

# ABM を用いた学際研究チーム形成モデルの構築

○前波晴彦, 三浦政司, 桑野将司 (鳥取大学), 川島浩誉 (文部科学省科学技術・学術政策研究所)

## Agent-Based Modeling of Multi-Disciplinary Research

\* H. Maenami, M. Miura, M. Kuwano (Tottori University) and H. Kawashima(NISTEP)

**概要** 本研究はエージェントベースモデリングによって、支援システムを含む学際研究チームの形成プロセスを分析・記述しモデル化することを目指すものである。本研究はこれによって現実の学際研究チーム形成支援システムに対する実務的な示唆を導出することを目指す。こうした試みが意義と重要性を増している背景には、大学研究における競争的資金の比重の増加や産学連携への要請の高まりといった今日的な状況がある。

**キーワード:** 研究支援, 産学連携, チームビルディング, Institutional Research

### 1 研究の目的と背景

本研究は、大学等の研究機関において研究プロジェクトが計画された際に、それに応じて形成される研究チームの形成プロセスをエージェントベースモデリング(ABM)によって分析・記述し、より効果的な研究・連携支援システムへの実務的な示唆を得ることを目的とするものである。

本研究の主な目標は、以下の3点である。

1. 大学等における研究プロジェクトチームの形成プロセス及び支援制度との相互作用を実態調査に基づき詳述する
2. 支援制度に係る変数を取り入れたモデルを確立する
3. シミュレーション結果をインフォグラフィクス化し、支援実務者とのコミュニケーションを持つことによって学術的成果と実務的な示唆の接続を果たす

本研究が対象とする「大学等の研究機関における研究プロジェクトチームの形成」が意義と重要性を増している背景には以下の今日的状況がある。2001年の遠山プランに端を発する大学改革によって、日本における大学は競争的資金の比重や産学連携の推進への要請が高まっている。これらは、大学等に所属する研究者の研究活動の原資が経常的な機関予算ではなく、機会が外的に発生する、個別の目的を持った事業やプロジェクトへのシフトを余儀なくされていることを意味している。このような状況下では、企業からの打診や競争的資金の公募などの機会に対応する研究プロジェクトチームをいかに形成するかが企業側ニーズとのマッチングの成立や公募申請の通過および、それらから成果を生み出す鍵となる。

大学等における研究活動は、政府による科学技術・学術政策によって制度的に支えられている。その代表的な省庁である文部科学省では、政策形成において国民に説明を成し得る「エビデンス」に基づく政策への転換を迫られており、エビデンスに基づく科学技術・学術政策の形成のための研究、すなわち「政策のための科学 (SciREX)」事業を2011年から推進している。

### 2 先行研究との関係

報告者らはこれまでに産学連携の実務を基盤として、産学連携ファンド利用状況の分析や利用に影響する支援機能の検討を行ってきた<sup>1)</sup>。また専門家-非専門家間におけるコミュニケーションおよび対話結果の政策プロセスへの反映手法の研究・実践にも取り組んできた<sup>2)</sup>。一方で、ABMを用いた電力ネットワークの分散制御シミュレーション研究も進めている<sup>3)</sup>。さらに意思決定主体(エージェント)のプロファイルを抽出しABMに反映させる手法の検討も行っている<sup>4)</sup>。

本研究が目標とする領域を扱う既存研究としては科学技術イノベーション(STI)とそれに関わる社会的現象を扱う研究分野がある。そこでは①科学者・研究者の研究活動の動態(科学社会学, 科学コミュニケーション研究等), ②政府研究開発の経済成長に与える影響(経済学), ③学術活動に関する統計調査(科学計量学, 科学技術白書や科学技術指標等の公的機関による調査)等の研究がなされてきた。しかし、これらの研究は、①はマイクロレベル(個々の研究主体)の豊かな洞察を含むものの定性的な分析に留まるものが多く、②③は、マクロレベルの現状を量的に記述できるもののマイクロレベルに還元しにくく、個々の研究主体に働きかけ、あるいは支援する制度や政策の設計及び実務的な示唆に必要な情報と距離がある。Table 1に本研究と既存のSTI研究との差異を整理した。なお、上記③

