

## 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	劉 念麟 (りゅう ねんりん)
○学位の種類	博士 (理学)
○授与番号	甲 第 705 号
○授与年月日	2011 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	<b>On Robustness of Principal Component Analysis applied to Term Structure of Interest Rates</b> (金利期間構造の主成分分析の妥当性について)
○審査委員	(主査) 赤堀 次郎 (立命館大学理工学部教授) 大坂 博幸 (立命館大学理工学部教授) 藤家 雪朗 (立命館大学理工学部教授)

### <論文の内容の要旨>

劉氏の研究は、数学的な観点から金利の期間構造に対する主成分分析の妥当性を論ずるものである。

金利の期間構造を「要因」に分解するために主成分分析を適用するという手法は 1990 年代から広まり、今日では標準的な手法となっている。その最も大きな理由は、主成分分析によって本来超高次元(100--1000 次元)の確率過程である金利の期間構造が、2, 3 の「要因=factor」によって説明できる、という結果が得られるというところにある。ところが一方、主成分分析の正当性・妥当性が担保されるためには、金利が(超高次元において)ランダムウォークをしている---定常独立増分過程である---ということが必要である。この「仮定」は実は「無裁定条件」とよばれる数理ファイナンスの基本原則と、金利の期間構造の場合には、矛盾する。ランダムウォーク仮説と無裁定原理が矛盾しないためには、主成分分析はフォワード金利の期間構造に対しておこなわれなければならない(Akahori-Aoki-Nagata)。

劉氏は最初の論文(Liu, JSIAM letters 2010)において、それを実行したが、そこで通常のコリレート(スポットレートと呼ばれる)に関する主成分分析とはまったく違う観測結果が出るということを発見した。これは経済学者や金融機関の実務家が信じていることと大きく食い違うことである。劉氏は次の論文(Akahori and Liu, International Journal of Innovative Computation, Information and Control, 2011)において、数学的なモデルを構成し、スポットレートとフォワードレートの主成分分析結果はスケール極限下では同じになるという

ことを証明した。

#### <論文審査の結果の要旨>

これによって、スポットレートの主成分分析結果の脆弱性がいよいよ明らかとなり、劉氏の研究は、世界の注目を集めることとなった。この脆弱性を説明するために現在準備中の論文において、劉氏はダミーデータを用いて、最初の論文で観測されたものと同様の結果が出るようなモデルを、膨大な試行錯誤の末に、構成することに成功した。そこでは、高周波数のノイズがよりフォワードレートの主成分分析において、増幅されて観測されるということが確認されている。

以上の成果をまとめたものが劉氏の博士論文である。この研究は金融工学における「金利リスク」のマネジメントに関わる重要な問題であるが(例えば、「埋蔵金」の評価などに直接関わる)、そこに数理ファイナンスの視点から新しい問題を提起し、そしてあらたな統計的事実を発見、さらにその数学的理論付けと、あらたなモデルの構成をおこなったものである。その内容はすでに国際的に高い評価をうけており、今後の研究の更なる発展が期待される。

本論文の審査に関して、2011年1月31日(月)15時~16時、ウエストウイング7F数学第1研究室において公聴会を開催し、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劉念麟氏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、主定理の証明の難所はどこにあったか、金利に対する主成分分析における固有値・固有ベクトルの意味は何か、この研究におけるひとつの課題となっている「第一種の過誤：とは何を意味するか、などの質問がなされたが、いずれの質問に対しても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、本論文提出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。

本論文提出者は、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、本論文提出者が十分な学識を有し、課程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、本論文提出者に対し、「博士(理学 立命館大学)」の学位を授与することを適当と判断する。