

審査の結果の要旨

氏名 鎌谷 研吾

論文提出者鎌谷研吾は、高次元積分およびベイズ統計量の計算に適した、マルコフチェイン・モンテカルロ法の収束に関する理論的な結果を、修士課程のときより研究し、博士課程においてさらに発展させた。マルコフチェイン・モンテカルロ法は90年代以降に発展した分野であるが、普遍的な積分計算法としてその応用範囲は広く、計算機の発達とともにアルゴリズムの開発とその収束に関する理論的な研究が求められている。マルコフチェイン・モンテカルロ法の収束の証明は、その手法の理論的根拠となるため、最も重要な問題といえる。この問題の解決はマルコフチェインのエルゴード性を示すことにあるが、マルコフチェイン・モンテカルロ法においては、相空間が一般の非コンパクト空間であり、その場合のエルゴード性の証明は確率論的に高度なものになる。鎌谷は大学院での研究において、それまで限定的な場合でしか証明されていなかったメトロポリス・ヘイスティングスアルゴリズムのエルゴード性を、ある種の確率論的な新しい評価法を導入することで、極めて一般的な状況で証明することに成功した。この結果と関連する極限定理についてまとめた論文は国際誌に掲載予定である（オンラインではすでに掲載されている）。

マルコフチェイン・モンテカルロ法は統計推測における計算手法として日常的に利用されているが、収束の理論的根拠はほとんどの場合、データ数を固定した下で数値計算アルゴリズムの収束性として扱われている。しかしながら、このような計算法が必要となるのは、必然的にモデルが非線形な場合であり、その場合の統計手法の理論的根拠は、データ数が大きくなるいわゆる大標本理論でのみ与えられ、実際の応用分野においてもそのような状況が研究の対象とされる。このように、従来の理論は実際と乖離があり、統計的漸近理論の構造がこの分野であまり意識されてこなかったようだが、漸近論に基づく方法によると、アルゴリズムの大域的収束を与えることが可能になり、より現実的かつ実用的な計算法の理論的裏打ちがなされることになる。漸近理論によるブートストラップ法の解明も漸近的方法による成功例だったが、そのような漸近論的アプローチがこの分野ではまだ十分ではない。鎌谷はこのような独自の視点から、EMアルゴリズムやギブスサンプラーの実用に資する、収束に関する研究を行い、新しい結果を与えた。この仕事は、とくにサンプリングスキームの確率過程への収束など、独自の極限定理を与えていて興味深いものである。この研究によって、EMアルゴリズムとギブスサンプラーという伝統的なアルゴリズムの収束が大域的な意味で正当化されたことになり、また、フィッシャー情報行列に関連する行列を用いて、複数のアルゴリズムを比較する実際的な方法を提案した。

さらに、この論文が展開した新しい漸近理論はその方法が一般的であるため、EM アルゴリズムやギブスサンプラーよりも複雑なアルゴリズムの漸近挙動の解明に役立つことが期待できる。

マルコフチェイン・モンテカルロ法の適用範囲を広げ、漸近的方法による独自の視点を与えた本論文の意義は大きなものである。よって、論文提出者 鎌谷研吾 は、博士（数理科学）の学位を受けるにふさわしい十分な資格があると認める。