

関西大学審査学位論文

エージェントベース社会シミュレーションを用いた
経済市場と社会保障制度に関する研究

杜 逆索

平成 29 年 3 月

関西大学大学院 総合情報学研究科

論文要旨

本論文は、経済市場から社会保障制度などの分野において、市民一人一人に及ぶ影響の検討を可能にすることを目的として、エージェントベース社会シミュレーションを用いて、レモンマーケットと公的年金制度のミクロ分析を行うものであり、全8章で構成される。

第1章は序論であり、本研究の背景および目的を示すと共に、本論文の構成について記述する。

第2章では、エージェントベース社会シミュレーションの方法論や分析手法について説明を行い、本論文で用いた研究プロセスを明確にする。

第3章では、経済市場における個体に与える影響を検討するため、経済市場の一例としてレモンマーケットを用いる。レモンマーケットでは、売り手と買い手の間に非対称性の情報が存在するため、市場に流通する商品の品質が低下している。そして、このような市場を再現するモデルを構築し、モデルの説明を行った後、モデルの妥当性を確認する。

第4章では、第3章で示したシミュレーションモデルを用いて、シミュレーションを行った後、シミュレーション結果から、非対称性の情報が存在する市場において、売り手が良品率に依存するシグナルを用いた場合、商品の提供コスト、商品の提供量、シグナルコストを適切に設定することにより、最終的に商品の品質の低下が回避できることを解析する。また、良品率に依存するシグナルを用いた場合に発生する突発的な品質の低下と回復の原因を明らかにする。

第5章では、社会保険制度における個々の市民に及ぶ影響を検討するため、日本の公的年金制度のシミュレーションを説明する。現在の公的年金制度は賦課方式で運営されているため、少子高齢化によって保険料負担の増加と年金給付の減少が年々続いている。保険料額と年金額が度々変更されることにより、保険料の生涯負担と年金の生涯給付との比率に違いが生じ、世代間格差の原因になっている。また、少子高齢化によって財政収支が悪化しており、財政的持続可能性にも問題が生じつつある。これに対して、現行の年金制度において、世帯構造と世帯類型別の年金所得の将来推計を行う。このような世帯構造や世帯類型の変化を考察するためには、個々の市民の婚姻状況や就業状況をシミュレートする必要がある。個々の市民の状況を把握するため、また、多様な世帯への影響を観察するには、エージェントベースシミュレーションがもっとも適している。そして、エージェントベースシミュレーションにより、公的年金制度の所得代替率の変化について検討できることを示す。

第6章では、第5章で示したシミュレーションモデルを用い、日本全国の年金シミュレーションを行うことにより、年推移と共に保険区分別受給者の所得代替率の変化を示す。また、エージェントの婚姻行動を導入したことにより、厚生労働省の示すモデル世帯を含む、世帯単位での所得代替率の提示を可能とする。

第7章では、第5章で示したシミュレーションモデルを用い、日本の都道府県別のシミュレーションを行うことにより、各都道府県の人口変動、所得代替率と賃金上昇率の関係に

について検討する。また、各都道府県の現役世代の平均所得に対する所得代替率を計算することにより、都道府県別に、定額で支給される年金の価値が可視化できることを示す。これにより、各都道府県に在住する年金受給者が、自身の受け取る年金の価値を考慮して、生活設計するための資料の提示を可能とする。

第8章では、本研究で得られた研究成果のまとめと今後の課題を述べている。

目次

第1章 序論	1
1.1 はじめに	1
1.1.1 エージェントベースシミュレーションアプローチの課題	1
1.1.2 エージェントベース社会シミュレーションの事例	2
1.2 研究目的	3
1.3 研究背景	3
1.3.1 非対称情報の市場における市場の失敗	3
1.3.2 公的年金制度の検討に関するアプローチ	5
1.4 本論文の構成	7
第2章 エージェントベース社会シミュレーション	9
2.1 エージェントベース社会シミュレーションの背景	9
2.2 ABSS の方法論	11
2.2.1 モデリング	12
2.2.2 妥当性の検証	12
2.3 分析手法	14
2.3.1 シナリオ設定	14
2.3.2 シナリオ分析手法	15
2.4 本論文における研究プロセス	16
第3章 非対称情報の市場モデル	19
3.1 本章の背景と目的	19
3.2 モデル	20
3.2.1 マーケットプロトコル	22
3.2.2 売り手エージェント	22
3.2.3 買い手エージェント	24

3.3 パラメータの設定と妥当性の検証	27
第4章 非対称情報の市場モデルにおけるシグナル分析.....	29
4.1 良品率に依存するシグナルに関する利用とシナリオ設定	29
4.1.1 良品率に依存するシグナルの利用	29
4.1.2 良品率に依存するシグナルコストの状況シナリオ設定	30
4.2 良品率に依存するシグナルコストの決定方法	30
4.3 良品率に依存するシグナルコストの分析	33
4.3.1 シグナルの利用状況の分析.....	37
4.4 下落を発生する時の売り手エージェントに対するマイクロ分析	39
4.5 本章のまとめ	40
第5章 ABSS を用いた年金モデル.....	45
5.1 本研究における目的.....	45
5.2 日本の年金制度	46
5.3 モデル概要	48
5.4 エージェント設定と生涯イベントフローチャート	48
5.5 年金モデルの妥当性.....	49
第6章 全国単位の所得代替率.....	53
6.1 モデルの設定	53
6.1.1 人口について	53
6.1.2 経済前提指標について.....	54
6.1.3 就業について	54
6.1.4 賃金と保険料について.....	54
6.1.5 保険種類別被保険者と受給者について.....	55
6.1.6 結婚行動について	56
6.2 人口推移.....	56
6.3 所得代替率	59
6.3.1 保険種類別の所得代替率.....	59

6.3.2 世帯種別の所得代替率	60
6.4 本章のまとめ	63
第7章 都道府県別の所得代替率.....	65
7.1 モデル設定	65
7.1.1 人口について	65
7.1.2 経済前提指標について	66
7.1.3 就業について	67
7.1.4 賃金と保険料について	67
7.1.5 保険種類別被保険者と受給者について	67
7.1.6 結婚と離婚行動について	67
7.2 人口推移と妥当性判断	67
7.3 所得代替率に関する分析	69
7.3.1 賃金上昇率による所得代替率の分析	69
7.3.2 世帯タイプ別所得代替率の分析	73
7.4 所得代替率の分析による受給者の居住地について	79
7.5 本章のまとめ	79
第8章 結論.....	85
8.1 本論文のまとめ・意義	85
8.2 今後の課題	87
謝辞.....	89
参考文献.....	91
統計データ	99
付録A シミュレーション結果（第3章）	101
A-1 100回試行の結果（3.3）	101
付録B シミュレーション結果（第4章）	103
B-1 良品率に依存するシグナルコスト 150 の 100 回試行の結果（4.2）	103
B-2 良品率に依存するシグナルコスト 200 の 100 回試行の結果（4.2, 4.3）	103

B-3	良品率に依存するシグナルコスト 300 の 100 回試行の結果 (4.2)	104
B-4	良品率に依存するシグナルコスト 400 の 100 回試行の結果 (4.2)	104
B-5	良品率に依存するシグナルコスト 500 の 100 回試行の結果 (4.2)	105
B-6	良品率に依存するシグナルコスト 600 の 100 回試行の結果 (4.2)	105
B-7	良品率に依存するシグナルコスト 700 の 100 回試行の結果 (4.2)	106
B-8	良品率に依存するシグナルコスト 800 の 100 回試行の結果 (4.2)	106
B-9	良品率に依存するシグナルコスト 900 の 100 回試行の結果 (4.2)	107
B-10	良品率に依存するシグナルコスト 190 の 100 回試行の結果 (4.3)	107
B-11	良品率に依存するシグナルコスト 195 の 100 回試行の結果 (4.3)	108
B-12	良品率に依存するシグナルコスト 205 の 100 回試行の結果 (4.3)	108
B-13	良品率に依存するシグナルコスト 210 の 100 回試行の結果 (4.3)	109
B-14	良品率に依存するシグナルコスト 240 の 100 回試行の結果 (4.3)	109

表目次

表 2.1	モデルクラスと妥当性の検証.....	13
表 3.1	パラメータの設定	27
表 4.1	良品率に依存するシグナルコストと平均良品率の関係	31
表 4.2	シグナルコストと平均良品率の関係	34
表 4.3	売り手エージェント利益ランキング	41
表 4.4	売り手エージェント人数とシグナルの関係	43
表 6.1	世帯種別の平均所得代替率の比較	64
表 7.1	賃金上昇率シナリオの詳細	66
表 7.2	都道府県別の賃金上昇率.....	68
表 7.3	2015 年都道府県の所得代替率（シナリオ II とシナリオ III）	74
表 7.4	2050 年一部の都道府県の所得代替率（シナリオ II とシナリオ III）	75
表 7.5	2015 年世帯タイプ別の所得代替率ランキング	81
表 7.6	2015 年世帯タイプ別の所得代替率ランキング	82
表 7.7	2015 年各都道府県の m2-f3 世帯の所得代替率の比較.....	83
表 7.8	2015 年各都道府県の高齢者 m1-f1 世帯の所得代替率の比較	84

図目次

図 1.1	本論文の構成	8
図 2.1	ABSS の位置づけ	9
図 2.2	ABSS 研究における課題の関係	11
図 3.1	レモンマーケット	20
図 3.2	市場モデル（中山・高橋, 2012）	21
図 3.3	シグナルを用いた価額提示の使用例	25
図 3.4	商品品質低下の再現(100 試行の一つ).....	28
図 4.1	良品率に依存したコスト利用時のレモンマーケットの回避(=300)	31
図 4.2	良品率に依存するシグナルコストと平均良品率の関係	34
図 4.3	良品率に依存したコスト利用時のレモンマーケットの発生(=200)	35
図 4.4	良品率に依存したコスト利用時のレモンマーケットの回避(=205)	35
図 4.5	平均良品率が大きく下落する試行	36
図 4.6	シグナル利用商品数の推移	37
図 4.7	売り手の保持シグナルと利用シグナル変化 (Signal 1)	38
図 4.8	売り手の保持シグナルと利用シグナル変化 (Signal 2)	38
図 4.9	売り手の保持シグナルと利用シグナル変化 (Signal 3)	39
図 4.10	買い手のシグナル評価平均値.....	41
図 5.1	4 階建ての年金制度	47
図 5.2	モデル概要図	49
図 5.3	生涯イベントフローチャート.....	51
図 6.1	総人口の推移と各種類の保険者推移	57
図 6.2	各種類の保険者人口増加率（2005～2012）	58
図 6.3	受給者人口率の推移.....	58
図 6.4	平均所得代替率の推移	59
図 6.5	被保険者結婚状態世帯数の推移	60
図 6.6	平均所得代替率と受給者の世帯婚姻状態（2015）.....	61
図 6.7	平均所得代替率と受給者の世帯婚姻状態（2050）.....	61
図 6.8	受給者世帯婚姻状態の割合(2015).....	62
図 6.9	受給者世帯婚姻状態の割合(2050).....	62
図 7.1	年都道府県別の人口増加率（2005 年～2014 年）	70
図 7.2	所得代替率地図（シナリオ I）	71
図 7.3	所得代替率地図（シナリオ II）	71

図 7.4	所得代替率地図（シナリオ III）	71
図 7.5	都道府県別の所得代替率（2015）	76
図 7.6	都道府県別の所得代替率（2050）	77

第1章

序論

1.1 はじめに

1.1.1 エージェントベースシミュレーションアプローチの課題

現在、経済学、社会学、経済行動学、社会心理学などの分野における人間行動や経済行動に関する知見の蓄積と共に、人工知能、物理学、数学などの分野におけるシミュレーション技術の開発によって、社会システムのシミュレーションが可能となっている。そのため、社会、経済、人間活動などの様々な分野における状況や問題に対する研究方法の 1 つとして、社会学者から計算機科学者や計算科学者などの様々な分野の科学者の社会シミュレーションへの関心が高まりつつある。

従来の社会システムに関する研究においては、数理的・統計的な手法を用いて、対象をモデル化し、マクロな状況に対して観察や分析などを行っていた。しかし、従来の方法では、マクロデータを用いているため、マクロ的な観察ができて、複雑な社会における個々の意思決定者である組織や個人のミクロ的な観察できないという問題がある。しかし、現在の社会システムで提供するサービスや政策などの機能と構造をデザインするため、社会全体の視点からのマクロ的な観察や分析のみならず、個々の人間行動と社会全体の動態の相互関係を把握して、サービスや政策などをデザインしていくことが必要となっている。

そこで、本論文では、社会シミュレーションの手法の 1 つであるエージェントベース社会シミュレーション (Agent-based social simulation, ABSS) を用いる。ABSS では、対象となっている社会システム中の個々の組織や個人をエージェントとし、エージェント間の相互作用が存在する複雑なモデルを構成しているため、社会全体のマクロな観察一個々の組織や個人にミクロ的な観察が可能である。このような ABSS の特徴により、近年では、様々な分野においても、ABSS が注目され、多くの研究がなされている。例えば、小川ら (2011) のコミュニティへの効果的な報酬制度に関する研究、岡谷ら (2011) の人間関係を考慮した避難行動に関する研究、森ら (2012) の新規学卒者採用市場における学生行動に関する研究、西野ら (2013) の再生可能エネルギー促進政策影響に関する研究、坂平ら (2014) の弥生時代における農耕文化の人種に関する研究、石西ら (2014) の高い致死性を持つ感染症対策におけるリスクに関する研究などがある。

ABSS アプローチには、シミュレーションの対象とする事象や制度などの領域知見の獲得、モデリング、モデルの構築、妥当性の検証、パラメータの設定、分析などの多くの研究課題が存在している。これらの課題に対して、それぞれにおいて、モデル設計者個人の知見に依存して、モデルが構築されていることが多い。統一的なアプローチを構築するため、近年、これらの課題の整理が行われつつある。

Gilbert (2007) は ABSS モデルを 3 つ分類している。1 つ目は特定の社会における現象を全て表現するのではなく、基本的なプロセスを示すための **Abstract Model**、2 つ目は特定の現象の詳細を記述するわけではないが、現象の要因と特徴が考慮できる **Middle Range Model**、3 つ目は特定の現実社会をできるだけ記述しようとする **Facsimile Model** である。

Abstract Model の代表例として、**Shelling** の人種分離モデル (1978) がよく挙げられている。このモデルは、Axelrod (1997) が後に示した **KISS (Keep It Simple, Stupid)** 原理に基づいて構築され、抽象度が高く、パラメータの設定が少なく、社会システムの基本的な性質が示せる利点があるが、現実社会との対応関係を示すのが困難である。それに対して、**Middle Range Model** と **Facsimile Model** は社会システムにおける現象説明や意思決定支援などに用いられる。**Middle Range Model** は対象をある程度詳細にモデルに記述するため、ある程度限定した状況で抽象的に対象システムの性質が考慮できるという利点があるが、構築要素やパラメータの設定が多くなることや実データとの比較によるモデルの妥当性の検証が困難である面もある。**Facsimile Model** は特定の社会システムを分析対象として、構築されるモデルと実データと整合することにより、現実社会と同様に表現できるという利点がある。しかし、表現したい現実社会は定常の状況ではなく、常に環境の影響を受けている。これらの影響を考慮して、構成されたモデルのパラメータを同定するための実データの収集が難しいという面がある。また、ABSS では、現実社会システムに対応できるレベルの **Facsimile Model** を直接構築することが困難であるため、**Middle Range Model** を構築することから、徐々に **Facsimile Model** を作り込んでいく必要があると指摘されている (North & Macal 2007)。

以上のように、分析の目的に応じて、表現可能な範囲が定められたモデルクラスの中から適切な方法を選択することが最も重要である。また、具体的なサービスや政策の意思決定支援を行うために複数のモデルクラスを利用することでモデルの妥当性を高める必要がある。

1.1.2 エージェントベース社会シミュレーションの事例

これまでの ABSS の研究において、様々な分野からのアプローチがなされ、主要な結果は以下のような 7 つにまとめられている (寺野, 2003, 2004; 横断型基幹科学技術研究団体連合, 2009, 第 4 章; 寺野, 2010)。(1) 争いの発生しうる状況でも協力することが重要である、(2) 文化は伝播するが、文化の棲み分けも発生する、(3) 免疫の仕組みで病気の伝染を防ぐことができる、(4) 放任すると市場は乱高下する、(5) 集団思考は発生するが抑制することもできる、(6) フリーライダーは生き残る、(7) ゆとり教育は子供をダメにする。

上述したように、多くの分野で研究がなされ、経済市場と社会保障制度の分野においても、様々な視点からの研究がなされている。しかし、個々の市場参加者や退職者に及ぶ影響を考慮する方法について十分な検討がなされているとは言えない。そこで、本論文では、エージェントベースシミュレーションを用いて、それらの検討に取り組む。

1.2 研究目的

本論文では、経済市場と社会保障制度の分野において、個々の市場参加者や退職者に及ぶ影響を、ABSS を用いて考慮する方法を示すことを目的とする。

本研究目的を達成するため、次の 2 つの副次的目的を掲げる。

1. 非対称情報が存在する市場における商品の品質低下を回避するための分析
2. 公的年金制度における世帯別、地域別の所得代替率の分析

1 について、非対称情報が存在する市場をモデル化した ABSS を用いた。先行研究ではシグナルに関する設定が検討されていなかった。そこで、商品の提供コスト、商品の提供量、シグナルコストなどの検討を行い、商品の品質の低下が回避できる場合のシグナルの特徴をシミュレーション結果から洞察を得て、解析的に明らかにする。さらに、非対称情報が存在する市場において、突発的な状況を発生する状況について、ミクロ分析することにより明らかにする。

2 について、公的年金制度において、従来のマクロレベルの検討では多様な世帯に与える影響が観察できていなかった。そこで、世帯構造、世帯類型、就業状況、賃金構造の変化が将来の年金額に与える影響を検討するため、現在施行されている賦課方式の公的年金制度において、人口推移と就業状態変動を連携させ、年金額の算定方法を定式化し、賃金構造、婚姻行動などを組み込んだモデルを用い、ABSS を行うことにより、多様な世帯における年金の受給水準を示す所得代替率の検討が可能になることを示す。また、都道府県別の所得代替率を分析することにより、地域ごとの所得代替率が検討可能になることを示す。

1.3 研究背景

1.3.1 非対称情報の市場における市場の失敗

市場における粗悪品や不良品の存在は、市場取引において常に問題になっている。その原

因の一つは買い手が商品の質を正確に見極める事が難しいためである。このような売り手と買い手の間で財やサービスの情報の質について違いがある情報の非対称性について、1960年代から研究が行われている。Stigler (1961) が価格サーチに関する研究を行った後、Akerlof (1971) は非対称な情報をもつ市場の例として、中古車市場を取り上げ、非対称な情報の市場では商品品質が低下することを明確に説明し、このような市場をレモンマーケットと呼んだ。ここでレモンマーケットとは、売り手は商品の詳細を知っているが、買い手は商品を購入するまで商品の詳細を知ることができず、良品の分布のみを知っているような市場である。このような市場において、買い手は期待される平均品質以上の価格を支払いたくなくなり、それを予想した売り手が平均品質以上の商品の提供を控えることにより、次第に良品をもつ売り手より不良品をもつ売り手の供給が多くなるため、市場の商品の平均品質と価格が低下する。この結果、良品をもつ売り手が市場から脱退し、市場に不良品が流通することになる。

このような、市場の商品の品質低下を解消する方法として、Spence (2002) は売り手が商品に関する適切なシグナルを表示することをあげた。シグナリングに関して、多くの研究者がゲーム理論の枠組みで分析を行っている (Martin, 2004; Milgrom & Roberts, 1986; Viceisza & Angelino, 2011; Dulleck et al, 2012; SingRu et al, 2012)。また、情報をもたない側として、いくつかの選択肢を提示して、情報をもつ側に選択させることにより、情報を取得する仕組みも提案された (Rothchild & Stiglitz, 1976)。しかし、それらの枠組みでは、均衡点の移動が表現できるものの、学習可能なエージェントの個々の行動変化を示すことは困難である。

また、前述で示した中古車市場に対して、Kim & Lee (2005) はエージェントベースのシミュレーションを行い、エージェントの意思決定の観察を行った。Kim & Lee の中古車市場のシミュレーションでは、情報の非対称性による商品品質の低下を再現し、商品品質の低下を解消するために、市場における高品質の商品の割合が重要であり、また、中古車の品質を識別できる専門家がいれば、市場の平均良品率が改善されることを示した。しかし、市場における高品質な商品の割合が高ければ、商品の低品質化は起こらないこと、また、商品の品質を買い手が正確に認識できるのであれば、情報の非対称性がなくなることになり、レモンマーケットを本質的に解消するための方法を示しているとはいえない。

この課題に取り組むため、市場におけるエージェントに学習能力を与え、良品率に依存したシグナルの導入が市場における商品品質低下の回避に有効であることを示した (中山・高橋, 2012)。しかしながら、中山と高橋のシミュレーションでは、良品率に依存するシグナルのコストの値は予備実験により設定されており、その値を設定する方法については検討されていなかった。

以上のように、商品品質の低下の分析、商品品質の低下の回避方法、突発的な品質低下が発生する分析を行うには、ABSSにより、個々のエージェントの動きを分析する方法が有効である。

1.3.2 公的年金制度の検討に関するアプローチ

本項では社会保険制度中の公的年金制度に関して、基本的な問題点、様々な観点からのアプローチを用いた研究を整理する。日本の公的年金制度は賦課方式で運営されている。賦課方式の年金制度の下で、年金の原資はその時点の現役層が支払う保険料となる。そのため、少子高齢化による保険料負担の増加と年金給付の減少が年々続いている。保険料額と年金額が変更されることにより、保険料の生涯負担と年金の生涯給付との比率に違いが生じ、世代間格差の原因になっている。また、少子高齢化による財政収支が悪化し、財政的持続可能性にも問題が生じつつある。2004年には、公的年金制度の持続可能性を高めるため、公的年金制度の見直し改革が行われた（厚生労働省, 2006）。

世界的な人口の高齢化により、年金財政はほとんどの先進国また一部の発展途上国における問題となっている。高齢化社会における年金制度の持続可能性を検証するため、様々な観点からのアプローチでの分析が行われている。計量経済学と計量社会学の観点から、年金の財政、社会保障制度の改正が経済成長に与える影響、年金制度変動の就労状態の変化などに関する多くの研究や検討が行われている。例えば、木村（2007）と木村ら（2008）は財政再建の手段としては消費税の増税と歳出削減を想定し、歳出削減についてはその対象として公共投資、教育支出、その他の政府消費支出の3費目を取りあげ、歳出削減における削減対象費目の違いの分析を行っている。佐藤（2010）は社会保障制度の改正により、経済変数である賃金上昇率や利子率の変化が年金財政に与える影響の分析を行っている。中田ら（2010, 5章）は社会保障制度が高齢者の労働供給に及ぼす効果についてまとめている。人口経済学の観点から、所得移転、子育て支援の視点から年金財政とマクロ経済の影響、人口予測と年金財政収支への影響などに関する研究が行われている。例えば、岡本（2013）は年金改革案が経済厚生および世代内・世代間の所得再分配に与える影響について分析を行っている。小黑ら（2013）は人口動態やマクロ経済、財政および社会厚生に与える子育て支援の効果を分析し、財政再建と子育て支援を組み合わせる場合、将来の人口および将来の債務残高に与える影響が最も大きいことを示した。鈴木ら（2003）は経済的要因を考慮した人口予測の不確実性と年金財政に与える影響の分析を行っている。

また、シミュレーションによる分析研究も数多く行われている。例えば、Boldrin ら（1999）は、ヨーロッパ諸国の GDP に対する年金支出の割合を計算するシミュレーションを行った。Viehweiger ら（2003）は、システムダイナミクスモデルを用いて、2002年に改革したドイツの公的老年社会保障プログラムの分析を行っている。彼らのシミュレーション結果では、人口構造変化と年金財政などのマクロ的な影響を検討している。また、Kapteyn ら（2007）と Fehr ら（2010）のシミュレーションでは、定年時の意思決定と年金財政との相互作用に注目した分析をしている。日本の公的年金制度について、Hirata ら（2008）の行ったシミュレーションでは、個人の保険料支払いと給付の合計を推定することにより、公的年金制度の分析を行っている。

このように、公的年金制度を検討する際、計量経済学や計量社会学で用いられるモデル世帯や一般均衡モデル、マクロレベルのシミュレーションが用いられている。これらのモデルでは、いくつかの世帯モデルケースを想定し、想定した世帯モデルケースに対する影響の分析が行われるが、モデルケース以外の世帯にどのような影響が及んでいるのかを定量的に示すことができていない。日本社会保障制度の多くは、平均的な世帯をモデルケースとして想定し、制度の説明を行うことが多い。しかし、産業構造の大転換、少子高齢化、婚姻態度の変化など、経済社会や人口構造のめまぐるしい変化により、市民の置かれる状況はますます多様化している（厚生労働省, 2008）。山田（2009）は政府が想定している世帯モデルケースが、もはや日本社会における世帯を代表していないことが指摘されている。これらの現状に基づいて、平均的な世帯モデルケースを想定するだけでなく、多様な世帯への影響を観察できるような ABSS により、年金制度の検証を行うことが必要である。また、エージェントベースシミュレーションを行うことにより、社会保障制度や税制政策などの分野において、個人に与える影響の検討が可能になる。例えば、橋本（2010）はライフサイクルモデルに基づいたシミュレーションにより、新たな税金政策が市民の収入格差を拡大する可能性があることを報告している。

日本の年金制度を対象として3つの ABSS モデルが提案されている。一つ目は、稲垣（2005; 2009; 2010; 2011）の提案した世帯情報解析モデル（INAHSIM）である。二つ目は、白石（2008）の提案したダイナミックマイクロシミュレーション技法を年金分析に応用したモデル（PENMOD）である。三つ目は、Chen & Murata（2010）また Murata & Arikawa（2012）による CAMMOD である。これらの ABS モデルでは、計量経済学や計量社会学の手法で観察ができなかった世帯という問題に対して、年齢別の単身世帯、親と共棲の夫婦世帯、就業状態異なる夫婦世帯、子供をもち夫婦世帯などの多様な世帯の観察が可能であることを示した。

しかし、上述した ABS モデルの人口スケールをみると、稲垣（2005; 2009; 2010; 2011）の INAHSIM は日本人口の約 1/1000 となる 128,000 エージェントでシミュレーションを行っている。白石（2008）の PENMOD は日本人口の 1/50000 スケールのエージェント、Chen & Murata（2010）の CAMMOD は日本人口の 1/10000 スケールのエージェント、Murata & Arikawa（2012）の CAMMOD は日本人口の 1/1000 スケールのエージェントでシミュレーションを行っている。このように、これらのシミュレーションモデルでは、人口スケールが 1/1000 ～ 1/50000 であるため、少数しか観察できない世帯や多様な就業履歴をもつ世帯についての分析が困難である。それに対して、本研究では 1/100 スケールのエージェントを用いることにより、従来の研究で少数しか観察できなかった 80 歳以上の高齢者の世帯に対して、多様な就業履歴をもつ世帯の観察ができる。また、公的年金は全国一律の制度であるため、受給者の居住地域の経済状況（賃金、賃金上昇率、物価上昇率など）によって異なる年金の価値の分析が困難である。今後は多様な世帯への影響を観察でき、また、各都道府県別で年金の価値の分析が期待される。

1.4 本論文の構成

本論文は 8 章から構成されている。各章間の関連は図 1.1 の通りである。

第 2 章では、エージェントベース社会シミュレーションの方法論や分析手法について説明を行い、本論文で用いた研究プロセスを明確にする。

第 3 章では、経済市場における個体に与える影響を検討するため、経済市場の一例としてレモンマーケットを用いる。レモンマーケットでは、売り手と買い手の間に非対称性の情報が存在するため、市場に流通する商品の品質が低下している。そして、このような市場を再現するモデルを構築し、モデルの説明を行った後、モデルの妥当性を確認する。

第 4 章では、第 3 章で示したシミュレーションモデルを用いて、シミュレーションを行った後、シミュレーション結果から、非対称性の情報が存在する市場において、売り手が良品率に依存するシグナルを用いた場合、商品の提供コスト、商品の提供量、シグナルコストを適切に設定することにより、最終的に商品の品質の低下が回避できることを解析する。また、良品率に依存するシグナルを用いた場合に発生する突発的な品質の低下と回復の原因を明らかにする。

第 5 章では、社会保険制度における個々の市民に及ぶ影響を検討するため、日本の公的年金制度のシミュレーションを説明する。現在の公的年金制度は賦課方式で運営されているため、少子高齢化によって保険料負担の増加と年金給付の減少が年々続いている。保険料額と年金額が度々変更されることにより、保険料の生涯負担と年金の生涯給付との比率に違いが生じ、世代間格差の原因になっている。また、少子高齢化によって財政収支が悪化しており、財政的持続可能性にも問題が生じつつある。これに対して、現行の年金制度において、世帯構造と世帯類型別の年金所得の将来推計を行う。このような世帯構造や世帯類型の変化を考察するためには、個々の市民の婚姻状況や就業状況をシミュレートする必要がある。個々の市民の状況を把握するため、また、多様な世帯への影響を観察するには、ABSS がもっとも適している。そして、ABSS により、公的年金制度の所得代替率の変化について検討できることを示す。

第 6 章では、第 5 章で示したシミュレーションモデルを用い、日本全国の年金シミュレーションを行うことにより、保険区分別受給者の所得代替率の年ごとの変化を示す。また、エージェントの婚姻行動を導入したことにより、厚生労働省の示すモデル世帯を含む、世帯単位での所得代替率の提示を可能とする。

第 7 章では、第 5 章で示したシミュレーションモデルを用い、日本の都道府県別のシミュレーションを行うことにより、各都道府県の人口変動、所得代替率と賃金上昇率の関係について検討する。また、各都道府県の現役世代の平均所得に対する所得代替率を計算することにより、都道府県別に、定額で支給される年金の価値が可視化できることを示す。これにより、各都道府県に在住する年金受給者が、自身の受け取る年金の価値を考慮して、生活設

計するための資料の提示を可能とする。

第 8 章では，本研究で得られた研究成果のまとめと今後の課題を述べている。

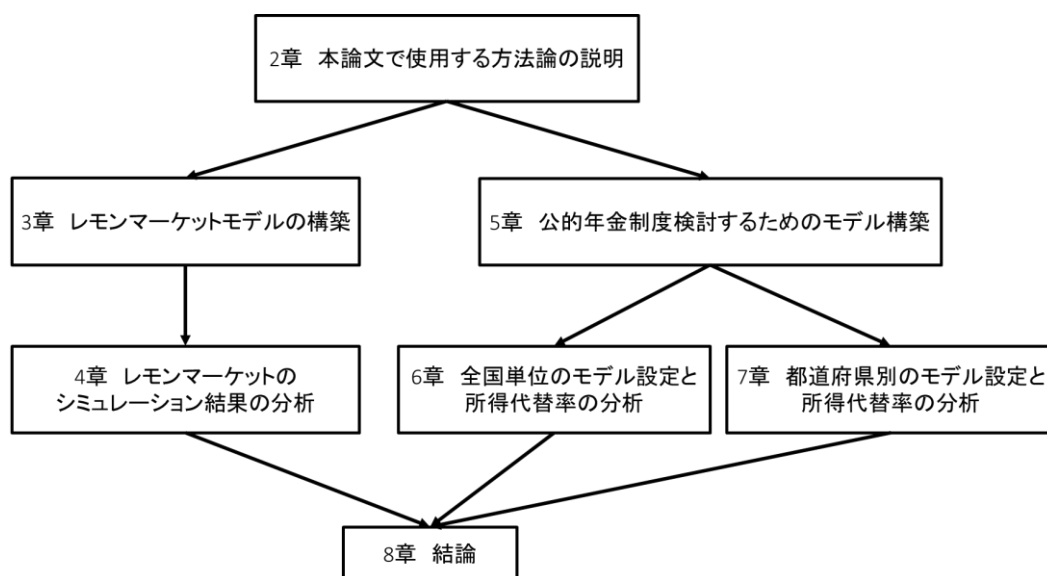


図 1.1 本論文の構成

第2章

エージェントベース社会シミュレーション

2.1 エージェントベース社会シミュレーションの背景

ABSS は、実社会における意思決定の個体を自律的なエージェントとして表現し、シミュレーションを通して、仮想的な社会における変化や影響を観察することにより、意思決定者や利害関係者の意思決定の支援を行う研究である。ABSS には、社会科学 (Social science)、エージェントベースコンピューティング (Agent-based computing) とコンピュータシミュレーション (Computer simulation) が含まれる。その関係は図 2.1 のように示される (Paul, 2002)。図 2.1 から、現実社会現象を再現することを目的とし、困難な問題において用いられるマルチエージェントベースシミュレーション (Multi agent-based simulation, MABS)、大規模なシステムの構築を支援するための社会的側面のエージェントシステム (Social aspects of agent systems, SAAS)、コンピュータ技術を用いて、社会現象をシミュレートするための社会シミュレーション (Social simulation, SocSim) の関係がわかる。

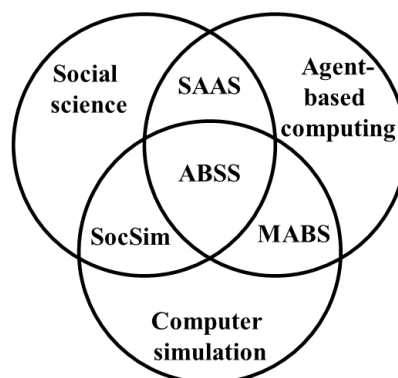


図 2.1 ABSS の位置づけ

近年では、ABSS は多くの分野の社会科学者の関心を集めつつある。これまでの ABSS の利用目的は以下のように大別されている（村田, 2007; 横断型基幹科学技術研究団体連合, 2009, 第 4 章）。

1. 社会システムの現象の理解
2. 社会システムの将来の予測
3. 仮想環境における訓練
4. 特定の社会システムにおけるサービスや政策などへの意思決定支援

1 の社会システムにおける現象の理解の例として、Schelling (1978) の人種分離モデルや Axelrod (1997) の文化伝播モデルがよく知られている。Schelling (1978) の人種分離モデルは二次元格子上で、2 種類の人種をエージェントとして表し、1 つのエージェントは自分と周囲のエージェントをみて、違う人種が多数派だった場合、そのエージェントは他の場所に移住する。シミュレーションを通して、人種別の居住地の分離が起こる現象を説明した。Axelrod (1997) の文化伝播モデルでは格子状でエージェント社会を構築している。文化的特徴を数字列で表現してエージェントの内部状態とし、文化的特徴の似たエージェント同士で相互作用が発生しやすいという前提がある。シミュレーションを通して、文化が分極的に収束することにより、文化に広まりやすい特性があるにも関わらず、一種類の文化に収束しないことの理由を明らかにした。

