

令和元年5月29日現在

機関番号：32612

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K16359

研究課題名（和文）次世代資産運用のためのスマートベータ開発とその利用方法に関する研究

研究課題名（英文）Research on Development and Application of Smart Beta for Asset Management

研究代表者

山本 零 (Yamamoto, Rei)

慶應義塾大学・理工学部（矢上）・准教授

研究者番号：40756376

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,000,000円

研究成果の概要（和文）：本研究ではTOPIXのような通常の市場指数よりも効率性の高いスマートベータ指数を開発し、その利用方法を提案することで年金等の資産運用の効率性を向上させることを目的としている。そのため大きく2つのテーマについて研究を行った。1つ目は新たなスマートベータ指数としてペアトレード戦略という株式戦略に着目し、最適なペアトレード戦略を構築するための研究を行った。2つ目はスマートベータ指数の効率的な利用方法として、市場局面分類を用いた資産運用モデルの提案を行った。これらの研究成果は6つの研究論文、9件の学会発表、1件の書籍として国内外で成果報告を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の成果はどのテーマも高い学術的新規性を有しており、6つの研究論文、9件の学会発表、1件の書籍として国内外で公表されている。特にうち1件の学術論文に関しては優秀な論文として論文賞を受賞した。またこれらの研究はどれも実際の資産運用を意識したものである。例えばこれらの研究を公的年金の資産運用に適用した場合、運用コストの低下などで年間1300億円程度運用を改善させることができると試算される。これは少子高齢化を迎える我が国において非常に有益な結果である。

研究成果の概要（英文）：The purpose of this research is to improve the efficiency of asset management such as pension funds. We developed a smart beta index, which is more efficient than a standard market index such as TOPIX, and proposed how to use it. Then we studied following two themes. The first is to develop a new smart beta index, which focuses on a pair trade strategy and to study the optimal pair trade strategy. Second, we propose an asset management model using smart beta based on market phase classification.

These researches reported as 6 research papers, 9 conference presentations, and 1 book in Japan and overseas.

研究分野：金融工学

キーワード：金融工学 資産運用 ファイナンス スマートベータ

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

2000年頃からスマートベータ指数と呼ばれる従来から使用されている市場指数(国内ではTOPIX)以外の指数が登場しており、年金資金の運用ではこの指数に連動するパッシブ型の運用商品を利用するケースが見られてきた。スマートベータ指数は市場指数のように企業の時価総額に基づいて構築されるのではなく、従来アクティブ運用で利用されてきた超過収益の源泉に基づいて単純なルールで構築されており、市場指数に比べ高リターンや低リスクという付加価値を持つことが特徴である。スマートベータ指数に対するパッシブ運用を利用することで、アクティブ運用の収益の源泉の一部を低い運用手数料で実現することができるため注目を集めている。

様々なアクティブ運用に対するスマートベータ指数がMSCIやSTOXXのようなインデックスベンダーから公表されており、アクティブ運用の大部分はスマートベータ指数を用いたパッシブ運用で賄うことができるようになってきているが、オルタナティブ運用といわれる空売りなど従来のアクティブ戦略で利用しない手法を利用した運用に対するスマートベータ指数は公表されていない。オルタナティブ運用はその特殊性から従来の戦略とは異なる高いリターン・リスク特性を持つとされ、資産運用の効率化に寄与すると言われているが、一般的に情報の秘匿性が高く、運用報酬も高いことが知られている。高い運用技術が要求される戦略であるため、単純なルールとして指数化するスマートベータ指数は構築されていない。

### 2. 研究の目的

このような状況の中で本研究では、オルタナティブ運用の1つであるペアトレード戦略に着目する。ペアトレード戦略は価格の連動性が高い2銘柄に着目して、何らかの理由で一時的に株価水準が乖離した状況でポジションを構築し、株価水準が元に戻った時点でポジションを解消することで利益を得る戦略である。古くからある代表的なオルタナティブ戦略であり、理論的・実証的な観点で様々な先行研究が行われている。このペアトレード戦略に対しルール化に必要な要素を精査し、スマートベータ指数が構築可能であることを示すことが本研究の目的である。

