

Title	構造方程式モデリングに基づく公的な学際・融合研究 開発プロジェクトの構造の特定
Author(s)	宮下, 修人; 仙石, 慎太郎; 安西, 智宏
Citation	年次学術大会講演要旨集, 32: 816-820
Issue Date	2017-10-28
Type	Conference Paper
Text version	publisher
URL	http://hdl.handle.net/10119/14893
Rights	本著作物は研究・イノベーション学会の許可のもとに 掲載するものです。This material is posted here with permission of the Japan Society for Research Policy and Innovation Management.
Description	一般講演要旨

構造方程式モデリングに基づく 公的な学際・融合研究開発プロジェクトの構造の特定

○宮下修人（東京工業大学）、仙石 慎太郎（東京工業大学）、安西智宏（東京大学）

大型競争的資金による研究開発助成プログラムの増加や学際・融合領域研究開発の重要性の高まりを受け、研究開発プロジェクト運営のための体系的な方法論の確立が急務となっている。本研究では、研究開発プロジェクトを多入力多出力のシステムとみなし、このシステムの内部構造を調べることで、大型学際・融合研究開発プロジェクトにおいて投入される資源が、プロジェクトの成果物に対してどのように影響するのかについて、最近の事例をもとに探索した。そして、得られた構造に基づき、大型学際・融合研究開発プロジェクトを効果的に管理し運営するための要点を考察した。

1. 背景と目的

1.1 研究背景

近年の日本における科学技術を取り巻く潮流の特徴的な点として、大型競争的研究資金に基づく公的な研究開発プロジェクトの増加がある。具体的な例として、世界トップレベル研究拠点(WPI)プログラム(平成 19-28 年度)、最先端研究開発支援(FIRST)プログラム(平成 21-25 年度)、革新的イノベーション創出プログラム(COI Stream、平成 25 年度開始)といった大型の公的助成プログラムが編成されている。これらのプログラムを受け皿として、数多くの大型研究開発プロジェクトが生まれている。また、研究成果の早期実用化を志向したいわゆる「課題解決型」の研究プロジェクトは増加傾向にある[1]。

上記のような大型公的助成プログラムの支援によって解決を目指す研究課題では多くの場合、革新的な研究成果を創出するために異分野融合と学際・国際連携の促進が掲げられている。そのため、学際・融合領域における研究開発プロジェクトの効果的な管理・運営が、プロジェクトの成果創出において重要となってきた。

1.2 既存の取り組み

このような研究開発プロジェクトを効果的に管理・運営するための知識を体系化した学問として技術経営(Management of Technology, MOT)がある。技術経営は経済学的及び経営学的な視点に加え、技術戦略やイノベーション理論を援用し、技術の利活用とイノベーションの推進のための提携を提供することで、理論及び実践の両面で顕著な成果を挙げってきた。

しかしながら、応用的な技術開発を対象とする技術経営に対し、基礎的な科学研究を扱うための「科

学経営」(Management of Science)なる学問分野は存在していない、または広義には技術経営の一部として包含されており、基礎科学研究を効果的にマネジメントするための方法論が確立されているとは言い難いのが現状である[2]。既存の基礎科学研究における経営管理の枠組みとして計量書誌学に基づく方法論が提唱されているが、研究成果が書誌情報へと反映されるまでには時間的な遅れが存在するという問題に加え、成果の創出に先立つ活動の実態の把握することはできない。そのため、事後的な評価指標としての有用性は認められるものの、進行中の研究開発プロジェクトの管理・運営を改善するためには、従前の方法論を超えた、活動評価を主眼とした新たな枠組みが必要である。

1.3 研究目的

本研究では、公的資金に基づく学際・融合研究開発プロジェクトを対象とし、その効果的な管理・運営と成果の速やかな社会還元を実現するための、実践的なマネジメントの方法論の確立を最終的な目標と位置付けている。本報告はその一部分として、学際・融合領域における研究開発プロジェクトの背後にあると予想される、プロジェクトに投入可能な資源とプロジェクト成果の間にある構造的関係の特定を目的とする。

2. 研対象と分析方法

本節では、本研究において着目する研究開発プロジェクトの構造について整理する。本研究では、研究開発プロジェクトを複数の入力と出力を持つシステムと捉える。このモデルでは、研究開発プロジェクトに投入された人材、物品、資金等の経営資源が、プロ

