

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 6 月 19 日現在

機関番号：12703

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2009～2012

課題番号：21510141

研究課題名（和文） 高次元システム解析への準モンテカルロ法適用のための基礎的研究

研究課題名（英文） Research on the application of quasi-Monte Carlo method to high-dimensional system analysis.

研究代表者

諸星 穂積 (MOROHOSI HOZUMI)

政策研究大学院大学・政策研究科・教授

研究者番号：10272387

研究成果の概要（和文）：

時間と共に変化する高次元システムを分析するために必要な数値計算の手法を研究した。具体的には、準モンテカルロ法という数値積分を高速に行うために使われる手法を、高次元システムに適用するためにどのような工夫をしたらよいか、いくつかの代表的な問題を選んで数値実験によって検討した。アルゴリズムを提案し、既存の方法と比較して、必要な計算時間がかなり短縮されることを実験的に確認した。

研究成果の概要（英文）：

Research on the application of quasi-Monte Carlo methods to high-dimensional dynamical systems is made with focusing on implementing practical algorithms for several high-dimensional problems occurring in state-space modeling and other complex systems. Some algorithms using quasi-Monte Carlo methods are proposed and have been proved to achieve extensive improvement in computational speed by several numerical experiments.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009 年度	700,000	210,000	910,000
2010 年度	700,000	210,000	910,000
2011 年度	600,000	180,000	780,000
2012 年度	600,000	180,000	780,000
年度			
総計	2,600,000	780,000	3,380,000

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：社会・安全システム科学，社会システム工学・安全システム

キーワード：システム工学，シミュレーション，応用数学

## 1. 研究開始当初の背景

モンテカルロ (MC) 法を、高次元の状態方程式モデルや複雑なシステムの分析に用いることに、多くの関心が集まっている。システムが複雑化した場合、モンテカルロ法が有力な手法となるが、その際、通常の乱数を用いるモンテカルロ法では、計算速度が遅いという問題が生じる。システム分析のためには当該

システムを構成するパラメータの推定が重要であるが、この推定計算のためには膨大な計算時間が必要となり、実用化の障害になっている。一方、様々な問題例で、準モンテカルロ (QMC) 法という手法が、モンテカルロ法よりはるかに高速度で対象となる計算を行うことが実証されてきている。システム分析における計算量の問題を改善するために、準

モンテカルロ法を適用することを試みようと考えた。

## 2. 研究の目的

(1) 大規模な高次元システムの解析手法として注目を集めているマルコフ連鎖モンテカルロ法(MCMC法)に対して、準モンテカルロ法を適用するためのアルゴリズムを開発することを目的とする。被積分関数が所与である場合を念頭に、高次元数値積分に適用するために開発されてきた準モンテカルロ法を、遷移確率のみが与えられているMCMC法に適用するためのアルゴリズムの改良検討を行い、準モンテカルロ法の本来の性能を生かすことのできる計算法を考案する。

(2) モンテカルロ法で用いられるいろいろな計算高速手法が、準モンテカルロ法においても有効か検討する。分散減少法と総称されるこれらの手法は、実際にマルコフ連鎖モンテカルロ法による状態方程式モデル解析でも頻繁に利用されており、乱数を準乱数に置き換えた場合にもそれらの手法が利用可能かどうかについて、実験的に確認する必要がある。

(3) ネットワークの信頼性に関して、モンテカルロ法、準モンテカルロ法の適用可能性を調べる。

## 3. 研究の方法

いくつかの具体的な問題を選択し、数値実験によって、アルゴリズムの有効性を検討する。取り上げる問題としては、状態空間モデルによるデータ分析で出現する尤度計算、待ち行列の過渡的状态、ネットワークの信頼性などを考える。対象問題毎に、適切なアルゴリズムを案出し、実装したのち、多くの数値実験を行って検討を加える。得られた結果について、学会等で研究発表を行い、討論を通じて客観的評価に勤める。併せて最新の知識を収集する。論文発表を通じて結果の公開を行う。広くまた関連領域の知見を集めて、本研究の進捗への寄与を図るため、研究会等を開催する。

## 4. 研究成果

(1) 待ち行列に関する既存研究の再検討を通じて、予備的実験として、準モンテカルロ法の適用についての可能性を調べた。これは、M/M/1の過渡的状态のシステム特性を、通常のモンテカルロ法と準モンテカルロ法で比較して計算したものである。両方法の計算結果を調べることで、準モンテカルロ法による計算の不偏性と、計算速度の向上を確認した。

