

人工経済のマルチエージェントモデル

中央大学商学部 出口 弘
deguchi@tamacc.chuo-u.ac.jp

要旨：バーチャルエコノミーゲーミングは、筆者によって定式化された、9主体からなる国民経済のマルチエージェントモデルである。本稿ではこのバーチャルエコノミーゲーミングを人工知能エージェントによるシミュレーションモデルとして定式化するための方法について、人間をプレーヤとしたゲーミングと比較しながら検討する。

Abstract

Virtual economy is a model of a national economy which consists of nine economic agents and introduced by the author. In this paper we focus on AI rule based dynamics on the virtual economy. We compare explicit rule based dynamics with human decision making process in the gaming simulation on the virtual economy.

Key Words: Virtual Economy, Rule Based Dynamics, National Economy, Multi Agent

1. バーチャルエコノミーと人工経済

我々が本稿で対象とするバーチャルエコノミーは9主体のヘテロなエージェントからなる国民経済のシステムである。このゲームは規模は小さいが、実際の経済取引が必要とするシステムの多くの特徴を備えている。中央銀行と銀行があり資金供給のコントロールを行なっている。また扱われる財は、消費財としてのパン、その原料の小麦粉、小麦、さらに生産財としての機械装置とその原料の鉄の5財である。これらの財は各々固有の計量単位を持つと仮定されている。従ってここでの経済交換は多元簿記の形で記述される。バーチャルエコノミーはこの経済の取引レベルの情報を多元多主体簿記を抽象化した交換代数によって定式化している。従って国民経済のY(GDP), I, S, Cなどのマクロ変数はすべて個々の取引を記述する交換代数による系の状態記述から構成的に計算される。このバーチャルエコノミーのもうひとつの大きな特徴はそれが国民経済の解剖学的記述モデルとなっている点にある。つまりシステムの状態変化のダイナミクスはすべて取引の形で表現されるが、どういう取引が生じるかというダイナミクスの因果連鎖はモデルには陽に組み入れられていない状態記述モデルとしてバーチャルエコノミーは定式化されている。

このモデルによって実際の経済の変化をシミュレーションするには従って幾つかの可能性がある。第一の可能性は人間が個々の経済主体、或いは経済主体間の取引を定めるプレーヤとなるゲーミングシミュレーションによってダイナミクスを与えるものである。このゲーミングシミュレーションは人間がダイナミクスを与えることで、教育や政策意思決定のシミュレーションに有効に活用可能である。既に現在、実際に通産省の理論経済研修などで使われて成果をあげている。

このバーチャルエコノミーのゲーミングシミュレーションでは、人間がプレーヤとなるために一見そう数の多くない意思決定項目であってもかなり複雑な意思決定の交渉過程が観察される。また場合によっては、新しい制度の工夫がゲーミングの中で生じる。だが経済システムの理論解析を行うためには、このモデルに理論的にダイナミクスを与えることでモデルを分析する必要がある。これは従来のマクロ変数間に直接的にダイナミクスを与える計量経済学的モデル構成とは異なった人工経済の計算経済学のモデルを提起することになる。そのために我々が着目するのが、人工知能的な手法を用いたエージェントの活動のモデル化である。

本発表では、現在試みているゲーミングシミュレーションでのルール空間のプロトコル解析をベースに、ルールベースの意思決定システムについてのプロトタイプ作成の現状を報告する。

2. ゲーミングシミュレーションでの意思決定

我々の最初の目的は、人工経済のシミュレーションをとりあえず簡単なプロダクションシステムとして定式化して人間が意思決定を行う場合と類似したダイナミクスが可能かを検証することである。しかし実際には人間の意思決定では幾つかの取引が同時意思決定されたり、或いは場当たりの意思決定が行われたり錯綜している。しかもプレーの中で、学習を進めていく。そこでこれを明示的なプロダクションシステム型のモデルとして記述する際には、主体が実際に行っている意思決定からその特徴の一部の定型的な部分だけを抜き出してみることがまず必要となる。そこで人間が取引の意思決定を行った場合のゲーミングの遂行結果がどのような形になるかを見てみよう。ここでの事例は、通産省理論経済研修で筆者が試みたものである。シミュレーションは7期まで行った。各エージェントの意思決定で特徴的なものを抽出すると次のようになる。

