

令和 2 年 6 月 5 日現在

機関番号：12102

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2016～2019

課題番号：16K01234

研究課題名（和文）スタイルローテーションを考慮したファクター投資に関する研究

研究課題名（英文）Investment strategy with factor model under style rotation

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） 2,700,000円

研究成果の概要（和文）：金融資産のリターン変動をファクターとよばれる少数の変数で表現し、ファクターの予測にもとづいて投資意思決定を行う手法に関する研究を行った。特に、市場環境に応じてファクターとリターンの構造が変化する点に着目し、時変性をもつモデルを導入することでデータへの適合や予測精度を向上させた。またポートフォリオ選択では、時変性をもつ予測モデルに対応した最適化問題の定式化や解法を開発した。株式と債券に対していくつかのファクターで実証分析を行い、提案手法の投資パフォーマンスの優位性を確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

リスクオン/リスクオフという言い方があるように、金融市場はその時々で局面が変化する。そのため、投資運用実務においても、市場局面の変化を捉え、それに合わせた投資判断を行うことが求められる。本研究は、こうした局面変化を組み込んだモデルの推定や予測と、それにもとづくポートフォリオ構築手法を提案しており、既存研究の分析枠組をさらに拡充する成果を得ている。また、金融市場データによる検証で投資手法の有用性を確認しており、投資運用実務にも資する内容といえる。

研究成果の概要（英文）：We have investigated a method of expressing return fluctuations of financial assets with a small number of variables called factors, and making investment decisions based on the prediction of factors. In particular, we focused on the fact that the structure of factors and returns changed according to the market environment, and introduced a model with time variability to improve the accuracy of data fitting and prediction accuracy. In portfolio selection, we have developed a formulation and solution of optimization problems corresponding to prediction models with time variability. We conducted empirical analyses on stocks and bonds with several factors, and confirmed the superiority of the investment performance of the proposed method.

研究分野：確率モデル分析

キーワード：投資戦略 ファクターモデル レジームシフト 金利期間構造

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19（共通）

### 1. 研究開始当初の背景

株式や債券などの金融資産のリターン変動をファクターとよばれる少数の変数に集約し、ファクターの変動や予測をもとに投資判断を行う手法はファクター投資とよばれ、資産運用実務において幅広く利用されている。例えば、株式に対してはモメンタムやリバーサルのように資産価格変動から計算されるファクターや、SMBやHMLのように企業属性にもとづくファクターなどがある。一方、債券の期間構造の変動は、水準、傾き、曲率の3つのファクターで説明されることが多く、これら3ファクターに対するさまざまなモデルが提案されている。

ファクター投資によって効果的な投資パフォーマンスを得るには、ファクターが投資対象資産のリターンに対して説明力を持つことが必要のため、ファクターの説明力に関してはこれまでに多くの研究が行われている。ファクターの中には一定程度安定して説明力を持つものもあるが、分析対象とする市場やデータ期間によって結果が異なる場合も多い。その理由として、ファクターと投資対象資産の変動や両者の関連性が、その時の市場や経済環境に応じて変化することが考えられる。例えば、株式市場で近年よく使われるリスクオン／リスクオフという表現は、価格変動が小さくリスクがとりやすい市場局面と、価格変動が大きく高リスクな市場局面が、交互に現れることを表している。債券市場においても、長期的な分析からは景気変動に応じて金利の上昇局面と下降局面が交互に現れることが知られている。

ファクターや投資対象資産の変動が市場環境に応じて変化することを考慮すると、資産選択のための予測や最適化においても、こうした変化をモデル化することで投資パフォーマンスの改善につながることを期待できる。市場環境の変化を表現する代表的なモデルの一つに、レジームシフトモデルがある。レジームシフトモデルは、パラメータが時間的に変動する時系列モデルで、これまでも景気循環や金融市場のリスク変動など中長期的な構造変化の分析に利用されている。一方で、市場環境の変動を取り込むことでモデルが複雑化するため、投資最適化においては新たな問題が生じることがある。特に将来の多期間に渡る投資意思決定では、価格変動に加えて市場局面の変化も生じるため、目的関数の評価や問題規模の拡大などが課題となる。

ファクター投資において市場の環境変化を取り入れた分析も近年徐々に現れてきているが、投資最適化におけるリスク尺度など問題の範囲は限定的で、実証分析も市場やデータ期間が限られている。本研究は、こうした背景の下に、ファクター投資をより高度化するための予測モデルや投資最適化の手法に関する研究を実施する。

