九州大学学術情報リポジトリ
Kyushu University Institutional Repository

局所的交流をする企業・労働・銀行エージェントからなる平面配置モデルにおける金融政策ショックの伝播分析

時永，祥三
九州大学大学院経済学研究院

https://doi.org/10.15017/20097

出版情報：經濟學研究. 78 (2/3), pp.39-61, 2011-09-20. Society of Political Economy, Kyushu University
バージョン：
権利関係：

局所的交流をする企業・労働・銀行エージェントからなる平面配置モデルにおける金融政策ショックの伝播分析

時　永　祥　三

1　まえがき

経済政策分析の 1 つの分野としてショック分析が行われており, 技術ショックおよび非技術ショック, 金融政策ショック分析などが代表的な手法である [1]-[19]。特に, ショックを加えたあとの変数の挙動の符号と大きさと持続性の分析に論点が集中され, 多くの研究結果が示されている [1]-[12]。特に, これらのモデルは, 企業と労働および銀行に代表される金融機関を 3 つのセクターとして含む均衡分析に基づいており, 現実のデータとの整合性が, 主に議論の対象とされている。しかしながら, 例えば企業のグローバル展開などを考えると, セクターの特性は国によって異なっており, ある国のセクターへの金融政策ショックの影響の伝播などを議論する場合には, 平面的な分析へと拡張する必要がある。本論文では, 局所的交流をする企業・労働および銀行エージェントからなる平面配置モデルにおける金融ショックの伝播分析について述べる [20]-[25]。

議論の進め方を分かりやすくするため, 本論文ではまず, 企業・労働・銀行の 3 つのセクターからなる経済モデルを用いて金融政策ショック分析の基本について整理する。次にこのような 3 つのセクターからなるモデルを拡張して, 平面上のそれぞれの格子点に企業・労働・銀行の 3 つのエージェントが配置されたモデルを示す。この場合, エージェントの平面配置の議論をする前に, 複数の地域に生産において協調する企業側と労働側が存在 (簡単のため, それぞれ企業エージェントと労働エージェントと呼んでおく, 労働エージェントだけが移動可能とする) が存在するモデル示す。次にこのモデルを拡張して, 平面上の格子点にこれらのエージェントが存在するモデルを定義する [20]-[25]。このモデルにおいて, ある地域から別の地域に商品を移動させる $T \geq 1$ のコストが発生すると仮定する。次に, このようなエージェントを平面に配置したケースを基本モデルとして提案する。同時に, 企業は企業の価値を蓄積することができると仮定して, この投資の一部を銀行から借入するケースを追加したモデルへと拡張する。一般にはエージェントを平面に配置した場合には時間の経過とともに, 協調するエージェントの状態は安定化することが示される。しかしながら, 局所的交流をするエージェントが行動する場合に金融時系列にインパルス状のショックが加わるように条件を変更した場合には, 安定的な状態から変動することが観測される。具体的には, 金融時系列にインパルス状の変化を与えることにより, 平面上にエージェント状態の変動が発生し, 時間の経過とともに増大させられる現象を観測することができる。

応用例として, 従来から用いられている企業・労働・銀行の 3 つのセクターからなる経済における金融政策ショック分析と, これらのセクターをエージェントとして平面配置した場合のショック分析を示す。

2 DSGE モデルとショック誘発分析

2.1 ショック入力とその応答分析

政策評価の 1 つの方法として行われるものの中に, 政策を記述する変数についてインパルス状の入力 (ショック入力) を与えた場合の特性分析があり, それぞれの変数の変化を求めることから, 構造化ショック分析 (structural shock analysis) などと呼ばれている。一般にショック分析の方法は大きく分けて DSGE(Dynamic Stochastic General Equilibrium:動学的一般均衡) モデルによる方法 [13]-[19] と VAR(Vector Auto-Regressive:ベクトル自己回帰) モデルによる方法 [1]-[12] とがあり, 用いるモデルによってやや異なっているため, 詳細について定義をしておく必要がある。説明を分かりやすくするために, まず VAR モデルにおけるショック分析の概要を説明する。具体的には技術ショック, 中立性技術ショック, ニュースショックの区分である。VAR モデルによる分析では, 基本的に用いる変数をどのように選択するかが問題である。これまで, 分析の目的に応じて, さまざまな経済構造を記述する変数のセットが提案されている。

VAR モデル分析において一般的にインパルス応答 (ショック) の入力として重視されているものは, 投資金額の増加と労働生産性の向上である。簡単な分析においては, 単にこれらの入力に関する予測誤差分散への影響の大きさだけを議論するが, 更に詳細に分析する場合には, いわゆる技術ショック ε_t^I, 中立性技術ショック ε_t^a, ニュースショック ε_t^m が区別して論じられる。ただしこれらのショックをどのように定義するか, あるいは定量化するかについては, Blanchard and Quah 他らの従来の方法論を踏襲している [4]。Mertens の研究では, これらの 3 つのショックが区別されている [12]。更に, これらの時系列データから直接的あるいは間接的に得られるショックに加えて, 金融政策ショック (monetary policy shocks) を定義しているが, この場合には金利の時系列の生成モデルを用いている。

次に DSGE モデルにおけるショック分析においては, 基本的に従来の均衡分析をベースとしており, それぞれのセクターにおける主体の行動とその最適化解の導出, これらのセクターを統合して求められる全体最適化の分析によりモデル化される。DSGE モデルにおける技術ショックと金融政策ショック分析の方法は VAR モデルとは異なり, 技術ショックは定義式に含まれるランダムとして示され, これらのランダム項がそれぞれのショックに対応している。例えば, 累計された技術ショック (aggregate technology shocks) は, 技術係数の時間経過 $z(t)$ が, 定数 ρ_z および正規乱数 $\varepsilon(t) \sim N(0, \sigma_z)$ を用いて表現された, 次の式にしたがって変動すると仮定する。

$$\log z(t) = \rho_z \log z(t-1) + \varepsilon(t) \tag{1}$$

したがって, 観測データから得られる生のデータではなく, あくまでもキャリブレーション (calibration) された関係式の中のランダム項として取り扱われる。

なお, 経済モデルの場合には, 工学的なシステムとは 1 つの大きな違いがあることに注意する必要がある。すなわち, 多くの経済モデルにおいては, 企業や労働者 (同時に消費者でもある) が, 自身の利益や効用を最大化する方向に意思決定を行い, これらが均衡した場合に, それぞれの行動が収束するとい

う, いわゆる均衡分析の立場をとっている。したがって, 変数のショックを加えた場合においても, この均衡分析にしたがう必要があり, これをカバーする方法論が開発されている。一般に, 一般均衡のモデル分析においては, ある時刻における企業や労働などの主体の間における均衡が求められるが, DSGE においては時刻 t と $t+1$ との間における関係が記述される。これを, いわゆる工学におけるダイナミックスの記述である。時刻 t と $t+1$ との関係が方程式により結ばれているので, 時刻 t において与えたショックの効果を, 時刻 $t+1$ において評価することができ, これを繰り返すことによりシステムの応答を計算することができる。

従来より用いられている VAR モデルでは, このような変数の間の拘束条件は原則として存在しないことを仮定しているので, その意味では変数の挙動は相互に直接的に関係はなく, 単に回帰モデルを通じて関連づけられている。もともと VAR モデルは, いわゆる構造方程式による面倒なシステム記述や, パラメータの複雑な推定方法を回避する目的で導入されたものであり, その分かりやすさが利点となっている。しかしながら, 当然のことではあるが, DSGE を用いる研究サイドからは, 経済主体の動きを考慮したモデルではないとの批判がある。

更に, 経済モデル分析におけるショック誘発分析が工学分野と異なっている点として, ショックに反応する応答関数の変動に, 符号制約を導入することがある。この方法論は, 特に近年用いられ, その有効性が示されている。すなわち, ショックに対する応答が, 例えば長期的にマイナスであるべきであるとされるケースにおいては, プラスを示す応答は別の原因により引き起こされたものであるとして, 統計処理に含ませないことがなされる。これは投資の効果が, 消費財に対するものであるのか, 生産財に対するものであるのか, あるいは両方であるのかを区別する必要性から導入されている。なおこの問題は本論文の直接的な課題ではなく, われわれが示した結果に詳細が示されているので, ここでは省略する [12]。

2.2 金融ショック分析の目的

DSGE モデルによるショック分析の事例は多数存在するが, その多くは各国の金融当局が, 自国の金融政策を検証するためのデータ分析となっているケースが多く, 方法論的な相互比較を行ったものは極めて少ない。同時に, DSGE モデルは非線形方程式を基本としながら, しかも応用一般均衡の手法や, あるいは同等な数値解析の手法を用いて解を求める方法論を開発する段階にあるため, モデルの数値解法に関する研究も少なくない。このような事情を考慮して, 以下では, 文献 [13] において示されているデータ解析の結果に関する記述を引用しながら, 現状における DSGE を用いたショック分析を概観する。