### 3. 研究の方法

ペアトレード戦略をスマートベータ化するために大きく以下の3つの研究を行っていく。

#### (1) ペアポートフォリオ構築に関する研究

山本・枇々木(2015)では、Gatev et al. (2004)を参考にして1ペアのペアトレード戦略に対し実際の運営に必要な条件を課した上で最適な投資戦略、具体的にはポジションを構築/解消する閾値を求める問題の定式化を行った。この問題は大規模かつ離散的な最適化問題として定式化されたため、山本・枇々木(2015)ではDF0(Derivative Free Optimization)手法という最適化手法を用いて求解を行っている。

本研究では大規模な資産運用が可能なスマートベータとしてペアトレード戦略を扱うため、この問題を複数ペアに拡張し、複数ペアへの最適資産配分問題を含めた最適投資戦略を決定する問題を定式化する。この問題は先行研究と比べさらに大規模かつ離散的な条件の下での最適化問題になるため、通常のDF0手法を用いても求解ができないことが予想される。そのため解法を工夫する必要があり、問題を効率的に求解するためのアルゴリズムを検討したのち、算出した最適解を分析することで最適な投資戦略について考察を行っていく。

具体的には定式化した最適化問題を最適資産配分問題と最適ポジション構築/解消閾値決定問題に分離し、それぞれの問題の解の情報を利用して反復的に求解していくことで良質な実行可能解を求める方法を提案する。

#### (2) 超過共変動の特性を考慮したロバスト性の高いペア選択方法の研究

超過共変動は理論を越える一時的な相関構造として定義され、超過共変動の性質を研究することで相関構造の崩れにくいペアを選択し、ロバストなペアトレード戦略を構築することが可能となる。超過共変動の統計的性質や時系列的特性に関してはMondoria(2010)やKallberg and Pasquariello(2008)など様々な先行研究が存在しているが、どの研究も個別銘柄間の超過共変動を取り扱ったものではなく、業種指数などを利用して計算負荷を軽減しているものが多い。個別銘柄間の超過共変動に関しては、徳永・山本(2012)によりその時系列特性について研究がなされたが、相関構造が一時的に崩れる要因や恒常的に崩れる要因に関しては明らかになっていない。

本研究では、はじめに株価データの収集を行い、徳永・山本(2012)と同様に長期間における個別銘柄間の超過共変動のデータを作成する。次に個別銘柄間の超過共変動の発生要因とその時系列特性について実証分析を行って明らかにする。具体的にはMondoria(2010)に着目し、投資家の注意量格差との関連性について検証を行い、超過共変動が発生する原因を調査する。超過共変動の発生要因が特定できれば、その指標を用いて一時的な相関構造の高まりや、そこから相関構造の収斂をモデル化することができ、その特性をロバストな相関構造を持つペアの選択に利用できる。

### (3) スマートベータを利用した最適資産運用に関する研究

上記2つのテーマの研究より、ペアの選択方法と資産配分方法、ポジションの構築/解消タイミングが明確化するため、オルタナティブ戦略の1つであるペアトレード戦略について構築方法をルール化してスマートベータを構築することが可能となる。オルタナティブ戦略は従来のアクティブ戦略とリスク・リターン構造が異なるため、この新しいスマートベータと従来のスマートベータを組合せることで、近年注目を集めているスマートベータを用いた株式運用をより効率化できる可能性が高い。

本研究では、はじめに既存のスマートベータ指数のデータを収集し、そのリスク・リターン特性を比較する。次に年金資金や個人投資家の資産運用に関してその特性を考慮した上でより効率的な資産運用を検討する。具体的にはスマートベータと市場局面情報との関係性を分析し、その特徴を活かして代表的なポートフォリオ最適化手法である平均・絶対偏差モデル(Konno (2011))を拡張したポートフォリオ最適化手法を提案する。

## 4. 研究成果

本研究では、5章に示すように研究論文を6本(うち査読付き4本)、書籍1冊、学会発表を9件(うち国際会議3件)の研究成果を出すことができた。また3章に示した3テーマ以外として信用リスクやガバナンスなど、スマートベータ指数構築をより効率的に行う研究も手掛けることができた。以下、研究テーマごとにその研究結果について説明する。

### (1) ペアポートフォリオ構築に関する研究

研究方法で紹介した通り、複数のペアを用いた最適ペアトレード戦略構築問題を定式し、Derivative Free Optimization (DF0)手法という最適化手法で求解できることを確認した。そして使用するペアの特性と最適ペアポートフォリオの関係を考察することで最適なペアトレード戦略の特徴を導き出した。具体的には収斂速度が速いペア、ボラティリティが高いペアを用いるとポジションを構築する閾値が小さくなるというものである。その特徴を用いて、より現実的な時間で求解ができるよう計算時間を短縮するアルゴリズムを提案した。以下に複数ペアトレード戦略構築問題を通常のDF0手法で求解した場合と提案したアルゴリズムを用いて求解した場合の計算時間の統計量を示す。