2 の社会システムの将来の予測については、多くの課題が残されている。社会現象は自然現象と異なり、物理的な相互作用に加えて、人間同士の複雑な相互作用が存在している。シミュレーションモデル上では現実社会の事象の発生をしばしば確率的に表現し、条件付きの確率のもとでの予測が行われるため、社会シミュレーションは正確に将来を予測することを目的としていないという主張もなされている（Axtell, 2000; Epstein, 2007; Zacharias et al, 2008）。

3 の訓練とは、現実の人々のスキルや学習能力、認識などを向上するためのシミュレーションである。企業のマネジメント（渡邊ら, 2007; 松田ら, 2008）、集団のトレーニング（Wray & Laird, 2003; Bousquet et al, 2002）や人々の教育（片田 & 桑沢, 2006; 中西ら, 2003）などによく利用され、参加型シミュレーションと呼ばれている。

4 の意思決定支援では、多くの企業や組織などにおいて、様々なサービスや政策を分析することにより、意思決定支援が行われる。また、欧米諸国、オーストラリア、日本などの先進諸国では、社会シミュレーションを用いて様々な政策の評価やデザインなどに関する研究も多く行われている。例えば、交通（上原ら, 2013）、疫学（石西ら, 2014）、経済や金融制度（土居, 2006; 水田ら, 2015）などの分野が挙げられる。

2.2 ABSS の方法論

ABSS の研究を行うため、1.1.1 項に述べたように、シミュレーションの対象とする事象や制度などの領域知見の獲得、モデリング、モデルの設計、妥当性の検証、パラメータの設定、分析などの課題が存在している。これらの課題の関係を図 2.2 に示す。図 2.2 から、右側の ABSS の研究プロセスにおいて、常に様々な領域の知見を活用して、ABSS 研究を進める必要がある。例えば、公的年金制度のモデルでは、様々な視点、認識、関心を考慮したモデリングが必要であり、それに対応する形で、年金制度の仕組みを始め、人口や世帯構造、エージェントの役割構造、就労状態の変化、賃金の変動、保険料の支払い、年金の給付、年金財政の計算などの様々なモデル要素をモデルに導入することが求められる。まず、公的年金に関する制度仕組み、人口や世帯構造を変動する要因、個々のエージェントの年金に影響する人生活動などを理解するため、年金制度の知見、人口動態の知見、経済状況の知見、統計の知見などの様々な知見を獲得することが必要となる。したがって、領域知見で得られた知見によってモデリングを行い、プログラミング知見などを活用して、モデルを構築していく。モデルのパラメータの設定を行った後、領域知見に基づき、モデルの妥当性を検証する。そして、領域知見に基づき、分析手法を用いて結果を分析する。

近年では、ABSS に研究における各課題に関する有効な方法が提案されている。以下では、本論文の研究プロセスを明確にするため、モデリング (2.2.1)、妥当性の検証 (2.2.2)、分析手法 (2.3) の 3 つの方法について説明を行い、2.4 で本論文における研究プロセスを説明する。

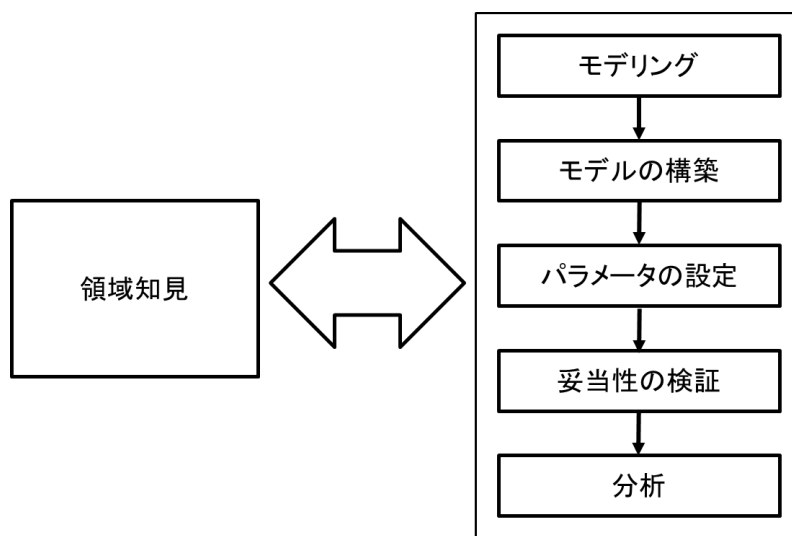


図 2.2 ABSS 研究における課題の関係

2.2.1 モデリング

エージェントによりモデルを構築する方法は主に2つある。1つ目はエージェントの意思決定ルールが簡略化されたモデル、2つ目はエージェント間において複雑な相互作用が存在するモデルである。エージェント間において複雑な相互作用が存在するモデルを評価するため、適切なモデリング方法を用いることが重要である。適切なモデリング方法を用いるため、エージェントモデルを分類して評価する必要がある。1.1 項で記述したように、Gilbert (2007) はエージェントベースモデルを次の3つに分類している。

- 1) **Abstract Model** : 基本的なプロセスを示し、対象となる社会現象に関する理論を提供するものである。この種類のモデルはよく KISS 原理 (Axelrod 1997) に基づいて構築される。モデルがシンプルであるが、そこから深い理論的な含意が得られる。しかし、実データの再現性が困難なものである。
- 2) **Middle Range Model** : 特定の現象との比較に課題があるものの、その現象の要因と特徴が考慮できるものである。この種類のモデルは、特定の現象に関する要因と特徴を考慮することにより、現象の理解と説明ができるが、実データとの比較によりモデルの妥当性の検証が難しい面もある。
- 3) **Facsimile Model** : 特定の現実社会と同様に表現するものである。この種類のモデルは特定された現象を可能な限り正確に構築することにより、具体的な政策の意思決定が支援できる。

また、Gilbert と同様に、小山 (2008) は ABSS 研究において2種類のモデル化手法が混在し、それぞれ盛んになった時期から、「第1世代」「第2世代」と分類していることも指摘している。さらに、North & Macal (2007) は、最初から現実社会システムに対応できるレベルの Facsimile Model を構築することが困難であるため、Middle Range Model を構築することから、徐々に Facsimile Model を作り込んでいくが重要であると指摘している。

以上のように、社会シミュレーションに用いるモデルでは、対象となる社会現象や問題が複雑な状況であるため、モデリングの枠組みが限定されている。そして、エージェントベースで社会の諸現象を表現する時に、分析の目的に応じて適切なモデルクラスを選択する。本研究で用いるモデルは Middle Range Model と Facsimile Model である。

2.2.2 妥当性の検証

ABSS の各方法論において、モデルの妥当性の検証は最も議論されている。2.2.1 項で説明したように、社会シミュレーションに用いるモデルでは、対象となる社会現象や問題が複雑な状況であるため、モデリングの枠組みが限定されている。そして、エージェントベースで社会の諸現象を表現する際、分析の目的に応じてモデルクラスの選択が異なるため、妥当性

の検証方法についても、モデルクラスを考慮して行う必要である。高橋（2009, 2013）はモデルの妥当性の評価基準について、一般的に内的な基準と外的な基準の2種類に分かれていることを述べている。内的な妥当性の評価基準とは、分析対象の特徴が構築されたモデルで正しく表現されているかどうかを判断する基準である。外的な妥当性の評価基準とは、シミュレーションの結果と分析対象の実データとの整合性を比較して評価を行う基準である。表2.1に、妥当性の検証に関する研究（高橋, 2009, 2013）から、Middle Range Model と Facsimile Model における内的な妥当性と外的な妥当性を検証する方法を示す。表2.1に示した妥当性の検証方法を説明する。

表 2.1 モデルクラスと妥当性の検証

モデルクラス	内的な妥当性の検証	外的な妥当性の検証
Middle Range Model	理論的な特徴との整合性	定型化事実 (stylized fact) との整合性
Facsimile Model	個々の行動モデルと 実データとの整合性	他のモデルの知見 との整合性

Middle Range Model を用いた研究は、現実社会における典型的な現象の再現を目的とするため、特定の社会の実データとの整合性の分析を行わないことが多い。構築されたモデルで典型的な現象が表現されているかどうかを確認することにより、内的な妥当性が検証される。ただし、分析者の注目点に応じてモデル設計が行われているため、内的な妥当性の客観的な評価が困難である。そのため、外的な妥当性を定型化事実（stylized fact）との整合性により判断することが重視される場面が多い。この stylized fact は、対象となる典型現象において様々な視点からの考察により、それらの現象で共通している特徴から抽出される。例えば、最初の stylized fact の提案者である Kaldor（1961）は、国民経済の成長について、以下の6つの stylized fact に集約している。1) 1人当たり実質産出量はほぼ一定の率で成長する。2) 実質資本ストックは労働投入量の成長率より高い率で成長する。3) 実質産出量と資本ストックの成長率はほぼ等しい。4) 資本収益率は概ね一定である。5) 1人当たり産出量の成長率は国によって差がある。6) 利潤の配分率が大きい経済ほど、投資が産出量に占める割合が大きい。例えば、Gatti ら（2003）はエージェントベースモデルにより、多数な scaling type stylized fact が高精度的に再現できることを示している。

Facsimile Model は特定の社会現象に対して分析を行うため、実データと接合したモデルが構築される。そのため、Facsimile Model では内的な妥当性が重視される。そして、内的な

妥当性を検証するため、まず、モデル化した社会現象に対して、現実社会現象からモデルに含める要素とモデル構築に関する定性的な特徴を抽出する。そして、その社会現象に関する様々な調査による社会現象の定量的な特徴を抽出し、モデルのパラメータとして設定する。ここで、特に注意すべきことは、従来のモデルでは、社会現象のマクロデータへの適合により妥当なモデルを主張してきたが、ABSS では、乱数シードが用いられることにより、毎試行の結果が異なるため、一回だけの適合はほとんど意味を持たない。そのため、特定の社会現象における様々な参加者に対して、Facsimile Model の複数回試行で得られた結果により、表現する対象の振る舞いが解析できるかどうかを判断することが重要である。

本論文では、3, 6, 7 章において分析対象が異なるため、それぞれに適切な妥当性の検証方法を用いる。3 章では、不良品が増加することによる市場の失敗の分析を行うための Middle Range Model を構築する。本研究で扱う不良品市場の問題は現実経済市場に基づいて、多くの研究から得られた典型的な問題であるため、その問題に関する理論的な特徴が抽出されていることによって、内的な妥当性を確保している。

6, 7 章では、4 章で提示する公的年金制度における所得代替率を分析するための Facsimile Model を構築する。また、対象となる公的年金制度に関する要素は明確されているため、構築された Facsimile Model も実統計データを用いて、モデルの要素とパラメータを決定し、内的な妥当性を確保する。

2.3 分析手法

2.1 項で述べたように、ABSS の主な目的は正確に将来状況を予測することではなく、将来における様々な不確実性を前提として意思決定者に有意な情報を提供して、意思決定を支援するものである。一般的に多くの変数を設定し、シミュレーションを行う必要がある。特に、Facsimile Model において、これらの変数を実データに基づいて設定しなければならない場面も多い。しかし、将来における様々な不確実性が必ず存在するため、これらの変数については実際にどのような値をとって、現実において適切なかをわからない事態があるため、有効な方法としてシナリオ分析手法が挙げられている（後藤 & 高橋, 2009）。以下では、シナリオ設定（2.3.1）、シナリオ分析手法（2.3.2）それぞれについての説明を行う。

2.3.1 シナリオ設定

ABSS におけるシナリオとは、様々な不確実性に対応するため、限定した変数の組み合わせを設定することである。分析対象において、シナリオは状況シナリオと政策シナリオの 2

つに分けられる。状況シナリオは、分析対象を再現したモデルに存在可能な状況を状況ケースとして表現するものである。一般的に状況シナリオは状況変数の組み合わせにより決定されており、モデルの要素として記述される。政策シナリオは、分析対象の状況に対して適用の効果を比較する時に、政策の代替案として表現するものである。一般的に政策シナリオはモデルの要素として記述されず、シミュレーションを行う際にモデルを操作する。また、状況シナリオと政策シナリオはシミュレーションを行う際に、単一でエージェントの意思決定に影響を与えるわけではない。

シナリオを表現する変数として、分析対象に応じて考慮する変数を選択する。しかし、特定の現象また現実社会においても、想定可能な変数を全て使用するとシナリオの数が膨大となってしまう。したがって、分析対象をモデル化する際に、分析対象の振る舞いの特性を変化する変数を考察し、振る舞いの特性を強く変化させる変数を選択することが必要である。

シナリオ変数を決定した後はシナリオ変数値を決定する必要がある。しかし、シナリオ変数値はあらゆる可能性を考えるとさらに膨大な状況シナリオが生まれてしまい、得られた結果から政策効果の影響を捉えることが困難となる。例えば、商品の属性数をシナリオ変数とした場合、具体的な属性に対してそれぞれの変数値がある。分析対象が特定市場ではない場合には属性数が多くの値を候補として挙げるため、膨大な状況が生まれる。したがって、シナリオ変数値を決定する際に、シナリオ変数値は構築されたモデルの振る舞いに与える影響の考察し、いくつかのシナリオ変数値が選ばれる。

シナリオ変数と変数値を決定した後に、状況シナリオの解釈が必要となる。Middle Range Model を用いた場合、構築したモデルを現実と直接的に対応することが困難であるため、Middle Range Model におけるシナリオの解釈について、変数値の大小を比較することにより説明を行う。一方、Facsimile Model を用いた場合、構築したモデルの要素は現実と対応しているため、シナリオの解釈が容易となる。

2.3.2 シナリオ分析手法

現在のシナリオ分析手法は可能性のランドスケープ分析（後藤 & 高橋, 2009）、マイクロダイナミクス分析（Ohori & Takahashi, 2010）、逆シミュレーション方法（倉橋ら, 1999; 寺野 & 倉橋, 2000; 倉橋 & 寺野, 2001）の3種類が挙げられている。

可能性のランドスケープ分析はマクロ視点からのシステムの傾向を提示する。この分析方法は、各シナリオに対してシミュレーションを行い、複数回の試行の結果を用いてシステムの傾向を提示する。可能性のランドスケープ分析を用いて、各シナリオにおける全ての可能性の束から、最高の可能性、最低の可能性、実現する可能性の幅を理解することができる。また、シナリオ間の可能性の束の比較することにより、分析対象システムにおける異なる状

況や政策を相対的に評価することができる。

マイクロダイナミクス分析はマイクロ視点からの可能性の原因分析を行う。この分析方法は、特徴的なシナリオに注目し、そのシナリオにおける各エージェントのパラメータ変動を分析することにより、対象システムの振る舞いの傾向を説明することができる。

逆シミュレーション方法は既存の認められたモデルを用いて、構成要素やエージェントの行動ルールについて、逆シミュレーションを利用して推定方法である。この方法を実現するために、複雑かつ多変数の関数を最適化するための進化計算法や強化学習法を採用している。

2.4 本論文における研究プロセス

本論文における研究プロセスは、2.2 項と 2.3 項で記述した方法論と分析方法に従って、3, 5 章の各対象に対して、研究プロセスが異なっている。以下に、それぞれのプロセスを説明する。

非対称情報の市場における市場の失敗

3, 4 章では、経済市場における個体に与える影響を検討するため、経済市場の一例としてレモンマーケットを用いる。図 2.1 に示したプロセスに基づいて、この研究のプロセスは以下ようになる。

領域知見：この分析対象に対して、多くの研究から得られた典型的な問題であるため、理論的な特徴が抽出されている。これらの理論的な特徴を基礎とする。

モデリング／モデル構築：本研究で扱うものは特定した市場ではない。この特性に応じて、**Middle Range Model** を用いる。抽出された理論的な特徴に基づいてモデリングすることにより、モデルを構築する。

パラメータの設定／妥当性の確認：シミュレーションで使用するパラメータ値の設定を行った後、抽出された理論的な特徴に基づいて、レモンマーケットが再現できることにより、モデルの内的な妥当性を確認する。

分析：2.3.1 項で述べた方法を用いてシナリオを設定する。最後に、全てのシナリオを用いてシミュレーションを行い、結果から商品の品質の低下が回避できることを解析した上で、突発的な状況を発生した場合に対してマイクロ分析によりその原因を明らかにする。

公的年金制度の検討

5, 6, 7 章では, 社会保険制度における個々の市民に及ぶ影響を検討するため, 日本の公的年金制度を用いる. 図 2.1 に示したプロセスに基づいて, この研究のプロセスは以下のようになる.

領域知見: この分析対象に対して, 多くの研究から公的年金制度に関する要素が抽出されている. これらの要素に関する年金制度の知見, 人口動態の知見, 経済状況の知見, 統計の知見などを基礎知見になる.

モデリング／モデル構築: 抽出された特徴に応じて **Facsimile Model** を用いる. そして, 抽出された特徴により, 各部分の実施ルールを決定し, モデルを構築する.

パラメータの設定／妥当性の確認: 実の統計データを使用してパラメータ値を同定し, 実の人口変動と比較することにより, モデルの内的な妥当性を確保する.

分析: 2.3.1 項で述べた方法を用いてシナリオを設定する. 最後にシナリオ分析を行い, 所得代替率について検討した上で, 所得代替率に関する様々な提示方法の可能性を示す.

第3章

非対称情報の市場モデル

3.1 本章の背景と目的

1.3.1 項で記述したように、非対称性の情報が存在する市場に関して、Stigler (1961) の価格サーチに関する研究を端緒として、Akerlof (1971) は非対称性の情報が存在する市場の例として中古車市場を取り上げ、非対称な情報下の市場では商品品質が低下することを明確にした。このような市場はレモンマーケット (図 3.1) と呼ぶ。図 3.1 に示すように、レモンマーケットで売り手は商品の詳細を知っているが、買い手は商品を購入するまで商品の詳細を知ることができないため、買い手は期待される平均品質以上の価格を支払いたくなくなり、それを予想していた売り手が平均品質以上の商品の提供を控えることにより、次第に良品をもつ売り手より不良品をもつ売り手の供給が多くなるため、市場の商品の平均品質と価格が低下する。その結果、良品をもつ売り手が市場から脱退し、市場の商品の品質が低下するという問題がある。

このレモンマーケット問題を解消するための 1 つの方法として、商品への適切なシグナル (Spence, 2002) が提案されたことにより、ゲーム理論の枠組みでシグナルの影響に関する研究が多くなされている (Martin, 2004; Milgrom & Roberts, 2004; Viceisza & Angelino, 2011; Dulleck et al, 2012; SingRu et al, 2012)。また、情報をもたない側として、いくつかの選択肢を提示して、情報をもつ側に選択させることにより、情報を取得する仕組みも提案された (Rothchild & Stiglitz, 1976)。しかし、これらの枠組みでは、均衡点の移動が表現できるものの、自身の購買経験履歴に基づいて、購買行動の学習が可能なエージェントの個々の行動変化を示すのは困難という問題がある。そのため、エージェントベースのアプローチが提案されている。Kim & Lee (2005) はエージェントベースのシミュレーションを用いて、情報の非対称性による商品品質の低下現象を再現した上で、エージェントの意思決定に観察することにより、商品品質の低下を解消するために、市場における高品質の商品の割合が重要であり、また、中古車の品質を識別できる専門家がいれば、市場の平均良品率が改善されることを示した。しかし、高品質の商品の割合を高く維持すべきであるという提言はレモンマ

マーケットを本質的に解消するための方法ではない。また、中山 & 高橋（2012）はエージェントベースシミュレーションを用いて、市場におけるエージェントに学習能力を与え、商品の品質に依存したシグナルを導入することにより、市場における商品品質低下の回避に有効であることを示した。しかし、商品の品質に依存するシグナルの値を設定する方法については検討されていなかった。

上記の問題に対して、本章ではモデルの構築と説明を行い、モデルの妥当性を確認する。

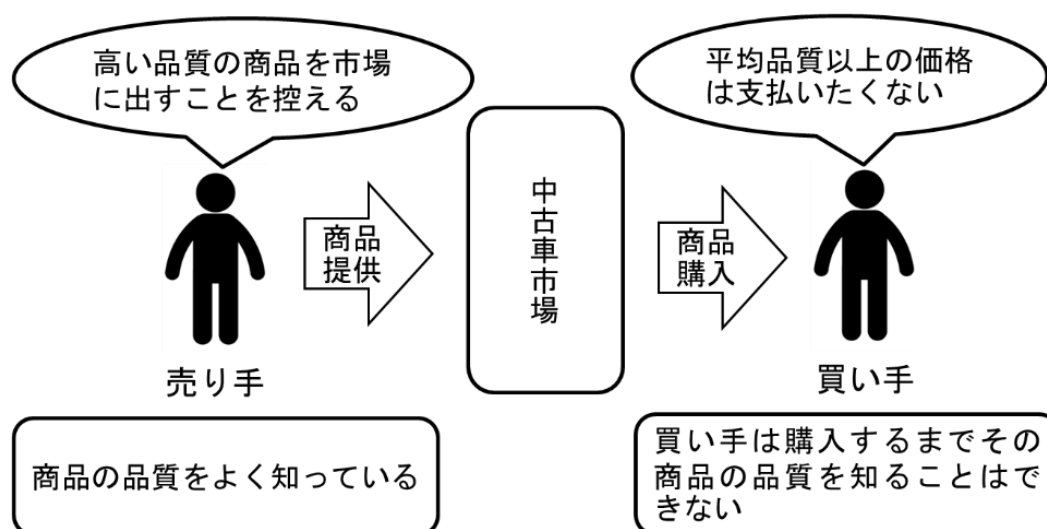


図 3.1 レモンマーケット

3.2 モデル

本研究では、基本的に、中山 & 高橋（2012）によって提案された市場モデルにより構築する。用いたモデルのクラスは **Middle Range Model** である。モデルの各要素は、Akerlof(1971) が挙げているレモンマーケットに基づいて、市場における売り手、買い手、商品、商品の品質、商品のコスト、購買行動などの理論的な特徴が付与されている。しかし、このモデルで構築される市場は仮想的なものであり、何らかの特定の商品市場をモデル化したものではない。市場モデルの概要図を図 3.2 に示す。図 3.2 に示したように、市場モデルの構造はマーケットプロトコル、売り手エージェント、買い手エージェントの3つの部分により構成される。そして、構築された市場モデルにおいて、商品の品質に関する情報は売り手エージェントだけがもつ。一方、買い手エージェントは商品の品質に関する情報については、商品を購入する前に全く知らないが、商品を購入する際に考慮したシグナルを記憶する。購入後、

認識した商品の品質に関する情報を用いて、購入時に考慮したシグナルを評価することにより、シグナルの信頼度を示すためのシグナル評価用パラメータを逐次学習する。また、売り手エージェントと買い手エージェントは市場で十分な満足度が獲得できない時、市場から除外されることとなる。以下にそれぞれの構成要素を示す。

1. マーケットプロトコルは以下の5つの要素を用いる。詳細の説明と定義を3.2.1項で行う。

- ・売り手からの商品提供
- ・商品への評価額集計
- ・取引を行う買い手を決定
- ・取引価格の決定
- ・買い手の商品購入

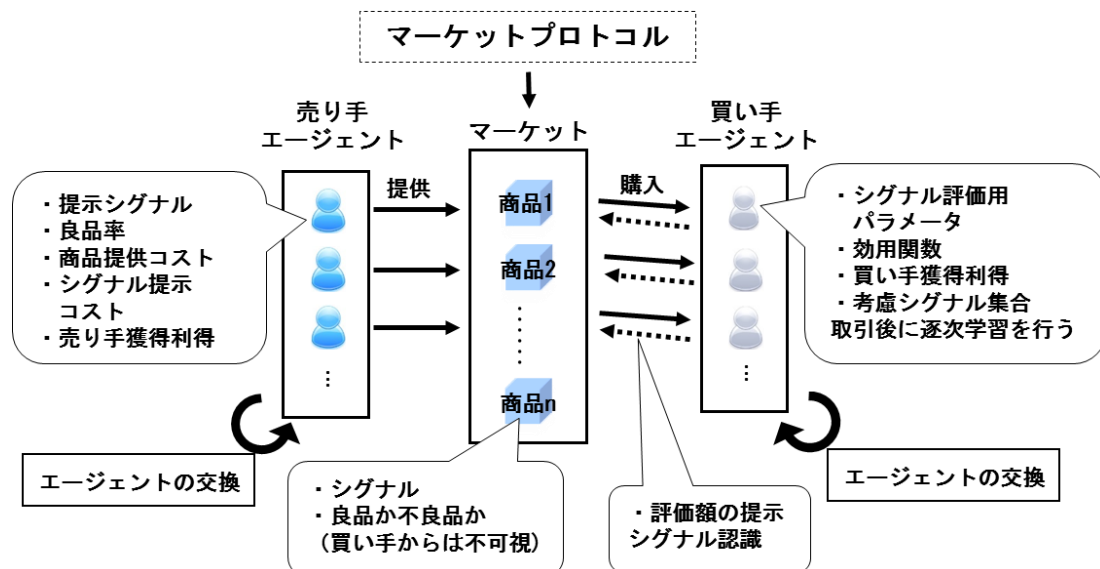


図 3.2 市場モデル (中山・高橋, 2012)

2. 売り手エージェントについて、以下の5つの要素を用いる。詳細の説明と定義を3.2.2項で行う。

- ・提示シグナル
- ・商品に対する良品率（商品の品質）
- ・商品提供コスト（商品のコスト）
- ・シグナル提示コスト
- ・売り手獲得利得

3. 買い手エージェントについて、以下の4つの要素を用いる。詳細の説明と定義を3.2.2項で行う。

- ・シグナル評価用パラメータ
- ・効用関数
- ・買い手獲得利得
- ・考慮シグナル集合

3.2.1 マーケットプロトコル

市場では、各売り手エージェントから単一種類の商品が提供されるものとする。売り手エージェントは、買い手エージェントに商品の情報を提示するため、 N 個のシグナルを用いる。本モデルでは、単純化のため、 N 個のシグナルのそれぞれを使用するかどうかだけを検討する。各シグナルは1と0の値をもち、1のときにそのシグナルを使用する、0のときには使用しない、を意味する。シグナルが使われると、買い手エージェントはそのシグナルをもとに商品进行评估し、商品の評価額を提示する。したがって、シグナルの質は買い手エージェントにより評価されない。すべての買い手エージェントから提示された評価額を収集し、オークションのメカニズムにより、最終的な販売額を決定する。また、提示された評価額を用いて商品を購入できる買い手エージェントも決定する。販売する商品の品質について、売り手エージェントは、自身のもつ良品率により、個々の商品に対して、確率的に決定する。その後、決定された買い手エージェントに商品を販売する。それぞれの買い手エージェントは、取得した商品の品質に応じて、自身の考慮シグナル集合に基づいてシグナルの信頼性に関する学習を行う。

価格を決定するためのオークション形式については、Vickrey (1961) により提案されたオークション形式を採用する。売り手エージェントは市場に最大で M_{max} 個の同一の商品を提供する。各買い手エージェントは商品を購入するために自分の入札を提出し、最高入札価格の上位から M_{max} 位までの買い手エージェントがこのオークションに勝ち、最高入札価格の二番目の価格を支払価格とする。この第二価格方式による価格決定が売り手にとって最適戦略であることが証明されている。

3.2.2 売り手エージェント

各売り手エージェントは市場に M_{max} 個の同種類の商品を提供する。また、売り手エージェントは、商品を提供する際、0または1の N 個のシグナルを用いる。売り手エージェントが用いるシグナルは、売り手エージェントが生成される時に決定され、変更されない。ま

た, 売り手エージェント $i (i = 1, 2, \dots, I)$ は自身の提供する商品の良品率 $p_i^{\text{good}} \in [0, 1]$ をもつ. 取引の際, 売り手エージェントの良品率にしたがって, 買い手エージェントに提供する商品が良品か不良品かを確率的に決定する.

売り手エージェント i が市場から得る売り手獲得利得 $Profit_i$ を次の式のように定義する.

$$Profit_i = Sales_i - (M \times Cost_i^{\text{product}} + Cost_i^{\text{signal}}) \quad (3.1)$$

ここで, $Sales_i$ は売り手エージェント i の売り上げである. 買い手の数が M_{\max} 人に満たない場合, 売り手が販売できる商品数は $M (\leq M_{\max})$ となる. $Cost_i^{\text{product}}$ は売り手エージェントが 1 個の商品を提供するのに必要な費用であり, $Cost_i^{\text{signal}}$ は売り手エージェントが市場に商品を提供する際に用いるシグナルにかかる費用である.

オークション形式に従って決定した販売価格と販売量を用いて, 売り手エージェントの獲得する売り上げ $Sales_i$ を次の式のように定義する.

$$Sales_i = M \times price_i \quad (3.2)$$

ここで, M は前述した売り手エージェントが販売できる商品数, $price_i$ は販売価格である.

式(1)に示したように売り手エージェント i は商品を提供するために, 商品の提供コストと用いるシグナルの提示コストを必要とする. これらのコスト, $Cost_i^{\text{product}}$ と $Cost_i^{\text{signal}}$ は次の式のように定義される.

$$Cost_i^{\text{product}} = a \times p_i^{\text{good}} \quad (3.3)$$

$$Cost_i^{\text{signal}} = \sum_{n=1}^N (c_n \times signal_{i,n}) \quad (3.4)$$

ここで, 商品の提供コストは売り手エージェント i のもつ良品率にしたがって式 (3.3) で計算されるものとする. 一般に製造工程としては, 優れた商品ほど原料を効率的に使えるため, 商品単価 a が低くなるが, ここでは, 売り手エージェントは仲介業者であることを仮定しており, 良品率が高いとき, 売り手エージェントは, 高品質の商品を仕入れる必要があるため, 商品の仕入れ高価が高くなるとする. 一方, 良品率が低いとき, 商品の提供コストはあまりかからないものとする. また, 式 (3.4) の c_n はシグナル n を使用するコストである. $signal_{i,n}$ は売り手エージェント i のもつシグナル n のバイナリパラメータである. すなわち, $signal_{i,n}$ が 1 のとき, そのシグナルが使用されることを示し, 0 のとき, シグナルが使用されないことを示す. したがって, $Cost_i^{\text{signal}}$ は, 売り手エージェント i の使用するシグナルの提示コストの合計を表している.

期間 t の間での取引により、各売り手エージェントが獲得した式 (3.1) の利得を積算した値に基づき、下位 $k\%$ の売り手エージェントを市場から削除する。一方、削除した数と同数の売り手エージェントを新たに生成する。新たに生成された売り手エージェントは新たなパラメータ $signal_{i,n}$ と良品率 p_i^{good} をもつ。また、売り手エージェントの削除後、次の入れ替えの際に同じ条件で削除するエージェントを選択できるようにするため、すべての売り手エージェントの利得を 0 にする。このようなエージェントの入れ替えにより、市場で適切なパラメータをもつ売り手エージェントを保持することが可能となる。

3.2.3 買い手エージェント

買い手エージェントはシグナルを用いた価額を提示し、3.2.1 で記述したオークションに従って、購入する買い手エージェントを決定した後、最終の商品の支払価格が決定する。その後、買い手エージェントは商品から効用を得る。取引後、商品の品質に基づいて、自身で参照したシグナルの逐次学習を行い、各シグナルの評価を更新する。

各買い手エージェントは、0 または 1 の N 個のシグナルを持つ。 $signal_{j,n}$ を買い手エージェント $j(j = 1, 2, \dots, J)$ のシグナル n の値とする。本研究では、買い手エージェントが考慮するシグナル数 N と売り手エージェントが用いるシグナル数 N を同じにしている。シグナルが 1 の場合、買い手エージェントは売り手エージェントのそのシグナルを考慮し、シグナルに基づいた評価額を提示して、購入の意思を示す。一方、全てのシグナルが 0 の場合、買い手エージェントはシグナルを考慮しないので、取引を行わない。これにより、買い手エージェントは、売り手エージェントが用いていて、かつ買い手エージェントが考慮するシグナルに基づいて、取引を行うこととなる。

また、各買い手エージェントは売り手エージェントから提示されたシグナルを評価するためのパラメータをもつ。買い手エージェント j のシグナル評価用パラメータを $eval_{j,n}$ とする。このシグナル評価用パラメータも、売り手エージェントおよび買い手エージェントのもつシグナル数 N と同数となる。

ここで、買い手エージェントからの価格提示の仕方について、図 3.3 に示す例を用いて説明する。買い手エージェントは考慮シグナルとシグナル評価用パラメータをもち、売り手エージェントが提示するシグナルに基づいて、商品の評価額を提示する。例として、図 3.3 に示したように、1 番目の売り手エージェントが 1, 0, 1 という 3 つの提示シグナルを用いる場合、1 番目と 3 番目のシグナル（図 3.3 中に赤枠と青枠を示したシグナル）を用いることになる。それに対して、1 番目の買い手エージェントは 1, 1, 0 という考慮シグナルを用いている。したがって、買い手エージェントが用いるのは 1 番目と 2 番目のシグナルである。1 番目の売り手エージェントが示すシグナルのうち、買い手エージェントにとって実際に有効なシグナルは 1 番目のシグナル（図 3.3 中に赤枠を示したシグナル）しかない。そのため、

1 番目の買い手エージェントは 1 番目のシグナルとそのシグナルに関するシグナル評価用パラメータを用いて、商品に評価額を提示する．また、図 3.3 の例の中では、買い手エージェントの考慮シグナルに対する評価額を 100 とする．したがって、1 番目の買い手エージェントは 1 番目の売り手エージェントを提供した商品に提示する評価額は $100 \times \text{シグナル評価用パラメータの値 } 0.4 = 40$ となる．また、2 番目の買い手エージェントは 1 番目の売り手エージェントに対して、買い手エージェントの考慮シグナル 1 番目と 3 番目（図 3.3 中に赤枠と青枠を示したシグナル）の 2 つが有効なシグナルである場合、2 番目の買い手エージェントは 1 番目の売り手エージェントを提供した商品に提示する評価額は $100 \times (1/\text{有効なシグナル数 } 2) \times \text{シグナル評価用パラメータの値 } (0.8 + 0.7) = 75$ となる．他の買い手エージェントも同じ方法で 1 番目の売り手エージェントを提供した商品に評価額を提示する．他の売り手エージェントに対しても買い手エージェントから同じ方法で評価額が提示される．

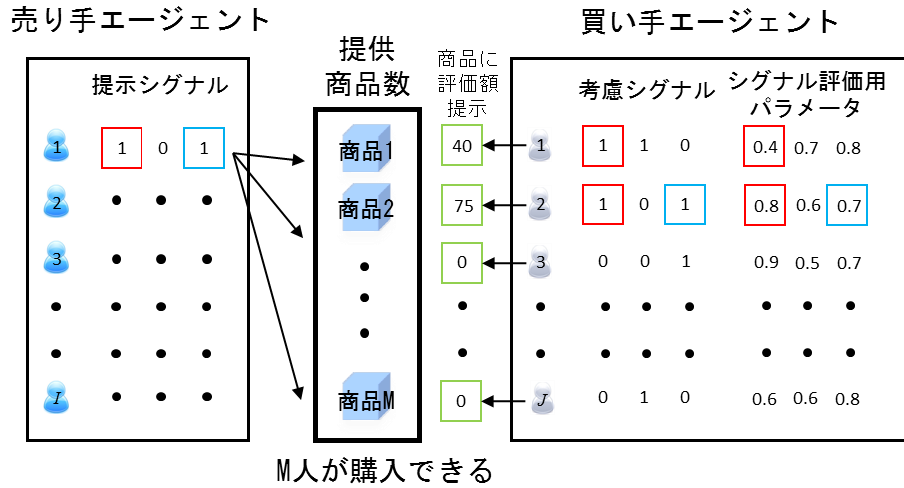


図 3.3 シグナルを用いた価額提示の使用例

市場に出された商品に評価額を提示することを以下では入札と呼ぶ．上述した方法のように、各買い手エージェントは $signal_{j,n}$ とシグナル評価用パラメータ $eval_{j,n}$ を用いて、次式のように、商品に入札する．

$$Bid_j = b \times (1/\sum_{n=1}^N signal_{j,n}) \times (\sum_{n=1}^N signal_{j,n} \times eval_{j,n}) \quad (3.5)$$

ここで、 b は上記の例の考慮シグナルに対する評価額であり、本研究において定数である．

式 (3.5) により, 入札価格は考慮シグナルに対する評価額 b と買い手エージェント j のシグナル評価の平均を掛け合わせた値に決定される.

