

# 待ち行列シミュレーション

権藤 元

以前、ORリテラシー教育事例としてマルコフ連鎖を紹介したが [1], 今回は待ち行列シミュレーション [2] を紹介する。

科目は経営工学基礎実習(再履修), 対象は経営工学科2年の一部(40~50名)で, 学生・期間を4つに分けて4人の教員でそれぞれのテーマで実施し, 筆者は待ち行列シミュレーションを行っている。

したがって, 約10名の学生を対象に年間4回繰り返して行っている実習で, 1回は数コマ分よりなり, そのステップは図1に示すとおりである。

実習授業の状況は, 何でもすぐ質問したがるHELPさんと, 何でもすぐ実行する・しながら考えるGOさんとの対話によって紹介しよう。

H: まず, 文科系の学生を対象にした特集号に工学部の話では場違いと思うのですが。

G: いや, 経営工学科には, 文科系の科目も結構ありますし, 特にこの事例は1年で単位を落として, 2年で再履修する学生が対象で, 文科系相当と見てよいでしょう。

H: 最初に見せるビデオはどんなものですか。

G: 94年1月に森村英典先生がNHKのトライ&トライで「順番・行列・待ちぼうけ・うまい待ち方・待たせ方」というテーマで30分放映されたもので, 待ち行列のシミュレーションというよりは客が窓口に来る姿がコマ早送りの映像で示され, 待ち行列の発生する状況がわかるというものです。そして, いわゆるフォーク形の窓口では待ち行列が少ないことがよく判ります。

H: ビデオを見て, あとどうするのですか。

G: ビデオでは人そのものが動いていたが, パソコ

- |   |
|---|
| ステップ1<br>1. ビデオを見る<br>2. 実習のねらい・シミュレーション・乱数など説明<br>3. 待ち行列の机上シミュレーションを宿題<br>ステップ2<br>1. ロータスシート上で宿題の内容確認<br>2. 関心のある待ち行列の分野を発表<br>3. 自分のテーマのデータ収集を宿題<br>ステップ3<br>1. テーマ検討用シートの説明<br>2. 自分のデータによりシートを修正・試算<br>3. 何を調べたいか自分の課題を宿題<br>ステップ4<br>1. 客の到着あるいはサービス時間を変化させて待ちの状況調査<br>2. 自分の検討課題づくりを指導<br>ステップ5<br>1. 複数窓口のとき使用する図表の説明<br>2. レポートのまとめ方<br>3. 補足計算の個別指導<br>ステップ6<br>1. レポートの素案をもとに発表<br>2. 最終レポート提出を宿題<br>(注 1ステップはおおむね1コマ(90分), パソコン教室での説明は延べ150分程度, 補足として自由にパソコン教室で自習可能) |
|---|

図1 各ステップの内容

ンの上で同じことをやってみよう」と学生に呼びかけます。パソコンが使いやすくなった今日待ち行列のシミュレーションは決して難しくなく, 不慣れで判りにくいところは先生が噛み砕いて話すから, 君たちは自分の関心を持っている待ち行列のテーマを見つけることから始めよう」と話します。もっともこのときは学生は自信なさそうな顔をしています。

H: それでシミュレーションの説明から始めるのですか。

G: そうです。まず, 乱数サイを用い1桁の乱数を発生し客の到着間隔を求めることをやって見せます。

H: 到着間隔の度数分布と乱数から到着間隔を求めるといふシミュレーションの基本の話ですね。

ごんどう はじめ 近畿大学 工学部

737-01 呉市広古新開5-1-3

E-mail: GBF02774@Niftyserve.or.jp

G: そうです。ここで、学生ひとりひとり異なる乱数を渡して10人の待ち行列シミュレーションを宿題とします。

H: 次回にシート上で宿題の結果を確かめるとはどんなことをするのですか。

G: 10人分の乱数を入力したら待ち時間が計算されるシートを予め作っておき(図2参照)、宿題の乱数を入力して結果が合っているか確認させるわけです。1、2人は宿題の計算間違いを見つけているようです。