(1) 政府は補助金政策を活用して農業、製鉄を育てようと意図した。第三期目から機械投資をする部門に20%補助を出した。(2) 製鉄は最初から補助金で設備投資をしている。4期目に製鉄に雇用調整のための補助金を出した。製鉄業は最初インフレ予測して量で利益を出そうとした。雇用を調整して、賃金上昇を押さえるために、4期に人間を10人解雇して補助金を獲得した。(3) 機械製造業は1期に薄利多売を目指した。また政府の補助金を受けて設備投資をした。2期には製品が売れなかったので投資を抑制して製品価格を値下げした。4期には増産のめどがついて人員を増大して更に価格を引き下げた。最初公共投資に期待したが、それより補助金で設備投資を補助する政策を強く支持し、公共投資は拡大再生産にならないのでたよりたくないというスタンスにたつようになった。(4) 農業は基礎消費があるために一定の小麦は売れることを念頭において、それに必要な設備を考えた。また原価償却による機械資産の老朽化を予期した投資を考えた。また補助金を得られたので設備投資を行なった。2期以降、家計の消費が厳しいので沢山生産して安い価格で提供して市場規模を大きくしようとした。人も吸収して増産を計った。しかし売れなかった。また製粉が値上げをした。更に3期は増産のための人がとれなかった。4期目は人と機械を入れたが、機械1台稼働するのに10人かかるというシナリオがネックとなって十分な稼働ができなかった。(5) 製粉業は、政府などの規制を受け付けず、自己の利益の拡大を目的とした。1期目はもようながめ。2期目に販売価格を上げて様子を見た。また利益が上がった分だけ人数を増やそうと考えた。人数が家計から得られるなら賃金を出そうとした。しかしそれほど賃上げは要求されなかった。投資は3期から動こうと思っていた。政府からの補助金はあてにしていなかったがもらえるものはもらっておこうと、機械補助金はもらった。4期に価格を下げたのはパン製造業に泣き付かれたからである。(6) パン製造業は、パンは最低基礎消費の人口分だけあればいいと思って最初は315BRU作った。2期目から小麦粉の価格の上がりを製品価格に転化しようとしたが販売量が伸びなかった。ここから在庫を抱えて、政府補助をもらった。3期目に、原価償却も考えて機械を買ったが、原料が値上げされて、販売を増やすことができなかった。そこで資金を銀行から借入て、政府補助を得た。4期には、銀行から経営指導が入った。

このように各エージェントの意思決定は錯綜しており、その間にはさまざまな交渉がある。この経済は1産業1企業のモノポリーでありながらその価格決定もそれほど容易ではない。交渉ごとを決着させるルールを明示的に記述するには何らかの最適原理や満足化原理が必要となるが、それを人間の実際の行動に適合した形で明示的に書き下すのは難しい。更にこの経済では、面白いことに政府が投資と補助金を結び付けた投資補助金制度を作りだし、それが継続的投資を支えるのに大きく貢献した。このような制度創発はもっとも明示的ルールや学習メカニズムとして表現の難しい部分である。それゆえ我々は、きわめて限定された形でルールの書き下しからモデル作りを始めなければならない。

