

法政大学学術機関リポジトリ

HOSEI UNIVERSITY REPOSITORY

PDF issue: 2024-12-22

マイクロエージェントを用いた経済シミュレーション

佐藤, 光 / SATO, Hikaru

(発行年 / Year)

2013-03-24

(学位授与年月日 / Date of Granted)

2013-03-24

(学位名 / Degree Name)

修士(理学)

(学位授与機関 / Degree Grantor)

法政大学 (Hosei University)

2012年度 修士論文

マイクロエージェントを用いた
経済シミュレーション

Economic simulation using multiple micro agents

11t0021 サトウ佐藤 ヒカル光

法政大学大学院 情報科学研究科 情報科学専攻

E-mail: 11t0021@cis.k.hosei.ac.jp

指導教官 藤田 悟 教授

2013年 3月

Abstract

When reproducing economic systems by multi-agents, it is very hard to collect a number of data to generate agents' behaviors. Therefore, the goal of this paper is to construct an economic simulation that uses data from the government statistics. It is easy and costless to collect the data from the government statistics. However, raw data of the statistics should not be directly applied to the simulation, because most of the data are too generalized to assign to the agents. This paper transforms the raw statistics data to micro data to assign agents'. Additionally, this paper applies "domain knowledge" to the simulation in order to approach real economy. The domain knowledge is an element that features the economic model in the simulation. Using these methods, this paper conducts two kinds of simulation. One is a consumption behavior simulation. In this simulation, we used a thesaurus structure of products as domain knowledge. Another is an economic effect simulation that uses the inventory turnover period as domain knowledge. As a result, the both simulations could reproduce dynamic economic attributes.

目次

1	序論	1
2	関連研究	3
2.1	政府統計データ	3
2.2	マクロ経済学による経済予測	3
2.3	経済シミュレーション	4
3	マクロミクロシミュレーションフレームワーク	5
3.1	マクロミクロシミュレーションの概要	5
3.2	ミクロエージェント生成例	5
3.2.1	マクロデータに対する仮説	5
3.2.2	ミクロ化変換:消費額の交換	6
4	消費行動シミュレーション	7
4.1	消費行動シミュレーションの目的	7
4.2	Domain Knowledge:データ管理と代替性	7
4.3	シミュレーションへのマッピング:エージェントモデル	8
4.3.1	消費行動	8
4.3.2	生産行動	8
4.3.3	販売行動	9
4.4	消費行動シミュレーションの実験	9
4.4.1	実験の設定	9
4.4.2	代替品選択と価格変動	9
4.5	消費行動シミュレーションのまとめ	11
5	経済効果の波及シミュレーション	12
5.1	経済効果の波及シミュレーションの目的	12
5.2	統計データ:産業連関表	12
5.2.1	経済波及効果分析	12
5.3	シミュレーションへのマッピング:経済波及効果分析の動的拡張	13
5.4	ミクロ化変換:サプライチェーン推定	14
5.5	Domain Knowledge:棚卸資産回転期間	16
5.6	経済効果の波及速度実験	16
5.6.1	実験による分析手法	16
5.6.2	Domain Knowledge・サプライチェーンを適用しない場合	16
5.6.3	Domain Knowledgeを適用した場合	19
5.6.4	サプライチェーンを適用した場合	21
5.6.5	Domain Knowledgeとサプライチェーン推定を適用した場合	23
5.6.6	経済効果の波及度に対する速度	25
5.7	経済効果の波及効果シミュレーションのまとめ	28
6	考察	29
7	結論	31
	謝辞	31

1 序論

社会経済は、複雑な要素が干渉しあう事で構成されている。これらの要素の中には、人間の行動や社会構造、政治、地理的要因等が挙げられ、時系列で相互に影響を及ぼす事で価格の形成等の様々な経済的現象が発生する。経済現象を分析する手法として、経済学がある。経済学では、社会を定式化し、統計的に分析することで経済の傾向や状態等に解釈を与えることができる。例えば本稿の5章で扱う経済波及効果の分析では、産業同士の取引を集計したデータを状態遷移表のような形態で定式化して産業構造を表現するマクロ統計データを作成し、数学的に経済効果の波及の定常解を算出することを可能にしている。この分析手法によって、公共事業等で経済を活性化させるための指標の作成や見直しを行うことができる。ただし、定常解の分析では時間の概念が無視されているために、計算結果は最終的な生産誘発高の合計値であり、静的な分析である。従って経済効果がどの程度の期間持続するのかということや、波及の時間差等は不明である。しかし、公共事業による経済の活性化においても、経済効果が長期間に渡って徐々に発生する場合が良いのか、特効薬として短期間で経済を刺激する場合が良いのかについては、その時々状況によって変わると考える。すなわち、従来の定式化によるアプローチではこの動的な特性を試算できない場合があり、社会経済の内部はブラックボックス化した存在になり、経済的な現象の過程や局所的な分析を困難にしている。

このような観点から、近年では社会シミュレーションという新しい分析が盛んに行われている。社会シミュレーションとは、社会に存在する要素を可能な限りコンピュータ上に構築し、様々な現象を擬似的に再現するものである。この時、社会に存在する様々な物や要素をモデリングするために、マルチエージェントシステムが用いられる。マルチエージェントシステムとは、エージェントと呼ばれる行動規則や属性等のパラメータを設定した主体を複数行動させることで、複雑な現象を再現するシステムである。特に社会シミュレーションでは、人間等をエージェントでモデリングすることによって複雑な経済的活動をマイクロレベルから再現することを可能にしている。近年では、東京工業大学で開発されたSOARS[1]や、ノースウェスタン大学で開発されたNetlogo[2]等の社会シミュレーションプラットフォームも存在する。SOARSを用いた感染症のパンデミック対策の研究[3]では、人間が社会生活の中で学校や職場に移動することで感染し、感染が拡大するメカニズムの再現を目指している。また、これらのプラットフォームはプログラミング能力による障壁を減らす工夫がされているため、今後益々幅広い分野で社会シミュレーションが利用されることが予想できる。このように社会シミュレーションでは、マイクロレベルから社会経済を再現したシミュレーションを行えるため、現象の発展過程の観察や局所的な創発現象の発見が期待できる。しかし、社会シミュレーションによって妥当性のある結果を導き出すためには、妥当なデータが大量に必要になる。何故ならば、人間の複雑な行動をエージェントでモデリングする場合には、実際に人間がどのような行動をどの程度実施するのかというデータを用いてエージェントの行動規則を決定する必要があるからである。従って、人間のように均一でない行動を行う主体を対象にモデリングをする場合は、相応に大量のマイクロデータを基にして均一でないエージェントを生成する必要がある。このような理由から、大規模な社会シミュレーションではデータ収集に非常に多くの労力が必要になる。

そこで本稿では、容易に入手可能な政府統計データを分解し、大量のマイクロデータを生成することでデータ収集の問題を解決することを目指す。政府統計は、大規模なサンプリングから作成されているデータであり、無料で一般に公開されている。従って政府統計からマイクロデータを正しく推定することが出来れば、大規模なシミュレーションがより精度高く実

行可能になる。更に、政府統計で提供されているデータは多岐に渡るため、様々な種類のシミュレーションが構築可能になると期待できる。その為に政府統計を用いたシミュレーションの構築手法を提案し、実際に社会シミュレーションを構築する。本稿では特に、消費行動のシミュレーションと、産業全体の波及シミュレーションを対象に、政府統計データを基にしてシミュレーションを実施し、その妥当性を評価する。

2 関連研究

2.1 政府統計データ

本稿で使用する統計データは、総務省統計局が中心となり公開している Web サイト「政府統計の窓口 e-stat」[4] より引用する。e-stat では、各省庁が独自に調査したものや、国勢調査、各種センサスで集計された統計データが無料で一般に公開されている。政府統計データは過去のものまで参照できるようになっており、CSV や Excel ファイルとしてダウンロードが可能である。また、調査内容によって集計の粒度は様々であり、日本全体の統計や都道府県別、更に市町村別のデータが存在する統計表も存在している。例えば、農林水産省からは、農業・林業・水産業・畜産業等の統計データが入手できる。更に農業分野では、農業経営体についての規模や利益の分布、農産物の作況調査、青果の卸売価格等多くの調査データが存在する。作況調査では、収穫量や品質、被害状況が日本全体から市町村別までの粒度で提供されている。作況調査のデータを詳しく見ると、10a 当たりの収穫量等の平均値や、作付面積等の総量、後は作況指数という年毎の生育状況を表す指標が存在する。政府統計データに表れるのは大体がこの平均値、総量、指標であり、後はこれらで表現する構造や分布である。従って政府統計データを用いることで、状態や一般的な傾向等を読み取ることができる。これらの値は、日本政府による大規模な調査の基に算出されているために、統計量としての信頼度は高いと考える。従って我々が独自に調査するよりも傾向や状況が精度良く表されることが期待でき、利用価値の高いデータである。他にも、経済産業省からは金融、工業、資源やエネルギーに関するデータ、厚生労働省からは医療・介護費、疾患、雇用動向等、社会をシミュレーションに活用できるデータが多岐に渡って公表されている。ただし、各省庁によって産業の分類や物の分離の定義等が若干異なる場合があるため、複数の省庁からデータを収集し、融合する場合には注意が必要である。

2.2 マクロ経済学による経済予測

本稿の 5 章で扱う産業連関表という各産業同士の取引金額が記載されている統計表を用いることで経済の予測を行う研究がある。まず、RAS 方式 [5][6] では、既知の異なる 2 年度の産業連関表を用いて産業の生産活動の変化を計算し、その傾向を用いて将来の生産活動を予測する。例えば平成 5 年と平成 10 年の産業連関表を用いて予測を行う場合は、まずどちらかを基準年とする。そして基準年に物価等を考慮して片方の産業連関表の取引額を調整する。その後、2 つの産業連関表から加工度変化と代替変化を求めることで経済の変化傾向を推計し、将来の産業連関表を作成する。加工度変化とは、労働力と資本の組み合わせの変化を表すものであり、具体的には生産に要する材料費とその他の費用の経年による変化である。すなわち、技術や設備の発展等で生産体系がどのような傾向で変化したかを推計する。他方の代替変化は、生産に要する材料の内訳の変化を表す。すなわち、原材料の変化によって生産する物の変化によって、産業間の取引の構造の変化の傾向を推計する。RAS 方式はこの 2 つの観点から経年による経済構造の変化を推計し、将来の経済構造を予測する。

次に国際投資貿易研究所の JIDEA モデル [7] では、複数の産業連関表を独自の 66 分類に分解し、その後回帰式を適用することで産業の生産活動を予測する。RAS 方式では 2 つの産業連関表から推計を行うが、JIDEA モデルでは更に多くの産業連関表を用いることで、より経済全体の変化の傾向を表現していると考えられる。そして慶應義塾大学産業研究所では、

KDB[8]と呼ばれる独自のデータベースを用いてRAS方式やその他の手法から経済予測を行なっている。KDBは産業連関表をはじめとしたマクロ統計データを収集し、分解、再構成することで整合性のとれた独自の産業連関表を作成することを可能にしている。

以上のように産業連関表を用いて将来の経済の産業の生産活動を予測する研究があるが、これらを用いて分析されるのはGDP等のマクロ指標である。すなわちマクロ経済学では、マクロ統計データを用いて将来のマクロ統計データを推計し、推計された産業構造を用いて経済全体の推移を分析する方針が主流である。本稿では、対称的にマクロ統計データをミクロな状態に変換し、ミクロなままでシミュレーションを行うことで、より近い将来であり局的な分析を可能にすることを目的としている。

2.3 経済シミュレーション

社会経済を対象としたマルチエージェントシミュレーションは、様々な実装の手法が試みられてきた。Mehdi[9]らは、ニジェールの人口126人の小規模な村を対象にして社会の成長、特に人口の推移を再現することを目的としてシミュレーションを行った。このシミュレーションでは人間を模したエージェントが、雨季と乾季によって仕事を変更し収入を得る。そして貯蓄を用いて土地の拡張や結婚をすることで社会が発展していく過程を再現している。これらの活動は文化によって大きく異なるため、地理的情報、土地の風習、宗教行事、家族の意思決定手法、経済活動の実地調査を行いシミュレーションを構築している。地理的情報は統計データを用いているが、その他の情報は1年以上のインタビューを主にする調査活動によって構成されている。少ない人口の村をシミュレーションで構築する場合でもデータ収集と調査が困難であることがわかり、同様の手法で日本やその都市等の規模のシミュレーションを構築することは非常に困難であると考えられる。

