



イノベーション・エコシステムの異種混浴デザイン： 装置駆動型の科学技術イノベーション

桑田， 敬太郎

(Degree)

博士（経営学）

(Date of Degree)

2024-03-25

(Date of Publication)

2025-03-01

(Resource Type)

doctoral thesis

(Report Number)

甲第8832号

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/0100490057>

※ 当コンテンツは神戸大学の学術成果です。無断複製・不正使用等を禁じます。著作権法で認められている範囲内で、適切にご利用ください。



博士論文

イノベーション・エコシステムの異種混浴デザイン：
装置駆動型の科学技術イノベーション

2024 年 1 月 22 日提出

神戸大学大学院経営学研究科

松嶋登 研究室

経営学専攻

学籍番号 149B006B

氏名 桑田敬太郎

目次

第1章	はじめに	1
第2章	MOT の知識社会学.....	6
2.1	ブッシュ・レポート：リニア・モデルに観る科学技術の規範化	8
2.1.1	規範モデルとしてのブッシュ・レポートとリニア・モデルの普及	8
2.1.2	リニア・モデルの精緻化.....	14
2.1.3	規範としてのリニア・モデル	16
2.2	ヤング・レポート：企業の技術力の向上と保護を重視した政策と政府の学術研究への介入	17
2.2.1	MOT における国家の介入.....	17
2.2.2	アメリカの国際競争力強化に向けたヤング・レポート.....	20
2.3	パルミサーノ・レポート：新たな規範となるイノベーション・モデルの提案	23
2.3.1	新たなイノベーションモデルを目指すパルミサーノ・レポート.....	24
2.3.2	新たな規範モデルとしての連鎖モデル	26
2.3.3	新たなイノベーション・モデルとしてのイノベーション・エコシステム	32
第3章	イノベーション・マネジメント研究と生態学	36
3.1	イノベーションの進化経済学	38
3.2	個体群生態学としての組織の個体群生態学	41
3.3	群集生態学としての組織生態学	43
3.4	エコシステム概念	45
3.4.1	イノベーション・マネジメント研究におけるエコシステム概念.....	45
3.4.2	生態学におけるエコシステムの起源とエコシステム・マネジメント	48
3.5	イノベーション・エコシステム概念の刷新	50
3.5.1	組織間ドメイン.....	50
3.5.2	アクターネットワーク理論	52
3.5.3	鱗状の重なり概念と MAIS アプローチから導かれる分析枠組み	56
第4章	経験的研究の対象とリサーチ・デザイン	63

4.1 経験的研究の概要	63
4.2 分析対象としての大型放射光施設	64
4.3 リサーチ・デザイン	67
第5章 SPring-8 に新たなサイエンスの領域を作り出した住友ゴムの実践..	72
5.1 科学的探究の対象外であった素材としてのゴム	72
5.2 新たなサイエンスの領域を作り出した住友ゴムのイノベーション・エコシ テムの変化	74
5.3 サイエンスの施設を中心としたイノベーション・エコシステム	77
5.4 第5章のまとめ	79
第6章 大型放射光施設を主体とした新たなイノベーション・エコシステム	81
6.1 極小角散乱法によって作り出された新たなサイエンスの領域 (Spring-8) ...	81
6.2 SPring-8 におけるフロンティアソフトマター・ビームラインに残された課題	84
6.3 新たなイノベーション・エコシステムを再設計するスキーマー	85
6.4 Nano Terasu が目指すイノベーション・エコシステム	87
6.5 科学技術イノベーションの新しいエコシステムにむけて	94
6.6 第6章のまとめ	95
第7章 経験的研究に対する考察	97
7.1 イノベーション・エコシステムの進化多岐性	97
7.2 オープン・イノベーションから多重境界イノベーションへ	99
7.3 装置駆動型リニア・モデルのデザイン	101
第8章 終わりに	105
参考文献	111

第1章 はじめに

本研究の目的は、科学者が作り出した知識の応用を含意する、リニア・モデルを前提としてきた MOT (Management of Technology) とは異なり、サイエンスの実践を含んだ異種混濁 (heterogeneous) のイノベーション・エコシステム (innovation ecosystem) に注目し、先端的な科学技術イノベーションのデザインを論じることである。サイエンスが科学的知識を産出する実践であることは、いうまでもない。ただし、サイエンスの実践は、それ自体として組織化された社会的活動であり、また実験装置に依存するという意味では物的な存在の活動でもある。本研究が注目するのは、巨大な顕微鏡とも呼ばれる大型放射光施設を舞台とした、イノベーション・エコシステムの異種混濁デザインである。大型放射光施設では、企業自らの課題解決を通じてサイエンスの実践が作り変えられることで、新たなイノベーション・エコシステムを作り出し、さらには大型放射光施設という実験装置が新たなイノベーション・エコシステムをデザインする主体にもなりうる。

本研究の目的は、サイエンスの応用を前提としてきた今日の MOT からすると、いささか馴染みのない論点に注目しているように思えるかもしれない。しかしながら、実はイノベーション・マネジメントの古典的な研究が有していた視点でもあった。それが、*The Management of Innovation* を著した Burns and Stalker (1961) である。彼らの研究は、通説的にはコンティンジェンシー理論 (contingency theory) に位置付けられる。機械的管理システムと有機的管理システムという二つの理念型のもと、技術そのものの高度化や変化の速度が相当に高まっていた当時のエレクトロニクス産業に注目し、企業にはいかなる組織のマネジメント・システムが必要なかを問うた研究として知られている。

しかしながら、Burns and Stalker (1961) の研究関心は、コンティンジェンシー理論を提唱することではなかった（事実、彼らはコンティンジェンシー理論とは一言も述べていない）。彼らの研究関心は、当時の新興産業であった電子産業（エレクトロニクス産業）で起こっていた、巨大化した当時のサイエンスと、科学者を企業内で雇用してイノベーションに結びつけることが産業界では看過できない問題となっていることであつた。その背景には、産業界で利用されるサイエンスに生じた驚くべき変化として、電磁気学における電子を制御する高度な科学技術を取り上げており、その得体のしれなさを当時の表現では「無線技術 (wireless techniques)」と呼ばれていたことを理解しなければならない。電子産業が勃興する以前の産業界では、企業は発明家から知識を買い取ることが、イノベーション・マネジメントの要諦であつた。そこでは、発明家はあくまで企業の外部に位置付けられ、発明家にとって企業は自分たちの知識を買い叩いていく悪しき存在であつた (e.g., Campbell, 2011; Godin, 2020)。かたや電子産業では、無線技術を研究対象とした科学者集団が巨大化しており (de Solla Price, 1963)¹、企業も専門家された科学者を雇わなくては製品開発を行うこと

¹ 巨大な科学者集団が作られることによって、1960年代からは爆発的に学術界で学会数が増加し、論文数が増えたことを、de Solla Price (1963) ではビッグ・サイエンス (big science) と呼んでいる。

は不可能であった。こうした背景をもとに、Burns and Stalker (1961) によるイノベーション・マネジメントとは、旧来の官僚制のもとで働いていた人々と、無線技術に通じた科学者を処遇する人々のコンフリクトをいかにマネジメントできるかを論じるものであった。

他方で、不思議なことに Burns and Stalker (1961) より後に本格化されていくイノベーション・マネジメント研究、特に MOT においては、サイエンスの実践は科学者により知識が産出されること以上の検討はされず、具体的な分析対象から外されてしまったといっても過言ではない。本研究は、その根源を MOT がリニア・モデル (liner model) を記述モデルとして捉えられてきたことに求めていく。MOT では、科学者集団で生まれた科学的な基礎研究を事業化していく際の様々な障壁 (魔の川, 死の谷, ダーウィンの海) をいかにして克服するのかといった研究や、企業の中のスター・サイエンティスとのコネクションを通じて、企業の特許を獲得するネットワーク、企業外部の知的資源を組み合わせるオープン・イノベーション (open innovation) などが論じられており、科学者による専門的知識の伝達や応用を前提とした体系が論じられることになる (e.g., Garud, Gehman and Giuliani, 2018)。

こうした研究は、もちろんサイエンスに注目してきたとはいえるだろうが、その内実は科学者の知識から、その応用を通じ、製品開発、さらには社会の変革につながるリニア・モデルを原型として、その変奏に終始し、リニア・モデルを批判する研究でさえ、リニア・モデルに回収されてきたこともよく知られている (Godin, 2020)。結果として、サイエンスの実践には実質的には関心はなく、当然ながら科学的知識が産出される物的な存在や実験装置に注目する研究は、Burns and Stalker (1961) より後の研究では現れてこなかった。

他方で、リニア・モデルは、イノベーション・マネジメントの実践としては、確実に時代を作り上げてきた。本研究では、実践的なリニア・モデルに改めて注目し、MOT が想定してきたようなイノベーションの記述モデルではなく、科学者が政策的提言を行うための規範モデルとして知識社会学的に再訪することにした (第2章)。このことは、*Science: The Endless Frontier* (通称ブッシュ・レポート) のなかで、リニア・モデルを提唱したブッシュ (Bush, V.) が、戦後の資金不足に窮することを予見した物理学者であることを考えてみれば自明である。実は、リニア・モデルを批判的に捉える連鎖モデル (chain model) や、*Innovate America* (通称パルミサーノ・レポート) で注目されているイノベーション・エコシステムもまた、リニア・モデルとは異なるイノベーション・マネジメントの実践を導き出すための規範モデルとして、アメリカの科学技術政策の中に位置付けられるものである。

RQ1 リニア・モデルを原型とした MOT の主要概念は、アメリカの科学技術政策の中でどのような規範モデルとして提唱されてきたのか？

その上で、改めて生態学 (ecology) を参照して論じられてきたイノベーション・エコシステムに注目し、分析枠組みとするために検討していく (第3章)。イノベーション・マネジメント研究では、古くから生態学が参照されてきており、進化経済学 (evolutionary

economics), 組織の個体群生態学 (population ecology of organization), 組織生態学 (organizational ecology), ビジネス・エコシステム (business ecosystem) などの様々な概念が考案されてきた。ただし, これらの研究, 特にエコシステム概念 (ecosystem) は, 生態学をアナロジーとして扱っており, その内実は企業間競争や利害関係者間の戦略的提携や, エコシステムの健全性を長期的に維持するために, 中心となる企業を記述する競争戦略的な分析枠組みに留まっていた。他方で, アメリカの科学技術政策で論じられてきた規範モデルとしてのイノベーション・エコシステムは, 自然環境に対する課題解決という物的な存在を含んだ政策的提言であった。そのため, 記述モデルとしてのイノベーション・エコシステム概念は, 幅広い利害関係者に注目したものの, 物的な存在を捉えていないという批判もある。

本研究は, イノベーション・エコシステムを, 改めて物的な存在に向き合う, サイエンスの実践を含んだ科学技術イノベーションを論じるための分析枠組みへと刷新するために, 生態学におけるエコシステム概念の起源に遡って検討する。生態学のエコシステム概念に遡ることにより, イノベーション・エコシステムが見落としている含意も見えてくる。

生態学におけるエコシステム概念を見ると, ある空間の全ての生物 (植物, 動物, 微生物など) と, それを支える非生物的要素 (土, 水, 気象など) が一体になって形成する一つのシステムがエコシステムであるとしている。近年では, エコシステム・マネジメント (ecosystem management) と呼ばれる学問分野も登場してきており, 我々人間が生活していく上で必要な資源を確保するとともに, 人間の資源利用によって問題を抱えた自然環境を一つのエコシステムとして捉えている。エコシステム・マネジメントの目的は, 自然環境の保全と同時に, 我々人間が必要とする資源の持続可能な利用を追求し, このトレードオフ関係をいかにデザインしていくかが焦点になっている。こうした視点は, イノベーション・マネジメント研究にも通じる。本研究では, サイエンスの実践を含んだ科学技術イノベーションを論じるために, 組織間ドメイン (inter-organizational domains), アクターネットワーク理論 (actor network theory: ANT), 鱗状の重なり概念 (imbrication), MAIS アプローチを参照し, イノベーション・エコシステムを新たな概念として刷新した分析枠組みを提示する。

RQ2 生態学を参照することにより, イノベーション・エコシステムの分析枠組みは, いかに刷新されるのか?

本研究では, 刷新されたイノベーション・エコシステム概念を分析枠組みにし, 日本的大型放射光施設を対象とした経験的研究を行う (第5章, 第6章)。放射光を利用した研究は, 電磁気学者であったレントゲン (Röntgen, W. C.) に端を発しており, Burns and Stalker (1961) が注目した, 当時の電子産業を勃興させることになった無線技術のサイエンスと学問的には繋がっている。もちろん, 1960年代と今日では, 科学技術の内容も産業の広がりも格段に異なっているが, 本研究はイノベーション・マネジメント研究の古典的研究と, 広く括れば同じ分析対象を有している。

兵庫県佐用郡佐用町に、世界的にも放射光科学をリードしてきた大型放射光施設 SPring-8²がある。大型放射光施設は物理学の実験装置である素粒子加速器を起源であるが、膨大な予算が必要となる素粒子加速器は、それ自体が科学的な探求（粒子の衝突実験を通じた物質の最小単位の探究）の対象というだけでは正当化されず、その科学自体も社会的実践として捉えなければならないと指摘されて久しい（Rouse, 1996; Kaiserfeld and O'Dell, 2013）。対して大型放射光施設は、光速に近い速さに加速された電子が発する高輝度の光を利用し、物理学以外にも広範な科学や産業の分析の可能性を広げる先端科学技術基盤として開発された。そこでは、自ずとサイエンスとイノベーションが共進化（co-evolution）するダイナミズムが期待されてきた。大型放射光施設は、自然界にはない波長の光を人工的に作り出す実験装置といえ、我々では観察できない対象を観察できるため、巨大な顕微鏡³ともいわれている。

具体的には、一方でナノスケールの観察による、科学的な基礎研究、素材や部品、ものづくりの基本的原理そのものの変革を目的とした、科学技術イノベーションが国際的レベルで着実に進んでいる点に焦点を当てられる。他方で、高輝度放射光施設を巡る競争が国際的展開されてきているのは、ナノスケールの観察それ自体が最先端の科学技術であるだけでなく、他の科学技術イノベーションにとって重要なインフラとして機能するとともに、その課題解決を通じてサイエンスと産業が共進化する特徴を持っているという点にも焦点を当てることができる。また、大型放射光施設が、理化学研究所を中心として多様な研究機関の科学者や民間企業の技術に担われていることにより、最新のサイエンスが成立すること自体が、イノベーション・マネジメント研究の対象になりうるのである。

RQ3 イノベーション・エコシステム概念で大型放射光施設を分析することにより、イノベーション・マネジメント研究にいかなる理論的含意をもたらせるのか？

以下、章レベルの構成をまとめ、本論文の論理展開の骨子を示しておく。各章の構成については、改めて章の冒頭でまとめていく。

第2章では、リニア・モデルを原型とした MOT の主要概念がアメリカの科学技術政策のなかで、どのような規範モデルとして提唱されてきたのかを検討する。本章で行うレビューは、既存のイノベーション研究の網羅的な整理ではない。MOT の中心的な研究がアメリカの科学技術政策のもと、いかに規範モデルとして提示されてきたのかという知識社会学を論じるものである。

第3章では、規範モデルとして論じられてきたイノベーション・エコシステムに相応しい

² 大型放射光施設は、光速に近い速度で運動する電子などの粒子を強力な磁石で曲げ、曲線軌道を描くとき、軌道の接線方向に鋭い指向性を持つ電磁波が放出される。この電磁波が放射光である。放射光は粒子のエネルギーや軌道の曲率半径を調整することによって、電磁波の波長を調整することが可能であり、特にナノの領域を観察するための強力光源として注目を集めた。その後よりエネルギーの高い放射光を発する強力な光源として注目されるようになり、現在では広く世界中で用いられている。

³ SPring-8 Web Site http://www.spring8.or.jp/ja/news_publications/publications/scientific_results/about_sp8/

記述モデルとして、既存のイノベーション・エコシステム概念を刷新する。今日の生態学が注目するエコシステム・マネジメントは、物的な存在を含み、エコシステムをデザインすることを目的とした概念である。この点について、生態学を参照してきた既存のエコシステム概念は十分な注意を払ってきたとは言えない。本研究では、組織間ドメイン概念や ANT などの先駆的な議論を参照し、イノベーション・エコシステムをサイエンスの実践を含んだ科学技術イノベーションを論じるための分析枠組みに刷新する。

第4章では、本研究における経験的研究の対象とリサーチ・デザインを提示する。第3章で記述モデルとして整備し直したイノベーション・エコシステム概念を分析枠組みとして、大型放射光施設を分析対象とした二つの経験的研究を選択する。それらはいずれも、リニア・モデルを記述モデルとして想定したのでは接近できない事例である。第5章では、サイエンスの専門分化された社会性に注目し、必ずしも既存のサイエンスで解決できない課題に対峙する、企業の研究者が放射光の利用に基づいた新たなサイエンスの研究領域を作り出しつつ、先端的な科学技術に基づいた組織体制へと発展させてきた事例を取り上げる。第6章では、サイエンスの物的な存在の性質に注目し、大型放射光施設という実験装置それ自体が主体となり、サイエンスと産業界の連携のあり方を含んだ新たな異種混濁のエコシステムをデザインしていく事例を分析する。

第5章では、住友ゴム工業株式会社（以下住友ゴム）の研究者が翻訳者としてのアクターとなり、イノベーション・エコシステムを形成していった経験的研究を行う。住友ゴムでは、科学的な探求の対象外といわれていた、タイヤの素材としてのゴムの SPring-8 に持ち込むことになる。素材としてのゴムは、SPring-8 で観察されたナノスケールで観察される原子や電子の単位ではその特性を捉えることができず、100nm～数 μm というより大きなスケールの観察が必要であることを見いださせた。この新たなニーズは、SPring-8 にいた研究者たちに理解されることはなかったが、SPring-8 外部の放射光研究者の関心とともに、新たな分析手法を開発するに至る。新たなサイエンスの分析手法の開発を契機に、住友ゴムではサイエンスの施設を中心としたイノベーション・エコシステムを形成することになる。

第6章では、大型放射光施設それ自体が、イノベーション・エコシステムの異種混濁デザインの主体となる経験的研究を行う。住友ゴムが開発し新たな分析手法は、SPring-8 に新たなサイエンスの領域を作り出すことにも繋がり、SPring-8 にはこれまでなかった新たなビームラインが設置されることになる。他方で、SPring-8 では、新たなビームラインに特定の研究者が張り付くという課題も残されていた。こうした課題を脱却するために、現在東北に Nano Terasu という新しい放射光施設の計画が推進されている。そこでは、放射光施設を基盤とした新たな産学連携として、コウリション・コンセプトが提案されており、学術の研究者と産業界のニーズが、ともに科学技術の進歩に合わせて進化しながら、サイエンスの実践自体の変更を含んだ新たなイノベーション・エコシステムの構築を目指している。

第7章では第5章、第6章で分析された経験的研究をもとに考察を行い、イノベーション・マネジメント研究に新たな含意をもたらすことにしたい。

第2章 MOT の知識社会学

本章では、リニア・モデルを原型とした MOT の主要概念が、アメリカの科学技術政策で、いかに規範モデルとして提唱されてきたかを検討する。ただし、本章で行うレビューは、既存のイノベーション研究の網羅的な整理ではない。MOT の中心的な概念がアメリカの科学技術政策のもと、いかに規範モデルとして提示されてきたのかという知識社会学を論じる。

第1節では、に *Science: The Endless Frontier* (通称ブッシュ・レポート) を通じて、MOT の原型ともなるリニア・モデルを知識社会的に検討していく。ブッシュ・レポートは、リニア・モデルの背景とされる科学技術政策を記した報告書である。今日の MOT では、リニア・モデルが現実を記述するためのモデルとしては単純すぎると批判し、非線形的な関係を求める動きが見られる。他方で、本研究は今日の MOT と同じようにリニア・モデルを批判するわけではない。物理学者ブッシュ (Bush, V.) が、第二次世界大戦終了間際にアメリカ政府に提出した、ブッシュ・レポートを再訪することにより、その後アメリカ政府や科学者、企業などに規範モデルとして参照され、多様な実践を導いてきた点に注目する。また、今日の MOT におけるリニア・モデルが、ブッシュ・レポートを背景として、いかにして成立し、MOT の概念として普及し、どのような含意があったのかを検討する。その上で、ブッシュ・レポートもリニア・モデルも、物理学を中心とした科学的な基礎研究に国家予算を投資させるための規範モデルであることを示す。

第2節では、*Global Competition: New Reality* (通称ヤング・レポート) および、リニア・モデルへの疑念から生じた、国家主導のもとで行われた MOT の成功要因と失敗要因を探る研究を検討する。1980 年代の貿易赤字に苦しんでいたアメリカの国際競争力の低迷とともに、それまで信奉してきたリニア・モデルへの疑念が指摘されはじめた。その結果、アメリカでは、国家が主導してイノベーションの成功要因と失敗要因を分析するスタンフォード・イノベーション・プロジェクト (Stanford Innovation Project) が立ち上がり (Maidique and Zirger, 1984; 1985)、国際競争力の回復をはかる。ただし、国家が介入した研究はアメリカから始まったものではない。イギリスでは、1970 年代に入ると、リニア・モデルへの疑念から、イノベーションの成功要因と失敗要因を探る研究が始まり、イギリスに続きカナダでも国家主導のもとイノベーションの要因研究が進められることになる (e.g., Rothwell, Freeman, Horlsey, Jervis, Robertson and Townsend, 1974; Cooper, 1979)。他方で、アメリカでは、スタンフォード・イノベーション・プロジェクトと並行して、国際競争力回復のための具体的な提言をまとめた科学技術政策も進められていた。それが、ヤング・レポートである。ヤング・レポートでは、アメリカの国際競争力回復を目指し、アメリカ国家主導のもと、産業界の技術、資本、人材、貿易等の面で政策的な対応が必要であるとし、産業界の規範となる具体的な提言が行われている。すなわち、産業への国家の介入を意味していた。第2節では、アメリカ国家が初めて産業界に介入し、国家主導のもと行われた要因研究とともに、具体的な政策提案を行なったヤングレポートの検討していく。

第3節では、*Innovate America*（通称パルミサーノ・レポート）と、MOTで新たな規範モデルを提示した研究を検討していく。2004年にアメリカの競争力協議会（Council on Competitiveness）が発表したパルミサーノ・レポートでは、21世紀において、アメリカに国際的な競争優位性を授けてくれるのは、イノベーション以外にはありえないという主張する。パルミサーノ・レポートにおけるイノベーションとは、科学的な基礎研究を含めた経済と社会の様々な要因の多面的かつ継続的な相互作用で成り立つ生態系（エコシステム）のようなものであるとし、新たな規範モデルとして、イノベーション・エコシステムを主張している（Council on competitiveness, 2005）。他方で、もちろん、規範モデルとしての新たなイノベーションのモデルを提唱した研究は、パルミサーノ・レポートが初めではない。MOTでは、Kline（1985）を中心に連鎖モデルが論じられてきている。通説的には、Kline（1985）の連鎖モデルはリニア・モデルを科学至上主義と批判し、企業を構成する活動のフィードバックおよび相互作用により、イノベーションの発生を示した記述モデルとして理解されている。対して本研究では、工学者クライン（Kline, S.）の学説史を振り返ることにより、連鎖モデルもまたリニア・モデルと同様に多様な利害関係者に規範として参照され、特に物理学者以外の研究者や企業が国家から研究費を引き出すための規範モデルであることを示す。その上で、改めてパルミサーノ・レポートにおけるイノベーション・エコシステムが、規範モデルであることを示す。

表1 アメリカの科学技術政策と関連する MOT 研究

アメリカの科学技術政策	政策の内容	関連するイノベーション・マネジメント研究
ブッシュ・レポート（Bush, 1945）	第二次世界大戦後も、戦中と同様にアメリカ政府から科学的な基礎研究に対する研究資金を獲得するための政策的提言をまとめた報告書	リニア・モデル（Maclaurin, 1950） MITの学長である実験物理学者コンプトンから支援を受けた経済学者マクローリンが、ブッシュレポートを背景として、科学的な基礎研究、特に物理学にアメリカの国家予算を投入するために作り上げた規範モデルである。
ヤング・レポート（President's commission on industrial competitiveness, 1985）	リニア・モデルへの懐疑から、アメリカ政府がアメリカの国際競争力を向上させるためには、企業、特に製造業や工学系の企業の技術や特許を守るべきであるという政策提言をまとめた報告書	イノベーションの成功要因と失敗要因の研究（プロジェクトSAPPHO：Rothwell, Freeman, Hurlsey, Jervis, Robertson and Townsend, 1974、プロジェクトNew Prod：Cooper, 1979、スタンフォード・イノベーション・プロジェクト：Maidique and Zirger, 1984） リニア・モデルに疑問を抱いていた各国（イギリス、カナダ、アメリカ）の政府が学術研究社と組んで、イノベーションが成功する要因を調べた研究である。 ただし、成功要因と失敗要因を抽出したところで、国際競争力の向上にはつながらなかった。
パルミサーノ・レポート（Council on Competitiveness, 2005）	アメリカが持続的にイノベーションを起こしていくためには、リニア・モデルを超えた新たなイノベーションモデルを提示する必要があり、生産者である企業とユーザーがともに共進化してイノベーションを起こす、イノベーション・エコシステムが重要であらうと指摘した報告書	連鎖モデル（Kline, 1985） 通説的にはイノベーション・マネジメントのリニア・モデルを科学至上主義と批判し、企業を構成する活動のフィードバックおよび相互作用により、イノベーションが発生すると理解されている。 対して工学者クラインが提唱した連鎖モデルもまたリニア・モデルと同様に多様な利害関係者に規範として参照され、特に物理学者以外の工学者やシステム研究をおこなっている企業や科学的な基礎研究に国家予算を投入させるための規範モデルである。

2.1 ブッシュ・レポート：リニア・モデルに観る科学技術の規範化

本節では、リニア・モデルの嚆矢とされる、物理学者ブッシュが第二次世界大戦終了間際にアメリカ政府に提出した報告書 *Science: The Endless Frontier*（以下ブッシュ・レポート）とリニア・モデルを検討していく。特に本研究では、ブッシュ・レポートを背景としたリニア・モデルが、その後アメリカ政府や科学者、企業などの多様な利害関係者に規範として参照され、多様な実践を導いてきた点に注目する。リニア・モデルの嚆矢と位置づけられる、ブッシュ・レポートそれ自体は、物理学者ブッシュが第二次世界大戦後も、戦中と同様にアメリカ政府から科学的な基礎研究に対する研究資金を獲得するための政策的提言をまとめた報告書である（Bush, 1945）。ブッシュ・レポートがリニア・モデルとして社会一般に浸透していくのは、戦後になってからである。ブッシュ・レポートが執筆されたのは、リニア・モデルが概念として確立していない時代であるが、注意すべきはリニア・モデルに相当する記述内容が、全 221 頁のうち、18 頁に 9 行と 19 頁に 2 行程度であったということである。

「基礎研究は実践的目的を考慮に入れることなく遂行される。基礎研究は、一般的知識、自然に関する理解、そして自然法則を生み出す。こうした一般的知識は、数多くの重要な実践的問題に答えるための手段を提供する。ただし一般的知識は、全ての実践的問題に対して完全に明確な答えを与えるとは限らない。実践的問題に対してそうした完全な答えをあたえることが、応用研究の機能である。基礎研究を行う科学者は、自らの研究の実践的応用に全く関心を持たないかもしれない。しかし、基礎研究が長く無視されれば、産業発展はやがて止むことになる」（Bush, 1945, p. 18）

「基礎研究は新しい知識をもたらす。基礎研究は科学的資本を提供する。基礎研究は、知識の実際的応用がそこから導き出される基盤を創り出す。」（Bush, 1945, p. 19）

つまり、執筆者であるブッシュ自身が、社会の発展の基礎には、科学があるという人々の間で共有されたイデオロギーを利用し、科学的な基礎研究の重要性を多様な利害関係者に説得したのであった（上山, 2010, 184 頁）。以下本節では、多様な利害関係者により、ブッシュ・レポートが規範モデルとして、どのように参照されてきたのかを検討し、いかにしてリニア・モデルとして名前を変えて広がり、MOT の概念として定着したのかを検討する。

2.1.1 規範モデルとしてのブッシュ・レポートとリニア・モデルの普及

本項では、ブッシュ・レポートおよび、ブッシュ・レポートを背景としたイノベーションのリニア・モデルが、物理学者、アメリカ政府、企業などの多様な利害関係者に規範とされ、多様な実践を導くための規範モデルであったことを検討する。

改めて、物理学者ブッシュが執筆したブッシュ・レポートを振り返ると、第二次世界大戦後のアメリカ国家が推進すべき科学技術政策が書かれており、戦後も国家予算を科学的な

基礎研究へ安定して投資させるための方便として執筆されていた。ブッシュ・レポートには、アメリカ政府が科学の資本である科学的な基礎研究の助成に注力すべきであるということが強調して述べられている (Bush, 1945, p. 19)。こうした直接的な主張の方便として書かれたブッシュ・レポートは、科学的な基礎研究への国家予算の投資が、健康、教育、安全保障、雇用確保、平和維持というアメリカ国家全体の発展に繋がるという、荒唐無稽の理想論に埋め尽くされている (Morin, 1993, p. 19)。

まず、アメリカ国民の繁栄であり、科学的な基礎研究への投資によって、新たな製品、サービスができ、それによって雇用が創出され、アメリカ国民の生活水準が高まる (Bush, 1945, p. 10)。次に、科学的な基礎研究がアメリカ国家の繁栄にとって重要であり、平和維持、雇用の確保、国防に影響を与えるため、国の施策として考えるべきである (Bush, 1945, p. 14)。最後に、科学的な基礎研究こそが、社会への実利をもたらす実践そのものであり、科学的な基礎研究への投資こそが人類進歩のペースメーカーであると指摘している (Bush, 1945, p. 19)。荒唐無稽の理想論であるブッシュ・レポートの狙いは、第二次世界大戦後も戦時中と同様に、科学的な基礎研究に対する潤沢な研究資金を確保するためであった。

物理学者ブッシュの方便は、科学的な基礎研究が社会を発展させるというイデオロギーを利用したものには他ならない。もちろん、科学的な基礎研究が社会の発展に役立つという考え方自体は、必ずしもブッシュ・レポートが最初ではない。ブッシュ・レポートで重要なことは、支配的であったイデオロギーを利用し、第二次世界大戦後も科学的な基礎研究に対して、アメリカ政府が積極的に国家予算を投資すべきであると表明したことである (関下, 2017, 147 頁)。当然ながら、科学的な基礎研究に巨額の国家予算を投資することが、アメリカ国家を発展させ一般大衆の生活を潤す保証があるわけでも、人類の進歩に直接つながるわけでもない (Morin, 1993, p. 19)。ただし、ブッシュら物理学者にとって、第二次世界大戦後も継続的にアメリカ政府から国家予算を引き出すためには、そうした方便が必要であった。

他方で、ブッシュ・レポートは、学術界でも規範モデルとして注目されるようになる。ブッシュ・レポートをリニア・モデルとして学問分野に持ち込んだのがマクローリン (Maclaurin, W. R.) である。マクローリンはハーバード大学のビジネススクールを卒業し、1936年にマサチューセッツ工科大学 (Massachusetts Institute of Technology: MIT) に着任後、1942年に教授となった。MITでマクローリンは経済社会科学部の強化に貢献し、1937年に産業関係部門を設立した。また、マクローリンは、ブッシュが作成した *Science: The Endless Frontier* (Bush, 1945) を支援した四つの委員会のうちの一つ、科学と公共の福祉に関する委員会 (Committee on Science and Public Welfare) の幹事を務めた。この委員会では、大学、政府、産業界における研究の状況を対象に、アメリカにおける研究開発に充てられる国家予算を測定するための調査を実施し、科学的な基礎研究に対する公的支援の形態、その中でも国立研究財団の提案を行なっている。

このようにブッシュと深い関係を持つマクローリンが企業のイノベーションに関心を持ったのは、MITの産業関係課の課長のときであった。マクローリンは、社会科学研究評議会

の経済史研究委員会 (Committee on Research in Economic History) に働きかけ、アメリカの産業における企業家の役割の調査促進に分析するために、ロックフェラー財団からの助成金を得て、MOT に関する最初の体系的かつ長期的な研究プログラムを開始した (Godin, 2008, p. 7). 1930 年から 1948 年まで MIT の学長を務めた実験物理学者のコンプトン (Compton, T. K.) は、「マクローリン教授とその仲間たちは、非常に重要な研究分野を切り開いた」と述べているように (Compton, 1949: xi), マクローリンの研究を援助した (Godin, 2008, p. 7). 実験物理学者コンプトンの後ろ盾を得たマクローリンは、企業の MOT に関する一連の研究を開始し、二つの主要な問題に取り組んでいる (Maclaurin, 1949). それは、様々な産業におけるイノベーションの速度の原因となる主要な経済的要因を特定することと、失業を最小限に抑えながら着実な企業の MOT に最も貢献する産業界の条件を特定することである。

この研究を実施するために、マクローリンはシュンペーター (Schumpeter, J.) に助言を求めている。シュンペーターはマクローリンに、イノベーションの経済学を研究する方法、すなわち産業と事業の歴史的分析を通じて研究する方法を提案した (Hedtke and Swedberg, 2000). そこでマクローリンは歴史的なアプローチから、イノベーションの研究を試みる。Bright and Maclaurin (1943) は、経済学者は長い間、特定の企業のイノベーションの経済学研究には関心を抱いてきたが、特定の産業におけるイノベーションの速度に影響を与える要因についての研究は、ほとんどされてこなかったと述べている (p. 429). Godin (2008) によれば、マクローリン以前のイノベーションの研究は、主に歴史学者や社会学者の関心事であり、次第に経営者や経営大学院の関心事となり、また、機械化が雇用に与える影響や、副産物として技術の影響を測る尺度としての労働生産性に関心を持つ少数の経済学者の関心事となっていたからであると述べている。マクローリンにとって、イノベーションの経済学とは、産業におけるイノベーションの速度の原因となる要因と、イノベーションにより資する条件に関わるものである (Bright and Maclaurin, 1943).

マクローリンはイノベーションの経済学の経験的研究として、蛍光灯の開発と導入の影響に関する要因を分析した (Maclaurin, 1946). 19 世紀以降の蛍光灯業界にイノベーションをもたらした要因として、第一に研究と製品工学の能力、第二に競争の程度、特に小規模企業の存在、第三に需要、第四に代替技術の四つを挙げた (Maclaurin, 1946). また、Maclaurin (1946) では、企業家の技能がイノベーションの主要な要因であることも明らかにしている。

次に、マクローリンはラジオ産業を対象として、新しい科学的な基礎研究を理論的段階から商業製品として成功させるために必要な段階を検討した (Maclaurin, 1946). この研究では、物理学の科学者集団を分析しており、物理学者は誰も商業的發展を意識的に考えていなかったことを指摘している (Maclaurin, 1946). 他方で、マクローリンは、大学の物理学者たちの先駆的な研究がなければ、ラジオという無線技術の実用的な発展は不可能であったと指摘する (Maclaurin, 1947). Maclaurin (1947) は、リスクの高い科学的な基礎研究の進歩を、新製品や新プロセスに転換する既存の産業に頼ることはできないと指摘している。

もちろん、これらの一連の研究は始まりに過ぎなかった。マクローリンは、一連の研究が

らイノベーションには異なる段階のプロセスがあるという提案をできると確信するようになっていた (Godin, 2008). 特に、マクローリンは、科学的な基礎研究と、そこに投入される資金は、イノベーションに決定的に重要な要因であると指摘する (Maclaurin, 1947). この役割を説明するために、イノベーションのプロセスには、科学的な基礎研究、応用研究、工学開発、生産工学という四つの異なる連続的なプロセスがあることを指摘している (Maclaurin, 1947). さらに、Maclaurin (1947) では、物理学による科学的な基礎研究が企業家と同じくらい決定的な要因であると指摘する。これはマクローリンが、ブッシュを支援した科学と公共の福祉に関する委員会を支援していたことと、MIT の当時の学長が実験物理学者であり、マクローリンが支援を受けていたことも影響している (Godin, 2008).

マクローリンが科学的な基礎研究を強調していたのは、ブッシュ・レポートと同じように、戦争によって科学的な基礎研究に多大な刺激が与えられていたが、戦争が終わったことによって応用研究に重点が置かれ、科学的な基礎研究、特に物理学の研究に国家予算が投入されなくなり、科学的な基礎研究の進歩が損なわれる危険性を避けるためであった (Maclaurin, 1947). 1950 年に、マクローリンはラジオ産業に関する長編研究の中でも、イノベーションに連続的なプロセスがあることを分析した論文を発表した (Maclaurin, 1950). Maclaurin (1950) でも、これまで経済学者は科学的な基礎研究の影響をまだ十分に認識していないため、科学的な基礎研究に基づいたイノベーションのプロセスを分析し、国家予算を科学的な基礎研究、特に物理学に投入すべきであると述べている。こうしたマクローリンの一連の主張が、社会一般にリニア・モデルとして名前を変えて普及していったのである (Godin, 2008).

このように、ブッシュ・レポートがマクローリンによってリニア・モデルとして世間一般に普及していくことと並行して、皮肉にもアメリカ政府に利用されることになる (宮田, 2011, 7 頁). アメリカ政府は、第二次世界大戦後のソビエト連邦との冷戦に向けた軍事開発競争に国家予算を投資することをアメリカ国民に隠蔽するためにリニア・モデルと名前を変えたブッシュ・レポートを利用した。

リニア・モデルと名前を変えたブッシュ・レポートには、科学者による科学的な基礎研究が、アメリカ国家の現在と将来を約束するという記述がある (Bush, 1945, p. xvi). 科学は純粋に普遍的な真理を追求し、それを拡大し人類共通の貯蔵庫にする営為に他ならず (Bush, 1945, pp. xvi-xvii), 科学的な基礎研究への国家予算の投資が人類の幸福につながるという記述にアメリカ政府は注目する。特にアメリカ政府が重要視した文言は、科学的な基礎研究への投資が、他国に依存することなくアメリカの産業を飛躍的に発展させ、新たな雇用を生み出し、アメリカ国民の幸福を約束するという軍事開発とはかけ離れた内容である (e.g., Bush, 1945, p. vii, p. xiii, p. 3, p. 13). こうした記述は、アメリカ政府が科学的な基礎研究へ莫大な国家予算を投資することで、軍事開発の促進を隠蔽するためには好都合であった。

アメリカ政府がリニア・モデルを利用した背景には、原子力爆弾の開発を経て、実際に科学的な基礎研究が軍事的に利用できたからである (宮田, 2011, 7 頁). 第二次世界大戦末期に必要とされた原子力爆弾は、7000 人の科学者、技術者が動員され、当時の金額で 2 兆円

の国家予算が投じられたことで開発された（廣重, 2002, 92-95 頁）。しかしながら、冷戦という目に見えない戦争で、原子力爆弾のような巨額の投資を必要とする軍事開発を続けていくためには、税金を収めるアメリカ国民を説得する必要があった。科学的な基礎研究への国家予算の投資が、アメリカ国民の生活に貢献するという理屈は無根拠であったものの、リニア・モデルを利用することによって、アメリカ政府は軍事開発につながる科学的な基礎研究への莫大な投資が、アメリカ国民に幸福をもたらすと謳うことができた（上山, 2010, 179-180 頁）。その後アメリカ政府は、大学や専門的な研究機関に莫大な研究予算を与え、軍事開発を促進させた（歌田, 1996, 180 頁）。アメリカ政府は、リニア・モデルを利用することにより、冷戦に向けた軍事開発へ国家予算を投資することを隠蔽することができたのである。

他方で、マクローリンは、アメリカ国家による軍事開発のために国家予算を投資することだけでは、国家の競争力は維持できないと主張し、改めて科学的な基礎研究へ国家の予算を投資することを訴えている（Maclaurin, 1950）。マクローリンは科学的な基礎研究の役割に注目し、科学者たちがいかに意識的に研究の商業的可能性を考えていなかったか、それにもかかわらず科学的な基礎研究がいかに産業を発展させ、さらにはアメリカ国家の競争力の維持に不可欠であったかを明らかにしている（Maclaurin, 1950）。

マクローリンは、引き続きラジオ産業を分析した（Maclaurin, 1950）。Maclaurin (1950) によると、ラジオ産業は物理学における電磁気研究の応用から直接生まれたものであり、物理学者たちは特に商業的な発展を考えていたわけではなかった。他方で、物理学者たちの科学的な基礎研究を、商業化に繋げたのが企業家やイノベーターであった。彼らは、物理学者を自社に雇いこむことにより、次第に商業的な発展を考えるようになった。企業は優秀な科学者を自社で囲い込み、イノベーションの可能性のある研究にただ乗りし、競争相手を買収して見込み契約を結ぶこと、あるいは独占や特許を通じて議論の余地のない国家の競争力を獲得することに主眼を置いていたのである（Godin, 2008, p. 11）。

こうした研究から、改めてマクローリンはイノベーションのプロセスに目を向け、科学的な基礎研究と応用研究の間の連続性の必要性を強調した。Maclaurin (1950) では、科学的な基礎研究、応用研究、工学開発、生産工学、サービス工学の五つの異なる段階に分け、イノベーションのプロセスを説明した。その後、マクローリンは、イノベーションの経済学に関する研究プログラム全体を発展させ、ガラス、紙、電気、ラジオといった様々な産業に関する研究を行い、科学的な基礎研究と応用研究の連続性を説明している（Godin, 2008, p. 11）。

マクローリンは、イノベーションの経済学に関する研究プログラムの生産性と得られた合意的な結果を踏まえ、1951 年にアメリカ社会科学研究評議会が主催したイノベーションの経済学の定量的記述に関する会議に登壇し、自身の研究プログラムからいくつかの一般的な結論を導き出した（Godin, 2008, p. 11）。そこでのマクローリンの主張は、既存のイノベーションの経済学の研究では、科学的な基礎研究の役割にはあまり注意を払っていなかったことを示し、イノベーションのプロセスを、最終的にはより測定可能な要素に分解し、科学的な基礎研究を中心に国家の予算を集中的に注ぎ込むことを提案している（Godin, 2008,

p. 11). すなわち、マクローリンは、ブッシュと同様に、経済発展にとって重要なことは科学的な基礎研究に国家の資金を注ぎ込むことを主張したのであった。さらに、マクローリンは、科学的な基礎研究から商業的な利用まで、技術革新につながる五つの段階、すなわち、（１）純粋科学を発展させる傾向（the propensity to develop pure science）、（２）発明する傾向（the propensity to invent）、（３）革新性（the propensity to innovate）、（４）イノベーションに投資する傾向（the propensity to finance innovation）、（５）イノベーションを受容する傾向（the propensity to accept innovation）という今日のリニア・モデルにつながるイノベーションのプロセスの基盤を特定した（Maclaurin, 1953, p. 98）。

こうした主張に反応したのが、ブッシュら物理学者以外に科学的な基礎研究を行っていた学術界の科学者たちであり、彼らもまた、規範モデルとしてブッシュ・レポートやリニア・モデルを利用していく。科学者たちがブッシュ・レポートやリニア・モデルを利用した理由は、自由な研究をするためである（上山, 2010, 184 頁）。ただし、自由な研究をするためには、大学のような自治によって守られる必要があり、資金の提供先の利害からは、全く独立に研究をしていくことが保証されなければならない。科学者たちは、第二次世界大戦中と同様にアメリカ政府から研究資金を引き出しつつ、政府が介入できない体制を制度化（institutionalization）するためにブッシュ・レポートやリニア・モデルを利用したのである。

自由な研究を行うために、科学者たちはリニア・モデルたるブッシュ・レポートの以下の文言に注目する。まず、基礎研究による国民および国家の幸福、社会の発展のためには、学術界と軍の結びつきではなく、制度化された組織が必要である（Bush, 1945, p. 15）。次に、軍にかわり自由な基礎研究へ投資するための組織が必要である（Bush, 1945, p. 19）。さらに、戦時中に軍事開発を通じて築かれた科学界、政府、企業とのネットワークは、戦後の国家を支える産学官連携体制の核として、戦後も維持するべきである（Bush, 1945, pp. 81-82）。最後に、自由な研究こそが、知識の実利的な応用を導く資本となり、重要な科学的原理の発見や貢献に寄与し、実践的あるいは経済的利益を生む（Bush, 1945, p. 83）。

科学者たちは、こうした文言を利用することにより、アメリカ政府に研究資金を投資させ、自由な研究を行うための組織を制度化した（Zachary, 1999, p. 45）。第二次世界大戦中に軍事開発を通じて多額の研究資金を獲得していた科学者たちであったが、アメリカ政府の支配下のもと研究を行っていたため、科学者たちの好奇心にまかせた自由な研究を行うことができなかった（Hounshell, 1996, p. 69）。そのため、科学者たちは、ブッシュ・レポートに便乗し、国家科学基金、共同研究開発理事会、研究開発理事会、国務省内の軍縮委員会、アメリカ国防高等研究計画局などの組織を作り、自由な研究を行うための体制を制度化した（歌田, 2008, 4 頁）。こうした体制を制度化した結果、科学的な基礎研究が社会を発展させるイデオロギーは、リニア・モデルとして社会一般に浸透していった。

このように、リニア・モデルを社会一般にまで浸透させ、科学的な基礎研究の重要性を訴えたのがマクローリンの研究の成果である（Godin, 2008）。マクローリンの一連の研究は、MOT のリニア・モデルと呼ばれるようになったものに関する最初の本格的な議論であり

(Godin, 2008, p. 12), その後数十年の間に, 科学者たちによって制度化された組織以外にも, 経営大学院の研究者 (Myers and Marquis, 1969; Utterback, 1974), アメリカ国立科学財団のような組織 (IIT Research Institute, 1968), 社会学者 (Rogers, 1983), 会計学者 (Anthony and Day, 1952) は, さらにリニア・モデルの研究を発展させていくことになる (Godin, 2008). 確かに, マクローリンに先立つ, あるいは同時期の研究には, 歴史家, 社会学者, 経営学者, コンサルタント, 実業家などから, 様々なリニア・モデルの主張が見られる (Godin, 2008). しかしながら, 商業化の段階を考慮した研究はほとんどなく, マクローリンの研究ほどこイノベーションのプロセスを体系的に分析したものはなかった (Godin, 2008).

