

事例研究 [レター]

資産配分モデルの実務への適用と投資信託の設計

伊藤 雅剛, 徐 嘉文, 枇々木 規雄

キーワード：金融工学, 最適資産配分モデル, インプライド分布, スイッチ戦略, 投資信託

1. 研究の背景と目的

日本銀行による量的緩和とマイナス金利政策を受けて国内は低金利環境が継続し、日本国債運用による投資収益の獲得が難しくなっており、価格下落リスクを抑えた安定運用を求める資金の行き先が狭まる状況に直面している。また、貯蓄から資産形成への大きな流れの中で、リスクを分散し中長期にわたる安定的な資産形成に資する投資商品は個人投資家からも求められており、そのような投資商品の開発、提供は投資信託会社にとって競争力に直結する重要な課題となっている。その運用手法の一つとして、複数資産クラスに投資するバランス型運用があげられる。一般的に、平均・分散モデルなどの金融工学理論に基づいた最適化アプローチで各資産の投資配分を決定する手法が用いられている。一方で、近年、オプション価格から市場参加者をもつ原資産の価格変動に対する予想を内包するインプライド分布、資産間の依存関係をより精緻に記述するコピュラ、下方リスクを最小化する最適化モデルなど、価格下落リスクを抑えた安定運用に応えることが可能な理論・方法論がいくつか開発されてきた。

そこで、本稿は金融工学理論・方法論の実務への適用を図るため、インプライド分布を用いた最適資産配分モデルに関する先行研究（霧生・枇々木 [1]）をベースに、市場の状態に適応する仕組みを取り入れ、価格下落リスクを抑えた安定運用を目的とした資産配分モデルを構築する。そして、このモデルに基づいて投資信託商品を設計し、実運用を行い、運用パフォーマンス

スを評価する。

本稿の事例研究としての重要な貢献は、事前のバックテストとパイロットファンドによる実運用の両面から、運用戦略のパフォーマンスを検証することである。モデルの有用性を示すためには、通常、過去データを用いたバックテストによって、その運用パフォーマンスは検証され、実運用の結果が示されることはない。一方で、商品化された投資信託は運用モデルの詳細が示されることはほとんどなく、その運用報告書では運用開始からの運用結果のみが示されるだけである。実際に投資信託として運用する場合には、再現性、流動性、管理・維持コストなどを考慮して商品設計するものの、バックテストだけではわからない面も多く、その意味では実運用においてモデルの有用性を検証しきれていない。ただし、これは研究を行ううえでの限界である。本稿では、その限界にチャレンジするために、実運用を考えた資産配分モデルの構築と投資信託の設計を行い、17年間にわたるバックテストによる事前のパフォーマンス検証に加え、2年半にわたり（現在も継続中）、実際に資金の運用を行ったパイロットファンドによる運用結果の検証を通じて、金融工学技術を資産運用実務へ応用する際の有用性を示す。

本稿の構成は以下のとおりである。2節で最適資産配分モデルの概要を示す。そして、3節で実際の運用を想定したバックテストを行い、4節で投資戦略の商品化に向けた検討を行い、実際に運用を行ったパイロットファンドの運用成績について検証する。最後に、5節で結論と今後の課題を述べる。

2. 最適資産配分モデル

2.1 設計方針とモデルの概要

近年、テールリスクに対する関心度が高くなる中、投

いとう まさたけ
アセットマネジメント One 株式会社¹
〒100-0005 千代田区丸の内 1-8-2 鉄鋼ビルディング
じよ かぶん
岡三アセットマネジメント株式会社
〒104-0031 中央区京橋二丁目 2-1 京橋エドグラン 21 階
ひびき のりお
慶應義塾大学理工学部管理工学科
〒223-8522 横浜市港北区日吉 3-14-1
受付 21.4.20 採択 21.8.10

¹ 本研究の内容は著者が慶應義塾大学大学院理工学研究科に所属していたときに行われたもので、すべて個人の見解であり、著者の所属する組織としての見解をいかなる意味でも表さない。

資家が投資信託商品の下方リスクを重視する姿勢が鮮明となり、高度な金融工学技術をもってポートフォリオの下方リスクをより精緻に計測したうえで抑制することが求められている。複数資産クラスに投資しリスク分散を図るバランス型の定量運用ファンドで一般的に用いられている平均・分散モデルでは、このようなニーズに対応するには限界がある。