### 2. 研究の目的

本研究では、株式市場や債券市場において投資対象資産のリターンに対して説明力をもつファクターを選択し、ファクターとリターンに対するモデルを構築する。その上で、モデルにもとづいて投資戦略を構築し、そのパフォーマンスを検証する。特に、市場の環境変化とファクターやリターンの関連性に関心があるため、モデル構築においては何らかの時変性を取り入れることを検討する。予測モデルに時変性を導入することで、投資最適化における期待リターンやリスク量の評価が複雑になることが予想されるため、そうした課題への対応も検討し、実務的に適用可能な投資戦略の構築を目指す。

以上のような分析を通して、市場環境の変化とファクターやリターンの関連性を明らかにすることで市場に対する理解を促進すること、ファクターによるリターン予測モデルを精緻化し、あわせてポートフォリオ最適化手法を高度化することが本研究の目的である。

### 3. 研究の方法

投資対象資産の価格やリターンなどを表す変数系列（一般には多変量）を  $r(t)$  とし、この系列の変動を集約した変数、もしくは変動に影響を及ぼすと考えられる変数をファクター  $f(t)$  で表す。対象資産やファクターの選択に応じて具体的な手順はそれぞれ異なるが、全体として共通する研究方法のフレームワークは以下の通りである。

#### ① ファクター $f(t)$ の選択

同じ対象資産の系列  $r(t)$  に対しても、さまざまなファクターが選択肢として考えられる。対象資産ごとに、先行研究に示されているファクターの説明力、近年の金融市場環境との関連性、ポートフォリオ最適化問題における解析の負荷などを考慮して、ファクターを選択する。

#### ② ファクター $f(t)$ に対する時系列モデル

過去データからファクター  $f(t)$  の統計的特性を確認し、適合する時系列モデルや確率過程を選択する。本研究ではファクターの時系列構造やリターン  $r(t)$  との関係が時間的に変化する点に着目しているため、そのような時変性を表現できるモデルを検討する。また、リターン予測の計算にファクターの予測が必要となるため、予測方法についても考慮する。

#### ③ リターン $r(t)$ とファクター $f(t)$ の関係のモデル化と推定

ファクター  $f(t)$  を用いてリターン  $r(t)$  を説明するモデルを構築する。構造としては、回帰のように明示的な統計的関連性を示すもの、何らかの理論によって関係が示されるもの、他、機械学習のように明示的でない統計的関連性を推定するものも候補とする。その上で、過去データから  $f(t)$  と  $r(t)$  のモデルを推定し、パラメータ等を同定する。

#### ④ リターン $r(t)$ の予測

②で構築したモデルにもとづいてファクター  $f(t)$  の予測を行い、それと③で推定したモデ

ルからリターン  $r(t)$  の予測を行う。予測が必要な量は、将来リターンの平均や共分散行列、またはシミュレーションサンプルなどで、⑤で利用する最適化の尺度に応じて選択する。

- ⑤ リターン  $r(t)$  の予測に基づく最適ポートフォリオの構築
  - ④のリターン予測に基づいて最適ポートフォリオを計算する。最適化の尺度としては平均と分散が基本となるが、対象資産や投資家のタイプなどを考慮して、よりリスクを重視する期待ショートフォール(CVAR)などの尺度や、逆にリスク中立に近い尺度も検討する。また、最適化計算においては、ファクターの変動が時変性を持つ点を考慮する必要がある。特に多期間最適化の場合には、問題の規模が拡大することへの計算上の対応なども検討を行う。
- ⑥ ポートフォリオのパフォーマンス評価
  - ⑤で構築したポートフォリオのパフォーマンスを数値計算や実証分析で計測し、ファクターの時変性の有無、ファクターとリターンのモデルの違い、最適化尺度の差異などがパフォーマンスに与える影響を比較検証する。

