者の期待、懸念、疑問点を明らかにする。

日時 2020年10月24日

場所 Zoom ミーティング

主催 分子ロボット倫理研究会

協力 科学コミュニケーション研究所

情報提供 「分子ロボットで地球に優しい農業を」（小長谷明彦）

参加者 農業関係者 3名（依頼）
分子ロボット倫理研究会

参加者	居住地	職業	年代	性別
A	北海道	会社役員	50代	男性
B	北海道	農業（畜産）	50代	女性
C	北海道	農業（畑作）	50代	女性

話題提供を受けて分からなかったこと、詳しく知りたいこと

参加者	質問
A	今回具体的な話を聞くことができやはり環境に対する負荷があり安全性に疑問があります。（前回よりより具体的な話を聞くことができずいぶん具体的に想像する事が出来ました。ありがとうございます。農業者は自分の農地、その土地を嫌でも守り続けなくてはなりません。そうしないと営農できなくなるからです。それで農業者はいろいろなことに慎重になるのではないかと前回の会議を終えて思いました。）
B	分解を意図的に行うことは可能か？
C	基本的にはすべて自然界で分解できる素材で作るということか？分解できずに自然界に残るといようなものは排除するということか？

対話テーマの選択（参加者は、土壌作用型、地上作用型、細胞内作用型の分子ロボットのうちから一つを選んで投票し、土壌作用型が対話のテーマとして選択された。）

参加者	テーマ	理由
A	土壌作用型	科学肥料を使わなくてよくなるから
B	土壌作用型	食べる側の気持ちを考えると、細胞内作用型は現実的にありえない。
C	細胞内作用型	最初に実用化しそうなものだから

事前評価

参加者	事前評価	理由
A	1	農薬や肥料などと違って少量で大きな効果が期待できるから。
B	2	前回より具体的に想像する事が出来た。入れ物が興味深い。
C	2	まだまだ心配な部分はあります。農業は消費者があつての生産だと思うので、消費者をどのくらい説得できるかだとも思っています。そういう意味では、今回は生産者視線です。その視点に立つとある程度は理解できます。

事後評価

参加者	事後評価	理由
A	1	前回に比べて理解が進んだから、そしてこういう場を大事にされている方々が研究しているということが大きく評価できると思います。
B	2	今日のテーマは分子ロボットで地球にやさしい農業をというテーマでしたがこのテーマについては今一つの内容だった気がします。結局話したのは土壌中に分子ロボットを使うと肥料代わりの作用を期待できるという内容だったと思いますが、そもそも分子ロボットについての理解がなかったのも仕方ないことと思いました。今回の説明が全壊されたらもっと深められたと感じました。
C	2	不安が残るのは否めません。ただ、哲学的に考えると何でもすべてに最適を目指して立ち止まってしまう事になるという言葉は響きました。きっと生産者にとっては良いことなのだと思います。でもやっぱり消費者側の不安要素を取り除くことを私は一番望みます。

評価できる点

*農薬や肥料と比較した利点

- ・農薬や肥料などと違って少量で大きな効果が期待できるから。
- ・少量で効果があるということは土壤に与える副作用を少なくすることができる。
- ・化学肥料の節約
- ・肥料や農薬と違うアプローチが可能。→例えば根にストレスを与えて作物が本来持つ力を利用するなど
- ・ピンポイントで無駄なく効力を発揮できるのであれば、省力化になる。→例えば悪い菌やウイルスなどを抑える、という効果もあるとなおよいと思った

*追跡

- ・追跡できることで、作用状態が確認できる。

*分解

- ・キーワードは分解だと思う。維持することが難しいということなので、何日も維持するとなるといろいろなことを心配してしまうが分解される時に心配がなければ。

*その他

- ・まだまだ心配な部分はあります。農業は消費者があつての生産だと思うので、消費者をどのくらい説得できるかだとも思っています。そういう意味では、今回は生産者視線です。その視点に立つとある程度は理解できます。
- ・前回より具体的に想像する事が出来た。入れ物が興味深い。

評価できない点

*自己増殖

- ・自己増殖は難しいとのことだが、自己増殖をイメージした時は怖いことしか思い浮かばない。

*分解後の副産物

- ・分解した後の副産物として添加物が残る？（長期的な作用）
- ・肥料の吸収効率をよくするという考え方なら減るだけなので作業効率は変わらない。→最初から種に張り付けて確実にそこに作用するようにするとか長持ちするようなカプセルで、菌やウイルスを抑えるというのはまた別のものと思うのですがいかがでしょうか？どうしても遺伝子組み換えを思ってしまう。

*同一性

- ・先ほども言いましたが飼料を牛が食べてお肉になった時何が違うのかわからない。違わないと言えるのか。（環境影響）
- ・部分的に自然の持つ力を最大化すると、例えば道路が一車線から二車線になって、また一車線に戻ると結局渋滞は緩和されないみたいことが、起こるのではないか
- ・自然界のバランスを崩してしまうのではないか

*イメージ

- ・目に見えない
- ・最新技術のため安全性に不安
- ・イメージ→ネーミング

よくわからない点（疑問点）

*生産物の同一性

- ・生産物が使ったものとそぐわないものと同じといえるのか？

*ネーミング

- ・ロボット三要素が入れ物に入っているので分子ロボットというネーミング、これは世界的なものか

*安全性試験

- ・体内に入っても安全なのかを実証する試験的なものをする予定はあるのか？

*分解生成物

- ・土壌中で分解すると微生物のえさが増えるという事か

*生命の境界

- ・基本的にロボットだということは納得なのですが、この技術の進化先には生命を人工的に作るということにつながるような気がする

農業関係者（第3回）「農業技術のなかで 分子ロボット技術を俯瞰する対話」

目的 分子ロボット、ゲノム編集など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、対話を通じて明らかにし、農業関係者と研究者の対話の場を生み出す仕組みを考える。