また、予め決められたアプローチに従う定量運用は、外部環境の変化により想定していない状況が発生する場合に正常に機能せず、パフォーマンスが悪化する恐れがある。モデルを途中で改良する場合、従来のパフォーマンスが得られなくなるリスクが残るほか、既存の投資家に対する内容の説明と承認の取得も負担がかかるため、実現するにはハードルが高い。そのため、定量運用モデルを設計する際に、外部環境の変化に適応する仕組みを取り入れてモデルの柔軟性を向上させることはパフォーマンスの安定化に非常に重要なポイントと考えられる。

本稿は、霧生・枇々木 [1] をベースに変動目標リターンおよびスイッチ戦略といった市場の状態に適応する仕組みを導入し、これらの問題点に対応した実務運用レベルの最適資産配分モデルを構築する。具体的には、インプライド分布、コピュラ、下方リスク尺度などの金融工学技術を応用し、ポートフォリオの下方リスク最小化を目的とした最適化を行う。その一方で、変動目標リターンおよび「積極・保守」スイッチ戦略を組み入れることにより、市場環境の変化に起因するモデルのパフォーマンス悪化を防ぐと同時に、機動的な資産配分を実現しリターンの向上を目指す。投資対象は伝統的 4 資産で、国内株式、米国株式（ヘッジ付き）、国内債券、米国債券（ヘッジ付き）とする。これらの資産は透明性、流動性が十分にあり、かつ顧客にとつ

てわかりやすいことから、多くの投資家の資金需要に対応している。

モデルの概要を図 1 に示す。モデルは、「収益率分布の推定」、「資産間の依存関係の記述」、「下方リスク尺度と最適化」、「市場状態に適応するための仕組み」の四つの要素から構成されている。

2.2 モデルの構成要素

図 1 に示した四つの構成要素を簡潔に説明する。

(1) 収益率分布の推定

株式収益率分布は、原資産（株式）価格に混合対数正規分布を仮定し、オプション市場データから推定する。オプション価格から導出される原資産の収益率分布をインプライド分布と呼ぶ²。債券オプションは相対的に流動性が低く、インプライド分布の推定が安定しないため、債券収益率は一般化双曲型 (GH) 分布を仮定してヒストリカルデータから推定する。GH 分布は、正規分布、t 分布などを表現できる汎用性の高い分布であり、左右非対称でファットテール性も表現することができる。収益率分布の推定後に、その形状は維持しつつ、株式指数のバリュエーション指標、債券指数の利回り指標などを総合的に考慮して期待収益率の調整を行う。

(2) 資産間の依存関係の記述

線形相関を想定する多変量正規分布を用いると、世界金融危機のような資産間の連動性が急激に高まる非線形な相関関係を表現できず、市場の急落といったリスクを過小評価する恐れがある。そこで、これらの現象を反映することができるように、多様な非線形の依存構造を記述することができるコピュラを用いて収益率分布を記述し、資産配分を決定する。コピュラを用いると、周辺分布とそれらの依存関係を分離できるため、ヒストリカル分布とインプライド分布を混在させることができる。本稿では、資産間の依存関係は、t コピュラを用いて記述する。そのため具体的に、各資産の過去 60 カ月の月次収益率データ（月初営業日基準）を用いて、t コピュラのパラメータの自由度と相関行列を推定する。相関行列は順位相関であるケンドールの τ を用いて推定し、自由度は最尤推定により計算する³。

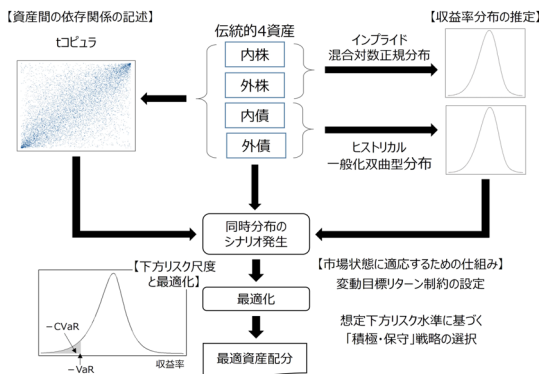


図 1 最適資産配分モデルの概要

² インプライド分布の導出に関する基本的な枠組みは小田・吉羽 [2] を参照されたい。

³ パラメータは周辺分布をヒストリカルデータに基づく経験分布と仮定し、推定する。これらの推定方法を含む金融実務におけるコピュラ的具体な活用方法については、戸坂・吉羽 [3] を参照されたい。

