

MMRC
DISCUSSION PAPER SERIES

No. 570

**進化的合成モデル：
創造プロセスにおける 4 つのパラドックスとそのマネジメント**

稲水伸行
東京大学大学院経済学研究科

佐藤徳紀
ベネッセ教育総合研究所

2025 年 4 月



東京大学ものづくり経営研究センター
Manufacturing Management Research Center (MMRC)

ディスカッション・ペーパー・シリーズは未定稿を議論を目的として公開しているものである。
引用・複写の際には著者の了解を得られたい。

<http://merc.e.u-tokyo.ac.jp/mmrc/dp/index.html>

進化的合成モデル：

創造プロセスにおける4つのパラドックスとそのマネジメント

稲水伸行

東京大学大学院経済学研究科

inamizu@g.ecc.u-tokyo.ac.jp

佐藤徳紀

ベネッセ教育総合研究所

t_sato@mail.benesse.co.jp

要旨：

本研究は、チームの創造性発揮の理論モデルとして、進化論モデルと創造的合成モデルを統合した「進化的合成モデル」を検討する。本モデルは、創造プロセスに内在する4つのパラドックス（要素還元論 vs. 全体論、独立評価 vs. 統合評価、発散 vs. 収束、ラディカル vs. インクリメンタル）に着目し、それらをどのようにバランスさせるかによってチームの創造性が変わることがシミュレーションにより検証した。シミュレーションの結果、4つのパラドックスそれぞれについて、中程度でバランスされると、チーム全体として高い創造性が発揮されやすいことが明らかとなった。

キーワード：

創造性、進化論モデル、創造的合成、シミュレーション、NKモデル

The Evolutionary Synthesis Model: Balancing Four Paradoxes in Team Creative Process

Nobuyuki Inamizu

Graduate School of Economics, the University of Tokyo

inamizu@g.ecc.u-tokyo.ac.jp

Tokunori Sato

Benesse Educational Research and Development Institute

t_sato@mail.benesse.co.jp

Abstract:

This study examines the “Evolutionary Synthesis Model,” an integrated framework that combines the evolutionary model and the creative synthesis model to explain the dynamics of creativity in teams. Focusing on four paradoxes inherent in the creative process—reductionism vs. holism, independent vs. integrative evaluation, divergence vs. convergence, and radical vs. incremental change—this research explores how balancing these tensions influences creative outcomes. Using a dual-landscape NK model that evaluates both novelty and usefulness, the study conducts simulations to assess the impact of different parameter settings. The results indicate that creativity is maximized when all four paradoxes are moderately balanced.

Key words:

Creativity, evolutionary model, creative synthesis, simulation, NK model

1 はじめに

本研究は、創造性発揮のための進化論モデルと創造的合成モデルを統合した「進化的合成モデル」を提示する。このモデルをもとに、創造プロセスにおける4つのパラドックス（要素還元論 vs. 全体論、独立評価 vs. 統合評価、発散 vs. 収束、ラディカル vs. インクリメンタル）をどのようにマネジメントすべきかを検討する。

近年、チームとしての創造性の持続的な発揮が、企業の競争力を左右する重要な経営課題として注目されている。創造性はイノベーションの基盤であり、イノベーションこそが企業の持続的成長を支える源泉である。企業が競争優位を維持するためには、個々人の能力に依存するのではなく、チームや組織として創造性を高めることが不可欠となっている。

これまでの創造性研究の多くは、主に個人レベルの創造性に焦点を当て、創造的なアイデアの生成メカニズムや、創造的思考を促進する個人特性の解明が進められてきた(Amabile, 1996)。しかし、近年では、創造性が個人だけでなく、チームや組織の協働的なプロセスによって発揮されることに関心が移りつつある。特に、メンバー同士の相互作用や協働が創造性をどのように高めるのかという視点が重視されており、創造性の社会的・組織的側面を探索する研究が増えている(Hargadon & Bechky, 2006; Perry-Smith & Mannucci, 2017)。

このような文脈で提唱されたのが Harvey(2014)の創造的合成モデル (creative synthesis model) である。彼女は、それまで支配的だった進化論モデル(evolutionary model)と対比させることで、このモデルの特徴を際立たせている。

進化論モデルは、アイデアの発散と淘汰を通じて創造性が生まれるという視点に立つ。このモデルは、進化のプロセスになぞらえて、新奇なアイデアがランダムな変異 (mutation) によって生成され、その後、選択 (selection) のプロセスを経て最も優れたアイデアが残るというものである(Campbell, 1960; Staw, 1990) (Simonton, 2018))。ブレーンストーミングなどはその最たるものである。

一方、創造的合成モデルは、個々のアイデアの発散以上に、異なる視点を統合し、既存のアイデアや知識を組み合わせることが重要であることを主張する。このモデルでは、創造性は単なる変異と淘汰の繰り返しなどではなく、チームや組織におけるメンバー間のダイナミックな相互作用を通じて発揮されるものとされる。

Harvey(2014)の創造的合成モデルに対し、やや批判的なコメントを寄せたのが Chen & Adamson (2015)である。彼らは、創造的合成モデルでは閉鎖的なプロセスになりがちであり、長期的な創造性の持続には不向きであると指摘した。彼らは、創造的合成が既存のアイデアの枠組みにとらわれることによって、ラディカルなイノベーションが生まれにくくなるリスクを指摘し、進化論モデルの発散的アプローチを組み込むことを提案している。

この論争に対し、Harvey (2015) は再反論を展開し、創造的合成モデルの中にも進化論的なプロセスが組み込まれており、単なる統合にとどまらないことを強調した。彼女は、進化論モデルと創造的合成モデルを相反するものとしてではなく、補完的なものとして捉え

る視点を提示したわけだが、その具体的な統合メカニズムは依然として不明なままであった。その後、彼女は、創造性のプロセスを「最大化 (Maximization)」「統合 (Integration)」「バランス (Balance)」という 3 つの形態に分類し、進化論モデルは最大化に、創造的合成は統合に対応するものとして整理している (Harvey & Berry, 2023)。しかし、彼女らの理論は、3 つの形態を並列的に配置しただけであり、コンティンジェンシー的に適切な形態を選択すべきとはいうものの、これらをどう統合的に扱うのかについて具体的な説明は十分にされていない。

このような論争から見えてきたのは、創造プロセスにおける 4 つのパラドックスである (表 1 参照)。

表 1：進化論モデルと創造的合成モデルにおける 4 つのパラドックス

パラドックス	進化論モデル	創造的合成モデル
要素還元論 vs. 全体論	創造性は、個々のアイデアや要素を独立に生成し選択することで進化する。	創造性は、異なる要素の統合を通じて生まれる。特に、全体の整合性を考慮して最適な組み合わせを見つける。
独立評価 vs. 統合評価	アイデアの各要素を独立に評価し、それぞれの価値の総和で全体の評価を決定する。特に、独自性と有用性を独立に評価する。	アイデアの評価は、各要素の評価の単純合計ではない。全体の整合性をもとに評価されるため、シナジーがあることが考慮される。特に、独自性と有用性を統合的に評価する。
発散 vs. 収束	創造性はできるだけ多様なアイデアを発散させることで生まれる。	創造性は、既存のアイデアや知識を統合し、精錬することで生まれる。
ラディカル vs. インクリメンタル	既存の知識に囚われない、飛躍したアイデアを生み出すことで、創造性を発揮する。	既存の知識やアイデアを活用し、徐々に変化する形で創造性を高める。

