

審 査 の 結 果 の 要 旨

氏 名 高橋聡一郎

論文題目：Asset Management with Fuzzy System and State Space Modeling
(ファジィ・システムと状態空間モデルに基づく資産運用)

高橋聡一郎氏の博士論文は、資産運用等金融実務における活用を念頭におき、ファジィ・システム及び状態空間モデルに関する新手法の提案とその有効性を示す実証分析についての研究成果を報告している。尚、本博士論文は、資産運用に資する新しいファジィ・システムの提案・実証に関する研究（第 I 部：第 1,2 章）、状態空間モデルに基づく投資問題への新手法の提案・実証に関する研究（第 II 部：第 3,4 章）及び、ファジィ・システムの学習を状態空間モデルの枠組みの下で実施するための新手法の提案・実証に関する研究（第 III 部：第 5,6 章）の 3 部 6 章により構成されている。

第 I 部（Part I）では、主に資産運用に適用するための新しいファジィ・システムを構築する研究を行った。ファジィ・システムは、数学者・計算機科学者 L.A. Zadeh により提唱された概念「ファジィ」に基づき推論を行う AI である。特に、人間の総合的・多層的な意思決定過程を計算機上で実現する点に特徴がある。また、基本的に IF-THEN ルールの集合により推論内容が規定されるため、専門家の定性的な知識を表現することに適しており、エキスパート・システム(expert system)の設計に効果的に利用される。

まず第 1 章、第 2 章では、ファジィ・システムの資産運用への適用方法について新しい観点を提示した。即ち、従来のファジィ・システムに基づく運用モデルでは、採用する投資手法やテクニカル指標そして付随するパラメータ、システムの構成等に大きな自由度がある故に、その運用成績が安定しない問題があった。そこで、運用成果を示す主要な指標に基づき投資モデルを評価する新しいファジィ・システムを設計し、これを事前に想定しうる多数の異なる運用モデル候補に適用することにより相対的に良好で安定した運用成果が実現可能であることを国際分散投資や日本株のポートフォリオ運用シミュレーションにより示した。

第 II 部（Part II）では、状態空間モデル(state space model)の資産運用への新しい適用方法を提案した。第 3 章では、株式及び債券の月次リターンデータに対して、期待リターンとボラティリティを粒子フィルタにより同時に推定する新手法を提案し、国際分散投資に関するシミュレーション分析によりその有用性を示した。第 4 章では、複数の異なるタイプの投資家の売買により変化する市場価格を状態空間モデルにより表現する新手法と、それに基づく資産運用に対する新しい予兆的リスク管理(proactive risk management)方法を

提案し、その有効性を米国株式インデックスの実データを用いた実証分析により示した。

最後に第 III 部 (Part III) においては、状態空間モデルの枠組みの中でファジィ・システムの学習を行う新手法を提案した。即ち、ファジィ・システムを現実の問題に適用する際には、複数の選択肢の中からどのルール構成を選択するか、或いはモデルのパラメータを如何に決定するかという課題が存在する。これを昨今の AI 技術の中心課題である機械学習の方法論の問題として捉え、本研究では資産運用という現実的な問題の下でその新しい方向性を探求した。

特に、ファジィ・システムには様々な既存の学習手法が存在するが、その多くは静的な環境を想定したものである。一般的に機械学習手法の主流は、ニューラルネットワークの深層学習のような定常状態におけるバッチ学習である。しかし、金融時系列データでは、非定常な動的環境を想定したオンライン学習の方が有用であると考えられる。そこで第 5 章では、ファジィ・システムの機械学習を、状態空間モデルにおける状態推定の問題として再解釈することにより、動的環境下での適応的学習(adaptive learning)が可能となることを示した。特にこの状態空間モデルに基づく学習方法は、誤差関数が制約される既存研究とは異なり最適化における目的関数の自由度が高い。例えば、特定のペイオフを持つポートフォリオを実現するようにファジィ・システムを学習させるという、既存の学習方法では困難な目的を達成することが可能となった。また併せて、状態空間表現に基づき、静的状況を想定した既存の機械学習手法を動的に拡張する方法を開発し、より信頼性の高い学習が実現された。その有用性は、米国と日本の株式・債券に関する資産配分問題において検証され、提案したモデルは、ベンチマークとして採用した静的な環境下での学習手法(粒子群最適化法)を頑健に上回る投資成果が得られた。さらに 6 章 では、これまで使用してきた「タイプ 1 ファジィ・システム」自体をさらに一般化した、所謂「タイプ 2 ファジィ・システム」に対して前章で示した手法を適用した。このタイプ 2 ファジィ・システムに対し状態空間モデルに基づく適応的学習機能を適用することにより、タイプ 1 の場合よりも優れた意思決定が可能となることを日米独英の株式および債券の実データを用いた運用シミュレーションにより示した。

尚、本博士論文を構成する内容は既に査読付き国際英文誌に 3 本、査読付き和文誌に 1 本が掲載され、査読付き国際英文誌に 2 本が投稿中である。以上により、高橋氏の論文は、博士学位を授与するに十分な水準に達していると審査委員全員一致で判断した。

よって本論文は博士(経営学)の学位請求論文として合格と認められる。

令和 2 年 12 月 27 日

審査委員: 高橋明彦(主査), 佐藤整尚, 藤井優成, 白谷健一郎, 斎藤大河