(3) 下方リスク尺度と最適化

条件付きバリュエーション・アット・リスク (Conditional Value at Risk: CVaR) をリスク指標として用いる。CVaR は、ある信頼水準 β におけるポートフォリオの収益率の最大損失 (β -VaR) を上回る損失の期待値である。そして、目的関数に CVaR の最小化、制約条件には為替のフルヘッジコスト (内外金利差) を含む予算制約、期待収益率制約、投資比率の上下限制約を置いて線形計画問題として定式化し、最適化を行う⁴。株式に対するインプライド分布と債券に対する GH 分布にコンピュータで依存関係を組み込んだ収益率分布に対して、モンテカルロシミュレーションで複数資産の収益率シナリオを発生させ、最適投資比率を算出する。

(4) 市場状態に適応するための仕組み

長期にわたって一定の投資収益を獲得する投資戦略を構築するには、下方リスクを抑制する仕組みだけではなく、市場環境の変化に適応できるモデルを構築することが不可欠である。そのため、前述の金融工学技術の単なる実用化ではなく、各要素の有機的な組み合わせを試し、より柔軟性のある投資戦略を設計する。

具体的には、価格下落リスクを抑制するために、最適ポートフォリオで想定している下方リスク量を点検し、下方リスクが低い場合は、目標リターンを獲得を目指す戦略 (目標期待リターン制約付き CVaR 最小化戦略: 以降、積極戦略) を採用するが、市場環境の悪化などにより許容範囲を超える下方リスクが想定される場合は、目標リターン確保を一時的に諦めて、下方リスクを最小化する戦略 (CVaR 最小化戦略: 以降、保守戦略) へ切り替えるスイッチ戦略を採用する。二つの戦略は、最適ポートフォリオに対する CVaR (3 節以降では信頼水準 80% CVaR) の値を参考に切り替える⁵。

一方で、インプライド分布の導入を通じて日米株式の価格変動に対する市場参加者の予想を取り込み、変化する市場環境の中で収益率分布の予測精度の向上を図る。さらに、「日本国債利回り $+\alpha$ 」という変動目標リターン制を導入し、市場の状態に適応したモデルを構築する⁶。相場状況に応じた目標リターンの設定が可

能となり、機会損失もしくは無理なリスクテイクを回避することができる。

3. バックテスト

3.1 条件設定

以下の設定条件のもとで、下記の五つの投資戦略を比較し、スイッチ戦略の運用パフォーマンスを検証する。

◇データ

- 分析期間: 2001 年 6 月 4 日 ~ 2018 年 7 月 3 日
- 投資対象: 日経平均株価 (以降日経平均), S&P500 種指数 (ドル建て, 以降 S&P500), FTSE 日本国債総合指数 (以降 FTSE 日債), FTSE 米国債総合指数 (ドル建て, 以降 FTSE 米債)
- オプション価格データ: 日経 225 オプション (大阪証券取引所), S&P500 オプション (シカゴ・オプション取引所)

◇コスト

- ヘッジコスト: 日米金利差 (1 カ月 LIBOR)
- 取引コスト: 考慮しない

◇リバランス: 月次。米国の月初営業日データ, 日本の翌営業日データで計算

◇比較対象: ① スイッチ戦略, ② 積極戦略, ③ 保守戦略, ④ 最小分散戦略, ⑤ 等比率戦略

◇最適化問題

- 為替ヘッジ: ドル建て資産はフルヘッジ
- 各資産の組入比率制約: 上限 50%, 下限 0%
- 目標期待リターン (スイッチ戦略, 積極戦略のみ): FTSE 日本国債総合指数利回り $+\alpha$
- リスク尺度: 信頼水準 80% CVaR
- 収益率のシナリオ数: 20,000 本