日時 2020年2月10日

場所 Zoom ミーティング

主催 分子ロボット倫理研究会

協力 科学コミュニケーション研究所

参加者 農業関係者 6名（依頼）
分子ロボット倫理研究会

参加者	居住地	職業	年代	性別
A	北海道	農業（畑作）	40代	女性
B	北海道	農業（畑作）	40代	女性
C	北海道	会社役員	50代	男性
D	北海道	農業（畜産）	50代	女性
E	北海道	農業（畑作）	60代	女性
F	北海道	農業（畜産）	60代	女性

農業関係者から見た評価できる農業技術

*肥料

- ・緑肥
- ・肥料などは、以前よりも細分化され土壌や作物に応じて自分でいられるようになった。
- ・ホタテの貝殻を粉末粒状にして散布
- ・農薬、肥料、ユーザーの希望に沿うようになった

*農薬

- ・農薬等の倍率が上がり、少量扱うことができるようになった。
- ・昔と違い、農薬の使う量など減ったと思う。
- ・少量ですむようになった。クリーン農業になった。

*農業資材

- ・農業資材の生分解性を高めてくれるもの

*品種改良

- ・受精卵移植

*情報技術

- ・AIやIoT。ただし大きい経営ではなく家族経営が使えるようなもの。ある程度高齢でも継続できる省力化に資するもの
- ・土壌や作物の生育状況、生産物の分析などの情報を、利用しやすくするもの～酪農にはそういうシステムがいくつかあるが。

*機械化

- ・ロボット搾乳
- ・ドローンでの農薬散布

*バイオガス

- ・バイオガス、電気やガスとして利用

*雪割り

- ・雪割り（雪かきをして野良芋を殺す）

*収量が増える技術

- ・分子ロボットを含む収量が増える技術

農業関係者から見た評価できない農業技術

*化学肥料

- ・化学肥料の中身は本当にはわからず、知らずに使っているかもしれない、年に何トンも使用しているが

*農薬

- ・農薬の経費は高い、安価になれば労働に見合った所得になるのでは、除草剤を撒くと家族のハワイ旅行が飛ぶくらい
- ・農薬を使ってもよい対象作物のリスト（ポジティブリスト）の根拠がわからない
- ・農薬メーカーが儲けるために菌をばら撒いているのではと、思うこともある。作物の質は向上するが、経費は上がっている。種苗会社が見知らぬ液を持ってくるので使っているが不安もあり、ジレンマ。

*自然由来の菌、栄養剤

- ・液体状になっている菌、有機農法にも使える菌、ミネラル剤として売りに来る、ロッキー山脈でとれた何か、散布するだけで光合成の活性化、根張りが良くなるという触れ込み、高いから使いたくなるお父さんたちもいる、EM菌も含む、堆肥やタネに混ぜて使用する、500グラムで10数万。
- ・EM菌の使用者は、北海道ではあまり見ない。

*機械化

- ・搾乳ロボット。現段階ではロボットができないことが多すぎて、思った以上に労働時間の削減にならない。

*バイオガス

- ・畜産糞尿のバイオガス技術。糞尿からエネルギーだけを取ってしまうことで、自然の循環の輪が途切れてしまう。

*収量が増える技術

- ・収量が増える農業技術全般
- ・安全性の問題、目先の経済性を追ってしまいがちで、その土地の文化が崩れてしまう。
- ・タイの山岳民族、トウモロコシと農薬をセットで売る、他の作物が育たなくなり、土壌の保水力が失われる

* 遺伝子組み替え、ゲノム編集

- ・ゲノム編集。十分な理解を得ようともしない普及のあり方。安全性とか安定性とか不安。
- ・食べ物としては溢れている、だいじょうぶかな？と思う
- ・北海道はやらないと宣言、話し合いの中にもいて勉強もしたが、この技術が人体に影響がないことが実証されていないまま広がることに疑問
- ・ゲノム編集、話し合いがされないまま推進、これから不安に思う人が増えるのでは
- ・ゲノム編集、GMはよくわからない、奥が深すぎて、自分の知識では判断できない、人工的な操作のイメージがあり、食べても大丈夫か、と消費者の感覚で思ってしまう
- ・科学の分野はよくわからない

* 代替肉

- ・細胞肉
- ・大豆ミートはそれなりの必要性もあると思うが、培養肉は本来の農業自体を否定するものであり、命を損なわないという食はあり得ないと思うので（命への感謝）
- ・法人化など、この狭い日本で集約化した大規模経営を前提とした技術への偏り。
- ・食べ物が足りなくなる中で、クリーンミートをビーガンの人が好むこともあるだろうが、農家としての感覚としては大丈夫？という気持ち大きい
- ・食べ物として出回る前の段階では？食べ物とよべるのか。

