



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	生き物の運命を握る鍵を手に入れた時、あなたは どうする？ : 討論劇で問うジーンドライブの是非
Author(s)	石井, 花菜; 種村, 剛
Description	2021年度対話の場の創造実習。劇団DoSTEP2021。「生き物の運命を握る鍵を手に入れた時、あなたは どうする？～討論劇で問うジーンドライブの是非～」．主催:北海道大学高等教育推進機構オープンエデュケーションセンター科学技術コミュニケーション教育研究部門 (CoSTEP・コーステップ)．上演日:2022年2月6日 14時～16時．オンライン ※台本の監修は山口富子教授 (国際基督教大学) による.
Issue Date	2022-02-06
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/84303
Type	learning object
File Information	03_tourongeki2021_pamphlet.pdf, 討論劇パンフレット



生き物の運命を握る鍵を

手に入れた時、

あなたはどうする？

討論劇で問う ジーンドライブの是非

今から10数年先の未来。

日本では蚊が媒介する感染症の流行により多数の重症者が生じている。この病気の特効薬は未だ開発中である。新たに、ゲノム編集技術を応用したジーンドライブ技術を用いて、原因となる蚊を根絶する計画が提案された。この技術の利用を巡って肯定側と否定側それぞれの専門家が招集され、市民法廷が開かれることとなった。

参加者のあなたはジーンドライブの利用についてどのような判決を下すことになるのだろうか？

主催 北海道大学 CoSTEP 対話の場の創造実習
「劇団 DoSTEP 2021」
問い合わせ先 種村剛 / 北海道大学 CoSTEP 准教授
tanemura@open-ed.hokudai.ac.jp

このイベントは、2019年度科学研究費助成事業 基盤研究 (C)「演劇を用いた科学技術コミュニケーション手法の開発と教育効果の評価に関する研究」(課題番号 19K03105)、2020年度公益財団法人日立財団 倉田奨励金「演劇を用いた科学技術コミュニケーション手法の開発および参加者の先端科学技術の受容態度の実容に関する調査」(共に研究代表 種村剛)の助成によって実施されている。

討論劇
dcj

2.6

14:00 - 16:00

13:50	開場	
14:00 - 14:50	討論劇	youtube
14:50 - 15:40	評決ワークショップ	zoom (要申込)
15:40 - 16:00	評決の発表	youtube

40分ほどのオンライン討論劇を観劇後、参加者は陪審員として議論の対象となった「ジーンドライブの実施の是非」について50分ほどのワークショップに参加し、相互のディスカッションの後、評決を行います。その後、評決の発表と討論劇のエンディングが上演されます。参加形態によって視聴方法が異なりますのでご注意ください。

ONLINE

討論劇 & 評決ワークショップ

参加無料

WS要事前申し込み

参加・申込方法

- Zoomによる評決ワークショップへの参加を希望する方は事前の申込が必要です。(先着20名)
- 討論劇はYoutubeから自由に観覧することができます。いずれも以下のQRコードよりお申し込み・ご参加ください。



Communication in
Science & Technology
Education & Research Program



実行 (予定期): 種井 理子 (さくらい りこ): 39歳。今回のジーンドライブ計画における主任研究者。生命科学研究所に所属。学生時代から一貫してジーンドライブをテーマに研究に取り組んでいる。
証人 (予定期): 柳方 悠史 (やうぢ ゆうし): 35歳。NPO法人「環境保護団体共生ネットワーク」代表。まっすぐな性格。バスや電車の乗降には産らないタイプ。
裁判長 (予定期): 長瀬 誠幸 (ながせ まこと): 30歳。裁判官経験。冷静に分析出来る。論議に賛成している。市民法廷の場においては是非行儀に徹する。
代理人 (予定期): 深川 優 (ふかがわ ゆう): 29歳。弁護士。慎重な性格で少し情にもろい。2歳になる息子がいる。理系科目はあまり得意ではない。

