



ムーンショット型研究開発事業
新たな目標検討のためのビジョン策定

「ポスト・アントロポセンの
価値観・行動様式・科学技術に関する調査研究」
調査研究報告書

令和3年7月

目標検討チーム「チーム ポスト・アントロポセン」
チームリーダー：秋山 肇（筑波大学 人文社会系 助教）
サブリーダー：浦山 俊一（筑波大学 生命環境系 助教）
チームメンバー：和田 絢太郎（株式会社アラレグミ 代表取締役）
山口 大空翔（株式会社アラレグミ 代表取締役）
大村 美桜（株式会社アラレグミ 取締役）

糸井 風音 (筑波大学 社会・国際学群 社会学類 4年)
竹原 繭子 (筑波大学 生命地球科学研究群 博士後期課程 2年)
サヴィジ トーマス (筑波大学 生命環境学群 生物資源学類 4年)
水本 祐之 (奈良県立国際高等学校 教諭)
氏家 清和 (筑波大学 生命環境系 准教授)
江口 真規 (筑波大学 人文社会系 助教)
豊福 雅典 (筑波大学 生命環境系 准教授)
萩原 大祐 (筑波大学 生命環境系 准教授)
平井 悠介 (筑波大学 人間系 准教授)
高田 梨恵 (筑波大学 生命環境系 URA)
齊藤 愛 (筑波大学 人文社会系 URA)
佐越 祥子 (筑波大学 人間系 URA)
長田 直樹 (筑波大学 URA 研究戦略推進室 シニア URA)

目次

I. MS 目標案のコンセプト

1. MS 目標案
 - 1.1 MS 目標案の名称
 - 1.2 実現したい 2050 年の社会像
2. Targets(当該 MS 目標の達成シーン。2050 年(及び 2030 年)に何が実現しているか)
3. 当該 MS 目標を設定した理由及び、目標達成の社会的意義等
 - 3.1 当該 MS 目標の設定や目標達成に向けた取組みが、今必要である理由
 - 3.2 目標達成の社会的意義
 - 3.3 当該 MS 目標の達成に向けた社会全体の取組み概要
4. 当該目標達成によりもたらされる社会・産業構造の変化

II. 統計・俯瞰的分析

1. 当該 MS 目標を達成するための課題（科学技術的・社会的課題）や必要な取組
2. 当該 MS 目標を達成するために取り組むべき研究開発の俯瞰
3. 当該目標に関連する研究開発の動向（全体）、海外動向及び日本の強み

III. 社会像実現に向けたシナリオ

1. 挑戦的研究開発の分野・領域及び研究課題
2. 2030 年・2040 年・2050 年のそれぞれにおける、達成すべき目標(マイルストーン)
マイルストーン達成に向けた研究開発、これによる波及効果)
3. 目標達成に向けた国際連携のあり方
4. 目標達成に向けた分野・セクターを越えた連携のあり方
5. ELSI (Ethical, Legal, Social Issues)
(目標達成に向けて取り組む上での倫理・法的・社会的課題及びその解決策)

IV. 結論

V. 参考文献

I. 提案する MS 目標案のコンセプト

1. MS 目標案

1.1 MS 目標案の名称

「2050 年までに、地球の Smart Earth 化を実現」

1.2 実現したい 2050 年の社会像

2050 年までに地球の Smart Earth (SE) 化を実現する。本報告書では SE を、科学技術を有効に利用して自然環境と人間社会の関係が再構成されることで生み出される持続的な地球と定義する。

従来、現在世代の人間の利益のみに着目した近視眼的な人間中心主義により、自然への影響を十分に考慮せずに人間社会のあり方が構想され、科学技術の使われ方が規定されてきた。その結果、人間が地球に多大な負荷をかけ、環境問題が深刻になってきている。すなわち今日は、人間が地質に支配的な影響を与える、アントロポセンの時代となった。そのため未来世代の人間にとって地球が居住可能であるためには、長期的な視野で科学技術の使い方を考え、それを許容できる人間社会が必要となる。

そこで今日の人類が直面している環境問題、社会問題を克服するため、2050 年までに、地球が持続可能になるための自然環境、人間社会によるポスト・アントロポセンの時代を実現する。具体的な社会像については、2030 年以降に持続可能性を高めるための科学技術ならびに社会技術を実証試験する汎用プラットフォームである Mini Smart Earths (Mini SEs) で科学技術に加えて人間社会のあり方を含め試行し明らかにしていく。



図 I-1 チーム ポスト・アントロポセンの 2050 年のイメージ

例えば本チームは、人間の精神性、社会システム、物質循環に着目した SE を構想する。人間の精神性としては、関係的自己のウェルビーイングの実現が期待される。社会システムとしては、主体的に参加できる小さなコミュニティが構想される。物質循環としては、バイオの利用が想定される。Mini SE においてこの構想の妥当性を検証し、望ましいと考えられる科学技術、人間社会のあり方を分析し、2050 年に持続的な地球である SE を実現する。

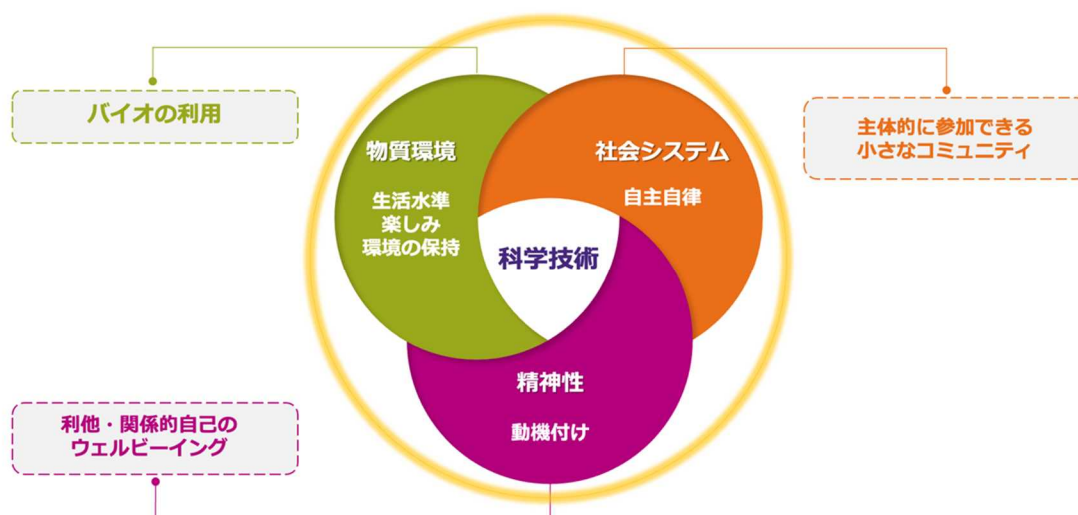


図 1-2 チーム ポスト・アントロポセンの 2050 年のビジョン

2. Targets (当該 MS 目標の達成シーン。2050 年 (及び 2030 年) に何が実現しているか)
2050 年の達成シーン

科学技術を有効に利用して自然環境と人間社会の関係が再構成されることで生み出される持続的な地球が実現する。

2030 年に実現すること

多様な形態の Mini SEs を設立し、プラットフォームとして運用する。それぞれの Mini SE で必要な要素技術や社会システムについては、MS 型研究開発制度で公募する。



図 I-3 2030 年の Mini SE のイメージ

3. 当該 MS 目標を設定した理由及び、目標達成の社会的意義等

3.1 当該 MS 目標の設定や目標達成に向けた取組みが今必要である理由

科学技術史、環境史を専門とするフランスのクリストフ・ボヌイユとジャン＝パティスト・フレソズは、大気化学者パウル・クルツェンらの論文を引きながら、「人新世 [アントロポセンと同義] は、『地球環境における人間の痕跡が今や広範で激しくなったことで地球システムの機能に衝撃を与え、自然の他の巨大な力に匹敵するようになった』という事実の特徴づけられる時代である」と、アントロポセンとしての現代の特徴を端的に示している [1]。科学的には気候変動に関する政府間パネル (IPCC) が、95%以上の確率で人間活動が地球に影響を与えている可能性があると評価している [2]。ここでいう地球環境における人間の痕跡は、蒸気機関の発明を契機に変化した地球の大気構成と温室効果ガス (= 気候変動) 地球上の生態系 (生物圏) の全般的な破壊 (= 生物多様性の崩壊) 水、窒素、リン酸塩それぞれの生物地球科学的循環における変動に見いだされる [3]。人間は、繁栄を希求するあまり、地球環境を破壊し、その結果人間は自然からの報復を受けていると言える。

気候変動のみならず、コロナ禍もまた、人間の繁栄の裏で生じている自然から人間への報復の具体例であると言える。すなわち、従来人間が生活してこなかった領域を開発したこと

で病原体が人間に感染し、人間の繁栄の結果として人口密度が増えたことで感染が深刻な問題になったとも言えるのである[4]。今後も安定的に人間が地球で生存するためには、地球に過度な負荷をかける従来の科学技術、人間社会であってはならず、早急に新たなポスト・アントロポセンの科学技術、人間社会のあり方を構想する必要がある。

環境問題については今日、社会的に高い関心を集めている。環境問題への対応を求めるグレタ・トゥーンベリ氏の活動に呼応する若者の存在には注目すべきであり、今後環境問題を深刻に捉える若者が増える可能性がある。国際社会においても、2015年に国連において持続可能な開発目標（SDGs）が採択され、世界各国では学校の授業でも取り上げられるようになってきている。

こうした問題は社会的要請だけではなく、日本の科学技術による国際貢献の視点でも重要である。今後、国家間のエネルギー獲得競争や食料獲得競争は激化し、国際的な緊張関係は深刻化するものと思われる。その際に、日本が科学技術の分野で主導権を握って国際的に貢献するためには、一刻も早い科学技術開発の推進が必要である¹。

地球のSE化という壮大な構想は、国家レベルの研究開発プログラムで長期的に取り組む必要がある。それは、国内社会及び国際社会の同意を得つつ行わなければならない研究開発であり、長期間をかけ国民や世界各国から理解を得ることが不可欠だからである。また、この構想の最も重要な点は、個々の科学技術開発を目指すのではなく、その社会的な価値や利用を念頭に置き、既存の多数の科学技術の架け橋となる技術の開発を構想する点にある。

なお、地球のSE化を目指す本プロジェクトに類似するプロジェクトは、他国には存在しない。人工生態系であるバイオスフィア2²や3²、国際宇宙ステーションや月面基地、火星開発などは、いずれも即時的な人間の生活を意識しているため、自然環境の循環を重視する本プロジェクトとは基盤が異なる。本プロジェクトが、環境の循環を基盤とし、その中に人間を位置付けているのは、人間への即時的な効果を検討することが長期的には人間のためにならず、環境を中心に位置づけることこそが人間のためになると考えているからである。特に日本においては、人間は八百万の神を信仰し、自然を畏敬しながら自然との共栄・共存を目指して生きてきた歴史もあり、西洋諸国と比べて人間を相対化することが可能である³。日本には人間を相対化し、環境を重視する文化的基盤があり、ポスト・アントロポセンの科学技術、人間社会のあり方を日本からグローバルに発信することができる。