これまで見てきたように, ブッシュ・レポートもブッシュ・レポートを背景として誕生したリニア・モデルも, 第二次世界大戦後も継続的にアメリカ政府から, 科学的な基礎研究に国家予算を投入させるための規範モデルであった. 特に, 物理学の研究に国家予算を投資させることを意図していたが, それはブッシュ・レポートの著者が物理学者であったこと, 学術界にリニア・モデルを持ち込んだマクローリンが物理学者からの支援を受け研究を続けていたからである. その後, リニア・モデルは, アメリカ政府や物理学者以外の科学者にも規範モデルとして利用され, 彼らの多様な実践を導き, 社会一般に浸透していった.

2.1.2 リニア・モデルの精緻化

本項では, リニア・モデルが, 現在の科学的基礎研究, 応用研究, 製品開発という形に精緻化されていったかを検討していく. MOT では, ハーバード・ビジネススクールのアンソニー (Anthony R. N.) が, マクローリンの研究を参考にしながら, リニア・モデルを整理している (Godin, 2006). アンソニーによる研究の目的は, 第二次世界大戦以降急激に成長したロケットやスペースシャトルなどのハイテク産業における研究活動の定義を明確にし, 企業による研究活動を測定することであった (Dearborn, Kneznek and Anthony, 1953). Dearborn, Kneznek and Anthony (1953) 以前の問題意識は, 企業の研究活動と非研究活動をいかにして区分するかを明確にする研究であった (Godin, 2006). 他方で, Dearborn, Kneznek and Anthony (1953) は, 現実の企業を見てみると, 研究といっても多くの種類があること, 研究の段階に応じ当てられている予算が違うため, どのような研究があるかを明確にしなければならないと指摘している.

こうした問題意識のもと Dearborn, Kneznek and Anthony (1953) は, 企業の研究活動を三つに区分している. 第一に探索が具体的な応用に結びつくかどうかにかかわらず, 新しい知識を求めて計画的な探索を行う自由な研究 (uncommitted research) である. 第二に新製品や新プロセスの創造に関わる問題に既存の知識を適用する応用研究 (applied research) である. 第三に現在の製品またはプロセスの改良に関わる問題に, 既存の知識を適用する開発活動である. これらの研究活動が線形的に進むことによって, 企業のイノベーションが行われると主張した (Dearborn, Kneznek and Anthony, 1953, p. 92). アンソニーはこの定義とともに, 開発に含まれるべき活動 (スケール活動, パイロットプラント, 設計) と除外されるべき活

動（市場調査、法律業務、技術サービス、生産）を正確に規定している（Dearborn, Kneznek and Anthony, 1953）。またこの調査では、企業が研究予算の8%を自由な研究に、42%を応用研究に、50%を開発に費やしていることが明らかにしている（Dearborn, Kneznek and Anthony, 1953）。リニア・モデルとして科学的な基礎研究から製品開発への道筋を示すことで、企業はどの研究プロジェクトに資源を割り当てるべきか、どのような製品を開発し、市場に投入するべきかといった意思決定を企業の経営者が行うことができると主張した（Dearborn, Kneznek and Anthony, 1953）。

また、アンソニーの定義を発展的に継承したアメリカ国立科学財団（National Science Foundation）は彼の定義を産業、政府、大学など経済の全ての部門に拡大し、今日のリニア・モデルとほとんど変わらない定義を行なっている（National science foundation, 1957）。具体的には、科学的知識の進歩のための独創的な調査であり、報告企業が現在または将来的に関心を持つ分野であっても、特定の商業的目的を持たない研究プロジェクトである基礎研究（basic or fundamental research）、新しい科学的知識の発見を目的とした調査であり、製品またはプロセスに関して特定の商業的目的を持つ研究プロジェクトである応用研究、研究成果や一般的な科学的知識を製品やプロセスに変換する際に発生する非定型的な問題に取り組む技術活動である開発という分類のもとイノベーションを定義している（National science foundation, 1957）。

アメリカ国立科学財団の三つの分類は、イノベーションのプロセスにおける構成要素や段階を説明する役割も果たしており、科学的な基礎研究、応用研究、製品開発という三段階のプロセスで企業のイノベーション活動が進むという説明は、今日もリニア・モデルを説明する上で最もよく使われている（Godin, 2006）。アメリカ国立科学財団は、イノベーションの順序は、科学的な基礎研究、応用研究、製品開発からなるとし、連続する各段階は、前の段階に依存するとして、リニア・モデルを提案しているのである（National science foundation 1957, pp. 11-12）。このようにして、リニア・モデルは、MOTの一つの概念として社会一般にまで根付いていったのである（Godin, 2006）。

社会一般に根付いていたことによって、広くMOTのリニア・モデルと呼ばれるようになったブッシュ・レポートは、アメリカ政府や科学者たちだけではなく企業にも利用されることになる（上山, 2010, 184頁）。企業は、広く社会一般に根付いていったリニア・モデルを利用し、自社の利益になる科学的な基礎研究に、ただ乗りするようになった。

リニア・モデルとして社会一般に根付いていったブッシュ・レポートには、科学的な基礎研究に投資することによって、公共ないし民間企業による研究活動に対して大きく貢献するという記述が、言葉を変え繰り返し述べられている（Bush, 1945, p. xvi, pp. 81-82, p. 84, pp. 214-215）。特に企業が注目した文言は、以下の二文である。第一に、科学的な基礎研究は純粋に普遍的な真理を追求し、それを拡大したアメリカ国家の知識の貯蔵庫に蓄積していく作業にほかならず、その貯蔵庫からどのような実利的、具体的な情報を得るのかは民間企業の自由によるものである（Bush, 1945, p. 177）。第二に、第二次世界大戦中に蓄えられた科

学的知識の多くは、社会全体に普及していき、特に民間企業の技術的な核となるであろう (Bush, 1945, p. 187)。

こうした文言を積極的に利用したのが、それまで大学などの研究機関の科学的な基礎研究に多額の投資をしてきた企業であった (Hounshell, 1996, p. 81)。というのは、社会一般に広まった規範モデルとしてのリニア・モデルに便乗すれば、政府による莫大な科学的な基礎研究への投資の成果を、企業が無償で利用することが許される (栗原, 2011, 70 頁)。特に、研究開発プログラムを持っていた企業は、リニア・モデルという表現に飛びつき科学的な基礎研究を拡大したのである。

もちろん、必ずしも全ての科学的な基礎研究が、企業の研究開発に役立つものでないことは、当然ながら企業も気付いていた。例えば、多くの企業は、1970 年代以降ホットトピックとなったバイオ・テクノロジーの研究に集中して予算を投資してきたが、自社の利益に対して投資が見合わないと思なされると投資を打ち切っていた (Hounshell, 1996, p. 84)。バイオ・テクノロジー以外にも、科学技術の高度化により膨れ上がっていく科学的な基礎研究への投資に耐えられなくなった多くの企業は、中央研究所を閉鎖してきた (Hounshell, 1996, p. 92)。だからといって、企業が科学的な基礎研究を不要であると考えたわけではない。むしろ、戦時中に築かれた産学官連携体制に積極的に参加することで、科学的な基礎研究へのただ乗りを目指したのである。例えば、研究成果を広く公表する研究者を利用するには、直接的な科学的な基礎研究への投資とは異なった独特なマネジメントが必要となった。Hounshell (1996) によれば、1970 年代以降のバイオ・テクノロジー分野における企業による科学的な基礎研究への投資は、直接的な投資ではなく、優れた科学的な基礎研究へのただ乗りというかたちでなされていたという (p. 84)。

このように、アンソニーやアメリカ科学財団によって、企業の経営者の意思決定の規範となるようにリニア・モデルが精緻化された結果、多くの企業がリニア・モデルという表現に飛びつき、科学的な基礎研究を行っている研究者を社内に雇い、科学的な基礎研究にただ乗りしたのである。その結果として、社会一般にもリニア・モデルが根付いていった。

2.1.3 規範としてのリニア・モデル

改めてブッシュ・レポートを背景にしたリニア・モデルを再訪してみると、ブッシュを含む物理学者、アメリカ政府、科学者全般、企業という多様な利害関係者が、規範モデルとして参照していた。ただし、これらの利害関係者の実践は異なっており、ブッシュを含む物理学者は戦後も国家予算を科学的な基礎研究へ安定して投資させるための方便として、アメリカ政府は軍事開発競争に国家予算を投資することを隠蔽するため、科学者全般は戦後も自由な研究を続けていくための体制を制度化するため、企業は自社の利益になる優れた科学的な基礎研究にただ乗りするために、ブッシュ・レポートを利用してきたのである。その後、ブッシュを学术界からサポートしていたマクローリンが、ブッシュ・レポートを参照し、1950 年にイノベーションのリニア・モデルを発表した。

マクローリンは、イノベーションのプロセスについて、以下の測定方法として説明している。すなわち、純粋科学、発明、技術革新、資金調達、受容である (Maclaurin, 1953, p. 98)。こうした考えを通じてマクローリンが最も主張したかったことは、第二次世界大戦以降も、継続的に国家の予算を科学的な基礎研究、特に物理学の研究分野に投入させることであった。マクローリンが特に物理学にこだわったのは、ブッシュとの関係もあるが、当時の MIT の学長であった実験物理学者コンプトンの後ろ盾を得て研究を進めてきたからでもある。

リニア・モデルをまとめると、科学的な基礎研究の重要性を主張し、アメリカ国家が科学的な基礎研究に投資するための規範モデルであった。特に物理学の研究分野に国家の予算を投資することが、アメリカ国家のイノベーションにつながるということを述べている (Maclaurin, 1953, p. 105)。他方で、工学のような応用研究が物理学を中心とした基礎研究を駆逐するようなことがあればイノベーションが止まってしまうと主張している (Maclaurin, 1953, p. 105)。こうしたことから、ブッシュもマクローリンも同様の考えを持っており、国家予算を物理学に投入するための規範となるモデルとしてイノベーションのリニア・モデルを提唱したのである。こうした考え方は、経営学者のアンソニーにも受け継がれており、アンソニーがリニア・モデルを精緻化した理由は、リニア・モデルが企業の経営者の意思決定の規範になると考えていたからである (Dearborn, Kneznek and Anthony, 1953)。このように、アメリカの科学技術政策である、ブッシュ・レポートに端を発するリニア・モデルは、規範モデルであり、様々な利害関係者の多様な実践を導いてきた。

2.2 ヤング・レポート：企業の技術力の向上と保護を重視した政策と政府の学術研究への介入

第二次世界大戦が終戦し、1960 年代までの欧米諸国の企業では、イノベーションのリニア・モデルに従い、多くのヒット商品を開発してきた (有本, 1988)。しかしながら、1970 年代に入ると、日本の台頭や欧米諸国における企業の中央研究所の閉鎖により、リニア・モデルに疑問を持ち始め (Hounshell, 1996)、国家が学术界と手を組み、企業のイノベーションを検討し始めたのである。また、アメリカ政府は、企業の技術力向上と保護のために新たな規範となる政策を打ち出していく。従来、アメリカ政府は産業界に対して介入しないという傾向を持っていたが (柴田, 2020)、1970 年代中盤になると、アメリカ国内で貿易赤字が深刻な問題と認識され始め、アメリカ政府内で、企業の国際競争力の問題に対する検討をしなければならないという動きが出始めたのである。

2.2.1 MOT における国家の介入

本項では、リニア・モデルに疑念を抱くことにより、国家主導のもと行われたイノベーションの成功要因と失敗要因に関する研究を検討していく。まず、リニア・モデルに疑念を抱いたのはイギリスである。イギリスでは、アメリカに先駆け国家主導の研究が行われており、その嚆矢として位置づけられるのが、Burns and Stalker (1961) による研究である。1916 年

設立のイギリスの科学産業研究庁（Department of Scientific and Industrial Research）は、社会学者バーンズ（Burns, T.）と心理学者ストーカー（Stalker, G. M.）という二人のエジンバラ大学の教授に工業イノベーションの研究を委託した（Godin, 2020）。イギリス政府が彼らに研究を委託した研究は、彼らが 1953 年から 1957 年にかけて、スコットランド地方政府の補助金を受けて進めた、スコットランド電子産業 20 社についての研究をイギリス全体にまで拡張する研究であった（Godin, 2020）。イギリス全体の電子産業の調査は、1957 年から 1960 年にかけて実施され、その研究結果は *The Management of Innovation* にまとめられている。

Burns and Stalker（1961）の次にイギリス国家が介入した研究が、プロジェクト SAPPHO である。リニア・モデルに疑念を抱いていたイギリス国家では、政府主導のもとサックス大学のチームにより、企業のイノベーションの成功要因と失敗要因を探るプロジェクト SAPPHO が行われた（Rothwell, Freeman, Horlsey, Jervis, Robertson and Townsend, 1974）。このプロジェクトでは、化学産業と素材産業の企業をターゲットにして分析が行われた。

プロジェクト SAPPHO では、リニア・モデルを原型として、企業の規範となるイノベーションの成功事例と失敗事例とを比較し、両者を区別する要因を明らかにした。複数の成功要因に共通する要因が失敗事例にも当てはまる可能性があることを回避させるために、成功事例と失敗事例を比較し、成功要因を厳密に特定することを目指していた（Rothwell, Freeman, Horlsey, Jervis, Robertson and Townsend, 1974）。プロジェクト SAPPHO では、化学産業と素材産業に属する企業を対象に、第一フェーズの調査で 29 ペア、第二フェーズの調査で 43 ペアの成功事例と失敗事例の分析、インタビュー調査によって得られたデータに統計的な分析を加え、イノベーションの成功要因を浮き彫りにすることを目指した。その結果、顧客のニーズを理解すること、マーケティングに注力すること、製品開発の作業を効率化すること、外部リソースを活用すること、強力な管理機能と管理者が存在することが必要という五つの結論を得た（Rothwell, Freeman, Horlsey, Jervis, Robertson and Townsend, 1974）。

プロジェクト SAPPHO と並んで、企業におけるイノベーションの成功事例と失敗事例を一つのグループとして分析とした研究が、カナダ政府とマクマスター大学の教授であったクーパー（Cooper, R. G.）が中心となって進めた、プロジェクト New Prod があげられる（Cooper, 1979）。プロジェクト New Prod では、企業のコントロールできる要因と環境要因がイノベーションの成果に影響を与え、環境要因の影響下で発生するマーケティング活動（例えば企業の市場参入戦略、市場導入を支援する製品、価格、生産・サービスなど）が、市場環境との相互作用の中で成果を決定するというモデルを提案した（Cooper, 1979, p. 95）。その概念モデルは、マーケティング活動の諸要素、新製品開発プロセスの上手さ、取得情報の性格、当該製品の市場、企業の資源、新製品開発プロジェクトの性格の六つの構成概念で成り立ち、管理変数の階層ごとに分割されるとしている（Cooper, 1979, pp. 94-95）。

Cooper（1979）では、この概念モデルに基づいて事例の検証を試み、その結果、新製品開発に強く関連している要因として、顧客視点でユニークな優れた製品であること、マーケティングに関する知識と技能の熟達、技術および生産性のシナジーとその熟達の三つを挙げ

ている。プロジェクト New Prod に続いてプロジェクト New Prod IIでは、カナダの企業を対象として、成功事例 123 件と失敗事例 80 件について調査を実施した (Cooper and Kleinschmidt, 1987)。その結果を製品開発プロセスにおいて実施すべき 13 の活動として整理している。

Copper and Kleinschmidt (1987) では、新製品開発の成果の規定因として、製品優位性、市場潜在性、市場競争度、マーケティング・シナジー、技術シナジー、プロトコル、先行開発活動の熟達度、市場関連活動の熟達度、技術関連活動の熟達度、最高経営者の支援という 10 項目を挙げ 123 件の成功事例のデータによって検証した。

一見するとプロジェクト SAPPHO とプロジェクト New Prod の研究結果は、共通する点が多いように考えられる。しかしながら、この共通点は根源的なものではなく表面的なものである。一方で、プロジェクト SAPPHO では管理者の権限、外部とのコミュニケーションといった組織的な要因の重要性が強調されており、他方で、プロジェクト New Prod では、組織的な要因に加えて製品自体の特性が強調されている (桑嶋, 2002)。

この違いを解明し、アメリカの国際競争力を強化するために立ち上がったのが、1960 年代後半から貿易赤字を抱えていたアメリカ政府とスタンフォード大学の研究者たちによって行われた、スタンフォード・イノベーション・プロジェクト (Stanford Innovation Project) である。アメリカ政府とスタンフォード大学の研究者達は、二つの研究結果に違いが生じた原因が、プロジェクト SAPPHO とプロジェクト New Prod のそれぞれの研究手法の違いが結果に影響を与えたのではないかと考えた (Maidique and Zirger, 1984; 1985)。1982 年から始まったスタンフォード・イノベーション・プロジェクトでは、プロジェクト SAPPHO とプロジェクト New Prod のように方法論やサンプルのセッティングの違いが分析結果に影響を与えることを避けるために、明確な基準をもとにして分析対象を選択し⁴、統計的な分析と統計のサンプルに含まれる複数プロジェクトに関する詳細な事例研究を行った (Maidique and Zirger, 1984; 1985)。

スタンフォード・イノベーション・プロジェクトでは、アメリカの電子産業の 158 社のイノベーション・プロジェクトを対象として、財務的な基準を達成したかどうかによって判断された成功要因および失敗要因のペアに関して分析が行われた。その結果として、第一に顧客の理解、第二に市場熟知とリソース・コミットメント、第三に高利益の製品、第四にイノベーションのプロセスにおける計画と実行のうまさ、第五に企業における機能部門間の調整、第六に開発された製品の早期市場導入、第七に既存の技術および市場に関する企業の強みの活用、第八にマネジメントの高いサポートという要因がイノベーションに影響を与えていることが明らかとなった (Maidique and Zirger, 1984; 1985)。しかしながら、企業の規範となるイノベーションの成功要因と失敗要因という要因を明らかにしたからといって、アメリカの企業の技術力が向上し、大ヒット製品が開発されるわけもなく、依然として深刻な貿易赤字を抱えていた (桑田, 2017)。

⁴ トライアングレーション・メソドロジー (triangulation methodology)

2.2.2 アメリカの国際競争力強化に向けたヤング・レポート

長引く貿易赤字から、リニア・モデルを疑問視し始めたアメリカ政府は、ブッシュ・レポートやリニア・モデルで強調されていた科学的な基礎研究を重視する政策から、企業が持っている技術や人材をいかにして保護していくのかということを強調した政策を打ち出すようになる。こうした背景の下、1980年に『大統領競争力白書』が提出された。カーター（Carter, J.）が率いる政権において、アメリカの競争力の現状分析と対応のための施策についてまとめた『大統領競争力白書』は、物理学を科学的な基礎研究とするハイテク部門や生物学を科学的な基礎研究にする農産物部門においてはアメリカの競争力は十分にあるが、他方で工学を科学的な基礎研究とする自動車、繊維、金属機械、電機、鉄鋼等の消費財分野における競争力が低下している点を指摘している。ただし、『大統領競争力白書』は競争力低下の問題を正面から取り上げたものではなく、消費財分野におけるシェアの低下の要因は、石油の輸入コストの上昇に関連した一時的なものであり、構造的な問題ではないと結論付けている（日本政策投資銀行, 2001）。

『大統領競争力白書』がまとめられたものの、依然アメリカでは貿易赤字や財政赤字といった赤字が見られる中、産業競争力の低下や経済の弱体化に対する問題意識が一段と顕著になってきた。こうした中、当時のレーガン（Reagan, R. W.）政権は国際競争力の強化策を検討するために、1983年にヒューレット・パッカードの社長であったヤング（Young, J. A.）を委員長とする産業競争力委員会（President's Commission on Industrial Competitiveness）を設立した。ヤングを中心とした産業競争力委員会は、1985年にアメリカの競争力に関する報告書 *Global Competition The New Reality*, 通称ヤング・レポートを大統領に提出した（President's commission on industrial competitiveness, 1985）。このヤング・レポートでは、まず、国際競争力を「競争力とは、ある国が自由かつ公正な市場条件の下で、国民の実質所得を維持ないし増大しつつ国際市場のテストに適応するような財およびサービスを生産する能力である」（President's commission on industrial competitiveness, 1985, p. xi）と明確に定義している。ヤング・レポートの定義は、国際競争力に関する多くの研究書で引用されることになる（中本, 2002）。

上述したように、国際競争力を定義すれば、アメリカの国際競争力強化の基本的な方向性は生産性の向上となる。ヤングレポートでは、国際競争力の指標として、企業の生産性、単位時間当たりの報酬、製造業の収益性、貿易収支などが取り上げているが、他方で1970年代以降のアメリカ製造業では、そのいずれの指標もが低下していることを指摘していた。すなわち、アメリカの国際競争力の低下を示していたのである（President's commission on industrial competitiveness, 1985, p. xii）。こうしたことから、ヤング・レポートでは、ブッシュ・レポートやリニア・モデルで強調されていた科学的な基礎研究から、企業の人材育成や企業が所有している技術の普及および保護を強調するようになったのである。

ヤング・レポートでは、アメリカの製造業の国際競争力を向上させるために、技術、資本、人材、貿易の面から改善策を打ち出している（President's commission on industrial

competitiveness, 1985, p. xii). 具体的には、第一にイノベーションによって産まれた新技術の創造、応用および保護、第二に資本供給の増加と資本コストの削減、第三に人的資源の開発、第四にアメリカ国内で企業の国内優先度を決め、徹底的に国際競争力を強化していくことである (President's commission on industrial competitiveness, 1985 p. xii).

第一に、ヤング・レポートでは、製造業および工学に関わる企業の技術優位性がアメリカの国際競争力の源泉となり、その結果、アメリカ国民の生活水準と国際競争力が維持されると主張している (President's commission on industrial competitiveness, 1985). こうした主張は、科学的な基礎研究の重要性を論じたブッシュ・レポートとは明らかに異なっているといえる。さらに、防衛、宇宙分野への重点化による商業化分野の遅れ、民間の研究開発投資の不足、大学における研究者の不足、企業の品質管理や製品の製造プロセスの軽視、アメリカの企業が生産した製品の模造品による知的所有権侵害の増加、取締規制による阻害という問題を指摘している (President's commission on industrial competitiveness, 1985). こうした問題を解決するために、ヤングレポートでは科学技術省の設立、研究開発税優遇措置の強化、独占禁止法障壁の撤廃を通じた産学官の連携、企業の製造技術の改良による新技術の商業化と知的所有権の強化、産業競争力のニーズと規制のバランス化が必要であると提言されている (日本政策投資銀行, 2001). また、より具体的には、企業が商業化する技術の堅固な基盤を構築することが求められている。これには、イノベーションの橋渡し、その製造方法の実用化、特許権、著作権、商標権および商業秘密の保護の強化を通じた知的所有権の保護が必要とされている。

第二に、資本コストの削減について述べる。ヤング・レポートは、低貯蓄率等を背景にした資本供給不足、企業における資本コストの高騰、税制措置や規制管理政策による資本フローの偏りといった課題を指摘している (President's commission on industrial competitiveness, 1985). その上で、ヤング・レポートでは、1970年代以降のアメリカにおける巨大な財政赤字が、民間企業への資本流入を妨げていたとも明らかにしている (President's commission on industrial competitiveness, 1985). これらの問題を克服するために、財政赤字の削減、配当に対する二重課税の廃止、製造業および工学分野のベンチャー企業等への投資による損失の全額を所得から控除する制度、通貨安定化、資本市場の自由化といった提言がなされている。

第三に、資源開発について述べられている。ヤング・レポートは、明確な将来の目標、個人のスキル、モチベーションを備えたアメリカ国民こそが、アメリカ国家の経済の原動力であり、競争力の中心であると述べている (President's commission on industrial competitiveness, 1985). 資源開発の問題としては、政策策定過程での意見の食い違い、古典的な労使対立、衰退産業の労働者への再就職支援体制の欠如、雇用者による職員教育の不足、大学の資金と設備の老朽化、初等・中等教育における中途退学率の上昇、そしてコンピュータ教育の遅れといった点を挙げている (President's commission on industrial competitiveness, 1985). これらの問題を解決するための提言として、ヤング・レポートでは労使が一緒に生産性や製品品質の向上に取り組むこと、衰退産業からの転職を希望する労働者に対する新技能習得の支援

や職業紹介，雇用主による職業訓練，政府による生涯教育やストック・オプション等の推進，大学教育の強化といった項目が挙げられている．さらに，初等・中等教育でのコンピュータリテラシーの強化だけでなく生産性の高い新しい学習ツールとしてのコンピュータ利用の推進も提案されている．

第四に，貿易政策の重視について述べられている．ヤング・レポートでは，貿易政策決定プロセスの矛盾，不公正な外国貿易慣行に対応する貿易政策の欠如と国際競争に対する独占禁止法の対応の遅れ，広範な輸出規制，輸出企業に対する補助金の不足，国際貿易システム（General Agreement on Tariffs and Trade：GATT）の欠陥が問題であるとの指摘をしている（President's commission on industrial competitiveness, 1985）．この問題の解決策として，貿易，投資政策の改善，不公正な外国貿易慣行に対応するための国内貿易法の見直し，独占禁止法の緩和のための改正，輸出規制を緩和するための輸出管理法の改正，他国並みの対共産圏輸出統制委員会（Coordinating Committee for Multilateral Export Controls）などの輸出規制の見直し，アメリカ輸出入銀行による輸出企業への金融支援などが挙げられる．提言としては，アメリカ輸出入銀行による輸出企業への金融支援の強化，国際競争力の低下が著しい産業分野での研究開発を促進するための独禁法の緩和，多国間貿易システムの強化である．国際的な競争が激化する中，吸収合併で力をつけた欧米企業の台頭は目覚ましく，独禁法の緩和は吸収合併の機会を提供する（President's commission on industrial competitiveness, 1985）．

ヤング・レポートにおける問題点と提言をまとめると，ブッシュ・レポートやリニア・モデルで強調していた科学的な基礎研究へ注力するということよりも，企業の技術力や特許を中心とした規範となる政策であり，アメリカの国際競争力を再生させることはできないという主張であった．こうした課題に対して，ヤング・レポートは結論として具体的な提案をおこなっている．その内容を整理すると次のとおりである．第一に，製造業および工学分野の企業の所有権の保護，強化に向けて，特許法などアメリカ国内の所要の制度改正を行うことである．第二に，特許制度の運用に当たっては，均等論の幅広い適用や損害賠償額の算定方法の見直しなどを含めて大幅に変更することである．第三に，アメリカ以外の各国に対して製造業および工学分野の企業の所有権が確実に保護されるように二国間での交渉を行うことである．第四に，GATTなどの多国間交渉の場を活用して，知的所有権制度の確立および充実を働きかけることである（President's commission on industrial competitiveness, 1985）．

ヤング・レポートは，ブッシュ・レポートやリニア・モデルで重視していた科学的な基礎研究への重視から，製造業および工学分野の企業の技術力向上と保護の規範となる政策提言へと切り替えたのであった．しかし，ヤング・レポートにおける提言は，内容が小さな政府を指向するレーガン政権初期の意に合わず，むしろ，日本などの競争相手国に市場開放等の貿易条件の改善を求めるなどの圧倒的な政治力・外交力を背景とした政策が重視された結果（日本政策投資銀行, 2001），レーガン政権の政策には反映されずに棚上げとなった．

ヤング・レポートが政策に反映されなかったことに不満を持ったヤング委員長達が 1987 年に新しい政策提言をした *America's Competitive Crisis: Confronting The New Reality* であり，

これは「ニュー・ヤング・レポート」と呼ばれている（日本政策投資銀行, 2001）。このレポートでもやはり重視されていたのは、製造業および工学分野の企業の技術力向上と保護であり、生活水準、生産性、貿易収支、技術、人的資源資本形成に基づく企業の競争状態の評価、財政赤字削減、貿易環境改善、貿易および技術政策、人的資源対策からなる連邦政府への提言である。その結果、1987年の教書演説で、レーガン大統領は、アメリカの産業競争力を21世紀に向けて確保することの必要性を国民に強く訴え、その具体策として、企業の技術力向上と保護の方針を打ちだし、多額の資金を投入するようになった。その演説で示された政策の中身は、ヤング・レポートの提案と同じものだった（日本政策投資銀行, 2001）。ただし、このような提言の結果、アメリカ経済が大幅に回復したかという点、必ずしもそうとはいえない。確かに、アメリカは現在でも世界一の経済大国ではあるが、その地位は常に脅かされている。そこで、アメリカの科学技術政策では、継続的にイノベーションを起こしていくために、新たな規範となるイノベーションのモデルが模索されることになる。

2.3 パルミサーノ・レポート：新たな規範となるイノベーション・モデルの提案

上述のように、ヤング・レポートでは、リニア・モデルを疑問視し、アメリカ国家が産業に介入することによって製造業および工学分野の企業を中心とした国際競争力の強化のための規範となる特許保護政策を打ち出してきた。その後、2000年代に入ると、従来の報告書や学術研究のように単なる企業の国際的な競争力に限定せず、新たなイノベーションのモデルを探り、科学的な基礎研究の推進方法やその体制の強化および底上げをしなければならないと強く訴えている（Council on competitiveness, 2005, p. 9）。それは、国際比較した際のアメリカの教育力の低下やアメリカ国民の理工離れ現象が指摘され、その結果アメリカのイノベーションにかげりが見え、ひいてはアメリカ国家としての国際競争力を低めているのではないかと強く懸念されたからである。こうした主張を行ったのは、ヤング・レポートを作成した大統領競争力委員会を改組した競争力協議会であった。

競争力協議会は、アメリカが継続的にイノベーションを起こしていくためには、科学的な基礎研究を前提としながらも、新たな規範モデルとなるイノベーションのモデルを考えなければならないという主張している（Council on competitiveness, 2005）。従来のイノベーションは科学的な基礎研究から企業による商業化に進む中のある時点において生じる（科学と技術、あるいは技術と製品化の間の橋渡しがうまく機能するなど）を要件とする）連続的な発展であるのに対して、近年のイノベーションは多様な社会ニーズに応えるために新たな社会的価値や経済的価値を生み出すものであると指摘している（Council on competitiveness, 2005）。パルミサーノ・レポートによるこうした主張は、科学的な基礎研究を底上げし、継続的にイノベーションを起こしていくための、新たな規範となるイノベーションのモデルを考えなければならないと指摘している。

2.3.1 新たなイノベーションモデルを目指すパルミサーノ・レポート

新たな規範モデルとしてイノベーションのモデルを提言したのが、当時の IBM 会長兼 CEO であったパルミサーノ (Palmisano, S. J.) を中心としたアメリカ競争力委員会であった。パルミサーノを中心としたアメリカ競争力委員会は、2004 年に今後のアメリカの科学技術政策提言として *Innovate America* (通称：パルミサーノ・レポート) を報告した。

パルミサーノ・レポートでは、イノベーション・エコシステムという新たなイノベーションのモデルを提示している (Council on competitiveness, 2005)。パルミサーノ・レポートに示されたイノベーション・エコシステムは、供給と需要の交わる場においてイノベーションが生じると定義されており、注目すべきは、かつては競争的であった多様なアクターの関係が協調的というよりも、むしろ次第に共生的なものになってきていると指摘している点である (Council on competitiveness, 2005, p. 40)。すなわち、パルミサーノ・レポートで提示されたイノベーション・エコシステムでは、多様なアクターの共生という点を重視しているのである (Council on competitiveness, 2005, p. 40)。

その中でも特に重視しているのが、生産者とユーザーの関係性に関してである。かつては生産者側である企業がイノベーションの主体であったが、現代ではユーザー側もまたイノベーションに参画するという現象が見受けられる。ユーザー側がイノベーションに参加するという主張は、von Hippel (1976) のユーザー・イノベーションを想起させるが、Council on competitiveness (2005) における主張は、ユーザー・イノベーションとは異なっている。

ユーザー・イノベーションでは、ユーザーのニーズを満たす製品を企業が生み出し、企業のイノベーションを加速させるという点に特徴がある。しかしながら、ユーザー・イノベーションの視点ではイノベーション全体の生産を統御し、その方向を示すのはあくまでも企業側である (関下, 2010, 121 頁)。すなわち、ユーザー・イノベーションといっても、現実には、イノベーションを担うのは生産者たる企業側であり、巨大な企業の力のもとユーザーは事実上片隅に追いやられ、補完的な役割を果たすに過ぎないのである (Council on competitiveness, 2005, p. 40)。継続的にイノベーションを起こしていくためには、生産者とユーザーという二分法から脱却しなければならず、パルミサーノ・レポートでは、ユーザーと生産者の双方向性の関係に関して、相互に転化し合いイノベーションが起こる契機になりうるという指摘がなされている (Council on competitiveness, 2005, p. 46)。

また、ヤング・レポートと同様に知財の保護に関しても言及している。パルミサーノ・レポートでは、知的財産の保護はイノベーションを支える基盤であると指摘している (Council on competitiveness, 2005, p. 41)。知的財産の保護は、国際経済で重要性が増している。それはとりわけ企業のスタートアップ時に大事になるが、環境が急速に変化する現代社会では、知財化は宝庫であるとともに、反面、時間感応的 (time-sensitive) な脆弱性を含んでもいる。同時に、ユーザー側との共創 (co-creation) の傾向や相互運用性 (interoperability) の必要性は、ヤング・レポートで示された従来の知的財産保護やそのモデルの持続を困難にしているという指摘がある (Council on competitiveness, 2005, p. 41)。すなわち、多数分野に跨る集団

的なコラボレーションが強まり、相互運用性を高めるため、多様な利害関係者との共創が必要になっているのである（関下, 2010, 118 頁）。

この多様な利害関係者との共創に関して、パルミサーノ・レポートは伝統的な考え方が製造活動とサービスを分離して考えてきたと指摘している（Council on competitiveness, 2005, p. 41）。しかしながら、近年の企業のイノベーションは、次第に生産とサービスを不可分に結びつけるようになってきている（Council on competitiveness, 2005, p. 41）。例えば、自動車業界では、壁に激突した際の車の安全性を知るデータを得るために、一回の実験に多くのコストをかけて車を実際に壁にぶつけていたが、Leonardi (2011) で示されているように、今日ではコンピュータによるシミュレーション技術を使って、わずかなコストで安全性を得るためのデータを集めている。他方で、急速な科学技術の発展と普及により、最先端技術を使用した製品ですら急速に模倣の対象となってしまう。製品の価値を混交させ価値の階層構造を変え、収益の流れを変容させるのである（Council on competitiveness, 2005, p. 42）。そのため、製造企業は急速に製品の供給者からユーザーに対するソリューション・プロバイダーに変化し、またサービスを製品開発ラインの中に融合させている。

また、パルミサーノ・レポートでは、今日のイノベーションには、領域横断的で学際的な研究が必要であるとの言及もされている（Council on competitiveness, 2005, p. 42）。領域横断的で学際的な研究に関してパルミサーノ・レポートでは、歴史的に見ると学問的な知識の前進は、化学、生物学、物理学、数学といった個別専門的分野において研究者の個人的営為によって多く生み出されてきたが、イノベーションを継続的に起こし国際競争に勝つためには学問分野を跨いだ研究が必要であると指摘している（Council on competitiveness, 2005, p. 42）。今日ではイノベーションは個別専門的分野が交差（intersection）するところで頻繁に生じており、ナノバイオ・テクノロジー、ネットワーク科学、バイオ・インフォマティクスなど、全く新しい学問の創造を促進している（Council on competitiveness, 2005, p. 42）。

また、情報技術分野でのイノベーションは工学、物理学、化学、数学などの広範な科学分野での研究の上に打ち立てられたが、それが次第に社会科学の分野にも及んできている。ただし、領域横断的で学際的な研究を促進するには問題もある。それは単一の学問分野に特化するのか、複合的な研究をするのかという選択ではなく、領域横断的で学際的な研究を通じてイノベーションを起こすには、各専門分野における専門知識を強化することが特に重要である（Council on competitiveness, 2005, p. 42）。イノベーションの捉え方の変化は、各専門分野の先端でのコミュニケーションとコラボレーションを容易にし、学術、産業、政府橋渡しを進める新知識と学習のネットワークの構築を必要にする。もちろん、学術の世界では学際的なアプローチを追求してきたが、多分野に跨る努力は不十分であり、イノベーションを妨げる問題であると指摘している（Council on competitiveness, 2005, pp. 42-43）。領域横断的で学際的な研究から、イノベーションを継続的に起こしていくためには、各分野を統合したひとつのシステムとして捉える、イノベーション・エコシステムの考え方が必要なのである。

2.3.2 新たな規範モデルとしての連鎖モデル

本項では、リニア・モデルを批判した嚆矢であるクラインの連鎖モデルもまた、規範モデルであったことを示す。パルミサーノ・レポートで示された学祭的思考は決して新しい考え方ではない。連鎖モデルの提唱者であるクラインもまた、学際的思考を確立することが重要であると主張している (Kline, 1995, p. 4)。クラインの経歴を簡単に振り返ると、MIT の機械工学科を卒業した後に、スタンフォード大学で機械工学の教授を長年務め、ASME (American Society of Mechanical Engineers) の機械工学部門の設立や、スタンフォード大学で科学技術社会学 (Science, Technology and Society) プログラムを立ち上げ、組織論者のバーリー (Barley, S. R.) や後に共同研究者になる経済史家のローゼンバーグ (Rosenberg, N.) を招集することになる。このような経歴を持つクラインは生涯を通じて、複雑なシステムにどう取り組むかに関する研究をおこなっていた。

まず、工学者としての背景を持つクラインは、複雑なシステムを考える上で、人間の意識には、限界があることを設定している (Kline, 1995, p. 2)。次に、クラインは、システムの複雑さの尺度を確立し、その複雑さの尺度を用いてシステムの階層構造を構築する。そしてクラインは、人間の意識は限界があり、階層にある複雑なシステムをモデル化することができないと主張する (Kline, 1995, p. 2)。Kline (1995) によると、複雑なシステムをモデル化しようとする人間の試みは、単純なシステム、特に物理学が焦点をあてているような、不活性で自然に存在する物体やプロセスのモデル化に成功した方法にしか基づいていないと指摘している (P. 2)。物理学が扱うシステムは単純なシステムであり、複雑なシステムではない (Kline, 1995, p. 2)。物理学が開発したモデルは、複雑なシステムをモデル化するには不適切なのである。他方で、Kline (1995) では、複雑なシステムをモデル化するためには、物理学といった単一の学問に頼るのではなく、学際的な研究が重要性であると指摘している。

クラインが意味する学際的とは、個々の学問分野からなる学問分野を統合したシステムを構築することである (Kline, 1995, p. 4)。Kline (1995) によると、人間は、生産的ではあるが、個別具体的な狭い学問分野を作り上げてきたという (p. 4)。しかしながら、学際的な学問分野を発展させるためには、学問分野間で相互に概念を利用するべきであると主張する (Kline, 1995, p. 4)。我々人間は、個別具体的な学問分野を作り上げてきたため、実りある道を見失い、進歩を制限しているのであるとクラインは述べている (Kline, 1995, p. 4)。

クラインによると、再帰的に分割された個別具体的な学問分野は、我々人間の社会にかつてない発展をもたらしたが、それは一つの学問分野と全体との関係をあいまいにし、科学を (通常は物理学に基づく) 単一の方法として見ている (Kline, 1995, P. 1)。他方で、学際的とは、二つ以上の学問分野の融合や統合を意味しており、複数の学問分野が互いにどのように関連しているかを説明する全体的な枠組みを示唆している (Kline, 1995, p. 2)。私たちは創発性の重要性を理解しているにもかかわらず、その概念をアイデアの領域に留めてしまっているとクラインは主張する (Kline, 1995, p. 4)。つまり、学際的アプローチとは、様々な学問分野を構成要素として用いて新たなシステムを開発し、その結果生じる創発から知的

後押しを生み出そうとするものである (Kline, 1995, p. 5)。

学問における各分野は、全体のシステムではなく、各システムの適切な部分集合を扱うため、各学問分野の結果は普遍的に適用できるものではない (Kline, 1995, p. 7)。どのような真理の主張 (物理学的, 生物学的, 社会的性質) も、普遍的ではなく限定的な適用性を持っているのである (Kline, 1995, p. 7)。学問分野におけるシステムは、人間が考えている以上に複雑である (Kline, 1995, p. 7)。

ここで、クラインはシステムの複雑さの尺度 C を提示している。

$$C = V + P + L$$

V はシステムの状態を記述するのに必要な独立した変数の数である。 P はシステムを同じクラスの他のシステムと区別するために必要な独立パラメータの数である。 L はシステム内とシステムを周囲に接続する制御フィードバック・ループの数である (Kline, 1995, p. 49)。例えば、長方形の部屋の容積を表すには、高さ、幅、長さの三つのパラメータが必要である。もしそうなら、必要な変数は時間と温度の二つだけである。もし部屋にサーモスタットがあれば、フィードバック・ループは一つになる。クラインは、複雑性の定義に基づいて、表 2 に示す六つのシステムのクラスを特定する。

表 2 複雑性に基づくクラス階層

クラス	名前	例	複雑さ	カテゴリー
A	物理学、化学、簡単な工学分析のパラダイムシステム	単純な構造部材のたわみ；所定の力を受けた物質の運動	<5	単純
B	人間が設計したハードウェアのシステム	自動車、飛行機、コンピューター	$<10^6$	複雑な場合が多い
C	一人の人間		$>10^9$	一般的に非常に複雑
D	人間の社会システム		$>10^{11}$	
E	人間を含む生態系		$>10^{11}$	
F	社会技術システム	4つのタイプ (1) 製造、 (2) 使用 (例：航空機輸送、新聞、テレビネットワーク)、 (3) 流通 (4) 研究開発	$>10^{13}$	

出典：Kline, 1995, p. 52 から著者作成

複雑度 C が4と低いクラス A のシステムでさえ、完全に分析することは難しい。Kline (1995) では、非常に複雑なシステムを記述するための適切な理論を持つことは、少なくとも近い将来には望めないと述べている (p. 66)。我々人間は、クラインがヒューマン・デザイン・フィードバック (human design feedback) と呼ぶものを介して、経験に基づいて後者のシステムをデザインする (Campbell, 2011)。つまり、フィードバックによってシステムを繰り返し修正するのである。

あるシステムの複雑さが、我々が完全にモデル化できるものよりも大きい場合、我々のモデルは、不十分な数の変数とパラメータに基づいて、そのシステムの見方を提供することになる。例えば、三次元空間を二次元だけでモデル化しようとする、三次元空間の見方は平面になってしまう (Campbell, 2011)。このシステムでは、明らかに誤解を招いたり、不完全な答えが返ってきたりして、誤解を招くものと不完全なものを区別するのが難しくなる。人間を完全にモデル化することはできないため、誤解を招き、不完全な答えを与える可能性のある低次元のモデルに落ち着く (Campbell, 2011)。

表2に示されているように、システムにはその複雑性に基づく階層があり、我々人間は、たとえコンピュータの助けを借りたとしても、あるレベルを超えた複雑性を持つシステムを完全に表現することはできない (Kline, 1995, p. 52)。それゆえに、クラインが学際的思考と呼ぶ、複数の学問分野のモデルを利用することが必要になるのである。例えば、経済学、法学、工学、経営学、社会学、人文科学のような複雑なシステムを、細分化せずに扱うことはできない (Kline, 1995, p. 138)。また、市場行動学と生態学のように、ある学問分野のペアの次元が不連続である場合であっても、お互いの学問領域を参照しながら個別具体的な学問分野を発展させてきている (Kline, 1995, p. 139)。特に、生態学は様々な学問分野に参照されるだけでなく、経済学などの社会科学の研究分野の概念を参照している学際的な研究領域である (Kline, 1995, p. 139)。