出口[10]らは、家計、政府、銀行、中央銀行、農家、製粉業、パン製造業、製鉄業、機械製造業の9主体から構成される仮想経済をマルチエージェントシステムで構築している。ただし、このシステムのエージェントは現実の人間が操作する。すなわち、システムに参加する人間達がそれぞれ意思決定をするゲーミングシミュレーションである。出口はこのゲーミングシミュレーションで現れた人間の意思決定手法を分析し、同様の仮想経済でルールベースにより意思決定を行うエージェントを用いたシミュレーションモデルの構築[11]を試みた。具体的には、前期の経済成長が20~50%ならば「景気良好」や、「景気が良好なら政府は法人税を5%上げる」等の連鎖的な反応が期待できるルールを多数設定している。しかし、交渉等の高度な知的戦略の反映については、今後の課題として挙げている。

以上のように、現実世界に沿うシミュレーションを構築するために様々なデータ収集が行われている。特に、エージェントの行動規則の定義では、長期間の調査や実際の人間のトレース等、現実世界から知見やデータを取得する工程に多大な労力が必要であることがわかる。この問題を解決するために、本稿では政府統計データを基データとして、シミュレーションやエージェントモデルの構築を行う。政府統計データを用いる重要性は市川と出口の研究[12]でも論じられており、シミュレーションの再現性等を考慮した場合にも非常に有効である。しかし、統計データそのままからは、マクロ情報だけしか取得出来ない。従ってマクロ情報を、ミクロなエージェントのレベルまで変換する技術を開発する。

3 マクロミクロシミュレーションフレームワーク

3.1 マクロミクロシミュレーションの概要

本稿で提案する統計データを基にしたシミュレーションの全体の流れを図1に示す。まず、マクロ統計データをミクロな情報に変換する。マクロ統計データは、多くのサンプリングの合計値や、平均値で表されている場合が多い。これに対してマイクロデータは、分散が大きく極端な値を取る場合がある。例えば一ヶ月の食品の消費額を考えてみると、野菜を全く食べない人間や肉だけを食べる人間等が存在すると考えられる。従って、ミクロな状態に分解する場合は、値の偏在を考慮しなければならない。加えて、マイクロ値の分布を定義する必要がある。例えば、所得や売り上げ数の分布がパレート分布になる等の現象が知られている。このことから、単純に一樣に分布させることは、妥当ではないと言える。同様に構造をミクロに分解する際にも、その構造を構成する要素から体系的に推定し、社会に存在する形状や状態を保つ必要がある。以上の条件を満たしつつ、生成されるマイクロデータの統計量を元のマクロ統計データに一致させることで、現実に近い社会の状態を構築する。

次に、生成されたマイクロデータをシミュレーションに適用する。この時に、目的とする社会モデルに近づけるために、Domain Knowledge を注入する。Domain Knowledge とは、再現する社会現象に関係があると考えられる特徴や特性である。Domain Knowledge を用いることで、シミュレーションがマクロ統計データだけに依存して動作するのではなく、社会の性質としてシミュレーションを特色付けることができる。以上によってシミュレーションの初期状態が決定される。なお、変換時に定義した分布を確率分布として定義したり、構造の推定部分の一部をランダムに行えば、基データに沿いながらも異なるマイクロデータを持つシミュレーションが作成できる。すなわち、シナリオを複数生成することができる。複数のシナリオは、個々に分析することで過渡現象を分析することが可能になる。この時、個々のシナリオ一つ一つは厳密には違うために、全て同じ現象を再現するとは限らない。従って初期状態の違いと現象の差分が検証できる。また、全てのシナリオ結果を統合することで、マイクロ化による変換の差が丸められる。従って統合した結果は、従来の静的分析に近い結果になることが予想される。すなわち、シミュレーションがマクロ的な特性を保存していることの検証が可能である。

3.2 ミクロエージェント生成例

3.2.1 マクロデータに対する仮説

総務省統計局統計調査部消費統計課により 2010 年 12 月 24 日に公開された平成 21 年全国消費実態調査 [13] の「年間収入階級・年間収入五分位階級・世帯主の年齢階級、購入形態、品目別 1 世帯当たり 1 か月間の支出」を用いて、一般消費者としたマイクロエージェントを生成するまでの例を表す。このデータは、年間収入額毎に品目毎の1か月の消費額の平均値を表したものである。このマクロ統計データでは、一般消費者が月平均でどんな製品にどの程度消費しているかが、年収階級毎に記載されている。また年収階級毎の人口分布も記載されている。このマクロ統計データから、マイクロデータの特性を考慮した分解を行う必要がある。そこで本稿では、このマクロ統計データの源が滑らかな連続値であると仮定して、年収階級のビンを揃えた後に、曲線補間を行い連続値のデータに変換している。この曲線補間を、人口分布や各品目の消費額等全ての項目に対して適用する。これにより年収と消費額等のパラメータの関係をより詳細に表現したが、月平均の消費額を曲線補間しているために、

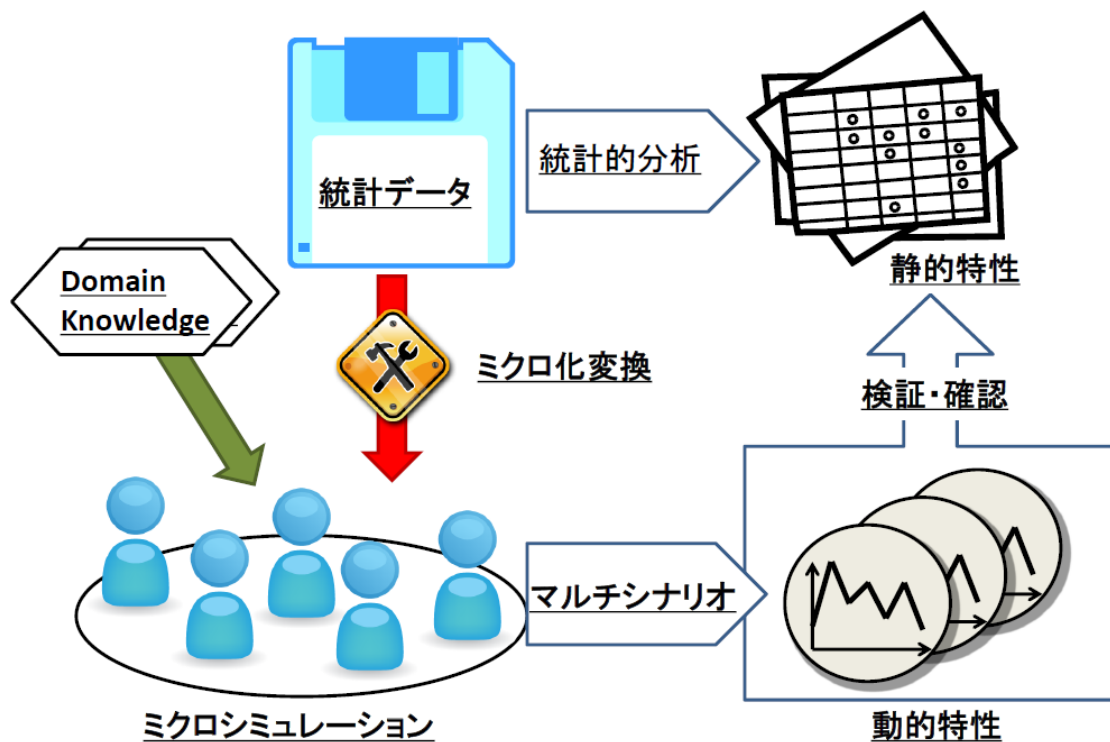


図 1: マクロマイクロシミュレーションフレームワークの全体像

まだマイクロなデータではない。すなわち、現段階では年収と平均消費額の関係が連続的に表されただけである。これに対して実際の人間には嗜好があると考えられ、このような平均的な購入を行うのではなく、個人毎にユニークな消費モデルが存在する。そこで、統計量を損なわずにエージェントにランダムに嗜好を付与する手法を考案した。

3.2.2 ミクロ化変換:消費額の交換

統計量を損なわずにエージェントにランダムに嗜好を付与する手法として、消費額をエージェント同士で交換する。その際、消費額を交換するカテゴリと金額は、乱数を用いて決定する。例えば、エージェント A の消費額の初期値が穀物に対して 6000 円、野菜類に対して 3000 円、魚介類に対して 2000 円、エージェント B が穀物に対して 5000 円、野菜類に対して 1000 円、魚介類に対して 3000 円であるとする。この時、乱数によって A の穀物消費額 2000 円が B の穀物消費額へ移動すると、それを補うために乱数によって B の野菜類か魚介類の消費額 2000 円が A へ移動する。この場合 B の野菜の消費額が 1000 円であるため、必然的に魚介類の消費額が移動する。これを元の統計表で同じ年収階級のエージェント同士で行えば、統計量 (平均値) を損なわない。このようにエージェント同士で消費額を交換することで、各品目の消費合計金額や個人の消費金額の統計量を損なわずに、各エージェントが異なる消費モデルを持たせることができる。このようにして生成したエージェントを用いて、次章で消費行動のシミュレーションを行う。

4 消費行動シミュレーション

4.1 消費行動シミュレーションの目的

前章で統計データから生成されたエージェントが、資産や商品価格を参考にして、消費と販売を行うシミュレーション [14] を行う。消費と販売は、経済の最も重要で基本的な行動である。本稿では特に消費行動に影響を与えている要素は、価格と選択肢であると考えた。まず、価格は購入の可否に直結するため、一番重要な要素である。この価格も、個人によって購入意欲が湧く基準が存在すると考えられる。次に選択肢があることにより、価格の水準によって消費行動の変化が期待できる。これにより需要と供給のバランスにより価格が形成・変動する社会現象を再現することが可能になると考えた。そこで本章では Domain Knowledge として物の代替性による消費行動の判断ルールを付与することにより、現実に近い購買モデルを構築する。Domain Knowledge として物の代替性を付与するのは、社会内に存在する物の関連を表現することを可能にするためである。物の関連を定義することで、消費者の選択も物の種類で関連付けることを可能にする。これにより状況に反応して販売数の偏りが発生し、消費の移り変わりによる価格への影響などの経済現象を創発することができる。そして、この社会現象を再現するために、生産と消費を行うエージェント、消費だけを行うエージェント、生産だけを行うエージェントの3種類を定義し、実際の社会のように生産と消費が相互に影響する経済モデルを構築した。これは、エージェントが需要の推移から生産数を変更する判断をすることで、市場への供給量を動的に変化させるためである。また、消費行動では現実の人間の判断に近づけるために、留保価格と商品の代替性による判断ルールを定義した。

4.2 Domain Knowledge: データ管理と代替性

管理するデータは、製品、特性、カテゴリ、在庫、エージェント(生産者、販売者、消費者)である。その関係を図2に表した。製品は物の概念を保管するデータであり、カテゴリや特性は、製品の情報の一部である。特性は製品の性質等を保管するデータであり、表現の制限を低くしている。カテゴリに関しては階層構造で構築しており、任意のカテゴリから上位・下位のカテゴリを検索することが可能である。カテゴリを階層構造にすることで、消費者が代替品の検索にカテゴリを用いることを可能にしている。また、カテゴリーに代替性のフラグを付与することで、商品間の代替性を設定可能にしている。これにより、図3のように米とパンは、穀物というカテゴリレベルでは代替可能であるが、穀物と野菜はその上位である食物カテゴリで代替不可能であるという設定を行うことを可能にする。最後に在庫はエージェントが持つ製品の实体であり、消費・生産されるオブジェクトである。以上のようなデータ管理の設計を行うことで、社会の消費行動を再現するためのデータを効率よく管理しつつ、拡張性を高めることができる。