Table 1 先行研究と本研究が扱う ABM の特徴

手法	長所	短所
単純集計 記述統計	データソースと集計結果の間の前提が少なく、前提に結果が依存しにくい	・データ取得の都度にコストがかかる ・結果はあくまでデータ取得の範囲内の記述にとどまる
数理モデル化 (経済モデル等)	記述統計の結果をモデルに当てはめることによって一般化ができる	・現実を捨象する点に依存する ・シミュレーションを伴わない場合、複雑な相互作用を記述しにくい
ABM	個々の要素(エージェント)の振る舞いの相互作用とその限定的視野を評価することができる	・シミュレーション内の世界と現実がどう整合しているか自明ではない ・計算コストがかかる

に関連しては、論文書誌情報をもとに具体的な研究チームを管理しようとする試みもなされはじめている<sup>5)</sup>6)。

一方で、これまで交通網や電力ネットワークのようなインフラ分野の分析・予測や避難計画の策定などに用いられてきたABMを社会問題へ適用する試みが拡大している<sup>7)</sup>。このうち本研究に関連する先行研究としては、チーム形成プロセスや知識創造プロセスにABMを導入したものが<sup>8) 9)</sup>。また大学組織内の支援業務を対象としたABMも提案されている<sup>10)</sup>。これらは研究者や技術者、大学職員などの個人をエージェントとして扱うことで組織やプロジェクト内部の相互作用を記述しようとする試みであり本研究にも示唆を与えるものである。本研究では、これらの先行研究を踏まえABMを用いて学際的な研究チームの形成プロセスを記述する。

本研究では学際研究チームの形成を支援するシステムや施策に対する実務的な示唆を得ることを目標としており、先行研究では十分に取扱われてこなかった支援システムや実務者の存在を組み込んだABMの構築を目指している。また本研究では実務への導入を意識していることから以下の2点に留意する。

- ・シミュレーションの前段階において、大学等における研究プロジェクトチームの形成プロセス及び支援制度との相互作用を社会調査に基づき詳述する。
- ・シミュレーションの後段階において、得られた結果と支援実務への示唆をインフォグラフィクス化（情報の可視化）し、大学等における連携支援の実務者とのコミュニケーション（ヒアリングと対話）を持つ。

以上により、研究成果の堅牢性の担保と実務者への実装を同時に実現することが可能となる。

### 3 プロトタイプモデリングと試行結果

#### 3.1 モデルの概要

これまでに予備的な検討として仮想的な組織構成下での研究チームビルディングのABMを試作している。Fig.1にプロトタイプモデリングのデモ画面を示す。

このモデルでは外部資金に代表されるような外部から与えられるテーマの要求に沿って学際的な研究チームが形成される。テーマには、研究者が1人で行う個人テーマと、複数の研究者による共同テーマがある。ここで、共同テーマには成立に必要な必要研究者数や

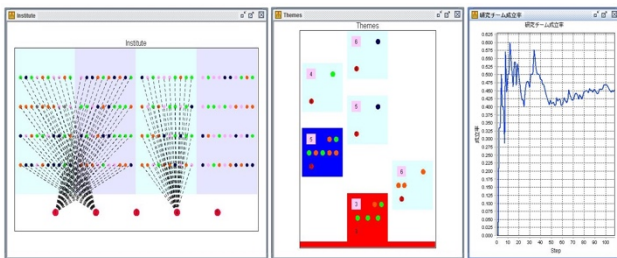


Fig.1 artisoc を用いたプロトタイプ ABM

Table2 研究者エージェントの主なパラメータ

	数式	変数名	タイプ	レンジ・備考
所属部局		Department	Agt	
所属グループ		Group	Agt	
専門性		Specialty	Integer	0,1,2,3の4種類
コミットテーマ		Work_On	Agt	
経験値	L	Learning	Integer	チーム成立経験で+1 チーム不成立経験で-1
チーム研究志向	I	Intention	Double	一律で設定された値
状態		State	Integer	1:個人研究に取り組んでいる 2:チーム研究にアプライしている 3:チーム研究に取り組んでいる
カラー		Color	Integer	専門性と状態に応じて表示色が変わる

Table3 コーディネータエージェントの主なパラメータ

	数式	変数名	タイプ	レンジ・備考
情報発信力	S <sub>CD</sub>	SignalCapacity	Double	全員100
担当テーマ		Themes	AgtSet	複数のテーマを担当することも可能
情報発信対象者		Cast_Target	AgtSet	情報を発信する対象 Institute空間上では、情報を発信する相手に対して点線が表示される
情報発信対象者数	N <sub>cast</sub>		Integer	CountAgtSet(Cast_Target) 情報発信力を情報発信対象者数で割った強度で情報が届けられる

