

令和 5 年 6 月 4 日現在

機関番号：34416

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2018～2022

課題番号：18K01694

研究課題名（和文）景気に左右されない頑健な資産運用手法の構築

研究課題名（英文）Construction of a robust asset management approach less dependent on the business cycle

研究代表者

吉川 大介（Yoshikawa, Daisuke）

関西大学・政策創造学部・教授

研究者番号：90735424

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,400,000円

研究成果の概要（和文）：本研究の成果は主に3つある。1つ目の成果は、景気に左右されないマーケット中立的なポートフォリオ構築の新しいアプローチを確立したことである。2つ目の成果は、得られたポートフォリオのモデル・パラメータが誤っている可能性を勘案した最適な投資戦略を確立したことである。3つ目は統計的裁定機会の源泉となりうるアノマリーの一つであるディスポジション効果を説明するモデルの一つを提示できたことである。また、さらに統計的裁定に伴う取引コストや、マーケット中立的なポートフォリオを構築する際に必要となる機械学習に関する知見をまとめた論文及び書籍を出版できたことも成果に数えたい。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究による成果がもつ学術的意義は、(1)従来はしばしば不安定だったマーケット中立的なポートフォリオの抽出をより安定的に遂行する新たな手法を開発したこと、(2)こうしたポートフォリオの推定につきまとう過誤を明示的に考慮した戦略を導き出したこと、そして(3)マーケット中立的な運用の源泉ともなる市場のアノマリーのうち、ディスポジション効果を説明する新たなモデルを提示したことにある。また、本研究で得られた安定的な資産運用手法を、たとえば年金基金などの資産運用に応用できれば、国民生活の安心に貢献できることが期待されるなど社会的意義は極めて大きいことも付言したい。

研究成果の概要（英文）：There are three primary outcomes of this study: First, we established a new approach to market-neutral portfolio construction that is independent of the economy; second, we established an optimal investment strategy that takes into account the possibility that the model parameters of the obtained portfolios are incorrect; and third, we were able to present one of the models that explain the disposition effect, one of the sources of statistical arbitrage opportunities. Furthermore, we published a paper and a book on the transaction costs associated with statistical arbitrage and machine learning, which is necessary for constructing market-neutral portfolios.

研究分野：金融・ファイナンス

キーワード：不確実性 あいまいさ回避 最適停止問題 機械学習 ディスポジション効果

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、研究者個人に帰属します。

## 1. 研究開始当初の背景

本研究のテーマは景気の上げ下げに左右されずに安定的に収益を上げる資産運用手法の構築である。様々な資産運用手法の中でもこのような資産運用を「マーケットに対して中立的」という。

マーケット中立的な資産運用手法のうち特に有名なものはモルガン・スタンレーの Nunzio Tartaglia のトレーディング・グループによって開発されたペアーズ・トレーディングである。これは共和分関係がみられる二つの銘柄を組み合わせたペアーの価値が平均回帰性を示すことを利用し、例えばペアーの価値が回帰水準をもっとも離れたときにポジションを組み、平均回帰水準に回帰したときを狙ってポジションを解消する、あるいは逆に回帰水準にタッチしたときにポジションを組み、回帰水準からもっとも離れたときにポジションを解消する、といったものである。

Tartaglia のグループはこのペアーズ・トレーディングにより大きな成功を収めた。実際、1987年には約 5000 万ドルの収益を上げたともいわれている。しかし、この手法の重要性は高収益性ではなく安定的な収益性にある。それゆえ、この手法はマーケット中立的な資産運用手法の中でも最も人気の高い手法の一つと考えられている。

このペアーズ・トレーディングをはじめとするマーケット中立的な運用手法は Tartaglia 以降、実務的に盛んに活用されただけでなく学術的にも大きく発展した。例えば、参考文献 [1] はペアーズ・トレーディングを数学的に定式化し、その後の研究に今なお大きな影響を与えている。また、ペアーズ・トレーディングに関する理論的・実証的な包括的なレビューとしてしばしば用いられる参考文献[2]なども大きな研究成果の一つである。また、もともとのペアーズ・トレーディングはその名の通り一組の銘柄の組み合わせを用いるものだが、より柔軟に2つ以上の銘柄を組み合わせた技術への拡張もあり(参考文献 [3])、マーケット中立的な資産運用手法は大きな広がりを見せている。

