

平成 21 年 3 月 31 日現在

研究種目：基盤研究（B）  
 研究期間：2006～2008  
 課題番号：18310109  
 研究課題名（和文） 統合金融リスク管理技術の研究：市場リスクと信用リスクの統合分析  
 研究課題名（英文） Research on Integrated Financial Risk Management Technologies:  
 Integration of Market Risk and Credit Risk  
 研究代表者  
 今野 浩（KONNO HIROSHI）  
 中央大学・理工学部・教授  
 研究者番号：10015969

## 研究成果の概要：

- ① 市場リスクに関する研究では、最大予測可能性（決定係数最大化）ポートフォリオ構築問題の解法を考案するとともに、その実証分析を行った。またこのモデルに取り入れるべき最適ファクター・セットを求める方法を開発し、これによって決定係数を改善することに成功した。そのほかポートフォリオ収益率の下方テイルと上方テイルを同時にコントロールするためのモデルを開発し、その解法を提案した。
- ② 信用リスクに関する研究では、半正定値ロジット・モデルを改良するとともに、これとサポート・ベクター・マシーン手法を組合わせて、新たな信用リスク計量モデルを開発した。

## 交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	4,400,000	1,320,000	5,720,000
2007年度	3,000,000	900,000	3,900,000
2008年度	2,800,000	840,000	3,640,000
年度			
年度			
総計	10,200,000	3,060,000	13,260,000

## 研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：社会・安全システム科学、社会システム工学・安全システム

キーワード：OR、金融リスク管理技術

## 1. 研究開始当初の背景

金融リスク管理技術は、21世紀に入って新たな段階に入った。マーコビッツの平均・分散モデルに始まる市場リスク管理理論は、70年代初めのブラック＝ショールズ＝マートン理論を経て、70年代末のハリソン＝クレプス＝プリスカ理論により一応の完成をみたが、これらの理論の現実問題への“本格的”応用が始まったのは、ここ10年のことである。90年代に入って実現された計算革命によって、大規模かつ複雑な問

題が解ける時代がやってきたからである。

実際、90年代初めから2005年にいたる15年間で、かつては1年かかった計算が1分以下で解けるようになったため、資産運用に関わる超大型の平均・リスク・モデルがリアルタイムで解けるようになり、全く新しい応用分野が次々と出現している。

更に、市場リスク管理と並んで重要な信用リスク管理についても、計算能力の飛躍的拡大によって、10年前には全く不可能とされた問題が

解けるようになった。重要なことは、このトレンドはこれから先も当分の間継続し、5年後には更に200倍以上のスピードアップが実現されるということである。

金融リスク管理技術は、世界各国で本格的な研究が進められているが、2005年に発表された文部科学省科学技術政策研究所の「注目科学技術療領域の発展シナリオ調査報告」の中でも、50の重点研究領域の1つとして取上げられている。(なお研究代表者は、この報告の中で金融リスク管理技術の項の執筆を担当した。)

## 2. 研究の目的

本研究においては新たな時代に向けて、より複雑かつ大規模な市場リスク管理モデルと、信用リスク管理モデルの定式化および実用化について研究を行うことを目指すものである。

具体的には以下の3つの研究を行う。

(1)1997年に発表した、平均・絶対偏差モデルにもとづく株式・債券統合国際分散投資モデルは、過去15年間に提案された国際分散投資モデルの中で最も重要なものとして、International Securities Vol.1 (The International Library of Critical Writings in Financial Economics, Edward Elgar, 2001)に収録された。われわれはこのモデルを更に発展させ、2004年には46ヶ国、3400資産を対象とする問題に応用し、良好な成績を得ることに成功した。

ここでは、債券としては無リスク債券のみを想定したが、ユニバースを公共債、企業債などリスク債券に拡張することによって、より良好なパフォーマンスを実現することが出来るはずである。

そのために、具体的には、従来研究してきた信用リスク・モデル(次の(2)の項を参照)を用いて、企業の倒産確率(債務不履行確率)を高速に推量し、これをもとに、超大型株式・債券国際分散投資モデルを構築し、その有効性を実証したいと考えている。

