

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 5 月 29 日現在

機関番号：11101

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2013～2014

課題番号：25870031

研究課題名(和文)生命観を彫刻する細胞デザインに関する研究

研究課題名(英文)Views on life beings in the design of the artificial cell among synthetic biology community

研究代表者

日比野 愛子(Hibino, Aiko)

弘前大学・人文学部・講師

研究者番号：00511685

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,400,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の目的は、細胞デザインにおける科学者の生命観を明らかにすることである。文献調査、観察調査、インタビュー調査を通じて、人工細胞研究に携わる国内科学者コミュニティの特徴を明らかにしてきた。デザインで優勢な観点として、動き・形状に注目する生命認識と、生物学上の要件に注目する生命認識の2タイプを想定したが、現状では、モデルがきわめて細分化されていること、一方で、2つの生命認識を統合する枠組みが萌芽しつつある特徴を明らかにした。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this study is to clarify the variation of views on life beings among scientists who have engaged in the design of the artificial cell. Through the bibliographic survey and additional observation and interview survey, the feature of perceptions in domestic scientific community has been analyzed. While it was assumed that the two types of perception style in the design, one focuses on motion and appearance of the artificial cell and the other focuses on biological requirements, the case shows the views on the artificial cell are segmented according to the fragmentation of modelling of the cell. A few laboratories tried to integrate the frame of modelling.

研究分野：科学社会学

キーワード：細胞デザイン 生命観 科学社会学

1. 研究開始当初の背景

(1) 社会的背景

合成生物学 (synthetic biology) は、近年の生命科学の中でも発展が著しく、注目を集めている。その理由は、この学問が、生命を作ることによって、生命の仕組みを理解しようと試みている点にある。つまり、合成生物学では、デザインがすなわちサイエンスなのである。これは、既にある生物機能を検証してきた従来の生命科学のアプローチとは大きく異なる。生物学・工学・ロボティクス・情報学の研究者らが融合し、生命科学全体の大きな変革を導いている。デザインの主な対象となっているのは、「細胞」であり、さまざまな人工細胞がデザインされている。

欧米では、合成生物学と社会の関係性について、科学社会学や社会心理学からの研究が進んでいる (Kronberger et al., 2009; Calvert, 2012)。そこでは、合成生物学の動向や、合成生物学に対する一般の人々の意識が明らかにされてきた。国内での研究は皆無に等しい中、テクノロジー・アセスメント (吉澤, 2010) による調査がある。これは、リスク評価をもとに進行中のテクノロジーに人々の意見をフィードバックさせる新規なアプローチである。

(2) 先行研究の問題点

先行研究の大きな問題は、こうした倫理的議論の根拠をなすはずの、人々・また専門家コミュニティにおける生命観 (生命に対する認識) が不問にされてきたことである。人工細胞を作る活動はリスクの議論に回収されやすい。しかし、そもそも、同じ生命といっても、何をもちて生命と見なし、デザインするかについて、認識のゆらぎや多様性が見られる。また、文化によっても当然異なりがある。そして、科学者コミュニティ内ですらさまざまなスタンス・認識に分かれている。こうした認識の多層性やすり合わせの特徴を明らかにしなければ、変わりゆく科学や社会における生命のあり方を一面的にししか理解・議論できない。以上より、本研究では、細胞デザインに影響を与える生命観に焦点をあてる。

(3) これまでの知見

科学技術を社会的なプロセスととらえる科学社会論の議論においては、生命科学の最先端が、従来のような検証型実験ではなく、構成的手法 (作ることによって理解する) に重点を移しつつあることを指摘している。

また、一般の人々の生命観においては、「何が生命か」を考える際、動きや温かさといった「生命らしさ」が支配的であり、生物学的な定義による「生命の要件」とは異なることが、筆者らによる予備的なフォーカス・グループインタビューより示唆されていた。

2. 研究の目的

本研究の目的は、細胞デザインに影響を与える生命観を明らかにすることである。予備調査から、合成生物学者が細胞をデザインする際にとる生命への認識は、一枚岩でないことが示されている。この、科学者のコミュニティにおける認識の特徴を明らかにすることが第一の目的である。この目的を補完するために、先行研究の文献調査を通じて、現在合成生物学の認識論の様相を明らかにしておく。また、日本文化における、人々の人工生命に対する認識の特徴についても明らかにしておく。人工的に作られた細胞 (人工細胞、プロトセル) のイメージは、提示の仕方や、元来の生命観によってどのように影響を受けるのか、一般的な傾向を明らかにする。