プロジェクト内で行われる研究開発の諸活動によって科学的・技術的に価値のある知識に変換され、これらの知識が論文や特許といった観測可能な指標なプロジェクト成果として得られる。このとき、研究開発プロジェクトに投入される資源をインプット指標、研究開発プロジェクトの成果として得られる知的生産物をアウトプット指標と定義する。このようなシステムを考えたとき、システム内部で具体的にどのような処理がなされているか、即ち、システムの内部構造がどのように構成されているかを明らかにしたい。

注意すべき点としては、複数の研究開発プロジェクトにおいて共通性の高い構造を特定するにあたっては、観測項目の粒度を適切に設定することが必要となる。例えば、同じ基礎科学に分類される研究開発プロジェクトであっても、ライフサイエンス分野と宇宙物理学分野では、研究資金の用途や研究機関間の連携の様式、輩出される成果の類型等が異なる可能性がある。また、研究成果が表出するまでに必要な期間や、そのために必要とされる資源量も分野間で通常異なると考えられるため、これらを単純比較することは好ましくない。

上記の懸念を踏まえ、本研究では、個々の研究開発プロジェクトが、共通構造と固有構造という2つの構造によって構成されていると想定する。ここで共通構造とは、観測する研究開発プロジェクトに共通するシステムの内部構造を指す。それに対し固有構造とは、個々の研究開発プロジェクトに固有の構造をいう。本報告では、このうち共通構造を明らかにすることを目的と定め、固有構造については扱わないこととする。

2.1 研究対象

本報告では、平成21(2009)年度から平成25(2013)年度にかけて実施された、最先端研究開発支援プログラム(以下「FIRSTプログラム」と略す。)によって実施された、合計30件の研究開発プロジェクトを調査対象として選定した[3]。調査対象としてFIRSTプログラムにおける研究開発プロジェクトを選定した理由としては、以下の3点が挙げられる。

- (1) 採択課題の多くが学際・融合研究開発プロジェクトと見なすことが可能である。
- (2) 課題数が30課題と比較的多く統計分析のためのサンプル数が確保可能である。
- (3) 内閣府が公開した事後評価報告書に研究成果のデータが記載されておりデータの入手が容易である。

FIRSTプログラムの特徴として、研究者が研究開発に専念できるべく、各プロジェクトをサポートするための研究支援担当機関がプログラム内に設置されたことがある。また、研究資金の運用面でも、基金化によって多年度に亘る資金運用が可能となったことに加え、従来の直接経費(経費 A)と間接経費(経費 C)

のみならず、支援担当機関のための経費(経費 B)も計上されている。ただし、経費 B と経費 C の上限は経費 A の20%と定められている。研究資金についてはFIRSTプログラム開始時点で交付された資金に加え、平成22年度予算に計上された最先端研究開発戦略的強化事業によって追加の研究資金の交付が行われている。

2.2 分析方法

研究開発プロジェクトの構造を構成する共通構造と固有構造のうち、共通構造に関しては、その構造を明らかにするために、統計学的なアプローチが適用可能であると考えられる。その際、研究資金の金額や発表された論文数といった直接的に観測される指標だけでなく、「研究開発によって成果を創出する力」のような直接的には観測することが難しい潜在的な要素についても関係性を考察できることが望ましい。本研究では、得られたデータから観測変数を抽出し、これらを元に観測-潜在変数間の関係のあてはまりの良いモデルを構築するため、統計解析手法のひとつである構造方程式モデリングを適用した。そのもとで、インプット指標とアウトプット指標のデータに基づき、研究開発プロジェクトの内部構造を特定することとした。

インプット指標及びアウトプット指標としては、FIRSTプログラムの事後評価報告書[4]に記載されているデータを使用し、下記の手順で分析を行った。

- (1) 収集したデータに対し記述統計的アプローチにより、各種指標のプロジェクトごとの傾向を観察する。
- (2) 探索的因子分析により、研究開発プロジェクトの内部構造を構成すると思われる因子(潜在変数)の抽出を行う。
- (3) 構造方程式モデリングによって観測変数及び潜在変数の構造的関係のあてはまりが良いモデルを特定し、研究開発プロジェクトの構造を明らかにする。

分析には、オープンソースの統計解析ソフトウェアであるR(バージョン:3.4.1)を使用した。また、分析のための追加パッケージは、探索的因子分析にはpsychパッケージ(バージョン:1.7.8)、構造方程式モデリングにはlavaanパッケージ(バージョン:0.5.23.1097)を使用した。