(1) 銀行を通じたチャネルとショックの伝播

文献 [13] においては「銀行を通じたチャネルとショックの伝播」に関して, 経済のマクロレベルのモデルに加えて, 企業と銀行との間の資金貸付関係, あるいはこれに関連する企業の投資行動をモデルに組み入れているので, データ解析における評価の第 1 番目には, このようなモデルの定式化の有効性が議論されている。推定されたモデルをもとにして, 米国経済について年次を追いながら, 技術ショック

と金融政策ショックの方向性や大きさを評価している。この場合, 特にモデルに組み込まれている銀行の役割と, それ以外の部分を分離することがなされている。その結果, 現実のデータとの対比においては「銀行資産の展開が貸し出しに影響を与えている」と示されている (しかしこれ以上の言及はない)。

(2) クレジットの縮小 (credit crunch)

金融政策ショックの 1 つの影響分析の視点として, 銀行資産の減少と, これにともなうクレジットの縮小の現象が解明される。これは米国において 1997 年に発生した事例を説明するものであり, 銀行に資産状況の悪化にともない, 銀行がとった行動であるとされている。これを説明するために, 銀行資産のプロセスを拡張して, $a(t+1) = [r(t) + q_t(1 - \delta x(t))]k(t)^b + \eta^b w(t)^b$ という定式化を導入している。ここで, $k(t)^b$ は投資からの収益を意味し, $x(t)$ は銀行における減価償却の加速を説明する変数であり, AR(1) プロセスにしたがうとして導入されている。その結果, 実際に発生した現象を説明することができることを, データ分析により示している。

(3) 周期変動 (cyclical properties)

金融政策にともない, いわゆるビジネスサイクルに相当する, いろいろな変動が発生することが予想される。これを DSGE モデルにより説明する方法として, 現実のデータとの間での変動の方向性の比較分析を行っている。その結果, 多くの年度とスパンにおいて, 同方向の変動が, シミュレーション結果と現実データとの間で見られているので, DSGE モデルの説明力を示していると述べられている。

3　3 つのセクターからなる経済の金融政策ショックの分析モデル

3.1　2 財 2 要素 2 消費者モデル

本論文では, 局所的交流をする企業・労働・銀行エージェントからなる平面配置モデルにおける金融政策ショックを分析することを目的としている。このモデルを直接説明するのは適切ではないので, 以下ではまず, これまで経済モデル分析において多用されてきている基本モデルについて議論する。このあとで局所的交流をする企業・労働・銀行エージェントからなる平面配置モデルへの拡張を行う。

以下では, 金融政策ショックの分析において, 必要となる金融セクターを均衡モデルに加える議論を行う。最初に, 金融セクターを含まない 2 財 2 要素 2 消費者モデルの純粋交換モデルの場合の例を示す。なお文献 [13] においては, 生産活動を中間財を用いて最終財を生産する多段的なモデルを考察しているが, 本論文では平面に配置されたエージェントの間における局所的交流を議論するので, 生産活動は最小限必要な範囲に簡素化している。

以下では資本と労働の 2 つの生産要素からなる, いわゆる 2 要素モデルの定式化を示しておく。この例は, もともとショーブンとウォーリにより与えられたミニチュアモデルである [29]-[32]。いま 2 人の消費者 (富裕階層と貧困階層に相当, それぞれを記号 R, P により区別する) がいて, 2 種類の最終財 (製造製品と非製造製品) がある。いまの場合, 生産財と消費財は同じとしておく。また生産要素として, 資本と労働の 2 つがある。この経済においてはすべての資本を富裕階層が資本を所有し, すべての労働は貧困階層が所有すると仮定する。消費者の行動が, 選好と初期保有により決められると仮定する。2 人

の希望する取引において資本と労働の価格はバランスし, 2 つの財の市場超過需要はゼロになる。したがって, 均衡点を見出すには, この超過需要がゼロになる価格を見出すことと同じとなる。

まず以下に示す式に含まれるパラメータを説明しておく。これらは, 以下のようになっている。

α_{im}:消費者 m の消費財 i に対するシェアパラメータ

μ_m:消費財 m における代替の弾力性

LL_m, KK_m:家計 m の労働と資本の初期保有

Φ_j:生産財 j についての生産の規模パラメータ

δ_j:生産財 j における生産要素のウェイトパラメータ

σ_j:要素 j の代替の弾力性

消費者の初期保有は要素のみで財はないと仮定し, 富裕層が全資本を所有し, 貧困層が全労働を所有すると仮定する。それぞれの財は CES 生産関数にしたがって生産され, 消費者の需要は CES 型効用関数に基づいて, 予算制約のもとで最大化される。後での議論の都合があるので記号を一般化し, 消費者の階層を $m, (m = R, P)$ とする。ここで添え字の R, P は, それぞれ家計における富裕層 (rich) と貧困層 (poor) を意味する。記号と番号を明確に区別するのは面倒なので, 場合によっては $m = 1, 2$ として表示する。商品を $j, (j = 1, 2)$ とするとき, 消費者 m からの商品 i への需要を X_{im} とする。この数量は, 消費者 m の効用 U_m を最大化する 1 階の条件から導出される。

消費者 m の効用関数 $U_m(.)$ は, 次の式により与えられると仮定する。

$$U_m = [\sum_{i=1}^{2}(\alpha_{im})^{1/\mu_m}(X_{im})^{\frac{\mu_m-1}{\mu_m}}]^{\frac{\mu_m}{\mu_m-1}}, m = R, P \tag{2}$$

関数をその変数を含めて表現することとし, 第 $m, (m = R, P)$ 消費者の第 $i, (i = 1, 2)$ 商品に対する需要を $X_{im}(p_1, p_2, r, w)$ とし, 効用関数 U_m を, 次の制約条件のもとで最大化する。

$$\sum_{i=1}^{2} p_i X_{im} = wLL_m + rKK_m, m = R, P \tag{3}$$

p_i は商品 i の価格であり, r, w は資本と労働の賃率である。また, X_{im}, LL_m, KK_m は, 第 m 消費者についての消費財 j への商品需要, および 2 つの生産要素 (労働と資本) の初期保有である。消費者 m の効用 U_m を最大化する 1 階の条件から, 需要関数 $X_{im}(.)$ は, 次に示す式で与えられる。

$$X_{im} = \frac{\alpha_{im}(wLL_m + rKK_m)}{p_i^{\mu_m}[\sum_{i=1}^{2}\alpha_{im}p_i^{(1-\mu_m)}]}, m = R, P \tag{4}$$

次に, 企業の生産関数 $Q_j(.)$ は, 次の式により与えられると仮定する。

$$Q_j = \Phi_j[\delta_j L_j^{-\rho_j} + (1-\delta_j)K_j^{-\rho_j}]^{-1/\rho_j}, j = 1, 2 \tag{5}$$

ただし $\rho_j = (1-\sigma_j)/\sigma_j$ である。生産においては, 1 次同次の生産関数 $Q_j = Q_j(L_j, K_j)$ を仮定している。企業の生産における費用最小化行動から要素需要関数 $L_j(.), K_j(.)$ は, 次に示す式で与えられる。

$$L_j = \frac{1}{\Phi_j}Q_j[\delta_j + (1-\delta_j)(\frac{\delta_j r}{(1-\delta_j)w})^{(1-\sigma_j)}]^{1/\rho_j}, j = 1, 2 \tag{6}$$

$$K_j = \frac{1}{\Phi_j} Q_j [\delta_j (\frac{(1-\delta_j)w}{\delta_j r})^{(1-\sigma_j)} + (1-\delta_j)]^{1/\rho_j}, j = 1, 2 \tag{7}$$

ずべての財および要素に対する超過需要は負またはゼロとなるように, 均衡価格が形成される。すなわち

$$\sum_{m=1}^{2} X_{jm}(p_1, p_2, r, w) - Q_j \leq 0, j = 1, 2 \tag{8}$$

$$E_w = \sum_{j=1}^{2} L_j(r, w, Q_j) - \sum_{m=1}^{2} LL_m \leq 0 \tag{9}$$

$$E_r = \sum_{j=1}^{2} K_j(r, w, Q_j) - \sum_{m=1}^{2} KK_m \leq 0 \tag{10}$$

これらの関係式に加えて, 第 j 産業の産出が正であるならば, 利潤はゼロであるので, 次の式が成立する。

$$p_j Q_j = wL_j(r, w, Q_j) + rK_j(r, w, Q_j), j = 1, 2 \tag{11}$$

これらをまとめると, 次のような簡潔な式が得られる。

$$\sum_{j=1}^{2} p_j [Q_j - \sum_{m=1}^{2} X_{jm}] + wE_w + rE_r = 0 \tag{12}$$

次の節において金融セクターを導入するが, この金融セクターの役割は, 企業 (富裕層) が主として生産における投資を行う場合に, 最適な資本 $L_k = i_t$ に等しい金額を準備できない場合に, この不足額を金融機関が調達するモデルになっている。詳しい議論は次節で示すが, 企業と金融機関の正味現在価値を, それぞれ n_t, a_t とした場合に, $a_t = i_t - n_t$ という関係式に応じて, 資金の提供 (調達) が行われる。