このように実務的にも学術的にも大きな関心を集め続けているマーケット中立的な資産運用であるが、他方でマーケット中立的な資産運用を行っていたといわれるヘッジファンドの LTCM は 1997 年、実に 46 億ドルともいわれる損失を被り破綻した。常にマーケット中立的な資産運用が成功を収めているわけではないのだ。

こうした失敗例は本来景気の上げ下げに左右されないことを目指したマーケット中立的な資産運用とは矛盾するように見える。本当にマーケット中立的な資産運用は「マーケット中立」なのだろうか。あるいは現在広く用いられているマーケット中立的な資産運用が実はそれほど安定的なものではないとすれば、真に安定的かつ頑健な資産運用手法の構築は不可能なのだろうか。本研究はこうした問いを背景に開始された。

## 2. 研究の目的

上述した LTCM の破綻に見られるように、一般に用いられているマーケット中立的な資産運用を行ったとしても必ずしも安定的とはいえない。その理由は様々だが、一つには仮定している事柄に誤りが含まれていることが考えられる。たとえば、ペアーズ・トレーディングの場合、統計的検定にパスしたペアーが平均回帰性を持つことが前提となるが、そもそも検定に過誤が含まれることもある。あるいは、検定に間違いがなかったとしても平均回帰水準を誤って推定しているかもしれない。さらには、ペアーを構成する銘柄の特性に過度な流動性を前提しているかもしれない。

このように資産運用に先立つ前提が実は誤りだった場合、たとえ正しい手順でマーケット中立的な資産運用を行ったとしても大きな損失を生み出してしまう可能性がある。このようなリスクはしばしばモデル・リスクと言われる。

そこで本研究は、マーケット中立なポートフォリオ構築を目指すのはもちろんだが、同時にこうしたモデル・リスクを勘案することで今日広く用いられているマーケット中立的な資産運用手法を真に頑健なものへと再構築することを目的とする。

実は、このようなマーケット中立的な資産運用手法が内包する問題について明示的に取り扱い、モデルが誤っている可能性に備えた戦略を構築しようとした先行研究はない。たとえば、参考文献[4]などはペアーズ・トレーディングの文脈で、もしペアーの価値が平均回帰水準に回帰しなかった場合に備えてあらかじめロスカット・ラインを設定すべきとして、最適なペアーズ・トレーディング戦略を提案している。しかしこれは前提するモデルが誤っているリスクに直接備えるものではなく、事後的な備えである。こうした中、モデルが誤っている可能性を明示的に考慮しつつ最適な資産運用戦略の構築を試みる本研究は極めて高い独創性と学術的独自性を有するものである。

唯一の例外は[5]である。この論文はモデル・リスクを明示的に勘案したペアーズ・トレーディングの構築を目指しているからだ。しかし、ペアーズ・トレーディングに限定して議論しているなど、マーケット中立的な資産運用法としてはやや焦点が狭い。また、回帰水準をもつポートフォリオの確保は前提としていて、こうしたポートフォリオの構築方法については論じていな

い。さらに、現実の投資では有限期間を想定すべきだが、[5]では無限の投資期間を前提しているなど、克服すべき問題も多い。そこで本研究においては、これらの問題の克服を試み、真に頑健なマーケット中立的資産運用手法の構築を目指す。

