

表計算ソフトによるマルチエージェント・ ビジュアル・シミュレーションのエージェント行動表現手法

岡 部 建 次

【要旨】従来のシミュレーションは計算結果を数値で提供する。ビジュアルなシミュレーションではシミュレーションされるオブジェクトの実際の振る舞いを視覚化したり、シミュレート・プロセスをオブジェクトの動きで表示できる。これはユーザーが問題を深く理解し、問題解決法の案出に役立つ。

ビジュアル・シミュレーションはすでに行われているが、これには高価な専用ソフトとトレーニングが必要となる。誰もが持っている表計算ソフトと付属のVBAプログラミング機能を用いて簡単にビジュアルなシミュレーションができればオフィスでの様々な仕事に活用できる。

更にシミュレーションの対象となるオブジェクトが自律的な振る舞いをするエージェントとして活用すれば用途は広がる。本来は表作成とタテ・ヨコの計算、グラフ作成に用いる表計算ソフトで動的な動きを実現するビジュアルで知的エージェントを利用できるシミュレーション手法を開発した。本論文では考案した手法について述べ、様々なタイプの応用例に試行し手法の有用性を考察した。

【キーワード】ビジュアル・シミュレーション、表計算ソフト、エクセル、エージェント、オフィスにおける利用

1 はじめに

ビジュアルなシミュレーションはシミュレーション結果が数値のリストとして示されるだけのシミュレーションに比べ、シミュレートしている状態を表示することにより、これを観察している専門家に新たな問題解決方法のアイデアを想起させる可能性を持つ有意義な手法である。すでにビジュアルなシミュレーションは行われているがそれら（注1）は高性能なコンピュータ、複雑なソフトと時間のかかる使い方の学習を必要とし、利用の分野が限られている。オフィスで誰もが自分の仕事の問題解決のためにビジュアル・シミュレーションを最小限の専門的知識で活用できるようにすればオフィスでの生産性は向上する。誰もが持っている表計算ソフトを用いて、シミュレーション過程をビジュアルに表示し、更にエージェ

ント機能も持つシミュレーションを行う手法を開発した。本論文では開発した手法について報告する。表計算ソフトによる実務的なシミュレーションは多く行われているがローンの返済などの線形な計算がほとんどである。実験データを活用するエクセル計算シミュレーションには1)がある。また既存のビジュアルな機能（アニメーションともいう）をもつシミュレーション専用ソフトはいくつもあるが2)、これらは高価で使い方の習得に時間と手間がかかる。

エクセルに代表される表計算ソフトは本来、タテ・ヨコの計算と計算結果のグラフ表示などの帳簿処理的な機能に用いられる。しかし、これ以外の用途に特に物体の動きの表示に用いることもできる。物が動くとき、それはメッシュで区切られた空間上の座標位置の移動ととらえることができる。表計算ソフトのシートはセルで区切られた広

い空間であり、この上に記号で表示された物体を x と y 座標で特定されるセル位置を操作することで物の動作を表示することができる。表計算ソフトで用いるセル空間とセル上に記号を巧みに表示し、ものを動かして行く手法を工夫することにより、物体が動作するビジュアルなシミュレーションを実現した。

また記号で表示されている物体の動きを周囲の状況や所与の条件を勘案して物体（記号）の行動を決める自律的なエージェント機能を付与する手法も開発したので報告する。提案の方法を用いれば誰でも持っている表計算ソフトでビジュアルでエージェント機能の付いたシミュレーションモデルを実現できる。また専用ソフトのもつ豊富な機能のうち、どのような機能を提案しているシステムに取り込むかをこれらのソフトと比較しながら検討もしている3)～6)。

本報告の2では表計算ソフトを用いるビジュアルなシミュレーションの手法について述べ、3では提案の手法を用いてのシミュレーションをおこなった例を5例示す。4の考察ではシミュレーションの手法としての有用性を検討した。5のまとめでは本研究の意義と今後の課題について言及した。

2 表計算上でのエージェント・ビジュアル・シミュレーションの手法

表計算ソフトエクセル上でのエージェント・ビジュアル・シミュレーションを実現するためには、以下の2.1～2.3の手法を用いる。

2.1 物体の動きの実現

ビジュアルなシミュレーションを実現するためには画面上でオブジェクトをシミュレートする事象を再現するように動かし画面上に事象の推移を実現する。

エクセルのシートを場と見なし、シートの上をセルに表示された記号が移動して物の動き(流れ)を実現する。実際には物が表示されているセルを

一つずつずらして表示することで物体の動きを実現する。このとき一つ（一步）動かす前に、シート上に表示されている現在の物体を一端消去したのち次のセルに表示する。動かない物体は再度同じセルに表示、これを高速で繰り返せば物が動いているように見える。この手法と更に紹介するエージェント手法を用いれば物が動き、エージェントが自律的に行動することで事象を実行するビジュアルなシミュレーションをエクセル上で実現できる。シミュレーションは具体的には物体が目標に向かって進んで行く形で実行されるのであるから、目標の場所が設定されるとそこへと向かう1セル毎の位置は図1の様なコードで処理される。目標追跡の方法は各シミュレーション課題の目標追求アルゴリズムに準拠する。

提案手法の応用例3.1の映画館の座席を探す観客や3.2の高速道路での車は自分のゆくべき場所を決定した後、そこへ向かい一つずつ、禁止されている場所（通路が設定されている場合は通路以外の場所）をのぞき一つずつ位置座標が足し算されて行く形で最も合理的な経路を進んで行く。

3.3のラーメン店での顧客着席再現シミュレーションの場合は顧客に相当する記号の移動先と出現はレシートに記載された実際に着席した席と精算時の時間データとして規定されている。

```

If SY<>Y Then    SYとYが同じ値ではないとき
If SY>Y Then     SYがYより大きい値のとき
    Y = Y + 1    Yに1をたす
Else             SYがYより大きい値ではないとき
    Y = Y - 1    Yから1をひく
End If (If SY>Y Then) 終了
Else SYとYが同じ値のとき
If SX>X Then     SXがXより大きいとき
    X = X + 1    Xに1をたす
Else             SXがXより大きい値ではないとき
    X = X - 1    Xから1をひく
End If (If SX>X Then) 終了
End If (If SY<>Y Then) 終了
SXは移動目標のX座標, SYは移動目標のY座標, X,
Yは現在の座標