買い手エージェント j は商品購入後, シグナル評価用パラメータ $eval_{j,n}$ を更新する. 購入した商品が良品の場合, シグナル評価用パラメータ $eval_{j,n}$ が高くなり, 購入した商品が不良品の場合, シグナル評価用パラメータ $eval_{j,n}$ が低くなるような更新が行われる. 具体的には以下のように $eval_{j,n}$ を更新する. まず, $eval_{j,n}$ の初期値を 1 に設定する. 購入した商品が不良品の場合, シグナル $eval_{j,n}$ を考慮して購入した商品の良品数の割合とする. 一方, シグナル n を考慮して購入した商品が良品の場合, $eval_{j,n}$ は 1 を保持することとなる. したがって, $eval_{j,n}$ は買い手エージェント j から見て, シグナル n を考慮して購入した商品の良品率となる. ここで, 異なる売り手エージェントが同じシグナル番号のシグナルを用いて商品の情報を提供し, それらの商品を買手エージェントが購入した場合にも, 同じシグナル評価用パラメータの値が学習されることに注意する.

各売り手エージェントから提供される商品のオークションにおいて, 各買い手エージェントが購入する商品の個数は 1 個である. また, 各売り手エージェントから提供される商品は最大で M_{max} 個であるため, $M(\leq M_{max})$ 人の買い手エージェントが商品を購入できる. しかし, 商品を購入する買い手エージェントの購入価格は, 3.2.1 項で述べたように, オークション形式により決定された価格となる. 買い手エージェント j は, 取引を行うとき, 次式により, 利得 $Profit_j$ を獲得する.

$$Profit_j = utility_i - price_i \quad (3.6)$$

ここで, $utility_i$ は売り手エージェント i から購入した商品により得られる効用である. $price_i$ は売り手エージェント i の提供した商品に対して決定される入札価格である. なお, $utility_i$ の値は商品の品質に依存する. すなわち, 売り手エージェント i が買い手エージェント j に対して販売した商品が良品の場合, $utility_i$ の値を $utility_i^{good}$ とする. それ以外の場合は, $utility_i^{bad}$ とする. なお, 商品が良品率であるかどうかは 3.2.2 項に述べた売り手エージェントの良品率 p_i^{good} により確率的に決定される.

期間 t の間で, 式 (3.6) の各買い手エージェントの利得を加算した値に基づき, 下位の $l\%$ の買い手エージェントを市場から削除する. 一方, 削除した数と同数の買い手エージェントを新たに生成する. 新たに生成された買い手エージェントは新たなパラメータ $signal_{j,n}$ と $eval_{j,n}$ をもつ. 買い手エージェントの削除後, 次の入れ替えの際に同じ条件で削除するエージェントを選択できるようにするため, すべての買い手エージェントの利得を 0 にする. このようなエージェントの入れ替えにより, 市場は適切なパラメータをもつ買い手エージェントを保持することが可能となる.

3.3 パラメータの設定と妥当性の検証

シミュレーションの初期設定は中山 & 高橋 (2012) のパラメータに基づいて設定する. 各パラメータの設定は表 3.1 に示したパラメータセットを用いる. シミュレーションは異なる乱数の種を用いて 100 試行を行い, シミュレーションの期間は 100,000 期間とする.

表 3.1 のパラメータを用いて得られたシミュレーション結果のうち, 典型的な一試行を図 3.4 に示す (全部の試行結果は付録の図 3.4.1 を参照). 縦軸は売り手エージェントの平均良品率を示し, 横軸は期間を示す. 図 3.4 に示すように, 平均良品率が 50% から上がらず, 市場の商品が低品質化していることがわかる. 最終的に 100 試行のすべてにおいて, 平均良品率が 35% より低い市場になった. この結果から, 構築した市場モデルに対して表 3.1 のパラメータを用いることにより, 商品品質の低い市場が再現できた. 3.1.1 項で記述したレモンマッケットの現象が構築したモデルを用いてシミュレーションにより再現できたため, モデルの内的な妥当性を確認することができる.

表 3.1 パラメータの設定

設定項目	設定値
I : 売り手エージェント数	100
J : 買い手エージェント数	100
M : 売り手エージェント商品提供数	40
N : シグナル数	3
シグナル設定確率	0.5
a : 売り手エージェントの商品提供コスト	5
c_n : シグナルコスト	100
p_i^{good} : 良品率	[0,100]
b : 考慮シグナルに対する評価額	100
$eav_{j,n}$: シグナル評価用パラメータ初期値	1.0
$utility_i^{\text{good}}$: 良品効用値	200
$utility_i^{\text{bad}}$: 不良品効用値	0
t : 定期削除周期	25
k : 売り手エージェント削除率	5%
l : 買い手エージェント削除率	1%

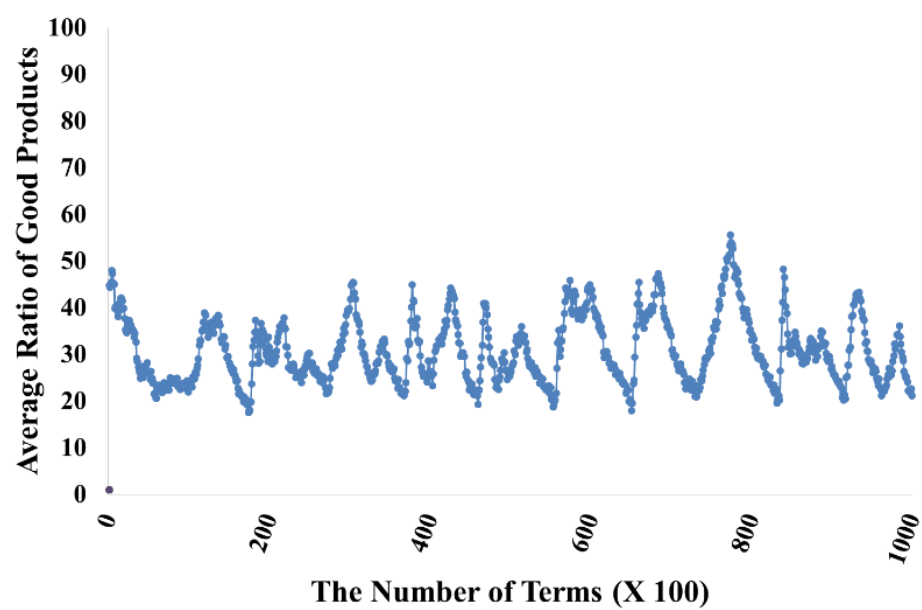


図 3.4 商品品質低下の再現(100 試行の一つ)

第4章

非対称情報の市場モデルにおけるシグナル分析

本章では, 3 章で記述したモデルを用いて, エージェントベースシミュレーションを行う. そして, 売り手エージェントと買い手エージェントが非対称な情報をもつ市場において, 商品品質の低下を回避するために, 売り手が良品率に依存したシグナルを用いた場合, 商品の提供コスト, 商品の提供量, シグナルコストを適切に設定することにより, 最終的に商品品質の低下が回避できることを解析的およびシミュレーション結果により示す. さらに, 良品率に依存するシグナルを用いた場合にも発生する突発的な品質の低下と回復に注目し, 売り手エージェントのシグナル利用の変化を詳細に分析することにより, 良品率が変動するきっかけとなるエージェントのシグナル利用の傾向を示す. シミュレーション結果より, 低コストで高利益を得る低品質の商品を提供する売り手が一時的に現れることで, 市場における商品品質が低下することを明らかにする (Du & Murata, 2012; Murata & Du, 2013; 杜 & 村田, 2014a).

4.1 良品率に依存するシグナルに関する利用とシナリオ設定

4.1.1 良品率に依存するシグナルの利用

市場がレモンマーケットになることを回避するため, 中山 & 高橋 (2012) は商品の良品率に依存したシグナルコストを導入した. 3 章の式 (3.4) に示したシグナルコストを修正し, 次式のように商品の良品率に依存するシグナルコストを提案している.

$$Cost_i^{\text{signal}} = \sum_{n=1}^{N-R} (c_n^{\text{normal}} \times \text{signal}_{i,n}) + \sum_{n=N-R+1}^N (c_n^{\text{proposed}} \times (1 - p_i^{\text{good}}) \times \text{signal}_{i,n}) \quad (4.1)$$

ここで, $N - R$ 個のシグナルは式 (3.4) と同じシグナルコストをもつ. 一方, 後半の R 個のシグナルは良品率に依存するシグナルコストである. 式(7)が示すように, R 個のシグナルについては, 売り手エージェントのもつ良品率が高いほど(すなわち, p_i^{good} が 1 に近づく

ほど), 商品の提示コストがあまりかからなくなる. 一方, 良品率が低いほど, R 個のシグナル提示コストは高くなる. このようなシグナルの例として, 商品サイトの口コミがあげられる. 売り手の商品品質が良いほど, 商品を購入した買い手の満足度が高くなり, 売り手に対して消費者の間に良い口コミが広がるため, 売り手は商品に関する広告費や宣伝費などを低くできる. 一方, 売り手の商品品質が悪くなるほど, 商品に関する広告費や宣伝費などが高くなる.

4.1.2 良品率に依存するシグナルコストの状況シナリオ設定

中山 & 高橋 (2012) により, 3つのシグナルのうちの1つのシグナルを良品率に依存するシグナルに変更している. 通常のシグナルのコストは, 3章の表 3.1 の値をそのまま利用し, 良品率に依存するシグナルのコストについては, $c_n^{\text{proposed}} = 120$ の値を用いていた. 本研究において, この値を用いて試行を行ったが, 不良品が流通する問題を解消できなかった.

本研究では, 良品率に依存するシグナルコストに関する検討は2つの部分を分けている. それぞれの良品率に依存するシグナルコストについて以下のように設定を行う.

4.2 項では, 良品率に依存するシグナルのコストは以下の9通りの値を用いた: 150, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900. これらの値を用いて, シミュレーションを行うことにより, 良品率に依存するシグナルコストの決定方法についての検討を行う.

4.3 項では, 4.2 項で検討した良品率に依存するシグナルコストに基づき良品率に依存するシグナルコストの値についてさらなる検討を行う. そのため, 以下の6通りの値を用いた: 190, 195, 200, 205, 210, 240. これらの値を用いて, 4.2 で行ったシミュレーションと同じシミュレーションを行う. また, 良品率に依存するシグナルコストの間隔を小さく設定することにより, 突発的な市場品質の低下する状況に対して, ミクロの分析を行い, その原因を明らかにする.

4.2 良品率に依存するシグナルコストの決定方法

4.1.2 項で記述した良品率に依存するシグナルコストの値を用いて, 100 試行のシミュレーション実験を行い, それぞれの結果を表 4.1 に示す (全ての試行結果は付録を参照). ここで, 良品率に依存するシグナルコストの値が 300 の時に得られた結果のうち, 以下の4つの典型的な試行を図 4.1 に示す. 縦軸は売り手エージェントの平均良品率を示し, 横軸は期間を示す.

表 4.1 良品率に依存するシグナルコストと平均良品率の関係

良品率に依存する シグナルコスト	平均良品率	標準偏差
150	6.17	2.52
200	51.72	6.59
300	95.12	6.76
400	95.65	4.76
500	96.08	0.71
600	95.61	5.43
700	93.47	12.19
800	93.38	14.28
900	90.12	21.37

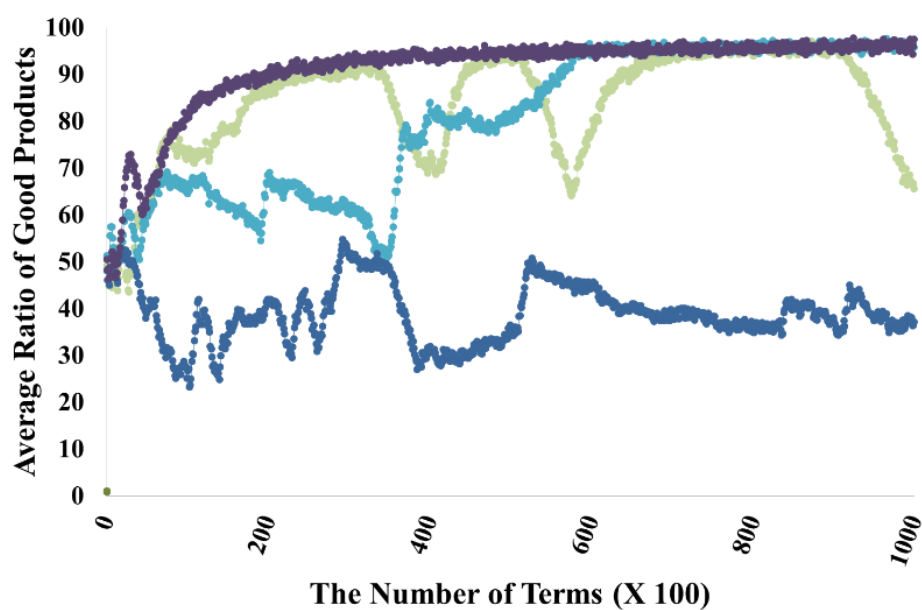


図 4.1 良品率に依存したコスト利用時のレモンマーケットの回避(=300)

- 1) 商品品質の低下の問題が解消されるケース
- 2) 商品品質の低下の問題が徐々に解消されるケース
- 3) 商品品質の低下の問題が解消されるものの、時々商品品質が下落するケース
- 4) 商品品質の低下の問題が解消されていないケースである。

最終的には、多数のケースが 1) と同様に平均良品率が高くなり、表 4.1 に示すように 100 試行の終了時の平均良品率は高くなった。このことから、良品率に依存するシグナルコストを 300 以上にした時に、商品品質低下の問題が解消されていることがわかる。

シミュレーション結果から、シグナルコストが 300 を超える時に平均良品率が向上している。この現象を説明するため、 c_n^{proposed} の値を解析する。まず、式 (3.1), (3.3), (4.1) を組み合わせることにより、次式を得ることができる。

$$\begin{aligned} Profit_i &= Sales_i - (M \times a \times p_i^{\text{good}} + \sum_{n=1}^{N-R} (c_n^{\text{normal}} \times signal_{i,n})) \\ &\quad + \sum_{n=N-R+1}^N (c_n^{\text{proposed}} \times (1 - p_i^{\text{good}}) \times signal_{i,n}) \\ &= Sales_i - ((M \times a - \sum_{n=N-R+1}^N (c_n^{\text{proposed}} \times signal_{i,n})) \times p_i^{\text{good}} \\ &\quad + \sum_{n=1}^{N-R} (c_n^{\text{normal}} \times signal_{i,n}) + \sum_{n=N-R+1}^N (c_n^{\text{proposed}} \times signal_{i,n})) \end{aligned} \quad (4.2)$$

ここで、式 (4.2) により、次式 (4.3) の条件が満たされる時、売り手エージェントの利得を向上できることがわかる。

$$M \times a - \sum_{n=N-R+1}^N (c_n^{\text{proposed}} \times signal_{i,n}) < 0 \quad (4.3)$$

式 (4.2) の第 2 項から、式 (4.3) の不等式の左辺がマイナスとなる時、売り手エージェントの良品率が上がると共に、売り手エージェントの売り上げが増加できることがわかる。売り手エージェントの良品率は各エージェント固有の値であるため、エージェントの入れ替えの際に、高い良品率をもつ売り手エージェントが生き残ることにより、市場に提供される商品の品質が上がることになる。このようにして式 (4.3) の条件が満たされる時、商品品質低下の問題が改善できることとなる。また、式 (4.3) から次の不等式を得る。

$$\sum_{n=N-R+1}^N (c_n^{\text{proposed}} \times signal_{i,n}) > M \times a \quad (4.4)$$

ここまでのシミュレーションでは、良品率に依存するシグナルは 1 つだけ使用している。したがって、 $signal_{i,n} = 1$ である。また、 M は商品の販売量、定数 a は各売り手エージェントが商品を提供する時に必要なコストである。売り手エージェントがすべての商品を売り上げていると仮定すると、3 章の表 3.1 に示したパラメータ値を代入すると、 c_n^{proposed} は、次の条件を満たす時に、売り手エージェントの良品率を改善する事がわかる： $c_n^{\text{proposed}} > M_{\max} \times a = 200$ 。このことから、シグナルコストを変化させた表 4.1 の実験結果において、 $c_n^{\text{proposed}} = 300 > 200$ の時に、市場の良品率が改善される理由が理解できる。

上述したように、 c_n^{proposed} の大きさは M の値が小さい場合に小さくすることが可能である。中山 & 高橋 (2012) では、 $c_n^{\text{proposed}} = 120$ の時にレモンマーケットが解消される理由を明記していないが、以下のような理由を想定できる。評価額が 0 より大きい買い手エ

エージェントの数が、提示された商品数 M を下回る時、提供される商品数の数が減ることにより、売り手エージェントの提供コストの和が小さくなるとすると、式 (4.4) の右辺が小さくなるため、 c_n^{proposed} の値を小さくすることが可能となる。また、オークション形式により決定された価格に同意しない買い手エージェントを許すことによって、提供される商品数が減る場合にも、提供コストが少なくなる場合にも、 c_n^{proposed} の値を小さくすることが可能となる。先行研究で $c_n^{\text{proposed}} = 120$ の時、レモンマーケット問題が改善できる理由は、上記のような設定があるものと想定される。

式 (4.2) 第 4 項により、表 4.1 に示された、 c_n^{proposed} の値が増加するほど売り手エージェントの良品率が減少する原因を推察することができる。すなわち、良品率に依存するシグナルのコストが大きくなるにつれて、式 (4.2) の最後の項の値が大きくなり、売り手エージェントの利得が下がることになり、良品率に依存するシグナルを使用する売り手エージェントが少なくなるためである。この時、良品率に依存するシグナルを使用しない売り手エージェントの利益は次式のように計算される。

$$Profit_i = Sales_i - (M \times a \times p_i^{\text{good}} + \sum_{n=1}^{N-R} (c_n^{\text{normal}} \times signal_{i,n})) \quad (4.5)$$

この式より、売り手エージェントは良品率を低めた方が、コストを減少させることにより、利益を増加させることができるため、売り手エージェントの平均良品率も下がることになる。このことから、良品率に依存したシグナルのコスト c_n^{proposed} の値が過大になる時、売り手エージェントがそのシグナルを用いないことにより、再びレモンマーケットになっていくことがわかった。

4.3 良品率に依存するシグナルコストの分析

4.1.2 項で記述した良品率に依存するシグナルコストの値を用いて、100 試行のシミュレーション実験を行った結果を表 4.2 に示す（全ての試行結果は付録に参照）。表 4.2 に示すように、シグナルコストの値が 205 の時、高い良品率の市場が達成できた。また、この時、良品率の偏差値が小さくなることがわかった。良品率の偏差値は、図 4.1 に示したように良品率が高くなるケースと低くなるケースの 2 極化が発生するために生じる。したがって、シグナルコストの値が理論値に近い時に、2 極化するケースが少なくなるために、偏差値が小さくなることがわかる。一方、シグナルコストの値が大きくなるにつれて、前述したように、良品率に依存するシグナルを使用しない売り手エージェントが増加することにより、良品率を低下することがそのようなエージェントにとっての利益最大化戦略になるため、平均良品率が低下すると共に、偏差値が増大していくことがわかる。

表 4.2 シグナルコストと平均良品率の関係

良品率に依存する シグナルコスト	平均良品率	標準偏差
190	49.18	6.48
195	49.28	5.22
200	51.72	6.59
205	96.07	0.85
210	96.12	0.72
240	95.68	3.20

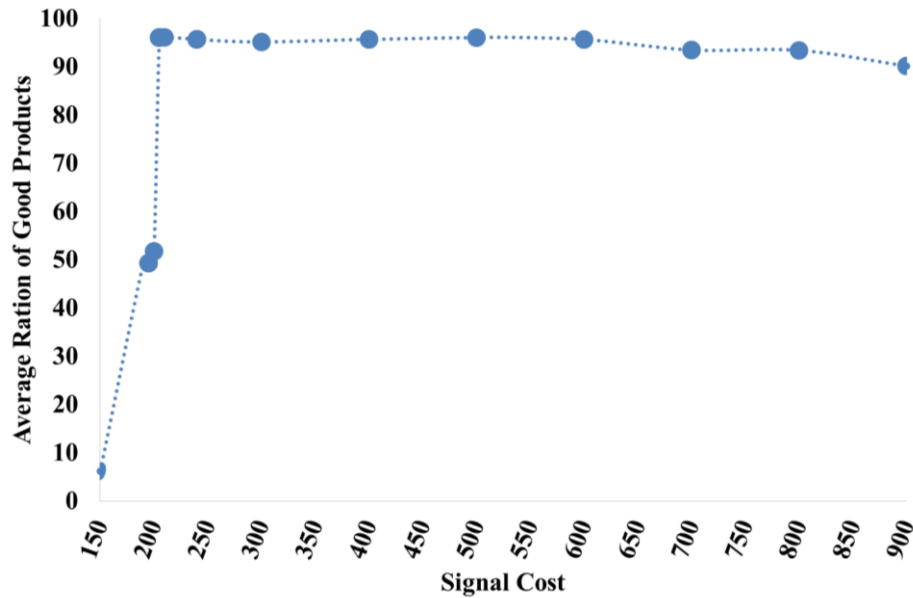


図 4.2 良品率に依存するシグナルコストと平均良品率の関係

ここで、良品率に依存するシグナルのコストの値と市場の平均良品率の関係を図 4.2 に示す。図 4.2 には、150 から 900 までの結果を示す。図のように、良品率に依存するシグナルのコストが $M_{max} \times a = 200$ を越えるときに、最も平均良品率が高くなることがわかる。一方、良品率に依存するシグナルのコストが大きくなるにつれて、平均良品率が下がる傾向が観察された。これは前述したように、良品率に依存するシグナルのコストが大きくなるにつれて、売り手エージェントの利得が下がることになり、良品率に依存するシグナルを利用する売り手エージェントが少なくなり、低い良品率の売り手エージェントが増加するためである。したがって、市場の良品率を最大化するためには、 $c_n^{\text{proposed}} > M_{max} \times a$ を満たす

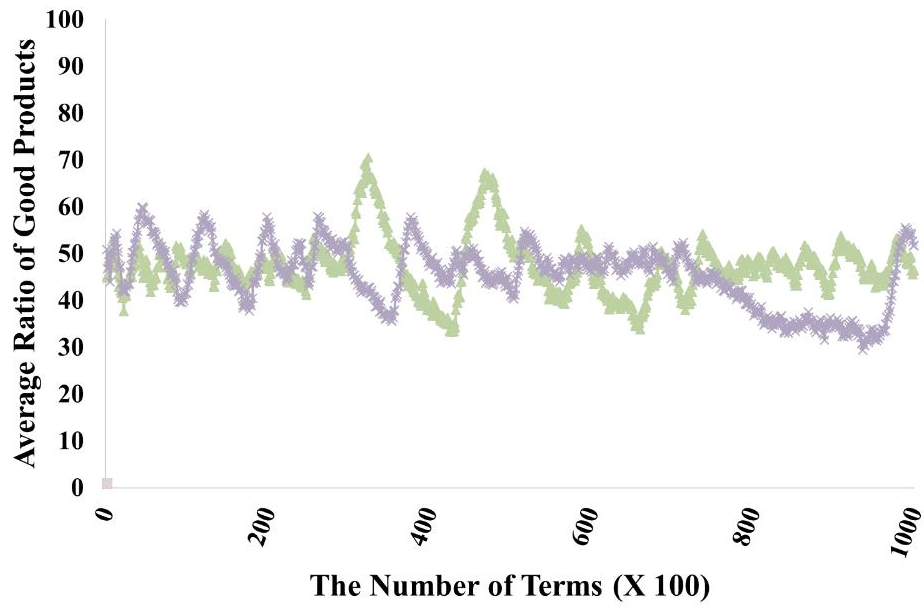


図 4.3 良品率に依存したコスト利用時のレモンマーケットの発生(=200)

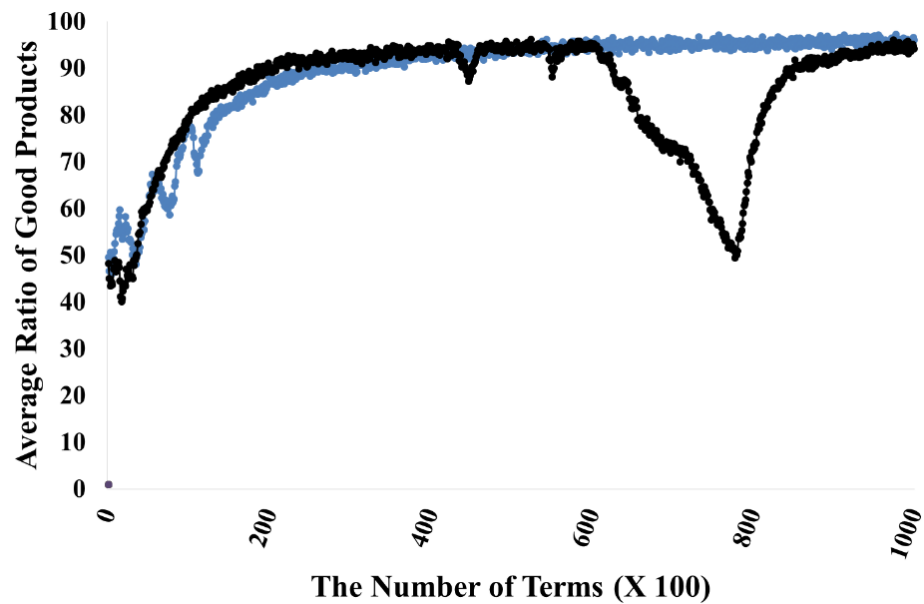


図 4.4 良品率に依存したコスト利用時のレモンマーケットの回避(=205)

最小のシグナルコストを求める必要があることがわかる。

良品率に依存するシグナルコストの値が 200 と 205 の時の典型的な結果を図 4.3 と図 4.4 に示す。図 4.1 と同様に、図の縦軸は市場の平均良品率（売り手エージェントの良品率の平均値）を、横軸は時間経過を表す。各折れ線は試行の結果のそれぞれの良品率の推移を示し

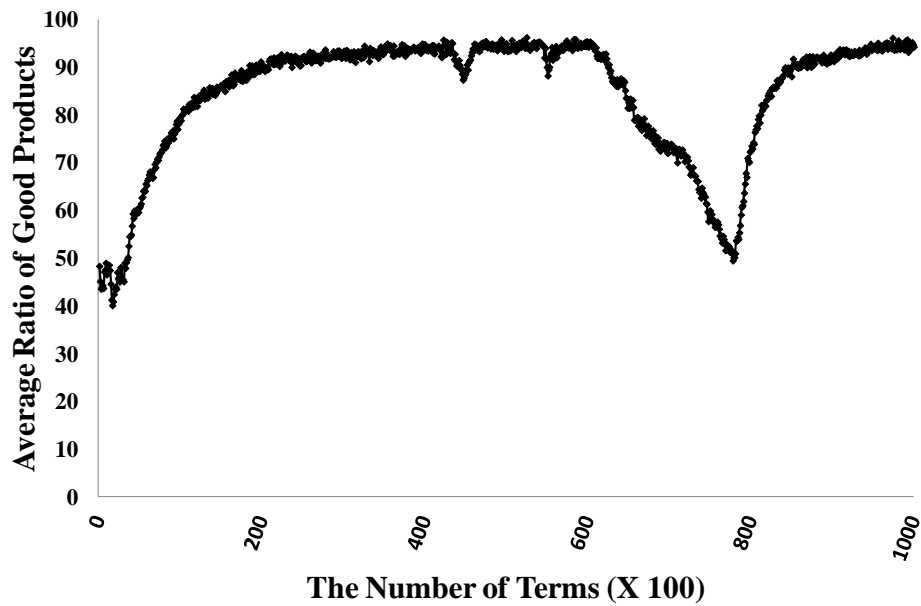


図 4.5 平均良品率が大きく下落する試行

ている．図 4.3 から，市場の商品平均良品率が 50 の周辺で上下に変動している．すべての試行においてこのような振舞いが観察され，市場に提供される商品の品質が安定していないことがわかる．一方，良品率に依存するシグナルコストが 205 の時は，すべての試行において商品品質低下の問題がほぼ解消されていることがわかる．しかし，図 4.4 より，平均良品率が高くなった後，高品質な商品の市場を維持したままの試行と，平均良品率が突発的に下がるものの，最後に再び高くなる試行を観察することができた．しかしながら，表 4.2 に示したように， $M \times a = 200$ の値を越えた時に最も平均良品率が高くなり，商品品質低下の問題が解消されていることがわかる．

図 4.4 より，良品率に依存するシグナルコスト 205 の時，多数の試行において平均良品率が高くなり，レモンマーケットが解消されているものの，シグナルコストの値が式 (4.4) の条件を満たしているにも関わらず，市場の平均良品率が大きく下落するケースが存在することがわかる．ここでは，それらのケースについて，良品率が下落する理由を分析する．また，良品率が低下していないケースについて，良品率が下落しない理由を考察する．

図 4.4 に示した試行の中で良品率が変動したケースを抽出した結果を図 4.5 に示す．売り手エージェントの良品率は，エージェント生成時に $[0,100]$ の乱数で与えられているため，市場全体の平均良品率の初期値が 50% 前後の値になっていることがわかる．取引が進むに連れて，良品率に依存するシグナルコストの導入により，良品率の高い売り手エージェントの売上利得が高くなるため，市場全体の平均良品率も高くなっていることがわかる．しかし，このケースでは，途中から市場の平均良品率が大幅に下がり，その後，再び平均良品率が回復していることがわかった．市場の平均良品率とシグナルの利用状況との関係を調べるた

め、全期間におけるシグナルの利用状況の分析と下落を発生する時の売り手エージェントに対するマイクロ分析を行う。

4.3.1 シグナルの利用状況の分析

シグナルを利用して成立した商品数の平均値を図 4.6 に示す。3 章の表 3.1 に示したように、各売り手エージェントは 3 つのシグナルのいずれかを利用して 40 個の商品を提供する。ここで、売買が成立した際に商品に付随していたシグナルをカウントし、シグナル利用商品数とした。例えば、すべての売り手が、シグナル 1 を用いて、自分の商品すべてを販売することができた場合、シグナル 1 の平均利用商品数は 40 となる。これにより、商品の売買にあたって、どのシグナルが考慮されているかを知ることができる。図の左側の縦軸は、図 3.4 と同様に市場の平均良品率を表し、右側の縦軸はシグナルを使って提供することのできたシグナル利用商品数の平均を表す。3 つのシグナルをそれぞれシグナル 1、シグナル 2、シグナル 3 とする。ここで、シグナル 3 だけが良品率に依存するシグナルであり、シグナル 1 とシグナル 2 は、シグナル利用時に、単純なコストが必要となるシグナルである。

図 4.6 より、当初は、良品率に依存するシグナルを使用することにより、シグナル利用コストを低めることのできた良品率の高い売り手が高い利得を得られる。その結果、市場の平均良品率が高くなる。市場の良品率の低下が発生する 60,000 期付近で、同時に良品率に依存するシグナルであるシグナル 3 を用いた商品の販売が落ちていることがわかる。ここで、

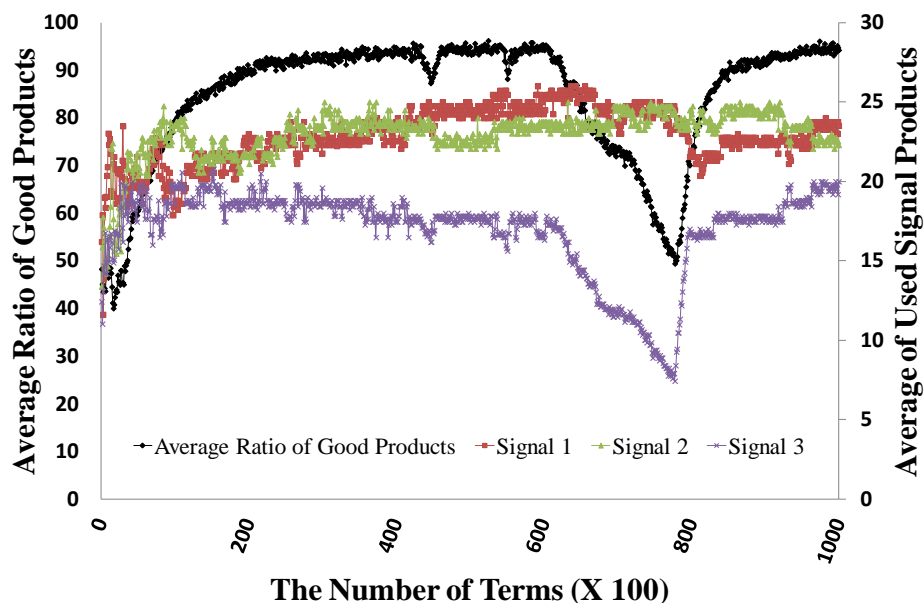


図 4.6 シグナル利用商品数の推移

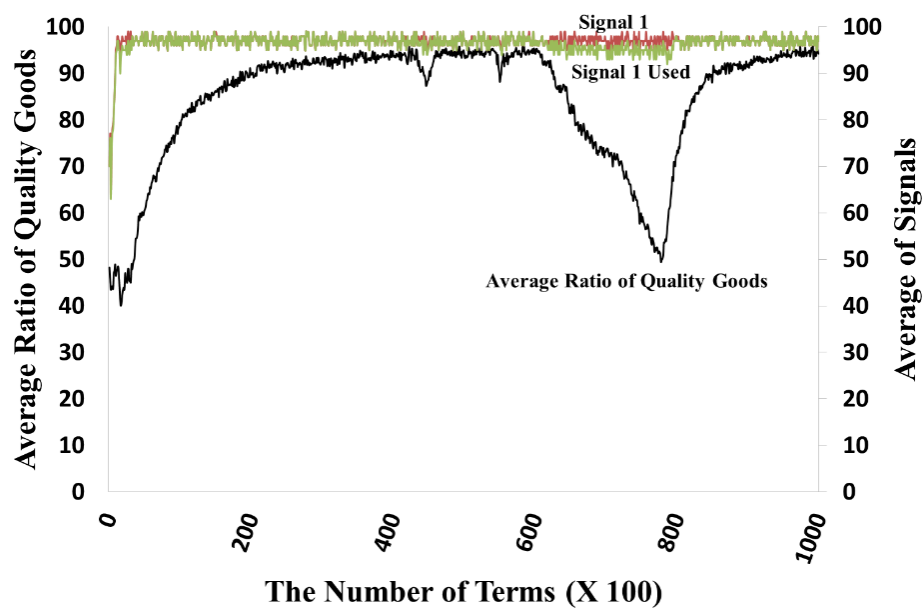


図 4.7 売り手の保持シグナルと利用シグナル変化 (Signal 1)