3.2　モデルへの銀行エージェントの追加

これまで述べた企業と労働エージェントの平面上への配置モデルに, 金融の役割を担う銀行エージェントを加えたモデルへの拡張をこころみる。銀行の役割は, 企業が生産を行う上での規模を維持できない場合に, その時刻の企業価値と生産の規模との差異を, 融資により補充する仮定であり, 簡単に定式化されている。なお本論文では, 銀行エージェントを追加したモデルへと拡張するが, 平面上にエージェントを多数配置するモデルであることや, 3 つのエージェントの間における金融ショックの影響の分析と比較して, 平面的な伝播の分析を重視する。したがって, 基本的には文献 [13] に示されているモデルに基づいているが, 適宜簡略化している。具体的には, 以下の部分を文献 [13] のモデルから変更している。

(1) 家計セクターの省略

本論文で述べるエージェントモデルにおいて主要な変数は, 短期金利 $r(t)^t$, 財の価格 $p_i(t)$, 資本財の価格 $q_i(t)$ であり, これらは数式としてあらかじめ与えられるか, あるいは均衡分析により計算される。

一方文献 [13] に示されるような家計のセクターの定義においては家計の行動を記述する変数が導入され, これらの変数の間に成立すべき均衡関係が示されている。しかしながら, これらの変数は, 最終的にはここに示す 3 つの変数により記述することができるので, 結果的には, 産業のセクターからの影響を受けることがある一方では, 家計から産業のセクターには影響は及ばないことになる。このようなことを考慮して, 本論文では家計のセクターは省略する。

(2) 企業と銀行との間の利益配分を簡略化

文献 [13] に示されたモデルにおいては, 3 つのエージェントの行動をやや詳細に記述する目的で, 企業が投資資金を用いて操業する場合の成功の確率や, これを関連づけるための企業の行動を, リスクの回避行動として定義している。更に, 企業と創業者とを区別してベンチャーなどの新規参入企業を, 通常の安定的な操業を行っている組織とは区別している。しかしながら, このような創業者の定義を導入する場合の大きな目的である投資先の成功と失敗を論じることが目的ではない場合には, 必要性がないものである。また企業と銀行は, 社会的に複数存在すると仮定して, 最終的には個別の企業や銀行の行動を集約する表現を用いている。しかしながら本論文では, これらの行動主体を 1 つのセクターとして簡略化している。

(3) 富裕層の初期所有に投資を加える

応用一般均衡分析のモデルにおいては, 資本の初期保有 KK^m は富裕層だけに限定され, しかもその額は固定され, 一回限りの解析となっている。これに対して, 本論文で議論する金融政策ショック分析においては, 資本使用と生産は繰り返し実施される。この 2 つの方向性を整合させるために, ここでは資本を投資 ($i(t)$ として定義される, 詳細は後で述べる) により増強するという仮定を用いる。すなわち, 応用一般均衡分析のモデルにおける資本の初期保有について, 時刻 t ごとの次のような資本の投資により増加させる方法を用いる。

$KK^m \to KK^m + i(t)$

これにより資本が時間とともに増加するので, 金融政策ショックにおいても生産が拡大する問題が発生する。これを回避するために, 金融政策ショックにおける比較分析の対象を, このようなショックを加えた場合の産出と, そうではない場合の産出を比較する方法を用いている。

3.3 銀行による融資と資本蓄積

以下では説明を分かりやすくするために, 企業, 労働および銀行エージェントが 3 つに限定されている場合を用いて述べる。次のように記号を定義する。すべて時刻 t における値である。

$y(t)$:産出 (output)

$n(t)$:企業の正味価値 (firm net worth)

$a(t)$:銀行の正味価値 (bank net worth)

$i(t)$:投資金額 (investment)

$d(t)$:投資家による出資

$r(t)^d$:金利 (short term rate)

$q(t)$:資本財の価格 (生産財価格表示)(price of capital)
$R(t)^e, R(t)^b, R(t)^h$:投資に得られる利益の企業, 銀行, 投資家への配分率
μ:銀行が企業行動をモニターするための費用の割合
α^g:投資の成功確率,α^b:投資の不完全な成功確率
$\pi(t)$:インフレ率 (inflation rate)

企業は投資の高い確率での成功よりは低い成功のもとでも相対的に有利な利益を得ようとするが, 一方では銀行は貸付資金の円滑な回収を望むので, 投資の高い成功を要求する。このような両者の間での相互関係がバランスする条件より, 企業と銀行の正味価値 $a(t), n(t)$ の関係式が, 短期金利 (いわゆる公定歩合) である $r(t)^d$ などの係数を含んだ式として得られる。この部分が文献 [13] における 1 つの特徴となっており, 企業が設備投資をする場合に, 銀行から借入を行うが, その態度あるいはケースについて, 次の 3 つが仮定される。企業は $i(t)$ を投資して, 成功なら $Ri(t)(R > 1)$ のリターンが得られる (失敗ならゼロ) と仮定する。企業は, 以下の 3 つのケースから 1 つを選択する。(1) α^g の確率で高い成功が得られるが企業の利益はゼロ, (2) $\alpha^b(< \alpha^g)$ のやや低い確率で成功するが, 企業にも利益 $bi(t)$ がある, (3) 同様に低い成功確率 α^b であるが, 企業には更に高い利益 $Bi(t)(B > b)$ がある。この問題を解決するために, 銀行はインセンティブを設定することになる。

投資により得られる利益を, 企業と銀行の間で分け合うための, 最適化条件を求める。これらの 3 者の利益率を $R(t)^e, R(t)^b$ としておくと $R(t)^e + R(t)^b = R$, となり投資の成功確率の差異である $\Delta\alpha = \alpha^g - \alpha^b$ などを用いて, 3 つの変数が記述されることが分かる。更にこの結果を用いると, 最適な投資金額が, $\Delta\alpha$ などを用いて表現される係数 $G(t)$ を用いて, $i(t) = [a(t) + n_t]/G(t)$ として一意的に表現される ($a(t), n(t)$ は企業と銀行の正味価値である)。

投資に関する制約式は, 本来は不等号により関係式が定義されているが, 以下では話を簡単にするため, 文献 [13] において示されているように, 限界点における関係式を取り扱う必要があるため, 等式として表現する。まず最大化するべき目的関数は, 次のようになる。

$$\max_{i(t),a(t),R(t)^b,R(t)^e,R(t)^h} q(t)\alpha^g R(t)^e i(t) \tag{13}$$

制約条件は, 以下のようになる。

$$q(t)\alpha^g R(t)^e i(t) = q(t)\alpha^b R(t)^e i(t) + q(t)bi(t) \tag{14}$$

$$q(t)\alpha^g R(t)^b i(t) - \mu i(t) = q(t)\alpha^b R(t)^b i(t) \tag{15}$$

$$q(t)\alpha^g R(t)^h i(t) = (1 + r(t)^d)d(t) \tag{16}$$

$$a(t) + n(t) + d(t) = i(t) \tag{17}$$

$$R(t)^e + R(t)^b + R(t)^h = R \tag{18}$$

まず最初の 2 つの関係式から次のように $R(t)^e, R(t)^b$ が求まる (ただし $\Delta\alpha = \alpha^g - \alpha^b$) である)。

$$R(t)^e = \frac{b}{\Delta\alpha}, R(t)^b = \frac{\mu}{q(t)\Delta\alpha}, R(t)^h = R(t) - R(t)^b - R(t)^e \tag{19}$$

これまで示した式を整理して代入を繰りかえすと, 次の式が得られる。

$$(1+r(t)^d)[(1+\mu-\frac{a(t)}{i(t)}-\frac{n(t)}{i(t)}]=q(t)\alpha^g(R-\frac{b}{\Delta\alpha}-\frac{\mu}{q(t)\Delta\alpha}) \tag{20}$$

したがって最適な投資額は, 次のようになる。

$$i(t)=\frac{a(t)+n(t)}{G(t)}, G(t)=1+\mu-\frac{q(t)\alpha^g}{1+r(t)^d}(R-\frac{b}{\Delta\alpha}-\frac{\mu}{q_t\Delta\alpha}) \tag{21}$$