農業関係者から分子ロボット倫理研究会への問い

*分子ロボット

- ・分子ロボットは除草剤の代わりになるのか。除草剤と分子ロボットは同時使用とか考えているのか
- ・ワンポイントで効くのですか？
- ・効き目の範囲（時間的）
- ・作物に対してではなく、除草剤の代わりになりますか
- ・誰でも使えるものなのですか？
- ・子供など人への影響
- ・すべての話をひっくり返してしまうような発言ですみません。分子ロボットというものを作るにあたって方向性を考えるためにと前回話されていました。考えたのですが、資源の循環や環境のいいという事はどういうことなのか科学的に解明してその環境にするためにはどのように分子ロボットを投入するか考えた方が早い気がしました。小手先の対策で収量を増やすと考えるより良く育つ環境を整えるために足りないものを投入するというようなイメージです。いかがでしょう？
- ・土壌に良くて悪さに変化したりしませんか
- ・永久に働くのか
- ・分子ロボットとゲノム編集、分子ロボットと遺伝子組み換えなど、分子ロボット技術は他の技術との組み合わせありきの技術ですか？
- ・分子ロボットを農業に活用することで、どのような未来を創造してらっしゃいますか？

*農薬

- ・除草剤ラウンドアップ・・・土の中ではどのように働いているの？化学物質は微生物によって分解され残ることはないのか？

*地球環境と農業

- ・地球環境を守ることを農業の分野から改善する方向で使えるのだろうか？

分子ロボット倫理研究会から農業関係者への問い

- ・品種改良を促進するという意味での「ゲノム編集技術」でもネガティブなイメージがあるのでしょうか？
- ・搾乳ロボットが実運用で逆に手間がかかるというのは、工業用ロボットの活用と同じ問題があるような気がしました。
- ・培養肉が普及する可能性は高いのでしょうか、それとも、ないとお考えでしょうか。
- ・技術自体に善悪はないと思うのですが、様々な負の影響が出る原因は誰（科学者、企業、行政、政治家、農業者、消費者など）によるものという印象ですか？
- ・農業の“正解”が何であるかは、世代を超えて共通、もしくは各世代で、または各地域によって異なるのでしょうか？
- ・農業のやり方として憧れる国はありますか？
- ・色々な企業さんが新しい農業商品を持ち込んで営業にいらっしゃると思うのですが、新しいものを使うことを決めるときの判断基準などはどのようなものなのでしょうか？
(馴染みや前からの付き合いのある企業だからとか、知らないところでも使うタイミングがあるとするとそれはどういうタイミングなのでしょうかなのか？)
- ・「肥料」と「除草」という二つの大きなキーワードを考えながら伺っていました。コストと安全性がとても大きなポイントであると思うんですが、それ以外にも作用の仕方が「分かる」というのもポイントなのかなと思いました。それがよりはっきりと分かることはどのくらい作物をつくられる方にメリットになりますでしょうか？

参加者への事後アンケート

Q1 品種改良を促進するという意味での「ゲノム編集技術」でもネガティブなイメージがあるのでしょうか？

- ・あります
- ・聞き馴染みのある「品種改良」と聞きなれない「ゲノム編集」。私は常に消費者目線で物事を考えてしまいますので、消費者がゲノム編集と聞いた時にどういう反応をするのか？と考えると、ネガティブなイメージをお答えすると思います。なぜなら、「ゲノム編集」がどういうものか知らないと思うからです。ゲノム編集がどういうものか知った上で買う買わないの判断があり、その判断が生産者の策に直結すると思っています。
- ・ネガティブイメージは漠然としていて、多角的に情報を得られれば変わると考えます。
- ・そのような思いはありません。
- ・「ゲノムの解析ができている。」という前提を説明しなければ、GMとの違いが明確ではないのではないのでしょうか？
- ・科学者の方々は遺伝子が自然に壊れる範囲といいます一般人はやはり意図的に遺伝子を操作したと感じます。遺伝子組み換えと違いが判りません。

参加者への事後アンケート

Q2 搾乳ロボットが実運用で逆に手間がかかるというのは、工業用ロボットの活用と同じ問題があるような気がしました。

- ・実際に酪農家さんはロボットからのスマホへのメッセージに追われ、24時間いつも気にしていないといけない様子です。
- ・使い方の“慣れ”の問題だと思います。
- ・搾乳ロボットはどんどん進化しています。最初は牛も人も慣れないと大変だけど、使いやすくなっていると思います。うちは使っていませんが。
- ・搾乳ロボットを使っている方から話を聞いたことがあります。酪農家はいろいろな思いで牛を育てています。乳がたくさん出るように、大きな牛を育てたい、長生きする牛を作りたい、など今まで関わった酪農家の方々の様子ですが、ロボット導入でロボットにあった牛群を作らなくちゃならなくなりました。共進会で活躍するような大型の牛はロボットに合いません。ロボットに合わせた牛群を作るようになります。牛屋のだいが味が減る気がしました。

参加者への事後アンケート

Q3 培養肉が普及する可能性は高いのでしょうか、それとも、ないとお考えでしょうか。

- ・培養肉については普及してほしくありませんが、知らぬうちに世の中へ出ているのではないかと不安
- ・普及すると思っています。未来はお金持ちしか本物のお肉を食べられないのではと考えています。
- ・世界的な食糧危機に備えるためになるのであれば…
- ・普及してほしくない（笑）
- ・培養肉は肉牛の農家としては抵抗があります。細胞を培養するから命をとらなくていい、違和感ありまくりです。大豆ミートのほうが普及する可能性が大きいと感じます。
- ・科学者の方々は遺伝子が自然に壊れる範囲といますが一般人はやはり意図的に遺伝子を操作したと感じます。遺伝子組み換えと違いが判りません。