この学際的な思考を基にして、クラインは新たなイノベーションのモデルを考えている。Kline (1995) によると、今日、一般的にイノベーションというと、新製品を市場に導入することであるとされていることが多いが、この定義はハードウェアのみを考慮しており、ハードウェアは複雑なシステムの変化を考慮していないと主張する (p. 179)。クラインにとってのイノベーションは、もちろん複雑なシステムを作り出すことである (Kline, 1995, p. 179)。クラインがイノベーションを論じる際に、批判対象とするのが物理学者や物理学に国家資金を投入するための規範モデルとして提唱されたリニア・モデルである (e.g., Kline, 1985)。

Kline (1985) では、リニア・モデルを技術や技能を軽視している科学至上主義として批判している。また、Kline (1995) では、ほとんどのイノベーションが物理学のような単純な科学的な基礎研究から発生するのではなく、人間の複雑なシステムから生まれると主張している (p. 183)。そして、複雑なシステムに基づくイノベーションのモデルこそがイノベーションに重要なことであり、それが連鎖モデルである (Kline, 1985; 1995)。

Kline (1985) や Kline and Rosenberg (1986) では、連鎖モデルに基づき、科学的な基礎研

究から開発プロセスが始まるリニア・モデルを科学至上主義と批判し、企業の活動からも開発プロセスが起こる可能性を見出した。Kline (1985) によると、企業の活動は、市場の発見、総括設計、詳細設計、再設計および生産、販売およびマーケティングから構成され、これらの活動は相互作用しながら企業のイノベーションが進んでいく。すなわち、連鎖モデルの特徴は、製品開発のプロセスの各段階の活動が逐次展開されるのではなく、各段階でのフィードバック・ループを通じて製品開発に関わる知識が各フェーズ間で共有され、横断的な情報の流れの中で、製品開発が行われるという点にある (Kline and Rosenberg, 1986, p. 290)。

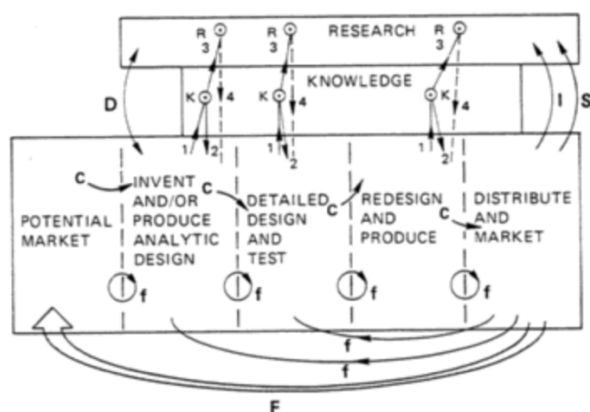


図1 連鎖モデル

出典：Kline and Rosenberg, 1986, p. 290

Kline and Rosenberg (1986) によると、連鎖モデルから導かれる最も重要な結論は、不確実性の削減である。Kline and Rosenberg (1986) によると、イノベーションは新しいものを生み出すことを意味し、新しいものには、当初は理解できず、不確実な要素が含まれていると主張している。さらに、不確実性の度合いは、ある特定のイノベーションにおいて、イノベーションの前進の量と強い相関関係がある。不確実性をほとんど含まないものから、非常に大きな不確実性を含むものまで、イノベーションの総範囲が連続的に広がっていると考えすることは非常に有益である。すなわち、イノベーションの連鎖モデルは、最終製品や生産、販売プロセスの不確実性を低減できるポイントが数多く存在することを明確に示しており、不確実性を削減することにより、国家からの補助金やコンソーシアムからの援助を受けやすくなる可能性がある (Kline and Rosenberg, 1986, p. 294)。

Kline (1985) を嚆矢として、リニア・モデルを批判するための議論が活発化する (e.g., Dosi, 1988; Rosenberg, 1994)。例えば、Dosi (1988) もイノベーションのリニア・モデルを以下の三点から批判している。第一に、リニア・モデルは市場に対し受け身で機械的な対応であること、第二に、ある科学的な基礎研究が開発されたとき、なぜ他の科学科学的な基礎研究ではなく、その科学的な基礎研究が選択され、またその時期に開発されたのかを説明できないこと、第三に、市場の変化に全く関係しない科学科学的な基礎研究の発明による変化を無視

しているということである。こうしたことから、Dosi (1978) では、科学的な基礎研究を起点としたリニア・モデルでは、市場ニーズがイノベーションの主要な要因であることを説明できていないと主張する。

こうした連鎖モデルは、一見すると科学的な基礎研究を軽視したモデルであると捉えられるかもしれない。しかしながら、もちろんリニア・モデルを批判してきた研究者たちは科学的な基礎研究を軽視したわけでも、全面的に批判したわけでもない。Kline and Rosenberg (1986) によると、イノベーションのプロセスでは、科学的な基礎研究が、イノベーション全体のコストと時間の要件に強く影響することを認識することも重要であると主張している (p. 295)。イノベーションのプロセスの最も初期の段階では、科学における作業は記述的なものであり、次の段階では、作業は分類学的なものとなり、その後、作業は一般化規則や仮説の形成へと移行し、最終的には、科学によって予測モデルの構築へと移行する (Kline and Rosenberg, 1986, p. 295)。今日の力学や古典的電磁気学のように、予測段階にある科学的な基礎研究は、分析的設計や発明の目的で、当業者であれば誰でもすぐに利用できる。しかしながら、革新的な仕事を導く上で非常に重要であることに変わりはない。科学的な基礎研究の状態が、目下の特定の問題に関して予測可能な段階にない場合、イノベーションの開発は、失敗しても調整しながら成功するまで繰り返し挑むという、はるかに長く、コストがかかる不確実なプロセスによって行わざるを得ない (Kline and Rosenberg, 1986, p. 295)。

例えば、科学的な基礎研究の欠如の結果、開発コストが非常に高くなり、リードタイムが長くなり (例えば、ジェットエンジンの新型モデルの燃焼空間)、設計者側が強く合理的な保守主義になることもある (Kline and Rosenberg, 1986, p. 295)。このような意味で、技術の専門家が経営者に対して科学的な基礎研究の知識を明らかにすることは重要である (Kline and Rosenberg, 1986, p. 295)。しかし、1980 年代のハイテク産業には、科学的な基礎研究から得られる指針が限られていたために、技術水準を向上させようとする試みに時間がかかり、費用もかさむ重要な部分が依然として残っている (Kline and Rosenberg, 1986, p. 295)。

また、1985 年代の合成燃料の開発は、様々な形態の石炭における酸化反応の詳細に関する科学的無知によって、著しく妨げられており、航空機や蒸気タービンの設計は、いずれも乱流に関する優れた科学的な基礎研究の理論の欠如により妨げられていると指摘する (Kline and Rosenberg, 1986, p. 295)。航空機の場合、風洞試験は実際の飛行性能を予測するという点で、まだかなりの誤差がある。実際、航空機の開発コストが高いのは、特定の新しい設計や素材の性能を決定する際に、科学的な基礎研究に重きを置くことができないからにはほかならない。これらの議論は、企業が、自社製品の基礎となる分野をカバーする科学的な基礎研究を維持する確かな理由となる (Kline and Rosenberg, 1986, p. 295)。なぜならば、科学的な基礎研究の成果自体が長期的に有用な結果を生み出すからだけでなく、世界的な科学的な基礎研究の進歩に関する社内の知識が観察され、理解され、組織内の開発プロジェクトで利用できるようになるからである (Kline and Rosenberg, 1986, p. 295)。

このように、クラインは決して科学的な基礎研究を軽視したわけではなかった。それでは、

なぜ、クラインはリニア・モデルを科学市場主義として批判したのだろうか。あくまでも、クラインが批判したのは、物理学へ国家資金を投入するための規範モデルとしてのリニア・モデルであった (Kline, 1995)。そのため、Kline (1995) では、物理学への批判が見られる。Kline (1995) によると、物理学の世界では、ニュートン (Newton, A.), ガリレオ (Galilei, G.) 的な見方から量子力学へとモデルを変えたが、物理学者たちはランダムな確率論的考え方となった自分たちのモデルを、唯一絶対のモデルだと仮定し続けたのである (p. 216)。この仮定は、深刻な過大評価であり、100 年以上もの間、学問の世界を歪め、学問分野間の関係を混乱させてきた (Kline, 1995, p. 217)。また、物理学は人間の情報を持たない単純なシステムに限定している (Kline, 1995, p. 225)。Kline (1995) では、人間の情報は物理学の方程式によって記述されるものではないし、記述されるべきではないと指摘している (p. 230)。

他方で、Kline (1995) では物理学の研究に変わり、連鎖モデルの提唱を通じてシステム研究および工学研究の重要性を主張している。Kline (1985) によると、システム研究および工学研究は、アメリカの研究開発全体において、注目されてこなかったように思われると主張している。アメリカの科学政策に関する国家的な議論において、これらの研究が明示的に議論されたり、考慮されることはあまりなかった (Kline, 1985)。研究資金はこれらの分野に有利に配分されず、アメリカ国家に対する科学政策の助言も、システム研究および工学研究に関連するニーズは十分に受け入れられてこなかったのである。その結果、大学での研究は、資金援助が受けられることを行うだけで、プロセス研究や工学研究は他の分野に比べて軽視されてきた。こうしたことの軽視が、システム研究や工学研究の教育を受けた新しい技術労働者の数を減らしており、アメリカ国家の衰退を招いているのである (Kline, 1985)。

そのため、Kline (1985) では、システム研究および工学研究における研究資金と教育に関する政策の再考が必要であると指摘している。確かに、第二次世界大戦以降、アメリカ政府は、科学的な基礎研究の支援に多額の資金を投入してきた。しかしながら、アメリカ国家の支援は物理学を中心とした科学的基礎研究への支援であり、システム研究や工学研究にはほとんど投入されてこなかった (Kline, 1995, p. 145)。そのため、Kline (1995) では、アメリカ国家として継続的にイノベーションを起こしていくためには、イノベーションのプロセス全体への投資が必要であると指摘している。このことは、連鎖モデルでいうところの市場の発見、総括設計、詳細設計、再設計および生産、販売およびマーケティングを担う企業への投資が必要であることを指摘している (Kline, 1995, p. 145)。そう考えると、連鎖モデルはイノベーションのプロセスを単なる記述したモデルではなく、イノベーション全体に国家の予算を投資するための規範モデルであり、リニア・モデルを原型として変奏したモデルでしかないのである (桑田, 2019)。クライン自身もその課題を十分に承知しており、イノベーションのプロセス全体を考慮し、新たな規範となるイノベーションのモデルを考えるためには、工学研究も重要ではあるが、複雑なシステムを扱うための学際的研究がヒントとしている生態学的なアプローチが重要になると指摘している (Kline, 1995, p. 145)。

2.3.3 新たなイノベーション・モデルとしてのイノベーション・エコシステム

クラインの考えはパルミサーノ・レポートにも反映されており、パルミサーノ・レポートもまた、新たなイノベーションの規範モデルとして、生態学の考えに基づき、イノベーション・エコシステムを提示している。パルミサーノ・レポートは *Innovate America* というタイトルが示す通り、今日のイノベーションに関する提言をしており、イノベーションがアメリカの生命線であると述べている。したがって、「アメリカがイノベーションをやめれば、アメリカではなくなる」と断言している (Council on competitiveness, 2005, p. 9)。以下では改めて、生態学の考えに基づいたパルミサーノ・レポートが提示するイノベーションの考え方に関して検討する。

パルミサーノ・レポートにおけるイノベーションとは、自然的にかつ機械的に起こるものではなく、経済的、社会的、技術的、物的な構成要素の多面的かつ継続的な相互作用と不断の営為によって起こる一つのエコシステムであると指摘している (Council on competitiveness, 2005, p. 46)。Council on competitiveness (2005) によると、イノベーション・エコシステムとは、持続的にアメリカの国際競争力を維持するためのイノベーションの規範モデルであるが、それは投入される供給要素ばかりでなく、市場の需要条件や政策環境や国家インフラといった外部要件をも合わせ持った、全体的かつ有機的なものであると指摘している (pp. 46-47)。Council on competitiveness (2005) によると、イノベーションをイノベーション・エコシステムとして一つの生態系として考えるこの見方は (図2を参照)、イノベーションが実際の過程に即して柔軟かつ総合的に発展していく運動体とも考えていて、極めて現実的なモデルになっている (p. 47)。

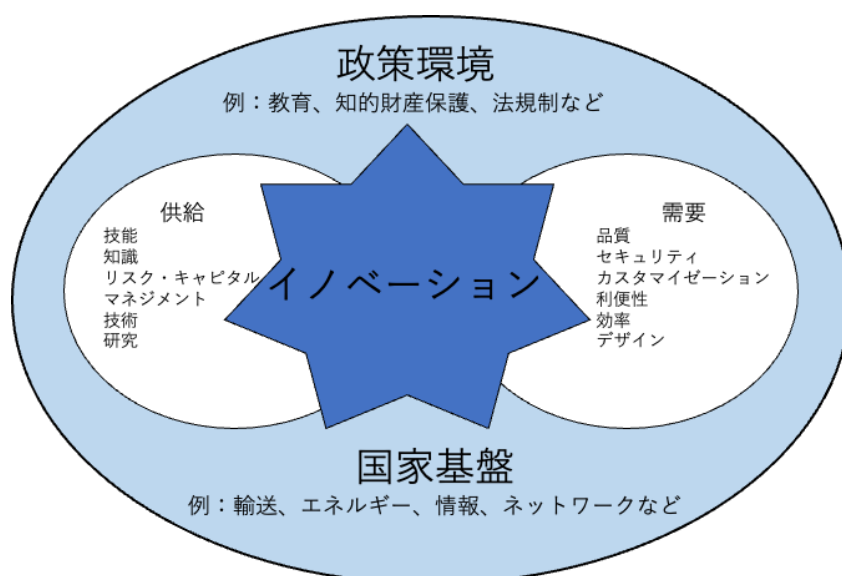


図2 Innovate America によるイノベーション・エコシステム

出典：Council on competitiveness, 2005, p. 47 より筆者作成

パルミサーノ・レポートに示されたイノベーション・エコシステムは、供給と需要の交わる場においてイノベーションが生じると定義しており、研究から商業化の流れの中のいずれかの地点において生じるという従来の発想を前提としながらも、全ての知的活動においてそれが生じるという意味においてイノベーションを検討することを可能としている（Council on competitiveness, 2005, p. 46）。パルミサーノ・レポートで提示されているイノベーション・エコシステムでは、供給側よりも需要側に注目している。従来の供給側を中心としたイノベーションの論議から、ニーズに着目した論議は近年多く行われているが、パルミサーノ・レポートでは幅広い政策提言を行う中でイノベーションの発生における需要側の問題について整理を行っている。

このようにイノベーションを新しく、柔軟に、包括的に解釈して、それをイノベーション・エコシステムとして、社会的な総体の中に位置づけたのが *Innovate America* で注目する点である。また、イノベーション・エコシステムとしてのイノベーションは、イノベーションを分類したり、あるいは基礎、応用、開発、商業化というように形式上分けたりといった、従来の機械的で静態的な分類法を改めて考え直すものである（関下, 2010）。すなわちイノベーションを生み出す要素に立ち入り、双方向性をもったものとして柔軟に扱い、またそれが相互運用を通じた集团的、共同的営為の産物として、共創されるものだとしているのは、21世紀におけるイノベーションをめぐる状況の変化に対応していて、イノベーション概念を新たな段階にまで引き上げたのである（関下, 2010）。

具体的には、パルミサーノ・レポートで示されたイノベーション・エコシステムは、ユーザーと生産者の双方向性の関係に関して、相互に転化することでイノベーションが起こる契機になりうるという指摘がなされている（Council on competitiveness, 2005, p. 46）。事実、生産者がユーザーになり、ユーザーもまた生産者になることによって、消費者の満足がいくイノベーションが産み出され、イノベーションを加速させている。この点で、Council on competitiveness（2005）は、ユーザー・イノベーションとは異なっていると述べている（p. 46）。しかしながら、そうした結果、一体誰が全体の生産を統御し、その方向の指令を行っていくのかという疑問も残る。パルミサーノ・レポートでは、それを自明の理として生産者サイドにおいたままであるという指摘もある（関下, 2010, 122 頁）。それほどに現実には生産ならびに販売を担う生産者サイドの力は巨大であり、ユーザー側は事実上片隅に追いやりられ、生産者活動の補完的な役割を果たすに過ぎない（関下, 2010, 122 頁）。

他方で、生産と消費を単に対立的な契機として捉えるのではなく、相互に転化可能なものとして、共生できる存在として捉えれば、そこには従来想定されてきた関係とは異なった方向性が見えてくる。実際には、ユーザー側の力が大きかったとしても、それが生産者活動に反映されなければ、イノベーションは実際には進まない。生産者側の過剰なパワーの行使をどう制御できるかといった課題が突きつけられてくる。それには、受動的な立場に追いやりしがちな弱いユーザーの声を拾い上げ、イノベーションを起こしていく上で果たすべき、政府や自治体などの協力者の役割が大事になる。もちろん、パルミサーノ・レポートによる生

産者とユーザーの関係性は、生産者とユーザーのイノベーションの双方向性をもたらし、その共創を生み出さなければならないと指摘している（Council on competitiveness, 2005, p. 40）。また、時間と空間の分離を克服し、時間短縮と空間圧縮を図らなければならない。それらの意味するものは、イノベーションを特定のアクターが起こす時代から、多様なアクターがイノベーションを起こすイノベーター立国（nation of innovators）の時代へと転換する可能性を示していることでもある（Council on competitiveness, 2005, p. 40）。

また、領域横断的で学際的な研究に関して（Council on competitiveness, 2005, p. 46）、確かに、学問が多数の分野に跨るところから、多原理で、複合的で、総合的になっていくのは、それ自体としては認められる。しかし、それによって、自立化できるかどうかは、学問自体における科学的な研鑽と実証が必要であるばかりではなく、実践レベルにおいても、領域横断的で学際的な研究が有用かつ有効であることが証明されなければならない（関下, 2010, 123 頁）。こうしたことが証明されるまでには、かなりの時間が必要であり、早急には結論を出すことはできなく、結論を急ごうとしてしまえば、実際に有用かつ有効な研究であったとしても有用かつ有効ではないと考えられてしまうこともある（関下, 2010, 123 頁）。

その意味では学問が多分野に跨って複合的になり、多原理的、多元的になることを目指すのではなく、既存の学問分野の裂け目や境界線を問う学際的な研究を目指すべきであり、イノベーション・エコシステムとして目指すべきは学際的な研究であるといえる（関下, 2010, 123 頁）。学際的な学問領域は当然に多原理的、多元的になり、やがてはマルチディプリナリーになるが、その上でディシプリン間の位置関係を決めなければ、体系的で総合的な学問分野にはならずならず、それ固有の本来の位置付けもできない（関下, 2010, 123 頁）。したがって、いつまでも現実を再構成できなくなる。それは、供給サイドである科学や学術が先に来て需要サイドがそれを追従するというリニア・モデルの考え方でもなければ、需要サイドが最初に来て、科学や学術がそれに追従するというユーザー・イノベーション的な考え方でもない。双方からの付き合い合わせが必要になる（Council on competitiveness, 2005）。

このように、2004 年に提出されたパルミサーノ・レポートでは、継続的にイノベーションを起こしていくためには、科学的な基礎研究を切り離すことなく、新たな規範となるイノベーションのモデルを考えなければならないと主張し、イノベーション・エコシステムを提唱した（Council on competitiveness, 2005, p. 19）。今日では、企業も積極的に科学的な基礎研究に関わり、他方で、大学などの専門的な研究機関もまた社会実装を踏まえた研究が求められるようになっていく、高度に科学技術が発展した現代社会であるため（Council on competitiveness, 2005, p. 19）、新たな規範となるイノベーションのモデルとしてイノベーション・エコシステムを考える必要があったのである。

また、*Innovate America* で示されたイノベーション・エコシステムという新たなイノベーションのモデルは、日本の科学技術政策でも参考にされている。2016 年に打ち出された Society5.0 におけるイノベーションは、自然環境問題から社会的課題の解決をカバーする大規模なイノベーション・エコシステムの形成を目指すものとされている。例えば、日本の第

5 次科学技術基本計画では、「科学技術駆動型のイノベーションは、科学的な基礎研究、発明、研究開発、製品化、市場投入、量産化に至るまでの一連のプロセスにおいて、科学的な基礎研究の成果をイノベーションにスムーズに連結する必要がある。そのためには、関連する各機関が各々の特徴を活かして活動することが重要であり、生物学における生態系のように、それぞれの利害関係者が相互に関与してイノベーション創出を加速するシステムを構築していくことおよびそれに資するイノベーション牽引構造の見える化の強化が必要である」（文部科学省産学連携推進委員会, 2011, 11 頁）とされている。

この定義を見ると、結局のところ、科学技術に端を発し、企業による製品開発、そして社会的変革へと線形的につながるイノベーション・マネジメントを論じたリニア・モデルとなんら変わらないといいたいくなる。しかしながら、独立行政法人科学技術振興機構研究開発戦略センター（2009）では「イノベーションの関与者である大学・研究機関、民間企業（特にベンチャー企業）、投資家、消費者、政府等が、社会的環境の中で自律的に活動し、かつ相互作用することを通じてイノベーションが達成される。イノベーションを起こす社会システムは固定されたものではなく、常に変化・進化する柔軟なものである」（11 頁）とされている。換言すれば、リニア・モデルとは異なるマネジメントの実践を導き出すための規範モデルとして、イノベーション・エコシステムという概念が必要になったのである。すなわち、本節で注目してきたイノベーション・エコシステムは、規範モデルであり、自然環境に対する課題解決という物的な存在を含んだ政策的提言であった。

続く第3章では、改めて生態学を参照して論じられてきたイノベーション・エコシステムに注目し、分析枠組みとするために検討していく。ただし、イノベーション・マネジメント研究におけるエコシステム概念だけをレビューするわけではない。イノベーション・マネジメント研究におけるエコシステム概念は、生態学を援用したイノベーション・マネジメント研究の蓄積もとで登場してきたからである。そのため、まず、第3章では、広く生態学を援用したイノベーション・マネジメント研究のレビューをしていく。

次に、イノベーション・マネジメント研究における記述モデルとしてのエコシステム概念を分析枠組みとして刷新していくために、生態学の起源に遡り検討する。いうまでもなく、エコシステム概念は生態学を起源とした概念である。イノベーション・マネジメント研究において論じられているエコシステム概念は、生態学を起源とするエコシステム概念をアナロジーとしてしか利用していないため、生態学で論じられてきたエコシステム概念の含意とは大きくかけ離れているからである。続く、第3章では生態学に起源を遡りながら、イノベーション・エコシステム概念を刷新し、今日の科学技術イノベーションを分析するための枠組みを提示していく。

第3章 イノベーション・マネジメント研究と生態学

前章では、アメリカを中心とした科学技術政策のもと、MOTの中心的な概念が規範モデルとして利用され、いかにして規範モデルとしてのイノベーション・エコシステムが注目されてきたのかを検討してきた。対して本章では、記述モデルとしてのエコシステム概念を検討していく。記述モデルとしてのエコシステム概念は、広く生態学を援用したイノベーション・マネジメント研究の蓄積によって登場してきた概念である。そのため、本章では広く生態学を援用したイノベーション・マネジメントの研究をレビューすることにより、イノベーション・マネジメント研究においてエコシステム概念がいかにして登場し、記述モデルとして利用されてきたのかを検討する。

本研究の立場を先に示しておく、イノベーション・マネジメント研究におけるイノベーション・エコシステム概念は、生態学におけるエコシステム概念をアナロジーとしてしか利用していない⁵。そのため、本研究はイノベーション・エコシステム概念の刷新を試みる。具体的には、生態学のエコシステムの起源にまで遡り、既存のイノベーション・マネジメント研究におけるエコシステム概念の批判点が妥当であるのかを確認し、記述モデルとしてのイノベーション・エコシステムを、改めて物的な存在に向き合う、サイエンスの実践を含んだ科学技術イノベーションを論じるための分析枠組みへと刷新する。

経営学において生態学を援用したイノベーション・マネジメント研究は、ポスト・ダーウィニズムから生まれてきた。ダーウィニズムとは、突然変異と保持のメカニズムをアナロジーとして、市場の淘汰によって優れた人や社会が残るという発想であり、社会ダーウィニズムは思想としても批判されてきた (Burrell and Morgan, 1979, 邦訳 91 頁)。それゆえ、生態学を援用したイノベーション・マネジメント研究は、ダーウィニズム以降の概念が参照されてきたといっても良い。そして、ダーウィニズムとの対比でいうならば、主体の遺伝を強調するラマルク主義的進化論が注目を集めてきた。その意味では、経営学における進化論は、主体によるイノベーションを説明する理論として括られる。

第一に、ラマルク (Lamarck, J. B.) の進化論を参照し、組織の進化を論じる進化経済学の研究を検討していく。この進化経済学の研究において、Nelson and Winter (1974) を始め、多くの研究者がダーウィニズムを否定的に捉え、自らの研究をラマルク主義的進化論であると主張している。Nelson and Winter (1974) を中心としてダーウィニズムを否定的に捉えるのは、ダーウィニズムが偶然性を仮定しており、進化を環境による淘汰 (selection) の結果と見なすため、組織の進化の中心である、学習過程の側面を見落としているからである。

⁵ そもそも、広く経営学は、生態学のメタファーを多く用いてきた学問である。古くは、日本の経営学が誕生する際に参照していたドイツ経営学でも、経済学との学問的差別化の根拠として有機体論

(organicism) が中心概念となっていた (田中, 2012)。その後のアメリカを中心とした経営学でも、組織が中心的概念となるわけだが (e.g., Barnard, 1938)、いうまでもなく組織は生態学における生命体のメタファーから来ている。このように経営学では多くの生態学の概念を援用しているものの、アナロジーとしてしか利用されていないのも事実であろう。

そのため、イノベーション・マネジメント研究、ひいては社会科学において進化論を援用する研究は、適応的な学習と、その結果である遺伝を扱うことのできる、ラマルク主義的進化論によって分析されなければならないと指摘する (Nelson and Winter, 1974)。しかしながら、これらの主張は、ダーウィニズムに対する、そしてラマルク主義的進化論に対する誤解によるものである。このように進化経済学では、環境による淘汰を中心としたダーウィニズムと遺伝を中心としたラマルク主義の対立が見られるが、本研究では進化経済学の研究が根源的には環境による淘汰を中心としたダーウィニズムに括られることを示していく。

第二に、Nelson and Winter (1974) とは別の観点から進化論に注目した、Hannan and Freeman (1977) の研究を検討していく。彼らは、個体群生態学 (population ecology) を援用した組織の個体群生態学である。Hannan and Freeman (1977) は、企業群を分析単位としており、企業群の変化は、変異 (variation) の創造、形態の淘汰、形態の保持 (retention) という三つの段階で説明する。こうした考え方は、ダーウィニズムとも読み取られることもあるが、彼らが強調している淘汰プロセスは、企業が直面する環境に、自然環境にはない社会的な制度的環境を含んでおり、ダーウィニズムに収まらない知見を見過ごしてはならない。

第三に、Hannan and Freeman (1977) の議論を発展させた、Aldrich (1999) の組織生態学を検討する。Aldrich (1999) は、変異 (イノベーター組織の出現)、淘汰 (変異の選択・死滅)、保持 (再生産者組織による個体の出現) からなる進化論プロセスを論じているものの、社会ダーウィニズムや予定調和的なステージ・モデルを痛烈に批判する。彼が援用した生態学は、群集生態学 (community ecology) であり、進化論や個体群生態学を援用したイノベーション・マネジメント研究とは異なる含意に注目したい。

第四に、イノベーション・マネジメント研究におけるエコシステム概念を検討していく。イノベーション・マネジメント研究におけるエコシステム概念は一般的に群集生態学を参照した概念として知られている (e.g., Moore, 1993)。今日のイノベーション・マネジメント研究におけるエコシステム概念は多岐にわたるが、誤解を恐れずにその共通点をまとめると、産業界における企業間の競争や多様な利害関係者との戦略的提携に注目してきており、すでに形成されたエコシステムで、中心となる企業とその利害関係者をひとつの企業群として分析し、それぞれの役割を明らかにしていくという意味では、結果論でしかないといえよう。また、イノベーション・マネジメント研究におけるエコシステム概念は、物的な存在を見逃しているという批判もある。本研究では、こうした批判が妥当であるかを確かめることも含め、生態学におけるエコシステムの起源に遡り、イノベーション・マネジメント研究におけるエコシステム概念が見落としている含意を明らかにしていく。

表3 イノベーション・マネジメント研究と生態学の関係性

生態学を援用したイノベーション・マネジメント研究	主要な研究者	関連する生態学	論点
進化経済学	Nelson and Winter	ラマルク主義的進化論 獲得形質の遺伝	進化経済学は、ダーウィニズムが偶然性を仮定しており、進化を環境による淘汰の結果と見なすため、組織の進化の中心である、学習過程の側面を見落としている否定し、適応的な学習と、その結果である遺伝を扱うラマルク主義的進化論の立場をとる。
組織の個体群生態学	Hanann and Freeman	個体群生態学 ある空間で支配的な個体群を構成する個体の分布や数の変動に注目	企業群の変化を形態の保持、変異の創造、形態の淘汰という3つの段階で説明し、企業が直面する環境に、自然環境にはない社会的な制度的環境を含んでおり、社会ダーウィニズムには収まらない知見が示されている。
組織生態学	Aldrich	群集生態学 個体群間の相互作用すなわちコミュニティの構造や動態に注目	変異（イノベーター組織の出現）、淘汰（変異の選択・死滅）、保持（再生産者組織による個体の出現）からなる進化論プロセスを論じているものの、社会ダーウィニズムや予定調和的なステージ・モデルを痛烈に批判する。
経営学におけるエコシステム概念	Moore, Iansity and Levinn, Adner	エコシステム 特定の地域に生息する生物と非生物要素を含んだ生活環境全体を一つのシステムと捉える	産業界における企業間の競争や多様な利害関係者との戦略的提携に注目してきた。

第五に、イノベーション・エコシステムの異種混浴デザインを論じるための手がかりとして、本研究では組織間ドメイン概念、ANT、さらにはANTと理論的な関心を共有している先行研究である、鱗状の重なり概念とMAISアプローチを検討する。これら概念を参照することにより、イノベーション・エコシステム概念を刷新し、本研究独自の分析枠組みを提示していく。

3.1 イノベーションの進化経済学

1980年代以降、進化論の観点から組織の進化のプロセスに関する研究が注目を集めている。この中で主流となっているのは、Nelson and Winter（1974）による進化経済学的アプローチである。これらのアプローチでは、組織の進化に対する研究が行われている。進化経済学の研究では、ダーウィニズムが組織の研究に適用可能であるかという問題意識から始まっている。

進化経済学の研究における嚆矢であるNelson and Winter（1974）によると、組織の進化は、ダーウィニズムを援用した単なる自然選択の結果ではなく、意図的な行動や適応的な学習の結果であるという主張をしている。そのため、ダーウィニズムのアプローチよりも、適応的な学習を中心とするラマルク主義的進化論が適切であるとされてきた。そのため、1982年

より前の彼らの研究は、ラマルク主義的進化論の立場を取っている (Nelson and Winter, 1974). しかしながら、生態学の領域で見れば、ラマルク主義的進化論は、究極的にはダーウィニズムに括られるという意味で、その論理性に疑問が持たれている (大堀, 2008). そのため、進化経済学の研究領域でも、ラマルク主義的進化論を援用した研究が組織の進化を分析する際に有効とされるのかは大きな問題となっている (渡部, 2000). 組織の進化を捉える際、ダーウィニズムとラマルク主義的進化論の違いを理解することは非常に重要である.

Nelson and Winter (1982) は、進化経済学のアプローチの中核的な観点として、組織の進化プロセスには、ダーウィニズムによる盲目的進化とラマルク主義的進化論の目的指向的進化が組み合わされていると指摘する (邦訳, 11 頁). ただし、Nelson and Winter (1974) は、ダーウィニズムの自然淘汰よりも、ラマルク主義的進化論の意図的な学習過程を通じて、組織が進化しているとの立場を取る (p. 892). この観点は、組織の進化プロセスの核心として学習を中心に据えるものである. Nelson and Winter (1974) によると、社会的な文脈における組織は、獲得特性の遺伝 (genetics) が可能であり、そのため、組織の進化はラマルク主義的進化論の特性を有すると指摘しており、人間の行動には目的意識と創造性が存在するため、それは遺伝子によってプログラムされたダーウィニズムとは異なり、ラマルク主義的進化論の特徴を持つと主張している (p. 892).

その上で、Nelson and Winter (1974) は、人間の行動や組織の進化が目標指向的な模倣や学習を通じて生じるという視点を中心に据えている. この模倣や学習のプロセスが、ラマルク主義の中心的な考えである用不用説や獲得形質 (acquired characteristics) 遺伝の概念につながるのである. ただし、組織の進化を単純にラマルク主義と結びつけることには問題がある. それは、ラマルク主義とダーウィン主義の違いは何であるのかということである.

ラマルク主義的進化論の中心である獲得形質の遺伝の問題、すなわち、前世代の生物が学習してきた結果が次世代の生物に引き継がれ得るかどうかが中心になると指摘している. ラマルク主義的進化論では獲得形質を認めているが、他方で、ダーウィニズムは獲得形質の遺伝を否定し、自然淘汰による進化のみを主張している. しかしながら、この見解は、ダーウィンやラマルクの提示した問題でないことは、広く知られている (渡部, 2000, 37 頁).

実際、Nelson and Winter (1974) が主張しているダーウィニズムは、ダーウィン以降、19 世紀後半になって、ダーウィニズムを修正し、獲得形質の遺伝を否定する生殖質の連続理論を発展させた、新ダーウィニズムである. 対して、進化論経済学の研究者が論じているラマルク主義的進化論とは、その時、新ダーウィニズムと対立して、獲得形質の遺伝を主張した新ラマルク主義的進化論に他ならない (渡部, 2000, 37 頁). こうしたことから、獲得形質の遺伝を批判した Nelson and Winter (1974) は、正確には新ダーウィン主義と新ラマルク主義の対立を念頭に置いているといえる. 確かに、獲得形質の遺伝は、ダーウィニズムとラマルク主義的進化論を分類するには重要な一つの問題ではある. しかしながら、この点だけで、ダーウィニズムとラマルク主義的進化論を分類することは、進化論の持つ基本的な相違を見落としている (大堀, 2008).

渡部（2000）では、ダーウィニズムとラマルク主義的進化論の基本的相違を以下に求めている。ダーウィニズムでは、進化の方向は前もって決まっておらず、突然変異の中で、結果的に環境に適応したものが残っていくと仮定されている（渡部, 2000, 38 頁）。他方で、ラマルク主義的進化論では、自然に内在する秩序によって、生命は前進的により高い段階に進化すると仮定される。それぞれの理論的な関心として、ダーウィニズムが、自然による淘汰を、ラマルク主義的進化論が、内在的な秩序の力による連続的進化をとる（渡部, 2000, 38 頁）。こうしたことから、ダーウィニズムでは、時間の経過により、生物の種は突然変異し、多くの枝分かれしてきたという基本仮定からもたらされたものである。それに対してラマルク主義的進化論では、現存する多様な生物の種は、異なる時期に発生した生物種が、独立に進化した結果であり、一つの共通する種に由来するものではないとされる（渡部, 2000, 38 頁）。

したがって、ラマルク主義的進化論によれば、生物の種は単純な種から複雑な種へと至る、直線の上に序列化できると考えるのである（渡部, 2000, 38 頁）。しかしながら、ラマルク主義的進化論では、単純な種から中間段階にある多様な種が、現実中存在しているという現状を説明できないという問題点がある。ラマルク主義的進化論のこうした問題点を解決するためには、多様な生物の形態は、別々の時期に誕生した最も単純なものが、環境による自然淘汰の結果、生き残り、個別に進化した結果としてもたらされたものであると説明しなければならない。このようなことを前提とすると、ラマルク主義的進化論もダーウィニズムとして根源的には括られることになる（渡部, 2000, 38 頁）。

ここで改めて、進化経済学者による研究を振り返ってみると、進化経済学における研究がダーウィニズムの立場であることが指摘できる。まず、Nelson and Winter (1982) 以外にも、第2章で検討してきた連鎖モデルの提唱者であるクラインの共同研究者でもあるローゼンバーグは、イノベーションのリニア・モデルを批判するためにダーウィニズムの立場から、技術発展の方向性を説明している（Rosenberg, 1969）。Rosenberg (1969) が指摘したことは、技術不均衡（technical disequilibria）による技術発展の誘引メカニズムであった。技術は、特定の問題解決に向けて機能するうえで、システムを構成する。この技術システム内において相互依存関係にある要素間で不均衡が生じると、機能不全が生じる。この不均衡状態は、技術システムを利用する主体によって課題として認識されることで、主体の注意やその課題解決に向けた資源投入を促す焦点化装置（focusing devices）として機能すると主張する。

さらに Rosenberg (1969) では、複数の要素技術が密接に関係しており、その技術システムが変化するという技術感を提供した。彼は技術がシステムであり、相互補完的であるがゆえに、一つのサブシステムの進化が他のサブシステムの進化を誘発するというメカニズムを提示したのである（Rosenberg, 1969）。そこで想定されている技術システムとは、個別の要素技術感に序列はなく、それぞれが同等の視覚で連結されているものである。そのような状況設定のもとでは、システム全体が進歩したとしても、要素技術が連結するインターフェイスさえ適合させることができれば、新たな技術システムへ参加することが理論的に可能であるということが指摘されている（Rosenberg, 1969）。

Rosenberg (1969) の議論を引き継ぎ、ラマルク主義的進化論を提唱していたネルソンとウィンターもまた 1982 年以降は、市場の淘汰を中心に議論を展開し、暗に自らの立場をダーウィニズムであると位置付けている (Nelson and Winter, 1982). Nelson and Winter (1982) では、技術開発の場合、技術はある軌道に沿って進化を遂げていると主張している。彼らは、その起動のことを自然軌道 (natural trajectory) と呼んでいる。Nelson and Winter (1982) によると、企業の研究開発には多様な発展経路が存在し、企業による選択と市場による淘汰により最終的な方向性が決まると指摘している。こうしたことから、Nelson and Winter (1982) は、直接的に明言することはないものの、1982 年以降、自らの研究の立場がダーウィニズムを援用した研究であるとして位置付けている。

Nelson and Winter (1982) の研究をさらに発展的に論じたのが、Dosi (1988) である。Dosi (1988) は、Kuhn (1962) による科学の発展理論を技術に適用し、技術の発展パターンを定式化した。彼は、技術の問題とそれに対する解法の一連のパターンを技術パラダイムと称した。彼の関心は、新しい技術がどのように選択され、発展するのかという問題に向けられた。Dosi (1988) によれば、経済的な力 (economic forces) が最終的な淘汰装置を果たすことで、特定の技術パラダイムだけが残される。技術パラダイムは、技術変化の方向を示す。そのため、ある技術パラダイムの下では、技術は定まった軌跡に沿って発展するのと指摘している。こうしかことから、Rosenberg (1969)、Nelson and Winter (1982)、Dosi (1988) などを中心とした進化経済学の研究は、企業のイノベーションは科学研究に方向付けられるのではなく、企業による選択と市場による淘汰によって方向付けられるという、ダーウィニズムの立場に位置付けられるのである。

3.2 個体群生態学としての組織の個体群生態学

前説で検討してきた Nelson and Winter (1974) と別の角度から進化論に注目した研究が、Hannan and Freeman (1977) の組織の個体群生態学である。近年では、組織生態学とも呼ばれることがあるが、ハナン (Hannan, M. T.) とフリーマン (Freeman, J.) の論文タイトル “Population Ecology of Organization” からも明らかなように (Hannan and Freeman, 1977)、本来は組織の個体群生態学であり、彼らが参照した生態学の概念は個体群生態学である。本節では、生態学における個体群生態学を援用した Hannan and Freeman (1977) の組織の個体群生態学の研究を検討していきたい。

そもそも、個体群生態学は、個別の生物種を捉えるのではなく、ある限られた空間に生息する生物個体の集合としての個体群に注目し、個体群を構成する個体の分布や数の変動を分析する研究分野である。個体群生態学が誕生した歴史は古く、1798 年にまで遡らなければならない。経済学の研究分野でも有名なマルサス (Malthus, T. R.) は、その著書『人口の原理』で、原則人口は、制限せられなければ、幾何級数的に増加するという考え方を示した。マルサスは、生活資料は算術級数的にしか増加しないと述べており、人口という一つの群集を捉えた存在の動きを表したものであり、ここから個体群に注目した研究が始まったので

ある。

20 世紀に入ると個体群生態学の研究が大きく注目されることになる。Pearl (1921) によると、個体群の成長は、生物自体の増殖能力と環境の作用とが合致した結果として生まれるものであると指摘している。Pearl (1921) が注目していたのは、生物の個体群の成長パターンの研究であり、個体群の環境収容力（生物の個体数が増えるにしたがって、次第に環境の抵抗が大きくなり、個体数の増え方は少なくなり、ある一定の個体数に至って増加率は停止する現象）と密度依存現象（ある地域に棲む生物の個体群は、数が増えれば、増殖力に制約が加わり、それが次第に強くなり、ついに成長が止まるという現象）を、数理モデルを利用することにより分析し、その解析を進めていた。

すなわち、ある限られた空間に生息する一種類の生物個体の集合である個体群に注目し、個体群を構成する個体の分布や数の変動に注目し、数理モデルにして表す研究が個体群生態学なのである。個体群生態学で、最も利用されている数理モデルは、ロジスティック式である。ロジスティック式とは、ある単一の生物が特定の空間内で増殖するような時に、その生物の個体数の変動を予測するための数理モデルである。その他にも、個体群密度や死亡率、個体群の歳構成などを予測するための数理モデルが、今なお開発されており、そうした数理モデルを利用し、個体群の分布や行動を分析している。

ここで改めて Hannan and Freeman (1977) 振り返ってみると、彼らもまた企業群を分析単位とし、企業群の変化を形態の保持、変異の創造、形態の淘汰という三つの段階で説明している。すなわち、企業組織には自らが変革する能力は乏しく、環境の選択圧力によって新しい組織や組織形態をもった新しい個体群と入れ替わることによって、社会全体として変化が生じる環境に淘汰された結果として、特定の個体群が生き残るという考え方である。もちろんこの説明では、イノベーション・マネジメント研究として考えると物足りない。環境による淘汰を強調しすぎると、イノベーションの要素になる変異は、偶然に委ねるという野放図な考え方になりがちになるからである。この考え方は、生物進化のみならず適者生存のイデオロギーとしても普及しており、社会ダーウィニズムの発想に近いものであろう。最も素朴に考えても、商業的に成功している企業の共通性に経営戦略を見て取ろうとするのは、まさにこの発想である。

他方で、Hannan and Freeman (1977) は、企業群の変化を分析するために、あえてダーウィニズムを分析するためのツールとして利用しており、また、その淘汰プロセスには、企業が直面する環境に、自然環境にはない社会的な制度的環境を含んでおり、社会ダーウィニズムには収まらない知見が示されている。そもそも、Hannan and Freeman (1984) は、なぜ、構造的慣性 (structural inertia) の高い企業群が生き残るのだろうかということの問題意識から組織の個体群生態学の研究を始めている (P.149)。構造的慣性とは、企業群の中で生じる、現状を維持しようとし、根本的な変革を抑制する構造的に備わった傾向のことである (Hannan and Freeman, 1984, p. 162)。この性質ゆえに、個体レベルにおける環境適応ではなく、進化論的な淘汰過程を利用して、環境に適合的な業界としての個体群が生き残るという、

個体群レベルの環境適応という視点から分析を進めている。ここで、構造的慣性は、自然に決められるものではなく、企業群が自身を取り巻く社会的な制度的環境を識別することによって決められる (Hannan and Freeman, 1984, p. 163)。社会ダーウィニズムと同じように淘汰のプロセスを分析しているものの、彼らの研究は、自然淘汰の結果優れた企業が生き残るという社会ダーウィニズム的な発想ではなく、ダーウィニズムを利用することによって、構造的慣性が高い企業はなぜ淘汰されないのかを分析しているのである。