また、本研究においては単に独創性の高いものを目指だけでなく、社会的意義の高い成果を目指していることも付言したい。たとえば、年金基金などの資産運用に本研究の目指す真に頑健なマーケット中立的資産運用手法を応用できれば、安心した国民生活に直結する可能性がある。実際 2014 年、第 2 次安倍内閣発足後、年金積立管理運用独立行政法人(GRIF) は資産の 50%を国内外株式に割り当てるとし、資産運用方針を大きく転換することを決めた。これは、我が国において進む少子高齢化の中、厳しい年金財政を打破するきっかけとなることを目指したものであり、政策としては一定の妥当性があるものと言える。しかしよく知られているように、その後運用成績は株式市場の上下とともに揺れ動き、運用状況が報告されるたびに国民は一喜一憂することとなった。このような中、真に頑健なマーケット中立的資産運用を行い、安定的に年金基金を運用できれば国民生活の安心に貢献できることが期待されるなど社会的意義は極めて大きい。

### 3. 研究の方法

上記したように本研究は安定的にマーケット中立的運用手法の確立を目指す。本研究では統計的裁定機会を手がかりにマーケット中立的な投資手法を構築することにした。

統計的裁定は裁定の派生概念である。「統計的」という言葉からもわかるように、裁定機会が確定的なサヤ取りのチャンスを目指しているのに対し、統計的裁定は確率的なサヤ取りのチャンスを含意する。もちろん、可能であるならば裁定機会を利用することの方が望ましいのだが、残念ながら裁定機会は簡単には見つからない。確定的な統計的裁定の方が相対的には見つけやすい機会なのだ。

ところで厳密な統計的裁定の定義については議論が分かれるが、本研究では[6]による定式化を採用した。彼らの定式化によれば、有限な投資期間では損失が発生する可能性を排除できないにせよ、無限に投資期間を伸ばせばこうした可能性を排除できるようなポートフォリオを作ることができる、統計的裁定機会が存在するという。

具体的に最も重要になってくる要件は、ポートフォリオの分散が時間の経過とともに減衰してくることだ。[6]らは、ポートフォリオが実際に統計的裁定の要件を満たす検定手法について厳密に定式化しているが、実はその手続きは煩雑だ。しかし、幸いなことにもしポートフォリオが定常過程であれば、統計的裁定の要件は満たされることを示すことができる。また、ポートフォリオが定常過程であれば、マーケット中立的な資産運用も可能となる。なぜなら、定常ならばボラティリティは時間依存しないし、何よりポートフォリオがある回帰水準を中心に行ったり来たりすることが期待できるからだ。こうした特性を持つのであれば、例えば回帰水準から十分ポートフォリオが離れた時にポジションを組んで、回帰水準に収束した時に利益を確定することを繰り返すことで安定的に投資利益を確保できるというわけだ。

そこで、本研究では、まず定常なポートフォリオを探す方法を探すこと、そして定常なポートフォリオを使ってポジションをとるタイミングを確定する方法の確立に焦点を当てた。

ただし、最初のポートフォリオを探す作業には推定が入るのでどうしてもこれに伴う過誤が発生する。最も深刻な過誤は定常だと思っていたプロセスが実は定常ではなかった、というものだ。仮に定常であることは担保されたとしても、さまざまな定常モデルのうち、実際にポートフォリオが従うモデルとは異なるモデルを採用してしまう可能性もある。さらに、モデルが合っていたとしても、モデルのパラメータ推定にエラーがあるかもしれない。

こうした諸々の過誤に伴うモデル・リスクのうち、本研究では正しく定常モデルは特定できたものの、モデルのパラメータについては間違えてしまう可能性が残っている状況を考え、そのもとでの取引戦略を考えることにした。これはモデル・リスクとしてはささやかなものといえるが、まずはここを出発点としたのである。

さらに、もう一つの問題がある。統計的裁定であれ裁定であれ、こうした機会が存在する背景には市場に何らかの非効率性が存在するはずだ。もし市場が効率的であれば、それは市場の均衡を含意する。言い換えれば、もし均衡モデルが示唆する振る舞いから逸脱するような現象が市場で見られる場合、市場にはある種の非効率性が存在するはずだ。このような非効率性の源泉となる、いわば標準的な均衡モデルでは説明のつかないような現象はしばしばアノマリーと言われる。本研究では統計的裁定の原因ともなるアノマリーの探求も試みた。特に、ディスポジション効果と言われるアノマリーを説明するモデルの構築に取り組むことで、どうして統計的裁定が可能な状況が生まれるのか、という問題にまで遡った。