参加者への事後アンケート

Q4 技術自体に善悪はないと思うのですが、様々な負の影響が出る原因は誰（科学者、企業、行政、政治家、農業者、消費者など）によるものという印象ですか？

- ・世の発展は科学。負ではないが、惑わされているのは消費者かもしれませんね
- ・「食べ物」と「命」がほぼイコールでイメージしている中で、命が脅かされるかもしれないと漠然とした感覚で「無農薬栽培の野菜」「無添加物」などを選んでいると周りの消費者と話していて思う。食べ物を作っている私からすると、健康志向の消費者には慣行栽培をしている私は肩身が狭い。よって、食べ物を評価しているのはやっぱりいつの時代も消費者、生活者なのだと思っている。
- ・企業、行政、政治家によるものと考えます。その技術を使う人たちが導く方向で善悪が決まると思います。消費者がしっかりと情報をアップデートしていくことが重要と考えます。
- ・私利私欲に使う人
- ・社会構造
- ・技術に善悪はあると思いますし、そのために倫理が大事だと思うし、コミュニケーションが必要だと感じます。

参加者への事後アンケート

Q5 農業の“正解”が何であるかは、世代を超えて共通、もしくは各世代で、または各地域によって異なるのでしょうか？

- ・全く違います。
- ・農業に「正解」など無いと思っている。そこに答えがあるとすれば誰も悩まない。土、人、風土、性格、慣習、気候、あらゆる要因があって農業をしている。究極共通して言えるのは、食べる人の代わりに生産して生業にしている。その上で私は食べてくれる人が喜んでもらうためにあらゆる知識をもって農業をしている。
- ・異なると思いますが、結局地球のキャパを超えて作ることはできないと思います。
- ・異なります。農という『生業』と『暮らし』
- ・条件によって違うと思います。
- ・農業の正解はもしかして時代で変わるのかもしれませんが。この問題も丁寧なコミュニケーションで解決していくしかないと感じます。国は大規模化を進めますが、家族農業が守られる日本であってほしい。

参加者への事後アンケート

Q6 農業のやり方として憧れる国はありますか？

- ・ニュージーランド
- ・フランス
- ・歴史を大事にしている国
- ・無い（以前はフランスやイタリアだったけど）
- ・特になし
- ・私は若いころデンマークで1年研修しました。政策が実に農家よりで、少ない農民で国の農業を担っていました。今は産業構造が変わったのかもしれませんが農家でも長い休みを楽しみ、サラリーマンと同じ労働時間を目指していたデンマーク農業はどうか国のあり方に憧れます。

参加者への事後アンケート

Q7 色々な企業さんが新しい農業商品を持ち込んで営業にいらっしゃると思うのですが、新しいものを使うことを決めるときの判断基準などはどのようなもののでしょうか？（馴染みや前からの付き合いのある企業だからとか、知らないところでも使うタイミングがあるとするとそれはどういうタイミングなのでしょうか？

- ・ 効能と価格。経営者の判断
- ・ 私は理念として「高品質な農産物を作る」がある。高品質な作物を栽培するために問題課題を洗い出し、その問題を解決してくれそうな情報があったら試したいと思う。その対象が農薬や肥料だったらコスパや費用対効果を考えて使うか使わないかを判断する。資材にしる機械にしる最終的な判断は、やはり利益に直結するか否か、資本である土質にどのように影響が出てくるのかを気にしている。
- ・ 営業マンとの人間関係によるところが多いと考えます。
- ・ セールスマンの人柄（夫曰く）
- ・ 他の農家の評価、サンプル・試用の有無。そののち決める。
- ・ うちの場合、パルシステムという東京の産直生協に牛を出荷しています。生産者と消費者の約束で決まったもの以外与えられません。使うとしたらパルシステムがいいと言えば使えると思います。今日の話で農家は肥料会社や種苗会社のいい鴨になってる気がしました。価格を聞いてびっくりしました。それこそ研究成果としてもっと安価なものが出来れば農家の助けになります。そしてどうしてそうなるか農家がわかることで選択時の基準になります。

農業関係者と研究者との対話の場をつくる工夫

*相互理解

〈農業関係者〉

- ・研究している事を拒否ではなく歩み寄る。理解する。
- ・不安感がなくなれば対話できるかな。
- ・研究者の方々がしっかりとした哲学や倫理のもとに開発されているということを知ること
で、漠然とした不安が消えるのではないかと思います。そのためには対話が必要で、この
ようなワークは非常に有効だと考えます。あとはこれをどう他の農業者とも共有していく
かというところが、課題なんだろうと。科学技術への不信は、一部の悪い事例が人の心の中
に残ってしまうからという側面もあるので、このような対話の中で信頼関係を構築する
ことが必要と考えます。

〈研究者〉

- ・多様な考え方をお互いに理解しあうことが大事だと思います。
- ・農家の方がもつ知恵に触れる機会、研究者がもつ問題意識を知っていただく機会
- ・それぞれが望むもの（解決したい問題、ニーズを含む）を伝える対話
- ・現場でよい悪いを判断するタイミング、ポイントを研究者は肌感覚ではわからないことを
学びたい。

*関心喚起

〈農業関係者〉

- ・協働する対話の場を生み出す工夫→興味を持ってもらう、イベント？

〈研究者〉

- ・それぞれの懂れの存在（農業者、研究者）を紹介・説明するイベント

*継続性

〈農業関係者〉

- ・お互いを知りたい→コミュニケーションをとる→何回も話す、会う

〈研究者〉

- ・継続性
- ・無理なく継続できる場の設計
- ・対話の継続性が理解を深めるために必要かもしれません。
- ・今回も農業関係で、2回、3回と対話を繰り返すことで、農業に関する本質的な課題や問題
点がみえてきたような気がします。

