



Title	フィリップス曲線をミクロに検証する労働市場の数理モデル
Author(s)	日野, 光
Citation	北海道大学. 修士(情報科学)
Issue Date	2011-03-24
Doc URL	http://hdl.handle.net/2115/44985
Type	theses (master)
File Information	MasterThesis2010_Hino.pdf



[Instructions for use](#)

フィリップス曲線をミクロに検証する労働市場の数理モデル

日野 光

北海道大学 大学院情報科学研究科 複合情報学専攻 複雑系工学講座 混沌系工学研究室

平成 22 年度 修士論文



図 1: 平成 22 年 2 月 10 日. 講演する筆者. 修士論文発表会にて. (撮影: 井上純一先生)

フィリップス曲線をミクロに検証する労働市場の数理モデル

混沌系工学研究室 修士2年生日野光

Reconstruction of Philips curves in ‘macro’economics from the ‘micro’scopic description of artificial labor markets

Research Group of Complex Systems Engineering
 Laboratory of Chaos Systems Engineering
 MC2 Hikaru Hino

Abstract : We attempt to reconstruct macroscopic properties of labor markets from the view point of microscopic descriptions of multi-agent systems. Especially we derive the so-called *Philips curve* which generally shows universal negative-correlations between the unemployment rate U and the inflation rate π . We first briefly review the macroscopic study by Neugart (2004) who derived deterministic non-linear maps with respect to the U and π . He concluded that the strange attractor of the chaotic maps should be identical to the Philips curve. Whereas, in our microscopic modeling, we should set-up the behaviour of both labor and company agents to construct the macroscopic quantities such as U and π . For instance, some amount of labors can access the information about the successful persons in the previous business year on the number of their applications. On the other hand, each artificial company in our modeling produces a single homogenous commodity and we shall assume that the total amount of the products in a company depends on the total amount of the labor’s abilities in the company. By utilizing computer simulations, we find that our probabilistic model is able to reproduce the Philips curve efficiently. We also confirm that the best possible number of applications for each agent is ‘three’ in the sense that the employment rate is maximized if and only if all agent post their applications (what we call ‘entry seat’) just only three times to the companies. We also discuss the possibility to reproduce the Philips curve by making use of what we call ‘mesoscale model’, which is a hybrid modeling by the mixture of our microscopic model and the macroscopic Neugart model. To check the validity of the modeling, we compare our result with the empirical evidence of Philips curves in recent Japanese labor markets. We shall report the detail in this talk and thesis.

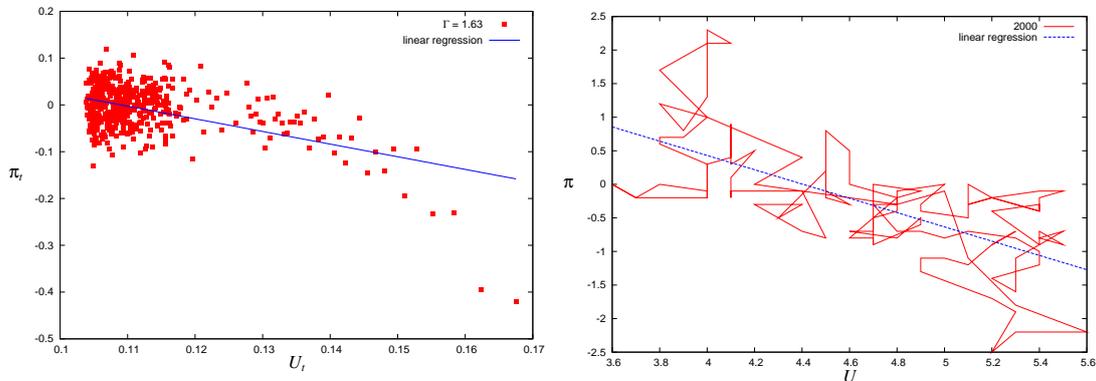


図 1: The our resulting Philips curve with negative correlation $\kappa = -2.073927$ (left panel) and the philips curve in 2000s Japan with $\kappa = -1.063775$ (right panel).

研究業績 : J. Inoue, H. Hino, N. Sazuka and E. Scalas, in preparation for submission. (*Proceedings of Econophysics Colloquium 2009* in Erice Italy. The talk was given by H. Hino.)

目次

1 序論	1
1.1 はじめに：何故ここで「労働市場」を科学するのか？	1
1.2 人工市場におけるミクロ変数とマクロ変数	2
1.3 経済古典における「ミクロ」と「マクロ」	3
1.4 フィリップス曲線：労働市場における‘ボイルの法則’	4
1.5 本論文の構成	5
2 決定論的モデルと労働市場のカオス的振る舞い	6
2.1 Neugart モデル	6
2.1.1 非線形写像の導出	6
2.1.2 非線形写像の分岐構造とカオス	9
2.1.3 カオス・アトラクタとしてのフィリップス曲線	10
2.1.4 失業率と物価上昇率の稠密性と不変測度	11
2.2 Neugart の知見を用いた「メソ・スケール」モデル	11
3 構成論的アプローチ：労働市場の確率モデル	12
3.1 提案する確率モデルの概観	12
3.2 基本パラメータの設定: (i)(ii)	13
3.2.1 求人倍率	15
3.3 エントリフェイズ: (iii)	15
3.3.1 時間構造における「階層性」	15
3.3.2 エントリ・アルゴリズム	15
3.4 採用フェイズ: (iv)	16
3.4.1 エントリ数に関する労働者の学習	16
3.4.2 内定辞退とその扱い	17
3.4.3 終身雇用制度の導入と従業員数	17
3.5 プロジェクト企画フェイズ: (v)	18
3.6 生産フェイズ: (vi)	18
3.7 価格決定フェイズ: (vii)	19
3.8 倒産フェイズ: (viii)	19
3.9 失業率と物価上昇率	19
4 計算機実験	20
4.1 ミクロな確率モデルとその振る舞い	20
4.1.1 就職率の時間変化	20
4.1.2 平衡状態における就職率とエントリ数の関係	21
4.1.3 就職率のエントリ数依存性: 近似を用いた解析解	22
4.1.4 最適応募数の求人倍率依存性	24
4.1.5 就職率の実質競争率依存性	26
4.1.6 フィリップス曲線と相関係数	27
4.1.7 曲線当てはめと線形相関係数	28
4.2 メソ・スケールモデルとその振る舞い	29

4.3 実データ解析: 我が国の年代別フィリップス曲線と相関係数	30
5 考察とディスカッション	31
5.1 本研究で用いた仮定/仮説の再検討	32
5.2 レlevantなマクロ変数の選択について	33
6 結論	34

1 序論

1.1 はじめに：何故ここで「労働市場」を科学するのか？

労働は人間の基本的活動であり、労働による対価として人々は貨幣や物品(賃金)を受け取り、それらの相互交換によって市場は形成される。一方、生産/サービス活動を行う企業は、自社の商品やサービス等を効率的に生み出すために労働者を必要とし、その労働の対価として労働者に賃金を支払う。従って、収益が低迷している企業は労働者の雇用を抑え(ときにリストラを行使し)、逆に、成長企業は自社グループ拡大のため、労働者雇用を促進する。社会全体の景気が悪化し、十分な雇用が確保できない状況では、失業者が増加し、また、その結果、国や地方自治体の税収も悪化する。そうした状況下にある国家(例えば、現在の日本)は金利を大幅に下げ、大量の国債を発行し、それを(多くの国内/海外投資家に)売却することで、不足した税収を国家の「借金」として補うことになり、これが国としての信用を落とすばかりか、場合によっては「国家的経営破綻」につながりかねないリスクを生んでいる。よって、明らかに「失業」と「その対策」はミクロな労働者個人の文化的生活の維持のためだけでなく、よりマクロに「地方自治体レベル」「国家レベル」においても重大な(おそらくは最重要な)問題である。従って、労働者がある種の「商品」として捉え、雇用側(企業)、非雇用側(労働者)の需要と供給のバランスを考え、その「市場」がどのように振る舞うか、政府の施すマクロな政策が、どの程度、雇用の問題に対して有効なのかを系統的に調べることは社会科学における重要な研究テーマである。

このような「労働市場」が現れたのは、経済的自由が認められるようになった近代国家の成立以降であるが、そこに現れる問題の質や量は時代や国、社会の雇用形態の変遷等よって時々刻々変化してきている。例えば、現代の日本では、若年失業(所謂「フリーター」「契約社員」なども含む)が大きな問題として取り沙汰されているし、今年度(2010年)、大学卒業者の(12月期)就職率が戦後最低の60%台まで落ち込み、その結果、大学4年間のなかでの就職活動の占める割合が増加し、勉学や卒業研究等に支障が出ていることが新聞、テレビなどのマス・メディアで取り上げられているのは周知の通りである。また、かつての「終身雇用制度」が崩れ、リストラなどが進行することで、熟高年の再雇用など、今までの日本では考えられなかった問題も出現し、これらが人々に大きな社会不安を与え、深刻な問題となっている。また、近年では、労働者(主に新卒大学生)と企業間の、所謂「ミスマッチ」により、大企業に多くの応募者が殺到する一方、中小の企業/工場は「不安定である」という理由から敬遠され、それが実質的な失業率の増加につながっているという報告もされている。

このように「失業」は様々な経済活動が複雑に絡み合って起こる「複合事象」であり、労働市場と企業の生産活動、人々(労働者)の消費活動との関連性を数理的に理解することは、非常に重要でやりがいがあり、時間をかけて取り組むに値する研究課題であることは明らかである。しかし、この問題は所謂「複雑系」であるものの、かといって現実の労働市場をそのまま「人工労働市場」として詳細まで踏み込んで忠実にモデリングすれば、所望の知見が得られる、というものでも決してない。そこでは自然科学で用いられる方法論、すなわち、ある問題の適切な切り口や視点を見いだし、可能な限りモデルをシンプルに設定し、非本質的要因を捨象し、本質的かつ普遍的な現象を抽出するアプローチが重要になる[1]。

また、モデリングにおいては、労働市場固有の問題も忘れては行けないファクタである。例えば、労働市場における労働者と企業のマッチング・プロセスを考えてみると、これを「労働者グループ」と「企業グループ」間の単なる2部グラフの最適化問題として捉え、全ての労働者が少なくとも一つの「空席」にありつけるようにアルゴリズムを設計することは決して政策として最善であるとは言えない[2]。なぜならば、労働者にはそれぞれ個人的な嗜好があり、また、「職業選択の自由」が

保証されているからである。従って、マッチングプロセスとしてもこのような「堅い」拘束条件ではなく、より柔軟で一般性のあるものを取り入れなければならない [9, 10].

そこで、本研究では、労働市場における**ミクロ変数**と**マクロ変数**、および、**それらの間の相互作用**を深く考察することで、労働市場の普遍的性質を明らかにするという視点(切り口)に立ち、可能な限りシンプルな数理モデル(確率モデル)を提案する。また、計算機実験、および、(限定的ではあるが)解析計算から得られる結果を実データと比較することで、伝統的なマクロ経済で広く知られている、所謂、**フィリップス曲線**をミクロな視点から再構成し、その適用限界をミクロな視点から検討する。

1.2 人工市場におけるミクロ変数とマクロ変数

経済システムを再現する「人工市場」を構築する場合、**ミクロ変数**、**マクロ変数**という概念(考え方)が有効となる。ここで言うミクロ変数とは、市場の(最小)構成要素であるエージェントの行動を何らかの規則のもとで符号化した変数であり、トレーダを例にとれば、ある金融商品を「売り」(例えば「-1」で符号化)「買い」(例えば、「+1」で符号化)する判断を符号化したものがミクロ変数を与える。この意味では、労働市場において「企業がどの労働者を採用するか」、あるいは「労働者がどの企業を選ぶか」という判断もミクロ変数で表されることになる。

一方のマクロ変数とは、簡単に言うと、ミクロ変数をシステムサイズ・オーダーまで積み重ねることによって得られる変数を表す。例えば、トレーダ i ($i = 1, \dots, N$) の意思決定が $S_i = +1$ (「買い」)、 $S_j = -1$ (「売り」) であるとすれば、金融商品価格の変動幅 Δp は、これら変数をシステムサイズ・オーダー N まで足し上げて

$$\Delta p = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{i=1}^N S_i \quad (1)$$

としてモデリングすることができる。従って、価格変動幅(リターン): Δp はマクロ変数である。この例以外にも、後に見て行くように、労働市場における失業率、国民総生産などもマクロ変数に分類される。

ところで、経済システムは時間とともに変化していくため、ミクロ変数、マクロ変数とも、それぞれ複雑に絡み合いながら時間発展して行くが、その時定数(緩和時間)は一般的に異なる。言い方を変えれば、この時定数の違いで人工市場に現れる変数を「ミクロ」「マクロ」に分類することもできる。例えば、トレーダの意思決定は数秒から数ミリ秒の短い時間スケールで行われるのが普通である [11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25]. 従って、この「売り」「買い」判断を表す変数の時間変化の時定数は極めて短い。一方、金融商品の価格はこれらトレーダの意思決定の後に確定することから、その変化はミクロ変数の更新時点からかなり遅れてやってくる。また、失業率は就職活動が終了する年度末に公表されることが多く、これは各労働者と各企業間で、応募/面接/内定という手続きが行われる時間スケールと比べ、極めて長い時間スケールで状態更新する統計量と捉えるのが自然である。

また、ミクロ変数がある確率過程に従って状態更新する「確率変数」の場合、ある十分な時間が経過したのち、それらミクロ変数から構成されるマクロ変数を観測すると、ミクロ変数は頻繁に状態更新を続けているにも関わらず、マクロ変数値は常に一定値として測定される場合がある¹。こうした状態をここでは「平衡状態」と呼ぶ。

¹一定値のまわりの標準偏差が無視できる

自然科学における**熱力学**は、こうした平衡状態が成り立つ状況下で一定値として測定されるマクロ変数:「圧力 P 」や「体積 V 」,「温度」等の中に成立する関係性を議論する理論体系である. これらマクロ変数を与えるミクロ変数は「分子(の動き)」であるが,マクロ理論である熱力学はミクロ変数の存在(詳細情報)を必要としない.しかし,ミクロ変数の動きからマクロ変数間の関係を導くことは重要であり,これを可能にし,マクロ変数の振る舞いを「ミクロに基礎づける」のが**統計力学**である.

例えば,高等学校の化学や物理学で学んだように, P と V の間には,一定温度,理想気体の条件下で次のボイルの法則:

$$PV = \text{一定} \quad (2)$$

が成り立つが(図2),統計力学を用いることで,上関係式(2)を各分子の位置と運動量が従う(熱)平衡分布から導くことができる.もちろん,経済システムには上記の意味での厳密な「平衡状態」

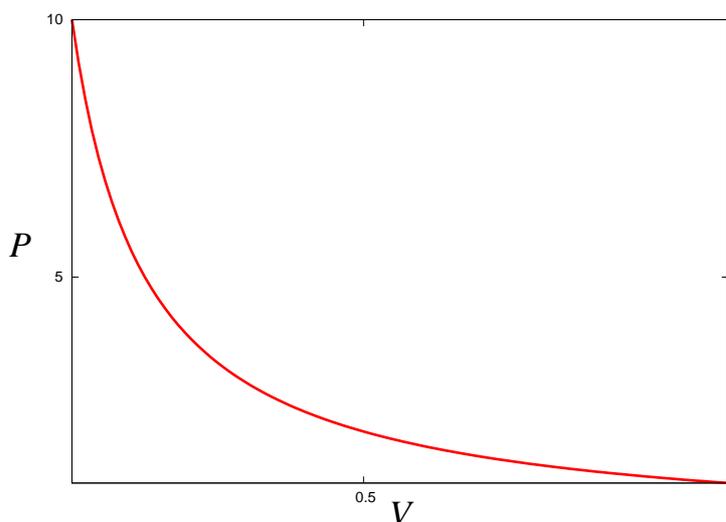


図 2: 高等学校の化学や物理学でお馴染みの「ボイルの法則」.

は存在しないかもしれないが,ミクロ変数の状態更新のダイナミックスを具体的に与えて,マクロ変数の時間発展,および,複数のマクロ変数間の関係式を計算機実験の助けを借りて議論することは可能であり,このような方針の下で人工労働市場の統計的性質を議論するのが我々の採用する研究上の戦略である.

1.3 経済古典における「ミクロ」と「マクロ」

経済システムにおける「ミクロ」と「マクロ」,および,その間の「階層構造」に着目し,その方向性での研究の重要性を説く,このような考え方自体は,実のところ,かなり早い段階で一部の経済学者のなかにもあったにはあった.例えば,F. Hayek (1945) は

「マクロの集計的な数字のみでは経済を議論することができない.」 「例えば,消費であれば,どのような人々がどのような考え方に基づいて消費しているのか,というミクロな議論の積み重ねが無け

ればならない。」

と言っているし、R. Lucas (1976) は

「マクロ経済のモデルは**ミクロ経済学的基礎に立脚すべき**である (所謂、「ルーカス批判」).」 「経済主体 (つまり、ここでは現代的に「エージェント」と考えても良いと思う) の行動原理のないマクロ経済モデルは、将来に対する予想の変化によって経済主体の行動様式自体が変化すれば、全く意味がなくなる。」

と言いつつ [3].