本分析に使用した観測変数の一覧を表1に示す。表1の各指標のうち、経費A、経費B、経費C、追加資金、研究者数、ポスドク数がインプット指標、論文数、査読付論文数、学会発表、査読付学会発表、招待講演、国内出願、海外出願、国内登録、海外登録がアウトプット指標に対応すると想定した。

表 1 観測変数の一覧

経費 A	研究経費のうち経費 A(直接経費)の金額
経費 B	研究経費のうち経費 B(支援担当機関経費)の金額
経費 C	研究経費のうち経費 C(間接経費)の金額
追加資金	最先端研究開発戦略的強化事業により追加配分された資金の金額
研究者数	プロジェクトに参加している研究者全体の人数
ポスト数	研究者数のうち期限付きポストの人数
論文数	プロジェクト期間内に発表された学術論文の件数
査読付論文数	論文数のうち査読付の学術論文の件数
学会発表	プロジェクト期間内に実施された学会発表の件数
査読付学会発表	学会発表件数のうち査読付の学会発表の件数
招待講演	プロジェクト期間内に行った国際会議での招待講演の件数
国内出願	プロジェクト期間内に日本国内で出願した特許の件数
海外出願	プロジェクト期間内に海外で出願した特許の件数
国内登録	プロジェクト期間内に日本国内で登録された特許の件数
海外登録	プロジェクト期間内に海外で登録された特許の件数

3. 結果

3.1. 記述統計によるプロジェクトごとの傾向の観察

表 1 に記載した観測変数に対し、平均、標準偏差、最小値、最大値、中央値を算出した。表 2 に、各指標の記述統計量の一覧を示す。

インプット指標には大きく分けて研究資金に関係する変数と研究者数に関係する変数がある。研究資金に関しては一部のプロジェクトに集中的に資金が配分されているが、傾向としては各プロジェクトに配分される資金額は横並びになっている。特に、追加資金についてはこの傾向が強い。一方、研究者数やポスト数は人数が多いプロジェクトとそうでないものがあり、研究資金の額と研究者の人数の間に明確な関係は見られない。

アウトプット指標については、論文や学会発表といった学術的な成果に関する変数と、産業応用に結びつくような成果として知的財産、特に特許に関する変数の 2 つに大別される。学術的な成果のうち、学術論文の大半は査読付の雑誌に投稿されている一方、学会発表については査読のないものも多数含まれている。また、国内の特許の出願に関してはプロジェクトごとのばらつきはあるものの、比較的多くの特許出願が行われている。しかし一部のプロジェクトを除き、

特許の登録が期間内に十分に達成されているとはいえない。海外特許についても同様の傾向が見られ、特に特許登録については大半のプロジェクトは登録数が 0 となっている。

表 2 各指標の記述統計量(N=30)

項目	平均値	標準偏差	最大値	最小値	中央値
経費 A (百万円)	2815.70	638.04	1500	4366	2752
経費 B (百万円)	242.70	108.42	71	617	255
経費 C (百万円)	269.97	93.15	144	577	260.5
追加資金 (百万円)	322.87	333.23	0	1195	195
研究者数	106.87	68.58	25	317	88.5
ポスト数	9.83	10.28	0	43	6.5
論文数	154.67	137.56	10	518	118.5
査読付論文数	146.33	133.17	10	506	109.5
学会発表	627.00	533.92	25	2793	528
査読付学会発表	239.53	214.41	0	1072	188
招待講演	104.77	107.45	0	495	66.5
国内出願	42.97	35.56	2	136	32.5
海外出願	24.13	29.36	0	119	16
国内登録	2.00	3.01	0	14	1
海外登録	0.80	2.37	0	12	0

3.2. 探索的因子分析による因子抽出

探索的因子分析を実行した結果、以下のような 6 つの因子が抽出された。

- (1) 論文等の学術的成果に関係する因子
- (2) 特許の出願に関係する因子
- (3) 特許の登録に関係する因子
- (4) 研究者の人数に関係する因子
- (5) 経費 A と経費 C に関係する因子
- (6) 経費 B と追加資金に関係する因子

3.3. 構造方程式モデリングによる構造の特定

探索的因子分析により抽出した 6 つの因子を踏まえ、FIRST プログラムにおける研究開発プロジェクトの構造方程式モデルを作成し、データとモデルの当てはまりを調べた。以下、構造方程式モデリングの結果として得られた要点を列挙する(結果の詳細は本稿では省略する)。