3. 研究の方法

(1) 事例分析

科学者コミュニティの事例分析の対象として、国内の合成生物学コミュニティを取り上げる。合成生物学は、新興かつ学際的な研究分野であるが、そのコアコミュニティとして機能している研究会を取り上げる。当研究会は、年会や国際会議を実施するセミフォーマルな学術団体で、国内の生物学、情報学、工学研究者が参加している。

とくに、細胞デザインの多層性の全体像を明らかにするため、研究発表アブストラクトを対象に、国内で産出されてきた細胞デザインの質的内容分析を行なった。資料の整理においては、いかなる対象がデザインされているのかをコーディングした。2012年における合成生物学をテーマとする研究会の要旨集に含まれている79件の対象に、内容分析を行った。

また、合成生物学者への聞き取り調査2件、研究会への参加と観察を計4日間実施した。

(2) 文献調査

近年の合成生物学を対象とする科学哲学・科学史、また認知科学の文献レビューを通じ、人工細胞研究への変化と、科学コミュニティ一般における認識論的な変化について確認した

(3) 質問紙調査

日本文化における一般の人々の人工細胞や生命に対する認識の特徴を把握するため質問紙調査データの2次的解析を行った。とくに、人工生命を生命として認識する軸、イメージ、ならびに、これらの揺らぎ方を明らかにした。元データの概要は下記の通りである。2011年10月、成人男女パネルを利用したインターネット調査を行ない、545名からの回答を得た。途中で、人工細胞の説明を行ない、その提示法について条件を設定した。

4. 研究成果

事例調査、文献調査、質問紙調査を通じて、以下が明らかとなった。

(1) 人工細胞のデザインにかかわる現代の合成生物学研究の意味

(2) 科学者コミュニティにおける細胞デザインの対象となる生命の多層性

(3) こうした生命観の基盤をなす、文化的な生命観の特徴とそのゆらぎ

(1) 現代の合成生物学研究の意味

合成生物学の「作ることで理解する」アプローチは、現在の生命科学の大きな変化の一角をなす。

合成生物学の社会的な意味、また科学の中での意味については多くの議論が蓄積されている。とくに、科学論の分野では、化学史・科学哲学が、「新しい実践形態としてのナノ・合成生物学」に注目して論じている。そこで指摘されている要点とは、テクノサイエンスにおいて、テクノロジー（とくにナノレベルでの物質操作を行うテクノロジー）の進展が、科学と技術、自然と人工物といった二項対立図式をなすカテゴリーの境界を曖昧にしていることである (Bensaude-Vincent, 2009)。とくに、「ナノマシン」をキーワードとして、ナノ（テクノロジー）とバイオが融合していること、そうした動きが、合成生物学でも重要であることが指摘されている (Bensaude-Vincent and Guchet, 2007; Guchet, 2009)。ナノテクノロジーは、一般には、「より大きなスケールで起こる現象とは明らかに異なる特質をもつような、原子スケール、もしくは、分子スケールでの物質の操作や、現象についての研究」と定義される。ナノスケールにおいては、そこにアクセスするための装置がないと、そもそも対象に迫ることができない。したがって、ナノ研究・合成生物学研究においては、「自然」というものが、装置（マシン）を通じてのみ構成される。こうした特徴が、ナノ研究・合成生物学研究における、自然と人工物の境界の消失にかかわっているという。したがって、ナノマシンのデザインに携わる研究では、「ある自然な対象についての人工的な道具を用いる」という図式はもはや成り立たず、対象そのものが自然と人工のハイブリッドであり、そこに用いられるマシンもまた自然と人工とのハイブリッドという特徴を持つのである。こうした、科学論で説明される理論的な枠組みと、実際のラボの活動がどのように対応しているかは、実証的に解明していく必要がある。

一方、すでに作成された人工生命について、一般の人々の認識を実証的に明らかにするアプローチがある。これまで認知科学の領域では、一般の人々を対象とした animacy 知覚（対象を生物と見なす知覚）についての研究

が蓄積されてきた。対象が運動しているかどうかにかかわる運動性が animacy 知覚にとって重要なファクターとする知見が得られている。しかし、こうしたアニメシー知覚についての知見が、人工的に創られた経緯が明示された対象についてもあてはまるか否か、十分な検討がなされていない。加えて、人工細胞をデザインする専門家コミュニティにおいて、animacy 知覚がどのような形で組み入れられているのかについても、検討はなされていない。