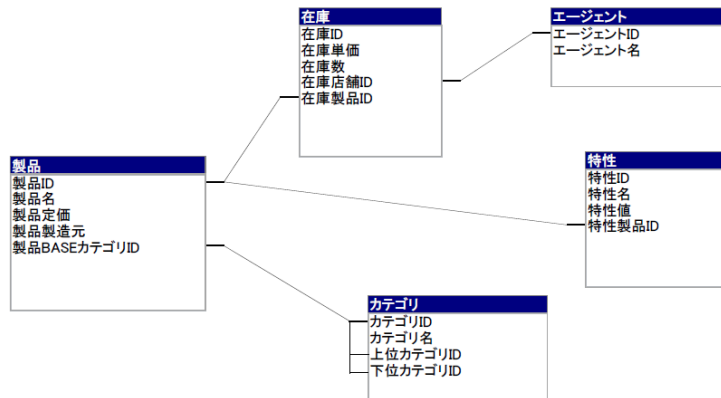


図 2: データ構造

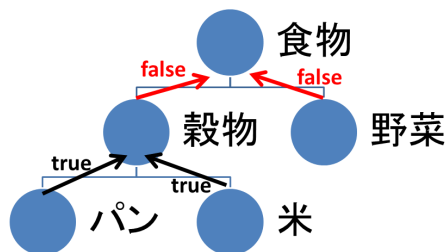


図 3: 商品間の代替性

4.3 シミュレーションへのマッピング:エージェントモデル

4.3.1 消費行動

消費額の交換を経て生成されたエージェントには、それぞれ各品目に対する消費額が設定されている。今回は、消費行動の際に基準にするパラメータを消費量にするために、各品目の年平均の店舗価格を表した統計データ [15] を用いて消費金額から消費量に変換してエージェントに設定した。この消費量に従って物の消費を行う。消費エージェントが購入の判断材料に用いるものは、販売価格、留保価格、代替性である。留保価格とは、買い手はその商品を買っても良いと考える金額のことである。留保価格は、消費エージェントの品目毎にその品目に属する製品定価の平均額を正規分布に従って分散させた。

エージェントの消費行動の判断手順を説明する。まず、消費する商品の価格と留保価格を比較する。この時、留保価格以下であれば、消費重量分の購入を行う。これに対して留保価格以上の場合は、代替性のある商品同士の消費量対価格を比較して安い商品を消費量分だけ購入する。

4.3.2 生産行動

今回は、生産に必要な費用は無視し、生産したものは市場エージェントが全て買い取る。エージェントは、1年に一回生産を行い全て市場に販売する。また、生産量は

エージェントに設定される初期の年間収入額を得る量だけとする。

4.3.3 販売行動

市場は生産者の生産物を全て買い取る。販売額の変更は各品目毎に、前回と前々回の売り上げ数を比較し、売上数が下がっていれば供給過多になるため価格を1%下げ、それ以外では1%価格を上げる。

4.4 消費行動シミュレーションの実験

4.4.1 実験の設定

代替品選択による価格変動に注目して実験を行う。従って代替品の選択を行わないモデルと、代替品を選択するモデルを実験する。代替品を選択するモデルでは、代替品選択を行う確率を変化させることで価格変動への影響を分析する。今回は確率分布として単純増加と、下記のシグモイド関数を使用する。この時、シグモイド関数の a の部分をゲインと呼び、ゲインを変更させることで代替品選択の確率分布を変化させる。 $\sigma(x) = \frac{1}{1+e^{-ax}}$

共通の設定は、農家の人口は全人口の4.2%であると定義し、生産エージェントを生成。今回市場で取引される商品は米とパンだけとした。生産・消費エージェントは合計1000体。米の初期販売価格は、1キログラム当たり500円。パンの初期販売価格は340グラム当たり164円とする。

4.4.2 代替品選択と価格変動

米の価格変動を図4、パンの価格変動を図5に表す。図の点線が代替品選択を行わないモデルであり、実線が代替品選択の確率が単純増加の直線、太線がゲイン10のシグモイド関数、破線がゲイン40のシグモイド関数の場合の価格変動の推移である。代替性がない場合は、初期の期間に価格変動が発生し、その後すぐに収束する。これは、エージェントが購入をする際に留保価格だけを判断材料にしているために、全エージェントの留保価格以下となる価格になった時点で消費が安定し、価格変動が終わるためである。これに対して、代替品選択を行う場合は価格が変動する。米とパンの価格変動に関して共通に現れる現象は、シグモイド関数のゲインが強い場合は振動の幅も大きいということである。これは、ゲインが強い場合は代替品の選択がより不安定になるために、どちらかの商品に消費が偏りやすいためであると考えられる。個別に比較した場合は、ゲインが強くなるほど、米の価格は高い水準になり、一方パンの価格は低い水準になる現象が起きた。これは、米の重量対価格がパンよりも安い場合が多いため、パンの価格が留保価格以上の時に消費が米にシフトしやすいためであると考えられる。

米の価格推移

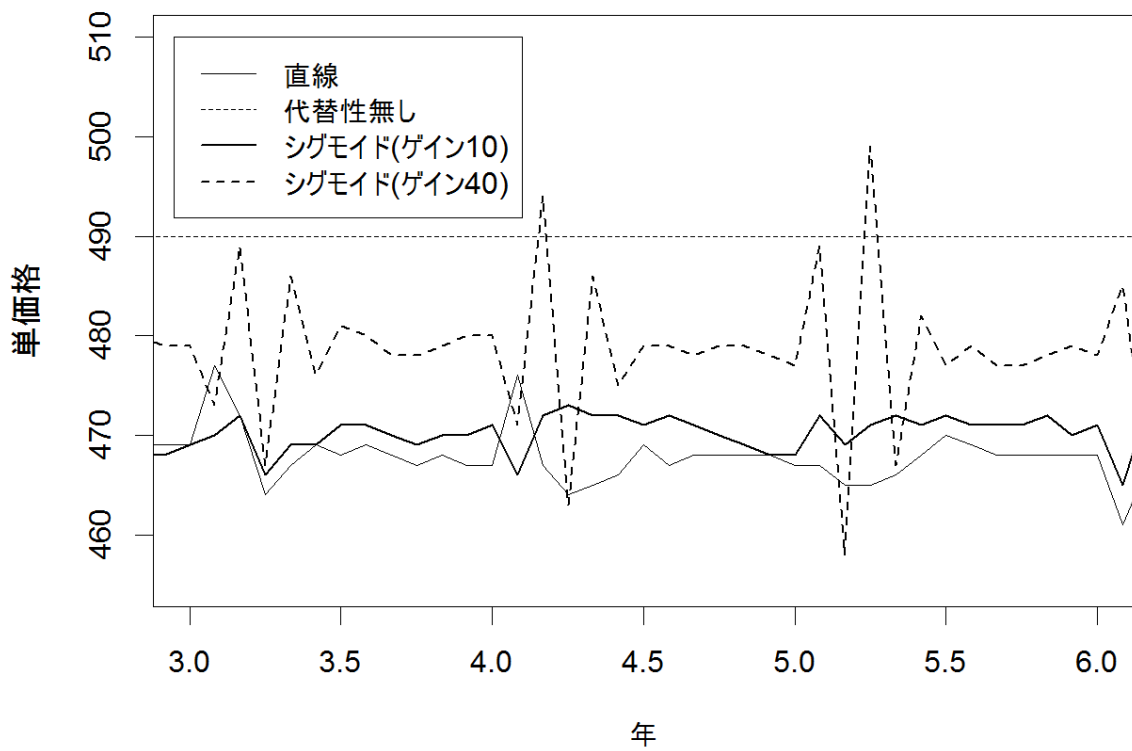


図 4: 各代替品選択確率の米の価格変動

パンの価格推移

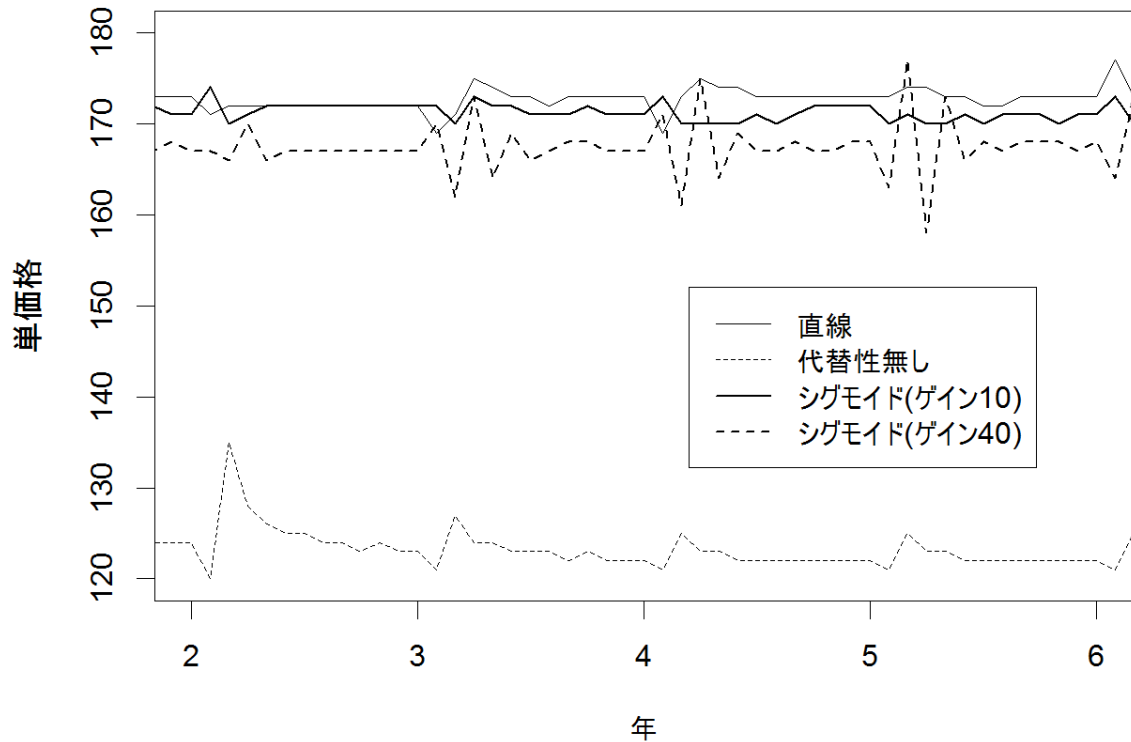


図 5: 各代替品選択確率のパンの価格変動

4.5 消費行動シミュレーションのまとめ

本章では、まず各品目毎の月平均額データを用いて、それぞれ異なる消費行動パラメータを持つエージェントを生成した。そして、Domain Knowledge として物の代替性という概念をエージェントの消費判断に付与した。代替性は、物をカテゴリに分類し、シソーラス状に設定した。これにより、商品の消費がシフトし、社会経済がもつ弾性力を再現した。このことにより、本稿では市場の価格変動に重要なのは物の代替性であることを言及した。今回は代替性の設定を、米とパンの間だけに設定したが、この設定には議論の余地があると考えられる。本稿で言及した選好と同じく、個人によって代替可能なレベルは変わると考えられるためである。その場合はシソーラスの分類をもっと細かくすることで、更に複雑な創発現象が期待できるため、今後の課題としたい。

5 経済効果の波及シミュレーション

5.1 経済効果の波及シミュレーションの目的

前章では、一部市場での消費と生産の再現を行った。言い換えると、特定の産業を対象にしたシミュレーションである。これに対して本章では、全体の産業構造を再現し、産業間の取引をシミュレート [17] することを目的とする。このシミュレーションにより、特定の産業から発生した需要の増加が、他産業に影響を与えていく過程を動的に再現することを目指す。そこで、産業連関表という産業間の取引総額を表す統計データを用いる。ただし、産業連関表に記載されている産業は、「農林水産業」や「鉱業」という粒度の大きい分類である。従って本章では、この産業を適切な構造で分解することで現実世界の産業構造のモデルに近づける。また、Domain Knowledge として棚卸資産回転期間の情報を注入することで、各産業の製品に対する時間特性を再現する。これにより各産業の生産に要する商品特性をシミュレーションに反映させ、動的な波及速度を議論できるようになる。

5.2 統計データ:産業連関表

総務省統計局から提供されている平成 17 年産業連関表 [18] を用いる。産業連関表とは、34 に分類された産業同士の 1 年間の取引を表にまとめたものである。産業連関表の一部を表 1 に示した。表を縦に見ることで、各産業が生産の為にどのような投入をしているかが読み取れる。投入の種類では、各産業からの材料投入である内生部門と、雇用者所得や営業余剰などに投入する粗付加価値部門がある。次に表を横に見ると、各産業がどのように製品を販売しているかが読み取れる。販売の種類では、各産業への材料販売である内生部門と、消費者の消費や政府消費等に販売する最終需要がある。また、産業連関表の性質として、各産業の投入金額計と販売金額計は一致する。