彼らが統計力学、あるいは、熱力学と統計力学の關係に精通していたかどうかは定かではないが、いずれにしても、彼らのような著名な経済学者が、経済金融システムにおける「階層性」を明確に意識していたことは上記引用からも良くわかる。

しかし、「問題を把握する」という觀念論のレベルにとどまることと、具体的「ミクロな」数理モデルを構築し、重要となる「マクロな」統計量をコンピュータなどを用いて**実際に計算すること**で問題を定量的議論にのせることとの間にはひどく大きなギャップがあるし、そのギャップを埋めるためには、ある程度、経済学の知識を持った上で、統計力学や統計学 (およびその周辺の数学)、エントロピーなど各種の情報量規準に基づく情報論的考え方、大規模な計算機実験や実データ解析を行うためのスキルなど「現代的なモノの考え方/理論的道具立て」を利用することは不可欠である。従って、「経済学」「経済金融システムの研究」は典型的「多体問題」であるだけでなく、今や、脳科学と同様に学際的研究分野となっている。

1.4 フィリップス曲線：労働市場における‘ボイルの法則’

本論文で我々は人工労働市場をモデル化するが、「ミクロ」と「マクロ」の關係性を捉える上で、どのような (観測) 量を取り上げるのか、は重要である。

ここで我々が注目するマクロ変数は、**失業率と物価上昇率**であり、それら変数は**フィリップス曲線**と呼ばれる關係を満たすことが知られている。

フィリップス曲線とは 1958 年に英国の経済学者 Alban William Housego Phillips が実データに基づいて発見した法則に基づく曲線である [26]. 具体的には物価上昇率を縦軸に、失業率を横軸に選んだとき、これらの変量間に成立する「負の相関」を示したものである。ここで言う物価上昇率とは、消費者物価指数を表しており、消費者物価指数は、全国の世帯が購入する家計に係る財及びサービスの価格等を総合した物価の変動を時系列的に測定したものであり、家計の消費構造を一定のものに固定し、これに要する費用が物価の変動によって、どのように変化するかを指数値で示したものである [6].

図 3 は日本の 1970 年代から 2000 年代までのフィリップス曲線を 10 年おきのデータからプロットしたものである。この図より、全体として負の相関が見てとれる。我々は上記のフィリップス曲線を「労働市場における‘ボイルの法則’」² とみなし、これをミクロに説明するための人工労働市場を構築する。

²ここで言う‘ボイルの法則’は経済システムにおける「理想気体」を考えているのではなく、ある種のアナロジーである。さらに、 $P \propto V^{-1}$ から類推される (物価上昇率) \propto (失業率)⁻¹ を意味するのではなく、物価上昇率と失業率の間の「負の相関」を意味するものとする。我々は、この「相関」を後に「相関係数」によって定量化する。

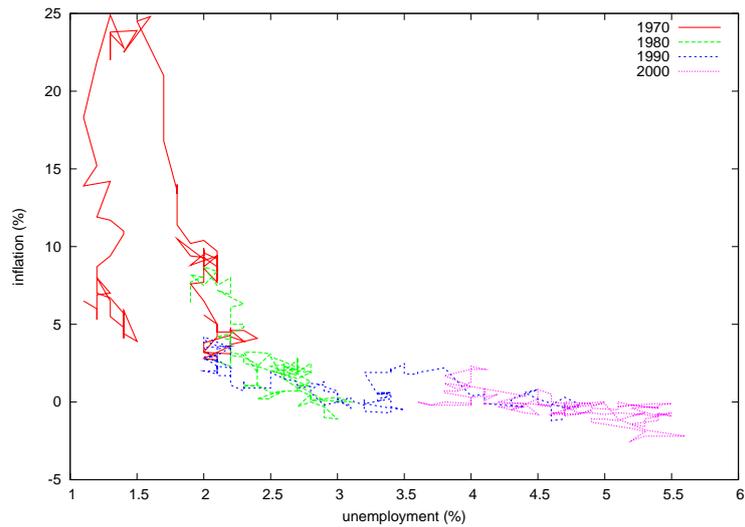


図 3: 我が国の年代別フィリップス曲線.

1.5 本論文の構成

本論文の構成は以下の通りである. 次の第 2 節では, 決定論的なアプローチとして, Neugart モデルを紹介し, 失業率, および, 物価上昇率 (インフレ率) の 2 変数に関する状態更新が, 非線形写像で与えられることを示す. この写像を制御するパラメータを変化させることで, 失業率, 物価上昇率はともに周期解を経てカオス・アトラクタに引き込まれることを示す. また, このカオスのストレンジ・アトラクタがこの系のフィリップス曲線を与えることを示し, 失業率と物価上昇率との間に「負の相関」が現れることを計算機実験により明らかにする. また, ここでの Neugart モデルと提案する確率モデルを相補的に組むことにより, ミクロ・スケールとマクロ・スケールの中間スケールの人工労働市場の記述形式とも言うべき, 「メソ・スケールモデル」を提案する. 続く第 3 節では, 我々が本論文で提案する構成論的アプローチによる人工労働市場の確率モデルについて, その詳細を説明する. 具体的には労働者, および, 企業のエージェントを導入し, 労働者と企業とのマッチングプロセスをミクロに定式化し, また, 企業側のプロジェクト/生産プロセス, および, 労働者による消費プロセス, さらに, 収益の悪化した企業の倒産プロセス等を導入することで, ミクロなモデルを構築する. 続く, 第 4 節では第 3 節で定式化したミクロな確率モデルの振る舞いを様々な統計量を介して数値実験を行う. 特に, 失業率と物価上昇率との間に成立するフィリップス曲線の形状とこれら 2 つのマクロ量との間の相関係数の正負を議論する. また, 第 2 節で導入した, メソ・スケールモデルの振る舞いとそのフィリップス曲線の形状, および, その結果と我が国のフィリップス曲線から得られる実データとの比較検討を行う. 第 5 節で全ての計算結果の検討・考察を行い, 今後議論すべき問題点などについても洗い出しを行う. 最後の第 6 節は簡単なまとめである.

なお, 本論文で我々が提案するミクロなモデルには多数の変数が現れる. 従って, これらの変数を表す記号とその意味, 計算機実験において具体的に設定した数値を論文の巻末に表にして載せる.

2 決定論的モデルと労働市場のカオスの振る舞い

労働市場の振る舞いを調べるための数理モデルはこれまでも数多く提案されているが、それらの多くは失業率や物価上昇率、インフレ率など、複数の「マクロな量」「マクロ変数」間の関係を与えるものであり、「ミクロ変数」となるエージェントの意思決定に基づく行動が、これらマクロ変数にどのような影響を与えるのか、あるいは、逆に、政府や中央銀行によって施される金融政策のようなマクロ変数への働きかけが、エージェントの行動にいかなる影響を及ぼすのか等を確率モデルを用いて構築した研究は少ない。しかし、統計力学の構築に熱力学が必要であったように、既存の、典型的労働市場のマクロモデルについての振る舞いを詳しく検討することで、ミクロなモデルを構築する際の足がかりとすることは重要である。特に、「労働市場では主にどのようなマクロ変数の動きを追うのか」また、「経験的にわかっている法則や関係式についての情報は得ることのできるのか」さらに、「その結果を実データなどとの整合性をはかることができるのか」等をそのマクロモデルからの知見としてミクロモデルの構築に利用する(フィードバックさせる)ことは重要である。

そこで、ここでは、Neugart によって提案された、2つのマクロ変数 — 失業率と物価上昇率 — に関する決定論的な非線形写像で与えられるマクロな労働市場モデルを紹介する。また、我々は後に、ここでの Neugart モデルと提案する確率モデルを相補的に組むことにより、**ミクロ・スケールとマクロ・スケールの間スケールの人工労働市場の記述形式とも言うべき、「メソ・スケールモデル」**を提案する。

2.1 Neugart モデル

上述のように、Neugart モデルはマクロ変数に関する決定論的非線形写像で与えられるため、ミクロ変数であるエージェントの意思決定に基づく「ジョブマッチング過程」はモデリングされていない。具体的には、失業率と物価上昇率の関係をマクロに与え、その年次ごとの状態更新が非線形写像を与える。

2.1.1 非線形写像の導出

まず、ステップ t での失業率³ を U_t 、外的な社会要因のためそれまで定職にあった者が職を失う「離職率」を i とする。また、それまで失業中だった者が職にありつき、「就労者組」へと流れ込む確率を就職率として o_t とする。ここに、この就職率はステップ t に依存することに注意されたい。このとき、ステップ $t+1$ での失業率 $U_{t+1} (\leq 1)$ は前ステップ t での失業率 U_t を用いて

$$U_{t+1} = U_t + i(1 - U_t) - o_t U_t \quad (3)$$

で与えられるものとする。この式の意味するところは、ステップ $t+1$ での失業率 U_{t+1} は、前ステップの失業率 U_t にステップ t で職にありつけた労働者のために「失業組」が減る寄与: $-o_t U_t$ と、このステップで職を失った労働者: $i(1 - U_t)$ の和で与えられるという事実である。

Neugart モデルでは離職率 i は時間的に変化せず、「外的コントロールパラメータ」として扱う。具体的にはカオス力学系として広く知られるロジスティック写像:

$$x_{t+1} = ax_t(1 - x_t) \quad (4)$$

³ 「ステップ t 」をここでは「年次」と考えるとイメージしやすいと思われる。

における分岐パラメータ a と同様の扱いとする。後に見ることになるが、この離職率 i を変化させていくことで、システムは周期軌道からカオス軌道への分岐を見せることになる。

一方、ステップ t で職を見つける労働者の割合 o_t はステップに依存して変化するものとして扱う。具体的にはステップ t での値が次式によって与えられるものとする。

$$o_t = \frac{J_s + J_{c,t}}{U_t + d(1 - U_t)} \quad (5)$$

$$J_{c,t} = \gamma(m - \pi_t) \quad (6)$$

ここに、(5) 式分子に現れる $J_s + J_{c,t}$ は考える社会における全求人数を与える。この2項のうちの第1項 J_s は定数であり、時間が経過しようが不変に保たれる社会が供給する一定数の求人数を意味する。一方、第2項 $J_{c,t}$ は社会情勢等によって変化をうける一定求人数 J_s からの「偏差」であり、この時間的に変化する求人数は、Neugart モデルにおいては (6) 式のように貨幣価値の成長率 m と物価上昇率 π_t の差によって決まるものと仮定される。 γ は $0 < \gamma < 1$ を満たす定数である。従って、貨幣価値が上昇すればするほど、実質求人数 $J_s + J_{c,t}$ は増加し、逆に、物価上昇率が上がればあがるほど減少する。

分母は現在 (ステップ t) に職にありつけていない求職者数であり、分母第2項 $d(1 - U_t)$ は職にありつきながら、より良い職を探している就労者の数を表し、この項と第1項である離職者数 U_t を合算したものの $U_t + d(1 - U_t)$ が社会全体の求職者数を与えることになる。従って、 d は所謂 *On the job searching* の割合を表すパラメータと考えることもできる。

以上を総合すると、(5) 式はステップ t で職にありつける人の割合は求人数に比例し、求職者数に反比例するという事実を表すことになる。

次に、期待物価上昇率 $\pi_{e,t}$ 、交渉賃金 $w_{b,t}$ 、(実質) 賃金 w_p を定義する。期待物価上昇率とは、将来に予想される物価上昇率のことである。Neugart モデルでは、ステップ $t+1$ における期待物価上昇率が、ステップ t における期待物価上昇率と物価上昇率 π_t との間の、パラメータ a ($0 \leq a \leq 1$) を用いた加重平均として、次式で定義される。

$$\pi_{e,t+1} = a\pi_t + (1 - a)\pi_{e,t} \quad (7)$$

また、物価上昇率 π_t を定義するために、以下で、労働者の賃金 w_p 、ステップ t での交渉賃金 $w_{b,t}$ を以下に説明するように定義する。

まずは賃金を次で定義する。

$$w_p = (1 - \mu)y \quad (8)$$

ここに、 y は労働者一人当たりの生産量であり、 μ は「需要弾力度」の逆数を表す。需要弾力度とは、需要の増加にもなると価格が下落する割合を表し、この価格の下落率が小さいほど需要弾力度が大きいものとして定義される (図4参照)。従って、労働者の実質賃金は、需要の弾力性が大きければ大きいほど高くなる。これは例えば、いわゆる「贅沢品」の需要弾力性は大きいのが、日常品の弾力性は低いということからわかるように、一人あたりの生産量 (y) が同じであれば、より高価なものを生産すればするほど、その労働者の実質賃金は上昇することを意味している。これは理にかなった設定である。簡単のため、以下では $y = 1$ として議論を進める。

多くの就労者は労働組合に加入しており、労働組合は次年度の賃金⁴、を引き上げるために交渉を行う。この交渉が成功すれば賃金は上昇する。従って、次にステップ t での交渉賃金を

$$w_{b,t} = 1 - (1 - b)U_t \quad (9)$$

⁴多くの場合には、給与の基本的部分 (「ベース」) の引き上げ、つまり、ベースアップ (所謂「ベア」)。

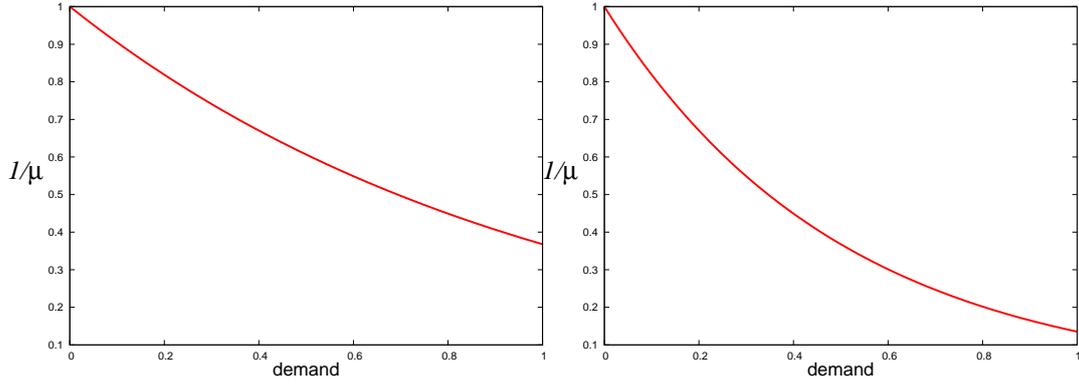


図 4: 重要弾力度 $1/\mu$ の需要 (demand) 依存性. 左図が弾力性が高く, 右図が低い.

で定義する. ここに, パラメータ b は $0 < b < 1$ の値をとることから, 交渉賃金は離職率が高ければ高いほど減少し⁵, 逆に離職率ゼロの極限, つまり, 全ての労働者が就労している状況下においては, 一人あたりの生産量, すなわち, $y = 1$ に一致する⁶. これらを用いて, ステップ t での物価上昇率を次式で定義する.

$$\pi_t = \frac{1}{\delta} \left(\pi_{e,t} + \frac{w_{b,t} - w_p}{w_p} \right) = \frac{1}{\delta} \left(\pi_{e,t} + \frac{\mu - (1-b)U_t}{1-\mu} \right) \quad (10)$$

ここで, 上式の説明のため, ステップ t での賃金上昇率を

$$\Delta w_t \equiv \frac{w_{b,t} - w_p}{w_p} \quad (11)$$

で定義しよう. つまり, Δw_t はある時刻における賃金 w_p に対し, 時刻 t における交渉賃金 $w_{b,t}$ がどの程度まで上昇したかの割合を w_p を基準に測ったものである.

従って, (10) 式の意味は, ステップ t での賃金上昇率が正 ($\Delta w_t > 0$) ならば, ステップ t での物価上昇率は, 期待される物価上昇率 $\pi_{e,t}$ より大きくなり, 逆に, 賃金上昇率が負 ($\Delta w_t < 0$) ならば, 物価上昇率は, 期待物価上昇率よりも小さく押しえられる. このことは, 賃金が労使交渉によって上昇し, 消費者でもある就労者にお金がかまわれば回るほど, 人々の購買意欲が上がり, 多くの消費材の需要が増加することで, それらの価格も高騰していくことを考えると, 合理的な設定であると思われる.

また, (10) 式における δ は, (10) 式において $w_p = w_{b,t}$ とおけば明らかのように, 物価上昇率と期待上昇率の間のスケール変換 (大きさの調整) を表すパラメータである.

以上から, 物価上昇率 π_t と離職率 U_t の間の連立非線形写像を得ることができる. 具体的には, (3) 式に (5), (6) 式を (10) 式に (7) 式を代入すると

$$U_{t+1} = U_t + i(1 - U_t) - U_t \frac{J_s + \gamma(m - \pi_t)}{U_t + d(1 - U_t)} \quad (12)$$

$$\begin{aligned} \pi_{t+1} = & \frac{1}{\delta} \left(\frac{\mu}{1-\mu} + a\pi_t + (1-a) \left(\delta\pi_t - \frac{\mu - (1-b)U_t}{1-\mu} \right) \right) \\ & - \frac{1}{\delta} \left(\frac{1-b}{1-\mu} \left(U_t + i(1 - U_t) - U_t \frac{J_s + \gamma(m - \pi_t)}{U_t + d(1 - U_t)} \right) \right) \end{aligned} \quad (13)$$

⁵労働組合の構成員が減少するため, 賃金交渉が十分適切に行われないと考える.

⁶労働組合の構成員による賃金交渉の結果, 就労者の意見が取り入れられ, 生産量に見合った賃金が得られると考える.

