

研究開発における新たな科学運営モデル

濱田太陽（株式会社アラヤ研究開発部）

hamada_h@araya.org

概要

科学はイノベーションの基盤となり産業発展の礎を担ってきた。しかし、イノベーションの停滞、近年研究開発のコスト増加、学術雑誌の価格高騰など様々な課題も指摘されてきた。近年、これらの課題を個別のテーマで解決しようとする民間組織が増えてきている。その中には新たな科学運営モデルを提案する重点研究組織(FRO)、民間型高等研究計画局(PARPA)、グラント型自律分散型組織(DAO)も出現している。本報告では、新たな科学運営モデルを、技術移転の「死の谷」の観点から整理する。まずメタサイエンス・ムーブメントについて背景を説明し、新たな科学エコシステムについて紹介する。次に、技術移転政策である Small Business Innovation Research(SBIR)について概観し、技術移転の死の谷について紹介する。そして、既存・新規の科学運営モデルについて技術移転の観点から整理する。これによりメタサイエンス・ムーブメントを理解することに寄与したい。

Keywords: メタサイエンス・ムーブメント(metascience movement)、自律分散型組織(Decentralized Autonomous Organization)、中小企業技術革新研究プログラム(Small Business Innovation Research)、重点研究組織(Focused Research Organization)、民間型高等研究計画局(PARPA)、技術移転(Technology Transfer)、死の谷(Valley of Death)

1. はじめに

科学はさまざまなイノベーションの基盤となり、人類の生活を豊かにすることに寄与してきた。近年、科学によるイノベーションに停滞が見られることが指摘されている。例えば、破壊的なイノベーションを引き起こす研究や特許の登場数が減少している[1]。他にも、創薬において年々開発費が増大していることも指摘されている[2]。

これらの状況を受けて、科学発展の限界ではなく、現在の社会的構造が科学の可能性を妨げている可能性も指摘されている[3]。これを元に、新たに科学のスペースを探索する人々を「metascience entrepreneur」と名づけ、すでに活動しているプレイヤーの取り組みを紹介している。また、2019年より隔年で metascience conference が開催されており、新たな研究開発エコシステムの動きに注目が集まっている[4]。

本原稿では、新たな科学運営モデルの背景に言及し、技術移転の「死の谷」の枠組みから整理する。まず、サイエンスにおける課題とそれに対する問い直しの動きについて確認する。次に Focused Research Organization(FRO)や民間型高等研究計画局(PARPA)などの新たな運営モデルの例について紹介する。そして、政府による研究開発の技術移転策である SBIR (Small Business Innovation Research) 制度について言及する。最後に、現在試行錯誤が行われてい

る科学運営モデルを技術移転の死の谷の観点から整理する。これにより、それぞれの運営モデルが持つ技術移転の観点からメリット・デメリットをまとめる。これを通じて、新たな科学運営モデルの出現を技術移転の新たなアプローチとして描写し、メタサイエンス・ムーブメントの理解の礎としたい。

2. メタサイエンスによるサイエンスの問い直し

ここでは科学における課題について簡単にまとめ、メタサイエンス・ムーブメントや新たなエコシステムについて触れる。

サイエンスにおける課題

サイエンスにおける様々な課題が指摘されている。世界の科学予算は上昇傾向にあり、研究開発も活発であるが、破壊的なイノベーション自体が減少傾向にあるのではという指摘がある[1]。また科学予算は増加しているが、研究開発のコストや学術雑誌の掲載料も上昇している[5]。特に化学分野の雑誌価格は1990年と比べ10倍、生命科学のデータ量は20年で2倍以上に増加している。製薬企業の薬の開発コストも年々増え、数百億円を超えている[2]。一方、研究の再現性の問題が浮上しており、心理学では再現率が36%にとどまるなどの課題も指摘されている[6]。

メタサイエンス勃興の背景

これらの課題を解決する動きとして、現在の科学を見直す動きが現れてきている。2010年には100億ドル程度だった民間財団によるサイエンスのグラント総額は、2019年にはアメリカ国立衛生研究所(NIH)の総額を超え、300億ドルを超えたという推計もある[7]。