#### 4. 研究成果

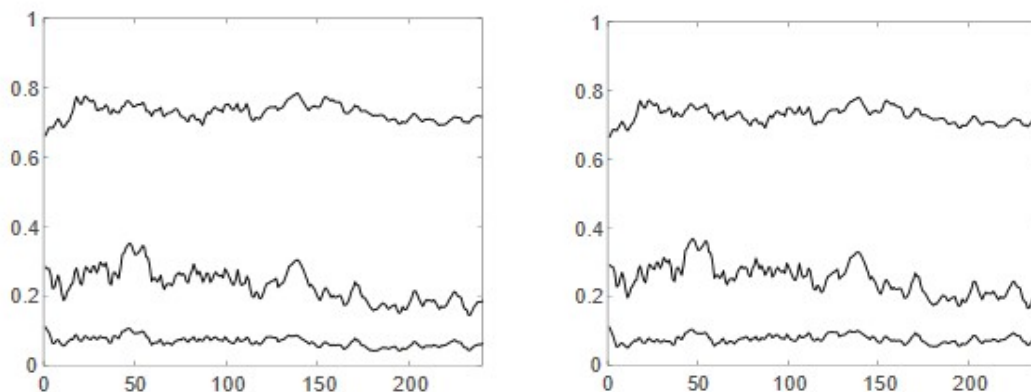
##### (1) レジームシフトを考慮した多期間投資最適化

ファクターがベクトル自己回帰モデルにしたがい、リターンがファクターの線形回帰で表されるモデルにレジームシフトを導入し、各モデルの平均回帰水準、係数行列、誤差共分散行列がレジームに応じて変化するよう拡張する。このモデルの上で、多期間の動的なポートフォリオ最適化を行う手法を提案し、有効性を確認した。

目的関数は、将来の一定期間における平均分散効用と取引コストの合計で定めた。この場合、近視眼的な最適化では取引コストが増加するため、多期間で動的に最適化することが望ましいが、レジームの導入により目的関数の計算が複雑化する、将来のレジームシフトに応じた動的な最適化が困難、といった問題が生じる。この問題を解決するため、過去に得られた無限期間問題では最適投資比率がレジームに応じたファクターの線形結合で表せるという結果を援用して、同様の構造をもちかつ自己資金制約を満たす戦略の中で、線形結合行列を最適化する手法を提案した。さらに、レジームシフトによる問題規模の指数関数的な増加を抑制するため、状態空間を制限して効率的に求解するためのアルゴリズムを考案した。この手法により、将来の各時点において観測したレジームにもとづいてポートフォリオを動的に構築することが可能となる。

検証では、国際分散投資で利用される2つのファクターと4つの投資対象インデックスのデータからパラメータを推定し、それを用いて数値計算を行った。シャープレシオ等の評価尺度で比較した結果、投資ホライズンが長くなるにつれて動的最適化の効果によりパフォーマンスが向上する一方、改善度合いは徐々に通減することが確認された。また、問題規模の増加を抑制する計算手法による投資配分やパフォーマンスへの影響は軽微であることも確認している(下図)。

本研究は、ファクター投資にレジームシフトを導入し、取引コストを考慮した多期間動的投資最適化手法を提示するもので、従来は個別に考慮されることが多かった要素を統一的にモデル化し、計算可能な枠組を提示した点に貢献がある。



状態空間を制限しない場合(左)と制限した場合(右)の投資配分の例

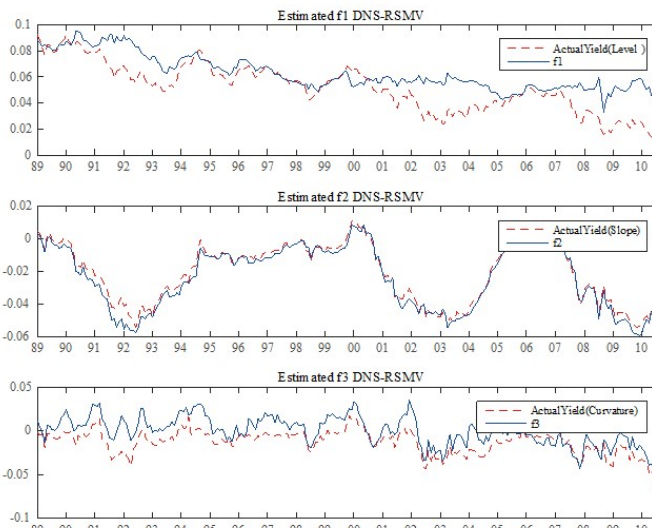
##### (2) レジームシフト Nelson-Siegel モデルを用いた金利期間構造分析

金利期間構造を水準、傾き、曲率の3ファクターで表す Nelson-Siegel モデルにレジームシフトを導入し、米国国債データに対する実証分析と債券の最適投資戦略を行った。金利期間構造は上昇と下降を繰り返す傾向があるため、マルコフ的に推移する2状態のレジームを想定し、平均回帰水準、係数行列、条件付き共分散行列、期間構造の形状パラメータがレジームに応じて変化するモデルを構築する。変化するパラメータの組合せを変えて、約30年分の米国国債データを用いて推定を行い、推定されたレジームやパラメータからファクターと期間構造の変化を考察

