

令和 5 年 6 月 10 日現在

機関番号：12102

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2022

課題番号：19K04899

研究課題名（和文）ポートフォリオ戦略の事前および事後評価の高度化

研究課題名（英文）Analysis of pre- and post- evaluation of portfolio strategy

研究代表者

牧本 直樹（Makimoto, Naoki）

筑波大学・ビジネスサイエンス系・教授

研究者番号：90242263

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,300,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、ポートフォリオ運用におけるリターン予測モデルと最適化手法の組合せと、事後的なパフォーマンスの関係性を分析した。さまざまな投資対象資産に対する実証分析の結果から、分布の非対称性や時変性などリターンの統計的特性をより正確に表現できるモデルを用いることで、リスクセンシティブな評価尺度が改善することを確認した。また、リターンの非線形的な自己相関や中長期的なトレンドを取り込むことでも、ポートフォリオパフォーマンスが改善する可能性が示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

ポートフォリオのパフォーマンスはシャープレシオで評価することが多いが、最適化する段階では異なる尺度を用いることが多く、一貫したフレームワークになっていない。本研究では、リターン予測や最適化のモデルと事後的なパフォーマンスの関係を幅広く検証することで、パフォーマンスを改善するためのポートフォリオ構築手法を提示している。これらの結果は、投資戦略のリターン予測や最適化の高度化に資するものであり、またポートフォリオ運用実務に有用な知見を与えるものと考えられる。

研究成果の概要（英文）：In this study, we analyzed the relationship between the combination of return prediction models and optimization methods in portfolio management and ex-post performance. From the results of empirical analysis of various investment assets, we confirmed that risk-sensitive performance measures can be improved by using a model that can more accurately express the statistical characteristics of returns such as distribution asymmetry and time variation. In addition, it was suggested that portfolio performance could be improved by incorporating non-linear autocorrelation of returns and medium- to long-term trends.

研究分野：金融工学

キーワード：投資戦略 ポートフォリオ パフォーマンス評価

1. 研究開始当初の背景

株式や債券などの金融資産へ投資を行うポートフォリオの運用は、

リターン予測 最適ポートフォリオの計算 パフォーマンス評価

という手順で行われる。このうちリターン予測は、過去データに時系列等のモデルを適合し、それにもとづいて予測を行うが、予測モデルには多くのバリエーションがあってそれぞれに利点と欠点があり、また株式と債券のように投資対象資産によって適用できるモデルにも違いがある。特に、異なる資産間のリターン相関のモデルは、ポートフォリオの変動リスクを予測する上で重要な役割を果たすが、上昇時と下落時の分布の非対称性や価格変動が大きいほど相関が強まるといった金融市場で観測されるリターン特性を反映したモデル構築には、未だ改善の余地が多い。

一方、一定期間投資を行った後は事後的にポートフォリオのパフォーマンス評価を行うが、ここで用いられる評価尺度は運用期間中のリターンの平均を標準偏差で除したシャープレシオが中心であり、事前にポートフォリオ最適化を行う際の目的関数、例えば平均 - 分散効用等とは一致していない、シャープレシオの計算に用いる標準偏差はリターンデータの特性を反映したリスクを十分に反映していない、といった課題がある。そのため、事前のリターン予測を精緻化したとしても、事後的なパフォーマンス評価が必ずしも改善するとは限らないという状況が生じ得る。こうした問題に対応するため、事前と事後のパフォーマンス評価尺度の関係を検証した上で、両者の関連性が高くなるような評価方法のフレームワークを構築することが求められている。

2. 研究の目的

1. の背景で示したポートフォリオ運用の3つのステップの内、リターン予測とポートフォリオ最適化にはさまざまなモデルが提案されており、それらを組み合わせたバリエーションは多岐に渡る。また投資対象資産によっても利用するモデルは異なってくる。本研究では、まずリターン予測や最適化のさまざまなモデルに対してポートフォリオのパフォーマンスを測定し、事前の予測と事後的な評価尺度の関係を明らかにする。その際、リターン分布の非対称性や分布の裾での依存性、リターンの非線形的な自己相関など、従来あまり分析されていない性質も表現可能なモデルを含めて分析を行う。こうした分析を通して、ポートフォリオ選択時と事後評価でなるべく関連性の高いモデルや評価方法を同定し、多様な投資対象資産に対して有効性を検証することを目的とする。

3. 研究の方法

具体的な研究方法は、4. で研究成果と対応させる形で述べることとして、ここでは全体に共通する研究方法の枠組みを述べる。まず分析対象資産は、個別株や株式インデックス、株式ファクターなどのリターンデータ、および債券については国債を対象とする。債券は、期間構造やクーポンの存在などデータの内容や性質が株式と大きく異なっており、予測に使われるモデルも異なるためである。予測モデルは、標準的な自己回帰モデルや GARCH モデルとの組み合わせに加えて、資産間相関にコピュラを適用するモデル、LSTM(Long Short-Term Memory)や GBT(Gradient Boost decision Tree)に代表される機械学習モデルも分析対象とする。コピュラを用いるのは、リターン相関のモデルの違いによってリスク尺度の評価が異なるため、その影響を調べるためである。また機械学習のモデルでは、自己回帰などの線形モデルでは難しい非線形的な自己相関を表現することができる。こうした予測モデルと、平均 - 分散やリスクパリティなどの最適化モデルを組み合わせるポートフォリオを運用し、事後的なパフォーマンス尺度を計算、事前の評価との関係を確認する。事後的なパフォーマンス尺度としては、一般的なシャープレシオに加えて、よりリスクセンシティブな最大ドロウダウンやソルティノレシオ等も含めて確認を行う。