(2)われわれのグループが、90年代以来研究してきた半正定値ロジット・モデルは、精度の高い倒産確率推計を可能とするものであるが、その一方で、この問題を解くためには、大量の計算が必要となるという欠点がある。そこでわれわれは、この難点を乗り越えるために、2003年に十分精度の高い高速近似解法を提案し、これによって14指標、6000企業を対象とする半正定値ロジット問題が解くことに成功した。

今回はこの実績のもとに、究極の目標である18指標、20,000企業を対象とする問題を解く効率的な方法を開発したいと考えている。これによって、推計精度が飛躍的に高まることが期待される。

(3)(2)で説明した半正定値ロジット・モデルは、両側85%以上の精度で倒産判別を行うことが出来る。われわれの目標は、これを90%まで引き上げることであるが、そのためには財務データ以外の定性データを利用することが必要とさ

れる。われわれの研究グループでは、昨年度共分散構造分析を利用して、定性データを用いた倒産判別手法を考案したが、今後は財務データと定性データを組み合わせることにより、より高い精度の判別を実現したいと考えている。

## 3. 研究の方法

(1)国民の証券投資への関心の高まりと共に、ここ数年国際分散投資に注目が集まっている。これは投資対象を広く世界に求め、安定した収益を実現しようとするアプローチである。

われわれのグループは、90年代はじめ以来、平均・絶対偏差モデルを用いて、世界各国の株式・債券を統合的に扱うモデルを開発し、2005年には46ヶ国の3400資産を対象とする問題を解き、安定したパフォーマンスを実現するポートフォリオを作成することに成功した。

ここで投資対象に選んだのは、個別株式と各国の無リスク債券(国債)インデックスであるが、投資対象を流動性の高い公共債や企業債に拡大すれば、更に優れたパフォーマンスを実現することが出来ると考えられる。その一方で、無リスク資産と異なり、これらの債券には信用リスク(債務不履行に関わるリスク)が伴うため、そのリスクを精密に計測することが必要である。既にわれわれは2004年度に、市場データを用いて個別債券の信用リスク(上積み金利)を計算する方法を開発し、小規模な国内モデルを利用してその有用性を確認した。

そこで今後、これらの手法を組み合わせ、より本格的な株式・債券統合モデルを組立て、従来のモデルより格段に優れたパフォーマンスを実現したいと考えている。

究極の目標は、世界46ヶ国の主要株式と主要債券のすべてを取り込んだモデルを組立て、その有効性を検証することである。

(2)債券を発行している企業の信用リスク(債務不履行リスク)は、債券の市場価格に含まれるスプレッド(上乗せ金利)を計測することによって推計できる。一方、債券を発行していない企業の場合は、市場データを利用することが出来ないため、信用リスクを計算するためには、全く異なる手法が必要となる。

ここで最も良く用いられているのが、企業の財務データを利用したロジット関数のあてはめによる倒産確率推計法である。しかしこの方法の場合、財務データの相互関連や非線形性を説明できないという欠陥があった。

われわれは2000年度以来、この欠陥を克服するため、半正定値ロジット・モデルと呼ばれる新たなモデルを開発し、倒産判別精度を(両側で)数パーセント改善することに成功した。その一方で、このモデルは通常ロジット・モデルに比べて、一桁多い計算量が必要となるという欠陥がある。数千企業の信用リスクを15財務指標を用いて計算するには、普通にやれば数時間の計算時間が必要となる。そこでわれわれは、この計算量を大幅に削減する方法の開発に取組み、計

算量を約半分に減らすことに成功した。

今回の研究では、更に工夫を重ねることによって、計算量を4分の1程度まで削減し、究極の目標である18財務指標、20,000企業に対する半正定値ロジット・モデルを、30分程度で解くことを目指したいと考えている。これを上場企業データと組み合わせることにより、非上場企業に対するより精度の高い信用リスク（上乗せ金利）の計量が可能になるものと考えられる。