### 4. 研究成果

上記の研究方法に従って研究を進めた結果、本研究では3つの主要な成果が得られた。

1つ目の成果は、マーケット中立的なポートフォリオ構築の新しいアプローチを確立したことである。2つ目の成果は、得られたポートフォリオのモデル・パラメータが誤っている可能性を勘案した最適な投資戦略を確立したことである。3つ目は統計的裁定機会の源泉となりうるアノマリーの一つであるディスポジション効果を説明するモデルの一つを提示できたことである。

また、さらに統計的裁定に伴う取引コストや、マーケット中立的なポートフォリオを構築する際に必要となる機械学習に関する知見をまとめた論文及び書籍を出版できたことも成果に数えたい。以下では主要な3つの成果に絞って、概要を報告する。

#### (1) マーケット中立的なポートフォリオ構築の新しいアプローチ

上述したように、もしポートフォリオが定常過程であれば、統計的裁定機会が生じ、マーケット中立的な投資戦略が可能になる。従来、定常なポートフォリオを探索する場合には共和分検定を通じたアプローチがしばしば採用されてきた。しかし、共和分検定により導き出されるポートフォリオはしばしば安定性を欠くとも言われ([7])、また特に資産数が多い場合、共和分検定にパスできず、ポートフォリオを見つけること自体が困難なことがある。そこで、こうした問題を克服し、より安定的に定常なポートフォリオを探すことを可能にする手法を確立した。この方法の主眼は、危険資産の価格過程を固有値分解を使っていくつかのファクターに分解し、各ファクターのうち非定常なもののみを打ち消すようなポートフォリオを構築することにある。残されたファクターは定常なので、ポートフォリオ全体も定常になるというわけだ。

こうして構築したポートフォリオを使って、S&P500 に登録されている銘柄を使って有効性を検証した。すると、ほとんどのケースで従来の共和分検定に基づく手法よりも優位であることを示すことができた。しかし、まれに優位性を示せないケースもあった。その原因を共分散行列の推定誤差にあると見通しを立て、ディープラーニングのフレームワークを用いて精緻化を試みた。その結果は目覚ましく、全てのケースにおいて性能の向上が確認できた。

#### (2) モデル・パラメータの推定誤差を勘案した投資戦略の構築

定常性のあるポートフォリオは回帰水準を行ったり来たりすることが期待できる。この前提のもとでの投資戦略は単純に見える。回帰水準から十分離れたタイミングでポジションを取り、回帰水準に収束した時点で利益を確定すれば良いからだ。

しかし、回帰水準から十分離れたタイミングかどうかをどのように判定すれば良いのだろうか？ 厳密にこの問いに答えるためには最適停止問題を解く必要がある。本研究では、定常性をもつポートフォリオのモデル・パラメータが誤っている可能性を勘案して、最適停止問題に取り組んだ。モデル・パラメータの誤りは、推定モデルを前提に確率測度と、実際に取引戦略の構築に用いる確率測度との距離のようなものをペナルティとして最適停止問題に組み込むことで定式化した。

最終的には、この問題を解析的に解くことに成功しただけでなく、モデルの過誤を忌避する指標の提案にまでつなげることができた。

#### (3) ディスポジション効果を説明するモデルの確立

ディスポジション効果とは、投資において人が示す、利益の確定には急ぐが、損切には躊躇する性向を指す。こうした性向は経験的にはしばしば観測されるものだが、モデル化は難しい。理論的には、[8]らによるプロスペクト理論を援用したモデルが強い影響力を持っている。しかし、彼らのフレームワークでも、資産の期待リターンが高い場合にはうまくディスポジション効果が説明できないことがわかっている。そこで、[8]のフレームワークに、投資家が真の確率がわからないという設定、つまりモデル・リスクを付加することで新たなモデルを構築した。