した。図はその一例で、青線が推定された3つのファクター、赤線がデータから計算した水準、傾き、曲率を示している。

債券投資戦略については、推定モデルからファクターを予測し、そこから計算される期間構造にもとづいて平均分散効用を最大化する債券ポートフォリオを構成した。シャープレシオ等の評価尺度で、レジームを考慮しないケースやバイアードホールドなどの実務的な戦略との比較を行った結果、レジームシフトモデルの優位性が確認された。

債券は運用規模の大きさに比べて投資戦略に関する研究は多くない。本研究は、そうした状況の中で債券運用の高度化に資する研究成果と考えられる。



### (3) 4ファクターモデルによる債券投資戦略

金利期間構造のモデルとして島井(2013)で提案されたLSCVモデルを利用して、さまざまな目的関数に対して債券ポートフォリオ最適化を行い、パフォーマンスを比較検証した。LSCVモデルは、水準、傾き、曲率にボラティリティを加えた4ファクターモデルで、リスクの代理指標であるボラティリティが時変性をもつことから、市場環境の変化を柔軟に表現することができる。本研究では、LSCVモデルで期間構造を予測し、それにもとづいて債券ポートフォリオを構築する。最適化する目的関数は、平均分散効用をはじめ、平均CVAR、リスクパリティなど8種類を検討し、さらにバーベルやラダーなど実務的な運用手法とも比較を行った。

本邦国債市場のデータを利用した実証分析の結果、期間構造予測モデルとして多変量自己回帰モデル(VAR)や多変量GARCHモデルに比べて、LSCVが安定的に優れたパフォーマンスを示すことが確認できた。特に、リターンを追求するタイプの目的関数においては、LSCVの投資ウェイトやパフォーマンスは目的関数によって大きく変化しないのに対し、例えばVARではリスク回避度の上昇に伴い極端に短期へとウェイトがシフトする状況が観察された。これは、LSCVが市場のリスクファクターの上昇や下落をタイムリーにとらえる柔軟性を有していることが理由と考えられる。

LSCVは比較的新しいモデルのため応用例は多くないが、今回の研究から債券投資に対しても十分な応用可能性が認められることから、今後さらに研究が進むことが期待される。ただし、将来の期待リターンや共分散を明示的に表すことは難しいため、数値計算と組み合わせるなどの工夫が必要になるものと考えられる。

### (4) LSTMを利用した株式リターン予測

深層学習の一種であるLSTM(Long Short Term Memory)を利用して、TOPIXコア30の各銘柄に対するリターン予測を行い、他の予測手法と比較分析を行った。説明変数は、前日から240日前までの間で15時点を選び、現時点までの累積リターンを用いている。これは、過去からの価格トレンドを表すモメンタムやリバーサルなどのファクターに対応している。

ロジスティック回帰、ランダム・フォレストやサポートベクターマシンなどの手法と翌日リターンの上昇・下落を予測し、正解率などを比較した結果、平均的にはLSTMが最も良好な予測性能を示した。また予測にもとづいて30銘柄から分位ポートフォリオを構築し、パフォーマンスを比較する分析でも、LSTMが他の手法に比べて高いシャープレシオを達成している。一方で、LSTMでは入力と出力の関係を明示的に観察することが困難なため、モメンタムやリバーサルがどのようにパフォーマンスに寄与しているかを具体的に調べるには至っていない。また予測対象は、リターンの上昇・下落の確率であり、リターンの変化幅やリスクに関する情報は予測していない。分析対象データの拡充などと合わせて今後の検討課題と考えている。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 3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<br>Takahiro Komatsu, Naoki Makimoto  | 4. 巻<br>61            |
| 2. 論文標題<br>Linear rebalancing strategy for multi-period dynamic portfolio optimization under regime switches                          | 5. 発行年<br>2018年       |
| 3. 雑誌名<br>Journal of the Operations Research Society of Japan   | 6. 最初と最後の頁<br>239-260 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子）<br>10.15807/jorsj.61.239  | 査読の有無<br>有            |
| オープンアクセス<br>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<br>-             |
| 1. 著者名<br>Takeshi Kobayashi   | 4. 巻<br>19(5)         |
| 2. 論文標題<br>Regime-switching dynamic Nelson-Siegel modeling to corporate bond yield spreads with time-varying transition probabilities | 5. 発行年<br>2017年       |
| 3. 雑誌名<br>Journal of Applied Business and Economics   | 6. 最初と最後の頁<br>10-28   |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子）<br>なし   | 査読の有無<br>有            |
| オープンアクセス<br>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<br>-             |
| 1. 著者名<br>Takeshi Kobayashi, Naoki Makimoto   | 4. 巻<br>1             |
| 2. 論文標題<br>Bond portfolio optimization using regime switching dynamic Nelson Siegel models  | 5. 発行年<br>2018年       |
| 3. 雑誌名<br>JAFEE2017冬季大会予稿集  | 6. 最初と最後の頁<br>1-11    |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子）<br>なし   | 査読の有無<br>無            |
| オープンアクセス<br>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<br>-             |
| 1. 著者名<br>島井祥之, 牧本直樹  | 4. 巻<br>41            |
| 2. 論文標題<br>非線形確率金利モデルを用いた債券ポートフォリオ最適化   | 5. 発行年<br>2019年       |
| 3. 雑誌名<br>現代ファイナンス  | 6. 最初と最後の頁<br>27-55   |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子）<br>10.24487/gendai finance.410002   | 査読の有無<br>有            |
| オープンアクセス<br>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<br>-             |