【マクロ変数の変化】

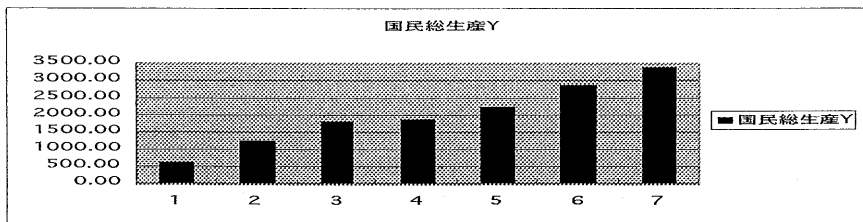


図1 国民総生産

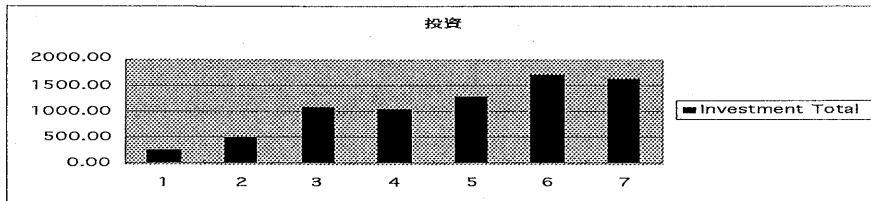


図2 投資

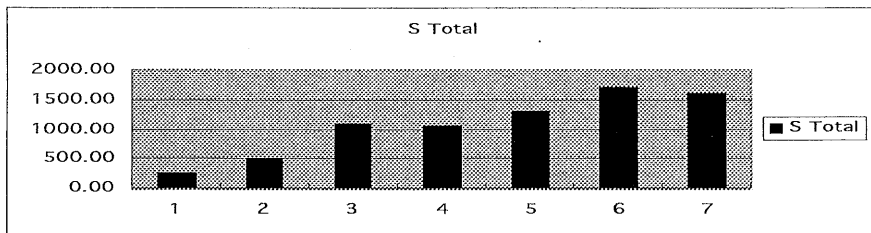


図3 貯蓄

【エージェント単位の変数の変化】

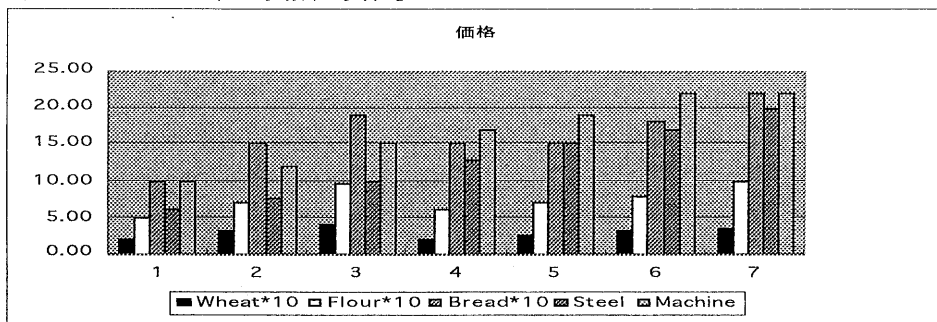


図4 商品別価格変化

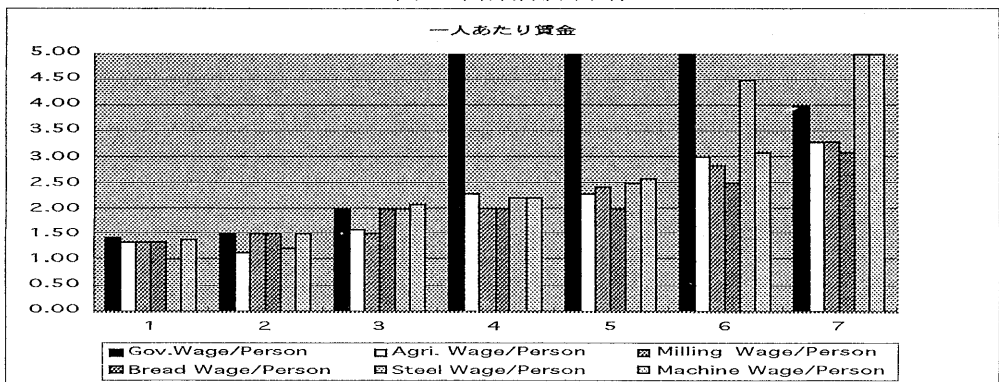


図5 部門別の一人あたり賃金

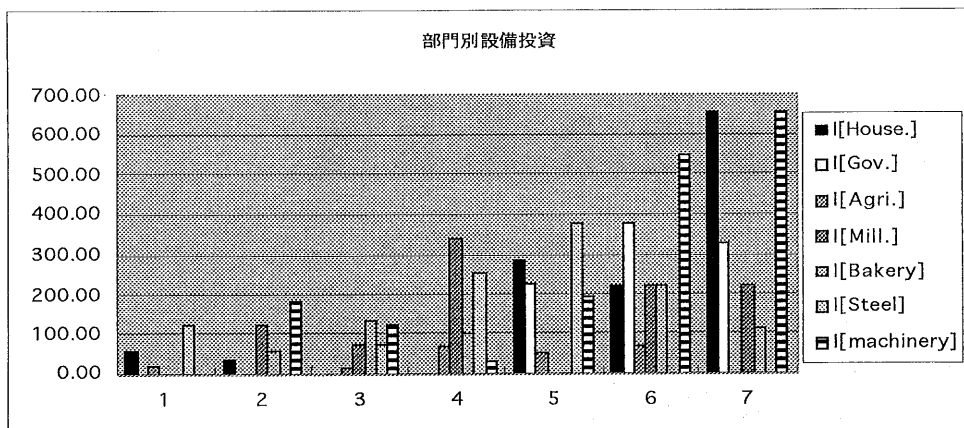


図6 部門別設備投資

3. モデルの構成とルール概要

エージェントの意思決定は、機能別の幾つかのステージと、時間別の幾つかのステージにわけて考えられる。時間的には期首の取引、期中の取引、期末の取引にわけられる。期首や期末の処理には規約的な側面がある。機能別には、資金繰り、原料購入、投資、製品販売、生産、雇用などにわけられる。ひとつの経済主体の中でも実際にはこれらが高度に統合化されているとは限らない。例えば製粉業にとって最適な意思決定が何かということは、自明ではない。目的に基づいた最適意思決定という枠組みは、このマルチエージェントシステムの中では殆ど無力となる。なぜならば利益の最大化という目的を仮に取るとしてもまずそれが短期（今期）なのか長期なのかで投資計画が大きく違ってくる。短期の投資計画は長期的に不況や生産力の低下を招く。むしろ部分的に機械の数に対して最適な雇用人数や原料を求めたり、或いは雇用人数に対する最適設備を求めるというような問題は最適化が可能な問題となる。