4. 研究成果

本研究で得られた成果は3つに大別されるため、それぞれについて説明する。

(1) ポートフォリオの変動リスクの評価は、ポートフォリオを構成する資産間の相関構造のモデルに依存する。一般的に利用される共分散行列は資産リターン間の線形相関を評価するが、実際のリターンは上昇時より下落時の方が相関が強い、変化幅が大きいほど相関が強い、といった特性を持っているため、こうした特性を表現するにはコピュラ等のより柔軟なモデルが必要と

なる。そこで、一般的な正規コピュラに加えて、分布の裾で相関が強くなる t コピュラ、さらに上昇時と下落時の相関の非対称性を加味した非対称 t コピュラを用いてさまざまな金融資産に対する適合を行った。その結果、多くの資産において非対称 t コピュラの適合度が最も高く、リターンの相関構造を適切に評価できることを確認した。このことは、ポートフォリオが持つリスクの事前評価の精緻化に資する結果と考えられる。

相関構造のモデルに応じてリスクの評価が異なるため、リスクを考慮した最適化で得られるポートフォリオのウエイトも異なり、これにより事後的なポートフォリオリターンにも差異が生じる。事前のリスク評価の精緻化が、事後的なポートフォリオリターンの改善につながっているかどうかを確認するため、いくつか資産のリターンデータを用いて検証を行った。その結果、データへの適合度が高いリスク評価モデルほど、最大ドロウダウンやソルティノレシオ、カルマレシオなどリスクセンシティブなパフォーマンス尺度が改善することが確認された。この結果は、マーケットにおいてリスクが高くなる状況では、リスク評価の精度が高いモデルを使うことで相対的にリスク回避的なポートフォリオが組成され、結果としてパフォーマンスの悪化を抑制しているためと考えられる。したがって、事前と事後の評価尺度に高リスクの状態をより正確に評価するという共通性があれば、ポートフォリオ最適化における目的関数が事後的な評価尺度と一致しない場合でも、最適化が有効に機能するものと考えられる。

リスク評価モデルの推定に関しては、過去データで推定したモデルパラメータを一定期間継続して使う方法と、新たに観測されたデータを用いて逐次的にパラメータを更新する方法がある。後者の方がデータへの適合度は高くなるが、過剰適合により予測力が高まるとは限らないため、2つの方法の優劣は一概に言えない。いくつかのリターンデータとリスク評価モデルに対して2つの方法で比較を行った結果、事前と事後のいずれにおいても後者の方法のパフォーマンスが良好であるという結果が得られた。金融市場では、低リスクと高リスクの局面が交互に現れる傾向があるが、低リスク局面から高リスク局面への移行は比較的短期間に生じることが多いため、逐次的なモデル推定によって局面変化に迅速に対応できるためと考えられる。

(2) リターン予測のためのモデルとしては、自己回帰モデルのような線形モデルに GARCH のような分散の時変性を加味したモデルが一般に利用されている。こうしたモデルは、解釈が容易でリターンデータの統計的特性も相応に表現することができるが、リターンの長期的な自己相関を取り入れることは難しい。そこで、リターン予測モデルが表現する自己相関と、それに基づいて組成したポートフォリオのパフォーマンスの関係について解析を行った。その結果、ある時点までのデータで測定した投資戦略のパフォーマンスと、将来時点で予想されるその戦略のパフォーマンスの関係の強さは、一定の条件下で、時点差が拡大するにつれて減衰し、減衰の速さは元の時系列の自己相関などに依存することがわかった。このことは、現時点までに観測されたデータに基づいてパフォーマンスが優れた戦略を選択したとしても、一定程度離れた将来時点においては必ずしも期待したパフォーマンスが得られるとは限らないことを示唆する。

