

Agent-Based Modeling に基づく新製品の内生的創発と需要定着モデル

高島 幸成

1. 始めに

1990年以降、日本経済は低迷が続き、失われた20年 [1, 2] あるいは30年 [3] とも称されている。1990年以降の経済状況を見ると、株価やGDPは回復の兆しがみられているが、福田[4]が指摘するように家計や企業の現場では景気回復の実感が伴っていない状態にある。このような長期的な経済の低迷は Summers [5] が指摘するように、日本だけではなく、多くの先進諸国で見られる状況になっている。

この30年間の景気の低迷に対して、政府は多くの経済政策を実施してきた。直近の事例を見れば、第二次安倍内閣が行った経済政策であるアベノミクスでは、第一の矢による金融緩和、第二の矢による財政出動を行われたが、福田 [4] が述べているように効果が出ていない。今日まで続く、日本経済の長期低迷と、経済政策の効果の弱さについて、小野 [6] は日本社会の変質がその原因だと指摘している。小野によれば、日本は1990年代に発展途上社会から、成熟社会へと変化している。その結果、それまでの成功手段であった生産性向上による経済規模拡大の手法が通用しなくなったことが長期低迷の原因であるとしている。

ここでいう、発展途上社会とはモノが不足して需要が超過している社会のことである。消費に利用する支出を抑え、余剰資金を生産性の向上に向ければ生産力が増加し、その分だけ売り上げが増加する社会のことを指す。一方、成熟社会とはモノが余り、供給が超過している社会のことである。消費支出を抑えて余剰資金を生産性の向上に向ければさらにモノが余り、価格が低下する社会のことを指す。したがって、生産性の向上を促すような、金利を抑制する金融政策や、企業への補助金交付のような財政政策

は成熟社会では景気停滞の要因となる。

このような生産性の向上に伴う経済成長の鈍化は、著者のこれまでの人工経済モデル研究でも観測している。人工経済モデルでは需要と供給のそれぞれを、多数の意思決定主体で構成し、自律的に行動させる。このモデルでは、供給側の企業の売上が需要側の家計の所得となり、その所得で企業から製品を購入する資金循環構造を内包している。そのようなモデルで、企業が生産性向上の要素を機能させると、生産性向上と価格低下が連鎖し続け、経済の拡張が最終的に停止する。これは供給側が個々に自己の最適解となる生産性の向上を繰り返した結果、モノが余り、価格が低下し、余剰利益が生じなくなり、家計の所得へのフィードバックも低下するためである。したがって、人工経済モデルの観点から言えば、経済成長の限界が生じる要因は需要側の問題である。このような経済成長の限界が需要に起因することは小野以外にも、現代貨幣理論の著名な提唱者の一人であるランダル・レイなども指摘する [7] ところである。

このようなモノ余りの社会状況に対して、需要を増加させるには二つの方法が考えられる。一つ目は人口の増加である。人口の増加は単純に製品を欲する、消費する人が増えることを意味するため、需要の増加を促すことは容易に想像ができる。しかしながら、少子高齢化が進行している現在の日本において、容易に実施できる内容ではない。

二つ目は Schumpeter が経済成長の要因として指摘するイノベーションである。Schumpeter の五つのイノベーションのうち、プロセス、サプライチェーン、オーガニゼーションの三つは生産性の向上をもたらす効果がある。そのため、成熟社会における経済成長の要因として考慮の

対象にはならないといえる。

対して、マーケットイノベーションは新しい需要を喚起するものであり、経済成長の要因として考えることができる。しかし、マーケットイノベーションは既存需要に対する追加的な需要の創造である。そのため、より根源的に新しい需要を創造しうるものはプロダクトイノベーションによる新製品の登場であると考えられる。

ここで、新製品の登場はこれまで存在していなかった機能を伴い、新しい効用を市場にもたらす製品の登場のことを指す。この新しい効用が、これまでに存在していた既存の製品の機能に対する効用とは異なる場合、既存の製品とは異なる需要を市場にもたらすことになる。この新しい需要が定着すると、新しい市場が経済システム内に登場することになる。新しい市場は設備投資と労働力の需要を喚起し、経済全体の資金循環を加速させる。また、新市場の労働力需要は既存の市場にも労働力不足をもたらし、賃金増加要因に働き、消費者の購買余力を増加させるなどの影響を及ぼす。このような新製品による相互作用が、景気拡大、対策に対して重要だという観点は、小野が経済学者の観点から精緻に述べている [6]。また、同様にランダル・レイが指摘するグリーンニューディールに政府資金を投入すべきであるという趣旨や、アベノミクスで提示されていた三本目の矢なども同様の観点に基づいているものと考えられる。

しかしながら、実際の経済分析や政策提言では、従来型の金利政策や財政政策が中心となっている。この理由の一つは予測やシナリオ分析を行うためのモデルに、新製品のイノベーションを組み込むことの難しさが挙げられる。プロダクトイノベーションを取り扱うことは、「現在、我々が想定しえない機能が登場すること」 [8] を取り扱うことであり、その機能を仮定することは困難である。

しかし、これまで述べてきたように成熟社会における経済成長のシナリオ分析のためには、新製品の登場を組み込む分析を可能にすること

が重要である。このような取り扱いの困難な現象に対して、有効なアプローチとして Agent-Based Modeling (ABM) がある。ABM は「一般的な数学モデルと異なり、特徴や能力が不均一なエージェントを含めて、均衡からかけ離れた状態をモデル化可能であり、エージェント間の相互作用の結果を直接扱うことができる」 [9] ことを特徴としたシミュレーション研究手法であり、近年盛んに試みられている。社会システムに対するシミュレーションは 1970 年から 1990 年代にかけて模索され始めたが、中でも ABM を主眼に据えた学会が 2003 年には設立される [10] など、大いに注目される分野である。

ABM は、これまでに適用が試みられた研究対象が経済、経営のような社会的な問題から、環境問題、渡り鳥の群生行動に至るまで多岐にわたるため、研究者によって定義が異なる。ABM を著者の観点から大まかに表現すると、「個々に異質な意思決定主体（エージェント）を同種・他種に関わらず、多数用意してシステム内で自律的に活動させることで、エージェント同士やエージェントと環境の間で相互作用と相互学習による創發現象を起こさせ、その挙動を観察することのできるアプローチ」であると言える。

このアプローチはエージェントの相互作用によって、情報の伝播の挙動や、個々のエージェントだけでは形成しえない情報を創発させることができる。また、個々のエージェントに対して、状況の認識や学習を豊富な状態変数とルールによって内包させることができる。そのため、イノベーションの研究分野でも適用されている。

イノベーション研究分野での適用事例を見ると、新しい製品や技術の普及過程を分析する研究などが多い。しかし、製品や技術の普及過程を対象とした研究では、新製品は所与のものであり創発過程を考慮していない。経済成長の要因としてのプロダクトイノベーションを考えると、普及過程よりも前段階の創発過程の再現が重要である。

新製品の創発過程を取り扱った研究もなされ

ているが、マクロ経済のシナリオ分析として用いるには問題点がある。

一つはこれらの創発過程研究は特定の産業や業界など、比較的ミクロの範囲を対象とした研究が多いことである。これらの研究では特定の産業を対象にしているため、技術発展のタイミングや内容を精緻に設定している。これはマクロ経済のシナリオ分析や予測を行う、より抽象度の高い広範囲を対象としたモデルには不向きとなる。マクロ経済モデルの分析に新製品とその需要の創発を内包することを考えると、特定の機能や産業に焦点を絞らず、抽象度の高い新製品の創発モデルが必要となる。

また、二つ目の問題として、ある産業において上互換となる新製品が既存製品の需要を消滅させてしまうモデルになっていることが挙げられる。ある産業において上位互換となる製品の登場は、需要側にとって既存製品よりも優れた機能を選択可能な価格で提供することである。したがって、その実態は経済成長の観点から見れば生産性向上と同じ効果であると言える。つまり、経済成長を目的とした新製品の創発は、既存の製品需要を消滅させないことが重要な観点の一つとなる。