従って、実際のプレーヤの意思決定は投資、資金繰り、生産、雇用、原料購入、販売が統合化された形にはなっていない。またそのようなモデルを想定することも困難である。従ってプレーヤの意思決定を観察する限りでは、ビジョンや期待のコーディネーションを計りながら、意思決定の機能的なステージごとに緩やかに他のステージの意思決定から定まる拘束条件に反しない形である程度の最適化を行いつつ、いきあたりばったりで進む側面も否定できない。例えば雇用が先に決まればそこから無駄のない機械の台数は定まるし、最大生産するのに必要な原料が定まる。更に機械を購入する台数が定まれば、資金繰りの範囲も定まる。しかし、逆に補助金などから機械の台数を決めてそこから雇用交渉に向かうという因果連鎖もある。これらは一意には決まらない。

我々はこの意思決定を活動のルールとして作り込むことを考えたい。エージェントの意思決定の連鎖を作り込むためには、いろいろな方法が考えられる。オートマタによるモデル化も一つの可能性である。しかしここではプロダクションシステムによるモデル化法を考える。現在、このバーチャルエコノミーのためのプロダクションシステムのパーサを作成すると同時にルールベースがどのような形になるかをハンドシミュレーションを繰り返しながら検討しているところである。現状のルールの構成法とその例などを述べながらその問題点を示したい。

【ルールと状態変数構成の例】

2人取引は、各々のステージ毎に何らかの決着がつく必要がある。実際の人間をプレーヤとしたゲーミングではそこに様々な戦略や交渉がなされるが、ここではまず交渉を決着させ取引が遂行可能となるために最低限のルールを考えた。またここでは意思決定が、1時点前の状態から決定可能なように経済状態の指標としての状態量などを構成する。