```

図1 目標への移動プログラムコード

エクセルとVBAを使ったビジュアルな動作の表現の試みとして、エクセル上に作成した動きのあるゲームがある。エクセル上でのビジュアルなゲームソフトについては多く作られwebで公開されている7)8)。

2.2 エージェントの利用

ビジュアル・シミュレーションに登場する個々の物体はエージェントとしてその動きが合目的な動きをするように制御することができる。個々のエージェント（画面上では記号で表示）は初期の段階で性格付けがなされる。そして性格毎に環境変化に対応した行動が自律としてとられる。

2.2.1 合理的な行動をとるエージェント

すべてのエージェントが共通の目的達成のために合理的な行動をするエージェントの場合その行動様式はプログラム上での合理的行動アルゴリズムによって記述される。応用例3.2で紹介する高速道路料金所シミュレーションに登場するすべての車は自車の位置に近く、並んでいる車の列の短い料金所へと向かう合理的な行動をとる。

2.2.2 性格（好み）に応じて行動するエージェント

好みを実現するために合理的に行動するタイプのエージェントの場合、合理的行動のアルゴリズムはプログラムに記述されるが、好みに基づく行動パターンはエクセルの別のシートに表の形式で持つ（図4）。例は3.1の映画館の観客の着席シミュレーションに示す。性格の異なるエージェントをランダムに出したいときはあらかじめ設定された性格による性格付けを乱数で行う。ランダム関数で出た数値をもとに個々のエージェントの性格を決定し、性格に基づく行動様式で行動する。たとえば入り口に1列に並んでいる映画館の観客は各人の座席に対する好みを持っており、その好みタイプはモデルでは各人に対してランダムに与えられる。

2.3 自律行動の仕組み

エージェントは自分のプロパティ（性格あるい

は好み）をもとに置かれた状況からとるべき行動を決定する。映画館の観客着席シミュレーションの例（3.1に詳述）では一番前の席に座りたい観客は一番前の席が空いていれば自分に一番近い前の席に座る。前から n 列目までの席がふさがっていたらその状況を理解し $n+1$ 列目の近い席に座る。このように逐次変化する周囲の状況に対応して行動する様にプログラムしてある。これは好みのタイプ毎に満足度表（図4）をもっており、この表に基づいて、観客の好みによる満足度表の満足度が最も高い近くに空いている席へと向かう。

あらかじめ設定されたエージェントの性格とエクセルシート上に持っている行動様式（満足度表）をもとに、その瞬間での行動を決定する。シミュレーションを行うシートではなく他のシート上に行動様式を作ることにより、様々な行動様式の実現と、行動様式シートの容易な書き換えによってシミュレーションに変化を持たせることが容易に出来る。映画館着席モデルでは満足度表が各性格のエージェントの行動様式を決定している。

2.4 プログラム制作環境

システムの開発と実行には通常のパソコンを利用した。東芝製ダイナブックノートパソコン DynaBook3440 (500メガヘルツcpu)，およびDell デスクトップパソコン (600メガヘルツcpu) を使用した。これらのパソコンでのプログラム作成、シミュレーションの実行は十分高速で行うことが出来る。

2.5 手法の応用性

本ビジュアル・シミュレーションはコンビニ、スーパーなどでの顧客行動、交通機関ターミナルでの人の動き、車の交通シミュレーションなどの、エージェントを利用するモデルなどに利用できる、動きがビジュアルに表示されるのでこれを見ながら対策を検討できる。本例で報告している手法のプログラミングの詳細と学習方法は文献23)に掲載した。

3 エクセル・ビジュアルシミュレーション例

以下に示す様々な適用例で提案の手法の利用例を具体的に示し、その有用性を検討した。適用例では提案の手法を様々なタイプのシミュレーションモデルに適用してみることに重点を置いている。

3.1 映画館座席シミュレーション

映画館の入れ替え時の観客の着席行動をシミュレートするプログラムをエクセルで提案の手法を用いて作り、入口の数と顧客満足度の関係を分析し、入れ替え時に使用する最適な入口の数を検討するモデルを作成し、提案の手法が本例に利用できることを検討した。

3.1.1 シミュレーションの概要

エクセルのセルを客席に見立てシート上に映画

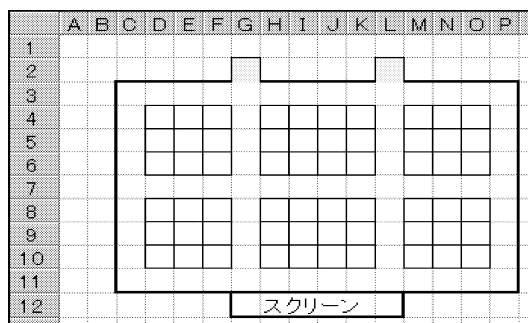
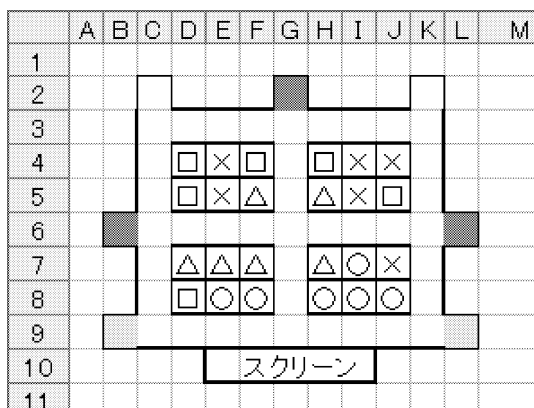
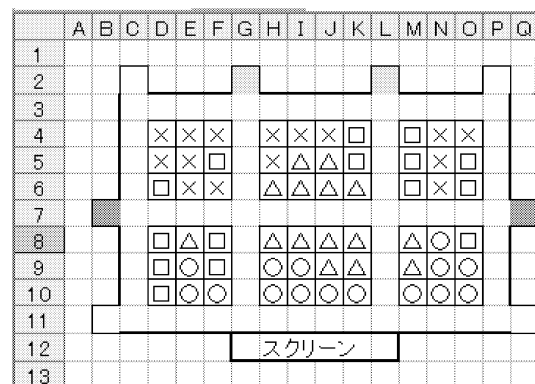