一つ目は、要素還元論か全体論か、つまり、個々のアイデア（やその要素）を独立に生成することで創造的な成果を生み出すべきなのか、それとも全体の統合性や相互の整合性を考慮することで創造性を生み出すべきなのか、という問題である。進化論モデルでは、創造性は、個々のアイデアやその要素が変異・淘汰・保持というプロセスを経て最適化される過程だと考える。複数のアイデアやその要素が相互作用することにあまり注意は払われない。むしろ、他のアイデアや要素が影響しないようにアイデア生成することが望ましいとされる。そうすることで、他の要素との関係やそれとの整合性を気にすることなく、自由な発想

でのアイデア出しが可能となるからである。一方、創造的合成モデルでは、アイデアの価値は個々のアイデアやその要素がどのように相互作用し統合されるかによって決まると考えるため、アイデア全体としての一貫性・整合性が重要となる。言い換えれば、各要素の評価の単純な総和ではなく、複数の要素が合成されることで各要素には還元できないような創造的なアイデアが生成されることを期待する。

二つ目は、独立評価か統合評価か、という問題である。進化論モデルにおける評価は、各アイデアや要素の価値を独立に測定し、その中から最も良いものを選択する（それ以外のアイデアは捨て去る）。しかし、創造的合成モデルでは、個々のアイデアや要素の価値は独立に決まるのではなく、組み合わせあったときにどのような相互作用が生じるかが重要だと考える。これは、創造性の本質的な評価基準の違いを示しており、個々の単純な評価では測れない「統合的な価値」が存在することを示唆している。

例えば、創造性はその定義から独自性と有用性の 2 つの評価軸があるとされる。進化論モデルの場合、（有用性から独立する形で）独自性を最大限高める形でアイデア生成を行った後、その中から有用性の高いものを選ぶというプロセスを想定する。一方、創造的合成モデルの場合、独自性と有用性を同時に考慮することで、双方が統合されたアイデアが生み出されることを期待する。

三つ目は、どの程度発散を行うべきか、収束を進めるべきかという問題である。進化論モデルは、アイデアの発散と淘汰を通じて創造性が生まれるという視点に立つ。このモデルは、進化のプロセスになぞらえて、新奇なアイデアがランダムな変異（mutation）によって生成され、その後、選択（selection）のプロセスを経て最も優れたアイデアが残るというものである¹。一方、創造的合成モデルでは、チームや組織におけるメンバー間の相互作用を通じて、既存の異なる知識やアイデアを統合する形で収束させるプロセスが重視される。

四つ目は、創造性の発揮が、断続的なラディカルな変化なのか、それとも徐々に改善する形をとる漸進的な変化なのかである²。進化論モデルでは、創造性は、既存のアイデアにとらわれない飛躍をするようなラディカルな変化によって発揮され则认为。しかし、創造

¹ 選択(selection)は収束と言えなくもない。ただ、ある評価基準に沿って生成されたアイデアから一つを選択するため、創造性発揮のために重視されるのは発散ないしはランダムな変異（mutation）である。

² ここで述べているのは、アイデア生成のプロセスにおいてどちらの変化を志向するかである。進化論モデルのように、既存のアイデアの延長線上にないようなアイデアを生成したとしても、結果的に独自性や有用性の観点から小幅な変化しかもたらない可能性もある。逆に、創造的合成モデルのように、既存のアイデアの延長線上の連続的な変化しかないようなアイデアを出したとしても、それが独自性や有用性を劇的に高める可能性もある。よって、アイデア生成のプロセスなのか、アイデアが評価された結果なのかを区別することは重要である。

的合成モデルでは、既存の知識を活用しながら、インクリメンタルな変化を促すことで創造的なアイデアに発展すると考える。

既存研究では、これらの 4 つのパラドックスを統合的に理解し、これらのマネジメントを創造プロセスの中でどのように行うべきかについて体系的に研究できていない。多くの研究が、時間的あるいは空間的にこれらの相反する要素を分離するアプローチを取っているが、実際の創造プロセスではこれらのバランスが重要である可能性がある。

したがって、本研究では、進化論モデルと創造的合成モデルにまつわる 4 つのパラドックスをマネジメントするための新たな理論を構築することを目的とする。具体的には以下の 2 つの研究課題に取り組む。

(1)進化論モデルと創造的合成モデルにおける 4 つのパラドックス(要素還元論 vs. 全体論、独立評価 vs. 統合評価、発散 vs. 収束、ラディカル vs. インクリメンタル) が創造プロセスに与える影響を明らかにする。

(2)進化論モデルと創造的合成モデルの 4 つのパラドックスは、創造プロセスにおいてどのように管理されるべきかを明らかにする。特に、単なる時間的・空間的な分離ではなく、創造プロセスの中で動的にバランスを取る必要があるのか、それともある程度の中庸が望ましいのかを明らかにする。

2. 進化的合成モデルのシミュレーション

2.1 シミュレーションの目的

以上の研究課題に対応するため、本研究では理論構築型のシミュレーションのアプローチ(Davis et al., 2007)を採用する。進化論モデルと創造的合成モデルにまつわるパラドックスの各々のメカニズムについては、先行研究により一定の理解が進んでいる(Harvey, 2014; Harvey & Berry, 2023)。しかし、両者を組み合わせたときに創造性の成果がどのように変化するかについては、理論的にも実証的にも十分に解明されていない。進化的合成モデルの概念は提唱されているものの、その具体的な効果やパラドックスの管理方法は明確になっていない(Chen & Adamson, 2015; Harvey, 2015)。本研究では、これらのシンプルな理論(simple theory)をもとに、進化論モデルと創造的合成モデルを統合した「進化的合成モデル」を構築し、シミュレーションを行うことで、効果的に理論構築ができるものとする。

2.2 エンティティ、状態変数、スケール

本研究では、独自性ランドスケープと有用性ランドスケープの 2 つのランドスケープか

らなる NK モデルを構築し、創造性が発揮されるプロセスを明らかにする。ここではエージェントとランドスケープという 2 種類の主要なエンティティを定義する。

2.2.1. エンティティ (Entities)

(1) ランドスケープ

ランドスケープは、アイデアの評価基準を提供する空間であり、NK モデルに基づいて設計されている。本モデルには、独自性と有用性の 2 つのランドスケープがある。つまり、一つのアイデアに対して、独自性の観点からの評価（独自性ランドスケープにおける適合度）と有用性の観点からの評価（有用性ランドスケープにおける適合度）の 2 つの評価がされることになる。例えば、図 1 のように、同じ 1 つのアイデアについて、独自性が高かったとしても（独自性ランドスケープの適合度が高かったとしても）、有用性が低い（有用性ランドスケープの適合度が低い）ということが起こりうる。もちろん、独自性も有用性も両方高い（低い）ということもありうる。このようにランドスケープを二つにすることで、より明確に独自性と有用性のトレードオフをモデル上表現できるようになる。

(2) エージェント

エージェントはチームメンバーを表している。各エージェントは、それぞれがアイデアを持ち、より「良いアイデア」を生成するように行動する。ここで言う「良いアイデア」とは独自性と有用性の両方が高いものを指す。より具体的には、2 つのランドスケープ上で両方の適合度を向上させるように行動する。後述するように、エージェントの取る行動には、変異と交叉の 2 つがある。