そこで本研究は、ある状況下の経済環境において、プロダクトイノベーションによる新製品の登場が、経済に及ぼす影響を分析可能なモデルを構築する。より具体的には、マクロ視点のイノベーションを対象とし、所与によらない新製品が内生的に創発するとともに、その新製品に対する需要と供給が市場に定着する現象を創発させることが可能なABMベースの人工経済モデルを構築する。

本研究は以下のように構成される。2章ではABMアプローチによるイノベーション研究の先行研究と本研究の関連について述べる。3章では本研究が対象とする新製品の創発と需要の創発について対象とする現象の範囲について述べる。4章ではシミュレーションモデルについて概要を説明する。5章ではシミュレーション

結果について示し、6章で考察を行う。

2. 先行研究との関連

ABMイノベーション研究分野において、新しい製品が内生的に創発する現象を対象とし新しい研究は多く行われている。需要側の行動に焦点を当てた研究としては、所与の新製品が普及していく過程を解析した藤田ら [11]、北中 [12]、酒井ら [13] の研究などがある。一方、供給側の行動に焦点を当てた研究は、企業のイノベーションプロセスと政策の関係を解析した李らの研究 [14] 等がなされている。

一方、新製品の創発過程を取り扱った研究も、数は多くないが行われている。Ohoriら [15] は、新製品の内生的な創発に重要な観点である消費者と企業の共進化のフレームワークを提示し、業界標準が及ぼす影響を解析している。Nigelら [16] は、企業の技術を種類、能力、専門性で表現し、他社との学習と協力によって発生するイノベーションネットワークの基礎モデルを提示した。Chenら [8] は製品を機能のツリーで表現し、遺伝的アルゴリズムを用いることで新しい製品を創発させるモデルを提示している。また、Georges [17] の研究は製品を特徴の束で表現するアイデアを示し、市場の製品シェアに及ぼすプロダクトイノベーションの影響を解析している。Marengoら [18] はプロダクトイノベーションがマクロ経済にどのように影響を及ぼすかを解析している。また、Tiejuら [19] はイノベーションに関わる問題をシミュレーションする際のプラットフォームモデルを構築し、消費者の情報不完全性と多様性が市場の独占を妨げることを明らかにした。

しかしながら、Ohoriの研究は特定の産業に限られており、Nigelの研究も産業毎のイノベーション過程の例を示しているが、産業間で新しい産業の創発につながるイノベーションは行われていない。Nigel, Chen, Georgesの研究は製品の需要に関して、それぞれ需要側の嗜好や意思決定は所与で固定されており、需要側の学習

行動が内包されていない。また、Marengoの研究は高い品質や機能を伴った新製品が既存の需要を消滅させる上位互換の製品が主となっており、全く新しい機能の登場による新しい需要の創発に至っていない。また、Tiejunの研究では消費者の多様性によって複数の製品が市場で存続しているが、需要側の求める製品機能は所与であり、より上位の製品が他の需要を消滅させている。

従って、1. 供給側による新製品の内生的な創発、2. 需要側による新製品に対する選択、3. 既存需要の維持と新製品による新規の需給の創発の3つを内包する研究はなされていない。本研究はこれら3つの要素を内包し、既存需要を維持しながら内生的に創発した新製品が新規の需要を創発させることが可能なモデル構築を行った。

3. 対象とする現象

本研究では新製品の内生的創発によって、新しい需要が内生的に創発する現象の再現を対象とする。そこで、本研究における新製品の内生的創発、及び新製品の登場による新規需要の内生的創発についてそれぞれ定義する。

本研究で対象とする新製品とはSchumpeterが指摘する新しい財貨 [20]、つまりプロダクトイノベーションのことを指す。ここでプロダクトイノベーションについてさらに細かく定義すると、新製品とは全く新しい機能によってこれまで存在していなかった効用を需要側にもたらす存在のことを指す。プロダクトイノベーションによって登場する新製品には、垂直的イノベーションと水平的イノベーションの2種類を指すことがある [21]。垂直的イノベーションとは既存の製品機能を改良した製品のことを指す。また、水平的イノベーションとはこれまで存在しなかった製品機能を保有した製品のことを指す。本研究では前者の新製品を改良製品、後者の新製品を新製品として定義する。

ここで本研究における、製品機能についても

同様に定義を行う。本研究では製品機能とは、消費することによって得られる効用を決定する働きのことと定義する。そのため、製品を消費する需要者は自らが欲求する機能を、製品機能で満たすことで効用を得られるものとする。本研究では製品の特徴を製品機能で表現する。ここから、新製品とは市場に存在していない機能を伴う製品であることと定義する。また、モデル内で新製品が実験者の所与によらずに、市場に登場することを新製品の内生的創発として定義する。

この新製品について単純な例として、食料、衣料、住居が存在する市場に車輛が登場することが挙げられる。食料、衣料、住居はそれぞれ、食べることができる、着ることができる、住むことができるという各機能を保有している。需要側は、食べたい、着たい、住みたいという欲求をこれらの製品機能で充足することで効用を得る。この市場内で車輛の登場は、それまで市場に存在していた3つの機能に対して、移動を補助することができる機能を需要者に与える製品となる。

一方、新規需要の内生的創発は、登場した新製品の需要と供給が市場に定着することと定義する。需要と供給が市場に定着するとは、当該機能を伴う製品が多数の需要者に定常的に消費される状態にあることである。このことは同時に、需要に応えるために多数の供給者によって、当該機能を伴う製品が定常的に生産される状態にあることを意味する。本研究ではこの二つの状態が満たされているときに新規需要が内生的に創発されていると定義する。これは実システムにおいて、供給側によって新製品が登場しても、需要側に認知されなければ生産が続かず、新規需要として市場に定着しないためである。この定義を前述した改良製品と新製品と対応して考えると、新製品はこれまで登場していなかった機能の登場であるといえる。また、新製品が多数の需要者によって認知され、その中で新製品に該当する機能を伴う製品の改良製品が継続

的に生み出されているいる状態が需要の定着として考えることができる。

ここで重要な点は、既存製品機能の需要が新しい製品機能の需要の発生に伴って完全に消滅しないというところである。需要と供給が定着した製品群において、改良製品が既存製品より市場の需要に適合している場合、改良製品は既存製品の需要を完全に消滅させうる。このような製品の登場は市場の需要先が変わるだけで、新しい需要にはつながらない。そればかりではなく、端的に言えば、改良製品は同じ数で既存製品よりもより高い効用をもたらすという点で、市場の効率化であり、市場全体で支出を伴う財に対する需要を減少させかねない。一方、全く新しい製品機能を持つ新製品に対する需要の定着は、他の製品機能の需要を消滅させることはない。先の例にならえば、車輛製品同士であれば、価格も含めたすべての機能において、より市場の需要に合致した性能を持つ車輛が市場に登場した場合、他の車輛の需要を消滅させることがある。一方で、食料、衣料、住居の市場に車輛が登場して定着した場合、食料や衣料の需要が消滅することなく車両の需要が新規に発生することになる。

4. モデル概要

4.1 製品の表現

本モデルでは製品 f を N 個の変数を持つ配列で表現する。それぞれの製品は製品種の違いに関係なく、 $1 \sim N$ 番までの共通の変数の配列を保有する。これらの変数を機能変数とする。各機能変数は $0 \sim M$ までの数値で表現される。この機能変数が 0 以外の数値であるとき、当該機能変数に対応している機能が存在していることを示す。

例えば、機能変数 1 番が摂食、2 番が防寒、3 番が装飾、4 番が運搬であると仮定する。この場合、食料品は $\{10, 0, 0, 0\}$ 、衣料品は $\{0, 7, 5, 0\}$ 、運搬車輛は $\{0, 0, 5, 10\}$ のようにして、食料、衣料などの全く異なる機能を持つ製品を同一の機

能変数の配列で表現することができる。これらの機能変数は、市場で需要がある、と供給者が考える機能の違いによって製品ごとに異なる。例として、運搬車両について、供給者 A の製品 a は $\{0, 0, 8, 6\}$ 、B の製品 b は $\{0, 0, 4, 10\}$ のように仮定する。この場合、製品 a は b に比べて装飾性の機能が高く、運搬性の機能が低い製品を生産していると考えられる。