Table4 テーマエージェントの主なパラメータ

	数式	変数名	タイプ	レンジ・備考
必要研究者数	n <sub>req</sub>	Req_number	Integer	2-6: 生成時にランダムで設定される
必須専門性		Req_specialities	Integer(2)	1種類 or 2種類 生成時にランダムで設定される
募集期間		Deadline_step	Integer	一律で設定された値
研究期間		Period	Integer	一律で設定された値
利得	B	Benefit	Integer	各テーマの持つ利得
募集を開始してから の期間		Now_step	Integer	一律で設定された値
担当CD		Coordinator	Agt	専門性と状態に応じて表示色が変わる
アプライ中の研究者	n <sub>app</sub>	Researchers	AgtSet	n <sub>app</sub> =CountAgtSet(Researchers)

必須専門性の組合せ等が異なる複数のテーマが存在する。

個々の研究者エージェントは、個人テーマと共同テーマを合わせた参加候補リストを作成、スコア付けを行い参加するテーマを決定する。この際、フィールド内には共同テーマと研究者のマッチングを支援するコーディネータが配置されている。コーディネータは各共同テーマに紐づけられており、各コーディネータは担当する共同テーマについて要求されている専門性に適合したフィールド内の研究者に当該共同テーマの情報を配信する。

Table2に研究者エージェント、Table3にコーディネータエージェント、Table4に共同テーマを表現したテーマエージェントの主なパラメータをそれぞれ示す。

テーマエージェントの要求する研究者エージェントがマッチングされればチーム成立となり、参加した研究者エージェントは一定期間当該共同テーマに拘束され後に解放され、再度共同テーマと個人テーマを選定するプロセスを実施する。一方、研究者エージェントが共同テーマに参加の意向を示しても、募集期間内にテーマエージェントの必要条件を満たさなければ、そ

の研究者は募集期間後に共同テーマと個人テーマを再び選択する。

先述の通り、研究者エージェントは共同テーマに参加するか個人テーマで研究を行うかを個別に選択する。具体的にはテーマ毎に算出される「チーム研究スコア」と「個人研究スコア」を比較し、スコアの高いテーマに参加する。「チーム研究スコア」 $T$ は「利得×(個人志向+経験志向)×成立可能性×情報補正」で表現することとしており、上記のパラメータから下記の式で算出する。

$$T = B(I + C_1L) * \frac{C_2}{(n_{Req} - n_{app})} * \frac{1 + C_3S_{CD}}{N_{cast}}$$

(Cは定数)

一方、プロトタイプモデリングでは「個人研究スコア」には定数を用いた。

### 3.2 試行結果

プロトタイプモデリングでは Table5 に示すパラメータを操作して、規模や構成の異なる組織間の差異やコーディネータの振る舞いによるチーム成立状況の差異を確認している。

Table5 試行時の操作パラメータ

	数式	変数名	タイプ	レンジ・備考
部局数		Num_Department	Integer	1-4
グループ数		Num_Group	Integer	部局あたりの研究者数
研究者数		Num_Group	Integer	グループあたりの研究者数
コーディネータ数		Num_Coordinator	Integer	
専門性分布		Distribution_p	Double	0-1 0:完全部局ごと、1:ランダム
新テーマ出現率		P_Theme	Integer	0-100 (空いているレーンにP_Theme%の確率で出現)
情報発信戦略		CastMode	String	全体、部局、グループ

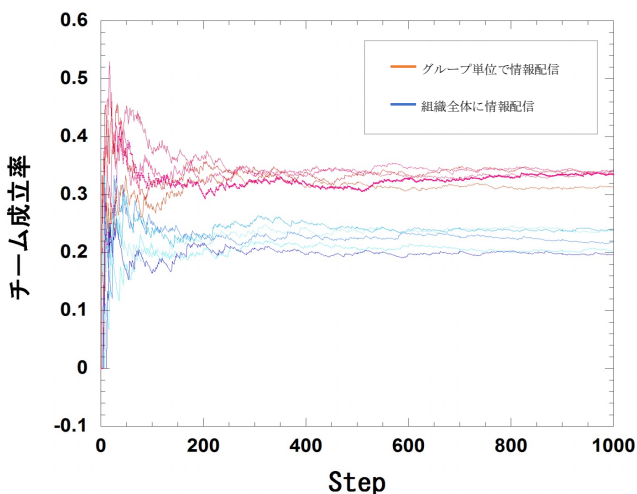


Fig.2 情報配信パターンによるチーム成立率の変化

これまでの試行から、組織内の支援体制の規模がチーム成立に影響を与えることや、研究者の分布によってより適切な情報提供パターンが存在することが示唆されている。Fig.2にコーディネータエージェントの情報提供パターンを変化させた際のチーム成立率の変化を示す。これらは実務的には知られていることであり、基礎的なABMにおいても一定程度シミュレート可能であることが示された。