3.2 パフォーマンス検証

投資時点 (リバランス時点) までに取得可能なデータ (訓練期間) をもとに、最適資産配分を算出し、1 カ月間 (テスト期間) 運用する。テスト期間をスライドしながら (リバランス間隔を 1 カ月として)、この運用を繰り返してリターンを計算する。2001 年 6 月 4 日を 10,000 として指数化し、分析期間中における各戦略の累積リターンの推移を図 2 に、各戦略のパフォーマンス統計量を表 1 に示す。

リスク最小化を目的とする最小分散戦略と保守戦略の統計量を比較すると、平均収益率のみならず、標準偏差、最大ドロウダウン、80% CVaR などのリスク指標のすべてにおいて、保守戦略が優位となることがわかる。この二つの戦略の違いは、最小分散戦略がヒストリカルデータに基づく分散と固定相関を組み合わせて

⁴ CVaR を用いた最適化問題の定式化の詳細は 枇々木・田辺 [4]8.2.4 項を参照されたい。

⁵ 株式の収益率分布の推計に、①オプション価格から推定されるインプライド分布の適用、②バリュエーション指標による期待収益率の調整、をすることによってスイッチング判断に使われる予想 CVaR の計算について推計精度の向上を図ることができ、判断が後追いになる懸念の軽減を試みている。

⁶ α は投資対象である株式、債券の期待収益率水準に基づいて決定される。

表1 パフォーマンス統計量 (バックテスト：月次収益率から算出)

	日経平均 (*1)	S&P500 (*1, *2)	FTSE日債 (*2)	FTSE米債 (*2)	スイッチ戦略	積極戦略	保守戦略	最小分散戦略	等比率戦略
平均収益率 (年率換算)	5.01%	4.32%	1.83%	2.60%	3.64%	2.95%	2.63%	2.47%	3.44%
標準偏差 (年率換算)	20.70%	15.65%	2.29%	4.44%	2.88%	3.88%	2.48%	2.52%	7.94%
最大ドローダウン (全期間)	-60.17%	-56.59%	-5.19%	-6.07%	-2.93%	-15.47%	-3.32%	-3.60%	-30.72%
80%CVaR(*3)	7.77%	6.09%	0.74%	1.53%	0.84%	1.29%	0.76%	0.82%	2.93%
平均収益率/SD	0.242	0.276	0.800	0.586	1.265	0.761	1.061	0.979	0.434
平均収益率/MDD	0.083	0.076	0.354	0.428	1.244	0.191	0.793	0.685	0.112
平均収益率/80%CVaR(*3)	0.054	0.059	0.207	0.142	0.359	0.191	0.289	0.250	0.098

※太字：投資戦略 (指数を除く) の中で各指標における最も良い結果

(*1) 配当込, (*2) ヘッジ付き, (*3) 月次で算出, SD: 標準偏差, MDD: 最大ドローダウン

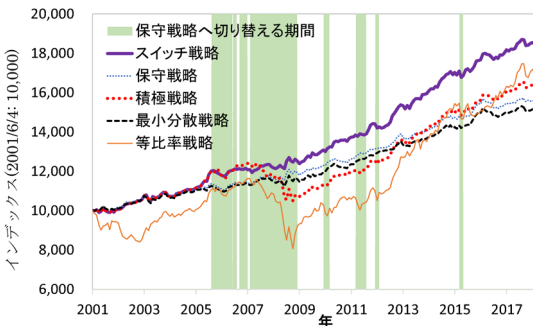


図2 累積リターンの推移

たモデルを用いているのに対し、保守戦略はインプライド分布、コピュラ、下方リスク尺度 (CVaR) を組み合わせたモデルである。これらの三つの要因の影響の違いで保守戦略は優位になったと考えられる。

次に、スイッチ戦略と保守戦略の統計量を比較する。リスク指標ごとにそれぞれの戦略がそれぞれ優位になる指標は異なるが、その差は小幅である。一方で、投資効率性を示す三つの比率尺度 (平均収益率/リスク) はスイッチ戦略の方が高い。市場のボラティリティが高いときに下方リスク抑制に注力し、一方で市場が落ち着くときにはリターンの獲得を図るメリハリのある投資行動が、リターンの改善と投資効率性の向上に繋がったと考えられる。また、近年投資家に重視されている最大ドローダウンも、スイッチ戦略の下落幅の方が小さくなった。