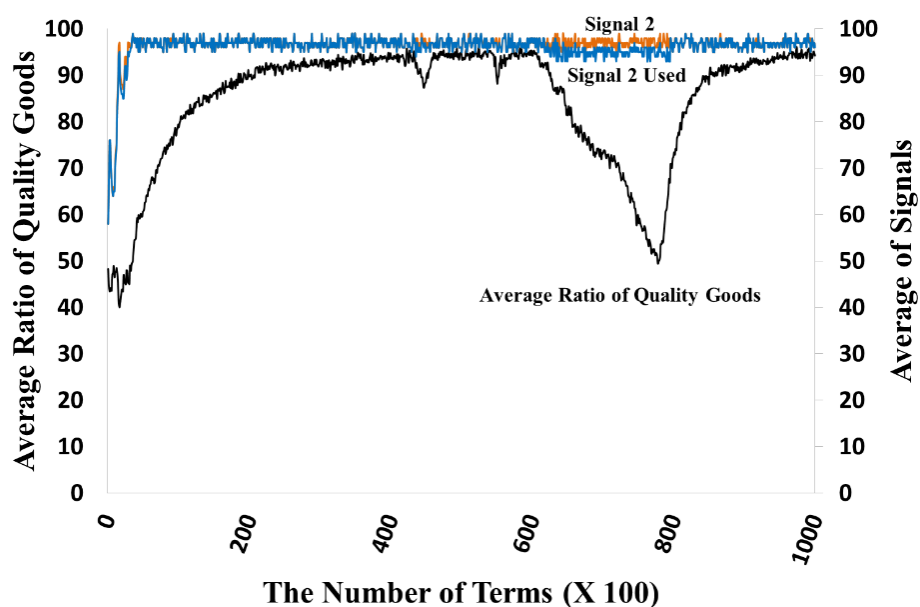


図 4.8 売り手の保持シグナルと利用シグナル変化 (Signal 2)

売り手が保持するシグナルを、シグナル 1 からシグナル 3 について、それぞれ図 4.7 から図 4.9 に示す。図 4.7 から図 4.9 の左側の縦軸は、図 4.1 と同様に市場の平均良品率を表し、右側の縦軸はシグナル保有率 (signal) およびシグナル使用率 (signal used) を表している。

図 4.7 から図 4.9 に示すように、ほぼすべての売り手が普通のシグナル 1、シグナル 2 をもち、また使用していることがわかる。しかしながら、60,000 期あたりになるとシグナル 3

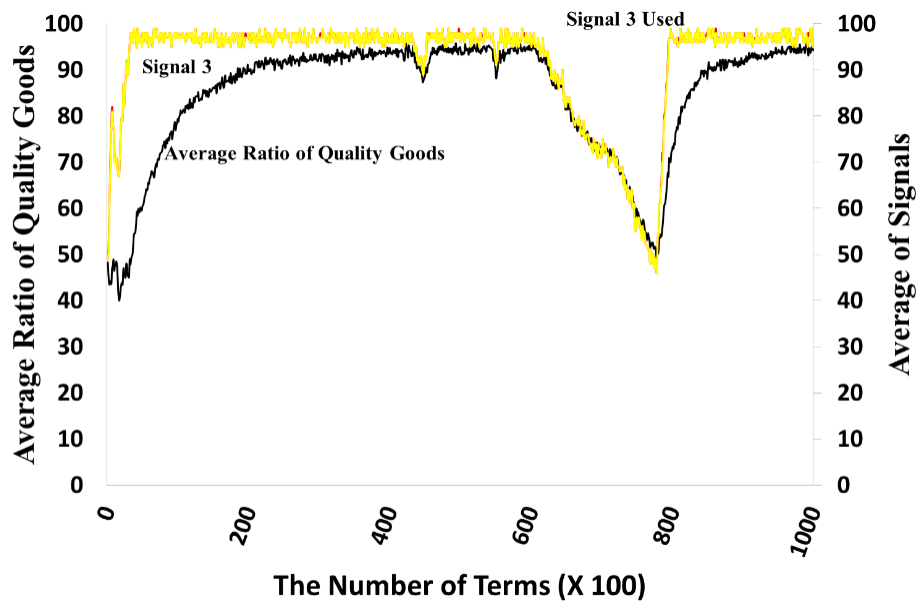


図 4.9 売り手の保持シグナルと利用シグナル変化 (Signal 3)

をもつ売り手が減るため、良品率に依存するシグナルが取引において使用されず、普通のシグナルのみが使用されるようになり、市場全体の良品率が下がることになる。売り手エージェントが商品を販売する際に選択するシグナルとして、良品率に依存するシグナルが、市場の売り手の良品率の振る舞いに強く関係していることがわかった。以下にこの 60,000 期付近での売り手エージェントに関するマイクロ分析を行う。

4.4 下落を発生する時の売り手エージェントに対するマイクロ分析

市場の良品率が下がっている 61,100 期の売り手エージェントの利得ランキング結果を表 4.3 に示す。ここで、良品率は%，販売商品数は 25 期ごとの販売数（40 個×25 期で最大 1000 個）、利得は 25 期で得た利得の合計を表している。第 1 位と第 2 位の売り手の良品率は 2% と 9% と低く、良品率の高い売り手より、高い利得を得たことがわかる。これは、式 (1)からわかるように、良品率の高い売り手ほど、商品提供コスト ($M \times a \times p_i^{\text{good}}$) がかかるため、良品率の低い売り手が総合的に高い利得を得てしまうことによる。品質の下落が起きるまでの間、ほとんどのエージェントがすべてのシグナルをもっているため、買い手にとってすべてのシグナルが高い評価をもつことになり、良品率に依存するシグナルを使わなくても高値で商品を販売できる低品質の売り手の参入を許してしまうことがわかる。

また、商品単価を決定する買い手のシグナル評価平均値の変化を調べたところ、図 4.10 に

示すように評価平均値がほとんど変化しないことがわかった。良品率が下落することにより、通常のシグナルの評価値が下がることが予想されるが、それまでに購入した商品数が多いため、評価値が下がるのに時間がかかることがわかった。

良品率が突発的に下落するケースと下落しないケースの違いを検討するため、良品率に依存するシグナルコストが 205 の時のすべての試行における売り手エージェントとシグナルの関係を調べた。100 試行中、80 試行で良品率が下落せず、ほとんどの売り手エージェントが 3 つのシグナルをもっていることがわかった。それに対して、良品率が下落する残りの 20 試行では、売り手エージェントとシグナルの関係について、次の 3 通りがあることが観察された、その結果を表 4.4 に示す。表の中で、

- a) は良品率に依存するシグナルをもたない売り手エージェントの人数、
- b) は良品率に依存するシグナルをもっているものの、通常のシグナルのどちらかを用いないという売り手エージェントの人数である。

a) の人数が多数派になる場合、前述した低品質商品を提供する売り手が多く存在するため、その良品率の最悪値の平均は、35.5%であった（試行番号 1 から 8 の平均良品率の平均値）。b) の人数が多数派になる場合、良品率の最悪値の平均は 50.9%であった（試行番号 9 から 18 の平均良品率の平均値）。通常のシグナルを用いないことでコスト削減を図るものの、良品率に依存するシグナルの効果で下落時の最悪値が軽減されていることがわかる。これらの結果から、シグナルを使用しないことによるコスト削減に成功するエージェントが発生する時に、良品率の下落が生じることがわかる。また、a) と b) の人数が共に少ない場合（試行番号 19 と 20）、良品率の最悪値の平均は 60.6%であった。ほとんどの売り手エージェントがすべてのシグナルを持っているが、市場の品質が安定する前に、良品率が少し低い売り手が生き残るため、市場の良品率が下落することがわかった。

4.5 本章のまとめ

本章では、エージェントベースシミュレーションを用いて、売り手と買い手の間に情報の非対称性が存在する市場におけるシグナルについて検討を行った。まず、先行研究と同様のモデルを構築することにより、商品品質が低下する市場のモデル化に成功した。また、先行研究において提案された良品率に依存したシグナルを導入する際、低品質の商品流通を回避するために、商品の提供コスト、商品の提供量、シグナルコストの 3 つのパラメータのバランスが重要であることを解析的およびシミュレーションにより示した。

表 4.3 売り手エージェント利益ランキング

順位	良品率	販売した商品数	利得
1	2	950	3197.13
2	9	950	3183.13
3	100	1000	3180.14
4	100	1000	3180.14
5	100	1000	3180.14
...
97	90	1000	3179.64
98	31	1000	3176.69
99	8	800	2559.51
100	37	650	2153.09

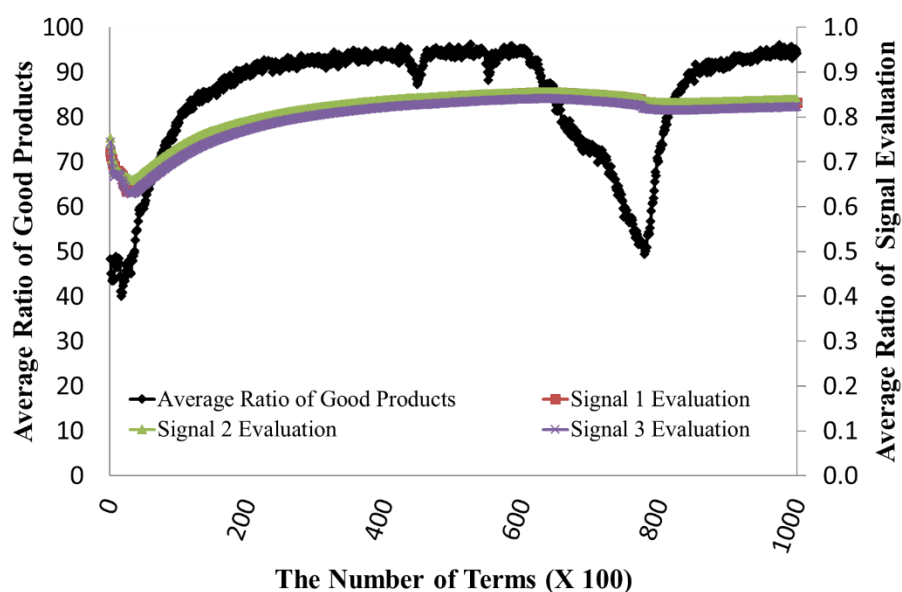


図 4.10 買い手のシグナル評価平均値

シグナルコストの検討により，良品率に依存するシグナルコストの値が $M \times a$ の値に近づくほど商品の良品率が高くなることがわかった．また，市場の品質と売り手エージェントの良品率に依存するシグナルの関係を示した．ここで，市場の品質が変動したシミュレーション結果に着目し，売り手エージェントのシグナル利用の変化を詳細に分析した．分析の結

果、良品率の低い売り手エージェントが高い利得を得ることにより、それらのエージェントが市場に増加する。そして、良品率に依存するシグナルの利用が低下することにより、売り手エージェント群の利益構造に変化が生じ、突発的な市場品質の低下が起きることがわかった。また、売り手エージェントがすべてのシグナルを使用する時には、良品率の下落が生じないことがわかった。

本研究のシミュレーションで、買い手エージェントの市場参加率からみると、まだ不十分であることがわかった。すなわち、取引に参加した買い手エージェントが 40%しかおらず、残りの買い手エージェントが取引に参加せず、市場から退出することである。Fasten & Hofmann (2010) は、市場を安定化させるために、売り手と買い手が十分参加する必要があることを示しているため、今後の研究では買い手エージェントの市場参加について検討が必要である。また、本研究では、高品質の商品が流通している市場で、売り手の利益構造が変化することにより、良品率が突発的に低下することを明らかにしたが、今後このような良品率の突発的な低下を早期に抑制する方法について検討が求められる。さらに、本研究において現段階では、仮想的な市場をシミュレーションにより検討を行ったが、今後、実際の経済市場におけるシグナルの意味や使用方法について検討が求められる。

表 4.4 売り手エージェント人数とシグナルの関係

試行番号	a)の人数	b)の人数	平均良品率
1	74	2	27.20
2	77	3	24.92
3	76	3	25.71
4	75	9	24.37
5	73	0	31.88
6	62	5	38.36
7	51	1	49.43
8	36	1	62.46
9	1	96	47.30
10	0	96	51.33
11	0	97	54.26
12	1	95	49.02
13	0	32	64.95
14	0	95	52.44
15	0	88	54.34
16	0	97	46.43
17	0	90	51.47
18	14	55	37.07
19	1	4	70.96
20	0	2	50.29

第5章

ABSS を用いた年金モデル

5.1 本研究における目的

1.3.2 項で記述したように、日本社会保障制度の多くは、平均的な世帯をモデルケースとして想定し、制度の説明を行うことが多い。そのため、公的年金制度に対して、計量経済学や計量社会学で用いられるモデル世帯や一般均衡モデル、マクロモデルなどの手法による検討が多い（木村 & 橋本, 2008; 佐藤, 2010; 中田 & 森川, 2010）。しかし、これらの検討では、いくつかの世帯モデルケースを想定し、想定した世帯モデルケースに対する影響の分析が行われるが、モデルケース以外の世帯にどのような影響が及んでいるのかを定量的に示すことができていない。また、産業構造の大転換、少子高齢化、婚姻態度の変化など、経済社会や人口構造のめまぐるしい変化により、市民の置かれる状況はますます多様化している（厚生労働省, 2008）。山田（2009）も政府が想定している世帯モデルケースが、もはや日本社会における世帯を代表していないことを指摘している。これらの現状から、平均的な世帯モデルケースを想定するだけではなく、多様な世帯への影響が観察できるような年金制度の検証が必要である。

ABSS により、多様な世帯の復元が可能である。また、ABSS を行うことにより、社会保障制度や税制政策などの分野において、個人に与える影響の検討が可能になる。例えば、ライフサイクルモデルに基づいたシミュレーションにより、新たな税金政策が市民の収入格差を拡大する可能性があることが報告されている（橋本, 2010）。

また、日本の年金制度を対象として、3 つの ABSS モデルが提案されている。1 つ目は、稲垣（2005; 2009; 2010; 2011）の提案した世帯情報解析モデル（INAHSIM）である。INAHSIM では、日本人口の約 1/1000 となる 128,000 エージェントが存在するシミュレーションを実行している。2 つ目は、白石（2008）の提案したダイナミックマイクロシミュレーション技法を年金分析に応用したモデル（PENMOD）である。PENMOD では、日本人口の 1/50000 スケールのエージェントが存在し、シミュレーションを行っている。3 つ目は、Chen & Murata（2010）による CAMMOD である。彼らのシミュレーションでは、日本人口の 1/10000 スケ

ールのエージェントが存在している。また、Murata & Arikawa (2012) は CAMMOD により、I/O メモリマップファイルを用いて、日本人口の 1/1000 スケールのエージェントが存在するシミュレーションを行っている。

しかし、従来の ABSS 研究は 2 つの問題点がある。1 つ目は、人口スケールが大きいであるため、80 歳以上の高齢者の世帯に対して、多様な就業履歴をもつ世帯が少数しか観察できなかった。2 つ目として、現在施行されている公的年金制度は全国一律であり、受給額も納付期間や納付額に応じて定められている。しかし、各都道府県の実況（賃金上昇率、平均賃金、賞与、年齢別人口、年齢別夫婦人口、被保険者人口、受給者人口）により年金の持つ価値は異なる。それに対して、居住地域別の影響を観察する ABSS を行っていない。

以上の問題に対して、本研究では、現在施行されている賦課方式の公的年金制度において、人口推移と就業状態変動を連携させ、年金額の算定方法を定式化し、賃金構造、婚姻行動などを組み込んだモデルを構築し、人口の 1/100 スケールの ABSS を行う。シミュレーションの結果から、世帯構造、世帯類型、就業状況、賃金構造の変化が将来の年金額に与える影響の検討を行い、個人単位での所得代替率を求めることにより、多様な世帯の所得代替率の計算を可能としている。本研究において、検討の対象として、全国単位と都道府県別単位の 2 つを対象とする。

6 章で全国を対象として、全体的な所得代替率と世帯タイプ別の所得代替率などを検討する。

7 章で都道府県別の全体的な所得代替率と世帯タイプ別の所得代替率に関して検討を行うことにより、受給者の居住地域によって異なる年金の価値を明確にすることが可能となる。すなわち、年金受給者が受給する年金の現役世代の平均所得に対する割合を計算することにより、同じ年金額でも地域の違いにより生活に与える影響の相違を確認できる。

なお、6 章と 7 章で示す所得代替率と厚生労働省の示す所得代替率では対象の範囲が異なる。6 章と 7 章では、個人単位で計算した所得代替率をもとに、世帯ごとの所得代替率を求めている。一方、厚生労働省が示す所得代替率は、夫と妻が同じ年齢で、夫が 40 年間厚生年金に加入し、妻が 40 年間専業主婦というモデル世帯に対する所得代替率である（厚生労働省, 2014）。

5.2 日本の年金制度

図 5.1 に日本の年金制度の概要を 4 階建ての構造と加入者のカテゴリーを示す。

日本の年金制度は公的年金と私的年金に大別されている。図 5.1 に示した 1 階部分は 20 歳～59 歳の国民が加入する国民年金である（一般的に基礎年金と呼ぶ、以下は基礎年金と



図 5.1 4 階建ての年金制度

して記述). 2 階部分は会社員が加入する厚生年金, 公務員などが加入する共済年金である. この 1・2 階部分が公的年金である. 公的年金は老齢年金, 通算老齢年金 (大正 15 年 4 月 1 日以前生まれの人を対象とし、複数の年金制度に加入し、それぞれの加入期間が 1 年以上あるが、その制度から老齢年金を受けられない等の場合、各制度の加入期間を通算することにより受給資格要件を付与し、各制度から期間比例の支給を行う老齢年金 (日本年金機構, 2013)), 障害年金と遺族年金に分かれている (本研究では老齢年金のみを取り扱う). 3 階部分は公的年金の上乗せ制度として、民間会社員のための企業が独自に実施する企業年金と公務員のための年金払い退職給付 (総務省, 2013) がある. 4 階部分は個人が任意で加入する個人年金である. この 3, 4 階部分が私的年金である. 本研究では、モデルの簡単化のため、私的年金については検討せず、基礎年金と厚生年金に着目する (共済年金は厚生年金とほぼ同じ性質の制度であるため、本研究では厚生年金の一部としてみなす).

公的年金の加入者は 3 つのカテゴリーに分けられ、図 5.1 に示すように、それぞれを第 1 号被保険者、第 2 号被保険者、第 3 号被保険者と呼ぶ. 第 1 号被保険者は、20 歳～59 歳の自営業者・農業者とその家族、学生、無職の人などで構成される. 彼らの保険料は本人または保険料連帯納付義務者である世帯主・配偶者のいずれかが納める (2009 年の保険料は月額 14,660 円, 2016 年の保険料は月額 16,260 円). 第 2 号被保険者は、民間会社員や公務員など厚生年金、共済の加入者で構成される. 彼らの保険料は毎月の給与 (標準報酬月額) と賞与 (標準賞与額) に共通の保険料率 (2016 年の保険料率は 18.182%, 毎年 0.354% ずつ引き上げられ、2017 年以降は 18.3% とする) をかけて計算され、そして、事業主は毎月の給料及び賞与から被保険者負担分の保険料を差し引いて、事業主負担分の保険料 (被保険者保険料の半分) と併せて納める. 第 3 号被保険者は、厚生年金、共済組合に加入している第 2

号被保険者に扶養されている 20 歳～59 歳の配偶者である。彼らの保険料は、配偶者が加入している厚生年金や共済組合が一括して負担するので、個別に納める必要がない。年金給付について、制度の第 1 段階で基礎年金の支払い回数に応じて、資格を満たすすべての加入者が基礎年金を受け取ることができる。一方、制度の第 2 段階として、第 2 号被保険者は支払い保険料の比率に基づいて年金を給付される。

5.3 モデル概要

6 章と 7 章で用いるモデルは、基本的に Chen & Murata (2010) が提案した CAMMOD モデルを拡張したものである（以下は本研究のモデルを拡張 CAMMOD と呼ぶ）。モデルの概要図を図 5.2 に示す。モデルは初期人口、経済前提指標、生涯イベント、年金財政計算の 4 つの部分がある。

図 5.2 に示すように、初期人口を生成した後、経済前提指標を用いながら、生涯イベントと年金財政計算をシミュレーション期間終了まで繰り返す。初期人口の生成では、年齢別の人口、夫婦人口、年金加入者人口、年金受給者人口の統計データに基づいてエージェントを生成する。経済前提指標では、統計データに基づき作成した平均賃金、賃金構造率、賃金上昇率、物価指数上昇率、投資収益率、就業率を用いる。生涯イベントについて、エージェントは出生、死亡、結婚、離婚、就業、賃金、保険区分、年金資格裁定、年金給付の 9 つ行動が含まれる。年金財政計算では、年金の加入カテゴリに基づいて、各エージェントの保険料を決定すると共に、有資格者には年金を支払うことにより、年金財政の計算を行う。シミュレーション期間について、全国を対象とした 6 章では 2005 年～2050 年とし、都道府県を対象とした 7 章では 2005 年～2050 年とする。

5.4 エージェント設定と生涯イベントフローチャート

ABSS である拡張 CAMMOD により、個々の市民の所得代替率についての検討を行うため、エージェントは、年齢、性別、賃金記録、保険支払い記録、保険給付記録、婚姻状態のパラメータを持っている。シミュレーション期間内のエージェントの生涯イベントフローチャートを図 5.3 に示す。

図 5.3 に示すように、シミュレーションを開始した後、エージェントは出生率に応じて生成される。エージェントの死亡は、生存率によって決定する。そして、エージェントが 20 歳に達した後、年齢別、性別の就業率に基づいて仕事を始め、そして、仕事をしているエー

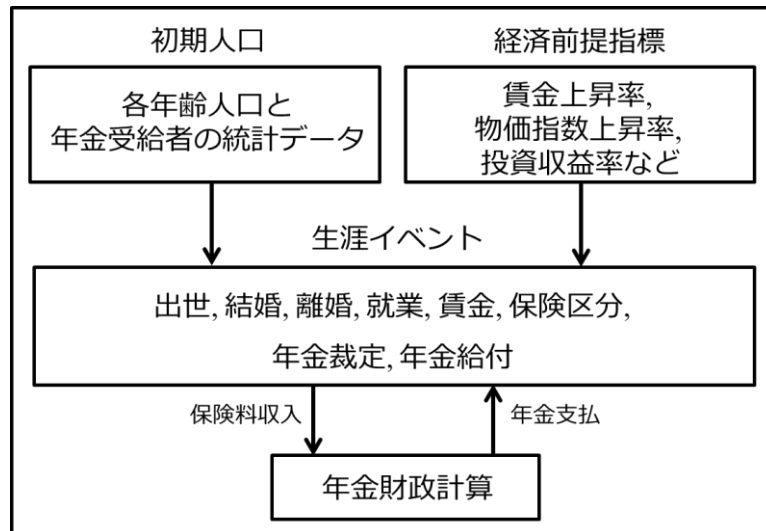


図 5.2 モデル概要図

ジェントは、年齢別、性別の当該年の平均賃金から生成された賃金を得る。また、仕事をしているエージェントは、加入保険の種類と当該年の賃金に基づいて、保険料の支払いを行う。その後、エージェントは結婚率と離婚率に基づき結婚と離婚を行う。最後に、65 歳から死亡までの間、自分の支払った保険料の記録から計算された額の年金を給付される。6 章と 7 章では、エージェントの意思決定ルールは同じであるものの、対象が異なるため、使用した統計データと推計データが異なる。以下では、6 章と 7 章のモデル設定でそれぞれの詳細的な説明を行う。

5.5 年金モデルの妥当性

本研究では、多数種類の統計データおよび統計データに基づき作成した推計データを用いて、モデルを構築し、シミュレーションを行っている。分析対象の所得代替率の統計データがほとんどないため、計算された所得代替率の正確性を確認することはできない。したがって、モデルの妥当性を確認するため、人口推移の再現度を確認する。社会シミュレーションモデルの妥当性について、実データの再現や特定の状況からの予測のためのモデルについては、分析対象の振る舞いを表した実データとモデルで得た結果を比較して整合していれば、妥当であるとみなすことが多いが (Gilbert, 2007; Richiardi et al., 2006)、この方法により妥当性の判断できない場合もある。なお、高橋 (2013) は、多くの工学的モデルと異なり、社会シミュレーションにおけるモデルの妥当性の評価が困難であることを示している。6 章

と7章では、統計データを用いることで、日本国内の人口動態、個人の年金の所得代替率のシミュレーションを試みているが、就業や結婚、離婚のプロセスにおける個人の行動のモデル化における簡略化や統計データ自体に含まれる誤差により、実際とは異なる振る舞いになっていることを想定している。また、国や自治体の政策立案の基礎となる人口推計を行っている国立社会保障・人口問題研究所は、人口の将来推計の利活用について、次のように注意を喚起している(金子ら,2008)。「現状から想定した将来の人口動態事象発生が正確な『予測』でないかぎり、推計が無条件予測となることはない。したがって、当然のことながら、この条件付予測を無条件予測だと偽って提示することは許されない。さらに、提示者はそのような理解をしようとするユーザーに対して、これを正す説明責任すら有するであろう。」したがって、本研究で示す人口推計も、条件付予測であり、特定した範囲内での人口の推計であることに注意しなければならない。6章と7章では、シミュレーションで得られている人口データと実際の統計人口データによって、得られている人口データの差異に着目し、シミュレーションモデルの振る舞いの特性の把握を行う。

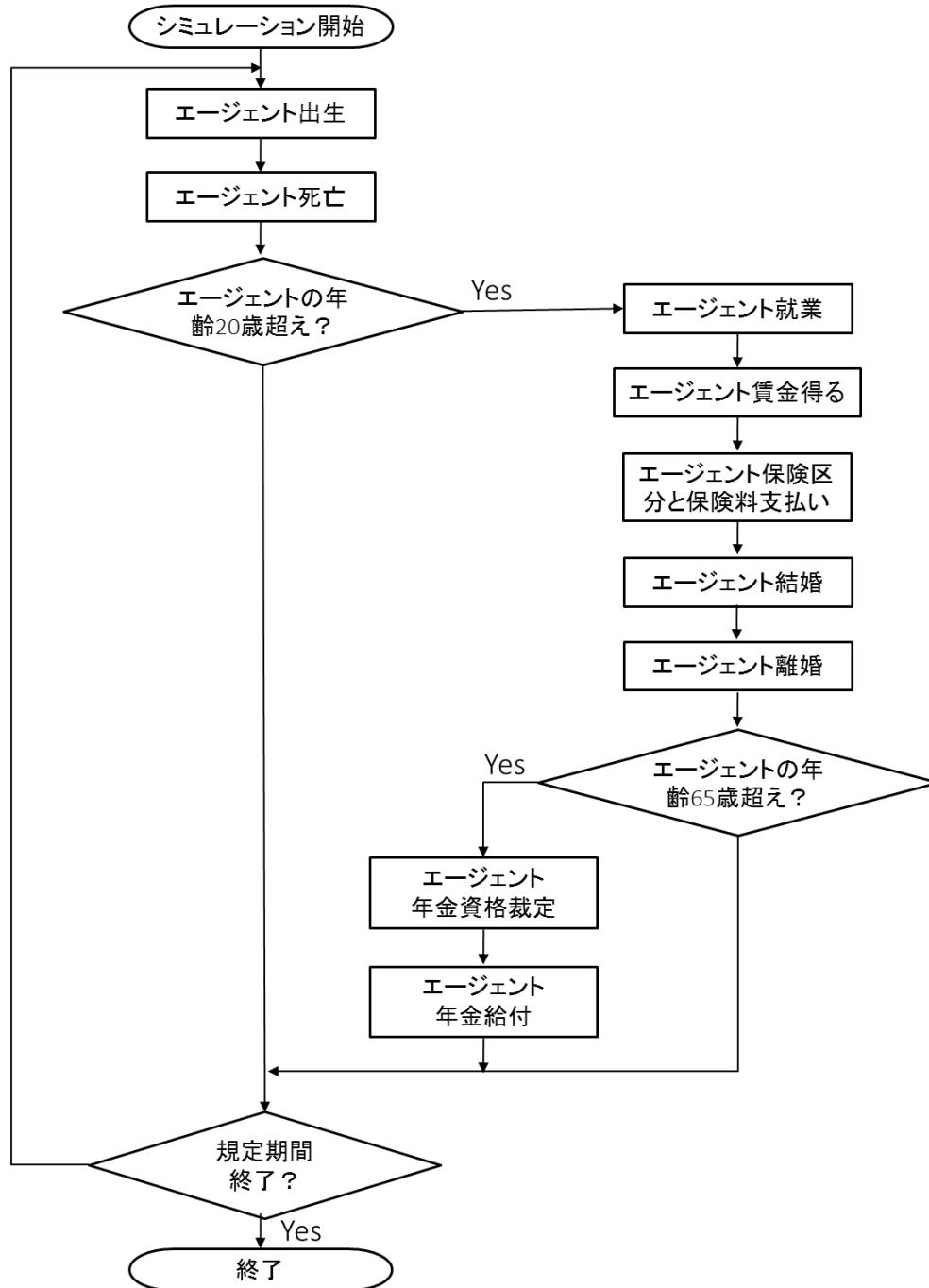


図 5.3 生涯イベントフローチャート

第6章

全国単位 of 所得代替率

まず、5 章で記述したモデルに対する本章における設定を説明する。シミュレーションから得た各保険人口の結果によって、妥当性の確認を行った後に、所得代替率に関する検討を行う（杜 & 村田, 2014b）。

6.1 モデルの設定

6.1.1 人口について

初期人口を、2004 年の年齢別人口（総務省統計局, 2004, 2006）に基づいて生成する。また、初期人口の夫婦関係と保険区分は、年齢別夫婦人口の実統計データと、社会保険庁が発表した「平成 16 年度の国民年金の加入・納付状況」（2005）を元に作成した年齢別年金加入者人口と年齢別年金受給者人口の推計データ（統計データは千人単位の 5 歳区分の加入者と受給者しかいないため、各 5 歳区分に対して、その区分の年齢別人口の割合と年齢別の男女別の割合に基づいて、年齢別の加入者と受給者の人口を推計している）に基づいて設定する。

シミュレーションにおける人口変動を実現するため、出生と死亡をもとに人口推移を実現する必要がある。本研究の出生では、2006 年に国立社会保障・人口問題研究所（NIPSSR）が公表した将来出生人口推計を使用する。NIPSSR による予測には、様々なシナリオがあるが、中位シナリオのデータを用いる。本研究の死亡では、厚生労働省が発表した第 20 回生命表（2007）に基づいて、エージェントの死亡率を決定し、全シミュレーション期間において同じ値を用いる。そして、ある年の生き残り人口を次年度の人口と見なすことにより、人口の経年変化を実現する。さらに、人口の変動原因として、移民による変動も考えられるが、日本では移民を認めていないため、本研究では、人口の変動を出生と死亡のみで表現する。

6.1.2 経済前提指標について

毎年の給付金や掛け金などを推定するには、その年賃金上昇率、物価指数上昇率、投資収益率などの経済前提指標を仮定することが必要である。本シミュレーションでは、短期間と長期間との二つのタイプを想定している。短期間の適用期間は2009年～2015年と設定するため、厚生労働省（2009）が発表した「国民年金及び厚生年金に係る財政の現況及び見通し」の基準推定に基づいて、短期間の指標を作成する。それに対して、長期間の適用期間は2016年から2060年とする。この長期間には、下位シナリオ、中位シナリオ、高位シナリオという三つのシナリオがあるが、今回のシミュレーションでは経済成長基礎の中位シナリオ（賃金上昇率2.5%、賃金上昇率変動率1.65%、投資収益率4.1%）を使用する。

6.1.3 就業について

6.1.1 項の方法により生成した人口に対して、以下の方法で就業状態を決定する。

Step 1：ある年の特定世代の男女別の総人口を集計する。

Step 2：性別・年齢別の就業率により、男女別の総人口に対する労働者人口を計算する。

Step 3：計算できた労働者人口に基づいて、世代・性別ごとに確率的にエージェントに就業状態を割り当てる。

研究で用いた性別・年齢別の就業率は、総務省の国勢調査（2007）の男女別年齢別雇用率を用いて決定する。

6.1.4 賃金と保険料について

エージェントの個人賃金は、第1号、第2号、第3号被保険者それぞれに対して以下のように決定する。第1号者と第3号被保険者の賃金は厚生労働省が発表した（2012）「公的年金加入者等の所得に関する実態調査結果の概要について」に基づいて設定し、賃金額の分布により確率的に与える。第2号被保険者の賃金は、就業状態を確率的に決定した後、前年度の平均賃金に対して、賃金上昇率を乗じて決定した平均賃金を元に、年齢別賃金構造率を考慮して決定する。年齢別賃金構造率とは、平均賃金に対する1歳ごとの賃金の変化率である。本研究では、厚生労働省が発表した日本の平成17年賃金構造基本統計調査（2006）に基づいて推定する（統計データは5歳区分のものしかないので、1歳毎の賃金構造率データは推定している。推定方法は、まず各5歳区分の賃金構造率の差を計算し、その差を1/5

にして、各5歳区分の賃金構造率の下限である年齢から積立により、1歳毎の賃金構造率を作成する)。なお、賃金構造は本来緩やかに変化するが、本研究では一定であるものとする。

第1号被保険者の保険料は5.2項で記述したように定額である。第2号被保険者の保険料は自分で得た賃金額に基づいて保険料が決定される。第3号被保険者の保険料は第2号被保険者の配偶者であるため、配偶者が加入している厚生年金や共済組合が一括して負担するので、賃金の有無に関わらず自身からの納付は行わない。また、被保険者が年齢別の納付率（厚生労働省, 2004）に基づいて納付を行う。

