

[博士論文審査要旨]

申請者 加藤 健介

論文題目 A Study on Covariation and Contagion of Credit Risk using Bayesian Statistics(ベイズ統計を用いた信用リスクの共変動と伝播に関する研究)

審査員 中川秀敏、横内大介、中村信弘

金融機関のリスク管理では市場リスクと並んで、信用リスクの管理が重要である。信用リスクの顕著の特性は資金貸借、信用リスクのある証券・契約の取引などを通じて形成された信用リスクに関する相互依存関係をもつシステムで、信用事由の発生により生じる信用リスクの伝播現象や、双方向の信用リスクの相互作用に伴う共変動現象である。本研究の目的は、このような特性をもつ現象を解明するために理論モデルを構築し、数値実験や実証研究を通じてより深い理解を得ることである。併せて、信用リスク特有の潜在的変量を含む金融時系列の統計的推定方法の開発を行うことである。

本論文は、(1) 統計物理学の視点から信用リスクポートフォリオの損失分布、特に、債務者の集団的な振る舞いで生じる大きな損失を説明できる新たな信用リスク計測モデル構築に応用した研究、(2) クレジット金融商品の一つであるクレジット・デフォルト・スワップ(CDS)で、共変動性の一形態である共和分関係にある銘柄の分析と理論モデル構築・共和分投資の研究、(3) 資産価値の変動に基づく信用リスクの構造型アプローチで、特に株式価値が解析的に表現できないような一般化したモデルで、信用リスクの定量的計測を可能にするような新たな統計的推定方法の開発、の3つを研究内容とする。

第1の研究は、博士論文の第2章「Long-range Ising Model for Credit Portfolios with Heterogeneous Credit Exposures」で展開される。統計物理学で研究されてきた「強磁性体のイジングモデル」を与信ポートフォリオの信用リスク評価に応用したものである。債務者を原子のスピンと見立てて、非デフォルトのときアップ・スピン、デフォルトのときダウン・スピンのように債務状態を表現する。信用リスクの伝播は、スピンどうしの交換相互作用で表し、経済環境による信用リスクの発現はシステムの外側から働く外部相互作用で起きるとする。与信ポートフォリオでおきる債務者のデフォルトによる損失分布は、このイジングモデルのモンテカルロ・シミュレーションから求められるが、複雑な多次元スピン状態の多峰分布となるため、レプリカ交換モンテカルロ法を用いる。債務者の集団的振る舞いで生じるデフォルト連鎖で損失分布の裾にセカンドピークが現れるという発見は、標準的なMertonモデルのような信用リスク評価モデルでは説明できない損失分布の特徴であり、学際的知見に基づく優れた理論的貢献と言える。

第2の研究は、第3章「Cointegration Analysis of Hazard Rates and CDSs: Applications to Pairs Trading Strategy」で取り上げられる。本研究の新規性は、信用リスクの誘導型アプローチに基づきCDSスプレッドどうしの共和分関係を記述する連続時間の誤差修正モデルを構築した点にある。無裁定条件からCDSスプレッドの共和分性を反映した理論スプレッド

を導出し、日本企業の CDS を用いた実証研究でフィッティングの良さを確認している。更に、常微分方程式 (ODE) で表された理論スプレッドは、解析解が得られないタイプであるため、数値計算しながら、潜在的 2 次元ハザード・レート過程をベイズ推定する方法を開発している。これらの学術的貢献に加えて、共和分 CDS 銘柄のペア・トレードの投資戦略やリスク管理方法に考察を加えている点は実務的見地から評価できる。

第 3 の研究は、第 4 章「PDE-based Bayesian Inference of CEV Dynamics for Credit Risk in Stock Prices」で取り上げられる。信用リスクの構造型アプローチで信用リスクの計測を行う場合には、株式価値を観測量にして潜在過程である資産価値の統計的推定を行う。より一般的な資産価値過程を採用すると、株式価値の解析的解を導出するのが難しくなることがある。このような場合に対処するために、無裁定条件から導かれる株式価値が従う偏微分方程式を数値的に解く方法を組み合わせたベイズ推定によりモデルの統計的推定を可能にする方法論を開発した点が本研究の学術的貢献である。具体的な例として、CEV モデルで、この方法論の実データへの適用可能性を検証し、実際の金融機関を例にとって資産価値過程とデフォルト確率の特徴的推移の様子を捉えることに成功している。

以上で見てきたように、本研究は、信用リスクの共変動と伝播構造を研究テーマの中心に位置づけ、信用リスク評価に関する問題について、物理学の視点・技法を導入したり、複雑なモデルに対して有効な数値解法を提案したり、という点で学術的に十分な貢献が見られる。研究を遂行するにあたりベイズ統計学に基づく新しい統計的推定方法の開発にも挑戦した意欲的な研究と言える。また、本研究は学術的貢献だけでなく、金融機関の重要な課題である信用リスクの定量的分析・管理やクレジット商品の投資戦略に対する実務的なインプリケーションも少なからず与えている。

このような評価の一方で、本論文には幾つか課題も残されている。第 1 に、物理モデルを援用する場合、多くの候補から何故このモデルを選んだのか説得的に説明できないといけない。物理モデルを社会科学の現実的問題に適用する場合、モデルパラメータを如何に同定するのかという問題もある。その他、イジングモデルで考慮されていない因果性をもつ信用リスクの伝播方向に関しては、統計的グラフィカルモデルの有向グラフ理論を参考に検討してみるのもよいであろう。第 2 に、信用リスクの相互依存構造のある社債や CDS の価格付けや投資戦略を記述するための数理モデルの記述の仕方や数学的議論について、数理ファイナンスの視点から見ると粗い部分が散見される。第 3 に、金融商品が多くの状態変数に依存する場合、扱う偏微分方程式は高次元になり、有限差分法のような計算アルゴリズムでは数値計算できなくなる。最近では深層ニューラルネットワークを利用した高次元の偏微分方程式の解法の研究が進んでいるため、その活用などが考えられるであろう。

以上の通り幾つか今後の研究課題は残すものの、本論文は総合的に学位授与に足りる水準に十分到達していると認められる。よって審査員一同は、所定の試験結果をあわせて考慮して本論文の筆者が一橋大学学位規則第 5 条第 1 項の規定に準じた取扱により一橋大学博士（経営学）の学位を受けるに値するものと判断する。