図2 映画館 (座席数60, 入口2つ)



入口の位置：定員24席の場合 (記号は観客)



入りの位置：定員60席の場合

図3 入りの数と位置の設定

館をつくる。その上で観客エージェントを動かし観客の着席行動をシミュレートする。図2は座席数60, 入口2つの映画館。G2, L2セル (着色部)が入口になり, D4~O10の四角の枠囲みの各セルが客席にあたる。座席数 (定員) が24席と60席の2つの映画館について, 入口の数がそれぞれ表2.3に示す場合のシミュレーションを実施した。各入口数の場合の入口位置は図3左の座席数24の場合, 入口1つの場合は上段中央のみ, 3つは左右中央2ヶ所を追加, 5つはスクリーン脇の2つを更に追加, 7つは図3左のすべての入口とした。図3右の定員60の場合には入口2つを使う場合は上段中央の2つの入り口。4つの場合は左右中央の2つを追加, 6つはスクリーン脇の2つの入口を追加, 8つの場合はすべての入口を使った。

3.1.2 観客の動き

観客の座りたい席に対する好みを表1に示す4種類作成した。

観客一人一人を好みにより自律的に行動するエージェントとして扱う。観客エージェントは1ターンに1歩 (1セル) 進むことができ, その都度好みの近い席, すなわち自分の満足度が最も高く, 最も近い空席に向かって進む。そして目的の席に辿り着くと着席し, 一度着席した観客は移動することはない。目的の席に向かって進行中に, 他のエージェントによって席を取られてしまっている場合は, 新たな空席に目標を変更する。全体

表 1 観客の座席嗜好パターン

観客タイプ	座席への好み
○	前に座りたい
×	後ろに座りたい
△	中央に座りたい
□	通路側に座りたい

の席の着席状況という周囲の環境の変化に応じて自分の行動を決めている。

3.1.3 満足度合計の計算

観客はその好み（表1）により、全ての座席についてその好みに応じた満足度の評価を持っている（図4）。最も満足な場合を満足度6とし、自分の好みの条件から遠ざかるほど、満足度は下がり、最も低い値は満足度1となる。0は通路の位置。満足度表は好みごとに表形式で保持する。

例えば、“○：前に座りたい”人の満足度表は図4になる。図4の表の下段が前の席で、前に座りたい観客が最前列に座れたら満足度が最大の6であることを示している。前に座りたい観客が空いてなくて最後尾の席に座った場合の満足度は1になる。前に座りたい人の満足度表は最後列の席である前に座りたい人にとって満足度は最も低い値1となる。0の部分は通路にあたる、通路に座りたくはないのであるから満足度は0になる。同様の方法で後に座りたい人（画面上では×記号で表示）の座席に対する満足度表は前の席になる程その満足度は低く設定してある（図4右側）。入場した全観客について着席した各人の座席に対する満足度を調べ、これを合計して満足度合計を求める。本例では座席の数（定員数）と同数の観客が入るようになっている。観客の数は調整できる。定員分観客がいないう場合は満足度合計を観客の数で割った値と比較する。入場する観客の各人の座

1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	6	6	6	0	6	6	6	0	6	6	6
2	2	2	0	2	2	2	2	0	2	2	2	2	5	5	5	0	5	5	5	0	5	5	5
3	3	3	0	3	3	3	3	0	3	3	3	3	4	4	4	0	4	4	4	0	4	4	4
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	4	4	0	4	4	4	4	0	4	4	4	4	3	3	3	0	3	3	3	0	3	3	3
5	5	5	0	5	5	5	5	0	5	5	5	5	2	2	2	0	2	2	2	0	2	2	2
6	6	6	0	6	6	6	6	0	6	6	6	6	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1

(○：前に座りたい人の場合) (×：後ろに座りたい人の場合)

図 4 満足度表

表 2 座席数24の劇場

入口の数	1	3	5	7
満足度合計	88.55	90.33	90.39	90.17
分散	2.830	1.762	1.719	2.041

表 3 座席数60の劇場

入口の数	2	4	8
満足度合計	330.94	336.54	334.72
分散	28.873	9.300	10.205

席に対する好みは入場時に乱数で決められる。

3.1.4 シミュレーション結果

座席数24と60の映画館について入口の数を変えてシミュレーションを行った。実際のシミュレーション実行中の画面を図5に示す。表2・3にシミュレーションの結果を示す。

シミュレーションの結果から座席数24（表2）の映画館の場合は入口数5の時に最大の満足度合計を示す。座席数60（表3）の場合は入口数4の時に満足度合計が最大となる。1%の水準で統計的な有意差を確認できた。