～タイムテーブル～

- 14:00 開幕のあいさつ
14:05 討論劇【第1部・審理編】

14:50 評決ワークショップ（YouTubeには配信されません）

15:40 討論劇【第2部・判決編】+フィナーレ
16:00 閉幕

- * 終了後、ワークショップ参加者及びYouTube観覧者のみなさんには簡単なアンケートへのご協力をお願いいたします。アンケートはイベント終了時にzoom及びYouTubeを通じてURLリンクをお送りします。
* 評決の結果は、後日CoSTEPのwebsite(<https://costep.open-ed.hokudai.ac.jp/>)に掲載いたします。

～登場人物～

裁判長：良尊 結香 りょうそん ゆいか

(cast 石井花菜)

30歳。勤勉な性格で、先入観をもたずに、冷静に分析できるよう常に努力している。市民法廷の場においては進行役に徹する。

否定側証人：緒方 悠史 おがた ゆうじ

(cast 小笠原明信)

35歳。NPO法人「環境保護団体生態系つなぐ未来の会」代表。まっすぐな性格。バスや電車の優先席には座らないタイプ。

肯定側証人：櫻井理子 さくらい りこ

(cast 水上千春)

39歳。今回のジーンドライブ計画における主任研究者。生命科学研究所に所属。学生時代から一貫してジーンドライブをテーマに研究に取り組んでいる。

否定側代理人：深川 縁 ふかがわ ゆかり

(cast 逢坂はるの)

29歳。弁護士。慎重な性格で少し情にもろい。2歳になる息子がいる。理系科目はあまり得意ではない。

肯定側代理人：瀬崎 くるみ せざき くるみ

(cast 小林瑞季)

28歳。ジーンドライブを肯定的に捉えている弁護士。虫が苦手。口調は穏やかだが気が強い一面がある。

～遺伝子工学の研究史～

年代	科学技術に関する出来事	社会における出来事
1940	1949: 【日】日本初の人工授精による出生@慶応大学	1945: 第2次世界大戦終戦 1947: <u>ニュルンベルク綱領</u>
1950	1953: DNAの二重らせん構造の発見 (J.Watson, F.Crick)	
1960	1964: 相同組換えモデルの提案	1962: J.Watson, F.Crick, M.Wilkins が DNA の二重らせん構造の発見について、ノーベル生理学・医学賞を受賞 1964: <u>ヘルシンキ宣言</u> 1966: ビーチャーの告発
1970	1970: 制限酵素の発見 1973: DNA 組み換え技術の確立 (P.Berg) 1977: 塩基配列決定法の開発 1978: 【英】世界初の体外受精児の誕生	1975: <u>アシロマ会議</u> 1979: ベルモントレポート
1980	1982: <u>遺伝子組み換え医薬品 (インスリン) の開発</u> 1983: PCR 法の開発 1984: 遺伝子組み換え作物 (タバコ) の登場 1987: 【日】反復クラスター-CRISPR の発見 (石野良純教授)	1980: 核酸の塩基配列決定法確立に関して、P.Berg, W.Gilbert, F.Sanger がノーベル化学賞を受賞
1990	1990: 【米】世界初の遺伝子治療 (ADA 欠損症) 1995: 【日】日本初の遺伝子治療 (ADA 欠損症) @北海道大 1996: クローン羊ドリーの誕生 1996: 【米】ゲノム編集技術 ZFN の開発 1998: ヒト ES 細胞株の樹立 1999: ゲルシンガー事件	1996: 【日】「組換え DNA 技術応用食品・食品添加物の安全性評価指標」(旧厚労省) 1998: 【米】シンポジウム「ヒト生殖細胞系列の改変」(WADA)
2000	2003: ヒトゲノム全配列決定 2003: 【中】世界初の遺伝子治療製剤 (頭頸部がん) の承認 2007: ヒト iPS 細胞株の樹立	2000: <u>カルタヘナ議定書</u> 2001: 【日】「ヒトゲノム・遺伝子解析研究に関する倫理指針」(厚生労働省) 2002: シンポジウム「遺伝子ドーピング」
2010以降	2010: 【米】ゲノム編集技術 TALEN の開発 2013: 【米】ゲノム編集技術 CRISPR/CAS9 の開発 2014: 【米】世界初のゲノム編集医療の臨床試験 (エイズ) 2015: 論文「ゲノム変種への慎重な道と生殖細胞系列の遺伝子改変」 2015: 【中】世界初のヒト受精卵ゲノム編集の基礎研究成果の発表 2018: 【中】研究者が世界初ゲノム編集ベビーの誕生を発表	2013: 【日】生殖医療を経て生まれた子が 40,000 人/年超えに 2015: 【米】ホワイトハウスの声明 2015, 2018: <u>国際ヒト遺伝子編集サミット</u> 2017: 【日】ヒト受精卵へのゲノム編集に関する報告書の提出 2020: 【日】ゲノム編集技術のヒト胚等への臨床応用に対する法規制の在り方について (日本学術会議) 2020: CRISPR/CAS9 の開発で Emmanuelle Charpentier, Jennifer Doudna がノーベル化学賞受賞 2020: 【日】ゲノム編集食品(トマト)を国が初承認、流通可能に