自己回帰モデルを中心とするリターン予測モデルのもう一つの課題として、非線形的な自己相関が考慮されないという点がある。一方で、近年はデータ間の時系列的な関係を柔軟に表現できる機械学習によるモデル化も進展しているため、こうした手法を用いることでリターン予測を精緻化できる可能性がある。そこで、機械学習のいくつかのモデルを用いてリターン予測を行い、精度を比較検証した。日本の株式リターンを対象とした実証分析では、LSTM、サポートベクターマシン、勾配ブースティング、ランダムフォレスト、ロジスティクス回帰を用いてリターンの上昇・下落を予測した。その結果、正解率や F1 スコアなどの評価尺度において LSTM の予測精度が高いことが確認できた。また上昇・下落の予測確率に応じて分位ポートフォリオを構築し、そのパフォーマンスを評価する分析においても、LSTM が相対的に良好なパフォーマンスを示した。LSTM は入力と出力の非線形関係を柔軟に表現できるため、そのことがリターン予測の精緻化につながっていることが考えられる。また、これらの分析では最長で 240 日前までのリターンを入力として使用しており、それが精度向上に寄与した可能性も考えられる。標準的な自己回帰モデルでは、こうしたデータを入力とすることは難しいため、中長期的なトレンドと予測力の関係が見られたことは、今後の研究の進展につながることを期待できる。

(3) 株式と異なり、債券投資では満期と利回りの関係を示すイールドカーブの予測が必要となる。さらに、多くの債券はそれぞれ異なるクーポンレートが付加された利付債であることから、投資戦略を検討する以前に、準備としてクーポンレートを除いたゼロイールドを推定する必要がある。本研究では、ゼロイールドの推定方法、推定されたゼロイールドの将来予測、およびそれらにもとづく投資戦略のパフォーマンスに関して以下のような成果を得た。

ゼロイールドの推定に関しては、まず日本の利付国債に対して Stealy(1991)、菊池・新谷(2012)を参考にして推定を行った。次に推定したゼロイールドと実際のイールドの差(ミスプライス)の統計的性質を調べ、債券の残存年限に関わらずミスプライスは 0 に回帰する性質をもつ

こと、ミスプライスの幅が大きいほど回帰する速度が速いこと、こうした性質は期間によらず安定的に観測されることを明らかにした。またミスプライスの回帰性を利用した債券ポートフォリオの構築手法を提案し、安定的にパフォーマンスが獲得できることを確認した。利付国債に関連する実務的に重要な課題として、ゼロイールドにもとづいて最適化したポートフォリオを利付国債で組成する際の銘柄選択の問題がある。本研究では、前述したミスプライスの性質を踏まえつつ、利付債ポートフォリオを構築する手法を複数提案し、事後的なパフォーマンス比較から安定的にパフォーマンスが獲得できる銘柄選択手法を同定した。債券投資戦略に関する研究の多くはゼロイールドを元に定式化しているが、実際に取引可能な利付債から分析することで予測の高度化につながる可能性があることを示唆する結果と考えられる。

ゼロイールドの将来予測とポートフォリオ最適化に関しては、債券投資における線形リバランス戦略の分析を行った。イールドカーブの水準、傾き、曲率を状態変数とする確率金利モデルを利用し、債券リターンが状態変数の線形関数で表されることを利用して多期間最適投資戦略を構築した。この戦略は、将来の多期間に渡る金利変動を予測し、それにもとづいてポートフォリオを動的に決定することを可能とするモデルであり、一般に求解が困難とされる多期間投資最適化問題に対する有効な近似手法と考えられる。実証分析では、予測期間と最適戦略の適用期間の組合せを変えてパフォーマンスの比較を行い、予測期間と適用期間が長くなるにつれてパフォーマンスが向上することを確認した。このことは、一般に利用されている1期間最適化に対して多期間の予測に基づく最適化の優位性を示すものと言える。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 島井祥行, 牧本直樹	4. 巻 64
2. 論文標題 ミスプライスに着目した利付債ポートフォリオの構築法	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 日本オペレーションズ・リサーチ学会和文論文誌	6. 最初と最後の頁 1~21
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.15807/torsj.64.1	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Matsumoto Ken, Makimoto Naoki	4. 巻 1
2. 論文標題 Time Series Prediction with LSTM Networks and Its Application to Equity Investment	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Advanced Studies of Financial Technologies and Cryptocurrency Markets	6. 最初と最後の頁 65~88
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-981-15-4498-9_4	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Shimai Yoshiyuki, Makimoto Naoki	4. 巻 -
2. 論文標題 Multi-period Dynamic Bond Portfolio Optimization Utilizing a Stochastic Interest Rate Model	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Asia-Pacific Financial Markets	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10690-023-09401-2	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 Shimai Yoshiyuki, Makimoto Naoki
2. 発表標題 Multi-period bond portfolio optimization by linear rebalancing strategy utilizing a stochastic interest rate model
3. 学会等名 14th International Conference on Computational and Financial Econometrics (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 島井祥行, 牧本直樹
2. 発表標題 ミスプライスに着目した利付債ポートフォリオの構築法
3. 学会等名 日本オペレーションズ・リサーチ学会春季研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 夷藤翔, 牧本直樹
2. 発表標題 本邦株式市場のスタイル・ファクター間の依存構造に関する研究
3. 学会等名 日本オペレーションズ・リサーチ学会春季研究発表会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Ito Kakeru, Makimoto Naoki
2. 発表標題 Dynamic Dependence of Equity Market Factors and Empirical Analysis of Tail Risk Parity Factor Portfolio
3. 学会等名 6th International Conference on Econometrics and Statistics (国際学会)
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------