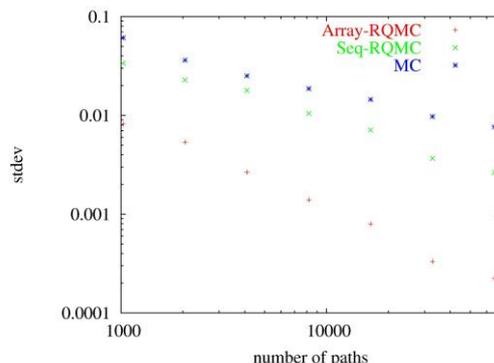


図1. 待ち行列のMC法とQMC法の計算速度の比較。

(2) 代表的な状態方程式モデルの例を調べ、準モンテカルロ法の適用を行った。具体的にはいわゆる目標物追従問題におけるフィルタリングをとりあげ、主としてモデルの尤度計算に関する実験を行い、いくつかの工夫を用いることで計算速度の向上が図れることを実験的に確認した。ここでは、従来モンテカルロ法をフィルタ問題に適用する際に、使われていたいくつかの手法が、準モンテカルロ法を用いる場合でも、有効に機能することを確認した。

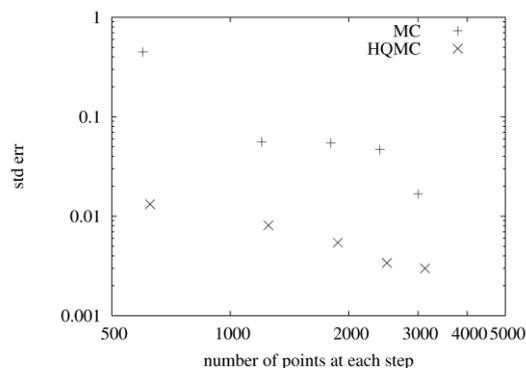


図2. フィルタ問題の尤度計算の誤差の減衰。

引き続き、典型的な時系列モデルや確率ボラティリティモデルへの適用を行い、最尤法によるパラメータ推定の問題に取り組んだ。尤度計算の速度は、準モンテカルロ法を用いることで、確実に向上することが計算上確認された。また最尤法の利用の可能性について検討するため、人口的に発生させたデータを用い、パラメータをいろいろ変化させて尤度の変化を観察したところ、いくつかのパラメータについてはおおよそ正しい値を推定することが可能であった。推定が難しいパラメータも存在するが、これは通常のモンテカルロ法においても存在する問題で、今後の課題となる。

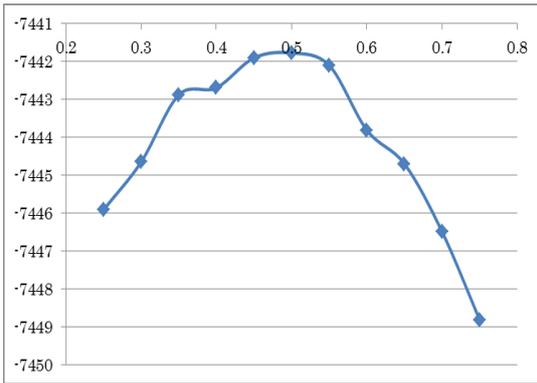


図 3. パラメータを変化させたときの対数尤度の変化例.

(3)大規模な空間的待ち行列の例として、救急サービスを取り上げ、モンテカルロ法によるシミュレーションを行った。現実のデータとシミュレーションの結果が概ねよい一致を得たので、施設配置問題などと組み合わせた利用を提案した。今後は、この方法に準モンテカルロ法を適用していくことが課題として残っている。

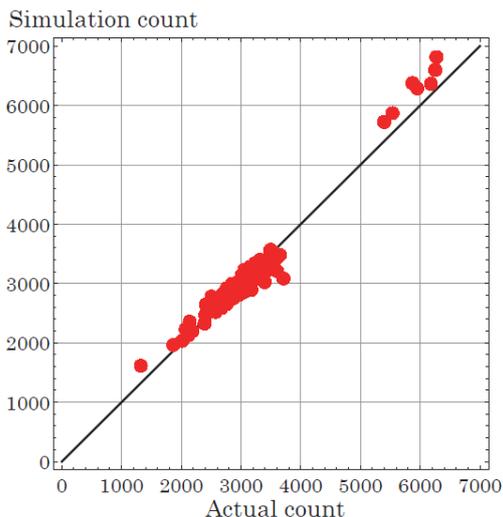


図 4. シミュレーションと実データとの出場件数の一致度の確認.