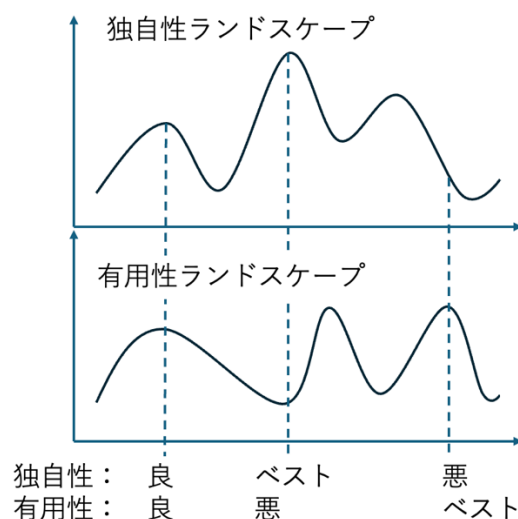


図 1: 2 つのランドスケープのイメージ

本モデルは、独自性と有用性の 2 つのランドスケープがある NK モデルである。1 つのア

アイデアでも、独自性は高いが有用性は低いと言う評価がありうる（真ん中のアイデア）。逆に、独自性も有用性も高いアイデアもありうる（左のアイデア）。

2.2.2. 状態変数

(1) エージェントの状態変数

各エージェントは1つの「アイデア」を持つ。アイデアはバイナリ列（例：11110000）として表現される。これは、後述する変異や交叉によって毎期更新されていく。

バイナリ列の各ビット（0 または 1）は、アイデアを構成する特徴や要素を表す。例えば、新しいスマートウォッチのデザインを考える際に、各ビットが特定のデザイン要素（例：素材の種類、形状、機能の有無）を表すとする。軽量素材・四角いデザイン・防水機能あり・バッテリー長持ち(1111)や、重量素材・円形デザイン・防水なし・バッテリー短い(0000)といった形で表現される。

それぞれのアイデアには、独自性スコアと有用性スコアが設定されている。独自性スコアは、アイデアの独自性の程度であり、独自性ランドスケープ上で評価される適合度である。有用性スコアは、アイデアの有用性の程度であり、有用性ランドスケープ上で評価される適合度である。

アイデア	バイナリ列（例:11110000）として表現される。N次元空間内の位置を示し、変異や交叉により更新される。
独自性スコア	アイデアの独自性の程度。独自性ランドスケープ上で評価される適合度。
有用性スコア	アイデアの有用性の程度。有用性ランドスケープ上で評価される適合度。

(2) ランドスケープの状態変数

独自性と有用性の各ランドスケープは、NKモデルに倣い、N(アイデアのバイナリ列の長さ)と K(アイデアの各要素同士の相互依存の程度)に基づいて生成される。各ランドスケープの全ての点に適合度が割り当てられる。一様分布に基づいてランダムに適合度を割り当てる。

Kの影響について例えば次のようなシナリオが考えられる。まず、独立型(K=0)の場合、各ビットの影響が独立しており、アイデア全体の適合度は単純な合計値で計算できる。例えば、「この製品に防水機能を追加するかどうか」は他の特性に影響を与えないという感じである。次に、相互依存型(K>0)の場合、一部のビットが他のビットと相互作用し、全体の適合度に影響を与える。例えば、「軽量素材」と「防水機能」の組み合わせが相互作用し、最適な適合度を生み出す可能性がある。この場合、各アイデアの適合度は、個々の要素だけでなく、それらの相互作用によって決定されるため、単純な最適解の探索が難しくなる（ランドスケープが複雑な形状になる）。

次元数(N)	アイデアのバイナリ列の長さに対応している。
相互依存数(K)	アイデアの要素の相互依存の程度。
適合度スコア	各ランドスケープの全ての点に割り当てられるスコア。ランダム生成または特定の分布を使用。

2.2.3. スケール

(1) 時間的スケール

離散時間ステップでシミュレーションは行われる。各ステップでエージェントは行動（後述する変異または交叉）を完了し、適合度を再計算する。シミュレーション期間は 1000 ステップを上限とするが、一定の条件を満たしたときには終了するものとする。

(2) 空間的スケール

N 次元バイナリ列の全ての組み合わせを探索空間とする。

2.3. プロセスの概要とスケジュール

2.3.1 モデルにおける主要プロセス

モデル内のプロセスは、大きく以下の 5 つに分けられる。

- (1)初期化：ランドスケープとエージェントの生成と初期状態の設定を行う。
- (2)アイデアの生成：各エージェントが変異または交叉を実行し、新しいアイデアを生成する。
- (3)アイデアの評価：各エージェントは、生成された新しいアイデアについて、独自性スコアと有用性スコアを計算する。
- (4)アイデアの選択：各エージェントは、新しいアイデアが現在のアイデアよりも良いと判断した場合、現在のアイデアを捨てて新しいアイデアを採用する。逆に、現在のアイデアの方が良いと判断すれば、現在のアイデアを保持する。
- (5)終了：全エージェントが上記の(2)~(4)を終えたら 1 ステップとする。1000 ステップを上限とするが、一定の条件を満たしたときにはシミュレーションを終了する。

2.3.2 初期化

初期化はシミュレーションの開始時点で行われる。

まず、独自性ランドスケープと有用性ランドスケープが、それぞれ独立に生成される。各ランドスケープは、N 次元の空間でランダムな適合度スコアを持つ点の集合として構築さ

れる。各点の適合度は、 K も考慮して生成される。

次に、各エージェントが生成され、ランドスケープ上にランダムに配置される。具体的には、ランダムに生成された初期アイデア (N 次元バイナリ列) を持つ者として生成される。この初期アイデアについて、初期の独自性スコアと有用性スコアが計算される。

2.3.3 アイデアの生成

各エージェントは、変異と交叉の 2 つの行動を通じて新しいアイデアを生成する。

(1) 変異

変異は、創造性の進化論モデルの突然変異 (アイデアの発散) に該当する行動である。各エージェントは、現在のアイデアをランダムに変更する。より具体的には、 N 個のアイデアの要素のうち、一定数をランダムに選択し、反転させる (0 であれば 1 に、1 であれば 0 にする) ことで、新しいアイデアを生成する。例えば、あるエージェントの持つアイデアが 11111111 だったとする。このうち、3 番目と 5 番目の要素が選択されたとする。この場合、新しいアイデアは 11010111 となる。変異のイメージは、ランドスケープ上をジャンプしながら移動するというものである (図 2 参照)。

変異の程度 (反転させる要素数) はパラメータ Msz で設定される。例えば、 $Msz=1$ の場合は 1 つの要素しか変化しない (11111111 が 11111110 に変化するなど)。一方、 $Msz=3$ の場合、3 つの要素が同時に変化する (11111111 が 10101011 に変化するなど)。 Msz が低いとアイデアのマイナーな変化、 Msz が高いとアイデアのラディカルな変化と捉えることができる。図 2 で言えば、前者はスモールジャンプ、後者はビッグジャンプである。

なお、 XX に基づいてどの要素をピックアップするかは完全にランダムである。現在のアイデアに囚われることなく、新しいアイデアの探索を行なっていると見ることもできる。その意味で、変異は創造性の進化モデルの突然変異に該当すると言える。

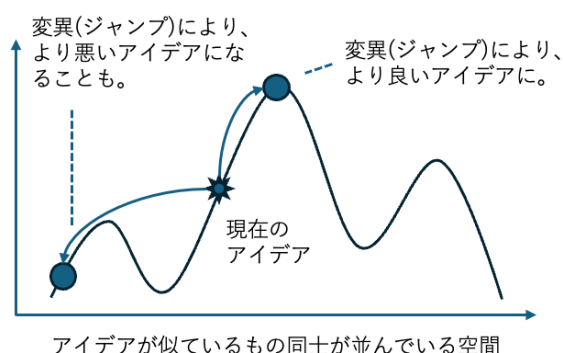


図 2：変異のイメージ

N 次元バイナリで表現されるアイデアについて、パラメータ XX で設定された数の要素をランダムにピックアップし、反転させる。これは、現在のアイデアに囚われることなく、ランドスケープ上をジャンプして移動するイメージである。