さらに、機能変数の配列による製品表現を、機能変数毎にサブ機能変数の配列として表現すれば、より詳細な表現も可能となる。例えば、先の例で挙げた機能変数 1 番の摂食には、サブ機能変数 1 番の食味、サブ機能変数 2 番の栄養素のようなモデル化が可能となる。加えて、1 つの変数を複数の変数配列で表現する、という関係を繰り返すことで精緻な表現をすることができる。例として、ある製品 X の機能変数 1 の摂食機能は、サブ機能の食味と栄養素の機能変数で構成されている。さらにサブ機能の食味変数は甘味と酸味のサブサブ機能で構成されている食品である、等の表現ができる。

ただし、本研究ではマクロなイノベーションの創発現象を対象とする。そのため、機能変数は、摂食、防寒などの具体的な機能を仮定せず、何らかの機能 1, 2 として架空の機能変数とする。また、サブ変数の類も使用せず 1 次元の機能変数配列を用いる。

また、製品を機能変数の配列として考えたとき、製品のカテゴリは一般的な ABM における表現とは異なることになる。一般的なモデルでは、カテゴリ別に製品が所与で与えられる。例えば、食料、衣料等の製品カテゴリを所与で与え、エージェントに対してあらかじめ、それぞれのカテゴリの識別コードを与えて認識させる手法がある。これに対して、機能変数の配列で与えられた製品は図 1 に示すように、モデル内でエージェントが個々に持つ製品に対する認識によって識別される。

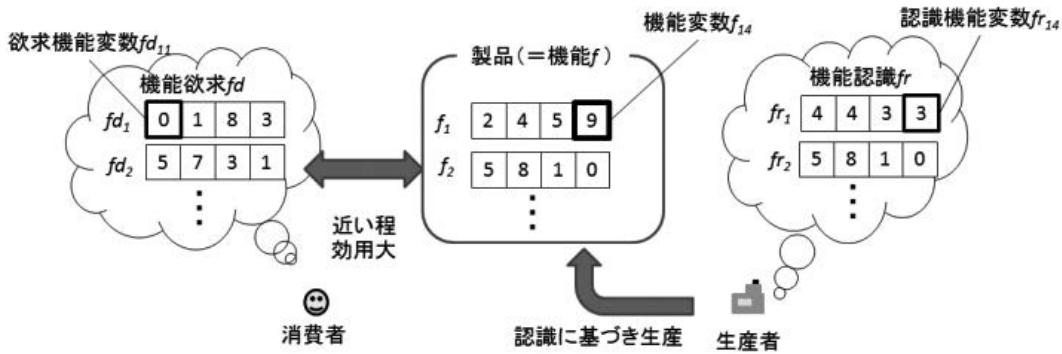


図1 製品機能とエージェントの製品認識の概念

図1に示すように本モデルにおいて、需要側を表す消費者は、自らが欲する機能の欲求 fd を複数保有する。また、供給側を表す生産者は、市場で必要とされていると考えている機能の認識 fr を複数保有する。これに加えて、実際に生産者によって生産されて、市場に出荷されている製品 f が存在する。従って、モデル内に実際に生産されて存在する製品 f_i に対して、各消費者は fd_1, fd_2, \dots と機能欲求に応じて、製品の種類を認識する。同様に、各生産者は fr_1, fr_2, \dots と機能認識に応じて、自らの認識に近い製品群をカテゴリとして認識する。

消費者によって保有される機能欲求 fd は消費者毎に l 個保有される。 fd_l はそれぞれの欲求機能変数 fd_{lj} で特徴づけられる。 fd_{lj} は保有する消費者によって、個々に数値が異なる。消費者は製品 f_i を購入する際に、自らの機能欲求 fd_l と比較し、特徴が合致している製品ほど効用を高く感じる。つまり、消費者はシステム内で自らの機能欲求に基づいて、それぞれの欲求に近い製品群を製品カテゴリとして認識するが、識別コードを付与されるような明確な認識を持たない。

一方、生産者によって保有される機能認識 fr は、生産者毎に k 個保有される。 fr_k はそれぞれの認識機能変数 fr_{kj} で特徴づけられる。 fd_{lj} 同様、 fr_{kj} も保有する生産者によって個々に数値が異なる。生産者は保有する機能認識の数 k に基づいて k 種類の製品を生産する。従って、消費者同様に生産者も自身がどの製品カテゴリに所属する製品を生産しているかという明確な認識を持

たない。

また、実験者は各製品のカテゴリをシミュレーション後の結果から、機能変数の類似性によって認識することができる。例として、製品 X {10, 9, 0, 0}、製品 Y {8, 6, 2, 0}、製品 Z {0, 0, 0, 9} では製品 X と Y が同一のカテゴリであり、製品 Z が別の製品カテゴリであると識別することができる。本研究における実験結果の製品カテゴリの評価、識別の方法については4.6シミュレーション条件において後述する。

4.2 本モデルの製品表現における新製品

消費者は自らが保有する既保有の欲求が満たされると、既保有欲求に加えて新しい欲求を探索する。既存の欲求とは異なる欲求を求めて、市場の製品を探索し、自らの新しい欲求を満たす製品がなければ、その欲求をあきらめて新しい欲求を作る。消費者は新しい欲求の生成と探索を繰り返すことで、自らの欲求を満たすことのできる新しい欲求を市場で学習する。これは、既存の欲求が満たされたときに、新たな欲求を欲する人間の行動を表現している。端的な例を挙げると、食料が不足している消費者が安定的に食糧を入手できる状態に達した場合、衣料や住居を欲する。衣料や住居も安定的に入手できる状況になれば、娯楽等を欲するという状態である。

消費者が考える製品の品質、つまり高い効用を得られる製品について、高品質な製品とは欲求に合致している製品であるといえる。ここで

欲求機能変数に対して、該当する機能変数の値が高いことは、必ずしも品質が高いことを示さない、ということが重要な点となる。前述の例を用いて、甘味5の欲求機能変数を求める消費者がいた場合を考える。この消費者にとって、甘味の機能変数が0である製品は甘味がなく、10である製品は甘すぎることになる。そのため、数値が低すぎる、あるいは高すぎる製品は、共に欲求を満たさない低品質な製品となる。

この点は水平的イノベーションと垂直的イノベーションを解釈する上でも重要な考え方となる。需要が存在する機能に対して、合致していることを品質が高いと仮定したとき、甘味機能が4の製品Xと、甘味機能が7の製品Yでは、甘味機能5を求める消費者は製品Xの方が高品質と認識する。この時、製品Yを生産する生産者が需要に応じて機能を減じ、5に向かって機能を変質させていくことは、垂直的イノベーションであると言え、この過程で登場する製品は改良製品である。一方、製品Yの機能値を増加させて機能を10へと変質させた場合、本来の需要である機能5前後に対応した製品とは異なる製品への変質であるといえる。このとき、製品Yの機能に対して、需要側が新しく価値を認識し、かつ既存の甘味機能5前後の製品に対する需要も維持されて供給が続いている場合、水平的イノベーションであると言える。製品Yが保有する甘味機能10の製品は、異なる需要と供給を持つ新製品であると考えられる。

つまり、前述した衣食住と車輻の例のように全く新しい機能の登場だけでなく、既存の製品機能でも、存在している機能変数が異なる特徴を持つものも新製品として考えることができる。

4.3 消費者の行動ルール

消費者は每期、製品の購買を行い、欲求の充足度合いを判断し、充足している場合は、新しい欲求を探索する。

製品の購買については、消費者は fd に応じて、 t 期の中で可処分所得が尽きるまで購入を繰り返

す。この時、式(1)に示す機能欲求ごとに効用 u_{itx} を比較し最も効用が高くなる製品を購入する。 u_{itx} は機能欲求 fd_{it} と製品機能 f_{it} の距離が近いほど効用が高くなる。ただし、同一期に同じ機能欲求 fd_{it} の為に繰り返し製品を購入すると、効用減少係数 db により効用が低下する。また、 fd_{it} のために購入した製品の数 nb_{itx} は毎期末に0に初期化する。

$$u_{itx}(f_i) = [db(nb_{itx} + 1) \sum_{j=1}^N \{(fd_{ijt} - f_{ijt})^2 + 1\}]^{-1} \quad (1)$$

itx : t 期の x 回目の購買

db : 同一購買による効用減少係数

nb_{itx} : t 期の x 回目の購買行動時点で、機能欲求 fd_i のために購入した回数

また、消費者はこれらの消費行動の中で、自らが保有する欲求が充足しているかを確認する。欲求の充足状況は式(2)に示すように、欲求 fd_{it} の充足のために購入した全ての製品 f_{itx} と保有する fd_{it} の間の変数の距離と、製品機能と機能欲求がとりうる最大距離から距離率 sd_t を計算する。消費者は sd_t が欲求充足度閾値を超えた場合に、現状保有している欲求が充足したと判断する。

$$sd_t = \frac{\sum_{l=1}^L \sum_{x=1}^X \frac{\sum_{j=1}^N \left\{ 1 - \frac{(fd_{ljtx} - f_{ljtx})^2}{D_{ljt}} \right\}}{N}}{\sum_{l=1}^L nb_{lt}} \quad (2)$$