¹ 新型コロナウイルスのワクチン開発の現状に現れているように、日本の科学技術は世界各国との国際競争において厳しい立場に立たされている。

² バイオスフィア2計画については、本報告書II.3を参照。バイオスフィア3については[5]を参照。

³ 日本社会・文化におけるアニミズムの役割については、[6]を参照。

3.2 目標達成の社会的意義

本プロジェクトの本質は、地球が持続可能になることにある。2050年での実現を目指す地球のSE化は、新しい科学技術を媒介にして自然環境と人間社会の関係が再構成されることを志向するものである。科学者によって名づけられ、特徴づけられるアントロポセンという概念は、人間中心主義によって18世紀末から自然、生態系の破壊が始まったこと、1945年以降にそれが「大加速」し、2000年頃に新たな段階に進んだことを批判するために用いられている。同時にそれは、自然と人間社会を明確に区別し二元論的に捉える近代的思考を根本から問い直すための概念装置とも考えられている。アントロポセンの課題を乗り越えるためには、近代の進歩史観の限界を認識し、人間が作り上げた社会を自然と同次元に捉えて思考をめぐらせる必要がある。自然環境と人間社会の関係が再構成されている社会像はこうした認識、思考を喚起する規準を社会的に示す意義を有している。

3.3 当該 MS 目標の達成に向けた社会全体の取組み概要

第一に、研究者の役割である。自然環境と人間社会の関係を再構成する媒介として新しい科学技術開発は不可欠な存在である。それゆえ、科学技術や自然科学の研究者が地球の持続可能性に寄与する新たな科学技術の創出に尽力する必要がある。ただ、技術・自然科学の研究者だけでなく、人文・社会科学の研究者の役割は大きい。それは、人間中心主義の思考が具現化された現在の社会を相対化し、社会を憲法制定レベルから根源的に構想し、政策面、制度面の具体的な構想を導くためである。また、その構想の実現に向け現世代、および未来世代の市民に向けた広報、教育活動を行う必要があるためである。

第二に、産業の役割である。産業が利益の確保だけでなく、地球の持続可能性を重視したビジネスモデルを促進できるよう、経済団体と連携していく必要がある。また、産業界の力を借りつつ、技術開発を促進する必要がある。

第三に、国家の役割である。持続可能性を重視した産業が促進されるように、規制や補助金政策を行う必要がある。その際に、グローバル企業や他国にも積極的に働きかける必要がある。

第四に、国際社会の役割である。地球のSE化を実現するためには、世界各国及び国連の協力が不可欠である。日本政府が主導しつつ、国際会議で地球のSE化に向けて国際的な合意形成を図り、科学技術の促進を図る必要がある。昨今では世界各国の環境問題対策をめぐる政治的なコミットメントが高まっているが⁴、機を逃さず、日本がSE化を主導する必要がある。さらに、2030年のMini SEsの実現を構想する際には、国連が主導し、国連に領土を貸与して様々な実験を行うことも検討する必要があるが、十分な政治的コミットメントが重要である。

⁴ 2021年4月に米国大統領が主導し、各国が環境問題対策に関する達成目標を発表している。[7]を参照。

第五に、ローカルに、かつグローバル規模で形成される市民社会の役割である。SE化のためには人間社会の変容が不可欠である。そのためには、Mini SEsの成果をめぐる議論の活性化により、多くの市民の新たな価値観を醸成することが重要である。未来世代が新たな価値観を知り、内面化するために継続的な教育が欠かせないことは言うまでもない。しかし、未来世代だけではなく、現行世代を含めた未来の市民形成には、市民社会でのコミュニケーション及び自然環境と人間の相互コミュニケーションが寄与する。市民社会に積極的に働きかけ、市民社会の理解を得つつ、クラウドファンディングの仕組みも使いながら、市民の理解を得て、科学技術、人間社会の変革を起こす必要がある。

4. 当該目標達成によりもたらされる社会・産業構造の変化

1) 意思決定への参画範囲の拡大とその限界

利害関係が適切に調整される望ましい社会を実現するためには、利害に関わる主体が適切に意思決定に関わることが重要である。人類社会では、君主や貴族など一部の主体が意思決定を独占してきた時代が長く続いた。民主主義の進展により、現在までに少しずつ意思決定に関わることができる主体が拡大した。少なくとも理論・規範的には、今日の世界の多くの地域において、何らかの主体が他者の生殺与奪を一方的に決定することは困難である⁵。

では、未来世代は意思決定に関わることができるだろうか。未来世代は現代の私たちの意思決定から大きな影響を受ける。にもかかわらず、未来世代は私たちの意思決定に絶対に関与することができない。なぜなら、彼ら、彼女らは現在に未だ存在せず、意思表示ができないからである。したがって、現代に生きる私たちは、未来世代に対して、好むと好まざるとにかかわらず「専制君主」とならざるを得ない。現在の私たちは未来世代にとって極めて暴虐な暗君であるかもしれない。

2) 人間の持つ利他性と社会経済システム

では、どのような専制君主たるべきか。できるだけ名君であるべきだろう。現代に生きる人は声を上げることができない未来の世代のことをおもいやり、共感し、配慮するような行動を取るべきだろう。本プロジェクトでは、人がもつ利他性や関係的自己のウェルビーイングに着目した⁶。経済学などでは伝統的には人間が合理的で利己的な経済人であるということを中心に、理論構築が進められてきた。一方近年の経済実験などの結果では、人間の意思

⁵ 現実的に個々人の意見が十分に反映されているかが疑わしい地域は多く存在することは指摘する必要がある。

⁶ 一般的に利他概念が使われることが多いが、利他は、「己」と「他」を分けた概念であり、「利己」と「利他」を明確に分けられるのかとの問題点もある。そこで本チームでは、関係的自己のウェルビーイングの概念も導入している。関係的自己については[8]、ウェルビーイングについては[9]を参照。

決定に利他的な側面が存在していることが指摘されている⁷。

3) 現代の日本社会における利他性のありようと「持続可能性」の産業化の可能性

それでは、現在の日本社会に生きる市民において、利他性のありようはどのようなものであろうか。ここで、本プロジェクトの一環で実施した社会調査⁸の結果から検討を加えたい。

(1) 利他性のありよう

まず、利他性のありようについて検討する。本チームが実施した調査では、利他的行動の対象を、家族、友人、他人、環境の4つに分類して、それぞれ7種類、合計28種類の行動類型を提示し、回答者の頻度を聞いた。具体的な設問内容については小田ほか(2013)[11]に依拠しつつ、Johnston et al.(2001)[12]を参考に環境についての設問を加えた。実際の調査票の設問例は、図1-4に示されている。得られた行動頻度データを潜在クラスモデル⁹により分類し、行動類型頻度の出現パターンを4つに縮約した。

この推定結果を利用して、いくつかの角度から分析を試みる。図1-5は行動類型において頻度の出現確率パターンを示したものである。PATTERN1は利他的行動の頻度が比較的高いパターンである。本調査のサンプルでは25.0%の回答者が該当すると推定された。家族(FAM)や友達(FRI)に対する利他的行動の頻度が高い。ただし、他人(OTH)や環境(ENV)に対する行動の頻度も4つのパターンの中では、相対的に高い頻度で利他的行動がとられている。ただし、対象との関係性が遠くなるほど、利他的行動の頻度がばらついていく傾向が顕著であるといえる。

PATTERN2は利他的行動の頻度がやや低いパターンである。サンプル内の32.1%の回答者が該当すると推定された。家族や友人に対する利他的行動の頻度は「たまにある」が最も多いが、「ほとんどない」、「まったくない」の比率も高く、ばらついている。他人や環境に対する利他的行動においては、「ほとんどない」の比率が最も高い。

PATTERN3は利他的行動の頻度が最も低いパターンである。サンプル内の12.3%の回答者が該当すると推定された。関係性が希薄な他人や環境に対しては、「まったくない」に比率が集中し、ばらつきも小さい。家族や友人に対する行動においても「まったくない」の比率が相対的に高いが、より高頻度の比率もやや高くなっている。

PATTERN4は利他的行動の頻度がほぼ中庸であるパターンである。サンプル内の30.6%の回答者が該当すると推定された。関係性にかかわらず、「たまにある」の比率がほぼすべての行動類型で最も大きい。家族に対しては、やや頻度が増加する傾向はある。

⁷ たとえば[10]を参照。

⁸ この調査の詳細については本報告書別紙の補論を参照してほしい。

⁹ 潜在クラスモデルについては、例えば[13]を参照してほしい。

		非常に よくある	よく ある	たま にある	ほと んど ない	ま った く な い
家族の誰かが重い荷物を 持っているときには手伝う	→	○	○	○	○	○
家族の誰かの家事 (料理、掃除、ごみ捨てなど)を手伝う	→	○	○	○	○	○
友人や知人の悩みや愚痴を聞いてあげる	→	○	○	○	○	○
友人の誕生日を祝ってあげる	→	○	○	○	○	○
友人が行きたい場所につき合っ て一緒に行く	→	○	○	○	○	○

図 I-4 利他的行動類型についての設問例

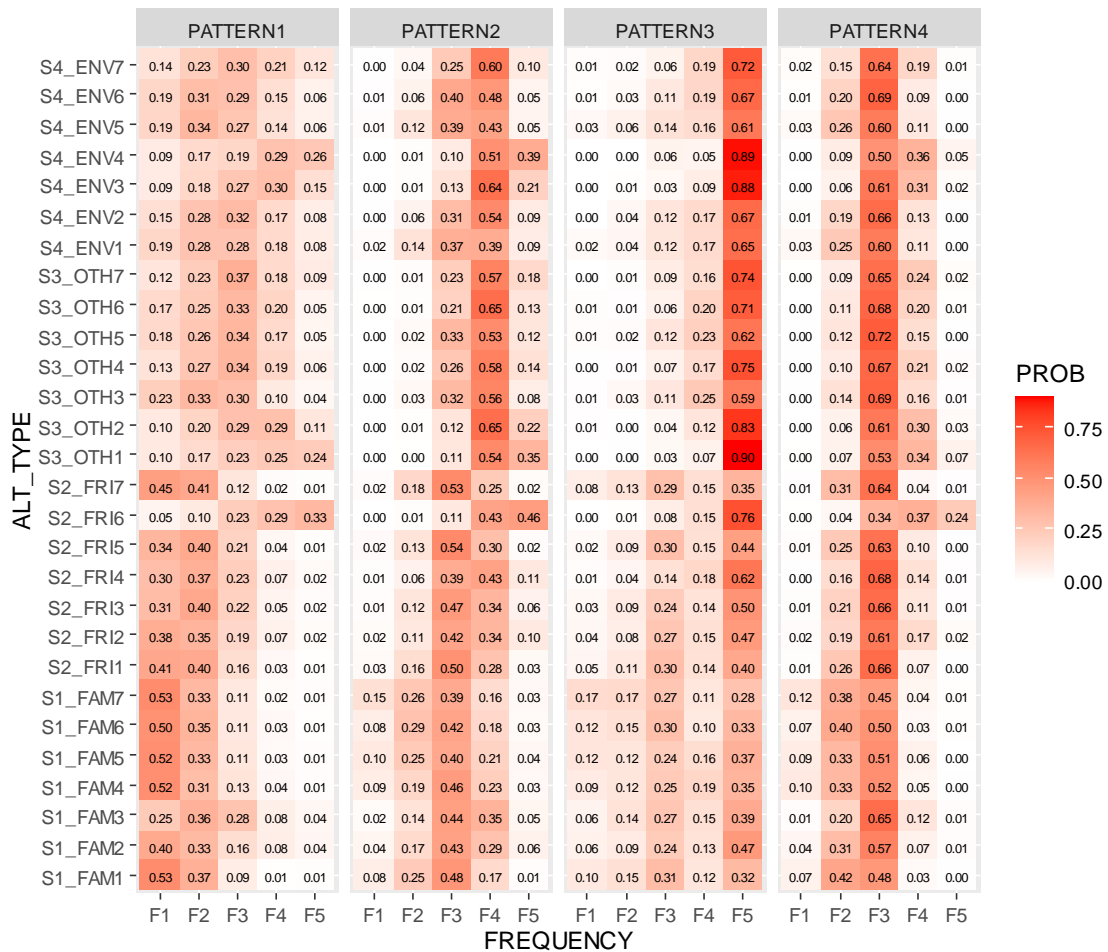


図 I-5 利他的行動類型における頻度出現確率のパターン

注1) 縦軸 (ALT_TYPE) は行動類型、横軸 (FREQUENCY) は各クラスにおけるそれぞれの行動類型の頻度である。横軸の F1 から F5 はそれぞれ「非常によくある」、「よくある」、「たまにある」、「ほとんどない」、「まったくない」に対応している。