となる。つまり、 U_t と π_t は上記の非線形写像に従って、ともに決定論的に状態更新していくことになる。

ところで、上記の非線形写像 (12)(13) の固定点 $U^* = U_{t+1} = U_t, \pi^* = \pi_{t+1} = \pi_t$ は直ちに

$$U^* = \frac{\mu - m(\delta - 1)(1 - \mu)}{1 - b} \quad (14)$$

$$\pi^* = m \quad (15)$$

のように求めることができる。ここでは、物価上昇率の固定点 π^* が、貨幣価値の上昇率 m に等しい、すなわち、 $\pi^* = m$ と仮定すると、(12) 式で、 $U^* = U_{t+1} = U_t, \pi^* = \pi_{t+1} = \pi_t = m$ とおくことで

$$U^* + i(1 - U^*) - U^* \frac{J_s}{U^* + d(1 - U^*)} = 0 \quad (16)$$

すなわち

$$J_s = \frac{i(1 - U^*(U^* + d(1 - U^*)))}{U^*} \quad (17)$$

として社会が供給する一定数の求人数 J_s が定まる。以下の数値計算では、上記 (17) の条件下で非線形写像 (12)(13) の振る舞いを調べて行くことにする。

2.1.2 非線形写像の分岐構造とカオス

前出の非線形写像 (12)(13) は分岐パラメータ i を変化させていくことで、やがてカオス的振る舞いを見せる。図 5 に分岐パラメータを $i = 0.8$ と選んだ場合の失業率 U_t と物価上昇率 π_t の時間変

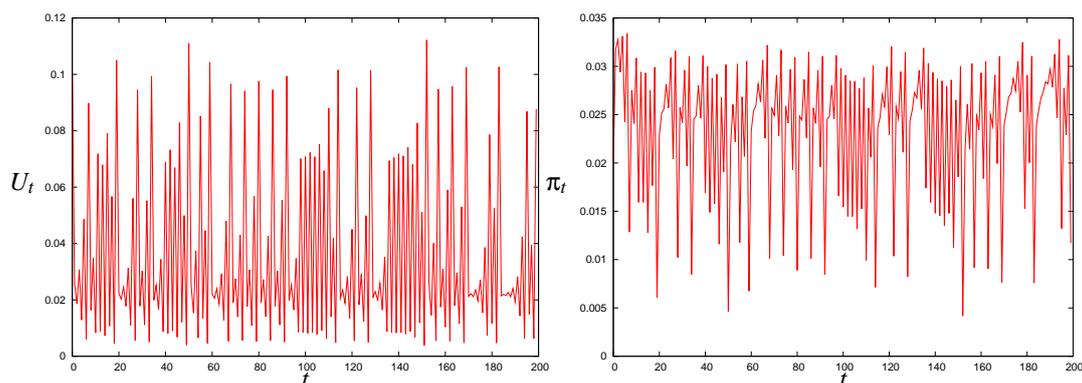


図 5: 分岐パラメータを $i = 0.18$ と選んだ場合の失業率 U (左) と物価上昇率 (右) の時間変化。各種パラメータは、 $d = 0.01, b = 0.5, \mu = 0.04, \gamma = 0.5, \delta = 2, a = 0.5, m = 0.03$ と選んだ。

化を $t = 200$ 程度までプロットした。この図から明らかにそれぞれの軌道は固定点へ収束することもなく、また、周期軌道をとることもなく、「複雑な振る舞い」をみせることがわかる。そこで、分岐パラメータを $i = 0.1$ から $i = 0.185$ 程度まで増加させた場合の U_t, π_t のとりうる値をプロットし、この非線形写像の分岐構造を調べてみる。結果を図 6 に載せる。ここに、 i 以外の各種パラメータは、 $d = 0.01, b = 0.5, \mu = 0.04, \gamma = 0.5, \delta = 2, a = 0.5, m = 0.03$ と設定した。この図から、 $i \simeq 0.13199$ を境に分岐し、パラメータ i が増加していくと分岐が増え、カオス的な振舞いを見せることがわかる。このカオスを発生させる分岐パラメータとしては、 m や d でも同様であり、これらの

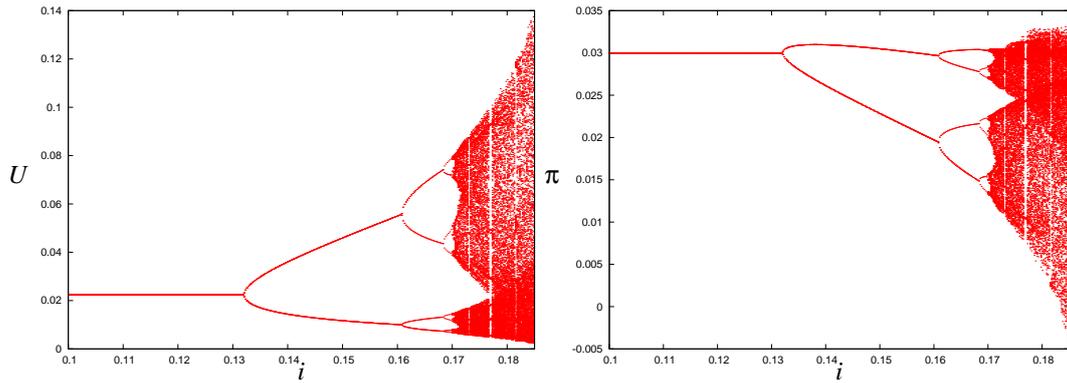


図 6: パラメータ i を変化させた場合の失業率 U (左) と物価上昇率 (右) の分岐構造. $i = 0.18$ 程度でカオスが生じる. 各種パラメータは, $d = 0.01, b = 0.5, \mu = 0.04, \gamma = 0.5, \delta = 2, a = 0.5, m = 0.03$ と選んだ.

分岐パラメータが, ある一定の値を超えた時, パラメータと失業率 U や物価上昇率 π の関係はカオスになる.

2.1.3 カオス・アトラクタとしてのフィリップス曲線

分岐パラメータ i (離職率) をカオスが出現するような値を取った時の失業率 U と物価上昇率 π の関係は図 7 のようになる. 図 7 から, 失業率 U と物価上昇率 π が負の関係を表すフィリップス曲線

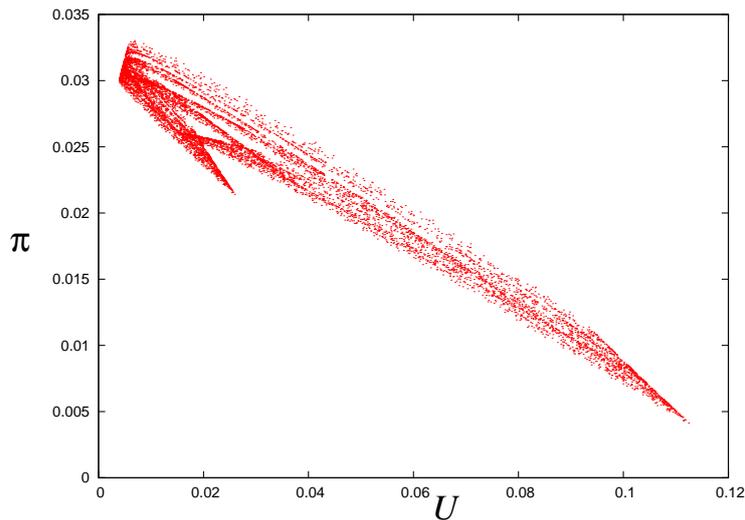


図 7: 失業率 U と物価上昇率 π の関係 (フィリップス曲線). 各種パラメータは, $d = 0.01, b = 0.5, \mu = 0.04, \gamma = 0.5, \delta = 2, a = 0.5, i = 0.18, m = 0.03$ と選んだ.

が現れていることがわかる.

また, 図 8 には, 失業率, および, 物価上昇率の時間発展を横軸を時刻 t , 縦軸を $t + 1$ での値にそれぞれプロットした. スケールを変えてプロットを眺めて行くと, 自己相似な構造が見える. 従って, Neugart モデルでは, このような「ストレンジ・アトラクタ」がフィリップス曲線を与えることがわかる.

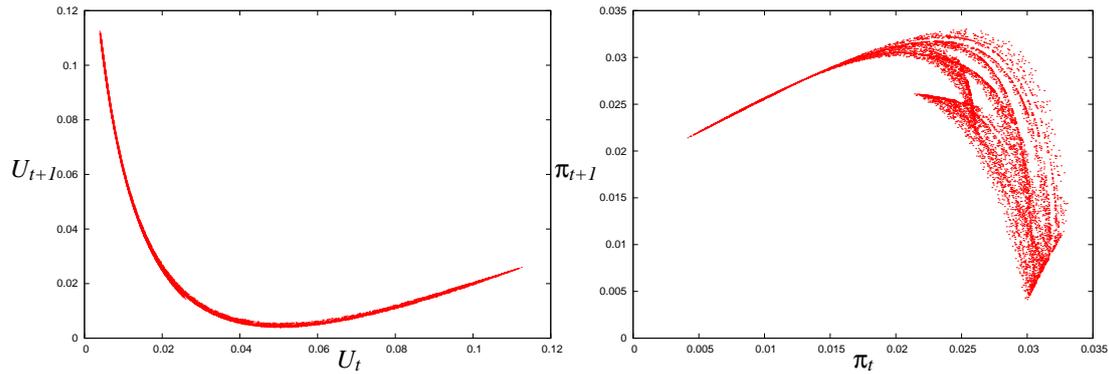


図 8: 分岐パラメータを $i = 0.18$ と選んだ場合の失業率 U (左) と物価上昇率 (右) の時間変化を横軸を時刻 t , 縦軸を $t+1$ での値にそれぞれプロットしたもの. 各種パラメータは, $d = 0.01, b = 0.5, \mu = 0.04, \gamma = 0.5, \delta = 2, a = 0.5, m = 0.03$ と選んだ.

2.1.4 失業率と物価上昇率の稠密性と不変測度

U_t, π_t で記述される力学系はカオスであるから, 有界区間の全ての微小領域をそれらの軌道が埋め尽くし, 結果として, これらの変数に関する不変測度 (密度関数) $P(U), P(\pi)$ が得られる. その結果を図 9 に示す. 従って, Neugart モデルは決定論的な状態更新の非線形写像によって失業率と物

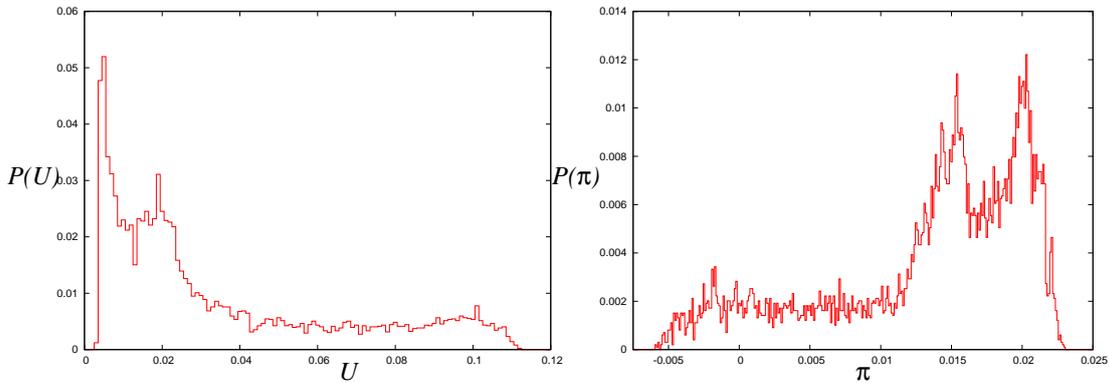


図 9: 失業率と物価上昇率の不変測度, $P(U)$ (左), および $P(\pi)$ (右). $d = 0.01, b = 0.5, \mu = 0.04, \gamma = 0.5, \delta = 2, a = 0.5, m = 0.03$ と選んだ.

価上昇率が決まるが, その写像からのサンプリングを行うと, それは上記のような不変測度を持ち, ある種のバイアスのかかった「乱数生成装置」のような性質も兼ね備えていることがわかる. しかし, 重要なのは, 各ステップでは決定論的な状態更新式に従って, 失業率と物価上昇率が変化する点である.

2.2 Neugart の知見を用いた「メソ・スケール」モデル

我々は, 次節以降で説明するマイクロモデルから導きだされる失業率と価格上昇率のいずれか一方と, ここで述べた Neugart モデルの失業率, あるいは, 価格上昇率のどちらかを組み合わせることで, ミク

ロ・スケールとマクロ・スケールの「中間」に相当する「メソ・スケール」モデルを構築することもできる。

具体的には

$$U_{t+1} = U_t + i(1 - U_t) - U_t \frac{J_s + \gamma(m - \pi_t)}{U_t + d(1 - U_t)} \quad (18)$$

$$\pi_{t+1} = \mathcal{F}(\text{次節で導入されるマイクロモデルからの発展式}) \quad (19)$$

あるいは

$$U_{t+1} = \mathcal{G}(\text{次節で導入されるマイクロモデルからの発展式}) \quad (20)$$

$$\pi_{t+1} = \frac{1}{\delta} \left(\frac{\mu}{1 - \mu} + a\pi_t + (1 - a) \left(\delta\pi_t - \frac{\mu - (1 - b)U_t}{1 - \mu} \right) \right) - \frac{1}{\delta} \left(\frac{1 - b}{1 - \mu} \left(U_t + i(1 - U_t) - U_t \frac{J_s + \gamma(m - \pi_t)}{U_t + d(1 - U_t)} \right) \right) \quad (21)$$

を構築し、上記方程式で与えられる労働市場をここでは**メソ・スケールモデル**と呼ぶことにする。メソ・スケールモデルでは、失業率 U_t 、物価上昇率 π_t のいずれか一方は決定論的漸化式に従って状態更新を行うが、他方は確率モデルに基づき、ミクロなエージェントの意思決定から決定されるため、Neugart モデルと異なり、カオスの振る舞いを見せることはない。しかし、これらマクロ変数の状態更新に確率的要素を加えることで、現実の労働市場における「不確定性」を再現することができると気体される。上記の2タイプのメソ・スケールモデルのそれぞれの振る舞いとその結果は次節以降で議論することになる。

3 構成論的アプローチ：労働市場の確率モデル

前節では、各種のマクロ統計量の間になりたつ時間的な関係性を仮定することで、離職率と物価上昇率に関する連立非線形写像を導出した。しかし、このマクロモデルの最大の欠点は、例えば、離職率 U_t がどのようなミクロ変数の動きから決定されるか、という観点が欠落していることである。本来、離職率はミクロにみると、求職者と従業員募集をかける企業との間のジョブ・マッチングのプロセスや、企業倒産による「解雇」など、ミクロなエージェントの振る舞いに左右されるはずである。前節でのマクロモデルでは、これらミクロなエージェントの行動を「粗視化」しており、そのような粗視化の手続きのもとで得られるマクロ変数 U_t と π_t の振る舞いを論じている。

そこで、本節では、前節で得られた離職率（失業率）と物価上昇率の時間変化、および、フィリップス曲線の振る舞いをミクロな確率的エージェントの動きから導くことを試みる。前節でのマクロ変数が確率的でなく、決定論的に時間発展したのに対し、ここでのエージェントは各ステップにおいて、前年度の情報に基づき「確率的に」意思決定する。労働者人口程度の大規模システムを想定する場合、エージェントの確率的動作仮説は、現実の十分良い近似を与えるものと期待できる。

提案モデルの説明である本節とその結果を述べる次節は本論文の中心部分である。

3.1 提案する確率モデルの概観

ここでは、本研究で構築するマイクロモデルにおける各エージェントとその行動について述べる。本モデルでは複数の労働者エージェント群 $W = \{W_i | i = 1, \dots, N_W\}$ と企業エージェント群 $C = \{C_j | j = 1, \dots, N_C\}$ によって社会（労働市場）が構成されると考える。各エージェントは、他

のエージェントの行動に関わらず、それぞれが独立して行動する。つまり、ここではマイクロ変数間の陽な相関は考えない。このとき、「一単位年次」を計算機シミュレーションにおける単位ステップ幅「1」で定義する。

ここで扱うマイクロモデルには、多くの変数が含まれ、かつ、それらの変数間の関係が複雑であるため、まずは、各エージェントの単位ステップあたりの行動と計算機シミュレーションの手順の概観を押しえておくことにする。各フェイズの詳細は次節以降に逐次説明を与える。

- (i) 企業 C_j ($j = 1, \dots, N_C$) の初期資金 $e_{C_j}(0)$, 募集人数 v_{C_j} , 賃金 w_{C_j} を設定する。各企業は各々、金融サービス、電気製品、重工業、自動車... 等、いずれかの「業界」に属するものとし、それら「業種」を $m(l)$ ($l = 1, \dots, N_M$) で区別する。
- (ii) 労働者 W_i ($i = 1, \dots, N_W$) の労働力を b_{W_i} , 応募数を a_{W_i} とし、これら変数を一様乱数からランダムに決定する。
- (iii) 各労働者は応募数 a_{W_i} ($1 \leq a_{W_i} \leq a_{\max}$) 回だけ、希望企業にエントリーできる。
- (iv) 企業は応募者のなかから採用予定人数分だけ採用する。
- (v) 各企業は成功確率の予想値 $P'(t)$ のプロジェクトを企画し、そのプロジェクトを遂行するための「コスト」を支払うことで、プロジェクトを実行する。プロジェクトの成功確率 $P_{W_j}(b)$ は各企業の総労働力によって決まる。
- (vi) プロジェクトの成功した企業のみが「生産」を行うことができる。
- (vii) 生産を行った企業は得られた「生産物 (消費材)」の価格を決定し、企業は生産物を売り、その収益の一部から労働者に賃金を支払う。
- (viii) 資金 (= 収益 - 投資 - 賃金) がマイナスになった企業はその時点で倒産し、倒産した企業の就労者は失業する。

上記のプロセス (i)-(viii) を多数回 (多数ステップ) 繰り返すことで、失業率や物価上昇率などのマクロ変数の時間発展、および、マクロ変数間の関係性を議論する。

以下では上記の各フェイズについて説明していく。

3.2 基本パラメータの設定: (i)(ii)

まずは、システムサイズ等、計算機シミュレーションを実施する際の基本パラメータの設定を行い、各種パラメータ間に成立すべき関係について押しえておく。

企業の総数を N_C , 業種数を N_M , 業種 $m(l)$ の企業数を $N_{m(l)}$, $l = 1, \dots, N_M$ とすると

$$\sum_{l=1}^{N_M} \sum_{j=1}^{N_{m(l)}} 1 = N_C \quad (22)$$

が成立する。ここでは、 $N_C = 500$, $V = 72000$, $N_W = 44000$ とする。

業種 $m(l)$ に属する各企業 C_j はステップ (時刻) t ごとに、募集人数 $v_{C_j \in m(l)}$ だけ労働者を募集する。各企業 C_j は業種 $m(l)$ ($l = 1, \dots, N_M$) のいずれかに属しており、全企業のうちのどの業種に何社が属するか (つまり、 $N_{m(l)}$) に関する情報は「経済産業省企業活動基本調査」[4] に基づく統計によって決定する。ここでは、シミュレーションの開始時に、企業 C_j が業種 $m(l)$ に属する確率を

$P_{C_j \in m(l)} = \gamma_{m(l)}$ で設定しておく. ここに, $\gamma_{m(l)}$ は $0 \leq \gamma_{m(l)} \leq 1$ を満たす実数であり, 確率の規格化条件から

$$\sum_{l=1}^{N_M} \gamma_{m(l)} = 1 \quad (23)$$

が成り立つことに注意する. 具体的にここでは, $N_M = 4, \gamma_{m(1)} = 0.475, \gamma_{m(2)} = 0.378, \gamma_{m(3)} = 0.012, \gamma_{m(4)} = 0.166$ と設定する.