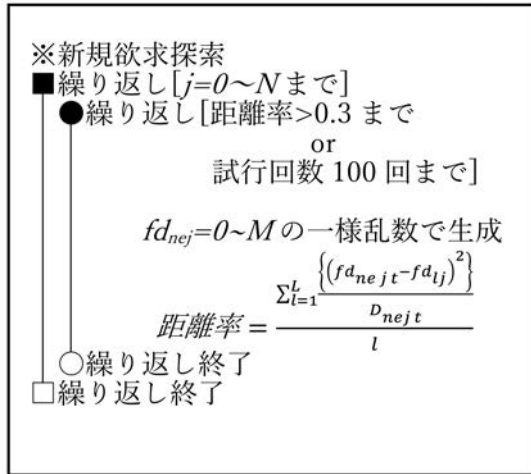
L : 消費者 C が保有する機能欲求の数

f_{itx} : 欲求 fd_i のために t 期の x 回目に購入した製品

D_{ijt} : fd_j に対して購入した製品が取りうる機能値の最大距離

$$D_{ijt} = \begin{cases} (fd_{ijt} - M)^2 & (fd_{ijt} < M/2 \text{ のとき}) \\ (fd_{ijt} - 0)^2 & (fd_{ijt} > M/2 \text{ のとき}) \end{cases}$$

欲求が充足していると判断した消費者は、さらに新しい機能欲求の探索を行う。新しい機能欲求の探索は、新規欲求探索と欲求学習の2つで構成される。新規機能欲求 fd_{ne} ($=fd_{t+1}$) の探索は欲求機能変数 fd_{nejt} を一様乱数で生成する。この際、 fd_{nejt} と既存欲求から距離率を算出し、距離率が大きい場合に fd_{nejt} を採用する。以下に新規欲求探索のアルゴリズムを示す。



$$action = \begin{cases} NR & \text{if } s \leq NRT \\ A & \text{if } NRT < s \leq AT \\ R & \text{if } AT < s \end{cases} \quad (3)$$

NRT : 未進化閾値 AT : 市場適応閾値

未進化 R は自身の在庫率が少ないとき、即ち製品が市場で売れているときの意思決定である。製品が売れているとき、生産者は市場に欲求されている機能と自身の認識が適合していると判断して、 f_{kt} の学習を行わない。

市場適応 A は自身の在庫がある程度存在する時の意思決定である。生産者は自身の認識の一部が市場の需要に適合していると判断し、以下に示すステップで市場でより売れている製品の中から自身の製品に近い機能を保有した製品を真似て学習する。

- I. 市場で売上上位 40% 以内の生産者の製品を集める。
- II. 製品群から自らの機能認識と最も距離が近い製品 f_{it} を選択する。
- III. ランダムで一つ機能変数番号 j を選択し、自らの機能認識変数 f_{kit} に f_{ijt} を複写する。
- IV. IIIの際に突然変異として、一定の確率で f_{kit} を $0 \sim M$ の範囲内でランダムに生成した値に変える。

現実では需要が存在する機能の完全情報を得ることは不可能である。そのため、市場適応 A では市場で売れている製品から自身の製品と近い製品を模倣対象とし、模倣する機能を乱数で選択することで情報の不完全性を代替する。また、模倣時に新しい技術や製品が発生する可能性を突然変異で代替している。

抜本的進化は自社の製品がまったく売れていない時の意思決定である。生産者は自らの認識が市場の需要にまったく適合していないと判断し、認識を大きく変化させる。抜本的進化は対象の機能認識 f_k の機能変数の一つを一様乱数で選択し、 f_{kit} の値を一様乱数で生成した 0 から M の間の値に置き換える。

生成された fd_{ne} は翌期以降、機能欲求の一つとして購入時の指標の一つとなる。ただし、新規欲求は、新規欲求学習時間内で市場の製品でどの程度欲求を充足できたかを、保有している消費者に判断される。この判断で、消費者は新規欲求を継続するか、破棄するかを学習によって決定する。欲求学習は fd_{net} に対して購入した製品との充足度を計算し、欲求充足度閾値を超えた場合は fd_{net} を既存欲求として固定する。また、充足度が欲求再学習閾値を下回らない場合は市場で fd_{net} に適合する製品が出る可能性がある為に fd_{net} を維持し、閾値を下回った場合に再学習を行う。

再学習は fd_{ne} を破棄して再度、新規欲求探索を行う。また、消費者が新規欲求学習時間にある場合は、追加で新規の欲求探索を行わない。

4.4 生産者の行動ルール

生産者は製品売上を増加させることを目的に保有する機能認識 f_k を学習して、生産する製品を進化させる。 f_k は市場でより必要とされている製品機能に対する生産者の認識であり、製品を生産する際に f_k を持つ製品を生産する。本モデルでは生産者の f_k について、遺伝的アルゴリズムの考え方を導入し、 f_{kj} を遺伝子として f_k を進化させる。機能認識の学習行動は f_{kt} に対応する製品在庫率 s に応じて、未進化 NR、市場適応 A、抜本的進化 R の3つの行動に分かれる (3)。

以上の生産者の機能認識の過程を以下に示す。

売上上位の製品 fs_i を収集

■ 繰り返し $k=0 \sim$ 保有機能認識数

IF fr_{kt} の $s \leq NRT$

無学習 (NR)

ELSE IF $NRT \leq fr_{kt}$ の $s \leq AT$

市場適応 (A※)

ELSE

抜本的進化 (R※)

IFEND

□

※A

$abs(fr_{kjt} - fs_{it})$ が最小の製品 f_{net} を選択

$j=0 \sim N$ の一様乱数で選択

$fr_{kjt} = f_{net}$

IF ランダムで 5% の確率

$fr_{kjt} = 0 \sim M$ の一様乱数で生成

IF END

※R

$j=0 \sim N$ の一様乱数で選択

$fr_{kjt} = 0 \sim M$ の一様乱数で生成

4.5 シミュレーションモデル

本研究では前述の消費者、生産者をエージェントとした製品財市場でシミュレーションを行った。シミュレーションモデルは C++ 言語により実装し、開発環境には Visual Studio を利用した。

シミュレーションは複数の消費者と複数の生産者をエージェントとし、製品財市場で双方のエージェントが製品の売買を媒介にして機能に対する認識を学習する。シミュレーションは以下のステップ i ~ iv を 1 周期の単位として、1 期とする。

- i. 各生産者が機能認識に基づいて製品を生産する。
- ii. 各消費者が可処分所得の範囲内において、機能欲求を基準にして自らの効用が最大になるように製品を購入する。
- iii. 各生産者が在庫に基づいて機能認識を学習する。

- iv. 各消費者が購入した製品の欲求充足度に基づいて機能欲求を学習する。

4.6 シミュレーション条件

新製品の内生的創発と需要定着が発生する過程を観察するために 1. 探索範囲指定条件, 2. 自由探索条件, および 3. 再現探索条件の 3 種の実験条件を設けた。表 1 に実験条件 1 ~ 3 に共通する基本条件を示す。

表 1 基本条件

消費者数	400	欲求充足度閾値	98%
生産者数	100	欲求再学習閾値	90%
機能変数数 N	10	新規欲求学習時間	20
機能変数最大値 M	100	学習停止期間	300
初期欲求保有数	2	生産量	25
購買減少係数 db	10	突然変異率	5%
製品価格	100	AT	70%
機能認識保有数	3		

本研究では市場モデルを単純化するため、需要量と供給量は一定になるように設定し、行動コストに仮定を設けた。

消費者の可処分所得は每期所与で与え、金額を全エージェントで同一とする。また、生産者の生産能力、保有認識数 (生産可能な品種数)、価格は初期条件で同一に与え、以降変化しないものとする。従って、市場全体での需要と供給は初期条件から金額ベースで一定であり変化しない。

一方、行動コストと学習に関しては以下のように仮定する。

消費者：

- ・探索にコストを必要とせず、市場に存在する全ての製品と比較を行う。
- ・新規欲求の探索に関しては、既存の需要と供給を生成するため、シミュレーション開始から 300 期までは学習を行わない。

生産者：

- ・生産活動については原価、人件費等の生産コストを考慮しない。
- ・市場調査、研究開発等の機能認識学習についてのコストを考慮しない。

- ・機能認識学習で認識した機能は直ちに製品として実現する.
- ・生産者は初期設定で保有する機能認識の機能変数は全て一様乱数で生成する.