*参加者の募集

〈農業関係者〉

- ・今はリモート会議など活発にされる時代、またネット上に様々なグループがあって盛んに交流している。良く機能するかわからないが、農業関係者グループなど作って意見交換することは可能と思う。新技術は興味ある人も多いと思う。分母が大きいと様々な声も拾える。農業はその作るものによって実に多様で必要なことも様々なので研究対象としてはすぐ将来性のある研究になると思う。今まで進んできた進化の方向をこのように方向性を議論しながら進むことはすばらしいと思う。
- ・公的な関係団体（都道府県とか JA）とかだけではなく生産者に直接、無作為に集める。または募集する。「わきまえていない人（笑い）」にも声をかける。

〈研究者〉

- ・目的を持った対話だと“効率重視”の視点から逃れられないので、ただ時間を共有するための仕掛け

科学館関係者「科学館での分子ロボット展示コンテンツを構想する」

目的 科学館での分子ロボット展示コンテンツを構想する。

日時 2020年11月25日

場所 Zoom ミーティング

主催 分子ロボット倫理研究会

協力 科学コミュニケーション研究所

情報提供 「分子ロボットってなに？」(小宮 健)

参加者 科学館関係者 6名(依頼)
分子ロボット倫理研究会

参加者	勤務地	職業	性別
A	千葉県	科学館職員	男性
B	東京都	科学館職員	男性
C	東京都	科学館職員	女性
D	福岡県	科学館職員	女性
E	東京都	会社役員	男性
F	東京都	芸人・大学教員	男性

よく分からなかったこと、詳しく知りたいこと

* VR のギミック

質問：小長谷さんに質問です。VRで触るとビビッと振動するとのことですが、実際にそのような振動が起きるのですが？それともあくまで効果付けでしょうか。

回答：触ったかどうかの効果付けで振動させている。手のひらに情報がくると、すぐ触った気持ちになる。

* 研究の面白さ・目標

質問：研究者の皆さんは、この研究の何が面白いのでしょうか。具体的に分子ロボットを役立てる目標があってそれに向けて研究しているのでしょうか。

回答：目標は、役に立つものができること。何が面白いかは人それぞれだが、生物がなぜできているのか、仕組みの不思議さが面白いと思っている。

* 伝える場・考える場

感想：多くの人に研究の存在を知ってもらい、その上でどう付き合うかを考える場を提供できるか…科学の夢と人間の未来に想いを馳せられるといいテーマだと感じました。

* 研究のむずかしさ

質問：そこまで未来に行くにはどこが難しい点ですか？

回答：ビジョンがないといけない。まずはゴールを共有するところから。

* 展示のターゲット

質問：一般的な質問ですが、小学生がターゲットという話がありました。小学生は生物で分子を習うのですか。

回答：小学生でも楽しんでほしいという意味。中身は難しくても、面白いという感覚を持っていただきたい。

* 研究費

質問：こーいう研究はすごいお金かかるものですか？科研費的な・・・

回答：数千万円、億単位。コミュニティ全体で10億円くらいではないか。

展示のアイデア

【ホンモノに触れる展示】

- ・トーク・イベント：基本。ホンモノに触れることが重要。つまり研究者。パッションしかつたわらないと思う。小学生には。それでよいと思う。

【未来を考える展示】

- ・アイデアシートを置いて、来館者が思う分子ロボットを書いてもらう展示
- ・未来を考える：どんなことができるだろう？という青天井のWSを行う

【分子レベルで起きていることをしっかりと説明する展示】

* VR/ARを用いた展示

- ・理解を深める：自分が小さくなって、ミクロの世界に飛び込む（細胞内 VR）
- ・マカロンで分子ロボット作る。そして食べる！それをVR世界におくって、すごい働くwww
- ・自分の顔の映像をうつして、そこに小さな分子ロボの映像で顔をひきのぼしたり、針を出したりしていじってもらおう H I K A K I Nのものまねができるとかw
- ・写真とって・・・身近な分子ロボットのようなのが働いているんだーなくなるよ・・・映像が変になっちゃう なんて？？？的な

* ハンズオンの展示

- ・ATGC 配列で形を作ることを、目で見えるスケールで再現する展示
- ・理解を深める：分子ロボットを大きくして、その機能を物理的パズルかプログラミングゲームのようにして、形や機能をつくる疑似体験をする

* 身体没入型の展示

- ・3Dシアターで自分が中に入ってみることができるような映像展示
- ・分子の世界に潜る部屋：床全面、壁全面にプロジェクションなど。理想はインタラクティブ CAVE。パワー・オブ・テンの世界を遊覧。分子の世界に潜ると、そこで土の中、身体の中、空気中で、分子ロボットが活躍している様子がアニメーションされる。さまざまな活躍を冒険することができる。

* 映像展示

- ・目に見えないスケールの話なので、今ある技術とこれからの可能性を映像で紹介

展示制作の課題（1/2）

*内容と形式

- ・展示化して意味のあるもの、意味のある見せ方

*メインピックとしての必然性

- ・ディレクションも課題のように思える。「分子ロボット」は「ロボット」展示の一部、あるいは各テーマ（医療や農業など）のサブテーマ的なトピックとして想像することができるが、分子ロボットがメインピックになると、それはどういう必然性で？ということは何れそう。（面白いことについては異論ありません）