こうした問題意識に対して、Hannan and Freeman (1984) は、三つの仮説をおいている。第一に、高信頼性 (reliability) と高説明可能性 (accountability) を持っている組織のほうが生き残るという仮定である (p. 149)。第二に、組織構造が再生産されることにより、信頼性と説明可能性は高くなるという仮定である (Hannan and Freeman, 1984, p. 149)。第三に、組織が再生産的であることが強い慣性的圧力 (strong inertial pressures) を生み出すという仮定である (Hannan and Freeman, 1984, p. 149-150)。ここで、信頼性は、一定の品質で製品を生産できる能力であり、説明責任は組織が自分の行為を合理的に説明できる能力である。つまり、現代社会において企業は、売上や利益といった経済的評価ではなく、信頼性と説明責任の能力が求められるのである。こうした傾向は、教育や医療といった、経済的成果では評価しにくくなるほど強くなる (Hannan and Freeman, 1984)。Hannan and Freeman (1984) は、これらの仮定から、近代社会における個体群の淘汰は、構造的感性が弱い組織を持つ業界から始まり、構造的感性が強い組織がある業界ほど生き残ることを指摘している (p. 151)。

Hannan and Freeman (1984) の研究は、淘汰プロセスを利用してということから、ダーウィニズムを援用した研究としてとして位置付けられることもあるが、ダーウィニズムを企業群の変化を分析するためのツールとして利用したと考えれば、やはり個体群生態学に位置付けられる⁶。なぜならば、彼らが参照した個体群生態学は、様々な数理モデルをツールとして利用することにより、生物の個体群を構成する個体の分布や数の変動を分析する研究分野だからであり、対して組織の個体群生態学もまた、ダーウィニズムを分析のツールとして利用して企業群の分析を行なっているからである。

3.3 群集生態学としての組織生態学

Hannan and Freeman (1984) の組織の個体群生態学を発展させたのが、Aldrich (1999) の組織生態学である。オールドリッチ (Aldrich, H.) は、変異 (イノベーター組織の出現)、淘汰 (変異の選択・死滅)、保持 (再生産者組織による個体の出現) からなる進化論プロセスを論じているものの、社会ダーウィニズムや予定調和的なステージ・モデルを痛烈に批判する (Aldrich, 1999, 邦訳 28-30)。Aldrich (1999) の考え方は、Hannan and Freeman (1984) で援用されていた個体群生態学とは異なり、個体群と個体群の関係に注目した生態学における

⁶ 例えば、組織論では、組織をネットワークとして記述するネットワーク組織論と、ネットワーク分析の手法を利用して組織論的願意を引き出そうとするネットワーク分析がある。進化経済学の立場は前者であり、組織の個体群生態学の立場は、あくまでも進化論を分析のためのツールとして使うため後者に位置付けられる。

群集生態学を援用している。

群集生態学とは、個体群間の相互作用，すなわちコミュニティの構造や動態に注目した研究である。個体群生態学を研究した Pearl (1921) を参照した Gause (1934) は、個体群から個体群と個体群の関係，すなわち群集間の関係にまで研究を拡張し、同じ地位を占める生物群集は共存できないという競争排除の法則を提唱し、個体群生態学から群集生態学への研究を発展させた。

群集生態学の研究として、森 (1994) では、牡蠣の個体群に注目している。牡蠣は岩礁に生育するだけでなく、砂泥底にも多数集団をなして生育し、このような集団を牡蠣床 (oyster bed) と呼ぶ。牡蠣床の上に多数の植物が生え、牡蠣はツヅミモ類やケイソウ類を食物として取っているのである。すなわち各々の牡蠣床は、生物のいくつかの種や個体の集合体として存在し、全ての個体群と個体群は関連した相互調整されたコミュニティとして捉えることができる。このように、個体群間の相互作用の構造や動態に注目する研究が、群集生態学である。

オルドリッチの研究は組織生態学として知られているため、個体群生態学を援用したハナンとフリーマンの組織の個体群生態学と一括りにされることが多い。しかしながら、Aldrich (1999) が参照した研究を改めて振り返ると、群集生態学を援用した研究であるということが理解できる。

Aldrich (1999) が提唱する組織生態学の基本的な考え方は、イノベーター組織の出現という変異、変異の選択、死滅という淘汰、再生産者組織による個体群の形成という保持である。Aldrich (1999) によると、生き残りを果たすということが組織の至上命題となる (邦訳 23 頁)。組織が生き残るには二つのパターンがあり、再生産者組織という既存のルーティンに従う適応志向性を持った組織と、イノベーター組織という新たなルーティンを構築する変革志向性を持った組織である。しかしながら、後者のイノベーター組織の多くは、早期に死滅するという経験的観察がある (Aldrich, 1999, 邦訳 170)。Aldrich (1999) によると、必要な資源を調達する独自の経路を切り拓き、資源動員のために求められる社会的な承認を獲得し、さらに再生産者組織という個体群の模倣を通じて新たな個体群が形成されなければ、イノベーター組織は生き残ることはできないと指摘する (邦訳 169-188 頁)。

一見すると、こうした主張は、社会ダーウィニズム発想とも考えられてしまうが (e.g., Steyaert, 2007)、すでに示しているように Aldrich (1999) では、社会ダーウィニズムや予定調和的なステージ・モデルを痛烈に批判している (邦訳 28-30)。ここで注目しなければならない概念が、闘争概念 (struggle) である (Aldrich, 1999, 邦訳 45-46 頁)。この闘争概念への注目、明らかに社会ダーウィニズムや予定調和的なステージ・モデルや組織の個体群生態学とは異なる含意を持つ。

第一に、イノベーションの起点となる変異も与件ではなく、既存の市場や社会構造の中で特に不利な地位にある企業や差別されている集団がイノベーター組織となり、積極的に変革を見出していく。Aldrich and Waldinger (1990) では、イノベーター組織の出現をめぐる、

既存のルーティンとの積極的な関係を見出している。第二に、淘汰の段階も単なる環境による選択ではなく、様々なイノベーター組織の繋がりや、ときに既存の社会構造で有利な立場にある集団とも関係を結び、資源を調達することにより、イノベーター組織の死滅だけではなく、時には生き残ることもあることを指摘している (Aldrich and Waldinger, 1990)。すなわち、既存の市場やルーティンの構造的隙間に位置していたイノベーター組織は、既存のルーティンから資源調達をしており、独自の資源調達の経路を切拓き生き残るのである。第三に、そうしたイノベーションの保持も、変化した外部環境に運命を委ねるものではない。つまり、再生産者組織が既存のルーティンを利用するイノベーター組織に取り込まれることにより、イノベーションも保持されるのである。

このように、Aldrich (1999) は、制度的な環境を識別しており、例えば、ベンチャー企業群が、新興株式市場の上場基準に合わせ、技術開発より先に会計基準や組織構造を整えていたように、既存の制度的環境を積極的に利用したイノベーションの保持が有りうることを指摘する (邦訳 28-30)。こうした Aldrich (1999) の考え方は、同じ生態学といっても、企業群だけに注目する個体群生態学ではなく、再生産組織とイノベーター組織という、企業群間の関係に注目する、群集生態学を援用した研究となっている。

3.4 エコシステム概念

進化経済学、組織の個体群生態学、組織生態学といった議論を背景としつつ、イノベーション・マネジメント研究における企業と生態学の適用は、経営学独自の発展を遂げている。もちろん、社会ダーウィニズムの観点ではなく、多様な利害関係者からなるエコシステム概念としてである。その嚆矢は、Moore (1993) がシリコンバレーを多様な利害関係者からなる有機体組織として捉えるために、群集生態学⁷を応用したビジネス・エコシステム概念として知られている。本節では、イノベーション・マネジメント研究におけるエコシステム概念を検討することにより問題点を明らかにし、その上で、生態学におけるエコシステム概念の起源に遡り、エコシステム本来の含意を検討していく。

3.4.1 イノベーション・マネジメント研究におけるエコシステム概念

Moore (1993) では、アメリカの IT 業界を分析対象として、ビジネス・エコシステムを多様な利害関係者からなる有機体組織と特徴づけた (p. 76)。多様な利害関係者とは、典型的には出資者、パートナー、供給者、顧客が含まれ、これらの利害関係者による協調的ネットワークを生態学におけるエコシステムのメタファーになぞらえて、ビジネス・エコシステム

⁷ ビジネス・エコシステムでは、ラッコの逸話をもとに群集生態学の説明を行っている (Iansiti and Levien, 2004)。ラッコは毛皮が重宝される動物で、一時期乱獲されたことがある。問題になるのは、ラッコが種単体で絶滅することに留まらない。ラッコは大量のウニを食べ、ウニは海藻を食べている。もし毛皮をとるために人間がラッコを乱獲すると、ウニが大量に繁殖して海藻を食べ尽くし、人間の食料になる魚類の減少にも繋がる。ウニを好んで食す日本人の場合には異なった帰結になるかもしれないが、そうした食文化を含めて巨大なエコシステムを構成している。

と命名したのである (Moore, 1993)。

また、ビジネス・エコシステムの協調的側面から競争的側面への発展過程に注目するのが、Iansiti and Levien (2004) である。協調を強調した Moore (1993) に対して、Iansiti and Levien (2004) によるビジネス・エコシステムは、市場の創出、拡大時には協調が必要だが、その市場から利益を得るときは競争の局面に移ると主張した。具体的には、今日のパーソナル・コンピュータの開発萌芽期には、マイクロソフトもアップルの BASIC 言語に倣いながら、プログラミング言語を協調的に開発してきた。他方で、プログラミング言語の開発が済むと、マイクロソフトは、ソフトウェア会社にウィンドウズ仕様のプログラム開発を容易にしたツールや技術を提供し、ウィンドウズをベースとした排他的なエコシステムを構築し、市場競争を通じてアップルをニッチ市場に追いやった。

ちなみに、ビジネス・エコシステムが持つ協調的側面と競争的側面は、必ずしも排他的関係にあるわけではない。Porter (1998) のクラスター概念では、協調的側面と同時に競争的側面を併せ持っていることが示されている。Porter (1998) によれば、シリコンバレーの IT クラスターは、輸送面でのメリットをはじめ、伝統的な生産要素のメリットを求めた既存の産業集積とは異なり、大学などの研究機関と専門知識を持った多数の企業が近接することで、先端的な科学技術インフラや先進的な顧客ニーズなどの知識が集まってくる。そして、こうした知識ベースの新しい生産要素を活用したイノベーションには、様々な可能性を探索すべく、クラスター内でも競争的關係が必要となることを指摘したのである。

さらに、利害関係者の拡大によって協調と競争の区別を超えるようなエコシステム概念も生じている。それが、近年に盛んに論じられるオープン・イノベーションが狙いとしているところである。Chesbrough (2003) によれば、オープン・イノベーションの背景には、科学技術の高度化によって、企業内の知識だけでイノベーションを遂行することが困難になっている現代の企業を取り巻く環境変化がある (p. 43)。ただし、企業の境界が全てなくなるといっているわけではない。企業の外部で生みだされた知識を社内の経営資源と組み合わせ、社内で活用されていない経営資源を社外で活用することにより、他社よりも競争優位に立てると指摘する (Chesbrough, 2003, p.43)。

他方で、Moore (1993) のビジネス・エコシステムの概念を発展させ、利害協力者とともに社会的価値を創造していくことを目的としたイノベーション・エコシステムが、2006 年にアドナー (Adner, R.) によって提唱される (Adner, 2006)。学術界におけるイノベーション・エコシステムの嚆矢であるアドナーによると、イノベーション・エコシステムは、価値を実現するために相互作用する必要がある企業と、多面的な一連のパートナーの連携構造と定義づけを行っている (Adner, 2006)。イノベーション・エコシステムの分析対象は、ビジネス・エコシステムと同様に情報通信技術、バイオ・テクノロジー、先端材料、ナノテクノロジー、次世代エネルギー技術など、ハイテク産業に焦点を当てている (Carayannis and Campbell, 2009)。ハイテク産業に焦点を当てた上で、多様な利害関係者のもとでイノベーションの開発または価値提案の共同具体化 (Adner, 2006; Jacobides, Cennamo and Gawer, 2018)。

イノベーションの出現と進化、ガバナンス、価値提案、関係、ビジネスモデル、制度の分析を行っている (Suominen, Seppanen and Dedehayir, 2019). 具体的には、イノベーション・エコシステムでは、ハイテク産業がエコシステムの中心となることで起こる、周辺企業のイノベーションを分析している (Adner, 2006; Adner and Kapoor, 2010; Rohrbeck, Holzle and Gemunden, 2009). イノベーション・エコシステムもまた、単一の企業を中心とした企業群の中の利害関係者を分析している。

また、近年では、分析対象を名前に冠したエコシステム概念も多く登場している (Cobben, Ooms, Roijakkers and Radziwon, 2022). 例えば、企業家エコシステムやナレッジ・エコシステムが挙げられる (e.g., Spigel, 2017; Scaringellaa and Radziwon, 2018). Stam (2015) によると、企業家エコシステムは、ある特定の地域で急成長した、ベンチャー企業を中心に、その利害関係者を分析した概念である。ナレッジ・エコシステムは、特定の地域の大学や公的研究機関が典型的な中心的アクターであるとしており、バイオ・テクノロジー産業などに注目し、科学的な基礎研究を行う研究機関から、民間企業への知識移転を分析対象とした概念である (Whittington, Owen-smith and Powell, 2009; Clarysse, Wright, Bruneel and Mahajan, 2014).

以上の議論を見れば、多様な利害関係者からなるエコシステムが拡大する傾向にあることが分かるだろう。しかしながら、エコシステムが拡大するほど、エコシステムの形成および維持が難しくなるだろう。この点でイノベーション・マネジメント研究では Iansiti and Levien (2004) が、キーストーン戦略というアイデアを提示してきた。キーストーン種というのは、生態学の用語であり、エコシステムの多様な利害関係者の利益創出を助ける役割を果たす存在である。Iansiti and Levien (2004) では、ビジネス・エコシステムの健全性を長期的に維持するネットワークのハブ的な企業をキーストーン種として注目し分析をおこなっている。例えば、Iansiti and Levien (2004) による、アップルとマイクロソフトの事例では、アップルを追いやったマイクロソフトはキーストーン種である。しかしながら、PC 市場ではニッチに追いやられたアップルもまた、iPhone や iPad というハードを中心としたエコシステムを築き上げたという意味では、やはりキーストーン種であろう。そのため、Iansiti and Levien (2004) のキーストーン戦略は、結果的にキーストーン種を設定した結果論でしかない。

他方で、イノベーション・マネジメント研究におけるこれらのエコシステムにおいて、サイエンスの実践を含んだ科学技術イノベーションを分析できるかと問われると、不十分であるのも明らかであろう。第一に、イノベーション・マネジメント研究における既存のエコシステム概念が注目は、もっぱら産業界における企業間競争や利害関係者間の戦略的提携や、エコシステムの健全性を長期的に維持するために中心となる企業を明らかにすることにあつたといえる。他方で、本研究では多様な利害関係者から形成されたエコシステムを結果から振り返るのではなく、そのエコシステムがいかにかデザインされてきたかをより具体的に深掘りすることが鍵になると考える。

第二に、既存のエコシステムには、人的要因、制度的要因を中心とした分析になっており、物的な存在を分析対象に入れていないという批判がなされている (Perkmann and Schildt,

2015). 物的な存在を分析対象に入れると主張しているエコシステム概念もあるものの (Brush, Edelman, Manolova and Welter, 2019; Granstrand and Holgersson, 2020), 中心となる企業とその利害関係者の地理的近接性だけに焦点を当てており, 実際には物的な存在を分析の俎上に上げているという批判がある (Perkmann and Schildt, 2015). このような批判があるのは, 次節で詳しく検討するが, イノベーション・マネジメント研究が参照した生態学におけるエコシステム概念が, ある空間における生物群と非生物的要素の一つのシステムが, いかんして形成されているかを明らかにすることを目的としているからであろう.

すなわち, イノベーション・マネジメント研究のエコシステムに欠けている議論は, 物的な存在を含んだエコシステムが, いかんしてデザインされていくのかという観点である. 以下では, 生態学におけるエコシステム概念を振り返り, 本研究による主張が妥当なのかを含め, イノベーション・マネジメント研究におけるエコシステム概念に不足している論点を明らかにする. イノベーション・マネジメント研究が援用してきた生態学のエコシステム概念の起源を辿ると, イノベーション・エコシステムが見落としている含意も見えてくる.

3.4.2 生態学におけるエコシステムの起源とエコシステム・マネジメント

本項では, 生態学におけるエコシステム概念の起源を検討していく. イノベーション・マネジメント研究におけるエコシステム概念を振り返ると, 生態学におけるエコシステム概念をアナロジーとしか利用していない. 例えば, ビジネス・エコシステムでは, ある特定の企業とその利害関係者に注目した議論を展開してきており, 生態学におけるエコシステムの議論を見失っているといえる. 以下では, イノベーション・エコシステムの異種混淆デザインを考えるために, 改めて生態学におけるエコシステム概念を遡ってみたい.

生態学におけるエコシステム概念は, 1935 年にイギリスの植物生態学者タンズリー (Tansley, A. G.) によって提唱された. Tansley (1935) は, 生物複合 (organism complexes) と環境複合 (environmental complexes) は地球上では一体となったシステムを作っており, このシステムをエコシステムと主張している (p. 299). この場合, 生物複合としては, 生物群系 (biome) 程度の大きさを考え, 環境複合としては, 気候複合 (climatic complexes) と土成複合 (soil complexes) を合わせたものである (Tansley, 1935, p. 284). Tansley (1935) によれば, ある空間の全ての生物と, 生物を支える土, 水, 気象などの非生物的要素が一緒になって形成する一つのシステムがエコシステムであると指摘している.

Tansley (1935) では, エコシステム内での生物的要素と非生物的要素の間の絶え間ない相互作用を詳細に説明している. すなわち, エコシステムの中では, 生物的要素と非生物的要素の間に, 不断の相互作用, 物質, エネルギーの交換がある. タンズリーの視点によれば, エコシステムは生物と環境の単純な組み合わせ以上のものであり, その中でのエネルギーや物質の循環が極めて重要であるとされている (Odum, 1983). Tansley (1935) のいうところのエコシステムは, 生物的要素および非生物的要素の全体のシステムを表したものである (Tansley, 1935, p. 299). 森 (1994) によると, このようなエコシステムの観点から特定の

空間における自然環境を把握する大きな利点は、生物と非生物的要素をめぐる物質、エネルギーの流転がいかにして形成されたのかを解明できる点にあると指摘している。

また、Odum (1983) によると、生態学におけるエコシステムの特徴は以下の三点に集約されるという。第一に、エコシステムは生物的要素と非生物的要素を統合した総体としてである。第二に、エコシステムは多様な生物群集と非生物的要素によって成立しており、これらの要素の複雑な組み合わせにより多様性が生じる。第三に、エコシステムの機能性は、その生物群集間および非生物的要素の相互作用やエネルギーの流れに起因する。すなわち、エコシステムは生物群集間の関係と非生物的要素が相互作用することで、エネルギーや物質の循環が実現され、このシステムがいかに形成されてきたのか表すのである (Odum, 1983)。また、松本 (2003) では、エコシステムの特徴を二点挙げている。まず、エコシステムは生物的要素と非生物的要素の二大要素からなり、それらには様々な要素が含まれるという点である。次に、生物的要素と非生物的要素は等しく重要であり、環境作用と環境形成作用により密接に関係しており、エコシステムの変化は生物的要素と非生物的要素に関わらず、他の要素の変化を導くという点である。

さらに、近年では、生態学において、エコシステム・マネジメントという新たな学問領域も誕生している。森 (2012) では、エコシステム・マネジメントが、我々人間が生活する上で必要とする多様な資源の持続可能な利用を追求したエコシステム・サービス (ecosystem services) と並行し、自然界のエコシステムの保全も重視する概念であるということを指摘している。しかしながら、エコシステム・サービスとエコシステムの保全という両者の間には、トレード・オフがあるという (Lessard, Martell, Walters, Essington and Kitchell, 2005)。森 (2012) によると、例えば、生物多様性の豊かな原生林を切り拓くことで作られた農地や人工林により、我々人間が生活していく上で必要な食料や木材、繊維などが生産される。他方で、天然林の伐採を防ぐことも、その天然林の中に元々生息していた生物にとっては重要である。すでに、多くの天然林が農地や都市などへと変えられてしまったことで、多くの生物種が棲み場所を失い、絶滅の危機にさらされているのである (森, 2012)。

他方で、我々人間が自然を利用して、資源を得る必要がある以上、生物多様性を全て完全に保護することは不可能である (森, 2012)。もちろん、エコシステム・マネジメントでは、人間が自然のエコシステムから与えられる資源を利用するためならば、エコシステム内に生息している生物が絶滅しても良いとは決して考えないが、生物の豊富さを最大化することを絶対的な目標にもしない。エコシステム・マネジメントの考え方では、自然の環境を維持しつつも、人間社会で必要とされるエコシステム・サービスを保全するという、二つのトレードオフ関係を一つのエコシステムとしてデザインすることを目的としている (Lessard, Martell, Walters, Essington and Kitchell, 2005)。

こうしたことから、イノベーション・マネジメント研究で論じられてきたエコシステム概念のように、産業界における企業間の競争や多様な利害関係者との戦略的提携に注目するような分析では、生態学におけるエコシステム概念の含意を見落としているといえる。生態

学の起源を遡って明らかにされたように、エコシステムを援用した研究を行うには、既存のイノベーション・マネジメント研究におけるエコシステム概念では見落とされてきた物的な存在（生態学におけるエコシステム概念では非生物的要素）を考慮した形成のプロセスを追わなければならない。さらに、今日ではエコシステム・マネジメントのように、エコシステムをデザインするという点も考慮しなければならない。すなわち、人的存在（生態学における生物群集）だけではなく、改めて物的な存在に向き合い、サイエンスの実践を含んだ科学技術イノベーションを論じるためのエコシステムの概念に刷新しなければならない。

3.5 イノベーション・エコシステム概念の刷新

本節では、既存のイノベーション・マネジメント研究におけるエコシステムを、サイエンスの実践を含んだ科学技術イノベーションを分析するための概念として刷新していく。概念を刷新するためのヒントとして、組織間ドメイン、ANT、鱗状の重なり概念、MAIS アプローチを参照していきたい。

3.5.1 組織間ドメイン

まず、古典的な議論であるが、トリスト（Trist, E.）の組織間ドメイン概念に、エコシステムのデザインに通じるヒントがある。一般的な経営学の用語では、ドメイン概念の定義は、企業の活動の範囲や領域のことであり、企業の生存領域を示すものとされてきた（榊原, 1992, 12 頁）。事実、ビジネスの世界においても、このような用法が普及している。

だが、トリストがドメイン概念を必要とした背景を考えれば、一般的な用法とは異なった含意も引き出せる（上西・松嶋, 2010）。トリストには、Hannan and Freeman（1984）などによって論じられてきた、組織の個体群生態学に対する批判的意識があった。先述のように個体群生態学を借用した組織の個体群生態学では、どうしても社会ダーウィニズムの色彩が強くなる。Trist（1983）によれば、環境は企業が一方的に影響を受ける与件ではなく、様々な利害関係者により構築され、それは積極的にマネジメントすべき対象であるとしている。こうした考え方を前提とすると、組織の環境適応は、社会ダーウィニズムを前提とした、適者生存の原則（the survival of the fittest）から社会エコロジカル（socio-ecological）な（Trist, 1977, p. 273）、社会生態学的システム（socioecological system）へと変わる（Trist, 1983, p. 271）。この原則は、社会ダーウィニズムを前提とした適者生存の原則を批判しており、環境の捉え方が大きく異なる。

社会生態学的システムの原則は、社会と環境の相互依存が中心であることを意味している。社会生態学的システムは全体を統括するようなリーダーは存在しないため、権力の拡散とともに、主権のある程度の放棄が伴う。他方で、利害関係者である部分の相互調整から発展する秩序は存在する（Trist, 1983, p. 271）。例えば、同じ船に乗っているという感覚から生まれる最優先の目的は、問題の共通理解に達するかどうかにかかっているのであり、いかなる方向転換も、彼らとともにチェックバックされることになる（Trist, 1983, p. 271）。

社会生態学的原則は、社会の組織生命を、帝国的なものにしたり非効率なままにしたりするのではなく、自己規制的な方法で領域レベルを強化することを可能にする。自己規制が民主的であるならば、民主的価値に適合する秩序を領域レベルで確立することは、現代の主要なプロジェクトである。権威主義や自由放任主義を不適応なものとし、社会のあり方として成り立たなくするような複雑性のレベルに、いまや到達している。複雑さが増す未来に直面するということは、相互依存の中で自己規制を試み、新しい論理的タイプを育成する方法を学ぶことを意味するのである。

そこでトリストが目指したのは、多様な利害関係者との提携 (collaboration) である (Trist, 1977, pp. 271-273)。とりわけ外的な規制ではなく、自己規制 (self-regulating) によって提携が統制される関係こそが、ダーウィニズムとは異なる (Trist, 1983)。この提携関係を結ぶために、一般的なドメイン概念と区別して提唱したのが、組織間ドメイン (inter-organizational domains) 概念であった。Trist (1983) は、組織間ドメインを「社会空間において、社会全体と単一組織との間に位置する機能的な社会システムである」と定義している (p. 270)。Trist (1983) によれば、組織間ドメインとは一般的にいわれるトップによる社内向けの戦略的ビジョンの表明に留まらず、多様な利害関係者が存在する広範囲な業界全体に、規範性、妥当性を表すために掲げられるものである (p. 270)。こうした利害関係を結ぶときに重要となるのが、自らの規範を示す組織間ドメイン (inter-organizational domains) であり、組織間ドメインを掲げる参照組織 (reference organizations) である (Trist, 1977, 1983)。例えば、Trist (1983) では、参照組織を「北東部エネルギー公社を設立することである。アメリカの各州は以下の出資をすることで参加する。アメリカ政府は融資を保証する。公社は運営機関ではなく、規制機能を果たし、開発に関わる。施設は民間団体によって運営され、民間団体は事業の資本コストの 50% 以上を出資することになる。」として説明している (p. 272)。このように、組織間ドメインを掲げる組織を参照組織とするが、ここで重要なのは誰 (どの企業) が参照組織となるかということに限らず、規範的な参照点となる組織間ドメインを掲揚することにより、多様な利害関係者の調整が可能になるという点である (Trist, 1983, p. 272)。

また、ドメインは利害関係者を調整するのみならず、ゆらぎ (turbulence) も生み出す点を見過ごしてはならない (Trist, 1983, p. 272)。物理的環境から発せられる制約が増大すればするほど、多様な利害関係者が絡み合う頻度が高くなる。これは、組織の背後にある場からの影響が組織に浸透し始めることを意味している。このことは、多義性を簡単に欠いてしまう可能性のある組織に対して、ゆらぎを生み出すのである。もとより多様な利害を持っている組織は、規範的な参照点となる事業ドメインを参照しつつ新しい収益源を次々と見出して行く。こうして多様な利害関係者の集合は、その成長とともに多様性を増大させ、ドメインの境界を曖昧にする。曖昧になったドメインの境界は、新たな規範となるドメインを括りだすことを可能にし、それがエコシステムの内生的な進化を進めることになるのである。すなわち、ドメインが掲げられることによって、多様な利害関係者からなるエコシステムがデザインされるのである。

トリストの組織間ドメイン概念は、規範に反応する人間組織に注目した一方で、これを言語的表象でデザインすることの難しさも示していた。改めてイノベーション・マネジメント研究におけるエコシステム概念を振り返ってみると、総じて人的、制度的要因を中心とした分析であり、物的な存在は分析の俎上に上げられていないという批判がある (Carayannis and Campbell, 2009; 梶山・高尾, 2011; Nambisan and Baron, 2013; Granstrand and Holgersson, 2020)。他方で、生態学におけるエコシステムは、非生物的要素である自然環境の物的な要素を含んだ概念であり、その含意を見落としていた。そのため、エコシステム概念を、物的な存在を含んだ概念に刷新しなければならない。以下では、イノベーション・マネジメント研究におけるエコシステム概念を物的な存在を含んだ概念に刷新するために ANT を検討する。

3.5.2 アクターネットワーク理論

生態学の起源を振り返ってみると、生態学におけるエコシステムは生物群集と、それを取り巻く他の生物群集および非生物的要素の総体としてとらえることができる。他方で、イノベーション・マネジメント研究におけるエコシステム概念を振り返ると、非生物的要素にあたる、物的な存在を見落としてきたといわざるを得ない。トリストの組織間ドメイン概念は、確かにエコシステムのデザインを分析する上で重要な概念であるが、規範に反応する人間組織に注目した一方で、他方でこれを言語的表象でデザインすることの難しさも示していた。対して、近年、エコシステムを、物的な存在を含んだ異種混雑デザインとして考えるためのヒントになる研究がある。カロン (Callon, M.) やラトゥール (Latour, B.) らによって牽引されてきた、アクターネットワーク理論 (ANT) である (Callon, 1986)。

ANT は、社会的なもの (the social) を捉える際に、人間と非人間を存在論的に同等なアクターであるという位置づけのもと、人間と非人間は互いに不可分なネットワークであるとしている (Latour, 2005)。ただし、ここで注意しなければならないのは、非人間という物的な存在を含めるとしても、すでに物的な存在としての特性が与えられ、それ自体として存在しているという前提を置かないという点である。したがって、人間主体のみならず非人間を含んだ ANT におけるアクターとは、人間と物質あるいは社会と技術を不可分であるとみなす。さらに、ANT では物的な存在の固有の特性は、異種混雑のネットワークの結果であり、遂行的に立ち現れるものと捉える視点を持ち、物的な存在に固有の特性を、エージェンシー (agency) を持ったアクタント (actant) であるという独自の概念規定がなされている (Callon and Law, 1995; Latour, 1999)。しかしながら、ANT は多くの誤解や批判を招いてきており、ANT の概念規定がなぜ可能になるのかについて分かりにくかったということがあろう (松嶋, 2015)。簡単に、ANT をカロンの事例をもって紹介する。

「車を運転することもまた、何千もの人間および非人間物の参加で達成される行為の一つである。私が東京から京都にドライブしようとして日産車のイグニッション・キーを回すや否や、私は次のようなもの全てを動員することになる。車をデザインしたエンジニア、材料

の抵抗を調べた研究者、中東の砂漠を探索し石油のために掘削を行った会社、ガソリンを生産する精製所、高速道路を建設しメンテナンスをする土木建設会社、私に運転を教えたドライビング・スクールとその先生、交通法規を創案し発行した政府、法規を強いる警察官、私に責任と向き合うことを援助する保険会社。イグニッション・キーを回し、東京から京都へドライブするという簡単な行為は、東京から京都へ私を運ぶという行為と関係する人間および非人間物の拡張されたネットワークを動員する。つまり、私が車を運転するという行為は集合的なのだ。」(Callon, 2004, 邦訳 45 頁)

科学人類学とも呼ばれるカロンらの独特な説明には、若干の違和感を感じるかもしれないが、そこに ANT の面白さがある。エコシステムのデザインにとって必要な論点を、幾つかの主要概念に沿って検討していく。

第一に、エコシステムを異種混濁のネットワーク (heterogeneous network) として捉える点である (Callon, 1986)。これまで見てきた経営学のエコシステム概念では、利害関係者は当然ながら人間主体が想定されてきた。これに対して ANT では、人、社会、言葉、モノ、自然など、人間と非人間の存在論的区分を拒否する。先述した違和感は、人間と非人間とを存在論的に同等なアクターとして登場させるストーリーがあるからである。

第二に、異種混濁のネットワークでも、ネットワークの境界を繋ぐ物的な存在である、バウンダリー・オブジェクト (boundary object) を重視する (Callon, 2004)。例えば、すっかり肩身が狭くなった喫煙者が集められる喫煙室は、部署や役職を越えた貴重な人間関係が構築されるだけではなく、潜在的には病院や医療保険制度にも繋がる場になっていることも、バウンダリー・オブジェクトの一例である。この概念で重要なのは、バウンダリー・オブジェクトとなる物的な存在は、人間主体による交渉も、揺さぶりも、説得も受け付けず、強制的に異種混濁のネットワークを安定化させる強力なアンカーになりうる点である。

第三に、アクターの翻訳 (translation) である。翻訳とは、端的には「あるアクターが他のアクターを取り込むための方法」とされる (Callon, Law and Rip, 1986, xvii)。バウンダリー・オブジェクトになりうる物的な存在を重視するからといって、物的な存在という外部環境がエコロジーを決定する社会ダーウィニズムになるわけではない。異種混濁のネットワークは、それによって何がしかの目的を達成しようとする翻訳者という主体により形成される。例えば、戦時中に敵国を攻撃するために作られた兵器工場も、戦後に多国籍企業に平和利用されたり、兵器開発に関わった研究者の科学的な実験施設（これが今日、ビッグ・サイエンスと呼ばれる）としても転用されてきた。つまり翻訳とは、身の回りにある人間や非人間からなる様々な存在を再解釈し、自身の目的を達成するシナリオのまさにアクターとして配役することにほかならない (松嶋, 2006)。

第四に、必須通過点 (obligatory passage point) の設定である。翻訳とは、翻訳者が自身の目的を達成するために様々なアクターを配役する行為であったが、問題はそれらのアクターが翻訳者のシナリオ通りに動くわけではないことである。このときポイントになるのは、

様々なアクターにとって避けられない物的、社会的な必須通過点をデザインすることである。例えば、ニューヨーク郊外の一般市民の保養地として作られたロングアイランドがある。ロングアイランドには一本の道が通されているが、その道には自動車は通れるが、バスは通れない陸橋が架けられている。この陸橋は、自動車を買えない低所得者を排除するために設計されたことはいままでのないが、ロングアイランドに続く一本道は逃走経路が絞り込まれることになるために犯罪抑止につながり、結果として安全が確保された富裕層向けの高級住宅地の開発へと至る必須通過点となった (Winner, 1986)。

これら四つの主要概念を検討することで、はじめて ANT の作動原理が理解できる (松嶋, 2015)。まず、翻訳者となるアクターを設定することにより、ネットワークおよびその形成過程を記述することができる。松嶋 (2015) によると、複数のアクターが相互作用する場であるアクター・ワールド (actor world) をデザインするのが、翻訳者となるアクターであると指摘している。翻訳者となるアクターによって、アクター・ワールドがデザインされることにより、翻訳者となるアクターが自ら持っている考えや構想を完遂するための必須通過点が初めて明らかになり、それらを解決するために翻訳を行うことになる。

しかしながら、デザインされるアクター・ワールドは必ずしも常に翻訳者となるアクター自らの思い通りにはなるとは限らない。それは、あくまでも他のアクターが、翻訳者としてのアクターによって単純化 (simplification) されてデザインされたアクター・ワールドが構成されているからである。すなわち、他のアクターによって別様に描かれているアクター・ワールドを併置 (juxtaposition) させることで、翻訳者となるアクターが設定したアクター・ワールドは初めて安定化する。このアクター・ワールドの安定化プロセスにおいて、それ自体動員にされるアクターである物的な存在は、その物的な存在の特性から様々な他のアクターを強力に繋ぎ留めるバウンダリー・オブジェクトとして重要な役割を果たす。しかしながら、翻訳概念の理論的含意は、必ずしもこれまで十分に展開されているとはいえない。松嶋 (2006) によると、その理由のひとつが、代表的な研究における経験的研究と ANT の理論的含意との間に乖離がられることにあると指摘している。

多様に展開されるアクター・ワールドそのものを端的に示すことはできない。しかしながら、アクター・ワールドの形成過程については、翻訳概念の観点から検討することができる。Callon (1986) では、問題化 (problematization)、関心付け (interessement) 取り込み (enrolment) 動員 (mobilization) からなる四つの契機からなるプロセスを示している。この翻訳概念のプロセスの具体例として、フランスのセント・ブリオーク湾における帆立貝の養殖化を分析している (Callon, 1986)。具体的には、フランスの生物学者である帆立の研究者が、日本における帆立貝の養殖技術から着想をえることによって、養殖技術の移転という構想を思いつき、自らのアクター・ワールドのデザインの中で漁師、研究者仲間、帆立貝に対してアクターの役割を与える。また、翻訳者としてのアクターは、多様なアクターにプロジェクトに参加してもらえるように様々な交渉を行った。翻訳者としてのアクターは、帆立貝の漁師、研究者仲間、帆立貝の相互関心に基づいた提携関係を作り出すという一連のプロセスを描い

た。もちろん、翻訳者としてのアクターによる翻訳は、科学や技術を巡る知識生産が必ずうまくいくことを示しているわけではない。Callon (1986) で分析されている帆立養殖技術もまた、翻訳者としてのアクターによる他のアクターの動員に失敗することによりプロジェクトそれ自体がなくなってしまうのである。

しかしながら、帆立の養殖の分析は、単線的なネットワーク形成の裏返しにも読めるだろう。松嶋 (2006) によると、Callon (1986) による帆立貝の事例を単線的なネットワークの裏返しとして解釈することは、理論的に全くの誤解であると指摘している。ANT の理論的含意を捉えるためには、アクター・ワールドの形成過程に注目するというよりは、アクター・ワールドの変容過程として翻訳を描くことを徹底しなければならない (松嶋, 2006, 2 頁)。例えば、問題化に関しても、なぜ翻訳者としてのアクターが、そのような構想を得たのかについて、問題化以前のアクター・ワールドとの接合を検討すべきである。さらに、翻訳者としてのアクターによる翻訳が成功するにせよ、失敗するにせよ、それはアクター・ワールドの安定化や計画の失敗といった発想をするのではなく、更なる翻訳によるアクター・ワールドの形成につながると考えるべきである (松嶋, 2006, 2 頁)。

ANT では、多様なアクターが次々に登場し、アクター・ワールドの構成要素となる (Callon, 1987)。例えば、フランスにおける電気自動車の開発を ANT から分析した事例がある (Callon, 1987)。この事例で複雑に絡み合った多様なアクターとしては、駆動系と電気モーターの開発を委ねたフランスの電気会社であるゼネラル・エレクトリック・カンパニー、電気自動車のシャーシやボディの改造を担ったフランスの車会社であるルノー、これらに補助金を出すフランス政府、そして科学者だけではなく、電子、触媒、電解液、蓄電池、電極、燃料電池なども、このアクター・ワールドを構成する多様なアクターである (Callon, 1987)。翻訳者となるアクターは、フランスの電力公社 (Électricité de France: EDF) であった。1970 年代のフランスでは、大気汚染や騒音公害が社会問題となっていた。そのため、翻訳者としてのアクターである EDF はガソリン自動車から電気自動車を新たな公共輸送手段とすることを目的として、上記のような多様なアクターに働きかけて翻訳を行った (Callon, 1987)。

しかしながら、電気自動車に使用する予定の触媒が環境汚染物質であることが発覚したり、フランスの電気会社であるゼネラル・エレクトリック・カンパニーにより開発された蓄電池の開発費用が予想以上に膨大になることが発覚したことを契機に、電気自動車のシャーシやボディの改造を担っているルノーがプロジェクトに対して批判的な態度を取るようになった。その結果として、電気自動車プロジェクトは失敗に終わるが、ここで見過ごしてはならないのは、アクターの振舞いが予定調和的に定められているわけではなく、あくまでも翻訳者としてのアクターである EDF が描いたアクター・ワールドに基礎付けられていることである (Callon, 1987)。すなわち、EDF がルノーの翻訳に失敗した理由は、大気物質汚染である触媒や膨大な開発費用を要する蓄電池の開発、さらにはルノーがじつは電気自動車の開発に、それほど関心を示さなかったという単純化されたアクターを取りこぼしてきた要素が現れたためである。

松嶋（2006）では、翻訳者となるアクターは、他のアクターに翻訳が拒否されることを通じ、単純化されたアクターの役割を修正し、更なる翻訳に取り組むということを指摘している。これまでの議論において、翻訳者に関与する全てのアクターが説得された結果として、翻訳を通じてアクターそのものが変容することはブラックボックス化されるという観点から考察されてきた。このことは、ANT が科学や技術が形成される過程に焦点を当ててきたという指摘にも関連する。しかしながら、アクターの変化はアクター・ワールドの安定化に留まるものではない。ある翻訳に失敗したときには、さらなる翻訳のために、すでに安定化されたブラックボックスも開かれるため、アクターの発ち現れ方は千差万別に変化する。

以上の議論は、いずれもアクターの実践を追うとしながらも、複雑である現実の翻訳過程を綿密には追ってこなかったことも明らかにしている。現実には、あるアクターの翻訳に関わる実践は、成功や失敗を繰り返しながら、アクター・ワールドを常に更新し続けているが、同時に翻訳者となるアクターそのものの変容も考える必要がある。翻訳者であるアクターは、自らの翻訳によるアクター・ワールドの変容を通じて、新たなエージェンシーを獲得するからである。ある瞬間の翻訳活動は新しい問題を引き起こし、それがさらなる翻訳活動を生むことで、翻訳者のアイデンティティは継続的に変化していくのである。

こうした議論を踏まえると、イノベーション・エコシステムの異種混淆デザインは、組織間ドメインと ANT の両方の論点を全て踏まえて行わなければならない。すなわち、多様化していく利害関係者との提携関係を結ぶために、規範的なドメインの掲揚や翻訳者となるアクター、バウンダリー・オブジェクトとなる物的な存在の配置を通じて必須通過点を設定し、新たなエコシステムの異種混淆デザインを作り上げていくことに他ならない。

3.5.3 鱗状の重なり概念と MAIS アプローチから導かれる分析枠組み

本節では、ANT と理論的な関心を共有している先行研究を検討することによって、本研究の分析枠組みを用意する。具体的な先行研究としては、Leonardi（2011）の鱗状の重なり概念と原（2018）の MAIS アプローチを検討していく。これらの研究は、ANT と同様に、人的存在と非人的存在を存在論的に同等なアクターとして捉えるという点で、理論的な関心を共有しているといえる。

まず、Leonardi（2011）の鱗状の重なり概念を検討していく。鱗状の重なり概念は、人的エージェンシーと物的エージェンシーを存在論的に同等として扱うという点で、本研究と理論的関心を共有している。レオナルディ（Leonardi, P. M.）では、「第一に、全ての物的な存在は、社会的プロセスを通じて生み出され、それが社会的コンテキストの中で解釈され、使われるという点で社会的である。第二に、全ての社会的活動は、何らかの物的な存在の性質のもと成り立っている」（Leonardi, 2012, p. 33）という指摘をする。すなわち、社会的な存在と物的な存在の相互作用による密接な関係性、つまり人的エージェンシー（human agency）と物的エージェンシー（material agency）は、離散的な現象としてではなく、それぞれ相互依存して形成される現象であると指摘している（Leonardi, 2012）。Leonardi（2011）では、社

会的な存在と物的な存在が、それぞれ固有の特性をもつ実体として認識して鱗状の重なり概念を主張している。

ここで重要なことは、物的エージェンシーの理解である。物的エージェンシーは、物的な存在を利用する人々によって異なって認識されるのではなく、共通に認識されるものである (Leonardi, 2012, p. 34)。他方で、物的エージェンシーは、実践空間における人的エージェンシー (人的存在のコンテキストと目標) に依存して物的な存在の多様な機能 (用途と行為)、つまり多様なエージェンシーを生み出すことになる。すなわち、物的エージェンシーは、実践における制度や基準その他の社会的な存在とともに、社会的な世界の構成要素として認識しなければならないと主張する (Leonardi, 2012, p. 34)。

Leonardi (2011) では、人的エージェンシーと物的エージェンシーが世界の構成要素として時間的経過の中で、いかにして技術と組織ルーティンを生成し、それらを変化させて鱗状の重なりとして蓄積されていくかを説明するために、アフォーダンス (affordance) 概念を活用する。アフォーダンス概念の考え方では、行為の可能性としての意味は、人的存在あるいは物的な存在のどちらか一方に存在するのではなく、両者の間の相互作用によって人的存在の主観ではなく物的な存在の側にあるとする。この概念は、物的な存在による決定論的な世界を捉えられがちであるが、物的な存在の性質を想起させ、相互作用を通じて人的存在の思い通りにならない世界を描くことを可能とする。アフォーダンスは、物的な存在が人的存在に対して与える特定の可能性のことであり、コンテキストによって異なる意味を与える。アフォーダンスは、人的エージェンシーと物的エージェンシーの間の空間で構成され、利用をする人的存在及びその人的存在が埋め込まれている社会的コンテキストによって異なってくるのである。したがって、ある場合には人々の能力を向上させるが、他方で人々の能力を制約することもある。

Leonardi (2011) では、アフォーダンスの理論に基づいて実践での時間的経過の中で累積される人的エージェンシーと物的エージェンシーとの鱗状の重なりによるルーティンの生成プロセスを図3のように展開する。円形はルーティンとしての変化、四角形は技術の変化である。ルーティンと技術は各々、両エージェンシーの異なる重なり合いにより構成される。

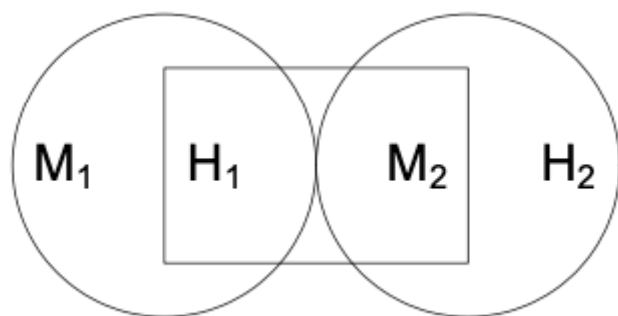


図3 人的エージェンシーと物的エージェンシーの鱗状の重なりが作り出すルーティンと技術 (Leonardi, 2011, p. 154)

Leonardi (2011) によると、鱗状の重なり概念では、既存の人的存在の影響なく行為する物的な存在の能力である物的エージェンシー (M1) と、歴史的過程の中で設定された目的を実際に実現する人的存在の能力である人的エージェンシー (H1) とを重ね合わせて円形の枠であるルーティンを構成する (p. 154). しかしながら、物的エージェンシーの機能が低く、新たな技術を利用する利用者の目的実現に向け、技術の物的な存在の特性が人々の目的を達成しようとする能力を制約してしまう場合がある (遠山, 2019, 14 頁). そこで、Leonardi (2011) では、目的を実現可能な技術の物的な存在の特性のもとで、新たな物的エージェンシー (M2) と既存の人的エージェンシー (H1) を重ね合わせることで、この制約を克服する四角形の枠である技術に変革をもたらすと指摘している (p. 154). 新たな技術を利用するとともに、物的な存在の特性の潜在的可能性を前提にすることで、利用目的が拡張される可能性がもたらされるのである. その結果、新たな目的を形成し、それを実現しようとする人的エージェンシー (H2) と、その時点での物的エージェンシー (M2) を重ね合わせて新たなルーティンへと変革することになる (Leonardi, 2011, p. 154). Leonardi (2011) では、このように実践のプロセスにおけるアフォーダンスの知覚がルーティンへの変更をもたらす、アフォーダンスによる制約の知覚が、技術の変更をもたらす鱗状の重なりとしての連鎖を構成すると指摘している (p. 155).