ペア数	2	3	4	5	6	7	8	9	10
通常	平均	1,346	3,857	9,729	19,194	43,581	-	-	-
	標準偏差	229	1,726	2,656	5,319	6,995	-	-	-
提案	平均	1,124	1,848	2,501	3,348	5,939	5,140	5,701	6,739
	標準偏差	247	305	309	1,350	1,342	693	492	1,059

この表より、提案した手法を用いることでペア数を増やしても最適なペアトレードポートフォリオを短時間で構築できることが分かる。本研究によって投資対象となるペアを特定することでそれを用いた最適な投資ポートフォリオを作ることができると実証できた。本研究の成果は査読付きの国際論文に掲載され、国際会議での発表も行った。

### (2) 超過共変動の特性を考慮したロバスト性の高いペア選択方法の研究

本研究では、個別銘柄間の異常な相関の高まり(超過共変動)について実証分析を行うことでその要因を明らかにした。具体的には国内株式のすべての超過共変動を平均した超過共変動指数に対し、業種や投資家の注意量のような超過共変動の要因となるファクターを用いて時系列分析を行った。その結果、以下のような事実を明らかにした。

- ・超過共変動は投資家の注意量が特定の銘柄に向けられているときに高く発生する。
- ・特に同業種内の銘柄間の超過共変動が注意量格差とともに高まる傾向がある。
- ・市場局面としてはブル局面に超過共変動が発生する。

つまり、ペアトレード戦略を構築するペアを選定する際には投資家の注意量も検討し、注意量格差のあるペア、例えば企業規模や流動性が大きく異なるペアは相関構造が崩れやすいため注意をする必要があることが分かった。本研究の内容は国内の紀要に掲載され、国内の学会で発表も行った。

### (3) スマートベータを利用した最適資産運用に関する研究

本研究では、スマートベータ指数を用いた効率的な資産運用方法を提案するために、まず国内のスマートベータ指数の特徴を実際のデータを用いて検証した。その結果、市場の方向性と集中度という要素で分類される市場局面との関係性を確認できた。そして市場局面ごとにスマートベータ指数の収益率分布が異なっているということを仮定したうえで、条件付きの最適化モデルを提案し、その有効性を検証した。国内市場のスマートベータ指数を使用した分析したパフォーマンスの統計量を以下に示す。

	市場	通常	提案
リターン	7.0%	8.2%	9.0%
リスク	18.1%	15.6%	15.8%
シャープレシオ	0.39	0.52	0.57

この表より、国内市場において提案した手法の有効性が確認でき、スマートベータ指数を用いた効率的な資産運用方法を提案できた。この研究結果は査読付きの国際論文誌に受理され、2019年に国際学会でも発表予定である。

#### (4) その他、スマートベータ指数に関する研究

スマートベータ構築、及びその運用方法に対しては投資対象企業の信用リスク評価やガバナンスの評価が必要になる。そのため当初計画はしていなかったが以下の2件の研究も行った。

1つ目の研究は信用リスクの研究であり、企業価値から倒産確率を推計する構造型モデルを改良し、企業価値の源泉である企業の利益から倒産確率を推計する構造型モデルを提案した。その際、企業の利益は予想が困難であることから、ベイズ統計を用いてその不確実性を緩和させる方法を提案している。国内の中小企業に提案した方法を適用し、ARという指標で実際の倒産データとの整合性を検証した結果を以下に示す。

年度	2012	2013	2014	平均
AR	0.54	0.64	0.69	0.63

この表より、提案したモデルのARは0.6を超えていることが分かる。実務的なモデルのAR値は0.6~0.65程度と言われており、提案したモデルは使用するデータが少ないにもかかわらずある程度高い精度で倒産確率を推計できていることが分かる。本研究は国内の査読付き論文誌に掲載されており、国際学会での発表も行った。

2つ目の研究は、ガバナンスに関するものであり、中期経営計画として企業の情報を投資家へ積極的に発信している企業の特性やその企業価値を実証分析で明らかにしたものである。具体的には中期経営計画に関するデータベースを作成し、いくつかの仮定の下その特性を確認した。その結果、中期経営計画は業績が低迷している企業が、従業員の鼓舞を目的として高い目標を掲げることが多いが、そのような目標値を投資家は冷静に判断しており、3年後その目標を達成できる企業のみが発表後の株価リターン上昇に繋がっていることが分かった。本研究は国内の査読付き論文誌に掲載されており、その学会誌の年間優秀賞を受賞している。