ここでは簡単のため, $v_{C_j \in m(l)}$ はステップ t に依らず一定であり, 「同業種の企業の募集人数は全て同じ」として議論を進める. すなわち, 全企業の募集人数を V , 業種 (業界) $m(l)$ の募集人数を $V_{m(l)}$ とすれば

$$\sum_{j=1}^{N_{m(l)}} v_{C_j \in m(l)} = V_{m(l)} \quad (24)$$

$$\sum_{l=1}^{N_M} V_{m(l)} = V \quad (25)$$

が成立することに注意すべきである. 一定値とおいた $v_{C_j \in m(l)}$ は, (24) 式から直ちに

$$v_{C_j \in m(l)} \sum_{j=1}^{N_{m(l)}} 1 = V_{m(l)} \quad (26)$$

であるから

$$v_{C_j \in m(l)} = \frac{V_{m(l)}}{N_{m(l)}} = \text{一定値} \quad (\forall C_j) \quad (27)$$

で与えられる. ここに, $V_{m(l)}$ は $\epsilon_{m(l)}$ を業種 $m(l)$ の募集人数を決定するパラメータとして関係式:

$$V_{m(l)} = \epsilon_{m(l)} V \quad (28)$$

で与えられることに注意されたい⁷. 具体的には, $\epsilon_{m(1)} = 0.44, \epsilon_{m(2)} = 0.393, \epsilon_{m(3)} = 0.012, \epsilon_{m(4)} = 0.166$ とした.

次に, 労働者のパラメータの設定を行う. 労働者は各ステップ t ごとに, 一定数 N_W 人だけ労働市場に参入する. 各労働者 W_i は, 各自が希望する業種を一つ決定する. ここで, 労働者 W_i が業種 $m(l)$ を希望する確率を $P_{W_i \in m(l)} = \delta_{m(l)}$ と定義し, この値を「ワークス大卒求人倍率調査 (2010 年卒)」 [6] からの統計に基づいて設定する. 確率の規格化条件から

$$\sum_{l=1}^{N_M} \delta_{m(l)} = 1 \quad (29)$$

が成り立つことに注意すべきである. ここで, 具体的に $\delta_{m(1)} = 0.362, \delta_{m(2)} = 0.136, \delta_{m(3)} = 0.14, \delta_{m(4)} = 0.362$ とおいた.

労働者 i の労働力 b_{W_i} , および, 応募数 a_{W_i} をそれぞれ, 実数, 整数として定義し, b_{W_i} を範囲 $[b_{\min}, b_{\max}]$ から, a_{W_i} を $[1, a_{\max}]$ の一様乱数を離散化した (整数化した) 数からランダムに決定する (つまり, a_{\max} 面サイコロを振る). ここに, $a_{\max} = 6, b_{\min} = 0.2, b_{\max} = 1$ としたことに注意されたい.

⁷当然, (24)(28) 式から, パラメータ $\epsilon_{m(l)}$ は規格化条件 $\sum_{j=1}^{N_{m(l)}} \epsilon_{m(l)} = 1$ を満たす.

3.2.1 求人倍率

労働者数 N_W と全企業の募集人数 V の間には、パラメータ Γ を比例定数として

$$V = \Gamma N_W \quad (30)$$

なる関係があるものとする。このパラメータ Γ はその意味合いから、労働市場における**求人倍率**とみなすことができる。また、この逆数は労働市場における「実質競争率の逆数」とできるため、本論文では以降、 $\beta \equiv \Gamma^{-1}$ を実質競争率として定義し、しばしばこの名称で参照する。また、本研究では専ら、 $\Gamma > 1$ の「売り手市場」を考えるが、 $\Gamma < 1$ の「買い手市場」も提案モデルの範囲内で解析可能であることを付言しておく。なお、計算機シミュレーションにおける具体的な我が国における求人倍率 Γ の値は「ワークス大卒求人倍率調査 (2010 年卒)」[6] における統計に基づいて決定した。具体的には

$$\Gamma = \frac{V}{N_W} = \frac{72000}{44000} = 1.63 \quad (31)$$

である。

3.3 エントリフェイズ: (iii)

ここでは、労働者の各企業への「エントリ」の具体的手続きについて説明する。このフェイズは本確率モデルにおいて重要なプロセスの一つである。下記に述べるように、我々の確率モデルでは、労働者エージェント間に陽な相互作用は存在しない。すなわち、「彼があこの企業にエントリするから、私もエントリする」「あこの企業にエントリする友人が少ないから、私もエントリしない」という類いの意思決定をエージェントがとることはない。その代わりに、今年度エントリするエージェント群の一部が、前年度に首尾よく就職できたエージェント群の戦略を参考にして各自のエントリの戦略を決定することができる(エントリ数の学習のフェイズを参照のこと)、という「緩やかな」相互作用がシステムに存在するものとしてモデリングを行う。詳細を以下で説明していこう。

3.3.1 時間構造における「階層性」

本論文で提案する確率モデルでは、単位ステップ内にラウンド $L (\leq a_{\max})$ 回の応募が行われる。つまり、このモデルでは、離職率や物価上昇率が算出され、厚生労働省/経済産業省などの統計となる「ステップ t 」よりもさらに短い「時間スケール L 」が存在し、この L の時間スケールが、このモデルにおける「最小時間スケール」を与える。従って、提案モデルでは、時間軸上にもこのような「階層性」を有することに注意されたい。

3.3.2 エントリ・アルゴリズム

具体的なエントリの手続きは、ラウンド $L = 1$ で各労働者 W_i は (ii) で決定された希望業種のなかの 1 つの企業にエントリする。業種内の、どの企業にエントリするかは一様乱数を用いてランダムに決定する。つまり、この段階で職についた人々の割合: $f_t^{(L=1)}$ は次式で与えられる。

$$\begin{aligned} f_t^{(L=1)} &= 1 - \frac{\sum_{l=1}^{N_m} (N_W \delta_{m(l)} - V_{m(l)}) \Theta(N_W \delta_{m(l)} - V_{m(l)})}{N_W} \\ &= 1 - \sum_{l=1}^{N_m} \left(\delta_{m(l)} - \frac{V_{m(l)}}{N_W} \right) \Theta \left(\delta_{m(l)} - \frac{V_{m(l)}}{N_W} \right) \end{aligned} \quad (32)$$

ここに、 $\Theta(x)$ は階段関数であり、 $x \geq 0$ ならば 1 を、 $x < 0$ ならばゼロを出力する。また、 $f_t(L=1)$ はステップ t 、ラウンド $L=1$ における就職率と考えることもできる。具体的な数字を代入すると、 $f_t(L=1) = 0.769849$ が得られる。従って、全てのラウンドが終了した後の就職率を f_t とすれば、 f_t はステップ t での失業率と次の関係を持つことに注意されたい。

$$f_t = 1 - U_t + (\text{全労働者に対する企業倒産による失業者の割合}) \quad (33)$$

従って、提案モデルでは、上記の就職率は新卒者を対象とした就職率と考えることができる。

ラウンド $1 < L \leq a_{\max}$ においては、労働者 W_i は、応募数 a_{W_i} のラウンドになるまで企業にエントリーできる。ここでは、必ずしも自分の希望業種にエントリーするのではなく、業種も範囲 $[1, N_M]$ の一様乱数を整数化した数からランダムに選択し、エントリーするものとする。つまり、各労働者は最初のラウンドのみ、自分の希望業種にエントリーし、それ以降は各ラウンドで「 N_M 面サイコロ」を振り、出た目に基づいて業種を決めてエントリーする。また、当然のことであるが、単位ステップにおいて、労働者 W_i が同じ企業に重複してエントリーすることはできない。

3.4 採用フェイズ: (iv)

エントリーフェイズ (iii) が終了した後、各企業 C_j はエントリーしてきた労働者のなかから適時、「採用活動」を行う。このとき、ステップ t において、企業 C_j にエントリーしてきた労働者数を $s_{C_j}(t)$ とすると、採用試験や面接の後に、企業 C_j 採用した労働者数 $u'_j(t)$ は次式で与えられる。

$$u'_{C_j}(t) = \begin{cases} s_{C_j}(t) & (v_{C_j} > s_{C_j}(t)) \\ v_{C_j} & (v_{C_j} \leq s_{C_j}(t)) \end{cases} \quad (34)$$

つまり、エントリー数 $s_{C_j}(t)$ が募集人数 (採用予定人数) v_{C_j} を上回った場合、企業がランダムに労働者を選別し、 $u'_{C_j}(t) = v_{C_j}$ のように採用予定人数まで切り詰めて採用を決定する。ここで、どの企業からも採用されなかった労働者は、今後、永久に失業のままとなる。

3.4.1 エントリー数に関する労働者の学習

高度に情報化が進んだ現代では、前年度 (ステップ) の各労働者が彼らの就職活動において採った戦略とその結果を新聞や各種の就職情報誌等、様々なマス・メディアを介して次年度の労働者が参照できる。本モデルでは、そのような戦略に関する情報のなかから「**成功者のエントリー回数**」のみが参照可能であるものとする。その具体的参照法を以下で説明する。

まず、ステップ t で就職することのできた労働者数を g_t とすると、就職できなかった労働者 \bar{g}_t は明らかに

$$\bar{g}_t = N_W - g_t \quad (35)$$

与えられる。ステップ $t+1$ で労働市場に参入する労働者 N_W のうち、直前ステップ t で就職することのできなかつた人数 \bar{g}_t だけが、ステップ t で就職することのできた労働者の「応募数 a_i の平均」を参考にし (このグループを集合 \mathcal{A}_{t+1} と呼ぶ。 $|\mathcal{A}_{t+1}| = \bar{g}_t$ である)、自分の応募数を決定し、直前ステップで就職できた人数に対応する、残りの g_t 人 (この集合を \mathcal{B}_{t+1} と呼ぶ。 $|\mathcal{B}_{t+1}| = g_t$ で

ある) は各自のエントリ数をランダムに決定するものとする。つまり、ステップ $t+1$ における労働者 W_i の応募数は

$$a_{W_i} = \begin{cases} \frac{\sum_{i=1}^{g(t)} a_{W_i}}{g_t} \text{ の整数部分} & (W_i \in \mathcal{A}_{t+1}) \\ [1, a_{\max}] \text{ の一様整数値乱数} & (W_i \in \mathcal{B}_{t+1}) \end{cases} \quad (36)$$

で与えられる。すなわち、各エージェントの各ステップにおけるエントリ数は一つ手前のステップの状態 (例えば前年度の就職状況) に依存して「単純マルコフ的」に決定されることになる。

3.4.2 内定辞退とその扱い

既に述べたように、我々の確率モデルでは、同一企業への重複エントリは禁止されており、かつ、同一時間ステップ内の 2 回目以降のラウンドでは、各労働者は各自の希望業種以外の業種へも積極的にエントリするものとしている。従って、一つも内定をもらえない労働者が出現する一方、複数の内定、あるいは多数の内定を占有する労働者も現れる。また、「大企業」と「中小企業」にそれぞれカテゴライズされる企業からの内定通知を同時に複数受け取った場合、多くの労働者は「安定した」大企業を選ぶ場合が多く、このような内定辞退者の存在 (および、それによって就職できなかった層への「しわ寄せ」) が企業と労働者間の「ミスマッチ」を増長し、結果として社会全体の離職率を持ち上げることで大きな社会問題となっていることは周知の事実である。本モデルでは、労働者が複数の企業から内定通知を得る場合、該当する労働者は、採用された企業からランダムに一社を選び就職することで「内定辞退」を取り入れる。従って、ステップ t において、企業 C_j の採用した労働者数 $u_{C_j}(t)$ は常に採用予定人数よりも少なく、不等式: $u_j(t) \leq u'_j(t)$ が満たされる。

3.4.3 終身雇用制度の導入と従業員数

現代の日本では、「終身雇用制度」が崩れ、企業は適時リストラを敢行し、また、労働者もより良い職場を求めて企業を移り変わる形態に以降してきていると言われる。しかし、社会全体としてみると、多くの企業では依然としてこの終身雇用制度をとっており、本確率モデルでも、所謂、*On the job searching* を除外し、ステップ t に企業 C_j に入社した労働者は自社が倒産しない限り、時刻 $t+\tau$ まで同じ企業で働くものとする。また、各企業も倒産しない限り、従業員を解雇しないものとする。ここで、 τ は労働可能年齢幅を表しており、実際の労働市場においては「入社」から「定年退職」までの年次数を意味する。すなわち、時刻 t での企業 C_j の全労働者数 $U_{C_j}(t)$ は

$$U_{C_j}(t) = \begin{cases} \sum_{k=0}^{k=t} u_{C_j}(k) & (t \leq \tau) \\ \sum_{k=t-\tau}^{k=t} u_{C_j}(k) & (t > \tau) \end{cases} \quad (37)$$

で与えられる。具体的な数値としては、現在の我が国において、終身雇用制度をとる企業の労働可能年齢はおおよそ大卒入社年齢を 23(歳)、退職年齢を 65(歳) とした場合を考慮し、ここでは $\tau = 65 - 23 = 42$ (年) と選ぶ。

もちろん、我が国以外の諸外国の労働市場をモデリングする際には、この部分を再検討する必要がある。特に、欧米などでは、職についている労働者が、より良い職場を用いて就職活動を行う、いわゆる、*On the job searching* が一般的となっており、この場合、上記の従業員数は時間とともに確率的に変化する変数と見なさなければならなくなるであろう。これについては随時改良を加えて行くことで、モデルを修正していくことは可能であることを付言しておこう。

3.5 プロジェクト企画フェイズ: (v)

就職活動に成功した全ての労働者が、自身の勤務先を決定した後、各企業はこれから立ち上げるプロジェクト成功予想率: $P'_{C_j}(t)$ ($P'_{\min} \leq P'_{C_j}(t) \leq P'_{\max}$) のプロジェクトを企画/立案する。具体的に、この予想値 $P'_{C_j}(t)$ は予め設定した範囲 $[P'_{\min}, P'_{\max}]$ の一様乱数からランダムに決定する。

企画されたプロジェクトを実行するためには「コスト」がかかる⁸。本モデルでは、ステップ t に企業 j が企画したプロジェクトのコスト $d_{C_j}(t)$ を

$$d_{C_j}(t) = \{U_{C_j}(t)\}^\alpha = \exp[\alpha \log U_{C_j}(t)] \quad (38)$$

で定義する。ここで、 α は当該プロジェクトが、どの程度のコストを必要とするかを決定するパラメータである。従って、プロジェクトのコストはパラメータ α に関して指数関数的に振る舞い、その指数関数の速さは従業員数の対数に比例して決定されることになる。また、従業員数に関してはベキ則で変化し、ベキの指数 α が正であれば、プロジェクトのコストは従業員が多ければ多いほど高くなり、 α が負値をとれば、逆に従業員が多い企業ほどプロジェクトの遂行に際してコストが押さえられる。この設定が理にかなっているか否かは、従業員数が多い大企業ほどコストの高い大きなプロジェクトを立ち上げ、遂行しやすいか否かを推察することである程度は判断できる。

また、例えば、コストの増加度合いが従業員数の増加に対し、指数関数的に増加する状況であれば、(38) 式を

$$d_{C_j}(t) = \exp[\alpha' U_{C_j}(t)] \quad (39)$$

と変更すればよい。本研究では専ら、(38) 式を採用する。

このとき、実際のプロジェクトの成功確率は、企業 C_j で働く労働者を $W_{i \in C_j}$ とし、その労働者の労働力を $b_{W_{i \in C_j}}$ とすれば

$$P_{C_j}(t) = P'_{C_j}(t) \left(\frac{\sum_{i=1}^{U_{C_j}(t)} b_{W_{i \in C_j}}}{U_{C_j}(t)} \right) \quad (40)$$