2010年代に増えた民間グラントが、どの程度メタサイエンス運動に寄与しているのかは不明だが、メタサイエンスを支える背景の一つには、富豪によるインパクトを重視した慈善活動がある。例えば、心理学研究の再現性向上のためのツールを提供しているCenter for Open Scienceには、民間組織Arnold Venturesが支援をしている。Arnold Venturesは、米国における冤罪の減少や教育機会の拡大を支援する目的で活動している。これらの政策を実行するために、Arnold Venturesは、科学的エビデンスを重要視しており、科学的エビデンスそのものを定量化する基盤を支援している。他にも、Facebookの創設者であるMark Zuckerbergが組織するChan Zuckerberg InitiativeやBill & Melinda Gates Foundationなども積極的に科学支援を行っている。金融やITで財を築いた比較的若い経営者が直接慈善財団を運営し、定量的な社会的インパクトを取り入れた慈善活動を行う傾向がある。既存の財団活動には定量的な指標が存在しなかったという反省も含んでいる。

新たな科学エコシステムの誕生

2010年代の後半以降にも、米国を中心に新たな科学のあり方を求める様々な研究組織が新たに誕生している。営利企業としては、長寿薬を開発する研究機関であるAltos Labsや、現在の出版の課題を変えるオープンソースをベースとした好奇心駆動型の研究所Arcadia Scienceが挙げられる。非営利組織としては、集中的な課題解決を目的としたAstera InstituteやConvergent Research、ChatGPT等を提供するOpenAI、オープンソースの大規模言語モデルを提供するEleutherAI、ワクチン研究を進めるRapid Deployment Vaccine Collaborativeなどが出現している。また、ブロックチェーンを科学に活用する分散型科学という領域では、論文投稿費用を安価にすることを目的としたオープンコミュニティを構築するResearchHubやオープンな特許マーケットを構築することで薬価を下げることを狙うMoleculeなど複数の組織が立ち上がっている。このように科学エコシステムにおいて、様々な取り組みが始まっている。

一部の組織は、暗号通貨などで財を築いた世代が研究に再投資する形で設立されている。例え

ば、Astera InstituteのCEOであるJed McCalebは、分散型決済ネットワークであるStellarなどの開発に携わった経験を持つ。ResearchHubも、暗号通貨取引所のCoinbaseのCEO Brian Armstrongが共同創業者となっている。また、21世紀型の基礎研究組織を目指すNew Scienceには、Skypeの創設者Jaan Tallinnや、ブロックチェーンプラットフォームEthereumの創設者Vitalik Buterinなどが支援を行っている。

新たな科学運営モデル

科学の運営モデルは基礎研究の持続的な投資や運用を目的とし、その目的達成のために成果の技術移転の機能を持っている。2010年代以降に出現したプレイヤーの中には、新たな科学の運営モデルを提案するものも多い。ここでは、重点研究組織(Focused Research Organization; FRO)[8]、民間型高等研究計画局(PARPA)、グラント系自律分散型組織(DAO)[9]について紹介する。

FROは、Adam Marblestoneによって構想され、Convergent Researchで取り組まれている運営モデルである[7]。FROでは、特定のトピックにおけるボトルネックを解決するため、比較的少人数のグループが5-7年の研究プログラムを実施する。例えば、プログラムの一つであるRejuvenomeでは、大規模で包括的な生物学的加齢因子への介入を行い、データベースを構築することで、加齢のメカニズムを理解することを目指している。PARPAは、Benjamin Reinhardtによって提案されたモデルで、国防高等研究計画局(DARPA)を参考にした民間版の組織を目指している。次章で紹介するSBIR/STTR制度のように、複数の段階に分けて研究プログラムを支援し、商業化や研究開発を促進するモデルである[10]。

さらに、スマートコントラクトを活用した支払いやその他の自動執行を組織に取り入れた自律分散型組織(DAO)のモデルも提案されている。グラント系DAOでは、クラウドファンディングのようにWebを通じて金銭的支援と引き換えに、DAOの意思決定に参加できるガバナンストークンを提供する。得られた資金を研究に投資し、知的財産権(IP)をDAOが保有。そのIPを企業等に売却して利益を得るモデルとなっている。これは、現在の技術移転組織を大学内ではなく外部に設けたような組織で、シード研究への資金供給をクラウドファンディングで促進させるモデルである。