注2) セル内の数値はそれぞれの行動類型において当該頻度をとる確率の推定値である。

つづいて、性年代ごとに、それぞれどのようなパターンが出現するかについて検討しよう。図 I-6 は、図 I-5 で見出した 4 つの利他的行動類型パターンについて、性年代ごとの出現確率を推定した値が示されている。性差でみると、男性のほうが PATTERN3 や PATTERN2 の出現比率が高く、利他的行動をとりにくい傾向がみられる。年齢で見ると、若年層で利他的行動が多い PATTERN1 の出現確率が高く、高齢になるに従い、PATTERN4 ならびに PATTERN2 である比較的中庸な特徴を持つパターンの出現確率が高くなっていることがわかる。一方で、利他的行動が少ない PATTERN4 についても、若年層で高くなっている。若年層においては、利他的行動のパターンが多様であることが示唆される。

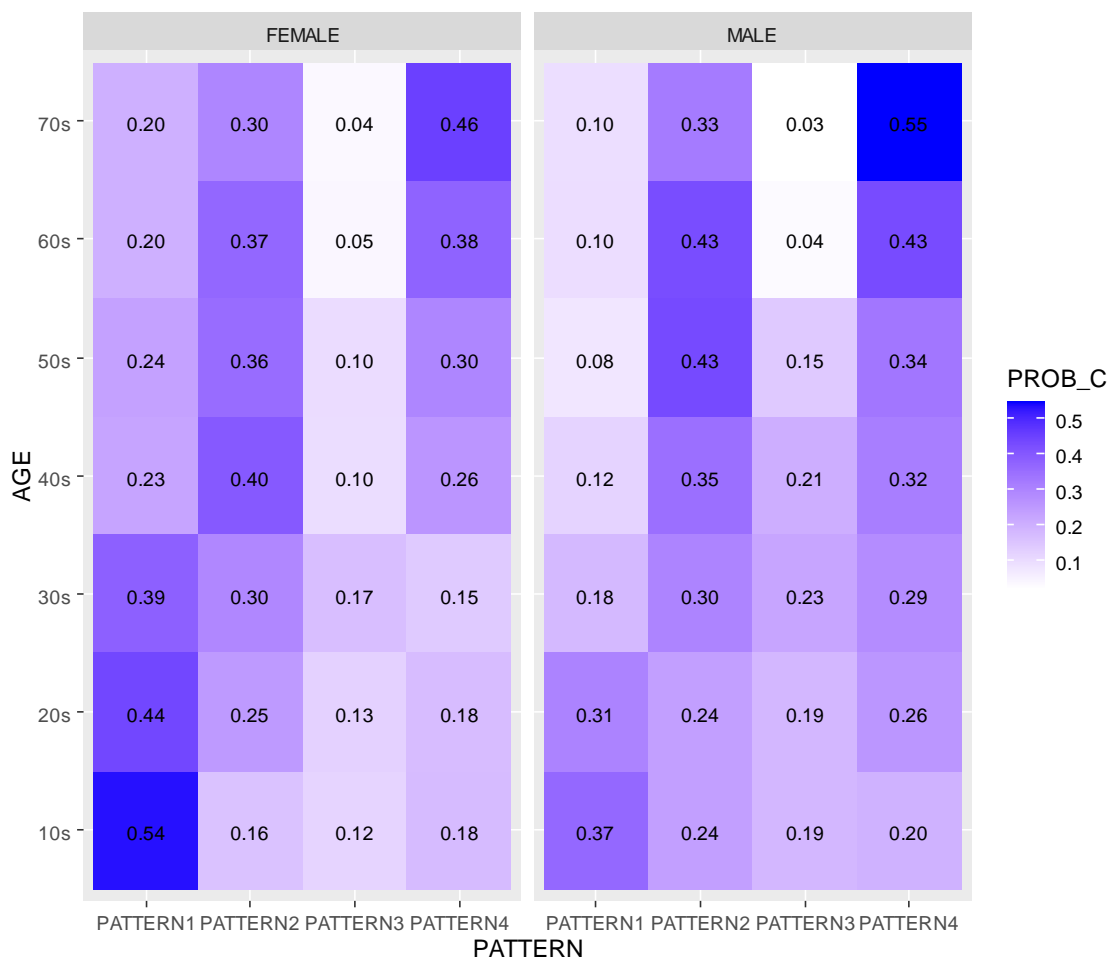


図 I-6 性別ならびに年代別にみた行動類型パターンの出現確率

注1) 縦軸 (AGE) は年代、横軸 (PATTERN) は利他的行動類型頻度の出現確率における4つパターンを示す。

注2) セルの値は性別ならびに年代ごとの各パターンの出現確率である。

(2) 「持続可能性」に対して市民がどの程度の負担を許容するか

このプロジェクトで提案する Mini SEs は、持続可能性を高めるための科学技術ならびに社会技術を実証試験する汎用プラットフォームを、2030年までに提供する。2050年には、その中からいくつかの有用な技術が実用化され、地球が SE として機能しはじめると期待している。

開発された技術が広く社会に活用されるためには、その持続可能性への貢献度だけでなく、費用的にも受容可能なものになる必要がある。そこで、持続可能性に配慮した商品がどの程度受容されるかについて検討したい。本社会調査では、通常の商品と比較して、持続可能性に配慮したいくつかの具体的な商品について、どの程度の価格プレミアムを支払う用意があるか聞いている。ここでは再生可能エネルギーによる電力を事例に検討を加えたい。なお、設問例は図1-7に示されている。

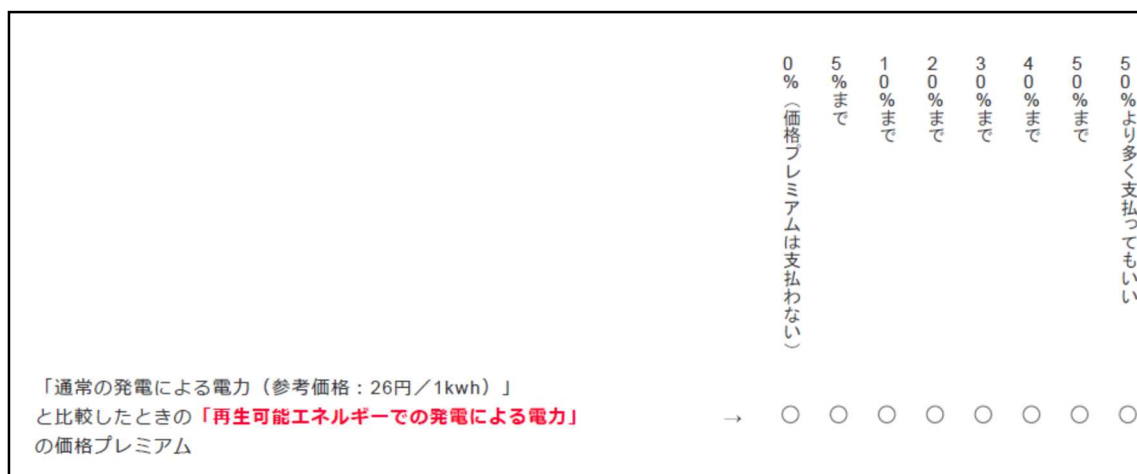


図1-7 持続可能性に配慮した商品に対する価格プレミアム調査の設問例

図1-8は、図1-7への回答から性別ならびに年代ごとに価格プレミアムの値による累積比率を算出し、価格プレミアムの大きさと再生可能エネルギー電力の選択比率との関係を示している。縦軸は選択比率を示しており、横軸に示されている価格プレミアムにおいて再生可能エネルギーによる電力が選択される比率となっている。

価格プレミアムを支払ってもよいと考えている市民は、20歳代から40歳代で4割程度、

年齢が高くなると6割程度存在していることが分かる¹⁰。一方、価格プレミアムが高くなると、選択比率は減少し、価格プレミアムが50%程度となると、選択確率は5%前後に低下している。

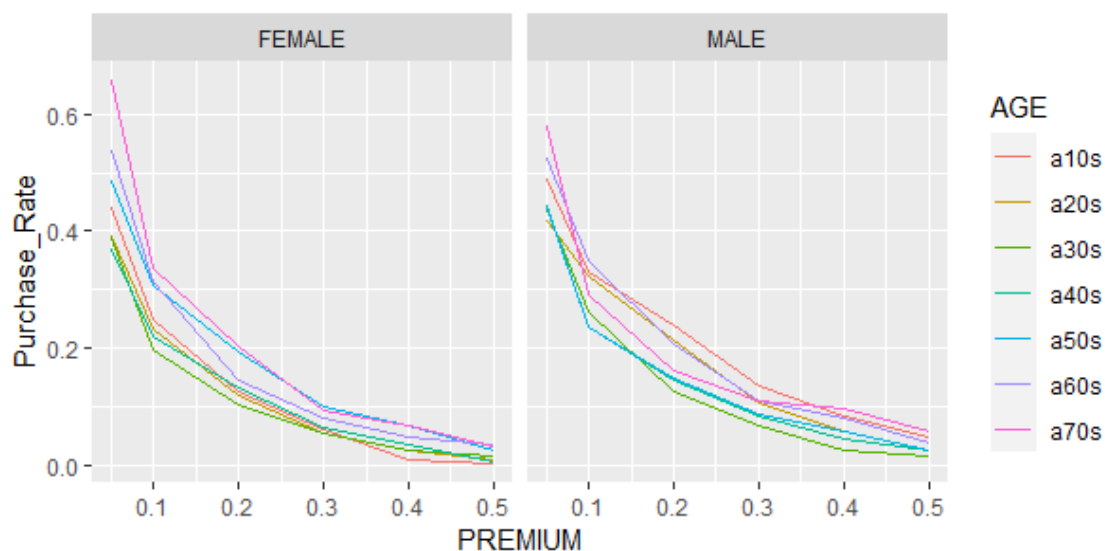


図 1-8 再生可能エネルギーによる電力に対する価格プレミアムと選択比率

注 1) 横軸 (PREMIUM) は通常エネルギーによる電力を基準とした再生可能エネルギーによる電力に対する価格プレミアム (比率) を示している。縦軸 (Purchase_Rate) は再生可能エネルギーによる電力が選択される比率を示している。