これらの基本条件のもと、表2に示すように1~3の実験条件でシミュレーションを行った.

各実験条件では新規獲得可能欲求数, 初期欲求固定数, 初期保有欲求指向性の3つのパラメータで, 創発する新製品の機能に指向性を持たせている. 新規獲得可能欲求数は, 各消費者が初期機能欲求保有数に対して新しく獲得できる機能欲求の数を示す. 各消費者は新規機能欲求を獲得した後, 欲求が充足したと判断すると, 再び新しい機能欲求を探索するが, 機能欲求が獲得可能数を超える場合は探索を行わない.

実験条件1は初期保有欲求のパラメータを限定して, 新規欲求探索の範囲に指向性を持たせて, 新製品と需給の創発現象を観察した. 一方, 実験条件2では指向性の制限を緩和し, 新製品の登場余地に自由度を持たせ創発現象を観察した. また, 実験条件3は創発現象に影響があると考えられる学習と需給バランスの影響を観察した.

初期欲求固定数は, 初期の需要と供給を維持するために初期設定から固定され続ける機能欲求の数を示す. 実験条件1, 3では初期保有の機能欲求は2つとも固定され, シミュレーション終了まで変化しない.

初期保有欲求指向性は初期欲求固定数で固定する機能欲求の数値を指す. 条件1と3では欲求IとIIの2つ, 条件2では欲求Iの初期機能欲求型を消費者に所与で与える. 欲求Iは機能

変数1から3番を70, IIは4~6番を70, それ以外の変数を10を平均とし, 標準偏差を10とする正規分布で, 消費者毎に乱数で与えた. 欲求I, IIを400の消費者で生成し, 各機能欲求の機能変数の平均値をとると図2に示す形状になる.

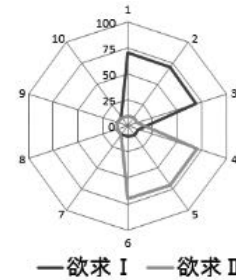


図2 欲求I, IIの機能変数形状

本研究では便宜上, シミュレーション結果について述べる際, 初期設定の一つ目の機能欲求の欲求機能変数ごとの平均を欲求I, 二つ目を欲求II, 新たに創発した機能欲求を欲求IIIとする.

また, 本研究では製品機能, 機能欲求, 機能認識のそれぞれが10個の機能変数で構成されている. そのため, 各製品間, 或いは製品と欲求の差異を検討するためにクラスタ分析を用いる. クラスタ分析はR言語を用い, Ward法を用いて行った.

さらに, クラスタ分析によって区分化されたクラスタについて, 市場製品を機能変数で区分したクラスタをPC1, PC2, ...とする. 同様に, 消費者が保有する機能欲求を欲求機能変数で区分したクラスタをCC1, CC2, ...とする. PCとCCはR言語によって自動的に区分されているため, 番号に意味はなく区分けされた順番である. したがって, CC1の需要に対してPC1

表2 基本条件

	条件1	条件2	条件3		
			需要過剰	欲求無探知	無意味学習
可処分所得	1000		2000		100
新規獲得可能欲求数	1	3	1	0	1
NRT	10%		10%	10%	0%
初期欲求固定数	2	1	2		
初期保有欲求指向性	I, II	I	I, II		

が対応している製品クラスタとは限らず、以降のシミュレーション結果に関しても、対応していない条件がある。

5. シミュレーション結果

5.1 探索範囲指定条件下の新製品の創発と需要の定着

実験条件1のシミュレーション結果について、0期、300期、3500期のそれぞれについて、市場に存在する製品機能のクラスタ階層図と各クラスタ(PC)の機能変数毎の平均を図3から5に示す。

0期の市場に存在する製品機能は、各生産者の機能認識を乱数で与えている。そのため、図3(b)に示すように機能変数毎の平均値は50前後で、明確なクラスタを形成していない。

この時、それぞれの機能変数の分散は700~800であり、後述する初期需要適応後の分散と比較して大きい。そのため、各クラスタが特定の機能を指向していないことがわかる。

一方、学習待機時間終了時の300期では、図4(a)に示すように大きく分けて3つのクラスタに分かれていることがわかる。これらのクラスタのうち、図4(b)に示すように、PC1及びPC2の機能変数の平均は明確な特定の形状を構成していることがわかる。PC1及びPC2が構成している製品機能の形状は図2に示した消費者に初期条件で与えた機能欲求I、IIの形状に近似している。

また、表3に示すように300期の各クラスタの機能変数毎の平均値と分散をみるとPC1、PC2はPC3に比べて分散が小さく、両クラスタ

が市場の需要に適応して特定の機能を指向していることがわかる。欲求I、IIは固定された欲求であり、PC1、PC2の定着によって生産者が所与の消費者欲求に適応した結果、モデル内で既存の需要と供給が形成されていることがわかる。

一方、PC3に関しては明確な機能を指向しておらず、機能変数毎の平均値は50前後を示し、

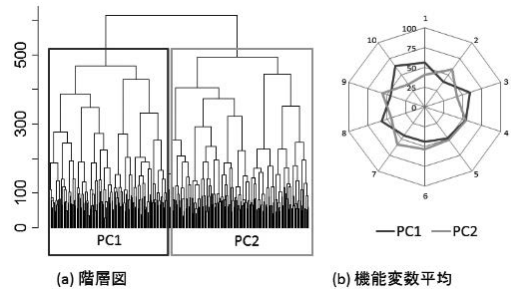


図3 0期の市場製品の階層図と機能変数

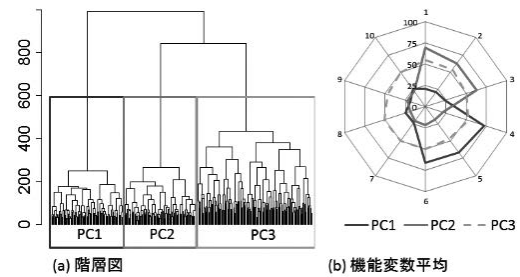


図4 300期の市場製品の階層図と機能変数

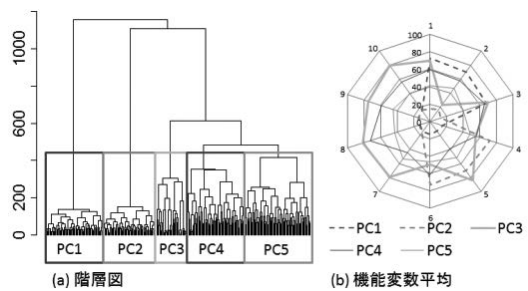


図5 3500期の市場製品の階層図と機能変数

表3 300期のクラスタ毎の機能変数と分散

機能平均	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	所属数
PC1	平均 21	21	24	72	67	66	23	24	19	26	84
	分散 225	195	248	301	396	433	227	254	202	324	
PC2	平均 69	63	63	21	18	21	21	19	22	22	83
	分散 375	526	446	213	216	239	276	199	221	281	
PC3	平均 54	54	50	53	47	50	50	51	47	50	133
	分散 891	823	780	773	873	960	765	923	907	903	