このモデルのもとで、最終的には[8]でも捉えきれなかったディスポジション効果をうまく説明できるモデルの構築に成功した。

## 参考文献

- [1] R.J. Elliott, J.M. Van Der Hoek, and W.P. Malcolm. Pairs trading. *Quantitative Finance*, 5:271-276, 2005.
- [2] E. Gatev, W.N. Goetzman, and K.G. Rouwenhorst. Pairs trading: Performance of a relative-value arbitrage rule. *Review of Financial Studies*, 19:787-827, 2006.
- [3] M. Avellaneda and J. Lee. Statistical arbitrage in the US equities market. *Quantitative Finance*, 10:761-782, 2010.
- [4] E. Ekström, C. Lindberg, and J. Tysk. Optimal liquidation of a pairs trade. In G.D. Nunno and B. Øksendal, editors, *Advanced Mathematical Methods for Finance*, pages 247-255. Springer, Berlin, 2011.
- [5] D. Yoshikawa, "An entropic approach for pair trading", *Entropy*, Vol. 19, No.7, 2017.
- [6] Hogan, S., Jarrow, R., Teo, M., Warachka, M., 2004. Testing market efficiency using statistical arbitrage with applications to momentum and value trading strategies. *Journal of Financial Economics* 73, 525-565.
- [7] De Prado, M. (2018). *Advances in financial machine learning*. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons,
- [8] Barberis, N. and W. Xiong (2009). What drives the disposition effect? an analysis of a long-standing preference-based explanation. *The Journal of Finance* 64(2), 751-784.

5. 主な発表論文等

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

1. 著者名 Iwaki Hideki, Yoshikawa Daisuke	4. 巻 15
2. 論文標題 The Disposition Effect under the Reference Dependent Smooth Model of Ambiguity	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Asia-Pacific Journal of Risk and Insurance	6. 最初と最後の頁 107 ~ 144
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1515/apjri-2020-0041	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 -

1. 著者名 山崎 輝, 吉川 大介	4. 巻 18
2. 論文標題 取引コストを伴う最適消費・投資問題の進展について	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 イノベーション・マネジメント	6. 最初と最後の頁 141-159
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 -

〔学会発表〕 計9件（うち招待講演 1件/うち国際学会 4件）

1. 発表者名 Daisuke Yoshikawa
2. 発表標題 A new investment method for statistical arbitrage using eigendecomposition to generate stationarity
3. 学会等名 IIAI AAI 2023 14th International Congress on Advanced Applied Informatics (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 吉川大介
2. 発表標題 Model uncertainty for statistical arbitrage
3. 学会等名 日本オペレーションズ・リサーチ学会 2023 年春季研究発表会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 吉川  大介
2. 発表標題 固有値分解とディープラーニングを用いた新しい統計的裁定戦略の構築
3. 学会等名 人工知能学会全国大会 (第37回)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Daisuke Yoshikawa
2. 発表標題 Model uncertainty for statistical arbitrage
3. 学会等名 10th International Congress on Industrial and Applied Mathematics (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 吉川  大介
2. 発表標題 Pairs trading with deep learning
3. 学会等名 人工知能学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 吉川  大介
2. 発表標題 Pairs trading with deep learning
3. 学会等名 人工知能学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Daisuke Yoshikawa
2. 発表標題 Pairs trading under model uncertainty
3. 学会等名 Robust Techniques in Quantitative Finance (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Daisuke Yoshikawa
2. 発表標題 Pairs trading under model uncertainty
3. 学会等名 Stochastic Analysis Group Seminar “Probability, Stochastic and Finance” (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Daisuke Yoshikawa
2. 発表標題 A note on market structure with transaction costs
3. 学会等名 IFABS 2018 Porto Conference (国際学会)
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 吉川大介	4. 発行年 2022年
2. 出版社 共立出版	5. 総ページ数 272
3. 書名 データ駆動型ファイナンス	

〔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
---------	---------