(2)交叉

交叉は、創造的合成モデルの合成（アイデアの収束）に該当する行動である。各エージェントは、他のエージェントとコミュニケーションを行い、自分のアイデアと他のエージェントのアイデアと組み合わせて、新しいアイデアを生成する。

まず、コミュニケーションをする相手をランダムに選ぶ。コミュニケーションは互いのアイデアの共通点が高いほど成立しやすいものとする(Axelrod, 1997; Homans, 1950)。そして、コミュニケーションが成立すれば、互いのアイデアで異なっている要素を 1 つランダムに選択して反転させる（相手のアイデアの一部を自分のアイデアと組み合わせる）。こうすることで、互いのアイデアを似せる方向にアイデアを収束させていくことになる（図3参照）。自分と相手のアイデアが1つの要素しか違う場合を除けば、相手のアイデアに似せるとは言い、現在の自分および相手のアイデアとは異なる新しいアイデアが生み出されることになる。その新しいアイデアはより高い評価（適合度）を得られる可能性もある。その意味では、交叉は、（チーム内での）アイデアの収束という方向性もった探索と言える。

例えば、自分のアイデアが 11111111、相手エージェントのアイデアが 10000000 だったとする。この場合、1 番目の要素は 1 で共通しているが、それ以外の要素（2 番目～8 番目の要素）は異なっている。そのため、互いのアイデアの類似率は $1/8$ である（8 個の要素のうち 1 つが類似している）。よって、コミュニケーションが $1/8$ の確率で成立するものとする。仮にコミュニケーションが成立したとして、例えば 2 番目の要素がランダムに選ばれたとする。この時、自分のアイデアは(10111111)に変化することとなる。これは、自分のアイデアに、相手のアイデアの 2 番目の要素を組み入れたものとして理解することができる。

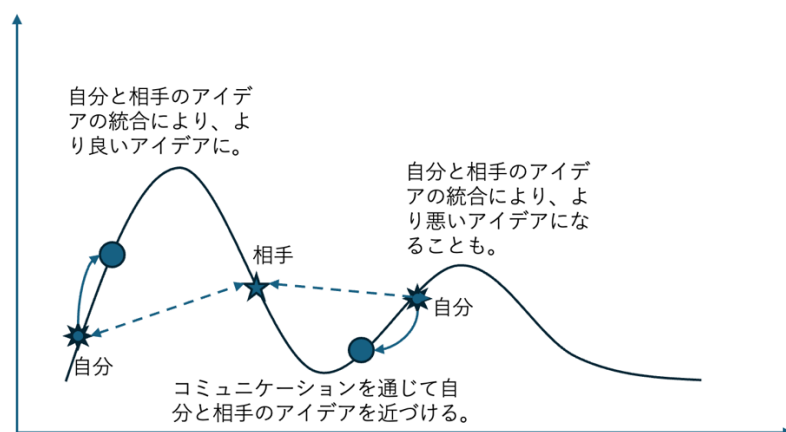


図3：交叉のイメージ

各エージェントはランダムに選んだ相手とコミュニケーションを行い、互いのアイデアを似せていく。コミュニケーションはアイデアの類似率に基づいて成立する。コミュニケーションが成立すれば、自分のアイデアの要素の 1 つを相手のものにする（相手のアイデアを取り入れる）。相手のアイデアに似せるが、多くの場合は相手のアイデアに完全一致させる

わけではない。似せていく過程で、新しいアイデアが生じることになる。

(3)変異と交叉をとる確率

なお、各エージェントは各ステップにおいて変異と交叉のどちらか 1 つを行う。変異ないし交叉を行う確率はパラメータ Mpr によって決められる。例えば $Mpr=0.1$ の場合、各エージェントは各ステップにおいて、10%の確率で変異を行い、90%の確率で交叉を行うことになる。

2.3.4 アイデアの評価

各エージェントは、変異/交叉によって生成された新しいアイデアについて、独自性と有用性の 2 つの軸で評価をする。具体的には、新しいアイデア (N 次元バイナリ) について、独自性ランドスケープにおける適合度 (=独自性スコア) と、有用性ランドスケープにおける適合度 (有用性スコア) を計算する。

2.3.5 アイデアの選択

各エージェントは、生成された新しいアイデアが現在のアイデアと比べて良いものだと判断すれば、現在のアイデアを捨てて新しいアイデアを採用する。そうでなければ、現状のアイデアを維持する。

アイデアの良し悪しの評価基準には以下の 3 つが想定される。

- (1) 独自性と有用性の両方のスコアが維持向上したか。
- (2) 独自性と有用性の平均スコアが維持向上したか。
- (3) 独自性と有用性のスコアのどちらか一方が維持向上したか。

これら 3 つの評価基準は、(1) が最も厳しく (新しいアイデアが採用されにくい)、(2) が中程度、(3) が最も緩い (新しいアイデアが採用されやすい) ものとなっている。(2) の場合、例えば独自性が下がっても、それを埋めるだけの有用性の高まりがあれば、そのアイデアは採用されることになる。(3) の場合、例えば独自性が下がり、有用性がそれを埋めることができなかったとしても、少なくとも有用性が維持されていればそのアイデアは採用されることになる。イメージは図 4 の通りである。

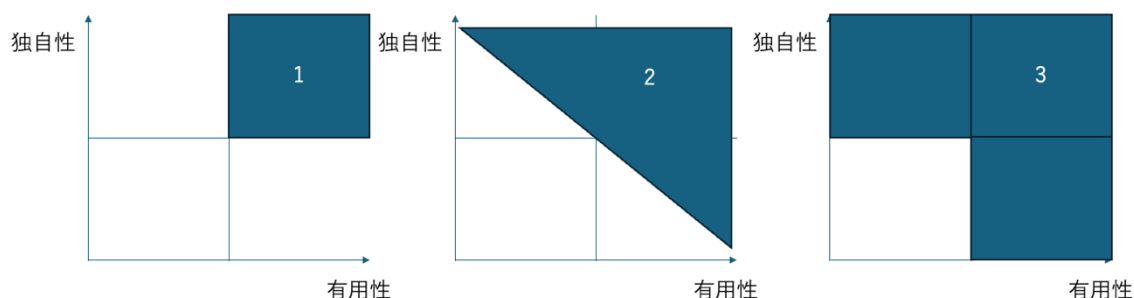


図 4：アイデアの評価基準のイメージ

色が塗られている領域のアイデアが良いと判断される。左図は、独自性（縦軸）も有用性（横軸）も維持向上している場合である。真ん中の図は、独自性と有用性の平均が維持向上している場合である。右図は、独自性と有用性のどちらか一方が維持向上している場合である。左から右へ順に色が塗られている領域が大きくなっている。つまり、新しいアイデアが採用されやすくなると言える。

2.3.6 スケジュール

本モデルのスケジュールは、離散的な時間ステップで構成される。各時間ステップでは、全エージェントが順次行動を完了する。プロセスの具体的な順序を以下に示す：

1. 各エージェントが変異または交叉により新しいアイデアを生成。
2. 生成されたアイデアを独自性と有用性のランドスケープで評価。
3. 評価基準に照らして適合度が維持向上した場合、新しいアイデアを採用。
4. 全エージェントがタスクを終えた後、次の時間ステップに進行。