期首ステージ：

(1) 景気見通しなどマクロ指標（状態変数）の構成

* 景気指標（状態変数）：加熱、良好、普通、悪化（3期から使用可能）

前期の経済成長が20%～50%なら良好。50%より上ならば加熱。成長が20%未満～5%ならば普通、5%未満ならば悪化とする。

* インフレ指標（状態変数）：インフレ懸念、普通、デフレ懸念（3期から使用可能）

前期のマネーフローの伸びが20%以上ならばインフレ懸念。0%以下ならデフレ懸念

* 今期の人口(pop)と人口に基づく基礎消費量(basic_cons)の計算。

（2）政府、中央銀行の意思決定

* 法人税と所得税： 景気が良好ならば法人税5%あげる。景気が加熱ならば法人税10%、所得税5%あげる。景気が悪化ならば法人税半分に、所得税半分に下げる（ただし整数化する）。

* 公定歩合： 景気が加熱ならば公定歩合倍にする。景気が悪化ならば公定歩合半分に（ただし整数化する）。

（3）エージェントの経営基礎資料（状態変数）の構成

* 企業の経営状態：良好、普通、悪化： 前期の内部留保が赤字ならば経営悪化、内部留保の伸びが0-5%ならば普通。それ以上なら良好。

* 基礎雇用余剰：雇用n人超過、雇用n人不足： 今期の手持ちの機械と雇用を比較して人間が余っているときはその人数、不足のときはその人数を計算する。

* 投資計画台数：投資計画台数： 保有機械の台数を5で割った台数を投資計画基本台数(bas_pl_inv)とする。前期の経営状態が普通であれば、投資計画基本台数の10%増し、良好であればその20%増した台数を投資計画台数(pl_inv)とする。前期悪化であれば投資計画台数は0とする。

* 雇用希望人数：追加希望人数(add_emp)： 追加希望人数 = { (保有台数 + 投資計画台数) × 機械1台に必要な人数 } - 前期雇用人数 とする。ここで人数がマイナスのときはとりあえず解雇は考えない。

* 予定賃金：(pl_wage)： 前期の経営が良好ならば、一人あたりの賃金5%上昇。悪化あるいは普通ならば据え置き。

* 製鉄業、機械製造業の最低生産量：min_pd： 期首の機械と人数で生産可能な鉄の量を最低生産量(Steel_min_pd)とする。機械製造業でこの鉄の最低生産量を原料として期首の機械と人数で生産可能な機械の台数を機械装置の最低生産量(Mac_min_pd)とする。

* 予定基礎価格(Pl_Bas_Pr)： 前期の利益が赤字ならば前期価格を10%UPしたものを予定基礎価格(Pl_Bas_Pr)とする。

期中ステージ：

（1）雇用意思決定

製造業：追加希望人数と予定労賃を家計に申告する。

家計：全ての産業と政府からの人数の申請を受ける。(Total_Worker_req) この人数が人口の伸びよりも小さければ、希望通り配付する。人口の伸びよりも大きければ、追加希望のところに賃金順に配分する。

配分ルール：一人あたりの賃金の大きさの大きいところから必要な人間を順次充当していく。（確率配分もあるがここでは取敢ず賃金の高いほうからとする）

（2）投資予備計画

各企業は今期の確定した雇用で稼働可能な最大稼働機械数(max_w_mac)を計算する。

（最大稼働機械数－手持ち機械数）>投資計画台数(pl_inv)ならば、投資予定購入台数(pl_pur_inv)=投資計画台数(pl_inv)とする。

（最大稼働機械数－手持ち機械数）≤投資計画台数(pl_inv)ならば、投資予定購入台数(pl_pur_inv)=（最大稼働機械数－手持ち機械数）とする。

ある期tの期首の手持ち機械の台数(Mac_stock_init[t])は、前期の期中の台数から減価償却で当期廃棄処分になった台数を除去したものとなる。

Mac_stock_init[t]=Mac_stock_interm[t-1]-廃棄[t]