で与えられる。つまり、成功率はプロジェクト成功予想率と従業員の平均労働力の積で与えられる。すなわち、プロジェクトの成功予想率が高かったプロジェクトは結果として成功する可能性が高く、また、従業員の労働力の高い企業はプロジェクトを成功させる可能性が高い。

3.6 生産フェイズ: (vi)

提案モデルでは、プロジェクトに成功した企業のみが生産を行う。ここでは、ステップ t において、企業 C_j が自社の消費材を生産した際の総生産量 $q_{C_j}(t)$ は、従業員の労働力の総和に等しいとして

$$q_{C_j}(t) = \begin{cases} \sum_{i=1}^{U_{C_j}(t)} b_{W_{i \in C_j}} & (\text{プロジェクトに成功した時}) \\ 0 & (\text{プロジェクトに失敗した時}) \end{cases} \quad (41)$$

で決定されるものとする。ただし、簡単のため、生産される消費財は業種を問わず全て同一とする。

生産された消費財は、次年度に持ち越すことはできず、全て就労者が消費するものとする。つまり、ここでは簡単のため、「就労者 = 消費者」と考える⁹。

⁸ここでは、人件費を除く様々な費用のことを「コスト」と総称する。

⁹逆に言えば、このモデルでは、無職な者は消費できないと考える。

3.7 価格決定フェイズ: (vii)

生産可能な全企業が生産活動を行った後、消費財の価格を決定する。本モデルでは、ステップ t における「単一消費材」の価格が

$$p(t) = \frac{\psi}{Q(t)} \quad (42)$$

で決定されるものとする。ここに、 ψ は政府が金融政策を実施し、日銀などが金利を上下させることによって、マクロに物価を変動させる効果を表すパラメータである。例えば、極度にインフレが生じた国では、このパラメータ ψ を小さく変更することで、デノミネーション(所謂「デノミ」)を実施する。また、 $Q(t) = \sum_{j=1}^{N_C} q_j(t)$ は全企業が生産した消費財の総数である。つまり、(42)式における $p(t)$ と $Q(t)$ の関係は、消費材の供給が減れば価格が上昇し、供給が増えると価格が上昇するという「供給曲線」を表している。

このとき、ステップ t での企業 C_j の利益 $r_{C_j}(t)$ は

$$r_{C_j}(t) = p(t)q_{C_j}(t) - \Omega_{C_j}(t) - d_{C_j}(t) \quad (43)$$

で与えられる。ここに、 $\Omega_j(t) = \sum_{i=1}^{U_{C_j}(t)} \omega_{C_j}$ は各企業で勤める労働者の賃金の和である。(43)式から、プロジェクトが失敗すれば生産ゼロ: $q_{C_j}(t) = 0$ となり、コスト $d_{C_j}(t)$ と賃金 $\Omega_{C_j}(t)$ が払われ企業 C_j は減益となる。

3.8 倒産フェイズ: (viii)

各企業の利益を計算した後、収益の極端に悪化した企業は倒産する。

ここでは具体的に次式で企業の資金を更新する。

$$\zeta_{C_j}(t) = \zeta_{C_j}(t-1) + r_{C_j}(t) \quad (44)$$

この式で状態更新する企業 C_j の資金 $\zeta_{C_j}(t)$ が $\zeta_{C_j}(t) \leq 0$ を満たせば、企業 C_j は倒産し、企業 C_j の従業員は失業すると定義する。また、企業が倒産すると、新企業が初期資金 $\zeta_{C_j}(0)$ を有して社会に参入する。これは社会全体の企業数を一定にするためである。

3.9 失業率と物価上昇率

本モデルにおいて、ステップ t での失業率(離職率) U_t は、ステップ t で倒産により失業した労働者の数を $h(t)$ とすれば

$$U_t = \frac{\sum_{k=t-\tau}^t \bar{g}_t + \sum_{k=t-\tau}^t h(t)}{\sum_{k=t-\tau}^t N_W} \quad (45)$$

で算出される。つまり、時刻 t での労働者のうち、就職できなかった者と、倒産により失業した者の和を「失業者」としてカウントし、労働者全体に対する、その割合を失業率とする。

一方、ステップ t での物価上昇率 π_t は次のように定義される。

$$\pi_t = \frac{p(t) - p(t-1)}{p(t)} \quad (46)$$

このとき、物価上昇率をある基準点での物価 $p(0)$ を用いて

$$\pi_t = \frac{p(t) - p(0)}{p(0)} \quad (47)$$

として定義することもできる。しかし、本稿では、より微細な物価の上昇も検知できる「微分的定義」である (46) を採用する。

以上により、我々が提案するミクロなモデルでは失業率と物価上昇率がステップ t ごとに

$$\begin{cases} U_t &= \frac{\sum_{k=t-\tau}^t \bar{g}_t + \sum_{k=t-\tau}^t h(t)}{\sum_{k=t-\tau}^t N_W} \\ \pi_t &= \frac{p(t) - p(t-1)}{p(t)} \end{cases} \quad (48)$$

で与えられることになる。ただし、上式右辺はこの節で述べたアルゴリズムによりミクロに決定されることに注意されたい。次節ではこの決定式に従って、失業率と物価上昇率等の時間変化を計算機実験により調べて行く。

4 計算機実験

前節までで、我々の確率モデルの定義とその詳細の説明が全て済み、計算機実験のためのセットアップが全て整ったので、ここからは具体的な計算機シミュレーションとその結果について考察していく。以下でいくつかの重要な統計量の時間変化、および、それらの平衡状態の値の各種パラメータ依存性を調べる。シミュレーションで用いた各種パラメータ、システムサイズなどの詳細は、それが参照されるごとに明記するが、本シミュレーションではこれらのパラメータが多数にのぼるため、その一覧を論文の巻末に表として載せてある。こちらと同時に参照して頂けると幸いである。

4.1 ミクロな確率モデルとその振る舞い

まずは、我々が前節で提案/説明した労働市場のミクロな確率モデルの振る舞いについて詳細に述べる。具体的にミクロなエージェントの意思決定の更新を既に陽に導入してあり、これらの変数はシミュレーションを実行することによって各々更新されていくが、システム全体の振る舞いを調べるため、どのようなマクロ変数を選択すればよいか、ということを考えなければならない。そこで、以下ではそのような意味ある「レレバント」なマクロ変数をピックアップし、それらについての振る舞いを深く調べていくことにする。

4.1.1 就職率の時間変化

まず、最も興味あるレレバントな量として、就職率の時間変化を挙げる事ができる。ここでの就職率とは次のように定義される。すなわち、ステップ t で就職することのできた労働者数が g_t のとき、この年度の就職率 f_t ($\equiv 1 - U_t +$ 企業の倒産による離職率) は

$$f_t = \frac{g_t}{N_W} \quad (49)$$

で与えられる。個々の労働者がエントリすることのできる企業数を $a_{\max} = 6$ に固定した場合の就職率の時間変化を図 10 に示す。この図からわかるように、就職率のダイナミクスにおけるスタート直後はステップ数の増加とともに単調に増加するが、ほどなく、就職率はある一定値 F (~ 0.9) に

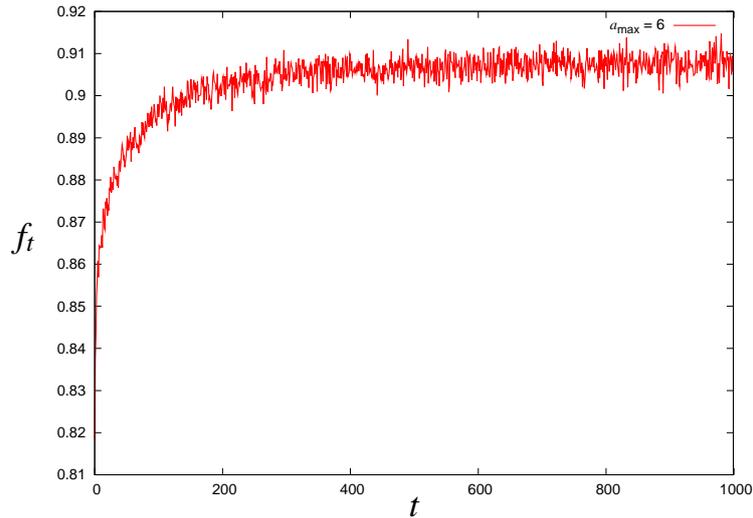


図 10: 就職率の推移 ($a_{\max} = 6$). ダイナミクスの開始時から $t \sim 300$ ステップまでの就職率増加の要因は労働者のエントリ数に関する学習効果によるためである。

近づく。ところで、この増加の要因は、3.4.1 節で導入した労働者の学習効果によるものである。つまり、直近ステップで就職に成功した労働者のエントリ数の平均値を労働者の一部が採用することによって、同一の企業に多数の労働者が集まり、他の企業にはほとんど集まらないという所謂「ミスマッチ」が改善され、その影響が就職率に反映したものと類推できる。

ところで、ここでの単位ステップ $t = 1$ は現実の労働市場におけるどの程度の時間スケールを意味するのか、を明確にしておくことは重要である。ここでは、厚生労働省、あるいは、地方自治体がそのコミュニティに属する労働者の就職率を算出し、統計として公開するタイミングを単位ステップ ($t = 1$) として定義することにする。

ここで「残留失業率」を $\Delta F \equiv 1 - F$ で定義すれば、この計算機シミュレーションにおける残留値 ΔF はおよそ $\Delta F \sim 0.9$ であり、この値は過去数年に遡る日本の年度末期の残留失業率にほぼ一致する (図 11 参照)。

ところで、今年度 (2010 年度)、大卒就職率が 60% 台まで落ち込んだことが各種メディアをにぎわせたが、この就職率は 12 月期のものであり、図 11 をみるとわかるように、この 12 月期の就職率は例年 70% 付近を推移している。しかし、どの年も 12 月期の統計が発表される 4 ヶ月後の 4 月期には就職率が 90% 台にまで上昇しており、我々の計算機シミュレーションはこれらの結果を定性的には再現しているとみなすことができる。

4.1.2 平衡状態における就職率とエントリ数の関係

提案モデルでは、応募数 a_{W_i} は範囲 $[1, a_{\max}]$ の一様乱数を離散化した (整数化した) 数からランダムに決定するが (つまり、「 a_{\max} 面サイコロ」を振る)、応募数 a_{W_i} を労働者に依らず一定値 χ とし、十分に時間経過した時の就職率 $\lim_{t \rightarrow \infty} f_t = F$ と応募数 χ の関係を図 12 に示す。この図 12 では、赤線がマイクロモデルのエントリ・アルゴリズム、緑線が $\delta_{m(l)} = 1/N_M$ 、つまり、労働者がどの業種も同じ確率で選ぶ場合をプロットしたものである。この図より、十分に時間が経過後の就職率に対し、 $L = 1$ ラウンド目での業種選択の偏りによる影響は非常に小さく、上記 2 つの選択方式に対し、平衡状態での就職率 F に大きな差はでなかった。

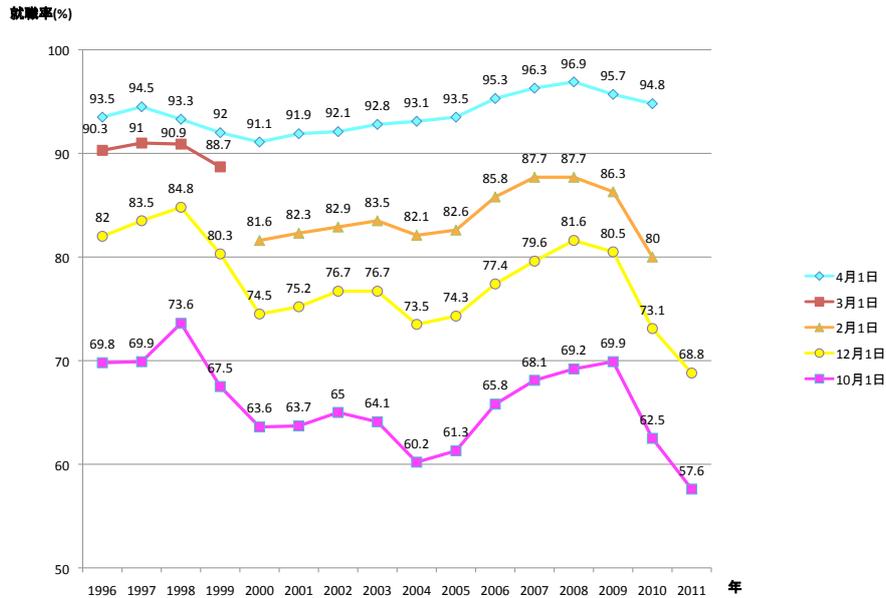


図 11: 厚生労働省「大学卒業予定者の就職内定状況調査」を元にプロットした我が国における年度別就職率の変化。

この図 12 を見ると、応募数が $\chi = 1$ の時に就職率 F が最も低く、就職率は $\chi = 3$ の時に最大値をとり、 $\chi > 3$ では応募数とともに単調に減少して行き、就職率は 82% 前後で推移することになる。 $\chi = 1$ の時に就職率 F が最も低いのは、 $\chi = 1$ の場合、各労働者は自分が希望する業種のみに応募するからであると考えられる。それにより、ある業種で企業の募集人数よりも多くの労働者が集まってしまい、結果として内定漏れが起こるためであると考えられる。この労働市場における「需要と供給の不一致」は、現代の我が国においては金融業で多くみられる現象である。ワークス大卒求人倍率調査 [6] によると、全体での求人倍率が $\Gamma = 1.63$ 倍、つまり一人に 1.63 社の求人があるのに対し、金融業では 0.21 倍と非常に厳しい就職状況となっている。

4.1.3 就職率のエントリ数依存性: 近似を用いた解析解

前節で見た、就職率の応募数に対する $\chi = 3$ での最適性は普遍的なものなのか、あるいは、求人倍率 (実質競争率 $\beta \equiv \Gamma^{-1}$) などの外部パラメータに依存するのかを調べることは重要である。その際、システムサイズ等に依らない解析解が得られるとありがたい。そこで、ここでは、ある近似のもとで限定的に得られる就職率の応募数依存性の解析解を導出する。

まず、 N_W 人の全ての労働者が、等しく χ 回だけエントリーするものとすれば、ここで我々が考える社会における企業全体の総応募数が V であるから、任意の労働者の「1回」のエントリーが「内定漏れ」する確率 p_1 は

$$p_1 = \frac{\chi N_W - V}{\chi N_W} = \frac{\chi - \Gamma}{\chi} \quad (50)$$

で与えられる。ここで、求人倍率 Γ (実質競争率 $\beta \equiv \Gamma^{-1}$) の定義: $V = \Gamma N_W$ を用いたことに注意されたい。従って、任意のエントリーが「内定」を勝ち取る確率はこの余事象を考えて $1 - p_1$ である。

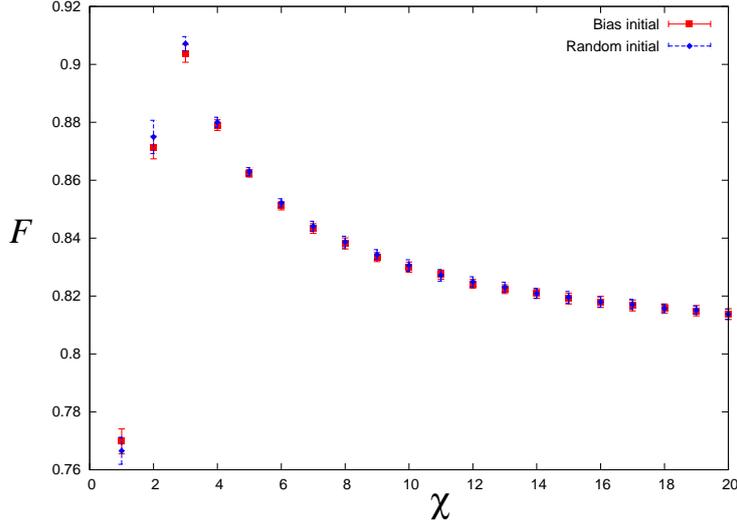


図 12: 平衡状態での就職率 F の応募数 χ 依存性. $l = 1$ ラウンド目での業種選択の偏りを入れた場合 (Bias initial) と偏りが無く, ランダムな場合 (Random initial).

よって, 任意の労働者が χ 回のエントリのうち, k 回内定漏れする確率は次の 2 項分布に従う.

$$p_r = {}_{\chi}C_r p_1^r (1 - p_1)^{\chi - r} = {}_{\chi}C_r \left(\frac{\chi - \Gamma}{\chi} \right)^r \left(1 - \frac{\chi - \Gamma}{\chi} \right)^{\chi - r} \quad (51)$$

従って, 任意の労働者の手元にある χ 回のエントリが「全滅」する確率は上式で $r = \chi$ のときであるから, $\left\{ (\chi - \Gamma) / \chi \right\}^{\chi}$ であり, 任意の労働者が就職できる確率, つまり, 就職率 F はこの「余事象確率」で与えられることは明らかなので就職率 F は

$$F = 1 - \left(\frac{\chi - \Gamma}{\chi} \right)^{\chi} \quad (52)$$

で与えられる. つまり, 就職率 F は応募数 χ と求人倍率 Γ (実質競争率 $\beta = \Gamma^{-1}$) のみの関数で書ける. いくつかの Γ 値に対する近似式 (52) の振る舞いを図 13 に載せる.