図2に示すように、スイッチ戦略は保守戦略や最小分散戦略と比べて、短期間での安定性は多少劣るものの、下落幅は小幅であり、累積リターンは中長期にわたって右上がり推移することから、下落リスクを抑えて一定の投資収益を目指す安定運用型の運用戦略を実現できている。スイッチ戦略の資産配分の推移を図3に示す。積極戦略を採用している時期では株式への投資

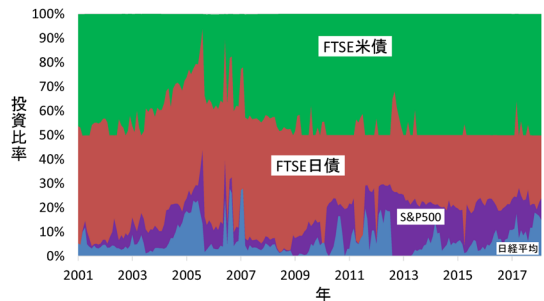


図3 資産配分の推移 (スイッチ戦略)

割合が増えていることがわかる。

パフォーマンスは中長期的には安定している。紙面の都合上、省略するが、ポートフォリオの月次収益率を見ると、下落率の大きい局面が存在する。月次収益率の下落率が大きい局面を抽出した時点の各資産の下落率とそのときに市場で起きた出来事を表2に示す。事前に予想しにくい市場に負の影響を及ぼす出来事の発生や、想定外の金利上昇などを背景に株式と債券の相関関係が崩れ、三つ以上の資産が同時に下落するケースが多い。ただし、下方リスクを抑制する仕組みをもつスイッチ戦略はリスク顕在化後のリバランスで、資産配分が大きく変更されたり、市場に負の影響を及ぼす一過性の出来事のために株式と債券の相関関係が短時間で通常に戻ったりすることなどから、連続かつ大幅な下落の場面はなかった。

4. 投資戦略の商品化

4.1 商品化のための検討事項

これらの運用モデルを用いて、実際のファンドとして商品化するにあたり、下記の項目について検討および検証を実施した。

(1) 投資対象の選定

現物、先物、ETF (Exchange Traded Funds: 上場

表2 下落率が大きい局面

リバランス期	各指数の収益率				スイッチ 戦略の 収益率	市場で起きた出来事
	日経 平均	S&P 500	FTSE 日債	FTSE 米債		
2001年8月	-14.5%	-7.2%	0.0%	0.2%	-1.4%	① 日・米株はハイテク株を中心に急落
2001年11月	0.7%	4.0%	-0.4%	-2.6%	-1.3%	② 米エンロン社が破綻
2003年7月	-1.5%	-0.3%	-0.1%	-4.9%	-2.2%	③ FRB 議長が非伝統的手法の導入に消極的姿勢を示す
2004年4月	-2.1%	-1.0%	-0.2%	-3.2%	-1.6%	④ 米国の利上げ観測が高まる
2007年7月	-6.4%	-3.9%	0.6%	1.1%	-1.2%	⑤ サブプライム、ベアー・スターンズ傘下のファンドが破綻
2009年1月	-13.5%	-11.4%	-0.4%	-1.5%	-1.4%	⑥ 日米経済指標の悪化、企業業績の下方修正より世界景気に不安
2012年5月	-11.6%	-9.1%	0.5%	2.4%	-1.5%	⑦ ギリシャ総選挙で連立協議失敗、EU 離脱懸念強まる
2013年6月	4.2%	-1.6%	-0.3%	-1.2%	-1.0%	⑧ FRB 議長が QE3 を縮小する方針を示唆し、金利が上昇
2015年8月	-11.8%	-8.8%	0.1%	-0.1%	-1.9%	⑨ 中国政府による人民元の切り下げ
2018年2月	-9.0%	-5.2%	0.4%	-0.2%	-1.6%	⑩ 米国財政悪化懸念、金利上昇

投資信託)の3種類を投資対象の候補として検討した。選定する際に考慮すべきポイントは、①原資産の指数パフォーマンスの再現性、②流動性、③管理・維持コストの三つと考えられる。その中で、②流動性と③管理・維持コストについては、投資対象を選定する前に重要な要因となるファンド規模を予め想定する必要がある。表3にこれらの一般的な優劣順位を示す。