（3）販売価格(m_pr)決定

製品価格を決定する。予定基礎価格(Pl_Bas_Pr)に対して、原料価格が上昇した場合に同率のアップをする。(現在は賃金上昇はマークアップしてない)。

製鉄：予定基礎価格を販売価格(steel_m_pr)とする。機械製造：製鉄からアナウンスされた予定基礎価格が上昇している場合、その上昇率と同率の価格アップしたものを販売価格(mac_m_pr)とする。農業：予定基礎価格を販売価格(wh_m_pr)とする。製粉業：農業からアナウンスされた予定基礎価格が上昇している場合、その上昇率と同率の価格アップしたものを販売価格(fl_m_pr)とする。パン製造業：製粉業からアナウンスされた予定基礎価格が上昇している場合、その上昇率と同率の価格アップしたものを販売価格(br_m_pr)とする。

これらは、意思決定を明示的なルールで書き下すための規約の一部である。これらに基づいて現在プロダクション型のルールを考案し、ハンドシミュレーションを行いながら妥当性の検証を部分的に試みつつあるところである。

4. 結語

本稿では、バーチャルエコノミーに対する、ルールベースのAIシミュレーションを試みるためのシステム設計について分析した。こうしたルールベースのシミュレーションは、今日人工生命などで盛んに試みられている。だが人工経済のモデルを少なくともバーチャルエコノミーのゲーミングのサブモデルとして作成するためには、膨大な状態空間(ワーキングメモリ)とルールベースが必要となる。また複数のエージェント間でのコーディネーションがないという意味で自律分散であると同時に、単一の経済エージェントの内部でもそれほど強い意思決定の最適化やコーディネーションは存在しない。

むしろ近年の人工知能やロボティクスではブルックスのSubsumptionの議論に見られるように、統合した知による重たいモデルだけが知的活動を再現するものではないことが言われている。実際我々のバーチャルエコノミーでは単一経済主体の意思決定でさえ、幾つかの部分的に独立した意思決定のステージの相互拘束のある緩やかな連鎖である。ただしブルックスのSubsumptionとの決定的差は、それぞれのステージがそれなりに知的な部分最適化を含む活動である点である。だが全体としての意思決定は、必ずしも高度に統合されている必要はない。実際の経営でもこれはしばしば見受けられる傾向である。国民経済全体は更に緩やかな相互拘束の中にある。経済全体として、高度の統合を計ろうとする試みは、計画経済であるが、その試みは実際の一国経済のリアルなゲームの中ではあまり成功してこなかった。

エージェント間の活動のコーディネートにはある程度独立した機能モジュールとその間の情報交流が不可欠である。しかもそこには、何層ものレイヤがある。知的でありながら部分的な問題解決の連鎖で活動し、更に予測や学習を行うマルチエージェントシステムのルールベースのモデル化が我々の課題である。我々はここで扱ったモデルが限定されたものでリアルなものと別のものであるとは考えていない。モデルは理論的にはエージェントの数を増やすスケールアップは容易な構造となっている。更にリアルな経済も何らかの制度的拘束のもとにディーリングルームや重役室などでかなり抽象的なデータに基づいて意思決定が行なわれていることなどを考えれば、実際の経済もまた一つのマルチエージェント的なバーチャルなゲームであるということもできる。

今後は、このモデルを実働するプロダクションシステムとして稼働させるとともにそこにどのような学習などの高次意思決定構造を入れればバーチャルエコノミーゲーミングに匹敵する複雑さや制度創発が可能になるかを見ていきたい。更にルールベースのディスプレイットシステムのモデル化のために書き換え系によるシステム記述などに着目して理論的角度からシステムのダイナミクスを検討したい。いずれにせよ人工経済としてのモデル化のためには、人工知能的アプローチは必須であり、そこでは経済に対する沢山の有効な問い掛けが可能となる新しい計算経済学の可能性が開かれていると考える。

文献：(1) 出口弘, 国民経済のマルチエージェント・システムとしてのゲーミング・シミュレーション、シミュレーション&ゲーミング、Vol.4 No.1, Sep., pp.112-128, 1994, (2) 出口弘, マルチエージェントの経済ゲーミング、日本シミュレーション&ゲーミング学会第6回大会発表論文抄録集, pp.104-105, 1994