

審査の結果の要旨

論文提出者氏名 田代 雄介

現代社会においては多くの金融商品が取引されているが、その価格を合理的に定めるために確率論や最適化理論に基づく高度に数理的な方法が用いられている。代表的な金融商品であるオプションの合理的な価格を決定する問題は、1970年代の Black-Scholes 公式の導出や 1980年代の無裁定価格理論の確立など、ファイナンスの分野における一つの主要なテーマとなってきた。さらに、最近では、電力やガスのようなエネルギーを原資産とするスウィング・オプションに関する研究が主に海外において活発に行われるようになってきている。オプション価格評価には様々な数理的な手法が用いられているが、その中に 2000年代初頭に考案された双対アプローチと呼ばれる手法がある。この手法は、オプション価格付け問題の双対問題をモンテカルロ法によって近似的に解くもので、オプション価格に対する上からの近似値を与えるという特徴がある。双対アプローチは、当初アメリカンオプションに対して考案されたものであるが、近年いくつかのオプションに対して適用され、その有効性が認められてきた。

本論文は、スウィング・オプションのいくつかの変種に対して、双対アプローチと数理計画を用いた価格評価法を提案するものである。特に、典型的な制約をもつスウィング・オプションに対して、双対アプローチによる新たな価格評価法を提案している。また、典型的制約よりも広いクラスである時変制約つきスウィング・オプションに対して、双対アプローチを利用した効率的な価格評価アルゴリズムを提案している。

本論文は「双対アプローチを中心としたスウィング・オプションの価格評価法」と題し、7章からなる。

第1章「はじめに」では、スウィング・オプションの価格評価に関連したオプション価格評価の歴史ならびに先行研究を概観した後に、本論文の構成を記述している。

第2章「基本事項」では、まず、本論文に登場するオプションの定義をはじめとする数学的な議論の準備を行っている。次に、本論文で用いる双対アプローチと数理計画によるオプション価格評価の先行研究についてまとめ、最後に本論文の目的や位置づけを説明している。

第3章「2値選択制約つきスウィング・オプションに対する双対アプローチ」では、変更量として2値のみが選択可能なスウィング・オプションに対して、双対アプローチによる価格評価法を拡張している。スウィング・オプションは権利行使において量の自由度をもつため、先行研究における手法ではその価格評価を行うことができない。そこで本章では、オプション価格の権利行使回数に関する2階差分に着目し、2階差分を評価することによって価格を評価する手法を提案している。さらに、いくつかのオプションに対して価格評価を行った数値例を与えることにより、提案手法の近似精度を評価している。

第4章「典型的制約つきスウィング・オプションに対する双対アプローチ」では、各期の変更量に対する上下限制約と変更量の総和に対する制約がついた典型的なスウィング・オプションに対して、双対アプローチによる価格評価法を2種類提案している。第一の方法は、第3章の提案手法で得られる価格を用いた方法である。第二の方法は、オプション価格の権利行使回数に関する3階差分を用いる方法である。数値例を通じて、前者の方法で得られる価格の方が小さなバイアスをもつ場合が多いことが示されている。

第5章「時変制約つきスウィング・オプションに対する双対アプローチ」では、各期の変更量の上下制限が時変であるスウィング・オプションに対して、双対アプローチによる価格評価を拡張している。時変制約は第3章、第4章で扱ったオプションの制約を一般化したものであるが、第3章、第4章で提案された価格の差分を利用する手法の拡張は困難である。本章では、オプション価格付け問題に対して、変更量を表す変数に関する双対問題を導出している。さらに、その双対問題の近似解を求めるアルゴリズムとして、初期時点から前向きに許容解を構成する方法と満期から後ろ向きに構成する方法の2つを提案し、数値例によって、後者のアルゴリズムの方が近似解のバイアスが小さくなることを報告している。

第6章「シナリオ格子上での数理計画によるスウィング・オプションの価格評価」では、典型的制約つきスウィング・オプションに対する数理計画を用いた価格評価法について論じている。数理計画を用いたオプション価格評価では、期間の増大に伴う問題サイズの急激な増大が問題となる。本章では、最適変更量もつ性質を明らかにし、この性質を利用することによって、サイズの小さいシナリオ格子上での価格付け問題を導き、これを線形計画として定式化している。さらに、問題設定を不完備市場に拡張した場合の価格評価法について論ずるとともに、数値例を与えている。

第7章「まとめ」では、本論文の成果を纏めると共に、今後の課題について述べている。

以上を要するに、本論文は双対性を利用していくつかのスウィング・オプションに対する価格評価法を提案したものであり、数理情報学の発展に大きく貢献するものである。

よって本論文は博士（情報理工学）の学位請求論文として合格と認められる。