3.1.5 映画館シミュレーションの考察

このシミュレーションでは、映画館の入口の数を変えて観客の着席行動をシミュレーションすることで観客が定員の数だけ入口の外へ並んでいる。

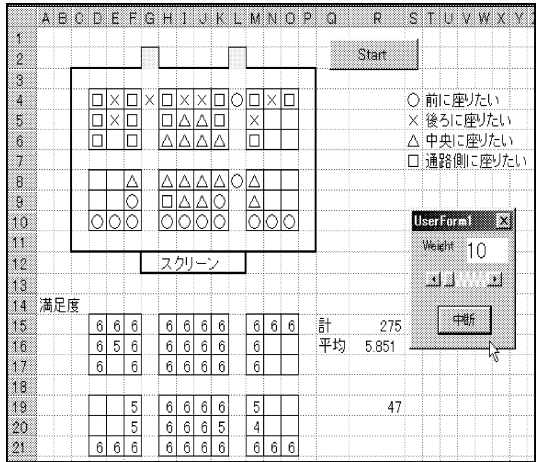


図 5 映画館座席シミュレーション実行中画面

上映回の入替え時に使用する適切な入口(ドア)の数を求めた。観客の席に対する好みを単純に4パターンにすることでシンプルなシミュレーションを作成した。観客の座席に対する好みを複雑に、例えば真ん中より前方の席で隣に人がいないように座れる席を好む人や最前列の席がなければ通路側の席に好みを変える人などの好みや行動のパターンを増やしたりすることは、それらのデータやプログラムコードを追加する作業を行えば実現できる。人エージェントの高度の特性の設置については9)で検討されている。更にはエージェントの特性のなかにモラルハザード的要素の設定の提案10)もある。モラルハザード的要素を考慮するという場合は本映画館シミュレーションの例では個々の観客が自分の好みに基づき満足度を高めようとするために全体の総満足度を下げるといような場合である。つまり協調行動がとられてなく、自分は少し我慢をして人に譲り、その結果全体の満足度合計を高めるというような、ゲームの理論でいうところのパレート最適が達成されない場合を指す。またモラルハザード要素とは逆に観客の中に空いている席ならどこでもよいというプラス思考のエージェントを加えるということも考えられる。これらは本例に於ける今後の課題としたい。本例の観客エージェントは他の観客の歩行の進行方向や同方向に向かう人数については関知せず、大局的な判断はしていない。11)では歩行者同士の追従、追い越し、衝突回避を計算した歩行シミュレーションを行っている。

社会科学分野に於けるエージェントシミュレーションと複雑系については12)にモデル例、ソフト、技法がまとめられている。エージェントの行動、意志決定の手法にソフトコンピューティング手法を導入することを提案している13)、エージェントについての最近の解説には14)がある。本例の主たる目的は提案の手法を映画館での上映入れ替え時に使用する入口の数と位置に関するシミュレーションでテストする点にありシミュレーションの過程をビジュアルに表示すること、登場する観客にエージェントとしての自律的な行動を

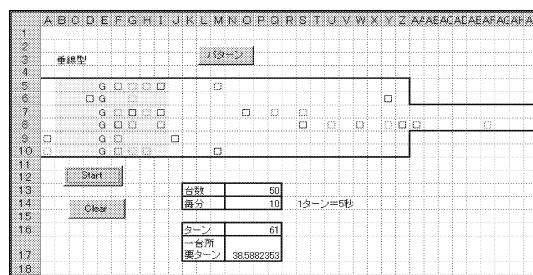
行わせる点を提案の手法で実現できた。

3.2 高速道路料金所シミュレーション

3.2.1 高速道路料金所シミュレーション概要

本例は提案の手法ですべてのエージェントの行動規範が同じである場合のビジュアルなシミュレーションを行い提案の手法の有用性を検討した。

高速道路の料金所は渋滞の原因の一つになっている。料金所の各ブースはどこでも道路に対して横1列に並んでいるが、この並び方を変えることで渋滞を緩和できないかを検討するモデルを作成した。料金所の並び方と渋滞への影響を調べるためにエクセルでエージェント機能を持つビジュアルなシミュレーションをおこなう(図6)。料金所エリアに入ってくる車は自分の位置に一番近い行列の短い料金所ブースに向かって行動するとし、それぞれの車は現在の混み具合の中から上記の合理的な行動を自律的に行うエージェントとしてプログラムした。50台あるいは100台(車の台数は設定できる)の車が料金所エリアに入って全車が通過するまでの時間を様々な料金所ブースの並び方毎に測定し、効果的な料金所の並び方について検討した。文献15)は何も障害物のない道路一定範囲に於ける車の通過時間は範囲内に存在する車の数によるとしている。すなわち料金所エリア内の車の数が全体の通過時間に影響する。測定はエリア内に登場する車の密度(10ターンあたりに登場する車の数)ごとにしている。



(垂線型ゲート並びの例)

図6 高速道路料金所シミュレーション実行画面

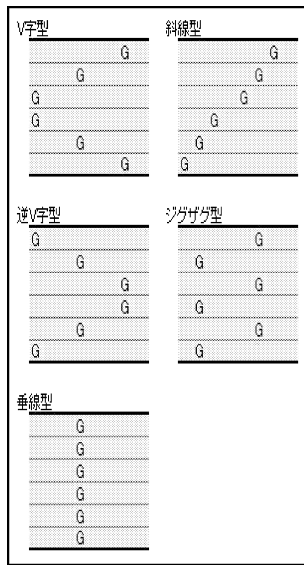


図7 ゲート並びのパターン

3.2.2 シミュレーションの方法

(1) シート上の表現

エクセルのシートを高速道路のゲート付近に見立てた。シート上に道（図6太線部分）、ゲートを配置し、その上で車を動かしてシミュレートする。エクセルシートの各セルは縦横の幅を全角一文字分に調整し、料金所ゲートブースを“G”，車を“□”であらわす（図6）。車は向かって右側から左側へ向かって動き、進行方向の1つ先、つまり左隣のセルに車“□”やゲート“G”があると停車する。右端から現れた車はゲートを抜け左端に消える。ゲートは6つあり、車は空いているゲートを探して並ぶ。

ゲートの並び方は図7のように5パターン用意し、V字型、逆V字型、垂線型、斜線型、ジグザグ型と名づけた。ゲートの並び方を切り替えてシミュレーションを行い、渋滞の形成を観察し、料金所を抜けるために要した時間（ターン数）を調べる。また、車の登場頻度と車の台数を調整し、登場頻度別に評価を行う。車が50台通過するとしても、それがどれだけの頻度で出てくるかが問題になる。一度に50台の車でゲート付近をいっぱいにするか、あるいは合計50台の車がどの程度の頻度で右端から来るようにするか車の出し方を考慮