次に, 企業と銀行の資本形成 (それぞれ k_t^e, k_t^b とする) は, 投資による利益を累積することによりなされると仮定すると, 以下の式が得られる。

$$k(t+1)^e=\alpha^g R(t)^e i(t), k(t+1)^b=\alpha^g R(t)^b i(t) \tag{22}$$

一方では, 企業と銀行の現在の正味価値は, 資本に比例して次のように定義される。

$$n(t+1)=[r(t+1)+q(t+1)(1-\delta)]k(t+1)^e, a(t+1)=[r(t+1)+q(t+1)(1-\delta)]k(t+1)^b \tag{23}$$

これらをまとめると, 次のような時刻 t と時刻 $t+1$ における関係式が得られる。

$$n(t+1)=[r(t+1)+q(t+1)(1-\delta)]\alpha^g R(t)^e i(t), a(t+1)=[r(t+1)+q(t+1)(1-\delta)]\alpha^g R(t)^b i(t), \tag{24}$$

(viii) Monetary policy

金融政策ショック (monetary policy shocks) を定義しているが, この場合には次の利子率の生成モデルを用いている。

$$r(t)^d=(1-\rho_r)r^d+\rho_r r(t-1)^d+(1-\rho_r)[\rho_\pi(\pi_t-\bar{\pi})+\rho_y\hat{y}(t)+\varepsilon_t^{mp} \tag{25}$$

r^d は定常的な利率, $\bar{\pi}$ は金融当局によるインフレターゲット, $\hat{y}_t$ は産出における定常的なレベルからの乖離であり, 最後の ε_t^{mp} が金融政策ショックに相当する乱数項である。

4 平面上のエージェント局所的交流のモデル

4.1 局所的交流とエージェント最適化行動

ここでは, これまで展開してきた企業・労働・銀行の 3 つのセクターからなる経済モデルにおける議論を拡張して, これらのエージェントセクターが, 平面の格子点に配置されたモデルへの拡張を行う [20]-[25]。経済モデルにおける生産と消費の最適化問題 (すべての消費者が満足する数量と価格を決める問題) の解として, 平面上に配置されたエージェントが広域的な交流, すなわち平面上のどのエージェントとの間でも交流できる場合には, 均衡 (時間的に変動しない) の状態が存在することが知られている (いわゆる一般均衡理論)[26]-[28]。この理論を現実のデータに適用する場合の前提条件が満足されない事例などがある批判があるほかに, 実際には遠くのエージェントではなく, 近隣での交流すなわち,

局所的交流がなされているのではないかとの指摘がなされ, これに対応した理論研究も進められてきている [29]-[34]。モデルにおける均衡からの逸脱とカオス性変動 (時間的変動) への移行に関しては, 文献 [20] において生産と消費の基本モデルのもとでの商品の移動コストの導入により, 2 つの地域の間のエージェント移動におけるカオス性分析がなされている。

本論文ではエージェントが平面上に配置されたモデルを考察するが, 以下では最初に, この背景にある基本モデルを, 文献 [20] にしたがって概要を整理しておく。

Model S:複数地域基本モデル

地理的に 2 つの地域 ($i = 1, 2$) を仮定し, これらのそれぞれの地域に, 複数の企業エージェントと複数の労働エージェントが存在すると仮定する。すなわち 1 つの地域の中に複数の企業・労働エージェントが存在すると仮定する。なお, 説明では一般に地域が $N \geq 2$ であるケースも含めて式を示す。企業エージェントは地域間を移動はできないが, 労働エージェントは他の地域へ雇用の場所へと移動可能であるとする。話を簡単にするために, 労働エージェントのプールが地域 1 に存在し, このプールから離脱して労働エージェントは地域 2 へと移動できると仮定しておく。なお, このような労働エージェントが移動可能であることに対応して, 商品の移動コストを導入する。いま $T(\geq 1)$ は商品の移動コストであり, ある地域から別の地域に商品を移動するときに, 単位商品あたりに要する費用の割合である。この T を用いて商品の購入可能数を $1/T$ とすることもできるが, 以下では別の地域 j の商品を購入するときの価格 p_j が, p_j から p_jT へと変化することで表現している。

協調関係により生産される商品は 1 種類としておく。生産のモデルはさまざまなものが存在するが, 以下では簡単なモデルを用いる。なお以下の式の説明で用いる変数の意味については, 次のようになる。

$p_i(t), w_i(t)$:地域 i で生産される商品価格と労賃

$d_i(t)$:地域 i で生産される商品の最適生産数量 (需要数量 q に等しい)

$Y_i(t)$:地域 i における労働エージェントの使用予算 (収入に等しい)

$n_i(t), \lambda_i(t)$:地域 i における企業立地数, 労働エージェント比率

F:労働以外の定額の収入

$\mu(< 1)$:労働エージェントの収入に占める商品への支出割合

いま, 地域の数を N とし労働 (消費) エージェントの効用関数 (同一とする) を, 次のような形であると仮定する [20][35]-[37]。

$$U = [\sum_{i=1}^{N} (\delta_i)^{1/\sigma} (X_i)^{\rho}]^{1/\rho}, \rho = (\sigma - 1)/\sigma \tag{26}$$

ここで,X_i は地域 i における商品購入量であり, δ_i は地域 i の商品への支出割合 (シェアパラメータ), σ は商品に対する価格弾力性 (一定値であると仮定) である。

生産規模の増大により, 更なる効率的な生産ができるという収穫逓増のモデルを用いる。この仮定によりある特定の差別化された商品は 1 企業のみが生産すると仮定する。したがってそれぞれの企業は一つの商品生産について独占的な価格設定が可能であるが他の企業の商品と不完全な代替関係がある独占的競争の状態となる。一般的には価格設定行動は他の企業に対して影響を与えるが各生産者は商

品の多様性により自己の価格設定が他の企業に影響を与えないと考えて行動すると仮定する。

生産者は生産に一定の固定的労働と商品 1 単位増加ごとに一定の労働の追加を必要とすると仮定するとすなわち商品を生産し, その費用 c は固定部分と, 製造数量 g に比例する部分からなりたち, 次のような式で与えられると仮定する。

$$c = \alpha + \beta g \tag{27}$$

なお 1 地域内の複数の企業は多様な商品を生産するが直面する賃金率は地域内では同一であるので労働投入関数は上に示したような同じものになる。

地域 i における労働の賃金を $w_i(t)$ としておく。なお, 以下では生産のモデルを時間 t の関数として議論するので, 変数は t の関数として与えられる。このとき企業の利潤 π_i は, 価格と供給数量をかけたものからコストを差し引いたものになる。

$$\pi_i = p_i(t)q_i(t) - (\alpha + \beta)w_i(t) = [(p_i(t) - \beta w_i(t)] - \alpha w_i(t) \tag{28}$$

この利潤を最大化する 1 階の条件を導出すると, 次のようになる。

$$p_i(t) = \frac{\beta\alpha}{\sigma - 1} w_i(t), \sigma = \frac{p_i(t)}{q_i(t)} \frac{\partial q_i(t)}{\partial p_i(t)} \tag{29}$$

ここで $\sigma(\sigma > 1)$ は生産における弾性値であり, 価格が 1 単位増加した場合の需要の変化量である。このような前提のもとで地域における最適な生産のためには, 商品の価格 $p_i(t)$ は上の式のように設定することが必要となることが示されている [20]。

労働エージェントについて 2 地域を合計した総数を L とし, 地域 i における割合を $\lambda_i(t)$ とする。

このようなモデル化のもとで, 企業エージェントは最適な生産を追及し, 労働エージェントは自身の要求が充足 (効用が最大化される) ような行動を追及する。労働者エージェントの効用 U を最大化する 1 階の条件から, 地域 i で生産される商品への最適な生産数量 (これは需要数量にも等しい)$d_i(t)$ が得られる [20]。

$$d_i(t) = \mu[\sum_{j=1}^{N} Y_j(t)\hat{G}_i(t)^{\sigma-1}]p_i^{-\sigma} \tag{30}$$

これらの双方の要求が満足される時点で, 生産する製品の価格 (この価格は労賃にも等しい) が定まる (いわゆる均衡条件の存在)。一般には, このような均衡条件 (地域が 2 つの場合には $\lambda_1(t) = \lambda_2(t) = 0.5$ である) が容易に検出できて, 時間が経過しても変化しない。しかしながら, 商品の移動にコスト $T > 1$ が必要である場合には $\lambda_i(t)$ が時間的に変動し, しかもその変動はパラメータ T に依存して, カオス的な変動を示すことが分析されている。

以下ではモデルの説明において重要な式のみ整理しておく。まず地域 i における商品価格を調整する指標 $G_i(t)$ のべき乗は次で与えられる。

$$G_i(t)^{1-\sigma} = \sum_{j=1}^{N} n_j(t)\hat{p}_j^{1-\sigma}, n_j(t) = \lambda_j(t)L/l, \tag{31}$$