#### <引用文献>

- 山本零, 枇々木規雄, 「ファンド運営を意識した最適ペアトレード戦略-DF0手法を用いた問題設計-」, ジャフイー・ジャーナル, 第14巻, 2015, 202-233.
- Gatev, E.G., Goetzmann, W.N. and Rouwenhorst, K.G., "Pairs Trading: Performance of a Relative-value Arbitrage Rule," Review of Financial Studies, K.G. Vol.19, 2006, 797-827.
- 徳永俊史, 山本零, 「超過共変動の時系列特性分析」, 行動経済学会第6回大会プロシーディングス, 第5巻, 2012, 168-175.
- Mondria, J., "Portfolio Choice, Attention Allocation, and Rrice Comovement," Journal of Economic Theory, Vol.145, 2010, 1837-1864.
- Kallberg, J. and Pasquariello, P., "Time-series and Crosssectional Excess Comovement in Stock Indexes," Journal of Empirical Finance, Vol.15, 2008, 481-502.
- Konno, H., "Mean-Absolute Deviation Model," Stochastic Programming, Vol.150, 2011, 239-255.

#### 5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計6件)

Yamamoto, R., "An Efficient Equity Investing Model Using Smart Beta Based on Market Phase Information," to appear in International J. of Portfolio Analysis and Management, 査読有.

山本零, 澤田一成, 「ベイズ修正を用いた利益ベースの構造型信用リスクモデルの改良」, ジャフイー・ジャーナル, 査読有, 第17巻, 2019, 1-14.

Yamamoto, R. and Hibiki, N., "Optimal Multiple Pairs Trading Strategy using Derivative Free Optimization under Actual Investment Management Conditions," J. of the Operations Research Society of Japan, 査読有, Vol.60, No.3, 2017, 244-261.

山本零, 「Rではじめる信用リスク分析-順序ロジットモデルを用いた格付けモデル構築-」, オペレーションズ・リサーチ, 査読なし, 第61巻, 2016, 365-370.

浅田一成, 山本零, 「企業の中期経営計画に関する特性及び株主価値との関連性について-中期経営計画データを用いた実証分析-」, 証券アナリストジャーナル, 査読有, Vol.54, No.5, 2016, 67-78.

Tokunaga, T. and Yamamoto, R., "Excess Comovement and Investor Attention in Japanese Stock Market," 武蔵大学論集, 査読なし, 第64巻, 2016, 9-25.

[学会発表](計9件)

Yamamoto, R., "Optimal Pension Fund Management under Low Interest Rate Environment using Simulation-Based Multi-Period Optimization", 29th European Conference on Operational Research, 2018.

山本零, 「多期間最適化を用いた低金利下での最適年金運用」, 日本OR学会2017年秋季大会.

山本零, 浅田一成, 「ベイズ修正を用いた利益ベースの構造型信用リスクモデルの改良」, JAFEE2017年度夏季大会.

Yamamoto, R. and Sawada, K., "An EBIT-based Structural Credit Risk Model using Bayesian Estimation", IFORS2017.

山本零, 浅田一成, 「ベイズ修正を用いた利益ベースの構造型信用リスクモデルの改良」, 日本OR学会2017年春季大会.

山本零, 枇々木規雄, 「ファンド運営を意識した下での複数ペアを用いた最適ペアトレード戦略」, JAFEE2016年度冬季大会.

山本零, 枇々木規雄, 「ファンド運営を意識した下での複数ペアを用いた最適ペアトレード戦略」, 日本OR学会2016年秋季大会.

山本零, 浅田一成, 「企業の中期経営計画に関する特性及び株主価値との関連性について~中期経営計画データを用いた実証分析~」, JAFEE2016年度夏季大会.

Yamamoto, R. and Hibiki, N., "Optimal Multiple Pairs Trading Strategy using Derivative Free Optimization under Actual Fund Management Conditions", 28th European Conference on Operational Research, 2016.

[図書](計1件)

山本零 他, きんざい、マイナス金利と年金運用、2017、101-121.

[その他]

ホームページ等

<http://k-ris.keio.ac.jp/Profiles/270/0026981/profile.html>

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。