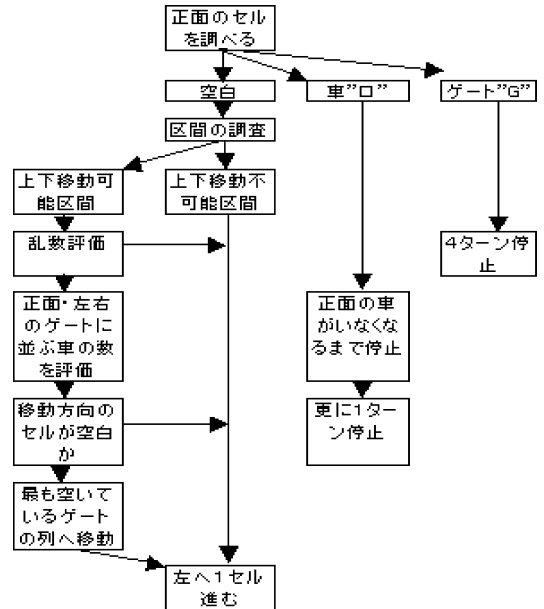


図8 車の移動計算チャート

する。

(2) 車の動き

車は基本的に1ターンに1セルずつ左へ動く。移動の計算は表示されている全ての車について出現順に逐次行われ、全ての車が1回ずつ移動計算を終えるまでを1ターンとする。

乱数により評価のタイミングを決め、数ターン毎にゲートに並んでいる車の数を評価し、より短い列へ並ぶように移動する。この時、自分の正面のゲートと車から見て左右のゲートの列の長さを調べ、一番車の少ない列へ移動する（セル上では上下に動く）。ただし、列を移動する際に上下および上下斜め左の隣接するセルに他の車がいる場合は移動しない。

セル上で左隣、車から見て真正面のセルに車またはゲートがある場合は停止する。前方に車がいる場合は、前の車が動いてセルが空くと、1ターン待ってから移動する。ゲートの場合は4ターン停止した後に移動する。車の移動計算チャートを図8に示す。車の動きについては本節(4)で考察した。

(3) シミュレーション結果

シミュレーションの結果を表4、5に示す。

表4 パターン・密度毎の平均所要ターン数

ターン数平均	密度 (台数/10ターン)	
パターン	15	20
V 字 型	81.8	109.6
ジグザグ型	87.0	111.1
逆 V 字 型	79.0	110.8
斜め線型	86.7	109.1
直線型	82.9	110.2

密度15は10ターン当たり15台出現する

表5 パターン・密度毎の標準偏差

標準偏差	密度 (台数/10ターン)	
パターン	15	20
V 字 型	4.91	1.46
ジグザグ型	5.75	2.56
逆 V 字 型	3.16	2.08
斜め線型	2.18	1.58
直線型	4.45	1.18

結果から密度15台（10ターン毎に15台、右端から指定した合計台数になるまで登場する）の時は逆V字方向が最も所要ターン数が短く、密度20台（10ターン毎に20台右端から登場する）では斜め線が最も短かった。しかし統計的な有意差を調べると、同密度の場合、1%の水準ではいずれのパターンの値比較も有意差が出なかった。

(4) 料金所シミュレーションへの提案手法応用の考察

エクセルにより高速道路料金所での車の動きをシミュレートし、どのような料金所ブースの並び方が最もスムーズに車を通すことができるか、料金所ブースの並び方による渋滞への影響を調べた。シミュレーションでは料金所ブースの並び方の違いによる渋滞への影響は認められなかった。これは料金所エリアの地形に合わせてどの並び方でも料金所を設置することができることを意味する。シミュレーションではブースの並び方のパターンによりゲートに行列が出来る際に列の長さが均等にならない場合に効率が悪くなり、所要ターン数

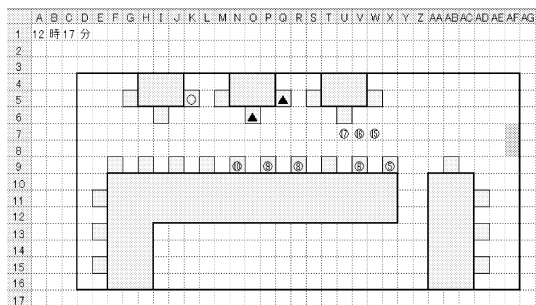
が長くなることが期待されたが、動きを観察すると、いずれのパターンでも列の長さはほぼ均等になり、このため有意な差が出なかったものと思われる。ただし、このシミュレーションでは車の動きを大幅に単純化しているため有意差がでなかったとも考えられる。複雑系では個々のオブジェクトの挙動の僅かな違いが全体に大きく影響するので、車の挙動を厳密にすれば違った結果が得られる可能性はある。料金所による渋滞は料金所の並び方ではなく料金徴収時間が主たる要因である可能性が高い。より現実的な車の細かい動きを実現するには多くの専門的な交通シミュレーターで用いられている車動作を採用することになる。例えばウインカーやライトを利用して車同士の情報のやりとりなどがある16)。また周りの車の動きに追従する傾向もある。個々の車の動きに関するシミュレーション研究は17)～18)で報告されている。19)では物流経路上に各車両の出す識別情報（フォルモン）を他の車両が参照しながら目的関数を最小化する経路を自立的に求める方法を紹介している。フォルモンにより車相互間の影響の及ぼし合いも表現できるであろう。車の自動制御システムで研究されている自動車運転制御の手法のアイデアも走行シミュレーションに応用できる20)。本例の主眼は提案の方法が交通シミュレーションに利用できることを確認することである。現実の車、各車毎の固有で複雑な動きも原理的にはメッシュ状に区切ることでできる空間におけるセル移動なのであるから本手法において車の自律的な動きを制御しているプログラムを複雑にすることにより複雑な動きは実現できる。従って本例における車の自律的な動きが単純すぎるとしても、それは提案の手法の限界を示すものでないと考え