(3)半正定値ロジット・モデルは、非上場企業の信用リスクを計算する方法として、専門家の中で現在最も信頼性の高いモデルだと考えられており、既に日本格付研究所において商品化されている。ところが、企業の信用リスクに影響を及ぼすのは財務データだけではない。これらの定量的データには現れない定性データ（当該ビジネスの将来性、社員のやる気、経営陣の意欲など）が大きな影響を持つことが知られている。企業は生き物であり、人間の健康度が定量データだけでは計測できないのと同様、企業の健康度を測る格付け作業においては、定量データと定性データを組み合わせた総合的分析が不可欠とされていると言われている。しかしその実態は、50%サイエンス、50%アートと言われるとおり、かなり恣意的に行われているという。そこでわれわれは、多属性効用分析や階層分析法などの手法を用いて、定量データと定性データをどのように組み合わせて総合評価を行うべきかを検討したいと考えている。

一方、われわれのグループは、信用リスク計量に定性データを取り入れるべく、2005年以降新しいモデル開発をスタートさせている。それは共分散構造分析と呼ばれる手法を用いて、定性データを定量データと結びつける研究である。この手法を用いれば、財務データが完備していない中小企業に対して、定性データを採取することによって、ある程度の精度で信用リスクを計量出来ることが示されている。

そこで、平成18年度から3年にわたってこの方法を更に精密化して、より高い説明力をもつモデルを開発したいと考えている。

なお、この研究は過去5年間にわたって今野と川代が協力して実施してきたものであり、今後も協力関係を維持することにより、プロジェクトを成功に導きたいと考えている。

これらの研究は、過去20年にわたる代表者の研究の集大成を目指すものであるが、過去5年の実績から見て、成功の確率は限りなく100%に近いものと考えている。

#### 4. 研究成果

本研究では、様々な市場リスク・モデル（資産運用モデル）と信用リスク計量モデルを構築・検証し、その有効性を確認する作業を行った。

##### (1)市場リスク分析に関する研究

###### ①最大予測可能性ポートフォリオの研究

Lo-MacKinlayによる最大予測可能性ポートフォリオ（決定係数最大化ポートフォリオ）構築問題の解法を考案するとともに、このモデルを元に作成したポートフォリオが、インデックスおよび平均・分散モデルを一貫して上回るパフォーマンスを実現することを実証した。またLo-MacKinlayモデルで採用されている分散の代わりに、絶対偏差を用いて問題を0-1整数計画問題として再定式化した結果、従来よりはるかに大規模な問題が解けること、またLo-MacKinlayモデルより良好なパフォーマンスを示すことを実証した。

更にモデルに用いられるファクターとして、従来用いられてきたFama-Frenchの3ファクター、7ファクターの代わりに、

(i) われわれが新たに開発した最適ファクター選択法

(ii) 各期間ごとに最も適合の良いファクターをダイナミックに選択する方法を用いることによって、更に良好なパフォーマンスが実現されること立証した。

###### ②線形回帰モデルにおける最良の変数選択法の開発

上記(1)に記した新たなファクター選択法とは、回帰分析における基本的な問題、すなわち最も説明力の高いk個の説明変数を $n(>>k)$ 個の変数から選び出す問題に対する厳密な解答を与えられるものであり、データ解析上極めて重要な貢献であるものと考えられる。ここで用いられるのは、モデルの当てはまりの良さを残差の2乗和でなく、絶対値和として表現することにより、問題を2次0-1計画問題から線形0-1計画問題に変更し、高速に解くというアプローチである。

###### ③ポートフォリオの下方テイルと上方テイルの同時コントロール

ポートフォリオ収益率の下方テイルを短くするモデルとしては、下半分散、下半絶対偏差、CVaRなどのリスク指標を用いたモデルが考案されている。一方長い上方テイルを実現するモデルとしては、平均・リスク・歪度モデルが提案され、所期の目的を達成できることが示されている。

これに対して今回われわれは、なるべく短い下方テイルを持つと同時に、なるべく長い上方テイルを持つポートフォリオを構築するモデルを提案し、それを効率的に解く方法を開発するとともに、モデルの有効性を検証した。

###### ④エンハンスト・インデックス・モデルの改良

インデックスのパフォーマンスを上回るポートフォリオを構築するモデルは、一般にエンハンスト・インデックス・モデルと呼ばれている。われわれのグループは、これまでこの種のモデルをいくつか提案し、その有効性を検証してきたが、今回はTransfer Coefficient制約を追加することによって、よりインデックスに近いポートフォリオを構築することに成功した。