*連携方法（科学館ジャックの提案）

- ・そもそも地域科学館との連携方法。このプロジェクトに特化してリソース分配を最大限効率的にできればよい（＝一般的に全体の仕組みから入ると難しそう）

※応用範囲が広いテーマについては、館内常設展示のすべてに紐付けるという方法がある。すでにある展示物にアディショナルなキャプションをつける。館全体で「分子ロボットはどこにでもある」展などと名付けてオリエンテーリングに仕立てるなど。常設展示を見る新しい視点も提供できる。

*ターゲット

- ・来館者層の低年齢化
- ・常設展示としたときの対象年齢（VRなど）
- ・学校教育との関連性 今はあまりないかもしれませんが、理科の単元に紐づいて設計されている場合も多いので、そもそも理解してもらいにくいこともあります。
- ・対象年齢や体験者の理解度によって見せ方が相当違ってきそう。

*運営コスト

- ・運営スタッフの数
- ・基本的に解説員などはいない状態で、やり方が分かる、内容が理解できるもの
- ・展示制作、運用するために自身が相当学ばなければ・・・
- ・スタッフだけで実施した場合に、来館者からの質問や疑問などに即答できない。来館者と研究者とをつなげる窓口を持つておくことが重要。
- ・展示物の運営

展示制作の課題（2/2）

* 予算

- 大きな予算
- （地方か都会かに関わらず）予算が課題。
- 予算面 管轄自治体の予算の縛りを受けます

* 物理的条件

- モノのサイズ、強度（紛失・盗難・誤飲・破損…）
- 導入に際して予算や展示サイズ

* 消毒

- 消毒対応への影響（モニターはアルコール消毒できるか？とか）
- マカロンの衛生面

分子ロボットの ELSI をめぐる展示に関する意見

【現状に肯定的な意見】

- ・かつての原子力の展示は夢のエネルギーのような展示だったが、3.11 後、利用者から疑問の声があがった。経年によって新しい課題が出てくることもある。出展者側には現状の課題にはこのように取り組んでいる、と見せてもらっている。その時その時の研究者のスタンスの提示をすることが大事。原子力以外のエネルギーの展示も置くなど、科学館はいろんな側面から学べるようになっていっているので、利用者には良い面も悪い面も持ち帰っていただけるように配慮していると思う。

【どちらかというとな積極的な意見】

- ・研究者がもつ懸念点もどンドン展示として出すのがいい。スタンスとして、加害者、被害者、傍観者の3つの視点がある。
- ・体験するまでは新しい技術のメリットを感じてもらえにくい。メリットを1つでも感じなければ、直感的にネガティブな方になってしまう。問いかけ、働きかけがキーになるのでは。
- ・SDGs をテーマにしたイベントで、真の面を伝えることも大切と感じている。
- ・興味のない人にどのように伝えるのが自分にとって課題。科学館は興味のある人が来る場所というイメージがある。
- ・ロボットの悪用やディストピアを考えるなど、教育じみでないイベントが逆に教育につながることもある。まずは、興味のない人向けの活動を考えている。

【どちらかというとな消極的な意見】

- ・分子ロボットのネガティブ性について今は語る必要はない。
- ・人的には、科学館はネガティブな側面にも触れる場だと思う。だが、地域科学館としては、来館者層の低年齢化、設置者側の理解がある。展示として落とし込むには、いろいろ事情が複雑（例：プロトセルのWS）。メリットがわからないと、不安なイメージのほうが勝ってしまう。
- ・デメリットを気にするというよりも、デメリットを乗り越える技術の紹介としてこれからも行っていきたい。展示して終わり、ではなく。

分子ロボット研究者「分子ロボット基礎研究ガイドラインを構想する」

目的 分子ロボット基礎研究ガイドラインを構想する。

日時 2020年2月4日

場所 Zoom ミーティング

主催 分子ロボット倫理研究会

協力 科学コミュニケーション研究所

情報提供 「分子ロボット技術の基礎研究ガイドラインをいかに策定するか？」
(九州大学病院 ARO 次世代医療センター 倫理担当 特任講師 河原直人)

参加者 分子ロボット研究者 5名(公募)
大学生・大学院生 2名(公募)
分子ロボット倫理研究会

基礎研究ガイドラインを策定することについて評価できる点

*客観的な視点の獲得

- ・基礎研究者コミュニティ以外に対してどのように映るかを客観視する良い機会になる
- ・研究者自身が一般人からどのように見られるかを意識することができる

*リスクマネジメントの推進

- ・社会への負のリスク（安全、セキュリティ etc.）が低減できる
- ・未然に事故や様々なリスク等を予防する役割。
- ・何に気をつけたら良いか、ということについて、科学者自身が気づきやすくなる。自分が大丈夫だと思ってもカバーできてないこともあるかもしれないので、客観的に誰かが見ている安心感に近い感じ。

*社会へのメッセージ

- ・一般人への広報に繋がる
- ・一般市民社会に安心感を与えられる。説明も容易になる。
- ・万が一研究の安全性に対して突っ込まれた時に最初の予防線のようなものを張ることができる（色々考えて議論していますと言える）
- ・社会でコンセンサスが取れたガイドラインが作れているならば、「その研究は倫理的に問題ではないか？」という問い合わせがあった時に、ガイドラインに従ってちゃんとやっているという説明ができるのは良い。ただ、その場合は、コンセンサスが取れているものがあることが重要で、小さい研究会が勝手に出しているというものでは不十分。
- ・取り組んでいるという事実そのもの（対外的説明）