H: さらに、ここでシートの計算式を理解させようという算段ですね。

G: そのとおりです。手で宿題をしていますから、それと全く同じことをシート上で計算しているわけで、表計算の計算式も素直に理解できるようです。ただし、

乱数を使って表を引くVLOOKUP関数のところは丁寧に説明します。

H: シートの1行が客1人に相当しているのですね。

G: そうです。1行だけ作成し、それを人数分コピーすれば、100人のシミュレーションもたちどころにできる。そこで再計算キーを押すと新たに100人のシミュレーションができる。ここで、宿題でしたことと比較して学生は驚きの声をあげます。

H: そのありさまは目に浮かぶようですね。

G: 1人1人の待ち時間からその度数分布を求める操作も話し、100人分を4、5回やらせます。

H: しかし、それでは、前回の度数分布が消えて記録として残らないのでは。

G: ええ、わざと基本とのところが何回でもすぐでき

|    | A  | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K | L | M | N | O | P | Q | R | S | T |
|----|--|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1  | 待ち行列シミュレーション宿題の確認とシート内容の理解                                   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 2  |  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 3  | 課題   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 4  | 1. 自分分の乱数を各1行ずつ入力して、到着時間、サービス時間、待ち時間を計算し、その結果をシートに記入する。      |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 5  | 2. 4分の1の乱数で到着時間、サービス時間、待ち時間を計算し、その結果をシートに記入する。               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 6  | 3. * * * * * 1. 到着時間、サービス時間、待ち時間を計算し、その結果をシートに記入する。          |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 7  | 4. * * * * * 1. 到着時間、サービス時間、待ち時間を計算し、その結果をシートに記入する。          |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 8  | 5. * * * * * 1. 到着時間、サービス時間、待ち時間を計算し、その結果をシートに記入する。          |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 9  | 5. * * * * * 1. 到着時間、サービス時間、待ち時間を計算し、その結果をシートに記入する。          |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 10 |  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 11 | 表1 到着時間、サービス時間、待ち時間の分布                                       |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 12 | 表積分布 到着時間       |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 13 | 0.00 1 2 3 4 5 6 1 1 2 2 2 3 3 3 4 4 5 5 6                   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 14 | 0.20 2 3 3 4 5 6 2 2 2 2 2 3 3 3 4 4 5 5 6                   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 15 | 0.50 3 3 4 5 6 3 3 3 3 3 4 4 4 5 5 6 6 6 6                   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 16 | 0.80 4 4 5 6 6 4 4 4 4 4 5 5 5 6 6 6 6 6 6                   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 17 | 0.90 5 5 6 6 6 5 5 5 5 5 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6                 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 18 | 1.00 6                 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 19 | 1.00 6                 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 20 | 平均到着時間 2.60  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 21 | 標準偏差 1.20  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 22 | 変動係数 0.46  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 23 |  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 24 | 表2 サービス時間、待ち時間の分布  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 25 | 表積分布 サービス時間 サービス時間 サービス時間 サービス時間 サービス時間 サービス時間 サービス時間 サービス時間 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 26 | 0.00 1 2 2 2 3 3 3 3 3 4 4 4 4 4 5 5 5 5 5                   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 27 | 0.20 2 3 3 3 4 4 4 4 4 5 5 5 5 5 6 6 6 6 6                   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 28 | 0.60 3 3 4 4 5 5 5 5 5 6 6 6 6 6 7 7 7 7 7                   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 29 | 0.80 4 4 5 5 6 6 6 6 6 7 7 7 7 7 8 8 8 8 8                   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 30 | 1.00 5 5 6 6 7 7 7 7 7 8 8 8 8 8 9 9 9 9 9                   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 31 | 1.00 6                 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 32 | 1.00 6                 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 33 | 平均サービス時間 2.40 窓口利用率 92.3                                     |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 34 | 標準偏差 1.01  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 35 | 変動係数 0.42  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 36 |  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 37 | 0-9乱数入力  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 38 | 0-9乱数入力  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 39 | ** 到着状況 **   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 40 | 客No. 乱数 到着時間 状況時刻  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 41 | 1 2 0.2 2 2  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 42 | 2 9 0.9 2 7  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 43 | 3 6 0.6 3 10   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 44 | 4 7 0.7 3 13   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 45 | 5 6 0.6 3 16   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 46 | 6 3 0.3 2 18   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 47 | 7 7 0.7 3 21   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 48 | 8 0 0.0 1 22   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 49 | 9 1 0.1 1 23   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 50 | 10 4 0.4 2 25  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 51 |  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 52 |  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 53 |  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 54 |  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 55 |  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 56 |  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 57 |  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |

図2 宿題確認用シート

ることを体験させます。そのあと、記録を残すのにはどうするかという話題に入り、度数分布の結果をそのつど記録エリアにコピーする操作を追加すればよいことに気づかせます。

H：なるほど、ニーズを体験させてから対策を話すのですね。

G：さらに、100人分を10回も繰り返すとすると、ちょっと面倒だと思わせてから、手操作と同じことをしてくれるマクロの話をしてします。

H：すると、マクロにも自然に馴染んでくるわけですね。

G：そのとおりです。今度は手の操作と同じことをマクロで1000人のシミュレーションをやらせます。アッという間に済みます。(図3参照)

H：すると、以上で窓口1つの待ち行列シミュレーションのシートを理解してしまうわけですね。

G：そうです。問題はむしろこれからで、待ち行列のシミュレーションのツールはできたのだから、次は自分で関心を持った課題を調べるためにこのツールを使おうというわけです。すでに自分の関心を持った分野は発表していますから、どんな変化を与えると待ち行列はどう変わるかというレポートにまとめる課題の話になります。たとえば、客の到着間隔分布のどこを変えてみるか、サービス時間分布をどう変えてみるか、ということを経験とし、そのためのデータを準備させます。

H：えーと、どんな分野に関心を持っていますか。

G：コンビニエンスストアのレジとか、ガソリンスタンドなどバイト先の話が多いようです。郵便局の

窓口など日常体験している待ち行列もあります。

H：次にデータの準備といってもどうするのですか。

G：もちろん本式にデータを収集することは無理ですから、平均到着間隔といったレベルで把握させることとして、それを度数分布に展開させます。

H： $\lambda$ とか $\mu$ というレベルですね。

G：そうです。はじめのうちは $\lambda$ と $\mu$ のバランスも取れずに行列がどんどん長くなったり、反対に全然待ち行列ができないという経験もします。

H：そうやって、利用率が目安になることに気づかせようというわけですね。

G：そうです。そのころはパソコン教室で互いに情報交換してやっているようです。

H：さらに窓口複数のケースも対象にするのですか。

G：窓口を増やしたときも同じようにシミュレーションはできるが、それは、ちょっと複雑になるからといって、今度はM/M/sの図表の使用法を説明して、次回のレポート素案の発表を迎えます。

H：図の使用法をすぐ理解しますか。

G：間違えている学生もいますが、発表の過程で気がついて修正させています。他人の良いところは取り込んで、最終レポート提出は宿題としています。

H：この実習の効果はどんなものでしょう。

G：自分でテーマを見つけること、表計算になれないなど、はじめはかなり戸惑いを見せていますが、後半はほとんどの学生が、面白味を感じて積極的な取り組みを見せます。提出レポートの感想には、到着時間・サービス時間の数値を変化させると待ち行列は予想以上に変わることに、利用すればするほど便利であること、このようなことができないと社会では通用しないと思うなどと述べられています。表計算ソフトのもとで案外容易にシミュレーションができることは全員が体得したと思っています。

#### 参考文献

- [1] 権藤他, ORリテラシー拡充のために, オペレーションズ・リサーチ, Vol 38, No.12, 1993.
- [2] 権藤, シミュレーションを中心とした待ち行列の実習教育—ORリテラシー教育の実践事例(第1報), OR学会春季研究発表会予稿集, 1996.

使用法説明

マクロ

到着時間間隔  
の分布

サービス時間  
の分布

到着状況 サービス状況 待ち時間

100人分

待ち時間  
度数分布

1 2 .. 10 計

100人10回の  
度数分布記録

図3 テーマ検討用シートレイアウト