5.2.1 経済波及効果分析

産業連関表を用いた経済分析は、表 1 を生産額で割り係数化した投入係数表を用いて計算する経済波及効果分析がある。投入係数表は表 2 のようになる。この分析手法では、ある産業に外部から投資された際に、経済効果が他産業にどの程度の量が波及するかを計算する

表 1: 産業連関表 取引基本表 (一部)

		01	02	03	04	05	06
		農林水産業	鉱業	飲食料品	繊維製品	パルプ・紙・木製品	化学製品
01	農 林 水 産 業	1643017	504	7111018	35881	413493	31173
02	鉱	626	3019	63	37	50733	136460
03	飲 食 料 品	1244658	0	5369035	13100	21723	120839
04	繊 維 製 品	57427	4571	42653	1148899	87547	23589
05	パ ル プ ・ 紙 ・ 木 製 品	183143	2440	570337	34215	3455155	395630
06	化 学 製 品	573052	8267	326655	481198	407482	9007825
07	石 油 ・ 石 炭 製 品	290168	15669	159907	32434	61702	2049077
08	窯 業 ・ 土 石 製 品	17577	196	137336	2235	79344	154053
09	鉄 鋼	1038	1812	0	220	126419	1201
10	非 鉄 金 属	0	259	52627	161	28663	120038
11	金 属 製 品	14747	21204	629438	8335	170957	242158
12	一 般 機 械	234	4399	2	0	17727	769
13	電 気 機 械	3221	311	110	0	1731	443
14	電 報 ・ 通 信 機 器	86	20	185	107	158	1897
15	電 子 部 品	5	0	88	7	141	211
16	輸 送 機 械	67599	40	0	0	0	0

ことができる。波及効果の計算は、「直接効果」「第一次波及効果」「第二次波及効果」の順序に分けて行う。まず直接効果は、新たな消費の増加や新規投資によって発生した生産である。次に、第一次波及効果は、直接効果によって発生した生産に対して必要な材料等を満たすために、新たに発生する生産である。最後に、第二次波及効果は、直接効果と第一次波及効果で増加した雇用者所得のうち消費にまわされた分により、各産業の商品等が消費されて新たに発生する生産である。以上が経済波及効果分析の概略である。この経済波及効果分析では、式(1)によって最終的にどれだけの経済効果が創出されたかという定常解が計算できる。Xは生産誘発高を表し、Iは単位行列、Aは投入係数表に記載されている係数の行列、Yは新規投入額のベクトルである。しかし、波及過程の動的な状態は不明である。そこで本稿では、この経済波及効果分析を動的に拡張し、産業のマクロデータをマイクロエージェントに変換することで波及速度等を論じることを可能にする。

$$X = (I - A)^{-1}Y \quad (1)$$

5.3 シミュレーションへのマッピング:経済波及効果分析の動的拡張

経済波及効果分析の直接効果と第一次波及効果を1ステップとし、繰り返すことで波及の状態を動的に拡張する。すなわち、産業が新規投入によって最終需要に対して販売を行い、その後その利益を用いて新たに製品の製造を行い、他産業から投入する。ここまでをシミュレーションの1ステップとして、後は他の産業も同様に利益を用いて投入をする。この拡張により、新規投入された産業と他の産業との経済的関連の距離の違いによって波及速度が変化する。従って経済波及効果分析のような定常的な分析ではなく、波及するまでの期間や生産高の推移の変化を論じることが出来る。そのために、本稿ではマクロ統計データである産業連関表の産業を企業エージェントと見なし、更にマイクロ化変換によってより企業間の関係を現実に沿ったモデルにする。それにより企業間関係を複雑にすることで、波及経路の複雑化を行う。そして社会特性のDomain Knowledgeとして、棚卸回転期間を付加する。棚卸資産回転期間のデータを用いることで、産業毎の商品特性による生産タイミングの調整を行うことを可能にする。

表 2: 産業連関表 投入係数表 (一部)

	01	02	03	04	05	06
	農林水産業	鉱業	飲食料品	繊維製品	パルプ・紙・木製品	化学製品
01 農 林 水 産 業	0.124901	0.000500	0.198137	0.008202	0.032230	0.001134
02 鉱 業	0.000048	0.002994	0.000002	0.000008	0.003954	0.004965
03 飲 食 料 品	0.094618	0.000000	0.149600	0.002994	0.001693	0.004396
04 繊 維 製 品	0.004366	0.004533	0.001188	0.262618	0.006824	0.000858
05 パ ー ル プ ・ 紙 ・ 木 製 品	0.013922	0.002420	0.015892	0.007821	0.269312	0.014393
06 化 学 製 品	0.043563	0.008198	0.009102	0.109993	0.031760	0.327713
07 石 油 ・ 石 炭 製 品	0.019778	0.015539	0.004456	0.007414	0.004809	0.074547
08 窯 業 ・ 土 石 製 品	0.001336	0.000194	0.003827	0.000511	0.006184	0.005605
09 鉄 鋼	0.000079	0.001797	0.000000	0.000050	0.009854	0.000044
10 非 鉄 金 属	0.000000	0.000257	0.001466	0.000037	0.002234	0.004367
11 金 属 製 品	0.001121	0.021028	0.017538	0.001905	0.013325	0.008810
12 一 般 機 械	0.000018	0.004362	0.000000	0.000000	0.001382	0.000028
13 電 気 機 械	0.000245	0.000308	0.000003	0.000000	0.000135	0.000016
14 情 報 ・ 通 信 機 器	0.000007	0.000020	0.000005	0.000024	0.000012	0.000069
15 電 子 部 品	0.000000	0.000000	0.000002	0.000002	0.000011	0.000008
16 輸 送 機 械	0.005139	0.000040	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000

5.4 ミクロ化変換:サプライチェーン推定

産業連関表では、マクロデータが産業毎の取引データであった。本章のミクロ化変換では、この産業を企業と見立て、取引データを適切に分解し、取引規模を調整する。まず、産業連関表では、自産業が自産業と他産業の材料を投入し、生産を行う。この時、その自産業への需要は他産業の需要よりも多い場合がある。これは現実では奇妙な状態であると考えられる。従って自産業からの需要部分を適切な量に分解し、再構成する必要がある。適切な量の基準として、主要な取引先他産業への需要を用いる。具体的には、各産業ごとには主要な取引先産業があると考え、需要の量に近づけるようにする。具体的には、主要な取引産業からの需要が10億であり、自産業からの需要が21億であった場合は、自産業の需要を2で割って10.5億の2つに分解することで、主要な取引先産業への需要と自産業からの投入のバランスを取る。このようにして他産業との関係から、自産業の需要部分を分割した後、分割した額を産業内の企業に分配する。この時、同じ産業内での企業の間を考えると、中小企業から大企業へ部品などの材料の需要の流れ、すなわち、サプライチェーンと解釈することで現実的なモデルに近づける。そこで、本稿では産業間関係から推定した分割数を用いて、サプライチェーンの長さとした。その後、先頭企業を大企業、後続を中小企業と見立てて、末広がりな企業間関係を形成した。今回は簡単化の為に2分木状に構成している。

以上の手法で自産業内の企業間関係の構造を生成した後に、他産業への需要と投入の値を各企業に、統計量を損なわずに分配する。この時、企業の投入と需要は、粗付加価値が0以上になるようにランダムに他産業と接続される。以上により構築される需要の関係図を有向グラフで表すと非鉄金属業の場合は図6のようになる。白い丸はそれぞれ異なる他産業であり、色付の丸は自産業の企業である。非鉄金属はそれぞれの企業が親企業に販売しつつ、異なった他産業に販売している。現実の産業構造において、従業員数と事業所数の分布 [19] や、企業間関係と企業規模 [20] が指数関数的になることから妥当であると考えられる。これにより、従来の経済波及効果分析のように他産業との関係を不均一にすることで、実際の社会の複雑さを再現している。

非鉄金属産業の企業

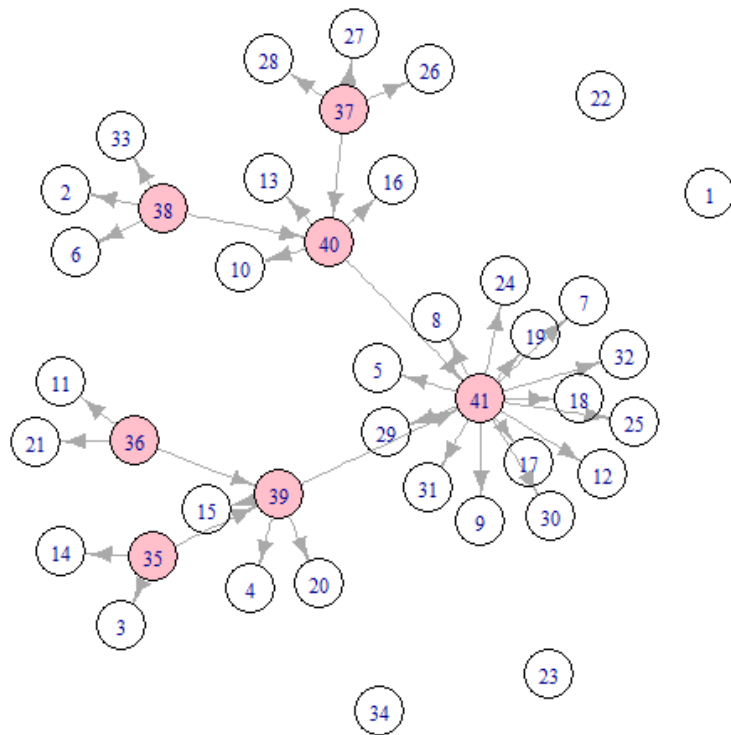


図 6: 企業と他産業の需要マップ

5.5 Domain Knowledge: 棚卸資産回転期間

各産業毎の製品特性として、製造に要する時間を Domain Knowledge として付加したい。そこで、本稿では棚卸資産回転期間のデータを用いて製造タイミングを定義する。実際に用いる棚卸資産回転期間のデータは財務総合政策研究所調査統計部より公開されている法人企業統計調査 [16] を用いる。その中に掲載されている平成 17 年の棚卸資産回転期間を表 3 に表した。ただし、サービス業などは棚卸が無く記載されていないため、0 に設定した。また、産業連関表とは異なる分類で集計されている産業もあるため、その部分は適宜分類を確認しながら調整を行った。棚卸資産回転期間が長い産業には、農林水産業と不動産がある。農林水産業は、生産に時間を要するものが多いため、その分だけ在庫として保管される期間が長い。また、不動産は土地の売買という流動性が弱い商材であるために棚卸回転期間が長い。このように、各産業の用いる商材や商品の特性によって、生産誘発に要する時間や波及の停滞が現実社会では発生していると考えられる。従って本稿ではこの棚卸資産回転期間の情報を、需要が発生した後から新たに生産が始まるまでの期間として定義する。

5.6 経済効果の波及速度実験

5.6.1 実験による分析手法

1 ステップを 1 か月として生産誘発までの時間を検証する。まず、初めて生産が誘発された時点を「波及した」と呼称する。本稿では、既存の経済波及効果分析を動的に拡張し、Domain Knowledge, サプライチェーン推定を適用することで現実の社会に構造を近づけている。そこで、まずは Domain Knowledge, サプライチェーン推定による効果を検証する。この時、生産誘発高の推移と波及速度の観点から分析を行う。その後、波及の定義を変更し、実問題に適用した分析が可能であることを示す。

5.6.2 Domain Knowledge・サプライチェーンを適用しない場合

Domain Knowledge・サプライチェーンを適用しない場合の実験を行う。鉄鋼産業に新規投入した場合の生産誘発の一部を図 7 に表した。鉄鋼以外に取り上げた産業は、「パルプ・紙・

表 3: 棚卸回転期間 (月)

産業名	農林水産業	鉱業	飲食料品	繊維製品	パルプ・紙・木製品	化学製品	石油・石炭製品
棚卸回転期間(月)	3.04	0.67	0.81	1.82	0.83	1.26	1.16
産業名	窯業・土石製品	鉄鋼	非鉄金属	金属製品	一般機械	電気機械	情報・通信機器
棚卸回転期間(月)	1.29	1.53	1.39	1.04	1.68	0.89	0.95
産業名	電子部品	輸送機械	精密機械	その他の製造工業製品	建設	電力・ガス・熱供給	水道・廃棄物処理
棚卸回転期間(月)	0.89	1.03	1.38	1.04	1.52	0.25	0.3
産業名	商業	金融・保険	不動産	運輸	情報通信	公務	教育・研究
棚卸回転期間(月)	0.736	0	4.3	0.2475	0.34	0	0.16
産業名	医療・保健・社会保障・介護	その他の公共サービス	対事業所サービス	対個人サービス	事務用品	分類不明	
棚卸回転期間(月)	0.22	0	0.123	0.17	0.736	0	

