

書評

『非線形カルマンフィルタ』

谷崎 久志 (大阪大学大学院経済学研究科)

片山 徹 著

朝倉書店

2011年11月25日発行, viii+179 pp.

価格: 3200円+税

ISBN978-4-254-20148-2

本書は、著者も「まえがき」で述べているように、片山(1983)『応用カルマンフィルタ』(朝倉書店)、または、片山(2000)『新版 応用カルマンフィルタ』(朝倉書店)の続編という位置づけとなっている。片山(1983, 2000)では線形システム(非線形の場合でも、線形近似)が主に扱われているのに対して、本書では非線形システムが主に扱われている。本書は8つの章から構成され、概要は下記の通りとなっている。

第1章「はじめに」では、カルマンフィルタとその後発展した非線形フィルタの歴史的な流れと本書の構成が述べられている。線形から発展した最も簡単な非線形フィルタは拡張カルマンフィルタと呼ばれるもので、非線形システムをテーラー展開して線形近似し、カルマンフィルタのアルゴリズムにそのまま当てはめるといえるものである。この方法は近似の精度があまり良くないため、その後、様々な非線形フィルタが提案されることになった。

第2章「ベイズ推定の基礎」では、3章以降で使われる基礎知識がまとめられている。ベイズの定理から始まり、情報行列、クラメール・ラオ不等式、多次元ガウス分布、等価線形化(equivalent linearization)などについて解説されている。

第3章「カルマンフィルタ」では、線形システムが簡単に解説されていて、片山(1983)の縮小版と言えるであろう。ただし、片山(1983)では直行射影などを用いてカルマンフィルタとスムーザのアルゴリズムを導出しているのに対して、本章では分布関数に基づいてアルゴリズムが導出されている。

第4章「非線形フィルタリングと情報行列」では、非線形システムに未知パラメータが含まれている場合、状態変数とパラメータの同時推定を行う必要がある。本章では、未知パラメータを推定しながら、カルマンフィルタのアルゴリズムを実行する方法が示されている。

第5章「拡張カルマンフィルタ」では、非線形関数を線形近似して、通常のカルマンフィルタのアルゴリズムに当てはめる方法を解説している。近似点をどこにするかによって、拡張カルマンフィルタ(Extended Kalman Filter, EKF)と繰り返し拡張カルマンフィル

タ (Iterated Extended Kalman Filter, IEKF) の2種類に分かれる。IEKFは収束計算を必要とする。さらに、等価線形化カルマンフィルタ (Equivalently Linearized Kalman Filter, EqLKF) についても言及されている。EqLKFはアルゴリズムの中で非線形関数の期待値を評価する必要がある。

第6章では、Unscented変換を用いるUnscentedカルマンフィルタ (Unscented Kalman Filter, UKF) が紹介されている。これも期待値の近似点を増やして、近似精度をあげるという方法である。UKFはロボット工学の分野で発展してきた方法で、分野によっては馴染みの薄い手法である。

第7章では、アンサンブルカルマンフィルタ (Ensemble Kalman Filter, EnKF) が解説されている。アンサンブルとは粒子またはノードのことで、アンサンブルによって分布関数を近似するという方法である。近似の精度はアンサンブル数に依存する。EnKFは気象学の分野で発展してきた手法で、UKFと同様に、分野によってはあまりよく知られていない。

第8章「粒子フィルタ」は1990年代半ば以降に発展した非線形フィルタである。7章までのフィルタやスムーザはあくまでも近似であり、どのようにしても正確な状態変数の推定値を得ることは出来ない。それに対して、粒子フィルタ (Particle Filter, PF) は分布関数から直接乱数を生成するというものであり、誤差項 (すなわち、非線形システムの雑音) の分布関数の仮定が現実的であれば乱数の数を増やすとフィルタやスムーザの分布関数の形状を正しく求めることができ、フィルタやスムーザなどを正確に得ることが出来る。近年のパーソナル・コンピュータの目覚ましい進歩につれて、発展してきた手法である。

本書の構成は以上である。筆者が大学院生のころに片山(1983)で、カルマンフィルタを勉強し、経済学の分野に応用した (当時は、経済構造が時間とともに変化するという可変パラメータ・モデルについて研究していた)。その後も引き続き、非線形フィルタと非線形スムーザの推定問題に興味を持ち研究を続けていた。片山(2000, 2011)の姉妹書2冊を読めば、線形から非線形までカルマンフィルタとスムーザのすべてが理解できるといっても過言ではない。

しかし、1990年代以降、筆者の研究分野の経済学では、非線形システムに含まれるパラメータの推定にはベイズ推定が用いられることが多い。そこでは、マルコフ連鎖モンテカルロ (Markov Chain Monte Carlo, MCMC) による乱数生成法を利用してパラメータとスムーザが同時に推定される。非線形システムの推定には、この「ベイズ推定+MCMC」が今やある分野 (少なくとも経済学の分野) では主流になっている。この辺りの議論が本書では欠けているのが少し残念ではあるが、いずれにしても、カルマンフィルタとスムーザを勉強する上で、本書が必読の書であることは間違いない。