以上のモデルは、基礎研究の技術移転をどの

ように促進するかという観点から、民間組織主導型のモデルとして整理できる。

3. 米国における SBIR/STTR 制度とその波及

政府が研究開発に戦略的に投資した制度として SBIR/STTR を取り上げ、その支援方法と結果について整理する。

SBIR/STTR 制度の経緯

SBIR は、先端的でハイリスクな技術への投資を基に、スモールビジネスを支援する制度として、アメリカ国立科学財団(National Science Foundation, NSF)の Roland Tibbetts によって 1976 年に構想され、1982 年に SBIR として制度化された。Tibbetts は大学における技術移転が進まない状況を見て、研究開発における資金調達のギャップが存在するという仮説を立て、この制度の推進を行った。1992 年には、研究機関との連携を義務づける Small Business Technology Transfer (STTR)が立ち上げられた。現在、SBIR と STTR は一緒に運用されている。

SBIR/STTR におけるプロジェクト推進

スタートアップを支援する際には特定のプログラムが設定され一部のスタートアップに資金が提供される。このプログラムの実施には、研究経験や専門知識を持つ科学行政官(Research Administrator) がディレクターとして担当する。

SBIR/STTR では、スモールビジネスを 3 段階の Phase に分け、技術の商業化までの過程で成功するモデルとそうでないものを振り分ける方式を採用している。Phase1 では、SBIR に対しては 6 ヶ月以内に 5 万ドル、STTR に対しては 12 ヶ月以内に 27 万 5 千ドルを概念検証のために支援する。Phase2 はアイデアの技術開発を目的とし、24 ヶ月で 75 万ドルから 180 万ドルの支援を行う。最後の Phase3 は商業化を目指す段階で、資金援助よりも民間企業とのマッチングを主な目的としている。これらの取り組みは、2012 年までに 45 倍以上の投資効果をもたらしたとされる。また、支援の事例として、2022 年に Amazon に約 17 億ドルで売却されたロボット掃除機「ルンバ」の開発企業、iRobot が挙げられる。

SBIR/STTR 制度の導入事例

SBIR/STTR のような段階的に技術開発を支援することで研究とイノベーションを引き起こすプログラムは、欧州委員会、イギリス、日本でも導

入された。

欧州委員会では、Horizon Europe の前身である Horizon 2020 が 2014 年から 3 段階で支援する Small and Medium-Sized Enterprise (SME) Instrument プログラムを開始し、2018 年度には、総額 4.8 億ユーロが投資されている。イギリスでは、UK SMART Grant が 2011 年より導入され、2017 年度には約 5,300 万ポンドの支援が行われている。

また、2001 年には SBIR の影響を受けた SBRI(Small Business Research Initiative)が立ち上げられている。日本では、1995 年に制定された科学技術基本法を基に、1999 年に中小企業向けの支援として日本版 SBIR 制度（中小企業技術革新制度）が開始され、2020 年には制度の改正が行われている。

政府が科学技術の商業化への道筋を作った大きな成功例として受け入れられている。欧州委員会、イギリスと日本における波及もあったが、一部形骸化された経緯もありその運用のあり方も理解する必要がある。

4. 「死の谷」から見た科学運営モデルの整理

ここでは、SBIR/STTR と現在新たに提案されている科学運営モデルを研究開発の死の谷の観点から整理する。

研究開発の「死の谷」

SBIR/STTR 制度は、ベンチャーキャピタルはハイリスクで投資できず、スタートアップは資金が足りずプロダクト化できない領域に資金投下し起業を支援することで技術の商業化への道筋を作った。このような大学での研究と商業化に向けた開発の間に存在する資金的なギャップを 1998 年の Vern Ehlers 議員は、「死の谷」と整理している[11]。山口(2015)は、この研究開発における死の谷は、自由競争のマーケットでの調整的な機能が働かずに資金分配が行われない市場の失敗の例として言及している[12]。