一般的に、現物は再現性の面では優れるが、管理・維持コストは相対的に高い傾向がある。先物は流動性や、管理・維持コストの面では優れる一方、価格決定メカニズムに現先スプレッド(満期までの金利分)の影響があるため、金利の高い国では、キャッシュ部分の短期金利運用など再現性の低下に注意する必要がある。ETFに関しては管理・維持コストは比較的低いが、原資産によっては流動性が十分とはいえない銘柄がある。本研究では上記の三つのポイントに加え、パイロットファンドの規模を考慮したうえで、表4に示した投資対象を選定した。ただし、米国株ETFは為替ヘッジなしのため、同ETFへの投資ポジションから実質のドルポジションを算出し、為替予約取引をもってヘッジを実施する。

(2) 債券の投資比率の調整

バックテストで評価に用いたFTSE日本国債総合指数とFTSE米国債総合指数は、直接連動する投資対象が存在しないことや、ポートフォリオ構築にはファンド規模の制約があるため、日本国債と米国7-10年債ETFを代替投資対象として採用する。各指数との連動性を図るために、投資対象と国債総合指数の修正デュレーションに基づいて投資比率を調整する。

(3) リバランスによる影響の確認

実際に運用を行う場合、ポートフォリオの資産配分算出と実行までに時間があるほか、マーケットインパ

表3 三つのポイントにおける一般的な優劣順位

再現性	現物	>	ETF	>	先物
流動性	先物	>	現物	>	ETF
管理・維持コスト	先物	>	ETF	>	現物

表4 投資対象一覧

資産クラス	投資対象
日本株式	日経 225 連動型上場投資信託
米国株式	i シェアーズ S&P500 米国株 ETF (為替ヘッジなし)
日本国債	日本国債現物
米国債	i シェアーズ・コア米国債 7-10 年 ETF (為替ヘッジあり)

クトや売買手数料などの執行コストが発生する。執行コストを低減するため、実務上は目標投資配分から一定程度の乖離を許容するケースも多い。したがって、運用戦略の商品化を検討する際、リバランスタイミングや執行コストによる影響を確認する必要がある。

上記各項目による影響を精査したうえで、岡三アセットマネジメント(株)は2018年6月29日にパイロットファンドとして、スイッチ戦略を採用した「日米4資産アロケーションファンド(適格機関投資家専用)」の運用を自己資金1,000万円を開始した。ただし、投資ポジションは7月4日から構築した。

4.2 パイロットファンドの運用成績

実際に運用する場合には、4.1節で説明したように、毎月リバランス時の執行コスト、信託報酬などの管理・維持コストが存在するほか、指数へ直接投資できない代替投資による影響もある。そのため、3節のバックテストで行った各資産クラスの指数に投資し、管理・維持コストも考慮しないという前提のもとで行う仮想運用とはリターンに差異が生じる。そこで、パイロット

ファンドの運用成績を評価するために、仮想運用（代表指数ベース、運用コストなし）による投資戦略と比較する。パイロットファンドはスイッチ戦略を採用しているが、以降、スイッチ戦略と記載されている場合には仮想運用のことを表す。

(1) パフォーマンス

2020年12月30日までのパイロットファンドの基準価額を図4に実線（太線）で示す。また、スイッチ戦略を実線（細線）、各資産の代表指数の推移を破線で示す（2018年7月3日を10,000として指数化）。対象期間には、米中貿易摩擦や新型コロナウイルスの影響で、世界同時株安局面が複数含まれており、投資戦略の下方リスクの検証に適していると考えられる。