注 2) 凡例 (AGE) は年代を示す。

持続可能性にかかわる商品に対する価格プレミアムへの態度をより詳細に検討するために、性別や年代に加え、所得や子供の有無などのデモグラフィック要因と、前節で議論した回答者の利他性も説明変数として、価格プレミアムへの影響を interval regression モデルにより分析してみよう。なお利他性については、家族、友人、他人、環境に対する利他的行動の頻度について5段階(1:全くない 5:非常によくある)で評価し、それぞれの対象について個人ごとに平均値を算出して利他性得点とした。値が大きいくほど利他性が強いと考えられる。

表 1-9 にモデルの推定結果が示されている。年齢 (AGE) の影響をみると、年齢が1歳高くなるごとにプレミアムが0.13%増加する傾向がみられる。性別 (GENDER) についてみると、男性において女性よりも価格プレミアムが有意に大きく、6.5%の増加がみられる。

¹⁰ Tully and Winer (2014) は、既往研究のメタアナリシスにより、持続可能性等に配慮した商品に対して価格プレミアムを支払う消費者が6割程度いることを指摘しており、本調査結果ともおおむね符合する。詳細は[14]を参照してほしい。

ただし、性別と年齢との交差効果の係数は有意に負であることから、年齢が高くなるごとに性別による価格プレミアムの差異が縮小し、約 60 歳以降では女性のほうが高い価格プレミアムを持つようになると考えられる。一方、所得(INCOME)ならびに子供の有無(CHLD)については係数推定値も小さく価格プレミアムへの影響は確認できない。

利他性(ALTRUISM)の影響についてみると、家族に対する利他性(ALTRUISM_FAM)は有意な負の影響を持っていることが示唆された。家族に配慮するために経済的な負担を忌避する可能性がある。一方で、他人(ALTRUISM_OTH)や環境(ALTRUISM_ENV)に対する利他性は有意に正の影響を持っている。特に環境への利他性が 1 増加すると、価格プレミアムが 6% 増加しており、影響力が非常に大きい。

このように、持続可能性に配慮した商品に対する市民の評価は様々なものがある。年齢が高くなると価格プレミアムも高くなるが、一方で、所得との関係性は見いだせなかった。また、利他性との関係性はやや複雑であり、家族を対象とした利他性との関係は負の相関を持っていたが、関係性が比較的希薄な他人や環境に対する利他性とは強い正の相関を持っていた。

Characteristic	Beta	95% CI [†]	p-value
GENDER			
FEMALE	—	—	
MALE	5.7	1.7, 9.7	0.005
AGE2	0.13	0.07, 0.19	<0.001
INCOME	0.00	0.00, 0.00	0.7
CHLD			
HAVE	—	—	
NOT_HAVE	0.49	-1.2, 2.2	0.6
ALTRUISM_FAM	-1.4	-2.5, -0.24	0.018
ALTRUISM_FRI	0.83	-0.65, 2.3	0.3
ALTRUISM_OTH	1.4	-0.06, 2.8	0.061
ALTRUISM_ENV	6.2	4.9, 7.5	<0.001
GENDER * AGE2			
MALE * AGE2	-0.10	-0.17, -0.02	0.015

[†] CI = Confidence Interval

表 I-9 再生可能エネルギーによる電力に対する価格プレミアムに影響を与える要因
注 1) Interval regression model の最尤推定法による推定結果。

注2) 係数 (Beta) はそれぞれの説明変数が 1 単位増加した際に変化する価格プレミアム (%) の値を示している。

4) 社会・産業構造の変化の見通し

現在、消費生活の場面では、炭素排出量や動物福祉、フェアトレード、資源利用の持続可能性などの表示制度が利用されている。現在、世界各国で Plant Based Meats (植物性原料を利用した肉に類似した食品) の市場が急激に拡大している。その背景には、環境負荷の大きい畜肉消費への反省と、若い世代の動物の命に対する関心の高さの存在¹¹が指摘されている¹²。

これらは、社会的価値に配慮した消費行動の調整と言えるだろう。前節の分析からも、利他的な動機付けが、持続可能性に貢献する商品の購入行動に大きな影響を与えていることが示唆された。また、投資においても、ESG (Environment, Social and Corporate Governance) 投資など、企業の社会的責任を重視した投資原則が一般化しつつある。これらの動きは、人の持つ利他性の発現とも捉えられる。しかしながら、前節でも見た通り、利他性のありようは複雑である。合理的で利己的な経済人を前提とする今日の経済システムにおいて、利他行動の顕在化が本質的に困難である側面もある。人間に情報と選択肢が適切に与えられる必要があるのである。

各種技術による成果を科学的に明確にする人間の判断には現状維持バイアスがあり、基本的には行動変容におけるリスクを嫌う強い傾向がある。効果が不確実な技術は採用されにくい。また、合議による意思決定においては、多数を説得しうる客観的な根拠がより大きな意味を持つ。持続可能性を向上させる科学技術や社会技術が持つ効果が定量的に明確となれば、当該技術が社会から支持されやすくなる。

人間が、有権者として、消費者として、あるいは投資家として意思決定を行う際に、本プロジェクトが提案する Mini SEs により示されたエビデンスは、利他的動機の顕在化を広く促すことが期待される。「長者の万灯より貧者の一灯」という言葉があるが、マスの支持がなければ政治は動かず、産業は成立しない。消費者がより持続可能性に配慮した商品を選好するようになれば、企業もその需要動向に応えて、持続可能な経営にシフトする。投資家もそれを後押しすることになるだろう。また、環境をめぐる持続可能性についての国家内あるいは国家間の枠組みについて、有権者の合意形成は容易になるだろう。Mini SE から得られる様々な知見が、人間の利他性を顕現させ、地球の SE 化を強化し促進することが期待される。

¹¹ 日本においても若い世代がニワトリやウシなど食用動物の命をより重視していることは本プロジェクトでの社会調査でも示されている。詳細は別紙の補論を参照してほしい。

¹² Plant Based Meats や培養肉の状況については、[15]が詳しい。

II. 統計・俯瞰的分析

1. 当該 MS 目標を達成するための課題（科学技術的・社会的課題）や必要な取組み

地球 SE 化の起点となる Mini SEs は、準閉鎖空間として疑似的なもう一つの地球を創造し、“地球環境の限界を内部化”した世界を作り出す試験場である。私たちの暮らすアントロポセン世界とは隔離されたこの世界において、“地球環境の限界を内部化”した社会・環境のあるべき姿とそれを支える科学技術を試し、育てていくことで、地球の SE 化につなげる。Mini SEs の具現化は、史上何度も行われてきた既に人が住んでいる地域への入植や開拓とは根本的に異なる、人類未知の「社会創生」である。その達成には多岐にわたる課題が予想されるが、概して以下 2 つが重要な取組みとなる。

Mini SEs の創生・運用のための社会的合意・支援の形成

Mini SEs 内での持続的かつ快適な生活を可能とする技術の確立

の取組みとして、Mini SEs 創生の場の選定、賛同市民の募集と選出、当事国としての Mini SEs や選出市民の支援などが必要となる。また、Mini SEs の理念を実現するためには、既存の国家の枠組みの外に置かれることが望ましい。例えば、国連に当事国の一部を貸し出し、日本に存在しながらも法制度等の点で日本の制約に縛られない“特区”のような、高い設計自由度を担保することも必要となる¹³。

の取組みには非常に広範にわたる科学技術研究領域が関与し、“競争力を高める”ために進められてきた従来の科学とは異なる目的で技術開発を行う必要がある。そのため、従来の科学政策システムとは独立の機構（例えば日本 Mini SEs 機構）を設立する。当該機構には国家歳入の 0.1%を 2050 年まで配分し、その予算使途の決定や長の選出には国民参加型の直接熟議民主制を取り入れる。当該機構は Mini SEs 及び Mini SE 研究所を擁し、ファンディング機能を通じて世界とともに関連技術開発などを進める。原則、すべての成果は人類共有財産とする。

2. 当該 MS 目標を達成するために取り組むべき研究開発の俯瞰

“地球環境の限界を内部化”したより良い世界を作り出すためには、特に Mini SEs の構築思想と関連性の高い、利他性発揮、エネルギー、物質生産の 3 領域についての研究開発が重要となるこれら以外にも、サイバー空間の活用（MS 目標 1）や心に安寧をもたらす基盤思想の共有、利他性を高める教育手法や未来に対する責任度を反映した政策決定システム、物質循環モニタリングシステム（MS 目標 4）やその制御 AI（MS 目標 3）など、研究開発要素は多岐にわたる。

¹³ 国連特権免除条約 3 条により、国連の構内は不可侵であるとされており、例えばニューヨークの国連本部などは国連の所有物となっている。

[1. 利他性発揮] 真の人工知能による支援

人間の認知や寿命は、それらを超えたスケール、つまり地球規模の課題や遠い未来に対する利他性の発揮を制限する要因であり、それを超越する“真の人工知能”による判断支援がより広い利他性を人間に発揮させるようになる。2010年代から途に就いた「人間の子どもから大人への成長過程を追うようなAI開発」を基盤とし、人と同じように反応できる、本当の意味でのAI「汎用人工知能」の開発が必要となる。現時点のAIは、特定のタスクに特化した“狭い範囲”でしか機能せず、汎用人工知能の開発は実現していない[16]。

認知や寿命の制限のない汎用人工知能を開発し、生命としての人間が持つ限界に制限されない、より高次な人間の判断を支援してもらう。さらに、Mini SEs や SE のバランスグ提言といった理性的側面や、長老のような良き話し相手として情動的側面からも支援を受ける。現在様々な方面で汎用人工知能の開発が試みられているが、そのブレークスルーは達成されていない。例えば、汎用人工知能の基礎となるディープラーニング技術が人間の脳神経系（ニューラルネットワーク）を模倣することで発展したように¹⁴、生物的な要素として“自己再生産”と“自然選択”を組み込むことで人間の成長を模倣できる可能性がある。

[2. 物質生産] バイオによる物質生産

快適な生活を支える人工物は、家庭などの小さな単位で生物的に産生されるようになる。バイオテクノロジーを民生化し、欲しいものを欲しいときに欲しいだけ作り、自由に加工するバイオ技術が必要となる。

現在私たちの身の回りにあるプラスチックに代表される人工物は、膨大な量の廃棄物を生み出した上に得られたものとなっている。また、それらはグローバル化により安く作れる離れた場所からエネルギーを使って運ばれ、使用後は埋め立て廃棄される。Mini SEs では物質循環が重要な要素であり、このような人工物を使用することはできない。

生物が有する「循環」という性質と多様な物質生産能力、それに人間が手入れすることで、循環型の物質生産が初めて可能となる。例えば、現在様々な研究開発プログラムで進められているバイオプラスチックをはじめ¹⁵、スパイダーシルク、バイオインク、バイオカーボン繊維、バイオ燃料などが、それらを産生する微生物を各家庭で培養することで得られるバイオ技術を確立する。これには、循環不可能な太陽光パネルに代わり、バイオ燃料産生緑藻・植物を用いて太陽光エネルギーを高効率で生物的に固定する技術も含まれる。