ここで右辺に含まれる $\hat{p}_j$ は次のように変換する。

$$\hat{p}_j(t) = p_j(t), i = j; p_j(t)T, i \neq j \tag{32}$$

次に, 地域 i における商品の需要 $d_i(t)$ は次で与えられる。

$$d_i(t) = \mu[\sum_{j=1}^{N} Y_j(t)\hat{G}_j(t)^{\sigma-1}]p_i^{-\sigma} \tag{33}$$

この式の右辺に含まれる $\hat{G}_j(t)$ に対しては $i = j$ ならば $\hat{G}_j(t) = G_j(t)$ および $i \neq j$ ならば $\hat{G}_j(t) = G_j(t)/T$ という変換が行われる。ここで $Y_i(t)$ は地域 i における労働エージェントの収入である。

$$Y_i(t) = F/N + w_i(t)\lambda_i(t)L \tag{34}$$

F は固定収入であり式の中の変数は $l = \alpha\sigma$ により与えられ, μ は F および L から決まる。どの地域においても企業エージェントの生産する商品の数量は同じであることが要求され (商品価格と賃金が比例することによる), 次の式が価格が満足すべき方程式になる。

$$d_i(t) = g \tag{35}$$

更に, 地域における $\lambda_i(t)$ の遷移については, 次のような過程をたどる [20]-[25]。

$$\lambda_j(t+1) = \lambda_j(t) + \prod_{i=1}^{N} \lambda_i(t)L\gamma \ln \frac{p_1(t)}{p_j(t)}(\frac{G_j(t)}{G_i(t)})^{\mu} \tag{36}$$

ここで λ_i の初期値は乱数により与えるので, 一般的には地域が異なれば挙動も異なることになる。しかし T が相対的に小さい場合には, カオス的な変動を起こさない領域となるので, 地域にかかわらず λ_i は同じ値 (時不変) になる。なおこのようなカオス性変動の詳細については, 本論文における議論の対象ではないので詳細は省略する (結果の詳細は文献 [23]-[25] に示されている)。

4.2　平面上のエージェント配置への拡張

これまで整理してきた地域が 2 つあるいは 3 つのモデルを, 平面上に企業・労働エージェントが配置されるケースへと拡張する。基本的には, ある格子点におけるエージェント配置が周辺の格子点のエージェント配置と, 関連をもつことができると仮定している。別の格子点への労働エージェントの移動のコストは T であると仮定しておく。

しかしながら, 平面への拡張を均等にそのまま行うと, 単純な結果しか得られないことが予想でき, シミュレーションによってもこれを確認することができる。すなわち, どの方向にも均等に格子点が接続されている場合には, 平面上のすべてのエージェントが交流できる単純なモデルとなり, すぐに均衡点に移行して, 労働エージェントの移動は起こらない。したがって以下で示す拡張モデルでは, これを制限する。

Model P:平面上エージェント配置モデル

これまで述べてきた地域の関係が対象地域以外には広がらない場合と比較して, 平面上にエージェントが配置される場合には, 隣接する領域の間でオーバーラップする関連性が生まれてくるので, 分析は複雑となる。話を分かりやすくするために, 平面のある領域の中心の座標を $(0,0)$ として, この周辺に配置されたエージェントの相互関係を式により示す。

$$d_{0,0} = \mu[\sum_{i=-1,1}\sum_{j=-1,1}\hat{Y}_{i,j}/G_{i,j}]^{1-\rho}p_{0,0}^{-\sigma} \tag{37}$$

$d_{0,0}, p_{0,0}$ は座標 $(0,0)$ における需要と商品価格であり, $Y_{i,j}$ は座標 (i,j) に移動してきた労働エージェントの収入合計である。これ以外の座標, 例えば $(0,1)$ における $d_{0,1}$ を与える式も, 同様に求めることができ, 右辺には $Y_{i,j+1}$ が含まれる。このように, 注目する $d_{i,j}$ の座標が $(0,0)$ から 1 つずれた場合には, 右辺に加わる変数も $d_{0,0}$ を記述する変数とは異なるものになる。したがって, 式 (8) に示す均衡条件を与える価格を計算するには, 全部の平面における価格 $p_{i,j}$ を同時に求める必要がある。

このような均衡条件が成立するための価格 $p_{i,j}$ を解析的に求めることはできないので, 本論文では逐次的な計算方法を用いている。すなわち, ある時刻には価格 $p_{i,j}$ 以外は既知であるとして $p_{i,j}$ を推定し, 次のステップではこの価格以外のある価格について, 同様な近似的な推定を行い, 推定値の変化が小さくなるまで繰り返し計算をする。

なお本論文で提案する逐次的な解の求め方を用いた場合には, 想定される真の解からの乖離が存在する可能性がある。しかしながら, このような真の解は理論的には求まらないので, 逐次近似の精度から乖離が小さくなることを判断することだけが可能である。この精度を確認すると, 逐次近似計算の終了段階で, それぞれの解の変動の大きさを解の値で割った絶対値は約 0.00013 であり, 十分に小さいと判断できる。また, このようなエージェント移動の行動は, 式で記述はなされるが, その中にはいくつかのパラメータが含まれており, ある意味での任意性を残した「緩和的な移行」であることを考慮する必要がある。エージェントの移動は 1 回の解の計算で決まるのはなく, 数回に分かれて行われる移動を繰り返し実施した結果であると考えることができる。

Model P においては, 地域間でエージェント移動が閉じているモデルとは異なり, それぞれの格子点 (i,j) におけるエージェント総数を求め ($\Lambda_{i,j}$ としておく) , これを地域間エージェント移動モデルにおける λ_i に代替する必要がある。式としては $\Lambda_{i,j} = \sum_{k\in K}\lambda_k$ として表現できる。ただし K は格子点 (i,j) に接続されている格子点 k の集合であり, λ_k はこの格子点 k から格子点 (i,j) へ流入するエージェントの割合である。すなわち, それぞれの格子点からエージェントが平面的に移動を行うため, 移動先の格子点 (i,j) においては, これらを合計した値 $\Lambda_{i,j}$ を用いる必要がある。これにともなって格子点におけるエージェントの満足度 $Y_{i,j}$ と産出物の価格 $p_{i,j}$ もあらためて定義される。

4.3 エージェントの平面配置モデルへの金融政策ショックモデル分析の適用

これまで述べてきた 2 財 2 要素 2 消費者モデルに金融セクターを加えた金融政策ショックモデル分析適用の枠組みを, 本論文で提案するエージェントの平面配置モデルへと拡張する方法を示す。2 財 2

要素2消費者モデルとエージェントの平面配置モデルの大きな差異は, 次の2つの点に集約できる。

(1) 労働の価格は商品の価格に比例する

2財2要素2消費者モデルにおいては, 労働と資本のコストが決定すべき均衡解を与えるものとなっているが, エージェントの平面配置モデルにおいては, 労働の価格は商品の価格に比例するとしている。また, 次に述べるように, 均衡解はこれらの格子点における商品の価格により与えられるので, 逐次計算により得られる商品価格が均衡解を与えている。

(2) 格子点における商品の価格が求める均衡解となる

第2章で述べたように, エージェントの平面配置モデルにおいて求めるべき均衡点の解は, 格子点における商品の価格となる。したがって, 格子点ごとに商品価格, すなわち労働の価格が異なるので, 金融政策ショックを加えたあとなどの状況の変化が生じた場合には, 関連する変数において変動が発生する。しかしながら, もともとは均衡モデルであるので, 時間の経過ともに格子点における商品価格は定常的な値に収束する。

(3) 商品購買金額に投資金額を加える

エージェントを平面に配置したモデルにおいては, 均衡解を求める手順を簡単化するために, それぞれの格子点における需要は一定 (これにともなって生産数量も一定) であると仮定している。しかしながらこの仮定は, 外部からの資本の流入がない場合を前提としており, ここで述べるような, 外部からの投資が存在する場合には適さない。したがって以下では, 格子点における需要 (これは生産数量に等しい) が, 時間的に単調に増加する仮定を導入する。同時に外部からの流入資金は格子点における消費者の購買力である $Y_{i,j}(t)$ に反映させるようにモデルを拡張する。すなわち, 以下のような拡張を行う (ここで $i_{i,j}(t)$ は, 格子点 (i,j) において行われる生産活動への投資金額である)。

$Y_{i,j}(t) = F/N + w_{i,j}\Lambda_{i,j}L \rightarrow Y_{i,j}(t) = F/N + w_{i,j}\Lambda_{i,j}L + i_{i,j}(t)$

投資により得られる利益 (利益率を R とする) は, 企業と銀行の間で配分されることにより融資が完結する。この場合, 最適な投資金額と, これにともなう資産の時間変化が定式化されている。