|   |                 |
|---|-----------------|
| 1. 著者名<br>Jun Sakazaki, Naoki Makimoto  | 4. 巻<br>-       |
| 2. 論文標題<br>Financial contagion through asset prices and interbank networks      | 5. 発行年<br>2020年 |
| 3. 雑誌名<br>Advanced Studies of Financial Technologies and Cryptocurrency Markets | 6. 最初と最後の頁<br>- |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>なし  | 査読の有無<br>無      |
| オープンアクセス<br>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<br>-       |

〔学会発表〕 計9件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 3件)

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>Toshio Kimura, Naoki Makimoto  |
| 2. 発表標題<br>Instability of wealth effect on consumption and investment under regime switches |
| 3. 学会等名<br>Asian Finance Association 2018 Conference (国際学会)                                 |
| 4. 発表年<br>2018年   |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>Jun Sakazaki, Naoki Makimoto  |
| 2. 発表標題<br>Financial contagion through asset prices and interbank networks                       |
| 3. 学会等名<br>23rd Annual Workshop on Economic Science with Heterogeneous Interacting Agents (国際学会) |
| 4. 発表年<br>2018年  |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>Takeshi Kobayashi, Naoki Makimoto   |
| 2. 発表標題<br>Bond portfolio optimization using regime switching Nelson Siegel models       |
| 3. 学会等名<br>12th International Conference on Computational and Financial Economics (国際学会) |
| 4. 発表年<br>2018年  |

|                                    |
|------------------------------------|
| 1. 発表者名<br>松本健, 牧本直樹               |
| 2. 発表標題<br>LSTMによる時系列予測と株式投資戦略への応用 |
| 3. 学会等名<br>第22回人工知能学会金融情報学研究会      |
| 4. 発表年<br>2019年                    |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>Takeshi Kobayashi, Naoki Makimoto  |
| 2. 発表標題<br>Bond portfolio optimization under regime switching dynamic Nelson Siegel model |
| 3. 学会等名<br>日本ファイナンス学会 第25回大会  |
| 4. 発表年<br>2017年   |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>Takeshi Kobayashi, Naoki Makimoto   |
| 2. 発表標題<br>Bond portfolio optimization using regime switching dynamic Nelson Siegel models |
| 3. 学会等名<br>日本保険・年金リスク学会 研究発表大会   |
| 4. 発表年<br>2017年  |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>Takahiro Komatsu, Naoki Makimoto   |
| 2. 発表標題<br>Linear rebalancing strategy for portfolio optimization under regime switches |
| 3. 学会等名<br>日本オペレーションズ・リサーチ学会秋季研究発表会   |
| 4. 発表年<br>2016年   |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>Takeshi Kobayashi, Naoki Makimoto   |
| 2. 発表標題<br>Bond portfolio optimization using regime switching dynamic Nelson Siegel models |
| 3. 学会等名<br>日本ファイナンス学会第25回大会  |
| 4. 発表年<br>2017年  |

|                                      |
|--------------------------------------|
| 1. 発表者名<br>島井祥之, 牧本直樹                |
| 2. 発表標題<br>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<br>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<br>2020年                      |

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

|                   | 氏名<br>(ローマ字氏名)<br>(研究者番号)                         | 所属研究機関・部局・職<br>(機関番号)              | 備考 |
|-------------------|---|------------------------------------|----|
| 研究<br>分<br>担<br>者 | 小林 武<br><br>(Kobayashi Takeshi)<br><br>(70751486) | 名古屋商科大学・経済学部・教授<br><br><br>(33914) |    |