6.1.5 保険種類別被保険者と受給者について

5.2項で記述したように、年金は国籍に関係なく加入が義務つけられているが、本研究では、外国籍の就業者については考慮しない。本研究が対象とする日本で出生した年金加入者は、3種類のカテゴリーのいずれかに属している。第1段階の国民保険のみを受領する第1号被保険者、第1段階の国民年金と第2段階の厚生年金を受領する第2号被保険者、第2号被保険者の配偶者として、第1段階の国民保険を受領する第3号被保険者である。市民は、就業状況により、これらの区分を移動する。例えば、学生は20歳になった時から国民年金に加入し、第1号被保険者として保険料を支払う。就職後、第2号被保険者に移行し、第2号被保険者として保険料を支払う。もし第2号被保険者と結婚し、就業をしない場合、第3号被保険者になる。このような保険区分の変更は人口変動、雇用構造、社会的、経済的条件などに密接に関連する。シミュレーションでは、各区分加入者数を以下の方法で計算する。

Step 1: 厚生労働省が行った年金制度再評価（2004）に基づいて、6.1.3項で求めた労働者に対する第2号被保険者数を計算する。

Step 2: 厚生労働省が行った公的年金の現状調査（2004）に基づいて、推定した第2号被保険者数に対する第3号被保険者数の比率を用いて、第2号被保険者に対する第3号被保険者数を計算する。

Step 3: 第2号被保険者と第3号被保険者以外の就業者を第1号被保険者とする。

Step 4: 各保険区分の被保険者は、世代・性別ごとに確率的にエージェントに保険区分を割り当てる。

エージェントが65歳になった時に老齢基礎年金（国民年金）の受給者となる。なお、厚生年金の受給開始年齢は平成14年4月に施行された厚生年金保険法の改正により、段階的に60歳から65歳に引き上げられている。ただし、本研究では、厚生年金の支給開始時期も65歳としている。受給者になったエージェントについて、自身の保険支払い記録に基づいて、受給資格を裁定する。給付額は5.2項で記述したように、第1号被保険者に裁定された

場合、賃金の高低に関わりなく定額の保険料となるため、納付率に基づく納付期間により年金額が決定される。第 2 号被保険者に裁定された場合、自身で支払った保険料と納付期間により年金額が決定される。第 3 号被保険者に裁定された場合、満期間（40 年）の保険料を支払った第 1 号被保険者と同じ年金額が決定される。

6.1.6 結婚行動について

本研究では、世帯ごとの所得代替率を求めるため、エージェントの婚姻関係をシミュレーションに組み込む。エージェントの結婚行動では、男女別年齢別未婚者に対する結婚率にしたがって、毎年の結婚を行う人口（以下、結婚人口とする）を決定する。決定した結婚人口の中に、職業別結婚率、夫婦年齢差などを考慮した上で、結婚行動を行う。また、結婚率と離婚率は、毎年変化するが、本シミュレーションでは、2005 年～2010 年の間は実際の毎年の結婚率を使用し、2011 年以降は、2010 年の結婚率を用いる。結婚率は NIPSSR（2012）が発表した年齢別未婚者に対する初婚率に基づいて決定する（20 歳から 69 歳、および 70 歳以上、5 歳区切り）。また、職業別結婚率は、厚生労働省が発表した平成 19 年人口動態調査（2008）に基づいて、第 1 号被保険者の自営業者と第 2 号被保険者の会社員との結婚において使用し、シミュレーション期間内に変化しない。夫婦年齢差関係は厚生労働省が発表した人口動態調査（2011）に基づき作成し、シミュレーション期間内に変化しない。なお、各世帯における出産については考慮せず、人口推移予測により得られた新生児を、ランダムに、夫婦の世帯に割り当てている。

6.2 人口推移

6.1.1 項で説明した人口の推移を用いて得られた推移状況を図 6.1 に示す、図中の `now-total` は 2005 年から 2012 年の日本の総人口の実際の統計データの推移、`ipss` は 2010 年から 2050 年の総人口の NIPSSR（2006）の予測データ、`total` は 2005 年から 2050 年の総人口のシミュレーション結果の推移、また `nowc1`, `nowc2`, `nowc3` は第 1 号被保険者、第 2 号被保険者、第 3 号被保険者それぞれの 2005 年から 2012 年の実際の統計データ、`cate1`, `cate2`, `cate3` シミュレーション結果を示している。図の縦軸は人口を表し、横軸は年の推移を示している。図 6.1 からわかるように、日本の総人口の実データは、2005 年～2007 年の間で総人口がわずかに増加しているが、2007 年～2010 年の間、1 億 2800 万人前後とほぼ横ばいで推移した。その後、人口は減少し、減少率は徐々に大きくなっている。これは、少子化高齢化の影響で日本が人口減少時代に突入したことを示している。一方、シミュレーションでは、2004

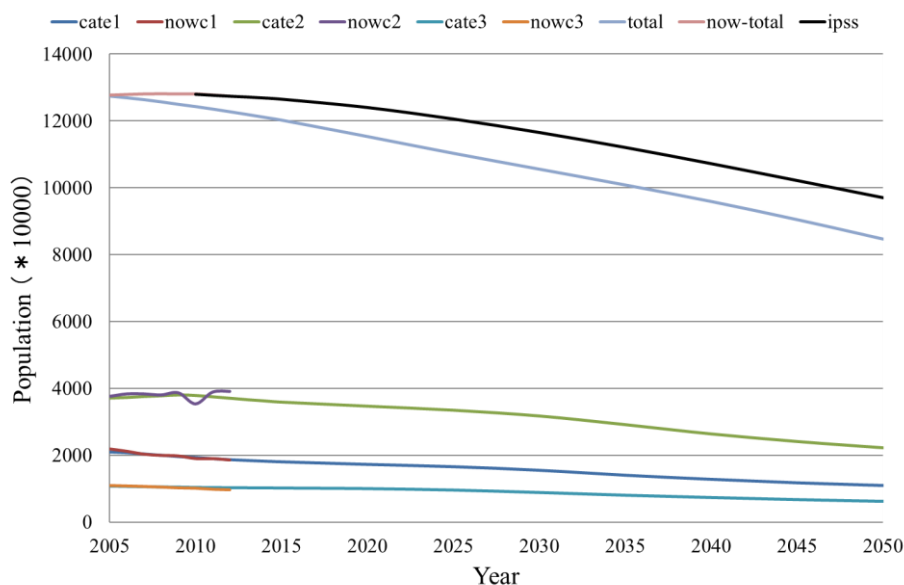


図 6.1 総人口の推移と各種別の保険者推移

年に発表された 2005 年から総人口が減少する指標を使用しているため、総人口は増加することなく減少傾向を示している。

各区分の被保険者人数は、図 6.1 に示すように、人口減少と共に減少することがわかる。ここで、2005 年から 2012 年の期間に対して、シミュレーションで得た各種別の被保険者推移データと各種別の被保険者の実統計データの人口の差異率と、シミュレーションで得た各種別の被保険者人口増加率（減少率）と各種別の被保険者の実統計データの人口増加率（減少率）の差異を比較する。全体の被保険者人口の差異率は 2% であった。図 6.2 に保険種類別ごとの被保険者人口の増加率（減少率）の差異を示す。図 6.2 に示すように、シミュレーション結果と実データの被保険者人口増加率（減少率）の差異率について、各年度の各種別の被保険者人口増加率（減少率）を計算し、2005 年から 2012 年の期間内の各種別の被保険者の平均人口増加率（減少率）を求めた上で、シミュレーション結果と実データの被保険者の平均人口増加率（減少率）を引き算することにより、全体の被保険者人口増加率（減少率）の差異率は 0.478% であることがわかった。なお、実際の統計データの第 2 号被保険者人数は 2008 年頃に急激に減少している。これは、リーマンショックにより、就業率が下がり、第 2 号被保険者数が一時的に下がったためである。しかし、本シミュレーションでは、リーマンショックのような事態を想定していないため、突発的な減少と回復は再現されていない。

図 6.3 に、総受給者に対する各保険別の受給者人口率を示す。図の縦軸は総受給者に対する受給者人口率を表し、横軸は年の推移を表す。図 6.3 からわかるように、第 2 号被保険者の受給者人口率が高くなっている。2045 年頃に人口率はピークとなり、その後、徐々に下

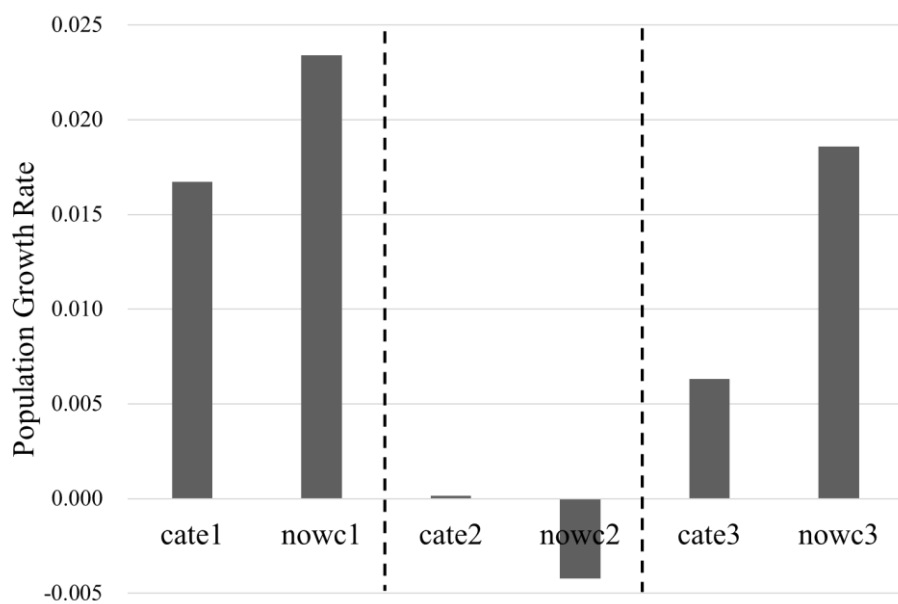


図 6.2 各種類の保険者人口増加率（2005～2012）

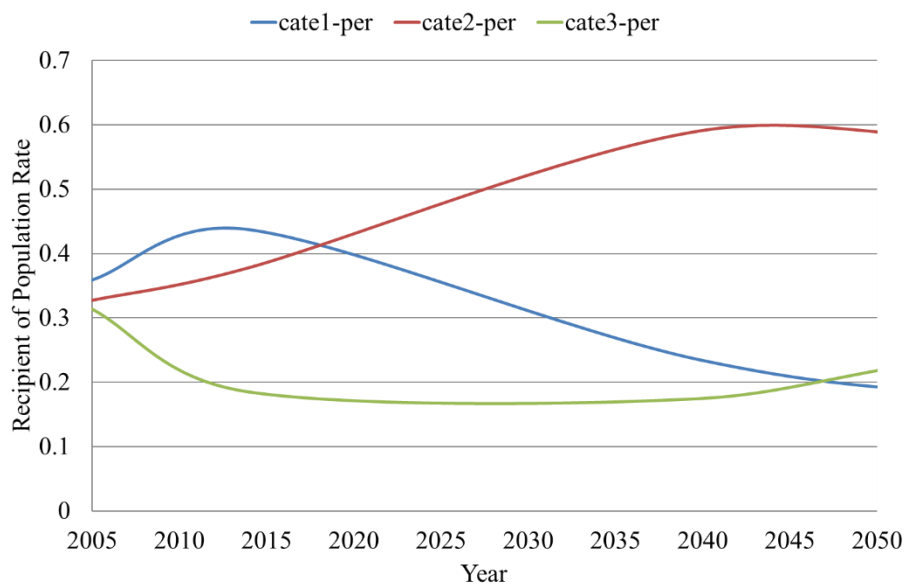


図 6.3 受給者人口率の推移

がっていく。第1号被保険者の受給者人口率は2015年頃に一番多く占めたが、年の推移と共に徐々に減少していくことがわかる。これに対して、第3号被保険者の受給者人口率は最初に下がっていたが、年の推移と共に人口率が段々増えていくことがわかる。

6.3 所得代替率

6.3.1 保険種類別の所得代替率

各被保険者の保険料支払い記録に基づいて計算された 2005 年～2050 年の受給者保険別の平均所得代替率の推移を図 6.4 に示す。図の縦軸は所得代替率を表し、横軸は年の推移を表す。図 6.4 に示すように、各保険区分別受給者の平均所得代替率は時間の経過と共に、段々低くなっていることがわかる。シミュレーションでは経済成長基礎の中位シナリオを用いている。このシナリオにおいて、賃金上昇率は 2.5%と賃金上昇率変動率は 1.65%であるため、年の推移と共に全体の賃金水準が高くなり、賃金の上昇率が年金給付額の上昇率を超えていたことにより、2005 年～2045 年までに第 2 号被保険者の受給者の平均所得代替率が大幅に下がっていることがわかる。第 1 号被保険者の受給者と第 3 号被保険者の受給者は同じように基礎年金しかもらわないが、第 1 号被保険者が保険料を支払わない事例があるため、図 6.4 に示すように、第 1 号被保険者の平均所得代替率は第 3 号被保険者の平均所得代替率より低いことがわかる。

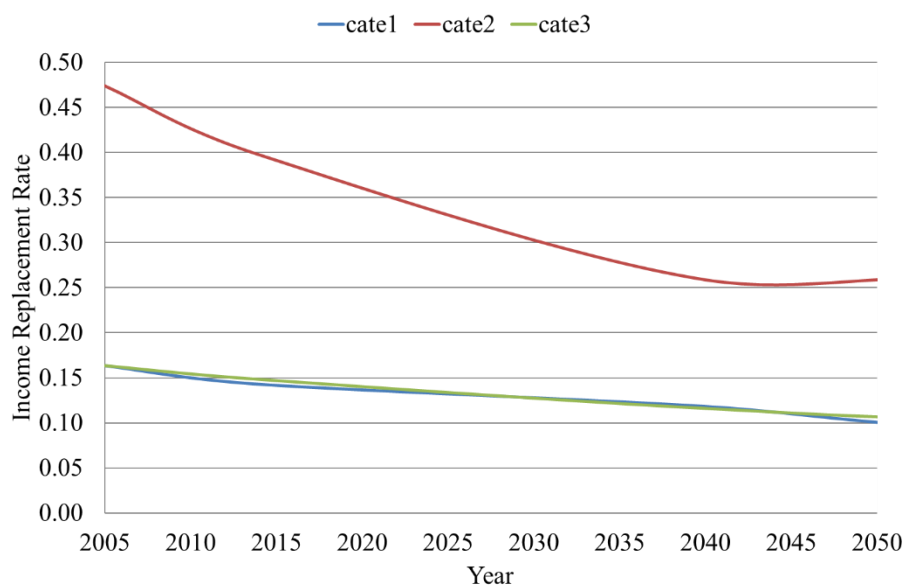


図 6.4 平均所得代替率の推移

図 6.4 に示した第 2 号受給者の所得代替率と図 6.3 に示した第 2 号受給者の人口率の変動傾向から、第 2 号受給者の人口率は 2045 年頃に人口率はピークとなる一方、第 2 号受給者の所得代替率が大幅に下がることがなくなっている。その原因について、シミュレーションの結果を分析することにより、以下のように考えられる。第 2 号被保険者の保険料は自分が

得る所得に応じて、保険料率に従って支払い、そして、自分が支払った保険料によって年金額を決めている。その保険料率は2017年まで徐々に引き上げるが、2017年以降に保険料率を固定となったため、2017年以降保険料の変動に影響を与えるのは所得だけとなるが、すぐ受給者の所得代替率に大きな影響を与えていない。2017年から固定された保険料率に従って保険料を支払う受給者の人口が増えている。一方、2017年以前に保険料率変動の影響を受けている人口が少なくなり、また、2045年頃に第2号受給者の人口率はピークとなったことにより、所得代替率の大幅に下がることがなくなり、その後所得代替率が緩やかに下がっていく。

6.3.2 世帯種別の所得代替率

結婚状態人口の推移の結果を図6.5に示す。図6.1と同様に、縦軸は世帯数を表し、横軸は年の推移を示している。図中の“m”と“f”はそれぞれ男性と女性を示す。また、“1”、“2”、“3”はそれぞれ第1号被保険者、第2号被保険者、第3号被保険者を示す。図6.5に示すように、m2-f2の世帯は一番が多く、m2-f1の世帯数とm2-f3の世帯数は2番目と3番目になっている。m2-f1の世帯数は最初に上昇する傾向が少しあったが、結果的に他の結婚状態の世帯と同じように、年の経過と共に徐々に減少していくことがわかる。

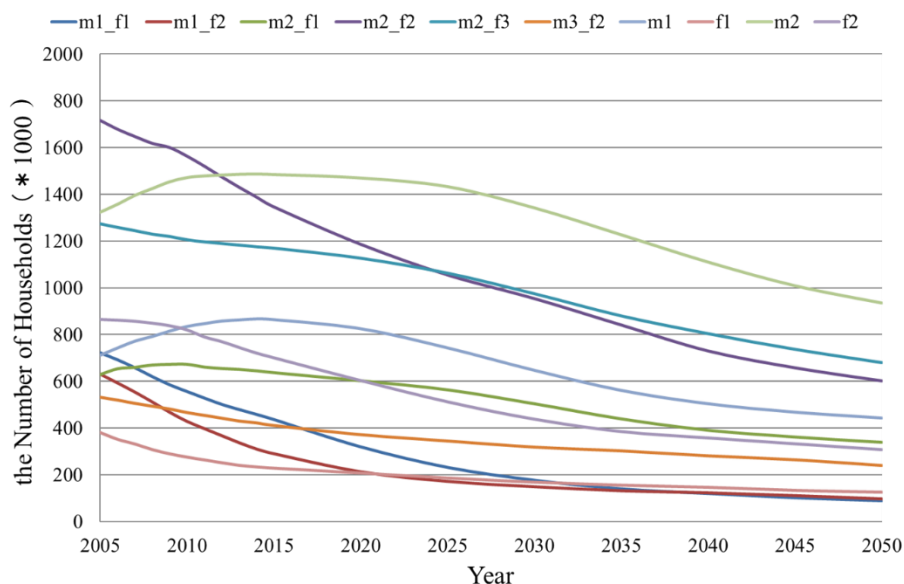


図 6.5 被保険者結婚状態世帯数の推移

図 6.6 と図 6.7 はそれぞれ 2015 年と 2050 年の平均所得代替率と受給者の世帯婚姻状態別の割合との関係を示す。図 6.8 と図 6.9 はそれぞれ 2015 年と 2050 年の受給者の世帯婚姻状態別の割合を示す。図 5.5 と同様に、“m”と“f”はそれぞれ男性と女性を意味する。“1”、“2”，“3”はそれぞれ第 1 号被保険者，第 2 号被保険者，第 3 号被保険者を意味する。

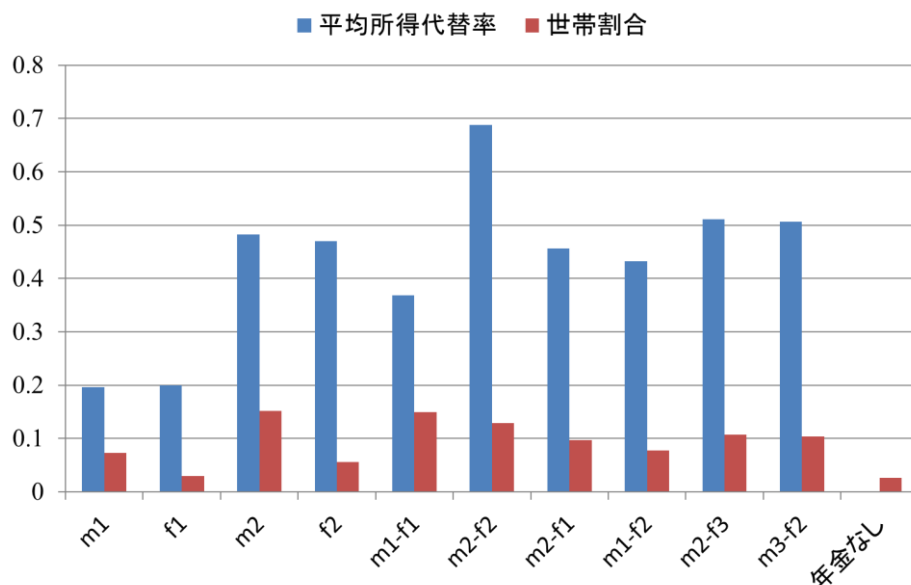


図 6.6 平均所得代替率と受給者の世帯婚姻状態 (2015)

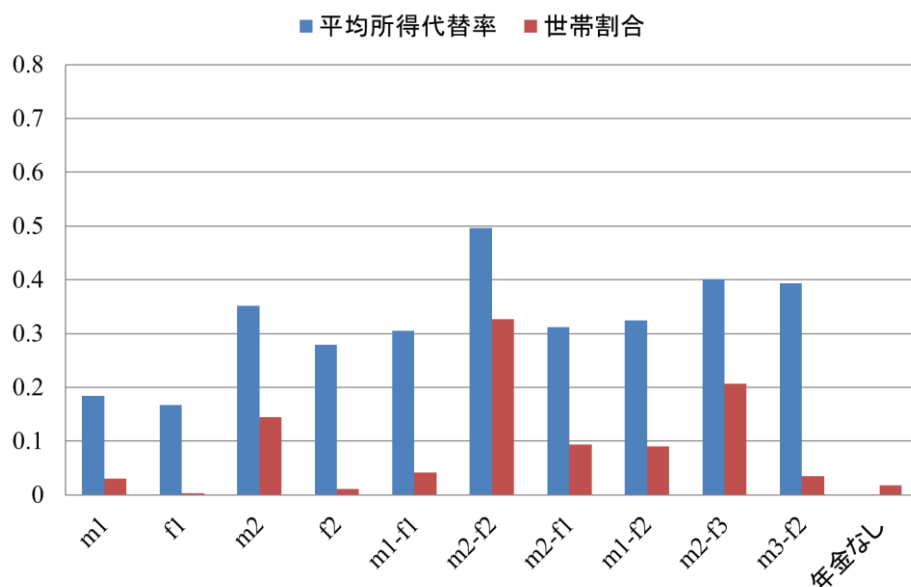


図 6.7 平均所得代替率と受給者の世帯婚姻状態 (2050)

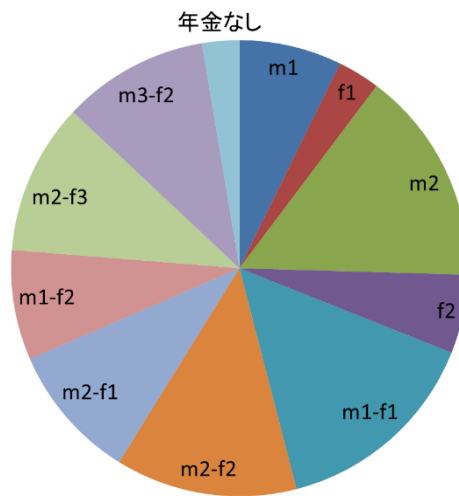


図 6.8 受給者世帯婚姻状態の割合(2015)

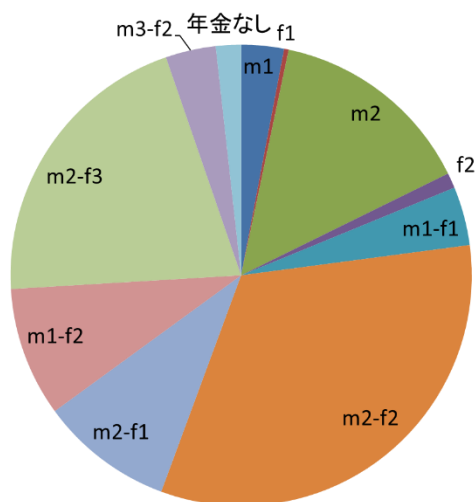


図 6.9 受給者世帯婚姻状態の割合(2050)

図 6.6 と図 6.7 からわかるように、2015 年と比較すると、2050 年には、すべての世帯種別で平均所得代替率は低くなっている。第 1 号被保険者の受給者一人世帯の平均所得代替率の変化が小さいことがわかる。それに対して、2050 年に第 2 号被保険者の受給者を含む世帯の平均所得代替率がかなり低くなっている。

図 6.8 と図 6.9 に示すように、世帯婚姻状態別の割合が大きく変動している。2015 年では、各 m-f 夫婦世帯の割合が異なるが、割合の差異が大きくなかった。2050 年では、m1-f1 と m3-f2 の二種類の世帯の割合が小さくなっている。一方、m2-f2 と m2-f3 の割合が 2015 年

より 2050 年に大きな割合を占めていることがわかる。また、第 1 号被保険者の受給者と第 2 号被保険者の受給者の男性一人世帯の割合の変化が小さい。それに対して、第 1 号被保険者の受給者と第 2 号被保険者の受給者の女性一人世帯の割合がかなり小さくなっている。

各世帯の平均所得代替率を比較する結果を表 6.1 に示す。表 6.1 に示すように、2015 年に夫婦とも第 2 号被保険者、また第 2 号被保険者と第 3 号被保険者の夫婦世帯の平均所得代替率は 50%以上であることがわかる。2015 年に第 1 号被保険者の受給者の一人世帯と夫婦世帯の平均所得代替率はそれぞれ 20%未満と 40%未満であることがわかる。第 1 号被保険者と第 2 号被保険者の夫婦世帯の 2015 年の平均所得代替率は 50%未満であることがわかる。また、一人世帯 m2, f2 の平均所得代替率は 50%未満であることがわかる。2050 年の各世帯の平均所得代替率をみると、すべての世帯で平均所得代替率は 50%以下になっていることがわかる。そして、2015 年と 2050 年の平均所得代替率を比較すると、第 2 号被保険者が含まれる世帯の平均所得代替率が大きく下がり、特に、一人世帯 m2, f2 の平均所得代替率はそれぞれ 13.07%と 19.06%下がり、また、夫婦世帯 m2-f2, m2-f3 の平均所得代替率はそれぞれ 19.08%と 10.96%下がっていることがわかる。政府は、モデル世帯 m2-f3（夫と妻が同じ年齢で、夫婦がともに 40 年間保険加入している）に対して所得代替率 50%を維持することを目標としている。シミュレーション結果を通して、2015 年には、夫婦とも第 2 号被保険者、また第 2 号被保険者と第 3 号被保険者の夫婦世帯に対しては、目標が達成できているが、2050 年には全ての世帯に対して、目標が達成できていないことがわかる。また、5 章で記述したように、政府が想定している世帯モデルケースが、もはや日本社会における世帯を代表していないことが指摘されている（山田, 2009）。さらに、第 1 号被保険者に対して、年金制度で想定する対象は自営業者と言われているが、厚生労働省の「国民年金被保険者実態調査」（2008, 2010）では、第 1 号被保険者に多くの非正規雇用者が含まれるようになっていることが示されている。上述したシミュレーション結果から、現在実施している年金制度では、現実の、多様な世帯に対して、適切な所得代替率を達成できていないことが明確に理解できる。すなわち、本研究のシミュレーション結果は、現在の年金制度が、多様な世帯に対する十分な保障制度になっていないことを示唆している。

6.4 本章のまとめ

本章では、5 章で記述した拡張 CAMMOD を用いて、シミュレーションにより、公的年金制度における所得代替率の変化を検討した。現行の公的年金制度における人口推移と就業状態変動を提携すると共に、保険料および年金の算定の前提となる賃金構造などを用い、2005 年～2050 年の期間のシミュレーションにより保険区分別受給者の所得代替率の変化を示した。各保険区分別受給者の所得代替率は人口変動につれ、少子化高齢化の影響を受けて、

下がっていることがわかった。特に、第2号被保険者の受給者の所得代替率は賃金上昇率の影響を受けて、大きく下がっていることがわかった。エージェントの婚姻行動を導入したことにより、世帯婚姻状態の構造が大きく変動することにより、各世帯別の所得代替率も変動することがわかった。また、世帯タイプ別で所得代替率を検討することにより、現在の年金制度が、多様な世帯に対する十分な保障制度になっていないことがわかった。

今後、世帯関係をもっと現実的にシミュレートできるように、離婚行動をモデルに組み込むことが必要である。また、各都道府県別の世帯関係状態と所得代替率を細かく示すため、都道府県別のシミュレーションが期待される。

表 6.1 世帯種別の平均所得代替率の比較

世帯種別	2015 年の 平均所得代替率	2050 年の 平均所得代替率	2015 年-2050 年 の差
m1	19.67%	18.42%	1.26%
f1	19.93%	16.71%	3.23%
m2	48.25%	35.17%	13.07%
f2	46.96%	27.90%	19.06%
m1-f1	36.88%	30.47%	6.41%
m2-f2	68.75%	49.67%	19.08%
m2-f1	45.60%	31.24%	14.36%
m1-f2	43.26%	32.46%	10.80%
m2-f3	51.06%	40.10%	10.96%
m3-f2	50.65%	39.34%	11.31%

第7章

都道府県別の所得代替率

まず、5 章で記述したモデルに対する本章における設定を説明する。シミュレーションから得た人口推移の結果によって、妥当性の確認を行った後に、都道府県別の所得代替率に関する検討を行う（Du & Murata, 2015; 杜 & 村田, 2016; Du & Murata, 2016）。

7.1 モデル設定

本研究で用いた拡張 CAMMOD の基本的な設定は 6 章で記述した設定と同じであるが、都道府県別の所得代替率を考慮するため、都道府県別の統計が存在するものについては、極力各都道府県のデータを用いた。以下は各部分について説明する。

7.1.1 人口について

初期人口では、各都道府県の 2004 年の 1 歳区分人口統計データを用いた。なお、1 歳区分人口統計データを公開していない都道府県の場合、5 歳区分人口統計データを 1 歳ごとに均等割りすることにより求めた。また、初期人口の夫婦関係と保険区分それぞれは、都道府県別の年齢別の夫婦人口と、社会保険庁が発表した「平成 16 年度社会保険事業の概況」（2006）に基づいて、作成した都道府県別の年齢別年金加入者人口と年齢別年金受給者人口の推計データを用いて設定する。

6.1.1 項で記述したように、ある年度の年齢別の人口、出生と死亡をもとに人口推移を実現する必要がある。人口増に関係する出生については、各都道府県の 1 歳区分の出生率データが存在しないため、国立社会保障・人口問題研究所（2006）が予測した国を対象とした出生数（中位シナリオのデータ）に各都道府県の人口の割合（総務省統計局, 2005）を乗じた値を、各都道府県の出生数とした。また、人口減に関する死亡率について、都道府県別の

1 歳区切りの死亡率がないため、6.1.1 項と同じ厚生労働省が発表した第 20 回生命表(2007)に基づいて、エージェントの死亡を決定する。ある年に死亡しなかった人口を次年度の人口と見なすことにより、人口の経年変化を実現する。なお、本研究では、都道府県の間での転入転出による人口変動を考慮していないため、人口の変動を出生と死亡のみで表現する。

7.1.2 経済前提指標について

この部分では、賃金上昇率以外は 6.1.2 項で記述したように設定する。全国一律の制度である公的年金制度において、居住地別の所得代替率を考察するため、5 つの賃金上昇率シナリオを用意する。賃金上昇率は日本国内においても地域により異なることが観察されており、地域によって受給する年金の価値が異なると言える。表 7.1 に各シナリオの詳細を示す。表中の賃金上昇率の平均値(6.1.2 項の賃金上昇率と同じ定義)と標準偏差(6.1.2 項の賃金上昇率変動率と同じ定義)は、6.1.2 で説明した賃金決定の際に用いる。シナリオ I は 6.1.2 項で記述した厚生労働省(2009)が発表した経済成長基礎の中位シナリオを用いた場合、シナリオ II は 2005 年～2013 年の全国の平均賃金のデータを用いた場合、シナリオ III は 2005 年～2013 年の各都道府県別の平均賃金のデータを用いた場合、シナリオ IV は 2009 年～2013 年の各都道府県別の平均賃金のデータを用いた場合、シナリオ V は 2011 年～2013 年の各都道府県別の平均賃金のデータを用いた場合である。表 7.2 にシナリオ III, IV, V で用いる都道府県別の賃金上昇率を示す。

表 7.1 賃金上昇率シナリオの詳細

分類	データ 期間	データ 範囲	賃金上昇率
シナリオ I		全国平均	平均値:0.025 標準偏差:0.0165
シナリオ II	2005 年～2013 年	全国平均	平均値:-0.0022 標準偏差:0.0065
シナリオ III	2005 年～2013 年	都道府県別	都道府県別 表 7.2 参照
シナリオ IV	2009 年～2013 年	都道府県別	都道府県別 表 7.2 参照
シナリオ V	2011 年～2013 年	都道府県別	都道府県別 表 7.2 参照

7.1.3 就業について

この部分では、6.1.3 項で記述した方法と同じように設定する。

7.1.4 賃金と保険料について

この部分では、6.1.4 項で記述した方法と同じように設定する。

7.1.5 保険種類別被保険者と受給者について

この部分では、6.1.5 項で記述した方法と同じように設定する。

7.1.6 結婚と離婚行動について

この部分では、結婚率は各都道府県別の統計データがないため、6.1.6 項で記述した結婚行動と同じように設定する。離婚行動は男女別年齢別に対する離婚率にしたがって、毎年の離婚を行う人口を決定し、離婚行動を行う。また、離婚率は、毎年変化するが、本シミュレーションでは、2005 年～2010 年の間は実際の毎年の離婚率を使用し、2011 年から期間終了の 2050 年までは、2010 年の離婚率を用いる。離婚率は各都道府県別の統計データがないため、NIPSSR（2012）が発表したデータに基づいて決定する。

7.2 人口推移と妥当性判断

7.1 項で記述した各設定を用いて、拡張 CAMMOD でシミュレーションを行う。モデルのシミュレーションから得られた 2005 年から 2014 年までの 47 都道府県の人口に対して、総務省統計局が公開している統計（2015）に基づく人口増加率（減少率）の平均値との比較でモデルの妥当性の確認を行う。その差異を図 7.1 に示す。図 7.1 の各都道府県の右側の棒グラフ（白）が、シミュレーションによって得られた人口増加率（減少率）を示し、左側の棒グラフ（黒）が実際の統計に基づく人口増加率（減少率）を示している。この図より、実際の統計による人口増加率（減少率）が、シミュレーションの人口増加率（減少率）に比べて、0.2% 以上の都道府県を Type 1、0.2% 未満から -0.2% 以上である都道府県を Type 2、-0.2%