食糧生産も重要な物質生産の要素である。MS 目標 5「2050年までに、未利用の生物機能等のフル活用により、地球規模でムリ・ムダのない持続的な食料供給産業を創出」にて取り

¹⁴ ディープラーニングとニューラルネットワークの関係性については、[17]を参照。

¹⁵ バイオプラスチックを巡る現状については、[18]を参照。

組まれている¹⁶。

[3. エネルギー] 環境許容量内包化社会

持続的なエネルギー源は太陽光のみであり、社会のエネルギー消費がその範囲を超えないよう自律制御されるようになる。エネルギー固定効率の向上や省エネ技術を発展させると同時に、残存利用可能エネルギー量と社会の活動度を“リンクさせる技術”が必要となる。

国際エネルギー機関（IEA）が公表した、「2050年までに温室効果ガスの排出量を実質ゼロにする目標達成に向けたロードマップ」に示された通り[20]、今後、油田等の新規開発は許容されない。化石燃料の確認埋蔵量は掘削技術の発展とともに延長されている現実はあるものの、数百年単位では確実に枯渇する資源である。化石資源の枯渇はエネルギー価格の高騰を招き、自ずと社会の活動度を低下させると予想させるが、それは持続的でない森林伐採や原子力の利用を促進する可能性もはらんでいる。

様々な形態のエネルギーを統一的に可視化し、その出自についても検証可能なシステムを構築する。これを経済システムとリンクさせることで、これまで外部化されてきたゆえに破壊されてしまった環境許容量を内包化した社会を構築可能となる。例えば、カロリーなどの共通単位をEコインとして扱い、バイオマスの生産やバイオ燃料の生産によってEコインが産出され、車などで消費する際にはEコインが失われることで、社会の活動を総Eコイン量内に収める“Eコイン技術”を確立する。また、このEコイン技術には、ブロックチェーン技術などによりそれぞれのEコインがどこでどのように生産されたものなのかが検証可能な、持続的でない伐採等を排除する機能も含まれる。

3. 当該目標に関連する研究開発の動向（全体） 海外動向及び日本の強み

人工的に物質循環を再現して、人が住める環境の設計を目指した実証実験の例として、1991年にアメリカのアリゾナ州で行われたバイオスフィア2が挙げられる（バイオスフィア1は地球を指す）。本実験では、1.27ヘクタール施設内に海、砂漠、熱帯雨林、圃場等の区域を設け、男女8名が2年間にわたって自給自足の生活をした。本施設では、物質循環を外と隔離させた閉鎖系であり、ガスの漏れこみは10%以下であった。しかしながら、実験開始当初から酸素濃度が下がり続け、途中で酸素の投入を余儀なくされた。また、N₂Oガスが極めて高い水準で排出されるなど、予想外の展開を見せ、さらには、閉鎖系での生活が参加者に多大な精神的ストレスを強いることになったと言われている[21]、[22]。閉鎖系での自給自足については一定の成果が得られたものの、実はエネルギーは外部から無尽蔵に供給されており、持続可能性という点では疑問が残る結果となった。今後活かせる科学

¹⁶ なお、バイオテクノロジーを利用した「バイオリベラル」の社会システム実現の可能性についても議論されており[19]、ポスト・アントロポセンの社会システムを構想する際にも有益な示唆がある。

的データは蓄積されたが、バイオスフィア 2 での実験は如何に人が生活する上で、物質循環を維持させるのが大変であるのかを我々に突きつけ、まさに我々が現在の地球において直面する課題解決の困難さを物語っている。Mini SEs 及び SE では、エネルギー問題を含めた循環型社会の構築を目指すため、バイオスフィア 2 と異なり、真に持続可能な環境の実現へ向けた、より良い社会への転換を目指したアクションとなる。

[1. 利他性発揮] 真の人工知能による支援

科学技術は諸刃の刃であるため、素晴らしい技術であっても正しい使い方をしない限りは、結局は地球や人にとって害をなすことになる。ここでいう、正しい使い方とは、地球に過度な負荷をかけない使い方を指している。各個人の意識と行動が変わらない限りにおいては、アントロポセンを脱することは難しく、将来に渡ってアントロポセンと同じ過ちを繰り返す可能性があるため、単に技術を開発するだけでは、真に持続可能な地球の実現は困難である。実際に、これまで環境問題について、すでに多くの人に関心を持ち、様々な活動が行われているにも関わらず、地球の不安定化に向かっていく現実は変えられておらず、各個人の行動変容がいかに難しいかを物語っている。本チームでは、ポスト・アントロポセンの社会システムに移行するためには人々の精神性に基づく行動が大きな鍵になると考えており、精神性を育み、行動変容に至るための科学的なサポートができないかを議論してきた。ボードゲームを利用した思考実験のワークショップを開催し、マインドセットを変える試みを行って、一定の成功を収めたものの、実際にその結果が行動変容にまで至るケースは珍しいと思われる¹⁷。

そこで、Mini SEs では利他性を育み、関係的自己のウェルビーイングが実現する社会を目指す。しかし、バイオスフィア 2 において、精神的なストレスが問題となったことを考えると、どのように健全な精神を養うかということは重要な課題となる。最近の研究では、正しい判断をする際に、アントロポセンの世界からの脱却を促す人間性について、理性だけではなく、情動に注目が集まっている[23]。一方で、現在の AI 開発は如何にロジカルな判断を的確に素早く下すかに開発の重きが置かれてきた。そこで、情動を理解できる AI の開発を行う。情動を AI に組み込むことで、将来的には、人間の良き理解者として、我々のメンタルケアを行い、さらには、世代を超えて経験や体験を人間に共有する役割を担うことで、人間の共感力を高めていくことができる。

また、人以外の生物や環境に関するデータを AI の「人格」として表現することで、人その他の生物や環境のコミュニケーションがとれるようになる。これにあたり、ゲノム情報から(バーチャルな)個体を再現できる技術を確立させ、生物同様に進化もさせることで、AI と生物の融合を図っていく。バイオインフォマティクスの発達によって、タンパク質の個々の

¹⁷ 2021 年 5 月 13 日には、奈良県立国際高校においてワークショップを実施し、200 名程度が参加した。

構造の予測や代謝の予測など可能になってきたが、ゲノム情報のみから、個体の動き、形、代謝を再現することは、バクテリアですら成功していない。一方で、DNA 情報は簡単に手に入れることができるため、そこから生物を再構成する技術が発展すれば、バーチャルな世界のみならず、合成生物学、デジタル育種、生態系の保全、医学など、実社会に還元できる。デジタルな世界では時間を早めることもできるため、研究や開発の速度を大幅に加速できる。

さらに、ゲノム情報をもとに機械が動く技術を開発することで、生物と機械の融合を一步進め、これまでに類をみない共存関係を築いていく。古来より日本には人以外の自然を崇拜・人格化するアニミズムや鳥獣戯画のような自然を擬人化する文化が根付いているため、情動に訴えかける AI 技術の開発の文化的基盤がある。すでに情動に訴えかけるロボットを開発し(メンタルコミットロボ)、それによるロボットセラピーを提唱するなど、AI と情動を関連させる技術は日本の得意分野であり、介護の現場等で活用されている。ロボットセラピーは心理的、生理的効果に加えて、コミュニケーションの改善など、社会的な効果も確認されている[24]。この技術を高度化することで、介護や医療の現場のみならず、日常的に AI と情動を共有できる社会を築き、人間が持つ限界に制限されない視点から高次の判断の支援や利他性を含めた人間関係、コミュニケーションを円滑にしていく。日本人は欧米と比較し、協調性を重んじる文化があるため、集団のためなら自己の犠牲を厭わない部分もあり¹⁸、こうした国民性は上記 AI をプログラミングする上で、他国に比べて向いている。

[2. 物質生産] バイオによる物質生産

日本は伝統的に微生物の利用発酵・醸造技術が強く、世界トップレベルである。そこで培われた技術は脈々と食料品から医薬品、有用化合物や有用酵素生産に繋がられ、その過程で得られた微生物ストックは世界有数となっており、一部はライブラリーとして公開されている[25]。これを支えてきたのは、日本の微生物培養技術の高さであるが、世界に先駆けて、真核生物の誕生の秘密を握る微生物の培養に成功し、2019 年のサイエンス誌の 10 大ニュースに数えられたことは記憶に新しい[26]。こうした培養やスクリーニングは、日本人特有の忍耐力が為せる技で、世界も認めるお家芸であるが、その成果としては大村智博士のエバームクチン産生菌の発見(ノーベル生理・医学賞)も挙げられる。また、日本のアカデミアにおいては、微生物学は農学系か医学系の組織に属しており、基礎生物学に属する海外と、教育背景が大きく異なる人材が育成されている。農学では、環境問題も含めて広く学ぶために、環境問題に関心が高い微生物関係者が育っており、今後環境バイオ産業が成熟するための風土ができている点で有利である。

¹⁸ 高井研博士(海洋研究開発機構 超先鋭研究開発部門 部門長)ヒアリング(2021年3月5日)。

[3. エネルギー] 環境許容量内包化社会

エネルギーにおける最大の問題は、現代社会は、石油という過去の遺産を使い尽くし、そこから CO₂を放出して地球温暖化を招く、という将来の展望が見えない負のスパイラルを構築してしまったことにある。人間活動が地層に刻まれることこそがアントロポセンの特徴であり、人間が地球に影響を与えた影響の結果として、流氷の溶解、サンゴ礁の大量絶滅、甚大な災害の頻発が起き、加速している。そこから脱却して地球のエコシステムを安定化させるには、地球の温暖化を食い止める必要があり、その岐路に我々が立たされていることを強く認識する必要がある[27]。地球の温暖化を食い止める一つの方向性として、カーボンニュートラルが挙げられ、世界規模で目標が掲げられているものの、要素技術の開発に留まっており、さらに大きな枠組みで物質循環と絡めた研究開発は極めて乏しい。

カーボンニュートラルと物質循環の2つを繋げる力として、バイオ技術は Mini SE における有効な技術である。生態系は本来光エネルギーを利用して CO₂を固定し、その固定された CO₂の範囲内で物質循環を駆動させてきた。その制約を科学技術で打ち破ったのが人間であるが、もう一度、光エネルギーと CO₂固定をリンクさせることにより、物質生産を完全に光エネルギーで賄って、この大きくバランスが崩れた地球の物質循環を元に戻すことを目指す。バイオに関わる技術は日本の強みであり、資源が少ない本国においてもバイオ産業は大きな可能性を秘め、第5次産業革命をもたらすとされている[28]。

光を用いた再生エネルギー・物質生産として、日本では藻類の研究で世界をリードしているが、増殖速度や安定化で課題を残している。光合成生物の最大の弱点は、増殖速度が比較的遅いことであるが、ゲノム編集技術や合成生物学など、これを積極的に改良するための技術基盤は確立できている。さらには、増殖速度が速い大腸菌に CO₂固定能力を持たせることも遺伝子組換え技術によって可能となっており[29]、CO₂から有用物質生産を行える可能性も見えてきている。また、電気を直接微生物から得ることも可能であり(細胞外電子伝達)、代替エネルギーとして世界中で研究されている。現在のところ、まだ生産できるエネルギー量に問題があるが、場所を選ばず土壌に電極を挿せば発電できる点で、極めて魅力的なシーズ技術であり、活性汚泥を利用して電力を供給するシステムの開発は日本で行われている[30]。そもそも細胞はエネルギーを常に産生しており、アデノシン三リン酸(ATP)として蓄えているが、発想を転換させ、ATPを動力源として使うことができれば、革新的な技術開発に繋がる可能性がある。日本ではすでに、筋肉組織のポンプへの応用も検討されており[31]、広い意味での代替エネルギーの開発が期待できる。