## 4 今後の構想

### 4.1 モデル構築

試行結果を受けて、今後はより解像度を上げたABMの構築を目指す。実務的な示唆を導き出すためには、エージェントの振る舞いやシミュレーションの結果が現実と十分に整合していることが必要である。またABMを用いる場合には「結果の妥当性を評価できる」ことや「既成の数理理論で説明困難な課題に対して接近できる」ことも求められる<sup>11)</sup>。しかし、研究者がどのような規範で研究活動を遂行し、どのような研究プロジェクトに参画するかといった研究者の意思決定メカニズムを明らかにした研究の蓄積は十分とはいえない。本研究では、社会調査で多用されてきた選好意識調査(SP調査)を援用し、仮想的な状況下における研究者の選択行動をアンケート調査によって捕捉する。なお、調査票設計に際しては、研究者の意思決定に影響を及ぼす要因が多種多様であると考えられるため、要因抽出のための小規模の紙面アンケート調査を行い、質問内容を選別したうえで、大規模調査を実施することを計画している。

分析には、ランダム効用最大化理論に基づく離散選択モデルを適用し、研究者の意思決定メカニズムを数理モデルによって解明する。ここで、研究者は、自分一人で研究テーマを決めているのではなく、世論や所属機関のニーズなどの影響を受けながら、また同僚との交渉や話し合いを行いながら、互いに影響を及ぼし合って研究内容やプロジェクト参画の意思決定を行っている。このような社会や他の研究者への同調行動の程度を定量的に分析するために、集団意思決定理論に基づいた調査、分析方法を新たに構築することを目指す。

ABMにおいて想定されるパラメータには大きく分けて1)研究者の志向性や学習など研究者エージェントに関するもの、2)社会ニーズや外部資金など研究者エージェントに対してチーム形成を促す外的要因、3)研究者を支援する支援組織の機能や活動が想定される。また、ABMの構築に当たっては複数の研究者組織を想定し、それに対して支援組織の機能・活動パラメータを変化させることで、組織に適応した支援形態を推定する。まず単一の組織を対象とした調査を行い、研究者組織の構造を部局組織のような外形的なもののほか、分野や研究手法等をもとに複数設定し、それぞれの構造に対して操作パラメータを変化させ、研究チームの形成プロセスを比較する。また後述のように、実務者ヒアリングによってもシミュレーションの妥当性を検証する計画であるため、フィードバックが得られる毎に当初の社会調査との整合性に留意しつつABMを修正する。その後、構築したシミュレーション

ンをもとに異なる組織規模・特徴を有する組織に対する調査を実施し、より広範なプロフィールをもとにシミュレーションを実施する。この際、必要に応じてウェブパネル調査を併用して多様な組織からプロフィールを収集することも検討する。

得られたプロフィールをもとに ABM を構築しシミュレーションを作成する。モデリングの容易さや、プログラミングに精通しない者が含まれる場合でもグラフィカルな ABM を見ながら議論ができ、同時に比較的簡易に修正が可能であることから、シミュレーション作成には主として artisoc を用いる。

## 4.2 ABM 結果の提示手法

あわせて本研究では実務者が ABM の結果を容易に利用できるようにするための情報提供手法も検討する。本研究では個別の組織、ケース毎に ABM を構築し検討することで典型的な研究者組織構造における研究チーム形成プロセスを明らかにするとともに支援形態の適否を推定する。しかし社会調査によって得られるプロフィールは限られており、現実の全ての組織構造やケースに対応した分析を行うことは非現実的である。そこでインフォグラフィクスを用い複数のケースを統合して表示することで、非典型的なケースについても実務的な示唆を得ることができるよう情報提供手法を検討する。