表4 3500期のクラスタ毎の機能変数と分散

機能平均	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	所属数
PC1	平均 73 分散 203	71 159	68 166	15 123	14 88	15 98	14 95	13 60	15 85	16 114	65
PC2	平均 14 分散 80	17 134	12 79	72 184	70 164	73 240	16 120	14 110	14 113	16 129	
PC3	平均 70 分散 971	24 924	70 941	55 1339	84 104	50 1350	79 143	82 98	75 369	80 157	34
PC4	平均 60 分散 789	58 853	65 679	56 775	38 757	61 849	44 862	73 538	59 719	56 850	
PC5	平均 41 分散 758	47 723	40 808	48 865	52 788	47 715	53 694	43 741	45 667	39 629	75

機能変数毎の分散も700以上の大きな値を示している。これは市場で需要のある欲求Ⅰ、Ⅱの機能欲求に対して、Ⅲは生産者の機能認識が至っていないためである。

さらに、3500期では図5に示すようにクラスタの細分化が進み、大きく分けて5つのクラスタに分かれていることがわかる。PC1、およびPC2は300期時点同様、欲求Ⅰ、Ⅱに対応した機能変数を有していることがわかる。また、表4に示すようにPC1、PC2は共に分散が300期時点より小さくなっており、市場の需要にさらに適応し、消費者にとってより効用の高い製品を生産していることがわかる。これは既存の需要と供給が維持されると共に、製品がより売れる形に改良される垂直的イノベーションが起こっていることを示すものであり、この時点で欲求Ⅰと欲求Ⅱに対応したPC1とPC2の需要と供給が完全に定着していることがわかる。

一方、300期以降に消費者が学習を開始する為、3500期では新しい欲求が市場に提示されるようになる。従って、PC3～5は新しい欲求の影響を受けており、これらの製品機能と各消費者の新しい機能欲求が類似していれば新しい製品の需要と供給が創発しているといえる。これらのクラスタの中で表4に示すようにPC3は機能変数5、7～10番の数値に関して分散が小さく、特定の機能を指向した製品群であることがわかる。

そこで、消費者の新しい欲求Ⅲのクラスタ階層図と各クラスタ（CC）の欲求機能変数毎の平

均を図6に示す。欲求Ⅲは所与に抛らず消費者と生産者の相互学習の結果創発しているため、Ⅰ、Ⅱとことなり、全ての消費者で同一傾向の欲求を示していない。

図6（b）から全てのクラスタで欲求機能変数7～10番の数値が高くなっていることがわかる。これは初期設定の欲求Ⅰ、Ⅱとは異なる欲求を発見し満たそうとして消費者が学習を行った結果である。各クラスタのなかで特にCC3が保有する機能変数の形状は図5（b）のPC3と類似した形状を示していることがわかる。

そこで、3500期時点における消費者の欲求Ⅰ～Ⅲの欲求機能変数毎の平均と、製品PC1～5の機能変数の平均のユークリッド平方距離を表5に示す。また、合わせて参考値として全ての機能変数が0、50、100の場合の架空の製品と各欲求との距離を示す。

表5から、欲求Ⅰ、Ⅱに対応するPC1、及びPC2には及ばないが、CC3とPC3の距離は非常に近い距離であることがわかる。また、PC3は参考値50の距離と比較しても半分以下の距離であり、新しい需要であるCC3に適応していると

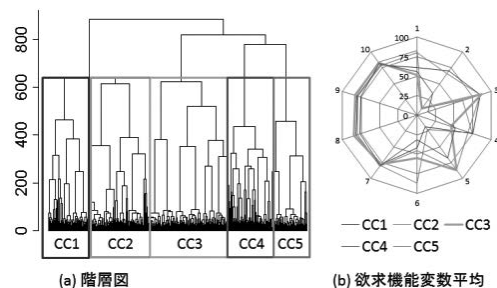


図6 3500期の消費者の欲求Ⅲの階層図と欲求機能変数

表5 3500期のクラスタごとの各機能変数平均の距離

	市場製品クラスタ					参考値			
	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	0	50	100	
欲求Ⅰ	11	143	173	123	107	124	110	243	
欲求Ⅱ	142	13	165	137	98	124	111	243	
欲求Ⅲ	CC1	149	177	85	63	100	222	85	122
	CC2	162	173	48	76	102	240	87	87
	CC3	175	163	32	89	104	224	92	130
	CC4	159	143	64	84	78	193	74	153
	CC5	176	167	77	82	111	227	98	134

いえる。ただし、欲求Ⅲと対応する製品の距離は、欲求Ⅰ、Ⅱと対応する製品の距離に比較して遠い。これは、Ⅰ、Ⅱのクラスタに所属する欲求を持つ消費者が400ずつであるのに対して、CC3は120しか存在しないため、市場で需要がある機能の特徴への認識が弱くなるためである。また、欲求Ⅲが消費者毎に市場で学習することによって生じるため、CC3は所与で与えたⅠ、Ⅱほど均一でないためでもある。

この欲求PC3とCC3が有する形状の機能をもつ製品供給と需要は3500期以降も継続して維持されていることが確認できた。特に10000期頃にはPC3の形状の製品を生産する生産者は34から48へと増加している。これはそれぞれ生産者が70前後である欲求Ⅰ、Ⅱに対応する製品供給者数に準じる数であり、新しい需要と供給が市場に定着している状態であるといえる。

また、実験条件1について、乱数のシード値を変更して10回ずつシミュレーションを行った。10000期時点で同様に分析した結果、欲求Ⅰ、Ⅱに加え、表5のCC3とPC3に該当する需要と供給が創発することが確認できた。このとき、生成される製品の1つは図6(b)同様に欲求機能変数7~10番の数値が高い製品であり、欲求Ⅲのクラスタの一つとの距離は最小で30、最大で68、平均で45であった。距離が60を超えた結果は1回のみであり、これは乱数の影響で消費者と生産者の学習が合致しなかったためである。

以上のことから、初期の機能欲求を指定した条件において、既存需要を維持しながら新しい

製品とその需要と供給を内生的に創発できていることがわかる。

5.2 自由探索条件下の新製品の創発と需要の定着

実験条件1はあらかじめ2種類の欲求を所与で与え、新規獲得可能欲求数を1にしている為、創発する新製品の機能に対して、ある程度の指向性を持たせた条件でのシミュレーションである。そこで、実験条件2として、初期条件で所与の欲求を1つに限定し、新規獲得可能欲求数を3つにしてシミュレーションを行った。

表5と同様に20000期時点で、市場製品と消費者欲求をクラスタに分け、それぞれの各機能欲求値の平均との距離を比較した結果を表6に示す。消費者の欲求は5.1と異なり、固定化されている欲求が一つしかなく、消費者それぞれの状態によって発見した欲求の数が異なる為、全ての消費者の欲求をまとめてクラスタ分析にかけた。

表6に示すように20000期には市場の製品は5つのクラスタに分かれ、それぞれ消費者が新たに発見した欲求に対応していることがわかる。PCとCCの各組み合わせの機能変数毎の平均を図7に、各製品の機能平均と分散を表7に示す。

図7から、初期条件で与えた欲求に対応する(a)以外に、それぞれ異なる機能を保有した製品が欲求に対応して、市場で創発していることがわかる。また、表7より、初期設定の需要を示すPC3の他にPC1及びPC2については、機能変数の分散が小さく、製品機能に指向性があることがわかる。また、PC4は、分散が大きい

表6 実験条件2の20000期における製品と欲求距離

		市場製品クラス				
		PC1	PC2	PC3	PC4	PC5
消費者欲求	CC1	102	202	3	137	187
	CC2	76	63	164	73	96
	CC3	12	106	102	64	99
	CC4	92	85	180	88	39
	CC5	92	33	193	85	77
	CC6	116	71	207	93	97
	CC7	92	69	177	53	98