第一に、経費 A(直接経費)と経費 C(間接経費)に関係する因子は研究者数に関係する因子にのみ作用しており、学術成果に関係する因子や特許の出願

に關係する因子、特許の登録に關係する因子に対して直接的な影響を与えてはいなかった。ただし、研究者の人数に關係する因子は學術成果に關係する因子に対して作用しているため、経費 A と経費 C に關係する因子は學術的な成果に關係する因子に対し、間接的な影響を与えている可能性がある。

第二に、経費 B(支援担当機関経費)と追加資金に關係する因子は學術的な成果に關係する因子に対しては作用せず、特許の出願に關係する因子と特許の登録に關係する因子に対して影響を及ぼしていた。しかし、この因子は誤差変数の影響力が強いいため、観測変数として使用した研究資金以外の要素の影響がより有意に働いている可能性が示唆された。

4. 考察

以上の結果に基づき、研究開発プロジェクトの管理・運営を行っていくうえで重要と思われる点について、以下に考察する。

4.1. 學術的な成果創出の促進要因

構造方程式モデリングによる分析の結果から、學術的な成果に關係する因子に対して直接的な影響を与えるのは研究者の人数に關係する因子であり、プロジェクトに参加する研究者の人数が多いほど創出される成果も多くなることが確認された。加えて、研究者の人数に關係する因子は、研究経費に關係する因子から間接的な効果を受けていた。このことは、研究資金が多いほど、ポストドク等を雇用するための人件費を多く捻出できるためと考えられる。すなわち、研究資金が多いほど多数の研究者をプロジェクトに参加させることが可能となる。このことにより、研究資金の額が學術的な研究成果の創出に対して間接的に作用しうると推察される。

この結果を解釈すると、研究開発プロジェクトの數的成果の創出のためには、プロジェクトに参加する研究者の人数を増やすことが最も有効な打ち手であり、数多くの研究者を雇用するための人件費が捻出できるよう多くの研究資金を獲得することが、學術的な研究成果の創出に有意に作用すると考えられる。換言すれば、質的成果を問わない數的成果のみの評価は、本質的な研究成果の創出に必ずしも貢獻しない。數的评价とは別途、學術的な成果の質的评价の指標が今後必要となる。

最後に、本報告において研究成果と研究者の人数及び研究資金の關係を考察するにあたり、幾つかの分析上の限界が存在することを指摘しておく。その第一は、プロジェクトに参加した各研究者のエフォート率が不明であるという点である。本分析に使用したデータでは、参加人数の把握は可能だが、各人の当該プロジェクトに対する貢獻度は不明である。各々の研究者がプロジェクトの成果創出にどの程度寄与した

かをより精緻に議論するためには、エフォート率や従事内容に関するデータが必要となる。

第二は、研究成果と研究者の人数及び研究資金の關係に擬似相関の可能性がある点である。ある研究領域の研究者の人数と発表される論文数のという2つの変数の背後に、潜在的な要因が存在する可能性は本分析では否定できない。この点は定性的な分析で補完し考察していく必要がある。

第三は、論文等の成果創出に要する期間やその難易度について、分野間の差異を考慮する必要がある点である。學術的な成果をどこまで画一的な評価基準に基づいて評価すべきか、議論の余地があろう。

4.2. 知的財産創出への取り組み

表2の記述統計及び構造式モデリングによる分析の結果によれば、特許の出願数と登録数の間に有意な關係性は見出せなかった。即ち、特許を多数出願したからといって、登録数が増加するわけでは必ずしもない。特に、探索的因子分析及び構造方程式モデリングの分析結果では、特許の出願と登録で因子が分かれた。これは特許の出願件数と登録件数の間に共變關係が見出せないということの意味する。よって、特許の出願と登録はそれぞれ別の要因の影響を受けていることが示唆される。

元来、特許は出願のみならず登録されてはじめて知的財産を形成することは論を待たない。特許出願とりわけ国内出願のみを成果の數的指標とすることの意味は乏しく、登録件数を使用することが妥当と考えられる。但し、出願から登録のタイムラグ等の理由により、評価期限内での把握が困難な場合は、出願件数以外の代替指標を模索する必要がある。

また、特許出願によって研究成果が公知の情報となることを避けるため、敢えて特許出願を行わない知的財産形成の選択肢を採用することもあり得る。一般的に、研究成果の情報を秘匿化することは知的財産戦略上の有力なオプションのひとつであり、特に企業が参画するプロジェクトにおいては、敢えて特許を出願せず、いわゆる「ノウハウ」として保護する戦略が採用される可能性は否定できない。