上記の技術が実現し、各自でエネルギー生産できるシステムを構築することで社会構造を転換させて、自然災害に強く、柔軟性のある社会を築く基盤としていく。

これまでに述べてきた科学技術や AI を運用し、Mini SEs を構築する場として、バーチャルリアリティ(VR)も利用する。Mini SEs では人以外にまで考えが及ぶ、関係的自己のウェルビーイングが実現する社会を目指す。その社会の構築のために、VR を高度に活用する

ことで、精神性を涵養し、さらには、社会システムや科学技術を体験できる場として、いくつかの Mini SEs をパラレルワールドとして運用させ、その結果を現実世界に反映させながら、意識改革・行動変容を積極的に促すことで、環境を配慮した社会の構築を目指す。科学技術を駆使して自然との共存を図るプロジェクトは日本でも行われているが、フィジカルな世界で行う場合は、簡単にはやり直しが効かず、刻一刻と変化する環境や社会情勢に柔軟に対応できない側面を持つ。その点で、VR の活用は、現在の生活を維持したまま、別の世界を体験でき、フィジカルの SE 化に向けた課題や効果を把握できる上に、やり直しが効き、時間をも操作できる点でも研究には有利である。

VR を高度に活用するには、まずは実世界に即したデータを精緻に集める必要があり、そのためには、モニタリングやシミュレーション技術を駆使し、実験によってシミュレーションの精度をあげることで、デジタルとフィジカルの世界を往来しながら、Mini SE を試験的に運用することができる。一見するとバーチャルな Mini SE は単なるシミュレーションで事足りるとも考えられるが、人の行動は不確定要素を多く含み、シミュレーションが極めて困難であるため、VR の中に実際に人を取り入れて、Mini SE の姿を完成させていく。VR 上では、国籍や年齢等を問わず参加できるため、フィジカルな社会実験よりも多様な参加者を募りやすく、人が Mini SE に与える影響を解析しやすい。

これまでに VR は主にエンターテインメント業界で注目を浴びており、日本ではゲーム業界では世界をリードしてきた歴史があり、2016 年に PlayStation VR が開発されるなど VR をいち早く取り入れている。また、1996 年にバーチャルリアリティ学会が設立されるなど、社会的なニーズや影響を解析するための準備が進められてきた。現在においては、医療分野でも積極的に VR の活用が検討されており、手術や治療、さらには、統合失調症の疑似体験にも使用されている[32]。こうした VR 技術を社会実験として用いることが、既存の VR 研究開発と異なっており、バーチャルな Mini SE とそれを利用する人が相互に影響し合うことも、これまでの VR の概念やリアリティを進化させ、認知科学など基礎科学の分野の発展にも繋がる。

III.社会像実現に向けたシナリオ

1.挑戦的研究開発の分野・領域及び研究課題

自然環境と人間社会の関係の再構成により生み出される持続的な地球を、科学技術を媒介にして実現する上で、以下の点が重要となる。

- 1) 気候変動問題を念頭に、埋蔵エネルギーの使用は「ほぼゼロ」に抑え、地球にもたらされる太陽エネルギーの利用を最大化する。
- 2) 自然環境のあるべき姿を、未来思考で再定義し、そこから導き出されるデータを全ての問題解決の前提として取り込む。
- 3) 未来志向の行政が可能な社会システムを設計し、それを支える法律、規範、教育を整備する。

これらの、科学技術、自然環境、人間社会の未来像を可能にするためには、国レベルからグローバルな取り組みへと発展し、地球上の全ての人々の叡智の結集が不可欠である。Mini SEsにおいて、様々な要素技術、システム、思想を検証し、最適な選択を重ね、現在の地球の延長線上には乗らない、新たな地球「Smart Earth」への飛躍を実現する。

1) 埋蔵エネルギーの不使用、太陽光エネルギーの最大化

産業革命以来、加速度的に増加している石炭、石油など埋蔵エネルギーの利用は、温室効果ガスの滞留により、地球環境に大きな負荷をかけ、地球上における人類の生存を脅かしている。これらを全て代替エネルギーで賄うことができれば、現在俎上にある問題の直接的な解決策となり、持続可能な地球の未来への道筋を描くことが可能になる。温室効果ガス削減の数値目標が、各国で1%単位の攻防をしているように、現在のロジックに頼ると2050年までのゼロ使用は達成が極めて困難である。したがって、目標の達成には大掛かりな技術の取り込みが必要となり、有望な選択肢としてバイオ化戦略が重要な研究領域となる。

現在の豊かな生活を支えるすべての物質は、化学製品に依存している。この“化学”は生産過程で多くの埋蔵エネルギーを使用し、大量の廃棄物を生み出すことから、環境負荷の削減の好適な対象となる。これらの原材料のすべてをバイオマス由来に置き換え、バイオマスエネルギーとバイオテクノロジーによる物質生産工程に転換することで、地球上のすべての製品をバイオ化させる。SEにおける環境収容力のボトルネックとなる、太陽光エネルギーによるバイオマスやバイオ燃料の生産は、革新的な効率化が求められる。一方、微生物や植物を利用し、地球上で求められるあらゆる物質の生産を可能にする破壊的な技術により、生活の豊かさが位置付けられる。

2) 未来的思考で導かれる自然環境の再定義

自然環境のあり方における科学技術の役割を検討する際に、SEにおいて必要とされる工

エネルギーや物質の量的・質的観点により、自然環境がどの程度まで“自然”であり続けられるかが決まる。現在の視点であれば、必要な太陽光パネルの設置と環境破壊とのバランスが、一つの具体例となる。一方、地球上のすべての環境及び生態系が科学技術により管理される可能性も検討されるべきであり、現在の思考や固定観念にとらわれない、未来型思考による新たな自然環境と科学技術のあり方について、Mini SEs で検証していく。この中には、自然と精神の接続に関する研究領域や、まだ見ぬ感染症の対策に関連する分野も含まれ、再定義が必要となる。

3) 未来志向の社会

これまでの社会は、競争と成長を基本戦略として拡大してきたため、埋蔵エネルギーの掘削と環境破壊に歯止めが効かず、現在の環境問題に至っている。SE においては、未来世代に保障されるべき権利を最大限に尊重して意思決定することが可能な、社会システムが必要不可欠である。そのためには、より多くの「未来」を保有する世代に、より大きな裁量を委ねる行政システムを検討する必要がある。また、地球をより良い状態で未来へ受け渡すために行動することは、未来世代に対する利他性であり、この新しい価値観を多くの市民に浸透させ、行動変容を促すための AI 技術の活用や教育システム構築が必要となる。

2. 2030 年・2040 年・2050 年のそれぞれにおける、達成すべき目標（マイルストーン）
マイルストーン達成に向けた研究開発、これによる波及効果

2030 年：多様な形態で Mini SEs を設立し、新しい地球に必要な要素技術や社会システムについて検討を開始する。Mini SEs の設立は、10 ヶ所を目指して日本国内で進める。ここでは、他の MS 目標における開発技術についても検証可能になり、MS 事業が一体となって目指す社会像の達成へと近づく。

2040 年：Mini SEs における技術や社会システムの検証を進め、コアとなる要素や個別の条件達成に貢献する要素の選別を達成する。これにより日本のみではなく、諸外国へと展開し、グローバルな問題解決の道筋が提示される。

2050 年：SE に搭載すべき要素技術や社会システムが選択され、埋蔵エネルギーを利用しない、真に持続可能な地球が達成される。この目標達成に向け、バイオ化戦略をさらに加速させる研究開発を進める。また、SE 化の達成により、新しい科学技術や社会システムなどを実装する上で、Mini SEs における検証の実効性が示される。このことは、更なる地球規模の問題が提起された際の解決手段として、Mini SEs が有効なスキームとして機能すると考えられる。

3. 目標達成に向けた国際連携のあり方

本目標は地球規模での変革を志向するものであり、国際連携が不可欠である。科学技術分野については、利他性発揮、物質生産、エネルギーの3領域に関する国際共同研究を推進する必要がある。アカデミアにとどまらず、企業との連携も必要になる。また人文社会分野における国際連携も必要である。2050年のSE化の際には、地球規模の多様な哲学・思想・宗教のあり方を基盤として社会を構想されるべきである。よって、科学技術の進展に基づいた思想・社会の国際比較研究が必要となる¹⁹。

地球のSE化のためには、各国政府との連携が必要である。日本政府が各国と連携し、世界をリードしていく必要がある。そのためには国連におけるリーダーシップは重要である。日本は国連を通して「人間の安全保障」の概念を主流化させた経験を持っており²⁰、この経験を基盤としてSE化のためのリーダーシップをとっていく必要がある。また、研究機関とベンチャー企業が、国連副事務総長同席のもと、国連の場でプロジェクトを発表した事例もある。海上に浮かぶ都市であるフローティング・シティ構想について、国連人間居住計画（国連ハビタット）の協力のもと、マサチューセッツ工科大学（MIT）研究グループとベンチャー企業であるOCEANIXが共同で発表を行った[35]。非政府アクターが国連と連携し、国際社会に働きかけることも重要である。

4. 目標達成に向けた分野・セクターを越えた連携のあり方

SE実現のためには科学技術の研究者以外との連携も必要である。

第一に、地方自治体・市民社会との対話が必要である。本目標を実現するためには社会行動の変化が不可避であり、変革の必要性を市民と共有しなければ実効性がない。また、2030年にフィジカルなMini SEsを実現するためには場が必要であり、地方自治体・市民社会の理解が重要である。本チームは、すでにMini SEs構想についてつくば市と意見交換を行っている²¹。理念に共感してもらえる地方自治体を増やし、市民社会との対話の場を作ることが、2030年のMini SEsの構築、2050年の地球のSE化のために必要である。

第二に、教育セクターとの協力が不可欠である。未来を担う子どもに新たな社会像、科学技術の役割についてともに考えてもらう必要がある。本チームは高校生、大学生を対象としてワークショップを実施し、環境の重要性について検討するとともに新たな社会像について意見交換を行った²²。こうした実践を通して、地球のSE化のために必要な価値観につい

¹⁹ 環境に関する思想・宗教については[33]が参考になる。

²⁰ 日本の外交政策による「人間の安全保障」の主流化については[34]を参照。

²¹ 2021年4月27日に実施。

²² 2021年4月から5月に筑波大学において「ポスト・アントロポセン」を開講し、多様な専門分野の72名が受講した。2021年5月13日には、奈良県立国際高校においてワークショップを実施し、200名程度が参加した。

て幅広い層で議論する必要がある。

5. ELSI (Ethical, Legal, Social Issues)

(目標達成に向けて取り組むうえでの倫理・法的・社会的課題及びその解決策)