木製品」「電気機械」「公務」である。電気機械産業は鉄鋼産業と関係が深い。これに対して公務は、全体的に他の産業と関係が薄い産業である。そのため、新規投入によって鉄鋼業の生産が誘発された後に、電気機械、公務の順番で生産が誘発されるために、公務にまで波及するには3ステップ要する。また、各産業の生産が収束していくのは、産業連関表に表されている通りに粗付加価値として産業に取り込まれていくためである。

次に、新規投入先産業毎に、全ての産業に波及するまでの時間を表4に表した。事務用品、分類不明は4ステップかかり、それ以外の産業が3ステップで全ての産業に波及する。これは、2ステップ目で関係のある産業に全て波及し、関係の無い産業にはその後他産業から波及するためである。すなわち、産業連関表の動的拡張によって、直接的な産業間の経済的距離をが判明する。

表 4: 波及完了時間 (動的拡張)

産業名	農林水産業	鉱業	飲食品	繊維製品	パルプ・紙・木製品	化学製品	石油・石炭製品	窯業・土石製品	鉄鋼	非鉄金属	金属製品	一般機械
最遅時間	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
産業名	電気機械	情報・通信機器	電子部品	輸送機械	精密機械	その他の製造工業製品	建設	電力・ガス・熱供給	水道・廃棄物処理	商業	金融・保険	不動産
最遅時間	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
産業名	運輸	情報通信	公務	教育・研究	医療・保健・社会保障・介護	その他の公共サービス	対事業所サービス	対個人サービス	事務用品	分類不明		
最遅時間	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4		

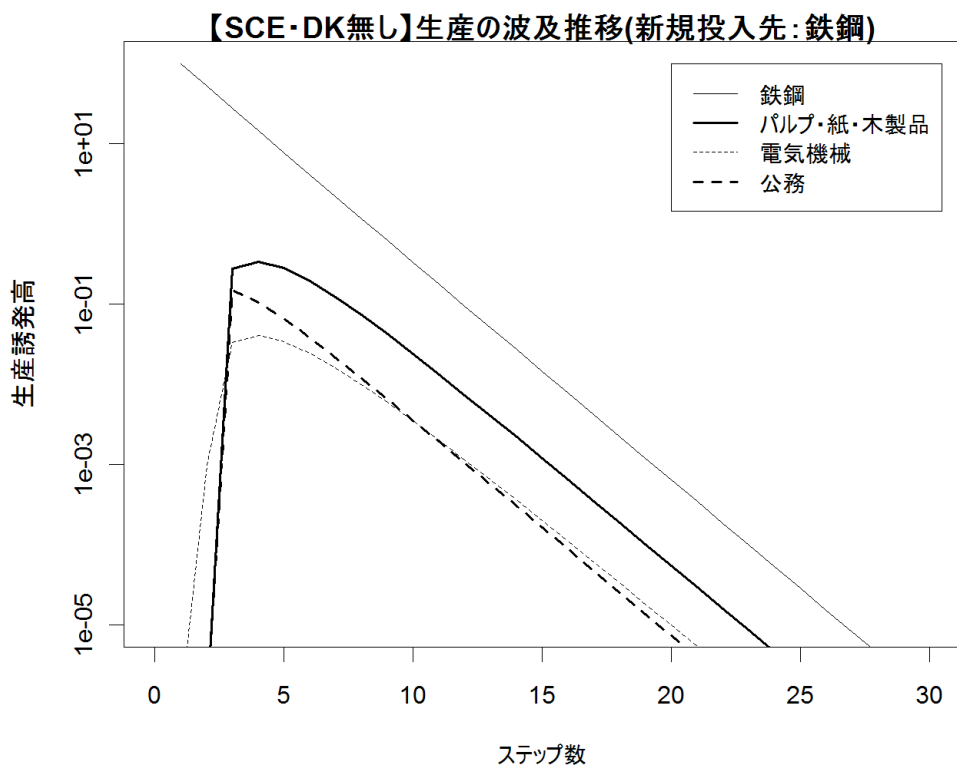


図 7: 鉄鋼に新規投入した場合の波及推移 (動的拡張)

5.6.3 Domain Knowledge を適用した場合

Domain Knowledge を適用した場合の実験を行う。前節と同様に鉄鋼産業に新規投入した場合の生産誘発の一部を図 8 に表した。鉄鋼産業の生産誘発が、定期的に高く上昇するのは、棚卸資産回転期間のサイクルで生産を行っているためである。波及初期の生産誘発高が大きいため、この定期的な生産タイミングによって公務や電気機械の生産タイミングにも影響を与え、一定間隔で生産が誘発される現象が現れた。これに対してパルプ製品の産業がなだらかに推移しているのは、鉄鋼業以外からの多方面からの需要によって、ある程度安定して生産が誘発されているからである。他に前節の動的拡張だけの場合と比較すると、電気機械やパルプ製品産業よりも公務が先に生産誘発されている。公務は分類不明の産業だけに需要がある。そのためこの場合の波及の経路は鉄鋼、分類不明、公務の順である。この時、分類不明と公務は棚卸資産回転期間を 0 に設定したため、結果的に電気産業よりも早く生産が誘発される。

次に、新規投入先産業毎に、全ての産業に波及するまでの時間を表 5 に表した。ほとんどの産業が 6,7 カ月で波及することから、Domain Knowledge による波及の停滞によって全産業に波及する経路を通る際に 5,6 か月を要することがわかる。これに更に、農林水産業、不動産の場合は棚卸資産回転期間の値分だけ更に時間を要するため、波及が遅い。

表 5: 波及完了時間 (Domain Knowledge 適用)

産業名	農林水産業	鉱業	飲食品	繊維製品	パルプ・紙・木製品	化学製品	石油・石炭製品	窯業・土石製品	鉄鋼	非鉄金属	金属製品	一般機械
最遅時間	9	6	6	7	6	7	7	7	7	7	7	7
産業名	電気機械	情報・通信機器	電子部品	輸送機械	精密機械	その他の製造工業製品	建設	電力・ガス・熱供給	水道・廃棄物処理	商業	金融・保険	不動産
最遅時間	6	6	6	7	7	7	7	6	6	6	5	10
産業名	運輸	情報通信	公務	教育・研究	医療・保健・社会保障・介護	その他の公共サービス	対事業所サービス	対個人サービス	事務用品	分類不明		
最遅時間	7	7	6	7	7	6	7	7	8	6		

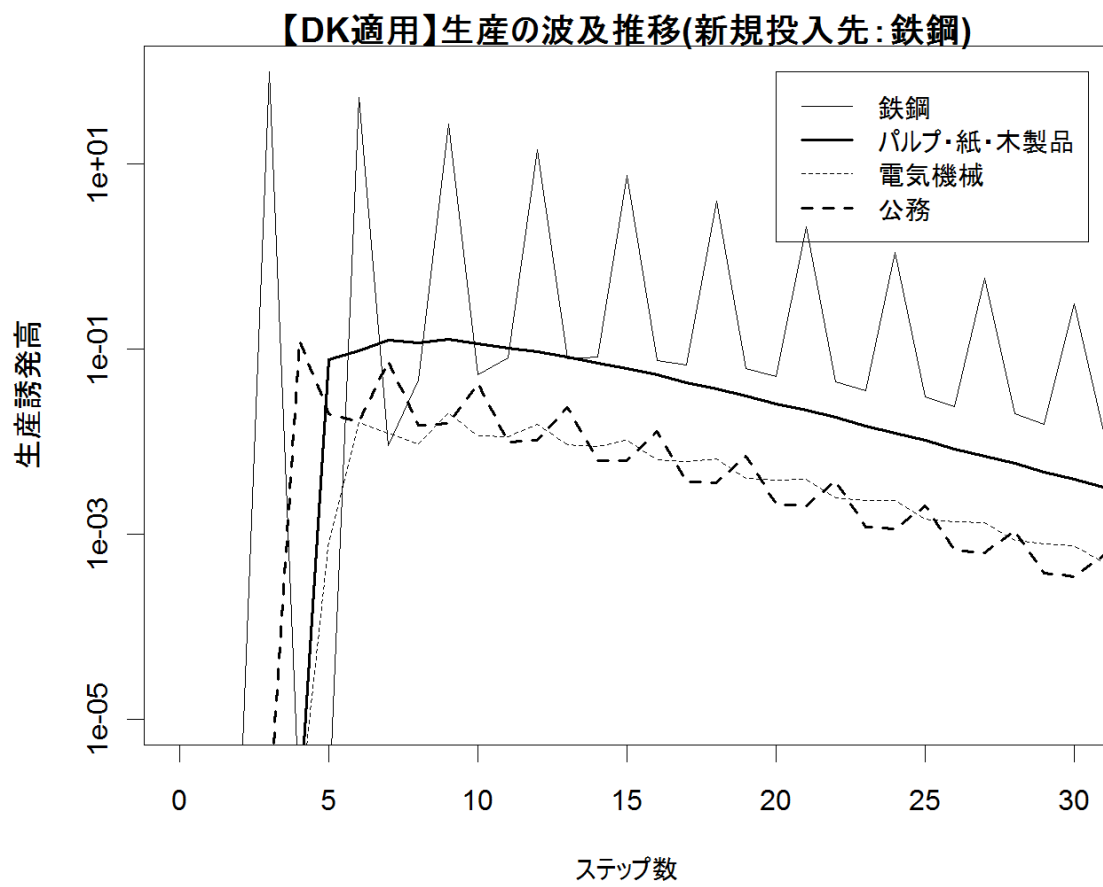


図 8: 鉄鋼に新規投入した場合の波及推移 (Domain Knowledge 適用)

5.6.4 サプライチェーンを適用した場合

サプライチェーン推定を適用した場合の実験を行う。鉄鋼産業に新規投入した場合の生産誘発の一部を図9に表した。鉄鋼産業が生産誘発された後に、パルプ製品産業、公務が同時期に生産誘発され、その後電気機械産業の生産が誘発される。今回はサプライチェーン推定によって、産業がミクロに分解され、波及経路がランダムに構成される。これにより今回は、鉄鋼産業と電気機械産業の関係が、産業内の波及開始地点から遠かったために公務よりも遅く波及している。これは、新規投入は最終需要として扱われることから、産業をサプライチェーン推定にてミクロ化した場合は先頭の企業から生産が誘発されるとは限らないためである。

次に、新規投入先産業毎に、全ての産業に波及するまでの時間の100回平均を表6に表した。サプライチェーン推定を適用しただけでは、ほとんど波及時間に影響を与えないことがわかる。これは、産業を分解しても産業数は34あるために、全産業へ到達する経路自体は多く存在するためであると考えられる。この影響は生産誘発の推移図からも見ることが出来る。動的拡張だけの場合と比較すると、他産業への波及の推移が段階的になっている。これは動的拡張だけの場合は多くの波及経路から一度に生産が誘発される事に対して、少ない波及経路から生産が誘発されていることと、遅れて波及してきた生産誘発が表れるためである。

表 6: 波及完了時間 (サプライチェーン推定適用)

産業名	農林水産業	鉱業	飲食品	繊維製品	パルプ・紙・木製品	化学製品	石油・石炭製品	窯業・土石製品	鉄鋼	非鉄金属	金属製品	一般機械
最遅時間	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.19	3.01	3.00	3.00
産業名	電気機械	情報・通信機器	電子部品	輸送機械	精密機械	その他の製造工業製品	建設	電力・ガス・熱供給	水道・廃棄物処理	商業	金融・保険	不動産
最遅時間	3.00	3.00	3.01	3.00	3.00	3.01	3.00	3.05	3.06	3.03	3.09	3.04
産業名	運輸	情報通信	公務	教育・研究	医療・保健・社会保障・介護	その他の公共サービス	対事業所サービス	対個人サービス	事務用品	分類不明		
最遅時間	3.16	3.19	3.01	3.18	3.02	3.22	3.51	3.35	4.00	4.00		