※紫色は特にゲノム編集に関わるもの

【参考文献】

- ・石井哲也『ゲノム編集を問うー作物からヒトまで』岩波書店, 2017
- ・山本品絵「ゲノム編集に関する研究史」『二重らせんは未来をつむげるか: 討論劇で問うヒト受精卵へのゲノム編集の是非』2018, 北海道大学学術成果コレクション HUSCUP <https://eprints.lib.hokudai.ac.jp/dspace/handle/2115/68376> (2022年1月15日閲覧)
- ・山本卓『ゲノム編集とはなにかー「DNA のハサミ」クリスパーで生命科学はどう変わるのか』講談社, 2020

～ゲノム編集～

1) 「ゲノム」とは？

ゲノムとは、ある生物の全ての遺伝情報を指します。遺伝情報とは、生物がその形と性質を次の世代に伝えるための情報です。ゲノムは糖、リン酸、塩基が結合した構成単位であるヌクレオチドがつながって二重らせんを形成した鎖状の高分子、DNA（デオキシリボ核酸）でできています。DNAの塩基にはアデニン・チミン・シトシン・グアニンの4種類があります。DNAの塩基の並びはmRNAに写し取られます。mRNAの塩基3つ1組の配列が、20種類のアミノ酸にそれぞれ対応しています。これをコドンといいます。生物を構成するタンパク質の性質は、アミノ酸がいくつ、どのように並ぶのかで決まります。以上をまとめると、DNAの塩基の並びでコドンが決まり、コドンの並びから、決まった配列でアミノ酸がつながったペプチド鎖が合成され、ペプチド鎖が折りたたまれてできたタンパク質により生物が特徴づけられます。その意味でゲノムは生物の「設計図」ともいえます。

2) 「ゲノム編集」とは？

ゲノム編集は、DNAの切断およびDNAの挿入により、生物の遺伝情報を書き換える行為です。DNAの塩基の配列が変われば、mRNAに転写されて作られるコドンの並びも変わり、合成されるアミノ酸も変化します。すると、生物は元とは異なる形や性質を持つことになります。

DNAの切断は自然に生じることがあります。切れたDNAは通常は元通りに修復されます。しかしながら、元通りに修復がされない場合、その部分のDNAの塩基配列が変化してその生物の性質が変わってしまうことがあり、これを突然変異といいます。一方、ゲノム編集は、突然変異と異なり、ゲノムの中の特定の配列を狙ってDNAを切断したり、その部分に別のDNAを挿入したりすることが可能です。特定のDNAを切断することで、その部位の遺伝子を機能させないようにしたり、切断した箇所に新たにDNAを挿入することで、これまでとは違う性質を生物に持たせたりすることができます。この技術を利用して栄養価の高い作物を作るなどの取り組みが行われています。