Leonardi (2011) では、鱗状の重なり概念を用い、自動車開発における衝突実験部門に導入されたシミュレーション技術 (クラッシュラボ) における開発プロセスの変化を分析している. Leonardi (2011) では、自動車工業の作業システムの人的エージェンシーと物的エージェンシーにおける五つの鱗状の重なりについて論じている (図 4). 三つの人的存在→物的な存在の鱗状の重なりは、技術を取り巻く人々は、技術が彼らの目標を制約するという認識を構築するにつれて、クラッシュラボに変化をもたらしたことを示している. 二つの人的→物的の鱗状の重なりは、クラッシュラボが技術者たちの仕事を変える可能性を与えてくれるという認識を、自動車メーカーの技術者たちが構築し始めるにつれて、相互作用の仕方に変化をもたらしたことを示している. Leonardi (2011) が経験的研究を行うのは、鱗状の重なり概念の枠組みを検証するためではなく、人的エージェンシーと物的エージェンシーの関係がどのように重なっているのか、そして鱗状の重なりが、どのように人々のルーティンや技術を変化させるのかを説明するためであると指摘している (p. 156).

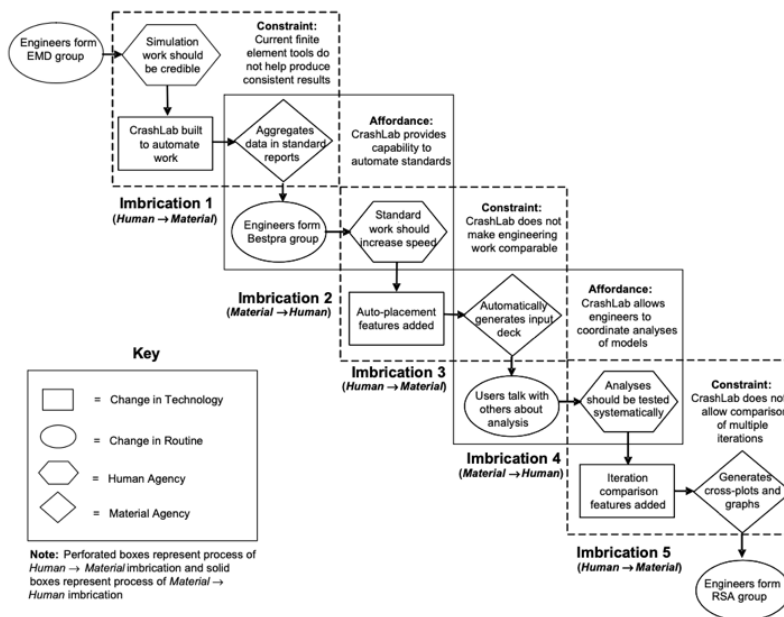


図4 人的エージェンシーと物的エージェンシーの鱗状の重なりが変化させるルーティンと技術 (Leonardi, 2011, p. 158)

しかしながら、レオナルディによる鱗状の重なり概念の分析枠組みにも批判点はある。第一に、彼の分析枠組みは、人的エージェンシーと物的エージェンシーに単純化し、ルーティンの変化と技術の変化を説明しているという点である。Leonardi (2011) で示されているように、鱗状の重なり概念は、人的エージェンシーと物的エージェンシーによる鱗状の重なりが、どのようにルーティンの変化と技術を変化させるのかを記述するための概念枠組みである。すなわち、人的エージェンシーと物的エージェンシーという単純化した鱗状の重なりにより、新しいシミュレーション技術が導入され、どのように衝突実験部門の組織変革が起きたのかを記述しているのである。しかしながら、この単純化されたエージェンシーでは、エコシステムレベルで広がる多様な変化は説明できない。鱗状の重なり概念は、分析を明確にするために人的エージェンシーと物的エージェンシーに単純化した結果、制度的、構造的コンテキストを人的エージェンシーの背後に隠してしまっている。人的エージェンシーには異なった、制度的、構造的コンテキストがあり、これらのコンテキストも、人的エージェンシーおよび物的エージェンシーと重なり合い、多様な実践が構成されているのである。

第二に、Leonardi (2011) の鱗状の重なり概念を利用した分析は、イノベーションを与件として記述しているため、エコシステムレベルで広がる多用な異種混濁デザインを捉えきれていないという点である。イノベーション・エコシステムでは、多様な重なりに注目しなければならないが、Leonardi (2011) では、イノベーションを与件としており、その限りにおいては多様なアクターを分析することはできない。すなわち、Leonardi (2011) の経験的研究で示されているように、新しいシミュレーション技術の導入による衝突実験のイノベ

ーションを与件としている限りは、衝突実験に関わる利害関係者しか分析できないのである。そのため、異種混淆のエコシステムを捉えるためには、より多様な存在や要因の異種混淆を捉える必要がある。

次に、原（2018）による MAIS アプローチを検討していく。MAIS アプローチは、社会現象を分析する上で、その社会現象に関わる物的な存在（material entities）、行為主体（actor/agents）、制度的・構造的要因（institutional/structural factors）に注目するための分析枠組みである。MAIS アプローチでは、特定の視野に限定されず、主体の役割にも配慮した広教会（broad church）として社会現象を分析することができる。すなわち、MAIS アプローチは、物的な存在、行為主体、制度的・構造的要因が相互作用的に複雑に絡み合っている社会現象を分析するためのアプローチである（原, 2018, 11 頁）。

原（2018）によると、MAIS アプローチは技術の社会的形成（the social shaping of technology）アプローチと同様のアプローチであると指摘している（12 頁）。ただし、原（2018）では、MAIS と技術の社会的形成を分析対象の射程から分けることができると指摘する。技術の社会的形成は、社会現象としての技術を分析するアプローチである。しかしながら、技術の社会的形成アプローチを、技術現象を様々な物的な存在、行為主体、制度的・構造的要因の相互作用からなる実践として分析する枠組みとして捉えると、技術現象に関わる様々な物的な存在、行為主体、制度的・構造的要因の相互作用からなる実践の分析にも適用できると指摘している（原, 2018, 12 頁）。社会を人的存在と人的存在との関係と定義したときに（原, 2018, 12 頁）、現代の社会現象には必ず行為主体のみならず物的な存在や制度的・構造的要因も関わっているのである。こうしたことから、技術の社会的形成アプローチを、技術現象以外の社会現象にも適用しようとするのが MAIS アプローチである。

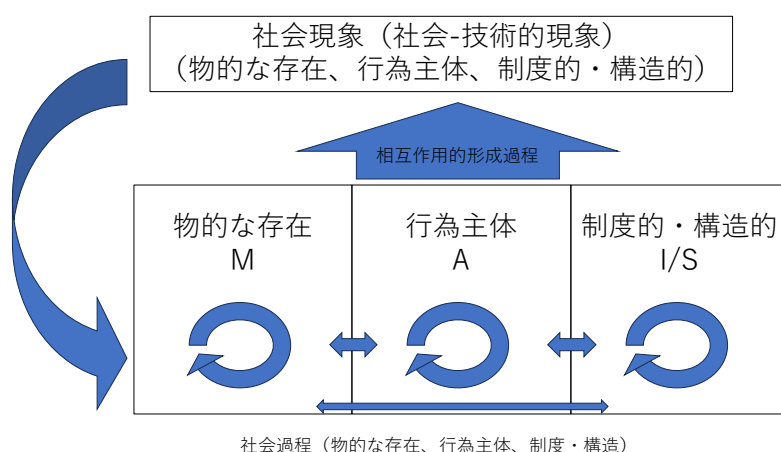


図5 MAIS アプローチのイメージ⁸

⁸ 原拓志（2021）「MAIS アプローチとは何か」日本経営学会関西西部会第 659 回例会報告資料を基に筆者作成

MAIS アプローチは、鱗状の重なり概念が人的エージェンシーと物的エージェンシーに限定した分析枠組みだったのに対して、制度的・構造的要因を分析枠組みとして入れることにより、分析対象を拡大していよう。しかしながら、MAIS アプローチにも課題が残されている。第一に、MAIS アプローチでは、行為主体の意図を重視しているといえよう。図5にあるように、物的な存在の特性や制度的・構造的な要因の特性は、行為主体との相互作用のうちに立ち現れてくると指摘している（原, 2018, 19 頁）。また、行為主体もそれらとの相互依存のうちに制約を受け特徴づけられるとしている（原, 2018, 19-20 頁）。ただし、ここで Leonardi (2011) の主張を思い出さなければならない。Leonardi (2011) では、物的な存在の特性は、行為主体との相互作用があるかに関わらず、主体なり得ると指摘していた。すなわち、物的な存在や制度的・構造的要因もまた、意図を持った主体になりえるのである。MAIS アプローチは、多様な要素を分析枠組みに入れているものの、人的な行為主体に過度に依存した分析枠組みになっており、物的な存在や制度的・構造的要因が意図を持った主体になりうるということを見逃しているのである。むしろ、人的存在だけではなく、物的な存在や制度的・構造的要因からなり得る行為主体は、分析の準拠点と設定する必要がある。

第二に、MAIS アプローチでは、時間経過によるエコシステムの変化を追い切ることはできないと考える。しかしながら、開かれた様々な存在や要因の相互作用だけに注目しており、次なる相互作用が、なぜ起きるのが説明できない。大きく、物的な存在、行為主体、制度・構造的要因の相互作用としての社会現象から、次なる分析にループするのではなく、形成された社会現象では、いかなる問題があるのかを明確に示さなければ、時間経過によるエコシステムを追うことはできないだろう。

第三に、必ずしも、我々が認識する社会現象は、物的な存在、行為主体、制度的・構造的要因の全ての相互作用のもと成立しているわけではない。技術の社会的形成を理論的基盤とし、広教会（broad church）を分析するために、物的な存在、行為主体、制度的・構造的要因を存在論的に同等に位置付けており、それらが相互作用した結果として社会現象を捉えるという意味では異種混淆のアプローチである。しかし、物的な存在と行為主体の相互作用で成り立つ社会現象もあれば、物的な存在と制度的・構造的要因の異種混淆で成り立つ社会現象もある。そのため、必ずしも物的な存在、行為主体、制度的・構造的要因の全てを動員する必要はなく、我々の認識作用として現れてくる存在や要因を分析すべきである。

以下では、鱗状の重なり概念と MAIS アプローチを参照し、さらに ANT の含意を回復しつつ、イノベーション・エコシステムの異種混淆デザインの分析枠組みとして図6を設定する。縦軸には、MAIS アプローチを参照し、物的な存在、制度的要因、構造的要因、翻訳者となるアクターを設定した。横軸は、鱗状の重なり概念を参照し、時間経過とともに、翻訳者による問題化の設定、動員、エコシステムの形成を設定している。ここで、翻訳者とは単なる人的要因ではない。翻訳者とは、物的な存在制度的要因、構造的要因、人的要因の異種混淆のもと成り立っている。そのため、翻訳者とは必ずしも人的存在には限られず、物的な存在も翻訳者になり得るのである。

本研究では、第一に、翻訳者としてのアクターが見出す問題化を起点として経験的研究の分析を始めていく。第二に、翻訳者としてのアクターによって、いかなる物的な存在、制度的要因、構造的要因、人的要因が動員されるのかを明らかにする。ただし、物的な存在、制度的要因、構造的要因の全てが動員されるとは限らない。あくまでも、翻訳者に明らかにされた問題の解決に必要な存在や要因のみが動員されるのである。第三に、物的な存在、制度的要因、構造的要因、人的要因が異種混淆されるエコシステムの形成を論じる。

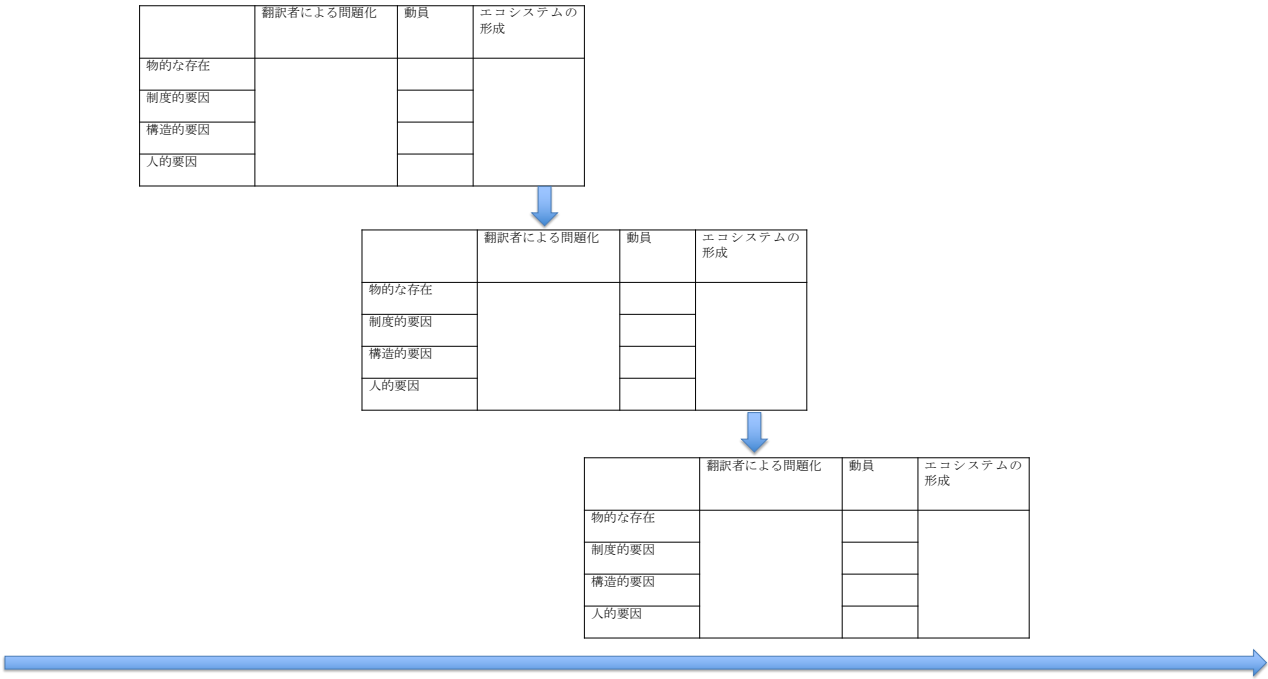


図 6 本研究の分析枠組み

第4章 経験的研究の対象とリサーチ・デザイン

本章では、経験的研究の対象とリサーチ・デザインを示していく。本研究は、日本の大型放射光施設を分析対象としていく。具体的には、第一に、経験的研究の概要を示す。第二に、日本の大型放射光施設を分析対象とした場合、いかなる点に注目することができるのかを示す。第三に、本研究における経験的研究のリサーチ・デザインを示す。

4.1 経験的研究の概要

本研究では、大型放射光施設がイノベーション・エコシステムとして異種混浴デザインされていくプロセスに注目していきたい。具体的には、第3章で記述モデルとして整備し直したイノベーション・エコシステム概念を分析枠組みとして、二つの分析対象を選ぶ。それらはいずれも、リニア・モデルを記述モデルとして想定したのでは接近できない事例である。第5章では、サイエンスの専門分化された社会性に注目し、必ずしも既存のサイエンスで解決できない課題に対峙する企業の研究者が放射光の利用に基づいた新たな研究領域を作り出しつつ、先端的な科学技術に基づいた組織体制へと発展させてきた事例を取り上げる。第6章では、サイエンスの物的な存在の性質に注目し、大型放射光施設という実験装置それ自体が、サイエンスと産業界の連携のあり方を含んだ新たなイノベーション・エコシステムの異種混浴デザインの主体となる事例を分析する。



図7 大型放射光施設 SPring-8

出典：北村, 2011

第5章では、住友ゴムの研究者が翻訳者としてのアクターとなって、イノベーション・エコシステムを形成していった経験的研究を行う。住友ゴムでは、それまで科学的な分析ができないと言われていたゴムを SPring-8 に持ち込むことになる。素材としてのゴムは、SPring-8 で観察されたナノスケールで観察される原子や電子の単位ではその特性を捉えることが

できず、100nm～数 μm というより大きなスケールの観察が必要であることを見いださせた。この新たなニーズは、SPring-8 にいる研究者たちに理解されることはなかったが、放射光研究者の関心とともに、新たな分析手法を開発するに至る。新たな分析手法の開発を契機として、素材としてのゴムを分析できるようになったことにより、住友ゴムではサイエンスの施設を中心としたイノベーション・エコシステムが形成されることになる。

第6章では、大型放射光施設それ自体をイノベーション・エコシステムのデザインの主体とした経験的研究を行う。具体的には、住友ゴムが開発した新たな分析手法は、SPring-8 に新たなサイエンスの領域を作り出すことにも繋がり、ゴムのような長い分子の集合または巨大な分子として把握される柔らかい物質を観察するためのソフトマター専用の新たなビームラインが、住友ゴムと共同研究者を行った放射光研究者によって設置されることになる。そして、SPring-8 では、新たなビームラインを中心に、新たな産学連携のイノベーション・エコシステムが形成されることになる。他方で、SPring-8 では、放射光研究者が特定のビームラインに張り付いてしまうという課題も残されていることが明らかになる。こうした課題を脱却するために、東北大学に Nano Terasu という新しい放射光施設の計画が推進されている。そこでは、放射光施設を基盤とした新たな産学連携として、コウリション・コンセプトが提案されており、学術の研究者と産業界のニーズが、ともに科学技術の進歩に合わせて進化しながら、サイエンスその実践自体の変更を含んだ新たなイノベーション・エコシステムの構築を目指している。

4.2 分析対象としての大型放射光施設

本節では、本研究が分析対象とする大型放射光施設について、その技術的背景および組織的背景を記述しておきたい。

放射光を利用した研究は、電磁気学者であったレントゲンに端を発しており、Burns and Stalker (1961) が注目した、当時の電子産業を勃興させることになった無線技術のサイエンスと学問的には繋がっている。もちろん、1960 年代と今日では、科学技術の内容も産業の広がりも格段に異なっているが、本研究はイノベーション・マネジメントの古典的研究と、広く括れば同じ分析対象を有しているのである。

今日では様々な研究分野の研究者が関わっている放射光施設であるが、このことを理解するためには、放射光の歴史を簡単に振り返っておく必要がある。1895 年は、第1回ノーベル賞を受賞したレントゲンが X 線を発見した記念すべき年であった。工学の博士号を取得した後、物理学者としても電磁気学を専門として研究を行っていたレントゲンは、電子の動きを観察するために陰極線を観察しているなかで、陰極線を発生させるクルックス管のそばに置いた蛍光紙が光っていることに気づく。この蛍光塗料が塗布された紙が光る現象は、分厚い本を装置と蛍光紙の間に挟んだり、部屋を隔てても確認でき、婦人の手を撮影してみると手の骨を投影した画像が写しだされた。他方で、ビジネスへの応用としては、医療用 X 線撮影装置が開発され、当時の医療を一新させていくのだが、レントゲン自身はこの

未知の現象の正体に迫ることはなく、数学で未知数を意味する「X」線という名称を与えていた（中崎, 1996, 101 頁）。

これに対して、X 線研究者の先駆者の一人である物理学者のラウエ（Laue, M. V.）は、X 線は未知の光であると考えた。光は理論的には電子間のエネルギー授受として把握される。ラウエは、もし X 線が光であるならば回折現象が生じているという仮説のもと、光学顕微鏡では観察できなかった亜鉛と硫黄の原子配列を観察することで X 線が波長の短い光であるということを証明し、第 14 回ノーベル賞を受賞する。今から振り返れば、当時のクルックス管で使用されていた金属電極が発生していた光の波長と、硫化銅の原子間距離がちょうど同じであったことによる偶然の産物でもあった（橋本・遠藤, 1975, 104 頁）。

このように X 線光学の発展と実験装置の開発は不可分なものであり、日本ではラウエとほぼ同じくして、東京大学の寺田寅彦が X 線回折装置の開発によって、岩塩の結晶構造の観察に成功し、その後の日本の放射光施設の発展に繋がっていく。他方で、日本においては、素粒子の衝突実験を目的に作られたシンクロトロンの開発が先行しており、放射光は加速された電子のエネルギーの損失として位置づけられていた。しかしながら、同時にその余剰放射光を利用する研究も始まった。当時は技術的に「アメリカの寄生虫」と呼ばれていた時代であったが、後進国だったからこそ全ての作業を研究者中心になって、自分たちの手で試行錯誤するという貴重な経験を積むことができた。

こうした背景のもと、日本は放射光の研究と利用で世界をリードしてきており、今日では播磨科学公園都市に、周長約 1.4km のリング型加速器を始めとした大型放射光施設 SPring-8⁹が代表的なものとして存在する。日本を代表する大型放射光施設 SPring-8 は、兵庫県播磨科学公園都市に建設され、1997 年に運用が開始された。そこでは、周長約 1.4km の巨大なリング型加速器の中を、8 GeV（80 億電子ボルト）という非常にエネルギーの高い電子が、磁石により向きを変えながら光速に近いスピードで周回運動をしている。電子が向きを変える際、電子の周回運動の接線方向に沿って発生するのが放射光である。光は、自身の波長と同程度の大きさのものを観察することができる。輝度と指向性の高い放射光は、光（X 線）の波長が原子や分子のサイズとほぼ同じ 0.1nm であるため、物質やタンパク質を構成する原子および分子を鮮明に観察することが可能となる。以下、なぜ本研究で大型放射光施設が経験的研究の分析対象となることを示していく。

日本の放射光利用は、物理学でも X 線を利用した観察のために新たな実験装置を開発することを専門とする X 線研究者が中心となり進められてきた。とりわけ、日本において特徴的なのは、X 線研究者が自らの手で実験装置の開発に携わってきたことで蓄積された知識により世界最先端の設備を作り出されてきたことである。他方で、今日のような巨大化した放射光施設の運営は、もはや X 線研究者だけの手に負えるものではなく、物理学以

⁹ S と P の意味は、ナノスケールの観察を目的とした X 線研究者が主動して、あまねく科学を底上げする先端科学基盤としての利用を目指した Super Photon ring-8、タンパク質やゴムなどのよりスケールが大きく複雑な観察対象とした新たな手法を開発することを専門とした放射光研究者を中心となった産学連携体制を推進してきた Solving Problem ring-8。

外にもあまねく先端的な科学基盤という位置づけを与えつつ、その科学が社会問題を解決するイノベーションを生み出す存在へと変貌しなければならなかった。SPring-8 は、当然ながら自らを社会的に正当化される存在としていく必要があった。

X 線研究者たちが考えたのは、あまねく科学的な基礎研究を底上げする先端科学基盤を目指すことであった。全てのサイエンスが観察に基づいている限り、観察対象の最小単位となる原子および分子の構造の解明が全ての基盤になるという考えである。そこでは、放射光を作り出してきた物理学はもちろん、化学、生命科学、地球科学や工学までサイエンスを包括する幅広い学問領域に及ぶ。さらにはサイエンスの進歩によって、様々な産業界への応用も生まれると考えられた。

そのため SPring-8 には、X 線研究者たちの実験装置ではなく、多様な研究者に利用される共用施設という位置づけが与えられた。SPring-8 には全 62 本のビームラインがあるが、当初はそのうち 13 本が共用化された。年に 2 回、理化学研究所内外の様々な研究者に対し、SPring-8 の共用ビームラインを利用するための課題が公募されている。公募で研究課題が採択されれば、外部の研究者も SPring-8 を利用することができる。SPring-8 の利用実績は、論文として研究成果を公表することが求められるが、研究成果の公表がなければ、1 時間あたり 6 万円のビームラインの使用料が請求される¹⁰。こうした共用ビームラインを利用する制度に関する情報は、放射光施設の利用促進を目的とした JASRI が公募しており、JASRI のネットワークを通じて情報が流されている。また、審査も JASRI が行っていたが、JASRI のメンバーにはナノスケールの観察を目的とするユーザー研究者が多く参加していた。

他方で、SPring-8 では放射光施設のユーザーとして企業も想定しつつも¹¹、施設利用には研究者と同じ利用申請の制度が適用されてきた。すなわち、放射光施設を利用できる企業は、すでに相当程度の放射光の知識を内部に取り込んでいる企業に限られてくる。そのため、先端科学基盤を目指してきた SPring-8 であるが、必ずしもその成果が思い通りのものであったとは言えない。あまねく科学を底上げするはずだった共用ラインも、実際にはナノスケールの観察を求める一部のユーザー科学者に偏って利用されたものであった。結果として、産業利用率も 5%程度に留まっており、先端科学の底上げが社会の発展に寄与するという青写真は、現実のものになっていなかった。

それでも、そもそも SPring-8 が X 線研究者たちの純粋な学問的欲求のために作られたのであれば、建前として掲げた先端科学基盤に拘る必要はないのかもしれない。ただし、たとえ建前であったとしても、本音を正当化するための実績は必要になる。この点で、実際に関心を寄せた研究者や企業の多くは、SPring-8 が得意とするナノスケールの観察を求めているわけではなかった。それは、メゾスケールの観察を求めている、企業の研究者たちであった。

大型放射光施設がイノベーション・マネジメント研究の対象になるのは、それ自体が企業

¹⁰ SPring-8 User Information Web サイト <https://user.spring8.or.jp>

¹¹ 共用ビームラインにおいては、標準的な測定であれば比較的簡単な訓練を受ければ、ユーザーとして試料を持参するだけでデータを取ることができ、放射光の非専門家に対する参入障壁が非常に小さくなったといわれていた (久保, 2000)。

を含んだ様々なアクターによって形成されてきているからである。多様な研究機関の研究者や民間企業の技術に担われていることにより、最新の科学技術が成立すること自体が、イノベーション・マネジメント研究の対象になりうる。他方で、実験装置としての大型放射光施設に駆動されることにより企業の科学技術イノベーションが起こっているのも事実である。実験装置としての大型放射光施設に注目すると、大型放射光施設を中心として企業のイノベーション・エコシステムのあり方が変化しているのがわかる。今日の企業では、高度な科学的な基礎研究を行う研究者を雇い、さらには高度な科学技術を企業内部に含んでおり、大型放射光施設を利用する段階で高度な科学技術の知識を有しているといえるが、大型放射光施設を利用するまでに相当な困難があるのも事実である。他方で、現在進行中の次世代大型放射光施設計画では、企業が以前よりも気軽に大型放射光を利用するために、企業の科学技術イノベーションのあり方を含んだイノベーション・エコシステムの形成に取り組んでいる。こうしたことから、本研究では日本の大型放射光施設を分析対象として取り上げる。

4.3 リサーチ・デザイン

以下、本研究のリサーチ・データを示していく。本研究では、第3章で提示した分析枠組みに基づいているため、翻訳者としてのアクターによって識別されたアクタントのネットワークの変化を記述することが必要になる。そのために、測定項目があらかじめ準備された量的方法がふさわしくないことはいくまでもない。さらには、インタビューを通じた主観的な内容だけを追うグラウンデッド・セオリーとも異なるリサーチデータが必要になる。

本研究では、主に人類学をバックグラウンドにしたフィールド・ワークに基づき、経験的研究を進めている。フィールド・ワークとは文字通り、研究目的によって対象とされる地域や施設、あるいは集団において直接訪れて調査を行うことである。そのため、フィールド・ワークは、現地調査、実地調査とも呼ばれることもある（実松, 2017）。

フィールド・ワークの方法論が確立されるのは、第二次世界大戦以降のことである。アメリカにおいては研究手法としてのフィールド・ワークが 1950 年代から 60 年代にかけて一般的なものになった（実松, 2017）。この時代に定着したフィールド・ワークの方法論は現代においても使われている。それではいかなる手順でフィールド・ワークを行うのだろうか。

Williams (1967) にフィールド・ワークの手順が書かれている。研究テーマと場所の選び方、提案書の書き方、予算の立て方から始めて、調査の準備、目的地への旅行、現地コミュニティでの最初の一月、調査のルーティン、観察、参与観察、インタビューの仕方、データの記録法、インフォーマントの役割、調査の継続、コミュニティ全体との関係の理解、調査の終了方法、連絡先の確保等、極めて具体的な手順が述べられている（Williams, 1967, pp. 4-65）。実松（2017）によると、50 年も前に書かれたものであるが、経験に基づいたフィールド・ワークのノウハウが凝縮されており、現在でも色あせていないと指摘している（39 頁）。

実松（2017）では Williams（1967）のフィールド・ワークの手順をより明確に、フローチャートとして示している。

研究計画→文献調査1→準備→予備的フィールドワーク→文献調査2→フィールドワーク1計画→準備→フィールドワーク1→データ分析1→文献調査3→フィールドワーク2計画→準備→フィールドワーク2→データ分析2→・・・→論文等の執筆→出版
(実松, 2017, 39 頁)

いうまでもないことであるが、フィールド/ワークの実施には、二次資料を含んだ文献調査が不可欠である。二次資料を含んだ文献調査は、フィールド・ワークを実施する上での全ての前段階において、必要な作業である。文献調査は、以下の目的を持っている。第一に、基本情報を得るための文献調査である。第二に、フィールド・ワークで得られた情報を確認するための文献調査である。第三に、フィールド・ワークで得ることができなかった情報の欠如を補うための文献調査である。実松 (2017) は、文献調査とフィールド・ワークは交互に繰り返されると指摘している。すなわち、文献調査を通じて、次なるフィールド・ワークの目的が決められ、また次なる文献調査の必要性を生み出すのである。

予備的フィールド・ワークとは、いわゆるフィールド・ワーク先の下見である。実松 (2017) によると、必須ではないが本格的なフィールド・ワークを調査の準備をする上で役に立つため、その意味では、本格的なフィールド・ワークに入る前の単なる観光旅行もまた有用であると指摘している (実松, 2017, 40 頁)。

もちろん、フィールド・ワークは一回やれば済むというものではなく、繰り返しフィールド・ワークを行う必要がある。いうまでもないが、一度きりのフィールド・ワークで全てを調査することなど不可能である。むしろ、全く有益な情報をえることができないこともある (実際、著者は放射光の門外漢であったため、まさに調査開始当初は有益な情報か不要な情報かの判別もつかなかった)。実松 (2017) でも、長期間調査先のフィールドに滞在するもしくは住む場合は別であるが、短期もしくは中期のフィールド・ワークを実施する場合には、必ず複数回実施する必要があると指摘している。さらには、後日に新たな疑問点が生じることもある。その場合は追加のフィールド・ワークが必要になる。実松 (2017) によると、フィールド・ワークの回数は多ければ多いほどよい。また、回数を追うごとにより効果的な情報を得ることができると指摘している。

フィールド・ワークの方法としては、以下のものが一般的に挙げられる。第一に、非参与観察である。非参与観察とは、フィールド・ワークの現場において外部から観察を行うことである。現場の部外者として振舞い、直接現地の人々とは関係を持たない (実松, 2017)。第二に、参与観察である。参与観察とは、現場の人々とその活動に関わり、内側から観察を行うことである。実際の活動の参加者、あるいは社会の一員として振る舞うことにより、本格的な解釈を目指す。この方法は、行事、祭事、儀式等への一回限りの参加から、長期間にわたる現場の人々との交流、社会参加まで、多くの種類が存在する (実松, 2017)。第三に、インタビュー調査である。インタビュー調査は文字通り現場の人々に質問をし、必要な情報を

聞き出す行為である。インタビュー調査には、質問項目を決めた構造化（structured）インタビュー、全く決めない非構造化（unstructured）インタビュー、またその中間の半構造化（semistructured）インタビューがある。しかしながら、実際には、インタビューの形態は、目的また状況によって千差万別である（実松, 2017）。第四に、アンケート調査である。アンケート調査は設問用紙を配布し、その回答を回収して情報収集を行う方法である。アンケート調査は一度に多くの対象者を相手に実施できるというメリットがあるが、同時に回収率の問題があり、積極的な協力が得られない場合は有効さに欠いてしまう場合もある。第五に、最近注目されているのが映像媒体の活用である。映像媒体の活用は、景観、建築、人物、作業、行事、儀式等をビデオ、写真等として記録するもので、上述の方法では記録できない情報を取得することができる。

ただし、これらの方法はフィールド・ワークの代表的な方法であるが、それぞれ長所と短所がある。そのため、フィールド・ワークで有効な情報収集をするためには、いくつかの方法を併用する必要がある（実松, 2017）。本研究でも複数の方法を用い、経験的研究の分析を行っている。それは、本研究の分析対象である大型放射光施設が、異種混濁のサイエンスの実践を対象としているからである。方法論の領域においては、この折衷法は通常、混合研究法あるいは複合研究法と呼ばれている（実松, 2017）。本研究では、参与観察、インタビュー調査を通じてフィールド・ワークを行っている。

特に、本研究では、インタビュー調査を重視してフィールド・ワークを行った。改めて、インタビュー調査には、構造化インタビュー、半構造化インタビュー、非構造化インタビューの3種類がある（Fontana and Frey, 2000, 邦訳 41 頁）。構造化インタビューでは、インタビューを行う側が事前に作成した一連の質問をもとにインタビューが行われるため、インタビューを受ける側の自立した判断をその場で行う余地は、ほとんどない。そのため、あらかじめ想定されたインタビューの回答を得ることができる。しかしながら、構造化インタビューの場合、インタビューをする側はインタビューをされる側の回答が文脈に影響されていることを見落とす可能性が高まる（Fontana and Frey, 2000, 邦訳 47 頁）。

非構造化インタビューは、制限を設けない形式で行われ、質問の範囲を限定せずに複雑な実践を理解する際に行われる（Fontana and Frey, 2000, 邦訳 50 頁）。非構造化インタビューの特徴は、構造化インタビューのように事前に決定された現象を理解することではなく、現象そのものを理解することに重点が置かれていることにある。そのため、インタビューをされる側が、いかなるコンテキストのもとで実践がなされており、その実践をインタビューの回答としてインタビューする側に、いかにして伝えようとしているのかを理解する必要がある（Fontana and Frey, 2000, 邦訳 52-53 頁）。

半構造化インタビューは、構造化インタビューと非構造化インタビューの間に位置する。半構造化インタビューは、構造化インタビューのように事前に質問事項を設定し、質問の範囲を限定する。ただし、インタビューの途中で深掘りする箇所があれば、柔軟に質問を追加し、実践そのものの理解に努める。

本研究では半構造化インタビューの形式をとっている。あらかじめ質問事項を設定したうえで、インタビューの途中に発せられた内容を深掘りするという、インタビューを繰り返して科学者の実践の理解に努めた。具体的には、第一に、文献調査を通じて、あらかじめ調査対象先の取り組みを把握し、質問項目を設定する。第二に、質問項目を調査対象先に送付した。第三に、実際にフィールドに訪れ、質問事項に沿った形でインタビューを行い、インタビューの中で生じた疑問や考え方などに関して、さらなる深掘りをするために自由にインタビューを行うという方法を採用した。

加えて収集したデータの解釈の妥当性を確認するために、一人の科学者にだけインタビュー調査を行うだけではなく、異なる複数の科学者に同様の内容のインタビュー調査を行った。こうしたインタビュー調査を行うことにより、さらに自由な回答を引き出し、複数の視点から多面的に解釈することを可能とした。このように一つの事例を多面的に捉えていくことは、サイエンスの実践に対する理解を深めるだけでなく、著者が得られたデータを多面的に解釈するためにも利用することができる。

こうしたインタビュー調査に加えて、参与観察を行った。参与観察では、実際に SPring-8, Nano Terasu および放射光に関連する学会やシンポジウムに訪れるだけではなく、著者自身（指導教官とともに）が科学者に講演をしていただく場をコーディネートし、情報収集を行なった。また、実際に実験を行っている現場を観察するだけでなく、積極的に学会やシンポジウムに参加することにより科学者同士の会話からも分析を行っている。ただし、参与観察をしている間にも、疑問を感じたり、深掘りしたい現象があった場合は、その場で非構造化インタビューを行っている。

参与観察やインタビュー調査で得られた情報は、音声データをもとに文章としても書き起こしている。Pool (2017) では、インタビュー調査で得られた音声データそのものと、音声データを書き起こしたものの違いにも言及している。一般的に、両者の持つ意味は同じものと考えられるが、音声データを文字として起こした文章を読むと、その場にいたときには、発話者すらも気づいていなかったことが明らかになることがあるということを指摘している (Pool, 2017)。すなわち、Pool (2017) によると、参与観察やインタビュー調査で得られたデータは、現場で立ち現れた現象そのものとはすでに異なっているのである。

このように、参与観察とインタビュー調査を中心としたフィールド・ワークを行い、サイエンスの実践を含んだ異種混雑のイノベーション・エコシステムを捉えていく。本研究が目指すのは、巨大な顕微鏡とも呼ばれる大型放射光施設を舞台とした、イノベーション・エコシステムのデザインである。大型放射光施設では、企業自らの課題解決を通じてサイエンスの実践が作り変えられることで、新たなイノベーション・エコシステムを作り出し、さらには大型放射光施設という実験装置が新たなイノベーション・エコシステムをデザインする主体にもなりうる。こうしたことを分析するために、フィールド・ワークは本研究の目的に合致した方法であると考えられる。

本研究のリサーチ・データは、2014 年から 2023 年現在まで、約 10 年にかけて行ってきた。

たフィールド・リサーチをもとにしている。具体的には、本研究のデーター・ソースは放射光関連の学会やシンポジウム（9回出席）、神戸大学でのトップマネジメント講座（全7回を松嶋登先生とともにコーディネート）、インタビューデータ（総計14人、時間3655分）、Webサイトである。その他にも、実際に SPring-8 や Nano Terasu に実際に足を運び、データの収集を行ってきた。

このように多くに時間を必要としたのは、第一に、フィールド・リサーチを始めた当初は、著者が門外漢であり、放射光関連の文献や Web サイトなどの二次資料を拝見しただけでは、単語レベルで理解できない箇所が散見したためである。第二に、時系列的な変化を観察する必要があるためである。フィールド・リサーチを進めている間も、大型放射光施設自体がさらなる進化を遂げており、多様なアクターの変化とともに、イノベーション・エコシステムの異種混雑デザインを追い切る必要があったためである。

本研究の内的妥当性は、記述内容を翻訳主体に確認していただくことを主に行ってきた。放射光施設としては石川哲也氏（国立研究開発法人理化学研究所播磨放射光科学総合研究センター長）と高田昌樹氏（東北大学多元物質科学研究所教授）、北村英男氏（NEOMAX エンジニアリング・日立金属グループ技術顧問）には、イノベーション・エコシステムや ANT の理論的骨子を説明した上で、いくつかの論文記述にたいして丁寧な修正をいただいた。本研究は、その集大成でもある。岸本浩通氏（住友ゴム株式会社研究開発本部分析センター長）にも、繰り返しのインタビューと記述の確認を行ってきた。加えて、技術的な根拠に関しては、北村英男氏（NEOMAX エンジニアリング・日立金属グループ技術顧問）に物理学の暗黙理の前提を含めて確認いただいた。

第5章 SPring-8 に新たなサイエンスの領域を作り出した住友ゴ

ムの実践

第5章では、住友ゴムの研究者が翻訳者としてのアクターとなって、イノベーション・エコシステムを形成していった経験的研究を行う。住友ゴムでは、科学的探究の対象外といわれていた、タイヤの素材としてのゴスを SPring-8 に持ち込むことになる。素材としてのゴムは、SPring-8 におけるナノスケールで観察される原子や電子の単位では、その特性を捉えることができず、100nm～数 μm というより大きなスケールの観察が必要であることを見いださせた。この新たなニーズは、SPring-8 にいた研究者たちに理解されることはなかったが、SPring-8 外部の放射光研究者の関心とともに、新たな分析手法を開発するに至る。この新しい分析手法の開発を契機として、住友ゴムでは、サイエンスの施設を中心としたイノベーション・エコシステムを形成していくことになる。

5.1 科学的探究の対象外であった素材としてのゴム

世界最高性能を誇る SPring-8 は、社会一般で認知されてきたとは到底いえないものの¹²、自然科学系の研究者では当然のごとく知られており、一目置かれ存在である。実際に多くの自然科学系の研究者は SPring-8 に関心を持っていたのだが、利用の促進に一定の歯止めがかかってしまっていた¹³。

その理由は、多くの研究者が必ずしもナノスケールでの観察を求めているわけではなかったからである。例えば、生命科学の研究者が観察するタンパク質は 100nm の大きさであり、分子が多重結合しているゴムなどは数 μm のスケールで観察する必要がある。産業界と密接に結びついた様々な研究領域が求めるメゾスケールの対象は、先述のとおり暗黒領域のなかにあった（北村, 2011）。この暗黒領域には、例えばゴムの主原料となるポリマーやポリマーを補強するシリカなどの物質も含まれており、産業界にも放射光施設の潜在的ユーザーがいることが見込まれていた。

ただし、ゴムの主原料となるポリマーやポリマーを補強するシリカなどは更に大きな領域のメゾスケールに含まれており、暗黒領域のメゾスケールを観察することを産業界の放射光施設の潜在的なニーズであった。逆説的ではあるが、こうしたニーズは、SPring-8 への期待の裏返しとして現れた。多くのユーザーが、SPring-8 にメゾスケールを観察するための新たな分析手法を求めているが、X 線研究者が開発したナノスケールに特化した分析手法

¹² SPring-8 を運営する理化学研究所は、神風動画に依頼したアニメーションを使った PR 活動や施設の一般公開、放射光を利用するための研修会などの布教活動を行ってきた。しかし、放射光を利用した観察は、産業界が自力で行うには困難であり、世界最短波長の X 線を有する SPring-8 を積極的に使う企業はほとんど現れなかった。

¹³ SPring-8Web サイト

http://www.spring8.or.jp/ja/news_publications/research_highlights/no_36/

では、彼らのニーズに答えることはできなかった。

また、より大きなものを観察しようとするアプローチは（井上・八木,2006）、ナノスケールの観察を求めた X 線研究者やユーザー研究者にはなかなか理解されず、「大きな物質を観察することになんの意味があるのか」¹⁴と批判的に捉えられていたことも多かった。SPring-8 の共用施設の課題の採択は X 線研究者と外部のナノスケールの観察を目的としたユーザー研究者から選出された委員によってなされるため、技術的課題だけではなく、サイエンスとしてのアプローチの対立も解消しなければならなかった。

他方で、このように顕在化したニーズに対して挑戦したのが、企業の研究者であった。以下では、住友ゴムの研究者が翻訳者としてのアクターとなり、SPring-8 の産学連携活動をデザインしていくことになる。企業の研究者として、SPring-8 では住友ゴムの岸本浩通が翻訳者としてのアクターになる。住友ゴムの岸本氏は、素材としてのゴムを分析するために、SPring-8 を利用することになる。

しかしながら、誰もが SPring-8 を利用しても、タイヤの主原料である、素材としてのゴムを分析できるとは考えていなかった¹⁵。ゴムの物的な特徴は、ネットワーク状になった複数のポリマーの多重結合によって生成される巨大な物質であり、ポリマーの多重結合や多重結合を繋ぐ様々な素材を分析することは、住友ゴムをはじめとした当時の企業が備えていた電子顕微鏡や X 線装置では困難であった。こうしたことから、日本国内ではゴムの研究者が少なく、また学術的な研究テーマとしても探求の見込みがないと考えられてきた。