## (2) 信用リスクの計量に関する研究

①多数の企業の信用リスクを計算するための方法として、現在最も信頼度が高いとされている半正定値ロジット・モデルの予測精度を改善するため、3つの作業を行った。

第一に、過去の倒産データと最もあてはまりの良い  $s$  個の財務指標の1次式と2次式を求め、残差の絶対偏差の和を最小化する方法を提案し、それを0-1混合整数計画アルゴリズムを用いて解くことにより、2次式モデルが1次式モデルより優れた予測精度を実現することを実証した。

第二に、上記の0-1混合整数計画問題を解くための多段階解法を提案し、これによって標準的な解法に比べて計算量が劇的に削減されることを示した。この方法は、 $k \approx 100$  個の財務指標から  $s \approx 20$  個の財務指標を選び出す際に、第一段階で  $k$  から  $t \approx 50$  個の指標を選択し、次いで  $t$  個の指標から  $s$  個を選び出すもので、これによって計算量が5分の1以下に削減されることが明らかとなった。

第三に、一般の2次ロジット・モデルの自由度が  $s^2$  のオーダーであるのに対して、半正定値ロジット・モデルの場合は自由度が  $s$  のオーダーである事を示し、半正定値ロジット・モデルがオーバー・フィッティングのリスクが少ないことを示した。

今後はこれらの方法を改善することによって、更に精度の高いモデルを作成し、これを市場リスク管理モデルと結合することにより、より完成度の高い市場・信用リスク管理モデルにつなげたいと考えている。

②従来の半正定値ロジット・モデルにサポート・ベクター・マシンの手法を取り入れた新たな信用リスク計量モデルを提案し、その判別制度に関する検証を行った。

## (3) 補足説明

当初計画していた株式・債券統合国際分散投資モデルについては、債券価格時系列データの収集に予想を遥かに上回る費用が伴うことが判明したため、見送らざるを得なくなった。この結果、市場リスクと信用リスクを統合したモデルは出来上がったものの、その実証研究を行うことは出来なかった。

その一方で市場リスク、信用リスク分析に関して(1)(2)で説明したような数々の有意義な結果が得られたので、本研究プロジェクトは総合的に見て十分な成果が上ったものと考えている。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 22 件)

すべて査読有

① Konno, H., T. Egawa and R. Yamamoto, “Comparative Studies on Dynamic

Programming and Integer Programming Approaches for Concave Cost Production/Inventory Control Problems”, *Computational Management Science*, to appear (2009).

② Konno, H., S. Kameda and N. Kawadai, “Solving a Large Scale Semi-Definite Logit Model”, *Optimization Letters*, to appear, (2009).

③ Konno, H. and R. Yamamoto, “Maximal Predictability Portfolio Optimization Using Absolute Deviation”, *Computational Management Science*, to appear, (2009).

④ Okada, Y. and H. Konno, “Failure Discrimination by Semi-Definite Programming Using Maximal Margin Hyperplane”, *Computational Finance*, to appear, (2009).

⑤ Konno, H. and Y. Takaya, “Multi-Step Methods for Choosing the Best Set of Variables in Regression Analyses”, in *Computational Optimization and Applications*, to appear, (2009).

⑥ Konno, H. and R. Yamamoto, “Choosing the Best Set of Variables in Regression Analysis”, *J. of Global Optimization*, to appear, (2009).

⑦ Gotoh, J. and A. Takeda, “Alpha-Conservative Approximation for Probabilistically Constrained Convex Programs”, *Computational Optimization and Applications*, to appear, (2009).

⑧ Konno, H. and R. Yamamoto, “Applications of Integer Programming to Financial Optimization”, in *Handbook on Financial Engineering*, Zopounidis eds. Springer, 25-48, (2009)

⑨ Gotoh, J. and A. Takeda, “Conditional Minimum Volume Ellipsoid with Application to Multiclass Discrimination”, *Computational Optimization and Applications*, 41, 27-51, (2009)

⑩ Konno, H., K. Tsuchiya and R. Yamamoto, “Minimization of a Ratio of Functions Defined as the Sum of the Absolute Values of Affine Functions”, *J. of Optimization Theory and Applications*, 135, 399-410, (2008)