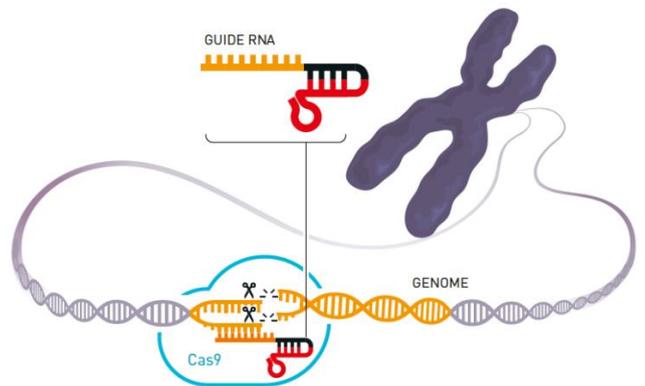
3) ゲノム編集技術・CRISPR/Cas9

CRISPR/Cas9はZFN（ジンクフィンガーヌクレアーゼ）、TALEN（ターレン）に続くゲノム編集技術です。CRISPRは「規則的な間隔で集まる短い回文的反復」（Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats）の略語です。

CRISPR/Cas9は、微生物が元々持っていた免疫システムをゲノム編集に応用したもので、ゲノムDNA切断酵素「Cas9」とゲノム上の狙ったDNA配列を認識するRNA分子「ガイドRNA」を使用するところに特徴があります。CRISPR/Cas9の登場により狙った位置でDNAを切断する精度が上がり、ゲノム編集の効率が飛躍的に高まりました。2020年、この技術を開発したことに対して、Emmanuelle CharpentierとJennifer A. Doudnaにノーベル化学賞が贈られました。

【参考文献】

- ・「いちから分かる！「ゲノムの正体を探る」『バイオステーション』2019 <https://bio-sta.jp/beginner/genome-description/> (2022年1月30日閲覧)
- ・「ゲノムとは？」『独立行政法人製品評価技術基盤機構（NITE， ナイト）』
<https://www.nite.go.jp/nbrc/genome/description/analysis1.html> (2022年1月30日閲覧)
- ・「CRISPR-Cas9 基本の「き」」『コスモ・バイオ株式会社』 https://www.cosmobio.co.jp/product/detail/crispr-cas9-introduction-apb.asp?entry_id=15520 (2022年1月30日閲覧)
- ・「Press release: The Nobel Prize in Chemistry 2020」『THE NOBEL PRIZE』2020年10月7日
<https://www.nobelprize.org/prizes/chemistry/2020/press-release/> (2022年1月30日閲覧)
- ・「ゲノム編集：CRISPR」『株式会社モダリス』 <https://www.modalistx.com/jp/science/crispr/> (2022年1月30日閲覧)



図：CRISPR/Cas9によるゲノムDNAの切断
(出典：THE NOBEL PRIZE 2022)

～ジーンドライブ～

1) 「ジーンドライブ」とは？

ジーンドライブとは、ゲノム編集の一種で、ある遺伝子を集団内に広め続ける遺伝子工学技術です。ジーンドライブでは CRISPR/Cas9 を使用します。ある個体の DNA に、広めたい遺伝子、ゲノム DNA 切断酵素 Cas9、そしてゲノム上の標的 DNA 配列を認識し広めたい遺伝子と Cas9 を導くガイド RNA の 3 つを組み込みます。CRISPR/Cas9 を使ってゲノム編集された個体が他の野生の個体と交配して子供ができると、DNA は親から半分ずつ受け継がれるため、編集された DNA と野生型の DNA を 1 つずつ持ちます (図 a)。すると編集された DNA に組み込まれているガイド RNA が、広めたい遺伝子と Cas9 を、野生型の DNA の狙った箇所まで導きます (図 b)。Cas9 が野生型の DNA を切断し (図 c, d)、そこに広めたい遺伝子が組み込まれます (図 e)。結果子供は編集された DNA を 2 つ持つため、その子供にも編集 DNA が引き継がれることになります。このプロセスを繰り返すことで、広めたい遺伝子を高確率で集団内に広めることができます。