そのため、住友ゴムをはじめとして、日本では、タイヤを開発する企業には、共通した一般的な開発方法がある。タイヤの構造設計とも呼ばれるもので、タイヤの三大基本性能とされる転がり性能、グリップ性能、耐摩耗性能を基準として、タイヤの材料となるゴムの貼り合わせ方、真円度の調整、溝の掘り方などを調整し、タイヤの性能を向上させてきた。

そのため、この当時、住友ゴムのタイヤ開発で花型であったのは、タイヤ技術本部の設計部門であった。設計部門は、タイヤの構造設計を担う部門であるが、当然ながら設計部門だけでタイヤの開発が行われているわけではない。営業部門からは、顧客が求めるタイヤのニーズに関するフィードバックがあり、設計部門が構造設計したタイヤが予想通りの性能を発揮するかを予測するシミュレーション部門が存在する。

他方で材料開発部門は、設計部門から要求された材料を購入したり、購入してきた材料を調整する調達役を担っていた。それゆえに、材料開発部門は、タイヤ開発を主導する立場にはなかったが、国内外のライバル企業が利用している材料の調査はもちろん、ゴムに関する科学的知識の収集を行い、業界のトレンドを探っていた。

他にも、住友ゴム社内には、本社の研究開発本部の分析部門がタイヤの素材となるゴムを研究していた。研究開発本部は、製品開発を行う様々な事業本部から、ゴムの分析が依頼さ

¹⁴ 雨宮慶幸氏（東京大学大学院新領域創成科学研究科）「X 線計測技術と放射光 X 線産業利用による放射光科学への貢献」『放射光学会』2019 年 1 月 10 日

¹⁵ 岸本浩通氏（住友ゴム株式会社）へのインタビュー2023 年 12 月 25 日

れる支援部門であった。そのため、どの企業も、新たなゴム材料を開発する材料開発部門やゴムの分析を行う分析部門の重要性はそれほど高くなかった。住友ゴムでもまた、ゴム素材の分析を行う分析部門は同社の中でも傍流的な存在であり、資材調達程度の役割しか果たしておらず、実際、分析部門は、他の研究開発部門とは別の建物に置かれてさえいた。

他方で、ゴムを専門とする外部の研究者を頼ることもできないなか、自前の実験装置でゴムを分析することは難しく、研究開発本部は社外にも新たな分析技術の可能性を常に見つけていく必要もあった。その任を受けた当時分析部門に所属していた岸本氏であり、岸本氏が訪れたひとつが、放射光施設である SPring-8 であった。岸本氏が SPring-8 を訪れたのは、2001 年のことであった。SPring-8 では 1997 年に稼働しビームラインの共用が始まっていた。岸本氏によれば、確たる根拠はなかったが、放射光を利用してゴムを分析できないかと素材に期待していた¹⁶。以下では、住友ゴムの研究者である岸本氏が翻訳者としてのアクターとなり、イノベーション・エコシステムをデザインしていく。

5.2 新たなサイエンスの領域を作り出した住友ゴムのイノベーション・エコシステムの変化

住友ゴムでは、素材としてのゴムそのものが分析されていなかった時代に、SPring-8 にゴムを持ち込んだが、当初はそれまでも社内の電子顕微鏡や X 線装置で観察してきた補強材であるカーボンブラックの分散を観察し、ゴルフボールの開発などに活かしてきた¹⁷。こうした中、岸本氏が放射光を利用し、素材としてのゴムを分析する、より積極的な着想となった理由が二つある。

第一に、住友ゴムでは、カーボンブラックを使わない自然環境に対応したタイヤを開発するために使用した、ポリマーの補強材であるシリカの分析にあった。海外では、ゴムを専門とした研究者も多く存在し、日本の企業ではまだ使われていなかったサイエンスの知識もあった。具体的には、従来までポリマーの補強材として使われていたカーボンブラックをシリカに置き換えることで、タイヤの基本性能が大幅に高まることは、最も知られていた科学的知識であった¹⁸。ゴムに添加されたシリカは、従来の電子顕微鏡では黒く映りこんでしまっていたが、ポリマーを補強しているシリカの凝集構造を分析できれば、シリカがタイヤの基本性能を向上させるメカニズムを知る手がかりとなると岸本氏は考えたのである¹⁹。

第二に、スタッドレスタイヤの分析に SPring-8 を使用したことであった。当時、住友ゴムが、重点的に開発していたタイヤのひとつに、スタッドレスタイヤがあった。スタッドレスタイヤは、ゴムにグラスファイバーを混合して作られるが、当時の住友ゴム社内で利用されていた実験装置（とりわけ透過電子顕微鏡）では、X 線がガラス繊維であるグラスファイバーを透過してしまっていて分析できなかった。これに対して、SPring-8 を使用して撮影された画

¹⁶ 岸本浩通氏（住友ゴム株式会社）へのインタビュー2017年8月9日

¹⁷ 岸本浩通氏（住友ゴム株式会社）へのインタビュー2017年8月9日

¹⁸ 岸本浩通氏（住友ゴム株式会社）へのインタビュー2017年8月9日

¹⁹ 岸本浩通氏（住友ゴム株式会社）へのインタビュー2017年8月9日

像では、グラスファイバーが氷面に突き刺さった状態を視覚的に見せることができた。この一目瞭然の画像が、岸本氏はもちろん、住友ゴムの経営者層にも SPring-8 に対する期待を抱かせる結果になったのである。

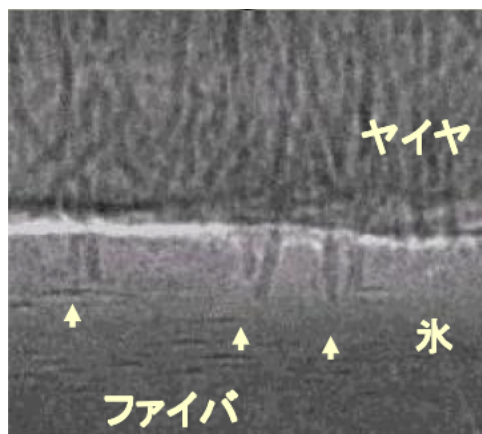


図8 氷に刺さるグラスファイバー

出典：岸本浩通（2017）「先端大型放射光施設の活用による次世代低燃費タイヤの開発」神戸大学トップマネジメント講座，報告資料。

ところが、じつは 2001 年当時の SPring-8 には、シリカの凝集構造を分析するために必要な分析技術が備わっていたわけではなかった。民間利用に供用を開始し始めた頃の SPring-8 の X 線研究者は、主にナノスケールのなかでも結晶構造のような細密な観察ができる周波数の短い放射光の発進を目指していた。ところが、シリカの凝集構造には、数十 nm から μm の「大きな物質」を観察する分析技術が必要であった。しかしながら、SPring-8 の X 線研究者はあくまでもナノスケールの観察を目指していたため、岸本氏が必要としている分析技術を冷たくあしらったという²⁰。

そのため、SPring-8 で分析を行っていた岸本氏は、SPring-8 外部の研究室を頼ることになり、新たな手法を開発することを専門とした放射光研究者である東京大学の雨宮慶幸氏を訪ねることになった。ただし、この研究室でも岸本氏が求める技術を有していたわけではなかったが、放射光研究者にとっては住友ゴムの観察ニーズは研究としてチャレンジングなテーマとして映った²¹。雨宮氏から紹介を受けたのは、タンパク質を中心とした生体試料という比較的大きな物質を分析していた生命科学のビームラインであったが、そこで観察していた生体試料もまた、せいぜい数十 nm の大きさであり、充填剤（フィラー）として含まれていたシリカの凝集構造に比べればまだ小さすぎる物質であった。そこで、岸本氏は雨宮研究室との共同研究を通じて、生命科学のビームラインで利用されている小角散乱法とい

²⁰ 岸本浩通氏（住友ゴム株式会社）へのインタビュー2023年12月25日

²¹ 岸本浩通氏（2017）「先端大型研究施設の活用による次世代低燃費タイヤの開発」神戸大学大学院トップマネジメント講座，報告資料

う分析手法を改良し、2004年に数十nmから μm というメゾスケールの領域を観察する極小角散乱法という新しい分析手法を開発する(井上・八木,2006)。この分析手法は、結晶構造などのより細密な分析を行うことを目指していた当時の SPring-8 では考えられない使われ方であった。しかしながら、こうしたメゾスケールを観察するための分析手法は、SPring-8 を利用しようと考えていた多くの企業が求めるニーズでもあった。

その後、住友ゴムでは、SPring-8の極小角散乱法とスーパーコンピュータである地球シミュレータのシミュレーションをあわせて利用する技術4D NANO DESIGNを開発し、タイヤの開発に取り組んでいくことになる²²。4D NANO DESIGNでは、シリカの凝集構造を分析することで、シリカの最適な分散を設計できるようになった。その結果、構造設計からタイヤ開発が行われていたときには数%しか向上しなかった転がり性能が、2011年に商品化された「エナセーブ Premium」では39%もの向上を達成し、2013年に商品化された「エナセーブ NEXT」でもさらに11%向上させることができた省エネルギータイヤを開発した。

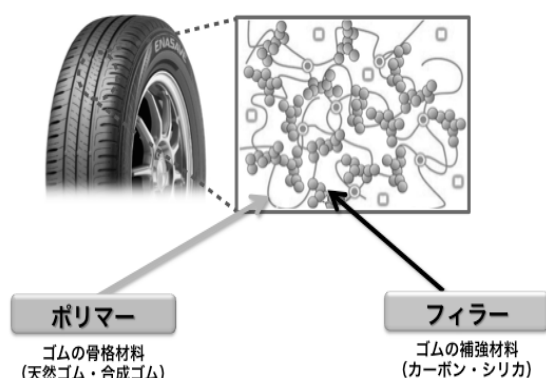


図9 ゴム中のシリカとポリマーのイメージ²³

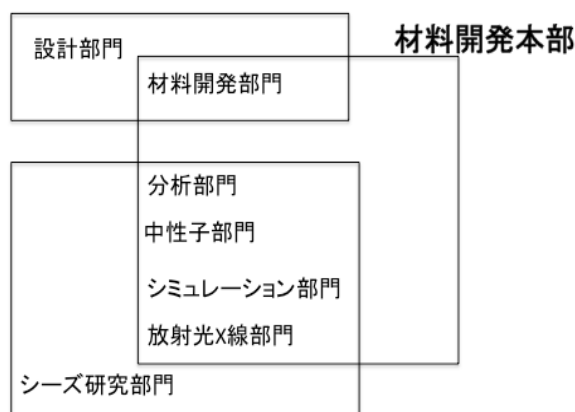
新たに作られたサイエンスの実践は、住友ゴムのイノベーション・エコシステムの変化へとつながっていく。極小角散乱法という新たな分析手法が開発された結果、放射光を利用したゴムの分析技術の可能性を踏まえ、住友ゴムでは、2010年に従来のタイヤ技術本部と研究開発本部から独立した新しいエコシステム（材料開発本部）を形成した。具体的には、自然環境にやさしいタイヤを開発したタイヤ技術本部の材料開発部門、放射光X線利用の先鞭をつけた研究開発本部の分析部門と放射光X線部門、中性子解析部門をはじめシミュレーション部門などを統合し、タイヤ開発に向けてこれまでとは異なった組織体制を用意したのである。すなわち、これまで、ゴム素材の調達と品質検査の役割にとどまっていた分析部門や材料開発部門が、学术界との連携とともに製品開発プロセスの中心となるイノベー

²² ダンロップタイヤテクノロジーWeb サイト <https://tyre.dunlop.co.jp/brand/technology/4d.html>

²³ 岸本浩通氏（2017）「先端大型研究施設の活用による次世代低燃費タイヤの開発」神戸大学大学院トップマネジメント講座、報告資料

ション・エコシステムが形成された。この新たなイノベーション・エコシステムのもと、住友ゴムでは、素材としてのゴムを分析するために新たな可能性を探求していくことになる。

タイヤ技術本部



研究開発本部

図 10 タイヤの材料開発をめぐる住友ゴムのイノベーション・エコシステムの変化²⁴

5.3 サイエンスの施設を中心としたイノベーション・エコシステム

SPring-8 の極小角散乱法を利用した省エネルギーのタイヤの開発は、全てのタイヤの性能がコントロールされた結果ではなかった。転がり性能とともにグリップ性能が向上したが、これは決してコントロールされたものではなかった。タイヤの基本性能を左右する様々な素材や階層構造を分析できたものの、これを連動して分析するためには、実際のポリマーの動きに関する動的情報を必要であった。さらには、耐摩耗性能については、補強材となるシリカではなく、シリカとポリマーを繋ぐ結合剤を分析する必要があった。実はこれらの分析には、放射光を利用する SPring-8 の限界があった。

シリカの凝集構造の分析を通じて開発された省エネルギータイヤに残された課題のひとつは、シリカの分散ではコントロールできなかった摩耗性能を向上させることであった。このとき技術的な課題としては、ケイ素を主成分とする結合剤が、水素分子を多く含んでいるために放射光では分析できなかったことであった。もちろん、こうした技術的課題があること自体は、科学的には周知のことでもあり、材料開発本部には放射光 X 線部門とは別に中性子部門があった。元々材料開発本部のなかに中性子部門が存在していたということは、放射光が万能ではないことを理解していたことの証左であろう。ただし、中性子実験もまた、より専門的な科学知識を要する分析技術であるため、住友ゴム社内で対応することはできなかった。中性子実験では、放射光ではなく中性子自体が射出されるが、射出された中性子は水素分子に反応する。当然、社内に中性子実験を行う実験装置が備わっていたわけではな

²⁴ 岸本浩通氏（2017）「先端大型研究施設の活用による次世代低燃費タイヤの開発」神戸大学大学院トップマネジメント講座、報告資料

かったため、日本原子力開発機構 J-PARC センター（茨城県那珂郡東海村）を利用することが可能であった。しかしながら、SPring-8 と異なっていたのは、放射光研究者に比べて、住友ゴムが協力を仰げる中性子を専門とした大学の研究者が極端に少ないことであった。

エコノミータイヤの実現のためには、ポリマーとシリカを繋ぐ結合剤が鍵になっていた。中性子実験は、水素分子を多く含む結合剤の分析に必要となったが、あわせてポリマーそのものの階層的な運動情報や構造情報を得ることもできた。中性子実験は、放射光とは異なり中性子そのものを射出するために、運動中のポリマーに衝突させた中性子の速度や角度の変化を検出できるわけである。このポリマー自体の情報が得られることで、耐摩耗性能をコントロールする最適な長さの結合剤をシミュレーションすることが可能になる。結合剤が短いとポリマーの挙動の可動域が狭くなるため、ポリマーとシリカの結合も切れやすくなる。逆に長過ぎると、今度はポリマー自体を劣化させる。中性子実験で得られた結合剤とポリマーの情報をもとに導き出された最適な長さをもとに開発された新フレキシブル結合剤を導入し、2016 年に商品化されたエナセーブ NEXT II は、2011 年に開発したエナセーブ Premium と比較すると、耐摩耗性能は実に 200%の向上を達成したものであった。

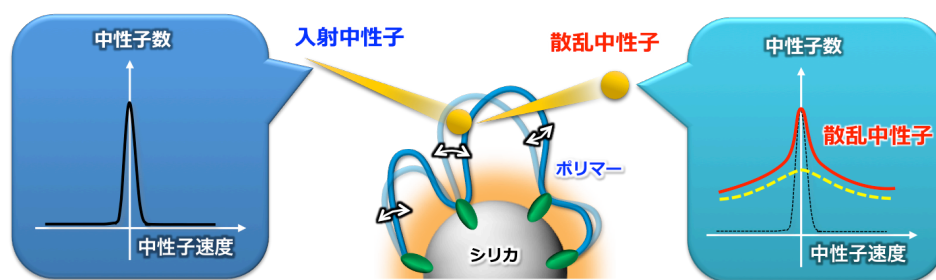


図 11 中性子実験によるポリマーの変動

出典：岸本浩通氏（2017）「先端大型研究施設の活用による次世代低燃費タイヤの開発」神戸大学大学院トップマネジメント講座、報告資料

J-PARK での中性子実験によって得られたポリマーの運動情報や構造情報は、結合剤のみならず、SPring-8 で分析された様々な素材にも適用可能であった。例えば、階層別に分析されたシリカの凝集構造に関する情報を同時に解析するためにも、中性子実験で得られたポリマーの運動情報が必要となる。こうした階層構造は、シリカに限らずゴムに添加される様々な素材についても存在する。それが、ソフトマターと呼ばれる物質の性質を作り上げている。しかし、こうした階層別の情報を同時に分析するためには、従来よりも格段に大量の情報を解析する技術が必要となってくる。極小角散乱法で利用していた地球シミュレータの計算能力は、すでに社内のパソコンで事足りるようになっていたが、シリカ以外にも存在する様々な素材の階層構造に関する情報を並行処理することは不可能であった。この点でも住友ゴムは、社外の技術を利用する必要があったが、日本の当時のスーパーコンピュータとしては、理化学研究所計算科学研究機構京コンピュータ（兵庫県神戸市中央区）があった。

SPring-8, J-PARK, 京コンピュータを組み合わせたタイヤ開発を、住友ゴムでは ADVANCED 4D NANO DESIGN というコンセプトとして打ち出している。このコンセプトは住友ゴム社内に閉じられたものではなく、中性子実験やシミュレーションを行う際の外部の施設や研究者との関係に支えられていることはいうまでもない。ところが、すでに触れてきたように、中性子実験に関しては、そもそも研究者がほとんどいないという状態であった。ゴムの研究基盤が欠けていた日本のタイヤ開発が、設計部門による構造設計に終止してきたように、社外で相談できる中性子実験の研究基盤と ADVANCED 4D NANO DESIGN の脆弱さはそのままリンクする。

そこに、住友ゴムに残された課題がある。それは、基礎研究のコミュニティ自体に対する積極的な介入である。住友ゴムでは、2016 年に J-PARC とのフェローシップ制度（任期付きの研究員）を開始し、全国から中性子を研究するポスドクを積極的に研究員として雇い入れた。たとえポスドクが大学等の研究機関に就職したとしても、社外に広がる新しいイノベーション・エコシステムを作り出ろうとしているわけである。すなわち、住友ゴムは、サイエンスの施設を中心とした新たなイノベーション・エコシステムを形成することにより、将来的な研究開発上での新たな課題が生じたときの共同研究体制を構築しているのである。こうした取り組みは、すでに材料開発本部としての領分を超えたものであるため、本社の研究開発本部のもとで行われている。その担当は、今や社内でも知らない者がいないほど、その存在感を増した岸本氏であった。

5.4 第5章のまとめ

第5章では、住友ゴムを中心として、新たなイノベーション・エコシステムが作り出された事例を取り上げてきた。リニア・モデルでは、名に暗に知識生産の主体は科学者に求められ、それ以上の検討がなされることはなかった。他方で、本章では、科学者は専門分化された集団であり、そうであるが故に企業に対して必ずしも有用な知見を提供できるわけではない点に注目してきた。実際、住友ゴムがタイヤの素材として扱ってきたゴムは、100nm から数 μm のメゾスケールからなるポリマーの結合によってその創発的な性質が生み出されており、古くからサイエンスの探求の対象たり得ないといわれてきた。そうした理解に基づいて、企業の研究開発制度も作り上げられ、素材としてのゴムの分析はイノベーションの要としては考えられてこなかった。還元すれば、サイエンスもそのような物的な存在の性質により制度化されており、分析できない素材としてのゴムはサイエンスの探求の対象から除外されてきたのである。

他方で、住友ゴムとしては、タイヤの素材であるゴムを科学的に分析することができれば、自社の研究開発を刷新することにもつながる。その点で、住友ゴムの分析部門の研究者であった岸本氏は、放射光施設が新たな可能性を拓いてくれる実験装置として注目したわけである。しかしながら、SPring-8 にいる専門分化された科学者集団の関心に、素材としてのゴムの分析は必ずしも合致するものではなかったが、新たな光を作り出すことを専門とす

る放射光研究者からすると、住友ゴムの挑戦はチャレンジングなことであり、それまで観察対象にはならなかった暗黒領域が広大に残されていることが認識されたのである。住友ゴムでは、放射光研究者との共同研究により、極小角散乱法という新しい分析手法を作り出すことになり、その結果住友ゴムでは、それまで重要視されていなかった分析部門や材料開発部門が中心となり、タイヤの開発を行なっていくイノベーション・エコシステムの形成につながったのである。

ただし、極小角散乱法で、素材としてのゴムが全て分析できたわけではなく、放射光の限界にも気付かされることになる。そこで、住友ゴムは、放射光施設に加え、中性子実験施設で素材としてのゴムを分析し、放射光では分析できなかった素材としてのゴムのメカニズムを解明した。住友ゴムでは、SPring-8、J-PARCK、京コンピュータを組み合わせたコンセプトを ADVANCED 4D NANO DESIGN と名付け、タイヤの開発を行っている。ここで重要であったのは、住友ゴムがサイエンスを中心とした新たなイノベーション・エコシステムを形成したことである。ADVANCED 4D NANO DESIGN の弱点としては、中性子実験の研究者が国内にほとんどいなかったという点であった。そこで、住友ゴムでは、2016 年に J-PARC とのフェローシップ制度を開始し、全国から中性子を研究するポスドクを積極的に研究員として雇い入れた。たとえポスドクが大学等の研究機関に就職したとしても、社外に広がる新しいイノベーション・エコシステムを作り出ろうとしているわけである。すなわち、住友ゴムは、新たなイノベーション・エコシステムを形成することによって、将来的な研究開発上の新たな課題が生じたときの共同研究体制を構築しているのである。

第6章 大型放射光施設を主体とした新たなイノベーション・エコシステム

第6章では、大型放射光施設それ自体が、イノベーション・エコシステムのデザインの主体となる経験的研究を行う。住友ゴムが開発した極小角散乱法は、SPring-8に新たなサイエンスの領域を作り出すことにも繋がり、ゴムのような長い分子の集合または巨大な分子として把握される柔らかい物質を観察するためのソフトマター専用の新たなビームラインが、住友ゴムと共同研究者を行った放射光研究者によって設置された。そして、SPring-8では、新たなビームラインを中心に、新たな産学連携のイノベーション・エコシステムが形成されることになった。他方で、SPring-8では、放射光研究者が特定のビームラインに張り付いてしまうという課題も残されていた。こうした課題を脱却するために、現在、東北大学にNano Terasu²⁵という新しい放射光施設の計画が推進されている。そこでは、放射光施設を基盤とした新たな産学連携として、コウリション・コンセプト²⁶が提案されており、学術の研究者と産業界のニーズが、ともに科学技術の進歩に合わせて進化しながら、サイエンスの実践自体の変更を含んだ新たなイノベーション・エコシステムの構築を目指している。具体的には、放射光施設を科学技術イノベーションの必須通過点としようとする科学技術スキーマーたちが計画する、サイエンスの実践そのものを含んだ新たなイノベーション・エコシステムを目指している。

6.1 極小角散乱法によって作り出された新たなサイエンスの領域（Spring-8）

実は、岸本氏による極小角散乱法の開発は、住友ゴムに新たなイノベーション・エコシステムを形成しただけではなく、SPring-8にも新たなイノベーション・エコシステムを形成することになる。放射光の産業利用は、放射光専用のフォトンファクトリーが作られたときから多様な放射光施設のユーザーを巻き込んだ社会的な正当化がなされており、実際に大型放射光施設が半導体産業や製薬業界に利用されてきた実績がある。こうした産業利用は、世界のなかでも日本が先陣を切るものであった²⁷。ただし、それはX線研究者とナノスケールの観察を目的とするユーザー研究者の関心に合う課題に限られたものであった。結果として、産業利用比率も5%程度に留まっており、先端科学の底上げが社会の発展に寄与するという青写真は、現実のものになっていなかった。

²⁵ Nano Terasu という名称は、次世代放射光施設が研究や観察の対象としている、放射光がナノの世界を明るく照らし、観察および分析する強力な光であるという、大型放射光施設の大きな特徴を表している。また名称応募者から日本神話で世の中を照らす天照大御神のように、この施設で行われる研究やその成果が、世界の学術や産業にも豊かな実りをもたらして欲しいという願いから付けられた。

²⁶ 高田昌樹氏（東北大学多元物質科学研究所 教授）「イノベーション・エコシステムのデザイン」『現代経済経営学研究所第95回ワークショップ』2017年9月10日

²⁷ 雨宮慶幸氏（東京大学大学院新領域創成科学研究科）「ナノの世界を可視化するX線とその歴史」『JASIS コンファレンス・プログラム』（2017年9月7日）

他方で、岸本氏による極小角散乱法の開発により、産業界が求めているニーズも顕在化していた。メゾスケールの観察を行う分析手法の開発によって産学連携を進めるためには、メゾスケールには関心がなかった X 線研究者とナノスケールの観察を目的とするユーザー研究者とは一線を画したビームラインを用意する必要があった²⁸。このように顕在化したニーズに対して応えるべく、新たな光を作りかつ利用する放射光科学を専門とする放射光研究者も誕生しており、放射光研究者として、SPring-8 では住友ゴムの岸本氏の極小角散乱法の開発に協力した雨宮氏などが関わることになった。

以下では、放射光研究者が翻訳者となり SPring-8 の新たなイノベーション・エコシステムのデザインを分析する。SPring-8 では、放射光研究者が翻訳者となり、共用ビームラインの一つに、長い分子の集合または巨大な分子として把握される柔らかい物質を観察するためのソフトマター専用のビームライン（フロンティアソフトマター・ビームライン）が設けられた（一般財団法人光科学イノベーションセンター, 2017）。メゾスケールを観察することに特化した専用のビームラインを作ってしまうと、課題申請の際に X 線研究者からの否定的な見解によって、有望な課題が不採択にされるということも少なくなるからである²⁹。

加えてフロンティアソフトマター・ビームラインでは、産業界の巻き込み方が重要になった。企業も関心を持つソフトマターは、すでに特定の大学との共同研究契約を行っていることも多い（一般財団法人光科学イノベーションセンター, 2017）。つまり、産学連携を促進するために重要なのは、ただ産学を連携させていくことではなく、同業の競合他社も参画するフロンティアソフトマター・ビームラインで、いかに企業の利害を損なわないような連携体制を作ることであった。この点で SPring-8 では、それまで個別発散的に展開されてきた産業利用について、競争的領域と非競争的領域を明確にしたことにある（高田, 2017）。

まず製品に直結する研究開発は、当然ながら競争的領域になる。企業の利害を損なわないためには、競合他社に情報が漏れることがあってはならない。そのため、フロンティアソフトマター・ビームラインでは、放射光研究者と特定の研究者と 19 社の企業を一对一のパートナーとしてマッチングしたコンソーシアム方式を取り、それぞれが開発競争を行っている³⁰。図 12 にあるように学術パートナーとなった研究者は、放射光計測、データ解析の手法に関わる研究成果については公開し、コンソーシアム全体で共有する非競争領域も形成する。研究者にとってのインセンティブは、企業と共有する課題から新たな研究シーズと研究ネットワークを開拓できること、その事で専用ビームラインを用いて独自の研究開発に取り組む機会を得ることである。そして、企業の課題解決に自身の学術研究で貢献することで説明責任を果たす。

²⁸ ビームライン構想委員会報告書（初期ビームライン答申）2018 年 8 月

²⁹ 産学官連携ジャーナル Web サイト https://sangakukan.jst.go.jp/journal/journal_contents/2015/11/articles/1511-02-2/1511-02-2_article.html

³⁰ 高田昌樹氏（東北大学多元物質科学研究所 教授）「イノベーション・エコシステムのデザイン」『現代経済経営学研究所第 95 回ワークショップ』2017 年 9 月 10 日



図 12 フロンティアソフトマター・ビームラインにおける産学連携

出典：一般財団法人光科学イノベーションセンター, 2017, 17 頁

この新しい産学連携の特長は、これまで発散的に展開してきた多様な産業利用を、産業利活用のあり方の収束的思考に基づいて、研究のインセンティブと説明責任を、非競争領域と競争領域として明確にした点にある。そして、成果についても、個別の研究成果ではなく、科学的知識を価値に転換した製品ブランド等のアウトカムを、放射光の利活用の成果として初めて定義し、説明責任を明確にした成果の定義として、連合体の内外で高い評価を得ることになる³¹。代表的には、エコタイヤの開発であり、住友ゴム株式会社、株式会社ブリヂストン、横浜ゴム株式会社の三社がコンソーシアム形式で、それぞれに放射光研究者と組むことによって、タイヤの燃費性能やグリップ性能、耐摩耗性能に関する独自の研究開発をすすめてきた³²。他にも触媒や革新的蓄電池など、産業レベルで共通した関心が集まっている課題ほど、こうしたコンソーシアム形式が有効に働く。

他方で、コンソーシアムで共同研究した成果については、学術的成果として発表されることにもなる。そもそも、学術的成果の公開を通じた知識の共有が、共有施設である SPring-8 を利用するための条件であった。もちろん、一般化された学術的成果であれば、実際に製品を作る際のノウハウは隠すこともできる。非競争的領域は、基礎研究だけではない。競合他社との競争のなかで開発された製品群は、新たなブランド価値を生む。タイヤの基本性能に関して競争的な開発体制を取っていたタイヤ業界の 3 社も、その成果に対してエコタイヤというラベルを与え、世界に発信していくグローバル・マスター・ブランドを作ることに繋がった。このように、住友ゴムの研究者である岸本氏の挑戦は、SPring-8 に新たなイノベーション・エコシステムがデザインされることにもつながっているのである。

³¹ 高田昌樹氏（東北大学多元物質科学研究所 教授）「イノベーションエコシステムの中核としての施設設計」『次世代放射光施設シンポジウム』2018 年 11 月 25 日

³² SPring-8Web サイト http://www.spring8.or.jp/ja/news_publications/research_highlights/no_63/

6.2 SPring-8 におけるフロンティアソフトマター・ビームラインに残された課題

フロンティアソフトマター・ビームラインは、確かに大型放射光施設を利用する産学連携体制を確立し、産学連携の代表的なモデルになった³³。しかしながら、SPring-8 でフロンティアソフトマター・ビームラインと呼ばれるのは、全 62 本あるビームラインのうち 1 本だけであった。それは、他の共用ビームラインや、それ以外の専用ビームラインにまで大きな影響を与えたわけではなく、分析手法別のビームラインの構成そのものは SPring-8 の設立時点から変化していない。そもそもフロンティアソフトマター・ビームラインは、放射光科学を専門とする研究者たちが共用ビームラインを利用する際に、X 線研究者に対抗するためにラベリングしたものでもあった。

しかしながら、フロンティアソフトマター・ビームラインの成功によって、かえって研究者の縄張り意識が強化されてしまったのである。その結果、SPring-8 にいる研究者たちの関心に合うように設計されたビームラインを独占的に利用するという悪習が生まれ、自分たちが利用するビームラインに張り付いて離れないという、たこつぼ状態に陥ってしまった³⁴。ビームラインの稼働時間に関しては、フロンティアソフトマター・ビームラインが設立された頃から、小角散乱を利用するビームラインの時間数が比較的に増加してきた傾向が見られる（神辺, 2018）。ところが、たこつぼ状態にある SPring-8 では、小角散乱を利用するビームラインの本数が増えることもなく、ナノスケールの観察を目的とした X 線回折を利用するビームラインの本数もそのまま維持されてきたのである³⁵。

さらに、様々な利用者のニーズに答えて散乱現象を利用したフロンティアソフトマター・ビームラインそれ自体にも、問題があった。それは、一対一のコンソーシアム形式の産学連携体制である。フロンティアソフトマター・ビームラインにおける成果は、1 本の専用ビームラインの中での限定されたイノベーションに過ぎない。SPring-8 には 62 本の多種多様なビームラインがあり、多様な研究分野が集う研究施設であるため、本来ならばこれらが融合することによって革新的な成果が生まれる。ところが、フロンティアソフトマター・ビームラインでは、企業の役割と研究者の役割が完全に明確化されてしまい、企業が研究者の知識に頼らざるを得ないという構造が作り上げられてしまった。

これらの課題の根源には、産学連携を結ぶ以前の企業と研究者の関係、さらには研究そのもののあり方にまで及ぶユニニア・モデルが透けてみえてくる。コンソーシアムに参加する企業は、ペアになった放射光研究者に対して気軽に分析を依頼できるわけではない。企業が放射光科学を専門とする研究者と共同研究を進めるには、相当程度の知識を持っていなけれ

³³ 高田昌樹氏（東北大学多元物質科学研究所 教授）「イノベーションエコシステムの中核としての施設設計」『次世代放射光施設シンポジウム』2018 年 11 月 25 日

³⁴ ビームライン構想委員会報告書（初期ビームライン答申）2018 年 8 月

³⁵ 他方で、こうした状況を放置したものではない。2012 年には SPring-8 ユーザー協同体 (SPRUC) が創設されるが、その狙いはビームラインに張り付いた放射光研究者を引き剥がすことであった。この SPRUC の体制は、第 4 節で検討する Nano Terasu でより発展的に組織化されていくことになる。

ばならず、最初にコンソーシアムに参加した企業は共通して組まされた研究者の対応を冷たく感じたという³⁶。エコタイヤの開発でも特にイニシアティブを取った住友ゴムでは、企業から派遣された研究者が学術の研究者との共同研究を通じて学位を取得し、さらに関連する学会で学会賞まで受賞している。それもまた産学連携の研究成果とも取れるが、企業にとっては極めてハードルの高い産学連携体制なのである。ユーザーのために新しい手法を作ることの使命とする放射光研究者は、あくまでリニア・モデルの上流に位置づけられ、放射光研究者の知識に頼りながら製品の開発に取り組む企業は、リニア・モデルの下流に位置づけられよう。イノベーションの根源となる新結合を考えれば、一対一のコンソーシアム形式ではなく、課題に応じて多様な研究者や企業間連携をしながら、サイエンスの実践を含んだイノベーション・エコシステムの変更を考えていく必要がある³⁷。こうした構想を含んでいるのが、現在進行中の次世代放射光施設 Nano Terasu である。

6.3 新たなイノベーション・エコシステムを再設計するスキーマ

放射光の歴史を振り返ってみると、そこには科学そのもののトレンドが変遷してきた様子が読み取れる。当初、X線研究者は、学問的探求を追求する好奇心駆動型の科学 (curiosity-driven science) の典型であった。あくまで科学は、社会に与える影響からは切り離されていると考えているからこそ、X線研究者は、一方で自分たちが利用するビームラインを確保しつつ、自らを正当化するために様々な研究領域に影響を与える先端科学基盤という位置づけを与え、さらには科学の刷新を通じた遠い社会的課題の解決をも展望しなければならなかった。しかし、実際に放射光の利用が進めば、装置駆動型の科学 (device-driven science) ともいべき新たな科学のあり方が現れた³⁸。それは、新しい手法を作り、使うことを探求する放射光研究者の登場に依るところが大きい。放射光研究者へと依存した産学連携というかたちでリニア・モデルを変奏しており、サイエンスの実践それ自体の変更を含んだ新たなイノベーション・エコシステムの形成にまでは至らなかった。既存の放射光施設のエコシステムが抱えていた課題を解決し、科学技術イノベーションを実現する新たなエコシステムを再設計しようとする動機をもったスキーマ (schema) とも呼ばれるようになった存在である³⁹。それは、リニア・モデルを前提として学問的知識を産業界に翻訳するゲートキーパー (Allen, 1977) や、学問的知識の産業利用を促進することを目的とする産学連携のコーディネーターなどとは異なり、サイエンスの実践それ自体のあり方を含んだエコシステムを再設計しようとする動機を持った翻訳者としてのアクターである。

³⁶ 岸本浩通氏 (住友ゴム株式会社) へのインタビュー2017年8月9日

³⁷ 高田昌樹氏 (東北大学多元物質科学研究所 教授) 「高輝度放射光施設とイノベーション・エコシステム」『2018年度組織学会年次大会』2017年11月12日

³⁸ 産学官連携ジャーナル Web サイト https://sangakukan.jst.go.jp/journal/journal_contents/2015/11/articles/1511-02-2/1511-02-2_article.html

³⁹ 高田昌樹氏 (東北大学多元物質科学研究所 教授) へのインタビュー2019年1月22日

「放射光の「産業利用」の形態における多様性がうまれた背景には、先例のない放射光の産業利用のあり方を、パイオニアとして試行錯誤を繰り返してきた歴史がある。一方で、社会ニーズと、それに応える放射光科学の技術革新の課題、利用システムの最適化が、サイエンスコミュニティ、産業界、そして社会科学を巻き込む形で広く議論されないまま、放射光科学の専門家にのみ委ねられて進められてきたことも、発散思考のままの多様性が残された要因となっている。」

(高田, 2017)

具体的には、SPring-8 の産学連携を率いてきた高田昌樹氏であり、現在は次世代放射光施設 Nano Terasu の設置準備のために東北大学に所属している。また、SPring-8 を創成期から見ていた石川哲也氏もまた、日本の科学技術政策においていかに放射光施設が科学技術イノベーションの生成に寄与するかを見通しながら、Nano Terasu 計画を含んだ科学技術イノベーションの舵取りを行っているのである。彼らは、既存の研究領域の外から来た存在ではない。むしろ、純粋に放射光を探究し、放射光それ自体の開発にも心血を注いできた研究者である。身近に様々な課題を直視してきたからこそ、ときに旧知の仲にある研究者と対立してでも、新たなイノベーション・エコシステムを作り出そうとする翻訳者としてのアクターになりえたのである。



図 13 Nano Terasu

出典： <https://web.tohoku.ac.jp/manabi/featured/sf01/>

6.4 Nano Terasu が目指すイノベーション・エコシステム

SPring-8 のフロンティアソフトマター・ビームラインは、世界に先駆けて放射光の産業利用を推進してきた日本でも先進的な取り組みであった。ところが、放射光施設における今日の世界的情勢を見てみると、メゾスケールの観察を目的放射光施設が次々と建設されており、産業利用の実績面でも日本を大きく引き離している⁴⁰。自らの手で実験装置を作り出してきた X 線研究者が、日本の世界の最先端に行く放射光施設を支えてきたことは間違いなが、前節で見てきたように、放射光研究を専門としてきた彼らの学問的探究心が産業利用への様々な障壁となってきたのである。皮肉なことに産業利用に関しては、日本の後塵を拝してきた諸外国のほうが、国家主動で大きく舵を切ることができたのである。もちろん、その舵取りの方法は、それぞれの国のコンテクストによって多様なエコシステムを形成しているであろう（井上, 2018）。

日本においても、新たなイノベーション・エコシステムを設計する必要がある。そのために現在進行しているのが、東北放射光施設 Nano Terasu 計画である。すでにナノスケールでは世界最先端の短い波長の X 線を供給する SPring-8 が存在するなか、Nano Terasu では SPring-8 ではカバーされない、産業界が求めいていたメゾスケールの波長 (10nm から 100nm) をメインターゲットにしている。物理学では、波長の短い放射光は硬 X 線 (hard X-ray) と呼ばれ、波長が長い光は軟 X 線 (soft X-ray) と呼ばれている。もちろん、Nano Terasu は、硬 X 線を出力する機能は備えたものであるが、産業界のニーズに応えるための軟 X 線に絞り込むことによって電子エネルギー自体は 3 GeV と SPring-8 に比べて低いものになる。ただし、エネルギーが低いことが、SPring-8 より劣った放射光施設であるということを意味するわけではない。波長の長い軟 X 線では、自ずと輝度は SPring-8 の 100 倍になり、高いエネルギーを必要としない。エネルギーを落としたぶん、SPring-8 の 1/10 の電力である 5 メガワットで省エネ運転が可能である。こうしたスペックの表示を通じて、放射光施設として Nano Terasu が既存の SPring-8 に加えて必要であることをシンボリックに説得しようとしているのである。高田氏によると、

「これまで、わが国の放射光施設が長い間、進まなかったために、海外の軟 X 線向けの放射光施設に後れを取っておりました。一方で、この SPring-8、SACLA といった放射光、自由電子レーザーの研究開発によって、我々の独自技術をどんどん磨いてまいりました。これを結集しまして、一気に 100 倍近く付いた性能さを挽回する、逆転してしまうというものが、この計画でございます。それだけではなく、海外では、台湾の新竹、放射光施設の周りに大学、そして企業、これが集積しております。グルノーブルには ESRF という放射光施設の周りにジャイアントというものができました。ここにもたくさんの人が集まっています。パリ、サクレーには、ソレイユという放射光施設がございます。ここはコスメティック・ヴ

⁴⁰ 諸外国の軟 X 線に特化した放射光施設としては、アメリカの NSLS-II、台湾の TPS、スウェーデンの MAX IV、ブラジルの SIRIUS がある。

アレと呼ばれまして、ロリアルが傘下の 100 社あまりの企業を引き連れて、ここで研究開発をしております。パリ・サクレ地区には、どんどん企業が集積をして、大学の建物、企業の建物が見る見る増えて、半年ごとに景色が変わっているという状況でございます。また、スウェーデンのルンド市、これはMAX-IVという放射光施設が運用開始を致しました。そのそばにサイエンスビレッジを建設するというので、いま、いろいろな企業を勧誘をしているというのでございます。このように、我々は放射光施設だけではなくて、リサーチコンプレックスというものを、最先端の次世代放射光施設を置くことにより、形成をしていくということが最大のミッションとなっております。」⁴¹

改めて、Nano Terasu は研究者のためだけの施設ではなく、産業界のニーズに応えるための施設なのである。そのため、Nano Terasu の高田氏は以下のように述べている。

「企業の皆さんにはあえて放射光の勉強をしないでくださいとお願いしています。純粋に、お困りごとだけを持ってきてくださいと。」⁴²

では、どのような研究課題が持ち込まれるのだろうか。例えば、Nano Terassu を利用した先行研究として、エダマメの内部構造の可視化や、手打ちの素麺と機械で作られた麺の内部構造の違いの可視化、かつお節内部の熟成過程の可視化などが進められている⁴³。食べることは、我々人間にとって身近なことであるにもかかわらず、なぜ美味しいと感じるのかということや、なぜこの食感なのかといったメカニズムは、いまだに解明されていないことが多々ある。こうしたことを解明するために、Nano Terasu が力を発揮する。Nano Terasu の軟Xでは、非破壊で食品や農産物の内部構造をデータ化、可視化することができる⁴⁴。すなわち、人間が食品のどの部分に美味しさを感じているのかという、味覚の可視化とデジタル化が可能になり、そのデータの応用利用もできるようになる⁴⁵。

⁴¹ 高田昌樹氏（東北大学多元物質科学研究所 教授）「イノベーションエコシステムの中核としての施設設計」『次世代放射光施設シンポジウム』2018 年 11 月 25 日

⁴² 2023 年 11 月 7 日高田昌樹氏へのインタビュー調査

⁴³ 2023 年 11 月 7 日高田昌樹氏へのインタビュー調査

⁴⁴ <https://web.tohoku.ac.jp/manabi/featured/sf01/>

⁴⁵ <https://web.tohoku.ac.jp/manabi/featured/sf01/>

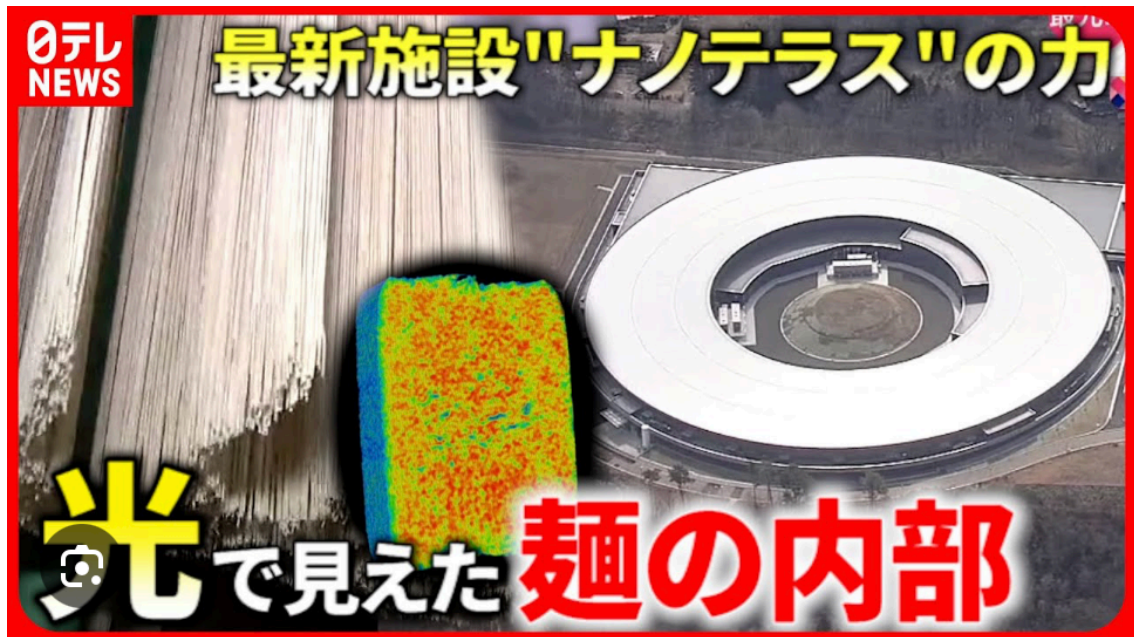


図 14 Nano Terasu に持ち込まれる対象

出典：【最新技術】食品開発にも貢献！放射光施設”ナノテラス”が照らす未来 宮城 NNN セレクション⁴⁶

美味しさの違いを可視化することにより、これまで経験則で伝えられていた製造プロセスや産地による違いが科学的に解明される⁴⁷。国際放射光イノベーション・スマート研究センターの原田昌彦氏によると、