このような仮定を導入しながら, ここで述べるエージェントの平面配置モデルにおいては, 基本となる企業エージェントと労働エージェントに加えて, 銀行エージェントを追加したモデルへの拡張を行うが, この銀行エージェントの行動は, 次のように定式化する。なお, 銀行エージェントの基本的な行動は, これまで述べてきた3つのセクターからなる経済モデルの場合と同様である。

(1) 格子点の銀行は周辺企業に融資する

格子点の銀行は局所的交流の原理により, ある格子点に隣接する企業エージェント (周辺企業) に融資をすることができると仮定する。すなわち, 銀行が所在する格子点に存在する企業に加えて, 格子点の左右と上下に接続された企業 (全部で5つの企業) に対する融資により, その正味価値を増加させることができる。同時に企業は, それが存在する格子点にある銀行のほかに, この格子点に隣接する周辺の銀行からも融資を受けることが可能である (合計で5つの銀行からの融資が可能となる)。

(2) 格子点の銀行エージェントは周辺の企業と利益を共有する。

周辺の企業に融資を行った結果として得られる利益に関して, 企業と銀行との間で配分がなされる。

その合計は 5 つの企業である。同時に企業から見た場合には, 周辺の 5 つの銀行との間で利益を共有することになる。

5　応用例:ショック応答の基本的な性質

5.1　3 つのセクターだけのケース分析

以下では, 金融政策ショックの性質についてシミュレーション結果をまとめておく。まず最初に, 企業・労働・銀行の 3 つのセクターが存在する場合について述べておく。モデルに含まれるパラメータについては, 文献 [13] においてキャリブレーション (calibration) された結果を用いることとする。これらは, 以下のようにまとめられる。

$\rho_r = 0.8, \rho_\pi = 1.5, \rho_y = 0.1, \bar{\pi} = 1.005$

$\mu = 0.36, \alpha^g = 0.99, \alpha^b = 0.75, R = 1.21, b = 0.16, \hat{y}_t = 0.3$

図 1 には, 時刻 $t = 0$ において金融政策ショックを与えた場合の, 時刻 $t = 1$ 以降における, 以下の変数に関する応答を横軸を時間として示している。すなわち, 時刻 $t = 0$ において金利の時系列に, この残差の標準偏差に相当する σ^{mp} を加えたあと (金利上昇による negative monetary policy shock 分析) における, それぞれの時系列の値を求める。ただし, 変数ごとに前の時刻 $t - 1$ からの相対変化を求める場合と, 時刻 $t = 0$ 以降における数値をプロットする場合とがあり, それぞれ異なるので, 以下では括弧の中にこれらの区別を示しておく。なお産出については, 資本が時間とともに増大する関係で, 金融政策ショックを加えたあとにおいても, 単調に増加するので, このままでは比較分析ができない。このような事情を考慮して, 産出に関しては, 金融政策ショックを特に加えなかった場合との乖離を, その割合を用いて表示している。

(1) output(前の時刻 $t - 1$ からの相対変化, ただし基準はショックなしの場合,%表示)

(2) investment(前の時刻 $t - 1$ からの相対変化,%表示)

(3) price of capital((前の時刻 $t - 1$ からの相対変化,%表示)

(4) bank net worth(前の時刻 $t - 1$ からの相対変化,%表示)

(5) firm net worth(前の時刻 $t - 1$ からの相対変化,%表示)

(6) short term rate(時刻 $t = 0$ 以降における数値をプロット)

(7) inflation(時刻 $t = 0$ 以降における数値をプロット)

これらの図に示す結果は, 文献 [13] などにおいて述べられている金融政策ショックと共通する特徴を有している。すなわち, 典型的な傾向として, 以下のようなことがまとめられる。

(1) 産出の漸近的な低下

金利が増加するにしたがって投資が減少するため, 産出は次第に低下する。しかしその速度は緩やかであり時間の経過とともに一定の値に収束する。これにともなって産出も減少を続けて, その最大の減

少幅は約 0.4%となる。

(2) 投資の漸近的な低下

金利が増加するにしたがって投資が減少する。投資の最大の減少幅は約 2.5%であり, この投資の減少が他の変数の挙動にも影響を与える。

(3) 資本価値の漸近的な低下

金利が上昇するにしたがって, 資本価格は次第に低下する。しかしその変動は短期的なものであり, やがてショック入力の前の水準に回復する。

(4) 企業と銀行の正味価値の漸近的な低下

正味価値は前期の投資に依存しているので, 時間の経過とともに次第に減少していく。投資の総額が減少するにともなって, 正味価値も減少する。

(5) インフレーションの一時的な亢進

金利が増加するにしたがって, インフレーションに対しては押し上げる効果がある。しかしその傾向は一時的なものであり, 時間の経過とともにショック入力の前の水準に戻っている。

しかしながら, 用いているモデルが文献 [13] などとやや異なるために, 違った傾向が見られる。具体的には, 本論文の分析結果においては, investment, firm net worth などの時系列がショックの影響で減少を始めてから, 最終的には一定の値に収束する。しかしながら, 文献 [13] の分析においては, 時間が経過するにしたがって, これらの時系列は, 再び少しだけ上昇する傾向を見せている。また, ショックの影響の大きさが, 本論文の結果においては, やや大きな数値となっている。このような差異は, ショック分析に短期的な影響分析には大きな効果は与えないと思われる。これらの差異が発生する最大の理由は, モデルに含まれるセクター (エージェント) の個数が, 本論文では実質的に 3 つの限定されていることによる。文献 [13] などのモデルにおいては, 最終財を生産するセクターに加えて中間財を供給するセクターを導入しており, また労働に関しても複数の階層を設けている。同時に, 企業, 労働と銀行のセクターに加えて, 銀行に対して投資資金を提供する労働や, 更には企業家として分類される資金提供者を仮定している。このように複数のセクターエージェントを導入することにより, ショックの影響を緩和する作用が働いていると思われる。

このようなモデルによる差異を分析する必要はあるが, 本論文の主要な目的は, 平面上に配置された局所的交流をするエージェントにおける金融政策ショック分析が目的であるので, これ以上の詳細な検証は行わない。