1) 想定される課題

現時点では、地球のSE化には多くのELSIが存在する。倫理的課題としては、バイオの利用に関連して、人間が環境に手を加えることに問題があるのではないかと指摘がありうる。例えば遺伝子組み換えなどに関しては生命倫理の視点から、否定的な見解もある[36]。また人間社会においても、利他性を強調することへの倫理的な問題点が挙げられる。歴史的に集団からの個人の解放により自由主義の発展が進展してきたことを考えると、利他性を強調することへの批判もありうる。特に日本においては過去に集団を個人よりも優先させる教育がなされ、戦後においてそれが否定されている²³。個人以上に他者の利益を優先せうという意味では集団を強調する教育と利他性に類似性を見出す向きもあり、批判的な立場もあるであろう。

法的課題としては、バイオの利用に関する法的規制が挙げられる。例えば現時点で遺伝子組み換えは、「遺伝子組換え生物等の使用等の規制による生物の多様性を確保に関する法律(カルタヘナ法)」により制限されており、現時点での法規制に抵触する遺伝子組換えが必要になる可能性もある。また人間社会については、まず国際法の視点として、国家主権をいかに乗り越えられるかとの課題がある。現時点では各国が主権を有しており²⁴、国によって異なる政策を採ることができる。そのため、地球のSE化を日本もしくは国連が単独で主張して実現するものではない。国内法の視点では、倫理的課題としても挙げた「利他性」が問題になる。個人の尊重は日本国憲法13条に規定されており、特に第二次世界大戦の反省として作成された日本国憲法の極めて重要な条文の一つである。「利他性」を強調することは、個人の独立を妨げることにもなりうるため、現行の国内法ではさまざまな法的問題が想定される。

社会的課題としては、SEを実現するために必要な問題意識の共有が困難であるとの課題がある。自然環境に人間が手を加えることについて、社会で嫌悪感が指摘される可能性がある。また、新たな人間社会を実現するためには、現在の規範である個人の尊重と衝突する場面も想定されるため、社会的な反発も予想される。

²³ 日本においては明治以降終戦に至るまで、教育の基盤となった教育勅語により、個人の尊重より、集団や国家に尽くすことが望ましいとされた。また大日本帝国憲法においては、人権も天皇の恩恵として認められるとされた。その反省から、戦後制定された日本国憲法及び教育基本法では、個人の尊重の概念が含まれるようになった。憲法13条は、「個人として」の尊重を、教育基本法2条は「個人の価値」の尊重を規定している。

²⁴ 国連憲章2条4項参照。

市民が求める社会像は多様であることは、本プロジェクトでの社会調査でも見いだされた。図 -1 は様々な社会像に対する重視度をベストワーストスケール²⁵により評価した結果が示されている。

全体的な傾向としては、不平等や富の不均衡の是正 (S7) ならびにライフスタイルの多様性の受容 (S6) が最も重視されている。一方で、行動スコアシステムによる行動変容促進 (S6) に対する拒否感は性別、年代を問わず強い。外生的に何らかの行動変容を促すような仕組みに対しては、強い拒否感が存在している可能性がある。宇宙や海洋での資源開発に対しても重視度はおおむね低いといえる。

次に、性年代ごとのスコア平均値の差異について検討する。資源リサイクル (S5) は年齢が高い世代 (概ね 50 歳代以上) が重視している一方で、若年層は重視していない。積極的な資源開発 (S2) に対しても、女性は全年代を通して重要度が低い、男性では年代による差異が大きく、高齢者ほど重要度が低い。経済システムの公平性 (S3) に対しては、年齢が高い世代が重視している。

²⁵ ベストワーストスケールについては[37]を参照してほしい。

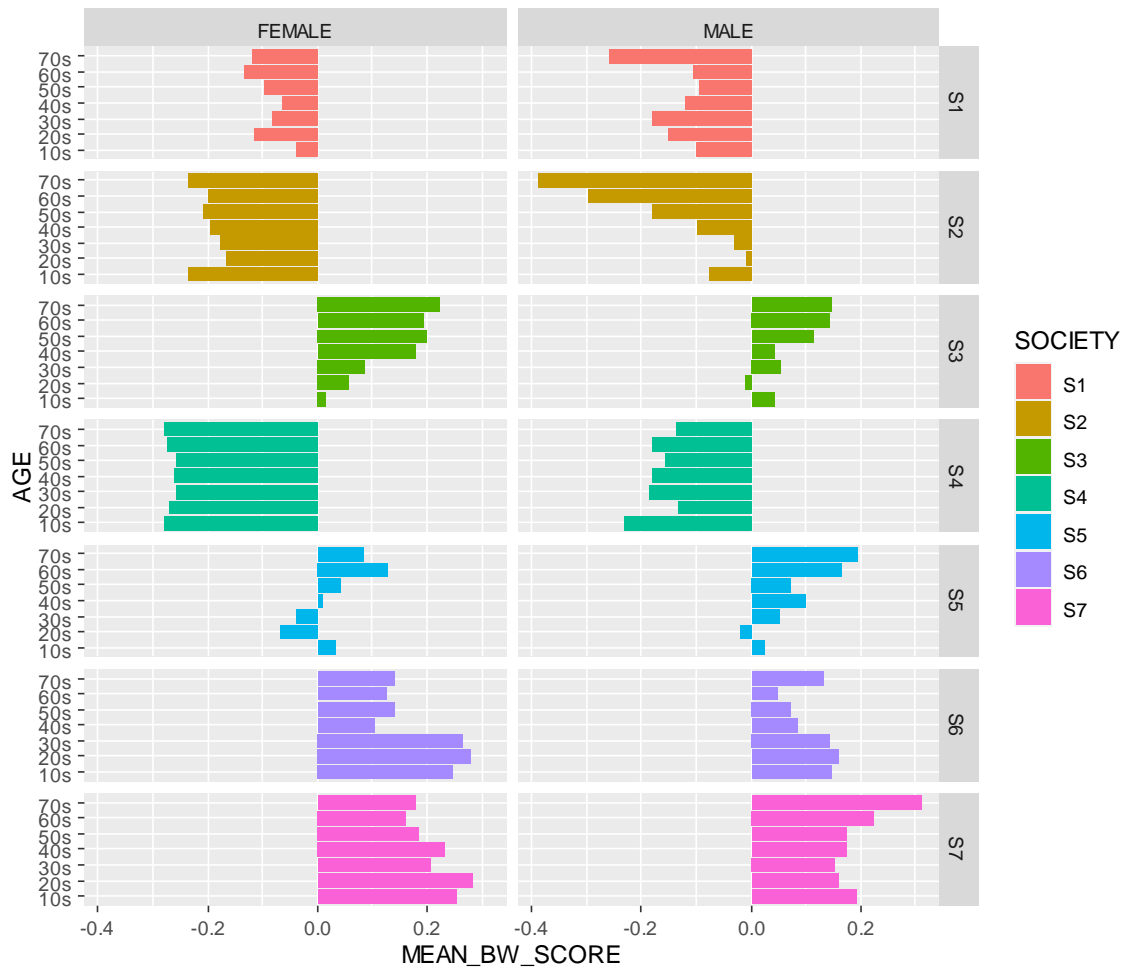


図 -1 社会像に対する性別ならびに年代別の標準化ベストワーストスコア平均値

注1) 横軸(MEAN_BW_SCORE)は標準化ベストワーストスコアの平均値を示している。値が大きいほど、当該社会像を重視していると言える。縦軸(AGE)は10歳刻みの年代を示している。

注2) 凡例(SOCIETY)は社会像(S1(よりよく生きる権利が人間以外の生物種にも拡大されている。)、S2(宇宙や海洋も含めた積極的な資源開発が進められている。)、S3(物質循環を重視した資源リサイクルが推進されている。)、S4(行動スコアシステムの導入により社会的に望ましい行動変容が促進されている。)、S5(効率性よりも公平性や持続可能性を重視した経済システムが導入されている。)、S6(個人のライフスタイルや主義主張をお互いに認め合うようになっている。)、S7(人間の間での不平等や富の不均衡の問題が解決されている。))を示している。

以上をまとめると、高齢世代は、積極的な資源開発を避け、資源循環を重視し、公平で持続可能な経済システムを重視する傾向がある。一方で、若い世代は、資源循環やライフスタイルや主義主張の多様性を重視しており、特に女性でその傾向が顕著である。ただし、これ

らは性別ならびに年代から見た大まかな傾向であり、個人間のばらつきが非常に大きい。この多様な考え方を調整する必要がある。

2) ELSI の解決策

しかしながら、現状の地球の状況を考えると SE を実現する必要があることは、既述のとおりである。倫理的な問題に 대응するために重要なのは、現時点での倫理的な課題が、未来の人間の可能性を狭めてまでも検討すべき重要な課題なのか、という問題である。人間が生命に神秘を感じる以上、生命の基盤に関わる技術が論争的になるのは必然とも言える。しかし、未来に可能性を残すためには、自然環境に手を加える可能性を検討することは、より大きな善を成し遂げるために重要である²⁶。人間が自然に手を加えることへの自然環境への影響を科学的に分析することを前提とした上で、人間が自然に手を加える可能性を検討する必要がある。

法的な問題をクリアするためには、国家主権という国際法的な問題と、自然環境に人間が手を加えることに関する法的規制、人間社会の「利他性」をめぐる問題では異なる解決策が存在する。国際法的な問題については、国家主権という前提の中で SE を実現するために、多くの国を説得することで SE 化への現状を実現することが考えられる²⁷。現状では環境問題が認識されており、その文脈で SE 化を捉えることができる。2021 年 4 月に開催された米国大統領主催による気候サミットでも、世界各国が矢継ぎ早に温室効果ガスの削減目標を発表するに至っており、この流れの中で国家の枠組みを超えた協力関係を構築できる機運を醸成できる²⁸。先述の「人間の安全保障」と同様の戦略を取ることで、日本政府が率先して世界のコンセンサスを取ることができよう。このような事例をもとに、世界各国をリードし、国際レベルでコンセンサスを取ることで、国家主権を基盤としつつ、SE 化を実現できる。国内法の問題は、以下の社会的課題を乗り越えることで、国民に選出される国会議員が地球の SE 化の必要性を認識し、SE 化を促進する立法が進むと考えられる。

社会的問題克服のためには、市民とのコミュニケーションが必要である。自然環境に人間が手を加えることを巡っては、ゲノム編集を社会に理解してもらうために、家庭菜園向けに苗を配布する活動が行われている[40]。自然に手を加える技術を市民に共有することにより、科学技術への理解を促進する必要がある。新たな人間社会を巡っては、近代立憲主義を基盤とする個人主義を修正する新たな考え方を共有していく必要がある²⁹。これまでの社会

²⁶ この論点を検討するためには、世代間正義の検討が必要である。[38]を参照。

²⁷ なお、現状の主権国家体制を転換し、一つの世界連邦を構想しようというアイデアもあり、世界連邦が実現し、世界連邦で SE 化に取り組むことになれば、SE 化への政治的コミットメントは比較的容易に生むことができると考えられる。世界連邦運動については[39]を参照。

²⁸ 各国の達成目標は[7]を参照。

²⁹ 特に憲法に着目した論点については、[41]を参照。

の考え方の基盤を大きく変える極めて大きな問題ではあるが、未来への可能性を残すために検討する必要がある。継続的な議論により、社会が受容できるあり方を検討しなければならない。

こうした取り組みの結果、地球の SE 化に向けた必要性が認識されるようになり、2050 年の時点では、地球の SE 化をめぐる ELSI が克服されるはずである。