「ウイスキーなどの酒類でも、放射光でナノレベルの構造成分が検出されています。ですの
で、東北の日本酒がなぜ美味しいのかもナノテラスで科学的に説明できるようになると考
え、A-Sync では日本酒の放射光測定も始めています。「宮城のお酒の構造と他県のお酒の構
造はこう違う」という新しい見方や評価軸が示せるようになると期待しているところです。
また、海外に輸出する際も、淡麗だとか豊潤だとかといった曖昧な表現ではなく、「この品
にはどのような構造的特徴があるから、こういう料理とマリアージュすればとてもおいし
くいただけます」というようなことが、科学的な裏付けをもってアピールできるようにな
る。」⁴⁸

すなわち、Nano Terasu で食品を観察することのより、科学技術イノベーションを起こす
だけではなく、企業のマーケティングの面でも競争力の強化に貢献できるのである。

⁴⁶ <https://www.youtube.com/watch?app=desktop&v=63aKhpS4xtw>

⁴⁷ <https://web.tohoku.ac.jp/manabi/featured/sf01/>

⁴⁸ <https://web.tohoku.ac.jp/manabi/featured/sf01/>

このように、Nano Terasu は、基本的には産業界のニーズに応えるための軟 X 線を発生するためのビームラインが中心になっている。そのため、硬 X 線を発生させるビームラインが中心となっている SPring-8 と棲み分け、X 線研究者とは異なったアプローチでの産業利用を促進することを目指している。ただし、フロンティアソフトマター・ビームラインの産学連携には、独自の課題もあった。新たな手法を開発し、それを利用する放射光研究者がビームラインに張り付いて離れないというたこつぼ状態に陥ったことである。

「専用ビームラインという縦割りの枠組みの中での話しである。よって、産学連合体の成果は、一本の専用ビームラインの中での限定した、産学並びに産産のイノベーション（新結合）に過ぎない。放射光施設は、一般に、数十本の多種多様なビームラインに多様な研究分野が集う研究基盤である。よって、本来、学融合、業界融合による新学術や新産業の創成の揺籃としての高いポテンシャルを有する。ところが、それぞれの役割を明確化するための創り上げた共用ビームライン、専用ビームラインといった縦割り構造が、産業利用から産業利活用への進化が進む中で、さらなるイノベーション（新結合）を産みにくくなる構図になりつつある可能性が出てきた。」

（高田, 2017）

こうした状況に対して Nano Terasu では、ビームラインを図 15 のように複数の実験装置のモジュールに分解している。従来のビームラインは、個々の研究者の関心に基づいて開発されてきたのに対して、そこで使われている要素技術を整理してみれば、光学系⁴⁹とエンドステーション⁵⁰の組み合わせによる 10 本のビームラインに集約でき⁵¹、類似したビームラインを整理することによる効率体な運営が期待される。もちろん、新しい手法を開発していくためには、モジュール化されていない新たな実験装置の開発は必要であることはいうまでもない。だからといって常設の軟 X 線のビームラインに研究者が張り付くのではなく、新たな手法を開発するための専用のビームラインを別に設ければよい。放射光研究者には、ビームラインではなく個別のモジュールに開発責任を追わせることでたこつぼ化を払拭し、自分たちの学術的欲求を満たすためのビームラインの開発ではなく、ユーザー目線から将来的にユーザーが必要とするビームラインの開発へ誘導する。もちろん、新たな手法を開発するビームラインも必要であり、Nano Terasu の BL09-U-A&B（極限性能軟 X 線分光ビームライン）はそのためのビームラインである。このように新しい手法を開発する基礎研究と、その光を利用するポートフォリオを更新させていく計画が組みやすくなる。

⁴⁹ 硬 X 線か軟 X 線かを選択する。

⁵⁰ 回折や散乱などの物質を観察するための分析手法を選択する。

⁵¹ SPring-8 には 62 本のビームラインが乱立していたが、Nano Terasu の初期構想では基本となるビームラインが 10 本と大幅に圧縮する。

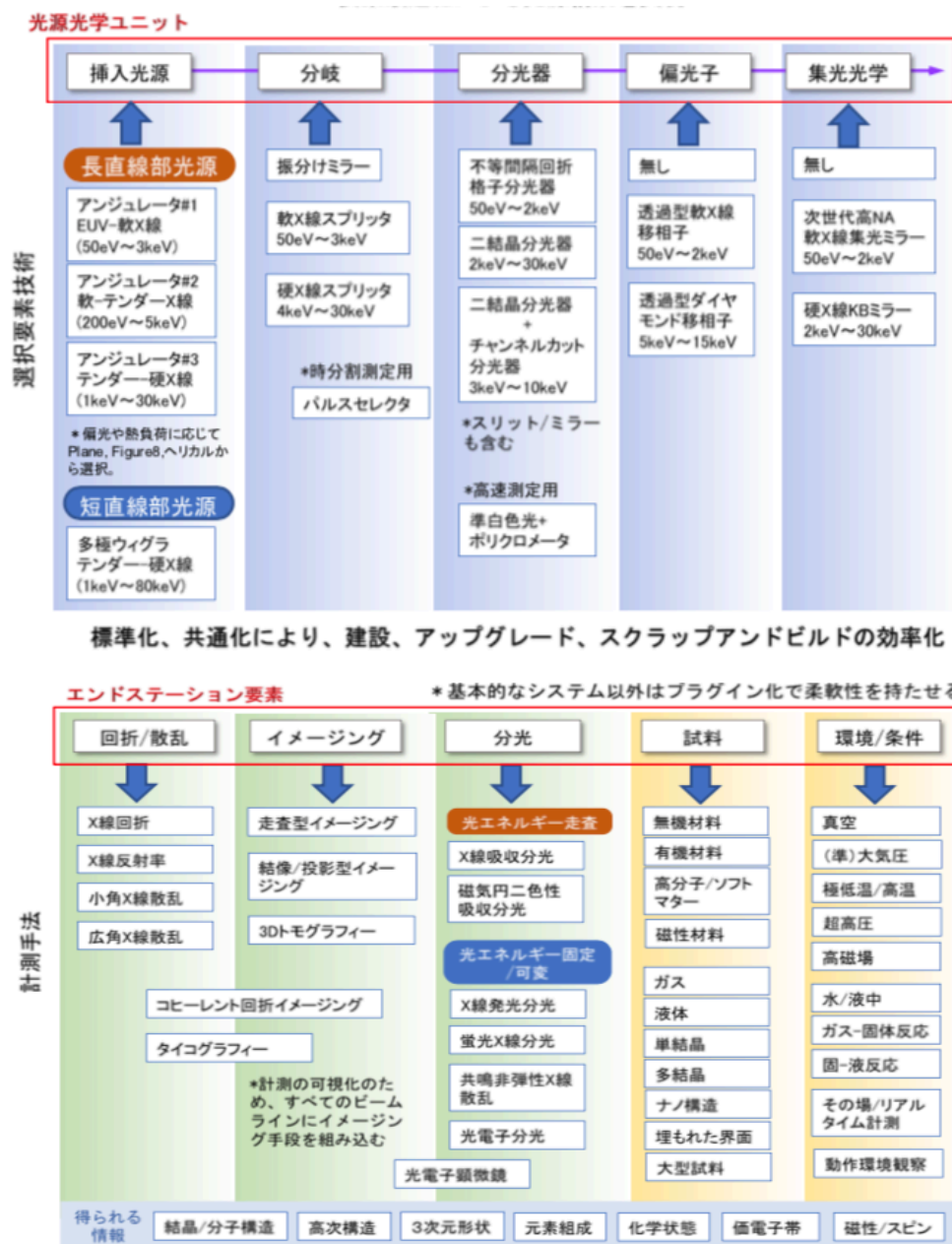


図 15 ビームラインのモジュール化

出典：ビームライン構想委員会, 2018, 31-33 頁

また、Nano Terasu では、放射光科学に関する高度な知識を有していない企業であっても放射光利用をしやすいうに、施設内に産学連携の核となる分析会社を誘致されている。既存の産学連携体制では、ビームラインを開発した放射光研究者のノウハウを通じて、企業は放射光を利用した様々な分析を行うことができた。こうしたノウハウは、必ずしも明文化されたものではないため、結局のところ企業は放射光研究者を頼らざるをえなかったわけである。他方で、分析ノウハウに関する実は、日本の企業には高度経済成長期からバブル時

代に中央研究所が創設され、基礎的な分析を専門にする部門が未だに多く残っている。諸外国では、1980年代のM&Aで整理されてきたものだが(Rosenbloom and Spencer, 1996), M&Aによる部門の統廃合が行われることが少ない日本企業では、関連子会社化されながらも存在するのである。これらの分析会社は、放射光研究者に負けないノウハウの知識を蓄えているが、彼らは会社の利益に直接寄与することがないために、社内での地位は低く、企業外部からの分析を受注することで自らの存在価値を正当化する必要性に迫られている。そこでNano Terasuでは、こうしたニーズを持つ分析会社を誘致することで、放射光施設を利用しようとする幅広いユーザーに対して、X線研究者や放射光研究者に過度に依存せずとも必要な分析を依頼できるイノベーション・エコシステムを作ろうとしているのである。高田氏によると、

「企業はお金を出す。先生は知恵を出す。1対1で責任ある共同研究を。そうしますと、こういう基礎研究の成果の環境淘汰によるイノベーション、運命を任せるのではなくて、企業の課題の中から基礎研究のテーマを出してきて、それを解決することで新しいイノベーションにつないでいくというのが、コウリション・コンセプトを目指すところでございます。そのために、このような学術パートナーとの戦略的連携、データ解析、利用支援の充実といった、詳しくは説明致しませんけれども、こういった仕組みについても、広く議論している。分析会社を入れていくことで、それをさらに効率よく行っていくということでございます。」

52

さらに特定の研究者と特定の企業が一對一に与するコンソーシアムを超え、課題解決のために複数の研究領域を跨いだ研究者との連携や企業間連携を通じたイノベーションを実現するために、Nano Terasuでは産業界からの出資を求めている。

「産学連合体の仕組みを専用ビームラインの枠組みの中ではなく、施設全体に展開するところに大きな違いがある。また、必ずしも学術とだけではなく、企業群としてコウリションメンバーを形成することも可能となり、産学連携だけでなく産産連携による利活用も促進する。」(高田, 2017)

⁵² 高田昌樹氏(東北大学多元物質科学研究所 教授)「イノベーションエコシステムの中核としての施設設計」『次世代放射光施設シンポジウム』2018年11月25日



図 16 分析会社を介した Nano Terasu における産学連携

出典：高田・村井・郡・里見・海輪（2018）

SPRING-8 の利用課題の審査は、放射光施設を牽引してきた X 線研究者の目線による課題採択にならざるをえなかった。また、競合他社への情報漏洩を防ぐためにも、コンソーシアム体制での限られた産学連携しか取れなかった。他方で、放射光施設に資金を提供する出資者が企業であれば、特定の研究者だけではなく、課題解決に対して必要な知識を持つ様々な研究領域の研究者を公募し、研究者もまた自ら貢献できる課題を提示できる。情報漏洩がネックになる企業間連携も、出資者に任せて様々な連携の可能性を模索することができる。高田氏は、1600 回以上の企業との対話を経て、多くの企業が Nano Terasu への出資を行った⁵³。

連携する研究者の側にも、責任を持った推進体制が必要になる。Nano Terasu では、東北 7 大学（東北大学・宮城教育大学・山形大学・岩手大学・弘前大学・福島大学）から選出された理事を代表機関として組織化する計画が立てられている。この代表機関を通じて、企業との共同研究を研究者個人だけに任せるのではなく、大学に研究の責任を負わせることになる。そうすることによって、研究者の好奇心に任せた研究ではなく、社会的正当性が求められる研究が可能になる。Nano Terasu では、このように放射光施設がイノベーションの核となり、産学連携のつながりを有機的に結び直していくことをコウリション・コンセプトと呼んでいる（図 17）。

⁵³ 2023 年 11 月 7 日高田昌樹氏へのインタビュー調査



図 17 Nano Terasu におけるコウリション・コンセプト⁵⁴

6.5 科学技術イノベーションの新しいエコシステムにむけて

これまで見てきたように Nano Terasu は、装置駆動型の科学（device-driven science）という新しいサイエンスの可能性を開いてきた。SPring-8 では、新しい手法を作る専門家として登場した放射光研究者は、企業が研究者に分析のノウハウの面で依存させ、それが産業利用比率の低さや、企業に高度な知識を求めるなどの課題を作り出していた。基礎的な知識は研究者が作り出し、これを企業が応用するというリニア・モデルの旋律は、社会的な通念として存在するのである。

ただし、このような通念は社会全体で共有されている。リニア・モデルの変奏が生まれたのは、放射光研究者だけの責任だけではない。企業の側もコンソーシアムを結んだ放射光研究者の知識に頼ってしまっていた。さらにいえば、企業のなかでも、リニア・モデルが滑り込んでいる。というのは、企業は大学の研究室から研究開発人材を採用している。彼らの多くは、企業の研究開発部門で働きつつも、あくまで研究者としての実績を上げて大学等の研究者としてキャリアを歩んでいくことを目指している⁵⁵。事実、SPring-8 の産業利用の応募

⁵⁴ https://www.nanoterasu.jp/nanoterasu_online_poster4/index.html

⁵⁵ 経済産業省（2016）「我が国の大学・大学院の現状」
http://www.meti.go.jp/policy/economy/jinzai/san_gaku_kyodo/sanko4.pdf

課題も、純粋な学問的関心に基づくものも多く、彼らの研究成果は国際的なジャーナルに掲載される。すなわち、すでに基礎研究に関して企業と大学の区別がつかない状態であるともいえるが、それは企業内部にもリニア・モデルを変奏する力が潜在していることを意味する。

Nano Terasu で構想されている装置駆動型の科学技術イノベーションは、サイエンスを社会実践として改めて捉え直し、サイエンスの実践のあり方を含めてイノベーション・エコシステムを根源的に考え直していかなければならない。これまで見てきたような実験装置としての放射光施設の発展は、明らかに我々が観察できる世界を変えてきた。従来までは可視化することができなかった領域を、鮮やかなイメージで描写することができ、感知できなかった物質の変化スピードを捉えることができるようになった。これまでのサイエンスは、複雑な現実に対して特定の前提条件を定め、その前提条件から最適解を導き出すというアプローチをとっていた。当然ながら、理論と現実にはギャップがあるが、それはサイエンスである以上、仕方がないと割り切られていた。むしろ、サイエンスは現実とは異なった純粋な理論を扱うことを美德とさえしていた。

これに対して今日の放射光施設は、「汚いものを汚いまま観察することができる」⁵⁶という技術的特徴がある。放射光施設は、本研究で紹介してきた X 線回折法や小角散乱法を基本としつつ、様々な分析を可能にする実験装置が存在している。とりわけ、様々なスケールで創発特性を持つ物質が変化していく巨大なデータは、それまで様々な研究領域でそれぞれに考察されてきた現実の動きをイメージ動画で観察することができる。例えば、SPring-8 での触媒開発のグリーン・サステナブル・ケミストリー・プロジェクトでは、すでにこのような可能性が現れ始めていた。触媒という複雑な現象は、その高速の反応が故に触知し得ないものであった。しかし、放射光の利用を通じて得られた可視化されたイメージによって、様々な研究領域の研究者が集まり、課題解決のための共同研究が進んでいる。そこでは、研究者が知識の上流にあって、下流で企業がその知識を応用するというリニア・モデルとは全く異なり、実験装置によって可視化されたイメージによって、産学の関係が有機的に結び直されていく。これは、決して自由な研究を求める学問の終わりを意味するものではない。もとよりサイエンスは実験装置の開発とともに発展しており、その実験装置を通じて社会と密接につながっていった (Barad, 2007)。既存のサイエンスでは、この実験装置の役割を過小評価していたのであり、実験装置こそが研究者と社会が課題解決のために必要な必須通過点となっていたのである。Nano Terasu では、実験装置に駆動される科学技術イノベーションを目指しているのである。

6.6 第6章のまとめ

第6章では、大型放射光施設それ自体が、イノベーション・エコシステムのデザインの主体となる経験的研究を行ってきた。住友ゴムが開発した極小角散乱法は、SPring-8 に新たな

⁵⁶ 石川哲也氏（国立研究開発法人理化学研究所播磨放射光科学研究センター長）「利用者の動向と施設の対応」『SPring-8 シンポジウム 2018』2018 年 8 月 25 日

サイエンスの領域を作り出すことにも繋がり、ゴムのような長い分子の集合または巨大な分子として把握される柔らかい物質を観察するためのソフトマター専用の新たなビームラインが、住友ゴムと共同研究者を行った放射光研究者によって設置された。その結果、SPring-8 では、フロンティアソフトマター・ビームラインを中心とした新たなイノベーション・エコシステムが形成されることになった。

しかしながら、SPring-8 で発足したフロンティアソフトマター・ビームラインは産学連携の一つの例であるが、放射光を利用してイノベーションを起こしていくためには、放射光科学を専門とする研究者の知識に頼らざるをえなかった。こうした状況を脱却するために、現在、東北地方に Nano Terasu という新しい次世代放射光施設の計画が推進されている。翻訳者としてのアクターは、サイエンスの実践それ自体を含んでイノベーション・エコシステムを再設計しようとする動機を持つようになった、科学技術スキーマである。科学技術スキーマは、放射光施設を基盤とした新たな産学連携として、コウリション・コンセプトを提案していた⁵⁷。コウリション・コンセプトは、学術の研究者と産業界のニーズが、ともに科学技術の進歩に合わせて進化しながら、サイエンスの実践それ自体の変更を含んだイノベーション・エコシステムの構築を目指すものである⁵⁸。

具体的には、産業界のニーズを中心としたイノベーション・エコシステムの形成が目指されており、SPring-8 におけるフロンティアソフトマター・ビームラインの課題を踏まえ、ビームラインの要素技術をモジュール化し、産学連携の中心として分析会社を誘致することによって、産業界が主導となったイノベーション・エコシステムの形成が目指されている。また、出資を産業界から募りつつ、他方では共同研究の相手となる研究者にも所属する大学が機関として責任を持つ強固な産学連携体制の構築を目指している。

そのうえで、Nano Terasu では、大型放射光施設を科学技術イノベーションの中心に位置付け、装置駆動型の新しいサイエンスの可能性を開こうとしているのである。装置駆動型の科学は、サイエンスの実践を社会実践として改めて捉え直し、そのあり方を含めて科学技術イノベーションのエコシステムを根源的に考え直していかなければならない。これまで見てきたように、実験装置としての放射光施設の発展は、明らかに我々が観察できる世界を変えてきた。従来までは可視化することができなかった領域を、鮮やかなイメージで描写することができ、感知できなかった物質の変化スピードを捉えることができるようになった。ここでは、研究者が知識の上流にあって、下流で企業がその知識を応用するというリニア・モデルとは全く異なり、実験装置によって可視化されたイメージによって、サイエンスの実践の刷新を含んだ新たなイノベーション・エコシステムが形成される可能性を秘めている。

⁵⁷ 高田昌樹氏（東北大学多元物質科学研究所 教授）「イノベーション・エコシステムのデザイン」『現代経済経営学研究所第 95 回ワークショップ』2017 年 9 月 10 日

⁵⁸ 高田昌樹氏（東北大学多元物質科学研究所 教授）「イノベーションエコシステムの中核としての施設設計」『次世代放射光施設シンポジウム』2018 年 11 月 25 日

第 7 章 経験的研究に対する考察

本章では、経験的研究に対する考察を行う。改めて、本研究では、科学技術イノベーションが目指す、新しいイノベーション・エコシステムあり方を探求するために、世界的にもリードしてきた日本の大型放射光施設を中心に形成されてきたイノベーション・エコシステムの異種混肴デザインを分析してきた。今日の科学技術イノベーションでは、既存の科学的な基礎研究を大学等で行い、それが産業界で製品化されていくというリニア・モデルではなく、第 3 章で提示した分析枠組みのもと、大型放射光施設を分析してきた。図 18 は経験的研究を分析枠組みに当てはめ、まとめたものである。分析枠組みを提示した際には、Leonardi (2011) の鱗状の重なり概念に近かったが、図 18 にあるように形成されたエコシステムから現れる、新たな問題化は一つとは限らない。翻訳者としてのアクターが異なれば、異種混肴のエコシステムの解釈は異なるため、既存のエコシステムから問題化される現象も異なるのである。以下では、経験的研究に対する考察を行う

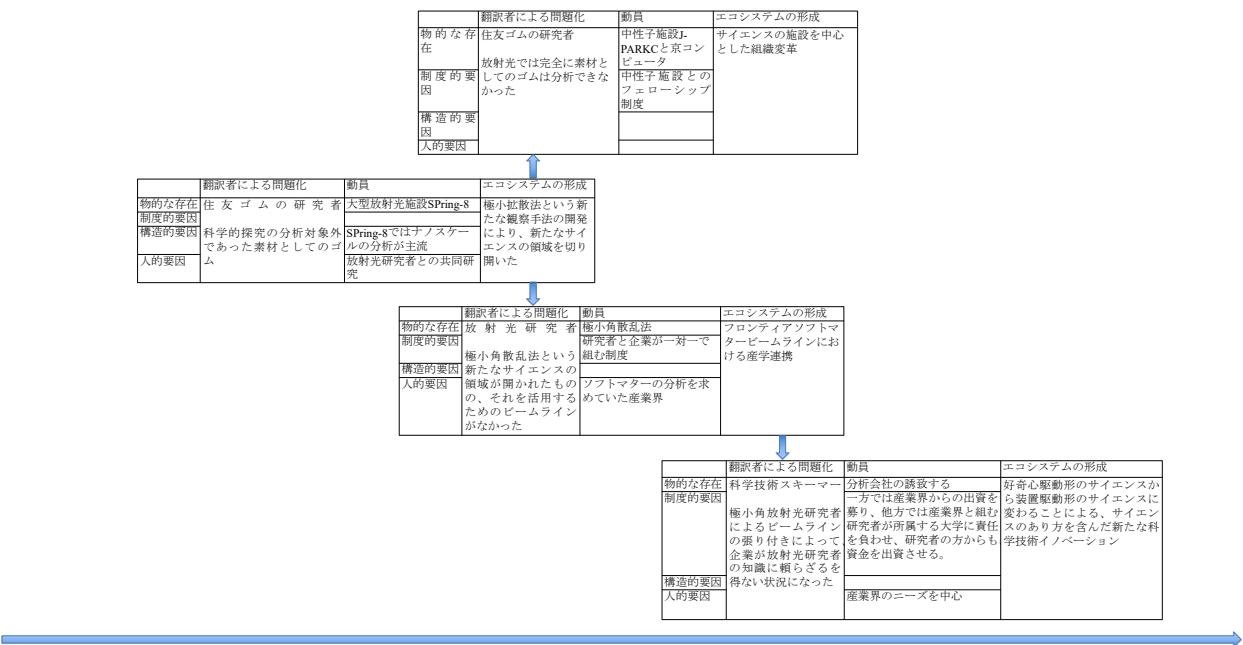


図 18 イノベーション・エコシステムの異種混肴デザイン

7.1 イノベーション・エコシステムの進化多岐性

経験的研究から導かれる含意として、イノベーション・エコシステムは多岐に進化していくことがあげられる。本研究の経験的研究で示されたように、岸本氏が翻訳者としてのアクターとなり、タイヤの素材としてのゴムが科学的探究の対象とならないという問題化から始まって形成された異種混肴のイノベーション・エコシステムは、その後、多岐にわたり新たなイノベーション・エコシステムを形成していくことになる。一方は、続けて岸本氏を翻

訳者として、サイエンスの施設を中心とした住友ゴムの新たなイノベーション・エコシステムである。他方では、放射光研究者が翻訳者としてのアクターとなり、SPring-8 のフロントエンド・ソフトマター・ビームラインを中心とした新たなイノベーション・エコシステムを形成し、その後 Nano Terasu のイノベーション・エコシステムにつながっていく。このように、イノベーション・エコシステムの進化は多岐にわたり、必ずしも一方向に限定されるとは限らないのである。

対して、既存のイノベーション・マネジメント研究を振り返ってみると、組織やエコシステムの進化を一方向的に定めてしまっているといっても過言ではない。例えば、本研究で検討してきた、Nelson and Winter (1982) を中心とした進化経済学の研究を振り返ってみたい。Nelson and Winter (1982) を中心とした進化経済学の研究は、進化論を援用し、企業の研究開発は科学的な基礎研究に方向付けられるのではなく、企業による選択と市場による淘汰によって方向付けられるという。Nelson and Winter(1982)によると、企業の研究開発には多様な発展経路が存在し、企業による選択と市場による淘汰により最終的な方向性が決まるため、企業の研究開発が線形的に進むわけではないと指摘する。他方で、こうした主張は、企業の選択よりも市場による淘汰に重点が置かれているため、結局のところ優れた科学技術が生き残るというダーウィニズムに帰着されることができ (Levitt and March, 1988)、進化が一方向的に定められているのである。

改めて、エコシステムの進化は一方向ではなく、多岐に進むのである。例えば、本研究で焦点化されてこなかった、大型放射光施設を分析対象としたエコシステムの進化もある。具体的には、SPring-8 を利用した製薬業界の例があげられる。従来の X 線装置の約 1 兆倍という高輝度を誇る SPring-8 は、0.01nm というより小さな世界を観察することを可能にした。こうした実験装置に反応したのが、製薬業界であった。

製薬業界では、病因となるタンパク質の結晶構造を解析し、これに適合する化合物を探索するドラッグデザイン技術に期待が集まっており、放射光施設の産業利用を推進していた SPring-8 でも、2002 年に、蛋白質構造解析コンソーシアムが形成され企業利用を念頭に置いた創薬専用のビームラインが設置された。しかしながら、2012 年 3 月には、SPring-8 の創薬専用のビームラインから全ての製薬企業が完全に撤退し、蛋白質構造解析コンソーシアムも解散されてしまう。このような結果が招かれたのは、SPring-8 が放射光施設を中心にしたイノベーション・エコシステムの形成に失敗したからである。

確かに、放射光施設を利用することにより、製薬企業は病因となるタンパク質の構造を解析できるようになった。病因となるタンパク質の構造が解析できれば、今度はタンパク質と化合物との適合関係をシミュレーションするデータベースを用意する必要があるが、シミュレーションするためのデータベースを整備するには、一企業には負担できない大きなコストが必要となる。少なくとも当時の SPring-8 では、製薬企業が利用できるシミュレーションのためのデータベースまで用意することはできなかった。そのため、今日の日本の製薬業界は、アメリカやスイスなど海外にある放射光施設を使っている。それらの国では化

化合物のデータベースが国策として整備され、スイスの Swiss Light Source では、タンパク質の結晶構造解析から適合する化合物の探索それ自体をサービスが提供されているからである。このように、日本の製薬企業は SPring-8 を中心としたイノベーション・エコシステムの形成に失敗したが、他方で、情報保護という観点から、改めて日本の放射光施設に回帰し、新たなイノベーション・エコシステムを形成する動きも出てきている。

このように、エコシステムは、多岐に進化していくのである。他方で、イノベーション・マネジメント研究で論じられてきた、進化経済学は、組織やエコシステムの進化を一方向にしか決めていなかった。進化経済学がこのような主張をしてしまう背後には、線形的なイノベーション・プロセスであるリニア・モデルを記述モデルとし、現実を捉えるにはあまりにも単純すぎると批判してしまっているからである。しかしながら、本研究で示してきたように、リニア・モデルは、現実を写像する記述モデルではなく、理念型たる規範モデルとして捉えなければならない。ウェーバー (Weber, M.) が論じた理念型は、複雑な現実を理解する際の準拠点となる規範 (norm) として用意されたものであり、我々の認識は規範となる理念型からの差異としてしか現れえないとしていた (Weber 1904, 邦訳 142-147 頁)。進化経済学が単純化しすぎだと批判してきたリニア・モデルは、まさに規範モデルとして機能しており、そのように理解すると多岐に進化するエコシステムのプロセスを検討することができる。

7.2 オープン・イノベーションから多重境界イノベーションへ

経験的研究では、大型放射光施設を中心とした新たな産学連携の形が示されてきた。本研究における産学連携として、住友ゴムでは、放射光研究者と共同研究をすることによって、極小角散乱法という、新たな分析手法を開発してきた。この事例は、岸本氏に足りなかった放射光の知識を、住友ゴム外部の放射光研究者に頼ったと理解すると、Chesbrough (2003) のオープン・イノベーションとして見ることもできるかもしれない。しかし、本研究の含意は決してオープン・イノベーションには収まらないということを見逃してはならない。

近年のイノベーション・マネジメント研究で注目されている考え方に、オープン・イノベーションがある。オープン・イノベーションとは、知識の流入と流出を自社の目的にかなうように利用して社内のイノベーションを加速するとともに、イノベーションの社外活用を促すような市場を拡大するイノベーションである (Chesbrough, 2003)。すなわち、全てのイノベーションを 1 社で完結するのではなく、多様な利害関係者が協力することにより、イノベーションのプロセスを利害関係者と分担するイノベーションである。

Chesbrough (2003) によれば、オープン・イノベーションの背景には、科学技術の高度化により、企業内の知識だけでイノベーションを遂行することが困難になっている現代の企業を取り巻く環境変化がある (p. 43)。企業を取り巻く環境の変化とは、企業がイノベーションを起こすために必要とする科学技術の知識が広がっており、一つの企業だけで賄うことができなくなっていることや、科学技術の知識の流動性が増加していることである。ただし、企業の境界が全てなくなるといっているわけではない。企業の外部で生みだされた知

識を社内の経営資源と組み合わせ、社内で活用されていない経営資源を社外で活用することにより、他社よりも競争優位に立てると指摘する (Chesbrough, 2003, p.43)。

もちろん、企業外部からの科学技術の知識の獲得が、常にイノベーションに繋がるとは限らない。企業外部からもたらされる多様な科学技術の知識を理解し、処理、吸収できる企業社内の能力が重要な役割を果たすという (Lichtenthaler and Lichtenthaler, 2009)。そのような能力として、オープン・イノベーションに注目する研究者は、Cohen and Levinthal (1990) による吸収能力 (absorptive capacity) の役割に着目している。

ここで、今一度、住友ゴムの事例を振り返ってみたい。住友ゴムの岸本氏は、科学的探究の対象外と言われてきた、素材としてのゴムを分析するために SPring-8 を訪れた。この背景には、日本ではゴムを専門とする外部の研究者がいなかったことに加え、住友ゴム自社の実験装置でゴムを分析することは難しく、分析部門の岸本氏が社外にも新たな分析技術の可能性を常に探っていく必要があったからである。しかしながら、SPring-8 にも素材としてのゴムを分析できる実験装置はなく、また、X 線研究者からはゴムのようなメゾスケールの観察に何の意味があるのかと冷たくあしらわれていた。そこで、岸本氏は、SPring-8 外部の放射光研究者と共同研究を行い、新たな分析手法である極小角散乱法を開発することで、素材としてのゴムを分析し、タイヤを開発していく。

岸本氏と放射光研究者による共同研究は、社外の実験装置を利用するといったことや、社外の研究者と共同研究するという点に注目すると、確かにオープン・イノベーションのように考えられるかもしれない。しかしながら、極小角散乱法という新たな分析手法の開発は、オープン・イノベーションというよりも、岸本氏が放射光に関連する学位を所得するだけでなく、関連する学会で学会賞を取るまで努力をした結果と読み取ることもできる。

Chesbrough (2003) によるオープン・イノベーションは、企業外部の研究者との知識を有機的に結合させ価値を創造することが論じられているが、そこでも好奇心旺盛な研究者が新規な知識を生み出していることが素朴に与件とされていることには変わらない。他方で、本研究の経験的研究からも明らかにされているように、今日の企業は相当程度の科学技術の知識を持っているといえる。もし、科学技術の知識が全くなければ、自社にとって必要な科学技術の知識を識別することができないだけではなく、例え自社に足りない科学技術を識別できたとしても、次にどのような行動を取らなければいけないのかということもわからないのである。そのため、今日の企業では科学技術の知識を持った研究者を多く雇っているのも事実である。

ただし、企業が科学技術の知識を持った研究者を雇うといったことは、今に始まったことではない。Burns and Stalker (1961) の *The Management of Innovation* で示されていたように、すでに 1950 年代から専門化された科学者を企業で雇うということは始まっていた。改めて、Burns and Stalker (1961) の研究関心は、当時の新興産業であった電子産業（エレクトロニクス産業）で起こっていた、巨大化した当時のサイエンスと、科学者を企業内で雇用してイノベーションに結びつけることが産業界では看過できない問題となっていたことであつた。

電子産業が勃興する以前の産業界では、企業は発明家から知識を買い取ることが、イノベーション・マネジメントの要諦であり、オープン・イノベーションに近い考え方が主流であった。しかしながら、電子産業では、無線技術を研究対象とした科学者集団が巨大化しており、企業も専門家された科学者を雇わなくては製品開発を行うことは不可能であった。こうした背景をもとに、Burns and Stalker (1961) が論じたイノベーション・マネジメントとは、旧来の官僚制のもとで働いていた人々と、無線技術に通じた科学者を処遇する人々のコンフリクトをいかにマネジメントできるかを問うものであった。Burns and Stalker (1961) の研究を考えると、オープン・イノベーションは、今日のイノベーション捉えているというよりは、1950 年代以前のイノベーションを捉える考え方に近いといっても過言ではないだろう。

企業が外部の科学技術の知識を吸収する能力に注目した研究もあるが、すでに科学技術の知識を持った研究者を雇っていれば、新たな科学技術の知識を吸収できるのは必然であろう。住友ゴムの事例でも、放射光を利用した研究の後に、中性子施設を利用できたのは、すでに中性子部門が存在しており、中性子を専門とする研究者を雇っていたからである。住友ゴムでは、その後中性子施設とのフェローシップを組み、中性子実験の研究者を増やすということにも貢献している。

このようなことから、住友ゴムでは、新たな分析手法を開発した側面、他方では、中性子実験施設とのネットワークを築き、住友ゴムが中性子施設を使えるようになったという側面、さらには中性子実験の研究者を増すことに貢献したという側面があり、様々なネットワークが重なった、多重境界にわたった科学技術イノベーションとして捉えることができる。こうしたことを考えると、オープン・イノベーションで論じられている企業外部から企業に必要な科学技術の知識を持ってくるといったことや、吸収能力のように外部から持ってきた科学技術の知識を理解する能力に注目するという研究は、好奇心旺盛な研究者が新規な知識を生み出していることが素朴に与件とされているということが透けて見える。しかしながら、企業はすでに相当程度の科学技術の知識を持った研究者を雇っているため、企業の外部から科学技術の知識を持ってくるのか、もしくは、企業の内部で科学技術の知識を理解する能力を養うかということに注目するよりも、企業が多重境界にわたっているということを前提として研究を行う必要があるだろう。企業が多重境界にわたっている存在ということを前提とすれば、住友ゴムの事例のように、サイエンスの実践を含んだイノベーション・エコシステムの多様な広がりをつ捉えることができる。

7.3 装置駆動型リニア・モデルのデザイン

これまで見てきたように放射光施設の発展は、装置駆動型の科学技術イノベーションともいえる新しいサイエンスの可能性を開いてきた。我々の観察を左右する実験装置は、不可視な対象に対して前提を置きながら個別の研究領域を深耕するかたちで発展してきたのである。実験装置としての大型放射光施設は、明らかに我々が観察できる世界を変えてきており、従来までは可視化することができなかった対象を観察できるようになった。もとよりサ

イエンスは物的な側面である実験施設や観察機器といった実験装置の開発とともに発展しており、その実験装置を通じて社会と密接につながっていった。すなわち、装置を起点とすることにより、サイエンスを社会实践として改めて捉え直し、サイエンスのあり方を含んだエコシステムの根源的な要となる。

ただし、こうした装置駆動型の科学技術イノベーションという考え方は、結局の所でメタな技術決定論ではないのかという疑問も生じるだろう。こうした問いに答えるために、以下では、記述モデルとしてのシンプルな回答と、方法論に踏み込んだよりこみいった回答の二つを考えてみたい。

第一に、記述モデルとして考えると、装置は我々人間の实践から独立した物的な存在ではない。この考え方は、経営学でも、古くはサイモン (Simon, H. A.) の『システムの科学』で示された人工物概念 (artifact) としておなじみの考え方である (Simon, 1996)。Simon (1996) もまた、人工物を「自然的でも人間的でもない」としており (pp. 6-7)、それは人間行動への影響を説明するような独立変数ではなく、経験的な観察対象として定位できることを指摘している。例えば、タイムシェアリング・システムのように実践の場面で利用されるコンピューターという人工物は、コンピューターの部品の固体物理学や生理学とは区別され、経験的な観察対象として見なすことができるという考え方である。

このように、記述モデルとして捉えると、人工物は外部の説明変数ではなく、人工物もまた経験的な観察対象になるため、決定論にはなり得ないのである。他方で、サイモンは、人工知能が未開発であった 1960 年に、すでに定型的意思決定が情報技術に代替されつつあるという観察により、20 年後には非定型的な意思決定でさえ、エキスパート・システムという人工知能プログラムで代替されると主張したことから (Simon, 1977)、技術決定論者であったとも指摘される。もちろん、まだ人工知能が未開発な時代において、経験的な観察対象として人工物が存在していたわけではないため、人工知能によって生じる社会の変化を論じた時点で、技術決定論者であるというのはいくらか乱暴な批判でもあろう。

問題は、その影響を論じる道筋にある。Mintzberg (1989) は、サイモンによって提示された意思決定が人工知能に代替されるという主張は、コンピュータという具体的な技術に仕込まれた形式的なプログラムに、人間の認知行動や組織、社会を投影したものであると批判している。佐藤 (1996) もまた、サイモンらの議論は、技術固有の特性と説明する中に、観察者による解釈を密輸入させている方法論的問題に求められると指摘している。佐藤 (2010) によると、コンピューターは、我々人間が抱く様々な夢を織り込んで論じさせてしまう、人工知能的アナロジーの罠があると指摘している。我々人間は、技術決定論という技術による社会変化を論じる際に、第一に、技術そのものの発展を予測し、第二に、その技術発展に基づいた社会変化を論じようとする。ところが、佐藤によれば、このような技術予測はこれまで当たった試しはなく、その理由は、我々人間が、技術予測に際して決して中立的な立場にいるわけではなく、実際には意識的、無意識的に関わらず、どこかで社会はこうなるはずだという、社会予測という人間の解釈を密輸入させているからである。

すなわち、Simon (1996) も、具体的な人工知能やコンピュータの説明になると、社会に影響するであろう（とサイモンが考える）特性を技術的特性に織り込まざるを得ず、それが技術決定論者であるという批判につながってきた。しかれば、そうした方法論上の問題を、装置駆動型の科学技術イノベーションがどのように解決しているのかという方法論の問題として、よりこみいった思考が必要になってくる。

それゆえに、第二に、方法論として考え直していく必要が生まれる。この人工物の分析に対する方法論に向き合おうとするのが、装置概念（apparatus）を提唱する新实在論（new realism）である（e.g., Barad, 2007）。新实在論の要諦は、人間の認識や経験のうちから实在を説明するということを否定するという点である。新实在論に位置付けられる装置概念を提唱した量子物理学の背景を持つ哲学者バラッド（Barad, K.）もまた、存在論と認識論の位置づけに対し、人間の認識や経験から实在を説明するのではなく、装置から人間の認識や経験を説明する、存在-認識-論（onto-epistem-ology）を目指している（Barad, 2007; 2012）。この考えを前提とすると、装置を単なる実験室の分析設備としてではなく、装置によって研究関心が喚起される研究者を含んだ実践として捉える点にあり、装置を利用する研究者の認識プロセスを相対化した取り組みであると理解できる。こうしたバラッドの方法論的な構え踏まえるならば、装置概念を供する新实在論の方法論は、ハイブリッドに实在する装置を準拠点にすることで、人でも、ものでも、組織でも、社会でもなく、それらに対する観察者視点を相対化する点が重要になる。

方法論の問題として新实在論の議論を援用することにより掘り下げていく一方で、他方では、我々研究者が分析対象への介入を通じて、現実の社会活動をデザインする実践が必要であるのではないかと考えられる。ただし、デザインの実践は、人間主体による実践ではなく、異種混淆の言説であるという考え方が必要である（March and Storey, 2008）。デザインの実践を分析することもできる一方で、他方では、実践をデザインしていく主体の側にもなるからである。本研究は、博士論文という性質上、実践をデザインしていく主体の研究にはなり得なかったが、デザインの実践に関わっていくリサーチ・プログラムへと発展させていく余地が残されている。同様な議論は、すでにネオ・コンティンジェンシー理論（neo contingency theory）においてもなされている。一般的には、環境決定論であるという理由によって過去の理論と位置付けられるコンティンジェンシー理論であるが、アストングループの末裔であるドナルドソン（Donaldson, L.）は、コンティンジェンシー理論は、デザインする主体の議論として、決定論を必要とすると指摘している。規範モデルとしてのリニア・モデルの理論的含意を踏まえるならば、分析対象に介入し、イノベーション・エコシステムの異種混淆デザインをするための決定論的言説を作り出すことも考えなければならない。

実際に Donaldson (2001) では、管理者による企業の戦略的意思決定を支援する理論として、組織ポートフォリオ理論（organizational portfolio theory）を提唱している（p. 250）。ドナルドソンによると、企業の管理者は不確実性のもと発生するリスクを知覚できないため、管理者がリスクを知覚する判断基準となる決定論的言説を作り出す必要があると指摘してい

る (Donaldson, 2001, p. 257). Donaldson, Charlier and Qiu (2012) は、組織ポートフォリオ理論は、管理者による企業の戦略的意思決定を支援する理論であり、リスクとリスクをもたらす要因の相関関係を導き出し、企業のリスクを減少させる分析枠組みであるとして指摘している。そして、この組織ポートフォリオ理論こそが、企業の管理者が戦略的意思決定をする際に重要な役割を果たし、この理論こそがネオ・コンティンジェンシー理論として、最も重要なポイントであると指摘している (Donaldson, 2001) すなわち、分析対象に介入するための決定論的言説を作り出していくことこそが研究者の実践として必要であり、このことこそ、ドナルドソンが決定論を擁護する根拠であり、ネオ・コンティンジェンシー理論の要諦でもあると考えられる。

こうしたことから、装置駆動型の科学技術イノベーションも、単縦に技術決定論として退けてはならない。大型放射光施設というサイエンスの知識を産出する実験装置から、サイエンスの実践が作り出されるという点に注目すれば、装置駆動型リニア・モデルとも捉えることができるが、そうした決定論的言説を作ることにより、我々研究者がサイエンスの実践を含んだ新たなイノベーション・エコシステムの異種混雑デザインをしていくこともできるのである。

第8章 終わりに

本章では、本研究のまとめと今後の課題を述べていく。その際、それぞれの章に関して立てた問題意識に応えることにする。

RQ1として、「リニア・モデルを原型としたMOTの主要概念は、アメリカの科学技術政策の中でどのような規範モデルとして提唱されてきたのか？」というRQを立てた。このRQに答えた第2章では、ブッシュ・レポート、ヤング・レポート、パルミサーノ・レポートという三つのアメリカの科学技術政策を中心的なMOTの概念と紐付けながら検討してきた。まず、リニア・モデルの嚆矢である、物理学者ブッシュが書いたブッシュ・レポートを再訪し、イノベーション・マネジメント研究におけるリニア・モデルを検討してきた。振り返ってみるとリニア・モデルは科学的な基礎研究を重視し、国家から予算を引き出し、企業のイノベーション活動を円滑に進めるための規範モデルであった。