ここで, 上式が「近似式」であるのは, その導出からも明らかのように, 求人倍率 Γ が十分に大きい (実質競争率 $\beta = \Gamma^{-1}$ が十分に小さい), $\chi \ll \Gamma$ の条件下でしか成立し得ないためである. また, 求人倍率 Γ が極めて低く (実質競争率 $\beta = \Gamma^{-1}$ が極めて高く), $\Gamma \ll 1$ の場合, 企業の募集人数を越えた応募数があった企業が多数出現し, その結果としての各企業毎の「内定漏れ数」は上記の粗い近似では, 他の企業の採用者数として吸収されるため, 適切に就職率の評価に反映されておらず, 明らかに正確な就職率と比べ高い評価値を出す近似値を与える. しかし, 逆に競争率 $\beta = \Gamma^{-1}$ が低く, 求人倍率 Γ が十分に大きい場合, 募集数を越えた応募数がある企業はほとんど無くなり, 上記の近似式は十分に精度の良い評価式となる. また, 労働者一人あたりのエントリ数 χ が大きい場合, ほとんど全ての企業はその募集人数を越えた応募者を迎えることになり, 従って, その余剰人員数 (「内定漏れ数」) は上記近似式 (52) から算出されるものとはほぼ変わらなくなる. よって, エントリ数 χ が大きくなればなるほど, この近似式 (52) は正しい評価を与える.

そこで, その極限として $\chi \rightarrow \infty$ の場合を考えると, (52) 式において

$$\lim_{\chi \rightarrow \infty} \left(\frac{\chi - \Gamma}{\chi} \right)^{\chi} = \lim_{\chi \rightarrow \infty} \left(1 + \frac{(-\Gamma)}{\chi} \right)^{\chi} = e^{-\Gamma} \quad (53)$$

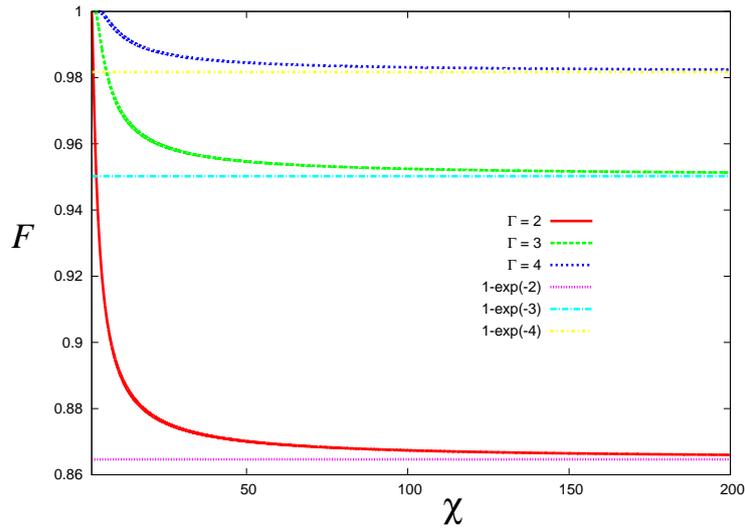


図 13: 就職率の応募者数依存性に関する近似式 (52) の振る舞い. 求人倍率が $\Gamma = 2, 3, 4$ の場合. いずれの場合も, $\chi \rightarrow \infty$ の極限で $F(\infty) = 1 - e^{-\Gamma}$ に収束する.

となるので, 就職率の極限值は

$$F(\chi = \infty) = 1 - e^{-\Gamma} \quad (54)$$

となる. ここで, 指数関数の定義:

$$e^x = \lim_{n \rightarrow \infty} \left(1 + \frac{x}{n}\right)^n \quad (55)$$

を用いたことに注意されたい. 従って, 図 13 の水平線は, この収束値をプロットしているわけであるが, いずれもこの近似値に一致していることがわかる.

図 14 に計算機シミュレーションから得られるマイクロモデルの応募数 χ と就職率 F の関係を赤線で, 近似式 (52) からの結果 (緑線) とともにプロットした. 上で述べたように, 応募数 $\chi \gg 1$ では計算機実験結果と近似式を用いた就職率の差はほとんど無く, 両者はほぼ等しい値をとっている. しかし, 近似解は $\chi = \Gamma = 1.63$ で最大値 1 をとり, 計算機実験の結果 (最適値は $\chi = 3$) との食い違いが生じている. その意味で, この近似式は最適応募数の精密評価には使用することができない. しかし, これは同時に, 最も我々が知りたい情報を引き出すためには, 計算機実験を用いるしかないということなので, その意味で, ここで実行した計算機シミュレーションは, マッチングプロセスの性質を定量的に調べるために非常に有効であったと考えることができる.

4.1.4 最適応募数の求人倍率依存性

次に, 求人倍率 Γ (実質競争率の逆数) を徐々に増加させた場合, 就職率 F を最大化/最小化するエン트리数 χ の値を図 15 に示す. 赤線が就職率 F が最大となるエン트리数 χ , 緑線が最小となるエン트리数である. この図より, 就職率を最大とするエン트리数は求人倍率 Γ に依存して変化するが, 就職率を最小化するエン트리数 χ は $\Gamma = 1$ を除いて, $\chi = 1$ となる. 実データから設定した我が国の求人倍率 $\Gamma = 1.63$ のとき, 最適なエン트리数は計算機シミュレーションの結果, $\chi = 3$ となる.

図 16 には $\Gamma = 1.63$, および, $\Gamma = 2$ と選んだ場合の就職率 F とエン트리数 χ の関係をそれぞれの近似式とともにプロットした. この図から, 最適なエン트리数は求人倍率に依らず, $\chi = 3$ とな

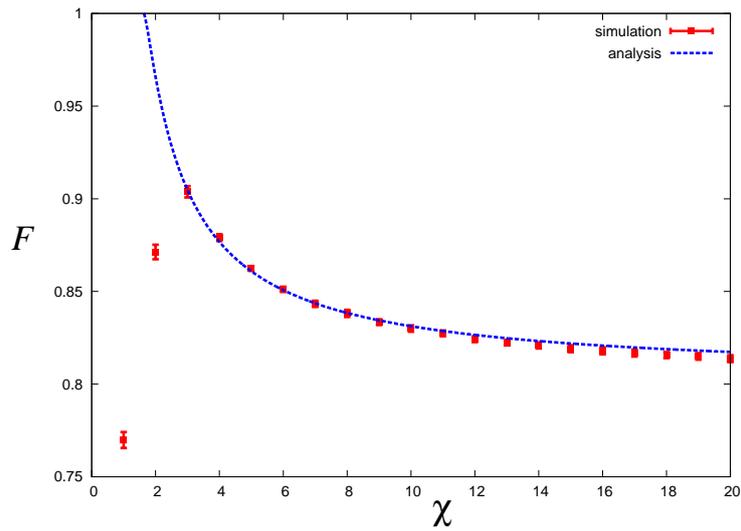


図 14: 計算機実験と近似式 (52) による就職率のエントリー数依存性.

る. よって, 労働者全員が 3 社にエントリーを提出すれば, 社会全体として最も高い就職率が達成される¹⁰.

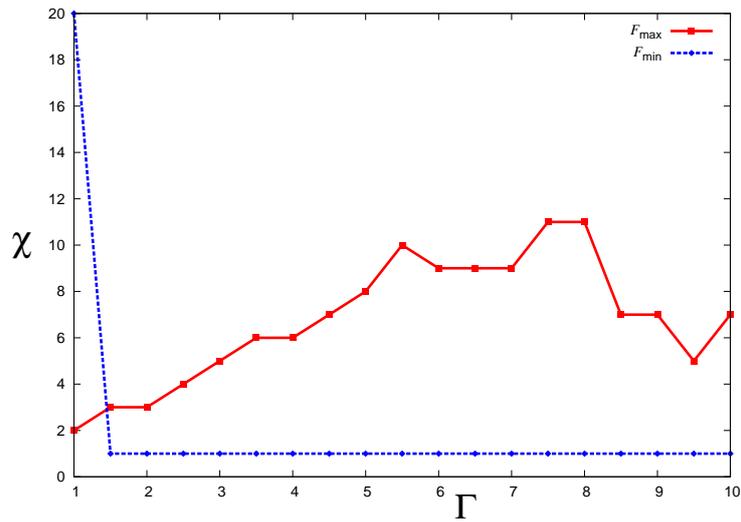


図 15: 求人倍率 Γ とエントリー数 χ の関係. 就職率 F を最大化/最小化するエントリー数 χ の値.

¹⁰我が国の高等学校卒業予定者の就職活動においては, ある一定期間内に 1 社のみしかエントリーできない制約がある (平成 23 年 2 月 16 日付 朝日新聞 朝刊より). このように, ある程度の強制力をもってエントリー数が一定に取り決められる状況下では, 例えば, 本研究で得られた「3 社にエントリーが最適」という知見を用いることができるかもしれない.

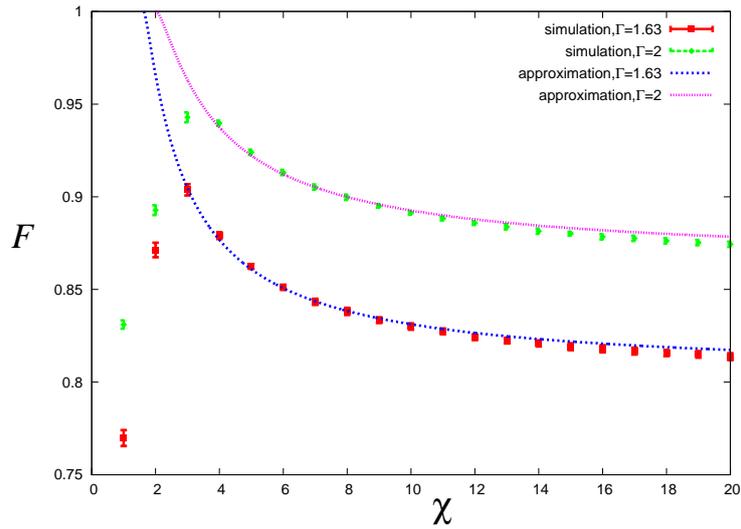


図 16: 求人倍率を $\Gamma = 1.63$, および, $\Gamma = 2$ と選んだ場合の就職率 F とエン트리数 χ の関係.

4.1.5 就職率の実質競争率依存性

図 17 に就職率 F の求人倍率 Γ (実質競争率の逆) 依存性を示す. 赤線が図 15 で与えられる, 就職率 F を最大とするエン트리数 χ を選んだ場合, 緑線は, 就職率を最小とするエン트리数 χ を選んだ場合の就職率である. この図より, 求人倍率が $\Gamma \geq 4$ の「売り手市場」では, エントリ数を適切に選

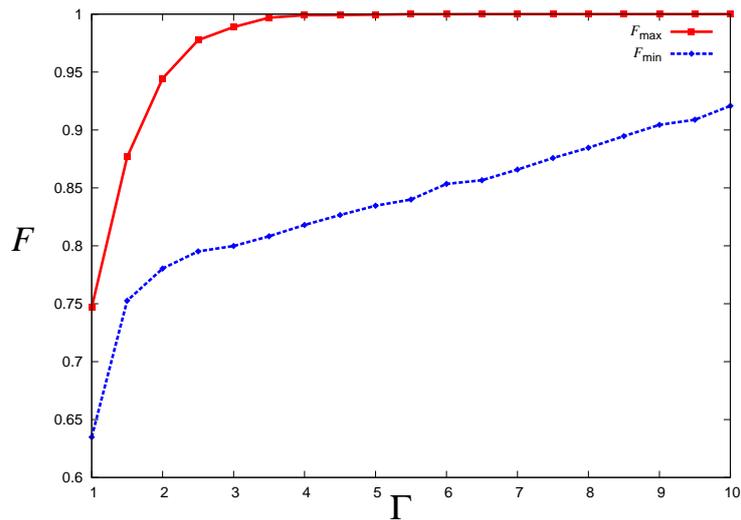


図 17: 就職率 F の求人倍率 Γ の依存性.

ぶと, 就職率が 100% となる「完全就職」が達成されることがわかる. 逆に, エントリ数を適切に選ばない場合の就職率の最小値は 70% 前後を推移し, 求人倍率 Γ が大きな極限では, 当然, 就職率の最大値と最小値の差はゼロ, つまり, 労働者数に対し, 求人数が十分に提供されているので, どのようなエントリ数を選ぼうが, 「完全就職」が達成されることがわかる. しかし, 現実的には, 我が国

の求人倍率が $\Gamma = 1.63$ であることを考えると、これが達成されることはなく、従って、ジョブマッチングにおけるエントリ数の選択などの戦略が就職率を挙げるために重要なファクタとなっている。

4.1.6 フィリップス曲線と相関係数

ここでは、本研究での目標の一つであるフィリップス曲線を提案するミクロナ確率モデルで記述される労働市場に関して再構成することを試みる。また、同時に失業率 U_t 、物価上昇率 π_t 間の相関係数を計算する。

フィリップスの原著論文では、これら2つのマクロ量 ($y = \pi_t, x = U_t$, ただし、フィリップスの原著論文で π_t は「賃金上昇率」が選ばれている) の間の関係が

$$y + a = bx^c \quad (56)$$

の曲線で記述できると仮定し、この両辺の対数をとることで

$$\log(y + a) = \log b + c \log x \quad (57)$$

とし、パラメータ a, b, c を最小2乗法によって求めている。しかし、フィリップスの用いた1961-1913年のイギリスにおける雇用データに関する散布点と上記曲線でのフィッティング具合をみると必ずしもきれいな曲線には乗っておらず、これをみる限りにおいて、フィリップスの指摘したのは、曲線の形状というよりも、むしろ、失業率と物価上昇率の間に現れる「負の相関」にあるととらえるのが適切であるように思われる。

そこで、以下ではまず、この「負の相関の度合い」を算出する。我々のミクロナ労働市場におけるマクロなデータとしては確率モデルからの出力として (U_t, π_t) の点列が「散布図」として与えられるので、相関係数の計算には最小二乗法を用いる。具体的には確率モデルから生成された N 個のデータ列: $(U_1, \pi_1), (U_2, \pi_2), \dots, (U_N, \pi_N)$ に対し、最も当てはまり具合の良い直線を $\pi = \kappa U + \kappa'$ とおき、各点とこの直線との距離が $d_i = \pi_i - (\kappa U_i + \kappa')$ で与えられるので、 $S \equiv \sum_{i=1}^N d_i^2$ を最小とするような κ, κ' を求める。 S は κ と κ' に関する二次関数と考えられるので、極値条件: $\partial S / \partial \kappa = 0, \partial S / \partial \kappa' = 0$ を κ, κ' について解くと

$$\begin{aligned} \kappa' &= \frac{\sum_{i=1}^N \pi_i - \kappa \sum_{i=1}^N U_i}{N} = \frac{\sum_{i=1}^N U_i^2 \sum_{i=1}^N \pi_i - \sum_{i=1}^N U_i \pi_i \sum_{i=1}^N U_i}{N \sum_{i=1}^N \pi_i^2 - (\sum_{i=1}^N U_i)^2} \\ \kappa &= \frac{N \sum_{i=1}^N U_i \pi_i - \sum_{i=1}^N U_i \sum_{i=1}^N \pi_i}{N \sum_{i=1}^N U_i^2 - (\sum_{i=1}^N \pi_i)^2} \end{aligned}$$

この直線の傾き κ をここでは「相関係数」として定義し、フィリップス曲線の形状、および、 κ の大きさからモデルの妥当性を検討する。

図18(上)に求人倍率を統計データから選んだ場合 $\Gamma = 1.63$ のフィリップス曲線の数値計算結果を描く。この「曲線」は我が国のフィリップス曲線と異なり、「上に凸」な曲線になる。しかし、具体的に上記の手続きによって相関係数 κ を計算すると、 $\kappa = -2.703927$ が得られ、確かに失業率と物価上昇率間の負の相関を再構成することに成功している。次に、求人倍率 Γ の変化が提案モデルのフィリップス曲線の形状に与える影響を考える。図18(下)では、 $\Gamma = 1.63$ をよりも大きな値 $\Gamma = 2$ に選んだ場合、すなわち、より「売り手市場」に変更した時のデータの分布と最小二乗法を用いた、最もフィットする直線を求めたものである。この図より、失業率 U_t と物価上昇率 π_t の間に相関がなくなっていることがわかる。

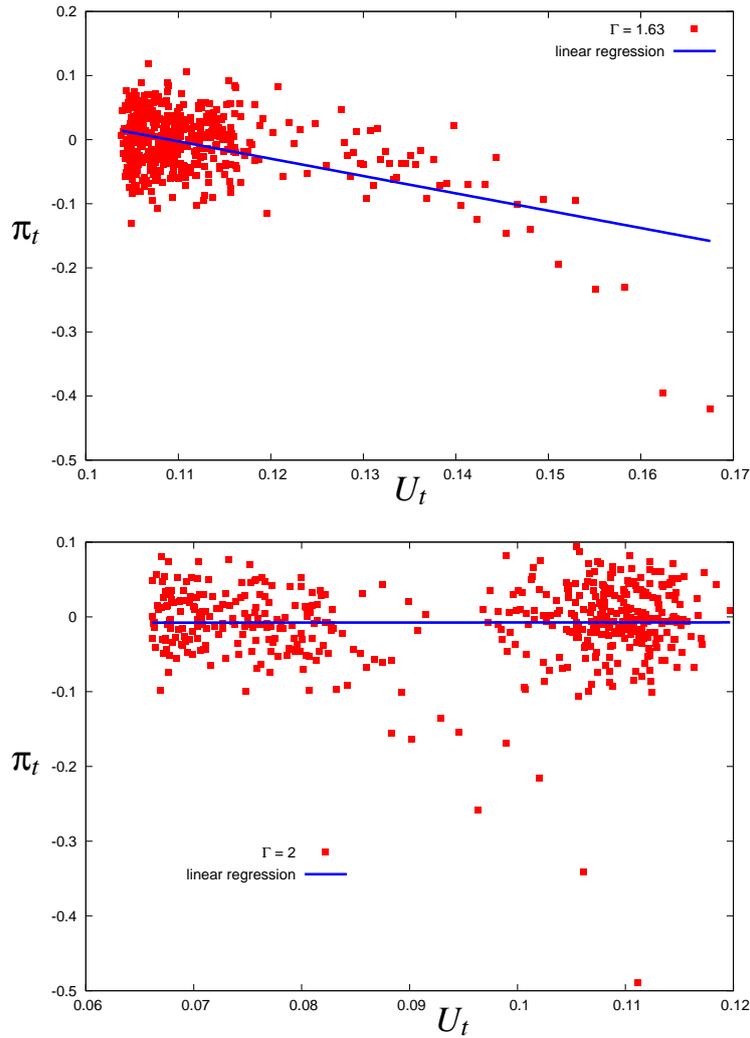


図 18: 確率モデルでのフィリップス曲線. $\Gamma = 1.63$ (上), $\Gamma = 2$ (下) の場合. 相関係数 (回帰直線の傾き) はそれぞれ, $\kappa = -2.703927$ (上), $\kappa = 0.006855$ (下).