死の谷から見た技術移転の整理

研究開発の死の谷の観点から既存・新規の科学運営モデルを技術移転の観点から整理する。ここでは、SBIR/STTR 制度、大手製薬企業、非営利・営利企業組織を既存組織として分類し、FRO、PARPA、グラント系 DAO を新規組織として分類した。

SBIR/STTR 制度は、Phase1 から Phase3 までの段階を経て、シード研究からアーリーステージの開発をつなぎ、商業化を支援することで死の

技術移転の死の谷

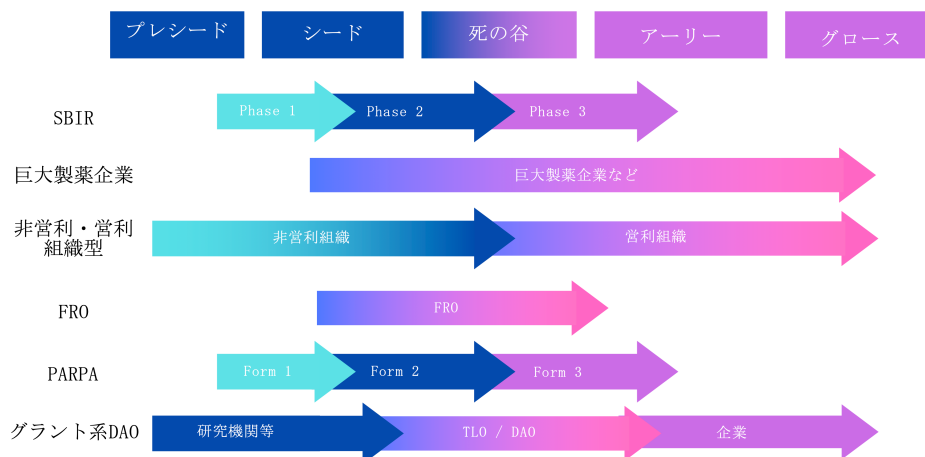


図 1.技術移転モデルによる整理. SBIR/STTR 制度、巨大製薬企業等、非営利・営利モデル、FRO、PARPA、グラント DAO を技術移転の観点から整理。

谷を超える。段階的に複数の企業を支援し、技術移転に失敗した企業には支援を打ち切り、事業的な失敗のリスクを軽減する。しかし、資金が分散してしまうため多額の資金源が必要になったり、支援をマネジメントする人材の確保も必要になったりする。

一部大手製薬企業は、莫大な収益を背景にシード研究に投資し、製品化までの研究を独自に進めることで死の谷を超える。企業内のリソースを最大限に活用し、知的財産権を独占することが可能だが、独自の開発に伴うコストやリスクを全て引き受ける必要がある。

OpenAI のような非営利と営利のハイブリッド組織では、非営利部門で成功した特許の一部を営利部門に移転し、製品開発を担当する。非営利部門の運営資金や寄付の確保が課題となる。

FRO では、10-30 名程度のチームで、特定の科学技術的なボトルネックに期間限定で取り組むことで、シード研究からアリーステージの製品開発までを一気に推進する。少数精鋭のチームマネジメントや適切な施設の確保が必要であり、取り組む領域が限定的である。

PARPA モデルは、SBIR/STTR と類似の支援方法を民間資金で提供し、段階的に研究開発を支援することを目的としている。SBIR/STTR と同様に多額の資金源が必要になると、多くの資金を集めるためのファンドレイジング活動が必要になる。また、そのマネジメントは複雑で、運営が難しい可能性がある。

グラント系 DAO は、大学などの研究に投資し、得られた IP を DAO が保有。その IP を企業に売却し、その収益を DAO の運営資金に充てるモデルである。DAO の特性上、コミュニティが投資する研究対象を決定するため、専門的な知

識を持たない参加者による投資判断の課題や、長期的なリターンを求める研究への投資の難しさなどが挙げられる。

既存・新規の科学運営モデルにおける技術移転を死の谷の観点から整理した。SBIR/STTR 制度や大規模製薬会社等と異なり、FRO やグラント系の DAO はそれぞれの組織が少数のグループで特定の課題を解決することを目指す。これは大規模な予算がないことが組織の規模を決定している可能性がある。一方で、PARPA は複数のグループを内部に持つことを前提にしており予算が大規模になる可能性がある。このように組織の性質（営利・非営利）、プログラムの期間、立地などの外部要因も考慮し、適切な研究支援を選択することが重要である。各モデルにはそれぞれの特性や長所、短所が存在し、それらを踏まえた上で、最も効果的な支援方法を選ぶことが求められる。また、時代や技術の進化に応じて、これらのモデルも進化していく必要がある。研究開発の環境に合わせて、柔軟にモデルを適用・改良していくことが、技術移転の実現に繋がると考えられる。