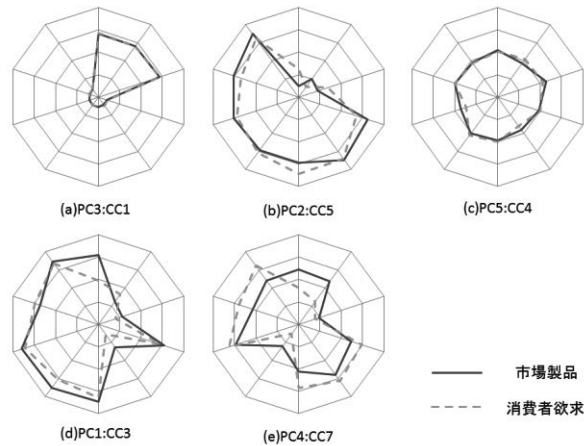


図7 自由探索条件下20000期の機能欲求と製品機能の組み合わせ

表7 自由探索条件下20000期のクラスター毎の機能変数と分散

機能平均		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	所属数
PC1	平均	78	32	28	77	32	86	88	90	68	86	14
	分散	802	1161	760	360	1341	73	35	49	1061	70	
PC2	平均	12	25	23	81	87	74	74	76	76	87	45
	分散	9	990	664	494	37	940	957	695	789	47	
PC3	平均	71	70	72	11	10	11	11	10	10	10	99
	分散	115	65	110	37	34	37	31	32	28	48	
PC4	平均	61	59	24	62	70	53	31	74	53	60	35
	分散	950	1296	402	961	425	1027	608	425	918	673	
PC5	平均	53	46	57	49	45	49	50	43	50	47	107
	分散	871	766	677	860	897	751	873	749	889	794	

傾向にあるが、表3のPC3を基準とすれば、いくつかの機能変数において、分散が400近くまで下がっており、特定の機能を指向しつつある状態にある。

図7(b)のCC5とPC2の需要と供給については10000期の時点で創発しており、その後も維持され続けている。また、表7に示すように所属数は少ないが、図7(d)の需要と供給についても、分散が小さく特定の機能を指向した新製品として市場に創発している。これは新しい製品が登場し需要と供給が定着した後に、さらに別の新しい製品が登場し需要と供給が定着し

ていることを示している。

また、実験条件1同様、2の条件についても、乱数シード値を変更して10回ずつシミュレーションを行った。その結果、図7と同様の機能特徴を持った製品は創発しないが、いずれの試行においても、所与の製品と異なる新製品が創発し、需要が定着する現象は同様に確認することができた。機能特徴が異なる理由は、初期に与えた欲求以外の欲求が相互作用の結果として創発するためである。

実験1と同様、消費者と生産者の学習が合致しない場合があり、初期欲求の需給の他に新し

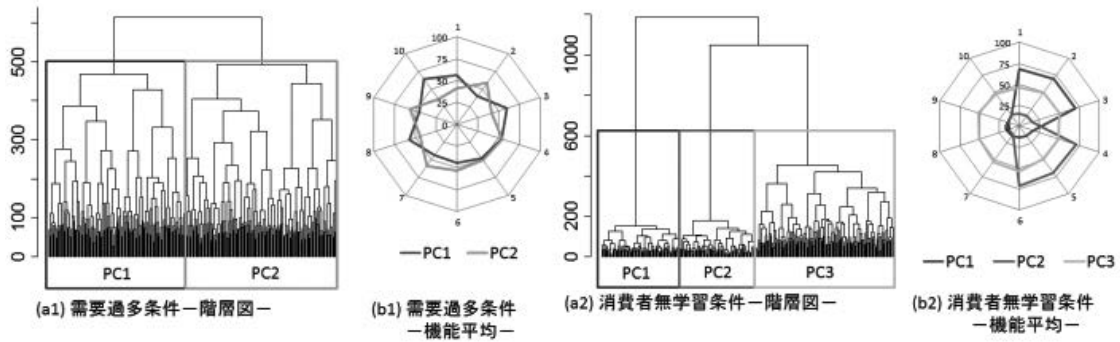


図8 需要過多および消費者無学習条件の市場製品

い製品が1つしか市場に定着しない場合があった。10回の試行の内、欲求クラスタと新しい製品クラスタの距離が50以下の需給の発生状況は、1製品のみ創発が1回、2製品の創発が5回、3製品の創発が4回であった。

5.3 需要創発のためのモデル条件

5.1 及び 2の結果を踏まえて、エージェントの行動ルールの有無を実験条件として、新製品の創発と需要の定着現象を発生させるモデル構造を明らかにするために実験条件3のシミュレーションを行った。

その結果、図8 (a1), (b1) に示すように需要過多の条件では新製品の創発が発生せず、初期条件で与えた欲求 I, II に対して市場製品が適応することもなかった。また、PC1, PC2 共に全ての機能変数の分散が700以上であり、市場の各製品が特定の機能を指向することがなかった。これは本モデルにおける生産者の学習条件が自社製品の需要不足を認識することにあるため、学習することができなかつたためである。

また、図8 (a2), (b2) に示すように新規欲求探索を行わない条件では、市場製品が欲求 I, II に適応するが、新しい製品は創発しなかつた。PC1, PC2 の各機能変数の分散は表3と類似の傾向を示したが、PC3 では全て700を超え、特定の機能を指向していなかつた。これは、消費者が新しい欲求を探知しないため、新しい製品が市場に登場しても消費者の需要が集中することなく、生産者が需要を認知できずに新製品の

生産を終了するためである。

また、生産者の学習行動について、 $NRT=-1$ として自身の製品が市場で売り切れている際にも学習を行う、つまり意味もなく学習を繰り返す条件でシミュレーションを行った結果、図9に示すように市場製品が所与の欲求に適応することがなかつた。

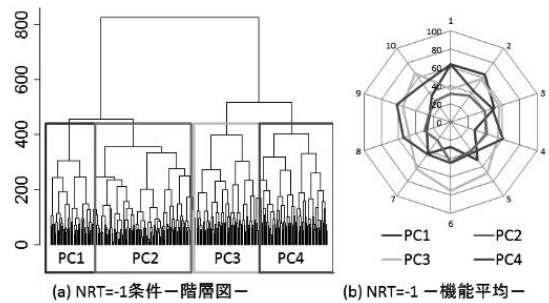


図9 $NRT=-1$ 条件の市場製品

図9の (b) に示すようにPC1は欲求 I に近い形状を示しているが、各機能変数の分散は最小でも362であり、需要に対して各生産者が適応しきれていない。これは市場の需要に適合した製品を販売している生産者も無意味な学習を行う結果、生産者が市場の求める機能をいつまでも認識できないためである。 $NRT=-1$ の条件について、乱数の初期値を変更して10回のシミュレーションを行ったところ、5回は図7 (b) のPC1程度までしか需要に適応せず、5回は全く需要に適応しなかつた。

6. 考察

シミュレーションの結果、モデルが内生的に新しい製品を生み出し、その製品に対する需要と供給が、既存の需要と供給を消滅させることなく、市場に定着する現象を創発させることができた。さらに新製品創發現象について、消費者の新規欲求探索、生産者の機能認識の学習、及び双方の機能に対する認識の共進化が重要であることがわかった。

モデル構造について、消費者の新規欲求探索と欲求学習は単独の行動としてみると、単純な乱数による生成である。新規欲求探索のポイントは、欲求を充足させる製品が市場に存在する場合に、その欲求が維持される点にある。

一方、生産者個々の機能認識の学習における模倣時の突然変異や抜本的進化も、同様に乱数による数値の生成である。これは、既存需要とはかけ離れた製品を作るだけの可能性がある。しかしながら、これらの行動は複数のエージェントによる相互作用によって、図10に示すように新製品の創発を生み出すことが可能になる。図10は例として3つずつのエージェントと、それらが保有する新規欲求と機能認識が2変数であると仮定した場合の、2つの変数の変化を2次元の位置で表した概念図である。

図10の1~2に示すように消費者は市場で、欲求を満たす製品が得られない場合、再度新しい機能欲求を探索する。また、生産者は市場で

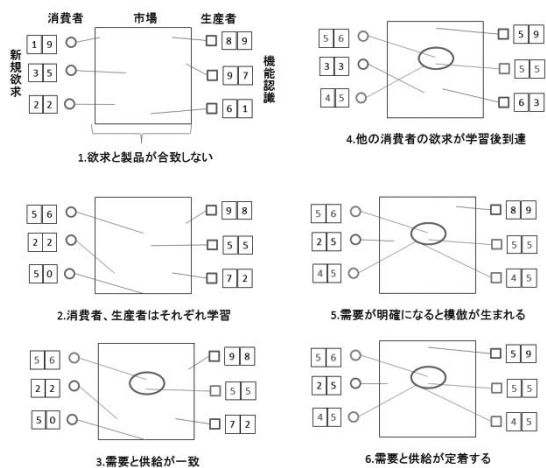


図10 消費者と生産者の相互学習概念図

売れない製品の機能認識をあきらめて再度学習を行う。

このとき、図2の3に示すように、あるタイミングで機能欲求と機能認識が合致すると、当該消費者は欲求を維持し、生産者は生産を維持する。すると図2の4~6に示すように、欲求が維持されている限り、当該欲求に対応した製品は生産され続けやすいため、他の消費者が欲求学習をした際にそのポイントで欲求を満たしやすくなる。