このプロセスは、収束条件（全エージェントのアイデアの変化がない状態が 300 ステップ以上継続すること）が満たされるか、ステップ数 1000 に到達するまで繰り返される。

2.4. 入力と出力

2.4.1 入力パラメータ

以下の入力パラメータを設定した。各パラメータの設定につき 100 回のシミュレーションを行った。

(1)アイデアの要素数 (N)

各エージェントが持つアイデアは、N 次元のバイナリ列として表現される。各要素 (0 または 1) は各次元におけるそのアイデアの特徴を示す。本モデルでは、 $N=8$ に固定されている。したがって、全てのアイデアは長さ 8 のバイナリ列として扱われ、可能なアイデアの総数は $2^8=256$ となる。

(2)アイデアの相互依存性 (K)

K は、アイデアの各要素が、他の要素とどの程度相互作用するかを表すパラメータである。この値が小さい場合（例： $K=1$ ）、アイデアの各要素はほぼ独立して評価されるため、ランドスケープは比較的滑らかで単純な構造となる。逆に、この値が大きい場合（例： $K=7$ ）、アイデアの各要素が他の複数の要素と相互作用し、複雑なランドスケープが形成される。設定範囲は 1 から 7 である。なお、独自性と有用性の 2 つのランドスケープがあるが、両方に同じ K の値が適用される。

(3)変異の大きさ (Msiz: Mutation Size)

Msiz は 1 回の変異で反転させるバイナリ列の要素数を表す。変異を適用してアイデア生成をする際、Msiz 個の要素がランダムに選択されて反転される (0→1 または 1→0)。このパラメータが小さい場合 (例: Msiz=1)、アイデアの変更は局所的なものとなる (スモールジャンプ)。逆に、大きい場合 (例: Msiz=8)、1 回の変異で大幅な変化が生じるため、大域的な探索が行われることを意味する (ビッグジャンプ)。設定範囲は 1 から 8 である。

(4) 変異を行う確率 (Mpr: Mutation Probability)

Mpr は変異の発生確率を表す。各エージェントがアイデアを生成する際、確率 Mpr で変異を適用し、確率 1-Mpr で交叉を適用する。設定範囲は 0.0 から 1.0 であり、値が小さいほど交叉を多く行い、大きいほど変異を多く行う。

(5) アイデアの採用基準 (IAC: Idea Acceptance Criteria)

IAC は、エージェントが新しく生成したアイデアを採用するかどうかの基準を決定するパラメータである。採用基準は、独自性スコアと有用性スコアの変化に基づき、以下の 3 つのいずれかを適用する。

一つ目は、独自性と有用性の両方が維持または向上した場合のみ採用する、というものである。これは最も厳格な基準であり、創造性のバランスを強く維持する。独自性が高まるが有用性が低下する、またはその逆のケースではアイデアを変更しない。

二つ目は、独自性と有用性の平均値が維持または向上した場合に採用する、というものである。一定の柔軟性を持ち、片方のスコアが下がっても、もう片方がそれを補う形であれば採用可能とするものである。

三つ目は、独自性と有用性のいずれか一方が維持または向上した場合に採用する、というものである。最も緩やかな基準であり、どちらかのスコアが向上すればアイデアを更新する。

パラメータ名	内容	値
N	アイデアの要素数	8 に固定
K	アイデアの各要素が他の要素と相互作用する程度	1~8
Msiz	変異(mutation) の大きさ。 1 回の変異で反転させる要素数。	1~3
Mpr	変異(mutation) の発生確率。 1-Mpr は交叉の発生確率。	0.0~1.0
IAC	アイデアの採用基準 (Idea Acceptance Criteria)	3 つのパターン 1=独自性と有用性の両方が維持向上 2=独自性と有用性の平均が維持向上 3=独自性と有用性の片方が維持向上

2.4.2 出力データ

(1) AVI(Average Idea)

シミュレーションの終了時点で、全エージェントの独自性と有用性のスコア平均を平均したもの。チーム全体として、独自性と有用性の両方を高いレベルで達成しているかどうかを示す。単に特定のエージェントのみがそれを達成しているだけでなく、チーム全体として高いレベルに収束しているかどうかを示す。

(2) MXI (Maximum Idea)

シミュレーションの終了時点で、各エージェントの独自性と有用性のスコア平均のうち、最高値のもの。MXI が高いと、チーム内の少なくとも 1 人が、独自性と有用性の両方を高いレベルで満たしたアイデアを達成していることを示す。ただし、他のエージェントのアイデアが低いレベルである可能性があることには注意が必要である。

(3) CVI(Convergence of Idea)

シミュレーションの終了時点で、チーム内のアイデアがどの程度収束したかを示す。シャノン多様性指数を反転させたものとして以下のように計算される。

$$CVI = 1 + \sum_{i=1}^n p_i \cdot \log(p_i)$$

この値が低い場合、エージェントが多様なアイデアを保持していることを示し、探索が収束していないことを意味する。高い場合、チーム全体が少数のアイデアへと収束していることを示す。

(4) TTC (Time To Converge)

各エージェントがこれ以上より良いアイデアを生成・採択できない状態に到達するまでに必要なステップ数。この値が低い場合、チーム内で早期に少数のアイデアに収斂したことを意味する。高い場合、アイデアの収束に長い時間をかけたことを示す。

出力変数名	内容
AVI	独自性と有用性の平均値のチーム平均値(Average Idea)
MXI	独自性と有用性の平均値の最高値(Maximum Idea)
CVI	チーム内のアイデアの収束の程度(Convergence of Ideas)
TTC	チーム内のアイデアの収束にかかる時間(Time To Convergence)

3. シミュレーションの結果

3.1. AVI（独自性と有用性の平均値のチーム平均値）の結果

図 5 は、AVI（独自性と有用性の平均値のチーム平均値）の結果である。図 5 には 9 つのヒートマップが並置されている。これは、変化させるパラメータが 4 つと多いため、これら 4 つの変化による出力の変化を視覚的に捉えやすくするためである。

各ヒートマップの横軸は K（アイデアの各要素が他の要素と相互作用する程度）で、1 から 7 の値を取る。各ヒートマップの縦軸は Mpr（変異の発生確率）で、0 から 1 の値を取る。各セルの色は、当該パラメータ設定における 100 回のシミュレーションの MXI の平均値である。赤色が濃いほど MXI の値が高く、青色が濃いほど MXI の値が低いことになる。

9 つあるヒートマップのうち、上段の 3 つは IAC(アイデアの採用基準)が 1(独自性と有用性の維持向上)の場合の結果である。上段の 3 つのうち左から順に Msz(1 回の変異で反転させる要素数)が 1 の場合、2 の場合、3 の場合と並んでいる。中段の 3 つは IAC が 2(独自性と有用性の平均が維持向上)の場合、下段の 3 つは IAC が 3(独自性と有用性の片方が維持向上)の場合の結果である。各段において、左から順に Msz が 1、2、3 の場合というように並んでいる。

図 X から見て取れる明らかな傾向は、IAC=2 かつ Msz=2 の場合（中段の真ん中のヒートマップ）に AVI が高くなる（赤色のセルが多い）、ということである。また、同じ中段・真ん中のヒートマップにおいても、K が中程度の時に AVI が高くなる傾向を見て取れる。例えば、K が 1、4、7 の場合を比較したときに、4 の場合に赤色が濃くなっている。さらに、同じヒートマップにおいて、Mpr が中程度の時に AVI が高くなる傾向を見て取れる。例えば、Mpr が 0、0.5、1 の場合を比較したときに、0.5 の場合に赤色が濃くなっている。つまり、K、Mpr、Msz、IAC がいずれも中程度の時に AVI が高くなるのである。