つまり, マクロに構築された Neugart モデルでは捨象されていた「労働者と企業間のマッチング」というミクロなプロセスがフィリップス曲線の形状を変えることがわかり, **この結果は我々がミクロな確率モデルを構築し, それによってフィリップス曲線をミクロに再構成したことで初めて明らかになった事実である.**

4.1.7 曲線当てはめと線形相関係数

次に, (56) 式を用いた曲線の当てはめを考える. 簡単な計算の後, パラメータ b, c の最尤推定値は

$$\frac{\sum_i (\log U_i) (\log(\pi_i - b))}{\sum_i (\log U_i)^2} = \frac{\sum_i \{\log(\pi_i - b) / (\pi_i - b)\}}{\sum_i \{\log U_i / (\pi_i - b)\}} \quad (58)$$

$$c = \frac{\sum_i (\log U_i) (\log(\pi_i - b))}{\sum_i (\log U_i)^2} \quad (59)$$

の解として与えられる。これを我々の提案モデルに対して適用し、 b, c を確定すると $\pi = U^{-0.320614} - 2.03$ ($\Gamma = 1.63$), $\pi = U^{-0.116441} - 1.33$ ($\Gamma = 2$) が得られる。散布図にこれら曲線を重ね打ちしたものを図 19 に載せる。

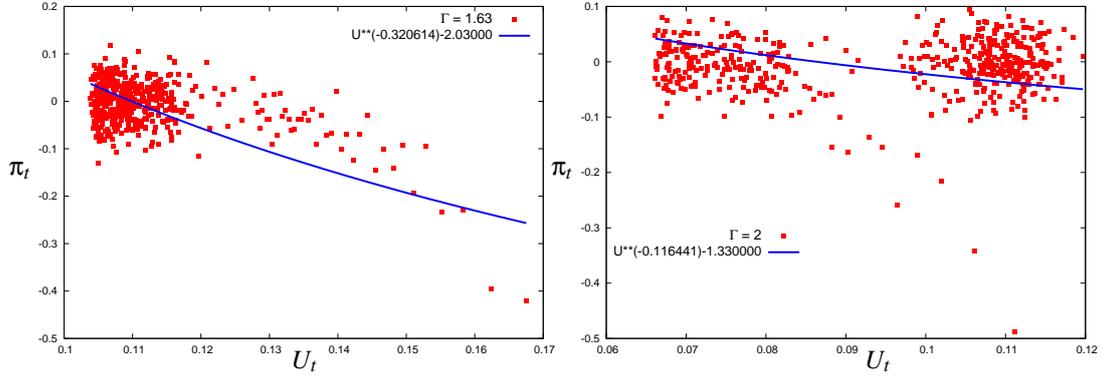


図 19: フィリップス曲線。 $\Gamma = 1.63$ (左) と $\Gamma = 2$ (右)。 最尤推定によって同定された曲線はそれぞれ、 $\text{are } \theta = U^{-0.320614} + 2.03$ ($\Gamma = 1.63$), および、 $\pi = U^{-0.116441} + 1.33$ ($\Gamma = 2$) となる。 線形相関の係数は $\theta = -0.489981$ ($\Gamma = 1.63$) $\theta = 0.002339$ ($\Gamma = 2$) となる。

また、線形相関の係数を θ とすると、この係数は次式で定義される。

$$\theta = \frac{\sum_{i=1}^N (U_i - \bar{U})(\pi_i - \bar{\pi})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (U_i - \bar{U})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^N (\pi_i - \bar{\pi})^2}} \quad (60)$$

ここに、 $\bar{U} \equiv N^{-1} \sum_{i=1}^N U_i, \bar{\pi} \equiv \sum_{i=1}^N \pi_i$ である。これを図 19 に示した結果に当てはめると、線形相関の係数は $\theta = -0.489981$ ($\Gamma = 1.63$) $\theta = 0.002339$ ($\Gamma = 2$) が得られる。

4.2 メソ・スケールモデルとその振る舞い

我々はここまでで、ミクロなエージェントの動きを捨象し、マクロな量についてのみの更新式で記述される Neugart により「マクロモデル」にう対し、それとは対極に位置づけられる、企業、労働者エージェントの動きからマクロ量の発展式を議論する「ミクロモデル」を構築した。しかし、自然界の全ての現象でみられるように、労働市場にも階層構造があり、ミクロスケールからマクロスケールまで様々な階層が存在し、そのそれぞれの階層で適切な数理モデルを構築することができるものと考えられる。

そこで、ここでは決定論的モデルに確率モデルを導入した新しいモデルでの失業率と物価上昇率の関係を考える。具体的には、ミクロモデルで求められる失業率 U_t を決定論的モデルの π_{t+1} に代入することによって、物価上昇率を求める。つまり、

$$U_{t+1} = g(\text{ミクロモデルからの発展式}) \equiv \frac{\sum_{k=t-\tau}^t \bar{g}_t + \sum_{k=t-\tau}^t h(t)}{\sum_{k=t-\tau}^t N_W} \quad (61)$$

$$\pi_{t+1} = \frac{1}{\delta} \left(\frac{\mu}{1-\mu} + a\pi_t + (1-a) \left(\delta\pi_t - \frac{\mu - (1-b)U_t}{1-\mu} \right) \right) - \frac{1}{\delta} \left(\frac{1-b}{1-\mu} \left(U_t + i(1-U_t) - U_t \frac{J_s + \gamma(m - \pi_t)}{U_t + d(1-U_t)} \right) \right) \quad (62)$$

を構築する。

その結果の一部を図 20(左) に示す。失業率 U_t が 0.14 以下では負の相関が表れるが、0.14 以上では相関は正に転じている。この原因は、決定論的モデルと確率モデルで扱う失業率 U_t そのものの不適切なスケールが問題であると考えられる。そこで、マイクロモデルから求められる失業率 U_t の縮尺を

$$U_t \rightarrow \frac{1}{4} U_t \quad (63)$$

と変えた後に決定論的モデルの π_{t+1} に代入すると、図 20(右) からわかるように、全領域において負の相関が保たれ、より理想的なものに近いフィリップス曲線を得ることができた。(56) 式の曲線

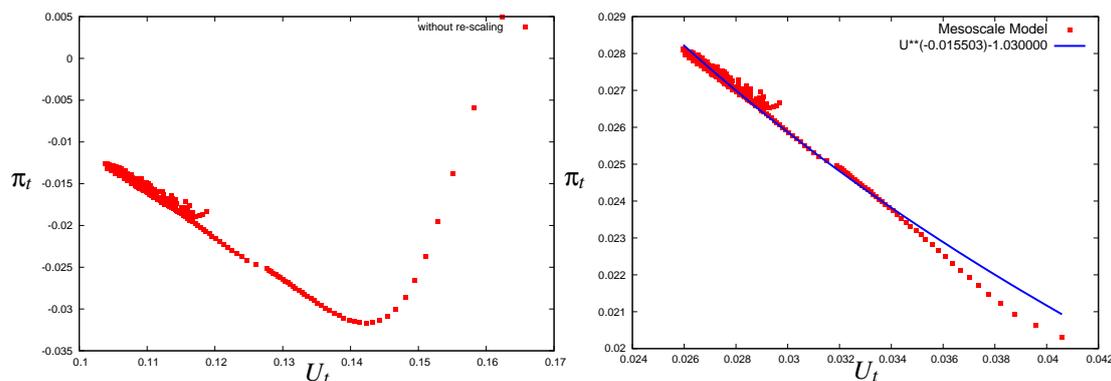


図 20: メソ・スケールモデルでのフィリップス曲線。図(右)では、 $U_t \rightarrow (1/4)U_t$ とスケール変換していることに注意されたい。(56) 式の曲線を当てはめてみると、 $\pi = U^{-0.015503} - 1.03$ となり、線形相関の係数は $\theta = -0.997752$ という値を持つ。

を当てはめてみると、 $\pi = U^{-0.015503} - 1.03$ となり、線形相関の係数は $\theta = -0.997752$ という値を持つ。

4.3 実データ解析: 我が国の年代別フィリップス曲線と相関係数

我々はパラメータ等を変更するだけで、どの国の、どのコミュニティの労働者市場をも再現することができるマイクロモデルの構築を目指してきたが、しかし、終身雇用や実際に用いたデータ、とりわけ、求人倍率などのパラメータ設定においては我が国の労働市場を参考とし、従って、得られた結果も我が国の労働市場をより良く反映している可能性が高い。よって、ここでは我が国の労働市場における実データ解析によるフィリップス曲線と我々が得たモデルからのフィリップス曲線を比較してみることにする。

そこで、図 3 に示した我が国の失業率と物価上昇率を年代別にプロットし、それぞれのデータの散布図に対して最小二乗法を用いることで、最もフィットする直線を求めた。最小二乗直線を $\pi = \kappa U + \kappa'$ とした場合の年代別のパラメータは、70, 80, 90, 2000 年代の順に

$$(\kappa, \kappa') = (-5.829897, 19.307656), (-6.511525, 18.785423), \\ (-1.106967, 4.581191), (-1.063775, 4.685051) \quad (64)$$

である。我々の提案するマイクロな確率モデルから得られる相関係数等が

$$(\kappa, \kappa') = (-2.703927, 0.294750) \quad (65)$$

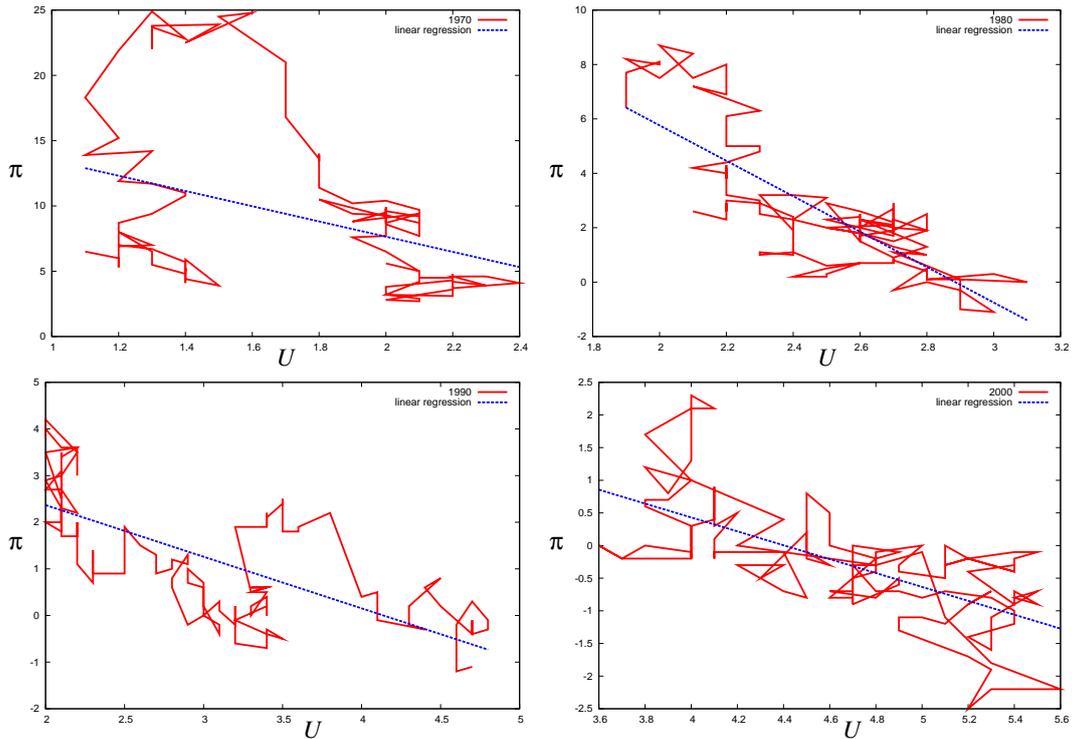


図 21: 左上から右下へ: 70, 80, 90, 2000 年代における我が国のフィリップス曲線. グラフの年代順にそれぞれ $(\kappa, \kappa') = (-5.829897, 19.307656), (-6.511525, 18.785423), (-1.106967, 4.581191), (-1.063775, 4.685051)$ である. ただし, 「時間順序」の情報も参照できるように, 隣接する時刻の点同士を線で結んであることに注意.

であることを考えると, 提案モデルの相関係数 $\kappa = -2.703927$ は, 実データから算出された我が国の年代別の相関係数のレンジ内 (64) にあり, その意味で, 定性的に労働市場のマクロな性質を再現していることがわかる.

次に散布データから (56) 式に当てはめたフィリップス曲線を散布図とともに図 22 に載せる. 曲線と線形相関の係数はそれぞれ, $\pi = U^{-0.121063} - 1.55, \theta = -0.378858$ (1970's), $\pi = U^{-0.117667} - 1.52, \theta = -0.802119$ (1980's), $\pi = U^{-0.035119} - 1.12, \theta = -0.716702$ (1990's), $\pi = U^{-0.047525} - 1.16, \theta = -0.688919$ (2000's). となる.

5 考察とディスカッション

我々は本論文で, フィリップス曲線がどの労働市場にも当てはまる普遍的な関係式であるという仮説のもとに, この曲線を再現するようなミクロなモデルを構築した. 検討すべき個々の技術的な問題は, 前節の結果の部分で既に逐次述べたのでここではそれを繰り返さない. ここでは, 本研究結果において本質的と思われる問題点をピックアップし, その妥当性を検証し, 今後に残された課題と展開について述べておきたい.

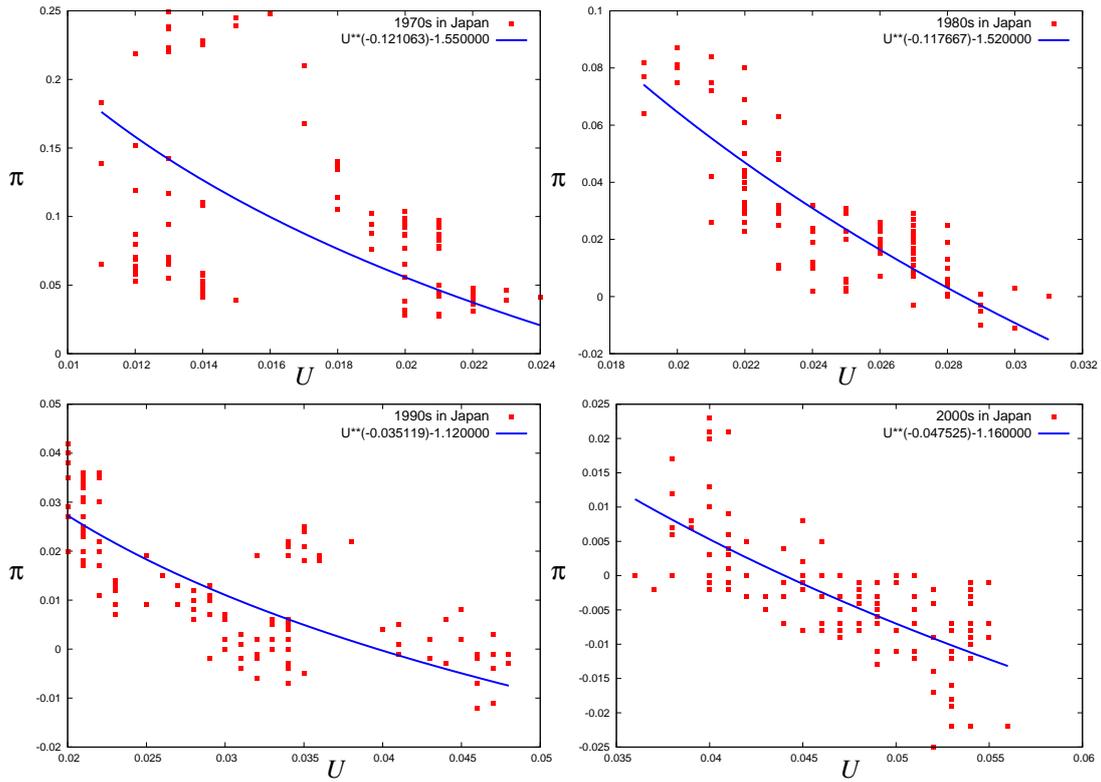


図 22: 我が国の年代別フィリップス曲線. 散布図と (56) による当てはめ. 曲線と線形相関の係数はそれぞれ, $\pi = U^{-0.121063} - 1.55, \theta = -0.378858$ (1970's), $\pi = U^{-0.117667} - 1.52, \theta = -0.802119$ (1980's), $\pi = U^{-0.035119} - 1.12, \theta = -0.716702$ (1990's), $\pi = U^{-0.047525} - 1.16, \theta = -0.688919$ (2000's). となる.