(4)ネットワークの信頼性測定のためのアルゴリズムを検討した。ネットワークの破損状況に応じて、連結性やネットワーク内の距離分布がどのように変化するか調べる手法を提案し、典型的な形状のグラフで調べたのち、現実の道路網などに適用してみた。アルゴリズムはモンテカルロ法に基づくものであり、信頼性測定のひとつの尺度として機能するものと考えられる。計算時間を短縮するために、今後は準モンテカルロ法による高速化が課題である。

(5)研究領域の拡大を図るため、関連分野の研究者を招いて研究講演会を年数回行った。これらの研究会で取り上げた主なテーマは、データ同化、ベイズ計算、ランダム化アルゴリズム、グラフ上のランダムウォークなどである。異分野の研究者との情報交換により、新しいテーマの相互的開拓につながったと考える。

(6)以上の研究成果をまとめ、学会発表や、論文発表(雑誌、会議録を含めた査読論文 4編)を行った。また数編の論文を継続して作成中である。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 2 件)

1. H. Morohosi: Measuring the network robustness by Monte Carlo estimation of shortest path length distribution, *Mathematics and Computers in Simulation*, Vol. 81(2010), pp. 551-559, DOI:10.1016/j.matcom.2010.07.022. (査読有)
2. K. Kobayashi, H. Morohosi, and T. Oyama: Applying path-counting methods for measuring the robustness of the network-structured system, *International Transactions in Operational Research*, Vol. 16(2009), Issue 3, pp.371-389, DOI: 10.1111/j.1475-3995.2008.00688.x. (査読有)

[学会発表] (計 7 件)

1. H. Morohosi and T. Furuta: Hypercube simulation analysis for a large-scale ambulance service system, *Proc. 2012 Winter Simulation Conference*, C. Laroque, J. Himmelspace, R. Pasupathy and A. M. Uhrmacher (eds.), Berlin, 2012/12/12. (査読有)
2. H. Morohosi: Hybrid quasi-Monte Carlo method for the simulation of state space models, *Operations Research and its Applications (The Sixth International Symposium, ISORA' 08 Proceedings)*, X.-S. Zhang, D.-G. Liu, L.-Y. Wu and Y. Wang (eds.), pp. 83-88, 2011/8/28, Dunhuang, china. (査読有)
3. T. Furuta and H. Morohosi: Applying covering models to ambulance system of megalopolitan area in Japan, *INFORMS HealthCare 2011*, 2011/6/20-22, Montreal.
4. 諸星穂積, 動的確率システムの準乱数シ

シミュレーション, 日本応用数理学会 2010 年度年会, 2010/9/6-9, 明治大学.

5. 諸星穂積, 準乱数による確率分布シミュレーション, ペレーションズ・リサーチ学会 2011 年春季研究発表会, pp. 154-155, 2011/3/17-18, 電気通信大学 (震災のため予稿集のみ発行).

6. 諸星穂積, 準乱数によるマルコフ連鎖計算の試み, 日本オペレーションズ・リサーチ学会 2010 年春季研究発表会, pp. 42-43, 2010/3/4-5, 首都大学東京.

7. 田中雪江, 諸星穂積, シミュレーションを用いた救急車配置の効率性分析の試み, 日本オペレーションズ・リサーチ学会 2009 年秋季研究発表会, pp. 249-250, 2009/9/9-10, 長崎大学.

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

諸星 穂積 (MOROHOSI HOZUMI)  
政策研究大学院大学・政策研究科・教授  
研究者番号: 10272387

### (2) 研究分担者

大山 達雄 (OYAMA TATSUO)  
政策研究大学院大学・政策研究科・教授  
研究者番号: 30134323

### (3) 連携研究者

伏見 正則 (FUSHIMI MASANORI)  
南山大学・数理情報学研究科・教授  
研究者番号: 70008639

駒木 文保 (KOMAKI FUMIYASU)  
東京大学・情報理工学系研究科・教授  
研究者番号: 70242039