

特集にあたって

三好 直人 (東京工業大学)

今月の特集のテーマはシミュレーションです。特に、客の到着や退去に応じて状態が推移する待ち行列のように、何らかの事象の生起によって状態が変化する離散事象システムを対象としたシミュレーション（以下では、これを離散事象シミュレーション、あるいは単にシミュレーションと呼ぶことにします）に焦点を当てています。この離散事象シミュレーションは、数あるオペレーションズ・リサーチの手法の中でも最も広く利用されている性能評価手法の1つであり、これまでも1987年5月号と1990年2月号に『シミュレーション』というテーマの特集がありますし、1993年11月号では『ORソフト—離散系シミュレーション—』というソフトウェアに絞った特集が組まれています。また最近では、企業事例の記事の中にも離散事象シミュレーションを用いた性能評価の結果が日立つようになるなど、この手法はますます身近なものになってきています。

確かに、シミュレーションが手軽に利用できる道具であるということ間違いありません。便利なソフトウェア・ツールも数多く出回って、モデル化も簡単にできるようになりました（もちろん、現実の問題に応じた適切なシミュレーション・モデルを構築するには、それなりのセンスと経験が要りますが）。しかし、その手軽さと同時に忘れてはいけないのは、シミュレーションによる性能評価は、実際には多くの手間と時間を要する作業であるということです。ある確率的な変動をともなうシステムに対して、シミュレーションによる性能評価を行う際の手順を追ってみますと、i) システムのふるまいを模倣する確率モデルをコンピュータ上に作り出し、ii) そのモデルに対して試行実験を繰り返して行って、iii) 得られた実験結果を統計的に解析してシステムの性能を推定する、という流れになります。1回の試行実験の結果は、モデルのふるまいを支配する確率分布から抽出される1つの標本に過ぎないため、より精度の良い推定を行うためには、それだけ多くの試行実験を繰り返さなければなりません。

さらに、あるシステム・パラメータに関して感度分析や最適化などを行おうとすると、パラメータの値を変更する度に上記のii), iii)の手続きを繰り返すことになってしまいます。

今回の特集では、このようなシミュレーションにかかる手間や時間を少しでも減らすことができないかという観点から、離散事象シミュレーションの数理的な側面に関する最近の話題を集めてみました。紹介されている手法はどれも、モデルの確率的な構造に着目して、それを上手に利用することによってシミュレーションを効率良く実行しようというものです。

まず逆瀬川浩孝氏（早稲田大学）には、はじめにシミュレーションの統計的な側面について説明して頂きました。これによって、後の記事で紹介される様々な効率化手法の意義がより伝わると思います。そして、試行実験の回数を増やさずに結果の信頼性を高める方法、すなわち推定量の分散を小さくする方法について、いくつかの手法を概観して頂いた後、その応用として、最近要求が増している稀な現象の生起確率を推定する問題についても述べて頂きました。

確率過程が再生時点列（その時点以降の確率過程のふるまいが、それ以前とは確率的に独立で同一な型を繰り返すような時点列）をもつ場合に、それを利用してシステムの定常状態での性能を推定する方法は従来から良く知られています。Marvin K. Nakayama氏（New Jersey Institute of Technology）には、確率過程が複数の再生時点列をもつ場合に、比較的短いサンプルパスによって効率良く精度の良い推定値を得る方法を2つ紹介して頂きました。どちらもNakayama氏自身らが最近提唱している手法で、大規模マルコフ連鎖のように、再生時点の間隔が長くなる反面、複数の再生時点列が存在するモデルに有効です。この記事は小沢利久氏（駒澤大学）に翻訳して頂きました。

現実のシステムは、その設計や運用に関する様々なパラメータを持っています。パラメータの値を動かしてシステムの性能を良くしたいとか、パラメータが性

能に及ぼす影響の大きさを調べたいというときに、いちいち実際にパラメータの値を変えて、その度にシミュレーションを実行するのはとても手間がかかります。次の3件は、このようなシステム・パラメータに関する感度分析ならびに最適化に関する話題です。まず、パラメータが連続量である場合に、そのパラメータに関する性能評価量の勾配を推定する方法について、筆者が書かせて頂きました。ここでは、サンプルパスからのアプローチと確率分布からのアプローチを紹介しています。石崎文雄氏（南山大学）には、待ち行列システムの待合室の容量のようにパラメータが離散値をとる場合に、パラメータがある与えられた値のときのシステムを観測することによって、パラメータが別の値のときの性能を同時に推定する方法について解説して頂きました。やはり、サンプルパスを構築する方法と分布間に成立する関係を用いる方法とが取り上げられています。ここで紹介されている手法は、観測される事象とその生起時刻の系列のみを用いていますので、シミュレーションに限らず、実際に稼働しているシステムを観測しながらオンラインで並列推定を行う際にも利用できるものです。最後に、石塚陽（上智大

学）・山下英明（東北大学）両氏には、シミュレーションの1回の試行によって得られる性能指標の標本を目的関数として、パラメータの最適値を推定する方法について説明して頂きました。乱数列を固定して確定的な最適化問題に帰着させることによって、既存の数理計画法が利用できるというものです。

本特集で紹介されている手法は、確かにどんなモデルにでも適用できるというものではないかもしれませんが、しかし、モデルの確率的な構造に着目することによって、少しの工夫でシミュレーションにかかる手間と時間を節約できるという例を示しています。こうした手法が今後発展していくためには、確率モデルの研究者と離散事象シミュレーションの利用者、そしてツール開発者との間の連携が必要です。これらの方々にとって、この特集が一助となれば幸いです。

最後に、執筆者ならびに翻訳者の方々には、お忙しいところ原稿の執筆、翻訳を快く引き受けて頂きました。特に、山下先生には編集委員という立場からも数々のアドバイスを頂きました。厚くお礼申し上げます。また、事務局の方々にも色々とお世話になりました。深く感謝致します。