(2) 細胞デザインの多層性

国内の合成生物学コミュニティの現状として、2007年に立ち上がった「細胞を創る研究会」に加えて、2012年からは新学術領域「合成生物学」「分子ロボティクス」が新たにスタートしている。現在、セミフォーマルな研究ネットワークから、公的な色合いを持つ学会組織へと制度化しつつある状態である。それにともない、合成生物学のとくにセキュリティ面での社会的議論も活性化しつつある。

国内における人工細胞の内容を、アブストラクト集ならびに研究集会への観察、インタビューより分析したところ、日本のコミュニティにおいては半数以上（41%）が「手法開発」のため研究を行なっていることが明らかとなった。これには、たとえば、人工細胞を作るための可視化技術の開発や、測定機器の開発が挙げられる。一方、34%が、細胞の部品を作る研究を行っていた。これには、たとえば、自己複製系を構成する研究、遺伝子回路を構成する研究、人工膜作成の研究などが挙げられる。そして、作られた細胞（パーツ）を使って科学的な問題を解く研究が、18%であった。

以上より、細胞を作る科学者コミュニティにおいて、細胞の部品やシステムを作るねらいが、現象解明ではなく、別の部品やシステムを作るための道具開発であることも多く、分野組織が萌芽期であることがうかがえる。コミュニティレベルでは対象とする生命（観）がきわめて細分化されており、人工細胞（生命観）の統合化への志向性はうすいことが明らかとなった。しかし、少数のラボラトリーでは、動き・形状からなる生命らしさと、生命の要件を結びつける、統合的な志向性を持っていることも明らかとなった。

科学者コミュニティの細胞デザインの多様性をとらえる1つの軸として、動きや形状に注目する「生命らしさ」、もしくは、生物学的な要件をもとに設計を行う「生命の要件」といった、分類軸がある。これに加え、すでにある細胞・細胞部品をもとに改変を加えるトップダウン型の「改変型」、ありうる細胞・細胞部品をボトムアップでつくりあげる「創造型」という軸がある。これらを組み合わせ、日本の科学コミュニティにおける細胞デザインにおける多層性を、下記のように

暫定的モデルとしてまとめた(図1)

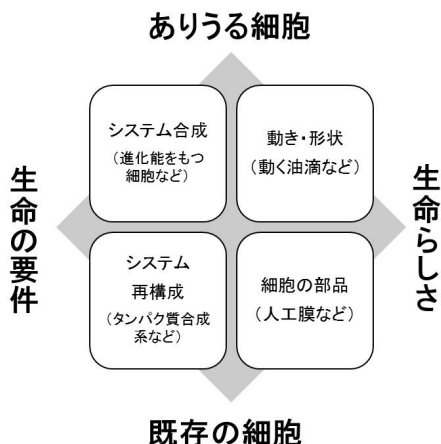


図1 細胞デザインの多層性モデル図

(3) 生命観のゆらぎ

筆者らが2010年に非専門家の人々を対象に行なったフォーカス・グループインタビューの結果からは、「人によって作られたかどうか(人為性)」が、人工細胞の animacy 知覚に関わっていることが示唆された。

今回の分析(意識調査のデータ分析)では、人工細胞を説明する枠組みとして、「運動的表現」と「人為的表現」の2つの条件設定を行い、両者が、人工細胞の「生命らしさ」やその他イメージにどのような影響を与えるかを検証した。

- 1)運動的表現：人工細胞が動いている映像を提示し、別の群には人工細胞のイラストレーションを提示した。
- 2)人為的表現：人工細胞の作り方に関する簡単な説明をナレーションと図により提示し、別の群には説明を一切行わなかった。
- 3)人工細胞イメージ：「生命らしい」「生命らしくない」を含む14の形容詞対(5点尺度)により人工細胞へのイメージを測定した。

細胞イメージについて、2要因分散分析を行なった。提示の仕方が非人為的(説明なし)だと対象を生命らしいと知覚し、さらに非人為的(説明なし)かつ運動的(動画)だと、より生命らしく感じる事が示された。