3.3 ラーメン店での来客シミュレーション

事象の観測データをもとにビジュアルな形で事象を再現することに提案の手法が有効であるかを検討した例を3.3に示す。観測データをもとに計算を行い計算結果をもとに動きをシミュレートす

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	sq	日付	時	分	曜日	来店時間	伝票番号	人数	グループ番号
2	1	030503	11	56	sa	1216	001	1	1
3	2	030503	11	59	sa	1219	002	1	B
4	3	030503	11	59	sa	1219	002	1	B
5	4	030503	12	6	sa	1226	003	1	A
6	5	030503	12	12	sa	1232	004	1	5
7	6	030503	12	12	sa	1232	004	1	6
8	7	030503	12	14	sa	1234	005	1	8
9	8	030503	12	14	sa	1234	005	1	9
10	9	030503	12	14	sa	1234	005	1	10
11	10	030503	12	16	sa	1236	006	1	17
12	11	030503	12	16	sa	1236	006	1	16
13	12	030503	12	16	sa	1236	006	1	15
14	13	030503	12	19	sa	1239	007	1	1

図9 ラーメン店来客データベース



(記号はお客さん, 中央と右の長方形はカウンター)

図10 ラーメン店来客シミュレーション

る研究報告にはCT画像やMRI画像を構成する3Dデータを利用して血管破裂の原因になる血栓の血管内での血流シミュレーションの研究がある21)。本例では客がどの席に座るか定式化できないので実測データに基づいて客の動きをシミュレートしている。

ラーメン店での1日の実際の来客データをデータベース化し(図9),これを基に1日の来客の様子をビジュアルなシミュレーションとして実現した(図10)。時間を早回しにして実際に来店した時間頃に来て座った席にお客(記号で表示される:図10)を着席する様にしてある。これにより来客の様子,いつ来てどこへ座るかの着席パターンなどの着席状況,時間的な来店分布,人数構成等を視覚的に把握できる。時間帯を考慮した店の営業方針の検討,座席・テーブルのレイアウトの検討に利用することができる。

ビジュアルな来客状況の再現から気づいた点を,

更にデータの分析結果のグラフと照合して詳細に検討することができる22)。エクセル上のデータベースからエクセルのグラフ作成機能,解析手法を利用してグラフ作成が容易にできる。このようにエクセルを利用した提案のシミュレーション手法はエクセル本来のデータ管理,グラフ作成などの機能とともに利用して有用に活用できる。実際に六本木のラーメンチェーン店での従業員休憩時間の設定,曜日毎の1人客,グループ客の来店状況の把握に利用された。

3.4 レストラン・シミュレーション

3.4.1 概要

3.3では実測データをもとに飲食店(ラーメン店)の来客状況を再現するのに提案の手法を用いた。レストラン来客シミュレーション問題に客状況を確率分布的に与える方法が一般的に用いられるが,この方法に提案の手法の利用を検討した。具体的にはシミュレーション教科書5)のレストラン来客シミュレーション問題について提案の手法でシミュレーションを行い教科書例題の正解と同様の結果を得た。教科書例題では来客の間隔を指数分布,グループの人数を一定の確率,食事時間は平均20分の正規分布としてシミュレーションする。

提案の手法でエクセル上に作成したレストランモデルを図11に示す。シート上にレストランをつくり,そこで客(数値記号)を動かして混み具合をシミュレートする。テーブル数50,椅子数100, D5・D6セルが入口, E4・F4がレジとなっている。

3.4.2 客の動き

このシミュレーションでは来客データベースを使わず,確率変数を用いてデータを発生させる。設定条件は以下のように例題で設定されている。客の入店間隔1.6分。2人,3人,4人,5人のいずれかのグループで入店する。それぞれのグループの出現確率は40%,30%,20%,10%。テーブルがいっぱいで空き待ち行列が5グループいる場合は来店した客は並ばずにあきらめて帰る。着席してから食事が運ばれてくるのを待つのに,15ないし20分の一様分布に従う時間がかかる。食

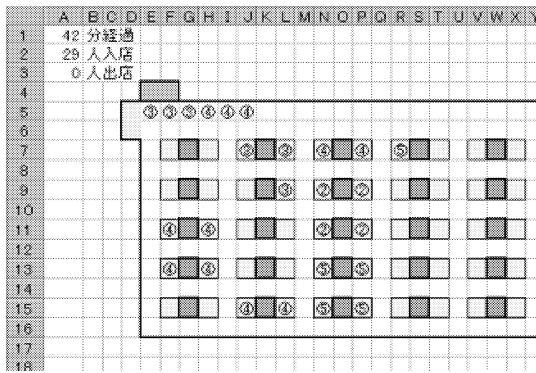


図11 提案の手法によるレストラン・シミュレーション

表 6 提案の手法により作成したモデルの結果と教科書例題の解答との比較

教科書 (SIMAN) の結果	提案の手法により作成したモデルの結果
平均使用テーブル数：36	平均使用テーブル数：32
レジ稼働率：86%	レジ稼働率：77%
平均行列数：0	平均行列数：13

事時間は、平均20分、標準偏差 2 分の正規分布に従う。客は食事が終わるとレジ係へ行き、支払を済ませる。その際、レジ係で要する時間は1.5ないし 3 分の一様分布に従う。現在は客の座りたい場所（テーブル）を細かく設定していないので、左上のテーブルから縦に見ていき空いているテーブルがあったら座っていくようにしてある。客は 1 ターン（6 秒）に 1 歩（1 セル）進むことができ、1 ターンごとに自分の座りたい所（グループ人数で決まる）で、最も近い空席に向かって進む。そして目的の席に辿り着くと着席し、一度着席した客は食事を済ませるまで移動することはない。

3.4.3 シミュレーション実行

例題の題意によりテーブル占有率、レジの混み具合、満員で諦めて帰る客の数をもとめる。レストラン来客状況のシミュレーションの実行画面を図11に示す。例題の正解と同様の結果が上記3点について提案の手法により作成したモデル(図11)によるシミュレーションでも得られた(表6)。乱数を用いているため値は全く同じにはならない。