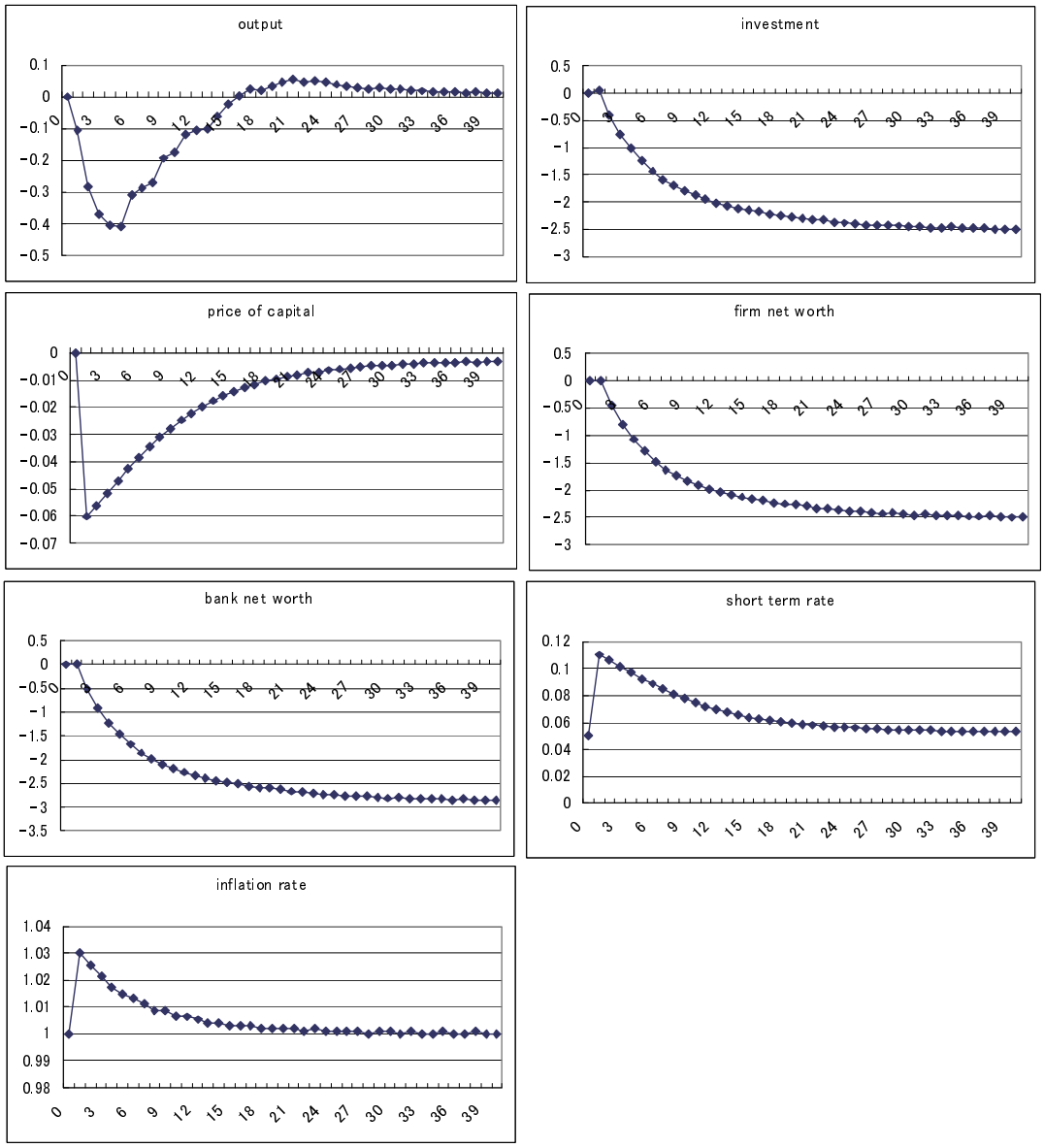

図 1. 金融政策ショックによる時系列変動 (negative monetary policy shock):3 つのセクターモデル

5.2 平面上配置されたエージェントモデルでのショック分析

次に, 平面上配置されたエージェントモデルでの金融政策ショック分析について事例を示す。モデルに含まれるパラメータについては, 文献 [35] においてキャリブレーション (calibration) された結果を用いることとする。これらは, 以下のようにまとめられる。

$\alpha_1^R = 0.5, \alpha_2^R = 0.5,\ \alpha_1^P = 0.3, \alpha_2^P = 0.7$

$\mu_1^R = 1.5, \mu_2^P = 0.75,\ K^{mR} = 25, K^{mP} = 0,\ L^{mR} = 0, L^{mP} = 60$

$A_1 = 1.5, A_2 = 2.0,\ \delta_1 = 0.6, \delta_2 = 0.7,\ \sigma_1 = 2.0, \sigma_2 = 0.5$

また, エージェントを配置する平面の大きさは 20×20 としておく。ただし, エージェントを平面配置する意義として, それぞれの格子点において異なる特性の経済が実現されることがあるので, 前節で述べている 3 つのセクターからなるモデルとは, 以下の点を修正している。

(1) 企業と銀行の正味価値を乱数で与える

$n(t)$:企業の正味価値 (firm net worth) と $a(t)$:銀行の正味価値 (bank net worth) は, 格子点ごとに異なる初期値を与える。これにともなって $i(t)$:投資金額 (investment) も格子点ごとに異なる。

(2) 金利にバリエーションを持たせる

金利の時系列は, 格子点ごとに異なる時系列を与える。ただし大幅に異なる特性を与えることは適切ではないので, 乱数を用いて標準的な金利の時系列からの乖離を実現する。これにともなって, investment などに格子点ごとの異なる特性が実現される。また $\pi(t)$:インフレ率 (inflation rate) も格子点ごとに異なる事象が見られる。

ただし $R(t)^e, R(t)^b$(投資に得られる利益の企業, 銀行への配分率) と ϕ(銀行が企業行動をモニターするための費用の割合), α^g(投資の成功確率,α^b:投資の不完全な成功確率) は, 格子点ごとの変化させる意味はあまりないと思われるので, ここでは共通する数値に固定しておく。

加えるショックについてはモデルと同様であり, 政策ショックにより変化を観測する時系列と同じである。図 2 には, 時刻 $t = 0$ において金融政策ショックを与えた場合の, ある格子点 (i, j) において観測された時刻 $t = 1$ 以降における, 以下の変数に関する応答を横軸を時間として示している。また参考のために, 図 3 においては時刻 $t = 0$ から $t = 5$ まで, および時刻 $t = 5$ から $t = 10$ までの間における, 格子点 (i, j) での労働エージェントの総数 $\Lambda_{i,j}$ の変化を示している。ただし, エージェントが配置されている平面の一部分 (5×5) だけにおける挙動を示している。この図 3 より分かるように, 金融政策ショックが発生したあとにおいては, 労働エージェントの移動が発生・継続され, しばらくは不安定な変動が継続されていることが分かる。なお, 金融政策ショックなどの外部変動が加わらない場合には, 時間の経過とともに労働エージェントの配置は定常状態にむかい, 時間変化はほとんどゼロとなる。このようなことから, 本論文の手法は, 金融政策ショックによる労働配置の変動を分析する手段としても, 援用することができる。

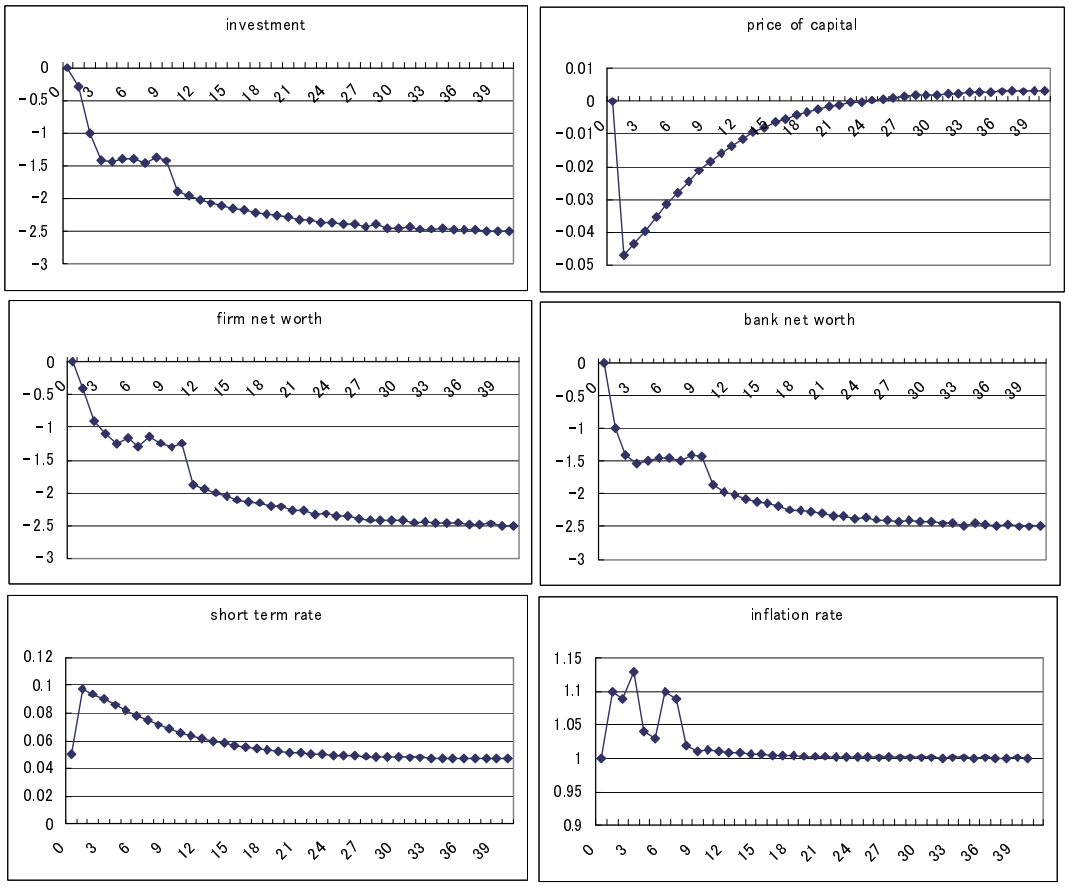

図 2. 金融政策ショックによる時系列変動 (negative monetary policy shock):
エージェント平面配置モデル

図2に示す結果は, 文献[13]などにおいて述べられている金融政策ショックにおける変数の挙動と共通する特徴を有している。また前節で述べた3つのセクターからなるモデルにおける金融政策ショック分析と共通する点が多い。すなわち典型的な傾向として, 投資の減少, 資本価格の減少, 企業と銀行の正味価値の減少, インフレの一時的な亢進がある。したがって, これらの点を除いたエージェントの平面配置に特有の現象に焦点をあてた分析を示す。

大きな差異としては, 平面上にエージェントを配置しているために, それぞれの格子点における挙動について, 均一な性質が見られないことがある。例えばインフレーションに関しては, 平面全体を平均すればほぼ一定の値となるが, それぞれの格子点においては, 時間とともに変動を続けている。これは, 例えば各国の経済が時間的な差異を含みながら変動を続けている場合に, それぞれにおいて, 受ける金融政策ショックの出現の時刻と大きさが異なっていることを反映している。