*研究者・学生へのメッセージ

- ・研究対象（自然化学・生命等）に対する respect を忘れない
- ・研究者の意識の方向付け
- ・学生への指導の根拠
- ・研究者の倫理教育にも

*議論の効率化

- ・新しく研究を開始する時にその研究が問題ないかを長時間議論しなくて良い
- ・より具体的に倫理的な議論を展開できるようになる。

*研究へのフィードバック

- ・領域全体のイメージが固まり，研究の指針が立てやすくなる・安全性を一般市民に説明し易くなる（興味がある人間がアクセスしやすい）
- ・研究が発展する方向性を見据えてバックキャストする思考ができる（ロードマップの役割）
- ・研究計画を立てやすくなる。
- ・やって良い、ダメ、みたいな低階層の議論だけでなく、次に何をしたら良いかというような、先を見た議論がしやすい。
- ・研究での問の立て方を明確できる
- ・研究の道筋が立つ

基礎研究ガイドラインを策定することについて評価できない点

*イメージ、発想の固定化

- ・新しいアイデアの阻害に繋がってしまう可能性
- ・変に固めすぎると、多様性が生じにくくなる？
- ・応用のイメージが固まって、分野に対する誤ったイメージが伝わる可能性
- ・ガイドラインということで、画一化した見方が出るかもしれない。研究者からの発想の画一化だけでなく、メディア等からも、ガイドラインにあるような研究だけをやっている分野であると見られる影響。
- ・研究者の発想を狭めてしまう恐れ

*研究の行きすぎた制限

- ・作り方を間違えた場合、単なる厳しい規制によって、活動を不必要なレベルで制約してしまう。だからこそ、自分たちが作るメンバーに入っていないといけな。
- ・必要以上に厳しい制限をかける事で研究の広がり狭まってしま
- ・研究遂行上の制約になる恐れ
- ・現状に対して過剰な規制・必要作業になると、真面目な研究者ほど研究のロスが大きい

*ガイドラインの形骸化

- ・作って安心してはいけな。 ・倫理綱領さえ守れば良いという意識が生まれる可能性

*柔軟性の喪失

- ・一度決めてしまうことで安心してしまい、必要に応じて変えられなくなる可能性

*研究コミュニティの分断

- ・競争が生まれたらどうする？ 競争を促す動きにならないか？

*参加者へのインセンティブ

- ・ガイドラインの受益者でない者が策定作業することへの報酬を議論することが、良心的な活動を持続・普及するために必要

*社会の不安を喚起

- ・ガイドラインが必要なほどあぶないことをやっているのかという社会からのネガティブな反応

*宗教問題への懸念

- ・宗教的な問題は無い？ ・研究の道筋が立つ

基礎研究ガイドラインを策定することについてよくわからない点 (疑問点)

*ガイドラインの策定主体

- ・お示しいただいた WHO のバイオセーフティ指針などは、どのような方（専門や担当職務）が作成されたのでしょうか？
- ・誰（どの会議）が収束したと宣言するのか
- ・誰が作るのか

*ガイドラインに関するコンセンサス

- ・研究者の自治とステークホルダーとのすり合わせの関係。
- ・宣言に参画していない人に宣言を認めてもらうこと（コンセンサスを取ってもらうこと）はできるのか
- ・このガイドラインの作成に関わっていない、別の団体、特に利益のコンフリクトを感じている団体が、このガイドラインは認められないと大きな声を出して言い続けたらどうしたらいい？
- ・リスクとベネフィットについても予測が困難であり、そのバランスを考えること自体むづかしい。

*ガイドラインの目的

- ・具体的にどこを目指す上での倫理なのか？（先ほど述べたものと同じ）

*概念の定義

- ・分子ロボットの定義をしたとして、他の分野の方から見たら問題ないでしょうか？
- ・明確に定義できないものに対するガイドラインの在り方がよくわからない。たとえば新しい研究テーマをブレインストーミングして、何かアイデアがまとまったときに見直すチェックリストといったものがあるとよいかもかもしれない。

*分子ロボット固有の論点

- ・分子ロボット特有のガイドラインの必要性について、このような倫理の議論が始まった時に、まず議論があったと思います。その時は、まだ分からないということだったと思います。その頃から少し時間が経っていますが、河原さんが見てきた感じでは、他のガイドラインでカバーできなさそうだなと思ったものって、実際にありましたか？
ちなみに、私はまだ具体的には感じていたのですが、特有でやらなければいけないことがあるとすれば、全然別の分野で作られたガイドラインをすり合わせてどう運用すべきかというメタなところがあるのではないかと思います。

*ガイドラインの形式と内容

- ・文書としての分量はどのくらいを想定？・倫理と、実験におけるガイドラインの違いが今一つ分からない
- ・適切な分量や内容の細かさ・厳しさについて、成功例・失敗例とされる他分野の事例や対応はあるでしょうか？
- ・「ロボット」や「コンピュータ」と同じように応用分野を問わない広がりがあると思うのですが、理念にとどまらないガイドラインの想像がつかずにいます
- ・どのくらいの物を作るのか
- ・訴訟を想定するのかもしれないのか