5.1 本研究で用いた仮定/仮説の再検討

本研究で対象とした社会活動に関して数理モデルを構築する際には, 問題を可能な限り単純に記述する方向と, それとは逆に, 対象に忠実に細かな要素まで取り組んだ「人工社会」を計算機上に構築する方向の2つの方向性がある. 本研究ではこれら2つの方向の「折衷」とも言うべきアプローチをとった. そこで, 本論文で用いたいくつかの仮定/仮説に関しては, ここでその妥当性を議論しておくべきであろう. 主なものを列記すると

- 倒産した企業は労働市場から外れるが, 同時に倒産した企業の数だけ, 新規参入企業が現れる. つまり, 労働市場における企業数は一定に保たれる.
- 倒産した企業の従業員は, その後, 労働市場に復活参入することはない.
- *On the job searching* を行う労働者の不在.
- 職業斡旋業など, 仲介業者の不在とそのマッチング・プロセスへの影響.

1 番目の仮定に関しては, 主として問題をシンプルにするためのものであるが, 例えば, 我が国の全企業数 (例えば, 「上場企業数」などからも, ある程度の知見は得られると思われる) の統計を参考にし, そのデータを再現するように, 全企業数を時間的に変化させる方向での精密化も可能であると思われる. しかし, 失業率と物価上昇率の2つのマクロ変数に着目する限りにおいては, 全企業数 \propto 全従業員数 $\propto \Gamma \times$ 全労働者数 と見なすことができ, これは企業数の変化を求人倍率 Γ

の中に「繰り込んで」扱うことができる。従って、より、単純には、この求人倍率にステップ依存性を持たせ、時変パラメータ「 Γ_t 」の時間発展を具体的に与えてモデリングすることによって対処できると考える。

2番目の仮定も、主に計算機シミュレーションを簡略化するためのものである。通常、倒産した企業の従業員は、次の職場を探す。現在の我が国では、若年層はまだしも、高齢者層の再雇用は極めて難しい状況にある。就職率を一つの重要なマクロ変数として扱う本研究では、この再雇用が極めて難しい高齢者層を含む再就職者が、労働者全体の何パーセントを占めるか、という点を常に考えておくことは重要である。現段階で、我々はこのような企業倒産による労働者市場への参入者の雇用統計を得ることはできていないが、将来、客観的データをより良く説明する数理モデルを構築する際には検討しなければならない点であることは確かである。また、このような「再就職組」に特化した労働市場の振る舞いを調べるための確率モデルを構築することも興味深い研究対象であると考えている。

3番目の *On the job searching* の労働者の不在に関してであるが、我が国の労働市場を念頭にモデル化を行った本研究では、既に述べたように、依然として、「終身雇用制」をとる企業が多数派であり、米国で良く見受けられる、能力に応じて自身の職場を移り変わって行く層や、企業側からの所謂「ヘッドハンティング」等は全体から見ると依然として「レア・イベント」と考えてよいであろう。しかし、将来的、現在よりさらに進んで終身雇用形態が崩れるようであれば、この *On the job searching* のプロセスも適切に確率モデルの中に取り込まなければならなくなる。また、その際、問題となるのは、そのような終身雇用形態が崩れた社会では、企業の賃金体系やより間接的には、消費者の購買動向などにも少なからず影響があると思われる。こうした派生的な影響も検討しなければならないことは明らかである。

最後のマッチングにおける「仲介業者」の不在であるが、現在では、インターネットや就職雑誌など、様々なメディアから就職情報を得ることができ、また、多くの企業が新卒者の採用に際して、インターネットからのエントリーを課している。その一方、大学における「キャリアセンター」等の就職斡旋業者も、面接対策や適正検査など、多くの有用な情報を提供している。本モデルでは、マッチング・プロセスに関し、労働者は前年度の成功者のエントリー数のみを学習し、希望先をほぼランダムに選択するモデリングを行った。失業率などのマクロな量を測るのが研究の目的であれば、個々の労働者の戦略の詳細は「粗視化」され、この設定はかなり妥当な選択であるように思われる。事実、我々の数値シミュレーションは、我が国の就職率をある程度までは再現することができた。しかし、労働市場に関する「よりミクロな知見」が必要な場合、キャリアセンターなどの第三者からの情報や戦略についてのアドバイスが労働者のエントリー先の選択に与える影響は、十分に考察の対象となるであろう。しかし、我々が本論文の序論で既に述べたように、職業選択の自由が保証されている我が国で、国全体の失業率を低下させる名目で、マクロな「政策レベル」において、そのアドバイスや戦略を強要することはできない。

5.2 レlevantなマクロ変数の選択について

また、ここで改めて議論したいのは、労働市場において着目すべきマクロな統計量は失業率と物価上昇率だけではないという事実である。例えば、本研究のモデルのままでは直接評価することはできないが、労働市場で成り立つ法則として**オークン則 (Okun's law)** が挙げられる [27]。オークン則とは 1962 年に米国の経済学者 Arthur M. Okun が実データに基づいて発見した法則であり、失業率と一国の産出量又は実質 GDP 成長率の間に負の相関関係があることを示唆する。また、**ビバレッジ曲線** [28] と呼ばれる関係が成り立つことも知られている。このビバレッジ曲線とは、横軸

に失業率, 縦軸に欠員率を取ったとき, これらの間に負の相関関係があることを示すものである. より多角的に労働市場の研究を進めるためには, これらのマクロ統計量, およびそれらの関係性をも導きだせるような形でモデル自体を拡張しておく必要がある.

さらに, より数理的な興味としては, 本研究では, 多くの場合で計算機実験による数値シミュレーションに頼ったが, 限定的でも構わないので, 解析的に導きだせるケース, 壺モデル [29, 30] 等の可解モデルを探っていくことも重要であると思われる.

6 結論

本論文では労働市場のミクロな確率モデルを構築し, 失業率と物価上昇率に負の相関がある事実を示す所謂「フィリップス曲線」を限定的ではあるが再現することができた. 今後の方向性としては, 既に述べたように, この労働市場の問題に対する2方向からの攻め方があると思われる. 一つは, モデルをより複雑にしていき, 実データ解析からの知見を可能な限り取り入れた現実に近いモデリング. もう一つは, それとは逆で, 本質的な部分のみを残し, モデル自体をよりシンプルにしていくという方向. 労働市場のような複合事象に取り組む際には, この「両サイド」から同時に攻めて行く戦略が重要になるであろう.

本論文で扱った「労働」は個人の文化的生活のために必要であるばかりでなく, 我々が序論で述べたように, 国家にとっても大きな問題である. 特に, 我が国では就職率悪化の問題や, 少子高齢化の問題は, 今後, 未来に渡っての持続的発展のため, 政府行政が取り組み, 解決しなければならない最重要課題となっている. これらの課題に関する政策を検討する際には, 兎角, 人類の長い歴史の中で, 過去に似た社会状況を参照し, それを踏まえた政策決定を行うことも多いであろう. これは, 経済や社会科学においては, 未来を予測するための大規模な「社会実験」をすることができないわけなので, ある意味妥当な対処であるとも言える. 例えば, 消費税率を5%上げた場合, 人々の消費意欲がどの程度低下するか, 「数ヶ月間限定」での社会実験ができれば, それが重要な知見にもなり得るが, それを行うことは技術的に(あるいは行政の構造上)できない. しかし, そこで科学的知見を導入し, 可能な限り「希望的観測」に基づく政治的判断/意思決定を排除し, 手元の実データからできる限り客観的にものごとに対処しようとする姿勢が, 今後, これら社会問題に取り組む際には重要となることは間違いないであろうし, その際, 統計力学の考え方に基づく計算機シミュレーションに代表される「構成論的アプローチ」は研究上の重要な戦略となるであろう.

著者はこの修士論文を書き上げた後に民間シンクタンクに就職するので, この興味深い研究をこれ以上継続していくことはできないが, ここでの研究結果を足がかりとして情報統計力学グループ経済物理班の残されたメンバーが, この方向での意義ある研究を発展させてくれるものと期待している.



図 23: 2009 年 10 月. イタリア・シチリア島エリーチェでの会議で講演する筆者. (撮影: 井上純一先生)

謝辞

指導教員である井上純一准教授に感謝します。また、小野哲雄教授、棟方渚助教、ならび、混沌系工学研究室の皆様方に様々な形でサポート頂きましたことに御礼を申し上げます。また、ソニーシステム技術研究所の佐塚直也氏、University of Eastern Piedmont の Enrico Scalas 氏、Sant'Anna School of Advanced Studies Laboratory of Economics and Management の Giorgio Fagiolo 氏、GREQAM and Univesite de la Mediterranee の花木伸行氏、一橋大学の久野遼平氏には本研究において有益なコメントやアドバイスを頂きました。ここに感謝いたします。さらに、情報統計力学グループ経済物理班の伊吹勇郎氏は金融市場や労働市場に関し、日常的にディスカッションして頂きました。感謝いたします。また、イタリア・アレッサンドリアで開催された経済物理ワークショップ直後の平成 22 年 6 月～7 月にかけて、欧州を旅した際に出会った、様々な国々の名も知れない、数多くの親切にしてくださった現地の人々に感謝します。彼らが日本語で書かれたこの論文の謝辞を読むことは事実上あり得ませんが、彼らとの一期一会の出会いによって北海道、そして日本の外にはもっと広く、そして楽しく美しい世界があることに気づかされました。ここに改めて感謝の意を述べたいと思います。また、ワークショップ終了当時「日野さんは言うことをきかないから現地に置いてきた」と陰では言いつつも、修士論文執筆をひかえた修士 2 年の大学院生が、ひと月以上研究から離れ、自由気ままに外国放浪することを快く許してくださった井上先生に感謝いたします。井上先生はイタリアからの帰国後、私の欧州放浪をひどくうらやましがっていたようですが、先生も日頃つまらないと言っている学内の諸委員会や教授会、ワーキンググループ会合などを適度にサボり、放浪とまでは言わないまでも、国際会議参加のための外国旅行等を今後も存分に楽しめることを心から希望しています。

参考文献

- [1] M. Aoki and H. Yoshikawa, *Reconstructing Macroeconomics: A Perspective from Statistical Physics and Combinatorial Stochastic Processes*, Cambridge University Press (2006).
- [2] K. Mori and S. Kurahashi, *Optimizing of Support Plan for New Graduate Employment Market: Reinforcement Learning*, Proceedings of SICE Annual Conference in Taipei, CD-ROM (2010).
- [3] 「経済古典は役に立つ」竹中平蔵 著, 光文社新書 (2010).
- [4] 経済産業省: 平成 21 年企業活動基本調査確報 — 平成 20 年度実績 —
<http://www.meti.go.jp/statistics/tyo/kikatu/result-2/h21kakuho.html>
- [5] 厚生労働省: 平成 21 年度 大学等卒業予定者の就職状況調査 (平成 22 年 4 月 1 日現在)
<http://www.mhlw.go.jp/stf/houdou/2r98520000006hma.html>
- [6] ワークス研究所: ワークス大卒求人倍率調査 (2010 年卒)
<http://www.works-i.com/surveys/adoptiontrend/>
- [7] 総務省統計局: 消費者物価指数 <http://www.stat.go.jp/data/cpi/>
- [8] M. Neugart, *Journal of Economic Behavior and Optimization* **53**, pp. 193-213 (2004).
- [9] R. Gabriele, *Labor Market Dynamics and Institution: an Evolutionary Approach*, Working Paper in Laboratory of Economics and Management Sant'Anna School of Advances Studies, Pisa, Italy (2002).
- [10] G. Fagiolo, G. Dosi and R. Gabriele, *Advances in Complex System* **7**, No.2, pp. 157-186 (2004).
- [11] N. Sazuka, *Physica A* **376**, pp. 500-506 (2007).
- [12] N. Sazuka and J. Inoue, *Physica A* **383**, pp. 49-53 (2007).
- [13] J. Inoue and N. Sazuka, *Physical Review E* **76**, pp. 021111 (9 pages) (2007).
- [14] N. Sazuka and J. Inoue, *Proceedings of the IEEE Symposium Series on Computational Intelligence (FOCI2007)*, Devid Fogel (Eds.), pp. 416-423 (2007).
- [15] N. Sazuka, J. Inoue and E. Scalas, *Physica A* **388**, pp. 2839-2853 (2009).
- [16] J. Inoue and N. Sazuka, *Quantitative Finance* **10**, pp. 121-130 (2010).
- [17] J. Inoue, N. Sazuka and E. Scalas, *Science & Culture* **76**, No.9-10, pp. 466-470 (2010).
- [18] J. Inoue, H. Hino, N. Sazuka and E. Scalas, in preparation.
- [19] T. Ibuki and J. Inoue, Submitted to *Journal of Economic Interaction and Coordination* (2010).
- [20] R.J. Elliott and K. Ekkehard, *Mathematics of Financial Markets*, (New York: Springer) (2004).

- [21] J.-P. Bouchaud and M. Potters, *Theory of Financial Risk and Derivative Pricing*, (Cambridge: Cambridge University Press) (2000).
- [22] E. Scalas, *Chaos, Soliton & Fractals* **34**, 33 (2007).
- [23] E. Scalas, R. Gorenflo, H. Lueckock, F. Mainardi, M. Mantelli, and M. Raberto, *Quantitative Finance*, **4**, 695 (2004).
- [24] E. Scalas, T. Kaizoji, M. Kirchler, J. Huber, and A. Tedeschi, *Physica A*, **366**, 463 (2006).
- [25] E. Scalas, <http://arxiv.org/abs/physics/0608217>.
- [26] A. W. Philips, *Economica*, New Series **25**, No. 100, pp.283-299 (1958).
- [27] M. Parachowny, *Okun's law: Theoretical Foundations and Revised Estimates*, *The Review of Economics and Statistics* **75**(2), pp. 331-336 (1993).
- [28] S. Nickell, L. Nunziata, W. Ochel and G. Quintini, *The Beverage Curve, Unemployment and Wages in the OECD from the 1960s to the 1990s*, Working paper.
- [29] J. Inoue and J. Ohkubo, *J. Phys. A: Mathematical and Theoretical* **41**, 324020 (14pp) (2008).
- [30] J. Inoue and J. Ohkubo, *Condensation Phenomena and Pareto Distribution in Disordered Urn Models*, in *New Economic Windows: Econophysics & Economics of Games, Social Choices and Quantitative Techniques*, B. Basu, B.K. Chakrabarti, S.R. Chakravarty and K. Gangopadhyay (Eds.), pp. 52-60 (Springer-Verlag, Italia) (2010).

本論文で用いる記号	変数記号の意味
t	時刻 (シミュレーション・ステップ)
$W_i (i = 1, \dots, N_W)$	労働者エージェント
N_W	労働者総数
$C_j (j = 1, \dots, N_C)$	企業エージェント
N_C	企業総数
$m(l) (l = 1, \dots, N_m)$	業種
N_m	業種の数
V	全企業の募集人数
$v_{C_j \in m(l)}$	企業 C_j の募集人数
$V_{m(l)}$	業種 $m(l)$ の募集人数
$N_{m(l)}$	業種 $m(l)$ の企業数
w_{C_j}	企業 C_j の賃金
$P_{C_j \in m(l)} = \gamma_{m(l)}$	企業 C_j が業種 $m(l)$ になる確率
$P_{W_i \in m(l)} = \delta_{m(l)}$	労働者 W_i が業種 $m(l)$ になる確率
a_{W_i}	応募数
b_{W_i}	労働力
$g(t)$	時刻 t で就職できた労働者数
$W_{i \in C_j}$	企業 C_j で働く労働者
$s_{C_j}(t)$	時刻 t で企業 C_j にエントリーした労働者数
$u'_{C_j}(t)$	時刻 t で企業 C_j が採用した労働者数
$u_{C_j}(t)$	時刻 t で企業 C_j に就職する労働者数
$U_{C_j}(t)$	時刻 t での企業 C_j の全労働者数
$d_{C_j}(t)$	時刻 t での企業 C_j のプロジェクトコスト
$q_{C_j}(t)$	時刻 t での企業 C_j の生産量
$P'_{C_j}(t)$	時刻 t での企業 C_j のプロジェクト予想値
$P_{C_j}(t)$	時刻 t での企業 C_j のプロジェクト成功確率
$e_{C_j}(t)$	時刻 t での企業 C_j の資金
$r_{C_j}(t)$	時刻 t での企業 C_j の利益
$h(t)$	時刻 t で倒産により失業した労働者数
$p(t)$	時刻 t での消費財の価格
τ	労働可能年齢
U_t	時刻 t での失業率
π_t	時刻 t での物価上昇率

パラメータ	値
N_W	44000
N_C	500
V	72000
N_M	4
$\gamma_{m(1)}$	0.475
$\gamma_{m(2)}$	0.378
$\gamma_{m(3)}$	0.012
$\gamma_{m(4)}$	0.166
$\delta_{m(1)}$	0.362
$\delta_{m(2)}$	0.136
$\delta_{m(3)}$	0.14
$\delta_{m(4)}$	0.362
$\epsilon_{m(1)}$	0.44
$\epsilon_{m(2)}$	0.393
$\epsilon_{m(3)}$	0.012
$\epsilon_{m(4)}$	0.166
a_{W_i}	[1,6]
$b_{W_i \in c_j}$	[0.2,1.0]