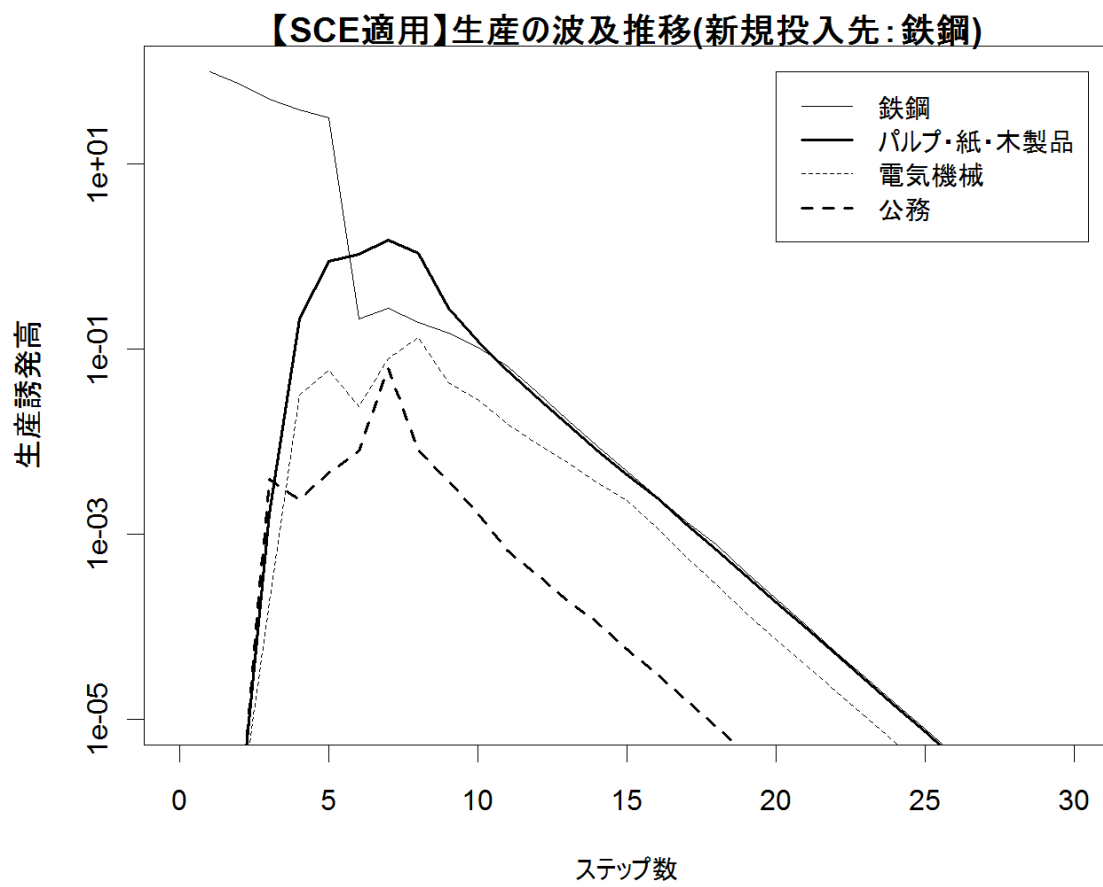


図 9: 鉄鋼に新規投入した場合の波及推移 (サプライチェーン推定適用)

5.6.5 Domain Knowledge とサプライチェーン推定を適用した場合

まず、鉄鋼産業に新規投入した場合の生産誘発の推移の一部を図 10 に表した。前節までに検証してきた推移とは異なる形状になっている。特にパルプ製品産業は前節まではなだらかに生産を誘発していたが、サプライチェーン推定による波及経路の減少と、棚卸資産回転期間による各産業の生産タイミングの分散によって波及が不規則になっている。

次に、新規投入先産業毎に、全ての産業に波及するまでの時間の 100 回平均を表 7 に表した。全体的に Domain Knowledge を適用した場合の影響が大きいことがわかる。そこにサプライチェーンによる影響が加わり波及が遅れる。特に鉄鋼業は、1.84 カ月波及が遅れる結果になった。鉄鋼の場合は、比較的サプライチェーンが長いことが影響していると考えられる。しかし、鉄鋼よりもサプライチェーン長が長い産業は他に輸送機械や医療・保健関連の産業が存在する。これらは、表 7 より、鉄鋼に対して波及時間が短いことがわかる。この理由として、販売先産業が極端に少ないことが挙げられる。すなわち、波及の入り口部分が少ない産業であるため、需要の投入先企業が先頭の企業に限定されやすいためである。これはサプライチェーンの構築時に、投入よりも需要を大きく設定しなければならないことに起因している。その結果産業内に波及がスムーズに伝わるため波及時間のロスが無くなる。これに対して鉄鋼は入力、出力両方が多いので、経路が複雑に構成される。これにより関係が多い鉄鋼では波及が遅れて到達する産業が発生し、全産業まで波及するのに時間がかかったと考える。次節では、この設定を用いて生産誘発高を考慮した波及の定義を用いて速度分析を行う。

表 7: 波及完了時間

産業名	農林水産業	鉱業	飲食料品	繊維製品	パルプ・紙・木製品	化学製品	石油・石炭製品	窯業・土石製品	鉄鋼	非鉄金属	金属製品	一般機械
最遅時間	9.57	6.03	6.52	7.66	6.75	7.70	7.76	7.58	8.84	7.62	7.80	7.70
産業名	電気機械	情報・通信機器	電子部品	輸送機械	精密機械	その他の製造工業製品	建設	電力・ガス・熱供給	水道・廃棄物処理	商業	金融・保険	不動産
最遅時間	6.62	6.39	6.80	7.97	7.70	7.84	7.34	6.92	6.80	6.68	5.89	10.58
産業名	運輸	情報通信	公務	教育・研究	医療・保健・社会保障・介護	その他の公共サービス	対事業所サービス	対個人サービス	事務用品	分類不明		
最遅時間	7.28	7.37	6.03	7.23	7.00	6.15	7.55	7.02	8.50	6.47		

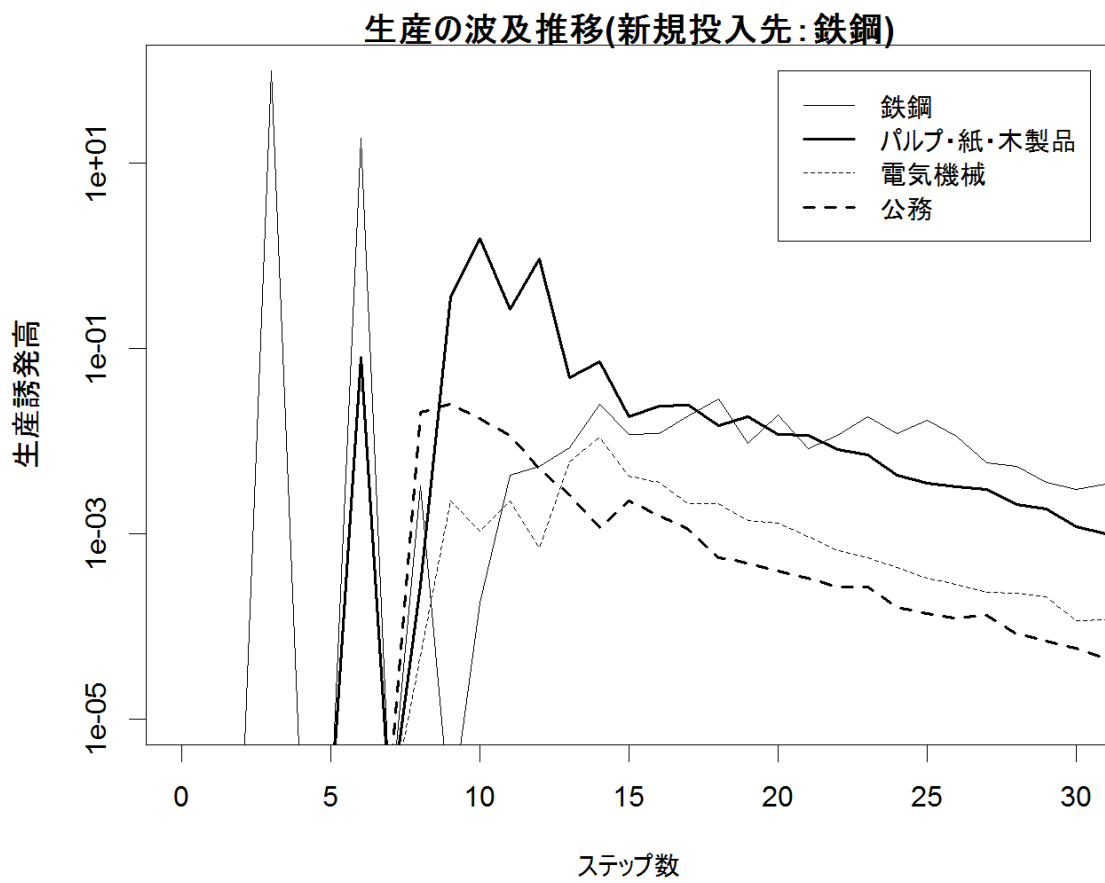


図 10: 鉄鋼に新規投入した場合の波及推移

5.6.6 経済効果の波及度に対する速度

前節までは、単純に生産誘発されるまでの速度での分析を行った。しかし、実際には各産業にどの程度の生産誘発があったかを基準に分析が必要であると考え。そこで、初めの新規投入額に対する一定以上の割合が生産誘発された場合を基準に分析を試みる。この時の新規投入に対する割合を波及度と呼称し、波及度の生産誘発を満した時点で波及したとする。まず、波及度0.1%の場合の分析結果を結果を表8と表9に表した。この表では、列毎に見ることで新規投入先毎に、各産業に波及した時点を表している。表中にNAとなっているのは、わずかな生産誘発があったにせよ、新規投入額の0.1%に満たなかったパターンである。例えば、医療関係に経済効果が波及するまでの時間を見ると、ほとんどがNAになっている。すなわち、医療関係への経済効果は他産業発信の場合であると、非常に効果が薄いことがわかる。これは、医療の需要先産業が極端に少ないため、波及経路を経て経済効果が減衰しているためである。また、下段にて速度の平均と最大値を表しているが、これらはNAの値は考慮していない。次に、新規産業毎の最遅波及速度を比較すると、輸送機械が一番遅く、次に鉄鋼が遅い結果になった。鉄鋼と輸送機械はサプライチェーン長が長い産業である。従って産業内のチェーンを経る経路と、他産業から迂回して到着する経路の両方で経済効果が減衰することで全産業に普及するまでの期間が長くなると考えられる。しかし、輸送機械は医療に対して普及しなかったが、鉄鋼業は普及する結果になった。表を行毎に見た場合、すなわち波及先の産業毎に見ると、金融業や対事業所サービス、情報通信業等が早く普及している。従って、多くの産業から需要がある重要な産業であると考え。

次に、異なる2産業に対して新規投入を行った際の普及速度を検証する。新規投入は2産業に均等に行い、波及度は全投入の0.1%と定義した。全てのパターンで検証したところ、情報通信と医療関係業に投入した場合に全産業に波及するまでの速度が6.36カ月と最も早い結果となった。これは、1産業に投入した際は電子部品に投入した12.66カ月が波及するまで最も早い事から、2産業から投入した場合は普及するまでの期間を半減する結果となった。

表 8: 波及完了時間(波及度 0.1%)