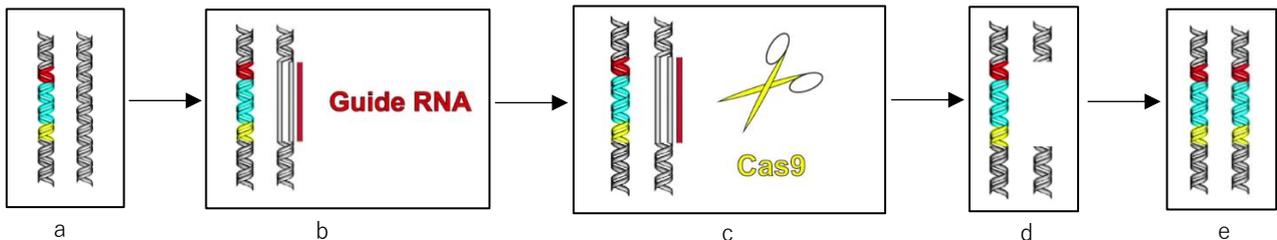


図 a~e : CRISPR/Cas9 によって広めたい遺伝子が野生の DNA に組み込まれる様子 (出典 : Gene Drive: Wyss Institute 2015)

2) ジーンドライブの利用とリスク

ジーンドライブは、海外において、マラリアやデング熱、ジカ熱を媒介する蚊を不妊化させて撲滅する、外来種であるネズミをオス化させて駆除する、といった利用法が考えられています。実験では、ジーンドライブを用いてケージ内の蚊を 7 世代で全滅させることに成功しました。しかし、アフリカのジャングルやサバンナといった広大な地域で同じ効果が得られるかはわかっていません。ジーンドライブで想定されるリスクとしては、想定外の遺伝子がジーンドライブで広がってしまうリスク、ジーンドライブを行った生物が国外に逃げて他の国に影響を与えてしまうリスク、他の生物にも影響を与えるリスク、などがあります。ジーンドライブを行った生物を一度野外に放せば、ジーンドライブの影響のない元の状態に戻すことは困難です。ジーンドライブは、その種の運命を丸ごと操作する、一度利用すると後戻りのできない技術です。

3) 「ターゲット・マラリア」プロジェクト

「ターゲット・マラリア」プロジェクトとは、オスの子孫しか残さない蚊、または不妊化した蚊を開発しジーンドライブで広げることでマラリアを媒介する蚊を撲滅することを目的としたプロジェクトです。2011 年、研究チームはブルキナファソ、ウガンダ、マリといったアフリカの国々と連携を開始し昆虫の飼育場や屋外実験場を設立しました。2019 年には、ジーンドライブではないですがゲノム編集で不妊化した蚊を用いて実地試験を行いました。2024 年にはジーンドライブを用いた蚊の実地試験の申請を計画しています。実地試験の前に、十分な実験データの提供、地元住民の信頼獲得、ジーンドライブで想定されるリスクについての議論、規制の枠組み作り、などが求められています。