IV. 結論

本調査研究では、2030年にMini SEsを設置し、2050年に地球をSE化することが、未来世代に地球を残すために必要であると結論づけた。この結論に至るまでにはさまざまな議論があった。本チームには、多様なメンバーが集まり、さまざまな立場、前提の「間」で議論を進めてきたため、困難な部分も多くあった。議論を通して、例えば「社会科学/自然科学」、「アカデミア/クリエイティブデザイナー」といった立場の違いを実感せざるを得なかった。またその克服は容易なものではなかった。また、「自然/科学技術」、「自然/人間」、「過去/未来」、「西洋/東洋」を、どのように考えるべきか、様々な議論があった。

本チームの議論から感じたことは、異なる見解を持っていても「信頼関係」を保ち、「間」を議論する大切さである。間の議論により、それぞれの立場を相対化することができる。自らの相対化は苦しく、答えを導き出すためには時間がかかる。しかし「信頼関係」を築き、「対話」を続けることで見えてきたもの、それこそが「間」の大切さであった³⁰。本チームは2050年の理想を構想している。しかしその理想は、2021年を生きる私たちが強制するものではない。2050年を生きる人々が考えるべきものである。しかし2050年のために可能性を残す、それが2021年の私たちができることである。未来に希望を持ちつつ、絶対的な未来は提示しない、その「間」に未来がある。その「間」を実現するのがSEである。

SEが実現するのは2050年である。しかし、私たちが見据えるのはその先である。2100年、2150年を生きる世代に地球を残すために、2050年のSE化があるのである。SE化構想が、2150年を生きる子どもたちの笑顔の基盤となることと確信している。

³⁰ 斎藤幸平は、アントロポセンを克服した社会像として信頼と相互扶助を掲げている[42]。

V. 参考文献

- [1] ボヌイユ クリストフ, ジャン=バティスト・フレソズ(野坂 しおり訳)『人新世とは何か——<地球と人類の時代>の思想史——』青土社(2018)18-19頁。
- [2] IPCC. 2013: Summary for policymakers. In Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex & P.M. Midgley (eds.). *Climate change 2013: The physical science basis. Contribution of working group I to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press (2013) p. 17,
https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WG1AR5_SPM_FINAL.pdf.
- [3] ボヌイユ, フレソズ『前掲書』(注[1])20-30頁。
- [4] 河岡 義裕(聞き手 河合 香織)『新型コロナウイルスを制圧する ウイルス学教授が説く、その「正体」』(2020)[Kindle版]「第2章 ウイルスと共に生きる パンデミックを起こすウイルスとは? 今後もパンデミックは起きる」1-6段落(Amazon.co.jpより取得)。
- [5] ニューススイッチ「京大と米アリゾナ大が「火星移住」を想定した実習を始めた!」(2020年10月26日、日刊工業新聞) <https://newswitch.jp/p/24368>.
- [6] Clammer, John. The politics of animism. In John Clammer, Sylvie Poirier and Eric Schwimmer (eds.). *Figured worlds: Ontological obstacles in intercultural relations*. University of Toronto Press (2004) pp. 83-109, 83.
- [7] The White House. Leaders Summit on Climate Summary of Proceedings (23 April 2021). <https://www.whitehouse.gov/briefing-room/statements-releases/2021/04/23/leaders-summit-on-climate-summary-of-proceedings/>.
- [8] ケネス・J・ガーゲン『関係からはじまる: 社会構成主義がひらく人間観』ナカニシヤ出版(2020)。
- [9] 渡邊 淳司, ドミニク・チェン『わたしたちのウェルビーイングをつくりあうために - その思想、実践、技術』ピー・エヌ・エヌ新社(2020)。
- [10] 大垣 昌夫・田中 沙織『行動経済学【新版】 - 伝統的経済学との統合による新しい経済学を目指して』有斐閣(2018)140頁。
- [11] 小田 亮, 大 めぐみ, 丹羽 雄輝, 五百部 裕, 清成 透子, 武田 美亜, 平石 界「対象別利他行動尺度の作成と妥当性・信頼性の検討」『心理学研究』84巻1号(2013)28-36頁。
- [12] Johnston, Robert, Cathy A. Roheim, Holger Donath, & Frank Asche. Measuring Consumer Preferences for Ecolabeled Seafood: An International Comparison. *Journal of Agricultural and Resource Economics*, 26(1) (2001) 20-39.
- [13] 稲垣 佑典・前田 忠彦「潜在クラス分析による「日本人の国民性調査」における信頼の意味とその時代的変遷の検討」『統計数理』63巻2号(2015)277-297頁。

- [14] Tully, Stephanie. M. & Russel S. Winer. The Role of the Beneficiary in Willingness to Pay for Socially Responsible Products: A Meta-analysis. *Journal of Retailing*, 90(2) (2014) 255-274.
- [15] シャピロ ポール (鈴木 素子 訳) 『クリーンミート 培養肉が世界を変える』日経 BP (2020)。
- [16] IBM. 「人工知能に関する「よくある 10 の誤解」 すごい人工知能はまだ存在しない」 『THINK BUSINESS』 (2017 年 3 月 9 日) <https://www.ibm.com/think/jp-ja/business/ten-misunderstandings-about-ai/>.
- [17] 我妻 幸長 『あたらしい脳科学と人工知能の教科書』 (2021) [Kindle 版] 「4.2.4 デイープラーニング」 (Amazon.co.jp より取得)。
- [18] 環境省 「プラスチックを取り巻く国内外の状況 参考資料集」 (2020 年 11 月 20 日) <https://www.env.go.jp/council/03recycle/20201120t2.pdf>.
- [19] ダン アンソニー, フィオーナ・レイビー (久保田 晃弘 監修・千葉 敏生 翻訳) 『スペキュラティブ・デザイン 問題解決から、問題提起へ。—未来を思索するためにデザインができること』 ビー・エヌ・エヌ新社 (2015) 248 頁。
- [20] IEA. *Net Zero by 2050: A Roadmap for the Global Energy Sector*. IEA (May 2021). https://iea.blob.core.windows.net/assets/20959e2e-7ab8-4f2a-b1c6-4e63387f03a1/NetZeroby2050-ARoadmapfortheGlobalEnergySector_CORR.pdf.
- [21] Walter, Achim & Susanne Carmen Lambrecht. Biosphere 2 Center as a unique tool for environmental studies, *Journal of Environmental Monitoring*, 6 (2004) 267-277.
- [22] Nelson, Mark, Kathelin Gray & John P. Allen. Group dynamics challenges: Insights from Biosphere 2 experiments, *Life Science and Space Research*, 6 (2015) 79-86.
- [23] 信原 幸弘 『情動の哲学入門 価値・道徳・生きる意味』 勁草書房 (2017)。
- [24] 柴田 崇徳 「メンタルコミットロボット『パロ』の開発と普及 - 認知症等の非薬物療法のイノベーション」 『情報管理』 60 巻 4 号 (2017) 217-228 頁。
- [25] 理化学研究所 バイオリソース研究センター微生物材料開発室 (JCM) 「オンラインカタログ」 <https://jcm.brc.riken.jp/ja/catalogue>.
- [26] Science. A 'missing link' microbe emerges (2019), <https://vis.sciencemag.org/breakthrough2019/finalists/#microbe-emerges>.
- [27] Rockström, Johan, Will Steffen, Kevin Noone, Åsa Persson, F. Stuart Chapin III, Eric F. Lambin, Timothy M. Lenton, Marten Scheffer, Carl Folke, Hans Joachim Schellnhuber, Björn Nykvist, Cynthia A. de Wit, Terry Hughes, Sander van der Leeuw, Henning Rodhe, Sverker Örlin, Peter K. Snyder, Robert Costanza, Uno Svedin, Malin Falkenmark, Louise Karlberg, Robert W. Corell, Victoria J. Fabry, James Hansen, Brian Walker, Diana Liverman, Katherine Richardson, Paul Crutzen & Jonathan A. Foley. A safe operating space for humanity. *Nature*, 461 (2009) 472-475.

- [28] 産業構造審議会 商務流通情報分科会 バイオ小委員会『バイオテクノロジーが拓く『第五次産業革命』』(2021年2月)
https://www.meti.go.jp/shingikai/sankoshin/shomu_ryutsu/bio/pdf/20200202_2.pdf.
- [29] Gleizer, Shmuel, Roe Ben-Nissan, Yihon M. Bar-On, Niv Antonovsky, Elad Noor, Yehudit Zohar, Ghil Jona, Eyal Krieger, Melina Shamsoum Arren Bar-Even & Ron Milo. Conversion of *Escherichia coli* to Generate All Biomass Carbon from CO₂. *Cell*, 179 (2019) 1255-1263.
- [30] 国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構 環境部『『グリーン・サステイナブルケミカルプロセス基盤技術開発/ 資源生産性を向上できる革新的プロセス及び化学品の開発/ 微生物触媒による創電型廃水処理基盤技術開発』 事業原簿【公開】』
<https://www.nedo.go.jp/content/100805415.pdf>.
- [31] 理化学研究所「ミミズで弁をつくる - 化学刺激によるミミズ筋肉の持続的収縮を用いた弁 (バルブ) - 」(2019年7月8日)
https://www.riken.jp/press/2019/20190708_3/index.html.
- [32] ヤンセンファーマ「～統合失調症の急性期にみられる症状をよりリアルな形で疑似体験～」(2016年5月12日)
<https://www.janssen.com/japan/press-release/20160512-VH>.
- [33] キャリコット、J=ベアード(山内 友三郎・村上 弥生 監訳、小林 陽之助・澤田 軍治郎・松本 圭子・渡辺 俊太郎 訳)『エコロジーの思想 地球の洞察 多文化時代の環境哲学』みすず書房(2009)。
- [34] 上田秀明「人間の安全保障と日本の外交政策」平和政策研究所 政策オピニオン No. 72(2007)
<https://ippjapan.org/archives/2548>.
- [35] United Nations Human Settlements Programme. Roundtable on Floating Cities at UNHQ Calls for Innovation to Benefit All (3 April 2019),
<https://unhabitat.org/roundtable-on-floating-cities-at-unhq-calls-for-innovation-to-benefit-all>.
- [36] 蔵田 伸雄「バイオサイエンススコープ 遺伝子組換え作物を考える-3 遺伝子組換え技術に関する『科学の外側』の問題」『化学と生物』44巻7号(2006)481-485頁。
- [37] Louviere, J. Jordan., Terry N. Flynn & A. A. J. Marley. *Best-Worst Scaling: Theory, Methods and Applications*. Cambridge University Press (2015).
- [38] 吉良 貴之「世代間正義と将来世代の権利論」愛敬浩二編『講座 人権論の再定位(2) 人権の主体』法律文化社(2010)。
- [39] World Federalist Movement, Institute for Global Policy. Homepage <https://www.wfm-igp.org>.
- [40] 庄司 直樹「ゲノム編集の「高GABAトマト」実る 苗を配布へ」『朝日新聞』2021年4月24日、
<https://www.asahi.com/articles/ASP4S3TJSP4RUJHB00R.html>.

[41] 秋山 肇「COVID-19 対策と日本国憲法：新型インフルエンザ等対策特別措置法に着目して」 [version 1; peer review: 1 approved, 1 approved with reservations] 『F1000Research』 10: 230 (2021).

[42] 斎藤 幸平『人新世の「資本論」』集英社新書（2020）357 頁。

インターネットアクセス日は全て 2021 年 7 月 8 日。