表5に投資ポジション開始後のパフォーマンス統計量を示す。期間中パイロットファンドの基準価額は6.84%上昇し、年率リターン換算すると2.77%になる。日次収益率から算出した年率標準偏差は3.97%となり、日経平均株価、為替ヘッジ付きS&P500指数、為替ヘッジ付きFTSE米国債総合指数の年率標準偏差を下回る水準となる。日次収益率から算出する最大ドローダウンが-5.64%となり、日経平均株価や為替ヘッジ付きS&P500指数の同-30%強に対して下落幅を大幅に抑えたほか、為替ヘッジ付きのFTSE米国債総合指数の同-5.32%に比べて小幅な劣後に止まり、実運用においても下方リスクを抑制できた結果と考えられる。また、バックテストと同様に月次収益率から算出する最大ドローダウンが-2.69%となり、バックテストの同-2.93%を超えず、厳しい市場局面でも想定どおりの下方リスク抑制効果を発揮したといえよう。紙面の都合上、省略するが、ファンドの月次収益率をみると、米国長期金利の上昇を受けて三つの資産が下落した2018年10月には最大の下落率（-2.14%）を記録したが、バックテスト期間の最大の下落率（-2.21%）を超えなかった。ほかに1%強下落した月が3回あったものの、全期間を通してみた場合、連続かつ大幅な下落にならずにプラスのリターンを獲得したことは、バックテストの結果と整合的であると考えられる。

スイッチ戦略、最小分散戦略、等比率戦略の投資効率性指標（運用コストなし）を比較すると、「平均収益率/標準偏差」については最小分散戦略が一番高いが、下方リスクに着目する「平均収益率/最大ドローダウン」についてはスイッチ戦略が一番高い結果となる。期間中、最大ドローダウンは最小分散戦略と同程度に抑えた一方、より高いリターンを獲得したことに注目したい。

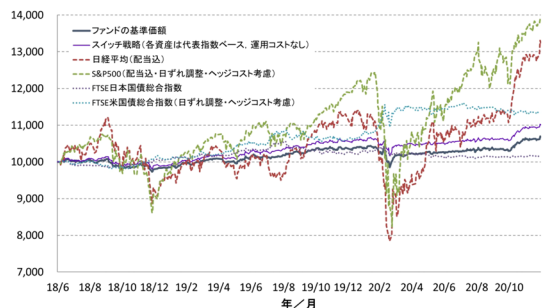


図4 パイロットファンドの基準価額の推移

(2) 資産配分変更の効果

パイロットファンドを設定して以降、各月に適用される戦略、目標資産配分と、当該月の各資産の収益率を見てみると、紙面の都合上、詳細な結果は省略するが、期間中、2019年1月、2020年3月～7月、2020年10月に保守戦略へのスイッチが行われた。2020年3月と10月には3資産以上の同時下落が発生し、保守戦略へ切り替えたことから大きな損失を回避した。一方で、2019年1月、2020年4月～7月の保守戦略の適用は投資収益の改善に必ずしも繋がらなかったが、当時の状況を振り返ると日米株式市場の同時大幅安が発生した直後に加え、米中貿易摩擦や新型コロナウイルスの感染拡大などを受けて世界的な景気減速懸念が一段と高まったため、保守戦略へのスイッチ判断は投資家予想を取り組む当モデルの設計に合致する結果と考えられる。また、各月の株式と債券の資産配分と各資産の収益率を照らし合わせると、株式の配分を引き上げた後に株式が債券の運用成績を上回ったり、株式の配分を引き下げた後に株式は債券の運用成績を下回る傾向がみられ、当戦略は市場環境の変化に対応でき、資産配分の変更の効果を示唆する結果が得られたと考えられる。

(3) スイッチ戦略との差異

図5にパイロットファンドとスイッチ戦略の差異を示す。当該期間でのパイロットファンドの収益率はスイッチ戦略を3.31%下回った。その中で売買手数料や信託報酬などの管理・維持コストによる影響は-2.38%程度であった。一方、投資対象による影響は-0.93%程度である。日本国債と米国債に関しては、修正デュレーションによる調整を通じてイールドカーブの平行シフトに起因する影響は軽減されるが、イールドカーブの形状変化に起因する影響は依然残っており、差異の原因になると考えられる。また、月次リバランスの計画と実行の時間差に起因する資産価格の変動も