細胞イメージ全般については、動的なイメージが、提示法から大きな影響を受けることが明らかとなった。14項目の細胞イメージを因子分析した結果、「美しさ」「やさしさ」からなる「美的因子」、「強さ」や「動的」からなる「活動性因子」、「見慣れなさ」「複雑さ」からなる「複雑性因子」の3因子構造が抽出された。活動性因子について、主効果、交互作用がともに認められ、説明がない、動画条件では、活動的なイメージが高まっていた($p=0.048$, $p=0.046$, $p=0.015$)。美的因子については、交互作用のみが認められた($p=0.025$)。動画で説明がない、もしくは、静止画で説明がある方が美しいと見なされ

ていた。また、複雑性因子や、構成的生物学への一般的な態度についても、提示法の影響はなかった。つまり、提示法は、提示されたオブジェクト(細胞)そのものの animacy 知覚に影響を与えたものの、プロトセルに対する複雑性イメージには影響せず、科学者が行う研究活動に対する態度にも影響しなかった。

本調査から、プロトセルの animacy 知覚には、非人為的表現が重要なファクターであることが明らかとなった。運動性は、対象の非人為性がなりたつた上で、初めて、生物らしさの知覚に影響を与える。「動いていたら生物らしい」と感じる認識の傾向は、あくまで、対象が人工物ではないという前提のもとで成り立つことが明らかとなった。

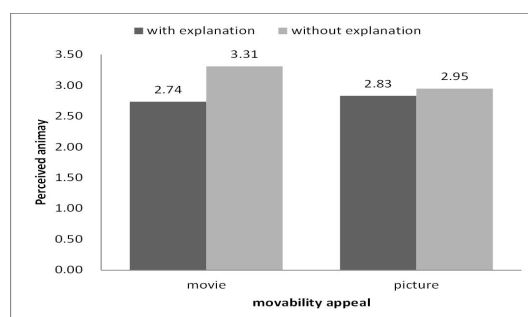


図1 提示法による生命らしさイメージの変化

(4) まとめ

- ・先端生命科学における合成生物学への流れは、科学/工学、人工物/自然という境界の区分を曖昧にしていく作用を持つ。
- ・現場の実践活動として、合成生物学にかかわる国内科学者コミュニティにおいては、手法開発も多く実施されるなど、「生命」は細かく分節化され、複雑な多層性を成していることが明らかとなった。
- ・少数のラボで、生命認識を統合する枠組みが萌芽しつつあった。
- ・一方、一般の人々の意識調査からは、人工細胞の生命らしさについての認識は、「見せ方」によってゆらぐものの、その見せ方の影響は限定的であることも示された。
- ・つくられた人工細胞そのものに対する認識と、細胞をつくる行為に対する態度は連動していないことも示された。
- ・今後の課題として、とくに、人工細胞の中でも「ありうる細胞」がどのように作られていくのか、科学者のデザインにおける認識と、人々の生命イメージとの関係性を明らかにしていくことが重要であると考えられる。

引用文献

Bensaude-Vincent, Bernadette. "Boundary Issues in Bionanotechnology: Editorial Introduction." HYLE--International Journal for Philosophy of Chemistry 15.1 (2009): 1-4.

Bensaude-Vincent, Bernadette, and Xavier Guchet. "Nanomachine: One word for three different paradigms." (2007).

Calvert, Jane. "Ownership and sharing in synthetic biology: A 'diverse ecology' of the open and the proprietary&quest." BioSocieties 7.2 (2012): 169-187.

Guchet, Xavier. "Nature and artifact in nanotechnologies." Hyle- International Journal for Philosophy of Chemistry (2009): 5-14.

森祐介・吉澤剛、07TA Note 技術の社会的評価, i2ta, (2010).

Kronberger, Nicole, et al. "Communicating Synthetic Biology: from the lab via the media to the broader public." Systems and synthetic biology 3.1-4 (2009): 19-26.

5 . 主な発表論文等

〔学会発表〕(計 3 件)

日比野愛子、プロトセルの「生命らしさ」知覚に影響を与える要因、細胞を創る研究会 6.0 (ポスター発表)、2013年11月14日、慶應義塾大学鶴岡タウンキャンパス(山形県鶴岡市)

日比野愛子、永田素彦、提示法による人工細胞イメージの変化、日本社会心理学会第55回大会、2014年7月27日、北海道大学(北海道札幌市)

日比野愛子、生物学的想像力の共通性と多様性、細胞を創る研究会 7.0 (招待講演)、2014年11月14日、東京大学(東京都文京区)

6 . 研究組織

(1)研究代表者

日比野 愛子 (HIBINO AIKO)

弘前大学・人文学部・講師

研究者番号：00511685