当該ポイントに欲求を持つエージェントが増えると需要が形成される為、他の生産者が模倣によって当該ポイントに到達し、結果的に需要と供給が新たに創発する。つまり、消費者、生産者それぞれの学習行動は、複数のエージェントの相互学習によって、新製品による新規の需要と供給の創発を実験者の所与によらずに実現することができる。

消費者の新規欲求探索はそれまで認知していなかった効用の発見であるといえる。実システムにおいて、新しい欲求の発見は他者とのコミュニケーション、既存欲求の機能の組み合わせによる発想、供給側からの新製品のマーケティング等の種々の発見経路がある [21]。本モデルでは既存の欲求が満たされたときに乱数で新しい欲求を与えることで代替している。これらの発見方法のいずれも消費者が新しい製品に伴う機能や意義を認識しなければ需要として成立せず、新しい欲求に対する認識が重要であることがわかる。

一方、生産者の機能認識の学習も同様にこれまで認知されていなかった効用の発見を内包している。実システムにおいて供給側の発見方法としては企業の研究開発、マーケティング、ユーザーイノベーション等の種々の発見経路が考えられる。本研究では製品機能の変数を遺伝子として見立て、遺伝的アルゴリズムの学習と突然変異、進化を組み込むことでこれを表現した。これらの発見方法のいずれも生産者が新しい製品を生み出すきっかけとなる行動を内包してい

ることが重要であることがわかる。

しかしながら、これらの要素は単体で存在するだけでは、新しい製品の創発と需要の定着には結びつかない。新しい製品を創発させる上で重要な点は、消費者と生産者の相互学習による共進化である。本モデルにおいて消費者は新規の機能欲求を満たす製品が市場に存在しない場合、機能欲求を学習させて変化させる。これは供給側がその欲求を認識していない、或いは技術的に開発が困難である等の理由から新規欲求が“既存の環境では望んでも得られない機能を望んでいるときにあきらめる”ことを示す。一方、生産者は新しい機能を伴った製品を生産しても、市場で受け容れられなければ生産をやめる。仮にその製品が、当該生産者による生産終了後、別の生産者によって生産されて新規需要として定着する場合でも、タイミングによっては市場に需要と供給として存続できない場合がある。これは有用な機能であり、かつ実現可能な製品であっても“需要側がその機能を認識していなければその製品の生産あきらめる”ことを示す。

従って、新製品の内生的創発と、その需要の定着を創発には、需要と供給のそれぞれの認識を共進化させること、特に環境に適合していない認識はあきらめることが重要であることを、シミュレーション結果から示すことができた。また、この共進化の関係を、製品を機能の配列で表すモデルで実現可能であることを示した。

7. 結論

本研究では経済成長の要因として、マクロ視点でのイノベーションの影響に着目し、既存の製品と需要に対して、新しい製品が内生的に創発し、既存の需要と供給を消滅させることなく需要として定着するエージェントベースモデルを構築した。シミュレーションの結果から、新しい製品の創発と需要の定着には、需要側と供給側の双方が新しい製品に対する認識を学習する共進化が必要不可欠であることを示した。さ

らに共進化を実現するための方法として、製品、及び製品に対するエージェントの認識を機能の配列で表現することで実現可能であることを示した。本研究で示した認識するきっかけ、需給の共進化、機能変数の配列による製品表現はABMにおいて所与によらない新しい財貨を内生的に創発させ、需要を定着させる現象を取り扱う上で有効なモデル構造であると考えられる。

しかし、本研究では需要量と供給量を固定する制限を課していた。また、企業の借り入れや、設備投資の要素が組み込まれていない条件であった。そのため、創発した需要が新しい市場として、経済を拡張する効果があるかを明確に確認できていない。

そこで、今後の課題として、生産量や価格、投資の意思決定モデル、需要と供給の資金循環関係のモデル構造を追加することで、マクロなイノベーションの創発による経済拡張効果を確認することが挙げられる。また、本研究では考慮していない新しい機能に対する認識方法の影響や、消費者の新製品に対する選好や研究開発投資に関する投資選好等のエージェントの行動が需要創発に及ぼす影響を解析することが挙げられる。

参考文献

- [1] 岡本 英男. “「失われた20年」と財政金融政策.” 東京経大会誌 (経済学) 279. (2013) :217-241
- [2] 金榮愨, 深尾京司, and 牧野達治. “「失われた20年」の構造的な原因.” *経済産業研究所, RIETI Policy Discussion Paper Series* (2010).
- [3] 野口 悠紀雄. “平成はなぜ失敗したのか (「失われた30年」の分析) “ 2019. 幻冬舎.
- [4] 福田慎一. “検証 アベノミクス『新三本の矢』: 成長戦略による構造改革への期待と課題.” 2018. 東京大学出版会
- [5] Summers, Lawrence H. “US economic prospects: Secular stagnation, hysteresis, and the zero lower bound.” *Business economics* 49.2 (2014) : 65-73.
- [6] 小野善康. “成熟社会の経済学——長期不況をどう克服するか” 2012. 岩波出版.

- [7] WRAY, L. Randall, et al. Public service employment: A path to full employment. Research Project Report. Annandale-on-Hudson, NY: Levy Economics Institute of Bard College, April, 2018.
- [8] Chen, Shu-Heng. and Bin-Tzong Chie.. A functional modularity approach to agent-based modeling of the evolution of technology. The Complex Networks of Economic Interactions.2006. Springer Berlin Heidelberg,p.165-178.
- [9] Gilbert, N., Agent-based models, SAGE, 2008
- [10] 岡田勇, 山本仁志. 社会シミュレーション. 鳥海不二夫(編). 計算社会科学入門 (pp.189-212). 丸善出版株式会社, 2020.
- [11] 藤田幸久. 鷲田祐. 鳥海不二夫. 植田一博., 石井健一郎. 情報の多様化を考慮した情報伝播のモデル化とシミュレーション. 情報処理学会論文誌数理モデル化と応用. 2010. vol.3, No.1, p.49-61.
- [12] 北中英明. イノベーションの普及と社会ネットワーク構造に関するエージェント・ベース・アプローチによる考察. 拓殖大学経営経理研究. 2007. 81, p.27-63.
- [13] 酒井博章. 河合勝彦. エージェント・ベース・モデルを利用した新製品普及戦略の考察: キャズム発生要因の確認とその対策. オイコノミカ. 2006. vol.43, No.2, p.1-16.
- [14] 李皓. 出口弘. ハイテク産業の技術競争と政策: エージェントベースシミュレーションによる分析. 経営情報学会誌. 2003.vol.12, No.3,p.95-108.
- [15] Ohori, K. and Takahashi, S.. Market design for standardization problems with agent-based social simulation. Journal of Evolutionary Economics.2012. vol22, No.1, p.49-77.
- [16] N Gilbert, A Pyka, P Ahrweiler, Innovation networks-a simulation approach, JASSS 4 (3), 1-13, 2001.
- [17] Georges, Christophre. Product Innovation and Macroeconomic Dynamics.2015.SSRN.
- [18] Marengo, Luigi. and Marco Valente.. Industry dynamics in complex product spaces: An evolutionary model. Structural Change and Economic Dynamics.2010.vol.21, No.1, p.5-16.
- [19] Tiejun Ma, Yoshiteru Nakamori, Agent-based modeling on technological innovation as an evolutionary process, European Journal of Operational Research, Volume 166, Issue 3, 1 November 2005, Pages 741-755
- [20] J.A.Schumpeter. 経済発展の理論. 1997. 岩波書店.
- [21] 大住圭介. 経済成長分析の方法 - イノベーションと人的資本のマクロ動学分析. 2003. 九州大学出版会.