【参考文献】

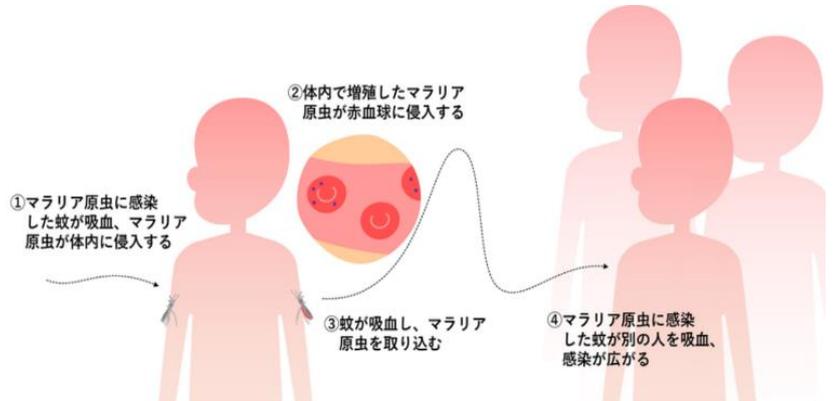
- ・「Gene Drive」『Wyss Institute』2015 <https://youtu.be/G1L0G00nCM8> (2022 年 1 月 28 日閲覧)
- ・Kyros Kyrou. et al. 「A CRISPR-Cas9 gene drive targeting *doublesex* causes complete population suppression in caged *Anopheles gambiae* mosquitoes」 [Nature Biotechnology](https://doi.org/10.1038/s41587-018-0000-0) 2018, volume 36, p. 1062 – 1066
- ・田中郁也「遺伝子書き換えてマラリア撲滅 ビル・ゲイツも推す技術は諸刃の剣」『朝日新聞 GLOBE+』2018 年 7 月 2 日 <https://globe.asahi.com/article/11651583> (2022 年 1 月 28 日閲覧)
- ・Megan Molteni (翻訳 : Mai Inoue) 「蚊の遺伝子操作によるマラリア撲滅が現実的に？ 技術の飛躍的な進歩と、いま求められる議論」『WIRED』2019 年 1 月 22 日 <https://wired.jp/2019/01/22/plan-to-end-malaria-with-crispr/> (2022 年 1 月 28 日閲覧)

文責：逢坂はるの (CoSTEP 対話の場の創造実習受講生)

～マラリア：50秒で1人が死ぬ、蚊が媒介する病気～

1) 「マラリア」とは？

マラリアとは、寄生虫であるマラリア原虫をもったメスのハマダラカ属の蚊に刺されることで感染する、生命を脅かす病気です。人間にマラリアを引き起こす原虫は5種類あり、それぞれ症状が異なります。マラリアの潜伏期間は1週間から4週間、初期症状は発熱、頭痛などです。徐々に体温が上昇し、突然40℃以上の高熱になる場合もあります。熱帯性マラリアに感染した場合は24時間以内に治療しないと脳へのダメージや呼吸困難、臓器不全などを引き起こし、死に至る可能性が高まります。世界中の熱帯・亜熱帯地域で流行しており、2020年に公表された統計によると、1年間で約2億4100万人が感染し、推計62.7万人が死亡しています。そのうちの約40万人が5歳未満の子供です。特に、乳幼児、5歳未満の子供、妊婦、HIV/AIDS患者、マラリアに対して免疫がない旅行者は重症化するリスクがかなり高いです。地球温暖化によって2100年までに3～5℃気温が上昇すると、西日本一帯もマラリア潜在感染危険地域に含まれる可能性があります。



図：マラリアの感染経路（出典：高橋 2022）

2) マラリアの予防と治療

マラリアは蚊に刺されなければ感染しません。そのための予防策として殺虫剤入りの蚊帳の使用や室内用の殺虫剤のスプレーがあります。蚊の吸血は主に夕暮れから日没であるため、就寝時の蚊帳は安価で有効な対策の一つです。マラリア予防薬も効果的と言われています。副作用は少ないが毎日飲み続ける必要があるものや、副作用は強いが1週間に1錠で済むものなど様々な種類があります。マラリアの早期診断と治療は、感染の抑制に貢献しています。迅速にマラリア熱と非マラリア熱を区別できる診断検査法が開発されており、適切な治療が可能になっています。熱帯性マラリアに対する有効な治療薬（ACT）も開発されています。その一方で、近年これまでの薬剤に耐性のあるマラリア原虫や、殺虫剤耐性を持った蚊の出現が報告されています。最新の世界マラリア報告書によれば、多くの国で使われている4種類の殺虫剤のうち少なくとも1種類に対して抵抗性を持つ蚊が存在します。これまで減少傾向にあったマラリア感染者数も、2015年以降は増加に転じています。