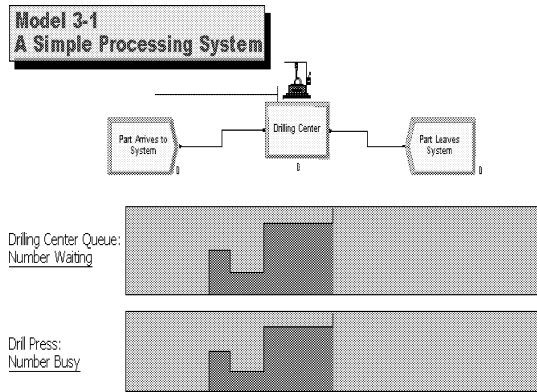


図12 シミュレーションソフトArenaによるシミュレーションモデル例

表 7 ドリルモデルについて提案の手法により作成したモデルの結果と教科書例題の解答との比較

提案の手法により作成したモデルの結果
待ち行列の平均待ち時間：2.4分
待ち行列最長待ち時間：6.2分
待ち行列平均数量：1.8個
待ち行列最大数量：4 個
20分で加工された部品の生産量：6 個
ドリルの稼働率：100%

Arenaによるシミュレーション結果

待ち行列の平均待ち時間：2.5分
待ち行列最長待ち時間：8.1分
待ち行列平均数量：0.7個
待ち行列最大数量：3 個
20分で加工された部品の生産量：5 個
ドリルの稼働率：91.7%

3.5 シミュレーション教科書の最もシンプルな例題

シミュレーション専用ソフトArenaの教科書3)に掲載されている最初のアニメーション付きのシミュレーション例題をエクセルを用いる提案の手法で同様のものを作成した。

初歩的な例題ではあるが、3.4 同様にシミュレーション専用ソフトと同じモデルが作れ、同様の解が得られ、エクセル上の提案の手法で実現できることを確認した。(表7)

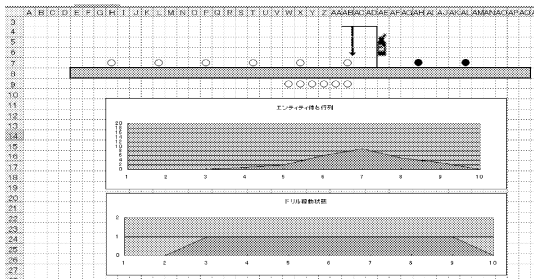


図13 提案の手法による例題解

3.5.1 汎用型シミュレーションソフトでのシンプルな例題モデル

図12のModel 3-1は素材にドリルで穴あけをする工程についてのArenaで作成されたシミュレーションモデルの例題である。Arenaの教科書3)の付録CDに収められている。

3.5.2 提案の手法でのシンプルな例題モデル作成

図13はArena例題Model 3-1(図12)と同様のものを提案の手法でエクセル上に作成したものである。シミュレーション専用ソフトArenaによる場合(3.5.1)と待ち行列の平均待ち時間、最長待ち時間、平均数量、最大数量、20分で加工された部品の生産量、ドリルの稼働率を求め、同様のシミュレーション結果(表7)が得られた。

4 考 察

3.1～3.5の様々なタイプのモデルについての提案の手法の応用テストでは、それぞれのモデルはシンプルであるが、いずれの場合にも提案の手法で対応できることを示した。

物体の動きはメッシュに区切られた空間における物体のセル間の移動ととらえることができる。それゆえ2次元におけるすべての物体の動きはシート上のセル位置の変化で表現できる。提案の手法により、巧みに操作を行うことにより線形あるいは自律的な物体の動きをシミュレートできる。通常のオフィスのパソコンでマイクロソフト社エクセルにVBAで作成したモデルによるシミュレーションの過程を高速でビジュアルに表示し、

更に自律性のあるエージェントを多く登場させるシミュレーションが提案の手法で可能であることを確認できた。提示された手法をテストするモデルは単純化されているが、時間と手間をかければより複雑で現実に近い物を実現できる。モデルの作成にはVBAによるプログラミング能力が必要であるが、ユーザーフレンドリーな形で誰もが特別な訓練なしに使えるようにするには、多くのモデルを作成しこれをパターン毎に分けそれをクラスのようにして、このモデルクラスをもとに利用者各自の仕事に合うように調整して使用するとすればユーザーフレンドリーなシステムが実現できる。提案の手法はエクセルという二次元のメッシュ状(マトリックス)の場と、場の上に表示される記号を制御できるVBAプログラムの組み合わせにより実現できた。

エクセル上でのビジュアルなシミュレーション手法は2次元のメッシュで表現できる世界ならば適用はできるので様々な分野・用途への応用が期待できる。

5 ま と め

本論文は2でエクセルを用いてアニメーションでシミュレートする事象を表示するエージェント機能の付いたシミュレーション手法を報告し、3で様々な適用例を示し提案の手法の実用性を試した。オフィスでの仕事にエクセルを利用してエージェント機能の付いたビジュアルなシミュレーションを実行できれば、オフィスでの多くのニーズに対応できる。これによりシミュレーション技術はオフィスでのビジネスユースにも広くエンドユーザー自身により使われ普及し生産性の向上に貢献する。本報告で紹介しているエクセルを用いたシミュレーション手法の学習教材も作成した(23)。

エクセルを用いるとデータベースの管理にエクセルで用意されている各種機能を利用でき、エクセルのデータをシミュレーションに利用するには付属のプログラミング言語VBAがデータを加

工・活用するための言語として用意されているので、これを用いるのが効果的である。

プログラム作成，データベース作成については卒業研究学生塩沢哲時氏（現：管理工学研究所），KIM DONG WOON氏（現：北陸先端大学院大学修士課程），野口宏氏，嶋本雅章氏に協力いただきました。

注1

自然現象のビジュアルなシミュレーションは，雲の動き，風の具合などをリアルにシミュレートする。

千葉則茂：自然景観のシミュレーション，シミュレーション，. 21-3, P5-10, (2002)