⑪ Konno, H., T. Egawa and R. Yamamoto, “Comparison of Search Strategies of Branch and Bound Algorithm for Concave Minimization under Linear Constraints”, *Vietnam J. Mathematics*, 35, 399-414, (2007)

⑫ Konno, H. and R. Yamamoto, “A Maximal Predictability Portfolio Model: Algorithm and Performance Evaluation”, *International J. of Theoretical and Applied Finance*, 10, 1095-1109, (2007)

⑬ Konno, H., N. Kawadai and H. Shimode, “A Two-Stage Algorithm for Solving Large Scale

Semi-Definite Logit Model”, *Optimization Letters*, 1, 329-340, (2007)

⑭ Kato, K. and H. Konno, “Studies on General Stock-Bond Integrated Portfolio Optimization Model”, *Computational Management Science*. 4, 41-57, (2007)

⑮ Yamamoto, R. and H. Konno, “An Efficient Algorithm for Solving Convex-Convex Quadratic Fractional Programs”, *J. of Optimization Theory and Applications*, 133, 241- 255, (2007)

⑯ Gotoh, J. and U. Sumita, “A New Approach for Computing Option Prices of the Hull-White Type with Stepwise Perversion and Volatility Functions”, *The Journal of Derivatives*, 15, 67-85, (2007)

⑰ Gotoh, J. and A. Takeda, “Newsvendor Solutions via Conditional Value-at-Risk Minimization”, *European Journal of Operational Research*, 179, 80-96, (2007)

⑱ 「大学の研究者と特許出願」、今野浩、日本知財学会誌、3, 3-7, (2006)

⑲ Yamamoto, R. and H. Konno, “An Efficient Algorithm for Solving Mean-Variance Model under Transaction Costs”, *Pacific J. of Optimization*, 2, 385-398, (2006)

⑳ Konno, H. and T. Egawa “Computational Studies on Large Scale Concave Cost Transportation Problems”, *Pacific J. of Optimization*, 2, 327-340, (2006)

㉑ Gotoh, J. and U. Sumita, Numerical Exploration of Dynamic Behavior of Ornstein-Uhlenbeck Processes via Ehrenfest Process Approximation”, *Journal of Operations Research Society of Japan*, 49, 256-278, (2006)

㉒ Gotoh, J. and H. Konno, “Minimal Ellipsoid Circumscribing a Polytope Defined by a System of Linear Inequalities”, *J. of Global Optimization*, 34, 1-14, (2006)

[学会発表] (計6件)

① Konno, H. and Takaya, Y., “Choosing the Best Set of Variables in Regression Analysis with Applications to Financial Optimization”, Asian Conference on Nonlinear Analysis and Optimization, 2008, 9.14, くにびきメッセ、松江

② 高屋仁寛、山本零、今野浩、「整数計画法を用いたファクター選択による決定係数最大化」、日

本 OR 学会秋季大会、2008.9.10、札幌コンベンションセンター、札幌

③ 山本零、今野浩、「数理計画法を用いた個人投資家の資産運用モデル」、日本 OR 学会秋季大会、2008.9.10、札幌コンベンションセンター、札幌

④ 岡田洋平、今野浩、“Failure Discrimination by Semi-Definite programming Using Maximal Margin Hyperplane”, JAFEE 夏季大会、2008.8.1、成城大学、東京

⑤ 高屋仁寛、今野浩、「整数計画法を用いた回帰式の変数選択」、日本 OR 学会秋季大会、2007.9.27. 東京、政策研究大学院大学

⑥ 田中克弘、山本零、今野浩、「絶対偏差を用いた大規模 Maximal Predictability Portfolio の構築と評価」、日本 OR 学会秋季大会、2007.9.27. 東京、政策研究大学院大学

[図書] (計1件)

① 今野 浩, 「21 世紀の OR」、日科技連出版社、1-172, 2007 年.

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

今野 浩 (KONNO HIROSHI)  
中央大学・理工学部・教授  
研究者番号：10015969

### (2) 研究分担者

後藤 順哉 (GOTOH JYUNYA)  
中央大学・理工学部・准教授  
研究者番号：40334031

### (3) 連携研究者

藤澤 克樹 (FUJISAWA KATSUKI)  
中央大学・理工学部・准教授  
研究者番号：40303854

(平成 18～19 年度は、研究分担者として参画)