3) ワクチンとジーンドライブの研究開発

今後期待されている研究開発はワクチンとジーンドライブです。細菌やウイルスとは異なり、原虫は複雑な構造をしているため、マラリア原虫へのワクチン開発は困難でした。しかし世界各地で90を超えるチームが長年マラリアワクチンの開発に携わったことで、2021年10月にWHOも推奨するワクチンが開発されました。幼い子供や重症マラリアを大幅に減少させることが確認されており、さらなるワクチンの効果が期待されています。次に今回の劇のテーマであるジーンドライブの利用です。現在はハマダラカ属の蚊を撲滅するために、オスの子孫しか残さないよう遺伝子操作された蚊、または、メスを不妊にさせる遺伝子を持つ蚊の開発“Target Malaria Project”が進んでいます。詳しくはジーンドライブの用語説明をご覧ください。

【参考文献】

- ・WHO, 2021 <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/malaria> (2022年1月5日閲覧)
- ・Target Malaria, 2020 <https://targetmalaria.org/> (2022年1月5日閲覧)
- ・高橋明子『『ノーベル賞』のその後(1)当たり前になった感染症治療とマラリアとの終わらない闘い』『Yahoo! JAPAN』2019年10月5日 <https://news.yahoo.co.jp/articles/bc4e83103378995c7479c72d03b117889f414f24?page=1> (2022年1月26日閲覧)

～CAST より～

石井花菜（裁判長：良尊 結香）

私は仲間と共にジーンドライブの是非について劇を作り、対話をするうちに自分にはなかった意見を知る、そして、自分一人だけでは気づけなかった内なる自分自身の価値観を知りました。みなさんと共に作る劇とワークショップで新たにどんな発見があるのかワクワクしています。

小笠原明信（否定側証人：緒方 悠史）

「ジーンドライブって何だ…？」と、高校生物の資料集を開いたのが私のスタートラインでした。自分にとって世界は様々な解像度で存在していて、それはきっと人によっても違う。だからこそ、よりよく生きていくためにも対話の場が大切だという事を、イベントを作る中で実感しています。皆さんにとっても、今回のイベントが実りあるもの、今後につながるものとなれば幸いです。

逢坂はるの（否定側代理人：深川 縁）

普段は毎日の生活に追われていて、ある物事について立ち止まって考える、という機会は少ないかもしれません。私はこのイベントが、答えのない問いに対して思いをめぐらせ、他者と意見を共有することで考えを深める機会になってほしいと思っています。みんなで立ち止まり考える時間を楽しんでいただけたら嬉しいです。

水上千春（肯定側証人：櫻井 理子）

今回のイベントの企画を通じて自分自身の知識がアップデートされ、改めて科学技術の進歩を感じ、驚くとともに、この分野に限らず、研究に携わる方々への敬意と未来への様々な可能性を感じています。一方で、その技術を実際的に利用することについて、研究者以外の人々もよく考え、判断し、進んでいく必要があるとも感じました。本イベントが、そのための一助となることができればとても嬉しく思います。

小林瑞季（肯定側代理人：瀬崎 くるみ）

科学が身近にある人も苦手な人も、「こういう世界であってほしい」という思いは誰にでもあるのではないのでしょうか。バックグラウンドを問わず、対話を通じて色々な人の思いを知ることができる、そんなイベントにできたらいいなと思います。

～ご来場の皆様へ～

本日は『生き物の運命を握る鍵を手に入れた時、あなたは？：討論劇で問うジーンドライブの是非』にご来場いただきありがとうございました。初のオンラインによるリモート演劇と評決ワークショップの試みとなります。受講生が脚本を書くにあたっては、監修を引き受けてくださった、国際基督教大学の山口富子教授から多くの助言をいただきました。また、素敵なイベントイメージの作成には、高柳喬典さんと狩野芳子さんに携わっていただきました。本当にありがとうございます。

ジェニファー・ダウドナさんは『クリスパー 究極の遺伝子編集技術の発見』（文藝春秋 2017年）のエピローグに「科学者よ、研究室を出て話をしよう」と表題をつけ、対話の重要性を指摘しています。この場が、科学技術の社会実装について私たちの考えを深める「対話の場」になれば、幸いです。

種村剛（北海道大学 CoSTEP 教員）

パンフレット作成：水上千春（CoSTEP 対話の場の創造実習受講生）