表 7.2 都道府県別の賃金上昇率

期間	2005年 - 2013年 シナリオⅢ		2009年 - 2013年 シナリオⅣ		2011年 - 2013年 シナリオⅤ	
	平均	標準偏差	平均	標準偏差	平均	標準偏差
北海道	0.0027	0.0186	-0.0002	0.0243	0.0120	0.0103
青森	-0.0041	0.0363	-0.0059	0.0460	-0.0008	0.0198
岩手	-0.0036	0.0296	0.0052	0.0358	0.0067	0.0283
宮城	-0.0016	0.0544	0.0164	0.0635	0.0018	0.0853
秋田	-0.0067	0.0325	-0.0054	0.0375	-0.0130	0.0113
山形	-0.0070	0.0427	-0.0048	0.0581	-0.0043	0.0404
福島	-0.0042	0.0413	0.0016	0.0462	0.0188	0.0284
茨城	-0.0089	0.0431	-0.0069	0.0568	0.0107	0.0072
栃木	-0.0060	0.0428	-0.0093	0.0580	0.0118	0.0068
群馬	-0.0088	0.0280	-0.0058	0.0344	-0.0036	0.0209
埼玉	-0.0068	0.0231	-0.0134	0.0297	-0.0091	0.0183
千葉	-0.0116	0.0325	-0.0172	0.0315	-0.0019	0.0232
東京	-0.0019	0.0244	-0.0053	0.0323	-0.0017	0.0234
神奈川	-0.0081	0.0479	-0.0178	0.0644	0.0043	0.0190
新潟	-0.0038	0.0426	0.0036	0.0498	0.0114	0.0079
富山	0.0027	0.0379	0.0020	0.0527	0.0253	0.0085
石川	-0.0097	0.0325	-0.0092	0.0442	-0.0003	0.0451
福井	-0.0062	0.0288	-0.0086	0.0360	-0.0013	0.0061
山梨	-0.0042	0.0392	-0.0015	0.0507	0.0131	0.0194
長野	-0.0100	0.0339	-0.0038	0.0362	0.0067	0.0197
岐阜	-0.0033	0.0339	-0.0073	0.0385	-0.0078	0.0371
静岡	-0.0015	0.0368	-0.0061	0.0507	0.0095	0.0148
愛知	-0.0053	0.0365	-0.0060	0.0509	0.0137	0.0045
三重	-0.0057	0.0485	-0.0042	0.0673	0.0170	0.0075
滋賀	-0.0067	0.0419	-0.0143	0.0566	0.0048	0.0108
京都	-0.0039	0.0174	-0.0062	0.0240	-0.0077	0.0306
大阪	-0.0060	0.0204	-0.0053	0.0266	0.0048	0.0193
兵庫	-0.0069	0.0302	-0.0123	0.0406	0.0086	0.0062
奈良	-0.0176	0.0315	-0.0251	0.0307	-0.0253	0.0366
和歌山	-0.0020	0.0224	-0.0070	0.0304	0.0030	0.0187
鳥取	-0.0145	0.0392	-0.0271	0.0475	-0.0222	0.0442
島根	-0.0067	0.0416	0.0053	0.0495	-0.0026	0.0294
岡山	-0.0033	0.0251	-0.0074	0.0322	-0.0060	0.0263
広島	-0.0092	0.0411	-0.0181	0.0554	-0.0052	0.0349
山口	-0.0061	0.0235	-0.0068	0.0296	-0.0035	0.0413
徳島	-0.0049	0.0400	-0.0083	0.0440	0.0072	0.0040
香川	-0.0030	0.0187	0.0019	0.0129	0.0038	0.0097
愛媛	-0.0118	0.0303	-0.0057	0.0174	-0.0093	0.0200
高知	0.0015	0.0339	0.0051	0.0450	0.0276	0.0257
福岡	-0.0038	0.0206	-0.0046	0.0252	-0.0017	0.0198
佐賀	0.0000	0.0668	-0.0212	0.0787	0.0093	0.0433
長崎	-0.0062	0.0271	-0.0030	0.0312	-0.0225	0.0059
熊本	-0.0023	0.0352	0.0035	0.0359	-0.0057	0.0333
大分	-0.0002	0.0423	-0.0025	0.0592	0.0187	0.0347
宮崎	-0.0093	0.0277	-0.0166	0.0324	-0.0063	0.0049
鹿児島	-0.0054	0.0307	-0.0116	0.0378	0.0000	0.0153
沖縄	-0.0031	0.0328	-0.0214	0.0184	-0.0140	0.0176

未満の都道府県を Type 3 とする。以下に、Type 1, Type 2, Type 3 の各都道府県を示す。

Type 1：埼玉県，千葉県，東京都，神奈川県，静岡県，愛知県，滋賀県，大阪府，岡山県，広島県，福岡県，大分県，熊本県，沖縄県（14 都府県）。

Type 2：北海道，宮城県，茨城県，栃木県，群馬県，新潟県，富山県，石川県，福井県，長野県，岐阜県，三重県，奈良県，兵庫県，和歌山県，鳥取県，島根県，山口県，香川県，愛媛県，佐賀県，宮崎県，鹿児島県（23 道府県）。

Type 3：青森県，岩手県，秋田県，山形県，福島県，山梨県，京都府，徳島県，高知県，長崎県（10 府県）。

図 7.1 より，Type 2 に含まれる 23 の道府県の人口増加率（減少率）が，実際の統計に近いものとなったが，残りの都府県は，Type 1 や Type 3 に分類され，人口増加率が 0.2% 以上異なっていることがわかる。これは，都道府県別の 1 歳区分合計特殊出生率がないため，全国の出生数を都道府県別に勘案して計算したことによるものである。このことから，シミュレーションの精度を高めるためには，現在入手できない各都道府県別 1 歳区分特殊出生率のデータが必要であることがわかる。また，今回は，都道府県間の転入，転出については考慮しなかったが，首都圏を含む都県では転入超の傾向があり，それ以外の地域では転出超の傾向が観察される（総務省統計局, 2014）ことから，今後，転入と転出のモデルも組み込むべきであることがわかる。

2015 年以降の人口推移に関するシミュレーション結果は，NIPSSR（2007）が発表した平成 19 年の推計データと同様の傾向で推移していることを確認している。

7.3 所得代替率に関する分析

7.3.1 賃金上昇率による所得代替率の分析

本章では，全国一律の制度である公的年金制度において，居住地別の所得代替率を考察するため，7.1.2 項で記述した 5 つの賃金上昇率シナリオを用いて，47 都道府県別のシミュレーションを行う。そして，現在の所得代替率の状況とした 2015 年の結果と 2015 年現在 30 歳前後の世代が年金受給する年となる 2050 年の結果を比較する。比較した結果を図 7.2 ～ 図 7.4 に，シナリオ I ～ シナリオ III での 2015 年と 2050 年の所得代替率を日本地図上に示す（以下では所得代替率地図と呼ぶ）。

図 7.2 のシナリオ I の所得代替率地図からわかるように，2015 年で東京都，神奈川県，大阪府の 3 つの都府県において個人の所得代替率が 20% 以下である。その他には，首都圏，中京圏，関西圏で所得代替率が低い傾向となっている。これは，それらの地域で現役世代の平均所得が高いために相対的に所得代替率が低くなってしまうためである。一方，2050 年では，所得代替率が 20% 以下の都府県は 15 に増えている。また，ほぼ全ての都道府県の

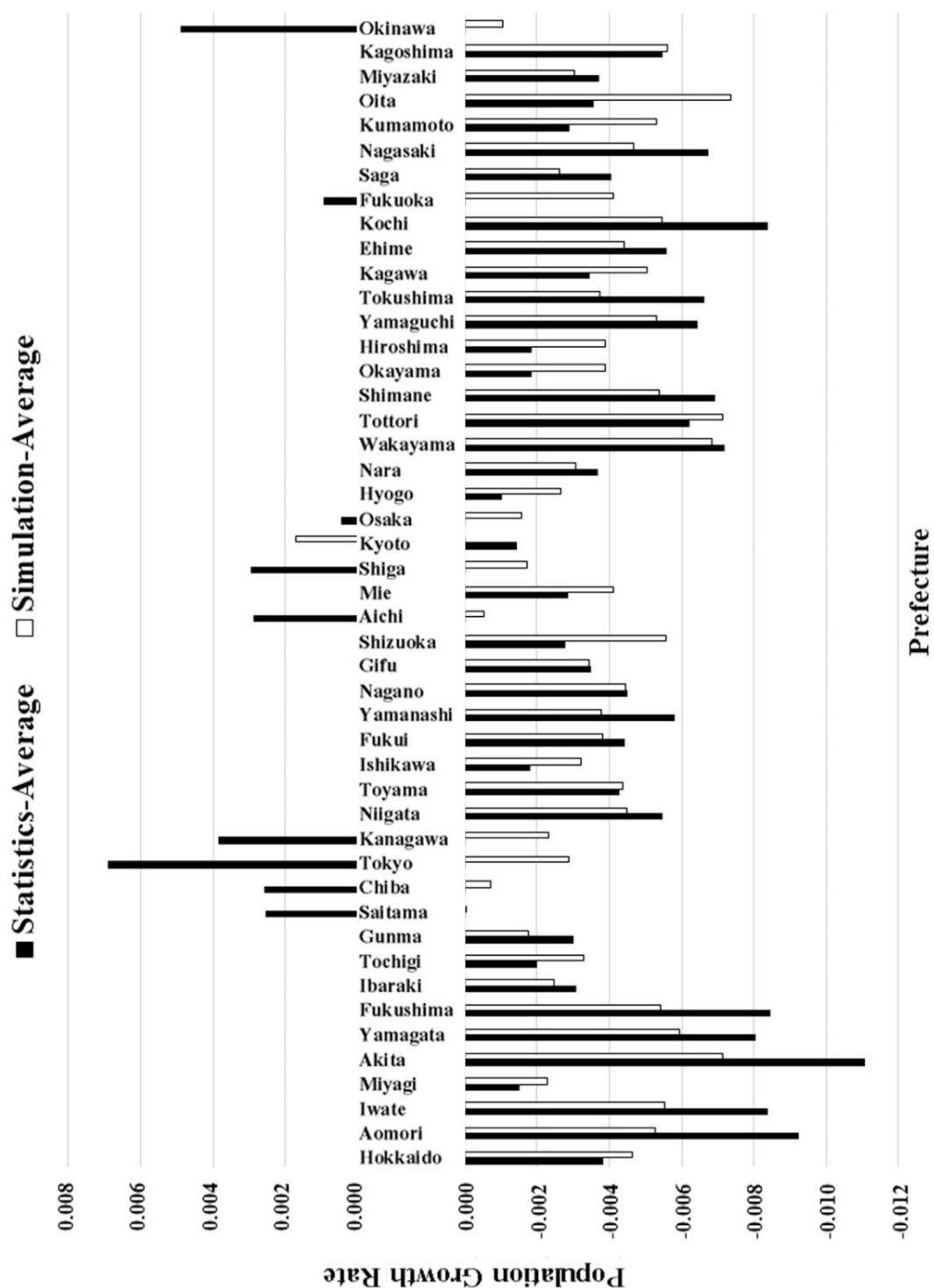


図 7.1 年都道府県別の人口増加率（2005 年～2014 年）
（横軸：都道府県，縦軸：人口増加率（減少率））

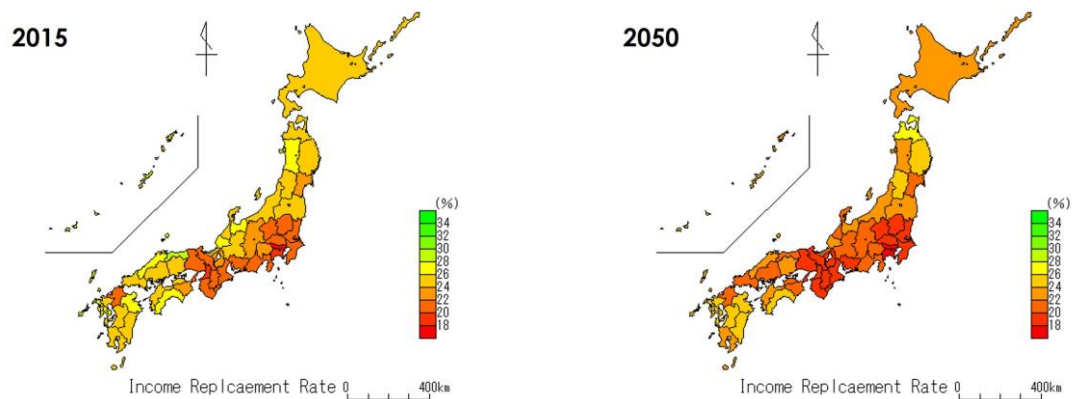


図 7.2 所得代替率地図（シナリオ I）

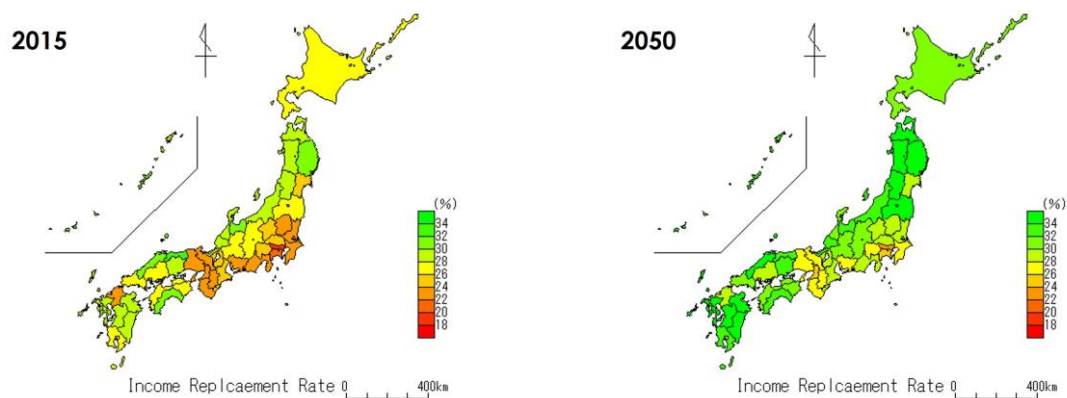


図 7.3 所得代替率地図（シナリオ II）

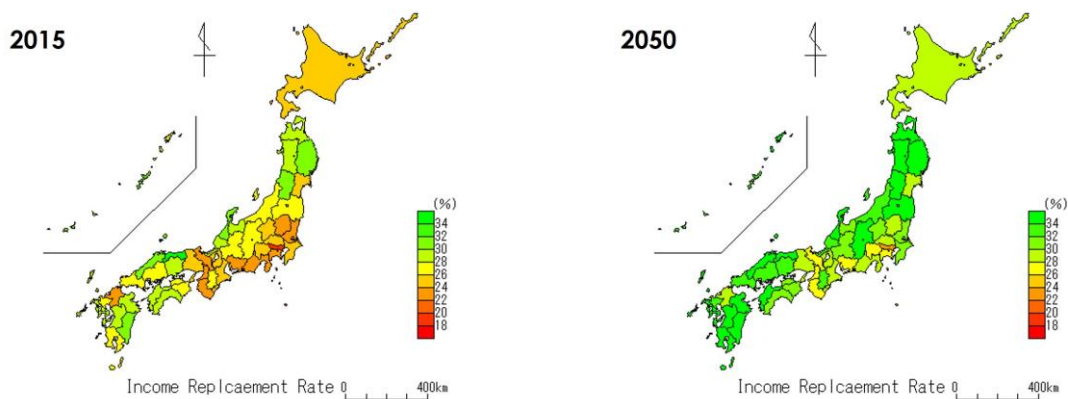


図 7.4 所得代替率地図（シナリオ III）

所得代替率が 2% ほど下がっている。これは厚生労働省の設定しているシナリオ I の賃金上昇率が高いため、相対的に年金の所得代替率が下がってしまうことを示している。

図 7.3 のシナリオ II の所得代替率地図からわかるように、2015 年で所得代替率が 26% 以上の道県数は 28 である。一方、2050 年では、所得代替率が 26% 以上の道府県数は 44 に増加している（京都は 26.5% である）。また、図 7.2 に示したシナリオ I の所得代替率と比較すると、全ての都道府県において、所得代替率が上昇していることがわかる。これは 2005 年から 2013 年の全国平均に基づく賃金上昇率がマイナスであり、現役世代の平均所得が低くなるため、相対的に年金の所得代替率が高くなることを示している。このように賃金上昇率が低い想定シナリオ I では、所得代替率が高く見積もられることがわかる。

図 7.4 のシナリオ III の所得代替率地図からわかるように、2015 年で所得代替率が 26% 以上の道県数は 28 である。一方、2050 年では、所得代替率が 26% 以上の道府県数は 46 に増加している（東京は 23.1%、神奈川は 27.7%、大阪は 26.8%）。また、図 7.2 に示したシナリオ I の所得代替率と比較すると、全ての都道府県において、所得代替率が上昇していることがわかる。これもシナリオ II と同様に多くの都道府県で賃金上昇率がマイナスであるために、年金の所得代替率が高くなることを示している。

図 7.3 と図 7.4 に示したシナリオ II とシナリオ III の所得代替率地図の変化の傾向に類似性が見られるため、以下はシナリオ II とシナリオ III に対して、各都道府県の所得代替率を詳細に比較し、それぞれの所得代替率の変化の傾向を示す。2015 年と 2050 年の、シナリオ II とシナリオ III の各都道府県の所得代替率を表 7.3 と表 7.4 に示す。表の中の所得代替率の差が正の数値を下線で示す。2015 年には、24 の府県でシナリオ III の所得代替率が高くなっていた。また、2050 年には、37 の府県でシナリオ III の所得代替率が高くなっていた。シナリオ II とシナリオ III で各都道府県の所得代替率が異なっていることがわかる。所得代替率が異なる理由は、賃金上昇率として全国データか都道府県別データのどちらを用いるかである。表 7.2 に示すように、シナリオ III の都道府県別賃金上昇率では、9 の都道府県を除く府県で、賃金上昇率の平均がシナリオ II の全国平均を下回っている。一方、標準偏差は、全ての都道府県で全国よりも高くなっている。そのため、2050 年の現役世代の賃金が低く見積もられた地域では、シナリオ III の所得代替率が相対的に高くなる。このように、賃金上昇率を都道府県別に見ることにより、全国データと異なる傾向が得られることがわかる。また、シナリオ II とシナリオ III の所得代替率の差を比較すると、全ての都道府県の所得代替率の差の平均は 2015 年に 0.14 あるが、2050 年に 0.99 になり、ほぼ 7 倍に高くなっている。このように、賃金上昇率を都道府県別に見ることにより、全国データと異なる傾向が得られていることがわかる。

また、2008 年に起きたリーマンショックの影響を考慮するため、シナリオ IV とシナリオ V ではそれぞれリーマンショック後の経済状況を示す 5 年間の賃金データと 3 年間の賃金データを用いて、所得代替率の変化を比較する。

シナリオ III、シナリオ IV とシナリオ V の各都道府県の 2015 年と 2050 年の所得代替率をそれぞれ図 7.5 と図 7.6 に示す。図中で黒、白、グレーはそれぞれシナリオ III、シナリオ IV、シナリオ V に対応する。

図 7.5 に示すように、2015 年には、いずれのシナリオでもほとんどの都道府県の所得代替率がほぼ同じであることがわかる(3つのシナリオの10試行の平均所得代替率に対して、Tukey の多重比較検定を行ったところ、35 の都道府県で3つのシナリオの所得代替率に違いはなく、全てのシナリオの組合せに5%以上の有意差がある都道府県はなかった)。

一方、図 7.6 に示すように、2050 年には、いずれのシナリオでも全ての都道府県の所得代替率が 2015 年に比べて高くなっていることがわかる。しかし、シナリオ III とシナリオ IV を比較すると、シナリオ IV ではほとんどの都道府県の所得代替率が増加している。これは、リーマンショック後に賃金上昇率がマイナスに転じ、賃金が減少している傾向になっているためである。シナリオ III とシナリオ V を比較すると、シナリオ V ではほとんどの都道府県の所得代替率が減少している。これは、シナリオ V がリーマンショック後の回復期の賃金上昇率を用いているため、シナリオ III の賃金上昇率より高くなり、シナリオ V の所得代替率が相対的にやや低くなるためである。しかし、宮城県、秋田県、岐阜県、京都府、島根県、愛媛県、宮崎県、熊本県では、シナリオ IV とシナリオ V の所得代替率の変化が逆になり、シナリオ IV よりシナリオ V の方が所得代替率が高くなっている。これらの地域では、リーマンショック後の回復が遅れ、賃金上昇率が回復していないことが原因である。

また、図 7.5 のシナリオ III と図 7.6 のシナリオ III を比較すると、相対的に東京都の所得代替率が一番低く、鳥取県の所得代替率が一番高いである。2050 年の所得代替率を比較すると、鳥取県の所得代替率は東京都より 16%ほど高く、約 1.7 倍に高くなっていることがわかる。このように都道府県別で所得代替率を見ることにより、都道府県間の所得代替率の差が小さくないことがわかる。

7.3.2 世帯タイプ別所得代替率の分析

世帯タイプ別の所得代替率の状況を示すために、以下はシナリオ III のシミュレーションにおいて、都道府県別の 2015 年の世帯タイプ別の所得代替率を比較し、所得代替率のランキングを表 7.5 と表 7.6 に示す。表の中で、m と f はそれぞれ男性と女性を意味し、m-f は夫婦を、1・2・3 はそれぞれ第 1 号受給者、第 2 号受給者、第 3 号受給者を、All は全ての受給者を意味している。また、夫婦の世帯について、配偶者が死亡した場合、本章では遺族年金を考慮せず、独身者とみなしている。表中の値は同じ世帯タイプの中での所得代替率の 47 都道府県中の順位を表している。

表 7.3 2015 年都道府県の所得代替率（シナリオⅡとシナリオⅢ）

Prefecture	シナリオⅡ	シナリオⅢ	所得代替率 の差(Ⅲ－Ⅱ)	Prefecture	シナリオⅡ	シナリオⅢ	所得代替率 の差(Ⅲ－Ⅱ)
北海道	27.116	25.825	-1.290	滋賀県	24.630	24.878	<u>0.248</u>
青森県	29.227	29.043	-0.184	京都府	23.100	23.263	<u>0.164</u>
岩手県	31.008	30.724	-0.284	大阪府	22.157	22.493	<u>0.336</u>
宮城県	25.255	24.518	-0.736	兵庫県	23.879	24.262	<u>0.384</u>
秋田県	29.319	29.854	<u>0.535</u>	奈良県	23.902	26.543	<u>2.641</u>
山形県	29.665	30.025	<u>0.361</u>	和歌山県	23.540	23.187	-0.353
福島県	27.051	26.696	-0.355	鳥取県	32.264	34.989	2.725
茨城県	23.028	23.501	<u>0.474</u>	島根県	30.201	30.489	<u>0.288</u>
栃木県	23.661	23.609	-0.052	岡山県	28.245	28.173	-0.072
群馬県	25.001	25.751	<u>0.750</u>	広島県	26.075	26.877	<u>0.802</u>
埼玉県	24.338	24.990	<u>0.653</u>	山口県	27.429	27.998	<u>0.568</u>
千葉県	22.823	24.057	<u>1.234</u>	徳島県	26.486	26.388	-0.098
東京都	19.164	18.905	-0.259	香川県	27.650	27.490	-0.161
神奈川県	21.643	22.069	<u>0.426</u>	愛媛県	26.727	28.258	<u>1.531</u>
新潟県	28.171	27.712	-0.459	高知県	30.089	28.542	-1.546
富山県	30.201	28.348	-1.854	福岡県	23.758	23.796	<u>0.037</u>
石川県	29.084	30.279	<u>1.195</u>	佐賀県	28.789	27.390	-1.398
福井県	29.259	29.595	<u>0.336</u>	長崎県	29.106	29.728	<u>0.621</u>
山梨県	25.341	25.074	-0.267	熊本県	28.770	28.322	-0.448
長野県	26.821	27.735	<u>0.914</u>	大分県	29.575	28.395	-1.180
岐阜県	26.682	26.532	-0.150	宮崎県	28.853	30.049	<u>1.196</u>
静岡県	23.280	22.706	-0.574	鹿児島県	27.206	27.421	<u>0.215</u>
愛知県	22.988	22.929	-0.060	沖縄県	30.940	30.855	-0.085
三重県	24.243	24.060	-0.183				

表 7.4 2050 年一部の都道府県の所得代替率（シナリオⅡとシナリオⅢ）

Prefecture	シナリオⅡ	シナリオⅢ	所得代替率 の差(Ⅲ－Ⅱ)	Prefecture	シナリオⅡ	シナリオⅢ	所得代替率 の差(Ⅲ－Ⅱ)
北海道	31.458	29.180	-2.278	滋賀県	28.187	29.571	<u>1.383</u>
青森県	37.087	37.393	<u>0.306</u>	京都府	26.514	26.900	<u>0.386</u>
岩手県	35.287	35.633	<u>0.346</u>	大阪府	25.658	26.779	<u>1.122</u>
宮城県	29.313	28.631	-0.682	兵庫県	27.181	28.692	<u>1.512</u>
秋田県	34.901	36.537	<u>1.636</u>	奈良県	26.439	32.359	<u>5.921</u>
山形県	34.794	36.596	<u>1.802</u>	和歌山県	27.482	27.126	-0.356
福島県	34.269	34.753	<u>0.484</u>	鳥取県	33.483	39.037	<u>5.554</u>
茨城県	28.111	30.458	<u>2.347</u>	島根県	35.381	37.155	<u>1.774</u>
栃木県	28.642	29.713	<u>1.071</u>	岡山県	32.038	32.123	<u>0.086</u>
群馬県	29.382	31.846	<u>2.464</u>	広島県	29.746	32.394	<u>2.648</u>
埼玉県	28.329	29.955	<u>1.626</u>	山口県	30.623	32.024	<u>1.401</u>
千葉県	27.079	30.628	<u>3.549</u>	徳島県	30.208	30.756	<u>0.548</u>
東京都	23.416	23.074	-0.341	香川県	31.404	31.499	<u>0.095</u>
神奈川県	25.848	27.681	<u>1.832</u>	愛媛県	31.774	36.103	<u>4.328</u>
新潟県	33.302	33.555	<u>0.252</u>	高知県	32.596	30.335	-2.260
富山県	33.514	30.824	-2.690	福岡県	28.992	29.327	<u>0.336</u>
石川県	31.122	34.310	<u>3.188</u>	佐賀県	34.445	32.789	-1.656
福井県	32.263	33.755	<u>1.492</u>	長崎県	35.346	36.830	<u>1.483</u>
山梨県	26.701	27.084	<u>0.383</u>	熊本県	34.787	34.180	-0.607
長野県	31.138	34.499	<u>3.361</u>	大分県	36.089	34.171	-1.918
岐阜県	30.453	30.530	<u>0.076</u>	宮崎県	35.232	38.124	<u>2.892</u>
静岡県	29.181	28.404	-0.777	鹿児島県	33.300	34.325	<u>1.025</u>
愛知県	26.189	26.992	<u>0.802</u>	沖縄県	33.796	33.833	<u>0.036</u>
三重県	28.257	29.216	<u>0.959</u>				

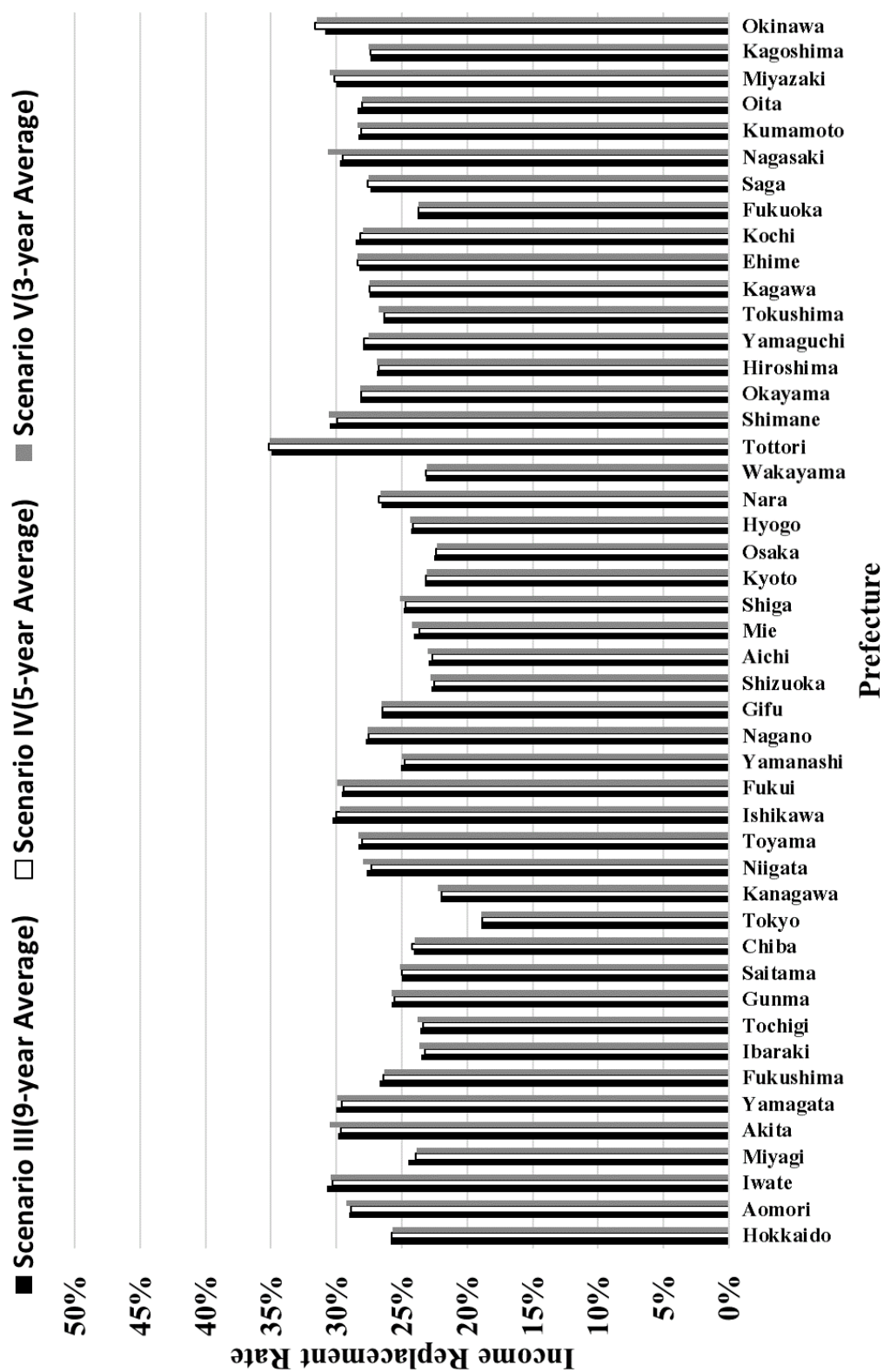


図 7.5 都道府県別の所得代替率（2015）

（横軸：都道府県，縦軸：所得代替率）

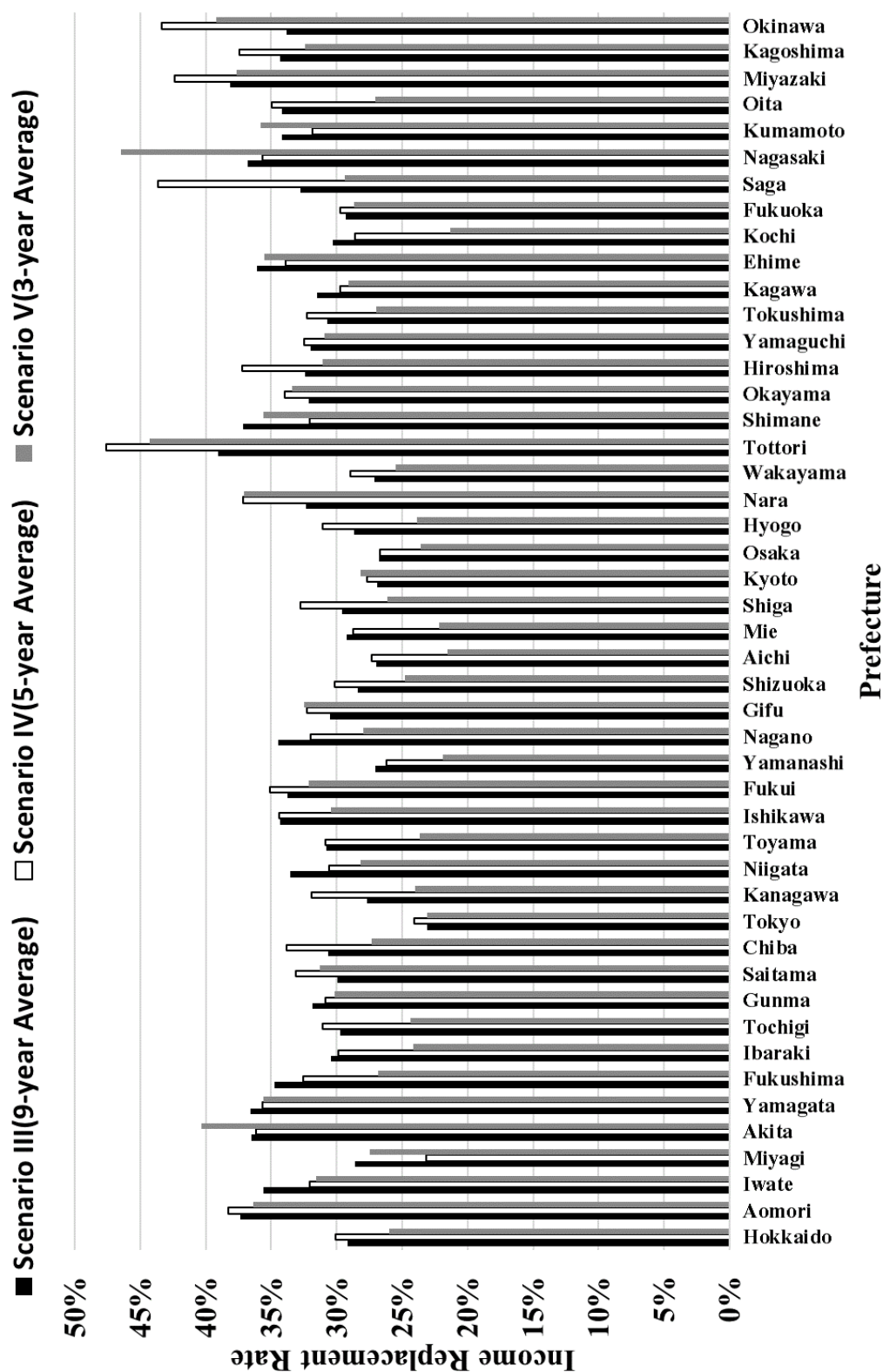


図 7.6 都道府県別の所得代替率 (2050)

(横軸：都道府県，縦軸：所得代替率)

表 7.5 と表 7.6 からわかるように、地方ほど各世帯タイプ別の所得代替率の順位が高くなっていることがわかる。特に青森県、秋田県、山形県、鳥取県、島根県、長崎県、宮崎県、沖縄県などでは、ほぼ各世帯タイプ別の所得代替率は 10 位に入っていることがわかる。一方、各世帯タイプ別の所得代替率は都市圏ほど順位が低くなっていることがわかる。その理由は、都市圏の方が、現役世代の平均所得が高くなり、相対的に所得代替率が低くなるからである。例えば、東京都は全ての世帯タイプで所得代替率が最下位である。