更に言えば、国内特許の知的財産としての効力は国内にしか及ばず、世界のトップを目指した先端的な研究を推進という FIRST プログラムの趣旨に照らせば、本質的なのは国際特許、とりわけ国際特許条約(PCT)に基づき出願された国際特許である。また一般的に、国内出願に比べ国際出願はより多くの工数や費用を要するため、国際出願という行為自体がその特許の価値を表象しているとも考えられよう。以上の点を踏まえれば、国際特許の出願数とりわけ PCT 出願数は、知的財産の質及び量を簡便に評価しうる代替的な評価指標として機能する可能性がある。

まとめると、知的財産の創出の評価指標としては、

第一に特許の登録件数であり、代替的には特許の国際出願の件数が有効となり得る。一方、国内特許の出願数は、評価指標として適切でないと考えられる。ちなみに、仮に本評価基準を前提として、これに照らして FIRST プログラムの各研究開発プロジェクトを評価すると、少なくないプロジェクトにおいて国際特許の登録は無く、国際特許の出願件数もごく少数に留まっていた。知的財産の創出という点で、プログラム及びプロジェクト運営の在り方を再考する必要があるように思われる。

本報告における限界としては、本分析は FIRST プログラムが終了直後となる平成 26 年 6 月時点の集計データを使用していることが挙げられる。特許の出願から登録までには一定の時間を要することから、プロジェクト期間終了後に登録された特許も存在するものと思われる。その場合、各研究開発プロジェクトにおける知的財産の創出が過小評価されている可能性がある。とはいえ、FIRST プログラムの目的の 1 つでもある、研究成果の早期の社会還元という点を考慮すると、5 年間のプロジェクト期間中に重要特許の登録を達成しておくことは必須ともいえる。事実、一部のプロジェクトでは多くの特許登録がプロジェクト期間中に達成されている。

以上の考察から、今後の課題として、特許の出願ではなく登録に基づいて研究開発プロジェクトの知的財産創出を評価するための枠組みの構築が求められよう。また、プログラム終了前に出願され終了後に登録された特許の追跡調査を実施する必要もあろう。加えて、PCT 出願数の評価等、活動内容が成果に反映されるまでのタイムラグを考慮した代替指標についても検討がなされるべきである。組織的な対応としては、FIRST プログラムで実装されたように、特許の戦略的な出願と登録を促進するための、制度的・人的な研究支援体制の在り方も深耕される必要がある。

5. 結びに代えて

本研究では公的な大型研究開発助成プログラムである FIRST プログラムを対象として、研究開発プロジェクトの背後にある構造を明らかにし、その構造から推察される研究開発プロジェクトにおける課題について考察した。結果、学術的な成果の創出における研究資金や研究者数の影響や、早期の特許登録に向けた戦略的取り組みの必要性など、今後取り組むべき課題の糸口がみえてきた。

一方、今回の分析で使用したデータと構造方程式モデリングという分析手法の性質上、各研究開発プロジェクトに普遍的な要因を述べることはできたものの、各々の研究開発プロジェクトに固有の特徴を考慮することや、これらが直面している個別的な課題に対する考察と提案には至っていない。

今後は代表的な研究開発プロジェクト事例を参照し、より精緻な観察を実施することで、この問題に対処していく予定である。また、研究成果の早期の社会還元が達成された事例を選出し、ベスト・プラクティスと位置付け事例研究を行うことで、研究開発プロジェクトの効果的な運営方策を導出していく予定である。

謝辞

本報告の作成にあたり、文部科学省/日本学術振興会・最先端研究開発支援プログラムの関係諸氏には、インタビューや知見提供等を通じて格別の協力を頂き、ここに謝意を表す。本研究の一部は、文部科学省/独立行政法人科学技術振興機構・革新的イノベーション創出プログラム (COI STREAM) 課題「スマートライフケア社会への変革を先導するものづくりオープンイノベーション拠点 (COINS)」(平成 25-33 年度)の助成を受けた。

参考文献・資料等(抜粋)

- [1] 安西智宏, 仙石慎太郎, 政策と研究の連携を目指して 研究開発現場との連携の在り方, 研究技術計画, 27(3/4):210-225, 2012.
- [2] Anzai, T., Kusama, R., Kodama, H., Sengoku, S., Holistic observation and monitoring of the impact of interdisciplinary academic research projects: An empirical assessment in Japan. Technovation, 32(6), 345-357, 2012.
- [3] <http://www8.cao.go.jp/cstp/sentan/about.html>
- [4] 最先端研究開発支援プログラム(FIRST)事後評価結果