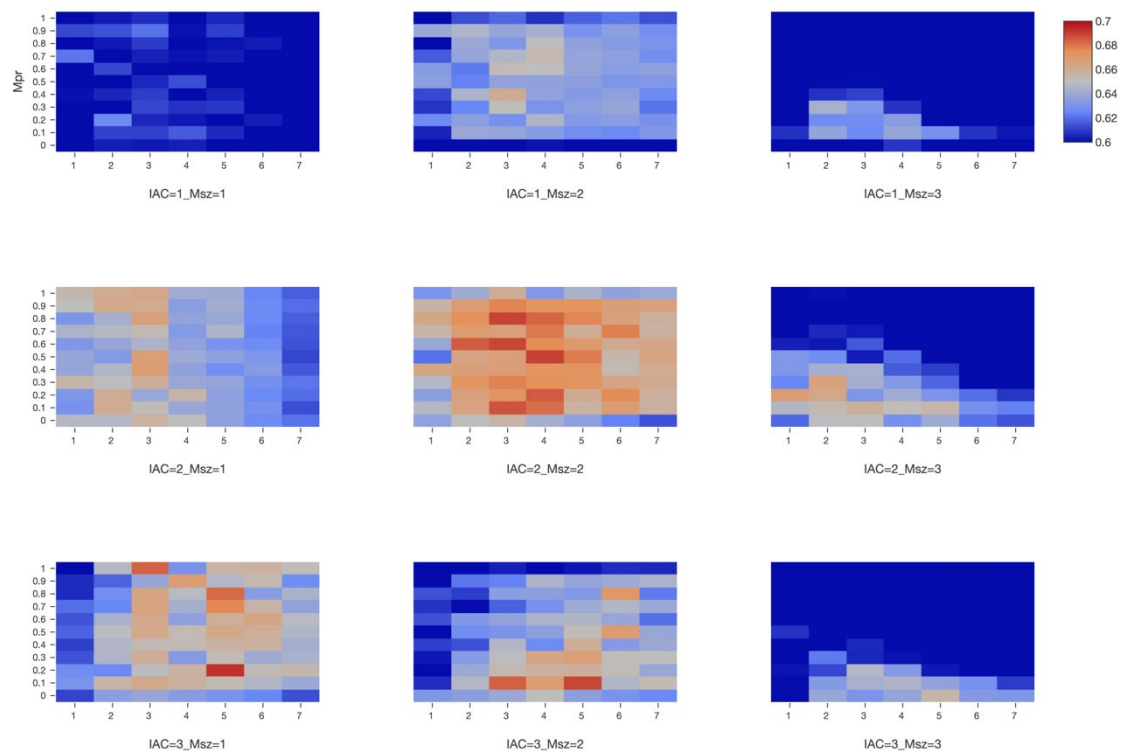


図 5: AVI（独自性と有用性の平均値のチーム平均値）の結果

各ヒートマップの横軸は K、縦軸は Mpr である。9 つのヒートマップは、左から順に Msz が 1、2、3 の場合、上段から順に IAC が 1、2、3 の場合となっている。

3.2. MXI（独自性と有用性の平均値の最高値）の結果

図 6 は、MXI(独自性と有用性の平均値の最高値)の結果である。先述の AVI と同様の傾向を見て取れる。つまり、K、Mpr、Msz、IAC がいずれも中程度の時に MXI が高くなる傾向を見て取れる。ただし、AVI の場合と比べて、大きな差は認められない。上段の真ん中のマップ(IAC=1、Msz=2)、下段の左のマップ(IAC=3、Msz=1)、下段の真ん中のマップ(IAC=3、Msz=2)においても MXI が高くなっている領域を見て取れる。これらのマップでは、先述の通り、AVI はあまり高くなかったことから、最高値(MXI)は高いが、チームとしての平均値(AVI)は高くないと言える。つまり、チーム内でのアイデアに格差があることが示唆される。この点について、次に見ていくことにする。

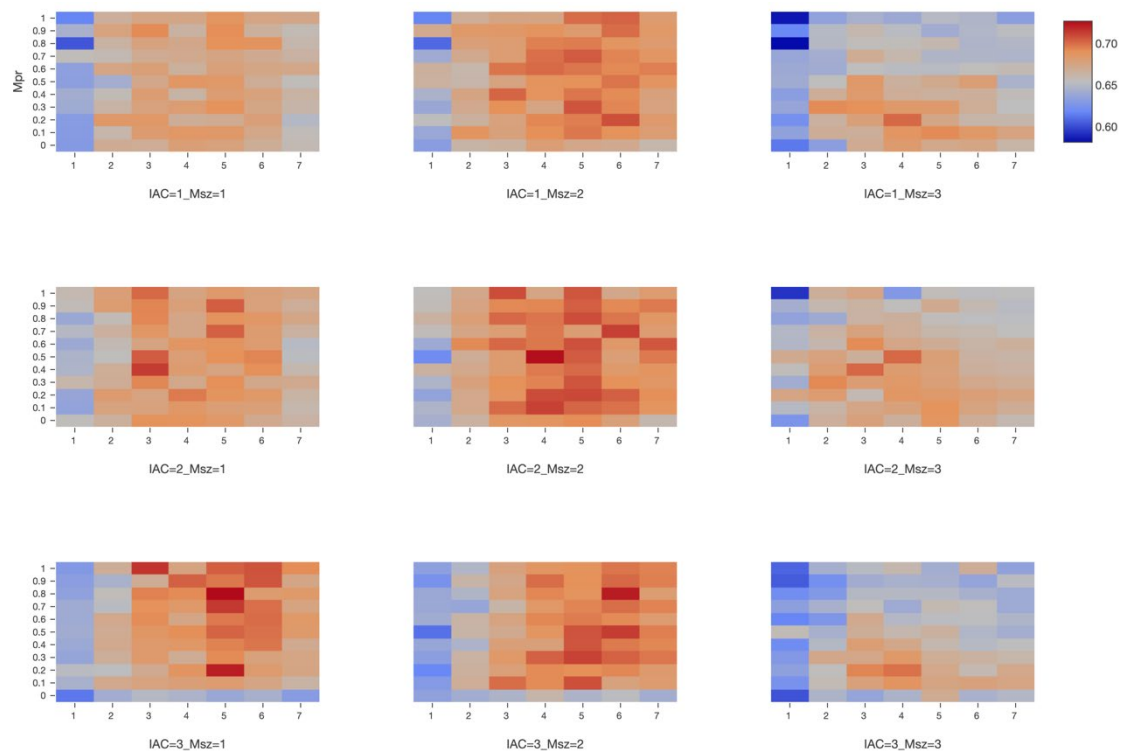


図 6: MXI（独自性と有用性の平均値の最高値）の結果

3.3. CVI（チーム内のアイデアの収束の程度）の結果

図 7 は CVI(チーム内のアイデアの収束の程度)の結果である。傾向として明らかなのは、まず K が低い時に収束しやすいということである。例えば、中段・真ん中のマップ ($IAC=2$, $Msz=2$) の場合、 $K=1$ の時に、チーム内のアイデアがほぼ 1 つに収斂している。同じような傾向は、中段・左のマップ($IAC=2$, $Msz=1$)でも見て取れる。次に、 Mpr が低い時に収束しやすい。例えば、下段の 3 つのマップ($IAC=3$)では、 $Mpr=0$ の時にチーム内のアイデアがほぼ 1 つに収斂している。これらとは逆の場合、つまり K も Mpr も高い場合、アイデアを収斂させることができていない。