*策定スケジュール

- ・決定及び施行時期はいつか
- ・どの時点で収束となるのか

ガイドラインのメンテナンス

- ・改訂の検討を行う機会はどれぐらいの頻度で設けるか
- ・行政等から出す指針ではないと思いますが、誰がどのようにメンテナンスするのが実効的でしょうか？
- ・更新頻度や手順はどのようにするのか

ガイドラインの先行事例

- ・これまで同じように基礎研究レベルから倫理構築を始め、成功・失敗した事例はあるのか？

基礎研究ガイドラインの策定に関する今後の課題

*ガイドラインのあり方

- ・ガイドラインは、問題を考えるフローチャート、チェックリストの役目を果たすやわらかいもの
- ・基礎研究ガイドラインのイメージは、非臨床の研究ガイドラインに近かったが、印象が変わった
- ・倫理綱領とのちがい
- ・ライフサイクルを意識しながら、土壌分野、医療分野などをかき分けて、10ページくらいでまとめるのが現実的か、べからず集ではなく、研究領域を確保する心構え的に
- ・既存のルール、法律で対応できる範囲で考え、はみ出す部分を別途手当
- ・訴訟 産業応用、医療応用が見えてきてからでいいのでは
- ・最終的には行政から出したガイドラインで実効性を、その前の段階で作っておき、そこに反映されることを目指す

*関与者の拡大

- ・基礎研究ガイドラインの議論は今日が始まり、コミュニティを広げ、ステークホルダーとの対話へ
- ・ディスカッションは半年に一度くらい、コミュニティに報告、賛同、シンポジウムなどで
- ・ウエットの研究をしている学会の中にもコミュニティを
- ・ステークホルダーとしての「将来の研究者」、「隣の方の研究者」
- ・意識が高くない方でも、年に一度は議論の場に来られるように
- ・必要性のある、応用分野の方が年次大会には来ない、どのように包摂するか

おわりに

研究・開発をめぐる対話は、コミュニケーションに関する理論や実践的な知識を学び、あるいは、それらに精通した専門家の協力を得ることで、質的な向上が期待できます。

また、経験を通じてイベントの実施スキルを高めたり、外部のリソースを活用したりすることで、実施の負担が少なくなり、無理なく継続していくことも可能になります。

しかし、対話の技術が高まっても、思うような成果が得られないこともあります。あるいは、そもそも私たちが期待していた「思うような成果」自体がどのようなものであったのか、それが適切なものであったのかということ自体を見直すことが必要になることもあります。

原因はさまざまですが、しばしば出くわすのは、異質な他者との対話に関する姿勢、意識が定まっていないケースです。

そのような場合の処方箋として、ここでは、分子ロボット倫理研究会のメンバーであり、食と農をめぐるコミュニケーションの専門家である吉田省子さん（北海道大学大学院農学研究院客員准教授）が書かれた「リスコミ 七つの覚書」を紹介したいと思います。

「続けることで見えてくるものもあります。」

今回の一連の対話の取り組みから私たちが学んだことは、「語り」に渗む日常の実践や価値観に触れる中で、必ずしも目的志向的でない普段からの対話の重要性に研究者側が気づいていくということもありました。このような素朴な対話の積み重ねが信頼関係を構築していく素地になっていくのではないかと考えられました。

1. リスコミの目的は多様です。説得ではありません。
2. イベントは対象者に合わせて。お仕着せは嫌われます。
3. リスコミは力の行使です。誰かを傷つけないように注意しましょう。
4. 誰が、何を、どのように伝えるのか。それ次第で、言葉の意味は変わります。
5. リスクの受け止め方は十人十色。科学だけでは決まりません。
6. 「正しい方向に導こう」という気持ちを捨てる。「正しさ」を考える場がリスコミです。
7. 一度でできなくても、同じテーマで、同じ人々と場を重ねること。続けることで見えてくるものもあります。

出典 「食と農をめぐるリスクコミュニケーションハンドブック」
(北海道大学リスコミ職能教育プロジェクト 2019)

JST-RISTEX「人と情報のエコシステム（HITE）」研究開発領域
研究開発プロジェクト「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」（代表 小長谷明彦，2017-2020 年度）

JST-RISTEX「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（RInCA）」
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」（代表 小宮健，2020 年度）

協力プロジェクト

JST-RISTEX「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（RInCA）」
研究開発プロジェクト「研究者の自治に基づく分子ロボット技術の RRI 実践モデ
ルの構築」（代表 小宮健，2021-2024 年度）
研究開発プロジェクト「萌芽的科学技術をめぐる RRI アセスメントの体系化と実
装」（代表 標葉隆馬，2020-2023 年度）

分子ロボットをめぐる対話要点集 2020 年度版

2022 年 2 月 1 日 第 1 刷発行

企画・制作 分子ロボット倫理研究会

小長谷 明彦（恵泉女学園大学／東京工業大学名誉教授）
小宮 健（東京工業大学 / 海洋研究開発機構）
河原 直人（九州大学）
河村 賢（大阪大学）
標葉 隆馬（大阪大学）
瀧ノ上 正浩（東京工業大学）
武田 浩平（大阪大学）
森下 翔（大阪大学）
山村 雅幸（東京工業大学）
吉田 省子（北海道大学）

協力 科学コミュニケーション研究所

発行所 CBI 学会出版

ISBN 978-4-910628-01-1

本著作物の著作権は著者にあり、CBI 学会は、本著作物に関する、複製、配布、改変、再出版の権利を持ちます。本著作物はクリエイティブ・コモンズ [表示 4.0 国際] ライセンスの下に提供されています。