表5 パフォーマンスの統計量（運用結果：日次収益率から算出）

	日経平均 (*1)	S&P500 (*1, *2)	日本国債 (*3)	米国債 (*2, *4)	パイロット ファンド	スイッチ 戦略	積極 戦略	保守 戦略	最小分散 戦略	等比率 戦略
平均収益率（年率換算）	12.30%	14.40%	0.60%	5.36%	2.77%	4.07%	5.30%	3.09%	3.52%	8.94%
標準偏差（年率換算）	20.64%	24.88%	2.78%	5.08%	3.97%	3.66%	4.93%	2.54%	2.82%	8.84%
最大ドローダウン（全期間）	-31.21%	-33.86%	-4.31%	-5.32%	-5.64%	-4.63%	-9.25%	-3.56%	-4.51%	-15.42%
80%CVaR(*5)	1.66%	1.89%	0.23%	0.38%	0.32%	0.30%	0.37%	0.20%	0.22%	0.71%
平均収益率/SD	0.596	0.579	0.217	1.054	0.696	1.112	1.076	1.217	1.250	1.011
平均収益率/MDD	0.394	0.425	0.140	1.007	0.491	0.878	0.573	0.867	0.781	0.580
平均収益率/80%CVaR(*5)	0.033	0.035	0.011	0.057	0.035	0.054	0.057	0.061	0.063	0.051

(*1) 配当込, (*2) ヘッジ付き, (*3) FTSE 日本国債総合指数, (*4) FTSE 米国債総合指数（ヘッジ付き）

(*5) 日次で算出, SD: 標準偏差, MDD: 最大ドローダウン

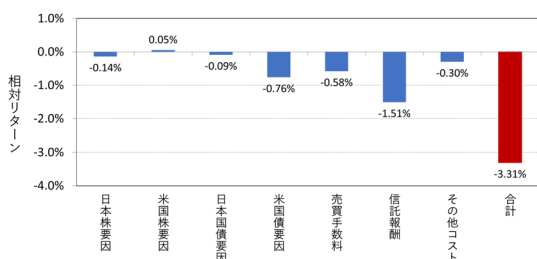


図5 スイッチ戦略（管理・維持コストなし）との差異

差異の原因としてあげられる。今後、債券投資比率の調整の精緻化について、さらに検討する余地がある。

5. まとめと今後の課題

本稿では、金融工学理論・方法論の実務への適用が可能な最適資産配分モデルを構築し、投資信託の開発およびパイロットファンドで実際に運用を行い、その運用成績と事前のバックテストを通じて、運用戦略のパフォーマンスを検証した。下方リスクを抑制する仕組みにより大幅かつ連続して下落するリスクは限定的であることをバックテスト、パイロットファンドの実績の両方で確認でき、安定運用を求めるニーズに応える商品を開発することができたといえる。

今後の課題として以下の2点をあげる。1点目は、株式以外の資産クラスに対してもインプライド分布を

適用し、その有効性を検証することである。2点目は、インプライド分布の期待収益率の計算方法である。本稿では株式指数に係る指標を総合的に考慮して決定したが、近年、Ross [5] によってオプション価格から実測度におけるインプライド分布を推定するリカバリー定理を用いた方法が提案され、伊藤ら [6]、霧生ら [7] などによって、その有効性が示されている。さらなる運用パフォーマンスの向上を期待し、その検証を行うことも興味深い。

参考文献

- [1] 霧生拓也, 枇々木規雄, “複数資産にインプライド分布を用いた最適資産配分モデル,” *Transactions of the Operations Research Society of Japan*, **57**, pp. 112–134, 2014.
- [2] 小田信之, 吉羽要直, “デリバティブ商品価格から導出可能な市場情報を利用したマーケット分析方法,” *金融研究*, **17**(2), pp. 1–34, 1998.
- [3] 戸坂凡展, 吉羽要直, “コピュラの金融実務での具体的な活用方法の解説,” *金融研究*, **24**(2), pp. 115–162, 2005.
- [4] 枇々木規雄, 田辺隆人, 『ポートフォリオ最適化と数理計画法』, 朝倉書店, 2005.
- [5] S. Ross, “The recovery theorem,” *The Journal of Finance*, **70**, pp. 615–648, 2015.
- [6] 伊藤雅剛, 霧生拓也, 枇々木規雄, “Generalized Recovery Theoremを用いた収益率分布の推定,” *ジャフィー・ジャーナル*, **17**, pp. 76–99, 2019.
- [7] 霧生拓也, 枇々木裕太, 枇々木規雄, “最適資産配分問題における収益率分布推定方法の比較,” *ジャフィー・ジャーナル*, **19**, pp. 1–26, 2021.