さて、AVI と MXI が高かった中段・真ん中のマップ($IAC=2$, $Msz=2$)の中央の領域 ($K=5$, $Mpr=0.5$ を中心とする領域)を見ると、CVI は比較的高くなっている。完全に 1 つにとまではないものの、ある程度チーム内のアイデアを収斂させることができていえる。

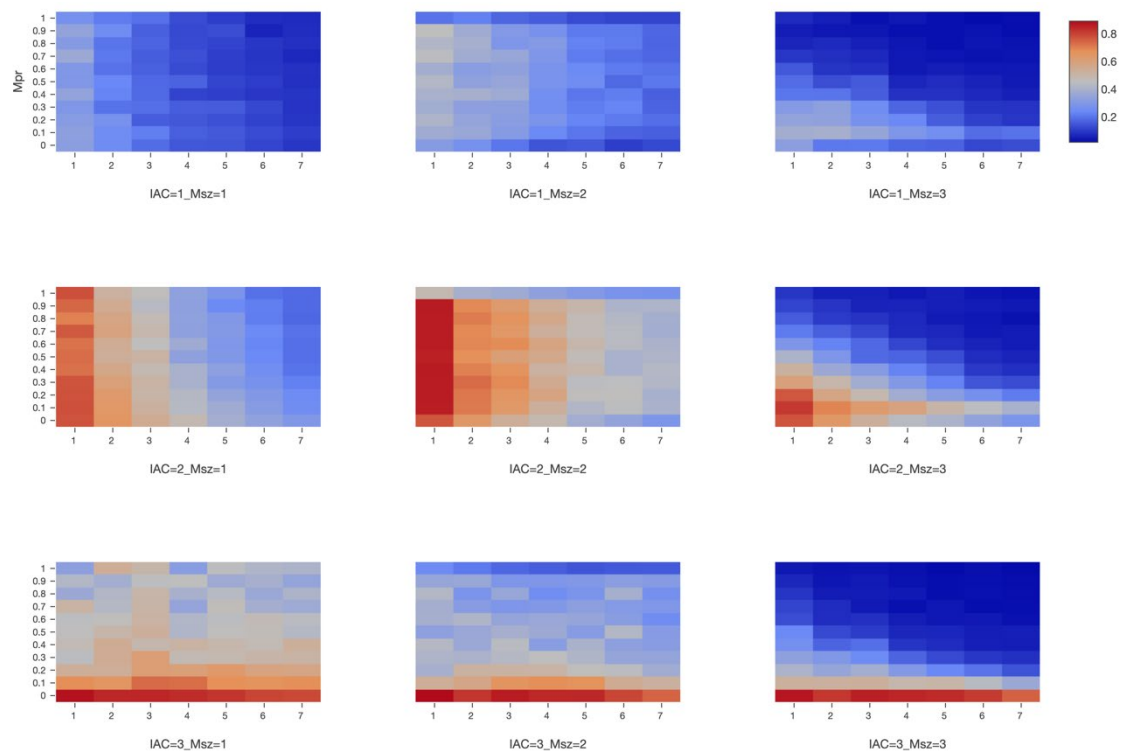


図 7: CVI（チーム内のアイデアの収束の程度）の結果

3.4. TTC（チーム内のアイデアの収束にかかる時間）の結果

図 8 は TTC(チーム内のアイデアの収束にかかる時間)の結果である。まず、上段・左のマップ (IAC=1, Msz=1)、中段・左のマップ (IAC=2, Msz=1) で収束にかかる時間が短い。逆に言えば、IAC が高く、Msz も高いと収束にかかる時間が長くなる傾向があるように見える。また、Mpr=0 の場合は、9 つのマップ全てで収束にかかる時間は短いことも見て取れる。

さて、AVI と MXI が高かった中段・真ん中のマップ(IAC=2, Msz=2)の中央の領域 (K=5, Mpr=0.5 を中心とする領域) を見ると、TTC は比較的低いことがわかる。ある程度素早くチーム内のアイデアを収束させることができていると言える。

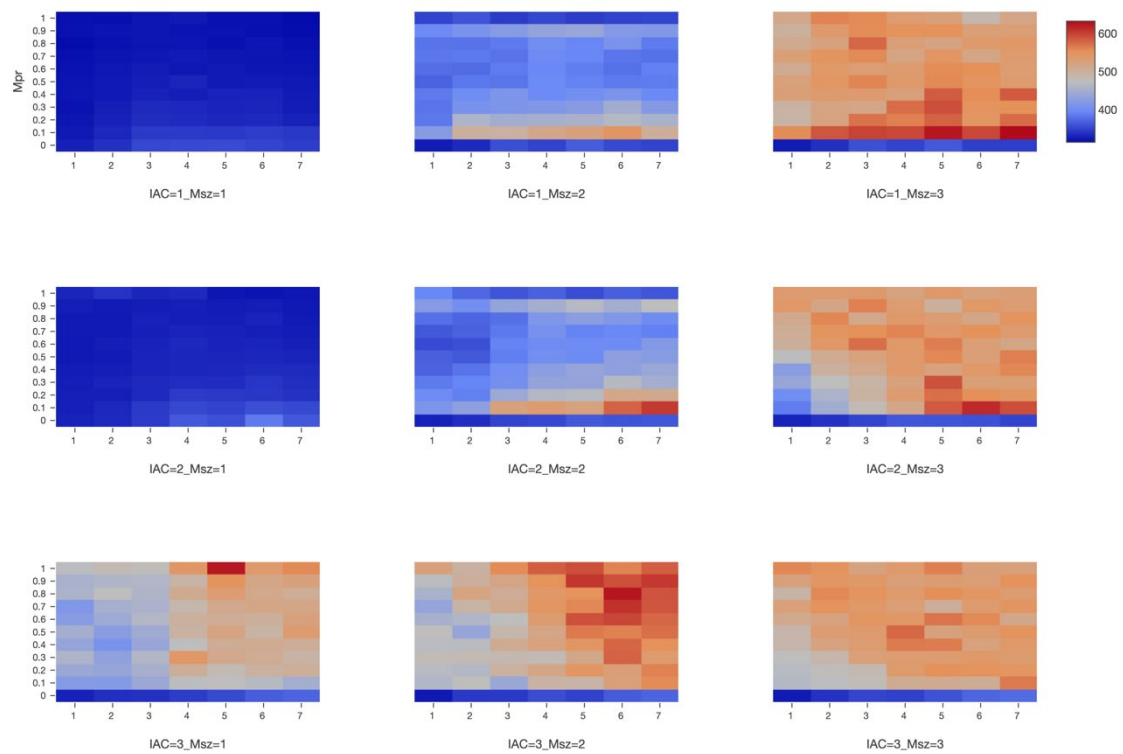


図 8: TTC (チーム内のアイデアの収束にかかる時間) の結果

このように、以下の 4 つの条件が同時に満たされた場合に、比較的早く、チーム内で高いレベルのアイデアが生成・共有されることが明らかとなった。

- 1) K が中程度 (要素還元論 vs 全体論のバランス)
- 2) 独自性と有用性の平均で評価 (独立評価 vs 統合評価のバランス)
- 3) 発散と収束の組合せ (発散 vs 収束のバランス)
- 4) 発散の際のジャンプが中程度 (ラディカルな変化 vs インクリメンタルな変化のバランス)