医療の分野では眼球手術練習用の眼球シミュレータがある。向井信彦，情報処理43-55, 13/518 (2002)

参考文献

- 1) 白田昭司，伊藤敏，井上祥史：『Excelで学ぶ理工系シミュレーション入門』，CQ出版社 (2003)
- 2) ビジュアル・シミュレーションソフト製品例
Visual SLAM：構造計画研究所
<http://www.kke.co.jp/major/suuri/visualslam/index.html>
Arena：米国Rockwell Software社
<http://www.software.rockwell.com/arenasimulation/>
Extend：米国Imagine That, Inc.(San Jose, California)
A.M. Law, W.D. Kelton: Simulation Modeling and Analysis, P215-218, McGraw-Hill
Higher EducationによればExtendは米国では普及しているソフト。
- 3) W.D. Kelton, D.P. Sadowski, D.A. Sadowski 著，野村淳一訳，高桑宗右エ門監訳：『シミュレーションArenaを活用した総合的アプローチ』第2版，コロナ社 (2002)
- 4) 森戸晋，相澤りえ子，貝原俊也：『Visual SLAMによるシステムシミュレーション』【改訂版】，共立出版
- 5) C.D. Pegden著，高桑宗右エ門訳：『SIMANによるFA・生産システムのシミュレーション』，コロナ社
- 6) マルチ・エージェントシミュレーションソフトMASについては文献12) に紹介されている。
- 7) エクセル・ビジュアルゲーム <http://www.tako.ne.jp/~good-soo/index.html>
- 8) エクセル・アクション技法説明 世留と仙人 <http://www1.plala.or.jp/chikada/cell/celltop.htm>
- 9) 石橋健一，藤岡正樹：エージェントモデルによる災害時避難行動シミュレーションの試み—湘南海岸における事例—，オペレーションズ・リサーチ，47-7, P447-452 (2002)
- 10) 松村良平，木島恭一，中野文平，猪原健弘：新たなモラル・ハザード概念を分析するためのエージェント・モデルの提案，オペレーションズ・リサーチ，47-7, 459/463(2002)
- 11) 岡田公孝，高橋幸雄：個人行動をベースにした歩行モデルと高密度シミュレーション，日本オペレーションズ・リサーチ学会 2004年春季研究発表会アブストラクト集，P178-179 (2004. 3)
- 12) 山影進，服部正太編著：『コンピュータのなかの人工社会』マルチエージェントシミュレーションモデルと複雑系，構造計画研究所発行，共立出版 (2002)
- 13) 大内東，山本雅人，川村秀憲：『マルチエージェントシステムの基礎と応用』：複雑系工学の計算パラダイム，コロナ社 (2002)
- 14) 特集 エージェント・ベース・モデリング，オペレーションズ・リサーチ，49-3, 130/161 (2004)
- 15) 大場康宏，上田徹：道路交通網における目的地までの到達時間の推定，P48-49，日本オペレーション・リサーチ学会 2003年秋期研究発表会アブストラクト集 (2003. 9)

- 16) 西川紘史, 吉村忍 三村和也：『知的マルチエージェント交通流シミュレータMATESの精緻化と実地域への適用』, 第22回日本シミュレーション学会大会, P 356 (2003)
- 17) 交通工学研究会編；『やさしい交通シミュレーション』, 丸善 (2000)
- 18) 交通流シミュレーションの適用と課題, 交通工学, 39-2, 交通工学会 (2004)
- 19) アルヘイムサレイン, 小西正躬, 能勢和夫：石油の生産および物流システムの運用最適化—分散エージェントによる石油製品運搬計画の最適化—, 日本生産管理学会第19回全国大会講演論文集108, (2004. 3) フェルモンのマルチ・エージェント・シミュレーションへの活用については12) のP158-176に詳細に解説されている.
- 20) IEEE ; Transactions on Intelligent Transportation Systems誌
- 21) 坂井洋志 小林敏雄：血流シミュレーションにおける境界条件のモデリングに関する研究, 東大機械工学研究報告 平成15年度大学院論文概要集, 第13巻, P55-56 (2004)
- 22) KIM DONG WOOK, 岡部建次：製造業生産管理手法の他業種への技術移転の研究—ラーメン店のFA化研究(その1)—, 日本生産管理学会 第17回全国大会講演論文集, 162/164 (2003)
- 23) 岡部, 久保, 岡崎, 守屋, 小田, 寺嶋：『新編ITの知識と操作』, 第13章, 創泉堂(2004)
- 24) 岡部建次, 塩沢哲時：Excelによるエージェント・ビジュアル・シミュレーション手法, 第22回日本シミュレーション学会大会, 10-6 (2003)
- 25) 岡部建次, 野口宏, 嶋本雅章, 小田景子：エクセル上のビジュアル・シミュレーション・ソフト作成 第31回日本経営システム学会全国研究発表大会講演論文集, P113-116 (2003)

Multi-agent visual simulation agent action technique for the Excel spreadsheet
Surugadai university Dept. of the Cultural Information Resources
Kenji Okabe

[Abstract] Traditional type of simulation offers only the list of figures calculated by simulation operation. Visual simulation can offer to the expert (user) of the simulation subject that how does simulated action work. From the visually displayed simulation process, the expert is able to observe the problem deeply and think-out the solution by watching simulated procedure.

However visual simulation software in the market is sophisticated, high-cost and necessary to take the training.

This paper presents easy-to-use visual simulation techniques using the Excel spreadsheet and its' VBA programming facility.

Visual simulation on the Excel sheet is useful for the office worker for his/her own job. In addition to that agent-technique which realizes autonomous behavior of the object is introduced in this paper. The spreadsheet is originally designed for the business tables and graphs. This study suggests using the spreadsheet for object moving visual simulation.

Various simulation model examples by Excel simulation techniques using the agent function and others are reported. These examples are used for evaluating the proposed technique.

[Key Words] Visual simulation, Spreadsheet, Excel, Agent, Office use