5. 議論

本原稿では、新たな科学の運営モデルの登場の背景をまとめ、技術移転の死の谷の観点より整理した。

技術移転の“死の谷”による整理は、研究開発における過程における位置付けが明確であり、これをもとに新たな科学運営モデルが提案できる可能性がある。一方で、科学における各領域が持つリスクが明確化されにくいことや、各プロセスでの具体的なステップや拘束条件が不明確であり注意が必要である。

科学エコシステムに新たなプレイヤーが登場

したことによる産業の変化は不透明である。しかし、OpenAI が生み出した ChatGPT など登場や Center for Open Science が提案している事前登録の仕組みなどすでに様々な実務上の変化が起きており、今後は対応が求められる。

メタサイエンス・ムーブメントによる新たな科学エコシステムが出現した。すでに既存のエコシステムへの影響が出ているが今後資金的、法的、実務的な課題が明らかになるだろう。

6. 利益相反

本稿に関連する開示すべき利益相反はない。

7. 謝辞

高木志郎氏には有益なコメントをいただいた。本研究は、クラウドファンディングで特に以下の方々の助成を受けた。Tomoaki Ando 氏、このは氏、皆本祥男氏、野末馨氏、志水克大氏、原直誉氏、金井良太氏、野村章洋氏、平井靖史氏、林祐輔氏、佐藤優介氏、渡辺健堂氏、中澤亮太氏、関治之氏、木村亮介氏、丸山洋平氏、福岡大学商学部シチズンサイエンス研究センター、平野史生氏、松田祐典氏、一般社団法人ヒマラボ、道林千晶氏、一般社団法人ウェルネス評価研究開発機構、菊地秋人氏。

参考文献

1. Park et al., Papers and patents are becoming less disruptive over time. *Nature* 613, (2023). DOI:10.1038/s41586-022-05543-x.
2. DiMasiet al., Innovation in the pharmaceutical industry: New estimates of R&D costs. *Journal of health economics*, 47, 20-33, (2016). DOI:10.1016/j.jhealeco.2016.01.012
3. Nielsen and Qiu, A Vision of Metascience. San Francisco, (2022). <https://scienceplusplus.org/metascience>
4. Metascience conference 2023. <https://metascience.info/>.
5. JUSTICE, 海外学術雑誌価格の推移 2022 版, (2022) <https://contents.nii.ac.jp/justice/documents> (参照 2022-01-06)
6. Open Science Collaboration. Estimating the reproducibility of psychological science. *Science*, 349(6251), (2015). DOI:10.1126/science.aac4716
7. Shekhtman et al., Mapping Philanthropic Support of Science. *arXiv*, (2022). DOI:10.48550/arXiv.2206.10661
8. Marblestone et al., 2022. Unblock research bottlenecks with non-profit start-ups. *Nature*. 601, (2022). DOI:10.1038/d41586-022-00018-5
9. 濱田太陽, Web3 テクノロジーによるサイエンスの再設計の動き, *Jxiv*, (2022). DOI:10.51094/jxiv.163
10. Reinhardt, Shifting the impossible to the inevitable, (2021). <https://benjaminreinhardt.com/parpa> (参照 2023-09-18)
11. Committee On Science, U.S. House Of Representatives, One Hundred Fifth Congress, Unlocking Our Future: Toward A New National Science Policy, CommitteePrint, 105-B, (1998). <https://www.govinfo.gov/content/pkg/GPO-CPRT-105hp105-b/pdf/GPO-CPRT-105hp105-b.pdf> (参照 2023-09-18)
12. 山口栄一編, イノベーション政策の科学: SBIR の評価と未来産業の創造, 東京大学出版, (2015).