4. ディスカッションと結論

本研究の研究課題は、進化論モデルと創造的合成モデルが抱える 4 つのパラドックスを整理し、それらをマネジメントするための新たな理論を構築することであった。具体的には以下の 2 つの研究課題を設定した。

(1)進化論モデルと創造的合成モデルにおける 4 つのパラドックス(要素還元論 vs. 全体論、独立評価 vs. 統合評価、発散 vs. 収束、ラディカル vs. インクリメンタル) が創造プロセスに与える影響を明らかにする。

(2)進化論モデルと創造的合成モデルの 4 つのパラドックスは、創造プロセスにおいてどのように管理されるべきかを明らかにする。特に、単なる時間的・空間的な分離ではなく、創造プロセスの中で動的にバランスを取る必要があるのか、それともある程度の中庸が望ましいのかを明らかにする。

これらの研究課題に取り組むため、理論構築型のシミュレーションを行った。本研究のモデルは、独自性 (Novelty) と有用性 (Usefulness) の 2 つのランドスケープ (Creativity Landscape) を持つ NK モデルであった。NK モデルは、要素間の相互依存関係を考慮しながら発散と収束を検討することができ、また、2 つのランドスケープを設けることで、独自性と有用性の評価の対立とその解消も明示的にモデルに組み込むことができるからであった。

シミュレーションの結果、創造性が高まるのは、要素還元論と全体論、独立評価と統合評価、発散と収束、ラディカルな変化とインクリメンタルな変化のバランスが同時にバランスされることが必要であることが明らかになった。

第一に、要素還元論と全体論に関連して、アイデアの各要素間の相互依存度(K)が中程度である場合、創造性が最も高まることが明らかとなった。相互依存度が低い場合、アイデアの各要素は独立に評価されるため、より良いアイデアの生成は楽になる。しかし、独自性と有用性のトレードオフに直面することが多く、アイデアの評価を高めるのに壁にぶつかってしまう。一方、相互依存度が高い場合、アイデアの要素を少し変えただけで、アイデア全体のバランスが崩れてしまい評価が激変することになる。そのため、アイデアの評価を高めるのに苦労してしまう。この点、相互依存性が中程度であれば、独自性と有用性の対立を乗り越えた創造プロセスが実現されることが示された。

第二に、独立評価と統合評価に関連して、独自性と有用性を平均的に評価することで、創造性が最も効果的に向上することが確認された。つまり、独自性と有用性を完全に独立に評価するわけでもなく、独自性と有用性の両方を完全に同時に考慮するわけでもない。多少独立性が下がったとしても、それを上回るだけの有用性の向上があれば、そのアイデアを認めるというバランスの取れた評価である。

第三に、発散と収束をバランスさせることが、創造性の発揮に不可欠であることが確認された。特に、過度な発散は統合のプロセスを困難にし、過度な収束は新しいアイデアの多様

性を制約することが示された。

第 4 に、ラディカルな変化とインクリメンタルな変化をバランスさせることが効果的であることが示された。発散の際にアイデアの飛躍が極端に大きすぎると、統合が困難になり、収束が妨げられる。一方、飛躍が小さすぎると、アイデアの多様性が低くなり、局所最適に陥る可能性が高まる。中程度の飛躍だと、発散と収束のバランスが取れ、創造性が促進されるのである。

最後に、これらのうちどれか 1 つだけバランスしていれば良いのではない。これらの 4 つのバランスが同時に満たされるときに、創造性が最も高まるという点が重要である。

本研究の理論的貢献は、第一に、進化論モデルと創造的合成モデルを統合した「進化的合成モデル」を提示したことにある。進化論モデルが持つ発散的なアイデア生成の側面と、創造的合成モデルが強調する収束的な統合プロセスの側面をバランスさせることで、チームとしての創造性がどのように実現されるのかを明らかにした。

また、本研究は NK モデルに対する新たな拡張を提案した点でも理論的貢献を果たしている。従来の NK モデルでは、単一のランドスケープに基づく探索が主に扱われてきたが、本研究では、独自性と有用性という二つの対立するランドスケープを組み込んだモデルを構築した。一つの戦略や政策、アイデアに対して複数の異なる評価基準で評価されるという状況はかず多く存在する。これらの相対立する評価基準に対してどのように対処するのかを検討する上で、複数のランドスケープのある NK モデルは有用なはずである。

今後は、創造的合成モデルをもとにより詳細な分析が必要であろう。本論文では、4 つのパラドックスについて中程度の段階で同時にバランスさせることが有用であることを示した。ただ、パラドックスの対処方法としては、空間的分離や時間的分離なども考えられる。例えば、エージェントごとに異なる役割を与える、つまりあるエージェントは進化論モデル、別のエージェントは創造的合成モデルに沿ってアイデア生成をした場合にどのような結果になるのか興味深い。これはいわゆる空間的分離にあたる。また、ある期間は進化論モデル、その後は創造的合成モデルというように期間に応じてアイデア生成方法を変えということも考えられる。これはいわゆる時間的分離にあたる。この場合、どのくらいのサイクルで切り替えを行うと良いのかを探ることは特に興味深い。本研究の創造的合成モデルをもとに研究を進めることで、創造プロセス、ひいては組織におけるイノベーションにとって有益な示唆が得られるはずである。

参考文献

Amabile, T. (1996). *Creativity in context : update to The social psychology of creativity*. Westview Press.

- Axelrod, R. (1997). The dissemination of culture: A model with local convergence and global polarization. *Journal of Conflict Resolution*, 41(2), 203-206.
- Campbell, D. T. (1960). Blind variation and selective retentions in creative thought as in other knowledge processes. *Psychological Review*, 67(6), 380-400.
<https://doi.org/10.1037/h0040373>
- Chen, J., & Adamson, C. (2015). Innovation: Integration of Random Variation and Creative Synthesis. *Academy of Management Review*, 40(3), 461-464.
<https://doi.org/10.5465/amr.2014.0438>
- Hargadon, A. B., & Bechky, B. A. (2006). When Collections of Creatives Become Creative Collectives: A Field Study of Problem Solving at Work. *ORGANIZATION SCIENCE*, 17(4), 484-500. <https://doi.org/10.1287/orsc.1060.0200>
- Harvey, S. (2014). Creative Synthesis: Exploring the Process of Extraordinary Group Creativity. *Academy of Management Review*, 39(3), 324-343.
<https://doi.org/10.5465/amr.2012.0224>
- Harvey, S., & Berry, J. (2022). Toward a meta-theory of creativity forms: How novelty and usefulness shape creativity. *Academy of Management Review*.
<https://doi.org/10.5465/amr.2020.0110>
- Homans, G. C. (1950). *The human group*. Harcourt, Brace.
- Perry-Smith, J. E., & Mannucci, P. V. (2017). From Creativity to Innovation: The Social Network Drivers of the Four Phases of the Idea Journey. *Academy of Management Review*, 42(1), 53-79. <https://doi.org/10.5465/amr.2014.0462>
- Simonton, D. K. (2018). Defining Creativity: Don't We Also Need to Define What IsNotCreative? *The Journal of Creative Behavior*, 52(1), 80-90.
<https://doi.org/10.1002/jocb.137>
- Staw, B. M. (1990). An evolutionary approach to creativity and innovation. In M. West & J. L. Farr (Eds.), *Innovation and creativity at work: Psychological and organizational strategies*. (pp. 287-308). John Wiley & Sons.