

論文の内容の要旨及び論文審査の結果の要旨の公表

学位規則第 8 条に基づき、論文の内容の要旨及び論文審査の結果の要旨を公表する。

○氏名	中津 智則 (なかつ ともりのり)
○学位の種類	博士 (理学)
○授与番号	甲 第 955 号
○授与年月日	2014 年 3 月 31 日
○学位授与の要件	本学学位規程第 18 条第 1 項 学位規則第 4 条第 1 項
○学位論文の題名	A study on the density and sensitivity analysis concerning the maximum of SDEs (確率微分方程式の最大値に対する密度関数、及び感応度分析に関する一考察)
○審査委員	(主査) コハツ-ヒガ アルトゥーロ (立命館大学工学部教授) 赤堀 次郎 (立命館大学工学部教授) 藤家 雪朗 (立命館大学工学部教授)

<論文の内容の要旨>

学位申請者は、Wiener 空間上で定義された確率過程の最大値に関する無限次元解析を行った。そのために、マリアヴァン解析 (Malliavin Calculus) を使用して新しい結果を得られた。特に、確率微分方程式の係数が最大値に依存する場合には密度関数の存在を証明した。この結果は、論文としてまとめられ国際的な雑誌に出版された。

関連している課題として一次元の確率微分方程式の解の最大値による金融商品に関する感応指数に関して研究を行った。金融商品価格を計算するためには、確率的なモデルを仮定し、そのモデルに対して計算を行うべきである。市場の状況が複雑であるため使用するモデルによっては、具体的な計算が困難であるためにモンテカルロシミュレーションを行う場合が多い。中津氏の理論的な結果に沿ってシミュレーションを行った。特に、商品価格の最大値感応度 (extrema sensitivity)、終着地感応度 (terminal sensitivity)、ドリフト感応度 (drift sensitivity) を定義し、それらの計算に取り組んだことによって金融の観点から非常に意味のある結果を得た。応用例として SV モデルで使った契約価格の安定性について検討できた。バイナリーオプションという金融商品の応用も考え、上記の感応度の計算にも取り組んだ。この場合の特徴はペイオフが滑らかでないため、カーネル法 (kernel method) を使う必要があり、その技術を学んで実際の計算を行った。これらの成果をまとめた論文を現在投稿中である。今後も同様のテーマでさまざまな問題を考え、将来性のあるテーマ

で研究を行う。

<論文審査の結果の要旨>

1. 確率微分方程式の係数が最大値に依存する場合について紹介されたが、**quantile**、**median**などの場合についてはどのようになるのかについて質問があった。この場合では微分が存在すれば同様な議論が可能であるが非常に複雑になっているため、場合に応じて議論を行うべきであることを示した。

2. 金融商品におけるバリアーの感応度について議論した結果について詳しく説明がなされた。バリアーの値によって無視してよい環境が存在し、その代わりに満期価格が大事となってくる。その逆の場合も存在し、中津氏の研究においてそのことが数字として明確となった。モデルの観点からは、**Black-Scholes** モデルに限らず、例えば **SV** モデルでも適応できるという成果を示した。

3. 最大値を扱っているが、数学的にはどこが問題点であるのかについては、最大値の滑らかさが限られているので1回微分が可能であるが、2回は微分が不可能である。一次元の場合では **Lamperti** 変換を使うことで拡散過程の最大値の代わりにブラウン運動の最大値を考えてもよいという結果であった。

4. 停止時間に議論を拡張する場合、どこに問題が発生するかについて質問がなされた。その際は、通用の **Malliavin** 解析の適応が難しいため、おそらく **Bismut** 氏による方法が適切ではないのか、また場合によって反射原理を用いることも可能だが、滑らかになるモデルを目指すべきなのでその点が難しいという指摘があった。

以上、非常に応用的な結果であり、これからもこのテーマを展開することに期待が高まり議論が終了した。

本論文の審査に関して、2014年1月31日（金）15時00分～15時40分ウエストウイング7階数学第1研究室において公聴会を開催し、学位申請者による論文要旨の説明の後、審査委員は学位申請者中津智則に対する口頭試問を行った。各審査委員および公聴会参加者より、最大値の解析、バリアー感応度、停止時間などの質問がなされたが、いずれの質問に対しても学位申請者の回答は適切なものであった。よって、以上の論文審査と公聴会での口頭試問結果を踏まえ、本論文は博士の学位に値する論文であると判断した。

<試験または学力確認の結果の要旨>

本論文の主査は、学位申請者と本学大学院理工学研究科総合理工学専攻博士課程後期課程在学期間中に、研究指導を通じ、日常的に研究討論を行ってきた。また、本論文提出後、主査および副査はそれぞれの立場から論文の内容について評価を行った。

学位申請者は、本学学位規程第18条第1項該当者であり、論文内容および公聴会での質疑応答を通して、学位申請者が十分な学識を有し、博士学位に相応しい学力を有している

と確認した。

以上の諸点を総合し、学位申請者に対し、本学学位規程第 18 条第 1 項に基づいて、「博士（理学 立命館大学）」の学位を授与することが適当であると判断する。

と確認した。