リニア・モデルを学術的研究に持ち込んだマクローリンは、ブッシュが設立した科学と公共の福祉に関する委員会の委員長を務めたMITの経済学者であり、リニア・モデルを規範モデルとして主張し、物理学を中心とした科学的な基礎研究に注ぎ込むべきであるとしていた。こうした主張の背景には、ブッシュとの関係もあったが、当時のMITの学長であったのが実験物理学者のコンプトンであったことも関連していた。このように学術研究に持ち込まれたリニア・モデルは、その後、ハーバードビジネススクールの経営学者であるアンソニーやアメリカ国立科学財団によって、科学的な基礎研究、応用研究、製品開発といった形で精緻化されて行き、規範モデルとして様々な利害関係者によって利用されることになった。産業界でも、科学的な基礎研究を行っている研究者を雇い入れ、彼らが行っている研究にただ乗りするという形で利用されたのである。本研究は、リニア・モデルをMOTが想定してきたようなイノベーションの記述モデルとして捉えるのではなく、科学者が政策的提言を行うための規範モデルであったことを明らかにしている。

しかしながら、その後、アメリカの経済が低迷するとともに、リニア・モデルに懐疑的な企業が増え、企業の技術力の向上及び、技術力の保護を目指した新たな規範を求めるようになった。1970年代後半から続くアメリカの貿易赤字により、国家が学術研究者と手を組み、企業の規範となる、イノベーションの成功要因と失敗要因を分析するようになったのである。ただし、企業の規範となるイノベーションの成功要因と失敗要因を明らかにしたからといって、アメリカの企業の技術力が上がるわけでも国際競争力が上がるわけでもなかった。対して、1985年に提出されたヤング・レポートは、企業の技術力向上と保護の規範となる政策提言を報告していた。ヤングレポートにおける提言の結果、アメリカの科学技術政策では、継続的にイノベーションを起こしていくために、新たな規範モデルとしてのイノベーションのモデルが模索されることになった。

他方で、学術界を見ると、リニア・モデルを批判する研究が多く、代表的な研究が、Kline (1985) による連鎖モデルの研究である。しかし、工学者としてのクラインの研究を振り返

ってみると、一般的に主張されている連鎖モデルとは異なった発見もあった。一見すると Kline (1985) によって提唱され連鎖モデルは、イノベーション・マネジメントから科学的な基礎研究を切り離し、企業による科学技術の応用としてイノベーションを捉えてきたモデルにも見える。他方で、工学者としてのクラインに注目し、連鎖モデルを規範モデルと捉えれば、科学的な基礎研究にだけではなく、イノベーション全体のシステムを考え、開発、生産、マーケティングに関わる工学研究や企業に国家の予算を投入させ、継続的にアメリカのイノベーションを起こし、国際競争を向上させるためのモデルであった。すなわち、クライン自身も連鎖モデルを規範モデルとして位置付けていたのである。さらには、新たなイノベーションのモデルを開発するためには、もっとも学際的な研究が行われている生態学を援用すべきであるとしていた。

この生態学的な分野を参照して、新たなイノベーションの規範モデルを発表したのが、2004 年に提出されたパルミサーノ・レポートである。パルミサーノ・レポートでは、継続的にイノベーションを起こしていくためには、科学的な基礎研究を切り離すことなく、規範となる新しいイノベーションのモデルを考えなければならないと主張し、生態学におけるエコシステムを援用したイノベーション・エコシステムを提唱した。イノベーション・エコシステムという新たなイノベーションのモデルを主張した背景には、今日の科学技術イノベーションは企業も科学的な基礎研究に関わり、大学などの専門的な研究機関もまた社会実装を踏まえた研究が求められるようになっており、特定の研究領域の研究者に委ねられているものではなく、物的な存在を含んだ様々なアクターの調整そのものであるからである。こうしたことから、アメリカの科学技術政策の中で、規範モデルとしてイノベーション・エコシステムが注目されるようになった。

RQ2 として、「生態学を参照することにより、イノベーション・エコシステムの分析枠組みは、いかに刷新されるのか？」という RQ を立てた。この RQ に答えた第3章では、改めて生態学を参照して論じられてきたイノベーション・エコシステムに注目し、分析枠組みとするための検討をしてきた。第1節では、ダーウィンおよびラマルクの進化論を援用し、組織の進化を論じる進化経済学の研究を検討してきた。この進化経済学の研究では、Nelson and Winter (1974) を始め、多くの研究者がダーウィニズムは偶然性を仮定しており、組織の進化を環境による淘汰の結果として捉える考えかたを否定し、自らの研究をラマルク主義的進化論であると主張してきた。他方で、本研究では、ラマルク主義的進化論もダーウィニズムで説明できることを明らかにした。進化経済学者の研究を見ると、イノベーションの選択肢は提示された市場によって淘汰され最終的な方向が決まるとし指摘しており、結局のところより優れた科学技術が生き残るというダーウィニズムに帰着されるのである。

第2節では、個体群生態学を援用した組織の個体群生態学を検討してきた。Hannan and Freeman (1977) の組織の個体群生態学は、生態学における個体群生態学を援用した研究であり、企業群の変化は、変異の創造、形態の淘汰、形態の保持という三つの段階で説明している。彼らは、個体群生態学が数理モデルを利用して、ある特定の空間における個体群の変

化の分布を分析するように、ダーウィニズムを分析ツールとして利用し、企業群の淘汰プロセスを分析してきた。ただし、企業が直面する環境に、自然環境にはない社会的な制度的環境を含んでおり、社会ダーウィニズムに収まらない知見をもっていた。

第3節では、Hannan and Freeman (1984)の組織の個体群生態学を発展させた Aldrich (1999)の組織生態学を検討してきた。Aldrich (1999)が参照した生態学は、個体群間の相互作用の構造や動体に注目した群集生態学である。Aldrich (1999)では、痛烈に社会ダーウィニズムを批判しており、既存の市場や社会構造の中で特に不利な地位にある企業や差別されている集団がイノベーター組織となり、積極的に変革を見出していき、淘汰の段階も単なる環境による選択ではなく、様々なイノベーター組織の繋がりや、既存の社会構造で有利な立場にある集団とも関係を結ぶことが示されていた。

第4節では、イノベーション・マネジメント研究におけるエコシステム概念および、生態学におけるエコシステム概念を検討してきた。進化経済学や組織の個体群生態学、組織生態学の議論を背景としつつ、企業とエコロジーに関する生態学の適用は、経営学独自の発展を遂げてきた。それが、多様な利害関係者からなるエコシステム概念である。今日のイノベーション・マネジメント研究におけるエコシステム概念は多岐にわたるが、その共通点をまとめると、産業界における企業間の競争や多様な利害関係者との戦略的提携に注目してきたといえ、すでに形成されたエコシステムで、中心となる企業とその利害関係者を分析するという意味では結果論でしかなかった。また、物的な存在を見逃しているという批判もあった。本研究では、こうした批判が適切であるかを含め、生態学におけるエコシステムの起源を遡り、イノベーション・マネジメント研究におけるエコシステム概念を刷新する試みを行った。

今日の生態学では、特定の地域に生息する生物の非生物的要素を含んだ生活環境全体をエコシステムとして捉えていた。こうしたことから、イノベーション・マネジメント研究におけるエコシステム概念は人的存在に注目した研究であり、非生物的要素、すなわち人間以外の物的な存在が見落とされているという批判は妥当であったということを明らかにした。また、近年登場したエコシステム・マネジメントは、自然環境の保全と同時に、我々人間が必要とする資源の持続可能な利用を追求しつつ、このトレードオフ関係をいかにデザインしていくことを目的とした概念であった。こうしたことから、生態学におけるエコシステム・マネジメントの観点に立てば、人間社会と生物と非生物的要素が複雑に絡み合ったエコシステムをいかにデザインしていくのが焦点になっているということを明らかにした。

第5節では、イノベーション・エコシステムを、人的存在だけではなく物的な存在を含んだ概念へと刷新し、分析枠組みとするために、組織間ドメイン概念、ANT、鱗状の重なり概念、MAIS アプローチを検討した。組織間ドメインは、外部の様々な利害関係者に対して参加を促すように掲げる規範という意味があった。組織間ドメイン概念では、ドメインを掲げる組織を参照組織とするが、重要なのはどの企業が参照組織となるかということに限らず、規範的な参照点となるドメインを掲揚することによって、多様な利害関係者のデザインが可能になるという点を指摘してきた。

ANT では、人間と非人間を存在論的に同等なアクターであるという位置づけ、それらは互いに不可分な異種混淆のネットワークであるとしている。本研究では特に、ANT の概念の中でも、異種混淆のネットワーク、バウンダリー・オブジェクト、翻訳、必須通過点という点に注目してきた。これらの概念を踏まえると、サイエンスの実践を含んだ科学技術イノベーションを分析することは、規範的なドメインの掲揚やバウンダリー・オブジェクトとなる物的な存在の配置を通じて必須通過点を設定し、翻訳者となるアクターが新たな異種混淆のネットワークをデザインしていくことに他ならないことを指摘してきた。

さらに、ANT と理論的な関心を共有している先行研究を検討することによって、本研究の分析枠組みを用意した。具体的な先行研究としては、Leonardi (2011) の鱗状の重なり概念と原 (2018) の MAIS アプローチを検討した。これら二つの概念を参照することにより、イノベーション・エコシステムをサイエンスの実践を含んだ科学技術イノベーションを分析するための概念位刷新し、本研究独自の分析枠組みを提示した。

RQ3 として、「イノベーション・エコシステム概念で大型放射光施設を分析することにより、イノベーション・マネジメント研究にいかなる理論的含意をもたらせるのか？」という RQ のもと、日本の大型放射光施設を経験的事例として分析してきた。第5章では、サイエンスの専門分化された社会性に注目し、必ずしも既存のサイエンスで解決できない課題に対峙する、企業の研究者が放射光の利用に基づいた新たな研究領域を作り出しつつ、先端的な科学技術に基づいた組織体制へと発展させてきた事例を取り上げた。第6章では、サイエンスの物的な存在の性質に注目し、大型放射光施設という実験装置それ自体が、サイエンスと産業界の連携のあり方を含んだ新たな異種混淆のエコシステムをデザインする主体となる事例を分析してきた。

第5章では、住友ゴムの研究者が翻訳者としてのアクターとなり、イノベーション・エコシステムを形成した経験的研究を行なった。住友ゴムでは、科学的な探求の対象外であった、タイヤの素材としてのゴムを SPring-8 に持ち込むことになる。素材としてのゴムは、SPring-8 で観察されたナノスケールで観察される原子や電子の単位ではその特性を捉えることができず、100nm～数 μm というより大きなスケールの観察が必要であることを見いださせた。この新たなニーズは、SPring-8 にいた研究者たちに理解されることはなかったが、SPring-8 外部の放射光研究者の関心とともに、極小角散乱法という新たな分析手法を開発するにいたった。住友ゴムでは、極小角散乱法を開発を契機に、極小角散乱法を中心としたイノベーション・エコシステムが形成されタイヤの開発を行っていくことになった。他方で、極小角散乱法の開発は、放射光だけでは素材としてのゴムを全て分析できないということも明らかにし、住友ゴムでは放射光施設だけではなく、中性子施設やスーパーコンピュータを利用して、素材としてのゴムを分析し、タイヤを開発していく。その結果、住友ゴムでは、サイエンスの施設を中心とした新たなイノベーション・エコシステムを形成することになった。

第6章では、大型放射光施設それ自体が、イノベーション・エコシステムの異種混淆デザインの主体となる経験的研究を行った。住友ゴムが開発した極小角散乱法は、SPring-8 に新

たサイエンスの領域を作り出すことにも繋がり、ゴムのような長い分子の集合または巨大な分子として把握される柔らかい物質を観察するためのソフトマター専用の新たなビームラインが、住友ゴムと共同研究者を行った放射光研究者によって設置された。SPring-8では、新たなビームラインを中心に、新たな産学連携のイノベーション・エコシステムが形成されることになった。他方で、SPring-8では、放射光研究者が特定のビームラインに張り付いてしまうという課題も残されていた。こうした課題を脱却するために、東北にNano Terasuという新しい放射光施設の計画が推進されている。そこでは、放射光施設を基盤とした新たな産学連携として、コウリション・コンセプトが提案されており、学術の研究者と産業界のニーズが、ともに科学技術の進歩に合わせて進化しながら、サイエンスの実践それ自体の変更を含んだ新たなイノベーション・エコシステムの構築を目指されていた。

第7章では、経験的研究をもとに、イノベーション・マネジメント研究にいかなる理論的含意をもたらすことができるかを考察してきた。本研究では、以下の三点の含意をもたらしている。第一に、イノベーション・エコシステムの進化多岐性である。進化経済学を中心とした既存のイノベーション・マネジメント研究では、進化の方向性は、記述モデルとしてのリニア・モデルを退けようとするがあまり、企業による選択と市場による淘汰により最終的な研究開発の方向性が決まるため、企業の研究開発が線形的に進むわけではないと指摘する。こうした主張は、企業の選択よりも市場による淘汰に重点が置かれているため、結局のところ優れた科学技術が生き残るというダーウィニズムに帰着されることができ、進化が一方向的に定められているのである。他方で、本研究の経験的研究からは、ある一つの異種混雑のイノベーション・エコシステムから現れる問題点は、翻訳者としてのアクターによって異なり、翻訳者としてのアクターの数だけ、多岐にイノベーション・エコシステムが進化していくという含意をイノベーション・マネジメント研究にもたらした。

第二に、オープン・イノベーションではなく、科学技術イノベーションは多様なネットワークが重なる、多重境界にわたり起こっていることを明らかにしてきた。オープン・イノベーションは、企業外部の研究者との知識を有機的に結合させ価値を創造することが論じられているが、そこでは好奇心旺盛な研究者が新規な知識を生み出していることが素朴に与件とされていることには変わらない。対して、本研究で明らかにされたように、住友ゴムでは、新たな分析手法を開発した側面、他方では、中性子実験施設とのネットワークを築き、住友ゴムが中性子施設を使えるようになったという側面、さらには中性子実験の研究者を増すことに貢献したという側面があり、様々なネットワークが重なった、多重境界の上での科学技術イノベーションとして捉えることができる。今日の企業はすでに相当程度の科学技術の知識を持った研究者を雇っているため、企業の外部から科学技術の知識を持ってくるのか、もしくは、企業の内部で科学技術の知識を理解する能力を養うかということに注目するよりも、企業が多重境界にいるということを前提として研究を行う必要がある。企業が多重境界の上にいる存在ということを前提とすれば、住友ゴムの事例のように、サイエンスの実践を含んだイノベーション・エコシステムの多様な広がりをつまえることができる。

第三に、装置駆動型の科学技術イノベーションの含意を考察してきた。ただし、装置駆動型の科学技術イノベーションという考え方は、結局の所でメタな技術決定論ではないのかという疑問も生じるだろう。こうした問いに答えるために、記述モデルとしてのシンプルな回答と、方法論に踏み込んだよりこみいった回答の二つを考察した。記述モデルとして考えると、装置は我々人間の実践から独立した物的な存在ではない。装置は外部の説明変数ではなく、装置もまた経験的な観察対象になるため、決定論にはなり得ないのである。方法論として考えるためには、新实在論の装置概念を参照することができる。装置概念は、装置を単なる実験室の測定設備としてではなく、装置によって研究関心が喚起される研究者を含んだ実践として捉える点にあり、装置を利用する研究者の認識プロセスを相対化した取り組みであると理解できる。こうしたバラッドの方法論的な構え踏まえるならば、装置概念を提供する新实在論の方法論は、ハイブリッドに実在する装置を準拠点にすることで、人でも、ものでも、組織でも、社会でもなく、それらに対する観察者視点を相対化する点が重要になるのである。

最後に、本研究の課題をあげておく。装置駆動科学の科学技術イノベーションを考察した際の方法論の問題として、新实在論の議論を援用することにより掘り下げていく一方で、他方では、我々研究者が分析対象への介入を通じて、現実の社会活動をデザインする実践が必要であるのではないかと考えられる。ただし、デザインの実践は、人間主体による実践ではなく、異種混淆の言説であるという考え方が必要である。デザインの実践を分析することもできるが、他方では、実践をデザインしていく主体の側にもなるのである。本研究は、博士論文という性質上、実践をデザインしていく主体の研究にはなり得なかったが、イノベーション・エコシステムの異種混淆デザインの実践に関わっていくリサーチ・プログラムへと発展させていく余地が残されている。規範モデルとしてのリニア・モデルの理論的含意を踏まえるならば、分析対象に介入するための決定論的言説を作り出し、分析対象へ介入していくことも考えなければならない。今後の課題とさせていただきたい。

参考文献

- Adner, R. (2006) “Match Your Innovation Strategy to Your Innovation Ecosystem,” *Harvard Business Review*, Vol. 84, No. 4, pp. 98-107.
- Adner, R. and Kapoor, R. (2010) “Value Creation in Innovation Ecosystems: How the Structure of Technological Interdependence Affects Firm Performance in New Technology Generations,” *Strategic Management Journal*, Vol. 31, No. 3, pp. 306-333.
- Aldrich, H. (1999) *Organizations Evolving*, Sage Publications, (若林直樹・高瀬武典・岸田民樹・板野友昭・稲垣京輔訳『組織進化論』東洋経済新報社, 2007 年).
- Aldrich, H. E. and Waldinger, R. (1990) “Ethnicity and Entrepreneurship,” *Annual Review of Sociology*, Vol. 16, No. 1, pp. 111-135.
- Allen, T. (1977) *Managing the Flow of Technology: Technology Transfer and the Dissemination of Technical Information within the RandD Organization*, MIT Press, (中村信夫訳『技術の流れ』開発社, 1984 年).
- Anthony, R. N. and Day, J. S. (1952) *Management Controls in Industrial Research Organizations*, Harvard University.
- Barad, K. (2007) *Meeting the Universe Halfway: Quantum Physics and the Entanglement of Matter and Meaning*, Duke University Press.
- Barad, K. (2012) *Agentieller Realismus: Über die Bedeutung Materiell-Diskursiver Praktiken*, Suhrkamp.
- Barnard, C. I. (1938) *The Functions of Executive*, Harvard University Press, (山本安次郎・田杉競・飯野春樹訳『新訳 経営者の役割』ダイヤモンド社, 1956 年).
- Bright, A. A. and Maclaurin, W. R. (1943) “Economic Factors Influencing the Development and Introduction of the Fluorescent Lamp,” *Journal of Political Economy*, Vol. 51, No. 5, pp. 429-450.
- Brush, C., Edelman, L. F., Manolova, T. and Welter, F. (2019) “A Gendered Look at Entrepreneurship Ecosystems,” *Small Business Economics*, Vol. 53, No. 2, pp. 393-408.
- Burns, T. and Stalker, G. M. (1961) *The Management of Innovation*, Tavistock Publications.
- Burrell, G. and Morgan, G. (1979) *Sociological Paradigms and Organizational Analysis: Elements of the Sociology of Corporate Life*, Heinemann, (鎌田伸一・金井一頼・野中郁次郎訳『組織理論のパラダイム：機能主義の分析枠組』千倉書房, 1986).
- Bush, V. (1945) *Science: The Endless Frontier, Report to the President on a Program for Postwar Scientific Research*, Office of Scientific Research and Development.
- Callon, M. (1986) “The Sociology of an Actor-Network: The Case of the Electric Vehicle,” In M. Callon, J. Law and A. Rip eds., *Mapping the Dynamics of Science and Technology: Sociology of Science in the Real World*, MacMillan Press, pp. 19-34.

- Callon, M. (1987) "Society in the making: The study of Technology as a Tool for Sociological Analysis," in W. E. Bijker, T. P. Hughes and T. J. Pinch eds., *The Social Construction of Technological Systems*, MIT Press, pp. 83-103.
- Callon, M. (2004) "The Role of Hybrid Communities and Sociotechnical Arrangements in the Participatory Design," *Journal of the Center for Information Studies*, Vol. 5, pp. 3-10, (川床靖子訳「参加型デザインにおけるハイブリッドな共同体と社会・技術的アレンジメントの役割」上野直樹・土橋臣吾編『科学技術実践のフィールドワーク：ハイブリッドのデザイン』せりか書房, 38-54 頁, 2006 年).
- Callon, M. and Law, J. (1995) "Agency and the Hybrid Collectif," *South Atlantic Quarterly*, Vol. 94, No. 2, pp. 481-507.
- Callon, M., Law, J. and Rip, A. eds. (1986) *Mapping the Dynamics of Science and Technology*, MacMillan.
- Campbell, P. L. (2011) "Stephen Jay Kline on Systems, or Physics, Complex Systems, and the Gap Between," *Sandia Report*, pp. 1-62.
- Carayannis, E. G. and Campbell, D. F. (2009) "'Mode 3' and 'Quadruple Helix': Toward a 21st Century Fractal Innovation Ecosystem," *International Journal of Technology Management*, Vol. 46, No. 3-4, pp. 201-234.
- Chesbrough, H. (2003) *Open Innovation: The New Imperative for Creating and Profiting from Technology*, Harvard Business School Press.
- Clarysse, B., Wright, M., Bruneel, J. and Mahajan, A. (2014) "Creating Value in Ecosystems: Crossing the Chasm Between Knowledge and Business Ecosystems," *Research Policy*, Vol. 43, No. 7, pp. 1164-1176.
- Cobben, D., Ooms, W., Roijakkers, N. and Radziwon, A. (2022) "Ecosystem Types: A Systematic Review on Boundaries and Goals," *Journal of Business Research*, Vol. 142, pp. 138-164.
- Cohen, W. M., and Levinthal, D. A. (1990) "Absorptive Capacity: A New Perspective on Learning and Innovation," *Administrative Science Quarterly*, Vol. 35, No. 1, pp. 128-152.
- Compton, K. T. (1949) "Foreword," In W. R. Maclaurin ed, *Invention and Innovation in the Radio Industry*, Macmillan, pp. ix-xii.
- Cooper, R. G. (1979) "Identifying Industrial New Product Success: Project NewProd," *Industrial Marketing Management*, Vol. 8, Iss. 2, pp.124-135.
- Cooper, R. G. and Kleinschmidt, E. J. (1987) "New Products: What Separates Winners from Losers?," *Journal of Product Innovation Management*, Vol. 4, No. 3, pp. 169-184.
- Council on Competitiveness (2005) *Innovate America*, National Innovation Initiative Summit and Report.
- Dearborn, D. C., Kneznek, R. W. and Anthony, R. N. (1953) "Spending for Industrial Research, 1951-1952," *Harvard: Division of Research, Graduate School of Business Administration, Harvard*

- University, pp. 1-108.
- de Solla Price, D. J. (1963) *Little Science, Big Science*, Columbia University Press, (島尾永康訳『リトル・サイエンス, ビッグ・サイエンス』創元社, 1970 年).
- Donaldson, L. (2001) *The Contingency Theory of Organizations*, Sage Publications.
- Donaldson, L., Charlier, S. D. and Qiu, J. X. (2012) “Organizational Portfolio Analysis: Focusing on Risk Inside the Corporation,” *Long Range Planning*, Vol. 45, No. 4, pp. 235-257.
- Dosi, G. (1978) “Technological Paradigms and Technological Trajectories: A Suggested Interpretation of the Determinants and Directions of Technical Change,” *Research Policy*, Vol. 11, No. 3, pp. 147-162.
- Dosi, G. (1988) “The Nature of the Innovation Process,” In G. Dosi, C. Freeman, R. Nelson, G. Silverberg and L. Soete eds., *Technical Change and Economic Theory*, Pinter pp. 221-238.
- Fontana, A. and Frey, J. (2000) “Interview: From the Structured Questionnaire to the Text of Negotiation,” in N. K. Denzin and Y. S. Lincoln eds., *Handbook of Qualitative Research, 2nd ed.*, Sage Publications, (大谷尚訳「インタビュー：構造化された質問から交渉結果としてのテキストへ」平山満義監訳・大谷尚・伊藤勇編訳『質的研究ハンドブック 3 巻：質的研究資料の収集と解釈』北大路書房, 41-68 頁, 2006 年).
- Garud, R., Gehman, J. and Giuliani, A. P. (2018) “Serendipity Arrangements for Exapting Science-Based Innovations,” *Academy of Management Perspectives*, Vol. 32, No. 1, pp. 125-140.
- Gause, G. F. (1934) *The Struggle for Existence*, Williams & Wilkins.
- Godin, B. (2006) “The Linear Model of Innovation: The Historical Construction of an Analytical Framework,” *Science, Technology and Human Values*, Vol. 31, No. 6, pp. 639-667.
- Godin, B. (2008) “Innovation: The History of a Category,” *Project on the Intellectual History of Innovation Working Paper*, No. 1, pp. 1-67.
- Godin, B. (2020) *The Idea of Technological Innovation: A Brief Alternative History*, Edward Elgar Pub, (松浦俊輔訳・隠岐さや香解説『イノベーション概念の現代史』名古屋大学出版会, 2021 年).
- Granstrand, O. and Holgersson, M. (2020) “Innovation Ecosystems: A Conceptual Review and a New Definition,” *Technovation*, vol. 90-91, pp. 1-12.
- Hannan, M. T. and Freeman, J. (1977) “Population Ecology of Organizations,” *American Journal of Society*, Vol. 82, No. 5, pp. 929-964.
- Hannan, M. T. and Freeman, J. (1984) “Structural Inertia and Organizational Change,” *American Sociological Review*, Vol. 49, No. 2, pp. 149-164.
- Hedtker, U. and Richard S. eds. (2000) *J. A. Schumpeter: Briefe/Letters*, J. C. B. Mohr.
- Hounshell, D. A. (1996) “The Evolution of Industrial Research in the United States,” In R. S. Rosenbloom and W. J. Spencer eds., *Engines of Innovation: US Industrial Research at the End of an Era*, Harvard Business Review Press, pp. 13-85.

- Huchins, E. (1995) *Cognition in the Wild*, The MIT Press.
- Iansiti, M. and Levien, R. (2004) *The Keystone Advantage: What the New Dynamics of Business Ecosystems Mean for Strategy, Innovation, and Sustainability*, Harvard Business School Press, (杉本幸太郎訳『キーストーン戦略』翔泳社, 2007 年).
- IIT Research Institute (1968) *Technology in Retrospect and Critical Events in Science (TRACES)*, National Science Foundation.
- Jacobides, M. G., Cennamo, C. and Gawer, A. (2018) "Towards a Theory of Ecosystems," *Strategic Management Journal*, Vol. 39, No. 8, pp. 2255-2276.
- Kaiserfeld, T. and O'Dell, T. (2013) *Legitimizing ESS: Big Science as a Collaboration Across Boundaries*, Nordic Academic Press.
- Kline, S. J. (1985) "Innovation Is Not a Linear Process," *Research Management*, Vol. 28, No. 4, pp. 36-45.
- Kline, S. J. (1995) *Conceptual Foundations for Multidisciplinary Thinking*, Stanford University Press.
- Kline, S. J. and Rosenberg, N. (1986) "An Overview of Innovation", in R. Landau and N. Rosenberg eds., *The Positive Sum Strategy: Harnessing Technology for Economic Growth*, National Academy Press, pp.275-304.
- Kuhn, T. S. (1962) *The Structure of Scientific Revolutions*, University of Chicago Press, (中山茂訳『科学革命の構造』みすず書房, 1971 年).
- Latour, B. (1987) *Science in Action: How to Follow Science and Engineers through Society*, Harvard University Press, (川崎勝・高田紀代志訳『科学が作られるとき：人類学的考察』産業図書, 1999 年).
- Latour, B. (1999) "On recalling ANT," in J. Law and J. Hassard eds. *Actor Network Theory and After*, Blackwell, pp. 15-25.
- Latour, B. (2005) *Reassembling the Social: An Introduction to Actor-Network Theory*, Oxford University Press.
- Leonardi, P. M. (2011) "When Flexible Routines Meet Flexible Technologies: Affordance, Constraint, and the Imbrication of Human and Material Agencies," *MIS Quarterly*, Vol. 35, No. 1, pp. 147-167.
- Leonardi P. M. (2012) "Materiality, Sociomateriality, and Socio-Technical Systems: What Do These Terms Mean? How Are They Different? Do We Need Them?," in P. M. Leonardi, B. A. Nardi and J. Kallinikos eds., *Materiality and Organizing: Social Interaction in a Technological World*, Oxford University Press, pp. 25-48.
- Lessard, R. B., Martell, S., Walters, C. J., Essington, T. E. and Kitchell, J. F. K. (2005) "Should Ecosystem Management Involve Active Control of Species Abundances?," *Ecology and Society*, Vol. 10, No. 2. <http://www.ecologyandsociety.org/vol10/iss2/art1/>
- Levitt, B. and March, J. G. (1988) "Organizational Learning," *Annual Review of Sociology*, Vol. 14,

- pp. 319-340.
- Lichtenthaler, U. and Lichtenthaler, E. (2009) “A Capability-Based Framework for Open Innovation: Complementing Absorptive Capacity,” *Journal of Management Studies*, Vol. 46, No. 8, pp. 1315-1338.
- Maclaurin, W. R. (1946) “Investing in Science for the Future,” *Technology Review*, Vol 48, No. 7, pp. 423-454.
- Maclaurin, W. R. (1947) “Federal Support for Scientific Research,” *Harvard Business Review*, Spring, pp. 385-396.
- Maclaurin, W. R. (1949) *Invention and Innovation in the Radio Industry*, Macmillan.
- Maclaurin, W. R. (1950) “The Process of Technological Innovation: The Launching of a New Scientific Industry,” *American Economic Review*, Vol. 40, No. 1, pp. 90-112.
- Maclaurin, W. R. (1953) “The Sequence from Invention to Innovation and its Relation to Economic Growth,” *Quarterly Journal of Economics*, Vol. 67, No. 1, pp. 97-111.
- Maidique, M. A. and Zirger, B. O. (1984) “A Study of Success and Failure in Product Innovation: The Case of the U.S. Electronics Industry,” *IEEE Transactions on Engineering Management*, Vol. 31, No. 4, pp. 192-203.
- Maidique, M. A. and Zirger, B. O. (1985) “The New Product Learning Cycle,” *Research Policy*, Vol. 14, Iss. 6, pp. 299-313.
- March, S. T. and Storey, V. C. (2008) “Design Science in the Information Systems Discipline: An Introduction to the Special Issue on Design Science Research,” *MIS Quarterly*, Vol. 32, No. 4, pp. 725-730.
- Markus, M. L. and Silver, M. S. (2008) “A Foundation for the Study of IT Effects: A New Look at DeSanctis and Poole’s Concepts of Structural Features and Spirit,” *Journal of the Association for Information Systems*, Vol. 9, Iss. 10/11, pp. 609-733.
- Mintzberg, H. (1989) *Mintzberg on Management: Inside Our Strange World of Organization*, Free Press, (北野利信訳『人間感覚のマネジメント：行き過ぎた合理主義への抗議』ダイヤモンド社, 1991 年).
- Moore, J. F. (1993) “Predators and Prey: A New Ecology of Competition,” *Harvard Business Review*, Vol. 71, No. 3, pp. 75-86 (坂本義実訳『企業「生態系」4つの発展段階』ダイヤモンド・ハーバード・ビジネス, 第 5-6 号, 4-17 頁, 1993 年).
- Morin A. J. (1993) *Science Policy and Politics*, Prentice-Hall.
- Myers, S. and Donald G. M. (1969) *Successful Industrial Innovations: A Study of Factors Underlying Innovation in Selected Firms*, National Science Foundation.
- Nambisan, S. and Baron, R. A. (2013) “Entrepreneurship in Innovation Ecosystems: Entrepreneurs’ Self-Regulatory Processes and Their Implications for New Venture Success,” *Entrepreneurship Theory and Practice*, Vol. 37, No. 5, pp. 1071-1097.

- National Science Foundation (1957) *Federal Funds for Science: The Federal Research and Development Budget, Fiscal Years 1956, 1957, and 1958*, Washington.
- Nelson, R. R. and Winter, S. G. (1974) “Neoclassical vs. Evolutionary Theories of Economic Growth: Critique and Prospectus,” *The Economic Journal*, Vol. 84, Iss. 336, pp. 886-905.
- Nelson, R. R. and Winter, S. G. (1982) *An Theory of Economic Change*, Cambridge, The Belknap Press of Harvard University Press, (角南篤・田中辰雄・後藤晃訳『経済変動の進化理論』慶應義塾大学出版会, 2007 年).
- Odum, E. P. (1983) *Basic Ecology*, CBS College Publishing, (三島次郎訳『基礎生態学』培風館, 1991 年).
- Pearl, R. (1921) *The Biology of Death*, Lippincott.
- Perkmann, M. and Schildt, H. (2015) “Open Data Partnerships Between Firms and Universities: The Role of Boundary Organizations,” *Research Policy*, Vol. 44, No. 5, pp. 1133-1143.
- Porter, M. E. (1998) “Clusters and the New Economics of Competition,” *Harvard Business Review*, Vol. 76, No. 6, pp. 77-90.
- Pool, R. (2017) “The Verification of Ethnographic Data,” *Ethnography*, Vol. 18, No. 3, pp. 281-286.
- President’s Commission on Industrial Competitiveness (1985) *Global Competition The New Reality*, USA President’s Commission on Industrial Competitiveness.
- Rogers, E. M. (1983) *Diffusion of Innovations*, Free Press.
- Rohrbeck, R., Holzle, K. and Gemunden, H.G. (2009) “Opening up for Competitive Advantage: How Deutsche Telekom Creates an Open Innovation Ecosystem,” *R&D Management*, Vol. 39, No. 4, pp. 420-430.
- Rosenberg, N. (1969) “The Direction of Technological Change: Inducement Mechanisms and Focusing Devices,” *Economic Development and Cultural Change*, Vol. 18, Iss. 1, pp. 1-24.
- Rosenberg, N. (1994) *Exploring the Black Box: Technology, Economics, and History*, Cambridge University Press.
- Rosenbloom, R. S. and Spencer, W. J. eds. (1996) *Engines of Innovation*, Harvard Business School Press, (西村吉雄訳『中央研究所の時代の終焉』日経 BP 社, 1998 年).
- Rothwell, R., Freeman, C., Horlsey, A., Jervis, V. T. P., Robertson, A. B. and Townsend, J. (1974) “SAPPHO Updated-Project SAPPHO phase II,” *Research Policy*, Vol. 3, Iss. 3, pp. 258-291.
- Rouse, J. (1996) “What are Cultural Studies of Science?,” in J. Rouse, *Engaging Science: How to Understand Its Practice Philosophically*, Cornell University Press, pp. 237-260, (成定薫・阿曾昭明裕訳「科学のカルチュラル・スタディーズとは何か」『現代思想』第 24 巻, 第 6 号, 308-324 頁, 1996 年).
- Scaringellaa, L. and Radziwon, A. (2018) “Innovation, Entrepreneurial, Knowledge, and Business Ecosystems: Old Wine T in New Bottles?,” *Technological Forecasting & Social Change*, Vol. 136, pp. 59-87.

- Simon, H. A. (1977) *The New Science of Management Decision*, rev. ed., Prentice-Hall, (稲葉元吉・倉井武夫訳『意思決定の科学』産業能率大学出版部, 1979 年).
- Simon, H. A. (1996) *The Sciences of the Artificial*, 3rd ed., MIT Press (稲葉元吉・吉原英樹訳『システムの科学 第3版』パーソナルメディア, 1999 年).
- Spigel, B. (2017) “The Relational Organization of Entrepreneurial Ecosystems,” *Entrepreneurship Theory and Practice*, Vol. 41, No. 1, pp. 49-72.
- Stam, E. (2015) “Entrepreneurial Ecosystems and Regional Policy: A Sympathetic Critique,” *European Planning Studies*, Vol. 23, No. 9, pp. 1759-1769.
- Steyaert, C. (2007) “‘Entrepreneurship’ as a Conceptual Attractor? A Review of Process Theories in 20 Years of Entrepreneurship Studies,” *Entrepreneurship and Regional Development*, Vol. 19, No. 6, pp. 453-477.
- Suominen, A., Seppanen, M. and Dedehayir, O. (2019) “A Bibliometric Review on Innovation Systems and Ecosystems: A Research Agenda,” *European Journal of Innovation Management*, Vol. 22, No. 2, pp. 335-360.
- Tansley, A. G. (1935) “The Use and Abuse of Vegetational Concepts and Terms,” *Ecology*, Vol. 16, No. 3, pp. 284-307.
- Trist, E. (1977) “Collaboration in Work Settings: A Personal Perspective,” *The Journal of Applied Behavioral Science*, Vol. 13, No. 3, pp. 268-278.
- Trist, E. (1983) “Referent Organizations and the Development of Inter-Organizational Domains,” *Human Relations*, Vol. 36, No. 3, pp. 269-284.
- Utterback, J. M. (1974) “Innovation in Industry and the Diffusion of Technology,” *Science*, Vol. 183, No. 4125, pp. 620-626.
- von Hippel, E. (1976) “The Dominant Role of the User in Semiconductor and Electronic Subassembly Process Innovation,” *IEEE Transactions on Engineering Management*, Vol. 24, No. 2, pp. 60-71.
- Weber, M. (1904) *Die ‘Objektivität’ Sozialwissenschaftlicher und Sozialpolitischer Erkenntnis*, J. C. B. Mohr, (富永祐治・立野保男・折原浩訳『社会科学と社会政策にかかわる認識の「客観性」』岩波書店, 1998 年).
- Whittington, K. B., Owen-Smith, J. and Powell, W. W. (2009) “Networks, Propinquity, and Innovation in Knowledge-Intensive Industries,” *Administrative Science Quarterly*, Vol. 54, No. 1, pp. 90-122.
- Williams, T. R. (1967) *Field Methods in the Study of Culture*, Rinehart and Winston, Inc.
- Winner, L. (1986) *The Whale and the Reactor: A Search for Limits in an Age of High Technology*, University of Chicago Press, (吉岡斉・若松征男訳『鯨と原子炉：技術の限界を求めて』紀伊國屋書店, 2000 年).
- Zachary, G. P. (1999) *Endless Frontier: Vannevar Bush, Engineer of the American Century*, MIT Press.

日本語文献

- 有本建男 (1988)「アメリカの科学技術政策の歴史」『研究・技術・計画』Vol. 92, No. 10, 106-113 頁.
- 一般財団法人光科学イノベーションセンター (2017)「東北放射光施設計画(SLiT-J)について」『七十七ビジネス情報』第 79 号, 14-19 頁.
- 井上勝晶・八木直人 (2006)「小角散乱でどこまで大きいものが見えるか：SPRING-8 における極小角散乱測定の実況」『放射光』Vol. 19, No. 6, 378-383 頁.
- 井上福子 (2018)「海外の放射光施設：スイスの事例」『季刊ビジネス・インサイト』第 25 巻, 第 4 号, 17-20 頁.
- 上西聡子・松嶋登 (2010)「SBI 証券とグループ戦略：企業生態系の形成による収益戦略の変遷」『神戸大学大学院経営学研究科ディスカッション・ペーパー』2010・16, 1-37 頁.
- 上山隆大 (2010)『アカデミック・キャピタリズムを超えて：アメリカの大学と科学研究の現在』NTT 出版.
- 歌田明宏 (1996)『マルチメディアの巨人：ヴァネヴァー・ブッシュ・原爆・コンピュータ・UFO』ジャストシステム.
- 大堀兼男 (2008)「ラマルクの進化論」『環境と経営』第 14 巻, 第 2 号, 1-9 頁.
- 北村英男 (2011)「SPRING-8 とその研究成果の数々：進化する日本の技術」サイエンスアゴラ 2011：新たな科学のタネをまこう震災からの再生をめざして報告資料 (平成 23 年 11 月).
- 栗原岳史 (2011)「第二次世界大戦後の米国における軍による基礎研究への支援の決定：国防研究開発委員会とヴァネヴァー・ブッシュ」『科学史研究』第 50 巻, 65-76 頁.
- 久保佳実 (2000)「高輝度放射光の産業応用」『放射光』第 13 巻, 第 5 号, 357-360 頁.
- 桑嶋健一 (2002)「新製品開発研究の変遷」『赤門マネジメント・レビュー』第 1 巻, 第 6 号, 463-496 頁.
- 桑田敬太郎 (2017)「なぜ、MOT はリニア・モデルを超えないのか？：技術決定論批判を通じて転生するリニア・モデルに関する学説的検討」『神戸大学大学院経営学研究科ワーキングペーパー』2017・12a, 1-88 頁.
- 桑田敬太郎 (2019)「リニア・モデルはなぜ必要だったのか：ブッシュ・レポート再訪」『経営学史学会年報』第 26 輯, 102-113 頁.
- 榊原清則 (1992)『企業ドメインの戦略論』中央公論新社.
- 佐藤俊樹 (1996)『ノイマンの夢・近代の欲望：情報社会を解体する』講談社.
- 佐藤俊樹 (2010)『社会は情報化の夢を見る：ノイマンの夢・近代の欲望 新世紀版』河出書房新社.
- 実松克義 (2017)「フィールドワーク：人類学の方法論とその課題」『国際行動学研究』第 12 巻, 31-71 頁.
- 柴田清 (2020)「科学・技術と社会の関係を考える：3. 科学技術の制御」『まてりあ』第 59 巻,

第3号, 153-157 頁.

神辺圭一 (2018)「共同利用施設における利用研究成果の最大化に向けた評価指標」『電気通信大学大学院情報システム学研究科博士論文』.

梶山泰生・高尾義明 (2011)「エコシステムの境界とそのダイナミズム」『組織科学』 Vol. 45, No. 1, pp. 4-16.

関下稔 (2010)「21 世紀アメリカの競争力強化思想の旋回:「イノベートアメリカ」の深層に迫る」『立命館国際研究』第 23 巻, 第 1 号, 107-129 頁.

関下稔 (2017)「クリントン=ゴアチームの知財重視と情報スーパーハイウェイ構想が切り開いた新しい世界:知識資本主義の解明II」『立命館国際研究』第 29 巻, 第 3 号, 143-169 頁.

高田昌樹 (2017)「高輝度放射光施設とイノベーション・エコシステム」『2018 年度組織学会年次大会予稿集』.

高田昌樹・村井嘉浩・郡和子・里見進・海輪誠 (2018)「リサーチコンプレックス形成を加速する次世代放射光施設の産学官・地域連携利活用スキームに基づくイノベーション・エコシステムの構築」東北放射光施設推進協議会 (平成 30 年 3 月).

田中照純編・経営学史学会監修 (2012)『ニックリッシュ (経営学史叢書)』文眞堂.

遠山暁 (2019)「情報経営研究における社会物質的パースペクティブの可能性」『日本情報経営学会誌』 Vol. 39, No. 3, 5-27 頁.

独立行政法人科学技術振興機構研究開発戦略センター (2009)「研究開発戦略策定のためのハンドブック」研究開発策定メンバー (平成 21 年 4 月).

中崎昌雄 (1996)「放射能発見における写真の役割(上):レントゲン線とベクレル線」『中京大学教養論叢』第 37 巻, 第 1 号, 87-127 頁.

中本悟 (2002)「アメリカ産業の衰退と再生をめぐって」『季刊経済研究』 Vol. 25, No. 2, pp. 27-42.

日本政策投資銀行産業・技術部 (2001)「『ヤングレポート』以降の米国競争力政策と我が国製造業空洞化へのインプリケーション:国際競争プラットフォームの整備とイノベーション強化のための提言」産業レポート (平成 13 年 12 月).

橋本初次郎・遠藤久満 (1975)「結晶格子の高分解能電子顕微鏡像」『応用物理』第 45 巻, 第 2 号, 104-124 頁.

原拓志 (2018)「MAIS アプローチ:技術の社会的形成から社会現象の過程分析へ」『国民経済雑誌』第 217 巻, 第 3 号, 11-29 頁.

廣重徹 (2002)『科学の社会史(上):戦争と科学』岩波現代文庫.

ビームライン構想委員会 (2018)「ビームライン構想委員会報告書 (初期ビームライン答申)」ビームライン構想委員会 (平成 30 年 8 月).

松嶋登 (2006)「企業家の翻訳プロセス:アクター・ネットワーク理論における翻訳概念の拡張」『神戸大学ディスカッション・ペーパー』2006・44, 1-13 頁.

- 松嶋登 (2015)『現場の情報化：IT 利用実践の組織論的研究』有斐閣.
- 松本忠夫 (2003)「生物集団の成り立ちと環境」松本忠夫編『集団と環境の生物学』放送大学教育振興会, 11-25 頁.
- 宮田由紀夫 (2011)『アメリカのイノベーション政策：科学技術の公共投資から知的財産化へ』昭和堂.
- 森章 (2012)『エコシステムマネジメント：包括的な生態系の保全と管理へ』共立出版.
- 森圭一 (1994)「生態系学の進展をめぐって：経済学への提言も併せて(水地宗明教授退官記念論文集)」『彦根論叢』第 287・288 号, 1-17 頁.
- 文部科学省産学連携推進委員会 (2011)「科学技術イノベーションに資する産学官連携体制の構築：イノベーション・エコシステムの確率に向けて早急に措置すべき施策」科学技術・学術審議会 産業連携・地域支援部会 産学官連携推進委員会 (平成 23 年 9 月).
- 渡部直樹 (2000)「2 つの進化論と組織行動：ダーウィン主義とラマルク主義」『三田商学研究』鈴木清之輔教授追悼号, 31-50 頁.