農林水産業	繊維業	飲食料品	繊維製品	ハルプ・紙・木製品	化学製品	石油・石炭製品	窯業・土石製品	鉄鋼	非鉄金属	金属製品	一般機械	電気機械	情報・通信機器	電子部品	輸送機械	精密機械	その他の製造工業製品	建設	電力・ガス・熱供給	水・排水・廃棄物処理
4.00	8.91	6.18	8.84	8.41	9.13	13.89	11.26	18.79	11.42	15.03	15.95	10.68	9.86	10.88	15.40	11.86	9.80	9.60	13.00	14.13
8.68	1.00	5.69	6.89	4.65	5.65	4.11	5.78	6.97	5.43	7.28	6.94	5.69	5.80	5.97	6.42	6.88	6.42	4.82	4.54	6.61
7.52	10.77	1.00	6.23	5.22	6.26	14.31	7.70	19.48	10.92	13.90	16.60	13.80	10.59	10.51	20.73	12.71	7.49	13.44	13.26	12.30
8.14	3.78	4.72	2.00	5.57	6.88	8.00	6.20	10.24	6.51	7.30	7.01	4.72	4.50	5.47	7.55	6.25	7.04	6.22	7.34	6.24
6.45	2.87	3.35	4.59	1.00	5.14	7.31	4.50	7.83	4.88	5.18	4.83	3.62	3.35	4.14	5.48	4.44	5.22	4.23	4.42	4.27
7.33	3.65	4.25	5.83	4.47	2.00	7.02	6.03	9.00	6.56	6.31	5.95	4.66	4.29	5.35	6.11	5.99	6.48	5.62	5.74	5.26
7.14	3.31	4.21	5.66	4.64	5.39	2.00	5.70	7.25	6.15	6.55	6.27	4.97	5.20	5.17	6.32	5.86	6.42	5.50	5.10	5.16
8.05	6.36	4.92	6.90	5.19	6.15	8.85	2.00	11.80	7.02	7.77	6.76	4.87	4.83	5.38	7.05	5.82	6.88	5.43	9.67	7.52
9.89	4.38	7.77	9.16	5.21	8.59	12.10	6.02	2.00	6.95	6.70	5.11	4.75	4.66	5.48	5.27	6.10	7.37	5.44	8.91	8.33
10.71	6.26	5.20	8.75	5.13	6.59	12.44	6.20	11.34	2.00	7.01	5.48	4.46	4.16	5.21	6.91	5.87	7.62	5.95	7.80	9.71
7.74	3.26	4.30	6.07	4.65	5.86	6.71	5.59	9.61	6.13	2.00	5.40	4.65	4.46	5.08	6.27	5.70	6.51	5.08	6.28	6.39
10.89	4.14	7.87	8.63	5.37	8.58	10.22	5.92	10.47	6.83	7.09	2.00	4.86	4.46	5.36	6.26	5.79	7.48	6.00	7.72	6.72
10.16	4.95	9.83	10.49	6.51	8.75	11.33	8.31	12.56	8.40	7.12	4.01	1.00	3.37	4.87	4.63	5.24	7.88	4.96	7.68	10.97
18.44	8.50	15.55	13.80	10.50	14.05	12.56	11.02	14.77	11.93	13.45	12.01	13.00	1.00	12.66	10.93	18.27	12.56	5.80	9.81	8.05
10.89	5.63	7.36	8.13	6.51	7.75	10.96	7.34	11.80	6.09	5.79	3.60	2.35	2.00	1.00	4.82	4.15	5.82	5.84	8.12	8.85
8.12	6.08	7.14	8.47	7.15	8.36	11.12	7.82	10.86	8.48	9.43	7.75	6.79	6.30	7.21	2.00	7.99	9.14	7.35	8.02	8.27
12.55	9.18	6.90	9.26	10.88	11.24	12.00	11.26	18.12	11.70	12.78	7.77	6.60	4.89	8.13	14.91	2.00	10.41	9.23	11.00	12.60
7.13	3.41	3.91	5.24	4.40	5.33	6.10	5.17	7.16	5.14	5.16	4.36	3.53	3.07	4.02	4.29	4.61	2.00	5.37	4.85	4.89
7.44	3.60	4.23	5.62	4.66	5.55	6.51	5.48	8.26	6.05	5.90	5.47	3.92	3.61	4.38	6.07	5.20	5.95	2.00	5.20	5.29
6.36	2.19	2.92	4.37	3.34	4.37	4.69	4.29	6.17	4.83	4.80	3.86	2.94	2.39	3.36	3.83	4.00	4.80	3.89	1.00	3.99
6.87	2.64	3.38	4.99	3.52	5.08	5.92	4.76	8.12	4.91	5.11	5.14	2.99	3.71	3.52	5.73	4.23	5.08	4.20	3.97	1.00
5.90	2.16	2.59	4.07	3.33	4.27	4.83	4.00	5.42	4.19	4.24	3.16	2.48	2.02	3.15	3.21	3.46	4.39	3.21	3.50	3.32
4.98	1.08	1.83	3.08	2.13	3.28	3.68	2.94	4.62	3.10	2.95	2.46	1.58	1.37	2.18	2.90	2.65	3.44	2.46	2.25	2.05
10.66	6.34	7.13	8.25	7.29	8.53	9.29	7.89	10.84	8.30	8.26	8.20	6.89	6.60	7.25	8.84	8.00	8.61	7.84	7.14	7.79
5.67	2.05	2.53	3.96	2.91	3.99	4.76	3.67	5.31	3.93	4.23	3.41	2.57	2.32	3.05	3.57	3.63	4.38	3.10	3.11	3.03
7.85	4.90	6.51	6.65	4.58	6.58	9.07	4.89	11.08	6.83	6.83	7.57	5.31	5.09	6.11	9.92	7.09	6.94	5.74	5.30	4.66
5.94	2.57	2.94	4.31	3.30	4.51	6.05	4.08	6.74	4.23	4.29	3.36	2.36	2.03	2.95	3.36	3.58	4.56	4.07	3.78	5.18
12.00	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	11.00	NA	NA	NA	NA	NA	11.50	NA	NA	NA	NA	NA	NA
8.65	2.07	3.75	4.23	2.74	3.96	4.36	4.01	8.83	4.91	5.13	5.96	3.59	1.69	3.10	8.67	5.07	5.10	5.76	4.15	3.30
5.69	2.08	2.49	3.80	2.69	3.82	4.35	3.58	4.61	3.72	3.85	3.14	2.32	2.03	2.81	3.18	3.22	3.96	3.06	2.69	2.73
9.06	4.44	7.23	7.32	6.00	6.97	9.03	5.73	11.36	6.14	7.61	9.19	5.52	4.85	5.63	11.59	7.85	7.26	8.22	5.85	6.17
7.62	3.83	5.07	4.64	4.65	5.31	7.63	4.55	9.60	5.05	5.39	6.22	3.41	2.97	3.43	8.26	4.74	5.59	6.18	4.88	4.93
5.62	3.29	3.11	3.27	2.92	3.81	4.76	2.82	6.27	3.59	3.39	3.20	1.80	1.46	2.76	3.68	3.12	3.58	2.66	2.84	2.22
8.29	4.24	5.08	6.29	4.69	6.23	7.89	5.77	8.27	6.62	6.27	6.11	4.70	3.65	5.68	6.89	5.91	6.38	3.80	6.12	6.22
18.44	10.77	13.35	13.80	10.88	14.05	14.31	11.26	19.48	11.93	15.03	16.60	13.80	10.59	12.66	20.73	18.27	12.56	13.44	13.26	14.13
max																				

表 9: 波及完了時間 (波及度 0.1%) 続き

商業	金融・保 険	不動産	運輸	情報通信	公務	教育・研 究	医療・保 健・社会 福祉・介 護	その他の 公共サー ビス	対事所 サービス	対個人 サービス	事務用品	分類不明
14.83	11.13	16.64	15.32	11.23	12.30	9.67	6.03	6.58	14.62	6.12	10.21	9.69
7.57	7.46	14.21	6.66	7.29	5.13	7.42	5.79	5.54	6.99	5.95	6.71	4.20
11.17	7.00	15.00	15.27	9.88	10.50	4.53	3.00	3.87	12.70	3.00	7.78	5.77
7.60	5.08	15.53	5.65	6.03	3.80	8.30	4.04	3.82	6.44	4.46	5.83	4.17
4.19	3.20	10.67	4.29	4.54	2.42	4.51	3.00	2.46	4.65	3.40	3.42	3.18
7.54	6.20	15.41	6.50	5.67	4.70	6.53	4.00	3.83	5.60	4.19	5.78	4.41
6.02	5.69	13.27	5.11	5.66	3.25	5.93	4.00	3.84	5.56	4.36	6.54	4.10
11.57	11.86	13.00	11.58	9.09	6.89	7.51	4.59	6.52	6.88	4.88	5.78	5.31
10.81	10.28	15.95	8.53	9.47	6.42	11.14	8.67	7.47	7.90	8.47	6.99	5.35
13.10	10.82	17.35	10.94	10.60	6.37	11.52	4.89	7.65	7.09	7.70	5.87	5.03
8.18	7.88	13.50	6.86	7.58	3.37	9.23	6.06	4.11	6.41	4.52	6.10	4.57
8.35	7.90	14.84	8.80	9.21	5.51	9.57	6.66	6.39	6.83	6.56	5.75	6.05
8.18	7.33	13.08	8.01	8.35	2.84	8.14	8.03	8.72	5.32	8.53	7.33	4.62
11.25	8.31	10.29	8.95	6.67	2.92	9.60	14.33	9.28	6.93	15.00	13.67	7.85
8.56	6.11	13.03	8.41	5.59	2.68	6.64	5.86	5.49	4.62	6.90	5.24	4.68
8.83	7.36	16.69	6.24	9.77	3.05	9.72	7.02	5.95	6.70	7.12	8.52	5.56
4.00	10.80	NA	11.90	11.35	8.61	NA	4.00	9.18	6.80	9.21	11.17	9.12
4.76	4.12	10.98	5.11	4.98	3.01	4.97	4.00	3.17	5.28	4.15	4.92	3.86
6.09	5.04	9.27	5.63	5.89	3.09	6.80	4.00	3.81	5.61	4.44	6.21	4.70
4.16	3.23	9.72	4.19	4.40	2.15	4.29	3.00	2.53	4.45	3.08	4.96	2.95
6.38	3.39	13.69	4.51	4.97	2.12	5.35	3.00	3.24	5.33	3.08	5.40	3.16
1.00	3.06	9.19	3.82	3.94	2.09	3.75	3.00	2.15	3.93	3.00	3.61	2.90
2.18	0.00	6.57	2.61	2.86	1.21	2.93	2.00	1.31	3.25	2.05	3.61	1.14
7.50	6.35	5.00	8.16	8.45	7.00	9.01	7.00	6.49	8.49	7.09	9.10	6.83
2.97	2.12	8.16	1.00	3.78	2.00	3.76	3.00	2.22	3.82	3.02	3.91	2.53
2.99	2.47	7.86	3.42	1.00	2.00	3.91	3.00	2.09	3.80	3.01	4.43	2.59
5.22	4.13	7.10	4.52	4.40	0.00	4.04	5.43	6.01	6.57	5.99	7.00	2.58
4.67	3.72	13.88	3.99	3.48	3.42	1.00	4.39	3.65	4.09	4.32	4.88	3.07
NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	1.00	NA	NA	NA	NA	3.06
7.84	0.79	10.86	3.82	3.79	7.35	1.84	1.89	0.00	4.78	2.77	5.38	2.44
2.53	2.00	7.05	3.04	2.95	1.00	3.10	2.00	1.12	1.00	3.05	4.35	2.26
4.10	4.75	10.09	5.29	4.27	5.11	3.91	2.00	2.28	5.39	1.00	7.47	3.86
4.32	2.06	9.00	3.72	3.98	2.20	2.98	2.20	2.53	4.94	2.99	1.00	3.17
2.88	1.60	7.70	2.35	2.71	3.20	3.20	1.02	0.73	3.45	1.57	3.86	0.00
6.71	5.55	11.71	6.49	6.18	4.14	6.09	4.47	4.36	5.95	5.00	6.15	4.26
14.83	11.86	17.35	15.32	11.35	12.30	11.52	14.33	9.28	14.82	15.00	13.67	9.69

5.7 経済効果の波及効果シミュレーションのまとめ

本章では、マイクロ化変換によって産業関連表に表されている産業から企業エージェントを生成し、産業間と企業間関係を考慮して構築した。そして、産業毎の製品特性を表現するために、Domain Knowledgeとして棚卸回転期間を設定した。これにより産業毎の製品特性の影響によって、需要が発生してから生産につながるまでの時間差を再現した。実験では、棚卸回転期間が波及速度に影響を与える場合と、サプライチェーンの長さが影響する場合の結果を表した。特にサプライチェーンが長いだけが波及の速度に影響するのではなく、グラフ理論で言われる中心性が重要であると考察した。また、この時鉄鋼産業を中心に論じた。鉄鋼はかつて産業の米と言われるほどに経済内で重要な産業であり、今でも多くの産業と深い関わりがある。このことから、鉄鋼産業の特異性を表すことが出来たのは本稿の大きな成果であると考え。また、今回のシミュレーションで鉄鋼産業はサプライチェーン長が4であると計算した。文献[21]によると、鉄鋼製品の製造の段階は製銑、製鋼、圧延、加工とあり、前に行くほど大掛かりな設備になるため、この並びが大企業→中小企業の製造プロセスになる。現在では系列化が進み、新日鉄住金のように全て一貫で行う企業が存在するが、カンパニー制のような枠組みで論じればこのサプライチェーン推定は妥当であると考え。次に、波及度という分析の定義を行い実験した。その時には1産業だけに投入した場合と、2産業に投入した場合の波及の効率化を分析可能であることを示した。これにより、公共事業等で経済を刺激する際に、波及期間による最適化や調整をシミュレーションで予測することに活用できると考える。