インフォグラフィクス化では、多変量解析に基づいた可視化によって、複雑な要因(パラメータ)が絡み合った結果として得られるシミュレーション結果を、低次元空間(例えば 2 次元散布図)で可視化する手法を用いることを想定している。具体的には、多次元尺度構成法(MDS: Multi Dimensional Scaling)によってシミュレーション結果に対して次元削減を行い、低次元空間での可視化を行う。MDS は、対象とする多次元空間での対象の挙動を、低次元空間における点の分布として表現する手法である。次元削減手法として、対象とするデータに線形性を仮定する主成分分析(PCA: Principal Component Analysis)と非線形性を仮定する多様体学習(Manifold Learning)の二つを検討している。Fig.3 に示すのは 5 年間(2003 年 1 月 1 日から 2008 年 1 月 1 日)の米国 60 社の株価相場の遷移を入力データとし、多様体学習の一手法である Locally Linear Embedding を

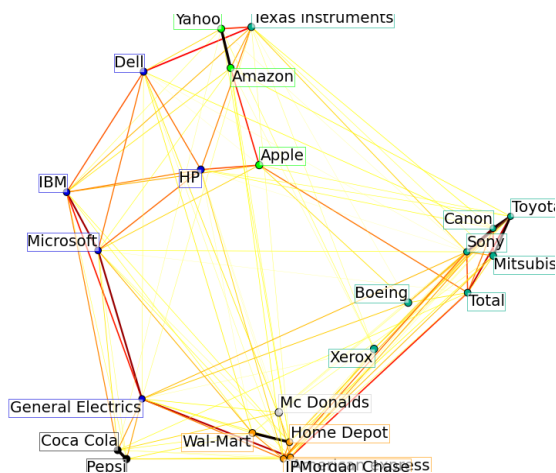


Fig.3 インフォグラフィクス化のイメージ

使って各社の相関関係を 2 次元散布図として示した結果である。インフォグラフィクス化には実務家への訴求力が求められるため、適宜関係者へのヒアリングを行って手法の選定・最適化を行う。

本研究では、社会調査によってエージェントのプロファイルを抽出することに加えて、構築したシミュレーションおよびインフォグラフィクス化した成果をもとに研究者・実務者に対するヒアリングを実施することでシミュレーションモデルの堅牢性を担保することを特徴としている。ヒアリングは本研究で扱う主な対象である研究者と研究支援実務者に対して実施する。具体的な手法として半構造化インタビューとフォーカスグループインタビューを併用することを想定しており、ヒアリングによって得られたフィードバックはシミュレーションモデルの改善にも用いられる。

## 参考文献

- 1) 前波晴彦:「地域ニーズ即応型」を事例とした中小企業向け支援制度利活用の影響要因, 産学連携学, **10-2**, 14/23(2014)
- 2) 前波晴彦,吉澤剛,加納圭:「対話型パブリックコメント」の地域政策への適用, 日本地域政策研究, 印刷中.
- 3) Miura, M., Tokunaga, Y., and Sakurama K.: Graphical and Scalable Multi-Agent Simulator for Real-time Pricing in Electric Power Grid, *Proceedings of the twentieth international symposium on Artificial Life and Robotics*, 399/404(2015)
- 4) 前波晴彦,三浦政司: エージェント・ベース・モデリングのための暗黙知抽出手法の検討-研究者のチームビルディングを事例として, 経営情報学会全国研究発表大会要旨集, Vol. 2015f(2015)
- 5) Falk-Krzesinski, H.J.: Guidance for team science leaders: Tools you can use, *The Academic Executive Brief*, **2-1,6/9**(2012)
- 6) MJM Nor: The Malaysian experience: A new approach in managing multi-disciplinary research projects, *The Academic Executive Brief*, **2-1,10/12**(2012)
- 7) 出口弘: エージェントベースモデリングによる問題解決-エージェントベース社会システム科学としての ABM-, オペレーションズ・リサーチ:経営の科学, **49-3**, 161/167(2004)
- 8) Hsu, SC., Weng, KW., Cui, Q. and Rand, W.: Understanding the complexity of project team member selection through agent-based modeling, *International Journal of Project Management*, **34-1**(2016)
- 9) 清水悟,奥田隆史,井手口哲夫,田学軍: マルチエージェントアプローチによる組織的知識創造の効率性評価に関する研究-エージェントの表現に消費者価値観分析モデルを利用した-, 情報処理学会全国大会講演論文集,**2012-1**, 191/193(2012)
- 10) 岡本和也,高橋真吾,大堀耕太郎,山根昇平: サービス業務としての大学事務のエージェントベースモデル化とシナリオ分析, 計測自動制御学会第3回社会システム部会研究会資料, 17/22(2013)
- 11) 寺野隆雄: なぜ社会システム分析にエージェント・ベース・モデリングが必要か, 横幹, **4-2**, 56/62(2010)