表 7.7 に 2015 年の各都道府県 m2-f3 世帯の統計的な所得代替率とシミュレーション m2-f3 世帯の所得代替率の比較結果を示す。表 7.7 の各都道府県の統計的な所得代替率は厚生労働省が示したモデル世帯（夫が 40 年間厚生年金に加入し、妻が 40 年間専業主婦として国民年金加入する）に基づいて推計したものである。また、表 7.7 の各都道府県のシミュレーション所得代替率は、配偶者がまだ 65 歳になっていない世帯を除いて、所得代替率の平均値を求めているものであるため、表 7.5 と表 7.6 の m2-f3 世帯の所得代替率の順位を異なっている。表 7.7 からわかるように、統計推計結果の上位にいる都道府県（青森県、岩手県、秋田県、山形県、鳥取県、長崎県、宮崎県、沖縄県）とシミュレーション結果の上位にいる都道府県がほぼ同じであることがわかる。そして、都市圏ほど所得代替率の順位が低くなり、地方ほど所得代替率の順位が高くなっていることがわかる。ただし、統計推移の全都道府県の平均所得代替率とシミュレーションの全都道府県の平均所得代替率の差が 9%ほどある。このような差が生じる原因として、統計推計を使用した厚生労働省のモデル m2-f3 世帯は夫と妻は同じ年齢、また夫と妻両方とも 40 年間の保険加入している。それに対して、シミュレーションの m2-f3 世帯では夫と妻の年齢が異なり、また夫と妻の保険加入期間が 25 年～40 年の間に世帯別で異なっているため、シミュレーションの方が所得代替率が低くなると考えられる。

また、本研究では 1/100 人口スケールでシミュレーションを行うことにより、高齢者の世帯タイプ別に対する所得代替率を検討することが可能になる。ここで、2015 年の夫婦ともに第 1 号被保険者である世帯の平均年齢が 78 歳以上の世帯を抽出し、地域毎の所得代替率を計算した結果を表 7.8 に示す。表 7.8 に示すように、夫婦ともに第 1 号被保険者である世帯の平均所得代替率を比較すると、地方ほど所得代替率が高くなる。一方、都市圏ほど所得代替率が低くなることがわかる。例えば、2015 年に青森県で 47.42%、鳥取県で 47.37%、東京都で 26.59%であった。これは、表 7.2 からわかるように、青森県と鳥取県の賃金上昇率の平均が、東京都に対して相対的に低いため、高い所得代替率を示していることがわかる。以上のような夫婦がともに第 1 号被保険者である世帯の平均所得代替率を比較することより、現在実施している年金制度下で、都道府県別の第 1 号被保険者の高齢受給者に対する生活保護制度の検討が必要と考えられる。

7.4 所得代替率の分析による受給者の居住地について

シミュレーションによる所得代替率の分析結果から、年金受給時の経済的な意味での住みやすさ地域について考察を試みる。表 7.3, 表 7.4, 図 7.5, 図 7.6 から、シナリオ III, シナリオ IV, シナリオ V の比較により、青森県、岩手県、秋田県、山形県、福島県、石川県、長野県、鳥取県、島根県、愛媛県、長崎県、熊本県、大分県、宮崎県、鹿児島県、沖縄県が住みやすいことがわかる。また、これらの県ほどではないにしても、首都圏、大都市圏の近郊の県に移動した方が、所得代替率が高くなり、年金の価値を高められることがわかる。表 7.5, 表 7.6, 表 7.7 により、所得代替率、世帯タイプ、都市部からの距離など考慮した上で、年金受給時の経済的な意味での住みやすさ地域をみると、表 7.7 の所得代替率が最下位の東京都やその近郊都市の受給者は長野県、新潟県、山形県、福島県、秋田県、岩手県などの方が高い所得代替率を得られる。また、愛知県やその近郊都市の受給者は、岐阜県、長野県、福井県、石川県、富山県、新潟県などの方が高い所得代替率を得られる。大阪府やその近郊都市の受給者は福井県、奈良県、鳥取県、岡山県、島根県、広島県愛媛県などの方が高い所得代替率を得られる。九州地方では、福岡県以外の県の方が高い所得代替率を得られる。なお、沖縄県は、どの都市部からも離れているが、所得代替率の観点からは最も住みやすい地域であることがわかる。

以上の記述から、現役世代の平均所得が高い場合、その地域の物価も相対的に高くなっていることが考えられるため、東京都の第1号被保険者の夫婦にとって、生活の質がかなり低下することが懸念される。同程度の年金額であれば、本研究結果から示唆されるように、所得代替率の高い地域への移住も考慮できると思われる。もちろん、それまで築いてきた交友関係や生活への適応可能性なども踏まえて、居住地を選択する必要があるといえる。

7.5 本章のまとめ

本章では、拡張 CAMMOD を用いて、現行の公的年金制度における都道府県別の 2005 年～2050 年の期間のシミュレーションを行うことにより、都道府県別の人口推移と所得代替率を示した。また、5 つの経済状況（賃金上昇率のみ）を用いて、都道府県別の所得代替率の価値の変化を示した。賃金上昇率の増加率が高い場合、所得代替率が下がっていくことがわかる。シミュレーション結果からわかるように、賃金上昇率の増加率が低い場合、2015 年の所得代替率と 2050 年の所得代替率を比較すると、全ての都道府県の所得代替率が高くなり、地方の所得代替率が都市圏より高くなっていることがわかる。また、世帯タイプ別の所

得代替率の分析により、地方ほど各世帯タイプ別の所得代替率が高くなっている。一方、都市圏の方が、現役世代の平均所得が高くなり、相対的に所得代替率が低くなっているため、各世帯タイプ別の所得代替率は都市圏ほど順位が低くなっていることがわかる。このような分析から、所得代替率の観点からは、年金の価値を高めるためには、都市圏を含まない地域に移転した方がよいことがわかる。

今後、本章で用いた地域別、世帯タイプ別の所得代替率の検討について、各年齢層の世帯タイプをさらに分析することにより、地域間の、および世帯間の格差状況のさらなる検討が求められる。

また、本章で用いた地域別の所得代替率の検討は、人材の流動の大きいヨーロッパで必要性が高いと考えられる。ヨーロッパでは、出身国と居住国が異なることが多く、国によって、支払開始年齢や加入期間の条件などの年金制度に違いがあり、個々の就業履歴によって年金受給額が異なるため、各個人の年金に対する関心は高い。このような背景から、ヨーロッパを対象とした同様のシステムを構築することは非常に有用であると考えられる。

表 7.5 2015 年世帯タイプ別の所得代替率ランキング

Prefecture	北海道	青森県	岩手県	宮城県	秋田県	山形県	福島県	茨城県	栃木県	群馬県
All第1号	26	1	8	31	4	7	19	36	35	29
All第2号	29	2	6	33	5	7	17	36	40	31
All第3号	18	9	15	38	2	10	5	40	43	27
m1	33	1	12	29	5	3	16	38	42	26
f1	15	1	21	30	12	7	22	32	40	34
m2	25	4	1	34	7	5	22	36	35	31
f2	35	6	2	32	3	5	8	22	25	20
m1-f1	24	4	15	33	2	6	9	42	43	25
m1-f2	37	1	5	31	2	3	11	30	36	25
m2-f1	19	1	11	32	8	5	21	34	38	33
m2-f2	31	2	1	35	4	3	14	29	33	24
m2-f3	22	4	6	36	2	5	14	39	40	30
m3-f2	29	6	10	37	1	7	4	31	33	25
Prefecture	埼玉県	千葉県	東京都	神奈川県	新潟県	富山県	石川県	福井県	山梨県	長野県
All第1号	37	38	47	46	18	25	16	14	30	21
All第2号	35	38	47	46	18	25	15	19	30	23
All第3号	34	39	47	44	19	17	20	8	41	28
m1	43	37	47	46	23	15	20	22	34	31
f1	36	42	47	46	26	23	14	20	35	17
m2	32	41	47	45	19	24	8	23	17	29
f2	38	30	47	45	33	31	19	37	42	7
m1-f1	40	38	47	44	21	17	20	16	37	30
m1-f2	42	34	47	46	27	24	19	28	39	18
m2-f1	35	41	47	46	22	25	12	20	27	23
m2-f2	36	37	47	46	26	28	12	32	30	19
m2-f3	33	42	47	44	20	21	16	17	31	28
m3-f2	38	35	47	46	28	26	16	20	44	15
Prefecture	岐阜県	静岡県	愛知県	三重県	滋賀県	京都府	大阪府	兵庫県	奈良県	和歌山県
All第1号	27	43	45	39	41	42	44	40	22	32
All第2号	27	42	45	37	41	39	44	43	24	32
All第3号	31	33	45	42	30	29	46	37	23	25
m1	27	41	45	35	24	40	44	39	32	28
f1	28	43	45	37	38	39	44	41	33	31
m2	26	40	46	37	42	38	44	43	39	28
f2	15	44	40	27	43	46	36	28	39	26
m1-f1	29	36	45	41	27	34	46	39	28	26
m1-f2	21	43	44	32	33	45	41	35	38	26
m2-f1	29	42	45	37	40	39	44	43	36	30
m2-f2	21	43	45	34	44	42	41	38	40	27
m2-f3	29	38	46	41	37	34	45	43	32	25
m3-f2	24	42	45	34	39	40	43	32	30	27

表 7.6 2015 年世帯タイプ別の所得代替率ランキング

Prefecture	鳥取県	島根県	岡山県	広島県	山口県	徳島県	香川県	愛媛県	高知県	福岡県
All第1号	2	6	28	23	20	33	24	10	13	34
All第2号	1	9	22	28	20	21	26	14	13	34
All第3号	1	12	21	26	6	32	36	11	22	35
m1	7	10	17	19	14	30	25	11	21	36
f1	2	5	25	24	19	27	18	9	16	29
m2	3	13	27	30	16	20	18	15	12	33
f2	12	1	23	16	18	14	34	4	24	41
m1-f1	3	10	19	23	7	32	31	11	22	35
m1-f2	10	4	20	17	14	22	29	7	23	40
m2-f1	2	6	26	28	17	24	18	13	16	31
m2-f2	7	6	23	22	16	17	25	9	18	39
m2-f3	1	11	23	27	9	24	26	12	19	35
m3-f2	2	3	18	17	13	23	36	8	22	41
Prefecture	佐賀県	長崎県	熊本県	大分県	宮崎県	鹿児島県	沖縄県			
All第1号	17	9	12	15	5	11	3			
All第2号	16	8	11	12	4	10	3			
All第3号	13	3	24	16	14	7	4			
m1	13	2	8	4	9	18	6			
f1	13	6	11	10	4	8	3			
m2	14	21	9	11	2	10	6			
f2	11	13	21	29	9	17	10			
m1-f1	14	1	18	8	12	13	5			
m1-f2	12	6	13	15	9	16	8			
m2-f1	15	14	9	10	3	7	4			
m2-f2	10	15	13	20	5	11	8			
m2-f3	13	10	18	15	7	8	3			
m3-f2	14	9	21	19	11	12	5			

表 7.7 2015 年各都道府県の m2-f3 世帯の所得代替率の比較

Prefecture	Statistics	Ranking	Simulation	Ranking	Prefecture	Statistics	Ranking	Simulation	Ranking
北海道	55.86%	18	43.63%	26	滋賀県	50.56%	37	40.59%	36
青森県	61.32%	2	55.79%	2	京都府	49.84%	42	40.20%	37
岩手県	59.92%	5	55.00%	3	大阪府	47.37%	44	37.46%	44
宮城県	52.87%	28	40.92%	33	兵庫県	49.94%	40	38.83%	43
秋田県	60.82%	3	53.69%	6	奈良県	52.05%	33	41.24%	32
山形県	59.32%	7	54.45%	4	和歌山県	53.43%	26	43.27%	28
福島県	55.86%	17	46.68%	18	鳥取県	60.10%	4	56.14%	1
茨城県	49.91%	41	39.96%	39	島根県	56.92%	13	48.74%	13
栃木県	51.13%	36	39.56%	41	岡山県	52.23%	31	44.61%	22
群馬県	52.09%	32	42.56%	31	広島県	51.96%	34	43.75%	25
埼玉県	50.54%	38	40.71%	35	山口県	53.86%	21	47.24%	17
千葉県	49.81%	43	39.17%	42	徳島県	53.02%	27	44.23%	24
東京都	42.85%	47	32.23%	47	香川県	54.10%	20	44.26%	23
神奈川県	46.49%	46	36.22%	46	愛媛県	56.47%	15	48.32%	14
新潟県	56.57%	14	45.39%	21	高知県	57.29%	12	47.29%	16
富山県	53.69%	23	45.58%	20	福岡県	53.82%	22	40.85%	34
石川県	53.58%	24	48.79%	12	佐賀県	58.58%	8	47.96%	15
福井県	54.35%	19	46.03%	19	長崎県	57.70%	9	49.47%	10
山梨県	52.24%	30	43.39%	27	熊本県	56.38%	16	49.65%	9
長野県	52.82%	29	42.83%	30	大分県	57.34%	11	50.29%	8
岐阜県	53.48%	25	43.18%	29	宮崎県	59.91%	6	53.97%	5
静岡県	51.34%	35	39.71%	40	鹿児島県	57.48%	10	49.06%	11
愛知県	46.68%	45	36.41%	45	沖縄県	61.69%	1	53.63%	7
三重県	50.36%	39	40.08%	38					

表 7.8 2015 年各都道府県の高齢者 m1-f1 世帯の所得代替率の比較

Prefecture	2015	Ranking	Prefecture	2015	Ranking
北海道	35.94%	30	滋賀県	33.72%	40
青森県	47.42%	1	京都府	32.65%	43
岩手県	43.33%	9	大阪府	31.52%	44
宮城県	34.98%	33	兵庫県	33.59%	41
秋田県	45.34%	5	奈良県	38.53%	22
山形県	44.14%	6	和歌山県	35.35%	31
福島県	40.12%	15	鳥取県	47.37%	2
茨城県	34.75%	34	島根県	43.95%	7
栃木県	34.28%	38	岡山県	37.36%	24
群馬県	36.71%	27	広島県	37.44%	23
埼玉県	34.31%	37	山口県	38.65%	20
千葉県	34.03%	39	徳島県	37.16%	26
東京都	26.59%	47	香川県	37.21%	25
神奈川県	30.65%	46	愛媛県	41.96%	11
新潟県	38.76%	19	高知県	39.60%	18
富山県	36.31%	29	福岡県	34.72%	35
石川県	39.92%	16	佐賀県	40.63%	14
福井県	39.72%	17	長崎県	43.84%	8
山梨県	35.30%	32	熊本県	41.25%	12
長野県	38.64%	21	大分県	40.81%	13
岐阜県	36.61%	28	宮崎県	46.20%	4
静岡県	32.94%	42	鹿児島県	42.26%	10
愛知県	30.98%	45	沖縄県	46.74%	3
三重県	34.37%	36			

第 8 章

結論

8.1 本論文のまとめ・意義

本論文では、ABSS を用いた経済市場モデルと社会保障制度モデルのミクロ分析を行った。ABSS の背景と手法を説明した後、経済市場モデルの一例として、レモンマーケットと呼ばれる非対称情報の市場モデルを取り上げた。また、社会保障制度モデルの一例として、公的年金制度を取り上げた。これらの分野で市民一人一人に及ぶ影響の検討を行うため、まず従来の研究における課題を提示した。そして、レモンマーケットの **Middle Range Model** と公的年金制度の **Facsimile Model** を構築し、それぞれの妥当性を確認した。分析を行う際に、複数の状況シナリオと政策シナリオの組み合わせにより、分析対象の変化の可能性を捉える方法であるシナリオ分析手法を用いた。その結果として、レモンマーケットの研究では、最終的に商品品質の低下が回避できる方法を解析的に説明すると共に、突発的な品質低下が発生した場合の品質低下と品質回復の原因を市場参加者のミクロ分析を行うことにより、明らかにした。一方、公的年金制度の研究では、所得代替率の分析によって世帯タイプの所得代替率の可視化ができ、また、所得代替率と賃金上昇率の関係を分析することにより、定額で支給された年金の価値を可視化することができた。以上の一連の分析による本論文の研究意義を以下の 2 点にまとめる。

1) 第 3 章、第 4 章の非対称情報の市場モデルでは、非対称情報をもつ市場におけるエージェントに学習能力を与え、商品の品質に依存したシグナルを導入することにより、市場における商品品質低下の回避に有効であることが従来の研究により示されていたが、商品の品質に依存するシグナルの値を設定する方法について検討されていなかった。本論文では、売り手エージェントが良品率に依存したシグナルを用いた場合、商品の提供コスト、商品の提供量、シグナルコストを適切に設定することにより、最終的に商品品質の低下が回避できることを解析的およびシミュレーション結果により示した。さらに、良品率に依存するシグナルを用いた場合にも発生する突発的な品質の低下と回復に注目し、売り手エージェント

のシグナル利用の変化を詳細に分析することにより、良品率が変動するきっかけとなるエージェントのシグナル利用の傾向を示し、低コストで高利益を得る低品質の商品を提供する売り手エージェントが一時的に現れることで、市場における商品品質が低下することを明らかにした。これらの分析を通して、シミュレーションにより、市場の失敗を回避できる可能性を見出すと共に、均衡した状況においても、突発的に市場に悪影響を与えるエージェントが発生しうることを示すことができた。個々のエージェントの動きの分析を通して、市場全体に与える影響を考察することが可能となった。

2) 第5章、第6章、第7章の公的年金制度では、従来の研究では80歳以上の高齢者の世帯に対して、多様な就業履歴をもつ世帯が少数しか観察できなかった。また、各都道府県の状況（賃金上昇率、平均賃金、賞与、年齢別人口、年齢別夫婦人口、被保険者人口、受給者人口）により年金のもつ価値は異なるものの、居住地域別の影響は観察されていなかった。

本論文では、第5章で、現在施行されている賦課方式の公的年金制度において、人口推移と就業状態変動を連携させ、年金額の算定方法を定式化し、賃金構造、婚姻行動などを組み込んだモデルを構築し、モデルの妥当性を確認するための方法を提示した。

第6章では、全国単位の所得代替率を検討するためのモデルの設定を行い、妥当性の確認を行った後に、所得代替率に関する検討を行った。各保険区分別受給者の所得代替率は人口変動に伴い、少子化高齢化の影響と賃金状況変化の影響を受けて、全体的に大きく下がるということがわかった。また、エージェントの婚姻行動を導入したことにより、世帯婚姻状態の構造の変動に伴って、各世帯別の所得代替率が変動することを示した。以上から、全国単位を対象とした公的年金制度のシミュレーションにより、市民一人一人に及ぶ影響を検討できることを示した。

第7章では、都道府県別の公的年金制度を検討するためのモデルの設定を行い、妥当性を確認した後に、都道府県別の所得代替率と都道府県別の世帯タイプ別の所得代替率に関する検討を行った。まず都道府県別の人口推移と所得代替率を示した。その後、5つの経済状況（賃金上昇率のみ）を用いて、都道府県別の所得代替率の価値の変化を示し、所得代替率の変化により、賃金上昇率の増加率が高い場合、所得代替率が下がっていくことを示した。また、賃金上昇率の増加率が低い場合、2015年の所得代替率と2050年の所得代替率を比較すると、全ての都道府県の所得代替率が高くなり、地方の所得代替率が都市圏より高くなっていることを示した。さらに、世帯タイプ別の所得代替率の分析により、地方ほど各世帯タイプ別の所得代替率が高くなることを示した。一方、都市圏の方が、現役世代の平均所得が高くなり、相対的に所得代替率が低くなるため、各世帯タイプ別の所得代替率は都市圏ほど順位が低くなることを示した。このような分析結果により、所得代替率の観点から、年金の価値を高めるためには、都市圏を含まない地域に移転した方がよいことが示せる。以上から、年金受給者が、自身の受け取る年金の価値を考慮して、生活設計するための資料として、世帯別、地域別の所得代替率を示す意義があるといえる。

8.2 今後の課題

本論文で用いた ABSS は、現在、様々な組織や科学者の関心を集め、活発に研究が行われている。しかし、ABSS の理論や手法などと現実社会の問題の間にギャップが存在することが多い。また、現実社会の問題を対応するためには、常に複数の解が存在する意識を持たなければならない。また、ABSS による研究では、シミュレーション結果の説得力がよく問題となる。シミュレーション結果が説得力をもつために、被説明者が納得できるような情報の提示が要求される。例えば、本論文で対象とした公的年金制度では、自分の世帯タイプや居住地により、どのように受け取る年金の価値が変化するかを提示するため、世帯別のグラフや地図を用いた。他にも在職期間の違いなどによっても、受け取る年金額が異なるため、それらの個別の違いも考慮に入れた情報の提示方法を開発していく必要があるといえる。

経済市場モデルの一例とした非対称情報の市場モデルの研究では、買い手エージェントの市場参加率からみると、まだ不十分であることがわかった。すなわち、取引に参加した買い手エージェントが 40%しかおらず、残りの買い手エージェントが取引に参加せず、市場から退出することである。Fasten & Hofmann (2010) は、市場を安定化させるために、売り手と買い手が十分参加する必要があることを示しているため、今後、買い手エージェントの市場参加について検討する必要がある。また、この研究では、高品質の商品が流通している市場で、売り手の利益構造が変化することにより、良品率が突発的に低下することを明らかにしたが、今後このような良品率の突発的な低下を早期に抑制する方法について検討する必要がある。さらに、本研究において現段階では、仮想的な市場をシミュレーションにより検討を行ったが、今後、実際の経済市場におけるシグナルの意味や使用方法について検討が求められる。

社会保障制度モデルの一例とした公的年金制度の研究では、地域別、世帯タイプ別の所得代替率の検討について、各年齢層の世帯タイプをさらに分析することにより、地域間の、および世帯間の格差状況のさらなる検討が求められる。また、今回提案した地域別の所得代替率の検討は、人材の流動の大きいヨーロッパで必要性が高いと考えられる。ヨーロッパでは、出身国と居住国が異なることが多く、国によって、支払開始年齢や加入期間の条件などの年金制度に違いがあり、個々の就業履歴によって年金受給額が異なるため、個人の年金に対する関心は高い。この研究では、日本国内の都道府県別の年金の所得代替率を考慮したが、ヨーロッパを対象とした同様のシステムを構築することは非常に有用であると考えられる。

このように、ABSS によるアプローチを用いることで、モデルの対象における個々の意思決定者の行動に着目した分析が可能となる。ABSS による仮想的な社会において、様々なシナリオを事前に分析することにより、全体と個人の両者に注意を向けつつ、社会における多様性を尊重しながら、社会における安定した制度や仕組みを確立することが可能となる。

謝辞

本論文は著者が関西大学 大学院 総合情報学 研究科で行った研究をまとめたものである。まず、指導教員として研究生生活の全過程においてご指導を賜りました、関西大学 総合情報学部 村田忠彦教授に深く感謝の意を表します。大学院博士前期課程で、研究室に配属される前から5年半の間、投稿論文の執筆や数多くの学会発表、そして日頃の研究内容にわたって、常に手厚いご指導を頂きました。先生のご指導の下で博士号を取得できることは、身に過ぎて光栄なことです。また、研究だけではなく、私生活の相談にも乗っていただき、精神面でもサポートして頂きました。このたび、博士号を授与頂くことで、今度は研究プロジェクトや学会活動などを通して村田先生に恩返しできるように努めて参りたいと思います。

本論文の審査にあたって副査としてご指導を賜りました、関西大学 総合情報学部 仲川勇二教授、本多佑三教授には、それぞれのご専門の立場から大変有益なご意見や数多くのご助言を頂戴しました。深く感謝し御礼を申し上げます。

仲川先生には、数理意思決定の分野ご指導頂きました。特に、論文の構成、モデルの詳細、結果の解釈等にご指摘頂いたことは、大変参考になりました。また、研究成果の新規性提示について先生のご指摘により、本論文の完成度を高めることができました。心より御礼申し上げます。

本多先生には、金融論や経済学の分野からご指導頂きました。特に本論文の4章の分析に対して、実社会における経済の繋がり等にご指摘頂いたこと。また、本論文の6章、7章における政策の意義についてご指導頂いたおかげで、本論文の質を改善することができました。心より御礼申し上げます。

著者が学生時代にお世話になりました、関西大学 大学院 総合情報学研究科の諸先生方に深く感謝し、お礼申し上げます。また、関西大学 ソシオネットワーク戦略研究機構の先生と事務教員の方々に感謝の意を表します。未熟な著者がここまで勉強・研究をさせていただいたのも、先生方のご指導のおかげです。心より御礼申し上げます。

関西大学 大学院 総合情報学研究科 村田研究室の皆様には常日頃から大変お世話になりました。様々なご協力を頂いて、ゼミ以外においても、何気無い会話や、共に食事をした機会などに、色々な面から支えられました。大変感謝しております。今後ともよろしく願い申し上げます。

本研究成果の論文投稿で、有益なご助言を賜った査読委員と編集委員の皆様に感謝致します。また、研究学会で多くの先生方から有益なご指摘を頂戴しましたこと、心より御礼申し上げます。

最後に、長年に亘って著者を育て、また、長期にわたる学生生活を支えてくれた両親、家族に心から敬意と感謝の気持ちを送ります。

本研究は多くの方々のご指導、ご支援によって成し得たものです。お世話になったすべての皆様に心より御礼申し上げます。今後もこれまで学んできたことを肝に銘じながら、中国で研究活動に邁進し、社会に広く貢献できる研究者となれるよう努めていきます。今後ともご指導ご鞭撻の程、よろしくお願い申し上げます。

2017 年 2 月

杜 逆索

参考文献

(本論文で使用了統計データは次の統計データ項目に示す)

石西正幸, 市川学, 田沼英樹, 出口弘, 金谷泰宏 (2014). エージェントベースシミュレーションによる高い致死性を持つ感染症対策におけるリスク分析手法の提案, システム制御情報学会論文誌 27(7), pp. 319-325.

上原和樹, 赤嶺有平, 遠藤聡志, 根路銘もえ子 (2013). 時間的交通分散及び交通情報に基づく経路計画による渋滞緩和効果の検証, 電子情報通信学会技術研究報告, ITS 113(199), pp. 11-17.

横断型基幹科学技術研究団体連合 (2009). 分野横断型科学技術アカデミック・ロードマップ報告書 (第4章 社会システムのモデリング・シミュレーション技術分野のアカデミック・ロードマップ) .

岡谷賢, 高橋友一 (2011). 人間関係を考慮したエージェントベースの避難シミュレーションフレームワーク, 電子情報通信学会論文誌, D, 情報・システム J94-D(11), pp. 1855-1865.

岡本章 (2013). 少子高齢・人口減少社会における公的年金改革ー LSRA による所得移転を含む厚生分析ー, 財務省財務総合政策研究所「フィナンシャル・レビュー」, No. 115, pp. 23-52.

小川祐樹, 山本仁志, 岡田勇, 諏訪博彦, 太田敏澄 (2011). エージェントベースシミュレーションによる知識共有コミュニティの報酬制度設計, 電子情報通信学会論文誌, D, 情報・システム J94-D(6), pp. 945-956.

小黒一正, 高畑純一郎 (2013), 子育て支援とマクロ経済ー人口内生 OLG モデルの視点からー; 財務省財務総合政策研究所「フィナンシャル・レビュー」, No. 115, pp. 53-72.

片田敏孝, 桑沢敬行 (2006). 津波に関わる危機管理と防災教育のための津波災害総合シナリオ・シミュレータの開発, 土木学会論文集 62(3), pp. 250-261.

金子隆一, 三田房美 (2008). 将来人口推計の基本的性質と手法的枠組みについて, 人口問題研究, Vol. 64, No. 3, pp. 3-27.

木村真 (2007). 平成 16 年財政再計算のライフサイクル一般均衡分析—改革が経済を通じて年金財政の将来見通しに与える影響—, 季刊社会保障研究, Vol. 43, No. 3, pp. 275-287.

木村真, 橋本恭之 (2008). 多部門世代重複モデルによる財政再建の動学的応用一般均衡分析, 経済産業研究所ディスカッション・ペーパー, No. 08-J-041, pp. 1-28.

倉橋節也, 寺野隆雄, 南潮 (1999). 逆シミュレーション手法による人工社会モデルの分析. 計測自動制御学会論文集 35(11), pp. 1454-1461.

倉橋節也, 寺野隆雄 (2001). エージェントシミュレーションによる共同分配規範モデル, 電子情報通信学会論文誌, D-I, 情報・システム, I-情報処理 J84-D-I(8), pp. 1160-1168.

神代和欣 (2014). 年金財政検証とマクロ経済政策—人口減少社会における老後所得保障—; 日本労働研究雑誌, No. 651, pp. 91-96.

小山友介(2008). 第2 世代社会シミュレーションの着地点.『社会・経済システム』29, pp. 93-100.

後藤裕介, 高橋真吾 (2009). 組織行動のもつ不確実性が業績評価制度の効果に与える影響の分析—可能性のランドスケープ分析の提案と適用,『経営情報学会誌』18(2): 139-166.

坂平文博, 寺野隆雄 (2014). 弥生農耕文化の「主体」は誰だったか? —人類学・考古学へのエージェントベースシミュレーションの適用—, コンピュータ ソフトウェア 31(3), 3_97-3_108.

佐藤格 (2010). 経済前提の変化が年金財政に及ぼす中長期的影響—マクロ計量モデルによる年金財政の見通し—, 国立社会保障・人口問題研究所季刊・社会保障研究, Vol. 46, No. 1, pp. 35-46.

白石浩介 (2008). 公的年金改革のマイクロシミュレーション, 一橋大学経済研究所世代間問題研究機構ディスカッション・ペーパー, No. 409, pp. 1-50.

鈴木亘, 湯田道生, 川崎一泰 (2003). 人口予測の不確実性と年金財政: モンテカルロシミュレーションを用いた人口予測の信頼区間算出と年金財政収支への影響, 会計検査研究, No. 28, pp. 101-112.

総務省 (2013). 「年金払い退職給付」について, http://www.soumu.go.jp/main_content/000229824.pdf.

高橋真吾 (2009) 意思決定支援としての社会シミュレーション 社会・組織・経済へのエージェントベースアプローチ研究部会から, 経営情報学会誌, Vol. 18, No. 3, pp. 337-340.

高橋真吾 (2013). 社会システムの研究動向 3 -評価・分析手法(1)- モデルの解像度と妥当性評価, 計測と制御, Vol. 52, No. 7, pp. 582-587.

寺野隆雄 (2003). エージェントベースモデリング: KISS 原理を超えて, 人工知能学会誌 18(6), pp. 710-715.

寺野隆雄 (2004). エージェント・ベース・モデリング: その楽しさと難しさ, 計測と制御 43(12), pp. 927-931.

寺野隆雄 (2010). なぜ社会システム分析にエージェント・ベース・モデリングが必要か. 特定非営利活動法人 横断型基幹科学技術研究団体連合, 4(2), pp. 56-62.

寺野隆雄, 倉橋節也 (2000). エージェントシミュレーションによる社会的インタラクションの分析, 組織科学 34(2), pp. 23-35.

土居丈朗 (2006). 政府債務の持続可能性を担保する今後の財政運営のあり方に関するシミュレーション分析, 経済産業研究所ディスカッション・ペーパー, No. 06-J-032, pp. 1-60.

杜逆索, 村田忠彦 (2014a). 非対称情報下の市場におけるシグナルに関するエージェントベースシミュレーションによる研究, システム制御情報学会論文誌, Vol.27, No.7,

pp.309-318.

杜逆索, 村田忠彦 (2014b). エージェントシミュレーションによる公的年金制度における所得代替率に関する研究, 計測自動制御学会システム情報部門 第 7 回社会システム部会研究会, pp.21-26.

杜逆索, 村田忠彦 (2016). 公的年金制度における 47 都道府県の所得代替率に関する考察, システム制御情報学会論文誌, Vol.29, No.9, pp.422-431.

中田大悟, 森川正之 (2010, 5 章). 社会保障制度と財政: 財政の持続可能性・効率性・公平性, 経済産業研究所ディスカッション・ペーパー, No. 10-P-011, pp. 1-29

中西英之, 小泉智史, 石黒浩, 石田亨 (2003). 市民参加による避難シミュレーションに向けて, 人工知能学会誌 18(6), pp. 643-648.

中山陽平, 高橋真吾 (2012). 相互学習エージェントシミュレーションによるシグナリング現象の分析, 計測自動制御学会第 1 回社会システム研究部会講演論文集, pp. 23-28.

西野成昭, 吉川歩 (2013). マルチエージェントシミュレーションによる複数の再生可能エネルギー促進政策の影響分析, 電子情報通信学会論文誌. D, 情報・システム J96-D(12), pp. 2888-2899.

日本年金機構 (2013). 通算老齢年金, 年金用語集 た行, <http://www.nenkin.go.jp/yougo/tagyo/tsusanrourei.html>.

橋本恭之 (2010). 消費税の逆進性とその緩和策, 会計検査研究, Vol. 41, pp. 35-53.

松田哲哉, 倉永亮平, 小澤一雅 (2008). 建設業における人的資源マネジメントのシミュレーションモデルの構築, 建設マネジメント研究論文集 15, pp. 385-396.

水田孝信, 小杉信太郎, 楠本拓矢, 松本渉, 和泉潔 (2015). 人工市場シミュレーションを用いたダーク・プールによる市場効率化の分析, 人工知能学会 金融情報学研究会.

村田忠彦 (2007). 第 173 回産業セミナー 社会シミュレーションとグリッドコンピューティング, セミナー年報, 関西大学経済・政治研究所.

森敬子, 倉橋節也 (2012). エージェントベースシミュレーションによる新規学卒者採用市場における学生行動の分析, 経営情報学会誌 22(1), pp. 1-23.

山田昌弘 (2009). ワーキングプア時代：底抜けセーフティーネットを再構築せよ, 文藝春秋.

渡邊剛, 丹羽英治, 西谷義彦, 鄭明傑, 奥宮正哉, 中原信生 (2007). 建築設備のライフサイクルマネジメントにおけるシステムシミュレーションの活用に関する研究：動的シミュレーションプログラム HVACSIM⁺の再現性とフォルト検知への適用の検討, 空気調和・衛生工学会論文集(128), pp. 25-34.

Akerlof, G.A. (1970). The market for lemons: Quality un-certainty and the market mechanism, The Quarterly Journal of Economics, Vol. 84, No. 3, pp. 488-500

Axelrod, R. (1997). The Dissemination of Culture: A Model with Local Convergence and Global Polarization, Journal of Conflict Resolution 41(2), pp. 203-226.