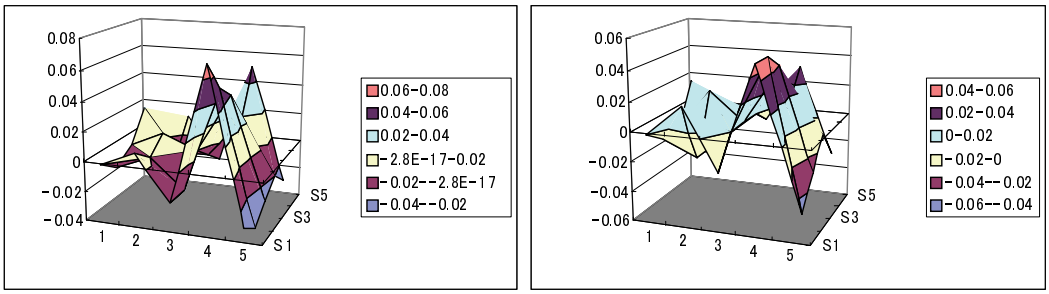

図3. 労働エージェントの配置の時間変化 (negative monetary policy shock),
左:$t = 1$〜5 における変化, 右:$t = 5$〜10 における変化

6 むすび

本論文では, 局所的交流をする企業・労働および銀行エージェントからなる平面配置モデルにおける金融ショックの伝播分析について述べた。まず, 企業・労働・銀行の3つのセクターからなる経済モデルを用いて金融政策ショック分析の基本について整理し, モデルを拡張して平面上のそれぞれの格子点に企業・労働・銀行の3つのエージェントが配置されたモデルへと拡張した。同時に, 企業は設備に代表される企業の価値を蓄積することができると仮定して, この投資の一部を銀行から借入するケースを追加したモデルを導出した。応用例として, 従来から用いられている企業・労働・銀行の3つのセクターからなる経済における金融政策ショック分析と, これらのセクターをエージェントとして平面配置した場合のショック分析を示した。

今後の課題として, より多くの分野における本論文の手法の適用可能性の検証と効率的な方法の開発があり, 検討を行う予定である。

参考文献

[1] C.Simes,“ Econometric and reality,” *Econometrica*, vol.48,pp.1-48, 1980.

[2] O.J.Blanchard and D.Quah,“ The dynamic effects of aggregate demand and supply disturbances,” *American Economic Review*, vol.79,no.4,pp.655-673, 1989.

[3] R.G.King and M.W.Watson,“ Money,prices,interest rates, and the business cycle,” *The Review of Economics and Statistice*, vol.78,no.1,pp.35-53, 1996.

[4] N.R.Francis,M.T.Owyang and A.T.Theodorou, “ The use of long-run restrictions for the indetification of technology shocks,” *The Federal Reserve Bank of St Louis Review*, vol.85, no.6, pp.53-66, 2003.

[5] H.Uhlig, “ What are the effects on monetary policy on output? Results from an agnostic identification procedure,” *Journal of Monetary Economics*, vol.53,pp.381-419, 2005.

[6] J.D.M.Fisher,“ The dynamic effects of neutral and investment specific technology shocks, *Journal of Political Economy*, vol.114,no.3,pp.431-451, 2006.

[7] E.Mertens, “ Structure shocks and the comovements between output and interest rates,” *Journal of Economic Dynamics and Control*, vol.34,pp.1171-1186, 2010.

[8] R.Faccini and S.Ortiguwra, “ Labor-market volatility in the search-and-matching model: The role of investment-specific technology shocks, *Journal of Ecomnomic Dynamics and Control*, vol.34, pp.1509-1527, 2010.

[9] 北川源四郎, 川崎能典, “ 時系列モデルによるインフレ率予測誤差の分析,”日本銀行調査統計局, Working Paper 01-13, 2001.

[10] 鎌田康一郎, 須合智広, “ 政策金利ゼロ制約下における金融政策効果の抽出,”日本銀行調査統計局, Working Paper no.06-J-13, 2006.

[11] 粕谷宗久, 福永一郎, “ 金融政策効果のレジーム変化:円滑遷移 VAR モデルによる分析,”日本銀行調査統計局 Working Paper 03-7, 2003.

[12] 時永祥三, 岸川善紀,“ 変数のショック入力による誘発の評価をめぐる現状と課題–解析手法の比較分析と非線形モデル導入を中心として,” 『経済学研究』,vol.77,no.5-6,pp.41-72, 2011.

[13] C.A.Meh and K.Moran, “ The role of bank capital in the propagation of shocks,” *Journal of Ecomnomic Dynamics and Control*, vol.34, pp.556-576, 2010.

[14] M.Eichenbaum,“ Real business-cycle theory; wisdom or whimsy?,” *Journal of Economic Dynamics and Control*, vol.15,pp.607-626, 1991.

[15] J.Malley and U.Woitek, “ Technology shocks and aggregate fluctuations in an estimated hybrid RBC model,” *Journal of Ecomnomic Dynamics and Control*, vol.34, pp.1214-1232, 2010.

[16] M.Eichenbaum,“ Real business-cycle theory; wisdom or whimsy?,” *Journal of Economic Dynamics and Control*, vol.15,pp.607-626, 1991.

[17] P.Ireland,“ Technology shocks and the business cycle:an empirical investigation,” *Journal of Economic Dynamics and Control*, vol.25,pp.703-719, 2001.

[18] P.Ireland,“ A method for taking models to the data,” *Journal of Economic Dynamics and Control*, vol.28,pp.1205-1226, 2004.

[19] N.Francis and V.Ramey,“ Is the technology-driven real business cycle hypothesis dead? Shocks and aggregate functions revisited,” *Journal of Monetary Economics*, vol.52,pp.1379-1399, 2005.

[20] M.Currie and I.Kubin, “ Chaos in the core-periphery model,” *Journal of Economic Behavior & Organization*, vol.60,pp.252,275, 2006.

[21] P.R.Krugman,“ Increasing returns and economic geography,” *Journal of Political Economy*, vol.99, pp.483-499,1991.

[22] D.Puga,“ Urbanization patterns:European versus less developed countries,” *Journal of Regional Science*, vol.38,pp.231-252,1998.

[23] 池田欽一, 時永祥三,“ 格子点に配置されたエージェントの交互作用により生成されるマルチフラクタル表面特性を用いた生成過程推定,” 電子情報通信学会論文誌,vol.J92-A,no.12,pp.964-979, 2009.

[24] 時永祥三, 高木昇, “ スケールフリーネットワーク上に配置された局所的交流を行うエージェントの行動分析–エージェント特性のマルチフラクタル分析を中心として,” 電子情報通信学会論文誌,vol.J94-A,no.5,pp.323-335, 2011.

[25] 時永祥三, 池田欽一, “ 局所的交流をする平面上のエージェント特性で生成される信号のカオス・マルチフラクタル分析,” 電子情報通信学会論文誌,vol.J94-A,no.6,pp.389-404, 2011.

[26] K.J.Arrow and G.Debreu, “ Existence of an equilibrium for a competitive economy,” *Econometrica*,vol.22,pp.265-290,1954.

[27] O.Williamson,The Economic Institutions of Capitalism, The Free Press, Macmillan, New York, 1985.

[28] R.Kranton,Reciplocal exchange: a self-sustaining systems, *American Economic Review*, vol.86,no.4,pp.830-851, 1996.

[29] W.Oh and S.Jeon, " Membership herding and network stability in the open source community: The Ising perspective," *Manegement Science*, vol.53, no.7, pp.1086-1101, 2007.

[30] B.Bulter," Membership size, communication activity, and sustainability: A resource-based model of online social structures," *Information System Research*, vol.12,no.4,pp.346-362, 2001.

[31] G.Caruso,D.Peeters,J.Cavailhes and M.Rounsevell," Spatial configurations in a periurban city:A cellular automata-based microeconomic model," *Regional Science and Urban Economics*, vol.37, pp.542-567, 2007.

[32] G.Topa," Social interactions, local spillovers and unemployment", *Review of Economic Studies*, vol.68,pp.261-295, 2001.

[33] N.Oomes," Local trade networks and spatially persistent unemployment," *Journal of Economic Dynamics and Control*,vol.27,pp.2115-2149,2003.

[34] A.V.Outkin," Cooperation and local interactions in the prisoners' dilemma game," *Journal of Economic Behavior & Organization*, vol.52,pp.481-503,2003.

[35] J.B.Shoven and J.Whallry, *Applied General Equilibrium*, Cambridge University Press, England, 1992. (邦訳:小平裕応用一般均衡分析, 東洋経済新報社, 1993).

[36] J.B.Shoven and J.Whalley," A general equilibrium calculation of the effects of differential taxation of income from capital in the U.S," *Journal of Public Economics*, vol.1, pp.281-322, 1972.

[37] J.B.Shoven and J.Whalley,Applying General Equilibrium, Cambridge University Press,Cambridge,1992.

[九州大学大学院経済学研究院　教授]