6 考察

マクロマイクロシミュレーションフレームワークの概念を作成し、2種類の社会シミュレーションを行った。マクロマイクロシミュレーションフレームワークは、統計データをマイクロ化変換することでマイクロデータを生成し、各エージェントに適用する。更に、社会特性を Domain Knowledge としてシミュレーションに反映させることで、より社会を現実のモデルに近づける。マクロマイクロシミュレーションフレームワークの最大の特徴は統計データのマイクロ化変換である。本稿の4章ではマクロ統計データが年収階級毎の月平均消費額、マイクロ化変換が統計データの連続化と消費額の交換を用いて選好のマイクロデータを抽出した。そして5章では産業連関表という産業構造のデータを企業間関係を考慮することでマイクロデータに変換した。このマイクロ化変換により、従来のようにマイクロデータを大量に調査・収集することなくシミュレーションを構築し、分析を行っている。これは、統計データがどのようなマイクロデータで構成されているかの仮説を立てることで実現している。

関連研究ではマクロ経済学による経済予測と、社会シミュレーションの例を挙げた。まず、マクロ経済学のアプローチでは既知のマクロ統計データを用いて将来の経済状況を推計することで、GDP等のマクロ指標を予測している。これは予測が長期のものであり、技術の発展や経済状況の変化を無視できない為である。これに対して本稿は局所的で近い将来の再現を目的としているために技術発展等による効果は無視した検証を行っている。しかし、KDBやJIEDAモデルのような産業分類の再構成は参考にすべきである。その場合、より局所的な分析を行う為には本稿のサプライチェーン推定のようなマイクロ化を更に適用して、現実の粒度に近づける処理が必要であると考えられる。

次に、社会シミュレーションの例では、出口らの研究のように人工経済を作成し、分析を行っている。具体的には、収集したデータを基に人間の行動等を発見し、経済主体(エージェント)の行動原理とする。そして人工経済の中でのルールベースのエージェントの挙動を分析することで、経済現象やエージェントの妥当性を考察している。この場合現実モデルとの一致性やパラメータの妥当性などの検証が非常に困難である。これは経済的な環境と経済主体とが相互に影響を及ぼすために、それぞれを精練することが難しいからである。例えば現実との比較検証を行う場合を考えると、(1)シミュレーションと同じ条件を現実再現し実験、(2)経済現象の統計データを用いて傾向等の一致性の検証、(3)パラメータを網羅的に検証することで反応性の解析、の3種類が考えられる。理想的には(1)にてマイクロなデータを全て収集することでシミュレーションとの差分を検証していくことで経済的環境とエージェントの行動原理を精密に評価できるが、現実的ではない。次に(2)の場合は、過去のデータを基にシミュレーション内のパラメータ等を調節していくことで精練が可能になると考える。しかし、入手可能なデータを考慮すると、局所的かつ過渡的なデータを入手するのは非常に困難である。すなわち検証することができるのは人工経済とエージェントによる合力が一致するかどうかのマクロ指標的な部分になり、個々の検証、言い換えると環境と行動原理それぞれが正しいと論じることができない。最後に(3)では、エージェントの行動原理に焦点を絞った検証が可能である。すなわちエージェント同士の創発現象の部分に注目する。この時に正解となるようなデータがあればよいが、(2)で挙げた理由から難しい。従ってパラメータと現象の間に知見を見出すことで、行動原理の追求を行うことを可能にする。以上のように、社会シミュレーションにおいて現実との一致性を満たすことが困難な場合が多い。これに対して本稿では、マクロ統計量を保存することで現実社会との一致性をある程度満たす。しかし、個々のエージェントの行動原理等はまだ精練の余地がある。この時に、他の行動原理等を本稿に適用し、マクロ経済学的分析と比較することで現実との一致性を検証でき

ると考える。例えば出口らの研究では、9つの大きな分類の経済主体を人間が操作し、経済状況への対応の仕方を抽出し、エージェントの行動原理へと適用した。これに対して本稿では、経済波及効果分析の理論と棚卸回転期間 (Domain Knowledge) を用いることでエージェントの行動原理を決定している。これによって経済学の分野の静的分析に対して矛盾無く、経済現象を動的に再現することができる。しかし、1つのマイクロなエージェントの行動原理としては、実際の人間の行動から調査している出口らの手法の方が、妥当性があると考えられる。そこで、出口らの行動原理を本稿のエージェントの行動原理に適用すれば、静的な経済分析との相違点を検証でき、更なる行動原理の追求を行うことができる。

以上のように本稿で提案したマクロミクロシミュレーションフレームワークからは、政府統計データから自動的に抽出したマイクロデータによる環境を提供することを可能にし、後は行動原理等の理論を精練することで、動的な分析と静的な分析両方を行う環境構築が可能である。更に、本稿では政府統計データという誰でも利用可能な情報を資源として扱っているために、様々な人々が理論を議論・実証する環境としても活用できると言う点でも有用な手法であると考えられる。

7 結論

本稿では、統計データを適切にマイクロデータに変換することで現実社会に忠実なモデルと粒度の細かいマイクロエージェントを生成し、シミュレーションを行った。まず、マクロ統計データの性質や特性を述べることで、適切なマイクロデータとは何かを定義した。次に、本稿で統計データを用いたシミュレーションを行う場合のフレームワークを説明した。この時、消費モデルを例に挙げて政府統計データの変換の一例を表した。そして、シミュレーションを現実にもつモデルにするための要素として Domain Knowledge を取り上げ、シミュレーションへの適用手法を述べた。次に、消費行動のシミュレーションを行った。消費行動を現実社会にもつモデルにするために、Domain Knowledge として物の代替性を導入した。物の代替性によって市場で消費の移り変わりを再現し、動的な価格形成を再現している。続いて、経済効果の波及シミュレーションを行った。ここでは、産業の企業間関係を考慮することでマクロからマイクロな構造を推定し、構築している。Domain Knowledge としては棚卸回転期間の情報を各産業に付加することで、産業特有の生産速度の再現を行い、波及の遅れ等の動的特性を再現している。この2つのシミュレーションを行うことで、統計データから現実にもつモデルのシミュレーションが構築できることを示している。

今後の課題としては、シミュレーションのマイクロな部分の妥当性の検証方法が挙げられる。本稿は統計データを社会が表す真のデータとして捉えているために、マクロ的な状態は保存している。しかし、動的な特性は統計データからは読み取れないために、良く知られている経済現象以外は、シミュレーションで表された動的特性が真であるかどうかは断定できない。例えば経済の波及効果シミュレーションでは最後に鉄鋼産業のモデル化についての妥当性を論じたが、これは鉄鋼産業について特別に調査した結果判明した事実を基にしている。従ってこの手法で妥当性を検証する場合、他産業もそれぞれ特別に調査することで産業の性質や製造過程等をデータとして収集しなければならなくなる。鉄鋼のように製造物が明確であり、重要な産業であれば既存の研究や文献から知見を得ることは可能であるが、サービス業等経営の形態が不規則な産業も多い。従って鉄鋼業のような調査を他の産業全てに適用することは現実的ではない。この問題を解消するためには、動的な現象に影響を与える要素を検出し、分析が容易に行える機構が必要であると考えられる。従ってマクロミクロシミュレーションフレームワークの精錬によって、汎用的な分析手法の確立を行うことを今後の課題としたい。

謝辞

本論文の作成にあたり、終始適切な助言を賜り、また丁寧に指導して下さった藤田悟教授に心から感謝致します。また、大森教授、伊藤教授をはじめといたします多くの教授の方々から、中間発表の際には助言を賜り、誠に御礼申し上げます。そして日頃、研究室の皆様から刺激を受け、切磋琢磨出来たことを誇りに思います。本当にありがとうございました。

参考文献

- [1] 田沼 英樹, 出口 弘, “エージェントベースシミュレーション言語 SOARS の開発,” 電子情報処理学会論文誌, D Vol.J90-D,No.9,pp.2415-2422,2007.
- [2] Wilensky Uri, “NetLogo (and NetLogo User Manual)“, Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling, Northwestern University, <http://ccl.northwestern.edu/netlogo/>.
- [3] 金谷 泰宏, 出口 弘, 齋藤 知也, 兼田 敏之, 小山 友介, 市川 学, 田沼 英樹, “新型インフルエンザに対するパンデミック対策プログラムとプロジェクト分析 (i 特集) エージェントベース社会シミュレーションの動向と展望,” オペレーションズ・リサーチ: 経営の科学, 53(12),pp.667-671,2008.
- [4] 総務省統計局, “政府統計の窓口,” <http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/eStatTopPortal.do>, 2013-2-4.
- [5] 岩崎 俊夫, “産業連関分析と経済予測:RAS 方式による投入係数修正の妥当性について,” 北海道大学 経済学研究, 30(1),pp.121-142,1980.
- [6] 谷山 新良, “RAS 方式について: RAS 方式による投入係数の推計方法について,” 大阪府立大学経済研究, 20(2),pp.27-75,1975.
- [7] 小野 充人, “生産技術の変化が経済に及ぼす影響計測~JIDEA モデル (ver.7) による計測~, ” 国際貿易投資研究所, 季刊 国際貿易と投資, No.74 pp.125-133,2008.
- [8] 黒田 昌裕, 新保 一成, 野村 浩二, 小林 信行, “KEO データベースー産出および資本・労働投入の測定ー,” 慶應義塾大学産業研究所, KEO Monograph Series No.8,1997.
- [9] Mehdi Saqalli, Charles L. Bielders, Bruno Gerard and Pierre Defourny, “Simulating Rural Environmentally and Socio-Economically Constrained Multi-Activity and Multi-Decision Societies in a Low-Data Context: A Challenge Through Empirical Agent-Based Modeling”, Journal of Artificial Societies and Social Simulation 13 (2) 1, <http://jasss.soc.surrey.ac.uk/13/2/1.html>,2010.
- [10] 出口 弘, 諸井 孝信, “バーチャルエコノミーゲーミング,” 情報処理学会研究報告. 人工知能研究会報告, 95(23),pp.51-58,1995.
- [11] 出口 弘, “人工経済のマルチエージェントモデル,” 情報処理学会研究報告. 人工知能研究会報告 95(105),pp.19-24,1995.
- [12] 市川 学, 出口 弘, “生活空間を考慮した仮想都市の構築法とその利用可能性,” エージェント合同シンポジウム (JAWS2010),2010
- [13] 総務省 統計局統計調査部消費統計課, “平成 21 年全国消費実態調査,” http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/GL08020103.do?_toGL08020103_&tclassID=000001028137&cycleCode=0&requestSender=search, 2013-2-3.
- [14] 佐藤 光, 藤田 悟, “社会統計データに基づく消費行動シミュレーション基盤,” 情報処理学会 第 74 回全国大会, 2T-5,2012.

- [15] 総務省 統計局統計調査部消費統計課, “平成 19 年全国物価統計調査,” <http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/GL02100104.do?tocd=00200572>, 2013-2-3.
- [16] 財務総合政策研究所 調査統計部, “法人企業統計調査,” http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/GL08020101.do?_toGL08020101_&tstatCode=000001047744&requestSender=dsearch, 2013-2-3.
- [17] 佐藤 光, 藤田 悟, “産業関連表に基づく消費シミュレーション,” FIT2012 第 11 回情報科学技術フォーラム, F-006, 2012.
- [18] 総務省 政策統括官 (統計基準担当) 付統計基準・産業関連表・調査技術担当統計審査官室, “平成 17 年産業関連表,” <http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/GL02100104.do?tocd=00200603>, 2013-2-3.
- [19] 経済産業省 構造統計室, “平成 17 年工業統計調査,” http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/GL08020103.do?_toGL08020103_&listID=000001040991&requestSender=dsearch, 2013-2-3.
- [20] 齊藤 有希子, 渡辺 努, “企業間関係と企業規模,” Research Center for Price Dynamics, Institute of Economic Research, Hitotsubashi University, 2007.
- [21] 綿野 脩三, “日本の鉄鋼産業,” 東洋経済新報社, 1959.