Axtell, R. (2000). Why Agents? On the Varied Motivations for Agent Computing in the social sciences, Bookings Institution CSED Technical Report, NO.17, November

Bernd, V., Thomas, J. (2003). The Reformed Pension System in Germany a System Dynamics Model for the next 50 years, 21st System Dynamics Conference Proceeding, No. 191, 10 pages in CDROM

Boldrin, M., Jose, J., Dolado, Jimeno, J.F., Peracchi, F. (1999). The Future of Pensions in Europe, Economic Policy, Vol. 14, pp. 287-320.

Bousquet, F., Barreteau, O., d'Aquino, P., Etienne, M., Boissau, S., Aubert, S., Le Page, C., Babin, D., Castella, J.C. (2002). Multi-agent systems and role games: Collective learning processes for ecosystem management, Janssen Marco A. (ed.), Complexity and ecosystem management, Edward Elgar Publishing, pp.248-285.

Chen, Z., Murata, T. (2010). Examination of Possible Progress of Japanese Pension System Using an Agent-based Model, Proceedings of the 2nd International Symposium on Aware Computing.

Du, N., Murata, T. (2012). Agent-based evaluation for effects of signaling in markets with

asymmetric information, The 6th International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems and The 13th International Symposium on Advanced Intelligent Systems, pp.2134-2137.

Du, N., Murata, T. (2015). Study on Prefectural Income Replacement Rate in Japanese Pension System, 11th Conference of the European Social Simulation Association: Social Simulation Conference, pp.1-13.

Du, N., Murata, T. (2016). Income Replacement Rate by Region and Household in Japanese Pension System Using Microsimulation, The Social Simulation Conference 2016, pp.1-12.

Dulleck, Uwe, Johnston, David, Kerschbamer, Rudolf, Sutter, Matthias (2012). The good, the bad and the naive: Do fair prices signal good types or do they induce good behaviour?, Working Papers in Economics and Statistics, No. 2012-03.

Epstein, J.M. (2007). Generative Social Science: Studies in Agent-Based Computational Modeling, Princeton University Press

Fasten, E.R., Hofmann, D. (2010). Two-sided Certification: The Market for Rating Agencies, SFB 649 Economic Risk Berlin Discussion Paper 2010-007.

Fehr, H., Kallweit, M., Kindermann, F. (2010). Pension Reform with Variable Retirement Age -A Simulation Analysis for Germany-, Netspar Discussion Paper, No. 02/2010-013, pp. 1-33.

Gatti, D.D., Guilmi, C.D., Gaffeo, E., Giulioni, G., Gallegati, M., Palestrini, A. (2003). A new approach to business fluctuations: heterogeneous interacting agents, scaling laws and financial fragility, Journal of Economic Behaviour and Organisation, 35 pages.

Gilbert, N. (2007). Agent-Based Models. Quantitative Applications in the Social Sciences. SAGE Publication, Volume 153.

Hirata, T., Sakamoto, K., Ueda, M. (2008). A Simulation of the Policy of Public Pension Finance in Japan; Kawasaki Journal of Medical Welfare, Vol. 13, No. 2, pp. 127-136.

Inagaki, S. (2005). Projections of the Japanese Socioeconomic Structure Using a Microsimulation Model (INAHSIM), National Institute of Population and Social Security Research Discussion Paper Series, No. 2005-03, pp. 1-37.

- Inagaki, S. (2009). Effect of Proposals for Pension Reform on the Income Distribution of the Elderly in Japan, The Second General Conference of the International Microsimulation Association, Ottawa, 20 pages (2009)
- Inagaki, S. (2010). The Effects of Proposals for Basic Pension Reform on the Income Distribution of the Elderly in Japan, Review of Socionet work Strategies, Vol. 4, pp. 1-16.
- Inagaki, S. (2011). Simulating Policy Alternatives for Public Pension in Japan; the Third General Conference of the International Microsimulation Association. Stockholm, Sweden, pp. 129-144
- Kaldor, N. (1961). Capital accumulation and economic growth, in Lutz, F.A. and Hague, D.C. (eds.): The Theory of Capital, St. Martins.
- Kapteyn, A., Vos, K. (2007). Simulation of Pension Reforms in The Netherlands, Social security Programs and Retirement Around the World: Fiscal Implications of Reform / Edited by Jonathan Gruber and David A. Wise (University of Chicago Press), Chapter 8, pp. 327-349.
- Kim, J., Lee, B. (2005). When a lemon market emerges?, Proc. of the Korean Economic Association, pp. 1-20.
- Martin, J.O. (2004). An introduction to game theory, Oxford University Press.
- Milgrom, P., Roberts, W. (1986). Price and Advertising Signals of Product Quality, Journal of Political Economy, Vol. 94, No. 4, pp. 796-821.
- Murata, T., Arikawa, H. (2012). Pension simulation with a huge number of agents, 2012 7th International Conference on Computing and Convergence Technology (ICCCT), pp. 1482-1487.
- Murata, T., Du, N. (2013). Agent-Based Simulation for Investigating Signaling Effects in Markets with Asymmetric Information, The 2013 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics, H04-01 : Computational Awareness, pp.1-6.
- North, M.J., Macal, C.M. (2007). Managing Business Complexity: Discovering Strategic Solutions with Agent-based Modeling and Simulation, Oxford University Press.

Ohori, K., Takahashi, S. (2010). Market Design for Standardization Problems with Agent-based Social Simulation, *Journal of Evolutionary Economics*.

Paul, D. (2002). Agent Based Social Simulation: A Computer Science View, *Journal of Artificial Societies and Social Simulation* vol. 5, no. 1

Richiardi, M., Leombruni, R., Saam, N., Sonnessa, M. (2006). A Common Protocol for Agent-Based Social Simulation. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation* 9(1).

Rothschild, M., Stiglitz, J. (1976). Equilibrium in competitive insurance markets: An essay on the economics of imperfect information, *Quarterly Journal of Economics*, Vol. 90, pp. 629-649.

Schelling, T.C. (1978). Dynamic Models of Segregation, *Journal of Mathematical Sociology* 1, pp. 143–186.

SingRu, H., Murat, K., Alain, B. (2012). A Game Theoretical Analysis of Lemonizing Cybercriminal Black Markets, *Decision and Game Theory for Security*, Vol. 7638, pp. 60-77.

Spence, M. (2002). Signaling in retrospect and the informational structure of markets, *The American Economic Review*, Vol. 92, No. 3, pp. 434-459.

Stigler, J. (1961). The Economics of Information, *The Journal of Political Economy*, Vol. 69, No. 3, pp. 213-225.

Viceisza, Angelino, C. (2011). The Effect of Irrelevant Information on Adverse Selection in a Signaling Game, *International Food Policy Research Institute*.

Vickrey, W. (1961). Counter speculation, auctions, and competitive sealed tenders, *Journal of Finance*, Vol. 16, No. 1, pp. 8-37.

Wray, R.E., Laird, J.E. (2003), Variability in human behavior modeling for military simulations, *Behavior Representation in Modeling & Simulation Conference (BRIMS)*.

Zacharias, G.L., MacMillan, J., Van Hemel, S.B. (2008). Behavioral modeling and simulation: From individuals to societies, Washington, D.C., National Academies Press.

統計データ

厚生労働省 (2004). 平成 16 年年金改正制度に基づく財政見通しなど,
<http://www.mhlw.go.jp/topics/nenkin/zaisei/zaisei/04/index.html>.

(2005). 平成 16 年度の国民年金の加入・納付状況, 社会保険庁
<http://www.mhlw.go.jp/topics/bukyoku/nenkin/nenkin/toukei/k-nenkin/h16/dl/noufu.pdf>.

(2006). 平成 16 年度社会保険事業の概況, 社会保険庁
<http://www.mhlw.go.jp/topics/bukyoku/nenkin/nenkin/toukei/dl/h16a.pdf>.

(2006). 平成 17 年賃金構造基本統計調査 (全国) 結果の概況,
<http://www.mhlw.go.jp/toukei/itiran/roudou/chingin/kouzou/z05/>.

(2007). 第 20 回 生命表,
<http://www.mhlw.go.jp/toukei/saikin/hw/life/20th/index.html>.

(2008). 人口動態統計 9-15, 人口動態調査, http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/GL08020103.do?_toGL08020103_&listID=000001101925&disp=Other&requestSender=dsearch

(2008). 政策レポート：戦後社会保障制度史,
<http://www.mhlw.go.jp/seisaku/21.html>.

(2008). 平成 17 年国民年金被保険者実態調査結果, 社会保険庁
http://www.mhlw.go.jp/toukei/itiran/shakai_hoken/k-nenkin/h17/dl/kekka.pdf.

(2009). 平成 21 年財政検証結果レポート「国民年金及び厚生年金に係る財政の現況及び見通し」,
<http://www.mhlw.go.jp/topics/nenkin/zaisei/zaisei/report2009/mokuji.html>.

(2010). 平成 20 年国民年金被保険者実態調査結果, 社会保険庁
<http://www.mhlw.go.jp/toukei/list/dl/140-2a.pdf>.

(2012). 公的年金加入者等の所得に関する実態調査結果の概要について,

<http://www.mhlw.go.jp/stf/houdou/2r9852000002exks-att/2r9852000002exm9.pdf>.

(2014). 財政検証結果: 第 9 話, <http://www.mhlw.go.jp/nenkinkenshou/verification/>.

国立社会保障・人口問題研究所 (2006). 日本の将来推計人口, <http://www.ipss.go.jp/syoushika/tohkei/suikei07/suikei.html>.

(2007). 「日本の都道府県別将来推計人口」(平成 19 年 5 月推計)について, <http://www.ipss.go.jp/pp-fuken/j/fuken2007/t-page.asp>.

(2012). Nuptiality: Divorce Rates by Age and Sex to Currently Married Persons, <http://www.ipss.go.jp/p-info/e/psj2012/PSJ2012.asp>.

(2012). Nuptiality: First Marriage Rates by Age of Groom and Bride to Never-Married Persons, <http://www.ipss.go.jp/p-info/e/psj2012/PSJ2012.asp>.

総務省 (2004). 人口推計, <http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/List.do?lid=000001010881>.

(2006). 平成 17 年国勢調査, 全国結果, 報告書掲載表, http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/GL08020103.do?_toGL08020103_&tclassID=000001005118&cycleCode=0&requestSender=search.

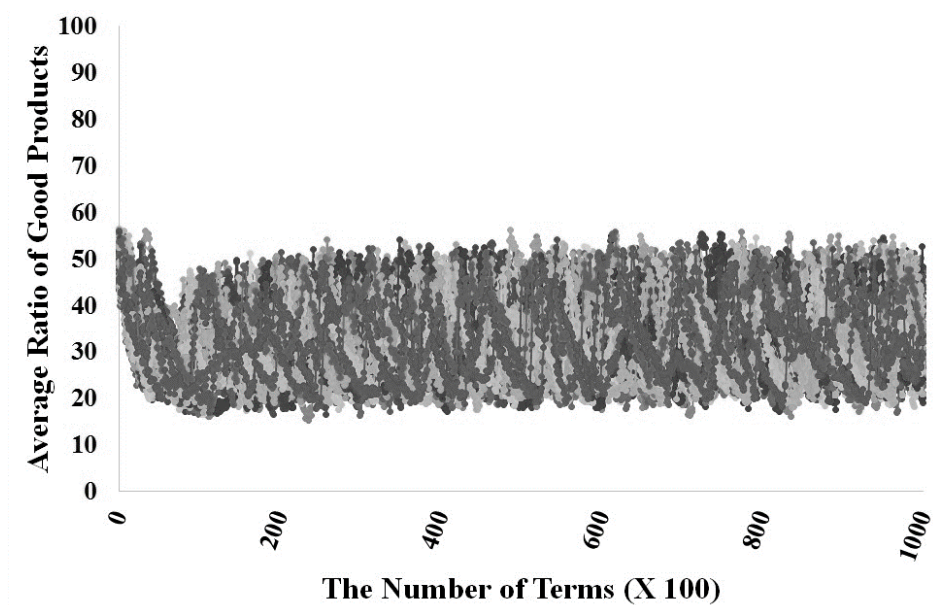
(2007). 平成 17 年国勢調査, 労働力状態・就業者の産業・就業時間など (第 2 次基本集計), 全国結果, 報告書掲載表 1, http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/GL08020103.do?_toGL08020103_&tclassID=000001005214&cycleCode=0&requestSender=search

(2014). 住民基本台帳人口移動報告平成 25 年 (2013 年) 結果, 総務省統計局 <http://www.stat.go.jp/data/idou/2013np/kihon/youyaku/>.

(2015). 人口推計の結果の概要, 総務省統計局, <http://www.stat.go.jp/data/jinsui/2.htm>.

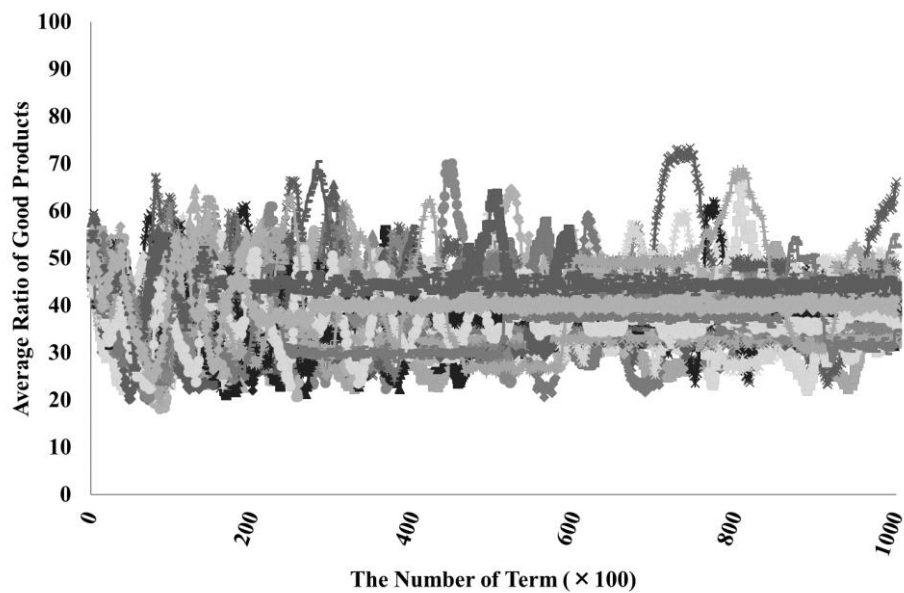
付録 A シミュレーション結果（第 3 章）

A-1 100 回試行の結果（3.3）

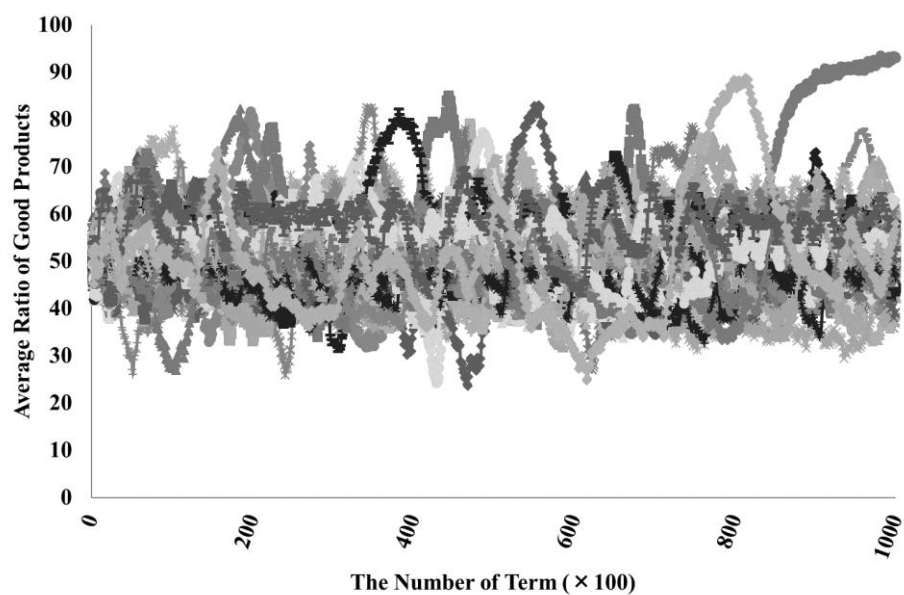


付録 B シミュレーション結果（第 4 章）

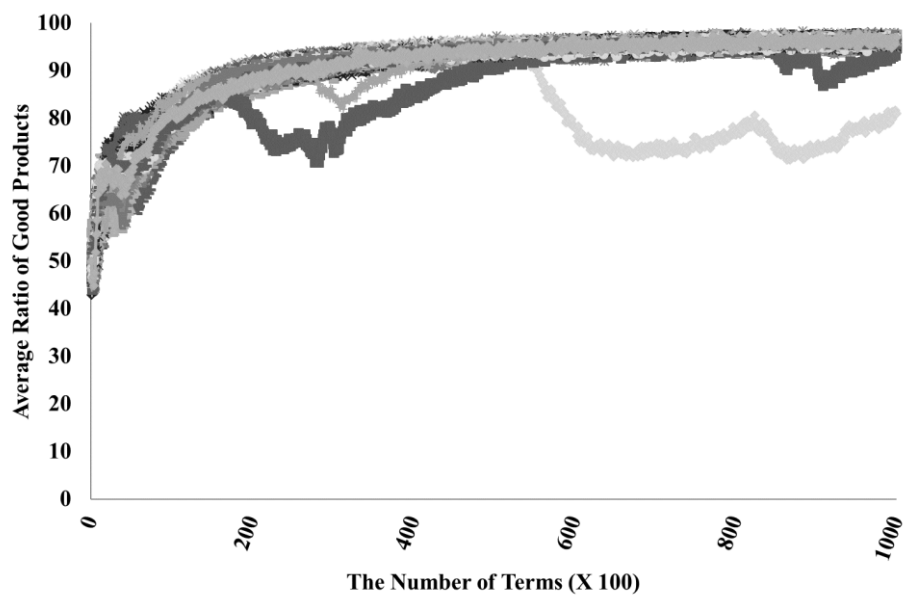
B-1 良品率に依存するシグナルコスト 150 の 100 回試行の結果（4.2）



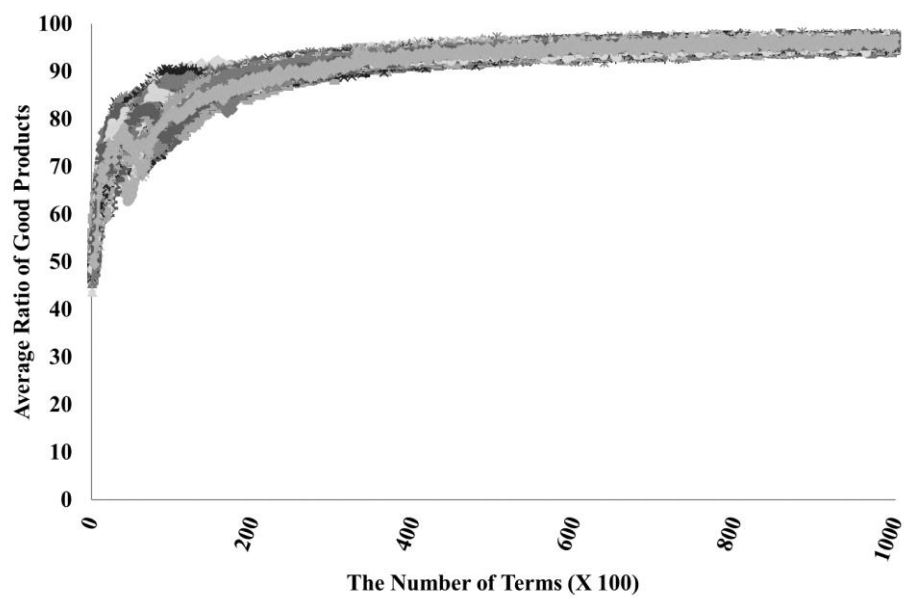
B-2 良品率に依存するシグナルコスト 200 の 100 回試行の結果（4.2, 4.3）



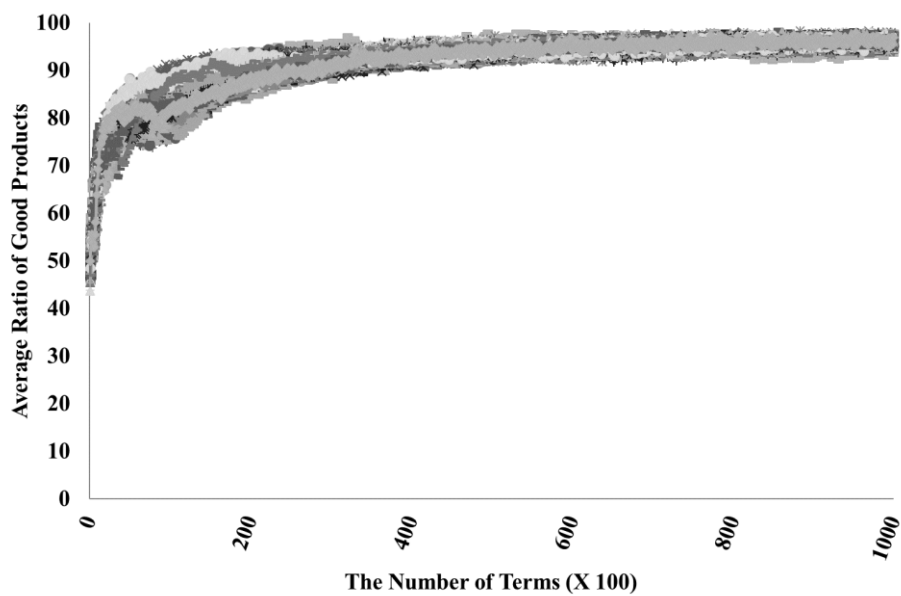
B-3 良品率に依存するシグナルコスト 300 の 100 回試行の結果 (4.2)



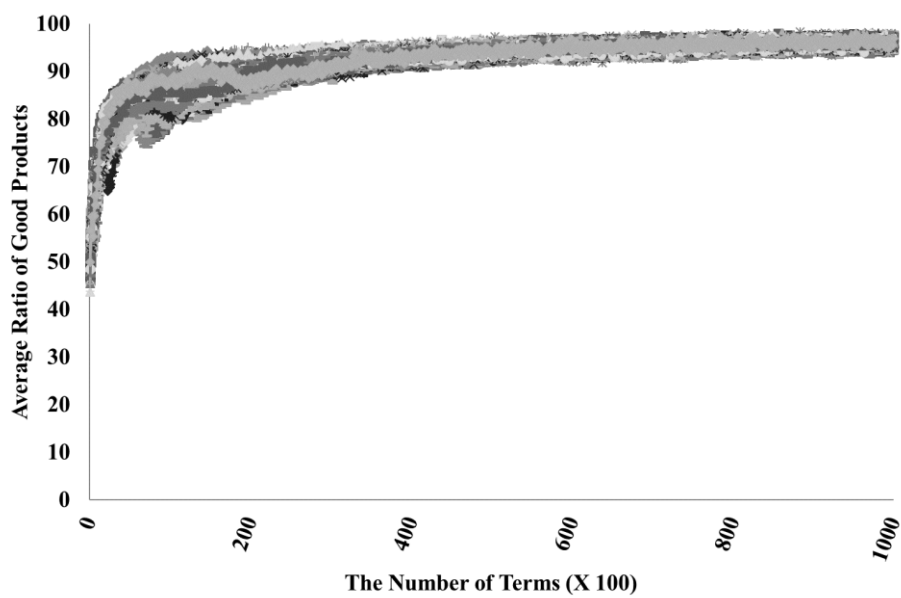
B-4 良品率に依存するシグナルコスト 400 の 100 回試行の結果 (4.2)



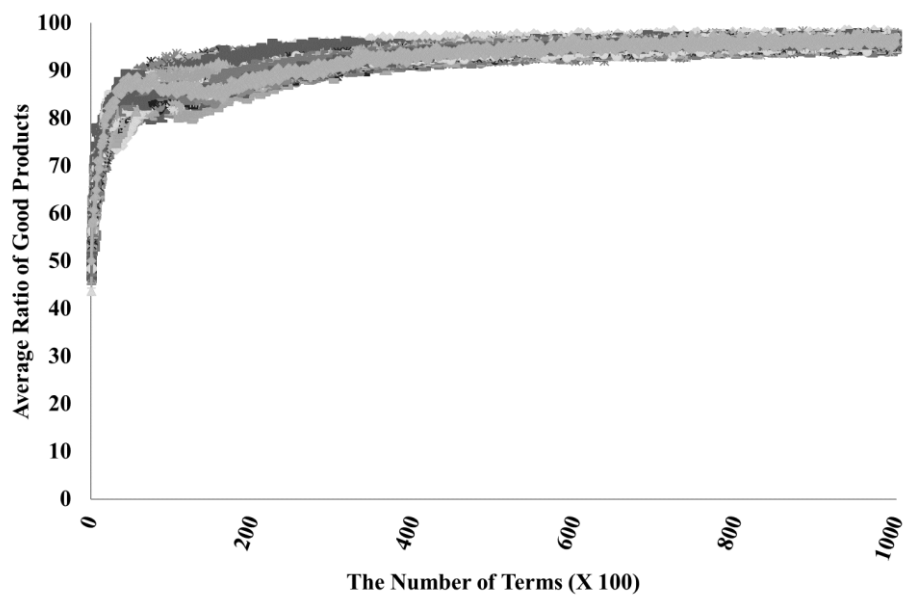
B-5 良品率に依存するシグナルコスト 500 の 100 回試行の結果 (4.2)



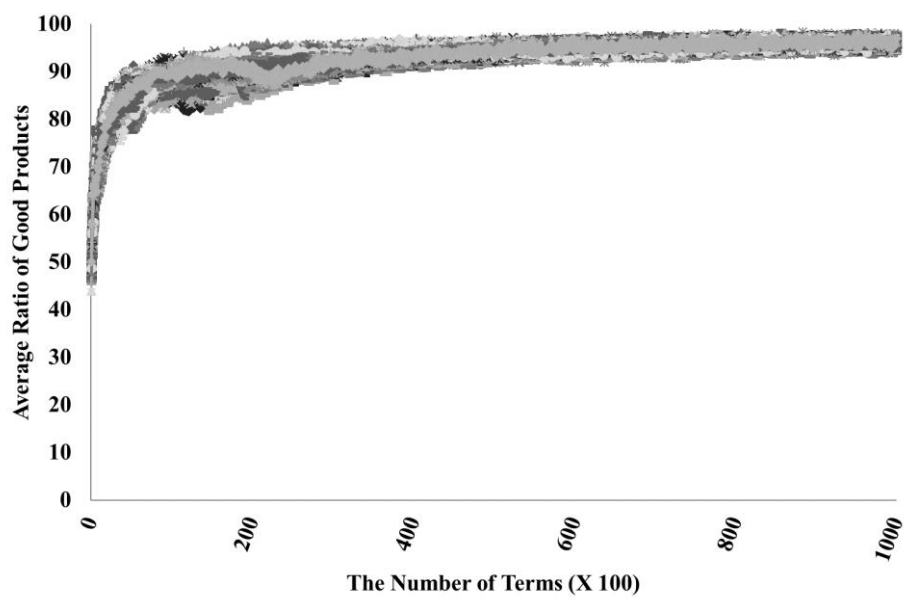
B-6 良品率に依存するシグナルコスト 600 の 100 回試行の結果 (4.2)



B-7 良品率に依存するシグナルコスト 700 の 100 回試行の結果 (4.2)



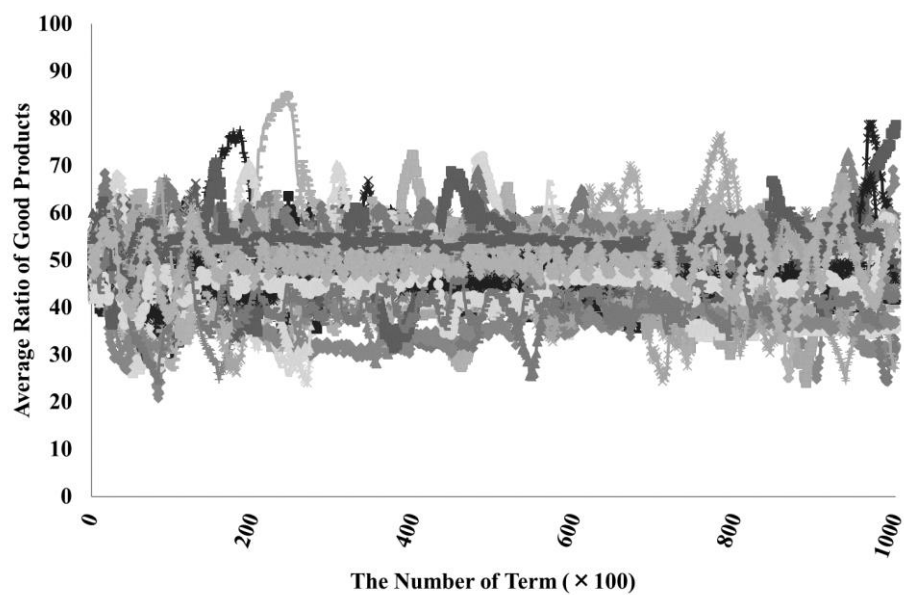
B-8 良品率に依存するシグナルコスト 800 の 100 回試行の結果 (4.2)



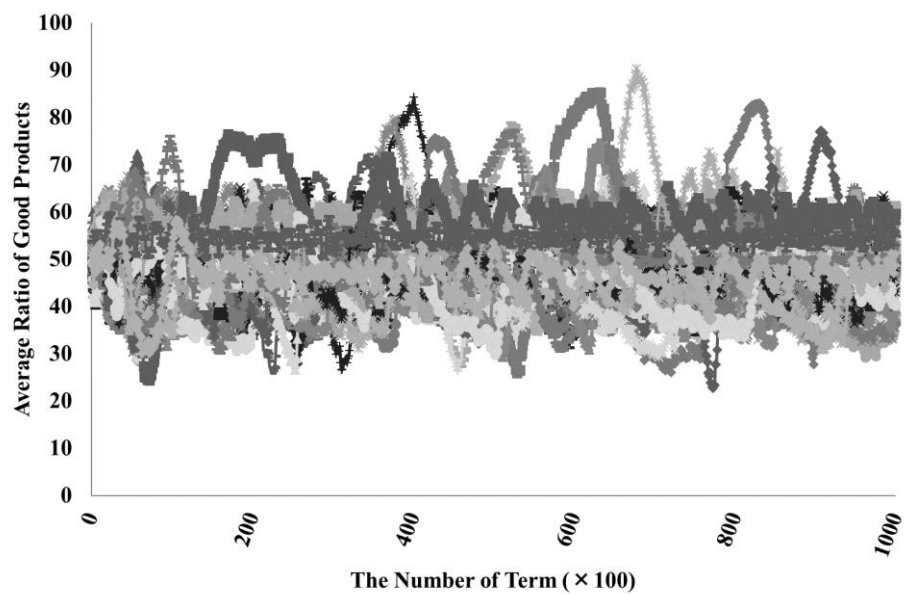
B-9 良品率に依存するシグナルコスト 900 の 100 回試行の結果 (4.2)



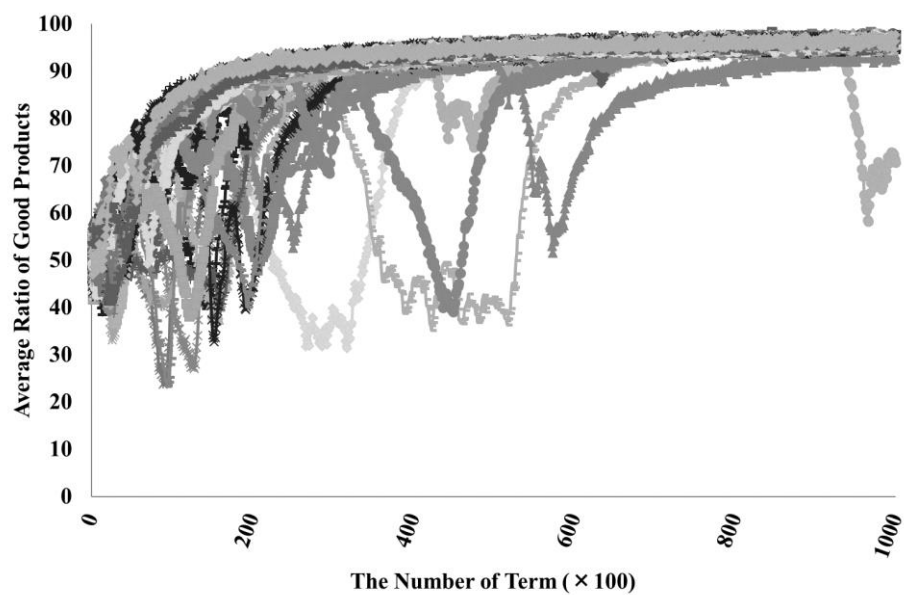
B-10 良品率に依存するシグナルコスト 190 の 100 回試行の結果 (4.3)



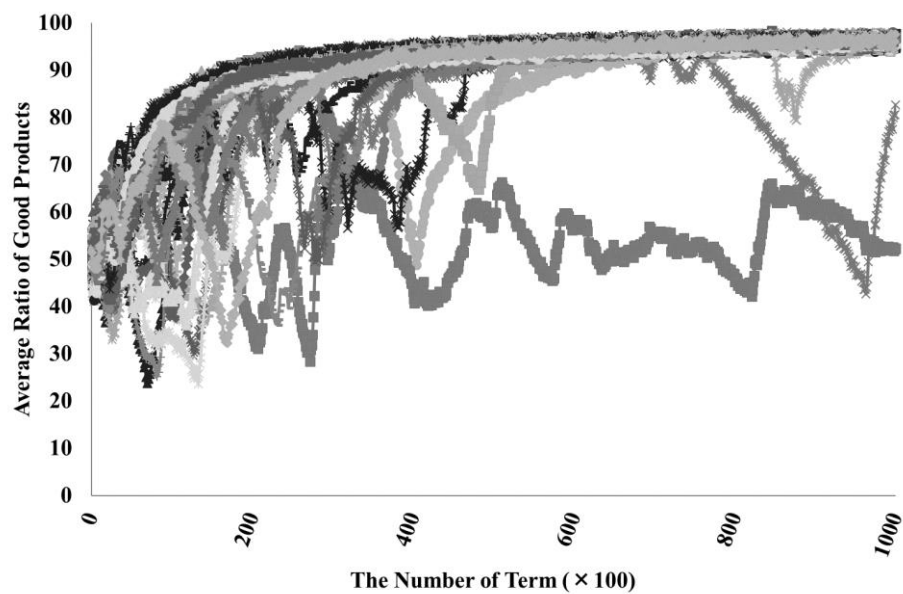
B-11 良品率に依存するシグナルコスト 195 の 100 回試行の結果 (4.3)



B-12 良品率に依存するシグナルコスト 205 の 100 回試行の結果 (4.3)



B-13 良品率に依存するシグナルコスト 210 の 100 回試行の結果 (4.3)



B-14 良品率に依存するシグナルコスト 240 の 100 回試行の結果 (4.3)

